（C）宇山靖政

内容

１．はじめに 4
１．１　風車音と他の環境騒音の違い 4
１．２　論文について 16
１．３　比較検討すべき論文 34
２．評価できる部分 36
３．反対意見の封殺 48
３．１　健常者ではない 48
３．２　地元のステークホルダーを取り込む 53
３．３　地域への貢献（金銭的援助） 56
３．４　道路、防音窓、クーラー 57
４．事業の進み方 58
４．１　愛知県田原市久美地区 58
４．２　環境アセスと事業の進め方 65
４．３　準備書と住民意見と事業者の見解 68
４．４　南房総市の市民と業者 85
４．５　平成１６年の住民説明会資料 87
４．６　鹿島港洋上風力発電事業環境影響評価方法書　住民説明会資料の確認 114
５．不快感、アノイアンス、健康影響、健康被害　と要因 121
５．１　低周波音の影響 121
５．２　うるささと不快感 126
５．３　頭痛 141
５．４　アンケート調査の項目 145
６．各論 150
６．１　風車音の指向性と同心円 150
６．２　風雑音と防風スクリーン 152
６．３　平成２２年度　移動発生源の低周波音等に関する検討調査等業務報告書 165
６．４　低周波騒音測定マニュアル 181
６．５　風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル 184
６．６　アノイアンスと騒音レベル 187
６．７　ガタツキ閾値（物的苦情に関する参照値）と家屋の固有振動数 197
６．７．１　日本家屋の固有振動数 197
６．７．２　ガタツキ閾値 202
６．８　参照値（心身に係る苦情） 206
６．９　参考値 209
６．１０　指針値 214
６．１１　安眠妨害による健康影響 237

６．１２　環境省の認識 244
６．１３　A 特性音圧レベル 269
６．１４　G特性音圧レベル、 282
６．１５　オクターブ解析の問題点 300
６．１６　計測方法と周波数分析（FFT） 302
６．１６．１　リオン社 NL-62 302
６．１６．２　FFT 314
６．１７　超低周波音の解析と発生する仕組み 322
６．１８　唾液コルチゾール検査 336
６．１９　マイク、スピーカ、イヤホン 340
６．２０　共鳴、共振、強制振動 371
６．２０．１　塔やブレードの固有振動数 371
６．２０．２　塔の強制振動 375
６．２０．３　音叉と共鳴箱と強制振動 388
６．２０．４　強制振動の原因 391
６．２０．６　上空の風と地表近くの風 394
６．２０．７　回転制御と揚力ベクトル 409
６．２１　遮音壁 411
６．２２　振幅変調音 416
６．２３　A 特性音圧レベルの変動 424
６．２４　潜水病 426
６．２５　音響キャビテーション 431
６．２６　圧迫感 441
６．２７　計測のお願いと行政 444
６．２８　アンケート調査 448
６．２９　音響パワーレベル 450
７．風車音に関する様々な考え方 455
７．１　見解と説明すべき６つの現象 455
７．１．１　風車の近くでは、マイクに風が当たらなくても超低周波音が計測される。 455
７．１．２　風車が無ければ、マイクに風を当てても音圧の高い超低周波音は発生しない。 457
７．１．３　周波数 f/3、2f/3、f、2f、3f、…Hz で音圧が高くなる 459
７．１．４　風車音の指向性、十字架型 460
７．１．５　全国 164 か所で音圧の高い超低周波音が計測された。 463
７．１．６　周波数と音圧は風速に従って変化する 470
７．１．７　その他 474
７．１．８　風車音の特徴の把握方法 480
７．１．９　見解の共通点 482
７．２　環境省の昔の見解 492
７．３　経済産業省の見解 494
７．４　超低周波音は発生しない（中野　有朋） 500
７．５　広帯域の音と超低周波音（ISO7196）（電力中央研究所） 505

７．６　カルマン渦（後方乱流）説 517
７．７　空力音 520
７．８　空力変調　説 533
７．９　風切り音 543
７．１０　風雑音（その１） 548
７．１１　風雑音（その２） 558
７．１２　疑似音 561
７．１３　風速自身が有する極めて低い周波数成分の支配的なエネルギー 572
７．１４　風車音の疑問点 573
７．１４．１　例１： 573
７．１４．２　例２： 575
７．１４．３　例３： 578
８．環境省への疑問 580
９．除外音処理 587
１０．行政と学者と企業 591
１１．風車による被害 595
１１．１　各地の被害状況 595
１１．１．１　被害情報１ 595
１１．１．２　被害情報２ 608
１１．１．３　被害情報３ 609
１１．１．４　被害情報４ 618
１１．１．５　石竹氏の調査 623
１１．１．６　由利本荘・にかほ市 628
１１．１．７　国、環境省の被害調査 630
１１．２　土砂災害 638
１１．３　種子、植相、食物連鎖 638
１１．４　ペレイラ博士 639
１２．房総かぜの丘の風車 649
１３．天罰 651
以上です。　　宇山靖政 653

１．はじめに

本巣芽美、丸山康司　氏の論文（風力発電所による近隣住民への影響に関する社会調査）についての疑問点を述べます。そのための準備をします。

１．１　風車音と他の環境騒音の違い

平成２２年度 移動発生源の低周波音等に関する検討調査等業務報告書
では、次の様に書かれています。

“表 2.1 は、従来の騒音発生と風車騒音発生とはどのような違いがあるのかを幾つかの観点で比較・整理したものである。本表で使用する記号のうち、風力発電所から発生する騒音等について記載している“△”は、「従来の低周波音」である程度「明確さ」になっていると判断したものである。また、“●”は不確実さを示したもので、“○”は明確さを示したものである。“

表 2.1　風車騒音等と従来の騒音との比較

	風車騒音等			従来の騒音（工場・事業場、建設作業、道路交通、新幹線、航空機、近隣騒音、深夜営業騒音）		
	概　要	明確さ	不確実さ	概　要	明確さ	不確実さ
現象	・ 波動：疎密波 ・ 入射、反射、吸収、透過、共鳴、回折、干渉、屈折 ・ 衝突・衝撃・摩擦 ・ 回転・乱れ・脈動 ・ 渦・共鳴／共振 ・ 磁界・電磁気	○		・ 波動：疎密波 ・ 入射、反射、吸収、透過、共鳴、回折、干渉、屈折 ・ 衝突・衝撃・摩擦 ・ 回転・乱れ・脈動 ・ 渦・共鳴／共振 ・ 磁界・電磁気 ・ 爆発・燃焼・圧縮・膨張	○	
妨害	・ 心理的・生理的・身体的 ・ 精神的・生活・物的	△	●	・ 聴力低下・聴力妨害 ・ 心理的・生理的・身体的 ・ 精神的・生活・物的	○	
計測	・ 統一した方法はない ・ 計測機器が規格化されていない ・ 実験施設・実験方法も規格化されていない		●	・ 騒音規制法によるもの ・ 日本工業規格で統一 ・ 計測機器は規格化 ・ 実験施設も充実 ・ 実験方法も規格化	○	

	[illegible]			[illegible]		
予測	・ ISO9613-2 ・ NEDO 式 ・ Nord2000 モデル 等があるが、未完成部分あり		●	・ 騒音発生源毎に予測手法が整備され、実用化	○	

評価	・ 物的影響は一般化 ・ 心身的影響、最小可聴値、アノイアンスは未解明	△	●	・ 騒音規制法、都道府県条例にて、規制基準値を設定 ・ 環境基準を設定	○	
法律	・ 国では未規制 ・ 一部、条例で規制	△	●	・ 環境影響評価法、騒音規制法、都道府県条例が整備	○	
国際	・ 論文発表件数が少ない ・ 特に、発生源、計測方法、評価に集中 ・ 各国の評価法がまちまち	△	●	・ 論文発表は充実している ・ 各国へ法規制・評価法を発信	○	
医学	・ 医学的な見地からの公的な見解が無い		●	・ ある一定以上の騒音暴露による影響についての公的見解はある	○	

風車騒音等の計測に関しては、

・統一した方法はない

・計測機器が規格化されていない

・実験施設・実験方法も規格化されていない

と書かれている。

評価に関しては

・物的影響は一般化

・心身的影響、最少可聴値、アノイアンスは未解明

法律に関しては

・国では未規制

・一部、条例で規制

とある。

統一した方法が無いならば、自分で最適な方法を考えて実行してみれば良いのです。新しい方方法を提起すれば良いのです。

計測結果から得るべきものは、

・“基本周波数 f（Hz）は、翼の回転数を R（rpm)、翼枚数を Z（枚）とすると　f ＝RZ/60　(Hz)で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。”について、正しいか否かを判断すること、卓越の程度を明らかにすること。

・ISO7196 にある、1/3 オクターブ解析での中心周波数 0.25Hz の帯域のエネルギーを計算できるだけの周波数分解能を得ること。

の２点です。もちろん、1Hz 以下の領域でも計測可能なマイクを使う事が必要です。

リオン社と相談した結果、サンプリングレートが 48ｋHz で音圧の変動を WAV ファイルとして記録した

ものを解析すれば良いとの事でした。

60 秒間の計測データだと、48000*60 個のデータに対して、FFT を計算すれば、同じ個数の数値が得られて、周波数の刻み幅をhHzとすれば、h*48000*60＝48000 となるので、h＝0.01667Hzとなり、周波数スペクトルは 0Hz から、24000Hz までの範囲であり、周波数分解能はh＝0.01667Hz です。0Hzから 24000Hzまで、刻み幅 0.01667Hzで計算されることになります。120 秒間の計測データを使えば、周波数分解能が 0.0083Hz となる。

0.25/0.01667＝14.99、 0.25/0.0083＝30.12 なので、メモリーと計算速度に余裕があれば、120 秒間のデータで計算すべきです。これがあれば中心周波数 0.25Hz～315Hz の 1/3 オクターブ解析が可能です。最大音圧や周波数特性も明確になります。

次の機材を使って具体的な計測を行い、さらに風車音が発生する仕組みに注目しながら考えてみました。

計測機材は、

リオン社の精密騒音計 NL-62 と、波形収録プログラム NX-42WR

リオン社の振動レベル計 VM-55 と、波形収録プログラム VX-55WR。

ビデオカメラ

データの解析は、

PC：Win10 又は Win11 の OS が載っている PC でメモリーは 32GB。

解析ソフト：DADISP、DADISP/WAV、Unit/Wavelet、Unit/WVA、Unit/Noise-Vibration）

を使いました。

計測結果を調べてみれば、

平成 28 年 11 月に検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」の中で、

“まず、日本の風力発電施設から発生する音の実測調査の結果、風力発電施設から発生する超低周波音は、音圧レベルがそれほど高くなく、人間の知覚閾値以下であることがわかりました。また、他の環境騒音を比較した結果、風力発電施設から発生する音は、低周波数領域で卓越があるわけではありませんでした。”

と書いてあることが、“低周波数領域”の意味を“20～100Hz”の意味で使う事による誤魔化しであることが分ります。

また、昔の環境省の主張、

“４．低周波音防止技術の概要

4.1.5 風車

風車の超低周波音の発生原理は基本的には送風機のいわゆる回転音と呼ばれるものと似ている。大型発電用風車の場合は、羽根の枚数が少なく、回転数も小さいために正常運転でも超低周波音を発生することがある。

その基本周波数 f（Hz）は、翼の回転数を R（rpm）、翼枚数を Z（枚）とすると

f ＝ RZ/60（Hz）

で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。

大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は 1～3 枚（3 枚が主）、回転数は 30～60（rpm）程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。“

はある程度正しいが、正確ではないことが分ります。

さらに、他の計測結果（風車の塔の振動、風車音の指向性など）も含めて考えれば、風車音の発生機構も解明できます。

後で触れますが、風車音の発生する仕組みに関する説は沢山あります。残念なのは、その根拠となる風車音の特徴を示す解析結果を示さないで議論していることです。

1/3 オクターブ解析の結果を使っている人もいますが、これでは風車音の正確な周波数成分が分りません。したがって、風車音の発生する仕組みと計測結果の比較が不正確になってしまうのです。

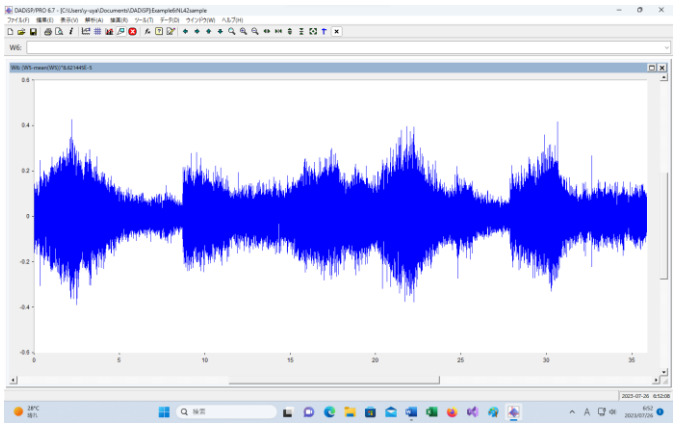
1/3 オクターブ解析の結果は、1Hz 以上の周波数に関して示される場合がほとんどであり、大型風車から出る 0.5Hz の音を把握できていないのです。最も重要な部分を把握しないで議論しても正しい結論にはならないのです。

では、

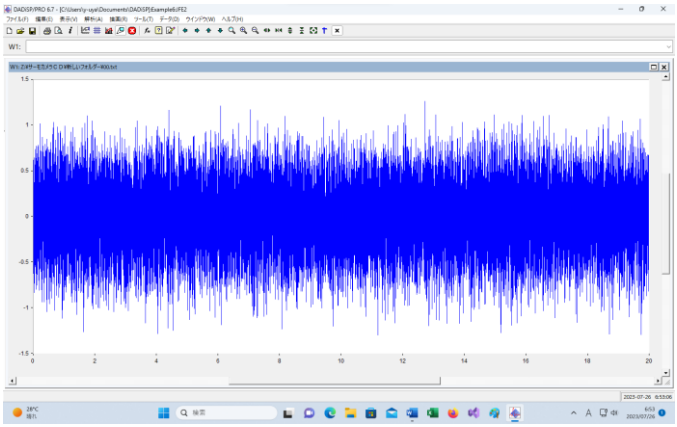
風車音の特徴を理解するために、風車音、リオン社前の交通騒音、JFE の製鉄所内の音　を比較してみます。

波形（音圧）

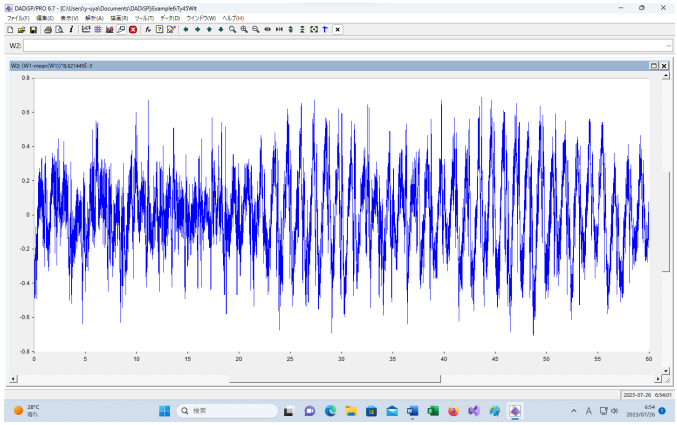
リオン社前の交通騒音



JFE の製鉄工場内の音



館山の風車音



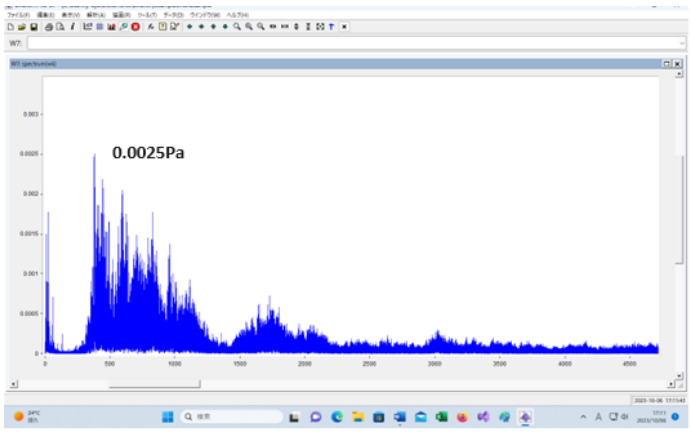
交通騒音では、車が通ると大きな振幅になります。

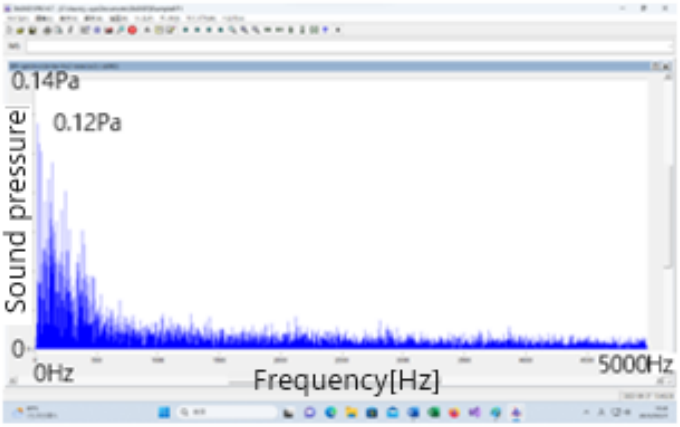
工場騒音は、音の大きさが安定しています。

風車音では、振幅の変化が大きく、グラフの密度は荒い。

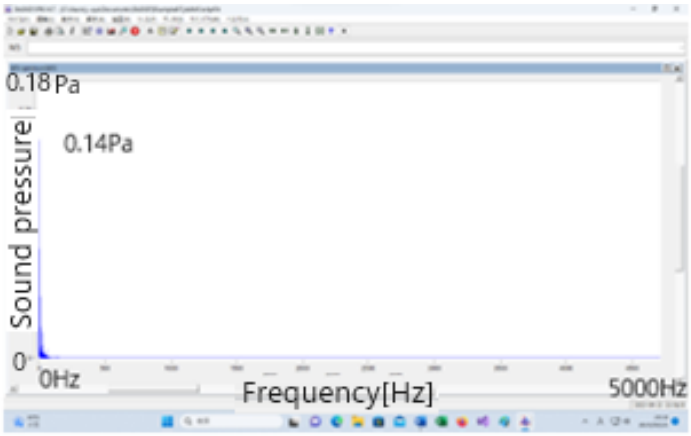
周波数スペクトル

交通騒音（０～5000Hz）最大音圧 0.0025Pa　　製鉄工場騒音（０～5000Hz） 最大音圧 0.12Pa





風車騒音（０～5000Hz） 最大音圧 0.14Pa



交通騒音は、広帯域の音ですが、20Hz 以上の成分の振幅が大きいことが分ります。

工場音は、広帯域の音ですが、低周波音の成分も強いことが分ります。

風車音は、0.8Hz 辺りに集中していて、左端の細い線で表されています。

0～5000Hz 範囲での比較であり、交通騒音と製鉄所内の音は広帯域だが、風車音は左隅の 0.8Hz の近くに集中しており広帯域の音ではない。

風が弱い時は、風車音の最大音圧は 0.14Pa 程度ですが、強風時は 0.42Pa 程度まで上昇します。0.14/0.0025＝56、0.42/0.0025＝168 より、交通騒音の音圧の 56 倍～168 倍の音圧となります。この状態を普通の日本語では“卓越した音圧である。”といいます。

エネルギーの分布

表２．エネルギーの分布

エネルギー分布	０～20Ｈｚ	20Ｈｚ以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

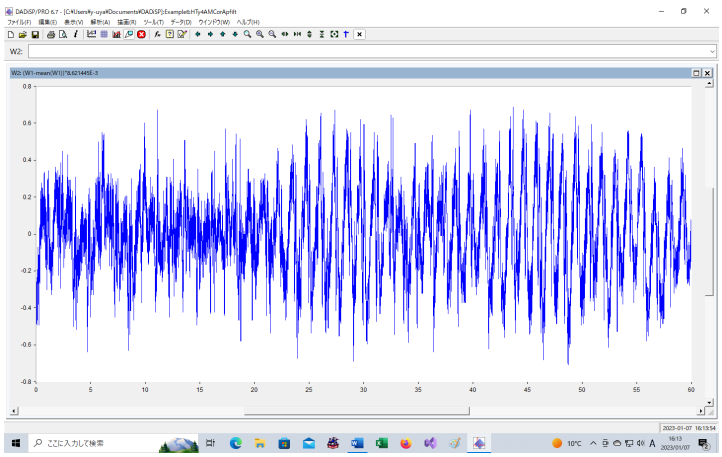
0～20Hz でのエネルギーの分布

Energy distribution	0～1Hz	1～20Hz	0～20Hz
Wind turbine	61.3%	38.7%	100.0%
Iron mill	0.04%	99.96%	100.0%

93*0.613＝57%ですから、風車音全体のエネルギーの 57%は 1Hz よりも周波数が低い部分に含まれています。

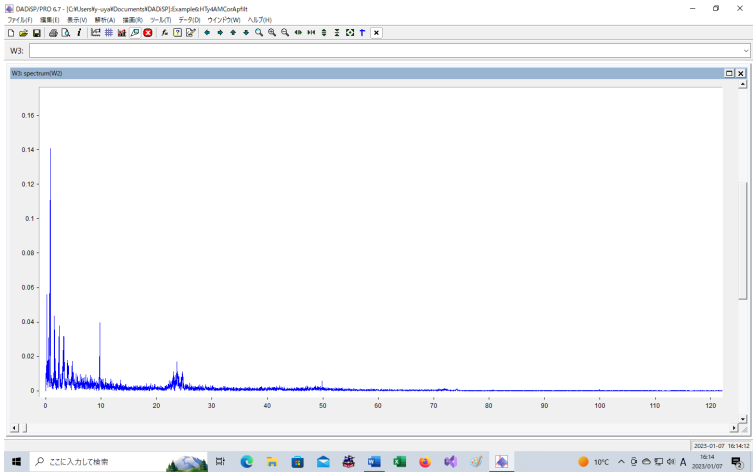
振幅変調

風車音を 60 秒間計測したデータを表すグラフは次のものです。



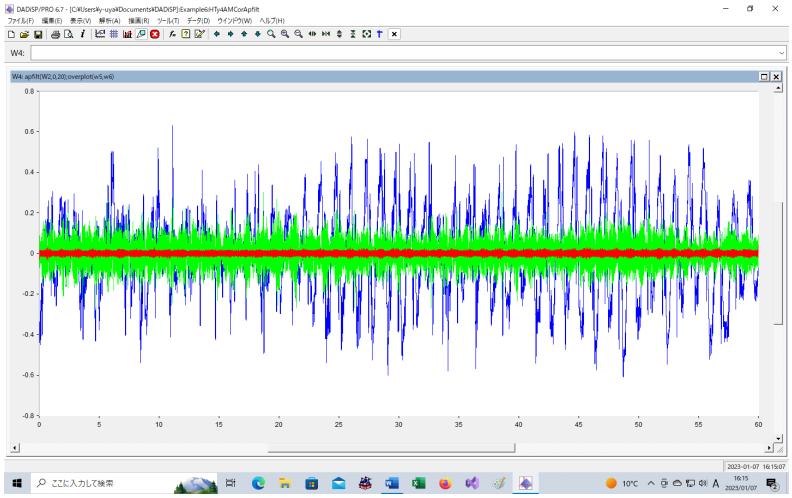
上のグラフは、スカスカです。これは、高周波成分が極めて弱いことを意味しています。

低周波部分を拡大した、周波数スペクトルは次のグラフです。50Hz 以下の成分が大半を占めています。
このグラフからも、200Hz 以上の成分は、微弱なものであることが分かります。



FFT を使って、風車音を分解しました。 0Hz～20Hzの超低周波音成分を青で、20Hz～200Hz の成分を緑で、200Hz～24000Hz の成分を赤で、重ね書きしてみました。

高い音圧を持っているのは、超低周波音の成分であることが分かります。赤い部分の 200Hz 以上の成分は、他の成分に比べて、極めて弱い音であることが見て取れます。



赤い部分を拡大すれば、振幅変調も見て取れますが、周波数が高いので、防音窓で防げると考えます。

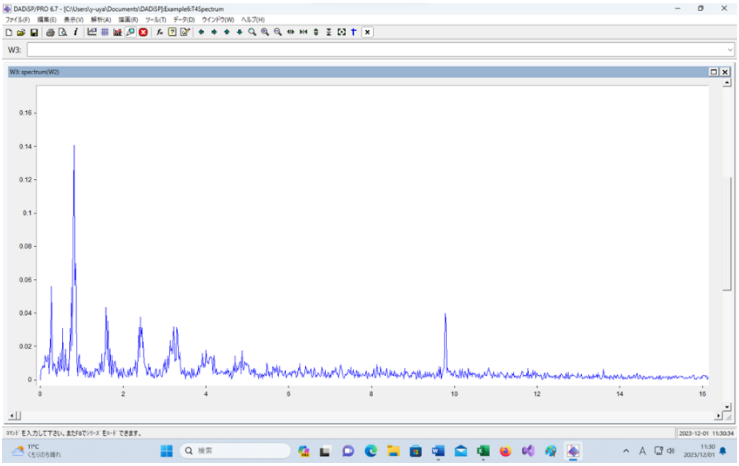
事論、屋外と屋内で精密騒音計を使って、0.01Hz 刻みの周波数で調べて、比較してみることが必要です。

さらに、A 特性音圧レベル（20Hz～）が同程度の交通騒音が存在する場所でも、同じ計測をして、比較してみることも必要です。

1/3 オクターブ解析の結果として振幅変調があると主張する人はいます。その時は計測データそのものを公開してもらって再確認することが必要です。場合によっては現地での再計測も必要です。

風車音の細かな特徴

実際の風車音で計測された音圧（パスカル値）には、周波数の倍音構造があります。



音圧（パスカル）がピーク値となるときの周波数に、次のような規則性がある。

周波数	周波数/0.8167	音圧[Pa]
0.2667	0.3266	0.0560
0.5333	0.6530	0.0309
0.8167	1.0000	0.1405
1.5833	1.9387	0.0436
2.4167	2.9591	0.0377
3.2167	3.9387	0.0317
4.0000	4.8978	0.0177
4.8667	5.9590	0.0173
5.4667	6.6936	0.0101
6.2667	7.6732	0.0098

上のグラフの一番音圧が高い周波数 0.816Hz が、RZ/60 に対応します。（R は 1 分間の回転数、Z は翼の枚数）。他のピーク値の発生も必然的であり、明確な理由があります。

この周波数と、ブレードにかかる揚力、塔の振動、塔の側面の変形、側面の振動方向、風車の周辺での音の指向性、塔に掛かる周期的な力を計算すれば、上の表と一致するとの結論が出てきます。

結果としては、回転軸が水平になっている風車は、超低周波音の発生装置そのものだと言えるのです。

詳しい計算は、“風車超低周波音 2023”に書いてあります。

最大音圧となるときの周波数0.8Hz,は、翼の回転数をR(rpm)、翼枚数をZ(枚)とするときのｆ＝RZ/60[Hz]に合致する。他の周波数も含めて音が出る仕組みを解明すれば超低周波音が発生する理由が分る。

周波数の細かな変動

ｆ＝RZ/60[Hz]より、周波数は回転数によって変化する。図８の Wavelet のグラフから、0.73Hz から 0.87Hz の間で周波数が変化することが分る。

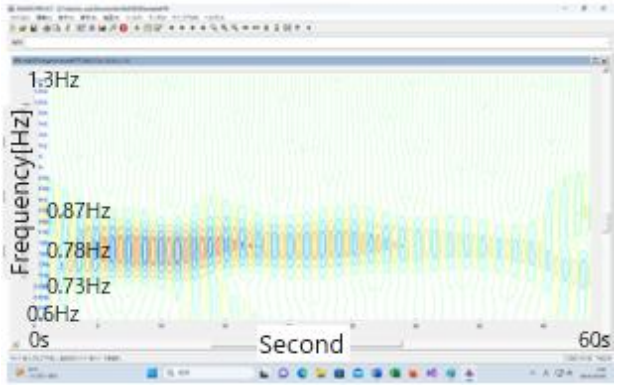


図８： Fine fluctuation nearby 0.8Hz

Rotation (7times), a part of large table		
Brade pass	Time(second)	Frequency[Hz]
21	28[s]	0.75[Hz]
21	22[s]	0.95[Hz]
21	28[s]	0.75[Hz]
21	28[s]	0.75[Hz]
Average		0.8 [Hz]

表４： Fine fluctuation from video

表４はビデオ撮影した回転の様子から周波数を計算したものの一部である。周波数は風速の変化に対応して細かく変化し、図８の変化と一致する。

図８で色の濃い部分は音圧が高いことを示し、図８は 60 秒間の計測結果なので、音圧が高い状態が 20 秒程度継続することが分る。

10 分間の計測結果から、0.8Hz に近い周波数成分の音圧は、風が弱いときは 0.10[Pa]、風が強いときは 0.37[Pa]、平均で 0.18[Pa]程度であることが分る。

環境省は、

超低周波音について

- 平成28年、風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会の報告書がとりまとめられた。
- 風車騒音は超低周波音ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音（＝聞こえる音）の問題。
- なお、他の交通騒音などの環境騒音と比較して、低周波領域の卓越はみられない。

と言っている。

特に注意すべきは、“低周波数領域の卓越は見られない。”という部分です。　比較しているのは、“風車音”ではないのです。“風車騒音”を扱っているのです。

用語の意味ですが、

“検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について**」**には

（注）「超低周波音」についての補足

我が国では、苦情の発生状況を踏まえ「低周波音」という用語が「おおむね 100Hz 以下の音」として定義され用いられてきたが、国際的には、「低周波音」の周波数範 囲は国によりまちまちで定まったものではない。一方、IEC（国際電気標準会議） 規格 61400 シリーズにより、20Hz 以下を「超低周波音」（infrasound）、**20～100Hz を「低周波音」（low frequency noise）と定義**しており、国内ではこれを受けた JIS C 1400-0:2005（風車発電システム-第０部：風力発電用語）で同様に定義されている。これを踏まえ、環境影響評価

法において個別事業種ごとの技術的な指針として 定められた主務省令では、「騒音（周波数が 20～100Hz までの音を含む）」とした上で、「超低周波音（周波数が 20Hz 以下の音）」と規定しており、「低周波音」という 用語を用いないこととされた。 これらの状況を踏まえ、本報告書では、**20Hz 以下の音を「超低周波音」とし、 それ以外の音（周波数が 20～100Hz までの音を含む）を「騒音」**と表記する“

ここには、**20Hz 以下の音を「超低周波音」とし、 それ以外の音（周波数が 20～100Hz までの音を含む）を「騒音」**と表記する”とあるので、“騒音”は周波数が 20Hz 以上の音に限定されるのです。

低周波数領域に関しても、**“20～100Hz を「低周波音」（low frequency noise）”**とあり、20Hz 以上の周波数成分に限定されるのです。

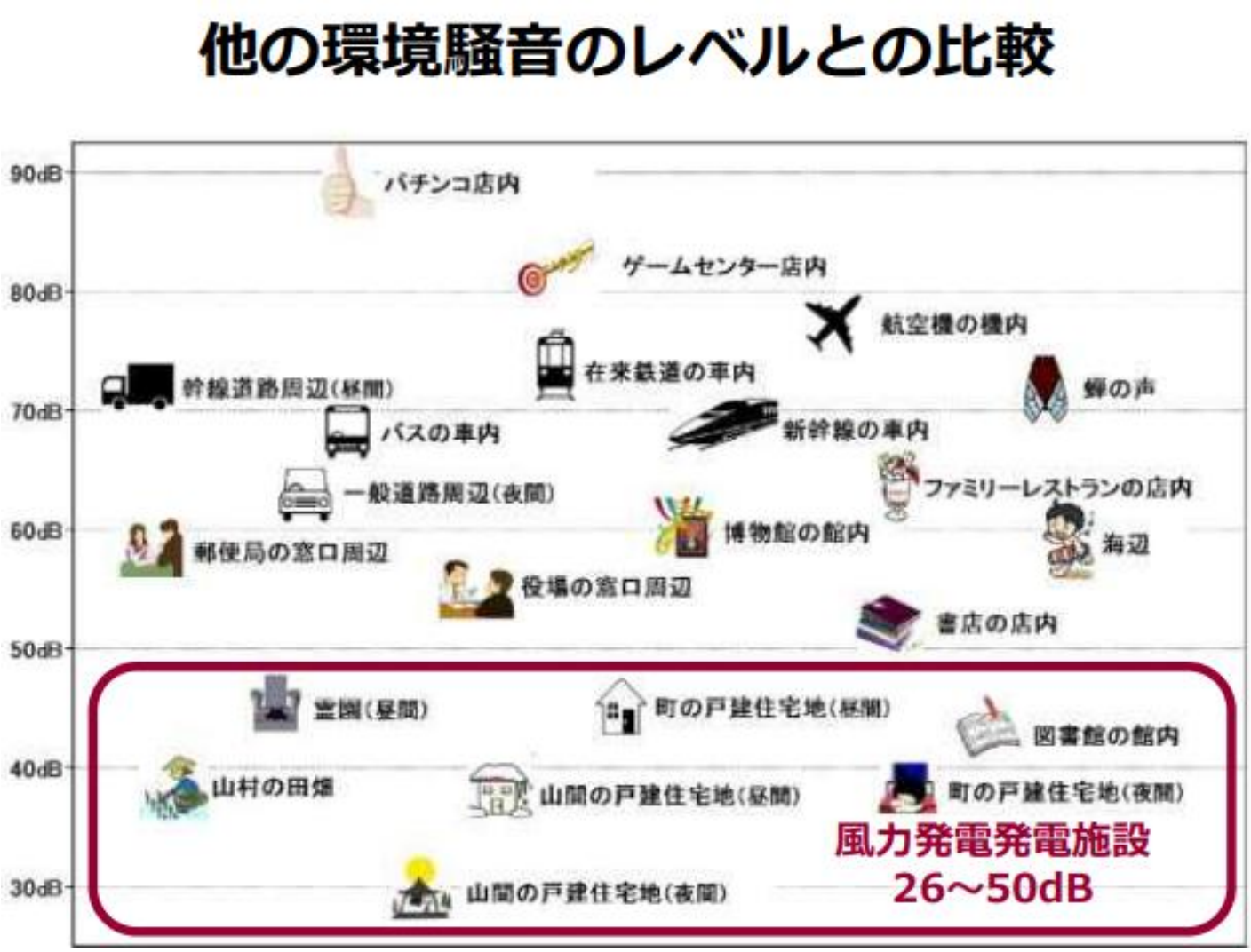
そうすれば、エネルギーの 7%未満の部分から計算した数値と、エネルギーの 99%から計算した数値を比較する事になるのです。これは、被害が小さいかのように誤解させる、詐欺の手口なのです。

表２．エネルギーの分布　　0～20Hz でのエネルギーの分布

エネルギー分布	0～20Hｚ	20Hｚ以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

Energy distribution	0～1Hz	1～20Hz	0～20Hz
Wind turbine	61.3%	38.7%	100.0%
Iron mill	0.04%	99.96%	100.0%

そして、業者は次の図を、住民説明会で使うのです。



1/3 オクターブ解析で、リオン社前の道路の音、JFE の製鉄所内の音、千葉県館山市の風車音、マイクに風

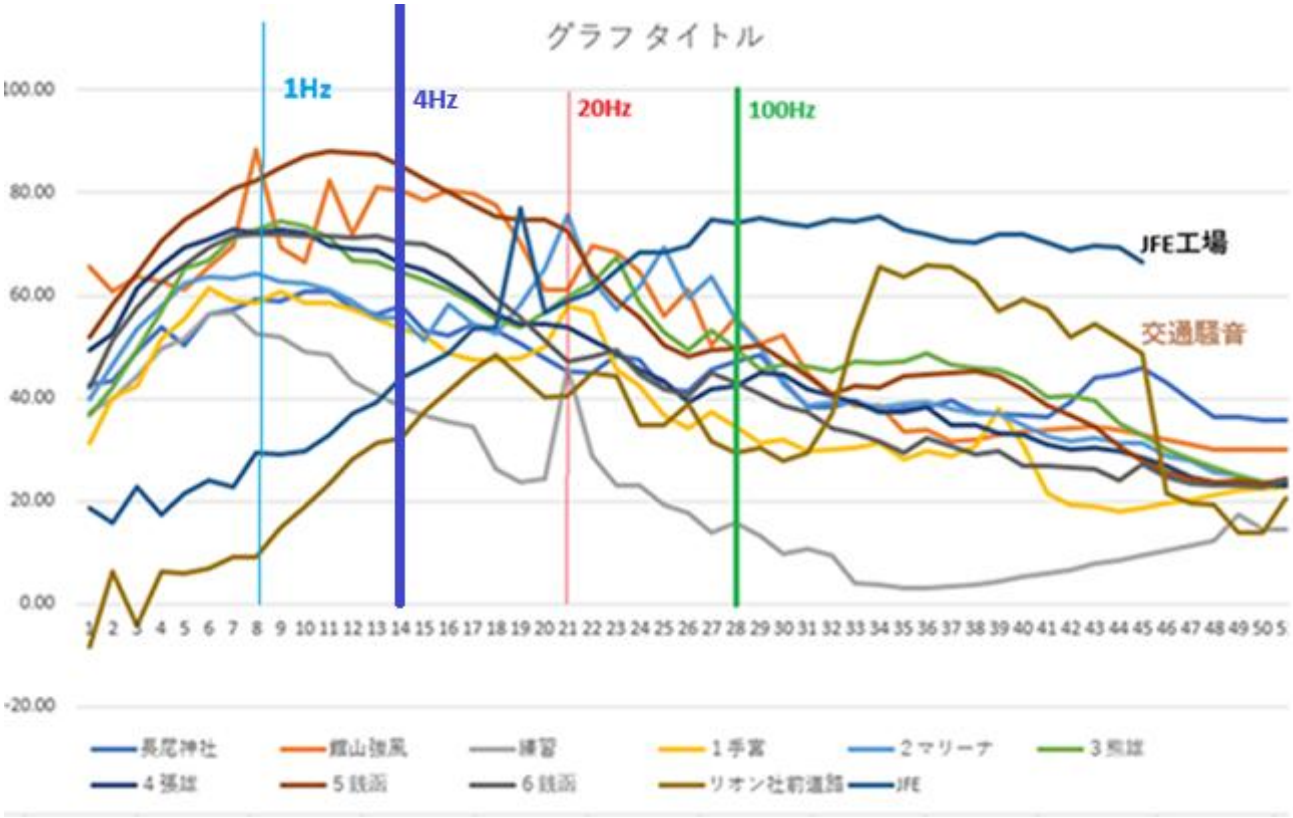
を当てての風雑音、石狩湾の数か所の風車群の音から計算したものを比べてみると次の様になります。

番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
中心周波数	0.19	0.25	0.32	0.40	0.50	0.63	0.80	1.00	1.25	1.60	2.00	2.50	3.15	4.00	5.00	6.30	8.00

番号	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
中心周波数	10.00	12.50	16.00	20.00	25.00	31.50	40.00	50.00	63.00	80.00	100.00	125.00	160.00	200.00	250.00	315.00	400.00

番号	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
中心周波数	500.00	630.00	800.00	1000.00	1250.00	1600.00	2000.00	2500.00	3150.00	4000.00	5000.00	6300.00	8000.00	10000.00	12500.00	16000.00	20000.00

20Hz は、21 番のところです。



グラフの中央部分（8 番～33 番、1Ｈｚ～315Ｈｚ）の辺りでは、風車音は、全体として周波数が大きくなると音圧レベルが減少するが、交通騒音などは周波数が高くなると音圧レベルが上昇する。

8（1Hz）から 15（5Ｈｚ）辺りでの違いが大きい。これを見たくない人はこの部分を“風雑音”というのですが、詳細な周波数を確認すれば、離散的な特徴から風車の超低周波音だと分かるのです。

21 番のところが 20Ｈｚです。これよりも右の部分だけを考えて、音の大きさを比較すれば、“風車音が特に卓越しているわけではない。”となりますが、左側の部分（超低周波音の部分）が大きな問題になるのです。

１．２　論文について

本巣芽美、丸山康司　氏の論文（風力発電所による近隣住民への影響に関する社会調査）には、

“１．はじめに

気候変動対策として，温室効果ガスの排出が少ない再生可能エネルギーの利用に対する社会的期待は高い 1)．パリ協定では日本は 2030 年までに 2013 年度比で温室効果ガスを 26%削減することを目標に掲げており，エネルギー供給の低炭素化が強調されている 2)．また，第５次エネルギー基本計画においては，再生可能エネルギーが従来の補助電源から主力電源化へと舵が切られたことからも 3)，今後，再生可能エネルギーの導入が増加することが予想される．再生可能エネルギーの中でも風力発電は導入ポテンシャルが高く 4)，また，風力発電は新たな産業の創出や低コストによる電力供給を通じて，社会経済にとっても有意義な側面を持つことが指摘されている 5)．実際に，風力発電事業が地域づくりや地域産業の育成に貢献している例などがこれまでにも報告されている 6)7)．また，洋上風力発電においては，漁業者に対する支援策が検討されており 8)，地域と風力発電の融合が重視されている．

しかし，必ずしも全てのステークホルダーが風力発電に賛成しているわけではない．風車音による健康影響やバードストライクなどの野生生物への影響，景観の変化など多くの環境影響から，地域住民や環境保護団体などが反対する例も少なくない．特に風車音に関しては人への健康影響に対する懸念が強く，人への有害性を主張する専門家や 9) 10)，風力発電所から発せられる低周波音による症状を「Wind Turbine Syndrome」（風車症候群）と称する専門家もいる 11)．

このような風力発電による立地地域への環境影響から，日本のみならず風力発電の導入が進む欧米においても反対運動が行われており，風力発電の受け入れに関する風力発電の社会的受容性という考え方が注目されている．国際エネルギー機関においても風力発電技術協力プログラム（IEA Wind）において，風力発電プロジェクトの社会的受容性に関するタスク（Task 28）が発足されており，風力発電による健康影響や風力発電に対する近隣住民の態度などが調査されている．“

とある。

さて、

“気候変動対策として，温室効果ガスの排出が少ない再生可能エネルギーの利用に対する社会的期待は高い”だとしても、物理的に考えて、超低周波音の発生装置そのものである水平軸型の風車を海岸から１ｋｍ～２ｋｍの距離に建設することは狂気の沙汰である。

風力発電が必要だとしても、垂直軸型のものと水平軸型のものの決定的な違いを認識して議論すべきだと考えるが、本巣氏の議論には、この観点は見られない。

この事は市民の常識である。例えば、**山形県酒田市の市民**は

アンケート名:酒田市広報 11 月特集「風のまち酒田の未来を考えるーカーボンニュートラルの実現に向けてー」質問５回答で、

“洋上風力発電について、酒田市の特性からバードストライクを予防するという観点からも垂直軸型マグナム式風力発電を導入するのはいかがでしょうか。騒音低減、強風耐性の向上にも繋がり、また日本の技術／製造という意味でも市民の納得や信頼も得られやすいのではと考えます。供給の安定という意味で自然エネルギーは発展途上なのだとは思いますが、海側の土地だからこそ得られる半永久的なエネルギーをうまく活用し、環境負荷や資源消費を軽減していけるよう、今後の発展を期待しております”

と言っている。

研究者として論文を書くには、このような意見に関してしっかり検討し、風車音の発生機構に関する理論

的な根拠と精密な計測と解析の結果を踏まえてからにすべきだと考えます。
あるいは、市民の意見を採用して、垂直軸型の風車を建てるようにすれば、パリのエッフェル塔に設置しても苦情が出ないほど音が静かな風車なので、睡眠妨害や圧迫感などは激減します。被害が減れば反対意見も減るのです。
業者が住民説明会で、水平軸型の風車が物理的には超低周波音の発生装置であり強烈なエネルギーを持った超低周波音を発生するが、垂直軸型はそのようなことは無いので、垂直軸型の風車を建てさせてください。と説明して、風車音の精密な測定結果を公開し、周波数スペクトルの違いを説明すれば、反対も減るし、健康影響も減るのです。
同心円を考える必要は無いのです。水平軸型の風車から超低周波音が発生する仕組みを解明出来れば、超低周波音が発生しない仕組みの風車が垂直軸型の風車だと判明します。音の静かな風車を選べばよいだけの事なのです。

また、
“風車音による健康影響やバードストライクなどの野生生物への影響，景観の変化など多くの環境影響から，地域住民や環境保護団体などが反対する例も少なくない．特に風車音に関しては人への健康影響に対する懸念が強く，人への有害性を主張する専門家や 9) 10)，風力発電所から発せられる低周波音による症状を「Wind Turbine Syndrome」（風車症候群）と称する専門家もいる 11)．“
とあるが、
健康影響は、“懸念”ではなく、風車の周辺３ｋｍ以上にわたって大きな影響を及ぼしている。主な被害は継続する“安眠妨害”であり、これは住民の仕事、健康、子供の成長や学習などを妨害して、地域社会そのものを破壊させるのです。
また、直接的な健康被害としては“体がしびれ、頭が揺すられるような症状”があります。それに関しては、次の様に書かれています。
“愛知県田原市の久美原風力発電所から３５０メートル離れた場所に住む大河剛さん（４０）や家族が体に異変を感じたのは０７年１月、風車が動き始めてすぐだった。体がしびれ、頭が揺すられるような症状が続いて眠れない。**風車から遠く離れると楽になり、家に戻ると苦しくなった。**”
風車音の周波数特性が、音響キャビテーションの条件を満たすことがあることは、実際に計測して見れば分かります。これは、頭痛の直接的な原因となりうるものです。詳細な計測、実験、などが必要なのです。

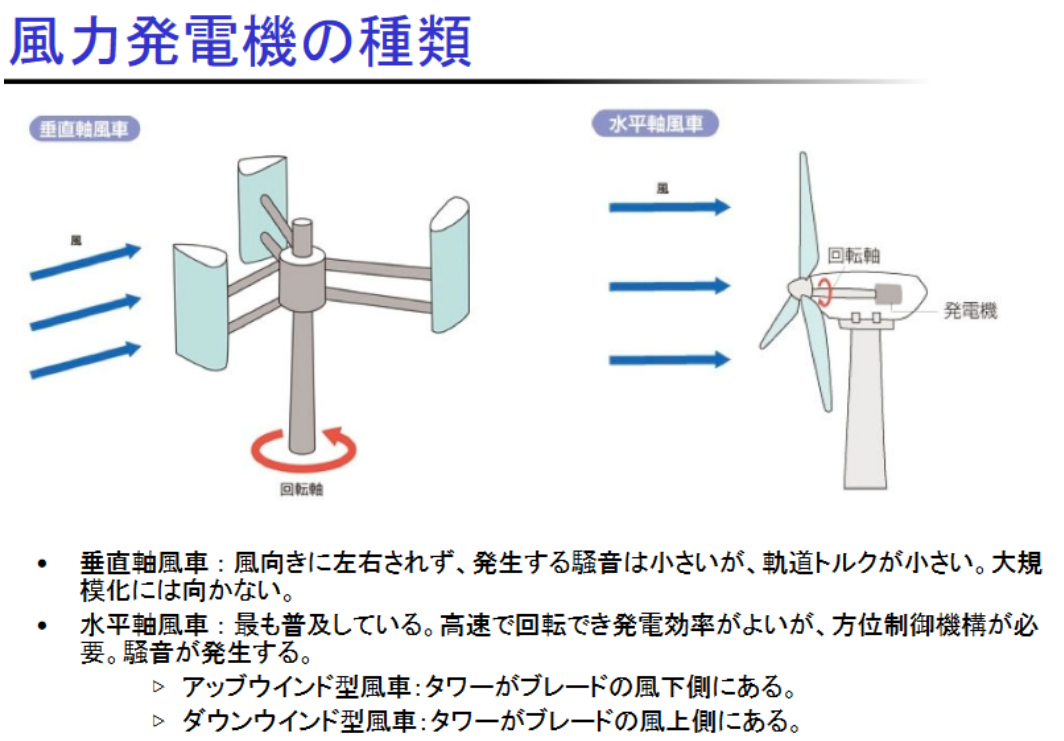
昔の環境省の主張、
“４．低周波音防止技術の概要
4.1.5 風車
風車の超低周波音の発生原理は基本的には送風機のいわゆる回転音と呼ばれるものと似ている。大型発電用風車の場合は、羽根の枚数が少なく、回転数も小さいために正常運転でも超低周波音を発生することがある。
その基本周波数 f（Hz）は、翼の回転数を R（rpm)、翼枚数を Z（枚）とすると
f ＝ RZ/60（Hz）
で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。
大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は 1～3 枚（3 枚が主)、回転数は 30～60（rpm）程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。“

と言っていました。

これで計算すると、大型風車では、ｆ＝RZ/60＝0.5 （Hz）となります。これは、超低周波音が出ているという事になります。このように、低周波音の影響を調べていた時期もあるが、風車からの超低周波音を詳しく調べてその物理的な影響を論じている人は少ない。

風車には２種類あって、回転軸が水平の風車は超低周波音の発生装置そのものであるが、垂直軸型の風車は超低周波音や騒音の発生が極めて少ないことは昔から知られている。

風車騒音の特徴と指針・測定マニュアルについて、落合博明（小林理学研究所）には、下の説明がある。



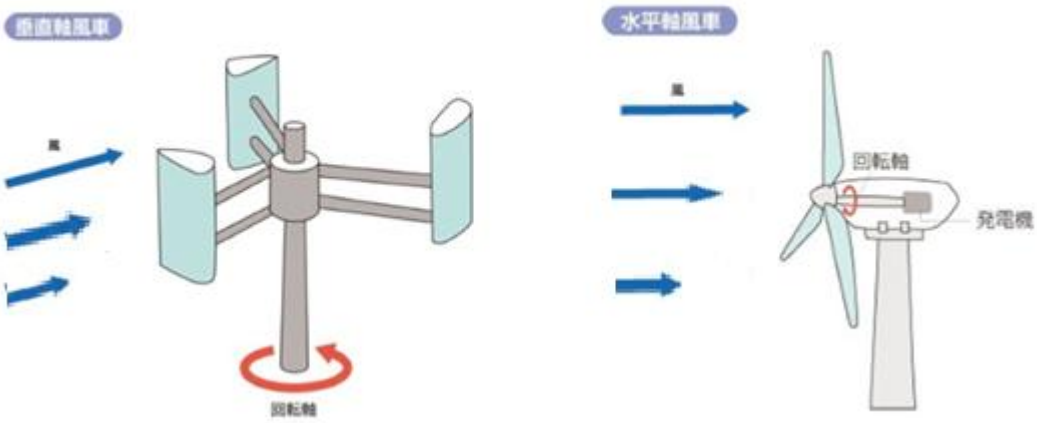
風力発電－風の力で発電｜エネルギー新時代｜J-Net21[中小企業ビジネス支援サイト] http://j-net21.smrj.go.jp/develop/energy/introduction/2012011602.html

垂直軸のものは、“発生する騒音は小さい”とあるが、残念ながら誤りがある。上の図の様に風が上空でも地上付近でも風速が同じならば、どちらの風車からも超低周波音が発生しない事が分かる。
確認するには、“超低周波音の解析と発生の仕組み”の計算に於いて、高さと風速の関係式を少し変えて計算すればすぐに分かる。

さらに、超低周波音が発生するか否かが、健康被害との関連では重要であり、20Ｈｚ以上の可聴域成分である“騒音”は、水平軸型の風車でも音圧が小さいことが調査結果から判明している。

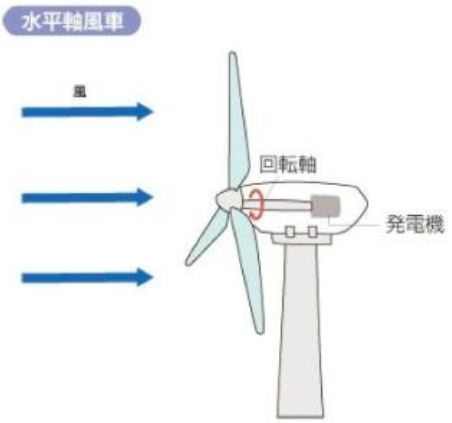
上の図では風速の矢印が同じ長さですが、正しく書けば、次の様になります。

風力発電機の種類



上空の風の速度が速いので、ブレードに掛かる揚力ベクトルが、水平軸型の場合には、ブレードの回転に従って周期的に変化します。これよって、塔が曲がり、塔の側面の振動が起きて、強い指向性を持った超低周波音が発生することになります。風速の特徴を詳しく調べると、マクローリン展開の係数に従って、超低周波音の周波数スペクトルが離散的となることや、音圧の特徴についても、計算結果と計測結果が一致することが分ります。
回転軸が垂直の場合にはこのような現象は起きないので静かなのです。
簡単に言えば、水平軸型の風車は超低周波音の発生装置そのものなのです。

ただし、風速に高度差による違いが無い



として計算すれば、超低周波音は発生しないと言う結論になってしまいます。

水平軸型の風車は、物理的に考えれば超低周波音の発生装置そのものであり、100m*10mのスピーカ４個から超低周波音を放出しているのです。また、工学的に考えれば金属疲労の実験装置そのものです。上空の風が地表近くよりも早いので、ブレードの回転ごとに、ブレードと塔に周期的に変化する力が加わります。風車が揚力を利用している以上、避けられないのです。
物理的、工学的に考えれば欠陥商品そのものであり、産業廃棄物なのです。

風車業者の利益だけを考えて水平軸型の風車を選ぶことは、国全体の利益を考える事とは違うのです。地域社会が衰退を加速すれば日本に未来は無いのです。地域社会を切り捨てれば、国全体が滅んでゆくのです。

地方の経済活動、生産体制があれば、少し効率が悪くても、気候変動や国際紛争に対する耐性が維持できるのですが、それが無くなれば、食料の確保を考えてみただけでも、大きな困難が待ち受けていることは明白です。

海外では、超低周波音の影響を低減するために、海岸から 20ｋｍ以上離して洋上風力発電所を建設しているが、日本では１～２ｋｍの極めて場所に建設している。これでは、健康被害や、風車音から逃れるためにその地域からの転出する人が増えてしまいます。

風車音からの超低周波音の性質を詳しく調べれば、その発生の仕組みも明らかになり、対処方針も定まるのですが、日本では、住民が被害を表明しないように、抑圧する方法を研究しているのです。

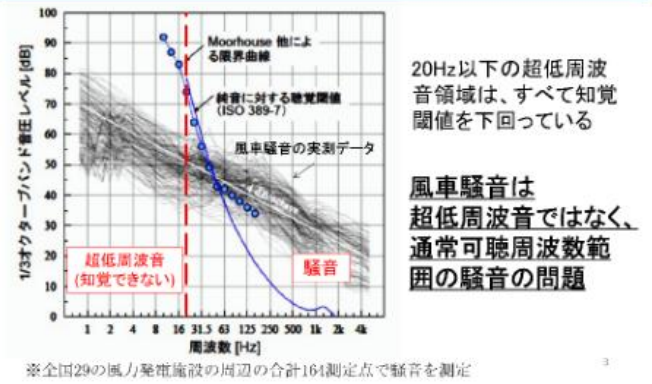
これまでは、超低周波音を“風雑音”として“除外音処理”を主張して、風車の超低周波音の研究や調査を妨害していた環境省は、ついに環境アセスから超低周波音の項目を除外したのです。

超低周波音について

環境

- 平成28年、風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会の報告書がとりまとめられた。
- 風車騒音は超低周波音ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音（＝聞こえる音）の問題。
- なお、他の交通騒音などの環境騒音と比較して、低周波領域の卓越はみられない。

これまでに得られた知見①
風車騒音に含まれる超低周波音

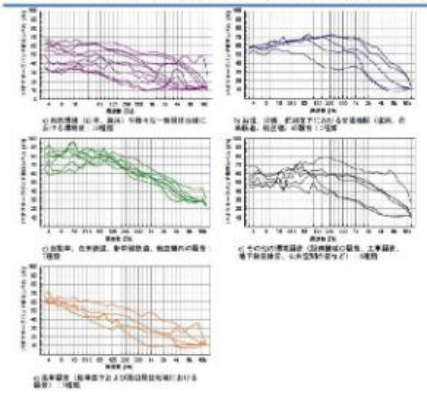


※全国29の風力発電施設の周辺の合計164測定点で騒音を測定

20Hz以下の超低周波音領域は、すべて知覚閾値を下回っている

風車騒音は超低周波音ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音の問題

これまでに得られた知見②
風車騒音と他の環境騒音の比較



＊他の環境騒音（一般環境騒音、交通騒音等）と風車騒音を比較

他の環境騒音と比較して、低周波数領域の卓越はみられない

もちろん、この説明の意味を、用語を確認しながら検討すれば、大きな間違いであることが分ります。

“検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について**」**には

（注）「超低周波音」についての補足

我が国では、苦情の発生状況を踏まえ「低周波音」という用語が「おおむね 100Hz 以下の音」として定義され用いられてきたが、国際的には、「低周波音」の周波数範 囲は国によりまちまちで定まったものではない。一方、IEC（国際電気標準会議） 規格 61400 シリーズにより、20Hz 以下を「超低周波音」（infrasound）、20～100Hz を「低周波音」（low frequency noise）と定義しており、国内ではこれを受けた JIS C 1400-0:2005（風車発電システム-第０部：風力発電用語）で同様に定義されている。これを踏まえ、環境影響評価法において個別事業種ごとの技術的な指針として 定められた主務省令では、「騒音（周波数が 20～100Hz までの音を含む）」とした上で、「超低周波音（周波数が 20Hz 以下の音）」と規定しており、「低周波音」という 用語を用いないこととされた。 これらの状況を踏まえ、本報告書では、**20Hz 以下の音を「超低周波音」とし、 それ以外の音（周波数が 20～100Hz までの音を含む）を「騒音」**と表記する“

と書いてある。

よって、環境省の今の文書では、騒音は 20Hz 以上の周波数成分。低周波音は（20Hz～100Hz）の周波数成分を指すことになるのです。

この部分の問題点の詳細は、“検討会報告書概要の問題点 2024”、“検討会報告書の問題点 2024”、“町田氏講演の問題点 2024”に書いてあります。

発電所アセス省令の改正（環境影響評価の参考項目の見直し）

環境省

- **超低周波音**：**参考項目から削除。**事業者には、超低周波音に対する理解促進等のための取組の継続を要請する。
- **工事の実施に伴う大気環境**：工事中の大気環境（窒素酸化物、粉じん等、騒音、振動）のうち、近傍の住居への影響が懸念される**工事用資材の搬出入に係る騒音・振動**と、**建設機械の稼働に伴う騒音以外**は、**参考項目から削除**。

＜新エネWGでの検討結果を踏まえた、発電所アセス省令における風力発電所の参考項目（案）＞
※発電所アセス省令（別表６）から抜粋

影響要因の区分 / 環境要素の区分		工事の実施		土地又は工作物の存在及び供用
		工事用資材等の搬出入	建設機械の稼働	施設の稼働
大気環境	窒素酸化物	○	○	
	粉じん等	○	○	
	騒音及び超低周波音	○	○	○
	振動	○	○	

→

影響要因の区分 / 環境要素の区分		工事の実施		土地又は工作物の存在及び供用
		工事用資材等の搬出入	建設機械の稼働	施設の稼働
大気環境		削除		
	騒音及び超低周波音	○	○	○
	振動	○	削除	

参考項目・・・・環境影響評価法の技術指針（技術指針等を定める主務省令）において示されている、対象事業ごとの影響要因と環境要素からなる、環境影響評価の一般的な選定項目

出典：第22回 産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 電力安全小委員会 資料７（一部改訂）

となっていて、“騒音および超低周波音”が“騒音”に変えられたのです。これは、可聴音である 20Hz～20ｋHz の範囲の音で評価するという意味になります。

これは、風車音のエネルギーの 93%以上を無視して、影響を評価するという考えなのです。これを無視すれば、根拠が不明となる被害が出てきます。

強引なこじつけで、“説明”をすることになります。

例えば、

周辺環境に対する影響の懸念が国内外で顕在化

- 騒音・低周波音については、**騒音についての環境基準を満たしている場所においても、健康被害に係る苦情等の発生事例**あり

注釈．風力発電施設から発生する音は、通常、著しく大きいものではないが、もともと静穏な地域に建設されることが多いため、比較的小さな騒音レベル（A特性音圧レベル）であっても苦情等の発生事例がある．

として、被害の原因を、もともとの環境が“静穏”だったからと説明します。

１年経てば、もはや“静穏”な環境ではなくなります。被害は減るのでしょうか？減ることは無く、引っ越しする人が増えるだけです。そもそも“健康被害に係る苦情等の発生事例”という言い方が、住民が嘘をついているかのような言い方です。“健康被害の発生事例”というべきです。

風車が見えるからだと考える人もいる。

- 風力発電設備は相当の高さがあり、かつ、見通しの良い場所に設置される場合が多いことから、**景観**への影響が生じる事例あり

とか、

“なお、McCunney らは、多くの研究成果より、風車騒音と関連付けられるわずらわしさ（アノイアンス）との間は線形の関係が見られる傾向にあるが、わずらわしさ（アノイアンス）に関連する要因としては風車騒音は 9%から 13%の範囲の寄与にとどまり、景観への影響等、他の要因の寄与が大きいと考えられると報告している。”

という主張であるが、

見えない場合には、途中に山や壁がある。当然遮音効果がある。

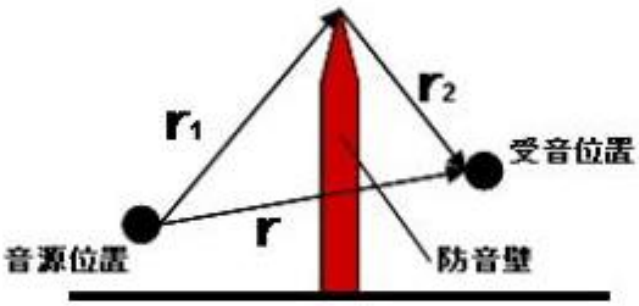
■ 防音壁の回折効果　計算方法

防音壁の効果計算例(直接音に対しての減衰量)

点音源に近い場合　減衰量＝10log(0.2+2α/λ)+12.5

線音源に近い場合　減衰量＝10log(0.4+2α/λ)+8

波長; λ(m)　行路差; α＝r1＋r2－r(m)



※注意

受音点での騒音値は、この上部を回折してきた音と、横からの回折音、及び、防音壁を透過してきた音の合成値となります。

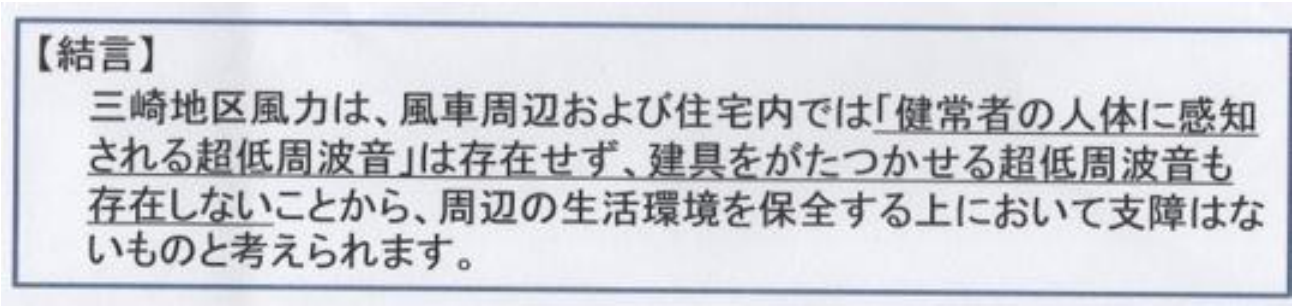
その結果、風車からの水平距離が同じでも、受ける音圧が異なるので、見える場合の被害が大きいのです。

これに関しては、音圧を計測して比較すれば主張が正しいか否かはすぐ分かりますが、測ろうとはしませ

ん。

また、
“風車に反対だから健康影響を受ける”
という事でも無いようです。
“この（健康影響を受けていると主張する） 28 人の地域の風力発電所に対する賛否を確認すると，大いに反対が 3 人，やや反対が 6 人，どちらでもないが 13 人，やや賛成が 5 人，大いに賛成が 5 人，わからないが 1 人であった．健康影響が生じていても必ずしも反対するわけではなかった．”
よって、
“しかし，「風車音による不快感」と「風力発電所に対する賛否」は有効回答数が少ないが相関関係が認められた（Pearson の相関係数 r=-0.830，有意確率（両側）p=0.001）．”
については、卵が先か鶏が先かの議論ではなくて、
“風車が建設される前には、風車に賛成だったが、風車音による不快感を受けて、風車反対に立場を変え人”
と
“風車が建設される前には、風車に反対だったが、風車音を経験した結果、風車賛成に立場を変え人”
の割合を比較する必要があるのです。

また、健常者でないから、超低周波音を感じるのだと説明していた学者もいました。


【結言】
三崎地区風力は、風車周辺および住宅内では「健常者の人体に感知される超低周波音」は存在せず、建具をがたつかせる超低周波音も存在しないことから、周辺の生活環境を保全する上において支障はないものと考えられます。

風車音以外の外的要因に“わずらわしさ”の原因を求める見解もあります。

- 景観のような視覚的な要素や**経済的利益**に関する事項等も、わずらわしさ（アノイアンス）の度合いを左右する.

環境省の方針の変化に賛同して新説を唱える学者も増えますが、住民が受けている風車音の音圧を正確に測定し、被害状況との統計的な関連性を追求しようとする研究者は極めて少ないのです。
明確な根拠を示さないで“新説”を唱えることは、科学の世界から離れて妄想の世界に突き進んでいるとしか思えません。

さて、この論文は、
“風力発電所から同心円状に健康影響が広がっていることは本研究では確認できず，距離が健康影響に**直接関わり**があるとは言えなかった．”、
“風力発電所に対する賛否や風車音の不快感は，距離ではなく建設過程における住民への配慮といった事業の進め方と関連があると言える．”

と主張しているが、理解に苦しむ主張である。

まず、

“風力発電所から同心円状に健康影響が広がっていることは本研究では確認できず，距離が健康影響に**直接関わり**があるとは言えなかった.”、

について、

“風力発電所から同心円状に健康影響が広がっている”ことが確認できると思ったのでしょうか？

もし、確認できたとすれば、風車音が風車から同心円状に広がっている事になり、住民の体質も均一であり、地形の変化も同心円的に変化する場合でしょう。

残念ながら、風車音には指向性があり、等音圧面が風車から同心円状に広がることはありません。

風車音への反応には個人差が大きいので、たとえ等音圧面が同心円状に広がっても健康影響が同心円状に広がるとは考えられません。

風車と家屋の間に山があれば、音は遮蔽されて、音圧が低くなります。風車が見える場所と見えない場所では音圧が違うので、風車からの距離が同じでも健康影響の程度は異なります。

ですから、

“風力発電所から同心円状に健康影響が広がっていることは本研究では確認できず”となるのは当然のことなのです。

しかし、注意すべきは“直接関りがある”の表現です。

風車音は同心円状に広がらなくても、波面が拡大することは当然です。従って距離減衰が起きて、風車から遠く離れれば、風車音による健康影響は減少するのです。

風車から２ｋｍでは、かなりの影響が有っても、風車から 200ｋｍ離れればほとんど影響は無くなるのです。“距離が健康影響に**直接関わり**があるとは言えなかった。”としても、“距離は健康影響に関りがあると言えるのです”

距離を離したり、回転する風車を減らして音を下げたりすれば、被害が減ることは確認されている。

２００７年末、東伊豆の別荘地では１５００ｷﾛﾜｯﾄ×１０基の風力発電が運転を始めた直後から、住民のなかで健康被害が続出した。この因果関係を調べるため、事故で風車が停止しているとき、団地自治会が独自に疫学調査を実施した【表１】。不眠、血圧、胸・腹・歯・鼻・耳痛などの症状が、風車が停止することで大きく改善したことがわかる。

表1 東伊豆での風車停止中の被害改善調査（%）

風車からの距離(m)	500m未満	500～700m未満	700～900m未満	900m以上	生理的要素
不　眠	71	27	13	0	距離が離れると改善
血　圧	18	15	0	0	距離が離れると改善
リンパ腺の腫れ	6	2	0	0	距離が離れると改善
胸腹歯耳鼻痛	41	39	25	0	距離が離れると改善
煩い・イライラ	59	61	75	0	心理的要素も
頭痛・肩こり	41	39	81	33	心理的要素も
全体で改善	94	76	94	33	心理的要素も

注：事故停止中、住民121人中の77人が回答した。改善63人(改善率82%)。調査結果に転居(10戸)避難者は含まない。出典：三井大林熱川自治会（2009)。

この結果を受けて住民が動き、今後は夜間に住宅直近の風車３基を停止すること、次に近い風車２基の回転数を４割減らすこと－－という内容の協定を、自治会と事業者と東伊豆町の三者で結んだという。これによ

って睡眠障害は７割減った。ただし、それでも耐えられず転居した家族もいる。
転居して、風車から遠く離れれば、被害は無くなるのです。

次に、
“風力電所に対する賛否や風車音の不快感は，距離ではなく建設過程における住民への配慮といった事業の進め方と関連があると言える.”
については、
山形県酒田市の市民の意見を確認しておきましょう。
アンケート名:酒田市広報 11 月特集「風のまち酒田の未来を考えるーカーボンニュートラルの実現に向けてー」質問５回答には、
①
今陸上風車から約２キロのところに住んでいますが、騒音で眠れない、起こされる日が年に何十日もあります。中心市街地から近い場所に建てることは公害となる可能性があり問題です。
大型の風車の音はどこまで聞こえますか。聞こえないくらい離すべきです。騒音規制ギリギリでは被害が出ているので、聞こえない位置まで離さなければなりません。促進区域の時点で遠くへ設定しなければ、事業者公募で否定できませんよね。事業者は何かと理由をつけて対応しません。結局市役所にクレームが行くのではないですか。一度決めたことは後戻りできないのでしょうから、今遠くへ設定すべきと考えます。もちろん地球温暖化対策は大切ですが、普通の住宅街に住んでいる人に健康への影響を出してまで推し進めるものではないのではないでしょうか。苦しんでいる人を切り捨てないよう、切にお願いします。
②
洋上風力発電について、酒田市の特性からバードストライクを予防するという観点からも垂直軸型マグナム式風力発電を導入するのはいかがでしょうか。騒音低減、強風耐性の向上にも繋がり、また日本の技術／製造という意味でも市民の納得や信頼も得られやすいのではと考えます。供給の安定という意味で自然エネルギーは発展途上なのだとは思いますが、海側の土地だからこそ得られる半永久的なエネルギーをうまく活用し、環境負荷や資源消費を軽減していけるよう、今後の発展を期待しております。

では、
“今陸上風車から約２キロのところに住んでいますが、騒音で眠れない、起こされる日が年に何十日もあります。”
という被害は、
“建設過程における住民への配慮といった事業の進め方”
とどのような関連を持っているのでしょうか？
仮に、業者の配慮があっても、“騒音で眠れない、起こされる日が年に何十日もあります”という現実は変えられないのです。
また、二番目の意見を書いた市民は、
回転軸が水平の風車は、超低周波音の発生装置そのものであるが、垂直軸の風車は全く異なる性質を持っていることを認識しています。業者は水平軸型の風車を諦めて垂直軸型の風車に変更してくれるのでしょうか？

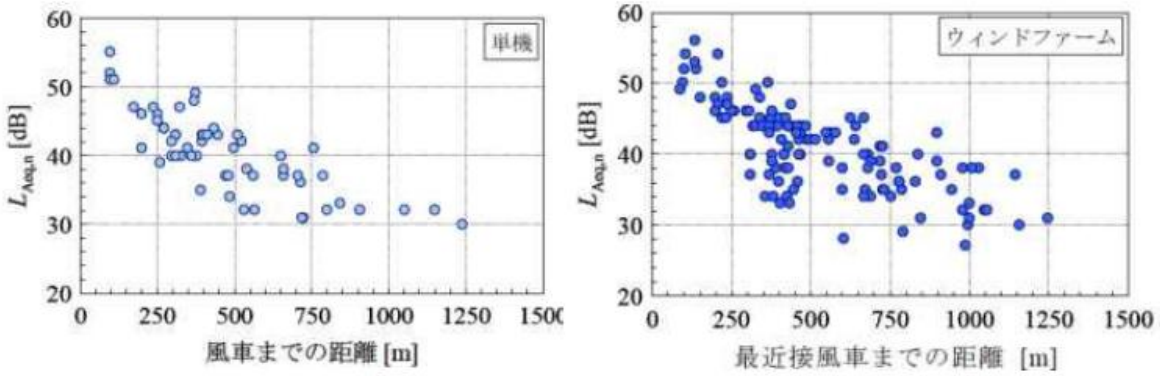
業者は、“風力発電所に対する賛否”に関して、反対意見を表明できなくする工夫をしています。反対意見を表明できない事は賛成であることを意味しません。また、健康被害を受けていると表明出来ないこと

は、健康被害が無いという事ではありません。

“同心円”ではないことを持って、
“距離が健康影響に**直接関わり**があるとは言えなかった.”、
“風力電所に対する賛否や風車音の不快感は，距離ではなく建設過程における住民への配慮といった事業の進め方と関連があると言える.”
と主張は、健康被害の原因を隠蔽する結果となってしまいます。とても残念な結論です。

健康影響が同心円にならないことは、２０１８年１０月３１日の井上氏の講演　の資料を見ればすぐに分かります。

測定点までの水平距離と風車騒音の関係



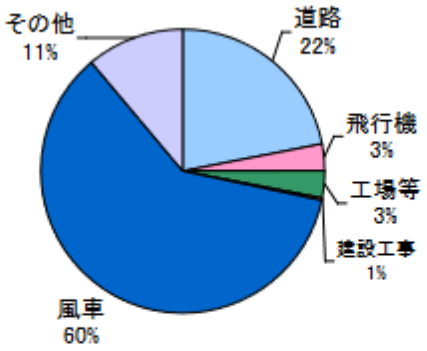
・風車騒音の距離による減衰は、水平距離が遠くなるほどレベルが低下.

・風車の機種、地形・植生、気象条件などによって、発生する音やその伝搬が異なることから、距離と等価騒音レベルとの関係にはばらつきが生じる.

S2-11 風 力 発 電 等 による低 周 波 音 の人 への影 響 評 価 に関 する 研 究
平 成 22～24 年 度
には、
“つぎに「最も悩まされている音 」に関する質問に対して「風力発電施設の音」を挙げた 119 件の回答について、物理量として風車からの距離 と風車の稼働時の騒音レベルとの関係を調べてみた。その結果 、「悩まされたりうるさいと感じたことがある」に対する回答が「非常にある」の反応の割合は、最近接風車からの距 離 が近いほど大きくなっている。また、風車稼働時の等価騒音レベルで整理した結果 、「非常にある」及び「非常にある」＋「だいぶある」の反応の割合は、等価騒音レベルが高くなるほど大きくなる傾向が見られた。これらの傾向は、アンケート調 査の結果を多重 ロジスティック解析の手法を用いて分析した結果でも確認された 。”
とある。また、次のグラフもある。

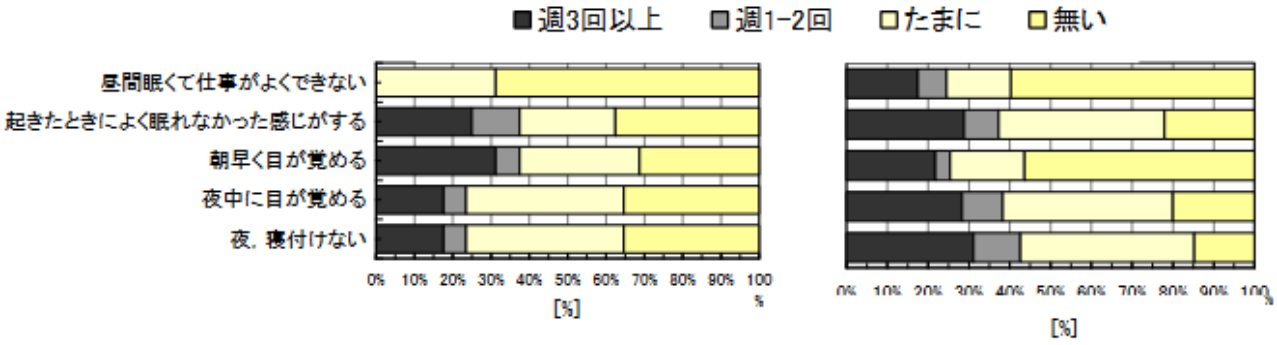
(a)風車周辺地域（747件）　　(b)対照地域（332件）

図(2)-35　最も悩まされている音（問４）



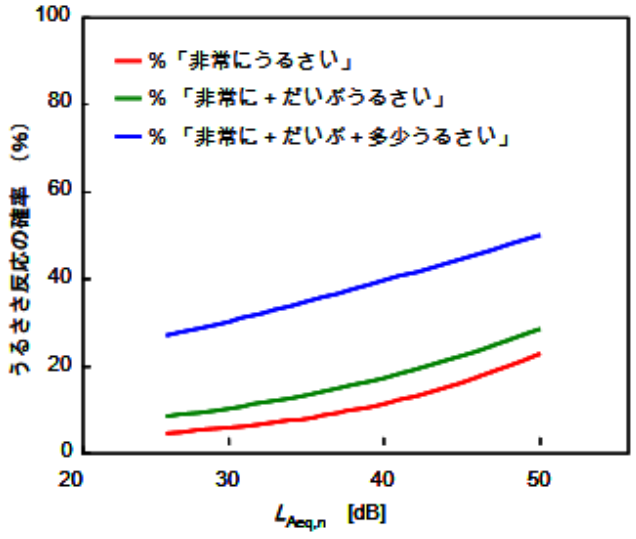
図(2)-37　問4で「最も悩まされている音」を挙げた回答（197件/全回答747件）の内訳
（風車騒音を指摘した回答数は119件で全体の60%）

悩まされている音の種類では、風車以外は、夜間の音量が減るものがほとんどである。

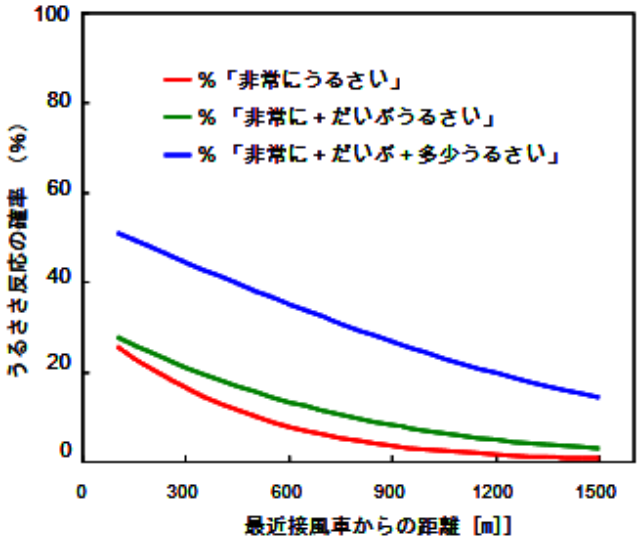


(a)風車騒音以外を挙げた回答（78件）　(b)風車騒音を挙げた回答（119件）
図(2)-44　睡眠影響の状況（問9(2)）

重要なのは、睡眠が妨害されるか否かである。
距離と“うるささ”の関係も示されている。

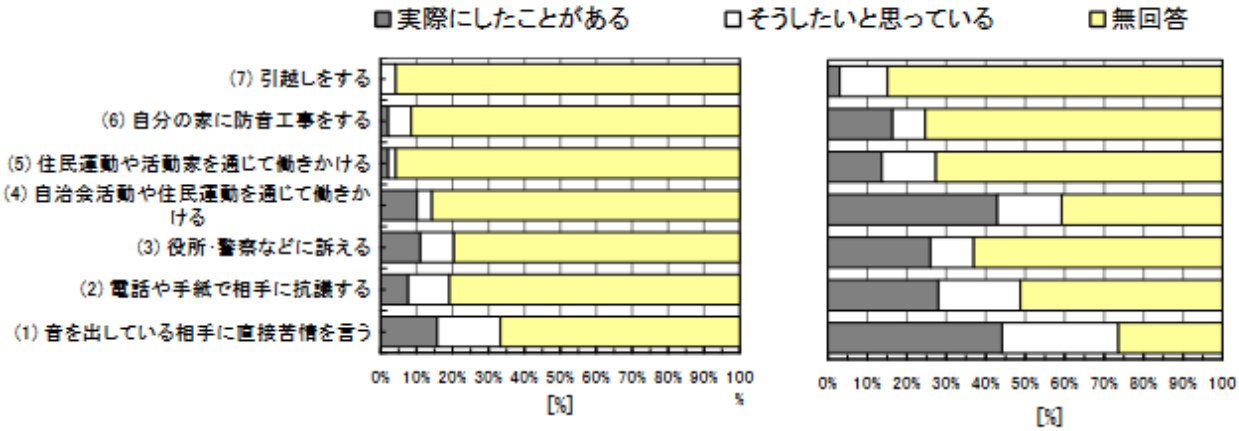


図(2)-62　$L_{Aeq,n}$とうるささの反応確率との関係



図(2)-63　距離とうるささの反応確率との関係

被害を受けていて訴えたいと考えてはいるが、実行できない人が多い事も分ります。



(a)風車騒音以外を挙げた回答（78件）　(b)風車騒音を挙げた回答（119件）

図(2)-42　迷惑を受けたときの対応（問8）

悩まされる原因の風車、それを建設して設けている業者に対して、否定的な見解を持つ人が増えるのは当然の結果である。

さて、

“風力発電所に対する賛否や風車音の不快感は，距離ではなく建設過程における住民への配慮といった事業の進め方と関連があると言える.”

“風力発電所による近隣住民の健康影響や賛否は、風力発電所からの近さによって決定づけられるのではなく、事業のやり方や風車音の不快感などその他の要因によって影響を受けると判断できる”

の部分が、この論文の大きな特徴である。

“風力発電所に対する賛否”と“風車音の不快感”、“健康影響”、“風車音がどのように感じられるか”を意識的に混同して議論するのです。

“風力発電所に対する賛否”については、反対を表明する人、反対だが表明できない人、賛成を表明する人、賛成だが表明できない人、賛成でも反対でもない人、に分けて考えるべきです。

“風車音の不快感”については、不快感を表明する人、不快感はあるが表明できない人、不快感を覚えない人、に分けて考えるべきです。

“健康影響”については、健康影響があると表明する人、健康影響はあるが表明できない人、健康影響がない人、に分けて考えるべきです。

“風車音がどのように感じられるか”については、感じ方の内容を分類し、関連しそうな風車音の影響を表す数値、A 特性音圧レベル、G 特性音圧レベル、最大音圧、最大音圧の時の周波数、最大音圧*周期、などとの関連性を調べる必要があります。

そして肝要なのは、これらをしっかり区別して調査することです。“同心円”は、関連性を測る魔法の道具ではないのです。

私の心配しすぎだとは思いますが、
建設過程における住民への配慮があれば、風車音の不快感は生じない。
とか、
風車建設の意義を住民が理解するように業者が住民に説明すれば、風車音の不快感は生じない。
とか、
風車建設の意義を住民が理解すれば、風車音の不快感は生じない。
とか、
風車音の不快感が生じるのは、風車建設の意義を住民が理解していないからだ。
とか、
言い出すことは無いでしょうね。

“風力発電所に対する賛否や風車音の不快感は，距離ではなく建設過程における住民への配慮といった事業の進め方と関連があると言える.”
と主張するには、
建設過程での配慮の具体例、事業の進め方の具体例とその結果としての、賛否の状態や、建設後の風車音の不快感の調査が必要である。
そして、その関連性を明確に示す必要がある。

どのような配慮、進め方をしたら、風車音の不快感が減少するのでしょうか？
建設後に、業者が丁寧に説明をすれば、風車音の不快感が減少するのでしょうか？
残念ながら、風車音の不快感を減少させる効果のある、“建設過程における住民への配慮、事業の進め方”の具体例をこの論文から見つけることは出来なかった。

建設後の説明が有効なのか、それとも建設後は業者の丁寧な説明に効果が無いのか、その理由はなにか？
これこそが、論文の重要な根拠であり、主な論点となるべきものである。

少なくとも、
風車音の不快感を減少させる効果のある、“住民説明会資料”や配慮書、方法書、準備書
と、
風車音の不快感を減少させる効果のない“住民説明会資料”や配慮書、方法書、準備書
逆に、
風車音の不快感を増加させる効果のある“住民説明会資料”や配慮書、方法書、準備書
の具体例くらいは示して欲しいものです。

さらに、
“風力発電所に対する賛否や風車音の不快感は，距離ではなく建設過程における住民への配慮といった事業の進め方と関連があると言える.”
としたのでは論点があやふやになります。
“風力発電所に対する賛否は，距離ではなく建設過程における住民への配慮といった事業の進め方と関連があると言える.”

“風車音の不快感は，距離ではなく建設過程における住民への配慮といった事業の進め方と関連があると言える.”
と分けて議論すべきです。

“風力電所に対する賛否は，距離ではなく建設過程における住民への配慮といった事業の進め方と関連があると言える.”の場合には、風力電所に対する賛成を増やす効果のある、“住民説明会資料”や配慮書、方法書、準備書の具体例を示すべきです。
また、
“風車音の不快感は，距離ではなく建設過程における住民への配慮といった事業の進め方と関連があると言える.”の場合には、風車音の不快感を減少させる効果のある、“住民説明会資料”や配慮書、方法書、準備書の具体例を示すべきです。

後者が可能ならば、住民も、業者も助かります。これが示せれば、画期的な研究成果と言えるのですが、
具体的なケースを見ると、反対を抑え込む方法についての調査や研究がされていることが多いのです。

なお、
不快感の減少と、“建設過程における住民への配慮といった事業の進め方”との関連を調べるには、風車音の影響が及ぶ範囲に於いて、事業の説明をして、その効果を検証する必要があります。住民への説明が風車から１ｋｍの範囲内だけでは検証が出来ません。説明範囲を広げると、問題が発生します。

“風力発電施設から発生する騒音等への対応について”
平成２８年１１月風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会、のｐ29 に書いてある、
“（注）発電所の設置又は変更の工事の事業に係る計画段階配慮事項の選定並びに当該計画段階配慮事項に係る調査、予測及び評価の手法に関する指針、環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査、予測及び評価を合理的に行うための手法を選定するための指針並びに環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令（平成 10 年６月 12 日 通商産業省令第 54 号）では、発電所一般において環境影響を受ける範囲であると認められる地域は、事業実施想定区域及びその周囲１km の範囲内としている。”

との関係で、困ることが出てくる。（もちろん省令の趣旨は、検討会の解釈とは異なる。）
１ｋｍ以上での影響を認めてしまうと、影響がないからと言って、風車から１ｋｍ圏内での説明会しかやってこなかった事に矛盾する。

さて、
“風力発電施設から発生する騒音等への対応について”（検討会報告書） (p29)
にある次の記述

注）発電所の設置又は変更の工事の事業に係る計画段階配慮事項の選定並びに当該計画段階配慮事項に係る調査、予測及び評価の手法に関する指針、環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査、予測及び評価を合理的に行うための手法を選定するための指針並びに環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令（平成 10 年６月 12 日 通商産業省令第 54 号）では、発電所一般において環境影響を受ける範囲であると認められる地域は、事業実施想定区域及びその周囲１km の範囲内としている。

について確認したのですが、この文書をまとめる時の会議の記録があります。

平成 28 年度第 3 回（第 9 回）風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会議事録
日時：平成 28 年 11 月 11 日　10：00～11：55
場所：三田共用会議所大会議室
出席者
（座長）　町田信夫
（委員）　沖山文敏、落合博明、桑野園子、佐藤敏彦、塩田正純、橘秀樹、田中充、矢野隆
（環境省）　高橋水･大気環境局長、早水大臣官房審議官、行木大気生活環境室長、木村大気生活環境室長補佐、出口大気生活環境室振動騒音係主査

“測定範囲１ｋｍに関しての議論”は次のものです。

【塩田委員】　塩田です。25 ページの 80 番に、調査を行う範囲の距離についての意見があります。その範囲の距離に対する考え方をもう少し親切に答えてあげたほうがよいのではないかと思います。これだと１ｋｍでいいよと解釈されそうです。
【町田座長】　事務局どうぞ。
【行木大気生活環境室長】　ありがとうございます。ご指摘、そのとおりと思います。この点につきましては、測定方法に関するマニュアルのところでも、非常に大事なこととして整理が重要な点と考えておりまして、マニュアルの作成におきましてご指摘も踏まえて、しっかりやっていきたいと思います。その旨、この考え方のこの部分の記載におきましても明記をするよう修正をしたいと思います。ありがとうございます。
【町田座長】　橘委員、どうぞ。
【橘委員】　ここで言う、推進費と書いてありますけど、いわゆる戦略指定研究でやった全国調査では、一応 1 キロメートルを 100 メートルぐらいから 1 キロメートルぐらいを目安にしています。それでも、それ以上数キロメートルなんていったら、実質上とても無理です。そんなに測定点は選べません。1 点か 2 点増やすだけならできるでしょう。
　それから、1 キロでもちろん音は風車、聞こえるところは聞こえます。だから、聞こえなくなるまではかれといったら、もう数十キロにわたって、あ、数十キロって、数キロにわたって測定しなきゃならなくなるという、実際マニュアルでそんなことを書いたら、実行不可能なマニュアルになってしまいます。だから安易に 1 キロ、それをもっと数キロにしますとか言われると困るなという。
【行木大気生活環境室長】　橘先生、説明が足りず、大変失礼いたしました。ご指摘のとおりでして、何よりもその調査におきましては、その対象となる施設とその周辺の地形の状況ですとか、土地利用の状況に応じて影響がありそうなところを選定して調査をしていくというところが大事と思っておりまして、日本はいろいろ、日本だけじゃないと思いますけれども、いろいろと個別の場所で状況も違いますから、単純に距離を指定するということは適切ではないと思っております。マニュアルにおきましては、そういった観点のどういったところが、最も影響が大きくなりそうなのか、どういったところで、その調査を行うのがいいという辺りを整理して書いていくということだと思っております。

塩田委員の当然の疑問に対して､橘委員は､範囲を拡大したくないという気持ちで発言したと推測されます。そんな橘委員も、風車音が数キロ先まで届くことはしっかりと認識しているのです。

こんなことがあって、
（座長）　町田信夫
（委員）　沖山文敏、落合博明、桑野園子、佐藤敏彦、塩田正純、橘秀樹、田中充、矢野隆
（環境省）　高橋水･大気環境局長、早水大臣官房審議官、行木大気生活環境室長、木村大気生活環境室長補佐、出口大気生活環境室振動騒音係主査
たちの作った報告書、
“風力発電施設から発生する騒音等への対応について”（検討会報告書）
の 29 ページの記述となりました。
学者の方々の見解は、経産省の趣旨とは異なる内容だと考えます。

山形県の認識：
“風力発電施設の稼働に伴う騒音の到達範囲は１ｋｍと規定されており、影響は小さい。”

“風力発電施設から発生する騒音等への対応について”（検討会報告書）:
（平成 10 年６月 12 日 通商産業省令第 54 号）では、発電所一般において環境影響を受ける範囲であると認められる地域は、事業実施想定区域及びその周囲１km の範囲内としている。

通産省令の記述：
一　第一種事業実施想定区域及びその周囲一キロメートルの範囲内の地域
二　既に入手している情報によって、一以上の環境の構成要素（以下「環境要素」という。）に係る環境影響を受けるおそれがあると判断される地域

法律の解釈は勝手に出来ますが、解釈する根拠が必要です。山形県の条例を作り、騒音の到達範囲を 100m と規定してくれれば、山形県での風車騒音に関する問題はすべて解決できるかもしれません。やってみれば分かりますが、規定を作っても、騒音は規定を無視して拡散するのです。

被害の状況、風車が建設された地域の衰退の様子を見れば、計測範囲を１ｋｍにするような考え方が現実に合っていないことは明白です。計測範囲、計測方法、被害の予測方法などに関しては、風車音の発生機構と周波数特性、指向性を考えた上での詳細な検討が必要です。

これらについて、詳しく検討してゆきます。

１．３　比較検討すべき論文

“全米の風力発電プロジェクト 近隣住民全体の意識調査（集計結果）”
での調査結果は、

風力発電プロジェクトに対する現在の感情

1,700 人を超える参加者に、「現在、地元の風力発電プロジェクトに対してどう感じるか」と質問した。そのうちの 1,674 名から、「非常に否定的」（4%）、「否定的」（4%）、「どちらでもない」（34%）、「肯定的」（32%）、「非常に肯定的」（25%）という回答を得た（図 2 参照）。
この結果から、平均値は「どちらでもない」と「肯定的」の間に相当し、中央値は「肯定的」となる。この分布は、回答者と最も近い風車との距離によって異なる。例えば、最も近い風車から 0.5 マイル（0.8 キロ）以内に住んでいる人の回答は、「非常に否定的」（12%）、「否定的」（13%）、「どちらでもない」（23%）、「肯定的」（25%）、「非常に肯定的」（27%）であった（図 3 参照）。他の共変数を調整すると、風車への距離が短いサンプルの方が、距離が長い方よりも統計的にわずかに肯定的
であることが判明した。

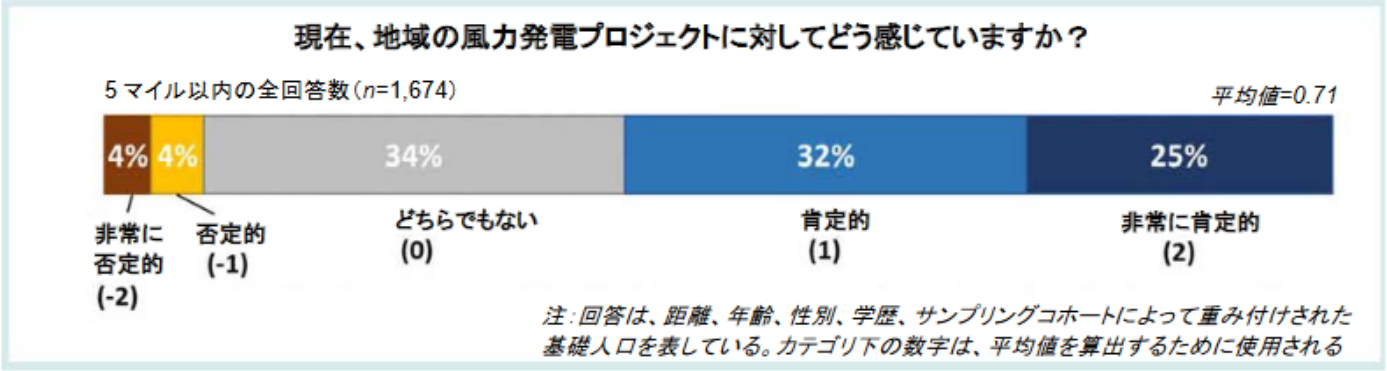


図 2: 風力発電プロジェクトに対する、現在の全サンプルの感情の分布

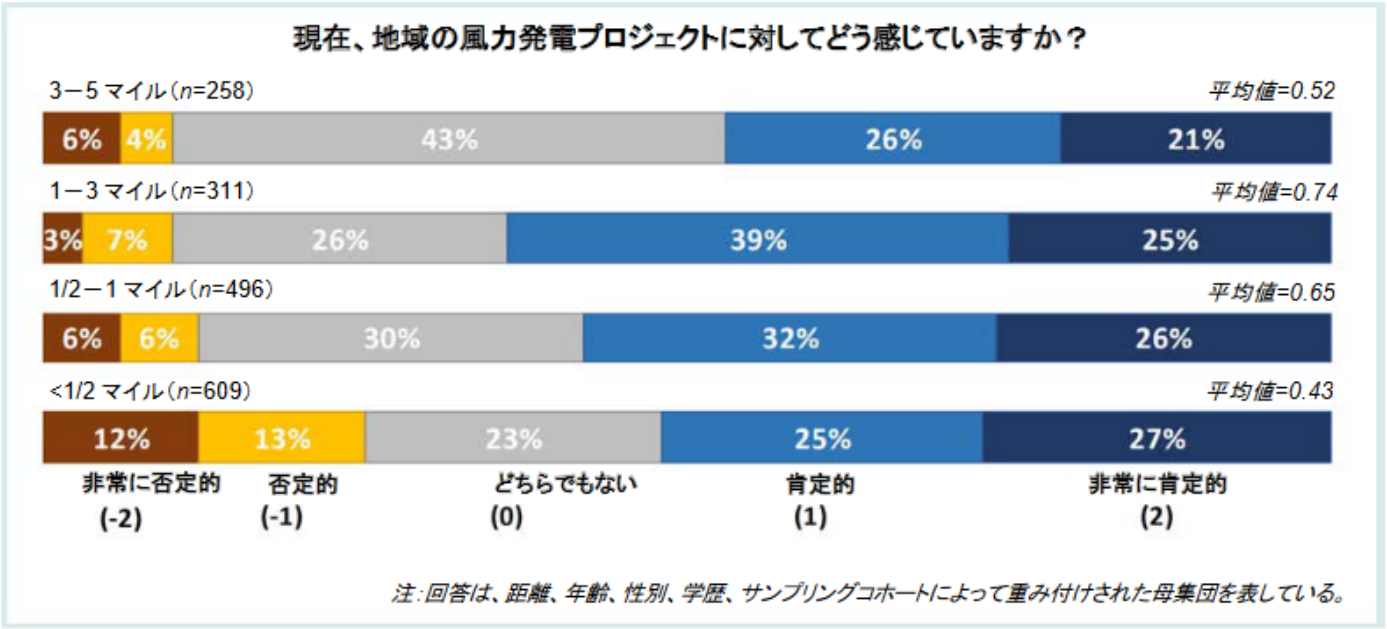


図 3: 風力発電プロジェクトに対する現在の感情の分布（最も近いタービンからの距離別）

(4) 調査結果の概要における回答は、全人口に対して重み付けされており、特定の質問に回答した者のみが含まれる。例えば、風力発電所から発する音が聞こえるか否かを質問し、もし聞こえないという回答であれば、音の不快感に関しては質問しなかった。また、ほとんどの質問に回答がない場合もあった。いずれの場合も、回答を得なかったものは結果に反映されていない。

風力発電プロジェクトに対する現在の感情との相関関係
風力発電プロジェクトに対する感情は、以下の項目と正の相関があることがわかった。
・補償を受けている回答者
・計画プロセスが公正であったとの認識
・風力発電が気候変動対策に有効であるという認識
風力発電プロジェクトに対する感情は、以下の項目と負の相関があることがわかった。
・風車音が自宅の敷地内で聞こえる回答者
・風車が風景になじんでいないと感じている回答者
・発電所周辺の資産価値が低下したと感じている回答者
・地域社会に愛着を持つ回答者
・風力発電所建設後に現地に転居した人は、建設前から居住していた人に比べて、肯定的である人が有意に多い。
人口統計学的特性と風力発電プロジェクトの特性とは、人々の感情、性別、年齢、収入、人種、または風車の高さなどとほとんど相関していない。回答者の学歴と、感情との相関はあまり見られない。高学歴の回答者の方がわずかに肯定的であるが、大型プロジェクト（風車 10 基以上）に対しては否定的となる傾向があった。

結論
全体的に、サンプルを通じてほぼ中立（どちらでもない？）から非常に肯定的な回答があり、個人が既存の風力発電プロジェクトの近くのコミュニティに自己選択するにつれて、時間経過とともに感情は改善される傾向にある。しかし、サンプルの違いによって、感情はより否定的または肯定的になる。
風車の音が聞こえる人は、肯定的感情が低下する。よって、政府や風力発電業界が支援する騒音低減の研究開発が、風力発電プロジェクトの社会的成果の向上につながる可能性がある。風車が視界に入ることからは肯定的感情は生じないが、風車が魅力的でない、あるいは景観にそぐわないと感じることは肯定的感情を低下させる。同時に、住民の地元への愛着は、より肯定的な態度と関連している。上記の結果から、風力発電事業者は、風車の視認性だけではなく、現地住民が風車と地域社会をどのように認識しているかを把握することで、より良い結果を得られる可能性がある。
また、風力発電プロジェクトの計画プロセスが公正であると感じることは、より肯定的な感情につながる。これは Firestone ら（2018）の知見から得られる。すなわち、現地住民が、「開発者はオープンで透明性が高く、自分のコミュニティは計画プロセスに『発言権があった』または『結果に影響を与えることができた』と感じている」場合、風力発電プロジェクトを計画する公的なプロセスを「公正である」と認識し、完成したプロジェクトにより肯定的になる可能性が高い。この結果により、開発者は現地の人々との関わりを重視することが有益と考えられる。

２．評価できる部分

“風力発電所による近隣住民への影響に関する社会調査
Social Survey of Attitudes on Wind Turbine Neighbors
本巣 芽美*1 丸山 康司 *2“
の
評価できる点は、
新しい観点でのアンケート項目がある。
既存の風力発電所と新規計画を想定した風力発電所の賛否について尋ねた
ところです。
残念な点は、
アンケート項目が足りない。
既存の風力発電所の撤去の賛否について尋ねていない
ところです。

実際に風車音の影響を経験した人は、さらに新しく風車を建設する事に対して、どのように考えるかという観点からの資料が次のものです。

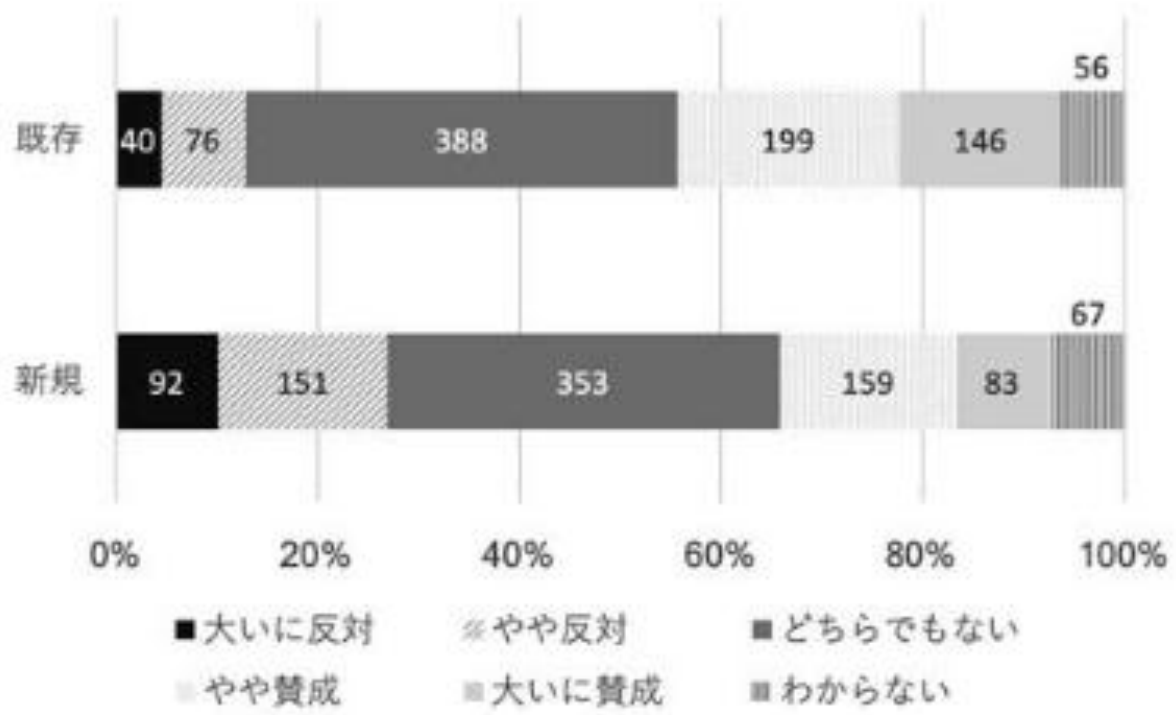


図５ 風力発電所に対する地域住民の賛否

反対する人は２倍になり、賛成する人は、３割程度減少しています。

過去の建設時における業者の対応は、過去の出来事であり変化しないのですから、何が原因で賛成や反対の割合が変化したのかを調べる必要があります。

さらに、この調査を、0.5ｋｍ未満、1ｋｍ未満、2ｋｍ未満、3ｋｍ未満、5ｋｍ未満、10ｋｍ未満、毎にやれば、風車からの距離と賛否の変化の関係がより明らかになるのですが、その資料はありません。

これは、苦情や被害を表立って訴えなくても、実際に風車が建設されている場所で暮らす人の風車に関する認識が否定的なものになることを明確に示している資料です。

地球温暖化、SDGｓとか言われて、反対できなかった住民が新たな建設にＮＯと言っているのです。
風車の影響を実際に経験すれば、既設建設に対する（大いに反対、やや反対）（40，76）から新規建設に対する（大いに反対、やや反対）（92，151）に変わるのです。

S2-11 風 力 発 電 等 による低 周 波 音 の人 への影 響 評 価 に関 する 研 究
平 成 22～24 年 度
におけるアンケート結果では、
“つぎに、風車地域におけるアンケート調査の結果を詳細に分析した結果について述べる。
a. 問 4 で何らかの音を「最も悩まされている音」として挙げた回答は、全回答数 747 のうち 197 件であった。その内訳（図(2)-37）を見ると、60%（119 件）が風力発電施設の音を挙げている。それに次いで、22%が道路の自動車の音となっている。
b. 問 4 に対する回答のうち、風力発電施設の音以外の音を挙げた回答（ 78 件、以下、「風車騒音以外グループ」と呼ぶ）と風力発電施設の音を挙げた回答（ 119 件、以下、「風車騒音グループ」と呼ぶ）の別に、検討を行った。まず、生活環境の満足度（問 2）に対する回答（図(2)-38）を見ると、「風車騒音グループ」の回答で「静けさ」に対する不満の程度が「風車騒音以外グループ」よりも大きくなっている。その他の項目については、両グループ間で大きな差は見られない。
p. 「**風力発電施設があることによって、よいことがあるか**」という問 10(14)に対する回答（図(2)-57）では、**両グループともに「ない」という回答が圧倒的に多い。**“
となっている。

この結果を見れば、“既存風車を撤去する”事に関する賛否を尋ねれば、賛成が多くなるような気もします。

“しかし,「風車音による不快感」と「風力発電所に対する賛否」は有効回答数が少ないが相関関係が認められた（Pearson の相関係数 r=-0.830，有意確率（両側）p=0.001）.”

論文の、５．結論　に於いて、
“風力発電所が原因と思われる身体的もしくは精神的な健康影響については，**健康影響があると答えたのは回答者の 3.1%（28 人）**であり，一部の近隣住民は風力発電所により健康影響が生じていると感じていた．この 28 人の回答者の自宅と風力発電所との距離から考察すると，距離は主観的な回答であるため実際とは異なる可能性はあるが，風力発電所から同心円状に健康影響が広がっていることは本研究では確認できず，距離が健康影響に直接関わりがあるとは言えなかった.”

回答者は 905 件
距離の平均 8.888ｋｍ
聞こえた 93 人

可聴性に関する、５ｋｍ未満の回答は

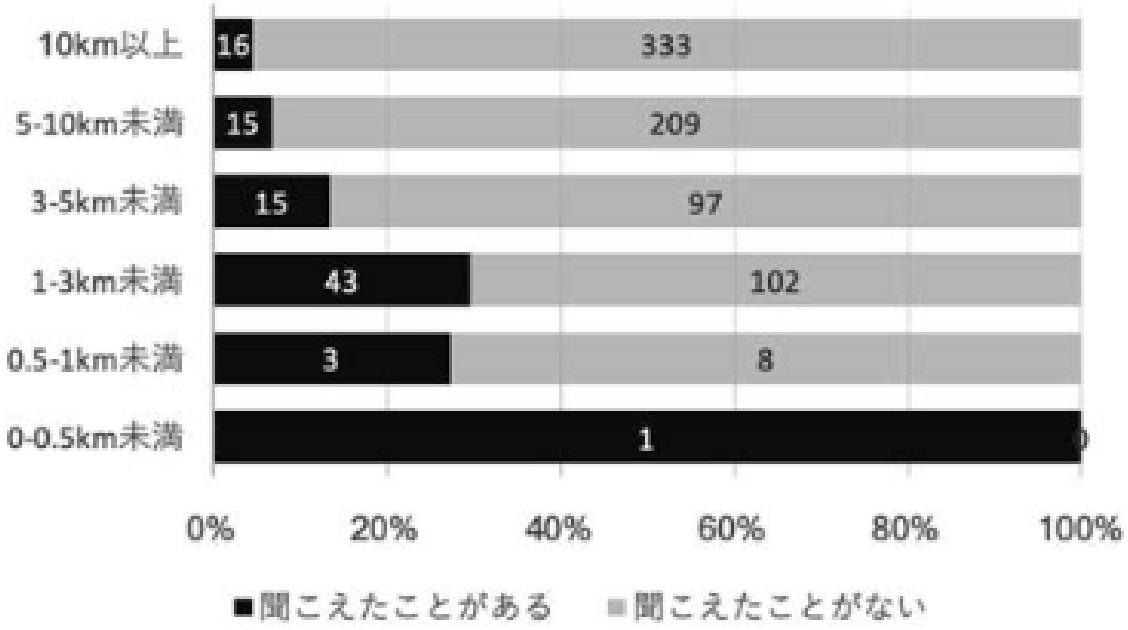


図１ 風車音の可聴（n=842）

風車の近くでの健康影響を受ける割合については

表２ 健康影響が生じている住民の風力発電所からの距離

距離	0.5km	1km	2km	3km	4km	5km 以上
人数	1	5	4	1	1	16

であり、この２つの資料から次の結果が得られます。

	聞こえる	聞こえない	合計		被害あり
３～５未満	15	94	109		1
1～３未満	43	102	145		5
0.5～１未満	3	8	11		5
0.5未満	1	0	1		1
	62	204	266		12
					4.51

５ｋｍ圏内では、4.51％が健康影響を受けている。

	聞こえる	聞こえない	合計		被害あり
1～３未満	43	102	145		5
0.5～１未	3	8	11		5
0.5未満	1	0	1		1
	47	110	157		11
					7.01

３ｋｍ圏内では、7.01％が健康影響を受けている。

洋上風力では海岸から２ｋｍ前後の場所に建てることが多いので、２ｋｍ未満での推定値は、

	聞こえる	聞こえない	合計		被害あり
1～2未満	16.125	38.25	54.375		1.875
0.5～１未	3	8	11		5
0.5未満	1	0	1		1
	20.125	46.25	66.375		7.875
					11.86

より、２ｋｍ以内では、11.86％が健康影響を受けると推測されます。

	聞こえる	聞こえない	合計		被害あり
0.5～１未	3	8	11		5
0.5未満	1	0	1		1
	4	8	12		6
					50.00

1km 以内では、50％が健康影響を受けている。
となり、

本巣氏のデータが示すように、回答者のうちで風車による健康影響を受けている人の割合は、
回答者全体では 3.1％だが、風車の近くに限定してみれば、健康影響を受けている回答者の割合は、
５ｋｍ未満では 4.5％、３ｋｍ未満では 7.0％、２ｋｍ未満では 11.86％、1ｋｍ未満では 50％となります。

本巣氏自身のデータが示すように、“同心円状ではない。”＝“距離には関係が無い。”という事にはならないのです。同心円ではなくとも、距離には深く関係するのです。

また、住民説明会は 1ｋｍ以内でしか行われないことを考えれば、風車から 1ｋｍ以上離れた場所（住民説明会が無い場合）に関しては、距離が大きくなれば健康影響は減る。と言えます。

例えば、２ｋｍ圏内の住民の反応と、20ｋｍあるいは 200ｋｍ離れた場所に住む人の被害に対する認識は全く異なると思われます。

では、住民説明会が行われる 1ｋｍ圏内では、健康影響を受ける割合が多い理由は何でしょうか？
・距離が近いから風車音も大きく、被害を訴える人の割合が多い。
・説明会があったので、謎の音の原因が風車だとわかるので、被害を訴える人が多い。
・説明会の内容が悪かったので、健康影響を訴える人が多くなった。

さて、どんな説明会をして、どんな資料を配布すれば、健康影響受ける人が減るのでしょうか？

もともと風車音への反応では個人差も大きい。住んでいる人の構成も均一ではないし、地形の違いもあるのですから、たとえ音圧が同心円状であったとしても、健康影響が同心円状になるとは言えないのです。

さらに、
石竹氏の調査結果と、説明会は風車から１ｋｍ圏内の場所でしか行われないことを考えれば、
説明を受けていない２ｋｍ以上の地域を見れば、業者の説明を受けていない人に関しては、アノイアンス（煩わしさ、不快感）、睡眠障害のどちらとも、距離によって影響が低減することが分ります。
もちろん、厳密に同心円状になっているというような主張はしていません。

環境研究総合推進費 課題成果報告会(2016.3.11)

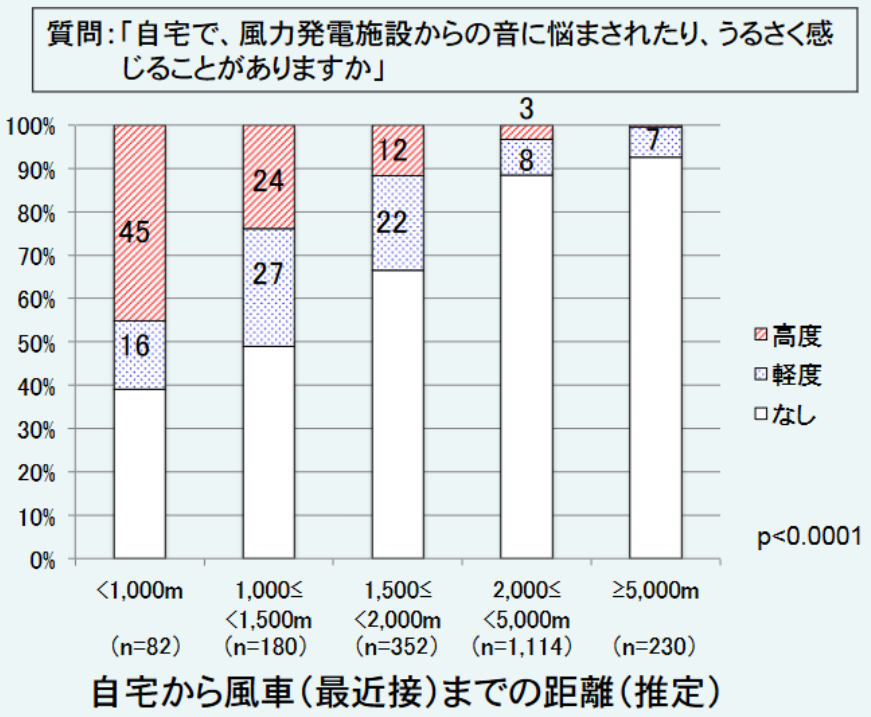
課題番号:5-1307

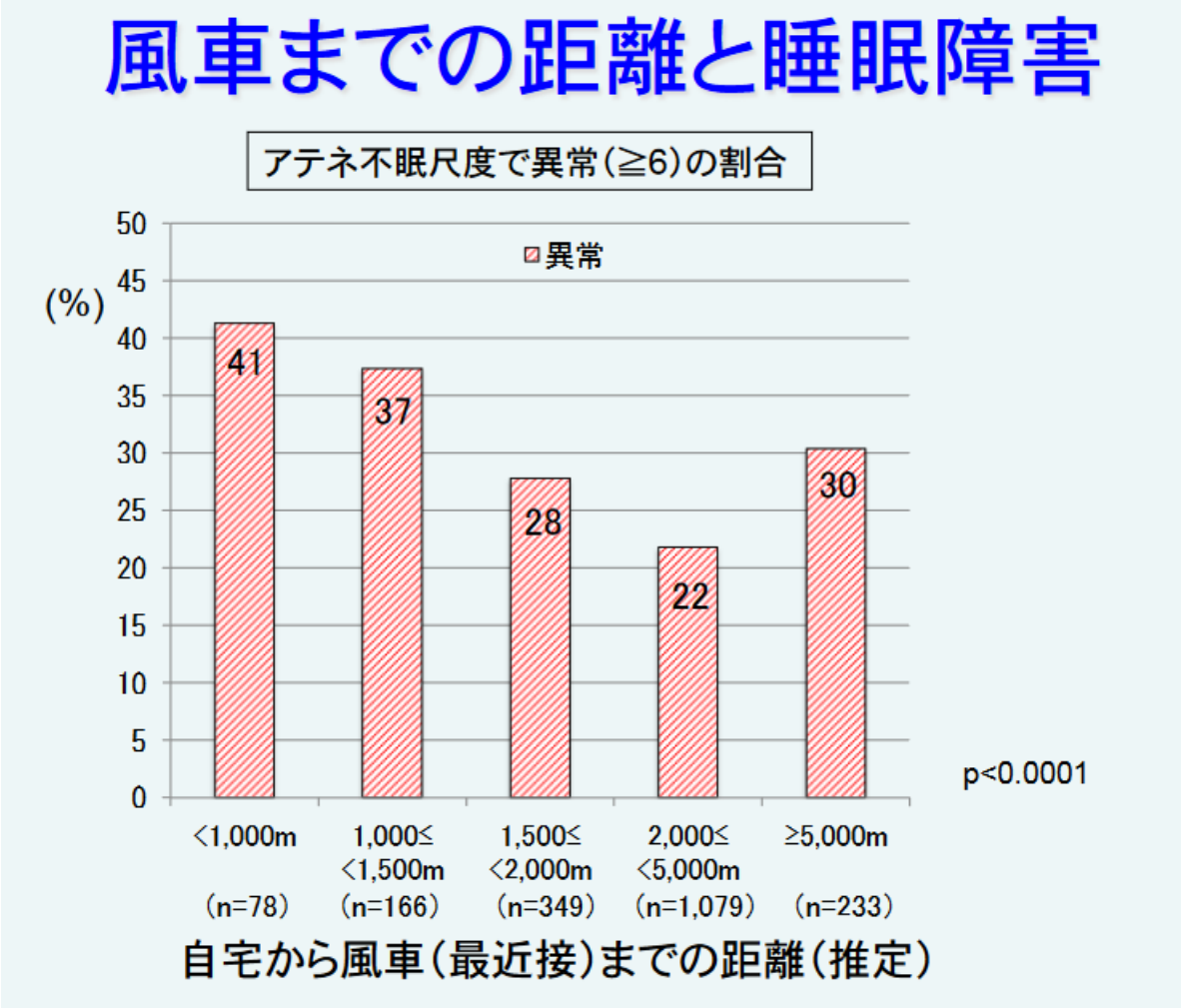
【研究課題名】

風力発電等による低周波音・騒音の長期健康影響に関する疫学研究

研究代表者:石竹達也(久留米大学医学部)
研究実施期間:平成25～27年度

風車までの距離とアノイアンス(風車)





“風力発電所による近隣住民の健康影響や賛否は，風力発電所からの近さによって決定づけられるのではなく，**事業のやり方や風車音の不快感などその他の要因**によって影響を受けると判断できる．“

“風車音の可聴の有無ではなく，むしろ，**風車音がどのように感じられるか**ということの方が，健康影響や風力発電に対する賛否においては重要である．

以上より，風力発電所による近隣住民の健康影響や賛否は，風力発電所からの近さによって決定づけられるのではなく，**事業のやり方や風車音の不快感などその他の要因**によって影響を受けると判断できる．“

さて、

“近隣住民の風車音による不快感を低減させるためには，風車音の音量や距離に関する対策だけでなく，建設過程における地域住民への対応が重要であると考えられる．“

とあるが、

“今陸上風車から約２キロのところに住んでいますが、騒音で眠れない、起こされる日が年に何十日もあります。”

の対策としては、業者がもう一度丁寧に説明すれば解決できるのでしょうか？あるいは、建設の時に丁寧に説明してあれば、“騒音で眠れない、起こされる日が年に何十日もあり”という事は起こらなかったのでしょうか？

世の中には不思議な考え方をする人もいます。山形県のお役人様は、

2. 遊佐部会で出された意見と対応の方向性

ア 部会で一定の整理を行った事項

	意見・質問	回答・対応の方向性
騒音	騒音の発生による地域住民への影響が懸念される。	風力発電施設の稼働に伴う騒音の到達範囲は1km程度と規定されており、影響は小さい。
	低周波の影響はあるか。	超低周波及び低周波の健康影響について明らかな関連を示す知見は確認されていない。
地域	風車の耐用年数はどの程度か。財政面のメリットはどうか。	風車の耐用年数は20年程度であり、償却資産として町に固定資産税収がもたらされる。

山形県地域協調型洋上風力発電研究・検討会議
平成30年度第2回山形県地域協調型洋上風力発電研究・検討会議（2019年2月18日開催）
と書いています。
“騒音の到達範囲は１ｋｍ程度ときていされており、影響は小さい”
とされていますので、山形県の風車音はとても賢くて、風車から１ｋｍまで来たら、向きを変えて風車に向かって引き返すのでしょうか、また、どんな法律を見たら、そんな規定が書いてあるのでしょうか？

私は経済産業省に確認したが、“到達範囲を規定することは出来ません。”との回答をもらいました。きわめて常識的な回答です。“音は、音源の強さ、大気の状態、地形の影響など、届く範囲が変わってくるから、騒音の到達範囲を規定することは出来ません。”との説明もしてくれた。

そもそも音の到達範囲を規定することは可能であろうか？
風車から１ｋｍの所に立札を建てておけば、騒音がそれを見て引き返してくれるとでも言うのでしょうか？
そんなに賢い騒音には会ったことがありません。
山形県の騒音はとても賢くて法律の規定を理解しそれを守ってくれるようだが、ぜひ、その騒音を捕獲して、新発見の騒音として発表してほしいものである。
そもそも、到達範囲を規定するという発想がばかげた発想である。

“風力発電施設から発生する騒音等への対応について”（検討会報告書）（p29)を作った学者の方々は、法律を次のように解釈した。
“（平成 10 年６月 12 日 通商産業省令第 54 号）では、発電所一般において環境影響を受ける範囲であると認められる地域は、事業実施想定区域及びその周囲１km の範囲内としている。”

この意味は、音は“事業実施想定区域及びその周囲１km の範囲”よりも遠くまで届くが、その範囲以外では環境影響を受けるとは認められない。
と理解できる。
被害があっても、その原因が発電所による環境影響だとの認定をしない。との主張である。こちらは、その意味は理解可能であるが、この解釈が、（平成 10 年６月 12 日 通商産業省令第 54 号）の解釈として妥当か否かに関しては疑問がある。後で法律の文章を確認するが、曲解と評価するのが妥当である。

さて、学者の方々は、(平成 10 年6月 12 日 通商産業省令第 54 号)は、1ｋｍ以上離れた場所での騒音被害は認めない。と主張していると解釈した。

では、本当に通産省は、
“発電所一般において環境影響を受ける範囲であると認められる地域は、事業実施想定区域及びその周囲1km の範囲内としている”、のでしょうか？

そんなことはありません。

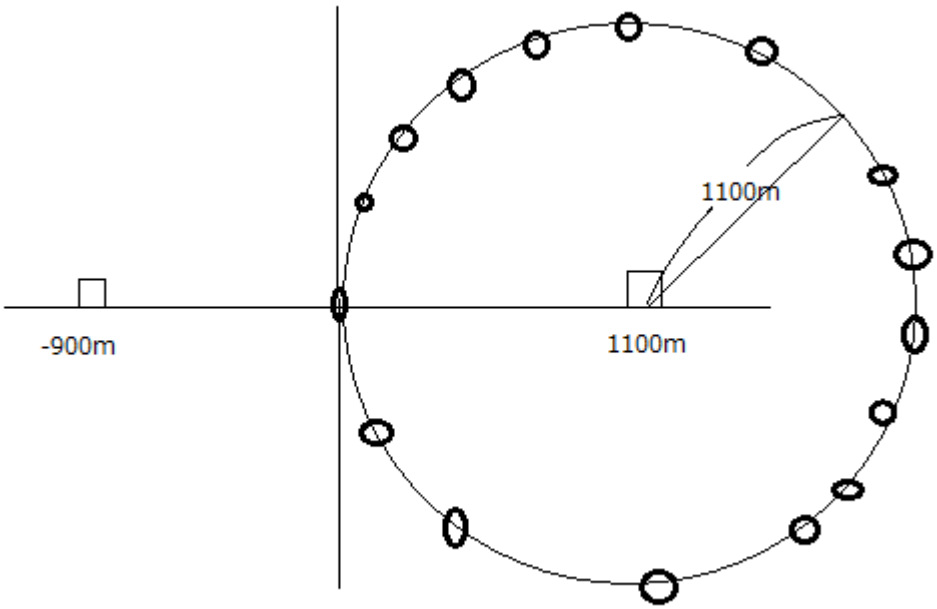
最初に、
平成十年通商産業省令第五十四号
発電所の設置又は変更の工事の事業に係る計画段階配慮事項の選定並びに当該計画段階配慮事項に係る調査、予測及び評価の手法に関する指針、環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査、予測及び評価を合理的に行うための手法を選定するための指針並びに環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令
を確認します。

第四条　計画段階配慮事項についての検討に当たっては、当該検討を行うに必要と認める範囲内で、当該検討に影響を及ぼす第一種事業の内容（以下「配慮書事業特性」という。）並びに第一種事業実施想定区域及びその周囲の自然的社会的状況（以下「配慮書地域特性」という。）に関し、次に掲げる情報を把握するものとする。
一　配慮書事業特性に関する情報
イ　第一条各号に掲げる事項
ロ　第一種事業により設置又は変更されることとなる発電所の原動力の種類
ハ　第一種事業により設置又は変更されることとなる発電所の出力
ニ　第一種事業により設置又は変更されることとなる発電所の設備の配置計画の概要
ホ　第一種事業に係る工事の実施（この条から第九条までにおいて「第一種事業の工事の実施」という。）に係る期間及び工程計画の概要
ヘ　その他第一種事業に関する事項
二　配慮書地域特性に関する情報
イ　自然的状況
（１）　気象、大気質、騒音、振動その他の大気に係る環境（以下「大気環境」という。）の状況（環境基本法（平成五年法律第九十一号）第十六条第一項の規定による環境上の条件についての基準（以下「環境基準」という。）の確保の状況を含む。）
（２）　水象、水質、水底の底質その他の水に係る環境（以下「水環境」という。）の状況（環境基準の確保の状況を含む。）
（３）　土壌及び地盤の状況（環境基準の確保の状況を含む。）
（４）　地形及び地質の状況
（５）　動植物の生息又は生育、植生及び生態系の状況
（６）　景観及び人と自然との触れ合いの活動の状況
（７）　一般環境中の放射性物質の状況
ロ　社会的状況

（１）　人口及び産業の状況
（２）　土地利用の状況
（３）　河川、湖沼及び海域の利用並びに地下水の利用の状況
（４）　交通の状況
（５）　学校、病院その他の環境の保全についての配慮が特に必要な施設の配置の状況及び住宅の配置の概況
（６）　下水道の整備の状況
（７）　環境の保全を目的として法令等により指定された地域その他の対象及び当該対象に係る規制の内容その他の環境の保全に関する施策の内容
（８）　その他第一種事業に関する事項
２　前項第二号に掲げる情報は、入手可能な最新の文献その他の資料により把握するとともに、当該情報に係る過去の状況の推移及び将来の状況を把握するものとし、必要に応じ、次の各号のいずれかに該当する地域の管轄に係る地方公共団体（第七条から第十四条までにおいて「関係地方公共団体」という。）、専門家その他の当該情報に関する知見を有する者から聴取し、又は現地の状況を確認することにより把握するよう努めるものとする。この場合において、当該資料については、その出典を明らかにできるよう整理するものとする。
一　第一種事業実施想定区域及びその周囲一キロメートルの範囲内の地域
二　既に入手している情報によって、一以上の環境の構成要素（以下「環境要素」という。）に係る環境影響を受けるおそれがあると判断される地域

この、
二　既に入手している情報によって、一以上の環境の構成要素（以下「環境要素」という。）に係る環境影響を受けるおそれがあると判断される地域
は、一キロ以上離れた場所でも、環境影響を受けるおそれがあると判断される地域は、しっかり調べなさい。
との意味です。

（1100, 0）を中心とする半径 1100ｍの円周上に風車が並ぶとします。左の建物は風車群からの距離は 900ｍです。右の建物と風車群の距離は 1100ｍです。



当然、右側の建物の被害についても考慮されます。
“発電所一般において環境影響を受ける範囲であると認められる地域は、事業実施想定区域及びその周囲１km の範囲内としている”
のではありません。地形や季節風の影響で被害が出ることもあるので、１ｋｍ以上の場所でも、適切な予測が必要となることがあるのです。
だから、
二　既に入手している情報によって、一以上の環境の構成要素（以下「環境要素」という。）に係る環境影響を受けるおそれがあると判断される地域
というおまけが付いているのです。

いくら、日本語の理解力が無いからと言って、省令を勝手に捻じ曲げてはいけません。
もちろん、存在しない規則を主張してもいけないのです。

山形県の住民は、県の職員とは違って、しっかりとした認識を持っています。

アンケート名:酒田市広報 11 月特集「風のまち酒田の未来を考えるーカーボンニュートラルの実現に向けてー」質問５回答には、
①
今陸上風車から約２キロのところに住んでいますが、騒音で眠れない、起こされる日が年に何十日もあります。中心市街地から近い場所に建てることは公害となる可能性があり問題です。
大型の風車の音はどこまで聞こえますか。聞こえないくらい離すべきです。騒音規制ギリギリでは被害が出ているので、聞こえない位置まで離さなければなりません。促進区域の時点で遠くへ設定しなければ、事業者公募で否定できませんよね。事業者は何かと理由をつけて対応しません。結局市役所にクレームが行くのではないですか。一度決めたことは後戻りできないのでしょうから、今遠くへ設定すべきと考えます。もちろん地球温暖化対策は大切ですが、普通の住宅街に住んでいる人に健康への影響を出してまで推し進めるも

のではないのではないでしょうか。苦しんでいる人を切り捨てないよう、切にお願いします。

②
洋上風力発電について、酒田市の特性からバードストライクを予防するという観点からも垂直軸型マグナム式風力発電を導入するのはいかがでしょうか。騒音低減、強風耐性の向上にも繋がり、また日本の技術／製造という意味でも市民の納得や信頼も得られやすいのではと考えます。供給の安定という意味で自然エネルギーは発展途上なのだとは思いますが、海側の土地だからこそ得られる半永久的なエネルギーをうまく活用し、環境負荷や資源消費を軽減していけるよう、今後の発展を期待しております。

特に、二番目の意見を書いた市民は、
回転軸が水平の風車は、超低周波音の発生装置そのものであるが、垂直軸の風車は全く異なる性質を持っていることを認識しています。

北海道の住民は、精密騒音計での計測を行って、正確なデータを蓄積しています。
その結果、“風雑音”には、風車の近くで観測される、離散的で規則的な周波数をもち、極めて音圧の高いものと、風車の無い所で観測される、周波数に規則性が無く音圧が低いもの、との２種類がある事も認識しています。
“風雑音”と言って、原因から目を背けるのは、学者や業者や環境省くらいのものです。

さて、業者は、市民の意見、
“洋上風力発電について、酒田市の特性からバードストライクを予防するという観点からも垂直軸型マグナム式風力発電を導入するのはいかがでしょうか。騒音低減、強風耐性の向上にも繋がり、また日本の技術／製造という意味でも市民の納得や信頼も得られやすいのではと考えます。供給の安定という意味で自然エネルギーは発展途上なのだとは思いますが、海側の土地だからこそ得られる半永久的なエネルギーをうまく活用し、環境負荷や資源消費を軽減していけるよう、今後の発展を期待しております。”
に対して、どんな説明をするのでしょうか？
あるいは、
この論文や、石竹氏の調査結果を見れば、風車から１ｋｍ以上離れていても影響があるのに、説明会は１ｋｍ以内でしか開催しようとしない事についてどのように説明するのでしょうか？
あるいは、
超低周波音による物理的な影響としての音響キャビテーションの可能性に関してはどのように説明するのでしょうか？
また、
工事後の緑化で外来種の種を蒔けば､植相が変わり動物の食糧が無くなるので市街地での被害が増える事や、崩落事故の責任をどのように取るのか、引っ越しを迫られる人に対して、新しい家を風車の被害が無い場所に建てて提供してくれと要求したら合意してくれるのでしょうか？騒音などの影響が不眠となり学力が低下した子供の生涯賃金が平均値以下だったら差額を補填してくれるのか？
風車の土台として打ち込んだ杭は撤去できるのか、放置して水質に影響が出た場合は、どのようにして責任を取るのか、例えば、倒産する事も考えて、工事開始前に、水質に影響が出た場合の保証金として数千億円のお金を県に提出しておく。県はこれを預かって、50 年後、100 年後の水質汚濁に備えておく。

などなど、
きちんと説明して、その責任を明確にしてほしいことは山ほどあります。

また、市民で計測機材を所持する人は増えています。データ解析の技術は業者や行政よりも高い知識を持った市民もいますので、環境省の方針に従った形で丁寧な説明をすると環境省の嘘がバレます。業者も環境省も嘘をついてきた責任を追及されます。

業者は“丁寧に説明しなさい”と言われても嘘がバレるので丁寧な説明は出来ないのです。嘘を書いた住民説明会資料を公開出来ないのです。嘘の答弁を録音されると嘘がバレるので、住民説明会を録音禁止にするのです。

３．反対意見の封殺

確かに、事業の進め方で、反対意見を抑え込むことは出来ます。
“風車が立つとテレビが映らなくなり共同アンテナ立ててくれて、また窓は二重ににしクーラーもつけてくれた。集落の道路も広げきれいにしてくれたので私らは何も言えないのだ。”
と思ってしまう住民もいるようです。

３．１　健常者ではない

健常者ではない。と言って抑え込む企業もありました。
平成１６年（２００４年）に、“クリーンエナジーファクトリー株式会社”が作成、配布した資料

千葉県南房総市で住民に配布して資料には、専門家、中野有朋氏の経歴と意見が乗せられていた。

中野　有朋 (ナカノ　アリトモ)
昭和31年、早稲田大学第一理工学部応用物理学科卒。石川島播磨重工業(株)(IHI)入社。昭和52～59年、石川島防音工業(株)代表取締役社長。昭和62～平成3年、IHI技監。
日本音響学会理事、日本騒音制御工学会副会長・理事、宇都宮大・東海大・早大大学院講師、横浜市環境審議会委員・環境影響評価審査会委員、日本産業機械工業会環境装置部会副部会長など歴任。現在、中野環境クリニック所長、騒音対策コンサルティングに従事。栃木県大規模小売店舗立地審議会委員、栃木県環境審議会専門委員、日本産業機械工業会環境装置部会顧問。工学博士、技術士(応用理学)

中野氏は、日本音響学会理事、日本騒音制御工学会副会長・理事、だそうです。
資料の中には、中野氏の見解が、

TVの「今回の測定値」では、10HZの音圧レベルは50dB程度となっています。緑線の参照値90dBより40dB小さく(1万分の1)です。
20Hzの場合は、30dB程小さく千分の1の大きさ(レベル)です。
1Hzから10Hzに対する参照値はありませんが、1Hzの感覚閾値(感じることができる値)は130dB以上であり、5Hzでは110dB以上です。
これは多くの文献にあり、これらをもとに超低周波の国際規格も定められています。
「今回の測定値」の1HZは70dBですから感覚閾値130dBより百万分の1も小さい値であり、5Hzの場合は40dB小さく1万分の1です。
このような微少な超低周波音で交感神経の緊張や頭痛などは健常者であれば起こるはずがありません。

【結言】
三崎地区風力は、風車周辺および住宅内では「健常者の人体に感知される超低周波音」は存在せず、建具をがたつかせる超低周波音も存在しないことから、周辺の生活環境を保全する上において支障はないものと考えられます。

と書かれていた。

最後の部分
"このような微小な超低周波音で交感神経の緊張や頭痛などは健常者であれば起こるはずがありません。“とあります。
これが正しいならば、超低周波音による圧迫感を感じると言ったとたんに“健常者ではない”とされてしまう。
これでは、超低周波音による被害を訴えることが出来なくなってしまいます。訴えたとたんに、業者の説明を信じた近所の人からは、“健常者ではない”とみなされてしまいます。
肉体的に障害が無い人が“健常者ではない”と言われたら、聞いた人は“気が狂っている”と言われたと思います。
ひどい言い方です。しかも、これを配って住民説明会をするのですから、企業の活動、企業の存在そのものに疑問を持ちます。

また、“超低周波音は風車から発生しない”と言っています。

しかし、昔の環境省は
“４．低周波音防止技術の概要
4.1.5 風車
風車の超低周波音の発生原理は基本的には送風機のいわゆる回転音と呼ばれるものと似ている。大型発電用風車の場合は、羽根の枚数が少なく、回転数も小さいために正常運転でも超低周波音を発生することがある。
その基本周波数 f（Hz）は、翼の回転数を R（rpm)、翼枚数を Z（枚）とすると
f ＝ RZ/60（Hz）
で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。
大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は 1～3 枚（3 枚が主)、回転数は 30～60（rpm）程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。“
（基本周波数の倍音も出ている。）
と言っていました。これで計算すると、大型風車では、ｆ＝RZ/60＝0.5 （Hz）となります。これは、超低周波音が出ているという事になります。

最近の環境省は、この部分を隠蔽するために、“風雑音”だから、防風スクリーンで低減させなさい。残っていたら除外音処理をして取り除きなさいと言っています。
学者の方で、この“超低周波音”＝“風雑音”の部分を計測して議論している方を見つけることが出来ません。本巣氏が計測と解析をして“風雑音”の問題点を解明してくれることを期待します。

資料の“理論”は、物理学の常識を破壊する内容でした。

風車の回転音

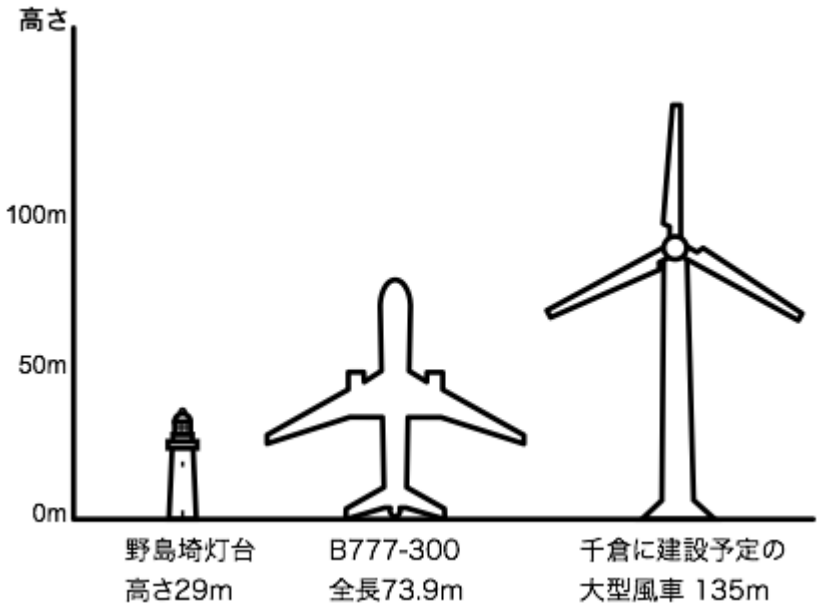
- 扇風機の羽根の回転は、早く回るので羽が目には見えませんがブーンという音が聞こえます。これが回転音です。これは羽の回りの空気が逃げるひまがないので圧縮されて音波が発生します。
- この音は「回転数に羽の枚数を掛けた周波数」の回転音になります。
- 風車の場合は羽が見えるくらい回転音が遅い（1分間に16～18回転程度）ため、羽にあたる空気が回りに逃げ空気がかき回されているだけで回転音は発生しません。

風車から原理的に超低周波音は発生しません

- 音は物体の振動によって発生します。「振動する物体の寸法が音の波長」が基本原理です。
- 超低周波音は1Hz~20Hzで波長は340m~17mの大きな波です。この寸法の物体が振動しないと超低周波音は発生しません。
- 風車には増速機、発電機などから構成されていますが超低周波音の波長より十分小さい寸法なので超低周波音を発生することはありません。

この主張は自己矛盾です。計画では、

CEF千倉ウィンドファーム計画
（2500kW×10基）



であり、風車の大きさは 135ｍなので風車全体が振動するときには、中野氏の理論に従えば、2.5Ｈｚの超低周波音（波長は 340/2.5＝136ｍ）が発生する事になる。

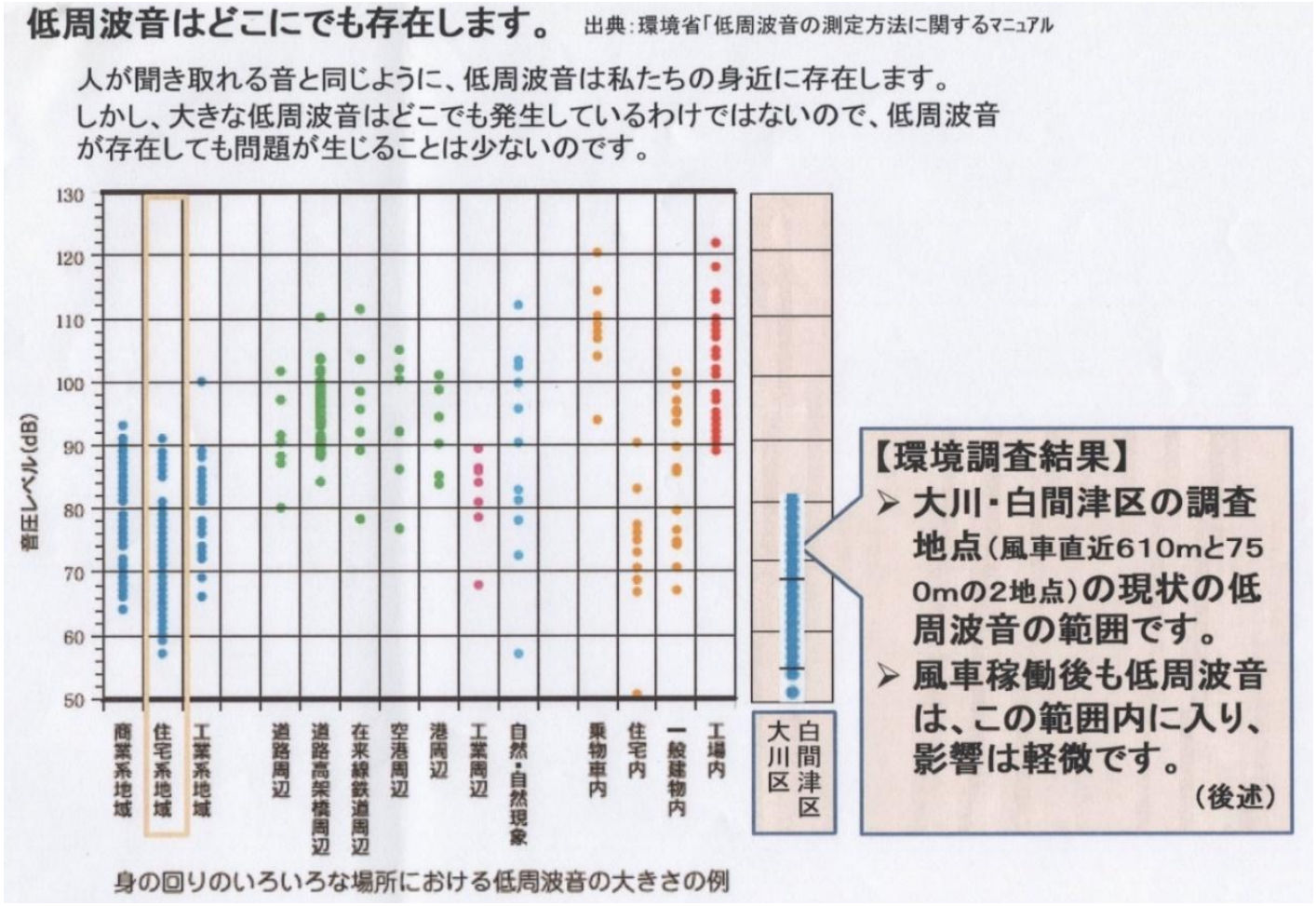
こんなことが書いてあったら、“部外秘”としたくなるのは当然です。私なら、恥ずかしくて住民にも配布したくないと思うでしょうが、これについて、私に懸命に説明してくれた社員がいたのも事実です。

このような資料を使って、南房総市では住民説明会が行われたことがあったのです。

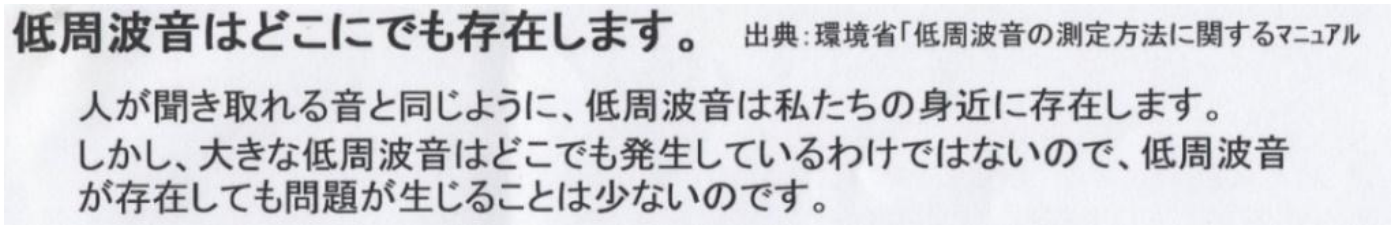
田舎の住民が、大学の物理学科や数学科を卒業していることは無い。とでも思っているのでしょうか？

“振動する物体の寸法が音の波長”と言われても、ギターの弦は同じ長さなのに、波長が違う音が出ます。理論が正しければ、現実が間違っている事になります。このような理論を主張する“専門家”の意見を正しいとは思えません。

さらに、この業者は、610ｍ、750ｍ離れているから影響は軽微です。と説明している資料を配布しました。



ここで、



と書いてある。

　これを言い換えれば、

“風車からは、他の環境（騒）音に比べて、極めて大きな超低周波音が発生しているので、建具の振動、睡眠妨害、不快感、圧迫感、頭痛などが起こります。更に、振動の地中伝搬も起こりますので、様々な問題が生じるのです。”

となります。後ほど、詳しく検討します。

　風車音の影響が３ｋｍ以上の範囲に及ぶことは石竹氏の調査結果に示されています。

被害は軽微ではないのです。

３．２　地元のステークホルダーを取り込む

日本における洋上風力発電立地の合意形成:
成功事例に見られる地域共生に向けた教訓
松浦 正浩
明治大学専門職大学院ガバナンス研究科 教授

3) 運転の継続
2011 年の東日本大震災の津波により沿岸部のドックで建設中であった基礎が破損したため、事業は一時延期になった。工事は 2013 年 1 月に竣工し、風車の運転を開始した。
この事業も政府による実証事業であったため、東電は事前に決められた実証期間の終了後に風車や構造物を撤去することを地元に保証していた。
東電は 30,000 名を超える従業員を有する大企業であり、その従業員のほとんどが数年ごとに別の職場へと異動していくが、本実証事業では、長年同じ人物がプロジェクトリーダーを勤め続けた。本事業は技術開発のための実証という扱いであり、通常の事業部門ではなく研究部門が担当したため、結果として、同一の人物が長年担当することが可能となったのである。事業が「実証」という位置付けを受けたことで、担当者と地元のステークホルダーが人間関係・信頼を構築していくうえで、例外的な機会が得られたとも考えられる。
一方、洋上風車も地元の漁業協同組合に実体的な利益をある程度もたらした。環境影響調査のために調査船が必要となるため、調査のための傭船を地元の漁業協同組合所属の漁船等が有償で提供することとなった。また､一般市民等が洋上風車を船上から視察する場合にも地元の漁船や観光船を傭船することが通例である。東京湾アクアラインや関西国際空港のような大規模公共事業の一環で地元漁業協同組合に支払われた補償と比べるとその規模は格段に小さいと推測されるが、事業による実体的な利益の存在は、地元のステークホルダーにとっては間違いなくプラスであったであろう。
それ以上に、洋上風車による負の影響に対する地元漁師の懸念は、稼働開始後に大幅に減少したと考えられる。事実、環境調査によれば、ケーソン周りにはカンパチなどの高付加価値の魚が増えていることが確認されている。漁師たちは事業実施前には漁獲量の減少を心配していたが、漁業の観点からは可視化された負の影響は見当たらなかったどころか､ポジティブな影響さえ期待できる状況が実証事業を通じて可視化された。
当初合意されていた実証期間は 2015 年に終了した。東電は期間の延長を地元にお願いし、漁業協同組合も前向きであった。2017 年 2 月には期間延長の同意に至っている。
また、事業に対する支持の一因として、1970 年代に存在した火力発電所の建設計画に対する反対運動の歴史も影響しているかもしれない。この洋上風車が地先に存在する集落には以前、火力発電所が計画されたものの、環境影響等を懸念する地元住民等による反対運動により、計画は中止された。銚子の町は自然環境の保護に成功したのかもしれないが、その代わりに工業地帯の開発が銚子市の北側に隣接する鹿島市、神栖市などで進められ、
これらの自治体は工業開発で目覚しい経済成長を遂げた。この洋上風力発電事業は、隣接市に大きく先を越された経済成長を取り戻すため、さらに大気汚染などの環境影響なく経済成長をなし遂げることができる絶好の機会とみなすこともできたのだろう。
3. 得られた教訓
これらの事例は、今後、洋上風力発電立地を目指すプロジェクトマネージャーに対して、いくつかの重要な

教訓を示唆している。これらの教訓は定量的な仮説検証が可能なわけではないが、２事例の聞き取り調査等に基づいて整理した、経験に基づく実用的な教訓である。

教訓１：主要なステークホルダーを早い段階から巻き込むこと

いかなる場合も、全ての主要なステークホルダーは早い段階から事業について知らされている必要がある。両事例においても、プロジェクトマネージャーは短期間（1 週間以内）で地元の主だったステークホルダー全員に対し、対面で説明を行っている。このような面会を続けて行うことの主な効果の一つが、すべてのステークホルダーの気分を害さないという点である。ステークホルダーの中には、近隣の人間が事業者からすでに話を聞いているのに自分が直接説明を受けていなければ、自分を軽視していると気分を害する者もいるかもしれない。他方、コミュニティ内で事前に噂が流布しないよう、正式な決定が下る前には一切情報を公開しないことも重要である。

プロジェクトマネージャーが地元のステークホルダーとコミュニケーションを図るときには、特に計画の初期段階において、厳重な注意を払い、戦略的に行う必要がある。初期段階の重要性は社会心理学の研究が示唆するところである。たとえば人間は、自身が嫌う者によって与えられた情報を信用しない「反応的逆評価」の影響を受けやすい。「嫌われる」ことを避けることは、すべてのプロジェクトマネージャーにとって最も大事なポイントである。逆に、良好な関係をいったん構築できれば、よりよい人間関係が次第に確固としたものへと発展していく可能性がある。

教訓２：地元自治体と協働すること

洋上風力発電事業は、良好な風況が重要であり、結果として、事業提案者の事業所が存在しない、都市から離れた沿岸部において開発されることが多い。そのため、プロジェクトマネージャーが地元コミュニティの人々と良好な人間関係を新たにゼロから構築することが大きな課題となる。これを実現するためには、地元の自治体職員による協力が、洋上風力発電事業を推進していく上で欠かせない。五島市の場合、長年、再生可能エネルギー促進に関わってきた一職員の存在が、浮体式洋上風力事業の成功には欠かせなかった。

銚子市の場合は、地元自治体による支持は比較的見えづらかったが、銚子の地元職員による関与が交渉の初期段階において重要であった。両事例とも、事業を公に発表する前の段階から、チームの中に、地元の人々（自治体職員、社員等）を巻き込んでおくことの重要性を示している。

教訓３：特定の職員がコミュニティメンバーと密接に協働し、信頼を構築していくこと

政府や大企業などの大きな組織では担当職員が定期的に異動することが一般的である。一方で、そのような習慣は地元のステークホルダーと良好な関係性を構築していく上でデメリットとなる。組織単位ではなく人物単位での信頼関係構築が、プロジェクトを進めるうえで必要なためである。今回調査した２事例は、いずれも政府による実証事業として位置づけられていたこともあり、プロジェクトマネージャーは事業期間を通じて同じ人物が担当していた。このことが、プロジェクトマネージャーに対する地元のステークホルダーたちの信頼醸成を促進したと考えられる。

教訓４：順応的管理－小規模で試験的に始めること

日本における実証事業が成功したのは、「実証」であったことも理由の一つである。これらの風車はあくまで実証のための機器と見なされていたため、実証期間後には撤去されることが最初から保証されていた。地元のステークホルダーには、これらのタービンが恒久的に居残るわけではないため、懸念していた環境影響の可能性も数年後にはなくなる安心感があった。

これは環境計画の分野において採用されている典型的な「順応型管理（adaptivemanagement）」の戦略であった。不確実性が高い場合には、事業を小規模に始めて、観察された影響に応じて計画を調整すべき、というのが順応型管理の考え方である。もしこれらの洋上風車が海洋環境に負の影響を与えていたならば、既に撤去されていることであろう。五島市では海洋環境に対する負の影響が観察されなかったことから、事業は

継続され、むしろ拡大した。
事業を徐々に拡大する戦略は、政府からの資金援助がないこれからの新規開発事業者にとって、財務計画上、難しいかもしれない。しかしこの戦略は、地元のステークホルダーの支持を得る上では有用である。パイロット事業なしには、特に漁業資源や自然環境に対する不可逆な被害を恐れる漁師が、事業の実施に安心して合意することはないだろう。一方で、風車を 1～2 基しか建設しない小規模な事業では、投資に対する利益が少なすぎ、プロジェクトファイナンスが不可能かもしれない。公共政策として、政府や地元自治体等が小規模なプロジェクトを全国で支援し、洋上風力発電の安全性やメリットをより多くの人々に「見せる」ことが肝要である。日本では、これまでの実証事業により洋上風車の技術的な実現可能性が実証されたため、政府はさらなる実証事業の展開を控えつつある。しかし、五島や銚子のような実証事業のサイトから遠く離れた、洋上風力発電を実際に体験していない地域で、民間事業者がゼロから大規模な洋上ウインドファームを整備することは、地元のステークホルダーと安全・安心の感覚を共有するまでに時間を要するだろう。
教訓５：コミュニティの誇りを活かすこと
今回調査したいずれの事業も「国家プロジェクト」であったことも、地元の納得を得る上で貢献した。地元コミュニティは、事業者の利益や地域の利益だけでなく、日本社会全体の利益ために、再生可能エネルギーの技術開発に貢献することが期待された。民間投資家による利益目的の事業ではないという位置付けは、ステークホルダーが洋上風車を既存の商業ベースの陸上風力発電から差別化する上で一助となった。
また、地域の農村・漁村社会に「エンパワーメント」の感覚（有能感）を育んだ。洋上風車がもしなければ、これらのコミュニティには国家レベルで誇ることができる独特の資源が存在しなかった。これらの風車は日本でも数少ない洋上風車であり、五島にいたっては、世界初の実用規模の浮体式風車であった。椛島では、環境大臣や海外の研究者による訪問は大いなる驚きであり、地域住民の間で風車に対する誇りを生み出した。初期の事業においては、そのような地元の誇りが、恐れや懸念を乗り越える上で役に立つであろう。
また、五島で見られるように、追加の風車整備の促進にもつながるだろう。
教訓６：地元のコミュニティに便益を提供すること
最後に、受け入れコミュニティに対する実体的な便益もやはり重要である。しかしこれは漁師に対する直接的な金銭補償という意味ではない。過去には、大規模インフラ事業において、必要とする土地埋め立てのために地元の漁師に多額の一時払金が支払われていた（と報じられている）。そのような高額の支払いは、地元のコミュニティや地域の漁師による持続可能な漁業の慣習を壊滅させてしまうことが多かった。しかし、洋上風力発電事業では、そのような支払いを行えるほどの利益が一般的には見込めないため、地元コミュニティにそのようなトラブルをもたらすことはない。
今回調査した事例では、地元コミュニティに対して様々な形で便益が提供された。その一例が調査や環境評価を目的とした漁船の傭船であった。便益は建設期間および調査期間中のみにしか提供されないが、地元の漁師たちの生業の一助となっている。五島の事例では、視察者用の施設の管理を地元のコミュニティに依頼していた。これらの委託を通じたコミュニティへの金銭的なメリットは（埋め立て等の補償と比べて）だいぶ小さいものだと推測されるが、新たな雇用機会であることは間違いない。また、洋上風車の安全な運転をコミュニティが支えているという感覚も生み出す。五島の事業では、まだ実際の操業に耐えうるほど実用的ではないとはいえ、燃料電池船の開発も行った。これは、短期的な便益だけでなく、地元の漁業コミュニティが長期的に持続可能になるためのお手伝いもしたいという、プロジェクトマネージャーのコミットメント（気概）を示しているとも考えられる。

３．３　地域への貢献（金銭的援助）

日本風力エネルギー株式会社

ご挨拶

私たち、日本風力エネルギー株式会社は、アジア太平洋地域最大級の独立系再生可能エネルギー発電事業者であるヴィーナ・エナジー グループ（本社シンガポール）の一員として、日本における風力発電事業を行っています。

（仮）鳥取風力発電事業は、地域の資源である「風」を活用させていただき、クリーンなエネルギーを次世代に繋げていく事業です。私たちの発電事業が今後の地域経済発展の基盤の一部となるだけではなく、地域貢献活動を通じて、企業として社会的責任を果たせるよう精進して参ります。

（仮）鳥取風力発電事業の開発そして運営においては、地域の皆様との対話を図り、地域パートナーとして信頼していただけるよう努めて参ります。

2022.11.16

鳥取県伯耆町父原地区の公民館へエアコンを寄贈

鳥取県伯耆町父原地区の公民館へのエアコン寄贈に関し、感謝状を拝受いたしました。公民館で快適に過ごすことが可能になることで、公民館の利活用の促進が期待できます。 今後も地域の皆様のため環境整備を続けて参ります。

022.11.6

佐賀県大川町で 3 年ぶりに開催された「やってみゅ～だ花火大会」を協賛

佐賀県大川町のやってみゅ～だ花火大会を協賛しました。地域の多くの方が楽しみにしていた花火大会が、11 月 6 日に 3 年ぶりに開催されました。これからも地域を盛り上げるイベントへの支援を続けて参ります。

2022.5.16

佐賀県唐津市稗田地区・駒鳴地区・佐里上地区への公民館へ空気清浄機を寄贈

佐賀県唐津市稗田地区、駒鳴地区、佐里上地区の公民館へ空気清浄機を寄贈いたしました。空気清浄機の設置により、公民館の快適性の向上、感染症予防対策の強化を図ります。今後も地域の環境整備への貢献を続けてまります。

2022.5.16

佐賀県唐津市志気地区公民館へセキュリティーカメラを寄贈

佐賀県唐津市志気地区の公民館へセキュリティーカメラを寄贈しました。セキュリティーカメラの設置により公民館の安全性が向上し、地域住民が安心して利用できるようになりました。今後も地域の環境整備への貢献を続けてまいります。

2021.10.17

福岡神社（鳥取県伯耆町）で行われた日本三大奇祭「蛸舞式神事」へ奉納

地元では「たこさん」の愛称で親しまれている奇祭「蛸舞式神事」が行われた福岡神社（鳥取県伯耆町）へお神酒等の奉納をいたしました。また、さきに福岡神社へ寄贈した織旗一対もご活用頂きました。「蛸舞式神事」は鳥取県無形民俗文化財となっております。今後も地域の伝統文化の伝承の支援を続けて参ります。

2023.5.25

常陸大宮市役所の駐車場へソーラーLED 街灯を寄贈

茨城県常陸大宮市役所の駐車場へソーラーLED 街灯を 4 基寄贈いたしました。街灯設置による防犯対策、停電時でも点灯するため、災害時の備えとしても活用頂けます。今後とも、地域の防災対策や環境改善の支援を続けて参ります。

３．４　道路、防音窓、クーラー

企業によっては、道路補修をしてくれたり、共同アンテナの設置、二重窓の設置、クーラーを設置してくれる企業もあります。

その結果、

“風車が立つとテレビが映らなくなり共同アンテナ立ててくれて、また窓は二重ににしクーラーもつけてくれた。集落の道路も広げきれいにしてくれたので私らは何も言えないのだ。”

と思ってしまう住民もいるようです。

騙した方が悪いのです。気が付いた時点で、どんどん文句を言いましょう。

付けてもらった二重窓は役には立たないのです。これが役に立つのは、普通騒音計で 20Hz 以上の部分だけを測って、数値が小さくなったから問題ないと言って住民を騙すときにだけです。

低周波音・超低周波音による圧迫感や不快感は全く軽減されていないのです。

道路を直すのは自治体の責任です。それを業者に肩代わりさせてはいけないのです。そのようなことをすれば、住民が苦しむことになるのです。

“それぞれの健康影響が風力発電の何が原因で生じているかを質問したところ，航空障害灯，ブレードの回転，風車音，風車による振動が特に多く選択された.”

電気代も高いのです。業者はエアコンを付けてくれますが、電気代は払ってくれません。窓を開けていた場合や、雨戸の無いマンションでは、航空障害灯が窓を強烈に照らします。目が覚めてしまいます。安眠は出来ません。

“風車音”も聴覚を通して安眠を妨げます。

“めまい”、“頭痛”、“吐き気”は、聴覚で感じる刺激ではないのですが、他の感覚器官で把握します。刺激の結果、安眠が妨害されます。

“風車による振動”は、振動の地中伝搬なのか、超低周波音（0.5Ｈｚ～1Ｈｚ）による共振や強制振動なのかも判別は難しいのですが、耳では聞こえない刺激として、安眠を妨害します。

“航空障害灯”の光が強くて、眠れない。

可聴音の他に、光、振動、極めて高い音圧、などの聞こえない刺激も含めて、風車は住民に影響を及ぼします。

そして、安眠出来ない日が続けば、

“憂鬱になる”、“怒る”、“集中できない”、“神経質になる”、“緊張する”、“不安になる”のです。

このような場所では生活できません。

４．事業の進み方

４．１　愛知県田原市久美地区

愛知県田原市の久美原地区の例

“これらを参考にして、私の場合を考えてみると、風車問題が「問題」となるまでにはひとまず５つ段階が有るように思います。

(1) 計画段階
(2) 事業者の申請が出され通過する
(3) 建設が始まり出来上がる
(4) 出来上がり被害が発生し、苦情を訴えた場合の事業者と行政の対応
(5) その後の事業者・行政の対応

一般の人が風車騒音問題として、報道やインターネットで知るところとなるのは(４)の段階からと言うことになりましょう。

そこで、風力発電施設建設そのもののどこに問題があるのか順を追って検証してみようと思います。

一般的に、「近隣一般住民」が風力発電施設建設の話しを知るのは(２)の段階からのような気がしますが、私もそうでした。

現在私の自宅から 350m の距離にあるのは、名前を伏せても直ぐ解ることですから最初からハッキリ言っておきますと、エムアンドディーグリーンエネルギー株式会社・久美原・細谷風力発電所(具体的にはエムアンドディーグリーンエネルギー株式会社の一発電所ですかが私にとってはエムアンドディーグリーンエネルギー株式会社の全てですので、以降M＆D)です。

この建設経過を情報公開によりその後取得した、「事業経過」を元に”当事者”である私が当時取得した情報を元に説明します。なお、「事業経過」は、M＆Dが田原市に参考に提出したものだそうで、今これを見ると、如何に、”一部の者”が結果として住民を欺いて事業を進めたかの経緯が明らかになってきます。

---

①環境アセスメントは不明。

②Ｈ１６・７・２５

風力発電施設建設に関して住民説明会とアンケートが行われた。

その結果、騒音、事故等の心配が理由で、建設反対。

この当時１軒の強硬な反対者が出たが、「１軒の反対でも建てない」と当時の区長が M&D に回答。

それについて住民も納得。基本姿勢は白紙。風車は建たないことになる。

③Ｈ１６・８・２７

建設に関して、白紙のはずだったが、風車見学会（静岡市浄水場）が実施された。

当時、風車の騒音は 200m 離れれば環境基準をクリアするという話しであり、建設予定地は現在地(現在は350m)より、さらに 200m以上私の家から離れていたため、私は参加していなかった。参加した人の話では世間一般の風車の音と同じだったと聞いている。(今思えば、世間一般の風車はどんな音をしていたのか？)

当時、見学に行った人は、今近くに建つ風車の様に「煩い音は出ていなかった」と言っている。M＆Dも始めのうちは「(この音では) 詐欺と言われても仕方ありません」と実物との差を認めていた。

④Ｈ１７・２

騒音、事故の問題がなぜか景観にすり替えられ、建設地の移転が出た。

⑤Ｈ１７・３・１(?)
地区の通常総会で、風車誘致を現在地で調整していきたいと区長が報告。(この時も風車の騒音は 200m 離れれば環境基準をクリアすると思いこんでいたので、350m 離れている私は大丈夫と思っていた。)
この時、建設の是非は問わず、次の区長も「1 軒でも反対があったら建てない」と断言した。(結局、建たないのだな、と理解)。
⑥Ｈ１７・４・１０
「地区総代承諾書」が提示された。(今思えば、これが全ての問題の始まりであるが、実は建設に関しては終着点で有ったことになる。現区長、前区長、M＆Dの３者で極秘で締結されたとしか考えられない。)
後日、**この現区長だった者に聞いた処、「補助金申請に使うだけで建設ＯＫの書類ではないという事で、M＆Dに騙された」と言っているが…。さらに、前記三者及び地権者で内々に「地権者承諾書」が取り交わされていた。**
⑦Ｈ１７・４・１１
「校区総代承諾書」が提示された。後に確認した処、「地区総代が承諾書を出したので承諾した」とのこと。
⑧Ｈ１７・４・１１
M＆Dは「事業計画書」を田原市に提出、承諾書を申請。
この間の経緯については、久美原区長も知らなかった可能性がある。事業経過とも一致しない事項が多数ある。
田原市も事実と違うことを確認したはずだが、放置。
開示された M&D から田原市長宛の「久美原地区における風力発電事業計画について」に依れば、「地元調整は、説明会や見学会を行い、皆様のご承諾を頂きました」とある。
(が、実質的に地元調整は行われなかった事になるのではないか。そして、この「皆様」とは“どこの皆様”なのであろうか。また、黒塗りされかけた部分はどうなのか。)
細かい事はおいても、実際に「これらの説明」を私を含む一般住民が受けたは実に、この半年後である。
それにしても、⑥～⑧がたった２日間でなしえたとはとても考えられない。

---

⑨Ｈ１７・４・２８
田原市が「回答書」交付。
⑩Ｈ１７・１０・２５
いきなり風車の説明会を開く臨時集会が開催。
ここでも区長は「一軒の反対でもダメ」と前置きしてからの説明会。この時点でも⑥、⑦についての報告はされていない。
まさかこんな事になろうとは考えもしなかったので、残念ながら、詳しい内容は覚えていない。
ただ、「現在地で調整していきたい」という説明であった。
この時点でM＆Dの態度が少し横柄になったような気がしたが、単なる気のせいか。一通りの説明後、アンケートを取るということで終了。
⑪H17・１２・３～１２・１２
M＆Dが作成した「風車建設に反対・賛成」のアンケート実施。回収後M＆Dが保管。
(その後判った結果は、「４９枚回収。反対３枚」)。
⑫Ｈ１７・１２～
反対者訪問・事業計画説明
⑬Ｈ１８・２・７

第１回久美原地区三役会（総代・副総代・班長）
⑭Ｈ１８・３・３
第１回久美原地区三役会（総代・副総代・班長）

---

⑮Ｈ１８・９(?)
臨時総会開催。いきなり「風車が建つことになった」と区長が説明。ここで⑥、⑦を区長が説明。前区長の責任を問う話も出たが、Ｍ＆Ｄが悪い業者と皆が認識したため、その後は金銭的な話が中心となる。
大勢は、今更どうしようもない！　勝手にしろ！と紛糾した。(何かあったら誰が責任を取るのか！と思ったのだが…。)

---

⑯ Ｈ１８・９月頃
Ｍ＆Ｄも交えての住民説明会開催。この際、自治区に払うとされていた１００万円の協力金は、土地代、羽根下補償費等を差し引いた金額で、平均すると年６０万円程になると説明される。マルマル１００万円が収入となると思っていた人の中から「約束が違う」との意見が出たが、後の祭り。
⑪で取ったアンケートで反対した人に聞くと、「今でも賛成していない」とのこと。
Ｍ＆Ｄの説得に応じないため、前、現区長及び議員(現校区長)が説得に来て「今更反対するとＭ＆Ｄに久美原区が訴えられる。何とか賛成して欲しい」。「羽根下補償も同じ様な説明をされ、賛成せざるを得なかった」と言うような話しも聞いた。
事実、私も話が違うと反対しようとしたらそう説明された。
当時本当に反対できないのかと、疑問に思った人達も、「補助金申請が下りた時点でＭ＆Ｄが風車を準備したようだ」という区長たちの話を聞いて諦めた。
「久美原区が損害賠償請求される」という、田舎の人間にとっては脅しのような話の出所は今もって不明。
その後、風車搬入路について調整されていないことが判明し、久美原区がＭ＆Ｄに苦情を出したところ、「市の許可が取ってある」と一蹴されたと言う話しを聞いた。

Ｈ１９・１月
「今更何を言っても仕方がない。何が起きても知らない。」と言った雰囲気の中、年が変わり、当初の想像の約束とは違う風車が建った。“
Ｈ１９・１月末
風車運転開始。試運転もなく、普通に発電を始める。
２日後、「私、妹、母が不快な音で寝られない」と久美原区長に苦情を言う。
区長は、「(自分は) 誘致に絡んでいたのではないので、よく分からない。“(Ｍ＆Ｄは) うるさかったら何でもすると約束（議事録等文書なし。口約束？）しているのだから、個人で直接話をしろ」という返事。
Ｍ＆Ｄに苦情。「止めろ」と言ったら、「騒音を測定してから」という返事。
２－２．納得できる音ではないので、その後、承諾書を出した当時の区長に「責任を取って交渉しろ」と要請。「会社と連絡を取ったが話が簡単に進まない」との返事。
この時点から相談しても区長はおろか他の住民もこの問題に関わることを避け、逆に「敵は大きいから我慢するしかない」と言われる始末。
久美原区相手に裁判も考えたが、行動に移せず。
Ｈ１９・２月
Ｍ＆Ｄは「騒音測定及び本体の防音工事で対応したいので、少し待ってほしい。」という。

「待てない」というと「避難場所を確保する」とのことで、人数分は確保できないがホテル住まいとなる。
２－４．M＆Dの雇った測定業者が２月に２回測定。
中間報告で「１６０Hzの不快な音と低周波が出ている。家も振動させている」と説明される。（その時の報告書は紛失）
２重サッシ設置の要求は低周波には効果があまりないという理由で断られる。
ムヤ音響という業者も同席し、家の基礎に防振材を入れるとかいう話を聞く。この時初めて「低周波音、共振」という言葉を知る。その後もう一度測定。
Ｈ１９・３月
試しに１部に２重サッシを設置。効果が多少ある日があることを確認。母が、我慢すれば家で寝られる日が増えた程度の改善。
Ｈ１９・４月
私の部屋には効果があまりないので、断られ続けられていた残りの箇所の２重サッシが再三の要請の末、設置される。ただし家の裏側は低周波が抜けるようにという理由で断られる。妹は納得いかないようだが黙殺された。
Ｈ１９・５月
関係者協議会。
M＆Dが低周波自体を知らないと言い出す。久美原区の風車夜間停止の要請をしたが、「この風車程度の騒音は合法」という理由で却下。**「風車に反対で、この問題を大きくしたいというなら補償を打ち切る」**と言い出す。
久美原区も既に同様の内容を言われたようで、地区関係者も「おまえに協力すると今後何もしてくれなくなるので、協力しにくい」と言われた。

Ｈ１９・２、３月頃
同時に、田原市にも苦情を出してあったところ、３回測定に来た。内２回では５０dB 程度の騒音が確認された。
だが、本来、夜間環境基準は４５ｄＢであるにも拘わらず、環境課長が５０ｄＢと間違えていたため、「基準をクリアしている」という間違った情報が流れる。
この件に関し、**後に田原市に確認した処、５０ｄＢを超えた日の測定データ２回分は、理由は分からないが、「なくなった」との回答。**
その頃**「低周波についても調べて欲しい」と要請したが「風車から出ているわけないし、第一、測定機材がない。たった一件の苦情では機材は買えない」と環境課長に測定を断られた。**

こうして”私の受忍限度”は、①M＆Dの対応の遅さ　②久美原区の責任逃れ　③行政の怠慢に、超えた。

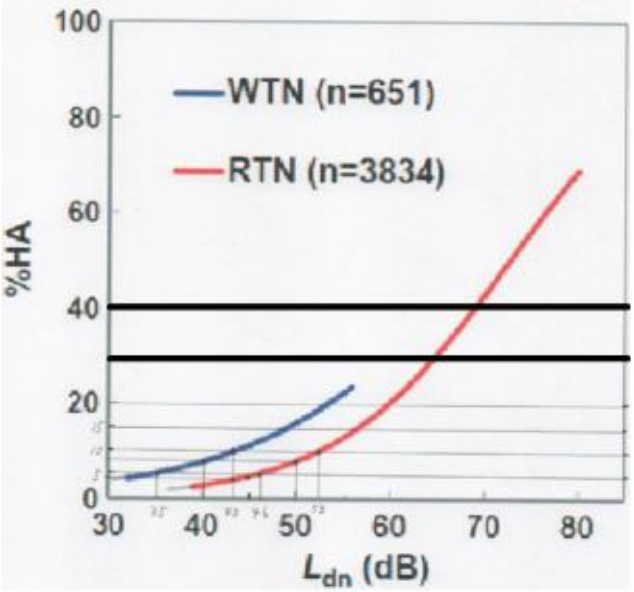
騒音（20Hz 以上周波数音、可聴域音）以外にも、風車からは、強力な超低周波音が出ています。家屋や室内の建具や人体は大きな気圧変動にさらされています。

当然、圧迫感やガタツキ、振動、を感じます。風車が原因となるこれらの問題は、計測や評価の対象から除外されています。国の方針があれば、県や市はこれに従う事が予想されます。

除外したがっているということは、これらを調べれば、風車音と被害との関連は明らかになると言う事な

のです。生活環境への影響は、住民自身で調査するしかないのです。
自治会のお金を貯めて、
リオン社の精密騒音計 NL-62 と、波形収録プログラム NX-42WR を購入しましょう。
リオン社の振動レベル計 VM-55 と、波形収録プログラム VX-55WR を購入しましょう。
ビデオカメラで、回転の様子を撮影しましょう。
計測機材の費用は、精密騒音計、振動レベル計、録音用のソフト、ビデオカメラで 150 万円程度です。
データの解析は、
PC：Win10 又は Win11 の OS が載っている PC でメモリーは 32GB 程度。
解析ソフト：DADISP、DADISP/WAV、Unit/Wavelet、Unit/WVA、Unit/Noise-Vibration）
解析ソフトと PC の費用は、150 万円程度
参考文献の購入費：（けっこうかかる）読んで理解する時間：（長い）
が必要ですが、データ解析の部分は、計測データをネットに上げて、世界中の技術者や研究者に協力を依頼しましょう。

騒音の基準での“50 デシベル”の意味は、次の２つの表から分かりますが、ここでの数値は 20H z 以上の成分から計算した A 特性音圧レベルの値です。
この値が同じでも、風車音と交通騒音では、“非常に不快である”と感じる人数に差があることが知られています。
後ほど詳しく書きますが、



%HA	風車騒音	交通騒音	差
30%	60dB	64dB	4dB
20%	53dB	60dB	7dB
10%	43dB	53dB	10dB
8%	40dB	50dB	10dN
5%	35dB	46dB	11dB
4%	30dB	43dB	13dB

“非常に不快である”と感じる人の割合ですが、交通騒音での 53ｄB では 10％ですが、風車騒音での 53ｄB では 20％です。影響に大きな違いがあります。

大まかに言えば、風車音の“騒音レベル”が 50ｄB だとすると、その音は、交通騒音での 60ｄB 程度の影響を与えるのです。そして睡眠が妨害されるのです。

さらに、風車の場合では、“指針値”と言いう考えを使います。実際の風車音がその数値を越えても罰則規定はありません。これは、国は風車音の規制をしないという事です。自己責任の時代だから、住民の力で規制しなさい。という事なのでしょうか？

地域の類型	基準値	
	昼間	夜間
ＡＡ	５０デシベル以下	４０デシベル以下
Ａ及びＢ	５５デシベル以下	４５デシベル以下
Ｃ	６０デシベル以下	５０デシベル以下

（注）
1　時間の区分は、昼間を午前６時から午後１０時までの間とし、夜間を午後１０時から翌日の午前６時までの間とする。
2　ＡＡを当てはめる地域は、療養施設、社会福祉施設等が集合して設置される地域など特に静穏を要する地域とする。
3　Ａを当てはめる地域は、専ら住居の用に供される地域とする。
4　Ｂを当てはめる地域は、主として住居の用に供される地域とする。
5　Ｃを当てはめる地域は、相当数の住居と併せて商業、工業等の用に供される地域とする。

うるさい	かなりうるさい。かなり大きな声を出さないと会話ができない	７０db	・騒々しい事務所の中 ・騒々しい街頭 ・セミの鳴き声（２m） ・やかんの沸騰音（１m）
	大きく聞こえ、うるさい。声を大きくすれば会話ができる	６０db	・洗濯機（１m） ・掃除機（１m） ・テレビ（１m） ・トイレ（洗浄音） ・アイドリング（２m） ・乗用車の車内
普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	５０db	・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（１m）
	聞こえるが、会話には支障なし	４０db	・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅地の昼
静か	非常に小さく聞こえる	３０db	・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	２０db	・ささやき ・木の葉のふれあう音

“近隣住民の風車音による不快感を低減させるためには，風車音の音量や距離に関する対策だけでなく，建設過程における地域住民への対応が重要であると考えられる．“

しかし、事業の進め方を変えても、“風力発電所から近隣住民が受ける不快感”や“風車音の不快感”を覚えないようにすることは出来ないのです。

もちろん、反対意見を表明させないようにする事は可能です。これは、住民説明会の資料の中で反対意見を言わせないための工夫をしていることを見れば明らかです。
超低周波音を感じる人は“健常者ではない”とか、超低周波音は“知覚できない”と言って、超低周波音の問題を口にしたひとは健常者ではない、人間ではない、と言われたりするように誘導します。

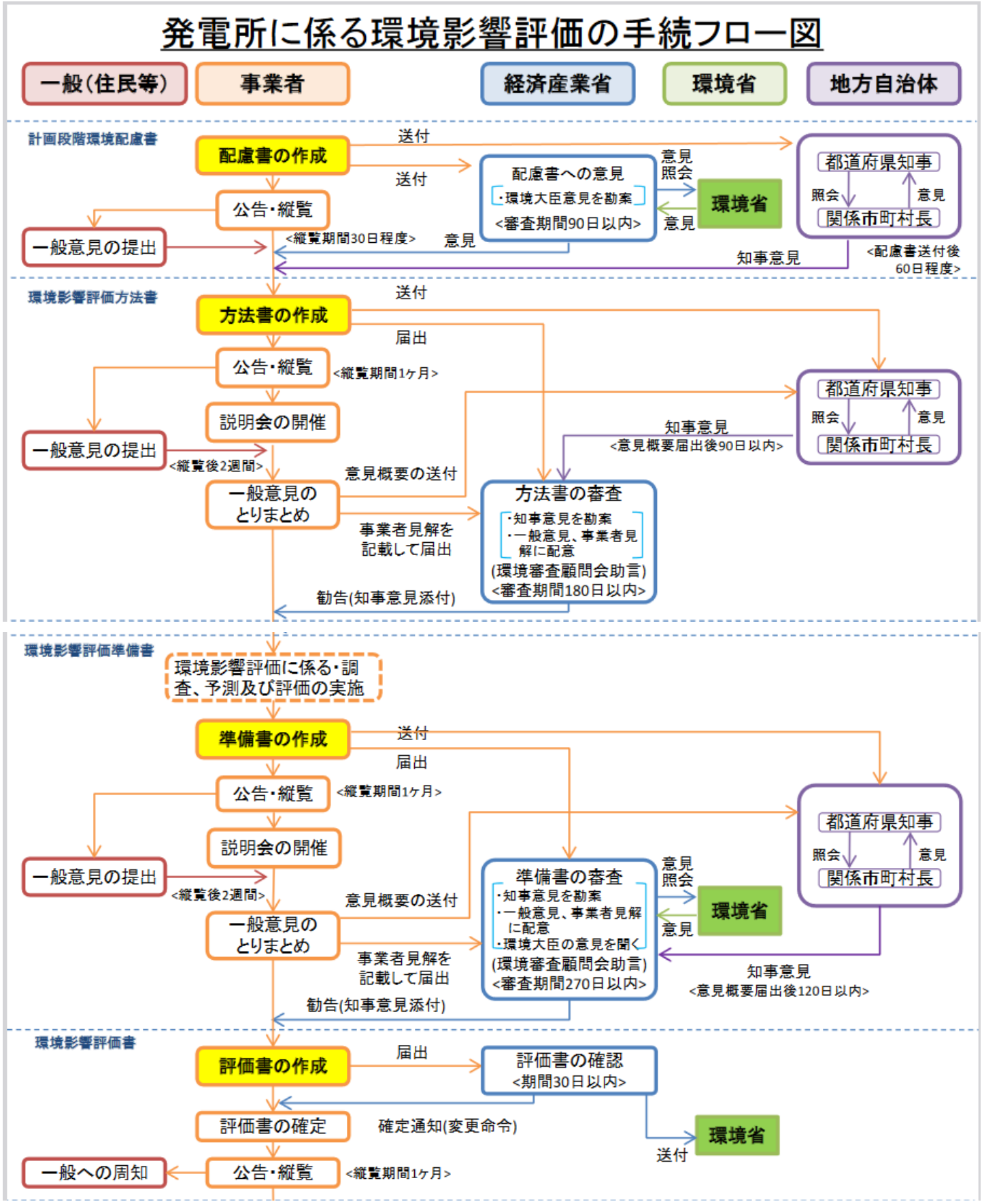
この誤魔化しのために、すり替えられる言葉が、聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値です。
聴覚閾値は、耳で聞いて、聞こえるか聞こえないかの境目と理解できるが、
感覚閾値の感覚は、聴覚による音の感知、指先の皮膚などでの触覚、半規管、耳石器での揺れや加速度の感知、内耳の前庭器官による気圧の変化の感知能力、などが考えられる。
多様な感覚の閾値を決定できるような実験は誰がどのように行ってどのような評価を受けているのかを明確にする必要がある。
知覚閾値にいたっては、知覚とは、感覚器官への物理化学刺激を通じてもたらされた情報をもとに、外界の対象の性質、形態、関係および身体内部の状態を把握するはたらきのこと。感覚と知覚の概念に含意されている意味は、それらの概念の研究史と密接な関係を持っている。

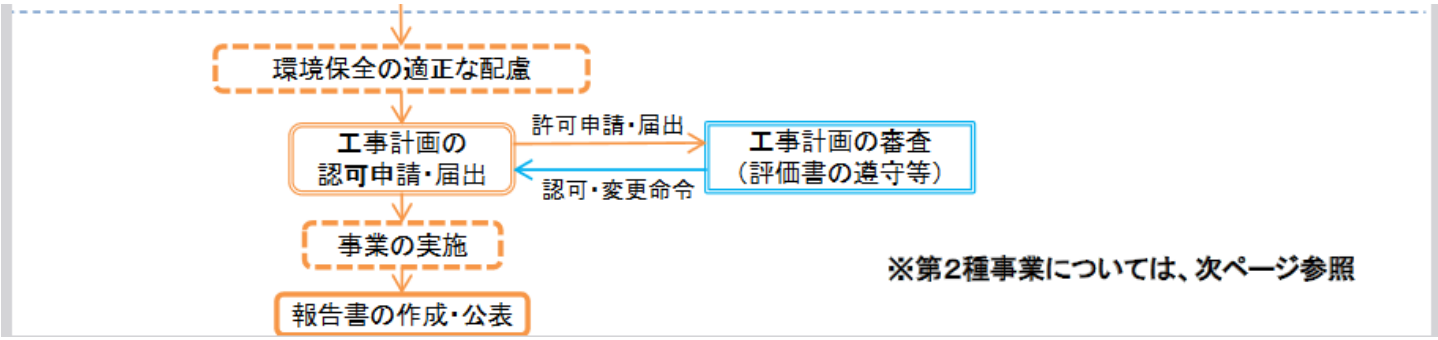
聴覚閾値に至らない粗密波による刺激でも、別の感覚で捕らえられる。さらに、様々な刺激をきちんと把握すれば、風車騒音による被害なのだと知覚できる。
聴覚閾値をスピーカーを使って実験室で調べようとしても。1Hz、0.5Hz の音を出せるスピーカは存在しないのです。感覚器官はいろいろあるので、感覚閾値を調べるのはさらに難しい。知覚閾値については何をどのように調べたら決定できると言うのだろうか？
この３種の閾値をわざと混同して使う事で、誤魔化そうとすることが多い。

ですから、業者は説明会資料を秘密にし、説明会の録音を禁止します。公開すれば内容の間違いや嘘が明白となってしまうからです。

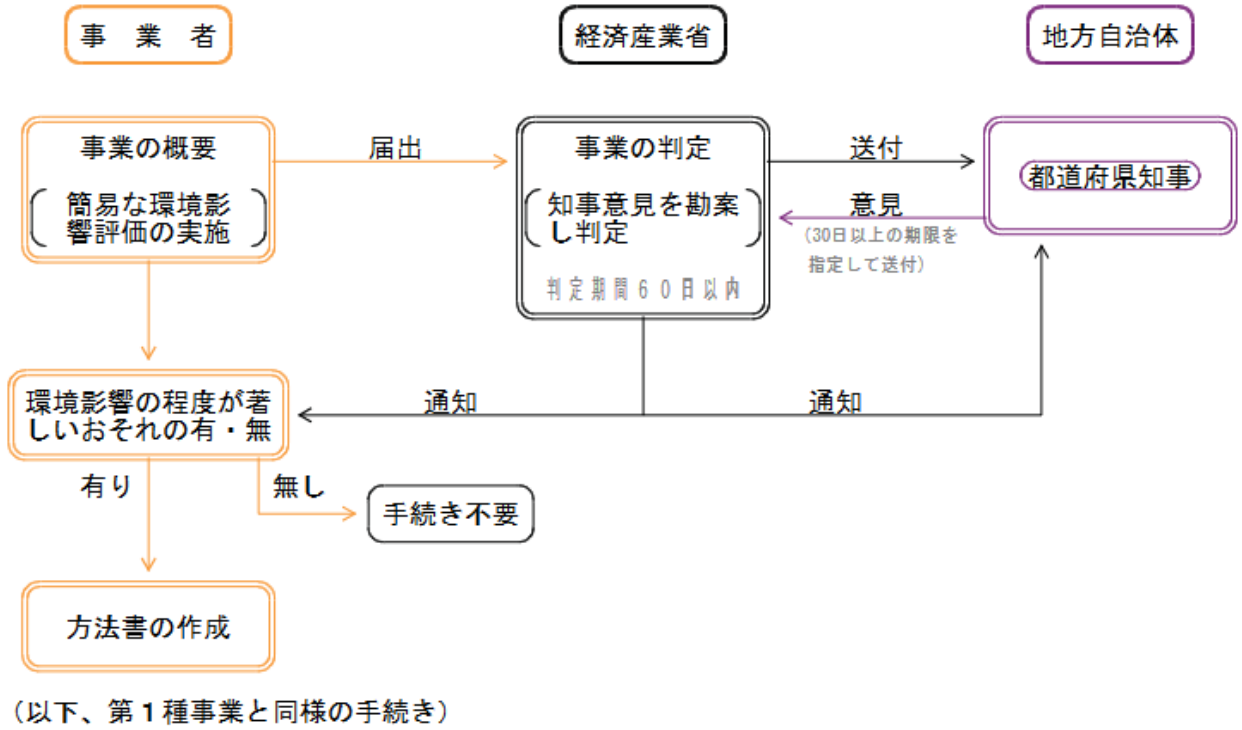
４．２　環境アセスと事業の進め方

では、事業の進め方は、どうなっているのでしょうか？





第２種事業の判定



配慮書、方法書、準備書、評価書と進みます。（規模が小さいときは配慮書は省略です。）

住民意見の提出は３回（配慮書で１回、方法書で１回、準備書で１回）

住民説明会は、方法書で１回、準備書で１回の合計２回です。多くの説明会は、録音禁止、配布した資料の公開禁止、となっています。対象は、風車から１ｋｍ以内の地域の住民に対してのみ行われます。

業者は環境省の資料を基にして風車から１ｋｍの範囲内で行うことが多い。時間は２時間程度です。（建設までの合計は４時間程度です。）もちろん、質問しても、まともな回答はありません。

準備書は 2000 ページ近くあります。これを２時間で説明するのは不可能です。読むだけでも２時間では無理です。

2000/（2*60）＝16.66 ですから、１分間に１６ページを読む必要があります。中には騒音の予測式もあります。しかも計算が間違っているものもある。書かれている数値の確認とコンピュータでの再計算をする必要がある。

もちろん、普段の生活では聞いた言葉が並びます。業者が計測したとする数値も問題です。住民が計測機材を購入しても、一緒に計測してはくれません。もちろん、自治体も協力してはくれません。

住民を胡麻化すための数値を並べます。例えば、室内での計測をしてくれません。防風スクリーンを付けて屋外で計測します。

理由は簡単です。防風スクリーンを付けると、低周波音の音圧は極端に低い値として記録されます。

室内には風が無いので、防風スクリーンは必要ありません。室内で、防風スクリーンを外して計測すればかなり高い音圧が測定されます。インチキな測定ですが、このインチキな測定をしなさいと言っているのが環境省なのです。

業者が“環境省の指導に従って正しく計測した数値”は住民から見れば、“被害を小さく見せかけるための数値”なのです。学者の多くは、“風雑音”と言って、この方法を支持しています。

また、

“環境省の風車騒音に関する検討会では，風車騒音のレベルとわずらわしさ（アノイアンス）の間には統計的な有意差があると報告する論文は複数あり，わずらわしさが睡眠影響を生じさせる可能性はあるものの，風車騒音が直接的に健康に影響する可能性は低いと報告されている 14).”

との主張を引用し、聴覚閾値と感覚閾値、知覚閾値を同一に扱い、問題点を胡麻化します。

特に重要なのは、

“風車騒音が直接的に健康に影響する”

の意味です。

風車音を聞いただけで心臓が止まるケースは少ないと思いますが、昼も夜も風車は回転を続けて、近隣住民の安眠を妨害し続けます。

睡眠不足となるので、子供たちは学校の授業中に居眠りします。仕事に集中出来ません。車での居眠り運転も増えます。体力が落ちれば熱中症にもなりやすい。

仕事にも、生活にも適さない土地になってしまいます。継続する安眠妨害は、住民の体力を消耗させるだけでなく、一度その土地を離れた人が返ってくることを妨げます。社会の存続基盤を破壊してしまいます。

風車騒音は、すぐには死なないとの観点から見れば、直接的に健康に影響するとは言い難いのですが、継続的に発生する風車音は、住民を拷問にかけて、その地域の活力を奪いつくすのです。

一度、意見書を書いてみれば分かりますが、業者はまともには答えません。正確に言えば、まともに答えると嘘が明らかになるので、回答できないのです。

要するに、住民からの意見をはぐらかしながら、２時間経てば、住民説明会が完了するのです。

もちろん、住民の過半数が反対しても、建設をストップさせることにはなりません。

業者が嫌な顔をするのは、

住民が説明会の１年以上前に、長くて細かい質問状を出して、“内容が難しいので専門家に相談するので、説明会の１年前には文書で回答して下さい。”と要求し、その回答に対する専門家の指摘を踏まえて、問題点を住民説明会で議論しましょう。

と言われたときです。

４．３　準備書と住民意見と事業者の見解

無責任な業者（三重県での GPI の準備書に対する意見と GPI 見解）

これを見れば、指摘されている問題の答えをはぐらかしていることは明白です。風車に対する反対意見を減らしたり、健康影響を減らしたりする内容の事業者見解ではないと思います。どの様な見解を示せば良かったのか、本巣氏が、その見本を示してくれることを期待します。

GPI の準備書に、土砂や水流についての記述がある。

d）予測方法

現地調査結果による現況と事業計画（造成計画）との比較対照により、浸透能の変化を予測した。

e）予測結果

事業計画では、主に稜線付近を造成（切土・盛土）して風車ヤード及び管理用道路を構築する。

風車ヤードは主に現在の尾根部に造成される。切土部分に分布する風化を受けた花崗閃緑岩は、節理が発達した比較的浸透能の高い岩盤であると推測されることから、ヤード表面を緑化あるいは砂利舗装等透水性が高い材料にすることで浸透能を確保することができると考えられる。また、花崗閃緑岩には 3 方向の節理が発達する（特定方向の亀裂を有する岩盤ではない）ため、岩盤中に浸透した水は特定方向に集中的に流れることなく、山中に均一に広がると推測される。

管理用道路は主に稜線からやや下がった山腹斜面上部に造成される。切土のり面と管理用道路への降雨は側溝及び横断溝を通じて近傍の斜面に放流される。また、盛土のり面では、のり面に緑化工を施すことから降雨のうちのある程度は盛土内に浸透してさらに盛土基礎地盤に浸透していき、盛土内に浸透しなかったものは小段排水溝・縦排水溝を通じて斜面に放流される計画である。したがって、斜面から渓流へと流れる現状と比べて、渓流の水量に大きな変化は生じないものと考えられる。

③ 評価の結果

(a) 環境影響の回避、低減に係る評価

事業の実施に伴う土地の安定性の確保等地形及び地質への影響を低減するための環境保全措置は、以下のとおりである。

・造成の具体的な設計（切土、盛土）については、施工箇所及び周囲の状況を把握し、必要に応じてボーリング調査や土質調査を実施して施工箇所の安定性を確認した上で、適切な工法を選定する。
・特に、対象事業実施区域の大部分に分布する花崗閃緑岩は、風化を受けると表流水等による侵食を受けやすいため、切土部は植生工等ののり面保護工によって安定性を確保する。
・風力発電機設置ヤードは、関係機関と協議の上で緑化あるいは砂利等透水性の高い材料で覆う等して、浸透性を確保する。
・管理用道路には横断溝を設置により分散排水を行い、侵食防止を図る。
・施工前及び施工中には定期的に会議等を行い、工事関係者に環境保全措置の内容の周知徹底を図る。

これらの環境保全措置を講じることで、事業の実施に伴う土地の安定性の確保等地形及び地質への影響は、実施可能な範囲内で影響の低減が図られていると評価する。

(b) 国又は地方公共団体による基準又は目標との整合性の検討

設計及び施工にあたっては、「三重県林地開発許可に関する規則（昭和 50 年 9 月 9 日三重県規則第 49 号）第 7 条に規定する技術基準」に準拠する。

切土のり面は計画切土勾配が 1：0.8 であり、風化の著しい岩や崩積土などについては、適切な対策工を付加する計画である。盛土のり面は必要に応じてボーリング調査や室内土質試験等を実施して安定性を検討した上で、適切な対策工を付加する計画である。土砂の堆積が推定される場所における盛土造成では、地質調査の結果を踏まえ、地盤改良や布団かご工などにより対策を行うことで土砂を不安定化させずに施工を行う計画である。

以上のことから、事業の実施に伴う土地の安定性の確保等地形及び地質への影響は実施可能な範囲内で影響の低減が図られていると評価する。

意見 63：

GPI が

縦排水溝を通じて斜面に放流される計画である。したがって、斜面から渓流へと流れる現状と比べて、渓流の水量に大きな変化は生じないものと考えられる。

と考えるのは自由だし、

これらの環境保全措置を講じることで、事業の実施に伴う土地の安定性の確保等地形及び地質への影響は、実施可能な範囲内で影響の低減が図られていると評価する。

予測を超える出来事が起こる時代である。台風も巨大化している、線状降水帯も発生する。

企業が最善を尽くすのは当然のことである。(GPI は住民からの質問状を無視したので、GPI が最善を尽くしていると認めているのではない。説明会を録音禁止にしたのは、最悪の行為だと思っている。)

でも、被害が出るのが、災害が起こるのが現実である。

GPI は、どのように責任を取るのかが書いてない。

大人は、“頑張ったのだけど”、と言っても許しては貰えません。責任を取るには、お金も、人材も必要です。GPI は責任について、どのように考え、どのような準備をしているのか、明確にすべきです。

事業者見解 4-61：

本事業の実施に当たっては、ご指摘のような土砂崩れ等が発生しないよう、現地の地形や地質を踏まえ、林地開発許可基準等に準拠した適切な設計・施工を行います。また、供用時は管理用道路や風車ヤードの適切な維持管理に努め、土砂流出等の不具合を確認した場合は、事業者の責任において復旧を行います。

見解 4-61 の問題点：

崩落が起きているのは、シーテックの風車に関連する道路などです。GPI は、

“土砂崩れ等が発生しないよう、現地の地形や地質を踏まえ、林地開発許可基準等に準拠した適切な設計・施工を行います。”

と言うが、まさか、シーテックが不適切な工事を行ったから崩落が起きたと思っているのではないでしょうね。

GPI は、配慮書の段階で、

大臣意見として、配慮書に関する、次の指摘を受けている。

> 「(仮称) 平木阿波ウインドファーム事業」における調査結果の活用や他事業者との情報交換等に努め、累積的な影響について、適切な調査、予測及び評価を行うこと。また、重大な影響が懸念された場合は、適切な環境保全措置を講ずること。

これに対して、GPI は次のように言っている。

> 他事業者の計画している風力発電設備や既存の風力発電所については、公開情報の収集や他事業者との情報交換に努めます。

当然、シーテックとの情報交換をしたと思われる。シーテックの工法が GPI の工法と比べて劣っているものだったのか、それとも技術的には同等の工法だったのかの確認は出来ていると思う。

“適切な設計”の中身が書いてない。どのような設計をすれば、すでに起きている崩落を防げるのかが、全く書いてない。

GPI は

“供用時は管理用道路や風車ヤードの適切な維持管理に努め、土砂流出等の不具合を確認した場合は、事業者の責任において復旧を行います。”

と言うが、何をどこまで復旧する計画なのかが書いてない。特に、崩落してしまった土砂の処理や具体的な対応に関する記述が全く見られない。崩落してしまった土砂に関しての具体策をします形での責任の取り方が準備書に書かれていない。

すでに起きている崩落を見れば、予測できる事柄なのに、具体的な対策を表明しない。準備書で具体的案崩落対策を表明すれば、GPI に対する信頼が増します。

他事業者との情報交換等に努め、累積的な影響について、適切な調査、予測及び評価を行うこと。

とあるのだから、近隣の業者に聞けば、河川の土砂撤去の費用は分かるし、流出する土砂の累積的な影響も簡単に予測できる。

GPI は自らの発言にしっかりと責任を持ち、その責任感を準備書の中に反映させるべきであった。

考えるのは勝手だが、現実が GPI の予想と違っていた場合には、責任をとるのだろうか？

それとも、

これらの環境保全措置を講じることで、事業の実施に伴う土地の安定性の確保等地形及び地質への影響は、実施可能な範囲内で影響の低減が図られていると評価する。

実行可能な範囲内で影響の低減を図ったから、その後何が起こっても責任は取らない。

と言う事なのだろうか？

この地域では、風車建設に関連して、路肩の崩落などが起きている。他社も、GPI と同様の工夫をして工事をしたはずである。

でも、崩落が起きてしまった。同じような地質の場所に、同じような道路を作るのだから、当然崩落は起きると予測すべきである。崩落が起きれば、土砂の被害が出る。

実際に、崩落している道路が近くに存在する現実に踏まえての予測をして、その責任をどうとるのかを明確にしなくてはなりません。

頑張ったけど、できなかったというような言い訳が通るのは、小学生までです。

いくら、予測が気楽であっても、現実は厳しい。土砂で河川や水路が埋まる。これを放置すれば、大雨の時に、土砂によって作られた自然堤防が決壊して、洪水に見舞われます。現実に即して土砂の動きを予測しで、土砂の撤去費用を計画に盛り込んでおかなければなりません。

この地域に住む友人は、GPI に対する質問状の中で、

阿波地区の山肌が非常に崩れやすいことを認識しているか、実際にたびたび崖崩れが起きていることは認識しているか、岩石の硬さ、脆さについては調査しているか、ウィンドパーク笠取の風力発電施設では土砂崩れが放置されている。

阿波地区で同様の土砂崩れが起きた場合、どう責任を取るのか、またそれをふまえて、風車の振動の、地中での伝達とその影響についてどのように考えるか、そして、その根拠はどのような調査や実験によるものなのか？

と書いていた。

しかし、GPI はこの質問状を無視して、住民説明会で答えることは無かった。
因果関係が証明されない限り、責任を取る気は無い。
とでも言うのでしょうか？

GPI は自分で、次のようにも言っていた。

> 他事業者の計画している風力発電設備や既存の風力発電所については、公開情報の収集や他事業者との情報交換に努めます。

近隣地域の同業者との情報交換に努めれば、土砂崩れの問題は、すぐに分かるはずです。大幅に崩落して道路が無くなれば、風車のメンテナンスも、修理も、撤去作業も出来なくなります。

気楽な予想を立てても無意味です。

意見 64：

GPI は可能な限りの低減策をとったから後は、責任を取りませんと言うのでしょうか？

> これらの環境保全措置を講じることで、事業の実施に伴う土地の安定性の確保等地形及び地質への影響は、実施可能な範囲内で影響の低減が図られていると評価する。

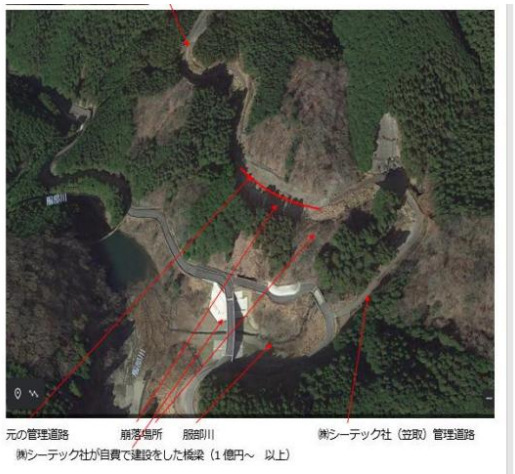
GPI は土砂問題、道路崩落に関する考え方を、近隣の地域で起こっている崩落についての認識を示し、それに基づいて、責任及び対象方法について明確に述べる必要がある。

事業者見解 4-62：
本事業の実施に当たっては、ご指摘のような土砂崩れ等が発生しないよう、現地の地形や地質を踏まえ、林地開発許可基準等に準拠した適切な設計・施工を行います。また、供用時は管理用道路や風車ヤードの適切な維持管理に努め、土砂流出等の不具合を確認した場合は、事業者の責任において復旧を行います。

見解 4-62 の問題点：
GPI は自ら次のように書いていた。

> 他事業者の計画している風力発電設備や既存の風力発電所については、公開情報の収集や他事業者との情報交換に努めます。

では、この見解の中に、情報交換の結果についての記述が無いのは何故か？
　シーテックも、“土砂崩れ等が発生しないよう、現地の地形や地質を踏まえ、林地開発許可基準等に準拠した適切な設計・施工を行”ったと考えています。
　十分注意し、林地開発許可基準に準拠した適切な設計・施工と行ったにもかかわらず、大規模な崩落が起きています。
　GPI はシーテックとの情報交換で、シーテックの工事方法が適切ではなかったとか、工事方法に大きな欠陥を見つけたのでしょうか？
　まさか、情報交換をしていないなんて言う事は無いでしょうね。GPI 自ら情報交換に努めますと書いているのです。情報交換の内容について、住民に報告の文書を配布して下さい。



配布する文書の中では、この写真を参考にしながら、このような大規模崩落が起きないようにするための、工事の改良方法に関して、具体的に示すべきです。
　それなくして、何のための情報交換なのかが分からなくなります。それと、情報交換した日時、場所、参加者についても記載して下さい。再確認をします。

　路肩が崩落して、川を埋めているので、その土砂を撤去している風力発電の会社もある。
これには、費用がかかる。このことは、事業の採算性を考える要素として重要であり、最初から予測しておかなくてはならない事項です。

さらに、準備書 880 ページには、

（ii）予測結果

沈砂池からの排水濃度の予測結果を表 10.1.6-12 に、予測地点における水質を表 10.1.6-13 に示す。

降雨強度 3mm/h における沈砂池からの排水の浮遊物質量の濃度は 9.1～24.1 mg/ℓ、降雨強度 10mm/h における沈砂池からの排水濃度は 16.5～45.8 mg/ℓ、10 年確率降雨である降雨強度 188.9mm/h における沈砂池からの排水濃度は 70.9～335.8 mg/ℓ であった。

これら排水が沢に流入した後の、各沢の水質調査地点における最大の浮遊物質量の濃度は、降雨強度が 10 年確率の 188.9 mg/ℓ の場合であり、沈砂池(1)の排水が流入する「水質-4」では現況の降雨時の 4 mg/ℓ から 4.2 mg/ℓ に、沈砂池(2)及び(3)の排水が流入する「水質-5」では現況の降雨時の 3 mg/ℓ から 3.7 mg/ℓ に、沈砂池(4)の排水が流入する「水質-3」では現況の降雨時の 8 mg/ℓ から 9.1 mg/ℓ に、沈砂池(5)及び(10)、(11)の排水が流入する「水質-2」では現況の降雨時の 9 mg/ℓ から 14.2 mg/ℓ に、沈砂池(6)及び(8)の排水が流入する「水質-1」では現況の降雨時の 4 mg/ℓ から 5.9 mg/ℓ に、沈砂池(7)の排水が流入水「水質-8」では現況の降雨時の 14 mg/ℓ から 14.3 mg/ℓ に増加すると予測された。全体的に開発面積が小さいことから、濁水への影響は小さいものと考えられる。

意見 65：

土砂の撤去費用は、GPI が全額負担すべきだと考える。まさか、崩落した土砂が川を埋めたことの証明ができるまでは、撤去費用を負担しないつもりなのであろうか？もしそうならば、盛り土のすべての粒子を着色しておいて下さい。

裁判で負けるまでは、責任を取らないという考えもある。GPI は土砂崩落についてどのような責任をとるつもりなのか、裁判をしなくても費用を負担する気持ちがあるのか無いのかを知りたい。

事業者見解 4-63：

本事業の実施に当たっては、ご指摘のような土砂崩れ等が発生しないよう、現地の地形や地質を踏まえ、林地開発許可基準等に準拠した適切な設計・施工を行います。また、供用時は管理用道路や風車ヤードの適切な維持管理に努め、土砂流出等の不具合を確認した場合は、事業者の責任において復旧を行います。

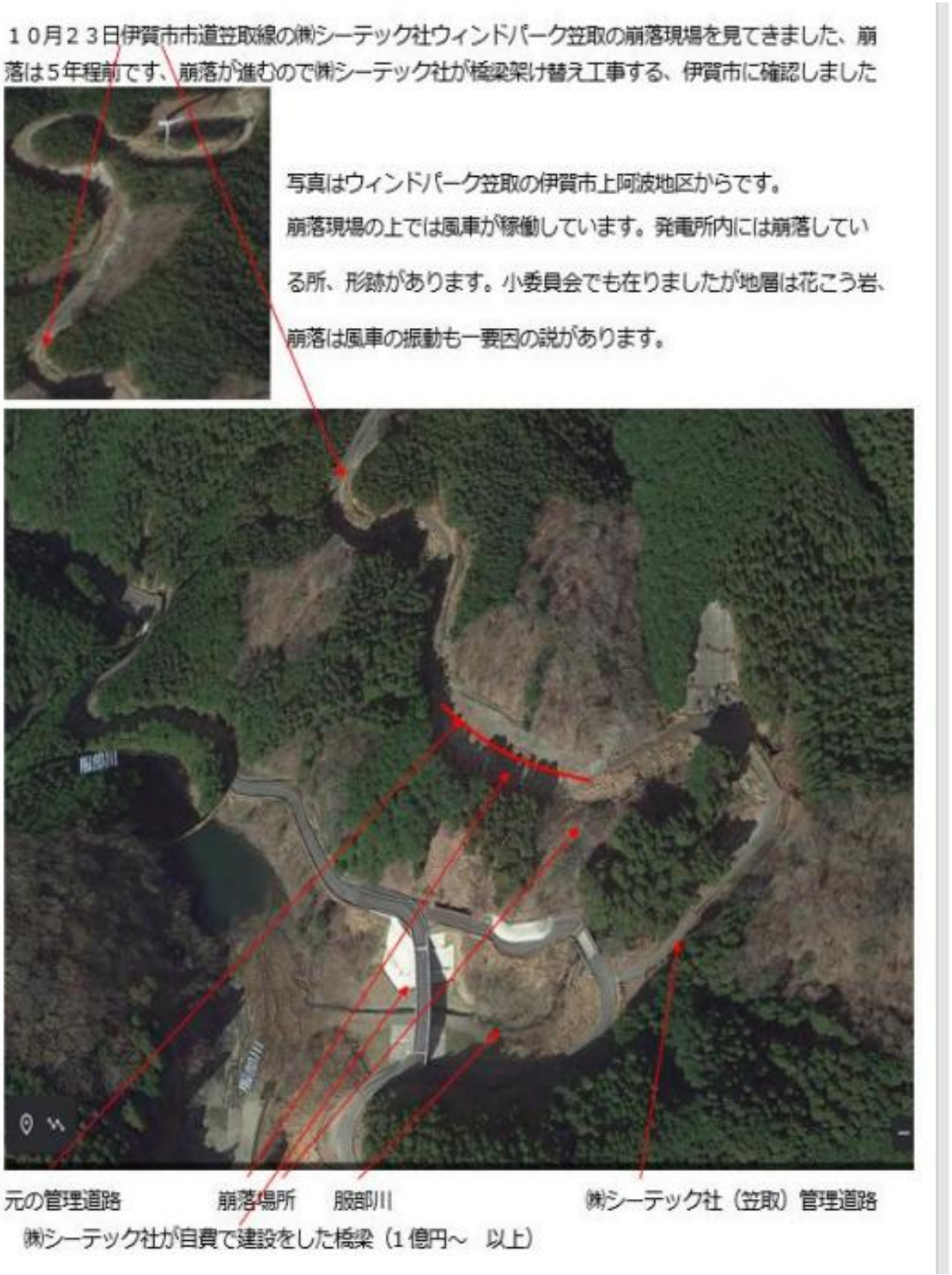
見解 4-63 の問題点：

準備書 880 ページの記述では、この地域で実際の起きている崩落についての考察が全く書けている。
この写真のような崩落が起きるので、土や石が動きやすくなり川や水路を土砂で埋めます。

予測の好きな GPI は、路肩崩落の可能性や、その規模についての予測を書くべきです。
また、撤去費用は、シーテックにいて聞いてみれば、すぐ分かります。あとは、シーテックの崩落現場と GPI が計画している場所の斜度の比較、地質の比較、植物の種類の比較をすれば、崩落の予想は出来ると思います。

その上で、誰がどの様に責任を取り、土砂の撤去、崩落現場の復元、植物の再生などを次資するのかを明

記しなくてはなりません。



GPI は“管理用道路や風車ヤードの適切な維持管理に努め、土砂流出等の不具合を確認した場合は、事業者の責任において復旧を行います。”
というが、管理道路や風車ヤードの復旧の事ではありません。その外に流れ出て、農業用の水路などを塞いでしまう土砂の撤去の事です。
　GPI は、自分の所しか復旧しないのでしょうか？広範囲に流れ出た土砂は、回収しないのでしょうか？水路復旧のお金を GPI が払います。人員を確保して必ず水路を、全て復旧させます。住民から連絡があれば、

GPI の社員が直ちに出向いて水路の土砂を撤去します。と言ってみてはどうですか。

これは、他の地域でも起こっている事柄です。

この沈砂池は、工事のとき、大量の泥水が海や住宅地に流れ込んだため、対策として作られたものですが、大雨の後はこれがあふれてしまい、さらにもう一つ作ったそうです。
これも全国の風車建設現場で起きている典型的な公害。滝根小白井ウィンドファームでも、建設中から降雨後の泥水流出がひどく、下流の夏井川では岩魚や山女が産卵できなくなり、夏井川漁協が事業者に補償を求めました。

沈砂池ひとつではとても間に合わなかった泥水流出公害

建設予定地の近くでも、他の地域でもよく起きている問題なのに、GPI の予測には、崩落と土砂撤去の問題についての記述が無い。

“裁判で因果関係を証明するのは困難だから、裁判で負けることは無い。”
だから、無視して居直ればよいとでも考えているなら、記載しなかった理由もよく分かる。
もちろん、これは私の邪推である。GPI が崩落と川や水路からの土砂撤去について触れていない理由がきっとあるのでしょう。

意見 66：
土砂撤去について触れていない理由を書くべきです。そうでないと、私以外にも、邪推する者が出てきてしまいます。GPI の名誉のためにも、この誤解を解いてくれる説明を期待します。

さらに、GPI が過去に、土砂崩落の責任を取って、河川の土砂撤去や用水路の土砂撤去を GPI の負担で実施した実績についても書いて下さい。

土砂崩落によって農業用水路が埋まるという事態は、風車が撤去され、自然が回復するまで継続的に起こる事柄です。土砂撤去の年間予算を計上している事でしょうから、１か所について、費用と撤去回数、全体での費用と撤去回数を示して下さい。

道路は劣化して、崩落する土砂は増大すると予測されます。土砂撤去費用は将来どの程度まで増大すると予測しているのかも書いて下さい。

これがあれば、農地を管理する人は、自分で土砂を撤去した場合に、撤去費用を安心して請求できます。この請求があった時には、裁判なしで支払ってくれますか？それとも、裁判で負けるまでは、土砂撤去の費用を払わないつもりですか？

私は、裁判なしで、土砂を撤去した人からの支払い要求があったら、時給 2000 円くらいですぐに支払うべきだと思っています。GPI の考えを伺いたい。

事業者見解 4-64：

環境影響評価準備書における影響要因及び環境要素は、「発電所に係る環境影響評価の手引」（令 和 2 年 経済産業省）に示されている参考項目を基本に、本事業の内容や地域特性を勘案したうえで選定したものであり、これまでの配慮書や方法書の手続きの審査において指摘された事項も加味したものとなっています。

見解 4-64 の問題点：

GPI は、過去において、土砂崩落に対してどのような形でその責任を取ってきたのかの、具体例を聞いているのです。

それを書いてくれれば、土砂崩れがあっても、それなりに責任を取る会社だと分かります。具体的な事例が書かれていないのでは、計画に対して許可が出たのだから、土砂崩れがあっても、GPI は責任を取りませんと言っているように見えてしまいます。

最近は、大きな台風や、大量の雨も降ります。過去のデータをもとにして許可が出たとしても、自然条件は大きく変化しているのですから、危険性は増しています。その危険性を指摘されているのに、この見解では、危険性は知っているが、GPI の工事が原因で、大きな災害が起こっても、GPI は決して責任は取りません。と断言しているように見えてしまいます。

この GPI の見解を多くの人が見ます。このままでは、GPI が無責任な会社だと誤解されてしまいます。

経済産業大臣は次のように言っていた。

> 「（仮称）平木阿波ウインドファーム事業」における調査結果の活用や他事業者との情報交換等に努め、累積的な影響について、適切な調査、予測及び評価を行うこと。また、重大な影響が懸念された場合は、適切な環境保全措置を講ずること。

他事業者との情報交換等に努め、累積的な影響について、適切な調査、予測及び評価を行うこと。

とあるのだから、近隣の業者に聞けば、河川の土砂撤去の費用は分かるし、流出する土砂の累積的な影響も

簡単に予測できる。

意見 67：

土砂撤去の費用は、風車の経済性に係るので、事前に予測すべき事項です。

大臣の言葉は、“必要経費の予測を正確にしておかないと、GPI は倒産してしまいますよ。”とのアドバイスである。普通の企業ならば、土砂撤去の費用を予測に組み込んで事業の収益を予測するでしょう。

河川の土砂撤去について、他事業者との情報交換はしたのか？していないならば、大臣の助言を無視したことになる。必要となる経費を考慮しないのは、支払う意思が全くないからだとしか思えない。

事業者見解 4-65：

環境影響評価準備書における影響要因及び環境要素は、「発電所に係る環境影響評価の手引」（令和 2 年 経済産業省）に示されている参考項目を基本に、本事業の内容や地域特性を勘案したうえで選定したものであり、これまでの配慮書や方法書の手続きの審査において指摘された事項も加味したものとなっています。

見解 4-65 の問題点：

準備書の記載が不十分だから、準備書に対する意見を書いたのです。

準備書を書くときに、“これまでの配慮書や方法書の手続きの審査において指摘された事項も加味したものとなっています。”でしょうが、この結果としての準備書が、指摘されて事項をどのように具体的に加味したのかが、見つけられません。

具体例に沿って、土砂崩れに対する予防及び、土砂崩れ発生後の対処について考えたのかが、全く書かれていないのです。

さらに、GPI が自ら次のように書いていた。

> 他事業者の計画している風力発電設備や既存の風力発電所については、公開情報の収集や他事業者との情報交換に努めます。

情報交換の結果についての記述が無い。

これらについて、準備書に書いてあると言うならば、準備書の何ページに書いてあるのかを、示すべきでした。他の事項に関しては、準備書のこのページの記載がある。と言いうような見解が書いてあるのに、見解 4-65 はそのような指摘が無い。

もちろん、どこかに書いてあるかもしれない。これに関しては、さらに住民に対しての報告として文書で配布すべきです。

いくら計画しても、その通りにはならないのが現実です。

そして、その時には、責任を取らなくてはならなくなるのです。事前に危険性を指摘されても、工事を強行するのですから、その責任はさらに重いものとなってしまいます。

裁判では、弁護士を頼んだだけで、150 万円はかかります。調査研究費用は別となり、裁判期間は１０年から 20 年と予想されます。これを住民が負担するのは困難です。

裁判の途中で、破産し、倒産したら、法人としての GPI は無くなります。破産すれば、土砂撤去費用は GPI からは貰えません。

道路を作るために変形した山の斜面の傾斜角が工事前の傾斜角に戻るまでは、工事が原因での土砂崩落は継続します。完全に戻るには 50 年、100 年と続きます。その間、住民は用水路の土砂撤去を継続しなくてはなりません。時給 2000 円、1 日 5 時間、作業 1 回が 5 日間、年に 4 回、200 戸の農家が行うと、1 年で 2000*5*5*4*200＝10000000 で、1000 万円です。10 年で 1 億円、50 年で 5 億円、100 年で 10 億円です。
土砂撤去に関しては、風車撤去費用とは別に、10 億円くらいは、工事開始前に、三重県に現金で支払い、GPI が倒産しても、土砂撤去の費用に、三重県の税金を使う事が無いように配慮すべきだと考えます。

企業にもいろいろな考え方があるでしょう。近隣で風車を建設した企業の中には、河川の土砂撤去を自社の負担で実施しているところもあります。
もちろん、
住民は、貧乏だから裁判費用は出せない。因果関係の証明は非常に困難だ。裁判は最高裁まで争えば 20 年くらいはかかる。判決が出る前には倒産しているから、土砂撤去に費用は払わなくて済む。
と言う考え方もあります。

風力発電の会社が倒産することはよくあることです。私の家の近くには、倒産した会社な立てた風況観測のポールが２０年近くそのままになっています。
土地を貸す約束をして、お金を受け取っているのがから、責任は土地所有者にあります。これが倒れて被害が出たら、土地所有者が賠償責任を負うと考えます。

これが、風車だったらどうでしょうか？
風車の撤去には、1 基 3 億円かかると言われています。これを撤去して、道路も無くして、植林して、下草を刈って、元の状態に戻るまで 50 年かかります。その費用は、10 億円でもたりないとおもいます。
電気の価格も変化します。洋上風力では、極端に安い価格で電気を提供する契約が成立したそうです。
当然、陸上風力発電の買取り価格も下がるでしょう。

三重県から、情報開示請求で入手した準備書 1909 ページを全て確認したが、撤去計画、撤去費用、建設費用の記述は無かった。
儲けを明らかにしたくない気持ちは分かるが、倒産後に風車の撤去を要求された地主はどうしたらよいのでしょうか？
準備書にはそのことの記載が必要です。GPI 倒産後の裁判で、損害賠償を請求されるのは地主です。あまりにも配慮が足りません。

意見 68：
風力発電の会社が倒産することはよくあります。倒産した後の始末はどうなるのか、1 基撤去するのに 3 億円くらいかかるようです。
GPI が倒産したら、3 億円* 9 基+山の形態の復元費用+植林費用+草刈費用がかかります。
草刈は植えた木が成長するまで 10 年くらいはかかります。必要な人件費はかなりのものです。

倒産に備えて、GPI は事前に撤去費用、自然回復の費用の総額を、三重県に現金で提出すべきだと考えます。

大まかに言って、50 億円から１００億円くらいでしょうか？工事開始前に払ってもらわないと、撤去の費用として住民の税金が使われてしまいます。

保険のようなものがあると聞いたのですが、実際には機能していません。私が住んでいる地域では、倒産した会社が建てた風速計のポールが 20 年以上そのままです。

工事前に、50 億円から 100 億円くらいは三重県に提出して、２０年経って風車を撤去するときに返してもらえば、GPI も損はしないし、三重県も、住民も少しは安心できます。

事業者見解 4-66：

風力発電所は永続的な風資源を利用することから、部品交換やリプレイス等で事業を継続していくことを考えています。他方で、万一、事業が継続できなくなった際に備えて、法令等に基づき撤去費の積み立ても行います。

見解 4-66 の問題点：

さて、“万一、事業が継続できなくなった際に備えて、法令等に基づき撤去費の積み立ても行います。”と言うが、問題はその金額である。

1 基あたりの年間積立額が示されていない。そして、撤去費用との比較が無い。撤去後に山の自然条件を回復する費用と時間が全く書いてない。

やはり、工事前に現金で 100 億円を三重県に提出しておく必要があると考えます。

さて、次の記述もある。

3) 評価の結果

① 環境影響の回避又は低減に係る評価

造成等の施工による重要な種及び重要な群落への一時的な影響並びに地形改変及び施設の存在による重要な種及び重要な群落への影響を低減するため、以下の措置を講じる。

・風力発電機及び搬入路の設置に伴う樹木の伐採は必要最小限とし、改変面積、切土量の削減に努める。
・造成により生じた裸地部については、必要に応じて緑化する。緑化に当たっては、可能な限り造成時の表土を活用し、植生の早期回復に努める。
・改変部分には必要に応じて沈砂池を設置し、濁水流出を防止する。
・土砂の流出を防止するため、土砂流出防止柵等を適所に設置する。
・重要な種の生育環境の保全を基本とするが、計画上やむを得ない場合には対象事業実施区域周辺において、現在の生育地と同様な環境に移植するといった方策を含め、個体群の保全に努める。移植を検討する際には、移植方法及び移植先の選定等について専門家等の助言を得る。
・改変区域外への工事関係者の必要以上の立ち入りを制限する。
・工事中は定期的に会議を実施し、環境保全措置の内容について、工事関係者に周知徹底する。

これらの環境保全措置を講じることにより、造成等の施工による重要な種及び重要な群落への一時的な影響並びに地形改変及び施設の存在による重要な種及び重要な群落への影響は、実行可能な範囲内で回避、低減が図られているものと評価する。

意見 69：

さて、“実行可能な範囲で回避、低減が図られているものと評価する。”
とあるが、建設した風車を撤去して、原状復帰するのも、実行可能な手段だとの考えはないのでしょうか？
撤去が実行不可能であるというなら、実行不可能な理由を理論的に述べて下さい。
そもそも、実行可能か否かは、誰がどの様な基準で判断するのでしょうか？もし、裁判所だと言うならば、住民が裁判で勝訴するまでは、判断保留です。
最高裁まで争えば、判断までに 20 年かかります。
GPI の考えを詳しく述べて下さい。

事業者見解 4-67：
環境影響評価では、自己の責任で事業の実施に伴う環境への影響について配慮することが適当との観点から、事業者が実施するものであり、事業者として実行可能な範囲を判断しております。その内容については、環境影響評価手続きにおいて経済産業省や三重県で審査頂くことになりますので、引き続き環境影響評価の手続きを通してよりよい事業になるよう検討してまいります。

見解 4-67 の問題点：
GPI は、“事業者が実施するものであり、事業者として実行可能な範囲を判断しております。”と言っている。

これでは、大規模な災害の原因になっても、GPI の儲けにほとんど影響がない範囲でしか、支払わないと言うようにも聞こえる。
　世の中には、保険制度があります。しっかりとした保険金を払っておけば、GPI が潰れても、保険金で風車を撤去し、自然を回復させることが可能です。
　保険金の受取人を三重県にしておけばよいのです。これも、実行可能な範囲の選択肢です。

予測した以上に、貴重な植物が枯れてしまうようなこともあると思います。
この場合は、枯れた原因が GPI の風車建設にあると認めますか、認めませんか？
1 本 1 本の植物について、枯れたことと風車建設の因果関係についての証明を必要だと考えますか？
GPI は何をどのように示したら、因果関係があると認めるのですか？
裁判で判決が出るまでは、因果関係を認めないのですか？

意見 70：
　貴重な植物が枯れてしまった場合について、GPI が、枯れたことと風車建設との因果関係があると認める場合の必要十分条件を示すべきです。具体的に示して下さい。

事業者見解 4-68：
ご指摘の貴重な植物を含め、すべての生物には寿命があり、自然状態での環境変化に伴う消長があります。そのため、貴重な植物の枯死と事業による影響との因果関係については、当該種の生態的特性や周辺の環境条件、同一種の周辺個体の状況、専門家への聞き取りなどを総合的に踏まえて判断する必要があると考えます。

見解 4-68 の問題点：
　さて、
（仮称）平木阿波ウィンドファーム事業及び
（仮称）平木阿波第二ウィンドファーム事業に係る環境影響評価準備書
環境影響評価委員会小委員会 議事概要
日時：令和 4 年 8 月 29 日（月）14：00～17：00
場所：三重県勤労者福祉会館 講堂
において、工事に伴う環境変化に関して次のような質疑応答があった。
委員：改変部分がすごく小さいから、影響が小さいということなのですが、原則改変してはいけない場所となっているわけですので、少しでも改変する場合は、どのような影響が出るかは、ものすごく慎重に評価しなければならないと思います。方法書の審議の時には、水に関する意見もかなり出ていましたが、今のお答えでも改変部分が少ないからと言われていて、それで、果たしていいのかと思います。特に浸透能が確保するからいいということですが、浸透すればいいというわけではなく、全部が急速に浸透すれば、すごく悪影響があるわけで、尾根部のところに、樹木群集が成立しているということで、土壌を支えていたり、或いは浸透するにしても一気に浸透しないといった機能もあるわけですよね。そこを全部改変してしまって、地形も変わるわけなので、その影響というのはとても慎重に評価しないといけないのではないかと思います。そのような姿勢が、この記述では考えられないということです。また、他の委員も緑化のことについて意見い

ただいていると思いますが、これだけ鹿の食害が強いところでは、緑化はうまくいかないんじゃないかなと思います。仮に緑化する場合に、地域の在来種を使って緑化することを方法書の審議の際には強く言われていたと思いますが、準備書ではそういったことが書かれていないので、どうお考えかお聞かせください。
事業者：緑化方法につきましては、今ご指摘いただいたように、生態系の観点からは在来種の方が望ましいという考え方になるかと思います。他方、土地の安定性、法面の安定性という意味では在来種でない種を使ってでも早期緑化する方が望ましいというような考え方もあるところですので、具体的に現地の状況、或いは周辺の植生を見ながら、今後検討していきたいというふうに考えています。
委員：方法書の審議の際に、他の委員の方から在来種を使うことについて、調査と並行しながらも種子を採取するといったことが、調査まで時間がある中でできるのではないかという意見に対し、それも含めて検討すると言われたわけですが、これだけ時間が経過した中で今のご回答ということは特にそういった在来種を地域で集めて使うという考えはないということですか。
事業者：考え方としては、先ほど述べさせていただいたとおりです。実際の緑化方法については、本日もご意見いただいておりますので、今後情報収集しながら検討したいと考えています。委員：多分鹿の食害でうまくいかないと思います。切った跡のところで緑化しても定着をしにくいような状態だと思いますので。改変したところの周りを、鹿の防護柵で囲うなど、緑化を成功させて、その場所の植物を保全するための積極的な手法を検討されてもいいかと思います。
事業者：今アドバイスいただきいただきました食害が強く想定されるような場合においては、柵を使うようなことも含めて、検討したいというふうに考えます。
委員：最後になりますが、準備書で何度も不確実性という言葉が出てきていて、当然予測には不確実性が伴うとは思いますが、地域の方からは肯定的なコメントとは言い切れないような意見も確認できます。この地域はすでに 100 基ぐらいの風車が立っていて、今回の事業と直接的に関わり合いはないかもしれませんが、住んでいる方にとって見たら、結局どこの会社がやっていてもどんどん増えて、１個１個に不確実性が伴うと、累積することで、地域の方々にとっての不安要素というのはどんどん大きくなるわけですよね。そういったことをしっかり考えないと、いつまでたっても理解は進まないのではないかと私は思います。なのでさっきのここでやる意義とかですね、なぜここで必要なのかということを明確にして理解を求めるような姿勢がないと、この一部の地域にどんどん風車を立ててカーボンニュートラルとなったとしても、それは本当に地域の一部の方々に負担を強いる形で実現するという極めてアンフェアに感じますので、それでもこの場所で事業をする意義というのがあるのであれば、それを記載する必要があると思います。
事業者：地域の皆様の理解を醸成していくにあたってコミュニケーションをとっていくべきということだと思いますが、ご指導いただいたように、積極的に事業の必要性を含めてコミュニケーションを図っていきたいと思います。
さて、
専門家から、
委員：**方法書の審議の際に、他の委員の方から在来種を使うことについて、調査と並行しながらも種子を採取するといったことが、調査まで時間がある中でできるのではないかという意見に対し、それも含めて検討すると言われたわけですが、これだけ時間が経過した中で今のご回答ということは特にそういった在来種を地域で集めて使うという考えはないということですか。**
と言われても、
GPI は種子の保存に関しての答えをはぐらかしている。それは、専門家の指摘は無視すると言う事になってしまいます。
また、

事業者：地域の皆様の理解を醸成していくにあたってコミュニケーションをとっていくべきということだと思いますが、ご指導いただいたように、積極的に事業の必要性を含めてコミュニケーションを図っていきたいと思います。
とは言うのだが、
住民説明会の前に、住民が疑問に思う事を質問状として GPI に提出した。文書で回答するように求めていたので、文書で回答しておけば、地域の皆様の理解を醸成できたと思うのだが、GPI は質問状を無視した。コミュニケーションを取る気があるなら、なぜ住民の疑問に文書で回答しなかったのか？
GPI が事業の必要性を文書で説明することが出来る機会があったのに、それを実行しなかった。準備書に関する市民からの意見が出て、事業者落としての回答をした。
今後コミュニケーションを図ると言うならば、具体的な方法を述べて欲しいものである。そして、その説明は文書を併用した形での説明会とすべきであり、その文書に関して住民からの疑問が上がったら、回答を公開しながら、理解を深めるべきである。
文書に関してはこれまでの質問や、計測要求にも十分こたえてゆくべきである。最新の科学技術の成果を踏まえての議論が必要である。
説明文、質問状を、英語に訳して、それをネットに公開して、世界中からの意見も集めるべきである。そうすれば、住民も納得しやすくなる。
私も、外国の友人で振動解析の仕事をしている人に、議論に参加してくれるように頼んでみます。

４．４　南房総市の市民と業者

経過：(風車質問状（南房総）)

南房総市では、

平成１６年に風力発電所（以下、風車）建設計画がありました。その時は、青年会のメンバーを中心に住民からの反対署名を集めて、区長、市長に提出し、区や市からも反対の意見を提出してもらいました。業者に提出してあった地権者の同意書を取り返しました。その結果、企業はその計画を取りやめました。

2020 年 10 月ころに、JRE が、新たに風車を計画し、風速や風向を計る機器を設置したいとの回覧板が回ってきました。すぐに企業に電話して、質問状を出すから答えてくれるようにお願いしました。

2020 年１１月に、企業のほうから、会って話を聞きたいとの連絡があり、企業の方２名と地元の人３人で会って話しました。

その時は、こんな内容で質問するから、準備してくださいとお願いしました。また、JRE が山形県の説明会で住民に配布した説明会資料を下さいとお願いしたが、断られました。

平成１６年は、神奈川に住んでいたのですが、故郷の出来事なので、風車や超低周波音について調べたりしました。その時に書いたものが“風車における超低周波音について”、“音響キャビテーション”でした。

2020 年は、地元に住んでいる住民の一人として、この問題を受け止め、対応を考えました。

地元に住む人間という立場からの様々な質問を書いて、住民説明会の前に回答をもらって、それを印刷配布した状態で説明会を迎える。ことを目標にしました。

資料を集めて、質問状“風車質問状（印刷回覧)”を書いたのは私ですが、普段は海に潜って漁をしている友人や、イノシシの有害駆除で一緒に活動している人、郵便局の局長さん、地域の診療所の医師、地域の組長さん、など、いろいろな人に読んでもらって、地域住民からの質問状として相応しいかどうかを確認しました。

好意的な反応が多かったので、少し手直しをして“風車質問状（1.28 送付)”を作って、JRE に送りました。

その後、平成１６年に反対運動の中心だった方とも連絡を取って、対応に関して相談しました。

風車建設の手順の中には、住民説明会もあるが、住民が意見書を企業に提出する機会もある。この意見書は企業が意見に対する見解を書いて公表し、その内容は、県のほうでも、専門家の意見を聞きながら検討するということなので、検討する専門家に焦点を当てて、意見書“風車意見書”を書き始めました。

これは、個人の意見なので、なるべく詳しく、正確な計測、解析結果に基づいた記述に心がけました。振動計、騒音計、ビデオカメラで 150 万円の経費が掛かりました。

意見書の内容は、質問状の内容に、“風車における超低周波音について”、“音響キャビテーション”を追加し、建物の耐震構造、流体力学、偏微分方程式、超関数論、非線形有限要素法による風車の解析、Wavelet 解析などの内容も追加したものにする予定で書き始めました。不足する知識やソフトウエアの勉強と作製に取り掛かったのですが、2021 年 8 月 2 日に、JRE から“南房総市事業検討中止のご報告”とのメールが届きました。中止の回覧板も回ってきました。

南房総市に確認したら、JRE は６月ごろに、住民の合意が取れそうもないと言って、撤退の意向を市の担当者に伝えていたようです。そのときに「別の業者も風車の計画をしています。区長さんから聞いていませんか？」と市の担当者が言っていました。誰からも何も聞いていなかったので、市の担当者に頼んで、新しい業者と連絡をとってもらい、新しい業者に対して５つのファイルを送り「住民から改めてこの内容に近い質問状を出すから、これらの資料を参考にして、早めに考えておいてください。」と伝えておきました。

市の担当者へは、住民の間で印刷回覧したものを送って、業者が来たら「住民の質問は、こんなのが出てくるから、事前によく準備して、丁寧に説明するように」と言ってください、とお願いしておきました

ポイントは、説明会を“業者が市民に説明する場所”ではなくて、“市民からの、長い質問状に文書で答えさせて、業者の回答の問題点を市民が追及する場所”に変えることです。

このとき、“**内容が難しいので説明会で聞いただけでは理解できない。説明を正しく理解するために専門家に説明してもらう必要があるから、文書で回答を下さい。専門家との相談期間が必要なので、説明会の１年前には回答して下さい。**”と言いう事にして、文書での回答を要求しました。

業者は環境省の方針に沿って嘘を書きます。実際の計測結果と風車音の発生する仕組みに関しての知識を示して嘘が通用しないことを業者に知らせておきました。

裁判では、
“説明内容に誤りがあるから訂正して説明会をやり直せ。”と主張するつもりでした。あくまでも、正しい情報による正確な理解が必要だとの立場をとっています。
“風車に反対だから計画を撤回しなさい”との主張をするつもりはありませんでした。
勝てる裁判にしたかったので、裁判官が認めやすい主張を考えました。

４．５　平成１６年の住民説明会資料

平成１６年（２００４年）に、“クリーンエナジーファクトリー株式会社”が作成、配布した資料

環境影響調査項目について

- 環境影響調査（風車建設後の影響）は、縦覧させて頂き確定した方法書により実施しています。
- 6月末の調査完了により、評価書案を取りまとめ、7月に皆さまに縦覧してご意見を頂き、最終評価書を整備します。

風車影響	環境調査項目	内　容
人体に及ぼす影響	◎	騒音・低周波音
		電磁波
		地盤振動
自然環境	◎	動物（鳥獣昆虫等）
	◎	植物
	◎	景観
	◎	電波障害
		水質・森林保水

- 携帯電話（ﾄﾞｺﾓ、Au）は8億Hzの電磁波であり、風力施設の電磁波は80Hz程度（1千万分の1）です。
- 世界保健機構（WHO)は基準値として電界10kV/m、磁界500μTを掲げています。
- 既存サイトでの測定では電界0.05～0.12V/m（基準の8万分の1）。磁界0.01～0.08μT（基準の6千分の1）でありました。よって電磁波による影響はないため環境調査項目に挿入していません。

風車周辺の家屋の振動

- 環境省の調査では、「振動による物的な被害感を生じない限界」は、振動レベル70dB程度とされています。
- 「健常者の振動を感じるレベル」は55dBであり、これ未満は感じられません。
- 既存の風車から220m離れた住宅屋外地面で測定した振動レベルは計量器下限界値30dB以下でした。
- 30dBであったとしても振動を感じるレベルの1万分の1であり風車で家屋が揺れるということはあり得ません。

（出典：中野論文より）

風車サイト、道路の位置を確定して、森林法林地開発にもとづく設計・対策を行い千葉県への相談と指導を経て審査を受けます。（この中で水質調査・保水対策を行います）

CEF千倉ウィンドファーム環境影響調査評価書
騒音・低周波音：評価結果（説明資料）

H21年6月

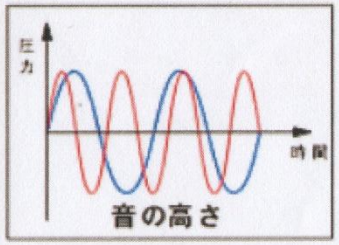
本書は「CEF千倉ウィンドファーム環境影響調査評価書の騒音・低周波音」の説明資料です。

【音とは・・・】

- 音は、毎秒340mの速さで伝わる波（音波）です。私たちは、空気中を伝わる波を聞いています。
- 「人間が感じることのできる音」（可聴音）の周波数は、およそ20Hz～2万Hzです。
- 低周波音（100Hz以下）も超低周波音（20Hz以下）も超音波（2万Hz以上）も可聴音と同じ音波です。
  超低周波音や超音波は「人間が感じることができない音波です。」

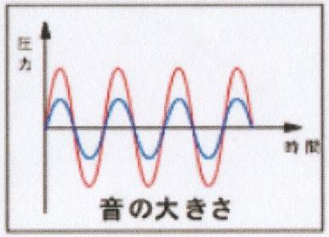
音の高さ（周波数の違い）

- 私たちが高い音、低い音といっています。同じ「ア」の音声でも、高い声の「ア」と低い声の「ア」があります。
- これは、「ア」の音波の形は同じでも、周波数が異なるためで、周波数が高い音はかん高く、周波数の低い音は低く・重々しく聞こえます。



