

## 内容

せたな町洋上風力発電所「風海鳥」について .....	5
令和7年第1回せたな町ゼロカーボン推進協議会 .....	6
山形県遊佐町での住民説明会（R5.3.11） .....	7
平成22年、環境省の調査.....	12
石狩風車の低周波音測定結果と健康被害.....	13
超低周波音に関する検討状況.....	15
羊頭狗肉 .....	15
懸念ではなく被害です.....	19
“知覚閾値”の追加.....	21
振幅変調音（スイッチュ音）の原因 .....	27
純音成分.....	36
振動原因と響板 .....	39
7.2 弦の振動 .....	40
7.2.1 弦の振動と空気 .....	40
7.2.2 弦と響胴 .....	45
7.4 音叉と共鳴箱と響胴.....	47
7.4.1 音叉と共鳴箱.....	47
強制振動と響胴.....	49
手続きの透明性 .....	50
問われる基礎学力.....	53
可聴低周波領域（20～100Hz）での比較 .....	57
騒音レベル（A特性音圧レベル）での比較 .....	59
英語.....	64
聴覚閾値を感覚閾値・知覚閾値に改竄 .....	68
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。.....	85
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。.....	86
合意形成と反対意見の封殺 .....	88
反対意見の封殺.....	88
・酒田市での意見交換会 .....	88
・1 健常者ではない.....	91
・2 地元のステークホルダーを取り込む .....	95
・3 地域への貢献（金銭的援助） .....	98
・4 道路、防音窓、クーラー .....	99
代表意見と住民意見の集約と配布資料.....	101

令和5年度 山形県地域協調型洋上風力発電研究・検討会議 第1回 遊佐沿岸域検討部会.....	102
風車音（60秒間） .....	104
金属疲労と事故 .....	112
東伯風力発電所 4号機ブレード折損事故について .....	117
六ヶ所村風力発電所で発生した風車の倒壊事故.....	119
項目の除外と死亡事故.....	122
風車による死亡事故と水平軸型の風車の欠点 .....	123
水平軸型風車の破損事故は何度も起きています。 .....	124
資源エネルギー庁 西尾補佐（オブザーバー）の助言 .....	124
秋田市 風力発電事業者への調査終了 問題は見つからず .....	125
点検方法と雷 .....	126
ブレードのバランスが悪化.....	128
“ブレード折損前に破損によりブレードのバランスが悪化していた”ことの検出方法.....	129
漁民の知識とアドバイザーの知識.....	131
垂直軸と水平軸 .....	133
エッフェル塔の風車.....	134
合意形成での自治体の役割 .....	135
「わたしの提言」について（回答）（千葉県） .....	135
ゾーニング .....	136
累積的影響 .....	137
・環境大臣の意見（累積的な影響） .....	138
【コラム 2】風力発電の失敗例 前川侑毅.....	139
超低周波音に関する住民の対応.....	141
低周波音の被害 .....	145
睡眠障害、頭痛、ガタツキ.....	145
由利本荘市での被害 .....	154
風車の大型化 .....	159
実測調査結果との比較.....	168
イヤホン .....	178
収録波形（供給信号）とスピーカでの再生音 .....	179
全国164か所の風車からの超低周波音.....	182
計測と分析と発生メカニズムを解明した後の話です .....	185
5. 13 疑似音（MIT） .....	191
兵庫県のケース .....	194
・環境基準値からの脱却 .....	194
基礎的な確認事項.....	202
22. 音に関する基礎知識 （リオン社のHPを参考にしました。） .....	202
23. 音圧・音圧レベル.....	209
音圧と音圧レベル .....	209
音圧レベルの重合 .....	215

音の大きさの評価（A 特性・G 特性・アノイアンス特性） .....	217
風車からの超低周波音 .....	222
グラフの形 .....	224
周波数 $f/3$ 、 $2f/3$ 、 $f$ 、 $2f$ 、 $3f$ 、 $\cdots$ Hz で音圧が高くなる .....	228
一般的な環境騒音と風車音の違い .....	230
科学的エビデンス .....	232
※ 1 について（風力発電施設から発生する騒音等への対応について） .....	236
※ 2 について（風力発電施設から発生する騒音に関する指針について） .....	247
・風力発電施設から発生する騒音に関する指針について（2017 年） .....	247
二重防風スクリーンと除外音処理 .....	257
（A 特性の重みでの）除外音処理 .....	261
10. 健康被害と原因 .....	266
10. 1 アノイアンスとラウドネス .....	266
大型風車による地盤振動伝播* .....	269
周辺の家の振動（野中 氏） .....	271
参 考 資 料—低周波音の基礎知識— .....	273
10. 1. 1 唾液コルチゾール検査 .....	275
10. 1. 2 カナダ政府の風車騒音と健康に関する調査 .....	276
10. 1. 3 風車音の影響 .....	280
直接的影響と間接的影響 .....	280
10. 2 間接的な健康影響（安眠妨害） .....	295
10. 2. 1 風車による睡眠へ影響 .....	295
10. 2. 2 ガタツキ閾値 .....	295
10. 2. 3 圧力変動の感知 .....	297
10. 2. 4 不眠による被害 .....	301
安眠妨害は拷問の手法 .....	303
睡眠は、健康な生活にとって極めて重要なのです。 .....	304
南房総市の健康だより .....	305
10. 3 直接的な健康被害（循環器障害と頭痛） .....	311
10. 3. 1 超低周波音の解析と発生の仕組み .....	311
10. 3. 2 圧縮と膨張 .....	325
10. 3. 3 長期曝露による循環器障害 .....	331
10. 3. 4 音響キャビテーションと頭痛 .....	335
10. 3. 5 潜水病についての資料 .....	345
6. 計測・解析・実験での問題点 .....	350
周波数スペクトルと計測 .....	350
目的と方法 .....	354
アコー社 .....	361
リオン社の NL-62 のマニュアル .....	364
27. FFT について .....	369

12.1 フーリエ変換とFFT .....	371
12.1.1 離散フーリエ変換.....	371
FFT .....	373
風が強い10分間.....	382
風車音(60秒間) .....	387
音圧の決定方法.....	392



## せたな町洋上風力発電所「風海鳥」について

2024年12月11日 では、

### ➤(1) 風海鳥の現状について

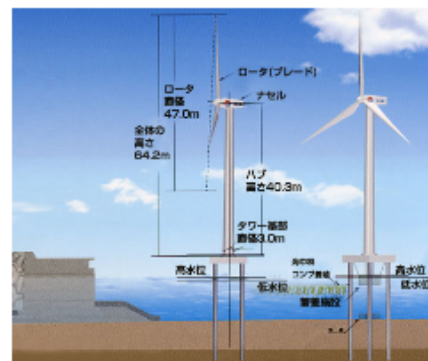
#### 「風海鳥」の稼働停止の状況と経緯について

##### ➤1号機：

- ・商業運転開始後、大きな故障もなく順調に稼働していたが、令和5年10月頃から設備等のエラーにより停止することが多くなり、令和6年1月から多数のエラーにより稼働できない状態が続いた。
- ・令和6年10月15日にメンテナンス事業者と理事者及び担当課と協議し、発電を中止するとともに施設の安全な維持管理に移行することを決定。

##### ➤2号機：

- ・平成30年12月のブレード折損により2年間稼働停止をしていた。
- ・令和2年12月の修理後からは順調に稼働していたが、令和5年3月からギアボックス破損により稼働停止、修理には多額の費用が必要のため発電を中止し、施設の安全な維持管理に移行。



風海鳥の全体図

■名称	ヴェスタス社製(デンマーク)
■公称出力	660kW
■定格出力	600kW
■カットイン風速	4.0m/s
■カットアウト風速	25.0m/s
■ロータ直径	47.0m
■ハブ高さ	40.3m
■総高到達点	64.2m

風力発電設備の仕様

### ➤(2) 風海鳥の運営にかかる課題について

#### 「風海鳥」安全な維持管理の継続について

##### ■安全な維持管理について：

- ・施設の安全な維持管理には年間約2,000万円の維持管理費が必要である。  
(電気主任技術者報酬、電気使用料、損害賠償保険料、定期メンテ・保安管理業務など)
- ・維持管理に多額の費用を要することから、早い段階に施設撤去を実施したいと検討しているが、撤去費用についても多額である。  
(概算費用：撤去工事：約3億5千万円、浚渫：約3億5千万円)
- ・基金の残高は6年度末の見込みで約5,800万円となり、撤去費用は一般財源や起債を充てなければ実施できない。

この施設が町の財政を圧迫している事が示されている。

## 令和 7 年第 1 回せたな町ゼロカーボン推進協議会

・令和 7 年 7 月 9 日（水）

### 1. 議題

議案第 1 号 せたな町ゼロカーボン推進協議会正副会長の互選について

議案第 2 号 せたな町ゼロカーボン推進協議会専門部会の選任について

報告第 1 号 地球温暖化対策実行計画の進捗について

報告第 2 号 檜山沖洋上風力発電事業の状況について

### 2. 勉強会

再生可能エネルギーについて

#### 資料一覧

[令和 7 年度第 1 回せたな町ゼロカーボン推進協議会議事次第](#)

[令和 7 年度第 1 回せたな町ゼロカーボン推進協議会議案](#)

[【資料 1】 せたな町ゼロカーボン推進協議会設置要綱](#)

[【資料 2】 せたな町ゼロカーボン推進協議会委員等名簿](#)

[【資料 3】 せたな町地球温暖化対策実行計画の進捗報告について](#)

[【資料 4】 檜山沖洋上風力発電事業の状況について](#)

[【参考資料 1】 北海道檜山沖における協議会意見とりまとめ](#)

[【参考資料 2】 協議会意見とりまとめ後の主な段取り（他地区の事例）](#)

[【資料 5】 再生可能エネルギー導入における環境アセスメント制度の動向](#)

[【資料 6】 風力発電施設からの騒音・超低周波音（国内外の知見について）](#)

まだ勉強会を継続しているようだが、勉強会の“資料 6”があまりにもひどい内容なので、その問題点を説明することにした。押し付けられた資料で勉強しても、より困難な財政状況に陥るのです。

騙されてはいけません。

北海道の石狩湾には沢山の風車が並んでいます。風車音を NL-63 で収録した波形の WAV ファイルと、道庁前で交通音を NL-63 で収録した波形の WAV ファイルを公開するように要求して下さい。

議論はその後です。

風車を押し付けられそうになったら、水平軸型ではなく、垂直軸型にしてくれと言って下さい。

## 山形県遊佐町での住民説明会（R5.3.11）

[令和5年3月11日開催 遊佐町沖における洋上風力発電に関する住民説明会 質疑応答](#)では、

意見・質問

（更問2）

○先ほど因果関係の検証という言葉が非常にたくさん出てきたが、水俣病は会社が流した有機水銀によって起こった病気だということは、疑われてから確実になるまでどれだけかかり、その間にどれだけの人が死んだのか。風車病はまだ無いと言うが、予防原則や人権等からすると、離岸距離を長くして建てることや時期を遅らせる等の道はないのか。

回答

【環境省】

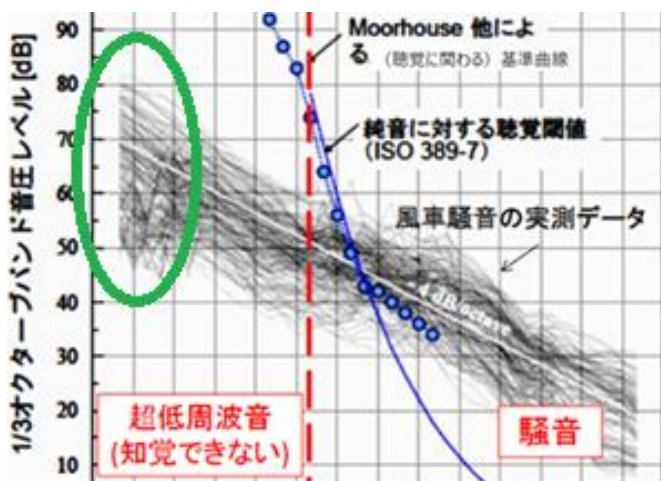
○風車騒音に関する科学的な知見について紹介させていただきます。まずは**超低周波音**についてです。風車騒音指針を取りまとめるにあたって調査した結果、風車から発生する**聞こえない音の成分（超低周波音）**は、自動車や航空機などと**比べて小さく**、風車だけが特別に超低周波音を発している風車病が起こるというのは誤解です。また、2019年に世界中の風車騒音に関わっている学者や関係者が集まった会議が開催され、その際にも風車からの音の問題は、超低周波音の問題ではないということで合意されています。なお、風車騒音指針を策定する際に参考としたデータは、検討当時に国内で稼働していた風車で測定しているため、今後、当時より大型の風車が稼働した際には、必要に応じて改めて科学的に測定していくことも検討したいと思います。

【資源エネルギー庁】

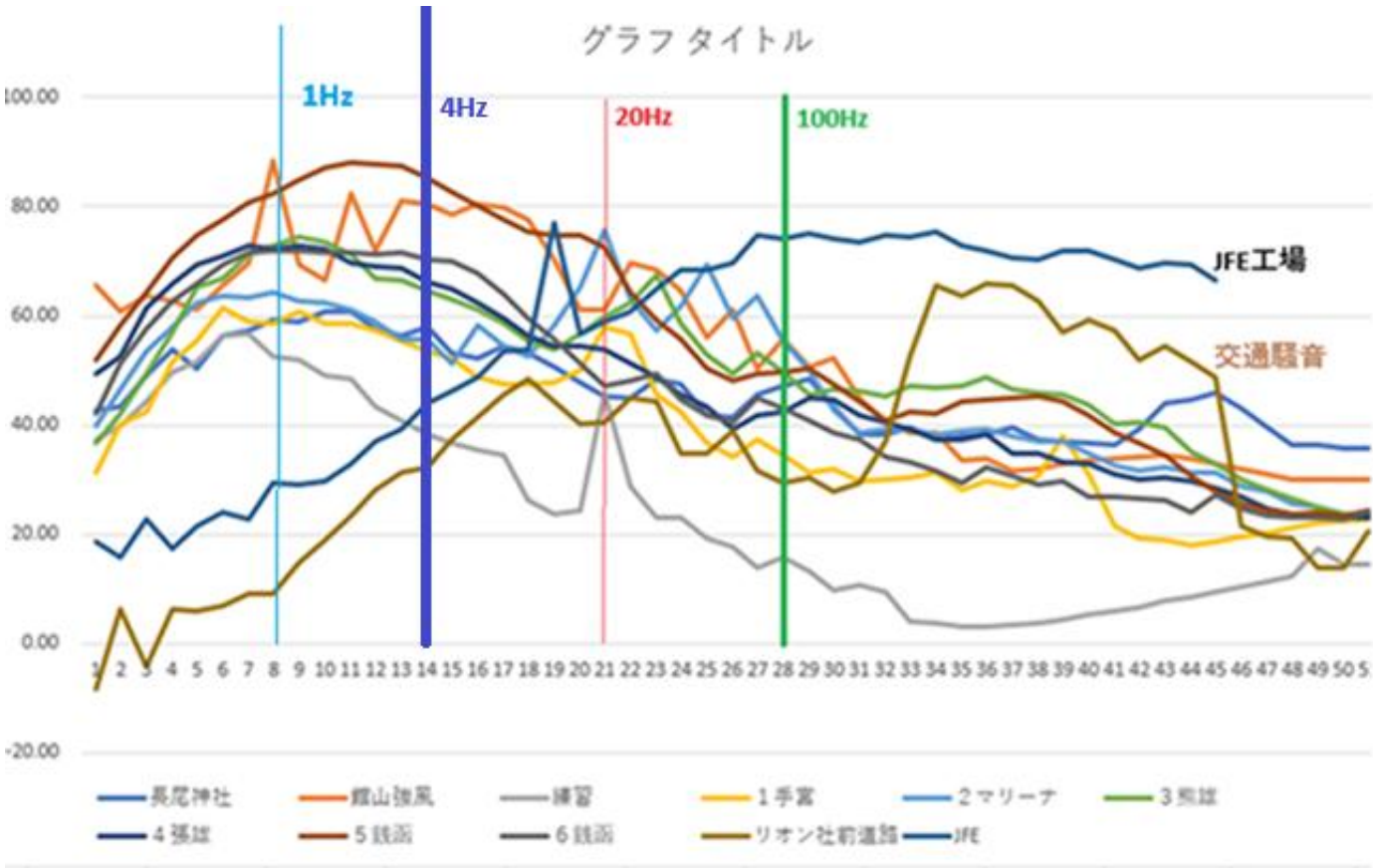
○学術的な検証は引き続き進められていくことになると思いますが、影響が無いことを示さなければ進められないという話になると、洋上風力に限らず様々な取組が進められません。地域の漁業者の方々を含め、こういった場所であれば洋上風力の議論ができるのかという話を考えた結果、現在の区域が候補として挙がってきているという状態です。環境や人の健康に対する影響という点について、引き続き様々な声があると思いますので、**住民から不安の声が示される場合には、選定事業者はその声を聞いて丁寧な説明を行うことについて、とりまとめの中に入れていくことを検討しています。**

とのやり取りがあった。

風車音の計測結果で、1 Hz 辺りでは 50～80 dB の超低周波音が計測されている。



基本周波数（0.5Hz～1H z での卓越）



グラフから、交通騒音では1Hz で 10 d B 以下の音圧レベルである事が分かる。

“風車騒音に関する科学的な知見について紹介させていただきます。まずは**超低周波音**についてです。風車騒音指針を取りまとめるにあたって調査した結果、風車から発生する**聞こえない音の成分（超低周波音）**は、自動車や航空機などと**比べて小さく**、風車だけが特別に超低周波音を発していて風車病が起こるというのは誤解です。”  
と言うのは、嘘と言うよりは、あまりにも市民を馬鹿にした発言です。

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

上のグラフは、ISO7196 に従って、0.25Hz から計算した 1/3 オクターブ解析の結果です。  
1Hz では、風車音と他の環境騒音ではかなりの差があります。  
このグラフでは、20 d B～70 d B の差があるので、100 倍～1000 万倍の違いがある。  
風車音方が圧倒的に大きいのです。

さらに、風車音の計測では二重防風スクリーンが使われていて、1 Hz では 3 8 d B の減衰がある。  
よって、超低周波音の領域では、基本周波数での音圧に関しては、風車からの音は圧倒的に大きな圧力の音が出ているのです。



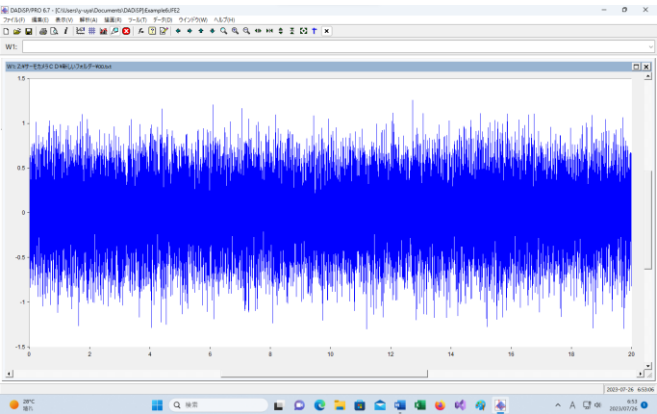
エネルギーでの比較

周波数帯	0～20Hz	20～200Hz	200～24 k Hz	0～24 k Hz	単位
交通騒音	1.76E-07	8.08E-08	1.80E-05	1.80E-05	W/m2
神社風	8.23E-06	3.91E-07	2.12E-07	8.83E-06	W/m2
JFE工場	4.80E-05	4.01E-04	5.34E-04	9.84E-04	W/m2
風車弱風	8.19E-04	2.40E-05	3.82E-07	8.43E-04	W/m2
風車強風	1.49E-03	2.30E-05	6.94E-08	1.52E-03	W/m2

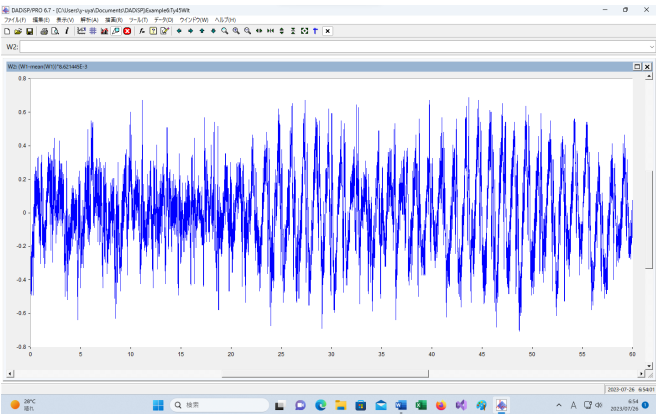
超低周波音の領域では、強風時の風車音のエネルギーは、交通騒音の1万倍です。

波形の特徴を見れば、風車音の超低周波音の成分が体内の圧力を変動させ、循環器系の障害や頭痛の物理的な原因になる事が判明する。

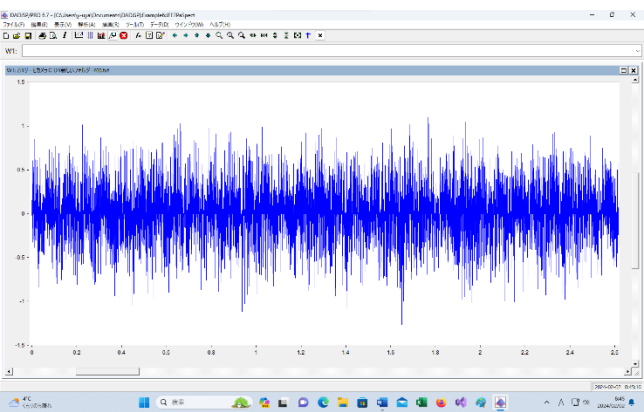
JFE の製鉄所内の音



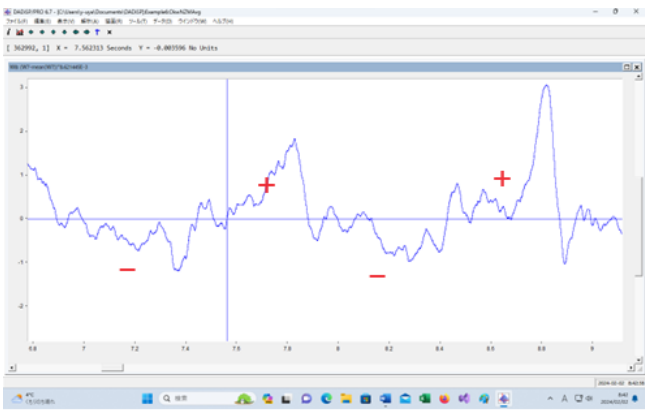
館山の風車音



工場騒音の、2.6 秒間の波形

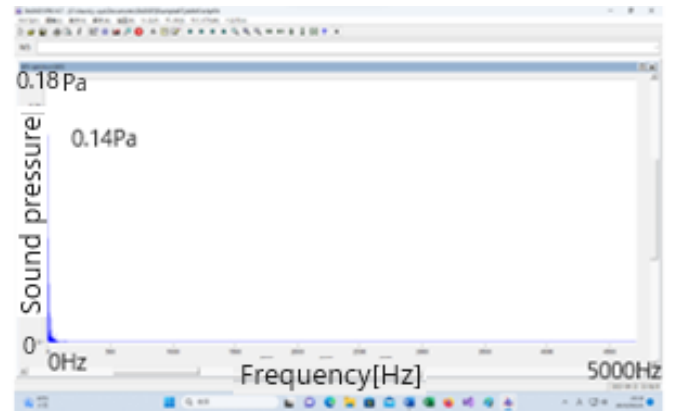
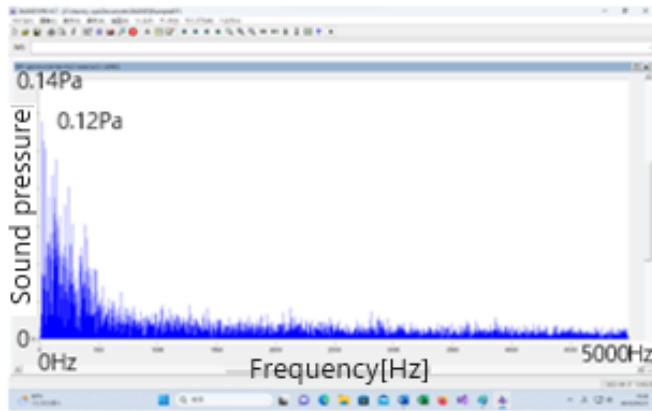


風車音の 2.2 秒間の波形



製鉄所(0～5 k Hz)；最大 0.12[Pa](12Hz)

風車音(0～5000Hz)；最大音圧 0.14[Pa](0.8Hz)



ゆっくりした圧力変動が体内の圧力を変動させるのです。

環境省の嘘は、

#### 4 信用失墜行為の禁止（国公法第 99 条）

職員は、その官職の信用を傷つけ、又は官職全体の不名誉となるような行為をしてはならない。

国家公務員が非違行為を行うことは、職員本人はもとより、職員が所属する職場に対する信頼を損ね、更には公務全体の信用を失うことになりかねません。そこでこのような行為を公私にわたって行うことを禁止しています。に違反した行為だと考えます。

しかし、最近嘘をつくことが環境省職員の仕事になったようです。

資料6

令和7年度 第1回 せたな町ゼロカーボン推進協議会

## 風力発電施設からの騒音・超低周波音 （国内外の知見について）

2025年7月9日

### 内容

1. 国内の環境影響評価法における取り扱い（経産省資料抜粋）
2. 欧州等における最新の知見の状況

風車からの超低周波音に関する知見は沢山あります。はっきり言えば、支離滅裂なのです。

国内外の知見は必要ありません。必要なのは精密に測定した風車音のデータなのです。

それを公開して、議論すれば、

風雑音、疑似音、空力音、空力変調音、超低周波音は出ない、カルマン渦など沢山ある説のどれが正しくてどれが間違いなのかが直ぐに分かります。国内外の知見のほとんどは、実際の計測結果を無視した暴論なのです。最大の欠点は粗密波が発生する物理的な運動を解明していない所であり、超低周波音の発生メカニズムを解明できていない所にあります。

# 1. 国内の環境影響評価法での取り扱い(経産省資料抜粋)

環境省報告書「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(平成28年11月)」、環境省水・大気環境局長通知「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」(平成29年5月26日)を受けて、環境影響評価法における風力発電施設からの騒音・超低周波音の取り扱いについて、令和2年2月、4月に開催された「新エネルギー発電施設事故対応・構造強化WG」で、検討された。

第21回新エネルギー発電設備  
事故対応・構造強化WG  
資料1-1



第22回新エネルギー発電設備  
事故対応・構造強化WG  
資料1

## 風力発電所の環境影響評価の参考項目の 見直しについて

令和2年2月5日  
産業保安グループ 電力安全課

## 風力発電アセスに係る参考項目の 見直しについて

令和2年4月1日  
産業保安グループ 電力安全課

環境省や経産省は超低周波音を評価項目から除外する事にしました。騒音レベル(A特性音圧レベル)の値で、風車音を評価する事を推進しています。

しかし、騒音レベル(A特性音圧レベル)の数値では被害を推定できないのです。交通騒音では“非常に不快”と感じる人が0%なのに、風車音では“非常に不快”と感じる人が20%程度いるのです。

非常に不快と感じれば、安心して眠ることは出来ません。そんな地域からは人が逃げ出します。地域社会が崩壊するのです。

平成22年、環境省の調査

風力発電所に係る騒音・低周波音に関する問題の発生状況

には、

“【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】

- 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。
- 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。



- また、風車音と他の騒音源からの同等レベルの騒音を比較した場合、不快に感じる人の割合は風車音の方が高い<sup>5)</sup>。

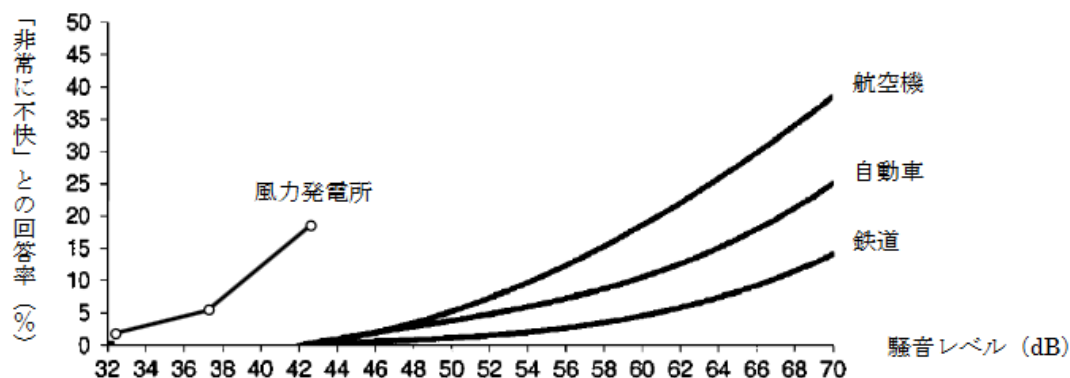


図8. 「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係  
(脚注3及び5の文献より環境省作成)

## ②風力発電所からの騒音・低周波音に関する訴え

□ Nina Pierpont は、風力発電所の近くに住む 10 家族 (38 名) に対する症例調査を行っている<sup>6)</sup>。それによれば、風力発電所から発生する低周波音により、内耳の器官が影響を受けて、様々な健康被害 (睡眠障害、頭痛、耳鳴り、めまい、吐き気、頻脈、集中力低下、記憶障害、倦怠感、パニック症状等) が生じているとされている。

とあります。

環境省が作った上のグラフは、“不快感”と言う観点で風車音と他の環境騒音を比較すれば、A 特性音圧レベル (騒音レベル) が 42 dB のとき、風車音では 20% 程度の人が“非常に不快”とを感じるが、一般の環境騒音では、“非常に不快”とを感じる人はいないことが分ります。

## 石狩風車の低周波音測定結果と健康被害

元札幌医科大学講師・山田大邦氏の論文より 2018 年 2 月 8 日 には、

“2007 年末、東伊豆の別荘地では 1500<sup>キロワット</sup>×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。“とあります。

# 1. 国内の環境影響評価法での取り扱い(経産省資料抜粋)

## 参考項目における超低周波音に関する検討状況

第21回WG資料

- 参考項目における超低周波音※について、環境省等において、超低周波音の健康影響や風車の騒音に関する実測データの収集・分析等の検討が行われてきたところ。

### ○超低周波音の健康影響について

- ・ 環境省検討会報告(※1)、  
環境省水・大気環境局長通知(※2)

- ー 風車からの騒音の実測データ
- ー 健康影響について論文レビュー

※1 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(平成28年11月))

※2 環境省水・大気環境局長通知「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」(平成29年5月26日)

- ・ NEDO報告(※3)

- ー 風車からの騒音の実測データ

※3 風力発電等導入支援事業/環境アセスメント調査早期実施実証事業/環境アセスメント迅速化研究開発事業既設風力発電施設等における環境影響実態把握Ⅰ報告書、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構、平成30年2月

### ○アセス図書に対する住民意見、知事からの意見

- ー 住民意見は、主に健康影響への懸念。
- ー 知事意見は、適切な調査・予測・評価の実施や事後調査の実施、懸念等への対応策の検討について。

### ○今後の風力発電機の技術動向(出力の増加に関して)

※超低周波音の定義:国際的には、IEC規格61400シリーズにより、20Hz以下を「超低周波音」、20~100Hzを「低周波音」と定義しており、国内ではこれを受けたJIS C 1400-0で同様に定義されている。参考項目ではこれに準拠し、騒音(周波数が二十ヘルツから百ヘルツまでの音によるものを含む)、超低周波音(周波数が二十ヘルツ以下の音をいう)としている。

### <これまでの知見>

- 超低周波音については、
- ー 人間の聴覚・知覚閾値を下回っていること
- ー 健康影響との明らかな関係はないことから、  
**風車騒音の問題は超低周波音によるものではないとしている。**

### <今後必要な対応>

#### ○理解促進等のための取組

- ー 事業者や業界団体における丁寧な理解促進活動
- ー 住民等の不安や懸念に丁寧に対応

風力発電機の出力が増加した場合、発生する超低周波音に変化はあるのか。

羊頭狗肉

## 参考項目における超低周波音に関する検討状況

第21回WG資料

- 参考項目における超低周波音※について、環境省等において、超低周波音の健康影響や風車の騒音に関する実測データの収集・分析等の検討が行われてきたところ。

この部分が、

参考項目における超低周波音に関する検討状況

- 参考項目における“超低周波音”について、環境省等において、超低周波音の健康影響や風車の超低周波音に関する実測データの収集・分析等の検討が行われてきたところ。

となっているならば、文章としては意味が通る。しかし、そうではない。

超低周波音の健康影響を調べるには、超低周波音の正確な計測と解析が必要である。例えば基本周波数での音圧はどのようにして分析したのでしょうか？

健康被害の調査の内容はどのようなものだったのか？その時、調査対象となっている人の家の中での超低周波音の計測結果は再検証可能な形で保管してあるのでしょうか？

超低周波音に関して考えるならば、0～20Hz 以下の部分について調べる必要がある。騒音は聴覚で騒がしいと認識できる音なので可聴音である。従って風車の騒音は 20Hz 以上の成分となる。

必要なのは、風車の超低周波音に関する実測データの収集・分析であり、風車の騒音に関する実測データの収集・分析ではない。

風車の超低周波音は、  
昔の環境省が言っていた、

“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、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、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。”

方法で計算すれば、基本周波数が 0.5Hz 程度になる。

環境省は低周波音に関しては

G 特性音圧レベル、1～50Hz の 1/3 オクターブ解析、1～80Hz の 1/3 オクターブ解析、で測れと言っている。風車騒音に関しては、A 特性音圧レベルで測れと言っている。

5Hz (または 10Hz) 以下の部分は風雑音だから、二重防風スクリーンを付けて計測し、1 Hz 辺りでは -38 dB 程度減衰させて測りなさい。それでも残っていたら除外音処理で消しなさいと言っている。

0.5Hz の基本周波数電音圧測定は、これらの環境省に意向に逆らうことになるので、  
本来、

“参考項目における超低周波音について、環境省の意向を無視して、超低周波音の健康影響や風車の超低周波音に関する実測データの収集・分析等の検討が行われてきたところ”

とすべきだが、

“参考項目における超低周波音について、環境省等において、超低周波音の健康影響や風車の騒音に関する実測データの収集・分析等の検討が行われてきたところ”

となっていて、超低周波音の計測や分析は行っていないと理解できる。

企業も 0.5Hz での音響パワーレベルに関する資料は公開していない。  
精密騒音計があっても、普通にマニュアル通りに測れば 0.5Hz での音圧の計測はできない。

工夫すれば、計測は可能になります。

図 1. 交通騒音（リオン社前） 0～5000Hz

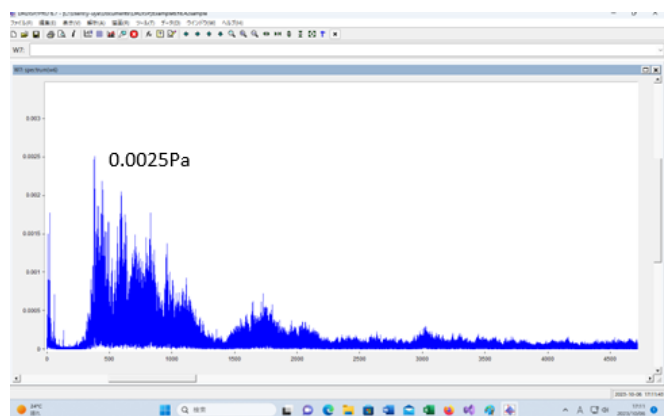


図 2. 工場騒音（製鉄所内の音） 0～5000Hz

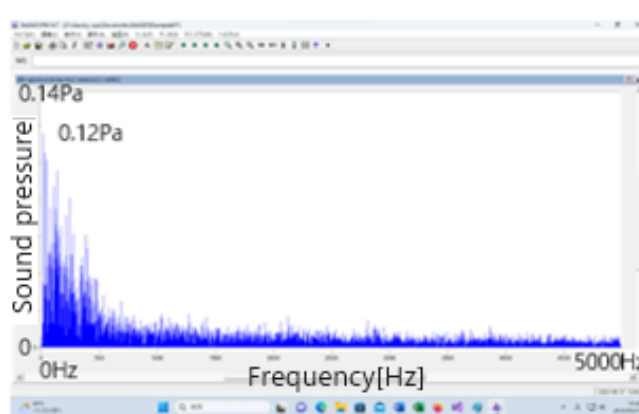


図 3. 風車音（館山風の丘） 0～5000Hz

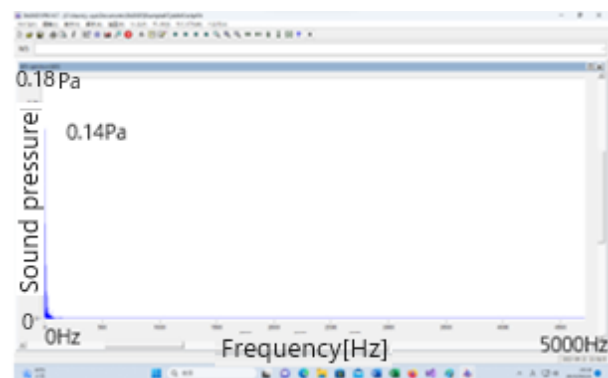


表 2. エネルギーの分布

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

0～5000Hz の範囲で比較すれば、  
 交通騒音の最大音圧は、0.0025Pa  
 JFE の製鉄工場音での最大音圧は、0.12Pa  
 風が弱い時の風車音の最大音圧は、0.14Pa  
 になっています。

図 5. 風車音（館山風の丘） 0～25Hz

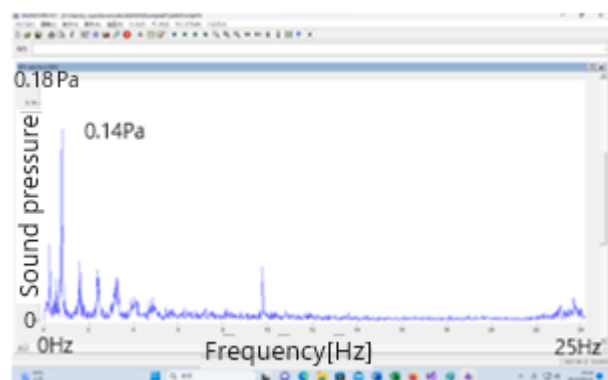
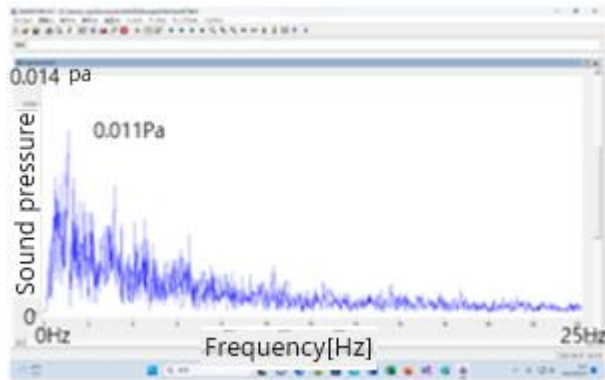


図 6. 長尾神社の音 0～25Hz



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。

## ○超低音の健康影響について

- ・環境省検討会報告(※1)、  
環境省水・大気環境局長通知(※2)

- －風車からの騒音の実測データ
- －健康影響について論文レビュー

※1 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(平成28年11月))

※2 環境省水・大気環境局長通知「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」(平成29年5月26日)

## ・NEDO報告(※3)

- －風車からの騒音の実測データ

※3風力発電等導入支援事業/環境アセスメント調査早期実施実証事業/環境アセスメント迅速化研究開発事業既設風力発電施設等における環境影響実態把握I報告書、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、平成30年2月

超低周波音の健康影響について議論するならば、  
風車からの超低周波音の実測データが必要である。

分析方法の詳細な説明が必要である。

アノイアンスとラウドネスの違いを意識した議論が必要である。

超低周波音の物理的な影響に関する検討が必要である。

超低周波音の発生メカニズムの説明が必要である。

粗密波が出来る物理的な理由の説明が必要である。

観測されている指向性がなぜ生まれるかの説明が必要である。

風車音に関する様々な学説、風雑音、風切り音、空力音、疑似音、カルマン渦などの詳細な検討が必要です。

それが出来なければ、表題を  
“風車騒音の健康影響について”  
と変更すべきである。

### ○アセス図書に対する住民意見、知事からの意見

- －住民意見は、主に健康影響への懸念。
- －知事意見は、適切な調査・予測・評価の実施や事後調査の実施、懸念等への対応策の検討について。

### ○今後の風力発電機の技術動向（出力の増加に関して）

住民の心配は懸念ではありません。現実には被害を受けている人がいるから心配しているのです。

由利本荘市の道川さんは

風力だめーじサポートの会をつくった2022年の9月頃、夜中に目が覚めて血圧が異常に高くなっていたので、内科の医者に行った。睡眠導入剤と血圧を下げる薬を処方され、その1カ月後にはもっと強い薬をもらったが、やはり風車の音が気になって目が覚めることが多くあった。睡眠導入剤もだんだん効かなくなってきた、逆にそのせいで具合が悪くなるようにも感じ、それ以来一切のんでいない。

市役所生活環境課が「遮音効果の高い耳栓を試してほしい」というので、それを借りてグウングウンという音が聞こえる夜中に試してみた。耳栓をすると低周波音の振動だけが聞こえて、しないときより気になって眠れなくなるようだった。今は、ラジオを聞いているとマスキング効果で寝られるよとアドバイスを受け、そうしている。

今年1月、このデータをもって市役所生活環境課および三事業者との会合を持ち、「私の体調異常は明らかに風車の低周波音が引き起こしているのだから、夜間だけでも風車を停止してもらいたい」と再度申し入れた。しかしその後、一切音沙汰がない。

### 洋上風力発電海外先進地調査事業報告会における質問、意見について

由利本荘市のHPより 更新日 2023年2月15日

質問：これまで由利本荘市では市議会などで、由利本荘市では健康被害はないと回答していました。由利本荘市では風力発電の影響が疑われる健康被害をきちんと調査する予定はありますか。

回答：本市では、日々、生活相談や苦情など、本庁市民相談室、各総合支所において、さまざまな市民相談を受け付け、その対応にあたっております。

これまで、匿名を除き、風車による健康被害の相談は無いものの、そうした相談があれば、他の騒音相談、騒音苦情と同じように、その内容をお聞きし、音の発生源となる原因者へお伝えし、対応を求めることになります。また、10月6日の報告会場で、風車による健康被害を訴える方に対しては、西目総合支所を中心に、上記の対応を予定しております。

平成30年度に市民課市民相談室で受け付けました市民相談や消費生活相談は、437件ありますが、いずれも適切に対応しております。

適切とは、無視して放り出すという意味にしか取れない。

これを、懸念と言い張ることが理解できない。

## －知事意見は、適切な調査・予測・評価の実施や事後調査の実施、懸念等への対応策の検討について。

知事意見には適切な調査・予測・評価とあるが、どの様な機材でどの様に計測してどの様に分析すべきかの具体的な記述が無い。

ほとんどの場合、風車音の計測に普通騒音計を使い、環境騒音の評価の表と比較して“問題なし”と知る場合が多い。

住民は、マイクに風を当てないようにして計測された超低周波音の計測データを知っています。

英語、国語、数学の学力は、住民の方が上です。

住民は小学校を卒業しています。ですから、

the threshold of audibility を、感覚閾値とか、知覚閾値と訳す人は住民の中にはいません。

全員が、聴覚閾値と訳します。

聴覚は耳での感知である。

感覚といえば、うるさい、圧迫感がある、振動を感知する、暑い、寒いなどいろいろな感覚岐南での感知である。

知覚とは、知識と感覚を総合しての判断結果である。

と、区別が出来ます。

多くの住民は、高等学校を卒業しています。

定義域と値域の区別が出来ます。定義域を無視してグラフを比較してはいけないことを十分理解しています。

住民が最も心配しているのは、

国の方針を決定する作業に係る学者の基礎学力の不足です。

少数の大小関係も理解できない、環境省の職員の能力です。

風車音が発生する仕組みも分からず、風車音の性質である離散的な周波数構造の原因も分からず、風車音が指向性を持つ原因も分からず、風車音の精密な測定と解析さえも出来ない人たちが、風車の問題に関わっている現状です。

住民は、これらについて、嘆いているのです。



－事業者や業界団体における丁寧な理解促進活動  
－住民等の不安や懸念に丁寧に対応

理解の促進が必要なのは、住民ではないのです。



## ○今後の風力発電機の技術動向（出力の増加に関して）

大型化すれば、基本周波数の周波数が下がることと、基本周波数での音圧が上昇するので、超低周波音での被害は拡大します。ブレードの破損事故はさらに増えると予測されます。

洋上風力では、風車数が多いので累積的な影響も大きくなり、沿岸地域の住民が引っ越しすることになると思います。

引っ越しするお金が無い場合は、都会に出た子供が帰って来なくなります。

地域社会にとっての自殺行為なのです。

市民は、意見だけでなく、風車音の計測結果を示したうえで風車の超低周波音が身体に、どの様に作用して、循環器系の霜害が起きるのか、どの様にして頭痛が起きるのかを示している。

計測もしない、新しい物理学や数学、デジタル信号処理の技術、Wavelet 解析やカオス理論の応用を拒否するのは、問題は解決しません。

大型化する風車の基本周波数は 0.5Hz です。基本周波数での音圧が何パスカル化を示してから議論を開始すべきです。

学力不足の学者や風車からの超低周波音と風車騒音の区別が出来ない職員は他の仕事をすべきです。間違った情報を HP に載せてはいけないのです。

“知覚閾値”の追加

### <これまでの知見>

超低周波音については、  
—人間の聴覚・知覚閾値を下回っていること  
—健康影響との明らかな関係はないことから、  
**風車騒音の問題は超低周波音によるものではないとしている。**

ここには、“人間の聴覚・知覚閾値を下回っている”とあるが、

環境省は少し前までは、聴覚閾値を下回ると言っていた。

- 「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」(環境省、平成22～24年度)では、風力発電所から発生する**超低周波音領域(～20Hz)**における音圧レベルは、**聴覚閾値を下回っている**ことが現地調査及び聴覚実験で明らかにされた。

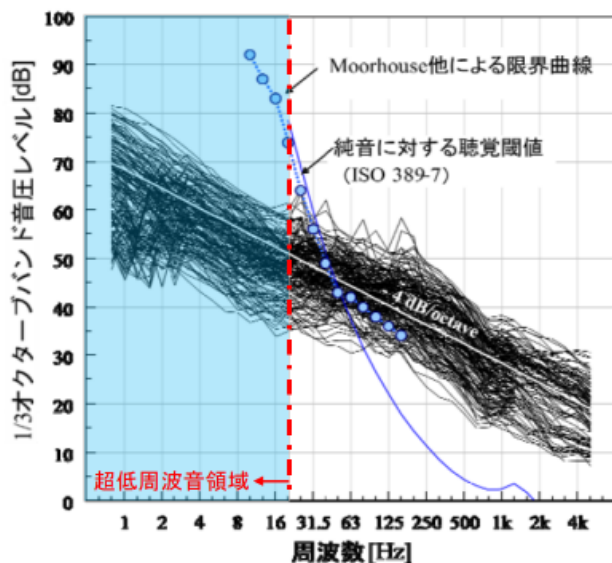


図 全国29の風力発電施設周辺164地点における風車騒音の周波数特性の分析結果

・全国29の風力発電所周辺の計164地点において、風車騒音を測定した。その結果、**全ての結果において超低周波音領域(～20Hz)における音圧レベルが、聴覚閾値を下回っている**ことが明らかになった(左図)。

・また、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を**実験室実験**で調べたところ、**超低周波数領域の成分は聞こえない/感じない**ことが確認された。

環境省の軍門に下り、“知覚閾値”を追加した。

少し前までは、**聴覚閾値**を下回る。可聴性を実験室実験で調べたと言っていたのではないのですか？

・**全国29の風力発電所周辺の計164地点において、風車騒音を測定した。その結果、全ての結果において超低周波音領域(～20Hz)における音圧レベルが、聴覚閾値を下回っている**ことが明らかになった(左図)。

・また、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を**実験室実験**で調べたところ、**超低周波数領域の成分は聞こえない/感じない**ことが確認された。

どんな実験的な根拠で、**知覚閾値**が追加されたのですか？聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値の意味は理解していますか？人間には、耳以外にも感覚器官があることは理解できますか？

日本語の単語を適切に使用する必要があります。いつの間にか摩り替えられる言葉として、**聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値**の3つがある。

**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、などが考えられるが、それらの全てを意味しているのか、他の感覚をも意味しているのかが不明である。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。

“健康影響との明らかな関係はない”事と、“健康影響との明らかな関係を見つけれられない”という事は全く別の事柄です。

人間には聴覚以外の感覚器官があり、圧迫感や振動として風車音の影響を感知します。それらを治世によって総合的にとらえて風車の被害を知覚するのです。

ガタツキでの被害を考えれば、超低周波音の影響を知覚するときの音圧は、5H zで70 d Bです。聴覚閾値より低い数値でも、睡眠妨害と言う形で風車の影響は知覚されるのです。

物理学や数学を少し勉強すれば、

風車の超低周波音が健康被害の原因となっていて、循環器系の障害や頭痛を物理的に引き起こすことが分かります。健康影響との物理的な関連があるのです

風車騒音は、20H z以上の音を指し、超低周波音（0～20H z）はその中には含まれないので、風車騒音の問題は超低周波音によるものではないのです。

ラウドネス（うるささ）に関する問題は風車騒音（20H z以上）の問題ですが、アノイアンス（不快感）に関する問題は風車の超低周波音の問題と考えるべきです。

## ＜今後必要な対応＞

### ○理解促進等のための取組

－事業者や業界団体における丁寧な理解促進活動

－住民等の不安や懸念に丁寧に対応

残念ながら、県の職員や環境省の職員の学力はあまりにも低いので、市民は基本的な数学や物理やデジタル信号処理に関して教育してやる必要があります。

県の職員は、自分では使いこなせない精密騒音計を市民に貸与すべきです。計測方法や分析方法を市民から教えてもらうべきです。そのための、職員研修会を開催すべきです。

## 風力発電機の出力が増加した場合、発生する超低周波音に変化はあるのか。

このような問題を提起するには、超低周波音を精密に計測する方法や分析方法を示す必要がある。それが無ければ、自らの能力の無さを明らかにしている事になってしまう。

基本周波数の周波数が下がることと、基本周波数での音圧が上昇するので、超低周波音での被害は拡大します。さらに、ブレードの破損事故はさらに増えると予測されます。

洋上風力では、風車数が多いので累積的な影響も大きくなり、沿岸地域の住民が引っ越しすることになると思います。

引っ越しするお金が無い場合は、都会に出た子供が帰って来なくなります。

地域社会にとっての自殺行為なのです。

風車音の被害を把握するには、9つの観点が必要です。

音がうるさい

0.5Hz～2Hz 辺りの音による人体に対する強制的な圧縮膨張

圧迫感や吐き気などによる不快感

直接的な健康被害としての頭痛

音が原因の建具や床のガタツキを感じる

夜間の光（航空障害灯）による安眠妨害

風車の陰によるイライラ

風車振動の地中伝搬（[大型風車による地盤振動伝播](#) 小野寺 英輝）

音源としての風車の形と距離減衰

です。

どれが起きても、睡眠を妨げられます。

音でなくても、風車からの強い光（航空障害灯）が窓から入れば、眠れなくなる人も出ます。音ではありませんが風車の影響で安眠妨害が起きるのです。

音がうるさくて眠れない。これは、聴覚で感知した風車音の影響です。

周波数が低くなると、耳で音を感知するのは難しくなります。聴覚で感知できるか出来ないかの境界が聴覚閾値です。

人間には、耳の他にも、いろいろな感覚器官があり、うるさい、圧迫感がある、頭痛がする、暑い、寒いというような感覚を覚えます。耳では感知できない風車音の影響を他の感覚器官で、うるささ以外の形で感知することがあります。圧迫感を覚えるのは、耳ではありません。風車音による建具や床の振動を感知するのは、耳ではありません。

風車音はいろいろな形で、人間に影響を与えます。その影響は色々な形で感知されます。風車音の影響がどれかの感覚器官で感知されるか、どの感覚器官を使っても感知されないかの境界が、感覚閾値です。

ガタツキも風車音の影響で起きる場合がある。また、風車からの振動が地中伝搬として伝わり、それを感知する場合もある。

全ての感覚器官や、体内での変化の測定をしても影響が全く見られないというぎりぎりの数値ならば、知覚閾値と言えますが、これらの様々な影響とその感知に関する実験結果が無いのに、知覚閾値と言ってはなりません。

これまでの知見を更に曲解したのが経産省の結論になっている。

超低周波音については、  
—人間の聴覚・知覚閾値を下回っていること  
—健康影響との明らかな関係はないことから、  
**風車騒音の問題は超低周波音によるものではないとしている。**

少し前までは、

### ● 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

となっていた。

“健康影響との明らかな関係はない”という事と、“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”では、全く意味が違ってくる。

“健康影響との明らかな関係はない”という事示す論文が見つかったのでしょうか？

その様な論文があるならば明示すべきである。

“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”では、関連はあるかもしれないが、それらの関連を詳細に説明する論文が見つからない。と言っているのです。

これは、考察対象を“風車騒音”として周波数に制限を掛けたので原因究明が妨げられた、ということにすぎないのです。

その証拠は、

“風車騒音の問題は超低周波音によるものではないとしている”  
に現れています。

“風車騒音”は騒音とあるので可聴音を指します。従って周波数は 20Hz 以上になります。超低周波音は 0Hz～20Hz ですから、“風車騒音の問題”の考察対象である 20Hz 以上の成分には入っていないのです。

もちろん、周波数制限に注意して書けば、

“風車音（0Hz 以上）の健康影響の問題では、循環器系の障害や頭痛は超低周波音が被害の物理的な原因である。基本周波数での音圧と波形に関しての詳細な調査をすれば、アノイアンスの面からの評価や他の被害との統計的な関連性が明確になります。これが明らかになると困るので、G 特性音圧レベルや 1 Hz～80Hz での 1/3 オクターブ解析に制限したり、風雑音を名目にして基本周波数での音圧レベルが小さくなるように二重防風スクリーンの使用や除外音処理を押し付けてきました。今回、項目から超低周波音を除外したので、健康被害の原因は不明となり、健康被害を個人の体質が原因だと言い張りやすいようにしました。これで企業は健康被害の責任を追及されることは無くなります。”

となります。



## これまでに得られた知見④

### 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

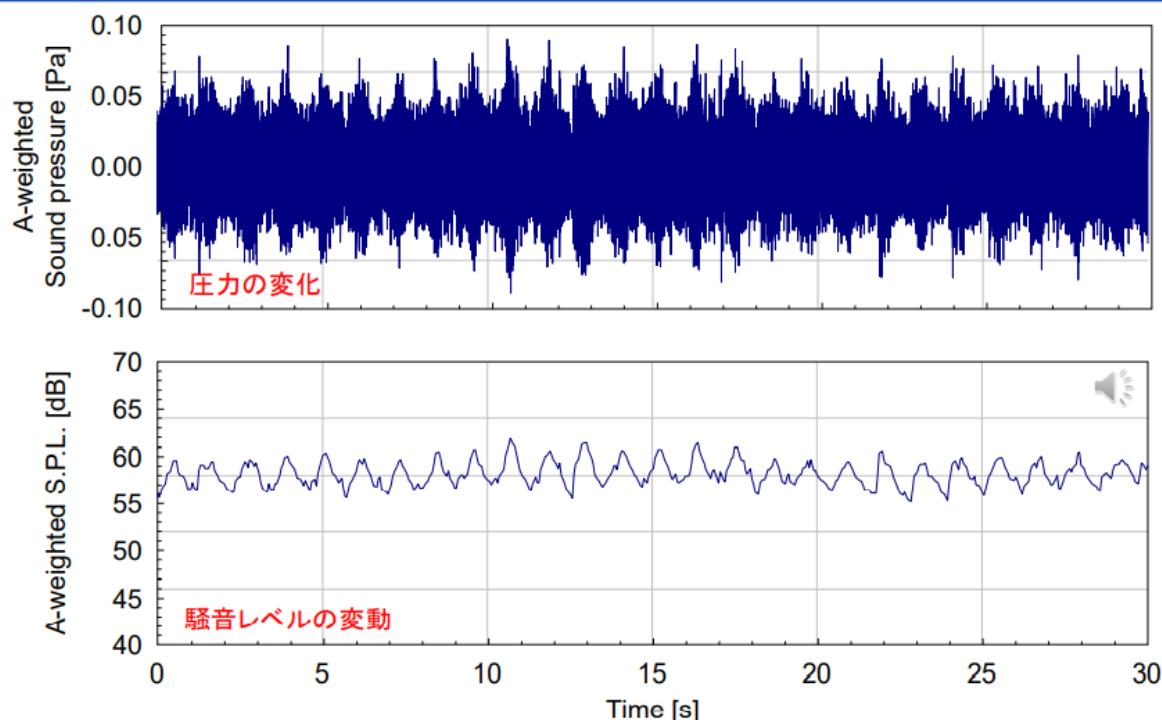
6

## 振幅変調音（スイッチュ音）の原因

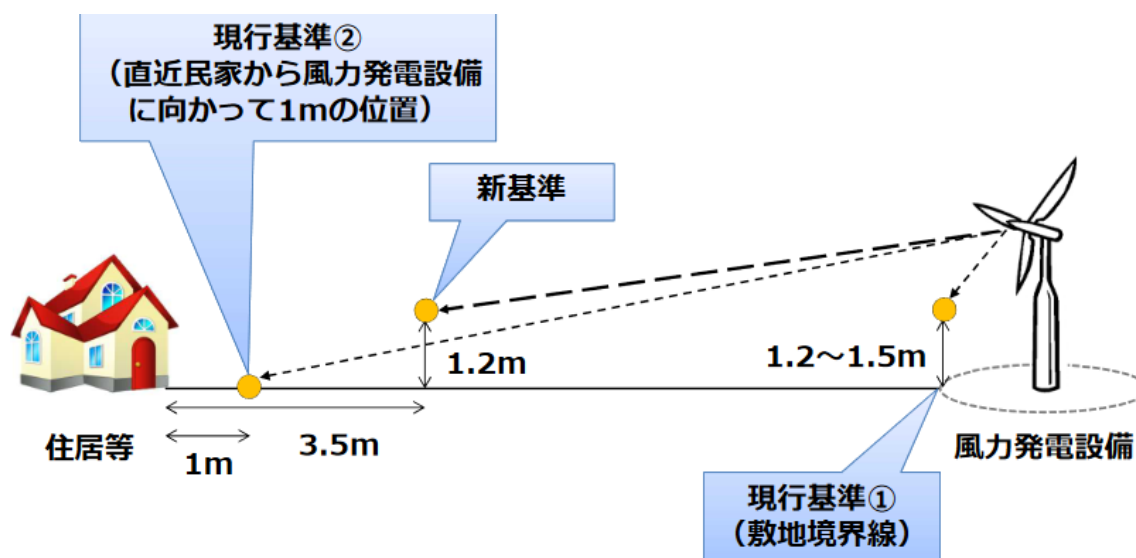
普通の科学者は、不思議な現象がなぜ起きるかを考える。普通なら振幅変調が観測される理由を考える。しかし、風車音の世界では理由を考えない。とりあえず、理由を説明しておきます。

### 特徴的な風車騒音の紹介

### 振幅変調音 (AM音, スウィッチュ音)



このグラフには、計測方法の問題があります。



Swish 音の原因としては精密騒音計の置き場所が問題になります。

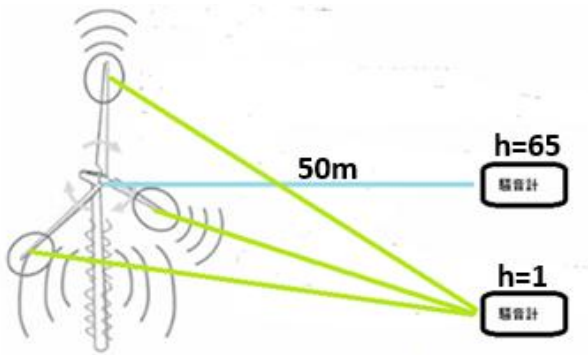
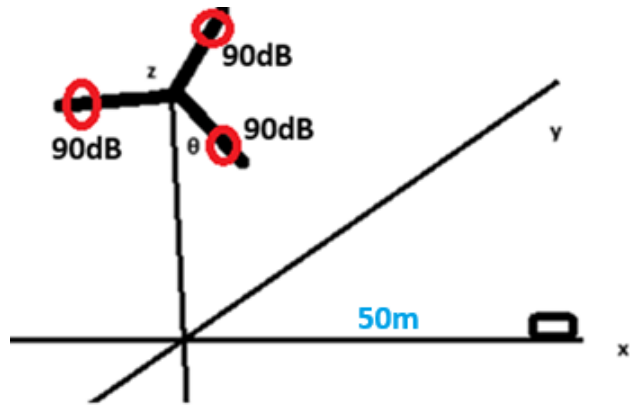


図1 風車騒音の特徴模式図



「房総かぜの丘」の風車は、タワー高さ 65 m、ブレード直径 70.5 m  
これを参考にして、音源は、ブレード上で回転軸から 30m離れた場所にあるとする。  
どのブレードからも、500Hz で音響パワーレベル LW=90dB の音が出るとする。  
騒音計は、風車から水平距離で 50mの場所に置くとする。

音圧レベル LP と音響パワーレベル LW の関係は、点音源で同心球状に波面が広がるとして、

$$\begin{aligned} L_p &= L_W + 10 \log_{10} \frac{1}{4\pi r^2} \\ &= L_W - 10 \log_{10} 4\pi r^2 \\ &= L_W - 10 \log_{10} r^2 - 10 \log_{10} 4\pi \\ &\approx L_W - 20 \log_{10} r - 11 \end{aligned} \quad (\text{式 1})$$

となるので、

$$L_{pi} = L_{wi} - 20 \log r - 11$$

として計算する。

いくつかの音源が有るとき、それらの音圧レベルの音を合成した音の音圧レベルは次の式で計算できる。

$$\Sigma L = 10 \cdot \log_{10} (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10})$$

ここで、

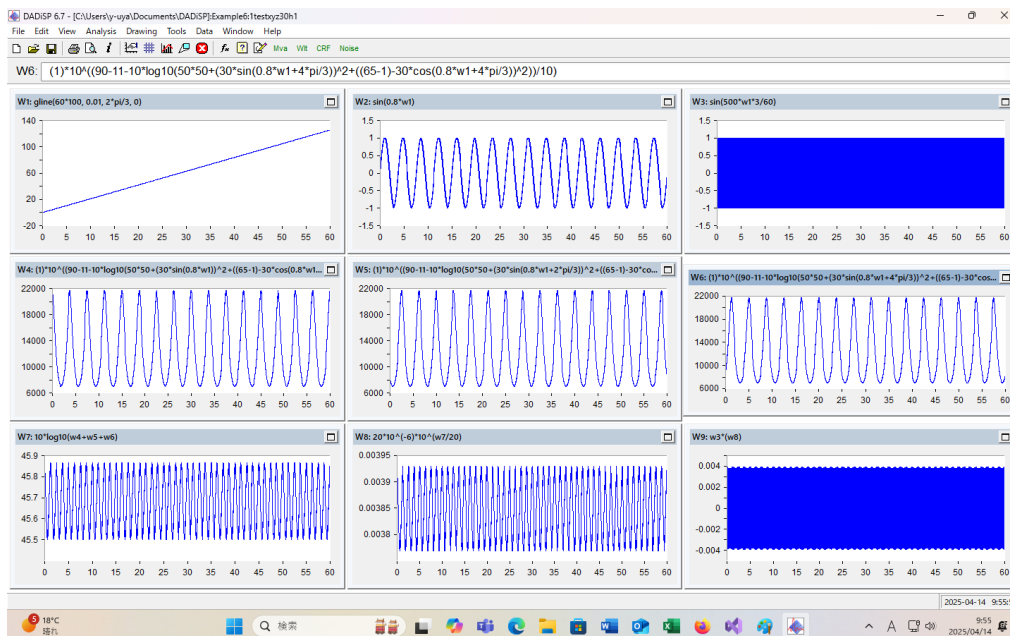
- $\Sigma L$  : 合成された低周波音圧レベル (dB)
- $L_n$  : 発生源 n に対する低周波音圧レベル (dB)

合成された結果、200Hz の音が計測されて、その音圧を p としたとき、

$$\Sigma L_i = 20 * \log \left( \frac{p}{20 * 10^{-6}} \right)$$

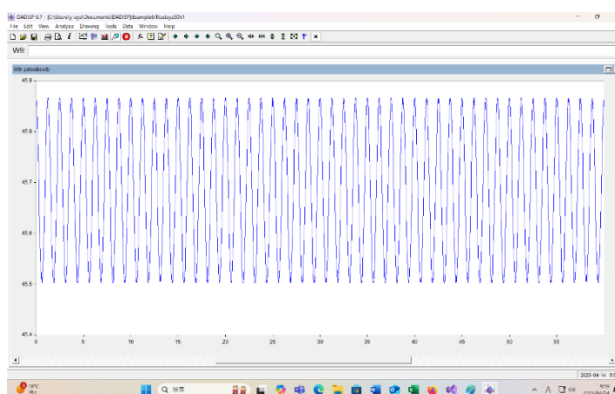
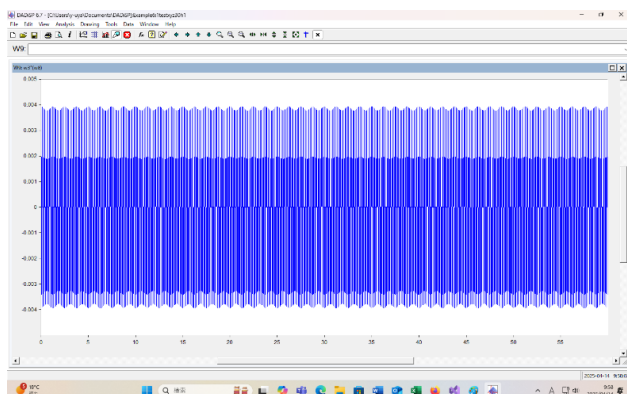
風車と騒音計の水平距離が 50m で、騒音計の場所が高さ 1 m で、ブレードの回転面が y z 平面にあるときは、次の様になり、





振幅変調（パスカル値）

音圧レベルの変動（デシベル値）



音圧レベルは、45.5～45.9 d B での変動になります。

計算式は、

W1 : gline(60\*100, 0.01, 2\*pi/3, 0)

W2 : sin(0.8\*w1)

W3 : sin(500\*w1\*3/60)

W4 : (1)\*10^((90-11-10\*log10(50\*50+(30\*sin(0.8\*w1))^2+((65-1)-30\*cos(0.8\*w1))^2))/10)

W5 : (1)\*10^((90-11-10\*log10(50\*50+(30\*sin(0.8\*w1+2\*pi/3))^2+((65-1)-30\*cos(0.8\*w1+2\*pi/3))^2))/10)

W6 : (1)\*10^((90-11-10\*log10(50\*50+(30\*sin(0.8\*w1+4\*pi/3))^2+((65-1)-30\*cos(0.8\*w1+4\*pi/3))^2))/10)

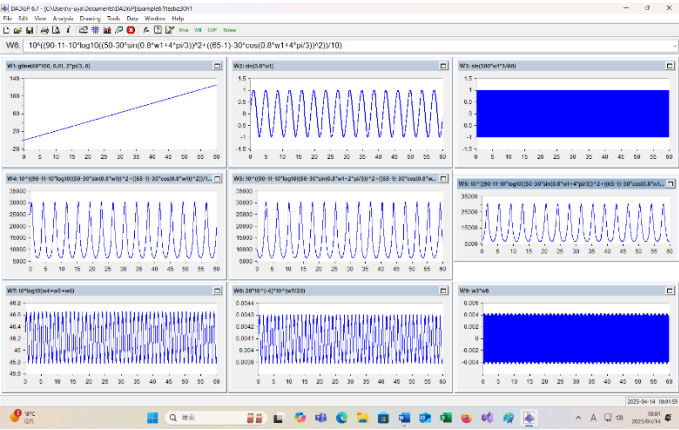
W7 : 10\*log10(w4+w5+w6)

W8 : 20\*10^(-6)\*10^(w7/20)

W9 : w3\*(w8)

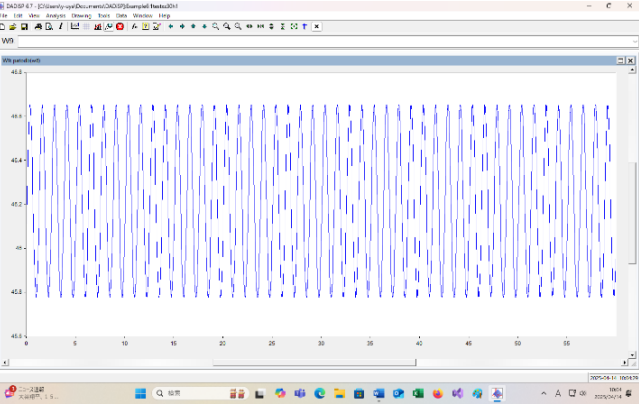
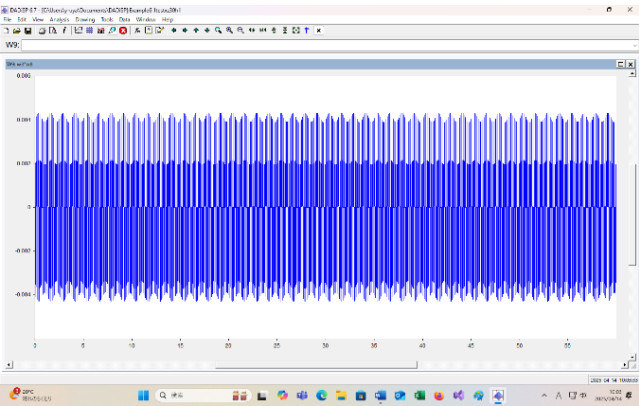
となっています。

風車と騒音計の水平距離が 50m で、騒音計の場所が高さ 1 m で、ブレードの回転面が x z 平面にあるときは、次の様になり、



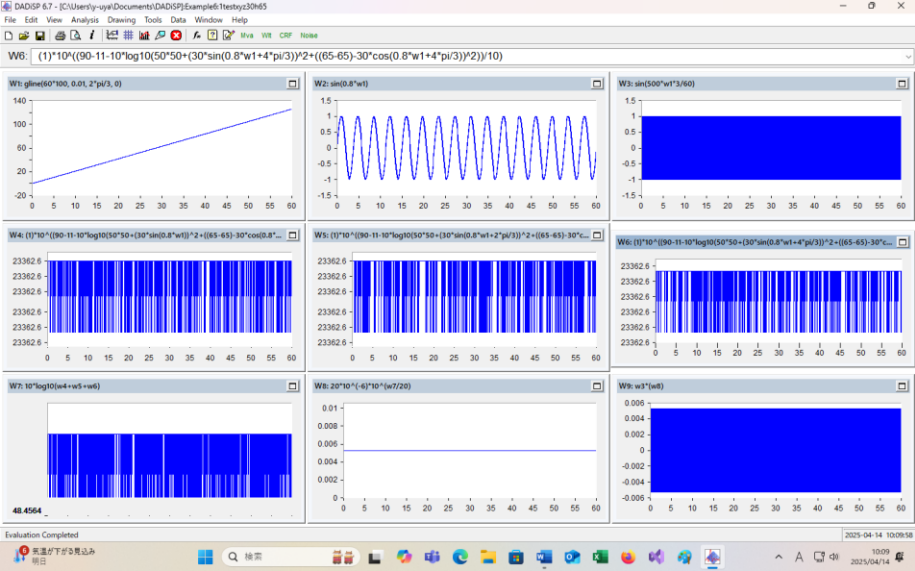
振幅変調（パスカル値）

音圧レベルの変動（デシベル値）

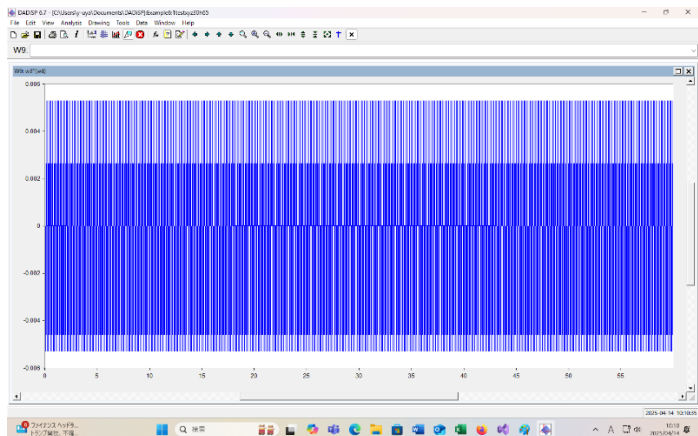


音圧レベルは、45.8～46.7 d B の変動になります。

風車と騒音計の水平距離が 50m で、騒音計の場所が高さ 65m で、ブレードの回転面が y z 平面にあるときは、次の様になり、

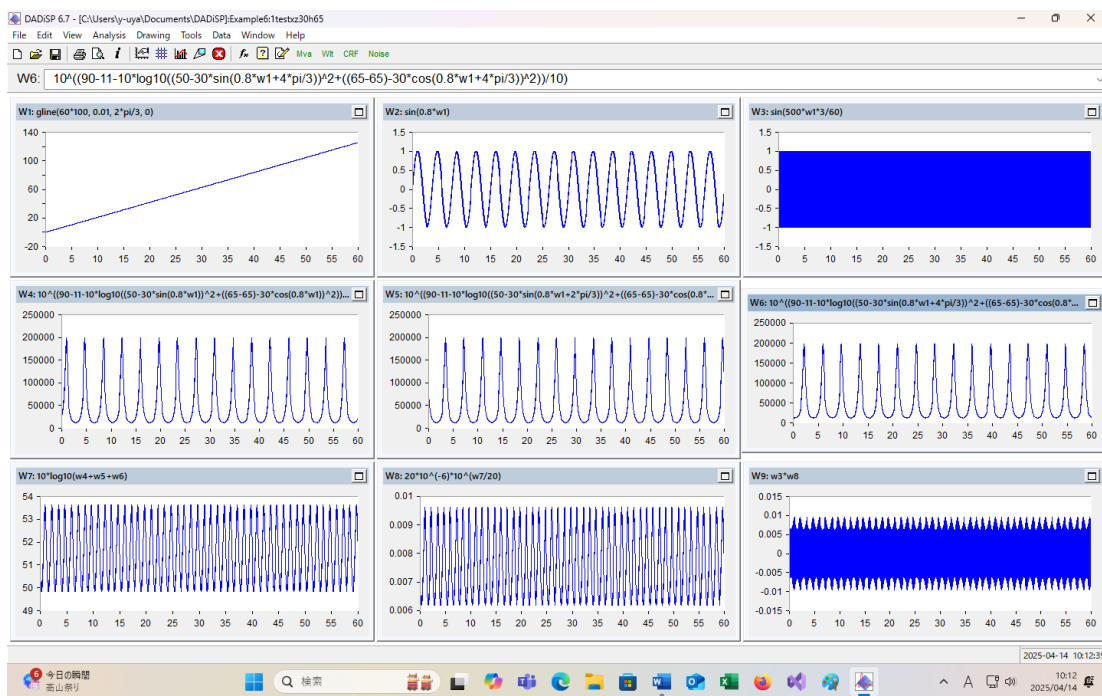


振幅変調（パスカル値）

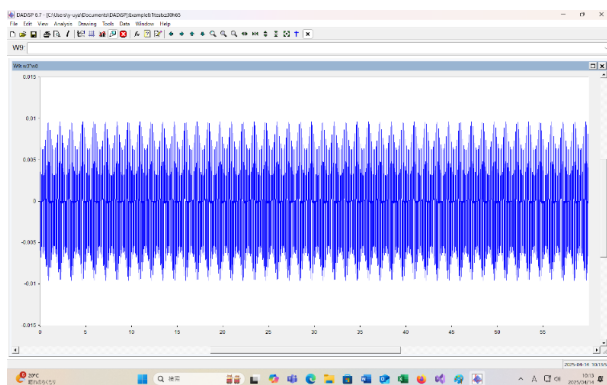


振幅の変動は起きません。

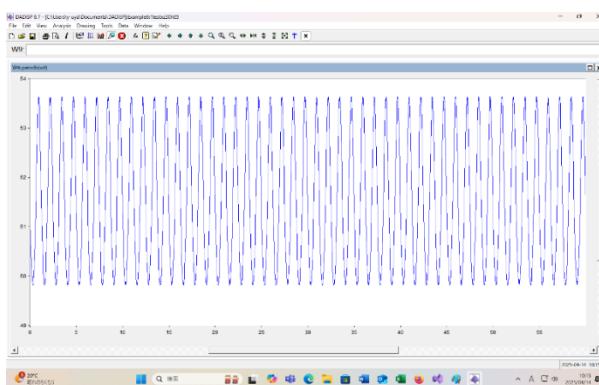
風車と騒音計の水平距離が 50m で、騒音計の場所が高さ 65m で、ブレードの回転面が x z 平面にあるときは、次の様になり、



振幅変調（パスカル値）

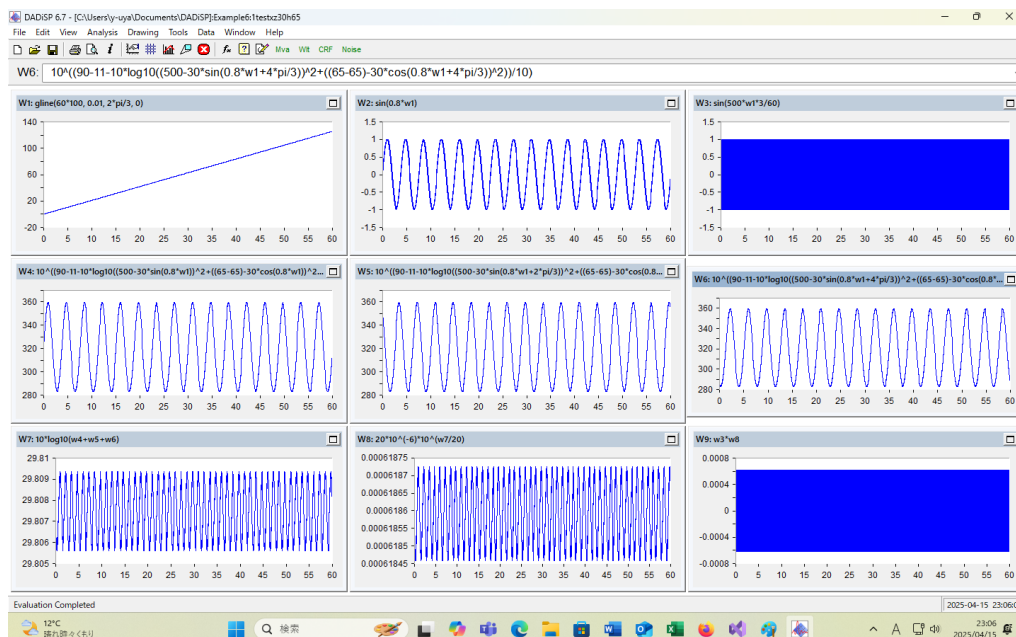


音圧レベルの変動（デシベル値）



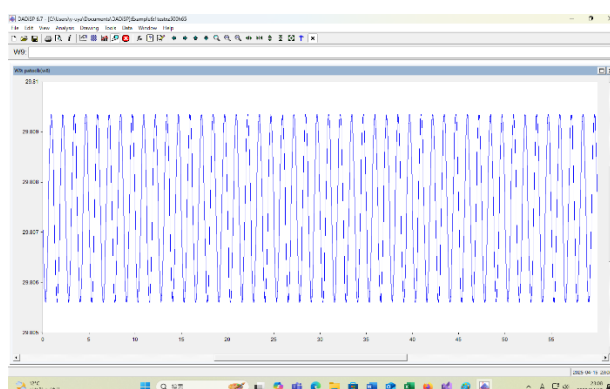
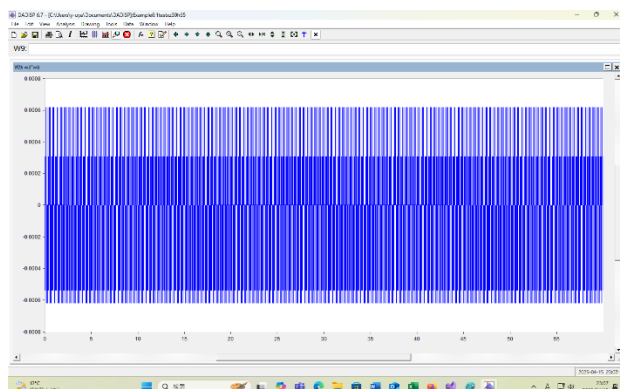
音圧レベルは、50～54 d B の変動となります。

風車と騒音計の水平距離が 500m で、騒音計の場所が高さ 65m で、ブレードの回転面が x z 平面にあるときは、次の様になり、



振幅変調（パスカル値）

音圧レベルの変動（デシベル値）

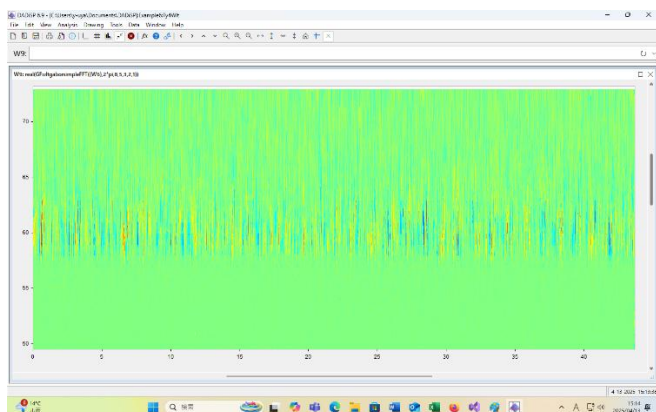


音圧レベルは、29.805～25.809 d B の変動となります。

Swish 音について考える時に、騒音計に音源が近づいたから振幅の大きな音が記録されたのか、ブレードが塔の前を通過することが原因で音が特別に大きくなるのかを判定することが必要です。

騒音計を回転軸の高さまで上げて、回転軸の延長上に置いて計測した結果に、振幅変調が現れれば、ブレードが塔の前を通過するのが原因と言えるが、振幅変調が見られなければ、単なる音源との距離の変化で、音が大きくなったり小さくなったりしているだけだと判断できます。

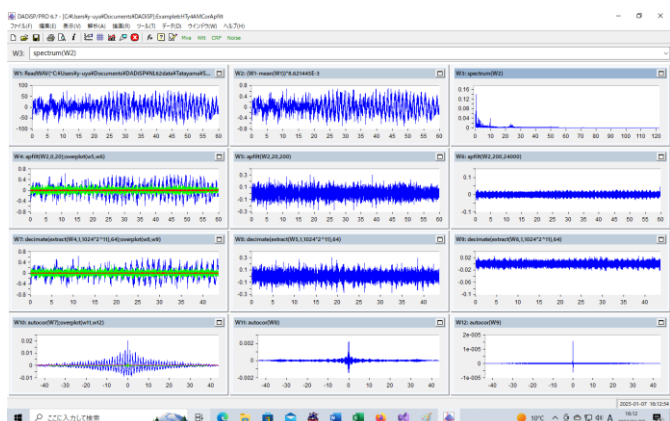
音源と騒音計の距離の変化による、ドップラー効果らしき、周波数の変化も見られますが、それほど明確ではありません。



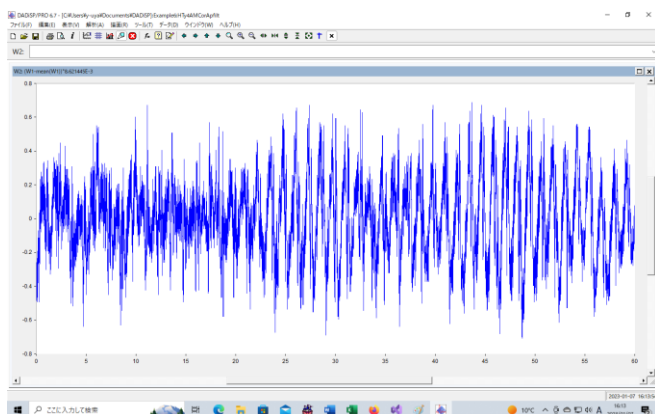
その影響を考えるには、振幅変調をする成分の音圧レベルを考えます。さらに、防音窓での効果によって室内での影響を考えます。

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。

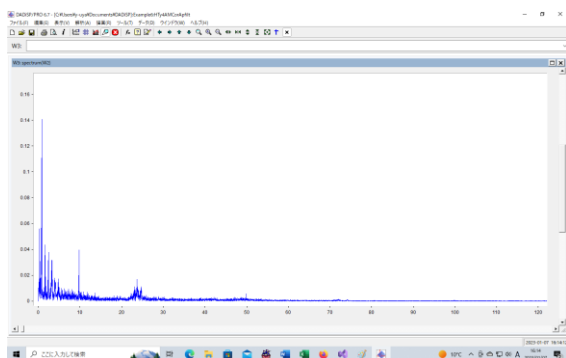
風車音の特徴を、次の DADISP ワークシートで調べてみました。



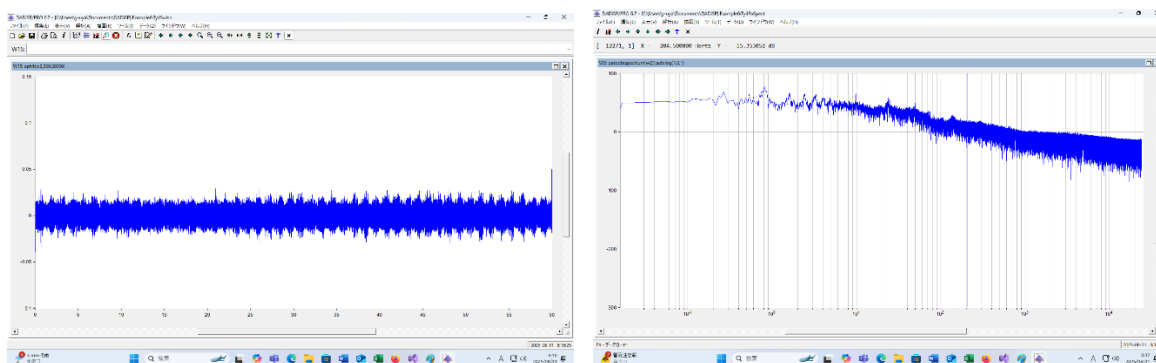
風車音を60秒計測したデータを表すグラフは次のものです。(これが風車音そのものです。)



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～20000Hz の成分を取り出しました。確かに、振幅が変動しています。



200Hz 以上での音圧レベルは 20dB 以下です。

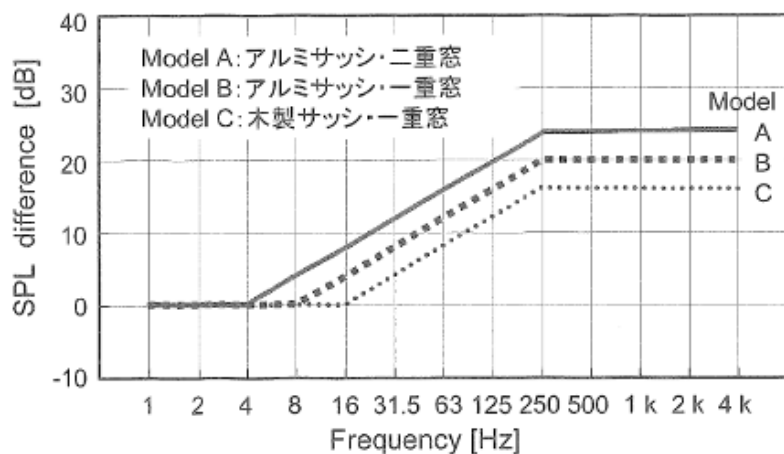


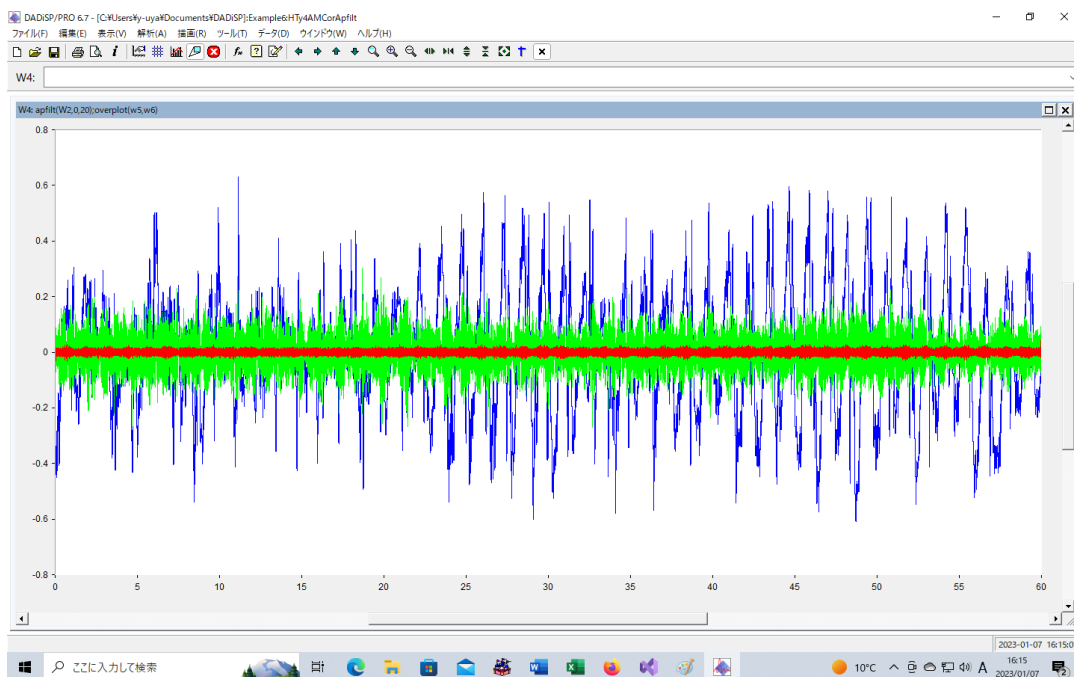
図 4 開口部構造別のハウスフィルター・モデルの案

250Hz だと、防音窓での減衰は、25dB 程度なので、200Hz 以上での音圧レベルは 20dB 以下の音ならば、全く問題ないという事になります。

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、部屋の中で防音窓を閉めれば 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。

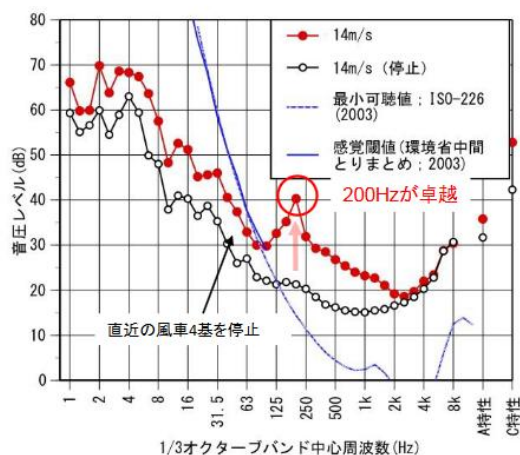


## 純音成分

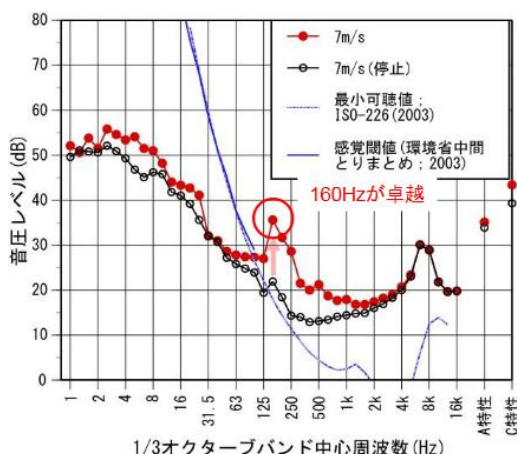
本当に純音成分としての性質を持っているかは、1/3 オクターブ解析のグラフからは判断できません。その周波数と音圧を詳細に決定する必要があります。更に、その音が観測される理由もきちんと調べるべきです。そのためには、周波数分解能を高くして、周波数スペクトルを調べなくてはなりません。G 特性音圧レベル、1/3 オクターブ解析、A 特性音圧レベルを調べても解決できません。研究としては杜撰すぎるのです。

## 特徴的な風車騒音の紹介

### 純音性成分が含まれる風車騒音の例



左; 風車より240m, 木造家屋-屋内



右; 風車より350m, 木造家屋-屋内

\* 純音性成分は、増速機などの機械駆動部の振動に起因していることが考えられる

環境省H21年度調査結果より抽出; <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=12319>参照

23

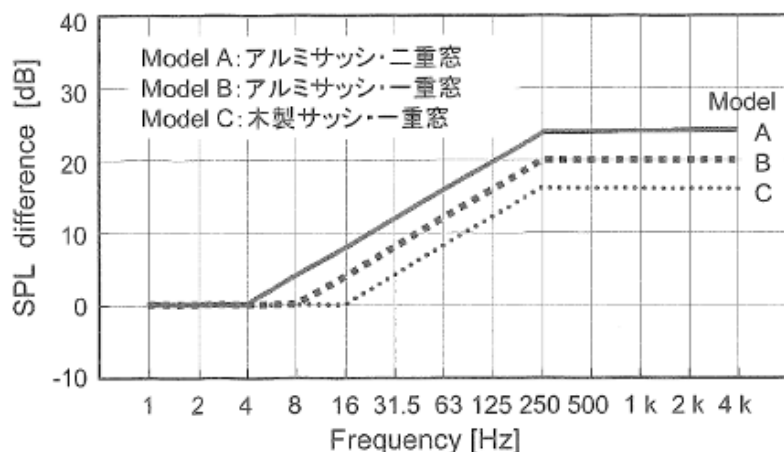


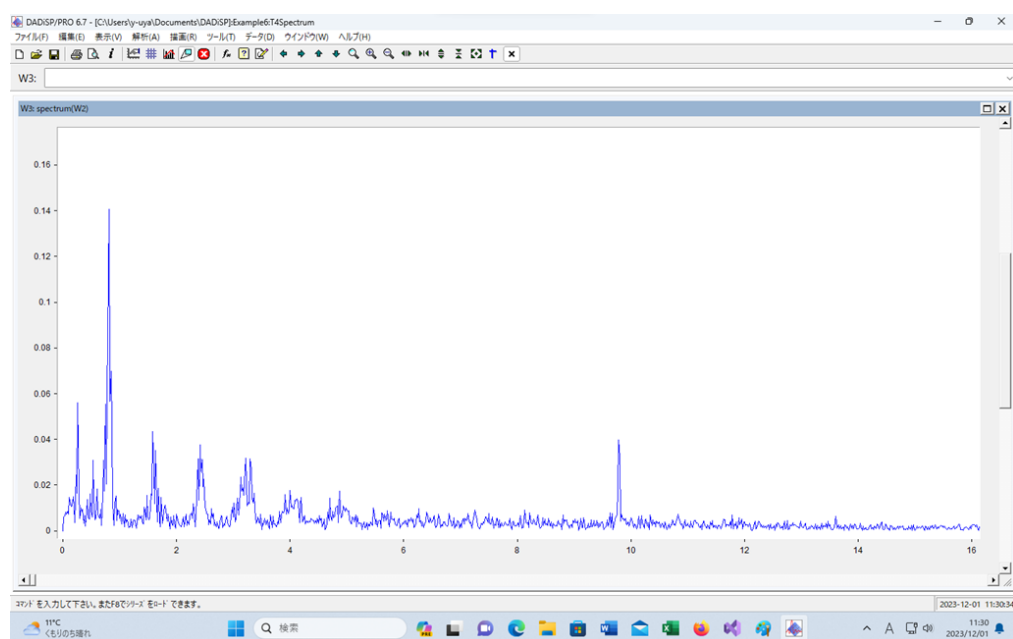
図4 開口部構造別のハウスフィルター・モデルの案

160Hz で 35 dB、200Hz で 40 dB の音ならば、防音窓があれば、それぞれ 18 dB、19 dB 程度の減衰があるので、室内では 17 dB、21 dB の強さとなり、睡眠を妨害するようなことはありません。

もちろん、室内での計測をして確認すべきです。



純音成分が含まれる音源のほうが、不快感を与えるとの実験結果がある。  
 実際の風車音で計測された音圧（パスカル）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。

グラフから、**超低周波音は、強烈な純音である**ことが明確です。  
 不思議なのは、35～40 d B の音圧レベルの純音は気にするのに、音圧が 50～70 d B の超低周波音を気にしないことです。

そもそも、1/3 オクターブ解析では、中心周波数 160Hz での帯域幅は 36.469Hz、中心周波数 200Hz では帯域幅な 45.948Hz と広いので、正確な周波数が不明確です。従って本当に純音なのか否かは、1/3 オクターブ解析のグラフからでは分かりません。

超低周波音のグラフは、周波数分解能が高いので、純音であることが明確です。更に、風車での超低周波音の発生する仕組みと、マクローリン展開の係数から考えても、純音であることは明確です。

しかも、周波数が 0.8H z ですから、計測された音圧の変動に対応した、体内での圧力変動を強制的に起こす力があります。人体は強制的に圧縮膨張させられるのです。これは循環器系の障害を引き起こします。

70 d B -40 d B =30 d B です。

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

$$\text{dBの差} = 10 \log(1/A)$$

エネルギーでは、1000 倍です。  
微小な変動に注目するが、巨大な圧力を無視する姿勢は、科学的とは言えません。

周波数の高い音は、マンションのガラス戸を閉めれば聞こえなくなります。  
周波数が低い音ほど、エネルギー透過率が高く、遮蔽が困難なのです。さらに、機密性の低い日本家屋では、超低周波音による気圧変動の影響を直接受けます。  
家のグラフの左端には、1 Hz から 5 Hz の周波数成分が可聴音とは比べ物にならない強さで存在していることを示しています。1 Hz は日本家屋の固有振動数に近く、5 Hz は障子などの建具の固有振動数に近いのです。残念ながら、このグラフでは正確な周波数は分かりません。

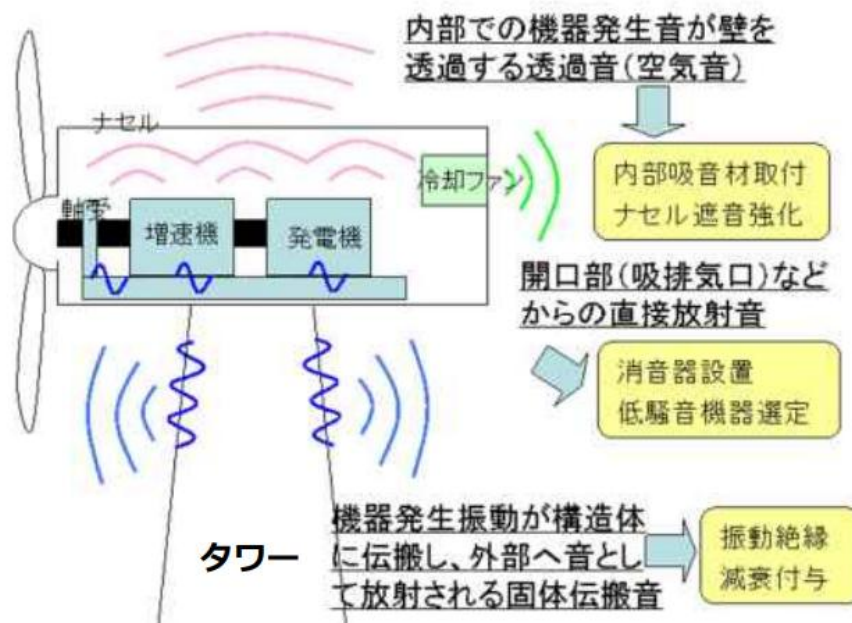
風雑音か否かを判断するには、風車音の発生する仕組みを理解しなくてはなりません。それに踏まえての議論が必要です。

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.



98

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。

## 7.2 弦の振動

### 7.2.1 弦の振動と空気

音は粗密波です。空気圧が高くなったり低くなったりしなくてはなりません。そこで、ギターの弦を変形して考えてみます。弦の断面は丸いのですが、少し修正して断面が  $1\text{mm} \times 1\text{mm}$  の正方形だとします。



長さ  $50\text{ cm}$  の四角い弦の上下にある2つの高さ  $10\text{ cm}$  の空気を考えます。考える気体は  $0.001\text{ m} \times 0.1\text{ m} \times 0.5\text{ m} = 0.00005\text{ m}^3$  が上下に2つです。

側面と天井に壁を作って、空気が出入りできないとします。

弦が  $1\text{ cm}$  上がると、上の部分の容積は  $0.001\text{ m} \times 0.09\text{ m} \times 0.5\text{ m} = 0.000045\text{ m}^3$ 、下の部分の容積は、 $0.001\text{ m} \times 0.11\text{ m} \times 0.5\text{ m} = 0.000055\text{ m}^3$  となり、上は圧縮され、下は膨張します。

空気の粒子の大きさは、分子のサイズとしては、酸素や窒素は  $4\text{ \AA}$  程度で、酸素や窒素は分子同士が結合する力は小さく、常温常圧でガスとして存在します。

$1\text{ \AA}$  は  $10^{-10}$  メートルです。 $1\text{ mm}$  は  $10^{-3}$  なので、 $1\text{ \AA}$  の  $10^7$  倍です。 $100000000$  倍です。

地球の半径が約  $6400\text{ km}$  なので、大円の半周は  $3.14 \times 6400000\text{ m} = 2 \times 10^7\text{ m}$  身長  $2\text{ m}$  の人間から見たら身長  $10^7$  倍です。

$4\text{ オングストローム}$  の空気の分子から見たら、弦の幅は、 $10^{-3} / (4 \times 10^{-10}) = 0.25 \times 10^7$  倍です。分子から見れば、逃げる暇もなく巨大な地面が上昇してくるのと同じです。

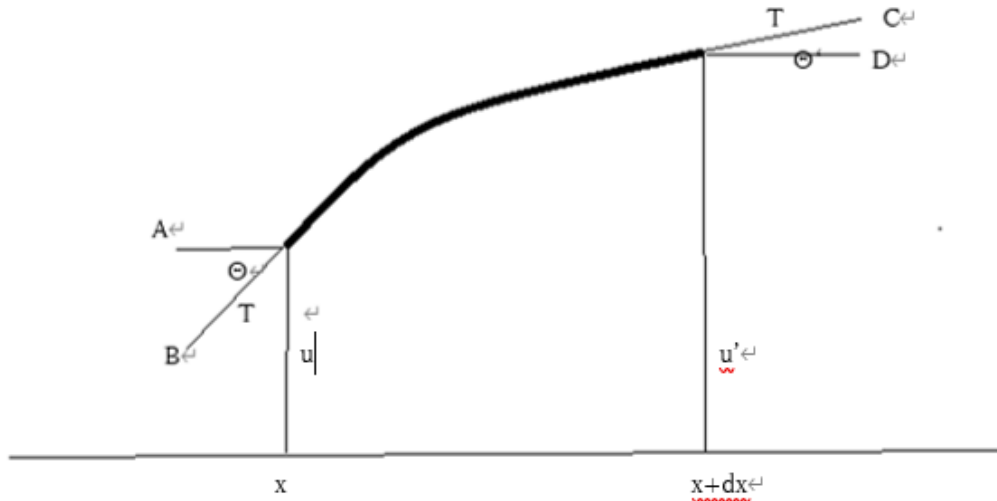
断面の半径が  $1\text{ mm}$  の弦の場合は、 $4\text{ \AA}$  の分子にとって、半径  $1\text{ mm}$  は  $0.001 / 4 \times 10^{-10} = 0.25 \times 10^7$  倍です。身長  $2\text{ m}$  の人にとって地球の半径は、 $6400000 / 2 = 0.32 \times 10^7$  倍です。弦が丸かったとしても、その弦の上にいる分子にとっての弦の運動は、身長  $2\text{ m}$  の人間に対する地面の運動と同じようなものです。

弦が下に移動するときも一緒です。弦の振動に合わせて、空気の圧縮と膨張が起こります。

ギターには弦を囲む壁も蓋もないのですが、空気の粒子と弦の太さの割合や、下から押されても上が詰まって

いれば空気の粒はぎゅうぎゅう詰めとなり圧縮されます。弦が急に下がれば、気圧が急激に低下し、疎な状態が弦の上面で起きます。この疎な状態を平均化するように空気は動くでしょう。弦に押されて上に行った空気の粒子は、弦が下がれば気圧が減って、下がって行く弦の方に向かって移動するでしょう。その後、また弦が上昇します。以下繰り返します。

弦の運動は、



上の図を使って考えることができます。太い部分を弦の微小部分とします。弦の張力  $T$  は接線方向に働く力であり、この図では、右上に引っ張る力と、左下に引っ張る力として作用します。

$T$  を分解したときの垂直成分は座標が  $x$  のときには下向きで、 $-T \sin \theta$ 、座標が  $x+dx$  のときには上向きで

$T \sin \theta'$ 、です。

$\theta$  が小さければ、 $\theta = \sin \theta = \tan \theta$  と見ても構わない。 $\tan \theta$  はベクトル  $T$  の傾きであり、点  $x$  における曲線に対する傾きに一符号をつけたものです。弦の形が、 $y = u(x)$  となっているときは、

$$-T \sin \theta = -T \tan \theta = -T \frac{\partial u}{\partial x}$$

となります。点  $x+dx$  では  $T \sin \theta' = T \frac{\partial u}{\partial x}$ 、です。ただし、 $x$  で偏微分するときの場所が異なります。

さて、上の図を左右から圧縮して、曲線が粒のようになったと考えれば、その粒に対して上下方向に働く力は

$$-T \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)_x + T \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x+dx} = T \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)_x dx$$

粒の質量は、線密度を  $\rho$  として、 $\rho dx$ 、加速度を

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

とすれば、弦の運動方程式は、

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} dx = T \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)_x dx$$

すなわち、

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = T \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)$$

を得ます。これは、弦の上下運動を規定する方程式です。

解き方はいろいろですが、解を、 $u = e^{i(\omega t + kx)}$  と仮定して代入してみと、

$$-\rho \omega^2 e^{i(\omega t + kx)} = -T k^2 e^{i(\omega t + kx)}$$

となって、

$$-\rho \omega^2 / T = -k^2$$

を得ます。

$$k = \pm \sqrt{\rho \omega^2 / T}$$

となる。これを満たせば解になるので、

$$u_1 = e^{i(\omega t + kx)}$$

も、

$$u_2 = e^{i(\omega t - kx)}$$

も解となります。

方程式が線形かつ斉次なので、上のような式の線形結合も解となりますので、

$$u = A e^{i\omega t} \sin kx \text{ や } u = B e^{i\omega t} \cos kx$$

も解となるし、これらの線形結合で解が表現できます、そのうちで、境界条件を満たすものを見つけます。弦の長さを  $L$  として、両端では弦は動かないと言う条件を付ければ、

上の式では、 $B=0$  となり、解は  $u = A e^{i\omega t} \sin kx$  の形になって、境界条件から、 $kL = n\pi$  を得ますので、境界条件を満たす解は、

$$u = A_n e^{i\omega_n t} \sin \frac{n\pi}{L} x$$

$$\omega_n^2 = k^2 * \frac{T}{\rho} = \left( \frac{n\pi}{L} \right)^2 \frac{T}{\rho}$$

となるので、

$$\omega_n = \frac{n\pi}{L} * \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

方程式が線形なので、これらの解の重ね合わせも解となります。

$$n=0 \quad \text{ならば、} \quad k=0, \omega_n=0$$

なので、 $u=0$

$n=1$  の場合は、



$$u = A_1 e^{i\omega_1 t} \sin \frac{\pi}{L} x$$

であり、このうちの実部をとって考えれば、

$$u = A_1 \cos \left( \frac{2\pi}{2L} \sqrt{\frac{T}{\rho}} t \right) \sin \frac{\pi}{L} x$$

となって、中央が一番大きく振動して、1秒間の振動数  $f$  は  $\frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\rho}}$  となります。

弦による空気の圧縮を考えると、この振動で発生する粗密波の振動数は、 $\frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\rho}}$  Hz です。

$n = 2$  の場合は、

$$u = A_n e^{i\omega_2 t} \sin \frac{2\pi}{L} x$$

となるので、 $x=L/2$ のときは、 $u = 0$ となり、中央部は動きません。

$$\omega_2 = \frac{2\pi}{L} * \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

より、1秒間の振動数は、 $\frac{1}{L} \sqrt{\frac{T}{\rho}}$  となるので、先ほどの2倍となります。

この振動が原因となる、粗密波は、先ほどの2倍の周波数を持つ音となります。

太鼓の場合は、もっと複雑ですが、太鼓の膜の物理的な特性で膜が振動して、粗密波が発生します。

風車の超低周波音の場合でも、固有振動数を重視すべきだと考えています。

ただし、タワーの中の気柱による共鳴を考えると、開口端補正をしても、気柱の長さが少し足りないのも事実です。

超低周波音の透過性を考えるときに、閉口部は、タワーの底にあるセメントの部分なのか、もっと下の岩盤なのかは、タワーの底部に騒音計と振動計を置いて計測して見なくては分かりません。精密騒音計が壊れるのが心配です。

$$\begin{bmatrix} \xi_{xx} & \frac{1}{2}(\xi_{xy} + \xi_{yx}) & \frac{1}{2}(\xi_{xz} + \xi_{zx}) \\ \frac{1}{2}(\xi_{yx} + \xi_{xy}) & \xi_{yy} & \frac{1}{2}(\xi_{yz} + \xi_{zy}) \\ \frac{1}{2}(\xi_{zx} + \xi_{xz}) & \frac{1}{2}(\xi_{zy} + \xi_{yz}) & \xi_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix}$$

$$= \Delta u_R + \Delta u_D$$

$$3.3.17$$

とおく。

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} L dt = 0$$

が成立する。

理由は、

$$\frac{dp}{dV} V^\gamma + p \gamma V^{\gamma-1} = 0$$

$$dp = -p \gamma \frac{dV}{V}$$

この式と、

$$\triangle p = -K \frac{\delta v}{v}$$

右に進んだように解釈できる。(谷が左に進んだとも言えるが、振幅が減少する方を選んだ。)

$$\frac{-(1-\sqrt{5})}{4\sqrt{5}} \varrho(\cos\left(\sqrt{\frac{(3-\sqrt{5})}{2}} \omega t\right))$$

$$\frac{1}{2\sqrt{5}} \varrho(\cos\left(\sqrt{\frac{(3-\sqrt{5})}{2}} \omega t\right))$$

こ

$$p_l(t,x)=P_l\sin(\omega t-k_1x+\varphi_{0l})+P_r\sin(\omega t+k_1x+\varphi_{0r})$$

(まず、先端からの距離 $X$ における曲げモーメント $M_X$ を求める。 $l-a=b$ とおき、 $0\leq X<b$ 、 $b\leq X\leq l$ に分けて考える。 $0\leq X<b$ の場合、左要素の右断面におけるモーメントの釣り合いから $M_X=0$ (これは、梁が質量を持たないとして

$$p(t,x)=f(t-\frac{x}{c}-\frac{y}{c}-\frac{z}{c})+g(t+\frac{x}{c}+\frac{y}{c}+\frac{x}{c})$$

では、波の形が正弦波である理由はない。同じ形の波が速度 $c$ で伝わるというだけである。

この波の形が、細くとがっていると音圧の変化が激しいということになり問題がおきえる。この形を考えるには、**FFT**では高さの調査がなく、また同時に複数の地点で計測する様子も見られない。どうせ調べるなら、もっとちゃんとやってください。

# 1 ギターで音の出るしくみ

## ギターの音のしくみ

ギターの音はどこから出るのでしょうか。ギターの弦が振動するので、その弦の周りの空気は振動します。しかし、弦は細く面積が小さいので、小さな音しか出ません。弦の周りで発生した音がギターの胴の中央部分の穴（サウンドホール）に入って共鳴し、音が大きくなって穴から出ると考えられますが、それは間違いです。エネルギー保存の法則があり、穴の中に電気的な増幅装置が無ければ、大きな音のエネルギーになることはありません。