音の大きさ

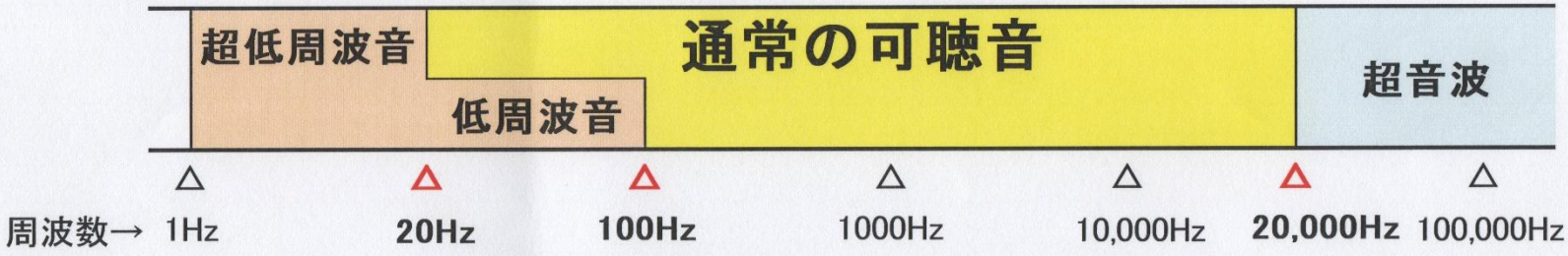
- 同じ音の高さ（周波数）の「ア」と言う声でも、大きな声の「ア」と小さな声の「ア」があります。
- これは、同じ波の形をしていても、大きな声の「ア」は振幅が大きく、小さな声の「ア」は振幅が小さいからです。
- 音(振動)の世界では、音の大きさを表わす言葉として「レベル」を使用します。
  「音の大きさ」とはいわないで**「音のレベル」は「何デシベル（dB）」**といいます。

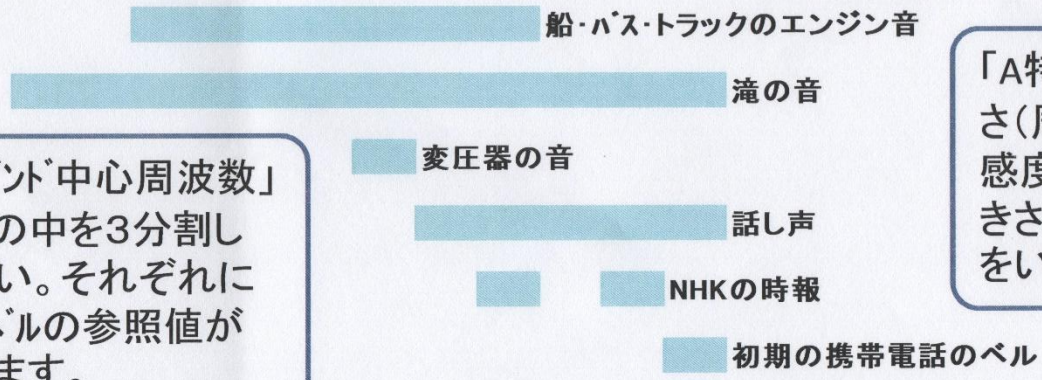


◆超低周波音の範囲には、基準法はありません。
◆環境省は「心身に係る苦情の参照値」として、92ﾃﾞｼﾍﾞﾙを掲げ、1/3ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ中心周波数でもそれぞれ参照値を掲げています。

通常の可聴音の範囲では、「騒音環境基準」にて、住居地域は
・昼間55ﾃﾞｼﾍﾞﾙ
・夜間45ﾃﾞｼﾍﾞﾙ
以下と定められています。
（基準の詳細は別紙）

法規則→	参照値	環境基本法（騒音環境基準）
評価方法→	G特性音圧 1/3ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ	A特性音圧(=騒音ﾚﾍﾞﾙ)、等価騒音レベル（時間平均）





「1/3ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ中心周波数」とは、ｵｸﾀｰﾌﾞの中を3分割した周波数をいい。それぞれについて音圧ﾚﾍﾞﾙの参照値が掲げられています。

「A特性・G特性」とは、音の高さ（周波数）によって聞こえる感度が違うので、聞こえる大きさに補正した値にすることをいいます。

音の大きさ(音のレベル)について

デシベルとは、音のレベル(音の大きさ)を表す単位です。

デシベルを簡単にいうと最小の可聴音の何倍になっているかを表す単位です。

音のレベル(音の大きさ)デシベル	状　況
130	最大可聴音
120	飛行機のエンジン
110	自動車の警笛(前方2m)
100	電車が通るガード下
90	大声の独唱、騒音工場内
80	電車の車内
70	騒々しい事務所
60	静かな乗用車、普通会話
50	静かな事務所
40	市内の深夜、図書館
30	郊外の深夜、ささやき声
20	木の葉のふれ合う音
10	
0	最小可聴音

「騒音環境基準」(住居地域)では
・昼間55デシベル
・夜間45デシベル
以下となるよう定められています。

音の大きさに〇〇デシベルの差があるとは？	大きさは何倍なのか
60デシベルの差とは→	百万倍の差
50デシベルの差とは→	10万倍の差
40デシベルの差とは→	1万倍の差
30デシベルの差とは→	1千倍の差
20デシベルの差とは→	100倍の差
10デシベルの差とは→	10倍の差

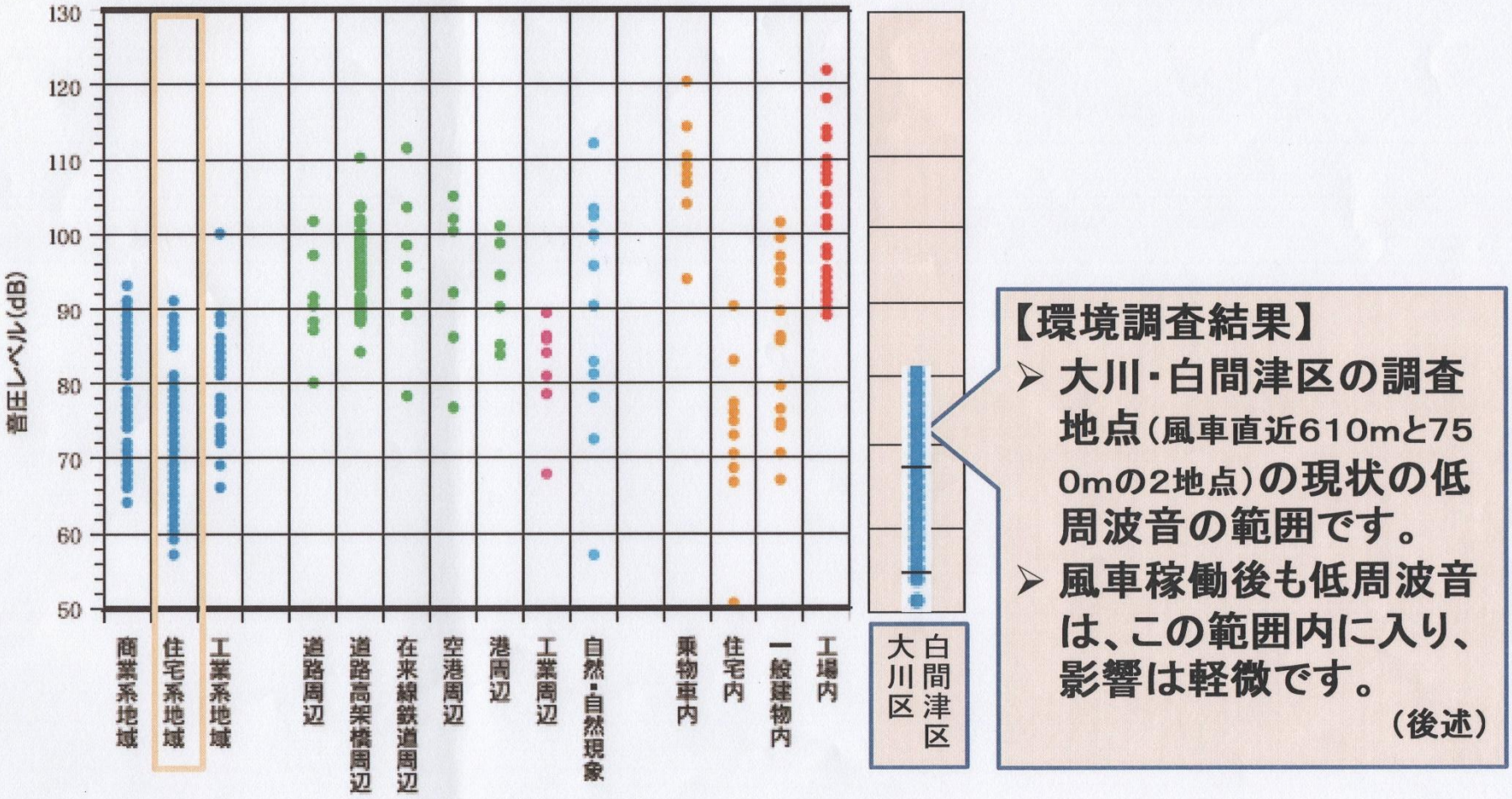
dBの差＝10 log(1/A)

【環境調査結果】
大川・白間津区の調査地点(風車直近の610mと750mの2地点)での調査結果では、風車稼働後の騒音は、この環境基準範囲内であり、影響は軽微です。(後述)

低周波音はどこにでも存在します。

出典：環境省「低周波音の測定方法に関するマニュアル

人が聞き取れる音と同じように、低周波音は私たちの身近に存在します。
しかし、大きな低周波音はどこでも発生しているわけではないので、低周波音が存在しても問題が生じることは少ないのです。



身の回りのいろいろな場所における低周波音の大きさの例

【環境調査結果】

- **大川・白間津区の調査地点（風車直近610mと750mの2地点）の現状の低周波音の範囲です。**
- **風車稼働後も低周波音は、この範囲内に入り、影響は軽微です。**

（後述）

テレビ朝日報道ステーション「伊方町三崎地区低周波被害」に対する論文抜粋

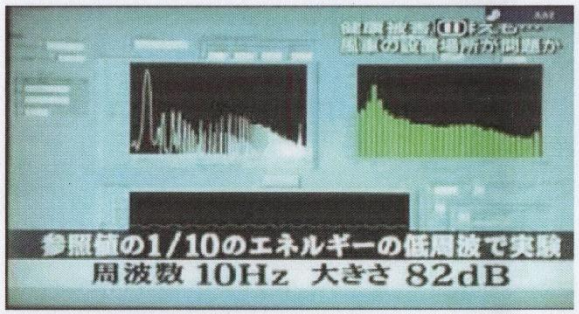
http://www2.odn.ne.jp/~cai00050/newpage13.html

中野　有朋 (ナカノ　アリトモ)
昭和31年、早稲田大学第一理工学部応用物理学科卒。石川島播磨重工業(株)(IHI)入社。昭和52～59年、石川島防音工業(株)代表取締役社長。昭和62～平成3年、IHI技監。
日本音響学会理事、日本騒音制御工学会副会長・理事、宇都宮大・東海大・早大大学院講師、横浜市環境審議会委員・環境影響評価審査会委員、日本産業機械工業会環境装置部会副部会長など歴任。現在、中野環境クリニック所長、騒音対策コンサルティングに従事。栃木県大規模小売店舗立地審議会委員、栃木県環境審議会専門委員、日本産業機械工業会環境装置部会顧問。工学博士、技術士(応用理学)

【報道内容より】

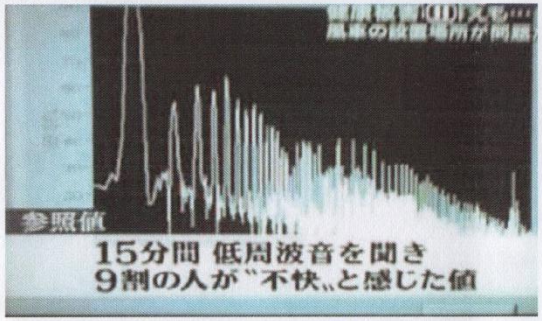
- TVの「今回の測定値」では、10HZの音圧ﾚﾍﾞﾙは50dB程度となっています。緑線の参照値90dBより40dB小さく(1万分の1)です。
- 20Hzの場合は、30dB程小さく千分の1の大きさ(ﾚﾍﾞﾙ)です。
- 1Hzから10Hzに対する参照値はありませんが、1Hzの感覚閾値(感じることができる値)は130dB以上であり、5Hzでは110dB以上です。これは多くの文献にあり、これらをもとに超低周波の国際規格も定められています。
- 「今回の測定値」の1HZは70dBですから感覚閾値130dBより百万分の1も小さい値であり、5Hzの場合は40dB小さく1万分の1です。
- このような微少な超低周波音で交感神経の緊張や頭痛などは健常者であれば起こるはずがありません。

【報道内容より】
10Hzの音圧ﾚﾍﾞﾙ82dBの超低周波音で体感実験をして、人体に感じると報道されています。



- TVの「今回の測定値」では10Hzの音圧ﾚﾍﾞﾙは50dBとなっています。これは参照値90dBの1万分の1の大きさです。実験に使用された82dBは測定値の千倍の大きさです。
- 実際に出ている音波はﾌﾞﾛｰﾄﾞﾊﾞﾝﾄﾞでありますが、実験には10Hzの純音波が使用されており全く異なる音波です。
- 実際に測定された10Hz50dBの音圧で実験されれば感じることはありません。

【報道内容より】
参照値は15分間低周波音を聞き9割の人が不快と感じる値であると報道されています。

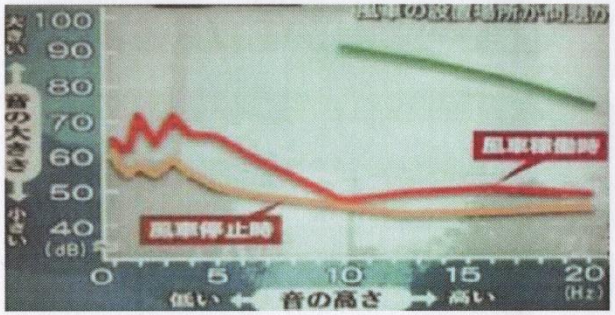


また「参照値は被害の目安」であると報道されています。

- 参照値は「10%値」であると環境省「低周波音問題対応の手引書」に明記されています。10%の人が不快と感じ90%の人は不快と感じないということを表す値なのです。この報道は全く反対を記入しておられ何故誤りとなったのでしょうか。

- 参照値は環境省の「低周波音問題対応の手引書」には、「被害の目安」とは明記されていません。「低周波音の状況を的確に判断するための目安となる値」であり、対策の目標値、環境アセスの目標値、作業環境のガイドライン、規制基準として策定したものではありません。と明記されています。

【報道内容より】
発電していないときに比べて発電時には20倍も30倍も低周波音が大きくなり問題です。と報道されています。



- 「今回の測定」のグラフでは、発電していないときの1Hzの音圧レベルは60dB程度です。これは人体に感じられる超低周波音の1千万分の1の大きさです。
- また発電時には70dB程度で、百万分の1の大きさです。
- 全く人体に感じられない超低周波音でありますから60dBから70dBへの上昇は無視できる大きさです。

【報道内容より】
海外の教授によるラット実験で低周波音でラットの肺に影響があったと報道されています。

- この教授は「健康被害があったケースと同じレベルの低周波が検出されました。」とお話しされていますが、周波数が何Hzで、音圧レベルが何デシベルなのかは、示されていません。
- また、ヘリコプターの音によるラット実験がされていますが、これも周波数が何Hzで、音圧レベルが何ﾃﾞｼﾍﾞﾙなのかは、示されていません。
- ヘリコプターの音と「今回の測定値」の音波は全く違ったものです。ヘリコプターの音ははっきり聞こえる可聴音ですし、「今回の測定」の超低周波音は聞こえない音です。

上記につづく中野氏論文より抜粋

超低周波音・低周波音とは

- 国際規格ISO7196で1Hzから20Hzを超低周波音、20Hzから2万Hzを可聴音と定めています。
- 超低周波音は聞こえない音波です。しかし、その大きさが極めて大きいときには、人体の全身に分布している振動受容器というもので感じられることがあります。

- 国際規格ISO7196では、健常者の人体に感知される超低周波音の大きさは100dB以上（G特性）であり、90dB以下では感知されることは少ないとされています。（環境省の「低周波音問題の手引書」では、これを参照値として、92dBとし屋内の目安値としています）

風車周辺の超低周波音

- 風車の超低周波音測定の中で最も大きい測定値は約73dB（GT特性）です。（風車から5m離れた屋外の地上1.5mの高さで昼間測定値）。
- この73dBは、人体に感知されるレベルを90dBとしても、17dB（50分の1）も小さい値です。
- よって、「人体に感知される超低周波音」は、風車周辺にはありません。

風車周辺の家屋の振動

- 環境省の調査では、「振動による物的な被害感を生じない限界」は、およそ70dB程度（振動レベル）とされています。
- 健常者の振動を感じるレベルは55dBであり、これ未満は感じられません。
- 風車から220m離れた住宅の屋外地面で測定した振動レベルは計量器の測定下限値30dB以下でありました。
- 30dBであったとしても振動を感じるレベルの1万分の1であり、人体に全く感じられない振動です。風車で家屋が揺れるということはあり得ません。

風車周辺の住宅内の超低周波音

- 風車周辺の住宅の超低周波音測定の中で最も大きい測定値は約70dB（GT特性）です。これは、風車から220m離れた住宅屋外、地上1.5mの高さで夜間測定した値です。
- この70dBは、人体に感知されるレベルを90dBとしても、20dBも小さい値で、1／100の大きさです。
- よって、人体に感知されず感じられないので睡眠に対する影響も全くないと判断されます。

建具のがたつき

- 人体に感知される超低周波音の音圧レベルよりも小さい音圧で住宅の窓や戸などの建具ががたつくことがあります。これは共振現象です。
- 建具の固有振動数と超低周波音の周波数が一致すると、建具はエネルギーを吸収して、振動は増大し、大きい振動となります。これを共振といい建具はがたがたします。共振しなければがたつきません。
- 環境省は15種類の障子、雨戸、ガラス窓などを実験し、がたつき始める最低の音圧レベルを示し、がたつきが起こる大きさの目安として使用しています。

周波数 Hz	5	10	20
a がたつき閾値 dB	70	75	80
b 感覚閾値 dB	112	100	91
c 測定値 dB	66	57	56

- 風車から220m離れた住宅での音圧レベルは上表の通りであり、がたつき音圧レベルを大きく下回っています。よって、風車によって建具ががたつくことはありません。

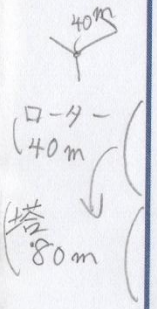
① 風車の回転音

- 扇風機の羽根の回転は、早く回るので羽が目には見えませんがブーンという音が聞こえます。これが回転音です。これは羽の回りの空気が逃げるひまがないので圧縮されて音波が発生します。
- この音は「回転数に羽の枚数を掛けた周波数」の回転音になります。
- 風車の場合は羽が見えるくらい回転音が遅い（1分間に16～18回転程度）ため、羽にあたる空気が回りに逃げ空気がかき回されているだけで回転音は発生しません。

② 風車の渦流音

- 回転する羽の周辺に発生する渦がつぶれる音で、風切り音です。
- 渦流音には広範囲の周波数成分が含まれ、主に耳に聞こえるのは高周波音です。
- 羽が風車の真下にきたときに最も大きく聞こえますが、超低周波音ではありません。
- 耳に聞こえる高周波の変動する風切り音が聞こえることとなります。

③ 風車から原理的に超低周波音は発生しません



- 音は物体の振動によって発生します。「振動する物体の寸法が音の波長」が基本原理です。
- 超低周波音は1Hz~20Hzで波長は340m~17mの大きな波です。この寸法の物体が振動しないと超低周波音は発生しません。
- 風車には増速機、発電機などから構成されていますが超低周波音の波長より十分小さい寸法なので超低周波音を発生することはありません。

④ 風車の騒音

- 風車には増速機、発電機などから構成されています。これらから低周波音を含む機械騒音が発生します。
- 騒音に対しては適切な測定を行い適切な対処を行うことによって解決することが可能です。

⑤ 【結言】

三崎地区風力は、風車周辺および住宅内では「健常者の人体に感知される超低周波音」は存在せず、建具をがたつかせる超低周波音も存在しないことから、周辺の生活環境を保全する上において支障はないものと考えられます。

参考：超低周波音（低周波音含む）について

最近、低周波音ということで新聞やテレビ、ブログなどで不安なことが取り上げられています。

●低周波音とは聞こえない音。

低周波音の内、20ヘルツ～100ヘルツは、耳に聞こえる低音のことです。
超低周波音は1ヘルツ～20ヘルツで聞こえない音波です。超低周波音は「可聴音の下限周波数以下の音響振動」といっています。

●頭が痛い、眠れない、肩がこる、めまい、吐き気、耳鳴り、これらは低周波音のためである。

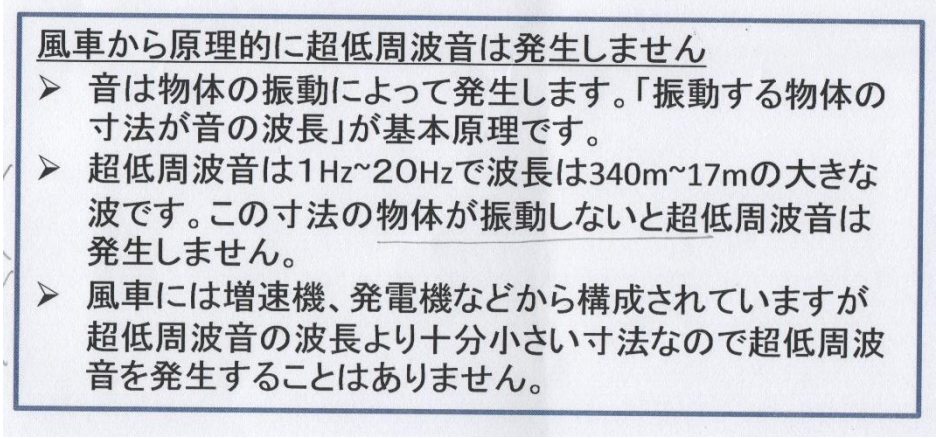
【「低周波音の測定方法に関するマニュアル」H12年10月環境庁大気保全局より抜粋】）

研究結果によれば揺れやすい建具の場合、20Hz以下の低い音圧でがたつくことがわかっている。
文献に取り上げられた低周波音の苦情は物理的苦情が多数を占めている。
物的苦情は殆どの場合20Hz以下の周波数域で発生している。
心理的・生理的苦情は「気分が悪い」「発生音がうるさい」といったものであるが、苦情発生時の低周波音はいずれも可聴域の低周波音成分が卓越している。

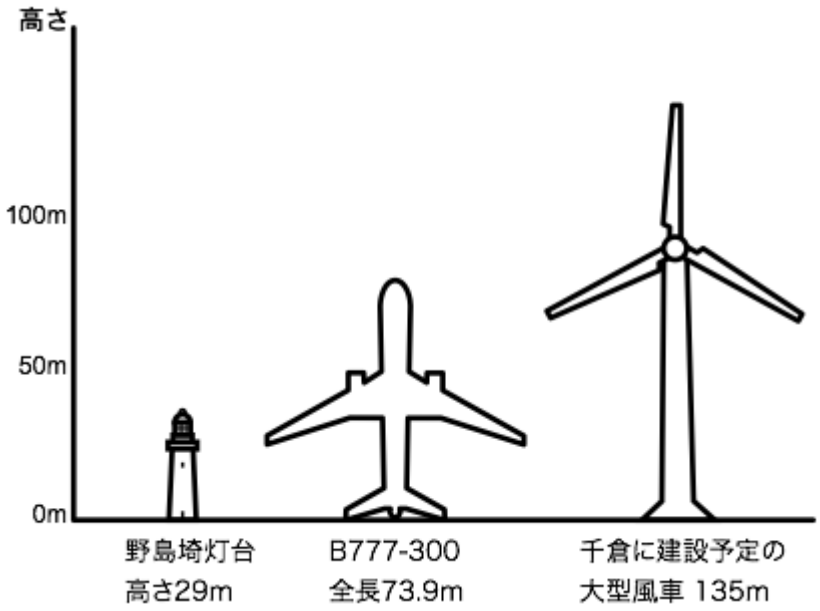
【超低周波音・低周波音に係る最近の課題2009/4　日本騒音制御工学会講演論文　中野有朋より抜粋】

聞こえる音が非常に大きい場合、不眠、血圧上昇など生理的悪影響がおこります。超低周波音も低周波音も音波ですが、人体に感じられない超低周波音があっても、これが原因でおこることではありません。**これらは騒音（可聴音）の範囲で対応すべき事項**です。
建具ががたつく位では人体に悪影響はありません。**超低周波音は人体を貫通するわけではなく**、剛性則で十分に遮音できます。

古い資料では、不思議な記述が見つかります。　平成１６年（２００４年）の記述では、



とあるが、この主張は自己矛盾です。計画では、



であり、風車の大きさは 135mなので風車全体が振動するときには、中野氏の理論に従えば、2.5Ｈｚの超低周波音（波長は 340/2.5＝136m）が発生する事になる。

こんなことが書いてあったら、“部外秘”としたくなるのは当然です。私なら、恥ずかしくて住民にも配布したくないと思うでしょうが、これについて、私に懸命に説明してくれた社員がいたのも事実です。

平 成 22～24 年度　S2-11 風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究　では、

“まず、31 地域における民家周辺の合計 164 地点で測定された風車稼働時の 1/3 オクターブバンド音圧レベルの分析結果を重ねて図 3 に示す。この結果から、風車騒音の全体的な周波数特性としては、低周波数から高周波数にかけて-4 dB/オクターブの傾斜となっていることが分かった。”

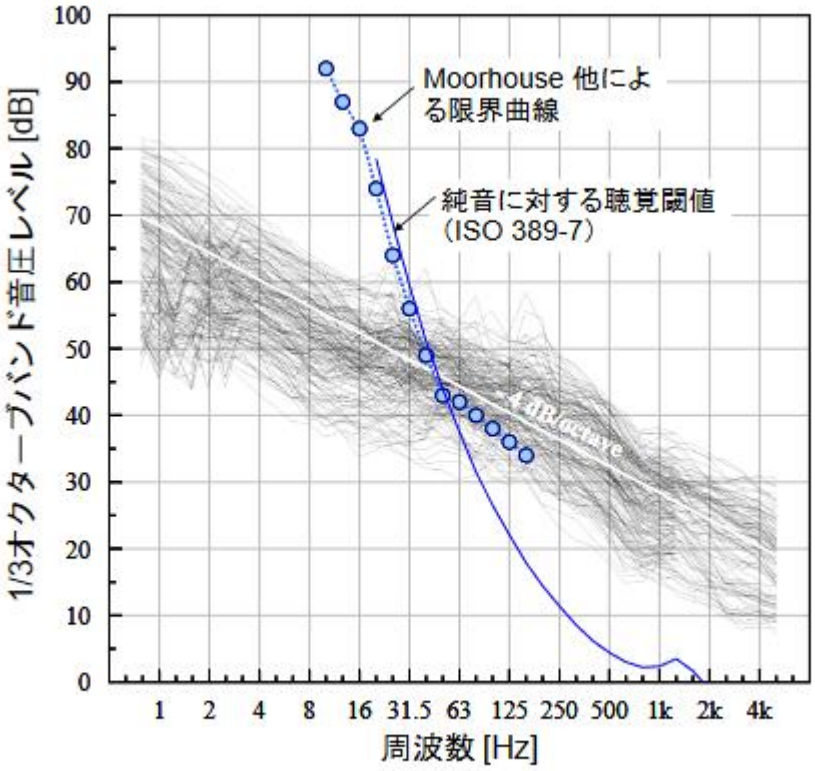
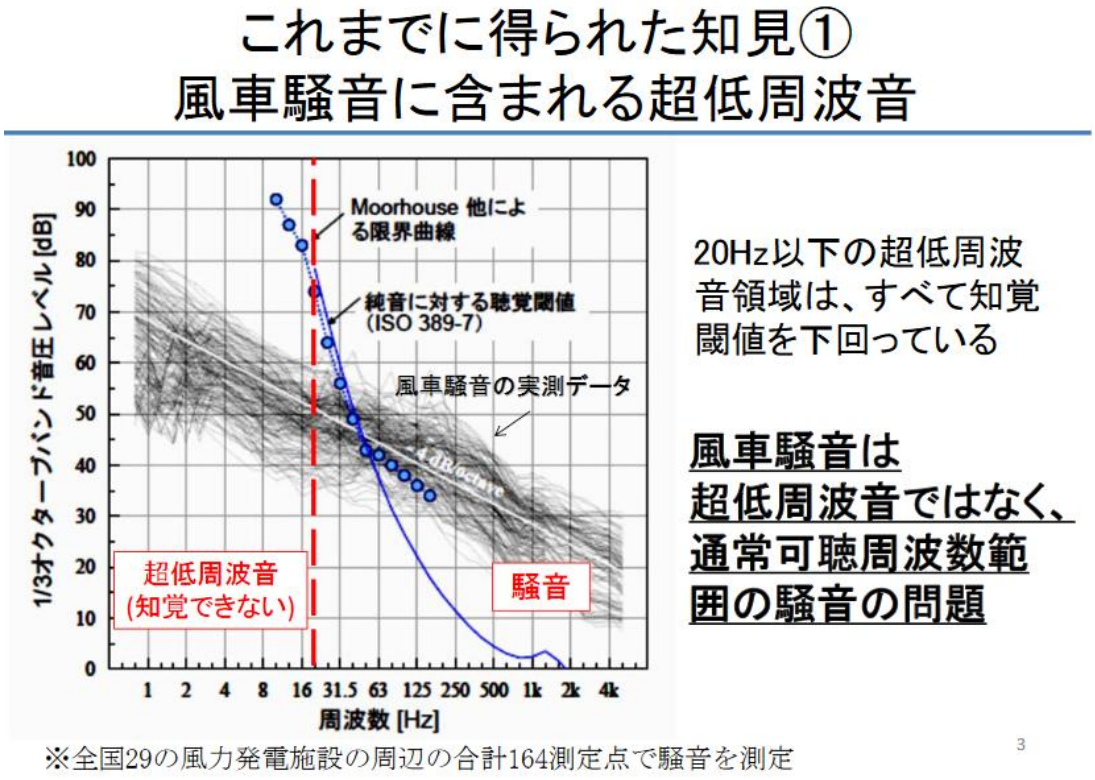


図3　29の風力発電施設周辺の164地点における風車騒音の測定結果

となっていて、超低周波音が計測されました。　ちょっと困ったので、言い訳を考えました。



“超低周波音は知覚できないから問題ない。”とする言い訳と、

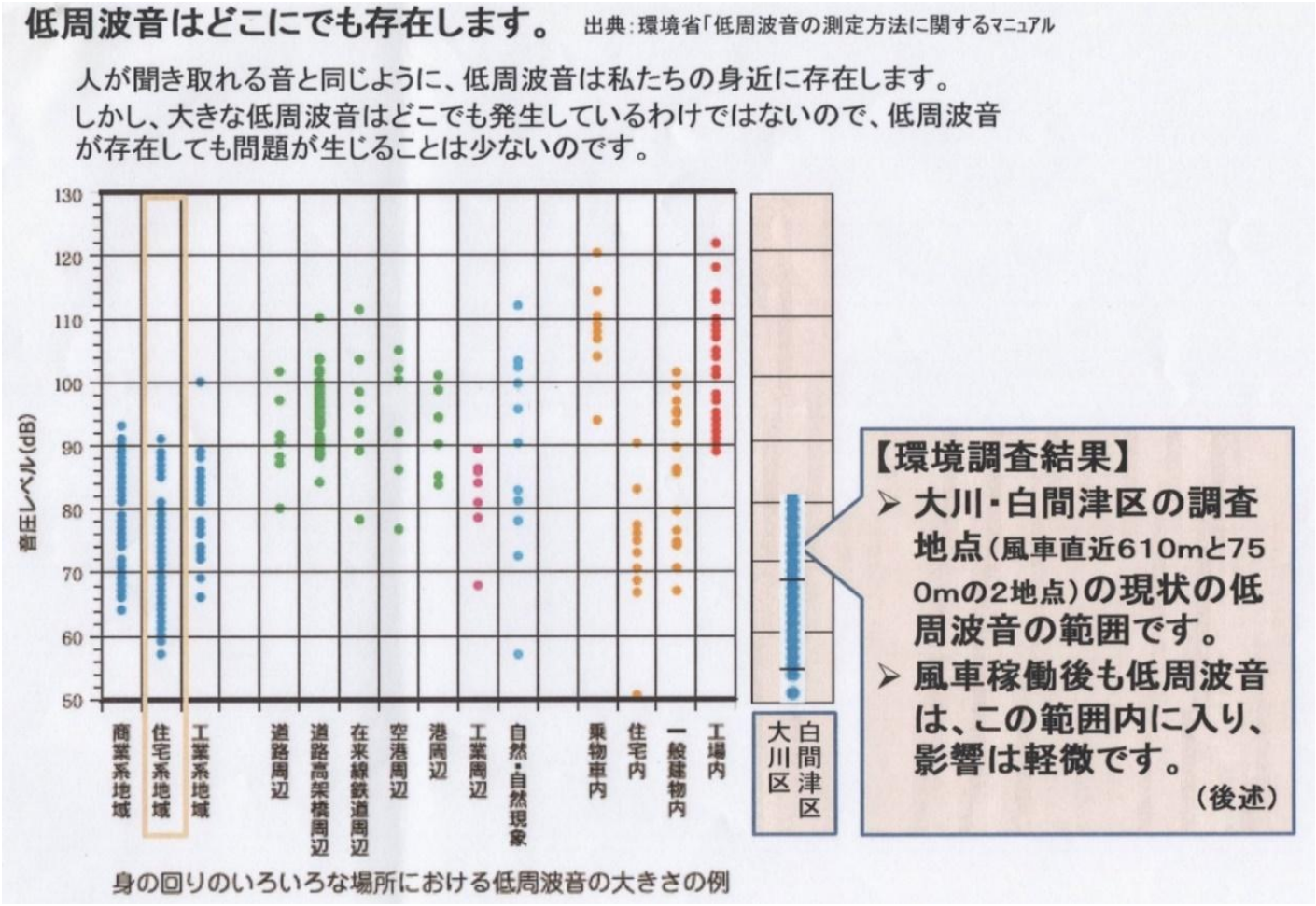
“風雑音であり風車からの超低周波音ではない。”という言い訳です。

風雑音については、

“現場で観測される低周波音は風車からの音に、風雑音が重畳されたものとなります。

低周波数域の風雑音は風がマイクロホンに当たることによって発生します。
この雑音は周波数が低くなるほど大きな成分を持っています。
通常、低周波音の測定は風雑音による影響を避けるため、風のない時に行います。
しかし、風車は風がないと回らないので、風による影響を受けます。
風による影響を受けにくい山間地や尾根で風が遮られる地域では、風車の回転に伴う成分が周波数分析結果で卓越成分として観測されます。
一方、平地などのように風による影響を受けやすい場所における測定結果では、低周波数域の周波数特性はこんもりと盛り上がったような特性となっていて卓越成分が観測されないことが多いと思います。これは、風車音よりも風雑音が優勢であると考えられます。
通常の防風スクリーンより大きい直径 20cm 程度の防風スクリーンをマイクロホンに装着しても風が強いときは風雑音を十分に除去できません。
風雑音の低減に関しては、これまで色々と研究されてきていますが、およそ 5Hz 以下の周波数域（場合によってはおよそ 10Hz 以下）については、風雑音の除去が難しいのが現状です。
従って、風車からの低周波音を正確に測定するにあたっては、風雑音による影響をいかに排除するかも大きな課題の一つです。“となっています。

正直な業者は、次のような失敗もしました。
“大きな低周波音は何処でも発生するのではなく、風車から発生して近くに影響を与えるので、問題が生じるのです。”という事がすぐに分かる説明を付けてしまいました。
さらに、この業者は、610ｍ、750ｍ離れているから影響は軽微です。と説明している資料を配布しました。



ここでの主張を言い換えれば、
“風車の無い環境では極めて大きな超低周波音が発生することは無いのですが、風車からは極めて大きな超低周波音が発生しているので、建具の振動、睡眠妨害、不快感、圧迫感、頭痛などが起こります。更に、振動の地中伝搬も起こりますので、様々な問題が生じるのです。”
となります。

この数値は、“低周波音の測定方法に関するマニュアル”にある表の左側のものです。

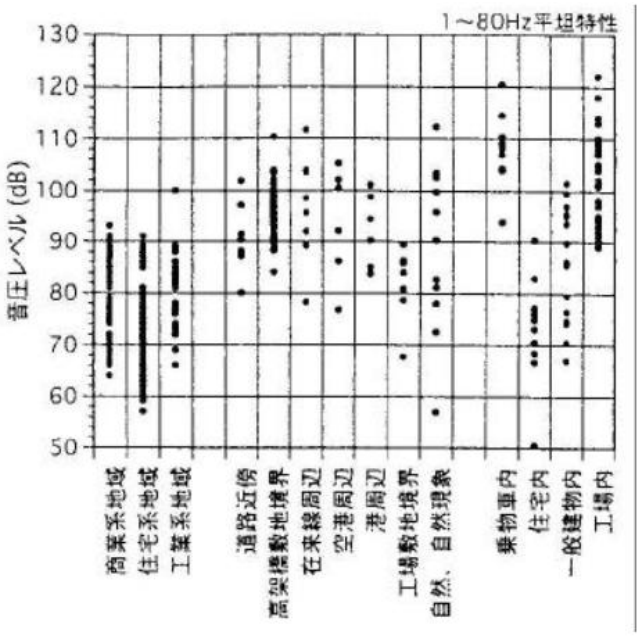


図-e.1　発生源周辺を含めた一般住宅空間における
1-80Hz 平坦特性の音圧分布（分析区間の最大値）

1-80Hz 平坦特性の音圧分布（分析区間の最大値）

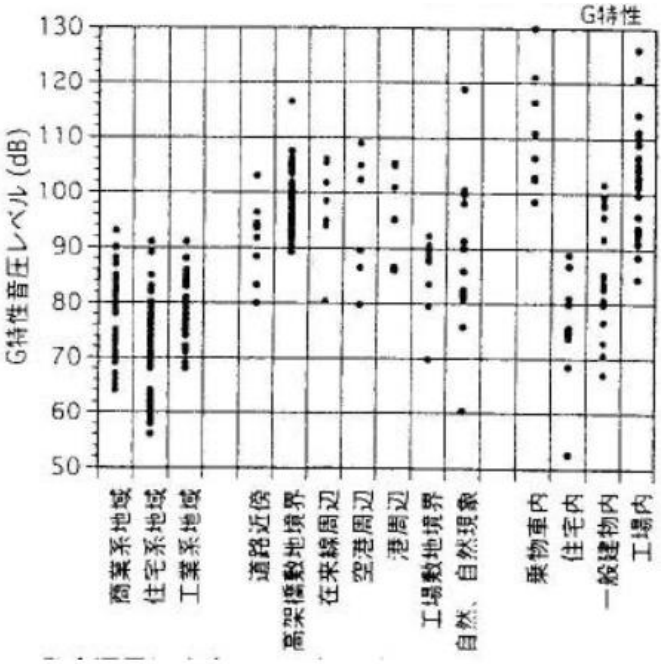


図-e.2　発生源周辺を含めた一般住宅空間における
G 特性音圧レベル分布（分析区間の最大値）

G 特性との関連で平坦特性と書いてあるので、1/1 オクターブ解析か 1/3 オクターブ解析での周波数帯での音圧レベルの数値で、G 特性での重みづけをする前の値だと考えます。ここでは、1/3 オクターブ解析での結果と考えて議論を進めます。

大川、白間津に関しては、業者は 50～82ｄB だとしています。私も実際に計測してみました。

G 特性での重みづけをする前の数値（平坦特性での値）は次のものです。

中心周波数Hz	0.25	0.315	0.4	0.5	0.63	0.8	1	1.25	1.6	2	2.5
平坦特性音圧レベル	40.45	44.61	46.34	50.45	49.88	52.31	51.81	52.15	54.83	53.87	52.62

中心周波数Hz	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5
平坦特性音圧レベル	51.28	51.45	51.29	48.61	48.82	46.94	45.11	42.61	41.35	41.08	43.31

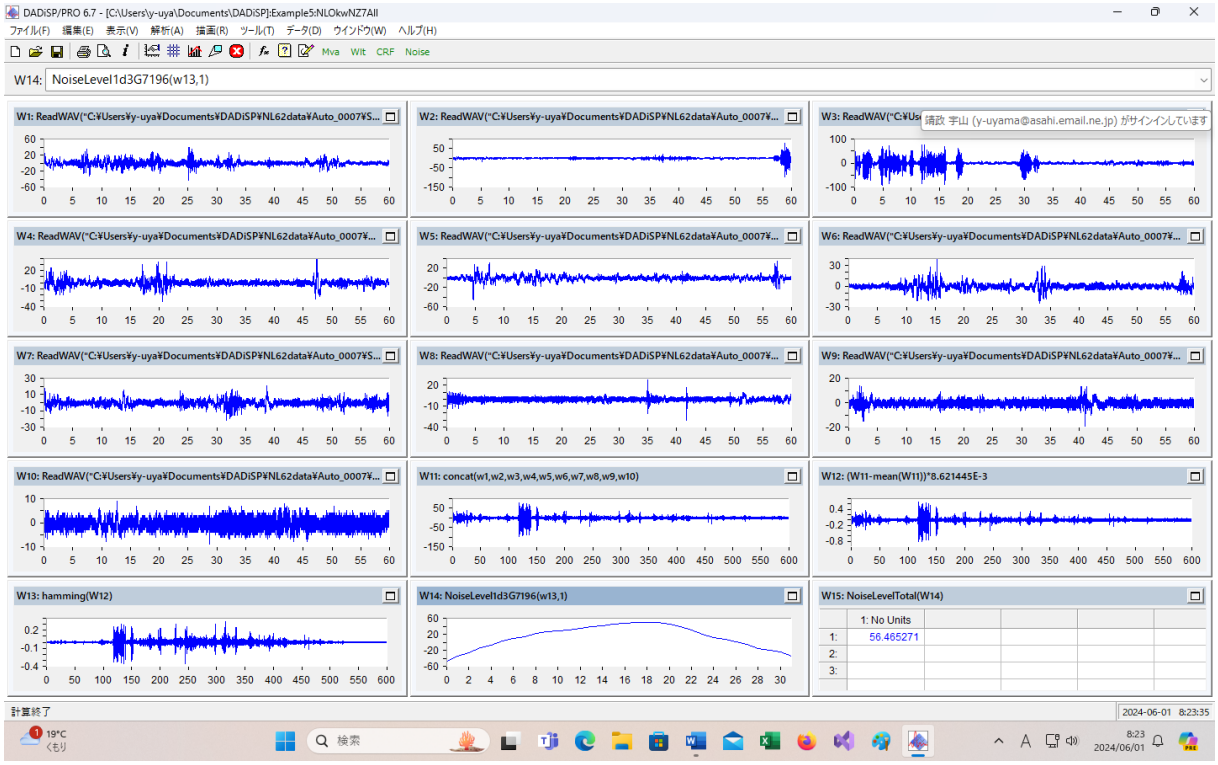
中心周波数Hz	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	
平坦特性音圧レベル	42.81	40.02	40.00	42.73	45.43	47.22	43.59	47.10	51.30	49.02	

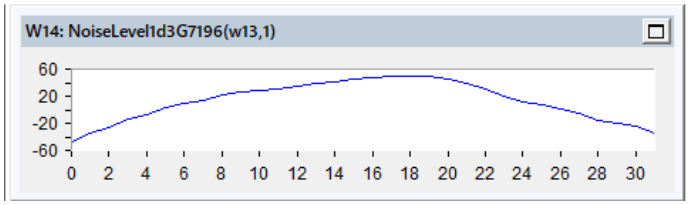
1 ～80Hz での、平坦特性音圧レベルの最大値は、1.6Hz での 54.83ｄB です。50～80ｄB の中に入っ

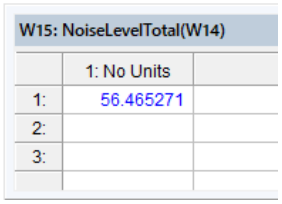
ていますが、かなり低い数値です。この地区の何処で、いつ測ったら、82ｄＢになったのでしょうか？計測値が疑わしいです。

この数値は、神社の境内での計測結果から計算したものです。計算の様子は次ワークシートです。

“NLOkwNZAll”







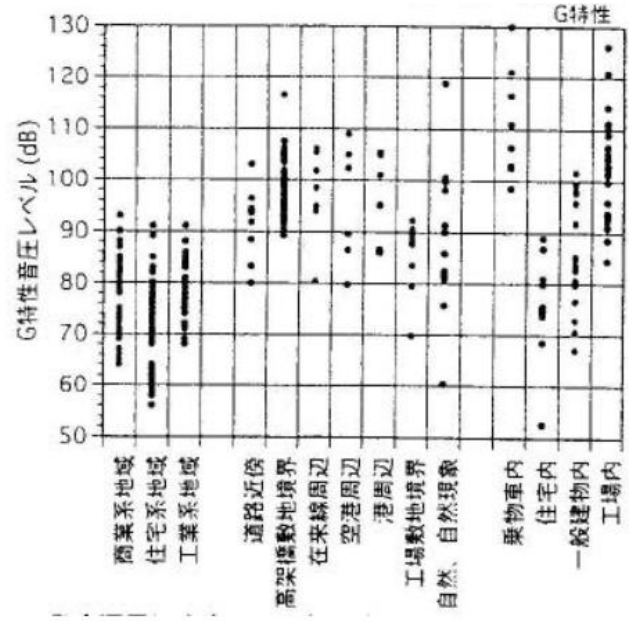


図-e.2　発生源周辺を含めた一般住宅空間における
G 特性音圧レベル分布（分析区間の最大値）

G 特性音圧レベルは、56.47ｄＢでした。この数値は、上の図の住宅系地域での数値の最も低い値になっています。

中心周波数ごとの、G 特性音圧レベルは次の結果です。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
中心周波数Hz	0.25	0.315	0.4	0.5	0.63	0.8	1	1.25	1.6	2	2.5
G特性音圧レベル	-47.55	-35.39	-25.76	-13.85	-6.72	2.81	8.81	14.65	22.23	25.57	28.52
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
中心周波数Hz	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5
G特性音圧レベル	31.28	35.45	39.29	40.61	44.82	46.94	49.11	50.31	50.35	44.78	39.31
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
中心周波数Hz	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	
G特性音圧レベル	30.81	20.02	12.00	6.73	1.43	-4.78	-16.41	-20.90	-24.70	-34.98	

なお、ISO7196 での G 特性での重みは次のものです。

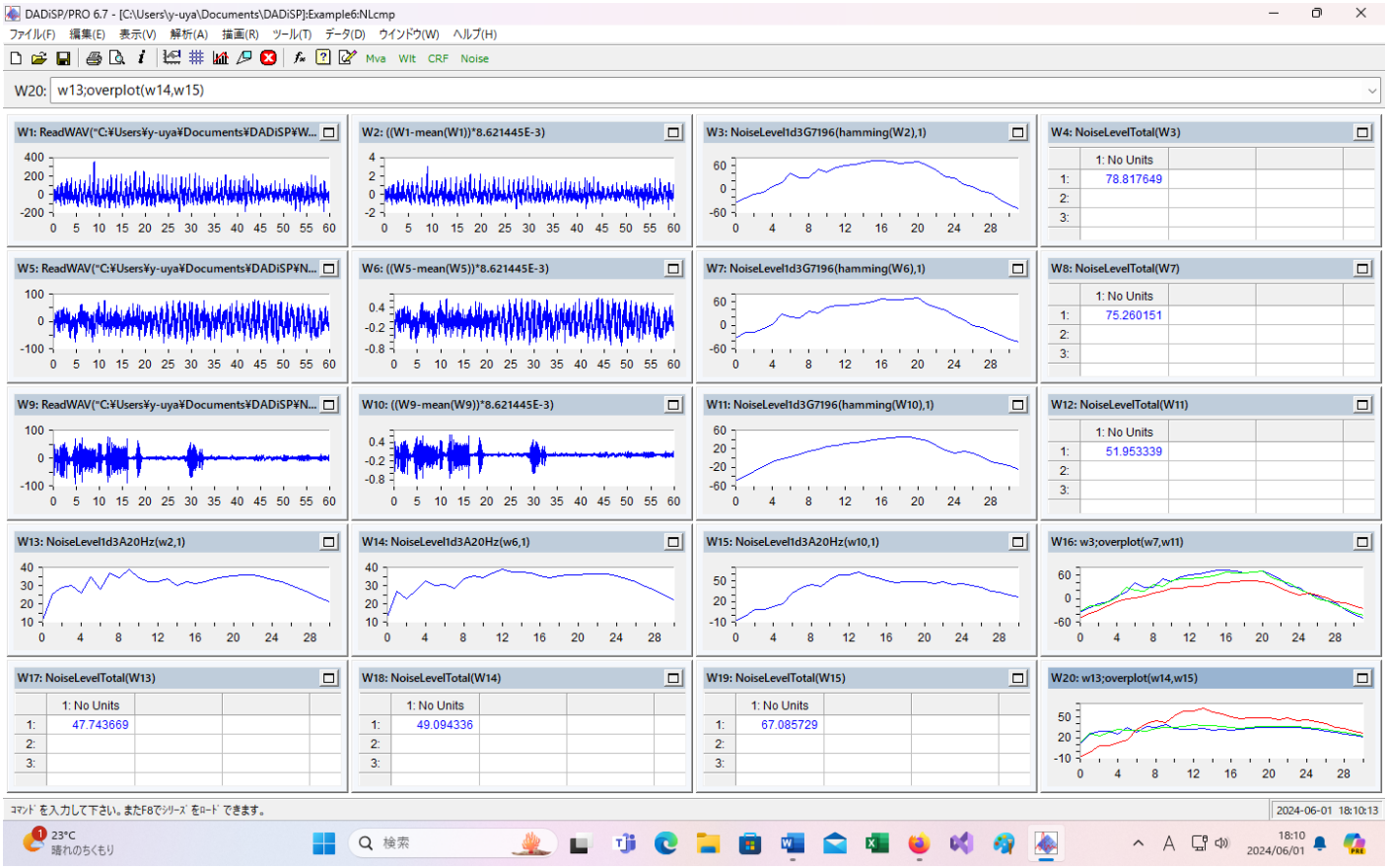
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
中心周波数Hz	0.25	0.315	0.4	0.5	0.63	0.8	1	1.25	1.6	2	2.5
G特性での重み	-88.00	-80.00	-72.10	-64.30	-56.60	-49.50	-43.00	-37.50	-32.60	-28.30	-24.10
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
中心周波数Hz	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5
G特性での重み	-20.00	-16.00	-12.00	-8.00	-4.00	0.00	4.00	7.70	9.00	3.70	-4.00
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
中心周波数Hz	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	
G特性での重み	-12.00	-20.00	-28.00	-36.00	-44.00	-52.00	-60.00	-68.00	-76.00	-84.00	

後ほど、“G 特性音圧レベル”の所で検討します。

風車音の影響が３ｋｍ以上の範囲に及ぶことは石竹氏の調査結果に示されています。
被害は軽微ではないのです。

強風時の風車音、弱風時の風車音、神社での音　を G 特性、A 特性の観点から比較します。

１段目が強風時の風車音、２段目が弱風時の風車音、３段目が神社境内の音です。



G 特性音圧レベルに関しては、

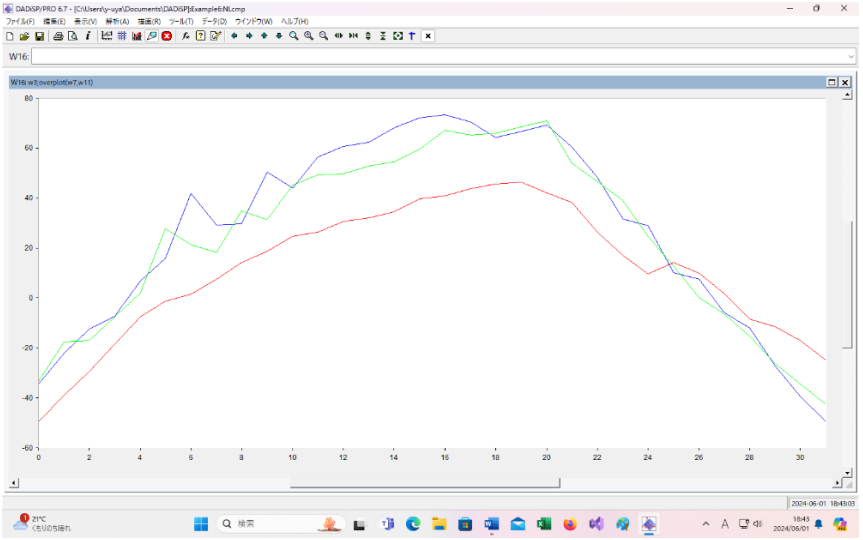
１段目は、風が強いときの風車音で。G 特性音圧レベルは 78.8ｄB。

２段目は、風が弱いときの風車音で、G 特性音圧レベルは 75.26ｄB。

３段目は、マイクに風が当たる状態で測った神社での音で、G 特性音圧レベルは 51.95ｄB。

G 特性での周波数帯ごとの音圧レベルは次のグラフです。

１段目は青、２段目は緑、３段目は赤　です。



A 特性音圧レベルに関しては、

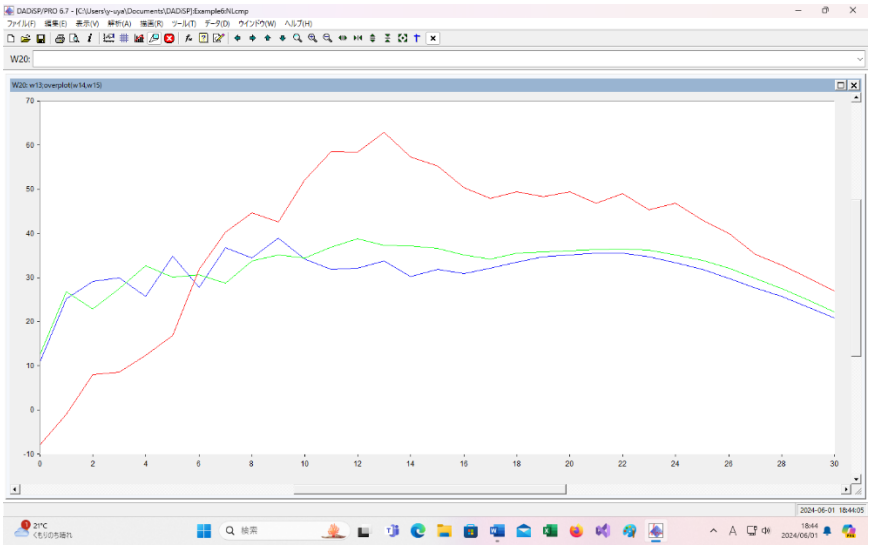
１段目は、風が強いときの風車音で。A 特性音圧レベルは 47.74ｄB。

２段目は、風が弱いときの風車音で、A 特性音圧レベルは 49.09ｄB。

３段目は、マイクに風が当たる状態で測った神社での音で、A 特性音圧レベルは 67.09ｄB。

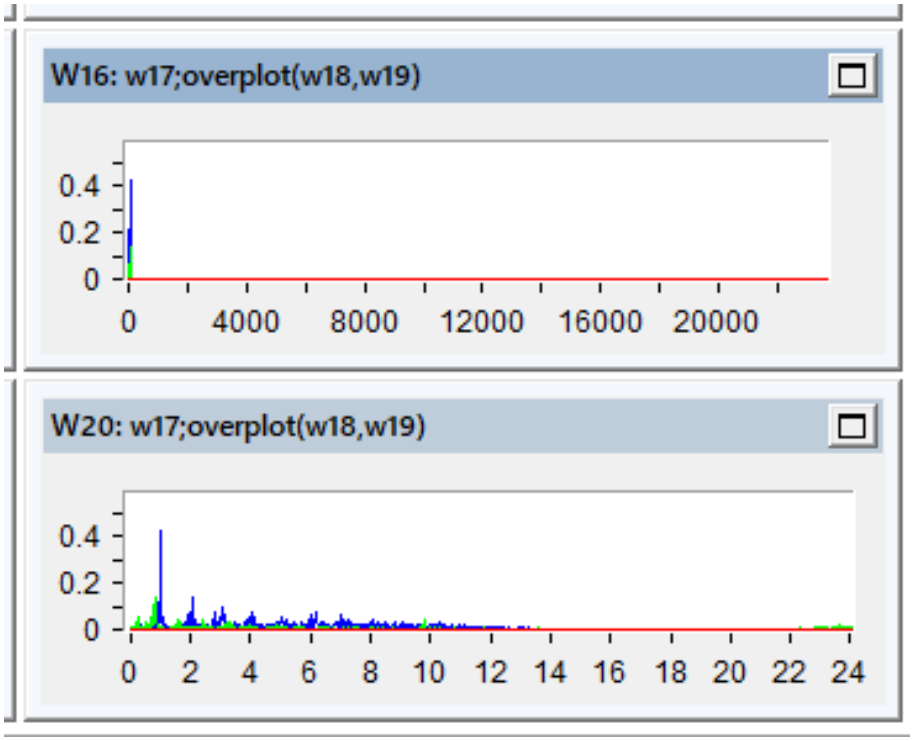
A 特性での周波数帯ごとの音圧レベルは次のグラフです。

１段目は青、２段目は緑、３段目は赤　です。



周波数スペクトルは次のグラフです。

１段目（強風時の風車音）は青、２段目（弱風時の風車音）は緑、３段目（神社境内）は赤　です。



上のグラフから、50Hz 以上では、神社での音の音圧が高いが、15Hz 以下では風車音の音圧が高いことが分ります。

音圧

音は空気中を粗密波として伝わります。音がないときの空気の圧力（静圧）に対して、音があるときはこの静圧に比べて、空気の圧力が変化します。

この静圧からの圧力の変化分が音圧です。単位はパスカル（Pa）です。1 ㎡あたり、1 ニュートンの力が加わるときの気体の圧力が1パスカルです。

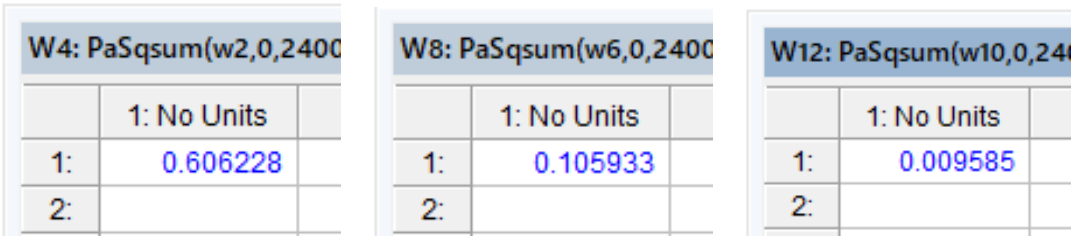
音の強さ

音場内の 1 点において、単位面積を単位時間に通過する音響エネルギーを音の強さ（I または J と書く）と言います。単位は、(W/㎡)

J＝（ｐ*ｐ）/（ρ ｃ）　　(W/㎡)

ここで、ｐ（Ｐａ）は音圧、ρは空気の密度（ｋｇ/㎥）、ｃは音の速度（ｍ/ｓ）

より、音圧の２乗和を計算すると、次の様になるので、



W4: PaSqsum(w2,0,2400	
	1: No Units
1:	0.606228
2:	

W8: PaSqsum(w6,0,2400	
	1: No Units
1:	0.105933
2:	

W12: PaSqsum(w10,0,24	
	1: No Units
1:	0.009585
2:	

音のエネルギーの比率は、強風時風車：弱風時風車：神社境内＝61：11：1　です。

さらに、1/3 オクターブ解析で、リオン社前の道路の音、JFE の製鉄所内の音、千葉県館山市の風車音（強風時)、マイクに風を当てて測った神社での音、石狩湾の数か所の風車群の音から計算した平坦特性での音圧レベルを比べてみると次の様になります。

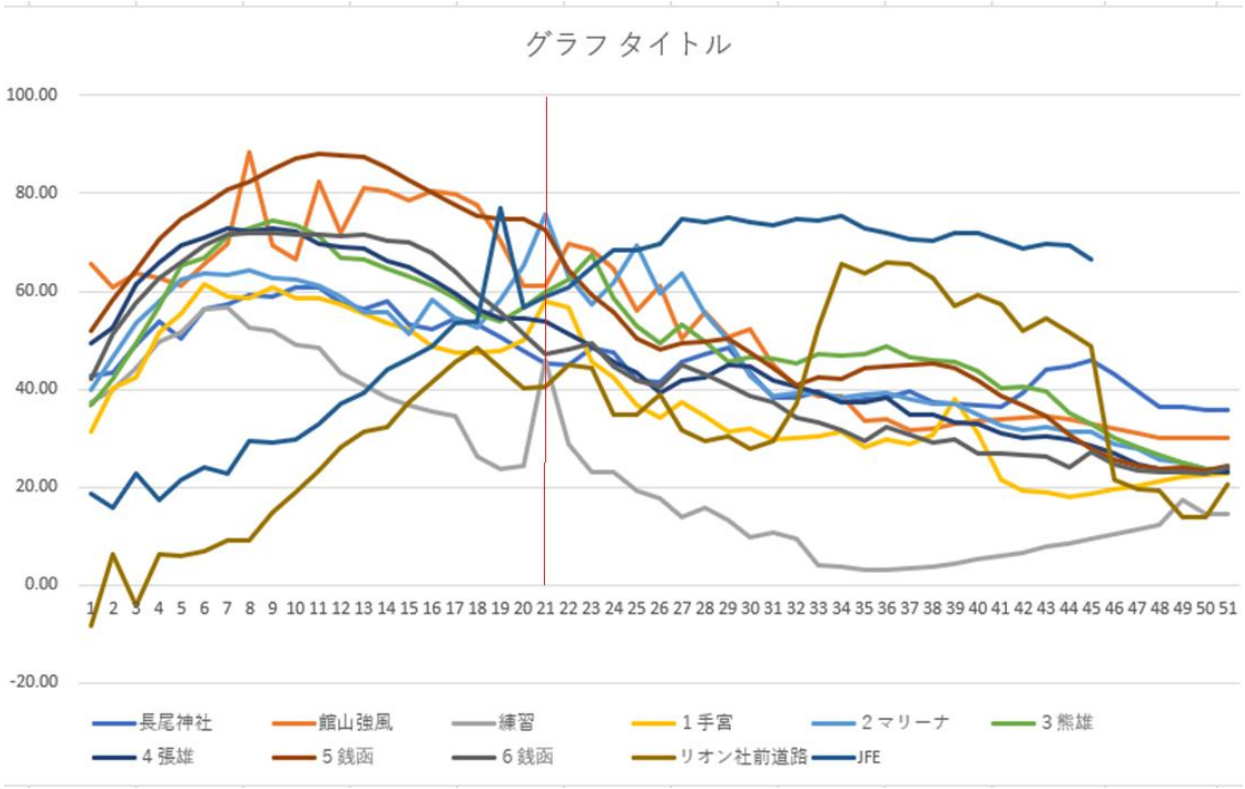
なお、番号と中心周波数の関係は次の表です。

番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
中心周波数	0.19	0.25	0.32	0.40	0.50	0.63	0.80	1.00	1.25	1.60	2.00	2.50	3.15	4.00	5.00	6.30	8.00

番号	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
中心周波数	10.00	12.50	16.00	20.00	25.00	31.50	40.00	50.00	63.00	80.00	100.00	125.00	160.00	200.00	250.00	315.00	400.00

番号	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
中心周波数	500.00	630.00	800.00	1000.00	1250.00	1600.00	2000.00	2500.00	3150.00	4000.00	5000.00	6300.00	8000.00	10000.00	12500.00	16000.00	20000.00

20Hz は、21 番のところです。



グラフの中央部分（8番～33番、1Hｚ～315Hｚ）の辺りでは、風車音は、全体として周波数が大きくなると音圧レベルが減少するが、交通騒音などは周波数が高くなると音圧レベルが上昇する。

8番（1Hz）から15番（5Hｚ）辺りでの違いが大きい。これを風車からの超低周波音だと認めたくない人はこの部分を“風雑音”というのですが、風車音が発生する仕組みを考えて、詳細な周波数を確認すれば、離散的な特徴から風車の超低周波音だと分かるのです。

石狩湾の風車群の中心から10ｋｍ、最も近い風車まで5ｋｍの銭函での数値を検討してみます。

銭函での騒音レベル（A特性音圧レベル）は、40.500459ｄBです。

館山の風車の近くと近所の神社での結果の数値、

１段目は、風が強いときの風車音で。A特性音圧レベルは47.74ｄB。

２段目は、風が弱いときの風車音で、A特性音圧レベルは49.09ｄB。

３段目は、マイクに風が当たる状態で測った神社での音で、A特性音圧レベルは67.09ｄB。

です。

この数値と、“騒音値の基準と目安”（日本騒音調査ソーチョー）の資料や、

うるさい	かなりうるさい。かなり大きな声を出さないと会話ができない	７０db	・騒々しい事務所の中 ・騒々しい街頭 ・セミの鳴き声（２m） ・やかんの沸騰音（１m）
	大きく聞こえ、うるさい。声を大きくすれば会話ができる	６０db	・洗濯機（１m） ・掃除機（１m） ・テレビ（１m） ・トイレ（洗浄音） ・アイドリング（２m） ・乗用車の車内
普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	５０db	・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（１m）
	聞こえるが、会話には支障なし	４０db	・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅地の昼
静か	非常に小さく聞こえる	３０db	・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	２０db	・ささやき ・木の葉のふれあう音

及び、環境騒音の基準値

地域の類型	基準値	
	昼間	夜間
ＡＡ	５０デシベル以下	４０デシベル以下
A及びB	５５デシベル以下	４５デシベル以下
C	６０デシベル以下	５０デシベル以下

（注）
1　時間の区分は、昼間を午前６時から午後１０時までの間とし、夜間を午後１０時から翌日の午前６時までの間とする。
2　ＡＡを当てはめる地域は、療養施設、社会福祉施設等が集合して設置される地域など特に静穏を要する地域とする。
3　Ａを当てはめる地域は、専ら住居の用に供される地域とする。
4　Ｂを当てはめる地域は、主として住居の用に供される地域とする。
5　Ｃを当てはめる地域は、相当数の住居と併せて商業、工業等の用に供される地域とする。

を見れば、問題が無いように見えてしまいます。

A特性音圧レベルでの数値は低いのだが、交通騒音の場合に比べて、同一のA特性音圧レベルであっても、より大きな被害が出ています。

レベルがそれほどではなくても被害が出る原因を見つける必要があります。

環境省の資料、

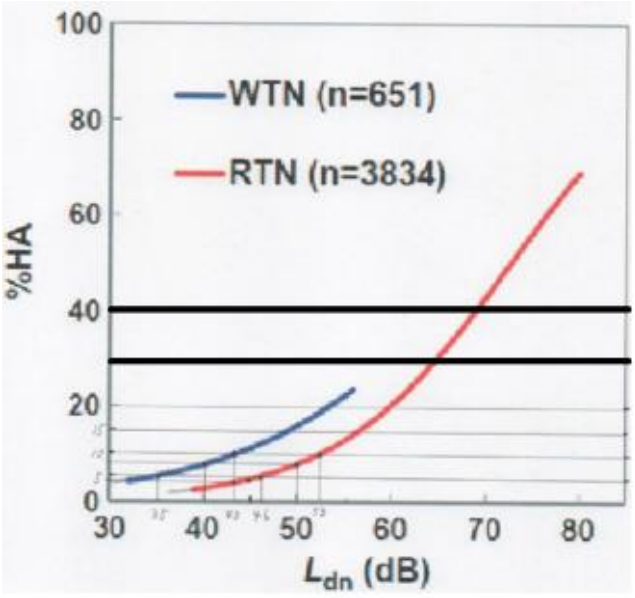
風車騒音の人への影響

- これまでに国内外で得られた科学的知見を踏まえると、風車騒音が人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。ただし、風車騒音に含まれる振幅変調音や純音性成分等は、わずらわしさ（アノイアンス）を増加させる傾向がある。静かな環境では、風車騒音が35～40dBを超過すると、わずらわしさ（アノイアンス）の程度が上がり、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている
- 風力発電施設から発生する超低周波音・低周波音と健康影響については、明らかな関連を示す知見は確認できなかった
- 景観のような視覚的な要素や経済的利益に関する事項等も、わずらわしさ（アノイアンス）の度合いを左右する

6

にある、“風車騒音が 35～40ｄＢを超過する”との条件を満たしていますので、環境省の資料から見ても、“睡眠への影響のリスクを増加させる可能性がある”と言えます。

さらに、　報告書（ｐ14）にある、風車騒音と交通騒音の違いを表にすると、



%HA	風車騒音	交通騒音	差
30%	60dB	64dB	4dB
20%	53dB	60dB	7dB
10%	43dB	53dB	10dB
8%	40dB	50dB	10dN
5%	35dB	46dB	11dB
4%	30dB	43dB	13dB

“非常に不快である”と感じる人の割合にかなりの差があることが分かります。

銭函での騒音レベル（A 特性音圧レベル）40.500459ｄＢが、風車騒音の計測結果だと考えると、交通騒音の 50ｄＢに相当し、8%の人が“非常に不快である”と感じるレベルです。

“非常に不快である”が 8%ですから、単に“不快である”と感じる人は、8～15%程度だと推測されます。合計すれば、20%程度の人が不快感を覚えていると予測できます。

グラフのズレについて６～９ｄＢとの解説もありますが、グラフを拡大して、水平線を引いて、交点の間隔を調べてみたら、次の様に 4～13ｄＢなりました。

ズレの理由を“風車が見えるからだ”とする人もいますが、ここでは次の様に考えました。

A特性音圧レベルで計算される騒音レベルは、風車音のエネルギーの 7%と占める。この部分が、風車音全体のエネルギーの 99%まで増加したとすれば、

$$DB7 = 10 * log10(\frac{p_1^2}{p_0^2})$$

$$DB99 = 10 * log10\left(\frac{99}{7} * \frac{p_1^2}{p_0^2}\right) = DB7 + 11.5$$

となって、11.5ｄＢ増加します。

風車音の騒音レベルを 11.5ｄＢだけ補正すれば、数値としては、ほぼ一致します。表を作れば、

%HA	風車騒音	交通騒音	差	補正風車音	交通騒音	差
30%	60ｄＢ	64ｄＢ	4 ｄＢ	7１.5dB	64ｄＢ	-7.5ｄＢ
20%	53ｄＢ	60ｄＢ	7ｄＢ	64.5dB	60ｄＢ	-4.5ｄＢ
10%	43ｄＢ	53ｄＢ	10ｄＢ	54.5dB	53ｄＢ	-1.5ｄＢ
8%	40ｄＢ	50ｄＢ	10ｄＢ	51.5dB	50ｄＢ	-1.5ｄＢ
5%	35ｄＢ	46ｄＢ	11ｄＢ	46.5dB	46ｄＢ	-0.5ｄＢ
4%	30ｄＢ	43ｄＢ	13ｄＢ	41.5dB	43ｄＢ	1.5ｄＢ

エネルギーの面から風車騒音の値を補正した数値を使えば、不快感を覚える人の割合が、ほぼ一致すると言えます。超低周波音を無視すれば、この違いの合理的な説明は出来ません。

交通騒音の場合は、53ｄＢの場合は、10%の人が非常に不快であると感じ、風車音の場合は、20%の人が非常に不快であると感じます。過去の研究結果から考えれば、不快感の内容に大きな違いがあるのです。

また、銭函での G 特性音圧レベルは 67.950932ｄＢですから、100ｄＢよりは低い数値です。

ISO7196 の中心周波数での、平坦特性での音圧レベルは、

中心周波数（Hz）	0.25	0.315	0.4	0.5	0.63	0.8	1	1.25	1.6	2	2.5
銭函（平坦特性ｄＢ）	51.39	57.76	62.60	65.99	69.41	71.60	71.82	71.97	71.45	71.53	71.33
中心周波数（Hz）	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5
銭函（平坦特性ｄＢ）	71.54	70.30	69.88	67.92	63.91	59.42	55.67	51.17	47.02	48.24	49.40
中心周波数（Hz）	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	
銭函（平坦特性ｄＢ）	44.68	41.86	40.38	44.90	42.97	40.98	38.58	37.28	34.08	33.15	

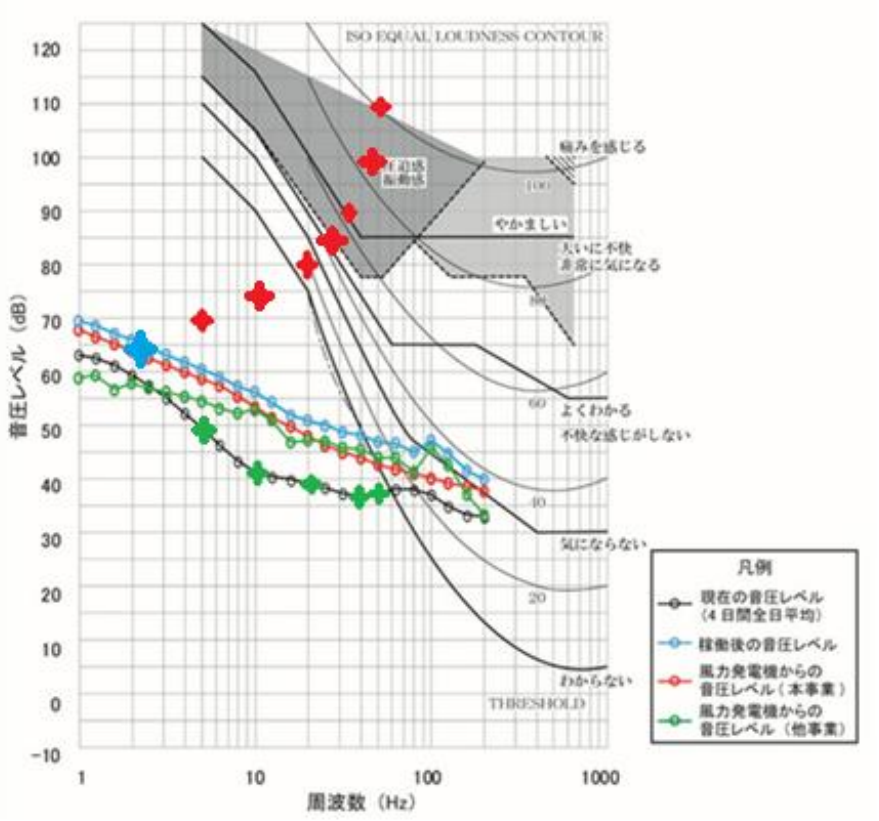
5Hz では 69.88≒70ｄＢ、1.25Hz では 71.97ｄＢ　です。ガタツキ閾値の数値、5Hz で 70ｄＢになっています。

表１　低周波音による物的苦情に関する参照値

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 中心周波数(Hz)	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 音圧レベル(dB)	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99

ガタツキが起きて、夜中に目が覚めても不思議ではありません。

上の表では、周波数が下がればガタツキ閾値も小さくなります。



出典：「文部省科学研究費『環境科学』特別研究：超低周波音の生理・心理的影響と評価に関する研究班
『昭和 55 年度報告書 1 低周波音に対する感覚と評価に関する基礎研究』」より作成

図 10.1.4-8(1) 圧迫感・振動感を感じる音圧レベルとの比較結果

（環境－①：春季全日平均）

上の図から、2Hz で 65ｄＢ程度で、ガタツキが起きると考えられます。
上のグラフは、ある風力発電の会社が作った２つの資料を合成したものです。

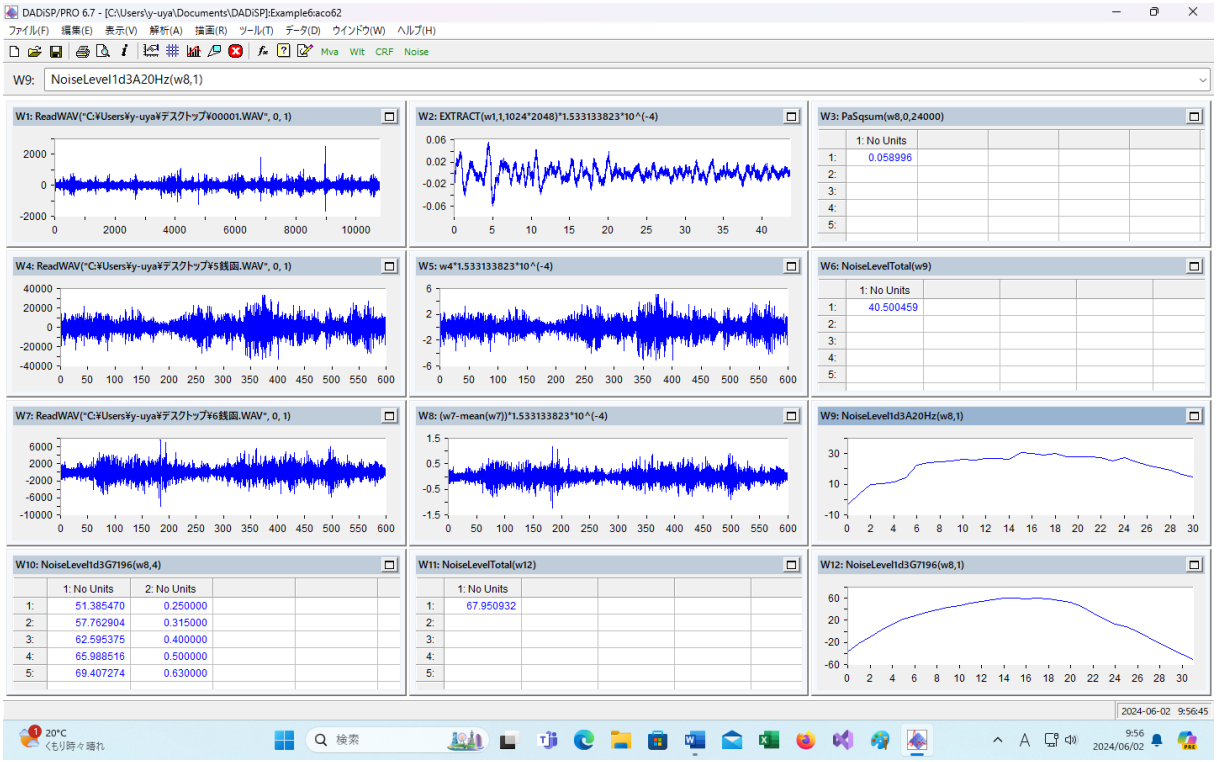
また、

● 景観のような視覚的な要素や経済的利益に関する事項等も、わずらわしさ（アノイアンス）の度合いを左右する

6

風車は海の上にあるので、良く見えます。お金も貰っていないのです。かなりの被害が起きても不思議ではありません。風車が撤去されれば、超低周波音も無くなり、風車が見えることも無くなるで、アノイアンスの度合いは低くなるでしょう。

なお、計算は次のワークシート(aco62)です。



銭函は、石狩湾の大型風車群の中心から 10ｋｍの位置にあり、一番近い風車は 5ｋｍの距離にあります。
銭函での計測結果は、超低周波音の領域では一番大きな数値になっている茶色の線です。
銭函での騒音レベル（A 特性音圧レベル）は、40.500459ｄＢです。

他にも問題点は山のようにあります。

４．６　鹿島港洋上風力発電事業環境影響評価方法書　住民説明会資料の確認

2021 年 ８月、株式会社ウィンド・パワー・エナジーが公開した住民説明会資料より、

洋上風力の風車は、大きいです。そして、沢山並びます。

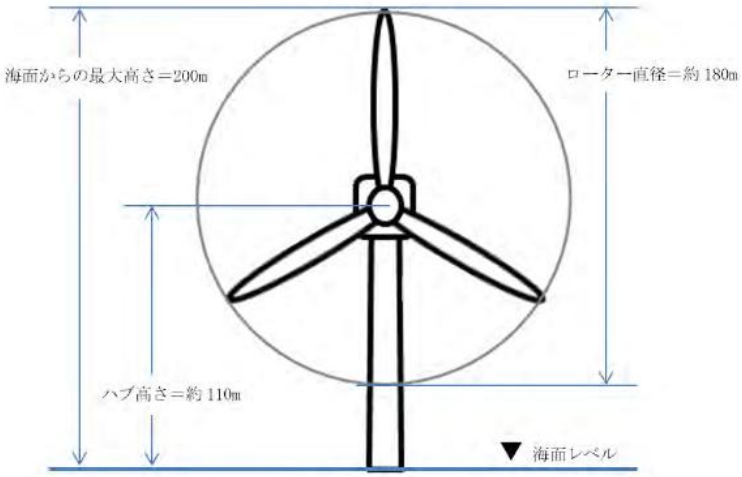
１．対象事業の概要

施設の規模

想定する事業規模は下表のとおりです。

項目	諸元
風車単機出力	8,400kW～ 9,500kW
ブレード枚数	3枚
ハブ高さ	約110m
ブレード 回転直径	約180m
海面からの最大高さ	200m
基数	19基
総出力 （最大）	180.5MW

※上記範囲以外の数値になる可能性有り。



３．環境影響評価を行う項目と調査、予測及び評価の手法

環境影響評価項目：（1）騒音・超低周波音・振動

② 騒音レベルの目安

騒音レベル（dB）	騒音の例	騒音の程度
120	航空機のエンジン近く	会話不可能
110	工場サイレンの近く	
100	列車が通過する時の高架下	
90	機械作業場、空調機械室、印刷工場内	
80	交差点、マーケット、国道	会話困難
70	劇場、百貨店、銀行のロビー、騒がしい事務所	会話に少し大きな声が必要
60	レストラン、大きな商店、ホテルのロビー	楽に会話ができる
50	劇場、映画館の観客のざわめき	
40	静かな住宅地	
30	郊外、ラジオ放送スタジオ	
20	木の葉がすれ合う音	
10	ささやき声	
0	最小可聴値	

※ 騒音レベル（dB）：数字が大きいほど音が大きい。

例）大型風車１基からの騒音影響（NEDO式による予測結果）

騒音レベルの意味については、（日本騒音調査ソーチョー）の資料は次のものです。

うるさい	大きく聞こえ、うるさい。声を大きくすれば会話ができる	６０db	・洗濯機（１m） ・掃除機（１m） ・テレビ（１m） ・トイレ（洗浄音） ・アイドリング（２m） ・乗用車の車内
普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	５０db	・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（１m）
	聞こえるが、会話には支障なし	４０db	・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅地の昼
静か	非常に小さく聞こえる	３０db	・郊外の深夜 ・ささやき声

定番の主張です。

3．環境影響評価を行う項目と調査、予測及び評価の手法

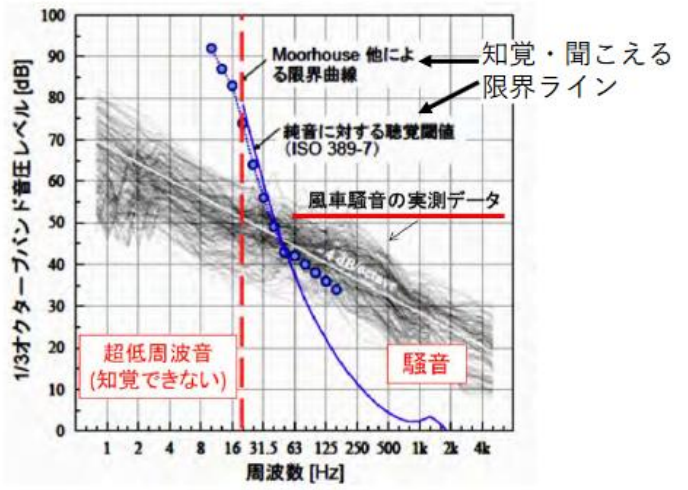
環境影響評価項目：（1）騒音・超低周波音・振動

③ 超低周波音

風力発電施設から発生する20Hz以下の超低周波音については、人間の知覚閾値を下回ること、他の騒音源と比べても低周波数領域の卓越は見られず、健康影響との明らかな関連を示す知見は確認されなかった。

「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」　環境省

- 風車による20Hz以下の超低周波音領域は、すべて知覚閾値を下回る（＝知覚できない）
- 風車騒音は超低周波音ではなく、通常可聴周波数範囲の問題（＝聞こえる騒音の問題）



「風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会　報告書概要」環境省

左側の③超低周波音の記述に関連して、

“[県民の声] 由利本荘沖、男鹿沖、能代沖の洋上風車の建設について”における県知事の回答は、

“超低周波音等による健康影響については、環境省によると、「風車から発生する超低周波音は、音圧レベルが低く、人間に感じられないものであり、また、日常生活において身近な自動車のエンジンから発生するものと比較しても、特別大きいわけではない。」とされています。”

となっています。よく似ていますがその意味は大違いです。

環境省の資料では、“低周波領域”とあり、20Hz～100Hz の領域での比較になっていますが、秋田県の回答は、この部分が抜けているので、超低周波音の領域を含む比較になっています。これでは嘘になってしまいます。

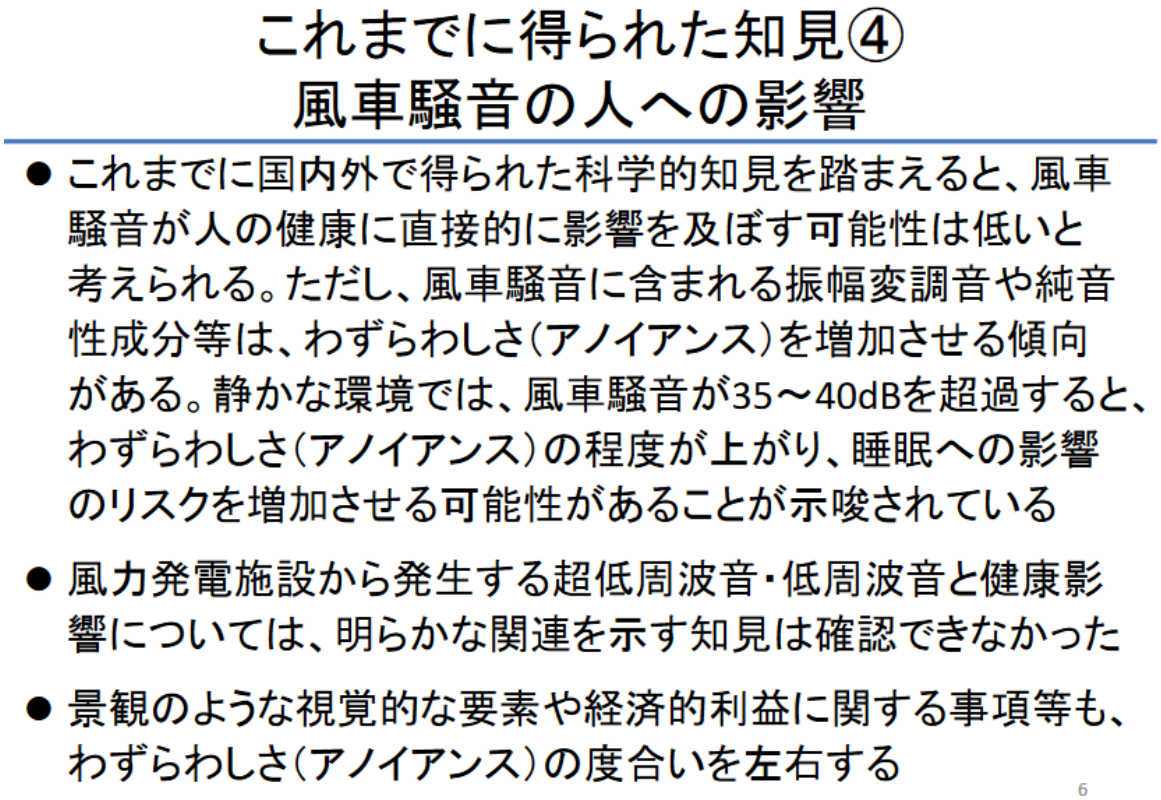
環境省は、グラフでは 20Hz 以下の領域を含めて表示しているが、文章の表現では、20Hz 以上の部分について述べていて、読んだ人が誤解するように誘導しているのです。

環境省の HP の資料には、次の資料があり、回りくどい言い方をしています。

例えば、石狩湾の銭函での騒音レベル（A 特性音圧レベル）は、40.500459ｄB でしたので、

銭函では、“わずらわしさ（アノイアンス）の程度が上がり、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている”となりますので、

銭函での精密騒音計、振動レベル計での計測と不眠に関するアンケート調査が必要です。



ここには、風車音の問題点をどの様に隠蔽し、被害の責任をどのようにして回避するかが凝縮されている。

最初に、

● 風力発電施設から発生する超低周波音・低周波音と健康影響については、明らかな関連を示す知見は確認できなかった

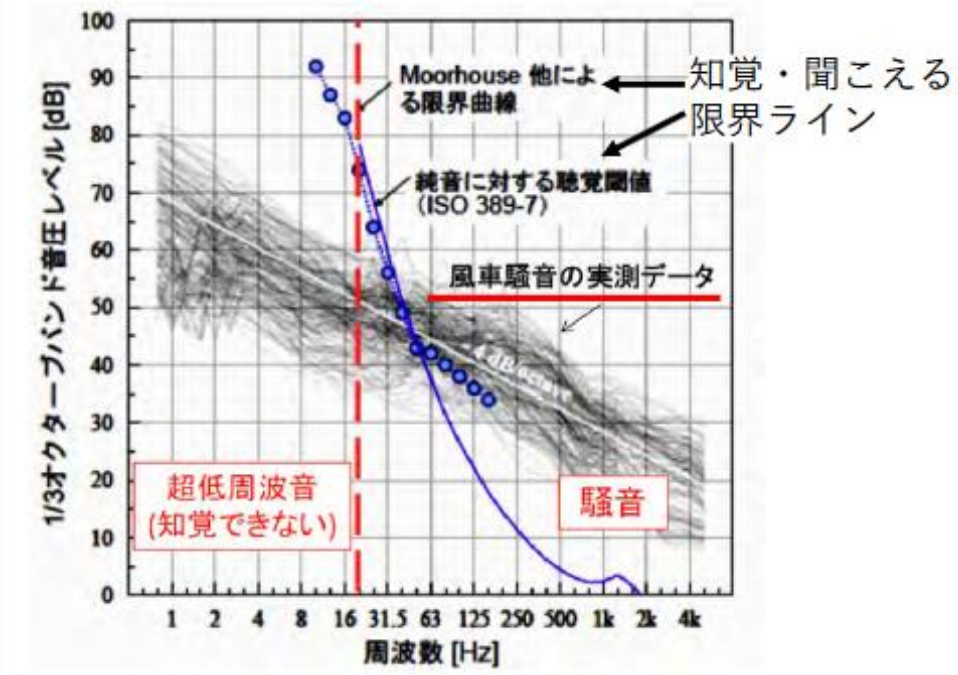
であるが、

明白なことは、“風車を撤去すれば被害は無くなる。”という事です。この事は、普通は、健康被害の原因

が風車である証拠として扱われますが、“被害が起こる仕組みを明確にしなければ、風車が被害の原因だとは認めない。”と主張しているのです。

しかも、“知見は確認できなかった”とあるが、“知見はあったが故意に見落とした可能性が高い。”のです。そう判断する理由は、環境省が“健康被害の原因を明確にしてしまうような計測を妨害し、さらに原因を示すデータを除去しろ。”と言っているからです。

下のグラフを見れば、20Hz 以下の周波数の成分（超低周波音）の音圧が高いことは明らかです。



計測した全ての風車の近くでは、音圧の高い超低周波音が計測されたのは事実です。工場騒音や交通騒音ではこのようなことは起きません。

● 風車による20Hz以下の超低周波音領域は、
すべて知覚閾値を下回る（＝知覚できない）

風車の超低周波音や風車による振動の地中伝搬を、音として聴覚で感知するのは困難ですが、人間は風車の影響を振動を感知する場合があります。音圧が高ければ圧迫感として感知します。音響キャビテーションが起きれば頭痛として風車音の影響を感知します。これらは聴覚よる感知ではありません。

5Hz で 70ｄB あれば、風車音の影響をガタツキとして感知して、目が覚めることがあるのです。圧迫感や不快感、頭痛に関しても、かなり低い音圧でも感知出来て、安眠出来ない状態になります。

風車の場合には、安眠出来ない状態が、毎日毎晩続くのです。

山形県酒田市の市民の意見を確認しておきましょう。

アンケート名:酒田市広報 11 月特集「風のまち酒田の未来を考えるーカーボンニュートラルの実現に向けてー」質問５回答には、

“今陸上風車から約２キロのところに住んでいますが、騒音で眠れない、起こされる日が年に何十日もあります。中心市街地から近い場所に建てることは公害となる可能性があり問題です。

大型の風車の音はどこまで聞こえますか。聞こえないくらい離すべきです。騒音規制ギリギリでは被害が出ているので、聞こえない位置まで離さなければなりません。促進区域の時点で遠くへ設定しなければ、事業

者公募で否定できませんよね。事業者は何かと理由をつけて対応しません。結局市役所にクレームが行くのではないですか。一度決めたことは後戻りできないのでしょうから、今遠くへ設定すべきと考えます。もちろん地球温暖化対策は大切ですが、普通の住宅街に住んでいる人に健康への影響を出してまで推し進めるものではないのではないでしょうか。苦しんでいる人を切り捨てないよう、切にお願いします。“

これでは疲れがとれません。体力も気力も無くなってしまいます。子供の学習にも大きく影響します。引っ越しにもお金がかかります。大変な被害なのです。

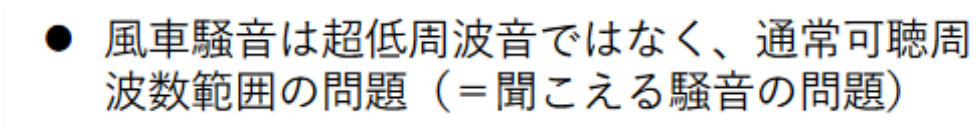
人間の感覚が聴覚だけだと思ってはいけないのです。

環境省は、計測された超低周波音が、“風雑音”だと主張します。原因は“マイクに風が当たったことが原因の疑似音”だと言います。

これが嘘であることは、周波数スペックトルを詳細に調べれば分かります。

周波数スペクトルの構造と、風車全体の振動、風車側面の振動、風車側面の変形、風車音の指向性、回転に伴う揚力ベクトルの変化による塔の周期的な振動を調べれば、風車から超低周波音が発生する仕組みが判明します。

また、“騒音”を 20Hz 以上の可聴音と定義して、“風車騒音”の部分すなわち風車音のうちで 20Hz 以上の可聴音を使って、



というような主張をします。

残念ながら、この主張は単なる同義反復です。“風車騒音”は 20Hz 以上の成分を指すのですから、超低周波音（20H z 以下の音）ではありません。ですから、“風車騒音は超低周波音ではなく”の部分は正しい。風車騒音は 20H z 以上の周波数成分を指し、この部分は可聴域の音なので、風車騒音の問題は通常可聴周波数範囲の問題であり、聞こえる騒音の問題です。

ですが、

風車音は､強烈な超低周波音と微弱な可聴音から構成されているのです｡音のエネルギーの比率で言えば、超低周波音の部分が 93%以上、可聴域の音が 7%以下なのです。超低周波音の音圧が高く、周波数スペクトルが離散的になるので、音響キャビテーションの条件を満たす場合には、物理的な理由で頭痛起きます。高い音圧の影響で、圧迫感や不快感と覚える人もいます。交通騒音と風車音で“非常に不快である”と感じる割合に違いが出るのです。

周波数スペクトルの詳細が判明すれば、環境省の嘘がバレてしまうので、風車音の計測対象や結果の評価を 20Hz 以上の限定するように、県や市に圧力をかけています。

そして、多くの学者様は、聞こえなければ影響は無い。との主張や風雑音説に賛同します。

一言で言えば､“超低周波音には言及するな！”と環境省が言っているのでから、この指示に反することを行えば、全てが判明します。

超低周波音の周波数特性を精密に調べれば、それが“風雑音”ではなく、風車からの超低周波音だと判明す

る。
超低周波音の最大音圧と環境影響の症状、唾液コルチゾール検査結果の相関性が高いことが分る。
超低周波音*周期の値と頭痛の関連性が高いことが分る。
超低周波音の離散的な特徴が、音響キャビテーションの原因だと判明する。
頭痛を音響キャビテーションの関連が変微分方程式から判明する。これは、風車音による直接的な健康影響を物理的に解明する事になります。

これらを理解しているから、環境省は風車音の精密化周波数スペクトルを調べるなというのです。
風車音の問題の核心は、超低周波音の問題であり、直接的な健康被害としての頭痛は、周波数スペクトルにおける離散的な構造と高い音圧による、音響キャビテーションが原因なのです。
これを理解している環境省は、計測を妨害し、嘘を撒き散らします。それに従って、業者が住民説明会で世には出せない秘密の住民説明会資料を配るのです。県や市は、住民による騒音計測の立ち合いさえも断るのです。

簡単なことから確認します。銭函での騒音レベル（A 特性音圧レベル）は、40.500459ｄB です。
もしも、風車音の問題が、通常可聴域の成分の問題ならば、その特徴は騒音レベルの数値で表現されます。この成分だけが、人体に作用するならば、この数値が同じならば、風車音への反応と交通騒音への反応は同じはずです。
“静かな環境では、風車騒音が 35～40ｄB を超過すると、わずらわしさ（アノイアンス）の程度が上がり、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている”
の部分ですが、
風車以外の騒音で 35～40ｄB だったら、わずらわしさ（アノイアンス）の程度は上がるのでしょうか？

普通	聞こえるが、会話には支障なし	４０db	・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅地の昼
静か	非常に小さく聞こえる	３０db	・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	２０db	・ささやき ・木の葉のふれあう音

風車音以外での騒音問題は、わずらわしさ（アノイアンス）の概念自体が必要ないのです。うるさいか否かを問題にすれば済むのです。
“極めて不快である”との観点から、風車音と交通騒音を比較すると、可聴域音から計算される騒音レベルの数値が同じでも、不快感を覚える人の割合に大きな差が出ます。
ですから、騒音レベル（A 特性音圧レベル（20Hz～））の観点では、風車音の問題を理解できないのです。

この差が出る理由を見つけることが、学者様の研究の様です。
研究成果は、
風車に反対だから、わずらわしさを感じる。
業者の説明の仕方が下手だから、わずらわしさを感じる。

風車が見えるから、わずらわしさを感じる。
経済的利益が得られないから、わずらわしさを感じる。
等があります。
そして、
聴覚では感じなくても、2Hz で 65ｄB 程度あれば、ガタツキが起きて睡眠妨害を引き起こす。
聴覚で感知できなくても、100ｄB よりもかなり低い音圧を耳以外の器官で感知し圧迫感を覚える。
風車振動の地中伝搬によって、音以外の要因で、睡眠を妨害される。（風が強い時は風車が大きく揺れます。）
に対しては、
超低周波音の様に見えるのは“風雑音”であり、風車からの超低周波音ではない。よって風車を建てた業者に責任はない。
と言い張るのです。
　そして、多くの学者様は、周波数が正確に計算できてしまう普通の FFT を使わないのです。1/3 オクターブ解析で計測結果を表現して、正確な周波数が分からないようにして論文を発表するのです。環境省に協力して、原因を隠しているのです。さらに、風車被害の原因を捏造するのです。

　風車が建つ前や風車が無い場所には、音圧が高く、離散的な周波数構造を持ち、風車の回転数に合わせて周波数と変える“風雑音”は存在しないし、風車を撤去すれば、この様な“風雑音”は消えるのです。

５．不快感、アノイアンス、健康影響、健康被害　と要因

５．１　低周波音の影響

環境省の、低周波音問題に関する Q&A

Q６　『参照値』に科学的な根拠はありますか？
A６　『参照値』は平成 15 年に独立行政法人産業総合研究所において実施した聴感実験データから、一般被験者の 90%の人が寝室で許容できるレベルとして設定したものです。この聴感実験では、低周波音を発生させた実験室に被験者を部屋に入れて、被験者の反応を調査することで行いました。なお、**被験者は、実験室の中で、耳だけでなく全身が低周波音に浴しており、いわゆる骨導音の影響も実験の中で自然に含まれ、総合的に把握されていると考えられます。**

次のQ10 は、問題が多い内容ですので後ほど検討します、

Q10　風力発電から、低周波音が出て健康や生活環境に影響があると聞きましたが本当ですか？
A10　風力発電施設から発生する音には低周波音も含まれますが、他の環境騒音（交通騒音等）と比べて特に大きいわけではありません。風力発電施設から発生する音と健康影響の関係については、国内外で様々な研究が進められていますが、風力発電施設から発生する超低周波音・低周波音（※）と健康影響について、現段階において、明らかな関連を示す知見は確認できませんでした。
　環境省では、平成 25 年度から「風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会」を設置し、平成 28 年 11 月に検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」が取りまとめられました。
　検討会報告書では、これまでの国内外で得られた研究結果を整理しています（詳細は検討会報告書を参照ください。）。
　まず、日本の風力発電施設から発生する音の実測調査の結果、風力発電施設から発生する超低周波音は、音圧レベルがそれほど高くなく、人間の知覚閾値以下であることがわかりました。また、他の環境騒音を比較した結果、風力発電施設から発生する音は、低周波数領域で卓越があるわけではありませんでした。
　また、国内外の風車騒音と人への健康影響について、過去の研究を広く整理し専門家による審査を経て医学会誌等に掲載されたレビュー論文や、各国政府による報告書等を整理したところ、風力発電施設から発生する超低周波音・低周波音と健康影響については、明らかな関連を示す知見は確認できませんでした。
　ただし、検討会報告書では、一般的な騒音の問題として、生活環境を保全する観点から騒音の評価の目安を定めるべきとされ、その後環境省により指針が定められています（Q11 を参照ください）。
※　低周波音というのは、一般に１００Hz 以下の周波数の音を指します。その中でも２０Hz を下回るものは、超低周波音と呼ばれ、通常人間には聞こえません。超低周波音は音圧レベルが高くなると、圧迫感等を感じさせる場合があることが知られています。

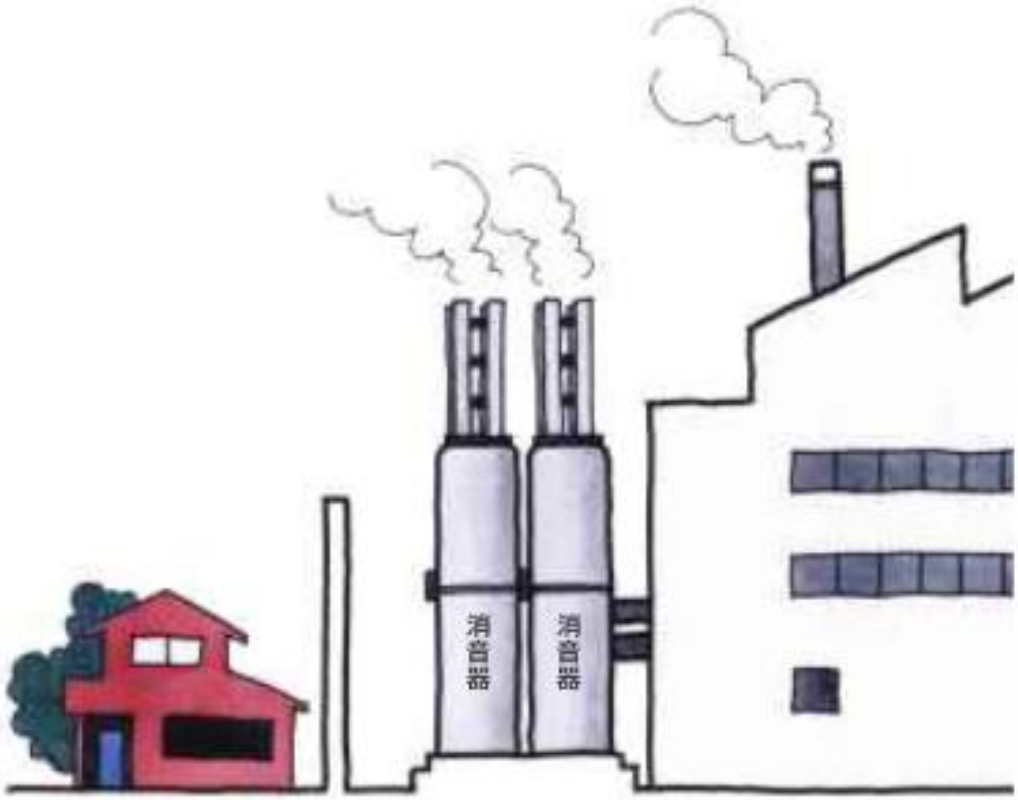
環境省の、“よくわかる低周波音”には、

5 低周波音を防止するには

低周波音は発生源対策が効果的

低周波音は、通常の騒音の場合に比べて塀や壁による防音効果はあまり期待できません。

低周波音の対策には、発生源の対策が最も効果的です[15]。ただし、低周波音の対策は大掛かりなものになります。



15) 低周波音の対策は、発生源の対策が基本ですが、以下のような対策で窓のがたつきや不快感が解消されることがあります。
- 窓ががたつく場合：隙間にパッキングを取付ける、ガラスを桟(さん)にパテなどで固定する。
- 部屋の場所により不快で眠れない場合：寝る向きや寝る部屋を変えてみる。

なお、対策に関して詳しくお知りになりたい方は「低周波音防止対策事例集」(平成14年、環境省)をご覧下さい。

低周波音の対策は、発生を防ぐことなのです。発生してしまった低周波音を防ぐのは不可能なのです。

回転軸が水平の風車は、超低周波音の発生器そのものなのです。どうしても、風力発電に拘るのならば、垂直軸型の風車の音についての計測と研究をすべきです。発生源対策としては、水平軸から垂直軸への転換だけが、残された方法です。

低周波音の測定方法に関するマニュアル（平成 12 年 10 月）
の
参 考 資 料―低周波音の基礎知識―の-参考 2 -のページには、
“c.1 低周波音苦情の分類
低周波音の苦情は人に関する苦情（心理的苦情、生理的苦情）と建物等に対する苦情（物的苦情）に大きく分けられる。それぞれの苦情内容は以下に示すとおりである。
（1）心理的苦情 気分のいらいら、胸や腹の圧迫感
（2）生理的苦情 頭痛、耳なり、吐き気、
（3）睡眠影響
（4）物的苦情 家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動
このうち、人体に関する苦情は、低周波音との因果関係がはっきりしない場合も少なくない。物的苦情では、振動が原因であると思われていたものが、実は低周波音が原因であったという場合もある。“
と書いてある。

低周波音による被害につての研究もあった。
“低周波音の基礎および伝搬・影響・評価”（小林理学研究所　落合博明）には、

6. 低周波音苦情の分類

低周波音の苦情は人に関する苦情（心理的苦情、生理的苦情）と建物等に対する苦情（物的苦情）に大きく分けられる。低周波音苦情の分類を表-3に示す。

表-3 低周波音苦情の分類

心理的苦情	睡眠妨害、気分のいらいら
生理的苦情	頭痛、耳なり、吐き気、胸や腹の圧迫感
物的苦情	家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動、瓦のずれ

秋田県由利本荘・にかほ市の低周波音被害調査

	発電規模(kW)	基数	自宅までのおよその距離		主な症状
1	19.8	3	70ｍ	70代 男	小型風車騒音がうるさい
2	1,250 600	2	400ｍ	60代 男	耳鳴り、平衡感覚
3	19.2	6	110ｍ	70代 男	小型風車騒音がうるさい
	1,990	3	1ｋｍ		
4	3,200	13	2ｋｍ	30代 女	睡眠障害
5	19.5 ～19.8	3	75,105,250ｍ	30代 男	小型風車騒音がうるさい
6	1,990	3	1ｋｍ	60代 女	頭の中で太鼓がなっているようだ
7	3,000	17	2ｋｍ	50代 女	耳鳴り、頭痛
8	1,990	1	300ｍ	50代 男	シャドウーフリッカー
9	19.5	3	500ｍ	30代 女	小型風車騒音、耳鳴り
10	1,250 600	2	900ｍ	70代 男	近付くと頭痛
11	2,300	7	2.1ｋｍ	70代 女	睡眠障害
12	1,990	1	700ｍ	80代 女	睡眠障害
13	19.5	3	70ｍ	70代 女	小型風車による頭痛
14	1,250 600	2	550ｍ	80代 女	シャドウーフリッカー
15	1,990	1	1.7ｋｍ	70代 男	耳鳴りがひどい
16	1,990	1	2.5ｋｍ	60代 男	低周波音を感知
	2,300	7	3.5ｋｍ		
17	1,990	1	1.8ｋｍ	60代 女	シャドウーフリッカー
18	1,990	2	2.0ｋｍ	60代 男	睡眠障害、低周波音感知
	2,300	7	2.3ｋｍ		
19	特定できない			60代 男	近付くと気分が悪くなる
20	特定できない			60代 女	エコキュート、騒音
21	19.6	3	60,80,120ｍ	40代 女	耳鳴り、鼻血

表1 東伊豆での風車停止中の被害改善調査（%）

風車からの距離(m)	500m未満	500～700m未満	700～900m未満	900m以上	生理的要素
不　眠	71	27	13	0	距離が離れると改善
血　圧	18	15	0	0	距離が離れると改善
リンパ腺の腫れ	6	2	0	0	距離が離れると改善
胸腹歯耳鼻痛	41	39	25	0	距離が離れると改善
煩い・イライラ	59	61	75	0	心理的要素も
頭痛・肩こり	41	39	81	33	心理的要素も
全体で改善	94	76	94	33	心理的要素も

注：事故停止中、住民121人中の77人が回答した。改善63人(改善率82%)。調査結果に転居(10戸)避難者は含まない。出典：三井大林熱川自治会（2009）。

表3 健康影響の種類とその頻度

	全くない	わからない	毎日	週1程度	月1程度	月1以下	合計
憂鬱になる	7	1	**6**	**7**	**5**	**2**	**20**
怒る	6	2	**4**	**7**	**9**	**0**	**20**
集中できない	5	1	**7**	**9**	**4**	**2**	**22**
神経質になる	6	1	**7**	**5**	**9**	**0**	**21**
緊張する	5	4	**7**	**4**	**3**	**5**	**19**
不安になる	5	1	**5**	**4**	**8**	**5**	**22**
なかなか寝付けない	6	1	**5**	**10**	**2**	**4**	**21**
よく眠れない，何度も目が覚める	6	2	**5**	**9**	**4**	**4**	**22**
めまいがする	8	5	**2**	**6**	**5**	**2**	**15**
頭痛がする	6	5	**1**	**6**	**7**	**3**	**17**
吐き気がする	6	6	**3**	**5**	**4**	**4**	**16**

以前、環境省は

“風車の超低周波音の発生原理は基本的には送風機のいわゆる回転音と呼ばれるものと似ている。大型発電用風車の場合は、羽根の枚数が少なく、回転数も小さいために正常運転でも超低周波音を発生することがある。その基本周波数 f（Hz）は、翼の回転数を R（rpm)、翼枚数を Z（枚）とすると f ＝RZ/60 （Hz）で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は 1～3 枚（3 枚が主)、回転数は 30～60（rpm）程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。“

と言っていました。

“基本周波数は数 Hz 以下になる。”と言っているのだから、超低周波音にも関心を持っていたことは間違いない。

５．２　うるささと不快感

風車音と交通騒音では被害状況に差があることも知っていた。

”**検討会報告書**「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」“には、
報告書（ｐ14）に、
“風車騒音とわずらわしさ（アノイアンス）との量-反応関係についても多くの研究がなされている。複数の報告により、同程度の音圧レベルにおいては、風車騒音は他の交通騒音よりもわずらわしさ（アノイアンス）を引き起こしやすいことが示唆されている。

表 1 の Kuwano らの研究により得られた、日本を対象とした、風車騒音と道路交通騒音を非常に不快であると感じた者の割合（%HA）を図 7 に示す。この図によれば、非常に不快であるとの回答確率が 30%程度となる騒音レベルは昼夜時間帯補正等価騒音レベル（Ldn）で 60dB 程度、20%程度は 53dB 程度、10%程度は 43dB 程度となる。

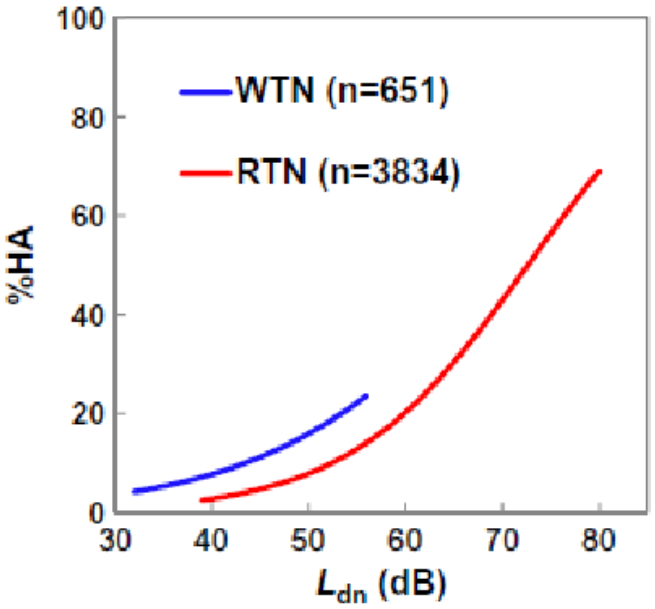


図 7　風車騒音（WTN）と道路交通騒音（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（L_{dn}）※と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（%HA）

※ 風車騒音については、終日定常的に運転されていると仮定し、LAeq に 6dB を加算して Ldn を推計している。
なお、McCunney らは、多くの研究成果より、風車騒音と関連付けられるわずらわしさ（アノイアンス）との間は線形の関係が見られる傾向にあるが、わずらわしさ（アノイアンス）に関連する要因としては風車騒音は 9%から 13%の範囲の寄与にとどまり、景観への影響等、他の要因の寄与が大きいと考えられると報告している。”
と書かれている。

住民が風車建設に反対する理由や、風車による不快感、わずらわしさ（アノイアンス）、うるさい、健康影響、健康被害　の内容ですが、

住民と風車の距離にあまり影響されないグループ。

業者の説明や事業の進め方に対する不快感
風車建設時の騒音や振動
建設後の道路、山の斜面の崩落
河川にたまる土砂の撤去（農業用水の確保に手間がかかる）
建設後の緑化の為に蒔いた外来種の種で在来種が消えてしまう。
植相の変化による影響
動物の行動変化による被害の増加（食物となる植物が減る）
外来種によって増えてしまう草刈りの回数（人件費やガソリン代などの増加）
希少種のバードストライクによる、食物連鎖の崩壊と害獣（ネズミ）の増加

住民と風車の距離に影響されるグループ。

風車が見えるという景観上の問題
家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動
瓦のずれ
風車による振動の問題（地中伝搬、共振、強制振動）
風車からの強い光“航空障害灯”の問題
風車の回転でのフリッカーの問題
近づくと気分が悪くなる
低周波音を感知
風車の騒音がうるさい
風車からの音による不快感
不眠
睡眠障害
なかなか寝付けない
よく眠れない、何度も目が覚める
うるさい
胸や腹の圧迫感
頭痛がする
吐き気がする
耳鳴り
めまいがする
鼻血
血圧
リンパ腺の腫れ
胸腹歯耳鼻痛
肩こり
平衡感覚
頭の中で太鼓がなっているようだ
憂鬱になる

怒る
集中できない
神経質になる
緊張する
不安になる
気分のいらいら、
コルチゾール検査の数値

住民の社会活動や経済活動に影響を与えるグループ。
眠くて仕事でミスをする
眠くて授業中に寝て、学力が落ちる
居眠り運転で交通事故を起こす
体力が落ちて潜水時間が減る（収入の減少）
安眠妨害での体調不良や体力低下
体調不良者の増加による医療費の増加
転出者が増えて税収が減る
人が減り、地域の行事に支障がでる。
漁場が狭くなり収入が減る
魚種の変化で収入が減る

風力発電に対する賛否
業者からの保証金や地域への金銭の支払い

などが考えられます。

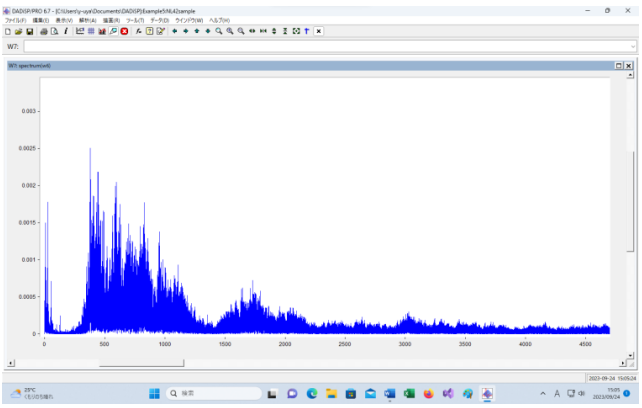
健康影響とその原因に関しては、
本巣氏の論文には、
“米国風力エネルギー協会（American WindEnergy Association: AWEA）およびカナダ風力エネルギー協会（Canadian Wind Energy Association: CanWEA）の報告書では，医師や音響学者を中心とした委員会を設け，風力発電所から発せられる低周波音と健康影響の有無について既往研究をもとに調査した．その結果，風力発電所による低周波音が直接的に人体に害を及ぼすことを証明するデータは確認できないと報告している 12)．同様の報告は，Danish Electronics, Light & Acoustics（DELTA）の報告書 13)にも見られる．”
とあります。
検討会報告書では、
“まず、日本の風力発電施設から発生する音の実測調査の結果、風力発電施設から発生する超低周波音は、音圧レベルがそれほど高くなく、人間の知覚閾値以下であることがわかりました。また、他の環境騒音を比較した結果、風力発電施設から発生する音は、低周波数領域で卓越があるわけではありませんでした。
また、国内外の風車騒音と人への健康影響について、過去の研究を広く整理し専門家による審査を経て医学会誌等に掲載されたレビュー論文や、各国政府による報告書等を整理したところ、風力発電施設から発生する超低周波音・低周波音と健康影響については、明らかな関連を示す知見は確認できませんでした。

ただし、検討会報告書では、一般的な騒音の問題として、生活環境を保全する観点から騒音の評価の目安を定めるべきとされ、その後環境省により指針が定められています（Q11 を参照ください）。
※　低周波音というのは、一般に１００Hz 以下の周波数の音を指します。その中でも２０Hz を下回るものは、超低周波音と呼ばれ、通常人間には聞こえません。超低周波音は音圧レベルが高くなると、圧迫感等を感じさせる場合があることが知られています。“

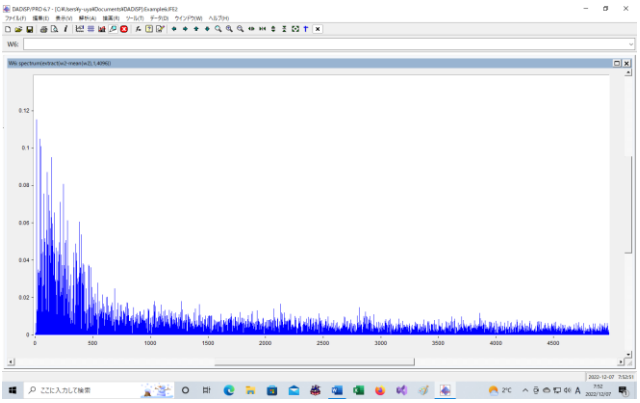
“風力発電所から発せられる低周波音”が何を意味しているのかが大きな問題となる。上の解釈では“20Hz～100Ｈｚ”の意味であり、20Hz 以下は“超低周波音”と呼ばれるので、関連性を調べたのは 20Hz 以上の成分と健康影響の関係です。

まず、“他の環境騒音を比較した結果、風力発電施設から発生する音は、低周波数領域で卓越があるわけではありませんでした。”の部分ですが、他の騒音と比較してみます。

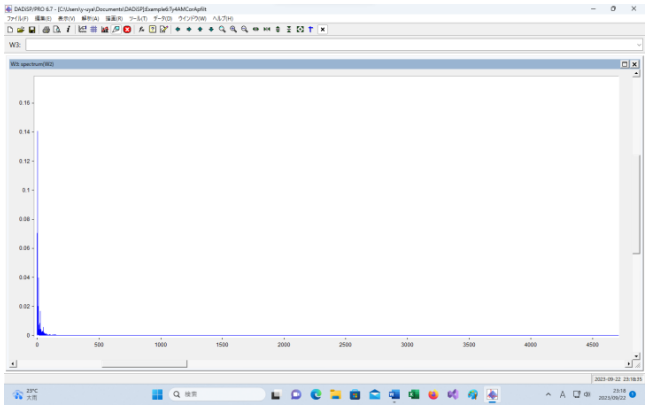
リオン社前の交通騒音(0～5000Hz)　：最大音圧 0.0025[Pa]（379.4[Hz])



JFE の製鉄所内の音(0～5000Hz)　；　最大音圧　0.12[Pa](12Hz)



風車音(0～5000Hz)；最大音圧　0.14[Pa](0.8Hz)（強風時は 0.42[Pa])

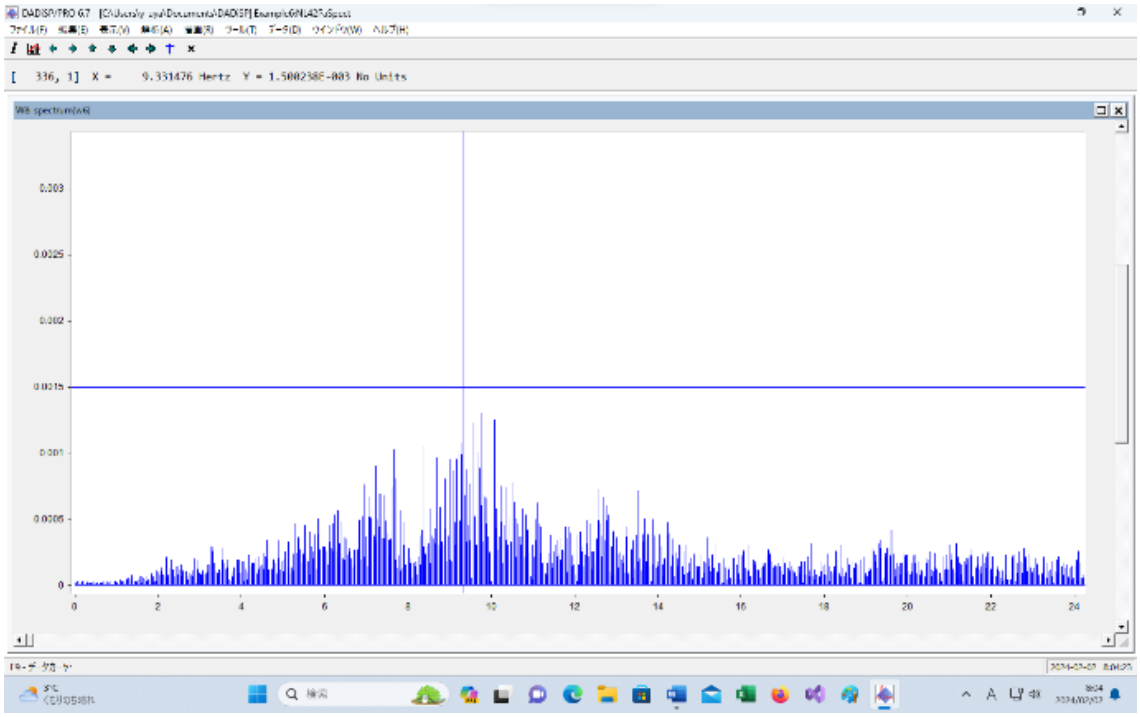


風車音は、左端の細い線で表されています。

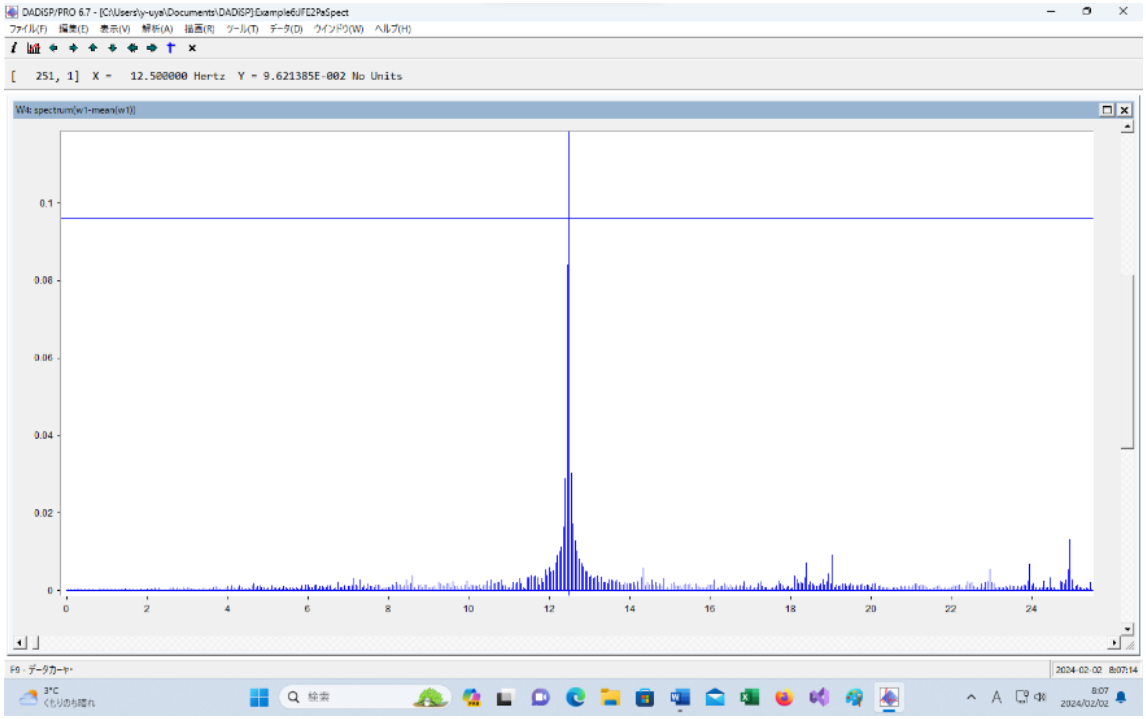
風車音の最大音圧 0.14[Pa]は、交通騒音での最大音圧 0.0025[Pa]の 56 倍です。強風時の最大音圧は 0.42Pa ですから交通騒音の 168 倍です。

超低周波音の領域（20Hz 以下）に限定すれば、次の結果となります。

交通騒音（0～25Hz）での最大音圧は、0.0015Pa（0.93Hz）



工場騒音（0～25Hz） 最大音圧 0.1Pa（12.5Hz）


DADiSP/PRO 6.7 - [C:\Users\y-uya\Documents\DADiSP]Example6UF2PaSpect
ファイル(F) 編集(E) 表示(V) 解析(A) 描画(R) ツール(T) データ(D) ウインドウ(W) ヘルプ(H)
[251, 1] X = 12.500000 Hertz Y = 9.621385E-002 No Units
W4: spectrum(w1-mean(w1))
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24

風車音(0～5000Hz)；最大音圧 0.14[Pa](0.8Hz)（強風時は 0.42[Pa])

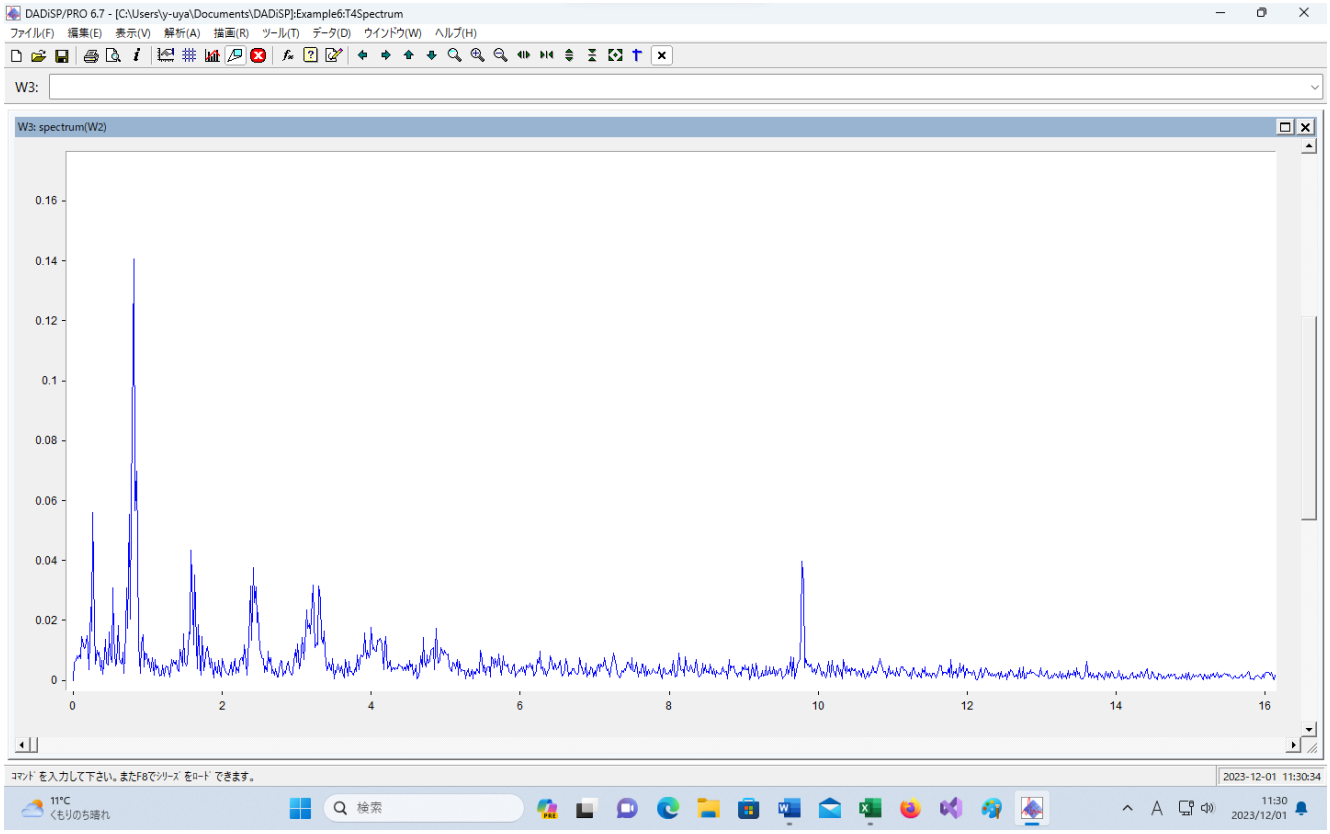


図.3 Wind turbine noise (0～25Hz)

風車音は、周波数に倍音構造が見られます。
音圧がピーク値となるときの周波数に、次のような規則性がある。

周波数	周波数/0.8167	音圧[Pa]
0.2667	0.3266	0.0560
0.5333	0.6530	0.0309
0.8167	1.0000	0.1405
1.5833	1.9387	0.0436
2.4167	2.9591	0.0377
3.2167	3.9387	0.0317
4.0000	4.8978	0.0177
4.8667	5.9590	0.0173
5.4667	6.6936	0.0101
6.2667	7.6732	0.0098

この性質は、偶然ではありません。風車音が発生する仕組みからの必然的な帰結です。　風車音の発生する仕組みと上の表を見比べると、風車の超低周波音は、離散的な性質を持っている事と、周波数、f=RZ/60＝0.8 Hz で特に高い音圧となることが分ります。これは、“超低周波音の解析と発生の仕組み”でのマクローリン展開の係数の性質と一致しています。

従って、“他の環境騒音を比較した結果、風力発電施設から発生する音は、低周波数領域で卓越があるわけではありませんでした。”
の部分は、
“超低周波音の領域まで含めて比較すれな、風車音の音圧は他の環境騒音よりも卓越した音圧を持っています。”と修正すべきです。

不眠の原因としては、“音がうるさい”以外にも、低周波音を感知、耳鳴り、吐き気、頭痛、イライラ、胸や腹の圧迫感、家具や建具の振動、風車からの光
などがあります。
この中で、吐き気、頭痛、イライラ、胸や腹の圧迫感、家具や建具の振動、風車からの光　は、聴覚での感知ではないのだが、この中のどれが起こっても、不快になるのです。
これらは風車の影響を感知して起きるのです。風車からの超低周波音に関する知覚閾値として 100ｄB を主張する事も多いのですが、聴覚での感知に限れば、ある程度納得できる数値ですが、ガタツキが起きても目が覚めます。ガタツキ閾値は 5 Hz で 70ｄB です。ガタツキ閾値の数値は、周波数が下がると閾値も小さくなります。風車音の最大音圧は 0.5Hz～1Hz の辺りです。この周波数は日本家屋の固有振動数に近い数値です。この周波数でのガタツキ閾値は 65ｄB 程度だと推測できます。もちろん、振動レベル計と精密騒音計での同時計測が必要です。
ですから、最大音圧は 0.5Hz～1Hz の辺りで 65ｄB 程度でも、ガタツキによる睡眠妨害は起きるので、100ｄB より小さな数値の場合でも健康影響は起きるのです。
さらに、“風車振動の地中伝搬”も考慮すべきです。

風車音との関連に絞れば、
“音がうるさい”と、“耳鳴り、吐き気、頭痛、イライラ、胸や腹の圧迫感、家具や建具の振動”
が考えられる。そして、どちらも安眠を妨害します。もちろん不快感も生じさせます。

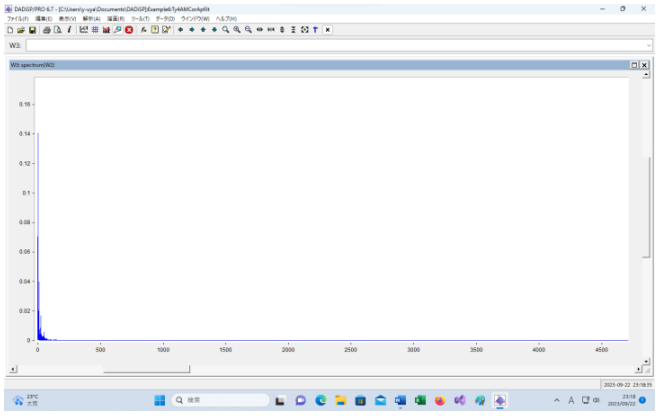
工場騒音、交通騒音と風車音でのエネルギー分布を比較すれば、

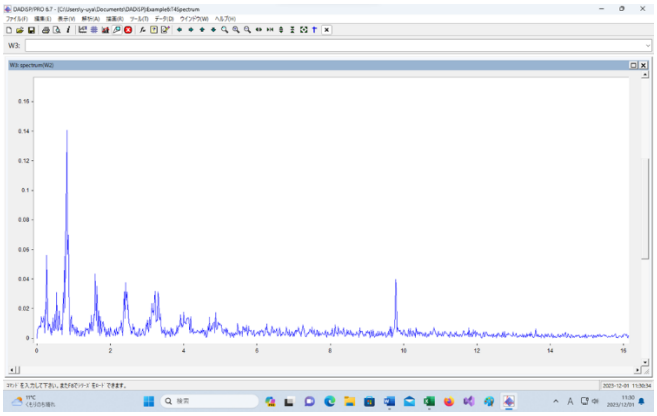
エネルギー分布	0～20Ｈｚ	20Ｈｚ以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

となり、交通騒音では可聴域の成分がエネルギーの 99%を占めるので、風車音は“音がうるさい”という形で影響を与えますが、風車音の場合は、超低周波音の部分の高い音圧が“圧迫する”事によって不快感を生じさせ、さらにガタツキによる睡眠妨害で不快感を生じさせると言えます。

実際の風車音で計測された超低周波音の音圧（パスカル値）は次のようなグラフになります。

全体（0Hz～24ｋHz）　　超低周波音の領域(0～25Hz)





なお、最大音圧は風が弱い時は 0.14[Pa](0.8Hz)、強風時は 0.42[Pa]程度です。

この結果、A 特性音圧レベル(WTN)が同じでも、その値 20Hz 以上の成分から求められるものであり、超低周波音の部分を無視して得られる数値なので、“不快である”との観点で、風車音と交通騒音を比較すれば、グラフにズレが出るのは当然のことです。

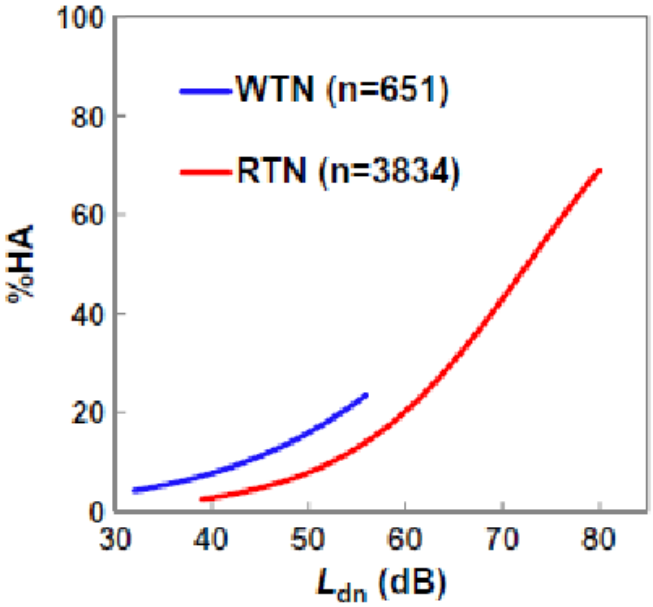


図 7　風車騒音（WTN）と道路交通騒音（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（L_{dn}）※と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（%HA）

カナダ政府の HP には次の資料がある。

Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results でのカナダ政府の見解は、

“**屋外の風車騒音レベル**は、睡眠効率、覚醒速度、覚醒時間、総睡眠時間、または眠りにつくのにかかった時間と関連していることがわかりました。”

“毛髪コルチゾール濃度と知覚ストレス尺度のスコアとの間に一貫性が見られた(すなわち、この尺度のスコアが高いほど毛髪コルチゾールの濃度が高い)が、どちらの指標も**風車騒音**への曝露によって有意な影響を受けないことがわかった。同様に、自己申告による高血圧(高血圧)は測定された血圧の上昇と関連していたが、

測定された血圧または安静時心拍数と**風車騒音**曝露との間に統計的に有意な関連は観察されなかった。“
となっています。
WTN（騒音レベル、A特性音圧レベル）と健康影響の関連性を表にすれば、
（×は関連性無し、〇は関連性あり、△は三段論法で関連性ありと判断できるものを表します。）

	WTN	睡眠障害	心拍数	血圧	コルチゾール	不快感	知覚ストレス	片頭痛	耳鳴り	めまい
WTN		〇	×	×						
睡眠障害	〇									
心拍数	×									
血圧	×				△	〇	△	△	△	△
コルチゾール				△		〇	〇	△	△	△
不快感				〇	〇		〇	〇	〇	〇
知覚ストレス				△	〇	〇		△	△	△
片頭痛				△	△	〇	△		△	△
耳鳴り				△	△	〇	△	△		△
めまい				△	△	〇	△	△	△	

被害者の知覚ストレス､高血圧などの訴えが嘘ではないことが､体調の具体的は変化を伴っていることが、コルチゾール検査で証明されていることを示しています。
ＷＴＮは、20Ｈｚ以上の周波数成分から計算される値であり、風車音のエネルギーの７％程度を対象としている数値です。健康影響との関連が薄いことは当然の事です。
これに関連して、
”平成 28 年 11 月 25 日に検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」の２５ページには、
“２．で述べたとおり、風車騒音による影響については多くの研究が国内外において進められてきており、風車騒音のレベルとわずらわしさ（アノイアンス）を感じる程度の間には統計的に有意な関連が複数の論文で報告されている。また、睡眠影響については、限定的ではあるが、風車騒音が直接あるいは間接的に関係する可能性を示唆する知見が見られた。一方で、**頭痛、耳鳴り等の健康影響については、風車騒音との統計的に有意な関係を示す知見は確認できなかった。**評価の目安においては、これらの知見を踏まえ、わずらわしさ（アノイアンス）と睡眠影響に注目し、風車騒音により、人の生活環境に影響を及ぼすおそれがある地域において、屋内の生活環境が保全されるように、**屋外において昼間と夜間の風車騒音をそれぞれ評価する**ことが適当である。”

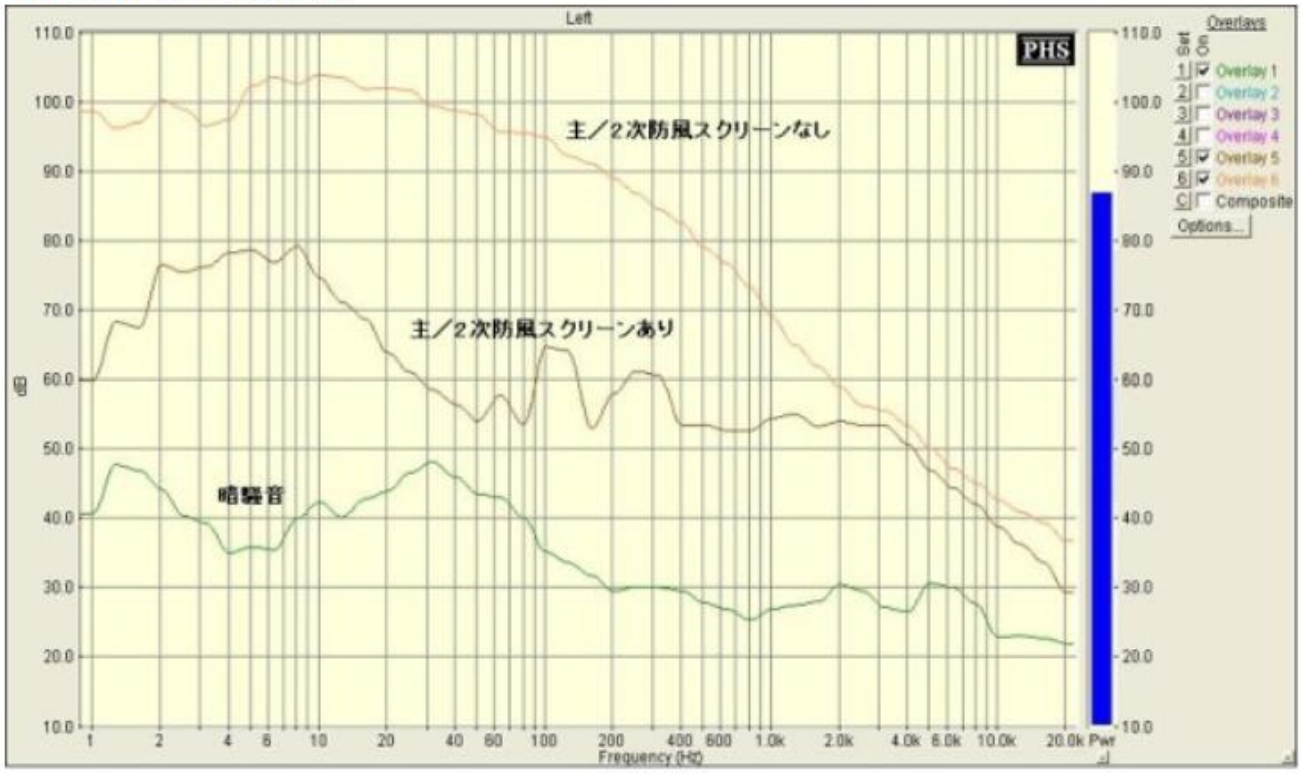
と書いてあるが、
文章を間違えたのではないかと目を疑った。
“**屋外において**昼間と夜間の**風車騒音**をそれぞれ評価することが適当”
は、あり得ません。被害は室内で起きます。
普通の人間は、屋内で眠ります。睡眠の妨げは室内で起きます。被害の状況を調べるならば、被害が起きる室内で、従って屋内で調査しなくてはなりません。被害の状況を把握したくないから、屋内での計測をしないとしか言いようがありません。
逆に考えれば、計測のヒントを述べているとも考えられます。
室内では風が吹きません。従って防風スクリーンを使う必要がありません。防風スクリーンで被害の原因

となる風車音の大きさを低く見せかけて、“影響はありません。”との根拠としているから、室内で防風スクリーンを外して計測することが出来ないのです。室内で防風スクリーン無しで測れば、風車音の被害の根拠が明確になります。

次の資料から、防風スクリーンを使うと、1Ｈｚの近くでは、38ｄＢ程度小さな値として計測されることが分ります。

２次防風スクリーン Φ460×230(H)
主防風スクリーン Φ90半割内蔵
組　　立　：簡易取り付け方式（約10分）

【風切音減少効果】



さらに、室内では共鳴や共振が起きます。また、日本家屋の固有振動数が 1Hz 前後であることを考えれば、寝ているときに床の振動を感じて眠りが浅くなることも十分考えられます。(振動は半規管で認識できます。)

計測は、室内で、騒音計の他に振動レベル計も使ってしっかり計測して、その振動数が明確になるような解析方法（ふつうのデジタル信号処理）を採用する必要がある。

22 ページには、次の記載がある。

“３．風車騒音の評価の考え方、調査・予測、対応策等

２．で示した知見を踏まえると、風車騒音は、20Hz 以下の超低周波音（注）の問題ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音の問題としてとらえるべきものであり、**A 特性音圧レベルでの評価を基本とすることが適当である。**このようなことを前提とした上で、ここでは、風車騒音の評価の考え方を示すとともに、主に風力発電施設の設置事業者を想定し、風力発電施設の設置前・後に行うべき調査・予測の考え方を整理した。なお、今後本報告書の考え方に基づき、より具体的な測定・評価手法を定めたマニュアル等を策定する

ことが適当である。”
との考えがあるが、このような考えは、間違った考えである。

コルチゾール検査の結果は、被害者が実際に強いストレスを受けていることを示している。
風車音特有の被害である“頭痛、耳鳴り等の健康影響”については、“風車騒音”との統計的に有意な関係を示す知見は確認できなかった。
と言うならば、“風車騒音”として、A 特性音圧レベル（20Hz～）の数値で風車音の影響を評価しようと考えたことが間違いなのである。そして、アンケート調査の方法も間違っている。
そもそも、“風車騒音”の対象となる部分は、風車音のエネルギーの 7%程度の部分から計測される数値です。しかも、20Hz 以上の部分に限定すれば、風車音よりも他の環境騒音の方が大きいのです。交通騒音ではこの数値はエネルギーの 99%から計算される数値なので、この数値と人体への影響には強い関連性があるが、風車音の場合には違うのです。“風雑音”として見ない事にしてきた部分を考える必要があるのです。騒音計の示す 1/3 オクターブ解析の結果に満足してはいけないのです。
比較アンケートが必要である。
５種類の地域から、それぞれ２地点を選ぶ。風車音の室外での計測、風車音の室内での計測、室内での振動計測、アンケートを選定地点で同様に実施して、比較すれば、ピーク値、A 特性値、G 特性値と、健康被害、睡眠妨害との関連は明確になると考えます。
特に大切なのは、ピーク値（最大音圧）の検出です。これは、共鳴現象と深い関連を持つからです。これは、ISO7196 に従って 1/3 オクターブ解析を行っても検出できません。ピーク値を検出できる方法で計測と解析をする必要があります。

風車騒音（A特性音圧レベル）の数値は、交通騒音とくらべてもそれほど高くないのですが、“音がうるさい”ではなくて、“不快である”の観点で調査すれば、計測される、A特性音圧レベルが同じ数値であっても、“不快である”と感じる人の割合は、風車音の方が多いのです。聞こえる部分の数値が同じでも、何らかの原因で、より多くの人が不快感を覚えるのです。
“聞こえなければ問題はない。”というのが、環境省の考え方です。聞こえる音と限定すれば、20Hz～20ｋHz の範囲が考察する対象となります。

さらに、
“また，環境省の風車騒音に関する検討会では，風車騒音のレベルとわずらわしさ（アノイアンス）の間には統計的な有意差があると報告する論文は複数あり，わずらわしさが睡眠影響を生じさせる可能性はあるものの，風車騒音が直接的に健康に影響する可能性は低いと報告されている 14).”
とある。
問題は、“風車騒音が直接的に健康に影響する”の意味です。
風車音を聞いただけで心臓が止まるケースは少ないと思いますが、昼も夜も風車は回転を続けて、近隣住民の安眠を妨害し続けます。
睡眠不足となるので、子供たちは学校の授業中に居眠りします。仕事に集中出来ません。車での居眠り運転も増えます。体力が落ちれば熱中症にもなりやすい。
仕事にも、生活にも適さない土地になってしまいます。継続する安眠妨害は、住民の体力を消耗させるだけでなく、一度その土地を離れた人が返ってくることを妨げます。社会の存続基盤を破壊してしまいます。
風車騒音は、すぐには死なないとの観点から見れば、直接的に健康に影響するとは言い難いのですが、継

続的に発生する風車音は、住民を拷問にかけて、その地域の活力を奪いつくすのです。
“風車騒音”の意味が、“騒音”自体が 20Ｈｚ以上の可聴音を意味しているので、“騒音”と付くことで 20Ｈｚ以上の可聴音を意味することになり、健康影響との関連性が薄れます。
風車音のエネルギーの 93%以上を持っているのは、0Ｈｚ～20Ｈｚの超低周波音であり、この部分を考慮すれば問題点は明確になります。
交通騒音での騒音レベルの値で不快感を覚える人の割合と、風車音での騒音レベルの同じ値で不快感を覚える人の割合は異なりますが、エネルギーに注目して補正すれば、ほぼ一致します。風車音と交通騒音の周波数特性、エネルギー分布の違いを無視してはいけないのです。

では、「風車音による不快感」と“健康影響”の内容を詳しく考えてみましょう

住民と風車の距離にあまり影響されないグループ。
業者の説明や事業の進め方に対する不快感
風車建設時の騒音や振動
建設後の道路、山の斜面の崩落
河川にたまる土砂の撤去（農業用水の確保に手間がかかる）
建設後の緑化の為に蒔いた外来種の種で在来種が消えてしまう。
植相の変化による影響
動物の行動変化による被害の増加（食物となる植物が減る）
外来種によって増えてしまう草刈りの回数（人件費やガソリン代などの増加）
希少種のバードストライクによる、食物連鎖の崩壊と害獣（ネズミ）の増加

住民と風車の距離に影響されるグループ。
風車が見えるという景観上の問題
家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動
瓦のずれ
風車による振動の問題（地中伝搬、共振、強制振動）
風車からの強い光“航空障害灯”の問題
風車の回転でのフリッカーの問題
近づくと気分が悪くなる
低周波音を感知
風車の騒音がうるさい
風車からの音による不快感
不眠
睡眠障害
なかなか寝付けない
よく眠れない、何度も目が覚める
うるさい
胸や腹の圧迫感
頭痛がする

吐き気がする
耳鳴り
めまいがする
鼻血
血圧
リンパ腺の腫れ
胸腹歯耳鼻痛
肩こり
平衡感覚
頭の中で太鼓がなっているようだ
憂鬱になる
怒る
集中できない
神経質になる
緊張する
不安になる
気分のいらいら、
コルチゾール検査の数値

住民の社会活動や経済活動に影響を与えるグループ。
眠くて仕事でミスをする
眠くて授業中に寝て、学力が落ちる
居眠り運転で交通事故を起こす
体力が落ちて潜水時間が減る（収入の減少）
安眠妨害での体調不良や体力低下
体調不良者の増加による医療費の増加
転出者が増えて税収が減る
人が減り、地域の行事に支障がでる。
漁場が狭くなり収入が減る
魚種の変化で収入が減る

これらの健康影響の全ての項目と家屋内での振動や室内での風車音から得られる数値との統計的な関連を調べる必要がある。

数値としては、次の項目が考えられる。

風車からの距離
A 特性音圧レベル
G 特性音圧レベル
最大音圧
最大音圧*周期

振動での最大加速度

風速（３０秒ごと？）
風向
風車の回転数
地形による音の遮蔽効果
光の強さ（雨戸あり、雨戸無し）

などが考えられる。

風力発電に対する賛否
業者からの保証金や地域への金銭の支払い

これらを考慮して、アンケート項目と計測項目を設定すればよい。

精密騒音計や振動レベル計での計測時間は 10 分程度として、アンケートに書いてもらっているうちに終了するようにする。
計測内容とアンケート内容はプライバシーに考慮するが、原則公開とする。
計測では、企業と住民と自治体の３者で行い全ての計測結果を公開する。
計測時の条件（防風スクリーンの使用）も明確にする。室内では必要ない。

５．３　頭痛

うるさくて目が覚めた。これだけでは、“健康被害”とは言えません。

うるさくて目が覚める日がとても多く、圧迫感や不快感を覚える日続いて、体調が不良である。
これを、“風車音による直接的な健康被害”というには、“直接的”の意味が問題になります。

ところが、頭痛は違います。頭痛が起きれば健康被害が起きていると言えます。
頭痛の原因が風車音の物理的な影響だと示せれば、風車音による直接的な健康被害が起きていると言えるのです。これについては、音響キャビテーションの研究をすれば決着がつきます。

頭痛の基礎知識（アリナミン製薬）
身体の不調は、たとえちょっとしたものでも日常生活に支障をきたしがちです。頭痛も同様で、頭がズキズキして仕事や勉強に集中できなかったり、起きているだけで辛かったりといった経験がある人も少なくないのでは？ そんな不快な頭痛は、何によって引き起こされるのでしょうか？
頭が痛くなるのはなぜ？
頭部内外の血管や神経、また頭や首の筋肉に何らかの原因で異常が生じ、痛みとなって現れる。これが頭痛のメカニズムです。こめかみ部分の動脈が拡張して炎症を起こす、頭を取り巻く筋肉が緊張して収縮する、脳内の血管が破れ、出血してできた血液の塊が脳を圧迫するなど、頭痛の種類によっていくつかの過程があります。
頭痛の種類
頭痛にはさまざまありますが、大別すると、命に別状のない慢性的な頭痛（一次性頭痛）、他疾患の兆候が疑われる頭痛（二次性頭痛）の 2 種類に分けられます。
一次性頭痛
脳そのものには特に異常がなく、原因となる病気がない頭痛のことです。片頭痛や緊張型頭痛、群発頭痛などを指し、慢性的に痛みを繰り返すケースもあります。
二次性頭痛
何らかの病気が原因で引き起こされる頭痛で、これまでに経験したことのないような頭痛が起こることが特徴です。脳疾患の症状として現れるものが多く、脳卒中や脳腫瘍などが原因の場合は一刻も早く治療する必要があるため、早急に医師に診断してもらってください。一次性頭痛に比べると、痛みの度合いが激しかったり、吐き気や発熱、手足のしびれといった症状を伴ったりすることが多いので、「いつもの頭痛と違う」と思ったら迷わず医療機関を受診しましょう。
頭が痛いときに考えられる原因

頭痛の種類によっては、原因はもちろん痛みなどの症状も変わってくるもの。ここでは、もう少し細かく頭痛の種類と症状について見ていきましょう。
一次性頭痛の症状と原因
片頭痛
頭の左右どちらか、もしくは両側に、心臓の鼓動に一致したズキンズキンと脈打つような痛みが起きるのが

特徴です。時には吐き気や嘔吐を伴うほか、光や音などに過敏に反応する場合もあります。痛み始める前に目の前がキラキラして、視界の一部が遮られるといった前兆を伴うこともあります。痛みの持続時間（発作）はまちまちですが、前兆のない片頭痛では 4 時間程度から長ければ 3 日間ほど続きます。

原因の一つとして、顔の皮膚の感覚を伝える三叉神経の影響が指摘されていますが、まだはっきり解明されていません。誘発、悪化因子としてストレスがあります。また、片頭痛は男性より女性に多く、女性ホルモンの変動が関係する可能性も考えられており、月経時やその前後に片頭痛が起きやすいという女性も少なくないようです。

片頭痛の原因・症状・対処法

緊張型頭痛

一次性頭痛の中でも、特に多いと言われるタイプです。頭の両側や後頭部がジワッと締め付けられるように痛み、持続時間は 30 分から 7 日間と様々です。

主な原因は、頭部周囲の筋肉の緊張や血行不良が原因と考えられています。長時間同じ姿勢を続けるうちに首や肩の筋肉がこわばってしまったり、身体的・精神的なストレスなどから身体の筋肉や神経に緊張を与えたりすることが引き金となることもあると考えられています。

このほか、原因のひとつとなり得るのが眼精疲労。度数が合っていないメガネやコンタクトレンズの着用や、パソコン、スマートフォン、TV の見過ぎなどで目が疲れると、首や肩の筋肉に緊張を与えることとなります。結果、緊張型頭痛につながる可能性もあるので注意しましょう。

緊張型頭痛の原因・症状・対処法

群発頭痛

片側の目の奥がえぐられるような激烈な痛みが 15～180 分ほど持続し、周期的に起こる頭痛です。涙、鼻水、鼻づまりや目の充血、まぶたが腫れて垂れ下がるなどの症状が見られることもあります。反復性の群発頭痛では、2 週間から 3 ヵ月ほど続く群発期といわれる決まった期間に痛くなるのが特徴です。発症年齢は 20~40 歳代で、男性の方が多く、女性の 3~7 倍とされています。

はっきりした原因は解明されていませんが、三叉神経の活動が過剰に高まることによって発症する説、内頚動脈がつながる海綿静脈洞と呼ばれる目の奥にある細かい静脈が集まった場所に血液のうっ滞が生じることによる説などが考えられています。また、一日の中で決まった時間に定期的に起こることや持続時間がほぼ一定であることから、脳内の視床下部にある体内時計が関係している可能性も考えられています。群発期のアルコール摂取で誘発されることも知られ、タバコを吸う人に多いことも特徴です。

群発頭痛の原因・症状・対処法

二次性頭痛の原因

頭痛が兆候となる病気はさまざま。くも膜下出血、脳出血、脳梗塞、脳腫瘍、髄膜炎、脳動脈解離、慢性硬膜下出血など、命に関わるものも多く存在します。命に関わる病気の場合は一刻を争うので、少しでも早く医師の診断を受けるようにしましょう。治療や手術などで原因を取り除ければ、痛みからも解放されるはずです。

その他の疾患が原因でおこる頭痛

頭痛を和らげる主な方法

軽い片頭痛や緊張型頭痛のように、病気の兆候ではない頭痛なら、セルフケアで対処することも可能です。

痛みを感じたときは、以下の方法を参考にしてください。

片頭痛の対処法

しばらく安静にする

片頭痛は、動作によって頭痛がひどくなります。階段の昇り降りで身体を動かしたり、光や音の刺激を受けたりすることで痛みが強くなることがあります。そのため、できるだけ暗く静かな場所で、しばらく休むようにしましょう。

頭を冷やす

血管の拡張が要因とも言われる片頭痛の場合は、血管の収縮を促すために頭を冷やすとよいでしょう。保冷剤や冷えるジェルシートなどもおすすめです。

緊張型頭痛の対処法

頭や首のまわりを温める

緊張型頭痛は頭の周りや首の筋肉、肩の緊張をほぐすことが大切です。蒸しタオルなどをあてて血行を促進し、こりをほぐすのがおすすめです。

気分転換を図る

精神的なストレスによる緊張型頭痛に対しては、心を休めることも大切。時にはリラックスする時間をもつなどして、緊張をほぐすようにしましょう。また、デスクワークの合間にストレッチなどを行えば、気分転換できる上に筋肉もほぐれて一石二鳥です。

運動をする

動作によって頭痛がひどくなる片頭痛とは異なり、緊張型頭痛では、運動でむしろ楽になります。適度な運動を行って、筋肉をほぐすとよいでしょう。水泳やウォーキングなどもおすすめです。

頭痛に効くツボを押す

東洋医学で不調改善の治療法とされるツボ押しも、頭痛の痛みを和らげる助けとなります。ツボはいくつかありますが、おすすめなのが「合谷（ごうこく)」というツボです。手の甲を上にして指を開き、親指と人差し指の骨が合流する箇所の近くにあるくぼみ部分です。ここを反対側の親指と人差し指で数秒間、ゆっくりと圧迫しましょう。

その他、「天柱（てんちゅう)」というツボもおすすめです。うなじを通る 2 本の筋肉それぞれの外側と、髪の生え際がぶつかったあたりにあるくぼみに指をあて、ゆっくり押す、ゆっくり離すを数回繰り返しましょう。

市販の頭痛薬による対処

軽い片頭痛や緊張型頭痛は、市販薬でのセルフケアも可能です。解熱鎮痛薬として市販されているのは、解熱鎮痛成分単味のもの、それにカフェインや催眠鎮静成分配合のものが中心です。自分に合ったものを見つけておきたいですね。

分類	成分	働き
解熱鎮痛成分	イブプロフェン、アセトアミノフェン、アスピリン、エテンザミド、イソプロピルアンチピリン、ロキソプロフェンナトリウム水和物	解熱作用、鎮痛・抗炎症作用がある。
カフェイン類	無水カフェイン、カフェイン水和物	血管を収縮させるはたらきや、弱い鎮痛作用などがある。

分類	成分	働き
催眠鎮静成分	ブロモバレリル尿素、アリルイソプロピルアセチル尿素	中枢神経を抑制する作用がある。

症状が良くならない場合は、できるだけ早めに医療機関を受診しましょう。頭痛外来など専門医のいる病院をチェックしておくと、いざというとき安心です。

医療機関の受診をおすすめする場合

下記のような頭痛の場合は、医療機関を受診しましょう。

・今までにない強く、突然の激しい頭痛
・最近現れ、日に日に悪くなっていく頭痛
・起床時のひどい頭痛
・発熱もないのにひどい頭痛
・発熱、麻痺、けいれん、意識の異常などの症状を伴う頭痛
・うまく話せない、記憶があいまい、ものがぼやけて見えるなどを伴う頭痛
・吐き気がひどい頭痛
・市販の痛み止めで効果がない頭痛

慢性的な頭痛とうまく付き合っていくために

身近な症状である頭痛は、軽く見られることも少なくありません。でも、痛みのせいで日常生活がままならないこともありますし、原因によっては命の危険も伴います。本人はもちろんですが、周囲の人も「たかが頭痛」と軽視せず、適切な対処をするようにしたいですね。

慢性的な頭痛は、原因を完全に取り除くのは難しいもの。長い付き合いとなる可能性も考慮して、痛みを上手にコントロールしていきましょう。

頭痛は病理反応か物理反応なのか

健康影響の中で、“頭痛”は、病気とは言い難い性質を持っています。

たしかに、頭痛は健康被害ですが、

“愛知県田原市の久美原風力発電所から３５０メートル離れた場所に住む大河剛さん（４０）や家族が体に異変を感じたのは０７年１月、風車が動き始めてすぐだった。体がしびれ、頭が揺すられるような症状が続いて眠れない。風車から遠く離れると楽になり、家に戻ると苦しくなった。”

ここで、

“体がしびれ、頭が揺すられるような症状が続いて眠れない。風車から遠く離れると楽になり、家に戻ると苦しくなった。”

とある。病気が風車からの距離の変化で、治ったり再発したりすることは理解しがたい。

風車音による物理的な反応と考えるべきです。

５．４　アンケート調査の項目

建設関連での業者の行動アンケート

建設関連	0	1	2	3
建設時の騒音問題	なし	少しある	かなりある	深刻である
建設時の振動問題	なし	少しある	かなりある	深刻である
崩落の問題	なし	少しある	かなりある	深刻である
土砂の撤去問題	なし	少しある	かなりある	深刻である
外来種の種	なし	少しある	かなりある	深刻である
動物被害の増加	なし	少しある	かなりある	深刻である

風車を増設してほしい

風車を撤去してほしい

　風力発電に対する賛否

　業者からの保証金や地域への金銭の支払い

など、

健康アンケート（全般）。

健康問題	0	1	2	3
睡眠障害	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
ストレス	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
フラストレーション	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
眠りにつくのが難しい	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
不安	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
疲労感	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
耳や体の圧力や痛み	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
頭痛	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
身体の振動や痛み	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
頻繁な刺激	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
不眠症	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
うつ病	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
片頭痛	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
腹部症状	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
慢性疲労	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
自殺	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
耳鳴り	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である

です。

２つ目は、石竹達也氏（久留米大学医学部）の調査項目に追加したものです。

健康アンケート（睡眠）

アテネ不眠尺度(AIS)不眠症の自己評価

過去一ヶ月間に、少なくとも週3回以上経験したものを選んでください。

1	寝床についてから実際に寝るまで、時間がかかりましたか？	0	いつもより寝つきは良い
		1	いつもより少し時間がかかった
		2	いつもよりかなり時間がかかった
		3	いつもより非常に時間がかかった、あるいはまったく眠れなかった
2	夜間、睡眠の途中で目が覚めましたか？	0	問題になるほどのことはなかった
		1	少し困ることがある
		2	かなり困っている
		3	深刻な状態、あるいは全く眠れなかった
3	希望する起床時間より早く目覚めて、それ以降、眠れないことはありましたか？	0	そのようなことはなかった
		1	少し早かった
		2	かなり早かった
		3	非常に早かった、あるいは全く眠れなかった
4	夜の眠りや昼寝も合わせて、睡眠時間は足りてましたか？	0	十分である
		1	少し足りない
		2	かなり足りない
		3	全く足りない、あるいは全く眠れなかった
5	全体的な睡眠の質について、どう感じていますか？	0	満足している
		1	少し不満である
		2	かなり不満である
		3	非常に不満である、あるいは全く眠れなかった
6	日中の気分はいかがでしたか？	0	いつもどおり
		1	少し滅入った
		2	かなり滅入った
		3	非常に滅入った
7	日中の身体的および精神的な活動の状態はいかがでしたか？	0	いつもどおり
		1	少し低下した
		2	かなり低下した
		3	非常に低下した
8	日中の眠気はありましたか？	0	全くなかった
		1	少しあった
		2	かなりあった
		3	激しかった
9	胸や腹への圧迫感はありましたか？	0	全くなかった
		1	少しあった
		2	かなりあった
		3	激しかった
	1から8の合計		[1～3点]・・睡眠がとれています
			[4～5点]・・不眠症の疑いが少しあります
騒音振動の計測希望有・無	9の点数		[6点以上]・・不眠症の可能性が高いです
			ピーク値; Hz Pa
			A特性音圧レベル; dB
			G特性音圧レベル; dB

希望があれば上記の項目に関する室内での計測を行います。

屋外での計測結果、室内での計測結果の比較、防風スクリーンの扱い？

“風車音”のうちで 20Hz～20ｋHz の成分は聴覚を通して安眠を妨げます。

“めまい”、“頭痛”、“吐き気”は、聴覚で感じる刺激ではないのですが、他の感覚器官で把握します。刺激の結果、安眠が妨害されます。

“風車による振動”は、振動の地中伝搬なのか、超低周波音（0.5Ｈｚ～1Ｈｚ）による共振や強制振動なのかも判別は難しいのですが、耳では聞こえない刺激として、安眠を妨害します。

“航空障害灯”の光が強くて、眠れない。

可聴音の他に、光、振動、極めて高い音圧、などの聞こえない刺激も含めて、風車は住民に影響を及ぼします。

そして、

“憂鬱になる”、“怒る”、“集中できない”、“神経質になる”、“緊張する”、“不安になる”のです。
このような場所では生活できません。

確かに、

“風車音の可聴の有無ではなく，むしろ，**風車音がどのように感じられるか**ということの方が，健康影響や風力発電に対する賛否においては重要である.”

です。

だからと言って、

“以上より，風力発電所による近隣住民の健康影響や賛否は，風力発電所からの近さによって決定づけられるのではなく，**事業のやり方や風車音の不快感などその他の要因**によって影響を受けると判断できる.“とは言えません。

注目すべき点は、

①

“風力発電所から同心円状に健康影響が広がっていることは本研究では確認できず，距離が健康影響に**直接**関わりがあるとは言えなかった.”、

②

“風車音がどのように感じられるかということの方が，健康影響や風力発電に対する賛否においては重要である.”

③

“健康影響や賛否は，風力発電所からの近さによって決定づけられるのではなく，事業のやり方や**風車音の不快感**などその他の要因によって影響を受ける”

④

“「風車音による不快感」と関連する要因について，「既存の風力発電所に対する賛否」，「建設過程の公正性」，「建設過程における不快感」，「音に対する敏感さ」，「距離」に注目し相関を分析する.“

です。

残念なのは、

“風車音がどのように感じられるかということの方が，健康影響や風力発電に対する賛否においては重要である.”

と書いたのだから、

“風車音がどのように感じられるか”の詳しい内容と、それに関連すると思われる数値を考えて、関連を調べるべきだったのです。

これが出来なかった理由は、風車音の周波数スペクトルの計算での周波数分解能が低くて、解析結果から有効な情報を見つけられなかったこと。風車音の指向性に関する論文の確認が出来ていなかった事。風車音の発生機構を解明し、それが観測されている周波数特性と一致することの確認が出来ていなかった事。

にあると考えます。

騒音計の機能に頼れば 1Hz らの計測になり、大型風車では 0.5Hz 辺りで最大音圧になっている現実を無視することになり、解決すべき問題を把握できないのです。

デジタル信号処理での FFT と関数解析、Wavelet 解析、カオス理論、音響キャビテーションの知識や、数学、（量子力学を含む）物理学の勉強も必要です。

また、

業者がどのような住民説明会をしているのか、意見書に対してどのように対応しているのかを見ていないように感じられる。

もし、見ているなら、具体的な改善点を示すべきである。改善できているか否かは、

アンケート項目に、“風車を増設してほしい”、“風車を撤去してほしい”などの項目を追加すればはっきりします。

不満を感じても、それを表現して、抗議活動を行うのは多くの住民にとっては気が重い事なのです。なにしろ、大学の偉い先生が、“聞こえなければ問題ない”と言っています。また騒音計で測っても、“特に問題はない”と言われるだけです。

業者の計測と自前の計測を比較して、計測方法や解析方法に関して問題点を指摘して、議論するのは重荷なのです。お金も時間もかかるのです。

カナダ政府の HP のデータでは、WTN（A 特性音圧レベル、騒音レベル）の値とコルチゾール検査の数値との関連は薄いことが分ります。

ここで、“圧迫感”に注目して、“圧迫”の原因と言える、最大音圧を調査して、統計的な関連性を調べるべきです。不快感のうちの、“圧迫感”との関連性が深い数値を丹念に調査すべきなのです。

“音がうるさい”という被害に対しては、耳での聞こえ方を示す数値、A特性音圧レベルとの関連を、“圧迫感”という被害に関しては、音圧の最大値との関連を調べるべきだと考えます。

風車音と交通騒音の周波数特性とエネルギー分布の違いについて詳しく調べれば、音の影響としての“不快感”と“音がうるさい”の違いの原因も明確になります。

“「風車音による不快感」と関連する要因について，「既存の風力発電所に対する賛否」，「建設過程の公正性」，「建設過程における不快感」，「音に対する敏感さ」，「距離」に注目し相関を分析する．“

としたのでは、住民が受けている風車音の影響を評価しないで、

「既存の風力発電所に対する賛否」，「建設過程の公正性」，「建設過程における不快感」，「音に対する敏感さ」，「距離」に原因を求める事になります。

これでは、水平軸型の風車が超低周波音の発生装置そのものであり、0Hz～20Hz の超低周波音の部分が、風車音のエネルギー全体の 93%以上を持っていることを無視して、考える事になってしまいます。

住民への健康影響の面から考えると、

「既存の風力発電所に対する賛否」，「建設過程の公正性」，「建設過程における不快感」，「音に対する敏感さ」，との相関性がある事と、健康影響の原因である事とは全く別の事なのです。

交通騒音では可聴音の部分が全体のエネルギーの 99%を占めていますが、風車音では、可聴音の部分はエネルギーの７%以下しか持たないのです。

可聴音（20Hz～20ｋHz）に固執しすぎてはいけません。また、「距離」は風車音の指向性まで含めて考慮しなくてはなりません。風速の変化によって音圧の変動が起きますので、事前の予測が難しい。室内での精密騒音計と振動レベル計を使った計測が必要になります。

“風車による振動”という被害に関しては、振動レベル計での計測が必要なのは明らかですが、日本家屋の固有振動数が、0.5Ｈｚ～1Ｈｚ程度である事も考えると、共振に関しての検討も必要になり、周波数の正確な計算の他に、風速の変化が原因で起きる、音圧と周波数の変動やその継続時間も調べる必要があります。

実際には、風雑音とされる部分の周波数と音圧を精密に測定する事になります。当然防風スクリーンの問題や、除外音処理の問題にも突き当たります。計測機材と解析方法も問題になりますが、必要な事なのです。

環境省の妨害によって、風車音と健康被害の関連性や原因は分からないままなのです。ここまで妨害するのは、真の原因が分っているから、それが明確になるのを妨害していると考えるべきなのかもしれません。

しがらみを捨てて、環境省が“除外音処理”をしなさいと言っている、“風雑音”を計測してみれば、問題点はすぐに分かります。やってみましょう。

６．各論

６．１　風車音の指向性と同心円

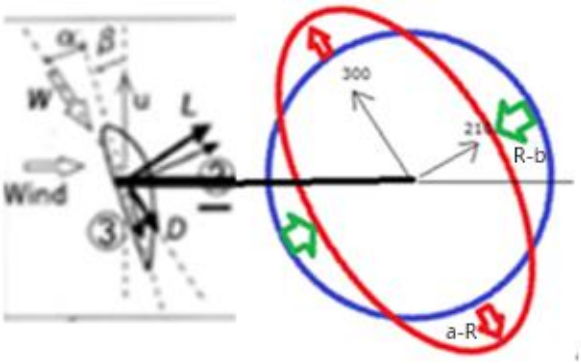
“風力発電所から同心円状に健康影響が広がっていることは本研究では確認できず，距離が健康影響に直接関わりがあるとは言えなかった.”、

に関しては、風車音の基本的な性質を調べた論文を確認してあれば、あまりにも当然の結論である。

風車音の基本的な性質として、強い指向性を持つことが知られている。
2) 菊島義弘,長島久敏,橋本晶太,鯨岡政斗,濱田幸雄,川端浩和,小垣哲也,風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.38 p. 69-72, 2016

さらに、音の持つ指向性は、風車側面の振動方向に一致している。
1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久畝,川端浩和,田中元史,小垣哲也,濱田幸雄,風車ナセル・タワーの振動解析,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.40,p.251-254,2018

側面の振動方向は、ブレードに掛かる揚力の方向を基準にして、90 度回転を繰り返した方向となっている。



風車音が指向性を持っているので、その影響が同心円状に広がることは無いのです。
“距離が健康影響に直接関わりがあるとは言えなかった”
のは、風車音の基本的な性質を調べておけば、当然の結論です。

三重県に住んでいる友人は、(2023/2/23 付けのメール)
“宇山様
お世話になります
音について　できる限り情報整理が出来てからお送りします
今　音で気になっているのは
現在稼働中の　㈱シーテック社のウィンドファーム笠取です　年中聞こえますが（離隔が２ｋｍです）
特に１０月から４月ごろまでが大きいです　音は耳で聴きとるのは異なる状況で難しいです
集落でよく聞こえる日の状況は　曇天　集落では風が弱い（その時は山では吹いているのでしょう）“

と言っています。

南伊豆風車（被害）紀行（２）～承前
“集落の一番奥に住むかたとお話ができました。
この家からいちばん近い風車までは 540m。その風車も含め、家の背後に風車群が迫っています。
ところが、このかたのお話は驚くべきものでした。
試験運転が始まるなり、奥様がたちまち胸の圧迫感や頭痛、吐き気など、典型的な風車病（超低周波振動によると思われる健康被害）の症状に襲われたのですが、それがひどいのは、目の前の近い風車ではなく、北東方向にある 1km 離れた風車が回っているときだというのです。
試験運転中は、すべての風車を稼働させているわけではなく、何基かは止めて、何基かを動かすということを繰り返しやっています。

風の向きが変われば、風車の向きが変わります。そして、音が強く放出される方向も決まります。ですから、同心円という発想は現実の被害や過去の研究成果を無視した考えなのです。
確かに、風車騒音の予測では、音が同心円状（または同心球状）に広がるとして計算することが多いのですが、論文としては、予測方法の内容そのものも検討すべきではないでしょうか。

また、風車音が指向性を持つことは、風車音が発生する仕組みからの必然的は結果なのです。
どのような理由で、どのような周波数の音が、どの程度の音圧で発生するのかを、少しでも考え、実際に計測と解析をしたことがあれば、同心円という発想は出てきません。指向性を無視することは、風車音の計測も解析も手を抜いているとしか思えません。

６．２　風雑音と防風スクリーン

風雑音に関して次の様に教えていただいたことがあります。

“宇山さんは、風車からの低周波音の測定について検討されていたと思います。
風車の回転に伴い、1 分間の回転数×羽枚数÷60 を基本周波数とする成分と倍音成分（例えば、回転数 20rpm、3 枚羽の風車では、1Hz とその倍々の周波数）が発生することについては、以前お話ししたように思います。
しかし、
現場で観測される低周波音は風車からの音に、風雑音が重畳されたものとなります。
低周波数域の風雑音は風がマイクロホンに当たることによって発生します。
この雑音は周波数が低くなるほど大きな成分を持っています。
通常、低周波音の測定は風雑音による影響を避けるため、風のない時に行います。
しかし、風車は風がないと回らないので、風による影響を受けます。
風による影響を受けにくい山間地や尾根で風が遮られる地域では、風車の回転に伴う成分が周波数分析結果で卓越成分として観測されます。
一方、平地などのように風による影響を受けやすい場所における測定結果では、低周波数域の周波数特性はこんもりと盛り上がったような特性となっていて卓越成分が観測されないことが多いと思います。これは、風車音よりも風雑音が優勢であると考えられます。
通常の防風スクリーンより大きい直径 20cm 程度の防風スクリーンをマイクロホンに装着しても風が強いときは風雑音を十分に除去できません。
風雑音の低減に関しては、これまで色々と研究されてきていますが、およそ 5Hz 以下の周波数域（場合によってはおよそ 10Hz 以下）については、風雑音の除去が難しいのが現状です。
従って、風車からの低周波音を正確に測定するにあたっては、風雑音による影響をいかに排除するかも大きな課題の一つです。
研究にあたっては、このあたりも参考にしていただけると幸いです。”

同意出来ません。正直に言えば、悪い冗談かと思いましたが、そのようなことをいう人ではないので、本当にそう思っているようです。

環境省水・大気環境局長　からのお知らせ、「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」、の（別紙）、風力発電施設から発生する騒音に関する指針、には、

“環境省では、平成 25 年度から水・大気環境局長委嘱による「風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会」を設置し、風力発電施設から発生する騒音等を適切に評価するための考え方について検討を進め、平成 28 年 11 月 25 日に検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」を取りまとめました。今般、同報告書を踏まえ、風力発電施設から発生する騒音等について、当面の指針を別紙のとおり定めたので通知します。貴職におかれては、下記に示した本指針策定の趣旨等及び別紙の指針、並びに風力発電施設から発生する騒音等の測定方法について別途通知する**「風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル」**を、騒音問題を未然に防止するために対策を講じ生活環境を保全する上での参考としていただくとともに、関係の事業者等へ周知いただくなど格段の御配意をお願いいたします。”

と書かれている。

その、

風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル、（３ページの説明）に於いて、

“風雑音
風がマイクロホンにあたることにより発生する雑音。測定においてはウインドスクリーン（防風スクリーン）を装着することにより風雑音を低減する必要がある（3.1(2)参照）。
風により発生する葉擦れ音や風音は自然音であり風雑音ではない。“
“3.2 騒音の測定機器
(2) ウインドスクリーン（防風スクリーン）
風車の有効風速範囲の風況下で騒音を測定する際には、一般的に用いられる直径 10 cm 以下のウインドスクリーンでは、風雑音を十分に低減することはできない。風雑音の影響を低減するためには、より大型の、全天候型のウインドスクリーンを使用する必要がある。
風の影響が大きい場合には二重のウインドスクリーン等の、より性能の良いウインドスクリーンを使用する。
（注） 二重ウインドスクリーン等を使用しても風雑音を十分に除外できない場合には**除外音処理を行い、風雑音の影響範囲を除外**する等の対応が必要である。“
と言っています。

平成２９年５月　環 境 省
風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル
3.2 騒音の測定機器
(1) 騒音計（サウンドレベルメータ）
本マニュアルにおける風車騒音の測定には、計量法第 71 条の条件を満たし、**JIS C 1509-1** の仕様に適合する騒音計（サウンドレベルメータ）で、以下の機能を備えているものを使用する。
(2) ウインドスクリーン（防風スクリーン）
風車の有効風速範囲の風況下で騒音を測定する際には、一般的に用いられる直径 10 cm 以下のウインドスクリーンでは、風雑音を十分に低減することはできない。風雑音の影響を低減するためには、より大型の、全天候型のウインドスクリーンを使用する必要がある。
風の影響が大きい場合には二重のウインドスクリーン等の、より性能の良いウインドスクリーンを使用する。
（注） **二重ウインドスクリーン等を使用しても風雑音を十分に除外できない場合には除外音処理を行い、風雑音の影響範囲を除外する等の対応が必要である。**
としています。
JIS C 1509-1 の仕様　を確認します。
（注意）
騒音計の新規格であるサウンドレベルメータ（騒音計）JIS C 1509-1:2005 では、性能の等級をクラス 1 とクラス 2 とに分けており、性能的にはクラス 1 は旧 JIS C 1505（精密騒音計）に、クラス 2 は旧 JIS C 1502（普通騒音計）にほぼ相当しています。また現行の計量法における特定計量器検定検査規則（第 814 条）には、騒音計の種類として、「精密騒音計」と「普通騒音計」が明記されています。これ以降は、クラス 1 は精密級、クラス 2 は普通級とほぼ同機能として話を進めていきます。
7-2 普通騒音計（クラス 2）と精密騒音計（クラス 1）の違いについて
普通騒音計は、屋外、工場、事務所などの環境騒音測定を目的とした騒音計で、現場での計測を低価格で簡単に行なうことを目的としています。それに対して、精密騒音計は、様々な分野の騒音研究、あるいは機械装置の騒音評価を行うユーザのあらゆる計測条件にも対応できることを目的としています。両騒音計とも、その基本仕様は計量法、JIS に基づいており、その主な違いは下表のようになります。

○ JIS 規格

表 7-2　クラスによる性能の違い（JIS 規格）

	クラス 2（普通級）	クラス 1（精密級）
レベル直線性誤差（dB） （入力レベルの 10 dB 以内の変化に対して）	±0.5（±0.8）	±0.3（±0.6）
レベル直線性誤差（dB） （上記以外）	±1.1（±1.4）	±0.8（±1.1）
周波数範囲（Hz）	20 ～ 8 kHz	16 ～ 16 kHz

となっています。　クラス１でも計測できる周波数の範囲が、16～16ｋHz です。そもそも風車の超低周波音を測るつもりはない。との態度表明です。

環境省は、

風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル、（３ページの説明）に於いて、

“風雑音

風がマイクロホンにあたることにより発生する雑音。測定においてはウインドスクリーン（防風スクリーン）を装着することにより風雑音を低減する必要がある（3.1(2)参照）。

風により発生する葉擦れ音や風音は自然音であり風雑音ではない。“

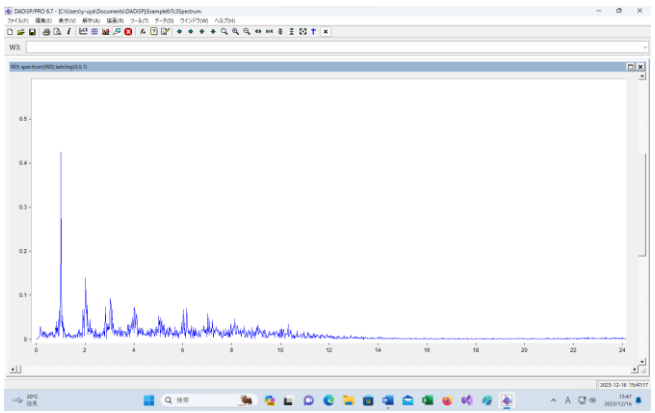
としているが、

風車の近くでは、マイクに風が当たらなくても音圧の高い超低周波音が計測される。

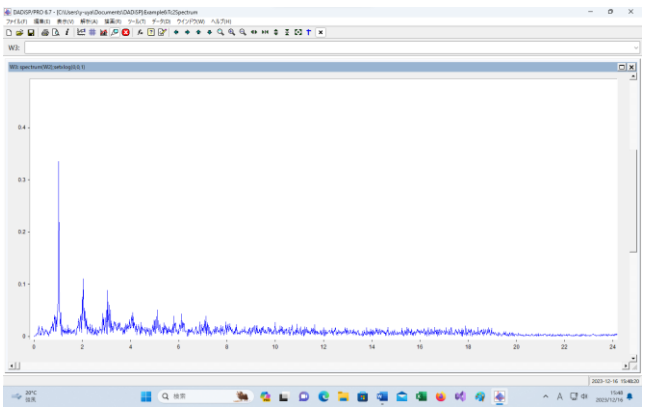
風車の近くでの計測で、

騒音計をビニール袋に入れて、それを段ボール箱に入れて、ビニールをかぶせて、

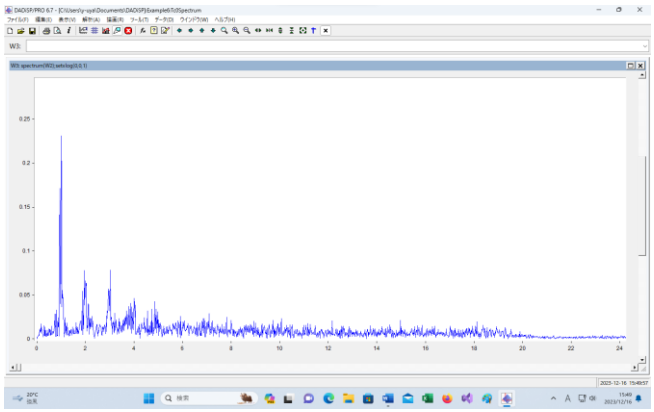
袋と箱に入れ、ドアを閉めた場合は、Max. 0.42Pa



袋と箱に入れ、ドアを開けた場合は Max. 0.33Pa



袋から出して、箱の上においた結果は　Max. 0.23Pa



マイクに、風が当たらないので、これは風雑音ではありません。
風車による、超低周波音が計測されたのです。
風車が近くにあれば､マイクに風が当たらないときの結果と､マイクに風を当てたときの結果を比べると、音圧が高く、規則的な周波数を持った超低周波音は、どちらでも観測されます。
音圧が高くて規則的な周波数を持っている部分は、風が当たっても当たらなくてもよく似ています。これは、風がマイクに当たる事による、雑音部分の音圧が小さいことを意味しています。

風車が無ければ、マイクに風を当てても、音圧が高く規則的な周波数を持つ超低周波音は計測されない。
風車が無い場所で、マイクに風を当てて計測すれば、音圧が低くて、周波数に規則性が無い、超低周波音が計測されます。風車が有る場所では、音圧が高くて、規則的な周波数を持っている超低周波音が計測されます。
左が風車の近くの音、右は風車がない場所でマイクに風を当てて収録した音の超低周波音の部分です。

図５．風車音（館山風の丘）０～25Hz

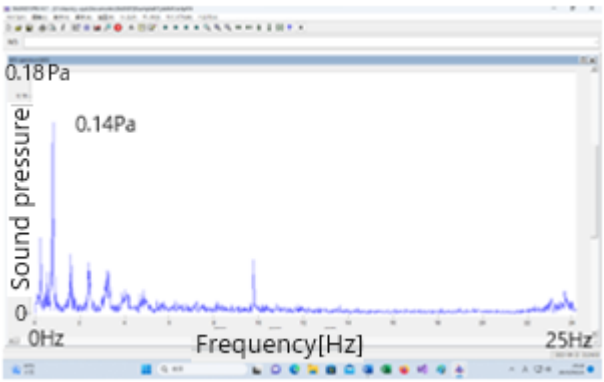
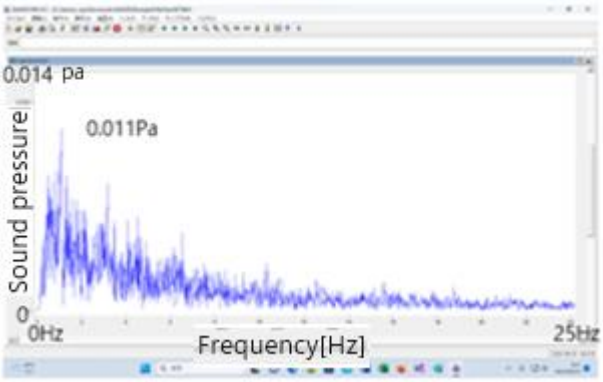
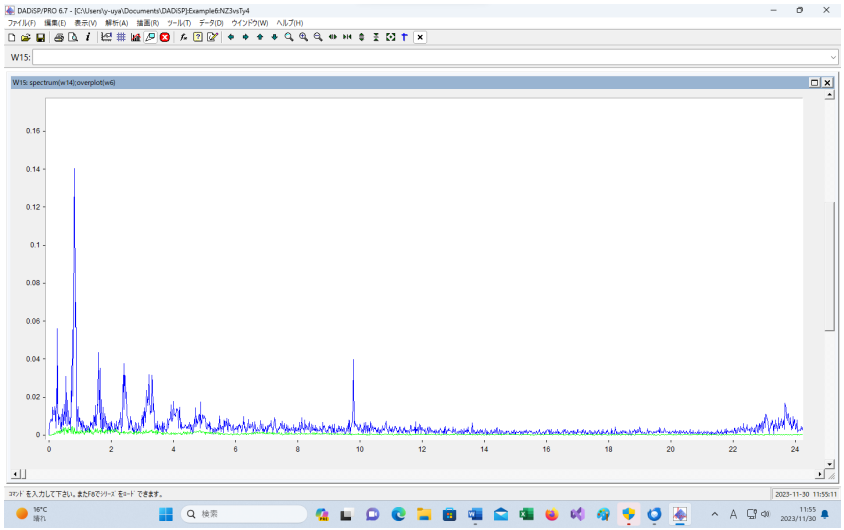


図６．長尾神社の音　０～25Hz

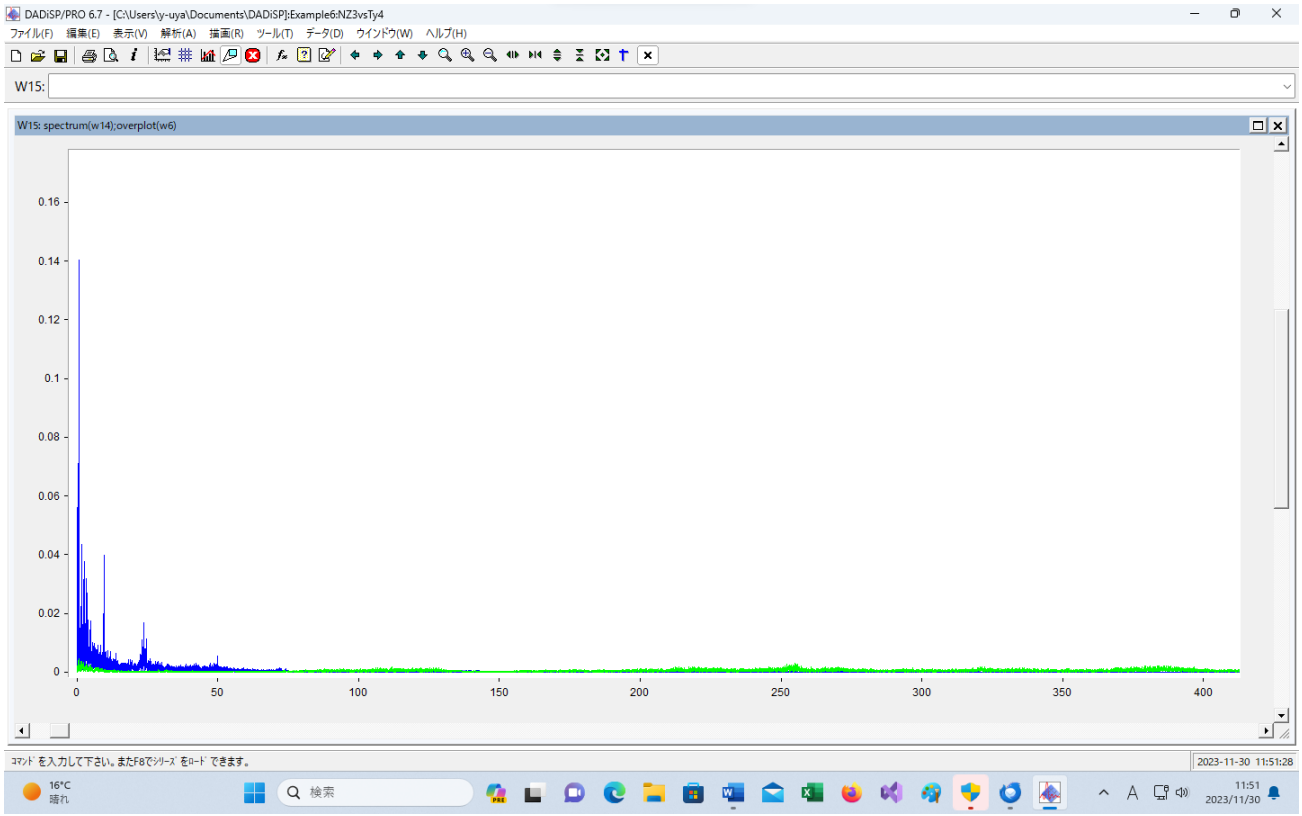


風車の近くでは 0.14Pa､風車が無い場所では 0.01Pa の音圧を持っている超低周波音が存在します｡だから、風車の近くでは音圧が 10 倍です｡音圧は､風速で変化します｡風車の近くで 0.37Pa､風車が無い所で 0.003Pa の時もあります。これだと音圧は 100 倍です。
次のグラフは、青い線が風車の近くの超低周波音、緑の線が風車が無い場所での超低周波音です。

0～24Hz までの拡大図、風車音（青）と神社の音（緑）の周波数スペクトル



0～400Hz までの拡大図、風車音（青）と神社での音（緑）の周波数スペクトル



緑の線が、風をマイクに当てて、風車の無い所で計測した風雑音です。風がマイクに当たって計測される音は周波数に関係なくほぼ一定で、音圧も低いのです。

特に、超低周波音の領域では、風車の超低周波音に比べてみれば、無視しても問題ない大きさです。

風車の近くの超低周波音の周波数には、明らかな規則性がありますが、緑のグラフには、規則性は見られない。

風車音の音圧がピーク値となるのは、風車の回転数を毎分 R 回、羽の枚数を Z として、f=RZ/60[Hz]と置いたとき、f/3、2f/3、f、2f、3f、4f、…Hz の所で音圧がピークとなることが分ります。

この原因が、風がマイクに当たったことによる“風雑音”だとすれば、風雑音には、風車の近くでの音圧

が高く規則的な周波数を持つものと、風車の無い場所での音圧が低く周波数に規則性が無いものがあるという事になります。この２種類の“風雑音”の区別することが必要になります。
　もちろん、この周波数でピーク値となる理由を考えて、風車音が発生する仕組みを理解すれば、これは“風雑音”ではなく、風車からの超低周波音であることが分ります。

“風雑音　風がマイクロホンにあたることにより発生する雑音。“として超低周波音を除外する方法は。下手すぎる嘘でした。
　“伊方町の２世帯（風車から２１０～２４０m離れている。）で３１．５ヘルツ（60ｄB）の低周波音が突出しており,”
ではなく、
　1Hz や２Hz（70ｄB）の超低周波音が突出している。と書くべきです。これは風雑音ではなく、風車からの超低周波音なのです。

同様の嘘は、MIT の論文にもあります。
Journal of Occupational and Environmental Medicine（産業環境医学ジャーナル）の論文
Wind Turbines and Health
A Critical Review of the Scientific Literature
McCunney, Robert J. MD, MPH; Mundt, Kenneth A. PhD; Colby, W. David MD; Dobie, Robert MD; Kaliski, Kenneth BE, PE; Blais, Mark PsyD

Author Information

From the Department of Biological Engineering (Dr McCunney), Massachusetts Institute of Technology, Cambridge; Department of Epidemiology (Dr Mundt), Environ International, Amherst, Mass; Travel Immunization Clinic (Dr Colby), Middlesex–London Health Unit, London, Ontario, Canada; Dobie Associates (Dr Dobie), San Antonio, Tex; Environment, Energy and Acoustics (Mr Kaliski), Resource Systems Group, White River Junction, Vt; and Psychological Evaluation and Research Laboratory (Dr Blais), Massachusetts General Hospital, Boston.

Address correspondence to: Robert J. McCunney, MD, MPH, Department of Biological Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 77 Massachusetts Ave, 16–771, Cambridge, MA 02139 (mccunney@mit.edu).

The Canadian Wind Energy Association (CanWEA) funded this project through a grant to the Department of Biological Engineering of the Massachusetts Institute of Technology (MIT). In accordance with MIT guidelines, members of the CanWEA did not take part in editorial decisions or reviews of the manuscript. Drs McCunney, Mundt, Colby, and Dobie and Mr Kaliski have provided testimony in environmental tribunal hearings in Canada and the USA. The Massachusetts Institute of Technology conducted an independent review of the final manuscript to ensure academic independence of the commentary and to eliminate any bias in the interpretation of the literature. All six coauthors also reviewed the entire manuscript and provided commentary to the lead author for inclusion in the final version.

では、

The main problem with measuring low-frequency sound and infrasound in environmental conditions is wind-caused pseudosound due to air pressure fluctuation, because air flows over the microphone. With conventional sound-level monitoring, this effect is minimized with a wind screen and/or elimination of data measured during windy periods (less than 5 m/s [11 mph] at a 2-m [6.5 feet] height).36 In the case of wind turbines, where maximum sound levels may be coincident with ground wind speeds greater than 5 m/s (11 mph), this is not the best solution. With infrasound in particular, wind-caused pseudosound can influence measurements, even at wind speeds down to 1 m/s.12 In fact, many sound-level meters do not measure infrasonic frequencies.

“環境条件下での低周波音と超低周波音の測定における主な問題は、**マイクロホンの上を空気が流れるため、気圧の変動による風による疑似音です。**従来の騒音レベルモニタリングでは、風の強い期間(2m(6.5 フィート)の高さで 5m/s(11mph)未満)に測定されたデータを排除することで、この影響を最小限に抑えます。36 風力タービンの場合、最大騒音レベルが 5 m / s(11 mph)を超える地上風速と一致する可能性があるため、これは最善の解決策ではありません。特に超低周波音では、風速が 1m/s 以下の場合でも、風による疑似音が測定に影響を与える可能性があります。12 実際、**多くの騒音計は超低周波周波数を測定していません。**”

と書いてあります。

これが、間違いなのか、意識的な嘘なのかは不明だが、どんなに優れた人でも間違えます。
だからこそ、実際に計測した結果に基づいての議論が必要なのです。計測結果の公開が必要なのです。

二重防風スクリーンの効果は、

オ）風車騒音測定用の小型防風スクリーンの開発
環境省戦略指定研究（風力発電等による低周波音の人への影響評価による研究）における風車騒音測定のために、20cmφのウレタンフォーム製球形防風スクリーンと 12 面体の金属製枠にネットを貼った二重防風スクリーンが開発されている。太田ら 19)は、屋外で実験を行った結果、直径 20cm 防風スクリーンのみに比べて、12 面体防風スクリーンのみで約 10dB、その外側に同じネットを貼った立方体 防風スクリーンを付加した場合には 13dB（いずれも 8Hz）の低減効果が得られたと報告している。

とあり、

９ｃｍの防風スクリーンに比べての減衰が書いてないが、20ｃｍのものに比べて 10ｄＢの減衰とある。９ｃｍに比べれば、さらに減衰量は大きいと考えられる。

10ｄＢの減衰という事は、実際の音圧の 1/3 程度のものとして観測値が出るという事になります。９ｃｍのもので計測したものと比べれば、さらに小さな数値になっているという事です。

これでは被害の原因が分らないのも当然です。原因が分らなくなるように、数値を計算しているのです。業者が計測している隣で、第三者や、住民や、県や市が、独自の機材で計測することが必要です。そのうち

１台は、車の中に置いて、風が当たらないようにして計測する必要があります。
　もちろん、業者が使っている計測機材も確認して、その機能が因果関係を明確に出来るものか、出来ないものかを確認する事も必要です。

　平成２２年度　移動発生源の低周波音等に関する検討調査等業務報告書
　の付録には、次の様に書いてあります。

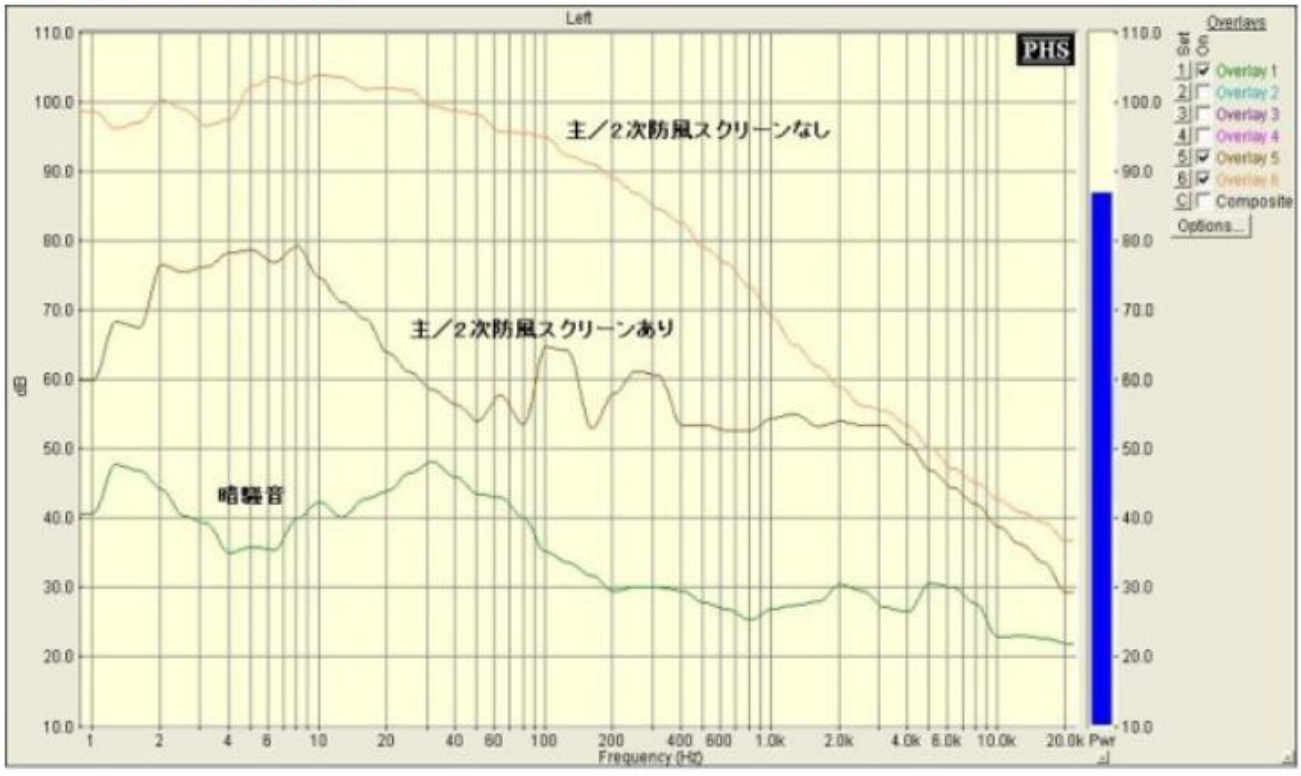
『風切音低減・防水性・音響透過性』の３拍子揃った
風力発電用の専用ウインドスクリーン
【新開発】
風力発電用全天候ウインドスクリーン NA-0380

定価

240,000円

２次防風スクリーン Φ460×230(H)
主防風スクリーン Φ90半割内蔵
組　　立　：簡易取り付け方式（約10分）

【風切音減少効果】



1Hz の辺りで、38ｄＢ程度の差があります。

　二重防風スクリーンを付けて計測した結果は、実際の音圧の 1/3～1/100 程度の数値として観測されます。これでは、被害の原因が不明となるのは当然の結果です。

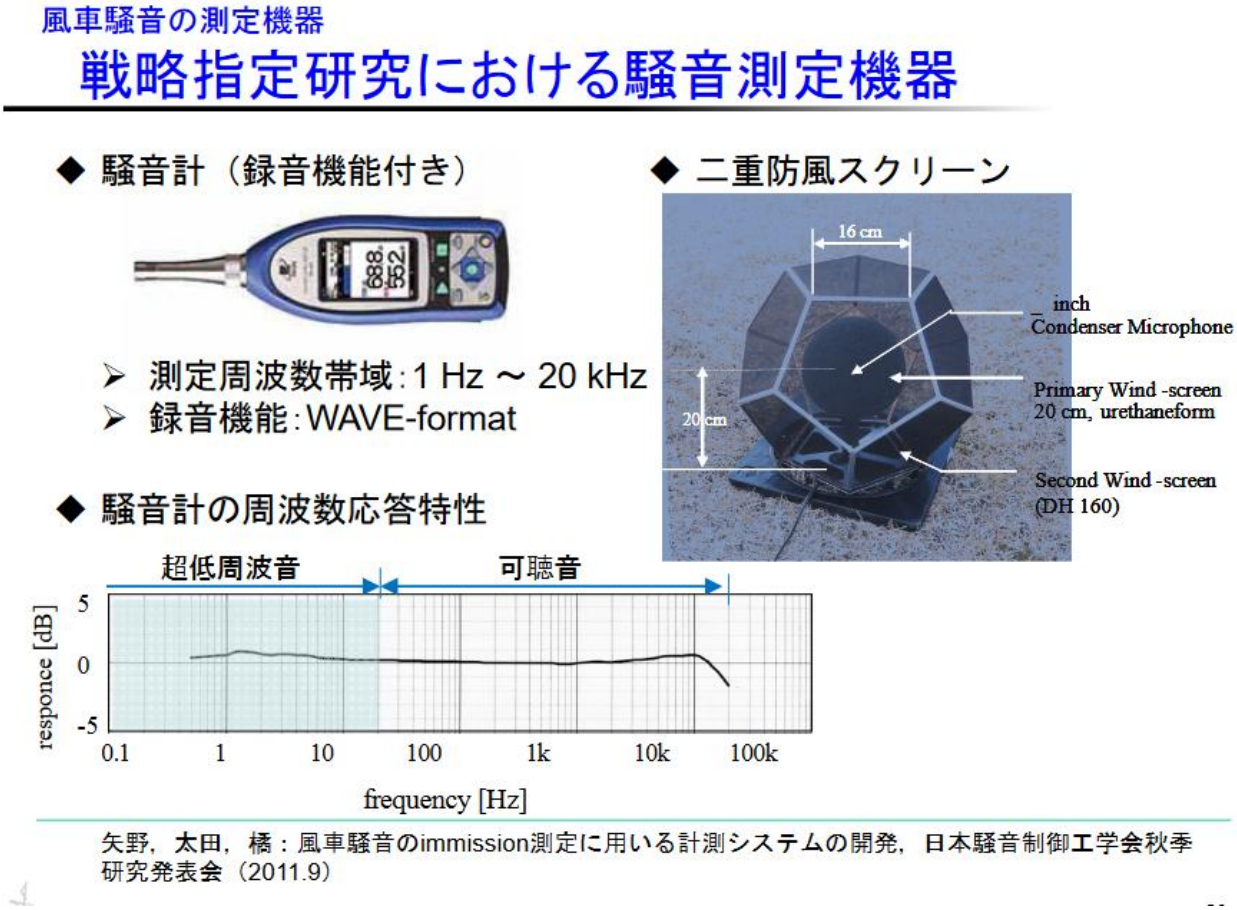
被害は室内で起きます。二重防風スクリーンを外して室内で計測すべきです。風車振動の地中伝搬も考えられますので、室内での振動レベル計による計測も必要です。

計測は、NL-62 以上の性能を持つ精密騒音計で行い、音圧変動そのものを記録した WAV ファイルの公開を義務付ける必要があります。もちろん、第三者による同じ場所での同時計測も義務化する必要があります。

風車音の性質そのものを隠蔽して、誤魔化しの安全安心を主張することを許してはいけないのです。

“風雑音”説を皆が信じてくれれば、超低周波音がいくら大きくなっても問題は無いでのしょうが、ダメだったようです。そこで、計測装置を工夫して、超低周波音を計測できないようにしたようです。

それが、二重防風スクリーンです。



リオン社の防風スクリーンは、次のものです。

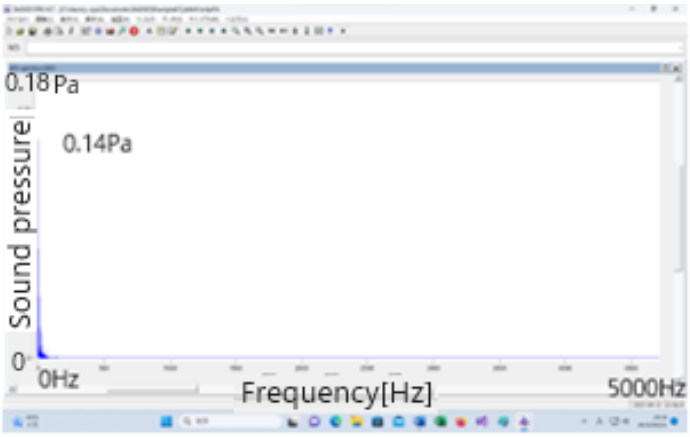
マニュアルの説明は、(屋外で使用する際の風雑音を減少させることを目的としています。また、マイクロホン部を保護することもできます。(降雨に対する防水効果はありません)) となっています。

環境省は、超低周波音を計測しない方針にしました。

“平 成 29 年 5 月 26 日
風力発電施設から発生する騒音に関する指針について
４．残留騒音及び**風車騒音の測定方法**とそれらの騒音と指針値との比較の考え方
騒音の評価尺度はいずれも A 特性音圧レベルを用いるものとする。通常の環境騒音の測定においては雑音を抑制するため強い風を避けることとされているが、本指針における残留騒音及び風車騒音は風力発電施設が稼働する風のある条件で測定する必要があることから、原則として、別途通知する「風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル」に定める方法により、地域の風況等の実態を踏まえ適切に行うこととする。
残留騒音及び風車騒音は、人の生活環境を保全すべき地域において、屋内の生活環境が保全されるように、屋外において風車が稼働する代表的な風況下において、昼間（午前６時から午後 10 時まで）と夜間（午後 10 時から翌日の午前６時）の値をそれぞれ求める。
得られた残留騒音の値に５dB を加えた値を指針値とする。ただし、残留騒音が 30dB を下回る場合等（前述の「３.風車騒音に関する指針値」を参照）は、下限値（地域によって 35dB 又は 40dB）を指針値とする。
その上で、得られた風車騒音を指針値と比較するものとする“

さて、**“騒音の評価尺度はいずれも A 特性音圧レベルを用いる”**とのことだが、

風車騒音（０～5000Hz)（風が弱い日）



エネルギーの分布は次の様になっています。

表２．エネルギーの分布

エネルギー分布	０～20Ｈｚ	20Ｈｚ以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

0～20Hz でのエネルギーの分布

Energy distribution	0～1Hz	1～20Hz	0～20Hz
Wind turbine	61.3%	38.7%	100.0%
Iron mill	0.04%	99.96%	100.0%

さて、93*0.613＝57%ですから、風車音全体のエネルギーの 57%は 1Hz よりも周波数が低い部分に含まれています。風車音のエネルギー分布は１点集中型である、と言えます。

Ａ特性音圧レベルの計算は、20Ｈｚ以上の周波数成分を対象としていて、それ以外の超低周波成分は無視して計算します。

従って、計算対象となるのは、風車音のエネルギーの７%程度なのです。この数値と風車による被害との関係性が薄いことは、明らかです。それは、カナダ保健省のＨＰからも分ります。

“風雑音：**風がマイクロホンにあたることにより発生する雑音**。”
を主張する環境省や学者様が、精密な周波数スペクトルを示せない理由を纏めておきます。

風は方向や速度を変えます。次の表は、気象庁が計測したデータを、気象業務支援センターから入手したものです。

年	月	日	時	分	秒	前10秒間最大瞬間風速	前10秒間最小瞬間風速	前10秒間風程
						0.1m/s	0.1m/s	
2019	2	2	0	12	40	147	124	132
2019	2	2	0	12	50	146	107	131
2019	2	2	0	13	0	122	82	102
2019	2	2	0	13	10	105	65	83
2019	2	2	0	13	20	112	71	82

（前 10 秒間風程は、10 秒間に風が進む行程を意味します。132 は秒速 13.2ｍの風速です。）
風速も風向も不安定なのです。

風の強さの変動のグラフは次の様になります。

（上のグラフは、2019 年1月１日の24時間分の記録です。）
W1（上段左）は、前 10 秒間最大瞬間風速の値（10 秒ごと）、
w2（上段中央）は、前 10 秒間最小瞬間風速の値（10 秒ごと）、
w4（2段目左）は、最大瞬間風速（3秒間移動平均）の値（1分ごと）、
w5（2段目中央）は、最小瞬間風速(3 秒間移動平均) の値（1分ごと）、
です。

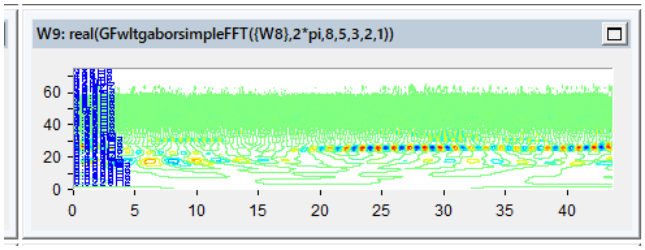
風速や風向が細かく変化すると、風がマイクに当たるときの圧力も細かく変化します。ある一定の周期でマイクに当たる風の強さが変化しないと、風雑音を記録したデータの周波数は変動するはずです。

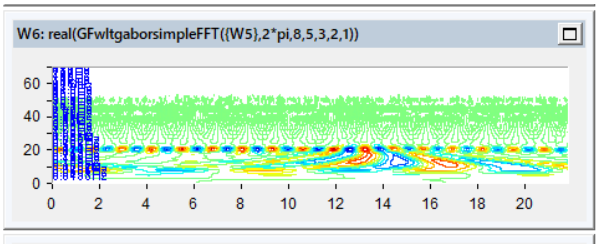
しかし、地上1mあたりで記録された風雑音の周波数スペクトルは、細かく変化するマイクに対する風の圧力の変動を反映しません。

風車の近くで記録された“風雑音”の周波数スペクトルを調べれば、最大音圧となる周波数は、f ＝RZ/60 （Hz）になっているのです。マイクに当たる風は風車の回転に対応する周期で、マイクに対する圧力を変動させていると考えるしかないのです。

さらに、風速が変化しても、風車の回転に対応して、風雑音の周波数も変動するのです。風はマイクに対して加える圧力を、風車の回転の変化に合わせて正確に変化させるのです。

周波数と音圧の変化の様子は次のグラフです。





0.8Hz 程度の周波数成分が、0.3 パスカル程度の強さで放出される状態が 100 秒程度継続することが分かります。共鳴や共振現象などを発生させ、寝ている人間を起こすには十分な継続時間です。
色が比較的濃い部分は 0.8Hz 辺りの音が強いことを表します。

この線が上に上がれば周波数が高くなり、下に下がれば周波数が低くなったことを表します。色が濃い場所は音が大きいことを意味します。薄い色は音が小さいことを意味します。

もし風雑音だというならば、なぜ風車の回転に合わせて地上1mの場所でのマイクに対する圧力を正確に変化させることが出来るのかを説明する必要が生じます。

ですから、詳細な周波数を調べることを禁じるのです。二重防風スクリーンを付けて屋外で測れ、データに残ってしまったら、除外音処理をしろ、というのです。

激しく変化する風がマイクに当たるときに、正確な周波数スペクトルを作り出すというならば、環境省の主張は物理学を根底から破壊することになります。そこまでの勇気が無いので、測るな、見つけたら除外しなさい。と言うのです。

環境省が“風雑音”説を主張するならば、“風雑音”の周波数が倍音構造を持つ理由を説明する必要があるのです。

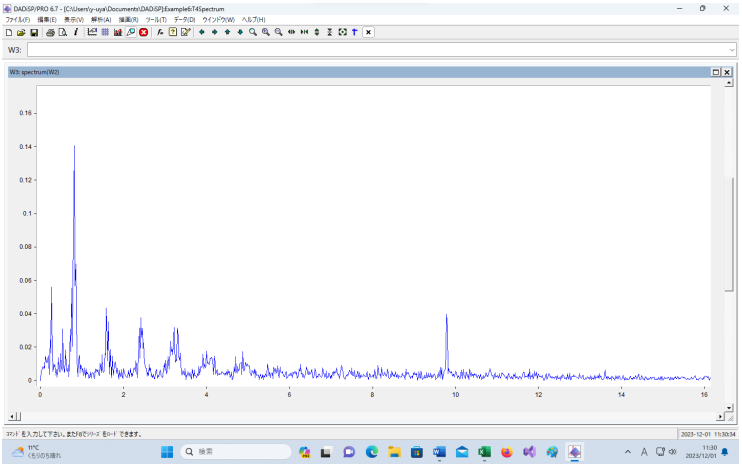


図.3 Wind turbine noise (0～25Hz)

音圧がピーク値となるときの周波数に、次のような規則性がある。

周波数	周波数/0.8167	音圧[Pa]
0.2667	0.3266	0.0560
0.5333	0.6530	0.0309
0.8167	1.0000	0.1405
1.5833	1.9387	0.0436
2.4167	2.9591	0.0377
3.2167	3.9387	0.0317
4.0000	4.8978	0.0177
4.8667	5.9590	0.0173
5.4667	6.6936	0.0101
6.2667	7.6732	0.0098

風切り音だと考える場合は、0.2667Hｚと 0.5333Hｚでピーク値となる理由や、風車音の指向性の説明が難しくなると思います。

この中で、

“本業務は、平成 20 年度、21 年度の調査結果を踏まえ、風力発電所からの騒音等を適切に測定、予測、評価する手法について検討すること及び移動発生源の低周波音等の実態を把握し、低周波音問題に対して適切な対応を図るためのガイドラインの策定について検討を行うことを目的としている。”

とあるのだが、

“風力発電所からの騒音等を適切に測定、予測、評価する手法について検討する”

の部分は、

“風力発電所からの（音では超低周波音の音圧が卓越している。問題の根源である超低周波音の部分を除去した形で）騒音等を適切に測定、予測、評価する手法について検討する”

としか理解できません。

大型の風車では、0.5Hz の近くの成分が全体のエネルギーの 50%以上を持っています。1Hz 以上に制限すると風車音の影響を正しく把握できないのです。

ISO7196 では、1/3 オクターブ解析での中心周波は 0.25Hz～315Hz になっています。中心周波数 0.25Hz での音圧レベルを求めるには、この近くでの音圧の変化を詳しく調べることが必要です。

周波数分解能を高める必要があります。サンプリングレートが 48ｋHz の時に、

60 秒間の計測データだと、48000*60 個のデータに対して、FFT を計算すれば、同じ個数の数値が得られて、周波数の刻み幅をhHzとすれば、h*48000*60＝48000 となるので、h＝0.01667Hzとなり、周波数スペクトルは 0Hz から、24000Hz までの範囲であり、周波数分解能はh＝0.01667Hz です。0Hzから 24000Hzまで、刻み幅 0.01667Hzで計算されることになります。

計測時間 120 秒間の計測データを使えば、周波数分解能が 0.0083Hz となるので、メモリーと計算速度に余裕があれば、120 秒間のデータで計算すべきです。

精密騒音計だけでは計算は出来ません。精密騒音計を音圧変動を記録するだけのものとして扱って、音圧変動を記録した WAV ファイルを使って、コンピュータで解析することが必要です。

これで、風車音の性質が適切に評価できます。その結果があれば、風車音の近くでの“風雑音”は風車が無い場所での“風雑音”とは全く性質の違うものであることが分ります。

超低周波音が風車から発生する仕組みを考えれば、風車の近くでの“風雑音”は、風車からの超低周波音であることが分ります。それば“除外音処理”をしてはいけない音なのです。

これは難しい事ではありません。昔の環境省が言っていた、

“４．低周波音防止技術の概要

4.1.5 風車

風車の超低周波音の発生原理は基本的には送風機のいわゆる回転音と呼ばれるものと似ている。大型発電用風車の場合は、羽根の枚数が少なく、回転数も小さいために正常運転でも超低周波音を発生することがある。

その基本周波数 f（Hz）は、翼の回転数を R（rpm)、翼枚数を Z（枚）とすると

f ＝ RZ/60（Hz）

で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。

大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は 1～3 枚（3 枚が主)、回転数は 30～60（rpm）程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。“

について、正しいか否かを調べれば良いだけの事なのです。

調べれば、最近の環境省が言っている嘘がバレます。嘘だと分かれば、様々な被害の原因もはっきりします。そして、問題を避ける方法も見つかるのです。嘘つきの仲間になってはいけないのです。きちんと調べて、問題を根本から解決する方法を提案すれば良いのです。それは、ほんの少し勉強すれば可能なのです。

では、細かく確認してゆきます。

環境省の委託業務　　平成２２年度　　移動発生源の低周波音等に関する検討調査等業務報告書

（ｐ1）

1. 業務概要

1.1 業務の目的

近年、低周波音に係る苦情が増加している。環境省では、低周波音問題に対し、平成 12 年に「低周波音の測定方法に関するマニュアル」を策定するとともに、工場・事業場等の固定発生源から発生する低周波音については平成 16 年に「低周波音問題対応の手引書」を公表し、対応を図ってきたところである。一方、近年設置数が増加している風力発電所については、環境影響評価法の対象とすることが検討されていること、騒音・低周波音（以下「騒音等」という）による苦情が発生していること等から、その実態の把握とともに、騒音等の測定・予測・評価方法についての知見も求められている。

その中で平成 20 年度は、風力発電所から発生する騒音等の実態、諸外国におけるガイドラインの設定状況等について調査し、国際会議等を通じて低周波音の基準や研究成果に関する最新情報を収集した。**平成 21 年度は**、前年度に引き続き風力発電所から発生する騒音等の実態、諸外国におけるガイドラインの設定状況等について知見を蓄積するとともに、風力発電所からの騒音等の測定方法について検討、及び地方公共団体への低周波音に係る委託業務で得られた測定データの解析を行った。

本業務は、平成 20 年度、21 年度の調査結果を踏まえ、風力発電所からの騒音等を適切に測定、予測、評価する手法について検討すること及び移動発生源の低周波音等の実態を把握し、低周波音問題に対して適切な対応を図るためのガイドラインの策定について検討を行うことを目的としている。

（ｐ4）

（４）検討会の設置・運営

当該業務の実施にあたり、工学系、医学系及び法学系の学識経験者等からなる「移動発生源の低周波音等に関する検討調査委員会」を設置して検討を行う。

なお、検討会は東京で計 4 回開催し、検討委員の名簿は次の通りである。

氏 名 所 属 専 門

1 塩田正純 芝浦工業大学 騒音振動のアセスメント

2 井上保雄 (株)アイ・エヌ・シー・エンジニアリング

低周波音の測定、対策

3 石橋雅之 千葉県環境研究センター 行政

4 今泉博之 (独)産業技術総合研究所 低周波音の伝搬

5 魚崎耕平 (財)日本気象協会 風力発電所の調査

6 落合博明 (財)小林理学研究所 低周波音の測定、評価

7 松島 貢 千葉市環境保全部 行政

8 佐藤 洋 (独)産業技術総合研究所 低周波音の影響、評価

9 新美育文 明治大学法学部 法律

10 佐藤敏彦 北里大学医学部附属臨床研究センター医学（公衆衛生）

平成２２年度　移動発生源の低周波音等に関する検討調査等業務報告書

2. 従来の騒音等に係る苦情と風車騒音

2.3 近年の騒音等の苦情

p 6

2.4 風力発電所からの騒音等

近年、地球温暖化による地球環境への影響を低減する方策として、自然エネルギーあるいは再生可能エネルギーへの転換が進められ始める中で、最も環境に優しいと言われてきた「自然エネルギー」の一つとして風力発電所の建設が行われている。風力発電所に関連する騒音等に係る苦情に関しては、昭和 50 年代後半にダウンウィンド型風車から発生する低周波音によって苦情が発生していた。その後アップウィンド型が主流となり改良が重ねられてきたが、風車の大型化や住宅地に近接した設置、複数基の風車の設置（ウィンドファーム）などによって再び問題化した 4)。

例えば、北欧諸国等で風力発電技術を導入した施設が樹林の茂った山岳地帯から海岸線に沿って林立している状況の中で、風力発電所から 300～1000m 前後の範囲に居住する地域住民からの苦情が出始め、現在に至っている。その苦情内容は、心理的、身体的、精神的な妨害、あるいは生活妨害、物的被害と多岐にわたっている。風力発電所からの風車騒音の性状等について、未だ未解明な部分について下記に示した。

・物理特性　：　変動特性、時間特性、周波数特性、純音性
・心理的影響　：　疲労感、気分の悪化
・生理的影響　：　自律神経系、内分泌系
・社会反応　：　アノイアンス
・身体的影響　：　圧迫感、振動感
・精神的妨害　：　気分の不安定さ
・生活妨害　：　睡眠、不快感（アノイアンス）
・物的被害　：　がたつき、ひび割れ

2.5 風車騒音の特殊性

風力発電所は、騒音源となる駆動系の「原動機類と翼部」及び電力系となる「装置類と運転監視施設」によって構成される発電システムである。これらを整理すると下記のようになる。

（１）駆動系
ア）原動機類　：　発電機、動力伝達軸、ブレーキ装置、ヨー駆動装置、増速機、減速機
イ）ナセル部　：　原動機類全体を囲んでいる
ウ）翼部　：　ブレード、ハブ、ロータ軸
エ）その他　：　換気ファン

（２）電力系 7
ア）タワー内部　：　電力変換装置、制御装置
イ）タワー外部　：　変圧器、電力系統保護装置
ウ）運転監視施設：　コンピュタシステム
エ）その他　：　通信回線

（３）その他

ア）タワー
イ）タワーの基礎
風力発電所は 1 基あたりの発電規模が kW、MW、GW と大規模になってきているが、わが国では大体、100kW～2,000kW 前後が主流となっている。このような発電システムの騒音源は、タイプによって異なるが、地表面からの高さが 100m 前後にあり、ナセル部内の原動機類と翼の回転により発生する。前者は、いわゆる機械音、後者は、いわゆる空力音といわれている。翼は風力が無いと回転しないので音は発生しないが、風力によって翼が回転することによって機械音と空力音が発生する。機械音は、風力発電施設近傍で、ある程度離れると機械音と空力音が、かなり離れると空力音が、主体に伝搬している。風力発電施設は、一般に、風の道といわれる尾根伝いにおける樹林の茂った山岳地帯から障害物もない効率の良い海風を受ける海岸線に沿って設置されている場合が多い。
しかしながら、風の現象は一様ではなく、強弱を伴っている。樹林の茂った山岳地帯では、住宅が点在しているが、ある程度離れると里山地区となり密集した住宅が現われる。樹林の茂った山岳地帯のいわゆる環境騒音は 30dB を下回るような値となっている。また、海岸線でも、ほぼ打ち返す波音が聞こえる程度の音環境になっている場合が多い。すなわち、ほとんど人工的な音源が無いため、静穏地域となっている。このような地域の環境騒音の周波数特性は、低周波数成分の領域を含んだ特性となっている。
ア）タワー内部 ： 電力変換装置、制御装置
イ）タワー外部 ： 変圧器、電力系統保護装置
ウ）運転監視施設： コンピュタシステム
エ）その他 ： 通信回線
（3）その他
ア）タワー
イ）タワーの基礎
風力発電所は 1 基あたりの発電規模が kW、MW、GW と大規模になってきているが、わが国では大体、100kW～2,000kW 前後が主流となっている。このような発電システムの騒音源は、タイプによって異なるが、地表面からの高さが 100m 前後にあり、ナセル部内の原動機類と翼の回転により発生する。前者は、いわゆる機械音、後者は、いわゆる空力音といわれている。翼は風力が無いと回転しないので音は発生しないが、風力によって翼が回転することによって機械音と空力音が発生する。機械音は、風力発電施設近傍で、ある程度離れると機械音と空力音が、かなり離れると空力音が、主体に伝搬している。風力発電施設は、一般に、風の道といわれる尾根伝いにおける樹林の茂った山岳地帯から障害物もない効率の良い海風を受ける海岸線に沿って設置されている場合が多い。
しかしながら、風の現象は一様ではなく、強弱を伴っている。樹林の茂った山岳地帯では、住宅が点在しているが、ある程度離れると里山地区となり密集した住宅が現われる。樹林の茂った山岳地帯のいわゆる環境騒音は 30dB を下回るような値となっている。また、海岸線でも、ほぼ打ち返す波音が聞こえる程度の音環境になっている場合が多い。すなわち、ほとんど人工的な音源が無いため、静穏地域となっている。このような地域の環境騒音の周波数特性は、低周波数成分の領域を含んだ特性となっている。
一方、従来の騒音は高騒音地域を如何に静穏地域化していくかが課題であったことから、工学的な手法の開発が急激に発達していった。現在では、高騒音地域における音源対策は充分に充実している状況である。しかしながら、静穏地帯における騒音防止対策は、環境騒音と同等かそれ以下でなければ、住民の納得が得られない状況になっている。これらの現象が多く顕在化してきたのはこの 6～7 年である。しかし、低周波数成分の領域における心理的影響、生理的影響、社会反応、身体的影響、精神的妨害及び生活妨害による多くの反応等に関して、学術的かつ客観的な裏付けや検証がなされている状況ではない。このことから、本節で

は、現状において学術的かつ客観的な裏付けや検証がなされている項目について明確に示すこととする。

表 2.1 は、従来の騒音発生と風車騒音発生とはどのような違いがあるのかを幾つかの観点で比較・整理したものである。本表で使用する記号のうち、風力発電所から発生する騒音等について記載している“△”は、「従来の低周波音」である程度「明確さ」になっていると判断したものである。また、“●”は不確実さを示したもので、“○”は明確さを示したものである。

表 2.1　風車騒音等と従来の騒音との比較

	風車騒音等			従来の騒音（工場・事業場、建設作業、道路交通、新幹線、航空機、近隣騒音、深夜営業騒音）		
	概　要	明確さ	不確実さ	概　要	明確さ	不確実さ
現象	・ 波動：疎密波 ・ 入射、反射、吸収、透過、共鳴、回折、干渉、屈折 ・ 衝突・衝撃・摩擦 ・ 回転・乱れ・脈動 ・ 渦・共鳴／共振 ・ 磁界・電磁気	○		・ 波動：疎密波 ・ 入射、反射、吸収、透過、共鳴、回折、干渉、屈折 ・ 衝突・衝撃・摩擦 ・ 回転・乱れ・脈動 ・ 渦・共鳴／共振 ・ 磁界・電磁気 ・ 爆発・燃焼・圧縮・膨張	○	
妨害	・ 心理的・生理的・身体的 ・ 精神的・生活・物的	△	●	・ 聴力低下・聴力妨害 ・ 心理的・生理的・身体的 ・ 精神的・生活・物的	○	
計測	・ 統一した方法はない ・ 計測機器が規格化されていない ・ 実験施設・実験方法も規格化されていない		●	・ 騒音規制法によるもの ・ 日本工業規格で統一 ・ 計測機器は規格化 ・ 実験施設も充実 ・ 実験方法も規格化	○	
予測	・ ISO9613-2 ・ NEDO 式 ・ Nord2000 モデル 等があるが、未完成部分あり		●	・ 騒音発生源毎に予測手法が整備され、実用化	○	
評価	・ 物的影響は一般化 ・ 心身的影響、最小可聴値、アノイアンスは未解明	△	●	・ 騒音規制法、都道府県条例にて、規制基準値を設定 ・ 環境基準を設定	○	
法律	・ 国では未規制 ・ 一部、条例で規制	△	●	・ 環境影響評価法、騒音規制法、都道府県条例が整備	○	

国際	・ 論文発表件数が少ない ・ 特に、発生源、計測方法、評価に集中 ・ 各国の評価法がまちまち	△	●	・ 論文発表は充実している ・ 各国へ法規制・評価法を発信	○	
医学	・ 医学的な見地からの公的な見解が無い		●	・ ある一定以上の騒音暴露による影響についての公的見解はある	○	

（注意）

“騒音レベル”という用語は我が国独特の言葉で、上記の説明にあるように“A 特性音圧レベル（A-weigted sound pressure level）”と同義語として使われています。さらに、新 JIS（JIS C 1509）では、周波数重み付きの音圧レベルに対して新用語“サウンドレベル （sound level）”を定義しており、それによれば、“A 特性時間重み付きサウンドレベル（A weighted and time-weighted sound level）”に相当します。

p 11

2.6 本報告書において使用する用語

（１）騒音、低周波音、超低周波音

通常の音圧レベルで人が聞き取ることができる音の周波数範囲は概ね 20～20,000Hz とされている。一般の騒音測定では、20～20,000Hz 程度の周波数範囲の音を取り扱っている。騒音は望ましくない音と定義され、ある音が騒音かどうかは人の主観的な判断による。つまり聞こえることが前提であるため、周波数範囲としては 20～20,000Hz と考えるのが妥当としている。なお、騒音レベルを測定するための機器（サウンドレベルメータ）に関する規格である JIS C 1509 では、10～20,000Hz の範囲の周波数重み特性が記載されている 5)。

一方、ISO 7196 では、周波数スペクトルが主に 1～20Hz の範囲にある音を超低周波音(Infrasound) としている 6)。また平成 12 年に環境庁より公表された**「低周波音の測定方法に関するマニュアル」では、主な低周波音発生源の周波数特性、我が国における 80Hz 程度以下の可聴域の低い周波数における苦情の現状等を考慮して、1/3 オクターブバンド中心周波数で 1～80Hz の範囲を低周波音、このうち 1～20Hz の範囲を超低周波音と定義している 1)。低周波音の周波数領域として可聴周波数域を一部含む背景には、A 特性音圧レベルで基準値以下にもかかわらず、100Hz 以下程度に主要な周波数成分をもつ騒音に関する苦情が寄せられるケースが多く見られたことによる 7)。**

表 2.2　規格、文献等に見る騒音、低周波音、超低周波音の周波数範囲

規格，文献	超低周波音	低周波音	騒音
JIS C 1509	-	-	10～20,000Hz（1/3 オクターブバンド中心周波数）
ISO 7196	1～20Hz	-	-
低周波音の測定方法に関するマニュアル	1～20Hz（1/3 オクターブバンド中心周波数）*	1～80Hz（1/3 オクターブバンド中心周波数）**	-

*　オクターブバンド中心周波数では 2～16Hz。
** オクターブバンド中心周波数では 2～63Hz。

問題点：

“A 特性音圧レベルで基準値以下にもかかわらず、100Hz 以下程度に主要な周波数成分をもつ騒音に関する苦情が寄せられるケースが多く見られたことによる”

ことを理由として、

“主な低周波音発生源の周波数特性、我が国における 80Hz 程度以下の可聴域の低い周波数における苦情の現状等を考慮して、1/3 オクターブバンド中心周波数で 1～80Hz の範囲を低周波音、このうち 1～20Hz の範囲を超低周波音と定義している”

と言っているが、

周波数範囲は、1～80Hz 、1～20Hz　と書いてある。

昔の話は、忘れたのでしょうか？

昔の環境省は

“その基本周波数 f（Hz）は、翼の回転数を R（rpm）、翼枚数を Z（枚）とすると　f ＝RZ/60　（Hz）　で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は 1～3 枚（3 枚が主）、回転数は 30～60（rpm）程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。“

と言っていました。

これで計算すると、大型風車では、f ＝RZ/60＝0.5　（Hz）となります。0.5Ha の周辺のエネルギーは風車音のエネルギーの 50%以上を占めます。

周波数範囲を、1～80Hz 、1～20Hz　にしたのでは、風車音被害の原因の半分以上を無視しているので、被害の原因が分らなくなります。G 特性音圧レベルの数値でも、重みの付け方が悪いので、被害状況を表す指標にはなりません。計測範囲を拡大して、最大音圧を把握することが必要なのです。

p 68

3.2.5 風雑音の低減方法に関する現状把握

低周波音の測定では、風により雑音（風雑音）が発生することによって正確な測定値を得られない場合がある。風車音の測定では、風が強いときに測定をしなければならないことから、低周波音の測定にあたっては通常の低周波音測定以上の風雑音低減対策が必要である。本項では、はじめに既往の研究について整理を行

った。
（１）風雑音の低減方法に関する既往の研究
一般的に、**風がマイクロホンに当たることによって発生する雑音は周波数が低いほど大きな成分を持っており、風速の増加とともにこの傾向が顕著になる。**
測定対象とする低周波音の主要周波数成分が低いほど、また音圧レベルが小さいほど、風による影響が大きくなる。これまで、騒音測定用の防風スクリーンについてウレタン製の球形防風スクリーンが製品化されている反面、低周波音測定用に特化した製品は見当たらない。

3.2.5 風雑音の低減方法に関する現状把握
（１）風雑音の低減方法に関する既往の研究
ｐ69
ウ）風自体の特性を明らかにするための検討
高橋ら 17)は、**風雑音の発生形態に関する基礎的な検討**を目的として、屋外において一定距離離れた低周波音用音圧レベル計と Hot-wire 風速計によって風雑音および風速変動を同時計測し、200Hz 以下の周波数領域に着目して風雑音信号と風速変動とを比較している。計測した 2 点での音圧レベル計の出力信号間では、その時の風速に対応する時間遅れを持って相互相関関数の最大点が存在することを見出し、風塊の通過に起因する風雑音を確認した。一方、同距離の 2 点での風速信号間では特定の時間遅れを持った相関関数最大点が認められず、**風速自身が有する極めて低い周波数成分の支配的なエネルギー**によってマイクロホン近傍で相互作用的な雑音の発生が起こっていると示唆した。

問題点は、
最初の問題設定からして間違っています。
“風雑音の発生形態に関する基礎的な検討を目的とし”
とあるのですが、やるべきことは、
風車音を計測することです。風雑音が気になるならば、騒音計に風が当たらないようにして計測すれば済むことです。
　風が騒音計に当たらない状態でも、風車からの超低周波音は計測されます。音圧が高くて規則的は周波数特性を持っています。この結果をよく見て、過去の研究結果を確認すれば、計測された音が風車から出る超低周波音であることも判明します。もちろん発生する仕組みも明らかになります。
さて、
風塊の通過に起因する風雑音の周波数は何ヘルツなのでしょうか？
なぜその周波数になるのでしょうか？
風塊の性質は、そのような周波数を発生させるようなものなのでしょうか？
風車が無い場所での風塊は、同じような周波数の風雑音を発生させるのでしょうか？
など、沢山あります。
風雑音を風車が無い場所で計測した結果と、風車が有る場所で計測した結果の比較が必要なのです。
風車の近くでは、マイクに風が当たらなくても、f、2f、3f、4f、…（ｆ＝RZ/60）Hz の超低周波音は計測されますので、超低周波音で、音圧が高くて規則的な周波数を持っている部分は、風雑音ではありません。
“風速自身が有する極めて低い周波数成分の支配的なエネルギー”と言う表現は誤りです。“風速自身が”と言うならば、同じ風速の時に、風車が無い場所で計測しても同様の風雑音が計測されるはずです。

風車が無ければ、音圧が低くて、不規則な周波数特性を持った超低周波音しか計測されません。風車が有る場所、164 か所の計測結果のグラフの表示方法を変えて確認すれば、風車が有る、すべての場所で、音圧が高い超低周波音の存在が確認できます。きちんとした検証が無ければ単なる空想です。科学を空想に変えてはいけません。