## 音は響板が出している

振動による音の発生エネルギーは、振動する物体の表面積に比例します。弦が振動すると、弦の下の端を

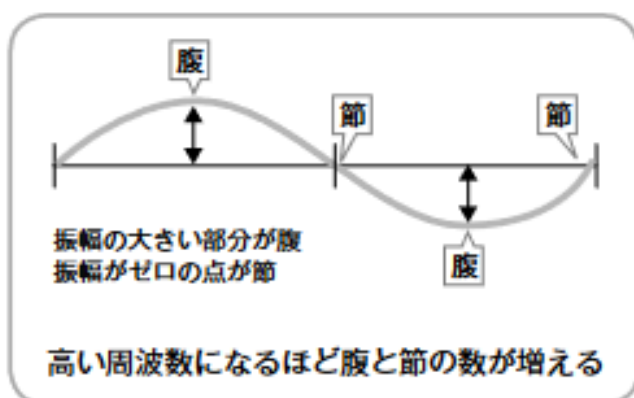
止めている駒（ブリッジ）が力を受けます。駒はボディの上側の板である響板に接合されていて、広い面積をもった響板が振動するので、大きな音が出ます。表側の響板が振動すると、側面を通じて裏側の響板にも振動が伝わります。裏側の響板が振動することによって振動面積が約2倍に増え、音が大きくなります。

## ギターはバスレフスピーカ

ギターの穴の役目は、バスレフスピーカと同じです。響板が振動すると響板の裏側の空気が振動し、胴の内部にも音が発生します。胴に穴を開けることで内部の音を外に出し、音を大きくしています。

また、響板は、表側の響板には穴があつて裏側には穴がないので、それぞれの板の固有振動数が異なっています。板の固有振動数が弦の振動数に近いほど大き

### 弦の固有振動モード



(2次の振動モード)



#### 一口メモ

スピーカのコーン紙が振動すると、表面の空気が押されるが、その圧力はすぐに横に逃げてしまう。選挙の宣伝など野外で使われるホーン型スピーカは、横に逃げる空気の移動をホーンが防止するので、効率が良く大きな音が出る。

### 音色は楽器の胴で決まる

な音になるので、響板の固有振動数はなるべくたくさん存在することが音をむらなく出すために必要です。胴の内部は空間になっていて、空間で決まる固有振動数があり、この周波数の音が大きく出ます。

NHKの科学番組でギターの胴を三味線の胴に置き換えた実験が行われました。弦はギターのままですが、出てきた音は三味線の音でした。三味線は、強く張った皮が振動することで音を出しています。皮はギターなどの木に比べて減衰が大きいので、高い音はあまり出ません。また出た音はすぐに小さくなるので、ペンペンという切れた音になります。

## 7.4 音叉と共鳴箱と響胴

### 7.4.1 音叉と共鳴箱

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。

楽器・音響機器 > アクセサリー > チューナー



この他に、30 c m\*30 c mのベニヤ板も用意しました。

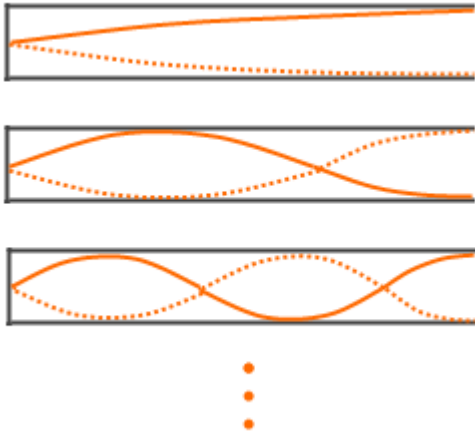
理科の実験で、共鳴箱の上に立てられた音叉を叩いたことがあると思います。下についている箱は共鳴箱と呼ばれます。

上についている音叉は、440Hz のもので、共鳴箱 長さ 180mm×幅 94mm×高さ 54mm 程度が普通です。音速は  $331.5+0.6t$  m/s、 $331.5+0.6*15=340$ m です。

長さ  $18 \text{ c m} * 4 * \text{周波数 } 440 \text{ H z} = 31680 \text{ c m} = 317 \text{ m}$  となります。18 c mに少しオマケして、 $(18+1.5) * 4 * 440 = 34320 \text{ c m} = 343 \text{ m}$  となります。

共鳴箱の気柱の長さが波長  $\lambda$  の  $1/4$  であり、気柱共鳴が起こっていると考えられます。


閉管の固有振動については、



閉口端は空気分子が動けないので固定端となり、定常波における節となります。

もう一方の開口端は空気分子が自由に動けるので自由端となり、定常波における腹となります。

片端が節、もう片端が腹という制約があるので定常波の形状パターンは左図のようになります。\*

$\frac{1}{4}$ 波長  が1つの振動を基本振動、

$\frac{1}{4}$ 波長が3つの振動を3倍振動、

$\frac{1}{4}$ 波長が5つの振動を5倍振動、

... といいます。

閉管は奇数倍 ( $2n-1$ ) の振動しかできません。2倍振動、4倍振動といった偶数倍の振動はありません。

$2n-1$  ( $n=1,2,3,\dots$ ) は  $m$  ( $m=1,3,5,\dots$ ) と表現しても構いません。どちらも同じ意味です。奇数、ということです。

と説明されるのが普通です。

箱付きの音叉での共鳴も確認しました。

**共振現象の内、音に関するものを共鳴**といいます。

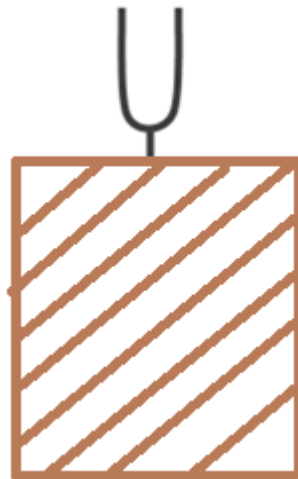


同じ固有振動数を持つ共鳴箱付き音叉（おんさ）を2つ用意して、片方を鳴らします。すると、もう片方も鳴り始めます。叩かれた音叉が下の共鳴箱を揺らし、空気を伝わって隣の共鳴箱を揺らし、上の音叉を揺らして鳴らします。

固有振動数が違う音叉同士では共鳴は起こりません。



楽器・音響機器・アクセサリ・チューナー



左の音叉セットには、共鳴箱が無いので、ハンマーで叩いても、小さな音しか出ませんが、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。大きな音の振動数は音叉の振動数です。

音叉セットは8本の音叉からなっています。ベニヤ板にも固有振動数はあるのでしょうか、それとは関係なく、ベニヤ板は、くっつけた音叉の振動数の音を大きく響かせるのです。すなわち、響板として機能するのです。

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、くっつけた音叉の音が大きくなり、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、箱の中の気柱も、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。共鳴箱としてではなくて、空気中に振動を拡散するための、響胴として機能しているのです。

響板が有っても、振動源が無くては粗密波は発生しません。粗密波が発生する仕組みと、風車音での指向性をしっかり説明できなければ、理論とは言えません。

昔の環境省が言っていた、

“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。”

に関して、粗密波が発生する物理的なメカニズムの解明と、風車音が十字架型の指向性を持つ理由を説明する必要があるのです。周波数ばかりでなく、周波数成分ごとの音圧変動に関しても説明が必要です。

# 1. 国内の環境影響評価法での取り扱い(経産省資料抜粋)

## 1 (2) 風力発電事業に係る手続きの透明性確保に向けた取組

- 風力発電施設からの騒音の問題は、超低周波音によるものではなく、通常可聴周波数範囲の騒音として取扱うとの考え方自体は、科学的エビデンスに基づくもの。
- 一方、風力発電施設からの超低周波音に対しては、住民等からの懸念等が引き続きありうる状況をかんがみ、環境アセス制度を踏まえ、さらに社会的な合意形成への配慮も必要。合意形成の円滑化が期待される以下のような取組が進められている。

### <風力発電所の地域での合意形成への取組事例>

- 事業計画作成の初期段階から風力発電事業者からの一方的な説明だけでなく、自治体や地域住民の意見を聞き適切なコミュニケーションを図るとともに、地域住民に十分配慮して事業を実施し、誠実に対応することが必要。(資源エネルギー庁「事業計画策定ガイドライン(風力発電)」(平成31年4月改訂))
- 促進区域の指定等に関して協議会を組織することができることとされ、協議会の運営に当たっては、地域・利害関係者から提出された意見について十分に配慮することとしている。(再エネ海域利用法(平成30年11月))
- 環境省は、事業に先立つ適地抽出の段階から、地域の実情に詳しい地方公共団体が主体となって調整・協議等を進めることで、先行利用、地域住民等の信頼を得て、事業の推進に向けた合意形成の円滑化が期待できるとしている。(環境省「風力発電に係る地域主導による適地抽出手法に関するガイド～地方公共団体による適地抽出のための合意形成と環境調査～」(平成29年7月))
- 環境省は、地方公共団体が個別事業に先立ち地域で調整を行いつつゾーニングを実施することで、地域住民等は早期段階から地域における風力発電の在り方の検討に関与できる他、事業者は具体的な見通しを持って事業を計画でき、環境保全と両立した形で円滑に風力発電を導入することが期待できるとして、地方公共団体による取組を進めている(環境省「風力発電に係る地方公共団体によるゾーニングマニュアル(第1版)」(平成30年3月))。

- 風力発電施設からの騒音の問題は、超低周波音によるものではなく、通常可聴周波数範囲の騒音として取扱うとの考え方自体は、科学的エビデンスに基づくもの。

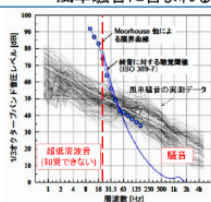
科学的エビデンスの具体的な記述が無いのだが、その内容は環境省の資料のものを指していると思われる。

### 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。

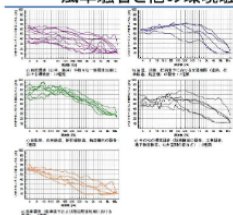
これまでに得られた知見①  
風車騒音に含まれる超低周波音



※全国297の風力発電施設の周辺合計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



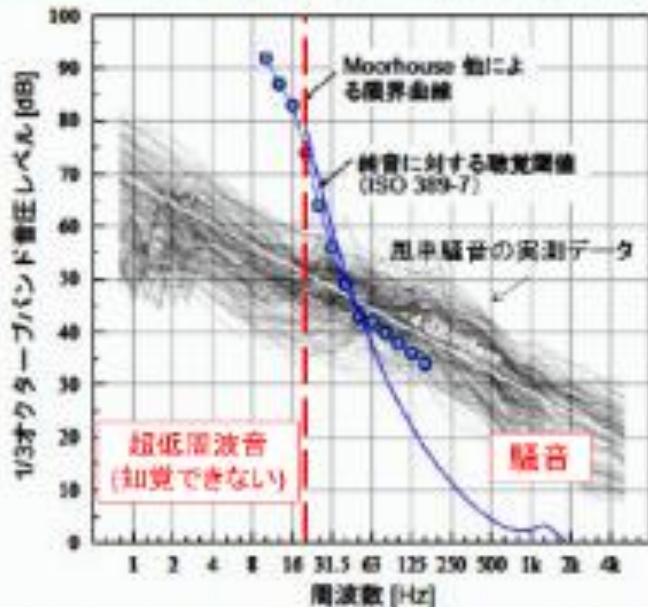
他の環境騒音(一般環境騒音、交通騒音等)と風車騒音を比較  
他の環境騒音と比較して、低周波領域の卓越はみられない

風力発電施設から発生する騒音等への影響について(概要資料)(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、平成28年)



科学的なエビデンスどころか、低能な詐欺集団の手口以下のしろものである。  
 知見①から見てゆきます。

## 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



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**

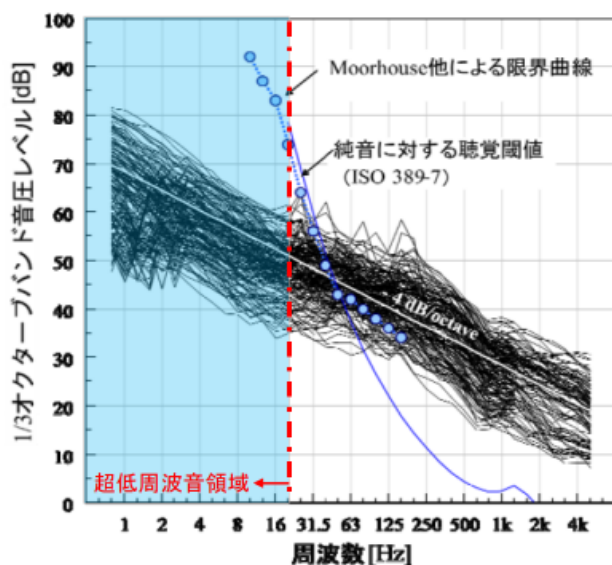
※全国29の風力発電施設の周辺で合計164測定点で騒音を測定

これと、経産省の資料を比べれば、

### (参考) 風車騒音に係る実測調査結果①

第21回WG資料

- 「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」(環境省、平成22～24年度)では、風力発電所から発生する超低周波音領域(～20Hz)における音圧レベルは、聴覚閾値を下回っていることが現地調査及び聴覚実験で明らかにされた。



・全国29の風力発電所周辺の計164地点において、風車騒音を測定した。その結果、**全ての結果において超低周波音領域(～20Hz)における音圧レベルが、聴覚閾値を下回っている**ことが明らかになった(左図)。

・また、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を実験室実験で調べたところ、**超低周波数領域の成分は聞こえない/感じないことが確認された。**

図 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

この段階では、  
経産省は  
“超低周波音（～20Hz）における音圧レベルは**聴覚閾値**を下回る”  
と言っているが、  
環境省の資料では、  
“**知覚閾値**を下回る”  
となっている。

実験では、10Hz 以下の音を出せるスピーカの大きさは風車の塔と同じくらいの大きさになるので、3Hz 辺りの音は、イヤホンで耳に対して刺激を与える形の実験になっている。これは、体全体に対する圧力変動による実験では無いのです。

体全体に対する圧力変動と、体内の圧力変動の比較から、超低周波音は物理的に人体を圧縮膨張させることができます。周波数が高い場合や、波形が密な場合はこの表なことは起きません。

人間は、物理的な圧縮を、圧迫感として感知するのです。

人間には、聴覚以外の感覚岐南があり様々な形で風車音の影響を受けるのですから、聴覚閾値と感覚閾値と知覚閾値を区別して扱う必要があるのです。

日本語の単語を適切に使用する必要があります。いつの間にか摩り替えられる言葉として、**聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値の3つがある。**

**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、などが考えられるが、それらの全てを意味しているのか、他の感覚をも意味しているのかが不明である。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。

勝手に、聴覚閾値を知覚閾値にすり替えてはいけません。

つぎに、  
“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”  
に関しては、  
風車騒音は騒音ですから、耳で聞いて騒がしいと認識できる音なので、20Hz 以上の成分を指します。  
超低周波音は 0～20Hz の範囲の音なので、風車騒音には入りません。  
ですから、  
言葉の定義より、  
“風車騒音は 20Hz 以上の成分からなるので、超低周波音（0～20Hz）ではないので、風車騒音問題は、通常可聴周波数範囲の騒音の問題”

ですが、

“風車音問題は、超低周波音（0～20Hz）の成分が風車音のエネルギーの93%以上を持っていて、基本周波数成分が人体を物理的に圧縮膨張させることから、圧迫感などの不快感や、循環器系の障害や頭痛を物理的に引き起こします。アノイアンスが不眠の主要因であり、ラウドネスの影響は地裁ので、風車音問題は、通常可聴周波数範囲の騒音の問題ではなく、超低周波音の問題として理解すべきなのです。”

問われる基礎学力

聴覚閾値と訳すべきところを、感覚閾値、知覚閾値と訳す。

基準曲線と訳すべきところを、限界曲線と訳す。

小学生以下の英語力です。

聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値の区別が出来ない。

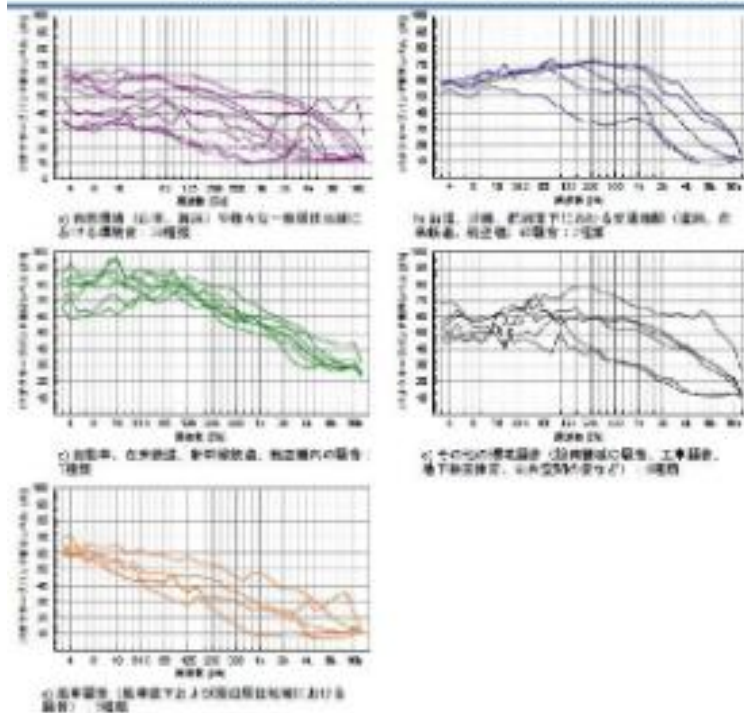
中学生以下の日本語能力です。

定義域と値域の理解が出来ていない。

高校1年の学力もない。

根拠を示します。

## 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

ポイントは、“低周波数領域”です。

表題が、“風車騒音と保管環境騒音の比較”となっているので、比較の対象は“騒音”に限定されます。

その制限の中での、低周波数領域ですから、20Hz 以上の音に限定されます。

低周波数領域を 20～100Hz と理解すれば、確かに、

“他の環境騒音と比較して、低周波数領域での卓越は見られない”

のですが、

超低周波音（0～20Hz を含めた領域で比較すれば、風車音の音圧は卓越した大きさになっているのです。

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**”

とあります。

定義域に注意しながら、グラフを比較します。

（この図 8 が次の主張の根拠です。）

検討会報告書の 15 ページには、次のように記載されています。

## 2) 発生する音の特徴・性質

風力発電施設は、他の施設から発生する騒音と比較して、より低い周波数の騒音が発生していると一般に思われている。しかし、2-1. で示したとおり、20Hz 以下の音（超低周波音）に関しては、音圧レベルが聴覚閾値を超えるものは確認されていない。また、風車騒音と他の様々な騒音（表 2）の 1/3 オクターブバンド音圧レベルを比較した結果は図 8 に示すとおりであり、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。

と書いてあります。

“20Hz 以下を「超低周波音」（infrasound）、**20～100Hz を「低周波音」（low frequency noise）**”

“**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」**”という言葉の使い方に注意しながら、確認します。

なお、

Wind Turbines and Health

A Critical Review of the Scientific Literature



では

## Low-Frequency Sound and Infrasound

Low-frequency sound is typically defined as sound from 20 to 200 Hz, and infrasound is sound less than 20 Hz. とあり、20～200Hzになっています。いずれにしても20Hz以下の超低周波音は含めないのです。

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

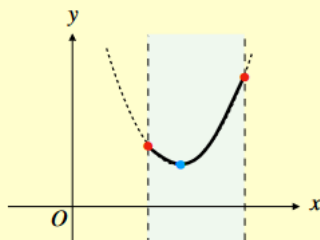
(Step 1) (                      )をする

$$y = ax^2 + bx + c \Rightarrow y = a(x-p)^2 + q$$

(Step 2) グラフをかく

(Step 3) (                      )と(                      )の端を  
確認する

【 $y = a(x-p)^2 + q$  の最大・最小】



#### 例題



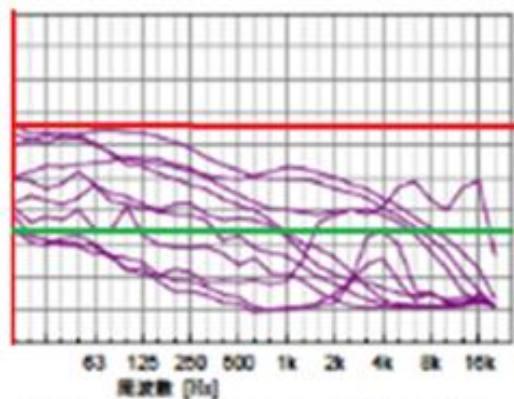
関数  $y = 2x^2 + 4x + c$  ( $-2 \leq x \leq 1$ ) の最大値 7 であるとき、定数  $c$  の値を定めなさい。

#### 解

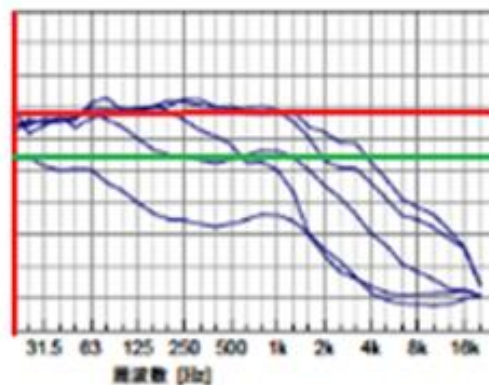
検討会の参加者は、このような高等学校〈数学I〉の知識を持っていて、グラフの形式に関する検討をすれば、良かったのです。騒音（20Hz以上）との言葉による定義域と、提示されたグラフの定義域（4Hz以上）の違いは、グラフの基礎を全く理解していないことを意味しています。

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。

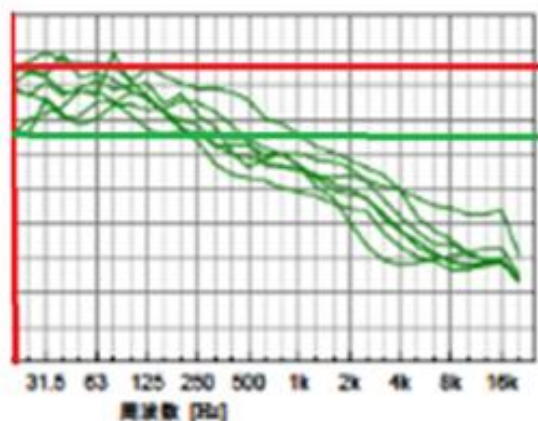
この定義域内で風車騒音（20Hz 以上）、環境騒音（20Hz 以上）のグラフを比べれば、次のようになります。



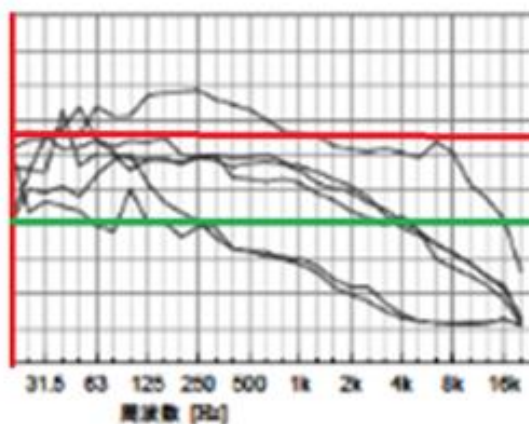
（山中、海浜）や様々な一般居住地域に  
音：10種類



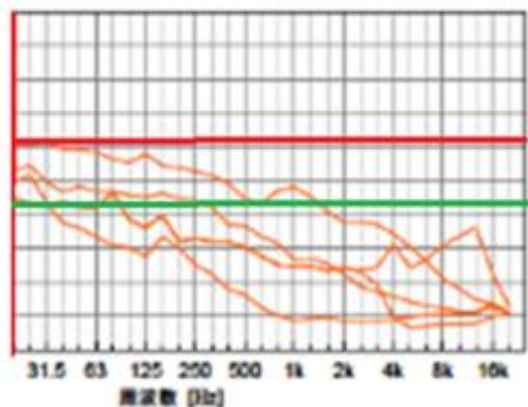
航路直下における交通機関（道路、在  
り）の騒音：5種類



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

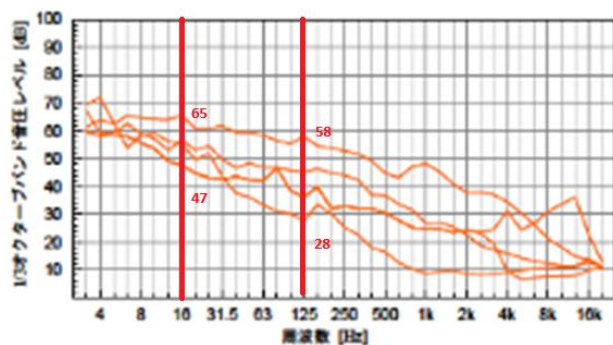


風車直下および周辺居住地域における

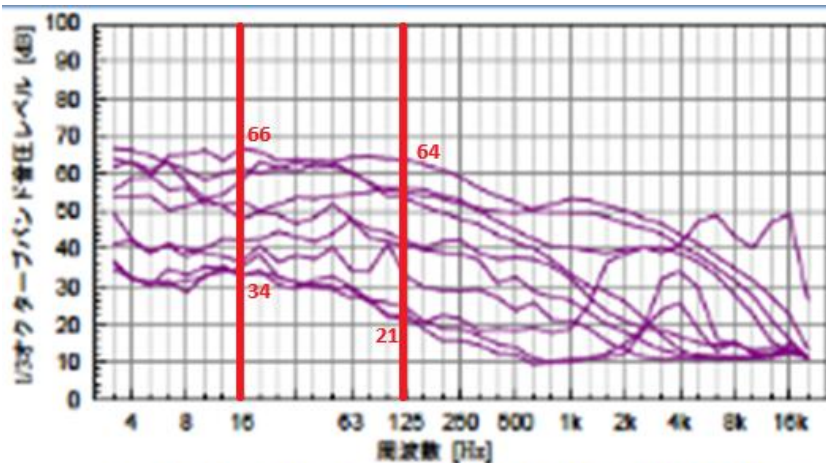
修正した図 8

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。

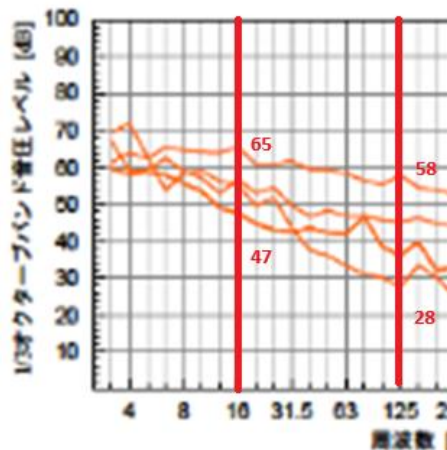
可聴低周波領域（20～100Hz）での比較



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

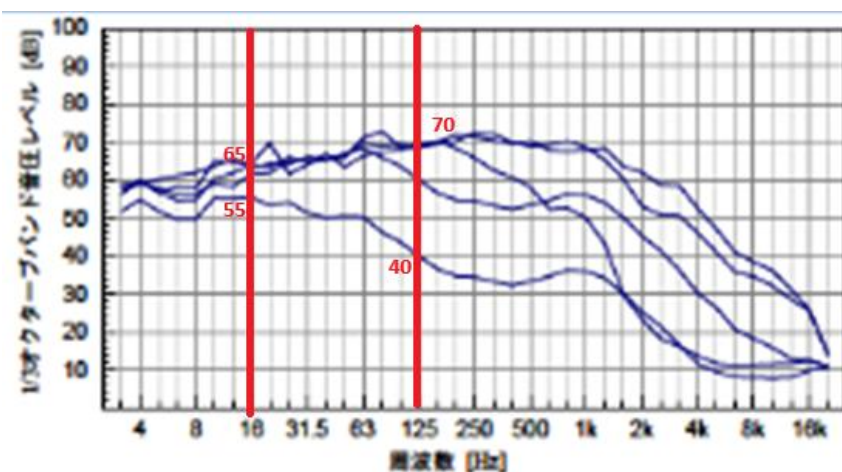


a) 自然環境（山中、海浜）や様々な一般居住地域における環境音：10種類

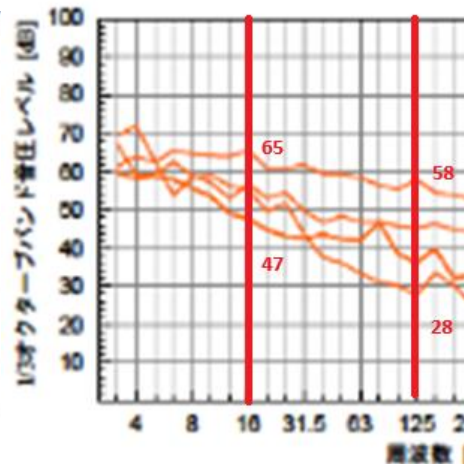


e) 風車騒音（風車直下および騒音）：5種類

自然環境（山中、海浜）の中では、風車音は中間程度の音圧レベルだと言える。



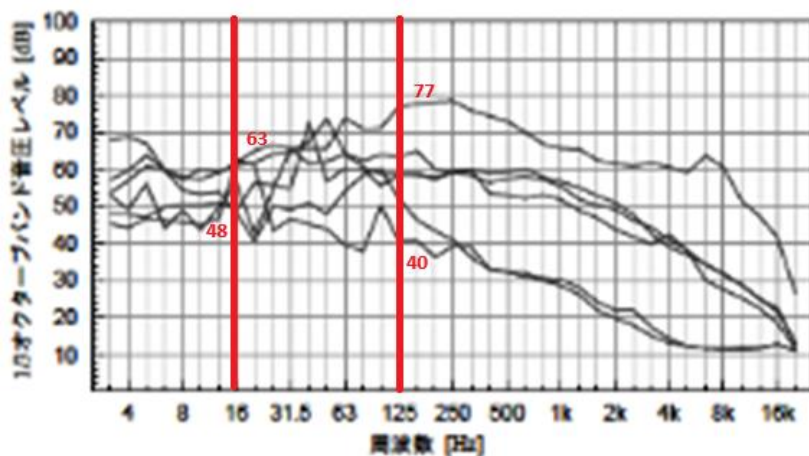
b) 沿道、沿線、航路直下における交通機関（道路、在来鉄道、航空機）の騒音：5種類



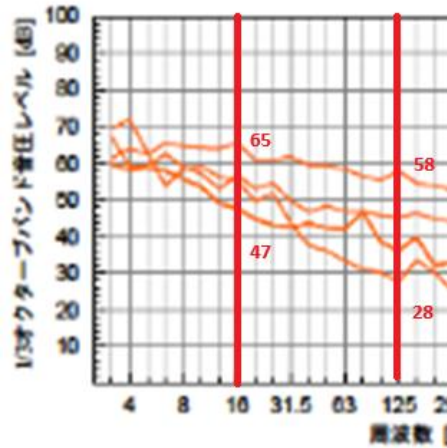
e) 風車騒音（風車直下および騒音）：5種類

沿道、沿線での音の中では、低い方だと言える。



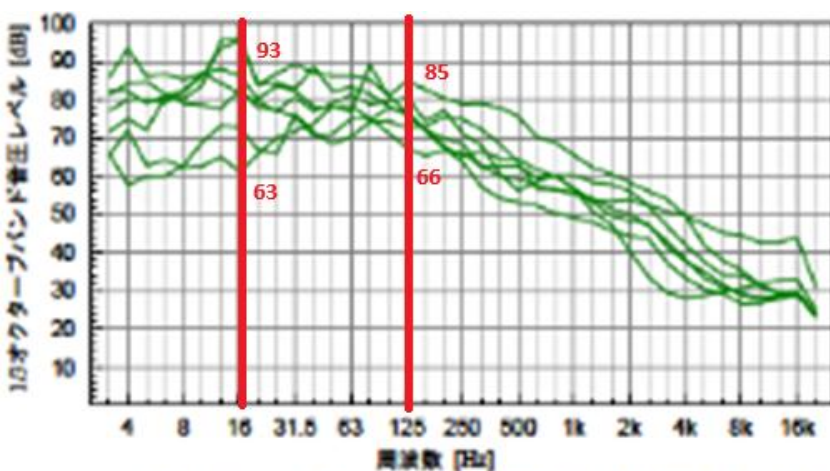


d) その他の環境騒音（設備機械の騒音、工事騒音、地下鉄固体音、公共空間の音など）：6種類

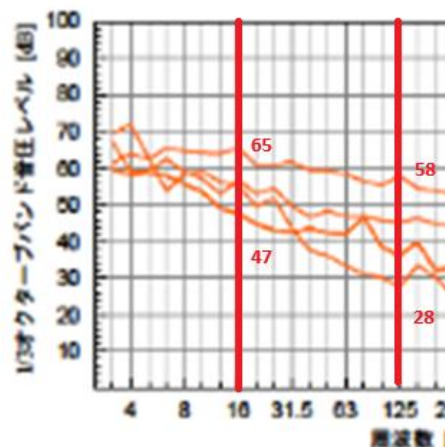


e) 風車騒音（風車直下および騒音）：5種類

その他補環境騒音（工場音など）の中では低い方だと言える。



c) 自動車、在来鉄道、新幹線鉄道、航空機内の騒音：7種類



e) 風車騒音（風車直下および騒音）：5種類

自動車、在来鉄道、新幹線鉄道、航空機内の騒音よりも低いと言える。

自動車、在来鉄道、新幹線鉄道、航空機内で、居眠りする人も多いが、うるさくて眠れない、極めて不快、と言う人はほとんどいない。なぜ、風車音の場合は睡眠を妨害されたと訴える人が多いのかを説明する必要がある。

風車音を超低周波音（0～20Hz）と騒音（20Hz～20 kHz）に分けて、さらに、騒音を2通りに評価する可聴低周波音（20～100Hz）での評価と、A特性での評価（これは1000Hz～4000Hzの部分で樹脂下評価）立場がある。

これは、聞こえなければ問題はないという考え方を受け入れる立場です。これでは風車音が発生する仕組みやその性質（指向性）を理解することが出来ません。これでは風車音被害の原因は分からない。風車音との因果関係は不明のままになります。

環境省が隠したがること、調べられたら困るので調査を妨害するところが、原因だと考えるのが普通の方です。

これから、評価から除外してきた超低周波音に関して詳細に調べるべきだとの結論を得ます。風車からの超低周波音は、聴覚閾値よりも低くても、体内の圧力を変化させる力は大きいのです。

騒音レベル（A 特性音圧レベル）での比較

カナダでの大規模調査では、風車症候群と A 特性音圧レベルの間の統計的な関連性は薄いことが分かっている。これは当然の結果である。他の環境騒音と比べて風車音の方が低いのであり、これが原因ならば、他の環境騒音でも風車症候群と言われる被害が出たはずです。（右側の数値で、それぞれの平均値を取る。）

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。”

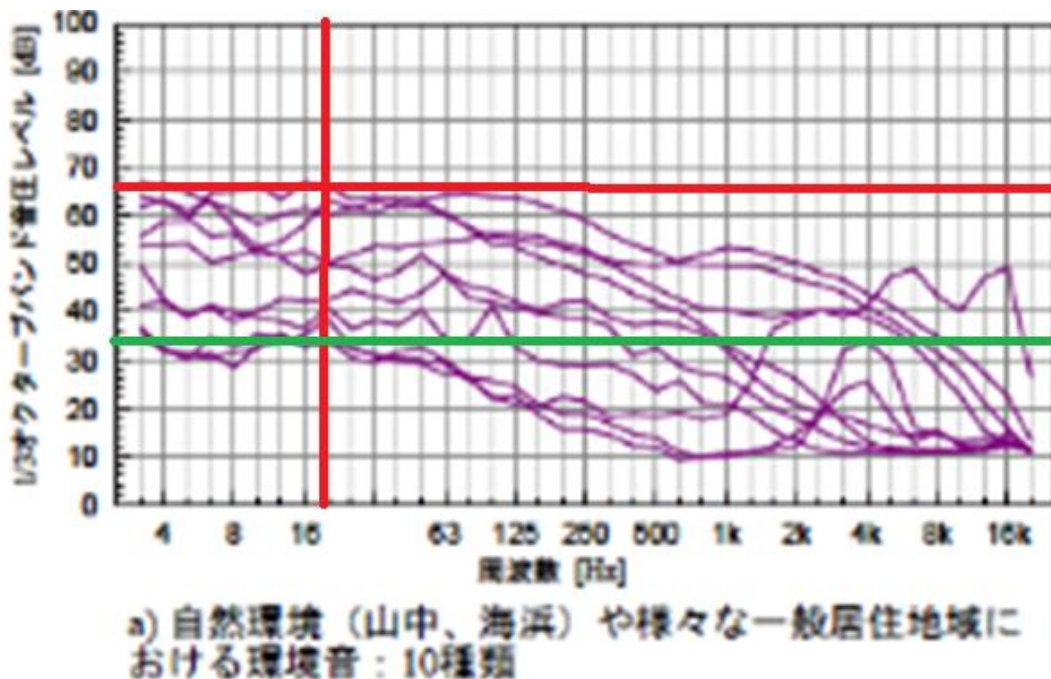
4Hz からのグラフを見ながら、“低い周波数成分の騒音の卓越が見られるわけではない”との文章をみれば、  
“低い周波数成分の騒音”が 4Hz も含むかのように錯覚します。低周波領域は“20～100Hz”であり、“低い  
周波数成分の騒音の卓越が見られるわけではない”が、4Hz を含む“超低周波音”の領域まで含めて考えれ  
ば、風車音は他の環境騒音に比べて卓越した音圧を持っていることが分ります。

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。  
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ようになります。

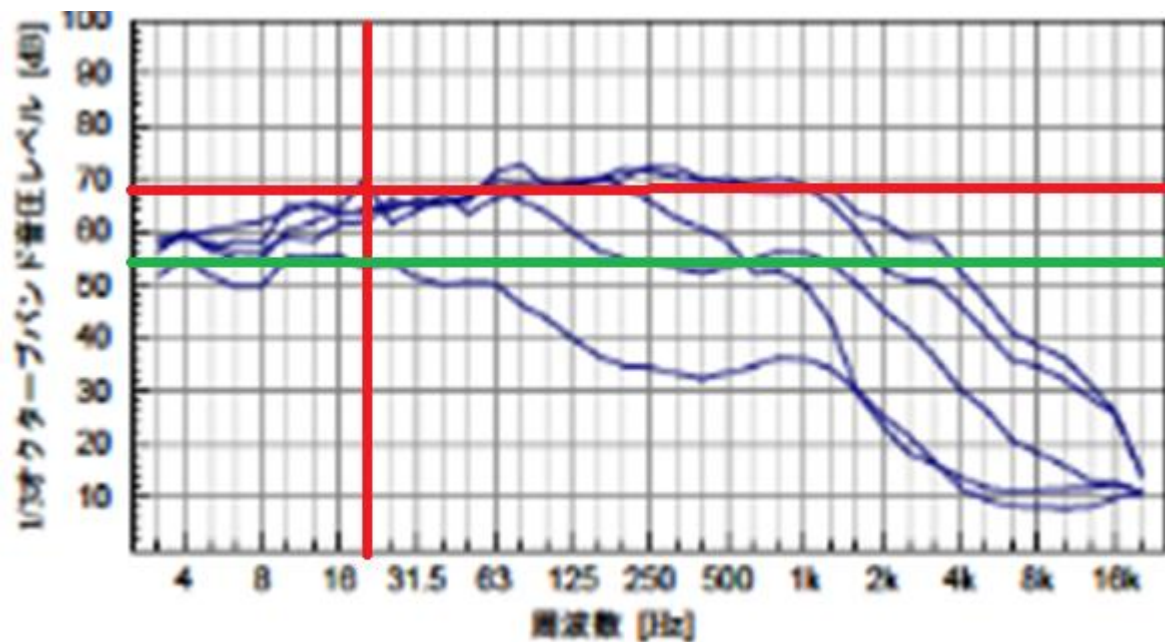
20Hz 辺りに縦線、それとグラフとの交点を通る水平線を引けば、低周波領域（4Hz～20Hz を含む）での特  
徴が分かります。低周波領域（4Hz～20Hz を含む）に着目すれば次のようになります。

4Hz から 20Hz ではグラフは水平。



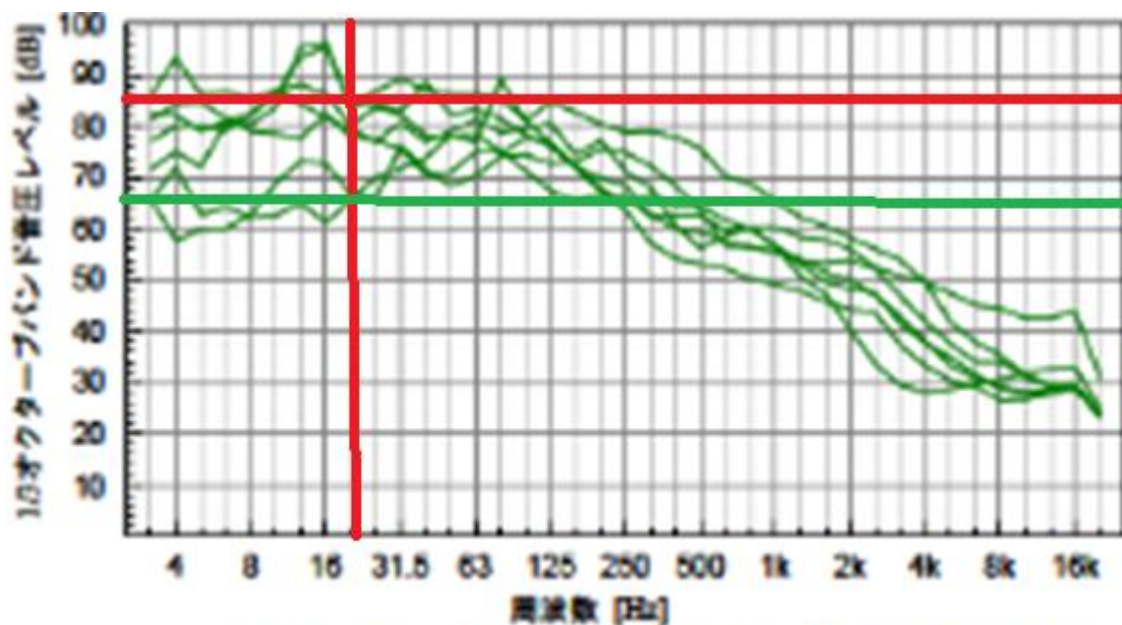


周波数が低くなるとグラフは下がる。



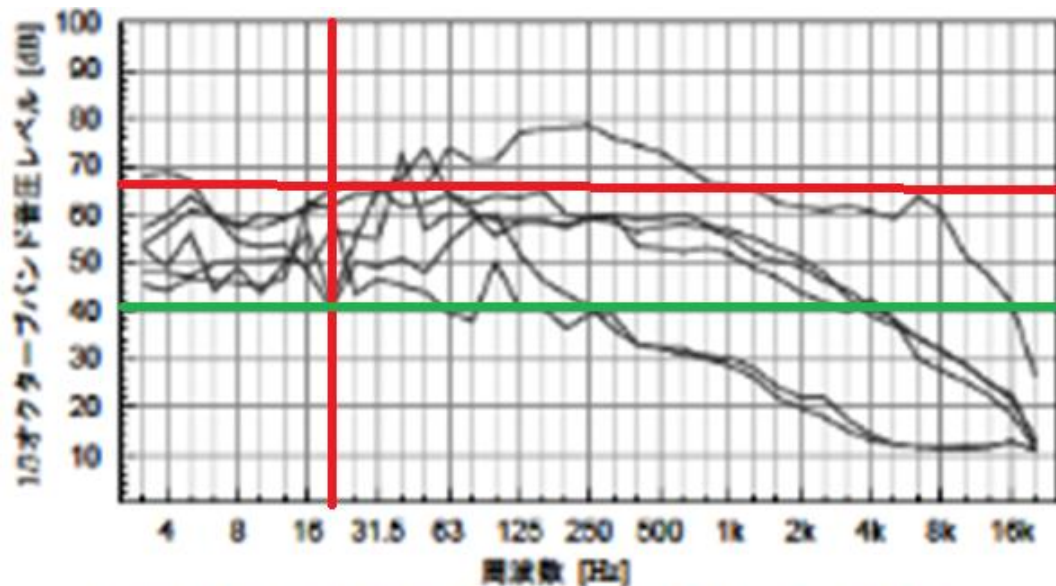
b) 沿道、沿線、航路直下における交通機関（道路、在来鉄道、航空機）の騒音：5種類

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。



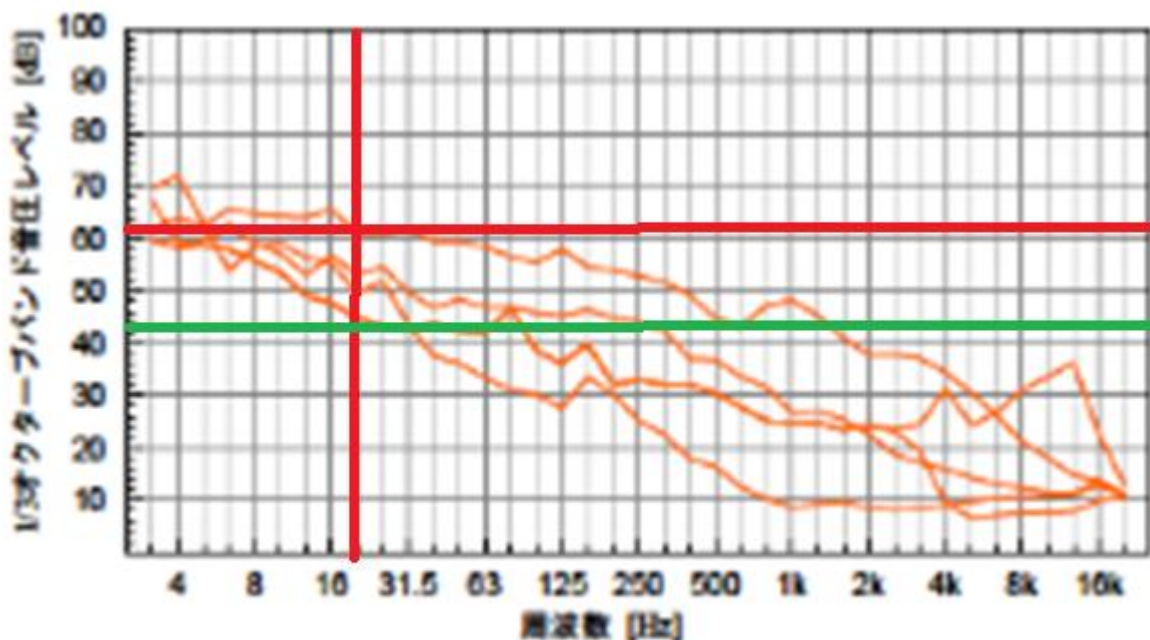
d) その他の環境騒音（設備機械の騒音、工事騒音、地下鉄固体音、公共空間の音など）：6種類

周波数 [Hz]

※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

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。



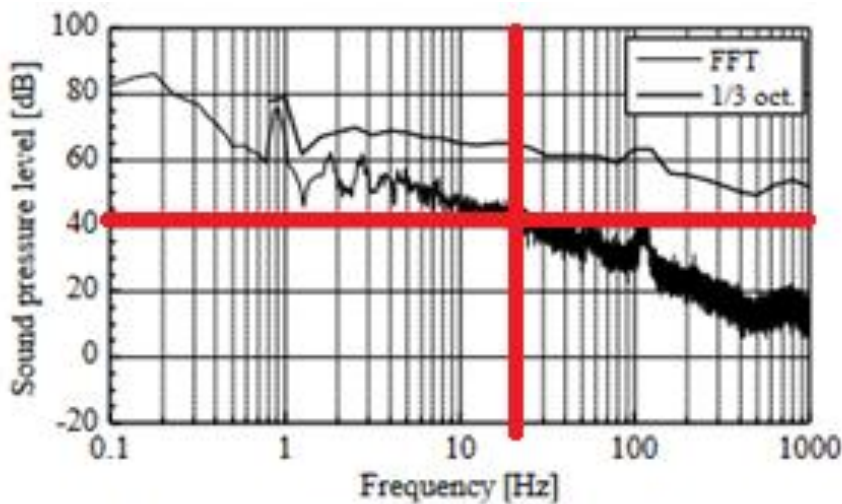
e) 風車騒音（風車直下および周辺居住地域における騒音）：5種類

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、10Hz 以下を風雑音だとするのは無理があります。

風の様子は、激しく変化します。音圧レベルが連続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、10Hz 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。

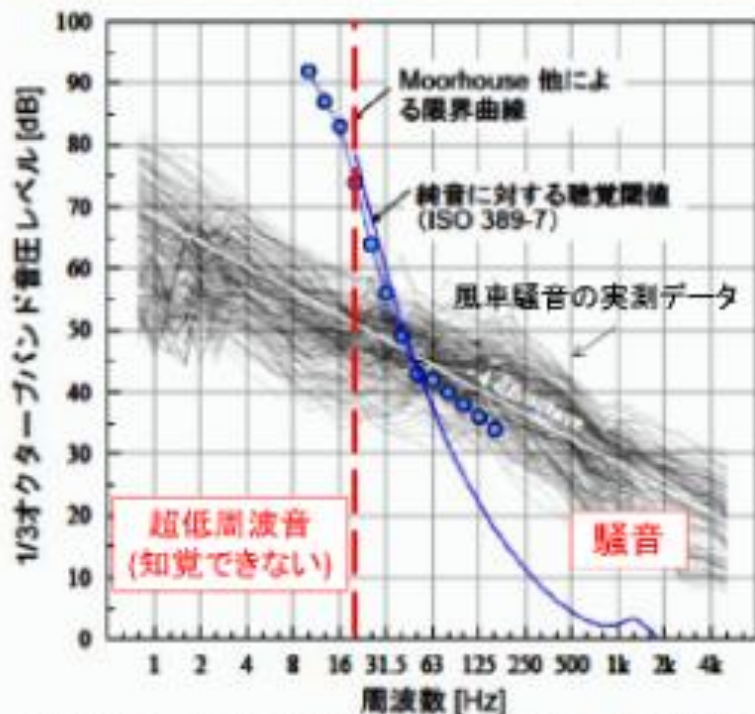
超低周波音領域と可聴音の領域でのエネルギーの分布や、音圧が最大となる周波数などの点に注目すれば、風車騒音（0Hz以上）が異質のものであり、A特性音圧レベル（20Hz～）で評価すると、エネルギーの93%を見失う事になることが分かります。A特性音圧レベル（20Hz～）では、風車騒音（0Hz 以上）の特性は理解できません。

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。



## 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

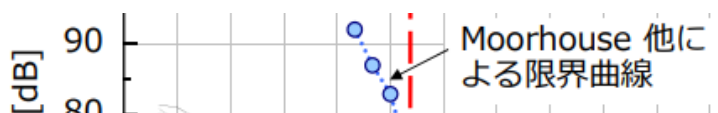


20Hz以下の超低周波音領域は、すべて知覚閾値を下回っている

**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

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 92 d B となっている。

10H z は井上氏が感知できないとする超低周波音（0H z ～20H z）である。では、10H z で 93 d B 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が、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が。町田先生は、この論理的な矛盾をどのように克服したのでしょうか？

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

Moorhouse, AT, Waddington, DC and Adams, MD

<http://dx.doi.org/10.1121/1.3180695>

Title	A procedure for the assessment of low frequency noise complaints
Authors	Moorhouse, AT, Waddington, DC and Adams, MD
Publication title	The Journal of the Acoustical Society of America (JASA)
Publisher	Acoustical Society of America
Type	Article
USIR URL	This version is available at: <a href="http://usir.salford.ac.uk/id/eprint/18459/">http://usir.salford.ac.uk/id/eprint/18459/</a>
Published Date	2009

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、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、この日本語は不適當です。

“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。

また、この論文には、日本での物的苦情に関する参照値の事も書いてあります。

**A. The criterion curve**

The criterion curve is given in Table V and FIG 13. If the noise occurs only during the day then 5dB relaxation may be applied to all third octave bands. 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 complaints<sup>17</sup>.

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。

もとの論文の中では、“Moorhouse 他による限界曲線”の具体的な数値は次のものです。

表 V: 提案された夜間参照曲線

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

ISO 389-7:2019 にある聴覚閾値の表の数値と、2つの参照値などを纏めれば、次の表になります。



周波数Hz	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
物的参照値 dB	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99						
心身参照値 dB				92	88	83	76	70	64	57	52	47	41				
聴覚閾値							78.1	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5	26.5	22.1	17.9	14.4
聴覚閾値(旧)							78.5	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5	26.5	22.1	17.9	14.4
夜間参照曲線				92	87	83	74	63	56	49	43	42	40	38	36	34	

100Hz の所の、聴覚閾値は 26.5 d B、“Moorhouse 他による限界曲線”（夜間参照曲線）での数値は 38 d B です。

限界曲線での数値が 38 d B ですから、この数値になるまでは知覚できないはずですが、26.5 d B の段階で聴覚は音を知覚します。

これは、“限界曲線”としたから矛盾する数値となるのです。本来の“参照曲線”または“基準曲線”と訳せば、100Hz の音は、26.5 d B になれば聴覚で知覚できるが、低周波音としての影響で苦情が出るほどの大きさではなく、38 d B 程度になっていたら、うるさくて苦情が出て当然なので、計測値が 38 d B に近かったら、低周波音に起因する問題と考えて、音の発生源についての調査をやってみましょう。というような数値であり、調査開始の目役となる数値だという事なのです。

10Hz での 92 d B は、心身での参照値と同じ数値になっています。参照値で、10Hz での 92 d B では、10%程度の人が許容できないとする音圧レベルです。10%程度の人が被害を受ける数値ですから、10Hz で 92 d B の数値が観測されたら、低周波音の問題として捉えて、調査を開始すべきです。これが、参照曲線の意味なのです。

せこい事に、英語版では“Limitation curve”ではなく、“Criterion curve”となっている。

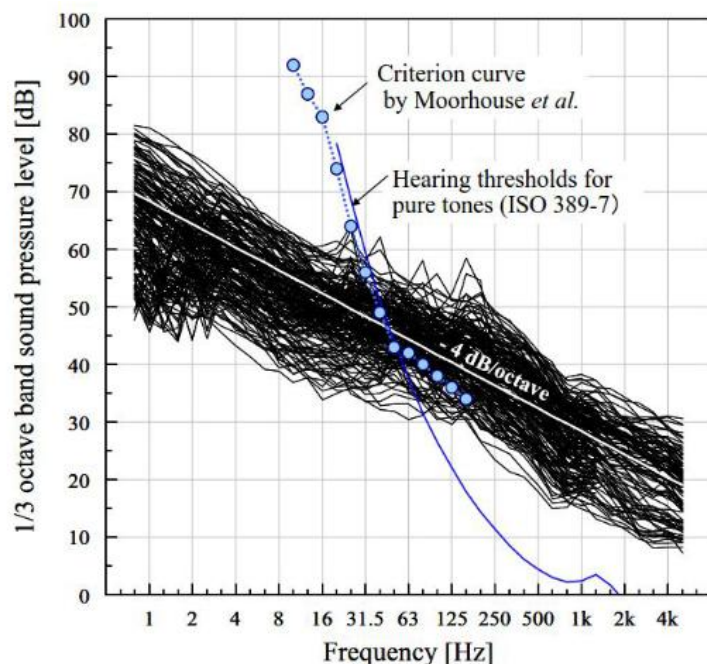


Figure 2. Measurement results at 164 points around 29 wind farms in Japan. (Assessment of wind turbine noise in immission areas, H. Tachibana et al, 2013)

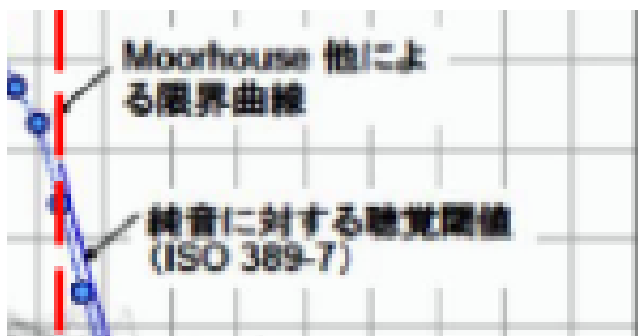
この図からは、“聴覚閾値を下回っている。”との結論になる。市民は英語が分からないだろう。とでも思っているようです。

日本語の単語を適切に使用する必要があります。いつの間にか摩り替えられる言葉として、**聴覚閾値**、**感覚閾値**、**知覚閾値**の3つがある。

**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、などが考えられるが、それらの全てを意味しているのか、他の感覚をも意味しているのかが不明である。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。



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

町田氏の書かれた、検討会報告書の15ページのように**聴覚閾値**と訳すべきです。

## 2) 発生する音の特徴・性質

風力発電施設は、他の施設から発生する騒音と比較して、より低い周波数の騒音が発生していると一般に思われている。しかし、2-1. で示したとおり、20Hz以下の音（超低周波音）に関しては、音圧レベルが**聴覚閾値**を超えるものは確認されていない。また、風車騒音と他の様々な騒音（表2）の1/3オクターブバンド音圧レベルを比較した結果は図8に示すとおりであり、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。

これを、無理やり**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。

聴覚閾値と感覚閾値を混同してはいけません。もちろん、知覚閾値を同じ意味で使ってはいけません。環境省の HP に見られるような、支離滅裂な論理展開となってしまいます。

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  $L_G=92(\text{dB})$  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 オクターブバンド 中心周波数 (Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
1/3 オクターブバンド 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、(10Hz で 92 dB は、Moorhouse の数値と一致する。)

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)	78.1	68.7	59.5	51.1	44	37.5	31.5
感覚閾値 (デシベル)							

(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。) となります。

もう少し正確な表を作れば、

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
感覚閾値（デシベル）	78.1	68.7	59.5	51.1	44	37.5	31.5
（2005年）	(78.5)						
聴覚閾値（デシベル）	78.1	68.7	59.5	51.1	44	37.5	31.5
（2005年）	(78.5)						
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

となります。ISO での聴覚閾値の 20Hz での値は 78.5 から 78.1 に改訂されました。

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、25 Hz 以上の周波数成分については、正しい表現だが、20 Hz 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、20 Hz 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か？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ない。

25 Hz 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、20 Hz 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。

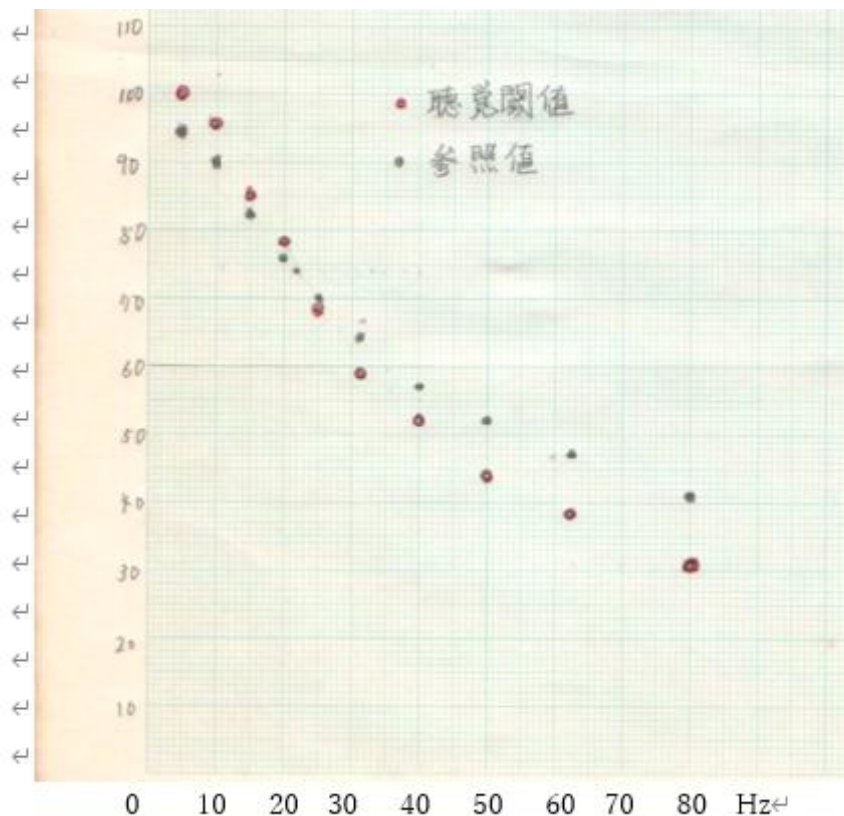
参照値 － 聴覚閾値 の表を作れば次のようになります。

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76 dB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78.1 dB (78.5 dB) 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76 dB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78.1 dB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76 dB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が、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。

#### 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。



の記述を参考にすれば、聴覚以外の感覚器官による刺激を含めて反応を調査したものが参照値だと理解できます。

聴覚だけの聴覚閾値とそれ以外の感覚を含めた参照値が一致しないのは当然です。

このずれを検討しないで、聴覚閾値を単純に感覚閾値と言い換えたり、知覚閾値を言い換えたりしてはいけません。

さて、風車音の被害は、超低周波音（0Hz-20Hz）を除外して考えることが適切なのでしょうか？

次の p 14 に関してはすでに示した。

#### 報告書（p 14）

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（L<sub>dn</sub>）で 60dB 程度、20%程度は 53dB 程度、10%程度は 43dB 程度となる。

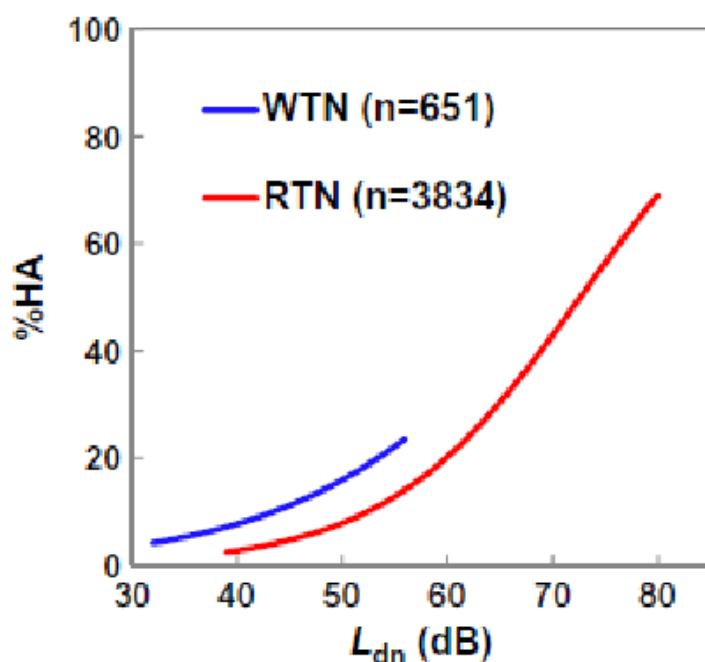


図 7 風車騒音（WTN）と道路交通騒音（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（L<sub>dn</sub>）※ と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（%HA）

※ 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、L<sub>Aeq</sub> に 6dB を加算して L<sub>dn</sub> 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。



そもそも、

## 2) 発生する音の特徴・性質

風力発電施設は、他の施設から発生する騒音と比較して、より低い周波数の騒音が発生していると一般に思われている。しかし、2-1. で示したとおり、20Hz 以下の音（超低周波音）に関しては、音圧レベルが**聴覚閾値**を超えるものは確認されていない。また、風車騒音と他の様々な騒音（表 2）の 1/3 オクターブバンド音圧レベルを比較した結果は図 8 に示すとおりであり、**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。**

[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 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。

交通騒音と風車騒音の質的な違いが無く、双方に対して、“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。”と言えるためには、評価値としての A 特性音圧レベルが同じ値ならば、同程度の被害が出なくてはなりません。尺度を共通にしたときに、同じ値に対しての被害状況が異なるならば、その尺度は共通の尺度としては使えないのです。

不快になる割合が 30%になるときの、A 特性音圧レベルが、風車音で 43 d B、交通騒音で 52 d B と考えられるのです。9 d B の差が出ています。この差の原因を考えれば、問題解明の手掛かりが見つかります。

また、エネルギー分布を考えても、風車音の 7%のエネルギーから計算される数値で判断するのは、あまりにも、非科学的と言うしかない。

最大の謎は、数学の学力、英語の学力、日本語の学力、どれを見ても日本の高等学校を卒業できたとは思えない。ということです。どのようにして高校を卒業できたのでしょうか？

最後に、ダメ押し。

**風車騒音の問題は超低周波音によるものではないとしている。**

と書いてあるが、“風車騒音”の意味が分かってるのでしょうか？

“騒音”と付ければ、20Hz 以上の制限が付きます。“風車騒音の問題”ですから、風車音のうちで、20Hz 以上の周波数を持つ成分に関する問題という事になります。ですから、それは 20Hz 以下の周波数成分の問題ではありません。超低周波音（20Hz 以下）の問題とは別物です。ですから、これは単なる同義反復です。論証ではありません。

正しくは、

“風車音の問題は超低周波音によるものではないとしている。”

と表現してみるべきです。

こう書けば、たちまち問題が沸き起こります。

周波数スペクトルを示せ。

周波数分解能を高くしなさい。

音圧の計測結果のサンプリングレートを上げろ。

記録する符号付整数を 16 ビットから 24 ビットに変えろ。

音響キャビテーションに関するシミュレーション結果を示せ。

音響キャビテーションに関する微分方程式の数値解析のソースコードを示せ。

実験結果を示せ。

影響が無い事を、計算結果と実験結果から示せ。

風車音の特徴を指向性、周波数特性を含めて明らかにしなさい。

風車音が発生する仕組みを示し、計算上の周波数が、観測結果と一致することを示せ。

全ての計測結果を、生データのままで公開しなさい、

聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値の意味を明確にしろ。

...

などなど、

WG の皆さんは、各自の考察と計測結果、風車音の発生機構に関する見解を示したうえで、議論に参加すべきである。

図 1. 交通騒音（リオン社前） 0～5000Hz

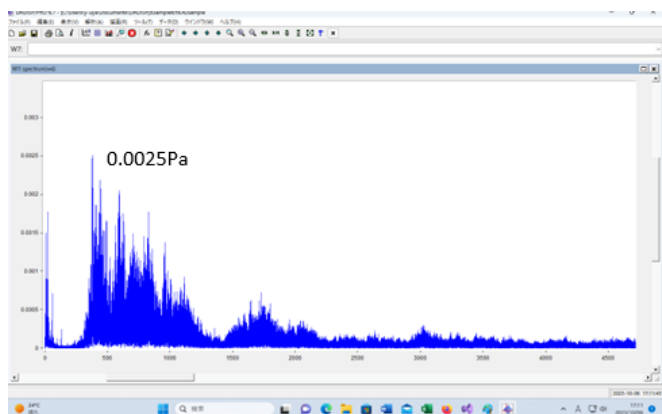


図 2. 工場騒音（製鉄所内の音） 0～5000Hz

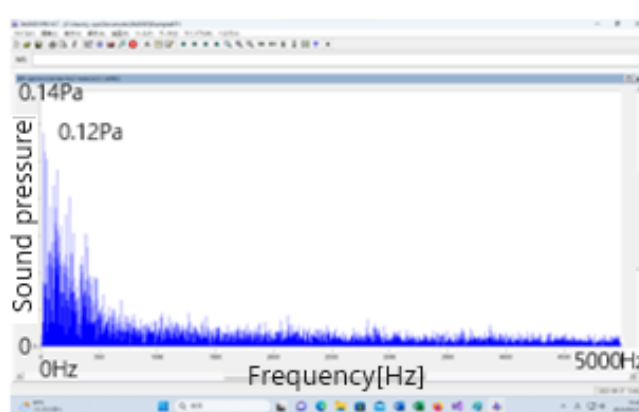


図 3. 風車音（館山風の丘） 0～5000Hz

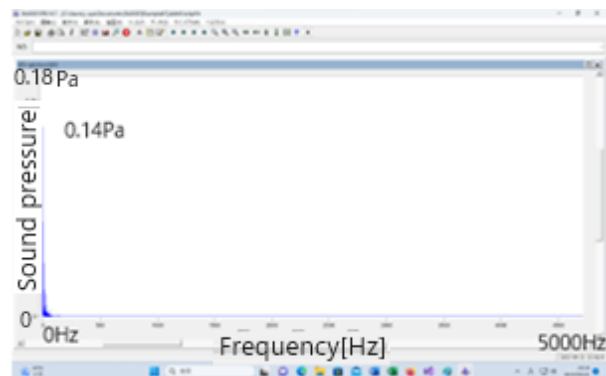


表 2. エネルギーの分布

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

0～5000Hz の範囲で比較すれば、

交通騒音の最大音圧は、0.0025Pa

JFE の製鉄工場音での最大音圧は、0.12Pa

風が弱い時の風車音の最大音圧は、0.14Pa

になっています。

エネルギーの側面からは、

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 m<sup>2</sup>あたり、1 ニュートンの力が加わる時の気体の圧力が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/m<sup>2</sup>)

$$J = (p \cdot p) / (\rho c) \quad (W/m^2)$$

ここで、 $p$  (Pa) は音圧、 $\rho$  は空気の密度 ( $\text{kg/m}^3$ )、 $c$  は音の速度 ( $\text{m/s}$ )

となっているので、音圧の2乗を比較すれば、音のエネルギーを比較することができます。  
結果は次の表になります。

周波数帯	0～20Hz	20～200Hz	200～24 kHz	0～24 kHz	単位
交通騒音	1.76E-07	8.08E-08	1.80E-05	1.80E-05	W/m <sup>2</sup>
神社風	8.23E-06	3.91E-07	2.12E-07	8.83E-06	W/m <sup>2</sup>
JFE工場	4.80E-05	4.01E-04	5.34E-04	9.84E-04	W/m <sup>2</sup>
風車弱風	8.19E-04	2.40E-05	3.82E-07	8.43E-04	W/m <sup>2</sup>
風車強風	1.49E-03	2.30E-05	6.94E-08	1.52E-03	W/m <sup>2</sup>

可聴域をA特性音圧レベルで測れば、車の音の方が大きくなることもあります。

可聴低周波音 (20～100Hz) でも、風車音が卓越しているとは言い難いのですが、基本周波数の音圧を見れば、風車音の音圧が超低周波音の領域で卓越していることは明白です。

**風車騒音の問題は可聴周波数範囲の問題ですが、風車音の問題は可聴周波数範囲の問題ではありません。**

**風車音は、超低周波音の塊であり、可聴周波数範囲の部分は風車音のエネルギーの7%以下なのです。**

風車からの超低周波音は、周波数スペクトルが離散的であり、音圧も高いことから、体内の圧力を変化させる力が強いのです。聴覚では把握できなくても、人体に直接物理的な作用を及ぼします。

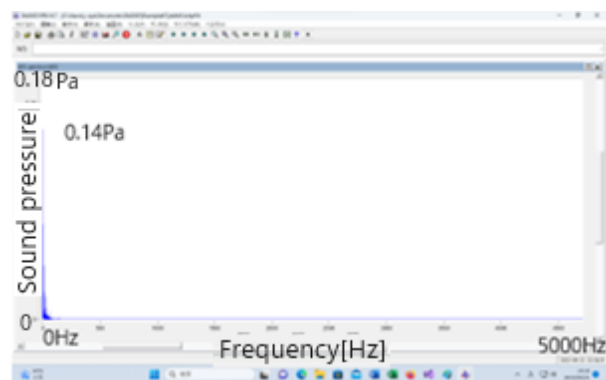
風車音のエネルギーの93%以上を持っている超低周波音の部分を無視しては、被害が起きる理由が説明できません。

“科学的エビデンス”以前に日本語の表現自体が支離滅裂である。

騒音は聴覚で感知出来て騒がしい音として認識されるものです。風車音では可聴域の成分は非常に弱いのです。

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	0～20 Hz	20 Hz 以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

風車音では、超低周波音の部分にエネルギーの93%以上が集中しています。聴覚での把握は困難ですが、圧迫感として感知されます。

特に基本周波数での圧力変動は体内の圧力を大きく変化させます。重要なのは、聴覚閾値と感覚閾値は違う概念だということです。

風車の影響は聴覚や圧迫感だけではなく、物的な振動として感知される事もあります。これらの結果として睡眠妨害が起きます。

聞こえない音でも、圧迫感や振動で睡眠を妨げるのです。風車音の影響は圧迫感や振動として、聴覚以外の感覚器官で感知されて、被害を生じます。聞こえないから被害が無いとは言えないのです。

本題に戻れば、

そもそも、英語、国語、数学、物理学の基礎的な知識があれば、風車から強烈なエネルギーを持っている超低周波音が出てくることは分かるのです。さらに、離散的な周波数構造が、音響キャビテーションの条件と一致してしまう事も分かるのです。

マイクに風が当たらなくても計測される超低周波音、その発生原因となる風車尾の運動、結果としての風車音の指向性、マクローリン展開の係数から分かる、風車音の特殊性 ( $f = RZ / 60 \text{ Hz}$  の音の音圧が極めて高い、周波数が離散的である) ことによって、音圧の符号が、周波数  $f \text{ Hz}$  の音で決ってしまう。

これによって、基本周波数が  $0.5 \text{ Hz}$  の時は、人体に対する圧縮と膨張が  $1$  秒おきに行われる。これは、体内での気泡の発生を促す。そして頭痛が起きるのです。

残念ながら、科学的エビデンスとして上げられていたものは、科学者の導き出した結論とは思えないものでした。驚くべき、不勉強の集大成が、

● 風力発電施設からの騒音の問題は、超低周波音によるものではなく、通常可聴周波数範囲の騒音として取扱うとの考え方自体は、科学的エビデンスに基づくものです。

学者の学力と言う以前の問題が明らかです。日本語が支離滅裂です。

騒音（聴覚で騒がしいと感知されるので可聴域である  $20 \sim 20000 \text{ Hz}$  の音）

風車騒音（風車音の成分のうちで、聴覚で騒がしいと感知されるので可聴域である  $20 \sim 20000 \text{ Hz}$  の音）

超低周波音（ $0 \sim 20 \text{ Hz}$  の音）

と考え、

風車音の性質

図 1. 交通騒音（リオン社前）  $0 \sim 5000 \text{ Hz}$

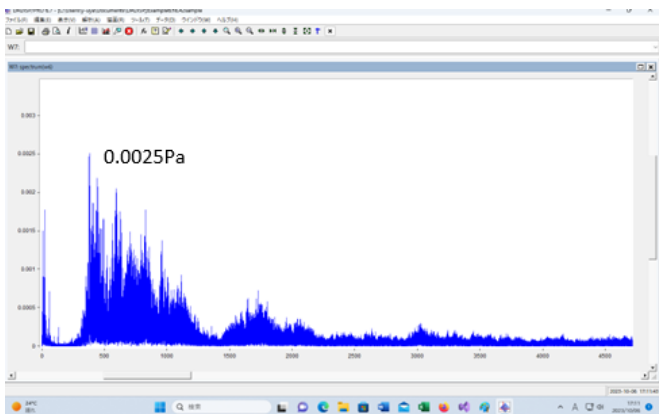


図 2. 工場騒音（製鉄所内の音）  $0 \sim 5000 \text{ Hz}$

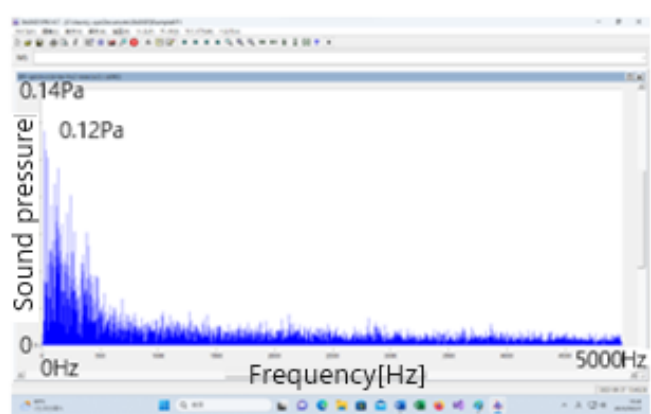


図 3. 風車音（館山風の丘） 0～5000Hz

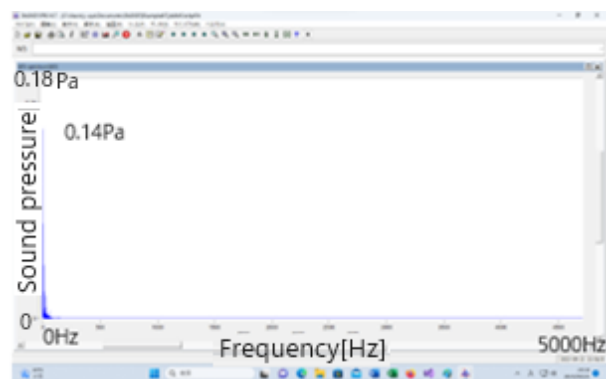


表 2. エネルギーの分布

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

0～5000Hz の範囲で比較すれば、  
 交通騒音の最大音圧は、0.0025Pa  
 JFE の製鉄工場音での最大音圧は、0.12Pa  
 風が弱い時の風車音の最大音圧は、0.14Pa  
 になっています。

風車音は、超低周波音と騒音に分類できて、超低周波音がエネルギーの 93%を持っていて、騒音の部分は 7%以下である。

交通音では、1%と 99%なので、交通音問題を、騒音問題として考えることは合理的であるが、風車音では不合理である。

聴覚では把握できなくても、超低周波音は人体に対して物理的な影響を及ぼす。周波数が低く、周波数スペクトルが離散的であり、基本周波数の成分だけが卓越しているので、人体を物理的に圧縮膨張させる力があるのです。これを無視してはいけません。

よって、

● 風力発電施設からの騒音の問題は、超低周波音によるものではなく、通常可聴周波数範囲の騒音として扱うとの考え方自体は、科学的エビデンスに基づくもの。

ではなく、

“風力発電施設からの音は超低周波音と騒音に分類できる。ラウドネス（うるささ）に関する問題に限定すれば、通常可聴周波数範囲の騒音として扱えるが、アノイアンス（不快感）や物理的な影響を考える場合には、超低周波音が重要になる。睡眠妨害や循環器系の障害、頭痛などを重視する立場からは、風車音の問題を超低周波音の問題として扱う事が当然である。もちろん、科学的エビデンスと言うからには、風車音の精密な計測と分析及び風車音の発生メカニズムの説明も不可欠となる。”

“風力発電施設からの音の問題は、0～20 H z の超低周波音の問題と、20 H z 以上の騒音（通常可聴周波数）の範囲の問題に分かれる。このうち、超低周波音の部分は、その周波数が離散的であり、基本周波数での音圧が極めて高いことから、全体の音圧の符号が基本周波数成分で決定されて、人体に対して、ゆっくりとした圧縮、膨張として作用する。これは音響キャビテーションにおける気泡発生の条件を満たしている。この結果、圧迫感や頭痛が発生する。なお、超低周波音の部分は、風車音全体のエネルギーの 93%以上を占めている。また、この周波数が極めて低いことから、エネルギー透過率が高く、防音窓を設置しても効果は期待できない。



騒音の問題は、通常可聴周波数（20～20000Hz）の問題であり、うるさい！との影響を与える。この可聴域の部分に関しては、その周波数が高いことから、防音窓で十分防げる。”となる。

と書き直す必要がある。

住民は、計測と、物理学と数学を使って物事を考えます。

学者の常識は、

・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。

（風力発電についての意見聴取会（三重県松坂市、平成 21 年）

学識者意見：落合博明氏 の発言（落合氏がそう考えているか否かは不明です。))

ですが、

住民はそのような非科学的な常識は、捨て去ります。

簡単な計測で、“風雑音”が嘘だと分かります。

命題“ $p \Rightarrow q$ ”は、 $p$  が偽ならば全体としては、真となります。例えば、“ $(1 = 0) \Rightarrow (999999999 = 1)$ ”は正しい命題ですが、これでは数学の世界が崩壊します。間違った根拠から出発する論理は過去の成果を破壊するのです。

#### “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。“

から出発する命題は、どんな誤った結論でも、全体としては真なのです。

そして、風車音や低周波音に関する過去の研究成果を破壊するのです。

いくら、超低周波音が目障りでも、それを計算で除去するのは簡単だが、風車から出る風雑音は除去できないのです。そして被害が出るのです。被害の原因が不明なのは、“私は無能で問題を解けません”と宣言していることになるのです。住民には常識と学力があるので、そのようなことは言いません。“被害の原因は風車音である。”というのです。

風車音のエネルギーの 7%で全体の影響を評価できると考えるのは統計学や“因果関係”に関する無知を示しています。住民は残り 93%のエネルギーの影響も考えます。

住民は、英語と日本語と数学の基礎知識があるので、“風車音（0～24000Hz）”と“風車騒音（20～20000Hz）”区別します。“聴覚閾値”、“感覚閾値”、“知覚閾値”の違いが分かります。英語を正しく翻訳できます。

“騒音の問題は”となっています。これは“騒音”ですから、“風力発電施設からの騒音（20Hz 以上）”の問題は、“超低周波音（0～20Hz）によるものではなく”、“通常可聴周波数範囲（20～20000Hz）の騒音として扱うとの考え方”になります。風車から出る音の中で、騒音（20Hz 以上）に限定するのですから、後の説明は、同義反復にすぎないのです。

- 一方、風力発電施設からの超低周波音に対しては、住民等からの懸念等が引き続きありうる状況をかんがみ、環境アセス制度を踏まえ、さらに社会的な合意形成への配慮も必要。合意形成の円滑化が期待される以下のような取組が進められている。

住民の最大の懸念は、WGの学者の学力です。

住民は、超低周波音に関しては、計測からも、発生する仕組みからも、風車の運動の計測結果からも、風車音の指向性に関する計測結果からも、その存在を確信しています。

超低周波音のエネルギーが大きい事も、その特徴から、圧迫感や頭痛の原因となっていることも知っています

住民は、会社、県、学者の皆様と共に、風車の近くで、騒音計に風が当たらない工夫をして、計測できる日を楽しみにしているのです。

残念なのは、このような誤った根拠から導き出された方針は、住人の被害を大きくするだけだということです。国や企業が、住民の主張に同意すれば良いのです。お金と力だけが正義ではありません。真実もまた正義なのです。

国は、県や市に風車音の精密な測定をしない様に圧力をかけているようです。この事から住民からの懸念は計測しているし、市民が精密騒音計や波形解析ソフトを購入して自主的に計測を開始しています。

計測結果をネット上に公開して、世界中の市民が解析できるようにしています。

県や市は、国の意向に従って、風車音の精密な測定をやってくれません。しかし、市民はそれぞれの分野でのエキスパートなのです。お金を集めれば、計測や解析をすることは可能です。

市民は、計測、信号解析、数学、物理学、統計学、医学の専門家として、世界と戦ってきているのです。これらの人が協力すれば、風車音の計測結果に基づく議論が出来ます。

例えば、環境省は超低周波音に関しては、G特性音圧レベルと1~80Hzでの1/3オクターブ解析を計測方法として示しています。更に、二重防風スクリーンと除外音処理で基本周波数での高い音圧を消し去ることを要求しています。

市民は、新しい解析技術を使います。基本周波数での音圧を正確に計測して解析します。

Wavelet解析やカオス理論は世界の常識になりつつあります。これらは市民にとって普通の解析方法です。

さらに、風車の運動を見れば、ナセルが音源として機能していないことは明らかです。

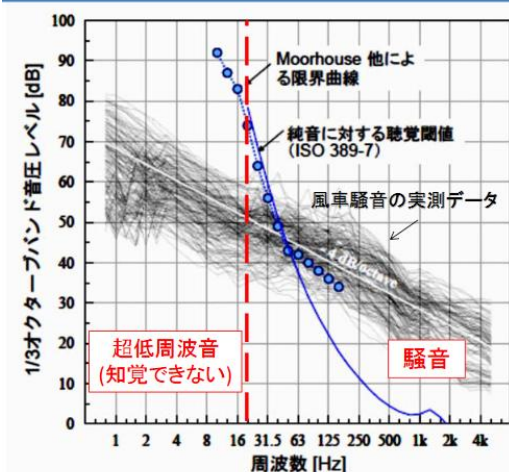
風車音の指向性と粗密波が発生するメカニズムを考えれば、塔の側面に対する有限要素法での解析が不可欠であることは常識的な知識になっています。

- 1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久敏,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,橋本品太,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

これらの計測結果を無視して、単純で古臭い方法にしがみついてはいけません。

住民は、専門家の集団なのです。風車音を風車騒音と言い換えて騙すような企ては通用しないのです。

## 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



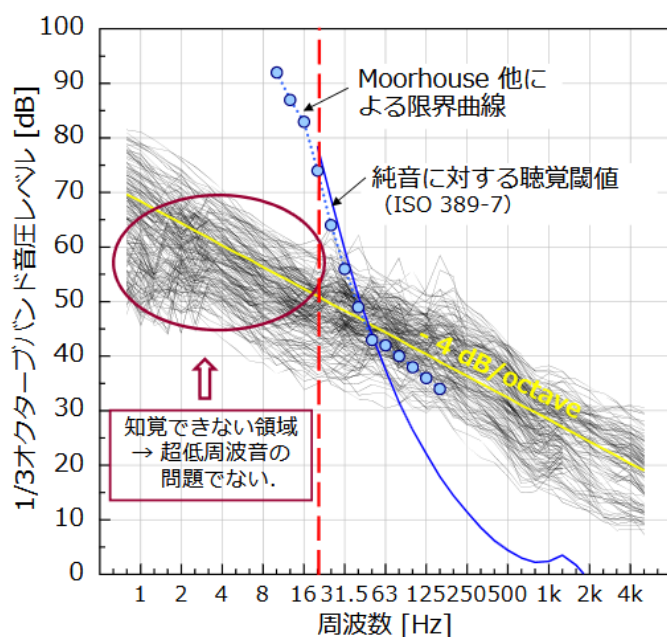
20Hz以下の超低周波音領域は、すべて知覚閾値を下回っている

**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

## 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

風車からの超低周波音は聴覚では感知できなくても、圧迫感や振動として作用し、睡眠を妨害します。聴覚での知覚が困難であるという事と、存在しないという事は全く別の問題です。誰が見ても、超低周波音の音圧が高いことは明らかです。

専門家は、  
([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。

と考えるようですが、聞こえない音である超音波での火傷は、聞こえなくても火傷の痛みによる不快感を与えます。普通の人、目覚まし時計が 30 秒も鳴れば目が覚めます。風車の超低周波音による刺激が 30 秒程度継続すれば目が覚めます。

ガタツキでは、5Hz で 70 d B の音が、圧迫感などの不快感に関しては、10Hz で 92 d B 程度の音が 30 秒間程度継続すれば、目が覚めるのです。

これは、超低周波音による不快感です。不快感の閾値は、5Hz では 70 d B 以下、10Hz では 92 d B 以下なのです。

周波数Hz	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
物的参照値 dB	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99						
心身参照値 dB				92	88	83	76	70	64	57	52	47	41				
聴覚閾値							78.1	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5	26.5	22.1	17.9	14.4
聴覚閾値(旧)							78.5	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5	26.5	22.1	17.9	14.4
夜間参照曲線				92	87	83	74	63	56	49	43	42	40	38	36	34	

・10 ヘルツの閾値は大体 95 から 100 デシベル程度

表-2 低周波音

1/3 オクターブバンド 中心周波数 (Hz)	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5
①物的苦情の参照値 (2004)	—	—	—	—	—	—	—	70	71	72	73	75
②心身に係る苦情の 参照値Ⅰ (2004)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	92	88
③心身に係る苦情の 参照値Ⅱ (2004)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
④超低周波音の感覚閾値 と最小可聴値	—	—	—	130	126	123	118	115	111	105	100	95

の閾値は、聴覚閾値の意味だと思われますが、

不快感では。10Hz では 92 d B、ガタツキでは 10Hz では 73 d B です。聞こえなくても、夜中に何度も起こされることは、不快な事なのです。そして、健康にも、学習にも、仕事にも大きな影響を与えるのです。

聞こえなくても不快感（圧迫感、頭痛）を感じるのです。人間の感覚器官は耳だけではないのです。

学者ならば、この指向性を持った粗密波が発生するメカニズムを物理的に説明すべきです。それが出来ない学者が何人いても、風車音と健康被害の因果関係を見つけることは不可能なのです。



超低周波音の部分に関して、“風雑音”だという学者がいます。

超低周波音で5 Hz以下の部分について、“風雑音”と考えている人もいます。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れます。

“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。

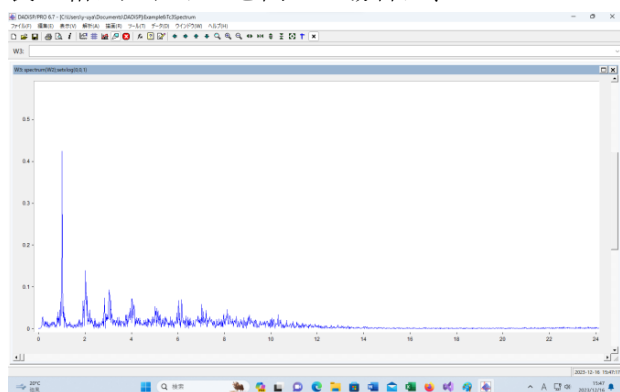
風車の近くでは、マイクに風が当たらなくても超低周波音が計測される。

風車の近くでの計測で、

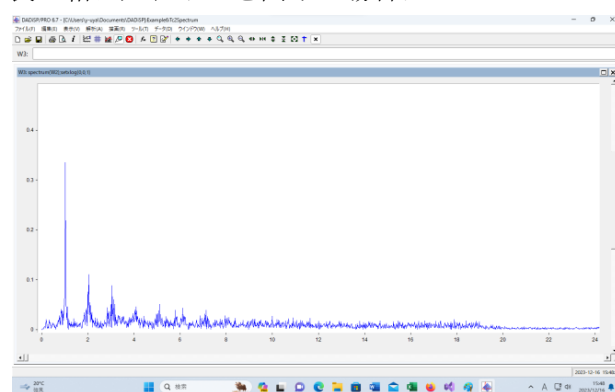
騒音計をビニール袋に入れて、それを段ボール箱に入れて、ビニールをかぶせて、



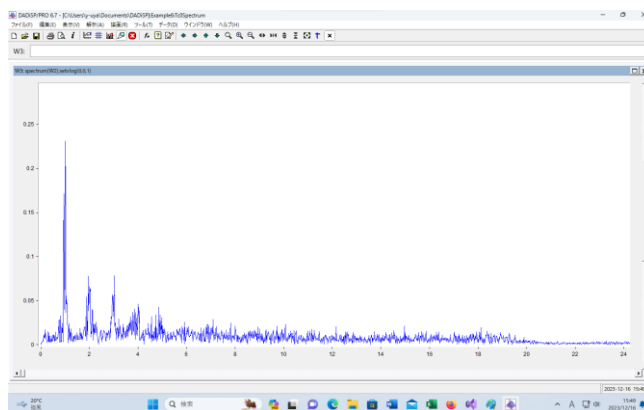
袋と箱に入れドアを閉めた場合は、Max. 0.42Pa



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。

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。風車がある場所では、音圧が高く、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

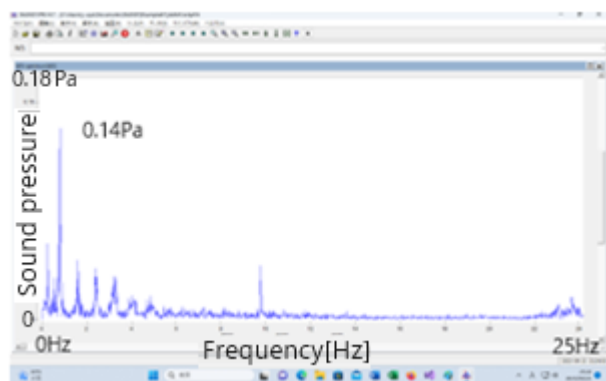
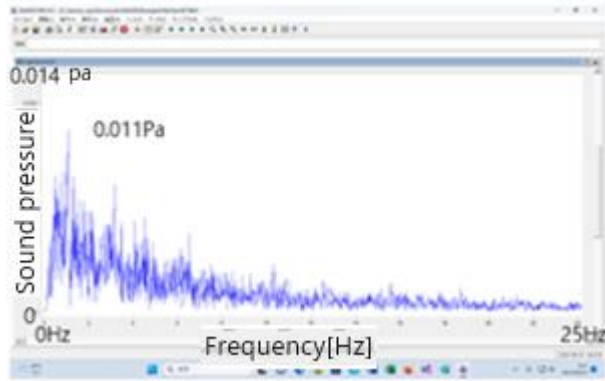


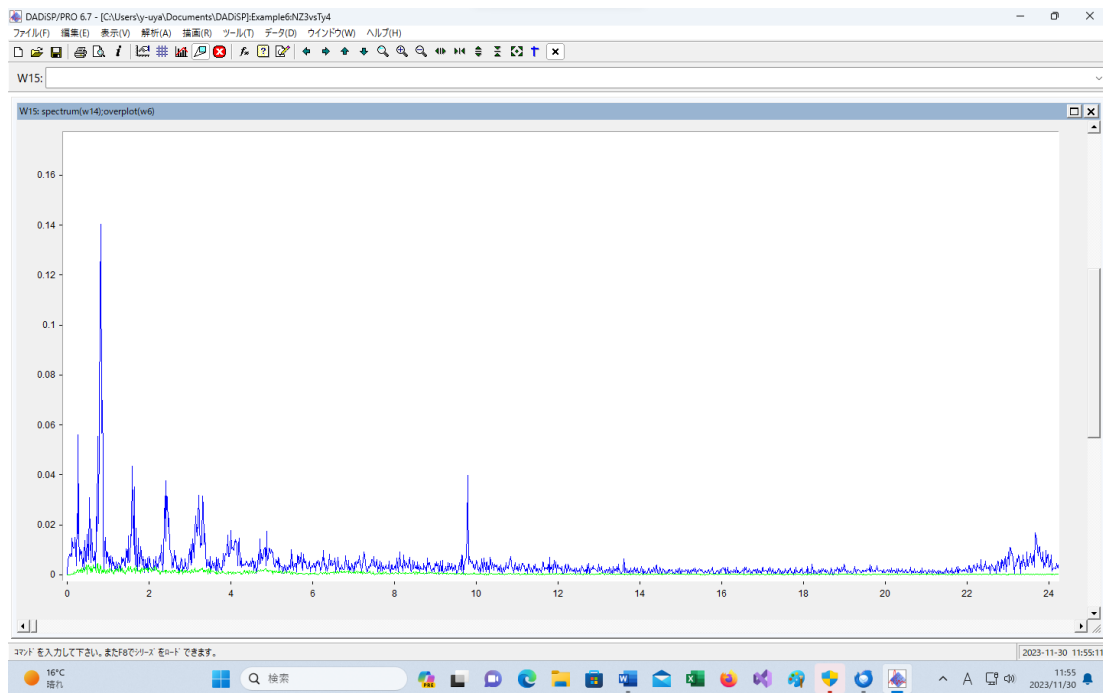
図6. 長尾神社の音 0～25Hz



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。

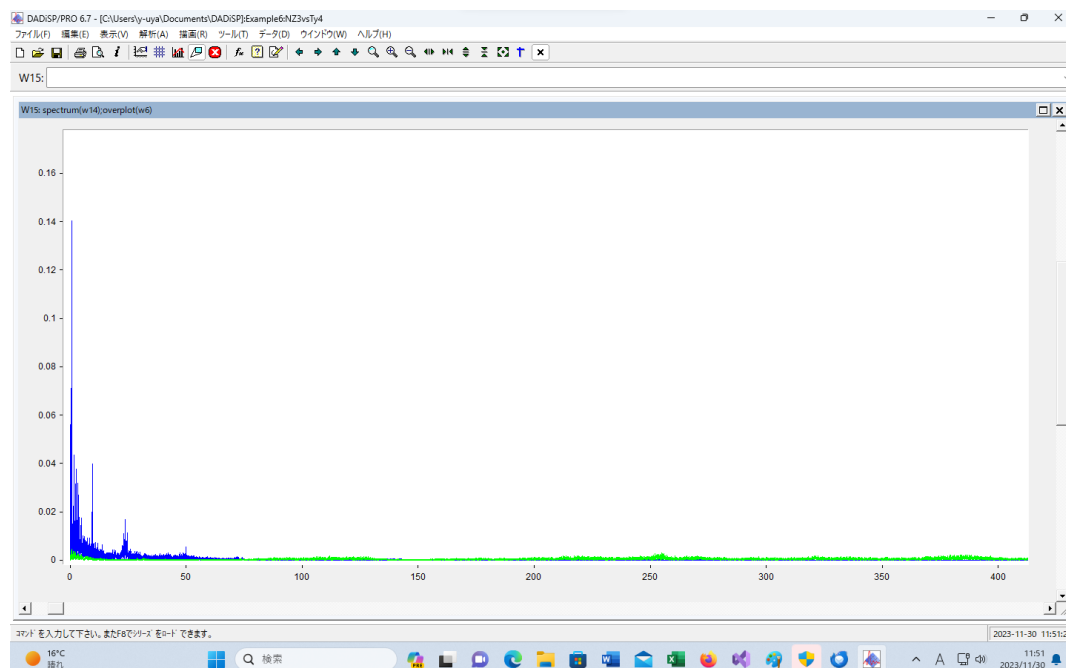
次のグラフは、青い線が風車の近くの超低周波音、緑の線が風車が無い場所での超低周波音です。

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



この範囲では、風車音の方が、音圧が高い。

## 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



100Hz を超えたあたりから、風車からの音の音圧よりも神社での計測音の方の音圧が高くなっている。

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はありません。

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、規則的な周波数を持った超低周波音はどちらも観測されますが、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。

では、この超低周波音が発生するメカニズムはどのように説明されるべきなのでしょう？  
更に、風車音の物理的な性質が詳細に解明されることが必要です。

それが分れば、風車の超低周波音が健康被害の直接的な原因であることが判明します。

さらに、被害者の健康状況と被害者宅での計測結果で揃うので、風車の建設では、健康被害を引き起こす事が判明している中で、建設を強行したとして裁判が起こされるようになります。

## 合意形成と反対意見の封殺

### 風力発電所の地域での合意形成への取組事例＞

事業計画作成の初期段階から風力発電事業者からの一方的な説明だけでなく、自治体や地域住民の意見を聞き適切なコミュニケーションを図るとともに、地域住民に十分配慮して事業を実施し、誠実に対応することが必要。（資源エネルギー庁「事業計画策定ガイドライン（風力発電）」（平成31年4月改訂）

#### 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たち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。

最近では、業者よりもひどいウソをつく山形県の職員もいます。

・酒田市での意見交換会

もっとひどい認識もあります。

酒田市沖洋上風力発電に関する意見交換会 令和6年6月

○日時・場所

中学校区ごとに開催します。開始時間はいずれも午後6時30分です。

開催日 会場

6月14日（金）西荒瀬コミュニティ防災センター（第一中学校学区）

6月17日（月）港南コミュニティ防災センター（第三中学校学区）

6月19日（水）勤労者福祉センター（第二中学校学区）

6月21日（金）富士見学区コミュニティ防災センター（第六中学校学区）

6月24日（月）十坂コミュニティセンター（第四中学校学区）

6月26日（水）八幡タウンセンター（鳥海八幡中学校学区）

6月28日（金）平田農村環境改善センター（東部中学校学区）

○対象

市内に住所または勤務先がある方

### 6/21 住民意見交換会（於：富士見コミセン）での主なやりとり概要

○風車の低周波音は、胎児に影響が無いのか。子育て世代が安心できないのであれば、風車を設置すべきではない。

→（県）貴重な御意見として頂戴する。環境省の通知では、①風力発電施設から発生する騒音が人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い、②風力発電施設から発生する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い、としている。今後議論を深めていき、例えば遊佐町沖のように、環境配慮事項として盛り込んでいきたい

### 6/28 住民意見交換会（於：平田農改センター）での主なやりとり概要



そもそも構造物として大丈夫なのか、というところが気になっている。また、低周波音、騒音、健康被害が発生しないという担保をどうとるのか。振興策は当たり前の話である。また、2016 年には県危機管理課で最大の地震の被害シミュレーションも行っている。これとの関係はどうか。

→（県）地域の皆様の健康が最優先であり、本日の意見を踏まえて議論をしていかなければならない。国の厳しい基準を経て、最終的に第三者機関の認証を得ないと着工できない。地域の皆様の理解を深めていくため、有識者から説明いただく機会もつくるなど、今後どうしていくか国や酒田市と相談させていただく。県危機管理課の津波のシミュレーションは承知しており、想定されている内容と安全基準との関係を検討する。

上の概要には無いが、聞いていた市民がびっくりした発言についても書いておきます。

「騒音と低周波、健康とは関係ありません。国では風車から 1km 離れれば問題ないとしています。」  
（酒田市の 6 月の意見交換会での県職員の発言）を多くの市民が驚きを持って聞きました。

FB では、

富士見学区での説明会で言い切りましたが他でも言い切ったのでしょうか？

最後の平田でも言い切りました。

と話題になっています。

酒田市沖洋上風力発電に関する意見交換会の ～留意事項～

令和 6 年 6 月 酒田市 商工港湾課 山形県 エネルギー政策推進課

①洋上風力発電に対する意見を聴く場です

- ・ 本日は、酒田市沖で洋上風力発電事業を進めるかどうかを決める場ではありません。
- ・ 他の人の意見を否定しないでください。（考えが違うのは当たり前です。お互いに尊重しましょう）

いくら意見が否定されないとしても、嘘をついてはいけません。意見交換会はデマを広めるための場所ではありません。大人は、自分の発言に責任があることを知っています。口から出まかせの発言は許されないのです。

県の職員が県民を騙すための嘘をつけば、公務員の信用失墜行為に当たります。

そのような職員は直ちに懲戒免職とすべきです。（出席させた県知事の責任も重大です。）

意見交換会と言う公の場であり、仕事として参加しての発言です。

「騒音と低周波、健康とは関係ありません。国では風車から 1km 離れれば問題ないとしています。」

と言ったからには、

「騒音と低周波、健康とは関係ありません。」と言う根拠を示し、論証する責任があります。

“騒音と低周波、健康とは関係ない” ことの根拠を明確にしてください。まさか、根拠もない事を公の場所で口にしたのではないでしょうね。

「国では風車から 1km 離れれば問題ないとしています。」については、根拠となる文書を具体的に示す必要があります。根拠となる国の文書を示して下さい。

それが責任と言うことです。

事業者でさえも慎重な発言をしています。

石狩湾での風力発電関係の、“環境影響評価準備書についての意見の概要と事業者の見解”に於いて、意見：

“北海道自然保護協会などによる一般意見：「方法書 69 頁では、低周波音について「対象事業地域から最寄の住居までの距離が 3 k m 以上あり、**影響はまったく及ばない**と考えられる」と記している。この表現は、国内外における低周波音による健康被害の実態をまったく踏まえていないので、まず、その科学的根拠について、方法書に、明確に具体的に示すべきである。”

“「配慮が特に必要な施設が 4 k m 以上離れていることが確認された」としても、巨大化された風力発電機が 4 k m 以上隔離したとしても本当に悪影響が生じないのか、科学的な根拠が明示されていない。”

に対して、

事業者は次の様に答えている。

“低周波音については、対象事業実施地区から最寄りの住居までの距離が 3 k m 以上ありますが、ご指摘のとおり、周辺への影響を十分把握するため、騒音・低周波音を項目として選定し、予測・評価を行っております。”

“影響はまったく及ばない”という考えは隠れてしまいました。

「騒音と低周波、健康とは関係ありません。国では風車から 1km 離れれば問題ないとしています。」が正しいならば、次の様になる。

前提として、“国では風車から 1km 離れれば問題ないとしています。”については、国の主張（どこに書いてあるか不明だが）が正しいとして、“風車から 1km 離れれば問題ない”との主張が成り立つとする。

これと、“騒音と低周波、健康とは関係ありません。”を合わせて、山形県の洋上風力を考えてみれば、風車は沿岸から 2 k m 程度は離れている。よって 1 k m 以上の距離があるので、問題は起きない。

風車群から大きな音が響いてきて、眠れない日や、夜中に起こされる日が毎日続く。

不眠で、病気になる可能性は高くなるが、騒音と低周波、健康とは関係ないので、

風車音による安眠妨害が原因で病気になっても、“健康には関係ない。”のだから、風車騒音や風車からの低周波による健康被害とは認めない。病気になったのは、風車とは関係が無く単なる個人的な問題である。

他の地域で、風車による健康被害が発生していた。住民が要求して夜間一部の風車を止めて音を減らした結果被害が減った事実があるとしても、健康被害と風車からの騒音と低周波に関連があるとは認めない。

風車音では、交通騒音よりも低い音圧でも“非常に不快である”と感じる人が多い。風車が大型化したことと、風車が沢山並んだことでさらにこの傾向は増すが、沿岸での騒音レベルがいくら大きくなっても、健康とは関係ない。

地獄の鬼も顔負けの主張です。眠らせないことは昔からの拷問の方法です。

「騒音と低周波、健康とは関係ありません。国では風車から 1km 離れれば問題ないとしています。」

との主張は、住民を拷問にかけると言っているのと同じです。

騒音で眠れなければ、車の運転中に居眠りをします。仕事中にミスも起きます。子供は授業中に居眠りをします。体調も悪化します。

それを訴えても、県のお役人様は聞く耳を持っていないのです。住民に残された唯一の方法は、山形県が引越を禁止する前に、山形県から脱出することだけです。

そのような内容の主張をしている職員は山形県の職員には相応しくない。正体は、山形県を衰退させるために送り込まれた工作員だと思います。直ちに懲戒免職にすべきです。

・ 1 健康者ではない

健康者ではない。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。このような微小な超低周波音で交感神経の緊張や頭痛などは健康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「健康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康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“健康者ではない”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

$$f = RZ/60 \text{ (Hz)}$$

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。本巢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。

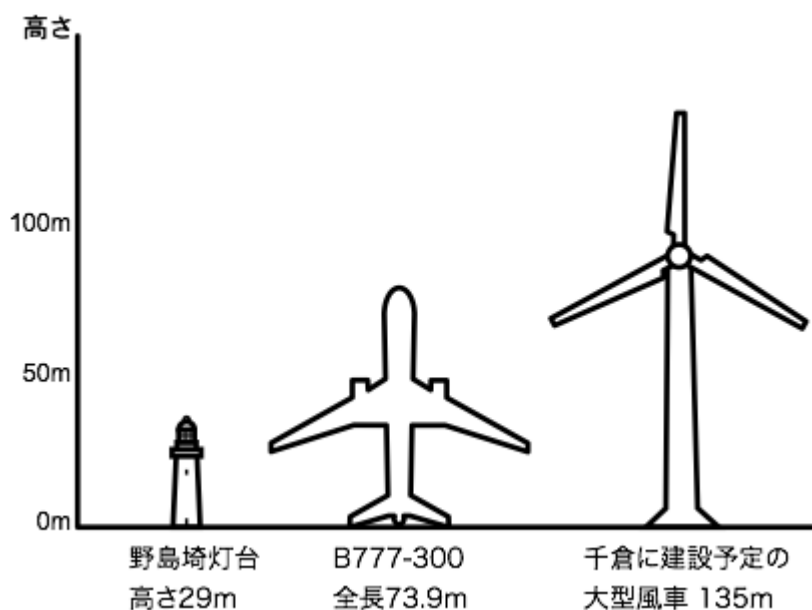


### 風車から原理的に超低周波音は発生しません

- 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 $340/2.5=136\text{m}$ ）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？

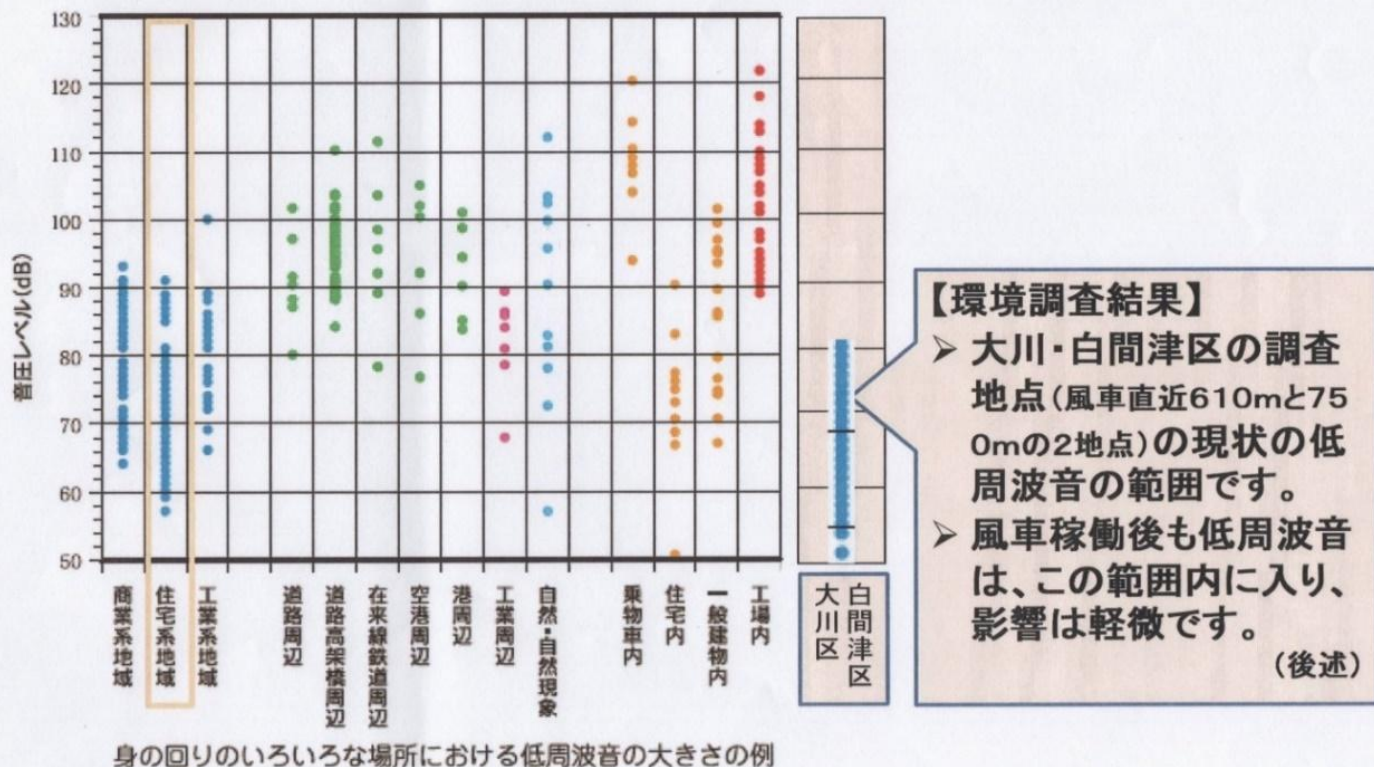
“振動する物体の寸法が音の波長”と言われても、ギターの弦は同じ長さなのに、波長が違う音が出ます。理論が正しければ、現実が間違っている事になります。このような理論を主張する“専門家”の意見を正しいとは思えません。



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。

## 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。



ここで、

## 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。

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。

### 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を保証していた。

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ひし、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ま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、地元自治体による支持は比較的に見えづらかったが、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（adaptive management）」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のために、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。栴島では、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 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いります。

**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。



#### ・ 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。

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。

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。

“受音側の対策として、住宅の防音対策措置の導入等の事例があった”は、不満を抑え込むには役に立ちますが、問題の解消には役立ちません。

客観的なデータとして、室内で、防風スクリーンを外して、精密騒音計での計測を住民の希望に沿って行う。室内での振動レベル計での計測を行う。これらの結果を公開する。

毎年、健康被害と騒音被害についてのアンケート調査をする。無記名で、集計は、行政と第3者機関の両方でを行い、結果の客観性を確保する。

ことが必要だと考えます、継続する不眠が原因での疲労の蓄積の観点から、の議論が必要です。

“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。

合意形成では、水平軸型の風車から超低周波音が発生して健康被害が起きる事を説明する必要があります。体格や血液の状態、血管の柔軟性などの違いから、健康被害には個人差が出ることなどを説明する必要があります。

耐えられない人は引っ越しが必要なので、引っ越し費用の負担や補償金の額を明示する事も必要です。もし、垂直軸型に変えれば、超低周波音による被害がどの程度削減できるかも、実際の計測結果を基にして説明する必要があります。

もちろん、計測は、業者、行政、市民の3者が同じ場所で同時に行い、その結果を全て公開する必要があります。世界中の人が誰でも解析できるようにしておくことが必要です。

風車音を企業秘密だとする会社もあるので、敷地のすぐ近くで、企業秘密が外へ漏れていないかも含めて計測する必要があります。ビデオ撮影も必要です。

自治体や住民が自ら計測し、データを公開する中で議論する必要があるものです。

風車音の発生メカニズムの解明では、風車の運動と粗密波の形成、風車音の指向性についての説明が出来ない理論は、発生メカニズムの理論足りえないもとは明白です。

風車の運動と指向性に関しては、次の論文を見て下さい。

- 1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久敏,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