風のせいではなく、風車の存在こそが、音圧が高くて、規則的な周波数を持っている超低周波音の原因なのです。ほんの少し物理学を勉強すれば、なぜ超低周波音が発生するのかが分かります。さらに、回転軸が水平の風車は、物理的に考えれば、超低周波音の発生装置そのものである事も簡単に分かります。

エ）騒音測定データに含まれる風雑音の補正方法の検討

立石ら 18)は、低周波音の測定と同時に風速を実測し、風速の実測結果を用いて騒音測定データに含まれる風雑音（発表では風ノイズと表現）を補正する方法について検討している。平均風速および乱流強度と風雑音のレベルの関係について、風洞実験結果に基づいて導いた補正式を提案している。その結果、風雑音環境下におけるマイクロホン出力に作用する風雑音が乱流強度、平均風速、周波数で定義できること、防風スクリーンによる風雑音低減効果は、風の乱れが大きく風速が速い場合に小さいことを示した。

問題点：

精密騒音計での計測結果に対する、風の影響と環境騒音の影響を考えるには、10Hz 以下の領域と、20Hz 以上の領域に分けて考えることが必要です。

10Hz 以下の領域に関しては、補正は必要ありません。風がマイクに当たって発生する超低周波音の音圧は、計算誤差の範囲内です。さらに、風車以外の騒音源で、5Hz 以下の周波数の音を出すものは、ほとんどありません。

20Hz 以上の成分に関しては、風車以外の騒音源からの影響が大きいので、防風スクリーンで低減させれば、可聴域での、すべての音が低減されているので、風雑音の影響を低減させてとは言い切れません。

超低周波音の領域での最大音圧は、他の環境騒音の影響を、ほとんど受けないので、この値から、計測地点での、風車音による、可聴域での影響、WTN を推測できます。

ただし、計算方法には注意が必要です。

ここで、“風雑音のレベルの関係”とあるが、FFT の計算に於いて、平均値を取った結果を使う場合が多いと、リオン社の人から聞いたことがあります。

これでは、周波数特性が把握できません。音圧レベルに変換すると、低周波音の振幅を決めるマクローリン展開の係数との関連が見えなくなります。

さらに、平均風速にしたのでは、風速の変動により、ブレードの回転速度が変化して、超低周波音の周波数が変化するところが消えてしまいます。

平均化してはいけないのです。周波数に関しては Wavelet 解析が必要になるのです。

オ）風車騒音測定用の小型防風スクリーンの開発

環境省戦略指定研究（風力発電等による低周波音の人への影響評価による研究）における風車騒音測定のために、20cmφのウレタンフォーム製球形防風スクリーンと 12 面体の金属製枠にネットを貼った二重防風スクリーンが開発されている。太田ら 19)は、屋外で実験を行った結果、直径 20cm 防風スクリーンのみに

比べて、12 面体防風スクリーンのみで約 10dB、その外側に同じネットを貼った立方体 防風スクリーンを付加した場合には 13dB（いずれも 8Hz）の低減効果が得られたと報告している。

問題点：

“風雑音”説を皆が信じてくれれば、超低周波音がいくら大きくなっても問題は無いでのしょうが、ダメだったようです。そこで、計測装置を工夫して、超低周波音を計測できないようにしたようです。

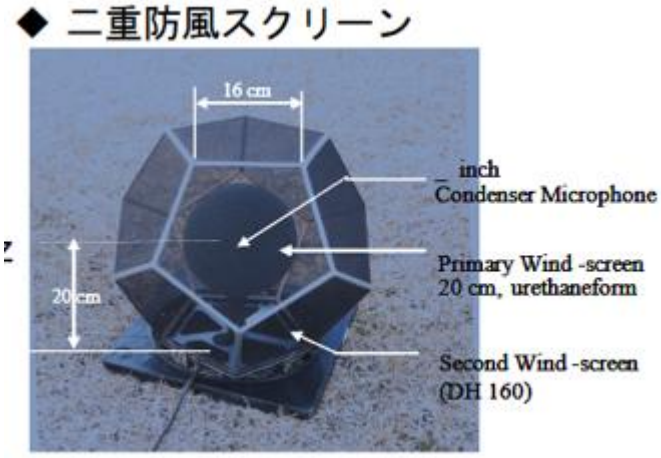
リオン社の精密騒音計を購入すると、直径 9ｃｍのウレタン製の防風スクリーンが、マイクの保護を兼ねて、付いてきます。

この直径９ｃｍの防風スクリーンについて、リオン社の説明は

（屋外で使用する際の風雑音を減少させることを目的としています。また、マイクロホン部を保護することもできます。(降雨に対する防水効果はありません)）

となっています。

これでは不十分として、20cmφのウレタンフォーム製球形防風スクリーンと 12 面体の金属製枠にネットを貼った二重防風スクリーンが開発されている。



最近の研究動向の整理より、風雑音の低減方法に関する研究は必ずしも活発ではないが、様々な角度からの検討が行われており、防風スクリーンの開発を含めた測定方法や風雑音のメカニズムに関する検討が継続さ

れていることが明らかになった。また、風力発電所から発せられる音を対象とした計測方法に関する研究も実施されていることがわかった。

（２）防風スクリーン商品化の動向

前記のとおり、屋外において低周波音を正確に計測する場合には、風雑音の 70 影響をできるだけ低減する必要がある。その中で最近、2 種類の防風スクリーンが商品化されている。この動向は、低周波音を測定することに対する社会の要請が高まっていることを反映していると考えられる。

そのうちの一つは商品名に風力発電用とあり、もう一方も使用例として風力発電所からの音を示している。2 種類の防風スクリーンの特徴を比較する。両者は、円盤状のアルミニウム製の板の上に騒音計用マイクロホンを設置し、それを半球形に成形した薄いアルミ繊維で覆うことで風雑音（なお、一方は風切音と表記されているが風雑音と同意語と思われる）の低減を図る点で共通している。これらの方法は IEC61400-11 で示された方法に類似しており、発生源側における測定方法として考えられていると推察される。このうち、一方は 90mm 径の球形防風スクリーンを半割したものを主スクリーンとして内装するのに対して、他方はマイクロホンを直接アルミ繊維製の半球形防風スクリーンで覆い使用するように見て取れ、それぞれの構造に僅かな差異が見られる。

問題点

言葉の定義の問題ですが、風雑音と風切り音は異なる意味で使われることが多いです。

風雑音は、風がマイクに当たることによって計測される騒音計のデータを指すことが多い。

風雑音については、ある方から、次の様に教えていただきました。

“宇山さんは、風車からの低周波音の測定について検討されていたと思います。

風車の回転に伴い、1 分間の回転数×羽枚数÷60 を基本周波数とする成分と倍音成分（例えば、回転数 20rpm、3 枚羽の風車では、1Hz とその倍々の周波数）が発生することについては、以前お話ししたように思います。

しかし、現場で観測される低周波音は風車からの音に、風雑音が重畳されたものとなります。

低周波数域の風雑音は風がマイクロホンに当たることによって発生します。

この雑音は周波数が低くなるほど大きな成分を持っています。

通常、低周波音の測定は風雑音による影響を避けるため、風のない時に行います。

しかし、風車は風がないと回らないので、風による影響を受けます。

風による影響を受けにくい山間地や尾根で風が遮られる地域では、風車の回転に伴う成分が周波数分析結果で卓越成分として観測されます。

一方、平地などのように風による影響を受けやすい場所における測定結果では、低周波数域の周波数特性はこんもりと盛り上がったような特性となっていて卓越成分が観測されないことが多いと思います。これは、風車音よりも風雑音が優勢であると考えられます。

通常の防風スクリーンより大きい直径 20cm 程度の防風スクリーンをマイクロホンに装着しても風が強いときは風雑音を十分に除去できません。

風雑音の低減に関しては、これまで色々と研究されてきていますが、およそ **5Hz 以下の周波数域（場合によってはおよそ 10Hz 以下）については、風雑音の除去が難しいのが現状です。**

従って、風車からの低周波音を正確に測定するにあたっては、風雑音による影響をいかに排除するかも大きな課題の一つです。

研究にあたっては、このあたりも参考にしていただけると幸いです。”
この立場は、“風雑音”の意味を２通りに捉えています。
１，　風がマイクに当たって発生する音。
２，5Hz 以下の周波数域（場合によってはおよそ 10Hz 以下）の超低周波音。
さて、
“低周波数域の風雑音は風がマイクロホンに当たることによって発生します。
この雑音は周波数が低くなるほど大きな成分を持っています。“
とあるのだが、
環境省は
風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル、（３ページの説明）
“風雑音
風がマイクロホンにあたることにより発生する雑音。測定においてはウインドスクリーン（防風スクリーン）を装着することにより風雑音を低減する必要がある（3.1(2)参照）。
風により発生する葉擦れ音や風音は自然音であり風雑音ではない。“
としています。

風車のすぐ近くでは、マイクに風が当たらなくても、音圧が高く、規則的な周波数を持った、超低周波音が計測されました。
従って、風車の近くで計測される、音圧が高くて、規則的な周波数を持つ超低周波音は、風雑音ではありません。風車から発生する超低周波音なのです。

以下の記述があります。

“環境省戦略指定研究（風力発電等による低周波音の人への影響評価による研究）における風車騒音測定のために、20cmφのウレタンフォーム製球形防風スクリーンと 12 面体の金属製枠にネットを貼った二重防風スクリーンが開発されている。太田ら 19)は、屋外で実験を行った結果、直径 20cm 防風スクリーンのみに比べて、**12 面体防風スクリーンのみで約 10dB、その外側 に同じネットを貼った立方体防風スクリーンを付加した場合には 13dB（いずれも 8Hz）の低減効果が得られた**と報告している。”

防風スクリーンが、超低周波音を防ぐ効果があるならば、防音窓ではなく、家の周りを全て、大きな防風スクリーンで、覆ってくれますか？根本的な対策としては、風車の周りを、防風スクリーンでカバーすれば良いと考えます。
超低周波音に対して、防音窓の効果が無い事は、次のグラフから分かります。
8Hz では、アルミサッシ二重窓で５ｄＢの減衰ですが、それ以外は減衰が見られません。

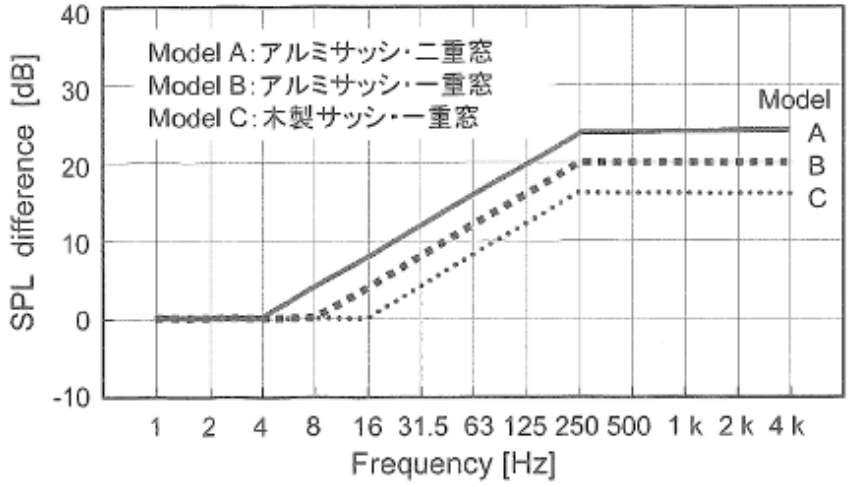


図 4 開口部構造別のハウスフィルター・モデルの案

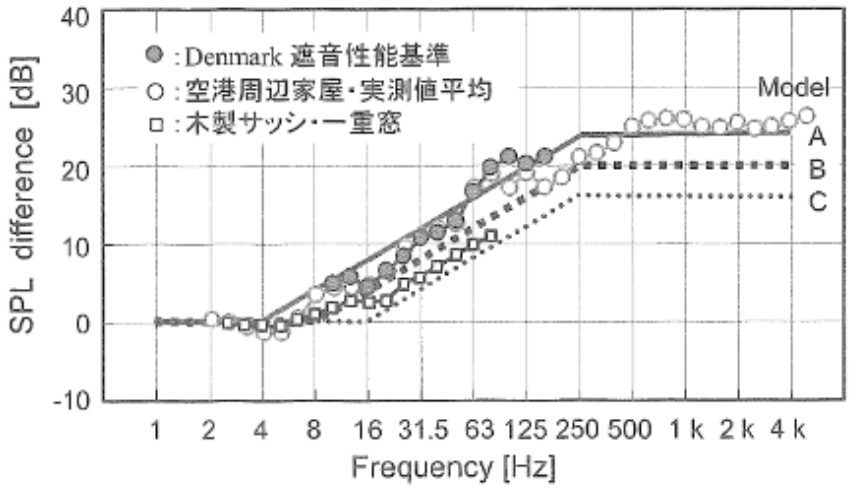


図 5　ハウスフィルター・モデルと 3 種類の参照データの比較

屋外では、防風スクリーンを付けて計測するのでしょうが、8Hz の音に対しては、10ｄB～13ｄB の減衰を得ることになります。

室内の計測では、風が吹いていないので防風スクリーンは不要です。室内で、防風スクリーンを外して計測すれば、8Hz の音は、屋外での防風スクリーンを付けての計測結果よりも大きな値になります。

普通の家では、外での計測結果よりも、10～13ｄB 高い状態になっている事になります。

防音用の二重窓が付いている家では、外での計測結果よりも、5～8ｄB 高い状態になるのです。

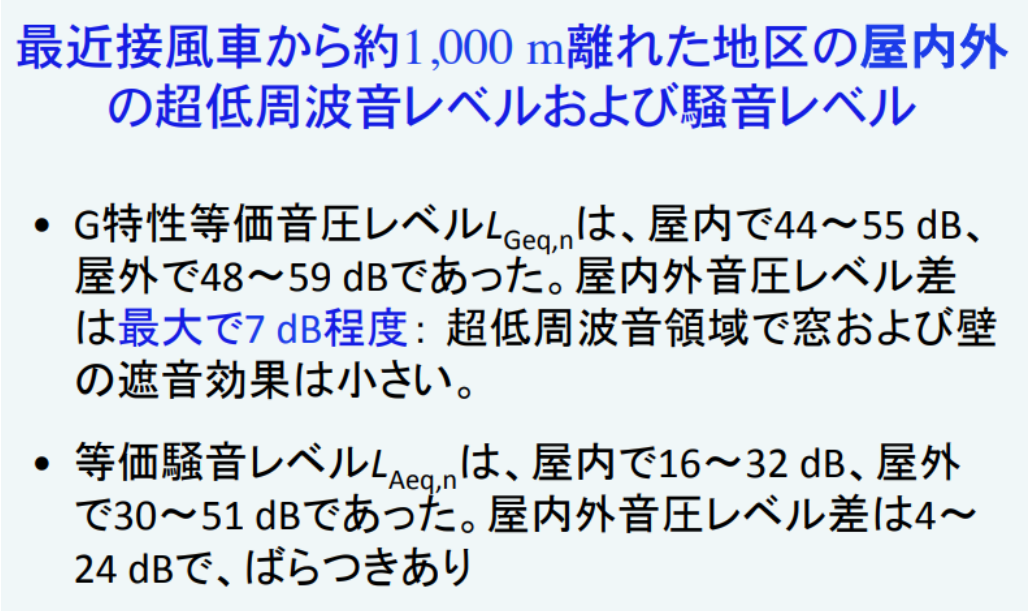
これは、防風スクリーンを付けての屋外での計測が、被害を防ぐと言うよりも、数値で住民を騙すことが目的であると考えてしまいます。10ｄB 大きいと言うことは、音圧が 3 倍になっているという事です。13ｄB 大きいという事は、音圧が 4.5 倍になっているという事です。

これが、屋外での計測を主張する理由かも知れませんが、精密騒音計で、防風スクリーンを外した状態で、室内での音圧を計測すべきだと考えます。もちろん。屋外での、計測スクリーンを付けての計測も行って、両方の結果を、デジタルデジタルデータのまま、希望する住民に提供すべきだと考えます。

このような室内でのデータがあれば被害と計測した数値の関係性が明確になります。

いずれの商品も通常の測定で用いられる 9cmφのウレタン製球形防風スクリーンとの違いは示されていない。カタログに記載された測定データから、マイクロホンのみの場合と防風スクリーンを装着した場合の音圧レベルを比較することにより、おおよその風雑音低減効果を類推した。両者は、「防風スクリーンなし」の条件と比べて、10Hz 以下の周波数範囲で 20dB 以上の音圧レベル差を示しており、周波数が高くなるほどその音圧レベル差は大きくなっている。
ただし、一方が一定風速下における測定結果であるのに対して、他方は複数の風速条件で測定された結果の平均値であること、測定方法についても一方が扇風機の風によるものであるのに対して、他方は風洞実験によるものであることから、個々の結果を単純に比較することはできない。また、実際の屋外環境下で同等の結果が得られるか否かは明らかでない。
なお、最新の研究では、川上ら 20)が一方の防風スクリーンについて、扇風機の風を用いた実験を行い 100Hz 以下で、「防風スクリーンなし」の条件と比べて約 30dB の風雑音低減効果を確認したとしている。
また、丸山ら 21)は、風洞実験ではいずれの製品も 2 次防風スクリーンによる風雑音低減効果がみられたと報告している。
今後、実際の屋外環境下で同一の条件において、風雑音低減効果の比較測定を実施する必要がある。また、低周波音の測定で通常使用される直径 9cmφのウレタン製球形防風スクリーン、直径 20cmφのウレタン製球形防風スクリーン 71 との性能の違いも明らかにする必要があると考えられる。

石竹達也　氏の研究内容に、



と書かれている。

問題点：

これらを考える前に、風車から出ている超低周波音の精密な周波数測定と、それが発生する物理的な仕組みを解明する必要があるのです。

パスカル単位で表示された、精密な周波数スペクトルを調べる必要があるのです。そのためには、超低周波音を把握できるマイクが必要です。

そのようなマイクを使った精密騒音計としては、NL-62、NL-63、SA-A1 があります。周波数分解能を上げるためには、少なくとも 120 秒以上の連続した計測データを対象とした計算が必要です。

問題点：

以下の記述があります。

“環境省戦略指定研究（風力発電等による低周波音の人への影響評価による研究）における風車騒音測定のために、20cmφのウレタンフォーム製球形防風スクリーンと 12 面体の金属製枠にネットを貼った二重防風スクリーンが開発されている。太田ら 19)は、屋外で実験を行った結果、直径 20cm 防風スクリーンのみに比べて、12 面体防風スクリーンのみで約 10dB、その外側 に同じネットを貼った立方体防風スク リーンを付加した場合には 13dB（いずれも 8Hz）の低減効果が得られたと報告している。”

防風スクリーンが、超低周波音を防ぐ効果があるならば、防音窓ではなく、家の周りを全て、大きな防風スクリーンで、覆ってくれますか？根本的な対策としては、風車の周りを、防風スクリーンでカバーすれば良いと考えます。

超低周波音に対して、防音窓の効果が無い事は、次のグラフから分かります。

8Hz では、アルミサッシ二重窓で 5ｄＢの減衰ですが、それ以外は減衰が見られません。

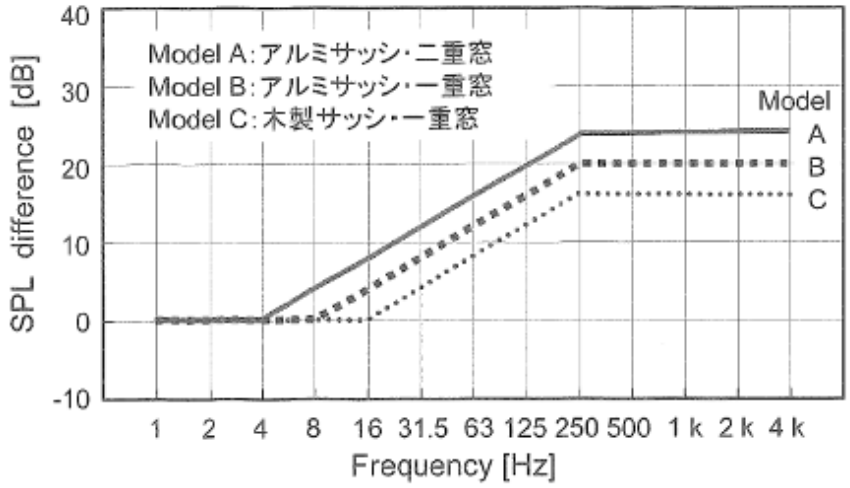


図 4 開口部構造別のハウスフィルター・モデルの案

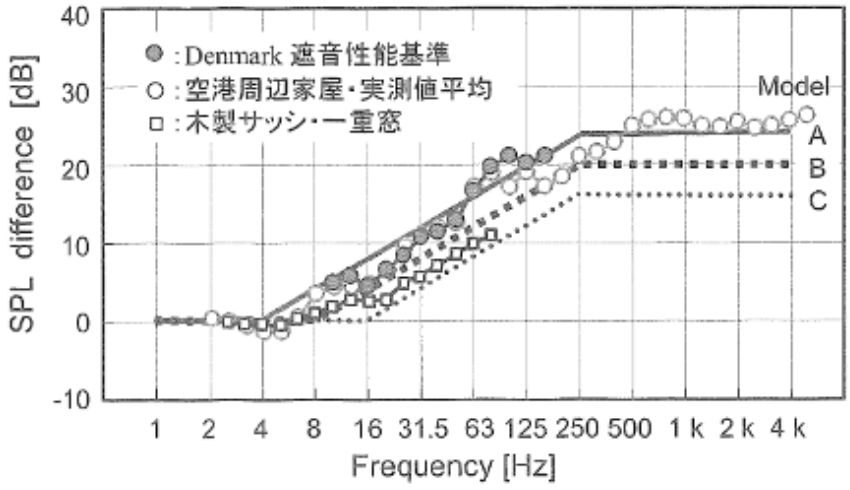


図 5　ハウスフィルター・モデルと 3 種類の参照データの比較

屋外では、防風スクリーンを付けて計測するのでしょうが、8Hz の音に対しては、10ｄＢ～13ｄＢの減衰

を得ることになります。

室内の計測では、風が吹いていないので防風スクリーンは不要です。室内で、防風スクリーンを外して計測すれば、8Hz の音は、屋外での防風スクリーンを付けての計測結果よりも大きな値になります。

普通の家では、外での計測結果よりも、10～13ｄＢ高い状態になっている事になります。
防音用の二重窓が付いている家では、外での計測結果よりも、5～8ｄＢ高い状態になるのです。

これは、防風スクリーンを付けての屋外での計測が、被害を防ぐと言うよりも、数値で住民を騙すことが目的であると考えてしまいます。10ｄＢ大きいと言うことは、音圧が３倍になっているという事です。13ｄＢ大きいという事は、音圧が 4.5 倍になっているという事です。

これが、屋外での計測を主張する理由かも知れませんが、精密騒音計で、防風スクリーンを外した状態で、室内での音圧を計測すべきだと考えます。もちろん。屋外での、計測スクリーンを付けての計測も行って、両方の結果を、デジタルデジタルデータのまま、希望する住民に提供すべきだと考えます。

このような室内でのデータがあれば被害と計測した数値の関係性が明確になります。

６．４　低周波騒音測定マニュアル

低周波音の測定方法に関するマニュアル（平成 12 年 10 月）
の
参 考 資 料―低周波音の基礎知識―の-参考 2 -のページには、
“c.1 低周波音苦情の分類
低周波音の苦情は人に関する苦情（心理的苦情、生理的苦情）と建物等に対する苦情（物的苦情）に大きく分けられる。それぞれの苦情内容は以下に示すとおりである。
（1）心理的苦情 気分のいらいら、胸や腹の圧迫感
（2）生理的苦情 頭痛、耳なり、吐き気、
（3）睡眠影響
（4）物的苦情 家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動
このうち、人体に関する苦情は、低周波音との因果関係がはっきりしない場合も少なくない。物的苦情では、振動が原因であると思われていたものが、実は低周波音が原因であったという場合もある。“
と書いてある。

さて、低周波音の測定方法に関するマニュアル（平成 12 年 10 月）であるが、
低周波音の指標を G 特性音圧レベルとして考えている。

p 21
（1）G 特性音圧レベルの測定
G 特性音圧レベルの測定を行うには、以下の測定系列が考えられる。
ａ． G 特性音圧レベルを測定できる低周波音圧レベル計を用いる場合
G 特性音圧レベルの変動が小さい場合には、低周波音圧レベル計の指示値を直接読み取ってもよい。 G 特性音圧波形の出力をもつ低周波音圧レベル計を用いる場合には、低周波音圧レベル計の出力をレベルレコーダの入力に接続して測定を行う。低周波音では風の影響を受けやすいので、できるだけレベルレコーダも合せて用いて風雑音による影響をこまめにチェックすることが望ましい。
間欠的、衝撃的な低周波音においても、風がなく背景的な低周波音とのレベル差が十分大きい場合には、低周波音圧レベル計の指示値を直接読み取ってもよい。通常は、変動の大きい低周波音や間欠的、衝撃的な低周波音を測定する場合などには、 レベルレコーダでレベル波形をモニターしながらデータレコーダ等に録音し、持ち帰って解析したほうが失敗が少ない。測定系列の例を図－5.1.1 に示す。
ｂ． G 特性を持たない低周波音圧レベル計を用いる場合
G 特性を持たない低周波音圧レベル計を用いる場合には、実時間周波数分析器等を用いて現場で周波数分析を行うか、平坦特性で低周波音を録音し、持ち帰って再生し、実時間周波数分析器等を用いて周波数分析を行う。測定系列については、(2) の低周波音の周波数分析を参照のこと。

（2）低周波音の周波数分析
低周波音圧レベル計の出力を分岐し、一方は実時間周波数分析器の入力に、他方はレベルレコーダの入力に接続して低周波音のレベル波形をモニターしながら、周波数分析を行う。低周波音圧レベル計の周波数補正特性は平坦特性とする。したがって、使用する低周波音圧レベル計は、 G 特性の付いた低周波音圧レベル計でも G 特性を持たない低周波音圧レベル計でもよい。

風が吹いている場合には、レベルレコーダや実時間周波数分析器を用いて風雑音による影響をこまめにチェックすることが望ましい。

変動の小さい低周波音の場合は、現場での分析も可能であるが、変動する低周波音や間欠的、衝撃的な低周波音の場合などは、（３）に示す低周波音の録音を行い、持ち帰って周波数分析をすることが望ましい。測定系列の例を図－5.1.2 に示す。

p 22

（3）低周波音の録音

多点同時測定を行う場合や、詳細な解析を行う場合、騒音・振動・低周波音を同時に測定する場合などには録音を行う。また、(1)，(2) でも述べたように、変動の大きい低周波音や間欠的、衝撃的な低周波音の場合などには、低周波音の録音を行い、持ち帰って周波数分析をすることが望ましい。

低周波音圧レベル計の出力を分岐し、一方は録音器（データレコーダ、DAT 等）の入力に、他方はレベルレコーダの入力に接続して低周波音のレベル波形をモニターしながら録音を行う。その際、低周波音圧レベル計の周波数補正特性は、 G 特性音圧レベルを録音する場合には G 特性に、持ち帰って周波数分析を行う場合には平坦特性にする。使用する低周波音圧レベル計は、 G 特性音圧レベルを録音する場合以外は、 G 特性の付いた低周波音圧レベル計でも G 特性を持たない低周波音圧レベル計でもよい。

風が吹いている場合には、録音に際して、レベルレコーダや実時間周波数分析器を見ながら風雑音による影響をこまめにアナウンスすることが望ましい。

測定系列の例を図－5.1.3 に示す。

p 24

（2）低周波音圧レベル計

これまで国内で市販されていた低周波音圧レベル計は、低周波音に特有の感覚である圧迫感・振動感を考慮した LSL 特性注）等日本独自の機能を備えていた。

また、ISO 規格 7196 の規定に対応した G 特性の入ったものも市販されている。

低周波音圧レベル計に使用されているマイクロホンは、圧電形マイクロホンが多い。測定音圧レベル 50～140dB 程度が測定できる。下限の音圧レベルは 50dB 程度、また大きな爆発現象以外では 140dB 以上の音圧は通常発生しないことから上限の音圧レベルは 140 dB 程度であればよいと考えられている。

指示計は騒音計と同じような性能を有しているが、動特性は SLOW 特性（時定数は 1 秒）が用いられる。1Hz 程度の低い周波数の信号に対して正しい実効値を指示するには時定数を 10 秒程度に大きくとらなければならない。SLOW 特性では 1 Hz の信号の測定にはやや時定数が不足しているが、2Hz ではほぼ問題がないこと及び新たな時定数を設けると騒音計との関連が複雑になることから SLOW 特性が用いられている。また、大きな時定数にすると低周波音の小さなレベル変動をとらえることが通常困難である。

p 26

4）周波数分析器

低周波音の周波数分析には、一般には 1/3 オクターブバンド分析器が用いられる。衝撃性の成分を含む超低周波音や変動の大きい超低周波音の周波数分析にあたっては、ごく低い周波数領域ではオクターブバンド分析器を用いることが望ましい。

実時間周波数分析器を用いればいくつもの帯域を同時に分析することが可能である。

周波数分析器の JIS 規格として JIS C 1513「オクターブ及び 1/3 オクターブバンド分析器」があり、1/3 オクターブバンドフィルタの周波数レスポンスの許容範囲によって II 形（一般測定用）と III 形（精密分析用）がある。ただし，JIS C1513 は近く改正され，そこではクラス 1 が精密法，クラス 2 が実用法に対応する

とあり、低周波音を捉えようとする姿勢はあるが、風車音の場合は、これでは問題点が把握できないのです。

風車音の詳細な周波数スペクトル、G 特性での重みづけ、を比較すればすぐに分かるのだが、そもそも周波数分解能を十分に上げて、周波数特性を調べようとする意志が見られない。

６．５　風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル

風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル

“1. 本マニュアルの目的

風力発電施設は山間部等の静穏な地域に設置されることが多く、これらの地域では、まれに通過する自動車等の一過性の騒音により、地域の騒音のレベルが大きく変化する。また、風力発電施設から発生する騒音は、風力発電施設の規模や設置される場所の風況等で異なり、さらに騒音の聞こえ方は、風力発電施設からの距離や、その地域の地形、土地利用の状況等により影響される。また、通常の環境騒音の測定においては、雑音等を避けるため強い風を避けることとされているが 、風力発電施設から発生する騒音等については、当該施設が稼働する風が吹く際に測定することが必要である。

風力発電施設から発生する騒音等の測定は、これらの特性を踏まえた方法により実施する必要がある。

本マニュアルは、風力発電施設の設置事業者・製造事業者、行政（国、地方公共団体）、地域住民等の関係者等が、風力発電施設から発生する騒音に関する測定を行う場合の標準的な方法を示すものであり、風車騒音、残留騒音の測定方法の他、測定手順や留意点等も併せて記載したものである。

風力発電施設から発生する騒音への対応全般については「風力発電施設から発生する騒音に関する指針」のみならず、「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」（風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会報告書[1]、平成 28 年 11 月、以下「検討会報告書」という）も参照されたい。

なお、本マニュアルについては、作成に際しての基礎資料を適宜再評価することにより、必要に応じて改定することとする。“

“3.2 騒音の測定機器

(1) 騒音計（サウンドレベルメータ）

本マニュアルにおける風車騒音の測定には、計量法第 71 条の条件を満たし、JIS C 1509-1 の仕様に適合する騒音計（サウンドレベルメータ）で、以下の機能を備えているものを使用する。

□ 時間重み付け特性 F の騒音レベルを時間間隔 0.1 s 以下でサンプリングして連続記録する機能を有するもの

□ 原則として騒音計の測定下限が、対象とする地域の残留騒音の騒音レベル以下のもの

（注 1）静穏な地域では、残留騒音の騒音レベルが騒音計の測定下限値未満となることがある。その場合には測定結果一覧表に測定下限値未満であることを明記する。また静穏な地域で測定する場合には測定下限値がより小さい JIS C1509-1 のクラス 1 に適合する騒音計を使用することが望ましい。

（注 2）測定においては、風雑音を低減するために「(2) ウインドスクリーン（防風スクリーン）」に記載する全天候型のウインドスクリーンを使用する。

（注 3）通常、周波数特性の分析のために、測定現場で音圧信号を一旦録音するが、その際使用する録音装置は JIS C 1509-1 の騒音計の仕様に適合する周波数範囲とダイナミックレンジの性能を備えている必要がある。一般には、1/3 オクターブバンドの周波数特性を求めるときには騒音計の周波数重み付けを Z 特性とした AC 出力を録音する必要があるが、本マニュアルでの測定に限り周波数重み付けを A 特性としてよい。なお、信号圧縮処理を用いた録音装置は使用できない。

(2) ウインドスクリーン（防風スクリーン）

風車の有効風速範囲の風況下で騒音を測定する際には、一般的に用いられる直径 10 cm 以下のウインドス

クリーンでは、風雑音を十分に低減することはできない。風雑音の影響を低減するためには、より大型の、全天候型のウインドスクリーンを使用する必要がある。
風の影響が大きい場合には二重のウインドスクリーン等の、より性能の良いウインドスクリーンを使用する。
（注） **二重ウインドスクリーン等を使用しても風雑音を十分に除外できない場合には除外音処理を行い、風雑音の影響範囲を除外する**等の対応が必要である。“
とある。

JIS C 1509-1 について、小野測器の HP で確認すると。
○ 計量法
表 7-1　普通級と精密級との違い(計量法)

	普通騒音計	精密騒音計
器差(dB)	±1.5	±0.7
目盛誤差(dB) (基準レベルに対して±10 dB の範囲)	±0.3	±0.2
目盛誤差(dB) (上記以外)	±0.6	±0.4
レンジ切替誤差(dB)	0.7	0.5
周波数範囲(Hz)	20 ～ 8 kHz	20 ～ 12.5 kHz

○ JIS 規格
表 7-2　クラスによる性能の違い（JIS 規格）

	クラス 2(普通級)	クラス 1(精密級)
レベル直線性誤差(dB) (入力レベルの 10 dB 以内の変化に対して)	±0.5(±0.8)	±0.3(±0.6)
レベル直線性誤差(dB) (上記以外)	±1.1(±1.4)	±0.8(±1.1)
周波数範囲(Hz)	20 ～ 8 kHz	16 ～ 16 kHz

最も広い、周波数範囲で 16HZ～16ｋHz となっています。騒音計ですから、可聴域を調べるのは当然ですが、風車音には合いません。周波数範囲を 0.25Hz～20ｋHz まで拡張することが必要です。
風車音の問題を考えるときには、他の環境騒音と比べて、特徴を把握することです。もし、風車音の特徴が交通騒音に似ているならば、交通騒音の評価で役立った、(A 特性音圧レベルによる）騒音レベルを使えばよいし、特徴が全く違いならば、その特徴を把握できる数値を見つけなくてはなりません。

このマニュアルの悪質性は
“本マニュアルは、風力発電施設の設置事業者・製造事業者、行政（国、地方公共団体)、地域住民等の関係者等が、風力発電施設から発生する騒音に関する測定を行う場合の標準的な方法を示すものであり、風車騒音、残留騒音の測定方法の他、測定手順や留意点等も併せて記載したものである。”

にあります。
　これは、風車音のエネルギーの７％だけで風車音の影響を評価するように、業者、行政、住民に要請しているのです。

　計測機材の指定は 16Hz 以下を計測するなという意味です。結果の数値からは、“安全です”とか“問題ありあせん”という結論になりますが、これは被害者に対する圧力として働きます。

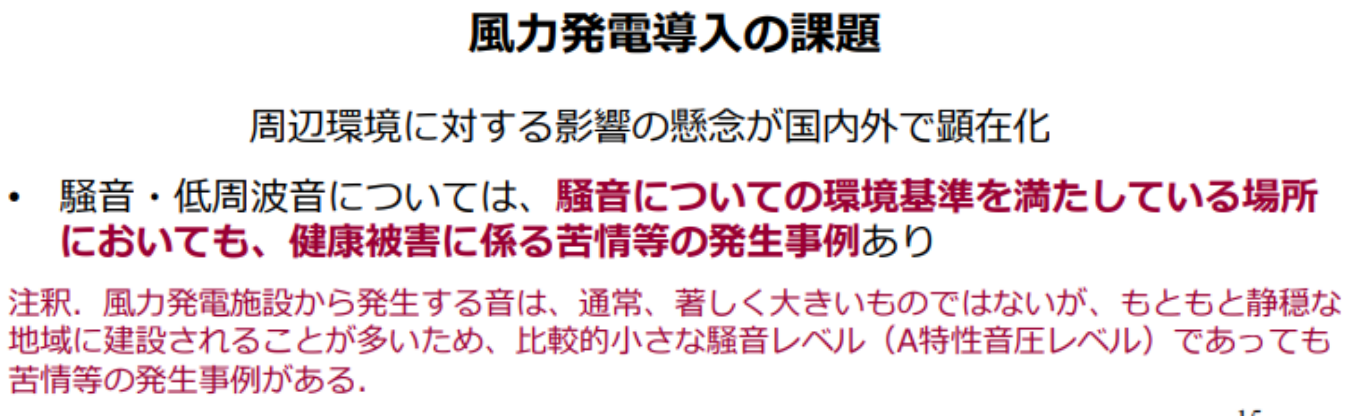
　さらに、
“(注)　二重ウインドスクリーン等を使用しても風雑音を十分に除外できない場合には除外音処理を行い、風雑音の影響範囲を除外する等の対応が必要である。”
と、念押しをします。
　これは、風車の超低周波音の影響を十分理解しているから、計測値から除去して、徹底的に誤魔化そうという意思の表れです。
　計測された超低周波音については“風雑音”だと言って、風車音の成分ではないから除外してから数値を提出するようにと要請しているのです。

　理由は分かりませんが、多くの学者が、“風雑音”説を支持しています。もちろん、彼らが精密な計測結果を公開することは無いのです。

　“**聞こえなければ不快感などの影響はない**”との立場が、**専門家の一般的な意見**だという人もいます。
風力発電についての意見聴取会（三重県松坂市、平成 21 年）において、落合博明氏は
“・風車から出る音として、羽の先端のシュッシュッという風切音、羽の回転に起因する低周波音、特にダウンウインドの風車になりますが、タワーの周りに渦ができてそれを羽がバサバサッと切る音、それからナセルから出る機械音などがある。
・風車には風上側に羽があるアップウインド、風下側に羽があるダウンウインドの 2 種類があり、特にダウンウインド型の風車は 1980 年代にアメリカで問題になった。ダウンウインド型であることと、羽とタワーの距離が近いこと、回転速度が速いことによってある特定の周波数が卓越した。それを受け、最近ではメーカーもアップウインド型の風車にするように工夫することが多くなり、ダウンウインドであってもタワーと羽の距離を広く取ることによって渦を小さくするような工夫をしている。
・最近の風車で問題になっているのは 100 ヘルツから 250 ヘルツ以下の騒音で特定の周波数が飛び出ていることによって問題になる場合がある。
・10 ヘルツの閾値は大体 95 から 100 デシベル程度であり、**聞こえなければ不快感などの影響はない**ということは専門家の一般的な意見である。
・騒音の動植物への影響について研究している専門家はあまりいないのでデータはほとんどない。低周波音については鶏や牛が室内にいる時に低周波音、超低周波音による建具のがたつきでびっくりしてしまったという例がある。室外にいて影響があったという話は知りうる中では聞いていない。“
と言っている。

　専門家は、いろいろな事情で環境省の応援をします。住民がこれを認める必要はありません。
専門家の説明を注意深く見れば、支離滅裂な点も多く見受けられます。問題点を指摘してあげましょう。

６．６　アノイアンスと騒音レベル



用語の確認：

検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」には

（注）「超低周波音」についての補足

我が国では、苦情の発生状況を踏まえ「低周波音」という用語が「おおむね 100Hz 以下の音」として定義され用いられてきたが、国際的には、「低周波音」の周波数範 囲は国によりまちまちで定まったものではない。一方、IEC（国際電気標準会議） 規格 61400 シリーズにより、20Hz 以下を「超低周波音」（infrasound）、20～100Hz を「低周波音」（low frequency noise）と定義しており、国内ではこれを受けた JIS C 1400-0:2005（風車発電システム-第０部：風力発電用語）で同様に定義されている。これを踏まえ、環境影響評価法において個別事業種ごとの技術的な指針として 定められた主務省令では、「騒音（周波数が 20～100Hz までの音を含む）」とした上で、「超低周波音（周波数が 20Hz 以下の音）」と規定しており、「低周波音」という 用語を用いないこととされた。 これらの状況を踏まえ、本報告書では、**20Hz 以下の音を「超低周波音」とし、 それ以外の音（周波数が 20～100Hz までの音を含む）を「騒音」**と表記する

と書いてある。

“騒音”と付けば、“**（周波数が 20～100Hz までの音を含む）を「騒音」”**になってしまう事を考えれば、騒音レベル（20Hz以上の成分から計算する数値である、A特性音圧レベル）について、交通騒音と風車音の計測結果が同じ値だったときには、風車音の99%のエネルギーから求められた数値と、風車音のエネルギーの7%から求められた数値が同じであることを意味しています。

風車音で最大音圧となるのは0.8Hz辺りであり、超低周波音の領域です。圧迫による不快感はこの最大音圧と深い関連を持つので、聴覚で聞こえない音ではあるが、圧迫による不快感、わずらわしさ、アノイアンスとして、影響を及ぼすのだから、交通騒音と風車音では、A特性音圧レベルが同一でも、アノイアンスに関しては差が出るのです。

風車騒音が

■ 風車騒音は超低周波音ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音（＝聞こえる音）の問題。

可聴域範囲の騒音の問題ならば、アノイアンスに差が出てはいけないのです。なぜなら、可聴域の音の強さ（A特性音圧レベル）が同一なのですから、同一の結果が生じなくてはならないのです。

景観に原因があるのならば、トレーラーに実験室を載せて、風車に近づきながらの目隠し実験をして、因果関係を明確にする必要があるのです。この目隠し実験をすれば、風車に対する賛否との関連も明確になり

ます。

”**検討会報告書**「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」“には、
報告書（ｐ14）に、
“風車騒音とわずらわしさ（アノイアンス）との量-反応関係についても多くの研究がなされている。複数の報告により、**同程度の音圧レベルにおいては、風車騒音は他の交通騒音よりもわずらわしさ（アノイアンス）を引き起こしやすい**ことが示唆されている。
表 1 の Kuwano らの研究により得られた、日本を対象とした、風車騒音と道路交通騒音を非常に不快であると感じた者の割合（%HA）を図 7 に示す。この図によれば、非常に不快であるとの回答確率が 30%程度となる騒音レベルは昼夜時間帯補正等価騒音レベル（Ldn）で 60dB 程度、20%程度は 53dB 程度、10%程度は 43dB 程度となる。

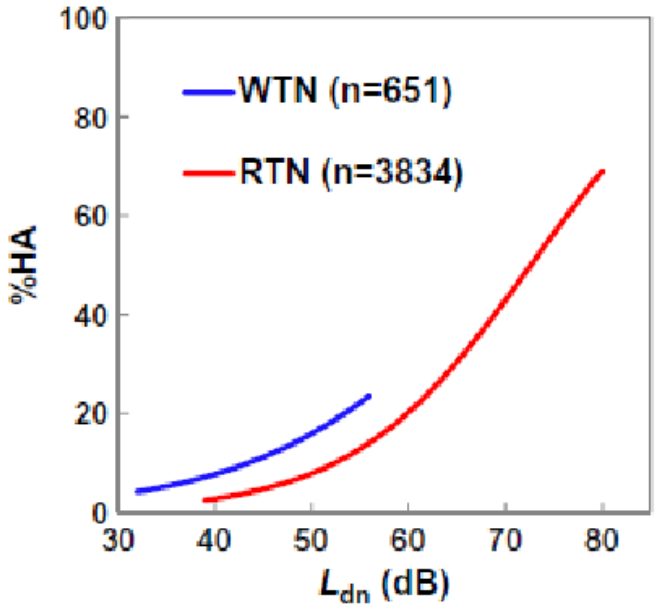


図 7　風車騒音（WTN）と道路交通騒音（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（L_{dn}）※と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（%HA）

※ 風車騒音については、終日定常的に運転されていると仮定し、LAeq に 6dB を加算して Ldn を推計している。
なお、McCunney らは、多くの研究成果より、風車騒音と関連付けられるわずらわしさ（アノイアンス）との間は線形の関係が見られる傾向にあるが、わずらわしさ（アノイアンス）に関連する要因としては風車騒音は 9%から 13%の範囲の寄与にとどまり、景観への影響等、他の要因の寄与が大きいと考えられると報告している。”
と書かれている。

下の表は、風車音のうちで、“風車騒音（20Hz 以上）”として扱われるものは、７％であることを示す。

エネルギー分布	0～20Ｈｚ	20Ｈｚ以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

風車音のアノイアンスへの寄与を考えるとき、“風車騒音（20Hz 以上）”の寄与は７％、超低周波音の寄与が 93%と考えることもできる。これに関しては、多変量解析を使えばより明確となる。

A特性音圧レベルでの数値は低いのだが、交通騒音の場合に比べて、同一のA特性音圧レベルであっても、より大きな被害が出ています。レベルがそれほどではなくても被害が出る原因を見つける必要があります。

風車騒音を日本で実測した結果、周辺の住宅等音の影響を受け得る場所では、時間平均A特性音圧レベルで26～50dB（書店や美術館の中程度）であり、それほど高いレベルではなかった

これらの音の影響は、騒音値の基準と目安（日本騒音調査ソーチョー）の資料によれば、

うるさい	かなりうるさい。かなり大きな声を出さないと会話ができない	７０db	・騒々しい事務所の中 ・騒々しい街頭 ・セミの鳴き声（２m） ・やかんの沸騰音（１m）
	大きく聞こえ、うるさい。声を大きくすれば会話ができる	６０db	・洗濯機（１m） ・掃除機（１m） ・テレビ（１m） ・トイレ（洗浄音） ・アイドリング（２m） ・乗用車の車内
普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	５０db	・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（１m）
	聞こえるが、会話には支障なし	４０db	・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅地の昼
静か	非常に小さく聞こえる	３０db	・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	２０db	・ささやき ・木の葉のふれあう音

であることが分かります。

交通騒音での基準値の表と比較してみます。

地域の類型	基準値	
	昼間	夜間
ＡＡ	５０デシベル以下	４０デシベル以下
Ａ及びＢ	５５デシベル以下	４５デシベル以下
Ｃ	６０デシベル以下	５０デシベル以下

（注）
1　時間の区分は、昼間を午前６時から午後１０時までの間とし、夜間を午後１０時から翌日の午前６時までの間とする。
2　ＡＡを当てはめる地域は、療養施設、社会福祉施設等が集合して設置される地域など特に静穏を要する地域とする。
3　Ａを当てはめる地域は、専ら住居の用に供される地域とする。
4　Ｂを当てはめる地域は、主として住居の用に供される地域とする。
5　Ｃを当てはめる地域は、相当数の住居と併せて商業、工業等の用に供される地域とする。

住宅街での交通騒音での基準値は昼間で 55ｄＢ、夜間で 45ｄＢです。

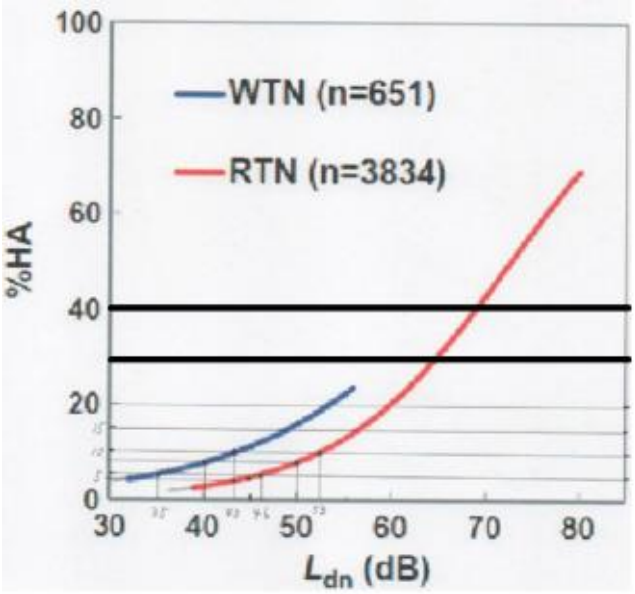
騒音レベル（WTN）の値が同じでも、不快感を覚える人の比率は、交通騒音と風車音では差があります。
ＷＴＮは不快感の指標にはなりえないのです。指標として役立つためには、同じＷＴＮの値の時に、不快感を覚える人の割合が同じになる必要があります。
ＷＴＮは、交通騒音の場合は、そのエネルギーの 99%以上から計算された数値だが、風車音の場合には、そのエネルギーの 7%以下の部分から計算された数値なのです。したがって、風車音と交通騒音の共通の物差しにはなりえないのです。

グラフのズレについて６～９ｄＢとの解説もありますが、グラフを拡大して、水平線を引いて、交点の間隔を調べてみたら、次の様に 4～13ｄＢなりました。
ズレの理由を次の様に考えました。
Ａ特性音圧レベルで計算される騒音レベルは、風車音のエネルギーの 7%と占める。この部分が、風車音全体のエネルギーの 99%まで増加したとすれば、

$$DB7 = 10 * log10(\frac{p_1^2}{p_0^2})$$

$$DB99 = 10 * log10\left(\frac{99}{7} * \frac{p_1^2}{p_0^2}\right) = DB7 + 11.5$$

となって、11.5ｄＢ増加します。
報告書（ｐ14）にある、風車騒音と交通騒音の違いを表にすると、



%HA	風車騒音	交通騒音	差
30%	60dB	64dB	4dB
20%	53dB	60dB	7dB
10%	43dB	53dB	10dB
8%	40dB	50dB	10dN
5%	35dB	46dB	11dB
4%	30dB	43dB	13dB

“非常に不快である”と感じる人の割合にかなりの差があることが分かります。

風車音の騒音レベルを 11.5ｄＢだけ補正すれば、数値としては、ほぼ一致します。表を作れば、

%HA	風車騒音	交通騒音	差	補正風車音	交通騒音	差
30%	60ｄB	64ｄB	4 ｄB	7 1 .5dB	64ｄB	-7.5ｄB
20%	53ｄB	60ｄB	7ｄB	64.5dB	60ｄB	-4.5ｄB
10%	43ｄB	53ｄB	10ｄB	54.5dB	53ｄB	-1.5ｄB
8%	40ｄB	50ｄB	10ｄB	51.5dB	50ｄB	-1.5ｄB
5%	35ｄB	46ｄB	11ｄB	46.5dB	46ｄB	-0.5ｄB
4%	30ｄB	43ｄB	13ｄB	41.5dB	43ｄB	1.5ｄB

エネルギーの面から風車騒音の値を補正した数値を使えば、不快感を覚える人の割合が、ほぼ一致すると言えます。超低周波音を無視すれば、この違いの合理的な説明は出来ません。

交通騒音の場合は、53ｄＢの場合は、10%の人が非常に不快であると感じ、風車音の場合は、20%の人が非常に不快であると感じます。過去の研究結果から考えれば、不快感の内容に大きな違いがあるのです。

なお、このｐ14の記述は、**“特定の周波数が卓越した音（純音性成分)”**についての分析ではなく、

風車騒音の一般的な性質を、交通騒音との比較において述べている事に注意する必要がある。

風車騒音で 35ｄＢは、交通騒音で 46ｄＢの場合と同じ被害が出ます。5%の人が、“非常に不快である”と思う数値です。単純に“不快である”と思う人をその２倍と仮定すれば、合計で 15%の人が不快感を覚える数値です。普通は、風車は夜間も停止しません。AA 地区で、夜間で 46ｄＢの騒音がある場合の被害が想定されます。言葉で言えば、“やや大きく聞こえるが、通常の会話は可能”のレベルです。これでは病人は安眠できません。眠れなければ、体力も落ちます。病気が治るとは思えません。対策が必要です。

もちろん、健康な人でも安眠できる状態ではありません。

（防音効果を無視して考えれば､）

風車騒音は屋外で計測したＡ特性音圧レベル（２０Hz～）を使って評価します。

住宅地域での指針値の下限として 40ｄＢが示されています。風車騒音での 40ｄＢは、被害状況を比べながら交通騒音に対応させると、交通騒音での 50ｄＢに相当します。

風車は夜間も停止しません。もし、風車音で 40ｄＢの音が夜間放出されると、被害は、夜間に於いて交通騒音 50ｄＢが発生している状況と同程度の被害が出ます。

交通騒音で 50ｄＢだと、8%の人が“非常に不快である”と感じます。他の統計結果と比較すれば、“不快である”と感じる人の割合は、その２倍で、16%程度だと推測できます。

合計は、24%になります。上の表では“大きく聞こえる、通常の会話は可能”ですから、24%程度の人が、“睡眠の妨げとなる”と考えるのは当然の結果だと判断できます。

もちろん、眠りが浅くなっても、翌日死亡することはほとんどありません。そんな日が毎日続けば、車を運転中に居眠りします。子供は、学校の授業中に居眠りします。

死亡事故や、生涯賃金の減少が予測できます。もちろん、これは風車騒音（0Hz 以上）による直接の影響ではありません。風車騒音（0Hz 以上）は、毎日毎日ほんの少しだけ、安眠を妨げただけです。風車には責任はありません。眠い時に運転した人が悪いのです。眠いからと言って授業中に居眠りした生徒が悪いのです。

（となりますが、室内での影響を考えると、もう少し複雑になります。）

これだけでも、大きな問題ですが、風車騒音（0Hz 以上）のエネルギーを考えるともっと大きな問題があることが分かります。

これを検討するには、風車騒音でのグラフと、交通騒音でのグラフがずれている理由を考えなくてはなりません。

その理由については、次の事項を手掛かりにして考えてみます。

つぎに「最も悩まされている音 」に関する質問に対して「風力発電施設の音」を挙げた 119 件の回答について、物理量として風車からの距離 と風車の稼働時の騒音レベルとの関係を調べてみた。その結果 、「悩まされたりうるさいと感じたことがある」に対する回答が「非常にある」の反応の割合は、最近接風車からの距離 が近いほど大きくなっている。また、風車稼働時の等価騒音レベルで整理した結果 、「非常にある」及び「非常にある」＋「だいぶある」の反応の割合は、等価騒音レベルが高くなるほど大きくなる傾向が見られた。これらの傾向は、アンケート調 査の結果を多重 ロジスティック解析の手法を用いて分析した結果でも確認された 。

残念ながら、このアンケートと分析では、10～13ｄＢの差を説明できません。

“わずらわしさ（アノイアンス）に関連する要因としては風車騒音は 9%から 13%の範囲の寄与にとどまり”とあり、アノイアンスの他の原因で 91%から 87%の影響力を与えるものとして、“景観への影響”を与えるのは、乱暴すぎます。

わずらわしさ（アノイアンス）に関してのこの差の原因を“景観への影響”としても数値的な誤差の説明とはなりません。影響力が 9%～13%しかないものに責任を負わせてはいけません。“他の要因”について考える必要があります。

音の持つエネルギーの全体量に注目すれば、この差 10～13ｄＢの原因に関する手掛かりが見つかります。

聴覚に対応した周波数重みである A 特性で重み付けした音圧 P_A から騒音レベル L_A（A 特性音圧レベル）（dB）を求める式は次のようになります。

$$L_A = 10\log_{10}\frac{p_A^2}{p_0^2} = 20\log\frac{p_A}{p_0}$$

p_A：測定された周波数重み A 付きの（瞬時）音圧の実効値
p_0：基準となる音圧の実効値（20μPa）（Pa はパスカルという圧力単位）

乱暴な考察だが、100/7＝14（全体のエネルギーは、20H z 以上の成分の持つエネルギーの 14 倍）に注目して、考えると、

騒音（低周波音）・超低周波音の大きさの表し方

音圧レベル＜物理的な大きさ＞

音響出力は音圧の二乗に比例する

$L_p = 10 \cdot \log_{10}(p^2 / p^2_0)$

L_p：音圧レベル(dB)

p ：音圧実効値(Pa)

p_0：基準音圧 2×10^{-5} (Pa) (=20μPa)

dB値(参考)：0.002Pa=40dB,
$0.00002(2 \times 10^{-5})$ Pa=0dB

＊ OA音圧レベル (dB)，1/3オクターブバンド音圧レベル (dB)

を参考にして計算すれば、A 特性音圧レベル（20Hz～）が 40ｄB すなわち、

$$40 = 10 * log_{10}(((P \quad /P_0)^2)$$

のときに、全体のエネルギー（14 倍）を含めた評価は、

$$10 * log_{10}(((P \quad /P_0)^2 * 14)) = 40 + 10 * log_{10}14 = 40 + 10 * 1.1 = 51$$

となる。（１ｄB の誤差が出るが、近似値としては良い値だと考えます。）

音のエネルギーが 14 倍になった時には、可聴域のエネルギーを評価して 40ｄB の場合に、全体のエネルギーを評価した値が 51ｄB になると考えます。

これは、計測音のエネルギーの全体を横軸にして測れば、青いグラフは、11 デシベル分だけ、右に動くと言う事になる。赤いグラフは、20H z 以上の音が全体のネルギーの 99%を占めるので動かない。

全体のエネルギーを横軸に取った形で比較すれば、風車音と交通音の差はほとんどないことになる。

これならば、測定と数値化が難しい“アノイアンス”を持ち込まなくても、グラフのズレが説明できる。

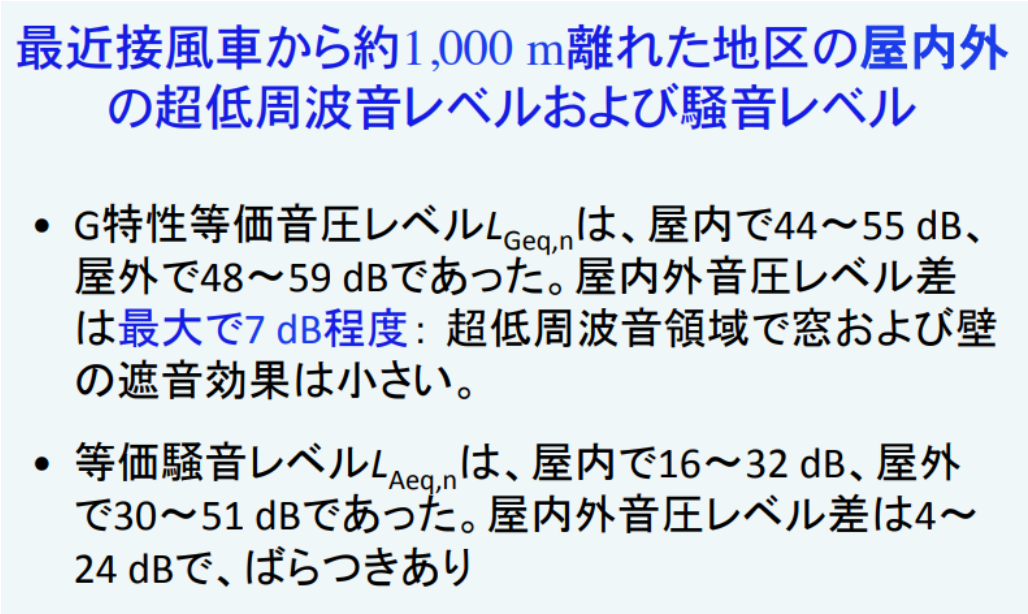
もちろん、より精密な考察が必要となるが、少なくとも手がかりは得られたと考えます。

交通騒音（0Hz 以上）では、高い音圧を持っているのは 400Hz 程度の周波数成分なので、これに対しては防音窓の設置でかなり防げるが、風車騒音（0Hz 以上）では、高い音圧を持っているのは 0.5Hz とか 0.8H z の周波数成分であり、風車騒音（0Hz 以上）のエネルギーの 93%が超低周波音（0Hz-20Hz）の部分であるので、この周波数の音はエネルギー透過率が高いので防音窓では防げないのです。

これらの数値は、屋外での計測値です。

このエネルギー分布と音の透過率を考えながら、室内の情況を考えます。

石竹達也　氏の研究内容に、



と書かれている。

これを使って考えてみます。

音の全体のエネルギーを 100%とします。93%が超低周波音（0Hz～20Hz）、7%が騒音（20Hz 以上）のエネルギーだとします。

A 特性音圧レベル（20Hz～）で 40ｄB の風車騒音では、エネルギーの 7%に対する評価値が 40ｄB となっています。この部分に対しては、防音窓によって 24ｄB の減衰が得られます。従って、16ｄB となって、次の表から

静か	非常に小さく聞こえる	３０db	・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	２０db	・ささやき ・木の葉のふれあう音

ほとんど聞こえないレベルとなる。

超低周波音（0Hz～20Hz）の部分は 7 ｄB しか減衰しません。

そこで、次のように考えてみます。

交通騒音（20Hz 以上）で 50ｄB に相当する風車騒音（0Hz 以上）について、

騒音（20Hz 以上）の部分が 40ｄB、超低周波音（0Hz～20Hz）の部分を加えた合計が 50ｄB だとします。

さて、騒音レベルの計算ですが、次の資料を確認します。

【参考】：1/3 オクターブのデータより 1/1 オクターブのデータへの変換

既知の 1/3 オクターブデータの dB 値より対応する 1/1 オクターブバンドデータの dB 値へ変換するには、求めたい 1/1 オクターブバンドに対応する 1/3 オクターブバンドデータの dB 値の和を計算します。 例えば、1/1 オクターブの中心周波数 1000 Hz のバンドデータ値を求める場合、対応する 1/3 オクターブのバンドデータが次のような dB 値であるとき；

800 Hz	73 dB
1000 Hz	77 dB
1250 Hz	75 dB

；中心周波数 1000Hz の 1/1 オクターブバンド値は次の式から求められます。

$$10\log_{10}\left(10^{\frac{73}{10}}+10^{\frac{77}{10}}+10^{\frac{75}{10}}\right)=80\ (\mathrm{dB}) \qquad \text{式 11-7}$$

この計算では、各周波数帯の音のエネルギーの和に対しての騒音レベルを計算しています。

音圧の**2乗が音の強さ（エネルギー）に比例することから、この帯域でのエネルギーの大きさを** $P_{1/1}{}^2$ **とすれば、エネルギーの和を考えると、**（ J＝（ｐ*ｐ）/（ρ ｃ）を考え、適当な定数を掛けて考える。）

$$(P_{800})^2+(P_{1000})^2+(P_{1250})^2=P_{1/1}{}^2$$

が成立する。

$$L_{800}=10*log_{10}(P_{800}/P_0)^2$$

より$L_{800}/10=log_{10}(P_{800}/P_0)^2$、よって、$(P_{800}/P_0)^2=10^{L800/10}$

となり、

$$L_{1/1}=10*log_{10}(P_{1/1}/P_0)^2$$
$$=10*log_{10}(((P_{800})^2+(P_{1000})^2+(P_{1250})^2)/P_0{}^2)$$
$$=10*log_{10}\left(10^{L800/10}+10^{L1000/10}+10^{L1250/10}\right)$$

となります。

そこで、

$$(P_L)^2+(P_H)^2=P_T{}^2$$
$$40=10*log_{10}(P_H/P_0)^2$$
$$50=10*log_{10}(P_T/P_0)^2$$

とすれば、

$$(P_L/P_0)^2=(P_T/P_0)^2-(P_H/P_0)^2$$
$$=10^5-10^4$$
$$10*log_{10}(P_L/P_0)^2=10*log_{10}(10^5-10^4)=10*(4+log_{10}9)=49.5$$

この部分が、７ｄＢ減衰すれば、42.５ｄＢ

$$10*log_{10}(P_{L425}/P_0)^2=42.5$$

とおくと、

$$(P_{L425}/P_0)^2=10^{4.25}$$

さらに、

$$40=10*log_{10}(P_H/P_0)^2$$

での減衰が 24ｄＢなので、

$$40-24=16=10*log_{10}(P_{H16}/P_0)^2$$

とおいて、

$$(P_{H16}/P_0)^2=10^{1.6}$$

$$(P_{L425}/P_0)^2+(P_{H16}/P_0)^2=10^{4.25}+10^{1.6}$$

このとき、

$$10 * log_{10}((P_{L425}/P_0)^2 + (P_{H16}/P_0)^2) = 10 * log_{10}(10^{4.25} + 10^{1.6}) = 42.5$$

となります。

エネルギーの全体を考えると、室内での風車騒音（0Hz 以上）は、交通騒音（20Hz 以上）に変換して考えた場合の 42.5ｄB に相当すると言えます。

交通騒音（20Hz 以上）で 45ｄB だった場合はどうなるかと考えると、これは、24ｄB の減衰がそのまま使えて、室内では 21ｄB になると言えます。

交通騒音（20Hz～100Hz）で 40ｄB だった場合は、24ｄB の減衰があれば、16ｄB になります。

交通騒音に対しては、家は防音窓を付ければ、安眠を保証してくれます。

周波数が高ければ、防音窓は私たちの生活を守ってくれますが、周波数が低い風車超低周波音（ISO7196）の場合には、守ってはくれないのです。

屋外で測った時の、風車騒音（0Hz 以上）での 40ｄB は、室内での交通騒音（20Hz 以上）の 42.5ｄB に相当します。防音対策をした後の室内での、16ｄB と 42.5ｄB では、大きな違いがあります。

普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	５０db	・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（１m）
	聞こえるが、会話には支障なし	４０db	・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅地の昼
静か	非常に小さく聞こえる	３０db	・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	２０db	・ささやき ・木の葉のふれあう音

風車が大型化すると、この傾向はさらに顕著になります。従って、

“これらの結果は、風車騒音は超低周波音（ISO7196）による問題であるということを示している。”

“風車騒音（0Hz 以上）は通常可聴周波数範囲の騒音（20Hz 以上）としてではなく、超低周波音（ISO7196）の問題として議論すべきであることを意味している。”

のです。

ここでは、聴覚を中心に考えたが、圧力の感知や、共振による揺れの感知、共振による２次的な騒音の発生も検討が必要です。A 特性音圧レベル（２０Hz～）はこれを表現できません。

６．７．１　日本家屋の固有振動数

次の資料もあります。よくわかる　低周波音環境省　水・大気環境局大気生活環境室　10 ページ

建具の低周波音に対する反応は，低い周波数（20Hz以下程度）では人の感度より良く，揺れやすい窓や戸では，低周波音の主要な周波数と窓の揺れやすい周波数が一致（共振）すると，人が感じるより低い音圧レベルでがたつく場合がある。

建具の低周波音に対する反応は，低い周波数（20Hz以下程度）では人の感度より良く，揺れやすい窓や戸では，低周波音の主要な周波数と窓の揺れやすい周波数が一致（共振）すると，人が感じるより低い音圧レベルでがたつく場合がある。

との解説が付いています。

日本家屋の固有振動数が１Hz 前後であることが知られています。耳で聞こえなくても、共振して家の床か少しでも振動すれば、人間は半規管で揺れを感知します。

高校で共振について学んだことがある人にとっては、常識です。聞こえないことと影響がないこととは全く別なのです。屋内で計測したのだから、振動レベル計で床の振動を計測するのは当然でしょうが、その計測については何も触れられていません。振動レベル計で床の振動を計測しい理由を知りたいと思います。

また、室内では共鳴の可能性も高くなります。室内での精密騒音計による計測が必要です。

これらを考えれば、風車音のうちで、超低周波音（０Hz～２０Hz）の部分が、睡眠障害を引き起こして、健康な生活を破壊する可能性が高いのです。

考察の対象から、超低周波音（０Hz～２０Hz）を除外してはいけません。

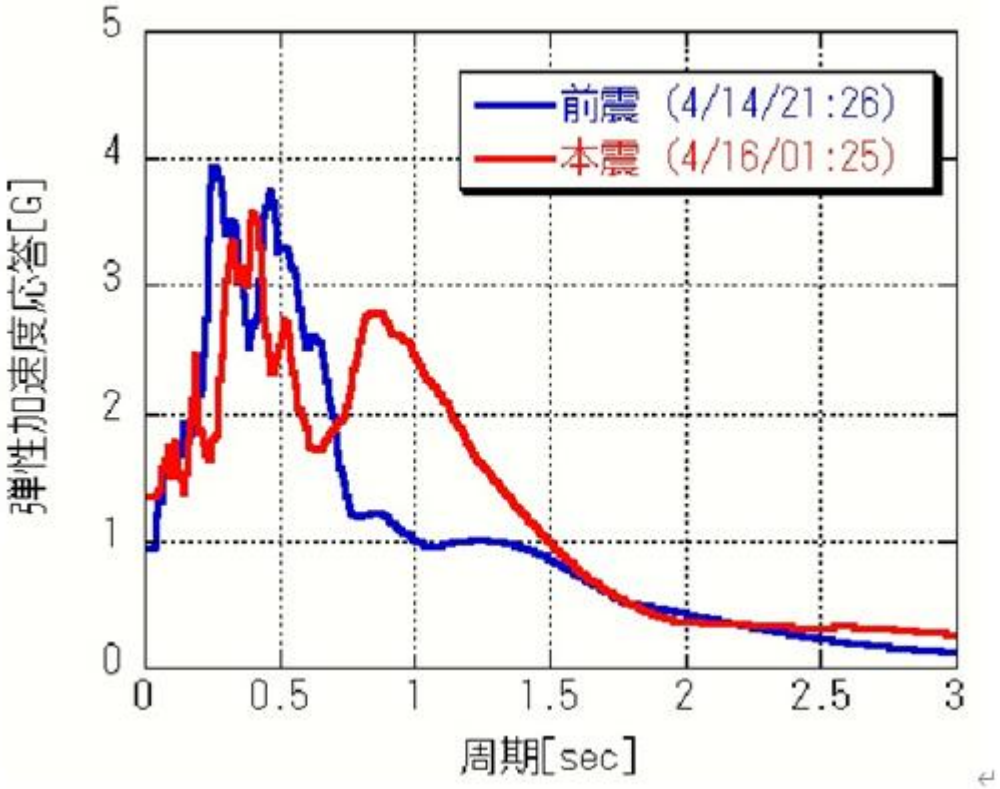
熊本地震で倒壊した建物の調査から、それは、0.5Hz から 1Hz だと分かります。
もちろん、家は建具より大きく、高層ビルよりは小さいので、5Hz から 0.25Hz の間であることは明白です。

熊本地震の被害に関しては、
次の、秋山英樹による研究報告があります。

熊本地震はナゼ被害が大きかったのか　　2016 年 6 月 29 日
グリーンレポート

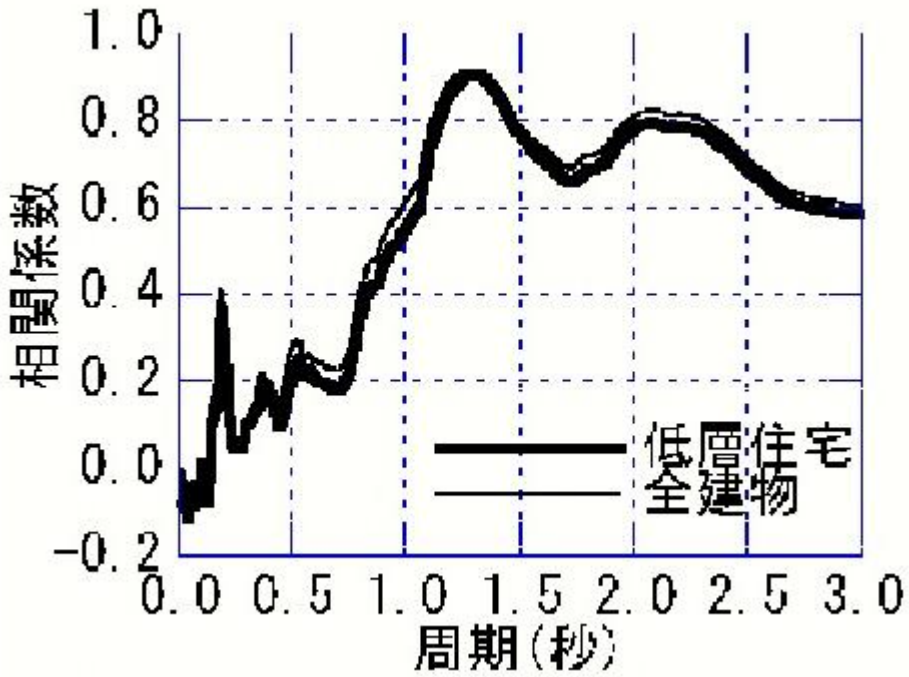
4 月 14 日の熊本大地震について、地震の専門家ではありませんが、テレビなどマスコミでは分かりにくいことについて解説してみます。
最初の地震は前震ということでしたが、最大震度が 7、マグニチュード 6.5 と地震の大きさを示すマグニチュードの割には震度が 7 と大きかったのは震源が浅かったためです。揺れが大きかった割には朝になって全貌がテレビで確認できたときも被害は思っていたほどではありませんでした。
そして深夜に起きた本震が最大震度 7、マグニチュード 7.3、一夜明けた全貌は前の日とは大違いで多くの建物が崩壊した悲惨な状況でした。
マグニチュード 7.3 は阪神大震災に匹敵する地震で、前震の 6.5 の 16 倍にも達するということです。今回の地震は、阪神大震災と同様活断層の横滑りという現象で長さ 50ｋｍの断層が水平方向に最大 1.8m、垂直方向に最大 70ｃｍずれたということでした。航空写真でよく分かります。

益城における前震と本震の地震の性格をみると下図のようになります。



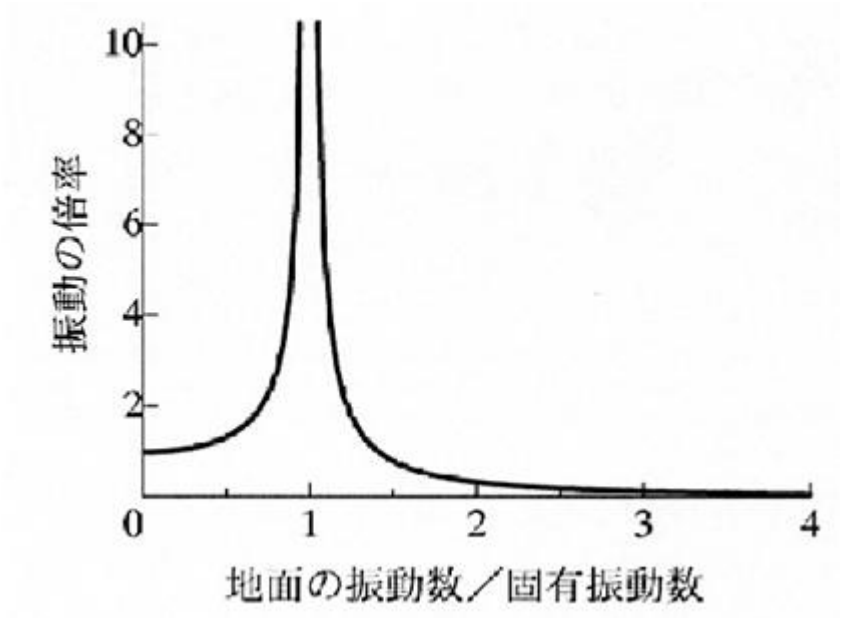
この揺れ方の違いが建物の崩壊率を高めている原因の一つなのです。

下記の図は日本で起こった様々な地震について何秒の揺れの強さが実際の建物被害と対応しているかを示したものです。縦軸の相関係数が大きな値の周期が建物被害と対応していると言えます。



これを見ると大ざっぱに言って、1-2 秒という 0.1-1 秒より長い周期の揺れの強さが実際の建物被害と対応していることがわかります。

熊本地震では揺れの大きな前震で、建物の固有周期が短い低層の木造建物（ユラユラと動かない堅い建物：固有周期が 0.2～0.5 秒）の柱や梁との結合が緩み固有振動が 1 秒ほどに長くなるのです。そこに、1 秒ほどの周期の本震に見舞われ、共振現象により地震エネルギーは倍増し崩壊につながってしまったと考えられます。

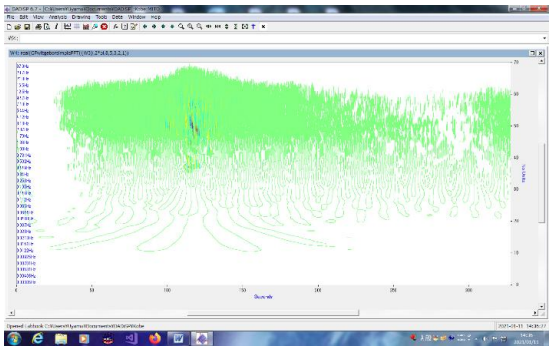


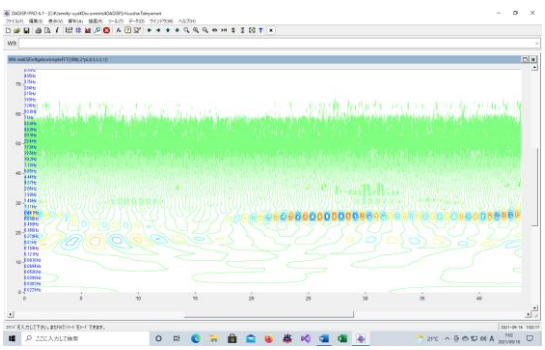
地震は、単に強い弱いだけでなく、ガタガタという揺れ（1 秒以下の短周期地震動)、ユサユサという揺れ（1 ～ 2 秒のやや中周期地震動)、ユラユラという揺れ（2 ～ 5 秒の長周期地震動）が複雑に混ざり合っているのです。このどの周期の地震動が卓越しているのかにより地震の被害状況が変わるのです。ユサユサという揺れがキラーパルスといわれ建物に大きな被害を及ぼすのです。
地震は日本ではいつ発生するかわかりません。熊本では今月の 4 日に約 8m のザトウクジラ、8 日には長崎で約 7m のザトウクジラが定置網にかかり海岸に打ち上げられていたそうです。地元漁業の話によると、クジラが定置網にかかったり、打ち上げられるようなことは、いままで無かったといいます。いつものことですが、大地震の前には何かしらの前触れがあるようですから、日ごろから非日常的なニュースには注意しましょう。

とのことです。

住宅内で眠る人にとっては、共振や共鳴のことも気になります。地震の揺れと、風車の音を比較してみます、左が東北大地震の時の水戸市で観測結果。右は館山の風車の騒音のデータです。

Mito　　Tateyama4

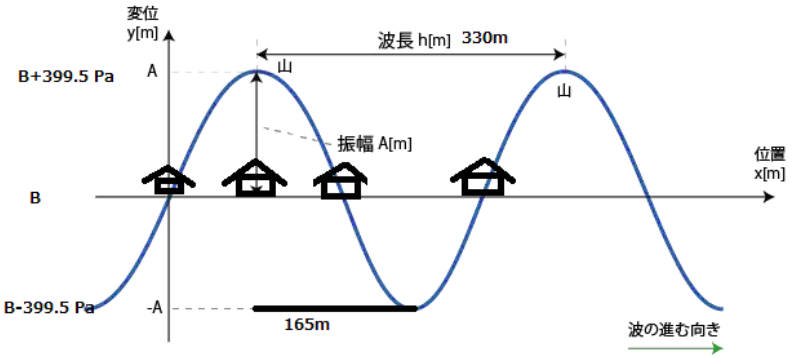




地震波にも、風車の超低周波音にも、日本家屋の固有振動数 1Hz 程度の周波数成分が含まれています。

振動数の安定性からみれば、風車の方が、建物や建具の固有振動数と一致した場合には、大きな共鳴現象を起こしやすいと言えます。

音によって圧力を受ける家の様子を考えれば、



上の図のようになり、左端の家は右から押されます。左から 2 番目の家は左右が釣り合っています。右端の家は、右から押されます。家は、右から押されたり左から押されたりします。周期的な外力が掛かります。

日本の家屋に住んでいる人への影響を調べるには、室内での振動測定、騒音測定を積極的に行うことが必要です。

地震でも、風車の超低周波音でも、家全体が共振するような周波数成分が含まれています。

振動数の安定性からみれば、風車の方が共鳴現象を起こしやすいと言えます。

共振の場合は正確な周波数が重要なので、1/3 オクターブ解析や、1Hz からしか測れない FFT では困ります。

６．７．２ ガタツキ閾値

風車の振動が原因の振動は、振動の地中伝搬なのか、超低周波音（0.5Ｈｚ～1Ｈｚ）による共振や強制振動なのかも判別は難しいのですが、耳では聞こえない刺激として、安眠を妨害します。安眠妨害は住民にとっては被害なのです。聞こえない音も、聞こえない振動も被害の原因なのです。

聞こえない、すなわち聴覚では把握できないという事と、影響知覚できない事とは別なのです。聴覚閾値を知覚閾値に書き換えてはいけないのです。

超低周波音（0Hz～20Hz）の周波数は、建具や建物自体の固有振動数に近いのです。この時は、共振が起こる可能性が高くなります。

これに関しては、

表１　低周波音による物的苦情に関する参照値

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 中心周波数(Hz)	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 音圧レベル(dB)	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99

が研究されています。

物的苦情に関する参照値（がたつき閾値）を見ると、５Hz で、がたつき閾値は 70ｄB です。ガタツキ閾値は、周波数が下がるにつれて値が小さくなっています。

館山の風車音について、1/3 オクターブ解析を ISO7196 に従って行うと、次の表になる。
下の段が中心周波数、上の段が音圧レベルです。

W15: transpose(w12)

	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units	5: No Units	6: No Units	7: No Units
1:	54.727250	62.381626	54.976763	56.733648	58.610999	77.287140	64.371465
2:	0.250000	0.315000	0.400000	0.500000	0.630000	0.800000	1.000000
3:							

0.8Hz では、77.28ｄB であり、参照値での 5Hz での値 70ｄB を超えています。

ガタツキ閾値の減少傾向を考えれば、0.8Hz での音圧レベルが、がたつき閾値を超えていると考えるのが当然だと思います。

“聞こえるようなレベルではない”のように、聞こえるか、聞こえないか、だけを考えるのでは、風車音の被害を放置することになってしまいます。

さらに、ガタツキ閾値については Moorhouse 他の論文にも取り上げられている。

Note that the criterion curve sound levels given in Table V for 25 Hz and below can cause the vibration of windows, walls and even floors in residential housing structures with the accompanying rattling of dishes and bric-a-brac. This induced vibration and the accompanying secondary noises will be noticed by residents, with annoyance the likely result. Some account of vibration-induced noise is

made in the Japanese method for the assessment of low-frequency noise complaints17.

基準曲線の音圧レベルで、表Ⅴに示されている 25Hz 以下の音圧レベルについては、窓、壁、さらに床などの振動を引き起こす可能性があります。食器によって、ガタガタという音が伴います。

この誘導された振動と、それに伴う二次騒音は、住民によって気づかれ、不快感を与えるでしょう。

振動誘発騒音についての、いくつかの記述は、日本での低周波騒音苦情の評価方法に書かれている。

聞こえなくてもガタガタすれば、睡眠は妨害される。これは、不眠と言う形での風車音の被害である。

ですから、超低周波音（0Hz～20Hz）の部分を切り捨てると言う事は、風車音の被害の大部分について無視することになるのです。

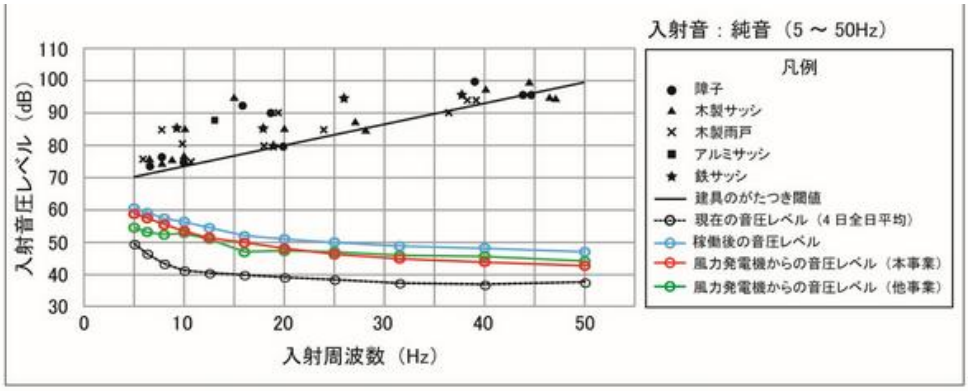
知覚閾値では、知覚とは、感覚器官への物理化学刺激を通じてもたらされた情報をもとに、外界の対象の性質、形態、関係および身体内部の状態を把握するはたらきのこと。感覚と知覚の概念に含意されている意味は、それらの概念の研究史と密接な関係を持っている。

に従って書けば、

共振によって発生した新しい音や、共振での振動そのものが物理的刺激として、聴覚や三半規管へ作用します。床の揺れは、皮膚への刺激でもあります。これらの感知によって、把握された情報をもとにして、外界に存在する風車の性質（強烈な超低周波音（0Hz～20Hz）を出す。）風が強い気象条件である。などの外界の条件や関連性についての知識を踏まえて刺激の内容を把握する。そして、ここで生じた睡眠障害が、風車が原因の被害であると認識し被害を知覚できるのです

ガタツキ閾値（物的苦情に関する参照値）ですが、困ったことがあります。

ある風力発電の会社が作った資料には、２つのグラフがありました。



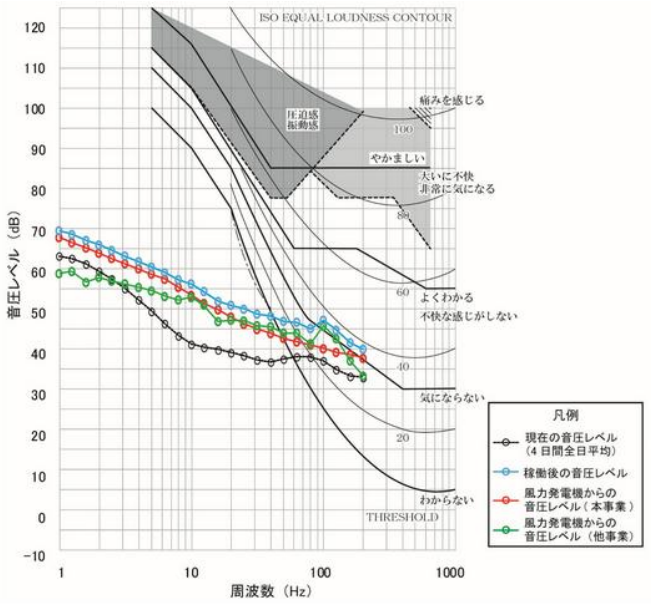
出典：「低周波音の測定方法に関するマニュアル」（環境庁大気保全局、平成 12 年）より作成

図 10.1.4-7(1)　建具のがたつきが始まるレベルとの比較結果

このグラフを根拠に、がたつきは生じませんと言いました。

そして、次のグラフをもとに、**圧迫感・振動感を感じる音圧レベル**との比較を行いました。

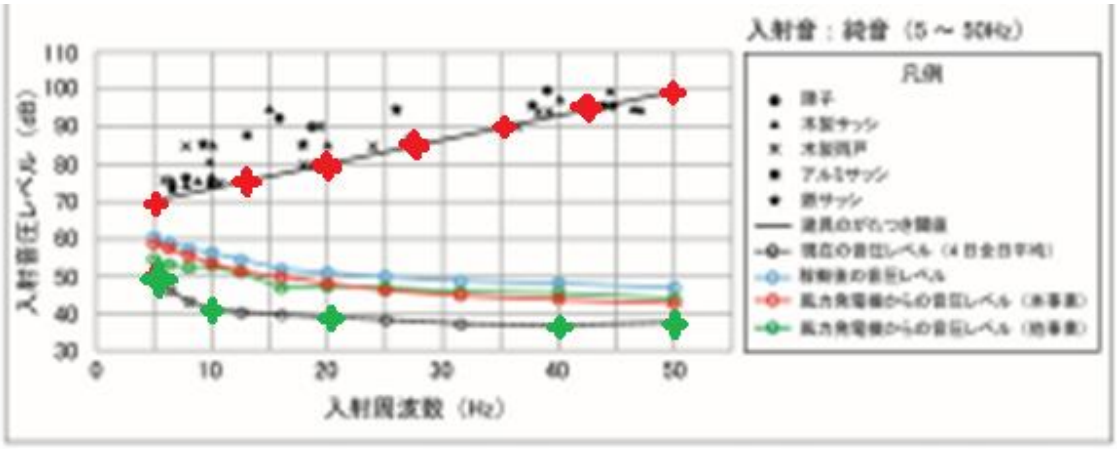
そして、圧迫感や振動を感じることは無い。と説明しました。



出典：「文部省科学研究費『環境科学』特別研究：超低周波音の生理・心理的影響と評価に関する研究班
『昭和55年度報告書1低周波音に対する感覚と評価に関する基礎研究』」より作成

図 10.1.4-8(1) 圧迫感・振動感を感じる音圧レベルとの比較結果

２つのグラフの対応する点に印をつけました。直線上の赤い点と、曲線上の緑の点です。

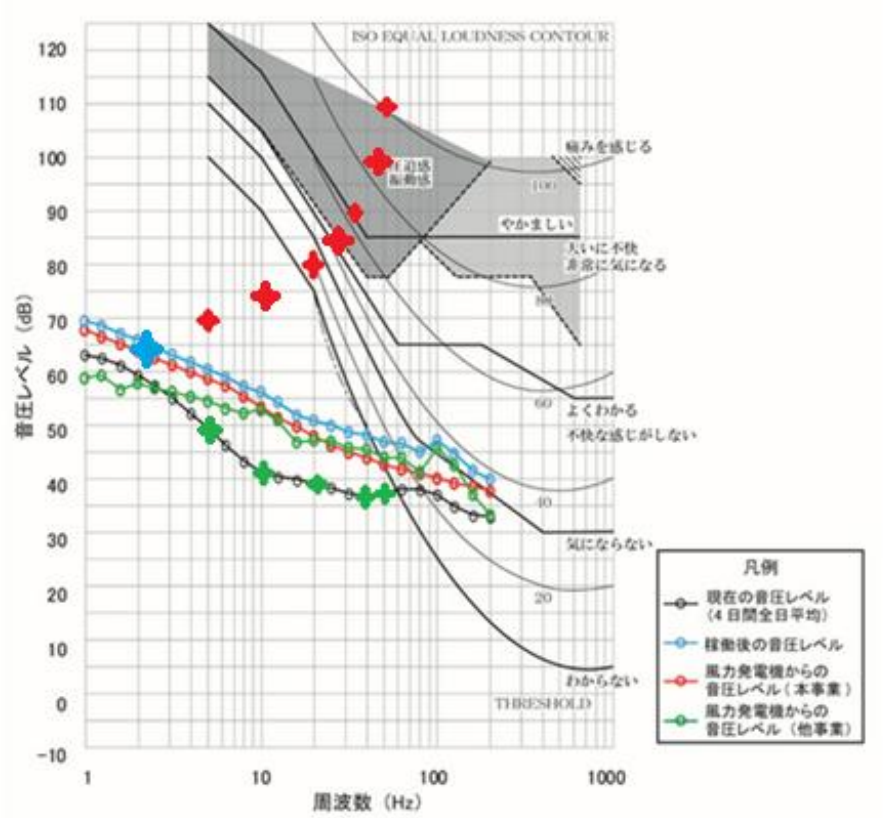


出典：「低周波音の測定方法に関するマニュアル」（環境庁大気保全局、平成12年）より作成

図 10.1.4-7(1) 建具のがたつきが始まるレベルとの比較結果
（環境－①：春季全日平均）

さて、上のグラフでは、5Hzまでしかなかった曲線が、下のグラフでは1 Hzまで伸びています。

でも、上の図の直線に当たるものが消えていますので、赤い印を追加しました。赤い印は、がたつき閾値の直線に対応します。



出典：「文部省科学研究費『環境科学』特別研究：超低周波音の生理・心理的影響と評価に関する研究班
『昭和55年度報告書1低周波音に対する感覚と評価に関する基礎研究』」より作成

図 10.1.4-8(1) 圧迫感・振動感を感じる音圧レベルとの比較結果

（環境－①：春季全日平均）

2Hz、3Hz の辺りで、がたつきが起きると考えられます。そうすれば、人間は聴覚以外の感覚も含めて、振動そのものを感じます。2Hz は超低周波音（0Hz～20Hz）です。（2Hz で 65ｄB の辺りで線がぶつかります。）

“苦情者宅の測定結果を『参照値』などと照らし合わせて、苦情の原因が低周波音である可能性について検討します。”と言っても、照らし合わせるべき参照値が存在しなければ比較ができません。ですから、室内での計測を行って、共鳴や共振に関して精密に解析する必要があるのです。
精密騒音計と振動レベル計を使えば、簡単です。

このグラフから、2Hz や 3Hz でのガタツキの可能性が高いことがわかります。これは、超低周波音（0Hz～20Hz）の領域です。この領域の音によって問題が起きるのです。

従って、超低周波音（0Hz～20Hz）の被害も考慮する必要があるのです。風車音から超低周波音（0Hz～20Hz）の部分を除外してはいけません。

６．８　参照値（心身に係る苦情）

ISO 389-7:2019 にある、聴覚閾値の表の数値と、心身に係る苦情に関する参照値

2.2　心身に係る苦情に関する参照値

低周波音による心身に係る苦情に関する参照値は、表 2 及び G 特性音圧レベル L_G=92(dB)とする。

表 2　低周波音による心身に係る苦情に関する参照値

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ中心周波数(Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ音圧ﾚﾍﾞﾙ(dB)	92	88	83	76	70	64	57	52	47	41

との対応表をつくれば、

バンド（ヘルツ）	20	25	31.5	40	50	63	80
参照値（デシベル）	76	70	64	57	52	47	41
聴覚閾値（デシベル） 感覚閾値（デシベル）	78.1	68.7	59.5	51.1	44	37.5	31.5

（感覚閾値は聴覚閾値の間違いです。threshold of hearing　だから、聴覚（聴力）閾値です。）

（感覚閾値は聴覚閾値の間違いです。threshold of hearing　だから、聴覚（聴力）閾値です。）

よく見ると、心身に係る苦情に関する参照値の表には、10Hz、12.5Hz、16Hz、20Hz が含まれています。井上氏の意見では、この周波数の音は、知覚できない領域のはずです。

参照値は、音を聞いたり、音を全身に浴びたりしたときの反応を調べたときの値です。知覚できないものに対して、12.5Ｈｚの音が、88ｄＢになったら、それを感知して、不快感を覚える人が出てきてしまったと言う事になるのです。

知覚できない音を、何らかの感覚で感知できたと言いうことは、知覚できない音が知覚できたと言いう事になります。

もちろん、些細な矛盾です。この矛盾を気にする人は、日本語が普通に理解できる人に限ります。矛盾を気にしない人もいるとは思いますが、他人に何かを説明するときは、配慮しなくてはならない事柄です。

聴覚閾値は、聞こえた否かを判断すれば良いのですが、参照値はそれとは違います。圧力の感知まで含めた値に近いものが参照値です。

その理由は、 環境省の低周波音問題に関する Q&A の A6 です。そこには、

Q６　『参照値』に科学的な根拠はありますか？

A６　『参照値』は平成 15 年に独立行政法人産業総合研究所において実施した聴感実験データから、一 般被験者の 90%の人が寝室で許容できるレベルとして設定したものです。この聴感実験では、低周波音 を発生させた実験室に被験者を部屋に入れて、被験者の反応を調査することで行いました。なお、被験者 は、実験室の中で、耳だけでなく全身が低周波音に浴しており、いわゆる骨導音の影響も実験の中で自然 に含ま

れ、総合的に把握されていると考えられます。

と書かれています。
骨伝導かどうかは別にして、
“この聴感実験では、低周波音を発生させた実験室に被験者を部屋に入れて、被験者の反応を調査することで行いました。なお、被験者は、実験室の中で、耳だけでなく全身が低周波音に浴しており”
と言う部分が大切です。
残念ながら、被験者のいる部屋の、周波数ごとの音圧レベルを計測したデータが 無いのが残念です。

音による刺激の感知は、聴覚だけではありません。聴覚閾値と参照値を比較すれば次の様になります。

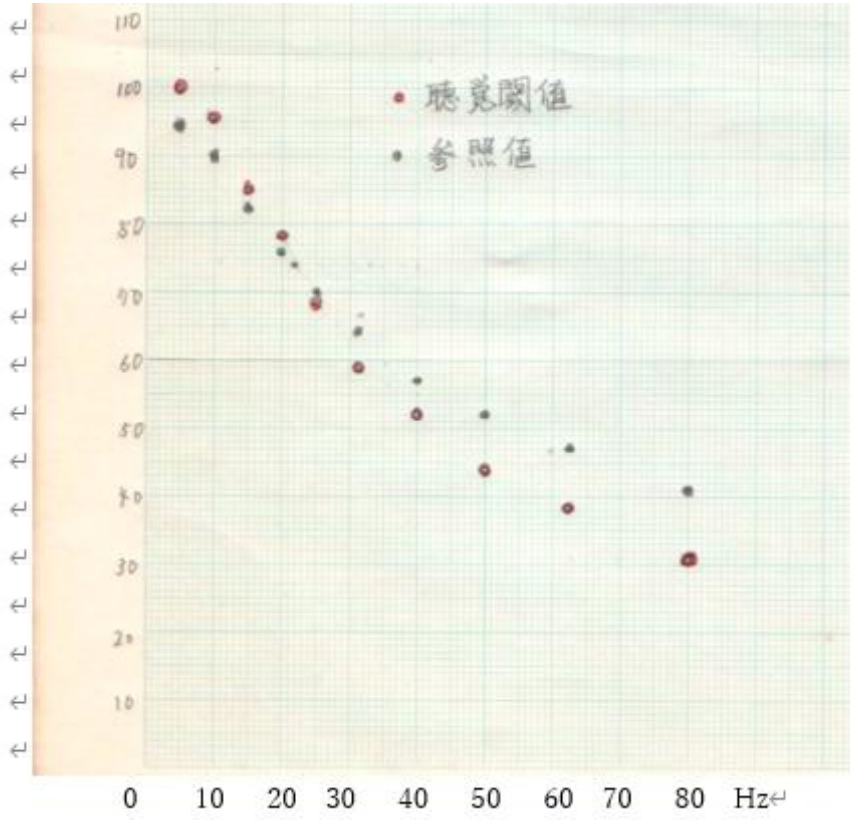
環境省は、低周波音問題に関する Q&A の中で次のように言っています。
“大小関係で言うと、実際には、「心身に係る苦情の『参照値』」は「感覚閾値」より少し大きな値となっています。”
この表現は、２５Hz 以上の周波数成分については、正しい表現だが、２０Hz の所は、参照値が 76、感覚閾値が 78.1 となっていて、参照値よりも感覚閾値のほうが大きい。
これは、上記の表は、聴覚で音としてとらえる場合の限界、聴覚閾値 78.1 にならなくても、それより低い 76 の値の時に、音としてではなく、例えば圧迫感とかの他の感覚で音圧の変化をとらえて、不快感を覚えるという事を示していると考えます。
環境省は、２０Hz での参照値と聴覚閾値（感覚閾値）の数値の逆転について、どう考えているのだろう？環境省の職員は、76 と 78.1 のどちらが大きな数値なのか、判断が出来ないのかもしれません。

２５Hz より周波数が高い部分に関しては、ISO389-7 に記載されている値のほうが小さい。よって、この部分だけならば、環境省の言い分は、感覚閾値と言いう語訳の問題を除けば正しい。しかし、２０Hz の所は、ISO389-7 の値の方が大きいのです。

これは、偶然ではありません。
参照値　－　聴覚閾値　の表を作れば次のようになります。

バンド（ヘルツ）	20	25	31.5	40	50	63	80
参照値－聴覚閾値	-2.1	1.3	4.5	5.9	8	9.5	9.5

この表は、周波数が低くなればなるほど、聴覚閾値と参照値（不快感を感じ始める値）の差が小さくなってきていて、20Hz では逆転することを示します。
10Hz、5Hz、1Hz、0.5Hz と低くなればなるほどこの傾向は続くと考えます。
グラフにすれば（参照値の予測もしてみました。）次のようになります。



参照値は、被験者の１０％が不快だと感じる値です。

これは、20Hz の音が 76ｄＢの時に、人間が不快感を覚えたと言いう事です。もし、ISO389-7 の値が感覚閾値ならば、人間は 20Hz の音の音圧が 78.1ｄＢ（78.5ｄＢ）になるまで、人間は不快感を覚えないはずなのに、それよりも小さな値 76ｄＢで不快感を覚えてしまうという矛盾が生じます。

聴覚閾値と正しく訳しておけば、20Hz の音に対して、人間の聴覚は 78.1ｄＢになるまでは認識しないが、それ以外の感覚（圧迫感、頭痛、など）で 76ｄＢの段階でも不快感を覚えると理解できるので、矛盾は生じません。

さて、あくまで感覚閾値だと主張すると、次の矛盾に耐えきれなくなります。

感覚閾値ならば、78.1 デシベルよりも低い音圧レベルの音は、人間の感覚では感知できないはずです。でも、76 デシベルの音圧レベルで、不快感を覚えてしまいます。不快感の内容は人によるかもしれませんが、音、圧力、振動などを感じ取って不快だと思うのです。感覚閾値は、78.1 ではなくて、76 だとしなくてはなりません。

聴覚閾値としておけば、耳では音を感じなくても、76 デシベルの段階で、圧力や振動を体で感じ取り、不快感を覚える。のですから、全く矛盾は生じません。

６．９　参考値

92ｄＢであった参照値から、さらに引き上げて 100ｄＢにしようとしたのが、参考値です。

日本弁護士連合会の意見書にあった記述、

“実例との比較
医師の診断 汐見文隆医師は，自ら診断した被害者２３名を参照値のグラフに当ては めると，１８名が低周波音被害者とは認められなくなると，参照値の不当 性を指摘している 31（参考資料図５参照)。
多くの低周波音の放置 ２００２年６月，環境省環境管理局大気生活室が作成した「低周波音全 国状況調査結果報告書」（７９頁）によれば，「生活側（被害者側）における発生源別Ｇ波特性音圧レベル」に参照値を当てはめてみると，ヘリコプ ターと新幹線トンネル出口以外には９２デシベルを超える例は一例もない。産業用振動機・ガスタービン・ガスヒートポンプ室外機・コンプレッサー・ 曝気用モーター・ボイラー・集塵機・送風機・変圧器・冷凍機室外機など から出る低周波音程度では，生理的な影響は発生しないということになる。 この基準によれば，大体の機械の低周波音は問題がないことになる（参考 資料図６参照)。“

によれば、92ｄＢでも、
「生活側（被害者側）における発生源別Ｇ波特性音圧レベル」に参照値を当てはめてみると，ヘリコプターと新幹線トンネル出口以外には９２デシベルを超える例は一例もない。
なっています。
100ｄＢ にすれば、ヘリコプターや新幹線トンネルの件も被害とは認定しなくて済むと言う事なのでしょうか？

参考値について、

風力発電の会社である、C・Tech の
（仮称）ウインドパーク布引北風力発電事業
環境影響評価書、[要約書]の 10 ページに次の記載があります

予測地点	現況値	予測値	建設の影響による増分	参考値
一般①	68	68	0	100
一般②	60	61	1	100
一般③	58	64	6	100
一般④	54	63	9	100

注：１　現況値は、バックグラウンド低周波音（現況の超低周波音から、既設の風力発電所から発生する超
　　低周波音を除いてもの）です。
　２　予測値は、将来の超低周波音（Ｇ特性音圧レベル）です。
　３　**参考値**は、ISO 7196 に示されている「**超低周波音の知覚の閾値**」を示します。

ここでは、参考値 100ｄＢは“超低周波音の知覚の閾値”とされている。
予測値、将来の超低周波音（Ｇ特性音圧レベル）との比較で、100ｄＢが出てくるのだから、これもＧ

特性音圧レベルの値です。

　これを、**感覚閾値**にしようとする人もいます。こんな文章もあります。
環境省の HP にある、参 考 資 料―低周波音の基礎知識―の、- 参考 5 –　のページには、

d.1 感覚閾値
低周波音の**感覚閾値**（低周波音を感ずる最小音圧レベル）については多くの研究者によって検討がなされている。図-d.1 は様々な研究者によって得られた感覚閾値である 1)。これらの閾値は実験方法や実験施設の違いによって 5～10dB 程度の違いがある。大部分の結果は可聴音の閾値（ISO-226**（最小感覚閾値の部分については 1996 年に ISO389-7 に改訂されている）**）の延長線上にあり、周波数が低くなるに従い閾値は上昇している。数 Hz～50Hz 位を代表する傾斜はほぼ -12dB/oct.となっており、この傾斜が ISO-7196（超低周波音の心理的・生理的影響の評価特性）においても採用されている。通常、**音としては知覚されないとされる超低周波音については、ISO-7196 によると、平均的には、G特性音圧レベルで 100dB を超えると超低周波音を感じ、概ね 90dB 以下では人間の知覚としては認識されないと記されている。**G特性の基になった超低周波音の感覚閾値は欧米の実験結果に基づいている。
これらの値は平均値であり、例えば中村らの実験結果によれば閾値には±5～10dB 程度の幅があり、山田らによれば、標準偏差の 2 倍である±10dB の範囲に大部分の人が入るとされている

この中の、
（最小感覚閾値の部分については 1996 年に ISO389-7 に改訂されている）
についてだが、この規格の名前は、ISO 389-7:2019
Acoustics -- Reference zero for the calibration of audiometric equipment -- Part 7: Reference threshold of hearing under free-field and diffuse-field listening conditions
であり、threshold of hearing　なのだから、**最小聴覚閾値**と訳すべきです。最小感覚閾値としてはいけません。

平成 21 年度移動発生源等の低周波音に関する検討調査等業務　報 告 書
平成 22 年 3 月　社団法人 日本騒音制御工学会
では、

また、中心周波数 10～200 Hz の 1/3 オクターブバンドの暗騒音レベルは、すべてのバンドで ISO 389-7（文献 5）に示される聴覚閾値を少なくとも 14 dB 下回っており、聴覚閾値の測定に影響の無いことを確認した。

とあり、聴覚閾値と正しく訳している。

　もし、人間の感覚器官が聴覚器官しか無いのならば、聴覚閾値＝感覚閾値となるでしょうが、
そうではありません、人間は気圧変動も感じ取ります。圧迫感として認識できます。気圧変動を認知する器官もあります。室内での共鳴が起きれば、音圧は極めて高くなります。
　また、風車音でのがたつきが生じれば、可聴域の音に変換されてガタツキ音を感知します。
家や床の共振での振動が起きれば、半規管で感知できます。
さらに、共鳴で気圧変動が極端に大きくなれば、音響キャビテーションが起こることも考えられます。この場合は、体内に発生した微小気球による、痛みも感じるでしょう。

聴覚閾値を、感覚閾値にしてはいけません。

さらに、

“音としては知覚されないとされる超低周波音については、ISO-7196 によると、平均的には、G特性音圧レベルで 100dB を超えると超低周波音を感じ、概ね 90dB 以下では人間の知覚としては認識されないと記されている。”

について考えて見ましょう。

この文章を読めば、

90ｄB 以下では、感知（知覚）できない。

100ｄB を超えると、感知（知覚）できる。

となっている。

聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値の用語は別にしても、境界となる値は、90 と 100 の間にあると読むべきです。

境界となる値を、目いっぱい 100ｄB まで引き上げることは、研究結果を都合よく曲解することになります。

私は、90 と 100 の間の値を選んでおけば、以前の研究結果との整合性の面からも、ある程度の合理性があると考えます。

つぎは、ISO7196 での、100ｄB の問題について詳しく考えます。さて、100ｄB と言う数値が出てくるのは、ISO7196 の記述では、次の段落だけです。

The perception of infrasound, although apparently achieved through the auditory mechanism, differs in some respects from that usuary understood by hearing. The normal threshold of perception if considerably higher than at audio frequencies (about 100 dB relative to 20 μPa at 10 Hz), whilst toleration for high levels is not raised correspondingly, that is, the dynamic range is smaller and the rate of growth of sensation with sound pressure level is much more rapid. In the frequency range 1Hz to 20Hz, sounds that are just perceptible to an average listener will yield weighted sound pressure levels close to 100dB when measured in accordance with this International Standard. A very loud noise will yield a weighted level in the order of 120 dB, only 20 dB above. Weighted sound pressure levels which fall below about 90 dB will not normally be significant for human perception.

と書いてあります。

Perception の日本語訳ですが。

１（五感・知性による）知覚（作用）認知（力）理解；(道徳的・美的特質の）直覚、直観、鑑識力、眼力

知覚による認識結果、感知されたもの

知覚

１（仏）知り覚ること、分別すること

２（心）(perception)感覚器官への刺激を通じてもたらされた情報をもとに、対称の性質・形態・関係などを把握するはたらき。

感覚

１光・音や、機械的な刺激などを、それぞれに対応する受容器が受けたときに経験する心的現象。視覚・聴

覚・味覚・臭覚・皮膚感覚・平衡感覚・内臓感覚などがある。
２物事を感じとらえること。また、その具合

感知
気配や様子から感じ取って知ること。

さて、ISO 7196:1995　のⅲページの記述で 100ｄB の話が出てくるのは、
The perception of infrasound, although apparently achieved through the auditory mechanism, differs in some respects from that usuary understood by hearing.
（超低周波音の感知については、一見すると音を認識する仕組みを通してなされるように思えるにもかかわらず、幾つかの観点で、聴覚として通常理解されているものとは異なっている。）
から始まっている。
100dB については、
In the frequency range 1Hz to 20Hz, sounds that are just perceptible to an average listener will yield weighted sound pressure levels close to 100dB when measured in accordance with this International Standard.
（１Hz から 20Hz の周波数帯について、平均的な**聞き手が**ちょうど**感知できる**音は、この国際規格に従って計測した時の、重み付き音圧レベルで 100ｄB に近い値となるであろう。）
となっている。
この段落の最後は、
“Weighted sound pressure levels which fall below about 90 dB will not normally be significant for human perception.”
「(周波数) 重み付け音圧レベルで約 90ｄB 未満は、人間の認知機能にとって一般的に有意にはならない（または、認識されない)。」
と書かれている。

出だしの。
The perception of infrasound, although apparently achieved through the auditory mechanism, differs in some respects from that usuary understood by hearing. The normal threshold of perception if considerably higher than at audio frequencies (about 100 dB relative to 20 μPa at 10 Hz), whilst toleration for high levels is not raised correspondingly, that is, the dynamic range is smaller and the rate of growth of sensation with sound pressure level is much more rapid.
では、
超低周波音が聴覚機構によって把握されることを前提にして、可聴域の音での感受性と許容性と超低周波音に対する感受性と許容性が議論されている。
超低周波音を聴覚機構によって感知する場合の数値として 100ｄB の数値が記載されていると考えるべきである。もちろん、圧迫感を感じるか否かの観点での記述はなされていない。
超低周波音は、聴覚による認識や、気圧変動による圧迫感としての認識もある中で、聴覚に関する閾値について述べているのが、ここでの記述である。

100ｄB を選ぶにしても、100ｄB を聴覚閾値、参照値 92ｄＢは、全身で音圧を受けるような状態での不

快感の感知についての実験結果なので、感覚閾値と区別すれば、論理的にもはっきりして、混乱を防ぐことができます。

もちろん、実験での低周波音の周波数が、実際の風車音よりもかなり高いので、この差については、風車が存在する場所での計測と、アンケート結果の分析を考慮して、参照値 92ｄＢについても再評価する必要がある。

これは、20Hz の音が 76ｄＢの時に、人間が不快感を覚えたと言いう事です。もし、ISO389-7 の値が感覚閾値ならば、人間は 20Hz の音の音圧が 78.1ｄＢ（78.5ｄＢ）になるまで、人間は不快感を覚えないはずなのに、それよりも小さな値 76ｄＢで不快感を覚えてしまうという矛盾が生じます。

聴覚閾値と正しく訳しておけば、20Hz の音に対して、人間の聴覚は 78.1ｄＢになるまでは認識しないが、それ以外の感覚（圧迫感、頭痛、など）で 76ｄＢの段階でも不快感を覚えると理解できるので、矛盾は生じません。

さて、あくまで感覚閾値だと主張すると、次の矛盾に耐えきれなくなります。

感覚閾値ならば、78.1 デシベルよりも低い音圧レベルの音は、人間の感覚では感知できないはずです。でも、76 デシベルの音圧レベルで、不快感を覚えてしまいます。不快感の内容は人によるかもしれませんが、音、圧力、振動などを感じ取って不快だと思うのです。感覚閾値は、78.1 ではなくて、76 だとしなくてはなりません。

聴覚閾値としておけば、耳では音を感じなくても、76 デシベルの段階で、圧力や振動を体で感じ取り、不快感を覚える。のですから、全く矛盾は生じません。

６．１０　指針値

環境省は、”平成 28 年 11 月 25 日に検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」を取りまとめました。今般、同報告書を踏まえ、風力発電施設から発生する騒音等について、当面の指針を別紙のとおり定めた“　と言っています。この検討会の座長が町田氏です。
報告書の 22 ページには、次の記載があります。
“３．風車騒音の評価の考え方、調査・予測、対応策等
２．で示した知見を踏まえると、風車騒音は、20Hz 以下の超低周波音（注）の問題ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音の問題としてとらえるべきものであり、**A 特性音圧レベルでの評価を基本とすることが適当である。**このようなことを前提とした上で、ここでは、風車騒音の評価の考え方を示すとともに、主に風力発電施設の設置事業者を想定し、風力発電施設の設置前・後に行うべき調査・予測の考え方を整理した。なお、今後本報告書の考え方に基づき、より具体的な測定・評価手法を定めたマニュアル等を策定することが適当である。”
A 特性と言う言事は、20Hz 以下の周波数を持つ音に関しては計算から除外する、と言う事なのです。
指針値を使うと言う事は、この 93.4%のエネルギーの影響を無視して、人間への影響を考えましょうと言う事です。
音が聞こえるようなレベルではないならば、風車からの超低周波音が心身に影響を及ぼすことは無いのでしょうか？
音を感知する主な器官は、聴覚をつかさどる器官である。超低周波音での被害は、音を認識してうるさくて困ると言うような訴えだけではない。
回答者の割合が 50%を超している項目をみると、
不安、疲労感、耳や体の圧力や痛み、頭痛、身体の振動や痛み
などがある。これも、音がうるさいとの苦情ではない。
人間には気圧変動を感じる器官があるとの研究結果も発表されている。音が聞こえるか否かの観点とは別で、高い音圧を持っている超低周波音を人間がどの様に把握するかに注目する必要がある。

現状を見れば、

3. 風車からの低周波音の影響

風車の大きさや風車からの距離、大気環境次第では、風車からの低周波音が知覚される可能性がありうる。風車音の大きさに加え、受音者側（音環境や主観的な感じ方の違いなど）の条件が重なる場合、不快感や睡眠影響が生じる可能性が指摘されているが、

可能性が指摘されているのではなくて、不快感、圧迫感、睡眠障害が生じているのです。
すでに、耐えきれなくなった住民は、家を捨て、故郷を捨てて逃げ出しているのです。

このような見解は他からも出ているが、それらに共通する特徴は、1Hz 以下の超低周波成分に関して FFT を使って、周波数スペクトルを調べようとしないところです。そして、風車からの超低周波音の周波数の安定性を Wavelet 解析で調べようとしないところです。
1/3 オクターブ解析では、これらの特徴は隠されてしまいます。

その直接の原因が低周波音かどうかは明らかでない。また、その音圧レベルは直接的な生理被害に対する限度値を調べた実験値と比べて遥かに小さい。

風車からの超低周波音で音圧が高くなる、0.2Hz、0.54Hz、0.8Hz の周波数の音を、実験室に於いて、どの程度の音圧で発生させたのかについても、明らかにしてほしいです。

これは、風車が大型化して、超低周波音の周波数が下がり、1Hz からの 1/3 オクターブ解析の網の目をすり抜けたと言う事に気付かないふりをしているだけのことです。

風車騒音に関する諸外国の基準等

国/地方	騒音指標	地域の類型			
		田園地域	住宅地域	工業地域に近い住宅地域	その他の地域
Denmark	L_r（6 m/s） L_r（8 m/s）	42 dB（6 m/s） 44 dB（8 m/s）	37 dB（6 m/s） 39 dB（8 m/s）	–	–
Sweden	L_{Aeq}@8 m/s	35 dB	40 dB		
Belgium/ Wallonia	L_{Aeq}	45 dB			
France	L_{Aeq}	昼（07:00-22:00）：残留騒音レベル＋5 dB 夜（22:00-07:00）：残留騒音レベル＋3 dB (風車稼働時の騒音が35dBを超える場合)			
Germany	L_r	昼：60 dB 夜：45 dB	昼：50-55 dB 夜：35-40 dB	昼：60 dB 夜：45 dB	昼：45-70 dB 夜：35-70 dB
The Netherlands	L_{den} L_{night}	L_{den}: 47 dB L_{night}: 41 dB			
United Kingdom	$L_{A90,10min}$	昼：残留騒音レベル+5 dB（最低35 dBまたは40 dB） 夜：残留騒音レベル+5 dB（最低43 dB）			
New Zealand	$L_{A90,10min}$	35 dBまたは残留騒音+5dBの高い方の値	静穏を要する地域：40 dBまたは残留騒音+5 dBの高い方の値		
Australia/ Victoria	$L_{A90,10min}$	35 dBまたは残留騒音+5dBの高い方の値	静穏を要する地域：40 dBまたは残留騒音+5 dBの高い方の値		
Canada/ Manitoba	L_{Aeq}	40 dB（風速4 m/s）から53 dB（11 m/s）まで段階的に設定			
USA/ Maine	L_{Aeq}	静穏を要する地域；昼：55 dB，夜：45 dB 風力発電施設の敷地境界線上；終日75 dB			

世界各国における風車騒音の基準・ガイドラインの比較（一部抜粋改変）　22

国名（年次）	値の意味合い
デンマーク（2006） 「風力発電施設から発生する騒音に関する規則」	国レベルの基準 not exceed the following limit value（限度値）
ノルウェー（2005） 「風力発電施設の計画段階における騒音管理のためのガイドライン」	ガイドラインによる基準 guidelines values（勧奨値） ※法的拘束力のあるルールではない
スウェーデン（ー） 「風力発電に伴う騒音に関するガイドライン」	ガイドラインによる基準 recommended highest sound pressure level（勧奨値）
オランダ（2010） 「環境保護法」	国レベルの基準 limit value（限度値）
ドイツ（1998） 「騒音に係る技術指導書」	騒音の技術指針による限度 regulation（限度値）

国際的な基準や目安の数値には、残留騒音や暗騒音を使うものがある様です。数値の大きさはそれほど違わないのですが、数値の意味については国によって大きく異なります。

超えてはいけない限度値と目安であり超えても罰則の無いものがあります、日本では指針値は、罰則の無い目安です。

環境基準との関係 i

【評価の目安となる値】

風車騒音は他の環境騒音と比べ特徴的な音であることを勘案し、風力発電施設の設置等に当たり、風力発電施設から発生する騒音による生活環境への影響を**未然に防止**するためのもの.

【騒音に係る環境基準値】

行政の政策上の目標として一般的な騒音を対象とし、生活環境を保全し、人の健康を保護する上で**維持されることが望ましい**もの.

両者では性格や位置づけが異なる.

さらに、目安の数値である指針値は、その値を越えなくても被害が出ています。

- 騒音については、感じ方に個人差があること、地域によって風力発電施設の立地環境や生活様式、住居環境等が異なることから、評価の目安になる値を超えない場合であっても、地域の音環境の保全に配慮し、可能な限り風車騒音の影響が小さくなるように、事業者は対策を講ずるよう努めることが大切.

では、何処まで音を下げたら被害が無くなるというのでしょうか？業者も困ります。全く目安になっていません。

被害の多くは、睡眠妨害です。安心して眠れないならば健康な生活は出来ません。

日本国憲法第 25 条には、

1　すべて国民は，健康で文化的な最低限度の生活を営む権利を有する。

2　国は，すべての生活部面について，社会福祉，社会保障及び公衆衛生の向上及び増進に努めなければならない

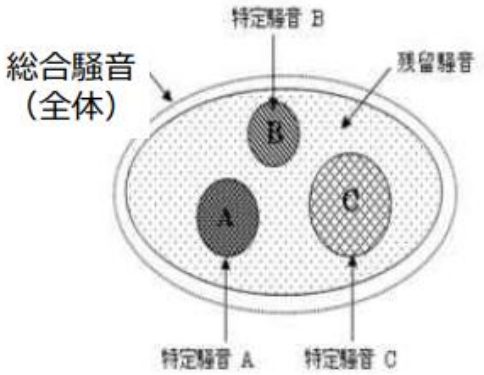
とあります。安眠は健康を維持し、地域社会を維持するための必要事項です。美味しいものを食べていというような贅沢ではありません。

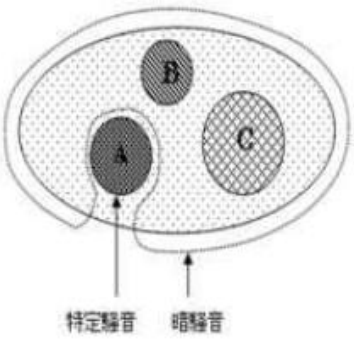
安眠できなければ体力は回復しません。仕事のミスが起きます。居眠り運転も起きます。眠れなかった子供は授業中に居眠りします。注意する先生とのトラブルも起きます。学力も落ちます。そんな土地から離れた人は、戻っては来ません。地域社会が崩壊してしまいます。

環境省の役人は誰の手先なのか、日本国憲法を踏みにじり、日本の地域社会を破壊するとは、国家公務員のやる事ではありません。

暗騒音と残留騒音

- 一般の騒音評価においては、評価すべき音以外の全ての騒音である「**暗騒音**」を基に比較等を行う.
- 風車音においては、静穏な地域に設置されることが多く、まれに通過する自動車等の一過性の騒音により、暗騒音のレベルが大きく変化することから、評価にあたっては、これらの一過性の特定できる騒音全てを除いた「**残留騒音**」を基に評価を行う.





残留騒音（特定騒音を全て除いた残り）　暗騒音（対象騒音A以外の全て）　24

上の図の左側で、A を新しく作る風車、B が既設の風車、C が交通騒音だとする。C の判定は Wavelet 解析を併用すれば判定は容易である。

A と B の距離が１ｋｍ未満ならば、B からの影響は除外しなくてはならない。B を停止して計測すれば良い。

A と B の距離が 1.5ｋｍだと、B は A の周辺にある風車なのか、そうではないのかの判断が必要になる。睡眠妨害の調査結果から３ｋｍ辺りまでは風車音の影響が有るのだから、B は周辺にある風車として扱って A での残留騒音を測るときは、B を停止させて測るべきだが、そうすると、風車音の影響は１ｋｍの範囲内だとしてきた環境省が嘘つきという事になる。

残留騒音については、“一過性の特定できる騒音全てを除いた「残留騒音」”とあるのだが、既設の風車音は、”一過性の音ではないが、特定はできる“。既設の風車音は、“除く”対象になっている。

これに関しては、

“風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル 平成２９年５月 環境省”で、

“③ 残留騒音（residual noise） ： ある場所におけるある時刻の総合騒音のうち、すべての特定騒音を除いた残りの騒音。本マニュアルでは、地域の静けさを表わす騒音レベルのベースに含まれる準定常的な暗騒音は残留騒音に含める。したがって、残留騒音でも音源が識別できる場合がある（遠方の、波音、川音、道路交通騒音等)。なお、測定地点周辺に既設の風力発電施設がある場合は、これらの施設から発生する騒音を除いた騒音を残留騒音とする。“

“測定地点周辺”の意味は、１ｋｍ以内なのか、５ｋｍ以内なのかがはっきりしない。

そこで既設の風車の音の影響を測る必要があるが、運転している状態で測ろうとすると、１ｋｍ以上離れた場所の扱いに困る。

“風力発電施設から発生する騒音等への対応について”

平成２８年１１月風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会、

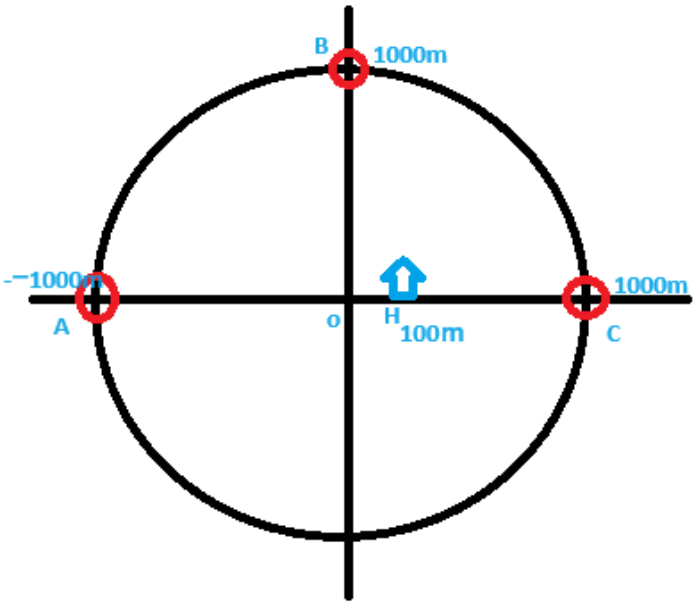
のｐ29に書いてある、

“（注）発電所の設置又は変更の工事の事業に係る計画段階配慮事項の選定並びに当該計画段階配慮事項に係る調査、予測及び評価の手法に関する指針、環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査、予測及び評価を合理的に行うための手法を選定するための指針並びに環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令（平成 10 年６月 12 日 通商産業省令第 54 号）では、発電所一般において環境影響を受ける範囲であると認められる地域は、事業実施想定区域及びその周囲１km の範囲内としている。”

のだが、

影響が１ｋｍの範囲内とすれば、既設風車を停止させて計測した残留騒音と、運転したままで計測した残留騒音の値が一致しなくてはならない。

下の図で、A、B が既設の風車、C を新しく作る風車とする。



影響が１ｋｍの範囲内だとすれば、AとBの風車は運転したままでHでの残留騒音を測る事になる。Cが動く前に、A、Bが故障して止まった時に、残留騒音を計測すれば、低い数値になると思われる。どちらの数値を採用するのでしょうか？

逆に、C、A、Bの順に建設するとして、Cを作る前に測った残留騒音とCの建設後の運転騒音+残留騒音の数値と、Aの建設後に測った数値が違っていたら、その原因はAの風車音になるのでしょうか？

AとHは1100m離れているので、Aからの影響は無いはずです。どのように説明するのでしょうか？

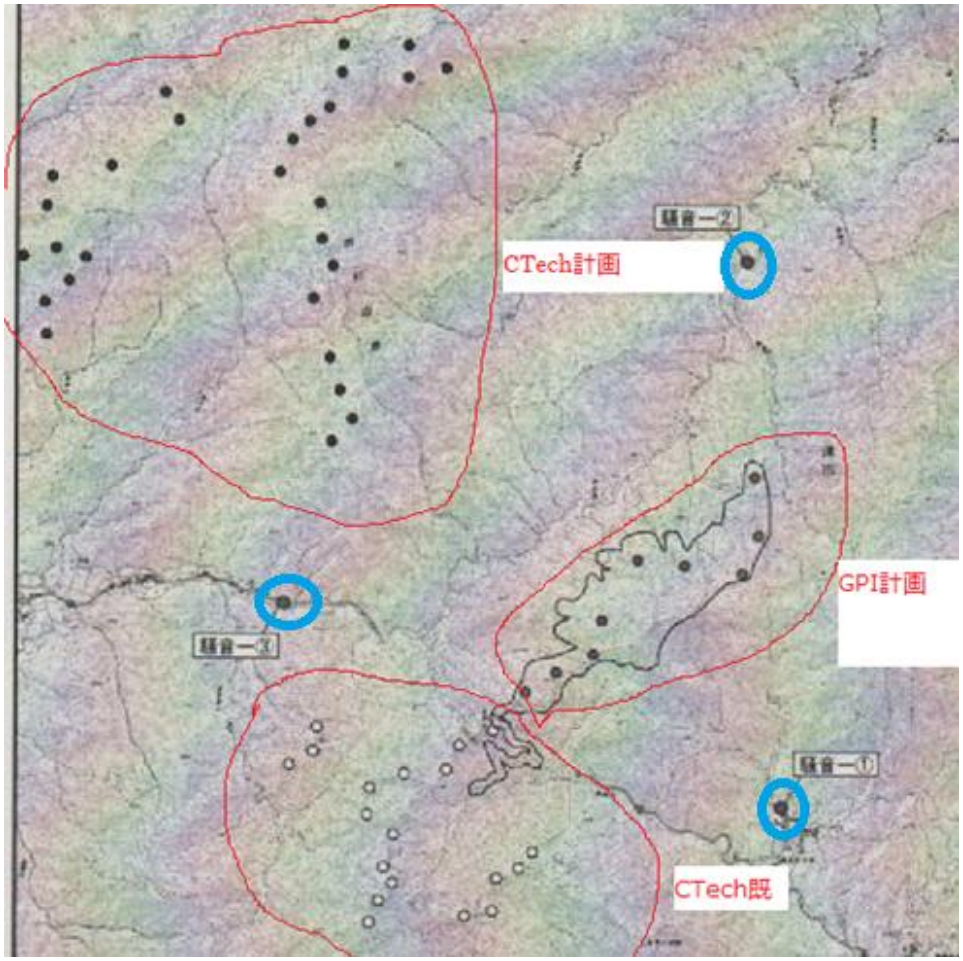
また、住宅Hが原点にある場合には、影響範囲が１ｋｍ以内とした場合には、既設の風車A、Bを止めてから残留同音を計測する事になり、どの風車を作る場合でも、残留騒音は一致する。

原点からのずれがあれば、Aの風車を建てる前に（住民が自分で）計測した残留騒音よりも、Aが稼働している状態でBを建てる前に（住民が自分で）測った残留騒音は少し増加する。A、Bが稼働している状態でCを建てる直前に計測した残留騒音はさらに増加する。

と思われます。

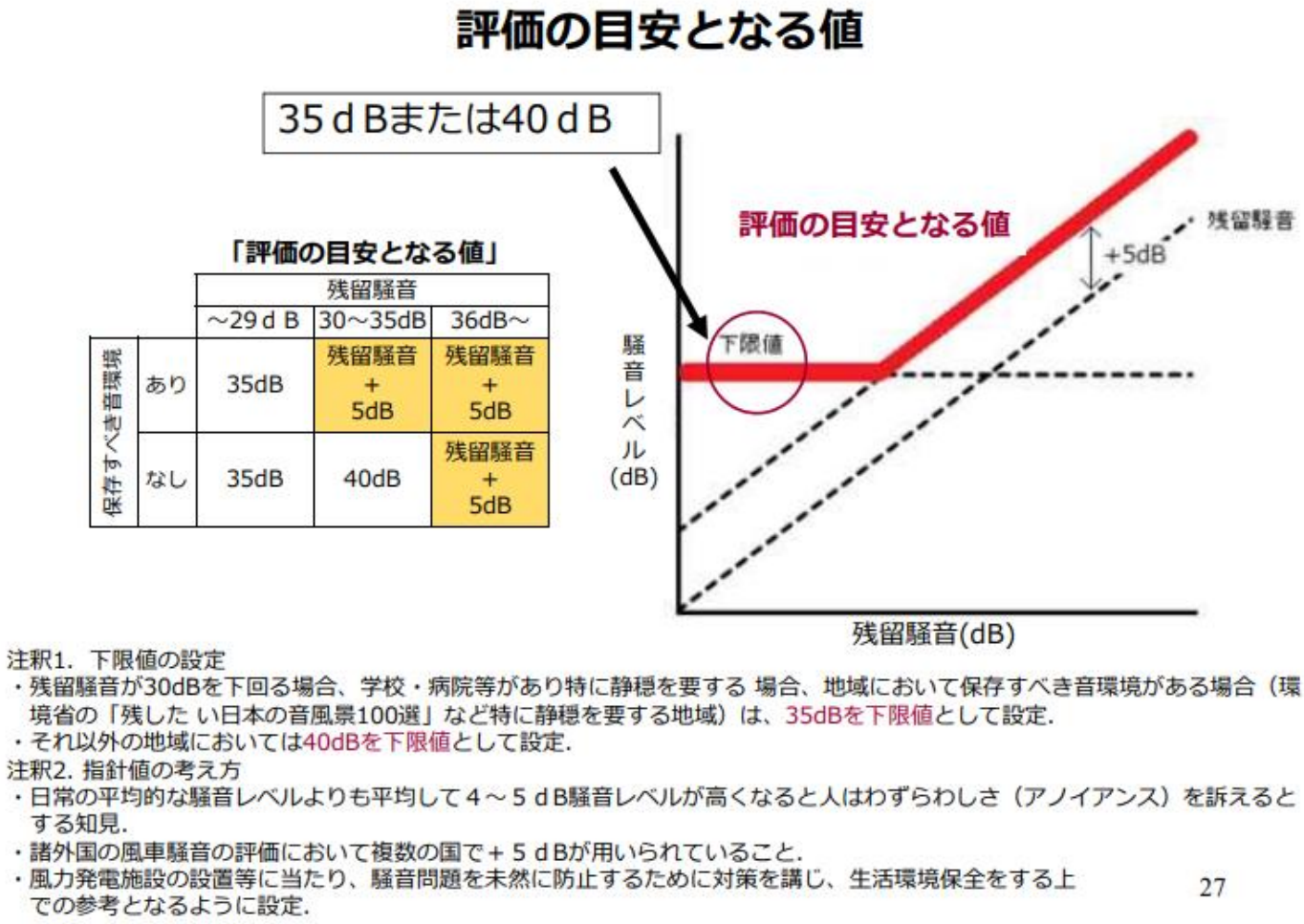
県や市は、計測をしてくれないので、集落から５ｋｍ以内に風車が建つ場合には、各集落のお金で精密騒音計を購入して、自分たちで計測しておく必要があります。

三重県では、下の図の青い丸の場所のように、風車に三方を囲まれてしまった集落もあります。１ｋｍ以上離れているので、文句を言っても、企業や行政は計測してくれないのです。



三重県に住んでいる友人は、
“2023/2/23 付けのメール
宇山様
お世話になります
音について　できる限り情報整理が出来てからお送りします
今　音で気になっているのは
現在稼働中の　㈱シーテック社のウィンドファーム笠取です　年中聞こえますが（離隔が２ｋｍです）
特に１０月から４月ごろまでが大きいです　音は耳で聴きとるのは異なる状況で難しいです
集落でよく聞こえる日の状況は　曇天　集落では風が弱い（その時は山では吹いているのでしょう）“
“2023/1/22 付けのメール
宇山様
お世話になり有難うございます
文中の㈱シーテックの稼働中の１９基の事業所名は「ウィンドファーム笠取」です
騒音は現在大きなスイング音が平木集落に届いています
よく聞こえるときは　ジェット機音のように聞こえます
シーテックを基準にすると、ＧＰＩの計画は離隔が近い　４２００KWとシーテックの２．１倍大きいですので建設は危険と考えます

シーテック 28 基の事業名は　「ウィンドパーク布引北」　さるびの温泉から名阪道の加太町にかけて
評価書に進んでいるようです
私は準備書に自分の地域の事業のようにウィンドパーク布引北の関係地区と共に参加しました
行政に一緒に出向きました
まずはお礼まで“
と言っています。



とりあえず、“評価の目安となる値”＝“指針値”が決まったとしましょう。
　指針値は、目安であって、これを越えても風車停止などの処分や罰金などはありません。さらに、指針値を越えなくても被害がでるようです。

- 騒音については、感じ方に個人差があること、地域によって風力発電施設の立地環境や生活様式、住居環境等が異なることから、評価の目安になる値を超えない場合であっても、地域の音環境の保全に配慮し、可能な限り風車騒音の影響が小さくなるように、事業者は対策を講ずるよう努めることが大切.

何のための“指針値”なのでしょうか？
一応、業者は予測段階での準備書などには“予測では指針値を越えません”と書くようです。

予測の数値（下関市安岡沖洋上風力発電プロジェクト）

騒音調査の調査結果と予測結果

騒音調査の調査結果と予測結果

地点	現況実測値(L_{Aeq}) 平日 昼間	現況実測値(L_{Aeq}) 平日 夜間	現況実測値(L_{Aeq}) 休日 昼間	現況実測値(L_{Aeq}) 休日 夜間	風車（15基）からの騒音レベル（予測値）	予測結果(L_{Aeq})（合成値） 平日 昼間	予測結果(L_{Aeq})（合成値） 平日 夜間	予測結果(L_{Aeq})（合成値） 休日 昼間	予測結果(L_{Aeq})（合成値） 休日 夜間	現況実測値と予測結果の差 平日 昼間	現況実測値と予測結果の差 平日 夜間	現況実測値と予測結果の差 休日 昼間	現況実測値と予測結果の差 休日 夜間
吉見漁港	47	40	47	38	22	47	40	47	38	0	0	0	0
福江	44	40	43	39	22	44	40	43	39	0	0	0	0
安岡町	49	40	48	42	27	49	40	48	42	0	0	0	0
横野町	46	41	46	42	34	46	42	46	43	0	1	0	1
村崎ノ鼻	48	40	49	44	37	48	42	49	45	0	2	0	1
安岡漁港	46	36	46	37	34	46	38	46	39	0	2	0	2
下関工業高校周辺	55	48	50	45	27	55	48	50	45	0	0	0	0
安岡海岸	50	49	45	43	31	50	49	45	43	0	0	0	0
綾羅木新町	42	34	44	35	25	42	34	44	35	0	0	0	0
綾羅木南町	48	42	46	40	24	48	42	46	40	0	0	0	0
武久･新垢田西線	48	42	48	42	11	48	42	48	42	0	0	0	0

単位：dB

環境省「平成23年度風力発電施設の騒音・低周波音に関する検討調査業務」より
『現況より3dB増まで許容する』ということは、現況と同じレベルの排出を認めても、3dB程度ならば、人は知覚しにくいとのことによります。

村崎ノ鼻の平日、夜間で 40ｄＢ風車からの騒音レベル 37 ですから、合成は

エネルギー（パワー）和
ｄＢの和

L_1 dB･･･ L_n dBの和 L dBは下式となる.

$$L = 10\log\left(10^{\frac{L_1}{10}} + \cdots\ 10^{\frac{L_n}{10}}\right)$$

注釈.
・５０ｄＢと５０ｄＢのエネルギー和は５３ｄＢ.
→ 同じ機械が2台あると騒音レベルは3dB大きくなる.
・５０ｄＢと６０ｄＢのエネルギー和は６０ｄＢ（６０．４ｄＢ）.
→対象騒音と暗騒音の差が10dB以上あると暗騒音補正は不要.
・Log2=0.3は覚えておくと便利.

43

より、10*log(10^(40/10)+10^(37/10))=41.76≈42　となるので、予測結果の合成値が 42ｄＢになっています。

風車建設の前後の比較をしてみます。(風力発電サイトにおける事後調査報告)
ここでは、指針値ではなく環境基準の数値が示されている。それは、

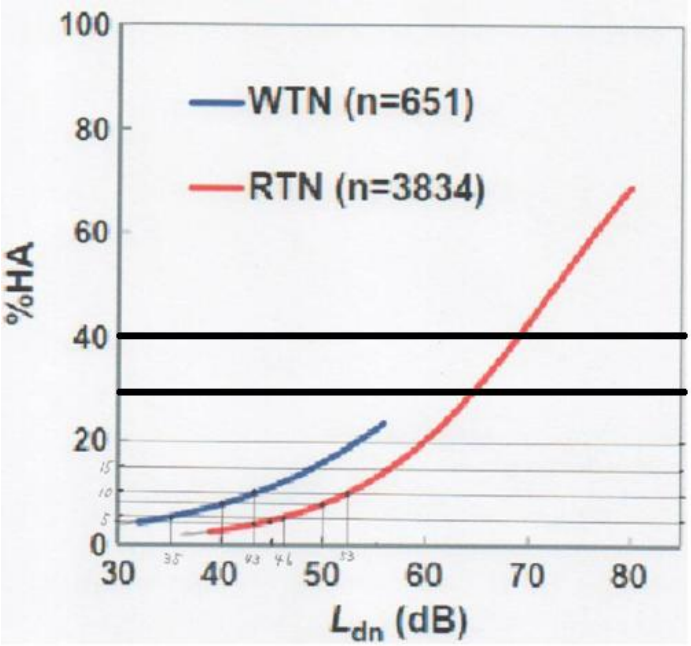
地域の類型	基準値	
	昼間	夜間
ＡＡ	５０デシベル以下	４０デシベル以下
Ａ及びＢ	５５デシベル以下	４５デシベル以下
Ｃ	６０デシベル以下	５０デシベル以下

（注）
1　時間の区分は、昼間を午前６時から午後１０時までの間とし、夜間を午後１０時から翌日の午前６時までの間とする。
2　ＡＡを当てはめる地域は、療養施設、社会福祉施設等が集合して設置される地域など特に静穏を要する地域とする。
3　Ａを当てはめる地域は、専ら住居の用に供される地域とする。
4　Ｂを当てはめる地域は、主として住居の用に供される地域とする。
5　Ｃを当てはめる地域は、相当数の住居と併せて商業、工業等の用に供される地域とする。

の数値です。次の表は数値の示す内容です。

うるさい	かなりうるさい。かなり大きな声を出さないと会話ができない	７０db	・騒々しい事務所の中 ・騒々しい街頭 ・セミの鳴き声（２m） ・やかんの沸騰音（１m）
	大きく聞こえ、うるさい。声を大きくすれば会話ができる	６０db	・洗濯機（１m） ・掃除機（１m） ・テレビ（１m） ・トイレ（洗浄音） ・アイドリング（２m） ・乗用車の車内
普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	５０db	・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（１m）
	聞こえるが、会話には支障なし	４０db	・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅地の昼
静か	非常に小さく聞こえる	３０db	・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	２０db	・ささやき ・木の葉のふれあう音

“うるささ”という観点での被害を示す数値ですが、“不快である”との観点でこの数値を見直すと、交通騒音での影響と風車音での影響には違いがある。数値が同じでも、風車音の場合の方が“不快である”と感じる割合が多いのです。



“うるさい”ならば、防音窓が有効ですが、低周波音や超低周波音はエネルギー透過率が高いので二重窓を設置しても、“不快感”の減少とはなりません。

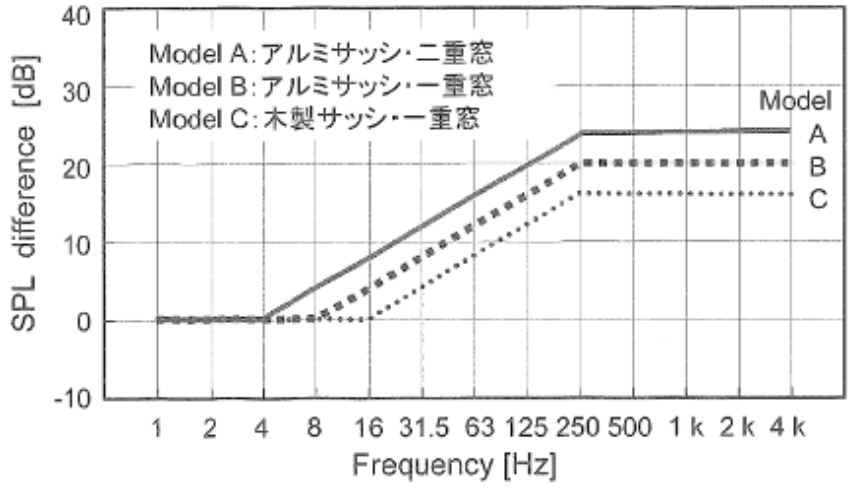


図 4 開口部構造別のハウスフィルター・モデルの案

これを考えれば、“二重窓にしてあげたのに、まだ文句を言いう。”と言って被害者を非難するのは間違いだという事が分ります。

では、建設前と建設後の数値を検討します。

（風力発電サイトにおける事後調査報告）には、次の表があります。

3-6）事前、事後の比較（騒音）

調査地点(風車までの距離)	時間区分	事後調査結果 1日目	2日目	3日目	風車設置前の調査結果（平成17年） 通常時	強風時	環境基準（B類型）
T1 (350m)	昼間	53dB	52dB	50dB	50dB	55dB	55dB
	夜間	45dB	39dB	43dB	42dB	※59dB	45dB
H1 (400m)	昼間	49dB	50dB	—	42dB	※56dB	55dB
	夜間	※46dB	41dB	—	42dB	※55dB	45dB
M2 (470m)	昼間	45dB	41dB	43dB	39dB	52dB	55dB
	夜間	※46dB	36dB	44dB	36dB	※59dB	45dB
N1 (680m)	昼間	43dB	51dB	45dB	45dB	※59dB	55dB
	夜間	※48dB	41dB	34dB	42dB	※53dB	45dB

・調査員を配置して、音源識別を実施。
・（※）を付した箇所は環境基準を超過 。風雑音、波音、犬の鳴き声等影響あり。

M2 の夜間の 1 日目では、46ｄB であり、残留騒音を 36ｄB とすると、指針値は 41ｄB です。指針値も、環境基準の 45ｄ も越えています。45ｄB の意味は、交通騒音などで考えると、

普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	５０db	・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（１m）
	聞こえるが、会話には支障なし	４０db	・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅地の昼

であり、“うるささ”で考えても寝やすいわけではありません。“不快感”で考えると、
46ｄB の場合は、

%HA	風車騒音	交通騒音	差
30%	60dB	64dB	4dB
20%	53dB	60dB	7dB
10%	43dB	53dB	10dB
8%	40dB	50dB	10dN
5%	35dB	46dB	11dB
4%	30dB	43dB	13dB

“非常に不快である”と感じる人の割合は、交通騒音では 5%程度ですが、風車音では 15%程度だと考え

られます。

さらに、問題が残ります。　この 46ｄＢは、ピーク値での大きさを示すものではありません。

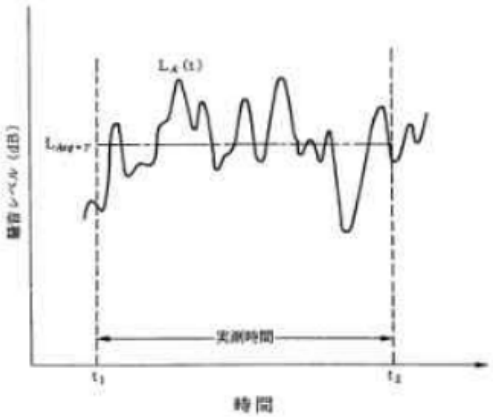
例えばL_{Aeq}（等価騒音レベル）の意味は

等価騒音レベルL_{Aeq}(10min)　（ｄＢ）

equivalent continuous A-weighted sound pressure level

・騒音レベルが時間とともに変化する場合、測定時間内でこれと等しい平均二乗音圧を与える連続定常音の騒音レベル（変動騒音と等しいエネルギーを持つ同じ長さの定常音で表す）.
・騒音測定時間全体にわたり、一定時間間隔ごとに騒音レベルを測定、下式から求める.

$$L_{Aeq}=10\log_{10}\left[\frac{1}{t_2-t_1}\int_{t1}^{t2}10^{\frac{L(t)}{10}}dt\right]$$



注釈1. 等価騒音レベルはサンプル値のエネルギー平均値（dBの平均）.
注釈2. サンプリングの時間間隔は、騒音計の動特性ＦＡＳＴ（時定数：0.125秒）を用いる場合、0.25秒以下、ＳＬＯＷ（時定数：1秒）の場合、２秒以下が望ましい（JIS Z 8731より）.
現在、市販騒音計の大部分は0.1秒以下の時間間隔でサンプリングしている.

46

注釈1. 時間間隔T（t_1～t_2）[s]の騒音レベルのサンプル値$L_{A,i}$（サンプル数N）から、等価騒音レベル$L_{Aeq,T}$を求める場合には、次式による.

$$L_{\mathrm{Aeq},T}=10\log_{10}\left(\frac{\Delta t}{T}\sum_{i=1}^{N}10^{\frac{L_{\mathrm{A},i}}{10}}\right)=10\log_{10}\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}10^{\frac{L_{\mathrm{A},i}}{10}}\right)$$

ここに、iは騒音レベルのi番目の瞬時値を表す添え字、Dtはサンプリング間隔[s]、Nはサンプル数.

であり、右上の図から明らかなように、ピーク値よりは低いのです。

工場の騒音は安定していますが、風車音は風速で変化します。

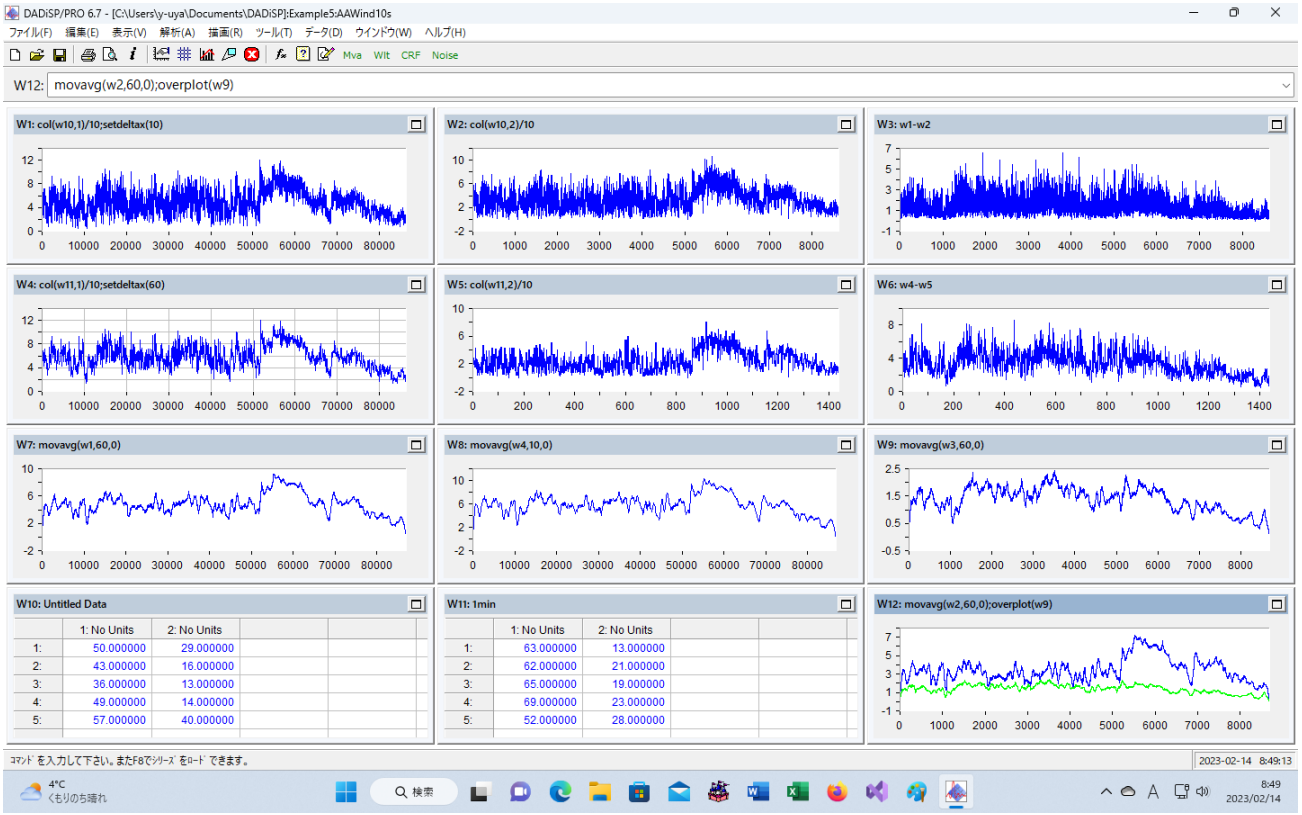
風の性質について、

次の表は、気象庁が計測したデータを、気象業務支援センターから入手したものです。

年	月	日	時	分	秒	前10秒間最大瞬間風速	前10秒間最小瞬間風速	前10秒間風程
						0.1m/s	0.1m/s	
2019	2	2	0	12	40	147	124	132
2019	2	2	0	12	50	146	107	131
2019	2	2	0	13	0	122	82	102
2019	2	2	0	13	10	105	65	83
2019	2	2	0	13	20	112	71	82

（前 10 秒間風程は、10 秒間に風が進む行程を意味します。132 は秒速 13.2ｍの風速です。）
風速も風向も不安定なのです。

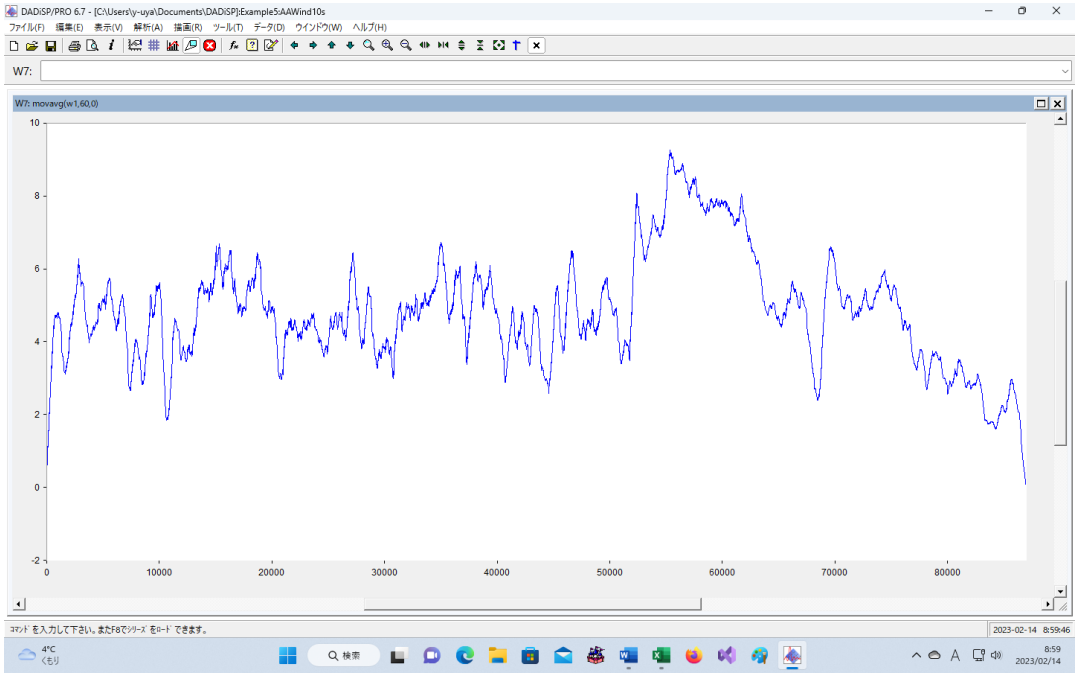
風の強さの変動：



（上のグラフは、2019 年1月１日の24時間分の記録です。）

W1（上段左）は、前 10 秒間最大瞬間風速の値（10 秒ごと）、
w2（上段中央）は、前 10 秒間最小瞬間風速の値（10 秒ごと）、
w4（2段目左）は、最大瞬間風速（3秒間移動平均）の値（1分ごと）、
w5（2段目中央）は、最小瞬間風速(3 秒間移動平均) の値（1分ごと）、
です。

w1の移動平均をとると、



となります。

ピーク値は、2820，5640，6780，10070、15030、16310、18720、、、秒の辺りです。

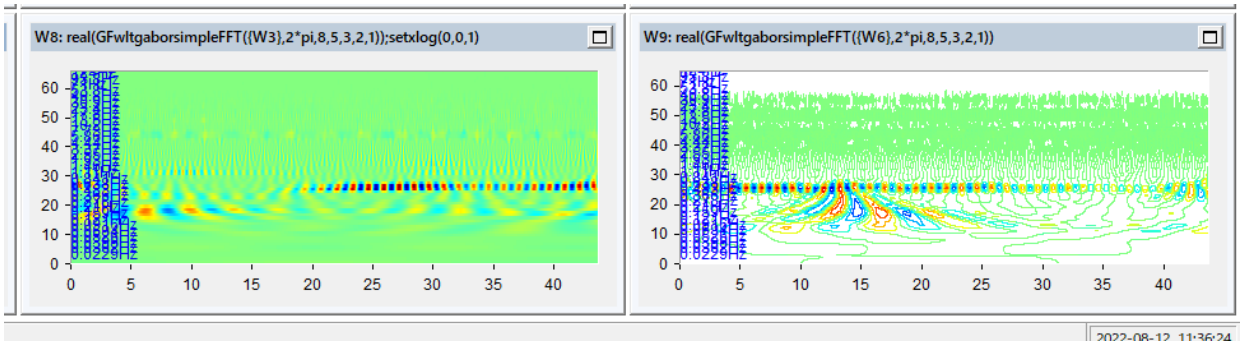
秒	分	経過（分）
2820	47	
5640	94	47
6780	113	19
10070	168	55
15030	251	83
16310	272	21
18720	312	40

上の表を見れば、1時間に1回くらい風車に強い風が当たることが分かります。

　強い風が当たれば、揚力ベクトルが大きくなり、風車の振動も大きくなります。その結果風車から発生する音も大きくなります。

揚力ベクトルの大きさは、風速の2乗に比例します。風速が2倍になれば、揚力ベクトルの大きさは4倍になります。塔の側面の振幅も大きくなるので、風車音の音圧も大きくなるのです。

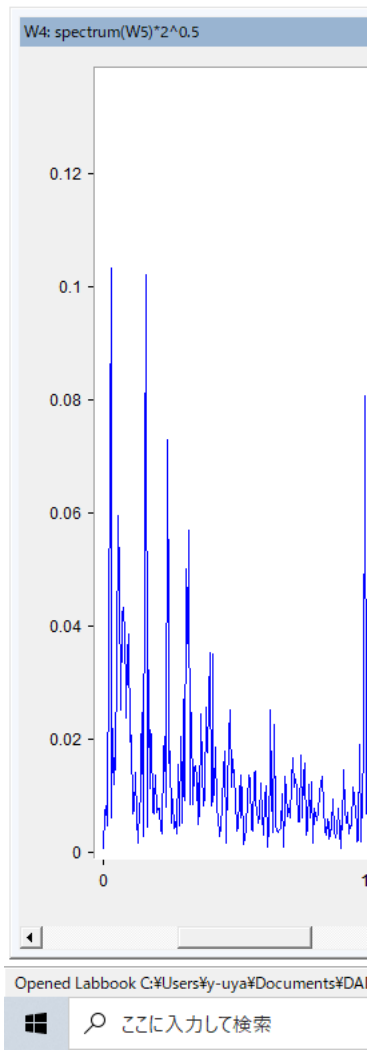
Wavelet 解析の結果として、0.8Hz の成分の周波数が時間的に安定していることも分かります。



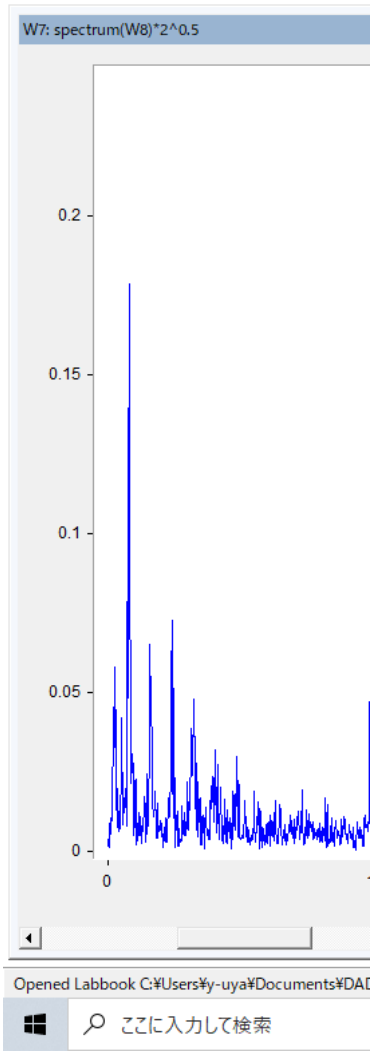
色の濃い部分は音圧が高く色が薄い部分は音圧が低いことを意味しています。0.8Hz を示す色の濃い帯があるが、風速の変化で色の濃さが変わります。色の濃い部分は 30 秒くらい継続します。

周波数は 0.7Hz～0.9Hz の辺りで、かなり安定しているのですが、音圧はかなり変化します。

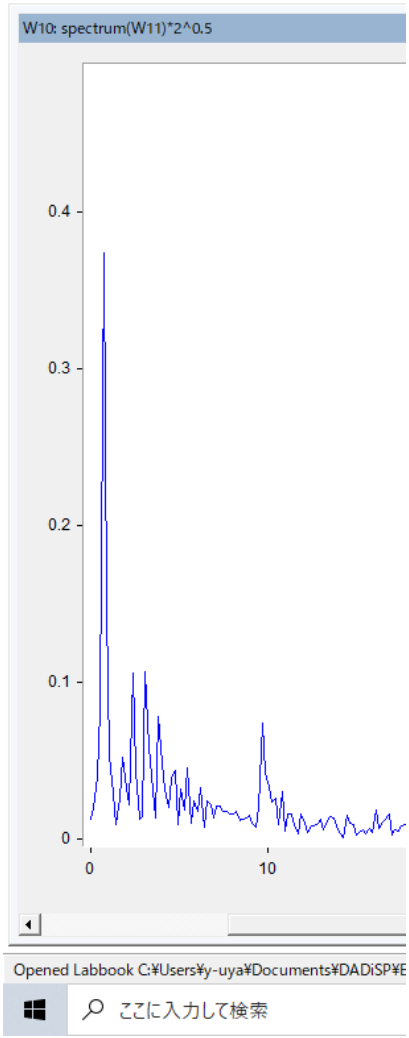
音圧の変化は、次の様になっています。



0.104Pa



0.175Pa



0.37Pa

周波数スペクトルでの、0.8Hz 成分の音圧は平均すると 0.175Pa、弱いときは 0.104Pa、強いときは 0.37Ｐａです。強いときは、平均の２倍程度の音圧になっています。

この数値は、風車のすぐ近くで計測したものです。　平均して、0.175 パスカルの音圧で、A 特性音圧レベル（20Hz～）が評価されていて、指針値での限界にかなり近い場合において、１時間に１回くらい、平均値の２倍程度の音圧になる状態が起きるのです。

f	p	dB	1.4*p
16	0.009876	53.871051	0.0138264
32	0.006207	49.837249	0.00869
64	0.003901	45.803447	0.0054617
128	0.002452	41.769645	0.0034327

風車から離れた住宅で、46ｄＢだと、音圧は0.004Pa程度ですが、風速が大きくなって風車の音の音圧が２倍になると、音圧レベルは52ｄＢとなります。

１時間に１回くらいは、52ｄＢの音を経験することになります。

普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	５０db	・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（１m）

と

%HA	風車騒音	交通騒音	差
30%	60dB	64dB	4dB
20%	53dB	60dB	7dB
10%	43dB	53dB	10dB
8%	40dB	50dB	10dN
5%	35dB	46dB	11dB
4%	30dB	43dB	13dB

を考えれば、１時間に１回くらいは、20%の人が“非常に不快である”と感じるような状態になるという事です。

これは、20%の人は１時間ごとに目覚まし時計が鳴るような状態に置かれると言う事です。いくら目覚まし時計が鳴っても、起きない人もいますが、普通の人は目が覚めます。

そして、風車音の被害

“今陸上風車から約２キロのところに住んでいますが、騒音で眠れない、起こされる日が年に何十日もあります。中心市街地から近い場所に建てることは公害となる可能性があり問題です。

大型の風車の音はどこまで聞こえますか。聞こえないくらい離すべきです。騒音規制ギリギリでは被害が出ているので、聞こえない位置まで離さなければなりません。促進区域の時点で遠くへ設定しなければ、事業者公募で否定できませんよね。事業者は何かと理由をつけて対応しません。結局市役所にクレームが行くのではないですか。一度決めたことは後戻りできないのでしょうから、今遠くへ設定すべきと考えます。もちろん地球温暖化対策は大切ですが、普通の住宅街に住んでいる人に健康への影響を出してまで推し進めるものではないのではないでしょうか。苦しんでいる人を切り捨てないよう、切にお願いします。“

が起きるのです。

さて、

・調査員を配置して、音源識別を実施。
・（※）を付した箇所は環境基準を超過 。風雑音、波音、犬の鳴き声等影響あり。

の部分は、正確な周波数スペクトルと見れば、風車からの超低周波音なのか、風雑音なのか、波音なのか、犬の鳴き声なのかはすぐに分かります。データを隠して、誤魔化してはいけません。

これで、

- 騒音については、感じ方に個人差があること、地域によって風力発電施設の立地環境や生活様式、住居環境等が異なることから、評価の目安になる値を超えない場合であっても、地域の音環境の保全に配慮し、可能な限り風車騒音の影響が小さくなるように、事業者は対策を講ずるよう努めることが大切.

指針値を越えなくても被害が出ることの原因が明確になりました。対策として考えられるのは、風車の撤去、夜間の運転禁止、垂直軸の風車に建て替える。くらいです。他に名案があるのでしょうか？

- 本指針は、風力発電施設から発生する騒音等に関する検討を踏まえて設定したものであるため、その他の騒音の評価指標として使用することはできない.

- 本指針は、必要に応じて改定する.

とありますが、

風車騒音の評価値としても、使い物になりません。すぐに改訂すべきです。

この文章の意味は、環境基準にすると、行政の責任も発生するし、行政が計測をすることになれば、そのデータが公開され、分析結果も明らかになる。

環境基準値にしたのでは、行政による規制が入ります。その値を超えれば責任問題となり裁判で負ける可能性が高くなります。

未然に防止するためだとは言いますが、本当に、未然に防止するつもりがあるならば、行政が被害の発生を防止するために参加するのは当然です。そして違反している風車は撤去するのが当然です。

でも、環境基準値とはしないのです。この主張は、風車騒音（0Hz 以上）は規制しないとの宣言なのです。

環境基準との関係 ii

騒音に係る環境基準の類型指定がなされており、風力発電施設が設置されている地域においては、

一般的な騒音に対しては引き続き当該環境基準に基づき生活環境を保全し、人の健康を保護するための施策を講じるとともに、

風力発電施設から発生する騒音については、本指針に基づき、未然防止の観点から、当該地域の状況に応じた具体的な対策等が講じられるように努められたい.

注記. 諸外国においても、環境騒音に関する評価値とは別に、風車騒音に関する評価値を定めている事例が多数存在する.

もし、指針値が役に立つならば、

“指針値を超えなければ、被害は出ません。どの地域でも、風車騒音が指針値以下になるようにして下さい。”
と書けるはずです。

風力発電施設から発生する騒音については、本指針に基づき、未然防止の観点から、当該地域の状況に応じた具体的な対策等が講じられるように努められたい.

との記述は、

当該地域の住民が、正しい知識を集めて、業者の誤魔化しを見破る力を身に着ければ、当該地域の情況に応じた具体的な対策が講じられることになる。

と言う意味です。

行政は、住民に対して力を貸さない場合が多いです。騒音（0Hz 以上）計測に協力してくれない県や市も多いです。基準値ではないので、行政は介入できないと言う形なのです。
行政が住民の見方になれないようにしてあるのです。

この指針値が提唱された理由の一つが、風車騒音は、交通騒音などの一般騒音との違いが無い。
と言う理由でした。それがあるから、A 特性音圧レベル（20Hz～）を採用したのです。
その他の騒音の評価指標として使用できないならば、風車騒音とをの他の騒音には質的な違いがあって、A 特性音圧レベル（20Hz～）が同じ値でも、被害状況は全く異なると言う事になります。

“指針値を超えなければ、被害は出ません。どの地域でも、風車騒音が指針値以下になるようにして下さい。”との説明があれば、業者も楽です。

- 騒音については、感じ方に個人差があること、地域によって風力発電施設の立地環境や生活様式、住居環境等が異なることから、評価の目安になる値を超えない場合であっても、地域の音環境の保全に配慮し、可能な限り風車騒音の影響が小さくなるように、事業者は対策を講ずるよう努めることが大切.

これにまともに対応したら、住民個々の風車音に対する感受性を計測してそれに踏まえた数値を考える必要が出てきます。もちろん実験室で 0.2Hz、0.5Ｈｚ、1Ｈｚの音を聞かせて実験することは不可能です。
この周波数の音を出せるスピーカーが存在しません。風車音に対する住民の感じ方の内容を、業者が把握できません。これでは、どんな風車を建てたら良いのか分かりません。

さらに、建設後の計測は次の形で行われます。

平成２９年５月　環 境 省
風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル

3.2 騒音の測定機器

(1) 騒音計（サウンドレベルメータ）

本マニュアルにおける風車騒音の測定には、計量法第 71 条の条件を満たし、**JIS C 1509-1** の仕様に適合する騒音計（サウンドレベルメータ）で、以下の機能を備えているものを使用する。

(2) ウインドスクリーン（防風スクリーン）

風車の有効風速範囲の風況下で騒音を測定する際には、一般的に用いられる直径 10 cm 以下のウインドスクリーンでは、風雑音を十分に低減することはできない。風雑音の影響を低減するためには、より大型の、全天候型のウインドスクリーンを使用する必要がある。

風の影響が大きい場合には二重のウインドスクリーン等の、より性能の良いウインドスクリーンを使用する。

（注） **二重ウインドスクリーン等を使用しても風雑音を十分に除外できない場合には除外音処理を行い、風雑音の影響範囲を除外する等の対応が必要である。**

としています。

二重防風スクリーンの効果は、平成２２年度　移動発生源の低周波音等に関する検討調査等業務報告書の付録には、次の様に書いてあります。

『風切音低減・防水性・音響透過性』の３拍子揃った
風力発電用の専用ウインドスクリーン

【新開発】

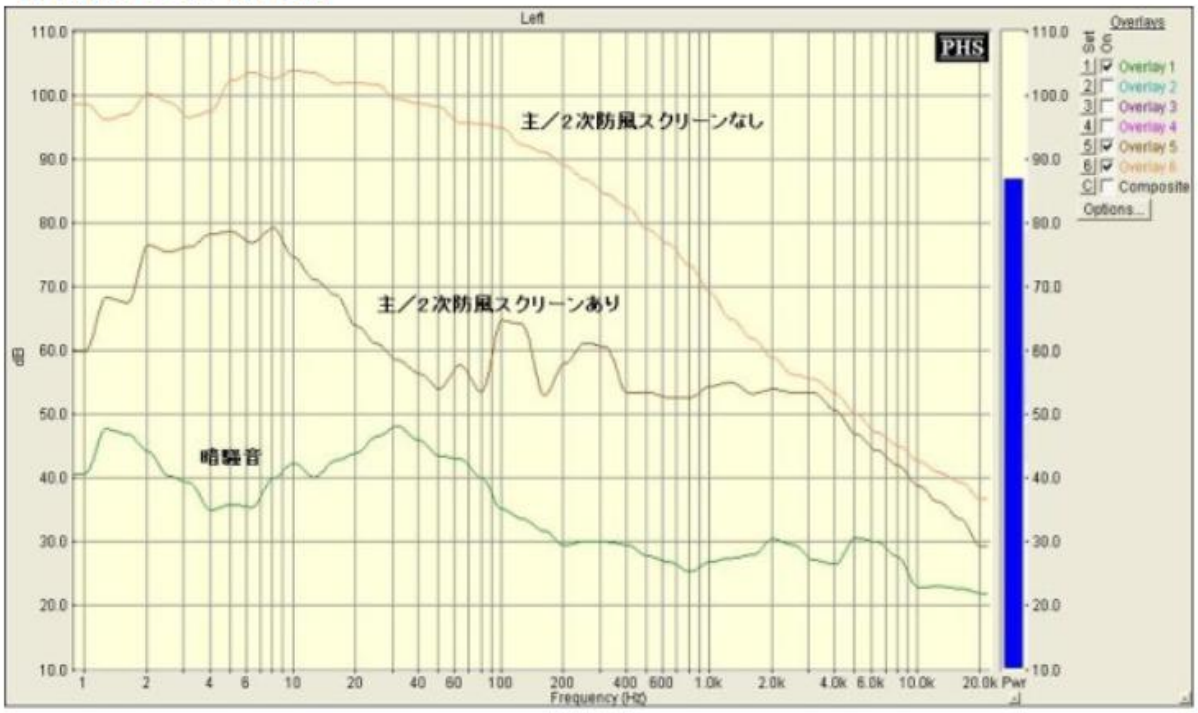
風力発電用全天候ウインドスクリーン NA-0380

定価

240,000円

２次防風スクリーン Φ460×230(H)
主防風スクリーン Φ90半割内蔵
組　　立　：簡易取り付け方式（約10分）

【風切音減少効果】



1Hz の辺りで、38ｄＢ程度の差があります。
二重防風スクリーンを付けて計測した結果は、実際の音圧の 1/3～1/100 程度の数値として観測されます。これでは、被害の原因が不明となるのは当然の結果です。

さらに、指針値、参考値、参照値には大きな問題があります。それは基準値でも許容限度でも、受忍限度でもないという事です。

風力発電施設から発生する騒音に関する指針について　の【別紙】に
“風力発電施設から発生する騒音等に関して、騒音問題を未然に防止するための参考となる
指針を次のとおり定める。”
“５．注意事項
本指針の適用に当たっては、以下の点に注意すること。
○ 本指針は、騒音に関する環境基準、許容限度や受忍限度とは異なる。
○ 測定方法が異なる場合、測定結果を単純に比較することは出来ない。
○ 本指針は、風力発電施設から発生する騒音等に関する検討を踏まえて設定したもので
あるため、その他の騒音の評価指標として使用することはできない。

とあるが、

環境基準ならば、
１ 環境基準は、次に定める達成期間でその達成又は維持を図るものとする。
（１）道路に面する地域以外の地域については、環境基準の施行後直ちに達成され、又は維持されるよう努めるものとする。
（２）既設の道路に面する地域については、関係行政機関及び関係地方公共団体の協力の下に自動車単体対策、道路構造対策、交通流対策、沿道対策等を総合的に実施することにより、環境基準の施行後１０年以内を目途として達成され、又は維持されるよう努めるものとする。
ただし、幹線交通を担う道路に面する地域であって、道路交通量が多くその達成が著しく困難な地域については、対策技術の大幅な進歩、都市構造の変革等とあいまって、１０年を超える期間で可及的速やかに達成されるよう努めるものとする。
その実現の為に、誰がどの様に努力すべきかが示されている。行政機関もその責任の一端を負っている。

許容限度ならば、
自動車騒音の大きさの許容限度 【英】Permissible Limit of Automobile Noise
解説
自動車による騒音を低減するために、環境大臣が騒音規制法（1968）に基づき定める規制値。1971 年に設定された。
車種毎に、定常走行騒音、近接排気騒音及び加速走行騒音について、それぞれ規制値が定められている。自動車騒音の規制は、環境大臣がこの許容限度を定め、国土交通大臣がこの許容限度が確保されるよう考慮して道路運送車両法（1951）に基づく保安基準で必要な事項を定めることにより行われている。
現在定められている許容限度は世界的に見ても最も厳しい数値と言われている。

この数値を超える音を出す車は道路を走行できない。

受忍限度ならば、
騒音に関する代表的な法律には下記のようなものがあります。いずれの法律を適応するにしても、対象の騒音が受忍限度を超えているか（耐え難いものであるかどうか)、また客観的な騒音値としての証拠があるかが争点となります。
軽犯罪法（刑法）
軽犯罪法とは軽微な秩序違反行為に対して刑を定める法律です。軽犯罪法には具体的に３３の行為が罪として定められており、そのうちの一つに以下のように「騒音」に対して定めたものがあります。
十四（静穏妨害の罪）公務員の制止をきかずに、人声、楽器、ラジオなどの音を異常に大きく出して静穏を害し近隣に迷惑をかけた者
区分所有法（民事法：通称マンション法）
マンションなどの集合住宅における共同生活のための権利関係について定めた法律です。同法律は簡単に言えば集合住宅に居住する人は他の居住者（区分所有者全体）の「共同の利益」に反する行為をすることを禁止しています。
（区分所有者の権利義務等）
第６条 区分所有者は、建物の保存に有害な行為その他建物の管理又は使用に関し区分所有者の共同の利益に反する行為をしてはならない。
共同の利益に反する行為とは下記のようなものを言います
（１）建物の不当な毀損行為
（２）建物の不当な使用行為
（３）建物の不当な外観変更行為
（４）居住者のプライバシー侵害やニューサンス（騒音・振動・悪臭など）に該当する行為
各地方自治体による条例
各地方自治体では「生活環境保全に関する条例」を定めています。これらの条例では生活環境に関する規則、指針や基準を定めています。例えば横浜市の「生活環境の保全などに関する条例」の別表１３では下記のように騒音の規制基準が定められています。
これを超えている場合には、きちんと計測して裁判をすれば勝てます。

指針値はどうか、
指針値を超えても、行政からの指導は無い。
指針値では、風車騒音と交通騒音との被害状況に関しての比較が困難。
業者は、風車騒音をどこまで下げたら、住民に被害が出ないかが分からない。
参照値での物的苦情や不快感に関する議論を抑え込む。
この値を決めた検討会の内容に問題が多い。

この数値が役に立つのは、住民からの被害の訴えを抑え込む時だけです。
“風力発電施設から発生する騒音等に関して、騒音問題を未然に防止するための参考となる指針を次のとおり定める。”
と言っても、法的な規制では無いのです。

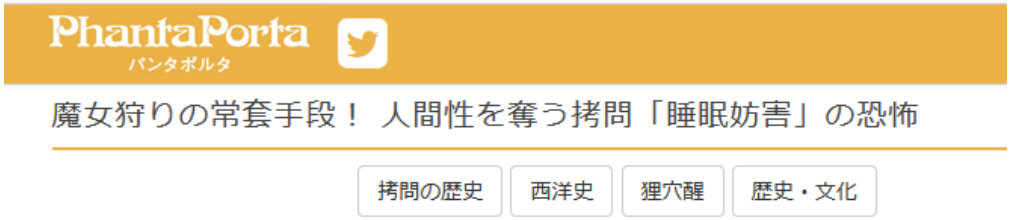
指針値は、

企業活動を優先して首都圏の電力を確保し、住民の被害を無視して被害を拡大させて地域社会の崩壊を目指すための数値なのです。

６．１１　安眠妨害による健康影響

安眠が妨害される要因としては、“音がうるさい”、“圧迫感や不快感がする”、“頭痛がする”、“振動を感じる”などがあります。

安眠妨害は、拷問の手段なのです。睡眠妨害が拷問の技法であることは、昔から知られています。



今回は道具を使わず、眠りを妨げることで犠牲者を従わせる「睡眠妨害」の拷問を紹介します。

嘘の自白、精神異常、果ては死……睡眠妨害の末路

眠りによる休息は、あらゆる生物にとって必要不可欠なものです。それだけに、睡眠の妨害は非常に効果の高い拷問となりえます。

睡眠妨害の拷問は古くから行われていましたが、古代や中世では拷問に残酷さが求められたためあまり目立っていませんでした。しかし、近世以降になると盛んに用いられるようになります。

睡眠妨害のうちもっとも原始的な拷問はなんでしょう？

それは、24 時間体制で見張りをつけて眠らせないようにしておくというものです。犠牲者は監房に閉じ込められ、居眠りをすれば執行人に棒でこづかれます。その状態で歩き続けなければならないこともありました。もちろん飲食は最低限だけ、または禁止です。

こうして長時間眠れずにいると、犠牲者の精神は追い詰められ、誘導尋問に乗りやすくなりますし、無実であっても言われた通りのことを自白してしまいます。

また限界に達すれば精神に異常をきたすこともあり、方法によっては死んでしまうことすらありました。

こうした睡眠妨害は、犠牲者の身体に傷が残りにくいことから、現代でも密かに行われ続けているといいます。

睡眠は、健康な生活にとって極めて重要なのです。

疲労物質と睡眠

疲労とは？疲労の原因と回復方法

公開日：2016 年 7 月 25 日　12 時 00 分

更新日：2019 年 8 月　5 日　15 時 59 分

疲労とは

疲労は「疲れ」とも表現され、痛みや発熱と同様に「これ以上、運動や仕事などの作業を続けると体に害が及びますよ」という人間の生体における警報のひとつです。疲労は、人間が生命を維持するために身体の状態や機能を一定に保とうとする恒常性（ホメオスタシス）のひとつとして、痛みや発熱などと並んでそれ以上の活動を制限するサインとして働いています。

疲労の定義

日本疲労学会では、「疲労とは過度の肉体的および精神的活動、または疾病によって生じた独特の不快感と

休養の願望を伴う身体の活動能力の減退状態である」1)と定義されています。疲労は、心身への過負荷により生じた活動能力の低下のことを言い、思考能力の低下や、刺激に対する反応の低下、注意力の低下、注意散漫、動作緩慢、行動量の低下、眼のかすみ、頭痛、肩こり、腰痛などがみられます。

疲労の原因

自律神経の中枢部では、身体の器官や組織の調節を行い、絶えず生命維持のための身体機能を一定に保っています。運動時には、運動強度や体調に応じて呼吸や心拍、体温などの機能の調節を行っており、身体へかかる負荷に合わせて生体機能のコントロールを行う自律神経の中枢も働き続けます。運動によって体にかかる負荷が大きくなるほど、自律神経の中枢にかかる負荷も大きくなり、自律神経の中枢がある脳がダメージを受けることで疲労が起こるとされています。

疲労を起こすのは活性酸素による酸化ストレスで､神経細胞が破壊されるからであると考えられています。運動などのエネルギーをたくさん使う活動では、酸素が多く消費されるとともに活性酸素も多量に発生します｡活性酸素が発生すると､活性酸素を分解して体内から除去する抗酸化酵素が働くようになっていますが、発生する活性酸素の量が抗酸化酵素の働きを上回ると自律神経の細胞や筋肉が活性酸素によって攻撃されて疲労へとつながります。

加齢や紫外線を浴びることは活性酸素の影響を受けやすくなるため、疲労が起こりやすくなります。睡眠障害や睡眠時無呼吸症候群も疲労を蓄積させる原因となることが言われています。

乳酸は疲労物質か？

「乳酸は疲労物質」という考え方がされていましたが、現在では乳酸が疲労を起こす物質であるという考えは間違いであるとされています。疲労した筋肉では乳酸の濃度が高くなり、筋肉のパフォーマンス低下がみられるけれども、乳酸がパフォーマンスの低下をもたらすのではないとされています 2)3)。

最新の研究では、高負荷の運動時に、糖質がエネルギーとして使われる際に乳酸が産生され、筋肉の細胞のエネルギー源として再利用されることがわかっています。運動中の脳内でも神経細胞のエネルギー源として乳酸が働くことも確認されています 2)。

疲労と病気

疲労によって身体の機能を一定に保つ恒常性が乱れると自律神経失調症の症状がみられるようになります。疲れが蓄積すると防衛反応としてステロイドホルモンが分泌されます。ステロイドホルモンが多量に分泌されると､血管の老化による動脈硬化やインスリン抵抗性による高血糖･肥満などのリスクが高まり､高血圧、糖尿病、脂質異常症などの生活習慣病、メタボリックシンドロームにかかりやすくなって心筋梗塞や脳梗塞などの原因となります。ステロイドホルモンは免疫を下げる作用もあり、さらに疲労が蓄積することで免疫系が働きにくくなり、がんの進行から身体を守る防衛機能も低下します。

疲労の回復方法

良質な睡眠をとることが疲労回復に最も効果的であるとされています。1 日 3 食のバランスのとれた食事を摂り、生活リズムを整えること、食事は眠る時間の 3 時間前に済ませておき、眠る 1～2 時間前に 8 分程度、38～40 度のぬるま湯にみぞおちの辺りまでつかることが質のよい睡眠を招きます。

との記事も公開されています。

健康

子供の成長

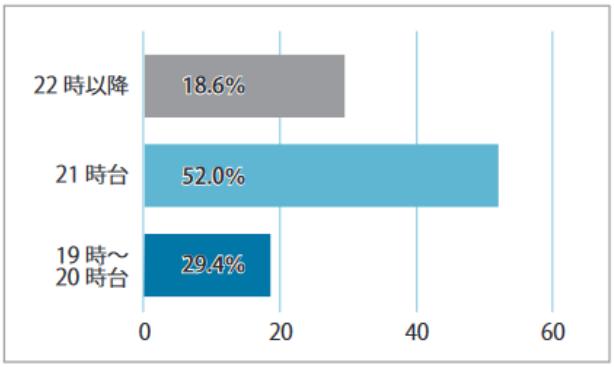
南房総市が 2021 年２月１１日に発行した、広報みなみぼうそう２月号には、次のように書かれている。

子どもの睡眠と成長ホルモン
～夜9時までに眠り、朝7時までに起きる～

健康だより
問 保健予防室 ☎ 36−1154

睡眠は子どもの成長に大きくかかわっています。３歳児健康診査状況からみると、南房総市では夜型の傾向が進んでいることが伺えます。子どもの成長には、食事や運動だけではなく、睡眠を意識した生活リズムを整えることが大切です。夜９時までに眠り、朝7時までに起きることが理想です。

身体の成長や健康の維持には、『成長ホルモン』と呼ばれるホルモンの働きが関与しています。『成長ホルモン』は①免疫力の増強、②筋肉の発達、③骨を伸ばす役割を担っています。睡眠時、とくに入眠直後の深い眠り（ノンレム睡眠）の間に多く分泌されます。



子どもの就寝時間
（令和２年度３歳児健康診査から）

睡眠の質を高めるために

◇朝起きたら太陽の光で体内時計をリセット

朝強い光を浴びることで、体内時計をリセットしてくれ、脳と体を目覚めさせます。まずは、朝早く起きることからはじめ、日中天気の良い日は外でたくさん遊ばせましょう。

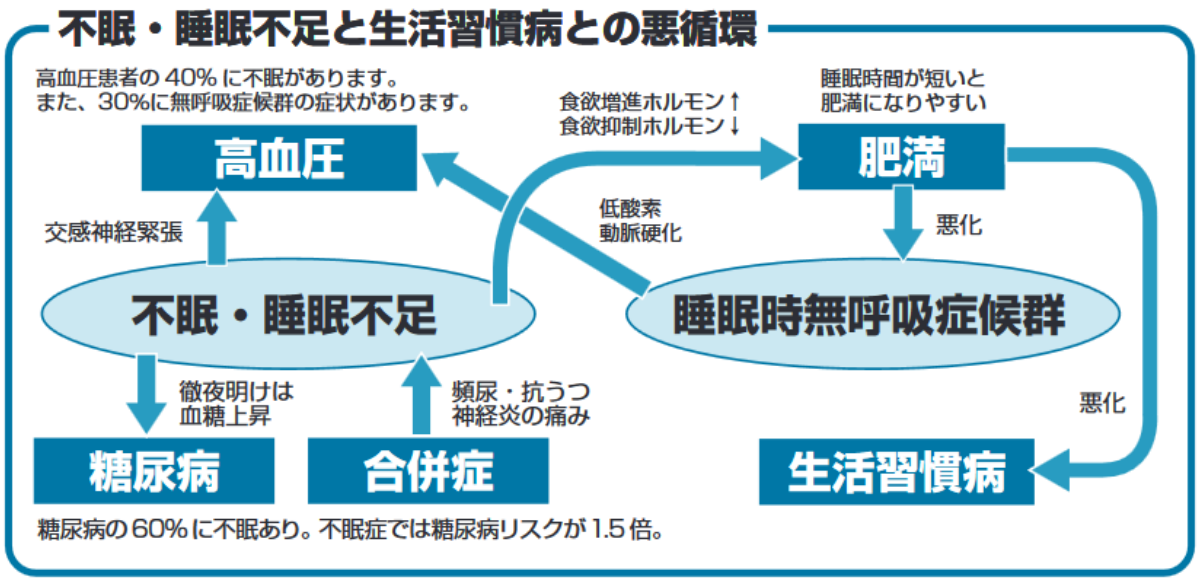
◇ブルーライトを遮断し、灯りは暗く

遅くまで、テレビ、ゲーム、スマホなどをしていると夜はなかなか眠れません。寝る前のテレビやスマホは避け、部屋の明かりを消して静かな環境を整えましょう。

◇休日でもいつもと同じ時間に起床する

休み前の夜更かし、眠れなかった分を補おうと休日に多く睡眠時間を確保すると、より生活リズムが崩れてしまいます。休日も平日と同じ時間に就寝・起床し、眠気がある場合は短時間の午睡を取り入れましょう。

子どもの夜型化には大人の生活習慣が影響を与えています。大人の生活習慣を見直すことが大切です。大人にとっても睡眠は重要です。睡眠不足は糖尿病や心筋梗塞などの生活習慣病や認知症のリスクを高めます。



騒音での不眠は、学生の成績にも大きく影響します。睡眠不足の生徒は授業中に居眠りします。それを教員に注意され､教員とのトラブルとなることも多い｡体力低下で体育の授業中の事故も増えると考えられる。この件数についての実態調査をする。
風車の近くに住む生徒の成績の分布､風車から10ｋｍ以上はなれたところに住む生徒の成績の分布を調査する。学校には、風車建設前の生徒の成績データが残っている。各家庭にも成績通知表が残っている。これを持ち寄れば、風車建設前と建設後の成績の変化が数値化できる。これらの値を、風車建設前と建設後で比較する。
睡眠不足の問題は、生徒の学力が低下となり、生涯賃金にも大きく影響する。先生に居眠りを注意されてトラブルを起こし、不登校になることも考えられます。
これが被害であることは明白です。
海に潜ってアワビを採る漁師にとっては、睡眠不足は命に関わる大問題です。夏の暑いときに畑で草取りをする人にとっても、体力不足での熱中症は命に関わる事柄です。トラックで荷物を運ぶ人にとっても、睡眠不足は交通事故に直結する重大問題です。
この常識を無視して、
“これらの音によりわずらわしさ（アノイアンス）を増加させ、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている。”と言われたら、“お前たちを拷問にかけてやる。”と宣言しているとしか思えません。いくら、環境省のお役人様が偉いといっても、このようなことは受け入れられません。
朝早くから、車を運転する人にとっては命に係わる重大な事柄です。居眠り運転は運転する人だけではなく、歩行者や、他の車を巻き込む事故の起きる可能性が大きくなります。
命に係わる事柄です。もちろん、騒音が１日だけとか、夕方６時から朝６時までは風車を止めるとかの配慮があれば、少しは危険性が減少するでしょうが、１年中、２４時間うるさくされたら、住民は困り果てます。

“直接的”と“明らかな”と言う言葉で騙そうとしてはいけません。
“風車騒音が人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い”との表現は、“風車騒音が人の健康や労働に対して間接的に影響を及ぼし、地域社会を崩壊させる可能性は極めて高い”と言い換えるべきです。

風車騒音は、
わずらわしさ（アノイアンス）に伴う睡眠影響を生じる可能性はあるものの、
人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。
に関しては、
風車騒音の意味が問題になる。
そして、
人間の健康に直接的に影響を及ぼす
の意味も問題です。

風車音を浴びて、数日後に死亡したと言うような事態は聞いたことが無い。
強烈な放射線を浴びて、数日後に死亡した人はいる。放射線と風車からの音はだいぶ違います。

極めて周波数が高い、超音波では、直接的と言える被害も出ています。もちろん、超音波を聴覚で捉えることは出来ません｡聴覚閾値以下の音です｡しかし､この聴覚閾値以下の超音波に人間の体は直接反応します。

超音波を使った美顔器でも、使い方によっては事故が起きます。
　この場合は、超音波を感知したと言うよりは、超音波に直接反応したと言うべきでしょうが、聴覚閾値に至らない音が、人体に直接作用して被害を生む事もあることが分かります。

“超音波使った美容施術” 規制が必要か検討へ 消費者事故調
2022 年 7 月 27 日 7 時 07 分
エステサロンなどで超音波の技術を使った美容施術を受けた結果、やけどやシミができるといった事故が相次いでいるとして、消費者庁の安全調査委員会が調査の中間結果を報告し、機器の使用などに関して法令による規制が必要かを検討していくことを明らかにしました。
事故が相次いでいるのは、エステティックサロンなどで行われている、肌のたるみを取ったり痩身（そうしん）効果を得たりするために「HIFU」と呼ばれる機器で超音波を照射する施術です。
去年から調査を進めている消費者庁の安全調査委員会、いわゆる消費者事故調が 26 日に調査の中間結果を報告しました。
それによりますと、2015 年 11 月からことし 5 月末での間に 110 件の事故の情報が寄せられ、このうち 76 件はエステサロンで起きていて、
内訳は
▽やけどが 45 件、
▽皮膚が赤く腫れる、シミができたなどの「皮膚障害」が 23 件、
▽マヒが残ったといった「神経・感覚の障害」が 13 件などとなっています。
これまでの調査では、施術者が施術の内容や注意事項などを十分に説明しておらず、利用者がリスクを理解していないケースも多いことや、非常に強い照射能力があり、やけどなどを引き起こすおそれがある機器がエステ店で広く使われていることが分かったということです。
事故調は今後、機器の使用などに関して法令による規制が必要かどうかなどをまとめ、今年度内に再発防止への提言を示したいとしています。

　超低周波音（ISO7196）のケースは、超音波とは違いますが、可能性に関しては慎重に確認することが必要です。
“音波が、人間の健康に直接的に影響を及ぼす”可能性があるような現象としては、強烈な超低周波音による音響キャビテーションや、強烈な超音波による障害の 2 つが考えられる。
風車音で､音響キャビテーションが起こるかどうかについては､シミュレーションのプログラムが必要です。

　確かに、**“人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い”**と言えるでしょうが、
“人の健康に間接的に影響を及ぼす可能性は極めて高い”とも言えます。

　一度建設された風車は、約 20 年間、昼も夜も住人に対して、超低周波音（ISO7196）を浴びせます。
不眠を訴える人が多く出ます。不眠が継続すると、問題が起きるのです。
　これは、農漁村地区の人にとっては重要な問題です。安眠できなければ、朝早く起きたときに眠気が残ります。良く眠れなければ体力も落ちます。
　夏に、朝早く起きて海老網の手伝いをしている方の睡眠時間は極端に短くなってしまいます。眠くてぼんやりした頭で、バイクに乗って港に向かう。とても危険なことです。

車を運転するときに、居眠り運転をする可能性も高くなります。人身事故も十分予想されます。

夏に、草刈や草取りの農作業をする人も多いです。体力が落ちている人が、炎天下で農作業をしたら、熱中症になってしまいます。

熱中症で畑に倒れているところを、他の人に見つけてもらって、病院に行った方もいるとの話も聞いています。

海に潜って、アワビを採る人にとっても、睡眠不足は大変危険です。体調不良で潜っていて気分が悪くなるのは、良くあることです。眠れなくて体力が落ちれば、漁獲高にも影響します。

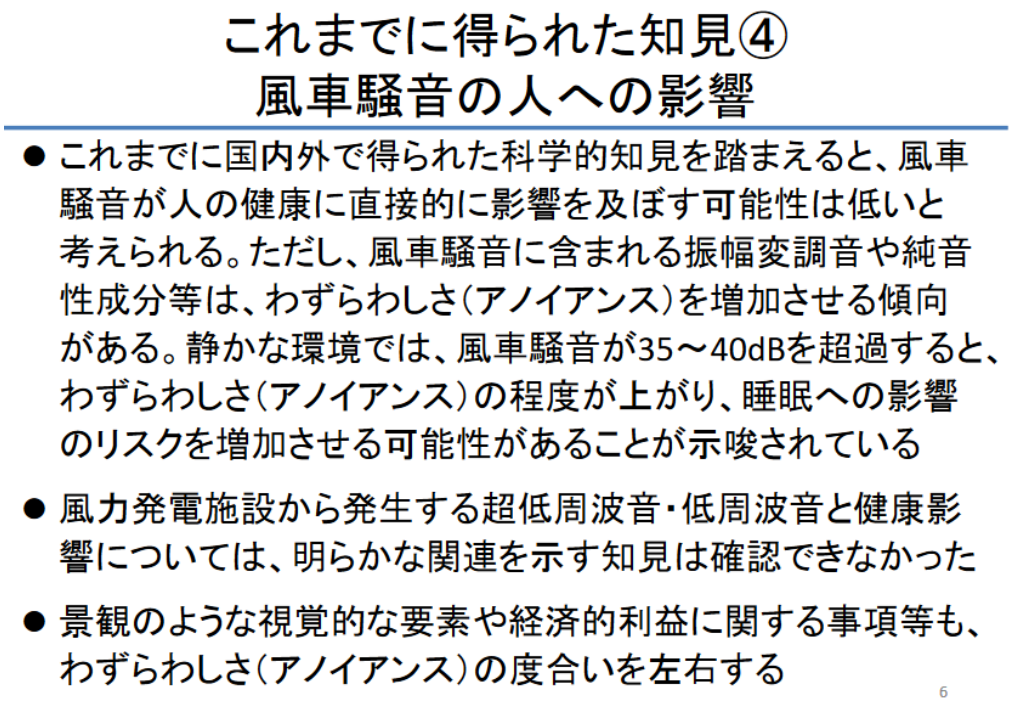
良く眠れない原因となる風力発電施設を作ることは、私たちの命を縮めることであり、漁業による収入の減少を招くことです。

不眠は被害なのです。苦情ではありません。

環境省の HP の資料には、　“これらの音によりわずらわしさ（アノイアンス）を増加させ、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている。”

と書かれている。

この常識を無視して、

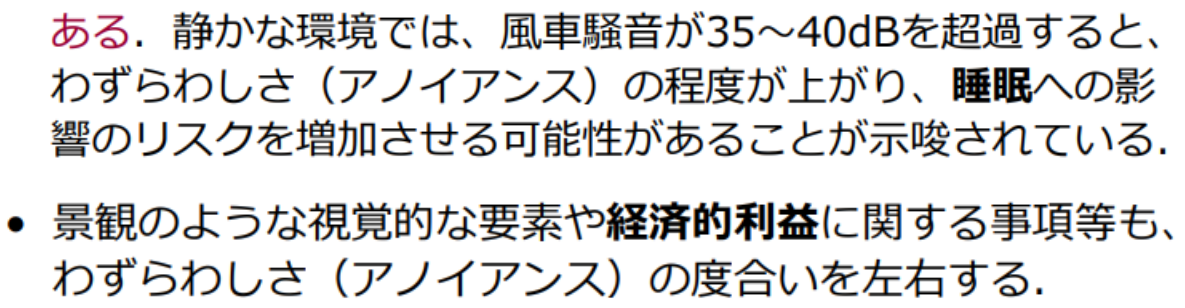


“静かな環境では、風車騒音が 35～40ｄB を超過すると、わずらわしさ（アノイアンス）の程度が上がり、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている”

と言われたら、“お前たちを拷問にかけてやる。”と宣言しているとしか思えません。いくら、大学の先生や、環境省のお役人様が偉いといっても、このようなことは受け入れられません。

朝早くから、車を運転する人にとっては命に係わる重大な事柄です。居眠り運転は運転する人だけではなく、歩行者や、他の車を巻き込む事故の起きる可能性が大きくなります。

命に係わる事柄です。もちろん、騒音が１日だけとか、夕方６時から朝６時までは風車を止めるとかの配慮があれば、少しは危険性が減少するでしょうが、１年中、２４時間うるさくされたら、住民は困り果てます。



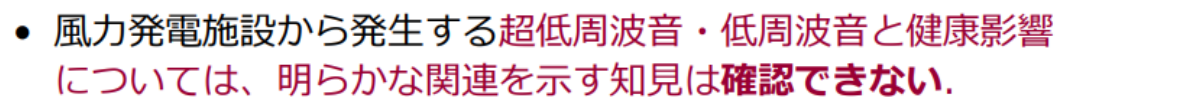
が正しいとすれば、

被害を防ぐには、被害者全員が経済的利益を受ければ良いことになります。そうすれば睡眠への影響のリスクを減らせるのです。

正しい見解です。

被害者全員に十分な補償金を支払い、被害が風車の無い地域へ移住できるだけの経済的な補償をすれば良いのです。被害者に対して、風車が無い地域に新しい家と土地と仕事を提供すれば良いのです。

さらに、



では、A 特性音圧レベルによる基準値と、健康被害との明らかな関連を示す知見は確認できたのであろうか？
確認できたのならその根拠を示して欲しい。

明らかな関連が確認できないにも関わらず、A 特性音圧レベルによる、基準値を使うならば、その合理的な理由を示して欲しい。

関連性に関しては、風車音や騒音の影響による諸症状のアンケートと、その地域での環境騒音、風車音の計測を、道路での騒音による被害地域、工場騒音による被害地域、鉄道騒音による被害地域、風車音の被害地域でも、全く同様に行って、結果を比較すれば、関連を示す知見は得られる。

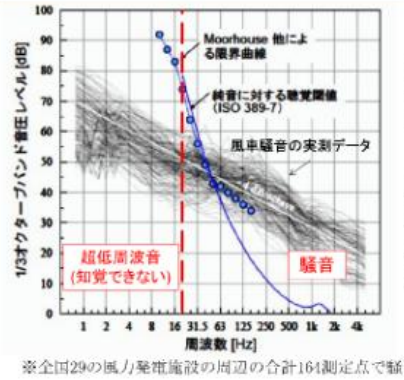
まさか、A 特性音圧レベルによる基準値と、風車被害との明らかな関連性が無いのに、基準値を指標として使う事を提唱しているのでは無いでしょうね。

人間にとって、睡眠は極めて重要である。睡眠を妨害されたら、“健康で文化的な生活”を送ることは出来ない。
憲法で保障された、基本的人権を侵害されているのである。

超低周波音について

- 平成28年、風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会の報告書がとりまとめられた。
- 風車騒音は超低周波音ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音（＝聞こえる音）の問題。
- なお、他の交通騒音などの環境騒音と比較して、低周波領域の卓越はみられない。

これまでに得られた知見①
風車騒音に含まれる超低周波音

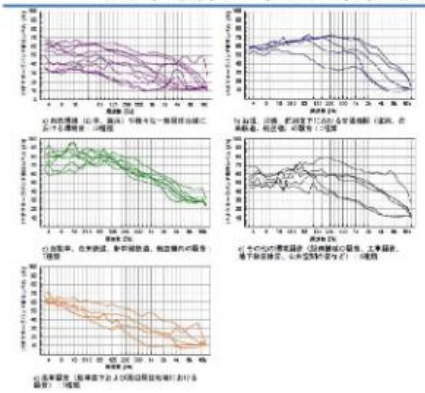


※全国29の風力発電施設の周辺の合計164測定点で騒音を測定

20Hz以下の超低周波音領域は、すべて知覚閾値を下回っている

風車騒音は超低周波音ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音の問題

これまでに得られた知見②
風車騒音と他の環境騒音の比較



＊他の環境騒音（一般環境騒音、交通騒音等）と風車騒音を比較

他の環境騒音と比較して、低周波数領域の卓越はみられない

用語の確認：

検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」には

（注）「超低周波音」についての補足

我が国では、苦情の発生状況を踏まえ「低周波音」という用語が「おおむね 100Hz 以下の音」として定義され用いられてきたが、国際的には、「低周波音」の周波数範 囲は国によりまちまちで定まったものではない。一方、IEC（国際電気標準会議） 規格 61400 シリーズにより、20Hz 以下を「超低周波音」（infrasound）、20～100Hz を「低周波音」（low frequency noise）と定義しており、国内ではこれを受けた JIS C 1400-0:2005（風車発電システム-第０部：風力発電用語）で同様に定義されている。これを踏まえ、環境影響評価法において個別事業種ごとの技術的な指針として 定められた主務省令では、「騒音（周波数が 20～100Hz までの音を含む）」とした上で、「超低周波音（周波数が 20Hz 以下の音）」と規定しており、「低周波音」という 用語を用いないこととされた。 これらの状況を踏まえ、本報告書では、**20Hz 以下の音を「超低周波音」とし、 それ以外の音（周波数が 20～100Hz までの音を含む）を「騒音」**と表記する

と書いてある。

A 特性音圧レベル（騒音レベル、WTN）は 20Hz 以上の成分の持つエネルギーから計算される数値です。ですから、A特性音圧レベルで風車音を評価してその影響を考えると言う事は、残りのエネルギー93%の影響を無視することになるのです。これでは、風車音による被害の原因が判明しないのは当然です。

環境省の文書、「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」の根拠が、

”平成 28 年 11 月 25 日に**検討会報告書**「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」“

です。

この検討会の座長が町田氏であり、報告書を纏めたメンバーは次の方々です。

(参考１）風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会 名簿

沖山 文敏 環境アセスメント学会理事

落合 博明 一般財団法人小林理学研究所協力研究員

桑野 園子 大阪大学名誉教授

佐藤 敏彦 青山学院大学大学院社会情報学研究科特任教授

塩田 正純 元工学院大学工学部教授

橘 秀樹 東京大学名誉教授

田中 充 法政大学社会学部教授

新美 育文 明治大学法学部専任教授

船場 ひさお 岩手大学 COC 推進室特任准教授

（座長） 町田 信夫 日本大学理工学部特任教授

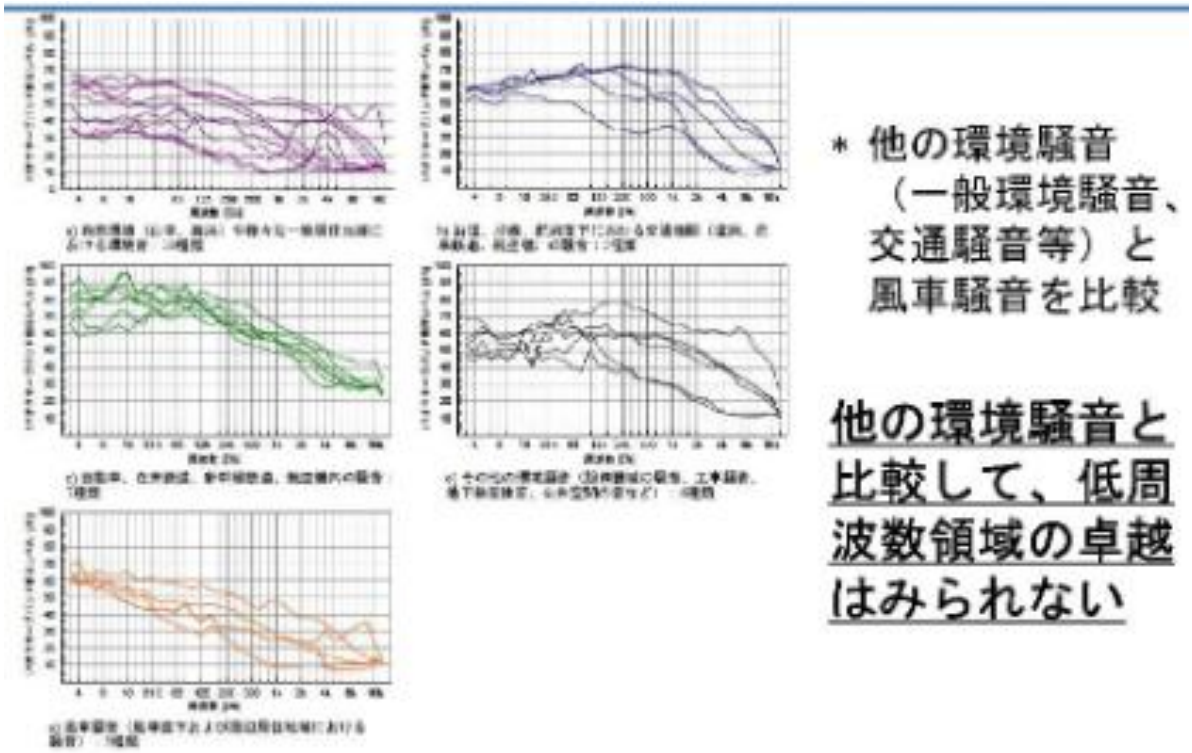
矢野 隆 熊本大学大学院先端科学研究部教授

（50 音順、敬称略。所属は平成 28 年 11 月現在

これまでに得られた知見②
風車騒音と他の環境騒音の比較

風車騒音（20Hz 以上）ではなく、風車音（0Hz 以上）と、他の環境騒音の比較が必要なのです。

次は、“低周波数領域の卓越は見られない”との結論を導いた原因を探ります



左のグラフは、定義域が 4Hz からになっています。

比較するときには、風車騒音と環境騒音の比較ですから、定義域を 20Hz 以上に制限して比較します。本来は、定義域が 20Hz 以上のグラフにして比較すべきです。

定義域が議論の中身と異なれば、誤解を生みます。

定義域を 20Hz からにして確認してみます。

高校 1 年で習うグラフに関する基礎知識として、定義域、最大値、最小値、増加、減少などがあります。〈数Ⅰ〉の教材に次のものがあります。

数Ⅰ ＞ 第２章 ２次関数 ＞ 第２節 ２次関数の値と変化 ＞ 第１講：２次関数の最大・最小

3　２次関数の定義域と最大・最小（関数に変数を含む）　日付（　月　日　曜日）名前（　）

定義域があるときの最大値・最小値

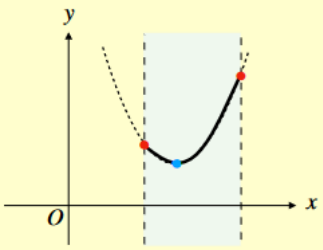
（Step１）（　　）をする

$y = ax^2 + bx + c \Rightarrow y = a(x-p)^2 + q$

（Step２）グラフをかく

（Step３）（　　）と（　　）の端を確認する

【$y = a(x-p)^2 + q$ の最大・最小】



例題

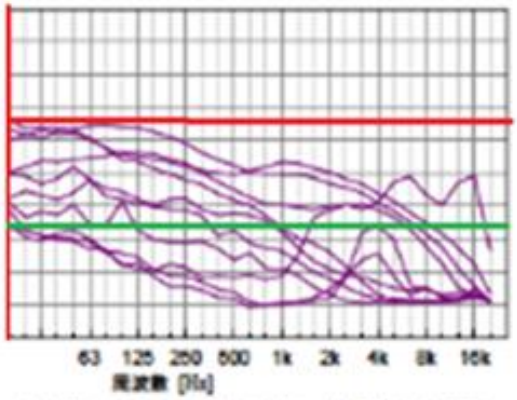
関数 $y = 2x^2 + 4x + c$（$-2 \leqq x \leqq 1$）の最大値 7 であるとき，定数 c の値を定めなさい。

解

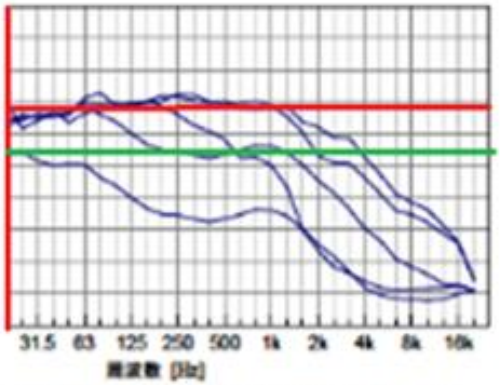
検討会の参加者は、このような高等学校＜数学Ⅰ＞の知識を持っていて、グラフの形式に関する検討をすれば、良かったのです。騒音（20Hz 以上）との言葉による定義域と、提示されたグラフの定義域（4Hz 以上）の違いは、グラフの基礎を全く理解していないことを意味しています。

騒音が 20Hz 以下の超低周波音（0Hz～20Hz）を含まないことに注意すれば、扱うグラフは騒音（20Hz 以上）の定義に従って、グラフの定義域を 20Hz 以上に限定する必要があります。

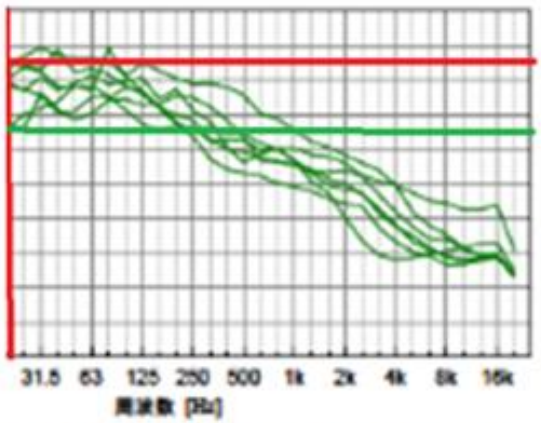
この定義域内で風車騒音（20Hz 以上)、環境騒音（20Hz 以上）のグラフを比べれば、次のようになります。



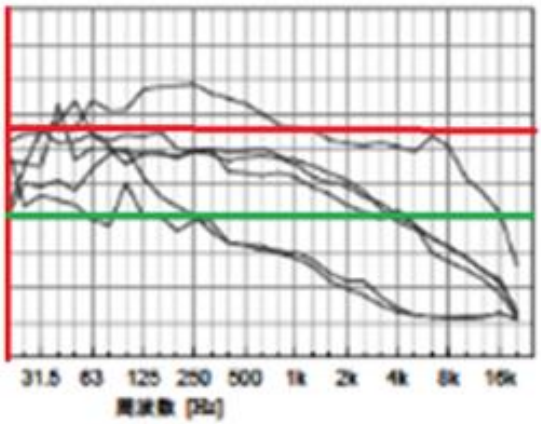
（山中、海浜）や様々な一般居住地域に
音：10種類



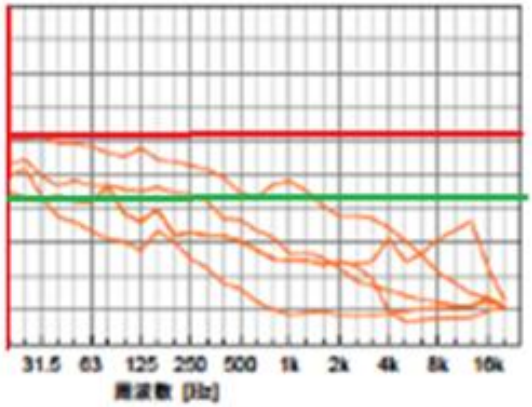
航路直下における交通機関（道路、在
）の騒音：5種類



在来鉄道、新幹線鉄道、航空機内の騒音：



境騒音（設備機械の騒音、工事騒音、
、公共空間の音など）：6種類



風車直下および周辺居住地域における

修正した図 8

風車騒音（20Hz 以上）と一般騒音（20Hz 以上）の大きな違いは見つかりません。

また、次の表から、A特性音圧レベル（20Hz～）の平均を計算すれば風車の場合が最も小さな値となっている。事が分かります。

表 2　様々な騒音の種類と騒音レベル

騒音の種類	No.	内容	$L_{Aeq,10s}$ [dB]
(a) 一般環境騒音	1	静かな森林の中の環境音	31
	2	松林の中の風の音	61
	3	海岸部の環境音（1）	61
	4	海岸部の環境音（2）	54
	5	都市部の住宅地域の環境音	43
	6	郊外の住宅地域の環境音（1）	32
	7	郊外の住宅地の環境音（2）	38
	8	工業地帯の環境音	49
	9	夏のセミの鳴声	54
	10	秋の虫の鳴声	38
(b) 交通騒音	11	在来鉄道騒音	76
	12	道路交通騒音（距離：22 m）	76
	13	道路交通騒音（距離：85 m）	63
	14	道路交通騒音（距離：85 m，建物内部）	43
	15	航空機騒音	65
(c) 乗物の中の騒音	16	ジェット旅客機客席（1）	73
	17	ジェット旅客機客席（2）	81
	18	新幹線車内	68
	19	新幹線車内（トンネル通過時）	71
	20	在来鉄道車内	70
	21	在来鉄道車内（鉄橋通過時）	70
	22	乗用車室内（高速道路走行中）	72
(d) 種々の騒音	23	空調騒音（1）	40
	24	空調騒音（2）	61
	25	空調騒音（3）	66
	26	地下鉄からの固体伝搬音	45
	27	鉄道駅のコンコース	64
	28	建設工事騒音（コンクリート破砕機）	79
(e) 風車騒音	29	風車騒音（風車近傍）	56
	30	風車騒音（住宅地域：屋外）	43
	31	風車騒音（住宅地域：室内）	27
	32	風車騒音（虫の鳴声が混入）	41
	33	風車騒音（虫の鳴声をカット）	37

※表 2 中の No. は、図 8 中の騒音の種類を示す番号に対応する。

騒音（20Hz 以上）について議論しているのに、掲載されているグラフの定義域は 4Hz からになっています。

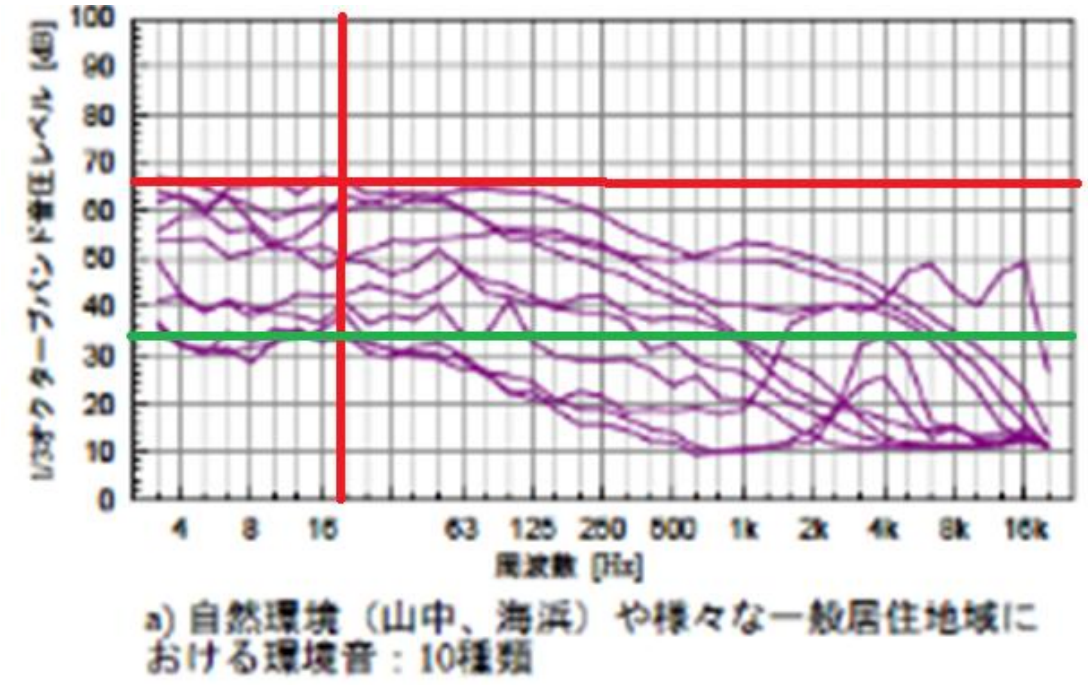
“他の様々な騒音の実測値と比較しても、風車騒音で特に低い周波数成分の騒音の卓越が見られるわけではない。”

4Hz からのグラフを見ながら、“**低い周波数成分の騒音の卓越が見られるわけではない**”との文章をみれば、“**低い周波数成分の騒音**”が 4Hz も含むかのように錯覚します。低周波領域は“20～100Hz”であり、“**低い周波数成分の騒音の卓越が見られるわけではない**”が、4Hz を含む“超低周波音”の領域まで含めて考えれば、風車音は他の環境騒音に比べて卓越した音圧を持っていることが分ります。

定義域を変更すれば、グラフも違ってくるし、上の表の値もグラフの定義域に合わせて変更する必要があります。4Hz からのグラフでは、20Hz 以下の騒音に関しても検討しているかのような誤解を生みます。

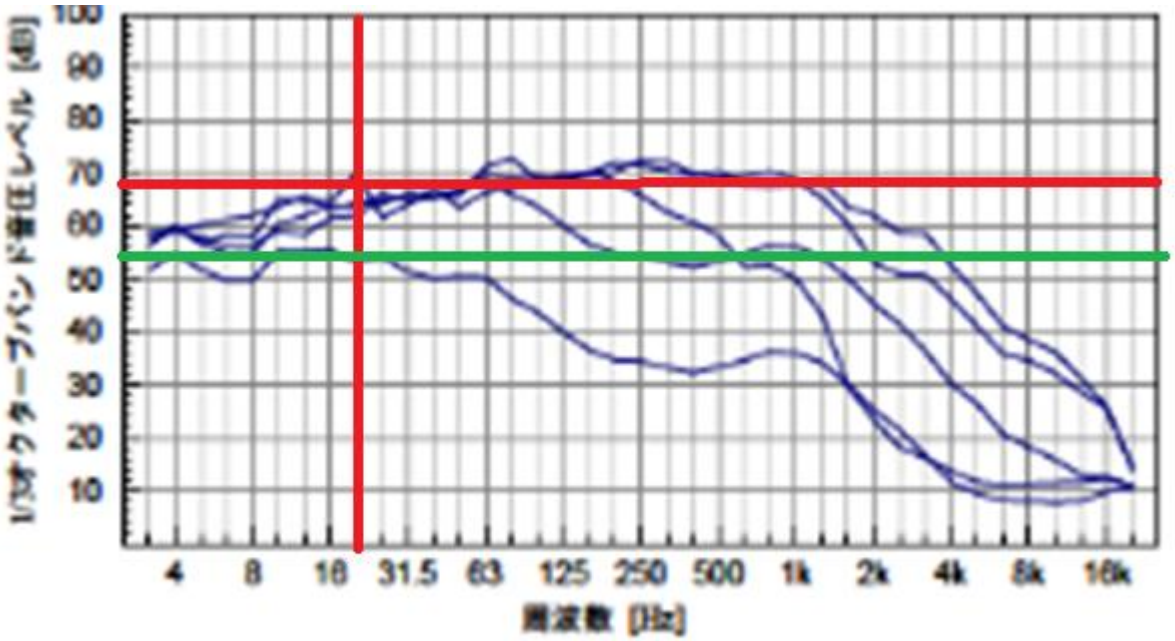
定義域を 4Hz からにして議論すれば次の様になります。
20Hz 辺りに縦線、それとグラフとの交点を通る水平線を引けば、低周波領域（4Hz～20Hz を含む）での特徴が分かります。低周波領域（4Hz～20Hz を含む）に着目すれば次の様になります。

4Hz から 20Hz ではグラフは水平。



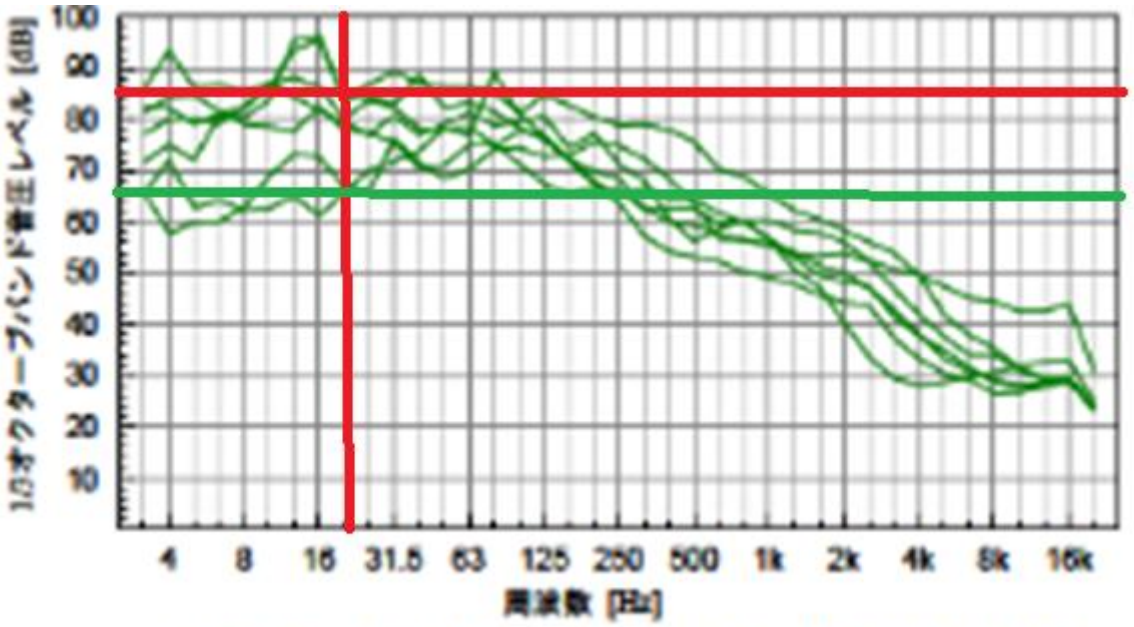
a) 自然環境（山中、海浜）や様々な一般居住地域における環境音：10種類

周波数が低くなるとグラフは下がる。



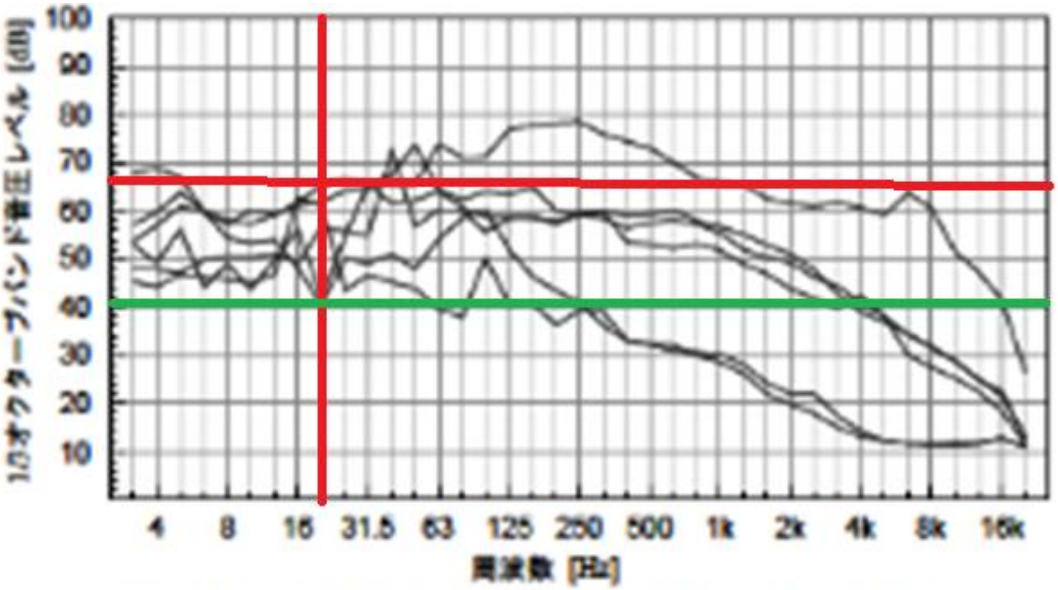
b) 沿道、沿線、航路直下における交通機関（道路、在来鉄道、航空機）の騒音：5種類

水平に近いが、周波数が低くなるとグラフはやや下がる。



c) 自動車、在来鉄道、新幹線鉄道、航空機内の騒音：7種類

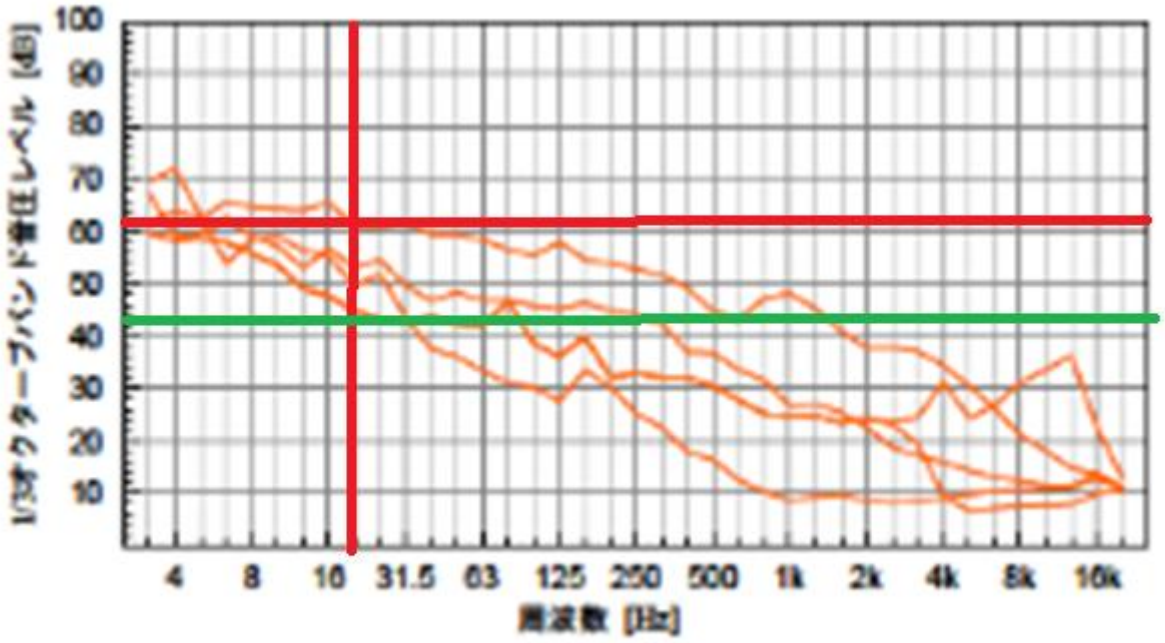
4Hz から 20Hz ではほぼ水平。



d) その他の環境騒音（設備機械の騒音、工事騒音、地下鉄固体音、公共空間の音など）：6種類

※全国29の風力発電施設の周辺の合計164測定点で騒音を測定

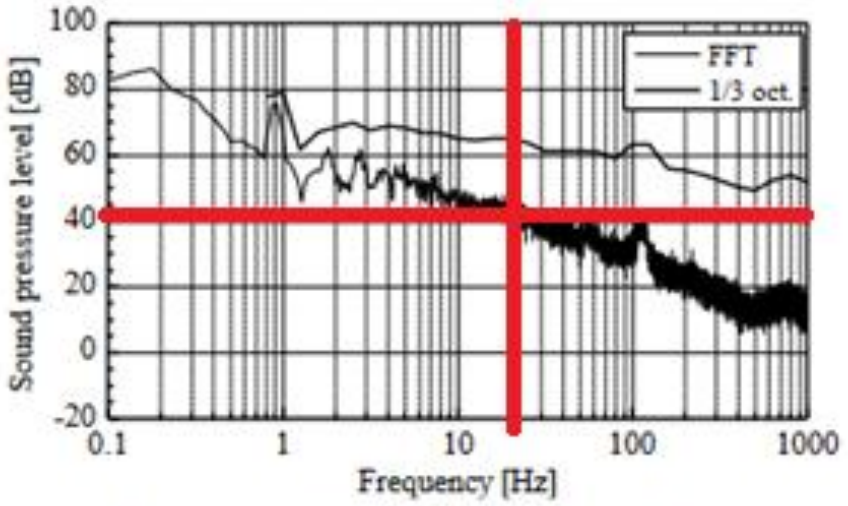
さて、風車騒音のグラフは、異質です。　風車騒音のグラフでは、周波数が下がるにつれて音圧が上昇しているのです。



e) 風車騒音（風車直下および周辺居住地域における騒音）：5種類

これらの比較から、他の騒音と異なり、風車騒音は、4Hz から 20Hz の間で、周波数が低くなると音圧レベルが上昇する、特徴を持っていることが分かります。この傾向は、10Hz 前後で同じ傾向を持っているので、
10H z 以下を風雑音だとするのには無理があります。
風の様子は、激しく変化します。音圧レベルが連速的に変化している事と、風の激しい変化との釣り合いが取れません。したがって、10H z 以下も風車音だと考えるべきです。
（マイクに風を当てないようにしても、同じ超低周波音が計測できますので、風雑音ではありません。）

報告書にある、他のグラフでも、全体としての連続性は、風雑音説とは折り合いが付きません。



図(2)-11　図(2)-9の音圧のスペクトル

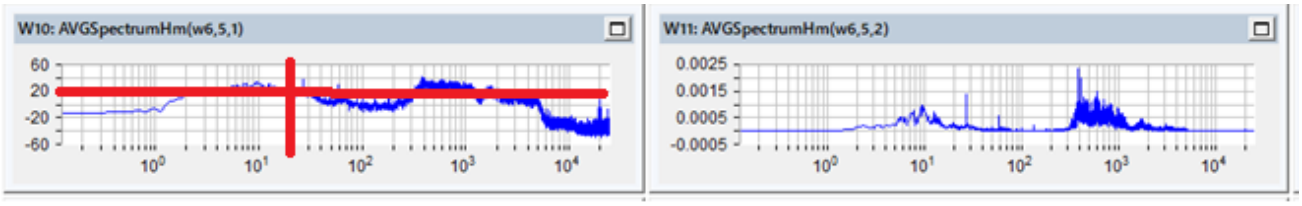
さらに、騒音（0Hz 以上）の特徴が分かるグラフを避けて、最も違いを隠蔽しやすいグラフを選んだようにも見えます。
超低周波音領域と可聴音の領域でのエネルギーの分布や、音圧が最大となる周波数などの点に注目すれば、風車騒音（0Hz以上）が異質のものであり、A特性音圧レベル（20Hz～）で評価すると、エネルギーの93%を見失う事になることが分かります。A特性音圧レベル（20Hz～）では、風車騒音（0Hz以上）の特性は理解できません。

定義域を 20Hz 以上に制限すれば、間違いとは言えないが、その狙いは、風車音の影響を矮小化して、風車音の特徴を隠蔽するものでしかないのです。風車音の特徴が分れば、被害の直接的な原因も判明するのです。
都合が悪くても、隠してはいけないのです。

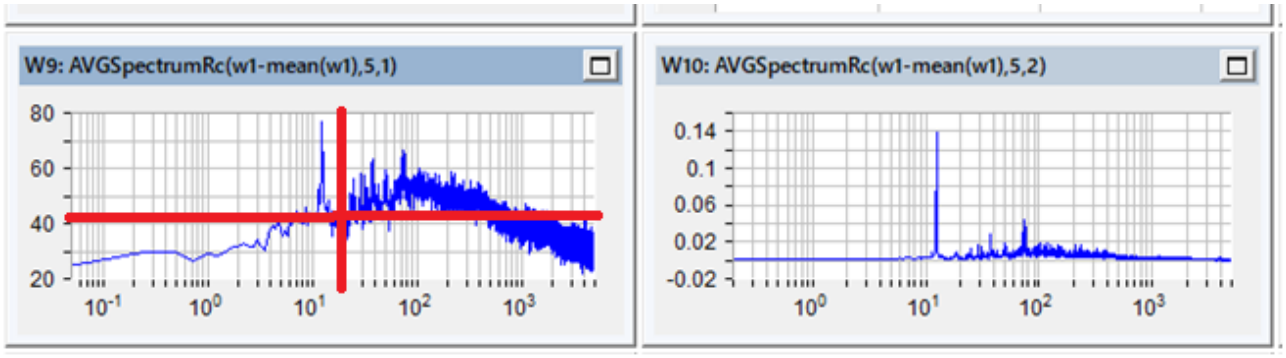
グラフを比較するには、高校１年で学習する、定義域と値域の概念が必要なのです。普通の高校では、これが理解できない生徒は、２年生に進級出来ません。
誤魔化し方が下手です。ほとんどの住民は高等学校で数学を学び、定義域、値域の内容を理解しているのです。

特徴を視覚的に表現するには、20Ｈｚの所に縦線を引いて、その縦線と周波数スペクトルのグラフの交点を通る水変線を引いてみれば良いのです。第２象限（左上）に注目すれば、特徴が良く分かります。

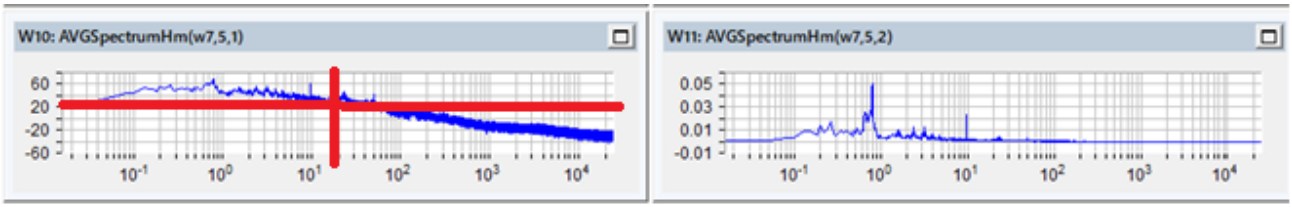
道路騒音では、可聴域の音は少しだけ上に出ている。超低周波音は弱い。

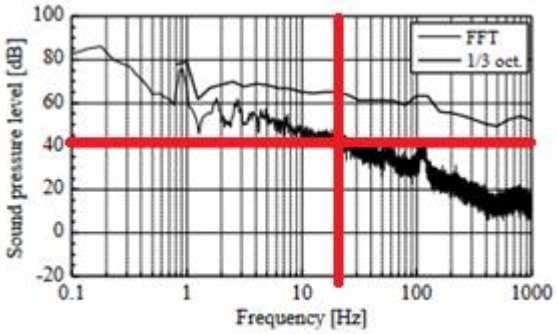


工場騒音では、100Ｈｚあたりの音は強いが、超低周波音 10Hz の所以外は弱い。

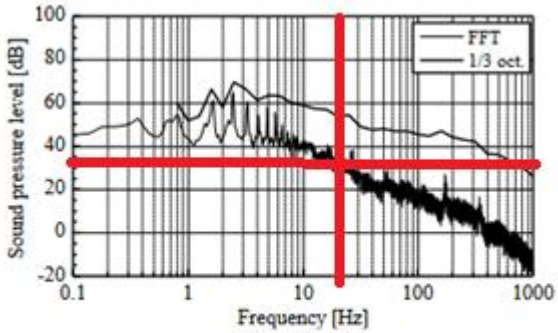


風車騒音では、超低周波音が、可聴域の音よりもかなり強い。





図(2)-11　図(2)-9の音圧のスペクトル



図(2)-12　図(2)-10の音圧のスペクトル

第２象限から第４象限に向かって、右下がりになるのが、風車騒音の特徴です。

20Hz よりも周波数の低い音の持つエネルギーが、20Hz 以上の成分全体の持つエネルギーよりも大きいことが、風車騒音の特徴です。

エネルギーの分布の観点から、風車騒音の特徴を考えれば、その特徴は明確になります。

風車騒音の測定結果において、4Ｈｚ以下の部分を省略してはいけません。特徴が失われてしまいます。

風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会　の報告書（ｐ14）には、不快感とA特性音圧レベル（20Hz～）の関連を示す記述がある。（これは、統計的な分析結果です。）

風車騒音とわずらわしさ（アノイアンス）との量-反応関係についても多くの研究がなされている。複数の報告により、同程度の音圧レベルにおいては、風車騒音は他の交通騒音よりもわずらわしさ（アノイアンス）を引き起こしやすいことが示唆されている。
表 1 の Kuwano らの研究により得られた、日本を対象とした、風車騒音と道路交通騒音を非常に不快であると感じた者の割合（%HA）を図 7 に示す。この図によれば、非常に不快であるとの回答確率が 30%程度となる騒音レベルは昼夜時間帯補正等価騒音レベル（Ldn）で 60dB 程度、20%程度は 53dB 程度、10%程度は 43dB 程度となる。

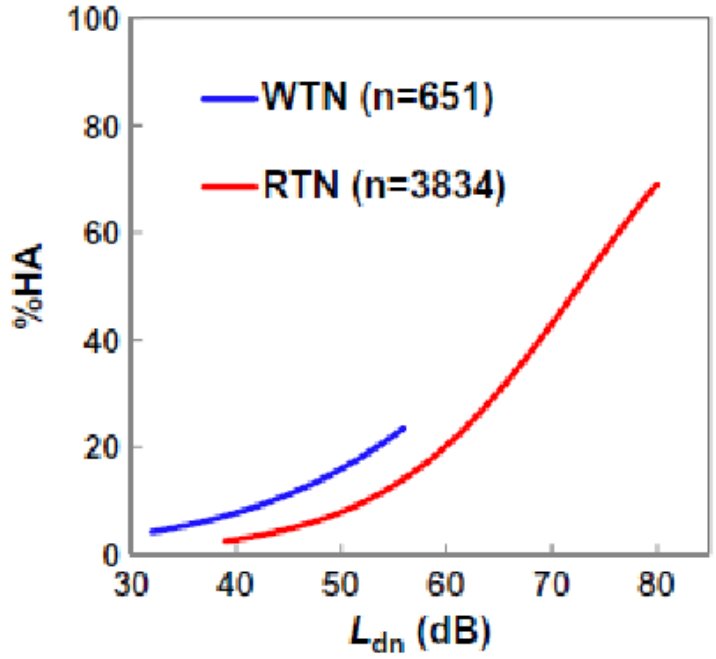
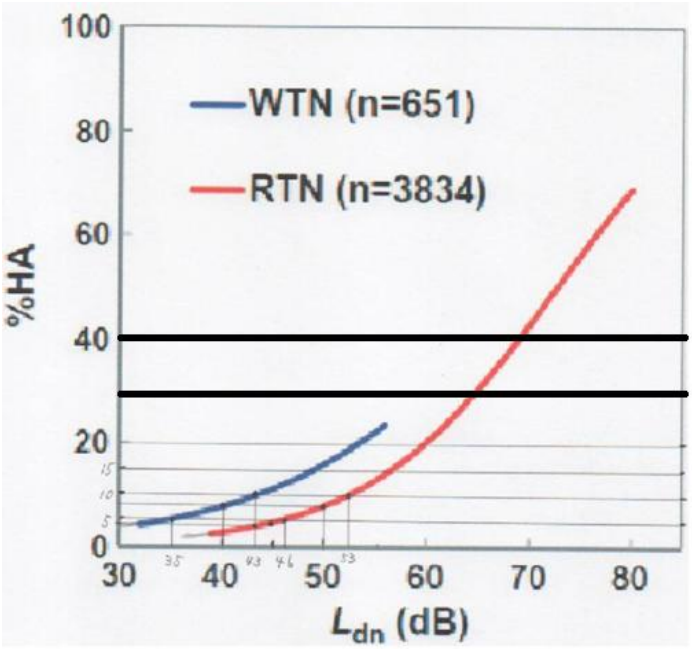


図 7 風車騒音（WTN）と道路交通騒音（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（Ldn ）※ と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（%HA）
※ 風車騒音については、終日定常的に運転されていると仮定し、LAeq に 6dB を加算して Ldn を推計している。
なお、McCunney らは、多くの研究成果より、風車騒音と関連付けられるわずらわしさ（アノイアンス）との間は線形の関係が見られる傾向にあるが、わずらわしさ（アノイアンス）に関連する要因としては風車騒音は 9%から 13%の範囲の寄与にとどまり、景観への影響等、他の要因の寄与が大きいと考えられると報告している。

“同程度の音圧レベルにおいては、風車騒音（20Hz 以上）は他の交通騒音（20Hz 以上）よりもわずらわしさ（アノイアンス）を引き起こしやすいことが示唆されている。”

とあり、この差を調べると、



%HA	風車騒音	交通騒音	差
30%	60dB	64dB	4dB
20%	53dB	60dB	7dB
10%	43dB	53dB	10dB
8%	40dB	50dB	10dN
5%	35dB	46dB	11dB
4%	30dB	43dB	13dB

“非常に不快である”と感じる人の割合にかなりの差がある。

交通騒音での基準値の表と比較してみます。

地域の類型	基準値	
	昼間	夜間
ＡＡ	５０デシベル以下	４０デシベル以下
Ａ及びＢ	５５デシベル以下	４５デシベル以下
Ｃ	６０デシベル以下	５０デシベル以下

（注）

1　時間の区分は、昼間を午前６時から午後１０時までの間とし、夜間を午後１０時から翌日の午前６時までの間とする。

2　ＡＡを当てはめる地域は、療養施設、社会福祉施設等が集合して設置される地域など特に静穏を要する地域とする。

3　Ａを当てはめる地域は、専ら住居の用に供される地域とする。

4　Ｂを当てはめる地域は、主として住居の用に供される地域とする。

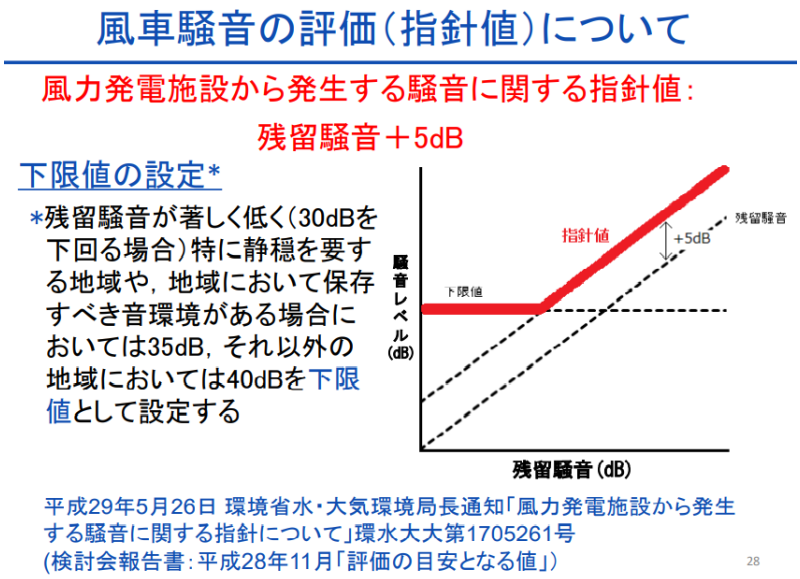
5　Ｃを当てはめる地域は、相当数の住居と併せて商業、工業等の用に供される地域とする。

住宅街での交通騒音での基準値は昼間で 55ｄＢ、夜間で 45ｄＢ です。

この数値の意味は、騒音値の基準と目安（日本騒音調査ソーチョー）の資料によれば、

うるさい	かなりうるさい。かなり大きな声を出さないと会話ができない	７０db	・騒々しい事務所の中 ・騒々しい街頭 ・セミの鳴き声（２m） ・やかんの沸騰音（１m）
	大きく聞こえ、うるさい。声を大きくすれば会話ができる	６０db	・洗濯機（１m） ・掃除機（１m） ・テレビ（１m） ・トイレ（洗浄音） ・アイドリング（２m） ・乗用車の車内
普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	５０db	・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（１m）
	聞こえるが、会話には支障なし	４０db	・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅地の昼
静か	非常に小さく聞こえる	３０db	・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	２０db	・ささやき ・木の葉のふれあう音

風車騒音（0Hz 以上）については、指針値が提案されています。



３５デシベルの場合（AA 相当）と４０デシベルの場合（A、B 相当）が提案されています。

（防音効果を無視して考えれば、）

風車騒音は屋外で計測したA特性音圧レベル（２０Hz～）を使って評価します。

住宅地域での指針値の下限として40ｄBが示されています。風車騒音での40ｄBは、被害状況を比べながら交通騒音に対応させると、交通騒音での50ｄBに相当します。

風車は夜間も停止しません。もし、風車音で40ｄBの音が夜間放出されると、被害は、夜間に於いて交通騒音50ｄBが発生している状況と同程度の被害が出ます。

交通騒音で50ｄBだと、8%の人が“非常に不快である”と感じます。他の統計結果と比較すれば、“不快である”と感じる人の割合は、その２倍で、16%程度だと推測できます。

合計は、24%になります。上の表では“大きく聞こえる、通常の会話は可能”ですから、24%程度の人が、“睡眠の妨げとなる”と考えるのは当然の結果だと判断できます。

もちろん、眠りが浅くなっても、翌日死亡することはほとんどありません。そんな日が毎日続けば、車を運転中に居眠りします。子供は、学校の授業中に居眠りします。

死亡事故や、生涯賃金の減少が予測できます。もちろん、これは風車騒音（0Hz以上）による直接の影響ではありません。風車騒音（0Hz以上）は、毎日毎日ほんの少しだけ、安眠を妨げただけです。風車には責任はありません。眠い時に運転した人が悪いのです。眠いからと言って授業中に居眠りした生徒が悪いのです。

（となりますが、室内での影響を考えると、もう少し複雑になります。）

これだけでも、大きな問題ですが、風車騒音（0Hz以上）のエネルギーを考えるともっと大きな問題があることが分かります。

これを検討するには、風車騒音でのグラフと、交通騒音でのグラフがずれている理由を考えなくてはなりません。

その理由については、次の事項を手掛かりにして考えてみます。

“なお、McCunney らは、多くの研究成果より、風車騒音と関連付けられるわずらわしさ（アノイアンス）との間は線形の関係が見られる傾向にあるが、わずらわしさ（アノイアンス）に関連する要因としては風車騒音は 9%から 13%の範囲の寄与にとどまり、**景観への影響等、他の要因の寄与が大きい**と考えられると報告している。”

や、

S2-11 風 力 発 電 等 による低 周 波 音 の人 への影 響 評 価 に関 する 研 究（S2-11-vii ページ）

２）社会反応調査

社会反応調査としては、風力発電施設周辺地域について騒音の実測調査と同時に実施した。また、対照地域を平成23年度、平成24年度にそれぞれ9箇所選び、騒音の実測調査と社会反応調査を実施した。

風力発電施設周辺地域（風車地域 ）では、訪問住戸数 1,539に対して回答数は747で、回収率は49%であった。

また、対照地域では、訪問住戸数828に対して回答数は373で、回収率は45%であった。

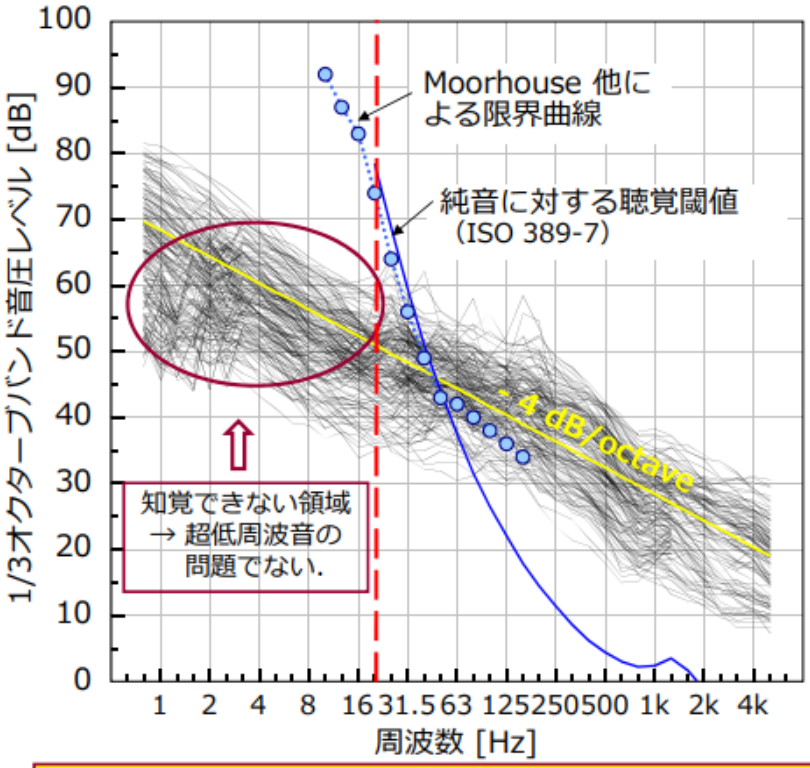
調査を実施した地域と回答者の属性 について、風車地域と対照地域を比較した結果 、両地域できわめて類

似した特性となっていた。
つぎに、風車地域におけるアンケート調査の結果を分析した結果 、以下のことが分かった。
a. 何らかの音を「最も悩 まされている音 」として挙げた回答は、全回答数 747 のうち 197 件 であった。その内訳を見ると、60%（119 件 ）が風力発電施設の音を挙 げている。
b. 上記の回答のうち、風力発電施設の音以外の音を挙げた回答（78 件 、以下 、「風車騒音以外グループ」と呼ぶ）と風力発電施設の音を挙げた回答 （119 件 、以下 、「風車騒音グループ」と呼ぶ）の別 に、検討を行った。
まず、生活環境の満足度に対する回答を見ると、「風車騒音グループ」の回答で「静けさ」に対する不満の程度が「風車騒音以外グループ」よりも大きくなっている。その他の項目については、両グループ間で大きな差は見られない。
c. 「悩まされたりうるさいと感じとことがある音 」に対する回答では、「風車騒音グループ」で風力発電施設の音に対して「非常にある」という強 い反 応 が見 られる。
d. 騒音によって迷惑を受ける時間帯については、「風車騒音以外グループ」では特に指摘が多 い時間帯はないが、「風車騒音グループ」では夜間 、深夜 を指摘する割合が大 きい。
e. 睡眠影響の原因に関する質問に対する回答では、「最も悩まされている音 」として挙 げた騒音によると思うと答えた割合は、「風車騒音以外グループ」では 59%であるが、「風車騒音グループ」では 87%となっている。
f. 「自然エネルギーを利用する風力発電は、よい方法か」という質問に対する回答では、「風車騒音以外グループ」では 85%が「よい方法と思う」と答えているのに対して、「風車騒音グループ」では若干その割合が小さくなっている。それでも、「よい方法と思う」との回答は 66%となっている。
g. 「風力発電施設の音が聞こえるか」という 質問に対する回答を見ると、「風車騒音グループ」では「聞こえる」という回答が 100%となっているが、「風車騒音以外グループ」でも「聞こえる」という回答は 68%になっている。
h. 「風力発電施設が見えるか」という質問 に対する回答では、両グループともに 90%以上 が「見える」と答えている。
i. 「風力発電施設の景観上の問題 」に関する質問に対する回答 を見ると、「風車騒音グループ」では 39%が「景観の邪魔になる」と答えているのに対 して、「風車騒音以外グループ」ではその割合は 8%と小さくなっている。
j. 「風力発電施設 があることによって、よいことがあるか」という 質問に対する回答では、両グループともに「ない」という回答が圧倒的に多い。

つぎに「最も悩まされている音 」に関する質問に対して「風力発電施設の音」を挙げた 119 件の回答について、物理量として風車からの距離 と風車の稼働時の騒音レベルとの関係を調べてみた。その結果 、「悩まされたりうるさいと感じたことがある」に対する回答が「非常にある」の反応の割合は、最近接風車からの距離 が近いほど大きくなっている。また、風車稼働時の等価騒音レベルで整理した結果 、「非常にある」及び「非常にある」＋「だいぶある」の反応の割合は、等価騒音レベルが高くなるほど大きくなる傾向が見られた。これらの傾向は、アンケート調 査の結果を多重 ロジスティック解析の手法を用いて分析した結果でも確認された 。

残念ながら、このアンケートと分析では、10～13ｄＢの差を説明できません。

風車騒音の周波数特性



29風力発電施設周辺　合計164地点における測定結果

出典.