## 代表意見と住民意見の集約と配布資料

**促進区域の指定等に関して協議会を組織することができる**とされ、協議会の運営に当たっては、**地域・利害関係者から提出された意見について十分に配慮すること**としている。（再エネ海域利用法（平成30年11月））

協議会に参加する人には正確な資料を配布して下さい。

例えば、発電の方法と発電コストの表を公開する。

風車音の計測結果を WAV ファイルで公開する

超低周波音の解析結果を公開する。

風車事故の原因と件数などのデータを公開する。

水平軸型の風車と垂直軸型の風車の音の違いを具体的に計測したデータを公開する。

さらに、

代表者には、代表する組織の構成員に資料を配布して議論し、組織としての意見を集約することを義務付ける。ことなどがが必要です。

協議会の代表は、

利益代表としての漁協

山形県北部小型船漁業組合

地域代表

**酒田市自治会連合会**

宮野浦コミュニティ振興会

吹浦地区まちづくり協議会

とオブザーバー

資源エネルギー庁 西尾補佐（オブザーバー）

からなる様です。

普通の会議では、資料が配布されます。しかし、びっくりするような意見もありました。これは基礎的な資料が配布されていない事を意味しています。

## 山形県地域協調型洋上風力発電研究・検討会議

「第3回酒田沿岸域検討部会（令和5年1月24日）」における主な意見・質問と対応の方向性

佐藤委員（十坂コミュニティ振興会）

“漁業者が反対している中で、我々が、電気料金が高いから洋上風力を作ってほしいと言うわけにもいかないので心配したが、漁業者は、概ね事務局の提示した想定海域（案）について前向きに検討するようである。エネルギーのない日本としては、非常に電気代が上がっているので、どんどん計画を進めて電気料金が下がるような方策をとっていただきたい。”

火力発電	石炭火力発電:12.5 円↓ LNG 火力発電:10.7 円↓ 石油火力発電:26.7 円 ←
原子力発電	11.5 円～←
太陽光発電	住宅用太陽光発電:17.7 円 産業用太陽光発電:12.9 円
風力発電	陸上風力発電:19.8 円↓ 洋上風力発電:30.0 円 ←
水力発電	小水力発電:25.3 円↓ 中水力発電:10.9 円 ←
地熱発電	16.7 円←
バイオマス発電	混焼、5%:13.2 円↓ 専焼:29.8 円 ←

発電単価 30 円の洋上風力をどんどん増やすと、電気代が上がってしまう気がするが、何をどの様に考えたら、電気代が下がるという結論になるのでしょうか？

令和 5 年度 山形県地域協調型洋上風力発電研究・検討会議 第 1 回 遊佐沿岸域検討部会  
日時：令和 6 年 2 月 2 9 日（木）14:00～15:30 場所：鳥海温泉 遊楽里 鳥海文化ホール

資源エネルギー庁 西尾補佐（オブザーバー）

**洋上風力発電設備の安全性**について回答させていただく。事業者選定の際には、洋上風力発電設備の基本設計を出していただき、一定の技術的基準を満たしているかどうかを確認する。

それに加え、洋上風力発電設備を実際に設置する前、工事を実施する前にも改めて電気事業法や港湾法に基づき、我が国の厳しい自然条件を踏まえた上で、全国一律の基準というより設置場所それぞれの実際の海底地盤を見て、固い地盤のところをしっかり風車を差し込めるのか、風がどれぐらい吹くのか、波浪がどうなるのか、地震荷重がどれぐらいになるのかといったところを確認し、安全であることが求められる。

こういった基準では、発電設備を設置する地域において 500 年に一度発生する最大規模の地震や、50 年に一度発生する最大規模の台風に対しても構造上安全であるということを求めている。安全に関する技術基準については、諸外国と比べてすごく厳しいという指摘を受けるが、日本の厳しい自然条件を踏まえしっかり中長期にわたって風車が安全に運転できることが重要だと考えているので、こういった厳しい基準を踏まえながら、洋上風力発電設備の安全性を確保していきたい。

五十嵐委員（山形県北部小型船漁業組合）

先ほど経済産業省から安全に対してはそれなりの基準でやっているという説明があったが、調べたところ過去 8 年間で 38 件の事故が起きており、年間にすれば 4～5 件、何らかの事故が起きているようだ。内容としてはブレードの破損等が 22 件、火災が 7 件、ナセルの落下等が 5 件、タワーの倒壊等が 4 件。我々はこの下で操業しなければならない立場の人間であり、非常に危惧している。

今までは台風などの強風や雷によるものがほとんどだったと思う。ただ、**2023 年 3 月 17 日に青森県の六ヶ所村**

で発生したタワーの倒壊は、風速が 8～10m 前後であり、そうしたレベルでも倒壊するということを考えると、我々はそこで商売するということは考えられない。命を懸けてまで、そこまでやる価値があるのかと思う。溶接面の金属疲労が原因とのことであったが、こういう状態でも事故が発生するとなると、本当に我々はそこで漁業を営んでいけるのか、逆に言えば安全を誰が担保してくれるのか、その辺も考えていただきたい。1 年前にこういう事故が発生しているわけで、これに関しての議論がこの会議で何もしなされていないということもどうなのか、提言しておきたい。

資源エネルギー庁 西尾補佐（オブザーバー）

そうした不安を与えてしまうような事故があったということは大変申し訳なく思っている。

先ほども説明した通り、洋上風力発電設備は電気事業法に基づき、計画、設計がしっかりなされているか、経済産業省において確認しており、適切な施工等、維持管理がなされているのかも確認しているところであるが、どうしても溶接の不具合や施行の不備が発生してしまっている事例があるので、監督省庁としても適切に対処していきたい。

これでは、どちらがオブザーバーなのか分かりません。風車事故の資料をきちんと配布すればこのような発言にはならなかったと思います。



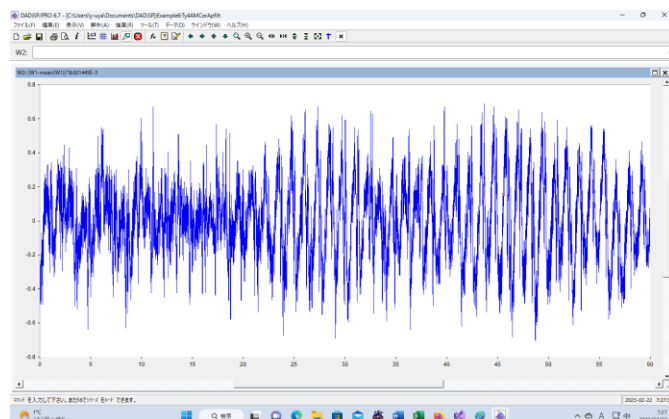
風車音（60 秒間）

実際の風車音を調べてみると次の様になっています。

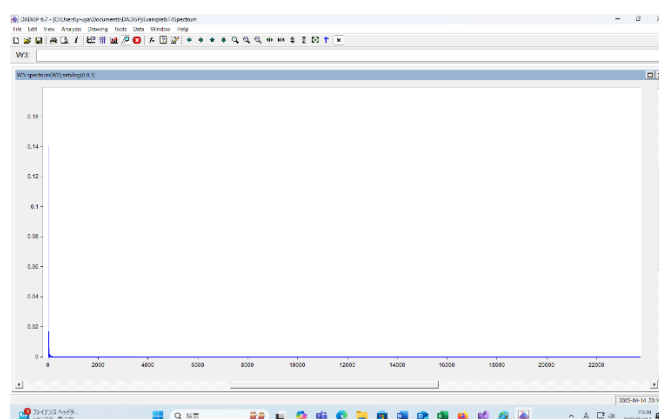


W2 は、1 秒間に 48000 回の割合で、風車音による音圧変動を記録した結果、すなわち風車音の波形データである。平均した場合、 $f=RZ/60\text{Hz}=0.8\text{Hz}$  となっています。

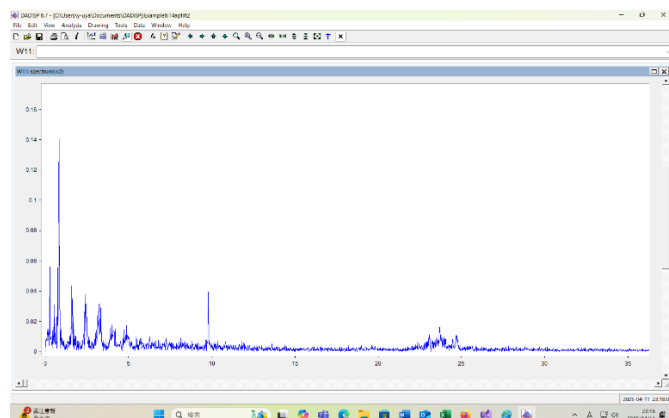
波形



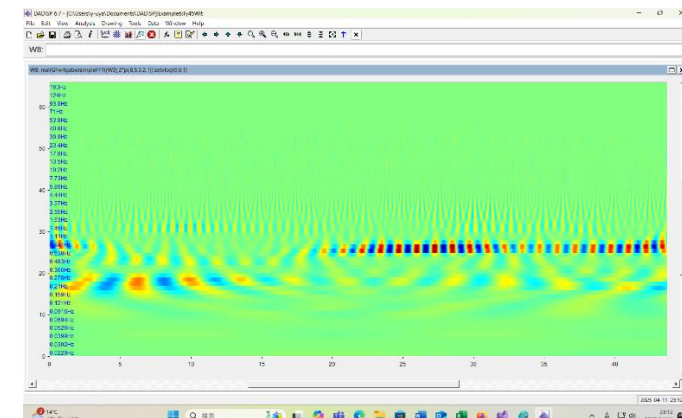
周波数スペクトル（0～24000Hz）



周波数スペクトル（0～50Hz）



Wavelet 解析の結果は次のグラフです。



上の周波数スペクトルをグループに分けて成分を取り出します。

A :  $f/3$ 、 $2f/3$

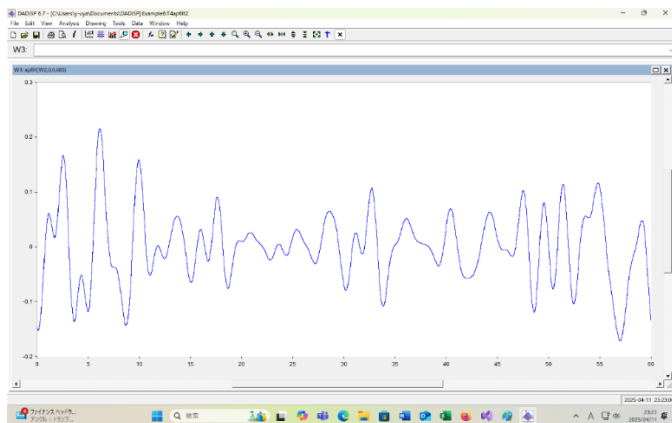
B :  $f$ 、 $2f$ 、 $3f$ 、 $4f$ 、 $5f$ 、 $6f$

C : 10Hz の近く

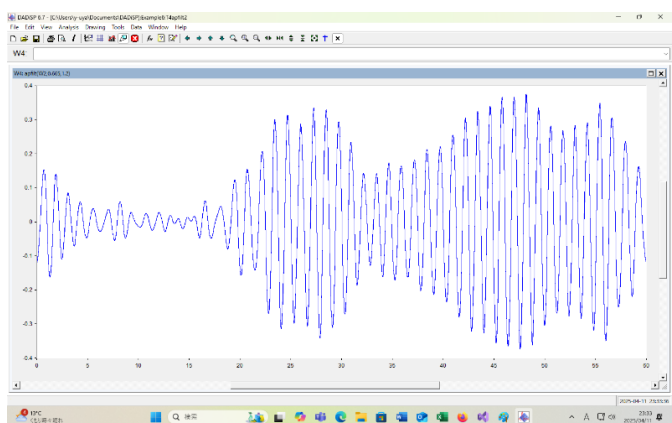
D : 20~30Hz

E : 200~24000Hz

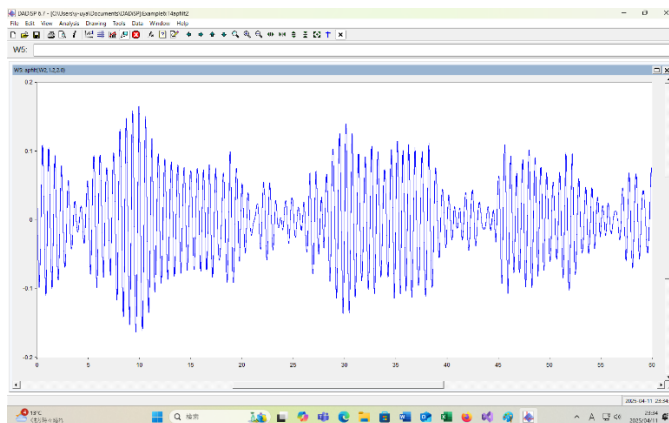
A : 0~ $2f/3$  Hz の成分 (0~0.665Hz)



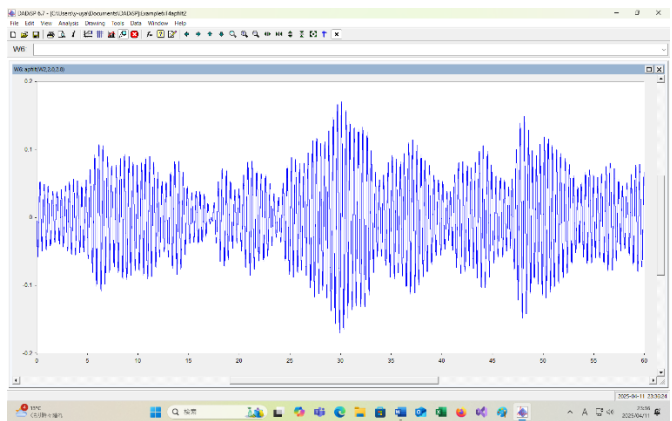
B :  $f = 0.8$  Hz 成分 (Max0.37Pa)



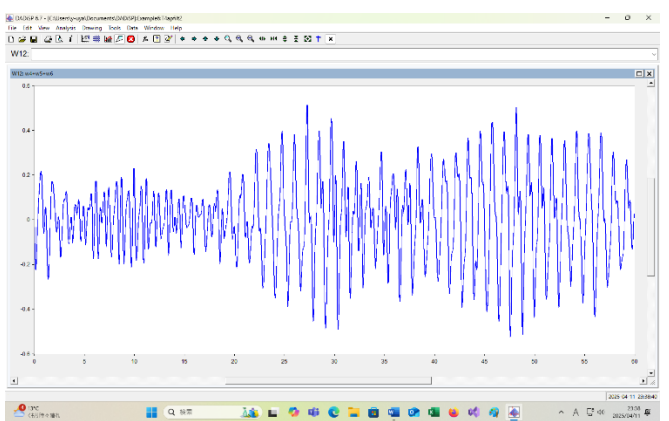
$2f = 1.6$  Hz 成分



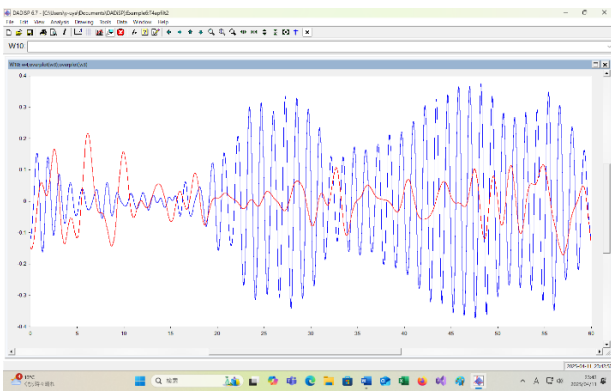
$3f = 2.4$  Hz 成分



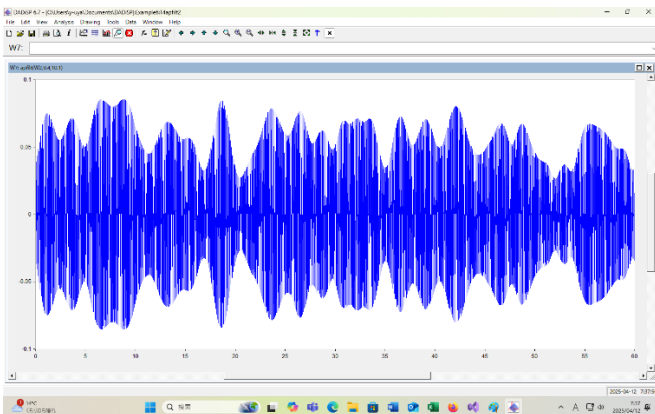
$f$  Hz 成分+ $2f$  Hz 成分+ $3f$  Hz 成分



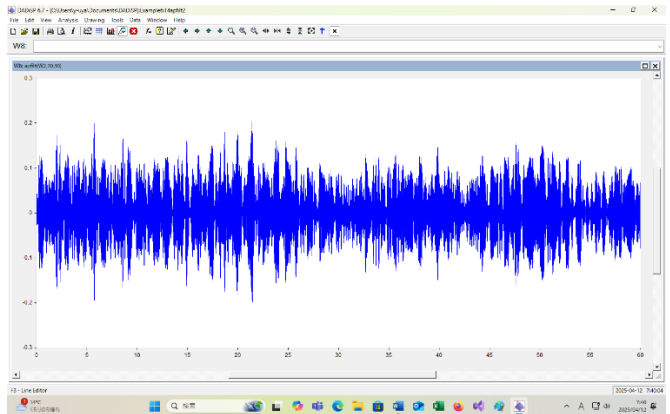
## f Hz 成分と (0~0.665Hz) 成分の比較



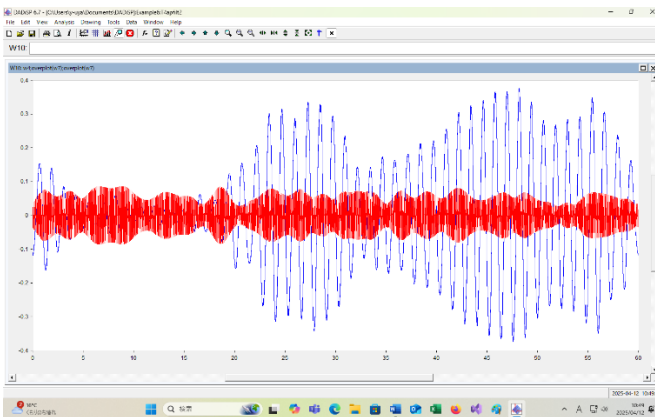
## C : 9.4~10.1Hz 成分



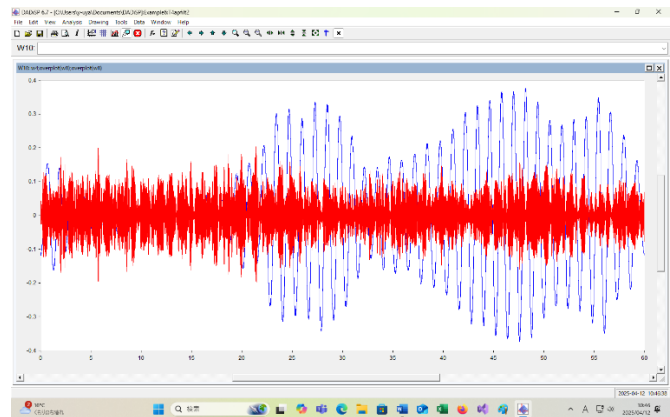
## D : 20~30Hz



## f = 0.8Hz 成分 (Max0.37Pa) と C の比較

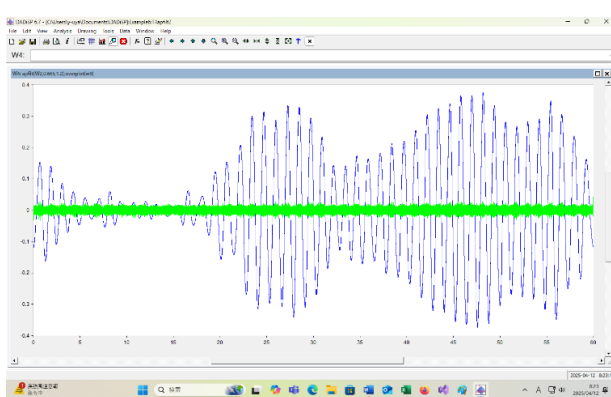
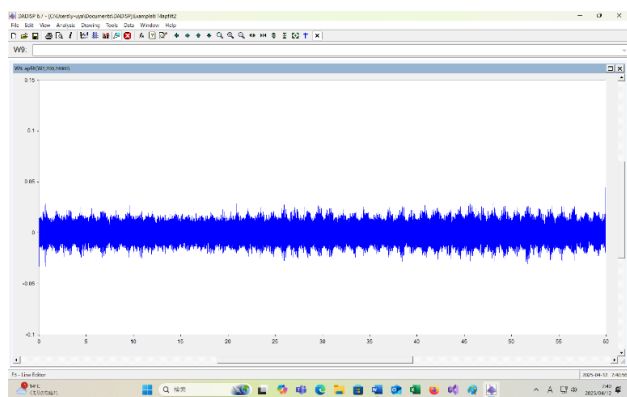


## f = 0.8Hz 成分 (Max0.37Pa) と D の比較



E : 200～24000Hz 成分（振幅 0.008～0.02Pa）

f = 0.8Hz 成分（Max0.37Pa）と E の比較

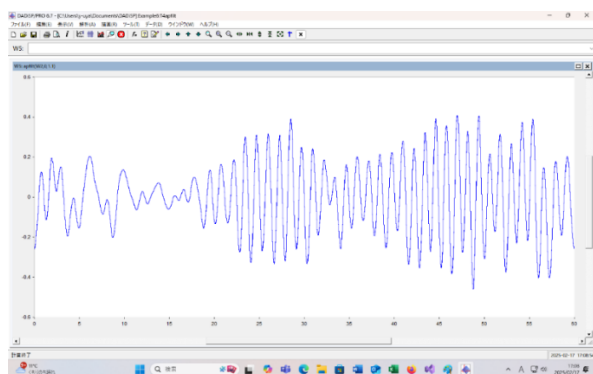


エネルギーの分布（0～20Hz、20～200Hz、200～24000Hz、0～24000Hz）

W3: EngDistributionWm2(w2,0,20,200,24000)				
	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units
1:	2.432890E-004	2.138726E-005	1.627290E-007	2.648317E-004

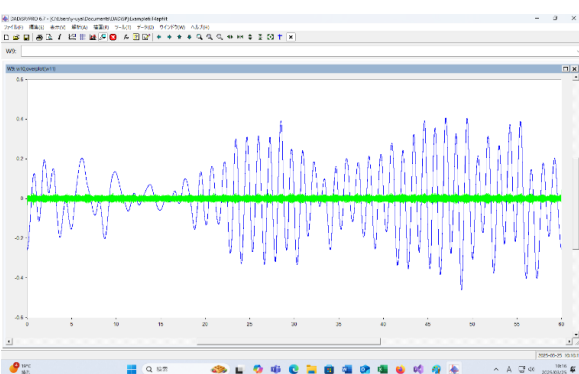
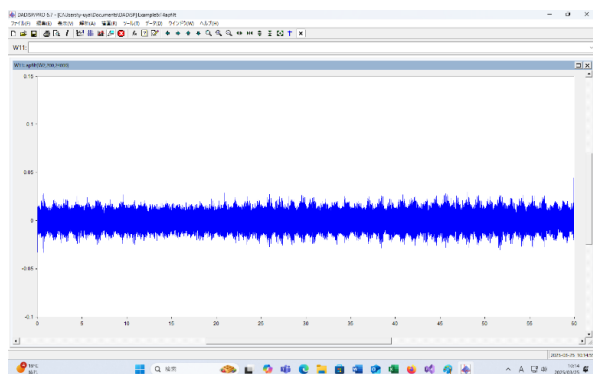
f=RZ/60=0.8Hz のデータでは、0～1.1Hz の部分は、音圧が大きく変化するが、200～24000Hz の部分の音圧は安定している。

0Hz～1.1Hz の成分を抽出すれば、次のグラフになる。



音圧変動（200～24000Hz の成分の変動は小さい）

振幅の変動（青 0～1.1Hz、緑 200～24000Hz）比較



10 秒～20 秒の間は、音圧が極端に低くなっています。

風切り音で言えば、 $R=16$ 、 $Z=3$  の場合に相当します。この  $0.8\text{Hz}$  の音の音圧はどのように決まるのでしょうか。上のグラフでは、風が弱まった時には、音圧が 0 に近い値になっています。

風切り音（一部の空力音説を含む）では、周波数をブレードが塔の前を通過する回数と関連付けます。それだけではなく、音圧を決める要因は何かが問題になります。

**“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。”**

“支柱との間で空気の流れ(風)を引きちぎる”あるいは、“ブレードに纏わりついている空気が、塔によって切断される”ことが音の大きさ（音圧）を決める要因だと考えたときには、

ブレードの質量が大きいので、風速が小さくなっても、回転数はあまり減少しません。それなのに音圧がほぼ 0 になっているのです。

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	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

ブレードの回転速度はあまり落ちないのですから、“支柱との間で空気の流れ(風)を引きちぎる”力が小さくなったとは思えません。“ブレードに纏わりついている空気が、塔によって切断される”もあまり変化しないと思います。“風切り音”説が正しいならば、 $f = RZ/60\text{Hz}$  の音の音圧が極端に変化することは無いはずです。

風が急に強くなった時は、ブレードの回転数はそれほど変化しませんが、音圧は 2 倍程度になります。音圧変動は、回転数の変化との整合性が無いのです。

風切り音説（一部の空力音説を含む）では、この  $f = RZ/60\text{Hz}$  の音の音圧変動を説明できません。

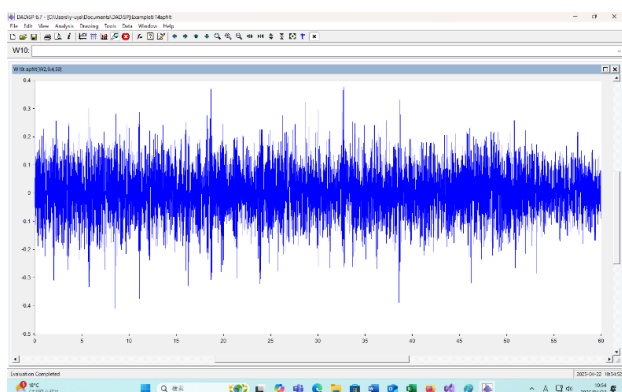


200Hz～24000Hz の音は、主に、ブレードの表面と空気の衝突や乱流によって発生するとみられますので、ブレードの回転数があまり変わらなければ、ブレードの回転速度も安定しているので、音圧（音の大きさ）はあまり変化しない。と考えられます。

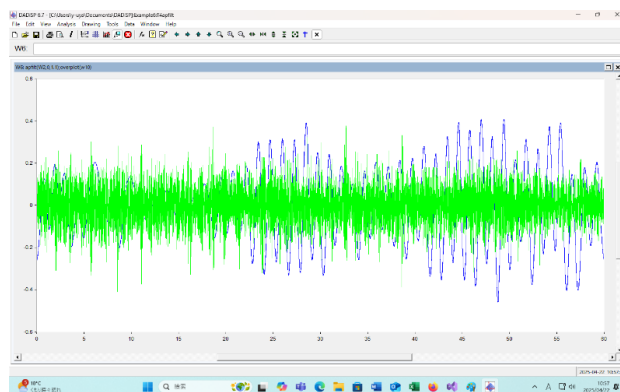
もちろん、揚力ベクトルによる塔の腹の部分の振幅の変化を考えれば、0Hz～1.1Hz の成分の音圧変動に関する明確な説明が得られます。

9.4Hz～50Hz の音に関しては、

9.4～50Hz の音

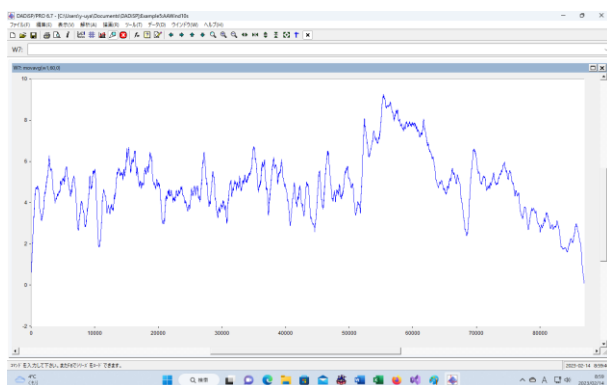


0～1.1Hz 成分と 9.4～50Hz 成分の比較



機械音とみられる。変化が大きい原因は、発電機と回転させようとする力が細かく変化していることが原因だとみられる。

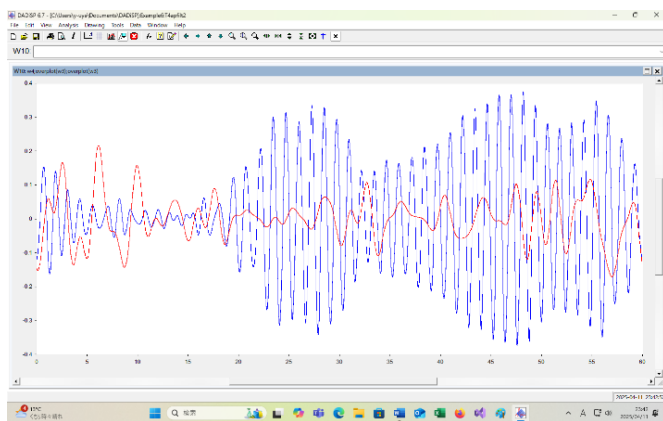
風速の移動平均をとると、次のグラフになります。



風速は細かく変化するので、それに対応して揚力ベクトルも細かく変動して、発電機に掛かる力が細かく変化した結果だと考えられる。

次のグラフについては、f Hz 成分が洗濯機のモーターが勢いよく回っている状態（大きな揚力ベクトル）。（0～0.665Hz）成分は洗濯機の中身の偏り（ブレードの重さ、形、重心などの誤差）による振動が、モーターの力が弱まった時（風が弱まって揚力ベクトルが 0 になる）に起きるガタツキに対応すると考えられる。

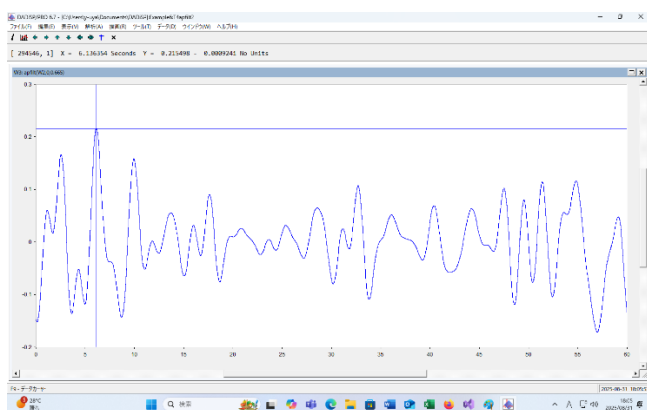
## f Hz 成分と（0～0.665Hz）成分の比較



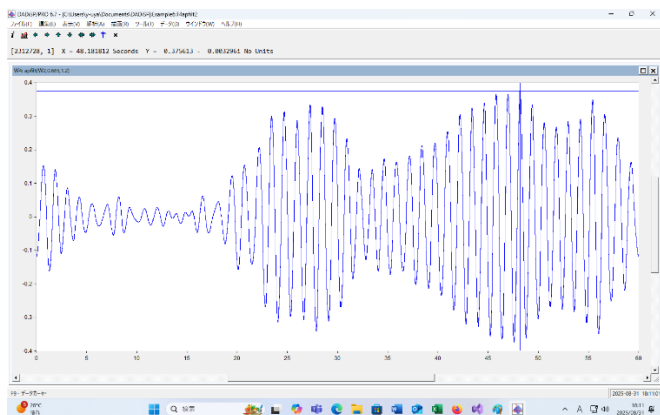
このグラフから、風が弱まりブレードを回転させる力が弱くなった時には、ブレード自体が異常な振動を起こすことが分ります。これが継続すればブレード自体が折れてしまいます。

風車の事故を考える場合に必要なデータなのです。主催者がこれを提供して議論すべきですが、多発する風車事故の根本原因を隠蔽するようにしか見えません。

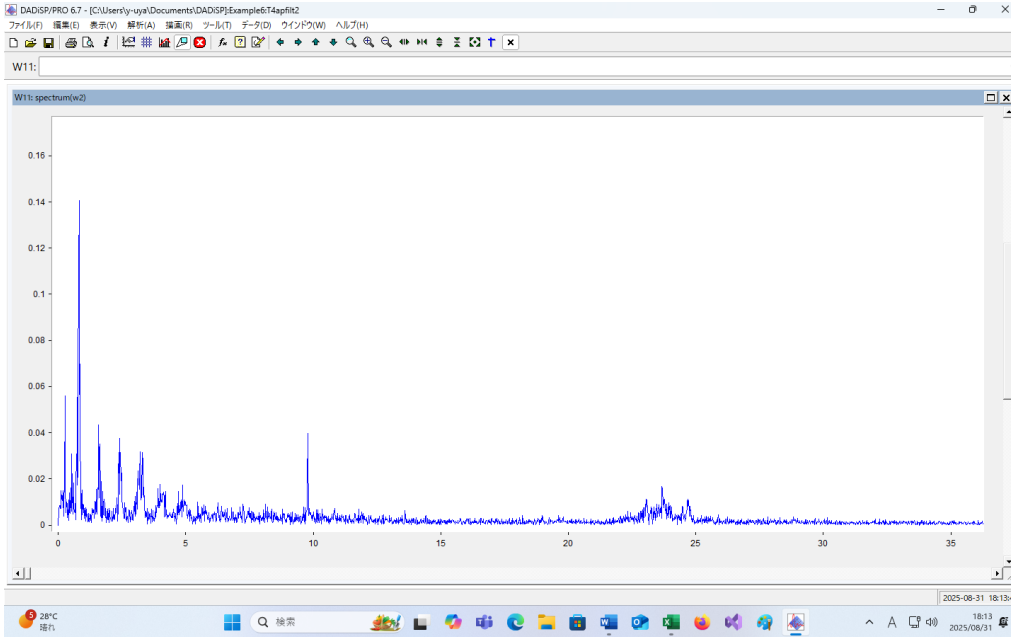
0Hz～0.0665Hz の成分は最大音圧が 0.21Pa（80.4 d B）です。



0.665Hz～1.2Hz の成分は、最大音圧が 0.37Pa（85.34 d B）です。

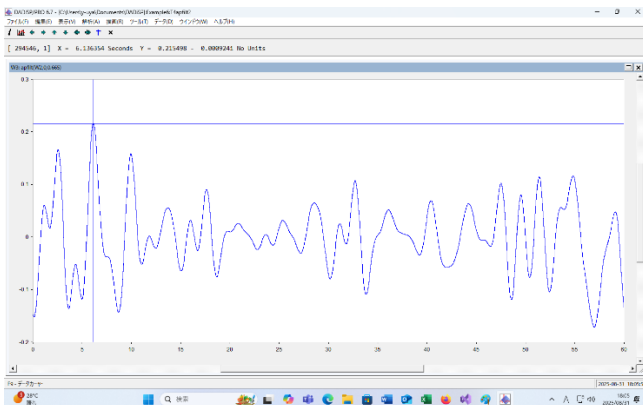


60 秒間で計算した周波数スペクトルでの音圧、0.05Pa や 0.14Pa よりはかなり大きな数値です。



これは 60 秒間での音圧変動が大きい事を意味しています。

0Hz～0.0665Hz の成分は最大音圧が 0.21Pa (80.4 d B) です。この成分はブレードの物理的な不均衡が原因となって発生する音です。



平均的に大きな力が加わらなくても、瞬間的に大きな力が加わればブレードは折れます。

平均的には強い風が吹いていて、一瞬弱まった時に、この成分は大きくなります。この成分の大きさはブレードの異常な振動と深い関連があるのです。

ブレード破損が水平軸型の風車の宿命でもあるのです。水平軸型の風車が立ち並ぶ海域は、危険な海域なのです。その下で漁をすることはあまりにも危険なのです。

漁業関係者に、超低周波音の計測データを示さない事は、漁師さんの人命を軽視している事になります。公園での死亡事故も、安全管理以前の問題であり、環境省や経産省が超低周波音を封印してきた結果なのです。

## 金属疲労と事故

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。

風車からの超低周波音を“風雑音”と言ってはなりません。

この原因は、マイクに風が当たる事ではないのです。もし、マイクに風が当たることが原因ならば、風車が無い場所でも、同じような周波数スペクトルが現れなくてはなりません。

“風雑音”と言う事は、“考えることを止めました。研究者の資格はありません、”と自ら宣言していることなのです。

これを、風車からの超低周波音だと考えれば、この音は金属疲労による風車の倒壊の予測に役立つのです。

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。

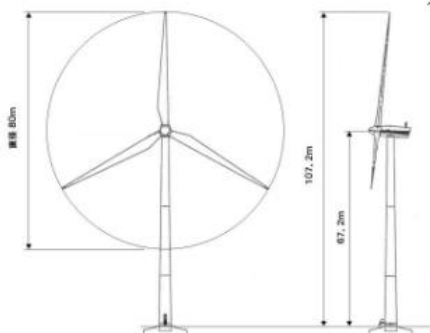
台風は今後も大型化します。この事故はこれからの起こるのです。

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）

### 風力発電所の概要

事業者名	株式会社の山大島(あづちおおしま)風力発電所
出資比率	ミツウロコグリーンエネルギー:75% 平戸市:25%
発電所名	的山大島風力発電所
所在地	長崎県平戸市大島村前平
定格出力	32,000kW (2,000kW×16基)
運転開始	2007年3月
風車メーカー	Vestas Wind Systems A/S
機種	V80-2.0 定格出力:2,000kW
風車クラス	IECクラス:1A 設計風速50m/s(10min.ave)
ローター直径:80m ナセル本体:地上より67.2m	
カットイン:4m/s 定格風速:15m/s カットアウト:25m/s	

※Vestas仕様書による



ブレード長さ:39m

重量:6,500kg / 1枚

的山大島風力発電所 位置地図



## 事故の概要

### 台風9号時

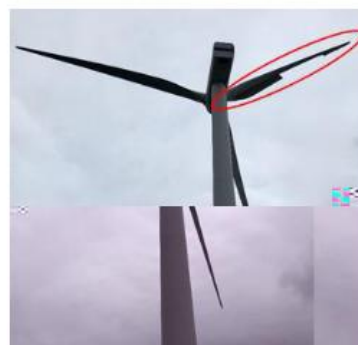
2020年9月2日夕方から9月3日早朝にかけ、台風9号が的山大島の西側を通過した。このとき、発電所の風車全16機のうち8号風車、13号風車、16号風車の3機のブレードが破損した。

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。

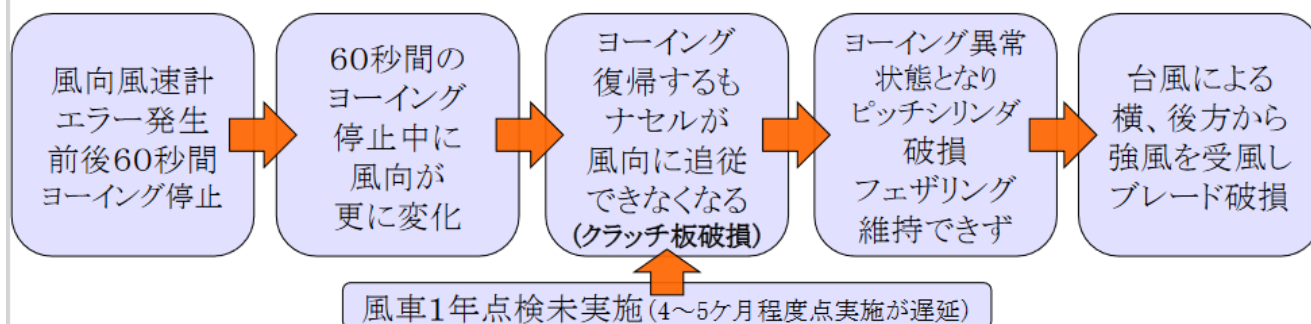
風の急激な変化についてゆくには、風車の向きを高速で変化させなくてはなりません。発電機の部分はとても重いので、激しく向きを変えればそれだけで壊れます。

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。



## 事故原因の推定（8号機、13号機）

【変更後】



### 8号機、13号機の事故原因について

この2機について、ヨーイング機能に異常を生じさせた原因として、計測範囲を超えた風速による、風向風速計のエラー発生が挙げられる。

風向風速計のエラーにより、風向とナセル方向の差異が拡大し、その状態で瞬間的に強い力が加わったことでクラッチ板が破損したものと推測する。クラッチ板については、前年度の1年点検実施から1年以上点検が行われておらず、メーカーが指定する1年毎の定期点検が適切に実施されていない状態であった。

ヨーイングに異常を生じさせた原因は、計測範囲を超えた風速によるエラーの発生、点検が適切に行われていないために生じたクラッチ板の破損であったと推測する。

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。

### 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**

広告  
 エンジニア諸君  
 スキル偏差値 70 へ  
 挑戦せよ  
 <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,長嶋久敏,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か。) 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,橋本品太,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。

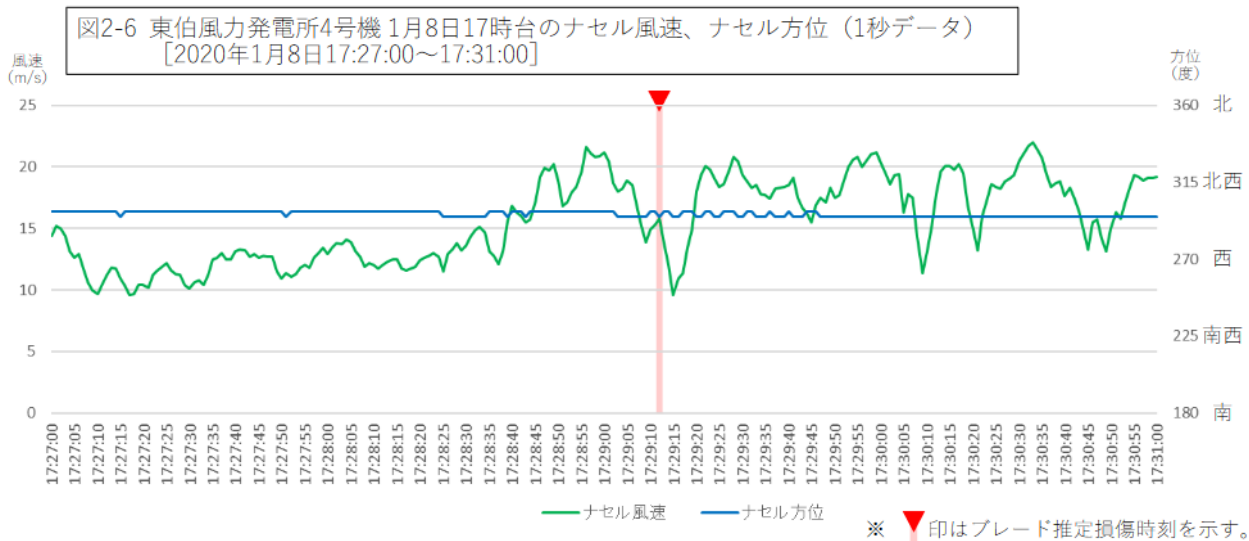
もしも、金属疲労に関心があるならば、塔の振動を周波数が一致していて、しかも運動方向と指向性が一致している風車音を調べるべきだと考えます。

風雑音を風車からの超低周波音だと理解して、それが発生する仕組みを考えることが大切なのです。

## 2. 事故状況

### (6) 事故発生時の東伯風力発電所4号機の気象状況・風況（詳細）

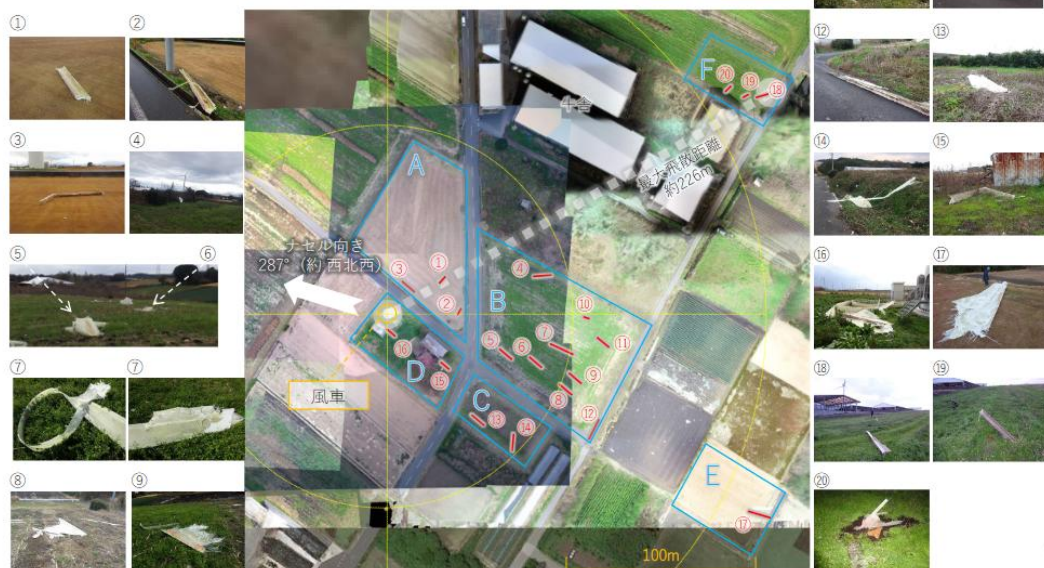
東伯風力発電所4号機のナセル風速およびナセル方位の挙動（1秒データ）を図2-6に示す。  
東伯風力発電所4号機で計測されたブレード推定損傷時刻前後のナセル風速は10～22m/s程で推移し、ナセル方位はほぼ一定の西北西（約295度）を示していた。



## 2. 事故状況

### (7) 損傷部材の飛散状況①

主な部材の飛散状況を図2-7に、飛散した損傷部材の拡大写真を図2-8に示す。損傷部材は風車の真下から約226mまでの間に飛散した。飛散した損傷部材による人身・物損事故はなかった。



環境保全措置をとった。との言葉は、もともとの計画にある程度の合理性があつてこそ意味を持つ言葉です。ある程度合理性のある計画ではあるが、様々な要素や環境への負荷をさらに削減すべく、風車の台数を削減します。と言える場合である。

先ほど、1基あたりの計算をしたが、音圧はエネルギーの一定割合が超低周波音として拡散されると考えるときに、平木阿波に関しては、総発電量が、**25200 k w**から **24000 k w**に増えているのだから、音として拡散されるエネルギーも増加すると考えるべきである。かえって被害が増えると考えられる。

**GPI** は **2** つの計画での総発電量を減らしたと主張するのであろうが、この計画のように、風車を **24** 基も密集させて建設するという事自体が、自然環境を保持しつつ、住民の健康を守りつつ、自然エネルギーの利用を進めようという立場から見れば、論外の計画である。

減らした、減らしたと主張すること自体が、風車被害に苦しむ多くの人がいる現実を見ようとしないう、自分勝手な企業であると自ら言っていることになるのです。住民や県知事の苦悩を理解しようとする姿勢を持ってほしいものである。

風車数を削減する前の計画が、風車建設の計画としてあり得るものだと考えているならば、風車のすぐ風下に **3**，**4** 基の風車が並んだ時の風速、風向の予測を、どのように行っているのか、計測結果及び流体力学での解析を示しながら、書いて下さい。

また、平面状に風車を並べるような風車建設をしても、赤字にならないと考える理由も書いて下さい。



## 3. 事故原因の究明

21

## (1) 倒壊メカニズム a. 倒壊に至るまでの過程

当該風車は、タワーに作用する繰り返しの風荷重によって、疲労亀裂が進展したため強度が低下し、最終的には瞬間的な風荷重に耐えられずに座屈し、倒壊したと推定されます。最初に初期疲労亀裂がタワーの内側の溶接余盛端部に発生し、その亀裂が板厚方向に進展・板貫通に至り（①15年から20年）、その後、周方向へ進展したと推定されます（②1年から3年）。最終局面では、き裂先端の応力が大きくなり延性破壊によって急速に亀裂が進展したと推定されます（③倒壊まで数か月）。

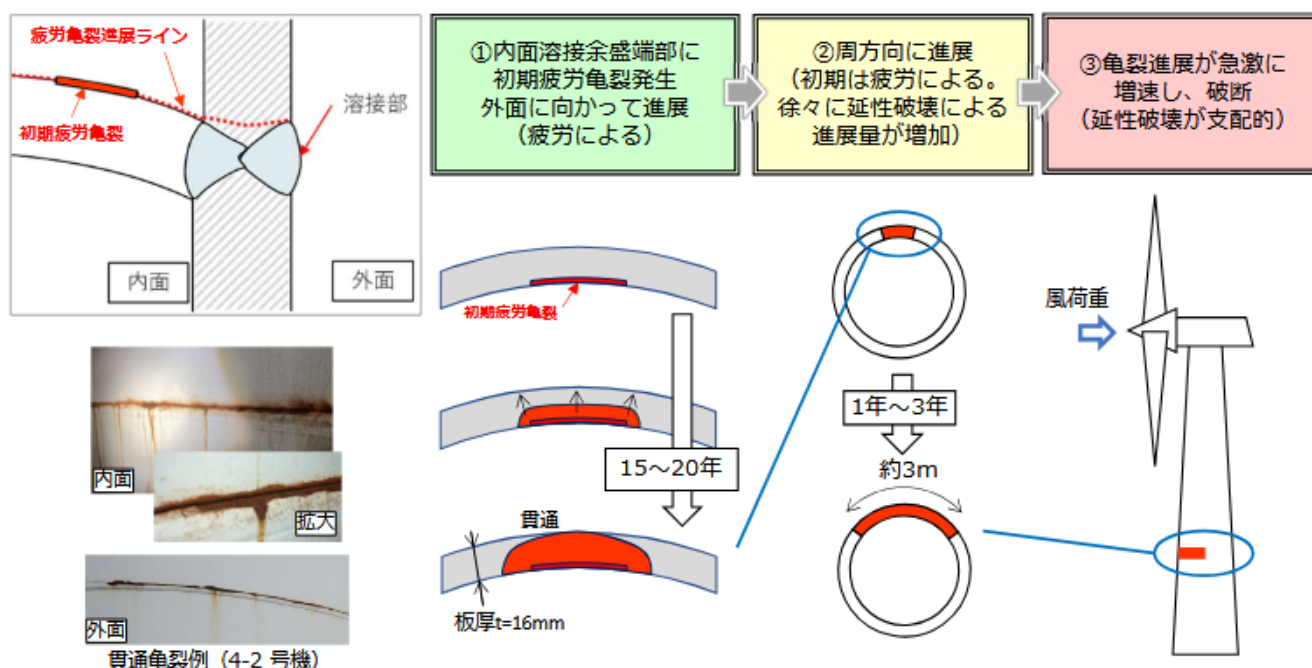


図3-1. 倒壊に至るまでの過程

## 3. 事故原因の究明

25

## (3) 倒壊要因 E. 運用(異常兆候(振動)の見落とし)

倒壊前2か月間の間に、1-3号機ナセルの振動エラー(EM177)が多発していました(年間約5~10回の発生だったものが、倒壊前2か月で21回発生)。今までの経験からこの振動エラーは、乱流時やピッチ関係機器の不調時に発生すると認識しており、多発し始めたことは認識しつつも、現地確認では過去のブレード損傷事故を想定したブレード状態確認(外観・異音)を実施して運転再開しており、倒壊に至るタワーの異常兆候は認識できず、倒壊に至りました。(当時は振動エラー発生後に、SCADA振動データの確認をしていませんでした)。

資源エネルギー庁の西尾さんは、金属疲労（疲労亀裂）の意味が理解できていないようです。水平軸型の風車の運動そのものが金属疲労（疲労亀裂）を引き起こすような運動なのです。

さらに、水平軸型の風車が揚力ベクトル型の風車である限り、ブレードのバランス悪化が、ブレード折損を加速させることが認識できていないのです。

## 事故原因の問題点

### 原因 1 :

λ 亀裂が発生しタワーが倒壊した事象の起因は、**溶接部における許容値を超えた板の食い違い段差**であり、倒壊は運用、メンテナンスの「見落とし」が原因であることが判明。

λ 起因としている溶接部における許容値を超えた食い違い段差は、タワー製造 メーカーでの製造品質基準を満たさない製品の流出であり、検査が不十分であったことから発生した。(特定のタワー製造メーカーの固有の不具合)

### 原因 2 :

当該風車は、**タワーに作用する繰り返しの風荷重**によって、疲労亀裂が進展したため強度が低下し、最終的には瞬間的な風荷重に耐えられずに座屈し、倒壊したと推定されます。

原因 1 では、溶接部の不良と運用、メンテナンスでの見落としが原因となっている。

原因 2 では、タワーに作用する繰り返しの風荷重が長期にわたり作用して疲労亀裂が発生したことを重視している。

どちらも問題がある。

原因 1 では、蓄積する疲労亀裂の原因については触れていない。因果関係の流れを見れば、15 年～20 年かけて蓄積した疲労が無ければ、事故は起こらなかったと考えられる。では、疲労の蓄積の原因は何か。溶接部の不良が原因でしょうか？メンテナンスの不備が原因でしょうか？どちらも繰り返して起きる荷重の変化の原因にはなり得ない。

風荷重を受け続ける建造物は、沢山あります。東京タワー（昭和 33 年(1958)の完成）、エッフェル塔（1889 年 3 月 30 日には竣工）は長い期間にわたり風荷重を受けているが、疲労亀裂の話はない。

針金の 1 か所を曲げたり伸ばしたりすれば、針金は切れる。金属疲労は、力の繰り返して起きるのです。金属の変形が繰り返して起きれば、金属疲労による破断が起きるのです。

原因 2 では、“**タワーに作用する繰り返しの風荷重**”となっているが、タワーの運動を確認していないと考えられる。

タワーの運動に関して詳細に記述した論文がある。

1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久敏,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

これらを確認すれば、次のことが分る。

塔の側面は、 $f = RZ/60\text{Hz}$  の音に対応するような運動をしている。風は上空ほど早いので、ブレードの回転によって、揚力ベクトルが塔に作用する力が  $f = RZ/60\text{Hz}$  の音に対応するように変化する。塔の側面もこれに対応する変形を受ける。

微小な変動であるが、単なる風荷重と違って、きちんとした周期で繰り返し起きるタワーの変形であり、疲労蓄積を引き起こす原因と言える。

資源エネルギー庁 西尾補佐（オブザーバー）の“溶接の不具合や施行の不備”との認識は、疲労蓄積の原因を隠蔽するのか目的かもしれないが、きちんと調査している漁協の人を騙すことは出来ません。信用を失うだけの発言です。

いくら、“計画、設計がしっかりなされているか、経済産業省において確認”と言っても、“溶接の不具合や施行の不備”と言うようでは、水平軸型と垂直軸の風車の違いも分からないでしょう。

後で説明するが、揚力ベクトルで回転する水平軸型の風車は、健康被害の物理的な原因である強烈な超低周波音の発生装置であり、金属疲労の実験装置なのです。

アドバイザーなら、助言に必要なデータと知識を持っているはずです。事故原因の調査結果も公開されています。上に示した3つの論文くらいは知っていて欲しいと思います。理解できないときは、漁師さんに説明してもらってください。

漁師さんは、次の様に説明してくれると思います。

金属疲労は、小さな変形の繰り返しで蓄積されて起きる。

小さな変形は、塔やブレードの運動を調べれば分かる。

塔やブレードの振動は粗密波を発生させて、それが超低周波音として周囲に伝搬される。

$f = RZ/60\text{Hz}$  とおけば、 $f/3\text{Hz}$ 、 $2f/3\text{Hz}$  の音がブレードの物理的な不均衡による振動を表す。この部分が大きいならば、異常振動が起きていることを意味する。

$f\text{Hz}$ 、 $2f\text{Hz}$ 、 $3f\text{Hz}$  の音は、塔の主な振動の要素を表す。

従って、風車からの超低周波音をしっかり調べていれば、秋田での死亡事故は防げた可能性が強い。

環境省は、風車音の計測を騒音（20Hz 以上）の部分に限定して、16Hz～16kHzの部分だけを測れ、“風雑音を防ぐ”と言う名目で、二重防風スクリーンを使うことを強要し、さらに、“除外音処理”で超低周波音の情報を捨てるようにと“技術的な助言”をしている。“

これが、秋田の風車による死亡事故の根本的な原因である。

西尾さんに反省する気があるなら、自分で計測と解析をして、風車音の基礎的な性質について理解すべきです。漁師さんに対して、失礼極まりない“助言”をしたことを謝るべきです。知識レベルから言えば、漁師さんから指導や助言を受けるのが、西尾氏なのです。

1 (3) 環境アセス手続きにおける評価項目について

- 環境アセス手続きにおいては、参考項目に記載がない評価項目についても、必要に応じて勧告を行うことが可能。

<根拠>

・「発電所アセス省令※」抜粋  
第21条(環境影響評価の項目の選定)  
特定対象事業に係る環境影響評価の項目の選定は、当該特定対象事業に伴う影響要因が当該影響要因により影響を受けるおそれがある環境要素に及ぼす影響の重大性について客観的かつ科学的に検討することにより・・・一般的な事業の内容と特定対象事業特性との相違を把握した上で、当該一般的な事業の内容によって行われる特定対象事業に伴う当該影響要因について当該別表においてその影響を受けるおそれがあるとされる環境要素に係る項目(以下「参考項目」という。)を勘案しつつ、前条の規定により把握した特定対象事業特性及び特定対象地域特性に関する情報を踏まえ、当該選定を行うものとする。

<住民等からの懸念を踏まえ参考項目以外の項目を選定した例(右の表の○が風力発電所の参考項目)>

**A**：工事中に個体の接触等により影響を及ぼす可能性があることから「**工事用資材の搬出入**」「**建設機械の稼働**」の**動物・生態系**を選定。  
**B**：洋上風力発電所においてタワー基礎工事やブレードの回転による影響が考えられることから「**建設機械の稼働**」、「**施設の稼働**」の**水中音**を選定。  
**C**：対象事業実施区域周辺で地下水を上水道水源として利用しており、農業用水として利用される水源水域が存在することから県知事意見、経産大臣勧告に従い「**建設機械の稼働**」の「**地下水等**」を選定。

環境要素の区分		影響要因の区分			工事の実施		土地または工作物の存在・供用	
		塵土・騒音・振動等の発生	振動・騒音等の発生	振動・騒音等の発生	工事の施工	施設の稼働	土地の改良	工作物の設置
環境の良好な状態の保持を旨として調査、予測及び評価されるべき項目	大気環境	大気質	温室効果ガス	大気質	○	○		
		大気質	粉じん等	大気質	○	○		
		騒音及び低周波音	騒音及び低周波音	騒音及び低周波音	○	○		○
		振動	振動	振動	○	○		
	水環境	水質	水の濁り	水質		○	○	
		底質	有害物質	底質		○		
	その他の環境	地形及び地質	重要な地形及び地質	地形及び地質				○
		その他	風害の影響	その他				○
	生物の多様性の確保及び自然環境の体系的保全を旨として調査、予測及び評価されるべき項目	動物	重要な種及び注目すべき生息地(海域に生息するものを除く)	動物	<b>A</b>	<b>A</b>	○	○
			海域に生息する動物	動物			○	○
		植物	重要な種及び重要な群集(海域に生息するものを除く)	植物			○	○
			海域に生息する植物	植物			○	○
	生態系	地域を特徴づける生態系		生態系	<b>A</b>	<b>A</b>	○	○
		人と自然との豊かな関係の確保及び快適な生活環境の保全を旨として調査、予測及び評価されるべき項目		人と自然との豊かな関係の確保及び快適な生活環境の保全を旨として調査、予測及び評価されるべき項目	○			○
環境への負荷の量の程度により予測及び評価されるべき項目	廃棄物等	産業廃棄物		産業廃棄物			○	
		廃土		廃土			○	

※：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

超低周波音を除外してはいけません。

## 風車による死亡事故と水平軸型の風車の欠点

風車による死亡事故（2025 年 5 月 2 日、秋田県秋田市新屋町）が起きました。亡くなられた本人や遺族の無念さを考えると、根本的な問題点について徹底的に追求することが必要だと感じます。

風車による死亡事故（2025 年 5 月 2 日、秋田県秋田市新屋町）

運転開始時期：2009 年 11 月

風力発電機型式：E-82、エネルコン社製（ドイツ）

定格出力：1,990kW

ハブ高さ：約 78m（支柱の高さ）

ローター直径：約 82m（回転する羽根の直径）

カットイン風速：2.5m/s（発電開始風速）

カットアウト風速：34m/s（風車停止風速）

メンテナンス委託先：株式会社日立パワーソリューションズ

点検頻度

- ・委託先との包括保守契約に基づく通年保守対応
- ・事業会社の監理下での委託先による年 2 回の定期自主検査
- ・事業会社の主任技術者による毎月の月例点検

秋田地方気象台によりますと、秋田市には当時、強風注意報が出され、午前 8 時前には 23メートルの最大瞬間風速を観測していました。

市によると、新屋浜風力発電所で 2 日午前 10 時 7 分、「エラー」を伝えるアラームが発報され、風車を停止した。その 9 分後、近くの通行人から市消防本部に通報があったという。

市は 8 日、事業者側から「このエラーは震動によるもの」との説明を受けたという。事故の前後に風車に取り付けられているセンサーが、なんらかの異常な震動を検知したという。

風車の管理を委託されていた会社によりますと、事故の当日に、自動停止装置が大きな振動を感知していたことが新たに分かりました。

### 質問：

それほどの強風ではないのに、なぜブレードが破損したのか。同様の破損事故は、他社も含めて、これまで無かったのか？

以前にも事故があったとすれば、貴社は、その破損事故の前後で、点検方法をどの様に変更したのかを詳細に書いて下さい。

死亡事故が起きた時に、貴社はどのようにして責任を取りますか？点検をしていたから責任は無いと考えますか？



水平軸型風車の破損事故は何度も起きています。

#### 第15回 産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会

台風での破損もあるが、それほどの強風でなくてもブレードの破損、ナセルの落下、塔の倒壊などが起きています。

貴社は、その事を知らないのですか？

知っていて、公園内に水平軸型の風車を建てたのですか？

人命を軽視しているのですか？

建設前の住民説明会で、過去の事故の例や風車の近くが危険な場所だと説明しましたか？

貴社の認識を明らかにして下さい。

#### 資源エネルギー庁 西尾補佐（オブザーバー）の助言

令和5年度 山形県地域協調型洋上風力発電研究・検討会議

第1回 遊佐沿岸域検討部会

日時：令和6年2月29日（木）14:00～15:30 場所：鳥海温泉 遊楽里 鳥海文化ホール

五十嵐委員（山形県北部小型船漁業組合）

先ほど経済産業省から安全に対してはそれなりの基準でやっているという説明があったが、調べたところ**過去8年間で38件の事故**が起きており、年間にすれば4～5件、何らかの事故が起きているようだ。内容としては**ブレードの破損等が22件、火災が7件、ナセルの落下等が5件、タワーの倒壊等が4件**。我々はこのものの下で操業しなければならない立場の人間であり、非常に危惧している。

今までは台風などの強風や雷によるものがほとんどだったと思う。ただ、**2023年3月17日に青森県の六ヶ所村で発生したタワーの倒壊は、風速が8～10m前後であり、そうしたレベルでも倒壊する**ということを考えると、我々はそこで商売するということは考えられない。命を懸けてまで、そこまでやる価値があるのかと思う。**溶接面の金属疲労**が原因とのことであつたが、こういう状態でも事故が発生するとなると、本当に我々はそこで漁業を営んでいけるのか、逆に言えば安全を誰が担保してくれるのか、その辺も考えていただきたい。1年前にこういう事故が発生しているわけで、これに関しての議論がこの会議で何もしなされていないということもどうなのか、提言しておきたい。

資源エネルギー庁 西尾補佐（オブザーバー）

そうした不安を与えてしまうような事故があつたということは大変申し訳なく思っている。

先ほども説明した通り、洋上風力発電設備は電気事業法に基づき、計画、設計がしっかりなされているか、経済産業省において確認しており、適切な施工等、維持管理がなされているのかも確認しているところであるが、どうしても**溶接の不具合や施行の不備**が発生してしまっている事例があるので、監督省庁としても適切に対処していきたい。

## 秋田市 風力発電事業者への調査終了 問題は見つからず

調査では、対象の事業者（「さくら風力」を除く 11 の事業者）すべてが現行の法などにのっとって点検を行っていて問題は見つからなかったということです。

一方、「さくら風力」に対しては、秋田市の沼谷市長が今月 9 日、社長らと非公開に面談し法律や安全基準に基づいた設置や点検作業が行われていたか調べることを求めています。

との事だが、

### 質問：

もし、さくら風力の点検が現行法から見て問題が無い場合は、現行法での点検自体が役に立たない事になる。

さくら風力が、事前に危険性を察知できなかった理由は何だと思えますか？

貴社の点検方法ならば、事前に危険性が察知できると言う根拠を示して下さい。

目視で行う場合が多いと思いますが、目視で点検する人の視力はいくつですか？

風車の羽根の先端は、時速何 km で動いていますか？

目が良ければ、動いている羽根の先端近くにある、小さな破損を見つけることが出来ますか？

根本的な原因は揚力で回転する水平軸型の風車の構造そのものだと考えます。

その理由は、塔の運動を計測した論文、

1) 高橋厚太, 賀川和哉, 長嶋久敏, 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

および、風車音の指向性を計測した論文

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

と、塔の変形を教えてくれる論文

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

を見れば、金属疲労の原因となる運動が必然的に発生することが判明します。

貴社は、どのように考えますか、その根拠は、どのような観測結果や論文ですか？

## 点検方法と雷

雷の影響で、ブレードの内部に損傷が発生して、経年変化で損傷が拡大してブレードが破損した例があります。

本荘港風力発電所ブレード折損事故に関する報告

## 2. 2 事故発生までの流れと事故の主要因の推定(2)

2月15日9時00分 電気主任技術者がマニュアルに基づき現場で地上から目視点検実施

ブレード表面に黒い汚れを視認



ブレード表面のアーク痕損傷を発見できず手動復帰操作にて風車運転再開

2月17日8時34分 ブレード折損

ブレード内積層部剥離状態のまま風車運転継続



ブレードリーディングエッジ部への繰り返し荷重によりブレード積層部剥離が進行



風車運転再開約48時間後(落雷後約60時間後)ブレード内積層剥離部を起点にブレードが2枚に開かれた形に損傷が拡大し、折損に至る

事故の主要因は、ブレードの損傷を発見できず、風車を運転再開したことにあると推定した

## 2. 2 事故発生までの流れと事故の主要因の推定(3)

落雷以外によるブレード損傷要因の検討

- ブレード積層が黒く内部炭化し剥離した部位以外は、剥離はない(図8参照)
- 貫通穴部から銅より線部へ雷電流が流れ、以降ブレード内部導体を経由し、大地へ放電した(図7、写真4参照)
- 内部導体接続部に、アーク痕はあるが、緩みや外れはない(図7参照)



落雷保護システム、ブレード構造に関する設計不良要因はない  
FRP積層部の接着不良や、内部導体接続不良の製造不良要因はない



2月14日のブレード(GFRP)表面落雷により、ブレード内積層部剥離や亀裂発生、ブレード内貫通穴周辺および導体接続部のアーク痕およびブレード積層部炭化が発生し、その後の風車運転により、ブレード内積層剥離部を起点にブレードが2枚に開かれた形に損傷が拡大し、折損に至ったことより、落雷を要因としたブレード損傷と推定。

### 3. 対策および復旧

現状

落雷に対する保護システムが正常動作し風車が自動停止した場合は、風車納入会社推奨のマニュアルに基づき**ブレードの健全性確認の方法を電気主任技術者による地上からの目視外観点検**としていた（図10左図参照）ため、ブレードアーク痕を発見することができず、運転再開により損傷を拡大させた。

対策

落雷に対する保護システムが動作し風車が自動停止した場合は、**風車納入会社による地上からの望遠レンズを使用した目視外観点検およびファイバースコープを使用したブレード内の精密点検**を実施する（図11右図参照）ことで、ブレードアーク痕等の発見を可能とし、運転再開による損傷拡大を防止する。  
風車納入会社推奨マニュアル改訂済、当社**保安規程に落雷による風車停止時の対応を追記する。**⇒ **保安規程改訂済み。**

復旧

ブレードセットおよびその他の交換が必要な部品がそろい次第、復旧工事を実施。  
復旧工事完了後、運転再開の予定。⇒ **9月30日工事完了。運転中。**

### 落雷による風車停止時の対応

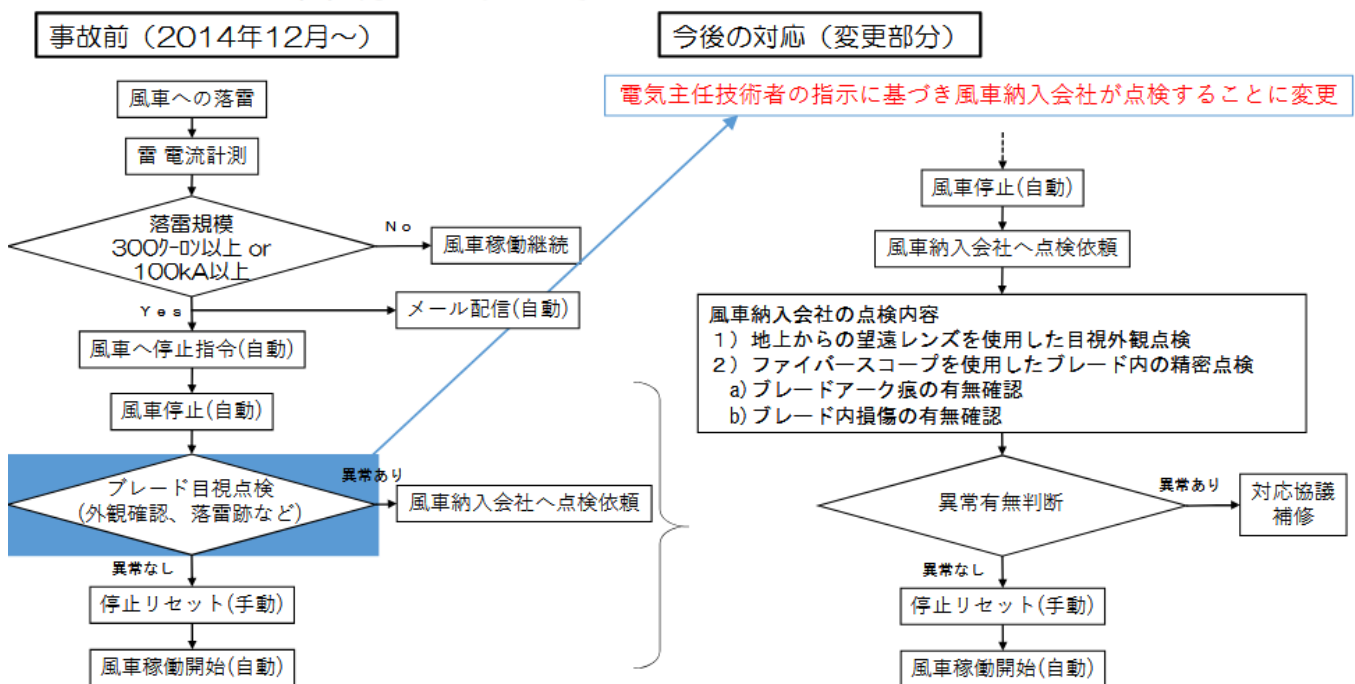


図10 落雷時の対応フロー

上の図は、落雷があっても風車の停止とならない場合があることを意味する。停止に至らない雷でも風車の損傷は起きるので、動いている風車の目視点検だけでなく、風車を止めて内視鏡検査をすべきです。が貴社はどのように考えますか。

## ブレードのバランスが悪化

2019 年 10 月 15 日に発生しましたユーラス西目ウインドファームの 13 号機のブレード破損事故に関し、昨日、関東東北産業保安監督部に最終報告書を提出しました。

2020 年 8 月 19 日

西目ウインドファームにおける 13 号風車ブレード破損事故について（最終報告概要）ETS 国内設備運用管理部

### (2) 事故の実績調査

風車メーカーからのヒアリングにより、以下の情報を得た。

① 事故機ブレードと同型且つ製造方法が同じブレードにおける破損事故発生件数は今回の事故を含め、これまでに全世界で 3 件である（分母は 8000 基）。

② 上記 3 件とも、破損発生箇所はグラスファイバー吊り上げ時のクランプ把持部であり、積層のしわが確認されている。

### (3) ブレード破損の原因とメカニズムについて

1.(3)項の事故状況と 2.(1)(2)項の調査結果より、以下の事項が判明している。

①ブレード中間折損部の主桁に**疲労損傷痕、製造不良に起因する配向角のずれ**（しわ）、層間剥離が存在しており、主桁の配向角のずれが強度を担保するための製造管理値を超過していたこと

②ブレード先端部のダウンコンダクターが溶断していたことより受雷していたことと、ダウンコンダクター周辺が黒く煤けており、**受雷による強度低下及び変形**が想定されること（2019 年 8 月 10 日に当該風車周辺への多くの落雷履歴がある）。ただし、2019 年 6 月より落雷検出装置不作動のため受雷回数は同定不可能。

③風車停止前に 3 回、運転再開（ローター回転数の上昇）とピッチ制御エラーによる**停止を繰り返して**おり、**ブレード折損前に破損によりブレードのバランスが悪化**していたこと

④定格運転時のブレード先端とタワーとの隙間が 7 m 以上確保されることを踏まえると、タワーのブレード打痕は、ブレード中間部あるいはブレード先端部が大きく破損した後にタワーにブレードが接触したものと考えられること【図-9】

貴社の点検方法を詳細に述べ、その方法で疲労損傷やブレードのバランス悪化、を把握できる根拠を述べて下さい。その方法で安全が確保できて、事故が起きないと言う根拠を述べて下さい。

株式会社アクティオの HP には、次の様に書かれています。

“一般的にブレード内部の点検は 2～3 年に 1 回と定められており、現在の主な点検方法は作業員による目視検査です。ブレード内部は天井が低く、狭いうえ作業員がほふく前進で行うため、危険な作業が数週間から数ヵ月におよぶこともあります。高所で狭い空間での作業を強いられており、現状、多数の事故が発生しています。

“

特に、雷があった時は、ブレード内部の内視鏡検査が必要だと思いますが、雷があった直後に風車を止めて内視鏡検査を行いますか？内視鏡のケーブルの長さは何メートルですか？ブレードの長さは何メートルですか？



## “ブレード折損前に破損によりブレードのバランスが悪化していた” ことの検出方法

貴社の点検方法における、“ブレードのバランス悪化” の把握方法を具体的に述べて下さい。

私たちは、次の様に考えます。

超低周波音が与えてくれる情報を確認します。

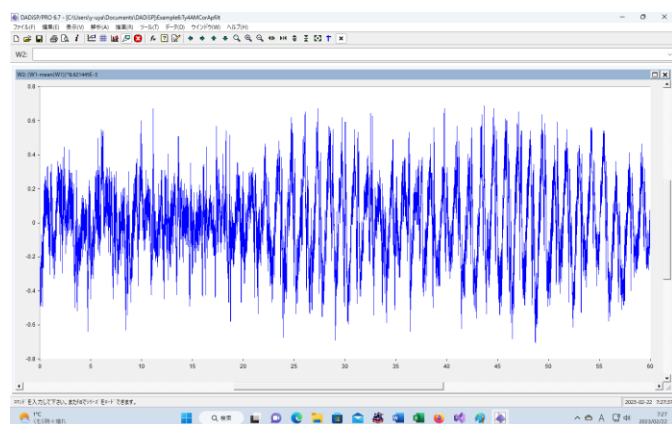
A :  $0 \sim 2f/3$  Hz の成分 ( $0 \sim 0.665$ Hz) : 3 枚のブレードの物理的不均衡に起因する音

B :  $f = 0.8$ Hz 成分 (Max0.37Pa) : 揚力ベクトルの大きさに起因する音

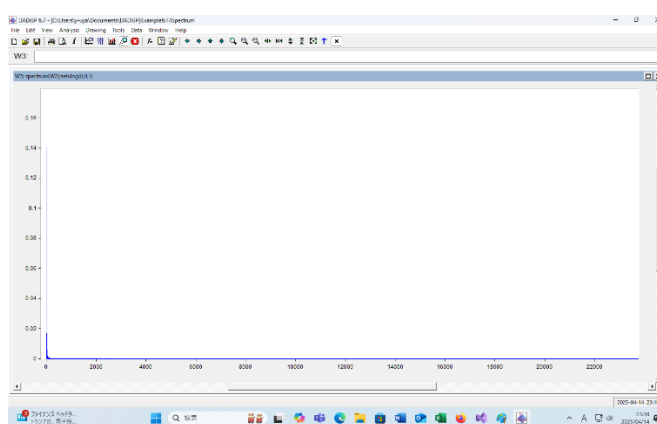
A は洗濯機の中身の不均衡による振動の大きさに相当する、ブレードの不均衡に起因する振動です。

B は洗濯機を回転させようとするモーターの力（電気が切れると弱くなる）に相当する。風が弱まって揚力ベクトルが小さくなると振幅が小さくなる。

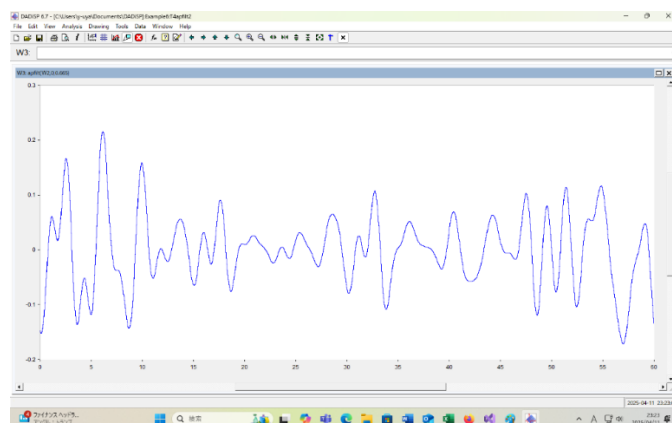
### 風車音の波形



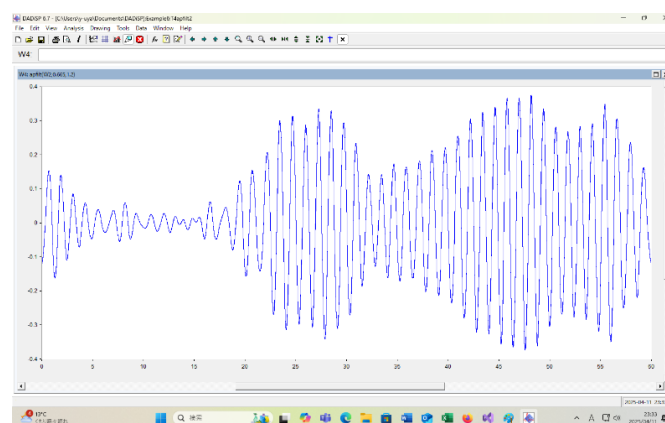
### 周波数スペクトル (0~24000Hz)



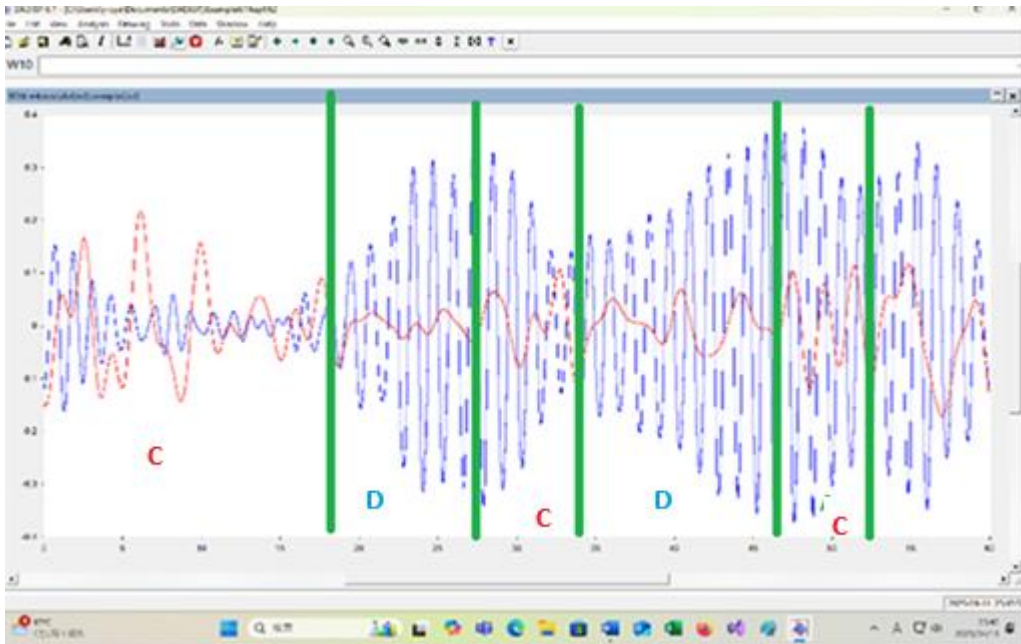
### A : $0 \sim 2f/3$ Hz の成分 ( $0 \sim 0.665$ Hz)



### B : $f = 0.8$ Hz 成分 (Max0.37Pa)



$f = 0.8\text{Hz}$  成分と  $0 \sim 2f/3\text{Hz}$  ( $0 \sim 0.665\text{Hz}$ ) 成分の比較



Cはモーターの力が弱まった時に、中身の不均衡で、洗濯機がガタガタ揺れる状態を示す。これは、ブレードの不均衡による振動を表します。

Dはモーターの力が強まると、ガタガタなくなる状態を意味する。この部分は、基本周波数での塔の振動に対応し、塔自体の金属疲労が蓄積される過程を表す。

ブレードの1枚に破損が有って空気抵抗が増せば、ガタツキが大きくなる。Dの状態でも茶色い線の振幅が小さくならない。(洗濯機の中身が偏り過ぎて、ガタツキが止まらない。) ならば、ブレードのバランスがかなり悪化して、ブレードが折れる可能性が高いことを意味している。

もしも、環境省が“技術的な助言”で風車音の計測に強い制限（JIS C 1509-1、二重防風スクリーン、除外音処理）を掛けて超低周波音の観測を妨害しなければ、秋田県での死亡事故（2025/5/2）は十分防げていたと考えられる。環境省は、健康被害を拡大するだけではなく、人命を奪うような方針を立てた。その責任は極めて重い。

#### 質問：

貴社の点検方法と回数を具体的に説明し、その方法で安全が確保できることを説明してください。

秋田の風車と貴社の風車の点検方法の違いを明らかにしてください。

貴社はどのような方法で、金属疲労での倒壊を予測しますか？

事故の責任をどの様にとるつもりですか？

安全の為ならば、環境省が嫌がる超低周波音の正確な計測と解析を使うべきだと考えるが、貴社はどのように考えますか？

令和5年度 山形県地域協調型洋上風力発電研究・検討会議 第1回 遊佐沿岸域検討部会

日時：令和6年2月29日（木）14:00～15:30 場所：鳥海温泉 遊楽里 鳥海文化ホール での議論ですが、

**五十嵐委員（山形県北部小型船漁業組合）**

先ほど経済産業省から安全に対してはそれなりの基準でやっているという説明があったが、調べたところ過去8年間で38件の事故が起きており、年間にすれば4～5件、何らかの事故が起きているようだ。内容としてはブレードの破損等が22件、火災が7件、ナセルの落下等が5件、タワーの倒壊等が4件。我々はこの下で操業しなければならない立場の人間であり、非常に危惧している。

今までは台風などの強風や雷によるものがほとんどだったと思う。ただ、**2023年3月17日に青森県の六ヶ所村で発生したタワーの倒壊は、風速が8～10m前後であり、そうしたレベルでも倒壊するということを考えると、我々はそこで商売するということは考えられない。**命を懸けてまで、そこまでやる価値があるのかと思う。**溶接面の金属疲労が原因**とのことであったが、こういう状態でも事故が発生すると、本当に我々はそこで漁業を営んでいけるのか、逆に言えば安全を誰が担保してくれるのか、その辺も考えていただきたい。1年前にこういう事故が発生しているわけで、これに関しての議論がこの会議で何もなされていないということもどうなのか、提言しておきたい。

**資源エネルギー庁 西尾補佐（オブザーバー）**

そうした不安を与えてしまうような事故があったということは大変申し訳なく思っている。

先ほども説明した通り、洋上風力発電設備は電気事業法に基づき、計画、設計がしっかりなされているか、経済産業省において確認しており、適切な施工等、維持管理がなされているのかも確認しているところであるが、どうしても溶接の不具合や施工の不備が発生してしまっている事例があるので、監督省庁としても適切に対処していきたい。

ここで驚くのは、五十嵐委員の見識に対しての、西尾補佐の意見である。水平軸型の風車の運動を確認すれば、金属疲労が起きることは明白です。振動の様子やその原因を考えれば水平軸型風車は金属疲労の実験装置だと言えます。

1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久敏,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

この風車の塔での振動は、水平軸型の風車の物理的は宿命であることはすでに示しました。

さらに、風速や風向について、気象業務支援センターから入手できる資料を見れば、風速や風向が急激に変化するので、これに完全に対応して、ナセルの向きや、ブレードの角度を変えることは不可能です。

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。

ナセルやブレードは重いのです。  $f = m \alpha$  ですから、急速に向きを変えるには、とても大きな力が必要です。これは、機械的には風速や風向の変化には完全に対応することが出来ないことを意味します。

しかし、それを無視すれば、ナセルが横風を受けて、風車が壊れます。ブレードの方向転換の機械も常に大きな力で動くことになり、無理が重なれば、壊れてしまいます。

維持管理の前に、根本的な欠陥商品を、並べる事こそが問題なのです。構造自体が、物理的に見て故障の原因そのものなのです。

この事実を隠そうとしているのが、環境省の方針です。

二重防風スクリーンを付けろ、除外音処理をしろ。と言って超低周波音を隠せば、風車の振動と金属疲労の原因が隠せると思っているのかもしれませんが、そうはゆきません。

西尾補佐の発言が、問題点を意識的に隠蔽しているか、全くの勉強不足が原因なのかの判断はできませんが、どちらにしても、誠実さに欠ける不適當な発言なのです。

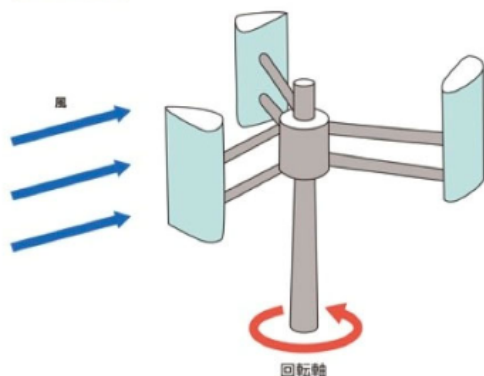
## 垂直軸と水平軸

山形県や秋田県の多くの市民は、垂直軸と水平軸の違いについて理解しています。

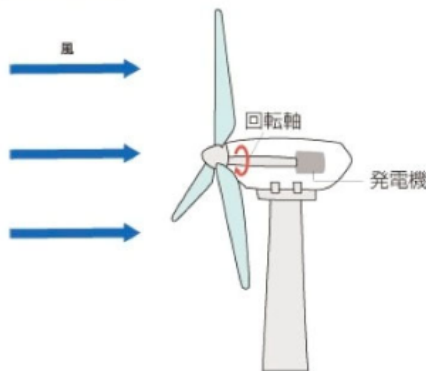
[風車騒音の特徴と指針・測定マニュアルについて](#)、落合博明（小林理学研究所）には、下の説明がある。

## 風力発電機の種類

垂直軸風車



水平軸風車



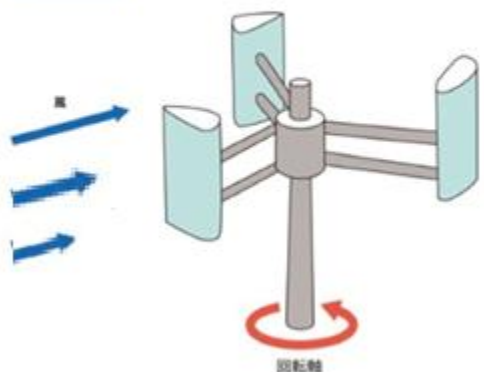
- 垂直軸風車：風向きに左右されず、発生する騒音は小さいが、軌道トルクが小さい。大規模化には向かない。
- 水平軸風車：最も普及している。高速で回転でき発電効率がよいが、方位制御機構が必要。騒音が発生する。
  - ▷ アップウインド型風車：タワーがブレードの風下側にある。
  - ▷ ダウンウインド型風車：タワーがブレードの風上側にある。

風力発電－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>

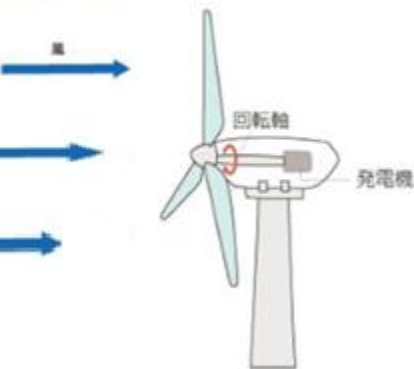
上の図では風速の矢印が同じ長さですが、正しく書けば、次のようになります。

## 風力発電機の種類

垂直軸風車



水平軸風車



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。これによって、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

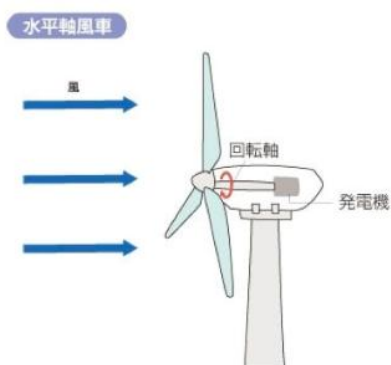


数スペクトルが離散的となることや、音圧の特徴についても、計算結果と計測結果が一致することが分ります。

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。

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のなのです。秋田県が自分で計測して解析すれば、すぐに分かるのですが、計測はしないようです。(嘘がバレるのは嫌なものです。よく分かります。)

この形の風車は、パリのエッフェル塔に設置されています。

### エッフェル塔の風車

パリのエッフェル塔に風力発電設置 地上 120m の風を利用。太陽光設備も併設。年末の COP21 に向けて「再エネのシンボル」に (FGW)

2015-02-26 15:10:23



エッフェル塔が再生可能エネルギー発電のシンボルとして脚光を浴びている。塔の改修工事に伴って、地上 120

メートルのところに風力発電所が、また太陽光発電パネルも設置されたためだ。

設置された風力発電は垂直軸方式のもので、風力発電特有のタービン音がほとんどないという。発電事業を担当する Urban Green Energy International (UGE) によると、発電量は年間 10,000kWh で、エッフェル塔の観光客向け電力をほとんど賄うことができるという。

また風力発電の設備のデザインも、歴史あるエッフェル塔にマッチしたデザインとし、色も塔の色に溶け込むように工夫されている。事業者の UGE は、「塔全体のエネルギー効率化も進める。エッフェル塔はパリの気候変動計画のシンボルとなる」と自賛している。

太陽光パネルは塔に併設して二つあるパビリオンの屋根に 10m<sup>2</sup> の規模で置かれる。規模は小さいがパビリオンで使用する水を温める電力の 50%を賄うことができるという。

この風車には、低周波音を発生させる振動版に当たる塔の部分がない。また、回転軸も垂直なので、上空と地上近くの風速の差による回転モーメントの変化を受けにくいのです。

ほんの少し考えれば、回転軸が水平の風車が、超低周波音の発生装置そのものであることはすぐに分かります。多くの秋田県民や山形県民は、次のことを認識しています。

## 合意形成での自治体の役割

環境省は、事業に先立つ適地抽出の段階から、地域の実情に詳しい地方公共団体が主体となって調整・協議等を進めることで、先行利用、地域住民等の信頼を得て、事業の推進に向けた合意形成の円滑化が期待できるとしている。（環境省「風力発電に係る地域主導による適地抽出手法に関するガイド～地方公共団体による適地抽出のための合意形成と環境調査～」(平成29年7月)

国が方針を県や市に押し付けるので、県は風車音の計測自体もやらないようになっている。

協議に必要な情報が隠されてしまう。

「わたしの提言」について（回答）（千葉県）

令和7年5月3日付けでお問い合わせいただいた件について、下記のとおり回答します。

### 記

#### 1. お問い合わせの内容

銚子沖の風力発電について県の HP を確認しました。環境省の指導に従って超低周波音の検討を除外したようですが、環境省の認識が間違っていて、水平軸型の風車には、超低周波音と金属疲労がセットで付いてきます。

風車の翼での死亡事故も起きました。風車のある海域は危険な海域になります。さらに、超低周波音での直接的な健康被害が循環器系の障害と頭痛として現れます。

千葉県には、NL-62 があるので、計測して WAV ファイルを県の HP に掲載して下さい。それが有れば、被害の予測が出来ます。

物理的な理由を追加して、“洋上風力の留意点 2025”に書いておきました。確認していただければ幸いです。

#### 2. 回答

お問い合わせのありました銚子市沖洋上風力発電事業に関連して、当課から環境影響評価について以下のとおり回答させていただきます。

発電出力が5万kW以上の風力発電所を設置しようとする事業者は、環境影響評価書に基づき環境影響評価を行う必要があります。

発電所の環境影響評価は、経済産業省が所管する「発電所の設置又は変更の工事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書事項に係る調査、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保全のための処置に関する指針等を定める省令」（以下「発電所アセス省令」といいます。）に則り行う必要があります。

発電所アセス省令では、環境影響評価を行うべき項目（参考項目）が定められています。この参考項目では、騒音について設定されていますが、そのうち超低周波音については、健康影響との明らかな関係が認められないこと等の理由により、設定されていません。

事業者は原則として参考項目に基づき、環境影響評価を行う項目を選定した上で、自らの責任で必要な調査を行うものであり、令和6年度に環境影響評価準備書手続きが行われた銚子市風力発電事業においても、事業者は超低周波音を環境影響評価を行う項目に選定していません。

以上のように、超低周波音の参考項目は、発電所アセス省令を所管する経済産業省により設定されていない状況ですので、この件に関するご意見については、同省に御連絡願います。

また、風車の金属疲労に対する御意見についても、風力発電設備の保安規定等を経済産業省が所管しているために、同省に御連絡願います。

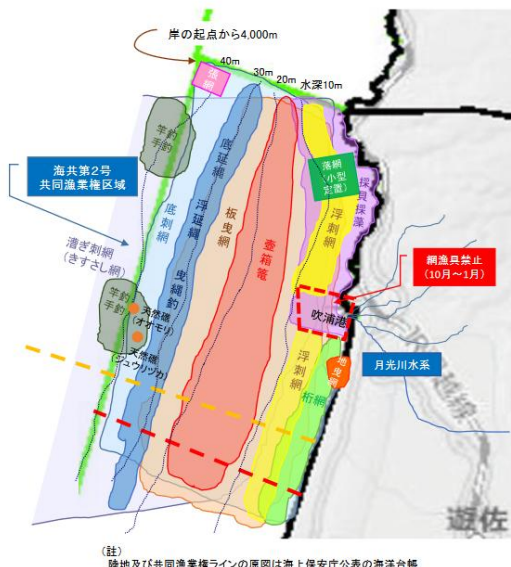
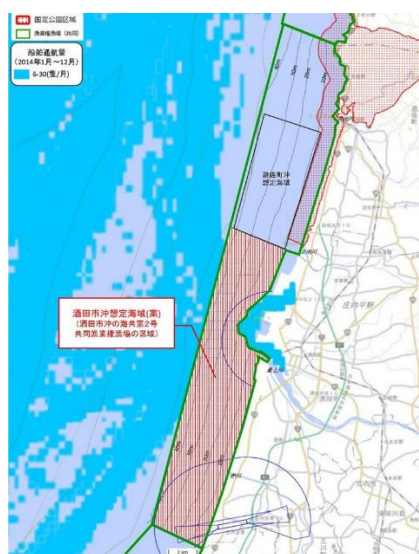
本県としては、今後とも情報収集に努め、環境影響評価法等に基づく環境影響評価手続きを適切に運用してまいります。

との返事が令和7年5月30日付けで届いた。

## ゾーニング

環境省は、地方公共団体が個別事業に先立ち地域で調整を行いつつゾーニングを実施することで、地域住民等は早期段階から地域における風力発電の在り方の検討に関与できる他、事業者は具体的な見通しを持って事業を計画でき、環境保全と両立した形で円滑に風力発電を導入することが期待できるとして、地方公共団体による取組を進めている（環境省「風力発電に係る地方公共団体によるゾーニングマニュアル（第1版）」（平成30年3月））。

遊佐の漁場利用概念図







#### ・想定した風車の大きさ

定格出力	15.0MW
風車の高さ	261m
ハブ高	143m
タワー長	120m
プレート長	115.5m
ローター径	236m

#### 仮想条件（※）

- ・当該事業における発電出力を45万kWと想定し、着床式15MW級風車×30基と設定した。
- ・風車は促進区域内で、離岸距離1マイル（1,852m）を確保したうえで、10基×3列を一律配置

上の図は、漁場が半分奪われることを意味しています。

漁業関係者の収入も減ります。

収入減を誰がどのように保障してくれるのでしょうか？

#### 累積的影響

洋上風力では、岸から2～4kmあたりに風車が沢山並びます。しかも大型の風車です。累積的な影響が問題になるのは当然です。

風車音の拡散を考える場合には、風車を点音源と考えて計算する場合がありますが、大型風車の場合には、100m\*10mの響板を4枚持っている音源と考えて計算するべきです。

風車が点音源ならば指向性を持たないはずですが、風車音は十字架型の指向性を持っています。

石狩湾での計測結果では、音の伝搬式として点音源と線音源の中間の式を作れば、計測結果との誤差が少なくなります。

10～20km離れた風車軍の影響を評価するには、さらに正確な予測式と、理論的な根拠を解明する必要があります。

現時点で、はっきりしているのは、

風車は点音源ではない。

風車群から10～20km離れた場所での計測値は、点音源としての計算結果よりも大きな数値である。ということです。

・環境大臣の意見（累積的な影響）

「(仮称)男鹿市、潟上市及び秋田市沖洋上風力発電事業に係る計画段階環境配慮書」

に対する環境大臣意見

## 1. 総論（2）累積的な影響

想定区域の周辺においては、他の事業者による複数の風力発電所が稼働中であることから、本事業とこれらの風力発電所による累積的な影響が懸念される。このため、既存の風力発電設備等に対するこれまでの調査等から明らかになっている情報の収集、環境影響評価図書等の公開情報の収集、他の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、予測及び評価を行い、その結果を踏まえ、風力発電設備等の配置等を検討すること。

別紙

## 2. 各論

### （1）騒音に係る影響

想定区域の周辺には、複数の住居及び学校その他の環境の保全についての配慮が特に必要な施設（以下「住居等」という。）が存在しており、沿岸付近の住居等の近隣に風力発電設備等が設置される場合には、工事中及び稼働時における騒音による生活環境への重大な影響が懸念されることから、環境の保全に十全を期することが求められる。このため、風力発電設備等の配置等の検討に当たっては、「騒音に係る環境基準の評価マニュアル」（平成 27 年 10 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」（平成 29 年 5 月環境省）その他の最新の知見等に基づき、住居等への影響について適切に調査、予測及び評価を行い、その結果を踏まえ、風力発電設備等を住居等から離隔を取ることで、騒音による生活環境への影響を回避又は極力低減することとある。

山形県の主張は独創的です。

“1 km 程度離れると風車の騒音（低周波を含む）が減衰し、人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い”と書いてくれているのです。

では、500mの地点で、音が十分に減衰していなかったら、風車の騒音が人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は高いのでしょうか？

また、住宅から 2 km の地点に風車がたくさん並べば、累積的な影響を計算すると風車が住宅から 350m の所に出来たのと同じ状態になることが分ります。この時は、人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は高いのでしょうか、それとも低いのでしょうか？ その理由は何か？

と聞かれたら、普通の人は困るでしょうが、山形県の職員は、細かなことは気にしない、また質問した人も、支離滅裂な答えでも、気にしていないように見受けられます。

もしも、“1 km 程度離れると風車の騒音（低周波を含む）が減衰し、人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い”

が正しいならば、

“2km 程度離れた風車が沢山あると、沢山の風車音のエネルギーが集まるので、騒音（低周波を含む）が増加し、人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性が高くなる”

も正しい事になります。

2 km 離れた位置に、40 基の風車が並べば、1 基の風車から 316m 離れた場所での騒音レベルと同じになります



す。(以下、その計算です。)

1 基の風車の音響パワーレベルを  $PL$  とし、音源の形は点音源、音は球面状に拡散するとして 1 k m 離れた場所での音圧レベル  $L_1$ 、2 k m 離れた場所での音圧レベル  $L_2$  を計算すれば

$$L_1 = PL - 11 - 20\log 1000$$

$$L_2 = PL - 11 - 20\log 2000 = PL - 11 - 20(\log 1000 + \log 2) = L_1 - 20\log 2 = L_1 - 6.02$$

2km の距離の風車が  $k$  基になったとすると、音圧レベルは

$$L_k = 10\log\left(k * 10^{\frac{L_2}{10}}\right) = 10\log k + 10\log\left(10^{\frac{L_2}{10}}\right) = 10\log k + L_2 = L_1 - 6.02 + 10\log k$$

となるので、

$$10\log k - 6.02 = 0$$

より、

$$k = 3.99$$

となるので、 $L_4 = L_1$  になります。2000m 離れた場所に、4 基建てれば 1 基の風車から 1000m 離れた場所での騒音レベルと同じになるのです。

では、2 k m 離れた場所に 40 基建てたらどうなるでしょう。

$$L_{40} = L_1 - 6.02 + 10\log 40 = L_1 + 10.00$$

となります。

1 基の風車にどれくらい近づけば、 $L_1 + 10.00$  の音圧レベルになるかを計算します。

距離を  $(1000 * r)$  m にしたときに、

$$\begin{aligned} L_r &= PL - 11 - 20\log(1000 * r) = L_1 - 20\log r = L_1 + 10.00 \\ -20\log r &= 10.00 \end{aligned}$$

より、

$$\log r = -0.5$$

$$r = 0.316$$

$1000 * 0.316 = 316$  m となるので、1 基の風車から 316m の場所での音圧レベルになります。

316m は、とても近い距離だから、大きな被害が起きます。これと同じ騒音レベルですから、海岸から 2 k m の場所に沢山の風車が並べば、沿岸にすむ住民が大きな被害を受けるのです。

## [【コラム 2】風力発電の失敗例 前川侑毅](#)

には、幾つかの失敗例が書かれています。その中の 1 つが以下のものです。

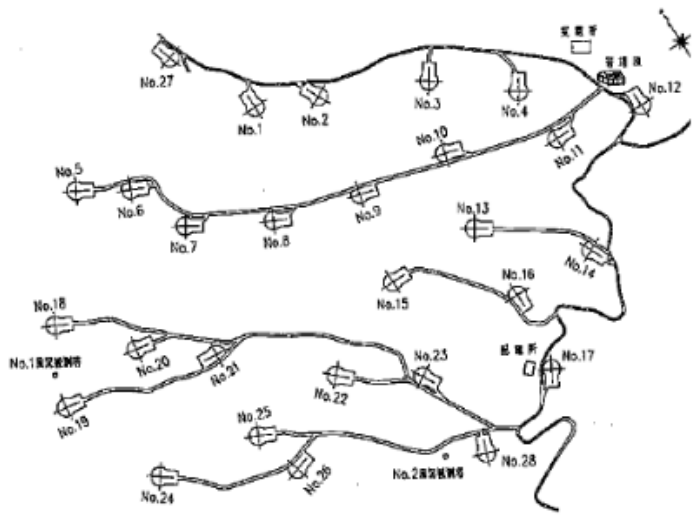
### 5. 江差ウィンドパワー（詰め過ぎ問題）

江差ウィンドパワーは、江差町を主体に土地所有者（ゴルフ場開発用地）である本州の

工務店、メーカーの NKK(現在の JFE) らによる第 3 セクターで事業をスタートした。江

差は風況もよく、風力発電に適しているとされており、当初の予想設備利用率は 25%程度であった。しかし、実際の設備利用率は 16%前後で低迷している。その後、江差ウィンドパワーは、迷走をはじめ、風車の破損（風の影響や雷による影響等）をめぐり、事業者の間で責任のなすりあいとなった。さらには、町と出資者の工務店との間で怪しい契約があったことも発覚した。風力発電ブームとそれに付与される多額の補助金という甘い蜜に、一斉に群がっていた構図が浮かび上がってくる。

図 2 江差風力発電所の風車配置図



出所：ウィンドコネクト株式会社 PDF より

江差ウィンドパワーには、**風車間距離**という大きな問題があった。主風向と直角方向にブレードの直径の 3 倍は空ける、主風向に対しては 10 倍あける（NEDO 指針）のが基本的な考え方とされているが、10 倍の距離は確保されておらず、場所によっては 3 倍の距離もあけられていない。さらに、江差町が NEDO の補助を受け行った調査では、西風が強く吹くことが確認されているが、実際に西風で回る風車は 28 基のうち 5 基である。しかも、至近距離で狭い間隔に設置された風車は、西側の風車で減速されて不安定になった風を受ける事になってしまったのである。本来であれば、この敷地内に 28 基の風車ではなく 14 基程度が適切であったと考えられている。

“風車間距離という大きな問題があった。主風向と直角方向にブレードの直径の 3 倍は空ける、主風向に対しては 10 倍あける (NEDO 指針) のが基本的な考え方とされている”に照らして、計画は適切であると言えるか？ 基数を減らしても大型化することで被害が拡大すると思います。



ブレード長	115.5m
ローター径	236m

$$230 \times 10 = 2300m$$

## 1. 国内の環境影響評価法での取り扱い(経産省資料抜粋)

### 1 (4) 超低周波音に対する住民等の懸念や対応について

- 日本風力発電協会において、立地自治体や住民等からの不安や懸念に対応するため、理解普及活動や懸念等への丁寧な対応を実施していく。

#### <風力発電所へ寄せられた苦情の傾向>

日本風力発電協会員に対する法アセス手続きにおける超低周波音への意見と運転開始後の苦情に関するアンケート結果(令和2年1月～2月 一般社団法人日本風力発電協会実施)

- ・ 配慮書、方法書、準備書の手続きにおいて、各段階における約半数の事業で超低周波音に関する意見を受けていた。
- ・ 運転開始事業27事業中、騒音に関する苦情発生事業は3事業(苦情3件)で、いずれも超低周波音に関するものではなく、可聴域の騒音に関するもの。

#### <日本風力発電協会における対応>

##### ○これまでの対応

- ・ 報道機関や地方公共団体等へ啓発素材の配布・周知
- ・ 地域説明会、地域の理解普及活動

##### ○今後の対応

- ・ 理解普及活動の継続
- ・ 会員へ寄せられた懸念への丁寧な対応の促し
- ・ 稼働後のデータの蓄積 等



日本風力発電協会作成 理解啓発資料の例

### 1 (4) 超低周波音に対する住民等の懸念や対応について

- 日本風力発電協会において、立地自治体や住民等からの不安や懸念に対応するため、理解普及活動や懸念等への丁寧な対応を実施していく。

#### <風力発電所へ寄せられた苦情の傾向>

日本風力発電協会員に対する法アセス手続きにおける超低周波音への意見と運転開始後の苦情に関するアンケート結果(令和2年1月～2月 一般社団法人日本風力発電協会実施)

- ・ 配慮書、方法書、準備書の手続きにおいて、各段階における約半数の事業で超低周波音に関する意見を受けていた。
- ・ 運転開始事業27事業中、騒音に関する苦情発生事業は3事業(苦情3件)で、いずれも超低周波音に関するものではなく、可聴域の騒音に関するもの。

風車の運転開始後に、苦情が3件であり、それらは超低周波音に関するものではないとしているが、風車音被害と認定されないものが多い。



さらに、被害の中で、

“初めはあまり気にしていなかったが、年が開けて 2020 年 2 月 17 日、夜中 2 時頃に目が覚めたら、突然グウングウンという音が聞こえてきて、急にドキドキした感じになり、血液が頭にドクドク流れ、血管が破れるんじゃないかというような感じがしばらく続いた。少しして収まったが、朝まで眠れなかった。次の日も夜中に目が覚めたら同じような音が聞こえ、ドキドキ感があつた。それから気になって夜寝られないし、寝ても 1 時間か 1 時間半で目が覚めるようになった。

その年の 6 月、南西の風が強かったときだが、そのときも音が聞こえて 2 日間ほとんど寝られなかった。そこで由利本荘市長に手紙を書き、「事業者に風車を夜間だけでも止めるようにいってくれないか」と訴えた。その後、市職員と事業者が来たが、低周波音による健康被害についてはわかってもらえなかった。

同年 9 月初め、耳鼻咽喉科の病院で聴力検査をしてもらった。私は若い頃、突発性難聴になって左耳はまったく聞こえない。聞こえる右耳は、高い周波数は歳相応に聴力が落ちているが、低い周波数はそれほど落ちていない、との検査結果だった。睡眠導入剤と精神安定剤を処方された。

しかし、その後も音を強く感じる日は眠れない。9 月末、2 回目の受診で病院に行ったときのことだ。待合室にしていると急にドキドキし始め、調べてもらったら血圧がかなり高くなっており、内科に行ったら心電図を調べてもらうようにいわれた。内科では上室性期外収縮（不整脈）と診断された。血液検査をしてみると、ドーパミンやアドレナリンの数値が異常に高くなっていて、ストレスによる緊張が原因といわれた。“

と言うようなものは、風車の超低周波音による被害とは認定されないのです。

さらに、県や市は超低周波音を計測してくれないのです。

千葉県では、アセス変更前は、業者がやることだから測らない。

アセス変更後は、アセスの項目に無いから測らない。

と言って、測ってくれないのです。

自分で機材をそろえ超低周波音を調べるには、300 万円くらいかかります。厳しい状況ですが、70 万円で精密騒音計を購入して計測データをネットに公開すれば、世界中の研究者に解析してもらえます。

町内会で 70 万円を集めれば、業況を変えられます。

住民の方針は簡単です。

精密騒音計で同じ場所で同じ時間に計測することです。機種は NL-62、NL-63、SA-A1 のどれかでなくてはなりません。

録音結果をネットに公開することです。

音響キャビテーションに関して、詳細な研究を進めることです。

偉そうにしている、国のお役人や、学者の方に、住民の常識を教えてあげる事です。

なお、苦情は、市や県に寄せられたものを指します。県や市は、住民から“精密騒音計で風車音を計測して下さい”とのお願いがあっても、決して計測してくれません。

- ・ 配慮書、方法書、準備書の手続きにおいて、各段階における約半数の事業で超低周波音に関する意見を受けていた。
- ・ 運転開始事業27事業中、騒音に関する苦情発生事業は3事業（苦情3件）で、いずれも超低周波音に関するものではなく、可聴域の騒音に関するもの。

住民が、“超低周波音”に関する苦情を言うのは、経済的観点から見て難しい面があります。

精密騒音計は 70 万円～120 万円くらいです。解析ソフトとコンピュータで 200 万円くらいです。300 万円を個人で負担するのは、ちょっと苦しいのです。

県や市が NL-62 での計測と解析をしていただければ良いのですが、計測すれば超低周波音が見つかってしまいます。録音データをそのまま住民に渡せば、国の方針に反対することになってしまいます。

理由を確認します。

#### 風力発電施設から発生する騒音に関する指針について

には、

“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慮をお願いいたします。

各都道府県におかれましては、この旨、管下町村に対して周知いただきますようお願いいたします。”とある。

#### “[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](#)”

マニュアルは、

“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。”

との事であるが、

その 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。”

となっていて、

[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 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。

ここでは、

A 特性音圧レベルで評価と言って、風車音のエネルギーの 93%以上を除外しなさいと言っています。

精密騒音計での録音（音圧の変動の記録）は、A 特性には出来ないのです。重み無しの平坦特性ですから、超低周波音まで測定してしまうのです。この結果、エネルギーの分布も明らかになります。さらに、マイクに風が当たらないようにして計測すれば、“風雑音”が嘘だと分かってしまいます。