H. Tachibana *et. al.*, Nationwide field measurements of wind turbine noise in Japan. Noise Control Eng. J. 2014:62 (2):99-101.

出典.

A procedure for the assessment of low frequency noise complaints
Andy T. Moorhouse, David C. Waddington,b and Mags D. Adams
Acoustics Research Centre, University of Salford, Salford M5 4WT, United Kingdom
J. Acoust. Soc. Am., Vol. 126, No. 3, September 2009

注釈1．限界曲線は苦情発生の可能性を評価する指標、超低周波音の感覚閾値に近い値.

17

風車の運転音は、超低周波音ではなく、可聴周波数範囲の騒音.

井上氏は、20Hz 以下の周波数の音（超低周波音）は知覚できない領域の音だとの理由で、風車音の特徴を、議論を騒音（20Hz 以上）に限定して進めようとしている。

上の図は、問題満載なので、少しずつ見てゆきます。

明確な定義なしにすり替えられる言葉が、聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値です。

聴覚閾値は、耳で聞いて、聞こえるか聞こえないかの境目と理解できるが、

感覚閾値の感覚は、聴覚による音の感知、指先の皮膚などでの触覚、半規管、耳石器での揺れや加速度の感知、内耳の前庭器官による気圧の変化の感知能力、などが考えられる。

多様な感覚の閾値を決定できるような実験は誰がどのように行ってどのような評価を受けているのかを明確にする必要がある。

知覚閾値にいたっては、知覚とは、感覚器官への物理化学刺激を通じてもたらされた情報をもとに、外界の対象の性質、形態、関係および身体内部の状態を把握するはたらきのこと。感覚と知覚の概念に含意されている意味は、それらの概念の研究史と密接な関係を持っている。

聴覚閾値に至らない粗密波による刺激でも、別の感覚で捕らえられる。さらに、様々な刺激をきちんと把握すれば、風車騒音による被害なのだと知覚できる。

聴覚閾値は 10Hz の音のでるスピーカーと実験室で調べても、感覚閾値を調べるのはかなり難しい。
知覚閾値については何をどのように調べたら決定できると言うのだろうか？

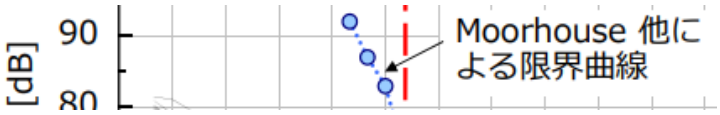
この３種の閾値を混同してはいけない。

限界曲線（基準曲線）に関しては 2 つの問題がある。

問題１：赤い線と青い線

この資料の左下には、知覚できない領域として 0Hz～20Hz（超低周波音）の範囲が示されている。

上の方をみると、



Moorhouse 他による限界曲線が、この領域にはみだしている。

知覚できない領域にはみだしている曲線は、何を測った結果なのでしょうか？

知覚できない領域ならば、限界曲線がこの領域まではみだすことはあり得ない。日本語としての表現を正しいものにするには、知覚できない領域をもう少し狭くしておく必要がある。

ここで数値を確認すれば、

表 V: 提案された夜間基準曲線

Hz	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
dB	92	87	83	74	63	56	49	43	42	40	38	36	34

10Hz で 92ｄB となっている。

10Ｈｚは井上氏が感知できないとする超低周波音（0Ｈｚ～20Ｈｚ）である。では、10Ｈｚで 93ｄＢの音が与えられたら、基準曲線以上ですから、ある程度の人が、音を感知して不快感を覚えたりするはずです。でも、超低周波音（0Ｈｚ～20Ｈｚ）は知覚できない領域ですから、10Ｈｚの音がどんなに大きくても知覚できないはずです。井上氏は、この論理的な矛盾をどのように克服したのでしょうか？

問題２：日本語の選定

Criterion　の意味は、

１．（判断・評価などの）基準、規範、尺度、よりどころ

２．特徴

語源は、ギリシャ語の基準（分ける、決めるより）

であり、これは、基準曲線と訳すべきです。基準は聴覚に関連する基準です。

> A procedure for the assessment of low frequency noise complaints
> Andy T. Moorhouse, David C. Waddington,b and Mags D. Adams

には、次のように書かれています。

The proposed criteria curve is provided as guidance for environmental health officers in their evaluation of an LFN complaint, and **not as an absolute limit**.

This means that tonal sounds at, or just below, the threshold of the hearing should be considered as environmental sources potentially responsible for the complaint.

提案された基準曲線は、環境衛生担当者のためのガイダンスとして提供されています、LFN 苦情の評価であり、絶対的な制限としての評価ではありません。これは、騒音が聴覚閾値より大きい、または少しだけ小さい場合は、環境音源として考慮されるべきであることを意味します。

と書いてあるのですら、基準曲線または参照曲線と訳すべきであり、限界曲線としたのでは、“騒音が聴覚閾値より大きい、または少しだけ小さい場合は”との記述を無視することになります。

“限界曲線”と言えば、その限界よりも低ければ問題なし。と聞こえてしまいます。“騒音が聴覚閾値より大きい、または少しだけ小さい場合は”との記述があるのですから、この日本語は不適当です。

“not as an absolute limit”と書いてあるのに、まるで、“absolute limit.”と書いてあるかのように訳してはいけないのです。

A. 基準曲線

基準曲線を表 V および図 13 に示します。騒音が日中だけ発生する場合は、5dB の緩和は、すべての 1/3 オクターブバンドに適用することができます。

基準曲線の音圧レベルで、表 V に示されている 25Hz 以下の音圧レベルについては、窓、壁、さらに床などの振動を引き起こす可能性があります。食器によって、ガタガタという音が伴います。

この誘導された振動と、それに伴う二次騒音は、住民によって気づかれ、不快感を与えるでしょう。

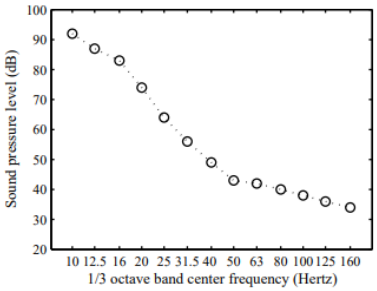
振動誘発騒音についての、いくつかの記述は、日本での低周波騒音苦情の評価方法に書かれている。

ここで、

表 V: 提案された夜間基準曲線

Hz	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
dB	92	87	83	74	63	56	49	43	42	40	38	36	34

図 13 は、次のものです。



超低周波音（0Hz～20Hz）を聴覚で感知することが困難でも、圧力変動を感知する感覚器官もあるので、聴覚以外の器官で、超低周波音を感知できます。

また、超低周波音（0Hz～20Hz）の周波数は、建具や建物自体の固有振動数に近いのです。この時は、共振が起こる可能性が高くなります。

これに関しては、

表１　低周波音による物的苦情に関する参照値

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 中心周波数(Hz)	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 音圧レベル(dB)	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99

が研究されています。

物的苦情に関する参照値（がたつき閾値）を見ると、５Hz で、がたつき閾値は 70ｄB です。ガタツキ閾値は、周波数が下がるにつれて値が小さくなっています。

館山の風車音について、1/3 オクターブ解析を ISO7196 に従って行うと、次の表になる。
下の段が中心周波数、上の段が音圧レベルです。

W15: transpose(w12)

	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units	5: No Units	6: No Units	7: No Units
1:	54.727250	62.381626	54.976763	56.733648	58.610999	77.287140	64.371465
2:	0.250000	0.315000	0.400000	0.500000	0.630000	0.800000	1.000000
3:							

0.8Hz では、77.28ｄB であり、参照値での 5Hz での値 70ｄB を超えています。

ガタツキ閾値の減少傾向を考えれば、0.8Hz での音圧レベルが、がたつき閾値を超えていると考えるのが当然だと思います。

“聞こえるようなレベルではない”のように、聞こえるか、聞こえないか、だけを考えるのでは、風車音の被害を放置することになってしまいます。

さらに、ガタツキ閾値については Moorhouse 他の論文にも取り上げられている。

> Note that the criterion curve sound levels given in Table V for 25 Hz and below can cause the vibration of windows, walls and even floors in residential housing structures with the accompanying rattling of dishes and bric-a-brac. This induced vibration and the accompanying secondary noises will be noticed by residents, with annoyance the likely result. Some account of vibration-induced noise is made in the Japanese method for the assessment of low-frequency noise complaints17.

基準曲線の音圧レベルで、表 V に示されている 25Hz 以下の音圧レベルについては、窓、壁、さらに床などの振動を引き起こす可能性があります。食器によって、ガタガタという音が伴います。

この誘導された振動と、それに伴う二次騒音は、住民によって気づかれ、不快感を与えるでしょう。
振動誘発騒音についての、いくつかの記述は、日本での低周波騒音苦情の評価方法に書かれている。

聞こえなくてもガタガタすれば、睡眠は妨害される。これは、不眠と言う形での風車音の被害である。

ですから、超低周波音（0Hz～20Hz）の部分を切り捨てると言う事は、風車音の被害の大部分について無視することになるのです。

知覚閾値では、知覚とは、感覚器官への物理化学刺激を通じてもたらされた情報をもとに、外界の対象の

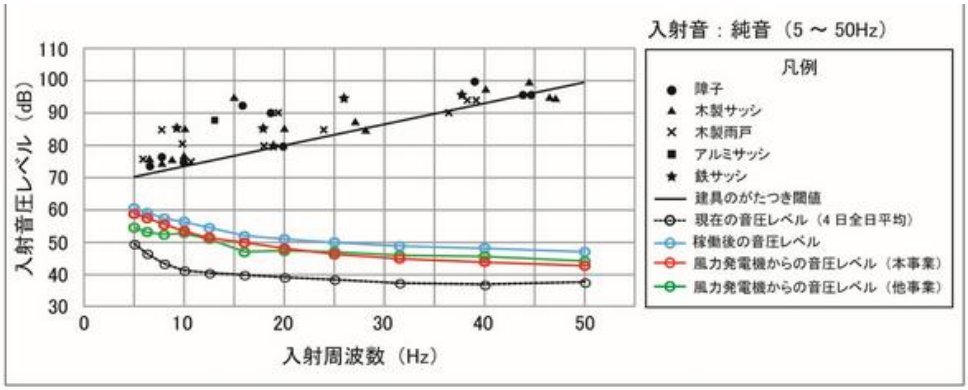
性質、形態、関係および身体内部の状態を把握するはたらきのこと。感覚と知覚の概念に含意されている意味は、それらの概念の研究史と密接な関係を持っている。

に従って書けば、

共振によって発生した新しい音や、共振での振動そのものが物理的刺激として、聴覚や三半規管へ作用します。床の揺れは、皮膚への刺激でもあります。これらの感知によって、把握された情報をもとにして、外界に存在する風車の性質（強烈な超低周波音（0Hz～20Hz）を出す。）風が強い気象条件である。などの外界の条件や関連性についての知識を踏まえて刺激の内容を把握する。そして、ここで生じた睡眠障害が、風車が原因の被害であると認識し被害を知覚できるのです

ガタツキ閾値（物的苦情に関する参照値）ですが、困ったことがあります。

ある風力発電の会社が作った資料には、２つのグラフがありました。



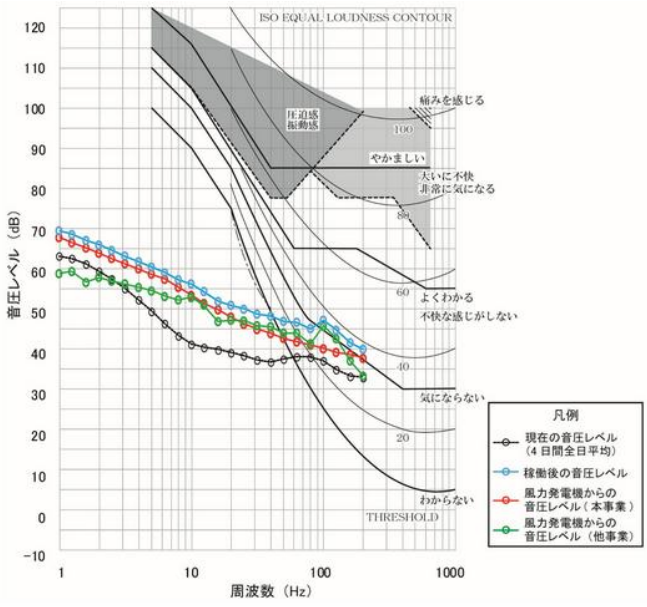
出典：「低周波音の測定方法に関するマニュアル」（環境庁大気保全局、平成 12 年）より作成

図 10.1.4-7(1)　建具のがたつきが始まるレベルとの比較結果

このグラフを根拠に、がたつきは生じませんと言いました。

そして、次のグラフをもとに、**圧迫感・振動感を感じる音圧レベル**との比較を行いました。

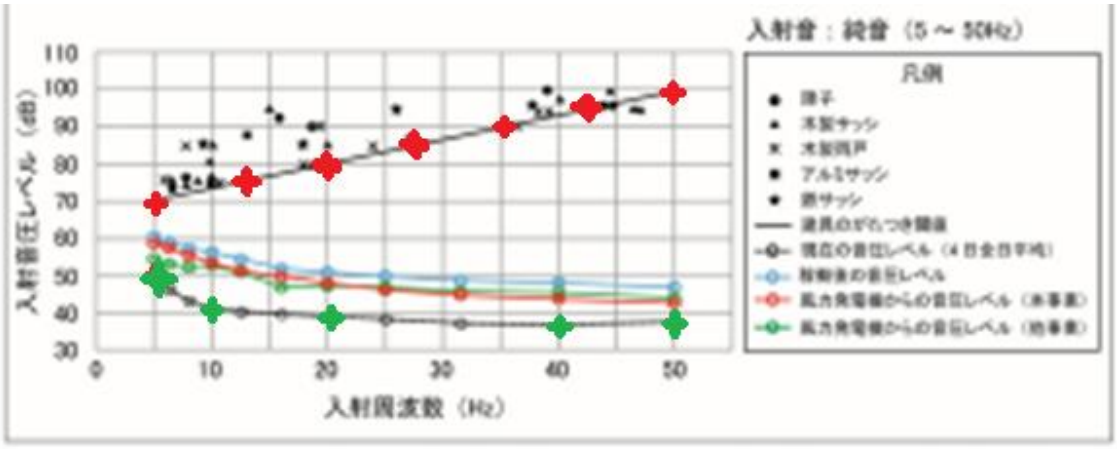
そして、圧迫感や振動を感じることは無い。と説明しました。



出典：「文部省科学研究費『環境科学』特別研究：超低周波音の生理・心理的影響と評価に関する研究班『昭和 55 年度報告書 1 低周波音に対する感覚と評価に関する基礎研究』」より作成

図 10.1.4-8(1) 圧迫感・振動感を感じる音圧レベルとの比較結果

２つのグラフの対応する点に印をつけました。直線上の赤い点と、曲線上の緑の点です。

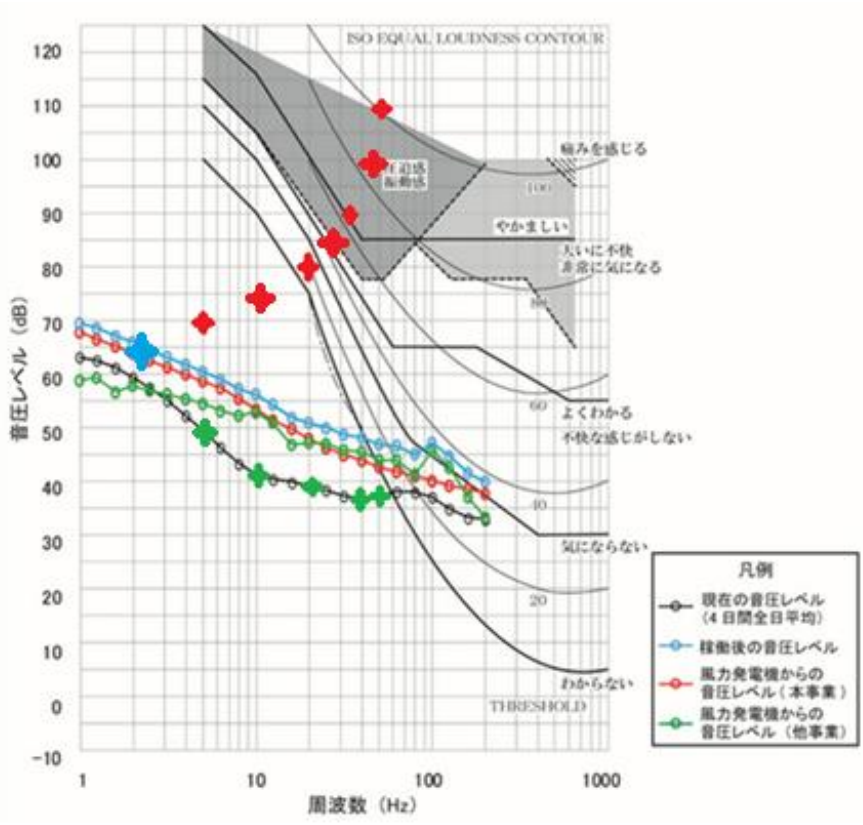


出典：「低周波音の測定方法に関するマニュアル」（環境庁大気保全局、平成12年）より作成

図 10.1.4-7(1)　建具のがたつきが始まるレベルとの比較結果
（環境－①：春季全日平均）

さて、上のグラフでは、5Hz までしかなかった曲線が、下のグラフでは１Hz まで伸びています。

でも、上の図の直線に当たるものが消えていますので、赤い印を追加しました。赤い印は、がたつき閾値の直線に対応します。



出典：「文部省科学研究費『環境科学』特別研究：超低周波音の生理・心理的影響と評価に関する研究班『昭和55年度報告書１低周波音に対する感覚と評価に関する基礎研究』」より作成

図 10.1.4-8(1)　圧迫感・振動感を感じる音圧レベルとの比較結果
（環境－①：春季全日平均）

2Hz、3Hz の辺りで、がたつきが起きると考えられます。そうすれば、人間は聴覚以外の感覚も含めて、振動そのものを感じます。2Hz は超低周波音（0Hz～20Hz）です。（2Hz で 65ｄB の辺りで線がぶつかりま

す。）

“苦情者宅の測定結果を『参照値』などと照らし合わせて、苦情の原因が低周波音である可能性について検討します。”と言っても、照らし合わせるべき参照値が存在しなければ比較ができません。ですから、室内での計測を行って、共鳴や共振に関して精密に解析する必要があるのです。
精密騒音計と振動レベル計を使えば、簡単です。

このグラフから、2Hz や 3Hz でのガタツキの可能性が高いことがわかります。これは、超低周波音（0Hz～20Hz）の領域です。この領域の音によって問題が起きるのです。
従って、超低周波音（0Hz～20Hz）の被害も考慮する必要があるのです。風車音から超低周波音（0Hz～20Hz）の部分を除外してはいけません。

聴覚閾値に至らない粗密波による刺激でも、別の感覚で捕らえられる。さらに、様々な刺激をきちんと把握すれば、風車騒音による被害なのだと知覚できる。

また､1Hz の音のでるスピーカーが作れないので､1Hz に対する聴覚閾値を実験室で調べる事は出来ない。他の感覚について、感覚閾値を調べるのはかなり難しい。知覚閾値については何をどのように調べたら決定できると言うのだろうか？

ISO 389-7:2019 にある、聴覚閾値の表の数値と、心身に係る苦情に関する参照値

2.2　心身に係る苦情に関する参照値
低周波音による心身に係る苦情に関する参照値は、表 2 及び G 特性音圧レベル L_G=92(dB)とする。

表 2　低周波音による心身に係る苦情に関する参照値

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 中心周波数(Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 音圧レベル(dB)	92	88	83	76	70	64	57	52	47	41

との対応表をつくれば、

バンド（ヘルツ）	20	25	31.5	40	50	63	80
参照値（デシベル）	76	70	64	57	52	47	41
聴覚閾値（デシベル） 感覚閾値（デシベル）	78.1	68.7	59.5	51.1	44	37.5	31.5

（感覚閾値は聴覚閾値の間違いです。threshold of hearing　だから、聴覚（聴力）閾値です。）

（感覚閾値は聴覚閾値の間違いです。threshold of hearing　だから、聴覚（聴力）閾値です。）

よく見ると、心身に係る苦情に関する参照値の表には、10Hz、12.5Hz、16Hz、20Hz が含まれています。井上氏の意見では、この周波数の音は、知覚できない領域のはずです。
参照値は、音を聞いたり、音を全身に浴びたりしたときの反応を調べたときの値です。知覚できないもの

に対して、12.5Hｚの音が、88ｄＢになったら、それを感知して、不快感を覚える人が出てきてしまったと言う事になるのです。
　知覚できない音を、何らかの感覚で感知できたと言いうことは、知覚できない音が知覚できたと言いう事になります。
　もちろん、些細な矛盾です。この矛盾を気にする人は、日本語が普通に理解できる人に限ります。矛盾を気にしない人もいるとは思いますが、他人に何かを説明するときは、配慮しなくてはならない事柄です。

　聴覚閾値は、聞こえた否かを判断すれば良いのですが、参照値はそれとは違います。圧力の感知まで含めた値に近いものが参照値です。
その理由は、 環境省の低周波音問題に関する Q&A の A6 です。そこには、

Ｑ６　『参照値』に科学的な根拠はありますか？
Ａ６　『参照値』は平成 15 年に独立行政法人産業総合研究所において実施した聴感実験データから、一 般被験者の 90%の人が寝室で許容できるレベルとして設定したものです。この聴感実験では、低周波音 を発生させた実験室に被験者を部屋に入れて、被験者の反応を調査することで行いました。なお、被験者 は、実験室の中で、耳だけでなく全身が低周波音に浴しており、いわゆる骨導音の影響も実験の中で自然 に含まれ、総合的に把握されていると考えられます。

と書かれています。
　骨伝導かどうかは別にして、
　“この聴感実験では、低周波音を発生させた実験室に被験者を部屋に入れて、被験者の反応を調査することで行いました。なお、被験者は、実験室の中で、耳だけでなく全身が低周波音に浴しており”
　と言う部分が大切です。
　残念ながら、被験者のいる部屋の、周波数ごとの音圧レベルを計測したデータが 無いのが残念です。

　音による刺激の感知は、聴覚だけではありません。聴覚閾値と参照値を比較すれば次の様になります。

環境省は、低周波音問題に関する Q&A の中で次のように言っています。
“大小関係で言うと、実際には、「心身に係る苦情の『参照値』」は「感覚閾値」より少し大きな値となっています。”
この表現は、２５Hz 以上の周波数成分については、正しい表現だが、２０Hz の所は、参照値が 76、感覚閾値が 78.1 となっていて、参照値よりも感覚閾値のほうが大きい。
　これは、上記の表は、聴覚で音としてとらえる場合の限界、聴覚閾値 78.1 にならなくても、それより低い 76 の値の時に、音としてではなく、例えば圧迫感とかの他の感覚で音圧の変化をとらえて、不快感を覚えるという事を示していると考えます。
　環境省は、２０Hz での参照値と聴覚閾値（感覚閾値）の数値の逆転について、どう考えているのだろう？環境省の職員は、76 と 78.1 のどちらが大きな数値なのか、判断が出来ないのかもしれません。

　２５Hz より周波数が高い部分に関しては、ISO389-7 に記載されている値のほうが小さい。よって、この部分だけならば、環境省の言い分は、感覚閾値と言いう語訳の問題を除けば正しい。しかし、２０Hz の所は、

ISO389-7 の値の方が大きいのです。

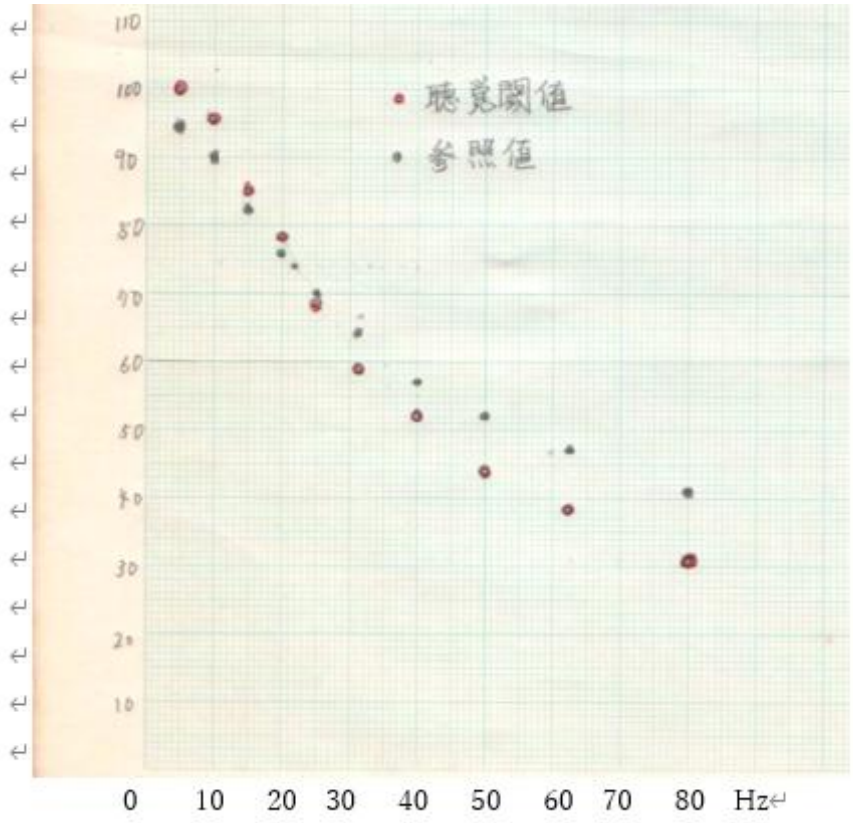
これは、偶然ではありません。
参照値　－　聴覚閾値　の表を作れば次のようになります。

バンド（ヘルツ）	20	25	31.5	40	50	63	80
参照値－聴覚閾値	-2.1	1.3	4.5	5.9	8	9.5	9.5

この表は、周波数が低くなればなるほど、聴覚閾値と参照値（不快感を感じ始める値）の差が小さくなってきていて、20Hz では逆転することを示します。

10Hz、5Hz、1Hz、0.5Hz と低くなればなるほどこの傾向は続くと考えます。

グラフにすれば（参照値の予測もしてみました。）次のようになります。



参照値は、被験者の１０％が不快だと感じる値です。

これは、20Hz の音が 76ｄＢの時に、人間が不快感を覚えたと言いう事です。もし、ISO389-7 の値が感覚閾値ならば、人間は 20Hz の音の音圧が 78.1ｄＢ（78.5ｄＢ）になるまで、人間は不快感を覚えないはずなのに、それよりも小さな値 76ｄＢで不快感を覚えてしまうという矛盾が生じます。

聴覚閾値と正しく訳しておけば、20Hz の音に対して、人間の聴覚は 78.1ｄＢになるまでは認識しないが、それ以外の感覚（圧迫感、頭痛、など）で 76ｄＢの段階でも不快感を覚えると理解できるので、矛盾は生じません。

さて、あくまで感覚閾値だと主張すると、次の矛盾に耐えきれなくなります。

感覚閾値ならば、78.1 デシベルよりも低い音圧レベルの音は、人間の感覚では感知できないはずです。でも、76 デシベルの音圧レベルで、不快感を覚えてしまいます。不快感の内容は人によるかもしれませんが、音、圧力、振動などを感じ取って不快だと思うのです。感覚閾値は、78.1 ではなくて、76 だとしなくてはな

りません。

聴覚閾値としておけば、耳では音を感じなくても、76 デシベルの段階で、圧力や振動を体で感じ取り、不快感を覚える。のですから、全く矛盾は生じません。

６．１３　A 特性音圧レベル

3.3　A 特性音圧レベル

騒音は、人間が耳で感じる煩さです。

$$L_p = 10 * \log\left(\frac{p^2}{p_0^2}\right)$$

上の式での Lp が同じでも、周波数が高い音だと煩く感じても、周波数が低い音ではそれほど煩く感じないので、人間が感じる騒音の煩さを示す数値を得るには、Lp に対する周波数ごとの補正が必要となります。それが、A 特性による重み付けです。

人間にとっての騒音の煩さを表す数値が A 特性音圧レベル（単位はデシベルdB）です。この計算には、人間の聴覚での可聴域が 20Hz から 20000Hz であることと、周波数によって人間の感じる煩さ（聴覚で感じる騒音の大きさ）が異なることを考慮して、周波数帯ごとに重み付けをして全体としての騒音レベル（dB）計算します。

計算対象となる周波数帯の中心周波数（1/3 オクターブ解析の場合についてのみ考えます）は、A 特性（1/3 オクターブバンド重み付け特性）と言っても、重み付けの規格はいろいろあります。

6.3hzから 20kHzの規格

（IEC61672:2014 規格）は、（関数 Weight1d3A(ww,w)）と NoiseLevel1d3A(ww,w)はこの規格）

Frequency [Hz]	A-Weighting	C-Weighting	Z-Weighting
6.3	−85.4	−21.3	0.0
8	−77.8	−17.7	0.0
16000	−6.6	−8.5	0.0
20000	−9.3	−11.2	0.0

10Hzから 20kHzの規格

JIS　C　1509　では、（関数 Weight1d3A10Hz(ww,w)　と　NoiseLevel1d3A10Hz(ww,w)はこの規格）

●周波数重み付け特性 A/C/Z の値

JIS C1509 に規定された周波数重み付け特性 A/C/Z の値とそのグラフを表 1、図 2 に示します。

表 1　周波数重み付け特性 A/C/Z　(1/3 オクターブバンド)

No	公称周波数 (Hz)	厳密周波数 (Hz)	A 特性 (dB)	C 特性 (dB)	Z 特性 (dB)
10	10	10.00	-70.4	-14.3	0.0
11	12.5	12.59	-63.4	-11.2	0.0
42	16000	15848.93	-6.6	-8.5	0.0
43	20000	19952.62	-9.3	-11.2	0.0

20Hzから 20kHzの規格

小野測器の HP では、（関数 Weight1d3A20Hz(ww,w)　と　NoiseLevel1d3A20Hz(ww,w)はこの規格）

A

A特性の補正値を列記します。補正値は「JIS C 1509」に記載されています。フラットの値（dB）に下記の値を加算してください。

周波数（Hz）	補正値（dB）
20	-50.5
25	-44.7
16000	-6.6
20000	-9.3

中心周波数について

公称周波数は各 1/3 オクターブバンドの中心周波数をきりのよい周波数であらわしたものです。

厳密周波数はバンド番号nを 10～33 の整数として式（1）により求めた各バンドの厳密な中心周波数の値です。

$$f = 1000 \times 10^{0.1\times(n-30)} \quad [\mathrm{Hz}] \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

(n=10,f=10,　n=13,f= 19.95262315, ,　n=33,f= 1995.262315)

※　このプログラムでは、公称周波数を使っています。

バンドパスフィルタの特性

上記の中心周波数に対するバンドパスフィルタの特性は次のようになっています。

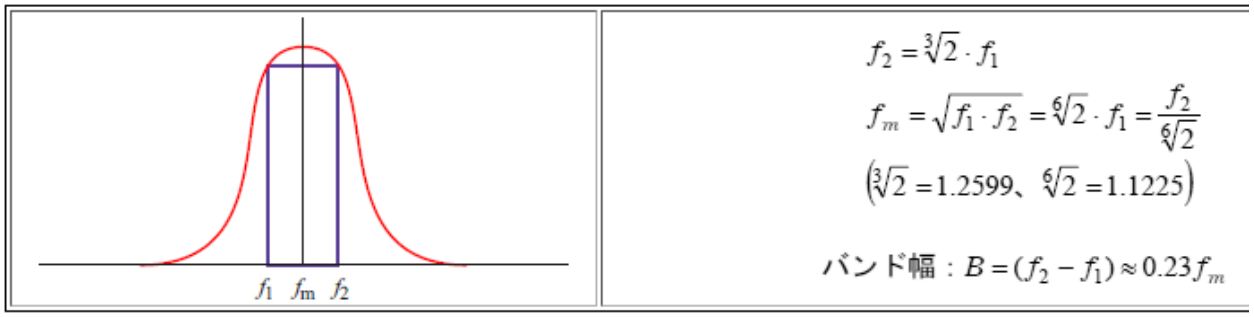


図 11-2　1/3 オクターブバンドにおける中心周波数、上下限周波数とバンド幅

その周辺での減衰は

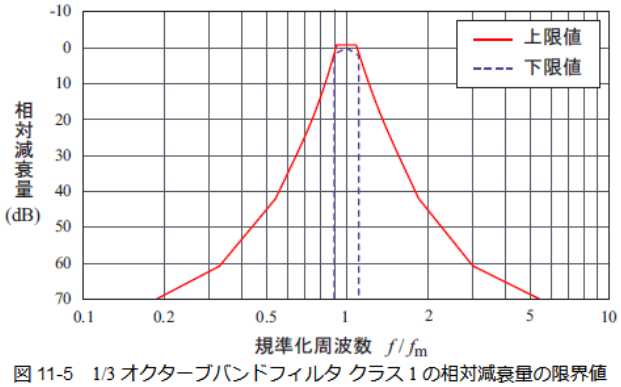


図 11-5　1/3 オクターブバンドフィルタ クラス 1 の相対減衰量の限界値

となっています。

A 特性での重み付けのグラフは、次のものです。

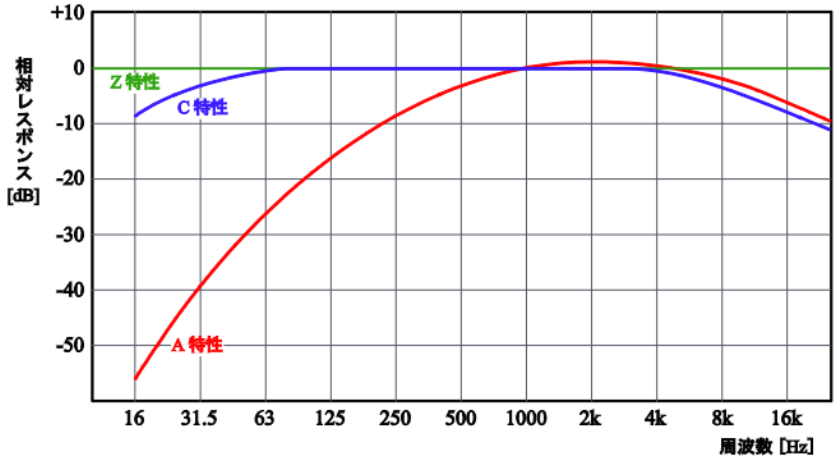


図 2　周波数重み付け特性 A/C/Z

重み付けの意味が良く分かる、計算例は、日本建設連合会　技術研究部会音響専門部会の資料です。

		オクターブバンド中心周波数 (Hz)						
		63	125	250	500	1k	2k	4k
①	● 道路騒音の例	70.8	69.0	68.7	65.8	63.8	59.2	53.3
②	A特性の重み付け	−26.2	−16.1	−8.6	−3.2	0.0	1.2	1.0
③	○ A特性重み付け後(①+②)	44.6	52.9	60.1	62.6	63.8	60.4	54.3
騒音レベル(下式参考)		68.3						

[dB]

$$L_A = 10\log_{10}(10^{L_{A63}/10} + 10^{L_{A125}/10} + 10^{L_{A250}/10} + 10^{L_{A500}/10} + 10^{L_{A1k}/10} + 10^{L_{A2k}/10} + 10^{L_{A4k}/10})$$

ここで、L_A：騒音レベル(dB)、L_{A63}～L_{A4k}：63 Hz～4 kHz 帯域の A 特性の重み付け後の音圧レベル(dB)

上の計算例と、A 特性での重みづけのグラフを比較してみると、

計算例の表では

1kHz での道路騒音の例の値は 63.8（dB）、A 特性重み付けは 0.0 となっています。A 特性での重みづけのグラフにおいて、A 特性を表す曲線が1kHz の所でレスポンス（dB）0の横線と交わっていることに対応します。

63Hz での道路騒音の例の値はL_P =70.8（dB）、A 特性重み付けは -26.2 となっています。A 特性での重みづけのグラフにおいて、A 特性を表す曲線が 63Hz の所でレスポンス（dB）-26.2 の横線と交わっていることに対応します。

従って、63Hz の音は、音の煩さの評価としてはL_P =70.8（dB）であるにも関わらず、L_A =44.6（dB）の値のものとして扱われることを意味します。

聴覚に対応した周波数重みである A 特性で重み付けした音圧 P_A から騒音レベル L_A（A 特性音圧レベル）（dB）を求める式は次のようになります。

$$L_A = 10\log_{10}\frac{p_A^2}{p_0^2} = 20\log\frac{p_A}{p_0}$$

p_A：測定された周波数重み A 付きの（瞬時）音圧の実効値
p_0：基準となる音圧の実効値（20 μ Pa）（Pa はパスカルという圧力単位）

$$L_p = 10 * log_{10}(P\ /P_0)^2$$

で、$P_O = 2 \times 10^{-5}$、$L_P = 70.8$、$L_A = 44.6$

$$L_p = 70.8 = 10 * log_{10}(P_{70.8}/P_0)^2$$

より、63Hz で 70.8（ｄB）の音の音圧は、10^(70.8/20)=3467.37=$P_{70.8}/P_0$
$P_{70.8} = 3467.37 * (2 * 10^{-5}) = 0.06935$

$$L_A = 44.6 = 10 * log_{10}(P_{44.6}/P_0)^2$$

より、63Hz で 44.6（ｄB）の音の音圧は、10^(44.6/20)=169.8=$P_{70.8}/P_0$
$P_{44.6} = 169.8 * (2 * 10^{-5}) = 0.003396$

ここで、

$$-26.2 = 10 * log_{10}(P_{44.6}/P_{70.8})^2$$

が成立する。これは、A 特性による補正値です。

$$\frac{P_{44.6}}{P_{70.8}} = 10^{\left(\frac{-26.2}{20}\right)} = 0.0489$$

となるので、音圧は 0.0489 倍になったものとして扱われます。

さて、全体の騒音レベルの計算ですが、次の資料を確認します。

【参考】：1/3 オクターブのデータより 1/1 オクターブのデータへの変換

既知の 1/3 オクターブデータの dB 値より対応する 1/1 オクターブバンドデータの dB 値へ変換するには、求めたい 1/1 オクターブバンドに対応する 1/3 オクターブバンドデータの dB 値の和を計算します。 例えば、1/1 オクターブの中心周波数 1000 Hz のバンドデータ値を求める場合、対応する 1/3 オクターブのバンドデータが次のような dB 値であるとき；

800 Hz	73 dB
1000 Hz	77 dB
1250 Hz	75 dB

；中心周波数 1000Hz の 1/1 オクターブバンド値は次の式から求められます。

$$10\log_{10}\left(10^{\frac{73}{10}} + 10^{\frac{77}{10}} + 10^{\frac{75}{10}}\right) = 80\ (\mathrm{dB}) \qquad \text{式 11-7}$$

この計算では、各周波数帯の音のエネルギーの和に対しての騒音レベルを計算しています。

音圧の**２乗が音の強さ（エネルギー）に比例することから、この帯域でのエネルギーの大きさを** $P_{1/1}{}^2$ **とすれば、エネルギーの和を考えると、**（ J＝（ｐ*ｐ）/（ρ ｃ）を考え、適当な定数を掛けて考える。）

$$(P_{800})^2 + (P_{1000})^2 + (P_{1250})^2 = P_{1/1}{}^2$$

が成立する。

$$L_{800} = 10 * log_{10}(P_{800}/P_0)^2$$

より$L_{800}/10 = log_{10}(P_{800}/P_0)^2$、よって、$(P_{800}/P_0)^2 = 10^{L800/10}$
となり、

$$L_{1/1} = 10 * log_{10}(P_{1/1}/P_0)^2$$
$$= 10 * log_{10}(((P_{800})^2 + (P_{1000})^2 + (P_{1250})^2)/{P_0}^2)$$
$$= 10 * log_{10}\left(10^{L800/10} + 10^{L1000/10} + 10^{L1250/10}\right)$$

となります。

（作成した関数では、各中心周波数に対して、帯域幅を決めて、その中の成分に関して、音圧を２乗してから、和をとって、その値を、中心周波数の音圧の２乗として扱って計算してあります。）

従って、

$$L_A = 10\log_{10}(10^{L_{A63}/10} + 10^{L_{A125}/10} + 10^{L_{A250}/10} + 10^{L_{A500}/10} + 10^{L_{A1k}/10} + 10^{L_{A2k}/10} + 10^{L_{A4k}/10})$$

ここで、L_A：騒音レベル(dB)、L_{A63}～L_{A4k}：63 Hz～4 kHz 帯域の A 特性の重み付け後の音圧レベル(dB)

は、A 特性で重みづけをした後の各周波数帯での騒音レベルを使って全体の騒音レベルと計算していることになります。あるいは、エネルギーの和を考えてから騒音レベルを計算しているとも言えます。

数値は、

$$10 * log_{10}\left(10^{L63/10} + 10^{L125/10} + 10^{L250/10} + 10^{L500/10} + 10^{L1000/10} + 10^{L2000/10} + 10^{L4000/10}\right)$$
$$10 * log_{10}\left(10^{44.6/10} + 10^{52.9/10} + 10^{60.1/10} + 10^{62.5} + 10^{63.5/10} + 10^{60.4/10} + 10^{54.3/10}\right)$$

＝68. 34502291
となり、これが計算例の騒音レベル 68. 3 です。

上の計算例に従えば計算手順は、

1．周波数帯ごとに音圧（パスカル単位）を計算する。
2．基準音圧と比較して、その周波数帯での音圧レベル（dB 単位）を求める。
3．周波数帯域ごとに A 特性での重み付けをする。
4．重み付けした値を基に、全体のエネルギーと計算して、全体としての音圧レベル（dB 単位）を求める。

となりますが、

リオン社の NL-62 のマニュアルには、

$$L_{Aeq} = 20log_{10}\left\{\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} P_A^2(i)\right)^{\frac{1}{2}}/P_0\right\}$$

と言う式が書いてあります。

これは、物理的な回路網で G 特性を近似して$P_A(i)$ (i=1,..,N)が得られることを意味しています。

ISO7196 の記述“備考：G 特性は、誘導子/抵抗器/コンデンサからなる簡単な回路網によって物理的に近似することができる。”に従って、直接的に計測時間ごとの A 特性音圧レベルを求め、その結果を使って全体の A 特性音圧レベルを上の式で求めていることになります。

リオン社に確認したところ、サンプリング周波数 48kHz の場合は、$P_A(i)$の値が、1 秒間に 48000 個得られるとの事でしたが、どのようにして、$P_A(i)$を決定しているかは公開していないとの事でした。

マニュアルから推測すると、0.25 秒間に計測される音圧データか、1 秒間に計測された音圧データをもとにして、$P_A(i)$を計算していると思われます。サンプリング周波数 48kHz の場合は、0.25 秒間の場合では、12000 個のデータか

ら計算するので最低の周波数は 4Hz となり、1 秒間の場合は 48000 個のデータから計算するので最低周波数は 1Hz となります。

A 特性の計算では、1Hz 以上でも、なんとかなりますが、超低周波音を扱う G 特性では困ります。

現在の大型風車から発生する低周波音の周波数は、0.5Hz から 0.8Hz 程度です。

ISO7196 では、中心周波数 0.25Hz から 315Hz までの中心周波数が設定されています。0.25Hz の時の帯域幅が 0.0575Hz なので少なくとも 20 秒間のデータを使って計算する必要があります。

計算量も増えるし、メモリーも多く使いまので、風車の音の特徴を調べるには、PC を使って、平坦特性（Z 特性）で記録したデータを解析する必要があります。この平坦特性で記録された音圧データを基に計算すれば、風車の指紋に当たる周波数スペクトルが得られます。

リオン社の精密騒音計 NL-62 に、波形収録プログラム NX-42WR を追加すると、１６ビットの符号付整数を使って収録された WAV ファイルを作れます。

収録時の周波数重みづけは Z 特性（平坦特性）とし、サンプリングレートは４８ｋHz、連続する収録時間として１分程度記録すれば、0.01667Hz から、24ｋHz まで計測できます。

リオン社の波形収録プログラム NX-42WR では、ファイルに記録するときに１つの整数値に対して使用するビット数には、２４ビットの符号付整数と１６ビットの符号付整数の２種類が可能です。

ここでは、16 ビットの場合を扱います。

まず、符号付の整数については、次のような解説があります。

符号付の整数で表現できる範囲

負の数に 2 の補数を使うとき，8 ビットの符号付きの整数では －128 ～ 127 の範囲の値が使用できる。同様に，16 ビットの符号付きの整数では －2^15 ～ 2^15 -1 の範囲の値が，32 ビットの符号付きの整数では －2^31 ～ 2^31 -1 の範囲の値が使用できる。
いずれも負の数の個数が １つ多くなる。

騒音計で計測できる音圧の範囲については、精密騒音計（低周波音測定機能付）NL-62　取扱説明書に最大で 148dB　だと記載されている。

表示・出力フルスケール　の項に、出力電圧のフルスケールで、設定できる範囲は 70dB～130dB までで、10dB 刻みだと書かれている。

ここで、130dB を選んだときは、WAV ファイルの名前は

NL_001_20220503_111400_130dB_0008_0000_ST0001

となり、名前の中央部分から、出力電圧のフルスケールを 130ｄB に設定したことが分かります。

wav ファイルへ記録するデータは、もう少し大きな音圧にも対応できるようになっていて、表示出力フルスケール値+13 dBが WAVE ファイルのフルスケール値になります。

そこで、設定で 130ｄB としたとしても、WAVE ファイルでの実際のフルスケール値：143 [dB] であり、これは、 2×10^(-5)×10^(143/20) = 282.5075088 [Pa]に相当する。

理由は

騒音（低周波音）・超低周波音の大きさの表し方

音圧レベル＜物理的な大きさ＞

音響出力は音圧の二乗に比例する

$L_p = 10 \cdot \log_{10}(p^2 / p_0^2)$

L_p : 音圧レベル(dB)

p : 音圧実効値(Pa)

p_0 :基準音圧 2×10^{-5} (Pa) (=20μPa)

dB値(参考) : 0.002Pa=40dB,
$0.00002(2 \times 10^{-5})$ Pa=0dB

＊ OA音圧レベル (dB), 1/3オクターブバンド音圧レベル (dB)

より、$L_p = 10 * \log_{10}(p^2 / p_0^2) = 20 * \log_{10}(p / p_0)$

であり、

$143 = 20 * \log_{10}(p / (2 * 10^{-5}))$

$p/(2*10^{-5}) = 10\text{^}(143/20)$

$p = (2*10^{-5}) * 10\text{^}(143/20) = 282.5075088$ Pa （実効値）

となるからです。

実効値で 282.5075088 Pa（143dB）となる値を、wav ファイルにどの様な数値として記載するかについては、ファイルによって異なる。

16 ビットの場合は、負の音圧（－282.5075088 Pa）をとって、負の整数 {－(2^(15))} を対応させる。

従って、整数値 1 は （－282.5075088 Pa（143dB）/ {－（2^(15)）} の音圧（実効値）を意味する。

（ －282.5075088 / {－（2^(15)） ）＝8.62144497*10^(-3)

となるので、整数値 k は、

k *（ －282.5075088 / {－（2^(15)） ）＝ k *8.62144497*10^(-3) Pa（実効値）を意味する

リオン社のサンプルデータファイルは、NL_001_20100101_000146_090dB_0001_0000_SL0001 であり、

16 ビット符号付整数のデータで、表示出力フルスケール値、90dB を選んで計測していることが分かります。また、wav ファイルへ記録するデータは、もう少し大きな音圧にも対応できるように、なっていて、

（表示出力フルスケール値+13 dBが WAVE ファイルのフルスケール値になります。）

そこで、WAVE ファイルのフルスケール値 : 103 [dB] となり、これのパスカル値は、2×10^(-5)×10^(103/20) = 2.825075088 [Pa] となる。

この数値の符号を変えた、－2.825075088[Pa]に対して、負の整数、－(2^(15))を対応させる。

整数 1 に対しては、（－2.825075088[Pa] / {－(2^(15))} ）＝8.62144497*10^(-5)

となるので、整数値 k は、 k *8.62144497*10^(-5) Pa（実効値）を意味する

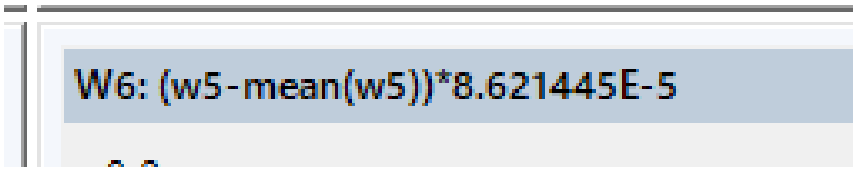
この数値、8.62144497*10^(-5) は、符号付整数のビット数や表示出力フルスケール値の設定によって決まる。

計算が面倒な場合は、AS-70（試用版は無料です。）にデータを読み込ませて、次の操作をすればよい。

表示 ― ファイル情報 として、Value/Bit の値（8.621445E-5）を使えばよい。

を表示させて、ここでの Value/Bit　の値を使って変換すればパスカル値（実効値）となる。

なお、入力レンジの項目が 90dB となっていることを確認して下さい。



Wavelet の計算をする都合もあるので、W2 では、平均値を引いておきました。パスカル値に調整するために、*8.621445E-5　としました。この値（8.621445E-5）は、AS-70 を使って確認しました。

整数値からパスカル値への変換はファイル名をよく見るか、AS-70 を使う必要があります。

A 特性での音圧を得るには、音を周波数帯に分解して、各周波数帯での音圧レベルを計算し、その値に、A 特性での重みを加えて、逆の計算をしないと、A 特性での音圧にはなりません。

周波数帯に分解するには、FFT（あるいはそれに相当するもの）の計算が必要です。この時には、波を把握できるように、ある程度の時間の長さでの音圧変動を記録しておいて、その変化を使って、周波数構成を求めることが必要となるのです。

ここでの計算で使うデータ長が、音の周波数をどこまで把握できるかと言う事と大きな関連を持っているのです。

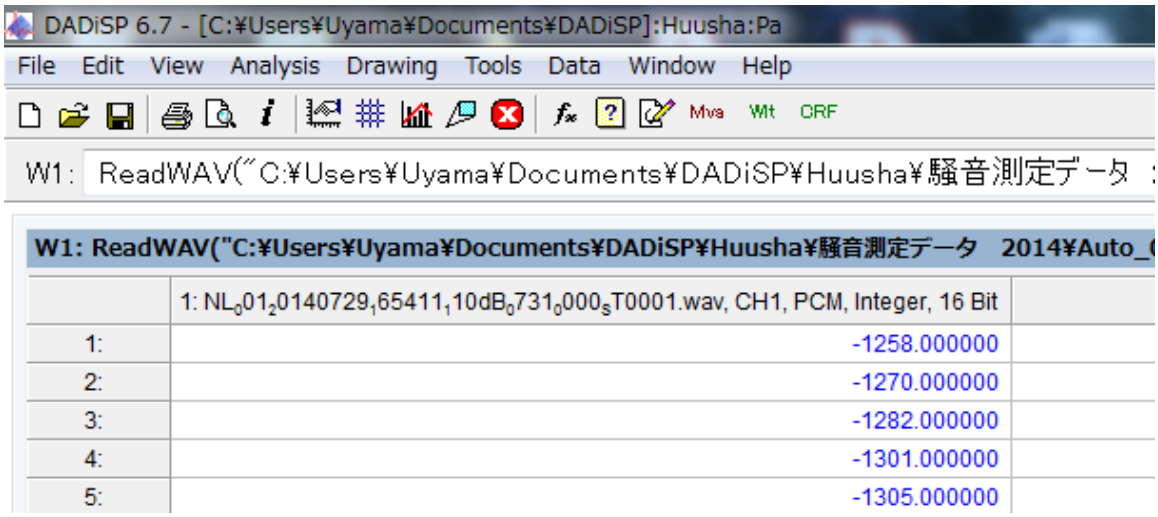
ですから、瞬間的に、A 特性での音圧が得られると考えてはいけないのです。

注意：

表示出力フルスケール値、110dB を選んだ場合、表示出力フルスケール値の+13 dBが WAVE ファイルのフルスケール値になります。

そこで、WAVE ファイルのフルスケール値：123 [dB] となり、これのパスカル値は、 2×10^(-5)×10^(123/20) = 28.25075088 [Pa] となる。(－28.25075088 / {－(2^(15))}) = 8.62144497*10^(-4)

このとき、wav ファイルを DADISP で表示させた場合、16 ビットでの整数値が次のような値だとして、



W1: ReadWAV("C:¥Users¥Uyama¥Documents¥DADiSP¥Huusha¥騒音測定データ 2014¥Auto_(

	1: NL$_0$01$_2$0140729$_1$65411$_1$10dB$_0$731$_0$000$_s$T0001.wav, CH1, PCM, Integer, 16 Bit
1:	-1258.000000
2:	-1270.000000
3:	-1282.000000
4:	-1301.000000
5:	-1305.000000

Value/Bit の値 8.621445E-4 を掛けると、
次の数値が得られます。

W3: w1*8.621445E-4

	1: NL$_0$01$_2$0140729$_1$65411$_1$10dB$_0$731$_0$000$_s$T0001.wav, CH1, PCM, Integer, 16 Bit
1:	-1.084578
2:	-1.094924
3:	-1.105269
4:	-1.121650
5:	-1.125099

この値が、パスカル値（実効値）となります。

この数値と、リオン社のソフト AS-70 でのグラフ表示では、違いが出ます。リオン社に確認したところ、

弊社で WAVE ファイルを確認致しましたところ、一番上から 5 行目まではこちらの数値となり、
単位は Pa（実効値）になります。
-1.084578
-1.094924
-1.105269
-1.12165
-1.125099

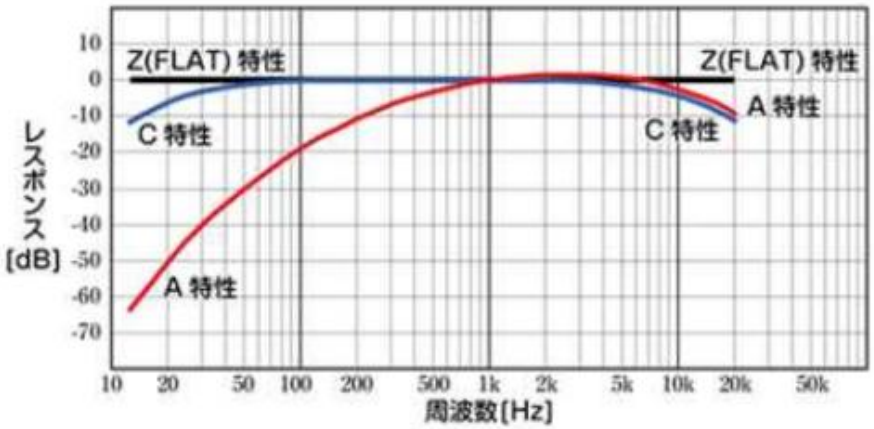
ご質問 1「AS-70 でのパスカル値確認」について。
AS-70 にて WAVE 波形をグラフ化してご確認を頂いているかと思いますが、
AS-70 のソフト上では、波形の拡大率によって、特徴的な数値（最大値、最小値）を選択して間引きを行っており、
拡大率によって間引き率が変わるため、何番目の数値か一概に申し上げることが出来ません。
間引きがされていない数値をご確認頂く際は、WAVE ファイルを CSV として出力したデータをご確認頂ければと思います。
となっているので、他の波形解析ソフトのグラフ表示とは一致しない場合がある。

との事でした。

周波数重み付け特性

騒音計に用いられている周波数補正特性のこと．騒音では人の音の大きさの感覚に基づいた**A特性**が用いられる．

- 図のようにA特性の他、C特性、Z(FLAT)特性がある．
- A特性：人は低い周波数の音は良く聞こえないため、周波数の重み付けをしている。A特性は、旧等ラウドネス曲線の40 phonに近似している（新等ラウドネス曲線の60phon）．
- C特性やZ特性は、比較的平坦で、物理的な測定に用い、詳細な解析を行う場合にしばしば用いられる．



周波数重み付け特性

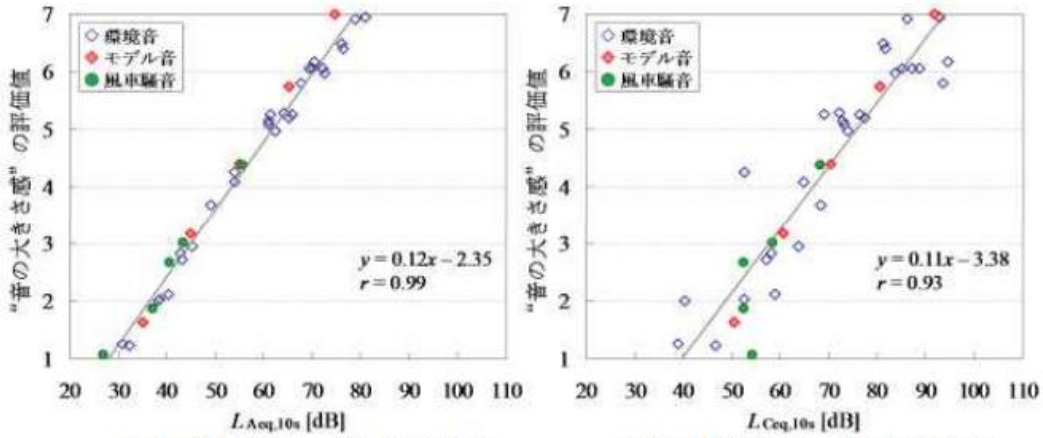
注釈1. 指示の応答速度を決める動特性のうち速い動特性（ＦＡＳＴ、時間重み特性Ｆともいう．125msec）は短い継続時間の音に対する感覚特性から決められている．→　環境騒音など．

注釈2. 遅い動特性（ＳＬＯＷ、時間重み特性Ｓともいう．１ｓ）は、変動する騒音の場合にメータの指針の読みを容易にするために考えられたものである．→　新幹線騒音など．

19

評価尺度としてのA特性音圧レベル

超低周波数領域の成分を含んだ各種の環境騒音を試験音として
ラウドネス（人が感じる主観的な大きさ）実験を実施.



(a) A特性音圧レベルとの対応　　(b) C特性音圧レベルとの対応

風車騒音の評価は、一般環境騒音と同様にA特性音圧レベル（騒音レベル）
を用いるのが適切（A特性と音の大きさ感の相関が良い）.

との結論だが、

もともと、

・A特性：人は低い周波数の音は良く聞こえないため、周波数の重み付けをしている。A特性は、旧等ラウドネス曲線の40 phonに近似している（新等ラウドネス曲線の60phon）.

とあるように、A 特性はラウドネス曲線を近似したものだから、一致して当然です。

問題は、風車音による被害状況と一致しているかどうかを確認することなのです。

井上氏は、

風車騒音の評価は、一般環境騒音と同様にA特性音圧レベル（騒音レベル）
を用いるのが適切（A特性と音の大きさ感の相関が良い）.

と述べている。何のために風車騒音を評価するのかが、全く分かっていない。

よくわかる 低周波音　環境省 水・大気環境局大気生活環境室　6 ページ
にある、不快感や圧迫感、に注目すべきです。

低周波音ってどんな影響があるの？

低周波音の影響は、大きく分けて二種類あります。一つは、不快感や圧迫感などの人への影響（心身に係る影響）で、もう一つは窓や戸の揺れ・がたつきなどの建具などへの影響（物的影響）です。
低周波音による不快感や圧迫感は、人が低い音を聞く（あるいは感じる）ことにより発生します[4)]。
窓や戸の揺れ・がたつきは、低周波音が窓や戸を振動させることにより発生します。
いずれも、低周波音がある大きさ以上になると発生します。

4）人の感覚は音の周波数が低くなるほど鈍くなるので、周波数が低くなるほど、かなり大きな低周波音でないと感じ取ることができません。低周波音を感じなければ、不快感も圧迫感も生じません。
「耳は低い音ほど鈍感」（4頁）も参照して下さい。

耳は超低周波音（０Hz～２０Hz）に対して鈍感でも、圧力を感じる感覚器官はより鋭敏です。参照値と聴覚閾値の関連確認して下さい。

さらに、風車音を含む、低周波音による被害の特徴は、
A procedure for the assessment of low frequency noise complaints
（Moorhouse, AT, Waddington, DC and Adams, MD）の表を見ると分かります。
表 II:選択された症状を報告している LFN 苦情申立人の数。

健康問題	回答者数	回答者の割合
睡眠障害	11	92%
ストレス	10	83%
フラストレーション	9	75%
眠りにつくのが難しい	8	67%
不安	8	67%
疲労感	7	58%
耳や体の圧力や痛み	7	58%
頭痛	7	58%
身体の振動や痛み	6	50%
頻繁な刺激	5	42%
不眠症	5	42%
うつ病	4	33%
片頭痛	3	25%
腹部症状	3	25%
慢性疲労	2	17%
自殺	2	17%
耳鳴り	1a	8%

a）回答者は、耳鳴りではなく副鼻腔炎が耳鳴りに起因すると回答した。

私たちは、家の中で暮らしています。

６．１４　Ｇ特性音圧レベル、

ISO7196 での G 特性での重みは次のものです。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
中心周波数Hz	0.25	0.315	0.4	0.5	0.63	0.8	1	1.25	1.6	2	2.5
G特性での重み	-88.00	-80.00	-72.10	-64.30	-56.60	-49.50	-43.00	-37.50	-32.60	-28.30	-24.10
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
中心周波数Hz	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5
G特性での重み	-20.00	-16.00	-12.00	-8.00	-4.00	0.00	4.00	7.70	9.00	3.70	-4.00
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
中心周波数Hz	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	
G特性での重み	-12.00	-20.00	-28.00	-36.00	-44.00	-52.00	-60.00	-68.00	-76.00	-84.00	

重みがプラスになるのは、10Hz～25Hz で、0～9ｄB の増加です。

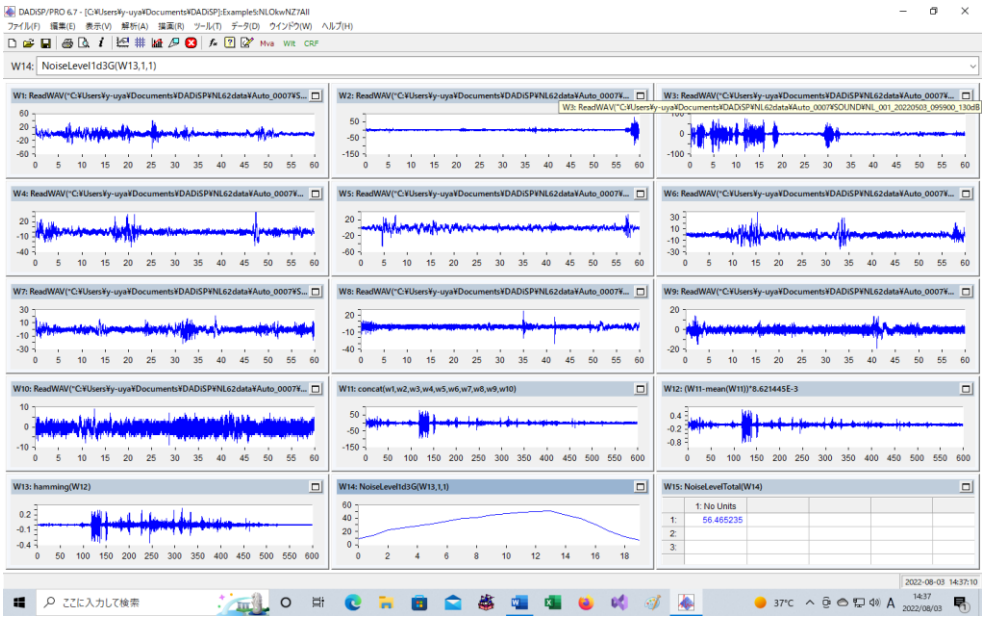
また、0.25Hz では-88ｄB、0.5Ｈｚでは-64.3ｄＢ、1Hz では-43ｄB のマイナスです。

おまけ

神社の境内で測った騒音で、誰かが、近くで草刈り機を使っていた時のデータは、

1/3 オクターブバンド中心周波数 1-80Hz　で計算した G 特性音圧レベルは 56.465235 でした。

NLOkwNZ7All　　（Auto__0007.mh　にある WAV ファイルを番号順に読み込んだもの）



この値は、三重県で風車の会社が配布した資料の騒音―③のケースとほぼ同じです。

予測地点	時間区分	G特性音圧レベル（L_{Geq}）				超低周波音を感じる最小音圧レベル
		現況値	風力発電施設寄与値	将来予測値	増加分	
			本事業			
		a		b	b-a	（ISO-7196:1995）
騒音－③	昼間	59	61	63	4	
	夜間	54		62	8	
	全日	58		63	5	

G 特性での、バンドパスフィルタの影響と、G 特性重み付けの影響について付け足しておきます。

G 特性で中心周波数 1 Hz の場合を確認しましょう。

周波数 0.5Hz の場合

中心周波数 1Hz の場合は 0.5Hz の波に対しては、ｆ／ｆｍ＝0.5/1＝0.5 であり、フィルタによる相対減衰量はクラス１では、45ｄＢくらいになっている。

これは、0.５Hz の波、$Asin(0.5 * 2\pi\ t)$がこのフィルタに入って、出てきたときは$Bsin(0.5 * 2\pi\ t)$だったとすると、

$$10 * log_{10}\left(\frac{A^2}{P_0^2}\right) - 10 * log_{10}\left(\frac{B^2}{P_0^2}\right) = 45$$

$20 * log_{10}\left(\frac{A}{B}\right) = 45$よって、A/B＝10＾2.25＝178　となるので、B＝A/178。

したがって、フィルタ通過後の波の中の 0.5Hz の成分は、この帯域での騒音の計算では振幅が元の大きさの 1/178 の大きさしかないものとして扱われる。

おまけ

G 特性による補正

中心周波数 1Hz の帯域の関しては、-45ｄＢの補正がかかるので、振幅の評価はさらに下がり、その大きさが、$20 * log_{10}\left(\frac{C}{B}\right) = -45$から、C/B＝10＾（-45/20）＝0.0056 となるので

最終的な振幅の評価は元の振幅の、0.0056*0.0056＝0.0000316 倍となるので

まるで、

$$Asin(0.5 * 2\pi\ t)$$

の波が

$$0.0000316 * Asin(0.5 * 2\pi\ t)$$

であったかのような扱いを受ける。

周波数 0.2Hz の場合

中心周波数 1Hz の場合は 0.2Hz の波に対しては、ｆ／ｆｍ＝0.2/1＝0.2 であり、相対減衰量はクラス１では、70ｄＢ程度になっている。

これは、0.2Hz の波、$Asin(0.2 * 2\pi\ t)$がこのフィルタに入って、出てきたときは$Bsin(0.2 * 2\pi\ t)$だったとするときに、

$$10 * log_{10}\left(\frac{A^2}{P_0^2}\right) - 10 * log_{10}\left(\frac{B^2}{P_0^2}\right) = 70$$

$20 * log_{10}\left(\frac{A}{B}\right) = 70$よって、A/B＝10＾3.5＝3162

となるので、B＝A/3162。

したがって、フィルタ通過後の波の中の 0.2Hz の成分は、この帯域での騒音の計算では元の振幅の 1/3162＝0.000316 の振幅しかないものとして扱われる。

G 特性による補正

G 特性の場合は、中心周波数 1Hz の帯域の関しては、-45ｄB の補正がかかるので、全体の騒音レベルに対しては、その強さが、$20 * log_{10}\left(\frac{C}{B}\right) = -45$から、C/B＝10 ^ (-45/20) ＝0.0056 となるので
全体の騒音の強さの計算では、0.0056*0.000316＝0.00000177 となるので
まるで、

$$Asin(0.2 * 2\pi t)$$

の波が

$$0.00000177 * Asin(0.2 * 2\pi t)$$

であったかのような扱いを受ける。

計測で確認された、0.8Ｈｚ成分に関しても計算しておきましょう。
周波数 0.8Hz の場合
中心周波数 1Hz の場合は 0.8Hz の波に対しては、ｆ／ｆｍ＝0.8/1＝0.8 であり、相対減衰量はクラス１では、15ｄB、くらいになっている。
これは、0.8Hz の波、$Asin(0.8 * 2\pi t)$がこのフィルタに入って、出てきたときは$Bsin(0.8 * 2\pi t)$だったとするときに、

$$10 * log_{10}\left(\frac{A^2}{P_0^2}\right) - 10 * log_{10}\left(\frac{B^2}{P_0^2}\right) = 15$$

$20 * log_{10}\left(\frac{A}{B}\right) = 15$よって、A/B＝10 ^ 0.75＝5.6
となるので、B＝A/5.6。
したがって、フィルタ通過後の波の中の 0.8Hz の成分は、この帯域での騒音の計算では元の振幅の 1/5.6＝0.179 の振幅しかないものとして扱われる。

G 特性による補正
G 特性の場合は、中心周波数 1Hz の帯域の関しては、-45ｄB の補正がかかるので、全体の騒音レベルに対しては、その強さが、$20 * log_{10}\left(\frac{C}{B}\right) = -45$から、C/B＝10 ^ (-45/20) ＝0.0056 となるので
全体の騒音の強さの計算では、0.179*0.0056＝0.001 となるので

$$0.001 * Asin(0.8 * 2\pi t)$$

であったかのような扱いを受ける。

以上のことから、Ｇ特性での計算では、１Ｈｚよりも低い周波数成分に関しては、中心周波数１Ｈｚのバンドパスフィルタの影響とＧ特性の補正値によって、1/1000（８Ｈｚ）から 1/30000（0.5Ｈｚ）から 1/565000（0.2Ｈｚ）の強さしかなかったかのように計算されます。

G 特性の補正値では、10Hz から 30Hz の間の周波数帯の部分はプラスの評価を受けるので、この部分が計測結果に大きく寄与します。

これまでの計算から、風車から出てくる１Hz 以下の超低周波音の影響が G 特性での測定結果の計算に、ほとんど寄与しないのは明らかです。
G 特性での低周波音の評価だけでは、風車が建つ前と建った後で大きく変化する１Hz 以下の超低周波音の引き起こす諸問題が解明できません。フィルタで影響を小さく評価し、さらに G 特性での補正でさらに小さく評価するのです。
例えば、0.2Hz で強さが 1000 パスカルの超低周波音があったとしても、G 特性での計算では、1000/565000＝0.00177 パスカル程度の振幅の波として扱われる。
１パスカルは１㎡の面積に対して１N の圧力を加えるような気圧であるので、１㎡に対して 1000N の力が加わる。地球上では質量１ｋｇの物質に対して 9.8Nの力（引力）が働くのだから、1000/9.8＝102 となり、水平な面の１㎡あたりに１０２ｋｇの重しを追加して乗せることに相当する。
これが、G 特性による計算では、0.00177/9.8＝0.00018 であり、0.00018ｋｇ＝0.18ｇの重しを追加して乗せているような扱いをされることになっている。

エクセルを使って、簡単なモデルを作り、音圧レベルの数値について再度確認しましょう。

ISO7196 の重み付けを使うことにして、単純化したモデルを作れば、次のようになります。
各周波数の音圧を調整して、全体の G 特性音圧レベルが　56.46126558　ｄB になるようにしました。
次に、周波数成分の音圧を変更して、全体の G 特性音圧レベルが、ほぼ 61ｄB になるようにしました。

結果を音圧の比で評価すれば、
20Hz 成分が、0.0041　(Pa)　から、0.008（Pa）に変化したら、61（ｄB）になりました。
0.008/0.0041＝1.95　倍
2Hz 成分が、0.0005　(Pa)　から、0.5（Pa）に変化したら、61（ｄB）になりました。
0.5/0.0005＝1000　倍
0.5Hz 成分が、0.0002　(Pa)　から、31.5（Pa）に変化したら、61（ｄB）になりました。
31.5/0.0002＝157500　倍
0.25Hz 成分が、0.00024　(Pa)　から、482（Pa）に変化したら、61（ｄB）になりました。
482/0.00024＝2008333　倍
です。

計算結果は、次の表です

	G特性音圧レベルの試算		ISO7196の重み付け					
	基準音圧（Pa）	0.00002						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-88	-64.3	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-66.416375	-44.3	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	56.46126558						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.008	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	52.0411998	-29.118639
②	G特性の重み付け	-88	-64.3	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-66.416375	-44.3	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	61.0411998	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.39824356						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.5	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	87.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-88	-64.3	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-66.416375	-44.3	-29.0206	59.6588002	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.35819084						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	31.5	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	123.945611	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-88	-64.3	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-66.416375	59.6456112	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.34928006						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	482	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	147.640341	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-88	-64.3	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	59.6403409	-44.3	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.3457206						

1Hz 以下の重みを、全て 1Hz の時の重み（-43ｄB）に変えて、G 特性音圧レベルを計算すると、次の表になります。

	G特性音圧レベルの試算		1Hzはローパスフィルタ（その①）					
	基準音圧（Pa）	0.00002						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-21.416375	-23	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	56.4612657						

一部省略

	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	31.5	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	123.945611	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-21.416375	80.9456112	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	80.96104869						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	482	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	147.640341	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	104.640341	-23	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	104.6404069						

聴覚での把握ではなく、共振などの物理的な影響を考えるときの目安としては、このようにして計算した数値の方が、有効だと考えます。

このように、中心周波数 1HZ の部分を 0Hz までのローパスフィルタに変更して、61（ｄB）になる音圧を計算すると次の表になります。

	G特性音圧レベルの試算		1Hzはローパスフィルタ（その②）					
	基準音圧（Pa）	0.00002						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-21.416375	-23	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	56.4612657						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.008	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	52.0411998	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-21.416375	-23	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	61.0411998	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.3982436						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.5	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	87.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-21.416375	-23	-29.0206	59.6588002	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.35819088						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	3	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	103.521825	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-21.416375	60.5218252	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.96007148						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	3	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	103.521825	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	60.5218252	-23	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.96007147						

物的振動が起こる目安、または聴覚以外の感覚で不快感を認識する音圧の目安として、上の表のような数値を採ると役に立つと思います。

おまけ
１パスカルは１㎡の面積に対して１Ｎ の圧力を加えるような気圧であるので、0.003 パスカルでは、１㎡に対して 0.003N の力が加わる。地球上では質量１ｋｇの物質に対して 9.8Nの力（引力）が働くのだから、0.003/9.8＝0.000306 となり、水平な面の１㎡あたりに 0.3ｇの重しを乗せることに相当する。掌サイズ（10ｃｍ*10ｃｍ）で考えれば、掌に 0.003ｇの重しを乗せることに相当します。

１パスカルは１㎡の面積に対して１Ｎの圧力を加えるような気圧であるので、１㎡に対して 10000N の力が加わる。地球上では質量１ｋｇの物質に対して 9.8Nの力（引力）が働くのだから、10000/9.8＝1020 となり、水平な面の１㎡あたりに 1020ｋｇの重しを追加して乗せることに相当する。掌サイズ（10ｃｍ*10ｃｍ）で考えれば、掌に 10ｋｇの重しを乗せることに相当します。

このような違いは、G 特性による計算ではほとんど無視されてしまいます。
音圧 0.003Pa と 10000Pa では私たちが受ける気圧変動としては桁違いですので物理的な影響は極めて大きいと考えます。にもかかわらず、G 特性で表現した数値の変化は、本当に小さな変化です。この場合は、四捨五入で同じ 68 デシベルになってしまいます。
G 特性で騒音を評価しても超低周波音の影響を正しく評価することはできません。１Hz 以下の超低周波音をＧ特性では正しく評価できないことは上記の計算モデルからも明らかです。

もちろん、簡単なモデルでの計算なので、予測値やその影響をより正確に理解するには、実在する風車群についての計測や、風車建設前の騒音状態を１Hz 以下の超低周波音の強さが明確になる方法で計測する必要があります。
私（宇山靖政）が実際に計測した結果では、風車の近くには風車が無い地域に比べて、100 倍くらいの強さの１Hz 以下の超低周波音が存在しました。

館山の風車騒音を計測した結果では、0.2Hz、0.4Hz，0.8Hz，等の超低周波成分は確かに存在する。
質問状で引用した多くの論文の資料でも、このような周波数の超低周波数成分が存在することは明らかです。

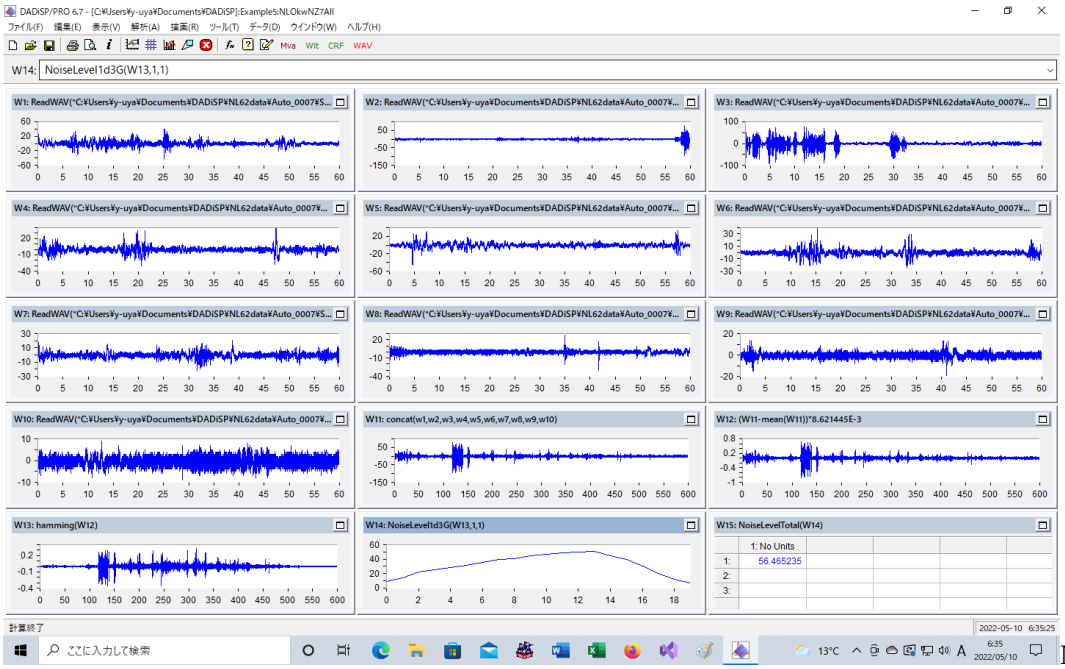
１Hz 以下の超低周波成分は確かに存在するが、それは 0.002 から 0.004 パスカル程度の強さだと分かります。
館山の風車の近くでは、0.1～0.3 パスカル程度になることもありました。１００倍程度の強さです。

館山の風車は 1 基だけです。風車が沢山並ぶと別の問題も起きます。

実際のデータ（Auto__0007.mhを AS-60 から開きます。）で計算してみます。（データは風車が無い場所のものです。）このデータは、DADISP—NL62data—Auto_007—SOUND の中にある WAV ファイルです。
（リオン社のソフトとは2dB 程度の差が出ますが、リオン社のソフトの計算方法が非公開なので原因は不明です。）
AS-60 では、LGeq=58.7

DADISP で同じデータを計算すれば、(ワークシート　NLOkwNZ7All)

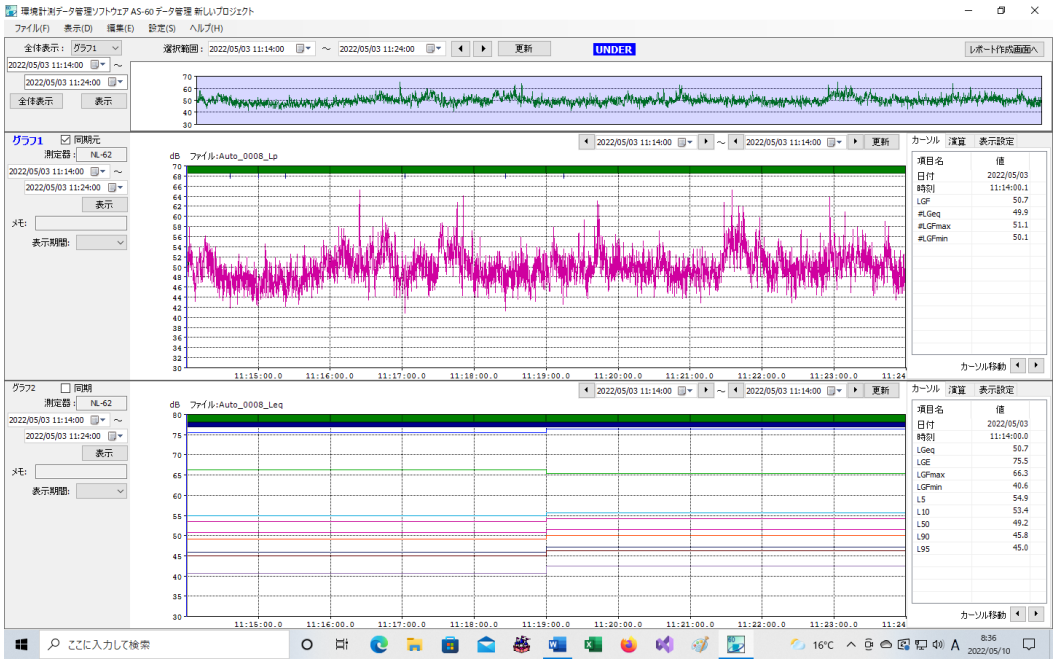
NLOkwNZ7All　（DADISP—NL62data—Auto_007—SOUND　の中にある WAV ファイルを番号順に読み込んだものです。ファイルサイズが大きすぎるので削除しました。）



NoiseLevel1d3G(W13,1,1)で、 56.465235

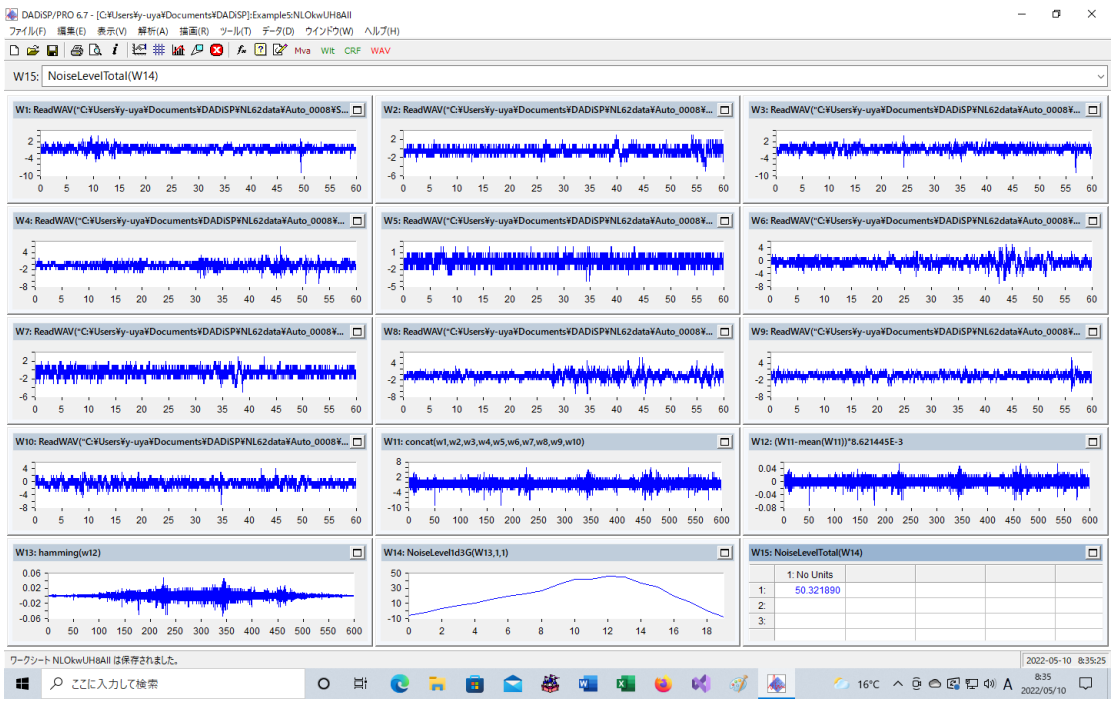
具体例をもう一つ確認します。

Auto_0008.mh　を　AS-60　で開くと、LGeq = 50.7



ワークシート　NLOkwUHAll　　では、50.321890　となります。

　NLOkwUHAll　　（DADISP—NL62data—Auto_008—SOUND　の中にある WAV ファイルを番号順に読み込んだものです。ファイルサイズが大きすぎるので削除しました。）



　この場合は、数値は、ほぼ一致しています。

G 特性に関して、**低周波音の測定方法に関するマニュアル　平成 12 年 10 月　環境庁大気保全局**の資料には、

1～20 Hz の傾斜は，超低周波音領域における感覚閾値の実験結果に基づいている。

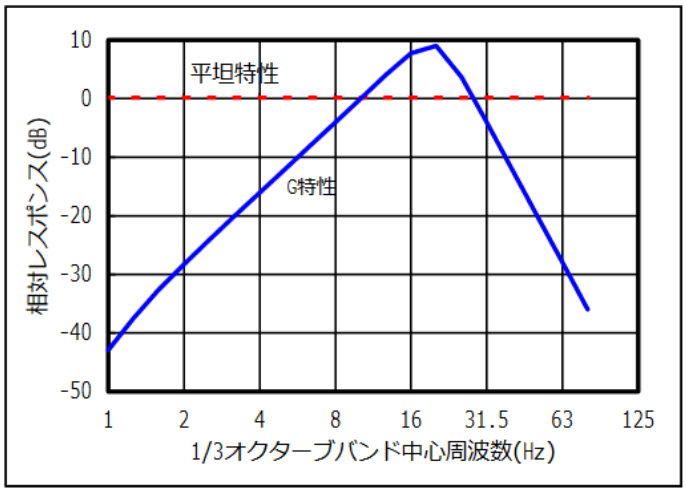


図-1.1　低周波音の周波数補正特性

表-1.1　基準周波数レスポンス及び許容差

中心周波数(Hz)	平坦特性		G 特性	
	基準レスポンス(dB)	許容差(dB)	基準レスポンス(dB)	許容差(dB)
1	0	±3	− 43	±3
1.25	0	±3	− 37.5	±3
1.6	0	±3	− 32.5	±3
2	0	±2	− 28.3	±2
2.5	0	±2	− 24.1	±2
3.15	0	±1.5	− 20	±1.5
4	0	±1	− 16	±1
5	0	±1	− 12	±1
6.3	0	±1	− 8	±1
8	0	±1	− 4	±1
10	0	±1	− 0	±1
12.5	0	±1	4	±1
16	0	±1	7.7	±1
20	0	±1	9	±1
25	0	±1	3.7	±1
31.5	0	±1	− 4	±1
40	0	±1	− 12	±1
50	0	±1	− 20	±1
63	0	±1	− 28	±1
80	0	±1.5	− 36	±1.5

となっていて、

中心周波数が、1Hz から 80Hz となっています。

（関数 Weight1d3G(ww,h,w) と NoiseLevel1d3G(ww,h,w)はこの規格）

ISO7196：1995 では、中心周波数として 0.25 から 315Hz までが採用されています。

（関数 Weight1d3G7196(ww,w) や NoiseLevel1d3G7196(ww,w) のように 7196 となっているのは、この規格です。）

詳細は、ISO 7196:1995

Acoustics — Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements （日本規格協会）

を確認して下さい。

(5) G 特性音圧レベル

ISO 7196 に定められた周波数補正特性 G 特性で重み付けられた音圧レベル。基準音圧は 2×10^{-5} Pa，単位は dB。

$$L_G = 10\log_{10}\frac{p_G^2}{p_0^2}$$

L_p：G 特性音圧レベル（dB）

p_G：G 特性音圧の実効値（Pa）

p_0：基準音圧 2×10^{-5}（Pa）

G 特性の対象となる超低周波音に関しては、バンドパスフィルタ特性は、

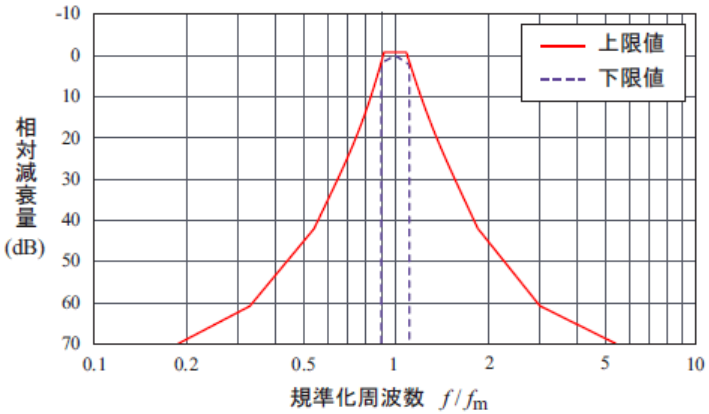


図 11-5 1/3 オクターブバンドフィルタ クラス 1 の相対減衰量の限界値

となっています。

A 特性での計算例に従えば計算手順は、

1 波数帯ごとの音圧（パスカル単位）を計算する。

2 基準音圧と比較して、その周波数帯での音圧レベル（dB 単位）を求める。

3 周波数帯域ごとに G 特性での重み付けをする。

4 重み付けした値を基に、全体のエネルギーと計算して、全体としての音圧レベル（dB 単位）を求める。

となりますが、

低周波音問題対応の手引書（H16.6） では、

3. 測定

3.1 測定方法

「低周波音の測定方法に関するマニュアル（平成 12 年 10 月）」及び低周波音問題対応のための「手引」が定められており、低周波音の測定は、原則的にはこの方法を用いることとした。

3.2 測定場所

(1) 物的苦情に関する測定場所

低周波音による建具のがたつきに関する実験結果が建具へ入射する音圧レベルにより整理されていることから、測定場所は屋外とした。屋外の測定点は、一般環境中の低周波音を測定する場合には周囲の建物による反射等の影響を考慮して建物より 3.5m以上離れた場所に定めるのが望ましいが、物的苦情が発生している場合には、低周波音の測定場所は問題となる住居等の建物から 1～2m 程度離れた位置とした。

(2) 心身に係る苦情に関する測定場所

苦情者が低周波音や不快感などを最も感じる部屋の最も感じる位置で測定を行い、苦情者が訴える低周波音の特徴を把握する。最も感じる位置としたのは、部屋の中で特定の周波数で定在波が発生し、場所によって音の大きいところや小さいところが生じる場合があることを考慮したためである。

また、苦情者が低周波音や不快感などを感じない部屋の感じない位置でも測定を行い、両者の違いを比較することが有効な場合もある。

3.3 測定量

低周波音の測定量は、参照値の基礎となる実験結果が周波数別に示されていることから、1/3 オクターブバンド音圧レベルを測定する。なお、20Hz 以下の超低周波音については ISO-7196 に評価加重特性が規定されていることから、**超低周波音による心身への不快感に関する評価にあたっては、G 特性音圧レベルとする。**

3.4 測定周波数範囲

測定を行う周波数範囲は、原則として、「低周波音の測定方法に関するマニュアル」で規定された 1/3 オクターブバンド中心周波数 1Hz～80Hz とした。

3.5 測定結果の算出方法

本指針で適用対象とする低周波音は発生源近傍では音圧レベルの変動幅が小さいものであるが、発生源では音圧レベルの変動は少なくても、伝搬の過程の種々の要因により変動幅が大きくなることも予想されることから、低周波音の音圧レベルが変動する場合についても結果の算出方法を示した。

また、風により低周波音の音圧レベルが変動する場合については、風による影響の少ない個所、すなわち音圧レベルの変動の少ない個所を測定し、それらのパワー平均を算出する。

なお、音圧レベルの変動幅は低周波音レベル計のメーター又はレベルレコーダの指示値により判定する。その際、低周波音レベル計の聴感補正特性は周波数分析の場合は平坦特性に、G 特性音圧レベルを求める場合は G 特性（G 特性の付いていない低周波音レベル計では平坦特性も可）とする。

とある。

問題点が沢山あります。

まず、

“測定を行う周波数範囲は、原則として、「低周波音の測定方法に関するマニュアル」で規定された 1/3 オクターブバンド中心周波数 1Hz～80Hz とした。”

ですが、

最近の大型風車は、最大音圧となる部分が、0.5Ｈｚ程度であり、中心周波数を **1Hz～80Hz としたのでは、**0.5Ｈｚの部分が計算対象外となってしまいます。これでは、風車音のエネルギーの半分以上が計算対象外になってしまうのです。

風車音でのエネルギー分布は、表１、表２のようになっています。

Energy distribution	0～20Hz	20～5kHz
Wind turbine	93%	7%
Iron mill	12%	88%

Table 1 Energy distribution (0～5000Hz)

Energy distribution	0～1Hz	1～20Hz	0～20Hz
Wind turbine	61.3%	38.7%	100.0%
Iron mill	0.04%	99.96%	100.0%

Table 2 Energy distribution (0～20Hz)

表1より、風車音を騒音（周波数 20Hz 以上）として考えると、音のエネルギーの 93%を無視することになる。その結果、圧迫感などの不快感の原因となる部分を除外した数値と不快感を訴える人の割合を比較することになり、交通騒音の場合に比べると大きな誤差が出る。

また、1Hz～80Hz としたのでは、93*0.613＝57%となるので、風車音のエネルギーの 57%を無視した計算になってしまいます。

さらに、

“20Hz 以下の超低周波音については ISO-7196 に評価加重特性が規定されていることから、超低周波音による心身への不快感に関する評価にあたっては、G 特性音圧レベルとする。”

の部分も問題です。

“超低周波音のレベル”は、G 特性音圧レベルとして計算されます。対象を 1Hz～として計算した結果と、0.25Hz～として計算結果の数値は、ほぼ同じです。その原因を、モデルを作って調べてみました。

（仮称）ウインドパーク布引北風力発電事業

の要約書 10 ページに次の記載があります

予測地点	現況値	予測値	建設の影響による増分	参考値
一般①	68	68	0	100
一般②	60	61	1	100
一般③	58	64	6	100
一般④	54	63	9	100

注：1　現況値は、バックグラウンド低周波音（現況の超低周波音から、既設の風力発電所から発生する超低周波音を除いたもの）です。

2　予測値は、将来の超低周波音（G特性音圧レベル）です。

3　参考値は、ISO 7196 に示されている「超低周波音の知覚の閾値」を示します。

表の数値を参考にして、G 特性音圧レベルが 56ｄB だったとして、次のようなモデルを考えました。

	G特性音圧レベルの試算		ISO7196の重み付け				
	基準音圧（Pa）	0.00002					
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-88	-64.3	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-66.416375	-44.3	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	56.46126558						

周波数成分は、0.25、0.5、1、2、10，20、50Hz の成分が上の表の音圧の時は、G 特性音圧レベルは 56.5 d B 程度です。

各成分の音圧を 1 つだけ変化させて、全体の G 特性音圧レベルが 61 d B になる様にしてみました。

20Hz の成分が、0.0041Pa から 0.008Pa になれば、61 d B になります。

2H z の成分が、0.0005 P a から 0.5 P a になれば、61 d B になります。

0.5Hz の成分が、0.0002Pa から 31.5Pa になれば、61 d B になります。

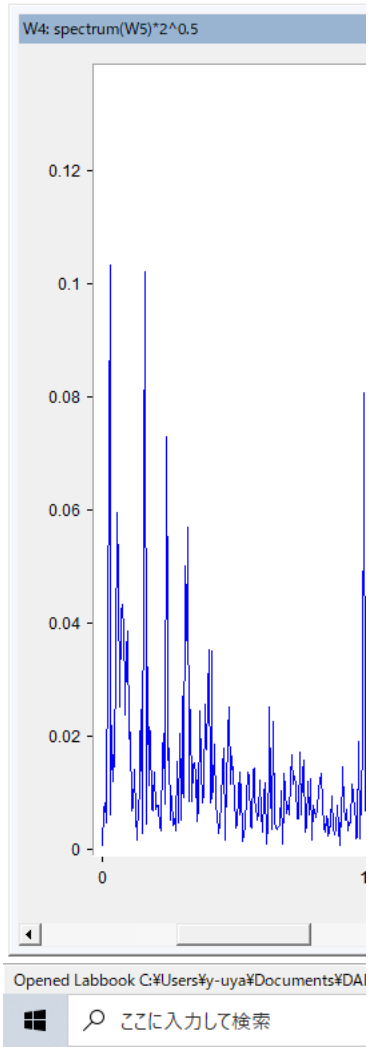
0.25H z の成分が、0.00024 P a から 482 P a になれば、61 d B になります。

それぞれの場合の最大音圧（P a）は、0.008，0.5、31.5、482 [P a]です。平坦特性（重み無し）での最大音圧レベル（d B）は、52，88，124，147 [d B]でが、どの場合も G 特性音圧レベルは 61 d B なのです。

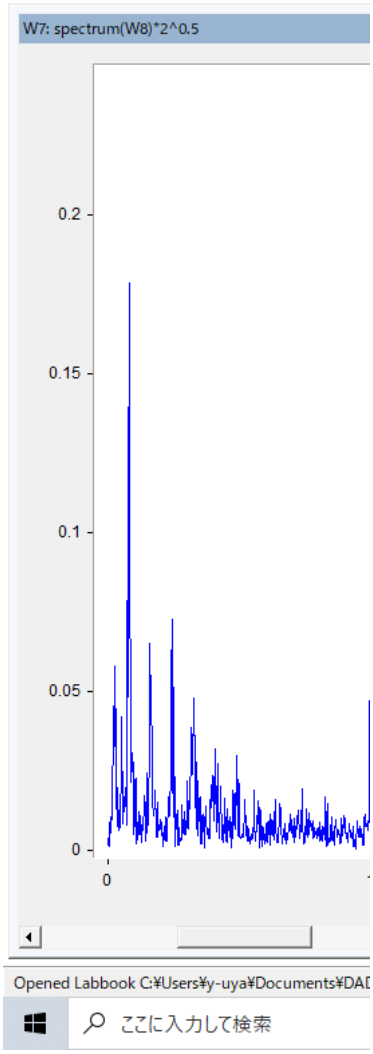
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.008	0.0000007
①	騒音レベル（d B）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	52.0411998	-29.118639
②	G特性の重み付け	-88	-64.3	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-66.416375	-44.3	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	61.0411998	-49.118639
	G特性音圧レベル（d B）	61.39824356						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.5	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（d B）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	87.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-88	-64.3	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-66.416375	-44.3	-29.0206	59.6588002	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（d B）	61.35819084						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	31.5	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（d B）（平坦特性）	21.5836249	123.945611	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-88	-64.3	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-66.416375	59.6456112	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（d B）	61.34928006						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	482	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（d B）（平坦特性）	147.640341	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-88	-64.3	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	59.6403409	-44.3	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（d B）	61.3457206						

館山で計測した風車音では、風が強く吹くときの音圧が、0.8Hz で 0.37Pa 程度でした。

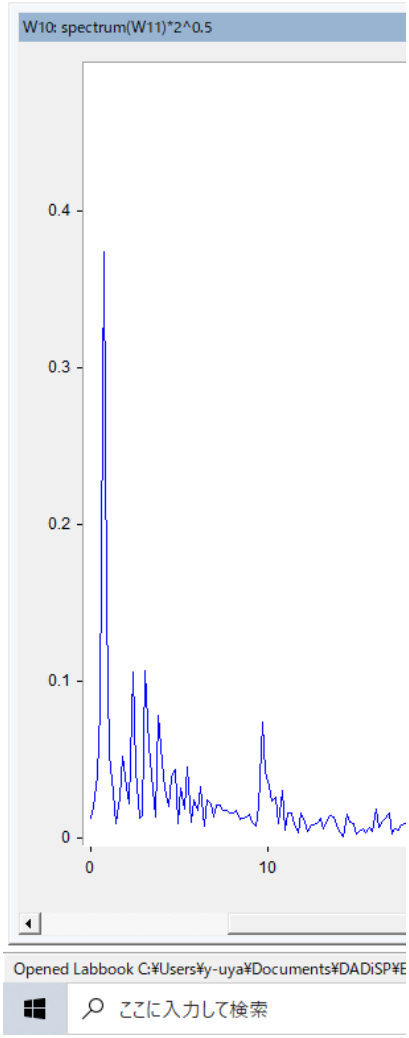
風速の変化に伴う音圧の変化は、次のグラフです。



0.104Pa



0.175Pa



0.37Pa

この時の音を受けた感覚は、ヘリコプターが着陸するのかとおもえるような音でした。
これを、315Pa と比べれば、音圧としては、851 倍であり、エネルギーとしては、724799 倍です。これだけの違いがあっても、G 特性音圧レベルは同じ値になるのです。

G特性音圧レベルが同じでも、人が受ける圧力には大きな違いがあります。
この計算では、ＩＳＯ7196 に従って、0.25Ｈｚからの計算にしてあるが、1Ｈｚ以上の成分だけで計算する場合が多いです。計測する場合も、ＳＡ－Ａ１以外は、普通に測れば 1Ｈｚ以上が計測範囲になります。その場合は、G特性音圧レベルの計算に、0.5Ｈｚの成分は含まれませんので、この音圧がどれだけ高くなってもG特性音圧レベルの数値は変わりません。

大型風車は、0.5Ｈｚ辺りの音圧が極端に高いのですが、他はそれほどでもありません。したがって、人が受ける圧迫感の原因が 0.5Ｈｚ成分にあるのですが、これを除外して計算したG特性音圧レベルの数値を、圧迫感などの不快感と比較しても関連性は見つからないのです。

圧迫感と関連させるべき数値は、風車音の超低周波成分の中にある最大音圧の値（パスカル値）なのです。この計算は周波数分解能を上げないと出来ません。最も重要なのは超低周波音を計測できるマイクです。

また、交通騒音との違いを判断するには、周波数帯でのエネルギー分布を考慮する必要があります。

精密騒音計は 0.25Ｈｚ～20ｋＨｚの間で平坦な音響特性を持っていなくてはなりません。20ｋＨｚまで扱うにはサンプリングレートを 48ｋＨｚまで上げておく必要があります。

ＳＡ－Ａ１とＮＬ－６２，ＮＬ－６３のマイクは同じであり、平坦特性で計測してＷＡＶファイルに収録した数値は、ＳＡ－Ａ１、ＮＬ－６２，ＮＬ－６３を使えば同じ値になるので、ＰＣと解析ソフトがあればＮＬ－６２，ＮＬ－６３での計測も可能です。

エネルギーが等質空間に拡散すると考えれば、距離による減衰は当然の結果である。重要なのは、回転軸の方向からの角度によって決まる、音圧の変化です。風車からの超低周波音は指向性を持っているのです。この、指向性による影響も重要な考慮事項です。

これらのことから、

A 特性音圧レベルでは、風車音のエネルギーの 93%を無視した数値が得られる。

G 特性音圧レベルでは、風車音のエネルギーの 80%程度を無視した数値が得られる。

のです。

どちらも、最大音圧の部分を除外した数値になっているのです

また、周波数成分の解析に 1/1 オクターブ解析や 1/3 オクターブ解析は有害な技法です。周波数分解能を高くしないと超低周波音の領域における離散的な特徴が分かりません。

離散的であり、f=RZ/60Hz の部分の音圧だけが極めて高いことが、音響キャビテーションの原因になっているのです。

６．１５　オクターブ解析の問題点

S2-11 風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究には、

表4　**W04**周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	40	55	68	74
M01	390	38	57	66
M02	400	36	56	65
M03	425	34	51	58
M04	600	35	50	57
M05	1000	33	49	55
M06	1050	32	50	56
M07	1250	31	50	57

備考：
距離は最近接風車までの距離。
M00は参考としての基準点。

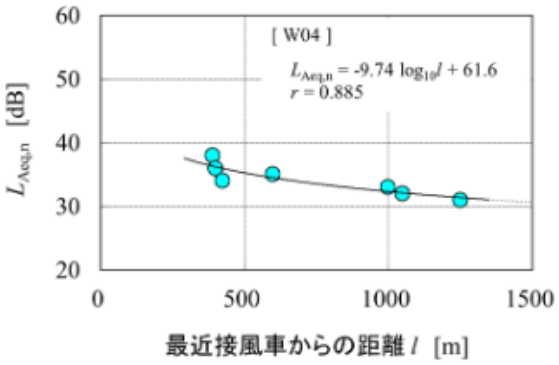


図4-2　等価騒音レベルL_{Aeq}の距離分布

備考：

M00は最近接風車に近いので除外。

風力発電施設：**W04**　分析時間帯：2011年3月10日19:00～3月10日22:00（3時間）

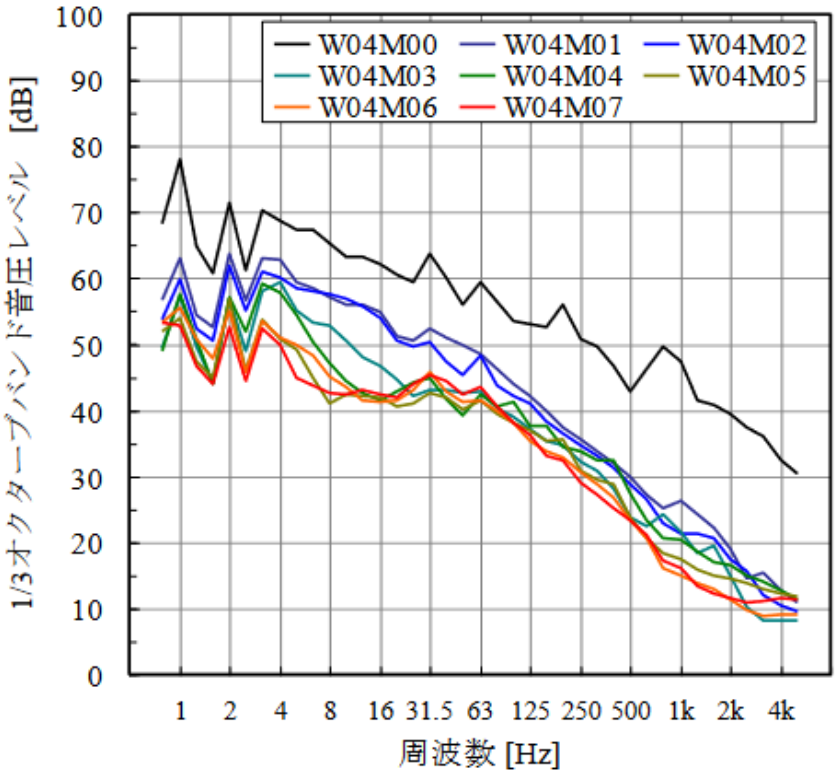


図4-1　各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

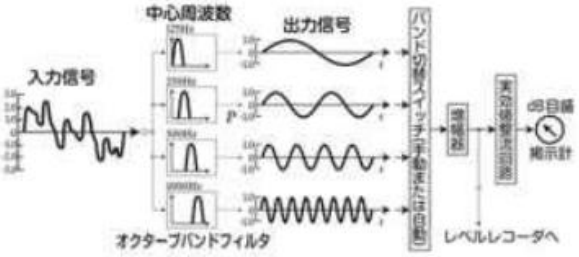
というグラフがあるが、計測したデータは環境省にも残っていない。橘先生に問い合わせたら廃棄したのと返事が来ました。

また、別の資料には次の記載もある。

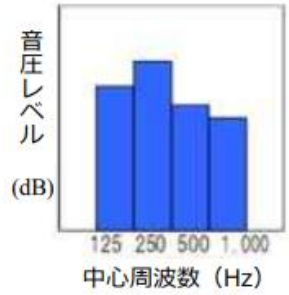
周波数分析

1/1オクターブバンドフィルタの通過帯域

中心周波数(Hz)	通過帯域(Hz)
125	90 ～ 180
250	180 ～ 355
500	355 ～ 710
1000	710 ～ 1400



周波数分析グラフの見方
周波数分析結果の例では、250Hz帯域に含まれる音圧レベルが最も大きいことが判る.



1/1Oct.B.周波数分析結果

注釈1．フィルタには定比型（実時間分析器－感覚量評価）と定幅型（ FFT（ Fast Fourier Transformer ）分析器－物理的評価）がある．定比型は中心周波数に比例してフィルタ幅が 変動し、定幅型では常に一定の幅を持っている.

注釈2．中心周波数125Hzだと通過帯域は90Hz、1000Hzだと通過帯域は690Hz、定比型は中心周波数が大きくなるに比例して通過帯域が広くなる.

54

どちらも、周波数を帯域に分割して帯域ごとの音圧レベルを求めている。オクターブ解析の結果では周波数の正確な値を調べることは出来ない。

さらに、周波数と音圧の変化を誤解しやすい形になっている。中心周波数が大きくなると、通過帯域の幅が広がる。オクターブ解析での音圧レベルは、それぞれの帯域に属する成分のエネルギーの総和によって決まる数値である。

上の例では、1/1 でも 1/3 でもオクターブ解析の結果は、中心周波数に於ける音圧レベルの値を使って折れ線グラフや棒グラフの形で表現されている。

便利な点は、騒音計が答えをくれる。という点です。悩む必要がないのです。

騒音計任せで過ごす人は、風雑音、空力音、空力変調音、カルマン渦、風切り音、超低周波音は出ていない、聞こえなければ不快感などの影響はない、などと言われた時に、どれが正しいのかについて悩む必要が無いので気楽です。

少し悩めば、風車からの超低周波音の周波数と音圧の関係が分り、その発生機構も分ります。いろいろな説の問題点も分ります。そして、水平軸型の風車と垂直軸型の風車の仕組みの違いから、垂直軸型の風車の騒音が少ない理由も判明します。

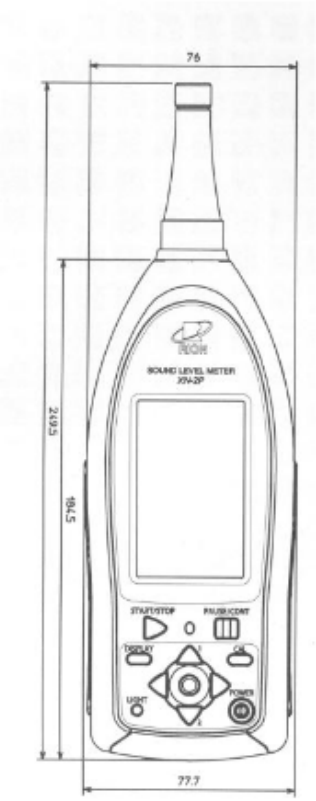
少し考える人ならば、健康被害の被害の原因を、建設時に 3 回しか行われない業者による説明会の在り方に求めたりはしません。建設後に、毎日毎晩鳴り響く風車音に目を向けるべきなのです。

６．１６．１ リオン社 NL-62

S2-11 風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究には、次の図があり、

表(1)-2　広帯域音圧レベル計の仕様（概略）

測定周波数範囲	1Hz～20kHz（平坦特性）
周波数重み付け特性	A, C, G, Z（平坦）特性
時間重み付け特性	FAST特性及びSLOW特性
測定レベル範囲	A特性 25dB～138dB C特性 33dB～138dB G特性 43dB～138dB Z特性 50dB～13dB (1Hz～20kHz)
録音機能	SDカードへ直接記録 サンプリング周波数：48kHz ビット長：16bit データフォーマット：WAV
電源	単3型乾電池4本または外部電源 ニッケル水素2次電池　約13時間（23℃通常動作時） 外部電源電圧：5～6V（定格電圧：6V）
使用温湿度	-10℃～+50℃、10%RH～80%RH
規格	JIS C 1509-1:2005 クラス1, IEC 61672-1:2002 Class 1, ISO 7196 :1995



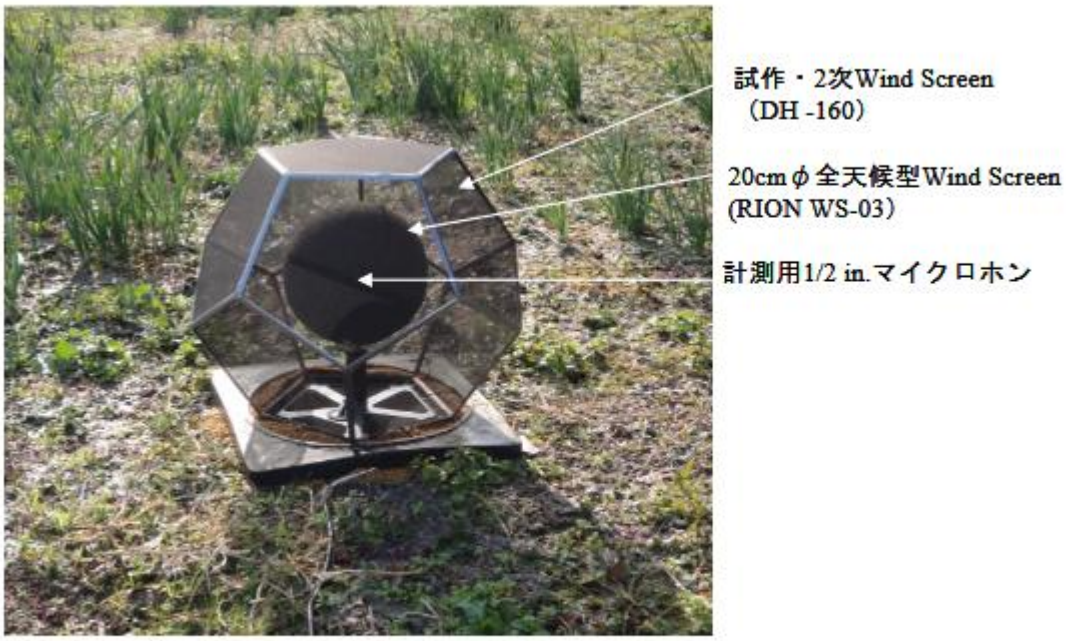
図(1)-2　広帯域音圧レベル計の姿図

“また、低周波数成分を含む音圧を屋外で測定する場合、計測用マイクロホンに自然風が当たることによって発生する風雑音を防ぐ必要がある。そのための防風スクリーンとして、簡便なものは市販されているが、超低周波音領域まで効果が確認されているものはない。

そこで、市販の全天候型防風スクリーン（直径 20 cm、ウレタンフォーム製）の性能をさらに高めるために、写真(1)-1 に示す二次防風スクリーンを試作した。これを付加した受音系全体の防風性能については国内及び国際学会で発表を行った。本研究における風力発電施設周辺地域及び対照地域における騒音の測定では、常にこの受音系を使用し、内部の計測用マイクロホン（ 1/2 inch コンデンサーマイクロホン）の振動膜が地上 20 cm になるように設置した。これは、風の影響をなるべく避けるためと、長時間（原則 5 日間）にわたる測定期間中の転倒防止を考慮したためである。“

と述べられている。

さらに、防風スクリーンに関しては、



写真(1)-1　本研究で試作した二次防風スクリーン

が掲載されています。

この騒音計は、NL-62 の前の機種で、録音機能があります。

リオン社の精密騒音計 NL-62 で録音機能を使うには、波形収録プログラム NX-42WR を組み込む必要があります。そうすれば、16（または 24）ビットの符号付整数を使って収録された WAV ファイルを作れます。収録時の周波数重みづけは Z 特性（平坦特性）とする。サンプリングレートは 48ｋHz、連続する収録時間としては 1 分から 10 分程度とします。

なお、この設定で記録される数値は、SA-A1 を使って録音した場合でも同一の数値になることは、リオン社に確認してあります。使用しているマイクが同じものなので、数値が同じになるのでしょう。

SA-A1 での中心周波数は、1/1 オクターブ解析では 0.5Hz から、1/3 オクターブ解析で 0.4Hz からになっていますが、FFT 計算の対象となるデータ長の違いだと思われます。

録音時の最大音圧の設定は次の様になります。

騒音計で計測できる音圧の範囲については、NL-62 の取扱説明書に最大で 148dB　だと記載されている。

“表示・出力フルスケール”の項に、出力音圧のフルスケールで、設定できる範囲は 70dB～130dB までで、10dB 刻みだと書かれている。

ここで、130dB を選んだときは、WAV ファイルの名前は

NL_001_20220503_111400_130dB_0008_0000_ST0001

となり、名前の中央部分から、出力電圧のフルスケールを 130ｄB に設定したことが分かります。

wav ファイルへ記録するデータは、もう少し大きな音圧にも対応できるようになっていて、“表示出力フルスケール値”+13 dBが“WAVE ファイルのフルスケール値”になります。

そこで、設定で 130ｄB としたとしても、WAVE ファイルのフルスケール値：143 [dB] であり、これは、2×10^(-5)×10^(143/20) = 282.5075088 [Pa]に相当する。

実効値で 282.5075088 Pa（143dB）となる値を、wav ファイルにどの様な数値として記載するかについては、ファイルによって異なる。

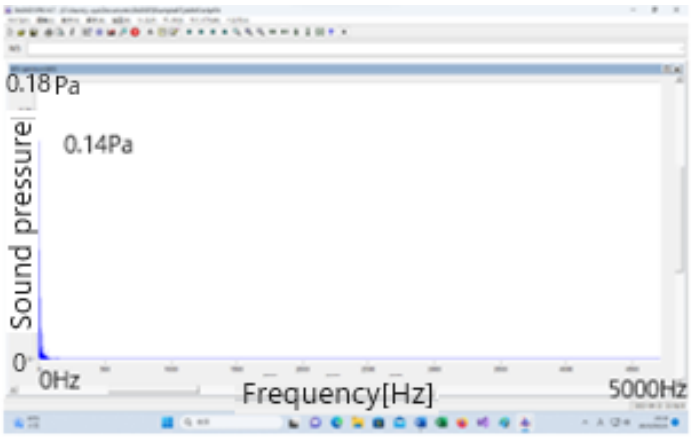
16 ビットの場合は、負の音圧（－282.5075088 Pa）をとって、負の整数　{－(2^(15))}　を対応させる。

従って、整数値１は　（－282.5075088 Pa（143dB）/｛－（2^(15)）｝の音圧（実効値）を意味する。
（　－282.5075088 /｛－（2^(15)）　）＝8.62144497*10^(-3)
となるので、整数値ｋは、ｋ*（　－282.5075088 /｛－（2^(15)）　）＝ｋ*8.62144497*10^(-3)　Pa（実効値）を意味する

リオン社のサンプルデータファイルは、NL_001_20100101_000146_090dB_0001_0000_SL0001　であり、
16 ビット符号付整数のデータで、表示出力フルスケール値、90dB を選んで計測していることが分かります。また、wav ファイルへ記録するデータは、もう少し大きな音圧にも対応できるように、なっていて、（表示出力フルスケール値+13 dBが WAVE ファイルのフルスケール値になります。）
そこで、WAVE ファイルのフルスケール値 : 103 [dB] となり、これのパスカル値は、2×10^(-5)×10^(103/20) = 2.825075088 [Pa]　となる。
この数値の符号を変えた、－2.825075088[Pa]に対して、負の整数、－(2^(15))を対応させる。
整数１に対しては、（－2.825075088[Pa]　/　｛－(2^(15))｝　）＝8.62144497*10^(-5)
となるので、整数値ｋは、ｋ*8.62144497*10^(-5)　Pa（実効値）を意味する
この数値、8.62144497*10^(-5)　は、符号付整数のビット数や表示出力フルスケール値の設定によって決まる。
符号付整数の値を音圧（パスカル値）に直してから FFT の計算をすれば、各周波数成分の音圧（パスカル値）が判明します。
60 秒間の計測データだと、48000*60 個のデータに対して、FFT を計算すれば、同じ個数の数値が得られて、周波数の刻み幅をhHzとすれば、h*48000*60＝48000 となるので、h＝0.01667Hzとなり、周波数スペクトルは 0Hz から、24000Hz までの範囲であり、周波数分解能はh＝0.01667Hz です。0Hzから 24000Hzまで、刻み幅 0.01667Hzで計算されることになります。
120 秒間の計測データを使えば、48000*120＝5760000 個のデータに対して、FFT を計算して、周波数分解能が 0.0083Hz となる。音圧レベルの計算で使うデータ数については、0.25/0.01667＝14.99、 0.25/0.0083＝30.12 なので、メモリーと計算速度に余裕があれば、120 秒間のデータで計算すべきです。

結果は次の様になりました。

風車騒音（０～5000Hz） 最大音圧 0.14Pa



風車音は、0.8Hz 辺りに集中していて、左端の細い線で表されています。

エネルギーの分布

表２．エネルギーの分布　　0～20Hz でのエネルギーの分布

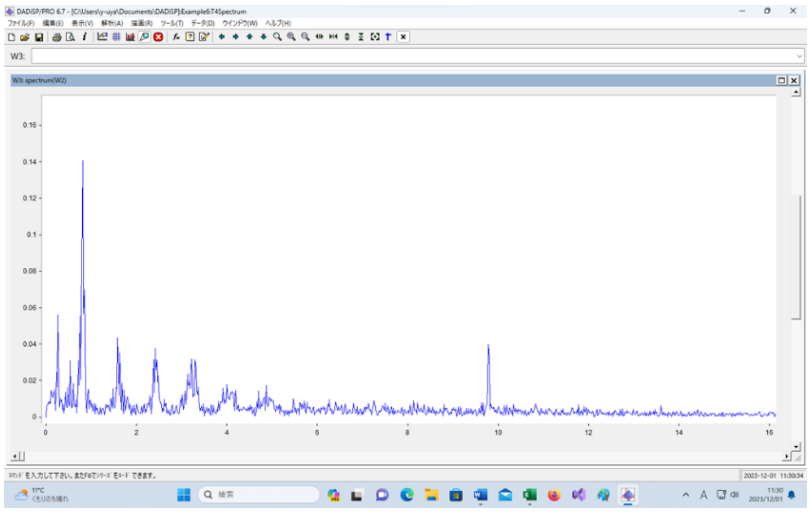
エネルギー分布	0～20H z	20H z以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

Energy distribution	0～1Hz	1～20Hz	0～20Hz
Wind turbine	61.3%	38.7%	100.0%
Iron mill	0.04%	99.96%	100.0%

93*0.613＝57%ですから、風車音全体のエネルギーの 57%は 1Hz よりも周波数が低い部分に含まれています。

風車音の細かな特徴

実際の風車音で計測された音圧（パスカル値）には、周波数の倍音構造があります。



周波数	周波数/0.8167	音圧[Pa]
0.2667	0.3266	0.0560
0.5333	0.6530	0.0309
0.8167	1.0000	0.1405
1.5833	1.9387	0.0436
2.4167	2.9591	0.0377
3.2167	3.9387	0.0317
4.0000	4.8978	0.0177
4.8667	5.9590	0.0173
5.4667	6.6936	0.0101
6.2667	7.6732	0.0098

音圧（パスカル）がピーク値となるときの周波数に、上のような規則性がある。

上のグラフの一番音圧が高い周波数 0.816Hz が、RZ/60 に対応します。（R は 1 分間の回転数、Z は翼の枚数）。他のピーク値の発生も必然的であり、明確な理由があります。

問題は、防風スクリーンで低減されるのは、“風雑音”なのか、“風車からの超低周波音”なのかを判断することです。

石竹氏の調査では、

最近接風車から約1,000 m離れた地区の屋内外の超低周波音レベルおよび騒音レベル

- G特性等価音圧レベル$L_{Geq,n}$は、屋内で44～55 dB、屋外で48～59 dBであった。屋内外音圧レベル差は最大で7 dB程度：超低周波音領域で窓および壁の遮音効果は小さい。
- 等価騒音レベル$L_{Aeq,n}$は、屋内で16～32 dB、屋外で30～51 dBであった。屋内外音圧レベル差は4～24 dBで、ばらつきあり

G 特性音圧レベルからみた、窓による遮音効果は、超低周波領域では最大で 7ｄB と報告されている。

さらに、次のグラフを見れば、4Hz 以下の成分に関しては、窓による遮音効果は全く期待できない事が分かる。

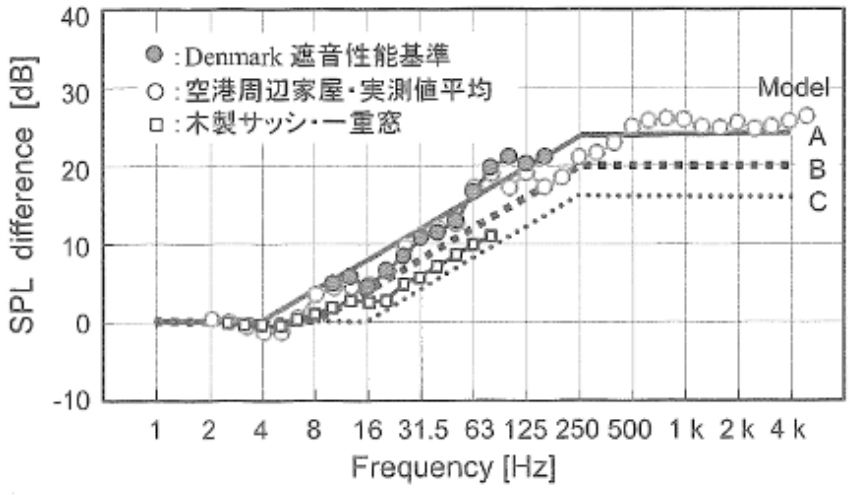


図 5　ハウスフィルター・モデルと 3 種類の参照データの比較

500Hz～1ｋHz では、20～25ｄB 程度の遮音効果があります。

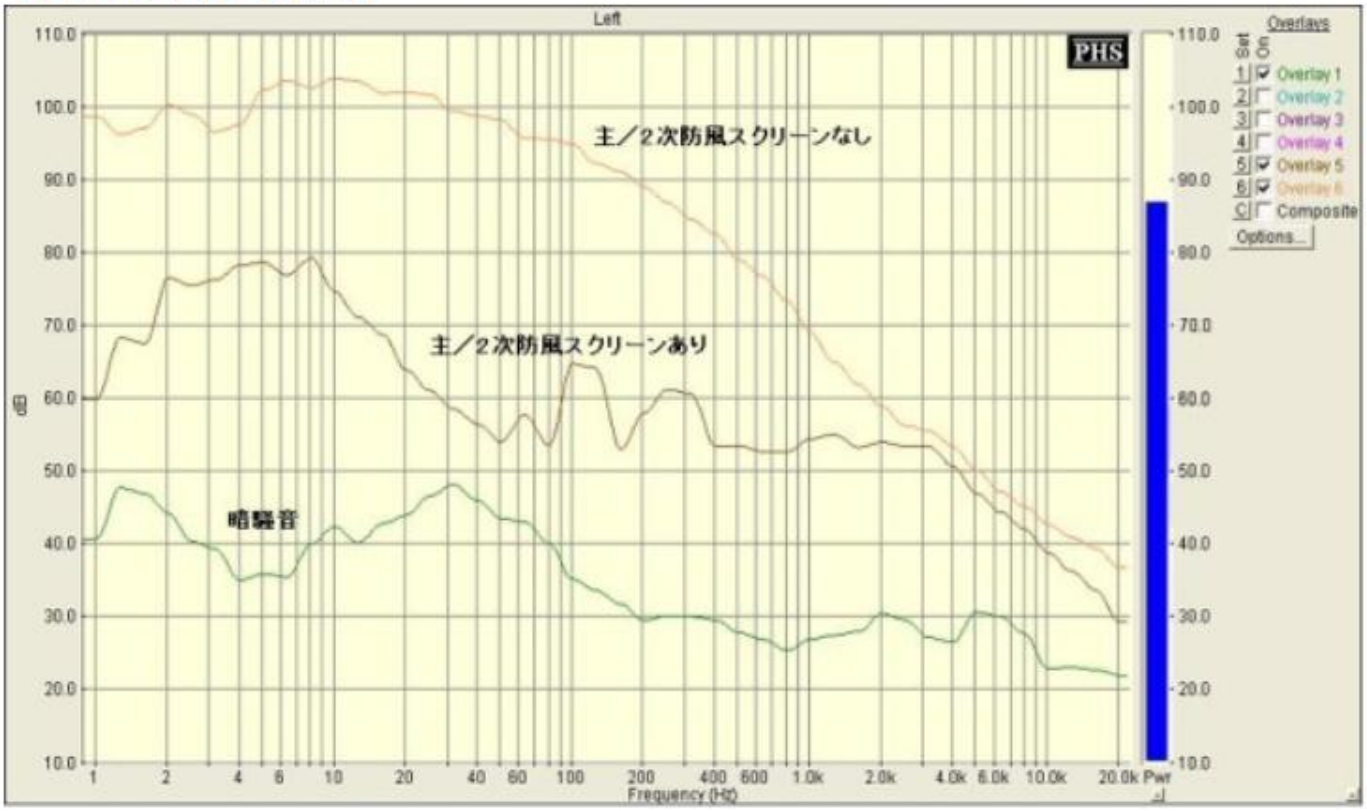
二重防風スクリーンでは、

２次防風スクリーン Φ460×230(H)

主防風スクリーン Φ90半割内蔵

組　　立　　：簡易取り付け方式（約10分）

【風切音減少効果】



1Hz で 38ｄB、4Hz で 20ｄB 程度の減衰効果があり、500Hz～1ｋHz では、15～25ｄB 程度の遮音効果があります。

低周波音に関しては、住宅内では、7ｄB 減少した形での影響が有るのだが、屋外で二重防風スクリーンを付けて測った音は、20ｄB～38ｄB も小さな数値として計測される。

この極端に小さな数値を、安心安全の根拠とするのが、環境省と業者です。この小さな数値と被害を比べても、被害の原因は分かりません。原因を不明にするために、屋外で二重防風スクリーンを付けて測っているのです。

ですから、この音が風車からの超低周波音なのか、風による雑音なのかを判断することが重要になるのです。風車からの超低周波音だと判明すれば、環境省主導の詐欺だと分かるのです。

判断するためには、風車から 20ｋｍ程度離れた場所で、マイクに風を当てならら測った音と、風車の近くでマイクに風を当てながら測った音、風車の近くで防風スクリーンは使っていないが風を当てないようにした測った音、風車の近くで防風スクリーンを使って測った音の詳細な周波数スペクトルを計算して、比較すれば良いのです。

計測した音の周波数特性をよく観察しながら、風車から超低周波音が発生する仕組みを考えれば判断できるのです。1/3 オクターブ解析では、この判断は出来ないのです。もしかしたら、この判断を避けるために、1/3 オクターブ解析を使っているのかもしれません。

私は次の様にして計測と解析を行いました。
騒音については、
リオン社の精密騒音計 NL-62 で計測され、波形収録プログラム NX-42WR によって１６ビットの符号付整数を使って収録された WAV ファイルを作る。収録時の周波数重みづけは Z 特性（平坦特性）とする。サンプリングレートは４８ｋHz、連続する収録時間としては１分から 10 分程度とする。
振動については、
リオン社の振動レベル計 VM-55 で計測され、波形収録プログラム VX-55WR を使って収録された WAV ファイルを作成する。
ストアモードは Auto、測定チャンネルは XYZ、総測定時間は１分から１０分程度とする。
ビデオカメラでの撮影、
風車が存在して回転している場合は、ビデオカメラで回転の様子を撮影する。
が必要です。
解析ソフトは
DADISP
DADISP/WAV
Unit/MVA
Unit/Wavelet
Unit/CRF
Unit/Noise-Vibration
です。室内での音の影響を調べるには、カオス理論の応用が効果的だと考えます。

昔の環境省は
“４．低周波音防止技術の概要
4.1.5 風車
風車の超低周波音の発生原理は基本的には送風機のいわゆる回転音と呼ばれるものと似ている。大型発電用風車の場合は、羽根の枚数が少なく、回転数も小さいために正常運転でも超低周波音を発生することがある。
その基本周波数 f（Hz）は、翼の回転数を R（rpm）、翼枚数を Z（枚）とすると
f ＝ RZ/60（Hz）
で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。
大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は 1～3 枚（3 枚が主）、回転数は 30～60（rpm）程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。“
と言っていました。
これで計算すると、大型風車では、ｆ＝RZ/60＝0.5 （Hz）となります。0.5Ha の周辺のエネルギーは風車音のエネルギーの 50%以上を占めます。
周波数範囲を､1～80Hz ､1～20Hz にしたのでは､風車音のエネルギーの半分以上を無視しているので、被害の原因が分らなくなります。G 特性音圧レベルの数値でも、重みの付け方が悪いので、被害状況を表す指標にはなりません。計測範囲を拡大して、最大音圧を把握することが必要なのです。
周波数分解能を高めて、周波数スペクトルを計算すれば、むかしの環境省の主張がどの程度正しいのかが分かります。

さらに、風車音の音圧が、超低周波音の領域において著しく大きい事も分ります。
計測も解析も手を抜くから

注釈．風力発電施設から発生する音は、通常、著しく大きいものではないが、もともと静穏な地域に建設されることが多いため、比較的小さな騒音レベル（A特性音圧レベル）であっても苦情等の発生事例がある．

と言うようになるのです。

オクターブ解析で済ませるから、物理的な原因の追究を止めて、“静穏な地域”が被害の原因だとか、経済的な要因が原因だとか、風車が見えるからだとか、健常者でないから超低周波音を感じるのだ、、、というような主張をするのです。

風車が動き始めて１か月もすれば、もはやその地域は“静穏な地域”とは言えなくなります。かっての静音さを忘れないから、風車音に悩むのでしょうか？何年経てば、風車音の被害を感じなくなるというのでしょうか？

お金を貰えば、不快感は無くなるのでしょうか？もちろん、お金を貰うときに、“被害を受けていることを言いません。”と約束させれば、不快感は減らなくても、被害を訴え出る人は確実に減ります。

計測方法にも大きな問題があります。

騒音測定（残留騒音、風車騒音）

① **騒音計の設定**

周波数重み付け特性 ： A ／ 時間重み付け特性 ： F

0.1 s以下の時間間隔で連続してサンプリング

アンダーレンジにならないように注意

ウインドスクリーン（直径20 cm程度）を装着

② **騒音計（マイクロホン）の設置位置**

地上0.2 m～1.2 mの高さで、反射物から3.5 m以上離す．

注釈1．JIS Z-8731では、地上1.2 m～1.5 mの高さであるが、風車騒音の場合は、風雑音の影響を避けるため、測定点の高さを低くしている．

③ **騒音の録音**

分析時に音源の判別（実音モニタ）

周波数分析（周波数特性、純音性騒音の純音性可聴度）

注釈2．音響校正器を用いて騒音計が表示した値が騒音計の取扱説明書に記載されている値と差が±0.7dB以上の場合は、その騒音計は測定に使用しない．

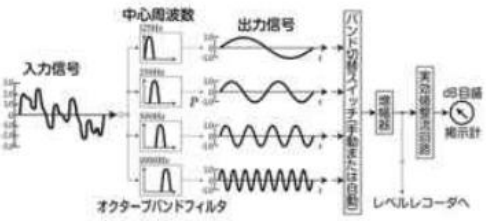
注釈3．マイクロホンは上向きに設置する．

とありますが、これでは必要なデータは得られません。せいぜい、

周波数分析

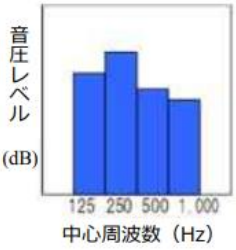
1/1オクターブバンドフィルタの通過帯域

中心周波数(Hz)	通過帯域(Hz)
125	90 ～ 180
250	180 ～ 355
500	355 ～ 710
1000	710 ～ 1400



周波数分析グラフの見方

周波数分析結果の例では、250Hz帯域に含まれる音圧レベルが最も大きいことが判る.



1/1Oct.B.周波数分析結果

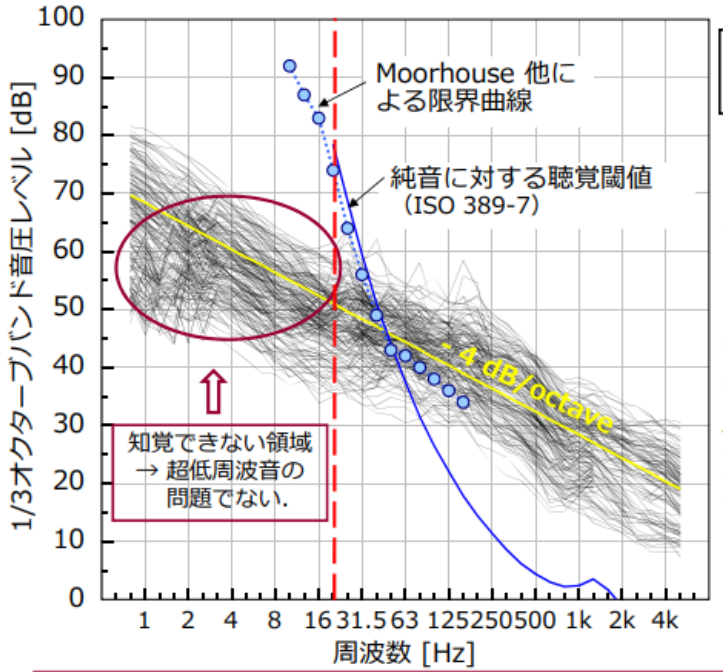
注釈1．フィルタには定比型（実時間分析器－感覚量評価）と定幅型（ FFT（ Fast Fourier Transformer ）分析器－物理的評価）がある．定比型は中心周波数に比例してフィルタ幅が 変動し、定幅型では常に一定の幅を持っている.

注釈2．中心周波数125Hzだと通過帯域は90Hz、1000Hzだと通過帯域は690Hz、定比型は中心周波数が大きくなるに比例して通過帯域が広くなる.

54

や

風車騒音の周波数特性



29風力発電施設周辺　合計164地点における測定結果

出典.

H. Tachibana *et. al.*, Nationwide field measurements of wind turbine noise in Japan. Noise Control Eng. J. 2014:62 (2):99-101.

出典.

A procedure for the assessment of low frequency noise complaints
Andy T. Moorhouse, David C. Waddington,b and Mags D. Adams
Acoustics Research Centre, University of Salford, Salford M5 4WT, United Kingdom
J. Acoust. Soc. Am., Vol. 126, No. 3, September 2009

注釈1．限界曲線は苦情発生の可能性を評価する指標、超低周波音の感覚閾値に近い値.

風車の運転音は、超低周波音ではなく、可聴周波数範囲の騒音.

17

が得られるだけです。

ガタツキでも睡眠妨害が起きます。共鳴や共振も考慮することが必要です。共鳴や共振を考えるには、正確な周波数が必要です。上のような“周波数特性”を見てもそれは分かりません。

聴覚での感知は困難でも、建具や床の振動を感知するときの、音圧レベルは 5Hz で 70ｄＢです。周波数

が下がればガタツキ閾値も下がります。2Hz では 65ｄＢ程度と考えるのが妥当です。

さらに、圧迫感や頭痛の問題もあります。さらに、風車音と交通騒音では、“極めて不快である”と感じる人の割合に大きな差があります。

この原因を究明するには、目隠し状態での実験をすればよいのです。トレーラーの荷台に実験室を作り、窓を塞いで、風車との距離を調整しながら、不快感に関するアンケートと、室内での精密騒音計および振動レベル計による計測を行えば良いのです。

原因を明確にするには、　計測方法を次の様に変えることが必要です。

騒音測定（残留騒音、風車騒音）

① 騒音計の設定

録音は精密騒音計 NL-62 に、波形収録プログラム NX-42WR を追加し、WAV ファイルとして記録する。

平坦特性（Z 特性）で行う。サンプリング周波数は 48ｋHz 以上とする。

ファイルは１分ごとに分割して、合計 10 分間の計測とする。

アンダーレンジにならないように注意

ウインドスクリーン（直径20 cm程度）を装着

したものと、ウインドスクリーンを装着しないものを用意する。

計測は２台同時に行う。

② 騒音計（マイクロホン）の設置位置

屋外においては、

地上0.2 m～1.2 mの高さで、反射物から3.5 m以上離す.

注釈1. JIS Z-8731では、地上1.2 m～1.5 mの高さであるが、風車騒音の場合は、
風雑音の影響を避けるため、測定点の高さを低くしている.

室内に置いては、部屋の中央部に、振動レベル計と並べて設置する。

③ 騒音の録音

収録の最初の部分に、場所、日時、収録者の名前も入れておく。録音開始直後に近くで読み上げる。

④録音結果の解析

周波数分析（周波数特性、純音性騒音の純音性可聴度）

超低周波音領域と可聴音領域の持つエネルギーの比率

音圧の最大値とその時の周波数

Wavelet 解析によって、周波数成分の時間的安定性を調べる

カオス理論を使って室内での音の特徴を把握する

使用する窓関数の性質、周波数スペクトルの平均化による影響については事前に検討しておく

注釈2. 音響校正器を用いて騒音計が表示した値が騒音計の取扱説明書に記載されている値と差が±0.7dB
以上の場合は、その騒音計は測定に使用しない.

注釈3. マイクロホンは上向きに設置する.

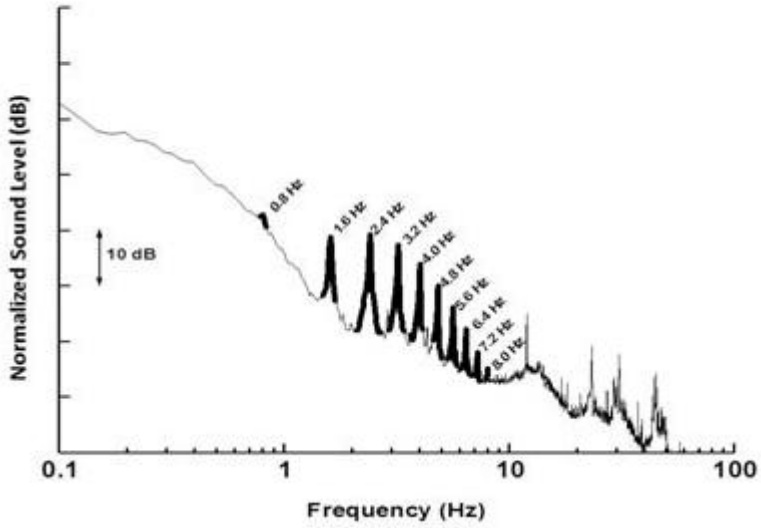
注釈４．マイクロホンの周波数特性に注意する。

最低でも 1Hz～20ｋHz での特性が平坦なものを使用する。
超低周波音（０Hz～２０Hz）の収録に関しては特別の工夫が必要です。

このデータがあれば、最大音圧とその周波数を計算できます。
ISO7196 に従って、中心周波数を 0.25Hz にした 1/3 オクターブ解析も出来ます。
それが出来れば、“風車の近くでの風雑音”と“風車が無い場所での風雑音”には、大きな違いがある事もすぐに分かります。風車の近くで計測される“風雑音”は風車音が発生する仕組みによって必然的に生じるものであり、離散的な周波数特性を持ち、その大きさも発生する仕組みから予測される大きさと一致していることが分ります。

カナダ政府の HP にある、 A Primer on Noise では、
“音源の回転周波数は、音を発している音源を特定するために使用できます。たとえば、毎分 16 回転(RPM)で回転する 3 枚のブレードを備えた風力タービンの基本**周波数**は、0.8 Hz(つまり、(3 ブレード X 16 RPM)を 60 秒で割った値)に対応します。したがって、この例では、特定の距離で測定された音において、風力タービンによる騒音レベルが、基本周波数と基本周波数の倍数で周波数ピークを示すのに十分なほど高い場合、風力タービン音をバックグラウンドノイズから分離することができます。これらの倍数は**高調波**と呼ばれ、基本周波数が 0.8Hz のソースの場合、1.6Hz、2.4Hz、3.2Hz、4.0Hz、4.8Hz などになります。”

図 2風力タービンの超低周波音測定



とあり、むかし、環境省が風車からの超低周波音の周波数を、f=RZ/60[Hz]とその倍音としていた頃の記述と似ています。

風車と住宅の距離が離れれば、その間には様々な音源があり、様々な騒音が発生します。

計測した音のうちで、どの部分が風車からの影響なのかを考えるには、FFT を使って、超低周波音の領域での正確な周波数特性を把握しなくてはなりません。

6．16．2 FFT

では、少しだけ FFT の勉強をしましょう。

FFT の意味

騒音解析での基礎的な事項　（リオン社の資料を参考にしています。）

FFT の意味とその前提となる事項について。

FFT の前提となる基本的な概念につい確認しておきます。

Functional　Analysis　　（Kosaku　Yosida） p 86　には

4. The Orthogonal Base, Bessel's Inequality and Parseval's Relation

Definition 1. A set S of vectors in a pre-Hilbert space X is called an orthogonal set, if x⊥y for each pair of distinct vectors x, y of S. If, in addition, |x|=1 for each x ∈ S, then the set S is called an ortho-normal set. An orthogonal set S of a Hilbert space X is called complete orthogonal system or an orthogonal base of X, if no orthogonal set of X contains S as proper subset.

Theorem 1. A Hilbert space X (having a non -zero vector) has at least one complete orthonormal system. Moreover, if S is any orthonormal set in X, there is a complete orthonormal system containing S as a subset.

Theorem 2. Let $S=\{x_\alpha;\alpha\in A\}$ be a complete orthogonal system of a Hilbert space X. For any $f\in X$, we define its Fourier coefficients (with respect to S)

$$f_\alpha=(f,x_\alpha)$$

Then we have Parseval's relation

$$|f|^2=\sum_{\alpha\in A}|f_\alpha|^2$$

Corollary 1. We have the Fourier expansion

$$f=\sum_{j=1}^{\infty}f_{\alpha j}x_{\alpha j}=s\text{-}\lim_{n\to\infty}\sum_{j=1}^{n}f_{\alpha j}x_{\alpha j}$$

Corollary 2. Let $l^2(A)$ be the space $L^2(A,B,m)$ where m({α})=1 for every point α of A. Then the Hilbert space X is isometrically isometric to the Hilbert space $l^2(A)$ by the correspondence

$$X\ni f\ \leftrightarrow\{f_\alpha\}\in l^2(A)$$

In the sense that
$(f+g)\leftrightarrow\{f_\alpha+g_\alpha\}$, $\beta f\leftrightarrow\{\beta f_\alpha\}$, and $|f|^2=|\{f_\alpha\}|^2=\sum_{\alpha\in A}|f_\alpha|^2$

Example. $\left\{\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{int};n=0,\ \pm1,\pm2,\dots\right\}$ is a complete orthogonal system in the Hilbert space $L^2(0,2\pi)$

とあり、$e^{i\theta}=cos\theta+i\,sin\theta$ となるので、$L^2(0,2\pi)$ に少し条件を付ければ、関数を三角関数の無限級数で表現できることになります。

コンピュータの計算では、無限級数を扱うのは無理なので、離散化したデータを使って近似計算することになり、その計

算を高速で行う技術が FFT です。

フーリエ変換とＦＦＴ

離散フーリエ変換

離散信号x(n)に対して、ω の関数

$X(\omega) = \sum_{-\infty}^{\infty} x(n)e^{-in\omega}$

を、 x (n)のフーリエ変換とよびます。これは、 z 変換の z に$e^{i\omega}$ を代入したものです。

原点を中心とする半径 1 の円（単位円）が先の環状領域に含まれるならば、積分路を単位円上にとって、$z = e^{i\omega}$ とするとき、$dz = ie^{i\omega}d\omega = izd\omega$となるので、

x (n)＝(1/(2πi)) X(z)zn－1 dz （環状領域内の閉曲線上の線積分）

$x(n) = \frac{1}{2\pi i}\oint X(z)z^{n-1}dz$ （環状領域内の閉曲線上の線積分）

$= \frac{1}{2\pi i}\int_{-\pi}^{\pi} X(\omega)e^{in\omega - i\omega}izd\omega \quad = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} X(\omega)e^{in\omega}d\omega$

が成立します。

フーリエ級数についての理論によれば、

$$\sum_{-\infty}^{\infty} |x(n)|^2 < \infty$$

が成立するときには、パーセバルの等式

$$\frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} |X(\omega)|^2 d\omega = \sum_{-\infty}^{\infty} |x(n)|^2$$

が成立します。

このフーリエ変換に対して次の条件を付けて考えてみましょう。最初に、x (n) は n＝0, 1, 2, . . . , N-1 以外は全て 0 だとすれば、級数は

$$X(\omega) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-in\omega}$$

となります。

本来この式の ω は連続的の変化するのですが、つぎのような有限個の ω の値についてのみ考えることにします。

$\omega_k = \frac{2\pi k}{N}$ (k=0, 1, 2, . . . , N-1)

すると、

$$X(\omega_k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-in\omega_k} = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-\frac{in2\pi k}{N}}$$

となります。

さらに

$$W_N = e^{-\frac{i2\pi}{N}}$$

とおけば、

$$X(\omega_k)=\sum_{n=0}^{N-1}x(n){W_N}^{nk}$$

とかけます。式を対称的に表現するために、$X(k)=X(\omega_k)$とします。すると

$X(k)=\sum_{n=0}^{N-1}x(n){W_N}^{nk}$　　(k=0,1,2,...,N-1)

となります。この変換を離散フーリエ変換(DFT)と呼びます。

この離散フーリエ変換の逆変換が可能であり、

$x(n)=\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}X(k){W_N}^{-nk}$　(n=0,1,2,...,N-1)

が成立します。これを、離散フーリエ逆変換(IDFT)と呼びます。

この逆変換の式が成立することは、

$(W_N)^k=e^{-\frac{i2\pi k}{N}}=1$

となるのは、k が N の整数倍となるときに限ることに注意すればすぐ分ります。

これから、

X(k)＝X(k＋Nt), x(n)＝x(n＋Nt)　　t=. . , −2, −1, 0, 1, 2, . .

が成立すること、すなわち、周期が N であることもすぐ分ります。

２．３．２ FFT

最初にDFTの内容について考えましょう。記号を少し変えてDFTを表現すれば、

N個の複素データ f(0),f(1),f(2),⋯,f(N-1)

に対して、

N個の複素データ F(0),F(1),F(2),⋯,F(N-1)

を次の様にして対応させるものです。

$F(n)=\sum_{k=0}^{N-1}f(k)e^{-\frac{i2\pi nk}{N}}$　(n=0,1,2,⋯,N-1)

この計算を実行するにはかなり時間がかかります。もし、Nが2の巾乗の形ならば、特別な工夫によって効率的に計算できます。この特別な場合のDFTを、FFTとよびます。

DFTの意味について考えるには、連続的なデータに近い場合を考えると分りやすいでしょう。

1024 個の数値

sin(2πk/1024)　　（k=0,1,2,⋯,1023）

に対するFFTの結果を調べてみましょう。

N=1024 として計算すれば、

$$F(n)=\sum_{k=0}^{N-1}sin(2\pi k/N)e^{-\frac{i2\pi nk}{N}}=\frac{N}{2\pi}\sum_{k=0}^{N-1}\frac{2\pi}{N}sin(2\pi k/N)\{\cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right)-i*sin(\frac{2\pi kn}{N})\}$$

となり、n＜＜N の場合には積分で近似できて、

$$F(n)=\frac{N}{2\pi}\{\int_0^{2\pi}\sin(x)\cos(nx)dx-i\int_0^{2\pi}\sin(x)\sin(nx)dx\}$$

となり、三角関数の直交性に注意して F(1) を計算すれば、

$$F(1)=\frac{N}{2\pi}\{\int_0^{2\pi}\sin(x)\cos(x)dx-i\int_0^{2\pi}\sin(x)\sin(x)dx\}$$

$=\frac{1024}{2\pi}\{-i\int_0^{2\pi}\sin(x)\sin(x)dx\}$ $=\frac{1024}{2\pi}\left\{-i\int_0^{2\pi}\frac{1}{2}(1-\cos(2x))dx\right\}=\frac{1024}{2\pi}\{-i\frac{2\pi}{2}\}$=-512i

となります。

最初の数列が関数 f (x)のサンプリングされたN個の値からなるとしましょう。
この f (x)が周期関数で有限和のフーリエ級数で表現できて、

$$f(x)=\frac{1}{2}a_0+\sum_{m=1}^{t}\{a_m\cos\left(\frac{x2\pi m}{N}\right)+b_m\sin\left(\frac{x2\pi m}{N}\right)\}$$

だとします。

n＜t＜＜N の場合には、

$$f(x)=\frac{1}{2}a_0+\sum_{m=1}^{t}\{a_m\cos\left(\frac{x2\pi m}{N}\right)+b_m\sin\left(\frac{x2\pi m}{N}\right)\}$$

に対する FFT の結果については、積分になおして、三角関数の直交性を使えば、

$F(n)=\sum_{k=0}^{N-1}f(k)e^{-\frac{i2\pi nk}{N}}$　　(n=0, 1, 2, …, N−1)

$$F(n)=\sum_{k=0}^{N-1}\{\frac{1}{2}a_0+\sum_{m=1}^{t}\{a_m\cos\left(\frac{k2\pi m}{N}\right)+b_m\sin\left(\frac{k2\pi m}{N}\right)\}e^{-\frac{i2\pi nk}{N}}$$

$$=\frac{N}{2}(a_n-ib_n)$$

となるので、実部が cos 波、虚部が sin 波の存在を示し、しかもその係数の(N/2)倍になっていることが分ります。

n が N/2 に近い場合は高周波成分の存在を意味しますが、それを積分によって直接解釈することは出来ません。

しかし、n が N に近い場合には、次のように考えることが出来ます。

exp(i2πNk/N)＝1 なので、

F(n)＝Σf(xk)exp(-i2πnk/N)

＝Σf(xk)exp(-i2πnk/N) exp(i2πNk/N)

＝Σf(xk)exp(i2π(N-n)k/N)

＝{Σf(xk)cos(2π(N-n)k/N)} + i{Σf(xk)sin(2π(N-n)k/N)}

F(N-n)＝Σf(xk)exp(-i2π(N-n)k/N)

＝{Σf(xk)cos(2π(N-n)k/N)} - i{Σf(xk)sin(2π(N-n)k/N)}

となるから、F(N-n) については

F(n)＝a＋bi　ならば、F(N-n)＝a－bi

となりますので、F(N-n)は F(n)の共役複素数（鏡像）になっています。

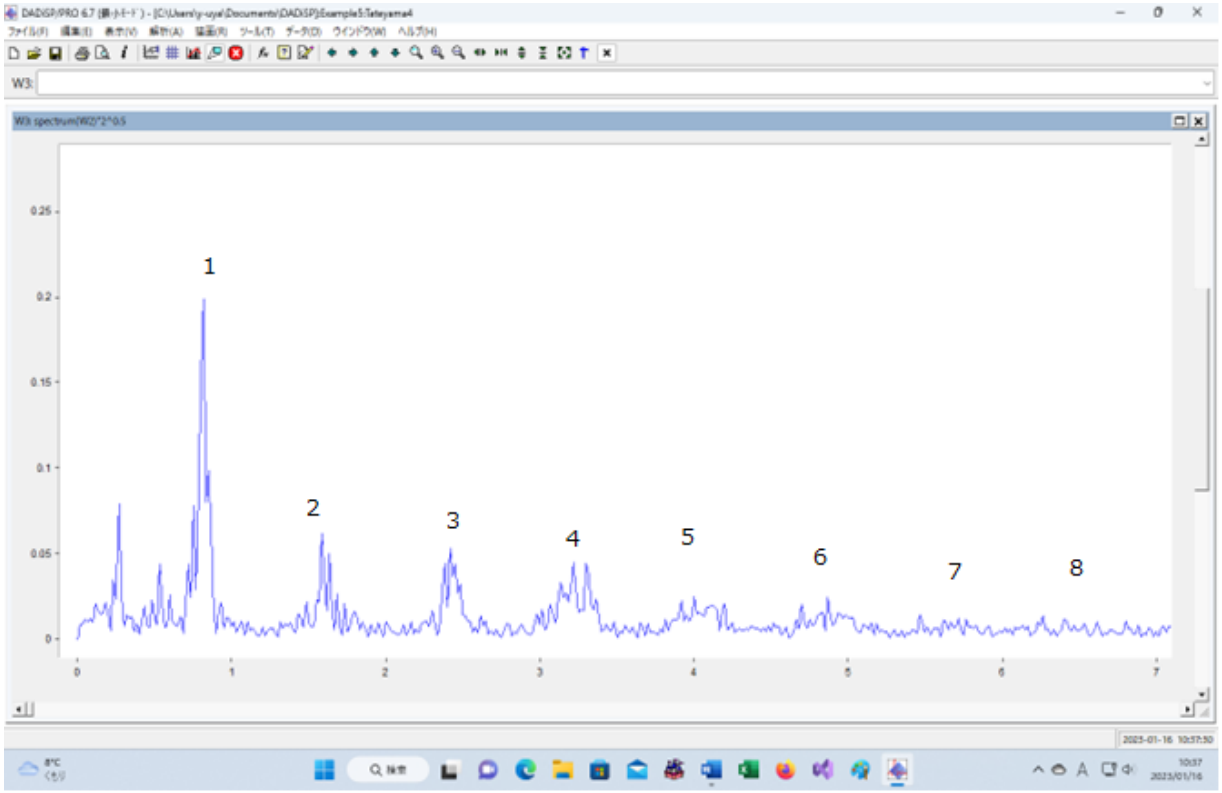
各周波数成分の存在についてはグラフの左半分に注目して考えることが必要です。

$\frac{N}{2}F(n)=(a_n-ib_n)$ として、さらに絶対値を求める。(絶対値は$\sqrt{(a_n^2+b_n^2}$となり、三角関数を合成した時の振幅となる。)

そして、この絶対値のグラフの左半分だけを表示するのが、spectrum() です。これによって、周波数成分の強さが分かります。

周波数成分の存在と強さは、spectrum()の計算結果の数値を使って判断します。

実際の風車音で、計測された音圧（パスカル値）から、周波数の倍音構造が分ります。



音圧（パスカル）がピーク値となるときの周波数に、次のような規則性がある。

ピーク値の				0.816667の倍数			
周波数	倍率1	倍率2	音圧				
0.266667	1		0.05604				
0.533333	1.999996		0.03093802				
0.816667	3.062497	1	0.1405225	0.816667	1	0.816667	
1.583333	5.937491	1.938774	0.0435531	1.633334	2	1.633334	2
2.416667	9.06249	2.959183	0.02416667	2.450001	3		
3.216667	12.06249	3.938774	0.03173804			3.266668	4
4.000000	14.99998	4.897957	0.01772484	4.083335	5		
4.866667	18.24998	5.959182	0.01728335			4.900002	6
5.466667	20.49998	6.693875	0.01009538	5.716669	7		
6.266667	23.49997	7.673467	0.00978232			6.533336	8
9.783333	36.68745	11.97959	0.03974005				

塔には、ブレードの揚力による力のほかに、塔自体に吹き付ける風の力もあって風下に向かって少し曲がる。高さによって風速が異なるので、ブレードの揚力は塔にかかる力を周期的に変化させる。３枚のブレードが完全に均等で風が安定していても、3*R/60[Hz]のほかに、2*3*R/60[Hz]、3*3*R/60[Hz]、4*3*R/60[Hz]、…の揺れが発生する。（0.8Hz、1.58Hz、、、、）

さらに、1枚のブレードが少しだけ大きい場合や、風に対する角度が他の２枚と少しだけ異なる場合には、風車の変動に、R/60[Hz]の他に、2*R/60[Hz]、 3*R/60　[Hz]、の揺れも含まれる。（0.266Hz、0.533Hz、、、）

（0.8/3＝0.266、0.26666*2＝5.33）

となっています。

また、他の環境騒音と風車音の周波数特性を比べてみれば、次の結果になります。

図１．交通騒音（リオン社前）０～5000Hz

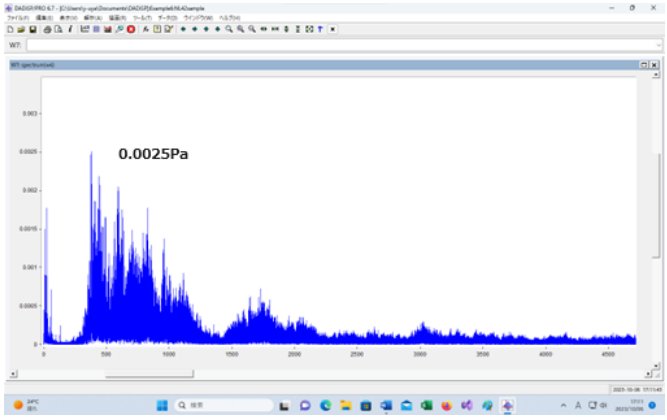


図２．工場騒音（製鉄所内の音）０～5000Hz

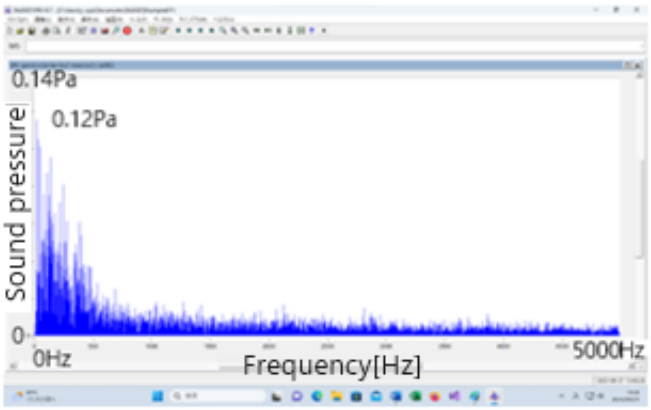


図３．風車音（館山風の丘）０～5000Hz

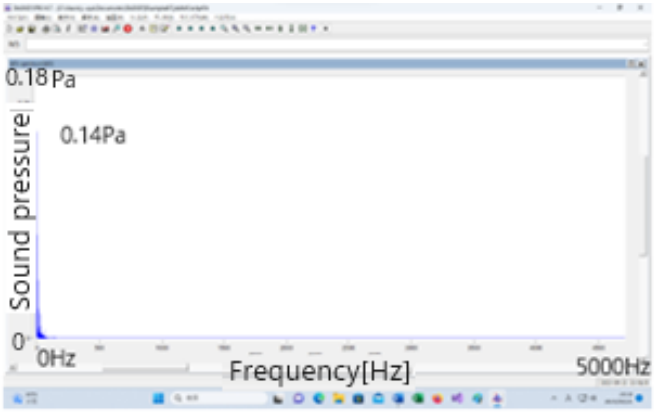


表２．エネルギーの分布

エネルギー分布	０～20Ｈｚ	20Ｈｚ以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

0.0025Pa（交通騒音）と 0.14Pa（風車音）を比べれば、0.14/0.0025＝56 倍となります。また、風が強い時は風車音の音圧は 0.42Pa 程度になるので、音圧は、168 倍となります。

そこで、

注釈．風力発電施設から発生する音は、通常、著しく大きいものではないが、もともと静穏な地域に建設されることが多いため、比較的小さな騒音レベル（A特性音圧レベル）であっても苦情等の発生事例がある．

ですが、“著しく大きい”の定義はないのですが、音圧が 56 倍、168 倍になれば、物理的な現象面から見れば“著しく大きい”と言うべきです。

風車騒音（20Hz 以上）の問題として騒音レベル（A特性音圧レベル）の数値を風車音の影響を測る指標とすることになります。

これでは、全体のエネルギーの 93%を無視してしまう事になり、被害と数値の関連性は失われるのです。これは、A特性音圧レベルの数値で安全性を評価してはいけないという事なのです。

ついでに、風雑音についても見ておきます。（長尾神社の音は、マイクに風を当てながら計測した音）

図５．風車音（館山風の丘）０～25Hz

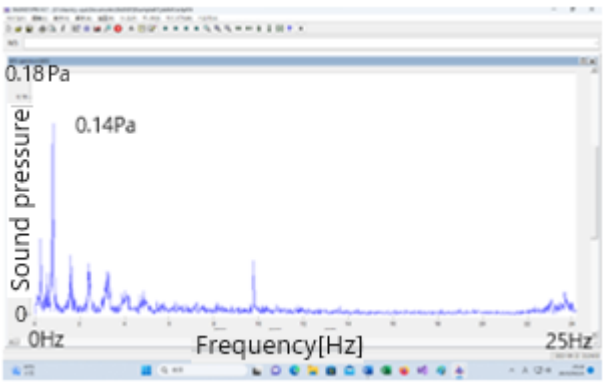
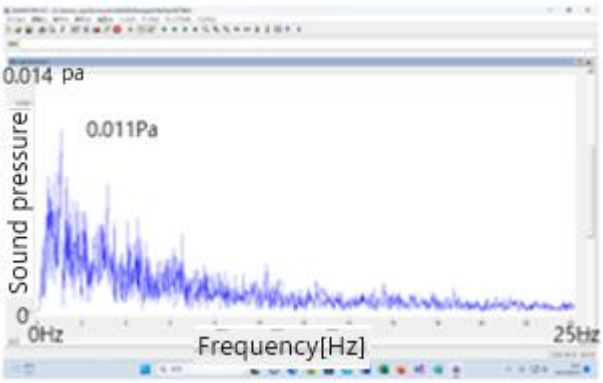


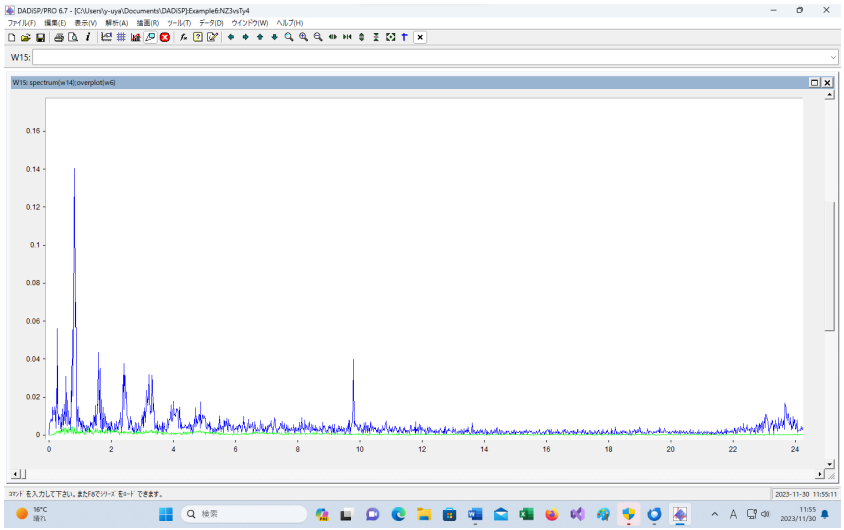
図６．長尾神社の音　０～25Hz



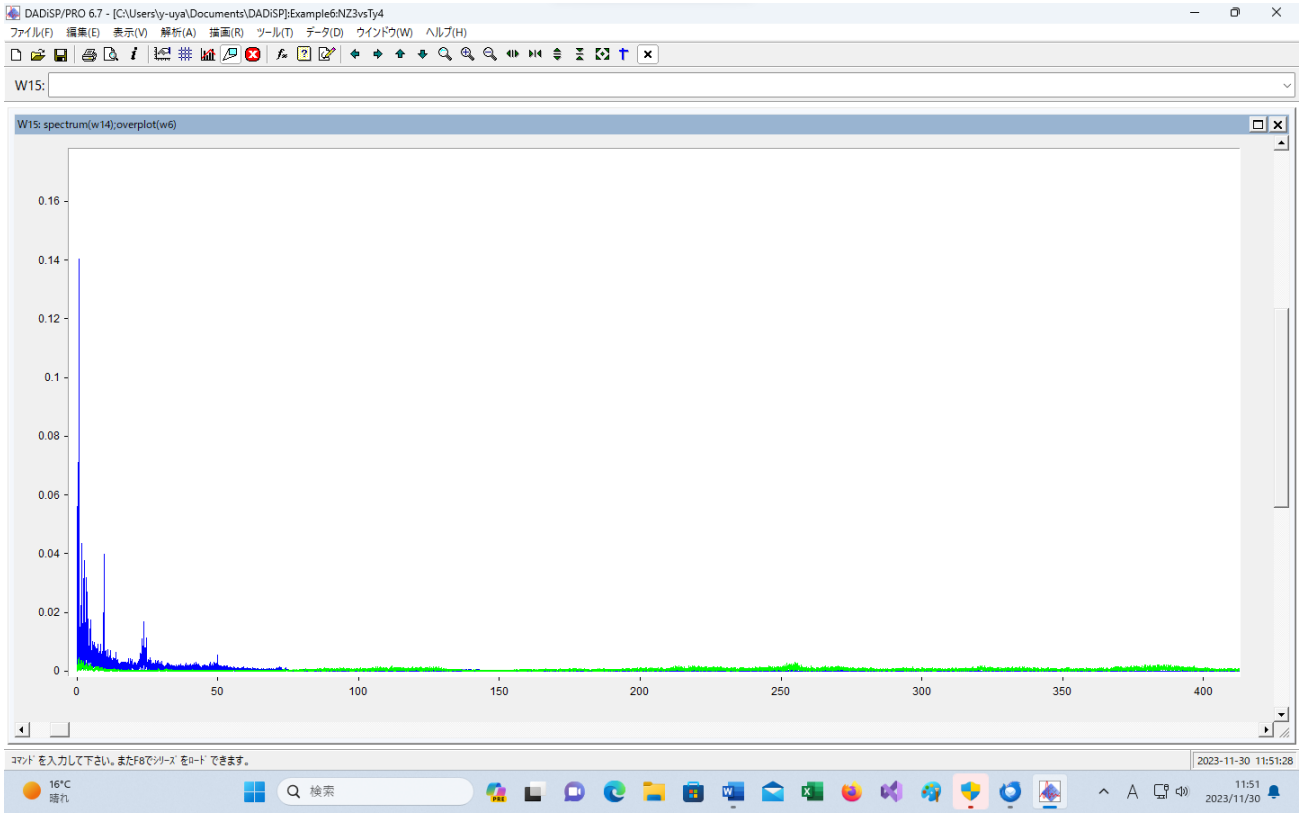
風車の近くでは 0.14Pa、風車が無い場所では 0.01Pa の音圧を持っている超低周波音が存在します。だから、風車の近くでは音圧が 10 倍です。音圧は、風速で変化します。風車の近くで 0.37Pa、風車が無い所で 0.003Pa の時もあります。これだと音圧は 100 倍です。

次のグラフは、青い線が風車の近くの超低周波音、緑の線が風車が無い場所での超低周波音です。

0～24Hz までの拡大図、風車音（青）と神社の音（緑）の周波数スペクトル



0～400Hz までの拡大図、風車音（青）と神社での音（緑）の周波数スペクトル



緑の線が、風をマイクに当てて、風車の無い所で計測した風雑音です。風がマイクに当たって計測される音は周波数に関係なくほぼ一定で、音圧も低いのです。

特に、超低周波音の領域では、風車の超低周波音に比べてみれば、無視しても問題ない大きさです。

風車の近くの超低周波音の周波数には、明らかな規則性がありますが、緑のグラフには、規則性は見られない。

風車音の音圧がピーク値となるのは、風車の回転数を毎分 R 回、羽の枚数を Z として、f=RZ/60[Hz]と置いたとき、f/3、2f/3、f、2f、3f、4f、…Hz の所で音圧がピークとなることが分ります。

この原因が、風がマイクに当たったことによる“風雑音”だとすれば、風雑音には、風車の近くでの音圧が高く規則的な周波数を持つものと、風車の無い場所での音圧が低く周波数に規則性が無いものがあるという事になります。この２種類の“風雑音”の区別することが必要になります。

もちろん、この周波数でピーク値となる理由を考えて、風車音が発生する仕組みを理解すれば、これは“風雑音”ではなく、風車からの超低周波音であることが分ります。

大切なことがあります。

この計測には利害関係が絡むので、計測計画を事前に公表し、様々な立場の人がそれぞれの測定機器を使って同時に同じ場所で測定できるようにする。計測データは全て公開して、誰でも解析できるようにする。ことが必要です。

６．１７　超低周波音の解析と発生する仕組み

超低周波音の解析と発生の仕組み

Analysis of Infrasound and Generation Mechanism

宇山　靖政

Yasumasa UYAMA

Personal member of Japan Wind Energy Association.

Abstract

This document provides the results of analysis of the sound from wind turbine, and the mechanism of infrasound generation.

The part of the infrasound near the wind turbine is described as wind noise and the frequency is not examined in detail. However, when this feature is investigated, it becomes clear that the directivity of the wind turbine sound, the shaking of the top of the tower, and the vibration around 40 m above the ground of the tower are related, and it is found that the wind turbine generates directional infrasound.

For wind noise, "Low-frequency wind noise is caused by wind hitting the microphone. This noise has a louder component as the frequency decreases. In the frequency range of about 5 Hz or less (in some cases about 10 Hz or less), it is difficult to eliminate wind noise." It is said,

Even if the wind is strong, the component of 10 Hz or less in a place where there is no wind turbine has an extremely low sound pressure and no regular wind noise. Even if the wind is not so strong, near the wind turbine, the sound pressure of the component below 10 Hz is high, and wind noise with regularity appears.

This is either to think that there are two types of wind noise: "wind noise in places where there are no wind turbine" and "wind noise in places where there are wind turbines", or to think that infrasound with high sound pressure is generated from wind turbine.

キーワード：超低周波音、風雑音、揚力ベクトル、回転モーメント、塔の振動

Key Words : Infrasound, wind noise, lift vector, moment of rotation, vibration of tower

１．はじめに

風車音の 5Hz 以下の成分を“風雑音”と考え“これを除去すれば本来の風車音が得られる。”との主張もあるが、周波数の分析と風車の振動原因の解明により、この音が“風車による超低周波音”であることを示す。

２．計測機材と解析対象

計測機材：NL-62、NX-42WR、解析対象：千葉県館山市風の丘にある回転軸が水平の風車*1

３．騒音の比較

特徴を示す為に周波数スペクトルを比較する。

(横軸は周波数ヘルツ[Hz]、縦軸は音圧パスカル[Pa])

Fig.1：JFE の製鉄所内の音(0～5000Hz)

Fig.2：風車の近くで計測した音(0～5000Hz)
Fig.3：風車の近くで計測した音(0～25Hz)
Fig.4：長尾神社境内の音(0～25Hz)

図１図２は 0～5000Hz 範囲での比較であり、製鉄所内の音は広帯域だが、風車音は左隅の 0.8Hz の近くに集中しており広帯域の音ではない。

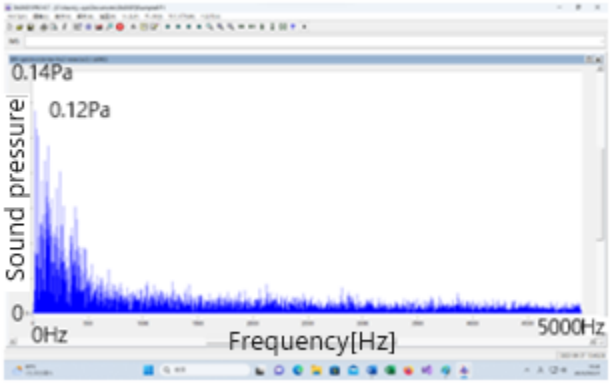


Fig.1 JFE iron mill ； Max 0.12[Pa](12Hz)

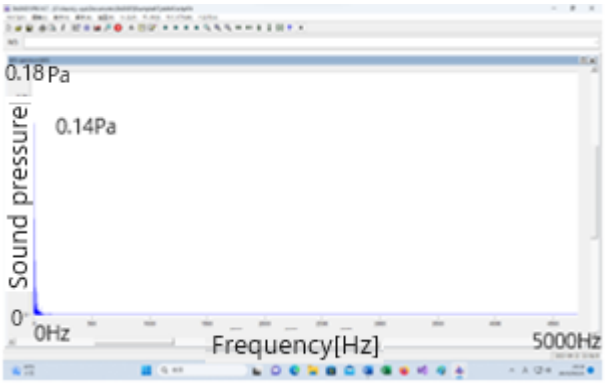


Fig.2 Wind turbine noise ； Max 0.14[Pa](0.8Hz)

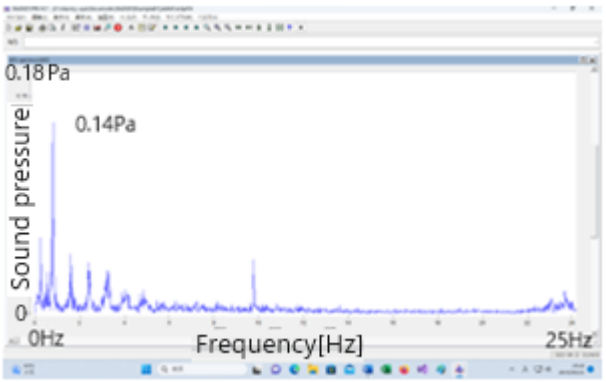


Fig.3 Wind turbine noise (0～25Hz)

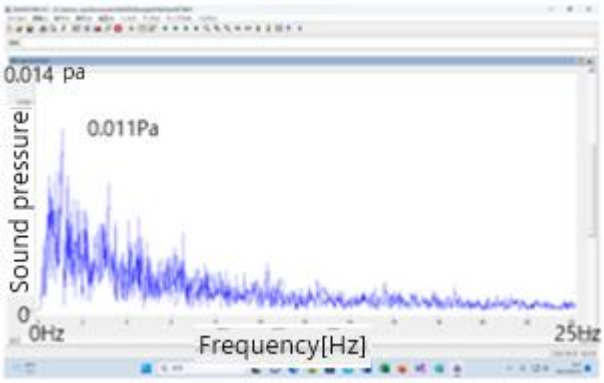


Fig.4 Nagao shrine (0～25Hz)；0.011[Pa](1.1Hz)

図３図４は 0～25Hz 範囲での、風車の近くで車内に機材を置き風下の窓を開けて計測した音（最大音圧 0.14[Pa] (0.8Hz)）と、近所の長尾神社の階段にマイクを置き風が当たる状態で計測した音（最大音圧 0.011[Pa] (1.1Hz)）との比較である。表３で風車の近くの“風雑音”の持つ規則性を詳しく記す。図４から風車の無い場所では音圧が低く周波数に規則性が無い事が分る。これらの“風雑音”の区別が必要である。

表１表２は周波数帯ごとのエネルギー分布である。

Energy distribution	0～20Hz	20～5kHz
Wind turbine	93%	7%
Iron mill	12%	88%

Table 1 Energy distribution (0～5000Hz)

Energy distribution	0～1Hz	1～20Hz	0～20Hz
Wind turbine	61.3%	38.7%	100.0%
Iron mill	0.04%	99.96%	100.0%

Table 2 Energy distribution (0～20Hz)

表１より、風車音を騒音（周波数 20Hz 以上）として考えると、音のエネルギーの 93%を無視することになる。その結果、圧迫感などの不快感の原因となる部分を除外した数値と不快感を訴える人の割合を比較す

ることになり、交通騒音の場合に比べると大きな誤差が出る。

表２より、0.8Hz の部分が、0～20Hz の音のエネルギーの 61%を占めていることが分る。よって、超低周波音を１～20Hz に限定してはならない。

４．風車音と再生音

図５は NL-62 で記録した 60 秒間の風車音。図６は FFT を使って音を分割し、青を 0～20Hz、緑を 20～200Hz、赤を 200～24ｋHz の成分として表したもの。図７は図５の音を PC のスピーカで再生し、再度 NL-62 で収録した音を図６と同様に分割したもの。

図6では 200Hz～24kHz の成分に振幅変調が見られるが、音圧が極めて低く空気減衰やエネルギー透過率を考えれば室内への影響は弱い。逆に、超低周波音のエネルギーは大きく、その影響を慎重に調査すべきである。

なお、圧迫感を除けば、風車の近くで聞いた音とスピーカからの音の違いを聴覚では判別できなかった。

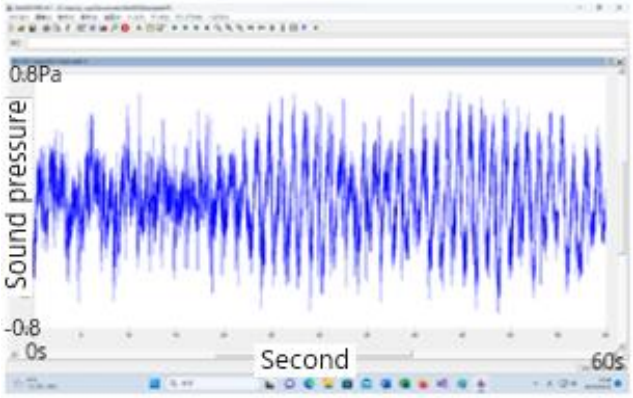


Fig.5 Wind turbine noise

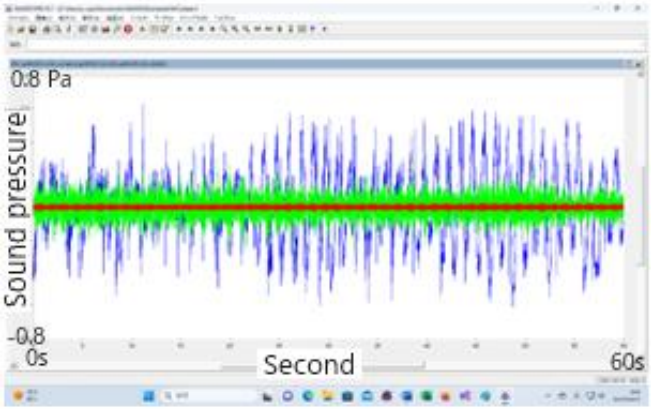


Fig.6 Separated Wind turbine noise

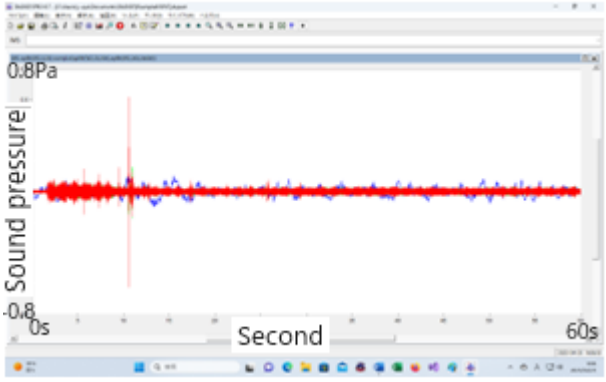


Fig.7 Separated sound from speaker

図７からスピーカ音には超低周波音が含まれない事が分る。大型のスピーカでも 1Hz 以下の音の再生は出来ない。これが風車音と実験室の再生音では圧迫感に差がでる原因である。実験をするならトレーラーの荷台に実験室を作って風車の近くに行くしかない。

５．風車音の細かな特徴

表３は、図３に於ける音圧のピーク値とその時の周波数を対応させたものである。

Frequency at peak[Hz]	Rate(1)	Rate(2)	Sound pressure[Pa]
0.2667	1.0000		0.0560
0.5333	2.0000		0.0309
0.8167	3.0625	1.0000	0.1405
1.5833	5.9375	1.9388	0.0436
2.4167	9.0625	2.9592	0.0242
3.2167	12.0625	3.9388	0.0317
4.0000	15.0000	4.8980	0.0177
4.8667	18.2500	5.9592	0.0173
5.4667	20.5000	6.6939	0.0101
6.2667	23.5000	7.6735	0.0098

Table 3 Frequencies of the peak values

最大音圧となるときの周波数0.8Hz,は、翼の回転数をR(rpm)、翼枚数をZ(枚)とするときのｆ＝RZ/60[Hz]に合致する。他の周波数も含めて音が出る仕組みを解明すれば超低周波音が発生する理由が分る。

６．周波数の細かな変動

ｆ＝RZ/60[Hz]より、周波数は回転数によって変化する。図８のWaveletのグラフから、0.73Hzから0.87Hzの間で周波数が変化することが分る。

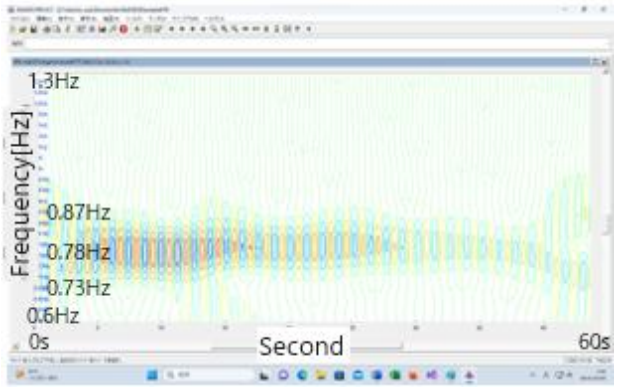


Fig.8 Fine fluctuation nearby 0.8Hz

Rotation (7times), a part of large table		
Brade pass	Time(second)	Frequency[Hz]
21	28[s]	0.75[Hz]
21	22[s]	0.95[Hz]
21	28[s]	0.75[Hz]
21	28[s]	0.75[Hz]
Average		0.8 [Hz]

Table 4 Fine fluctuation from video

表４はビデオ撮影した回転の様子から周波数を計算したものの一部である。周波数は風速の変化に対応して細かく変化し、図８の変化と一致する。

図８で色の濃い部分は音圧が高いことを示し、図８は60秒間の計測結果なので、音圧が高い状態が20秒程度継続することが分る。10 分間の計測結果から、0.8Hz に近い周波数成分の音圧は、風が弱いときは0.10[Pa]、風が強いときは0.37[Pa]、平均で0.18[Pa]程度であることが分る。

７．塔の振動方向と風車音の指向性

ナセルや、塔の地上40ｍの側面の振動の方向や大きさ、音の指向性を揚力ベクトルの方向に注目しながら考える。(1.6Hzは小型風車で回転数が高いため。)

“風車ナセル・タワーの振動解析”1)

では、ナセル部分について、“図 3 のローリング方向では 0.8Hz、1.6Hz、2.7Hz にゲインの増大が確認でき、ロータの偏芯が顕著には現れておらず、代わりに 1.6Hz に羽根数×回転数の振動が表れている。これは、上下左右の風速さと羽根数によるブレード変形振動が起因している”“図 4,5 はナセル振動の 210 度方向、300 度方向スペクトルを示す。”“210 度方向ではロータ回転周波数 0.5Hz が若干表れ、羽枚数×回転数 1.6Hz が顕著に表れている”、さらに、１)の図 6，7 からタワー内 40ｍの振動にも、210 度方向、300 度方向に 1.6Ｈｚの成分が表れていることが分る。

“風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について”” 2)
では、“200 度の位置のレベルが高くなっている。この位置はキャンセレーションメカニズムが働きレベルが低下する位置であり指向性の予測とは逆の現象が現れている。”とあり、20 度、110 度、200 度、290 度の方向で音圧が高いことが、２)の図６から分る。

“円筒の弾塑性純曲げ崩壊に関する研究”3)を参考にすれば、塔の側面の変動は図９図 10 となる。

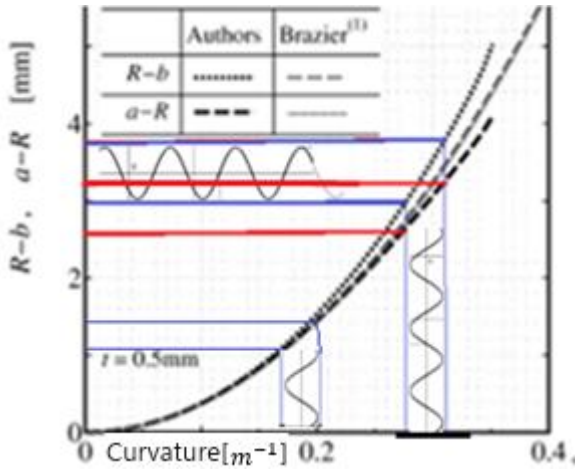


Fig.9 Force fluctuation and side vibration

図９は塔の側面が塔に掛かる力の変化に応じて振動することを示す。右の方が側面の振動幅が大きい。
塔の断面は、図 10 の右側の様に円筒が曲がるときに楕円になる。加えられた力の方向の側面の振動と、それに直交する方向の側面の振動が発生する。その結果、風車音は指向性を持ち、周波数は塔に掛かる力の周波数と一致する。さらに、断面が円から楕円になれば、面積が減少するので塔内の容積が減少する。逆に断面が円に近づけば容積は増加する。塔の変形は塔内の気圧変動も引き起こす。

８．風車にかかる力とその影響

“流体力学(前編)”４)によれば、
翼に働く揚力 L は、Kutta-Jopukowski の定理より、

$$L = \rho U \Gamma = 4\pi\rho U^2 \lambda \sin(\alpha - \delta) \qquad (1)$$

で与えられ、揚力は、一様流の速度 U の２乗に比例する。
ブレードと塔の距離が近いことを考え、揚力 L の大きさや塔に対する回転モーメントが周期的に変化することを調べれば、塔の変形の様子と風車音の発生原因が分り、風車音の周波数と音圧の程度も分る。

“風車の振動解析”５)では、揚力Ｌについて述べた後で、風車に掛かる力について考察がされている。

“風速は高さにより変化するので、ブレードが回転すると、これらの力は周期的に変化する。その結果、ブレードとタワーに周期的励振力が加わる。”

“ブレードからタワーに加わる力の各振動数成分は、枚数倍となる。以上のように、回転速度のn倍の振動数nPをもつ多くの励振力が加わる。”と述べている。

“回転速度のn倍の振動数nPをもつ多くの励振力”としたのでは、風車音の指向性の考察が欠けていて、塔がどのように変形して音が出るのかという事に繋がらない。

“空力音響学”６)には、振動する物体からどのように音が発生するかが書かれている。

風車の側面の振動を考えるには、塔に掛かる力の観点から、塔に掛かる回転モーメントに視点を移して計算する必要がある。塔の変形は、釣り竿が曲がる場合と似ている。釣り竿の変形は、釣り竿に対する回転モーメントで決る。上部の揺れは円形のままでも可能だが、側面の揺れは、切り口の変形を伴う。

風車は揚力によって回転し、ブレードの角度を変えて回転速度を調節する。回転開始時は回転方向の成分が大きくなるようにブレードの向きを調整し、定格出力運転時には揚力ベクトルの方向を 200～210 度の向きにして、ブレードの回転を抑える。この結果、揚力の回転軸方向の成分が大きくなる。

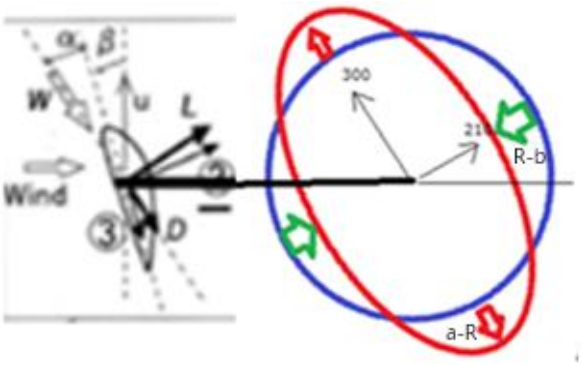


Fig.10　Lifting vector and modification

９．塔に掛かる力と回転モーメント

（９桁の数値で計算し、最後に四捨五入した。）

ナセルや塔の揺れに関してはブレードが真上に来た時の揚力ベクトルの方向を重視すべきだが、ここでは、揚力ベクトルの回転軸方向への成分を考える。

単純化して、塔の高さは 100m、ブレードの代りに、丸い標識のような形の板が中心から 50mの所に付いているとして、周波数を計算する。

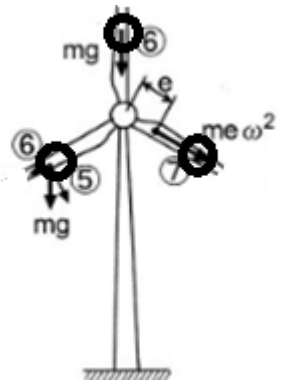


Fig.11 Wind turbine in balance

円盤の地上からの高さは$100 + 50 * \sin(\omega t + \theta)$ m
となる。

上空では地表近くよりも強い風が吹く。上空での風速の予測式はいくつかあるが、ここでは次の予測式を使う。
高さZ_{h1}での風速V_{Zh1}
高さ$Z_{G(V)}$での風速の予測値$V_{ZG(V)}$
地表面粗度区分Ⅴに応じた冪指数 α(v)
としたときに、次の関係式

$$V_{ZG(V)}/V_{Zh1} = (Z_{G(V)}/Z_{h1})^{\alpha(V)} \qquad (2)$$

が成立し、田園地帯では、$\alpha(V) = 0.15$である。

田園地域で、地上 10ｍの時の風速が 7[ｍ/s]のときは、
地上 100+50*sin(ω t+ θ) m での風速は

$$7 * ((100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))/10)\text{^}0.15 \quad [\text{m/s}] \quad (3)$$

となる。

空気密度を 1.23[kg/ｍ^3]、 風力係数Cd＝1.2、とすると風速 V[ｍ/s]のとき、 P:風荷重[N/㎡]は

$$\text{P} = (\text{V}\text{^}2 / 2) \times 1.23 \times 1.2 \quad [\text{N/㎡}] \quad (4)$$

となり、標識の面積が 10[㎡]のとき、地上 10ｍで 7[ｍ/s]の風が吹くときに、風車に取り付けてある丸い板にかかる力は、

$$P = \frac{\left(\left(7 * \left(\frac{(100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))}{10}\right)^{0.15}\right)^2\right)}{2} * 1.23 * 1.2 * 10 \quad [N] \quad (5)$$

となる。この力は風速の２乗に比例する。

この力によって引き起こされる風車を倒そうとする力は、回転軸を地表とブレードの回転面の共有する直線としたときの回転モーメントであり、

$$P*(100+50*\sin(\omega t+\theta))=k*(100+50*\sin(\omega t+\theta))\text{^}1.3 \quad [\mathrm{Nm}] \quad (6)$$

となる（ｋ=181.24)。ここでは

$$(100+50*\sin(\omega t+\theta))\text{^}1.3 \quad (7)$$

の部分に注目して考える。
ブレードのなす角は２π/3 なので回転モーメント M は、
ω=2π・0.8/3　と置いたときに、

$$f(t)=(100+50*\sin(\omega t))^{1.3}+(100+50*\sin(\omega t+2\pi/3))^{1.3}+(100+50*\sin(\omega t+4\pi/3))^{1.3} \quad (8)$$

とすれば、

$$M=k*f(t)=181.24*f(t) \quad [\mathrm{Nm}] \quad (9)$$

となる。マクローリン展開

$$(1+x)^{\alpha}=1+\frac{\alpha}{1!}x+\frac{\alpha(\alpha-1)}{2!}x^2+\frac{\alpha(\alpha-1)(\alpha-2)}{3!}x^3+\cdots \quad (10)$$

を使って計算する。（Sin での計算を示すが、cos でも同様となる。）

（１） 電卓での近似計算（0.8Hz の根拠）

$$(100+50*\sin(\omega t))^{1.3}=(100^{1.3})(1+(1/2)*\sin(\omega t))^{1.3} \quad (11)$$

に注意して展開式に(1/2)sin(ω t)を代入すれば、

$$(100+50*\sin(\omega t))^{1.3}=398.11*\{1+0.65\sin(\omega t)+0.05sin^2(\omega t)-0.006sin^3(\omega t)+\cdots\} \quad (12)$$

となる。次の関係式に注意して計算する。

$$\sin(x)+\sin(x+2\pi/3)+\sin(x+4\pi/3)=0 \quad (13)$$

$$sin^2(x)+sin^2\left(x+\frac{2\pi}{3}\right)+sin^2\left(x+\frac{4\pi}{3}\right)=\frac{3}{2} \quad (14)$$

$$sin^3(x) = (3\sin(x) - \sin(3x))/4 \qquad (15)$$

なので、sin の 3 乗の和のうち、sin(x)の和は 0 となり、sin(3x)の和は

$$\sin(3x) + \sin\left(3\left(x + \frac{2\pi}{3}\right)\right) + \sin\left(3\left(x + \frac{4\pi}{3}\right)\right) = 3\sin(3x) \qquad (16)$$

となるから

$$sin^3(x) + sin^3\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) + sin^3\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) = -(3/4)\sin(3x) \qquad (17)$$

よって、

$$f(t) \approx 1223.43 + 1.70\sin(3\omega t) \qquad (18)$$

となる。

3 枚のブレードが、sin(ωt)、sin(ωt+2π/3)、sin(ωt+4π/3)に従って回転している場合には、塔にかかる回転モーメントは

$$M = k * f(t) \approx 221734.19 + 307.78\sin(3\omega t) \qquad (19)$$

となり、ブレードの回転周波数が、0.26666Hz ならば、塔にかかるモーメントは 0.8Hz の周波数で変化する。

ブレードの回転周期の 1/3 の周期で回転モーメントが変化することが分る。

（2）不均等な場合（0.27Hz, 0.53Hz の根拠）

次に、ブレードの 1 枚だけが他の 2 枚よりも少し大きい場合を考える。

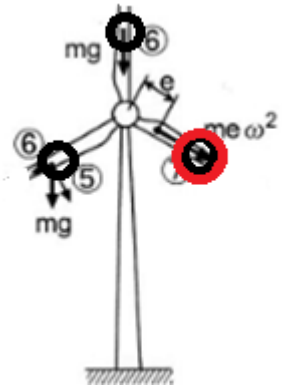


Fig.12 Wind turbine imbalance

大きな部分の面積が、10*1.003＝10.03 ㎡　だとすれば、この時、赤い丸の部分が受ける力は、

$$P = \frac{\left(\left(7 * \left(\frac{(100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))}{10}\right)^{0.15}\right)^2\right)}{2}$$

$$* 1.23 * 1.2 * 10 * 1.003 \quad [N] \qquad (20)$$

より、

$$P * (100 + 50 * \sin(\omega t + \theta)) = k * ((100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))^{1.3} + 0.003 * (100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))^{1.3}) \qquad (21)$$

となる。θ ＝0 のものが大きいとして、

$$g(t) = f(t) + 0.003 * (100 + 50 * \sin(\omega t))^{1.3} \quad (22)$$

を考える。（（８）式を使った。）

$$0.003 * (100 + 50 * \sin(\omega t))^{1.3} = 0.003 * 398.11\{1 + 0.65\sin(\omega t) + 0.05sin^2(\omega t) - 0.006sin^3(\omega t) + \cdots\} \quad (23)$$

となり、冪乗の項を倍角で表現して計算すれば、

$$M = k * g(t) = 221955.93 + 139.77\sin(\omega t) - 5.28\cos(2\omega t) + 308.08\sin(3\omega t) + \cdots \quad (24)$$

を得る。これが、超低周波音での、0.27Hz、0.53Hz 成分が出現する根拠である。

（３）0.8Hz、1.6Hz、2.4Hz、…が出現する根拠
　次の命題に注目する。

命題；$(sinx)^n$は、定数と$\sin(mx)$、$\cos(mx)$（m＝1～n）の一次式で表現できる。（Cos も同様）

n＝ 1 の場合は、$(sinx)^1 = \sin(1x)$　で正しい。
n＝k の時に成立すると仮定すると、

$$(sinx)^{k+1} = f_k(x) * sinx \quad , \qquad (25)$$

定数*sinx　は条件を満たし、

$$\sin(mx) * sinx = -(\cos(mx + x) - \cos(mx - x))/2 \quad (26)$$

$$\cos(mx) * sinx = (\sin(x + mx) + sin(x - mx))/2 \quad (27)$$

となるので、（25）式は、定数と$\sin(mx)$、$\cos(mx)$（m＝1～k+1）の一次式で表現できる。

よって、$(sinx)^n = f_n(x)$は次の形で書ける。

$$f_n(x) = c_n + \sum_{m=1}^{n} a_m \sin(mx) + \sum_{m=1}^{n} b_m \cos(mx) \quad (28)$$

そこで

$$(sinx)^n + (\sin\left(x + \frac{2\pi}{3}\right))^n + (\sin(x + \frac{4\pi}{3}))^n \quad (29)$$

を考えるには、1 次式の和

$$\sin(mx) + \sin\left(m(x + \frac{2\pi}{3})\right) + \sin(m\left(x + \frac{4\pi}{3}\right)) \quad (30)$$

について調べればよいことになる。
m＝3k、m＝3k+1，m＝3k+2　　（k＝0,1,2,…）
の場合に分けて考える。
m=3k の場合は、

$$\sin(3kx) + \sin\left(3kx + \frac{6\pi k}{3}\right) + \sin\left(3kx + \frac{12\pi k}{3}\right) = 3 * \sin(3kx) \quad (31)$$

m=3k+1 の場合は、

$$\sin((3k+1)\,x) + \sin\left((3k+1)x + \frac{6\pi k + 2\pi}{3}\right) + \sin\left((3k+1)x + \frac{12\pi k + 4\pi}{3}\right) = 0 \quad (32)$$

となる（m=3k+2 の場合も同様）。よって、

$$f_n(x) + f_n(x + 2\pi/3) + f_n(x + 4\pi/3) \quad (33)$$

には、$\sin(3mx)$，$\cos(3mx)$ のような形の項と定数だけが残る。これが、0.8Hz より大きな周波数、1.6Hz、2.4Hz、3.2Hz、4.0Hz でピーク値となる理由である。
（８）（９）式には、（10）の展開式を長くしても、
定数項と、$\sin(3m\omega t)$，$\cos(3m\omega t)$の項しか残らない。

塔には、ブレードの揚力による力のほかに、塔自体に吹き付ける風の力もあって風下に向かって少し曲がる。高さによって風速が異なるので、ブレードの揚力は塔にかかる力を周期的に変化させる。３枚のブレードが完全に均等で風が安定していても、3*R/60[Hz]のほかに、2*3*R/60[Hz]、3*3*R/60[Hz]、4*3*R/60[Hz]、…の揺れが発生する。

さらに、1枚のブレードが少しだけ大きい場合や、風に対する角度が他の２枚と少しだけ異なる場合には、風車の変動に、R/60[Hz]の他に、2*R/60[Hz]、 3*R/60 [Hz]、の揺れも含まれる。

この力が塔に作用すれば、塔の切り口は楕円となり、塔の側面での振動が起きる。この結果、側面が大きく振動する方向への指向性を持った超低周波音が発生する。

規則的な周波数を持ち、ブレードの回転に起因する塔の振動で発生する音を“風雑音”と言ってはならない。“風車から超低周波音が発生する”のである。

図4は“風雑音”を表すが、図3は風車からの超低周波音を表す。音の持つ指向性と周波数の規則性がその特徴である。

胴の部分に2つの太鼓、上部に笛を付けた楽器のようなイメージを図１３に示す。これは、塔内の気圧変動も含めて、風車音の特徴を考えた上での、風車から音が発生する仕組みを表す模式図である。

Fig.13 Image of Wind turbine noise

１０．室内での計測とカオス理論

“低周波数騒音に対するハウスフィルタのモデル化”7）には、“室内の音場は特に低周波数領域では複雑で、物理的にも難しい問題を多く含んでいる。”と書かれている。

室内の音の解析は難しいが、カオス理論を使えば困難を克服できる。図 14 は、製鉄所内の騒音から故障している機械を見つける為の解析である。

1段目は騒音のグラフ、2段目は周波数スペクトル、3段目は Wavelet 解析。 ここまでの解析では特徴が不明だが、“Average Wavelet Coefficient-Based Detection of Chaos in Oscillatory Circuits”8)を使えば 4 段目のグラフとなる。

Fig.14 Effect of Chaos theory

４段目はラクダが座っているようなグラフで、コブが１つなら固有振動数が１つ、コブが２つなら固有振動数が２つの物の振動を表す。中央のグラフは固有振動数を２つ持つ四角い篩が原因であることを示している。

１１．風車音で留意すべき事項

音圧と圧迫感の関連を調べるには、最大音圧をパスカル値のままで扱う必要がある。また、音圧の変動に関しては、音響キャビテーションによる気泡発生の可能性も検討する必要がある。体内に小さな気泡が発生すれば、潜水病と同じ状態になり頭痛が起きる。ほんの少しの可能性でも詳細に検討すべきである。(“泡のエンジニアリング”9))

１２．まとめ

水平軸型の風車が超低周波音の発生装置そのものであることが示されたが、パリのエッフェル塔には、希望の灯が残っている。そこでは音も静かで振動も少ない垂直軸の風車が発電をしている。垂直軸型の風車から超低周波音が発生する要因は見あたらない。

（2015 年 2 月、エッフェル塔に 2 機の風力発電機が地上約 120 メートルの部分に設置された。）

１３．引用文献

1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久畝,川端浩和,田中元史,小垣哲也,濱田幸雄,風車ナセル・タワーの振動解析,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.40,p.251-254,2018

2) 菊島義弘,長島久敏,橋本晶太,鯨岡政斗,濱田幸雄,川端浩和,小垣哲也,風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.38 p. 69-72, 2016

3) Dai-Heng CHEN,増田健一,尾崎伸吾,円筒の弾塑性 純曲げ崩壊に関する研究, 日本機械学会論文集 A 編, Vol.74, No.740, p. 520-527, 2008

4) 今井巧,流体力学(前編),裳華房,第 17 版,1990

5) 石田幸雄,風車の振動解析,Journal of JWEA Vol.34 No.4, 2010

6) M.S.Howe, 空力音響学, 共立出版、初版、2015

7) 橘秀樹, 福島昭則, 落合博明,低周波数騒音に対するハウスフィルタのモデル化,日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, Vol. 2017:春季 p.13-16, 2017

8) Vesna Rubežić, Igor Djurović, Ervin Sejdić,
Average Wavelet Coefficient-Based Detection of Chaos in Oscillatory Circuits,

COMPEL The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering 36(1):188-201, January 2017
9) 石井俶夫編集,泡のエンジニアリング,テクノシステム，初版, 2005

６．１８　唾液コルチゾール検査

そこで、必要となるのが、被験者の身体的な反応を客観的に把握する方法です。被験者の感じたストレスを計測できますので、アンケートと併用してしっかりと検証する必要があります。

それは、唾液コルチゾール検査です。これによって、被験者のストレスを数値で測れます。この結果があれば、関連性が客観的な根拠を持つことになります。調査に含めるべき“唾液コルチゾール検査”とは、次のようなものです。

“唾液中コルチゾール検査（+ Cortisol Awakening response:CAR）とは？
ストレスホルモンの一つであるコルチゾールを評価する検査です。唾液中のコルチゾールレベルを測定し、ストレス応答の状態を明らかにします。
・ストレスホルモンの評価:
ストレス応答の強さやパターンを把握します。これにより、副腎疲労症候群やストレス関連の健康問題の評価が可能です。
・バイオリズムの把握:
一日のうちのコルチゾール分泌のパターンやリズムを評価できます。朝のエネルギーと目覚め、夜のリラックスと睡眠の質との関連性を把握します。
・個別のストレス応答の特定:
コルチゾールの変動を通じて、ストレス応答の特徴やパターンを明らかにすることができます。ストレス管理や健康促進のためのアプローチが可能です。
この検査をお勧めする患者様
"慢性的なストレスや疲労感を抱える方"
"不眠症や睡眠障害を経験している方"
"ストレスによる体調不良や免疫力の低下を感じている方"
"ホルモンバランスの乱れを疑っている方"
"健康な生活のためにストレス管理を重視したい方"“
とあり、
ストレスの程度を計測できる検査です。

カナダ政府の HP では、

B. 自己申告によるアンケート結果

結果は WTN レベルに関連して表示されます。WTN の煩わしさに関連する所見については、他の研究との比較を可能にするために、距離に関する結果も提供されている。WTN は、曝露レベルのより感度の高い尺度であり、地形、風力タービンの特性、および任意の距離での風力タービンの数を考慮することができます。説明するために、2 つの類似した住宅が、それぞれ 1 基の小型風力タービンと 75 基の大型風力タービンがあるエリアで稼働している最も近いタービンから同じ距離に位置する類似した環境に存在する可能性があります。これらの住宅は、最も近い風力タービンまでの距離のみを使用して解析を行った場合、同じように扱われますが、WTN 曝露レベルの点ではまったく異なります。

以下のものは WTN 曝露との**関連は認められなかった**:

自己申告による睡眠(例:全身障害、睡眠薬の使用、睡眠障害の診断);

自己申告の病気(例:めまい、耳鳴り、頻繁な片頭痛や頭痛の有病率)および慢性的な健康状態(例:心臓病、高血圧、糖尿病);そして自己申告による知覚ストレスと生活の質。

何人かの個人が上記の健康状態のいくつかを報告したが、有病率は WTN レベルに関連して変化しなかった。

5.3 煩わしさと健康

WTN の不快感は、血圧、片頭痛、耳鳴り、めまい、PSQI のスコア、知覚ストレスなど、いくつかの自己申告による健康への影響と統計的に関連していることがわかった。

WTN の不快感は、測定された毛髪コルチゾール、収縮期血圧、拡張期血圧と統計的に関連していることがわかりました。

自己報告および測定された健康エンドポイントに関する上記の関連は、特定の騒音レベルまたはタービンからの特定の距離に依存せず、多くの場合、道路交通騒音の不快感についても観察されました。

カナダ保健省は、これらの症状が風力タービンへの曝露よりも前からあったのか、あるいは風力タービンへの曝露によって悪化した可能性があるのかを知る方法がないが、この調査結果は、長期にわたる高い不快感と健康との潜在的な関連性を裏付けている。

“屋外の WTN レベルは、睡眠効率、覚醒速度、覚醒時間、総睡眠時間、または眠りにつくのにかかった時間と関連していることがわかりました。”

“毛髪コルチゾール濃度と**知覚ストレス尺度**のスコアとの間に一貫性が見られた(すなわち、**この尺度のスコアが高いほど毛髪コルチゾールの濃度が高い**)が、どちらの指標も WTN への曝露によって有意な影響を受けないことがわかった。同様に、自己申告による高血圧(高血圧)は測定された血圧の上昇と関連していたが、測定された血圧または安静時心拍数と WTN 曝露との間に統計的に有意な関連は観察されなかった。“

とありました。

関連性を表にします。×は関連性無し、○は関連性あり、△は三段論法で関連性ありと判断できるものを表します。

	WTN	睡眠障	心拍数	血圧	コルチ	不快感	知覚ス	片頭痛	耳鳴り	めまい
WTN		○	×	×						
睡眠障害	○									
心拍数	×									
血圧	×				△	○	△	△	△	△
コルチゾール				△		○	○	△	△	△
不快感				○	○		○	○	○	○
知覚ストレス				△	○	○		△	△	△
片頭痛				△	△	○	△		△	△
耳鳴り				△	△	○	△	△		△
めまい				△	△	○	△	△	△	

被害者の知覚ストレス、高血圧などの訴えが、体調の具体的は変化を伴っていることが、コルチゾール検査で証明されていることを示しています。被害者は、口先だけの嘘を言っているのではないのです。

この項目は、日本での研究結果とも一致しています。

6. 低周波音苦情の分類

低周波音の苦情は人に関する苦情（心理的苦情、生理的苦情）と建物等に対する苦情（物的苦情）に大きく分けられる。低周波音苦情の分類を表-3に示す。

表-3 低周波音苦情の分類

心理的苦情	睡眠妨害、気分のいらいら
生理的苦情	頭痛、耳なり、吐き気、胸や腹の圧迫感
物的苦情	家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動、瓦のずれ

この事は、風車音が被害と関連が無いという意味にはなりません。

WTN（騒音レベル、A 特性音圧レベル）は超低周波音の部分を無視して、風車音のエネルギーの７％から計算した数値ですから、関連薄いのは当然です。圧迫感に注目して、圧迫の原因そのものである、最大音圧を測れば良いのです。

被害の聞き取りだけでは、原因の把握が出来ないのです。アンケートと同時に計測することが必要だったのです。解析する設備が無くても、WAV ファイルを ZIP ファイルにしてネットに公開する事は可能なのです。

ストレスの程度を測る検査について確認します。

唾液コルチゾール検査

「副腎疲労（アドレナル・ファティーグ）」という言葉をご存じでしょうか？

近年、体調不良で検査をしても原因がわからないという不安を訴える患者様が増えています。現代人は、日常的にさまざまなストレスを受けています。副腎から分泌されるコルチゾールは、このストレスから私たちの心身を守ってくれています。

しかし、強いストレスが慢性的に続くと、副腎も疲れ、コルチゾールの分泌が追い付かなくなり、身体にさまざまな症状が現れます。

以下の症状に覚えはありませんか？

朝、起きるのがつらい

ぐっすり眠っても、まだ疲労感がある

塩辛い食べ物が無性に欲しくなる

以前楽しんでいたこともすべて億劫に感じる

日常的なことがとても疲れる

性欲の低下

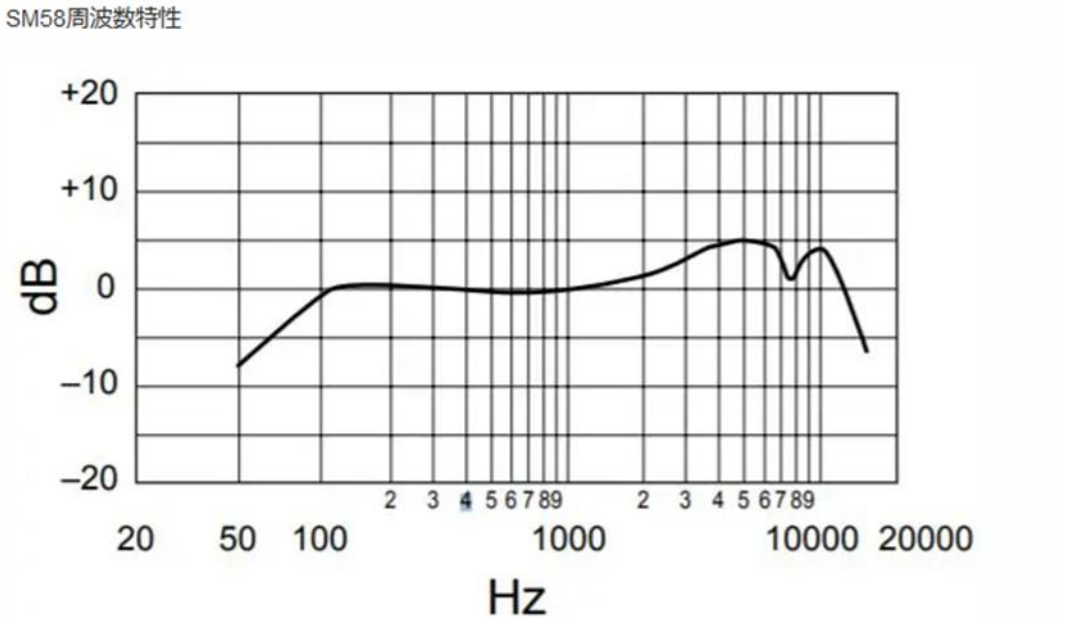
ストレスに対処出来ない、イライラしやすい

病気や怪我、外傷から回復するのに時間がかかる
ベッドや椅子から立ち上がるとき、クラクラする
軽度のうつ（人生に何の意味も感じられない）
人生の全てがむなしい
PMS（月経前症候群）の悪化（手足のむくみ、頭痛、乳房の張り、下腹部の痛み、ふさぎ、不安、怒り、イライラがひどくなる）
カフェインがないと仕事ができない
思考がまとまらず、ボーっとする
記憶があやふや
午前１０時まで目覚めない
午後３時から４時の間はぼんやりしている
夕食後、やっと元気になる
仕事がはかどらない
（医者も知らないアドレナル・ファティーグ　ジェームズ・L・ウィルソン著　中央アート出版社より引用）
上記の症状に１つでも当てはまれば、副腎疲労の可能性が考えられます。もし、4 つ以上当てはまる場合には、「唾液コルチゾール検査」で十分に副腎が働いているかどうか調べてみることをお勧めします。副腎疲労の治療は、原因となるストレスの同定・除去や、生活習慣の改善、サプリメントを用いた栄養療法などが中心となります。
唾液コルチゾール検査の方法
一日 4 回（8 時、12 時、16 時、24 時）唾液の採取をします。唾液中に含まれるコルチゾールの日内変動を調べます。
正常な場合：朝の値が最も高く、時間が経つにつれて下がります。
副腎機能が低下している場合：朝の値が低くなるなど、分泌パターンに変化が見られます。
こういった値の変化によって副腎疲労の度合いが分かります。（唾液の接種だけの検査ですので、身体への負担はほとんどありません。）
検査費用：15,000 円（税別）※自費診療
この検査を含めた場合、診断書の発行費用は、１回あたり２万円程度です。

６．１９　マイク、スピーカ、イヤホン

マイクの性能

信頼と実績を誇る、ボーカルマイクロホンの世界標準。URE SM58-LCE の周波数特性は、次のグラフです。



100Hz～1000Hz までは周波数特性の値が ０ｄＢ であり、実際に与えられた音圧レベルとマイクが捉えた音圧レベルの間には差が無い事を示しています。
50Hz では、-8ｄＢの減衰となっていて、50Hz の音が与えられた場合には、実際に与えられた音圧レベルよりも、マイクが把握する音圧レベルは、８ｄＢほど低くなっている事を意味している。

風車音の特徴を詳細に調べるには録音する必要があります。困ったことに、普通のマイクは低周波音に強いと言っても、対応する周波数が、20Hz～20kHz 程度のものがほとんどです。

スマートフォンのマイク感度は20Hz～

低周波音の計測系は一般に「音をとらえるマイク部」と「捉えた音を補正し解析するためのソフトウェア部（アプリ）」に別れます。低周波音を計測できるかはまず第一にマイク仕様の問題があります。発生している音に対してマイクの感度が対応していなければそもそも音を計測することができません。マイクがどの周波領数域に対応したものかを示す仕様に「周波数特性」があります。スマホに内蔵されているマイクの仕様や感度はあまり公開されていませんが、一般的なダイナミックマイクの場合周波数特性は40Hz～16kHz、コンデンサーマイクの場合は周波数特性は20Hz～20kHzとなっています。いずれも人間の可聴域（耳で聞こえる音の範囲）に対応した仕様となっています。

一般的なマイクでは低周波音は適切にとらえられない

一方で低周波音とは一般的に「100Hz以下」の音とされており、環境省が定める参照値のうち「物的苦情に関する参照値」は5～50Hzの範囲で定められています（＞低周波音の基準についてはこちらから）（＞さらに周波数の低い超低周波音についてはこちらから）。マイクの周波数特性にこの範囲が含まれていない場合適切に発生している低周波音をとらえ、評価することができません。言い換えると測定結果の値が大きかったとしても、小さかったとしても、それをもって大きな低周波音が発生している（していない）と判断することはできません。つまり一般的なマイクでは低周波音を適切にとらえることはできないのです。

もちろん、特別なマイクもあります。リオン社の UC-59L です。

図1　本製品外観
マイクロホンUC-59L とプリアンプXN-3C

周波数範囲	DC～20 kHzまたは0.25 Hz～20 kHz

このマイクと右にある SA-A1 を組み合わせると、0.25Hz からの計測が可能となります。
周波数特性は下のグラフの青い線になるようです。

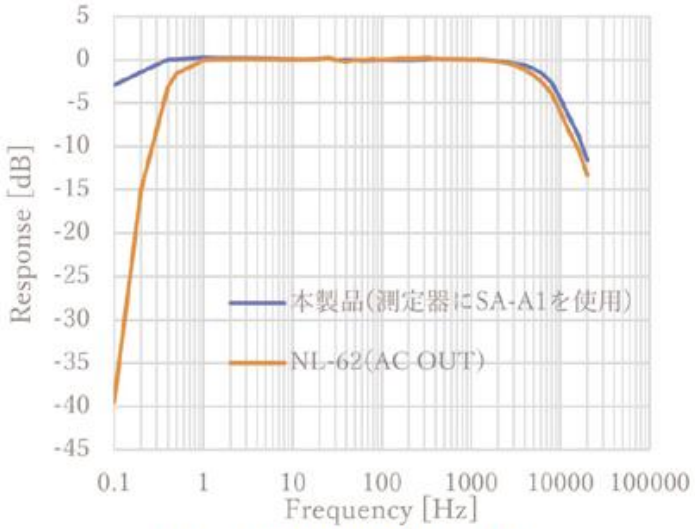


図2　本製品とNL-62 の周波数特性

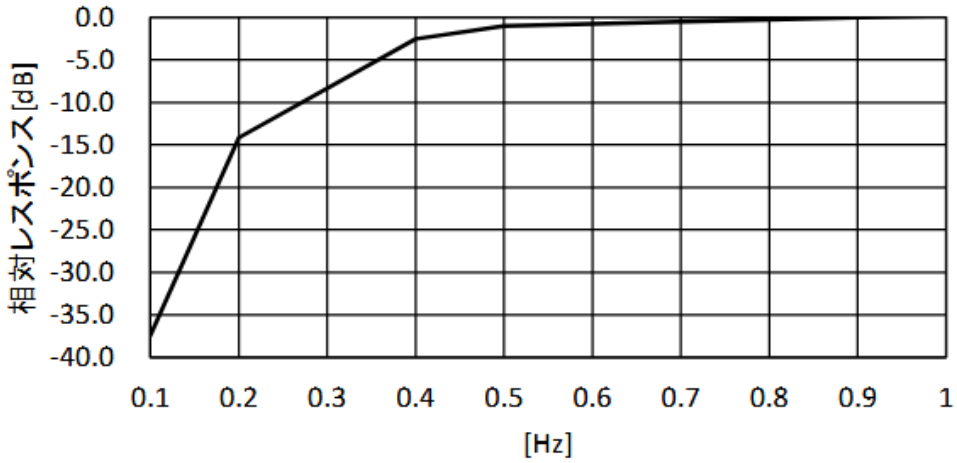
このグラフでは、NL-62 の 0.1Hz での応答が、-38dB となっていますが、リオン社から参考としていただいた資料では、次のようになっていました。

NL-62　　低周波数領域　総合周波数特性（本体、プリアンプ、マイクロホン）　※代表特性
周波数重み付け特性　Z　　2023年5月
リオン株式会社　営業技術課

frequency[Hz]	NL-62_responce[dB]	備考
0.1	-37.4	
0.2	-14.1	
0.4	-2.5	
0.5	-1.0	
1	0.3	
31.5	0	基準

NL-62　総合周波数特性（代表値）

NL-62　総合周波数特性（代表値）



※上記に提示する周波数特性は測定範囲外の周波数帯かつ代表値であり、
NL-62の性能として保証するものではございません。

0.1Hz でのレスポンス（dB）は、上のグラフでは、−37.4dB となっています。
かなりの誤差があるとの前提ですが、計算では、0.1Hz で−37.4dB となっている資料の値を使う事にします。
この数値が意味するところは、0.1Hz の音の、音圧レベルを測るときに、計測された音圧レベルの数値は、実際に存在する 0.1Hz の音の音圧レベルよりも、−37.4dB 程度低い音圧レベルになっている。 と言う事です。
リオン社への質問と回答は、
質問 2.　NL-62 で使用しているマイクロホンの形式は?　このマイクロホンで測定できる周波数範囲は何 Hz ですか。
回答 2.　マイクロホンは UC-59L で、周波数特性（測定可能な周波数範囲）は 1 Hz～20000 Hz です。
となっています。

音圧を正確に把握できるのは、1Hz～20kHz であり、0.5Hz や 0.8Hz に関しては範囲外であり、その値は保証されないが、数値が、実際の音圧よりも高い値を取ることは無い。とは言えると思います。

グラフを見ると、0.4Hz 辺りまでの計測値は、ある程度の判断基準にはなる。と考えます。

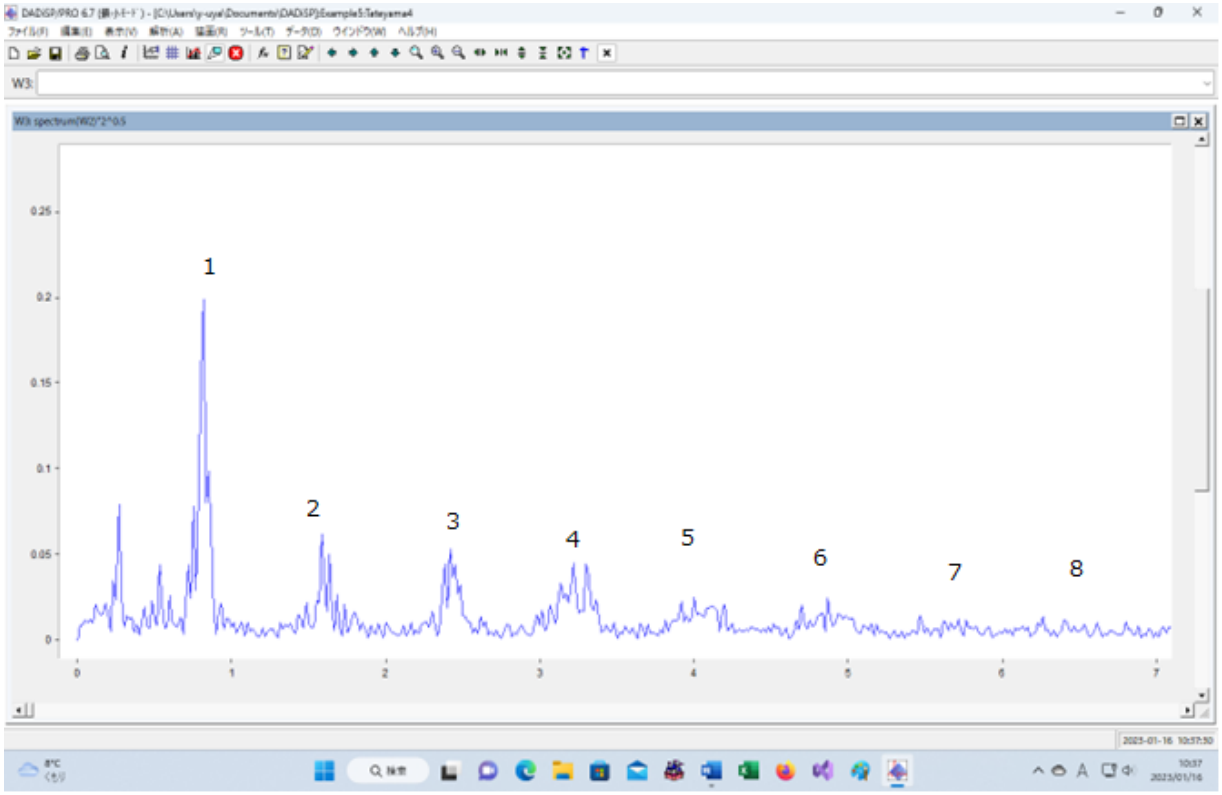
また、同じ精密騒音計で調べた風車音での 0.5Hz の音圧と、交通騒音での 0.5Hz の音圧を比較して、何倍になっているかを調べる事は意味があると思います。

音圧レベルの推定ですが、

0.1Ｈｚに関して、レスポンスが、－37.4ｄＢの場合は、実際の音圧レベルが 80ｄＢだとすると、マイクロホンを通して音圧レベルを検出する場合の数値は、80－37.4＝42.6ｄＢになっていることになります。

実際の風車音で、計測された音圧（パスカル）から、実際の音圧を推定してみます。

周波数の倍音構造



音圧（パスカル）がピーク値となるときの周波数に、次のような規則性がある。

ピーク値の周波数	倍率1	倍率2	音圧	0.816667の倍数			
0.266667	1		0.05604				
0.533333	1.999996		0.03093802				
0.816667	3.062497	1	0.1405225	0.816667	1	0.816667	
1.583333	5.937491	1.938774	0.0435531	1.633334	2	1.633334	2
2.416667	9.06249	2.959183	0.02416667	2.450001	3		
3.216667	12.06249	3.938774	0.03173804			3.266668	4
4.000000	14.99998	4.897957	0.01772484	4.083335	5		
4.866667	18.24998	5.959182	0.01728335			4.900002	6
5.466667	20.49998	6.693875	0.01009538	5.716669	7		
6.266667	23.49997	7.673467	0.00978232			6.533336	8
9.783333	36.68745	11.97959	0.03974005				

0.266667Hz では、0.05604 パスカルです。この時の音圧レベルは、20*log10(0.05604/0.00002)=68.9dB
0.533333 Hz では、0.03093802 パスカルです。この時の音圧レベルは、
20*log10(0.03093802/0.00002)=63.8dB
0.816667 Hz では、0.1405225 パスカルです。この時の音圧レベルは、20*log10(0.1405225/0.00002)=76.9dB です。
計測された音は小さな数値として記録されるので、音圧レベルを、もとに戻せば、
0.266667Hz では、68.9dB+3.7ｄB＝72.6ｄB
0.533333 Hz では、63.8dB+0.6ｄB＝64.4ｄB
0.816667 Hz では、76.9dB+0.3ｄB＝77.2ｄB
となるので、
パスカル単位の音圧にすれば、
0.266667Hz では、68.9dB+3.7ｄB＝72.6ｄB より、(10^(72.6/20))*2*10^(-5)=0.08 パスカル
0.533333 Hz では、63.8dB+0.6ｄB＝64.4ｄB より、(10^(64.4/20))*2*10^(-5)=0.03 パスカル
0.816667 Hz では、76.9dB+0.3ｄB＝77.2ｄB より、(10^(77.2/20))*2*10^(-5)=0.14 パスカル
となります。これが音圧の推定値です。

0.1Hz の場合には、計測値と実際の音圧の差が大きく、誤差の範囲も大きいので、0.1Ｈｚの音の音圧そのものを決定するのは困難です。

この数値の使い方としては、同一の精密騒音計で、風車の近くで計測した値と、風車が無い場所で計測した値を比較すれば、音圧が環境によって何倍程度になっているかを見るには、ある程度役立つ。

幸いにも、マイクの補償範囲外であるとはいえ、0.25Ｈｚでのレスポンスは、－3.7ｄＢ程度だと考えられる。実際の値と、計測された数値は実際の値の、0.65 倍程度となる。この場合も、異なる場所での音圧の比較としてはある程度役に立つ。

広い範囲での比較

ただし、超低周波音（0Ｈｚ～20Ｈｚ）の部分のエネルギーと 20Ｈｚ以上の部分のエネルギーの比較では、超低周波音（0Ｈｚ～20Ｈｚ）の部分のエネルギーのうちで、1Hz 以下の部分は、実際の値よりも低く扱われているのだが、エネルギーの比率、93：7 が計測結果からの数値だった場合には、超低周波音（0Ｈｚ～20Ｈｚ）のエネルギーは低く見積もっても 93%以上であると言える。

狭い範囲での比較

狭い範囲の中だけで比較する場合には、各数値にかかるレスポンスにそれほど差が無ければ、その範囲内での比較は、意味がある。

周波数分解能を上げた計算で、0.01Ｈｚの周波数の音を把握しようとしても、マイクの性能から見て無理がありますが、計測可能な周波数範囲に於いて、音圧が周波数の変化に対応してどの様に変化するのかを詳細に調べる事は可能であり、必要なことです。

ビデオでの周波数の変動の測定と、Wavelet 解析での周波数の変動の解析結果が一致していることからも周波数分解能を高めて計算することの有効性がわかる。

また、ナセルの振動の計測結果は、周波数分解能が 0.1Ｈｚなので、ナセルの振動とブレードの回転数の変化、音の周波数の変化、ビデオでの周波数の変化を比べてみれば、正確さと信頼性は保証されると考える。

精密騒音計と音圧の記録

目標は、“風車の超低周波音の周波数を詳しく調べること。”です。

環境省は

“その基本周波数 f（Hz）は、翼の回転数を R（rpm）、翼枚数を Z（枚）とすると　f ＝RZ/60　（Hz）　で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は 1～3 枚（3 枚が主）、回転数は 30～60（rpm）程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。“

と言っていました。

困ったことに、大型化して翼の回転数が下がってきたので、基本周波数が、0.5Hz や 0.8Hz になってしまいました。

カラオケで使うマイクは、100Hz 以下の音に対しては、与えられた音圧レベルを正確に把握することは出来ない。（下の左のグラフ）

超低周波音用の特別なマイクは、1Hz あるいは 0.5Hz 辺りまでは、正確に測定できる。後で音圧補正を知れば、NL-62 でも、0.8Hz 辺りまでは計測できます。（下の右のグラフ）

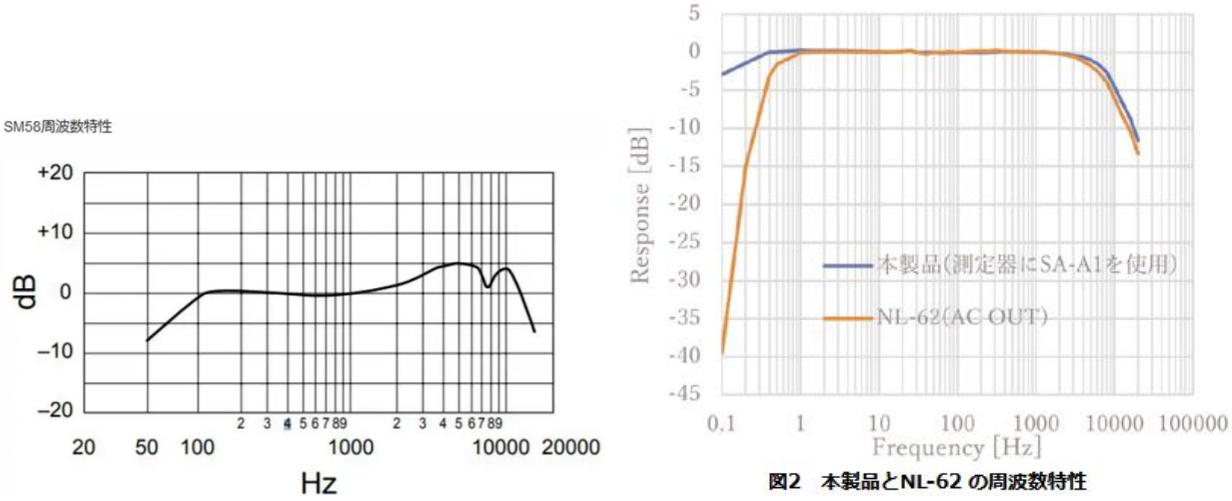


図2　本製品とNL-62 の周波数特性

UC-59L と SA-A1（120 万円程度）では、

周波数範囲	DC～20 kHzまたは0.25 Hz～20 kHz

他は、

番号	種類	測定範囲
NL−62A	精密騒音計	1Hz～20000Hz
NL−52A	精密騒音計	10Hz～20000Hz
NL−42A	普通騒音計	20Hz～8000Hz
NL−27	普通騒音計	20Hz～8000Hz
NA−28	精密騒音計	12.5Hz～20000Hz

測定範囲ですが、一番低いものは SA-A1 で 0.25Hz からです。

NL-62、NL-62A,NL-63 と SA-A1 は同じマイクを使っています。しかし測定範囲に差があります。ただし、計算に使用する音圧の数値は同じです。

リオン社に確認したところ、NL-62 に音圧の変化を記録するためのソフトを組み込んで、サンプリング周波数 48ｋHz で、計測し、16 ビットの符号付整数として作成したＷＡＶファイルにある数値は、ＳＡ－Ａ１での数値と同じだと教えていただきました。

これは、パソコンで計算すれば、最低でも 0.25Ｈｚまでは計算できることを意味します。計測誤差の問題は残りますが、120 秒間のデータを使って計算すれば必要な周波数分解能が得られます。

周波数を決定するには、ただマイクで音圧を測っただけでは出来ません。FFT での計算が必要になります。

細かな周波数で詳しく調べるには 60 秒間のデータが必要です。

困ったことが起きます。計測で 60 秒、FFT の計算で 6 秒かかるとすると、スイッチを入れてから 66 秒間は、画面が停止したままです。さらに、１秒間に 48ｋHz のサンプリングレートなら、48000*60＝2880000 個のデータをメモリーに保管することになります。FFT はアルゴリズムとしては高速ですが、精密騒音計の CPU では高速演算は出来ません。

そこで、10 秒間の計測データで計算することにすると、データ数は 1/6 になり、メモリー量も計算量も減ります。

48000*60 個（60 秒）のデータに対して、FFT を計算すれば、同じ個数の数値が得られて、周波数の刻み幅をｈＨｚとすれば、ｈ*48000*60＝48000 となるので、ｈ＝0.01667Ｈｚとなり

周波数スペクトルは 0Hz から、24000Hz までの範囲であり、周波数分解能はｈ＝0.01667Hz です。

0Ｈｚから 24000Ｈｚまで、刻み幅 0.01667Ｈｚで計算されることになります。

48000*10 個（10 秒）のデータに対して、FFT を計算すれば、同じ個数の数値が得られて、周波数の刻み幅をｈＨｚとすれば、ｈ*48000*10＝48000 となるので、ｈ＝0.1Ｈｚとなり

周波数スペクトルは 0Hz から、24000Hz までの範囲であり、周波数分解能はｈ＝0.1Hz です。

0Ｈｚから 24000Ｈｚまで、刻み幅 0.1Ｈｚで計算されることになります。

この結果を使って、1/3 オクターブ解析をするとしましょう。

下の段が中心周波数、上の段が音圧レベルです。

W15: transpose(w12)

	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units	5: No Units	6: No Units	7: No Units
1:	54.727250	62.381626	54.976763	56.733648	58.610999	77.287140	64.371465
2:	0.250000	0.315000	0.400000	0.500000	0.630000	0.800000	1.000000
3:							

中心周波数について

公称周波数は各 1/3 オクターブバンドの中心周波数をきりのよい周波数であらわしたものです。

厳密周波数はバンド番号ｎを 10～33 の整数として式（１）により求めた各バンドの厳密な中心周波数の値です。

$$f = 1000 \times 10^{0.1\times(n-30)} \quad [\mathrm{Hz}] \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

(n=10,f=10,　n=13,f= 19.95262315, ,　n=33,f= 1995.262315)

	1/3オクターブバンド中心周波数と帯域幅（ISO7196）0.25～315Hz					
x	x/3	2^(x/3)	中心周波数 1000*2^(x/3)	f 1	f 2	帯域幅
36	-12	0.000244	0.244	0.218	0.274	0.057
35	-11.6667	0.000308	0.308	0.274	0.345	0.071
34	-11.3333	0.000388	0.388	0.345	0.435	0.090
33	-11	0.000488	0.488	0.435	0.548	0.113
32	-10.6667	0.000615	0.615	0.548	0.691	0.142
31	-10.3333	0.000775	0.775	0.691	0.870	0.179
30	-10	0.000977	0.977	0.870	1.096	0.226
29	-9.66667	0.00123	1.230	1.096	1.381	0.285
28	-9.33333	0.00155	1.550	1.381	1.740	0.359

中心周波数 0.25Hz と 0.315Hz の帯域幅は、0.057Hz と 0.071Hz です。
周波数分解能が 0.1Hz なら、データが 0.1Hz 刻みで与えられるので、0.25Hz の次は 0.35Hz になる。これでは、２つの周波数帯域を区別して扱うことが出来ません。これは、ISO7196 に対応した 1/3 オクターブ解析ができないことを意味しています。

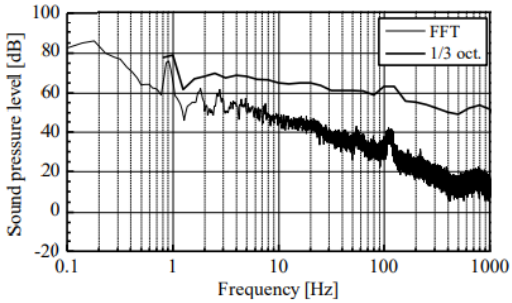
中心周波数が 1Hz を超えれば、帯域が広がるので、分解能が 0.1Hz でもそれなりに計算できます。
1/3 オクターブ解析のできる精密騒音計で、計測範囲が 1Hz～になっている理由です。

60 秒間のデータを計算して、周波数分解を 0.0166Hz にしておけば、ISO7196 に対応した計算もできます。

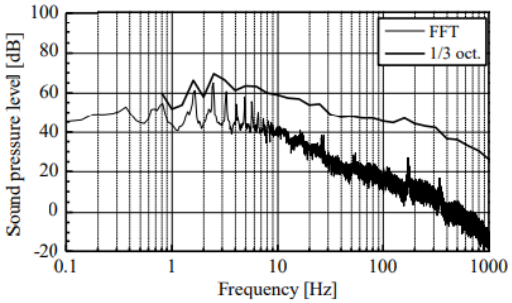
測定範囲ですが、一番低いものは SA-A1 で 0.25Hz からです。

周波数特性のグラフを見ると、NL-62 でも、0.5H z 程度までは測れそうですが、１H z からになっているのは、計算に使うデータの量と表示までの時間の影響が大きいと考えます。計算に、1 分間の計測データを使ったのでは、スイッチを入れてから１分間は計測結果が表示されないことになります。これでは商品として売れないので１秒程度の計測データに対する結果を使って表示します。この結果１Hz 以下のものが把握できない状態になっていると考えます。PC にデータを移して計算する場合には、１分から１０分程度の時間での観測データを計算の対象に出来ますので、0.5Hz 辺りからの音圧は、高い信頼性を持っていると言えます。

NL-62A の元になった騒音計で測った結果が、
甲２９号証、風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究 S2-11
https://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/kadai/syuryo_report/pdf/S2-11.pdf
にあります。
これら 2 例の音圧記録の FFT（周波数分解能：0.046 Hz）および 1/3 オクターブバンド周波数分析の結果をそれぞれ**図(2)-11、**図(2)-12 **に示す。**



図(2)-11　図(2)-9の音圧のスペクトル



図(2)-12　図(2)-10の音圧のスペクトル

と書かれています。この資料では、0.1Hz 以上の成分が示されている。また、周波数分解能が 0.046Hz と書いてある。

中心周波数 0.25Hz と 0.315Hz の帯域幅は、0.057Hz と 0.071Hz ですから、周波数分解能が 0.046Hz では、帯域には１つのデータしか入りません。これでは、0.25Hz からの計算は出来ません。

上のグラフは、20Hz 以上の周波数を持つ成分の音圧よりも、非常に高い音圧の超低周波音（0Hz～20Hz）の成分が風車音に含まれている事を示しています。

周波数分解能が 0.046Hz であり、計測値が保証されている周波数の領域では、かなり正確な数値が得られるはずであるが、上のグラフでは、別の問題が発生しています。

騒音関連では、周波数スペクトルは、何回か計測した周波数スペクトルの平均値になっているのが普通です。上のグラフの右側の変動幅を見ると少なくとも 5 回提訴の平均を計算していると考えられます。

FFT の計算を行って、その結果の平均値をとれば、ピーク値が、平均化されてしまうので、小さな値に見えてしまいます。

共鳴や共振では、周波数や音圧は平均化しないでより正確に把握したほうが役に立つ。

上のような、0.1Hzからの結果を得る方法について、リオン社に相談したところ、精密騒音計 NL-62 に、波形収録プログラム NX-42WR を組み込めば、音圧そのものが、サンプリングレート 48ｋHz で記録できる。結果は、16 ビット（または２４ビット）の符号付整数として収録された WAV ファイルになる。収録時の周波数重みづけは Z 特性（平坦特性）にできるから、このデータを使って周波数スペクトルを計算すればよいとの返事でした。

ですから、120 秒間の計測結果をコンピュータで解析すれば、風車音の特徴が 0.01Hz（詳しく書けば 0.0083Hz）刻みで分かることになります。費用は、計測機材で 150 万円、解析機材で 100 万円くらいです。

Wav ファイルに記録されている数値の意味についてのリオン社の説明は次のものです。

お世話になっております。
リオン株式会社　三科と申します。
この度は、弊社ホームページよりお問い合わせ頂きましてありがとうございます。
お問い合わせ頂いた内容にお答えさせていただきます。
■質問 1:
リオン社の精密騒音計 NL-62 で、サンプリング周波数を 48kHz にして計測し、
波形収録プログラム NX-42WR によって収録された wave ファイルを扱っています。
この wave ファイル、に記録された数値は

音圧(おんあつ)、音による圧力の大気圧からの変動分である。単位はパスカル（Pa)。
を意味しているのでしょうか?
［ご回答］
WAVE ファイルに記録された数値は整数値（ビット数）を表しています。
WAVE ファイルの値をそのまま弊社以外のソフト等で取得すると、整数値（±8,388,608）として表示されるかと思います。
整数値は単位を持っていないため、単位を音圧「Pa」に変換する必要があります。
単位の変換は、［Pa=整数値×（Value/Bit)］となります。
1 ビットあたり何 Pa かどうかという（Value/Bit）については、騒音計で設定したビット長、表示フルスケールによって異なります。
弊社製「波形処理ソフトウェア　AS-70 ビュアーソフト」(無償版）が弊社ホームページで公開されておりますが、
そちらに WAVE ファイルを落とし込んで頂くと、「表示」タブ→「ファイル情報」から（Value/Bit）をご確認頂くことが可能です。
例えば、表示出力フルスケールが 130 dB、ビット数が 24 ビットの場合、
1 ビットあたりの Pa 値は以下のように計算します。
（表示出力フルスケール値の+13 dBが WAVE ファイルのフルスケール値になります。）
・WAVE ファイルのフルスケール値：143 [dB] = 2×10^(-5)×10^(143/20) = 282.51 [Pa]
・1 ビット当たりの Pa 値：　282.51/{2^(23)} = 3.37×10^(-5) [Pa/bit]
「波形処理ソフトウェア AS-70 ビュアーソフト」のダウンロードリンク先をお送りさせて頂きます。
ご確認頂けますと幸いです。
＞https://svmeas.rion.co.jp/download/manual/AS-70
■質問 2:
リオン社の振動レベル計 VM-55 で、サンプリング周波数 1kHz,データサイズ 16bit で計
測し、波形収録プログラム VX-55WR によって収録した wave ファイルを使っています。
この wave ファイル、に記録された数値は何を意味しているのでしょうか?
どの様な単位で計測された結果と理解するのでしょうか?
［ご回答］
ご質問 1 のご回答と同様に、WAVE ファイルに記録された数値は、整数値（ビット数）を表しています。
WAVE ファイルの値をそのまま弊社以外のソフト等で取得すると、整数値として表示されるかと思います。
WAVE 値は単位を持っていないため、単位を、振動加速度レベル「m/s^2」に変換する必要があります。
単位の変換は、［m/s^2=整数値×（Value/Bit)］となりますので、こちらも同様に AS-70 でご確認頂ければと思います。
振動加速度レベルのdB基準値は 10^（-5）ですので、Pa へ変換する上記式のdB基準値を、
こちらに変えて計算して頂ければと思います。
■質問 3:
このような事柄が記載されている資料は、貴社の HP にありますか?
［ご回答］
恐れ入りますが、このようなことが記載されている資料は、
弊社ホームページ上では公開をしておりません。

まず、符号付の整数については、次のような解説があります。

符号付の整数で表現できる範囲

負の数に 2 の補数を使うとき，8 ビットの符号付きの整数では －128 ～ 127 の範囲の値が使用できる。同様に，16 ビットの符号付きの整数では －2^15 ～ 2^15 -1 の範囲の値が，32 ビットの符号付きの整数では －2^31 ～ 2^31 -1 の範囲の値が使用できる。

いずれも負の数の個数が 1 つ多くなる。

さて、計測された値の整数による表現ですが、

１６ビットの場合で考えると、

騒音計で計測できる音圧の範囲については、精密騒音計（低周波音測定機能付）NL-62　取扱説明書に最大で 148dB　だと記載されている。

表示・出力フルスケール　の項に、出力電圧のフルスケールで、設定できる範囲は 70dB～130dB までで、10dB 刻みだと書かれている。

ここで、130dB を選んだときは、WAV ファイルの名前は

NL_001_20220503_111400_130dB_0008_0000_ST0001

となり、名前の中央部分から、出力電圧のフルスケールを 130ｄB に設定したことが分かります。

wav ファイルへ記録するデータは、もう少し大きな音圧にも対応できるようになっていて、表示出力フルスケール値の+13 dBが WAVE ファイルのフルスケール値になります。

そこで、設定で 130ｄB としたとしても、WAVE ファイルでの実際のフルスケール値：143 [dB] であり、これは、 2×10^(-5)×10^(143/20) = 282. 5075088 [Pa]に相当する。

理由は

騒音（低周波音）・超低周波音の大きさの表し方

音圧レベル＜物理的な大きさ＞

音響出力は音圧の二乗に比例する

$L_p = 10 \cdot \log_{10}(p^2 / p_0^2)$

L_p : 音圧レベル(dB)

p : 音圧実効値(Pa)

p_0 : 基準音圧 2×10^{-5} (Pa) (=20μPa)

dB値(参考) : 0.002Pa=40dB,
0.00002(2×10^{-5}) Pa=0dB

＊ OA音圧レベル (dB), 1/3オクターブバンド音圧レベル (dB)

より、$L_p = 10 * \log_{10}(p^2 / p_0^2) = 20 * \log_{10}(p / p_0)$

であり、

$143 = 20 * \log_{10}(p / (2 * 10^{-5}))$

$p / (2 * 10^{-5}) = 10\text{^}(143/20)$

$p = (2 * 10^{-5}) * 10\text{^}(143/20) = 282.5075088\text{Pa}$　（実効値）

となるからです。

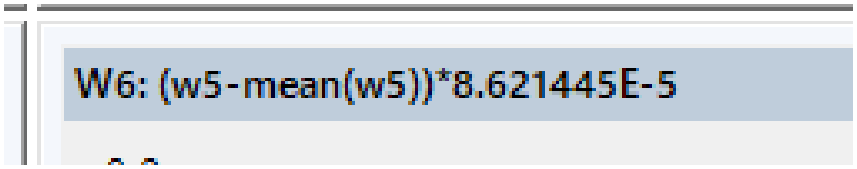
実効値で 282. 5075088Pa（143dB）となる値を、wav ファイルにどの様な数値として記載するかについては、
ファイルによって異なる。
16 ビットの符号付整数は　{+2^(15)－1}　～　—2^15 の範囲であり、音圧が　－282.5075116Pa となる場合に対して、整数－2^15= －32768 を対応させる。
16 ビットの場合は、整数値 1 は 282. 5075088Pa/ {2^(15)}　＝8.62144497*10^(-3)　の音圧（実効値）を意味するので、整数値 k は、 k *8.62144497*10^(-3)　Pa（実効値）
を意味する

リオン社のサンプルデータファイルは、NL_001_20100101_000146_090dB_0001_0000_SL0001　であり、
16 ビット符号付整数のデータで、表示出力フルスケール値、90dB を選んで計測していることが分かります。また、wav ファイルへ記録するデータは、もう少し大きな音圧にも対応できるように、なっていて、
（表示出力フルスケール値の+13 dBが WAVE ファイルのフルスケール値になります。）
そこで、WAVE ファイルのフルスケール値 : 103 [dB] となり、これのパスカル値は、 2×10^(-5)×10^(103/20) = 2. 825075088 [Pa]　となる。
－2. 825075088 [Pa]　を　－2^15＝－32768　に対応させる。
（　－2. 825075088Pa　/　{－(2^(15))}　）＝8.62144497*10^(-5)
となるので、整数値 k は、 k *8.62144497*10^(-5)　Pa（実効値）を意味する
この数値、8.62144497*10^(-5)　は、符号付整数のビット数や表示出力フルスケール値の設定によって決まる。

計算が面倒な場合は、AS-70（試用版は無料です。）にデータを読み込ませて、次の操作をすればよい。
表示　—　ファイル情報　　として、Value/Bit　の値（8.621445E-5）を使えばよい。

を表示させて、ここでの Value/Bit　の値を使って変換すればパスカル値（実効値）となる。

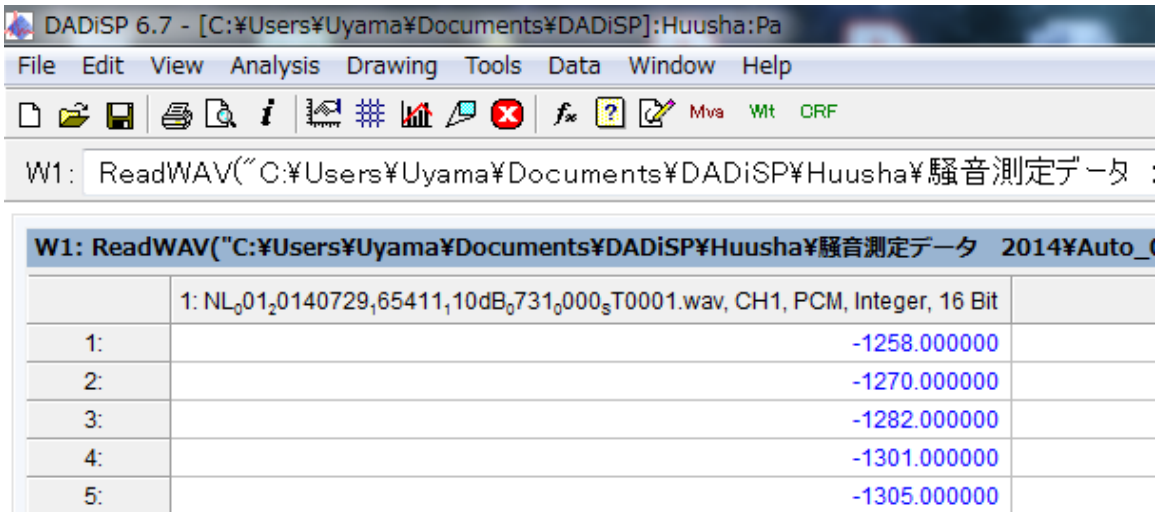
なお、入力レンジの項目が 90dB となっていることを確認して下さい。



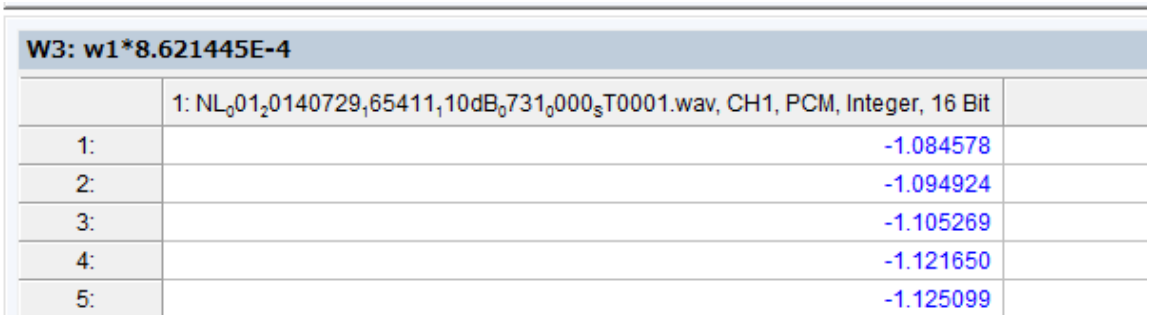
Wavelet の計算をする都合もあるので、W2 では、平均値を引いておきました。パスカル値に調整するために、*8.621445E-5　としました。この値（8.621445E-5）は、AS-70 を使って確認しました。
整数値からパスカル値への変換はファイル名をよく見るか、AS-70 を使う必要があります。

注意：

表示出力フルスケール値、110dB を選んだ場合、表示出力フルスケール値の+13 dBが WAVE ファイルのフルスケール値になります。
そこで、WAVE ファイルのフルスケール値：123 [dB] となり、これのパスカル値は、 2×10^(-5)×10^(123/20) = 28.25 [Pa]　となる。（　28.25Pa　/　{2^(15)}　）＝8.621445056*10^(-4)
このとき、wav ファイルを DADISP で表示させた場合、16 ビットでの整数値が次のような値だとして、



Value/Bit　の値　8.621445E-4　を掛けると、
次の数値が得られます。



この値が、パスカル値（実効値）となります。

この数値と、リオン社のソフト AS-70 でのグラフ表示では、違いが出ます。リオン社に確認したところ、

弊社で WAVE ファイルを確認致しましたところ、一番上から 5 行目まではこちらの数値となり、
単位は Pa（実効値）になります。
-1.084578
-1.094924
-1.105269
-1.12165
-1.125099

ご質問 1「AS-70 でのパスカル値確認」について。
AS-70 にて WAVE 波形をグラフ化してご確認を頂いているかと思いますが、
AS-70 のソフト上では、波形の拡大率によって、特徴的な数値（最大値、最小値）を選択して間引きを行っており、
拡大率によって間引き率が変わるため、何番目の数値か一概に申し上げることが出来ません。
間引きがされていない数値をご確認頂く際は、WAVE ファイルを CSV として出力したデータをご確認頂ければと思います。
となっているので、他の波形解析ソフトのグラフ表示とは一致しない場合がある。

との事でした。

風車は大型となり、ブレードの先端スピードの制限から、回転数が下がってきています。
環境省の見解
“4.1.5　風車
　風車の超低周波音の発生原理は基本的には送風機のいわゆる回転音と呼ばれるものと似ている。大型発電用風車の場合は、羽根の枚数が少なく、回転数も小さいために正常運転でも超低周波音を発生することがある。
その基本周波数 f（Hz）は、翼の回転数を R（rpm)、翼枚数を Z（枚）とすると
ｆ＝RZ/60　(Hz)
で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は 1～3 枚（3 枚が主)、回転数は 30～60（rpm）程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。“
と言っていました。
　これに従って計算すれば、大型風車では 0.5Hz 辺りの周波数で音圧が最大になります。
　超低周波音を、1 Hz～20Hz としていたのでは、人間に圧迫感を与える最大の要因を計算から除外することになってしまいます。これを把握するには、計測機材の改良、録音の工夫、解析方法の工夫が必要です。
　リオン社の最新の機器を使えば計測は可能です。解析はリオン社のソフトだけでは無理です。

意識的に、最大音圧の部分を無視する人もいるようです。

秋田県能代市、三種町および男鹿市沖における協議会（第２回）議事録
日時 令和元年 12 月 26 日(木)12：00～14：20
場所 秋田県秋田市 秋田キャッスルホテル ４階 放光の間
における発言で、

日大の町田名誉教授は、

さて、今日、話したいことは、超低周波音、あるいは低周波音についてご懸念される方、されている方がいらっしゃるということで、こちらのほうを話してくれないかというお話がございました。それと風車騒音問題について、今、現状はどうなっているかということを、お話をします。

我々の身近には、一番左のほうに超低周波音、１ヘルツから２０ヘルツという周波数でございますが、この超低周波音、インフラサウンドと呼ばれている音がございます。これは、ＩＳＯの 7196 という規格で、この周波数範囲が決まっているわけです。

周波数範囲については、ちょっと混乱をされると思いますが、環境省でいいます低周波音は１から 100 ヘルツ、超低周波音は１から 20 ヘルツとご記憶していただければよろしいかと思います

５ページをご覧ください。
さて、では、低周波音は、我々の身近にあるんですかということになるんですが、このように、低周波音というものは、どこにでもあります。
例えば、我々が利用する車などの乗り物の車内ですけど、このように、物理量でいいますと、100 デシベル程度の比較的な大きな音のレベルです。可聴音ですと、うるさくて、たまらない音なんです。
では、なぜ低周波音の存在がわからないのかといいますと、周りのその他の雑音によって、マスキングされているんだということです。特に低周波音というものは珍しいものではないんですよということです。

次に、６ページをご覧ください。
実は、この辺が、低周波問題が起きたのは、もう 50 数年前からですが、この読売新聞は、秋田県の山里の地帯なんですが、この辺がダムを造ったために、水流と堰との間に空洞ができまして、これが太鼓の役割をしまして、超低周波音が発生したわけでございます。超低周波音は、不気味な音なんだとか、怪現象などというマスコミ報道もございまして、少し誤解をされたというところもあるかと思います。

では、７ページをご覧ください。スピードを増して、恐縮です。
超低周波音は１から 20 ヘルツ、低周波音は 20 から 100 ヘルツですので、人間には気がつきにくい音ということです。この家屋内の住人は、置物はがたがた揺れているんだけど、音もない。何だろうかという、やはり、不気味なことだと思えるかもしれません。このがたつきは低周波音の作用ということになります。ただ、原因がわかれば、何てことはないということになります。

17 ページをご覧ください。
今さらこの図を説明するのは、ちょっと恐縮なんですが、これが風力発電装置の構造でございます。音源はどこかといいますと、まず、ブレードです。ブレードが回ることによって、空力的な音が発生します。それから、この中に発電機がついています。増速機等がついております。このような機械の駆動が、音源の主なものとなります。
この機械の駆動音ですが、最近、風力発電、風車も大変よく進歩してきましたので、だんだんと、機械の駆動音は少なくなってきているということでございます。

と言っています。

町田氏の話は、時代錯誤というべきです。
現在の大型風車では、最大の音圧となる周波数は、0.5Hz から 0.8Hz 程度なのです。超低周波音を 1Hz～20Hz にしたのでは、音圧最大となる部分が抜け落ちてしまいます。町田氏は昔の環境省の見解を忘れたようです。

環境省の見解
“4.1.5　風車
風車の超低周波音の発生原理は基本的には送風機のいわゆる回転音と呼ばれるものと似ている。大型発電用風車の場合は、羽根の枚数が少なく、回転数も小さいために正常運転でも超低周波音を発生することがある。
その基本周波数 f（Hz）は、翼の回転数を R（rpm)、翼枚数を Z（枚）とすると
f ＝RZ/60 （Hz）
で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は 1～3 枚（3 枚が主)、回転数は 30～60（rpm）程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。“
と言っていました。
これに従って計算すれば、大型風車では 0.5Hz 辺りの周波数で音圧が最大になります。
超低周波音を、1 Hz～20Hz としていたのでは、人間に圧迫感を与える最大の要因を計算から除外することになってしまいます。

この音圧最大となる部分を扱うと、都合が悪いので、わざと無視できるように、超低周波音を 1Hz～20Hz に制限しているように見えます。
また､ISO7196 に関しても､そこでの中心周波数が 0.25Hz～315Hz であることを知らないのでしょうか。あるいは、ISO7196 の原文を読んだことが無いのか、あるいは英語が理解できないのか。謎は深まるばかりです。

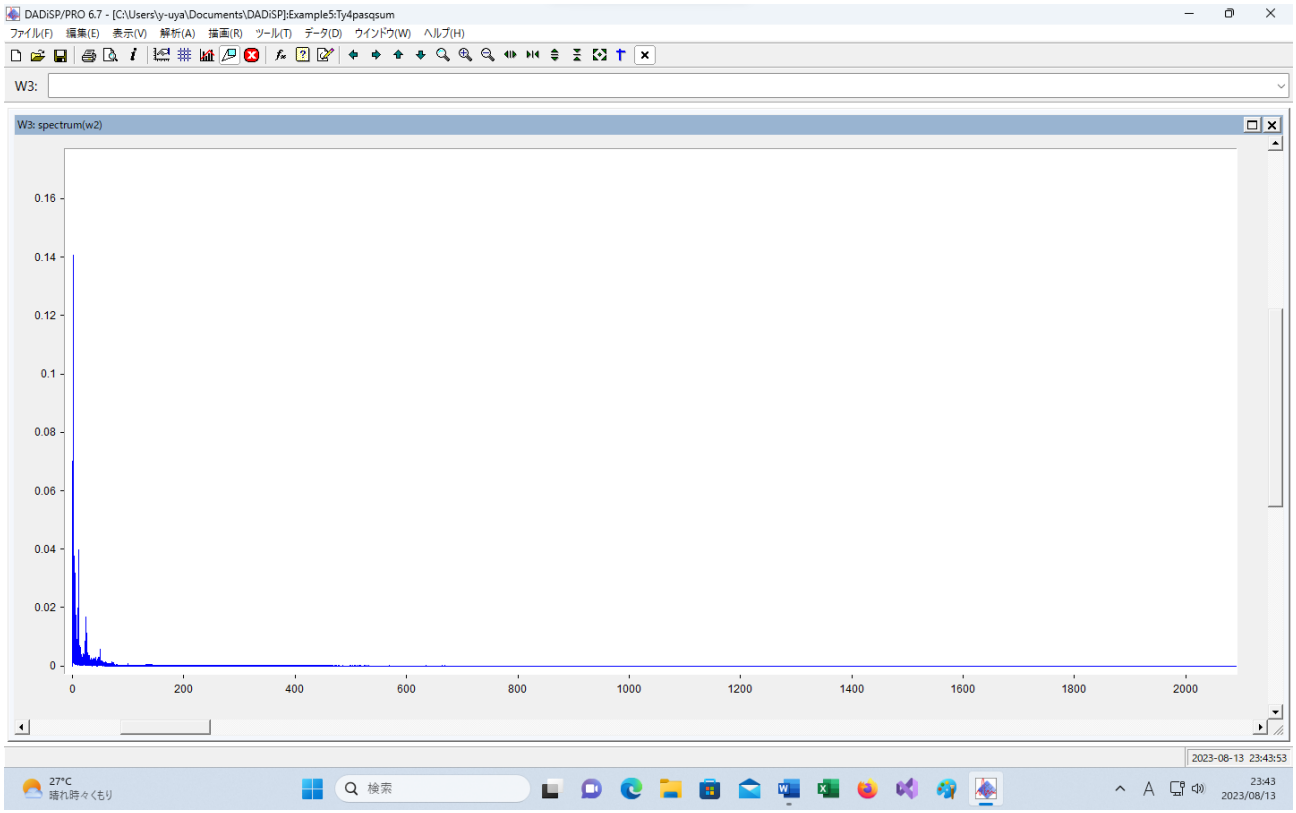
誤訳と曲解で勝手に ISO7196 の規格を変更してはいけないのです。町田氏の言うように、低周波音、超低周波音を理解したのでは、大型風車の問題は全く理解できなくなるのです。1Hz よりも低い周波数の成分が大きな問題を引き起こすのです。

低周波音を 0Hz～100Hz としたときには、エネルギーの分布は次の様になります。

風車音				
周波数帯	0～1Hz	1～20Hz	20～100Hz	0～100Hz
音圧2乗和	0.059703	0.037713	0.00847	0.105886000000
%	56.38422	35.61661	7.9991689	100

低周波音のエネルギーの 56.38%を 0Hz～1Hz の部分が持っているのです。1Hz～100Hz としたときには、低周波音のエネルギーの 44%についてだけ考えることになります。

風車音			
周波数帯	0～1Hz	1～20Hz	0～20Hz
音圧2乗和	0.059703	0.037713	0.097416
%	61.28665	38.71335	100



超低周波音の部分について見れば、1Hz～20Hz としたのでは、超低周波音のエネルギーの 38.71%だけを評価することになってしまいます。この部分は、聞こえない音として扱われますが、音圧が高いので、圧迫感の原因だと考えられます。最も重要な部分である、0Hz～1Hz の部分を無視してはいけません。この部分は超低周波音のエネルギーの 61.29%を持っているのです。

この部分を計測から除外すると、不快感の要素として可聴域の音による煩さが考えられますが、これとは別の圧迫感による不快感の原因が隠れてしまいます。原因の大半を計測から除外したのでは、因果関係の証明が難しくなります。

これでは、因果関係を積極的に隠蔽して、超低周波音と健康被害の関係が見つからないようにしている。と言わざるを得ません。

さて、
環境省の超低周波音と ISO7196 のインフラサウンドでは扱いが異なります。
ISO7196 の原文を確認してみました。

3 Definitions

For the purpose of this International Standard. The following definitions apply.

3.1 infrasound: Sound of noise whose frequency spectrum lies mainly in the band from 1 Hz to 20 Hz.

となっている。
“1～20Hz の音波”ではなくて、“周波数スペクトルが主に 1Hz から 20Hz の帯域に入っている音”
と訳すべきである。
風車音における、(**エネルギーの比率は、20Hz 以下は 93.4%、20Hz 以上は 6.6%**)であるということは、“周波数スペクトルが主に 1Hz から 20Hz の帯域に入っている音”との表現をエネルギーの面から裏付ける事になる。

当然、1Hz から 20Hz の帯域には収まらない周波数成分があっても、超低周波音なのです。ISO7196 では、1Hz から 20Hz の帯域からはみ出す場合についての準備もしてある。ISO7196 では、1/3 オクターブ解析での中心周波数は、0.25Hz から 315Hz になっている。１Hz～20Hz ではないのです。

風車の大型化によって、風車音の音圧が最大となる周波数が 0.8Hz や 0.54Hz になるので、周波数の範囲を１Hz から 20Hz にしたのでは、音圧が最も高くなる部分を無視してしまうことになります。したがって、誤訳または曲解と言わなくてはなりません。

環境省の規定は、
低周波音問題に関する Q&A では、
Q１　低周波音問題への環境省の対応はどのようになっていますか？
A１　環境省では、低周波音問題の対応のため、平成 16 年に「低周波音問題対応の手引書」を、平成 14 年及び平成 20 年に「低周波音防止対策事例集」、「低周波音対応事例集」を取りまとめ、公表しました。
この内容に基づき、研修等を行って、低周波音や騒音等の苦情処理を行っている地方公共団体等に対応をお願いしております。

また、一般の方向けの解説書として、「よく分かる低周波音」も作成しているので、ご覧ください。
なお、環境省では、音として通常聞こえる空気振動のうち、周波数２０Hz～１００Hz の低い周波数の音と、音としては通常聞こえない２０Hz 以下の空気振動を、まとめて「低周波音」と呼んでいます（２０Hz 以下の空気振動を指す場合は、「超低周波音」と呼んでいます)。
“よくわかる低周波音”では、
1) 我が国では、概ね 1Hz～100Hz の音を低周波音と呼び、その中でも、人間の耳では特に聞こえにくい音(1～20Hz の音)を超低周波音と呼んでいます。
となっていて、
“20Hz 以下の超低周波音”と、“1Hz～20Hz の超低周波音”が混在しています。大型化する風車の音の計測では、0.25Hz 辺りからの数値が必要になるのです。

ISO7196 では、0.25Hz 辺りから考えているが、日本では１Hz からにしたいと思う企業や大学教授がいる。ということです。これは、精密騒音計を普通に使って、画面に表示させると１Hz～になってしまうという事とも関連しています。

リオン社の最新の精密騒音計は、0.25Hz からの計測や、0.4Hz からの計測が可能となっています。
リオン社の、NL-63 と NX-63WR を用意すれば。

仕様		
波形分析	演算	最大値、最小値、平均値、実効値、分散、積分、HPF、LPF
周波数重み付け特性		Z、A、C、G、CtoA、L_{vz} (鉛直特性)、L_{vxy} (水平特性)
FFT分析	分析点数	32~65 536ポイント
	表示データ	パワースペクトル、パワースペクトル密度、スペクトログラム
時間重み付け特性		10 ms、F、630 ms、S、10 s
オクターブバンド分析	適合規格	JIS C 1513-1:2020 (IEC 61260-1:2014) クラス1のフィルタ
	分析周波数	オクターブバンド 0.5 Hz~16 kHz (16バンド)、 1/3 オクターブバンド 0.4 Hz~20 kHz (48バンド)

0.4Hz からなので、大型の風車にもある程度対応できます。

町田氏は、次の様な説明もしています。

17 ページをご覧ください。
今さらこの図を説明するのは、ちょっと恐縮なんですが、これが風力発電装置の構造でございます。音源はどこかといいますと、まず、ブレードです。ブレードが回ることによって、空力的な音が発生します。それから、この中に発電機がついています。増速機等がついております。このような機械の駆動が、音源の主なものとなります。
この機械の駆動音ですが、最近、風力発電、風車も大変よく進歩してきましたので、だんだんと、機械の駆動音は少なくなってきているということでございます。

このような説明は、風車音の問題が可聴域の音の問題だと主張する理由としてよく使われます。

そこで、業者には、次の質問に文書で答えてもらうことが必要になります。
（周波数範囲、ｎＨｚ～ｍＨｚの意味は、$n < f \leq m$を満たす周波数ｆHz とします。）
１．　空力音の周波数は、何ヘルツから何ヘルツまでなのか？
２．　空力音で、最も音圧が高くなるのは、何ヘルツの音なのか、その時の音圧はどの程度か？
３．　空力音で、その周波数の音圧が最も高くなるのは何故か？
４．　空力音は指向性を持つのか、持つとすればその理由は何か？
５．　空力音がその周波数になる理由を物理的に説明した文献の名前と入手方法。
６．　機械の駆動音は何ヘルツから何ヘルツまでなのか？
７．　機械の駆動音で最も音圧が高くなるのは何ヘルツか、その時の音圧はどの程度か？
８．　機械の駆動音で、その周波数の音圧が最も高くなるのは何故か？
９．　機械の駆動音は指向性を持つのか、持つとすればその理由は何か？
１０．機械の駆動音がその周波数になる理由を物理的に説明した文献の名前と入手方法。
１１．交通騒音と風車音を比較する方法として、周波数スペクトルを使って音のエネルギー分布を調べる方法がある。0Hz～20Hz の部分が持っている音のエネルギー、20Hz 以上の部分が持っている音のエネ

ルギーは、交通騒音、風車音で、それぞれ何パーセントずつになっていますか？

１２．　風車からは、１Hz よりも低い周波数の音は出ていないのですか？出ているとすれば音圧は１Hz 以上の周波数成分と比べて、高いですか、低いですか？

１３．　証拠の計測データをＷＡＶファイルで公開してください。

１４．　精密騒音計 NL-62 または NL-63 で録音した風車音のデータを WAV ファイルのままで公開できるか？

１５．　風車音の計測予定を公開して、第三者を含めて同時に同じ場所で録音することは出来るか？

大切なのは、いろいろな立場の人が測った結果を公開して、データの正確性の検証と、最新の解析技術による分析を世界中の学者に頼むことです。

これが出来れば、超低周波音を 1Hz～20Hz に制限してはいけないことがすぐに分かります。

被害者の住宅の内外で計測した風車音のデータと被害者のアンケートが集まれば、風車音のどの部分が、被害者の訴えの要素と深い関連性を持っているのかが、多変量解析で明確になります。

私は、連絡が付く人には、以下のお願いをしています。

行政も企業も、風車音を測るときに、一番エネルギーが大きい部分をカットして測ります。
誰も助けてはくれませんので、自治会で相談して、次の機材のうち、精密騒音計と振動レベル計を購入して、計測すれば、裁判での因果関係の証明が出来ると思っています。
企業は、
”精密騒音計を持っているから、同じ場所で一緒に計測させてくれ。”
と頼むと、とっても嫌がります。嘘がバレるからです。
私の地元に来た企業は、測定機材を購入したので、計測結果を見ながら裁判をしたいので、よろしくお願いします。とお願いしたのですが、計画を中止してしまい、裁判の相手にはなってくれませんでした。残念です。
使用する機材は、
ＩＳＯ7196、英語版（6 ページ）6600 円、日本語付き（26 ページ）10659 円
精密騒音計 NL-62 と機能拡張プログラム NX-42EX、波形収録プログラム NX-42WR、
（578000 円+70000 円+100000 円、合計で 748000 円
振動レベル計 VM-55 と波形収録プログラム VX-55WR　（440000 円+100000 円、合計で 54 万円）
ビデオカメラ　6 万円
（ここまでは、住民のお金で購入する必要がある。）
以下解析ソフト関連の費用（私の場合）
ＰＣ　20 万円
波形解析ソフトＤＡＤＩＳＰ　41 万 7,900 円
DADiSP/WAV　135,000 円(税抜)
Wavelet 解析モジュール　98000 円
多変量解析モジュール　98000 円
騒音振動解析モジュール　98000 円

です。
解析は、計測データをネットに公開して、世界中の専門家にお願いすれば解析してもらえますので、大丈夫です。
上記の機材で計測すれば、室内における床の振動と、風車音の関連も明確になります。
住民の力で、150 万円をかきあつめて、データをどんどん公開してゆく必要があります。
日本国内の学者や研究者の方は、国や風車の会社と対立したくないので、計測や解析は避けるようです。
住民の計測結果を公開して、外国の研究者の協力を求めることが必要です。データはネットでやり取りできます。データの公開も、無料 HP を開設すれば簡単です。

ISO7196 は日本でも入手可能ですが、ページ数の割にはとっても高価な代物です。でも、それを買わないと騙されてしまいます。騙されないためには、住民の力で計測機材を購入して、住民自身で計測するしかありません。

様々な音の性質を調べて比較するには、精密騒音計で記録された音圧のデータが必要です。0.25Hz からの測定が可能な精密騒音計もあります。企業に任せても、企業にとって都合の良いデータしか公開しません。住民がどんどん計測して、どんどん公開すれば、企業がデータをどのように扱っているかも明確になります。企業に騙されない住民に必要なのは、計測機材です。自治会のお金で購入しましょう。もちろん、個人での購入も可能です。

企業も、県や市の行政も、大学教授も風車音の精密騒音計による計測を嫌がります。計測結果を見れば、今までどのようにして住民を胡麻化してきたかが明確になってしまうからです。
将棋で勝つには、相手が嫌がる手を指します。相手が対応に困るような手を指さないと勝てないのです。企業との対応でも同じです。住民説明会で企業に勝手に説明させたら勝てません。相手が説明に困る項目を事前に用意して、説明会前に文書で回答するように要求し、説明会では、企業の文書での回答の問題点をさらに詳細に議論する必要があります。

スピーカーの性能

実験室における実験結果から、感覚閾値に関する議論をしているが、風車音の問題では、この実験結果をうのみにすることは出来ない。

理由は以下の通りです。

１．　風車音の録音は難しい。

普通のマイクロホンは、低周波音に対応していると言っても、20Hz 以上の周波数の音にしか対応していない。それ以下の周波数の音は録音できない。

特殊なマイクロホンもあります。

リオン社のマイクロホン UC-59L とプリアンプ XN-3C　の説明は、

本製品は 0.4 Hz まで特性はほぼフラットであり、0.1 Hz でも約-3 dB である。1 Hz 以下の超低周波音まで、より平坦で測定したい場合には NL-62 に比べ本製品がより適していることがわかる。

とあるので、0.25Hz までは対応できるようです。

２．録音できたとしても、風車音をスピーカーで再現できない。

スピーカーの性能がネックになります。

風力発電施設から発生する騒音等への対応について

平成２８年１１月

風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会

の３ページには、次の様に書かれている。

２－１．風車騒音の実態と環境影響に関するこれまでの研究等の知見

風車騒音に関しては、環境影響に関する様々な研究がなされている。これらの知見について、以下に整理する。

（１） 風車騒音に関する物理的な実態の研究等

＜騒音の実測調査＞

平成 22 年度から平成 24 年度にかけて、環境研究総合推進費の公募型研究「風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究」（研究代表者：橘秀樹。以下、「推進費研究」とする。）において、我が国の風車騒音の実測調査が全国規模で行われた。この研究で得られた知見(5)を以下に示す。

全国 29 の風力発電施設の周辺の合計 164 の測定点で得られた 1/3 オクターブバンド音圧レベルから、一般に風車騒音はオクターブ当り-4dB の傾きのスペクトル特性を持っていることが分かった。そのうち、すべての超低周波音領域における 1/3 オクターブバンド音圧レベルは、ISO の純音に関する聴覚閾値や Moorhouse 他が提案している低周波音の評価のための限界曲線を下回っており（図 3)、風車騒音の超低周波音領域の成分は、知覚できないレベルであることがわかった。本研究プロジェクトの一部として、

暴露側における風車騒音に含まれている低周波数成分の可聴性が実験室実験で調べられているが、その結果でも超低周波数領域の成分は聞こえない／感じないということが確かめられている。これらの結果は、風車騒音は超低周波音による問題ではないということを示している。

20Hz 以上の可聴周波数領域では、およそ 40Hz 以上の周波数域で 1/3 オクターブバンド音圧レベルは上記の限界曲線並びに ISO 389-7 で規定されている聴覚閾値を超えている。これは、風車騒音は通常可聴周波数範囲の騒音として議論すべきであることを意味している。

“暴露側における風車騒音に含まれている低周波数成分の可聴性が実験室実験で調べられているが、その結果でも超低周波数領域の成分は聞こえない／感じないということが確かめられている。これらの結果は、風車騒音は超低周波音による問題ではないということを示している。”

と主張しているが、

実験室での超低周波音を含んだ風車音をスピーカーから出そうとして大型スピーカーを購入したとします。
オーディオルームで低周波音を再現するには、普通は、大型のスピーカーを購入します。
定価が２１７８０００円のスピーカーですが、

30Ｈｚ以上の周波数の音ならば再現できるのですが、超低周波音（0Hz～20Hz）は再現できません。

周波数特性（±3dB）	30Hz～20kHz

さらに工夫をしている人がいます。

超低周波音再生用スピーカシステムの開発

小 林 幸 夫 ， 成 田 一 真 ＊ ， 渡 邊 康 徳 ＊ ＊

10～20[Hz]で 80[dB]を超える音圧が得られた (4)のでここに報告する。

一般に低周波音の再生限界は、大面積の振動板を有するスピーカでも 30～50[Hz]である (5)。そこで、人間の聴覚の最低可聴周波数 20[Hz]以下である超低周波音を再生するためには以下の方法が考えられる。

以下省略：

として、研究成果を発表しています。苦労しても、10Ｈｚまでです。10Hz 以下は再生できません。

なぜ低音を出すのが難しいのかに関しては、次のような記載がネット上にありました。

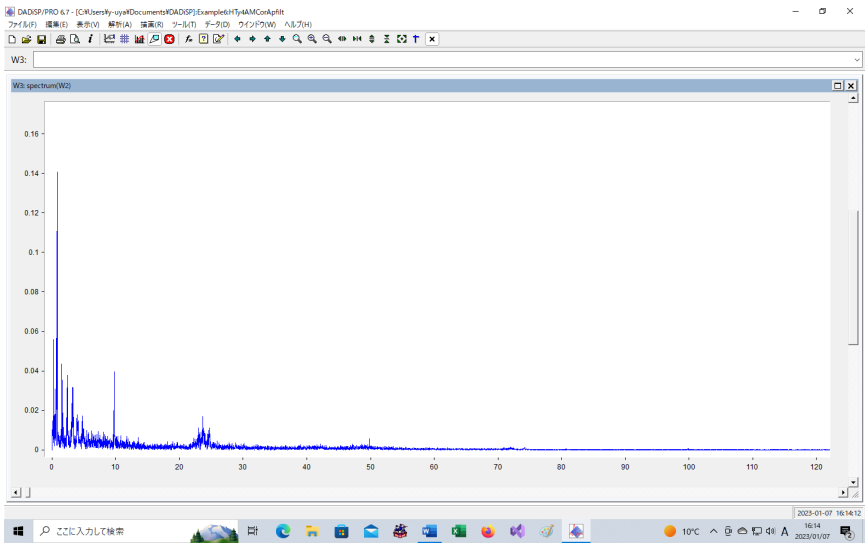
スピーカによる低域の増強について

代表的な低音増強の手法は，空気による共鳴を利用する方法である．バスレフ型のスピーカでは，ポート

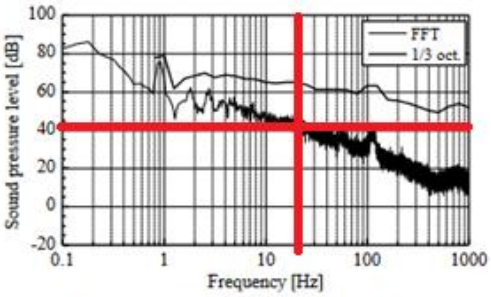
内の空気質量と，エンクロージャ内の空気ばねが機械的に共振する．また，QWT (quarter wave tube, 1/4 波長管）や TQWT は閉管の定在波現象により共鳴を起こさせる．いずれも，振り子のように弾みがつく要素を置き，それをスピーカで加振することによって音圧を増幅する仕組みである．この加振時にはスピーカに大きな負荷（空気がコーンの動きを妨げる力）がかかり，共振する部分が大きなコーン紙と同じような働きをすることで低音が増強されると言っても良い．ただし，共振現象を利用しているため，どうしても音に弾みがついてしまう．
ホーン型スピーカーではホーン内の空気がコーンと同じ働きをする．そして，振動板からホーン開口部に向けて広がることにより，力と変位の関係が変換され，空気の質量がコーンに影響する度合いを大きくしている．しかし，低域の再生においてホーンの負荷を十分なものにするためには，非現実的な大きさのホーンが必要になってしまう．
バスレフにしろバックロードホーンにせよ，スピーカの背圧を利用して低音を増強するものでは，いずれ超低域では前後の音圧が相殺しあって音が消えてしまう．
結局のところ，限られた大きさで，共振の力を借りずに，空気の質量等によりスピーカの低域を増強することは難しいと思われる．
とのことです。

低周波音被害調査で行われた実験では、5Hz 辺りの周波数までの音を使っているようですが、スピーカーから流れる音は、実際の風車音とは全く性質が違うのです。録音に成功したとしても、0.2H z とか、0.8H z とか 2H z とかの音を出すスピーカーを作って風車音を再現するのは難しいのです。

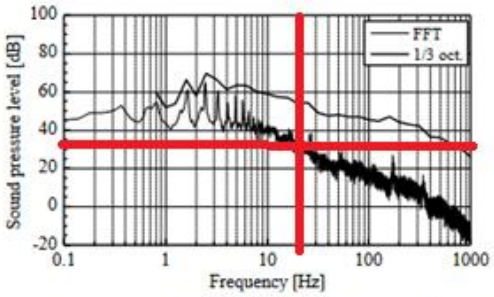
風車音のグラフから、



10Hz 以下の部分を除いてしまえば、風車音の特徴は無くなってしまいます。
でも、超低周波音（0Hz～20Hz）を手に入れる簡単な方法もあります。環境省の HP にある資料のグラフを見ると、0.2Hz で音圧が 85ｄB の音が観測されている風車が存在することが分かります。



図(2)-11　図(2)-9の音圧のスペクトル



図(2)-12　図(2)-10の音圧のスペクトル

この風車のすぐそばに実験室を作れば、超低周波音（0Hz～20Hz）を十分に体験できます。

実験室を、トレーラー式にして、風車の近くに移動して実験をすれば良いのです。

録音の難しさ、スピーカによる再現の難しさを普通の実験室で克服するのは、極めて困難です。移動式実験室で、超低周波音（０Hz～２０Hz）の大きさを計測しながら実験をすべきです。

何をどこまで計測して、音をどの周波数まで再現しての実験なのかをわきまえた考察をすべきです。

音に対する反応は、“うるさい”と言う反応が基本ですが、低周波音の場合は違います。

“不快感”、“圧迫感”、“振動感”を低周波音の基準としている。この感覚は、聴覚での“うるさい”とは別の感覚である。

低周波騒音の苦情に関する評価手順（Moorhouse, AT, Waddington, DC and Adams, MD）
には、低周波音の被害内容に関しての表がある。
表 II:選択された症状を報告している LFN 苦情申立人の数。

健康問題	回答者数	回答者の割合
睡眠障害	11	92%
ストレス	10	83%
フラストレーション	9	75%
眠りにつくのが難しい	8	67%
不安	8	67%
疲労感	7	58%
耳や体の圧力や痛み	7	58%
頭痛	7	58%
身体の振動や痛み	6	50%
頻繁な刺激	5	42%
不眠症	5	42%
うつ病	4	33%
片頭痛	3	25%
腹部症状	3	25%
慢性疲労	2	17%
自殺	2	17%
耳鳴り	1a	8%

a）回答者は、耳鳴りではなく副鼻腔炎が耳鳴りに起因すると回答した。

ここの項目で、“耳や体の圧力や痛み”は聴覚での刺激の把握とは異なると考えられる。
人間には、気圧の変化を感じ取る器官があるとの研究成果も公開されている。

では、何を、どの様に扱ったら、原因と結果の関連が見つかるのでしょうか？
最大音圧とその時の周波数、G 特性音圧レベル、A 特性音圧レベル（２０Hz～）、室内での振動レベル計の値、室内でのカオス理論を使った共鳴の調査、
と
上の項目を含めた、改良型のアンケート（後ほど示します。）における項目の得点の相関関係を多変量解析で調べれば良いのです。

最初から、0.5Hz や 0.8H z の音を切り捨てて、風車音の特徴を捨て去った数値を使ったのでは、被害の状況、被害内容との関連を見つける事は出来ません。ですから、超低周波音（ISO7196）を超低周波音（1Hz～20Hz）としてはいけないのです。G 特性音圧レベルだけではダメな理由は、簡単なモデルによる相関行列の計算ですぐに分かります。

再現音と本物の風車音の違いは、
前川真帆香　氏の論文の記述：
第 3 節 救済されない低周波音被害者
1.はじめに 岡田が述べているように、低周波音問題は参照値近傍もしくはそれ以下の領域にて起こっている。低周波音の手引書には、参照値未満の場合は騒音領域の問題、地盤振動であるかどうかなど、被害者の訴えを生じさせる他の要因を探るとしている。しかし、現実には、参照値が被害者の訴えを切り捨てる基準として使われている。自己の聴覚閾値を実験室にて経験した被害者は「実験室で使う純音と実際聞く音は全く異なる」と、実験室に基づくデータにより策定した参照値自体が現実を反映していないと主張する。さらに、彼らはその参照値を使った測定にも問題があると指摘する。では、被害者がこの参照値を低周波音の評価方法として用いるのは現実を反映せず、妥当ではないと主張するのは一体どうしてであろうか。

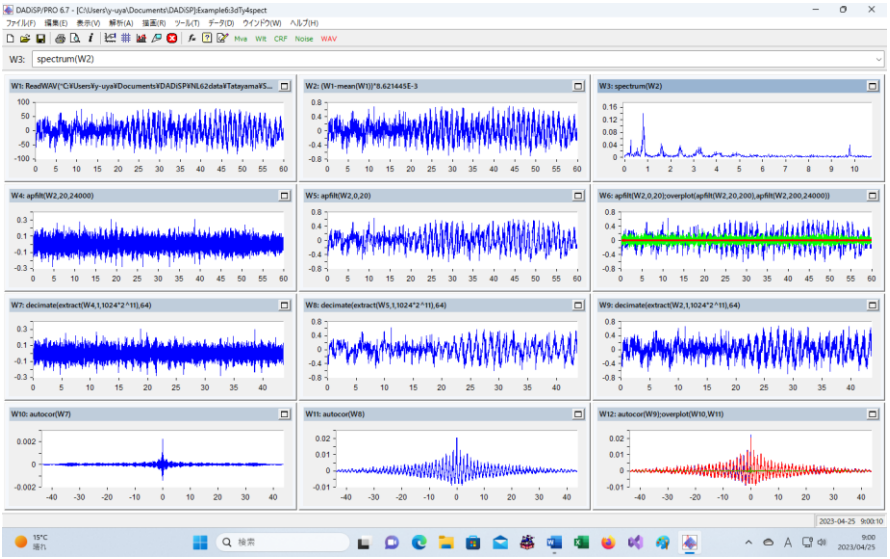
を見れば分かります。
「実験室で使う純音と実際聞く音は全く異なる」
のです。周波数成分や、最大音圧、音圧の分布などが全く違うのですから、とても雑な実験であり、論理性のかけらもない実験だと思います。
このような実験で風車音の影響が評価できると思う思考回路が、私には全く理解できません。
風車音と被害の関連を調べるならば、
風車の近くで
リオン社の、精密騒音計 NL-62 に、波形収録プログラム NX-42WR を追加して、サンプリング周波数 48ｋHz で、音圧の変化を捉え、その値を１６ビットの符号付整数に変換したものを記録した Wav ファイルを作る。
PC のメモリーや CPU の速度を考えると、１分ごとに分割して、全体で 10 分くらい録音したデータが扱いやすいです。
この 60 秒分の Wav ファイルを PC に読み込んで、符号付整数を音圧（パスカル値）に直して、FFT を

計算すれば、0.016667Hz 刻みで音圧を計算できます。
この時の音のスペクトルを調べる。
　そして、
　実験室での、同様計測を行った結果の周波数スペクトルを計算し、実験室での音は、風車音の特徴を再現したものなのか、そうでは無いのかを検証する必要があるのです。

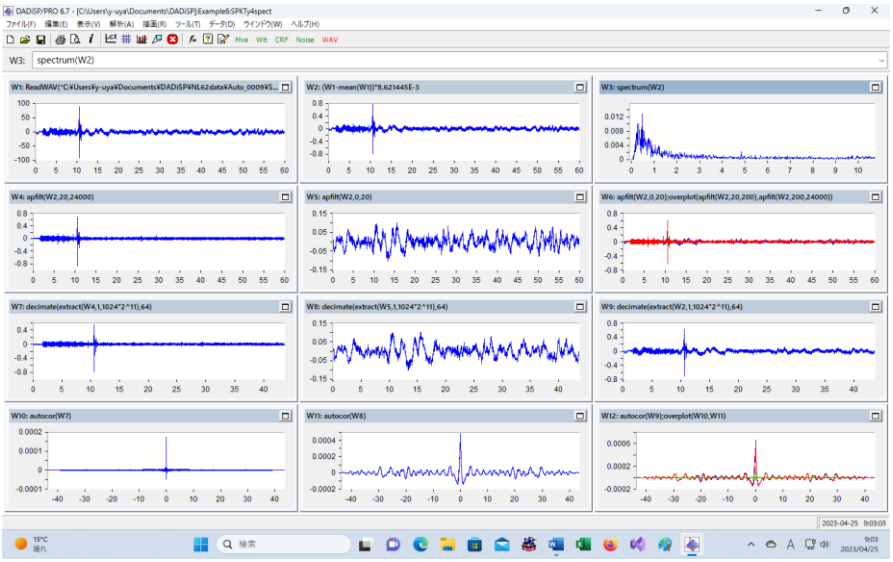
　私は、次の様にして確認しました。
　精密騒音計で風車音を測定して WAV ファイルを作る。Wav ファイルを PC に読み込ませて、PC についているスピーカーで音を出す。PC のスピーカーから出てくる音を精密騒音計で再度測定して、新しい WAV ファイルを作る。この２つの WAV ファイルの周波数スペクトルを調べて比較してみました。

　DADISP と DADISP/WAV の組み合わせで、野外での風車音とそれを再生した物を再度録音した結果を比較してみます。どちらも、耳で聞く限りでは、同じ音のように聞こえます。私の耳では違いは分かりません。

風車の近くでの録音結果（3dTy4spect）

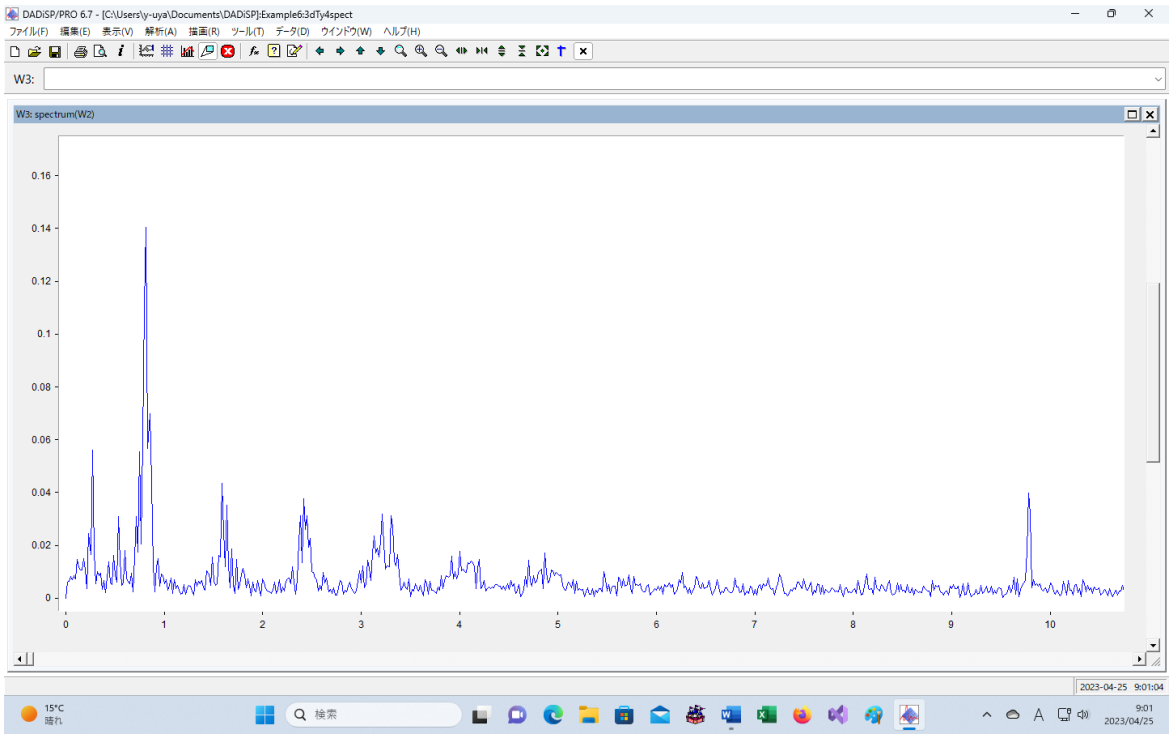


PC での再生音を再度録音した結果（SPKTy4spect）

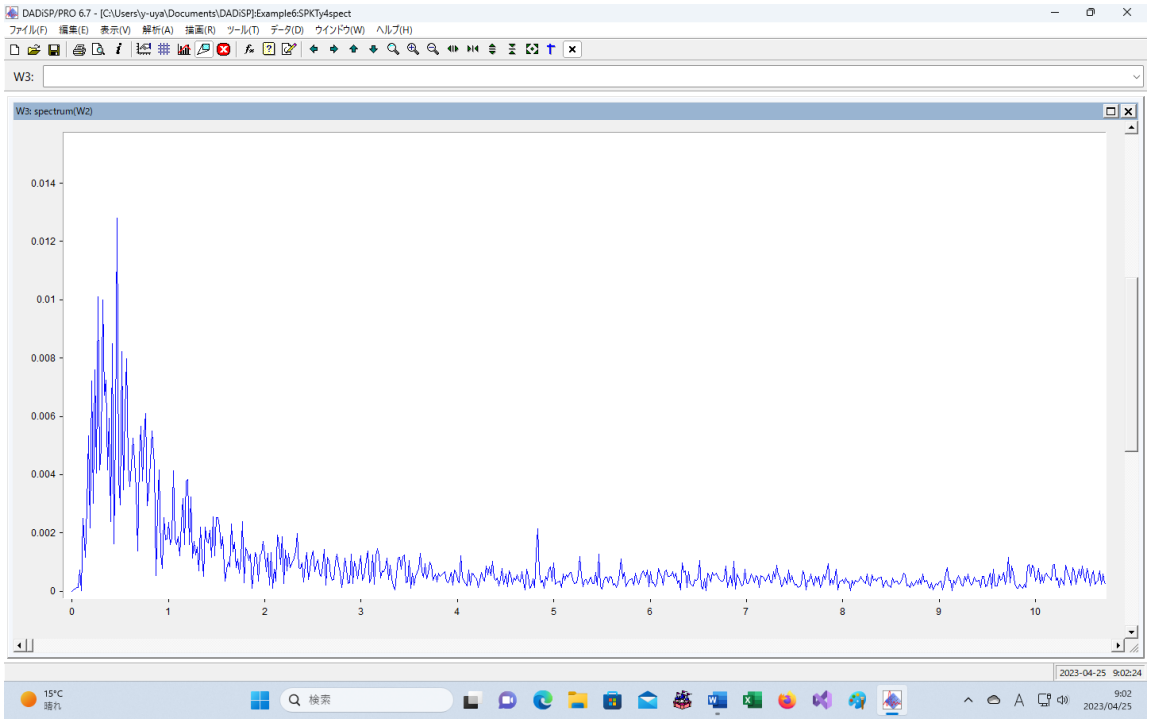


周波数スペクトル波形は全く違います。

風車音の周波数スペクトル



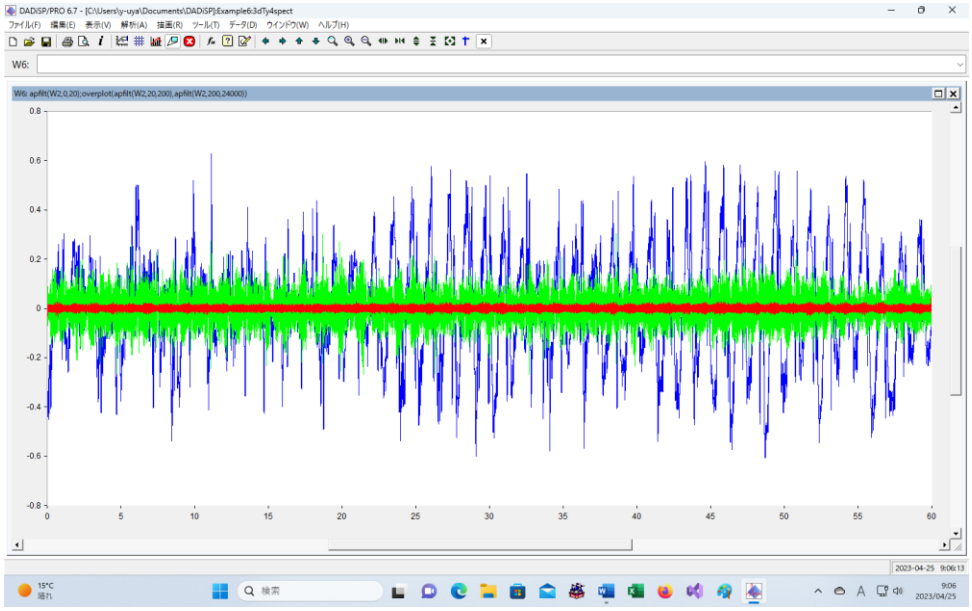
再生音の周波数スペクトル



目につくのは、決まった周波数の所に高い山があるかないかの違いです。

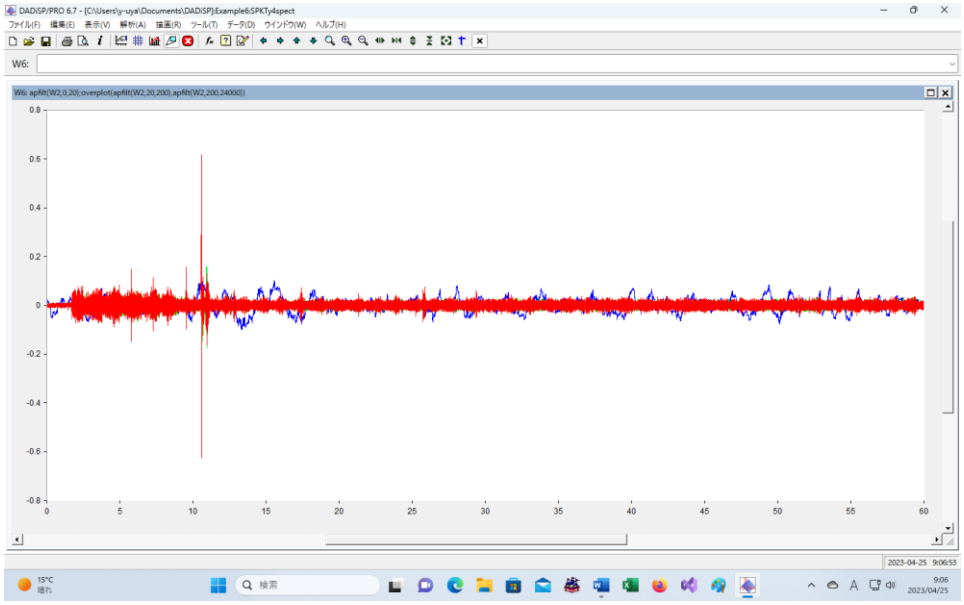
さらに、周波数帯ごとに分割してそれらの強さを比較すると、風車音そのものと、再生音の性質の違いが明確になります。

風車音の周波数帯ごとの比較　（0Hz～20Hz青、20Hz～200Hz 緑、200Hz～24000Hz 赤）



超低周波音（0Hz～20Hz）の部分（青色）が強烈です。

再生音の周波数帯ごとの比較　（0Hz～20Hz青、20Hz～200Hz 緑、200Hz～24000Hz 赤）



再生音では、超低周波音の部分（青色）は、ほとんど消えてしまうのです。

風車音とその再生音では性質が全く異なるのです。再生音では超低周波音の成分が消え去っているのです。したがって、再生音を使った実験は風車音に関する実験とは言えないのです。実験をしたいのなら、トレーラーの荷台に実験室を作って、風車の近くに行って実験するしかないのです。

挿入型イヤホン

スピーカでは 10Hz 以下の音が出せないので、イヤホンを使います。もちろん全身で音を浴びるとは言えませんが、一応の実験は出来ます。

欧州における超低周波音知覚に関する研究動向*

横 山 栄*1 小 林 知 尋*1 山 本 貢 平

2.2 超低周波音発生装置の開発

EARS プロジェクトでは，MEG や fMRI を利用した脳反応も調査するために，対象周波数範囲における各音響刺激（2.5 Hz～24.2 kHz）について，磁気環境下でも聴覚閾値を十分に上回る音圧レベルで提示できる音源発生装置が新たに開発された [2]。この音源装置では，約 38 cm 径の動電型スピーカから各音源信号を放射し，直径 14 mm，長さ 8 m のチューブを介して挿入型イヤホンに伝送し，各実験協力者の外耳道に提示された。

2.3 純音閾値実験

欧州における超低周波音知覚に関する研究動向

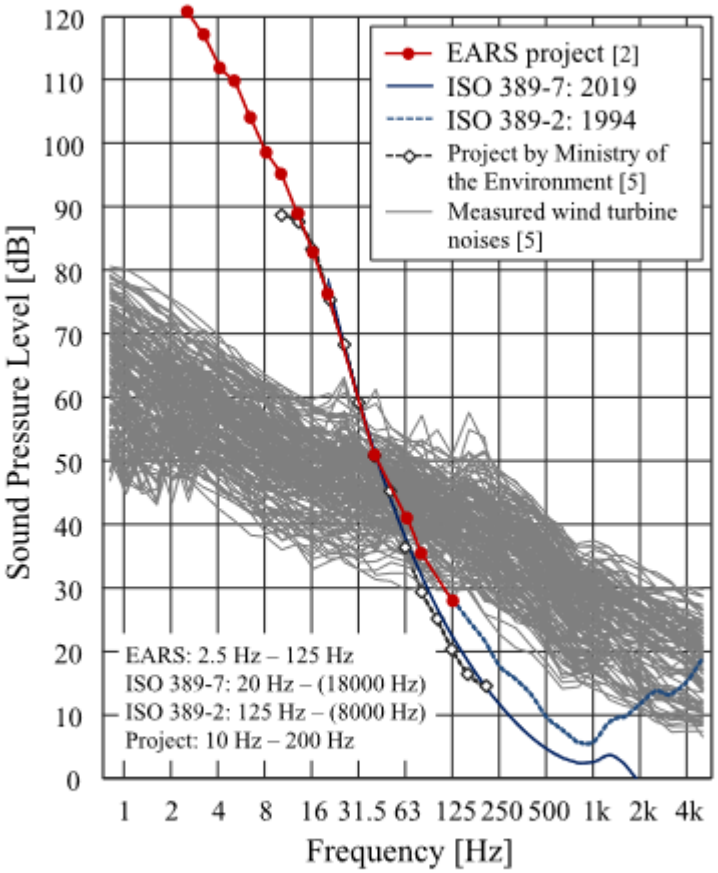


Fig. 1 Hearing thresholds for infrasound and low frequency pure tone stimuli compared with S.P.L.s of measured WTNs.

上述の音源発生装置を用いて，2.5～125 Hz の 14 種類の純音を試験音とし，聴覚閾値実験が行われた。聴力正常な 18 名（18～25 歳）の実験協力者が実験に参加した。なお，2.5～20 Hz の超低周波音領域の 10 種類の試験音についても，実験協力者全員がすべての周波数の試験音が聞こえたと報告した。

Fig. 1 に全実験協力者による聴覚閾値の中央値 [2]を示す。併せて，ISO389-7:2019（Free-field listening:20 Hz～），ISO389-2:1994（Insert earphone RETSPL:125 Hz～）による純音聴覚閾値も示した。更に，2010 年～3 年間にわたり環境省が実施し，筆者らも参画した研究プロジェクトにおける純音聴覚閾値の実験結果 [5, 6]（20 歳台の男女 44 名による実験結果の中央値）も併せて示した。EARS プロジェクトによる純音閾値の結果は，20～40 Hz の周波数範囲では ISO 3897:2019 に示される聴覚閾値に近い値となっているが，63～125 Hz の周波数範囲では ISO 389-7:2019 の閾値よりも高く，ISO 389-2:1994 の閾値を低周波音側に拡張したような結果となっている。EARS プロジェクトでは，挿入型イヤホンを用いて試験音を提示しており，妥当な結果と考えられる。また，20 Hz 以下については ISO 389-7:2019 に示される聴覚閾値を超低周波音領域に拡張したような値となっている。環境省のプロジェクトによる閾値実験 [5, 6] では実験室の壁面にウーファ 16 台を設置して試験音を提示しており，概ね ISO 389-7:2019 に沿った値となっている。なお，16～40 Hz の周波数範囲については，EARS プロジェクトによる閾値とも同等の結果となっている。

Fig. 1 に，一般に（超）低周波音が問題とされている風車騒音のスペクトル例（図中，灰色線：国内 164 地点の実測例）[5, 8] も併せて示した。20 Hz を下回る

16 Hz 以下の超低周波音領域の風車騒音の音圧レベルは，純音聴覚閾値（中央値）と比較して 20 dB 以上も低い結果となっている。

６．２０．１　塔やブレードの固有振動数

塔や、塔の中の気柱の固有振動数が、0.816667Hz なのかと考えたりしましたが、その考え方は誤りで、強制振動と考えるべきだと思っています。

塔の固有振動数に関しては、
実風車における現地観測とその振動特性に関する一考察
において、次の結果が得られている。ただし、風車が発電している状態の振動を調べるものでは無い。

できた。今回の観測では、タワー頂部のみに加速度計を設置したため、固有値解析から得られたすべての高次固有振動数は現地観測データからは見られない。これらの高次固有振動数を観測するため、タワーの中間位置に加速度計を設置する必要性があると思われる[3]。

表１固有振動数の観測値と予測値との比較

No	観測 (Hz)	固有値解析 (Hz)		
		ブレード	タワー	風車全体
1	0.50	2.19	0.54	0.50
2	0.50	4.73	0.54	0.51
3	1.98	-	4.36	2.10
4	2.15	-	4.36	2.19
5	2.20	-	-	2.20
6	-	-	-	3.26
7	3.80	-	-	3.46
8	3.81	-	-	3.91
9		-	-	4.77
10		-	-	5.05

この表の元になっているのは、次の、パワースペクトルの計算結果です。ただし、加速度センサーは、タワー頂部だけに置かれていた。

3.2　風車の振動数　図 3 には観測により得られた応答加速度の波形から求めたパワースペクトル密度を示し、0.5Hz、2.0Hz、6.8Hz、8.9Hz 付近にはっきりしたピークが見られている。低い振動数 0.5Hz と 2.0Hz は風車タワーの1次固有振動数と風車ブレードの1次固有振動数に対応し、その他の振動数はブレード、タワーの高次固有振動数、又はブレードとタワーとの連成振動モードの固有振動数に対応していると思われる[3]。

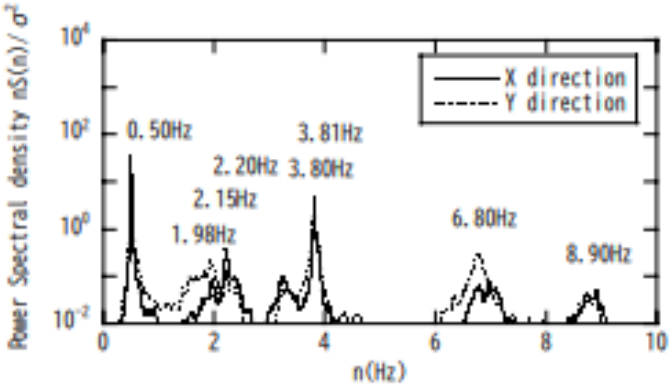


図 3　応答加速度のパワースペクトル密度

ブレードの固有振動数に関しては次の研究結果もある。

CFRP 製風車ブレードの振動及び曲げ実験と解析

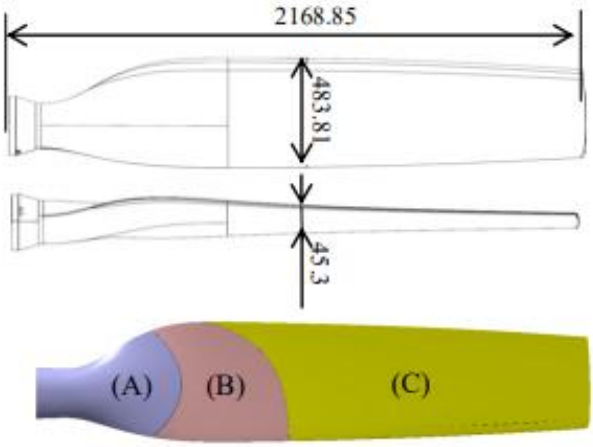


Fig.1 Dimensions of CFRP wind turbine blade

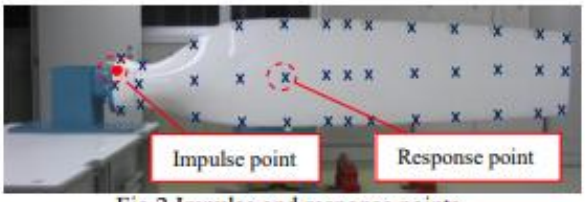


Fig.2 Impulse and response points

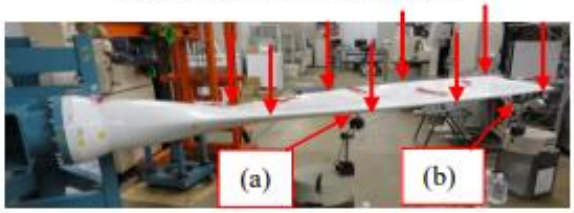


Fig.3 Positions of loads and displacement measurements

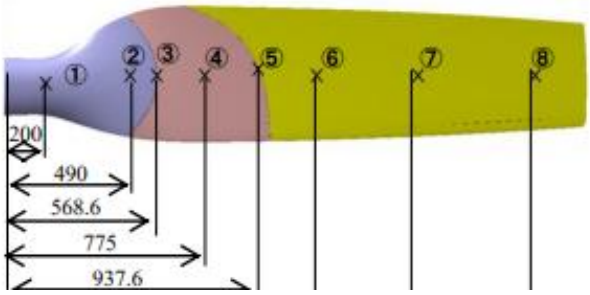
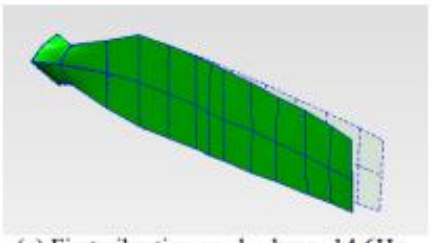


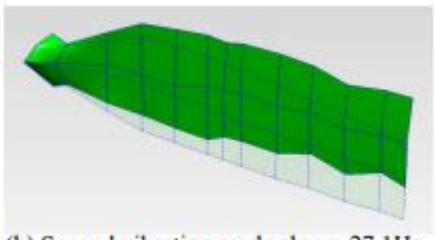
Table 1 Natural frequencies

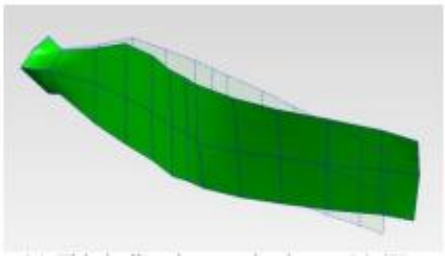
	Natural Frequency [Hz]			
	Blade 1	Blade 2	Blade 3	Ave.
1st	14.5	14.5	14.7	14.6
2nd	26.9	27.1	27.2	27.1
3rd	50.4	60.1	52.7	54.4

Table 2 Damping ratios

	Damping Ratio [%]			
	Blade 1	Blade 2	Blade 3	Ave.
1st	0.299	0.384	0.151	0.278
2nd	0.911	1.210	0.933	1.018
3rd	0.645	0.778	0.748	0.724


(a) First vibration mode shape, 14.6Hz


(b) Second vibration mode shape, 27.1Hz



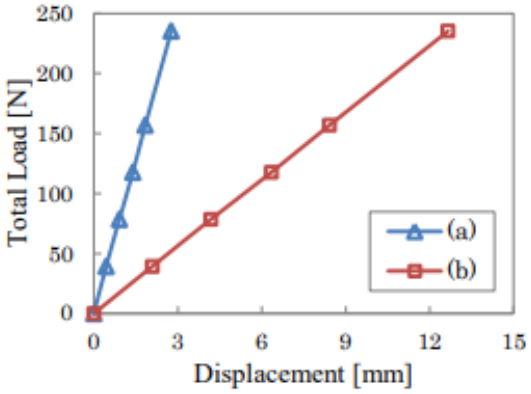


Fig.6 Results of displacement

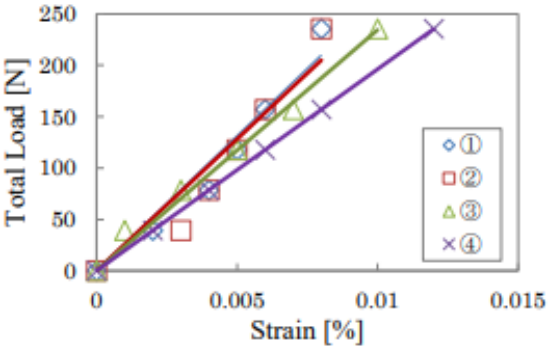


Fig.7 Results of strain (①-④)

4.2 加振実験結果と振動解析結果の比較

Table 4にインパルス加振実験で求めた固有振動数とFEM解析結果の比較を示す．また，FEM解析より求められた振動モードをFig.9に示す．実験結果の1次固有振動数は14.6Hzに対し，FEM解析結果は15.2Hzで誤差4.2%と良好な一致を示した．また，FEM解析で求められた振動モードも1次の曲げモードを示し，実験結果と良好な一致を示した．2次固有振動数，3次固有振動数はそれぞれ誤差が34.9%と16.1%と大きくなった．しかし，振動モードは2次と3次共に良好な一致を示した．

Table 3 Material properties

CFRP	W-3101 3K	TRK101M 12K
Modulus of elasticity		
Longitudinal	50.4 GPa	52.6 GPa
Transverse	7.1 GPa	7.4 GPa
Shear	3.44 GPa	3.84 GPa
Poisson's ratio		
Longitudinal	0.34	0.34
Transverse	0.02	0.02
Urethane Core		
Young's modulus	12 MPa	
Poisson's ratio	0.25	

Table 4 Comparison between experimental and FEM results

Natural Frequency			
	Experiment [Hz]	FEM [Hz]	Difference [%]
1st	14.6	15.2	4.2
2nd	27.1	41.6	34.9
3rd	54.4	64.8	16.1

6．20．2 塔の強制振動

風車が発電している状態での振動に関しては、より詳細な調査も行われている。

風車ナセル・タワーの振動解析

です。

1. はじめに

風力発電システムは複数の結合部を有し，振動が伝搬する距離も長く，ナセル・タワー間は回転部を有しているためローラーと複数の点接触により結合されている．さらに，ナセルにはロータを介してブレードが取り付けられており，内部には増速器，発電機等の重量物が設置された構造体となっている．また，タワーは 10m 間隔に頑強なボルトにより締結され，フロアが設置された構造となっている．

つぎに，振動の励振源[1),2),3)]を考えると①風力によりブレードが励起される振動，②ブレード質量のアンバランスによる振れ回り振動，③発電機が発する振動，増速器ギヤによる振動，④ヨーブレーキによる振動および，ヨー回転によるねじり振動，⑤地震等によるその他の振動があり，ナセル・タワーの振動形態は一義的に決まっても励振力により多様な連成振動形態が予想される．本報告では，ナセル・タワーが励起される連成振動のモード分離・解析を行うことを目的とし，ナセル内ロータ近傍に傾斜センサおよび，ナセル内梁に加速度センサ，タワー内壁面に加速度センサを設置してセンサ出力からナセル・タワーの振動特性を明らかにする．さらに，風によるブレード振動ロータ周りの振れ回り，タワー特有の振動モード形状について明らかにすると共に，タワー・ナセル内で発生する振動を震度表に当てはめ評価を行う．

まず，振動解析を行うために加振源を明らかにすることから始め，個々の加振源からの振動伝搬について明らかにする．つぎに伝搬振動の可視化として変形図リサージュ線図を用いて伝搬過程を明らかにする．その際に使用するセンサ類はナセル内傾斜計，加速度計および，タワー内 10m 間隔に設置した水平加速度計を

用いる．最後に伝搬振動を震度表に当てはめ作業者等が感じる震度を明らかにする．

2. 振動発生メカニズム

風力発電システムに常時加わる励振力を整理すると以下の 5 つに分類することができる．

Fin1: 風速がブレードを通過する際にブレードに加わる外力

Fin2: ブレードの偏芯によるふれ回り振動

Fin3: 発電機・増速器ギヤ回転振動

Fin4: ヨーモータ・ヨーブレーキねじり振動

Fin5: その他の振動

上記 5 種類の加振力は図 1 に示すようにナセル・タワーの振動モードを励振することとなる．風による加振では，風の流入方向にナセル・タワーを振動させることとなる．ブレード偏芯では，ブレード回転数に応じた偏芯が遠心力として働きブレードの直交方向にナセル・タワーを加振し，ヨーモータ・ヨーブレーキはタワー円周方向に回転反力が伝搬するためタワーをねじる振動が発生する．それら加振源がナセル・タワー内で連成し合い，その結果が Output となる．

つぎに，計測システムとしては，ナセル内に分解能 0～2Hz の傾斜計(鉛直角度，ローリング角度)が主軸根

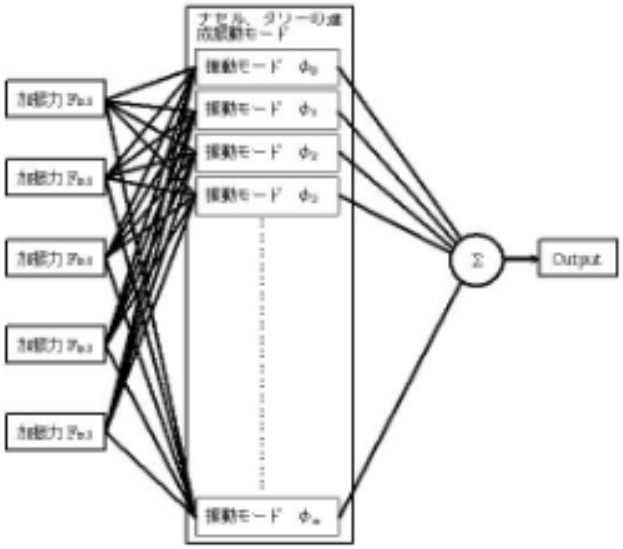


図 1　振動の発生メカニズム

元に設置されており，ナセル梁部分に 3 軸の加速度センサ(分解能 0.1Hz～8KHz，感度 800pc/G)を設置している．さらに，タワーには水平方向 2 軸に加速度センサ(分解能 0.1Hz～8KHz，感度 800pc/G)を設置してそれらのデータを取得するシステムとなっている．振動解析では取得したデータの中から風車の制御が安定しており，風況の変化が緩やかな時間のみを有効データとするため，以下の条件で抽出を行った．

1．風速の変動が少ない時間：$\sigma < 0.5 \times \bar{V}/10$
2．風向の変動が少ない時間：(風向標準偏差)＜5 度
3．風向とナセル角度の差が±14 度以下
4．ヨーが駆動していない時間

ただし，σ は風速の標準偏差，$\bar{V}$は平均風速とし，風向は 300 度方向からの風だけを抽出している．

各種センサで取得したナセル・タワー振動の FFT 解析した結果を示すと図 2 から図 7 となる．図 2，3 は傾斜計の FFT を示しており，図 2 はロータのローリング，図 3 はロータピッチングの傾斜角度を示している．

図 2，3 は Bin 5(風速 4.5～5.5m/s)の場合の FFT 解析結果であり，傾斜計の分解能 2Hz 以下が正確に観測できている．計測設定としては，サンプリング速度 1kHz，ハイパスフィルタ 0.1Hz，ローパスフィルタ 1kHz の設定とした．図 2 の鉛直方向では 0.5Hz，0.8Hz，2.7Hz 付近にゲインの増大が確認できる．これらのゲインの増大は 0.5Hz がロータ回転数に比例した振動，すなわち偏芯振動となっており，0.8Hz が 1 次のタワーねじり振動モード，2.7Hz がナセルの振動モードとなっている．図 3 のローリング方向では 0.8Hz，1.6Hz，2.7Hz にゲインの増大が確認でき，ロータの偏芯が顕著には

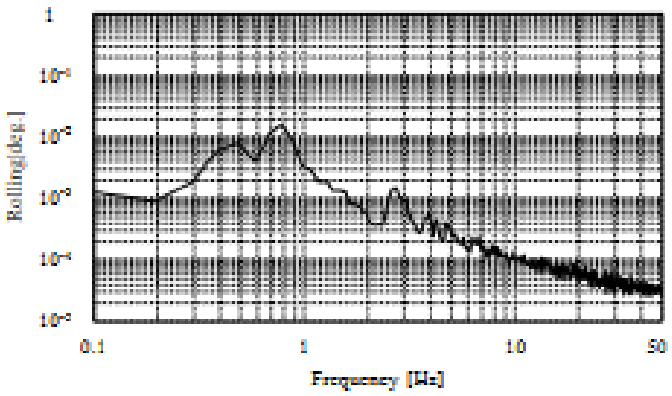


図 2　ナセル内傾斜計鉛直方向スペクトル

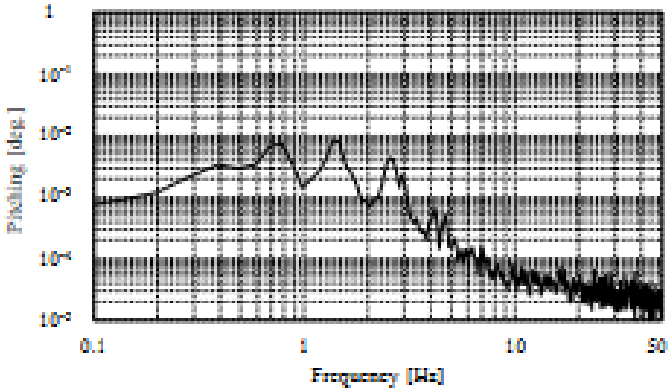


図 3　ナセル内傾斜計ローリング方向スペクトル

現れておらず，代わりに 1.6Hz に羽根数×回転数の振動が現れている．これは，上下左右の風速差と羽根数によるブレード変形振動が起因しているものと考える．また，0.7Hz に 1 次のタワー曲げ振動モードが表れており，0.8Hz のタワーねじり振動モードと同レベルとなっていることが観測でき，タワー振動がブレードに影響していることが分かる．

図 4，5 はナセル振動の 210 度方向，300 度方向スペクトルを示す．図 4 は 210 度方向(主流直交方向)の加速度，図 5 は 300 度方向(主流方向)の加速度をセンサ感度 800pc/m/G のピックアップを用いて計測したスペクトルである．加速度計の帯域幅は 8kHz まで計測可能であるので傾斜計と比較すると高周波数成分が表れている．210 度方向ではロータ回転周波数 0.5Hz が若干表れ，羽根数×回転数 1.6Hz が顕著に表れている．2Hz 以上では細かな共振点が複数あらわれナセル振動モードの 2.7Hz，タワー2 次の振動モード(6Hz)，低速ギヤ振動等が表れ複雑なスペクトルとなっている．図 5(300 度方向)も同様に 1 次のタワーねじり振動モード(0.8Hz)以降は各種の振動が表れている．　両図共に 10Hz 以降は中速ギヤ，高速ギヤ，発電機ナセル補機振動，ナセル高次モード，タワー高次モードの区別がつかない振動スペクトルとなっている．

図 6，7 にはタワー振動の 210 度方向，300 度方向スペクトルを示す．ここで，タワー内加速度のサンプリング速度は 100Hz，ローパス 0.1Hz，ハイパス 100Hz としている．タワー40m 振動では 1 次のタワー曲げ振動モード(0.7Hz)，1 次のタワーねじり振動モード，2 次のタワー曲げ振動モード，ナセル振動モード(長手方向，横方向)が帯域幅のある振動として表れている．

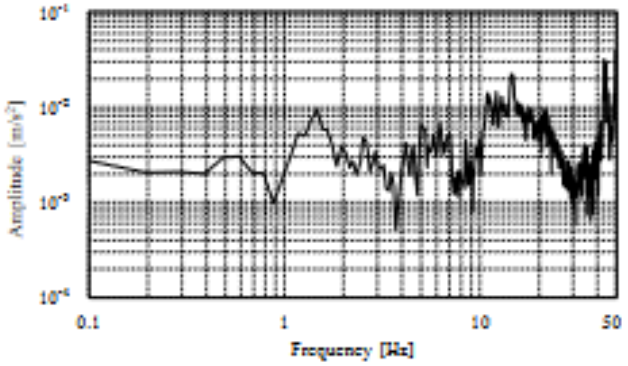


図 4 ナセル内加速度 210 度方向スペクトル

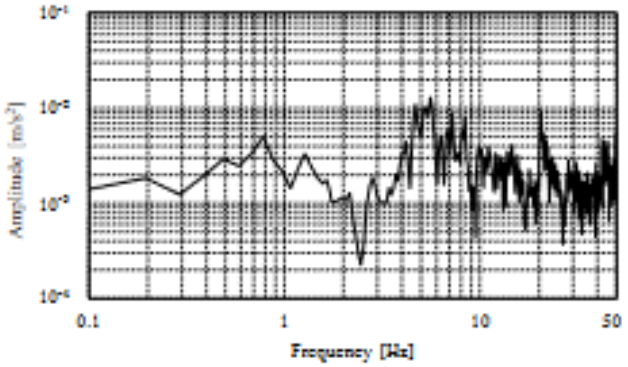


図 5　ナセル内加速度 300 度方向スペクトル

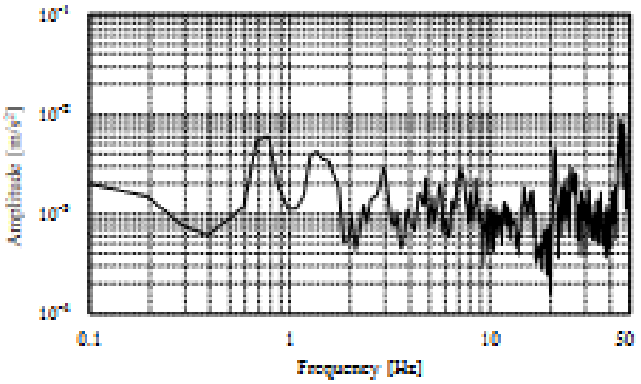


図 6　タワー内 40m 加速度 210 度方向スペクトル

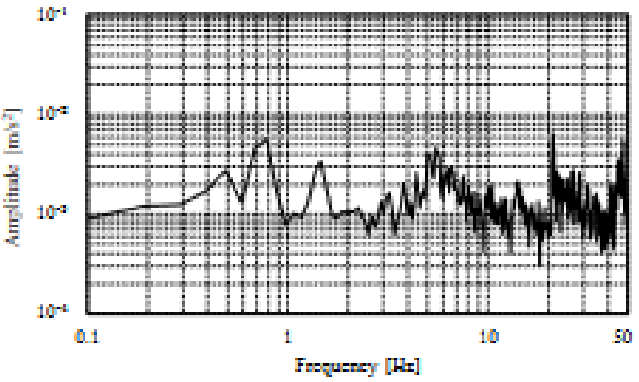


図 7　タワー内 40m 加速度 300 度方向スペクトル

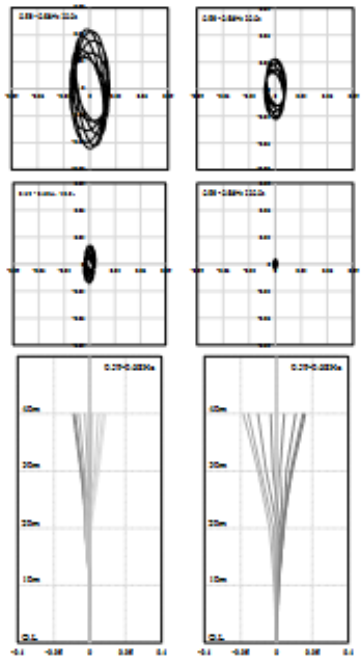
3. リサージュ線図，変形図による振動の可視化

これまでに示した振動を可視化し，振動モードの確認を行う．本章では，Bin 9 の各ゲインの増大部分を抽出してタワー10m 間隔のタワー変形図および，リサージュ線図を図 8 に示す．まず，1 次のタワー振動モードである 0.59Hz から 0.68 のバンド幅を持たせた IFFT 結果を(a)に示す．左上から 40m リサージュ，右上 30m リサージュ，左中 40m リサージュ，右中 30m リサージュ，左下 210 度方向タワー変形図，右下 300 度タワー変形図となっている．(a)の 1 次のタワー曲げ振動モード変形はオイラーベルヌーイ梁の特性のようなきれいな 1 次モードになっており，リサージュ線図は若干楕円形となっている．楕円形となっている理由は近傍にタワーねじりモードが存在しているための影響，偏芯による影響の 2 種類が考えられるが本図からの推測では偏芯の影響が含まれているものと考える．(b)には 0.78Hz から 0.88Hz のバンド幅を持たせた 1 次タワーねじり振動モードのリサージュ・変形図を示す．変形図から見ると 20m 位置で位相が大きくずれていることからタワーのねじれていることが確認できる．変形図はシャンパングラスのような形状となりリサージュはわずかに楕円形状となっている．通常，ねじりモードは x 方向 y 方向に膨らまないため近傍の曲げモードが分離しきれずに影響しているものと考える．

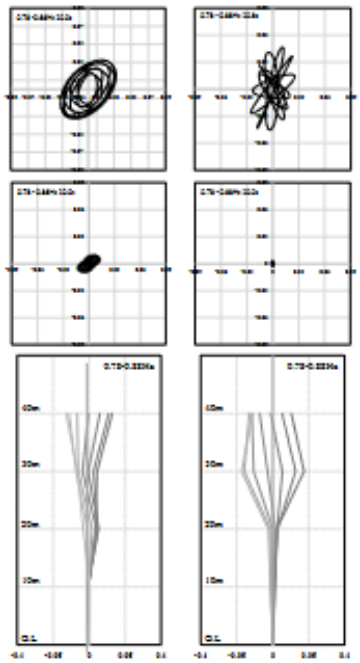
(c)はゲインの増大があるが振動モードではなく 1 次，2 次の曲げモード，偏芯が重畳したものとなっており，リサージュの形状は平行四辺形の形状となるような回転変形となっている．(d)の 2 次のタワー曲げ振動モードでは 20m，30m の振幅が大きくなっているが，位

相が反転する位置がオイラーベルヌーイ梁の特性とは異なる．これは，ナセル内に重量物(負荷質量)があるため反転位置が上方に移動していることによる．リサージュ線図をみると変形は主流方向にだけ発生しているため偏芯による遠心力ではなく風の影響を強く受けていることが分かる．図には示していないが変形が円運動となる場合は無風ヨー回転時のタワーに円周方向に働く励振力が加わった場合にきれいな円運動をする．(e)は 210 度方向が 2 次のタワー曲げ振動モード，300 度方向が 3 次のタワー曲げ振動モードが表れていることから両モードの中間的な連成振動と考える．以上の変形図，リサージュ線図からも明らかなように(a),(b)のような重根に近い振動モードや中間的な位置にゲインの増大がある場合等，振動モード形態を 3 次元的に可視化することでモード分離が可能であることを示せた．

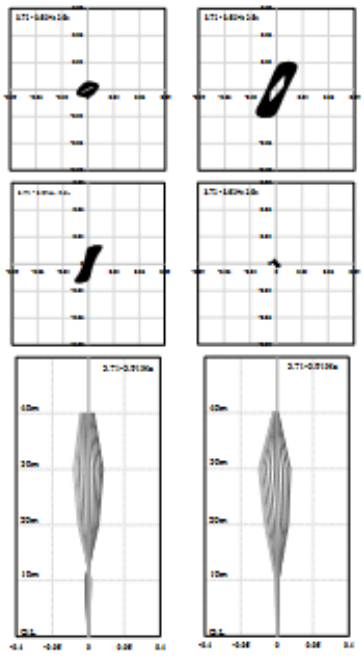
4. 震度表との比較



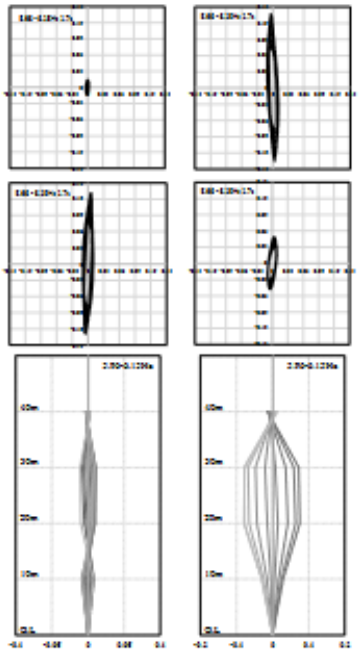
(a) 1 次タワー振動モード



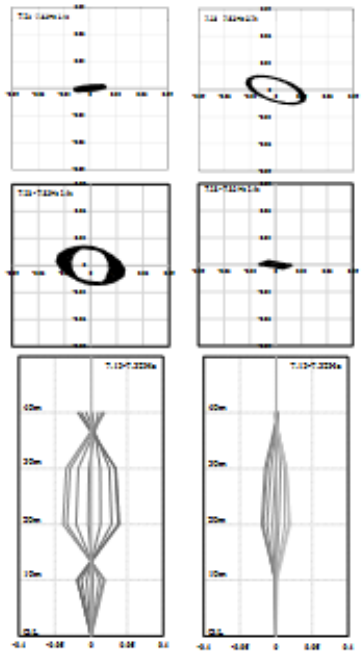
(b) 1 次タワーねじりモード



(c) 1 次 2 次タワー中間振動モード



(d) 2次タワー振動モード



(e) 2次3次タワー中間振動モード

図8　リサージュ線図・変形図

表1　タワー40m位置における震度

風速	gal		震度	
	X	Y	X	Y
Bin4	10.96	12.61	3	3
Bin5	10.72	9.04	3	3
Bin6	22.51	12.51	4	3
Bin7	26.66	16.45	4	3
Bin9	26.92	25.25	4	4

この論文では、振動の励振源として、①～⑤が挙げられていた。

つぎに，振動の励振源[1),2),3)]を考えると①風力によりブレードが励起される振動，②ブレード質量のアンバランスによる振れ回り振動，③発電機が発する振動，増速器ギヤによる振動，④ヨーブレーキによる振動および，ヨー回転によるねじり振動，⑤地震等によるその他の振動があり，ナセル・タワーの振動形態は一義的に決まっても励振力により多様な連成振動形態が予想される．本報告では，ナセル・タワーが励起される連成振動のモード分離・解析を行うことを目的とし，ナセル内ロータ近傍に傾斜センサおよび，ナセル内梁に加速度センサ，タワー内壁面に加速度センサを設置してセンサ出力からナセル・タワーの振動特性を明らかにする．さらに，風によるブレード振動ロータ周りの振れ回り，タワー特有の振動モード形状について明らかにすると共に，タワー・ナセル内で発生する振動を震度表に当てはめ評価を行う．

2. 振動発生メカニズム

風力発電システムに常時加わる励振力を整理すると以下の 5 つに分類することができる.

Fin1: 風速がブレードを通過する際にブレードに加わる外力

Fin2: ブレードの偏芯によるふれ回り振動

Fin3: 発電機・増速器ギヤ回転振動

Fin4: ヨーモータ・ヨーブレーキねじり振動

Fin5: その他の振動

各種センサで取得したナセル・タワー振動の FFT 解析した結果を示すと図 2 から図 7 となる. 図 2, 3 は傾斜計の FFT を示しており, 図 2 はロータのローリング, 図 3 はロータピッチングの傾斜角度を示している.

図 2, 3 は Bin 5(風速 4.5～5.5m/s)の場合の FFT 解析結果であり, 傾斜計の分解能 2Hz 以下が正確に観測できている. 計測設定としては, サンプリング速度 1kHz, ハイパスフィルタ 0.1Hz, ローパスフィルタ 1kHz の設定とした. 図 2 の鉛直方向では 0.5Hz, 0.8Hz, 2.7Hz 付近にゲインの増大が確認できる. これらのゲインの増大は 0.5Hz がロータ回転数に比例した振動, すなわち偏芯振動となっており, 0.8Hz が 1 次のタワーねじり振動モード, 2.7Hz がナセルの振動モードとなっている. 図 3 のローリング方向では 0.8Hz, 1.6Hz, 2.7Hz にゲインの増大が確認でき, ロータの偏芯が顕著には

現れておらず, 代わりに 1.6Hz に羽根数×回転数の振動が現れている. これは, 上下左右の風速差と羽根数によるブレード変形振動が起因しているものと考える. また, 0.7Hz に 1 次のタワー曲げ振動モードが表れており, 0.8Hz のタワーねじり振動モードと同レベルとなっていることが観測でき, タワー振動がブレードに影響していることが分かる.

この、1.6Hz に現れた、羽枚数×回転数の振動は予定していた、①～⑤では無い。この原因を、**“上下左右の風速差と羽根数によるブレード変形振動が起因している。”**と説明している。あと一歩進めば正解まで行けたのに、残念なことでした。

“上下左右の風速差と羽根数によるブレード変形振動が起因している。”ではなく、
“上下の風速差と揚力によるブレードの回転が起因している。”と考えて。

$$(100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))\text{^}1.3$$

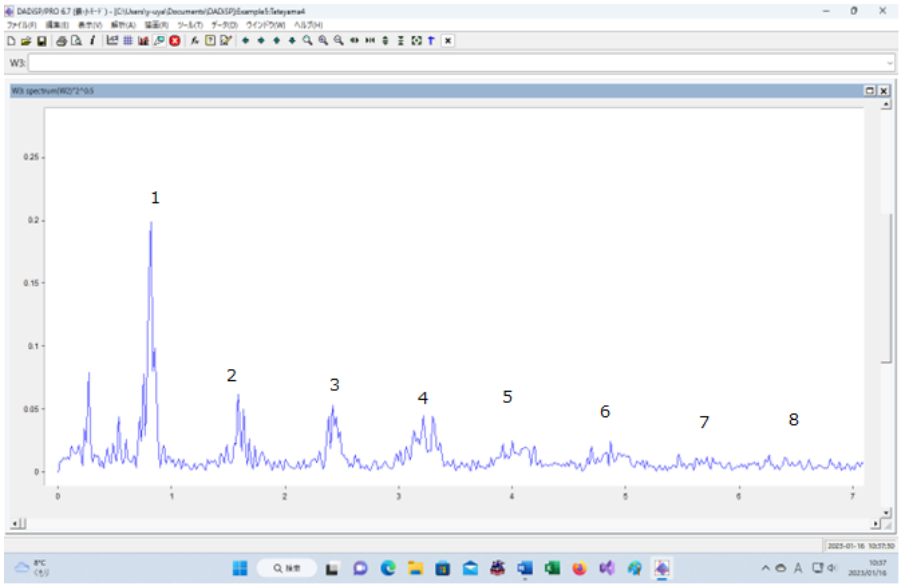
を計算すればよかったのです。

“ブレードの変形振動”としたのでは、周波数の規則性を見つけて、原因を究明しようとは思えなくなってしまいます。

これができない理由は、超低周波音の議論を避けているからです。風車音の指向性に関する観測結果は公開されています。その中で、強烈な超低周波音の存在が示されています。この部分を追求すれば、超低周波音の詳細な周波数解析と風車振動の精密な周波数解析の比較ができたはずです。

残念ながら、計測方法や計測機材に問題があるか否かは不明だが、解析方法には大きな問題がある。超低周波音との比較を避けたので、解析が雑になってしまいました。普通に FFT を計算すれば、次のグラフと同様の結果が得られたはずです。

周波数の倍音構造



音圧がピーク値となるときの周波数に、次のような規則性がある。

周波数	倍率1	倍率2	音圧				
0.266667	1		0.05604				
0.533333	1.999996		0.03093802				
0.816667	3.062497	1	0.01405225	0.816667	1	0.816667	
1.583333	5.937491	1.938774	0.0435531	1.633334	2	1.633334	2
2.416667	9.06249	2.959183	0.02416667	2.450001	3		
3.216667	12.06249	3.938774	0.03173804			3.266668	4
4.000000	14.99998	4.897957	0.01772484	4.083335	5		
4.866667	18.24998	5.959182	0.01728335			4.900002	6
5.466667	20.49998	6.693875	0.01009538	5.716669	7		
6.266667	23.49997	7.673467	0.00978232			6.533336	8
9.783333	36.68745	11.97959	0.03974005				

1の 0.8Hz の代わりが 1.6Hz になっているならば、2の代わりは 3.2Hz、3の代わりは 6.4Hz、、、、
0.266667Hz の代わりは、0.53333Hz、0.53333Hz の代わりは 1.0666Hz になっていたはずです。

少なくとも、60 秒間の計測データに対する FFT の計算結果を求めるべきでした。
このようにして求めた FFT の結果を、平均化しないで表示すれば分かったはずです。
1.6Hz で止めないで、倍音構造の理由まで考えればよかったのです。それには、超低周波音の測定と結果の公表が必要となったので、環境省の方針に反するので、追及を諦めたのかもしれません。

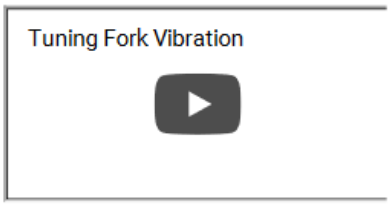
原因は別として、ナセルのある塔の頂上や塔内 40ｍで 1.6Ｈｚ（羽枚数×回転数）の振動の振動が起こっていることは示された。　図６，図７を比較すると、振幅は、ある方向に対して大きく、別の方向に関しては小さいことが分かる。

これが、大気の気圧変動を引き起こす時に、指向性を持った気圧変動を引き起こすのです。
音叉の指向性と同様に考えるべきです。音響と振動のアニメーションでは指向性について次のように書かれています。

基本モード（426Hz）

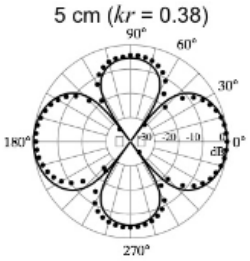
振動の基本モードは、チューニングフォークに最も一般的に関連するモードです。フォーク上に周波数が印刷されたモー
形状であり、この場合は426Hzである。フォークの2つの歯は交互に互いに接近したり離れたりして移動し、片持ち梁の
うに曲がり、ステムに固定され、他端で自由に動く。これは対称モードであり、2つのタインはお互いの鏡像であるからで
す。

右側のYouTubeムービーは、基本振動モードで振動する125Hz音叉のスローモーション振動（1200fpsでの高速カメラによる撮影）を示しています。



基本モードで振動すると、フォークのステムが静止しているように見えます。しかし、実際には、基本周波数だけでなく、基本周波数の2倍の周波数（この周波数ではフォークの振動モードがない）である第2高調波852Hzで上下に振動します。この茎の動きは非常に小さく、茎の底に指先を置くと感じにくいです。しかし、振動のあるフォークのステムをテーブルトップ、ドア、またはピアノの響板に触れることで効果的に実演することができます。

音叉の基本振動モードは、近距離場と遠方場の放射パターンの間の明確な遷移を持つ
[1] [2,3]
（または線形）四重極音源として音を放射します。　左のプロットは、フォーク周囲の
度の関数としての音圧レベルを表す近接場測定指向性パターン（ドット）と、縦方向の四重
[2]
極の理論モデル（曲線）を示しています。



風速は激しく変化します。いくら回転数を安定化させる機能があっても、完全に一定にすることは出来ません。
このナセルでの振動を 10 分間ほど計測したデータに対して、Wavelet 解析をすれば、最も音圧の高い部分は 1.6Hz を中心にして、ブレードが、一定の時間内で塔の前を通過する回数の変化に対応して、微妙に変化することが分かります。振動方向はブレードにかかる揚力ベクトルの方向なのです。

風速の違いで、風の変化に対応して、周波数が変化します。この事実は、周波数分解能が低い FFT での解析では分かりません。Wavelet 解析が必要だったのです。

風の変化そのものでは無くて、ブレードが塔の前を通過する回数がナセルの振動の周波数を決定するので

す。
しかもそれは、超低周波音の周波数も決定するのです。この様に、周波数が変化するのですから、塔や気柱の固有振動数ではありません。強制振動と考えるべきです。

　もう一歩進めば､倍音構造とその発生原因が解明できたのです｡“空力音響学”という本があるのですから、それを読んでおけば、塔の側面から音の放射にたどり着いたはずです。

6．20．3　音叉と共鳴箱と強制振動

音叉セットと、共鳴箱付きの音叉で、幾つか確認してみました。使用したのは、下の物です。

この他に、30ｃｍ*30ｃｍのベニヤ板を用意しました。

左の音叉には、共鳴箱が無いので、ハンマーで叩いても、音は小さいく鳴っていました。

振動している音叉をベニヤ板にくっつけると音が大きくなりました。耳での感覚ですが、振動数は変化しません。

箱付きの音叉での共鳴も確認しました。

共鳴

共振現象の内、音に関するものを**共鳴**といいます。

同じ固有振動数を持つ共鳴箱付き音叉（おんさ）を２つ用意して、片方を鳴らします。すると、もう片方も鳴り始めます。叩かれた音叉が下の共鳴箱を揺らし、空気を伝わって隣の共鳴箱を揺らし、上の音叉を揺らして鳴らします。

固有振動数が違う音叉同士では共鳴は起こりません。

問題は、ここからです。

箱付きの音叉から、音叉を引き抜いて、開口部を上に向けて立てました。上の縁に、音叉セットの音叉を叩いてからくっつけます。

ベニヤ板の時のように、叩いた音叉の音が大きくなるが、音の周波数は叩いた音叉の周波数です。
開口部に本を近づけると、音の大きさは変化しますが、周波数は変化しません。

これは、箱の部分も、中の気柱も、くっつけた音叉の周波数で振動している事を意味しています。強制振動が起こっているのです。

円筒の場合は、強制的な変形が起きれば、断面は円形でなくなります。円柱の長さが一定で、断面の形が変化するときには、円筒内の容積が変化します。変分法の教科書では、周が一定のもので面積が最大になるのは円であると書いてあります。

断面が円から楕円に変化すれは、断面積が減少し、容積も減少します。そして円筒内の空気は圧縮されることになります。この結果、気柱も塔の変形に対応する、周波数の粗密波の発生源になります。

風車の場合では、ブレードが塔の前を通過する回数に対応して、塔が振動し、中の気柱も粗密波を生み出すことになります。

計測すれば、高い音圧の超低周波音が観測され、その周波数がブレードの通過回数に対応することが確認できます。

この時の振動数は、気柱の持つ固有振動数とは異なります。
音の伝わり方は、音源の形によって異なります。そして、減衰の仕方も違います。

音源が点の場合は、上の図の様に球面状に伝わります。面積は 4 πr^2 ですから、距離の 2 乗に反比例して減衰します。

音源が直線の場合は、円筒上に伝わります。この時は、距離に反比例して減衰します。

音源が平面の場合は、平面のまま伝わるので、減衰しません。

音のエネルギーが、空気の熱エネルギーに変換されれば、音は減衰しますが、超低周波音では、この空気減衰はほとんど起こりません。

さらに、風車音は、指向性を持っていて、4 方向に強い形で放出されます。

音叉セットと、共鳴箱に例えれば、

風車の塔の中に縦にした音響箱が入っていて 4 方向に強い音がでる。というような状況です。

この向きは、風車が向いている方向によって決まります。風車の塔は大きいので、近くでは、面音源からの音として扱う必要があります。

この他に、30ｃｍ*30ｃｍのベニヤ板を用意しました。

左の音叉には、共鳴箱が無いので、ハンマーで叩いても、音は小さいく鳴っていました。

振動している音叉をベニヤ板にくっつけると音が大きくなりました。耳での感覚ですが、振動数は変化しません。

６．２０．４　強制振動の原因

風車ナセル・タワーの振動解析では、

れている．210 度方向ではロータ回転周波数 0.5Hz が
若干表れ，羽根数×回転数 1.6Hz が顕著に表れている．

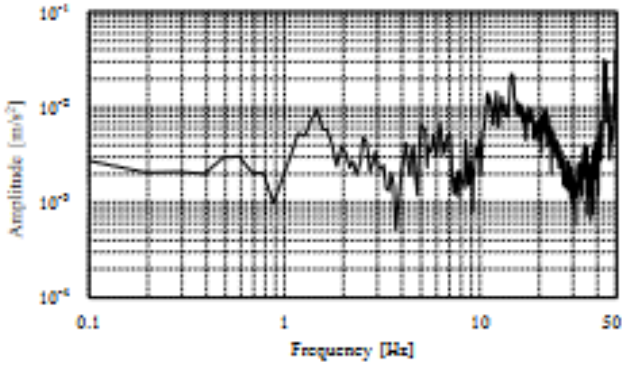


図 4 ナセル内加速度 210 度方向スペクトル

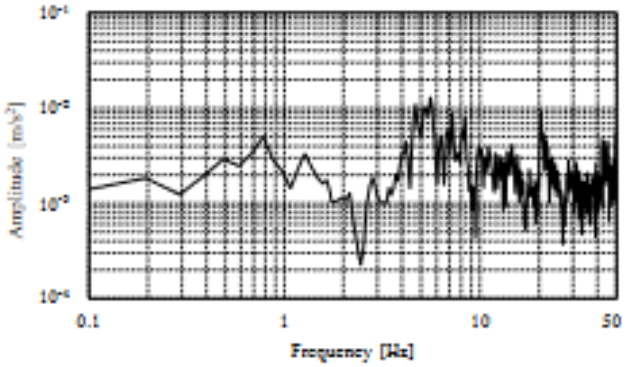


図 5　ナセル内加速度 300 度方向スペクトル

ここでの、210 度については、塔の中心の真上にあるナセル内の床を原点にとり、回転軸がブレードの方向を向く方向を基準にして、左回りの回転で計測した、角の大きさだと考えます。

この時、210+90＝300 ですから、２１０度方向には大きく揺れるが、それに対する直角方法にはあまり揺れない。ことになります。

風車の振動解析（名古屋大学大学院工学研究科　石田幸男）では

2. 風車における各種の励振力

図2は風車に働く力を示す．左から風による力①が働く．ブレードには相対的な速さWの風が加わるので，速度Wの方向に抗力D，それに直角に揚力Lとして働く．これらの力はflapwise成分②と，chordwise成分③に分けることができる．風速は高さにより変化するので，ブレードが回転すると，これらの力は周期的に変化する．その結果，ブレードとタワーに周期的励振力が加わる．風下にブレードがあるタイプでは，tower shadow で風速が弱まり，インパルス状の力④がブレードとタワーに加わる．このパルス列は，フーリエ級数展開すれば，回転速度とその整数倍の振動数成分をもつ．ブレードには重力mgも作用する．その力のブレードに直角な成分⑤は，ブレードを曲げるモーメントとして作用するが，左側と右側で進行方向に対して変動するため，周期的な曲げモーメントとなる．ブレードの長手方向の成分⑥は，ブレードの張力あるいは圧縮力として働く．この力はブレードが上に来たときには，倒立振り子のようにブレードの剛性を下げ，下に来たときは剛性を上げる．その結果，係数励振作用となる．⑦は不つりあいによる力である．ブレードの枚数が複数になると，ブレードからタワーに加わる力の各振動数成分は，枚数倍となる．以上のように，回転速度のn倍の振動数nPをもつ多くの励振力が加わる．

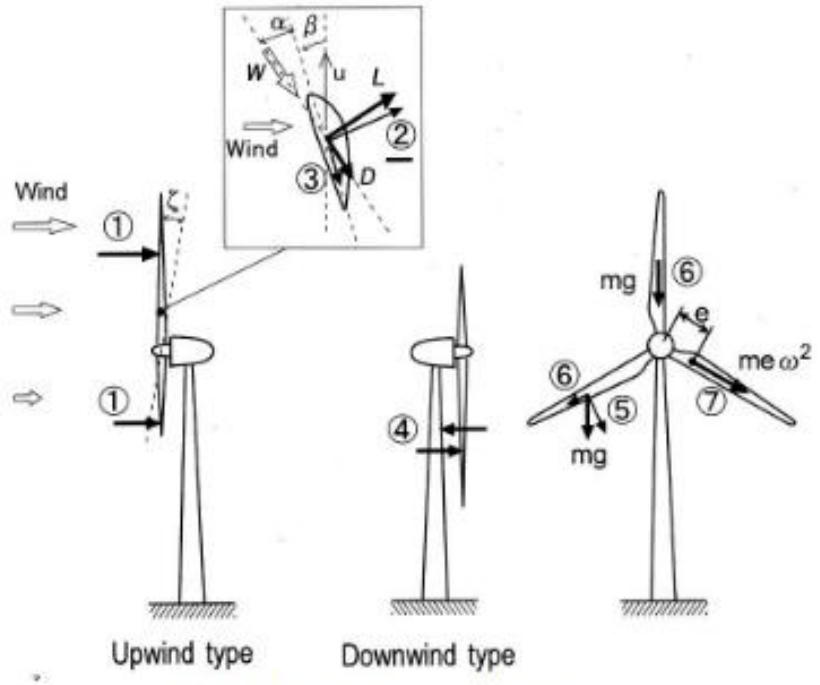
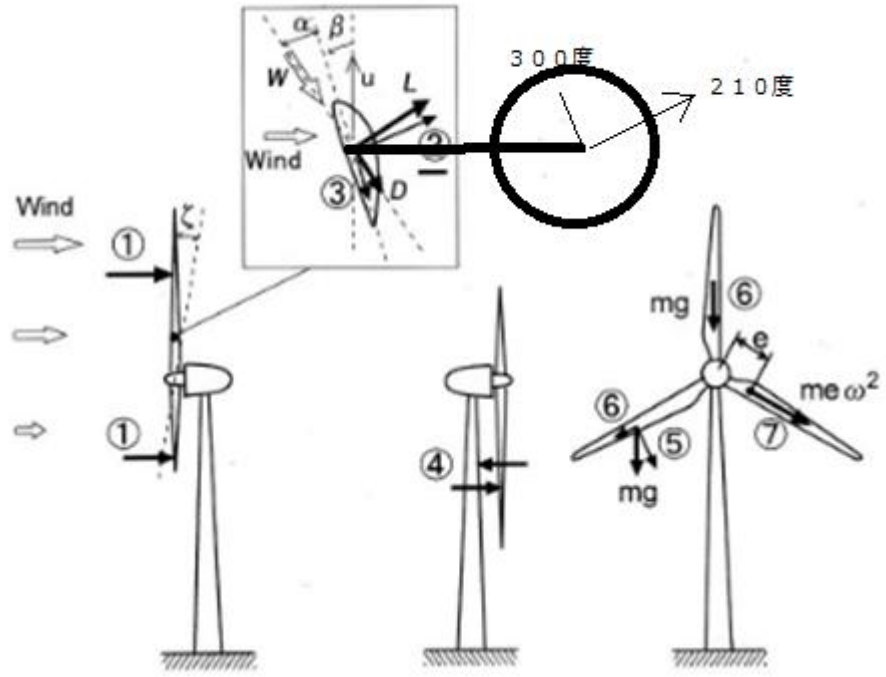


図2 風車に働く各種の力

この記述と、210度方向の振動を重ねると、次の図になります。

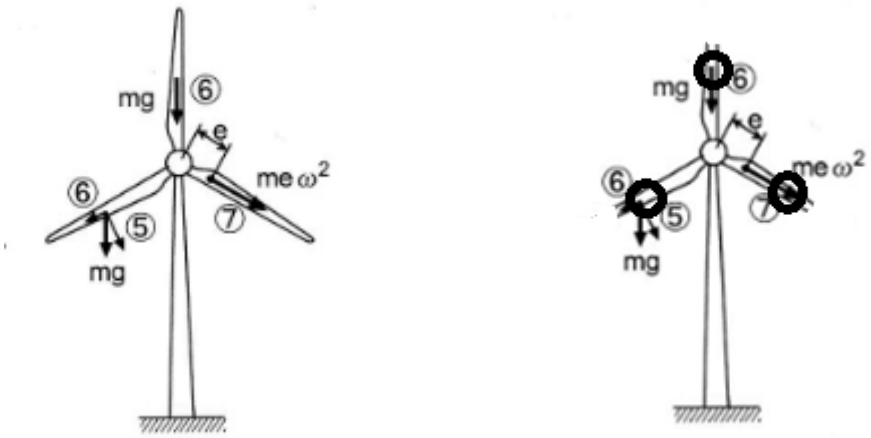


となるので、風車は、風下の方向のうち、揚力ベクトルに近い方向に押されて、ナセルの部分は、ブレードが真上に来る周期と同じ周期で、210度方向に大きく振動することになる。

と考えます。

残念ながら、この振動が、粗密波を発生させる仕組みは、“笛と太鼓のお祭り騒ぎ“、です。

６．２０．６ 上空の風と地表近くの風



揚力の話はあとで詳しく考えるとして、揚力ベクトルの成分で、回転軸の方向への成分を考えます。
単純化して、塔の高さは 100m、ブレードの代わりに、丸い標識のような形の板が中心から 50mの所に付いていると考えます。

この時、円盤の地上からの高さは

$100 + 50 * \sin(\omega t + \theta)$

で計算されます。

風車の塔は横から見ると長方形に見えて、取り付けた板は丸く見えます。風が真横から当たるときには、平らな板と丸い塔では違いが出ます。

風力係数は、投影面積に対しての割増（割引）の値です。物の形状が複雑になればなるほど、風力係数は大きな値が設定され、同じ投影面積でも加わる荷重が増大する。「空気抵抗」とも言われる。

従って、風速 40m/s における標識板（風力係数：1.2）と丸鋼管（風力係数：0.7）の風荷重を比較すると

空気密度を1．23kg/m^3　とすると

P＝（V^2／2）×1．23×Cd　より

P：風荷重 ［N/㎡］ 、V：風速 ［m/s］ 、Cd：風力係数

・標識板　P＝40^2／2×1．23×1．2＝1181 ［N／㎡］

・丸鋼管　P＝40^2／2×1．23×0．7＝　689 ［N／㎡］

となり、同じ投影面積であっても風荷重の算出においては

標識板/丸鋼管≒1．7　　で 1.7 倍の差がある。

上空では地表近くよりも強い風が吹きます。これに関しては、次のような予測式があります。
https://www.cradle.co.jp/media/column/a87 株式会社ソフトウェアクレイドル HP より

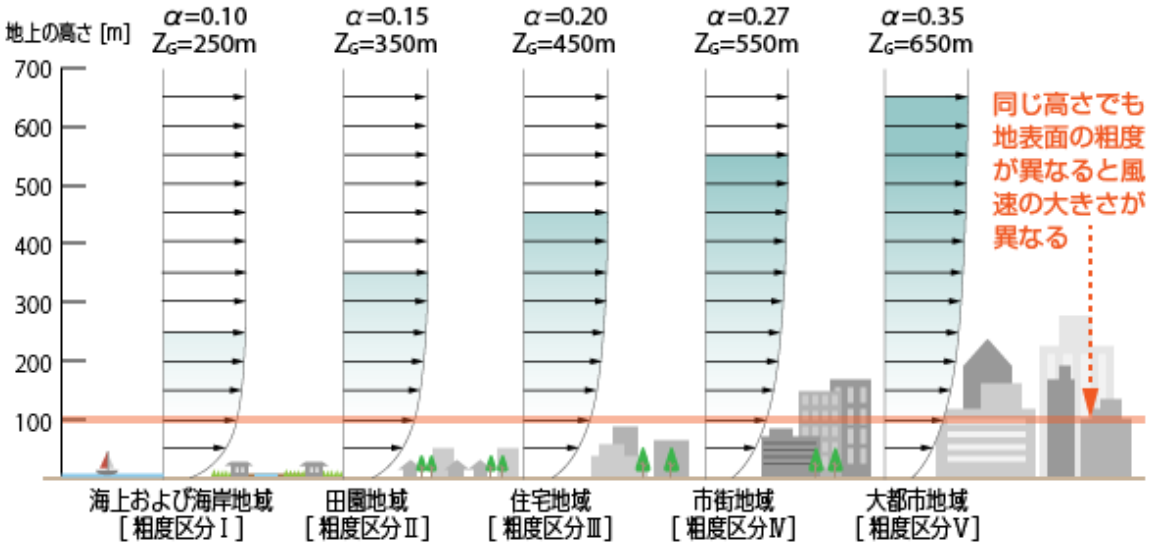
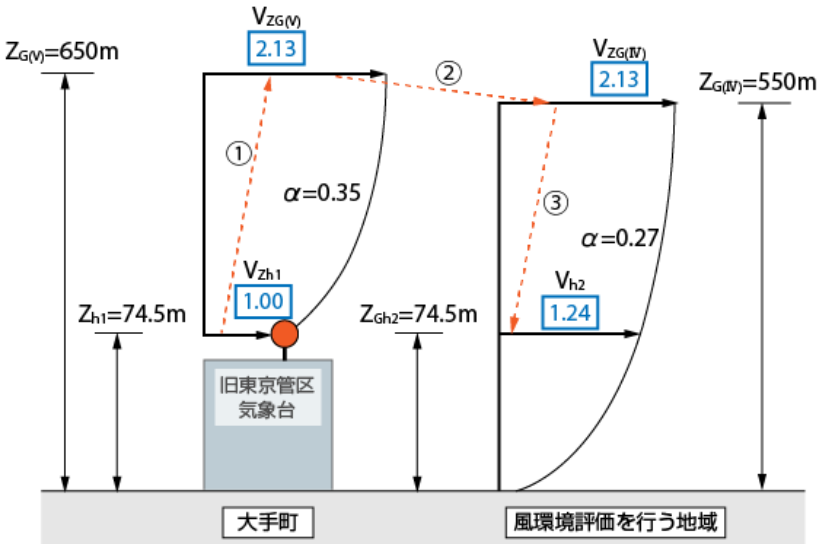


図2　平均風速の鉛直プロファイル

1）大手町観測所（風速設計置高さ：Z_{h1}=74.5m）の風速を1.00とし、地表面粗度区分Ⅴに応じたべき指数$\alpha_{(V)}$（=0.35）により境界層高さ$Z_{G(V)}$（=650m）の風速$V_{ZG(V)}$を(1)式より算出する。

$V_{ZG(V)} / V_{zh1} = (Z_{G(V)} / Z_{h1})^{\alpha(V)}$ ・・・(1)
$V_{ZG1(V)} = 1.00\times(650/74.5)^{0.35}=2.13$



$$V_{ZG(V)} / V_{zh1} = (Z_{G(V)} / Z_{h1})^{\alpha(V)} \cdot \cdot \cdot (1)$$

Vzh1=1 とすると、

$$V_{ZG1(V)} = 1.00\times(650/74.5)^{0.35}=2.13$$

この式を使えば、地上 74.5ｍでの風速が 12m/s の時には、大都市地域ではα＝0.35 であり、地上 650ｍでの風速は、12*2.13＝12*(650/74.5)^0.35=12*2.13=25.56m/s となります。

田園地域で、地上 10ｍの時の風速が 7m/ｓのときは、
地上 100+50*sin(ωt+θ)での風速は

$$7 * ((100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))/10)\text{^}0.15$$

となります。

標識の面積を 10 ㎡とすれば、
空気密度を1．23kg/m^3　とすると、風速 40m/sのときは、
P＝（V^2／2）×1．23×Cd　より
P:風荷重 ［N/㎡］、V:風速 ［m/s］、Cd:風力係数
・標識板　P＝40^2／2×1．23×1．2＝1181 ［N／㎡］
より、地上 10ｍで 7m/ｓの風が吹くときに、風車に取り付けてある丸い板にかかる力は、

$$P = \frac{\left(\left(7 * (\frac{(100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))}{10})^{0.15}\right)^2\right)}{2} * 1.23 * 1.2 * 10 \quad [N]$$

となります。
この力によって引き起こされる風車を後ろに倒そうとする力は、回転軸を地表とブレードの回転面の共有する直線としたときの回転モーメントであり、

$$P * (100 + 50 * \sin(\omega t + \theta)) = k * (100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))\text{^}1.3$$

となります。
定数ｋは実際の風車について計算する必要があるのですが、
この場合には、

$$\frac{\left(\left(7 * (\frac{(1)}{10})^{0.15}\right)^2\right)}{2} * 1.23 * 1.2 * 10 \ = 181.2393273$$

となります。

ここでは

$$(100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))\text{^}1.3$$

の部分だけを考えることにします。
ブレードのなす角は 2π/3 ラジアンなので、回転モーメントの合計は、

ω=2π・0.8/3
f(t)={100+50sin(ωt)}$^{1.3}$
+{100+50sin(ωt+2π/3)}$^{1.3}$
+{100+50sin(ωt+4π/3)}$^{1.3}$

と置いたときに、
M=k*f(t)=181.2393273*f(t)
となります。

$$(1+x)^{\alpha}=1+\frac{\alpha}{1!}x+\frac{\alpha(\alpha-1)}{2!}x^{2}+\frac{\alpha(\alpha-1)(\alpha-2)}{3!}x^{3}+\cdots$$

という公式を使って、近似計算をします。

$\{100+50\sin(\omega t)\}^{1.3}$＝（100^1.3）(1+(1/2)sin(ωt))^1.3
に注意して上の式のxに(1/2)sin(ωt)を代入します。

マクローリン展開して

$\{100+50\sin(\omega t)\}^{1.3}$

$\fallingdotseq 100^{1.3}\{1+(1.3/2)\sin(\omega t)+(1.3\cdot 0.3/8)\sin^{2}(\omega t)$

$+(1.3\cdot 0.3\cdot(-0.7)/48)\sin^{3}(\omega t)+\ldots\}$

$\fallingdotseq 398.1071705\{1+0.65\sin(\omega t)+0.04875\sin^{2}(\omega t)$

$-0.0056875\sin^{3}(\omega t)+\cdots\}$

他も同様となり、

$f(t)\fallingdotseq 3*398.1071705+398.1071705*0.04875\cdot(3/2)+398.1071705*0.0056875(3/4)\sin(3\omega t)$

$\fallingdotseq 1194.321511+29.11158684+1.698175899\sin(3\omega t)$

$\fallingdotseq 1223.433097+1.698175899\sin(3\omega t)$

となって、微小項を無視すれば 3 倍角の成分のみとなる。
よって、
$M=k*f(t)=181.2393273*(1223.433097+1.698175899\sin(3\omega t))=221734.1914+307.7762575\sin(3\omega t)$
となります。

計算

$\sin(\omega t)+\sin(\omega t+2\pi/3)+\sin(\omega t+4\pi/3)=0$

$\sin^{2}(\omega t)+\sin^{2}(\omega t+2\pi/3)+\sin^{2}(\omega t+4\pi/3)=3/2$

つぎに

$\sin^{3}x=(3\sin x-\sin 3x)/4$

だから、sin の 3 乗の和のうち、sinx の和は 0 となり、sin3x の和は

$\sin(3x)+\sin(3(x+2\pi/3))+\sin(3(x+4\pi/3))=3\sin(3x)$

となるから

$\sin^{3}(\omega t)+\sin^{3}(\omega t+2\pi/3)+\sin^{3}(\omega t+4\pi/3)=-(3/4)\sin(3\omega t)$

となる。

３枚のブレードが、$\sin(\omega t)$、$\sin(\omega t+2\pi/3)$、$\sin(\omega t+4\pi/3)$に従って回転している場合には、
塔にかかる力は
$M=k*f(t)=221734.19+307.78\sin(3\omega t)$
となり、ブレードの回転周期の 1/3 の周期で塔にかかる力が変化することが分かります。
ブレードが、$\sin(\omega t)$で回転すれば、塔にかかる力は $\sin(3\omega t)$の定数倍で変化するのです。
ブレードの回転周波数が、0.26666=0.8/3Hzならば、塔にかかる力の周波数は 0.8Hzになります。

もし、上空と地上の風速が同じならば、上空での風速を表す式は
田園地域で、地上 10ｍの時の風速が 7m/ｓのときは、
　地上 100+sin(ω t+ θ)での風速は

$$7 * (100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))^0 = 7$$

となり、

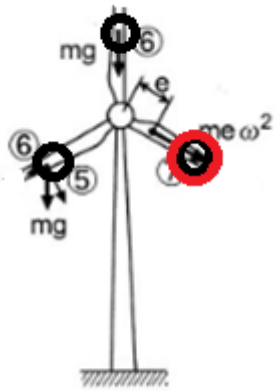
$$f(t)=\{100+50\sin(\omega t)\}^1$$
$$+\{100+50\sin(\omega t+2\pi/3)\}^1$$
$$+\{100+50\sin(\omega t+4\pi/3)\}^1$$
$$=300$$

$$P = \frac{((7)^2)}{2} * 1.23 * 1.2 * 10 = 361.62 \quad [N]$$

$$M=361.62*f(t)=362.12*300=108486$$

となり、回転モーメントの変動はありません。
この場合は、塔は傾くだけですから、振動による超低周波音の発生はありません。

　次に、ブレードの１枚だけが他の２枚よりも少し大きい場合を考えます。



赤い丸印の部分の面積が、10*1.003＝10.03 ㎡　だとします。
この時、赤い丸の部分が受ける力は、

$$P = \frac{\left(\left(7 * (\frac{(100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))}{10})^{0.15}\right)^2\right)}{2} * 1.23 * 1.2 * 10 * 1.003 \quad [N]$$

$$= \frac{\left(\left(7 * (\frac{(100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))}{10})^{0.15}\right)^2\right)}{2} * 1.23 * 1.2 * 10 * 1$$

$$+ \frac{\left(\left(7 * (\frac{(100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))}{10})^{0.15}\right)^2\right)}{2} * 1.23 * 1.2 * 10 * 0.003$$

より、

$$P*(100+50*\sin(\omega t+\theta))=k*((100+50*\sin(\omega t+\theta))^{1.3}+0.03*(100+50*\sin(\omega t+\theta))^{1.3})$$

となるので、f(t)の代わりに、

$g(t)=\{100+50\sin(\omega t)\}^{1.3}$

$+\{100+50\sin(\omega t+2\pi/3)\}^{1.3}$

$+\{100+50\sin(\omega t+4\pi/3)\}^{1.3}$

$+0.003*\{100+50\sin(\omega t)\}^{1.3}$

を考えることになります。

$f(t)\fallingdotseq 1223.43+1.698\sin(3\omega t)$

$\{100+50\sin(\omega t)\}^{1.3}$

$\fallingdotseq 100^{1.3}\{1+(1.3/2)\sin(\omega t)+(1.3\cdot 0.3/8)\sin^2(\omega t)$

$+(1.3\cdot 0.3\cdot(-0.7)/48)\sin^3(\omega t)+\ldots\}$

$\fallingdotseq 398.1\{1+0.65\sin(\omega t)+0.04875\sin^2(\omega t)$

$-0.0056875\sin^3(\omega t)+\cdots\}$

$0.003*\{100+50\sin(\omega t)\}^{1.3}$

$=0.003*398.1\{1+0.65\sin(\omega t)+0.04875\sin^2(\omega t)$

$-0.0056875\sin^3(\omega t)+\cdots\}$

ここで、

$\sin^2 x=(1-\cos 2x)/2$

$\sin^3 x=(3\sin x-\sin 3x)/4$

より、

$g(t)\fallingdotseq 1223.43+1.69814512\sin(3\omega t)$

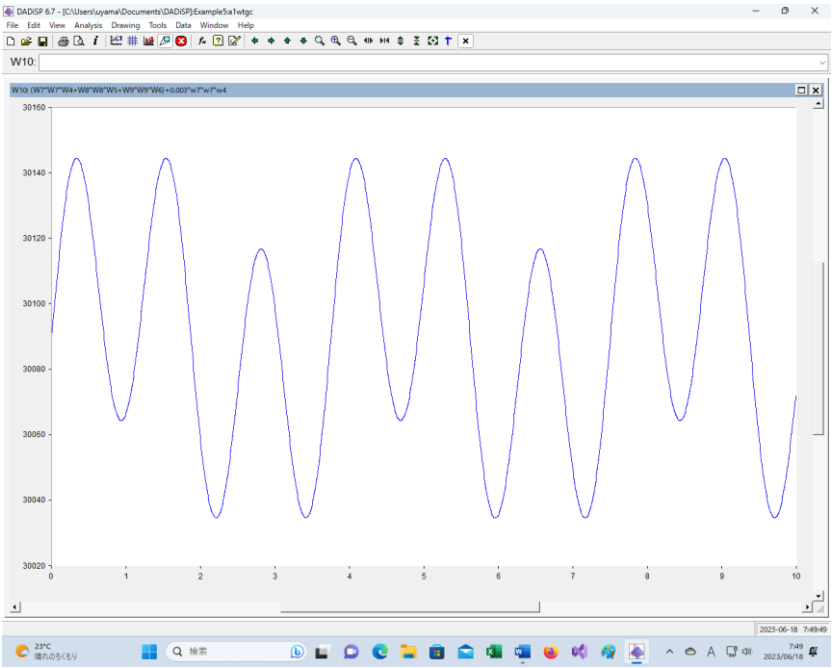
$+1.194\{1+0.65\sin(\omega t)+0.04875(0.5-0.5\cos(2\omega t))-0.0056875(3\sin(\omega t)-\sin(3\omega t))/4$

$=1224.653+0.771\sin(\omega t)-0.0291\cos(2\omega t)+1.699842838\sin(3\omega t)$

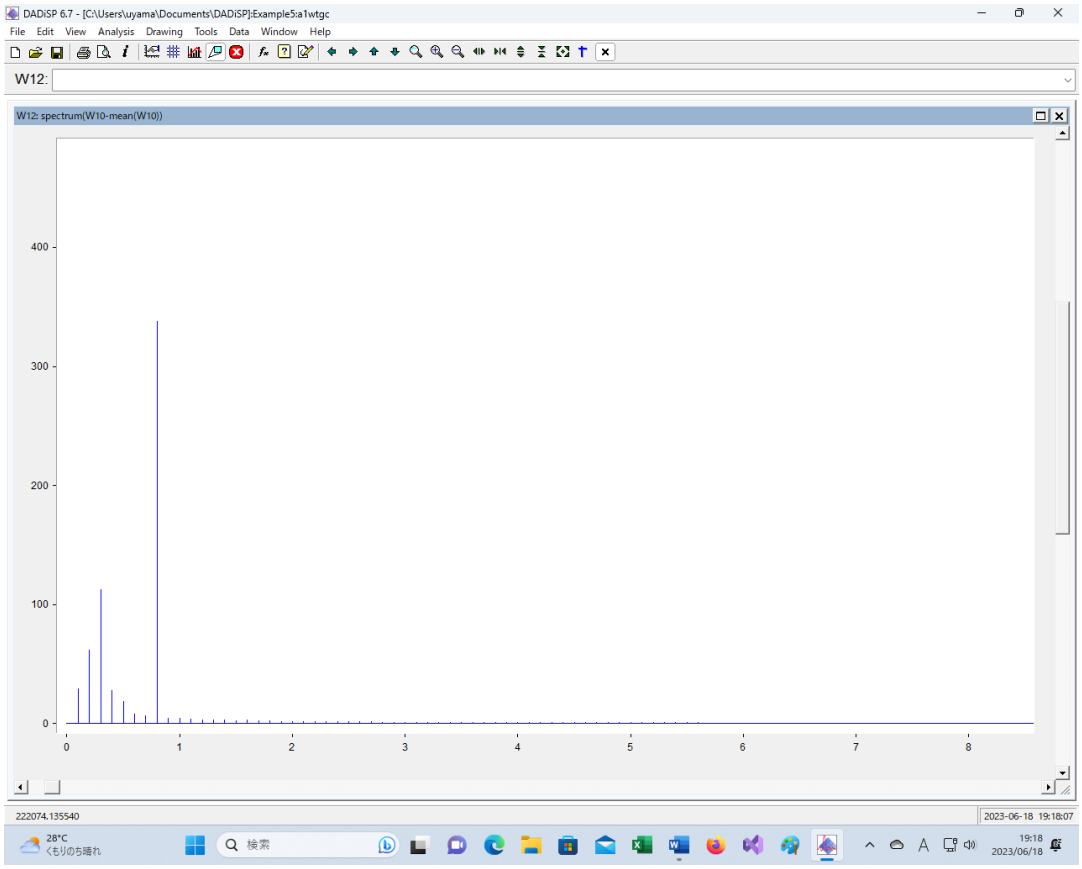
$M=k*g(t)=181.24*(1224.653+0.771\sin(\omega t)-0.0291\cos(2\omega t)+1.699842838\sin(3\omega t))$

$=221956.1097+139.736\sin(\omega t)-5.274\cos(2\omega t)+308.0795159\sin(3\omega t))$

グラフは、(W7*W4+W8*W5+W9*W6)+0.003*w7*w4　より、



となり、



これで、下のグラフの、0.2667Hz 成分 0.5334Hz 成分と 0.8Hz の成分が出現する理由が分かりました。

さて、次のような公式があります。

$$\sin^2\alpha=\frac{1-\cos 2\alpha}{2}\cdots(3.1)$$
$$\sin^3\alpha=\frac{3\sin\alpha-\sin 3\alpha}{4}\cdots(3.2)$$
$$\sin^4\alpha=\frac{3-4\cos 2\alpha+\cos 4\alpha}{8}\cdots(3.3)$$
$$\sin^5\alpha=\frac{10\sin\alpha-5\sin 3\alpha+\sin 5\alpha}{16}\cdots(3.4)$$

$$\cos^2\alpha=\frac{1+\cos 2\alpha}{2}\cdots(3.5)$$
$$\cos^3\alpha=\frac{3\cos\alpha+\cos 3\alpha}{4}\cdots(3.6)$$
$$\cos^4\alpha=\frac{3+4\cos 2\alpha+\cos 4\alpha}{8}\cdots(3.7)$$
$$\cos^5\alpha=\frac{10\cos\alpha+5\cos 3\alpha+\cos 5\alpha}{16}\cdots(3.8)$$

ここで

$$sin^n x$$

について調べてみます。

仮定；$(sinx)^n$は、定数と$\sin(mx)$、$\cos(mx)$（m＝1～ｎ）の一次式で表現できる。
n＝１の場合は、$(sinx)^1=\sin(1x)$と書けるので正しい。
n＝k の時に成立すると仮定すると、

$$(sinx)^{k+1}=f_k(x)*sinx \quad ,\ (f_k(x)\text{は仮定を満たす式})$$

定数*sinx　は条件を満たす。

$$\sin(mx)*sinx=-(\cos(mx+x)-\cos(mx-x))/2$$
$$\cos(mx)*sinx=(\sin(x+mx)+sin(x-mx))/2$$

となるので、

$$f_k(x)*sinx$$

は、定数と$\sin(mx)$、$\cos(mx)$（m＝1～k+1）の一次式で表現できる。
となるので、仮定は正しい。

$$f_n(x)=c_n+\sum_{m=1}^{n}a_m\sin(mx)+\sum_{m=1}^{n}a_m\cos(mx)$$

さて、$(sinx)^n+(\sin\left(x+\frac{2\pi}{3}\right))^n+(\sin(x+\frac{4\pi}{3}))^n$

を考えるには、１次式での和

$$\sin(mx)+\sin\left(m(x+\frac{2\pi}{3})\right)+\sin(m\left(x+\frac{4\pi}{3}\right))$$

$$\cos(mx) + \cos\left(m(x+\frac{2\pi}{3})\right) + cos\,(m\left(x+\frac{4\pi}{3}\right))$$

m＝3k、m＝3k+1，m＝3k+2　（k＝0,1.2，…）
の場合に分けて考える。
一般に、
m＝3k の場合は、

$$\sin(3kx) + \sin\left(3kx+\frac{6\pi k}{3}\right) + \sin\left(3kx+\frac{12\pi k}{3}\right) = 3 * \sin(3kx)$$

$$\cos(3kx) + \cos\left(3kx+\frac{6\pi k}{3}\right) + \cos\left(3kx+\frac{12\pi k}{3}\right) = 3 * cos\,(3kx)$$

m＝3k+1 の場合は、

$$\sin((3k+1)x) + \sin\left((3k+1)x+\frac{6\pi k+2\pi}{3}\right) + \sin\left((3k+1)x+\frac{12\pi k+4\pi}{3}\right) = 0$$

$$\cos((3k+1)x) + \cos\left((3k+1)x+\frac{6\pi k+2\pi}{3}\right) + \cos\left((3k+1)x+\frac{12\pi k+4\pi}{3}\right) = 0$$

m＝3k+2 の場合は、

$$\sin((3k+2)x) + \sin\left((3k+2)x+\frac{6\pi k+4\pi}{3}\right) + \sin\left((3k+2)x+\frac{12\pi k+8\pi}{3}\right) = 0$$

$$\cos((3k+2)x) + \cos\left((3k+2)x+\frac{6\pi k+4\pi}{3}\right) + \cos\left((3k+2)x+\frac{12\pi k+8\pi}{3}\right) = 0$$

となるので

$$f_n(x) + f_n(x+2\pi/3) + f_n(x+4\pi/3)$$

は、定数と$\sin(3mx)$,$\cos(3mx)$ のような形の項だけが残る。
これが、0.8Hz より大きな周波数、1.6Hz、2.4Hz、3.2Hz、4.0Hz でのピーク値の理由です。
　マクローリン展開で展開式を長くしても、$\sin(3mx)$，　$\cos(3mx)$の項だけが残るのです。

塔には、ブレードの揚力による力のほかに、塔自体に吹き付ける風の力もあって風下に向かって少し曲がります。
ブレードの揚力の分は、塔にかかる力を周期的に変動させます。
この力は、
３枚のブレードが均等な場合でも、
３*R/60　[Hz]のほかに、2*３*R/60　[Hz]、　3*３*R/60　[Hz]、　4*３*R/60　[Hz]、…
のような周波数を含んでいます。
さらに、１枚のブレードが少し大きかったり、風に対する角度が他の２枚と少しだけ異なる場合には、
風車にかかる力には、
R/60　[Hz]のほかに、2*R/60　[Hz]、　3*R/60　[Hz]、　4*R/60　[Hz]、
のような周波数成分も含まれることになります。

このような周期的に変化する力が加わった場合の塔の側面の様子については、次の論文を見れば分かります。

円筒の弾塑性純曲げ崩壊に関する研究
陳 玳□ 増田健一 尾崎伸吾
によれば、

円筒の塑性曲げに伴う扁平の特徴 図 に， 肉厚 の円筒について，塑性降伏が生じない ように降伏応力を十分大きい値に設定して求めた， 最大曲げモーメントが生じるまでの，円筒断面の縦方 向半径の短縮 および横方向半径の広がり （ と はそれぞれ，扁平に伴う円筒断面の横方向と 縦方向の半径である）と軸方向の曲率 （中心軸の曲 率）の関係を示す．図には，比較のため円筒の弾性曲 げに対する の理論解析の結果も示している． 図からわかるように，曲げ曲率 が小さいときは両 者はよく一致し，本研究の解析の有効性は確認される． なお， がある程度大きくなると両者の差は現れる が，それは の理論解析において，円筒の扁平 に伴う変位などを十分小さい値としそれらの積などの項を省略した近似手法によるものと考えられる．たと えば，図に示すように， のとき， ま たは は約 であり，もしそれに対応する半 径方向の変位を無限小の値としてそれらの積などを省 略すると， オーダーの誤差が生じる可能 性があることは予想できる． また，図 からわかるように，曲げ曲率 が小さ いときは であるが， の増加に伴い， となる．以下，円筒の扁平を表す指標と して を で除して無次元化した値 を用 いて検討を行う．

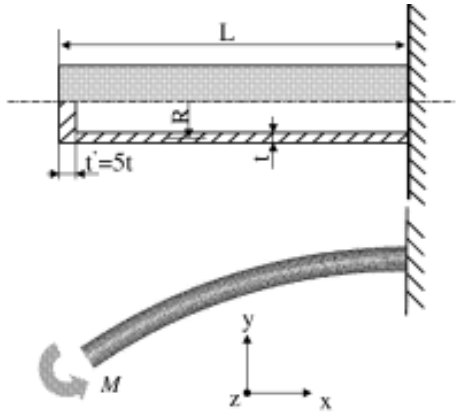
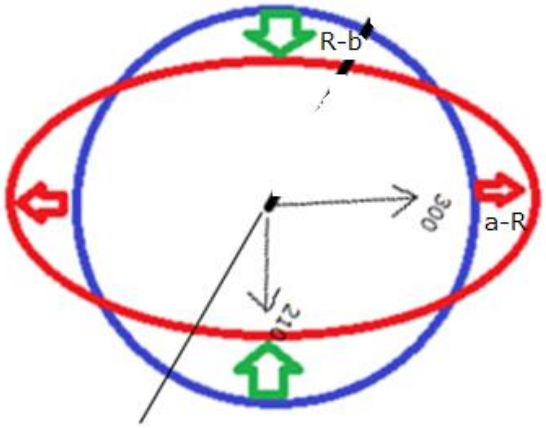


Fig. 1 Tube geometry and loading condition



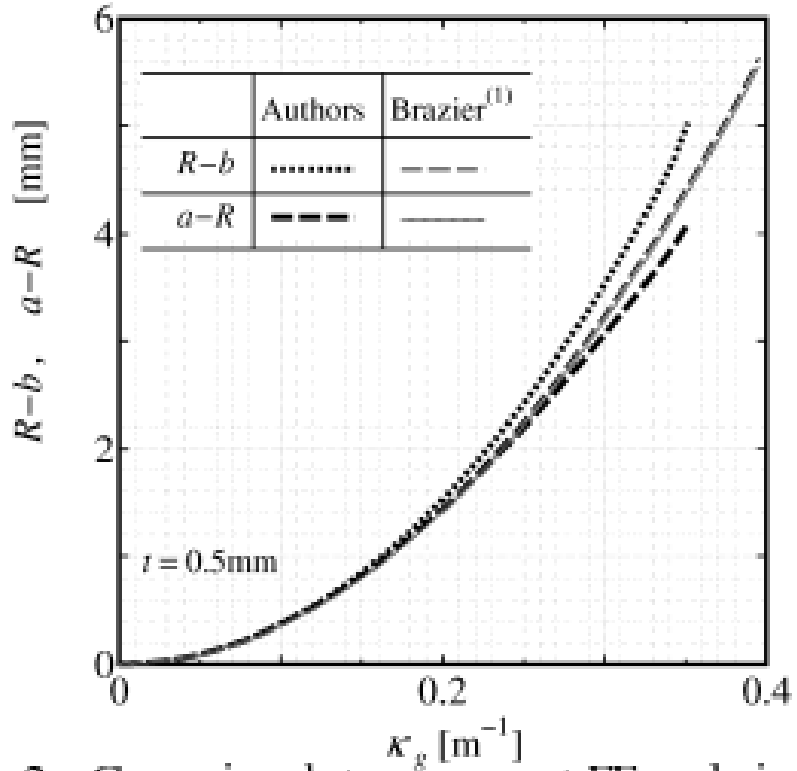
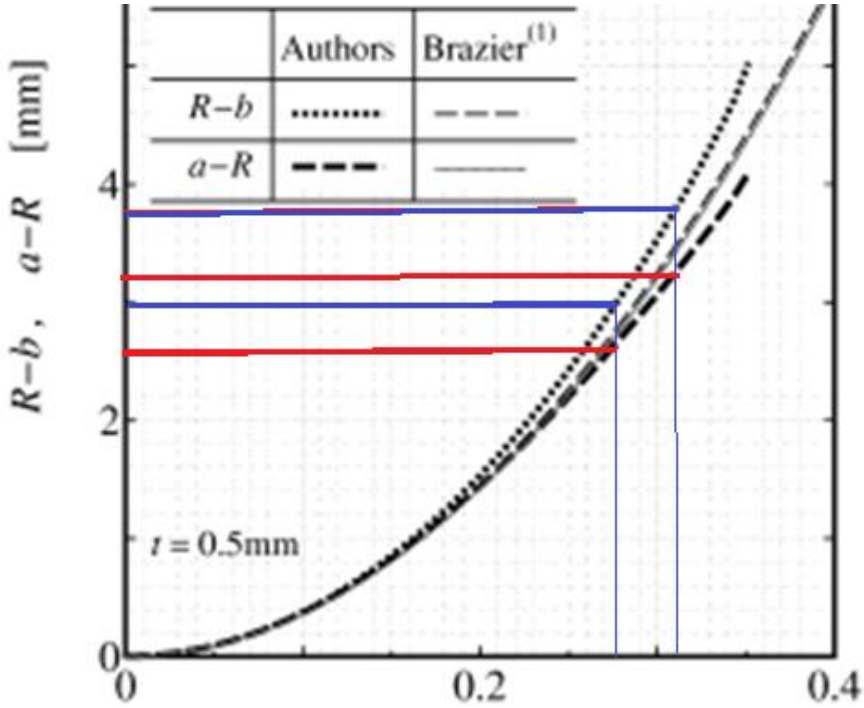


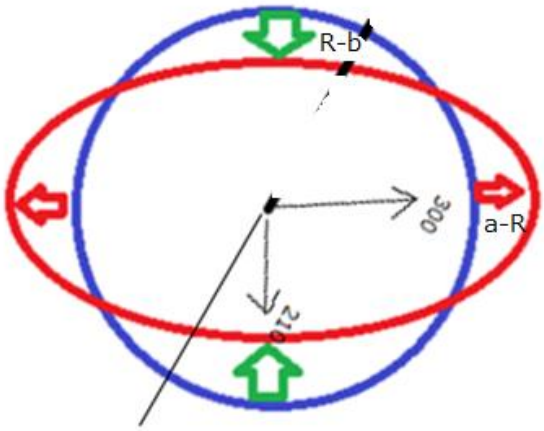
Fig. 2 Comparison between present FE analysis and Brazier's theory(1) for elastic material



上のグラフから、塔にかかる力が変動すれば、それと同じ周期的な変動が、R-b にも、a-R にも起きることが分かります。

傾き加減を見れば、R-b の方が傾きが大きいので、同じ力の変動に対して、R-b の方が大きく変化するのです。

これは、a よりも b の方が大きく変化することを意味します。



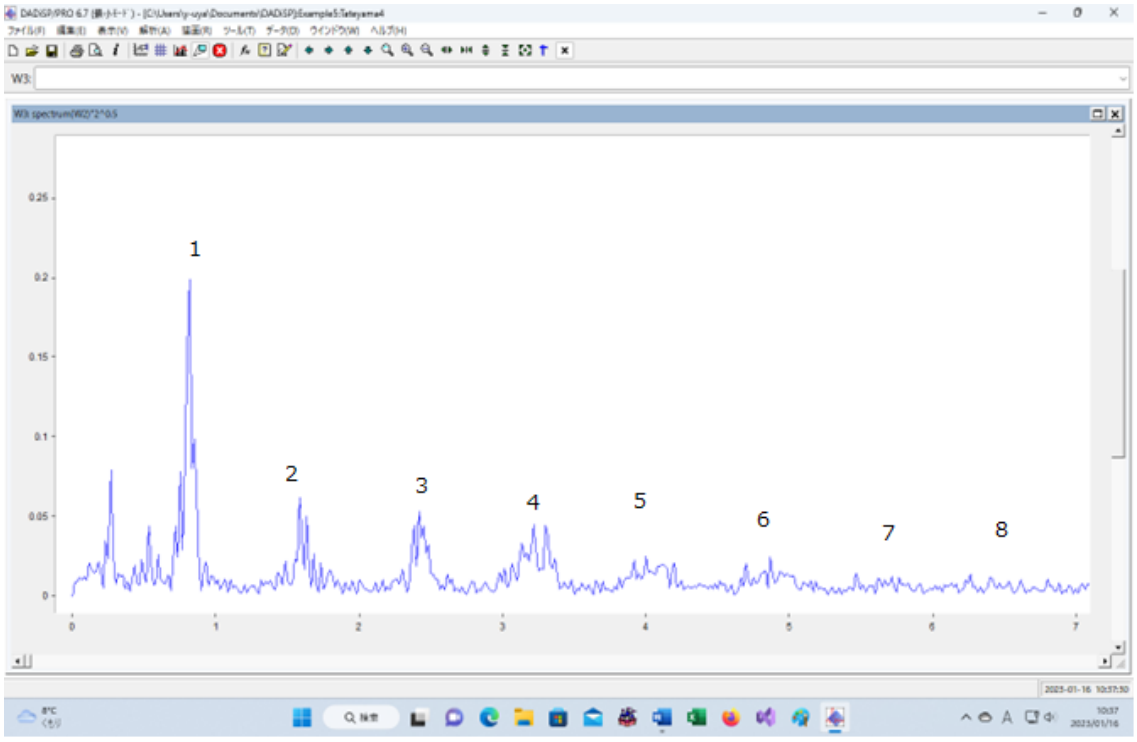
太鼓の面が大きく振動すれば大きな音が出ます。面積が広い方が大きな音になります。よって凹んでいる方の面から出る音の方が大きいのです。

この方向は、揚力ベクトルの方向とその反対側です。

これに直行する方向での、音がそれに次ぎます。

４５度ずれた方向への振動はそれほどないので、風車からの低周波音は十字型の指向性を持っていることが分かります。

これが、0.8Ｈｚ＝3*0.2667Hz 成分、1.6Ｈｚ＝2*3*0.2667Ｈｚ．2.4Ｈｚ＝3.*3*0.2667Ｈｚ、、、や、0.26667Hz、0.533333Hz、の成分が出現する理由です。

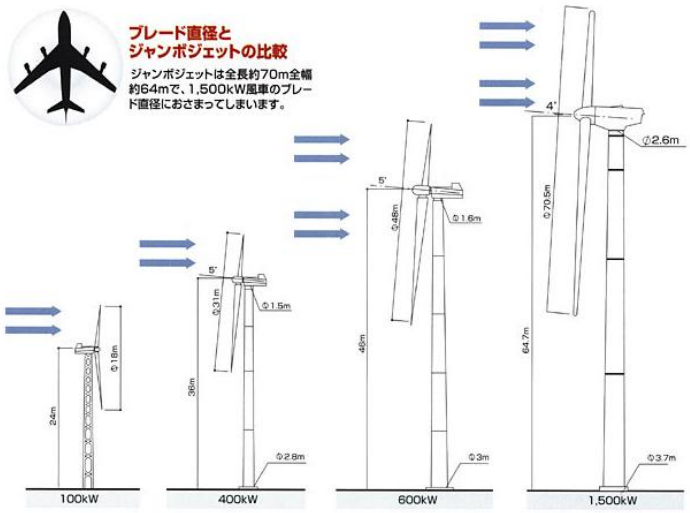


音圧がピーク値となるときの周波数の規則性

周波数	倍率1	倍率2	音圧				
0.266667	1		0.05604				
0.533333	1.999996		0.03093802				
0.816667	3.062497	1	0.01405225	0.816667	1	0.816667	
1.583333	5.937491	1.938774	0.0435531	1.633334	2	1.633334	2
2.416667	9.06249	2.959183	0.02416667	2.450001	3		
3.216667	12.06249	3.938774	0.03173804			3.266668	4
4.000000	14.99998	4.897957	0.01772484	4.083335	5		
4.866667	18.24998	5.959182	0.01728335			4.900002	6
5.466667	20.49998	6.693875	0.01009538	5.716669	7		
6.266667	23.49997	7.673467	0.00978232			6.533336	8
9.783333	36.68745	11.97959	0.03974005				

は、回転モーメントの計算から必然的な結論なのです。

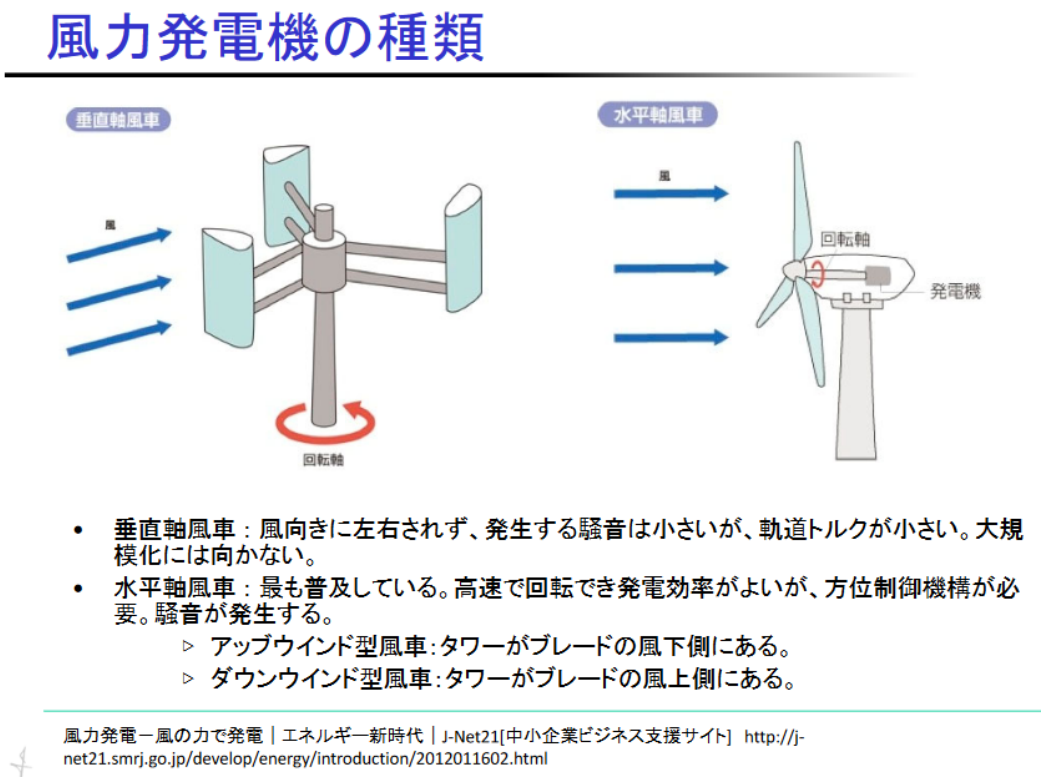
上空の強い風を求めて、風車は大型化しました。



そして、上空の風速は大きいので、ブレードが真上に来る回数＝ブレードが塔の前を通過する回数に対応して、ナセルや塔は揚力ベクトルの方向に大きく振動することになります。この振動による音は、大型風車では 0.5Hz程度の振動数をもち、極めて高い音圧を持っています。

振動の原因は、風車の構造そのものなのです。回転軸が水平の風車では、ブレードは回転軸の中心から見て、かなり上の方の領域で強い風を受けるので、その回数に従った超低周波音（0Hz～20Hz）が発生します。強烈な超低周波音（0Hz～20Hz）の発生原因は、回転軸が水平となっている風車の宿命なのです。

発電効率は良いかもしれないが、風力発電の設備としては、地元住民の目から見れば欠陥商品そのものなのです。

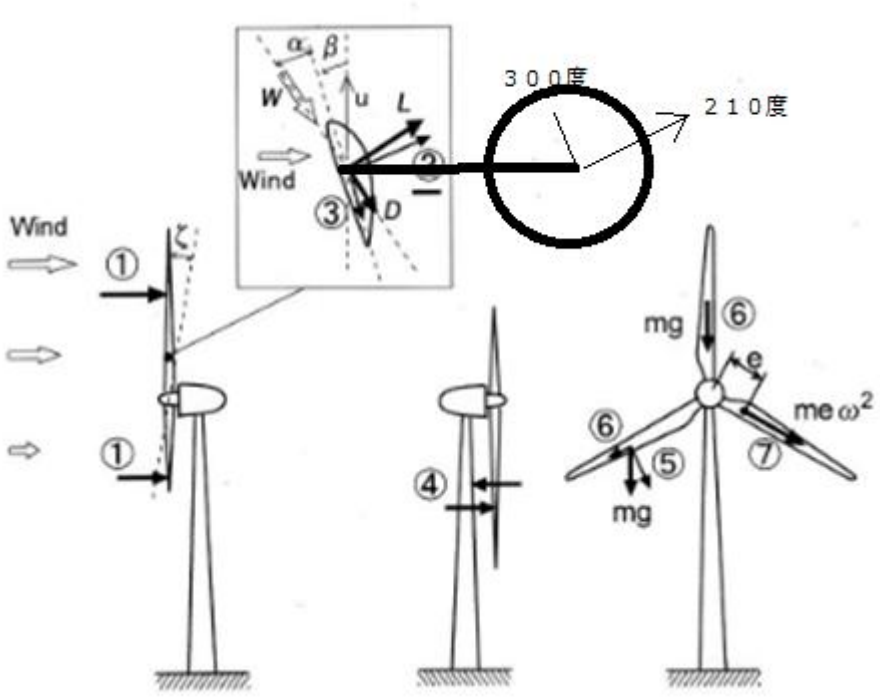


回転軸が垂直の風車は、パリのエッフェル塔に設置されています。とても静かに回転しているとのことです。

次の表は、気象庁が計測したデータを、気象業務支援センターから入手したものです。

年	月	日	時	分	秒	前10秒間最大瞬間風速	前10秒間最小瞬間風速	前10秒間風程
						0.1m/s	0.1m/s	
2019	2	2	0	12	40	147	124	132
2019	2	2	0	12	50	146	107	131
2019	2	2	0	13	0	122	82	102
2019	2	2	0	13	10	105	65	83
2019	2	2	0	13	20	112	71	82

（前 10 秒間風程は、10 秒間に風が進む行程を意味します。132 は秒速 13.2ｍの風速です。）
風速も風向も不安定なのです。



上の図に於いて、回転速度ベクトル U は、慣性を考えると、急激には変化しないと思いますが、風速は急激に変化します。このとき、ベクトル W は方向と大きさを変えます。結果として揚力 L の大きさ変化します。

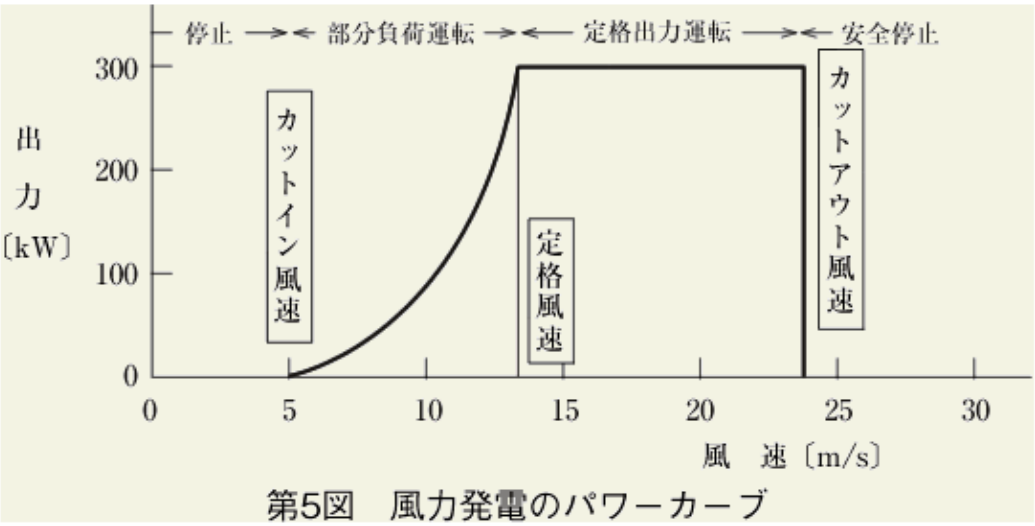
ナセルの部分の揺れ幅や方向も変化します。塔の変形の度合いも変化します。塔が曲がれば断面積は楕円となり、断面積は小さくなります。これは、塔内の容積が減少することになるので、塔内の気柱は圧縮されまる。

塔が大きく変形すれば、大きな圧縮となり、塔の変形が小さければ、圧縮の程度もち小さくなります。容積だけではなく、塔自体の変形の程度も重要です。

風速が変化すれば、それに従って、揚力、塔の容積、塔自身の変形の程度が変化します。これに対応して、風車から放出される、超低周波音の音圧が変化していると考えます。

６．２０．７　回転制御と揚力ベクトル

カットイン風速:3～5m/s
定格風速:8～16m/s(定格出力に依存)
カットアウト風速:24～25m/s



第5図　風力発電のパワーカーブ

回転開始（こうすれば、回転方向の揚力が発生するが、この方法は古い方法だそうです。）

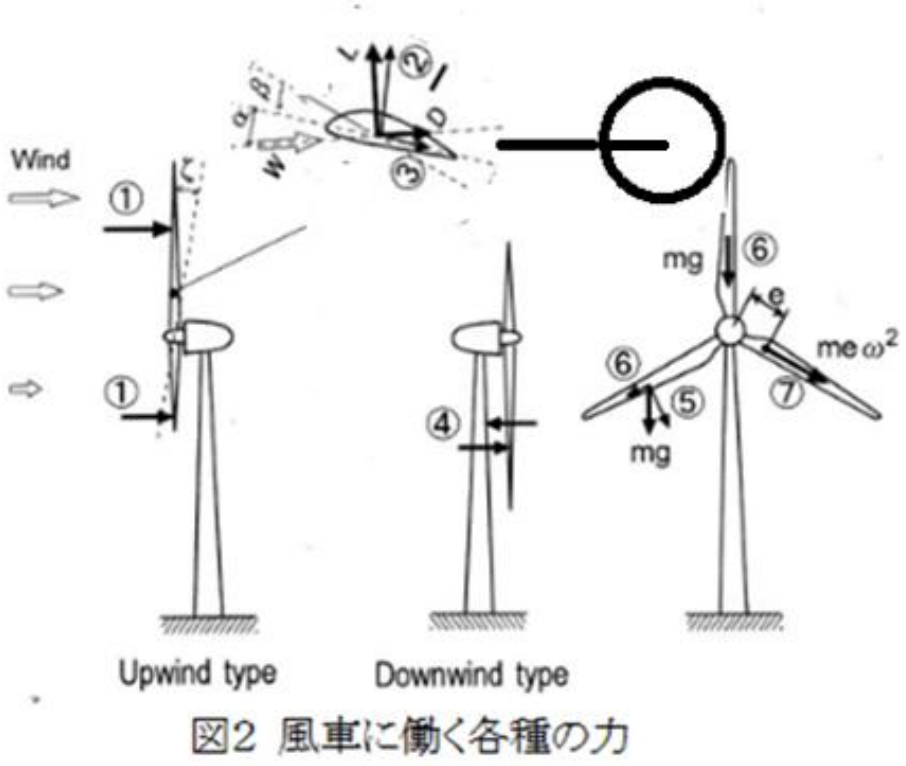
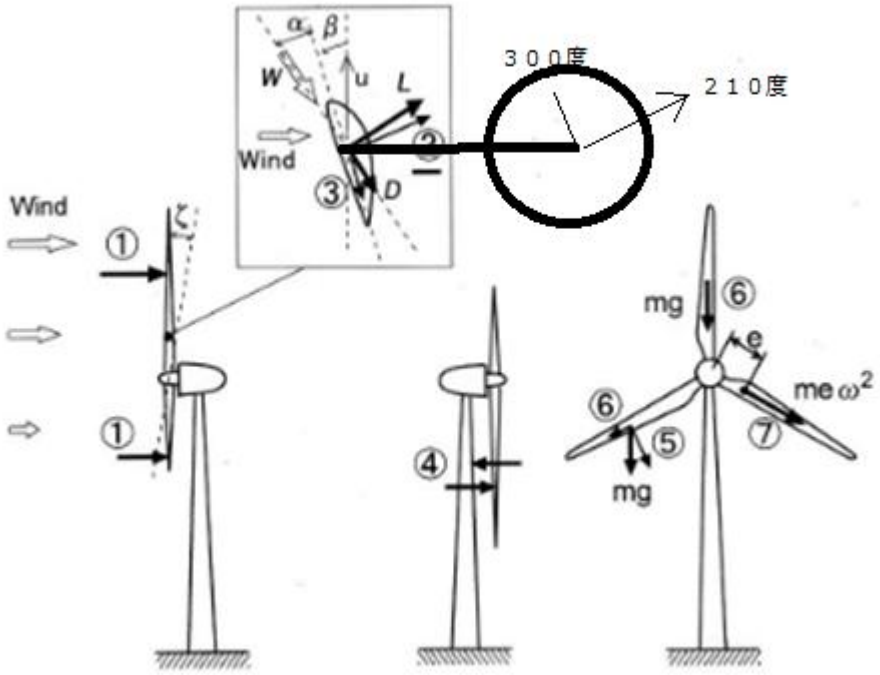


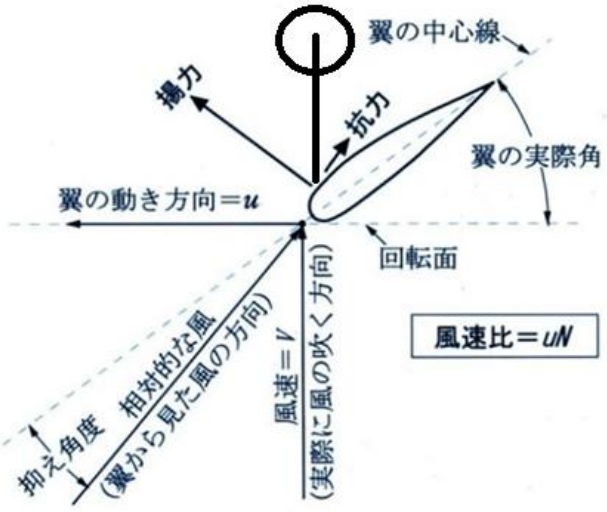
図2 風車に働く各種の力

定常出力運転



となるので、風車は、風下の方向のうち、揚力ベクトルに近い方向に押されて、ナセルの部分は、ブレードが真上に来る周期と同じ周期で、210度方向に大きく振動することになる。と考えます。

ネオマグ株式会社の HP あった図に、ナセルの位置を加えてみました。ナセルはブレードから見て風下にある。回転軸はブレードの回転面に対して垂直である。と考えて丸い印をナセルの場所と考えました。



回転する翼と相対的な風

揚力を、回転面に平行は成分と、垂直な成分に分解すると、ナセルを風下方法に押す力が働くと考えます。また、回転軸が短いことを考えると、ナセルは、210 度の方向（揚力の方向に近い）に大きく動くと考えられます。

見えるからだと考える人もいる。

- 風力発電設備は相当の高さがあり、かつ、見通しの良い場所に設置される場合が多いことから、**景観**への影響が生じる事例あり

とか、

“なお、McCunney らは、多くの研究成果より、風車騒音と関連付けられるわずらわしさ（アノイアンス）との間は線形の関係が見られる傾向にあるが、わずらわしさ（アノイアンス）に関連する要因としては風車騒音は 9%から 13%の範囲の寄与にとどまり、景観への影響等、他の要因の寄与が大きいと考えられると報告している。”

という主張である。

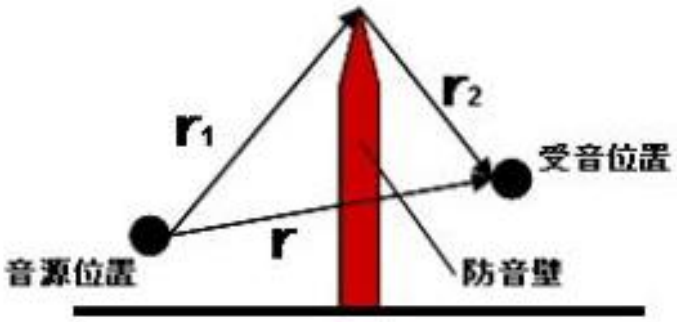
■　防音壁の回折効果　計算方法

防音壁の効果計算例(直接音に対しての減衰量)

点音源に近い場合　減衰量＝10log(0.2+2α/λ)+12.5

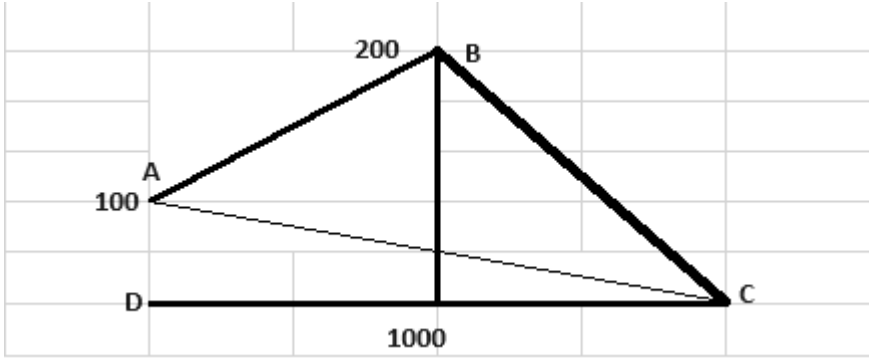
線音源に近い場合　減衰量＝10log(0.4+2α/λ)+8

波長; λ(m)　行路差; α＝r1＋r2－r(m)



※注意

受音点での騒音値は、この上部を回折してきた音と、横からの回折音、及び、防音壁を透過してきた音の合成値となります。



AD は高さ 100ｍの風車、Ａが点音源とする。Ｂは高さ 200ｍの山、Ｃは民家とする。

距離は AB＝BC=AC=の

防音壁を介した伝搬音を求める場合、防音壁を透過してくる音が十分小さい条件であれば、音源近傍の音圧レベルから、防音壁を考慮しない直線距離での距離減衰量を減じ、さらに計算図等から求めた回折減衰量を差し引くことで、受音点の音圧レベルを計算できる。図 2 の条件において、防音壁を介した伝搬音を計算した例を図 3 に示す。

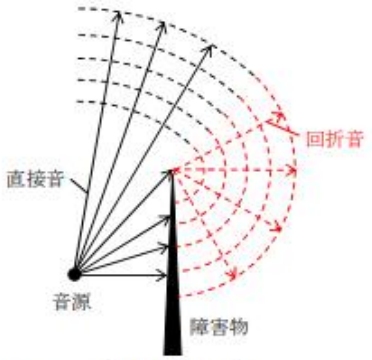


図 1　音の回折現象

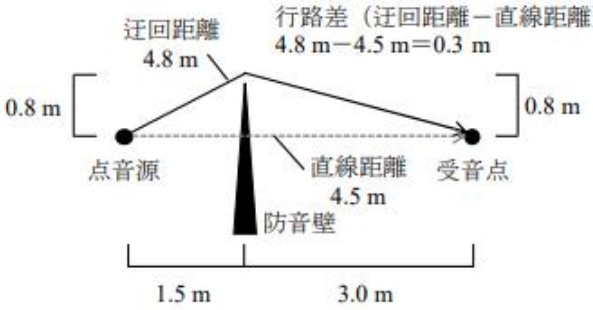
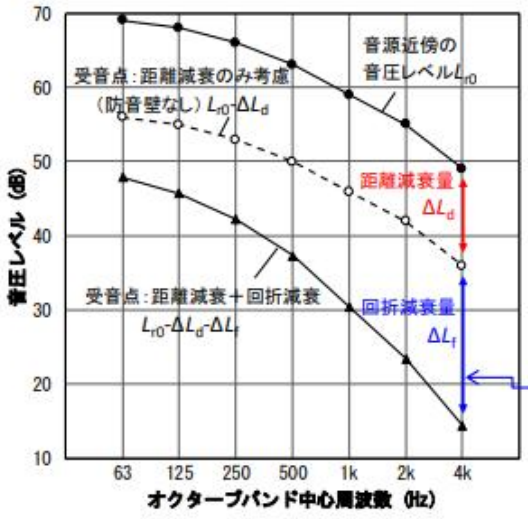


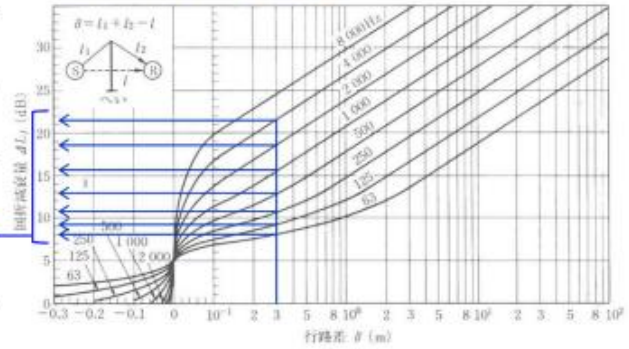
図 2　防音壁を介した伝搬音の計算条件



音圧レベル計算結果

計算式：$L_r = L_{r0} - \Delta L_d - \Delta L_f$

L_r:受音点の音圧レベル（dB）
L_{r0}:音源近傍の音圧レベル（dB）
ΔL_d:距離減衰量（dB）
ΔL_f:回折減衰量（dB）



出典：日本建築学会編：実務的騒音対策指針　応用編（一部加筆）

計算図による回折減衰量の評価

山があって風車が見えないときは、山が防音壁の役目をします。

ければ、風車からの音は

ｲ. 障壁等の回折による減衰の算出

回折による減衰（A_T）の算定は以下のとおりとした。

$$A_T = D - A_G$$

$$D = 10\,log_{10}\left[3 + \left(C_2/\lambda\right)C_3 z K_W\right]$$

［記号］

D　：地表面による減衰も含めた障壁の遮蔽効果（dB）

A_G　：障壁がない場合の地表面による減衰量（dB）

C_2　：＝ 20

C_3　：＝ 1（単一障壁）

C_3　：＝ $\left[1+(5\lambda/e)^2\right]\left[(1/3)+(5\lambda/e)^2\right]$　（複数の障壁の障壁間距離）

λ　：オクターブバンド中心周波数の波長（m）

z　：直接音と回折音の経路差（m）

K_W　：気象条件による補正項

$K_W = exp\left[-(1/2{,}000) \times \sqrt{(d_{ss} \times d_{sr} \times d)/2z}\right]$　$z > 0$の場合

$K_W = 1$　$z \leq 0$の場合

ウ. 地表面による減衰の算出

地表面による補正（A_G）は、地表面を音源領域、中間領域、受音点領域の3つの領域に分け、以下のとおり算出した（ISO 9613-2）。

- 音源領域：音源から受音点方向へ距離$30h_s$まで広がり、その最大値はd_p（h_sは音源高さ、d_pは音源から受音点までの地表面上への投影距離）
- 受音点領域：受音点から音源方向へ距離$30h_r$まで広がり、その最大値はd_p（h_rは受音点高さ）
- 中間領域：音源と受音点の間に広がる領域。$d_p < 30h_s + 30h_r$の時、音源領域と受音点領域は重なり、この場合には中間領域はない。

それぞれの地表面領域の音源特性は地盤係数Gにより区分される。3つの反射特性を次のように区分する。今回は、安全側の予測となるようにG=0とした。

固い地表面：舗装面、水、氷、コンクリート及び他の多孔性の低い全ての地表面。$G=0$。

多孔質な地表面：草木、樹木、他の植栽で覆われている地表面と農地のように植栽可能な地表面。$G=1$。

混合地表面：地表面に固い地表面と多孔質な地表面が混ざり合っている場合、Gは0から1までの間の値をとり、その値は全体のうちの多孔質な地表面が含まれる割合で決まる。

音源領域、受音点領域及び中間領域の地表面効果による減衰を計算する場合は、表10.1.3-13の中の式を用いて計算する。そして、地表面効果による減衰は、次式のとおりこれらの合計で表される。

$$A_G = -\Delta L_{grnd}$$

$$\Delta L_{grnd} = \Delta L_{grnds} + \Delta L_{grndr} + \Delta L_{grndm}$$

［記　号］

ΔL_{grnds}　：音源領域の地表面効果による減衰（dB）

$\Delta L_{grnd,r}$　：受音点領域の地表面効果による減衰（dB）

$\Delta L_{grnd,m}$　：中間領域における地表面効果による減衰（dB）

表 10.1.3-13　地表面効果による減衰の計算表

オクターブバンド中心周波数	$\Delta L_{gnd,s}$ あるいは $\Delta L_{gnd,r}$	ΔL_{gnd} =
(Hz)	(dB)	(dB)
63	1.5	$3q$
125	$1.5-G\cdot a'(h)$	$3q(1-G)$
250	$1.5-G\cdot b'(h)$	
500	$1.5-G\cdot c'(h)$	
1000	$1.5-G\cdot d'(h)$	
2000	$1.5(1-G)$	
4000	$1.5(1-G)$	
8000	$1.5(1-G)$	

ここで、

$$a'(h)=1.5+3.0\cdot e^{-0.12(h-5)^2}\left(1-e^{-d_p/50}\right)+5.7\cdot e^{-0.09h^2}\left(1-e^{-2.8\cdot10^{-6}\cdot d_p^2}\right)$$

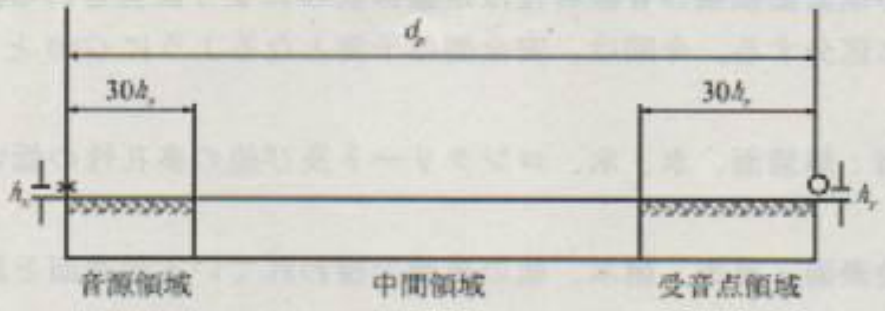
$$b'(h)=1.5+8.6\cdot e^{-0.09h^2}\left(1-e^{-d_p/50}\right)$$

$$c'(h)=1.5+14.0\cdot e^{-0.46h^2}\left(1-e^{-d_p/50}\right)$$

$$d'(h)=1.5+5.0\cdot e^{-0.9h^2}\left(1-e^{-d_p/50}\right)$$

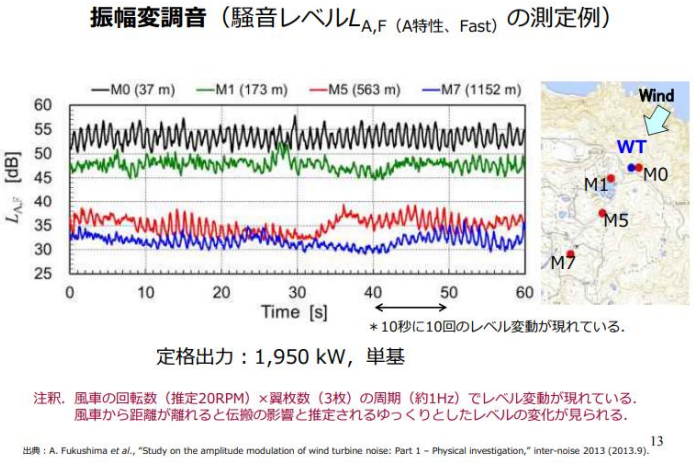
$$q=0 \qquad d_p\le 30(h_s+h_r)$$

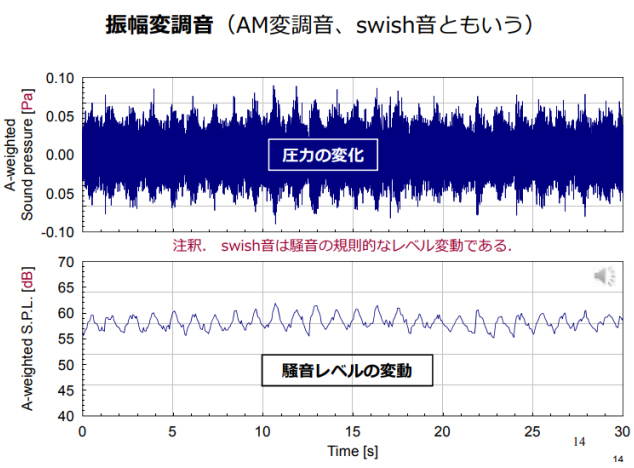
$$q=1-\frac{30(h_s+h_r)}{d_p} \qquad d_p>30(h_s+h_r)$$



地表面による減衰を考慮するための3領域

６．２２　振幅変調音



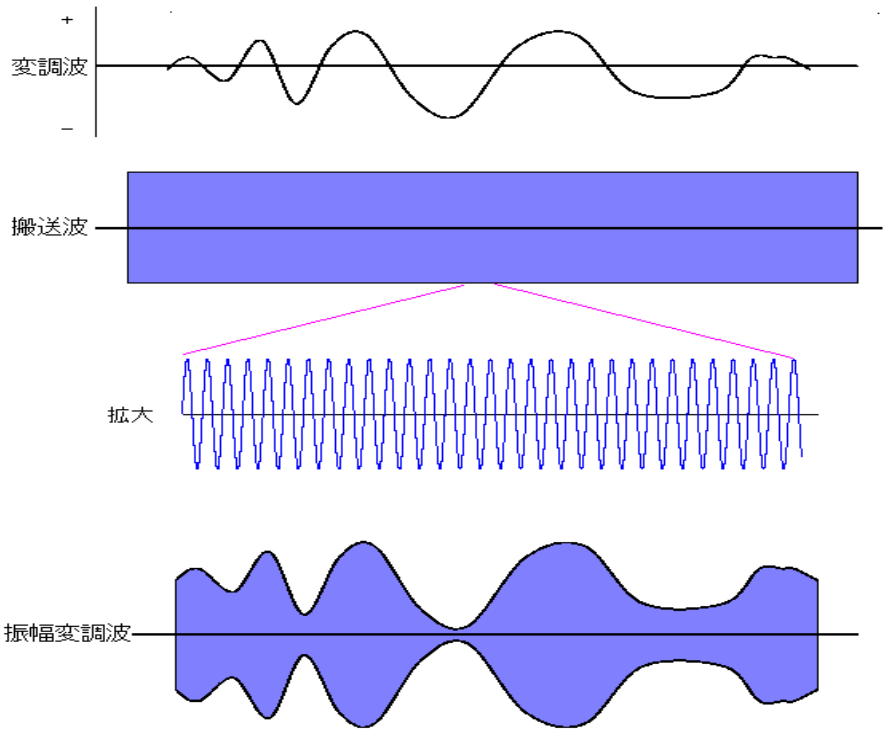


振幅変調に関して確認します。
（AM 変調音は、M と変調が重複している変な言葉です。使うなら AM 音とすべきです。）

振幅変調音について確認しておきます。

振幅変調について

振幅変調とは、通信変調方式の一つで、主として音声信号からなる情報を、電波や光の波の振幅を変化させることで伝達する。以下の図では、振幅変調により変調された変調波を、縦軸を電圧値[V]、横軸を時間[Sec.]として、時間の関数として説明する。



上図では、音声信号等の変調周波数帯に対し、それを伝送するための搬送波（キャリア、英語: carrier wave）

の周波数として、変調周波数帯（20Hz～20kHz）より相対的にかなり高い周波数帯（中波放送で 500～1300kHz）を使用するため、搬送波の波形の一部を拡大して表現した。変調波は、電圧振幅値が正の最大値になると振幅変調波の振幅電圧値が最大になり、逆に、同変調波が負の最大値になると振幅電圧値が最小になる。詳細は理論の項を参照。ここでは、変調波を信号波（送信しようとしている原信号（音声や音楽等））と読み替えてよい。

あくまでも、搬送波のような高い周波数の波があり、その振幅が比較的周波数の低い波によって変調されるという概念であって、振幅が変調される搬送波部分が無ければ、無意味な概念となる。

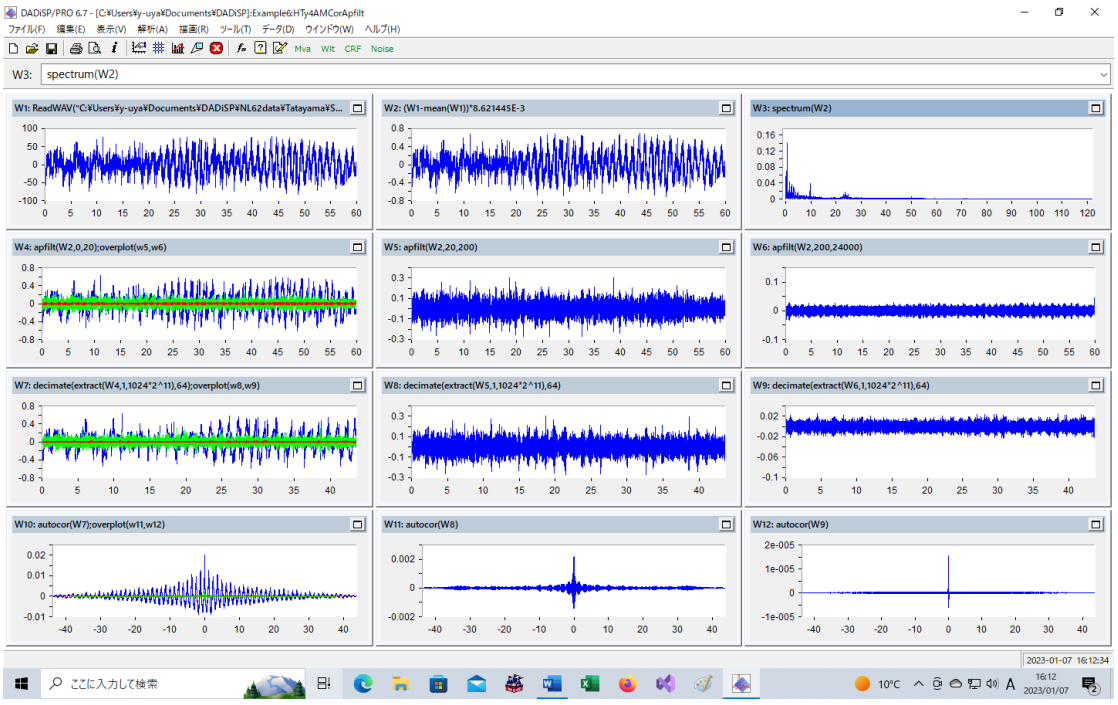
風車騒音の場合は、振幅が変調されるのは、何ヘルツの波なのか？そもそも変調の対象となる波が存在しないのである。

振幅が変動する波と言う意味ならば、振幅変動波と呼ぶべきであり、すでに概念の確立している振幅変調波の用語を使うべきではない。

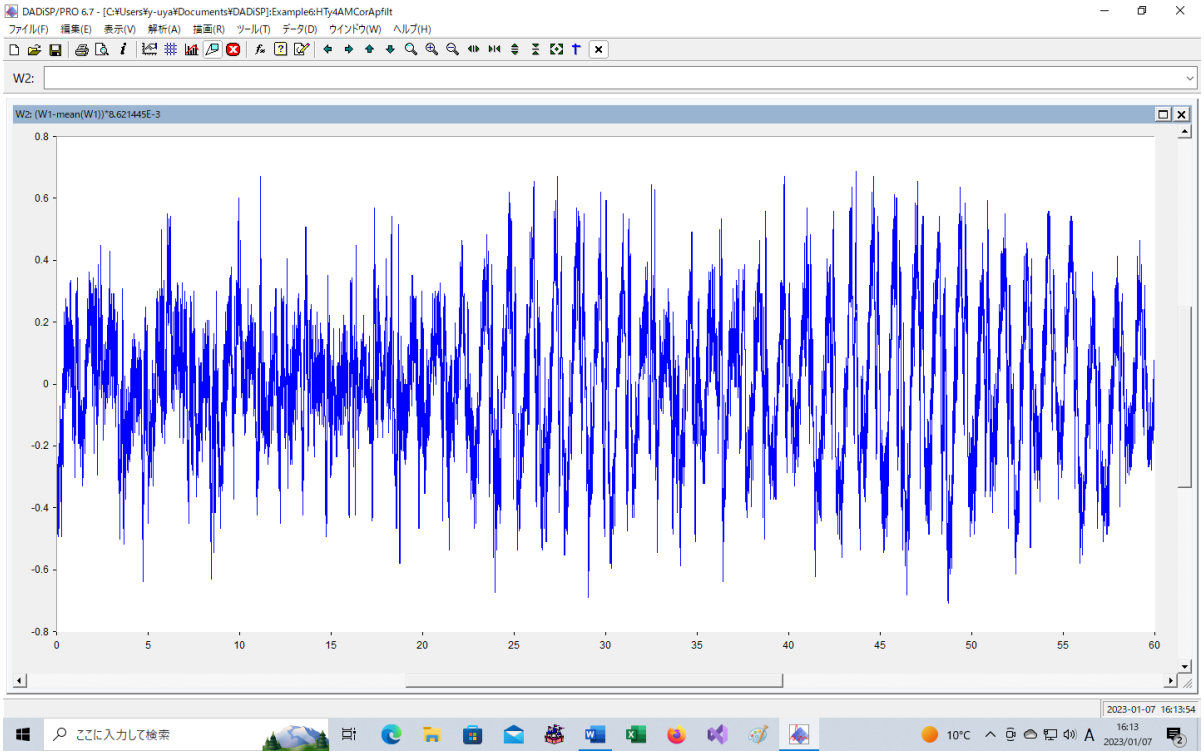
低周波音波を、$Asin(\omega t)$ 、高周波音をと$Bsin(200\omega t)$書いてみたときに、
（A＞ 0 , B＞ 0 で A, B はほぼ等しいとしておく。）
振幅変調は、$\left(B+0.1Asin(\omega t)\right)*sin(200\omega t)$ のように、振幅 B が変動するべきである。
観測された風車音の場合は、$Asin(\omega t)+00.1Bsin(200\omega t)$のような形であり、強い超低周波音の上に、弱い高周波成分が作用して、小さな波が立っているような状態である。

館山の風車騒音のデータを使って考えます。
風車音そのものを全体としてみた場合には、振幅は変動しています。しかし、搬送波に当たるものがあって、その振幅が変化しているとは言えないのです。

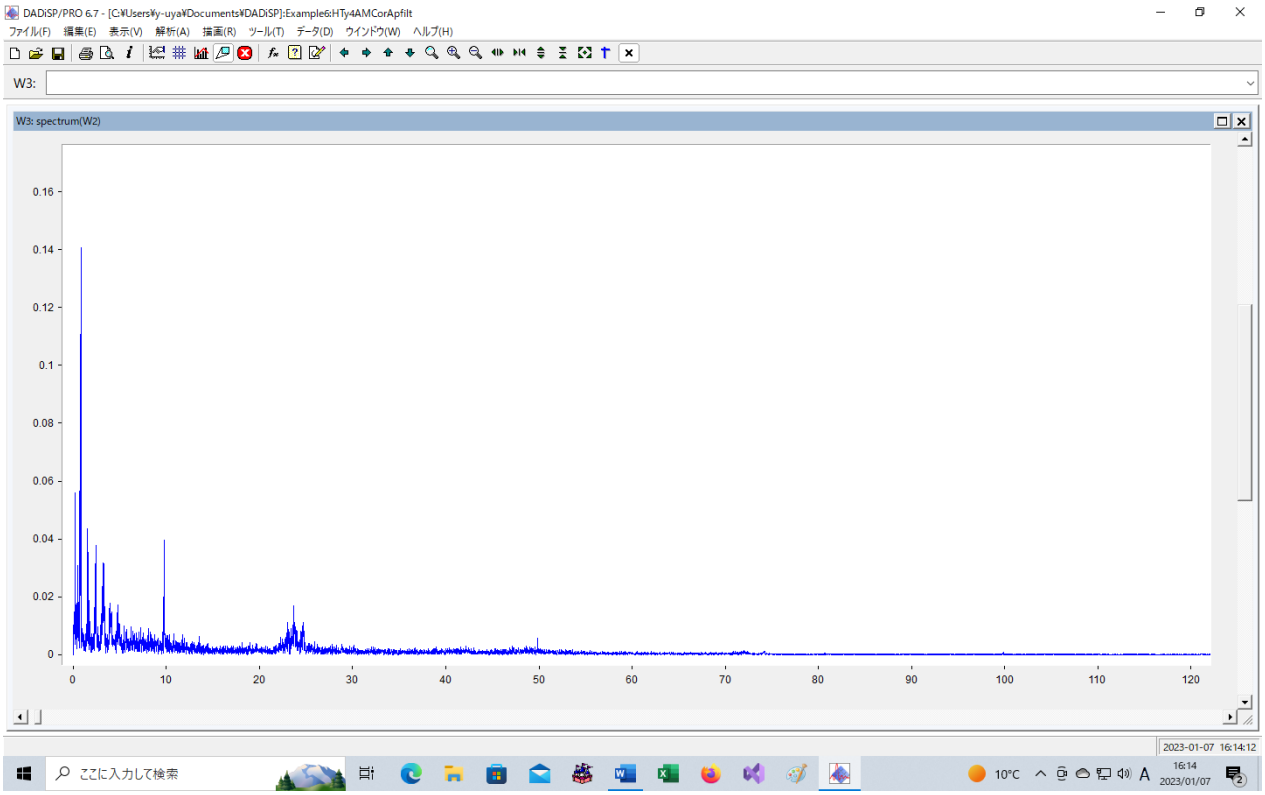
風車音の特徴を、次の DADISP ワークシートで調べてみました。



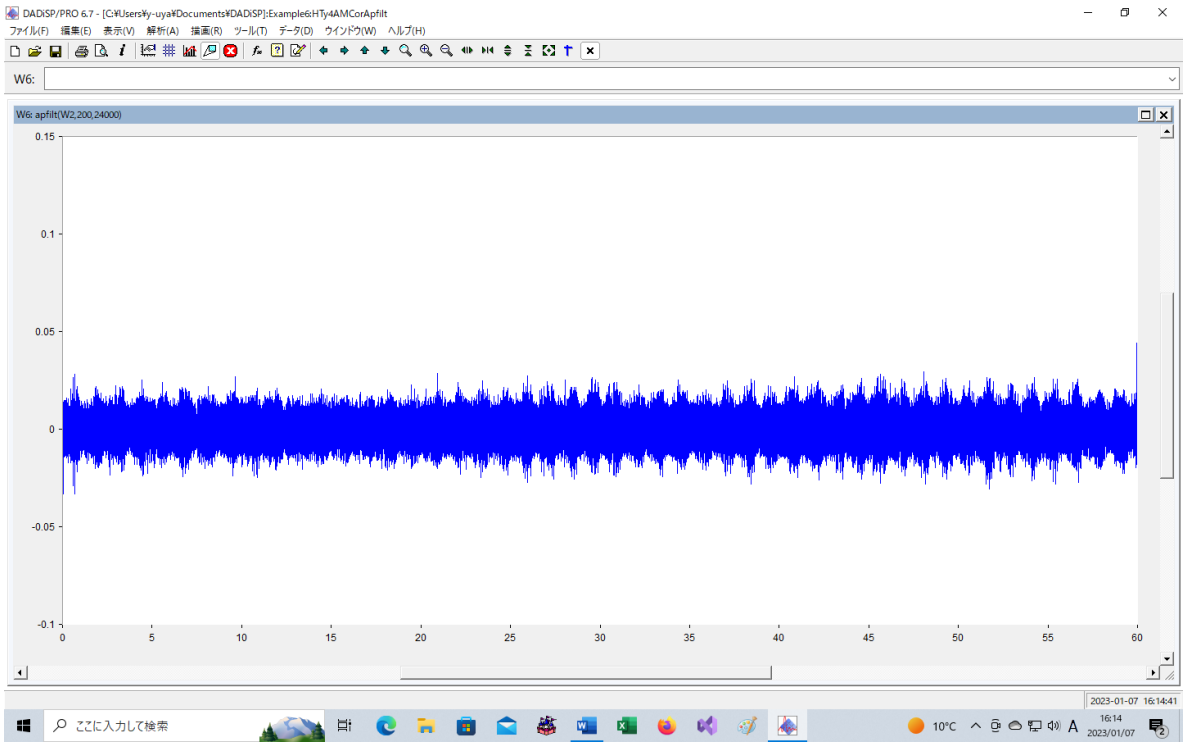
風車音を60秒計測したデータを表すグラフは次のものです。(これが風車音そのものです。)



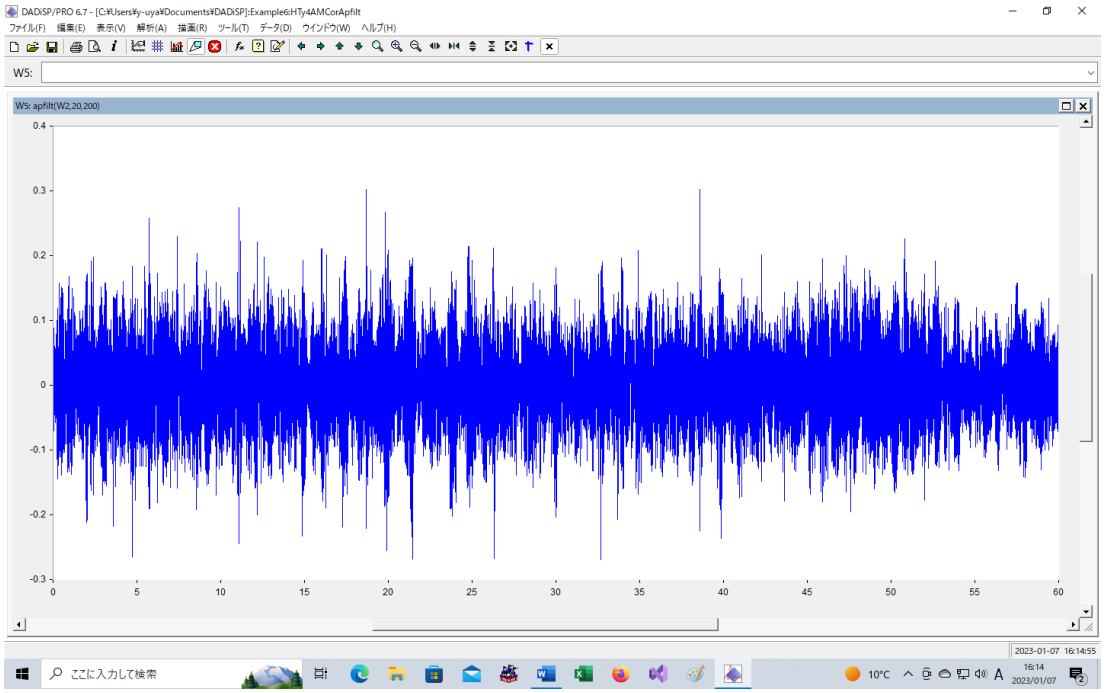
低周波部分を拡大した、周波数スペクトルは次のグラフです。50Hz 以下の成分が大半を占めています。このグラフからも、200Hz 以上の成分は、微弱なものであることが分かります。



FFT は逆変換が出来るので、元の波形から、200Hz～24000Hz の成分を取り出しました。
確かに、振幅が変動しています。

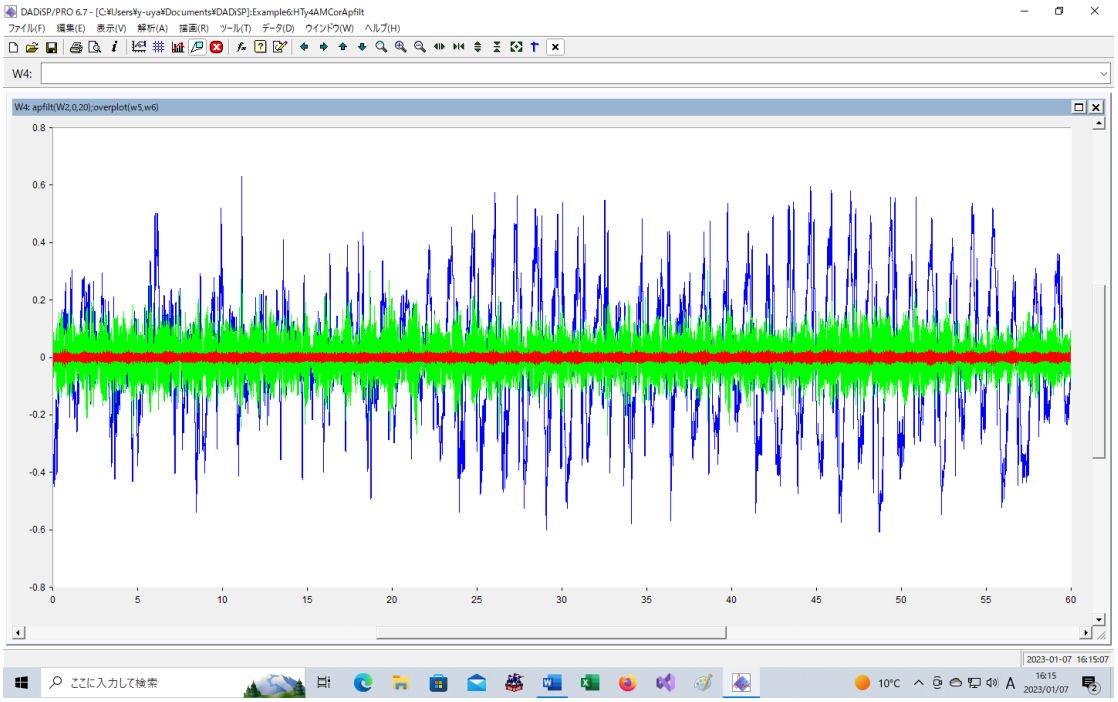


同様に、20Hz～200Hzの成分を取り出しました。



同様に取り出した、0Hz～20Hzの超低周波音成分を青で、20Hz～200Hz の成分を緑で、200Hz～24000Hz の成分を赤で、重ね書きしてみました。高い音圧を持っているのは、超低周波音の成分であることが分かります。

赤い部分の 200Hz 以上の成分は、他の成分に比べて、極めて弱い音であることが見て取れます。

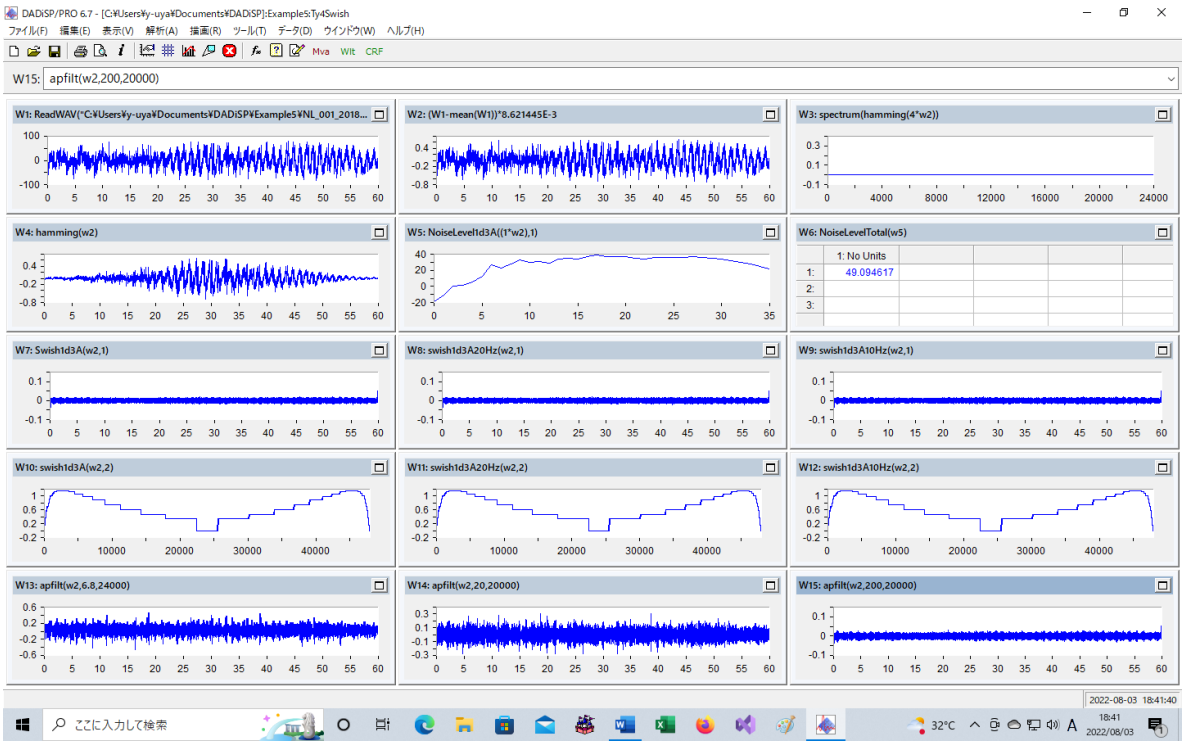


赤の部分は、微弱で周波数が高いのですから、部屋の中で窓を閉めて、24dB 程度の減衰があることを考えれば、室内での被害の原因とはなりません。超低周波音（0Hz～20Hz）の部分は、エネルギー透過率が高いので窓を閉めても、7dB 程度の減衰しか期待できませんので、室内での被害に関しては、この影響は無視できません。

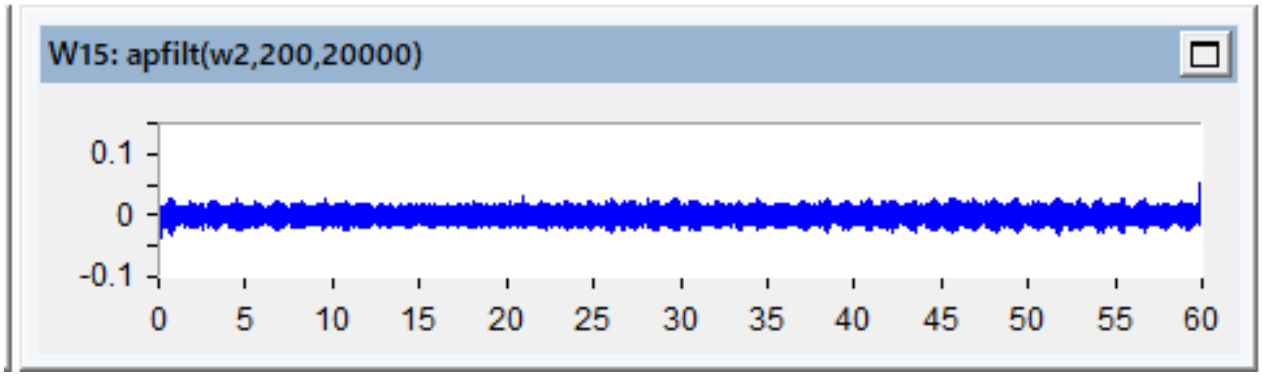
日本家屋は、固有振動数が 1Hz 程度であり、大型化する風車から出てくる音の音圧が最大となるのは、1Hz よりも低い周波数となっているのです。しかも、風車音のエネルギーの 93%以上を超低周波音が持っているのです。

振幅変調と言える現象については、A 特性での重み付けを使っても把握できます。

Ty4Swish

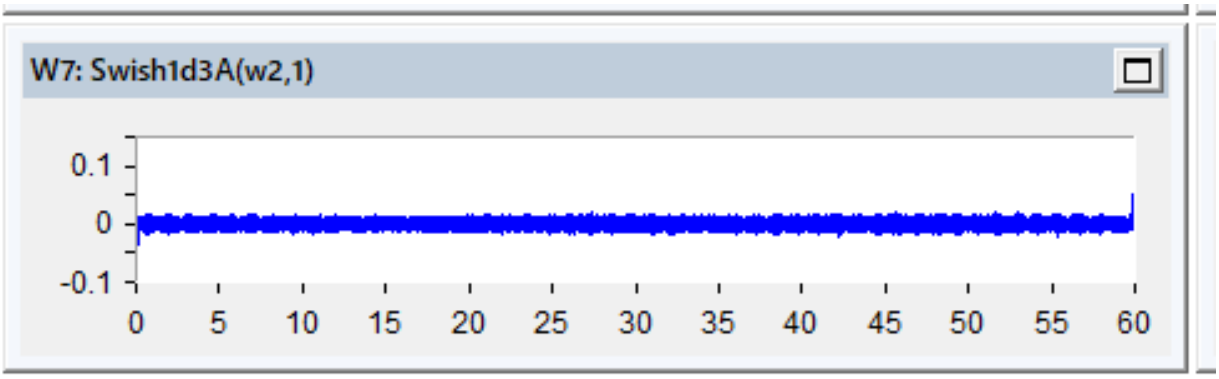


200Hz から 20ｋHz の音を取り出してみれば、次の図になります。



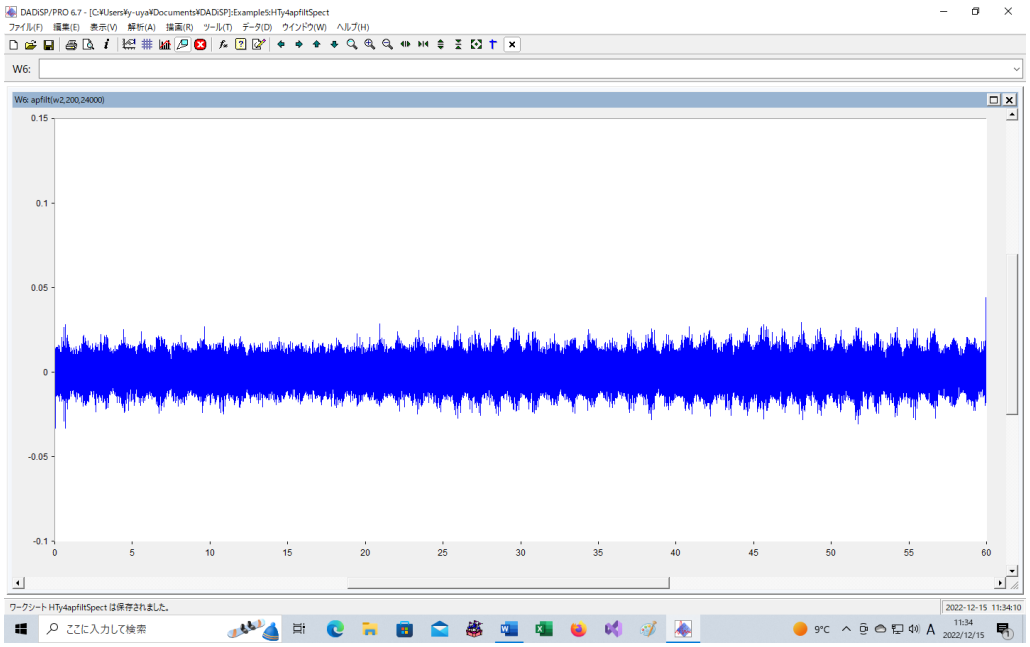
この現象は振幅変調と呼べます。

さらに、A 特性を考慮して、可聴域の部分を取り出せば、



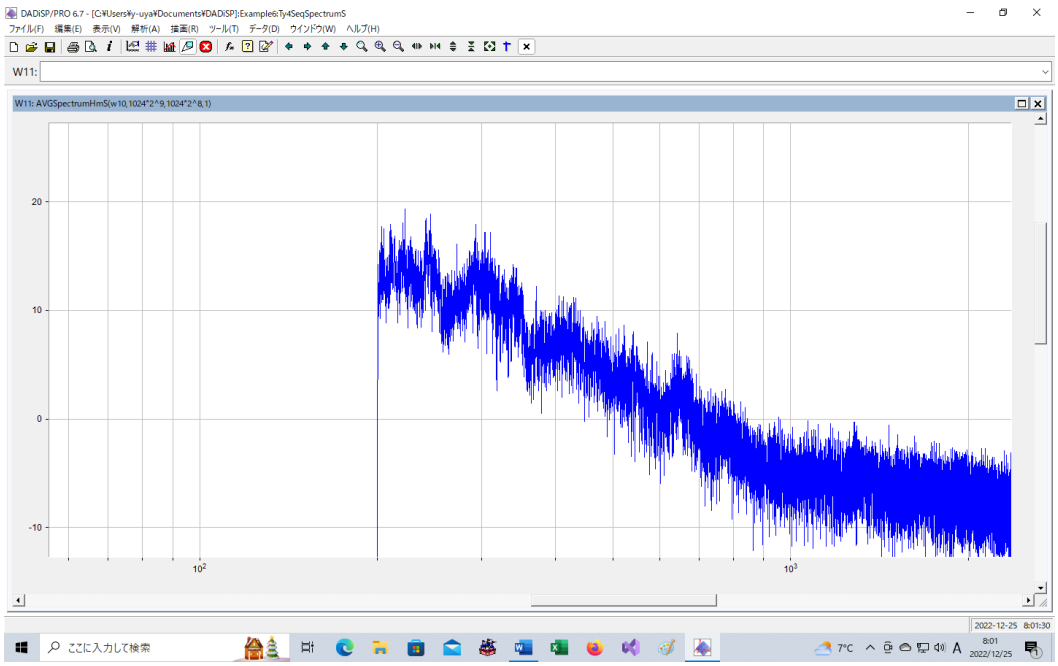
上の図が得られます。この意味では、可聴域の音は振幅変調音として人間の聴覚を刺激すると言えます。

200～24000Ｈｚの成分だけならば、次の図になります。



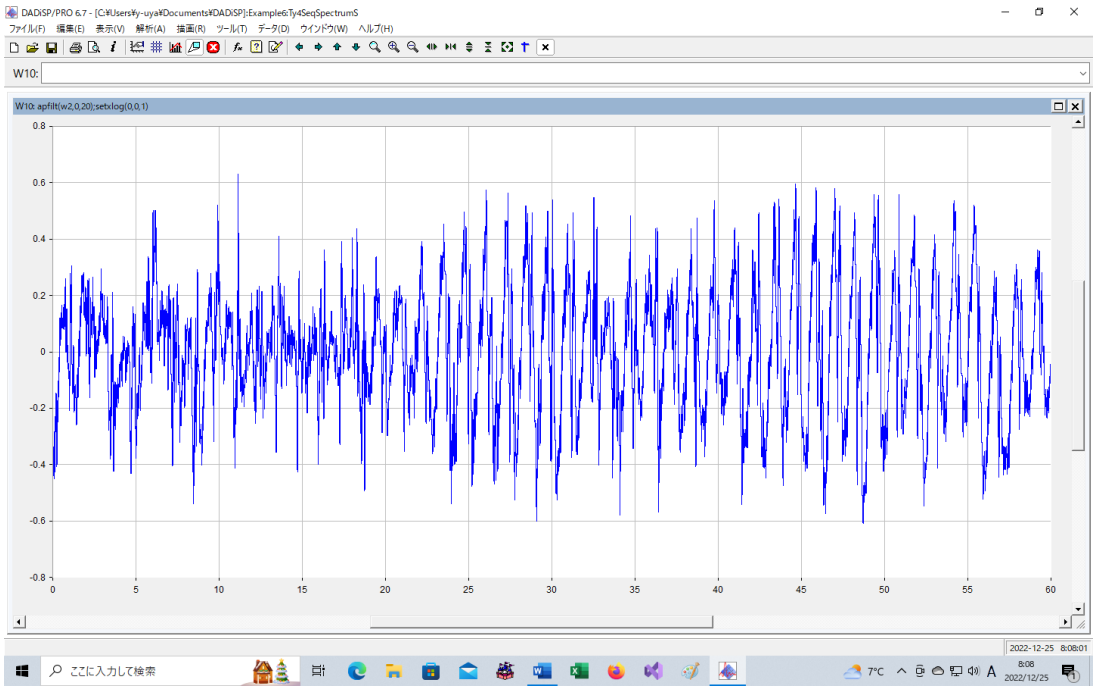
ここでは、振幅変調と言える現象がみられる。

この高周波成分の音圧レベルは、次のグラフのように、15ｄＢから 18ｄＢ程度です。

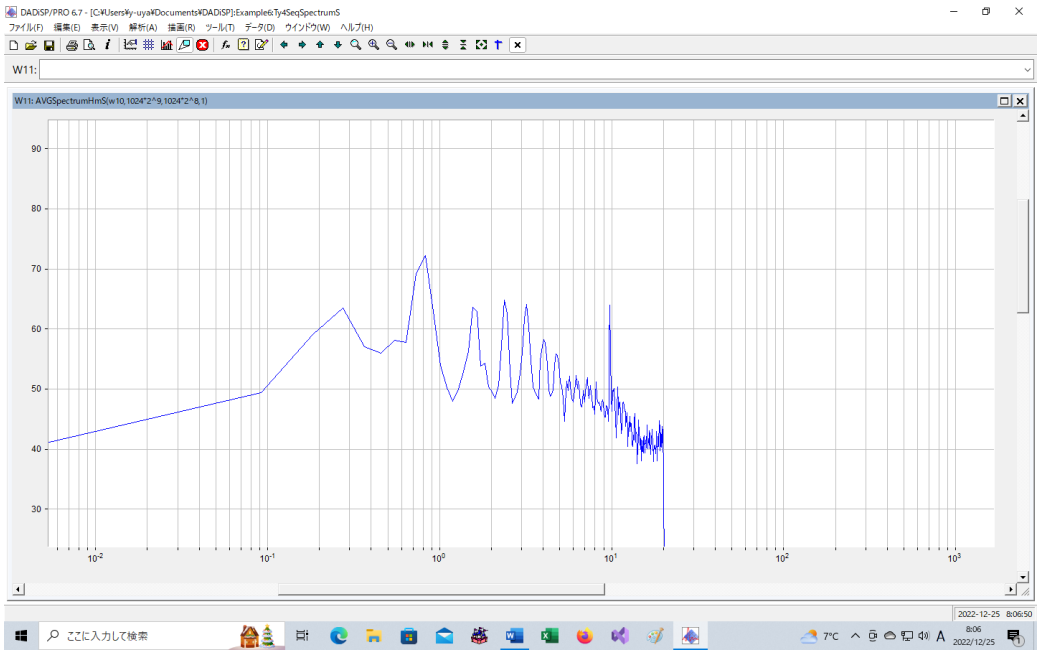


防音窓での減衰を 24ｄＢ とすれば、－11ｄＢ～―6ｄＢ程度です。
この部分の変動を室内で感知するのは困難です。

0Hz～20Hz の周波数成分は、次のようであり、



音圧レベルは、50ｄＢ～70ｄＢ程度です。

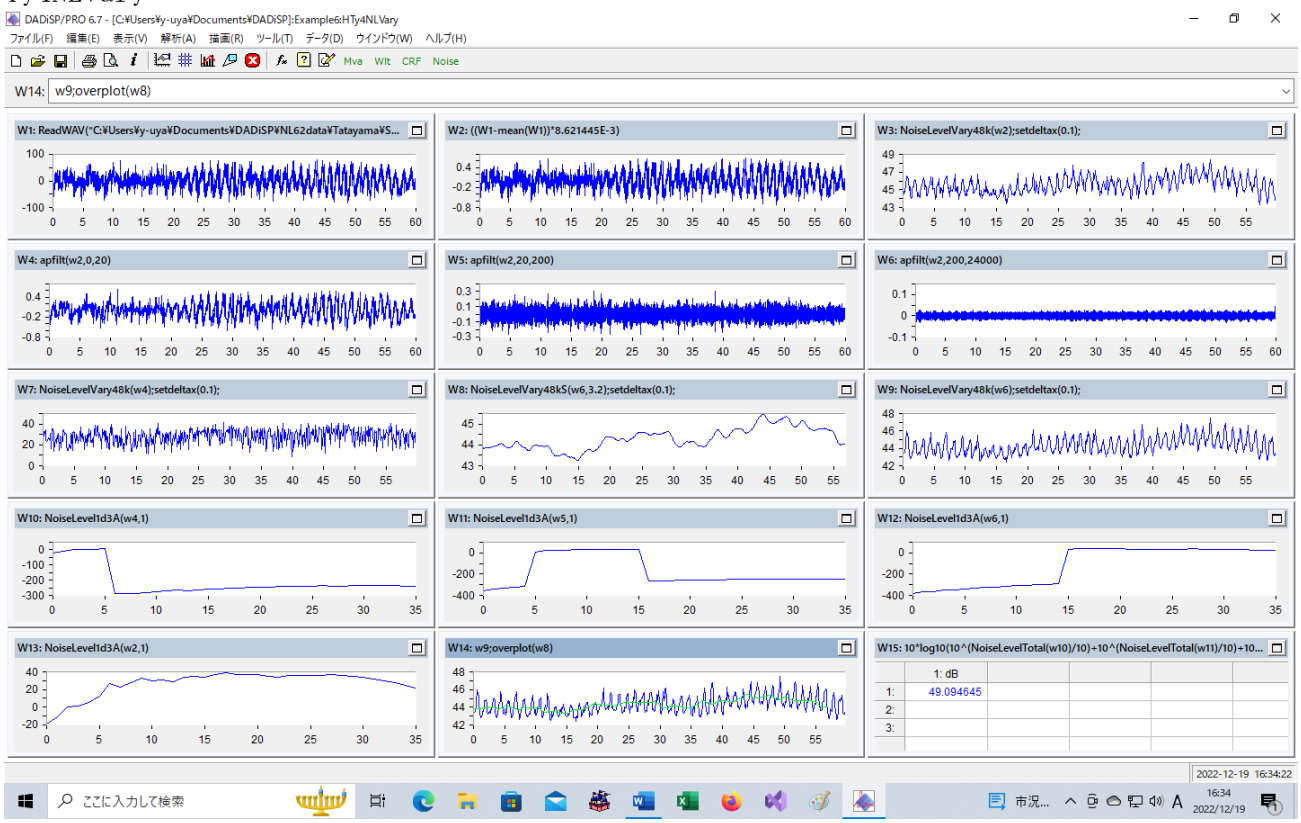


この部分に関しては、防音窓での減衰は最大でも７ｄＢ程度しか期待できません。

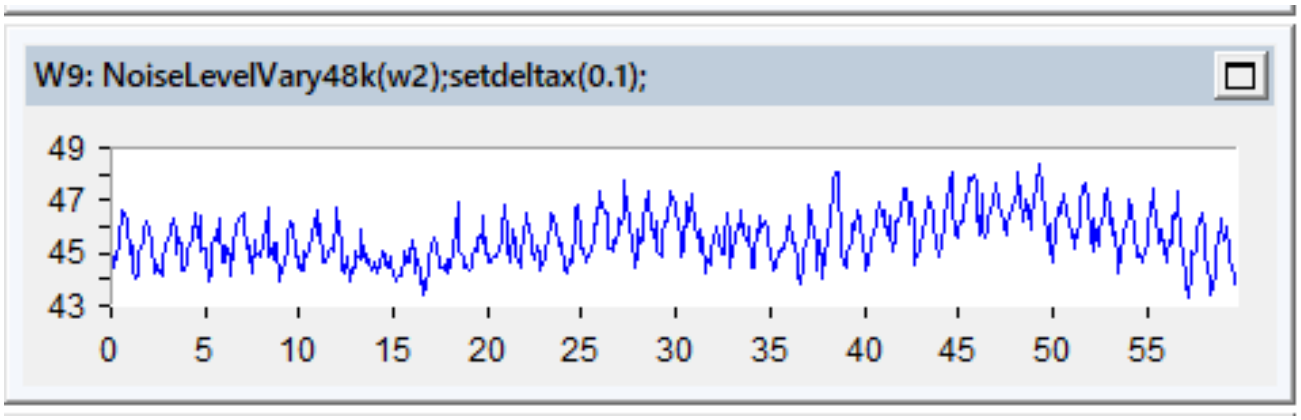
人間は、聴覚以外の感覚器官も持っていることや、ガタツキ閾値に関連した振動による睡眠妨害を考える必要があるので、室内での被害を考えるときは、高周波域での振幅変調よりも、この部分を重視すべきです。