県や市が、このようなデータを住民に配布すれば、偉い方から叱られてしまいます。

千葉県の研究機関は、NL-62 を持っています。録音していたのは電車の音だけでした。貸してもくれないし、風車音を測ってもくれないのです。

川崎市は

当課では低周波音の測定については、リオン株式会社の NL-62 を使用しています。

録音結果については、当課で苦情相談に基づき低周波音を測定するときに、除外すべき音の精査のため録音をすることがありますが、録音データは公にすることにより個人の権利利益を害するおそれがある、又は当該法人等の権利、競争上の地位その他正当な利益を害するおそれがある情報であるため、川崎市情報公開条例第 8 条に従い開示しておりません。

と言っていました。

確かに、この録音データは、権利利益に大きくかかわるのです。国の方針にも大きくかかわるのです。

業者に対しては、NL-62、NL-63、SA-A1 での録音結果を WAV ファイルのままで提供するように要請しましょう。

説明会を普通に開催すると、口先で誤魔化されます。事前に細かな質問状を作成して、業者に文書での回答を要求しましょう。

質問状は、住民の間で回覧して、住民共通の質問事項にしておきましょう。

説明会は、業者の文書による回答について議論する場所にしましょう。

説明会の内容は、全て公開するという条件を付けましょう。理由は、専門家に相談する必要がある、としておきましょう。

## 低周波音の被害

睡眠障害、頭痛、ガタツキ

昔の環境省は、全身が高い音圧を受ける場合と、耳で聞くだけの場合の違いを認識していた。

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。

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 100 Hz 以下の周波数の音を指します。その中でも 20 Hz 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。

嘘をついてはいけません。

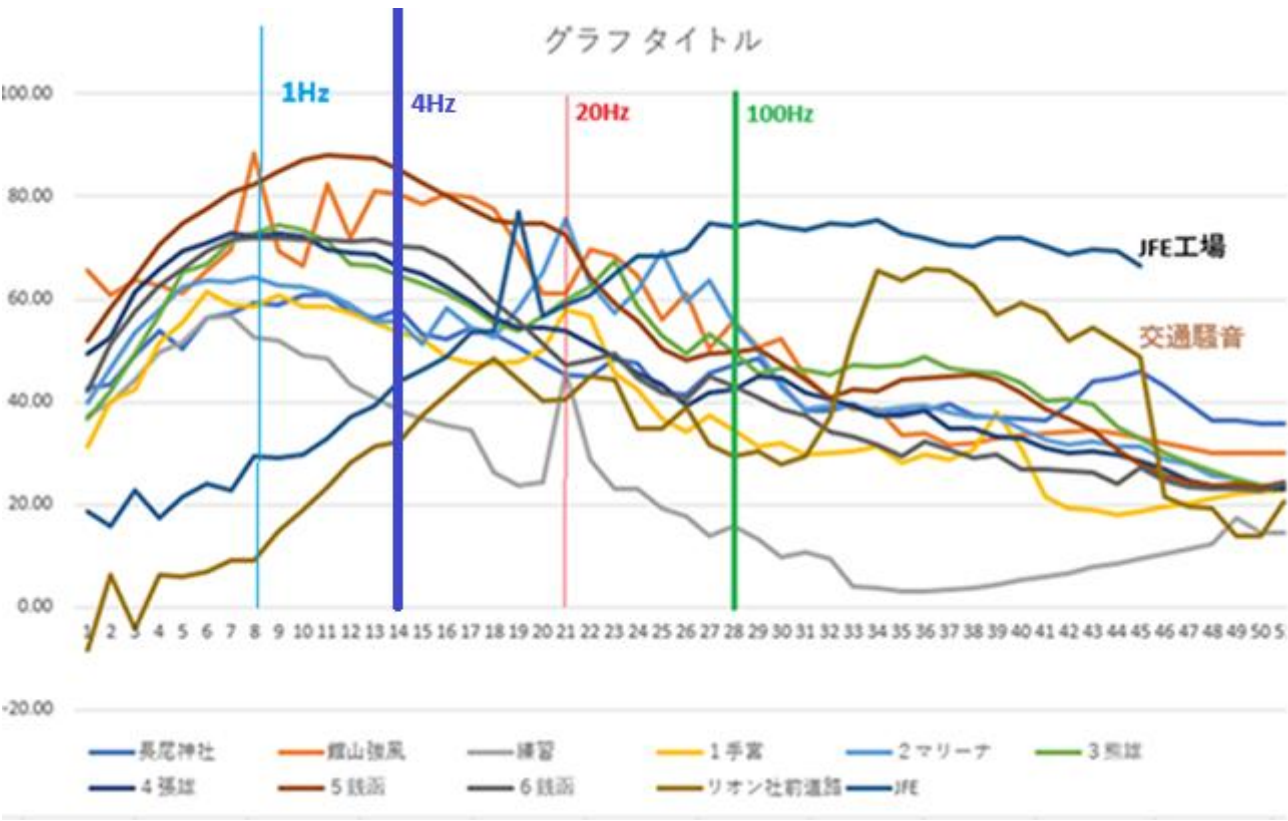
“風力発電施設から発生する音には低周波音も含まれますが、他の環境騒音（交通騒音等）と比べて特に大きいわけではありません。”

ここでは、

“※ 低周波音というのは、一般に 100 Hz 以下の周波数の音を指します。その中でも 20 Hz 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。”  
とあるので、低周波音が超低周波音を含む意味で使われています。

石狩湾での計測結果は、次の様になります。もしも、“低周波音”が20Hz～100Hzを意味するならば、主張は正しいが、超低周波音を含む意味で使われているので、嘘になります。基本周波数の辺りでの音圧が、風車音では卓越しているのです。



交通騒音と比べると、音圧は桁違いです。

図 1．交通騒音（リオン社前） 0 ～5000Hz

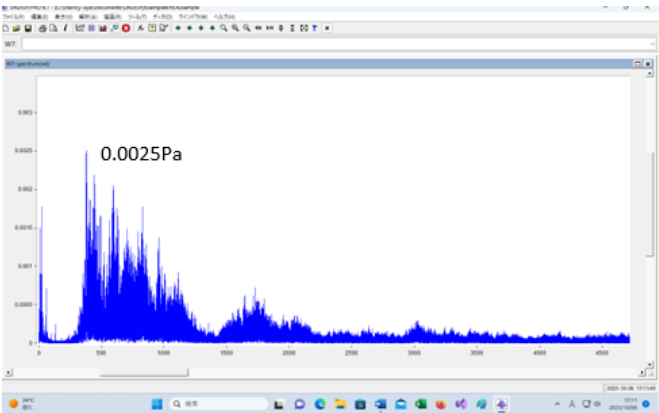


図 2．工場騒音（製鉄所内の音） 0 ～5000Hz

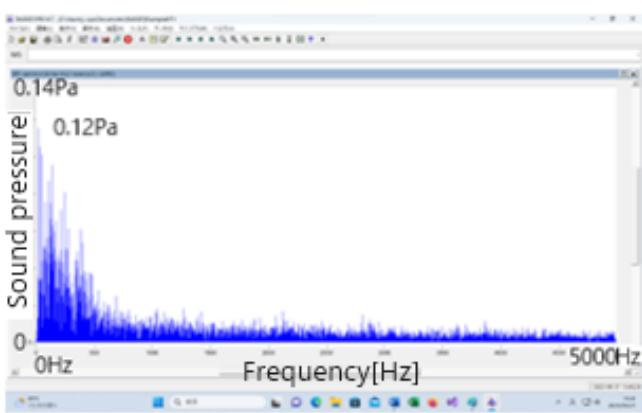
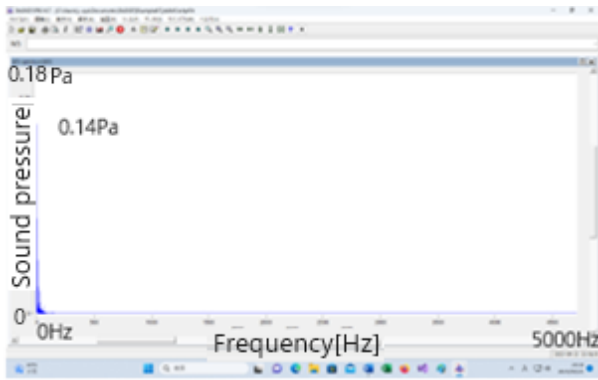


図 3．風車音（館山風の丘） 0 ～5000Hz

表 2．エネルギーの分布



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

## 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 m<sup>2</sup>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/m<sup>2</sup>)

$$J = (p \cdot p) / (\rho \cdot c) \quad (W/m^2)$$

ここで、p (Pa) は音圧、 $\rho$  は空気の密度 (kg/m<sup>3</sup>)、c は音の速度 (m/s)

エネルギーを計算すれば次の表になります。

交通騒音と比べれば、風が弱い時で 1000 倍、強い時は 10000 倍のエネルギーを持っています

周波数帯	0 ～20Hz	20～200Hz	200～24 k Hz	0～24 k Hz	単位
交通騒音	1.76E-07	8.08E-08	1.80E-05	1.80E-05	W/m <sup>2</sup>
神社風	8.23E-06	3.91E-07	2.12E-07	8.83E-06	W/m <sup>2</sup>
JFE工場	4.80E-05	4.01E-04	5.34E-04	9.84E-04	W/m <sup>2</sup>
風車弱風	8.19E-04	2.40E-05	3.82E-07	8.43E-04	W/m <sup>2</sup>
風車強風	1.49E-03	2.30E-05	6.94E-08	1.52E-03	W/m <sup>2</sup>

次の記述は、嘘としか言えません。

“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。”

これが嘘ではないと主張する人は、風車音を計測する能力も解析する能力も無い事を意味します。

さらに、

“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、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。”

との記述は、普通の書物や、論文を理解する力が無い事を意味します。学力が無ければ、いくら風車の超低周

波音と健康被害の関連性を示す論文が有っても理解できないのです。

従って、正直に、

“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、現段階において、明らかな関連を示す知見が存在するかもしれませんが、私たちの学力では論文の内容を理解できませんでした。”と書くべきです。

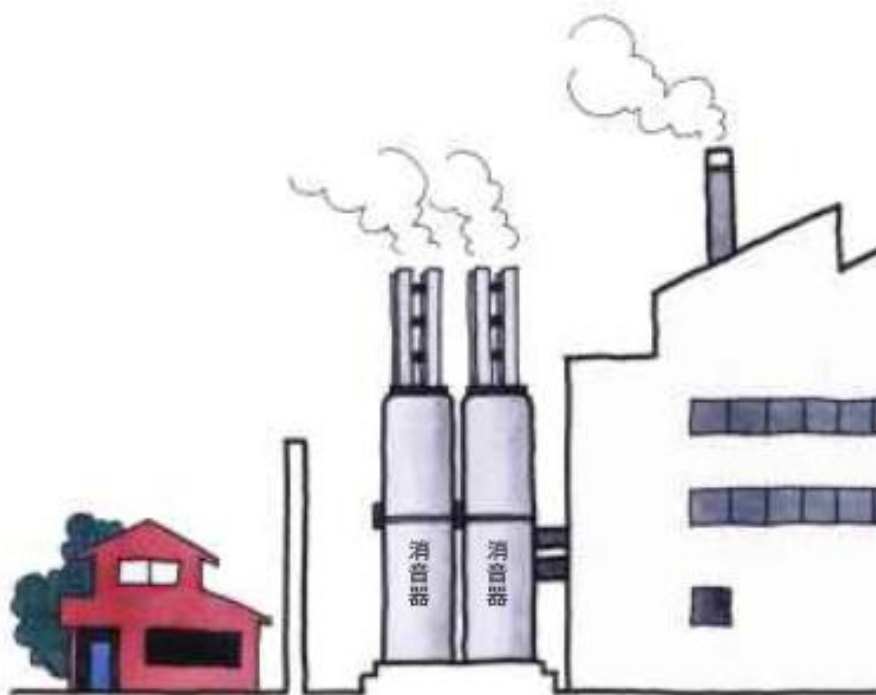
## 5 低周波音を防止するには

### 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<sup>15)</sup>。ただし、低周波音の対策は大掛かりなものになります。

24



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。

- ・窓のがたつき場合：隙間にパッキングを取付ける、ガラスを棧(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)をご覧ください。

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、超低周波音の発生源そのものなのです。

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いての研究もあった。

“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

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（p 14）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（L<sub>dn</sub>）で 60dB 程度、20%程度は 53dB 程度、10%程度は 43dB 程度となる。

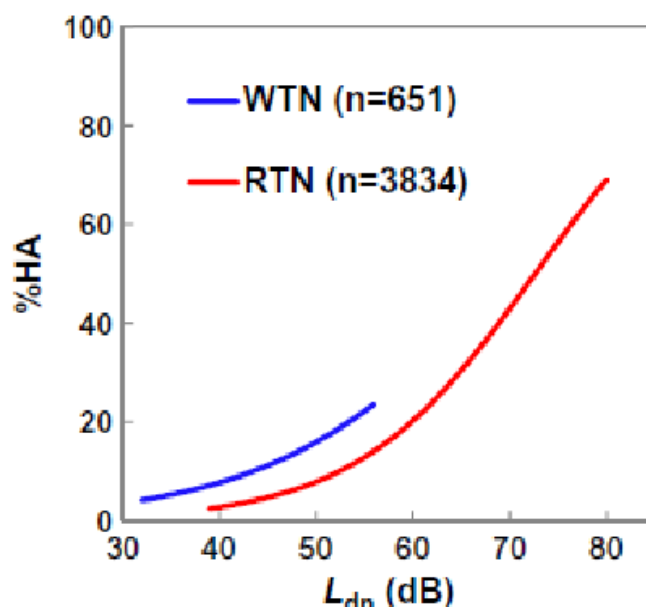


図 7 風車騒音（WTN）と道路交通騒音（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（L<sub>dn</sub>）※と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（%HA）

※ 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、L<sub>Aeq</sub> に 6dB を加算して L<sub>dn</sub> 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、“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ャー）の資料によれば、

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	6 0 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・洗濯機（1 m）</li> <li>・掃除機（1 m）</li> <li>・テレビ（1 m）</li> <li>・トイレ（洗浄音）</li> <li>・アイドリング（2 m）</li> <li>・乗用車の車内</li> </ul>
普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	5 0 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・静かな事務所</li> <li>・家庭用クーラー（室外機）</li> <li>・換気扇（1 m）</li> </ul>
	聞こえるが、会話には支障なし	4 0 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・市内の深夜</li> <li>・図書館</li> <li>・静かな住宅地の昼</li> </ul>
静か	非常に小さく聞こえる	3 0 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・郊外の深夜</li> <li>・ささやき声</li> </ul>
	ほとんど聞こえない	2 0 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ささやき</li> <li>・木の葉のふれあう音</li> </ul>

であることが分かります。

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（アノイアンス）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6～9 dB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4～13 dB になりました。

ズレの理由を次の様に考えました。

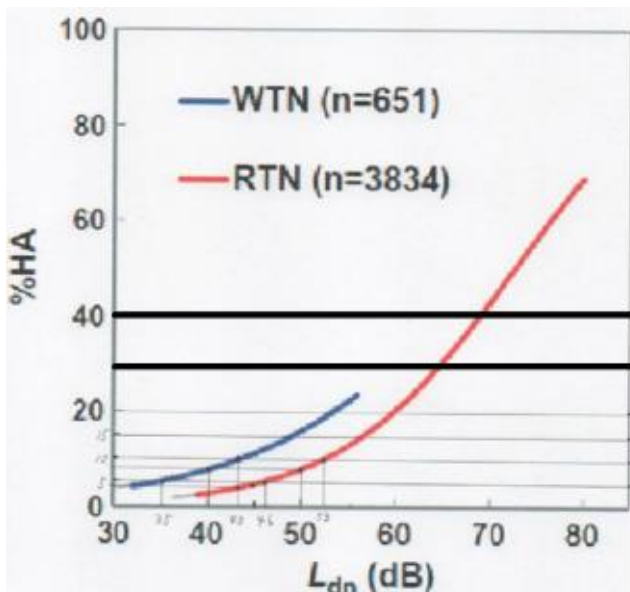
A特性音圧レベルで計算される騒音レベルは、風車音のエネルギーの7%を占める。この部分が、風車音全体のエネルギーの99%まで増加したとすれば、

$$DB7 = 10 * \log_{10} \left( \frac{p_1^2}{p_0^2} \right)$$

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

となって、11.5 d B増加します。

報告書（p 14）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	10dB
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 11.5 d B 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%	60 d B	64 d B	4 d B	71.5dB	64 d B	-7.5 d B
20%	53 d B	60 d B	7 d B	64.5dB	60 d B	-4.5 d B
10%	43 d B	53 d B	10 d B	54.5dB	53 d B	-1.5 d B
8%	40 d B	50 d B	10 d B	51.5dB	50 d B	-1.5 d B
5%	35 d B	46 d B	11 d B	46.5dB	46 d B	-0.5 d B
4%	30 d B	43 d B	13 d B	41.5dB	43 d B	1.5 d B

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、53 d B 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 p 14 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 35 d B は、交通騒音で 46 d B 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 46 d B 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。

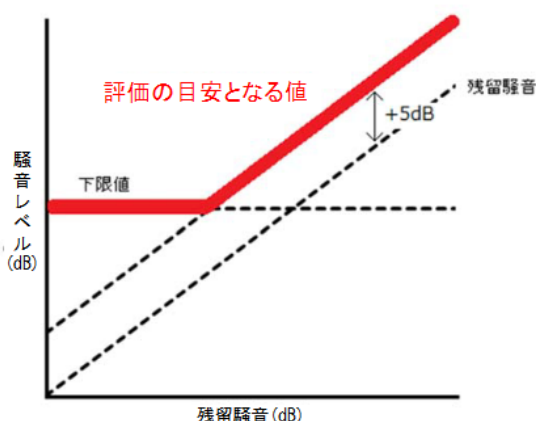
もちろん、健康な人でも安眠できる状態ではありません。

静かで、風車が無ければ 30 dB を下回る地域では、それが AA 地区ならば 35 dB、住宅街などの A 地区ならば 40 dB を、指針値における下限として設定することになります。

## 風力発電施設騒音の評価の考え方②

**評価の目安となる値：残留騒音 + 5dB**

※ただし、残留騒音が著しく低く（30dBを下回る場合）特に静穏を要する地域や、地域において保存すべき音環境がある場合においては35dB、それ以外の地域においては40dBを下限値として設定する。



風車音での 40 dB をエネルギーの観点から補正值 11.5 dB と加算すると、51.5 dB の交通騒音に相当します。下の表を見れば、“大きく聞こえる、通常の会話は可能”との評価になります。

しかし、風車音の指向性と、風速の変化による音圧の増加の影響が考慮されていません。風速の変化や風向の変化で、音圧が 2 倍になれば、6 dB 加算されるので、57.5 dB 程度の音が、30 秒間継続する状態が 1 時間に 1 回程度起こると考えられます。

科学的エビデンスが好きな割には、指針値以内なら被害は起きないという根拠が全く示されていない。

更に、被害が起きないという実験結果も示されていない。

科学はどこに消えたのでしょうか？



由利本荘市での被害

また、どの会社も、

“環境保全措置を講じることにより、施設の稼働に伴う超低周波音が周囲の生活環境に及ぼす影響は実行可能な範囲内で影響の低減が図られているものと評価する。”

と主張するのです。

しかし、

由利本荘市の道川さんは次の様に言っている。(2024年10月1日の長周新聞)

■低周波が引き起こす動悸や胸部痛がいまだに続く

由利本荘市 道川 誠二 (71 歳)



私は、由利本荘市内の日本海に近い団地に住んでいる【地図参照】。2012年に子吉川河口の本荘マリーナに本荘風力発電所（1990キロワット、1基）ができた。私の家から1・9キロのところだ。そして2017年、その南側に電源開発の由利本荘海岸風力発電所（2300キロワット、7基）ができた。これは私の家から2・4キロだ。

加えて2019年の秋頃に、今度は自宅から北東方向約2キロの三望苑で、由利本荘第三風力発電所（1990キロワット、1基）と由利本荘第二風力発電所（1990キロワット、1基）が稼働し始めた。

初めはあまり気にしていなかったが、年が開けて2020年2月17日、夜中2時頃に目が覚めたら、突然グウングウンという音が聞こえてきて、急にドキドキした感じになり、血液が頭にドクドク流れ、血管が破れるんじゃないかというような感じがしばらく続いた。少しして収まったが、朝まで眠れなかった。次の日も夜中に目が覚めたら同じような音が聞こえ、ドキドキ感があった。それから気になって夜寝られないし、寝ても1時間か1時間半で目が覚めるようになった。

その年の6月、南西の風が強かったときだが、そのときも音が聞こえて2日間ほとんど寝られなかった。そこで由利本荘市長に手紙を書き、「事業者に風車を夜間だけでも止めるようにいってくれないか」と訴えた。その後、市職員と事業者が来たが、低周波音による健康被害についてはわかってもらえなかった。

同年9月初め、耳鼻咽喉科の病院で聴力検査をしてもらった。私は若い頃、突発性難聴になって左耳はまったく聞こえない。聞こえる右耳は、高い周波数は歳相応に聴力が落ちているが、低い周波数はそれほど落ちていない、との検査結果だった。睡眠導入剤と精神安定剤を処方された。

しかし、その後も音を強く感じる日は眠れない。9月末、2回目の受診で病院に行ったときのことだ。待合室にいと急にドキドキし始め、調べてもらったら血圧がかなり高くなっており、内科に行って心電図を調べてもらうようにいわれた。内科では上室性期外収縮（不整脈）と診断された。血液検査をしてみると、ドーパミンや

アドレナリンの数値が異常に高くなっていて、ストレスによる緊張が原因といわれた。

その後も睡眠不足は続いており、寝ているときグウングウンと低周波音が強く感じられるとドキドキすることが多くなった。胸のあたりがぐうっと押された感じがして少し痛んだり、頭がズーンズーンと痛むこともある。また、頻繁に肩がこるようになった。

風力だめーじサポートの会をつくった2022年の9月頃、夜中に目が覚めて血圧が異常に高くなっていたので、内科の医者に行った。睡眠導入剤と血圧を下げる薬を処方され、その1カ月後にはもっと強い薬をもらったが、やはり風車の音が気になって目が覚めることが多くあった。睡眠導入剤もだんだん効かなくなってきた、逆にそのせいで具合が悪くなるようにも感じ、それ以来一切のんでいない。

市役所生活環境課が「遮音効果の高い耳栓を試してほしい」というので、それを借りてグウングウンという音が聞こえる夜中に試してみた。耳栓をすると低周波音の振動だけが聞こえて、しないときより気になって眠れなくなるようだった。今は、ラジオを聞いているとマスキング効果で寝られるよとアドバイスを受け、そうしている。

そういう症状は、自宅を離れると出なくなる。だからあちこち安い温泉を捜して2、3日泊まりに行ったり、寝袋を持って車で遠くに行き、車中泊をしている。音が気になるのは冬が多く、車中泊は夕方から出掛けるのだが、吹雪の中を出て行くのがいやで、それでも遠くに行くとちゃんと寝られて帰ってこれる。

具合は年々悪くなっている。前は寝ているときが多かったが、ここ1、2年は日中でも、胸が痛いし苦しい。そのとき家から南西側を見ると、風が強くて海岸の風車がぐるぐる回っていた。最近では腸の具合が悪いし、脈が飛ぶことがある。不整脈なのだが、寝て起きてドキドキしたなと思ったら、突然脈がピタッと止まった。びっくりしたが、10秒ぐらいで脈が出始めた。

症状と時間や風速を日記に

海岸の風車も三望苑の風車も、どちらも家から約2<sup>km</sup>のところにあり、両方にはさまれた真ん中に私の家がある。だから両側から低周波音が来ているのではないと思う。南西の風が相当強いときには風車が回る騒音が聞こえることもあるが、多くがグウングウンという低周波音だ。ブレード（羽根）と支柱が交叉するときに生まれる衝撃音で、支柱の振動が空気振動で伝わり、頭にグウングウンと響くようだ。

さっき病院の待合室で気分が悪くなったといったが、後で調べたらその病院も海岸の風車と三望苑の風車にはさまれており、どちらも病院から2・7<sup>km</sup>とまったく同じ距離だった。

道川誠二氏がつけている日記を表にしたものの一部（表１）

風は気象庁のデータより	23時	0時	1時	2時	3時	4時	5時	6時	7時	M／秒
2024年1月4日	東	南東	南東	東北東	南東	南東	東北東	南西	南東	風向き
睡眠剤飲まず9時半頃寝る 0時頃目覚める 気にならず 2時頃目覚める 気にならず その後眠れずラジオを聞く 6時～7時ぐらい眠る	1.1	1.7	1.9	1	2	3.1	1.2	0.4	1.4	平均風速
	2.3	2.5	3.9	2.1	3.6	5.2	2.4	1	2.5	瞬間風速
2023年1月12日	東南東	南東	南東	東	北東	南	南南西	南南西	西	風向き
睡眠剤飲まず10時頃寝る 11時頃、1時頃目覚める 気にならず 3時頃目覚める 微かにぐうんぐうん聴こえる 雨の音も その後ラジオを聞く 4時半過ぎ辺りからドキドキ感じる 左胸の辺り少し痛くなる その後ずっと胸痛く苦しい	3.6	4.2	3.2	2	1.6	7.9	9.3	8.8	5.2	平均風速
	6.8	7.7	6.1	4.1	4.6	11.7	17.5	16	9.3	瞬間風速
2023年1月17日	西北西	西	西	西	西北西	西	西	西	西	風向き
睡眠剤飲まず10時頃寝るが寝付けず（ぐうんぐうん微かに聴こえる） 0時半頃目覚める 3時過ぎ目覚める ぐうんぐうん聴こえる その後眠れずラジオを聞く 5時半～6時ぐらい眠る ドキドキ感じる 脈が4、5回途切れる 胸が少し苦しい 血圧少し高い	5.2	5.8	5.7	6	5.2	4.8	5	4.9	5.2	平均風速
	11.2	12	11.3	11.6	11.2	10	11	9.3	9.8	瞬間風速

道川氏の体調異常と近くの風力発電の稼働状況の関係（表２）

月	2022年				2023年							
	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月
該当日数	29	31	30	31	30	14	31	30	31	16	22	31
眠り始めて1時間半以内に目覚めた日数と比率	5	3	1	13	24	7	12	4	4	2	4	7
	17%	10%	3%	42%	80%	50%	39%	13%	13%	13%	18%	23%
総睡眠時間が5時間以下の日数と比率	11	4	9	16	23	2	14	9	1	5	8	16
	38%	13%	30%	52%	77%	14%	45%	30%	3%	31%	36%	52%
寝ている間に体調異常を感じた日数と比率	11	13	22	19	10	4	3	7	1	1	1	0
	38%	42%	73%	61%	33%	29%	10%	23%	3%	6%	5%	0%
風車の15～18回転（1分間）の日数 ※	3	3	8	14	16	4	5	8	3	3	3	2
	10%	10%	27%	45%	53%	29%	16%	27%	10%	19%	14%	6%

※回転数は3事業者の風車の平均値

ところが、夏になるとそういう症状は出ない。私は4年あまり前から、風車の低周波音によってあらわれた症状を日記に詳しくつけている【表1】。そこから「体調異常を感じた日数と比率」の表をつくり、それに私の健康被害を引き起こしていると思われる三事業者の風車の「稼働状況（3社の平均値）」を加えて表にした【表2】。すると、風が強く風車がフル回転している冬場に体調異常を引き起こす日が集中しており、ほとんど風車が回っていないかゆっくり回っている夏場は体調異常がほとんどないことがはっきりした。また、冬場でも風が強く風車がフル回転している日は体調異常になるが、風が弱く風車が回っていない日はそうでもない。

今年1月、このデータをもって市役所生活環境課および三事業者との会合を持ち、「私の体調異常は明らかに風車の低周波音が引き起こしているのだから、夜間だけでも風車を停止してもらいたい」と再度申し入れた。しかしその後、一切音沙汰がない。



道川氏の家の中で低周波音を測定した。右のZ特性の測定器は83・6デシベルを表示したが、左のスマホ（A特性）は34・5デシベルを表示した

低周波音の測定器を借りて枕元に置き、体調異常をきたしたときの音の大きさを測ってみた。スマホのアプリはA特性（人間の耳にどう聞こえるかに配慮されたもので、耳に聞こえない低周波音はカットされる）に設定されているが、この測定器はZ特性で、補正をかけない自然の音が測定できる。

この写真は、西北西の風19・8メートルという強風が吹き、ナセルが1分間に18回転したときに撮ったものだ。2023年1月25日午後9時30分頃だ。測定器は83・6デシベルと極めて高い値を示した。とくに1～4ヘルツという低周波領域で高い数値を示している。一方、スマホは34・5デシベルを表示した【写真参照】。実際にはこうした強い低周波音が出ているのに、耳に聞こえないのだから身体に害を及ぼすことはないと言っているのが環境省だ。

#### 洋上風力発電海外先進地調査事業報告会における質問、意見について

由利本荘市のHPより 更新日 2023年2月15日

質問：これまで由利本荘市では市議会などで、由利本荘市では健康被害はないと回答していました。由利本荘市では風力発電の影響が疑われる健康被害をきちんと調査する予定はありますか。

回答：本市では、日々、生活相談や苦情など、本庁市民相談室、各総合支所において、さまざまな市民相談を受け付け、その対応にあたっております。

これまで、匿名を除き、風車による健康被害の相談は無いものの、そうした相談があれば、他の騒音相談、騒音苦情と同じように、その内容をお聞きし、音の発生源となる原因者へお伝えし、対応を求めることになります。また、10月6日の報告会場で、風車による健康被害を訴える方に対しては、西目総合支所を中心に、上記の対応を予定しております。

平成30年度に市民課市民相談室で受け付けました市民相談や消費生活相談は、437件ありますが、いずれも適切に対応しております。

とある。

## ＜日本風力発電協会における対応＞

### ○これまでの対応

- ・報道機関や地方公共団体等へ啓発素材の配布・周知
- ・地域説明会、地域の理解普及活動

### ○今後の対応

- ・理解普及活動の継続
- ・会員へ寄せられた懸念への丁寧な対応の促し
- ・稼働後のデータの蓄積 等

県や市が、悪質な資料を作成し、配布や説明会をすることがある。

[山形県での佐藤氏の講演](#)

[秋田県でのパンフレット](#)

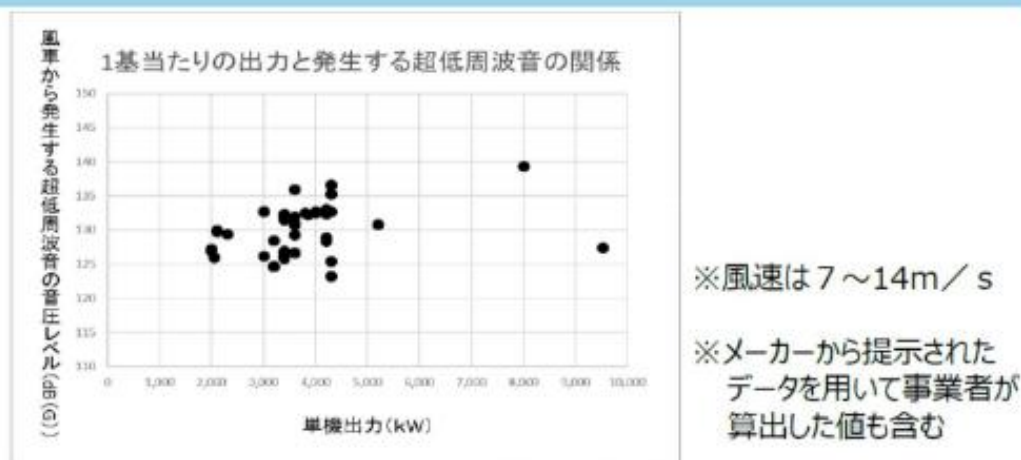
これらに対して、丁寧に科学的な批判を継続してゆく必要がある。  
被害を被害として認定しない社会に明日はないのです。



# 1. 国内の環境影響評価法での取り扱い(経産省資料抜粋)

## 1 (5) ①技術的な課題(風車の大型化による影響について)

- 過去のアセス図書(準備書、評価書)を基に風車の単機出力と発生する超低周波音の相関を調べたところ、風車の大型化に伴い超低周波音の音圧レベルとの間には大きな相関は見られないと考えられる。
- 風車の大型化については、「一般的に、翼(ブレード)の空力音による騒音レベルの制約から翼先端速度を抑えて回転数を減らしているが、トルクが出力の1.5乗に比例して増大する。」※とされている。この記載は、空力音による騒音に関するものだが、超低周波音についても発生要因から同様。※NEDO「着床式洋上風力発電導入ガイドブック(最終版) 付属資料(2018年3月)



出典:2017年～2020年3月までに届出られた環境影響評価準備書、評価書

## 風車の大型化

風車は、可聴域の成分に関しては、静音化に成功しています。

しかし、超低周波音は、回転軸が水平の風車の宿命ですから、軽減出来ません。

風車が大型化すると、ブレードの回転数が減ります。(先端のスピードを抑えるためです。)

その結果、最大音圧が上昇し、さらにその周波数はより低くなります。結果として、詳細なデータがあっても、0.5Hzの成分を取り出すのは難しくなります。周波数分解能をかなり高くしないと特徴が把握できません。これは、精密騒音計だけでは出来ません。

この事は、風車を作成している企業が公開する、音響パワーレベルの表が役に立たないことを意味しています。音響パワーレベルの表は、1Hz以上の成分についてしか記載されていません。

0.5Hz、0.8Hzの部分は、風車音のエネルギーの50%以上を持っているのですが、風車音の影響の予測では無視されてしまいます。これは、原因不明の被害が発生する根拠になるのです。

低周波音の計測には G 特性音圧レベルの計算もあるのですが、これも役には立ちません。理由は次の通りです。

“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) ウィ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 56 dB 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 dB 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 dB 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 dB 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。

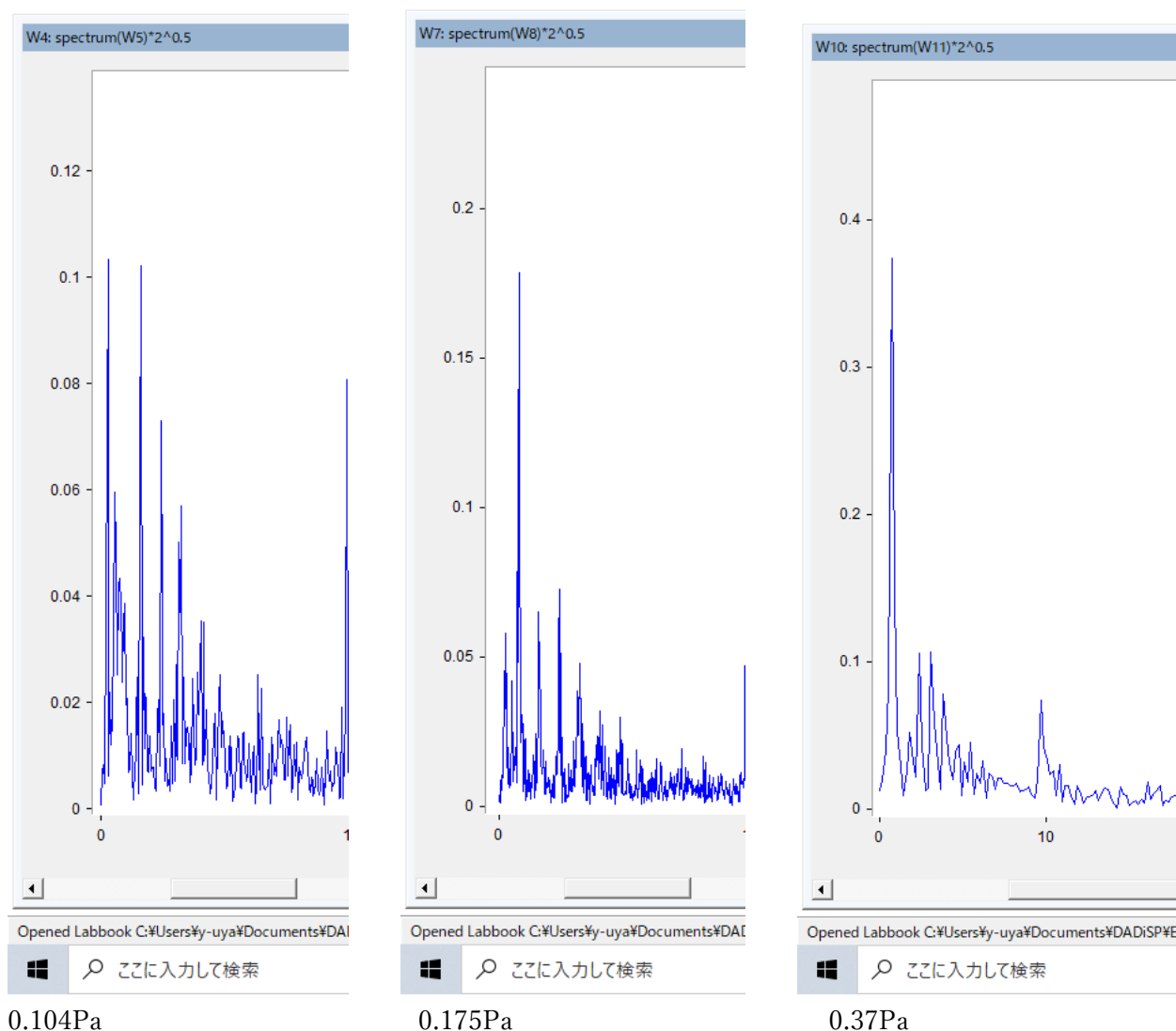
0.25H z の成分が、0.00024 P a から 482 P a になれば、61 d B になります。

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。最大音圧レベル (d B) は、52, 88, 124, 147 [d B]です。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、0.37Pa 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。



この時の音を受けた感覚は、ヘリコプターが着陸するのとおもえるような音でした。

これを、315PPa 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ケースが多いです。計測する場合も、SAA1 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 ～20 kHz の間で平坦な音響特性を持っていないではありません。20 kHz まで扱うにはサンプリングレートを 48 kHz 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

● 過去のアセス図書（準備書、評価書）を基に風車の単機出力と発生する超低周波音の相関を調べたところ、風車の大型化に伴い超低周波音の音圧レベルとの間には大きな相関は見られないと考えられる。

考えるのは勝手だが、無能ぶりをさらしてはいけません。

次の表は音響パワーレベルの表と A 特性パワーレベルの表です。

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。

上の表では 200Hz までしか書かれていないので、200Hz 以上の成分を考える手掛かりは、

2 番目に必要な数値は、準備書の p 801 にある、A 特性パワーレベルの表です。p 801



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。

この表は、1/1 オクターブ形跡の表です。(本事業が GPI のもの、既存施設はシーテックの 2000 k w のもの、計画中施設はシーテック 2300 k w のものです。)

昔の環境省が言っていた、

“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。”

は変更が必要です。

大型化した風車では、ブレードの回転がゆっくりとなり、最大音圧を持つ周波数が 0.5Hz 程度になります。この 0.5Hz の近くに風車音のエネルギーの 60%程度が集中しているのですが、パワーレベルの表は 1Hz からしかありません。これでは、風車音の被害を予測することは出来ません。

大型化に合わせて計測範囲や表の範囲を変更しなくてはならないのです。

超低周波音の高い音圧で、圧迫感や不快感を覚える人が増えますが、A 特性音圧レベルの数値はあまり変わりません。A 特性音圧レベルの数値からでは原因が分からない訴えが増えるのです。

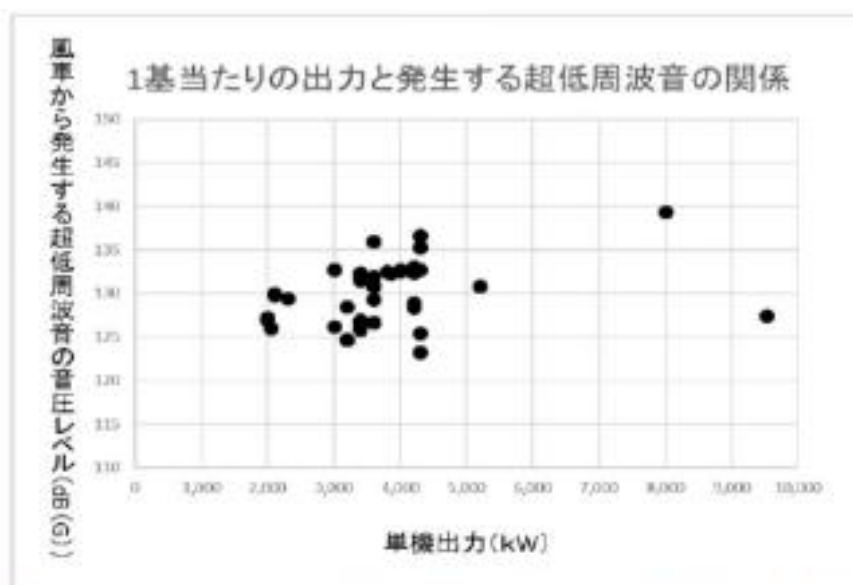
もともと、風車音での A 特性音圧レベルの数値は他の環境騒音よりも低いことが多いのですから、風車音の特徴を見ないで判断すれば、“クレーマーが増えた”というような結論になってしまいます。

- 風車の大型化については、「一般的に、翼（ブレード）の空力音による騒音レベルの制約から翼先端速度を抑えて回転数を減らしているが、トルクが出力の1.5乗に比例して増大する。」※とされている。この記載は、空力音による騒音に関するものだが、超低周波音についても発生要因から同様。※NEDO「着床式洋上風力発電導入ガイドブック（最終版）付属資料（2018年3月）

最も理解に苦しむのは、“超低周波音についても発生要因から同様”と書いてあるが、発生要因は何であり、何が同様なののでしょうか？

引用する時には、正しいか否かを吟味する必要があるのです。

デマをバラ撒く手伝いをしてはいけません。科学的エビデンスが必要なのです。風車から超低周波音が発生するメカニズムを物理的に説明する必要があるのです。



※風速は7～14m/s

※メーカーから提示されたデータを用いて事業者が算出した値も含む

出典：2017年～2020年3月までに届出られた環境影響評価準備書、評価書

メーカーが出した数値が正しいか否かは自分で判断する必要があるのです。

それには、JIS規格には無い計測と解析が必要になるのです。

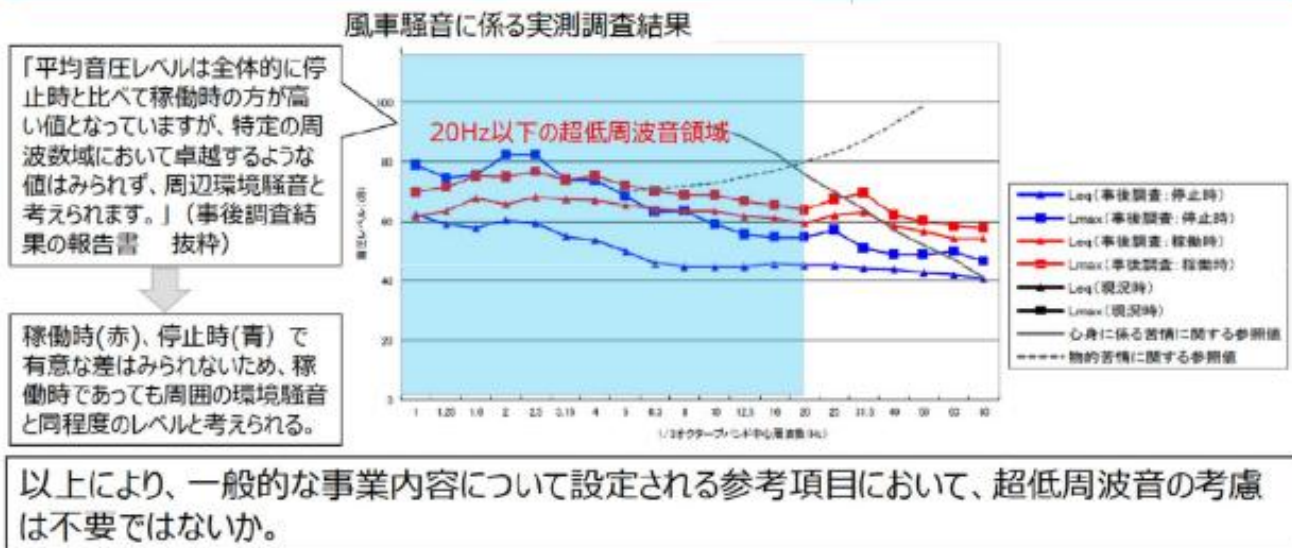
もちろん、環境省や経産省のデマを見破る知識と技術が必要になるのです。

それが無ければ、住民が苦しむことになるのです。

# 1. 国内の環境影響評価法での取り扱い(経産省資料抜粋)

## 1 (5) ②技術的な課題(地形的な条件による共振や増幅等)

- 環境省・NEDOの山地・平地での実測結果(前回WGで御報告)から、地形に関係なく超低周波音の値は、感覚閾値以下。
- 稼働時・停止時を比較した測定結果では、地形の影響や複数の風力発電機の影響を受けた超低周波音の大幅な増加はみられない(測定地点は、山地に複数の風力発電機が設置されたサイトにおいて、複数の風力発電機の影響を受けると想定される地点(発生源近傍の状況を把握))。



さて、

- 環境省・NEDOの山地・平地での実測結果(前回WGで御報告)から、地形に関係なく超低周波音の値は、感覚閾値以下。

と言うが、

超低周波音で最大音圧となる場合の音圧を、どの様な機材で計測し、どの様にして音圧を決定したのでしょうか？G特性音圧レベルや1~80Hzの1/3オクターブ解析では音圧を決定できません。

この主張をするには、

**0.5Hzや1Hzでの感覚閾値が判明している事**

**計測結果における0.5Hzや1Hzでの音圧が判明する事**

が必要です。

どちらが欠けても、比較が出来ないのです。この数値を示して下さい。

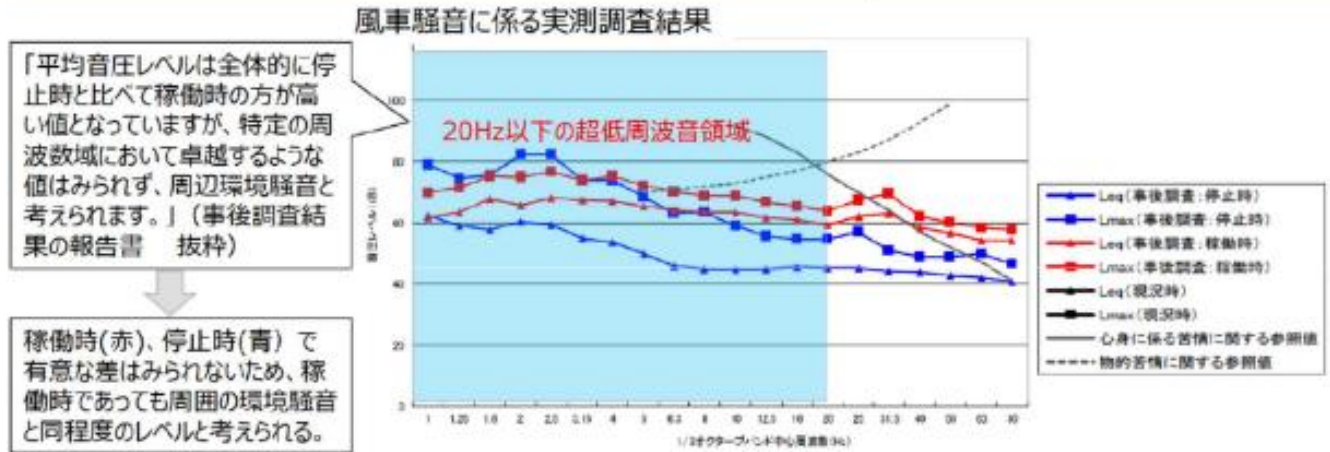
科学的なエビデンスを示す必要があるのです。

前回のWGでの報告には、これらの数値が載っていたのでしょうか？

科学的エビデンスと言うからには、きちんと示す責任があります。



- 稼働時・停止時を比較した測定結果では、地形の影響や複数の風力発電機の影響を受けた超低周波音の大幅な増加はみられない（測定地点は、山地に複数の風力発電機が設置されたサイトにおいて、複数の風力発電機の影響を受けると想定される地点（発生源近傍の状況を把握））。



不思議なグラフである。

普通の風車では、16Hzでの音圧レベルと1Hzでの音圧レベルを比べると、

1, 2, 4, 8, 16 と4オクターブの差があるので、 $4 \times (-4) = -16 \text{ dB}$ の違いがある。

上のグラフの赤い線は、1 Hzでは70 dB、16 Hzでは65 dB程度であり、その差が5 dBしかない。

非常に特殊な風車に違いない。

さらに、

風車が稼働している時の方が音が静かであるかの様に見えるグラフである。

普通は、

風車を止めて計測する時の風速や風向と、風車を動かしながら計測する時の風速や風向を同じにする。

この様なグラフを作るには、

風車を止めて測るのは、風が強い日に測り、風車を動かして測るときは風が弱い日にする。

しかない。

これでは、科学的な調査結果とは言えない。

もし、科学的な調査結果だというならば、風車が超低周波音を吸収したとしか言えない。

超低周波音を吸収する風車が有れば、キリストの再来と同程度の奇跡となる。

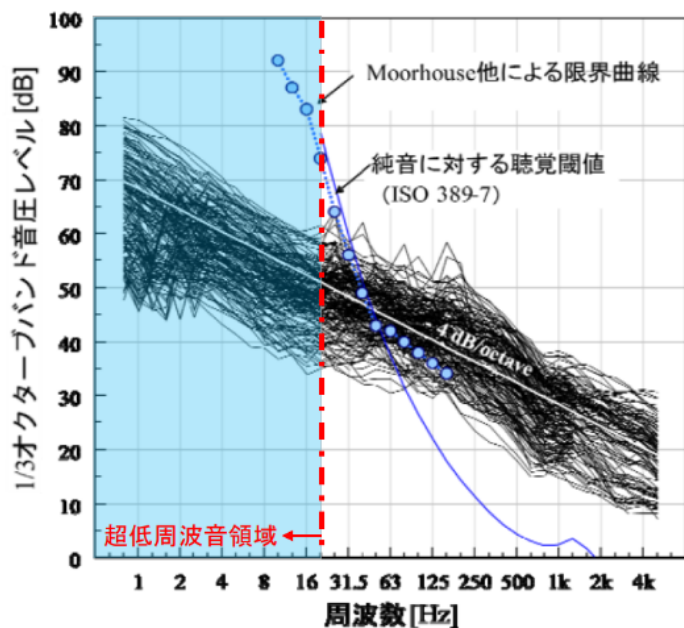
都心や空港、新幹線の近くに風車を建てて音を吸収させれば、騒音問題が解決できる。

しかし、その様なことは不可能なのです。科学では奇跡を起こせないのです。

## (参考) 風車騒音に係る実測調査結果①

第21回WG資料

- 「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」(環境省、平成22～24年度)では、風力発電所から発生する超低周波音領域(～20Hz)における音圧レベルは、聴覚閾値を下回っていることが現地調査及び聴覚実験で明らかにされた。



・全国29の風力発電所周辺の計164地点において、風車騒音を測定した。その結果、**全ての結果において超低周波音領域(～20Hz)における音圧レベルが、聴覚閾値を下回っている**ことが明らかになった(左図)。

・また、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を**実験室実験**で調べたところ、**超低周波数領域の成分は聞こえない/感じない**ことが確認された。

図 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

8

聴覚閾値を下回る事と、感覚閾値を下回る事、知覚閾値を下回することは、全く別の概念です。



ここでは、

- ・また、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を**実験室実験**で調べたところ、**超低周波数領域の成分は聞こえない/感じないことが確認された。**

に関して確認します。

## 低周波音に関する最新の知見の紹介

### The Health Effects of 72 Hours of Simulated Wind Turbine Infrasound: A Double Blind Randomized Crossover Study in Noise-Sensitive, Healthy Adult

Marshall NS et al. *Environmental Health Perspectives* 131(3) March 2023

**背景：**風力タービン症候群（WTS）の患者は、自身の健康不良や特に睡眠障害をインフラサウンドの特有のパターンに起因すると主張している一方、これらの症状は心理的な起源であり、**ノセボ効果**に起因するという意見がある

**方法：**37人の音に感受性の高い健康成人に対し、72時間の超低周波音（1.6-20 Hz、音圧レベル約90 dB pk re 20  $\mu$ Pa、風力発電機の低周波音を模擬的に作成）曝露が人間の生理、特に睡眠に及ぼす影響をテストした。**無作為化二重盲検三群クロスオーバー研究**を実施しました。曝露は、低周波音（約90 dB pk）、擬似低周波音（同じスピーカーで低周波音を発生させない）および交通ノイズを曝露し、睡眠影響や生理的影響を測定

**結果：**交通騒音は睡眠に影響を与えたが低周波音は主観的、客観的にも影響が認められなかった

**結論：**風車から発生する超低周波音は風車症候群の原因とはいえない

この実験は、“風車から発生する超低周波音”に関する実験である。

実験室で使われる音は、風車音の性質とその人体へ作用する仕組みを再現している必要がある。

当然、風車音の性質が分からなければ、実験室での音が実験目的から見て適切か否かの判断が出来ない。

では、

風車音はどのような性質を持っているのでしょうか？

グラフのほとんどは、次の様なものであり、波形を示す資料はなかなか見つからない。

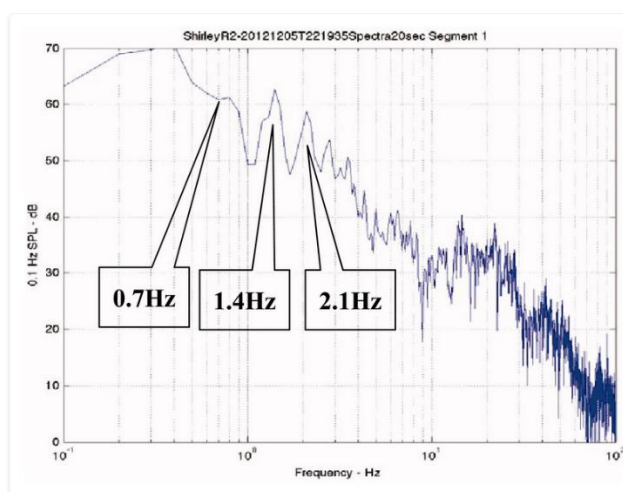
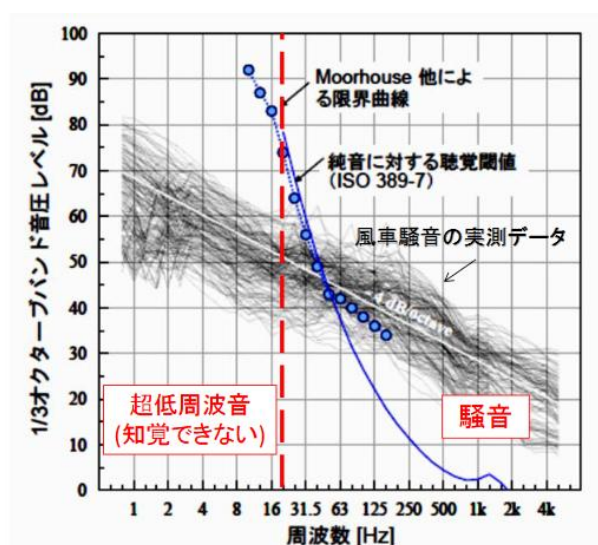


Figure 7. Measured typical narrow band spectrum recorded at Shirley Wind Farm showing blade pass frequency components.