６．２３　Ａ特性音圧レベルの変動

Ty4NLVary

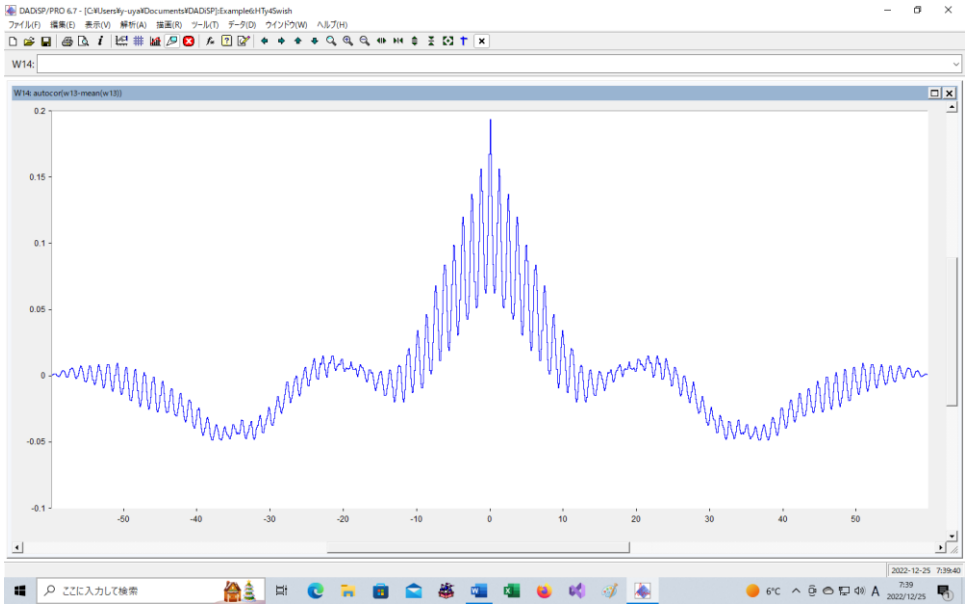


A 特性での音圧レベルの変動は次のグラフとなります。

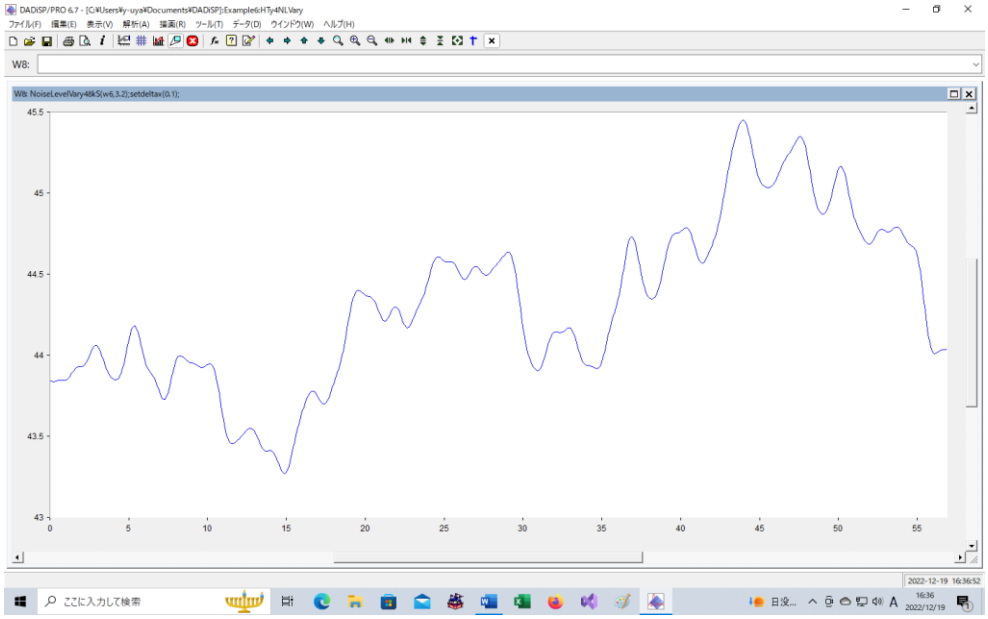


これは、0.1 秒ごとに、0.25 秒間のデータを使って A 特性音圧レベルを計算した結果です。

これについて、平均値を引いてから自己相関を計算したものが次のグラフです。



0.1 秒ごとに、3 秒間のデータを使って A 特性音圧レベルを計算すると次のグラフになります。



６．２４　潜水病

潜水病に関しては、次の資料があります。
沖縄南部徳洲会病院総合健診センター
相 馬 康 男
潜 水 業 務 の 特 殊 性
(潜水業務関係者の方々へ)
スキューバダイビングは人気の高いマリンスポーツです。日本では老若男女を問わず誰でも気軽に参加できる安全なスポーツ、と思い込まされています。しかし、「潮流や濁りや有毒生物も存在する自然界の海と高水圧下と言う、陸上とは違う環境での活動」による、陸上生活では理解出来ない多くの問題があります。安全な潜水を行うにはⅠ.水圧の影響についての理解、Ⅱ.水中活動に適応する適切に管理された訓練そして、Ⅲ.潜水適性を確認する定期的な医学検診が不可欠です。
Ⅰ. 水圧による影響
ロシアの原潜クルスクや東シナ海での不審船引き上げの様に、水深 100 ㍍での危険性は誰でも納得します。では、水深何㍍から危険なのでしょうか。潜水業務に関する唯一の法律「高気圧作業安全衛生規則(以下、高圧則と略します)」の第 1 条 1 項 2,3 号の定義は「潜水器を用いて圧縮空気の供給を受ける水中」または「大気圧を越える気圧下(海底トンネル内工事等の潜函工法)」となっていて、大気圧(１気圧)よりも高い空気圧を呼吸する業務が対象になります。第 27 条は「(水中)作業時間の規定は水深 10 ㍍(2 気圧)を越える業務に限る」との但し書きもあります。実際問題として、モズク養殖漁師の最大水深は 8 ㍍を越えませんが重症な潜水障害が発生しています。法律論はさて置き、水圧による影響である「潜水障害(潜水病)」の主な項目を説明しておきましょう。
減圧症 動脈ガス塞栓症 窒素酔い 骨壊死酸素中毒 浅海失神 圧平衡不良 その他
炭酸飲料の泡から理解できる様に、圧力が高いと気体は液体(体内)へ溶け込めます。陸上の１気圧(大気圧)下でも体内には空気中の窒素が約 1 ㍑溶け込んでいます。潜水すると水深 10 ㍍毎に溶け込む空気が倍増します。例えば水深 20 ㍍(大気圧の１気圧 + 水深 20 ㍍での水圧２気圧 = ３気圧)の深さに潜水すると、時間経過と共に体内窒素は陸上の 3 倍の 3 ㍑になります。この様な窒素過剰状態のまま水面へ浮上して圧力が下がりますと、余分な 2 ㍑の窒素ガスが溢れ出し、泡となって血管を塞いだり色々な細胞や組織を圧迫して様々な障害が現れます。これを「減圧症(DCI)」と言い、僅かな気泡または気泡により生じた血栓でも脳脊髄や肺や心臓への血管が塞がれれば即死します。更に、人体の 60%が水分で 20%以上は脂肪です。脂肪組織には水分の５.3 倍の窒素が溶け込みますが、最も脂肪分と血流量が豊富な組織は脳脊髄神経系です。潜水病では血液中の気泡や血栓ばかりを考え勝ちですが、特に脳や脊髄の神経細胞内にできた気泡によって神経細胞が損傷を受ける事も忘れないで下さい。
考え方として減圧症と脳梗塞や心筋梗塞は同じ病気です。
つまり、その主な原因は
コレステロールや血栓(気泡)により組織に酸素と栄養を送る血管が塞まる。
不整脈 (潜水徐脈)により血流がヨドんで血液が固まり易くなって血管に塞まる。
高脂血症(乾燥空気の呼吸による脱水)により血液がドロドロとなり、血栓(と気泡)が出来易くなって血管に塞まる。
高血糖・ストレスで血液がベトベトになり、血栓が出来易くなって血管に塞まる。
高血圧(浮上と潜降による急激な圧変化)により血管に負担が掛かり脆くなって破れる。

肥満・喫煙・運動不足等により血管の弾力性がなくなる。
等だからです。
脳梗塞や心筋梗塞は発作から3時間以内に治療しないとひどい後遺症を残しますが、減圧症も速やかに治療を受けないとめまいや慢性関節痛、半身不随等の症状が一生続く事になります。また、潜水直後は症状の有無に関係無く、必ず体内に気泡ができていると言う事も常に意識して下さい。気泡が障害を起こすか起こさないかの差は紙一重です。更に、潜水後の飲酒は
2 脱水状態を引き起こします。特に水分補給のつもりでビールを飲む方が多いのですが、アルコールが体内に入ると、アルコールを排出させる為に水分も一緒に過剰に排出されて脱水状態(血液ドロドロ)を引き起こします。ダイビング前後のビールやお酒類は非常に危険です。
常識とは逆に、気体の大きさは水深が浅くなる程大きく膨張します。つまり、水面に近い程、
体内気泡の膨張による危険性が高まります。水深３０㍍から２０㍍へ移動する場合と、水深１０㍍
から水面へ浮上する場合とでは、同じ１０㍍の水深変化なのですが、空気の大きさには 6 倍の差があります。水面に近い程、肺や副鼻腔等の体内空間にある空気容積が大きく変化して身体に影響を及ぼします。水面近くでの急激な潜降や浮上は非常に危険です。例えば、水中で高圧空気を呼吸している時に、パニックや器材操作ミス等により安定した呼吸が出来ないまま急浮上してしまうと、水面近くで肺内の空気が大きく膨張して肺をパンクさせます。肺が破れると破れた肺血管に空気が吸い込まれて、特に脳への血管を塞いで意識を失って溺れます。これを「動脈ガス塞栓症(AGE) 旧称 エアエンボリズム)」と呼びます。考え方として、1 分間で水深 10 ㍍付近から水面へ浮上する圧力差は、地上から上空 1 万 8 千㍍以上へ急上昇する気圧変化に相当します。この上昇能力はジェット戦闘機でも無理なのでミサイルやロケットが必要です。高々度へ急上昇するジェット戦闘機パイロットは、与圧服を着て体への圧力を上げて置かないと脳への血流が不足して失神します。ダイバーは全身で水圧を受けているので失神はしませんが、ジェット戦闘機以上の圧変化を体に受けています。陸上と違い、海水の密度は空気の 800 倍ありますから、少しの動きでも大きな水の抵抗を受けて体力を消耗します。生活習慣病対策としてプールでのエクササイズが有効なのはこの水の抵抗と浮力のお陰ですが、ダイバーにとっては大きな負担です。また、水深 10 ㍍を越えて呼吸する空気は軽自動車のタイヤ圧に匹敵します。空気密度が高いと粘張度が上がって吸い難い吐き難い状態になり、少しでも動き過ぎると酸素不足や炭酸ガス過剰となります。更に、些細な衝撃でも体内の空洞部分(肺や副鼻腔、中耳、胃腸)にある高圧空気によって強烈な衝撃力が加わり損傷させます。しかし、実際に呼吸しているダイバーがこの「硬い空気」を認識する事はできないので、危機意識が持てません。
最近の研究では、潜水病にはなりそうもない軽度の潜水後に減圧治療を必要とした事例が数多
く報告されています。これは肺に高圧空気が入っている為に、タバコや汚染空気、感染症等によって弱くなった肺や気管の一部分が破れて動脈ガス塞栓と同じ状況が発生していると考えられています。つまり、浅く短い潜水であっても必ず潜水障害の危険性がある事を忘れないで下さい。
高圧空気を呼吸すると、酒に酔ったのと同じように適切な判断が出来なくなります。これを「窒素
酔い」と言います。極端な場合、水中で呼吸装置を口から外して笑い続けて溺れます。厄介なのは窒素酔いになっていると自覚できない点です。潜水慣れしていない方の単独潜水は危険です。水深 30 ㍍を越えると窒素酔いになるとされていますが、酒の強さと同じで窒素圧に敏感な方もいますので、初心者では限界水深を 18 ㍍以内にする必要があります(プロでも空気潜水の限界は 40 ㍍)。珊瑚のサンゴ虫と同じように、骨にも骨の細胞があって常に新しい骨へと置き換えています。潜水を行うと骨細胞に栄養を送っている血管が塞がったり骨細胞自体への圧迫等によって骨の再生が止まってしまい、気付かない内に骨がボロボロになります。これを「減圧症性骨壊死」と言い、痛み等の症状が出た時点では殆ど手遅れで、人工関節埋め込み手術等が必要になります。

これら以外の潜水障害についてもダイビングスクールや潜水士講習で教わっている筈なのですが、忘れてしまったか、インストラクター自身が潜水障害を全く理解していないのが現状です。

Ⅱ.適切な訓練

潜水士テキストは 1998 年に大幅に改定されましたが、基本となる高圧則は 1972 年 9 月 30 日以来殆ど改定されていません。潜水士免許は筆記試験だけで交付されますから、泳げなくて水が怖い方でも一生資格を失う事はありません。また、この法律での潜水事業は海底油田や海中トンネル等の大規模工事で、浮上する前に体内の余分な窒素を抜く為の減圧停止を行うヘルメット式減圧潜水を前提としています。ですから、水面からホースを使ってダイバーに空気を送る方法と、減圧停止を無視した場合の緊急再圧の教育(送気員、再圧員)だけを義務付けてはいますが、スキューバ関係の教育規定が一切ありません。更に、保護されるべきダイバーは被雇用者に限られているので、「個人事業主」である孫受け作業ダイバーやガイドダイバーそして漁師はこの法律の適用を全く受けません。沖縄県の水上安全条例ではレジャーダイビング従事者に潜水士免許取得を義務付けていますが、認可制では無く届出制ですので徹底されてはいません。ダイビングショップのインストラクターは潜水士免許が無くても業務に従事しますし、所属営利団体に年会費と保険料さえ払い続ければ、一切の追加教育や更新訓練を受けなくてもインストラクター資格を失う事もありません。この様に潜水業務は法律的にも行政的にも曖昧なまま放置されているので、世間一般に限らず潜水従事者自身も業務に伴う危険性と教育訓練の必要性を再認識する機会がありません。そこで、潜水業務従事者として継続的な教育訓練を受けるべき項目を幾つか挙げておきます。

限界潜水深度及び時間の算出 ： 高圧則では水深 10 ㍍以上へ潜水する場合、潜水障害を防止する必要上、潜水する前に潜れる限界水深と時間を計算するように義務付けています(第 27 条)。事業主がこの限界時間を超えた業務命令を行うと労働安全衛生法違反です。しかし、この法律での計算表を使う人、更には使える人は皆無と言っても過言ではありません。従来から、スキューバダイビングでは「タンク一本分の空気量」であれば減圧症にはならないとの認識が定着しています。しかし、この考え方には時代変化による錯覚があります。以前のタンクへの空気充填圧は 150 気圧でしたが、現在は 200 気圧と増えています。当然潜水可能時間も延長しますから潜水障害の危険性も高まるのですが、こう言った意識改革が出来ていません。

潜水現場に緊急再圧チャンバーと厳密な減圧停止の設備と人材が完備されていない限り、減圧潜水は極めて危険です。例えば、水深 34 ㍍に 1 時間潜水すると水深 9 ㍍で 10 分停止、6 ㍍で 27 分停止、3 ㍍で 34 分停止の合計 1 時間 11 分掛けて水面へ上がってこないと減圧症になります。漠然と 6 ㍍や 3 ㍍付近で適当に停止していれば減圧できる訳ではありません。所定の水深から 10 ㌢浅過ぎても深過ぎても正確な減圧は出来ません。浅過ぎれば窒素が抜け切れませんし深過ぎれば窒素が貯まって増えてしまいます。この厳密な減圧手順の認識が日本には完全に欠落していて、「取り敢えず減圧停止しておけば大丈夫」と思い込まされています。40 ㍍_____を越える大深度潜水の場合、母船上の加圧室で呼吸抵抗、酸素中毒、窒素酔いを防止する為のヘリウムを使った特殊ガスと圧力に慣れさせた後に目的の水深へと加圧室ごと潜降し、潜水業務中は加圧室を居住区域とする飽和潜水を繰返し、水中業務が終了したら加圧室内で加圧されたまま母船へと引き上げた後に厳密な減圧手順を行います。ここまでやっても大深度での安全は保障できません。アメリカ海軍の特殊部隊 (Navy Seals)ダイバーでさえ基本的に減圧潜水も反復潜水 (４８時間以内に２回以上潜ること)も禁止されています。スペースシャトルから宇宙服へ着替えて船外へ出る場合には、1 気圧の居住区からエアロックへと移り０.3 気圧まで(水深換算すると水深 7 ㍍から水面への浮上に相当)12 時間掛けて減圧しないと宇宙空間へは出られません。宇宙も水中も圧力変化と装備以外には呼吸する空気が無い、と言う意味で同じような安全管理が必要な事を忘れないで下さい。

高圧則での水深 12 ㍍迄の無減圧潜水限界時間(減圧停止をせずに浮上できる限界時間)は 120 分です。これが 18 ㍍迄だと 55 分へと半減し、24 ㍍迄では 37 分しかありません。この値はヘルメット式潜水の様に

一定の水深に留まる場合の限界なので、自由に水深を変えるスキューバはもっと長く潜れるとの勝手な解釈があります。理論的には逆で、浮いたり潜ったりの水圧変化が大きいと潜水障害の危険性が高まりますし、限界時間の計算自体が不可能になります。また、浮上速度は毎分 10 ﾒｰﾄﾙ以下
4 と定められています(第 31 条)が、レジャーダイビング業界では毎分 18 ﾒｰﾄﾙと誤解されたままです。最近の研究では水深 10 ﾒｰﾄﾙから水面までは毎分 6 ﾒｰﾄﾙ以下が推奨されています。
最後に水中活動への順応性を維持する上で不可欠な継続的訓練です。二足歩行で陸上生活をする人間は、水中でも無意識に立ち姿勢を取りますから、移動の際には体全体で水の抵抗を受けてしまいます。海中では海底に手足を付いて支える事はありません。つまり、日常使わない筋肉を駆使して海底に対して水平方向に、ﾌｨﾝによりバランスを保たなければなりません。透明度が悪いまたは極端に透明度が良い場合、水底と水面の上下関係が判断できなくなってパニックを起こす危険性はベテランダイバーにもあります。タンクからの乾燥した空気を吸いますし、レギｭレーターによる口だけからの呼吸となり、普段の鼻からの呼吸が出来ない違和感を伴います。更に、潜降すると保温スーツの生地が水圧で潰されて沈み気味となり、浮上すると逆に浮き気味になります。それぞれの水深での適正な中性浮力を保つ為には、精神的に安定した意識的な呼吸によって「肺の浮き袋機能」を活用しなければなりません。この様に、潜水業務では陸上とは全く違う状態でのバランス感覚を維持しておく必要があります。陸上の自転車でのバランス感覚等とは異なり、水中のバランス感覚はかなり継続的に訓練しておかなければ維持できません。また、安全索やホースで母船と結ばれているヘルメットダイバーと違い、スキューバダイバーは水面へ浮上した場合の潮流と風向のベクトルを、体感と視覚とコンパスによって浮上前に計算する訓練を積んでいないと、目標水面へ到達できずに漂流してしまいます。更に、人間は呼吸ができない状態になると 1 分程度で意識を失い溺れます。潜水訓練は厳重な安全管理と体系的プログラムに基づいて、教育能力と救難実績が豊富な指導者により実施されなければ効果は上がらず評価も出来ませんし危険です。
器材管理 ：潜水器材は各メーカーから様々な型式のものが販売され、毎年モデルチェンジが繰り
返されます。ここ 10 数年の製品はﾌｧｯｼｮﾝ性に重点が置かれ、信頼性に欠ける器材が殆どです。特に、水面での浮力確保と水中での浮力調節を行う BC(Buoyancy Compensator 浮力調整具)は、タンクからの給気と排気のボタンの位置が機種によりかなり異なり、使い慣れないと押し間違いを起こし、先に述べた急浮上や潜水墜落を招く危険性があります。また、タンクからの呼吸空気量を調整するレギｭレーターも管理を怠ると吸い難いとか吐き難い等の呼吸困難、更には浸水する等の事態を招きます。高圧則第 34 条 2 項には潜水器材についての点検修理の規定もありますが、BC やレギュレーターに関する記述は一切有りません。ここでは法律上の勘違いが多い項目を幾つか挙げておきます。高圧則第 37 条 2 項でのボンベによる潜水時の携行物として時計、水深計、刃物そして救命胴衣が義務付けられています。つまり BC ではなくてタンクハーネスだけでの潜水は違法です。
高圧則第 42 条 1 項では、水深 10 ﾒｰﾄﾙ以上での業務には再圧室を設置または利用できるような措置を講じる必要があります。現実的には医療用酸素の準備及び外洋からの航空機搬送体制の整備ですが法律的な問題が解決されていません。
最後に「吹かし」についてお話します。そもそも「吹かし」は減圧停止が必要だったヘルメットダ
イバーが送気停止等により緊急浮上した際に、何かの理由で再圧室による緊急再圧が出来なくなったので、仕方なく 3 分以内に再度潜降して減圧停止手順を繰り返した事が始まりだと思われます。現場設置型の再圧ﾁｬﾝﾊﾞｰによる緊急再圧であっても何らかの症状が発現した場合は、緊急再圧を中止して、医師による治療へと変更します。しかし、この緊急再圧に関する理解が全く無いままに、ノウハウだけが漁師や作業ダイバーの世界へ間違って伝わって「ベンズ」の治療方法として普及してしまったようです「吹かし」は治療方法では無く、異常が全く無い場合に限った減圧停止の緊急避難方法です。医療機関での高圧酸素を使って、3.8

気圧６時間掛けても治療出来るとは限らないのに、長くても１時間程度の「吹かし」で治療できる筈がありません。長期的にみても「吹かし」は骨壊死や関節痛、めまい等の慢性減圧症を必ず悪化させます。

5

Ⅲ．潜水適性

陸棲動物の人間にとって、空気の無い深く冷たい水中への漠然とした恐怖心を持つのは当然です。

高所恐怖症と同じで、潜って遠い水面を実感しないと「深所恐怖症」なのかどうかは分かりません。

この様に、潜水にも精神的・肉体的な適性があります。今まで述べてきました様に「ダイビングは誰でも参加できるレジャー」では無いのです。適性を欠いた状況でのダイビングは事故に直結します。

医学的に潜水に適さない身体的疾患には以下の様な項目があります。

脳血管障害（ 一過性脳虚血発作、脳出血、くも膜下出血、脳梗塞

痙攣性疾患（ てんかん、電解質異常による筋肉痙攣

心血管障害（ 心筋梗塞、狭心症、不整脈、先天性心奇形、自律神経障害

呼吸器疾患（ 喘息、自然気胸、肺嚢胞

耳（ 耳管機能異常、中耳炎、内耳炎、平衡感覚機能障害

代謝疾患（ 糖尿病、肝機能障害、腎機能障害

骨障害（ 慢性減圧症としての骨壊死、副鼻腔の炎症

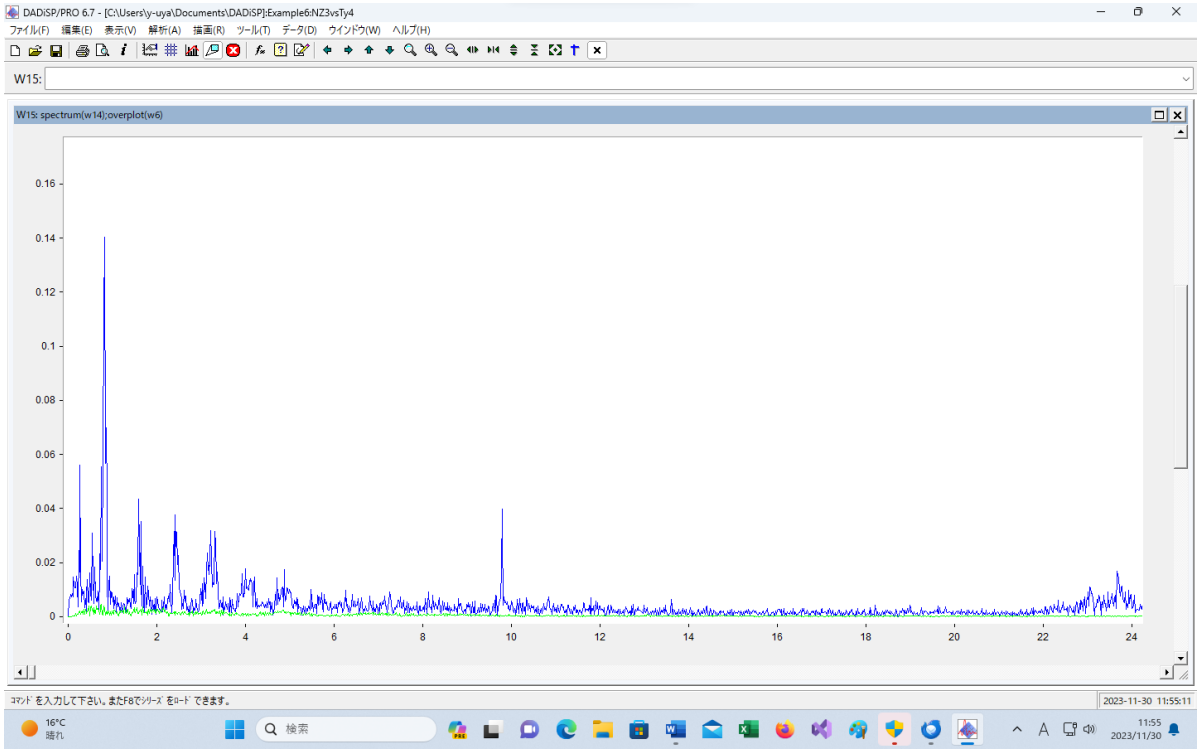
その他（ 妊娠による胎児への影響

陸上生活では何ら問題とならない疾患も潜水業務では絶対禁止となります。例えば、肺嚢胞は全く自覚症状がありませんが、潜水による圧力変化によって破裂する危険性があります。自然気胸を起こす肺嚢胞、喫煙や大気汚染、無症状の結核等の感染症による肺気腫・無気肺については、少なくとも就業前と半年毎の胸部レントゲン検査及び 疑わしい場合の胸部 CT 検査が不可欠です。更に、生活習慣病を発症させる生活様式を続けている場合は脳卒中と心臓発作の危険性を確認する脳 MRI 検査と負荷心電図検査等も必要です。水中での発作は死に直結します。

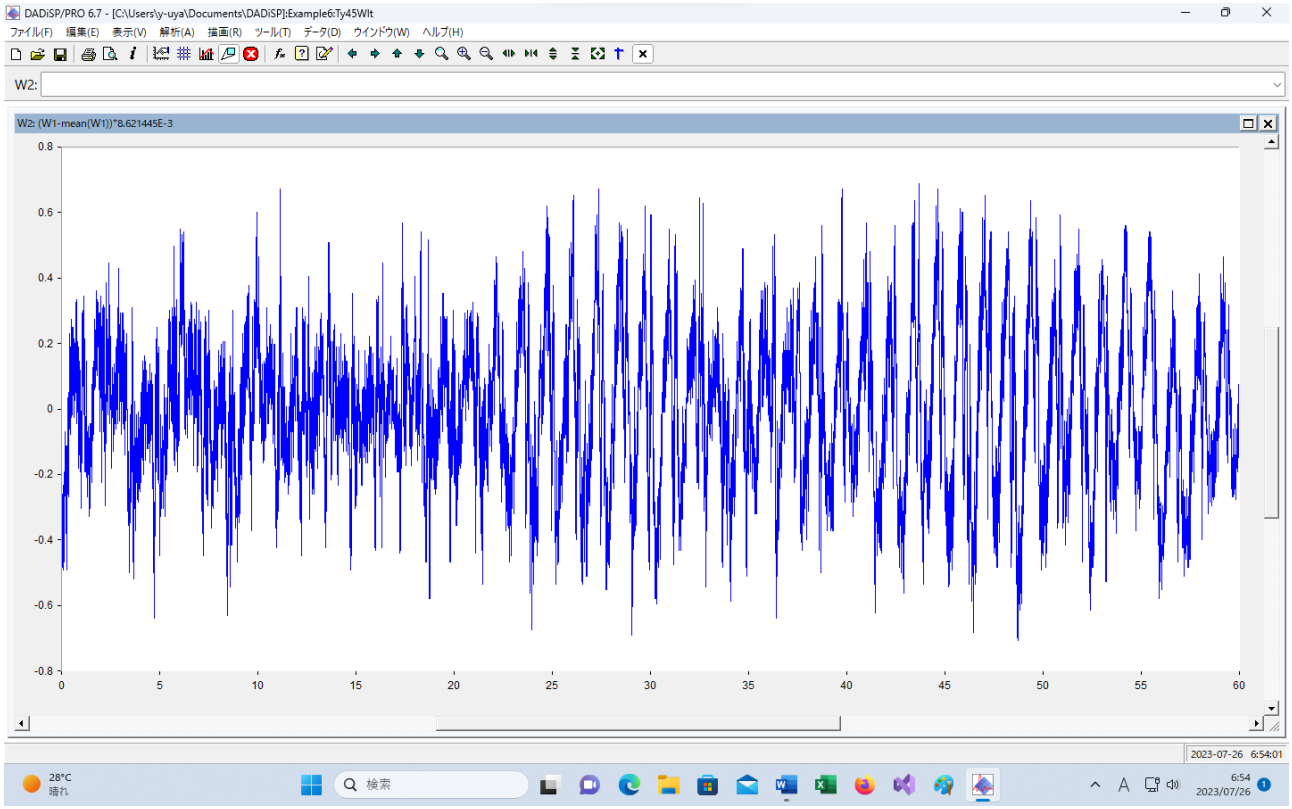
高圧則では就業前と半年毎の「専門医」による検診を義務付けています(第 38 条)が、日本の医学教育では潜水業務に関する授業が有りません。再圧チャンバーのある病院であっても潜水障害を診断そして治療できる医師は極めて少数です。蛇足になりますが、日本では減圧症の診察で CT や MRI を撮って再圧ﾁｬﾝﾊﾞｰ治療を行うと最高で 15 万円程度かかります。しかし、本人支払額は保険が使えますからその三割負担となり、業務の場合は全額労災保険なので個人負担はありません。治療費としてはかなり高額と思われるかもしれませんが、再圧治療には最低でも医師 1 名、心肺停止等の緊急事態に対応できるチャンバー内外の看護婦２名、ﾁｬﾝﾊﾞｰを操作する臨床工学技師１名の４名が、治療時間の６時間プラス診察と検査の時間で 8 時間以上掛かり切りになります。しかも患者到着は殆ど夜ですので徹夜での治療となります。更に、翌日は慢性患者の高気圧治療がありますから休めません。即ち、病院経営の面から考えると、減圧症治療は金額的にも時間的にもメリットは全く無いのでやらない方が得策です。ちなみに、海外で再圧ﾁｬﾝﾊﾞｰによる減圧症治療を受けようとすると、最低でも$4,000-(¥45 万円～¥60 万円)以上請求されますし、日本の健康保険も使えません。この様に、日本の潜水医療は制度的医療技術的に世界基準から大きく遅れているのです。__

６．２５　音響キャビテーション

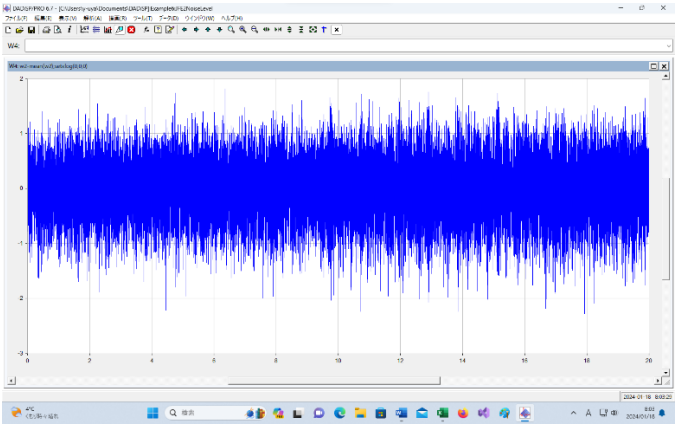
風車音の周波数スペクトルから、風車からの超低周波音は離散的であり、f=RZ/60＝１Ｈｚの成分が卓越した音圧を持っていることが分ります。

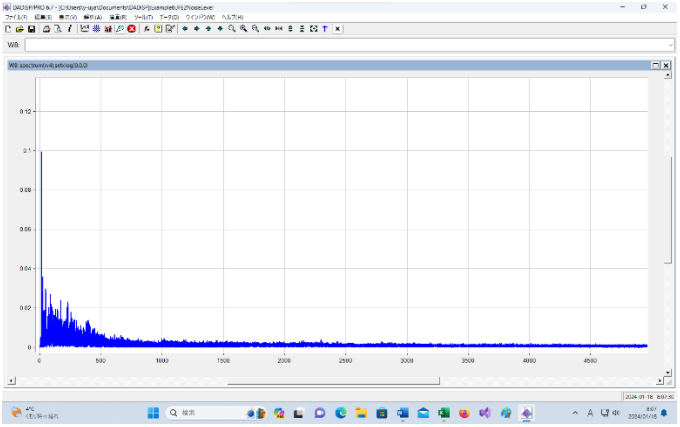


グラフは、1Hz の成分が卓越した音圧を持っているので、グラフの基本的な形を決定します。他の成分は、基本的なグラフに部分的な変動を与えるだけです。

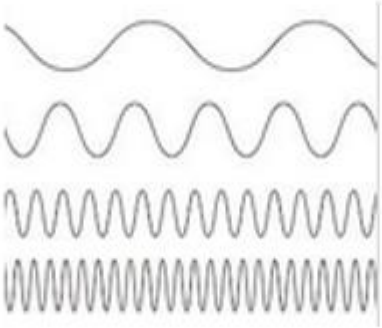


JFE の工場での音の全体のグラフと周波数スペクトルは次のグラフです。



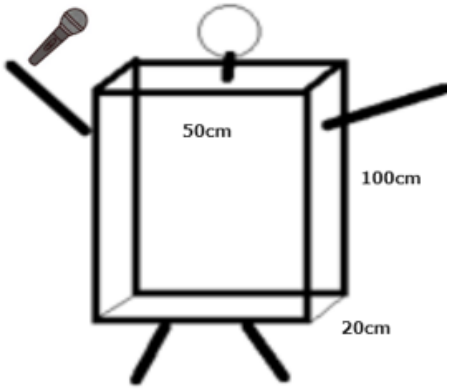


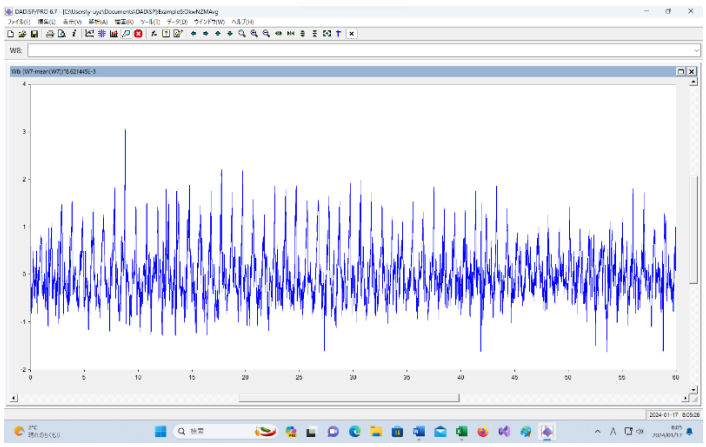
この性格の違は、人体に対する圧迫に仕方に影響します。



いろいろな波長の音が、秒速 340ｍで風車から人間まで届くとします。人間の横幅 50ｃｍ、胴長 100ｃｍ、厚み 20ｃｍとして、音は平面波とします。

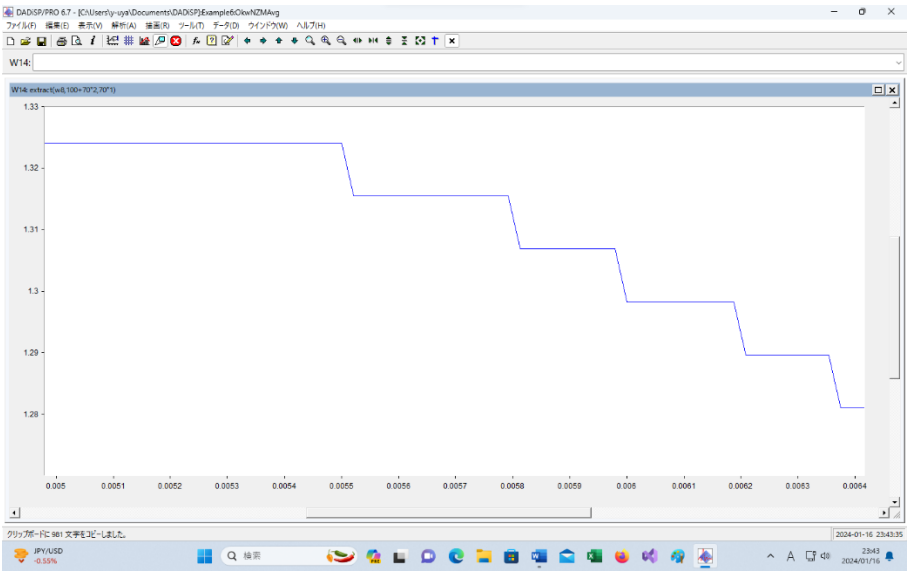
音速が 340ｍですから、体の右側から、マイクのある体の左側までは、0.5/340 秒です。マイクが音圧を計測する回数が 1 秒間に 48000 回だとすれば、0.5/340 秒では、48000*0.5/340＝70.6＝70 回です。





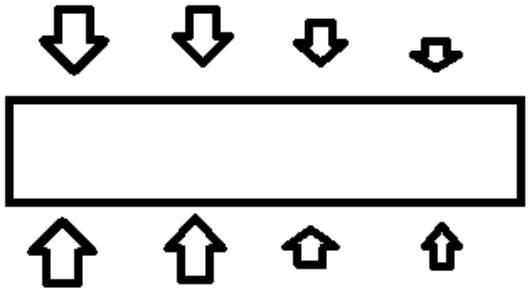
右側は、計測した風車音のデータです。これから 70 個分を取り出します。

音圧の、70 個の連続した数値のグラフは、



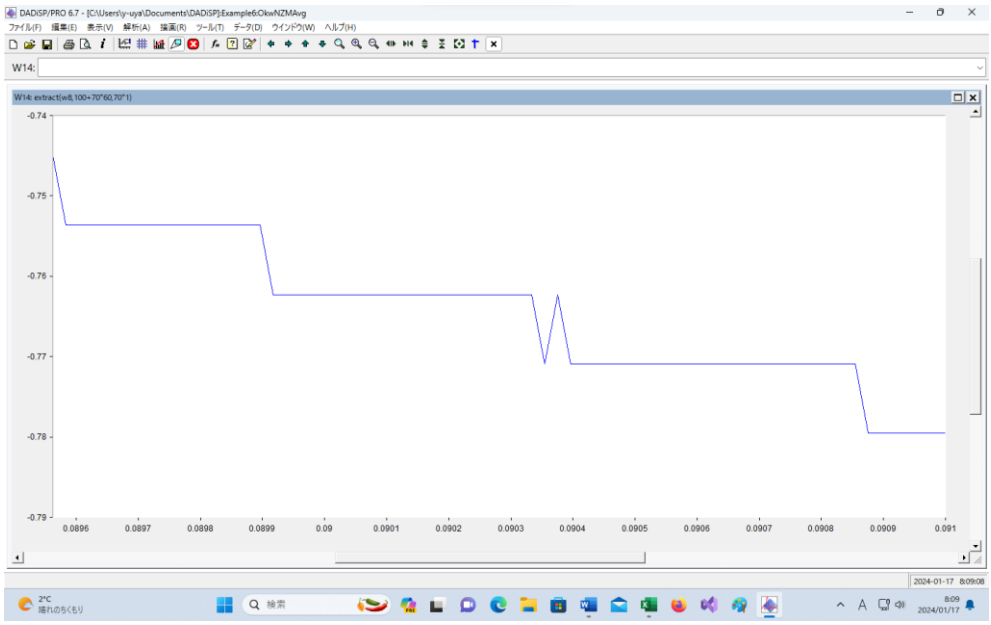
となり、数値は、

1.324106		1.324106		1.306864		1.289621
1.324106		1.324106		1.306864		1.289621
1.324106		1.324106		1.306864		1.289621
1.324106		1.324106		1.306864		1.289621
1.324106		1.324106		1.306864		1.289621
1.324106		1.324106		1.306864		1.289621
1.324106		1.315485		1.306864		1.289621
1.324106		1.315485		1.306864		1.280999
1.324106		1.315485		1.306864		1.280999
1.324106		1.315485		1.298242		1.280999
1.324106		1.315485		1.298242		
1.324106		1.315485		1.298242		
1.324106		1.315485		1.298242		
1.324106		1.315485		1.298242		
1.324106		1.315485		1.298242		
1.324106		1.315485		1.298242		合計
1.324106		1.315485		1.298242		91.74771
1.324106		1.315485		1.298242		
1.324106		1.315485		1.298242		平均
1.324106		1.315485		1.289621		1.310682



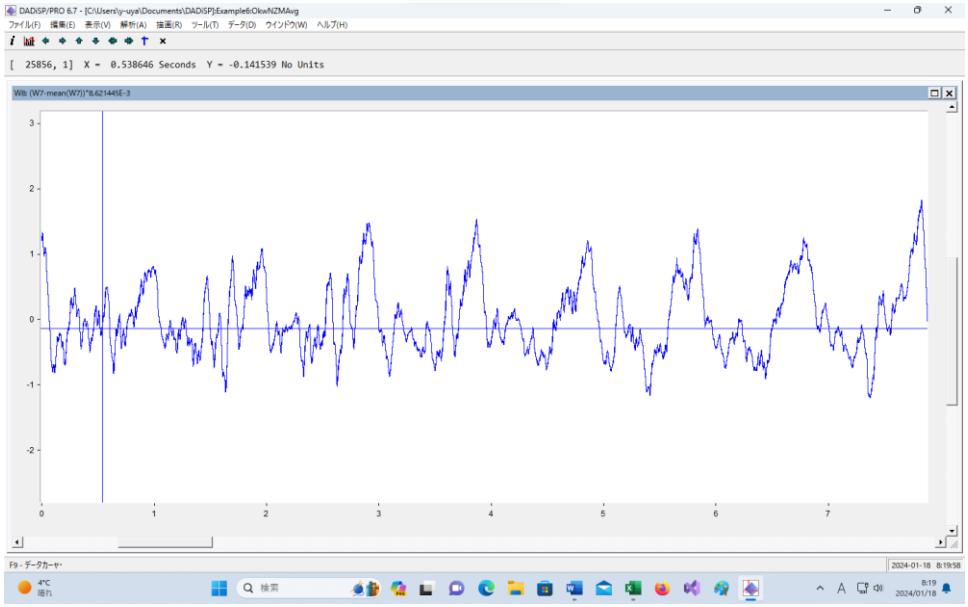
合計：91Pa、平均：1.3Pa です。この時は、体全体が押しつぶされる状態です。

もちろん、



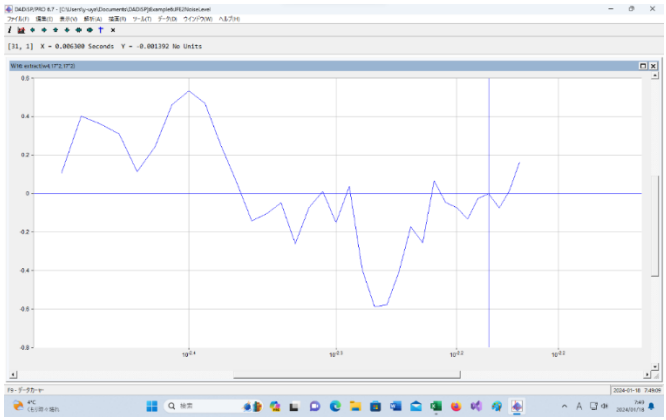
もう少し経つと、引っ張られて膨張する状態になります。
上のグラフの値は、-0.77Pa 程度です。強制的に膨張させられている状態です。

風車音の場合は、50ｃｍの全体が圧縮される時間が 0.5 秒、膨張させられる時間が 0.5 秒であることが次のグラフから分かります。



人間の体は、圧迫感を感じるというよりは、0.5 秒ごとに圧縮と膨張を繰り返すのです。
物理的は圧力が周期的に変化するのです。

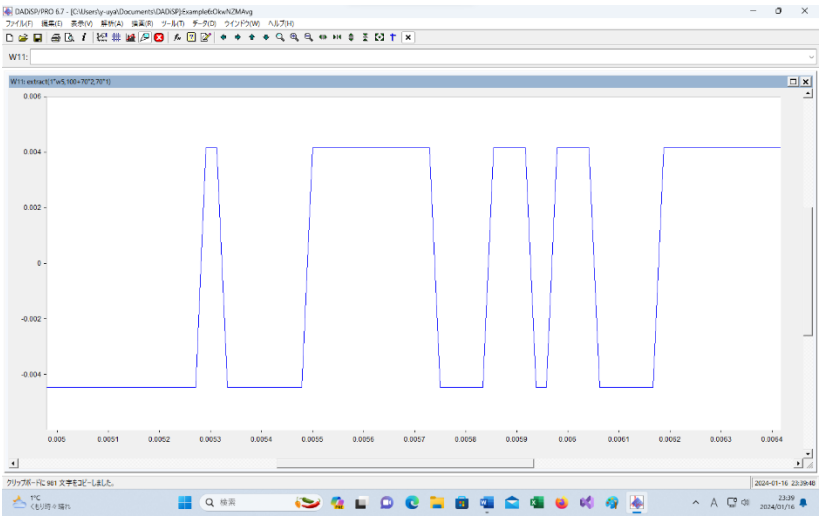
工場音の場合は、秒速 340ｍの音が 50ｃｍを通過するのに必要な時間は、0.001 秒です。0.002 秒間の波形を拡大してみれば、次のグラフになります。



圧縮、膨張の継続時間は 0.0005 秒程度です。時間が短いので、皮膚が圧縮での運動を開始したとたんに膨張の動きを開始します。他は、50ｃｍの範囲内に圧縮と膨張が混在します。

体内への圧力変動に要る影響は軽微だと考えられます。

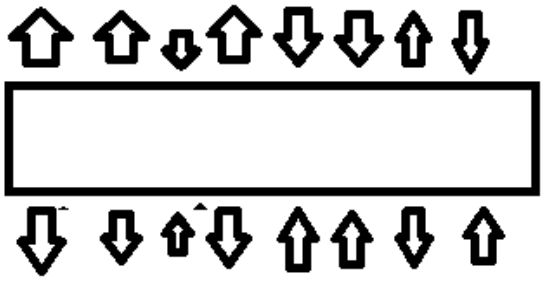
神社での音の音圧の、70 個の連続した数値のグラフは、



であり、

数値は、

-0.00446	-0.00446	-0.00446	0.00416
-0.00446	-0.00446	-0.00446	0.00416
-0.00446	-0.00446	0.00416	0.00416
-0.00446	-0.00446	0.00416	0.00416
-0.00446	-0.00446	0.00416	0.00416
-0.00446	0.00416	0.00416	0.00416
-0.00446	0.00416	-0.00446	0.00416
-0.00446	0.00416	-0.00446	0.00416
-0.00446	0.00416	0.00416	0.00416
-0.00446	0.00416	0.00416	0.00416
-0.00446	0.00416	0.00416	
-0.00446	0.00416	0.00416	
-0.00446	0.00416	-0.00446	
-0.00446	0.00416	-0.00446	
-0.00446	0.00416	-0.00446	
0.00416	0.00416	-0.00446	合計
0.00416	0.00416	-0.00446	-0.01919
-0.00446	-0.00446	-0.00446	
-0.00446	-0.00446	0.00416	平均
-0.00446	-0.00446	0.00416	-0.00027



合計：－0.01919Pa、平均：－0.00027Pa です。

押される場所と、引っ張られる場所が混在しているので、一方的に押しつぶされることはありません。時間がたっても、プラスマイナスが混在する状況は、あまり変化しません。

風車は、50ｃｍの幅全体が押されるのですが、神社の音では、各部分ごとに押したり引いたりすることになるので、全体としての影響は 1/100 程度になってしまいます。

風車の場合（特別な周波数の音が極端に強い）は圧迫感を感じても、神社の音のような性質を持っている（沢山の周波数成分を持っている）場合には、圧迫感は感じないのです。

風車音の下では、人間の体は、圧迫感を感じるというよりは、0.5 秒ごとに圧縮と膨張を繰り返すのです。人体に掛かる、物理的な圧力が周期的に変化するのです。

超低周波音の中でも、1Ｈｚのものが圧倒的に高い圧力を持っているので、その周期によって人体への圧力変動が決まってしまいます。これに近い周波数のものが、同じような音圧で存在すれば、このようにはなりません。この点が、風車音と他の環境騒音の最も大きな違いです。

計測された 164 か所の風車音も、0.5～1Ｈｚあたりの孤立した周波数の音が、他の周波数よりも極端に高い圧力を持つことも分ります。164 か所の計測対象となった全ての風車の近くでは、人体は強制的な、圧縮、膨張にさらされるのです。

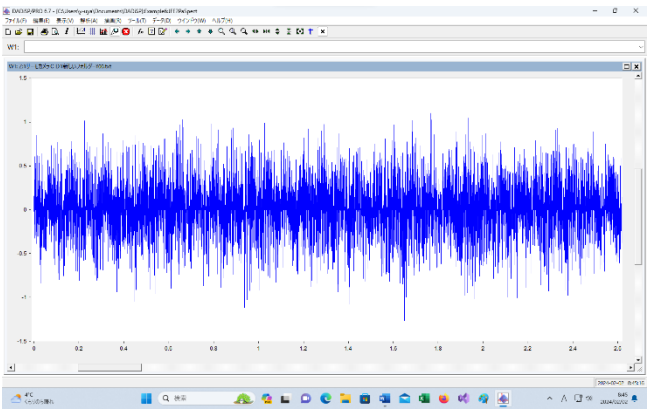
圧縮、膨張についてさらに確認します。

風車音は風速に変化によって変わります。速度が増せばブレードに掛かる揚力が増えます。揚力の大きさは風速の２乗に比例します。これによって、塔に掛かる回転モーメントも変化します。結果として塔の側面の振幅も増加します。音圧も変化します。

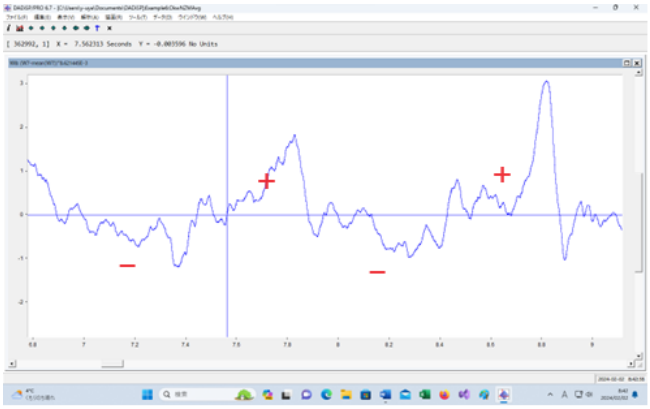
風が弱い時の音圧は 0.15Pa ですが、風が強いと 0.42Pa までは増加します。基本周波数は 0.8Hz から 1.0Hz 程度に増加します。

音圧の変動は大きいが、周波数の変動は小さいです。

工場騒音の、2.6 秒間の波形

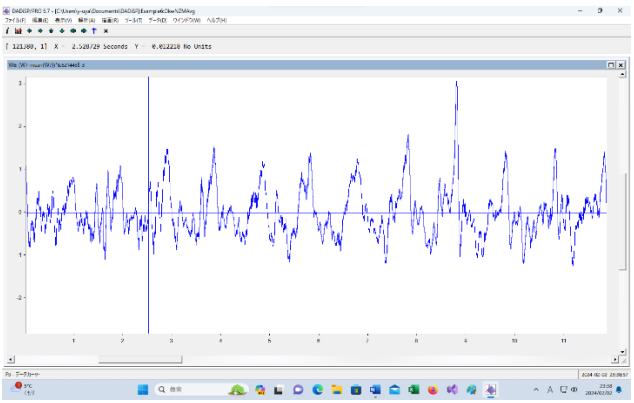


風車音の 2.2 秒間の波形

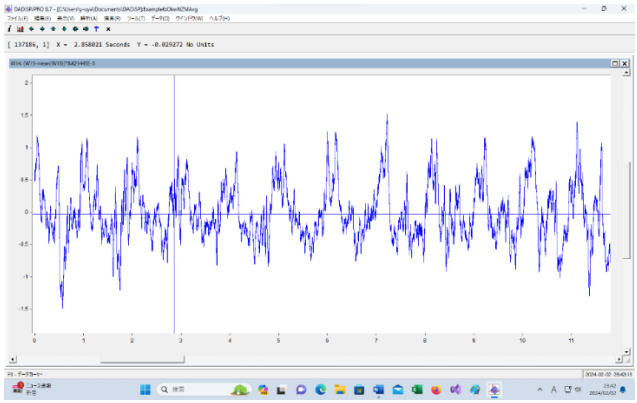


これが、圧縮と膨張が、ゆっくり繰り返される原因です。

音圧が高い（風が強い）ときの 12 秒間



音圧が低い（風が弱い）ときの 12 秒間



風が強い時の方が、音圧のプラス、マイナスがはっきりします。より強い形で、圧縮と膨張の過程が継続することになります。指向性も同様の効果を及ぼすと考えます。

風が強い時は、0.42Pa で 1Hz でした。風が弱い時は 0.15Pa で 0.8Hz でした。周波数の変化は小さいのですが、音圧の変化は大きいです。

これから、多変量解析では、(PT＝最大音圧*周期)の項目を設ければ良いことが分ります。

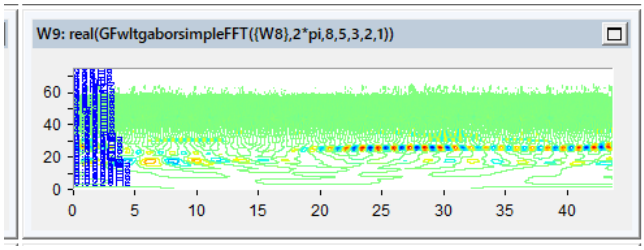
対象	周波数[Ｈｚ]	周期[S]	最大音圧	PT
車（強）	1	1	0.42	0.42
箱（中）	1	1	0.33	0.33
外（弱）	1	1	0.23	0.23
穏かな日	0.8	1.25	0.15	0.1875
JFE	12.5	0.08	0.096	0.00768
神社	1	1	0.01	0.01

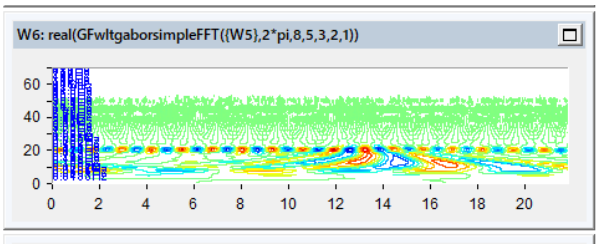
符号決定率＝最大音圧/2番目の音圧
をかけた方がよさそうですが、ここでは保留しておきます。

さらに音響キャビテーションの影響を考えれば、体内に溶け込んでいる空気が析出して気体となる可能性が高くなるのは、風が強い時だという事になります。体内の気泡は、潜水病を同じですから、頭痛の原因になります。

風車音の指向性や風速の変化が激しい事から、条件を満たす時間は、普通は 20 秒程度ですが、風速、風向が安定している場合は、被害が大きくなると考えられます。

風車音の２分間の結果を並べて表示すれば、下のようになり、





0.8Hz 程度の周波数成分が、0.3 パスカル程度の強さで放出される状態が 100 秒程度継続することが分かります。共鳴や共振現象などを発生させ、寝ている人間を起こすには十分な継続時間です。

さらに、色が特に濃い部分は 20 秒程度継続します。この部分が継続すれば、高い音圧での影響を感知することになります。目が覚めるだけの影響ならば良いのですが、継続時間が長いと気泡発生の可能性が高くなります。

“泡のエンジニアリング”　テクノシステム　を参考にすれば、

１１．音場中の気泡の成長

圧力一定のもとでは、不凝縮ガスが過飽和でない限り、気泡は消滅する。これに対して、音響場の中に置かれた気泡では不足飽和状態でも、不凝縮ガスの析出による気泡の成長が見られる。この現象が音響キャビテーション発生の原因となり、また、液体中の溶存ガス除去促進にも利用される。

気泡への不凝縮ガス析出量は式(5.5.55)

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{4}{3}\pi R^3 \rho_g\right) = 4\pi R^2 D_{gL} \frac{\partial \rho_{gL}}{\partial r}\Big|_W \qquad (2.5.55)$$

による。

液体中の濃度境界層厚さを δ_D とすれば、単位時期あたりのガス析出・溶解量は

$$\dot{m}_g \propto R^2 \times (\rho_{gi0} - \rho_{giW}) / \delta_D \qquad (2.5.61)$$

となる。

これに踏まえて、図 2.5.6 に示す現象のメカニズムを説明する。

図　2.5.6

収縮時	平衡時	膨張時
$p_g > p_{g0}$	p_{g0}	$p_g < p_{g0}$
$R < R_0$	R_0	$R > R_0$
$\delta_D > \delta_{D0}$	δ_{D0}	$\delta_D < \delta_{D0}$

まず、気泡表面液体の不凝縮ガス濃度 ρ_{gLW} はヘンリーの法則

$$\rho_{gLW} = \alpha p_g \qquad (2.5.58)$$

にしたがって、収縮・膨張する圧力変動とともに、上昇・低下する。濃度が上昇する凝縮時には気泡内の不凝縮ガスが液体に溶解し、濃度が低下する膨張時にはガスは気泡へ析出する。

この際、気泡表面積は膨張時のほうが大きいため、**膨張・収縮の１サイクルで見るとわずかながら析出量が勝る**と考えられる。

音波の振動数が大きな場合には、液体内に溶けているガスの拡散が起こらないので、気泡の成長は鈍る。

振動数が小さい場合は、膨張したときは、液体内のガスが気泡内に析出し、気泡の周囲のガスの濃度が減少する。収縮が始まる前に液体内に溶け込んでいるガスの拡散によって濃度が元に戻る。

収縮によって、気泡内のガスが周囲の溶液に溶け込む。周囲の液体内に溶けているガスの濃度があまり下がっていないので溶け込む量は少なくなる。

この過程を繰り返して、**低周波の場合のほうが気泡は成長する**と考えられる。

次に、表面近傍液体中の不凝縮ガス濃度境界層は、膨張時には薄く、収縮時には厚くなる。境界層の厚さが薄くなるにつれて、拡散による物質輸送が顕著になることを考えると、やはり、膨張による析出量が収縮による溶解量を上回ることになる。

となっています。

大型風車では、風車の回転数 R が小さくなって。0.5Hz 辺りでの音圧が最大となります。微小な気泡による頭痛や圧迫感などによる体調不良が増加すると予測されます。

超低周波音の中でも、1H z のものが圧倒的に高い圧力を持っているので、その周期によって人体への圧力変動が決まってしまいます。これに近い周波数のものが、同じような音圧で存在すれば、このようにはなりません。この点が、風車音と他の環境騒音の最も大きな違いです。

計測された 164 か所の風車音も、0.5～1H z あたりの孤立した周波数の音が、他の周波数よりも極端に高い圧力を持つことは、すでに確認しました。計測対象となった全ての風車の近くでは、人体は強制的な、圧

縮、膨張にさらされるのです。

これは、音響キャビテーションの影響を考えれば、体内に溶け込んでいる空気が析出して気体となる可能性がある事を意味しているのです。体内の気泡は潜水病を同じで頭痛の原因になります。

これは、風車音による直接的な健康への影響なのです。これは、極めて物理的な原因であり、風車音の周波数特性から引き起こされます。そして、回転軸が水平の風車が、上空と地上付近での風速差がある中で、ブレードに掛かる揚力によって回転することからの必然的な帰結です。

風車の物理的な構造が、健康障害を引き起こす根本的な原因なのです。

館山の風車での気圧変動について：

風車の近くでは0.4Pa、風車が無い場所では0.01Paの音圧を持っている超低周波音が存在します。だから、風車の近くでは音圧が40倍です。だから問題が起きるのです。

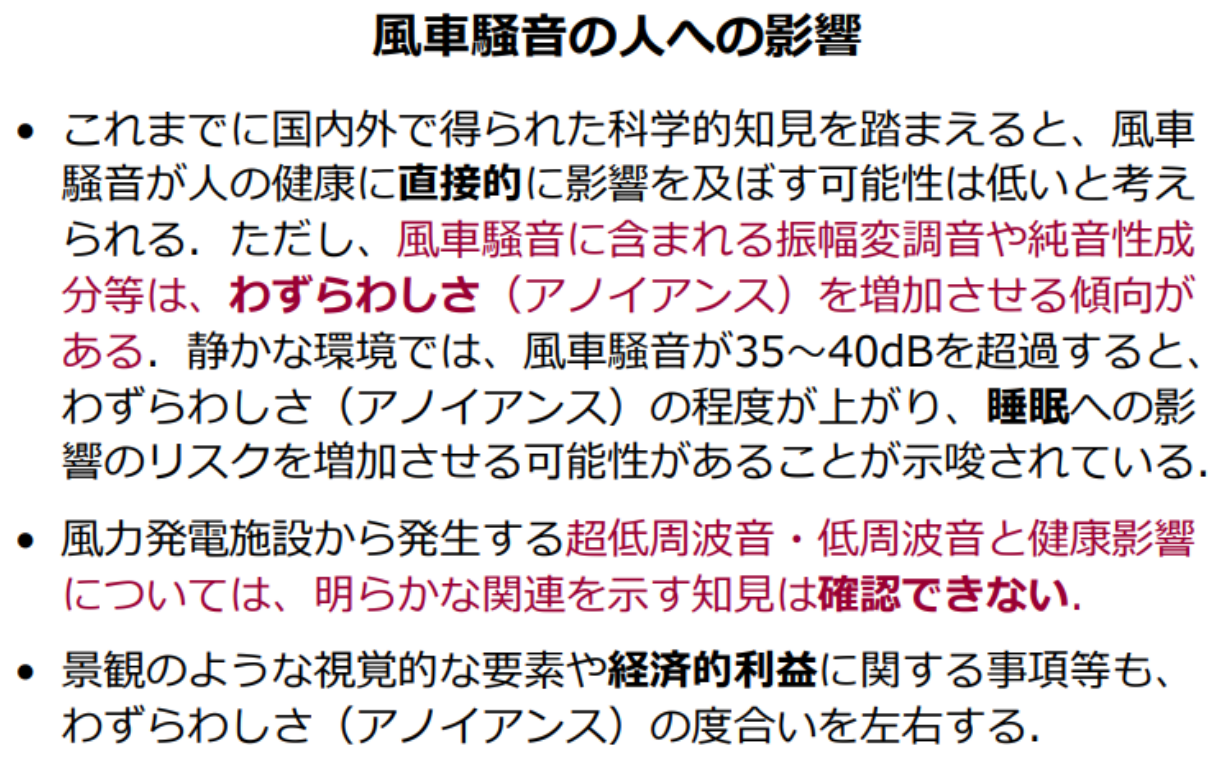
音圧は、風速で変化します。風車の近くで0.14Paの時もあります。

この部分は、音圧は高いのですが、ゆっくり変化するので、鼓膜を振動させて聴覚を刺激すると考えるよりは、体全体に掛かる圧力を変動させると考えるべきです。

音圧は実効値で0.4Pa、周波数が１Hzですから、0.5秒間に、2*0.4*√2＝1.13Paの変動となり、１秒当たり2.26Paの割合で変化します。

体に対する圧力変動の影響は、聴覚器官に対する影響とは性質が違うものです。

風車音の詳細な解析、超低周波音が発生する仕組み、発生する超低周波音の周波数に関しては、“風車超低周波音 2023”に詳しく書いておきました。



６．２６　圧迫感

感覚器官もいろいろあります。刺激の在り方もいろいろです。被害に関しては、圧迫感についての次の研究にも注目すべきです。

気圧の変化を感じる場所が内耳にあった ―気象病や天気痛の治療法応用に期待―
（佐藤純教授らの共同研究グループ）
【2019 年 1 月 29 日】
プレスリリース
鳥類には気圧を感じる器官が耳に存在することが分かっています。彼らはこの能力を使って、自分の飛んでいる高度を知り、雨が降るかどうかなどの気象変化を予見し行動していると考えられています。一方、ほ乳類に気圧を感じる能力があるかどうか明らかになっていませんが、「猫が顔を洗うと雨が降る」などの言い伝えもあり、わたしたち人間においても、「天気が崩れると頭痛がする、ぜん息がでる」、「古傷が痛むので、明日雨が降るのが予知できる」など、臨床家の間ではよく知られた事実があることから、他の動物と同じように気圧の変化を感じている可能性があると言われてきました。この問題を慢性痛の治療の面から長年取り組んできた中部大学・生命健康科学部理学療法学科の佐藤純教授（愛知医科大学医学部客員教授）のグループは、愛知医科大学・医学部と日本獣医生命科学大学・獣医学部との共同研究により、マウスにも内耳の前庭器官に気圧の変化を感じる場所があることを、世界で初めて突き止めました。
研究成果のポイント
マウスの内耳の前庭器官に気圧の変化を感じる場所と能力があることを突き止めました。
このメカニズムを明らかにすることで、気象病や天気痛の有効な治療法の確立に繋がります。
研究の背景、概要と成果
「雨が降ると古傷が痛む」「頭痛がする」「気分が落ち込む」など、天気の崩れが体調に影響したり病気を悪化させたりすることは「気象病や天気痛」と呼ばれ、古くから知られていますが、そのメカニズムははっきりとは分かっていません。佐藤教授らは、以前より、天気の崩れにより気圧が変化すると内耳がその変化を感じとって脳に伝え、その結果、さまざまな疾患が発症したり悪化したりするという仮説（図 1）を提唱してきましたが、今回の研究成果により、本来は平衡感覚を司る前庭器官に、気圧を感じる部位と機能もあることが確かめられました。
実験の内容は次のとおりです。
マウスを人工的に気圧が変えられる装置にいれて、天気の変化に相当する微小な低気圧に一定時間暴露します。その後、脳を取り出し、内耳の前庭器官からの感覚情報を中継する延髄の前庭神経核細胞の活動を観察しました。すると、前庭神経核のうち、おもに半規管（一部、球形嚢）からの情報が集まる上前庭神経核細胞において、神経細胞が興奮すると増える特殊な蛋白質（c-Fos タンパク質）が細胞内に増加していることを発見しました。一方、他の部位からの感覚情報が集まる神経核細胞に変化はなく、気圧の変化を与えていないマウスでも変化はみられませんでした（図 2）。

図 1

図 1

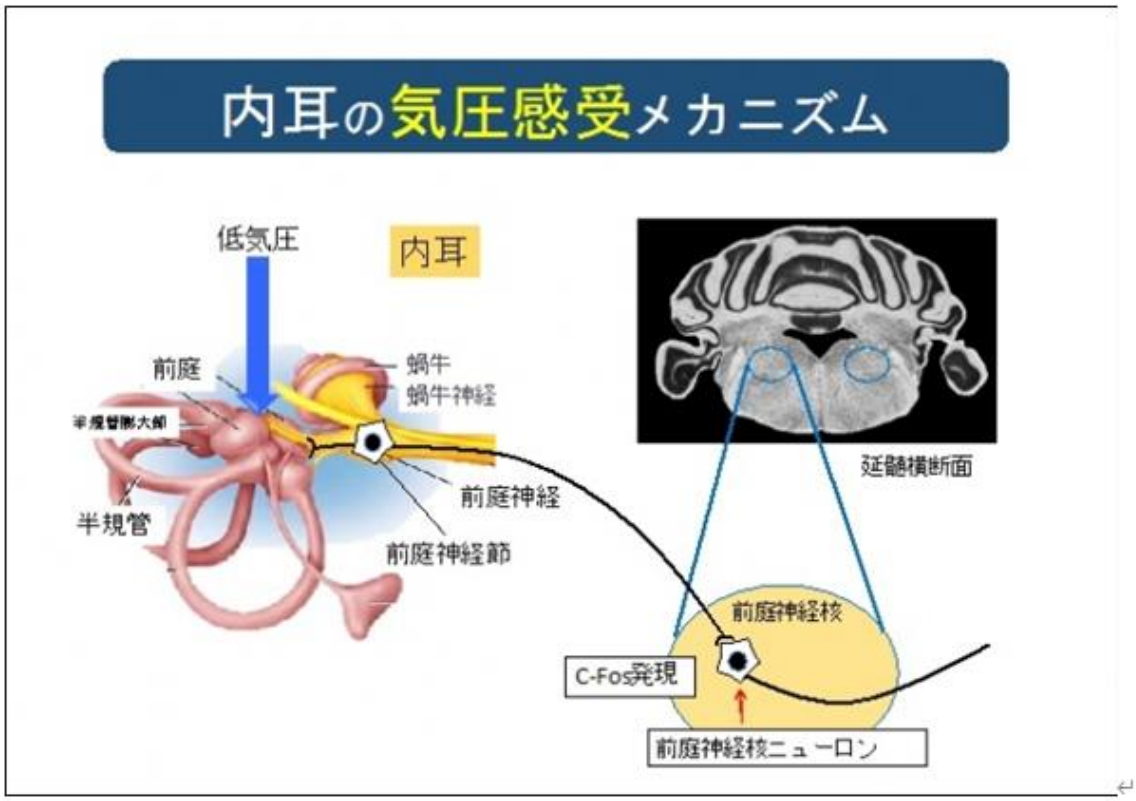
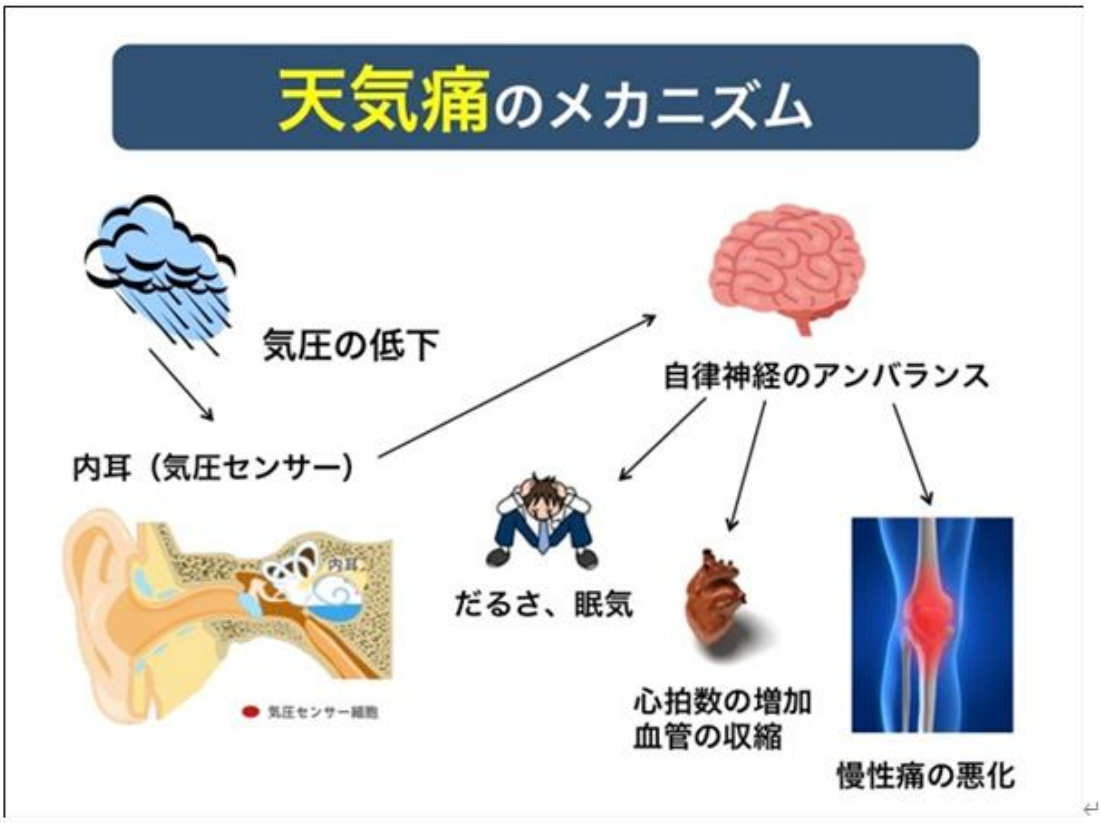

内耳の気圧感受メカニズム
低気圧
内耳
前庭
蝸牛
蝸牛神経
半規管
前庭神経
前庭神経節
延髄横断面
前庭神経核
C-Fos発現
前庭神経核ニューロン

図 2

図 2


天気痛のメカニズム
気圧の低下
自律神経のアンバランス
内耳（気圧センサー）
だるさ、眠気
心拍数の増加
血管の収縮
慢性痛の悪化

今後の展開
今回の研究成果から、私たち人間においても天気の崩れによって前庭器官が気圧の微妙な変化を感じとり、脳にその情報が伝わり、結果として古傷や持病の痛みを呼び覚ましたり、めまいや気分の落ち込みといった不調を起こすものと考えられます。これまで、平衡感覚のみを感じていると考えられてきた内耳の半規管に気圧の変化を感じる能力があることが分かりました。今後も研究を続け、どのようなメカニズムで前庭器官が気圧の変化を感じ取るのかを明らかにしていきます。また、このメカニズムを明らかにすることで、気象病や天気痛の有効な治療法の確立に繋げていきます。
研究成果の公表
本研究成果は、2019 年 1 月 25 日午後 2 時（米国東海岸時間)、PLOS ONE 誌オンライン版として掲載されました。
論文題名：
Lowering barometric pressure induces neuronal activation in the superior vestibular nucleus in mice
（低気圧はマウスの上前庭神経核ニューロンを興奮させる）
問い合わせ先
佐藤純　（中部大学　生命健康科学部　理学療法学科教授）
E-mail : jsato[at]isc.chubu.ac.jp　※アドレスの[at]は@に変更してください。

これは、粗密波としての超低周波音を気圧変動として感知できることを意味しています。
もちろん、これは聴覚による感知ではありません。
従って、参照値において人々が感じた不快感には、音響関連の、耳からの音、骨伝導での音の認識の他に、圧力変動を感じて、
（5）胸や腹を圧迫されるような感じがするか
低周波音に特有な感覚として圧迫感・振動感がある。**大きな音圧レベルの超低周波音**が発生している場合や可聴域の低周波音が発生している場合には、胸や腹を圧迫されるような感じがすることがある。
と言う現象は、圧力を感じる器官を持っているのですから、生理的反応と考えるべきです。

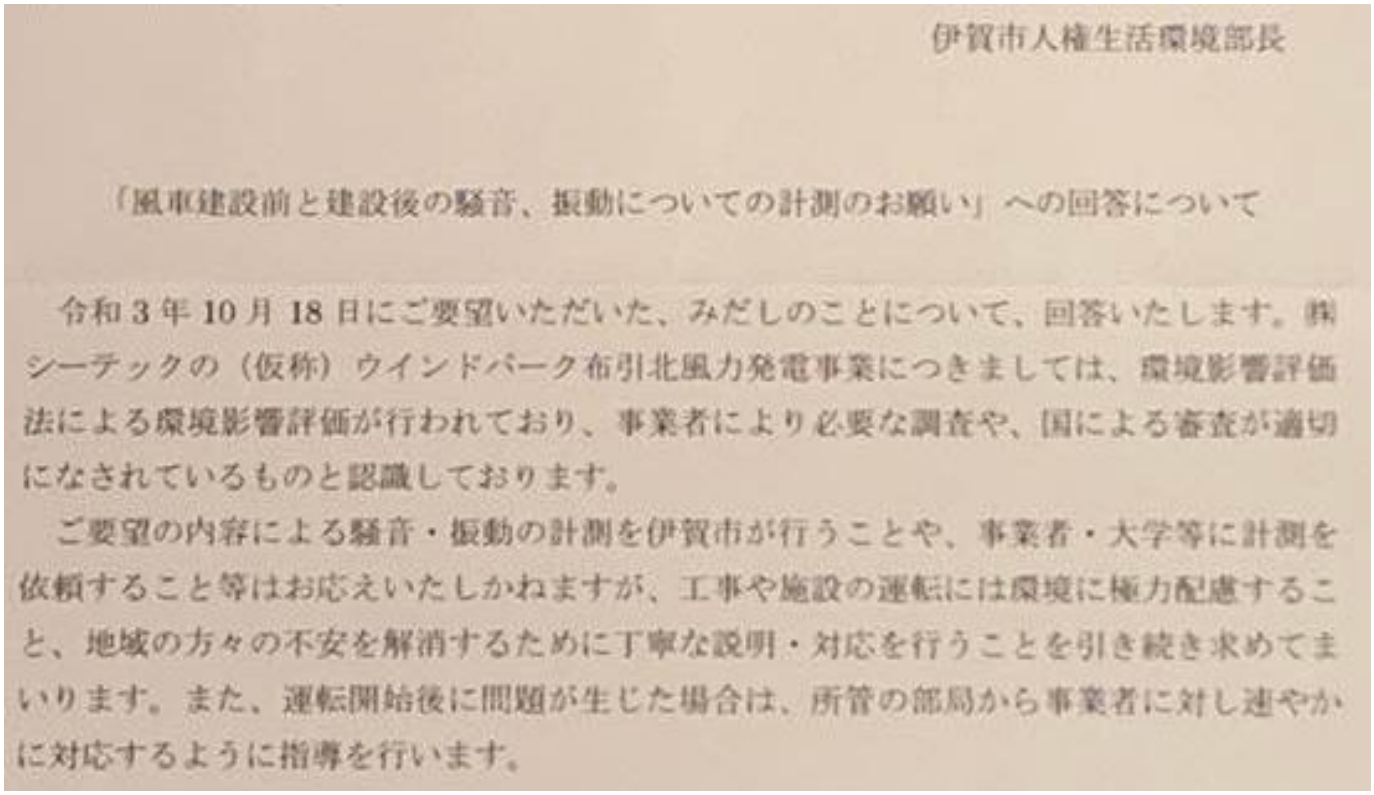
　室内で暮らす人が多いのですから、共鳴での音圧の強さを考えれば、粗密波としての超低周波音を気圧変動として感知できる可能性についても深く研究すべきだと考えます。
当然のことですが、これは聴覚による感知ではありません。

６．２７　計測のお願いと行政

日本では、行政は、騒音の計測への協力をしてくれません。

環境省の“風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル”には、
“本マニュアルは、風力発電施設の設置事業者・製造事業者、行政（国、地方公共団体)、地域住民等の関係者等が、風力発電施設から発生する騒音に関する測定を行う場合の標準的な方法を示すものであり、風車騒音、残留騒音の測定方法の他、測定手順や留意点等も併せて記載したものである。”
とあり、計測機材や計測方法を規定しています。
市民が、風車の超低周波音を計測できるような計測機材と計測方法を要求することは当然であり、計測結果を公開すれば、除外音処理をする前のデータが流出する可能性が大きいので行政は計測を渋ります。
住民側で計測機材を用意するから立ち合いだけでもしてほしい。と言っても行政は立ち合を断ります。

風車建設前に、騒音の計測をしておけば、建設後の風車音の影響が解明しやすくなるので、県や市に計測のお願いをした事があるますが、協力はしてくれませんでした。
行政も業者も、このデータは測りたくないようです。
測ったとたんに、超低周波音（0Hz～20Hz）が強烈であることがはっきりするからでしょう。
逆に考えれば、住民は自治会費で機材を購入して、どんどん計測すべきだとも言えます。



伊賀市人権生活環境部長

「風車建設前と建設後の騒音、振動についての計測のお願い」への回答について

令和３年10月18日にご要望いただいた、みだしのことについて、回答いたします。㈱シーテックの（仮称）ウインドパーク布引北風力発電事業につきましては、環境影響評価法による環境影響評価が行われており、事業者により必要な調査や、国による審査が適切になされているものと認識しております。

ご要望の内容による騒音・振動の計測を伊賀市が行うことや、事業者・大学等に計測を依頼すること等はお応えいたしかねますが、工事や施設の運転には環境に極力配慮すること、地域の方々の不安を解消するために丁寧な説明・対応を行うことを引き続き求めてまいります。また、運転開始後に問題が生じた場合は、所管の部局から事業者に対し速やかに対応するように指導を行います。

（仮称）ウインドパーク布引北風力発電事業環境影響評価書における知事意見への対応について（回答）

環境影響評価は、事業者自らが事業による環境影響を事前に調査、予測、評価することを通じ、環境保全対策を講じるなど、事業計画を環境保全上、より望ましいものとしていく手続きです。

（仮称）ウインドパーク布引北風力発電事業（事業者：株式会社シーテック）については、令和２年12月18日付けで環境影響評価準備書に対し、環境保全に関する観点からの三重県知事意見を述べ、事業者に対して予測及び評価の見直しや環境保全措置の再検討を求めたところ、事業者はその評価書において、この意見に対する見解を次のとおり記載しています。

・準備書の予測及び評価を見直し、環境への影響が回避・低減されているか再度評価したこと。
・改変面積や土工量を縮減することや、土砂や濁水の流出防止のため追加の環境保全措置を講じる等、事業計画を見直したこと。
・不確実性が伴う項目については、事後調査を実施するとともに、事後調査によって環境に著しい影響が確認された場合には、追加の環境保全措置を講じることを検討すること。

また、環境影響評価を行う際の基本的な考え方において、国は「環境保全措置は環境要素に及ぶおそれのある影響が、事業者により実行可能な範囲内で、当該影響を回避し、又は低減すること及び当該影響に係る各種の環境の保全から基準又は目標の達成に努めることを目的として検討されるものとする。」としています。

事業者は、この考え方に基づいて評価書を作成しているものであり、評価書については経済産業大臣による審査が終了し、内容の確定が通知されています。

以上のことから、知事意見への対応状況を含めた評価書の内容について、県としても環境影響評価法や、それに基づく各種の基準を逸脱しているものではないと考えており、工事着手後に追加の環境保全措置を講じる必要が生じた場合は、立入検査等を実施するとともに、関係市町や県の関係部局と連携のうえ、事業者に対し適切な指導・助言を実施してまいります。

お願いした内容は、次のものです。

風車建設前と建設後の騒音、振動についての計測のお願い。

伊豆のほうでは風車騒音で困っている人がいると聞いています。
騒音の原因が何なのかをはっきりさせることは、将来風車が建設された後でも住民が安心して暮らせるようにするために必要なことだと考えます。
風車が建設される前と、風車が建設された後の騒音と振動の比較ができれば、騒音問題の解明の手がかりとなります。

公平性と正確性を確保するために、計測は県（または市)、風力発電の事業者、第三者（大学等）で複数の機械で同時に行い、その結果を公開して、様々な人の力を結集して問題点の解明をすることが必要です

Wavelet 解析ソフトの開発をされている人に伺ったところ、以下のようにする必要があるとのことでした。

多くの場合騒音の計測は、1/3 オクターブ解析として扱われる場合が多く、このようなデータでは、周波数の正確な分析が不可能であり、問題解明ができません。
計測後に、FFT や Wavelet による解析が可能であり、必要ならば 1/3 オクターブ解析もできるようなデータ形式で計測結果を収録しなくてはなりません。また、データの扱いやすさも考えるならば、16 ビットの符号付整数で記録された WAV ファイルとして、平坦特性で収録する必要があると考えます。

騒音については、
リオン社の精密騒音計 NL-62 で計測され、波形収録プログラム NX-42WR によって１６ビットの符号付整数を使って収録された WAV ファイルを作る。収録時の周波数重みづけは Z 特性（平坦特性）とする。サンプリングレートは４８ｋHz、連続する収録時間としては１分から 10 分程度とする。

振動については、
リオン社の振動レベル計 VM-55 で計測され、波形収録プログラム VX-55WR を使って収録された WAV ファイルを作成する。
ストアモードは Auto、測定チャンネルは XYZ、総測定時間は１分から１０分程度とする。

ビデオカメラでの撮影、
風車が存在して回転している場合は、ビデオカメラで回転の様子を撮影する。

計測場所は、
建設前については、建設計画で風車がほぼ１列になっている場合は、風車の列の中央部分。
さらに、風車の列に対して直角方向で民家が存在する方向に向かって、５００ｍおきに２ｋｍまで５か所での測定をする。測定は、昼間と夜間の２回とし、これを春夏秋冬の季節ごとに行う。(季節ごとの風向の影響も考える。）計測を希望する家があれば、さらに数か所を追加する。家の中での騒音、振動の計測も行う。
風車建設後にも、建設前に測定した場所と同じ場所で計測を行う。建設前と同様に、測定は昼間と夜間の２回とし、これを春夏秋冬の季節ごとに行う。これによって、風車建設前と風車建設後での騒音、振動のデータを比較することが可能になる。

計測結果の解析、
騒音の原因が何かを考えるには、音の周波数を計算する必要があります。上記のＷＡＶファイルがあれば、ＦＦＴによる解析が可能となります。
風速の変化によって風車の回転数が変化すると、音の周波数は微妙に変化します。この微妙な変化を

とらえるには、ＦＦＴ解析ではなくて、Ｗａｖｅｌｅｔ解析が必要となります。また低周波の解析では、カオス理論の活用が有効となる場合もあります。
測定結果の解析には、このような機能を持ったソフトウエアを確保する必要があります。

データの交換、
計測は県（または市）、風力発電の事業者、第三者（大学等）で複数の機械で同時に行い、測定結果のデータを互いにその場で交換して、お互いの測定結果を全員が共有することが必要があります。
さらに、お互いの測定結果がほぼ同じであることを、その場でお互いに確認する必要があります。

データの公開、
低周波音の解析では、高度の機能を備えているソフトウエアを使う必要が出てきます。県や市、業者、大学に、そのような機能を持ったソフトウエアが無い場合も考えられます。
計測したデータを一般に公開すれば、必要なソフトウエアを持っている人からの援助も受けられます。多くの立場の人が、異なるソフトウエアで解析した結果が一致すれば、原因の究明に向けての大きな力となります。
ソフトウエアを揃えると 100 万円くらいします。公開すれば、お金も節約できて、様々な立場からの検討が可能となるので、データの一般公開は必要なことだと考えます。

計測機器について
上記の計測機器を新たに購入すると１５０万円くらいが必要です。計測機器のレンタルもありますが、マニュアルを読む時間として 2 か月程度は見ておく必要があります。さらに、記録されている符号付整数の意味についてはリオン社に確認する必要もあります。

上のような、Wavelet 解析ソフトの開発者の方の意見を参考にして考えた結論として、この地域の住民として、風車建設前と、建設後の騒音、振動の計測を複数の立場の人で行い、そのデータをＦＦＴやＷａｖｅｌｅｔ解析が可能な形で公開し、その土地に暮らす人々にとっての環境の変化を明らかにしてゆく方向で、県、業者、大学の方々の協力をお願いします。

県へのお願い：
県として上記の内容をふまえた、騒音、振動の計測計画を立てて、風力発電の事業者、地元の大学に対して参加してくれるようにお願いしてください。
さらに、その計画を全国に知らせ、無料のボランティアで計測に参加してくれる人やデータ解析に参加してくれる人を広く募集してください。
住民が安心して生活できる環境を維持するために、県として支援して下さるようにお願いします。

区長さんへのお願い：
区民の中に風車建設に賛成の意見も反対の意見もある中で、区長として中立的な立場に立とうとされていることは十分理解できます。
この地域での、現在の騒音、振動を前もって測定しておくことで、風車建設後の地域における環境の変化を科学的に把握することが可能となります。もしも、問題が発生した場合にはきちんとしたデータに基づいての議論が可能となります。
風車建設前と風車建設後の、騒音、振動の計測実施にむけて、県や市への働きかけについて、お力添えしていただけるよう、お願いいたします。

６．２８　アンケート調査

アンケートとしては、次の２つを組み合わせたものが適当だと考えます。
１つ目は、Moorhouse の調査結果を利用したものです。

健康アンケート（全般）。

健康問題	0	1	2	3
睡眠障害	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
ストレス	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
フラストレーション	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
眠りにつくのが難しい	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
不安	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
疲労感	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
耳や体の圧力や痛み	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
頭痛	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
身体の振動や痛み	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
頻繁な刺激	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
不眠症	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
うつ病	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
片頭痛	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
腹部症状	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
慢性疲労	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
自殺	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
耳鳴り	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である

です。

２つ目は、石竹達也氏（久留米大学医学部）の調査項目に追加したものです。

健康アンケート（睡眠）

アテネ不眠尺度(AIS)不眠症の自己評価

過去一ヶ月間に、少なくとも週3回以上経験したものを選んでください。

1	寝床についてから実際に寝るまで、時間がかかりましたか？	0	いつもより寝つきは良い
		1	いつもより少し時間がかかった
		2	いつもよりかなり時間がかかった
		3	いつもより非常に時間がかかった、あるいはまったく眠れなかった
2	夜間、睡眠の途中で目が覚めましたか？	0	問題になるほどのことはなかった
		1	少し困ることがある
		2	かなり困っている
		3	深刻な状態、あるいは全く眠れなかった
3	希望する起床時間より早く目覚めて、それ以降、眠れないことはありましたか？	0	そのようなことはなかった
		1	少し早かった
		2	かなり早かった
		3	非常に早かった、あるいは全く眠れなかった
4	夜の眠りや昼寝も合わせて、睡眠時間は足りてましたか？	0	十分である
		1	少し足りない
		2	かなり足りない
		3	全く足りない、あるいは全く眠れなかった
5	全体的な睡眠の質について、どう感じていますか？	0	満足している
		1	少し不満である
		2	かなり不満である
		3	非常に不満である、あるいは全く眠れなかった
6	日中の気分はいかがでしたか？	0	いつもどおり
		1	少し滅入った
		2	かなり滅入った
		3	非常に滅入った
7	日中の身体的および精神的な活動の状態はいかがでしたか？	0	いつもどおり
		1	少し低下した
		2	かなり低下した
		3	非常に低下した
8	日中の眠気はありましたか？	0	全くなかった
		1	少しあった
		2	かなりあった
		3	激しかった
9	胸や腹への圧迫感はありましたか？	0	全くなかった
		1	少しあった
		2	かなりあった
		3	激しかった
	1から8の合計		[1～3点]・・睡眠がとれています
			[4～5点]・・不眠症の疑いが少しあります
騒音振動の計測希望有・無			[6点以上]・・不眠症の可能性が高いです
	9の点数		ピーク値; Hz Pa
			A特性音圧レベル; dB
			G特性音圧レベル; dB

希望があれば上記の項目に関する室内での計測を行います。

６．２９　音響パワーレベル

音響パワーレベル L_{WA}（dB）

$$L_{WA}=L_{Aeq}-6+10\log(4\pi R_1^2/S_0)$$

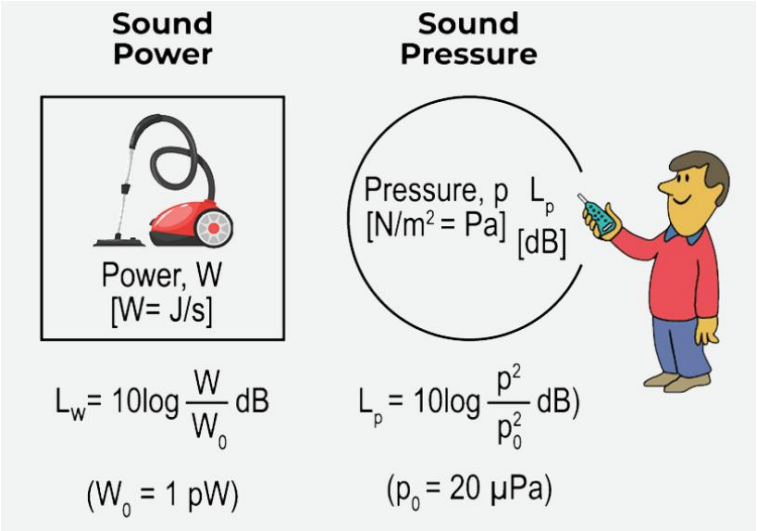
ここに　L_{Aeq}：基準位置の等価騒音レベル（dB）
R_1　：傾斜距離(=R_1m)
S_0　：基準面積(=1m^2)

注釈．反射板による完全、同位相反射の考えにより－６ｄＢ補正.

この式を見ると、A 特性音圧レベル（２０Hz～）に対応する周波数領域に限定して考えたいと言う気持ちのようですが､音響パワーと言うからには､風車からの音のエネルギーの全体を考える必要があるのです。
勝手に省略してはいけません。

音響パワーと音圧

音響パワーとは、単位時間あたりに音源が放射した空気中の音響エネルギーの総量です。一方音圧は、音源が放射した音のエネルギーが、その場の音響環境の影響を受けて測定された物理量です。音響パワーは原因、音圧は環境の影響を受けた結果といえます。
音響パワーと音圧の関係
音響パワーと音圧の関係を、熱に例えて説明しましょう。
電気ヒーターは一定の熱出力があり、それが部屋に放射されて部屋の温度を上げています。ヒーターの出力は、そのヒーターが設置されてある部屋には依存しません。しかし部屋の温度は、ヒーターからの距離や部屋の広さ、壁や床の熱の吸収や伝わり具合などの部屋の環境によって変わってきます。
音源の音響パワーと空間の音圧レベルの関係はこれと似ています。音源から放射される音のエネルギーは、その空間の音圧レベルを上昇させます。音源の音響パワーレベルは部屋に依存しませんが、音圧レベルは音源からの距離や部屋の特性に依存します。部屋の大きさ、室内の壁、床、天井などがどれだけ音を反射または吸収するかなどが関係します。



音圧と同じように、音響パワーもデシベルで表わされます。たまに基準が省略された表記で混乱を招くこともあるようですが、基準はそれぞれ、音圧レベルは 20 μ Pa、音響パワーレベルは 1pW です。

この基準は、完全な自由音場、伝搬面積が 1m2 の距離において、音圧レベルと音響パワーレベルが等しくなるように選定されています。

音響パワーはどのように測定するか？
音響パワーは、音圧または音響インテンシティから算出されます。
音圧から音響パワーを求めるには、直接法と比較法の 2 つの方法があります。直接法は自由音場で測定するのが一般的ですが、残響音場でも可能です。一方比較法は、残響音場でのみの測定となります。
直接法では、測定対象物を囲う仮想表面を定義し、その表面上の複数の位置で音圧測定を行います。これらの音圧レベル測定値は空間的に平均され、そこから音響環境（暗騒音など）の影響を補正します。
測定面の平均音圧レベルが求まれば、 基準表面積（S0 = 1m2）と測定面の表面積（S）を下式に代入するだけで、音響パワーレベルを算出することができます。このようにして、音圧レベルは音響パワーレベルと等しくなるのです。

$$L_W = L_p + 10 \lg \frac{S}{S_0} \text{ dB}$$

比較法は少し異なります。比較法では、既知の安定した音響パワーレベルを持つ基準音源を使用します。試験室では、基準音源が動作している状態と測定対象が動作している状態の両方で音圧測定を行います。そして、それぞれの音源で測定した音圧レベルを比較することで、測定対象の音響パワーレベルを算出します。

て、それぞれの音源で測定した音圧レベルを比較することで、測定対象の音響パワーレベルを算出します。

$$L_W = L_p + (L_{Wref} - L_{pref})$$

音響インテンシティ測定から音響パワーを算出する方法は、音圧法における直接法と非常によく似た手順です。しかし、音響インテンシティは時間平均されたベクトル量であるため、音圧法の測定よりも暗騒音や残響の影響を受けにくくなっています。このため、音響インテンシティベースの音響パワー測定は、特に現場での測定に適しています。

さて、

“音響パワーとは、単位時間あたりに音源が放射した空気中の音響エネルギーの総量です。”

ですから、

風車の出力が高まれば、それに対して一定の割合で騒音のエネルギーが決まると考えます。大型化の影響で、風車騒音（0Hz 以上）におけるエネルギーの分布が、0.2Hz、0.5Hz, 0.8Hz の辺りに集中してくるので、表を作るときに、ISO7196 にあるように中心周波数を 0.25Hz から 315Hz にしたものにする必要があります。これが無いと、風車が発する音響のエネルギーを計算できません。

空気の密度と音速の積、ρ c ですが

（例）空気の音響インピーダンス

Z = 1.205[kg/m3]*340[m/s]=409.7[kg/(m2・s)]=409.7 [N・s/m3]

これより、ρ c ＝400＝20*20　[NS/m3]です。

2．音響パワーレベルの定義

音響パワーレベル（Sound Power Level）は，音源が空間内に放射する音響パワー（単位：W＝J／s），すなわち音源が単位時間（1 s）あたりに放射する音響エネルギーをレベル表示した量で，国際的な約束として次のように定義されている。

$$L_W = 10 \log_{10} (P / P_0) \qquad (1)$$

ただし，L_W ：音源の音響パワーレベル（dB）

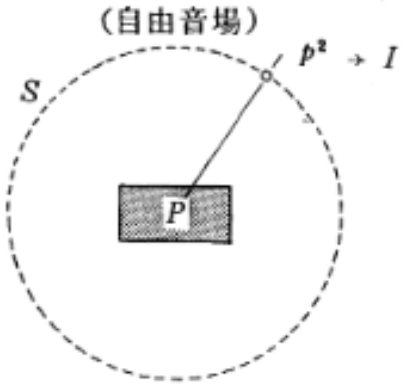
P ：音源の音響パワー（W）

P_0 ：基準の音響パワー（10^{-12} W）

この定義から明らかなように，音響パワーあるいは音響パワーレベルは，定常的（完全に定常的でなくても，ある時間をとれば統計的に定常とみなせる音も含む）を放射する音源についてのみ定義できる量で，間欠的あるいは衝撃的な音を発生する音源については適用できない。（この種の過渡的な音については，パワーではなく，放射エネルギーに着目してレベル表示する方法[2)]が提案されているが，現在のところ音響パワーレベルほど一般的にはなっていない。）

(1) 音圧法Ⅰ（自由音場法または半自由音場法）

図－1に示すように，自由音場内に置かれた音源を中心として，それをとり囲む球面を考えると，音源が放射する音響パワーP(W)と球面を通過する音の強さ（音響インテンシティー）の面上の平均値$\overline{I}$



図－1　自由音場法（音圧法－Ⅰ）

（W／m²）の間には，次の関係がある。

$$P = \overline{I} \cdot S \qquad (2)$$

ただし，S：球面の面積（m²）

ここで，自由音場内で音源からある程度離れた場所では，音の強さIと音圧pの2乗の時間平均値(以下，平均2乗音圧という）の間には次の関係が成り立つ。

$$I = p^2 / \rho c \qquad (3)$$

ただし，ρ：空気の密度，c：空気中の音速

したがって(2)式は

$$P = (p^2 / \rho c) \cdot S \qquad (4)$$

と表すことができ，定義式(1)に従って両辺を10^{-12}で除してレベル表示することにより，音源の音響パワーレベルは次式で表される。

$\rho c * 10^{-12} = 400 * 10(-12) = (20 * 10^{-6})^2 = p_0$^2　と

$S_0 = 1$ に注意すれば、

$$L_W = \overline{L}_p + 10 \log_{10} (S / S_0) \qquad (5)$$

ただし，$\overline{L}_p$：球面上の平均音圧レベル

S_0：基準の面積（1 m²）

となる。

以上のように，この方法は測定球面上で測定される音圧から間接的に音の強さを求め，それから音源の音響パワーを求める方法であり，その意味からこの方法は音圧法（音圧法－Ⅰ）と呼ばれている。また測定音場に着目する場合には，自由音場法と呼ばれている。

音響パワーレベルは、無響室あるいは残響室と呼ばれる実験室において測定される音圧レベル等から算定される。音響パワーレベルと音圧レベルの単位は同じく dB であるが、対象としている物理量は異なることに留意する。

音響パワーレベル L_W (dB)を有する無指向性の音源と、r (m)離れた点(受音点)における音圧レベル L_p との関係は、反射音のない空間(自由空間)において、式 1 で与えられる。$4\pi r^2$ は、音源を中心とした半径 r の球の表面積である(図 1)。距離が離れて表面積が大きくなり、単位面積当たりの音のエネルギーが小さくなるに伴い、音圧レベルは小さくなる。式 1 は、音源からの距離が大きくなるに従い音圧レベルが小さくなることを表すことから、距離減衰の式と呼ばれる。

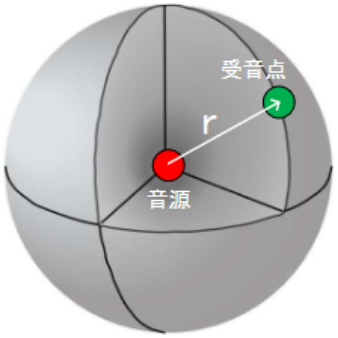


図 1　音の放射の概念図

$$
\begin{aligned}
L_p &= L_W + 10\log_{10}\frac{1}{4\pi r^2} \\
&= L_W - 10\log_{10} 4\pi r^2 \\
&= L_W - 10\log_{10} r^2 - 10\log_{10} 4\pi \\
&\approx L_W - 20\log_{10} r - 11 \qquad \text{(式 1)}
\end{aligned}
$$

この式と、

表 10.1.4-4　風力発電機のパワーレベル及び周波数特性

単位：dB

項目	1/3オクターブバンド中心周波数(Hz)：平坦特性音響パワーレベル											
	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5
本事業	133.1	131.8	130.5	129.2	127.9	126.6	125.3	124.0	122.7	120.7	118.7	116.7
既存施設	121.0	121.9	118.2	118.1	117.4	116.1	113.4	112.1	110.6	109.1	107.8	106.6
計画中施設	119.2	117.5	118.9	122.4	121.2	121.2	121.4	120.7	119.4	118.8	119.8	117.8

項目	1/3オクターブバンド中心周波数(Hz)：平坦特性音響パワーレベル												G特性
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	
本事業	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2	108.0	107.1	106.3	105.4	104.5	103.9	103.0	128.4
既存施設	103.9	102.1	101.1	101.3	101.7	97.4	102.6	99.8	108.0	100.5	96.8	93.8	117.5
計画中施設	113.3	114.2	114.1	112.7	112.3	111.2	109.8	107.2	105.6	108.7	102.1	97.5	128.5

注 1：既存事業及び計画中施設の施設規模及び風力発電機の仕様は、計画中施設の「(仮称) ウインドパーク布引北風力発電事業環境影響評価準備書」(2020 年 4 月　株式会社シーテック)を参考とした。

から、周波数ごとに Lp が分かれば、とりあえず、全体としての音圧レベルが計算できる。

普通は、上の表のように、1Hz からの表が与えられます。A 特性に限定したいのかもしれませんが、風車からのエネルギーの一部(7%)しか考えないことは、大きな過ちです。少なくとも、双方を計算して比較したうえでの議論をすべきです。

７．風車音に関する様々な考え方

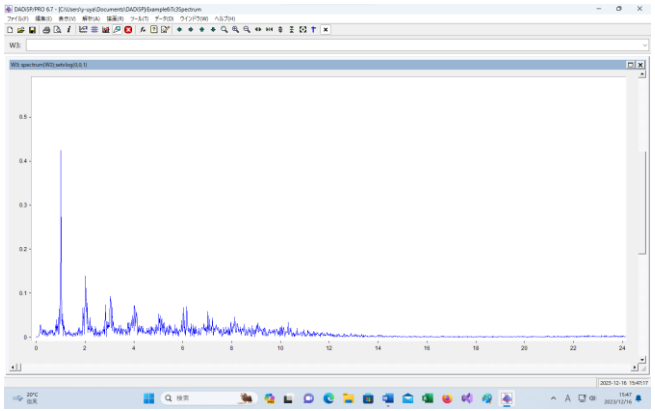
７．１　見解と説明すべき６つの現象

他にも諸説あるでしょうが、計測された超低周波音が次の１～６の性質を説明できなければ失格です。

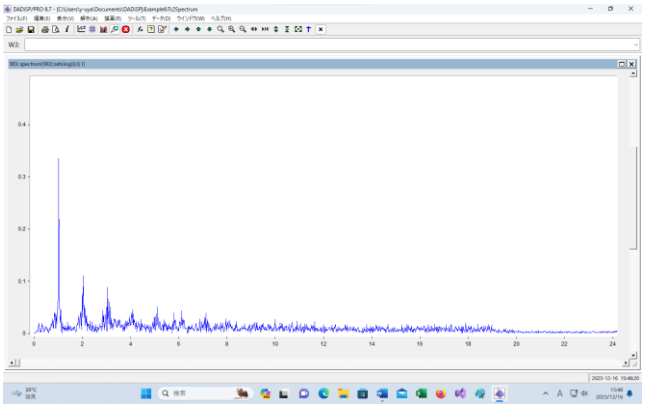
７．１．１　風車の近くでは、マイクに風が当たらなくても超低周波音が計測される。

風車の近くでの計測で、
騒音計をビニール袋に入れて、それを段ボール箱に入れて、ビニールをかぶせて、

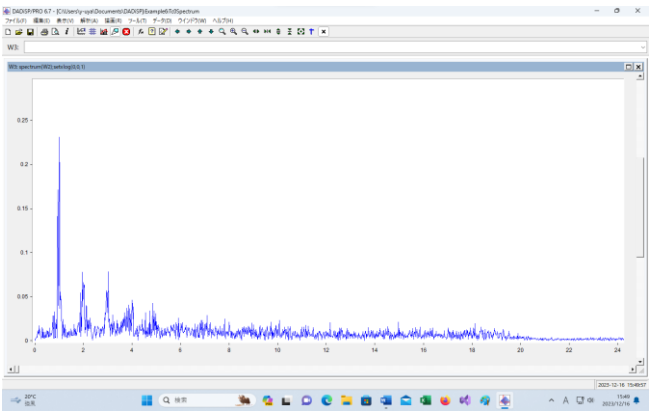
袋と箱に入れドアを閉めた場合は、Max. 0.42Pa



袋と箱に入れドアを開けた場合は Max. 0.33Pa



袋から出して箱の上においた結果は　Max. 0.23Pa



音圧の違いに関しては、音の反射を考慮する必要があります。
風車が近くにあれば、マイクに風が当たらなくても、マイクに風が当たっても、音圧が高く、規則的な周

波数を持った超低周波音は、どちらの場合でも記録されます。

7．1．2　風車が無ければ、マイクに風を当てても音圧の高い超低周波音は発生しない。

風車が無い場所で、マイクに風を当てて計測すれば、音圧が低くて、周波数に規則性が無い、超低周波音が計測されます。風車が有る場所では、音圧が高くて、規則的な周波数を持っている超低周波音が計測されます。

左が風車の近くの音、右は風車がない場所でマイクに風を当てて収録した音の超低周波音の部分です。

図５．風車音（館山風の丘）０～25Hz

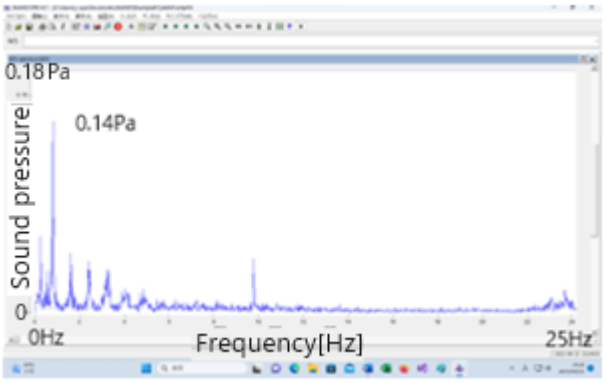
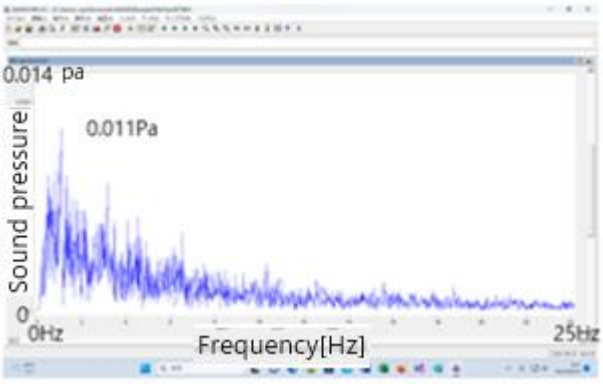


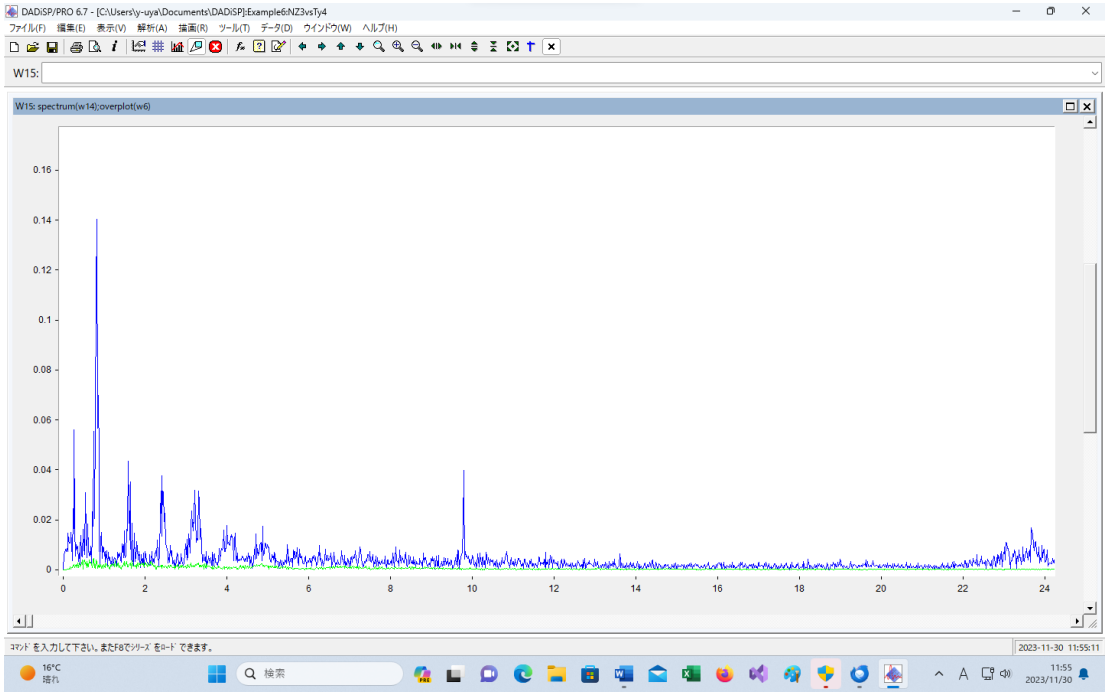
図６．長尾神社の音　０～25Hz



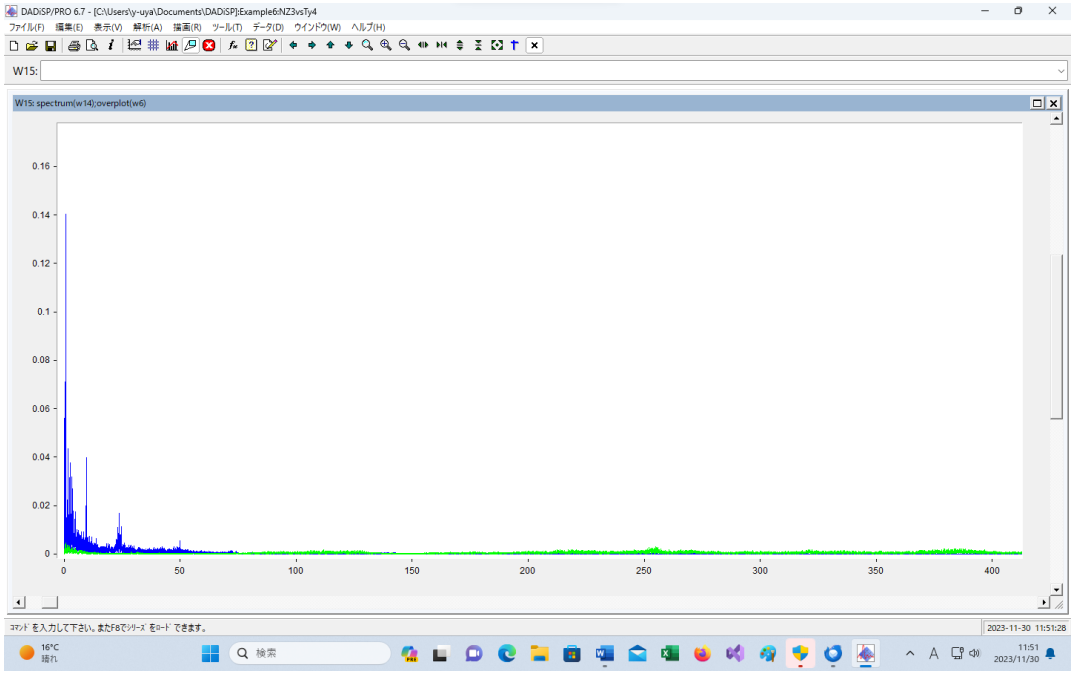
風車の近くでは 0.14Pa、風車が無い場所では 0.01Pa の音圧を持っている超低周波音が存在します。だから、風車の近くでは音圧が 10 倍です。音圧は、風速で変化します。風車の近くで 0.37Pa、風車が無い所で 0.003Pa の時もあります。これだと音圧は 100 倍です。

次のグラフは、青い線が風車の近くの超低周波音、緑の線が風車が無い場所での超低周波音です。

0～24Hz までの拡大図、風車音（青）と神社の音（緑）の周波数スペクトル



0～400Hz までの拡大図、風車音（青）と神社での音（緑）の周波数スペクトル



風車が無い場所では、マイクに風が当たることが原因の“風雑音”は、音圧が低くて、超低周波音の領域での周波数に規則性がありません。

7．1．3　周波数 f/3、2f/3、f、2f、3f、…Hz で音圧が高くなる

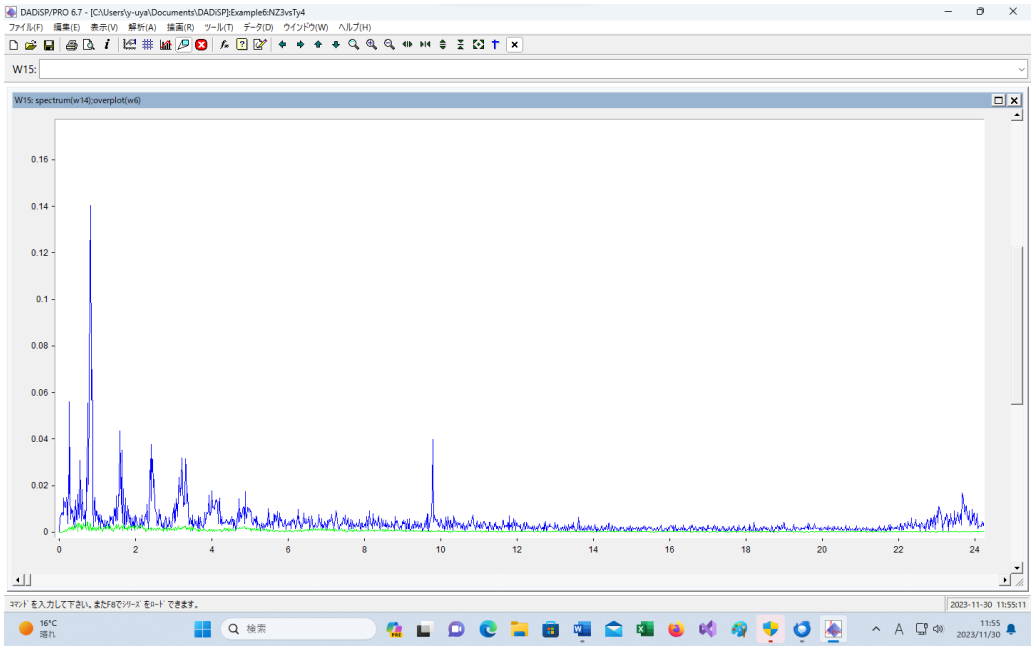
風車の近くの超低周波音は、高い音圧と規則的な周波数を持ちます。

翼の回転数毎分を R(rpm)回、翼枚数を Z(枚)とするときに、f ＝RZ/60[Hz]として計算した周波数に於いて、最大音圧になります。更に、超低周波音の領域での周波数は離散的であり、f/3、2f/3、f、2f、3f、…に於いて音圧がピーク値となるのです。

計測した音圧とピーク値の周波数は次の表です。

表１．音圧のピーク値と周波数

周波数	周波数/0.8167	音圧[Pa]
0.2667	0.3266	0.0560
0.5333	0.6530	0.0309
0.8167	1.0000	0.1405
1.5833	1.9387	0.0436
2.4167	2.9591	0.0377
3.2167	3.9387	0.0317
4.0000	4.8978	0.0177
4.8667	5.9590	0.0173
5.4667	6.6936	0.0101
6.2667	7.6732	0.0098



7．1．4　風車音の指向性、十字架型

風車の近くでは、超低周波音は指向性を持ちます。

2) 菊島義弘,長島久敏,橋本晶太,鯨岡政斗,濱田幸雄,川端浩和,小垣哲也,風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.38 p. 69-72, 2016

によれば、

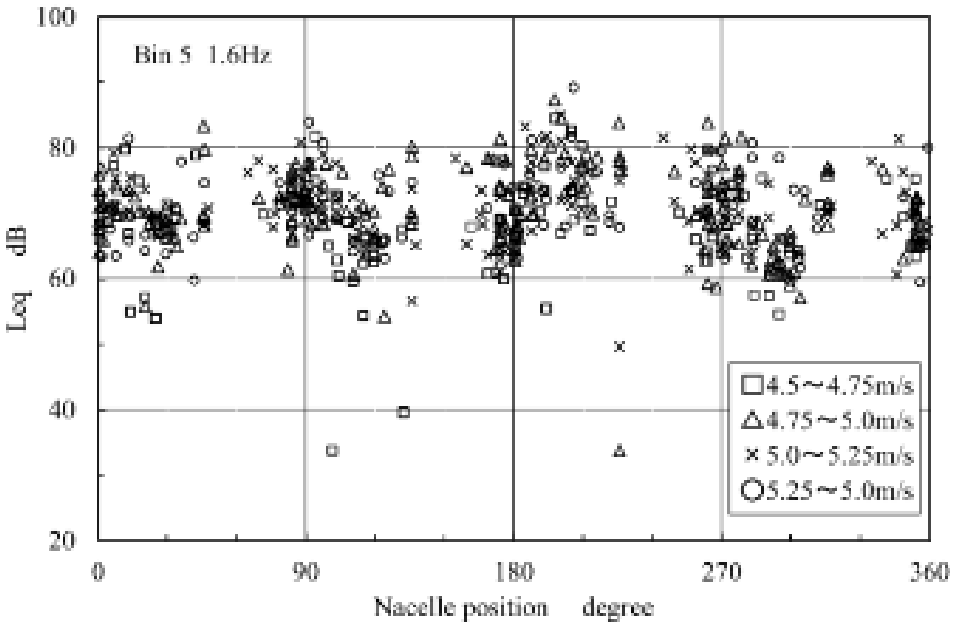
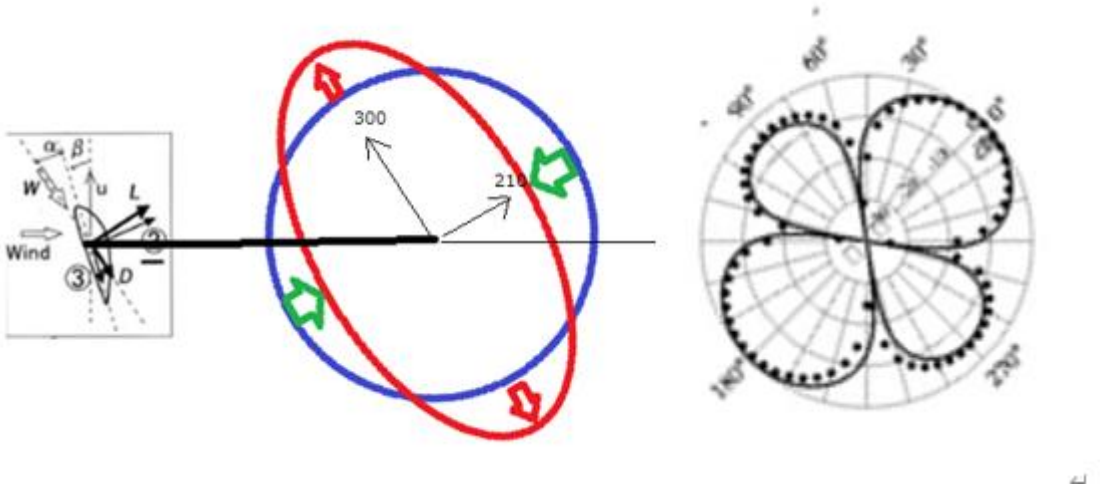


図 6　Bin 5 中心周波数 1.6Hz の指向性分布

となっていて、風車の回転軸との関係を図示すれば、次の様になります。



さらに、

1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久畝,川端浩和,田中元史,小垣哲也,濱田幸雄,風車ナセル・タワーの振動解析,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.40,p.251-254,2018

いる．図 3 のローリング方向では 0.8Hz，1.6Hz，2.7Hz にゲインの増大が確認でき，ロータの偏芯が顕著には

現れておらず，代わりに 1.6Hz に羽根数×回転数の振動が現れている．これは，上下左右の風速差と羽根数によるブレード変形振動が起因しているものと考える．また，0.7Hz に 1 次のタワー曲げ振動モードが表れており，0.8Hz のタワーねじり振動モードと同レベルとなっていることが観測でき，タワー振動がブレードに影響していることが分かる．

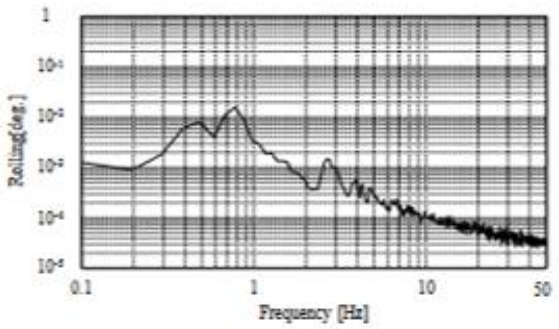


図 2　ナセル内傾斜計鉛直方向スペクトル

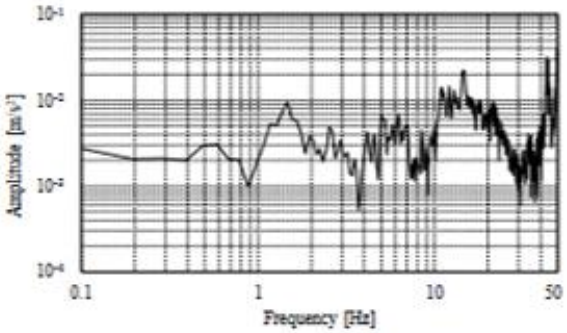


図 4 ナセル内加速度 210 度方向スペクトル

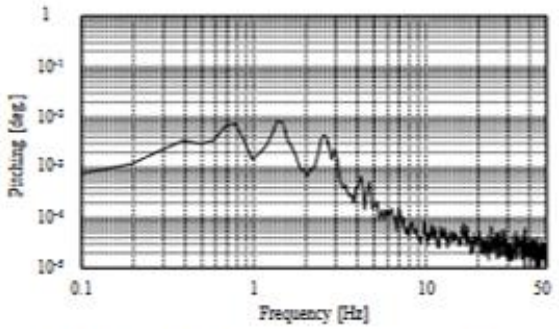


図 3　ナセル内傾斜計ローリング方向スペクトル

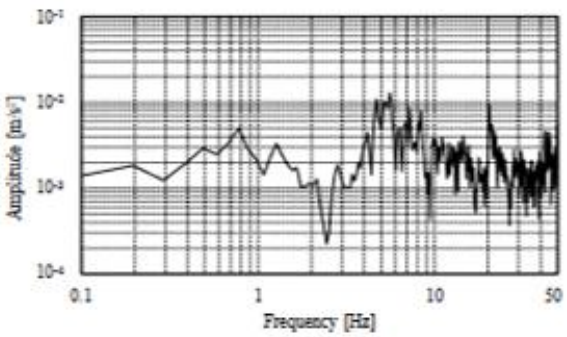


図 5　ナセル内加速度 300 度方向スペクトル

風車ナセル・タワーの振動解析では、

[redacted] 210 度方向ではロータ回転周波数 0.5Hz が若干表れ，羽根数×回転数 1.6Hz が顕著に表れている．

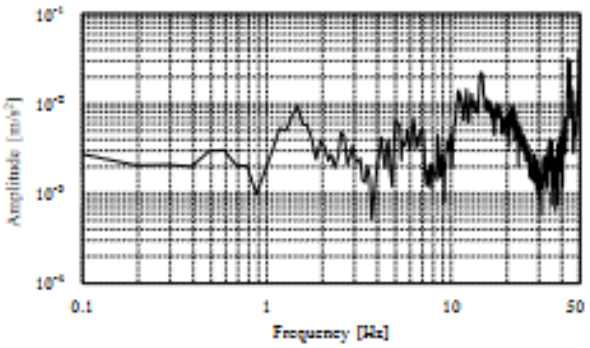


図 4 ナセル内加速度 210 度方向スペクトル

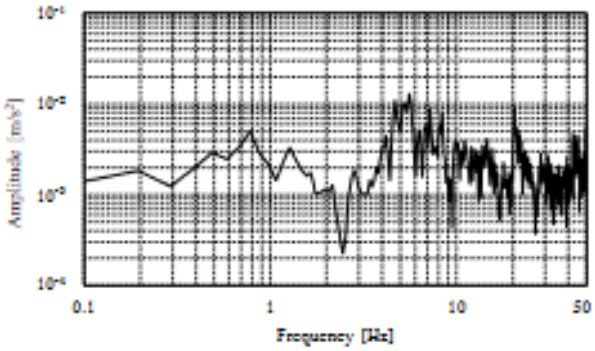


図 5　ナセル内加速度 300 度方向スペクトル

ここでの、210 度については、塔の中心の真上にあるナセル内の床を原点にとり、回転軸がブレードの方向を向く方向を基準にして、左回りの回転で計測した、角の大きさだと考えます。

この時、210+90＝300 ですから、210度方向には大きく揺れるが、それに対する直角方法では、振幅が少し小さくなる。

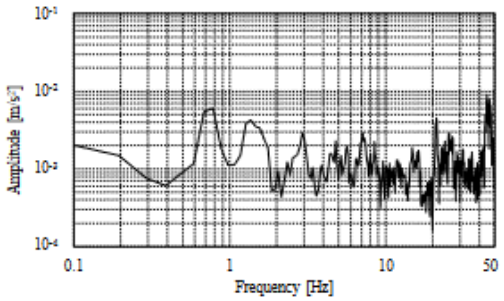


図 6　タワー内 40m 加速度 210 度方向スペクトル

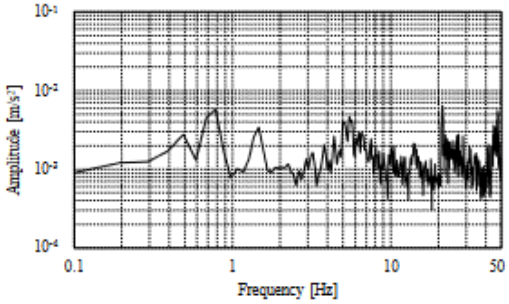


図 7　タワー内 40m 加速度 300 度方向スペクトル

７．１．５　全国 164 か所で音圧の高い超低周波音が計測された。

風車の周辺では、環境省が依頼した調査の結果では、調査した 164 か所の全ての地点で超低周波音が計測されています。

次のグラフは、「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」にあるものです。

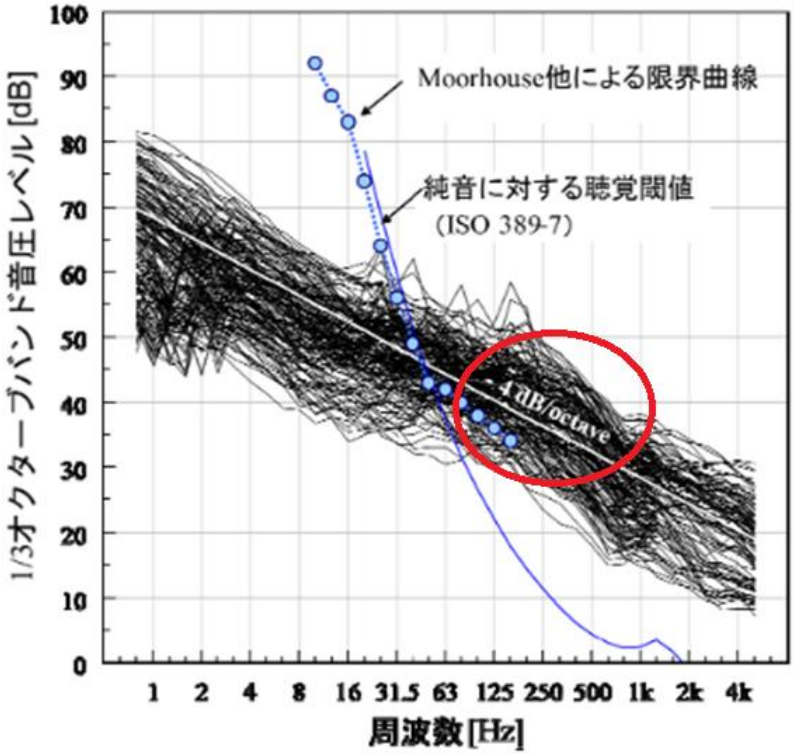


図 3　全国 29 の風力発電施設周辺 164 地点における風車騒音の周波数特性の分析結果

上のグラフを見れば、20Hz 以下の部分の音圧が極めて高いことが見て取れます。これは、超低周波音が高い音圧で存在することを意味しています。

グラフを、よく見ると、-4dB/octave と書いてある。これは、

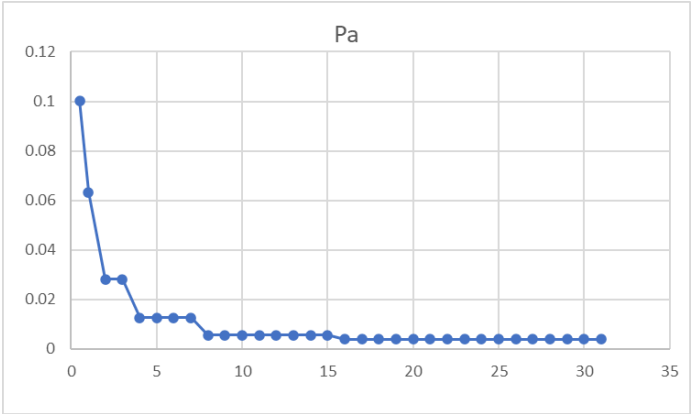
「ある音を基準として、周波数比が 2 倍になる音」を「1 オクターブ上の音」と呼んでいます。

周波数が２倍になると１オクターブ増える。１オクターブ増えると音圧レベルが４ｄＢ減る。

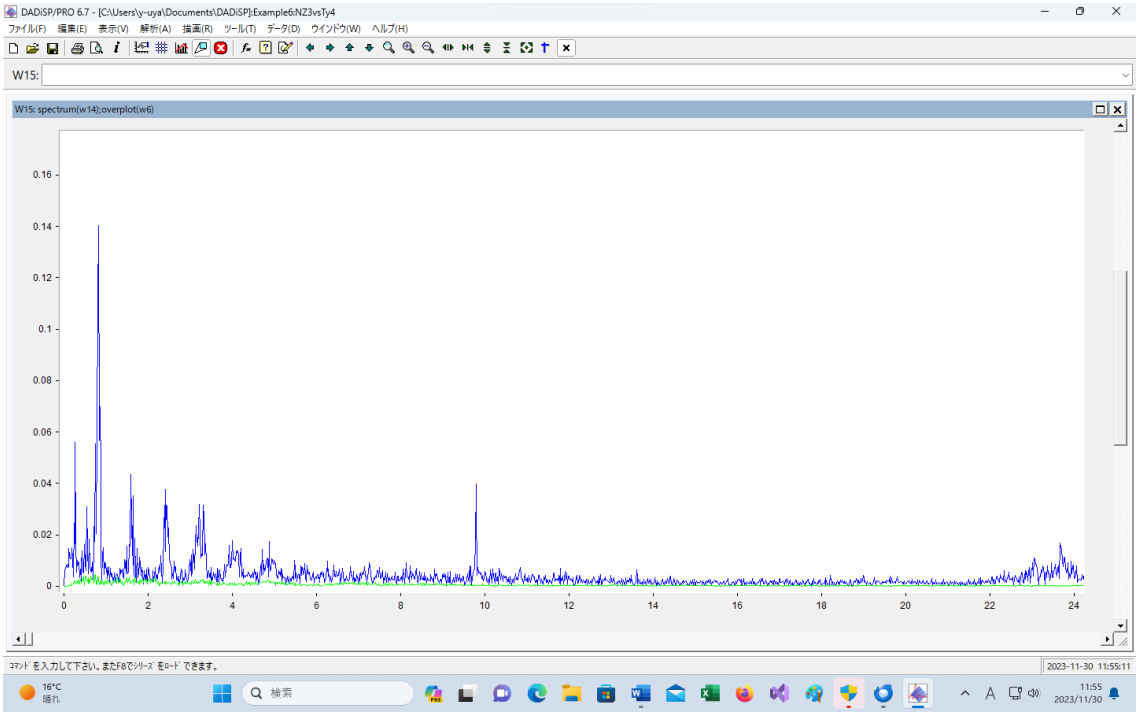
という事ですので、

図３のグラフの横軸を線形座標、縦軸をパスカル値に変換すればグラフは次の様になります。

Hz	dB	Pa*Pa	Pa*Pa	Hz	Pa
0.5	74	0.010048	0.010047546	0.5	0.100237
1	70	0.004	0.004	1	0.063246
2	66	0.001592	0.000796214	2	0.028217
3			0.000796214	3	0.028217
4	62	0.000634	0.000158489	4	0.012589
5			0.000158489	5	0.012589
6			0.000158489	6	0.012589
7			0.000158489	7	0.012589
8	58	0.000252	3.15479E-05	8	0.005617
9			3.15479E-05	9	0.005617
10			3.15479E-05	10	0.005617
11			3.15479E-05	11	0.005617
12			3.15479E-05	12	0.005617
13			3.15479E-05	13	0.005617
14			3.15479E-05	14	0.005617
15			3.15479E-05	15	0.005617
16	58	0.000252	1.57739E-05	16	0.003972
17			1.57739E-05	17	0.003972



右側のグラフは、下のグラフの青い線とよく似た形です。



これは、風車音の計測結果ですから、似ていて当然です。

また、100Hz から 4ｋHz の間では、

Hz	dB	Σ(Pa*Pa)	Pa*Pa	Hz	Pa
128	46	1.592E-05	1.24408E-07	128	0.000353
256	42	6.34E-06	2.4764E-08	256	0.000157
512	38	2.524E-06	4.92935E-09	512	7.02E-05
1024	34	1.005E-06	9.81206E-10	1024	3.13E-05
2048	30	0.0000004	1.95313E-10	2048	1.4E-05
4096	26	1.592E-07	3.88777E-11	4096	6.24E-06

Hz	dB	Σ(Pa*Pa)	Pa*Pa	Hz	Pa
1024	38	2.524E-06	2.46468E-09	1024	4.96E-05
1024	34	1.005E-06	9.81206E-10	1024	3.13E-05
1024	15	1.265E-08	1.23526E-11	1024	3.51E-06
2048	35	1.265E-06	6.17632E-10	2048	2.49E-05
2048	30	0.0000004	1.95313E-10	2048	1.4E-05
2048	12	6.34E-09	3.09549E-12	2048	1.76E-06

これと、窓による遮音効果を考えれば、

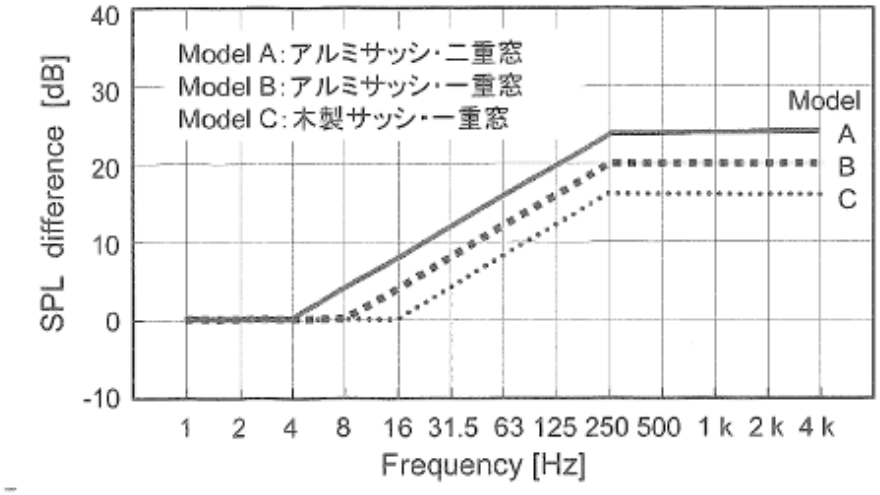
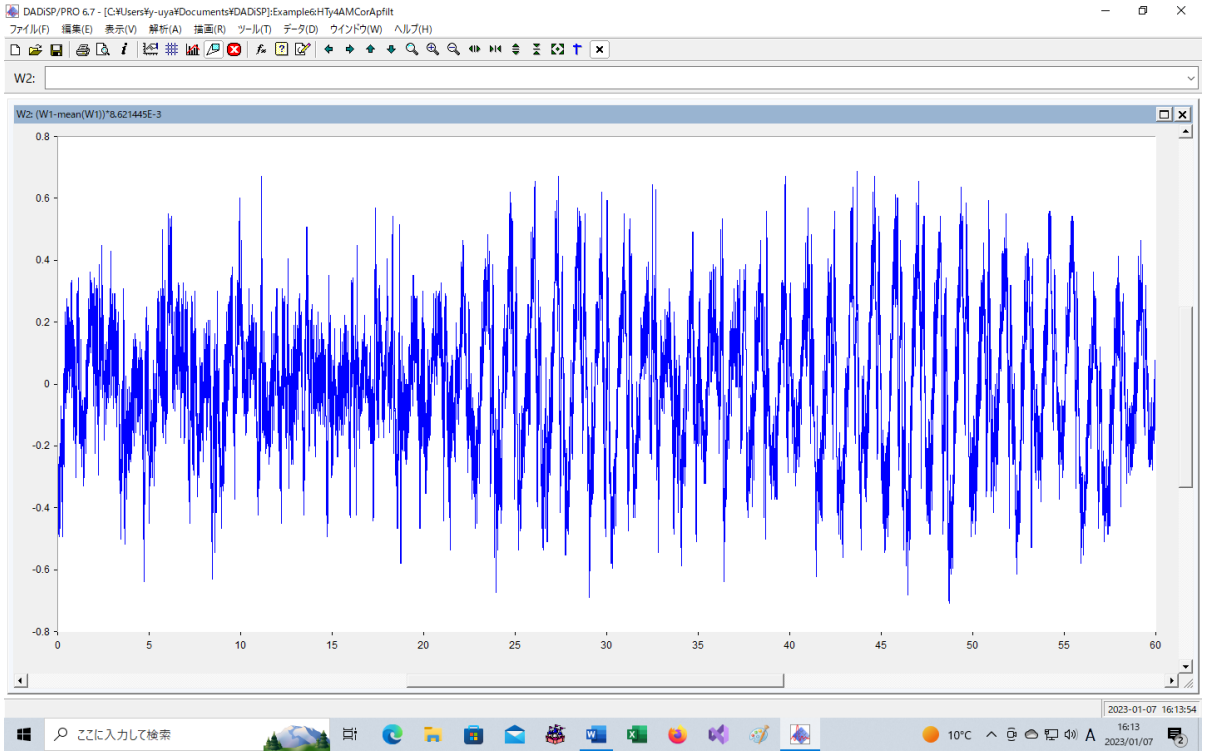


図 4 開口部構造別のハウスフィルター・モデルの案

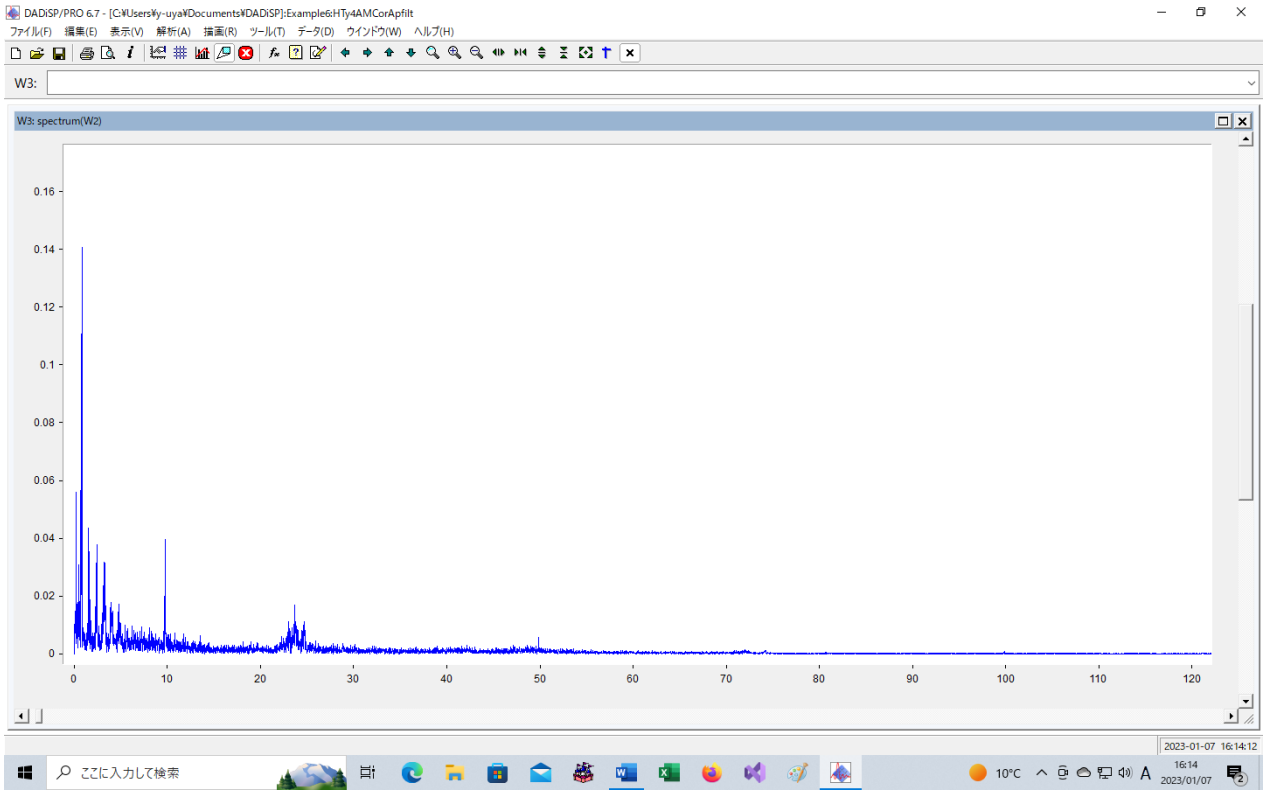
室内では、1ｋHz の音は、18ｄB 以下、２ｋHz の音は 15ｄB 以下だと考えられます。

周波数が高い部分の音圧は極めて低いことが分ります。この成分の振幅変調はありますが、元々小さく、防音効果が効くので問題ではありません。

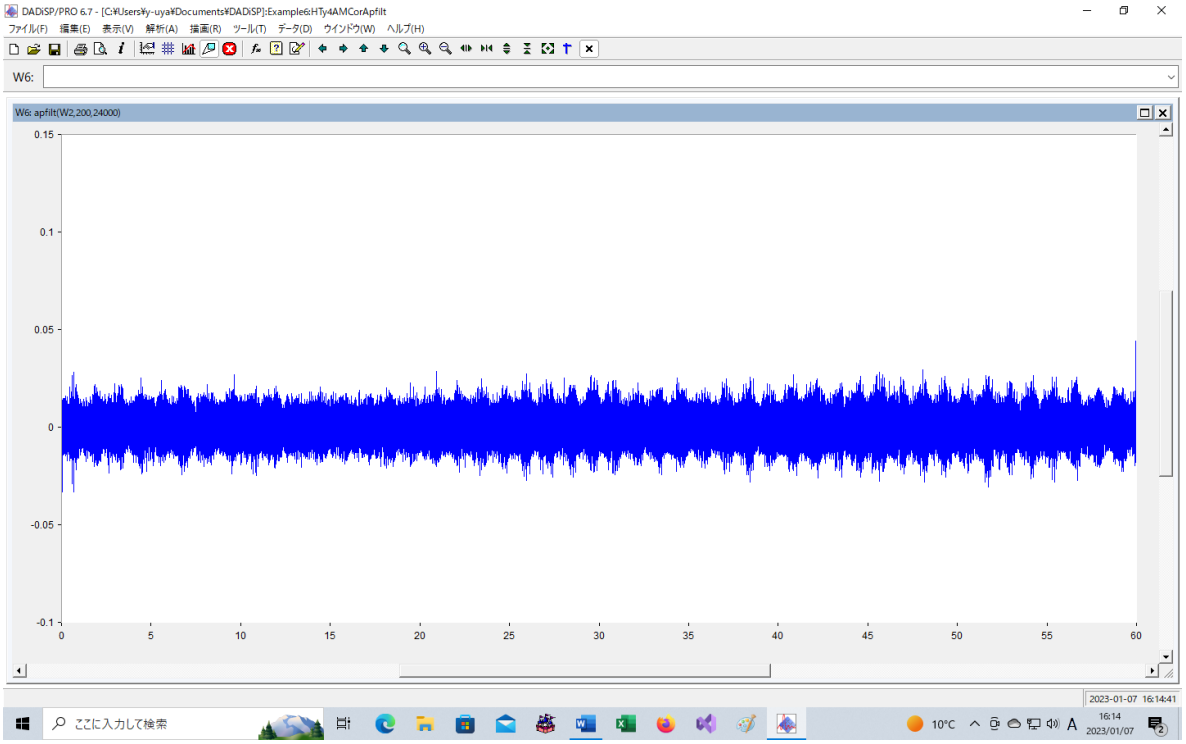
風車音を60秒計測したデータを表すグラフは次のものです。(これが風車音そのものです。)



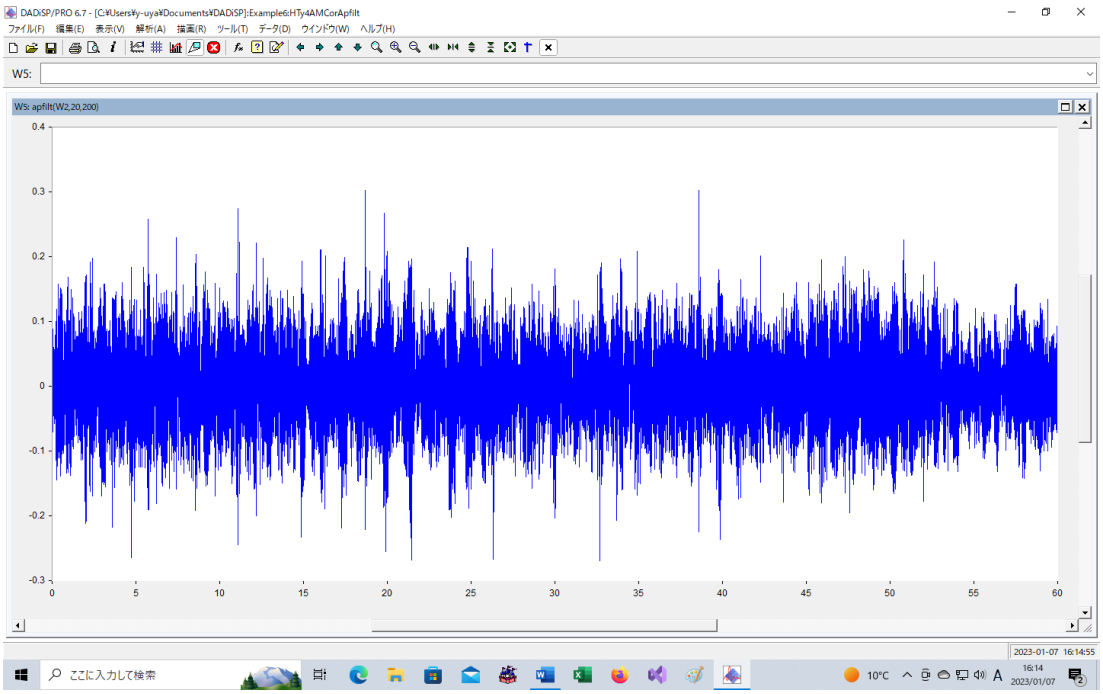
低周波部分を拡大した、周波数スペクトルは次のグラフです。50Hz 以下の成分が大半を占めています。このグラフからも、200Hz 以上の成分は、微弱なものであることが分かります。



FFT は逆変換が出来るので、元の波形から、200Hz～24000Hz の成分を取り出しました。確かに、振幅が変動しています。

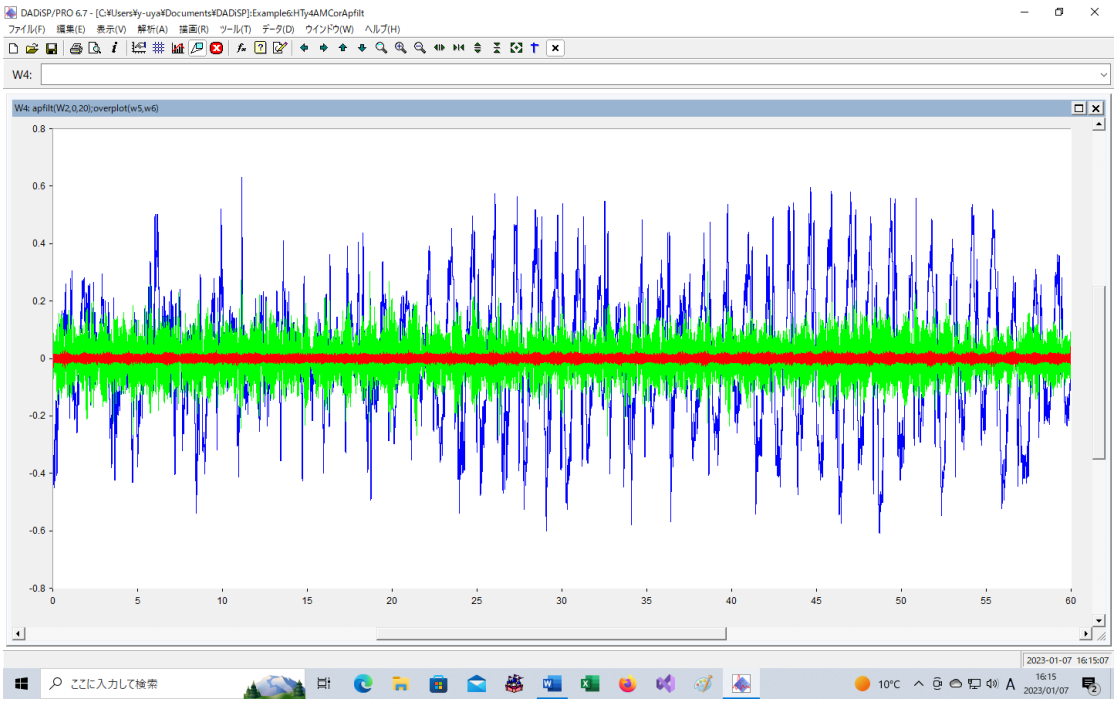


同様に、20Hz～200Hzの成分を取り出しました。



同様に取り出した、0Hz～20Hzの超低周波音成分を青で、20Hz～200Hz の成分を緑で、200Hz～24000Hz の成分を赤で、重ね書きしてみました。高い音圧を持っているのは、超低周波音の成分であることが分かります。

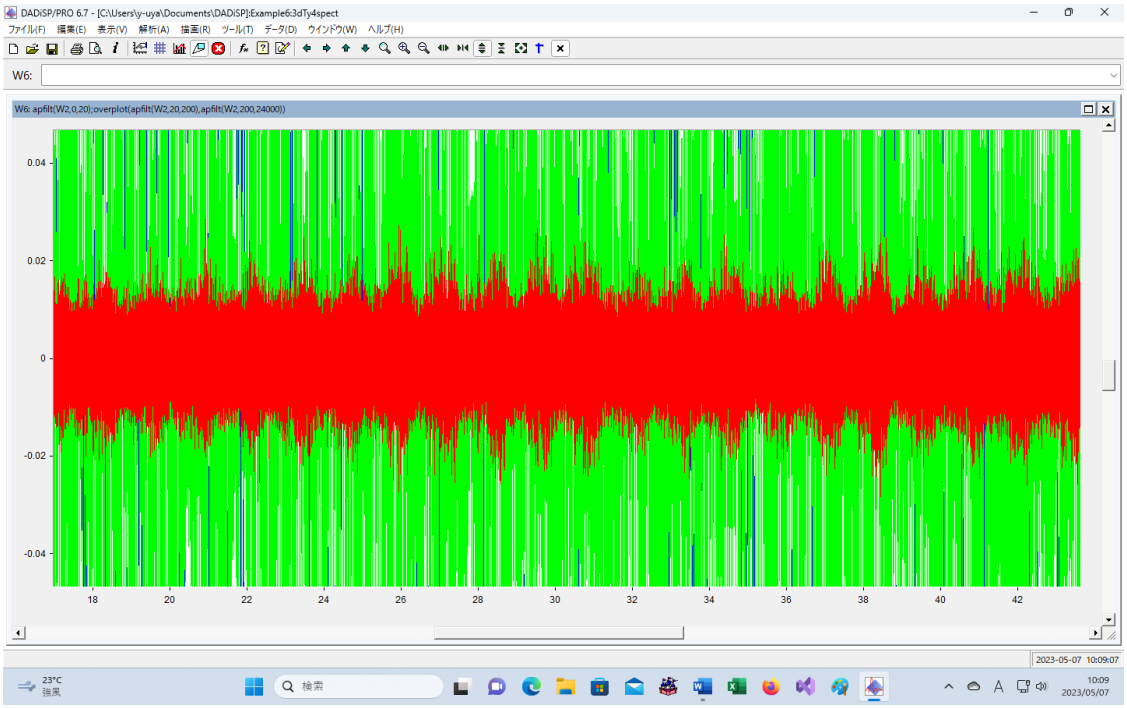
赤い部分の 200Hz 以上の成分は、他の成分に比べて、極めて弱い音であることが見て取れます。



赤い部分を拡大すれば、振幅変調も見て取れますが、周波数が高いので、防音窓で防げると考えます。

事論、屋外と屋内で精密騒音計を使って、0.01Hz 刻みの周波数で調べて、比較してみることが必要です。

さらに、A 特性音圧レベル（20Hz～）が同程度の交通騒音が存在する場所でも、同じ計測をして、比較してみることも必要です。



赤の部分は、微弱で周波数が高いのですから、部屋の中で窓を閉めて、24dB 程度の減衰があることを考えれば、室内での被害の原因とはなりません。超低周波音（0Hz～20Hz）の部分は、エネルギー透過率が高いので窓を閉めても、7dB 程度の減衰しか期待できませんので、室内での被害に関しては、この影響は無視できません。

日本家屋は、固有振動数が 1Hz 程度であり、大型化する風車から出てくる音の音圧が最大となるのは、1Hz よりも低い周波数となっているのです。しかも、風車音のエネルギーの 93%以上を超低周波音が持っているのです。

7．1．6　周波数と音圧は風速に従って変化する

風の変化は大きいが、超低周波音の周波数はかなり安定しています。

次の表は、気象庁が計測したデータを、気象業務支援センターから入手したものです。

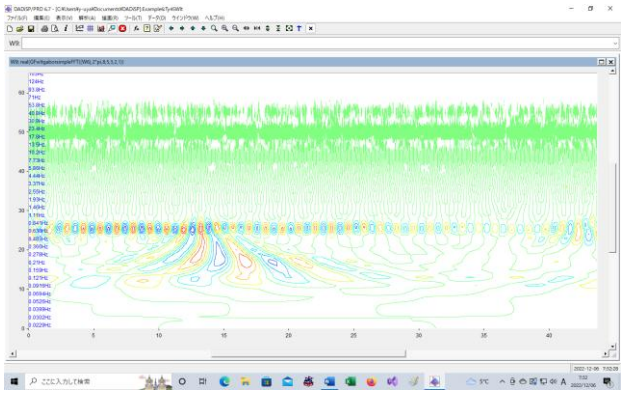
年	月	日	時	分	秒	前10秒間最大瞬間風速	前10秒間最小瞬間風速	前10秒間風程
						0.1m/s	0.1m/s	
2019	2	2	0	12	40	147	124	132
2019	2	2	0	12	50	146	107	131
2019	2	2	0	13	0	122	82	102
2019	2	2	0	13	10	105	65	83
2019	2	2	0	13	20	112	71	82

（前 10 秒間風程は、10 秒間に風が進む行程を意味します。132 は秒速 13.2mの風速です。）

風速も風向も不安定なのです。

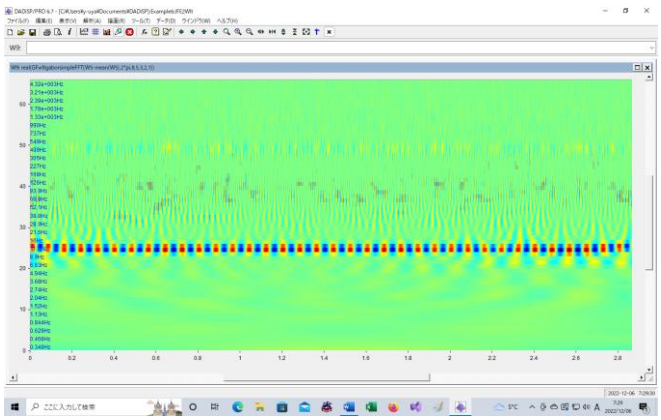
このようは風の変化に対して、風車音を Wavelet 解析した結果は、次のグラフです。0.8Hz の辺りに色の濃い部分が見えます。上下の変動（周波数の変化）は少ないが、色は変化します。色が濃い場所は音圧が高いことを表します、色が薄い場所は音圧が低いことを表します。

風車騒音（0Hz 以上）



工場音では、1Hz に、音圧も周波数も安定している音が含まれることが分ります。

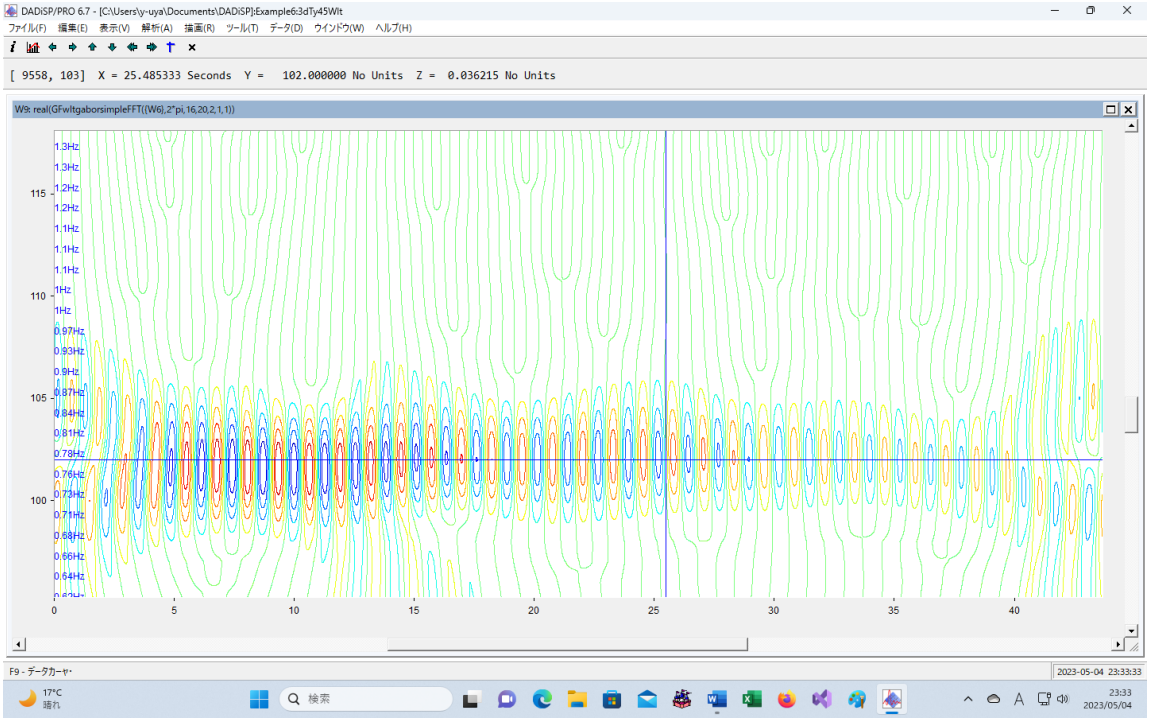
工場騒音（0Hz 以上）



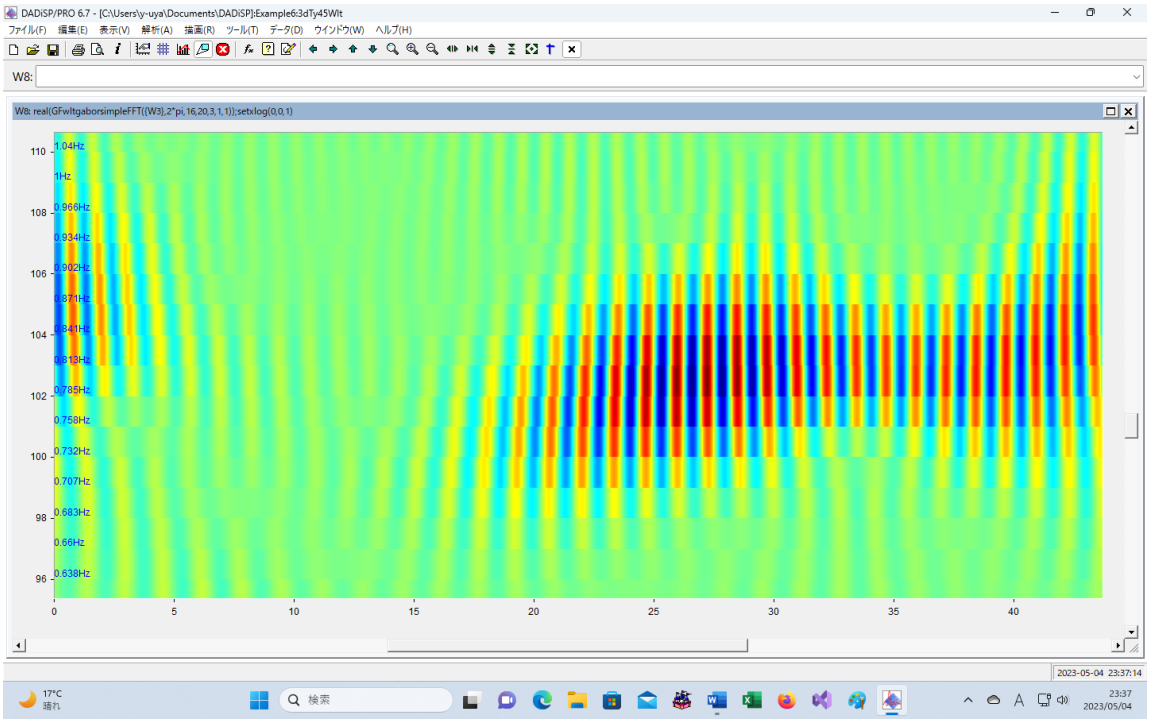
風の変動と機械の安定性の違いが表れています。

周波数の細かな変動

0.8Hz 辺りの周波数の時間的な変動を調べます。
次のグラフからは、
0.77Hz を中心にして、0.73Hz から 0.80Hz の間辺りで変化していることが分かります。



次のグラフでは、変動が大きくて、0.71Hz～0.94Hz の間で周波数が変動することが分かります。

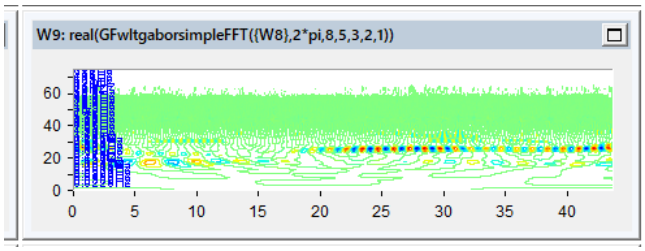


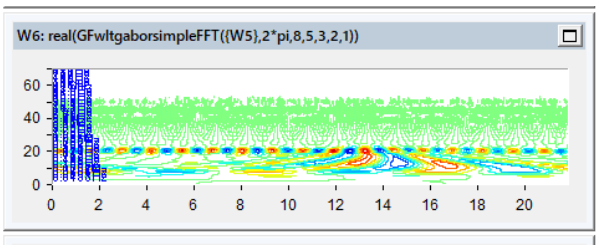
風車音を録音した時に、ビデオで風車が回転する様子も撮影しました。
ブレードが塔の前を21回通過するのにかかる時間を計測して､それを元にして周波数を計算してみました。
その変動の様子は、Wavelet 解析での変動の様子とほぼ一致します。

7回転		
21回通過	秒	周波数
21	28	0.75
21	22	0.95
21	23	0.91
21	23	0.91
21	24	0.88
21	27	0.78
21	30	0.70
21	24	0.88
21	26	0.81
21	25	0.84
21	26	0.81
21	26	0.81
21	26	0.81
21	26	0.81
21	27	0.78
21	31	0.68
21	31	0.68
21	27	0.78
21	26	0.81
21	25	0.84
21	26	0.81
21	28	0.75
21	28	0.75
	平均	0.80

一定の風速があり、風車が回転数を一定に保つ機能を持っている場合には、
音圧が最大となるときの周波数は、ブレードが塔の前を通過する回数と、それに要する時間によって決まる。
周波数ｆ＝通過回数Ｎ÷時間Ｔ
ブレードが３枚の風車では、回転数をｎとすれば、通過回数は 3*ｎ＝Ｎ、この間の時間をＴとすれば
ｆ＝ｎ*3÷Ｔ
と言える。
１分間にＲ回転すれば、Ｒ＊３÷60＝ｆとなるので、以前環境省が言っていた
その基本周波数ｆ（Hz）は、翼の回転数をＲ（rpm)、翼枚数をＺ（枚）とすると
ｆ＝RZ/60 （Hz）
が正しいことになります。
周波数スペクトルを計算した場合は、上の表での平均値 0.8H ｚに於いて音圧がピーク値となる。

合計で２分間分の結果を並べて表示すれば、下のようになり、

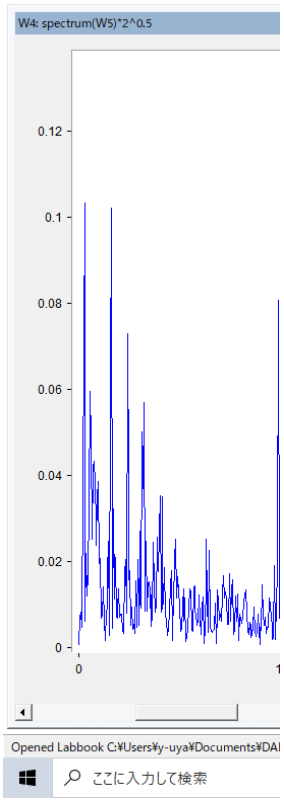


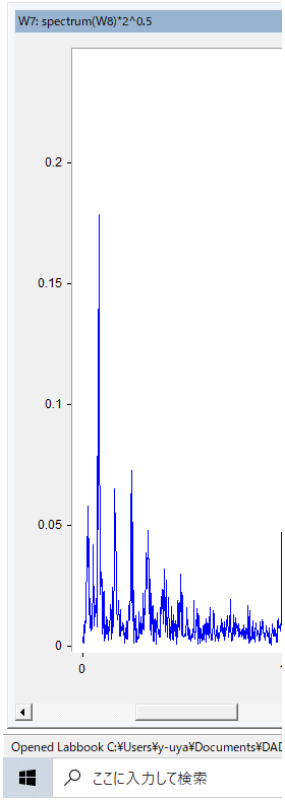


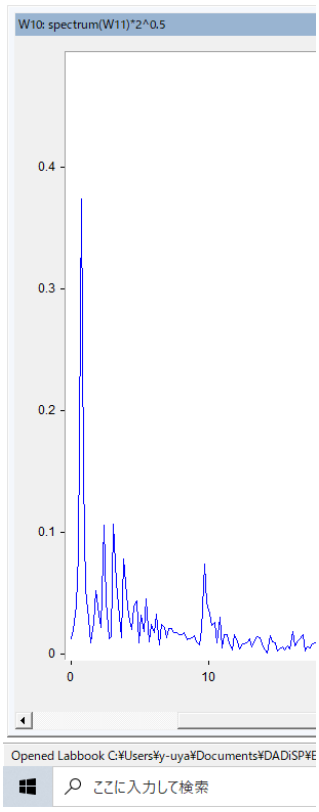
0.8Hz 程度の周波数成分が、0.3 パスカル程度の強さで放出される状態が 100 秒程度継続することが分かります。共鳴や共振現象、音の反射などが発生して、寝ている人間を起こすには十分な継続時間です。

色が比較的濃い部分は 0.8Hz 辺りの音が強いことを表します。
この線が上に上がれば周波数が高くなり、下に下がれば周波数が低くなったことを表します。色が濃は音が大きいことを意味します。薄い色は音が小さいことを意味します。

風速や風向が激しく変化しているので、0.8Hz 辺りの周波数は微妙に変化しますが変動幅は小さい。







0.104Pa　　0.175Pa　　0.37Pa

周波数の変動幅は少ないのですが、音圧は平均すると 0.175Pa、弱いときは 0.104Pz、強いときは 0.37Pa です。強いときは、平均の2倍程度の音圧になり、激しく変動します。

７．１．７ その他

この疑似音の周波数は何ヘルツになるのかを明言する必要があります。風は乱雑に変化します。これを考えれば、決まった周波数は無いと考えるべきか、それとも別の理由があって、疑似音として観測される刺激は、決まった周波数を持つのかを明言することが必要です。それが無ければ、単なる妄想です。

さらに、風車音が、指向性を持つという結果が判明しています。
2) 菊島義弘,長島久敏,橋本晶太,鯨岡政斗,濱田幸雄,川端浩和,小垣哲也,風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.38 p. 69-72, 2016
疑似音は、この指向性をどのようにして実現しているのかを説明しなくてはなりません。
科学の世界に、空想を持ち込んで、超低周波音の問題を隠蔽してはいけないのです。

このような、”風雑音“、”風による疑似音“がはびこる理由は、風車音が発生する仕組みの解明が不十分だったからです。更に、その解明が不十分となって根拠は、”ｆ=RZ/60 Hz としたときに、風車からは、ｆ、２ｆ、３ｆ、…の周波数の音が出る“、としたことにあるのです。
周波数分解能を上げて、周波数スペクトルを調べれば、
”ｆ=RZ/60 Hz としたときに、風車からは、ｆ、２ｆ、３ｆ、…の周波数の音が出る“
のではなくて、
”ｆ=RZ/60 Hz としたときに、風車からは、f/3、2f/3、ｆ、２ｆ、３ｆ、…の周波数の音が出る“
のです。
この理由を考えて、塔の動きと、風車音の指向性を調べれば、風車音の発生する仕組みが判明するのです。

精密騒音計を２重の段ボールの箱に入れて、ビニールで覆い、窓を閉めた車の中に置けば、マイクに風は当たりません。あるいは、室内で計測すれば風の影響は受けません。
さらに、風をマイクに当てながら計測した値と比較すれば、風の影響が判明します。

あるいは、防風スクリーンを付けて計測する隣に、防風スクリーンなしの精密騒音計を並べて計測すれば、風の影響を評価できます。
この比較を繰り返せば、計測値に対しての風の影響を補正することが可能になります。

さらに、“実際、多くの騒音計は超低周波周波数を測定していません。” とありますが、日本の調査では、計測した 164 か所全ての場所で超低周波音が計測されています。この計測されたものが、”風雑音“か”風による疑似音“かの判定は後ほど明らかとなります。

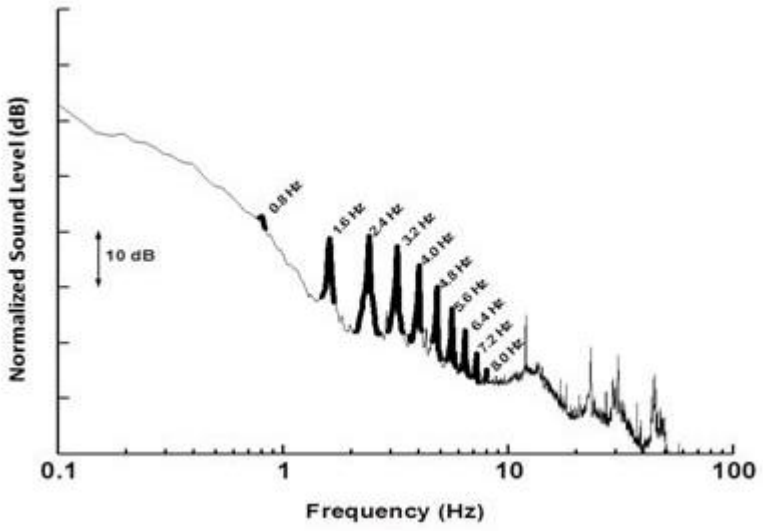
風雑音、疑似音の問題では、次のような計測が必要です。
１．防風スクリーンを付けたもの。２．防風スクリーンを付けないもの。３．防風スクリーンは付けないが騒音計を小さな段ボール箱に入れて、その箱ごと大きな段ボール箱に入れたもの。
の３個を並べて同時に計測する。

その結果を比較する。
３では、風は全くマイクには当たらないのだから、マイクの上を空気が流れることは無い、よってマイクに対する圧力の変化のうちで、風が原因のものは無い。
２では、風車音と風雑音が両方とも計測される。
１では、防風スクリーンによって減衰した風車音が計測される。
３で計測されるのは、風による疑似音ではなく風車からの超低周波音という事になる。

さらに、
隣に置いてあるマイクに風が当たって発生した疑似音が３に影響を与えるかもしれないので、１．２．３をそれぞれ単独で計測する。
ビデオで風車の回転も記録しておく。
２と３の結果を比べれば、除去すべき疑似音（風雑音）が把握できる。

次のグラフのピーク値は、風車からの超低周波音の存在を示しているのか、それとも、疑似音の存在を示しているのかの判断は保留するとしても、

“風車音をバックグラウンドノイズから分離することができます。これらの倍数は高調波と呼ばれ、基本周波数が 0.8Hz のソースの場合、1.6Hz、2.4Hz、3.2Hz、4.0Hz、4.8Hz などになります。”
との説明があるので、この図を作った人は、風車音であり、周波数が 20Hz 以下の音だと認識している。
著者は、風車音が、強烈な超低周波音を含むと主張しているのです。



0.8Hz、1.6Hz、…の音は、風車音だと書いてある。
もし、10Hz 以下が風雑音ならば、この系列の音は、風車音ではなくて、風がマイクに当たったことによるか疑似音となるので、風車音ではなくなる。
もし、5Hz 以下を疑似音とすると、0.8Hz～4.8Hz までの疑似音の成分と残りの風車音の周波数が等差数列になる理由を説明する必要がある。
さらに、共通する問題として、風は乱雑な動きをするのに、このような規則的な周波数成分が現れる理由を説明しなくてはならない。

風車音の指向性まで含めて風がマイクに当たったことによる疑似音として説明する必要があります。

さらに、根本的な問題として、このような音圧の変動は、マイクを使って計測したことが原因で出現したのか、それとも、元々あった音圧変動をマイクが収録しただけなのか？

もともとあったとすれば、何が原因なのか？

マイクでの計測が原因ならば、１つのマイクが、風車音の指向性や離散的な周波数構造を決定できる理由は何か？

一つ嘘をつくと、百個の嘘が必要になってしまいます。残される唯一の説明は神様の計らいという事しか残りません。

仮に、

“マイクロホンの上を空気が流れるため、気圧の変動による風による疑似音です。”

が計測された超低周波音の原因ならば、風車が存在しない場所で、同じ風速の風をマイクに当てれば、同程度の疑似音が観測されるはずですが、風車が無ければ、特殊な疑似音は発生しません。

風車が有るとなぜ疑似音が発生するのかを考える必要があるのです。手掛かりは、周波数特性と、指向性と風車の動きです。

マイクの音響特性が、0.4Hz から 20ｋHz まで平坦なものを使って、音圧の変化をサンプリングレート 48ｋHz で、120 秒間測定出来て、結果を 16 ビットの符号付整数として記録した WAV ファイルがあれば、マイクの上を流れる空気による疑似音が、風車からの超低周波音なのかの判断は可能です。

風車音の性質をさらに考えてみます。

中心周波数 1.6Hz については、次の図の黒い印は特定の方向への集中度が高い。これは強い指向性がある事を意味します。音圧は 60ｄB～80ｄB 程度であり、全国 164 か所のデータと一致しています。

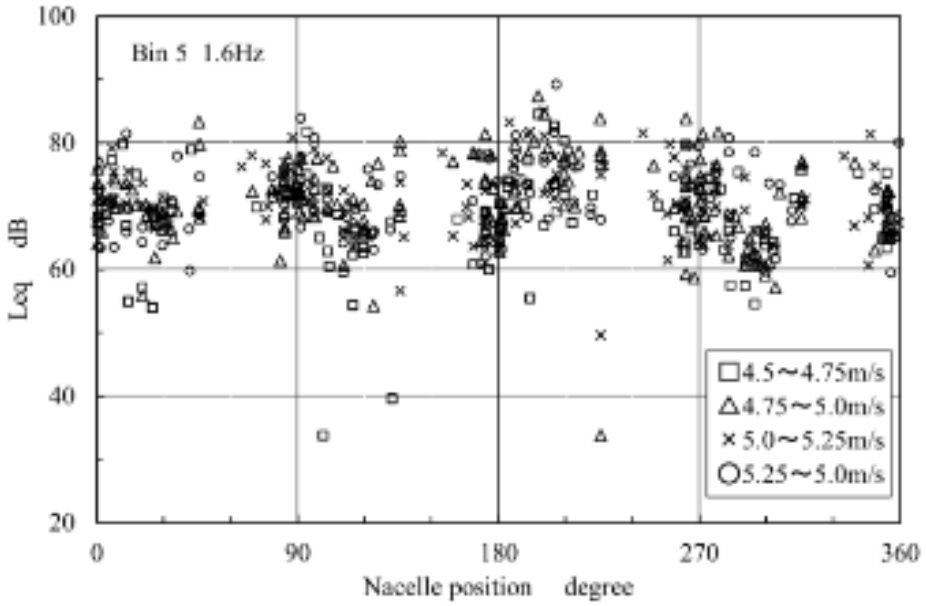


図６　Bin 5 中心周波数 1.6Hz の指向性分布

中心周波数 100Hz では、黒い印が横に広がっていますので、指向性が弱くなっていることを意味します。音圧は、50ｄＢ程度です。

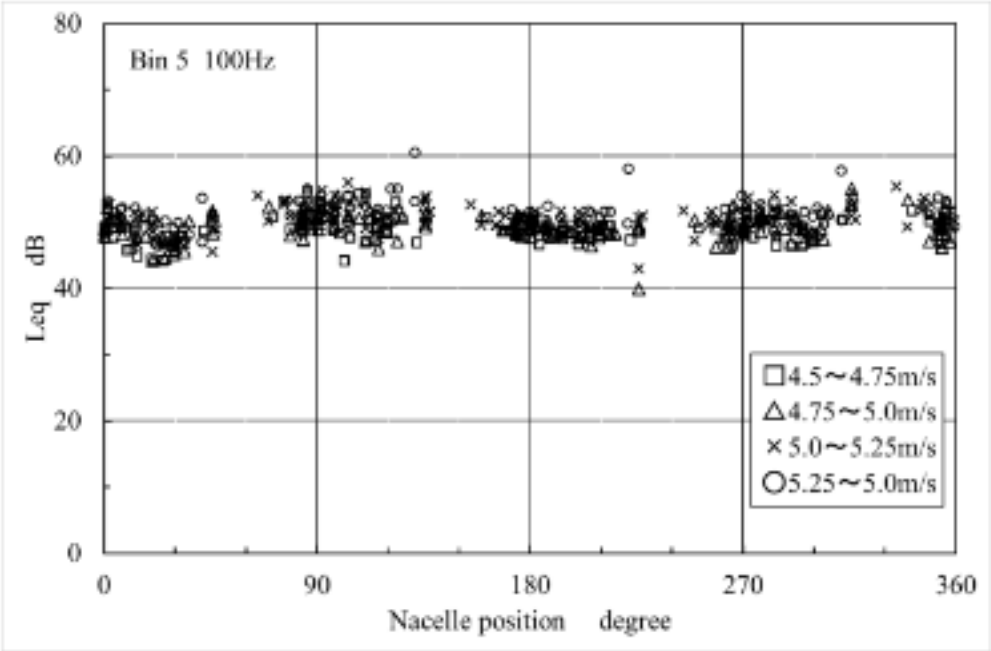


図７　Bin 5 中心周波数 100Hz の指向性分布

中心周波数 1.25ｋHz では、音圧は 30ｄＢ～40ｄＢ程度です。

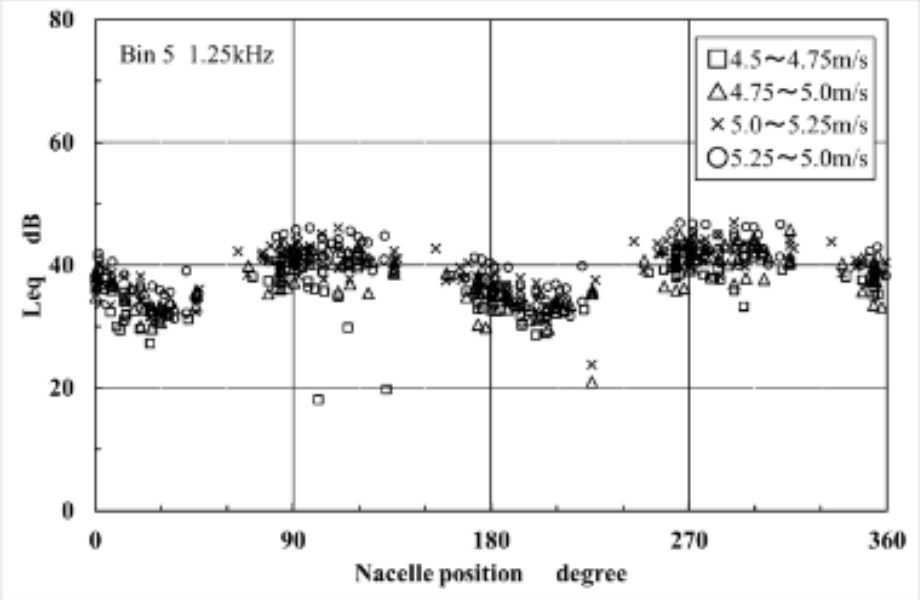


図８　Bin 5 中心周波数 1.25kHz の指向性分布

中心周波数 8kHz では、音圧は 20dB 程度です。

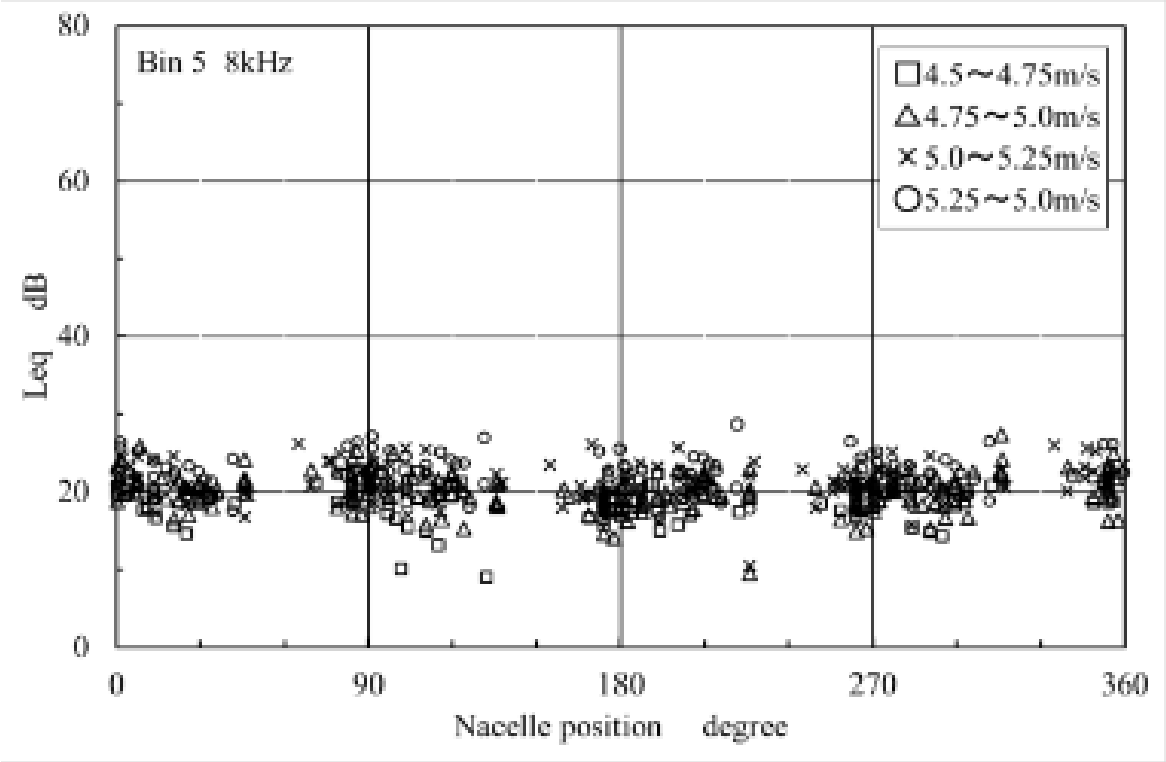


図 9　Bin 5 中心周波数 8kHz の指向性分布

ここで疑問がわきます。

超低周波音 1.6Hz の成分が、強い指向性を持っていることが分りました。これが、マイクに空気が当たったために発生する疑似音ならば、空気の流れは、風車を中心とする十字架型の位置で、強い流れとして、マイクに当たる必要があります。

また、音圧が低い方向では、弱い流れとしてマイクに当たる必要があります。

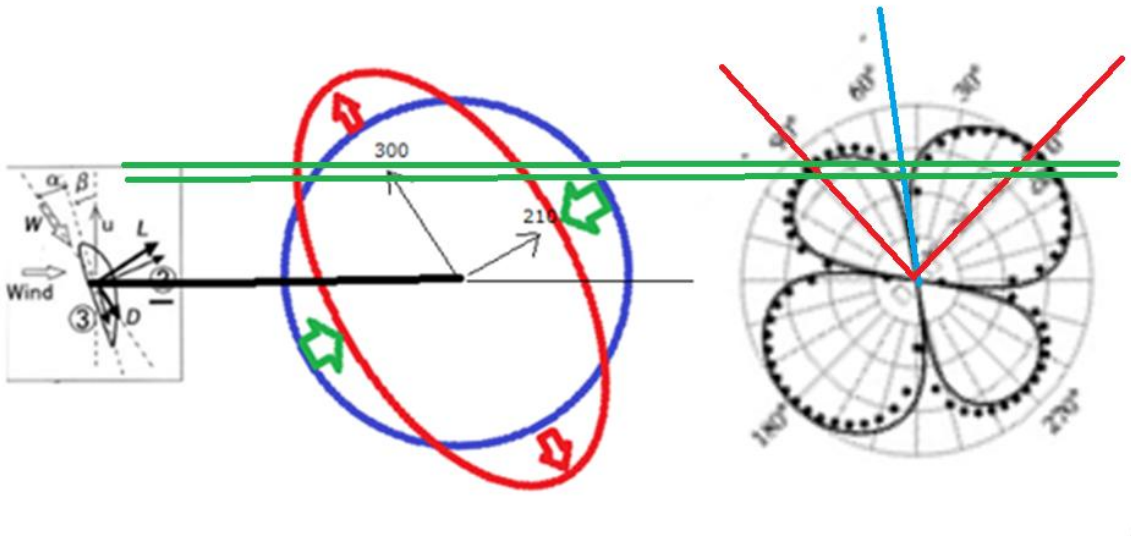
次の表は、気象庁が計測したデータを、気象業務支援センターから入手したものです。

年	月	日	時	分	秒	前10秒間最大瞬間風速	前10秒間最小瞬間風速	前10秒間風程
						0.1m/s	0.1m/s	
2019	2	2	0	12	40	147	124	132
2019	2	2	0	12	50	146	107	131
2019	2	2	0	13	0	122	82	102
2019	2	2	0	13	10	105	65	83
2019	2	2	0	13	20	112	71	82

（前 10 秒間風程は、10 秒間に風が進む行程を意味します。132 は秒速 13.2ｍの風速です。）

風速も風向も不安定なのです。

このように、不安定な風が、マイクに当たるときには、



風車音の指向性を実現するように動く必要があるのです。

風が強ければ、風雑音が大きいと仮定すると、水平に引いた緑の線が風で、左から右に流れるとします。

最初に赤い直線に当たるときは、音圧が高いので風速も大きい。次に青い直線に当たるときは、音圧が低いので風速は小さい。再度赤い直線に当たるときは、音圧が高いので風速が大きい。となります。

風速は、赤い線の所では早く、青い線の所では遅いのです。風が、赤い線と青い線を認識して自ら風速を調整してくれなければ、このようなことは起きません。これが起きなければ風車音は指向性を持てないのです。

離れた場所の風が、同じような動きをしなくてはなりません。空気の粒子は、これほど統制された動きをするのでしょうか？

さらに、風がどのようにマイクに当たれば、1Hz で 70ｄB となるような数値が、精密騒音計に記録されるのでしょうか？

さらに、風がマイクに当たるときには、ｆ=RZ/60 Hz としたときに、f/3、2f/3、ｆ、２ｆ、３ｆ、…Hz の周波数の音と同じになる様にマイクを刺激しなくてはなりません。

乱雑な風が、これほどの統率力を持っていなければ、疑似音が、超低周波音の様に見えるという事は無いのです。

風が吹くときに、空気の分子はどのような運動によってこれを実現しているのでしょうか？運動方程式をしましてほしいものです。

さらに、風車が無い場所では、いくらマイクに風を当てても、このような高い音圧は計測されません。更に、超低周波音の領域での周波数は乱雑です。f/3、2f/3、ｆ、２ｆ、３ｆ、…Hz というような規則性を持っていないのです。

風は風車の存在を認識して、指向性と周波数の規則性を実現するのでしょうか？

もし、マイクに風が当たらなくても、風車の近くで、周波数の規則性と高い音圧を持つ超低周波音が計測された場合は、その原因は何なのでしょうか？

これは、マイクに風が当たらなくても、疑似音が発生すると考えるべきか、それとも風車での運動の仕組みから必然的に発生する超低周波音なのでしょうか？

私の答えの概略は、“超低周波音の解析と発生の仕組み”に書いてあります。さらに詳細は“風車超低周波音 2023”に書いてあります。

７．１．８　風車音の特徴の把握方法

論文の最初の方に次の記述があります。

背　　景

高まってきている。特に、風車から生じる超低周波音（1～20Hz の音）・低周波音（およそ 100Hz 以下の音）に関しては、インターネットや一部のマスメディアを通じて、風車音による健康影響の可能性が広く伝えられているが、その科学的根拠は十分に説明されているとは言えない。

目　　的

風力発電施設から発生する音についての国内外の科学的な文献に基づいて、風車音の特徴や風車音が心身に及ぼす影響についてまとめる。

主な成果

風車音の特性・音圧レベル、および低周波音・超低周波音の心身に係る影響に関する文献約 80 編を調査した結果、以下の知見が得られた。

背景の記述からして、問題がある。

“風車から生じる超低周波音（1～20Hz)”

と書いてある。世の中にはそのような記述が溢れているが、超低周波音を 20Hz 以下の音とする考えもある。ISO7196 では、中心周波数は 0.25Hz～315H z であり、1H z からではない。

また、

昔の環境省は次の様に言っていました。

“４．低周波音防止技術の概要

4.1.5 風車

風車の超低周波音の発生原理は基本的には送風機のいわゆる回転音と呼ばれるものと似ている。大型発電用風車の場合は、羽根の枚数が少なく、回転数も小さいために正常運転でも超低周波音を発生することがある。

その基本周波数 f（Hz）は、翼の回転数を R（rpm)、翼枚数を Z（枚）とすると

f ＝ RZ/60（Hz）

で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。

大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は 1～3 枚（3 枚が主)、回転数は 30～60（rpm）程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。“

大型化して翼の回転数が下がってきたので、基本周波数は、0.5Hz や 0.8Hz になっています。

“風車から生じる超低周波音（1～20Hz)”と限定してはいけないのです。

これでは、風車音のエネルギーの半分以上を検討対象から除外することになってしまいます。

目的では、“文献に基づいて”とあるが、過去の研究では、解決できない問題があるからこそ、風車音に関する論文を書く意義があるのです。文献の内容について、その問題点を指摘し、新しい提案をしなくてはなりません。それが無ければ、書くこと自体が無駄です。

例えば、超低周波音の範囲は、“20Ｈｚ以下”と“1～20Hz”のどちらが妥当なのかについては、実際の風車音の周波数スペクトルを見なくては、分かりません。これは騒音計単体では不可能です。ＰＣと解析ソフトが必要です。

これが可能な精密騒音計で、リオン社のものは、NL-62、NL-63、SA-A1 の 3 機種のみです。他の騒音計は性能が低すぎます。音圧を記録するには、さらにソフトを追加する必要があります。価格は合計で、70 万円から、120 万円です。

リオン社に確認したところ、音圧を 16 ビットの符号付整数で WAV ファイルに記録したときの数値は ML-62 でも SA-A1 でも同じだという事でした。

SA-A1 では、0.25Hz～20000Hz の計測が可能だと書いてありますが、これは精密騒音計だけを使った計算結果の事です。

音圧変動のデータがあれば、コンピュータを使って計算できます。120 秒間のデータに対して FFT の計算をすれば、ｆ＝RZ/60 （Hz） が 0.5Hz でも問題なく調べることが出来ます。

文献に少しでも違いがあれば、著者に確認をする。自分で再計測する。自分で再計算をする。ことが必要です。

超低周波音に関しては、いろいろな説があり、その中に“風雑音”説もあります。マイクに風が当たらないようにした計測と、マイクに風を当てて計測した結果を比較する必要もあります。

さて、

目　　的

風力発電施設から発生する音についての国内外の科学的な文献に基づいて、風車音の特徴や風車音が心身に及ぼす影響についてまとめる。

ですが、過去の文献で、風車音の特徴が分かるかのように思っていることが問題です。

目を向けるのは被害の内容です。

探すべき文献は、なぜそのような被害が出るのか？風車音はなぜそのような被害を出すのか？風車音が被害を出すような性質を持っているのは何故か？について書いてある文献です。

もちろん、私も探しました。見つかりません。

文献が無ければ自分で考えれば良いのです。物理と数学、流体力学、音響キャビテーションなどの本と、風車の塔の運動、風車音の指向性、などを調べた文献と読むのです。

７．１．９　見解の共通点

次の計測機材ですが、“測定周波数帯域：１Hz～20ｋHz”となっています。

昔の環境省は

“４．低周波音防止技術の概要

4.1.5 風車

風車の超低周波音の発生原理は基本的には送風機のいわゆる回転音と呼ばれるものと似ている。大型発電用風車の場合は、羽根の枚数が少なく、回転数も小さいために正常運転でも超低周波音を発生することがある。

その基本周波数 f（Hz）は、翼の回転数を R（rpm)、翼枚数を Z（枚）とすると

f ＝ RZ/60（Hz）

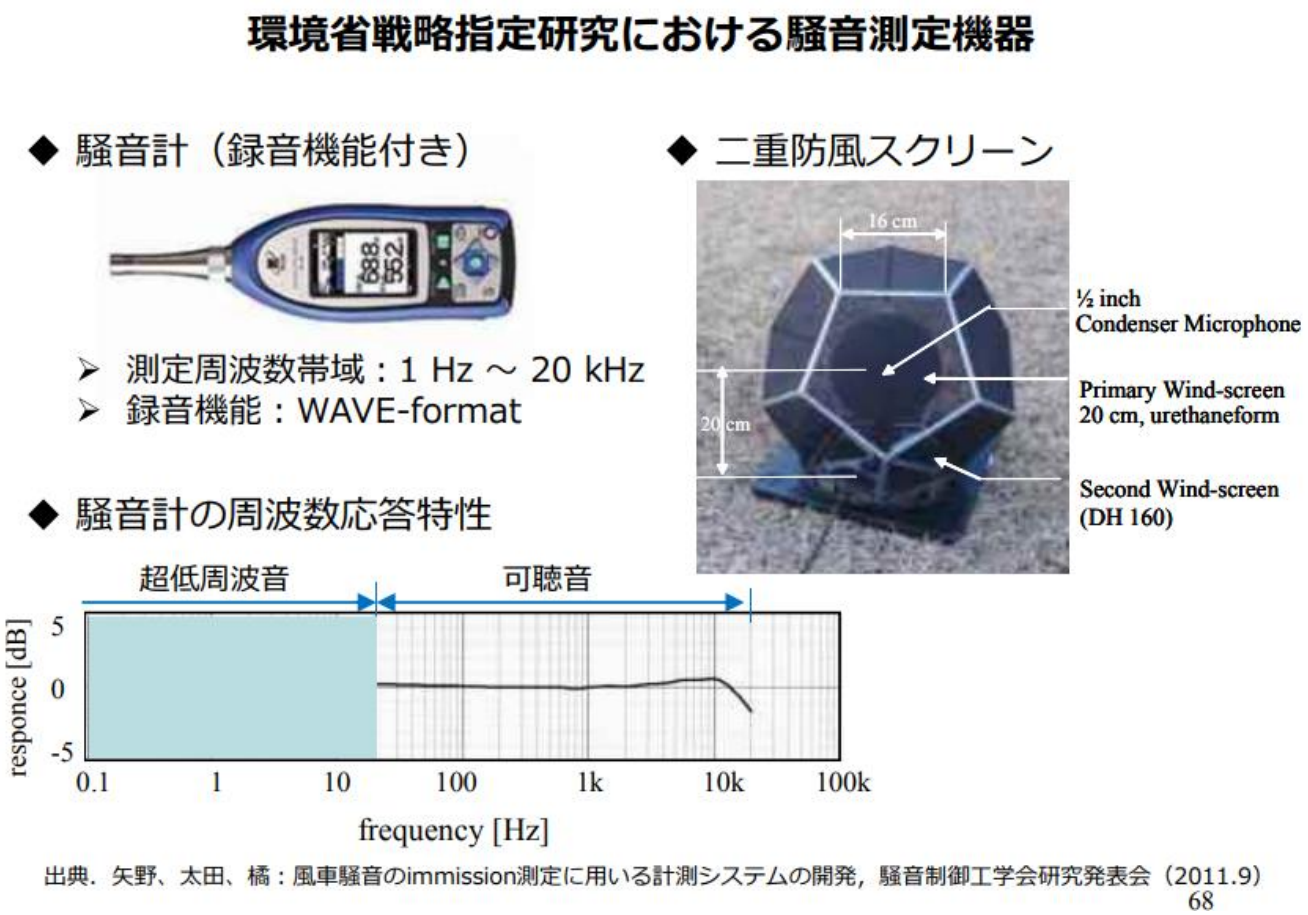
で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。

大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は 1～3 枚（3 枚が主)、回転数は 30～60（rpm）程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。“

（基本周波数の倍音も出ている。）

と言っていました。

これで計算すると、大型風車では、ｆ＝RZ/60＝0.5 （Hz）の超低周波音が出ているという事になります。では、この騒音計では、0.5Hz の超低周波音は計測できないのでしょうか？さらに、ISO7196 での中心周波数は 0.25Hz～315H z になっています。これに従った 1/3 オクターブ解析は不可能なのでしょうか？



騒音計（録音機能付き）の測定周波数帯域：1Hz～20ｋHz となっています。このままでは、0.1Ｈｚや0.2Ｈｚの音は測れません。

騒音計の周波数応答特性の図を見ると、0.1Ｈｚの所まで色付きになっています。さらに、リオン社では、追加ソフトで FFT での分析が出来ると宣伝していました。

そこで、FFT にかける前の音圧データは取り出せないのかと聞いてみたら、録音用のプログラムを追加すれば、音圧を１６ビットの符号付整数として、サンプリング周波数 48ｋHz で記録したデータを、WAV ファイルとして取り出せる。との返事を貰いました。

騒音計だけでは周波数スペクトルの最低周波数は、1Hz の辺りまでだが、この騒音計を、音圧の変動を記録する機器として扱う事で、詳細な音圧の変動が分かり、それを PC に載せてある解析ソフトで調べれば、超低周波音（０Hz～２０Hz）の領域の詳細な様子が分かる。

60 秒間のデータでは、16 ビットの符号付整数が、48000*60＝2880000 個与えられる。これを計算すれば良い。データ量は、5.76M バイトとなる。

周波数分解能を高めながら、高い周波数の音にも対応するには、サンプリング周波数を高くし、さらに、120 秒以上の計測時間でのデータを解析すれば、超低周波音（0Hz～20Hz）の部分も明確に出来ます。

上の図の騒音計は、録音プログラムと追加すれば、このようなデータを得ることが出来る機種です。
サンプリング周波数 48ｋHz で、長時間の計測が可能です。

使用しているマイクは、最新のＳＡ－Ａ１と同じであり、音圧を記録したファイルにある数値は、ＳＡ－Ａ１でのものと、ＮＬ-62 のものは同じだとの情報を、リオン社から得ています。

これが有れば必要な計算は出来るのですが、解析ソフトの機能が不足しているので、自作する必要があります。

大量のデータをもとに計算するには、多くのメモリーと高性能のＣＰＵが必要です。
騒音計に、その機能はありません。ですから、ＰＣと解析ソフトが必要になるのです。

風車音に関しては、様々な見解がありますが、共通の特徴があります。その特徴は、風車の低周波音や超低周波音の計測と解析を自分ではやらないということです。

たとえ計測したとしても、１Hz 以上に限定したり、20Hz 以上に限定したりして議論することがほとんどです。ＩＳＯ7196 と書いてあっても、0.25Ｈｚの帯域の音圧レベルを論じたものが無いのです、

文献は調べますが、自分で風車の低周波音を必要な精度で計測して自分で解析することは無いのです。

グラフを再度掲載します。これを見ながら、諸説を検討しましょう。

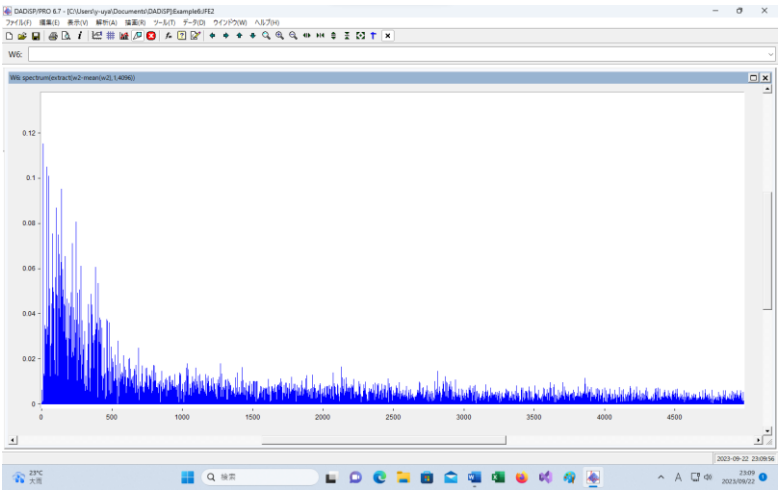


Fig.1 JFE の製鉄所内の音(0～5000Hz) ； 最大音圧 0.12[Pa](12Hz)

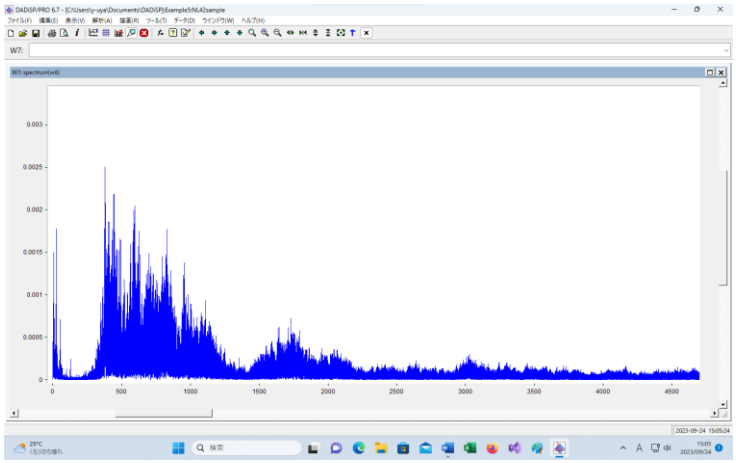


Fig.2　リオン社前の道路の騒音(0～5000Hz)：最大音圧 0.0025[Pa]（379.4[Hz]）

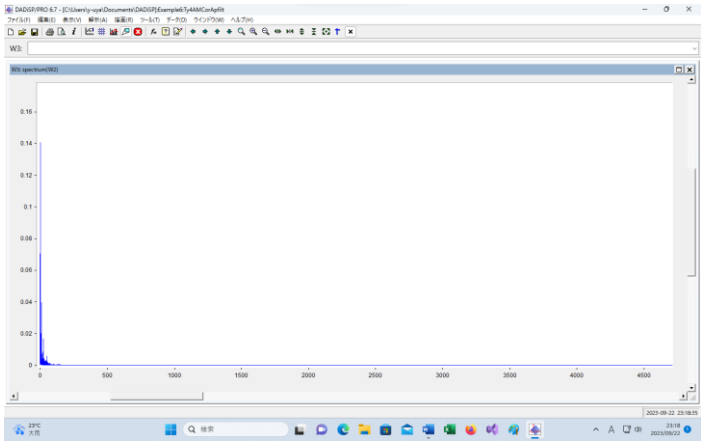


Fig.3 風車の近くで計測した音(0～5000Hz)； 最大音圧 0.14[Pa](0.8Hz)

次は、0～25Hz の範囲で、風車音と近所の長尾神社の境内での音を比較します。

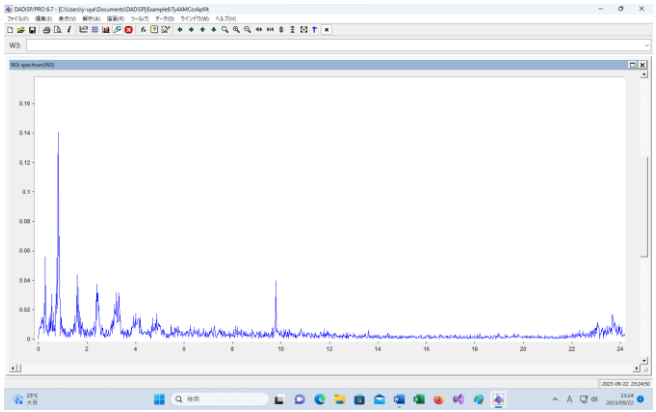


Fig.3 風車の近くで計測した音(0～25Hz) ； 最大音圧 0.14[Pa](0.8Hz)

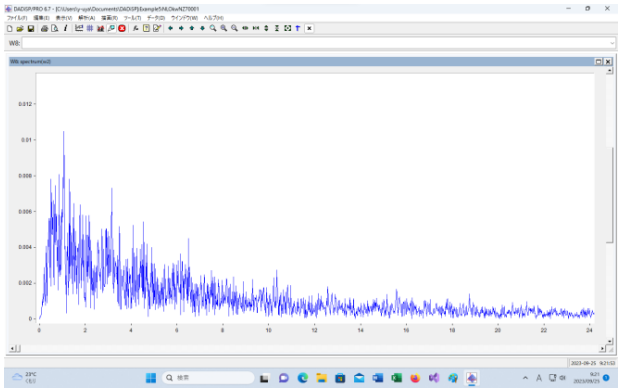
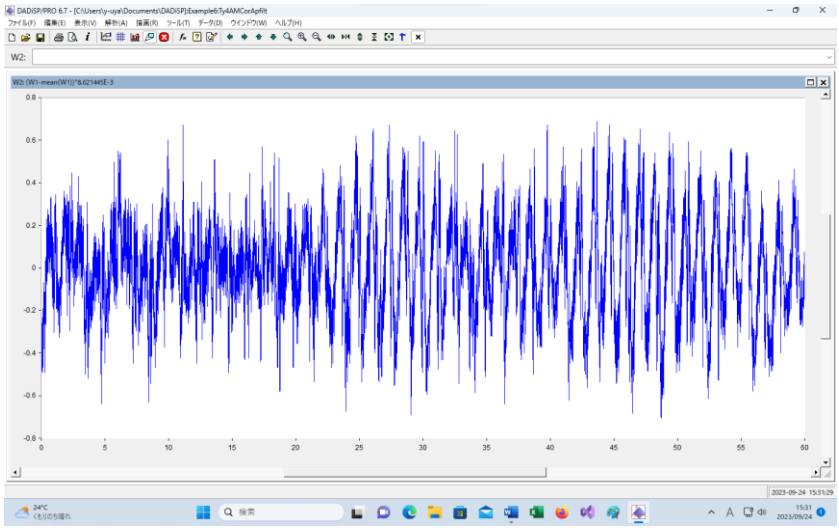


Fig.4 長尾神社境内の音(0～25Hz)； 最大音圧 0.0105[Pa](1.1Hz)

多くの人は、振幅変調に関して議論してはいるのですが、ＦＦＴを使って、100Ｈｚ以上、あるいは 200Ｈｚ以上の成分を取り出して、その成分の振幅変調と超低周波音の領域の振幅を比較しないのです。

風車音のグラフは、次のものです。



青を 0～20Hz、緑を 20～200Hz、赤を 200～24ｋHz の成分として風車音を分割したもの。

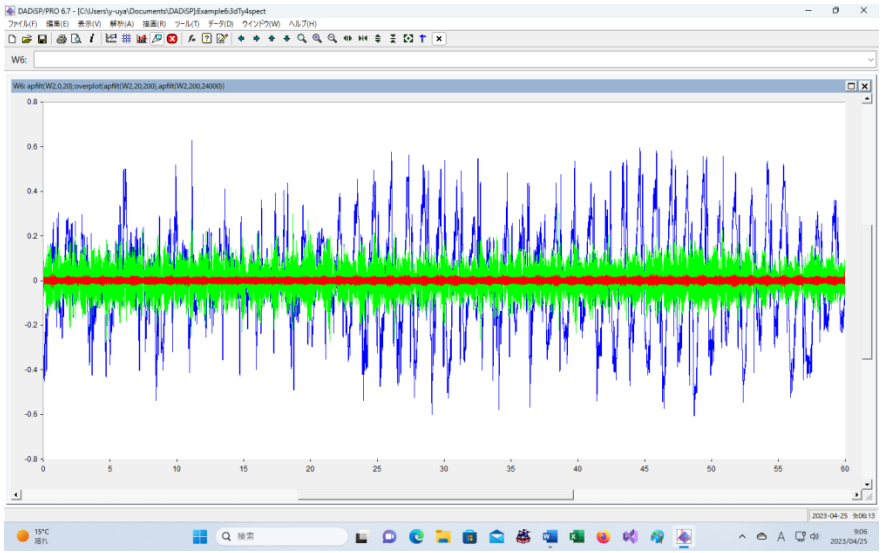


Fig.5 Separated Wind turbine noise

さらに、風車音についてどのような周波数の音が、どのような運動によって発生するのかをきちんと述べないのです。

風車音がどのようにして発生するかを考えるには、**風車音の細かな特徴に注意することが大切です。**

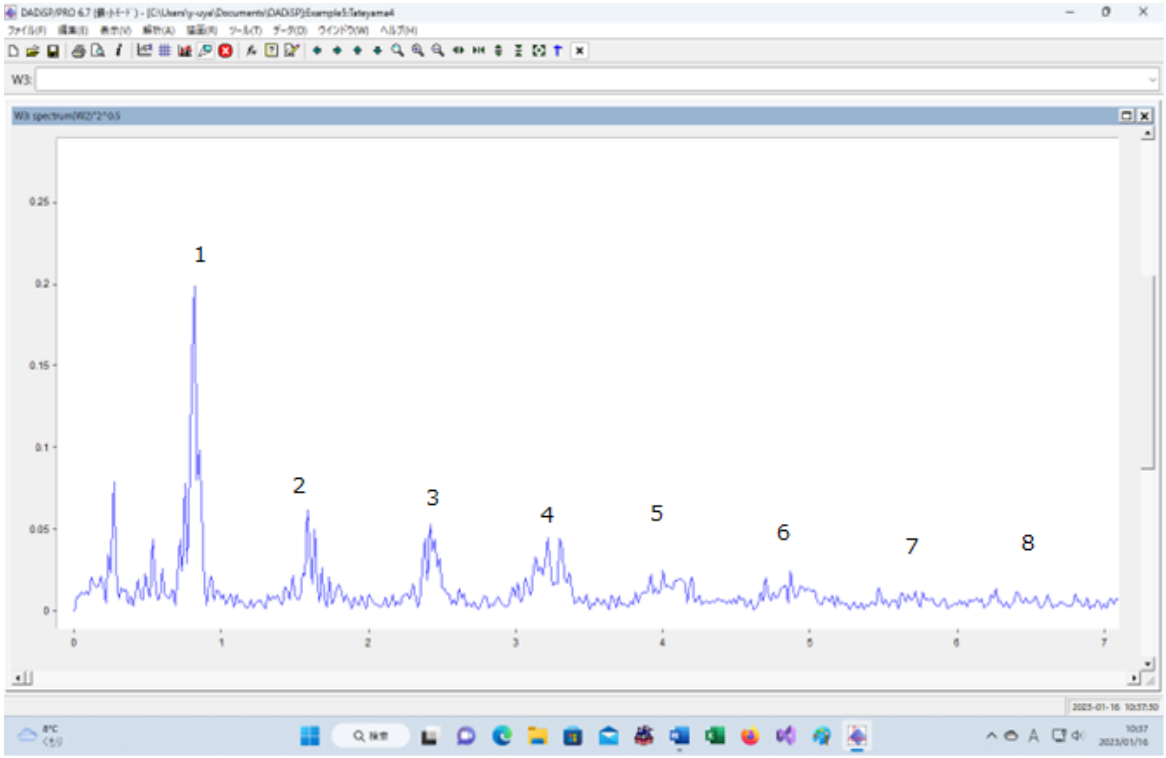


表３は、音圧のピーク値とその時の周波数を対応させたものです。

ピーク値の				0.816667の倍数			
周波数	倍率1	倍率2	音圧				
0.266667	1		0.05604				
0.533333	1.999996		0.03093802				
0.816667	3.062497	1	0.1405225	0.816667	1	0.816667	
1.583333	5.937491	1.938774	0.0435531	1.633334	2	1.633334	2
2.416667	9.06249	2.959183	0.02416667	2.450001	3		
3.216667	12.06249	3.938774	0.03173804			3.266668	4
4.000000	14.99998	4.897957	0.01772484	4.083335	5		
4.866667	18.24998	5.959182	0.01728335			4.900002	6
5.466667	20.49998	6.693875	0.01009538	5.716669	7		
6.266667	23.49997	7.673467	0.00978232			6.533336	8
9.783333	36.68745	11.97959	0.03974005				

Table 3 Frequencies of the peak values

風車は大型化しています。

大型風車仕様一覧

機種	FL100	FL250	T600-48	FL1000	FL-1500	FL-2500
出力(KW)	100	250	600	1000	1500	2500
メーカー	ファーランダー	ファーランダー	ターボウィンド	ファーランダー	ファーランダー	ファーランダー
ブレード数	3	3	3	3	3	3
ロータ直径(m)	21	29.5	48	54	70	80/90
風車高(m)	36	36	50	60	65	80
ロータ回転数(rpm)	30.5/46	29/39	15/23	15/22	11-22	10.4-18.1
出力制御	ストール	ストール	ピッチ	ストール	ピッチ	ピッチ
カットイン風速(m/s)	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0	4.0
定格風速(m/s)	13.0	15.0	12.5	14.5	12.0	13.0
カットアウト風速(m/s)	25.0	25.0	25.0	20.0	25.0	25.0
耐風速(m/s)	25.0	25.0	25.0	20.0	25.0	25.0
発電機タイプ	誘導	誘導	誘導	誘導	誘導	誘導

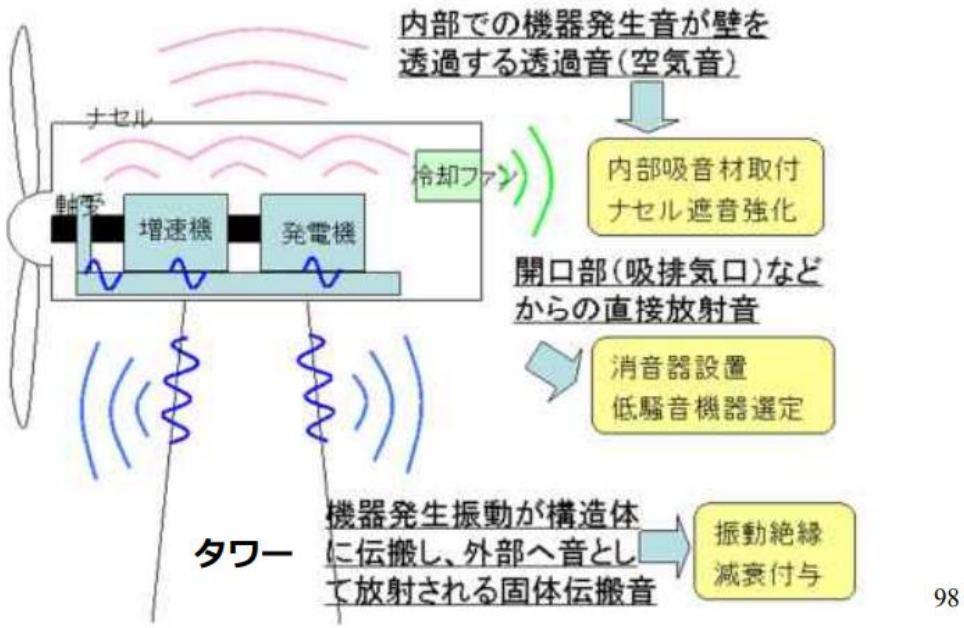
右端の 2500kW の風車では、3枚羽の風車で、R=10.4～18.1rpmとなっているので、周波数は
f＝10.4*3/60＝0.52Hz から 18.1*3/60＝0.905Hz
となります。この場合は、回転の状態によっては、最も音圧の高い周波数成分は 0.52Hz ということになります。
1 Hz からにしたのでは、最もエネルギーを持っている部分を見逃すことになります。20Hz 以上の成分を考えることにすれば、風車音のエネルギーの 93%以上を無視することになります。

普通の科学や物理学では、実際に存在する音を計測し、その発生の仕組みや、特徴について考察することが多いと思います。風車音に関する世界は、文献調査と、都合の悪いものは捨ててしまうのが慣例のようです。

例えば、
期日：2018 年 10 月 31 日(水) 13:30-15:00 会場：熊本地方合同庁舎（B 棟） （熊本市西区春日 2 丁目 10 番 1 号） 株式会社アイ・エヌ・シー・エンジニアリング 技術本部 井上 保雄
の説明図では、

機械音の発生メカニズム

・増速機歯車の噛合い等に起因する振動がナセルカバー、タワー等に伝搬、騒音を放射する.
・音の放射面積を勘案するとナセルよりもタワーの方が影響が大きい.



機械音に注目していますが、具体的な周波数には触れていません。
タワーの影響が大きいと書いてはありますが、塔の部分がどのような役割をして、どのような振動数の成分と深い関係を持っているのかに関しては、述べられてはいません。

井上氏は“空力音”についても書いています。

翼通過による騒音（数百~数kHzの可聴音）の時間的変動（swish音）.
変動周期は約1秒（20rpm、3枚翼）

ここでは、数百から数ｋHz の騒音の時間的は変動について述べているが、空力音がこのような周波数帯の音になる根拠を示す計算過程が書かれていないのです。

FFT の計算は可逆なので、収録した音は時間領域での変動を記録したものです。FFT 変換の結果は、周波数領域での表示となります。そして、数百から数ｋHz の成分だけを切り出して、逆 FFT で時間領域のデータに戻してやることができます。

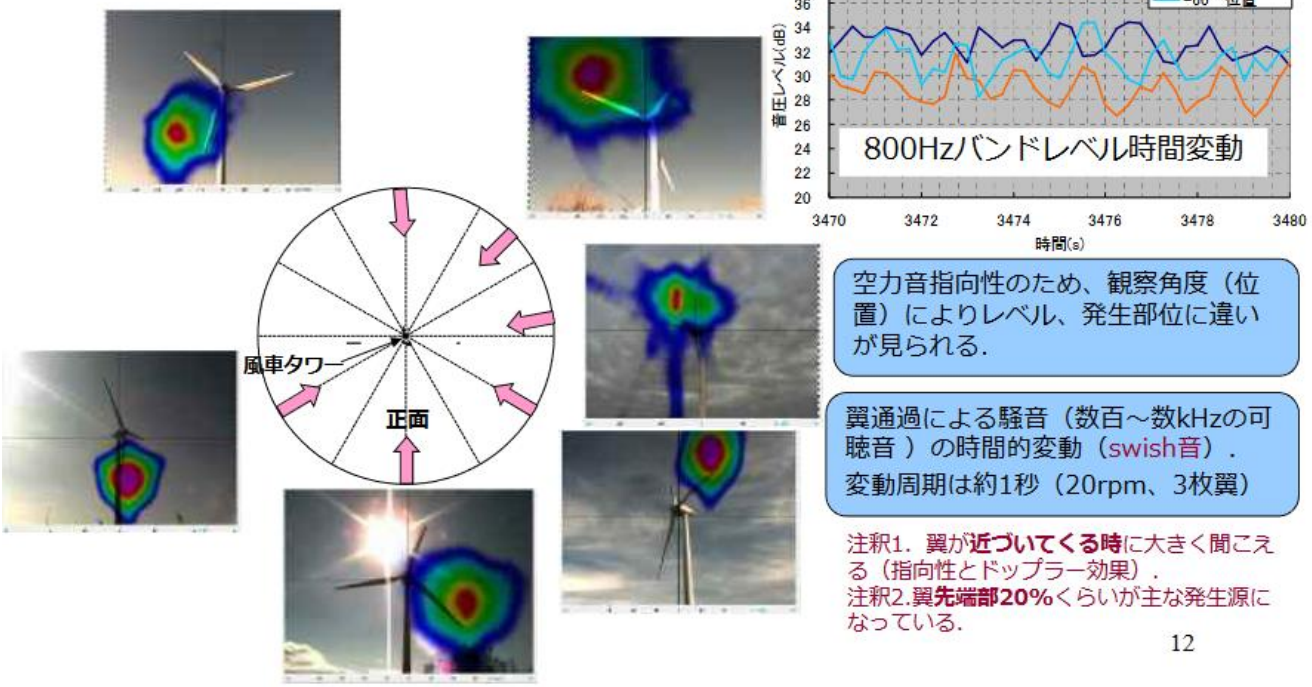
その振幅の変動を見れば、確かに数百から数ｋHz の成分の振幅も時間的に変動することが分かります。しかしながら、その振幅は超低周波音の振幅に比べたら、無視できる程度の変動でしかありません。
FFT を使えば、音を、0～20Hz の成分、20Hz～100Hz の成分、100Ｈｚ～20ｋＨｚの成分の分解できます。それらの振幅を比較してから考えるべきなのです。

周波数が高い音は、窓を閉めればそれで済むような音でしかないのです。その振幅もたかが知れているのです。

風車ブレード（翼）空力音の発生源

（風車音の大部分はブレードの回転による空力音）

空力音の放射部位と指向性



空力音指向性のため、観察角度（位置）によりレベル、発生部位に違いが見られる.

翼通過による騒音（数百～数kHzの可聴音 ）の時間的変動（swish音）.
変動周期は約1秒（20rpm、3枚翼）

注釈1. 翼が**近づいてくる時**に大きく聞こえる（指向性とドップラー効果）.
注釈2.翼**先端部20%**くらいが主な発生源になっている.

12

ここで使っている音響カメラで計測できる周波数は

風車音の発生源探査（音響カメラ）

・風車音（発生源側）の測定は、風雑音を低減するため地表面（反射板上）にマイクロホンを設置、ウインドスクリーンを用いる（JISc1400-11／IEC61400-11）.
・見かけの音響パワーレベルは基準点（タワー風下側、風車の最頂部の高さの距離）で計測、求める.

・音響カメラは音響ビームフォーミング法という手法を用いている.
・これは騒音発生源から十分に離れた位置から音の発生源を可視化するものである.
・多数のマイクロホン（カメラは48個）を用いて鋭い指向性 （方向性）を持たせることにより、どの方向のどの部位から どのくらいの大きさの音が発生しているかを可視化することができる.

・仕様 ： マイクロホンアレイ
・型番 ： GFai Star48 Array
・寸法 ： 最大スパン3.4m
・マイクロホン ： 1/4インチ48ch
・適合測定距離 ： 3m-300m
・適合周波数範囲 ： 100Hz-7kHz
・画像処理 ： アレイ中心のカメラを用いて音響イメージと実画像の重ね合わせが可能

11

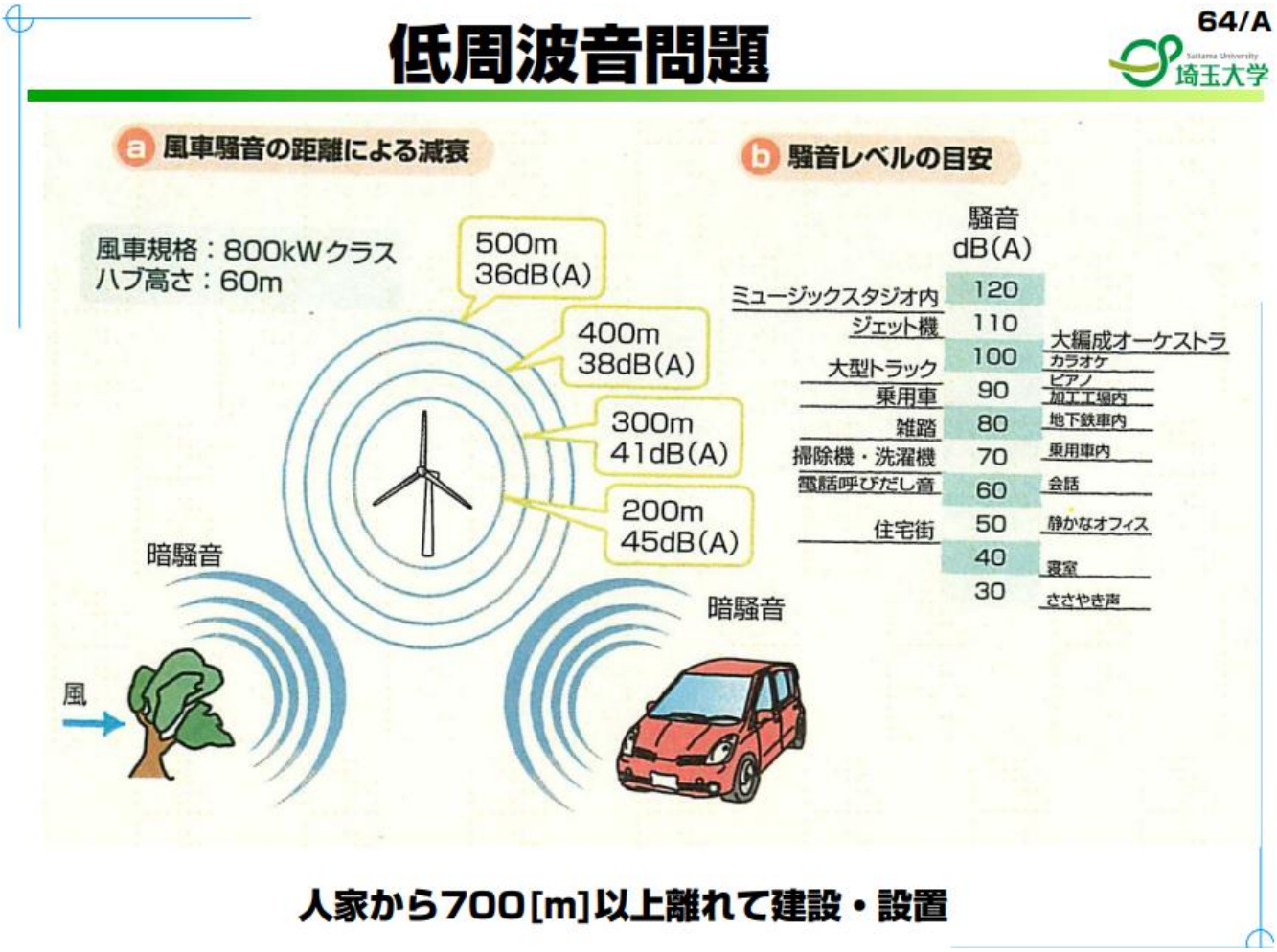
・音響カメラは音響ビームフォーミング法という手法を用いている.
・これは騒音発生源から十分に離れた位置から音の発生源を可視化するものである.
・多数のマイクロホン（カメラは48個）を用いて鋭い指向性（方向性）を持たせることにより、どの方向のどの部位から　どのくらいの大きさの音が発生しているかを可視化することができる.

・仕様 ： マイクロホンアレイ
・型番 ： GFai Star48 Array
・寸法 ： 最大スパン3.4m
・マイクロホン ： 1/4インチ48ch
・適合測定距離 ： 3m-300m
・適合周波数範囲 ： 100Hz-7kHz
・画像処理 ： アレイ中心のカメラを用いて音響イメージと実画像の重ね合わせが可能

この音響カメラは、適合周波数範囲が、100Hz～7ｋHz ですから、風車音のエネルギーの 93%以上を占める超低周波音の部分を全てカットしたものしか扱わない仕様になっている。

0.5Hz 辺りの高音圧の成分での音圧変動と、100Hz 以上の成分の振幅変調の違いが分からないのは当然です。そもそも超低周波音の成分が計測できていないのです。

埼玉大学の長谷川先生は、
次の図を使って、低周波音問題を説明します。



問題は、図の題名は“低周波音問題”となっているが、図の中の細かな記述は“風車騒音”、“騒音レベル”、となっているところです。騒音とつけると、普通は、周波数に制限が付きます。20Hz 以上のものを騒音というのです。
低周波音が低周波騒音にすり替えられてしまうのです。その結果、20Hz 以下の超低周波音が無視されてしまいます。この事は、風車音のエネルギーの 93%以上を無視して議論を進めることになってしまうのです。その結果として、図の右上の比較は、音の特徴（周波数帯ごとのエネルギー分布など）を無視した比較になっています。風車の図も、風車音が強い指向性を持っている事実を無視した図になっています。
残念としか言えない、解説です。

“騒音”という用語の使い方は、“風力発電施設から発生する騒音等への対応について”（検討会報告書）の 22 ページに書かれています。
“（注）「超低周波音」についての補足
我が国では、苦情の発生状況を踏まえ「低周波音」という用語が「おおむね 100Hz 以下の音」として定義され用いられてきたが、国際的には、「低周波音」の周波数範 囲は国によりまちまちで定まったものではない。一方、IEC（国際電気標準会議） 規格 61400 シリーズにより、20Hz 以下を「超低周波音」（infrasound）、20～100Hz を「低周波音」（low frequency noise）と定義しており、国内ではこれを受けた JIS C 1400-0:2005（風車発電システム-第 0 部：風力発電用語）で同様に定義されている。これを踏まえ、環境影響評価法において個別事業種ごとの技術的な指針として 定められた主務省令では、「騒音（周波数が 20～100Hz までの音を含む）」とした上で、「超低周波音（周波数が 20Hz 以下の音）」と規定しており、「低周波音」という 用語を用いないこととされた。 これらの状況を踏まえ、本報告書では、20Hz 以下の音を「超低周波音」とし、 それ以外の音（周波数が 20～100Hz までの音を含む）を「騒音」と表記する“

報告書での、超低周波音を超低周波音（0Hz～20Hz）、騒音を騒音（20Hz 以上）と書くことにする。
また、
“IEC（国際電気標準会議） 規格 61400 シリーズにより、20Hz 以下を「超低周波音」（infrasound）、20～100Hz を「低周波音」（low frequency noise）と定義しており”
の部分に関しても、超低周波音（0Hz～20Hz）と書く。
については、
ISO7196 における“infrasound”の定義は、
3 Definitions
For the purpose of this International Standard. The following definitions apply.
3.1 infrasound: Sound of noise whose frequency spectrum lies mainly in the band from 1 Hz to 20 Hz.
となっている。
“infrasound”は、“1～20Hz の音波”ではなくて、“周波数スペクトルが主に 1Hz から 20Hz の帯域に入っている音”と定義されています。
この定義では、1Hz から 20Hz の帯域には収まらない周波数成分があっても超低周波音なのです。ISO7196 では、1Hz から 20Hz の帯域からはみ出す場合についての準備もしてある。ISO7196 では、1/3 オクターブ解析での中心周波数は、0.25Hz から 315Hz になっている。この意味での超低周波音を超低周波音（ISO7196）と書くことにします。
したがって、騒音と付けば、20Hz 以上になってしまうのです。表題と内容の差が大きすぎます。

７．２　環境省の昔の見解

昔、環境省は超低周波音の周波数について、

“4.1.5　風車

風車の超低周波音の発生原理は基本的には送風機のいわゆる回転音と呼ばれるものと似ている。大型発電用風車の場合は、羽根の枚数が少なく、回転数も小さいために正常運転でも超低周波音を発生することがある。

その基本周波数 f（Hz）は、翼の回転数を R（rpm)、翼枚数を Z（枚）とすると

ｆ＝RZ/60　(Hz)

で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は 1～3 枚（3 枚が主)、回転数は 30～60（rpm）程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。“

と言っていました。

いまは、(甲１３号証）低周波音問題対応の手引書の、“参考資料”、

6．低周波音の対策方法

6.1 低周波音対策の基本的な考え方

の中に、次のように書かれています。

⑥回転翼が空気に与える衝撃	回転数が小さく,翼枚数も少ない場合は一定の周波数成分(回転数あるいは回転数×翼枚数)を持つ低周波音が発生することがある。

環境省の言う

“大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は 1～3 枚（3 枚が主)、回転数は 30～60（rpm）程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。“

の部分を、３枚翼の場合で計算すると、30*3/60＝1.5Hz から 60*3/60＝3Hz となる。この周波数ならば、G 特性音圧レベルでのバンドパスフィルの影響を考慮しても、環境省の推奨する低周波音の測定方法が有効だと主張する根拠となるが、

最近の大型風車では、長いレードの先端スピードを抑えるためにローターの回転数が小さくなりました。

ローター直径(m)	80 / 90 ；
風車高(m)	80
ローター回転数(rpm)	10.4-18.1

大型風車から出る超低周波音の周波数は、10.4*3/60＝0.52Hz　から　　18.1*3/60＝0.905Hz

他の、大型風車では、

定格出力：42000ｋｗ；　定格稼働時の回転数：10.8rpm

となっていて、環境省の周波数の計算方法で周波数を求めると 10.8*3/60＝0.54Hz　となる。

中心周波数１Hz（0.9765625Hz）の場合は、下限周波数 0.870018Hz、上限周波数 1.096154Hz なので、0.54Hz 成分は、バンドパスフィルタのスロープ部分で引っかかるとしても、計算上はほぼ 0 として扱われます。

精密騒音計を使っただけでは 0.54Hz の成分の影響を把握できません。この周波数帯の音は、いくら強くなっても、A特性であれ、G特性であれ、音圧レベルの計測結果の数値には影響を与えません。しかし、人間に対して影響を与えないという事ではありません。

音圧は電力に変換される風のエネルギーに比例したエネルギーが超低周波音として拡散される結果として決まると考えると、千葉県の館山の風車は、出力 1500ｋW、ブレードの長さは 35.25m、回転面の面積は、3904 平方メートル

出力 4200ｋW、ブレードの長さは、68m、回転面の面積は、14527 平方メートル、
風のエネルギーを回転面で比較すれば、3.7 倍、出力で比較すれば 2.8 倍です。
館山の風車で 0.8Ｈｚの音圧は 0.3 パスカル。（84ｄＢ程度）
エネルギーは音圧の２乗に比例することを考えて
大きな風車の音圧をｐとして、(ｐ^2)/(0.3)^2=3.7 で計算すれば、ｐ＝0.58Ｐａ
(ｐ^2)/(0.3)^2=2.8 で計算すれば、ｐ＝0.5Ｐａ
従って、音圧レベルとしては、87.96ｄＢから 89.25ｄＢ程度だと予測できます。

これを計測するには、リオン社の精密騒音計 NL-62 に、波形収録プログラム NX-42WR を追加して、１６ビットの符号付整数を使って収録された WAV ファイルを作る必要がある。
収録時の周波数重みづけは Z 特性（平坦特性）とし、サンプリングレートは４８ｋHz、連続する収録時間として１分程度記録すれば、0.01667Hz～24ｋHz まで計測できます。

一見、ISO7196:1995 では、中心周波数として 0.25 から 315Hz までが採用されているので、そちらで計算すれば影響が予測できる数値が得られるようにも見えますが、結果の数値はほとんど同じ値となり、被害予測には有効ではありません。

このｆ＝RZ/60 （Hz）説の欠点は、風速の変化に伴う周波数の変化を確認していないところです。Wavelet を使って、ビデオ撮影した風車の回転数の変化と比較することが必要だったのです。
さらに、周波数の倍音構造を無視してしまったので、風車音の発生機構が解明できないことになり、風車音の持つ指向性に関する認識が甘くなってしまいました。結果として、風車を点音源として扱うことで、計算結果の数値と現実の被害内容の関連性が薄れていったのです。

現在の環境省は、超低周波音のことはすっかり忘れて、可聴域の音だけで影響を評価する方針を採用している。その根拠となる報告書を見れば、英語、数学、国語に関する基礎的な教養に欠ける方々が書いた文章であることが分かります。

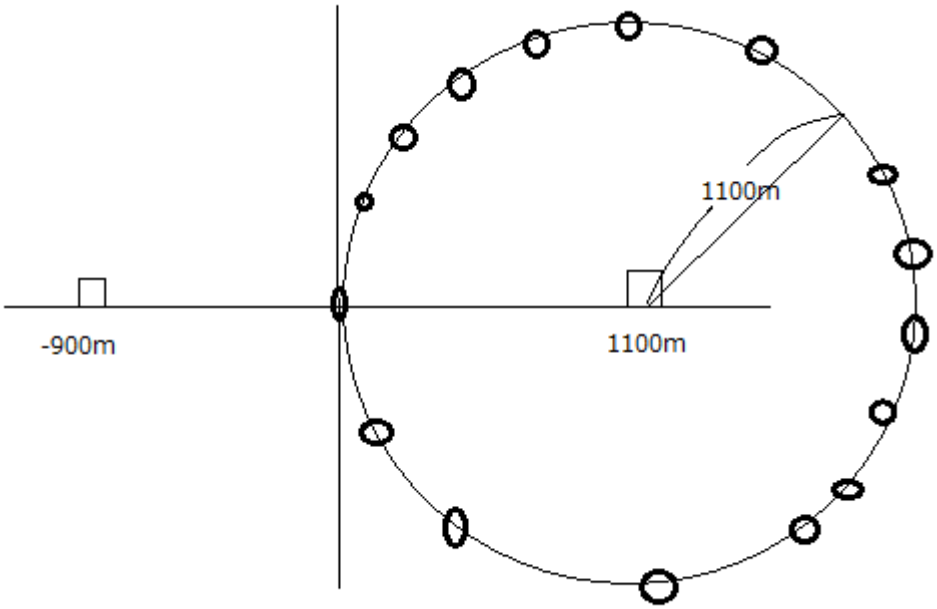
検討会報告書の問題点 2024
を見てください。

７．３　経済産業省の見解

平成十年通商産業省令第五十四号
第四条　計画段階配慮事項についての検討に当たっては、当該検討を行うに必要と認める範囲内で、当該検討に影響を及ぼす第一種事業の内容（以下「配慮書事業特性」という。）並びに第一種事業実施想定区域及びその周囲の自然的社会的状況（以下「配慮書地域特性」という。）に関し、次に掲げる情報を把握するものとする。
一　配慮書事業特性に関する情報
イ　第一条各号に掲げる事項
ロ　第一種事業により設置又は変更されることとなる発電所の原動力の種類
ハ　第一種事業により設置又は変更されることとなる発電所の出力
ニ　第一種事業により設置又は変更されることとなる発電所の設備の配置計画の概要
ホ　第一種事業に係る工事の実施（この条から第九条までにおいて「第一種事業の工事の実施」という。）に係る期間及び工程計画の概要
ヘ　その他第一種事業に関する事項
二　配慮書地域特性に関する情報
イ　自然的状況
（１）　気象、大気質、騒音、振動その他の大気に係る環境（以下「大気環境」という。）の状況（環境基本法（平成五年法律第九十一号）第十六条第一項の規定による環境上の条件についての基準（以下「環境基準」という。）の確保の状況を含む。）
（２）　水象、水質、水底の底質その他の水に係る環境（以下「水環境」という。）の状況（環境基準の確保の状況を含む。）
（３）　土壌及び地盤の状況（環境基準の確保の状況を含む。）
（４）　地形及び地質の状況
（５）　動植物の生息又は生育、植生及び生態系の状況
（６）　景観及び人と自然との触れ合いの活動の状況
（７）　一般環境中の放射性物質の状況
ロ　社会的状況
（１）　人口及び産業の状況
（２）　土地利用の状況
（３）　河川、湖沼及び海域の利用並びに地下水の利用の状況
（４）　交通の状況
（５）　学校、病院その他の環境の保全についての配慮が特に必要な施設の配置の状況及び住宅の配置の概況
（６）　下水道の整備の状況
（７）　環境の保全を目的として法令等により指定された地域その他の対象及び当該対象に係る規制の内容その他の環境の保全に関する施策の内容
（８）　その他第一種事業に関する事項
２　前項第二号に掲げる情報は、入手可能な最新の文献その他の資料により把握するとともに、当該情報に係る過去の状況の推移及び将来の状況を把握するものとし、必要に応じ、次の各号のいずれかに該当する地

域の管轄に係る地方公共団体（第七条から第十四条までにおいて「関係地方公共団体」という。）、専門家その他の当該情報に関する知見を有する者から聴取し、又は現地の状況を確認することにより把握するよう努めるものとする。この場合において、当該資料については、その出典を明らかにできるよう整理するものとする。
一　第一種事業実施想定区域及びその周囲一キロメートルの範囲内の地域
二　既に入手している情報によって、一以上の環境の構成要素（以下「環境要素」という。）に係る環境影響を受けるおそれがあると判断される地域

上記の内容に従えば、1100 の地点は、下の図のように風車が周りを取り囲んでいれば、距離は１ｋｍ以上だが、環境影響を受ける恐れがあると判断される地域に含まれるのです。



当然、被害についても考慮されます。
“発電所一般において環境影響を受ける範囲であると認められる地域は、事業実施想定区域及びその周囲 1 km の範囲内としている”
のではありません。地形や季節風の影響で被害が出ることもあるので、1ｋｍ以上の場所でも、適切な予測が必要となることがあるのです。
だから、
二　既に入手している情報によって、一以上の環境の構成要素（以下「環境要素」という。）に係る環境影響を受けるおそれがあると判断される地域
というおまけが付いているのです。

だからと言って、問題が無いわけではありません。

平成十年通商産業省令第五十四号
の
別表第十二（第二十三条関係）
で次のように書いている。

建設機械の稼働	一　調査すべき情報 イ　騒音の状況 ロ　地表面の状況 二　調査の基本的な手法 文献その他の資料及び現地調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析。この場合において、前号イの情報については騒音規制法第十五条第一項の規定による特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準において定められた騒音についての測定の方法 三　調査地域 音の伝搬の特性を踏まえ、騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域 四　調査地点 音の伝搬の特性を踏まえ、前号の調査地域における騒音に係る環境影響を予測し、及び評価するために適切かつ効果的な地点 五　調査期間等 音の伝搬の特性を踏まえ、第三号の調査地域における騒音に係る環境影響を予測し、及び評価するために適切かつ効果的な期間、時期及び時間帯 六　予測の基本的な手法 音の伝搬理論に基づく計算 七　予測地域 第三号の調査地域のうち、音の伝搬の特性を踏まえ、騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域 八　予測地点 音の伝搬の特性を踏まえ、前号の予測地域における騒音に係る環境影響を的確に把握できる地点 九　予測対象時期等 建設機械の稼働による騒音に係る環境影響が最大となる時期
施設の稼働	一　調査すべき情報 イ　騒音の状況 ロ　地表面の状況 二　調査の基本的な手法 文献その他の資料及び現地調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析。この場合において、前号イの情報については環境基準において定められた騒音についての測定の方法、測定場所及び測定時刻 三　調査地域

	音の伝搬の特性を踏まえ、騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域 四　調査地点 音の伝搬の特性を踏まえ、前号の調査地域における騒音に係る環境影響を予測し、及び評価するために適切かつ効果的な地点 五　調査期間等 音の伝搬の特性を踏まえ、第三号の調査地域における騒音に係る環境影響を予測し、及び評価するために適切かつ効果的な期間、時期及び時間帯 六　予測の基本的な手法 音の伝搬理論に基づく計算 七　予測地域 第三号の調査地域のうち、音の伝搬の特性を踏まえ、騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域 八　予測地点 音の伝搬の特性を踏まえ、前号の予測地域における騒音に係る環境影響を的確に把握できる地点 九　予測対象時期等 発電所の運転が定常状態となる時期及び騒音に係る環境影響が最大になる時期（最大になる時期を設定することができる場合に限る。）

ここには大きな問題がある。

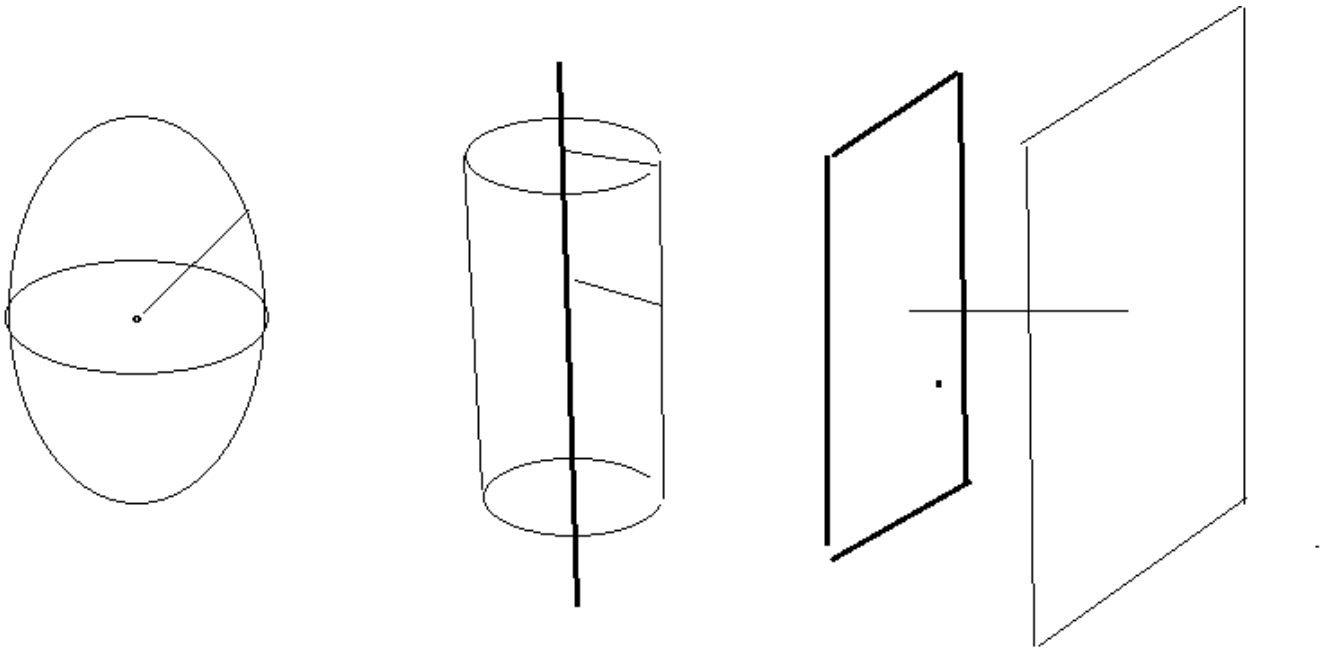
建設機械の稼働
三　調査地域
音の伝搬の特性を踏まえ、騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域

施設の稼働
三　調査地域
音の伝搬の特性を踏まえ、騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域
七　予測地域
第三号の調査地域のうち、音の伝搬の特性を踏まえ、騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域

“音の伝搬特性を踏まえ”と書いてあるのだが、音の伝搬特性の把握が難しいのです。
伝搬を考えるときには、波面が広がることによる音圧の減衰、
音のエネルギーが空気の熱エネルギーに変換されることによる空気減衰、
山や建物の陰に入ることによる減衰、
その他、
を考慮する必要があります。

最初の波面の広がりですが、音源の形によって広がり方が違ってきます。
下の図は、点音源、線音源、面音源を示す図です。
点音源ならば、どんどん広がって減衰するでしょうが、面音源では、波面の広がりによる減衰は期待できま

せん。
線音源では、その中間の減衰が期待できます。
　これらの図では、波面が空間に均等に拡散してゆくと考えています。
しかし、音は指向性を持つ場合があります。この場合の影響は予測が困難になります。
　空気減衰ですが、周波数が高ければ、かなり減衰しますが、低周波音は空気減衰が期待できません。
音のエネルギーが、高周波領域に集中している音ならば、空気減衰が頼りになりますが、低周波領域にエネルギーが集中している場合には、空気減衰は頼りになりません。



　工事の機械、トラックの大きさは、風車に比べればとても小さいものです。
距離が離れれば、点音源とみなして計算もできます。
　交通騒音の解析結果を見れば、エネルギーは２０Hz 以上の領域に集中していますので、空気減衰も期待できます。計測してみることは必要ですが、指向性についても、それほど問題にはならないと思います。

　風車の場合は、簡単ではありません。
音源の形が、点音源ではありません。
風車音は強い指向性を持っています。
風車音のエネルギーは、２０Hz 以下の、超低周波領域に集中しています。

音の伝搬の特性を踏まえて計算をするには、音源の形を決定する必要があります。
風車を音源と見たときに、点音源とみるべきか、線音源とみるべきか、面音源とみるべきなのかについて、明確な理由と書いてある文献が見当たりません。
風車音が強い指向性を持つという研究結果があります。この場合の音の拡散を計算する式が見当たりません。
超低周波音の領域を含めて、音のエネルギーの空気減衰を計算している資料が見つかりません。

これらの資料が無ければ被害の予測は不可能なのです。

点音源から出る球面波音の伝搬の様子と、平面を音源とする平面波音では、伝搬の様子が全く異なる。音源の形が分からなければ、伝搬の様子を把握できないのです。

音源の形を把握するには、風車音の性質を詳しく調べて、風車音が発生する仕組みを解明しなくてはならないのです。また、周波数特性を知らなければ、風車音のエネルギーの減衰の様子も分からないのです。

少なくとも、風車音の周波数特性、各周波数帯でのエネルギーの分布、風車音の指向性、風車音が発生する仕組み、などが無ければ、音波の拡散に関しての計算は出来ないのです。

これには精密な計測が必要です。風車音の詳細な性質を解明できるような計測データを公開してくれる業者はいません。県や市も計測してくれません。最新の精密騒音計を持っている県や市は極めて少ない。まして、最新の解析ソフトを持っている県や市は存在しません。

実際の業者による計算は、点音源と仮定して計算をしています。また、業者の計算（A 特性音圧レベルの計算）では、風車音のエネルギーの７％以下の部分しか評価の対象としていないのです。

業者に測定と予測を任せていては、問題は拡大するばかりです。

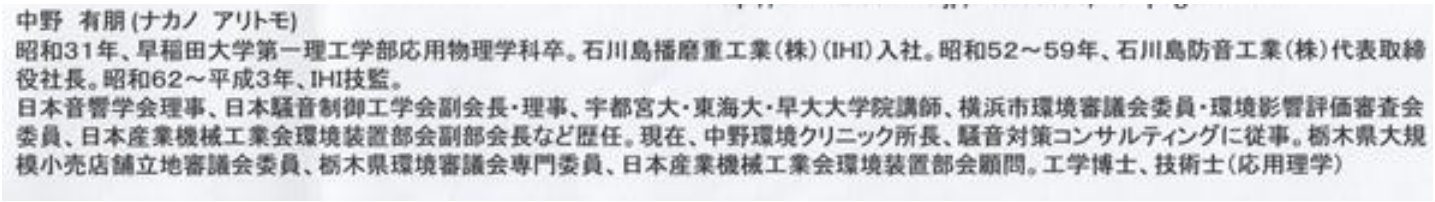
業者の書いた準備書を見れば明らかですが、風車を点音源として計算します。この結果として、風車音の指向性は無視されます。また、風速の変動に関しても無視して計算します。季節風の影響で、ブレードの回転軸の向きが変われば、風車音の指向性によって、計算結果の数値以上の影響が出てくるのです。さらに、風速は１時間おきに強くなり、大きな風車音が１時間ごとに出てくるのです。

建設後には、精密騒音計と振動レベル計を使って影響を調べ、準備書のある予測値と比較して、予測の問題点を明確にする必要があるのです。風車は点音源ではなく、強い指向性があり、空気減衰が期待できない超低周波音の部分にエネルギーが集中しているので、今の業者の計算結果は住民が受ける被害を予測できない数値なのです。

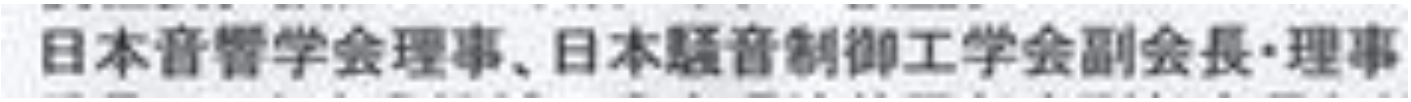
７．４　超低周波音は発生しない（中野　有朋）

中野氏による、次のような説もあります。

中野氏は、日本音響学会、日本騒音制御工学会の重鎮でした。


中野 有朋(ナカノ アリトモ)
昭和31年、早稲田大学第一理工学部応用物理学科卒。石川島播磨重工業(株)(IHI)入社。昭和52～59年、石川島防音工業(株)代表取締役社長。昭和62～平成3年、IHI技監。
日本音響学会理事、日本騒音制御工学会副会長・理事、宇都宮大・東海大・早大大学院講師、横浜市環境審議会委員・環境影響評価審査会委員、日本産業機械工業会環境装置部会副部会長など歴任。現在、中野環境クリニック所長、騒音対策コンサルティングに従事。栃木県大規模小売店舗立地審議会委員、栃木県環境審議会専門委員、日本産業機械工業会環境装置部会顧問。工学博士、技術士(応用理学)

彼は、日本音響学会で要職を務めていたようです。



中野氏は、**“風力発電機から低周波、超低周波の回転音など発生しない”と言います。**

中野環境クリニック所長 中野 有朋氏は、
“低周波音トラブルの多くは誤解トラブル”
のなかで、次のように述べています。

6．風力発電機から低周波、超低周波の回転音など発生しない
全国各地に風力発電用の風車が多数設置されている。その中で、風車から低周波音がでる、また超低周波音が出るので人体に悪影響があるなどというトラブルが起こっているところがある。そしてこれがテレビなどでまことしやかに報道されるので、本当であると思われてしまう。
しかしこれは音波の発生に関する最も基本的事項の誤解によるもので、全くの誤りである。
風車からは、問題になるような超低周波数及び低周波数の回転音は発生しない。問題になることがあるのは通常の騒音の問題である。
超低周波音も低周波音も、基をただせばいずれも音波である。すなわち空気中を伝わる波動である。従って音波の発生及び性状は波動方程式によって規定される。
音波は空気の直接的圧力変化及び物体の振動によって発生するが、これらの現象のうちで、波動方程式が成り立つ条件を満足する場合にのみ、音波が発生、従って音が存在することになる。
単に空気中に直接的圧力変化が起こり、また物体が振動しても音波が発生するとは限らない。
波動方程式は空気の運動方程式と空気の弾性的性質から導かれる。
運動方程式については、音波の音圧により、空気の微小部分に力が加わり方向に加速度が生じたとするとニュートンの運動法則より空気の微小部分の運動方程式は(1)式となる。

$$-\frac{\partial p}{\partial x}=\rho\frac{\partial u}{\partial t} \qquad (1)$$

ここで　ｐ：音圧、ρ：空気の密度、ｕ：空気の振動速度（粒子速度）、ｔ：時間である。
空気の弾性的性質については、音圧のように加わる圧力の変化が速い場合には、空気が圧縮されて温度が上がった部分と、膨張して温度が下がった部分の温度の相違を平均化する十分な時間的余裕

がないので、空気中の変化は断熱変化になり、音圧は(2)式で表される。　　$p=-K\frac{\partial \xi}{\partial x}$

(2)

ここで　ξ：空気の変位、K：空気の体積弾性係数である。 波動方程式はこの両式から導かれ、

$-\frac{\partial^2 p}{\partial t^2}=\frac{K}{\rho}\frac{\partial^2 p}{\partial x^2}$　となる。

しかし空気中に直接的圧力変化が起こっても、その変化が遅く、また物体が振動しても空気が圧縮されず、断熱変化が起こらない場合には、(2)式は成り立たない。従って波動方程式は成り立たたず、音波は存在しないことになる。

以上を風力発電風車等の実例について具体的にみると次のようになる。

風車に限らず、送風機やプロペラ機などのように、羽根が回転するものから発生する音波は二つある。一つは羽根の回転音、もう一つは渦流音である。

＊回転音

これは、回転する羽根が空気を圧縮することによって発生する音である。

例えば家庭にもある扇風機についてみると、扇風機の電源を入れると回りだし、羽根一枚一枚は見えず一定の回転数で回る。このとき羽根近くに耳を寄せると、ブーンという音が聞こえる。これが回転音である。

これは羽根の回転が速いため、羽根にあたる空気がまわりに逃げるひまがなく圧縮され、音波が発生するからである。この音は回転数に羽根の枚数を掛けた周波数の回転音になる。

しかし電源を抜くと、回転は遅くなり、羽根一枚一枚が見える位になると、ブーンという音はしない。

回転が遅いため羽根にあたる空気がまわりに逃げ圧縮されず、音波にならないからである。空気がただかき回されているだけである。

プロペラ機の場合は通常回転が速いので、ブルブルンという強い回転音が発生する。

しかし風車の場合は羽根一枚一枚が見えるくらい回転が遅いので、回転音は発生しない。周囲の空気がかき回されるだけである。

室内天井に取付け、室内空気の攪拌に用いる最近よく見られる市販のプロペラファンと同じである。

従って羽根が回っても回転音は発生せず、回転数に羽根の枚数を掛けた超低周波音や低周波音が発生するなどというのは全くの誤りである。

＊渦流音

これは、回転する羽根の周辺に発生する渦がつぶれる音である。例えばシューとかザッというような、いわゆる風切り音である。

渦流音には超低周波数から超高周波数の広範囲の周波数成分が含まれるが、主な周波数成分は耳に聞こえる高周波音である。

風車の直下では、羽根が回転しタワーを横切る時、ザッと最も大きく聞こえ、羽根の枚数に回転数をかけた回数大きく聞こえる。しかしこれは、この回数変動する、高周波の渦流音で、超低周波音ではない。

＊発電機からの発生音

風力発電機は風車のほかに、増速機、発電機、変電装置などからなっている。しかしこれらの寸法はいずれも超低周波音の波長17～340mより十分に小さので、これらからも感知される超低周波音を

発生することはない。
音源となる振動物体の寸法が波長にくらべて十分小さくなると、物体表面の空気が側方に逃げるので、空気は圧縮されず、音波の発生がほとんどなくなるからである。
風力発電装置の音の問題は低周波音問題でも超低周波音問題でもなく、通常の機械騒音の問題である。
問題を解決するには、低減方法はすでに明らかになっているので、通常の騒音問題と同様に、敷地境界線における騒音レベルを定められた測定器で測定し、また未然に防ぐには予測をして、適切に対処すれば問題になることはない。

以前、中野氏に、メールを出して、
“風車のタワーの部分の気柱を考え、鉄に関する低周波のエネルギー透過率と、開口端補正によって気柱の長さが 1/4 波長になると考えれば、超低周波の波長とぴったり合うし、気柱の運動と変分法を使って考えれば、気柱が断熱圧縮されことがすぐに分かるので、これが超低周波の発生原因ではないか？”
と聞いたことがありました。中野氏がからの返事は、
“私が調査した風車のタワーの中には、荷物が詰まっていて気柱は存在しなかった。”
とのことでした。さらに、“私も実際にその風車を見に行くので、その、荷物が詰まった風車のある場所を教えて下さい。”と頼んだら、“その場所は忘れた。”との返事が来ました。

これは、中野氏が風車を支えるタワーの中の気柱共鳴を認めていることを意味している。

ここでの中野氏の話の要点は
“空気中に直接的圧力変化が起こっても、その変化が遅く、また物体が振動しても空気が圧縮されず、断熱変化が起こらない場合には、(2)式は成り立たない。従って波動方程式は成り立たたず、音波は存在しないことになる。”
ですが、
塔の中の空気は逃げ場所が無いので、圧縮されて断熱変化が起こると言えます。
塔内に空気の柱が無ければ気柱共鳴は起こりませんが、下の写真のように、最近の大型風車の塔の中の大部分は空気です。この巨大な空気柱が共鳴します。

ドイツにある発電用風車で高さ 74m の内部は、**ほとんどが空洞です。**
また、上部の発電機の両脇の物質の質量は真ん中の発電煮に比べると小さく見えます。

空気柱の振動を引き起こす周期的な外力を見つければ、超低周波音の発生原因とそれを防ぐ手段が見つかると思います。

塔の部分にかかる力はブレードが塔の前を通過することが原因で周期的に変化します。

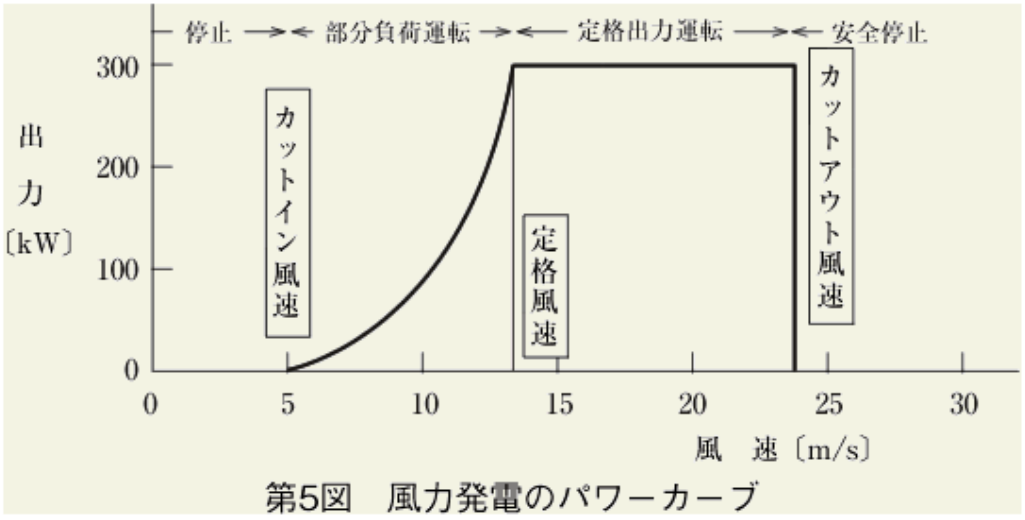
この時、塔の中央部分の断面が、
円形→楕円形→円形→楕円形
と変化すると考えれば、変分原理によって、周期的な気圧変動が起きて、断熱圧縮、断熱膨張が起こることは明白です。
タワーの中の気柱が超低周波音に深い関連を持っていると考えられます。

“風車のブレードがタワーを通過するとき、超低周波音が発生し、ロータの回転数により周波数は変わります。”
が正しいならば、風車が止まる過程では、それまで強く表れていた、2Hz、3.15Hz の音は、回転が遅くなるにつれて、周波数がより低くなるはずである。
表示機能のせいで、消えているのかもしれないが、風車が停止する過程で、音の周波数が低くなる様子は観察できない。

このことをはっきりさせるのは簡単です。

風力発電システムは一定風速以上になると発電を開始し、出力が発電機の定格出力に達する風速以上ではピッチ制御あるいはストール制御による出力制御を行い、更に風速が大きくなると危険防止のためロータの回転を止めて発電を停止する。第5図はこの運転特性例を示したものであり、性能曲線あるいは出力カーブ(パワーカーブ)と呼ばれ、風力発電システムの性能を示すものである。おのおのの風速をカットイン風速、定格風速、カットアウト風速と呼ぶ。これらの風速値は機種によって異なるが、一般に以下のような値が採用されている。

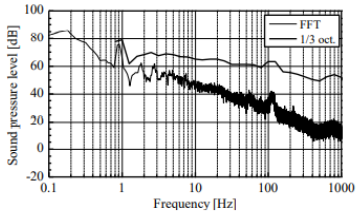
カットイン風速:3~5m/s
定格風速:8~16m/s(定格出力に依存)
カットアウト風速:24~25m/s



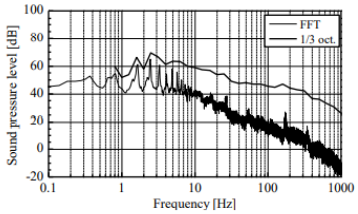
第5図　風力発電のパワーカーブ

カットイン風速で風車が回り始めてから、定格風速になるまで、精密騒音計で録音して、そのデータを Wavelet 解析にかければ良いのです。

困りました。“課題名　S2-11　風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究”では、超低周波音が観測されています。



図(2)-11　図(2)-9の音圧のスペクトル



図(2)-12　図(2)-10の音圧のスペクトル

20Hz よりも周波数の低い音が、高いエネルギーを持った形で、風車騒音に含まれています。

空気柱の振動を引き起こす周期的な外力を見つければ、超低周波音の発生原因とそれを防ぐ手段が見つかると思っていたのですが、回転軸が水平の風車では、風は高い場所では早く、低い場所では遅いので、ブレードが真上に行ったときに、揚力ベクトルの方向への力が働き、塔の上にあるナセルや、塔の地上 40ｍの辺りでも、揚力ベクトルの方向に、大きく動きます。この時、塔の断面は、円から楕円に変化するので、気圧が変動します。その変動は、外部へ、超低周波音として伝搬します。超低周波音は水平軸型の風車の宿命なのです。

もし、塔が揺れないように制御し、塔の断面を円形に保つことが出来れば、超低周波音を減らせます。

７．５　広帯域の音と超低周波音（ISO7196）（電力中央研究所）

電力中央研究所報告

風車音の特性とその心身に係る
影響に関する文献調査
－低周波音に着目した検討－
調査報告：N10032

には、

背 景

風力発電は発電時に温室効果ガスを排出しない自然エネルギーの一つとして、近年導入量が飛躍的に増加している。同時に、風車の大型化によって風車から発生する音は大きくなってきており、風車の設置場所も風力発電施設の増加に伴って、比較的住宅の近くになる場合もある。そのため、風力発電施設から発生する音に関する社会的な関心が高まってきている。特に、風車から生じる超低周波音（1～20Hz の音）・低周波音（およそ 100Hz 以下の音）に関しては、インターネットや一部のマスメディアを通じて、風車音による健康影響の可能性が広く伝えられているが、その科学的根拠は十分に説明されているとは言えない。

目 的

風力発電施設から発生する音についての国内外の科学的な文献に基づいて、風車音の特徴や風車音が心身に及ぼす影響についてまとめる。

主な成果

風車音の特性・音圧レベル、および低周波音・超低周波音の心身に係る影響に関する文献約 80 編を調査した結果、以下の知見が得られた。

1. 風車音の特徴

風車音の音源は主にナセル内部の機械音とブレードからの空力音とされている（図 1）。ブレードの空力音は広帯域音であるが、その音響パワーはブレード回転速度のべき乗に比例するため（図 2）、大型風車ではナセル内部からの機械音に比べて、ブレードからの空力音が支配的となる。また、風車ブレードから発生する空力音が、ローターの回転に合わせて 1Hz 程度の周波数で変動して聞こえることがあるが、これは数百～数千 Hz の比較的高い領域の広帯域音が周期的に変化して聞こえる音であり超低周波音ではない。

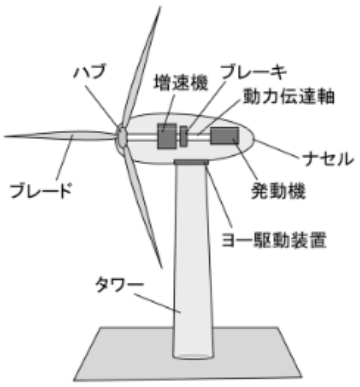
2. 風車からの超低周波音の影響

風車からの超低周波音の音圧レベルは、一般に住宅およびその周辺では知覚可能なレベルを十分下回る値であり、聞こえるようなレベルではないとみられる（図 3）。そのため、風車からの超低周波音が心身に影響を及ぼす可能性は極めて低いと考えられる。

3. 風車からの低周波音の影響

風車の大きさや風車からの距離、大気環境次第では、風車からの低周波音が知覚される可能性がありうる。風車音の大きさに加え、受音者側（音環境や主観的な感じ方の違いなど）の条件が重なる場合、不快感や睡眠影響が生じる可能性が指摘されているが、

その直接の原因が低周波音かどうかは明らかでない。また、その音圧レベルは直接的な生理被害に対する限度値を調べた実験値と比べて遥かに小さい。



	ナセル内の機械音	ブレードからの空力音
周波数特性	主に狭帯域の音	広帯域の音
音の大きさ	大型風車では特別な場合（構造物と共振する場合等）を除き、相対的に小さい	風車の大型化に伴い大きくなる（ブレード速度のべき乗に比例）

図１　風車音の発生箇所とその特徴

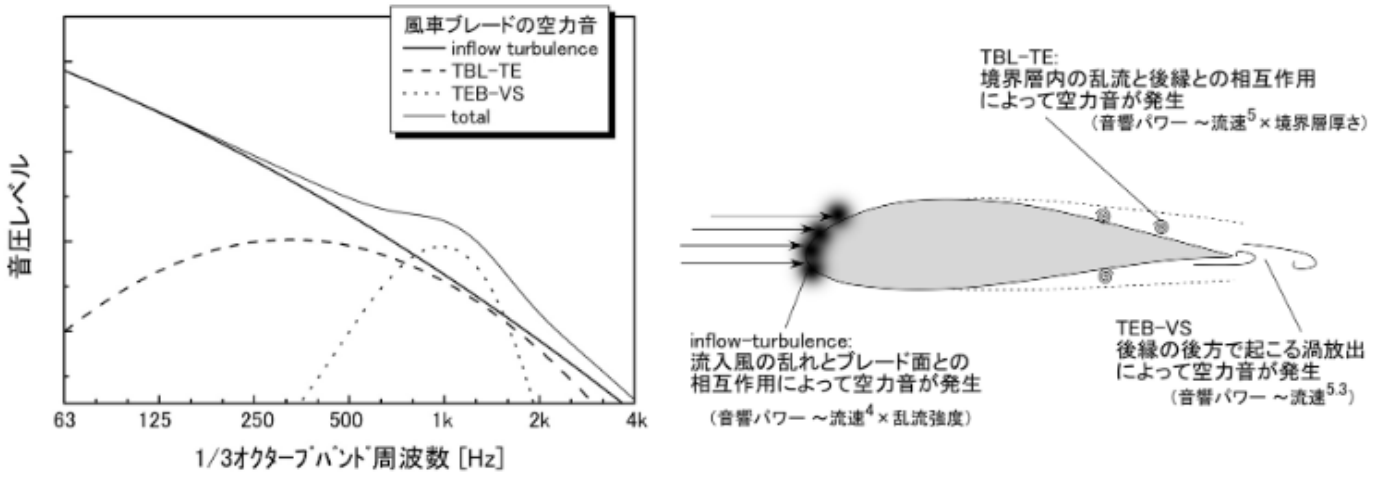


図２　ブレードで発生する空力音

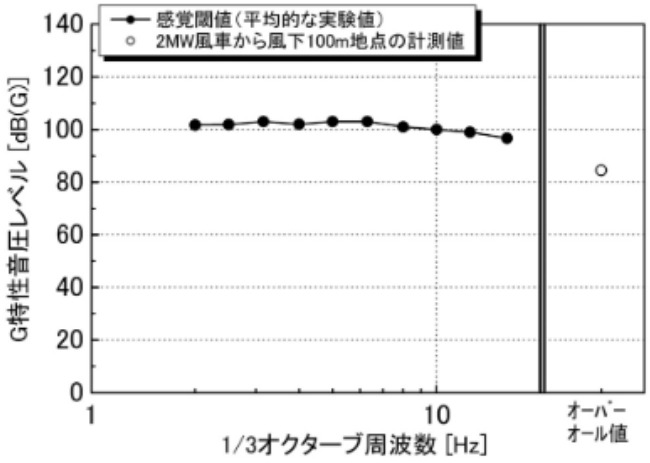
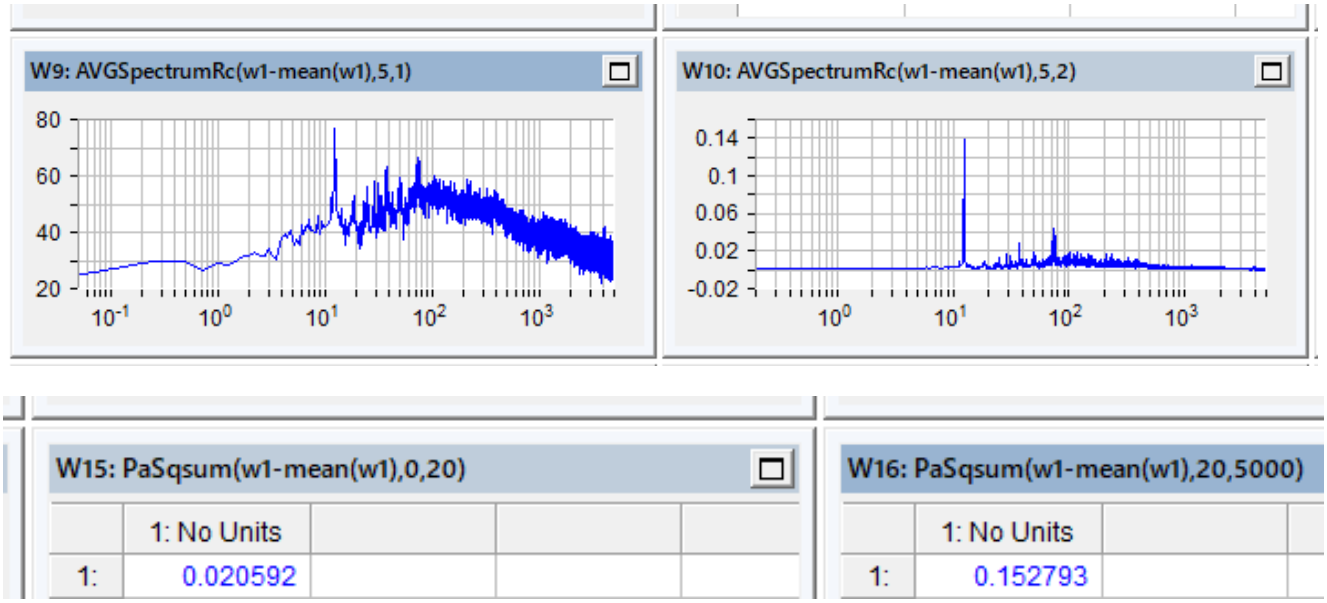


図３　風車からの超低周波音の音圧レベルと知覚可能なレベル（感覚閾値）との比較

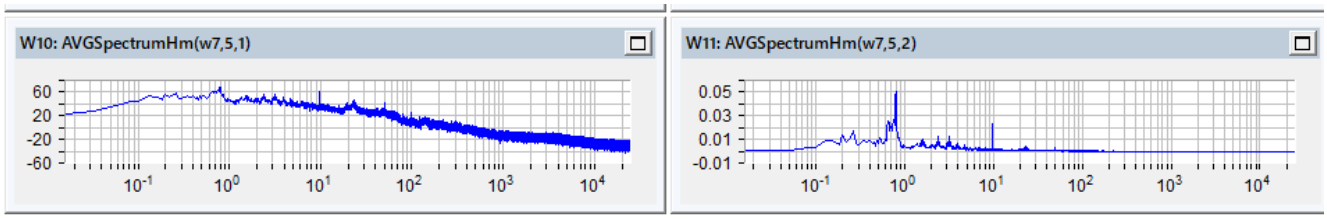
風車近傍での計測値（2MW ダウンウィンド風車，風下 100m 地点，ハブ高さの風速約 10m/s，オーバーオール値）であっても，風車からの超低周波音の音圧レベルは各周波数帯域の平均的な感覚閾値より十分小さい。

工場の騒音



下の 2 つの数値は、20Hz以下では、0.020592、20Hz以上では、0.152793 ですから、**超低周波部分のエネルギーは、20Hz以上の成分のエネルギーの 0.135 倍**です。（エネルギーの比率は、20Hz 以下は 12％、20Hz 以上は 88％）

風車の騒音（20Hz 以下の成分が強く、100Hz 以上の成分は弱い。）70dB 程度



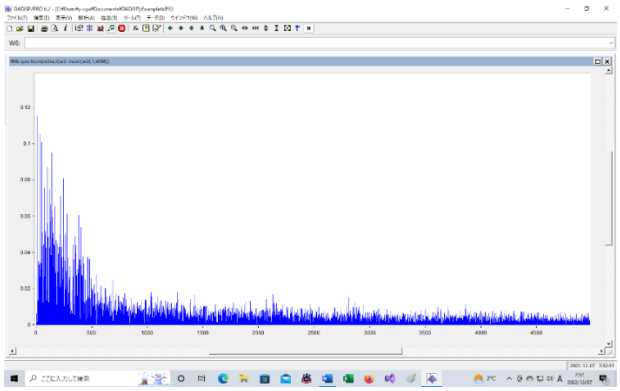
W13: PaSqsum(w7,0,20)						
	1: No Units					
1:	0.082813					
2:						

W14: PaSqsum(w7,20,25000)		
	1: No Units	
1:	0.005817	
2:		

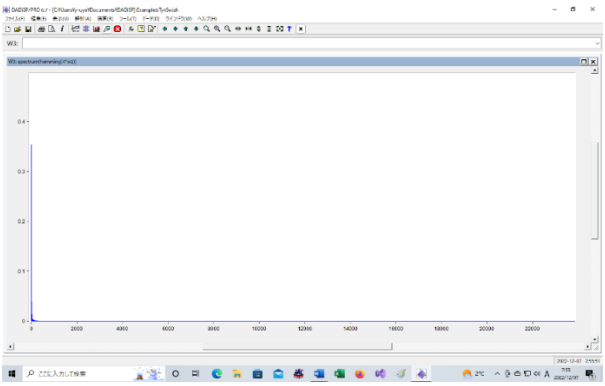
下の 2 つの数値は、20Hz以下では、0.082813、20Hz以上では、0.005817 ですから、**超低周波部分のエネルギーは、20Hz以上の成分のエネルギーの 14.2 倍です。**（エネルギーの比率は、20Hz 以下は 93.4%、20Hz 以上は 6.6%）

普通のグラフにすれば、

工場騒音（0Hz 以上）

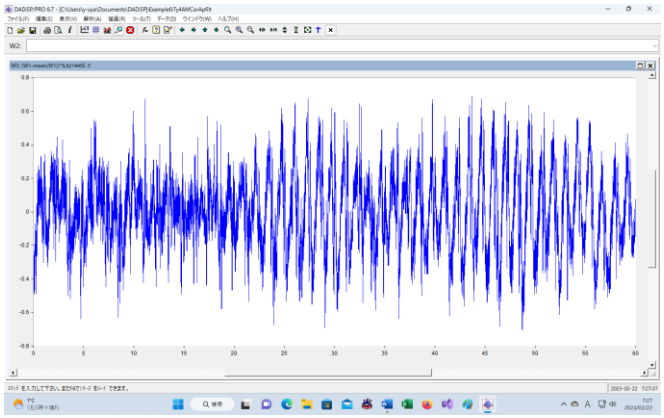


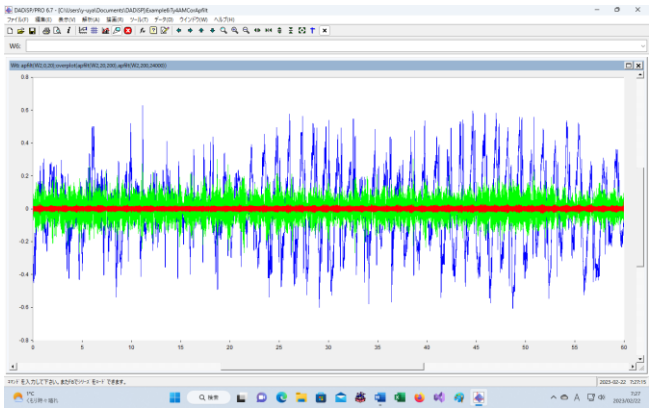
風車騒音（0Hz 以上）



工場騒音は広い周波数帯域に渡って分布しているが、 風車音は超低周波音の帯域にある左端の細い線です。

工場騒音を広帯域の音と言うなら理解できるが、風車音を広帯域の音と言うのは理解できない。





左のグラフは風車音の全体。右のグラフの青は 0Hz～20Hz の成分、緑は 20Hz～200Hz の成分、赤は 200Hz～24000Hz の成分です。

文献では、

	ナセル内の機械音	ブレードからの空力音
周波数特性	主に狭帯域の音	広帯域の音
音の大きさ	大型風車では特別な場合（構造物と共振する場合等）を除き、相対的に小さい	風車の大型化に伴い大きくなる（ブレード速度のべき乗に比例）

と書いてあったのでしょうが、文献には間違いもあります。たまには、観測もしてみて下さい。

また、
2.3 超低周波音の評価方法
超低周波音とは ISO7196 の中で定義されている 1～20Hz の音波であり[2-20]，低周波音の中でもとりわけ周波数が低いため，非常に聞こえづらく，日常において知覚することは稀である．

に関しては、“超低周波音とは ISO7196 の中で定義されている 1～20Hz の音波”の部分について、
原文を確認してみた。
3 Definitions
For the purpose of this International Standard. The following definitions apply.
3.1 infrasound: Sound of noise whose frequency spectrum lies mainly in the band from 1 Hz to 20 Hz.
となっている。
“1～20Hz の音波”ではなくて、“周波数スペクトルが主に 1Hz から 20Hz の帯域に入っている音”
と訳すべきである。
風車音における、（**エネルギーの比率は、20Hz 以下は 93.4%、20Hz 以上は 6.6%**）であるということは、“周波数スペクトルが主に 1Hz から 20Hz の帯域に入っている音”との表現をエネルギーの面から裏付ける事になる。
当然、1Hz から 20Hz の帯域には収まらない周波数成分があっても、超低周波音なのです。この意味で、超低周波音（ISO7196）と書くことにすれば、風車超低周波音（ISO7196）の問題を検討する必要があるのです。
ISO7196 では、1Hz から 20Hz の帯域からはみ出す場合についての準備もしてある。ISO7196 では、1/3 オクターブ解析での中心周波数は、0.25Hz から 315Hz になっている。
風車の大型化によって、風車音の音圧がピークとなる周波数が 0.8Hz や 0.54Hz になる状況においては、誤訳と言わなくてはなりません。
“文献約 80 編を調査した”と言い、しかも ISO7196 の名前をあげていながら、内容を確認していないのか、それとも、英語が分からないのか、どちらが原因なのかは分かりませんが、これでは文献の調査とは言えません。

文献の調査も大切でしょうが、自分で計測し、解析することが最も大切だと考えます。多くの文献があれば正しいとは限らないのです。天動説と地動説の例もあります。

７．５　空力変調　説　（鈴木　章弘）

風力発電所の騒音予測評価手法に係る考察のような考え方が、主流となりつつある中で、どの様な方針で、風車音の問題に対応すべきかが大きな問題となる。

風力発電所の騒音予測評価手法に係る考察

Noise Prediction Techniques for Wind Power Plants

鈴木　章弘 *1
Akihiro SUZUKI

8.　低周波音，超低周波音

風車から強い「低周波音」が発生していることを疑わせる報道が見かけられる。日本の環境省では，低周波音を「およそ100Hz以下の低周波数の可聴音」と「超低周波音」と定義している（資料７）。

近年主流になっている定格出力2MWの風車ではロータ定格回転数は，20[1/min]程度である。3枚翼ロータの場合には，定格運転時には例えばタワーの前面を翼が1分間に60回通過するため，1秒に1回の音の変動が発生する。そのため，これが1Hzの超低周波音の発生源であるとの主張も見られるが，これは翼で発生する可聴域の広帯域空力音が振幅変調を受けたものである。空力変調（aerodynamic modulation，資料８）と呼ばれ，基本的には幅広い周波数成分を含んだ音（超低周波音成分も含む）の音圧レベル（音量）が1秒に1回の割合で上下している状態であり，周波数1Hzの空気振動である超低周波音とは異なる現象である。

海外での政府機関の調査結果等においても風車から発生する（超）低周波音は低いレベルであると報告されており（資料９にまとめがある），問題は変動性の可聴音であると考えられる。

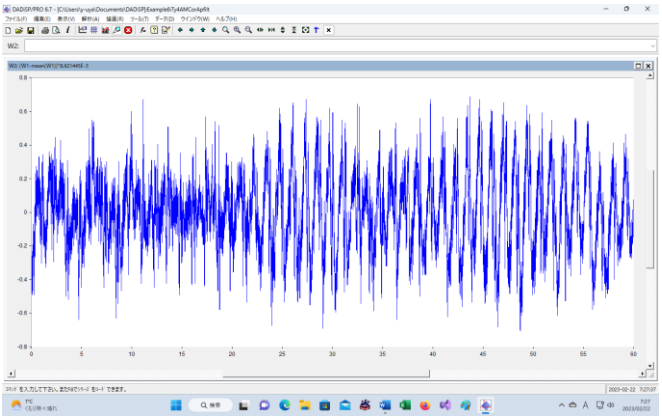
この発言は、書いている人は FFT のアルゴリズムや、周波数成分の意味を全く理解できていないのかと思わせる発言である。 FFT を使えば、可聴域の広帯域空力音を、超低周波音と分離できるのです。分離した波形を眺めてから発言してほしいものです。

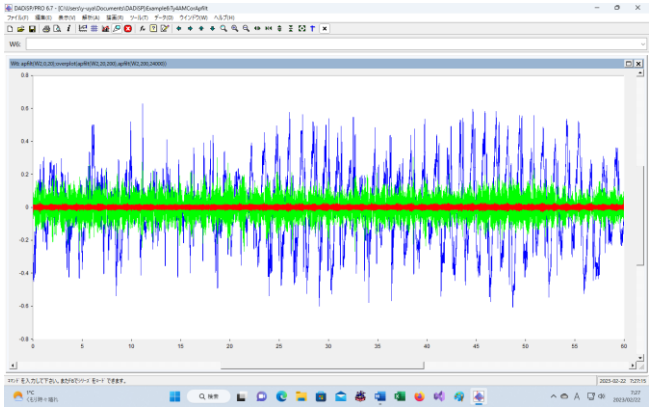
実際の計測データの周波数スペクトルを見れば、デジタル信号処理について理解できていない。関数空間についての常識が無い。FFT の計算ができない。人の言い分だという事が明確になります。

これらの見解の特徴は、風車音の観測データを示さない点にある。外国の文献を調査して、都合の良いものだけを選んで、自分の主張の根拠とすることが大きな特徴であす。

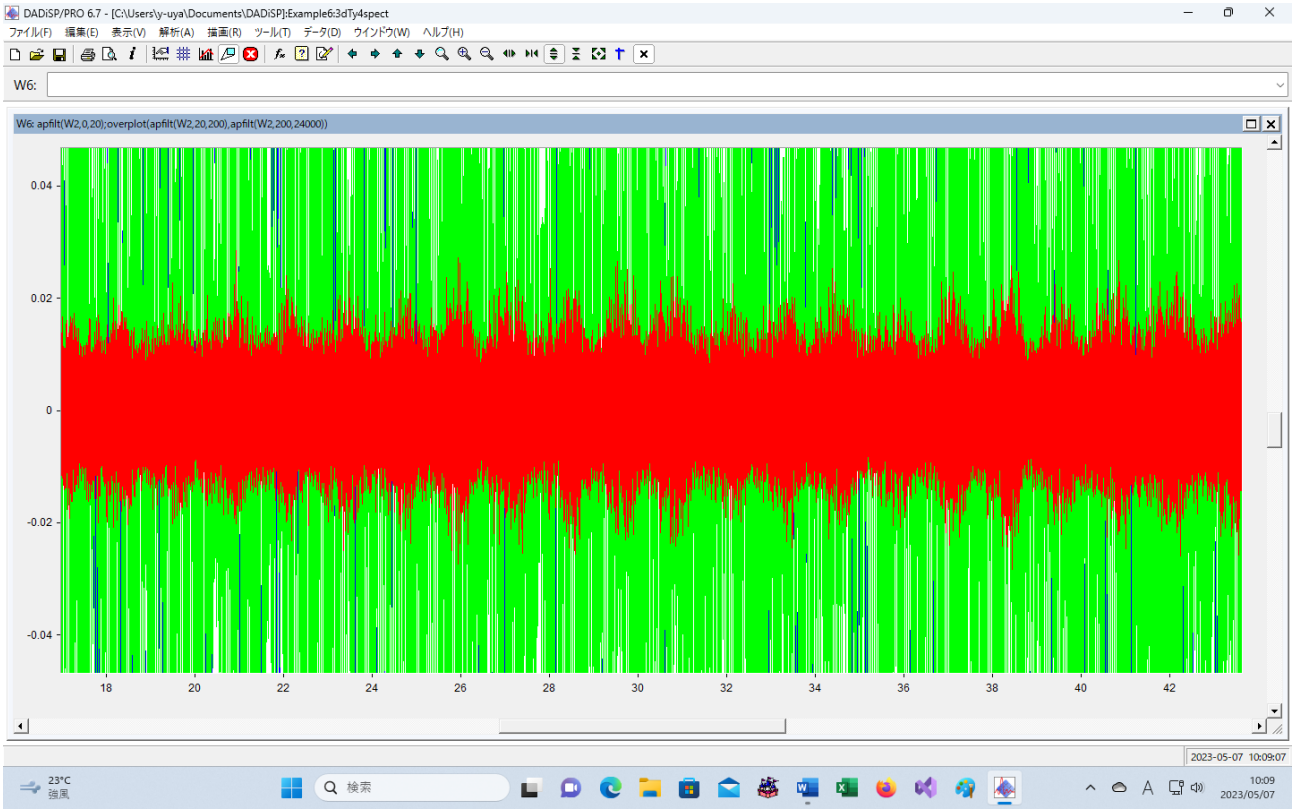
例えば、鈴木氏の低周波音、超低周波音に関する見解では、計測データが示されていない。それは不可能なのです。
もし、鈴木氏が実際に計測した風車音のデータを公開して風車の場所を示せば、他の人がその風車の音を計測して解析して、超低周波音（0Hz～20Hz）が存在することが明確となり、もし論争の決着をつけるために、同じ場所で同時に計測をして、お互いの計測データをネットに公開すれば、超低周波音（0Hz～20Hz）が存在するとの主張が正しいのか、比較的周波数の高い成分での振幅変調なのかは一目瞭然となる。

左のグラフは風車音の全体。（千葉県館山市の風車音）
右のグラフの、青は 0Hz～20Hz の成分、緑は 20Hz～200Hz の成分、赤は 200Hz～24000Hz の成分です。
赤い部分が、200Hz～24000Hz の音の成分です。確かに振幅変調も見られます。
青い線は超低周波音（0Hz～20Hz）の成分です。音圧は極めて高いのです。





拡大してみれば、下の図のようになり、振幅変調波が認められます。
屋外と室内で、2 台の精密騒音計を使って同時に計測して、窓ガラスや雨戸の効果を検討してみれば、200Hz～24000Hz の成分は周波数が高いことから、室内での音圧は極めて低くなることが予想されます。
超低周波音（0Hz～20Hz）の部分は、室内と屋外での差が無いことが予想されます。



鈴木氏と一緒に風車音を計測できる日が来る事を、待ち望んでいます。

部屋の中で被害が起きるのですから、部屋の外と中で、同時に計測して、その結果を比較してみる事が必要です。
被害の中には、建具や床のガタツキに関することも含まれますので、振動レベル計での計測も必要です。

さらに、

海外での政府機関の調査結果等においても風車から発生する（超）低周波音は低いレベルであると報告されており（資料９にまとめがある），問題は変動性の可聴音であると考えられる。

日本の環境省も嘘をつく。これは、

環境省 Q&A の問題点

https://uyama33.wixsite.com/my-site?fbclid=IwAR1uOo_wSXnsyClBzv-R6ZToOgasnXii2lkiMZhGRlxW_hL_C998RIdak5A

を見れば明らかです。数値の大小関係で嘘をついています。

なぜ、“（超）低周波音は低いレベルである”の根拠を、海外での政府機関の調査結果に求める必要があるのでしょうか？

日本にも風車は存在します。日本の風車からは、強烈な超低周波音が出ているのです。風車が無い場所での超低周波音の音圧の 100 倍の強さです。

低いレベルか否かは、基準が無いので 100000 倍でも、1000000 倍と比較すれば十分低いと言えます。数値を示すべきです。まさか、1Hz 以下の周波数成分を無視して議論しているのではないでしょうね。

超低周波音を1Hz～20Hzと定義している人がいたので、心配になります。大型風車では、最も音圧が高くなるのは

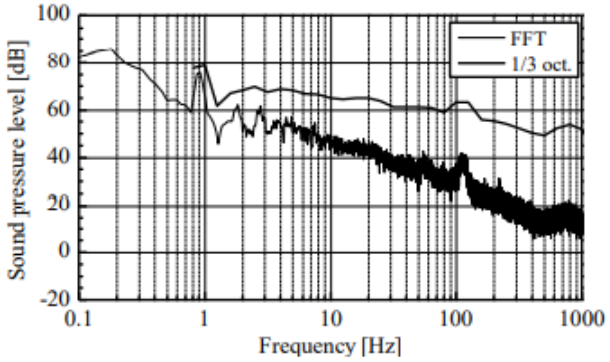
0.5Hzとか 0.8Hzの辺りなので、超低周波音を 1Hz～20Hzとした場合には、音圧が低いという事なのかもしれません。

ISO7196 の中心周波数が 0.25Hz～315Hzなのですから、超低周波音の定義をISO7196 の中心周波数の範囲で考えれば、極めて高い音圧の緒低周波音が存在する。ことになります。

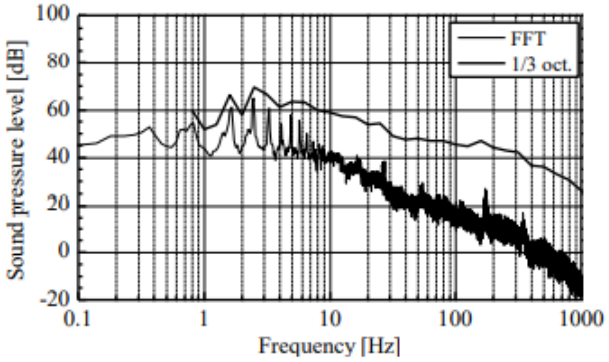
文献の調査能力が不足しています。

“課題名 S2-11 風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究”では、

強烈な、超低周波音が観測されています。



図(2)-11　図(2)-9の音圧のスペクトル



図(2)-12　図(2)-10の音圧のスペクトル

これだと、0.2Hz で 85dB くらいです。100dB に比べれば低いと言えますが、実験室で、0.2Hz で 85dB の音を浴びてみてはいかがですか？そして、0.2Hz の音をどのようにして発生させたのかも報告してほしいものです。

風力発電を推進したい立場の人が、都合の悪いデータや論文を無視するのは当然の行為です。不都合な真実をごまかそうとするのは当然の行為です。でも、嘘はばれるのです。

論文は沢山あります。小学生レベルの英語力も無くて誤訳と曲解しかできない人も論文を書きます。小学校で習う少数の大小関係が理解できない人も論文を書きます。高校生で習う関数の定義域と値域について理解できていない人の論文もあります。いくら都合が悪くても、風車の音を測ってみる必要があります。自分が主張する根拠を論文だけに求めてはいけません。風車音を計測して、周波数成分を調べて下さい。

計測したデータは公開して下さい。音の収録方法も公開して下さい。解析手法も公開して下さい。

その計測方法で、0.5Hz の超低周波音を把握できるか出来ないのかについて、多くの人の確認が必要なのです。

鈴木氏が、次の機材を購入して計測結果を公開すれば簡単に結論がでます。

精密騒音計 NL-62 と機能拡張プログラム NX-42EX、波形収録プログラム NX-42WR、

（578000 円+70000 円+100000 円、合計で 748000 円

振動レベル計 VM-55 と波形収録プログラム VX-55WR　（440000 円+100000 円、合計で 54 万円）

ビデオカメラ　6 万円

（ここまでは、鈴木氏のお金で購入する必要がある。）

以下解析ソフト関連の費用（私の場合）

ＰＣ　20 万円

波形解析ソフトＤＡＤＩＳＰ　41 万 7,900 円

DADiSP/WAV　135,000 円(税抜)

Ｗａｖｅｌｅｔモジュール　98000 円

多変量解析モジュール　98000 円

騒音振動解析モジュール　98000 円

です。

解析は、計測データをネットに公開して、世界中の専門家にお願いすれば解析してもらえますので、大丈夫です。

補足をしておきます。

精密騒音計 NL-62 を普通に使えば、計測できる範囲は、1Hz～20ｋHz です。0.5Hz は計測対象外です。
でも、工夫すれば大丈夫です。私は、リオン社には相談して、次のことが分かりました。

精密騒音計内で、FFT の計算をするために使っているのは、サンプリングレート 48ｋHz で計測された、気圧変動のデータです。
0.01Hz の周波数刻みで計算するには、120 秒間の計測データを一つのデータとして計算すれば良いのですが、
精密騒音計自体では、メモリーも足りないし、CPU の機能も不十分です。また、電源を入れてから、120 秒も待たないと結果が出ない機械は売れません。
電源を入れたらすぐに数値が出るようにするために、計測したデータのうちの、短時間の計測データを使って FFT を計算しているのですから、1 Hz 以下の周波数の計算は出来ません。
精密騒音計を、音圧の変動を記録するだけの機械として使えば、120 秒分のデータから 0.01Hz 刻みの周波数スペクトルが得られます。
精密騒音計 NL-62 と機能拡張プログラム NX-42EX、波形収録プログラム NX-42WR、
（578000 円+70000 円+100000 円、合計で 748000 円）
を使えば出来ます。
後は、WAV ファイルを解析できる、プログラムを使えば良いだけです。
私は、Wavelet 解析をする為のデータが欲しくてリオン社に相談したのですが、DADISP に標準でついている、FFT の機能だけで、0.01Hz 刻みの周波数で解析できました。

計測では、風による雑音の心配がありますが、風車が有る場所の近くの家の室内で行えば、風の影響はあまり受けないので、室内における 0.01Hz 刻みの周波数スペクトルが得られます。
厳密か否かは問題になりますが、車に機材を積んで、風車の近くに行って、風下側の窓を開けて機材を車内に置いたまま計測すれば、風の影響はあまり受けません。周波数スペクトルを見れば、その規則性から、風の影響ではないことが判断できます。
計測するならば、私も一緒に計測して、データの信頼性を高めるためのお手伝いをします。

計測された数値の意味を補足しておきます。

■質問 1:
リオン社の精密騒音計 NL-62 で、サンプリング周波数を 48kHz にして計測し、
波形収録プログラム NX-42WR によって収録された wave ファイルを扱っています。
この wave ファイル、に記録された数値は
音圧(おんあつ)、音による圧力の大気圧からの変動分である。単位はパスカル (Pa)。
を意味しているのでしょうか?

［ご回答］
WAVE ファイルに記録された数値は整数値（ビット数）を表しています。
WAVE ファイルの値をそのまま弊社以外のソフト等で取得すると、整数値（±8,388,608）として表示されるかと思います。
整数値は単位を持っていないため、単位を音圧「Pa」に変換する必要があります。
単位の変換は、［Pa=整数値×（Value/Bit）］となります。
1 ビットあたり何 Pa かどうかという（Value/Bit）については、騒音計で設定したビット長、表示フルスケールによって異なります。
弊社製「波形処理ソフトウェア　AS-70 ビュアーソフト」（無償版）が弊社ホームページで公開されておりますが、
そちらに WAVE ファイルを落とし込んで頂くと、「表示」タブ→「ファイル情報」から（Value/Bit）をご確認頂くことが可能です。

例えば、表示出力フルスケールが 130 dB、ビット数が 24 ビットの場合、
1 ビットあたりの Pa 値は以下のように計算します。
（表示出力フルスケール値の+13 dBが WAVE ファイルのフルスケール値になります。）
・WAVE ファイルのフルスケール値：143 [dB] = 2×10^(-5)×10^(143/20) = 282.51 [Pa]
・1 ビット当たりの Pa 値：　282.51/{2^(23)} = 3.37×10^(-5) [Pa/bit]

「波形処理ソフトウェア AS-70 ビュアーソフト」のダウンロードリンク先をお送りさせて頂きます。
ご確認頂けますと幸いです。
＞https://svmeas.rion.co.jp/download/manual/AS-70

■質問 2:
リオン社の振動レベル計 VM-55 で、サンプリング周波数 1kHz,データサイズ 16bit で計
測し、波形収録プログラム VX-55WR によって収録した wave ファイルを使っています。
この wave ファイル、に記録された数値は何を意味しているのでしょうか?
どの様な単位で計測された結果と理解するのでしょうか?

［ご回答］
ご質問 1 のご回答と同様に、WAVE ファイルに記録された数値は、整数値（ビット数）を表しています。
WAVE ファイルの値をそのまま弊社以外のソフト等で取得すると、整数値として表示されるかと思います。
WAVE 値は単位を持っていないため、単位を、振動加速度レベル「m/s^2」に変換する必要があります。
単位の変換は、［m/s^2=整数値×（Value/Bit）］となりますので、こちらも同様に AS-70 でご確認頂ければと思います。

振動加速度レベルのdB基準値は 10^（-5）ですので、Pa へ変換する上記式のdB基準値を、
こちらの変えて計算して頂ければと思います。

■質問 3:
このような事柄が記載されている資料は、貴社の HP にありますか?

［ご回答］
恐れ入りますが、このようなことが記載されている資料は、
弊社ホームページ上では公開をしておりません。

　また、マイクロホンの周波数特性に関する資料もしましていただけました。これがあれば、実際の音圧を推定出来ます。

７．６　カルマン渦（後方乱流）説

目に見えない低周波を可視化する。雪で可視化された風車による”カルマン渦”；2014-02-21 | 風力発電は危険

では、

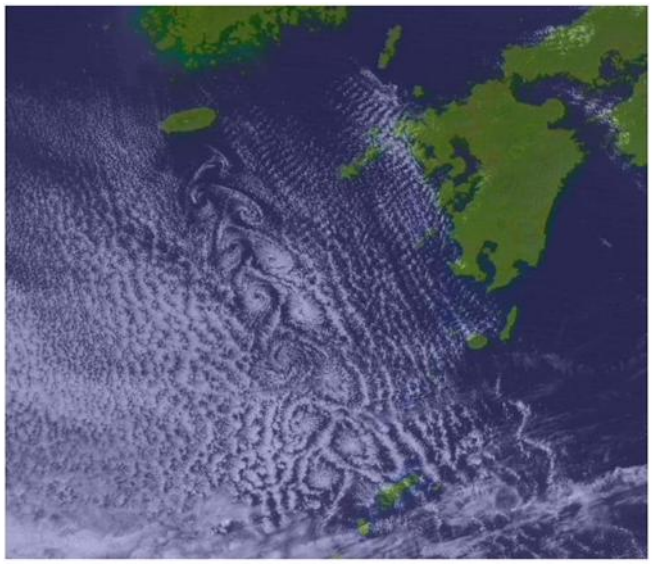
　風力発電の巨大風車の支柱の後方に発生していた低周波が、カルマン渦として雪とライトでみごとに映し出されています。

　支柱の後方には乱流が生じ、気圧の急激な変化が起こるため、コウモリが近づいただけで肺の中で血管が破裂し肺が血でいっぱいになって死んでしまうそうです。この後方乱流によって低周波が生じます。

【カルマン渦】

カルマン渦またはカルマン渦列は、流れのなかに障害物を置いたとき、または流体中で固体を動かしたときにその後方に交互にできる渦の列のことをいう。ハンガリー人の流体力学者セオドア・フォン・カルマンにちなむ。

流体中に突き出た障害物は振動発生の原因になることが、気象の世界でも証明されています。



　と書いてありました。

　上の話の中に、後方乱流によって低周波が生じます。

と書いてありますが、低周波音の周波数がどの様に決定されるのかは書いてありません。

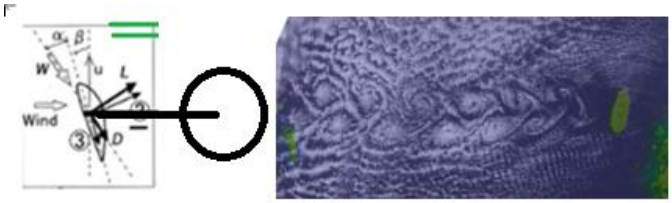
　前に確認した通り、風の状態は激しく変化します。

次の表は、気象庁が計測したデータを、気象業務支援センターから入手したものです。

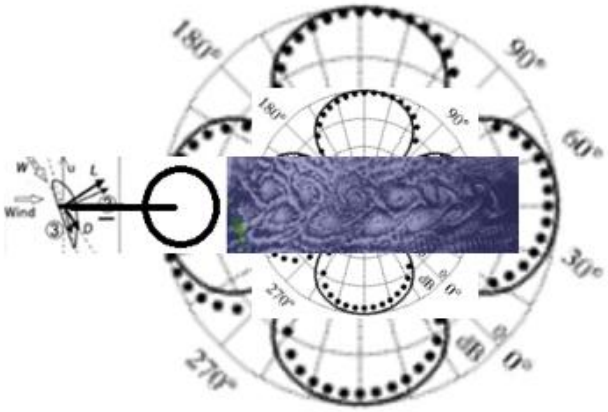
年	月	日	時	分	秒	前10秒間最大瞬間風速	前10秒間最小瞬間風速	前10秒間風程
						0.1m/s	0.1m/s	
2019	2	2	0	12	40	147	124	132
2019	2	2	0	12	50	146	107	131
2019	2	2	0	13	0	122	82	102
2019	2	2	0	13	10	105	65	83
2019	2	2	0	13	20	112	71	82

（前 10 秒間風程は、10 秒間に風が進む行程を意味します。132 は秒速 13.2mの風速です。）
風速も風向も不安定なので、カルマン渦の動きも不安定になると考えます。カルマン渦から発生する低周波音も周期が不安定になるだろうと思うのですが、すぐ後の、例３で見るように、風車から出る低周波音の周波数は安定しています。
風の動きが変化してもカルマン渦は規則正しい動きをして、安定した周波数の低周波音を発生させるのか、カルマン渦が不安定でも､何らかの理由で､カルマン渦の作り出す低周波音の周波数は安定するのだろうか？
風車からの低周波音の安定性を説明するには、カルマン渦は適さないと考えています。
カルマン渦についての研究は沢山ありますが、風車からの音を実際に計測して、その周波数スペクトルと音圧を計算したデータやWavelet解析の結果と比較して議論しているものは､私には見つけられませんでした。
周波数の時間的な安定性を調べるには、Wavelet 解析が必要です。

さらに、超低周波音が風車を中心にして十字架型の指向性を持つことを示すには、音が発生する要因が、風車を含む直線上にある事が必要です。
カルマン渦の場所は、この直線上では無いのです。
　塔とカルマン渦を考えると、下の図になります。



カルマン渦の場所は、塔よりも後ろです。音の発生源は塔よりも後方であり、上から見たときには、風車の回転軸についての対称的な指向性を持つと考えます。



観測結果と比べると、音源の位置と、指向性に関しての方向が異なります。

風車の近くでは、超低周波音は指向性を持ちます。
2) 菊島義弘,長島久敏,橋本晶太,鯨岡政斗,濱田幸雄,川端浩和,小垣哲也,風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.38 p. 69-72, 2016

によれば、

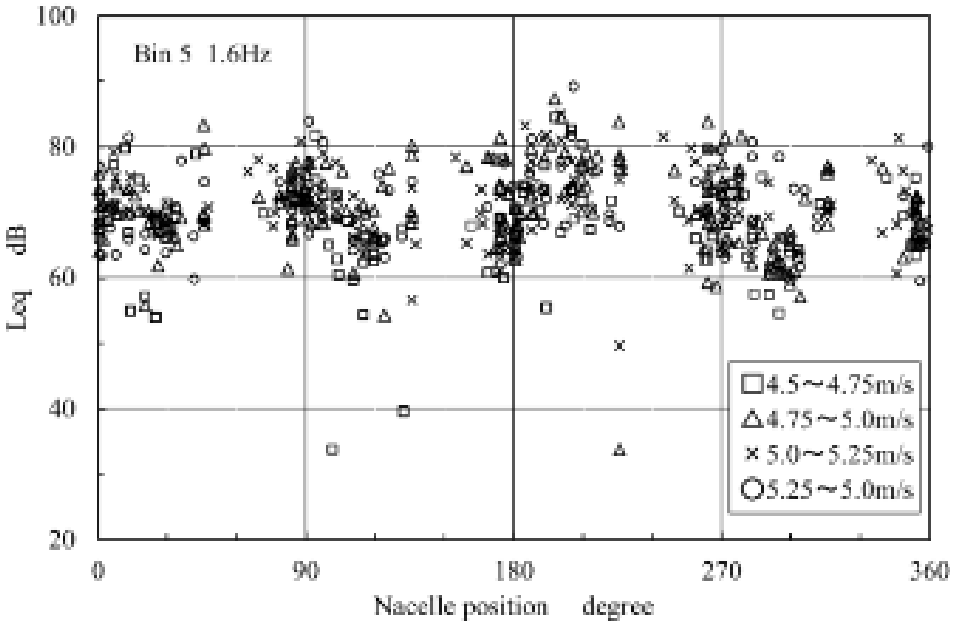
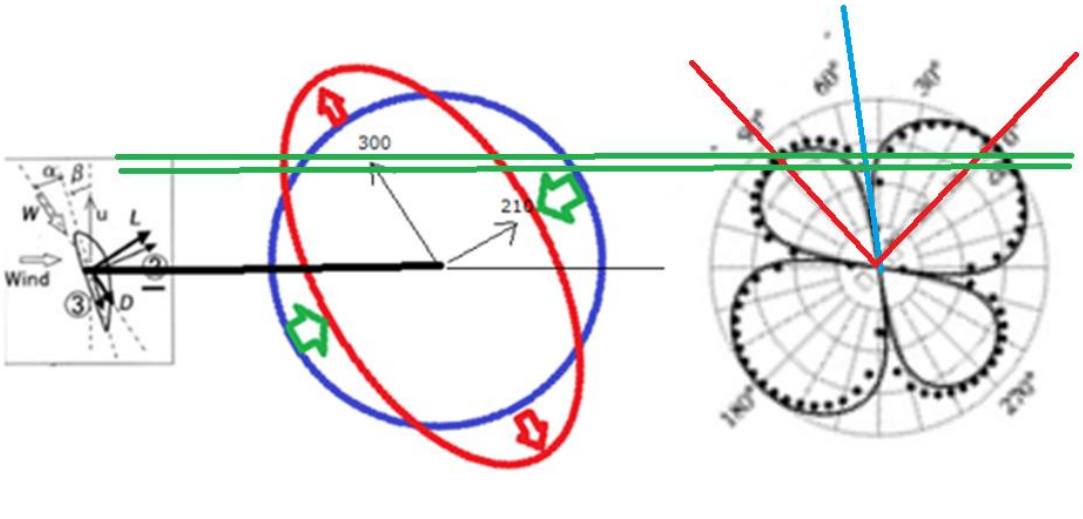


図 6　Bin 5 中心周波数 1.6Hz の指向性分布

となっていて、風車の回転軸との関係を図示すれば、次の様になります。

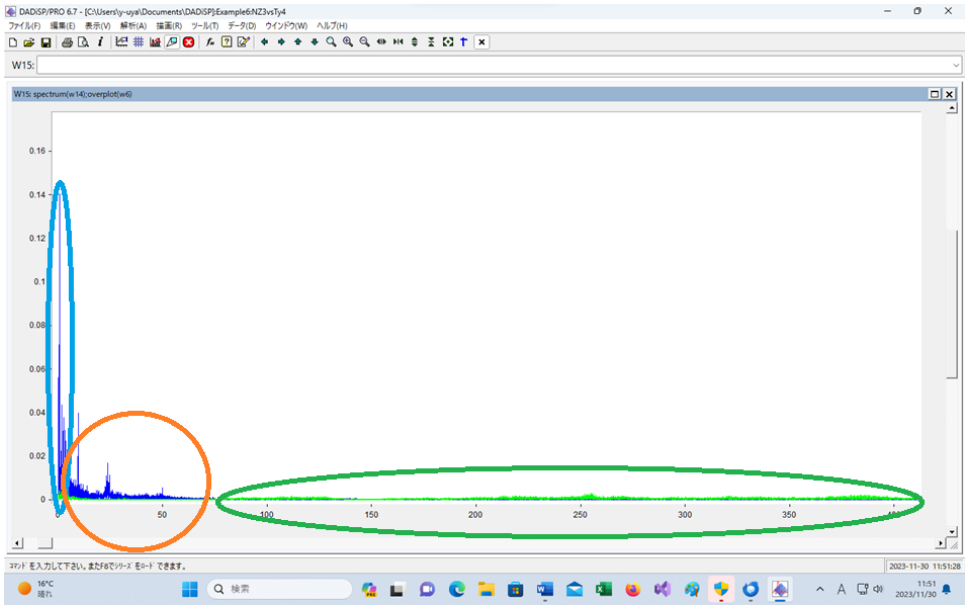


強くなるのは、（210+90*ｋ）度の方向です。

３．風車音の特徴

風力発電施設からの騒音に関する基準は，自治体毎に独自の基準を設けているところもあるが，多くは一般的な騒音と同様，「騒音に係る環境基準」に準ずる形で与えられている．図 3-1 に示されるように，一般に電気出力の大きい風車ほど音響パワーレベル(※13)は大きいため，風車音が問題となるのは主に近年本格的に導入されるようになったメガワット級の大型風車である．しかしながら，大型風車が本格的に導入されてまだ間もないことから，大型風車で発生する音の特性に関する情報が広く十分に知られておらず，風車音による心身への影響を危惧する声が高まってきている．とりわけ，風車から発生する音のうち，超低周波音・低周波音の影響については社会的な関心が高まってきている．そこで，本章では風車音の音源やその特徴，伝搬特性についてまとめる．

実際に、風車音を計測して、周波数スペクトルを調べれば、0.8Hz で最大音圧になっています。全体は次のグラフです。



3.1　ナセル音

風車から発せられる音はマイクロフォンアレイ[3-1,3-2]や音カメラ[3-3,3-4]を用いた計測によって，主にナセルから発せられる音とブレードからの空力音であることが知られている．ナセル内部は図 3-2 に示されるように，主に増速機，動力伝達軸，発電機で構成される．増速機はギア（歯車）によって，ローターの回転数を交流発電機の回転数まで増速させる装置で，ナセル内で発生する音の大部分はこのギアによる機械音である[3-5]．このような機械音はギアレス化などの機器的な対策により騒音低減対策が進んでいるが，タワー内部での反響により大きな騒音となる場合があるため[3-6]，そのような場合は必要に応じてナセル内部に防音対策を施す必要がある．また，機械的な部品であるため，故障や劣化により音が大きくなる場合があるため，定期的なメンテナンスは必要である．

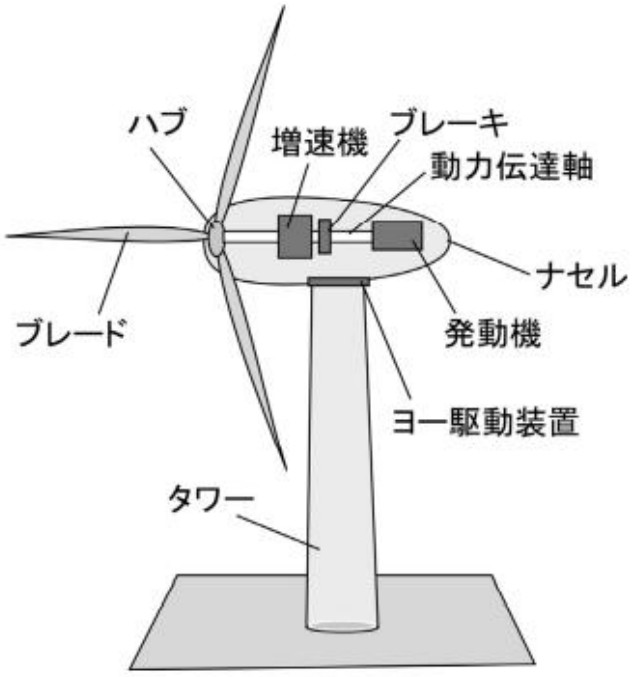


図 3-2　風車のナセルの内部構造

ナセルからの音は機械音であるため，音源の特定や対策は比較的容易であり，さらに近年では風車の大型化により，その影響は空力音に比べて相対的に小さくなってきている．

ここで、“風車から発せられる音はマイクロフォンアレイや音カメラを用いた計測によって、主にナセルから発せられる音とブレードからの空力音であることが知られている”
とあるので、マイクロフォンアレイについて調べてみました。

次の論文に、使われているマイクが、ECM-C10 だとあります。
複数のマイクロホンアレイおよび空間情報と反射音を利用した音源定位の検討

変換機 TD-BD-16ADUSB を使用した。マイクは、Sony の ECM-C10 を用い、16 kHz/16 bitsでサンプリングを行った。

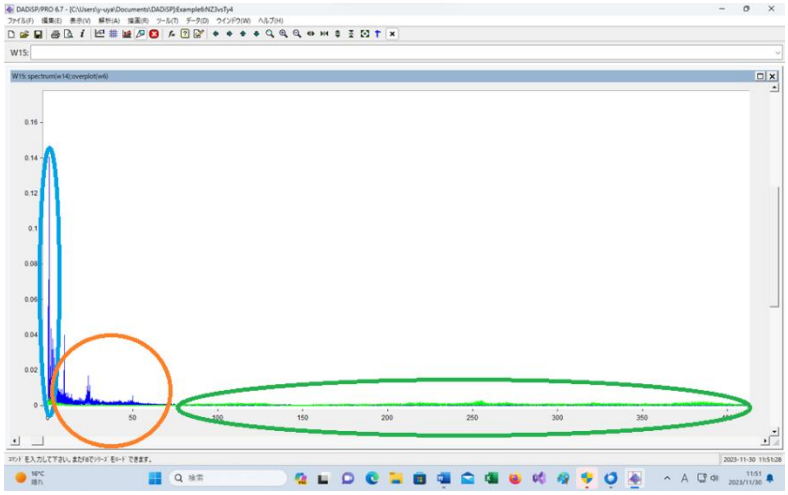
このマイクは現在は生産終了です。その後継となるものは、ECM-CS10　です。

エレクトレットコンデンサーマイクロホン
ECM-CS10

周波数特性	100 - 16,000Hz

問題は、周波数特性です。100Hz～16ｋHz です。

これでは、次のグラフでのナセル内部にある発電機の音のうちで、ある程度周波数の高い部分と、ブレード面での乱流による高周波成分しか把握できません。



上の計測結果を参考にして、風車音をグループ分けすると、

① 0～8Hz　は、塔の側面の振動を主な要因とする超低周波音。
② 10Hz～100Hz　は、発電機などの機械音。
③ 200Hz～20ｋHz　は、ブレード面での乱流による高周波音。

となります。超低周波音の部分が完全に無視されています。

3.2　空力音

ブレードやタワーから発生する空力音は風力発電施設からの主要な音源の一つである．空力音の強さは速度のべき乗に比例するが[3-7]，近年ではローター径の大型化によりブレード先端部の移動速度が高速化しているため，特にブレードからの空力音が目立つようになってきている．風車の空力音は図 3-3 に示されるように，主に(1)流入風の乱れとブレードとの相互作用によってブレード面に発生する変動力，(2)ブレードの後縁と相互作用するブレード面上の乱流境界層，(3)厚みのある後縁の後方で起こる渦放出，によって発生する[3-8,3-9]．これらの空力音は図 3-4 のような広帯域の音となり，空力音の種類によって周波数帯は異なる．図 3-4 では(1)の流入風の乱れとブレードとの相互作用による低周波音帯域の音が支配的に見えるが，低周波音帯域における人の耳の感度は小さいため，人の耳に聞こえてくる空力音は主に数百～数千の比較的高い周波数帯域の音であり，(2)および(3)の後縁騒音の影響は無視できない．

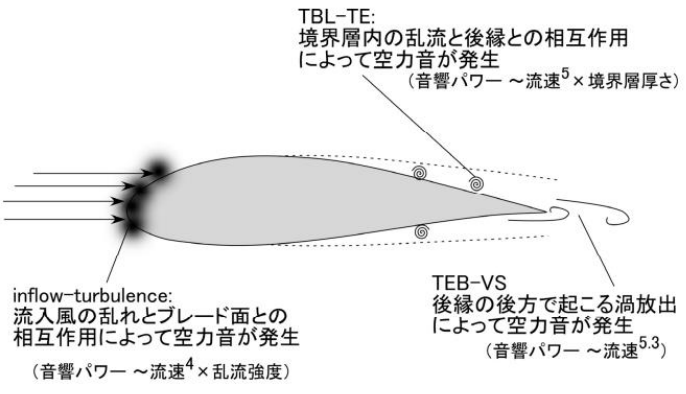


図 3-3　ブレードで発生する空力音

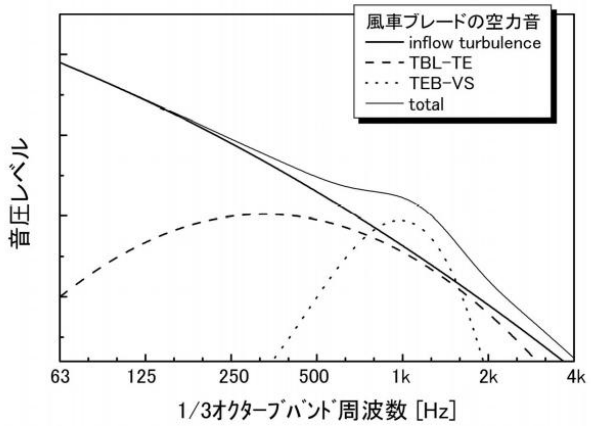


図 3-4　ブレードで発生する空力音の周波数分布

[redacted]低周波音帯域における人の耳の感度は小さいため，人の耳に聞こえてくる空力音は主に数百～数千の比較的高い周波数帯域の音であり，(2)および(3)の後縁騒音の影響は無視できない．

とあるが、

超低周波音に関しては、聴覚からの影響として被害を訴えるよりは、圧迫感、不快感として被害を訴える人が多いのです。耳の感度の問題ではないのです。

参照値に関する実験の被験者の発言は、

環境省：低周波音問題に関する Q&A

Q６　『参照値』に科学的な根拠はありますか？

A６　『参照値』は平成 15 年に独立行政法人産業総合研究所において実施した聴感実験データから、一般被験者の 90%の人が寝室で許容できるレベルとして設定したものです。この聴感実験では、低周波音を発生させた実験室に被験者を部屋に入れて、被験者の反応を調査することで行いました。なお、被験者は、実験室の中で、耳だけでなく全身が低周波音に浴しており、いわゆる骨導音の影響も実験の中で自然に含まれ、総合的に把握されていると考えられます。

前川真帆香　氏の論文には、

第 3 節　救済されない低周波音被害者

1.はじめに 岡田が述べているように、低周波音問題は参照値近傍もしくはそれ以下の領域にて起こっている。低周波音の手引書には、参照値未満の場合は騒音領域の問題、地盤振動であるかどうかなど、被害者の訴えを生じさせる他の要因を探るとしている。しかし、現実には、参照値が被害者の訴えを切り捨てる基準として使われている。自己の聴覚閾値を実験室にて経験した被害者は「実験室で使う純音と実際聞く音は全く異なる」と、実験室に基づくデータにより策定した参照値自体が現実を反映していないと主張する。さらに、彼らはその参照値を使った測定にも問題があると指摘する。では、被害者がこの参照値を低周波音の評価方法として用いるのは現実を反映せず、妥当ではないと主張するのは一体どうしてであろうか。

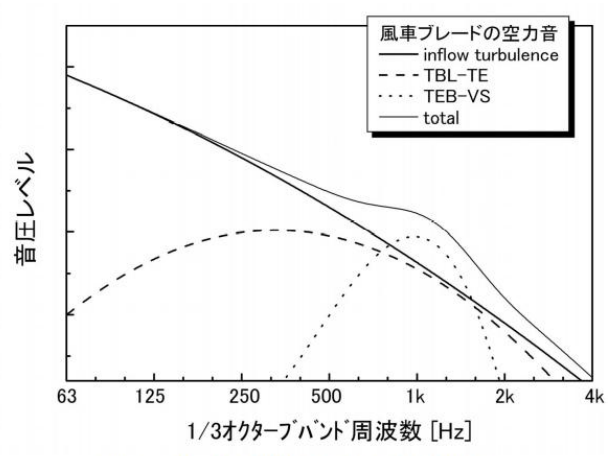


図 3-4　ブレードで発生する空力音の周波数分布

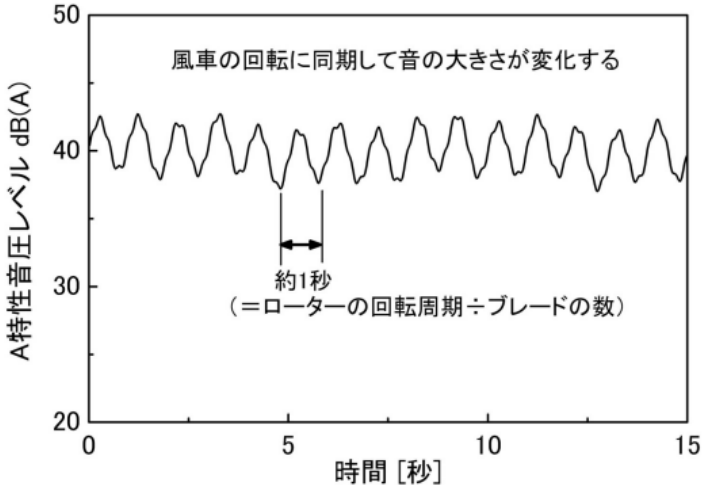
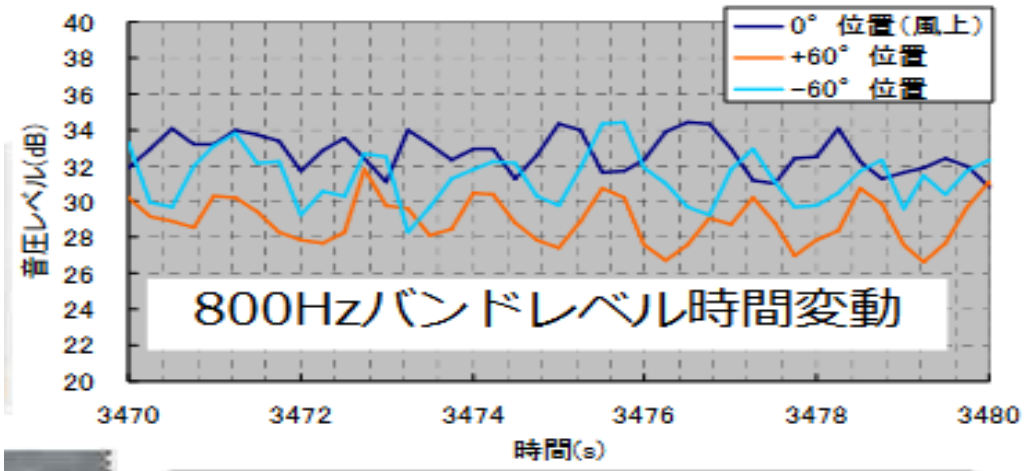


図 3-5　ローターの回転に同期して変動する空力音（振幅変調）

空力音がブレードから出るとすれば、他の資料から、800Hｚ程度の周波数であり、音圧は 28～34ｄＢ であることが分る。



空力音指向性のため、観察角度（位置）によりレベル、発生部位に違いが見られる.

翼通過による騒音（数百～数kHzの可聴音 ）の時間的変動（swish音）.
変動周期は約1秒（20rpm、3枚翼）

日本で、164 か所の風車を調べた結果、すべての風車の近くで、音圧の高い超低周波音が計測されています。

次のグラフは、「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」にあるものです。

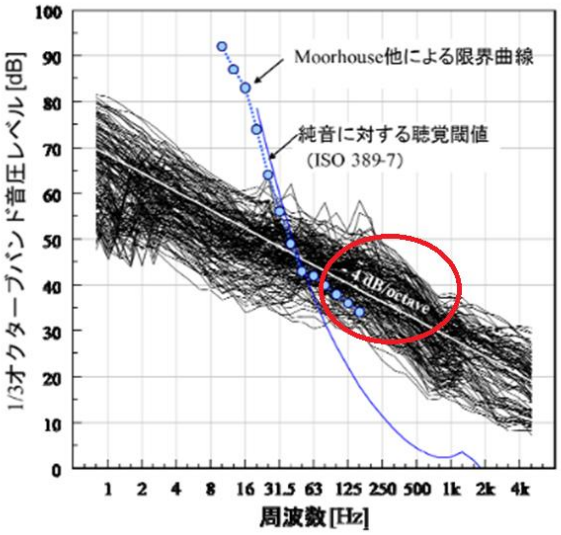


図 3　全国 29 の風力発電施設周辺 164 地点における風車騒音の周波数特性の分析結果

上のグラフを見れば、20Hz 以下の部分の音圧が極めて高いことが見て取れます。これは、超低周波音が高い音圧で存在することを意味しています。

グラフを、よく見ると、-4dB/octave と書いてある。これは、

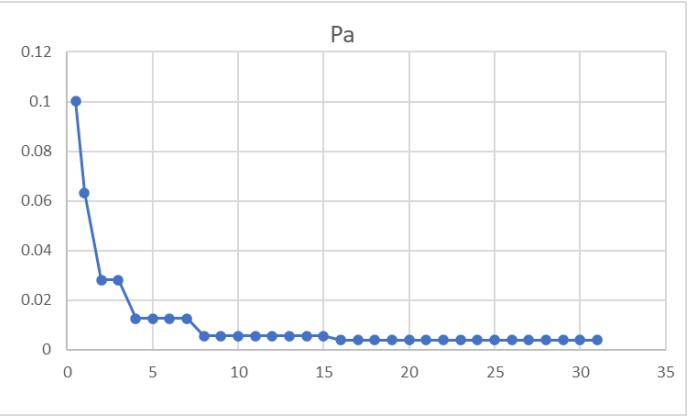
「ある音を基準として、周波数比が 2 倍になる音」を「1 オクターブ上の音」と呼んでいます。

周波数が 2 倍になると 1 オクターブ増える。1 オクターブ増えると音圧レベルが 4 d B 減る。

という事ですので、

図 3 のグラフの横軸を線形座標、縦軸をパスカル値に変換すればグラフは次の様になります。

Hz	dB	Σ(Pa*Pa)	Pa*Pa/Hz	Hz	Pa
0.5	74	0.0100475	0.020095091	0.5	0.141757
1	70	0.004	0.004	1	0.063246
2	66	0.0015924	0.000796214	2	0.028217
3			0.000796214	3	0.028217
4	62	0.000634	0.000158489	4	0.012589
5			0.000158489	5	0.012589
6			0.000158489	6	0.012589
7			0.000158489	7	0.012589
8	58	0.0002524	3.15479E-05	8	0.005617
9			3.15479E-05	9	0.005617
10			3.15479E-05	10	0.005617
11			3.15479E-05	11	0.005617
12			3.15479E-05	12	0.005617
13			3.15479E-05	13	0.005617
14			3.15479E-05	14	0.005617
15			3.15479E-05	15	0.005617
16	58	0.0002524	1.57739E-05	16	0.003972
17			1.57739E-05	17	0.003972



164 か所の平均的な数値では、100Hz から 4 k Hz の間では、

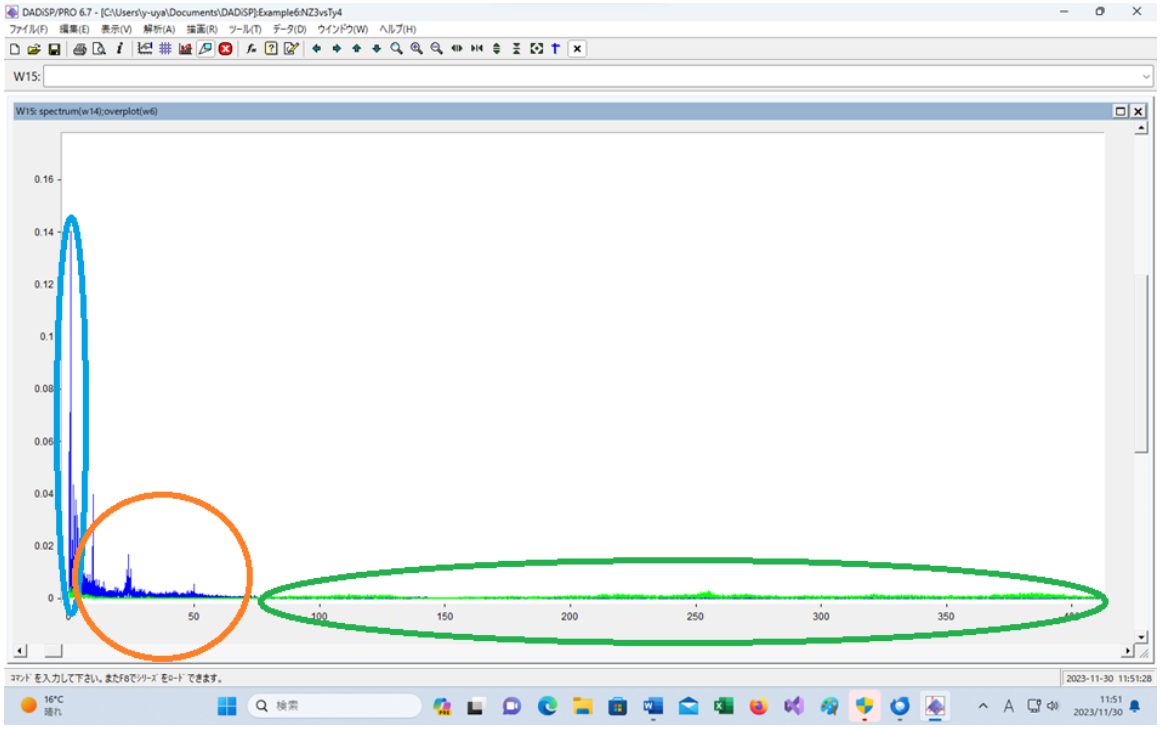
Hz	dB	Σ(Pa*Pa)	Pa*Pa/Hz	Hz	Pa
128	46	1.592E-05	1.24408E-07	128	0.000353
256	42	6.34E-06	2.4764E-08	256	0.000157
512	38	2.524E-06	4.92935E-09	512	7.02E-05
1024	34	1.005E-06	9.81206E-10	1024	3.13E-05
2048	30	0.0000004	1.95313E-10	2048	1.4E-05
4096	26	1.592E-07	3.88777E-11	4096	6.24E-06

風車による違いを考慮しても、1000H z，2000H z 辺りの音圧は、4.9*10^(-5) Pa ～1.76*10^(-6) Pa 程度です。0.8Hz での、0.14P a にくらべれば、1/100000 程度です。

Hz	dB	Σ(Pa*Pa)	Pa*Pa/Hz	Hz	Pa
1024	38	2.524E-06	2.46468E-09	1024	4.96E-05
1024	34	1.005E-06	9.81206E-10	1024	3.13E-05
1024	15	1.265E-08	1.23526E-11	1024	3.51E-06
2048	35	1.265E-06	6.17632E-10	2048	2.49E-05
2048	30	0.0000004	1.95313E-10	2048	1.4E-05
2048	12	6.34E-09	3.09549E-12	2048	1.76E-06

800Hｚ程度の周波数で、音圧が 28～34ｄＢ となるのは、164 か所の風車の平均的な数値とほぼ一致している。
これは、館山の風車音、青い線の性質とほとんど同じです。

0～400Hz までの拡大図、風車音（青）と神社での音（緑）の周波数スペクトル



上の図をよく見れば、100Hz～300Hz 辺りでは、神社での音の方が音圧が高くなっています。
200Hz 以上ならば、窓を閉めれば、遮音効果が効きますので、それほど問題にはなりません。
神社での音の音圧は、250Hz 辺りでは、1.2*10^(－3)　Pa 程度です。
風車音では、250Hz 辺りでは、7.3*10^(－5)　 Pa 程度です。
神社での音の音圧は、1000Hz 辺りでは、5*10^(－6)　Pa 程度です。
風車音では、1000Hz 辺りでは、3*10^(－6)　 Pa 程度です。
風車音に関するこの数値は、
全国 164 か所での計測結果から計算される、1024Hz での音圧 3.51E-06 とほぼ一致します。

風車の空力音に関する評価については，翼の

風洞実験等から得られる半経験式に基づく評価方法が提案されており[3-9~3-11]，これらのモデルを応用した風車音予測コードも既に開発されている[3-12~3-14]．

また，風車の空力音は図 3-5 に示されるようにローターの回転に合わせて音の大きさが周期

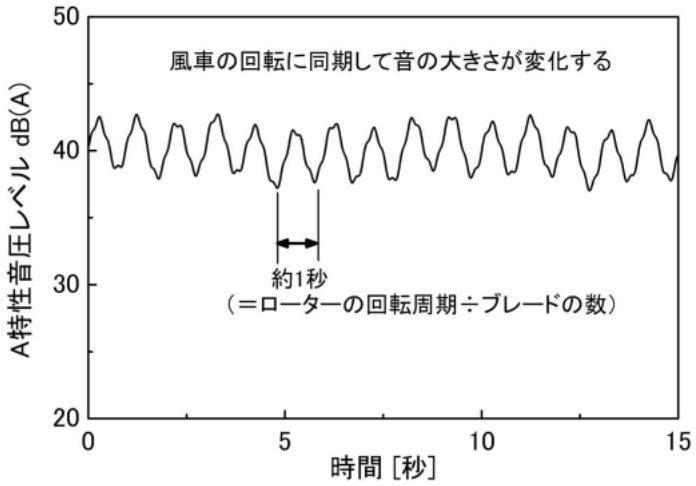
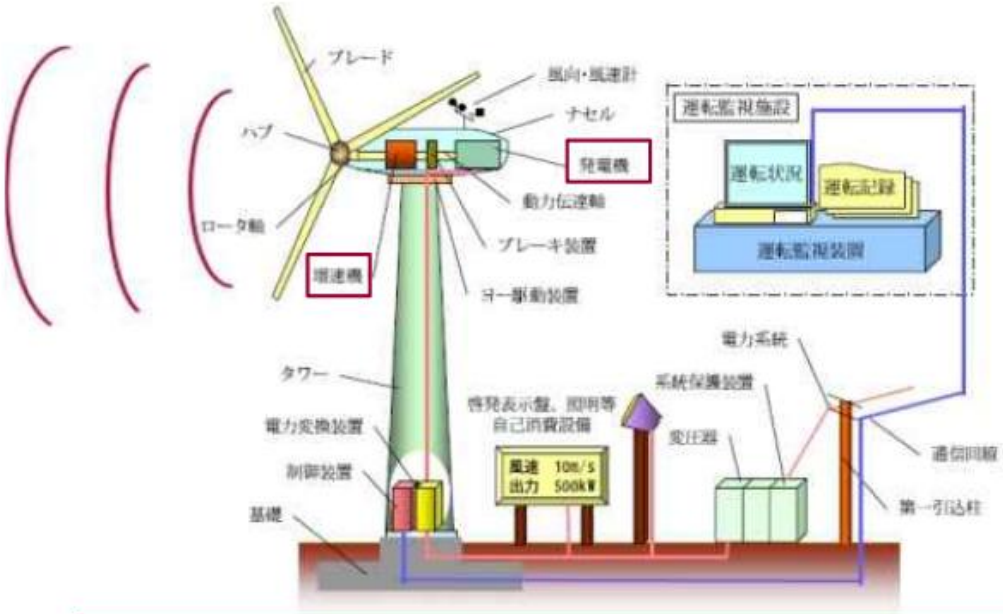


図 3-5　ローターの回転に同期して変動する空力音（振幅変調）

的に変化することが知られている[3-15]．メガワット級の風車ではローター回転数は毎分 20 回転程度であり，さらに最近の風車は 3 枚翼が主流であるため，ちょうどこの繰返し周波数は 1Hz 程度となる．そのため，この周期的な風切り音を超低周波音と誤解されることもあるが，音源は上で述べたようにブレードで生じる広帯域の空力音であり，耳に聞こえるのは主に 100Hz 程度から数千 Hz までの広帯域の音である．すなわち，100Hz 程度から数千 Hz までの広帯域の音が 1 秒くらいの間隔で変動する様子を示しており，可聴レベルを超えるような超低周波音が発生しているわけではない．このような風車の回転に合わせて音の大きさが変動する現象は振幅変調(※14)と呼ばれ，風車音において特徴的な音の一つである．

風力発電施設（風車）の構造と騒音



風車から発生する騒音はブレード（翼）が風を切ることによる空力音（支配的）と、増速機・発電機等に起因する機械音（換気扇等のナセル発生音と増速機等の振動伝搬に起因するタワーからの個体伝搬音、これは純音性の音で、わずらわしさにつながることがある）である.

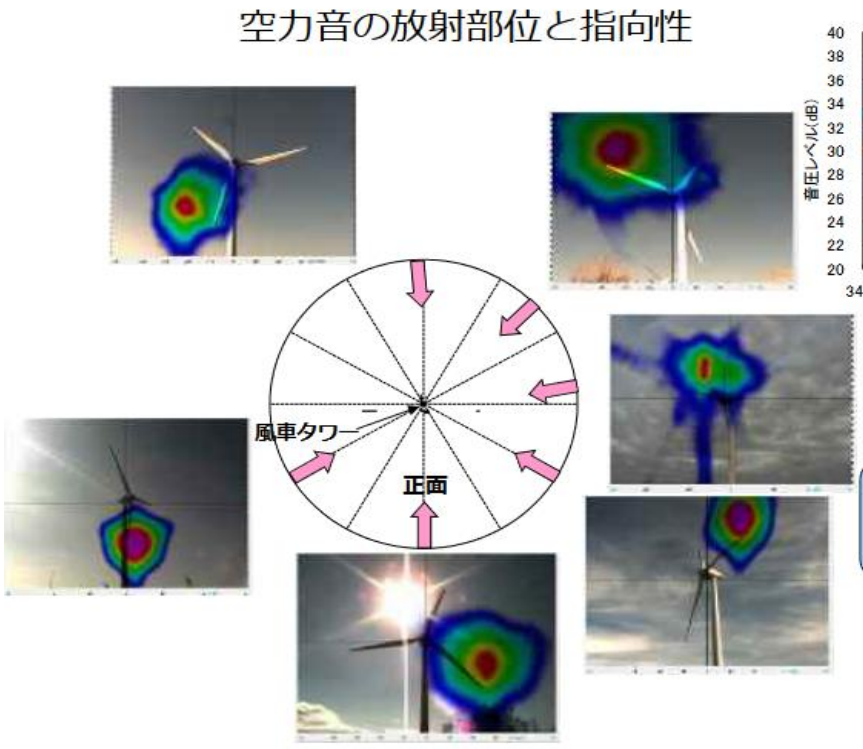
8

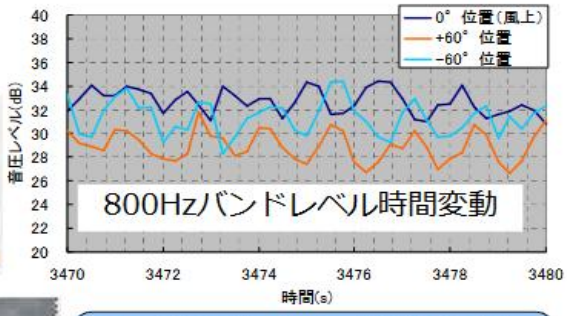
ブレードからの空力音については、次の観測結果がある。

風車ブレード（翼）空力音の発生源

（風車音の大部分はブレードの回転による空力音）

空力音の放射部位と指向性





空力音指向性のため、観察角度（位置）によりレベル、発生部位に違いが見られる.

翼通過による騒音（数百～数kHzの可聴音 ）の時間的変動（swish音）.
変動周期は約1秒（20rpm、3枚翼）

注釈1. 翼が**近づいてくる時**に大きく聞こえる（指向性とドップラー効果）.
注釈2.翼**先端部20%**くらいが主な発生源になっている.

12

“風車騒音の発生機構と低減手法について

（株）アイ・エヌ・シー・エンジニアリング 宮崎哲也，山下徹

2.2 空力音の発生機構

音響カメラを用いた空力音放射状況の計測結果を図 3 に示す。主要な発生部位（スパン方向）はブレード先端から長さの 10～20%程度の範囲である。これは先端付近の周速がより速いことが要因である。“

との記述もある。

風車音の発生源探査（音響カメラ）

・風車音（発生源側）の測定は、風雑音を低減するため地表面（反射板上）にマイクロホンを設置、ウインドスクリーンを用いる（JISc1400-11／IEC61400-11）.
・見かけの音響パワーレベルは基準点（タワー風下側、風車の最頂部の高さの距離）で計測、求める.

・音響カメラは音響ビームフォーミング法という手法を用いている.
・これは騒音発生源から十分に離れた位置から音の発生源を可視化するものである.
・多数のマイクロホン（カメラは48個）を用いて鋭い指向性 （方向性）を持たせることにより、どの方向のどの部位から どのくらいの大きさの音が発生しているかを可視化することができる.

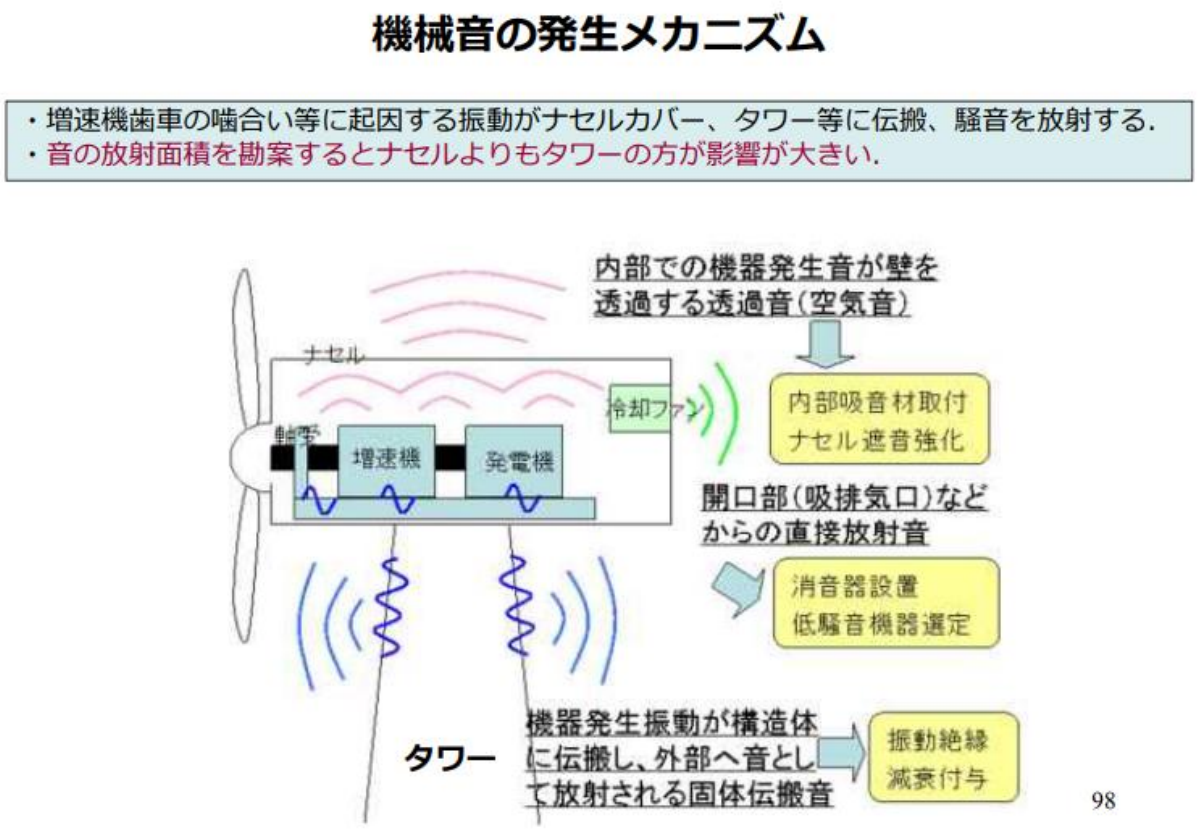
・仕様 ： マイクロホンアレイ
・型番 ： GFai Star48 Array
・寸法 ： 最大スパン3.4m
・マイクロホン ： 1/4インチ48ch
・適合測定距離 ： 3m-300m
・適合周波数範囲 ： 100Hz-7kHz
・画像処理 ： アレイ中心のカメラを用いて音響イメージと実画像の重ね合わせが可能

11

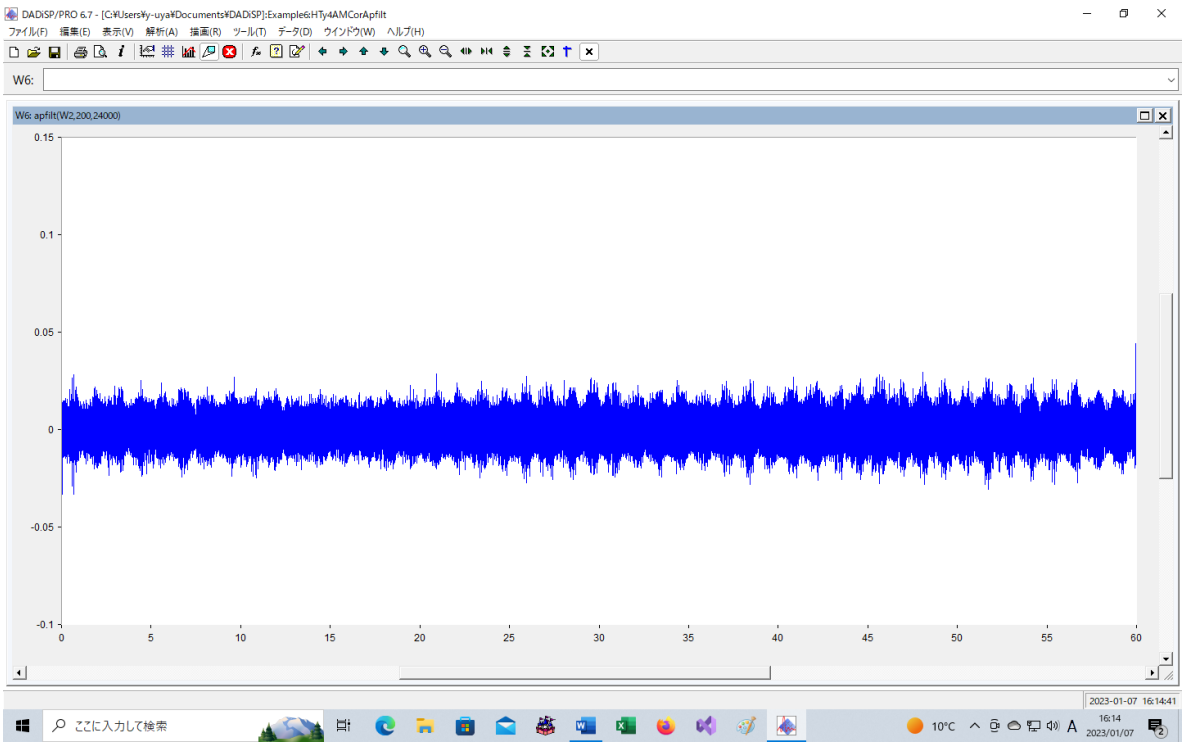
・音響カメラは音響ビームフォーミング法という手法を用いている.
・これは騒音発生源から十分に離れた位置から音の発生源を可視化するものである.
・多数のマイクロホン（カメラは48個）を用いて鋭い指向性 （方向性）を持たせることにより、どの方向のどの部位から どのくらいの大きさの音が発生しているかを可視化することができる.

・仕様 ： マイクロホンアレイ
・型番 ： GFai Star48 Array
・寸法 ： 最大スパン3.4m
・マイクロホン ： 1/4インチ48ch
・適合測定距離 ： 3m-300m
・適合周波数範囲 ： 100Hz-7kHz
・画像処理 ： アレイ中心のカメラを用いて音響イメージと実画像の重ね合わせが可能

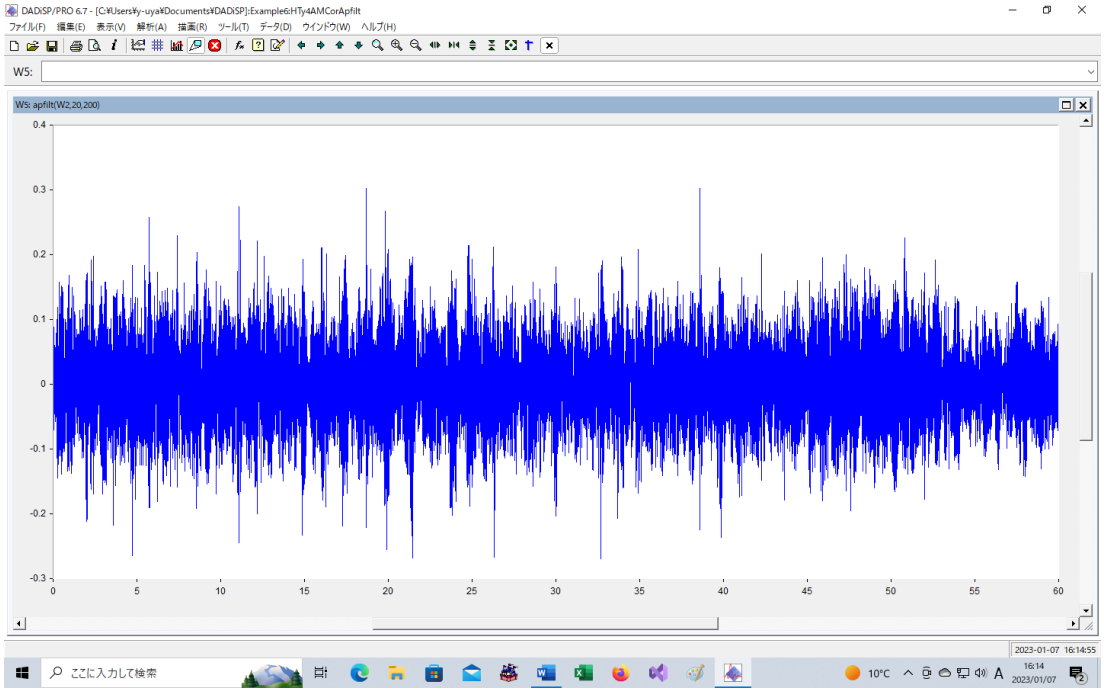
この音響カメラは、適合周波数範囲が、100Hz～7ｋHz ですから、風車音のエネルギーの 93%以上を占める超低周波音の部分を全てカットしたものしか扱わない仕様になっている。



FFT は逆変換が出来るので、元の波形から、200Hz～24000Hz の成分を取り出しました。
確かに、振幅が変動しています。

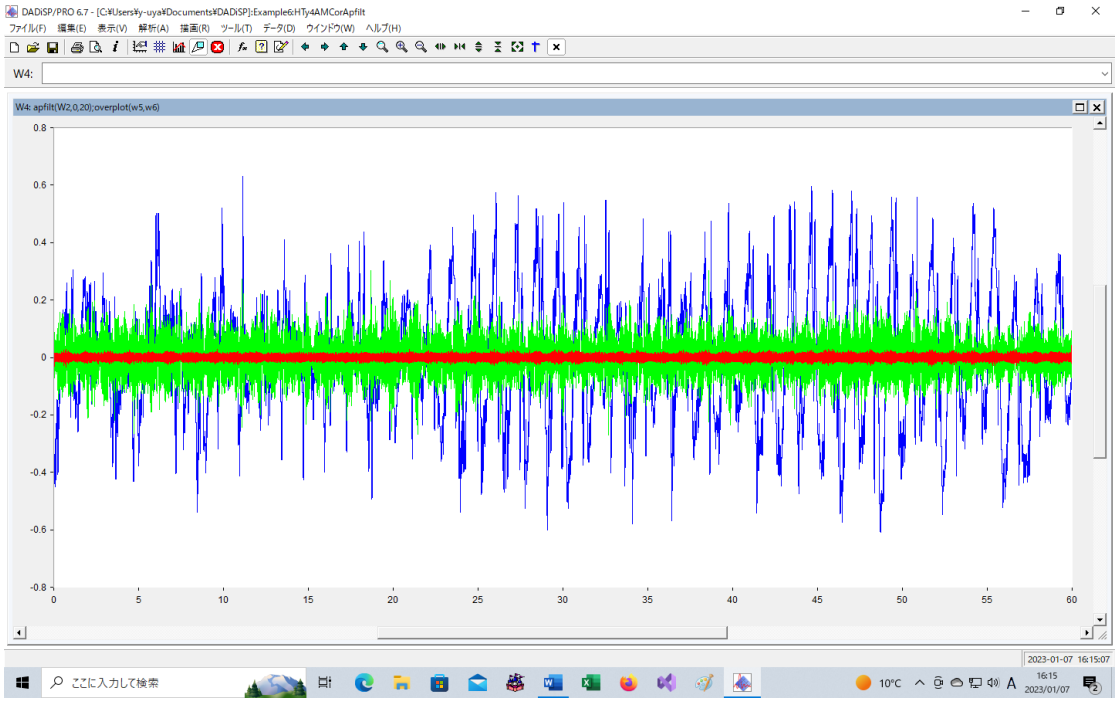


同様に、20Hz～200Hzの成分を取り出しました。



同様に取り出した、0Hz～20Hzの超低周波音成分を青で、20Hz～200Hz の成分を緑で、200Hz～24000Hz の成分を赤で、重ね書きしてみました。高い音圧を持っているのは、超低周波音の成分であることが分かります。

赤い部分の 200Hz 以上の成分は、他の成分に比べて、極めて弱い音であることが見て取れます。



赤の部分は、微弱で周波数が高いのですから、部屋の中で窓を閉めて、24dB 程度の減衰があることを考えれば、室内での被害の原因とはなりません。超低周波音（0Hz～20Hz）の部分は、エネルギー透過率が高いので窓を閉めても、7dB 程度の減衰しか期待できませんので、室内での被害に関しては、この影響は無視できません。

日本家屋は、固有振動数が 1Hz 程度であり、大型化する風車から出てくる音の音圧が最大となるのは、1Hz よりも低い周波数となっているのです。しかも、風車音のエネルギーの 93%以上を超低周波音が持っているのです。

７．８　空力変調　説

風力発電所の騒音予測評価手法に係る考察

Noise Prediction Techniques for Wind Power Plants

鈴木　章弘[*1]
Akihiro SUZUKI

8.　低周波音，超低周波音

風車から強い「低周波音」が発生していることを疑わせる報道が見かけられる。日本の環境省では，低周波音を「およそ100Hz以下の低周波数の可聴音」と「超低周波音」と定義している（資料７）。

近年主流になっている定格出力2MWの風車ではロータ定格回転数は，20[1/min]程度である。3枚翼ロータの場合には，定格運転時には例えばタワーの前面を翼が1分間に60回通過するため，1秒に1回の音の変動が発生する。そのため，これが1Hzの超低周波音の発生源であるとの主張も見られるが，これは翼で発生する可聴域の広帯域空力音が振幅変調を受けたものである。空力変調（aerodynamic modulation，資料８）と呼ばれ，基本的には幅広い周波数成分を含んだ音（超低周波音成分も含む）の音圧レベル（音量）が1秒に1回の割合で上下している状態であり，周波数1Hzの空気振動である超低周波音とは異なる現象である。

海外での政府機関の調査結果等においても風車から発生する（超）低周波音は低いレベルであると報告されており（資料９にまとめがある），問題は変動性の可聴音であると考えられる。

そもそも、音の周波数成分とは何を意味するのでしょうか？

これは、周期的な連続関数を、三角関数の和として、フーリエ級数で表現できる。という事に根拠があります。

この三角関数の中で周波数が高いものは高周波成分、周波数が 20Hz 以下のものがあれば、それが超低周波成分と言われるのです。

“７．FFT について”を確認してください。

記録されたデータに、超低周波成分が含まれるか否かは、フーリエ級数展開の結果で決ります。FFT の計算をすれば、どのような周波数成分が含まれているのかが判明します。

左のグラフは風車音の全体。（千葉県館山市の風車音）
右のグラフの、青は 0Hz～20Hz の成分、緑は 20Hz～200Hz の成分、赤は 200Hz～24000Hz の成分です。
赤い部分が、200Hz～24000Hz の音の成分です。確かに振幅変調も見られます。
青い線は超低周波音（0Hz～20Hz）の成分です。音圧は極めて高いのです。

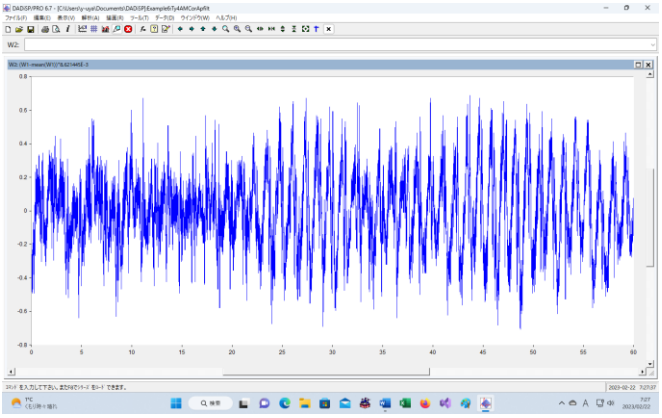


図１．交通騒音（リオン社前） 0～5000Hz

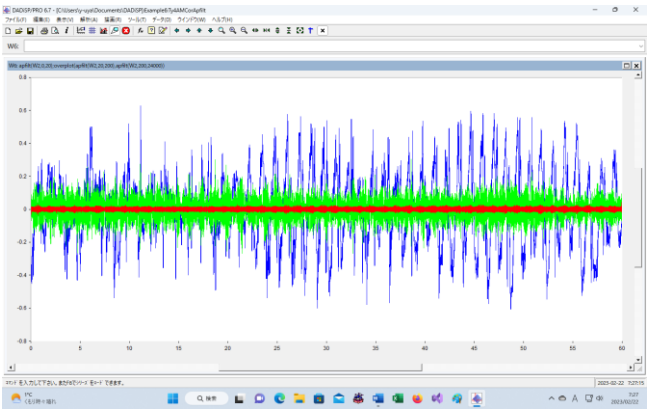
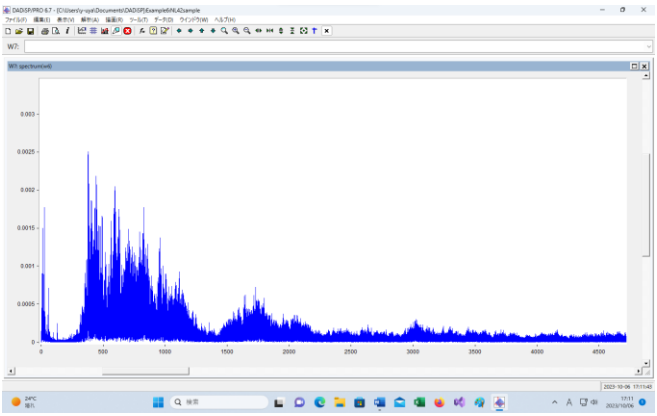
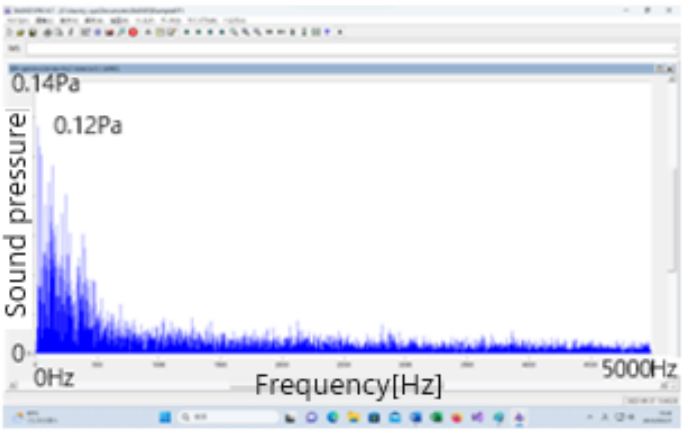


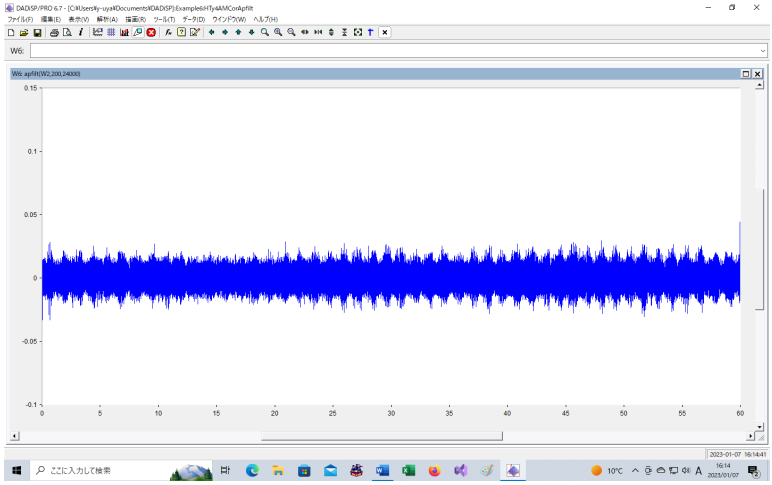
図２．工場騒音（製鉄所内の音） 0～5000Hz



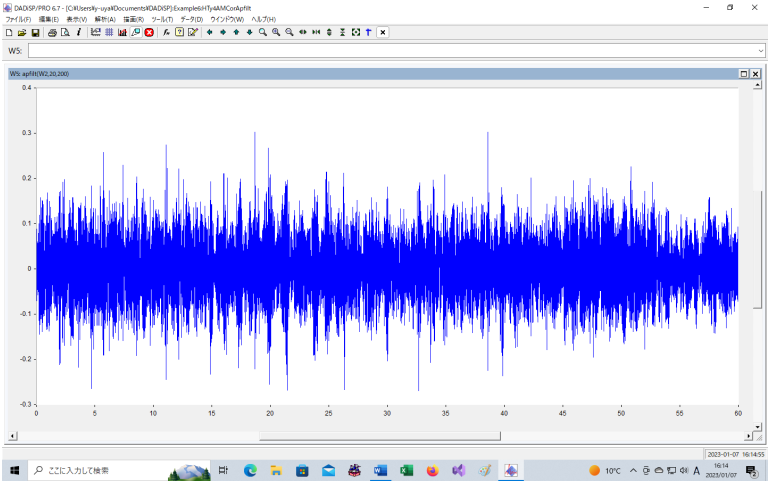


風車音のグラフは交通騒音や工場騒音と比べると、波形がスカスカです。これは周波数の高い成分がほとんど含まれていないことを意味しているのです。

FFT は逆変換が出来るので、元の波形から、200Hz～24000Hz の成分を取り出しました。確かに、振幅が変動しています。

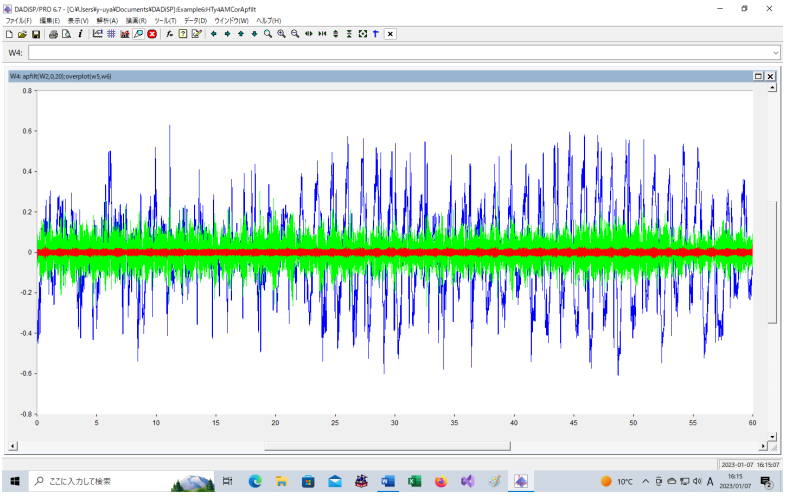


同様に、20Hz～200Hzの成分を取り出しました。



同様に取り出した、0Hz～20Hzの超低周波音成分を青で、20Hz～200Hz の成分を緑で、200Hz～24000Hz の成分を赤で、重ね書きしてみました。高い音圧を持っているのは、超低周波音の成分であることが分かります。

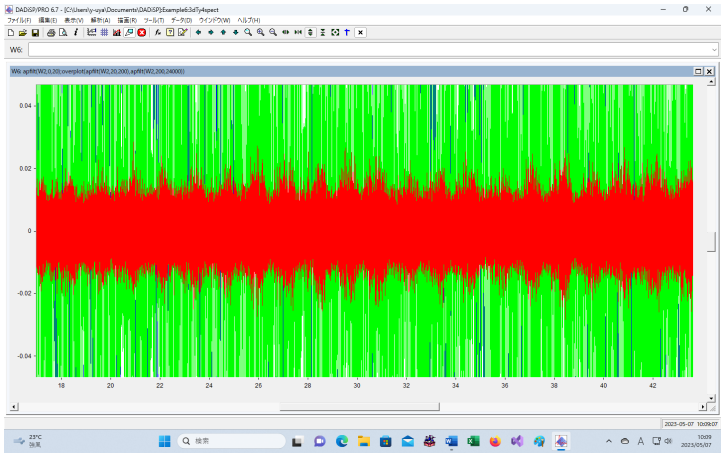
赤い部分の 200Hz 以上の成分は、他の成分に比べて、極めて弱い音であることが見て取れます。



赤い部分を拡大すれば、振幅変調も見て取れますが、周波数が高いので、防音窓で防げると考えます。

事論、屋外と屋内で精密騒音計を使って、0.01Hz 刻みの周波数で調べて、比較してみることが必要です。

さらに、A 特性音圧レベル（20Hz～）が同程度の交通騒音が存在する場所でも、同じ計測をして、比較してみることも必要です。

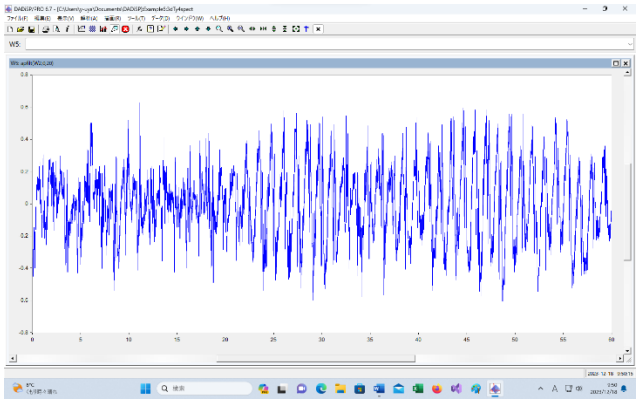


赤の部分は、微弱で周波数が高いのですから、部屋の中で窓を閉めて、24dB 程度の減衰があることを考えれば、室内での被害の原因とはなりません。超低周波音（0Hz～20Hz）の部分は、エネルギー透過率が高いので窓を閉めても、7dB 程度の減衰しか期待できませんので、室内での被害に関しては、この影響は無視できません。

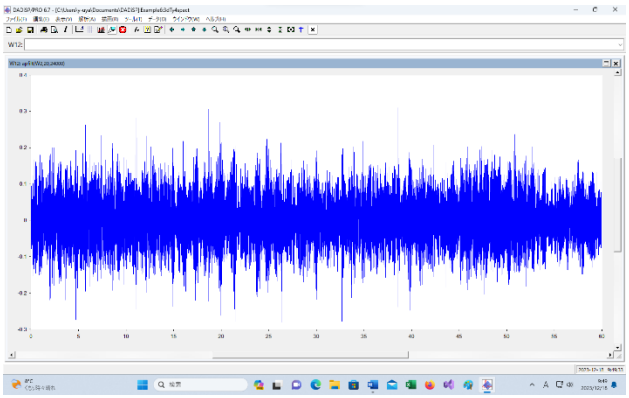
日本家屋は、固有振動数が 1Hz 程度であり、大型化する風車から出てくる音の音圧が最大となるのは、1Hz よりも低い周波数となっているのです。しかも、風車音のエネルギーの 93%以上を超低周波音が持っているのです。

“可聴域の広帯域空力音が振幅変調を受たもの”との記述もあります。ので、確認しましょう。

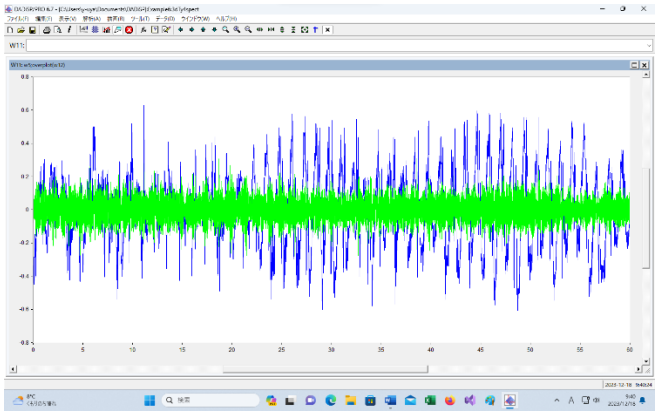
0～20Hz の音



20～24000Hz の音



青 0～20Hz、緑 20Hz～24000Hz で比較して、次の様になります。ここでは、機械音の影響が大きく表れています。



屋外と室内で、2 台の精密騒音計を使って同時に計測して、窓ガラスや雨戸の効果を検討してみれば、200Hz～24000Hz の成分は周波数が高いことから、室内での音圧は極めて低くなることが予想されます。

超低周波音（0Hz～20Hz）の部分は、室内と屋外での差が無いか、場合によっては音の反射でより高い音圧になる、ことが予想されます。

さらに、室内での音の検証には、カオス理論の応用も考えるべきです。

屋内では、共鳴や共振や反射が起きます。

共振が起きれば、建具のガタつきや床の振動が起きます。ガタツキ閾値が問題になります。もちろんこの時には、超低周波音（0Hz～20Hz）について考えなくてはなりません。

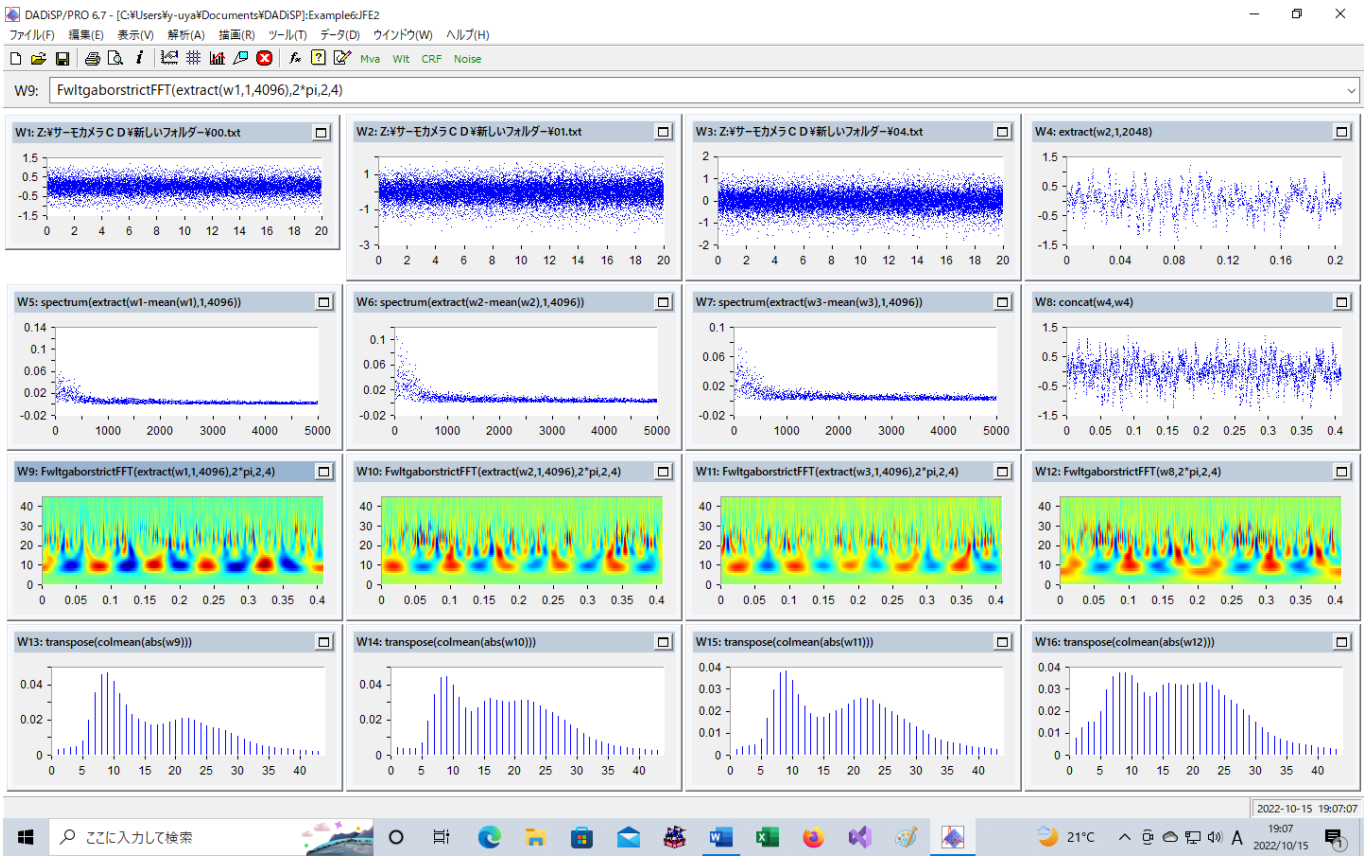
超低周波音（0Hz～20Hz）は、聴覚での直接把握は困難でも、ガタツキで発生する 2 次的な音や、床の振動を三半規管や、皮膚への刺激として、感知できます。

そして、学校で共鳴や共振の勉強をした人は、これが風車音が原因の睡眠障害なのだと、知覚できます。

共鳴が起きれば、ある特定の周波数の音の音圧が急激に増加します。これは、部屋ごとに異なります。被害を訴える人の部屋で調べる必要があります。共鳴を調べるには、正確な周波数の把握が必要となります。

更に、室内の形は直方体ですから、共鳴するときの周波数は 3 個考える必要がります。これを周波数スペクトルから見つけるのは難しいですが、カオス理論を使えば可能です。

次のグラフの下段では、固有振動数が 2 個ある場合と、1 個の場合の判別が可能となっています。



最後に。

海外での政府機関の調査結果等においても風車から発生する（超）低周波音は低いレベルであると報告されており（資料９にまとめがある），問題は変動性の可聴音であると考えられる。

の部分ですが、

最も不思議なのは、（超）低周波音のレベルが低いか否かは文献を調べなくても、自分で計測すれば分かります。実際の計測をすれば、計測方法が問題になり、計測結果の公開を求められます。

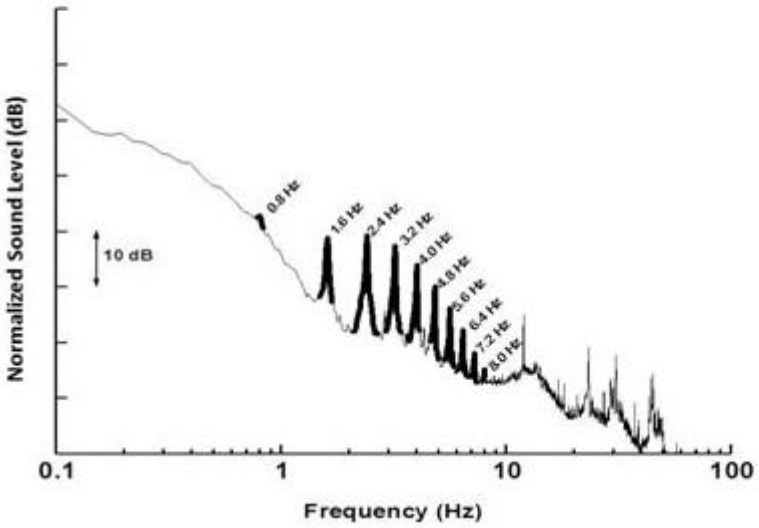
“報告”があるのは事実ですが、その内容が正しいとは限らないのです。実際の風車音の検証が必要なのです。

カナダでの計測結果では、

A Primer on Noise

The frequency of rotation of a source can be used to help identify the source that is producing the sound. For example, a wind turbine with 3 blades, spinning at 16 revolutions (full rotations) per minute (RPM) will have a ***fundamental frequency*** that corresponds to 0.8 Hz (i.e. (3 blades X 16 RPM) divided by 60 seconds). Therefore, in this example, one can isolate the wind turbine sound from background noise if in the measured sound at a given distance, the sound level due to the wind turbine is high enough to show frequency peaks at the fundamental frequency and at multiples of the fundamental frequency. These multiples are called ***harmonics*** and for a source with a 0.8Hz fundamental frequency, they would be 1.6 Hz, 2.4 Hz, 3.2 Hz, 4.0 Hz, 4.8 Hz, and so on.

► Figure 2: Wind Turbine infrasound Measurements



また、

Analysis of Measured Wind Turbine Seismic Noise
Generated from the Summerside Wind Farm,
Prince Edward Island

では、

2.4 Initial Data Evaluation

To evaluate the successfulness of the station installation a one hour segment of data was extracted from the real-time data stream and inspected on May 23rd, 2013 at 2000 UTC (5:00 pm ADT) at stations HC1P, HC2P, and HC3P and May 24th at 1900 UTC (4:00pm ADT) for station HC4P. Data showed no signs of clipping or artificial system induced noise. Spectral evaluation of the infrasonic channel (HDF) data showed that station noise levels fit within the upper quartile of the typical global ambient infrasonic noise background (Figs. 9-12, Bowman et al. 2005). As the Bowman et al. (2005) noise data are derived from international monitoring stations that often are located in remote regions, sheltered by dense tree/foliage cover and attached to significant noise reduction systems, it is not unexpected that the largely open air sites of this study, located in semi-rural settings and exposed to uninterrupted wind turbulence, close to urban noise sources would have noise spectra in the upper regions of the global noise spectrum. Of note within the observed spectrum of HC1P (Fig. 9) were several prominent spectral peaks at harmonic frequencies, likely associated with infrasonic waves produced by the nearby turbines. These frequencies appear to be limited to below ~20 Hz.

Inspection of seismic data from the same extracted hours similarly show no sign of clipping or loss of dynamic range indicating current settings are appropriate. Spectral evaluation of the seismic data segment also shows that typical station seismic noise is in the upper quartiles of the global ambient seismic noise distribution (Peterson 1993), with significant peaks throughout the higher frequencies of the frequency band of 0.1-100 Hz (Figs. 9-12). This was not unexpected due to the proximity of the stations to the turbines, and other sources of seismic noise such as urban/rural roadways and the stations' installation on local soil rather than bedrock.

16

Conclusions after data inspection were that station installation went as planned and that acquisition settings of the digitizers were appropriate for successful recording of noise levels during the monitoring period.

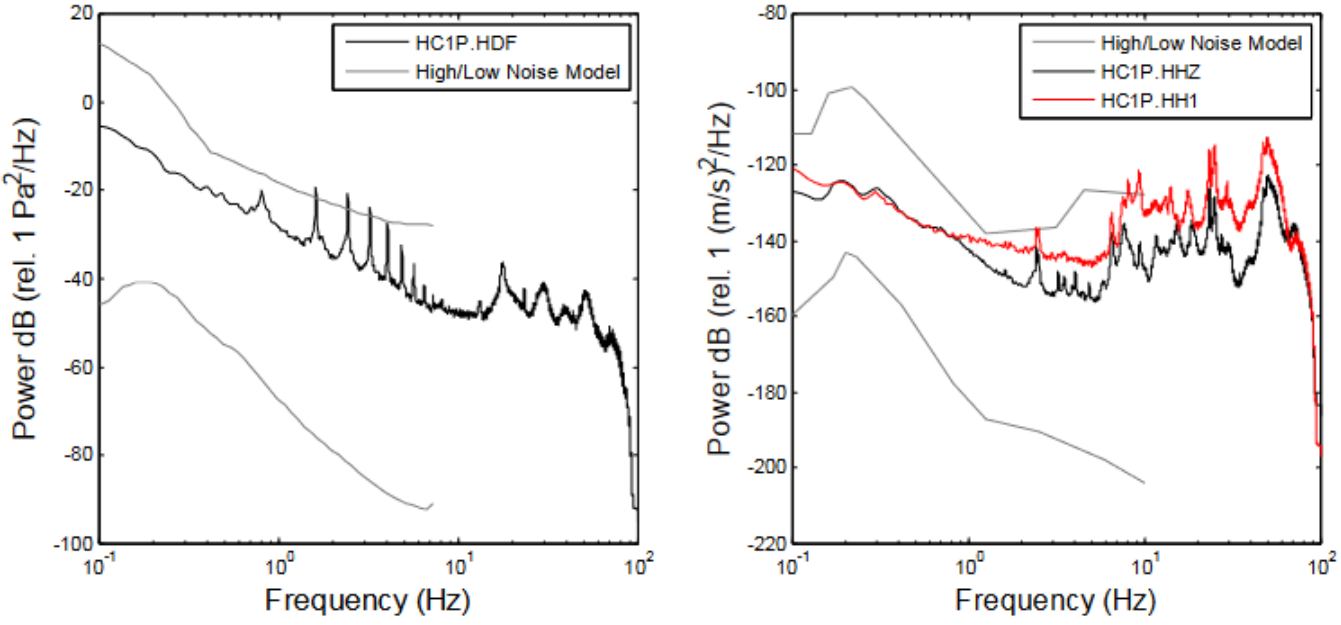


Fig. 9: Power spectral density of initial 30 minutes of data acquisition at station HC1P on May

23, 2013 at 2000 UTC. Infrasonic channel HDF (left); Seismic vertical channels (right) HHZ (black) and radial HH1 (red). Ambient high and low noise models of infrasound (Bowman et al. 2005) and seismic ground motion (Peterson 1993) are shown in grey.

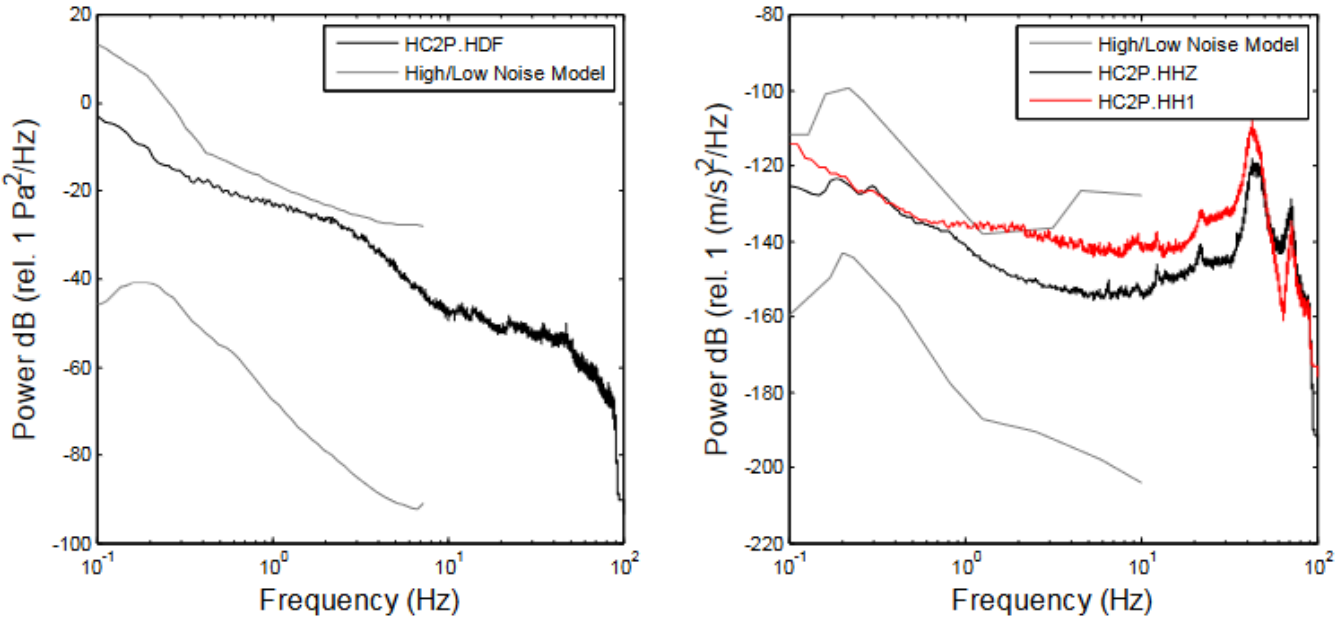


Fig. 10: Power spectral density of initial 30 minutes of data acquisition at station HC2P on May 23, 2013 at 2000 UTC. Infrasonic channel HDF (left); Seismic vertical channels (right) HHZ (black) and radial HH1 (red). Ambient high and low noise models of infrasound (Bowman et al. 2005) and seismic ground motion (Peterson 1993) are shown in grey.
となっています。

カナダ政府の HP の論文では、聴覚閾値よりは小さな数値だと力説されていますが、感覚閾値よりも小さい数値だとは書かれていないのです。外国の学者は、言語に関して普通の理解力があるので、感覚閾値と聴覚閾値を混同するようなことはしないのです。これを混同するのは、日本の学者くらいのものです。学者のレベルが低いというのは、正しい評価です。

圧迫感に関する感覚閾値の実験は、10Hz 程度までしか出来ないのです。音を体全体で受けるようにするには、イヤホンでは出来ません。スピーカが必要なのですが、１Ｈｚとか２Ｈｚの音を出せるスピーカは無いのです。ですから、普通の実験室では確認できないのです。“風車超低周波音 2023”を確認してください。

実験室では出来なくても、風車の近くに行けは、風雑音か疑似音かは別にして、超低周波音は必ず存在します。

圧迫感に関する感覚閾値を調べるには、トレーラの荷台に実験室を作って、風車の近くに行って実験するしかないのですが、このような実験の記録は見つかりません。

音を把握して反応するのは、耳だけではないのです。

周波数が高い超音波に対しては、皮膚が反応して、火傷になります。

超低周波音に対しては、圧迫感を感じて不快になるのです。過去の研究結果ですが、都合が悪いからと言って、切り捨ててはいけません。

6. 低周波音苦情の分類

低周波音の苦情は人に関する苦情（心理的苦情、生理的苦情）と建物等に対する苦情（物的苦情）に大きく分けられる。低周波音苦情の分類を表-3に示す。

表-3　低周波音苦情の分類

心理的苦情	睡眠妨害、気分のいらいら
生理的苦情	頭痛、耳なり、吐き気、胸や腹の圧迫感
物的苦情	家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動、瓦のずれ

さらに、ガタツキの問題もあります。

“苦情者宅の測定結果を『参照値』などと照らし合わせて、苦情の原因が低周波音である可能性について検討します。”と言っても、照らし合わせるべき参照値が存在しなければ比較ができません。

しかし、77.287ｄＢは、“低いレベルである”とは言えないのです。
物的苦情に関する参照値については、5Hzでの70ｄＢを超えているのです。

館山の風車騒音の解析では、1/3オクターブ解析を、ISO7196に従って調べると次の表になります。

W15: transpose(w12)

	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units	5: No Units	6: No Units	7: No Units
1:	54.727250	62.381626	54.976763	56.733648	58.610999	77.287140	64.371465
2:	0.250000	0.315000	0.400000	0.500000	0.630000	0.800000	1.000000
3:							

でも、

表１　低周波音による物的苦情に関する参照値

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 中心周波数(Hz)	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 音圧レベル(dB)	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99

0.8Hzでは、77.287140（ｄＢ）ですが、参照値がありません。

参照値が無くてもガタツキは起きます。振動レベル計で計測すれば分かります。

圧迫感で不快になっても、ガタついて目が覚めても、十分な睡眠はとれません。
眠い日が続くと、居眠り運転が心配になります。仕事のミスも増えるでしょう。子供は学校の授業中に居眠りをして、学力が下がるでしょう。

聞こえるか、聞こえないか、だけを、風車被害の判断基準には出来ないのです。

大切なことは、自分で計測して、解析結果をよく見て、しっかり考えることです。
計測には、リオン社の SA-A1 か、NL-63 を、解析ソフトは DADISP をお勧めします。

７．９　風切り音

風切り音については、次のように教えていただきました。

宇山靖政様
ご質問のメールをありがとうございます。
風車風切り音は、翼の回転数 R(1 分間に何回転：R-rpm)、翼の枚数 N とすれば、風車からの基本周波数 f は、ｆ＝N×R/60 で示されます。この式は、支柱で支えられただけで覆いの無い扇風機の回転数と翼の枚数とそこで発生する基本周波数 f なります。
1500ｋW 級の風車が山の尾根に並んだ東伊豆では、風が強く吹く時に 1 分間に 20 回転しますが、北海道石狩市の茨戸からの水を流す石狩放水路沿いに立っていた 3 基の風車の内の真ん中の風車もほぼ同様の規格のものでした。
3 枚翼で 20ｒｐｍなので、1 分間に 60 回支柱の傍を通り、1 秒間では 1 回翼が通ることになり、ｆ＝3×20/60＝１Hz となります。
翼が回転する時に、支柱との間で空気の流れ(風)を引きちぎる時に、時間巾を持った大きなパルス状の音圧変動を起こします。
この状態は、測定器で測って周波数分析(FFT 分析)すると、１Hz とその倍音から成ることが判ります。
風車からの音は、ナセル内に入っている加速ギア系(数十倍の電源周波数に変えるために動く)の音、風向に合わせて方向を変えるためのモーター音、翼の角度を変えるモーター音、ナセル内の冷却のためのファン音等、色々の音源が重なって風車音となります。
それでも、一番大きいのは、風のエネルギーを電力に変える翼の回転音となります。
実際に風車音を数十メートルほどの距離で測ると、翼が振り下ろされた時に音が聞こえてきます。
柱時計の 1 秒毎のチクタク音も 1 秒毎に鳴っているのですが、その測定器での分析では、基本の音が現れていません。
チクタク音のパルス状の音の幅が少ないことに拠るものを思われます。
これは、矩形波の信号で、ON と OFF の時間の長さが変わって来ると、基本音とその奇数倍の倍音で構成されていたものが、その構成の大きさが変わってくることから判ります。
あまり参考になりませんが、日本音響学会編音響工学講座５：騒音・振動(下)の 24 ページに、送風機からの翼通過周波数として、上記の式が書かれています。

これは、次の質問に対する回答でした。

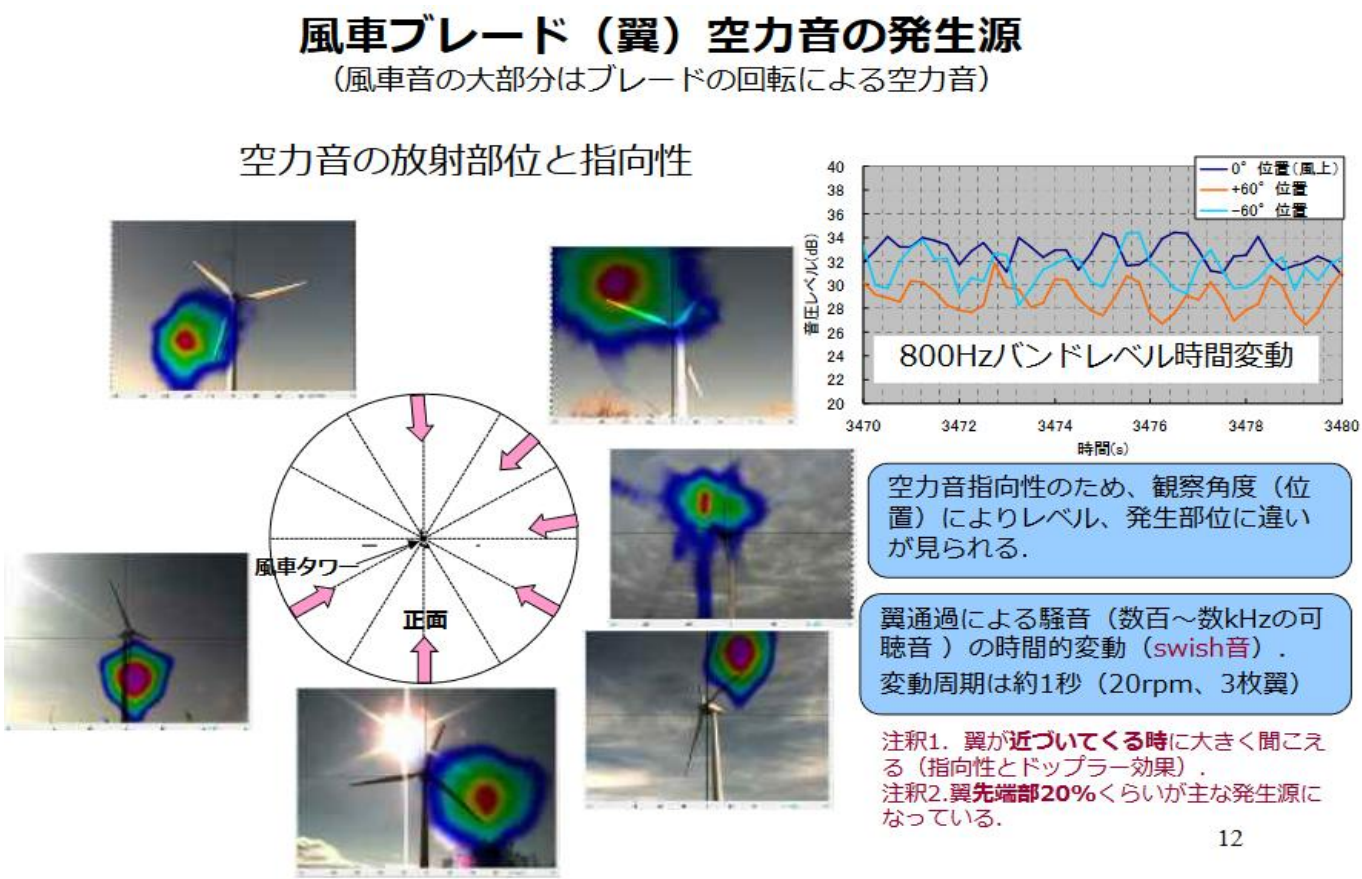
以前、計測機材に関して教えていただいた宇山です。
先生の書かれた
　結論的にいえば、風車音の中のエネルギー的に大きな音は翼（ブレード）の回転を基本とした風切り音だが、その高調波成分のほとんどが 100 ヘルツ以下の低周波領域にある。とくに 20 ヘルツ以下の超低周波音の領域にある。それを再確認したい。
との記述が目に留まりました。
風切り音
ですが、

風切り音の周波数はどのような式で決まるのでしょうか？
また、
風切り音に何して詳しく説明してある文献を教えていただければ、
購入して読んでみます。

この風切り音説の場合に、

風切り音
“翼が回転する時に、支柱との間で空気の流れ(風)を引きちぎる時に、時間巾を持った大きなパルス状の音圧変動を起こします。”
とすると、長い翼は先端の速さが最大で、中心に向かってゆけば翼の速さは小さくなります。この時は、支柱との間で引きちぎられる空気の流れは、連続的に変化するので、音の周波数スペクトルは連速的に変化すると考えられます。計測結果は、離散的な周波数になっています。

“翼が回転する時に、支柱との間で空気の流れ(風)を引きちぎる時に、時間巾を持った大きなパルス状の音圧変動を起こします。”
と書いてあるが、



ブレードが塔の前を通過するときの色と赤い部分の大きさは、それほど変化していません。
800Hz 辺りでの急激な音圧変動は起きていないのです。
ですから。“翼が回転する時に、支柱との間で空気の流れ(風)を引きちぎる”と言えるような現象は起きていないと考えます。

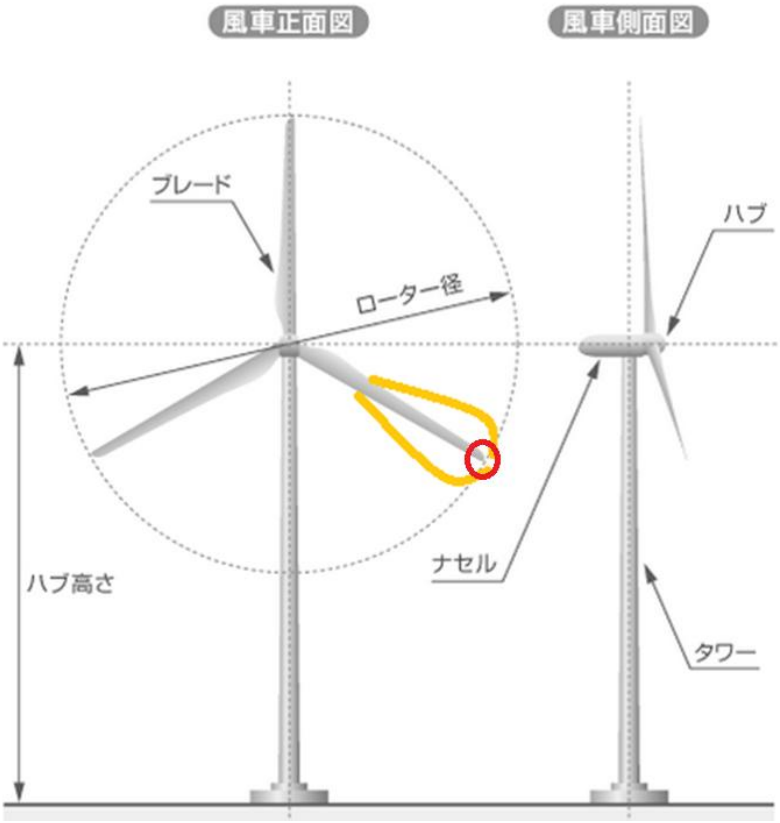
ブレードからの空力音については、次の観測結果がある。

風車騒音の発生機構と低減手法について

（株）アイ・エヌ・シー・エンジニアリング 宮崎哲也，山下徹

2.2 空力音の発生機構

音響カメラを用いた空力音放射状況の計測結果を図 3 に示す。主要な発生部位（スパン方向）はブレード先端から長さの 10～20%程度の範囲である。これは先端付近の周速がより速いことが要因である。



計測結果では、倍音構造と指向性が見られますが、

“翼が回転する時に、支柱との間で空気の流れ(風)を引きちぎる時に、時間巾を持った大きなパルス状の音圧変動を起こします。”

としたときに、規則的な周波数が発生するのかの物理的な説明が必要です。

さらに、上の赤丸が塔の前を通過するときに、空気が引きちぎられると考えると、引きちぎられる場所は、あまり大きな場所ではありません。

また、赤い色の部分は比較的小さいので、赤い丸が塔の前を通過する場所を音源として広がってゆく音は、球面状に広がると考えられます。小さな音源からの拡散では、風車音が十字架状の指向性を持っている事の説明が出来ません。音源の形と運動から、この指向性を説明すべきだと考えます。

ギターの場合には、弦の運動方程式から弦の運動を考えれば、弦の動きが２倍、３倍の振動数を持った粗密波の発生を促すことが分ります。

“物体が前後に振動すると、空気圧がわずかに増減し、音波として空気中を伝搬します。”

と考えるか、笛のように、気体の運動で管内の圧力が変動し、その変動が歌口から外に伝わって、粗密波が伝搬する。
どちらにしても、指向性を持ち、倍音が必然的に発生する原因となる運動が必要です。
　空気の流れが引きちぎられた場合の、空気の運動と、それが指向性を持ち、さらに倍音も発生させるような動きになる理由が必要です。

　実際に出てくるのは、倍音だけではありません。
ｆ＝RZ/60[Hz]とし、f/3、2f/3、f、2f、3f、…、8ｆ[Ｈｚ]の周波数の音も出ます。
このうち、f/3、2f/3　[Ｈｚ]の音が出ることの説明が必要になります。

風車音は十字架型の指向性を持っています。空気の流れが引きちぎられる部分は、線状になると考えられますが、これでは十字架型の指向性は生まれません。十字架型の指向性を生むには、４つの音源を考えて、その動きが調和していて同じ周波数の動きとなり、風車音の指向性が可能となる。

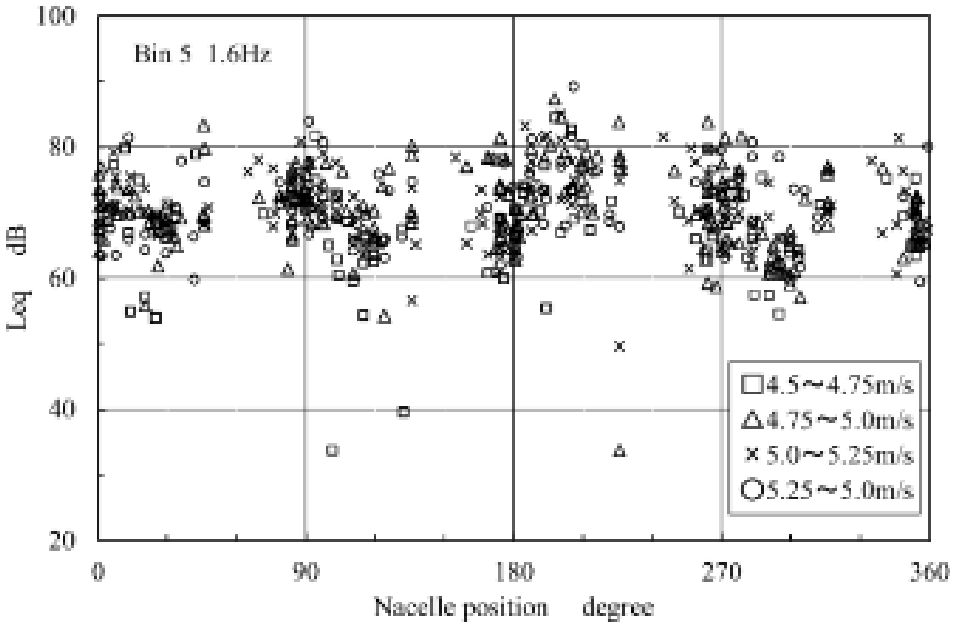
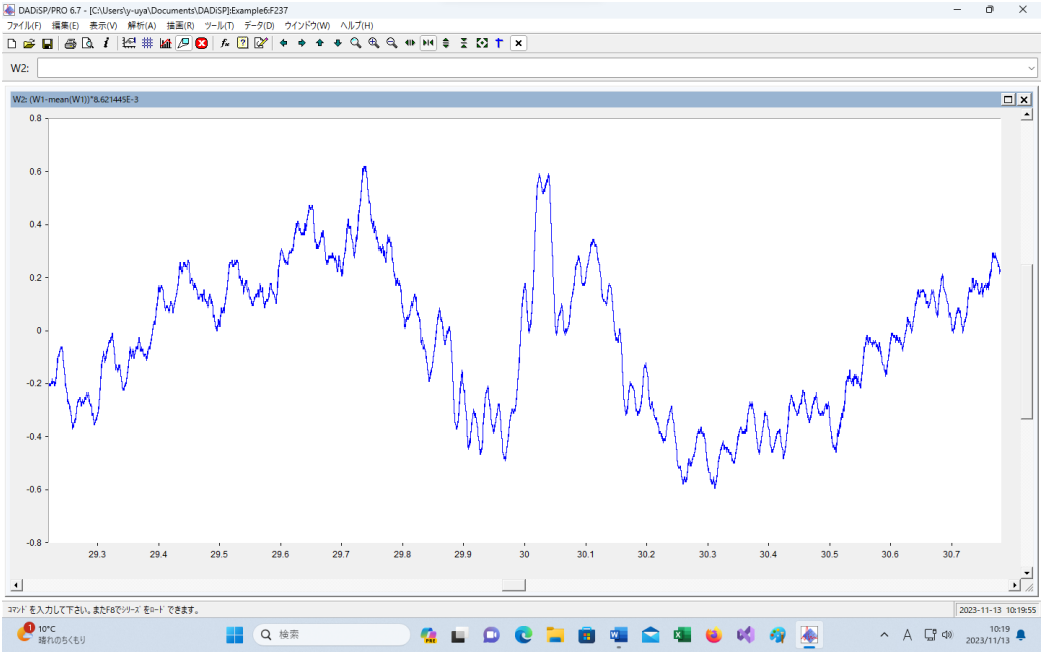


図６　Bin 5 中心周波数 1.6Hz の指向性分布

さらに、風車の回転軸から見た角度が、この角度になるのかという説明も必要です。

“翼が回転する時に、支柱との間で空気の流れ(風)を引きちぎる時に、時間巾を持った大きなパルス状の音圧変動を起こします。”
とすると、長い翼は先端の速さが最大で、中心に向かってゆけば翼の速さは小さくなります。この時は、支柱との間で引きちぎられる空気の流れは、連続的に変化するので、音の周波数スペクトルは連速的に変化すると考えられます。計測結果は、離散的な周波数になっています。



さらに、超低周波音の領域での周波数の特性と指向性の説明を両立させることが必要です。
風雑音とか、空力音とした場合は、上の表の 0.2667Hz と 0.5333Hz の周波数の音が発生する理由の説明が困難になります。もちろん、風車音の指向性の説明も困難です。

風雑音とか、空力音の周波数は、聞いてはいけない事柄だと思います。せっかく封印した超低周波音が生き返ってしまいます。音圧が高いことが明らかになれば、圧迫感の原因が判明します。全ての責任を“風”に押し付けて“風雑音”を作ったのに、それが風に対する濡れ衣であったことが判明します。

風車の近くで計測される超低周波音に関しては、いろいろな説があります。
それについては。
“雑音・超低周波音の解析と発生の仕組み”
に、詳しく書いてあります。

７．１０　風雑音（その１）

超低周波音で５Hz 以下の部分について、“風雑音”と考えている人もいるようです。そう考えれば、超低周波音の領域での音圧が高くなっている原因を風のせいに出来ます。

“宇山さんは、風車からの低周波音の測定について検討されていたと思います。
風車の回転に伴い、1 分間の回転数×羽枚数÷60 を基本周波数とする成分と倍音成分（例えば、回転数 20rpm、3 枚羽の風車では、1Hz とその倍々の周波数）が発生することについては、以前お話ししたように思います。
しかし、現場で観測される低周波音は風車からの音に、風雑音が重畳されたものとなります。
低周波数域の**風雑音は風がマイクロホンに当たることによって発生します**。
この雑音は周波数が低くなるほど大きな成分を持っています。
通常、低周波音の測定は風雑音による影響を避けるため、風のない時に行います。
しかし、風車は風がないと回らないので、風による影響を受けます。
風による影響を受けにくい山間地や尾根で風が遮られる地域では、風車の回転に伴う成分が周波数分析結果で卓越成分として観測されます。
一方、平地などのように風による影響を受けやすい場所における測定結果では、低周波数域の周波数特性はこんもりと盛り上がったような特性となっていて卓越成分が観測されないことが多いと思います。これは、風車音よりも風雑音が優勢であると考えられます。
通常の防風スクリーンより大きい直径 20cm 程度の防風スクリーンをマイクロホンに装着しても風が強いときは風雑音を十分に除去できません。
風雑音の低減に関しては、これまで色々と研究されてきていますが、およそ 5Hz 以下の周波数域（場合によってはおよそ 10Hz 以下）については、風雑音の除去が難しいのが現状です。
従って、風車からの低周波音を正確に測定するにあたっては、風雑音による影響をいかに排除するかも大きな課題の一つです。
研究にあたっては、このあたりも参考にしていただけると幸いです。”

と指導していただきましたが、同意出来ません。

“風雑音”の意味は２通りあります。
１，風がマイクに当たって発生する音。
２，5Hz 以下の周波数域（場合によってはおよそ 10Hz 以下）の超低周波音。

さて、
“低周波数域の風雑音は風がマイクロホンに当たることによって発生します。
この雑音は周波数が低くなるほど大きな成分を持っています。“
とあるのだが、実際に計測してみると、
風車のすぐ近くでは、マイクに風が当たらなくても、音圧が高く、規則的な周波数を持った、超低周波音が計測されました。
騒音計をポリ袋に入れて、段ボールの箱に入れて、車に積んで、車のドアを閉めた場合は、他の場合と比べて、周波数は一致するが、より音圧が高くなっていました。

この超低周波音は、風がマイクに当たって発生したものではありません。そもそも、風はマイクに当たっていないのです。

風車の近くでは、

マイクに風が当たらないときの結果と、マイクに風を当てたときの結果を比べると、音圧が高くて規則的な周波数を持った超低周波音はどちらでも観測されますが、風が当たるからと言って、別の周波数の成分が出現することはありません。マイクに風が当たっても、当たらなくても、記録されます。

音の反射で、音圧は、袋に入れて、箱に入れて、車のドアを閉めた場合に一番高くなっています。
室内でも反射が起きて、外での音圧の２倍以上の音圧になる可能性がある事を意味しています。

また、

“5Hz 以下の周波数域（場合によってはおよそ 10Hz 以下）については、風雑音の除去が難しいのが現状です。“
とありますが、
この成分は、マイクに風が当たらなくても存在するのですから、“マイクに風が当たって発生する風雑音”として、除去する必要は無いのです。

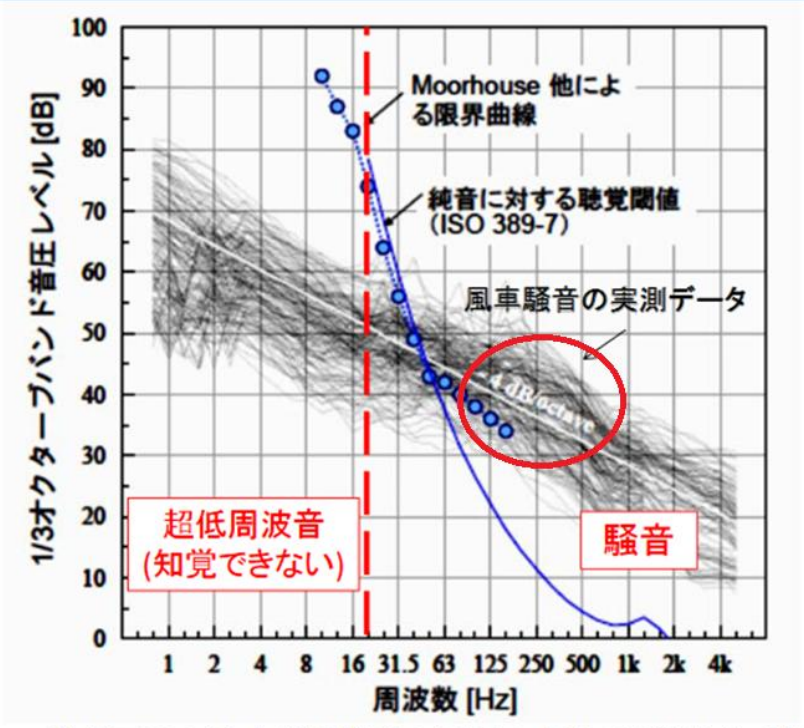
風車が無ければ、マイクに風を当てても、音圧が高くて規則的な周波数を持つ超低周波音は計測されません。

風車が無い場所では、音圧が低くて、周波数に規則性が無い超低周波音が計測されるのです。

ですから、風車から発生する超低周波音そのものが計測されていると考えるべきです。除去してはいけない音なのです。

風車のどの様な運動が原因なのかは別にしても、全国 164 か所の全ての風車に於いて、音圧の高い超低周波音の存在が、確認されているのです。

次のグラフを見ると、10Hz 以下の風雑音と 10Hz 以上の風車音があまりにも滑らかにつながっています。



20Hz以下の超低周波音領域は、すべて知覚閾値を下回っている

風車騒音は超低周波音ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音の問題

※全国29の風力発電施設の周辺の合計164測定点で騒音を測定

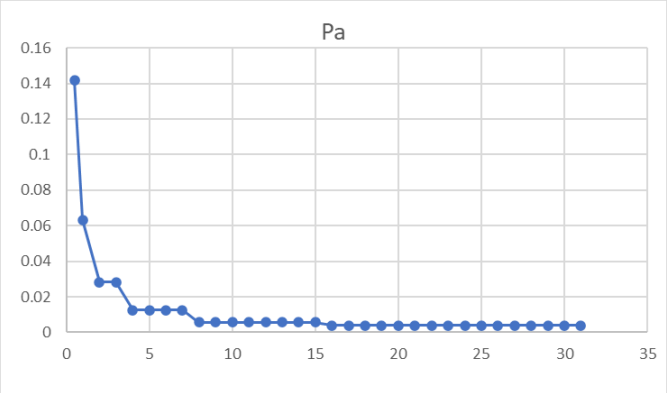
3

よく見ると、白抜きで、-4dB/octave と書いてある。

「**ある音を基準として、周波数比が2倍になる音**」を「1オクターブ上の音」と呼んでいます。
周波数が２倍になると１オクターブ増える。１オクターブ増えると音圧レベルが４ｄＢ減る。

表とパスカル値のグラフは次の様になります。

Hz	dB	Σ(Pa*Pa)	Pa*Pa	Hz	Pa
0.5	74	0.0100475	0.020095091	0.5	0.141757
1	70	0.004	0.004	1	0.063246
2	66	0.0015924	0.000796214	2	0.028217
3			0.000796214	3	0.028217
4	62	0.000634	0.000158489	4	0.012589
5			0.000158489	5	0.012589
6			0.000158489	6	0.012589
7			0.000158489	7	0.012589
8	58	0.0002524	3.15479E-05	8	0.005617
9			3.15479E-05	9	0.005617
10			3.15479E-05	10	0.005617
11			3.15479E-05	11	0.005617
12			3.15479E-05	12	0.005617
13			3.15479E-05	13	0.005617
14			3.15479E-05	14	0.005617
15			3.15479E-05	15	0.005617
16	58	0.0002524	1.57739E-05	16	0.003972
17			1.57739E-05	17	0.003972



これから、右上のグラフが得られます。

“風雑音”について他の研究者の方は、
“ご存知のように　超低周波音の測定は風の影響を受けやすくその影響を除去することが難しいのが現状です。
環境省の
・低周波音問題対応の手引書（H16.6）
・低周波音の測定方法に関するマニュアル（H12.10）
にもその旨記載があります。
また、当時計測に使用した低周波音レベル計（リオン NA-18A）の測定周波数範囲は 1Hz 以上となっております。
これらを踏まえて、ご指摘いただいた論文では 1/3 オクターブバンド 1Hz 以上を対象周波数として発表いたしました。
以上のことからデータの信頼性等を考慮して周波数範囲は 1Hz 以上としております。”
と言っていました。

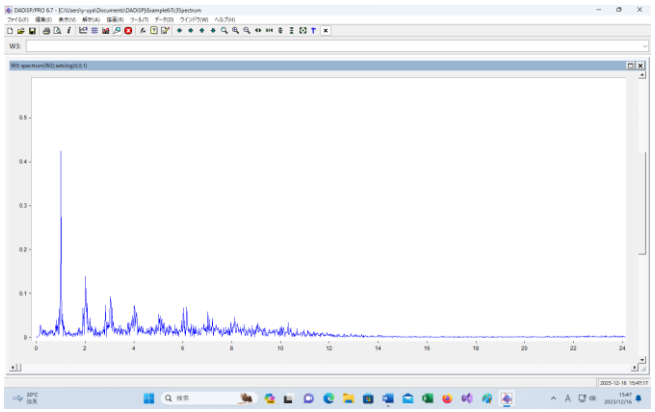
風車の近くで計測される超低周波音は、決して除去できないのです。風の影響ではなくて、それが風車からの超低周波音なのです。
このことは、風車からの音を NL-62 で録音して、120 秒間のデータから周波数スペクトルを計算すれば、

超低周波音が計測されることが分ります。
風車の近くで、直径９ｃｍの防風スクリーンを付けて、
騒音計に風が当たらないようにして測る。
騒音計に風を当てながら測る。
等で得られたデータを比較してみれば、風の影響か否かはすぐに分かります。
風の影響を避けるだけならば、計測機材を車の中に置いて、風下の窓を開けて測れば、風の影響は除去できます。もちろん、超低周波音は、きちんと記録されます。

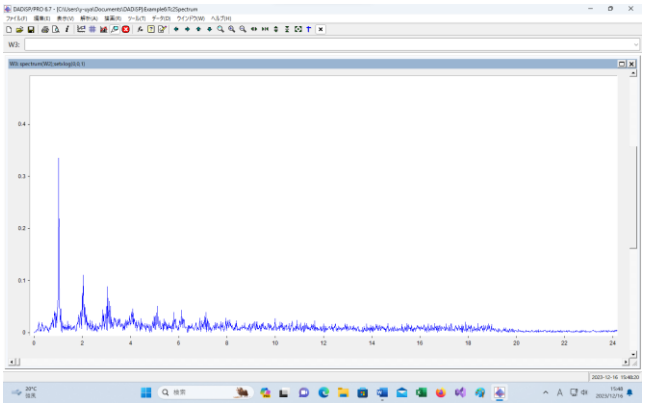
風車の近くでは、マイクに風が当たらなくても音圧の高い超低周波音が計測される。
風車の近くでの計測の様子

騒音計をビニール袋に入れて、それを段ボール箱に入れて、ビニールをかぶせて、

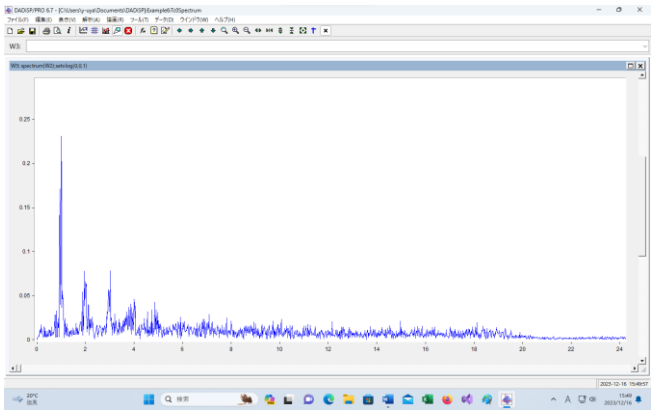
袋と箱に入れ、ドアを閉めた場合は、Max. 0.42Pa



袋と箱に入れ、ドアを開けた場合は Max. 0.33Pa



袋から出して、箱の上においた結果は　Max. 0.23Pa



音圧の違いに関しては、音の反射を考慮する必要があります。

風車が近くにあれば、マイクに風が当たらないときと、マイクに風を当てたときを比べると、音圧が高く、規則的な周波数を持った超低周波音は、どちらの場合でも観測されます。

計測結果はＨＰで公開しています。“風雑音？（館山）ダウンロード（WAV）”です。

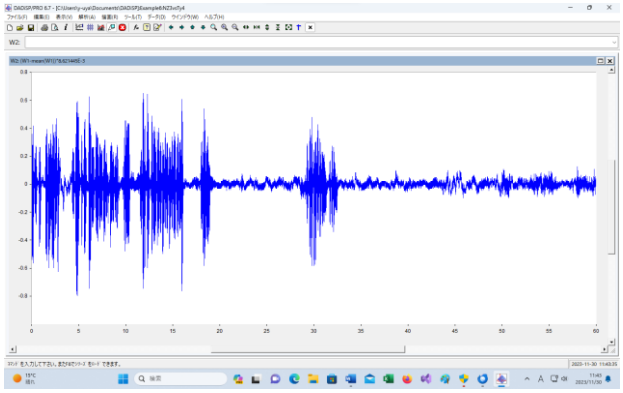
風車が無ければ、マイクに風を当てても音圧の高い超低周波音は発生しない。

風車が無い場所で、マイクに風を当てて計測すれば、音圧が低くて、周波数に規則性が無い、超低周波音が計測されます。風車が有る場所では、音圧が高くて、規則的な周波数を持っている超低周波音が計測されます。

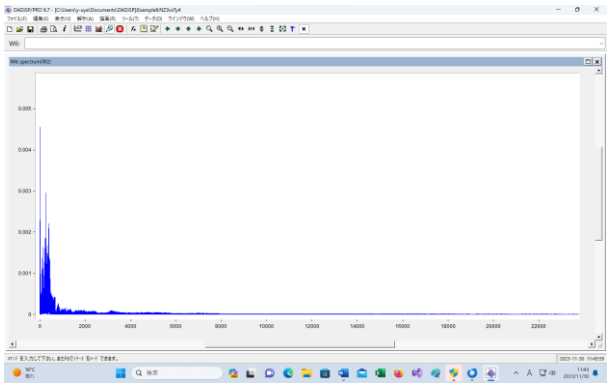
風車が無い場所では、マイクに風が当たることが原因の“風雑音”は、音圧が低くて、超低周波音の領域での周波数に規則性がありません。

近所の神社の境内でマイクに風を当てながら計測してみました。その結果は、

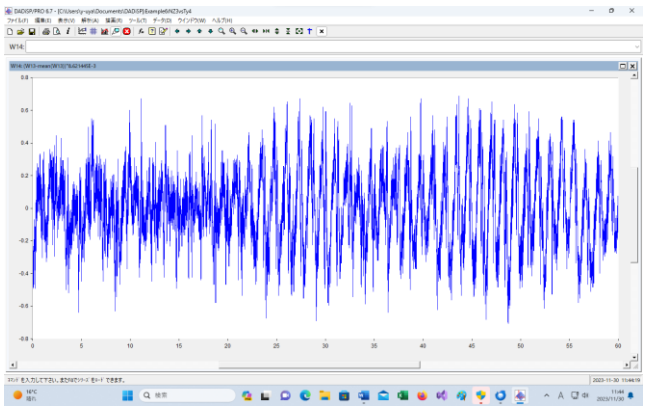
左は、神社での音



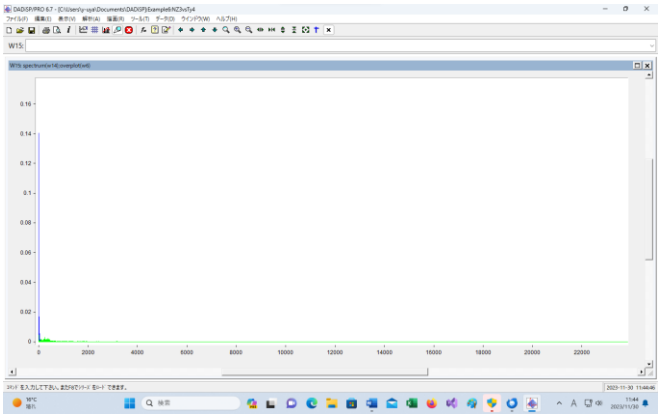
右は神社での音の周波数スペクトル



左は、風車音

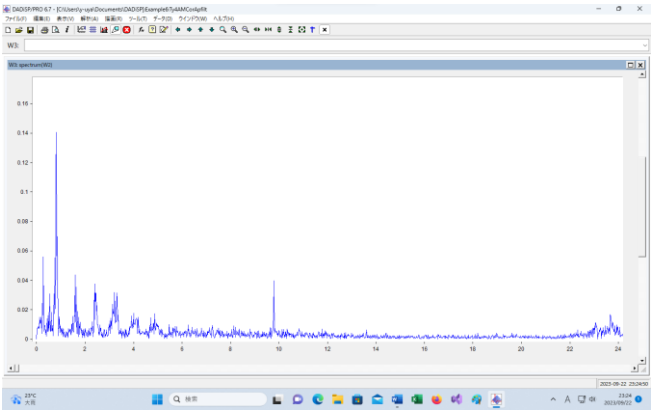


右は風車音（青）と神社で音（緑）の周波数スペクトル

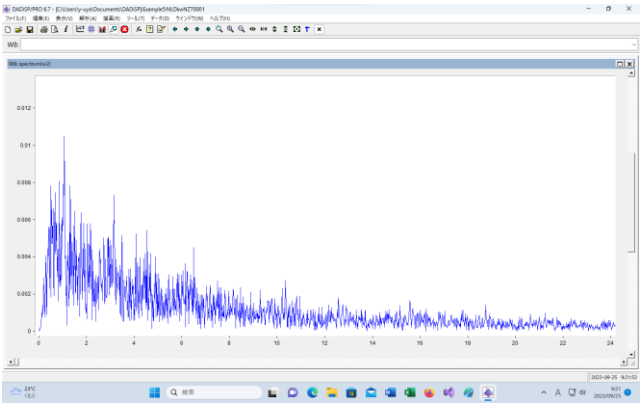


左が風車の近くの音、右は風車がない場所でマイクに風を当てて収録した音の超低周波音の部分です。
次のグラフで、0～25Hz の範囲で、風車音と近所の長尾神社の境内での音を比較します。

風車の近くの音(0～25Hz) 最大 0.14[Pa](0.8Hz)



長尾神社(0～25Hz) 最大 0.0105[Pa](1.1Hz)

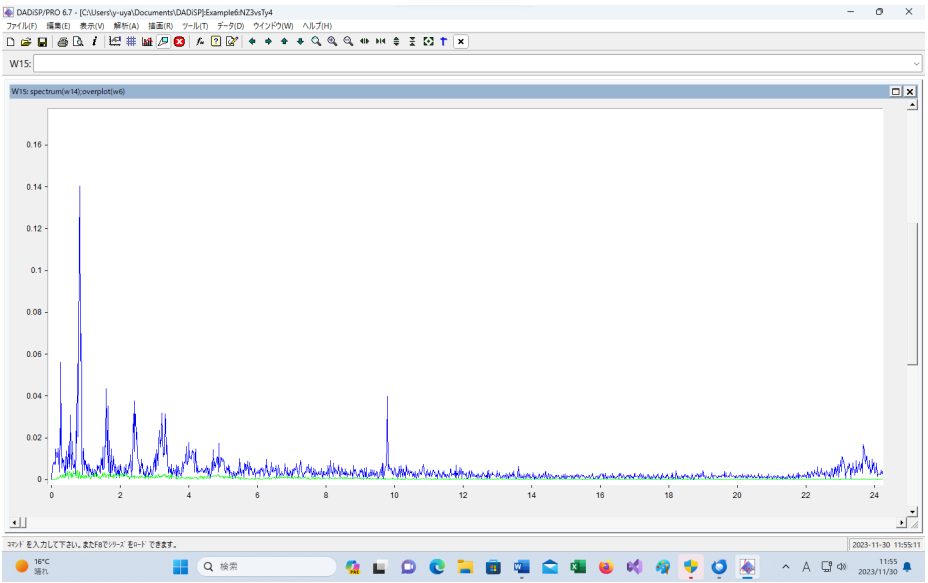


0～25Hz 範囲での、風車の近くで車内に機材を置き風下の窓を開けて計測した音、最大音圧 0.14[Pa](0.8Hz)と、マイクを神社の階段に置き、風が当たる状態で計測した音、最大音圧 0.0105[Pa] (1.1Hz)との比較です。

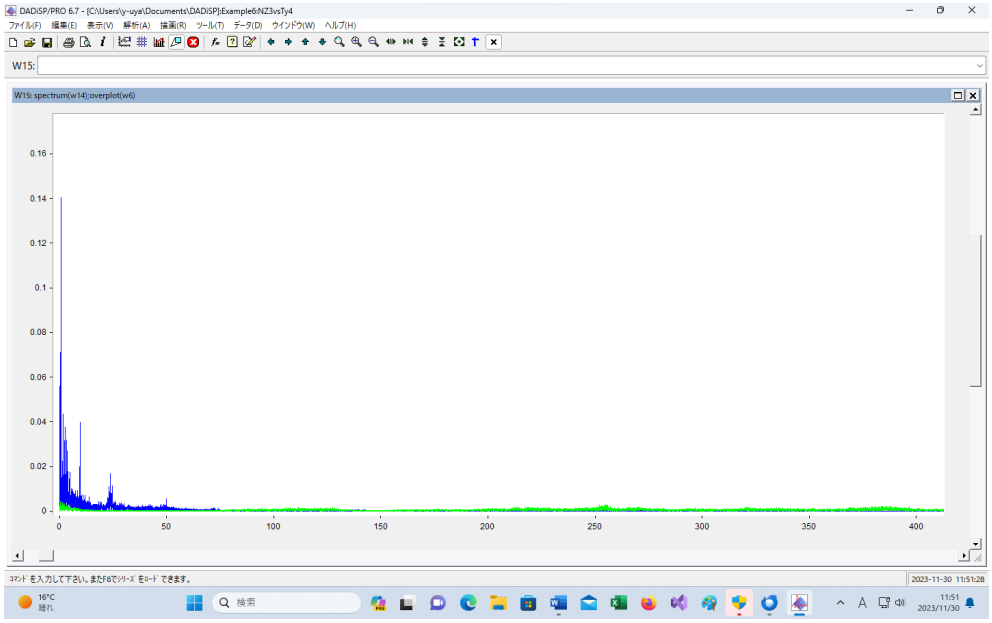
風車の近くでは 0.14Pa、風車が無い場所では 0.01Pa の音圧を持っている超低周波音が存在します。だから、風車の近くでは音圧が 10 倍です。音圧は、風速で変化します。風車の近くで 0.37Pa、風車が無い所で 0.003Pa の時もあります。これだと音圧は 100 倍です。

次のグラフは、青い線が風車の近くの超低周波音、緑の線が風車が無い場所での超低周波音です。

0～24Hz までの拡大図、風車音（青）と神社の音（緑）の周波数スペクトル



0～400Hz までの拡大図、風車音（青）と神社での音（緑）の周波数スペクトル



“風雑音”には、風車の近くでの音圧が高く規則的な周波数を持つものと、風車の無い場所での音圧が低く周波数に規則性が無いものがあり、この２種類の“風雑音”の区別することが必要になります。

周波数に明確な規則性がある音を“風雑音”の一言で片づけてはいけません。規則性を持つ理由を明確にしなくてはなりません。風車から、このような規則性を持つ音が発生する理由を調べれば、“風雑音”という用語が不適切であることが明確になります。発生する仕組みが明確になれば、この音は“風車からの超低周波音”というべきであることが分ります。

“風車の近くでの風雑音”は、その周波数が特別な構造を持っていて、風車の回転と深くかかわっています。これは、風車からの超低周波音というべきものです。

もし、風雑音というならば、風車の近くと風車の無い場所での風雑音の性質が違う理由を説明しなくてはなりません。10Ｈｚ以下を風雑音だとするのには無理があります。

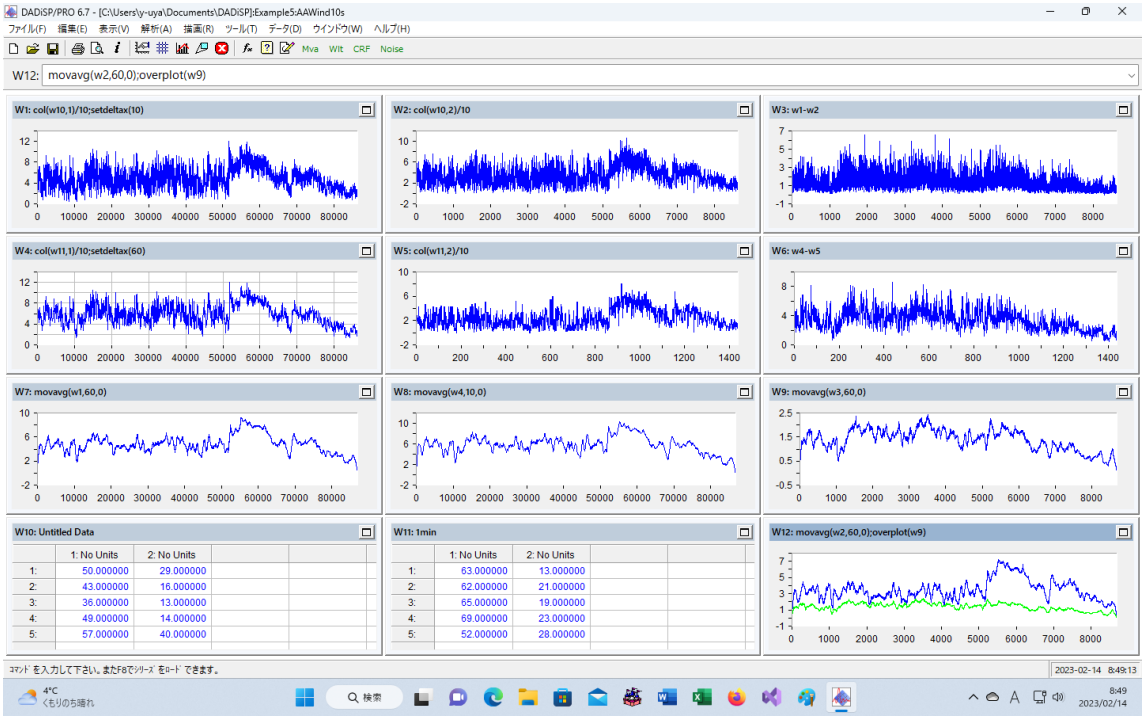
“風雑音：**風がマイクロホンにあたることにより発生する雑音**。”
を主張する環境省や学者様が、精密な周波数スペクトルを示せない理由を纏めておきます。

風は方向や速度を変えます。次の表は、気象庁が計測したデータを、気象業務支援センターから入手したものです。

年	月	日	時	分	秒	前10秒間最大瞬間風速	前10秒間最小瞬間風速	前10秒間風程
						0.1m/s	0.1m/s	
2019	2	2	0	12	40	147	124	132
2019	2	2	0	12	50	146	107	131
2019	2	2	0	13	0	122	82	102
2019	2	2	0	13	10	105	65	83
2019	2	2	0	13	20	112	71	82

（前 10 秒間風程は、10 秒間に風が進む行程を意味します。132 は秒速 13.2ｍの風速です。）
風速も風向も不安定なのです。

風の強さの変動のグラフは次の様になります。



（上のグラフは、2019 年1月１日の24時間分の記録です。）

W1（上段左）は、前 10 秒間最大瞬間風速の値（10 秒ごと）、

w2（上段中央）は、前 10 秒間最小瞬間風速の値（10 秒ごと）、

w4（2段目左）は、最大瞬間風速（3秒間移動平均）の値（1分ごと）、

w5（2段目中央）は、最小瞬間風速(3 秒間移動平均) の値（1分ごと）、

です。

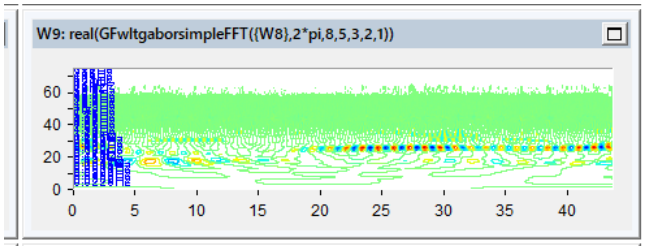
風速や風向が細かく変化すると、風がマイクに当たるときの圧力も細かく変化します。ある一定の周期でマイクに当たる風の強さが変化しないと、風雑音を記録したデータの周波数は変動するはずです。

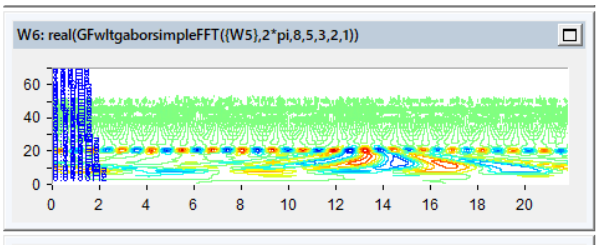
しかし、地上1mあたりで記録された風雑音の周波数スペクトルは、細かく変化するマイクに対する風の圧力の変動を反映しません。

風車の近くで記録された“風雑音”の周波数スペクトルを調べれば、最大音圧となる周波数は、ｆ＝RZ/60　(Hz) になっているのです。マイクに当たる風は風車の回転に対応する周期で、マイクに対する圧力を変動させていると考えるしかないのです。

さらに、風速が変化しても、風車の回転に対応して、風雑音の周波数も変動するのです。風はマイクに対して加える圧力を、風車の回転の変化に合わせて正確に変化させるのです。

周波数と音圧の変化の様子は次のグラフです。





0.8Hz 程度の周波数成分が、0.3 パスカル程度の強さで放出される状態が 100 秒程度継続することが分かり

ます。共鳴や共振現象などを発生させ、寝ている人間を起こすには十分な継続時間です。
色が比較的濃い部分は 0.8Hz 辺りの音が強いことを表します。
この線が上に上がれば周波数が高くなり、下に下がれば周波数が低くなったことを表します。色が濃い場所は音が大きいことを意味します。薄い色は音が小さいことを意味します。
周波数はかなり安定しているのです。
もし風雑音だというならば、なぜ風車の回転に合わせて地上1mの場所でのマイクに対する圧力を正確に変化させることが出来るのかを説明する必要が生じます。
風速の変化と

年	月	日	時	分	秒	前10秒間最大瞬間風速	前10秒間最小瞬間風速	前10秒間風程
						0.1m/s	0.1m/s	
2019	2	2	0	12	40	147	124	132
2019	2	2	0	12	50	146	107	131
2019	2	2	0	13	0	122	82	102
2019	2	2	0	13	10	105	65	83
2019	2	2	0	13	20	112	71	82

（前 10 秒間風程は、10 秒間に風が進む行程を意味します。132 は秒速 13.2ｍの風速です。）
風速も風向も不安定なのです。風速の変化と周波数の安定性が一致しないのです。
もちろん、回転数によって周波数は微妙に変化するのですが、この変化に合わせてマイクに掛かる圧力を調節しなくてはなりません。
これは、単に風速だけでは決まりません。ブレードの向きも関連します。風はどのようにして風車の回転数を知り、どのようにして、マイクに掛かる圧力を調整するのでしょうか？これが出来るのは“風神”くらいのものです。風雑音説は、風神の存在を認めなくては成立しないものなのです。
さらに、環境省が“風雑音”説を主張するならば、“風雑音”の周波数が倍音構造を持つ理由を説明する必要があるのです。倍音の音圧は、マクローリン展開の係数に対応して決まります。
マクローリン展開

$$(1+x)^{\alpha} = 1 + \frac{\alpha}{1!}x + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2!}x^2 + \frac{\alpha(\alpha-1)(\alpha-2)}{3!}x^3 + \cdots \qquad (10)$$

に関しても、風は正確に対応できる能力を持たなくてはなりません。まさに、神業です。

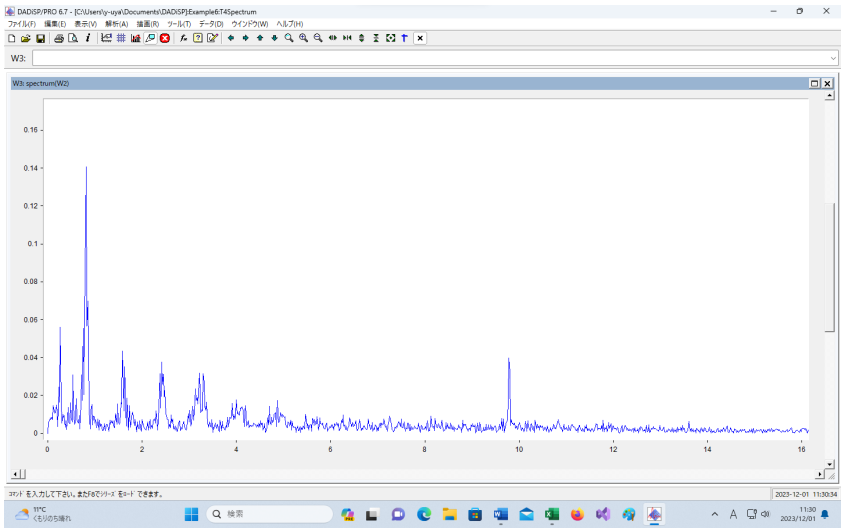


図.3 Wind turbine noise（0～25Hz）

音圧がピーク値となるときの周波数に、次のような規則性がある。

周波数	周波数/0.8167	音圧[Pa]
0.2667	0.3266	0.0560
0.5333	0.6530	0.0309
0.8167	1.0000	0.1405
1.5833	1.9387	0.0436
2.4167	2.9591	0.0377
3.2167	3.9387	0.0317
4.0000	4.8978	0.0177
4.8667	5.9590	0.0173
5.4667	6.6936	0.0101
6.2667	7.6732	0.0098

これらの現実は、“風雑音”説が虚偽であることの証拠なのです。これを認めたくない環境省は詳細な周波数を調べることを禁じるのです。二重防風スクリーンを付けて屋外で測れ、データに残ってしまったら、除外音処理をしろ、というのです。

激しく変化する風がマイクに当たるときに、正確な周波数スペクトルを作り出すというならば、環境省の主張は物理学を根底から破壊することになります。そこまでの勇気が無いので、測るな、見つけたら除外しなさい。と言うのです。

これに従えば、日本の科学技術は壊滅します。これでは日本は国際社会で生き残れません。環境省は風車音の被害で地方社会を破壊するだけでなく、資源のない日本が生き残る道をも塞ごうとしているのです。

風切り音だと考える場合は、0.2667Ｈｚと 0.5333Ｈｚでピーク値となる理由や、風車音の指向性の説明が難しくなると思います。

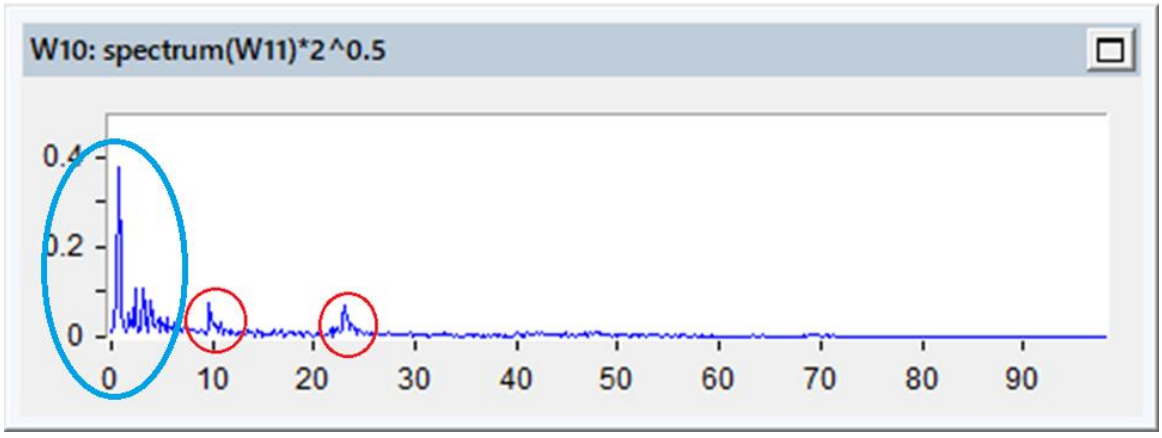
７．１１　風雑音（その２）

C-1-2. 日本の環境省、風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル、（３ページの説明）
“風雑音
風がマイクロホンにあたることにより発生する雑音。測定においてはウインドスクリーン（防風スクリーン）を装着することにより風雑音を低減する必要がある（3.1(2)参照）。
風により発生する葉擦れ音や風音は自然音であり風雑音ではない。“
“3.2 騒音の測定機器
(2) ウインドスクリーン（防風スクリーン）
風車の有効風速範囲の風況下で騒音を測定する際には、一般的に用いられる直径 10 cm 以下のウインドスクリーンでは、風雑音を十分に低減することはできない。風雑音の影響を低減するためには、より大型の、全天候型のウインドスクリーンを使用する必要がある。
風の影響が大きい場合には二重のウインドスクリーン等の、より性能の良いウインドスクリーンを使用する。
（注） 二重ウインドスクリーン等を使用しても風雑音を十分に除外できない場合には除外音処理を行い、風雑音の影響範囲を除外する等の対応が必要である。“

ここでは、“風雑音”の周波数に関連する記述は有りませが、防風スクリーンの性能を評価する表現として、

“オ）風車騒音測定用の小型防風スクリーンの開発
環境省戦略指定研究（風力発電等による低周波音の人への影響評価による研究）における風車騒音測定のために、20cmφのウレタンフォーム製球形防風スクリーンと 12 面体の金属製枠にネットを貼った二重防風スクリーンが開発されている。太田ら 19)は、屋外で実験を行った結果、直径 20cm 防風スクリーンのみに比べて、12 面体防風スクリーンのみで約 10dB、その外側に同じネットを貼った立方体 防風スクリーンを付加した場合には 13dB（いずれも 8Hz）の低減効果が得られたと報告している。“

とあるので、“13dB（いずれも 8Hz)”に注目すれば、超低周波音に焦点を合わせていると考えられる。



それは、上のグラフの、水色の楕円の部分です。

逆に考えて、風がマイクに当たった時に発生する音を調べるには、風車の無い場所で、マイクに風を当てて計測すれば風雑音が風車からの超低周波音の影響を受けない形で計測できます。

風車が無い場所で、マイクに風を当てて計測した結果は、音圧が低くて、周波数に規則性が無い、超低周波音が計測されました。風車が有る場所では、音圧が高くて、規則的な周波数を持っている超低周波音が計測されます。

左が風車の近くの音、右は風車がない場所でマイクに風を当てて収録した音の超低周波音の部分です。

図５．風車音（館山風の丘）０～25Hz

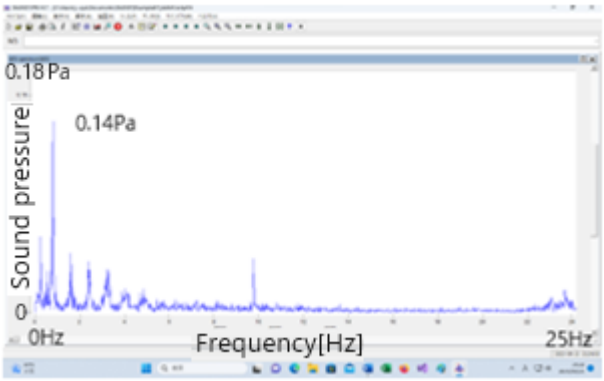
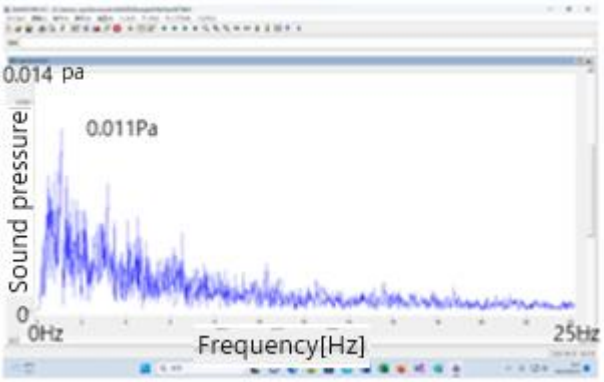


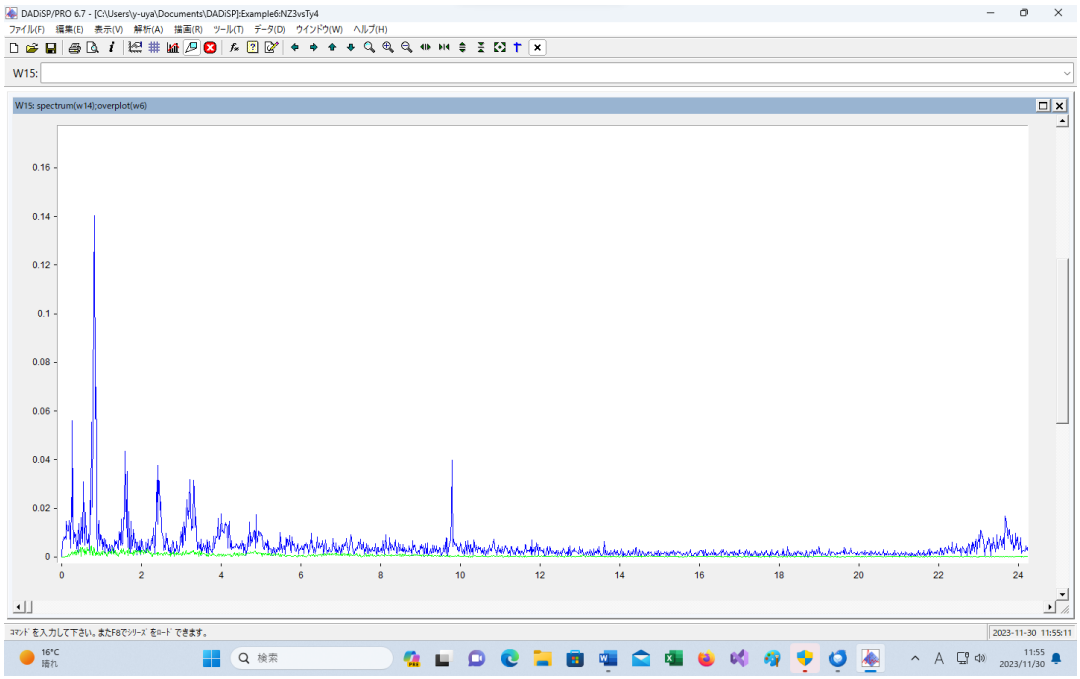
図６．長尾神社の音　０～25Hz



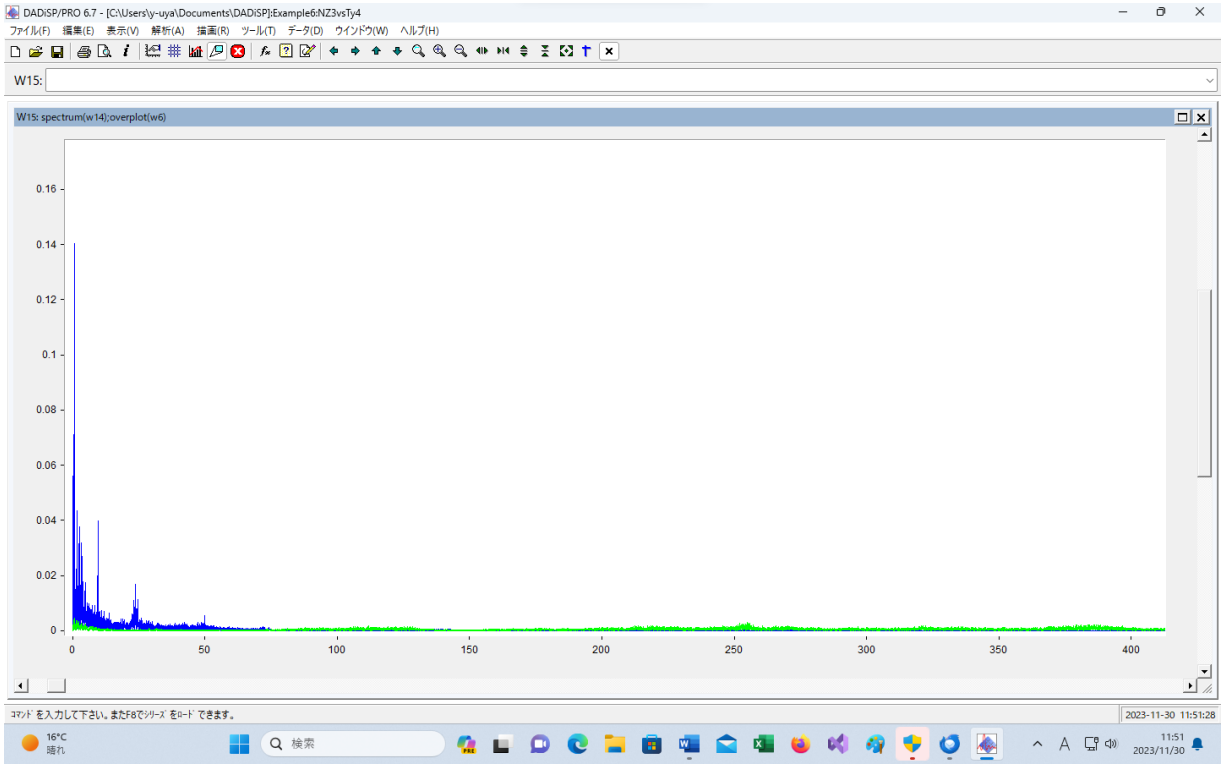
風車の近くでは 0.14Pa、風車が無い場所では 0.01Pa の音圧を持っている超低周波音が存在します。だから、風車の近くでは音圧が 10 倍です。音圧は、風速で変化します。風車の近くで 0.37Pa、風車が無い所で 0.003Pa の時もあります。これだと音圧は 100 倍です。

次のグラフは、青い線が風車の近くの超低周波音、緑の線が風車が無い場所（神社）での超低周波音です。

0～24Hz までの拡大図、風車音（青）と、風車が無い場所（神社）の音（緑）の周波数スペクトル



0～400Hz までの拡大図、風車音（青）と神社での音（緑）の周波数スペクトル



風による雑音の影響を考えるのは、100Hz 以上の成分について考えれば十分です。
しかも、元々音圧が極めて低いのです。
上の図をよく見れば、100Hz～300Hz 辺りでは、神社での音の方が音圧が高くなっています。
200Hz 以上ならば、窓を閉めれば、遮音効果が効きますので、それほど問題にはなりません。
神社での音の音圧は、250Hz 辺りでは、1.2*10^(－3)　Pa 程度です。
風車音では、250Hz 辺りでは、7.3*10^(－5)　 Pa 程度です。
神社での音の音圧は、1000Hz 辺りでは、5*10^(－6)　Pa 程度です。
風車音では、1000Hz 辺りでは、3*10^(－6)　 Pa 程度です。

風車音に関するこの数値は、
全国 164 か所での計測結果から計算される、1024Hz での音圧 3.51E-06 とほぼ一致します。
下の表が計算された 1024Hz と 2048Hz での音圧です。

Hz	dB	Σ(Pa*Pa)	Pa*Pa	Hz	Pa
1024	38	2.524E-06	2.46468E-09	1024	4.96E-05
1024	34	1.005E-06	9.81206E-10	1024	3.13E-05
1024	15	1.265E-08	1.23526E-11	1024	3.51E-06
2048	35	1.265E-06	6.17632E-10	2048	2.49E-05
2048	30	0.0000004	1.95313E-10	2048	1.4E-05
2048	12	6.34E-09	3.09549E-12	2048	1.76E-06

７．１２　疑似音

Wind Turbines and Health
A Critical Review of the Scientific Literature
Robert J. McCunney, MD, MPH, Kenneth A. Mundt, PhD, W. David Colby, MD, Robert Dobie, MD, Kenneth Kaliski, BE, PE, and Mark Blais, PsyD
には、
The main problem with measuring low-frequency sound and infrasound in environmental conditions is wind-caused pseudosound due to air pressure fluctuation, because air flows over the microphone. With conventional sound-level monitoring, this effect is minimized with a wind screen and/or elimination of data measured during windy periods (less than 5 m/s [11 mph] at a 2-m [6.5 feet] height).36 In the case of wind turbines, where maximum sound levels may be coincident with ground wind speeds greater than 5 m/s (11 mph), this is not the best solution. With infrasound in particular, wind-caused pseudosound can influence measurements, even at wind speeds down to 1 m/s.12 In fact, many sound-level meters do not measure infrasonic frequencies.

“環境条件下での低周波音と超低周波音の測定における主な問題は、**マイクロホンの上を空気が流れるため、気圧の変動による風による疑似音です。**従来の騒音レベルモニタリングでは、風の強い期間(2m(6.5 フィート)の高さで 5m/s(11mph)未満)に測定されたデータを排除することで、この影響を最小限に抑えます。36 風力タービンの場合、最大騒音レベルが 5 m / s(11 mph)を超える地上風速と一致する可能性があるため、これは最善の解決策ではありません。特に超低周波音では、風速が 1m/s 以下の場合でも、風による疑似音が測定に影響を与える可能性があります。12 実際、**多くの騒音計は超低周波周波数を測定していません。**”

と書いてあります。

because air flows over the microphone

での、over　の意味ですが、

１〔位置が〕～の上（空）の［に］、～より高い
２〔高い場所〕を越えて［の上を通って］
３〔平らな場所を〕横切って、渡って
４〔端を〕越えて落ちて［下へ］
５〔場所が〕～の向こう側にある、～を越えた所にある
６　～の表面に、～一面に
７　～の上に触れて［振り下ろして］

８〔場所や内容の〕全てにわたり、至る所に
９〔電話やラジオなどを〕通じて、によって
１０〔場所を〕覆って、隠して
１１〔量・長さ・年齢などを〕超えて、上回って
・He weighs over 200 pounds.：彼の体重は 200 ポンドを超えている。
１２〔期間〕を通して［の間中］
１３〔時期を〕過ぎて、〔時期が〕終わって
１４　病気や困難など〕に打ち勝って、から回復して
・I think I'm over that now.：〔葛藤・悩みなどについて〕今は乗り越えられたと思います。
１５〔他のものより〕優れて、好んで
・I trust him over you.：私はあなたより彼を信用します。
１６〔影響力などを～に〕行使して、発揮して
１７　～について、～に関して
１８　～と比較して
１９《数学》～分の…◆A over B の形で「B 分の A」という分数を表す。副

の中で、
可能性が高いのは、
６　～の表面に、～一面に
７　～の上に触れて［振り下ろして］
だと思われます。
この場合は、
because air flows over the microphone
マイクの（振動版の）表面に触れて流れる空気が原因となって、
気圧変動がおこり、それが疑似音として記録される。
となり、
測定マニュアルの“風雑音”とほとんど同じ意味になります。

この場合は、

風車のすぐ近くでは、マイクに風が当たらなくても、音圧が高く、規則的な周波数を持った、超低周波音が計測されました。

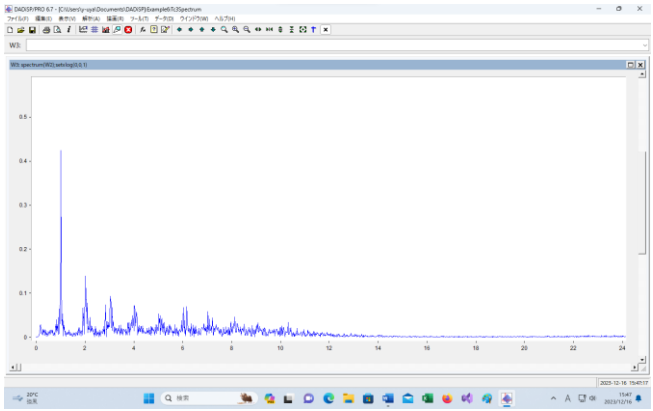
騒音計をポリ袋に入れて、段ボールの箱に入れて、車に積んで、車のドアを閉めた場合は、他の場合と比べて、周波数は一致するが、より音圧が高くなっていました。

この超低周波音は、風がマイクに当たって発生したものではありません。そもそも、風はマイクに当たっていないのです。

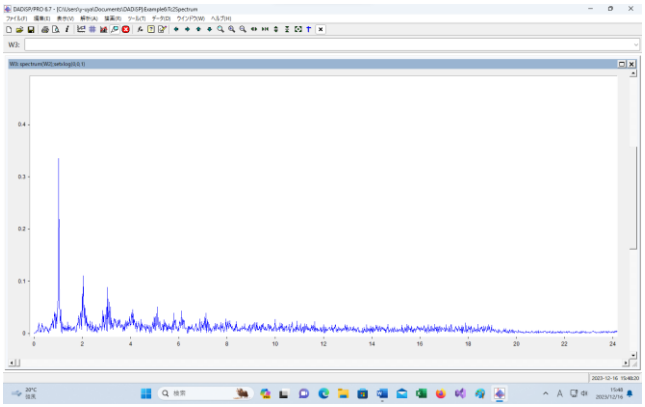
風車の近くでの計測の様子です。

騒音計をビニール袋に入れて、それを段ボール箱に入れて、ビニールをかぶせて、

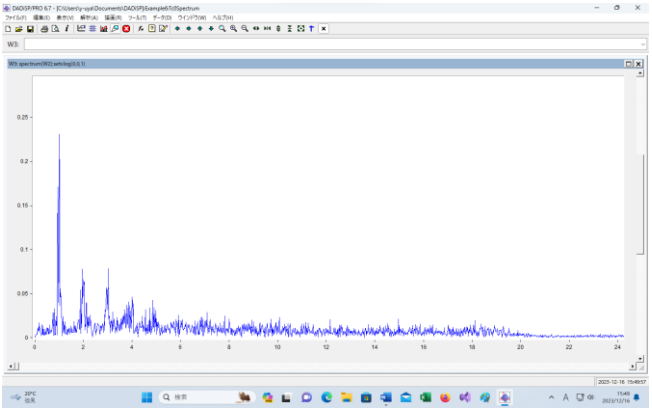
袋と箱に入れ、ドアを閉めた場合は、Max. 0.42Pa



袋と箱に入れ、ドアを開けた場合は Max. 0.33Pa



袋から出して、箱の上においた結果は　Max. 0.23Pa



風車の近くでは、

マイクに風が当たらないときの結果と、マイクに風を当てたときの結果を比べると、音圧が高くて規則的な周波数を持った超低周波音はどちらでも観測されますが、風が当たるからと言って、別の周波数の成分が出現することはありません。マイクに風が当たっても、当たらなくても、記録されます。

音の反射で、音圧は、袋に入れて、箱に入れて、車のドアを閉めた場合に一番高くなっています。室内でも反射が起きて、外での音圧の２倍以上の音圧になる可能性がある事を意味しています。

で、終了です。

また、
1〔位置が〕～の上（空）の［に］、～より高い
と解釈すると次のようなことになります。
　ここでは、風がマイクに当たって発生する風雑音とは違って、上空で発生した気圧変動が原因で、その影響が騒音計に記録された。と言っています。
　では、疑似音の元になる気圧変動が発生する場所は上空のどの位置なのでしょうか？
　また、記録された疑似音は規則的な周波数を持っています。これは、気圧変動が規則的な周期性を持っているのが原因です。
　気圧変動が発生した元の場所から、騒音計までは、周期的な変動は、何を使って、どのように伝達されたのでしょうか？２つの間には空気が存在します。気体は横波を伝達しません。気体は縦波を伝達します。その縦波は普通は粗密波として、空気中を伝わります。大気の状態は、場所による密度の差はそれほどないので、等質空間と考えられます。
振動源が小さければ、同心球上の粗密波として、周囲の空間に伝わってゆきます。
　疑似音の元になる、気圧の変動の領域はどこにあるのでしょうか？

私は、次の理由で、疑似音の発生場所は風車の場所だと考えます。
① 風車が無ければ、音圧が高くて、規則的な周波数を持つ疑似音が計測されることは無い。
② 風車が有れば、音圧が高い疑似音が計測される。（計測した 164 か所の全てで計測されている。）
③ 計測された疑似音は、風車を中心とした十字架型の指向性を持っている。

まず、③の性質から、気圧変動の最初の場所は、風車を含む直線の上にあることが分ります。
風車から離れた上空での風の様子は、風車が無い場所での風の様子と同じです。この場所では、騒音計に記録される、音圧が高くて規則的な周波数を持つ変動の原因となるような気体の運動は起きりません。
　もし、起きるならば、風車の無い場所ででも同様の現象が起きるはずですが、そのような現象は起きません。したがって、気圧変動の最初の発生場所は、ブレードや塔のある位置に限定されるのです。

　塔やブレードがあれば、空気の流れは妨げられて、気流に変化が起こります。もちろん、ブレードは回転し、塔も揺れます。あとは、特別な振動数になる理由を、気流の変化で説明するか、塔の揺れから説明するかのどちらかです。

　気流の変化から説明できれば、疑似音とも言えますが、風車が無ければ気流の変化が起こらないのですから、この疑似音は、風車の存在が根本原因だと言えます。
　空気の流れが、塔によって乱されると、カルマン渦が出来ます。これについては、後ほど検討しますが、結論を言えば、指向性での方向が違います。
　風車音は、回転軸から見て、（210+90*m）度の方向に強く出ています。カルマン渦だと渦の並び方から、音が強く伝わる方向は、（90*m）度の方向だと思われます。
　風の速度変化が大きいので、周波数の規則性を保つことが難しいと考えます。さらに、カルマン渦では、超低周波音の領域での、周波数、f/3、2f/3、f、2f、3f、…Ｈｚとなる理由が説明できません。
　風が連続的に変化すれば、周波数も連続的に変化すると考えられるので、離散的な周波数構造になる理由が説明できません。

塔の運動が原因ならば、明確に風車から発生する超低周波音だと言えます。このように考えれば、風車音の性質を説明するのは簡単です。

では、風車が無い場所での、空気の流れによる気圧変動と、風車が有る場所での気圧変動には、どのような違いがあるのでしょうか？

風車が存在しない場所（風車から 5ｋｍ以上離れた場所）でも風は吹いています。地上付近にマイク置けば、マイクの上空を空気が流れます。気圧の変動も起きるとは思います。
結果として騒音計にデータが記録されます。超低周波音の領域（20Ｈｚ以下の領域）に属する成分も計測されますが、音圧が低くて、周波数に規則性がありません。

風車が有る場所では、空気が流れて、気圧変動が生じるのですが、気圧変動が騒音計に規則されたときには、音圧が高くて、規則的な周波数を持つ気圧変動として記録されます。しかも、指向性を持っている気圧変動なのです。
空気が流れるのは、風車が有っても無くても同じです。違いは風車の存在です。

問題点を確認してゆきます。

記録された気圧変動は特別な周期を持っているのだが、なぜ風車の近くでは規則的な周期を持っているのでしょうか？この周期は、風の速度や方向によって決まるのでしょうか？
風の速度が同じでも、風車の回転数が違えば、気圧変動の周期が変化します。ｆ＝ＲＺ／６０の周波数になる様に、音圧変動の周期が決まります。これは、風の音圧変動が風車の回転によって支配されることになります。

上空で発生した気圧変動の場所と、騒音計は離れています。気圧変動は空気によって伝えられます。
この伝わり方は、粗密波として伝わるのでしょうか？それとも別の形式で伝わるのでしょうか？
もし、粗密波として伝わるならば、音の性質と同じです。

上空の風による気圧変動は、風車が無くても発生するのか、風車が無ければ発生しないのか。の答えは出ています。
なぜ、風車が有れば、必ず、音圧の高い超低周波音が計測されるのに、上空で風が吹いていても、風車が無い場所では、音圧の高い超低周波音が計測されないのでしょうか？
“疑似音”は、風車が存在する 164 か所すべてで音圧が高く、規則的な周波数と指向性を持つ超低周波音として計測されています。風車が無ければ、音圧が低くて、乱雑な周波数の超低周波音が記録されます。
これまでの調査結果から、“音圧が高く、規則的な周波数と指向性を持つ超低周波音”は、回転軸が水平の風車が有れば、必ず計測され、無ければ計測されないのです。上空を吹く風は同じですから、風車の存在と風車の運動がこの超低周音の発生原因だと考えるべきです。

６．超低周波音の解析と発生の仕組み

で解明している通り、回転軸が水平の風車は、物理的に見て、超低周波音の発生装置そのものなのです。

地表から離れて、高く上がると風速が大きくなります。風が吹くとブレードに揚力が発生して、風車が回転します。この時、高さによる風速の差で、揚力が原因である、風車の塔に掛かる回転モーメントが回転によって変化します。

振動の周波数と振幅は、マクローリン展開に係数に従ったものになります。

そして、風車全体が振動するときに、風車の地上４０ｍから５０ｍの高さの辺りでは、風車音の指向性に合致した、側面の振動が起こります。そして、高い音圧で、規則的な周波数と指向性を持った超低周波音が発生することになります。

まさに、A Primer on Noise

How is sound created?

When an object vibrates back and forth it causes small increases and decreases in air pressure that travel, or propagate, through the air as sound waves.

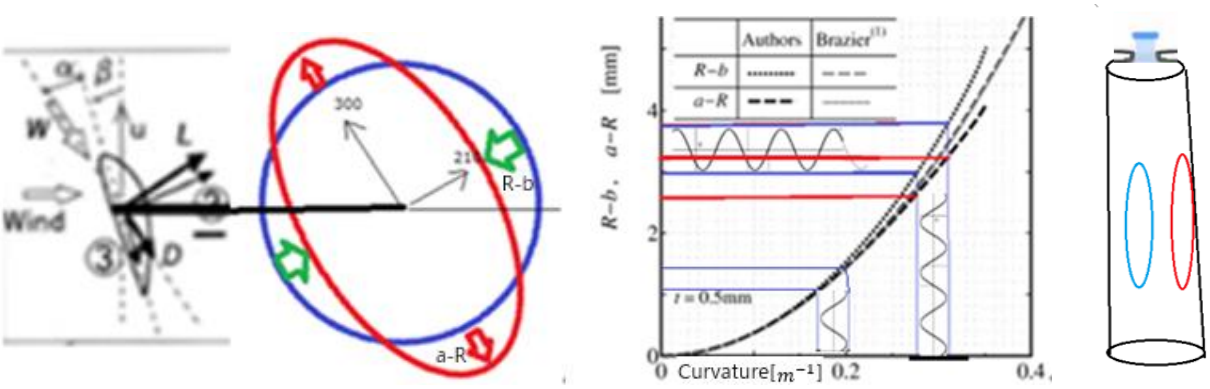
にある通り、

“音はどうやって作られるのか?

物体が前後に振動すると、空気圧がわずかに増減し、音波として空気中を伝搬します。“

と書かれている通りなのです。

指向性と規則的な周波数と高い音圧を持った超低周波音を、塔の中央の大きな面積を持った部分が前後に動くことによって、発生させているのです。



上空の風だけでは、このような超低周波音は発生しません。

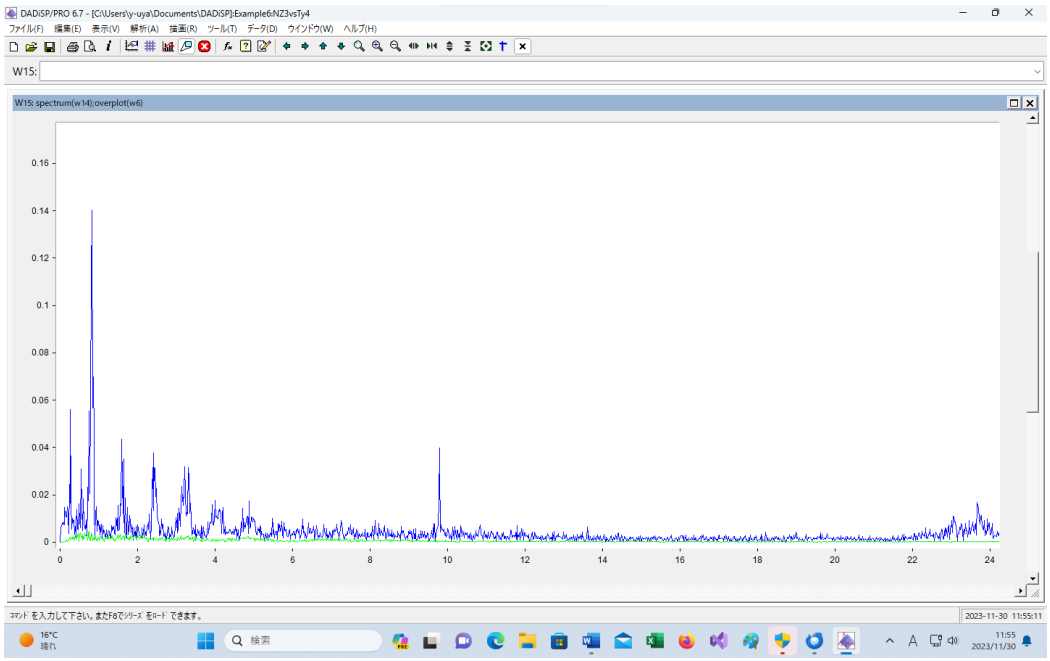
そこに、

風車が有れば、音圧が高くて、規則的な周波数で、指向性を持った超低周波音が計測されるのです。

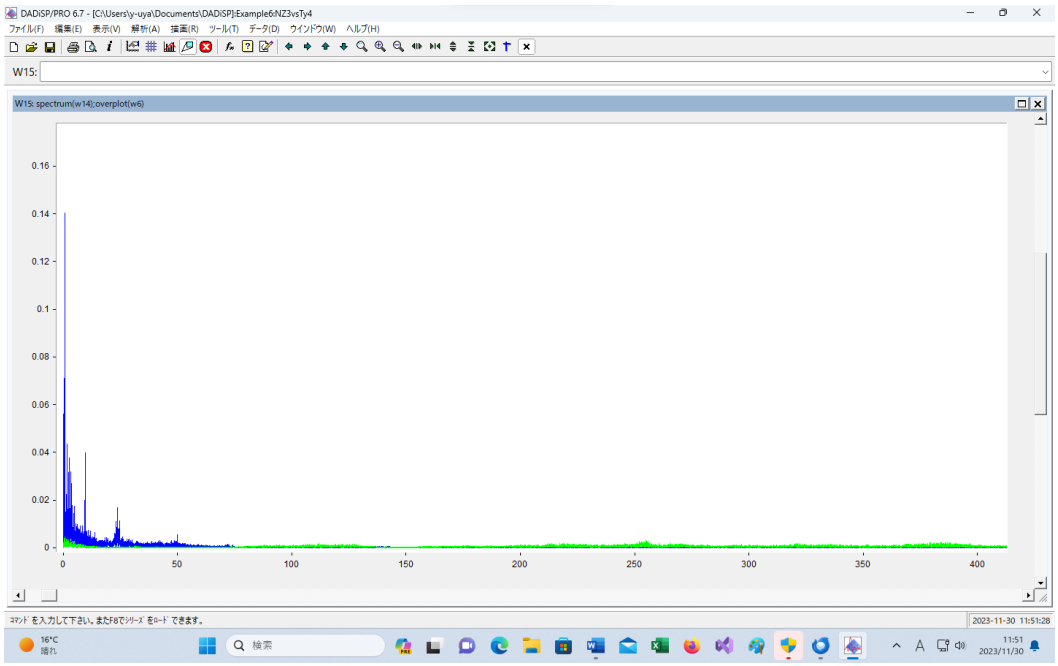
風車がなければ、音圧が低くて、乱雑な周波数の超低周波音が計測されるのです。

次のグラフは、青い線が風車の近くの超低周波音、緑の線が風車が無い場所での超低周波音です。

0～24Hz までの拡大図、風車音（青）と、神社（風車が無い場所）での音（緑）の周波数スペクトル



0～400Hz までの拡大図、風車音（青）と神社（風車が無い場所）での音（緑）の周波数スペクトル



上空で風が吹いて、気圧変動があっても、風車が無ければ、音圧が高くて規則的な周波数を持つ超低周波音は計測されないのです。

日本で、164 か所の風車を調べた結果、すべての風車の近くで、音圧の高い超低周波音が計測されています。

次のグラフは、「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」にあるものです。

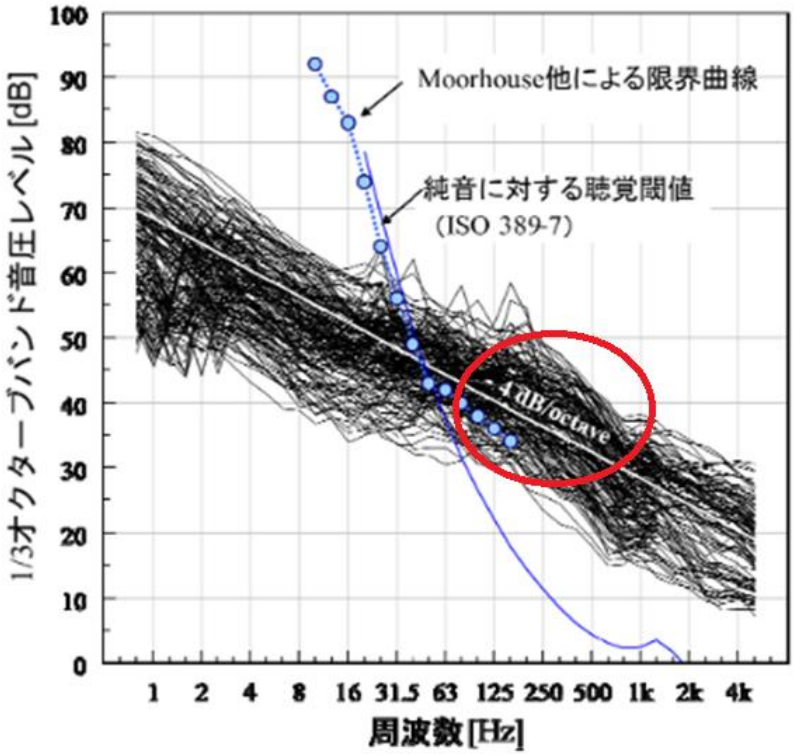


図 3　全国 29 の風力発電施設周辺 164 地点における風車騒音の周波数特性の分析結果

上のグラフを見れば、20Hz 以下の部分の音圧が極めて高いことが見て取れます。これは、超低周波音が高い音圧で存在することを意味しています。

グラフを、よく見ると、-4dB/octave と書いてある。これは、

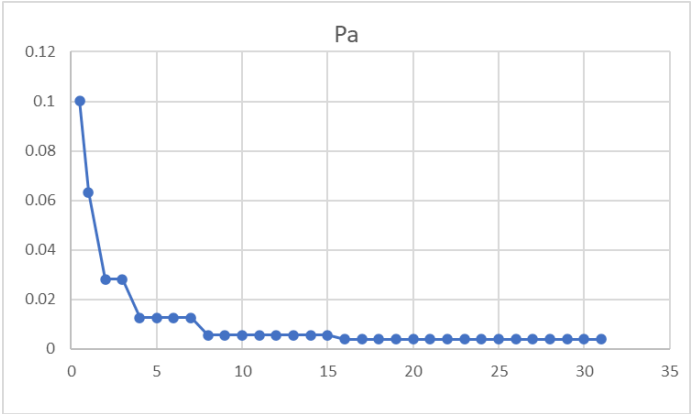
「ある音を基準として、周波数比が 2 倍になる音」を「1 オクターブ上の音」と呼んでいます。

周波数が 2 倍になると 1 オクターブ増える。1 オクターブ増えると音圧レベルが 4ｄB 減る。

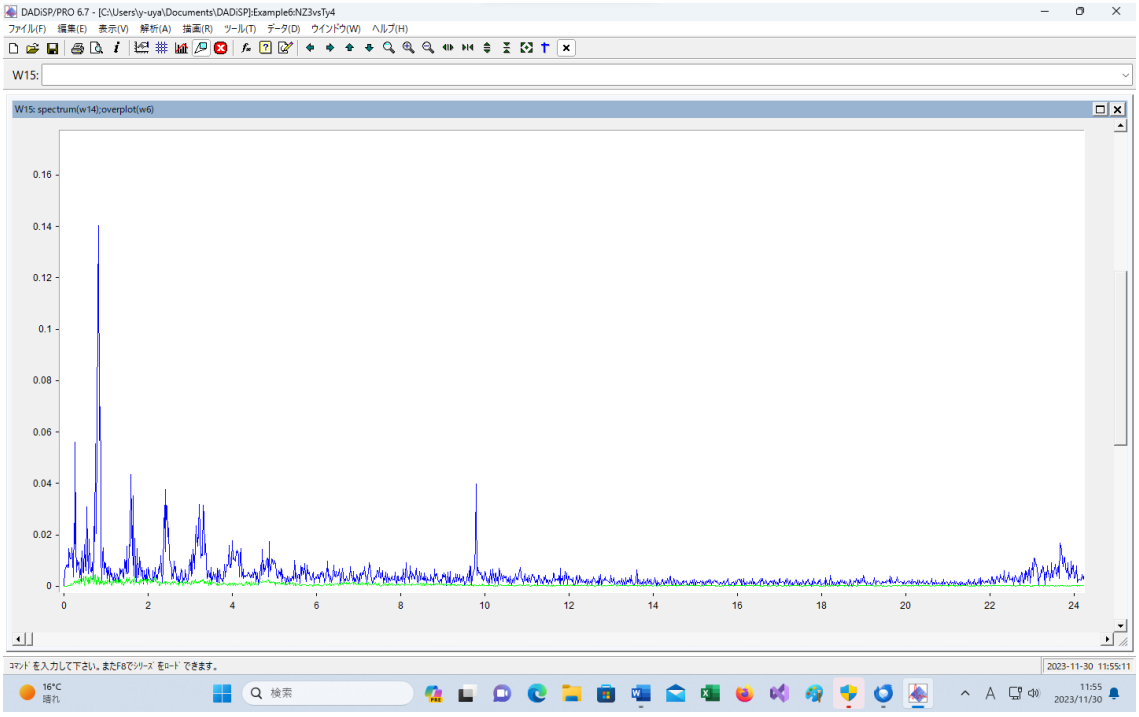
という事ですので、

図 3 のグラフの横軸を線形座標、縦軸をパスカル値に変換すればグラフは次の様になります。

Hz	dB	Pa*Pa	Pa*Pa	Hz	Pa
0.5	74	0.010048	0.010047546	0.5	0.100237
1	70	0.004	0.004	1	0.063246
2	66	0.001592	0.000796214	2	0.028217
3			0.000796214	3	0.028217
4	62	0.000634	0.000158489	4	0.012589
5			0.000158489	5	0.012589
6			0.000158489	6	0.012589
7			0.000158489	7	0.012589
8	58	0.000252	3.15479E-05	8	0.005617
9			3.15479E-05	9	0.005617
10			3.15479E-05	10	0.005617
11			3.15479E-05	11	0.005617
12			3.15479E-05	12	0.005617
13			3.15479E-05	13	0.005617
14			3.15479E-05	14	0.005617
15			3.15479E-05	15	0.005617
16	58	0.000252	1.57739E-05	16	0.003972
17			1.57739E-05	17	0.003972



右側のグラフは、下のグラフの青い線とよく似た形です。



これは、風車音の計測結果ですから、似ていて当然です。

また、100Hz から 4ｋHz の間では、

Hz	dB	Σ(Pa*Pa)	Pa*Pa	Hz	Pa
128	46	1.592E-05	1.24408E-07	128	0.000353
256	42	6.34E-06	2.4764E-08	256	0.000157
512	38	2.524E-06	4.92935E-09	512	7.02E-05
1024	34	1.005E-06	9.81206E-10	1024	3.13E-05
2048	30	0.0000004	1.95313E-10	2048	1.4E-05
4096	26	1.592E-07	3.88777E-11	4096	6.24E-06

Hz	dB	Σ(Pa*Pa)	Pa*Pa	Hz	Pa
1024	38	2.524E-06	2.46468E-09	1024	4.96E-05
1024	34	1.005E-06	9.81206E-10	1024	3.13E-05
1024	15	1.265E-08	1.23526E-11	1024	3.51E-06
2048	35	1.265E-06	6.17632E-10	2048	2.49E-05
2048	30	0.0000004	1.95313E-10	2048	1.4E-05
2048	12	6.34E-09	3.09549E-12	2048	1.76E-06

のように、音圧が計算できます。この音圧は、計測結果とほぼ一致しています。

風車が回転すれば、風車の振動によって、粗密波が発生します。これは地上の騒音計に作用します。
従って、
多くの騒音計は、超低周波音を測定できるのです。
のです。

そして、この事実を認めたくない人がいて、“疑似音”を作り出しただけなのです。
そうではないならば、
疑似音がどのような周波数を持つのか、その周波数になる理由を、風による気圧変動の記述からく説明して見てください。
また、風車音が十字架型の指向性を持つ理由を、風の動きから説明してみてください。

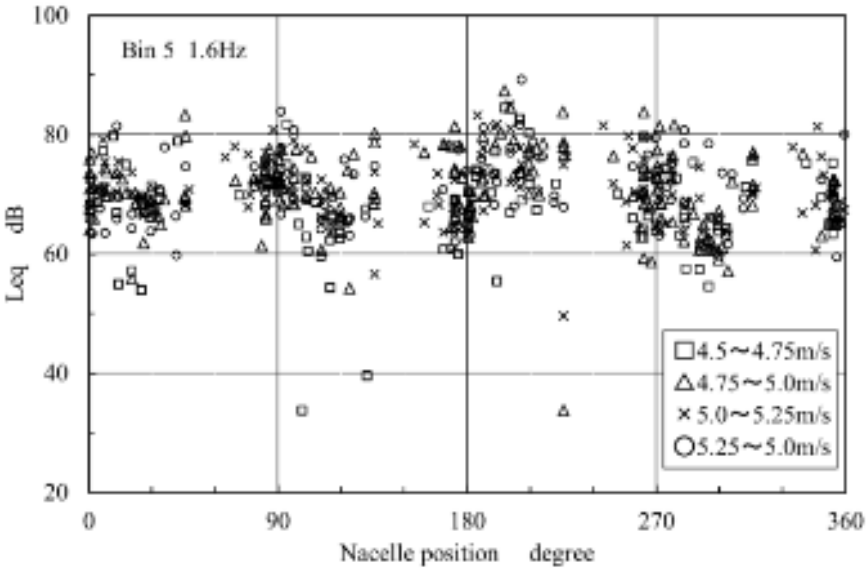
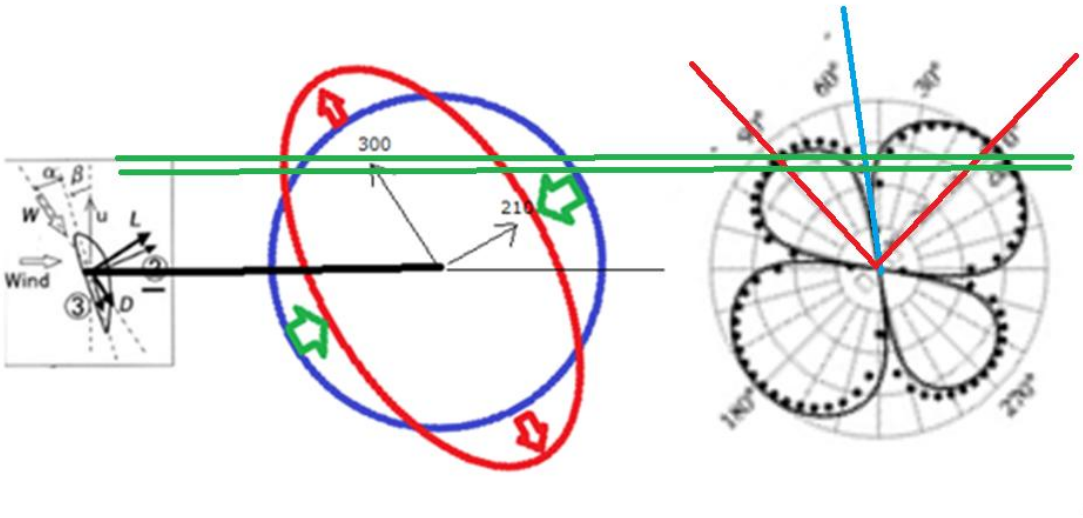


図 6　Bin 5 中心周波数 1.6Hz の指向性分布



風が、緑の線に沿って、左から右に流れるとして、音圧の変化を“疑似音”から説明してみてください。

７．１３　風速自身が有する極めて低い周波数成分の支配的なエネルギー

平成２２年度　移動発生源の低周波音等に関する検討調査等業務報告書
ｐ68 では
（１） 風雑音の低減方法に関する既往の研究
があり、ｐ69 には
“ウ）風自体の特性を明らかにするための検討
高橋ら 17)は、風雑音の発生形態に関する基礎的な検討を目的として、屋外において一定距離離れた低周波音用音圧レベル計と Hot-wire 風速計によって風雑音および風速変動を同時計測し、200Hz 以下の周波数領域に着目して風雑音信号と風速変動とを比較している。計測した 2 点での音圧レベル計の出力信号間では、その時の風速に対応する時間遅れを持って相互相関関数の最大点が存在することを見出し、風塊の通過に起因する風雑音を確認した。一方、同距離の 2 点での風速信号間では特定の時間遅れを持った相関関数最大点が認められず、**風速自身が有する極めて低い周波数成分の支配的なエネルギーによってマイクロホン近傍で相互作用的な雑音の発生が起こっている**と示唆した。“

さて、

風速が変化すると揚力ベクトルが変化して、風車の回転数も変化して、超低周波音の周波数も音圧も変化することはすでに示した。風速や風向の変化は激しく、ブレードの向きを瞬時に変えることは出来ないし、F=mαですから、揚力ベクトル F の大きさが変わっても、回転速度が変わるには少し時間がかかるのです。

“風速自身が有する極めて低い周波数成分の支配的なエネルギー”
と言ってくれれば、話は簡単です。

風車のすぐ近くで、マイクに風を当てながら測る、防風スクリーンを付けて測る、車に積んで風下の窓を開けて測る、段ボールの箱に詰めて車のドアを閉めて測る。などなど、いろいろ変えて計測した結果と

風車から 20ｋｍ程度離れた場所で、同じ風速の時に同様にして計測した結果を比べてみれば、不思議なエネルギーの正体も分かる。

さて、“風速”と“極めて低い周波数成分の支配的なエネルギー”の間にはどのような関係があるというのでしょうか？結果が楽しみです。

計測ですが“低周波音用音圧レベル計”では、精度が不足です。精密騒音計で音圧変動を精密に記録して、周波数スペクトルを確認し、Wavelet 解析で周波数の変動や音圧の変動も確認しましょう。

７．１４．１　例1：

最近まで、

環境省の理論が正しいならば、卓越する周波数成分は風車の回転数の増加に伴って連続的に変化するはずである。もしそうなら、固定された周波数の音が特につよくなることはないはずである、卓越した周波数成分が回転数と共に変化しなくてはならない。

この考えでは特定の周波数のところが特別に大きなエネルギーを持つ理由が説明できない。共鳴を考えなくては強力なエネルギーを持つ理由が説明できません。

この考えでは、回転数の上昇によって生じる、どの周波数の場合も、同じようなエネルギーをもち、もし変化するとしても単調増加、または単調減少で変化するはずである。

この考えが正しいかどうかは、風車の回転数を測りながら、超低周波音を計測して ShortTimeFFT 分析か Wavelet 解析にかければすぐわかる。残念ながら、風車が動き始めるときの録音データを持っていません。

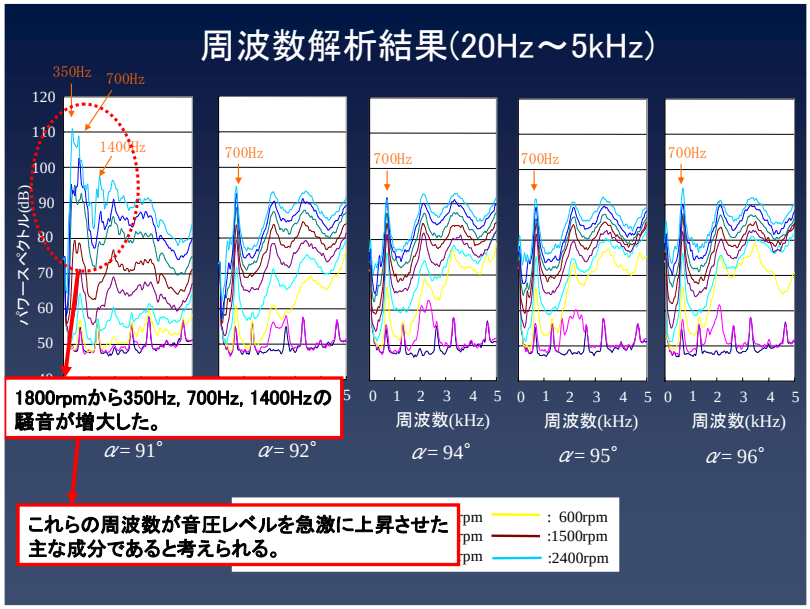
と思っていたのですが、間違っていました。

風車から出る音の Wavelet 解析の結果を拡大して調べたときの周波数の変化と、ビデオで撮影したブレードの回転数の微妙な変化から計算した周波数の変動は一致しました。

この周波数と、ブレードの揚力ベクトルの向きのナセルの振動の周期も一致しました。塔の地上 40m付近の動きも、一致しました。

これまでは、固有振動数と共鳴に拘り過ぎていました。強制振動、強制圧縮として考えるべきでした。

小型風車の回転数と騒音の周波数分析の結果のグラフが千葉大学の研究結果としてインターネット上に公開されています。それは、次のグラフです。



このグラフでは、回転数が増加すると 700Hz の音は強くなるがこのピークとなる周波数が回転数の増加につれて変化してゆく様子は見られない。

このグラフでは、　f ＝RZ/60 （Hz）の式は意味を持たない。

なお、このグラフの使用については、千葉大学の佐藤先生から

さて、グラフの使用は結構ですが、この図は、風車の羽根（3 枚、グラスファイバー、長さ約 0.5m）がをモーターで回転させたときの発生音を測定したものです。
低周波の音は、350Hz、700Hz が α=91°のときに R=2400、2100、1800rpm で大きいことが左の図の破線の円領域で注目しています。このときの音は、爆音のような音です。
α が大きくなると爆音は消えます。爆音の原因は、回転中に羽根のピッチ角が変わるような
振動現象です。このときには、回転数の増加につれて羽根の半径方向での曲げ振動も重畳します。700Hz は α には関係ないので、爆音が生じないときの曲げ振動であると思います。
これには確かに回転の周波数が影響していませんので、材料の固有振動数であると考えられます。低周波、超と言う字は付きませんが、爆音の原因は、この材料が剛性（EI)が大きく、ピッチ角を変えるような振動が、回転の空気力（迎え角の移動（変化）の増加により、共振域に入って誘起されたものと解釈されます。
20Hz 以下の超低周波の発生機構については、私は別の意見を持っています。
以上、２０Hz の FFT の測定例として引用することは可とします。
佐藤建吉
との承諾をいただいています。

７．１４．２　例２：

風力発電の被害を考える会　わかやま

風力発電所から生じる超低周波音について １

図は、和歌山県由良町TAさん宅室内における低周波音の測定結果です。風車が稼働している時から風車が止まるまでの様子が捉えられています。

これは、2013年5月13日の夕刻から測定を開始し、翌朝まで連続でデータを記録したものです。24時ごろから風が鎮まり始め、風車の回転が止まりました。風車が回っている時には、2Hz、3.15Hzにはっきりとしたピークがありますが、風車の停止とともにピークは消失します。図３のように、稼働中50～60ｄBの超低周波音が風車の停止とともに30-40ｄBほどに下がります。

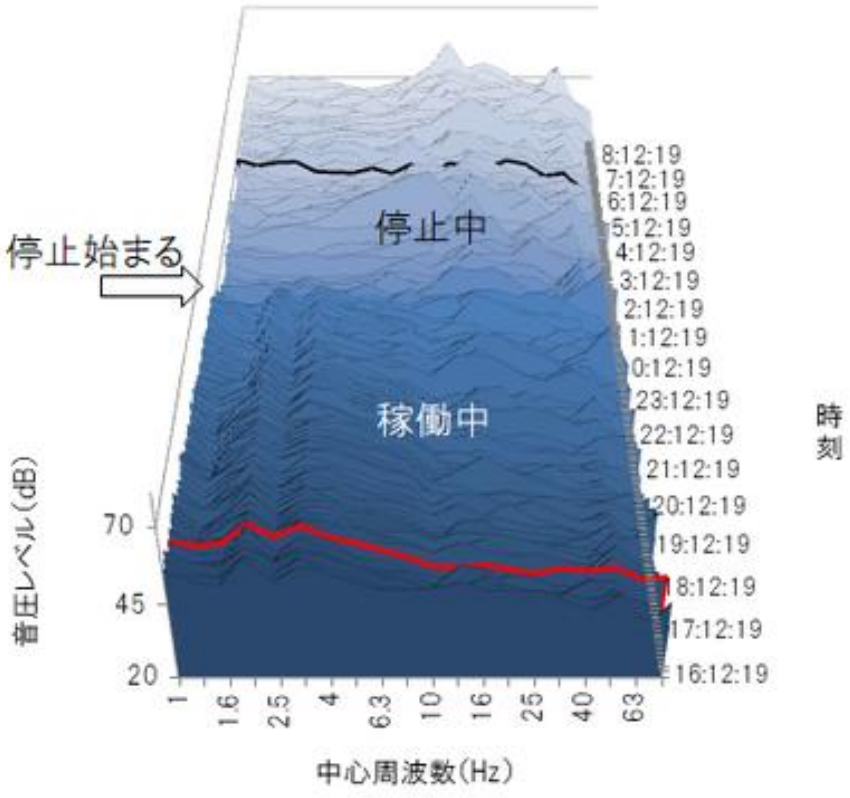


図１　和歌山県由良町民家室内で観察された超低周波音

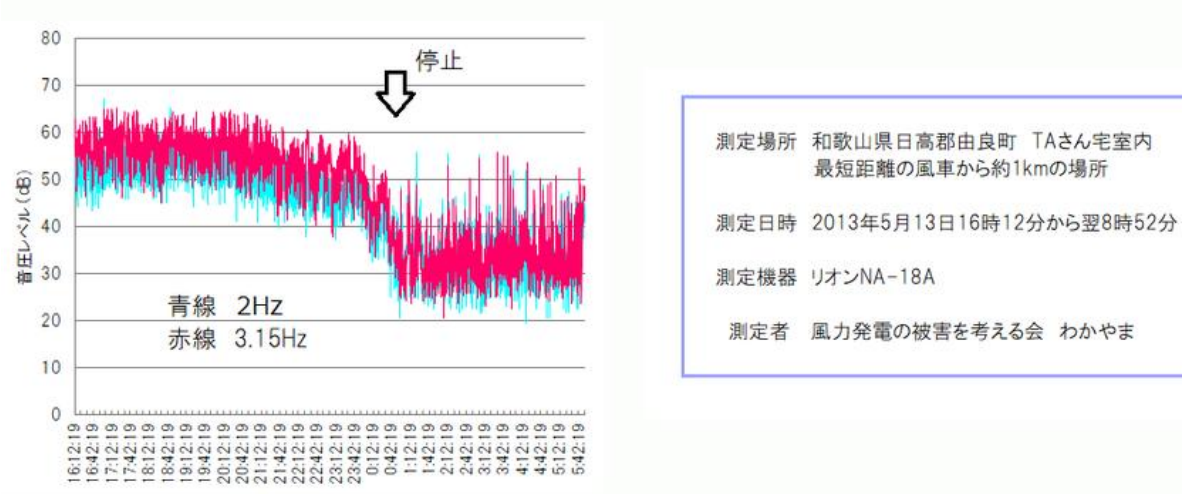


図３　風車稼働時から停止時までの超低周波音（2Hz、.15Hz）の時間的推移

このグラフでは、２Hz、３Hz の音の音圧は下がるが、周波数は変化しないことを意味している。
停止するのだから、回転数は減少するはずです。

環境省の理論が正しいならば、周波数は連続的に変化して 0Hz に近づくはずです。
この計測結果が正確ならば、環境省の理論は成立しません。

この図についての HP の説明には、
風車のブレードがタワーを通過するとき､超低周波音が発生し､ロータの回転数により周波数は変わります。上記 3 か所の測定はおそらく 20 回転/min 前後だったのでしょう。1/3 オクターブバンドという粗い測定であるので、2Hz、3.15Hz の周波数帯で一致したものだと思われます。

と書いてあるが、図の説明と、グラフの説明に矛盾がある。

計測機材は、リオン社 NA-18A であり、
NA-18A は周波数補正回路に G 特性を備え、1/3 オクターブの実時間分析機能を装備した低周波音レベル計であり、後述する G 特性周波数補正回路及び 1/3 オクターブバンドフィルターの国内、国外規格に適合します。周波数補正回路、実効値検波回路、1/3 オクターブバンドフィルターは DSP によるデジタル演算を採用し、プリアンプ一体型の 1 インチセラミックマイクロホンである低周波マイクロホン UC-24 と本体で構成され、本体の液晶表示器、操作キースイッチ、AC 出力端子、シリアル通信端子、及び赤外線通信窓等を備えています。
適合規格
G 特性周波数補正回路： ISO 7196：1995
1/3 オクターブフィルター： JIS C 1513：1983 III 型、IEC 61260：1995 Class1
測定機能
低周波音圧レベル： 平坦特性（FLAT：周波数範囲 1 ～ 100 Hz）
低周波音圧レベル： 平坦特性（DR：周波数範囲 1 ～ 500 Hz）
G 特性音圧レベル： LG
1/3 オクターブバンド実時間分析（分析周波数範囲 1 ～ 80 Hz）
演算： 瞬時音圧レベル Lp、等価音圧レベル Leq、

最大音圧レベル Lmax

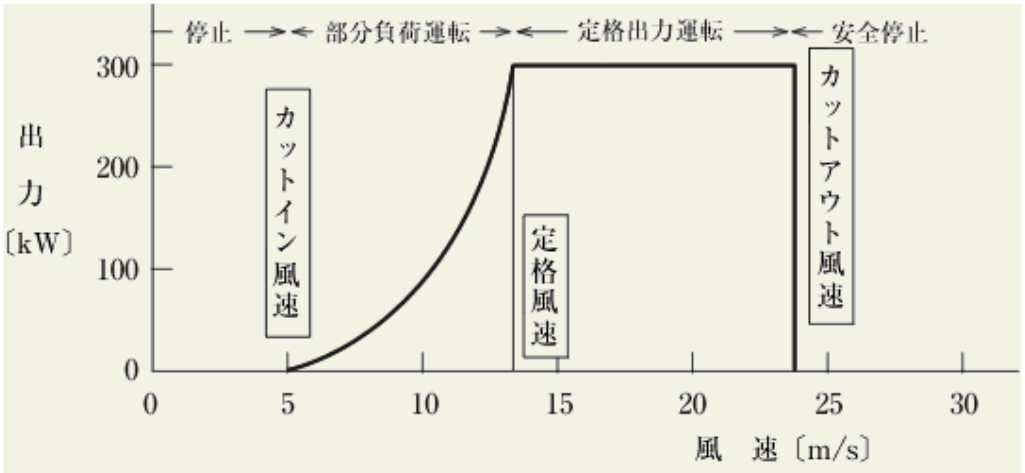
という性能です。

“風車のブレードがタワーを通過するとき、超低周波音が発生し、ロータの回転数により周波数は変わります。”
が正しいならば、風車が止まる過程では、それまで強く表れていた、2Hz、3.15Hz の音は、回転が遅くなるにつれて、周波数がより低くなるはずである。
表示機能のせいで、消えているのかもしれないが、風車が停止する過程で、音の周波数が低くなる様子は観察できない。

このことをはっきりさせるのは簡単です。

風力発電システムは一定風速以上になると発電を開始し、出力が発電機の定格出力に達する風速以上ではピッチ制御あるいはストール制御による出力制御を行い、更に風速が大きくなると危険防止のためロータの回転を止めて発電を停止する。第5図はこの運転特性例を示したものであり、性能曲線あるいは出力カーブ(パワーカーブ)と呼ばれ、風力発電システムの性能を示すものである。おのおのの風速をカットイン風速、定格風速、カットアウト風速と呼ぶ。これらの風速値は機種によって異なるが、一般に以下のような値が採用されている。

カットイン風速:3~5m/s
定格風速:8~16m/s(定格出力に依存)
カットアウト風速:24~25m/s

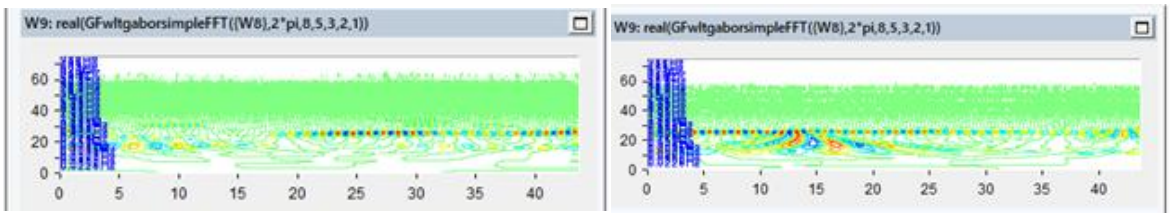


第5図 風力発電のパワーカーブ

カットイン風速で風車が回り始めてから、定格風速になるまで、精密騒音計で録音して、そのデータを Wavelet 解析にかければ良いのです。

７．１４．３ 例3：

私の観測では、２分間のデータは



となって、0.8Hz の周波数の低周波音が特に強い状態が 100 秒程度継続していることが分かります。

右側のグラフでは、0.8Hz の成分は右端の方で色が薄くなっている。これは、音が弱まっていることを示します。

もし、風車の回転数が落ちたことが原因ならば、0.8Hz の波は、下の方に U の字型に垂れ下がらなくてはならない。

直線のままで、色が薄くなるのは、周波数が変わらないで、音が弱くなる現象を示す証拠です。

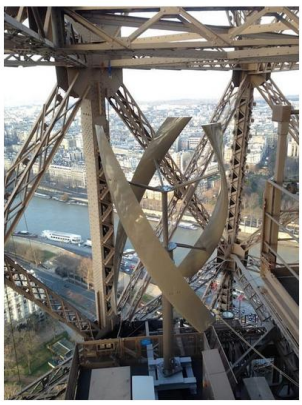
今のところ観測例が少なくて、周波数を決定する物理的な要因の特定は出来ていません。より多くの観測結果と有限要素法による解析が必要です。

これらの理由で、回転数と周波数を直接結び付ける考え方は、納得できないのです。

と思っていましたが、拡大して調べたら、周波数が風車の回転数に対応して変化していることが分かりました。

回転数と周波数は直接的に結びついていました。さらに、倍音構造も確認できたし、その原因も分かりました。

機会があれば、下の写真のような風車の騒音を計測してみたいと思っています。



左は、

沖縄県南城市における垂直軸型マグナス式風力発電1kW（キロワット）機の実証実験の様子

右は、パリのエッフェル塔にある風車。

回転軸が垂直の風車は、音も静かで、振動も少ない。しかも、弱い風で回転を始めて、かなり強い風でも

発電を継続できると聞いています。発電できる風速の範囲を確認する必要があります。パリのエッフェル塔に設置されている風車は、振動の問題や騒音問題を起こさないようです。

８．環境省への疑問

環境省は、
風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル、（３ページの説明）に於いて、

“風雑音
風がマイクロホンにあたることにより発生する雑音。測定においてはウインドスクリーン（防風スクリーン）を装着することにより風雑音を低減する必要がある（3.1(2)参照）。
風により発生する葉擦れ音や風音は自然音であり風雑音ではない。“
“3.2 騒音の測定機器
（７ページの説明）
(2) ウインドスクリーン（防風スクリーン）
風車の有効風速範囲の風況下で騒音を測定する際には、一般的に用いられる直径 10 cm 以下のウインドスクリーンでは、風雑音を十分に低減することはできない。風雑音の影響を低減するためには、より大型の、全天候型のウインドスクリーンを使用する必要がある。
風の影響が大きい場合には二重のウインドスクリーン等の、より性能の良いウインドスクリーンを使用する。
（注） 二重ウインドスクリーン等を使用しても風雑音を十分に除外できない場合には除外音処理を行い、風雑音の影響範囲を除外する等の対応が必要である。“

と言っています。

“除外音処理”をしなさいと言っています。
計算から除外する方法は沢山あります。でも超低周波音を除外する方法は無いのです。

“風雑音：**風がマイクロホンにあたることにより発生する雑音**。”
を主張する環境省や学者様が、精密な周波数スペクトルを示せない理由を纏めておきます。
風は方向や速度を変えます。次の表は、気象庁が計測したデータを、気象業務支援センターから入手したものです。

年	月	日	時	分	秒	前10秒間最大瞬間風速	前10秒間最小瞬間風速	前10秒間風程
						0.1m/s	0.1m/s	
2019	2	2	0	12	40	147	124	132
2019	2	2	0	12	50	146	107	131
2019	2	2	0	13	0	122	82	102
2019	2	2	0	13	10	105	65	83
2019	2	2	0	13	20	112	71	82

（前 10 秒間風程は、10 秒間に風が進む行程を意味します。132 は秒速 13.2ｍの風速です。）
風速も風向も不安定なのです。

風の強さの変動のグラフは次の様になります。

（上のグラフは、2019 年1月1日の24時間分の記録です。）
W1（上段左）は、前 10 秒間最大瞬間風速の値（10 秒ごと）、
w2（上段中央）は、前 10 秒間最小瞬間風速の値（10 秒ごと）、
w4（2段目左）は、最大瞬間風速（3秒間移動平均）の値（1分ごと）、
w5（2段目中央）は、最小瞬間風速(3 秒間移動平均) の値（1分ごと）、
です。

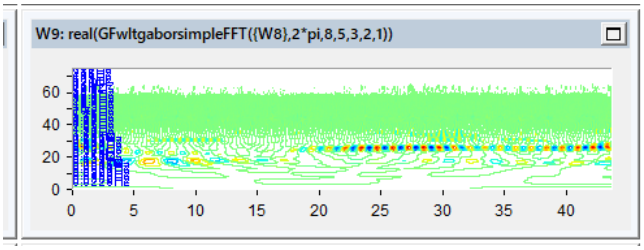
風速や風向が細かく変化すると、風がマイクに当たるときの圧力も細かく変化します。ある一定の周期でマイクに当たる風の強さが変化しないと、風雑音を記録したデータの周波数は変動するはずです。

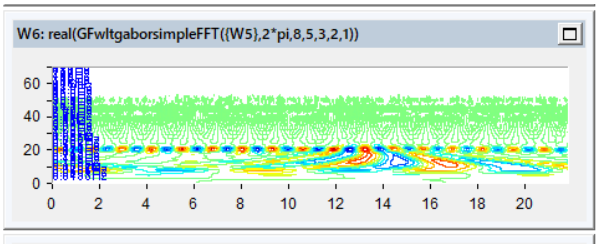
しかし、地上1mあたりで記録された風雑音の周波数スペクトルは、細かく変化するマイクに対する風の圧力の変動を反映しません。

風車の近くで記録された“風雑音”の周波数スペクトルを調べれば、最大音圧となる周波数は、f ＝RZ/60 （Hz）になっているのです。マイクに当たる風は風車の回転に対応する周期で、マイクに対する圧力を変動させていると考えるしかないのです。

さらに、風速が変化しても、風車の回転に対応して、風雑音の周波数も変動するのです。風はマイクに対して加える圧力を、風車の回転の変化に合わせて正確に変化させるのです。

周波数と音圧の変化の様子は次のグラフです。





0.8Hz 程度の周波数成分が、0.3 パスカル程度の強さで放出される状態が 100 秒程度継続することが分かります。共鳴や共振現象などを発生させ、寝ている人間を起こすには十分な継続時間です。

色が比較的濃い部分は 0.8Hz 辺りの音が強いことを表します。
この線が上に上がれば周波数が高くなり、下に下がれば周波数が低くなったことを表します。色が濃い場所は音が大きいことを意味します。薄い色は音が小さいことを意味します。

もし風雑音だというならば、なぜ風車の回転に合わせて地上1mの場所でのマイクに対する圧力を正確に変化させることが出来るのかを説明する必要が生じます。
ですから、詳細な周波数を調べることを禁じるのです。二重防風スクリーンを付けて屋外で測れ、データに残ってしまったら、除外音処理をしろ、というのです。
激しく変化する風がマイクに当たるときに、正確な周波数スペクトルを作り出すというならば、環境省の主張は物理学を根底から破壊することになります。そこまでの勇気が無いので、測るな、見つけたら除外しなさい。と言うのです。

環境省が“風雑音”説を主張するならば、“風雑音”の周波数が倍音構造を持つ理由を説明する必要があるのです。

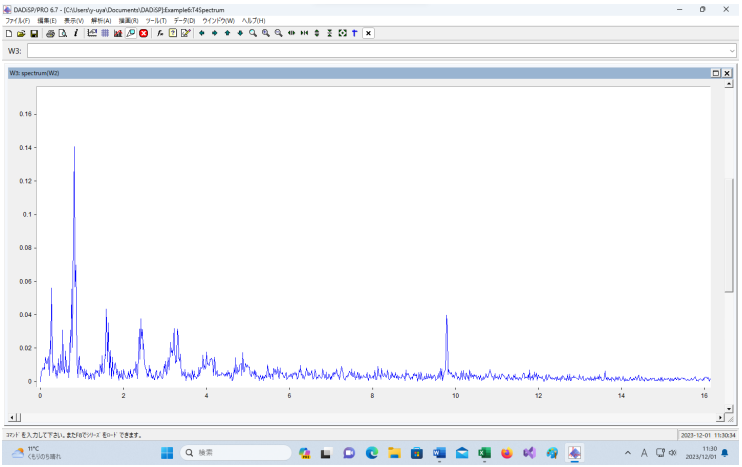


図.3 Wind turbine noise (0～25Hz)

音圧がピーク値となるときの周波数に、次のような規則性がある。

周波数	周波数/0.8167	音圧[Pa]
0.2667	0.3266	0.0560
0.5333	0.6530	0.0309
0.8167	1.0000	0.1405
1.5833	1.9387	0.0436
2.4167	2.9591	0.0377
3.2167	3.9387	0.0317
4.0000	4.8978	0.0177
4.8667	5.9590	0.0173
5.4667	6.6936	0.0101
6.2667	7.6732	0.0098

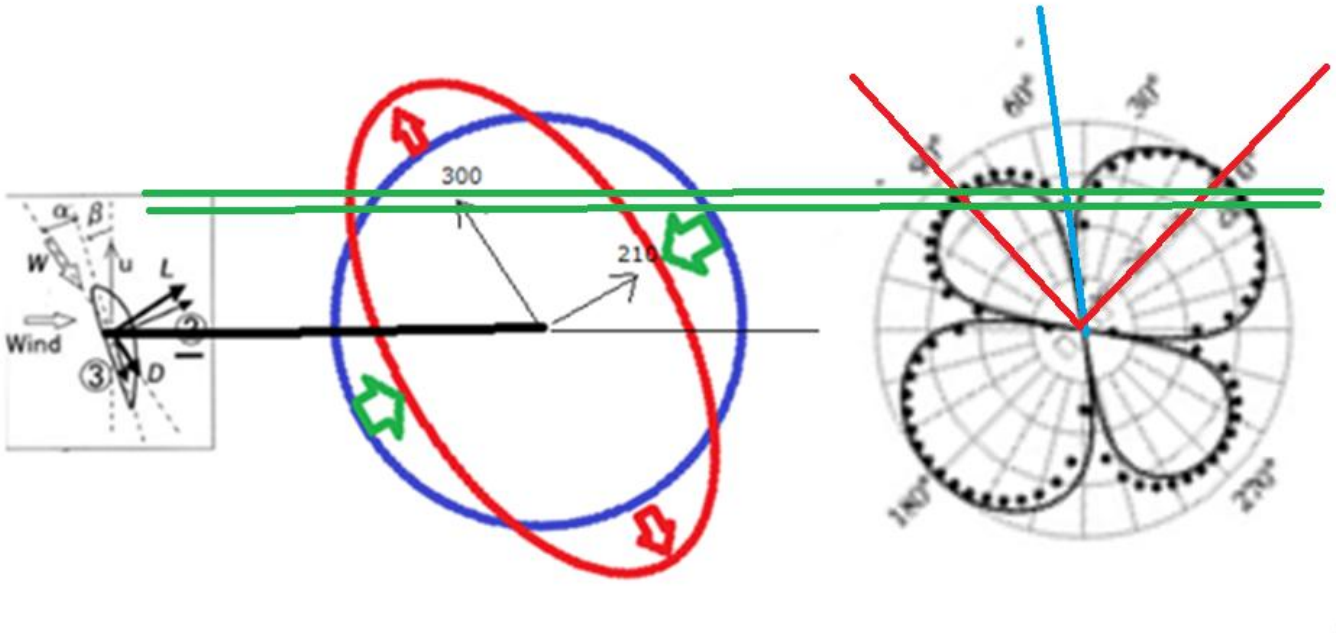
風切り音だと考える場合は、0.2667Hｚと 0.5333Hｚでピーク値となる理由や、風車音の指向性の説明が難しくなると思います。

不思議な“風雑音”の性質についてさらに考えます。

風車音の指向性については、風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について、に書かれています。

これは、風車を中心にして、“風雑音”が特定の方向で強くなるという事です。すなわち、マイクに当たる風は、特定の方向に関して同時に強くなったり弱くなったりしなくてはならないのです。

このように、不安定な風が、マイクに当たるときには、



上の図のような指向性を実現するように動く必要があるのです。

風が強ければ、風雑音が大きいと仮定すると、水平に引いた緑の線が風の向きです。風が緑の線に沿って左から右に流れるとします。

最初に赤い線に当たるときは、音圧が高いので風速も大きい。次に青い線に当たるときは、音圧が低いので風速は小さい。再度赤い線に当たるときは、音圧が高いので風速が大きい。となります。

風速は、赤い線の所では早く、青い線の所では遅いのです。風が、赤い線と青い線を認識して自ら風速を調整してくれなければ、このようなことは起きません。これが起きなければ風車音は指向性を持てないのです。

離れた場所の風が、同じような動きをしなくてはなりません。 空気の粒子は、これほど統制された動きをするのでしょうか？

さらに、風がどのようにマイクに当たれば、1Hz で 70ｄB となるような数値が、精密騒音計に記録されるのでしょうか？

マイクの振動版の運動を考えると、風ではなく、空気密度の変動が必要なことが分ります。風は、どのようにして、空気密度の変動を引き起こすのでしょうか？

風車音が、“風雑音”説では説明困難な指向性を持っていることは、次の論文に書かれています。

風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について

（菊島 義弘,長島久敏,橋本 晶太,鯨岡 政斗,濱田幸雄,川端 浩和,小垣 哲也）

によれば、

RION 製 NL62 を風力発電システム周りに 4 台、JIS4)音響パワー計測用として 1 台使用している。風力発電システム周りを計測する騒音計マイクロホンは、卓越風向(北を 0 度とした 300 度方向)から 90 度ごととし、配置場所は図 1 に示すように 300 度、30 度、120 度および 210 度、タワー中心から 22m の位置に配置している。4 台の騒音計マイクロホンは固定とし、他の角度はナセルが回転することで角度が変化することを利用している。

オーバーオール値は客観的に約 200 度の位置のレベルが高くなっている。この位置はキャンセレーションメカニズムが働きレベルが低下する位置であり指向性の予測とは逆の現象が現れている。

予測と反する結果を調べるため 1/3 オクターブバンド分析結果を調査した。図 6 にはブレード数×回転数 (Bin 5 の場合 1.6Hz) の分布図を示す。図中の凡例は風速差を表している。ブレードの回転騒音が主音源である 1.6Hz では、オーバーオール値と同じような傾向を示しており、約 200 度の位置で Leq が最大となっている。回転騒音はブレードが振り下ろされる位置が最大値となっており、マイクロホンに対し旋回流からの騒音、回転方向に流れる騒音が重畳され、Leq が増大しているものと考える。逆に降り上る方向の Leq は最小となっている。

5. 結 言

風速の影響による指向性特性調査を行い、1/3 オクターブバンド分析することで以下の知見を得た。

1) 低周波数では旋回流の影響と思われる騒音によりブレード振り下ろし面の騒音が増大することを示した。

2) 中型風力発電システムではブレードのキャンセレーションメカニズムは 1kHz 周辺にだけに発生していることが確認でき、正面、側面のレベル差は約 20dB、音響パワーとして 1/100 まで減少していることを示した。

3) 指向性特性は、風速の影響を受け、ブレード前方の Leq よりもブレード後方の Leq レベルが下がることを示した。上述の結果から風力発電システムの音響放射特性は全方向に対して一様ではないことが分かった。

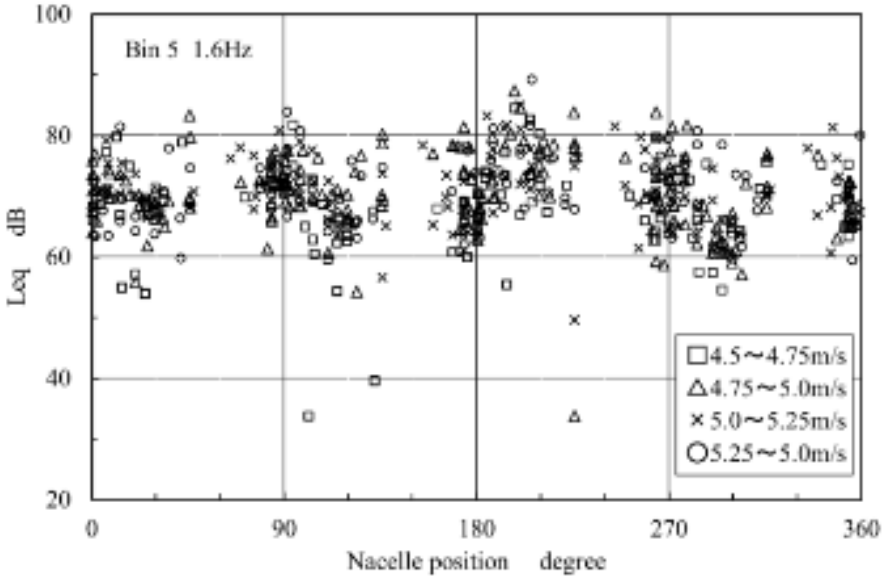


図 6　Bin 5 中心周波数 1.6Hz の指向性分布

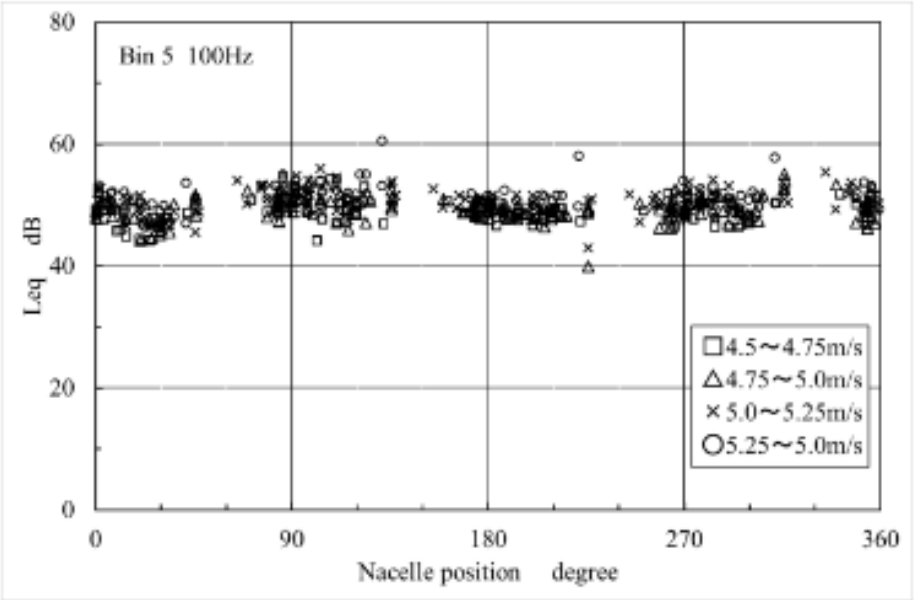


図 7　Bin 5 中心周波数 100Hz の指向性分布

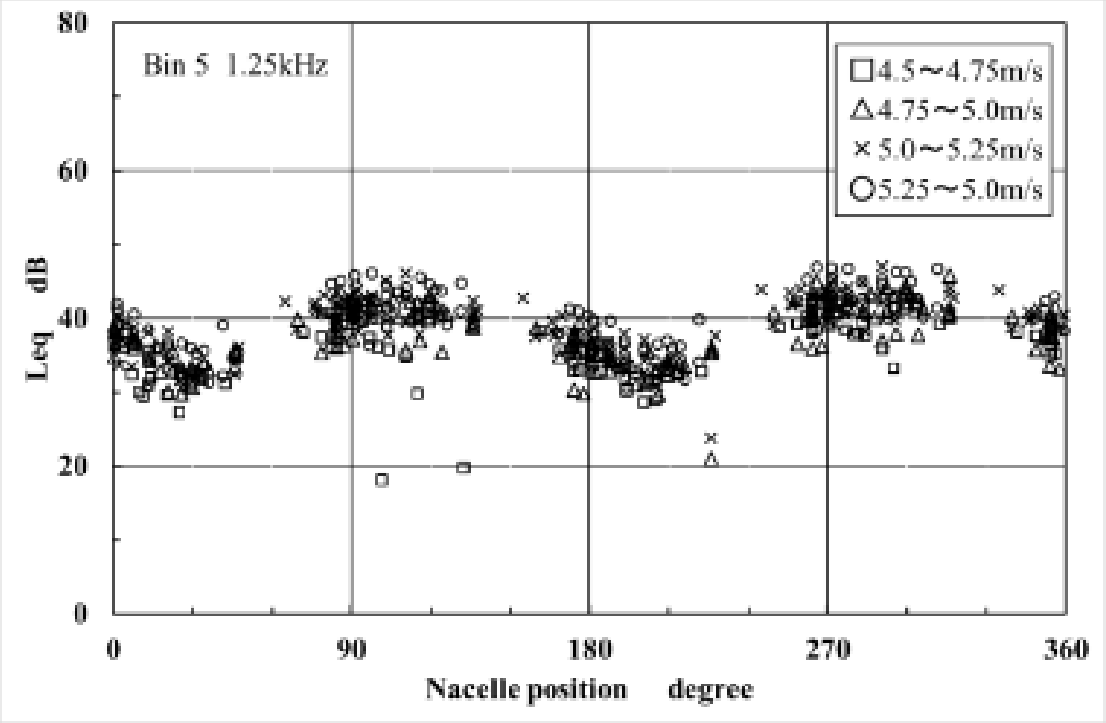


図 8　Bin 5 中心周波数 1.25kHz の指向性分布

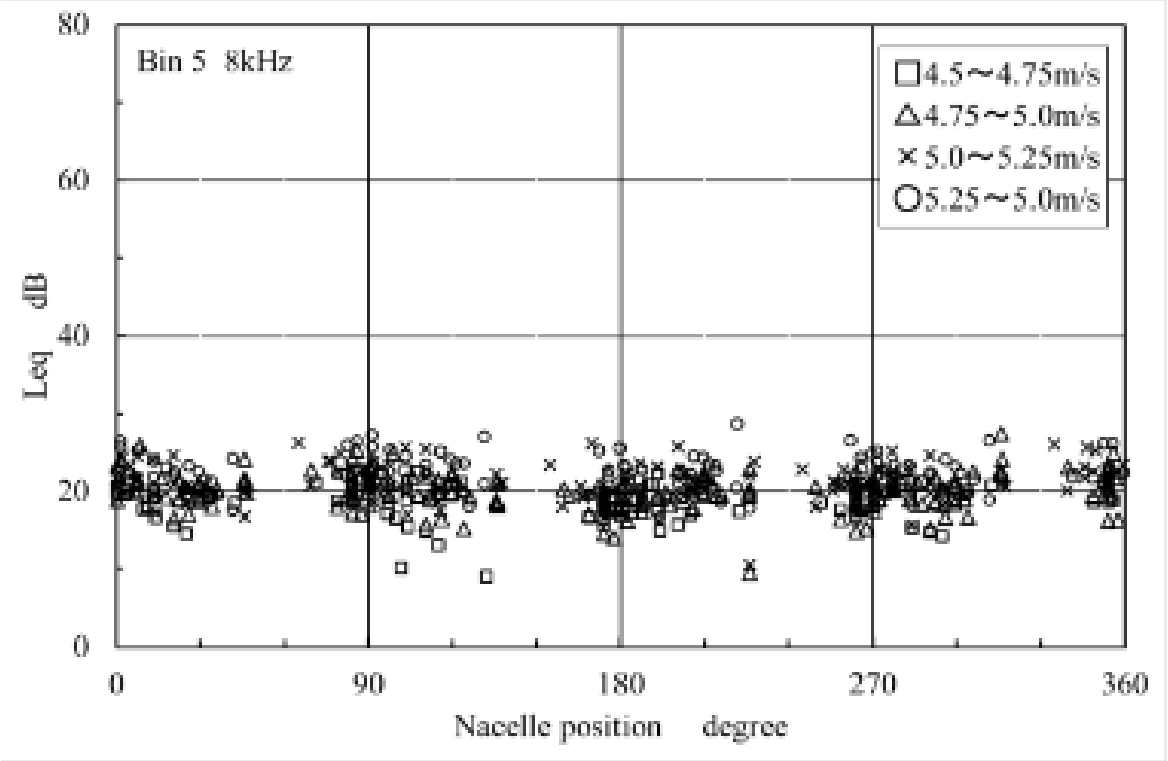
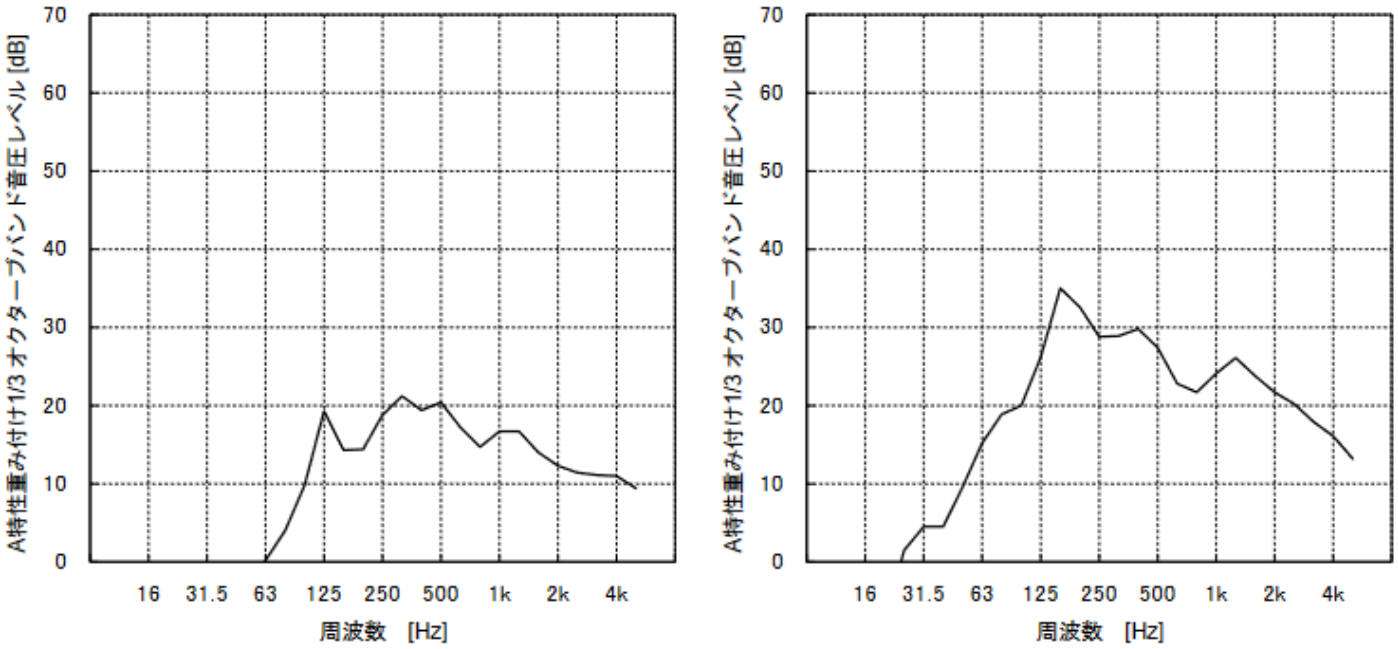


図 9　Bin 5 中心周波数 8kHz の指向性分布

９．除外音処理

“風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル 平成２９年５月 環境省”には、

B.4 周波数特性
残留騒音および風車騒音の周波数特性は、実測時間の 1/3 オクターブバンド音圧レベルの周波数特性として作成する。測定例を図 B.1 に示す。



(a). 残留騒音の周波数特性　　(b). 風車騒音の周波数特性

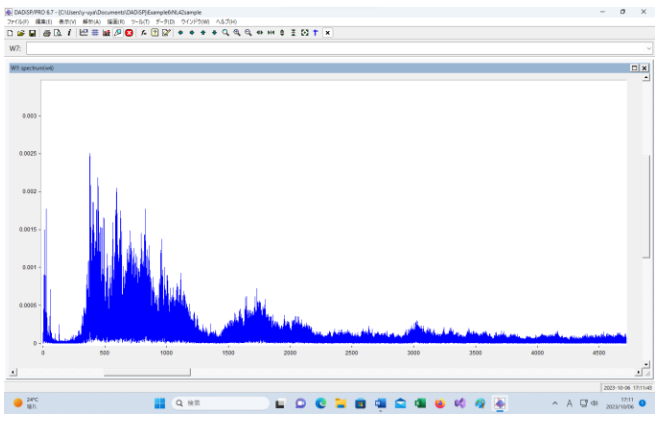
図 B.1 周波数特性の表示例

右側のグラフを見れば、20Hz 以下は 0 として扱われます。

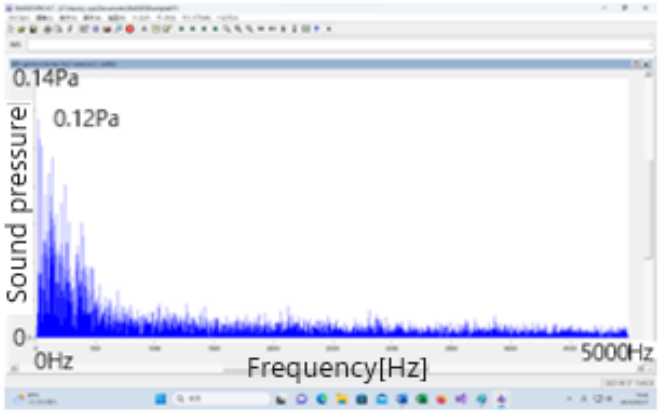
大型風車では、f=RZ/60＝0.5（Hz）程度ですから、騒音を計算する場合には、完全に無視されます。

周波数スペクトルは、

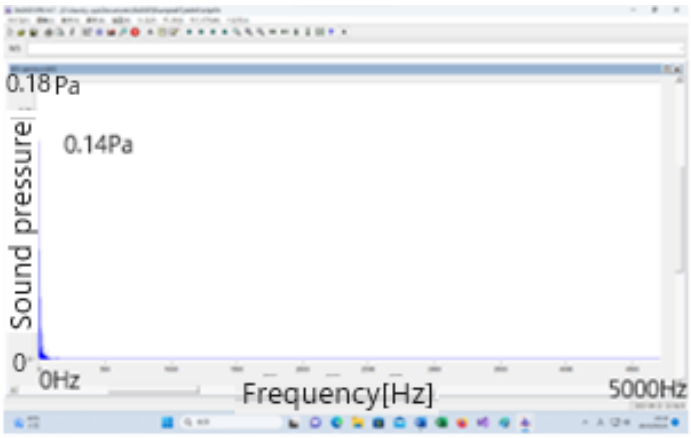
交通騒音（０～5000Hz）



工場騒音（０～5000Hz）



風車騒音（０～5000Hz）



風車音は、左端の細い線で表されています。

エネルギーの分布

表２．エネルギーの分布

エネルギー分布	０～20Ｈｚ	20Ｈｚ以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

0～20Hz でのエネルギーの分布

Energy distribution	0～1Hz	1～20Hz	0～20Hz
Wind turbine	61.3%	38.7%	100.0%
Iron mill	0.04%	99.96%	100.0%

ですから、A 特性音圧レベルが低くても、原因不明の圧迫感や頭痛が起きるのです。もちろん、風車を停止させれば解消します。これを、普通は風車音に原因がある。と判断するのですが、A 特性音圧レベルの数値で原因か否かを判断すれば、A 特性音圧レベルの数値は、あまりにも小さい値になっているので、原因不明となるのです。

性能の良い精密騒音計を使う場合は、超低周波音が計測されてしまうので、防風スクリーンを付けて、10～13ｄＢくらい低い値になる様にする。

“風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル 平成２９年５月 環境省”
の３ページには、
“2.3.5　風雑音
風がマイクロホンにあたることにより発生する雑音。測定においてはウインドスクリーン(防風スクリーン)を装着することにより風雑音を低減する必要がある（3.1(2)参照)。
風により発生する葉擦れ音や風音は自然音であり風雑音ではない。”
とあり、７ページでは、
“(2) ウインドスクリーン（防風スクリーン）
風車の有効風速範囲の風況下で騒音を測定する際には、一般的に用いられる直径 10 cm 以下のウインドスクリーンでは、風雑音を十分に低減することはできない。風雑音の影響を低減するためには、より大型の、全天候型のウインドスクリーンを使用する必要がある。

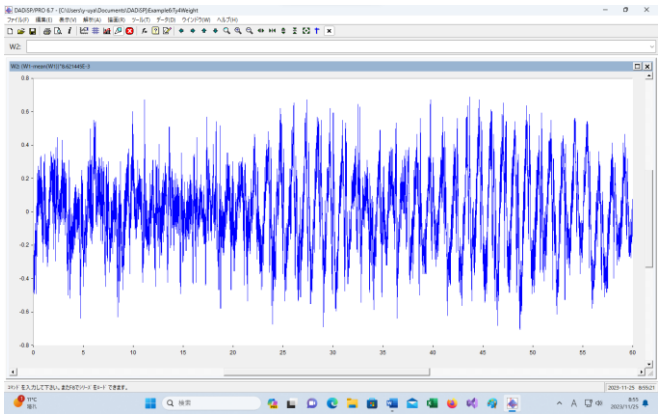
風の影響が大きい場合には二重のウインドスクリーン等の、より性能の良いウインドスクリーンを使用する。

（注）　二重ウインドスクリーン等を使用しても風雑音を十分に除外できない場合には除外音処理を行い、風雑音の影響範囲を除外する等の対応が必要である。“

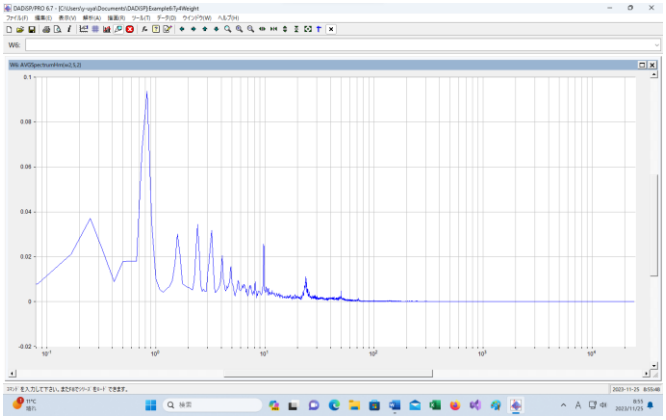
となっている。“除外音処理”で消し去る工夫をしています。

　除外音処理は、いろいろ考えられますが、具体例を１つ示します。

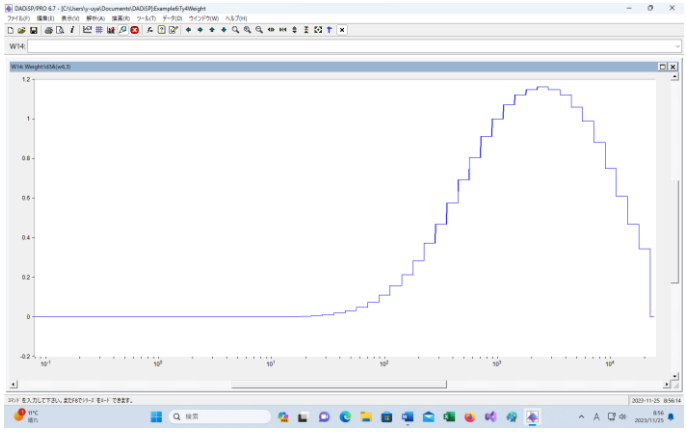
これは、計測された風車音のグラフ



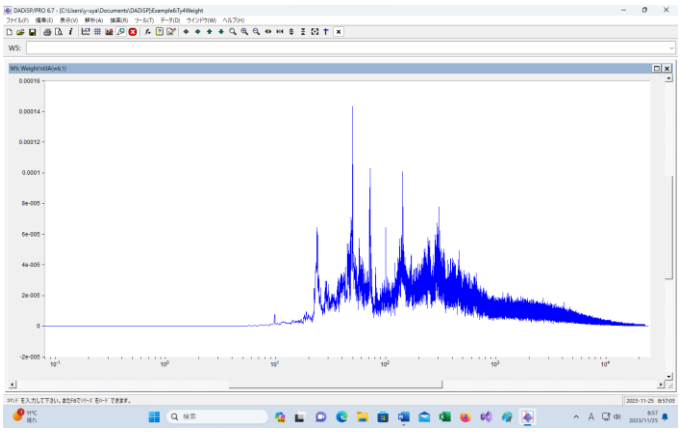
ハミング窓を使った周波数特性（Pa 表示）



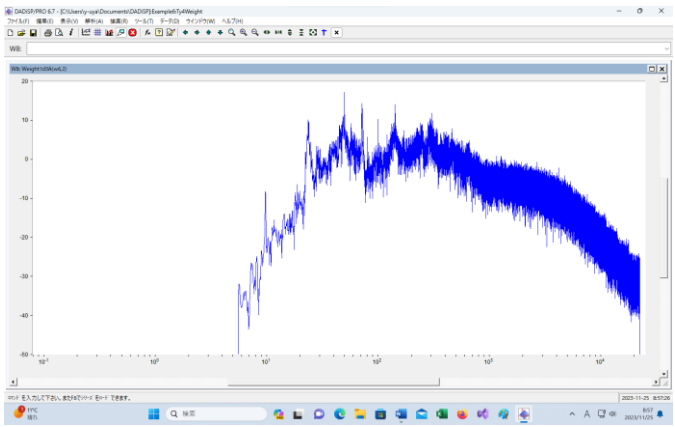
A 特性による窓関数



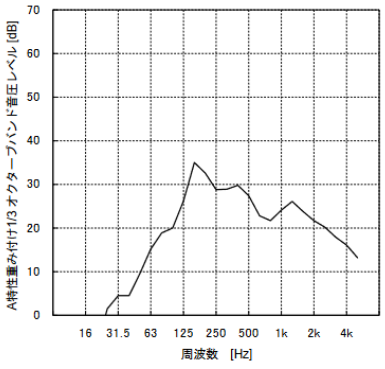
A 特性の窓関数を使った周波数特性（Pa 表示）



A 特性の窓関数を使った周波数特性（ｄB 表示）



左のグラフを周波数帯ごとに纏めたもの。



(b). 風車騒音の周波数特性

グラフから、超低周波音を消すのは簡単ですが、風車からの超低周波音そのものは消せません。
“除外音処理”をした結果のグラフを見ながら、風車被害を考えれば、原因が不明になるのです。
はっきり言えば、原因不明になる様に、問題点を消し去ったグラフを作ったという事です。
これが、環境省の指示する、“除外音処理”なのです。
大型化する風車の超低周波音は 0.5Hz の辺りで、最大音圧となる。音圧が高ければ圧迫感を覚え、不快になる。これに備えては、“超低周波音はすべて知覚閾値以下である。”と言って、超低周波音に関する訴えを門前払いする。

ここまで来ると、
“超低周波音は存在しない。それは、除去すべき風雑音である。”
とはっきり言ってしまえば、楽になります。

１０．行政と学者と企業

行政：

県や市は、環境省に従順です。

環境省水・大気環境局長　からのお知らせ、「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」、の（別紙）、風力発電施設から発生する騒音に関する指針、には、

“環境省では、平成 25 年度から水・大気環境局長委嘱による「風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会」を設置し、風力発電施設から発生する騒音等を適切に評価するための考え方について検討を進め、平成 28 年 11 月 25 日に検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」を取りまとめました。今般、同報告書を踏まえ、風力発電施設から発生する騒音等について、当面の指針を別紙のとおり定めたので通知します。貴職におかれては、下記に示した本指針策定の趣旨等及び別紙の指針、並びに風力発電施設から発生する騒音等の測定方法について別途通知する**「風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル」を、騒音問題を未然に防止するために対策を講じ生活環境を保全する上での参考としていただく**とともに、関係の事業者等へ周知いただくなど格段の御配意をお願いいたします。”

と書かれている。

“風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル　平成２９年５月　環境省”

の３ページには、

“2.3.5　風雑音

風がマイクロホンにあたることにより発生する雑音。測定においてはウインドスクリーン(防風スクリーン)を装着することにより風雑音を低減する必要がある（3.1(2)参照)。

風により発生する葉擦れ音や風音は自然音であり風雑音ではない。”

とあり、７ページでは、

“(2) ウインドスクリーン（防風スクリーン）

風車の有効風速範囲の風況下で騒音を測定する際には、一般的に用いられる直径 10 cm 以下のウインドスクリーンでは、風雑音を十分に低減することはできない。風雑音の影響を低減するためには、より大型の、全天候型のウインドスクリーンを使用する必要がある。

風の影響が大きい場合には二重のウインドスクリーン等の、より性能の良いウインドスクリーンを使用する。

（注）　二重ウインドスクリーン等を使用しても風雑音を十分に除外できない場合には除外音処理を行い、風雑音の影響範囲を除外する等の対応が必要である。“

とある。

風雑音を調べて、これは“風車からの超低周波音であり、除外できないものです。”と言ったら、環境省に怒られそうです。

防風スクリーンで 10ｄB～13ｄB くらい減らして測りなさいと言っています。室内では風が吹かないので、防風スクリーンは要りません。もし、屋外で防風スクリーンを付けて測った結果と、室内で防風スクリーン

を付けないで測った結果比較すれば、8Hｚ以下の超低周波音に関しては、室内での計測結果の方が大きな値となります。室内に於いて、風車の超低周波音による被害が判明してしまいます。

1/3 オクターブ解析ではなく、普通のデジタル信号処理の教科書にある方法で、周波数スペクトルを計算すれば、風車音と特徴が判明して、“風雑音”ではないことが明確になります。

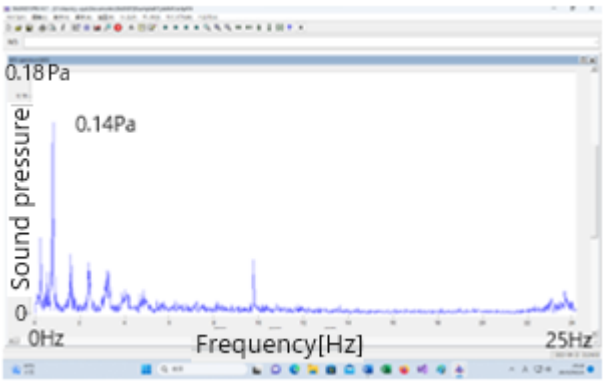


Fig.3 Wind turbine noise (0～25Hz)

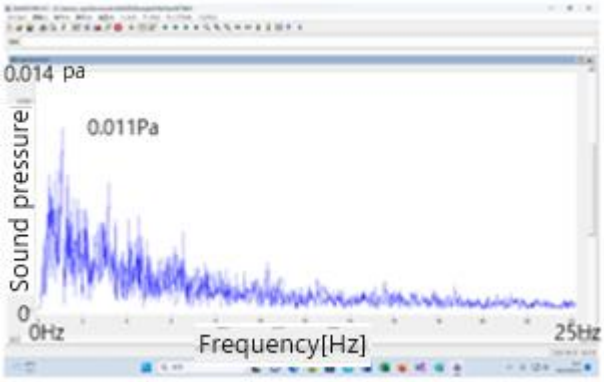


Fig.4 Nagao shrine (0～25Hz)；0.011[Pa](1.1Hz)

図３図４は 0～25Hz 範囲での、風車の近くで車内に機材を置き風下の窓を開けて計測した音（最大音圧0.14[Pa] (0.8Hz)）と、近所の長尾神社の階段にマイクを置き風が当たる状態で計測した音（最大音圧0.011[Pa] (1.1Hz)）との比較である。表３で風車の近くの“風雑音”の持つ規則性を詳しく記す。図４から風車の無い場所では音圧が低く周波数に規則性が無い事が分る。これらの“風雑音”の区別が必要である。

精密騒音計を持っていない県や市が多いです。精密騒音計を持っていても、十分な機能を持った解析ソフトが販売されていません。もし、県が持っていたとしても、計測はしてくれません。計測の立ち合いもしてくれません。

業者と住民と行政の３者が、それぞれの計測機材を持ち寄って、同じ場所で同時に計測して、その結果をネットに公開することが必要なのです。

建前として、業者が自分で計測して結果を発表することが原則になっているからです。

性善説に基づく法律も悪くはないが、機材費の負担を住民に負わせることや、解析のための技術、機材、学力が必要なのですから、もう少し行政が積極的に動いても悪くはないと思います。

そう思ったところで、現実には行政は動きません。

時代は自己責任の時代なのです。行政はその地域で生活する人の環境を守る立場から、その地域での掲載活動をする企業が活動しやすい環境を作るような立場に移行しつつあります。

学者：

風力発電についての意見聴取会（三重県松坂市、平成 21 年）においての発言。

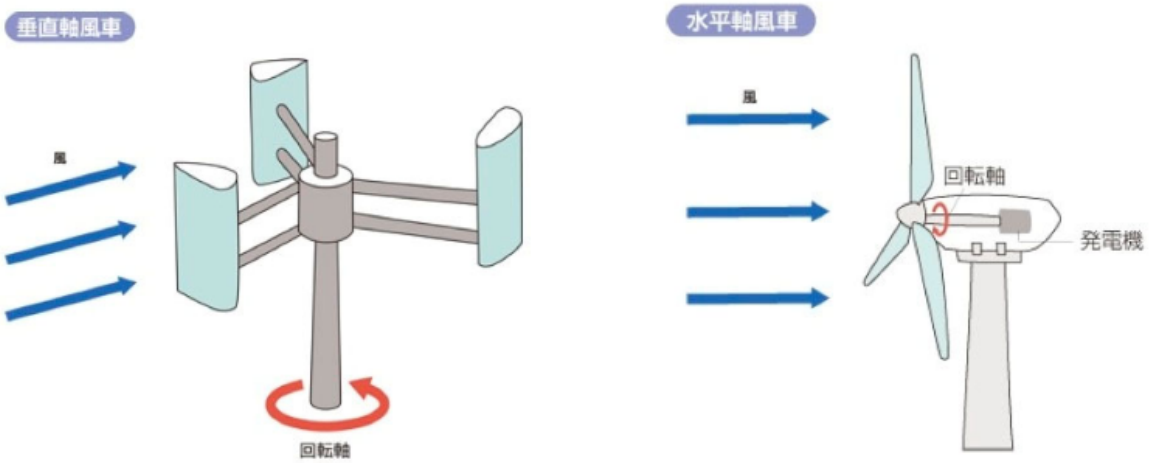
落合博明氏

“・風車から出る音として、羽の先端のシュッシュッという風切音、羽の回転に起因する低周波音、特にダウンウインドの風車になりますが、タワーの周りに渦ができてそれを羽がバサバサッと切る音、それからナ

セルから出る機械音などがある。
・風車には風上側に羽があるアップウインド、風下側に羽があるダウンウインドの 2 種類があり、特にダウンウインド型の風車は 1980 年代にアメリカで問題になった。ダウンウインド型であることと、羽とタワーの距離が近いこと、回転速度が速いことによってある特定の周波数が卓越した。それを受け、最近ではメーカーもアップウインド型の風車にするように工夫することが多くなり、ダウンウインドであってもタワーと羽の距離を広く取ることによって渦を小さくするような工夫をしている。
・最近の風車で問題になっているのは 100 ヘルツから 250 ヘルツ以下の騒音で特定の周波数が飛び出ていることによって問題になる場合がある。
・10 ヘルツの閾値は大体 95 から 100 デシベル程度であり、**聞こえなければ不快感などの影響はない**ということは専門家の一般的な意見である。
・騒音の動植物への影響について研究している専門家はあまりいないのでデータはほとんどない。低周波音については鶏や牛が室内にいる時に低周波音、超低周波音による建具のがたつきでびっくりしてしまったという例がある。室外にいて影響があったという話は知りうる中では聞いていない。“
と言っている。

“**聞こえなければ不快感などの影響はない**”と言う理由で、20Hz 以下の音を無視する。この超低周波音は、金属疲労による風車崩壊の重要な手がかりなのに、考えないことにしたようです。
風車の種類についても、回転軸が水平のものについてしか触れていない。回転軸が垂直の風車の話は忘れたのでしょうか？
風車騒音の特徴と指針・測定マニュアルについて、落合博明（小林理学研究所）には、下の説明がある。

風力発電機の種類



- **垂直軸風車：風向きに左右されず、発生する騒音は小さいが、軌道トルクが小さい。大規模化には向かない。**
- **水平軸風車：最も普及している。高速で回転でき発電効率がよいが、方位制御機構が必要。騒音が発生する。**
  - **アップウインド型風車:タワーがブレードの風下側にある。**
  - **ダウンウインド型風車:タワーがブレードの風上側にある。**

風力発電ー風の力で発電｜エネルギー新時代｜J-Net21[中小企業ビジネス支援サイト] http://j-net21.smrj.go.jp/develop/energy/introduction/2012011602.html

少し前は、低周波音の影響を、圧迫感として主張していたことを忘れてはいけないのです。

“低周波音の基礎および伝搬・影響・評価”（小林理学研究所　落合博明）には、

6.　低周波音苦情の分類

低周波音の苦情は人に関する苦情（心理的苦情、生理的苦情）と建物等に対する苦情（物的苦情）に大きく分けられる。低周波音苦情の分類を表-3に示す。

表-3　低周波音苦情の分類

心理的苦情	睡眠妨害、気分のいらいら
生理的苦情	頭痛、耳なり、吐き気、胸や腹の圧迫感
物的苦情	家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動、瓦のずれ

とありました。

f=RZ/60（Hz）を計算すれば、今の大型風車では、0.5Hz 程度になります。これは超低周波音であり、この周波数の音が、大きな音圧を持つことは計測からも、計算からも明らかになります。

落合氏の昔の論文に従えば、“心理的苦情”の項目にある、頭痛、耳なり、吐き気、胸や腹の圧迫感が発生する原因が、0.5Hz の音と考えるべきです。

学者は、物忘れが得意です。

企業：

社業の発展を欲せば先ず信用の昂揚に努められたし

工事施工に当たりては親切を旨とし得意先の不安の除去に努められたし

相互に共存共栄を基とし一致協力して業を励み成績向上に努められたし

経営理念

建設を核とした事業活動を通して、国内外において自然との調和のとれた人間活動の場を構築し、 優れた総合力を発揮して社会に貢献する企業集団を目指す。

一貫した高品質な顧客サービスと企業環境との調和を図り、社会に豊かさを提供する、 創造的な企業集団を目指す。

意欲と誇り、自信に満ちた社員に、多様な自己実現の場を提供する活力ある企業集団を目指す。

企業市民としての自覚と責任を持ち、品位を重んじた行動により、社会に評価される企業集団を目指す

地方交付税や、大学への補助金を考えたら、行政や学者が、“風騒音”や“除外音処理”で、環境省従うあまり、風車音の計測さえもしない理由は理解できます。もちろん、地方行政としての責任の放棄です。

熊谷組は、この社会の中で、何に対してどのような責任をもって、仕事をするのでしょうか？

１１．風車による被害

１１．１　各地の被害状況

日本各地に、風車の被害を訴える方々が沢山います。

11.1.1 被害情報1

三重県に住んでいる友人は、

2023/2/23 付けのメール
宇山様
お世話になります
音について　できる限り情報整理が出来てからお送りします
今　音で気になっているのは
現在稼働中の　㈱シーテック社のウィンドファーム笠取です　年中聞こえますが（離隔が２ｋｍです）
特に１０月から４月ごろまでが大きいです　音は耳で聴きとるのは異なる状況で難しいです
集落でよく聞こえる日の状況は　曇天　集落では風が弱い（その時は山では吹いているのでしょう）

2023/1/22 付けのメール
宇山様
お世話になり有難うございます
文中の㈱シーテックの稼働中の１９基の事業所名は「ウィンドファーム笠取」です
騒音は現在大きなスイング音が平木集落に届いています
よく聞こえるときは　ジェット機音のように聞こえます
シーテックを基準にすると、ＧＰＩの計画は離隔が近い　４２００ＫＷとシーテックの２．１倍大きいですので建設は危険と考えます
シーテック 28 基の事業名は　「ウィンドパーク布引北」　さるびの温泉から名阪道の加太町にかけて
評価書に進んでいるようです
私は準備書に自分の地域の事業のようにウィンドパーク布引北の関係地区と共に参加しました
行政に一緒に出向きました
まずはお礼まで

と言っています。

近くの山は、風車でいっぱいです。

図3　「青山高原風力発電所」の全景。出典：青山高原ウインドファーム

金属疲労での事故も起きました。

平成 25 年 5 月 2 日
株式会社シーテック

ウインドパーク笠取発電所 CK-19 号機風車 ナセル脱落事故について（ご報告）

1. ウインドパーク笠取発電所の設備概要と今回の事故概要

(1) ウインドパーク笠取の概要(図 1)

・所　在　地：三重県津市美里町および伊賀市上阿波地内
（CK-19 号機風車は津市美里町）
・定 格 出 力：38MW(2,000kW×19 基)
・運 転 開 始：第 1 期平成 22 年 2 月 22 日
第 2 期平成 22 年 12 月 15 日（19 号機風車は第 2 期分）

図 1　発電所位置図

(2) 風力発電設備の概要(図 2)

・風　　車：㈱日本製鋼所社製
・定 格 出 力：2,000kW
・定格回転数：19rpm（毎分回転数）
・ロ　ー　タ：直径 83.3m、ハブ取付高さ 地上 65m

(3) 事故の概要（写真 1）

・推定発生日時：平成 25 年 4 月 7 日 16 時 37 分～16 時 55 分の間

・事故の状況：発電機・ナセル・ブレードが脱落

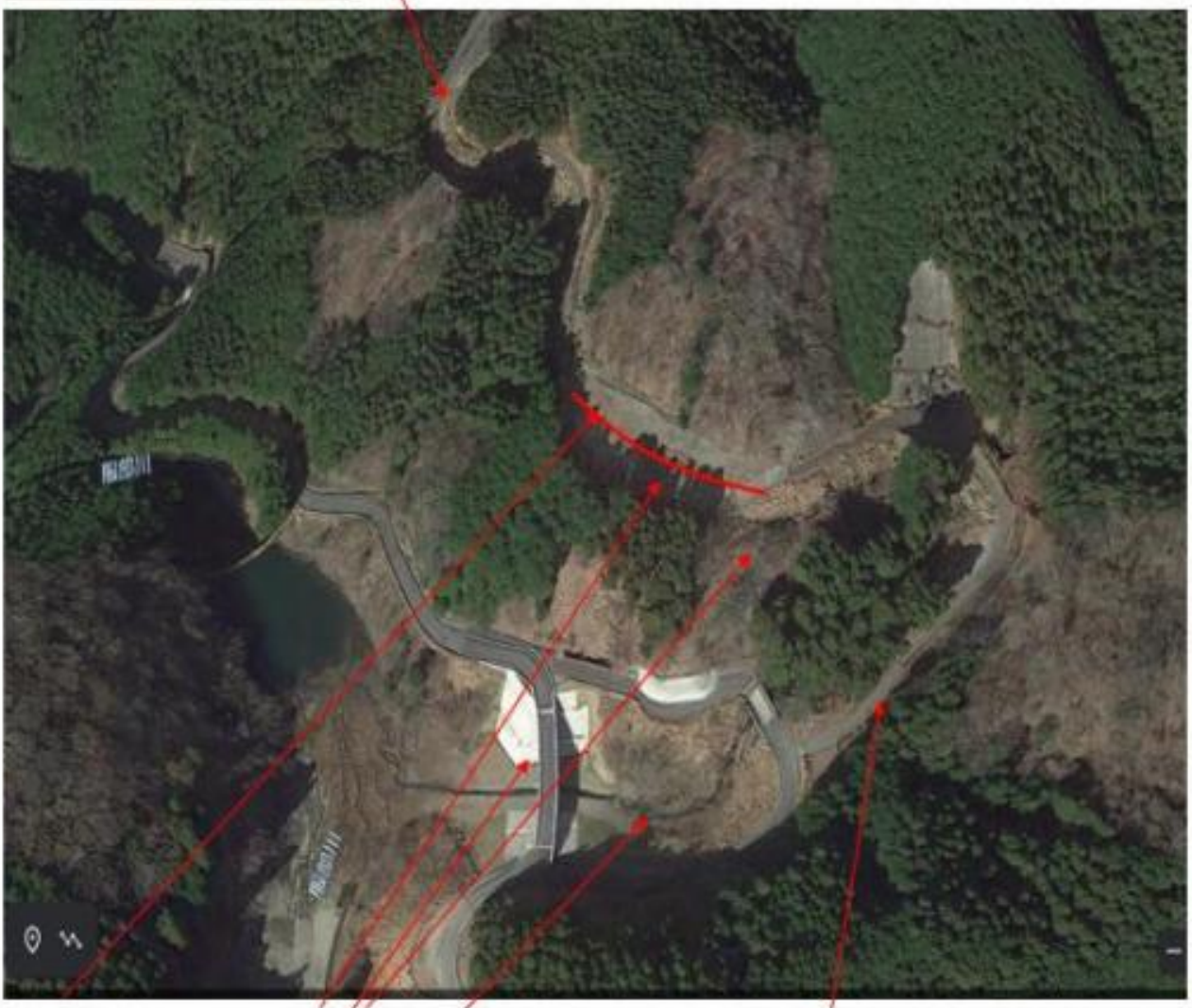
写真 1　タワー座屈・ブレード・ナセル脱落状況

風車建設で作った道路が崩壊しています。

さらに大規模な崩落も起きました。

１０月２３日伊賀市市道笠取線の㈱シーテック社ウィンドパーク笠取の崩落現場を見てきました、崩落は５年程前です、崩落が進むので㈱シーテック社が橋梁架け替え工事する、伊賀市に確認しました

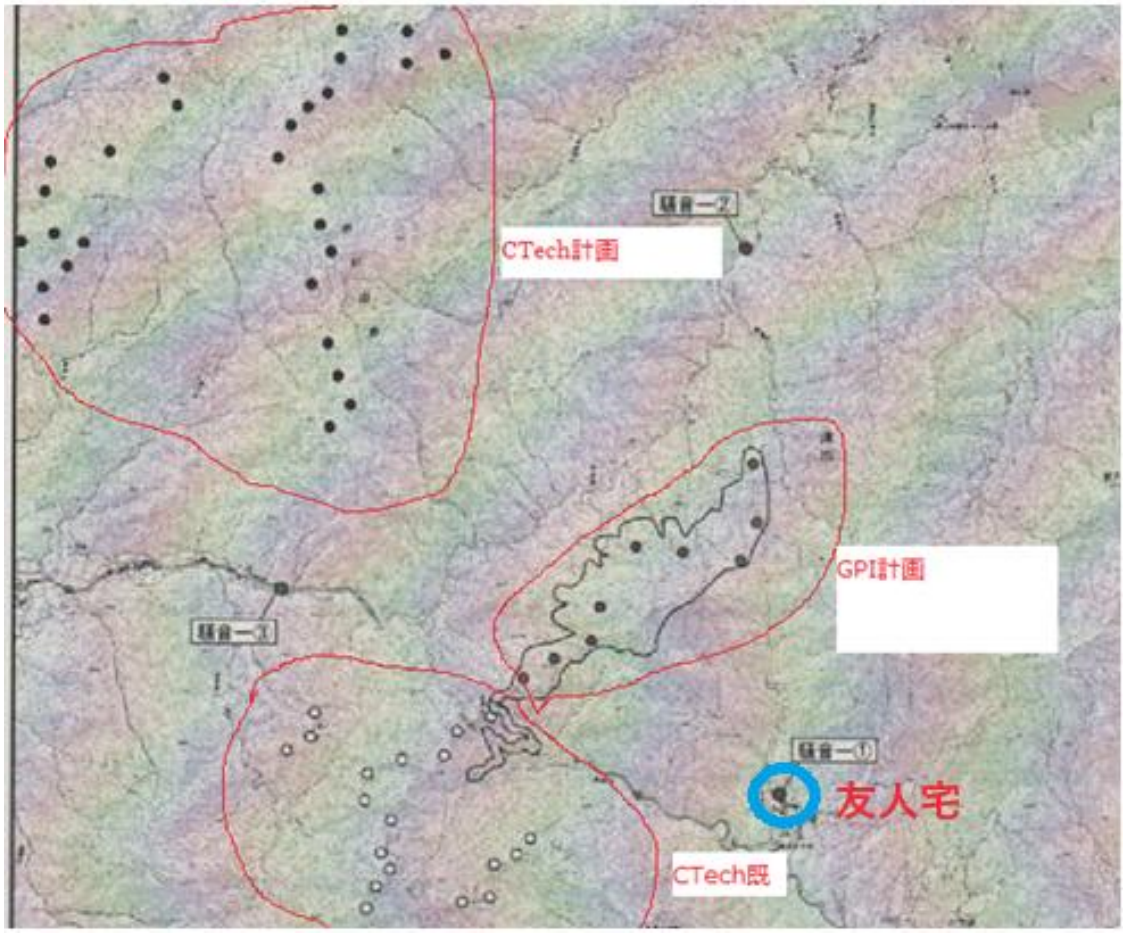
写真はウィンドパーク笠取の伊賀市上阿波地区からです。
崩落現場の上では風車が稼働しています。発電所内には崩落している所、形跡があります。小委員会でも在りましたが地層は花こう岩、
崩落は風車の振動も一要因の説があります。



元の管理道路　　崩落場所　服部川　　㈱シーテック社（笠取）管理道路

㈱シーテック社が自費で建設をした橋梁（１億円～　以上）

友人が住んでいるのは、水色の丸印の平木地区です。とても静かな場所です。



騒音は、３３～３６ｄＢの場所でした。

【騒音（施設稼働）】予測及び評価結果

Green Power

施設の稼働による騒音の影響

▶ いずれの地点においても指針値を**下回っております。**

【春季】（単位：デシベル）

予測地点		現況値	将来予測結果	環境省指針値
騒音－①平木地区	昼間	34	35	40
	夜間	36	37	41
騒音－②河内中地区	昼間	43	43	48
	夜間	43	43	48
騒音－③上阿波地区	昼間	40	41	45
	夜間	39	40	44

【冬季】（単位：デシベル）

予測地点		現況値	将来予測結果	環境省指針値
騒音－①平木地区	昼間	33	34	40
	夜間	35	36	40
騒音－②河内中地区	昼間	40	40	45
	夜間	40	40	45
騒音－③上阿波地区	昼間	38	39	43
	夜間	37	38	42

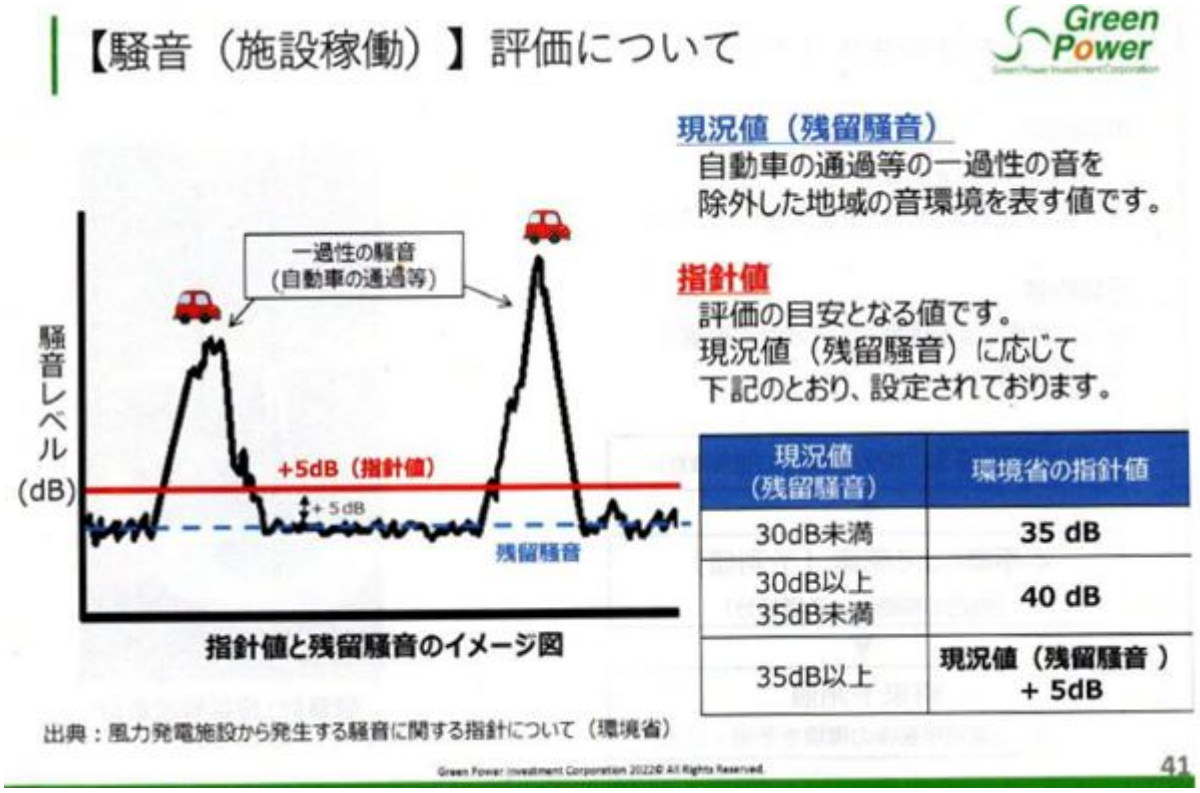
※空気吸収による騒音減衰が最小の場合の予測。

※時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間6～22時、夜間22～6時）のとおりです。

現況値が春季34ｄB、冬季33ｄBでした。（冬季の33ｄBの場合について考えます。）

下限値は35ｄBまたは40ｄBですが、この地域に対しては、40ｄBが下限値となります。

残留騒音は33ｄBですから、33+5＝38ｄBが（残留騒音+5ｄB）の値が、この地域の下限値である40ｄBより低いので、規定により、少し増やして、40ｄBがこの地区の指針値となります。



現況値（残留騒音）は、自動車の通過等の一過性の音を除外した地域の音環境を表す値です。

GPI は指針値を決定するために、残留騒音を求めました。残留騒音の求め方は色々あり、ここでは注2の方法で求めています。風車稼働後の騒音の予測値は残留騒音の大きさにも影響されます。

p816

表 10.1.3-21(2)　施設の稼働に伴う騒音の予測結果（指針値との比較）
（累積的影響：調査期間中の空気吸収による減衰量が最小時）

【春季】　　単位：dB

予測地点	時間区分	騒音レベル						指針値
		現況値	風力発電施設寄与値			将来予測値	増加分	
			本事業	既存	計画中	累積		
		a	b	c	d	e=a+b+c+d	e－a	
騒音－①	昼間	34	29	28	18	36	2	40
	夜間	36				37	1	41
騒音－②	昼間	43	30	17	18	43	0	48
	夜間	43				43	0	48
騒音－③	昼間	40	31	34	27	42	2	45
	夜間	39				41	2	44

【冬季】　　単位：dB

予測地点	時間区分	騒音レベル						指針値
		現況値	風力発電施設寄与値			将来予測値累積	増加分	
			本事業	既存	計画中			
		a	b	c	d	e=a+b+c+d	e−a	
騒音−①	昼間	33	29	28	18	35	2	40
	夜間	35				37	2	40
騒音−②	昼間	40	30	17	18	40	0	45
	夜間	40				40	0	45
騒音−③	昼間	38	31	34	27	40	2	43
	夜間	37				40	3	42

注 1：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成 10 年環境庁告示第 64 号）に基づく区分（昼間：6～22 時、夜間：22 時～6 時）
注 2：現況値は、現地調査における測定値より算出した残留騒音（L_{A90}＋2dB）とした。
注 3：指針値は、残留騒音＋5dB とした。なお、「残留騒音＋5dB」が 40dB 未満の場合は 40dB とした。

冬場の平木地区の昼間は、33,29,28,18 の合計で 35 となっています。

33,29,28,18 での計算は

$$10 * log_{10}\left(10^{\frac{33}{10}} + 10^{\frac{29}{10}} + 10^{\frac{28}{10}} + 10^{\frac{18}{10}}\right) = 35.4 = 35$$

今度は、騒音の現況値（注2．実際に計測された値）を用いて将来の騒音の予測値を出しました。

p814

表 10.1.3-20(2)　施設の稼働に伴う騒音の予測結果（環境基準との比較）
（累積的影響：空気吸収による減衰量が最小時）

【春季】　　単位：dB

予測地点	時間区分	騒音レベル（L_{Aeq}）						環境基準
		現況値	風力発電施設寄与値			将来予測値累積	増加分	
			本事業	既存	計画中			
		a	b	c	d	e=a+b+c+d	e−a	（参考）
騒音−①	昼間	39	29	28	18	40	1	(55)
	夜間	37				38	1	(45)
騒音−②	昼間	42	30	17	18	42	0	(55)
	夜間	42				42	0	(45)
騒音−③	昼間	45	31	34	27	46	1	(55)
	夜間	40				42	2	(45)

【冬季】　　単位：dB

予測地点	時間区分	騒音レベル（L_{Aeq}） 現況値 a	風力発電施設寄与値 本事業 b	既存 c	計画中 d	将来予測値 累積 e=a+b+c+d	増加分 e−a	環境基準（参考）
騒音−①	昼間	39	29	28	18	40	1	(55)
	夜間	37				38	1	(45)
騒音−②	昼間	40	30	17	18	40	0	(55)
	夜間	39				40	1	(45)
騒音−③	昼間	45	31	34	27	46	1	(55)
	夜間	39				41	2	(45)

注1：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間：6～22時、夜間：22時～6時）
注2：現況値は、現地調査における測定値（L_{Aeq}）とした。
注3：環境基準は、地域の類型指定が定められていないことから、参考として「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）における「A類型」の基準値を（　）で示した。

冬場の平木地区の昼間は、39,29,28,18の合計で35となっています。
39,29,28,18での計算は

$$10 * log_{10}\left(10^{\frac{39}{10}} + 10^{\frac{29}{10}} + 10^{\frac{28}{10}} + 10^{\frac{18}{10}}\right) = 39.7 = 40$$

さらに、将来予測値として、40dBを示しています。この値は、この地域において、昼も夜も40dBの音が鳴り響くことを意味しています。

この音の中身は、昔からの風の音や川の音に、3群の風車の音が合わさったものです。では、新たに第4群の風車建設計画が持ち上がった時の、“残留騒音”は何デシベルかと言えば、この40dBの音の中には、“自動車の通過等の一過性の音”は含まれていないので、40dBが残留騒音となります。

指針値の増加に関しては、

“風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル 平成２９年５月 環境省”で、

③ 残留騒音（residual noise） ： ある場所におけるある時刻の総合騒音のうち、すべての特定騒音を除いた残りの騒音。本マニュアルでは、地域の静けさを表わす騒音レベルのベースに含まれる準定常的な暗騒音は残留騒音に含める。したがって、残留騒音でも音源が識別できる場合がある（遠方の、波音、川音、道路交通騒音等）。なお、測定地点周辺に既設の風力発電施設がある場合は、これらの施設から発生する騒音を除いた騒音を残留騒音とする。

となっていたので、後ほど修正します。

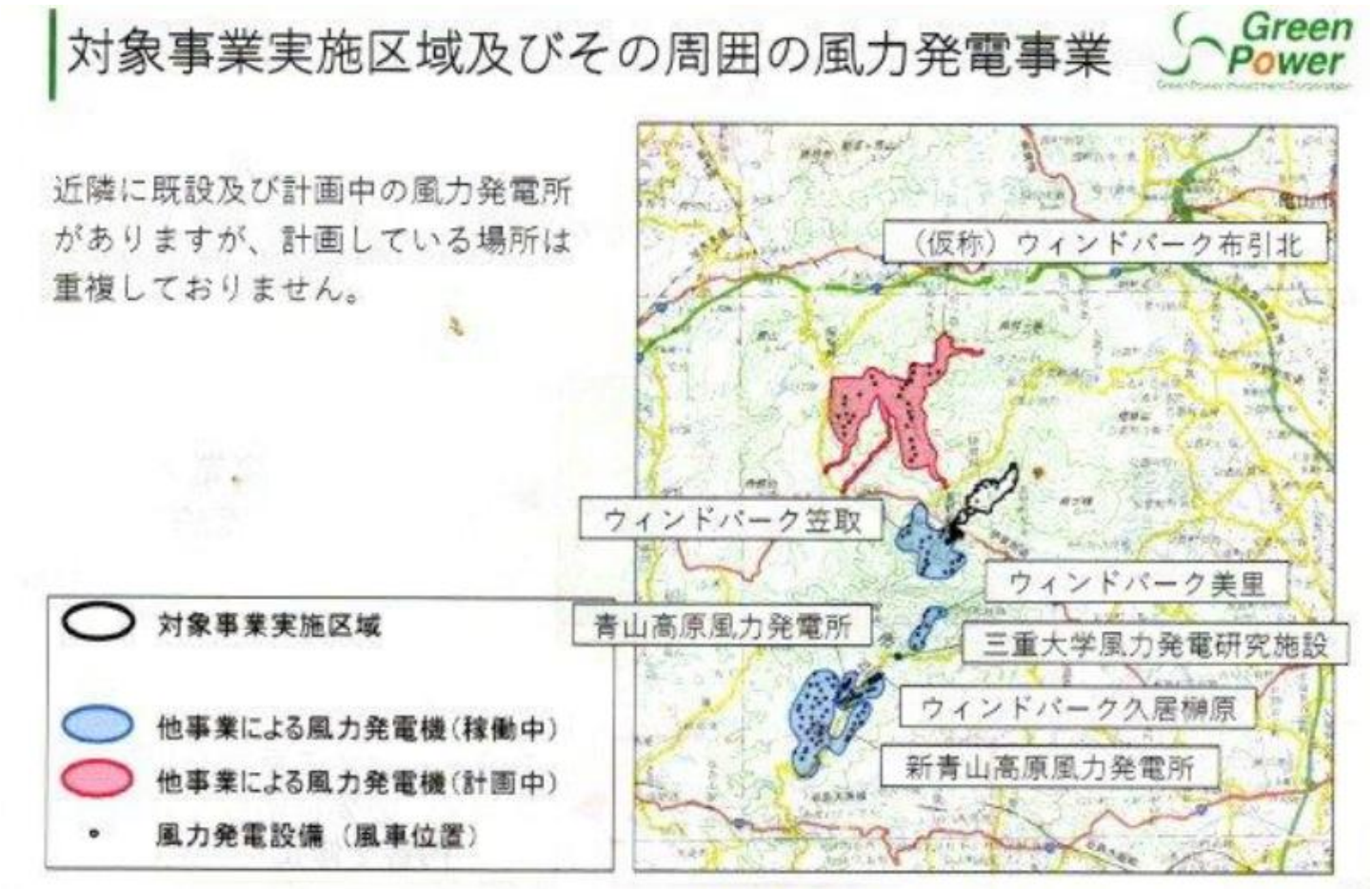
この土地に、さらに風車が建設されるときの指針値は、40+5＝45dBとなります。いつの間にか、指針値が40dBから45dBに増加しました。第5群、第6群の風車が出来るときにも、指針値は増えてゆきます。

指針値の変化を示すために、単純化したモデルを作ると、次の様になります。

年		残留騒音	残留騒音+5ｄＢ	指針値
2020	風車無し	33	38	40
2021	A群建設開始時	33		40
2022	風車A群19基稼働後	39	44	44
2023	B群建設開始時	39		44
2024	風車A群19基+B群9基稼働後	43	48	48
2025	C群建設開始時	43		48
2026	風車A群19基+B群9基+C群30基稼働	47	52	52
2027	D群建設開始時	47		52
2028	風車A群19基+B群9基+C群30基+D群20基稼働後	50	55	55

指針値は、どんどん大きくなります。風車は、2年おきに建設すれば、いくらでも作れるのです。

気が付けば、周りは風車だらけです。指針値の効果としか言えません。制限なく建設可能なのです。



質問：指針値は、規定通りに適用すれば、いくらでも風車を建設できるような数値として作られていると考

えるが、貴社はどのように考えるか？具体的な数値を用いた例を作って指針値に関する貴社の認識を述べてください。

（答え）

さらに、困ったことに、風車騒音を予測するには、下の表にある、音響パワーレベルの表を使います。表にある周波数は、63Hz～8000Hz だけです。（これが国際的な基準のようです。）

ｲ) 予測条件

7. 風力発電機の配置及び種類、基数

風力発電機の配置を図 10.1.3-10 に、種類及び基数を表 10.1.3-14 に示す。

なお、予測に当たっては、全ての風力発電機が同時に稼働しているものとした。

表 10.1.3-14 風力発電機の種類及び基数

項目		施設規模	風力発電機の仕様	
			ハブ高さ	ローター直径
本事業	（仮称）平木阿波ウィンドファーム事業	出力：25,200kW（4,200kW×6 基）	112m	117m
	（仮称）平木阿波第二ウィンドファーム事業	出力：12,600kW（4,200kW×3 基）	112m	117m
既存施設 ウインドパーク笠取風力発電所		出力：38,000kW（2,000kW×19 基）	65m	83.3m
計画中施設 （仮称）ウインドパーク布引北風力発電事業		出力：64,000kW（2,300kW×28 基）	78m	82m

注 1：既存事業については環境影響評価書を、計画中施設については環境影響評価準備書を参考とした。

ｲ. 風力発電機のパワーレベルと周波数特性

本事業及び既存施設、計画中施設の既設風力発電機のパワーレベル及び周波数特性を表 10.1.3-15 に、本事業の風力発電機の風速別パワーレベル及び周波数特性を表 10.1.3-16 に示す。

表 10.1.3-15 風力発電機のパワーレベル及び周波数特性

単位：dB

項目	1/1オクターブバンド中心周波数(Hz)：A特性パワーレベル								A特性(dB)
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
本事業	86.3	93.5	98.2	100.5	100.4	97.7	92.7	85.1	106.0
既存施設	89.2	91.0	88.5	97.2	102.5	98.3	97.8	87.3	105.9
計画中施設	87.2	94.8	93.9	96.7	98.5	94.2	82.7	75.4	103.1

注 1：既存事業及び計画中施設の施設規模及び風力発電機の仕様は、計画中施設の「（仮称）ウインドパーク布引北風力発電事業環境影響評価準備書」（2020 年 4 月　株式会社シーテック）を参考とした。

表 10.1.3-16 本事業の風力発電機の風速別パワーレベル及び周波数特性

単位：dB

ハブ高さ 風速（m）	1/1オクターブバンド中心周波数(Hz)								A特性
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
3	70.3	78.8	84.3	87.1	86.9	83.8	77.9	69.0	92.2
4	70.8	79.4	85.0	87.7	87.5	84.3	78.2	69.1	92.8
6	75.7	83.9	89.3	91.9	91.6	88.5	82.5	73.7	97.0
8	82.7	90.1	95.1	97.5	97.3	94.5	89.2	81.2	102.8
9	85.3	92.6	97.4	99.7	99.5	96.8	91.7	84.0	105.1
10	86.3	93.5	98.3	100.6	100.4	97.7	92.5	84.8	106.0
12	86.3	93.5	98.2	100.5	100.4	97.7	92.7	85.1	106.0

騒音は20Hz以上だったと思ますが、20Hzから63Hzの部分が計算から除外されています。

千葉県館山市の風車音の周波数スペクトル（0～5000Hz）

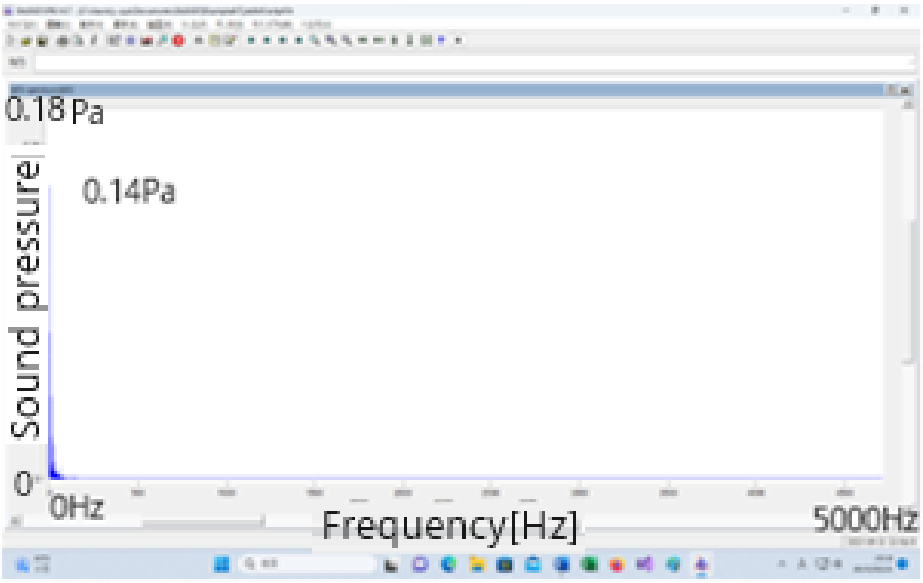
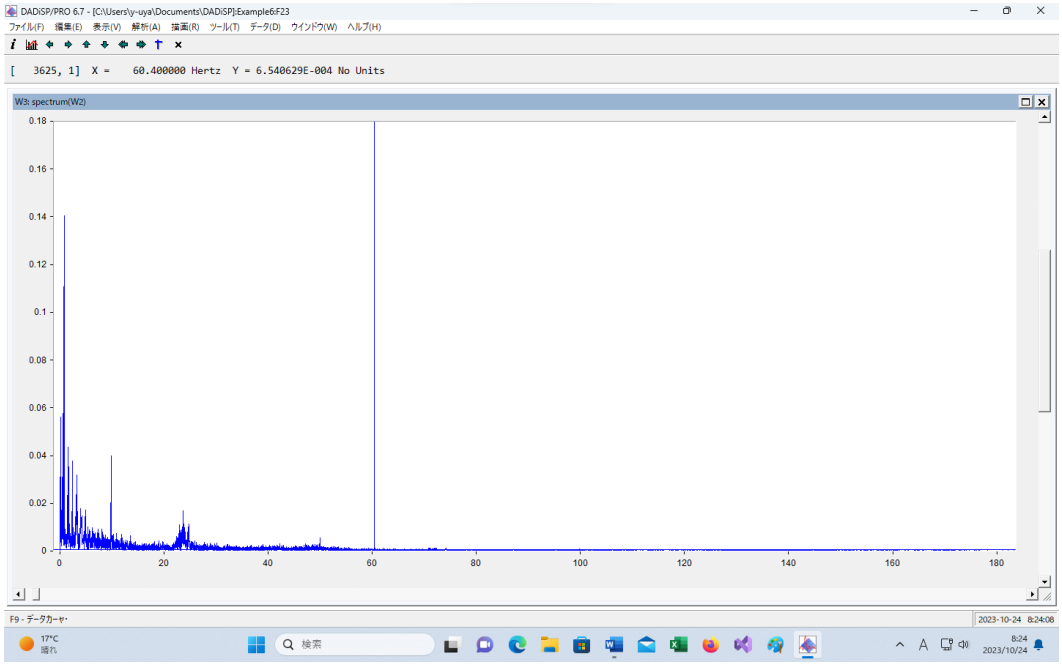


Fig.2 Wind turbine noise ; Max 0.14[Pa](0.8Hz)

0～190Hzの範囲のグラフ、縦の線は60Hz。



63Hzからの計算では、風車音のエネルギーの大半を無視して計算することになります。

これでは、風車騒音の予測とは言えません。

超低周波音に関する表もあります。
1Hz～200Ｈｚの表です。

表 10.1.4-4　風力発電機のパワーレベル及び周波数特性

単位：dB

項目	1/3オクターブバンド中心周波数(Hz)：平坦特性音響パワーレベル											
	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5
本事業	133.1	131.8	130.5	129.2	127.9	126.6	125.3	124.0	122.7	120.7	118.7	116.7
既存施設	121.0	121.9	118.2	118.1	117.4	116.1	113.4	112.1	110.6	109.1	107.8	106.6
計画中施設	119.2	117.5	118.9	122.4	121.2	121.2	121.4	120.7	119.4	118.8	119.8	117.8

項目	1/3オクターブバンド中心周波数(Hz)：平坦特性音響パワーレベル												G特性
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	
本事業	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2	108.0	107.1	106.3	105.4	104.5	103.9	103.0	128.4
既存施設	103.9	102.1	101.1	101.3	101.7	97.4	102.6	99.8	108.0	100.5	96.8	93.8	117.5
計画中施設	113.3	114.2	114.1	112.7	112.3	111.2	109.8	107.2	105.6	108.7	102.1	97.5	128.5

注 1：既存事業及び計画中施設の施設規模及び風力発電機の仕様は、計画中施設の「(仮称) ウインドパーク布引北風力発電事業環境影響評価準備書」(2020 年 4 月　株式会社シーテック)を参考とした。

大型風車で、強力な音圧を持っている 0.5Hz の部分は無視されているのです。この部分を無視して計算すると、その値は現実の状況を表現できないのです。

表２．エネルギーの分布

エネルギー分布	0～20Ｈｚ	20Ｈｚ以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

0～20Hz でのエネルギーの分布

Energy distribution	0～1Hz	1～20Hz	0～20Hz
Wind turbine	61.3%	38.7%	100.0%
Iron mill	0.04%	99.96%	100.0%

さて、93*0.613＝57%です。1/3 オクターブ解析は、各帯域のあるエネルギー量と関連しています。1Hz～20Hz として、1/3 オクターブ解析をすれば、風車音のエネルギーの半分以上を計算対象から除外することになります。

その結果、被害状況とは対応しない数値になってしまいます。多くの場合は、住民が受けている被害を表現できない数値になっているのです。被害を訴える住民に対して、根拠の無い言いがかりをつけてくるクレーマーだとの評価を下すことになります。重要な要因を無視して計算した数値を出して、それと被害状況を比べようとするほうが間違っているのです。

質問：風車騒音の予測で、計算対象を63Hz～8000Hzとしたのでは、20～40Hz辺りのある程度強い音を計算対象から外すことになると考えます。
可聴域が20Hzからなので、計算対象を20Hz～20000Hzにして計算すべきです。
これについての、貴社の考えを述べてください。
（答え）

11．1．2 被害情報2

風力発電の被害 新書 – 2016/1/1
由良守生(著)

巨大な風力発電は必ず有害な低周波音(低周波空気振動)を発生させて、周辺の人々に悪影響を与えます。ヨーロッパやアメリカでは、既にたくさんの被害報告や研究論文が公開されています。
日本では水俣病方式で被害が隠ぺいされてきました。日本騒音制御工学会など、環境省の異常な報告書を比較してみると明らかです。 被害が明らかであるのに、行政主導で全国に風力発電の建設が進められています。被害を隠蔽するためのいろんなトリックが仕掛けられています。
国策として、地域対策、被害者の弾圧があります。まるで全体主義、ファシズムです。 低周波音の被害者となると、耳鳴り、目まい、頭痛などにより生活が一変します。性格の変化、人格の崩壊があります。家族の者でさえ理解できない苦しみに狂います。
被害確率は、重傷者で 100 人に一人か二人です。しかし本人ですら気がつかない脳溢血や心筋梗塞といったリスクを含めると、30 パーセントに及ぶと汐見文隆医師など識者や海外の文献では報告されています。由良町では被害範囲は 2 ㎞ほどです。
体調のよくない人はすぐに亡くなりました。 水俣病でもそうですが、被害調査をしないのです。アンケートもしません。
被害者や被害地域は厳重に管理されています。いったん管理されるようになると、囚人のようになります。被害の本質が分からないようになるようです。人として考えることができなくなり、受け売りの言葉だけで話すようになり、薄っぺらな人になります。ロボットのようになる、と支援者の人たちは言います。
これに対する行政や議会の悪辣さには驚きます。これほどまでに議員の劣化、悪化が見られることもないでしょう。社会がなおざりにしてきたツケが、このありさまなのだと思います。 風力発電の被害とは何か、由良町からの報告です。

11．1．3 被害情報3

南伊豆風車（被害）紀行（２）～承前
によれば、

風車を眼前に、「子供たちのことをなぜ考えないのか」と嘆く住民

この集落に住むひとりは、かつて産廃処分場問題で苦労されたそうで、ここに引っ越してきたとき「これだけ道が細ければトラックも通れない。ここなら産廃もゴルフ場も来ないだろう」と考えたそうです。
ところが、山の反対側から風車が……。なんとも悲しい話です。

集落の一番奥に住むかたとお話ができました。
この家からいちばん近い風車までは 540m。その風車も含め、家の背後に風車群が迫っています。
ところが、このかたのお話は驚くべきものでした。
試験運転が始まるなり、奥様がたちまち胸の圧迫感や頭痛、吐き気など、典型的な風車病（超低周波振動によると思われる健康被害）の症状に襲われたのですが、それがひどいのは、目の前の近い風車ではなく、北東方向にある 1km 離れた風車が回っているときだというのです。
試験運転中は、すべての風車を稼働させているわけではなく、何基かは止めて、何基かを動かすということを繰り返しやっています。
止めた風車の羽根（ブレード）は、羽根の付け根を回転させて、風を羽根に受けないようにします。
風が、　↓↓　こう吹いてくるとすると……、
羽根を風に向かって（つまり風車の正面に対して）　／　ではなく、｜　のように傾けて、風をそのまま素通りさせるわけです。

分かりますかね。風車を真上から見たとして、

↓↓↓　　……風がこう吹いているとき、
　／　　……ブレードの角度がこうなっていると回るわけですが、

↓↓↓　　……風に対して、
　｜　　……このように羽根をまっすぐにしてしまえば、

風は通り抜けてしまい、ブレードはほとんど回らない、というわけです。
ですから、止まっている風車は、回転していないだけではなく、正面から見たとき、羽根が細くなっているので分かります。
いちばん近い風車（家から 540m）がぶんぶん回っているときは、音はすごいものの、身体が受けるダメージはそれほどでもなく、それが止まっていて、北東方向の 1 km 離れた風車が回っているときのほうがダメージがはるかに大きいというのです。
これは予想もしていなかった話でした。
風車の低周波被害は、単純に近ければ近いほどひどいだろうと思っていましたが、そう単純なものではないということなのです。
問題の 1 km 離れた風車というのは、そのお宅からはある場所に立つと、山と山の間に姿が半分くらい見えてきます。おそらく、そこから家までのびる谷戸が、バックロードホーンのような働きをして、低周波の通り道になり、あるいは増幅させるような効果を持っているのかもしれません。

似たような証言は他の家でもあり、風車が山陰に隠れて見えない、1.5km くらい離れた家では、その見えない風車からの音は聞こえないのですが、回っているとき、ぴったり連動して住民が吐き気や胸の圧迫感、頭痛、耳鳴りなどに襲われていることが分かったそうです。
そのかたは、当初、見えない風車のことなど気にしていなかったのですが、昨年暮れから急に、そして、あまりに頻繁に気持ちが悪くなるので、体調がおかしくなる時間帯を記録していたところ、それが風車の稼働している時間とぴったり重なったのです。

今、風車の周辺の住民たちの間では、様々な疑心暗鬼が渦巻き始めています。
はっきり聞こえない音で体調がおかしくなることなどあるのだろうか……。しかし、風車が稼働してから、突然、身体がだるくなったり、音もしないのに圧迫感に襲われて眠れなくなったり、吐き気や頭痛に襲われることが多くなった。これはやはり風車のせいではないのか……。しかし、風車が目の前にある××さんの家などと違って、我が家は風車が見えない、少し離れた場所にある。うちでクレームなど言いだしたら、まるで補償目当てのように、変に思われるのではないか。村八分にされるのではないか……。いやいや、△△さんの家は、黙っているけれど、業者とこっそり示談金交渉をしているらしい。うちも黙っていたらバカみたいだ……。

静かに仲よく暮らしていた住民たちの間に、こうした、声にならない声が溜まっていっているというのです。
風車はまだ試験運転の段階で、本格稼働はこれからです。一部をこわごわ（？）動かしている今でさえこれだけの被害が出ているのですから、全機が一斉に動き始めたら一体どういうことになるのでしょう。想像を絶する地獄になることは間違いないでしょう。

町はすでに、苦情や相談は事業者との個別交渉へと導き、諸手を挙げて誘致した自分たちの責任から逃げることで精一杯のようです。
隣の下田市は、市長が風車を拒否する姿勢を貫いていて、住民説明もろくにしないまま、早い段階で誘致した南伊豆町とは対照的です。行政の責任者がどれだけまともな感性、判断力を持っているかで、住民の運命はこうも違ってくるのだと、痛感させられます。

お話を伺った住民（70 代くらい？男性）は、繰り返し繰り返し言っていました。
「建てられてしまったらおしまいです。何を言っても、何をやってもだめ。とにかく、絶対に建てさせないこと。建てられたらもう遅いんです」

このかたは、ご自分は今のところ目立った体調異変はないそうですが、奥様がたちまち体調を崩し、今は半別居状態になってしまいました。
彼はまた、こうもおっしゃっていました。
「ぼくは今のところ元気だし、ひとりでもここに住んでいこうと思っているけれど、小さいお子さんやお孫さんがいらっしゃるかたたちがしっかり声を上げないのが不思議でしょうがない。孫子の時代のことを真剣に考えていないんじゃないですか。子供たちが住めないような土地にして、どうするんですか」

この町はどうなっていくのでしょうか。ゴーストタウンになるのか。それとも、風車病の町として有名になるのを恐れ、残った住民たちが箝口令を敷き、どんどん閉鎖的になっていくのか……。
町の中を見ていくうちに、見たくないものを見てしまった、知りたくないことを知ってしまったという、何とも言えない重たい気分に襲われていきました。
そう、まさにこの感じ、このどんよりした空気が、今、全国の風車現場で広がっているのです。わが村でもまったく同じです。

目の前のこれらの風車が回っているときより……

右端の山と山の間に見えている遠くの風車が回ったときのほうがダメージが大きいという
山の中に入っていく道を進むと、風車の建設現場の爪痕も見ることができます。
この沈砂池は、工事のとき、大量の泥水が海や住宅地に流れ込んだため、対策として作られたものですが、大雨の後はこれがあふれてしまい、さらにもう一つ作ったそうです。
これも全国の風車建設現場で起きている典型的な公害。滝根小白井ウィンドファームでも、建設中から降雨後の泥水流出がひどく、下流の夏井川では岩魚や山女が産卵できなくなり、夏井川漁協が事業者に補償を求めました。

沈砂池ひとつではとても間に合わなかった泥水流出公害

「お尻（ナセル）がこっちを向いたときが怖い」と住民は言う。風下になったときという意味だ

風車と風車の間隔が狭すぎて、相互干渉は避けられないだろう

まさに「建ててしまえばなんでもいい」という姿勢が見え見え

間近に風車を見ているうちに、だんだん気持ちが悪くなってきてしまいました。見ているだけで気分が悪くなるのですから、ぶんぶん回っているときはどういうことになるのか……。車で通過する人は、「下田を過ぎたあたりで気分が回復した」という人もいるとか。なるほど、よく分かります。

質問：風車音が指向性を持つことについて、貴社はそれを認めますか？
（答え）

質問：次の論文の内容は正しいと認めますか？間違っていると考える場合はその理由を述べてください。
2) 菊島義弘,長島久敏,橋本晶太,鯨岡政斗,濱田幸雄,川端浩和,小垣哲也,風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.38 p. 69-72, 2016
（答え）

質問：指向性を持つ音源からの音の影響を評価する場合、音源を点音源として扱えば、指向性を無視してしまうことになります。
住民の生活にとって大きな影響を及ぼす、指向性に関して、貴社の予測方法の中では、どのように扱っていますか？
（答え）

金属疲労

風車は壊れます。風車の事故の記事ですが、

金属疲労についても考慮する必要があります。飛行機の事故では金属疲労の話をよく聞きます。風車でも起こります。

金属疲労で１メートルの亀裂　京都・伊根町の風力発電所事故で専門家会議

2013/8/5 08:53

産経WEST | できごと

反応

広告
エンジニア諸君
スキル偏差値70へ
挑戦せよ
Findy
<GitHub>でスキル偏差値を見る
サクッと50秒でエンジニアスキル偏差値がわかる！
Findy
もっと見る

今年３月、太鼓山風力発電所（伊根町）で、風力発電機の鉄製タワーが折れ風車部分が落下した事故をめぐり、事故原因について検証している府の専門家会議が４日、京都市内で開かれ、金属疲労によって長さ約１メートルの亀裂ができ、それが広がったことで破断につながった、とする検証結果をまとめた。

同会議によると、外観調査や金属組織の分析から、３枚の羽根（長さ２５メートル）と発電機など計４５トンが溶接された鉄製タワー（高さ５０メートル）の上端部付近で、金属疲労による亀裂ができていたことを確認した。

ナセル落下を写真１－１にタワーの破断状況を写真１－２に示す。
また、タワートップ及びナセルの断面図を図１－３に示す。

写真１－１　ナセル落下

原因は、特別に大きな力が働いたというわけではなくて、金属疲労とことです。

金属疲労は、比較的小さい応力でも繰返し受けることで、材料に小さな割れが発生し、それが少しずつ進行して、最終的には破壊にいたる現象です。

金属疲労がなぜ問題になるのか？

金属が破壊するのにはいくつかのパターンがあります。

最も単純なケースとして引張試験のように応力をかけ続け破壊するものです。この場合、破壊の前に変形が起こるため、確認は容易です。

しかし、金属疲労の場合、大きな変形は起きずに小さな割れが起こるだけです。そのため、疲労の発生確認と破壊までの予想時間が困難です。

金属材料は自動車や航空機、建築物などに使用されています。これらはほとんど常に応力がかかる状態であるため、金属疲労が起こります。実際の金属材料の不具合や事故の多くはこの金属疲労が原因です。

さて、

1）高橋厚太,賀川和哉,長嶋久畝,川端浩和,田中元史,小垣哲也,濱田幸雄,風車ナセル・タワーの振動解析,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.40,p.251-254,2018

には、ナセルと塔の側面が大きく揺れることが書かれています。

塔が揺れれば、塔が曲がります。塔の振動の周波数は、1.6Hz です。（比較的小さな風車なので回転数が大きいのでしょう。）この周波数 1.6Hz は、ブレードの回転数から計算した風車音の超低周波音のうちで、最も音圧が高くなる周波数と一致しています。

従って、風車からの超低周波音の周波数を正確に測ることは、風車に起きる金属疲労の状態を予測する方法の一つと言えるのです。

風車音の超低周波音の部分を解析しない、論文が、熊谷組の名前がついた形で公開されていることは、風車に関して、建設後の金属疲労に関心が無いのが熊谷組なのかと思われてしまいます。

2）菊島義弘,長島久敏,橋本晶太,鯨岡政斗,濱田幸雄,川端浩和,小垣哲也,風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.38 p. 69-72, 2016

には、風車音が指向性を持つことが書かれています。

計測結果では、1.6Hz の成分が目立ちます。

3）Dai-Heng CHEN,増田健一,尾崎伸吾,円筒の弾塑性 純曲げ崩壊に関する研究, *日本機械学会論文集 A 編*, Vol.74, No.740, p. 520-527, 2008

には、円筒が曲がる場合の曲面の変形について書かれています。この変形が大きな方向と風車音の持つ指向性とは一致しています。

5）石田幸雄,風車の振動解析,Journal of JWEA Vol.34 No.4, 2010

を見れば、定常運転の時の、ブレードに掛かる揚力ベクトルの方向が、塔の振動方向であることが分ります。

もしも、金属疲労に関心があるならば、塔の振動を周波数が一致していて、しかも運動方向と指向性が一致している風車の超低周波音をしっかりと調べるべきだと考えます。

質問：貴社の大切な財産である風車が金属疲労のよって破壊されれば、大きな損失だと考えます。これに関して、風車の塔の振動を継続的に調査すれば、塔の破壊を予測できると考えますが、貴社などのような対策を取っていますか？

（答え）

質問：超低周波音の調査及び結果の公表について、

貴社は所有する風車の安全な管理に努める義務があると考えます。過去の事故を見れば、金属疲労を重視すべきです。これを把握する手掛かりが、風車からの超低周波音です。これをしっかりと計測すれば、事故の可能性を減らせると考えますが、貴社の考えを述べてください。

また、計測結果を広く、様々な形で公開すべきだと考えるが、貴社はどのように考えるかを述べてください。

（答）

11．1．4 被害情報4

鳥取県における発電用風車の騒音に係る調査報告

Surveillance Study Concerning the Noise of Windmills for Power Generation in Tottori Prefecture

十倉 毅・山本 和季・矢野 大地

TOKURA Tsuyoshi, YAMAMOTO Kazuki, YANO Daichi

和文要旨：2002 年 11 月、湯梨浜町に本県初の風力発電所（発電量 600kw）が建設された。そして、現在までに合計 41 基（東部 3 基、中部 23 基、西部 15 基）を数えるが、地域によっては住民から「頭痛がする、窓・障子が震える」など、超低周波音・低周波音によると思われる苦情を生じている。また、苦情の中には、回転するブレードのちらつきもある。本調査研究では、このような苦情をアンケート調査によって把握するとともに、それぞれの発電機からの発生騒音の音響測定をおこない、その実態を明らかにする。

表２　アンケートの設問内容

Q１：あなたの年齢はおいくつですか？
□10代　□20代　□30代　□40代　□50代
□60代以上
Q２：現在のお住まいを下から選んでください。
□鳥取市　□大山町　□旧名和町　□北栄町
□旧中山町　□琴浦町　湯梨浜町□
Q３：風力発電について、下の中から選んでください。
□よく思っている　□あまり関心がない
□あまり良く思っていない
Q４：風力発電による騒音被害を受けている。
□はい　□いいえ
Q５：Q４で「はい」と答えた方のみ、症状であてはまるものに記入してください。（複数回答可）
□よく眠れない　□気分がいらいらする
□振動間がある　□頭痛　□胃のむかつき・吐き気など　□耳の痛み・不快感　□肩のこりが激しい　□耳鳴りがやまない　□血圧上昇
□頭の上に違和感がある　□集中力の低下
□音、振動が止まっていても続いている感じがする
□ガラス、壁、床が振動していて寝ることができない　□風車をみるとストレスや不安を感じる
□その他（　　）
Q６：風力発電に対するご意見、ご提案等がありましたらお書きください。
（　　）
〈ご協力有難うございました〉

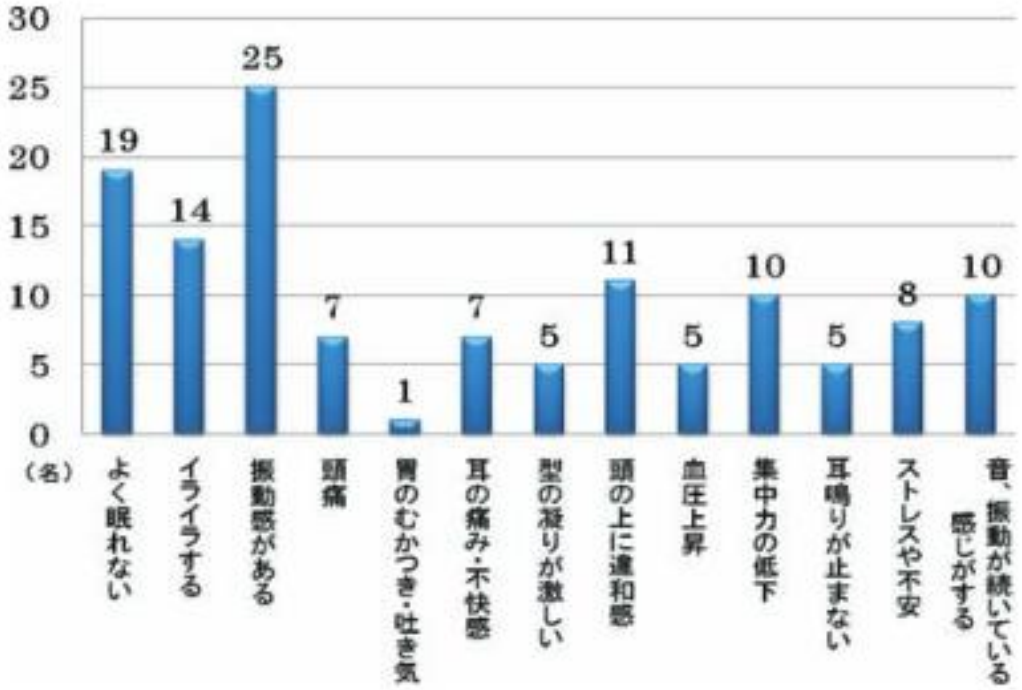


図２　苦情の訴え（「Ｑ５」、複数回答を含む）

表３　アンケート集計結果　(2011.12.15現在)

調査項目／調査地域	配布数（件）	回答数（件）	回収率（%）	苦情数（件）	苦情率（%）
大山発電所	70	59	84	16	27
名和発電所	46	34	74	9	26
高田工業団地発電所	60	31	52	1	3
中山発電所	94	58	62	8	14
東伯発電所	46	27	59	12	44
北条砂丘発電所	59	44	75	10	23
湯梨浜町発電所	269	184	68	22	12
鳥取放牧場発電所	1	1	100	0	0
合　　計	645	445	69	78	18

大山風力発電所（No. １～６）、名和風力発電所（No. ７～９）

（所在地西伯郡大山町国信・福尾・大塚）

本地区は、近接する風車群の中央を国道９号線が貫通し、騒音環境としては最も不利な状況にあると考えら

れる。とくに風車６基（No. ３、４、５、６、７、８）の円に囲まれた地区、あるいは風車３基（No. ７、８、９）に囲まれた地区では、騒音が重畳すると考えられる。
たとえば、ある地点から等距離に位置する３基の風車が同時に回ったとすれば、その地点における音響エネルギーは３倍になる。したがって、その音圧レベル L(dB)は、1台の場合の音響エネルギーを E(W/m2)、最小可聴音のそれを E 0 (W/m2)として、L =10log10 (3E/E 0)
=10log 10 (E/E 0)+10log 10 3 すなわち、1台の場合の音圧レベル 10log10 (E/E 0)に比べて、10log 10 3=4.8dB ≒5dB 上昇する。
また、６基の場合には、10log 10 6=7.8dB 音圧レベルが上昇することになる。なお、上記の計算は、音源を無指向性と仮定している。したがって、風向による指向性の変化、また上空ほどブレードの風切り音が増すこと、などの条件を考慮していないが、複数の風車による音圧レベル上昇については、このような考え方で良いと考えられる。

東伯風力発電所（No. 16～28）
（所在地：東伯郡琴浦町法万・森藤・杉下・金屋・槻下）
東西３㎞、南北５㎞の範囲に 13 基の発電機が散在する。
アンケート調査の対象家屋は 46 戸であるが、回答数 27 件のうち、苦情率 44%で今回の調査では最も高い値を示した。その理由として、大山・名和風力発電所（No. １～９）、中山風力発電所と同様に、半径 500ｍの円内に重複する住戸の存在も挙げられるが、当風力発電所の場合には、隣接する北栄町の一部が 500ｍ圏内に入っており、風車建設時に事前の説明が無かったことを苦情に挙げる回答者もあった。

３．風車音の音響調査
３-１ 調査対象と測定方法
風車騒音の距離減衰を把握するため、県内 41 基の各風力発電機について、受音点距離が異なる場合の騒音測定を 2011 年８月中旬から開始した。受音点は、それぞれの風車から 15ｍ、30ｍ、60ｍ、120ｍおよび 240ｍ離れた風下の高さ 1.5ｍの位置である。
風車騒音の測定方法については、すでに IEC61400-11 およびこれを邦訳した JIS C1400-11「風力発電システムー第 11 部：騒音測定方法」が存在する。しかし、これらの測定法では、風の影響を避けるため、平板上平面内あるいは地表面にマイクロホンを設置するなど、風車音の厳密な測定に重きが置かれ、実生活の環境測定を目的とした測定方法とは言い難い。また、わが国では現在、測定法に関するさまざまな取組みが環境庁、NEDO の支援のもとに実施されている 6）～15） のが実情である。
そこで今回の測定は、わが国の交通騒音測定などで一般的になっている JIS Z 8731「騒音レベル測定方法」によることとし、防風スクリーンを装着した低周波精密騒音計 NA-18、およびリアルタイム分析器 SA-30（いずれもリオン社製）を用い、A特性音圧レベル（騒音レベル）、P特性音圧レベル（平坦特性）、C 特性音圧レベルを順次測定した。また、同時にそれらの音を周波数分析（１/３オクターブバンド、1.6Hz～2,500Hz）した。
各受音点から風車までの距離測定には、距離計 LA-SER 550AS（オリンパス社製）を用いた。

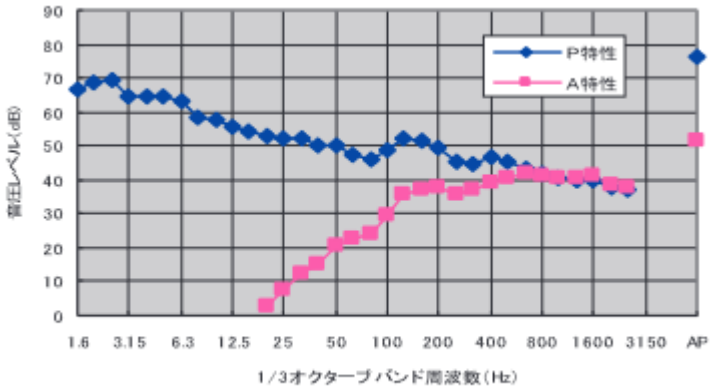


図４　風車騒音の周波数分析結果（Ａ、Ｐ特性値）

３-３　考　察

①　「騒音に係わる環境基準（平成 10 年環境庁告示)」では、最寄りの住宅等において、基準値（昼間 50～60 デシベル、夜間 40～50 デシベル）を満足することと規定している。単位「デシベル」は dB・A、すなわち騒音計のＡ特性で測定された値である。しかしながら、図４からも明らかなように、dB・A 表示では、風車特有の超・低周波音を最初からカットして評価することになる。

超・低周波音による人体への影響については、「超低周波音 12.5Hz、16Hz や可聴音 31.5Hz、40Hz 成分が卓越すると、腹・胃部等の振動・圧迫感を感じる」の記述 16）に見るごとく、聴覚だけではなく、人間の体腔共鳴も関係するようである。近年の論文にも、「心身への生理的影響については、いまだ生理学的にも工学的にも解明されていないので、今後この分野の研究は、聴覚から体性感覚系に着目点を移すことが必要である」 17)、との見解がある。

②　図５および図６から、風車騒音の距離減衰の傾向を知ることが出来るが、減衰の勾配はゆるやかで、規則性に乏しいことが判る。今回の測定は風下側で実施したものである。したがって、風車騒音が風に乗って遠くまで伝播する可能性を示すとともに、受音点が遠くなるほど草木のそよぎ、交通騒音、潮騒などの暗騒音が影響すると考えられる。

③　風車騒音は、主としてブレード先端の風切り音であるが、上空では風速とともに、風切り音も増す。「風速のべき法則」によれば、風車の設置されるような野原、畑地における風速Ｖは、ｚ（ｍ）を鉛直高さとして，

$V \propto z^{0.28}$

で表現される。

たとえば、中山、東伯両発電所に設置された発電機のブレードの上端高さは 100ｍ、下端は 30ｍであるから、上端、下端におけるＶの比率は、(3.63/2.59）＝1.40 となり、上端の速度は下端より 40%増すことになる。したがって、風車騒音の距離減衰は、音を増減しながら回転する３音源をモデルにすればよい、と考えられるが、その予測方法は今後の課題である。

④　風車騒音の音圧レベルについては、これまで風速との関係に重きが置かれてきたと思われる。しかし、ブレードは風速に応じてピッチ（角度）が変わるため、風速と回転数とは比例しない。したがって、今後はブレードの先端速度と音圧レベルとの関係について着目すべきと考える。

４．まとめ

１）　今回の調査研究は、県内全域の風力発電所を対象にした点で、わが国でも初めての試みである。

２）　風車から 500ｍ圏内でも「苦情」を生じる今回のアンケート調査から考えて、鳥取県風車建設ガイドラインに示された発電機・民家間の最低距離「300ｍ」は、今後、再検討されなければならない課題である。

３） 風車の設置に当たっては、民家までの距離だけではなく、風車群によって囲まれることによる音圧レベルの上昇を考慮しなければならない。

謝辞
本調査研究は、平成 23 年度鳥取県環境学術研究振興事業の補助を受けたものであり、その開始にあたっては、鳥取県生活環境部景観まちづくり課、および環境立県推進課各位のご指導を得た。また、アンケート調査にご協力頂いた各位に心よりお礼を申し上げたい。

肯定的意見
・まちのシンボルになっている。
・風車増設を希望する
・自然エネルギーとして期待している
・漁に出る時、風向きが分かって良い
・陸上も良いが、今後は洋上発電に期待する
・原発より安全で、環境に優しい、など。

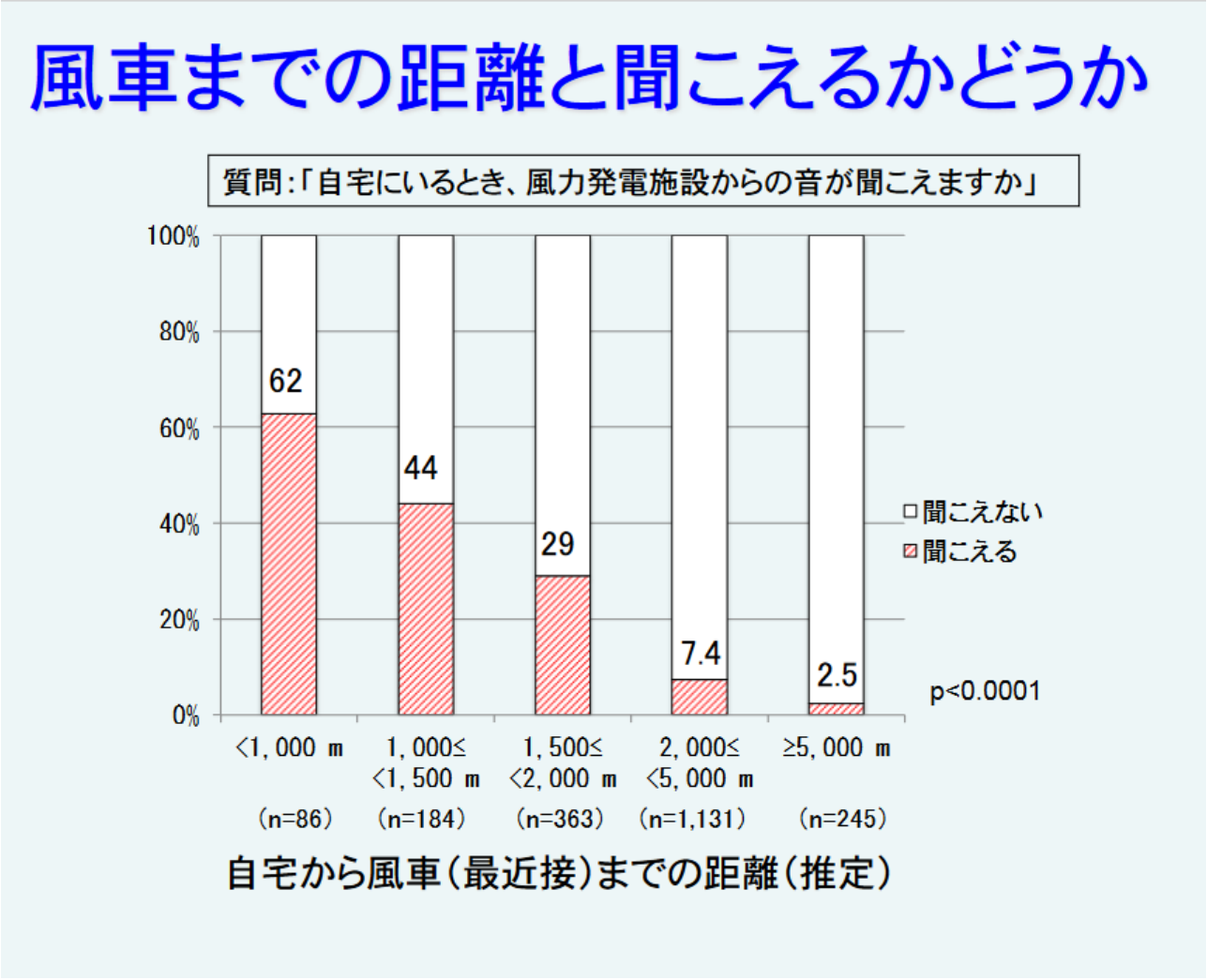
否定的意見
・風車への落雷が不安 ・回転時の影、光が気なる
・回転音がうるさい ・結氷が恐ろしい
・風車の撤去を希望する
・修理ばかりで電力供給が出来ているのか不明である
・隣町住民への事前説明がなかった、など。

11．1．5 石竹氏の調査

環境研究総合推進費 課題成果報告会（2016.3.11）

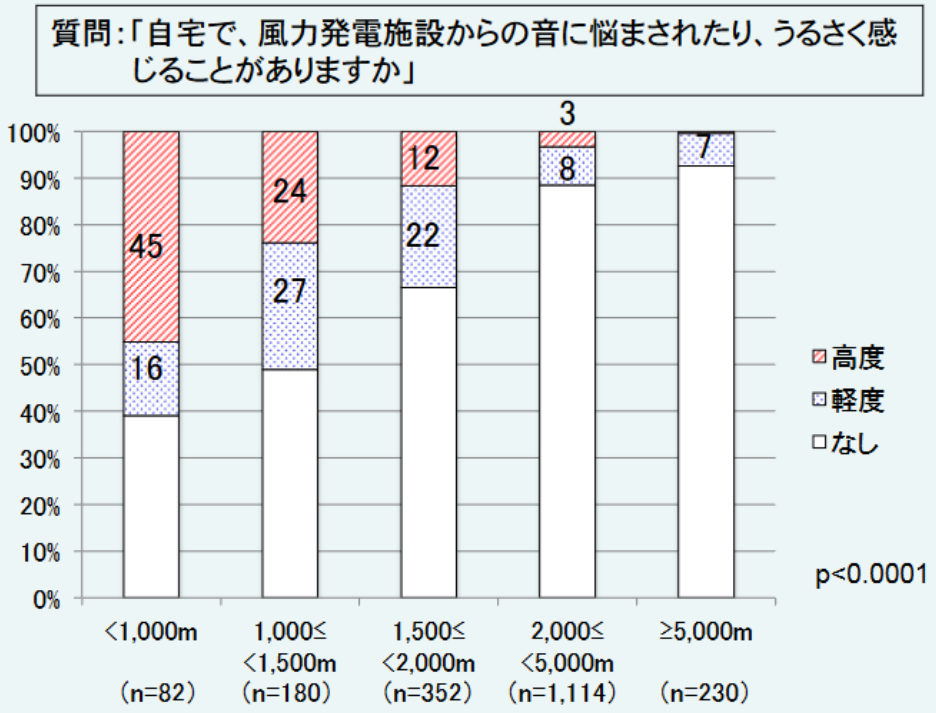
風力発電等による低周波音・騒音の長期健康影響に関する疫学研究
研究代表者：石竹達也（久留米大学医学部）
研究実施期間：平成 25～27 年度

石竹達也氏（久留米大学医学部）の調査結果は

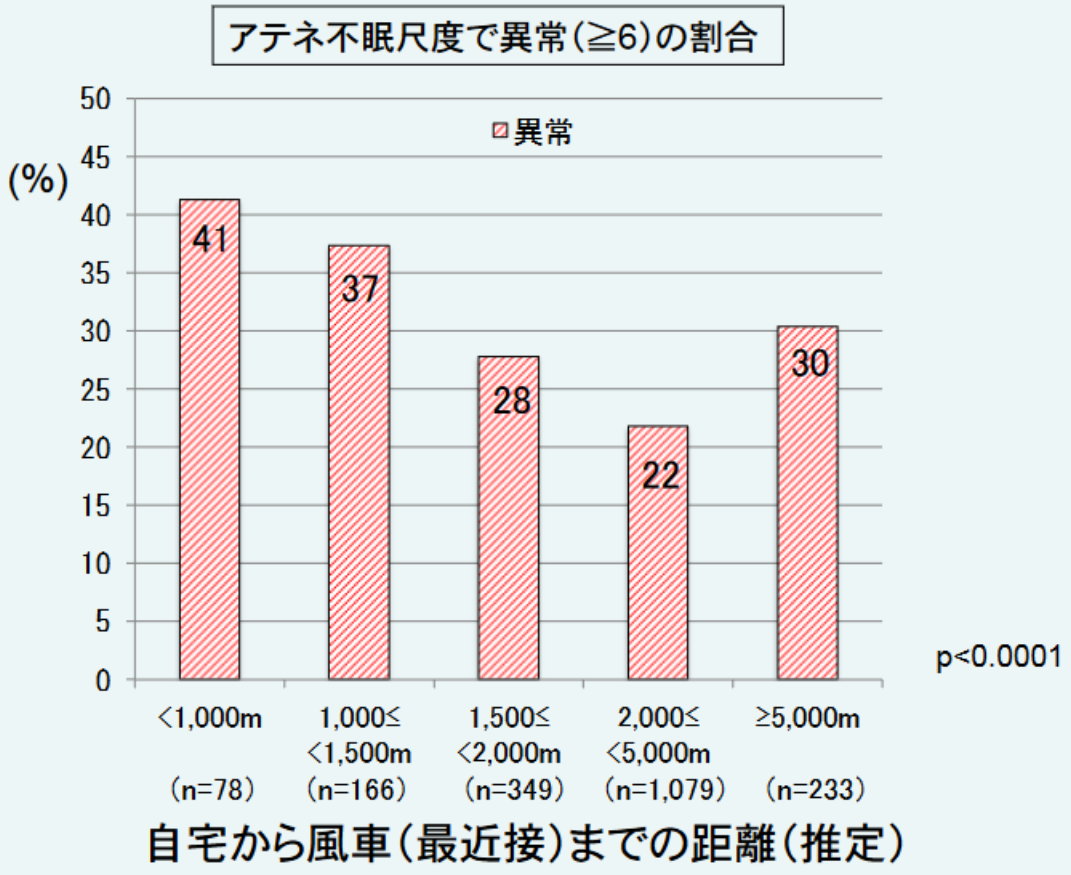


2000ｍから 5000ｍの距離でも 7.4%の人には音が聞こえる。
2000ｍ圏内では、29%の人が騒音を認識する。

風車までの距離とアノイアンス（風車）



風車までの距離と睡眠障害



多重ロジスティック回帰分析

風車からの距離（公民館）と睡眠障害（アテネ不眠尺度≥6点）

	n	ケース数（%）	オッズ比（95%信頼区間） モデル a	p値	モデル b	p値	モデル c	p値
1,000 m未満	78	32（41.3）	2.43（1.50–3.89）	0.0004	2.36（1.35–4.04）	0.0028	1.93（1.08–3.38）	0.0280
1,000 m～1,500 m	166	62（37.4）	2.11（1.49–2.98）	<0.0001	2.06（1.41–3.00）	0.0003	1.91（1.29–2.83）	0.0018
1,500 m～2,000 m	349	97（27.8）	1.35（1.02–1.79）	0.0336	1.32（0.97–1.79）	0.0820	1.32（0.96–1.80）	0.0859
2,000 m～5,000 m（基準）	1,079	235（21.8）	1.00		1.00		1.00	
5,000 m～	293	80（27.3）	1.38（1.02–1.85）	0.0377	1.25（0.90–1.74）	0.1827	1.24（0.88–1.73）	0.2134

モデルa：①性、②年齢、③音への感受性で調整
モデルb：モデルaに加えて④婚姻、⑤収入のある仕事の有無、⑥交代勤務で調整
モデルc：モデルbに加えて⑦風車への態度（現在）、⑧風車の景観で調整

モデルaで有意だった因子は性（1.36）、年齢（1.01）、音の感受性（1.79）
モデルbで有意だった因子は性（1.28）、年齢（1.02）、音の感受性（1.78）、交代勤務（1.93）
モデルcで有意だった因子は性（1.30）、年齢（1.02）、音の感受性（1.79）、交代勤務（1.94）、現在の気持ち（5.46）

風車からの距離が1,500m未満に居住している人は、2,000m以上離れた距離に居住する人に対して、睡眠障害の割合が有意に増大（オッズ比：約2倍）した。

注）・モデルaに港の有無で調整すると、5,000m以上の有意なオッズ比が消失
・対象者よりうつ病除外（n=82）しても傾向は不変

多重ロジスティック回帰分析

風車騒音の距離減衰式
$dB(L_{Aeq,WTN}) = -20.9 \cdot \log_{10}(距離:m) + 96.7$

夜間風車騒音（L_{Aeq}）と睡眠障害（アテネ不眠尺度≥6点）

	n	ケース数（%）	オッズ比（95%信頼区間） モデル a	p値	モデル b	p値	モデル c	p値
① <20 dB(A)	273	76（27.8）	1.24（0.90–1.70）	0.1880	1.20（0.85–1.69）	0.2944	1.21（0.85–1.71）	0.2884
② 20–<25（基準）	712	167（23.5）	1.00		1.00		1.00	
③ 25–<30	517	114（22.1）	0.91（0.69–1.19）	0.4725	0.84（0.62–1.13）	0.2422	0.83（0.61–1.13）	0.2297
④ 30–<35	257	91（35.4）	1.73（1.26–2.36）	0.0007	1.53（1.08–2.13）	0.0153	1.43（1.01–2.03）	0.0462
⑤ 35–<40	146	48（32.9）	1.56（1.05–2.29）	0.0272	1.56（1.00–2.38）	0.0489	1.34（0.85–2.08）	0.2094
⑥ >40	0	–						

モデルa：①性、②年齢、③音への感受性で調整
モデルb：モデルaに加えて④婚姻、⑤収入のある仕事の有無、⑥交代勤務で調整
モデルc：モデルbに加えて⑦風車への態度（現在）、⑧風車の景観で調整
モデルaで有意だった因子は性（1.28）、年齢（1.01）、音への感受性（1.89）
モデルbで有意だった因子は年齢（1.02）、音への感受性（1.93）、交代勤務（1.92）、収入（1.34）
モデルcで有意だった因子は、年齢（1.01）、音への感受性（1.85）、交代勤務（1.84）、収入（1.36）、現在の気持ち（5.73）

夜間の風車騒音（L_{Aeq}）レベルが30～35dBでは、20～25dBに対して、睡眠障害の割合が有意に増大（オッズ比1.5）した。

風車騒音のエネルギーは、超低周波音（0Hz～20Hz）の領域に 93%が集中していて、20Hz 以上の周波数帯のエネルギーは 7%程度である。

交通騒音のエネルギーは、超低周波音（0Hz～20Hz）の領域には 1%程度しか無くて、20Hz 以上の領域に 99%が集中している。

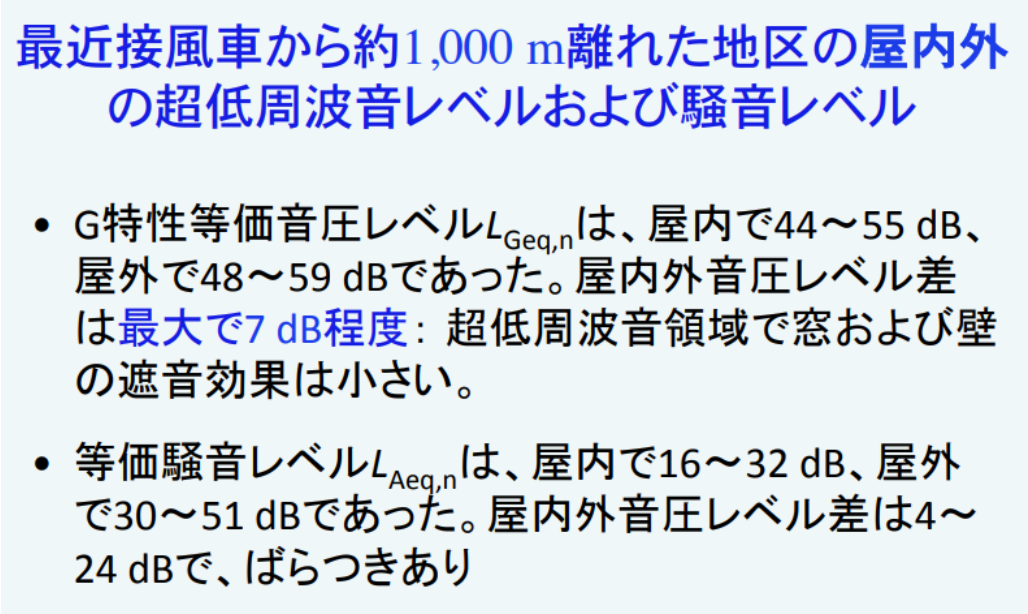
A 特性音圧レベル（20Hz～）での計算は、中心周波数の取り方で、少し違いが出るが、超低周波音（0Hz～20Hz）の部分を無視して計算していると言える。

騒音レベルは、A 特性音圧レベル（20Hz～）の結果なので、その値で評価されるのは、風車騒音（0Hz 以上）のエネルギーの 7%でしかないので、実際の影響を表現するための数値としては、音圧レベルの数値は役に立たない。

仕事にも影響するし、子供の学力も落ちます。これは、地域社会にとって非常に重要な被害なのです。

もちろん、病院や学校には窓があります。建物も立派です。必要ならば、防音窓に変更できます。交通祖音ならば、これで防げますが、超低周波音（ISO7196）は防げません。

騒音の計測は屋外で行うので、室内では、防音窓の遮蔽効果を考慮する必要があります。



検討すべき事項の再確認だけにしておきます。

（１）風車騒音（0Hz 以上）と交通騒音（0Hz 以上）の被害に大きな差がある理由は何か。

（２）アノイアンスの要因として、風車騒音（20Hz 以上）が 9%～13%、景観による影響は何%、他の要因としては何があり、その影響はそれぞれ何%と考えるべきか。

（３）周波数ごとの遮蔽効果の違いをどのように計算すべきか。

（４）アノイアンスの内容を分類した場合、それぞれに作用する要因は何か、これといろいろな感覚器官の関連はどうなっているか。

（５）何をどんな計測機器でどのように計測すべきか。その計測結果をどのような技術で解析すべきか。

（６）それらの関連を調べる統計的な方法として何を使うべきか。

（７）風車騒音（0Hz 以上）の特徴はなにか。風車からこのような性質の音が出る理由はなにか。

少なくとも、風車から出る音は、何によってその周波数が決定されるのかを解明する必要があります。

風車音の性質に関して、広帯域の音だとの先入観を持ってはいけません。

風車に当たる風の様子も、詳細なデータは購入できます。
誰でも英語の文献を入手して、原文を読めるのです。誤解を招くような日本語に翻訳してはいけません。

などなど、問題点は山積みです。

景観の不満や経済的な利益にその根拠を求めるのは、科学とは言えません。もしその方針をとると、要因の 10%程度を無視した時に、単なる主観しか残りません。そうなれば、嫌悪感が被害を決める。との結論になり、主客が逆転します。人間は、被害を及ぼすものに対して、嫌悪感を持つのです。

風車から、3ｋｍから 5ｋｍくらい離れた場所でも、睡眠障害が起こる可能性があることが分かります。
住宅から 1ｋｍ離せば影響は軽微だと言われても、音を聞いたとたんに死亡することは無い。
と言うような意味にしか聞こえません。
半数の住民が、睡眠障害を起こしても、“影響は軽微”だと言う事なのでしょう。
睡眠不足で海に潜ってアワビを採ったら、死亡事故につながる可能性が高くなります。もちろん、その死亡事故が起きても、風車が死亡事故の直接の原因ではないでしょう。責任は、不眠で体力が落ちているのを知っていながら海でアワビを採ろうとした住民の責任でしょう。
居眠り運転で交通事故を起こして死んでも、風車が直接の原因ではありません。眠いのを承知で車を運転した本人の責任です。
学校で居眠りをして、学力が落ちて、生涯賃金が減っても、風車が直接の原因ではありません。眠気に負けない精神力を持っていなかった子供の自己責任です。
お金が無くて、引っ越しが出来ないのは、風車が直接の原因ではありません。お金を稼げない本人の能力が原因なのです。
風車が直接の原因だと言えるものはなかなか見つかりません。例えば、プロペラが折れて飛んできてそれにあたって死んでも、風車が直接の原因ではありません。重力と風が直接の原因です。もちろん、飛んできたプロペラの直撃に耐えられないひ弱な体を持っていた本人の問題です。
いくら探しても、風車や風車音が被害の直接の原因だと言うのは見つかりません。うるさいのは空気があるからです。聴覚を刺激しているのは、風車そのものでは無くて、空気なのです。原因は空気の存在です。以上、何が起こっても、風車には罪はありません。
風車音で共振が起こり、家具や床がガタガタして、目が覚めても、風車音が直接の原因ではありません。揺れて眠りを妨害したのは家具や床です。家の中で眠る人が悪いのです。屋外で眠れば共振は起きません。

もちろん、被害の可能性は、各地の被害状況を見れば、単なる可能性ではなく現実であることは、すぐに確認できます。
直接的な原因ではないが、風車が、根本的な原因であり、それによって誘発された被害であることは明白です。

11．1．6 由利本荘･にかほ市

由利本荘・にかほ市の風力発電を考える会　　佐々木憲雄、齋藤　浄

2017 年秋、ソフトバンクにより鳥海山の二合目に風力発電建設計画が発表されたのを契機に、翌年六月、「由利本荘・にかほ市の風力発電を考える会」を設立した。会として講演会や学習会、署名活動などをおこなってきたが、そのなかで既存の風車による健康被害で苦しんでいる人たちがいることを知り、2018 年 11 月から調査を継続してきた。

由利本荘市やにかほ市周辺には現在、200～300 基の陸上風車が稼働している。さらに国内最大級の洋上風力発電建設が国策として進行中で、事業者は三菱商事エナジーソリューションズに決定、1 万 4000 ｷﾛﾜｯﾄの風車を 65 基建てる工事は 2026 年 4 月に着工予定だ。秋田県沖には他にも洋上風力計画が目白押しで、さらに健康被害が広がるとの不安が広がっている。

そのなかでおこなってきた健康被害の調査だが、昨年 7 月までに 21 人（由利本荘市 17 人、にかほ市 4 人）の聞きとり調査をおこなった。その結果を表にまとめた【表参照】。

秋田県由利本荘・にかほ市の低周波音被害調査

	発電規模(kW)	基数	自宅までのおよその距離		主な症状
1	19.8	3	70ｍ	70代 男	小型風車騒音がうるさい
2	1,250 600	2	400ｍ	60代 男	耳鳴り、平衡感覚
3	19.2	6	110ｍ	70代 男	小型風車騒音がうるさい
	1,990	3	1ｋｍ		
4	3,200	13	2ｋｍ	30代 女	睡眠障害
5	19.5 ～19.8	3	75,105,250ｍ	30代 男	小型風車騒音がうるさい
6	1,990	3	1ｋｍ	60代 女	頭の中で太鼓がなっているようだ
7	3,000	17	2ｋｍ	50代 女	耳鳴り、頭痛
8	1,990	1	300ｍ	50代 男	シャドウーフリッカー
9	19.5	3	500ｍ	30代 女	小型風車騒音、耳鳴り
10	1,250 600	2	900ｍ	70代 男	近付くと頭痛
11	2,300	7	2.1ｋｍ	70代 女	睡眠障害
12	1,990	1	700ｍ	80代 女	睡眠障害
13	19.5	3	70ｍ	70代 女	小型風車による頭痛
14	1,250 600	2	550ｍ	80代 女	シャドウーフリッカー
15	1,990	1	1.7ｋｍ	70代 男	耳鳴りがひどい
16	1,990	1	2.5ｋｍ	60代 男	低周波音を感知
	2,300	7	3.5ｋｍ		
17	1,990	1	1.8ｋｍ	60代 女	シャドウーフリッカー
18	1,990	2	2.0ｋｍ	60代 男	睡眠障害、低周波音感知
	2,300	7	2.3ｋｍ		
19	特定できない			60代 男	近付くと気分が悪くなる
20	特定できない			60代 女	エコキュート、騒音
21	19.6	3	60,80,120ｍ	40代 女	耳鳴り、鼻血

調査結果に見る問題点として、すべて風力発電建設後に、主に自宅内であらわれた症状であり、とくに低周波音を含む騒音によると思われる耳鳴り、頭痛、睡眠障害などが多い。シャドーフリッカーの訴えや、なかには子どもが鼻血を出した（風車が止まると鼻血も止まった）例もある。

自宅で症状が出る場合と、風力発電に近づく（概ね 3 ㌔以内）と症状が出る場合がある。

行政や事業者に訴えたり、医師の診断を受けたりしているが、個人の問題として扱われたり、診断書も書いてもらえない状況がある。全員が現在も症状を訴えている。

これらの訴えは、“うるさい”との表現だけではない。

これは可聴域の音の煩さを表す A 特性音圧レベル（20Hz～）の数値が実際の被害を反映していないことを示しています。

11．1．7　国、環境省の被害調査

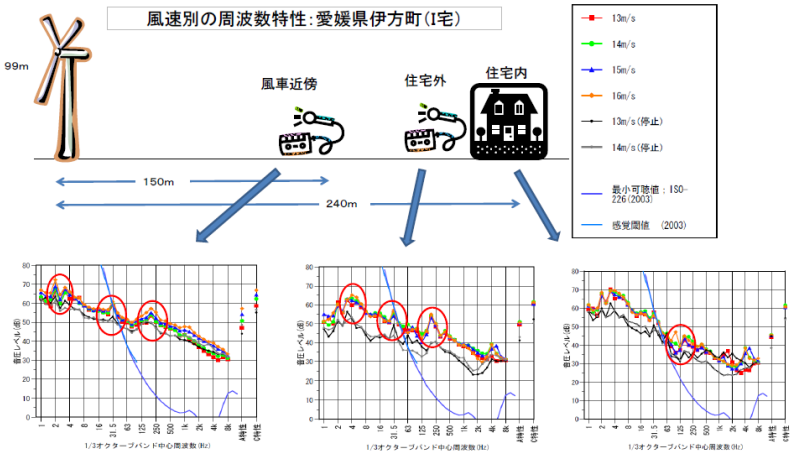
環境省も調査をしました。
被害を苦情と表現するなど、極めて問題の多いものですが、その中でも被害があることが把握されています。

調査報告１．

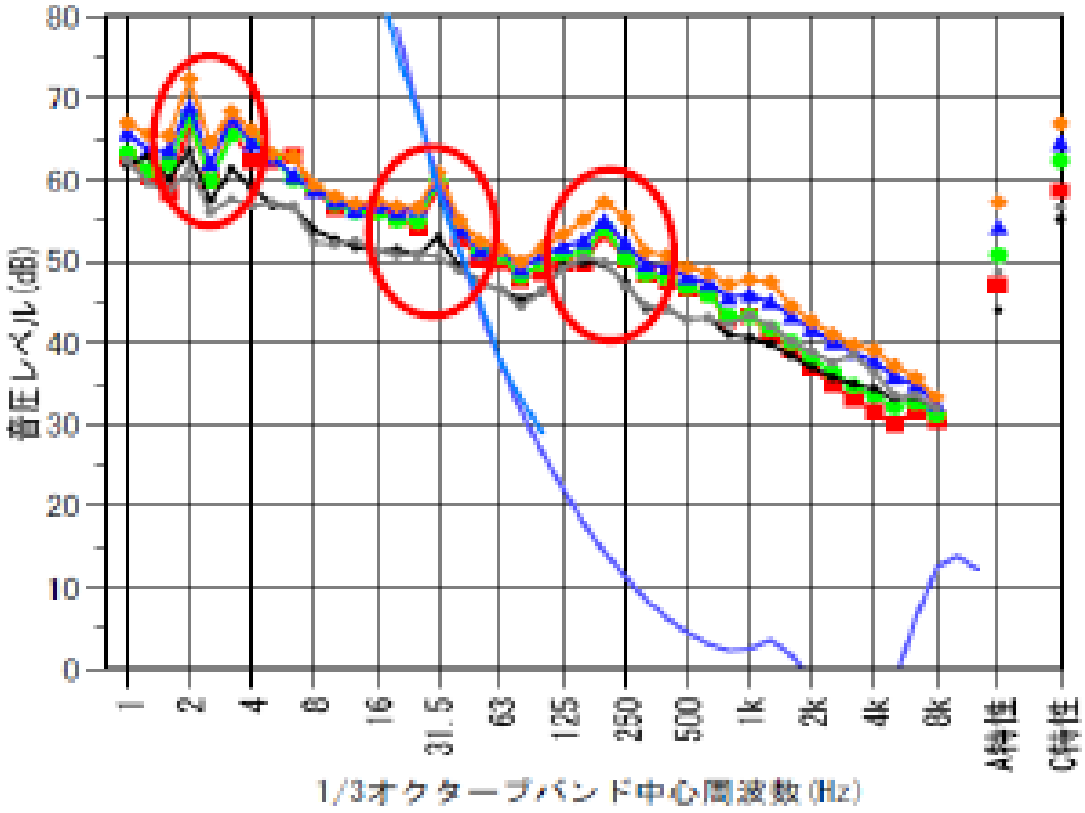
超低周波音（２０Hz 以下）の存在については、

平成２１年に環境省は風車騒音に関する調査を行いました。（資料１，２）でも明らかになりました。
資料１
風力発電施設から発生する騒音・低周波音の調査結果(平成 21 年度)について（お知らせ）
風力発電施設に関して低周波音の苦情が寄せられていることから、環境省は、愛知県豊橋近傍測定点の騒音・低周波音の音圧レベルが低下しました。田原市及び伊方町の苦情 者宅内では風力発電設備の稼働・停止により音圧レベルの変化が観測されたが、豊橋市の苦情者宅内では稼働・停止による明確な音圧レベルの変化は確認できませんでした。
（風車音の測定は風の吹いている条件下で行わなければならないため、風雑音の影響を更に除去する方法の検討が必要です。
本調査で整理された課題を踏まえ、環境研究総合推進費（旧 環境研究・技術開発推進費）の平成 22 年度戦略指定研究開発領域公募課題「風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究」により詳細な調査・解析を行い、実態の解明に努めていくこととしています。
さらに、調査結果として
資料２

図6



があり、



その一部を拡大したものが上の図です。
このグラフでは、１Hz、２Ｈｚ，31.5Ｈｚ，２００Ｈｚ付近に山があります。

調査報告２.

風力発電所に係る環境問題の発生状況「風力発電施設に係る環境影響評価の基本的考え方に関する検討会－報告書（資料編)」より抜粋
（平成 23 年６月 環境省総合環境政策局）
に、次のような記述がある。
【風力発電所の現地調査のうち、騒音・低周波音に関する主な状況】
・建設前に実施した環境影響評価における予測結果よりも、実際の騒音レベルの方が大きい事例があった。
・風車から離れている住民（１km 程度）から、眠れない等の苦情が寄せられている事例があった。
・騒音の環境基準を満たしている地点からも苦情が生じている事例があった。
・苦情を受けて、苦情者宅で騒音の測定調査を実施している事例があった。
・騒音対策として、風車の夜間停止や出力抑制、苦情者宅での騒音対策工事（二重サッシ、エアコンの設置）の実施や、風車に高油膜性ギアオイルを取り付けた事例があった。

調査報告３.

2018 年に環境省の調査結果では
風力発電施設から発生する騒音等に対する取組について環境省水・大気環境局大気環境課大気生活環境室のなかに、次のような記述も含まれています。

2.風力発電と騒音に関する苦情
風力発電に伴い発生する騒音は、交通騒音等と比べ、著しく大きなものではない。ただ 、風力発電施設が もともと静穏な地域に作られることが多いため、騒音に関する苦情が発生する場合がある。

調査報告４.

景観との関連における調査結果では、
平成２４年度
風力発電施設の騒音・低周波音に関する検討調査業務報告書　（環境省）
報告書の８章には
8.2 今後の課題 今年度の検討調査業務を実施して見出された風力発電施設からの風車騒音に関する今後の課題について、以下に整理した。
8.2.1 今後における新たな知見による目標値の見直しの必要性本業務においては、風車騒音の影響について現時点で得られる研究並びに基準等の情報を収集し、当面の行政的取り組みとして環境影響評価における目標値を設定した。しかし、風車騒音の影響はきわめて複雑であり、今後の医学（疫学、病理学)、聴覚、社会心理学的な研究の進展に期待するところが多い。これらの研究の進展に応じて、また環境影響評価の経緯を慎重に見守りながら、本業務で提案した目標値並びに環境影響評価の進め方について、必要に応じて見直していくことが重要である。
8.2.2 情報収集風車騒音の環境影響評価においては、風車騒音の伝搬に係る予測手法の妥当性の検証とともに、それら手法の相互比較による予測精度の検証を今後実施する必要がある。そのためには、測定条件を明確にすることが必要で、風雑音等も十分に配慮された測定データの拡充と蓄積が不可欠である。それと同時に、騒音源である風車の騒音放射特性のデータの公開性が重要である。現状では、風車の音響パワーレベルや周波数スペクトル等のデータは、顧客からの要請に応じて、個別に開示されるのが通常であり、一般には公開されていない。これらの騒音源に係る基礎データは、当該環境影響評価において最も基本となるもので、情報の公開が強く望まれる。

との記載がある。

調査報告５．

環境省の公開している資料
風力発電施設から発生する騒音等に対する取組について
環境省水・大気環境局大気環境課大気生活環境室

には、次のようなグラフと解説がある。

風力発電施設から最も近い苦情者宅までの距離は、図２のとおりである。苦情等が発生したことのある 67 施設において、苦情を寄せている者のうち、風力発電施設から最も近い苦情者宅までの距離は、20ｍから 3,000ｍの範囲だった。施設数では、「200ｍ未満」が 14 箇所と最も多く、次いで「1,000ｍ以上」が 12 箇所だった。

また、苦情者宅までの距離が「200ｍ未満」では、14 箇所のうち、12 箇所で苦情が継続している。

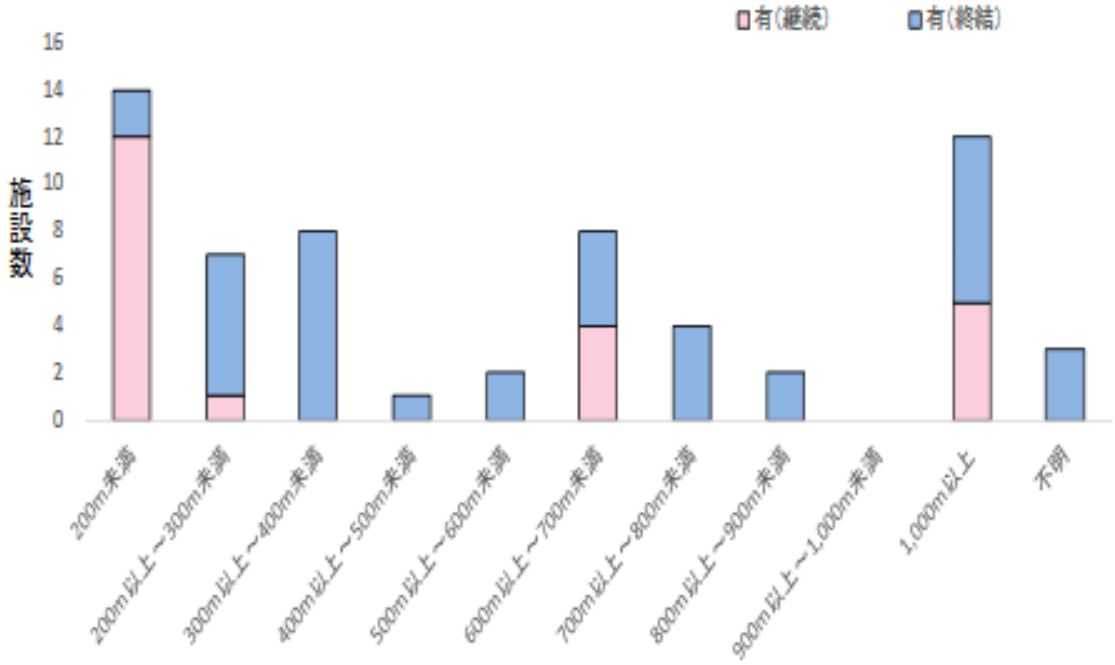


図２　風力発電施設から最も近い苦情者宅までの距離

定格出力と最も近い苦情者宅までの距離を図３に示す。苦情を寄せている者までの最短距離は、定格出力に関係なく 1,500m 以内（3,000m・2,000kW の苦情原因は景観によるもの）に収まっている。苦情を寄せている数は、20kW 未満と 2,000kW 前後に大別され、20kW 未満では 200m 以内に集中しているが、それ以上大きくなると定格出力の大きさと苦情を寄せている最短距離に比例関係はなく、1,500m 以内ではどの距離でも苦情が起こりえる状況という結果になった。

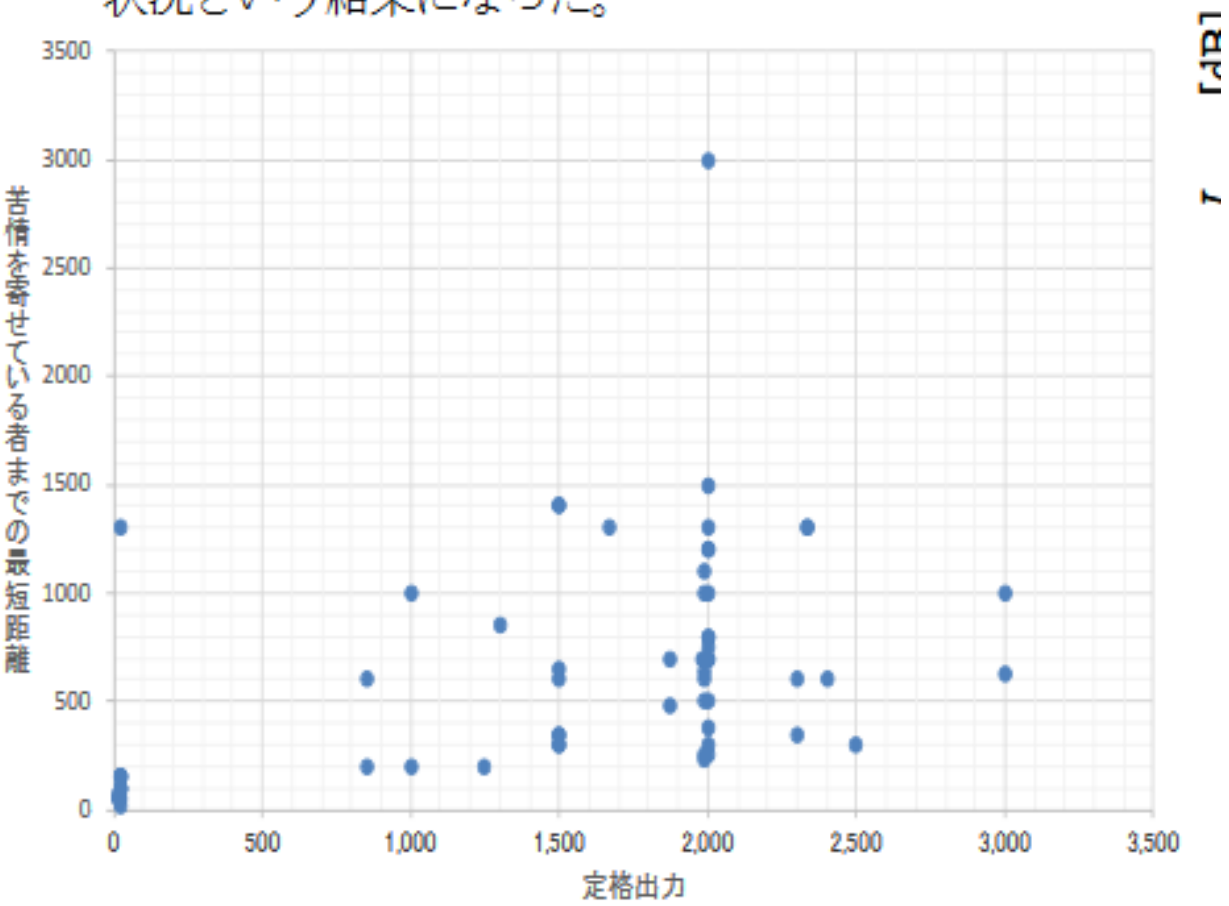


図３　定格出力と最も近い苦情者宅までの距離

ここには、
“苦情者宅までの距離は、２０ｍから３０００ｍの範囲だった”
との記述がある。
これは、少なくとも３０００ｍの範囲までは健康被害が発生する可能性があることを示しています。

国の調査結果及び問題点

１：問題がどこで起きるのかを認識しない。

“環境省の、参考資料　―低周波音の基礎知識―　の記述では、

(1) 我が国における低周波音苦情の特徴

低周波音の苦情内容が海外では生理的・心理的苦情が大部分であるのに対して、我が国では物的苦情も相当数ある。苦情が発生する最低音圧レベルが海外より小さいことがあるが、その原因として我が国の家屋構造から低周波数域では人が感ずる音圧レベルよりも小さい音圧レベルで建具が振動する場合があること等が考えられる。“

とあるのだが、建具の共振の記述はあるが、家全体としての共振については記述が無い。家全体としての固有振動数については、熊本地震の被害調査から 0.5Ｈｚから 1Ｈｚであることが判明している。当然、家全体としての共振も考えられる。(私の家では、0.5Ｈｚ、0.7Ｈｚ、50Ｈｚの振動が計測されました。)

国の記述で、“(風車音の測定は風の吹いている条件下で行わなければならないため、風雑音の影響を更に除去する方法の検討が必要です。”

や、

“環境省、“低周波音の測定方法に関するマニュアル”　に、

5.1.5 **測定場所および測定点の選定**

測定点は，原則として問題となる場所の屋外とするが、必要に応じて屋内にも設ける。“

とある。

苦情や被害は、

“【風力発電所の現地調査のうち、騒音・低周波音に関する主な状況】

・風車から離れている住民（１km 程度）から、眠れない等の苦情が寄せられている事例があった。

とあり、“眠れない”という問題は夜間の室内で起こる。だから、測定は夜間室内で長時間行い、室内での現象を解明する必要がある。室内ならば、風雑音の心配は無い。超低周波音の問題は、騒音の問題でもあり、振動の問題でもある。

原則を

“測定点は、原則として問題が起きている室内とするが、必要に応じて室外にも設ける。測定は、精密騒音計と振動レベル計を必ず併用し、精密な周波数分析が出来るデータを収録する。”

と変える必要がある。

２：検討範囲を意識的に狭くする。

問題を聴覚で聞き取れる周波数の問題に限定し、共鳴による家全体の振動や、気圧変動の影響、音響キャビテーションの問題などを考察しない。不眠の状況を数値化して調べる方法があるのにその実行を提案しない。

３：交通騒音との明確な違いを無視する。

“2.風力発電と騒音に関する苦情

風力発電に伴い発生する騒音は、交通騒音等と比べ、著しく大きなものではない。ただ 、風力発電施設が もともと静穏な地域に作られることが多いため、騒音に関する苦情が発生する場合がある。“

東海道新幹線は東京駅の始発が６時､東京着の最終は２３時４５分です｡新幹線は夜中の走行はしません。閑静な地域では、夜間の交通量はほぼ０である。風車の騒音開始時間と終了時間は無い。２４時間連続運転をしているのが風車です。
これは重要な相違点である。

４：聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値の意味を曖昧にしている。
“環境省、“低周波音の測定方法に関するマニュアル” には、
（3）G 特性 1-20Hz の超低周波音の人体感覚を評価するための周波数補正特性で、ISO-7196 で規定された。可聴音における聴感補正特性である A 特性に相当するものである。この周波数特性は、10Hz を 0dB として 1-20Hz は 12dB/oct.の傾斜を持ち、評価範囲外である 1Hz 以下および 20Hz 以上は 24dB/oct.の急激な傾斜を持つ（図−１.１、表−１.１ 参照)。1-20Hz の傾斜は超低周波音領域における感覚閾値の実験結果に基づいている。
“環境省の、参考資料 ―低周波音の基礎知識― の記述には、
d.1 感覚閾値
低周波音の感覚閾値（低周波音を感ずる最小音圧レベル）については多くの研究者によって検討がなされている。図-d.1 は様々な研究者によって得られた感覚閾値である 1)。これらの閾値は実験方法や実験施設の違いによって 5～10dB 程度の違いがある。大部分の結果は可聴音の閾値（ISO-226（最小感覚閾値の部分については 1996 年に ISO389-7 に改訂されている））の延長線上にあり、周波数が低くなるに従い閾値は上昇している。数 Hz～50Hz 位を代表する傾斜はほぼ -12dB/oct.となっており、この傾斜が ISO-7196（超低周波音の心理的・生理的影響の評価特性）においても採用されている。
通常、音としては知覚されないとされる超低周波音については、ISO-7196 によると、平均的には、G 特性音圧レベルで 100dB を超えると超低周波音を感じ、概ね 90dB 以下では人間の知覚としては認識されないと記されている。G 特性の基になった超低周波音の感覚閾値は欧米の実験結果に基づいている。 これらの値は平均値であり、例えば中村らの実験結果によれば閾値には±5～10dB 程度の幅があり、山田らによれば、標準偏差の 2 倍である±10dB の範囲に大部分の人が入るとされている 2)。“
とある。
さて、聴覚は耳で音として認識すると言う意味だろうが、感覚閾値の感覚とは何を意味するか、聴覚、皮膚での触覚、半規管での感じる揺れの感覚、大気圧圧力変動を内耳の前庭器官で感じるときの感覚、より物理的に音響キャビテーションでの影響。さらに、知覚閾値の知覚とはどんな意味で使っているのだろうか、定義を明確にして欲しいところである。

５：問題の解明に向けた具体的指針を提起する気が無い。
“平成２４年度
風力発電施設の騒音・低周波音に関する検討調査業務報告書 （環境省）
報告書の８章には
8.2 今後の課題 今年度の検討調査業務を実施して見出された風力発電施設からの風車騒音に関する今後の課題について、以下に整理した。
8.2.1 今後における新たな知見による目標値の見直しの必要性本業務においては、風車騒音の影響について現時点で得られる研究並びに基準等の情報を収集し、当面の行政的取り組みとして環境影響評価における目標値を設定した。しかし、風車騒音の影響はきわめて複雑であり、今後の医学（疫学、病理学)、聴覚、社会心理学的な研究の進展に期待するところが多い。これらの研究の進展に応じて、また環境影響評価の経緯

を慎重に見守りながら、本業務で提案した目標値並びに環境影響評価の進め方について、必要に応じて見直していくことが重要である。

8.2.2 情報収集風車騒音の環境影響評価においては、風車騒音の伝搬に係る予測手法の妥当性の検証とともに、それら手法の相互比較による予測精度の検証を今後実施する必要がある。そのためには、測定条件を明確にすることが必要で、風雑音等も十分に配慮された測定データの拡充と蓄積が不可欠である。それと同時に、騒音源である風車の騒音放射特性のデータの公開性が重要である。現状では、風車の音響パワーレベルや周波数スペクトル等のデータは、顧客からの要請に応じて、個別に開示されるのが通常であり、一般には公開されていない。これらの騒音源に係る基礎データは、当該環境影響評価において最も基本となるもので、情報の公開が強く望まれる。“

との記載がある。

もし、解決する気があるなら、騒音計測、震動計測を風車建設前と建設後に季節ごとに行いその結果を誰でも分析可能な形態で公開することを義務付けるだろうし、

医学（疫学、病理学）に関しては、風車を中心にして半径３km の全ての住民に対しての、唾液コルチゾール検査を風車建設会社が費用負担して実施することを義務付けるだろう。「副腎疲労（アドレナル・ファティーグ）」は、近年、体調不良で検査をしても原因がわからないという不安を訴える患者様が増えています。現代人は、日常的にさまざまなストレスを受けています。副腎から分泌されるコルチゾールは、このストレスから私たちの心身を守ってくれています。

しかし、強いストレスが慢性的に続くと、副腎も疲れ、コルチゾールの分泌が追い付かなくなり、身体にさまざまな症状が現れます。このコルチゾールの分泌についての検査は、１回１５０００円で行えます。

問題があるとの認識があるのならば、原因を究明する具体的な方法があるのだから、それを実施することを提案するべきである。

質問１：観測データの積極的な公開についての貴社の実績と公開についての方針を伺いたい。

“現状では、風車の音響パワーレベルや周波数スペクトル等のデータは、顧客からの要請に応じて、個別に開示されるのが通常であり、一般には公開されていない。これらの騒音源に係る基礎データは、当該環境影響評価において最も基本となるもので、情報の公開が強く望まれる。”

とあり、“音響パワーレベルや周波数スペクトル等”が明確になる形での情報公開は、企業の社会的責任であると考えるか、貴社がどのように考えるか？

（答え）

質問 2：“風車騒音の影響はきわめて複雑であり、今後の医学（疫学、病理学）、聴覚、社会心理学的な研究の進展に期待するところが多い。”

とあるなかで、医学（疫学、病理学）に関しては、風車を中心にして半径３km の全ての住民に対しての、唾液コルチゾール検査を貴社責任で行い、医学的、統計的なデータによって、原因究明をする必要があると考えるが、貴社はどのように考えるか？

（答え）

１１．２　土砂災害

１１．３　種子、植相、食物連鎖

１１．４　ペレイラ博士

長周新聞　低周波音の人体への影響を解明　　マリアナ・アルヴェス・ペレイラ博士の報告から
低周波音の人体への影響を解明　　マリアナ・アルヴェス・ペレイラ博士の報告から

秋田県で洋上風力発電に反対している由利本荘・にかほ市の風力発電を考える会とＡＫＩＴＡあきた風力発電に反対する県民の会は、７月２３、２４の両日、由 利本荘市で「ふるさとの自然と風車写真展」を開催した。同時にその場で、映像による学習会として、ポルトガル・ルソフォナ大学教授のマリアナ・アルヴェ ス・ペレイラ博士の講演会「低周波音による健康被害」を流した。ペレイラ博士は低周波音の健康被害について３０年間研究してきた科学者で、低周波音が頭痛 やめまい、不眠を引き起こすだけでなく、人体全体に影響を与えて、心膜や血管の肥厚を引き起こし心筋梗塞や脳梗塞などの原因になっていることを明らかにし た。こうした分野の研究は日本ではほとんど進んでいない。政府・環境省は、風力発電の被害は騒音の問題であり、耳に聞こえない低周波音との因果関係は認められないといっているが、それを科学的な根拠をもって否定する内容となっており、注目される。

由利本荘市でおこなわれた「映像による学習会」

由利本荘・にかほ市の風力発電を考える会とＡＫＩＴＡあきた風力発電に反対する県民の会は、秋田県沖が再エネ海域利用法の促進区域に指定され、洋 上風力建設のターゲットになっていることから、この間、学習会や署名運動、県や市に対する陳情にとりくむとともに、すでに稼働している風車の健康被害につ いての聞きとり調査をおこなってきた。

そのなかで開かれた「ふるさとの自然と風車写真展」には、２３、２４の二日間で２００人以上が参加。同じ会場で映像による学習会もおこなわれた。

解説を担当したのはサイエンスライターの山下友宏氏で、ペレイラ博士と連絡をとって講演会の映像を使用することの承諾を得た。講演会はスロベニア で、科学者を対象におこなわれたもの。ユーチューブでも見ることができる。https://youtu.be/txUVdMkVsew 以下、その要旨を紹介する。

講演するペレイラ博士

講演するペレイラ博士

私はニューヨーク州立大学で物理学士、フィラデルフィアのドレクセル大学で医用生体工学修士、そして新リスボン大学で環境科学博士の学位を取得した。騒音から細胞、健康までカバーする学問を学んできた。

まずはじめに、病気の原因となる低周波音・超低周波音（以下、低周波音と略）についてお話しする。低周波音は空気を通して伝わる圧力波だ。その周波数は常に一定のものではなく、時間の経過で変化する。振

幅も変化する。

音圧は、単位面積当たりの力であらわされる。ＷＨＯ（世界保健機関）は「生物によらない機械的な力」と呼んでいる。耳に聞こえようが聞こえまいが関係ない。ここが低周波音の難しいところだ。耳に聞こえる騒音と低周波音はどこが違うのだろうか。

基本的には、波のピークとピークの間の長さが違う。低周波音はピークとピークの間がとても長い。一方、耳に聞こえる周波数の音（可聴音）は、それが短い。

たとえば耳によく聞こえる３０００ヘルツの音の場合、ピークとピークの間の長さは数㌢㍍だ。人間の聴覚で聞こえる一番低い２０ヘルツを見てみると、ピーク間の距離は１７㍍だ。

騒音を防ぐために壁を作ろうとすると、その騒音の波長と同じ厚さが必要になる。２０ヘルツの騒音を防ごうと思ったら、１７㍍の厚さの壁が必要になる。さらに騒音が１ヘルツだった場合、３４３㍍の厚さが必要だ。低周波音の問題はここにある。低周波音は壁を突き抜け、地面も突き抜ける。だから人間の健 康にとって問題となるのだ。

私たちの目に見える光についてはよく知られており、とても細かく分類されている。紫外線、エックス線、ガンマ線といった目に見えないものもある。目に見えなくても、私たちの健康には影響する。

音も同じことだ。音の場合、可聴音、低周波音、超音波がある。私たちの研究チームは、耳によく聞こえない低周波音を研究している。低周波音研究の 難しさは、音の場合、聞こえる音と聞こえない音がいっしょくたにされていることにある。音の場合、可聴音と低周波音があっても、光線のように細かく区別されているわけではない。身体の組織によって、影響を受ける周波数が違う。低周波音の人体への影響を研究するうえで、ここが大きな問題だ。

古代ギリシャの時代から、大きな音が聴覚にダメージを与えることはよく知られている。これまで人類は可聴音から身を守ることに一生懸命になってき た。人間の話し声は、だいたい５００ヘルツから１万ヘルツの間だ。このあたりの周波数の騒音から耳を守ることだけを考えてきたわけだ。

そして騒音から守ろうとしてきたのは、聴覚だけだった。身体そのものを守ろうとはしてこなかった。また、これまでずっと、耳に聞こえない音は身体 に害を与えないと考えられてきた。だが、エックス線は目に見えないが、人体に害をおよぼす。そもそも五感で認識できるものだけが身体に害を与えるという考え方は間違いだ。ウイルスは目に見えない。目に見えなくても人体に有害な物質はたくさんある。騒音に関してだけ、耳に聞こえる音だけが有害というのはおかしな理屈だ。

騒音を測定するときに使うＡ特性は、騒音から聴覚を守るために考え出されたものだ。Ａ特性で測定した場合、１０００ヘルツから１万ヘルツでは、測定値と実際の大きさとの差はゼロだ。目的が騒音から聴覚を守ることなら、Ａ特性になんの問題もない。

しかし１０ヘルツまで下がってみると、測定値は実際の音の大きさより７０デシベル少ない。１００ヘル

ツ以下（低周波音の領域）では、A特性はまったく不正確だ。こうしたやり方で「聞こえないんだから害はないですよ」といって正当化している。

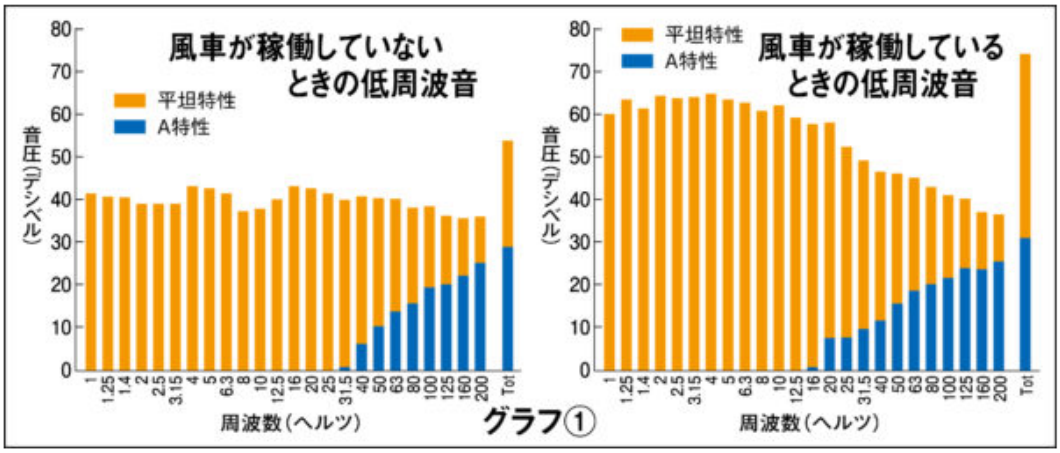
だが、実際には人体に害が出ている。この実際の音の方は世界中、どこの国の法律でも考慮されていない。ただロシアには、都市部に限って超低周波音に関する法律がある。

最近、私たちのチームは新しい測定機器を使い始めた。今はこの機器を使って平坦特性で測定している。これを使うと低周波音領域でも測定値と実際の 音のレベルの差はゼロだ。これが病気の原因を突き止めるための科学的な手法だ。これで測定すると、耳に聞こえる騒音は同じでも、人体はもっと大きな音響エ ネルギーにさらされていることがわかる。

風車によってミンク大量死　デンマークの農家

次にデンマークのミンク農家について話す。高級なコートにする、あのミンクだ。その農家が風車の低周波音にさらされた。もはや住居には誰も住んでいない。所有者はミンクの世話をするためにここに通っている。

私たちは二カ所で騒音測定をおこなった。古いタイプと新しいタイプのミンク小屋の２カ所だ。グラフは、右が風車が回っているときで、左が回っていないときだ【グラフ①参照】。



グラフ①

法律が定めている測定方法（A特性）で計ると、黒い部分だけが測定された。普通、騒音測定といえばこれしか使わない。風車が回っていてもいなくて も、A特性ならたいした違いはない。回っているときの方が大きな音響エネルギーにさらされているわけだが、これではそれはわからない。平坦特性で測定した のが灰色の部分で、これが実際に存在する音響エネルギーを示している。

さらに私たちが使っている新しい測定機器は、０～６００秒まで、つまり１０分間の時間の経過をあらわすことができる。風車が回っているときと回っていないときの１０分間の音響環境の変化をあらわす図を見ると、風車が回っている方の図は黄色から赤になっている（赤になるほど音が大きいことを示す）。

そして、黄色い部分は「フーッフーッフーッ」と断続的な線になっている。私たちは、生物の反応を見る

うえで、このパルスが重要だということを発見した。

風車騒音は周期的だ。これは数学でいうとハーモニックシリーズ（調和級数）に当てはまる。そして、自然界にある音がハーモニックシリーズになることはない。

空軍基地で振動音響病多発　ポルトガル

次に振動音響病について話す。私は振動音響病にかかわって３０年になる。この研究はどうやって始まったか。

１９８０年にカステロ･ブランコ博士がポルトガル空軍基地の主席医務官に就任した。博士は基地内の様々な場所に行って、そこで働いている人の健康状態を調べた。

飛行機はメンテナンスが終わると試運転をしなければならない。飛行機が動かないように固定して、エンジンのテストをする。その最中、たくさんのスタッフが飛行機の周りでチェックリストを手に観察する。

ある日、博士はこの試運転の様子を見ていた。すると突然、一人のスタッフがフラフラと飛行機のエンジンに向かって歩き出した。その人は他のスタッ フにとり押さえられた。試運転が終わると、博士はスタッフに「さっきはなにが起こったのか？」と尋ねた。するとスタッフは「ああ、よくあることなんです。 なぜかはわかりませんが。１９６０年代にはとり押さえそこねて死んだスタッフがいましたよ」と答えた。博士は驚いていった。「そんな病気を持ったスタッフ が働いているんですか」

ポルトガル空軍基地は１９１８年に作られた。１９５０年以降に勤務したすべての人の病歴は、基地の医療センターに保管されていた。博士はその資料 に目を通し、そこで働く人の１０％が遅発性てんかん（大人になってから発症する）と診断されていたことがわかった。全人口に占めるてんかんの割合は０・ ２％だ。

飛行機のような巨大な機械の仕事をする人が、てんかん発作を起こすようでは困る。そこで１９８０～１９８６年に調査がおこなわれた。ブランコ博士 は病理学者で、解剖して組織を顕微鏡で調べるのが仕事だ。彼は死因を解明するために遺体を解剖したいと考えた。解剖の重要性をよく理解しているスタッフが いて、解剖に同意すると遺書に書いた。１９８７年、そのスタッフが死に、ブランコ博士は解剖をおこなった。

その結果、腎臓と脳に腫瘍が見つかった。それまでの検診では見つけることができなかった腫瘍だった。もっとも驚いたのは、梗塞で心臓発作を起こし た傷跡が１１もあったことだ。そして１２回目の発作で亡くなった。１２番目の傷跡は２㍉以下で、通常は梗塞の傷跡と見なさない小さなサイズだった。さら に通常では考えられないことだが、心臓血管構造の異常な肥厚が見つかった。

そして心膜と呼ばれる部分も肥厚していた。心臓の膜である心膜はとても薄く、正常な心膜の厚さは０・５㍉未満だ。ところが低周波音に暴露した患者は、心膜が２・３㍉にもなる。

これは心臓手術を受けた患者の心膜の写真だ【写真①参照】。２人とも心臓血管に異常があった。左の人は騒音が原因ではなく、右の人は騒音が原因だった。心膜が異常に肥厚していることがわかる。

写真①心臓手術を受けた患者の心膜の写真。右が騒音が原因の患者。肥厚している（倍率は同じ）

写真①心臓手術を受けた患者の心膜の写真。右が騒音が原因の患者。肥厚している（倍率は同じ）

心臓血管構造の肥厚は、心膜だけに起こることではない。血管でも起こる。血管の壁で起こる。血液が流れる血管の壁は本来は薄いものだが、それが肥厚する。動脈の壁がどんどん厚くなると、動脈は閉じてしまう。低周波音に暴露した患者は、血管の中にコレステロールがたまったのではなく、壁が肥厚した結 果、閉じてしまうのだ。たとえば冠状静脈はとても小さくて、すぐに詰まってしまう。だから、このスタッフの場合、１１もの梗塞の跡があったのだ。そうなる ともう血液が流れないから、問題が起こるわけだ。

この肥厚はコラーゲンとエラスチンが異常に増えたために起こると私たちは考えている。専門用語で形態形成という。そこにあるはずのない組織の発達 という意味だ。これが低周波音のせいで起きているとは、最初は思いもよらなかった。身体全体が「生物によらない機械的な力」にさらされたために、身体がそ の力に対抗しようとして起こったのだ。

１９９９年、この病気の進行の仕方について研究することになった。３０６人の航空技術者のグループを基本に、心臓血管病、糖尿病、連鎖球菌感染症 がある人、精神安定剤を服用している人は除外し、残った１４０人の男性が研究対象になった。その１４０人が４年間、エンジンテストで低周波音に暴露され続 けると、７０人以上（５０％以上）が気管支炎を発症した。１０年の暴露で、７０人以上が血尿を発症した。

もう一つ重要なことは、症状が蓄積していくということだった。気管支炎にかかっている状態で、さらに鼻からの出血やひどい筋肉痛が加わるのだ。血尿も止まらない。

患者がもし女性なら、なにが起こるか？ 「ああ、お子さんが巣立ってヒマなんでしょ。ネットで調べて、病気だと思い込んでいるだけですよ」。

これはアイルランドのダブリンの法廷で、振動音響病を発症していた５２歳の女性が実際にいわれたセリフだ。

呼吸器の病理学について。これまでにのべたのは、航空技術者に起きたことだった。つまり職場での騒音暴露だ。そして喫煙者も非喫煙者も同様に呼吸 器の病気になった。それを解明するためにラットによる実験をおこなった。人と同じ条件にし、１日８時間、週５日間暴露し、週末は暴露しないようにした。

ここでもまた、肥厚が起きていた。今回は肺の壁の肺胞だった。酸素と二酸化炭素を交換するところだ。ラットはタバコを吸わない。これは騒音のせい で起きたことだ。また、気管の空気が通るところには繊毛と刷毛細胞があるが、騒音に暴露したラットは繊毛がなくなっていた。騒音に暴露されると、刷毛細胞 は徐々にくっついて結合し始め、さらに結合してついには死んでしまった。

ラットの耳の中も調べてみた。音が聞こえると、基底膜が動き、それにつれて繊毛が振動して、その上の蓋膜に触れるために、聴覚神経に情報が伝わ る。これは正常な耳の機能だ。人もラットも歳をとると耳が遠くなるが、それは繊毛がなくなるからだ。では、騒音に暴露されるとどうなるか。繊毛と蓋膜が結 合してしまっている【写真②参照】。繊毛同士も結合している。

写真②　騒音・低周波音に暴露したラットの耳の中。繊毛と蓋膜が結合してしまっている

写真②　騒音・低周波音に暴露したラットの耳の中。繊毛と蓋膜が結合してしまっている

この状態で音が聞こえれば、基底膜が動くが、引っ張られて自由に動くことはできない。そこで私たちは、低周波音に暴露した人が騒音に大変敏感になるのはこのためではないかと考えた。心因性のものではなく、器質的基盤がある（器官が損傷して病気になっている）ということだ。

低周波音に暴露した人は聴覚に影響を受ける。この聴覚の異常は、大きな音を聞いて難聴になる異常とはまったく異なる。難聴の人はテレビのボリュームを上げるが、低周波音暴露の人はボリュームを下げる。少しの音も我慢ならないからだ。

正常なラットの場合、「チュッ」という音を嫌がり、キョロキョロと警戒する。ところが低周波音に暴露さ

れたラットは、「チュッ」という音に震え上がり、後ろ足で立ってひっくり返った。低周波音暴露の場合、てんかんの発作とよく似た反応を示す。

低周波音暴露の患者は、「朝、起きたとき疲れている」とか「騒音が我慢できない」とよくいう。音楽もだ。騒音が耐えられない人たちは社会から孤立する。スーパーでは冷蔵庫や冷凍庫の音が耐えられない。

「家の中で体調を崩した」　穀物倉庫の低周波音

さて、住居内の暴露ではなにが起こるだろうか。当初私たちは、低周波音に住居内で暴露したと訴える患者に対し、非常に懐疑的だった。私たちは航空産業について研究していたので、家の中なんてそんなすごい騒音が聞こえるわけないじゃないと思っていた。

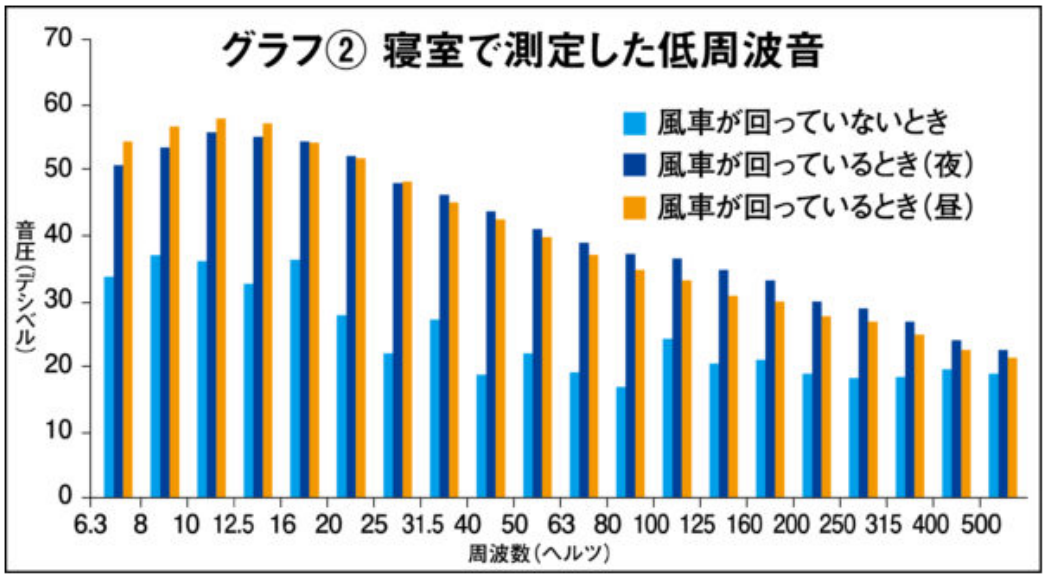
ところが２０００年、電話をかけてくる人が何人かいた。「家の中の騒音で体調を崩した。どうしても来てください」。行ってみるとその家に住む人たちは航空技術者と同じ騒音にさらされていた。場所はポルトガルのリスボン、テージョ川の近くだ。家のベランダから見ると、巨大な穀物倉庫が川の向こうに 建っていた。アームが伸びてきて横付けされた船から穀物を吸い上げてサイロに保管したり、反対にアームが穀物を吐き出して船に積んだりしていた。家の中で 測定してみると、騒音レベルはとても低かった。しかし医学的な診断テストをやってみると、航空技術者と同じ症状だとわかった。

この家に住む女性は妊娠していた。工場や飛行機に対し、夜１０時か１１時以降は稼働を禁止せよというＥＵ指令があるが、この女性が妊娠したのは、 このＥＵ指令ができる前だった。穀物倉庫は１日中稼働していた。調べてみると、仕事中の暴露に比べて家の中での暴露は、振動音響病の臨床ステージの上がり 方が速いことがわかった。時間経過による重症化が速いのだ。家の中では睡眠をとるし、滞在時間も長いので、暴露する時間が長いからだ。家の中では逃げ場が ない。

次は風力発電の低周波音被害の話だ。これは私たちが２００７年にはじめて発表した風車騒音のケースだ。

被害者の自宅から８００㍍のところに風車が４基建っている。４基は２００６年１１月に稼働開始した。２００７年３月、両親は息子の学校の教師から 手紙を受けとった。「お子さんになにかあったのですか？　優秀だったのに、成績がどんどん落ちています。やる気がなく、体育の時間も元気がありません。 ちゃんと睡眠をとっていますか？」。風車の稼働から６カ月、両親も体調を崩していた。

そこで私たちが呼ばれ、低周波音の測定をした【グラフ②参照】。測定場所は寝室だ。こういう場合、普通は家の外で測定する。でも外で寝る人はいない。食べたり生活したりするのは家の中だ。人体への影響を知ろうと思えば、家の中を測定すべきだ。



被害者は風力発電の会社を相手に裁判を起こした（２００７年)。２０１３年、ポルトガル最高裁判所は４基すべての稼働停止を命じた。四基は停止に なったのだが、事業者はそれまでに新しい風車を建てていた。被害者はそれ以上の裁判をするお金がなくなった。デンマークのミンク農家と同じように、被害者 もこの家を出たが、馬の世話のために通わなければならなくなった。

すると、置き去りになったすべての馬がボクシーフット（屈曲肢変形）になった。風車が稼働するまではなんともなかったのに。子馬のときに連れてこられた馬もなっていた。先天性ではないのだ。

最後にお見せする写真はショッキングなので、あまり講演会ではお見せしないものだ。きょうお越しの皆さんは科学者なので、情報提供のために見せる。

これは妊娠中に低周波音に暴露したラットの、奇形の胎児だ。これはミンク農場で、死亡したミンクの胎児を詰め込んだ冷蔵庫だ。弁護士が、低周波音 被害の証拠として保存するようにいったそうだ。通常、ミンクがこんなに大量に死亡することはない。被害者の男性は、３０年間ミンクの飼育をしてきてはじめてだそうだ。

これは風車が原因ではないが、母親が低周波音に暴露したひよこの胎児だ。生育不能卵だった。低周波音のためにそうなったのだ。

次はドイツの話だが、被害者宅から２ｷﾛﾒｰﾄﾙの範囲にたくさんの風車が建っている。被害者がここに来たときは、高さ７０ﾒｰﾄﾙの小さい風車が２基だけだった。今稼働しているのは２３００ｷﾛﾜｯﾄなので、それよりずっと高い。眺めのいい寝室は使っておらず、今は地下の倉庫を寝室にしている。低周波音が耐えられな くて、倉庫を寝室に作り替えたのだ。

最後はアイルランド。この家にはもう誰も住んでいない。風車の低周波音のせいだ。ここで暮らしていた９歳の息子がてんかんと診断された。さらに１ ９歳の息子はＰＴＳＤ（心的外傷後ストレス障害）と診断された。先に紹介したデンマークのミンク農家の主人もＰＴＳＤと診断されている。

以上、気の滅入るような内容だったが、３０年以上の研究の結果得られた科学的事実である。

ISO7196 での 1/3 オクターブ解析での中心周波数は、0.25Hz～315Hz です。0.25Hz の音や 0.5Hz の音の音圧を計測するには工夫が必要ですが、デジタル信号処理についての基本事項が分ればなんとかなります。

多くの計測結果では、1/3 オクターブ解析の結果が、1Hz 以上の周波数に関して示されていて、最大音圧となる部分が計算から除外されています。

風車音の影響を示す指標として、風車の騒音レベル（A 特性音圧レベル（20Hz～））の数値を使うことが多いのですが、これでは、風車音のエネルギーの 93%以上を無視して評価している事になってしまいます。

無視されている超低周波音（0Hz～20Ｈｚ）の部分のエネルギーを考慮すれば、

“環境省の風車騒音に関する検討会では，風車騒音のレベルとわずらわしさ（アノイアンス）の間には統計的な有意差があると報告する論文は複数あり，わずらわしさが睡眠影響を生じさせる可能性はあるものの，風車騒音が直接的に健康に影響する可能性は低いと報告されている 14).”

での、有意差を補正することも可能です。

無理に、

“「風車音による不快感」と関連する要因について，「既存の風力発電所に対する賛否」，「建設過程の公正性」，「建設過程における不快感」，「音に対する敏感さ」，「距離」に注目し相関を分析する．“

とするよりは、

不快感と関連が深い数値を計測する方が有効だと考えます。

風車騒音（A特性音圧レベル）の数値は、交通騒音とくらべてもそれほど高くないのですが、“音がうるさい”ではなくて、“不快である”の観点で調査すれば、計測される、A特性音圧レベルが同じ数値であっても、“不快である”と感じる人の割合は、風車音の方が多いのです。聞こえる部分の数値が同じでも、何らかの原因で不快感を覚えるのです。

“聞こえなければ問題はない。”というのが、環境省の考え方です。聞こえる音と限定すれば、20Hz～20ｋHz の範囲が考察する対象となります。

風車音を交通騒音の違いは、周波数帯におけるエネルギーの分布、及び最大音圧とその周波数にあります。

風車音の影響についての論文は、

風車音の周波数特性を解明する。他の騒音との違いを理解する。
風車音の発生する仕組みを解明する。
被害の特徴と関連性がある指標を考える。例えば、A特性音圧レベル、G特性音圧レベル、最大音圧、最大音圧*周期、などを計測して被害項目との統計的な関連性を調べる。
風車からの距離が等しい地点を選び、風車が見える場所の音圧と、見えない場所の音圧を計測する。
垂直軸、水平軸の風車音の違いを調査する。
風車音の指向性や、風車の振動に関する研究結果を調べる。
環境省の主張が正しいか否かを判断する。自分の見解を表明する。
自分で風車音の計測と解析をやってみる。
風車音の被害を訴える人の話を聞いてみる。

などを行ってから書くべきです。

１２．房総かぜの丘の風車

千葉県館山市にある風車の音を、リオン社の精密騒音計 NL-62 で計測し、波形収録プログラム NX-42WR によって１６ビットの符号付整数を使って収録しました。計測結果の WAV ファイルを作りました。収録時の周波数重みづけは Z 特性（平坦特性)。サンプリングレートは４８ｋHz、連続する収録時間としては 10 分でした。

この方法で収録した WAV ファイルを解析すれば、0.5Hz の音も把握できます。このファイルには、１秒間に４８０００回計測した音圧の変化が記録されていますので、それを解析すれば 1Hz よりも低い周波数の成分を解明できます。

こうして得られた騒音に関する測定結果を波形解析ソフト DADISP と Wavelet モジュールを使って調べました。FFT と Wavelet 解析で、計算したところ、風車の近くでは 0.8Hz の超低周波成分が 0.3Pa 程度の強さで観測されました。風車の無い所では、0.5Hz や 0.8Hz の超低周波成分の強さは、0.003Pa 程度でした。

房総かぜの丘　　風力発電用の風車。

名称「房総かぜの丘」

出力　１５００ＫＷ

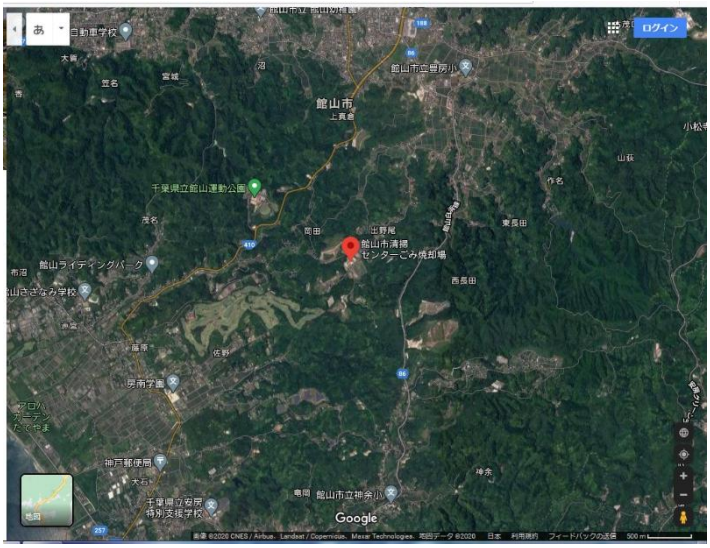
タワー高さ　６５ｍ

ブレード直径　７０．５ｍ

ナセル重量　５２トン･･･（改めて見ると、すごい数字だ）

最大高さ　１００ｍ

館山風力開発株式会社

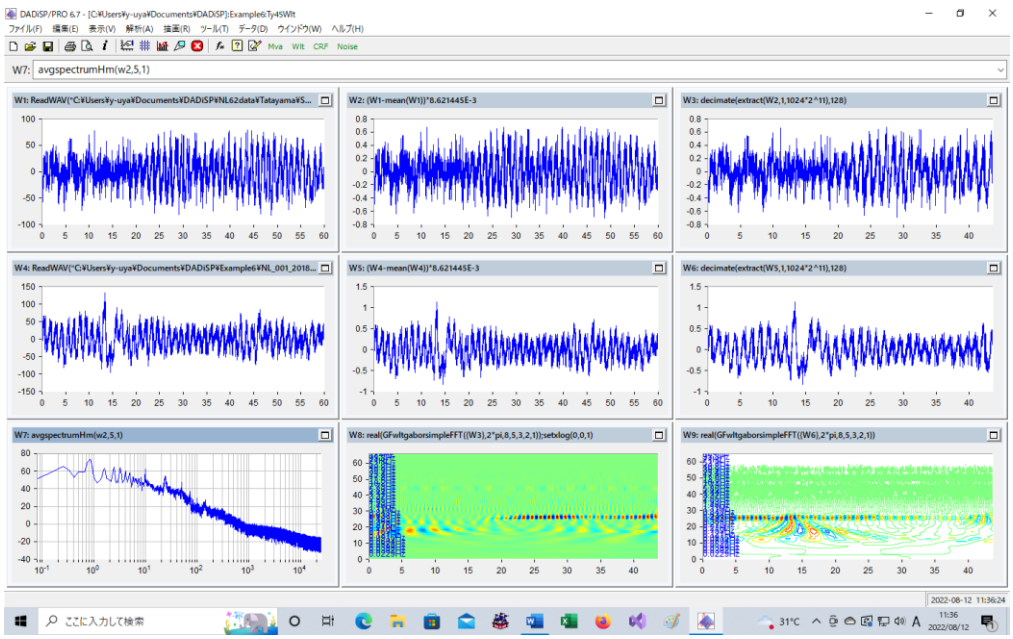


房総かぜの丘」にある、出力　1500KW、タワー高さ　65m、ブレード直径　70．5m、ナセル重量　52トンの騒音を、リオン社の精密騒音計 NL-62 と波形収録プログラム NX-42WR で収録した wav 形式のデータを調べました。

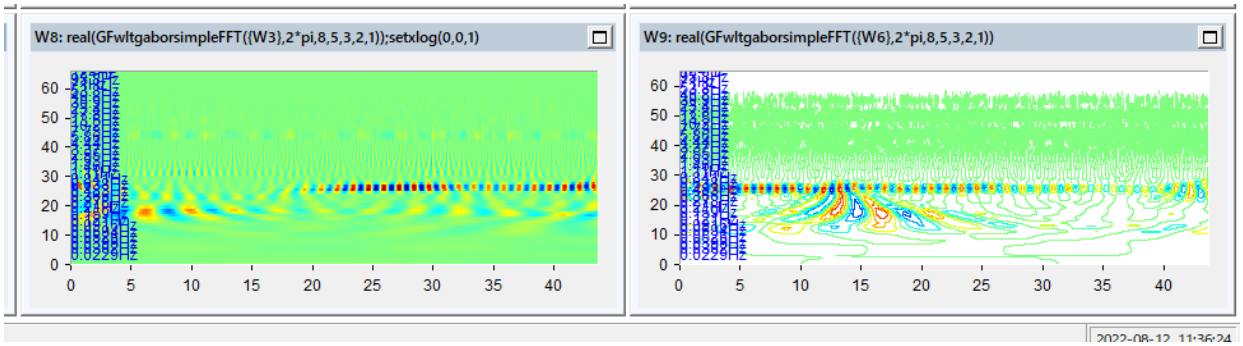
Wavelet 解析の結果は、

最初の１分間のデータが下段中央ものです。次の１分間の計測結果は下段右側のグラフです。

Ty45Wlt



この２分間の結果を並べて表示すれば、下のようになります。Wavelet 解析を使えば、周波数の時間的な安定性を見ることが出来ます。



このグラフから、0.8Hz の成分が、0.3 パスカル程度の強さで放出される状態が 100 秒以上継続することが分かります。この、0.8Hz の超低周波音の原因は何かを解明する必要があります。

もちろん、1/3 オクターブ解析では、詳細な比較はできません。周波数スペクトルも平均化したものでは、対策の評価には使えません。エネルギーの分布も比較する必要があります。

2021 年の春、風車の下では桜が咲いていました。風車の下に立つと、グォーン、グォーン、といった感じの音がしていました。すぐ近くまで車で行けます。皆様も計測してみて下さい。

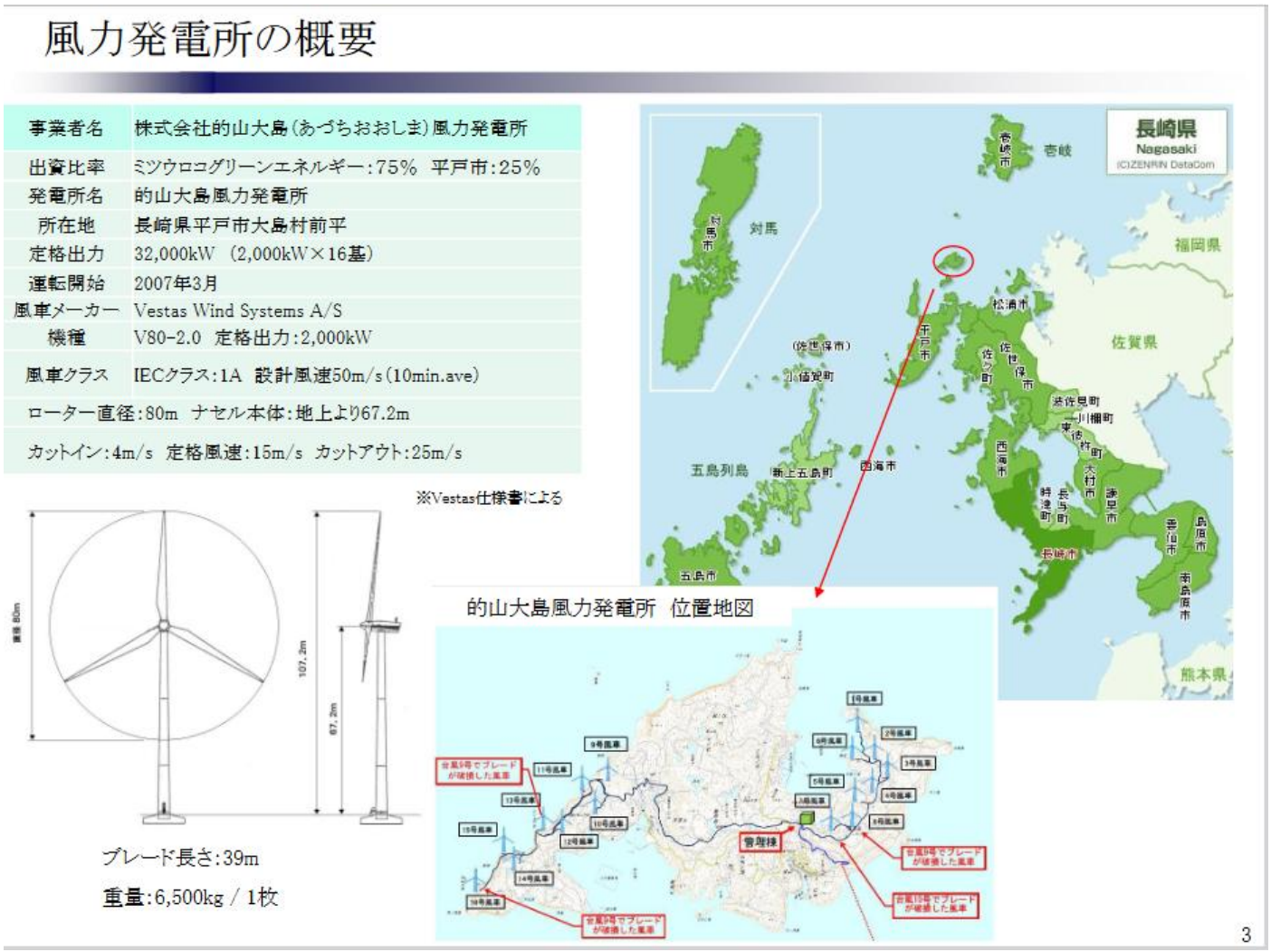
１３．天罰

人間に多くの恵みを与えてくれる大自然も、濡れ衣を着せられれば怒ります。
そして、天罰が下ります。

金属疲労は毎日の繰り返しですが、近年は台風が大型化しています。水平軸型の風車の最上部にあるナセルは、トラックのような形状です。横風を受けると、大きな被害が出ます。
被害を避けるためには、風に対して正面を向けて、風の影響を小さくするのです。これが出来なくなると、
次のような事故が起こります。

台風は今後も大型化します。この事故はこれからの起こるのです。

的山大島風力発電所
台風９号・10 号によるブレード折損事故に関する報告　（第４報）



事故の概要

台風9号時

2020年9月2日夕方から9月3日早朝にかけ、台風9号が的山大島の西側を通過した。このとき、発電所の風車全16機のうち8号風車、13号風車、16号風車の3機のブレードが破損した。

風車は台風通過前に風速25m/sのカットアウト風速を超えたため、保安停止中の7号風車を除き、全機自動でPause状態に移行していた。

Pause状態：風車は発電停止し、ブレードピッチはフェザリング状態で、ヨーは自動追従となります

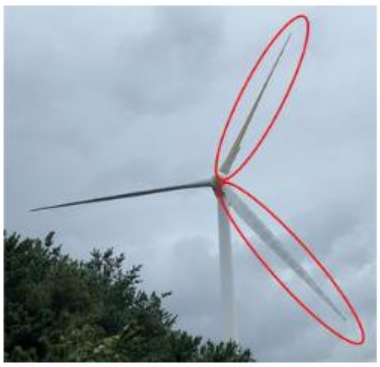
8号風車:ブレード3枚破損

13号風車:ブレード1枚破損

台風10号時

台風9号通過から中2日、2020年9月6日夕方から9月7日早朝にかけ、台風10号が的山大島の西側を通過した。このとき、7号風車のブレードが破損した。

台風9号通過時に発生した故障により、事故機である4機については、ヨーイングに異常が生じており、風向の変化に追従できない状態となっていた。



16号風車:ブレード2枚破損

7号風車:ブレード1枚破損

ヨーイングとは、ナセルの向きを風の方向に向けることです。これが故障すれば、当然事故は起こります。

しかし、故障しなくても、事故が起こる可能性はあるのです。

風が、大きさと方向を激しく変化させることは、気象庁のデータから明らかです。

次の表は、気象庁が計測したデータを、気象業務支援センターから入手したものです。

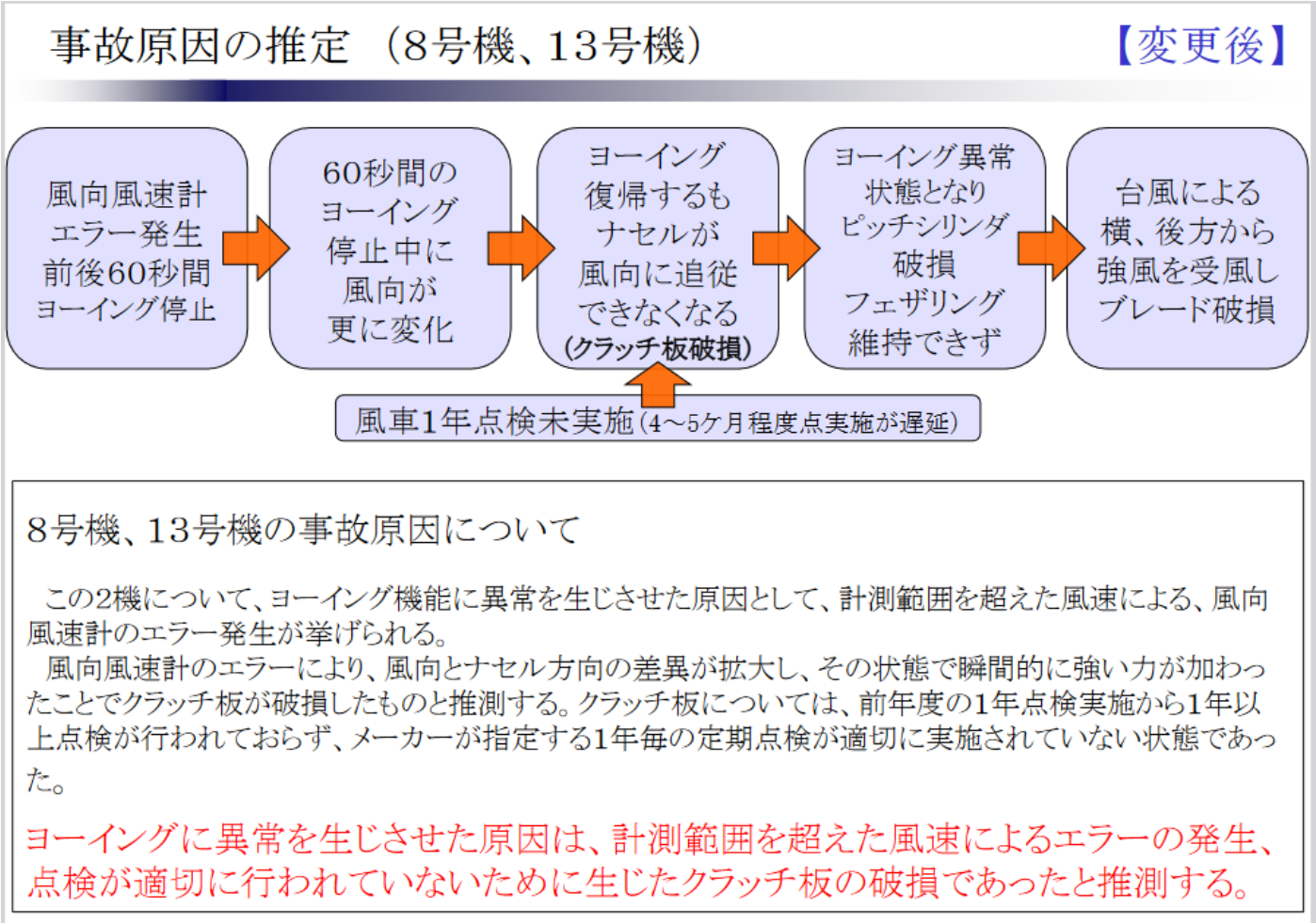
年	月	日	時	分	秒	前10秒間最大瞬間風速	前10秒間最小瞬間風速	前10秒間風程
						0.1m/s	0.1m/s	
2019	2	2	0	12	40	147	124	132
2019	2	2	0	12	50	146	107	131
2019	2	2	0	13	0	122	82	102
2019	2	2	0	13	10	105	65	83
2019	2	2	0	13	20	112	71	82

（前 10 秒間風程は、10 秒間に風が進む行程を意味します。132 は秒速 13.2mの風速です。）

風速も風向も不安定なのです。

風の急激な変化についついてゆくには、風車の向きを高速で変化させなくてはなりません。発電機の部分はとても重いので、激しく向きを変えればそれだけで壊れます。

構造から考えて、水平軸型の風車は、根本的な欠陥品なのです。



世の中には、音も静かで、風に合わせて向きを変える必要のない風車もあります。パリのエッフェル塔に登ってみてください。

以上です。　　宇山靖政