また、音圧をパスカル単位で精密に示す資料も見つからない。

これが有れば、佐藤先生も正しい判断が出来ただろうと思うが、無いのです。これらの資料は自分で作るしかないのです。計測と解析が必要になるのです。それが有れば、引用する論文の内容に関して、正しいか否かを自分で判断できるのです。

最初に問題になるのは、この実験で使った音が風車音の特徴を再現できているか否かである。

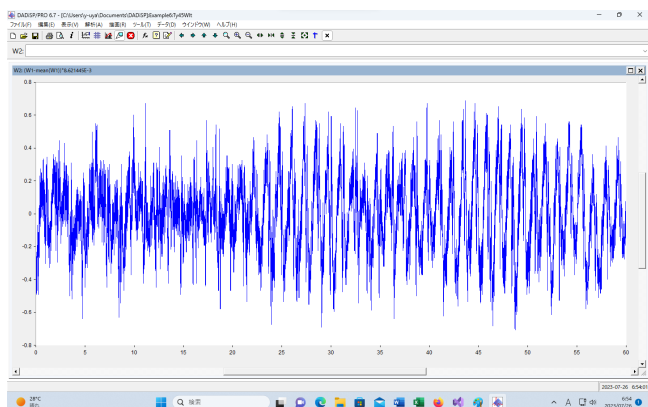
論文には、

The simulated wind turbine infrasound comprised sinusoidal harmonics in the frequency range specified with monotonically decreasing amplitude and selected phase shift, resulting in a **trapezoidal waveform as observed in field measurements** (Figure S3).[5](#)

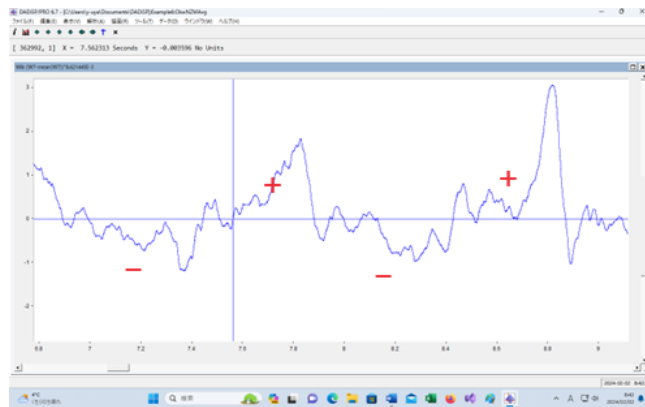
シミュレートされた風力タービンの超低周波音は、単調に減少する振幅と選択された位相シフトで指定された周波数範囲の正弦波高調波で構成され、フィールド測定で観察される台形の波形をもたらししました(図 S3)。[5](#)とあるが、実際の風車音の波形は、“台形の波形”ではない。

NL-62 を使って波形収録をしてみた。

#### 60 秒間の波形

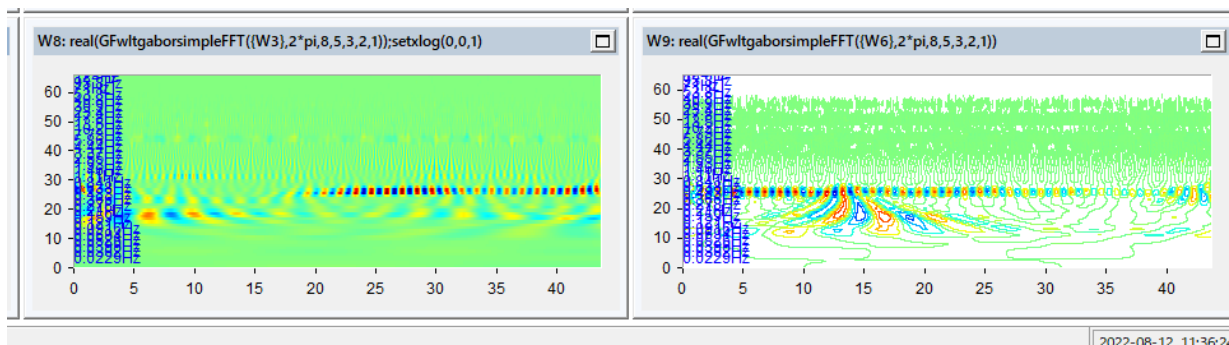


#### 風車音の 2.2 秒間の波形



であり、

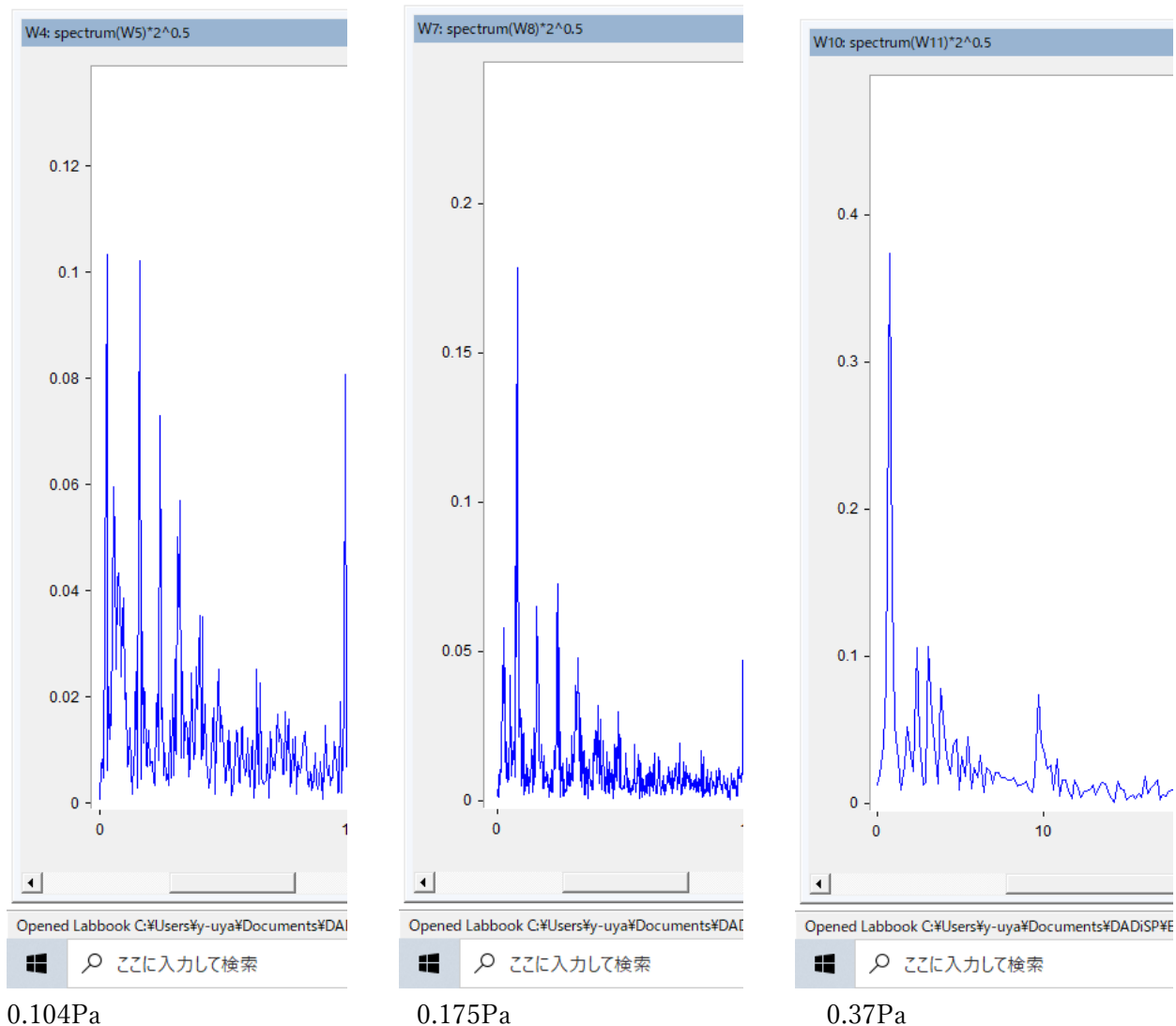
Wavelet 解析の結果として、0.8Hz の成分の周波数はかなり安定していることも分かります。



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 秒くらい続きます。

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。周波数の変化が小さいという事は、ブレードの回転数が安定していることを意味します。

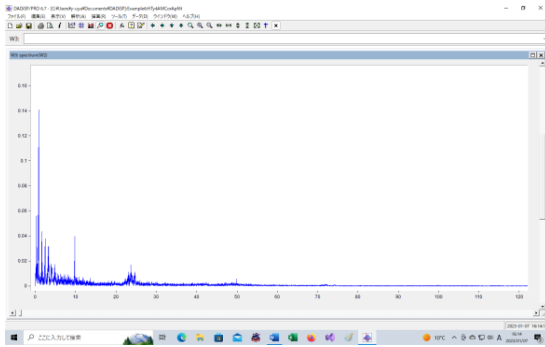
さて、音圧の変化は、次の様になっています。



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 0.104Pa、強いときは 0.37 Pa 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。

風速が変わっても、ブレードの質量が大きいので発電機の抵抗があっても回転数はあまり変化しない。よって周波数はそれほど変化しない。揚力ベクトルの変化は大きいので塔の曲がり方が大きく変わる。そして音圧は大きく変動する。

風車音の周波数スペクトルは次の様になります。



上の周波数スペクトルをグループに分けて成分を取り出します。

A :  $f/3$ 、 $2f/3$

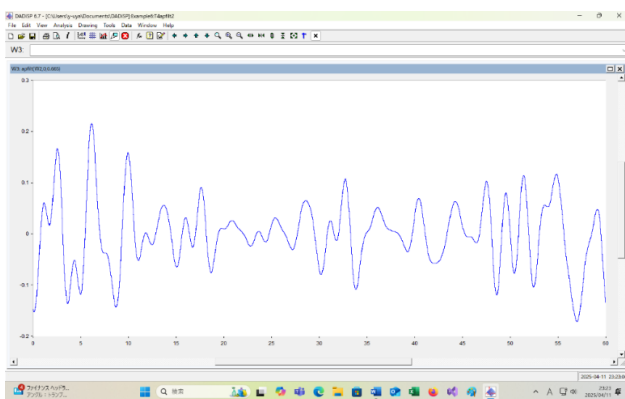
B :  $f$ 、 $2f$ 、 $3f$ 、 $4f$ 、 $5f$ 、 $6f$

C : 10Hz の近く

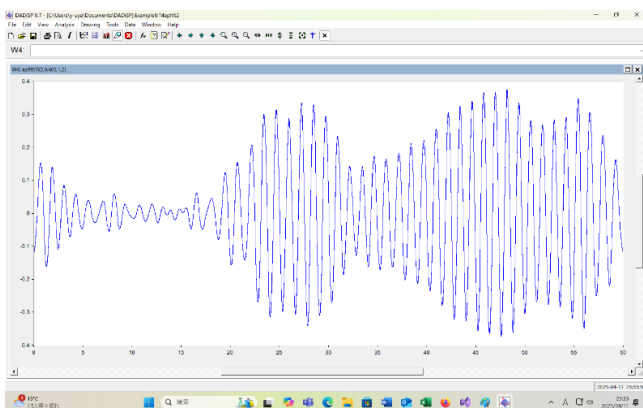
D : 20~30Hz

E : 200~24000Hz

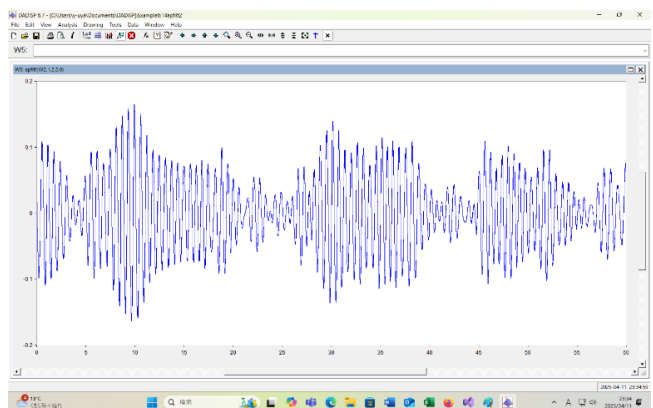
A : 0~ $2f/3$  Hz の成分 (0~0.665Hz)



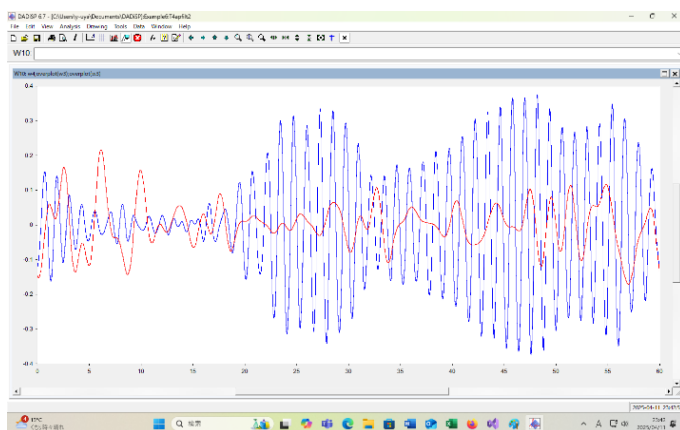
B :  $f = 0.8$  Hz 成分 (Max0.37Pa)



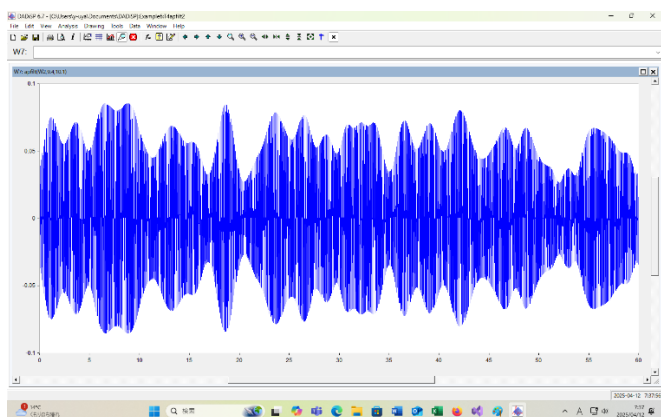
$2f = 1.6$  Hz 成分



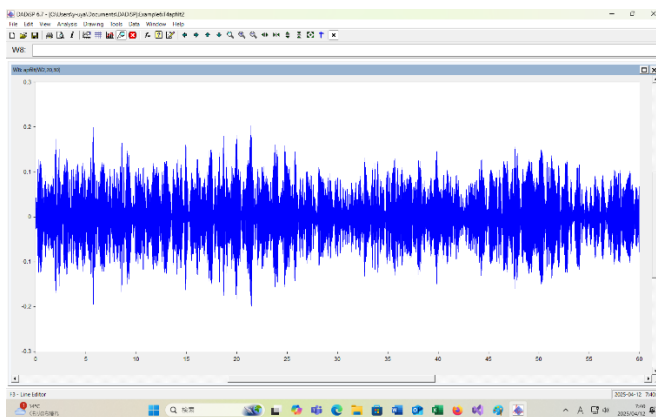
$f$  Hz 成分と (0~0.665Hz) 成分の比較



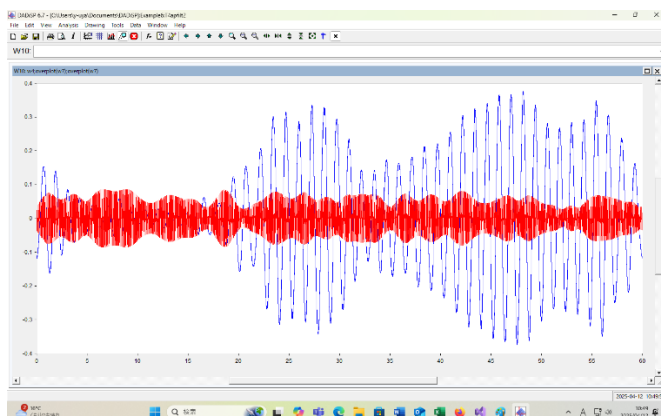
C : 9.4~10.1Hz 成分



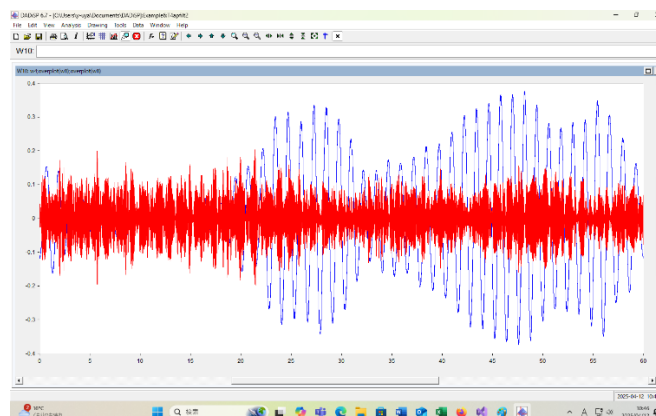
D : 20~30Hz



$f = 0.8\text{Hz}$  成分 (Max0.37Pa) と C の比較



$f = 0.8\text{Hz}$  成分 (Max0.37Pa) と D の比較



風車音が粗密波として掲載される仕組みを考えれば、“台形の波形”になる根拠は見当たらない。

もし、計測結果が台形になったとすれば、サンプリングレートが低すぎた可能性が高い。

計測機材とサンプリングレートと収録した波形データを WAV ファイルとして公開して議論する必要がある。

実験の妥当性を検証するには風車音の性質を明確にする必要がある。さらに、その性質が風車音の発生メカニズムから見て妥当性が有ると言えるのかを調べる必要がある。指向性を持った粗密波がどの様にして形成されるのかを明確にする必要があるのです。

比較すべきは、風車音と実験で使った音の精密な周波数スペクトルである。



風車音の精密な周波数スペクトルを調べる段階で困難が発生する。JIS 規格、環境省の助言、過去の学者の沢山の論文（風切り音、風雑音、空力音、疑似音などなど）との論争が始まる。

風車音の計測方法や解析方法の妥当性や、離散的周波数特性を持つ音に対する FFT の計算結果の評価方法なども問題になる。解析方法として、Wavelet 解析やカオス理論、音響キャビテーション、有限要素法、統計力学、量子力学、超関数論などを使うことの是非も問題になる。

困難は多いが、これを突き破らなくては、風車音と健康被害の因果関係は解明できないのです。

次に、

The infrasound sound levels were measured continuously above the pillow of each participant using a GRAS 46AZ one-half inch low frequency microphone and preamplifier set connected to the microprocessor. Software was used to enable the overall dB pk sound level and narrow band frequency analysis to be measured continuously and stored at 1-s intervals for later processing.

超低周波音の音のレベルは、マイクロプロセッサに接続された GRAS 46AZ の 1/2 インチ低周波マイクとプリアンプセットを使用して、各参加者の枕の上で連続的に測定されました。ソフトウェアを使用して、全体的な dB pk サウンドレベルと狭帯域周波数解析を連続的に測定し、後で処理するために 1 秒間隔で保存できるようにしました。

です。

音圧レベルを測るには、波形データを FFT に掛けて、周波数ごとの音圧を調べます。この音圧から音圧レベルを計算する場合と、ある周波数帯域を決めてエネルギー加算で求める場合があります。ここでは重み付け無しでの数値で考えます。

実験で使う音は、周波数が安定していますが、風車音では変化します。これが音圧計算に大きく影響します。

例えば、計測した風車音で、10 分間のデータから最大音圧を調べると、1.013Hz で 0.184Pa ですが、

1 分ごとに分けて調べると、周波数は 0.966667Hz～1.016667Hz で、音圧は 0.17Pa～0.42Pa です。

30 秒ごとに分けると、周波数は 0.87Hz～1.03Hz で、音圧は 0.21Pa～0.56Pa です。

分	0～10																			
周波数	1.013																			
音圧	0.184																			
分	0～1	1～2	2～3	3～4	4～5	5～6	6～7	7～8	8～9	9～10	平均									
周波数	1.016667	1.016667	1.016667	1.016667	0.983333	0.966667	1.016667	1	1.016667	1	1.005									
音圧	0.424407	0.370196	0.322781	0.291005	0.266354	0.179982	0.370865	0.381001	0.401818	0.354761	0.336									
分	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
周波数	1	1.03	1.03	1	1	1.03	1	1.03	1	1	1	0.87	1.03	1	1	1	1.03	1	1	1
音圧	0.56	0.36	0.46	0.44	0.43	0.4	0.43	0.31	0.29	0.47	0.21	0.22	0.4	0.38	0.42	0.39	0.51	0.32	0.48	0.39

安定した音圧と安定した周波数を持っている人工的な音とは性質が違います。

高い音圧が圧迫感の原因であることは明らかだが、体内への作用は音圧だけではなく、周波数の違いも大きく影響します。更に、全体的な波形も影響します。

圧迫感に関する実験として、音圧と周波数が安定した人工音を使うには工夫が必要です。

この部分の考察が欠けています。原因は、風車音の性質を正しく調べていないからです。

この場合で言えば、10 分間での数値を使えば、0.184Pa なので、音圧レベルは、79.3 d B、30 秒間での数値を使えば、0.56Pa なので音圧レベルは 88.94 d B になります。

その刺激で目が覚めるか否かを考えれば、88.9 d B を採用することになります。これを見つけるには Wavelet 解析が必要です。実験で使う音の作用を評価するには、この様な風車音の特徴を含めた実験が必要なのです。（単純に最大音圧を測れば、3.056352Pa であり、103.7 d B となります。）

次に、

The simulated wind turbine infrasound was generated by a Teensy microprocessor fitted with an SGTL5000 audio processor and the signal fed to a purpose-built Direct Current (DC)-coupled class D amplifier and four 18-in JBL subwoofer loudspeakers in four fully sealed timber enclosures faced with heavy protective mesh so that the participants could not observe the speakers in operation.

シミュレートされた風力タービンの超低周波音は、SGTL5000 オーディオプロセッサを搭載した Teensy マイクロプロセッサによって生成され、**信号は専用の直流(DC)結合クラス D アンプと 4 つの 18 インチ JBL サブウーファースピーカーに供給されました。**

です。

電気信号をスピーカに与えたとしても、1.6Hz の超低周波音がスピーカから出るか否かは別の問題です。“4 つの 18 インチ JBL サブウーファースピーカー”ですが、



JBL サブウーファー  
VTX-F18S

JBL

JBL 18インチ サブウーファー VTX-F18S

★ 0件のレビュー

お取り寄せ

価格

**572,880円** 送料無料（全国一律）

## 商品情報

18 インチの低域ドライバーを搭載。 VTX-F18S

- ・ディファレンシャル・ドライブ技術を採用した 18 インチの低域ドライバーを搭載。
- ・カーディオイド型の指向性を持ち、逆向きに設置する際の配線に便利なフロント面の入力端子も装備。
- ・サブウーファーの高さや幅にフルレンジシステムのサイズを合わせているので、フライトケースへの収納や運搬トラックへの積み込みを、スペース効率よく収納可能。

◆形式 : サブウーファー

◆周波数レンジ（-10dB） : 24.3Hz～300Hz

◆最大音圧レベル : 136dB SPL (ピーク)

◆感度 (1W、1m) : 92dB SPL

◆公称インピーダンス : 8Ω

◆許容入力※ : 2,000W (連続)、8,000W (ピーク)

※AES ピンクノイズ、クレストファクター6dB、2 時間

◆ドライバー構成 : 2269H (18 インチ (457mm))

◆入力端子 : 4P スピコン×2、8P スピコン×2、 4P スピコン×1 (フロント面に装備)

◆エンクロージャー : 18mm カバ合板、黒、DuraFlex 仕上げ

◆寸法 (W×H×D) : 548×640×714mm (除突起部)

◆質量 : 47kg

であり、周波数レンジ (−10dB) : **24.3Hz~300Hz** の 18 インチ JBL サブウーファースピーカーで 1.6Hz の音を出せるとは思えない。

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 2 1 7 8 0 0 0 円のスピーカーですが、

● JBL 4350BWx 地を這う超低音 最高峰4wayスピーカー新品さながら



型番	43-330
定価	2,178,000円(税込)
販売価格	<b>1,210,000円(税込)</b>
在庫数	在庫 0 ペア 売切れ中 <b>-SOLD OUT-</b>

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)	<b>30Hz~20kHz</b>
--------------	-------------------

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 康德 \* \*

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。

バスレフにしる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。

普通の実験では、

The loudspeaker is driven by a DC amplifier connected to a Sinus Soundbook running SAMURAI 2.0 software which generates the electrical waveform previously described. A 200 Hz low pass filter with DC offset adjustment and a dB attenuator are connected between the Soundbook and the amplifier.

The pressure signal from the speaker is transmitted via a 1.7 m length of 6 mm inner diameter clear vinyl/polyurethane tubing incorporating a brass splitter to connect to each cup of a set of Uvex-X earmuffs as shown in [Figure 3](#). One of the cups was modified to house a G.R.A.S. 40AZ ½” Pre-polarised Free-Field Microphone connected to a G.R.A.S. Type 26CG ¼” Low Frequency CCP Preamplifier. The G.R.A.S. 40AZ microphone has a frequency response of 0.5 Hz to 20 kHz ( $\pm 2$  dB) which encompasses the range of the study.

スピーカーは、前述の電気波形を生成する SAMURAI 2.0 ソフトウェアを実行している Sinus Soundbook に接続された DC アンプによって駆動されます。DC オフセット調整付きの 200Hz ローパスフィルターと dB アッテネーターが Soundbook とアンプの間に接続されています。

スピーカーからの圧力信号は、[図 3](#) に示すように、長さ 1.7 m、内径 6 mm の透明なビニール/ポリウレタンチューブを介して送信され、Uvex-X イヤーマフのセットの各カップに接続するための真鍮スプリッターが組み込まれています。カップの 1 つは、G.R.A.S. Type 26CG 1/4" Low Frequency CCP Preamplifier に接続された G.R.A.S. 40AZ 1/2" Pre-polarised Free-Field Microphone を収納するように改造されました。G.R.A.S. 40AZ マイクロフォンの周波数応答は 0.5 Hz～20 kHz( $\pm 2$  dB)で、これは研究の範囲を網羅しています。



**Figure 3.** Complete acoustic headphones including twin 6 mm nozzles with attached tubing, microphone and occlusion ports (located on the cup either side of the head strap).

## イヤホン

スピーカでは 10Hz 以下の音を出せないが、イヤホンならば 2.5Hz 程度まで可能である。ただし、風車音は体全体に対して作用する。0.5Hz、1Hz の音は、体内の圧力を変化させる。体全体が強制的に圧縮膨張させられる。

圧迫感や不快感が風車音被害の大きな特徴だが、イヤホンからの音は体全体を圧迫するようなことは無い。聴覚だけに絞った実験結果であり、風車音の影響を評価できるようなものではない。

風車音被害の原因を見つけることはできないし、その結果を“知覚閾値”だと言われても、日本語が分からないとしか思えない。

風車が大型化した状況では、0.5Hz や 1Hz での、圧力変動の感知を重視すべきである。圧力変動の影響に限定した実験は可能である。潜水艦内のような密閉空間を作り、大きな注射器のようなもので、気圧を変化させればよい。

## 実験の例（挿入型イヤホン）

### [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。

イヤホンから出た音は、体全体を圧迫することは無いので、風車音の人体に対する影響とは全く違うものです。**体全体を包みこむ音が必要**なのです。

実験内容を検証するには、スピーカから出た音について再度精密騒音計で波形を収録して、それを解析する必要があるのです。

私の見落としかもしれないが、生成音の波形収録とその解析結果についての記述が見当たらない。それが実際の風車音の性質を持っているかの記述も見当たらない。

#### 収録波形（供給信号）とスピーカでの再生音

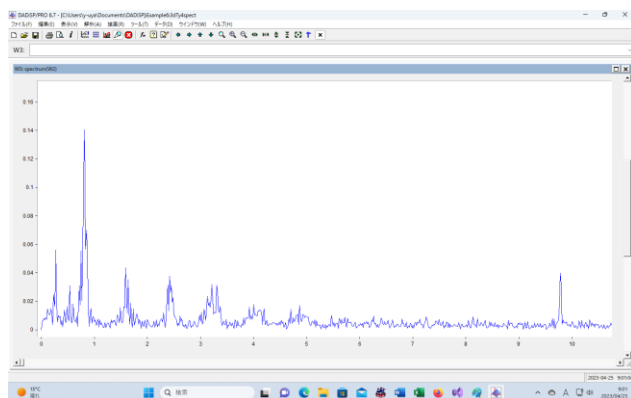
スピーカに電気信号を与えても、超低周波音がスピーカから出るとは言えないのです。計測した風車音のデータを PC に読ませて、PC のスピーカから音を出すとします。

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で音を出す。PC のスピーカ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。

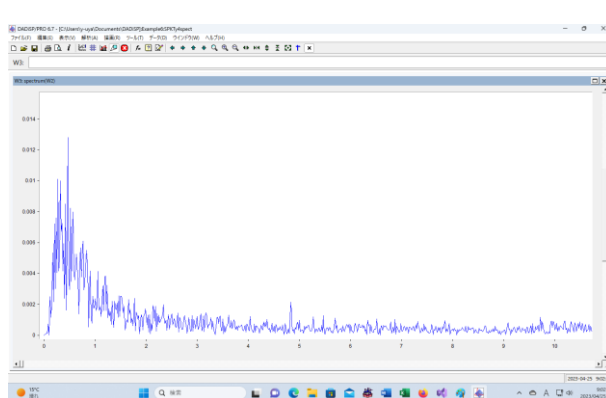
この2つの WAV ファイルの周波数スペクトルを調べて比較してみました。

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。が、周波数スペクトル波形は別物です。

#### 風車音の周波数スペクトル



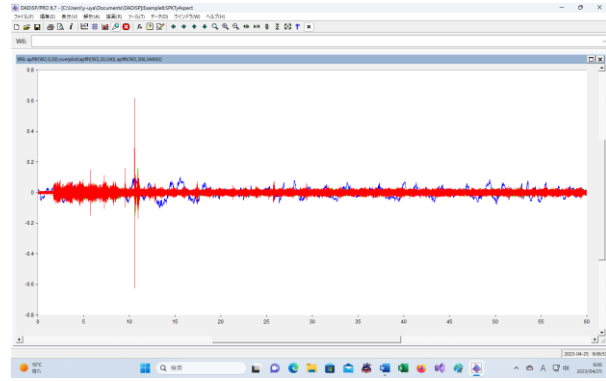
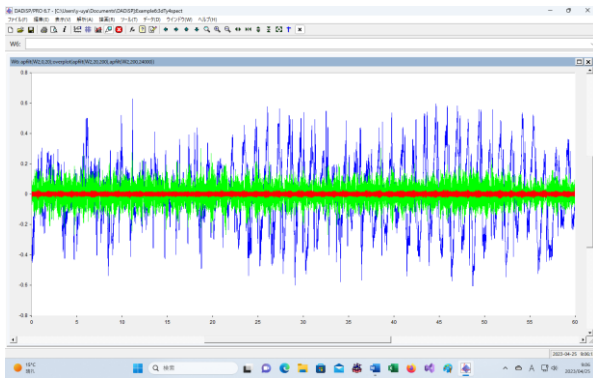
#### 再生音の周波数スペクトル



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。(0Hz～20Hz 青、20Hz～200Hz 緑、200Hz～24000Hz 赤) として分解します。

#### 風車音の周波数帯ごとの比較

#### 再生音の周波数帯ごとの比較



超低周波音（0Hz～20Hz）（青色）が強烈ですが、再生音では、ほとんど消えています。

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、風車の近くに行行って実験するしかないのです。

幾つか検討したが、被験者が浴びた音を精密騒音計で波形を収録して公開すること、風車音の波形を公開する事が必要である。

1.6Hz の超低周波音を、18 インチ JBL サブウーファースピーカーから放出して、それを被験者が全身に浴びる事が出来たとすれば、音響学の奇跡と言えるが、それは不可能なのです。

風車音に関する論文は沢山ある。超低周波音を問題にする人でも、実際に計測して解析し、波形データと共に公開する学者はいない。しかも風車音の発生メカニズムを示す人は見当たらない。何を言っても当分は安心です。学者の中には佐藤先生の考えを批判する人はいませんから。

佐藤先生が示した論文は、風車音に関する理解に欠けていて、スピーカの再生音に関する理解も欠けている。風車音の浴び方と実験室での音の浴び方に関する検証が不十分であり、科学的な論文ではない。

佐藤先生が、風車音の計測と解析をやってみればすぐに分かるのだが、それをやらないで無責任な発言をする。いかにも学者らしい態度と発言である。

実験の方法は、スピーカで音を出す場合と、イヤホンで耳に刺激を与える方法があります。

スピーカで、10Hz以下の音を出すのは非常に困難です。被害者は、風車音を全身で受けているのですから、これに近い状態を再現するには、0.5Hz、0.8Hz、1Hzの周波数の音を出せるスピーカが必要ですが、そのようなスピーカは存在しないのです。これでは被害者の訴える“圧迫感”が再現できないのです。

イヤホンでは2Hz近くまで出せるようですが、これでは、風車音で圧迫される状態を再現できません。

聞こえない事と、感じないことは別です。さらに、風車音の問題は可聴性だけではないのです。

風車音の被害を考えるには、3つの観点が必要です。

音がうるさい

圧迫感や頭痛がする

建具や床の振動を感じる

です。

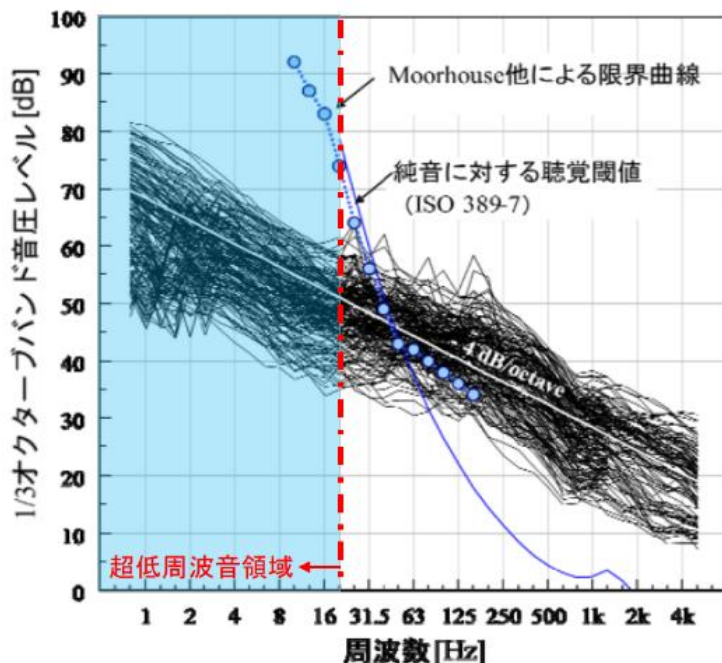
どれが起きても、睡眠を妨げられます。

風車音は、夜になっても止まりません、不眠による被害はとても大きなものです。

ガタツキに関しては、70dB以下で起きる可能性があります。風車音が人体に影響を及ぼす音圧の最小値は、70dB以下です。

聞こえるか否かの最小値は、100dB程度でしょうが、風車音の影響が有るか無いかの境界は、ずっと低いのです。

では、



・全国29の風力発電所周辺の計164地点において、風車騒音を測定した。その結果、**全ての結果において超低周波音領域（～20Hz）における音圧レベルが、聴覚閾値を下回っていることが明らかになった（左図）。**

・また、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を**実験室実験**で調べたところ、**超低周波数領域の成分は聞こえない/感じないことが確認された。**

図 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

このグラフの意味を更に考えてみます。

## 全国 164 か所の風車からの超低周波音

横軸の目盛りを線形目盛り、縦軸の目盛りをパスカル値にすれば、むかし調査された全国 164 か所の風車に於いて、よく似た性質を持っている風車音が計測されていたことが分ります。

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。

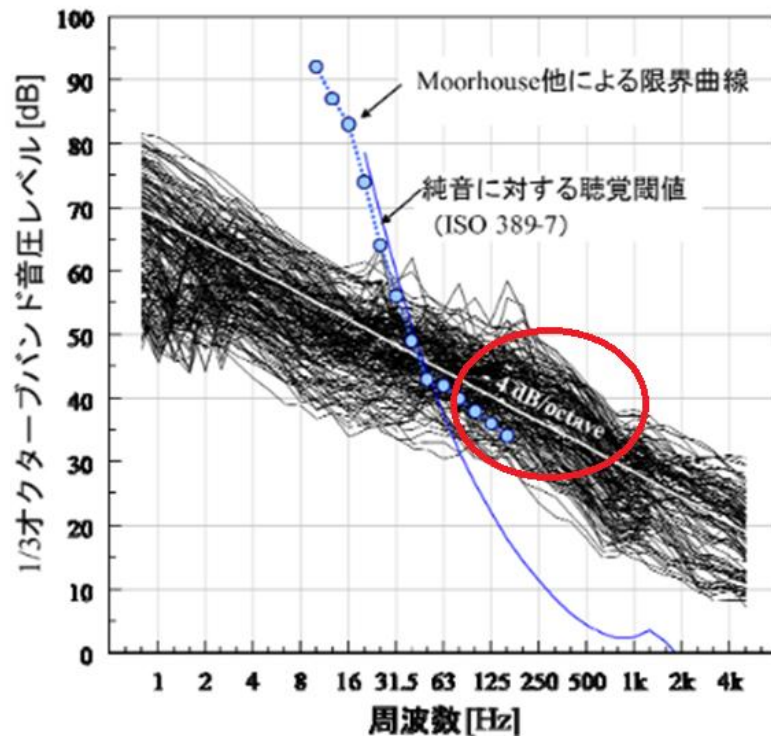


図 3 全国 29 の風力発電施設周辺 164 地点における風車騒音の周波数特性の分析結果

図 3 をよく見ると、白抜きで、 $-4\text{dB/octave}$  と書いてあります。

「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。

周波数が2倍になる系列として、

0.5Hz、1Hz、2Hz、4Hz、8Hz、16Hz、…

上のグラフでは、1/3オクターブバンド音圧レベル の値を使っています。計算を簡単にするために、1/1オクターブバンドに変換して考えます。

音圧レベルは、各周波数帯に属する音のエネルギーの合計で決ります。

0.5～1Hz、1～2Hz、2～4Hz、4～8Hz、8～16Hz、…でのエネルギーをdB表示した値を使って、164本の曲線が描かれています。

それらの中間をとった、白い斜めの線で言えば、下のような表になります。

Hz	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8
dB	74	70	66		62				58
$\Sigma (Pa*Pa)$	0.010048	0.004	0.001592		0.000634				0.000252
$Pa*Pa/Hz$	0.020095	0.004	0.000796	0.000796	0.000158	0.000158	0.000158	0.000158	3.15E-05
Hz	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8
Pa	0.141757	0.063246	0.028217	0.028217	0.012589	0.012589	0.012589	0.012589	0.005617

0.5Hz以上、1H z 未満の周波数帯のエネルギーを変換した値が、74 d B

1H z 以上、2Hz未満の周波数帯のエネルギーを変換した値が、70 d B

2 H z 以上、4Hz未満の周波数帯のエネルギーを変換した値が、66 d B

4 H z 以上、8H z 未満の周波数帯のエネルギーを変換した値が、62 d B

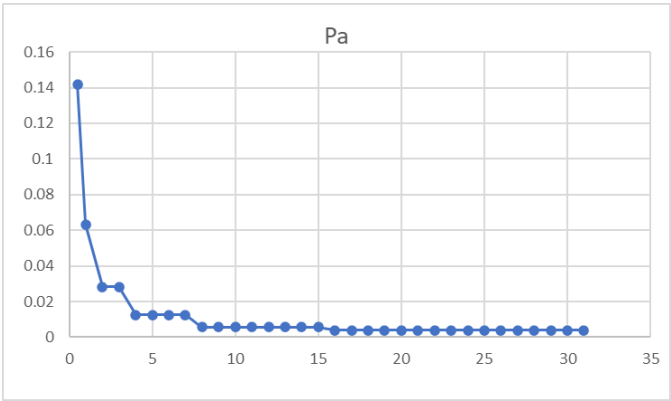
...

です。

このエネルギーを、線形座標目盛りに従って均等に分配してから、対応するパスカル値に変換すると、表の一番下の数値になります。

図3のグラフを表にして、値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	$\Sigma (Pa*Pa)$	$Pa*Pa/Hz$	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



右側のグラフは、下のグラフの青い線とよく似た形で、計算上の最大音圧は0.5H z で0.14 P a となっています。

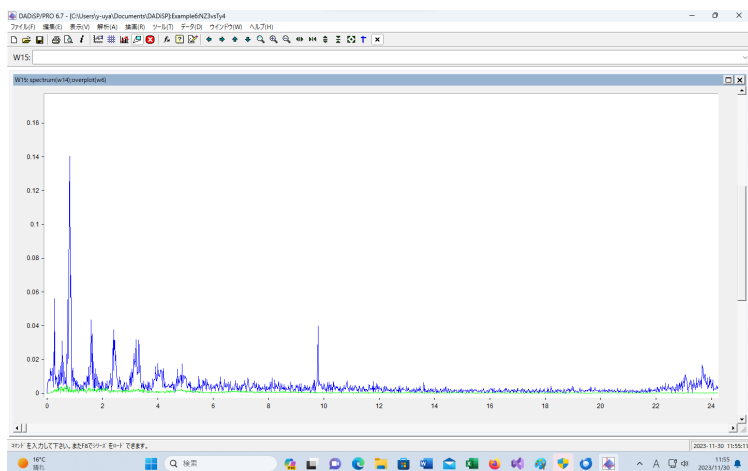
この事は、音圧のグラフの符号が、0.5Hzの音の音圧の符号で決ってしまう事を意味しています。その結果、その中にいる人は、1秒間は圧縮され、次の1秒間は傍証させられることになります。このような変動は、音響キャビテーションで気泡が発生する条件の一つを満たしているのです



もちろん最大音圧も問題になります。

最大音圧は、風車の指向性を考えれば、風車の向き、すなわち風の、向きによって大きく変動します。これを含めての被害予測が必要です。

この最大音圧（0.14Pa）は、私の計測した風が弱い時の風車の場合とほぼ一致しています。



また、100Hz から 4 k Hz の間では、

Hz	dB	$\Sigma (Pa*Pa)$	$Pa*Pa/Hz$	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

図 3 での数値は風車によって違います。

音圧が高いもの、低いものを、1 k Hz、2 k Hz の辺りで調べると、次の表になります。

Hz	dB	$\Sigma (Pa*Pa)$	$Pa*Pa/Hz$	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

計測と分析と発生メカニズムを解明した後の話です

以上により、一般的な事業内容について設定される参考項目において、超低周波音の考慮は不要ではないか。

ここまで超低周波音を嫌う理由は、健康被害の直接的な原因であることが判明するからとしか考えられません。

# 1. 国内の環境影響評価法での取り扱い(経産省資料抜粋)

## 1 (6) 対応方針 (案)

- 発電所アセス省令の参考項目における超低周波音の取扱いについては、住民の懸念に対する事業者による丁寧な説明等の対応を継続することとし、以下のとおり対応してはどうか。

### ① 発電所アセス省令における参考項目の取扱

- 参考項目に選定されていない項目についても事業者の判断において、環境アセスの項目として選定し、調査、予測及び評価を行うことができる。

### ② 住民の懸念等への対応

- 住民の不安や懸念に対し、事業者は、環境アセスの項目として調査、予測及び評価することも含め、引き続き丁寧に説明等を行う。
- 稼働後の苦情に対しても、実測を含めて対応。
- 日本風力発電協会等の事業者団体においても、引き続き理解促進活動を続ける。
- なお、事業計画策定等の初期の段階から、地方自治体、地域の住民とのコミュニケーションを行うことは、風力発電の立地の円滑化が期待できる。

### ③ 今後の特殊な立地等の条件に対する対応

- 発電所アセス省令における参考項目は、山岳地域で山と谷が重なることにより反射された超低周波音の重ね合わせが発生するような特殊地形を想定するものではなく、このような特殊な条件と想定される場合は、有識者の意見を聞きながら環境アセスの項目とすることを検討することが必要。国も必要に応じて調査項目とするよう勧告することができる。
- 稼働後の特殊な地形等での実測データ等は、懸念解消の効果も期待できるため、事業者によるデータの収集・蓄積を図る。

⇒上記の対応を行う前提で、参考項目から超低周波音を削除することとしてはどうか。

建設後の計測では、普通騒音計が使われる事が多く、その数値を環境騒音に関する表と比較する。

騒音の大きさ	具体的な事例	聴覚的な目安
120 デシベル	飛行機のエンジンの近く	聴覚機能に異常をきたす恐れがある
110 デシベル	ヘリコプターの近く/自動車のクラクション(直近)	
100 デシベル	電車が通るときのガード下/自動車のクラクション	
90 デシベル	大声/犬の鳴き声/騒々しい工場内	きわめてうるさい
80 デシベル	地下鉄の車内(窓を開けたとき)/ピアノの音	うるさい
70 デシベル	掃除機/騒々しい街頭/キータイプの音	うるさい
60 デシベル	普通の会話/チャイム/静かな乗用車内	ややうるさい
50 デシベル	エアコンの室外機/静かな事務所	普通(日常生活で望ましい範囲)
40 デシベル	静かな住宅地/深夜の市内/図書館内	静か
30 デシベル	ささやく声/深夜の郊外	静か
20 デシベル	ささやき/木の葉のふれあう音	きわめて静か

これを根拠にして、“問題ありません”という事が多いのだが、

風車音での不快感と交通騒音等での不快感には大きな違いがある。

この違いは、風車の超低周波音成分が人体に対して圧縮膨張を強制する力があるからです。

後ほど計算の過程を示します。

周波数が 0.5Hz や 1Hz の場合では、物理的な作用によって被害が出るのです。

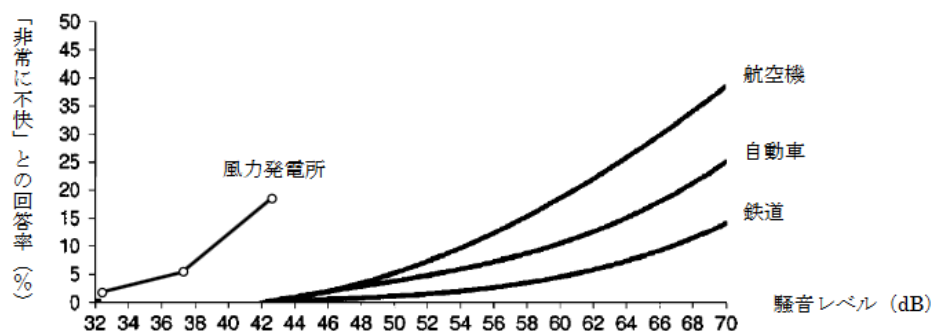
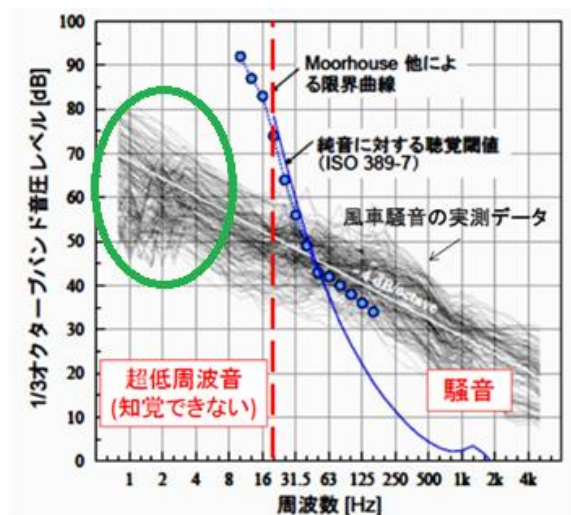


図 8. 「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係

さて、



全国の風車からは、強烈な超低周波音が出ています。

これは、風雑音ですか、疑似音ですか、風車からの超低周波音なのか、そうではないのかを答える必要があります。

聴覚では感知できなくても、圧迫感や建具の振動として感知され睡眠妨害を起こします。

更に、基本周波数の部分に注目し、その物理的な影響を考えれば、循環器系の障害や頭痛を物理的に引き起こす事は明らかです。

住民には、超低周波音を計測する技術があり、解析する技術や機材も持っています。住民は、風車からの超低周波音が循環器系の障害や頭痛の物理的な原因である事を知っています。

必要なのは、業者、行政、住民の三者が、同じ場所で別々の機材を使って計測し、全ての結果をネット上に公開する事です。

風車音とすべきところで風車騒音と言い、風雑音と言って超低周波音を消し去る様な詐欺的な行為は通用しないのです。英語を曲解して“限界曲線”と言ってみたり、日本語での聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値を混同するようなやり方は通用しないのです。計測結果に基づいて、誰の意見が正しいかを決めれば良いのです。



## (6) 対応方針（案）

発電所アセス省令の参考項目における超低周波音の取扱いについては、住民の懸念に対する事業者による丁寧な説明等の対応を継続することとし、以下のとおり対応してはいかがか。

業者任せにすれば、住民が裁判を起こさない限り、間違った説明が繰り返されます。これは住民を見捨てて地域社会を破壊しつくす政策に他なりません。

### ① 発電所アセス省令における参考項目の取扱

- 参考項目に選定されていない項目についても事業者の判断において、環境アセスの項目として選定し、調査、予測及び評価を行うことができる。

### ② 住民の懸念等への対応

- 住民の不安や懸念に対し、事業者は、環境アセスの項目として調査、予測及び評価することも含め、引き続き丁寧に説明等を行う。
- 稼働後の苦情に対しても、実測を含めて対応。
- 日本風力発電協会等の事業者団体においても、引き続き理解促進活動を続ける。
- なお、事業計画策定等の初期の段階から、地方自治体、地域の住民とのコミュニケーションを行うことは、風力発電の立地の円滑化が期待できる。

### ③ 今後の特殊な立地等の条件に対する対応

- 発電所アセス省令における参考項目は、山岳地域で山と谷が重なることにより反射された超低周波音の重ね合わせが発生するような特殊地形を想定するものではなく、このような特殊な条件と想定される場合は、有識者の意見を聞きながら環境アセスの項目とすることを検討することが必要。国も必要に応じて調査項目とするよう勧告することができる。
- 稼働後の特殊な地形等での実測データ等は、懸念解消の効果も期待できるため、事業者によるデータの収集・蓄積を図る。

⇒上記の対応を行う前提で、参考項目から超低周波音を削除することとしてはどうか。

調査・予測・評価をする手立てを住民の力で作り上げなくてはなりません。

被害状況の調査や超低周波音の計測、統計的な処理などを住民がやるしかありません。

もし、県知事選で風車音を県が図るという知事が当選すれば、だいぶ楽になるが、当てにはできません。




# 1. 国内の環境影響評価法での取り扱い(経産省資料抜粋)

- 前回WGにおいて、風力発電所の設置の際の工事に係る環境影響は小さいことがNEDOによる現地調査等で示されたことを踏まえ、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については簡素化することとしたい。

発電所アセス省令における風力発電所の参考項目(別表5)から抜粋・加工

影響要因 環境要素	工事用資材等の搬出入	建設機械の稼働
窒素酸化物	○	○
粉じん等	○	○
騒音及び超低周波音	○	○
振動	○	○



影響要因 環境要素	工事用資材等の搬出入	建設機械の稼働
	削除	
騒音	○	○
振動	○	削除


勝手に資料の表題を変えてはいけません。

## 2. 工事の実施に伴う大気環境の取扱い

- 前回WGにおいて、風力発電所の設置の際の工事に係る環境影響は小さいことがNEDOによる現地調査等で示されたことを踏まえ、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については簡素化することとしたい。

発電所アセス省令における風力発電所の参考項目(別表5)から抜粋・加工

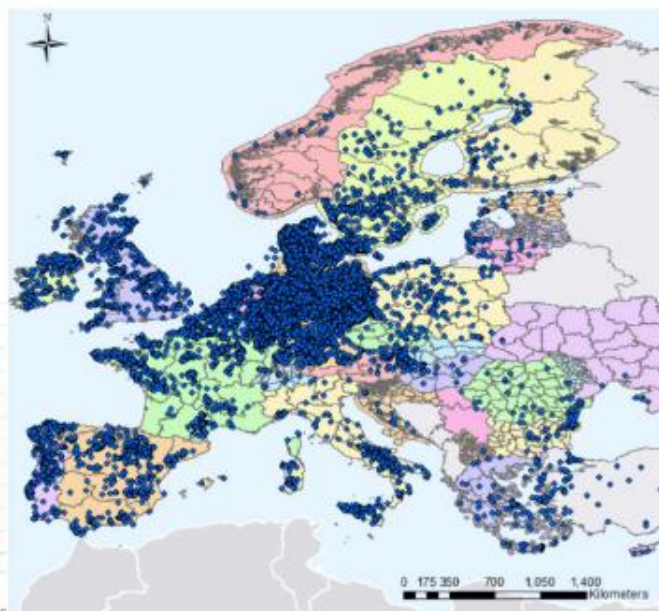
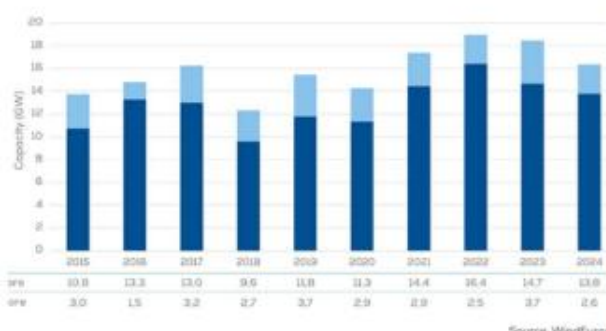
影響要因 環境要素	工事用資材等の搬出入	建設機械の稼働
窒素酸化物	○	○
粉じん等	○	○
騒音及び超低周波音	○	○
振動	○	○



影響要因 環境要素	工事用資材等の搬出入	建設機械の稼働
	削除	
騒音	○	○
振動	○	削除

## 2. 欧州等における最新の知見の状況

- ・風力発電は、欧州の主力電源の一つであり、2024年末時点で、洋上風力発電を含む導入量は、デンマーク56%、アイルランド33%、スウェーデン31%、ドイツ、英国30%を占めている(1)
- ・20%以上の国は、オランダ、ポルトガル、リトアニア、スペイン、フィンランド、ギリシャ(1)
- ・2024年に新規に設置された陸上風力は13.8GW(1)



出典: Nicholas Alexander Newman, Wind in Europe, 2018

## 2. 欧州等における最新の知見の状況

国名	2016年以降の状況
オーストラリア(1)	<p>・オーストラリア国立保健医療研究委員会(2015)(2)が風力発電と健康影響について、とりまとめて以降、風力発電の懸念を踏まえ、独立機関として4名の科学者(騒音や睡眠などの専門家)委員会において、2021年末までの6年間、定期的に委員会を開催。3編の論文を取りまとめ、州ごとに異なる風車騒音の基準に対して国全体の基準値を提案した。</p> <p>→提案された風車騒音基準: 37dB, LA90, 10 min (37dB(A)よりバックグラウンドが大きい場合はプラス5dB)</p>
オランダ(3)	<p>・スイス政府の要請に基づき、オランダの国機関が風車騒音による健康影響について、2017年から2020年のレビューを取りまとめた。</p> <p>→風車騒音に伴うアノイアンスは騒音であり超低周波音(20Hz以下)でない、その他の健康影響は一貫性がない(inconsistent)。これらは以前の報告書(2017年)(2)と同様。</p> <p>→論文では、風車の配置プロセスに住民がかかると、アノイアンスを訴える住民が減少することは明確に示していた(clearly shows)。</p>
カナダ、デンマーク	(2016年以降、公的機関が新たに整理した資料は見つからなかった)

(1)INDEPENDENT SCIENTIFIC COMMITTEE ON WIND TURBINES, 2021 ANNUAL AND FINAL REPORT, 2022

(2)Australian Government, National Health and Medical Research Council(NHMRC), Information Paper, Evidence on Wind Farms and Human Health

(3) van den Berg, F., & van Kamp, Health effects related to wind turbine sound: update. Commissioned by the Swiss Federal Office for the Environment (FOEN)

(4)van den Berg, F., & van Kamp, Health effects related to wind turbine sound. Commissioned by the Swiss Federal Office for the Environment (FOEN)

・現時点においても、風車騒音とアノイアンスとの関係は不明である。

→今後も、欧州等の最新の知見の収集に努める。

“風車騒音とアノイアンスとの関係は不明”

だが、

“風車の超低周波音とアノイアンスとの関係は明確”

なのです。

最新の知見は欧州に頼ってはいけないのです。日本中で自治体が被害状況を調べ、だらに精密騒音計で計測したデータを公開すれば、統計的な因果関係はすぐに判明します。

アメリカの MIT からは、“疑似音”説が振りまかれているのですから、外国は頼りにならないのです。

### 5. 1 3 疑似音 (MIT)

#### 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](mailto: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.

“カナダ風力エネルギー協会(CanWEA)は、マサチューセッツ工科大学(MIT)の生物工学科への助成金を通じてこのプロジェクトに資金を提供しました。MIT のガイドラインに従い、CanWEA のメンバーは原稿の編集上の決定やレビューに参加しませんでした。McCunney 博士、Mundt 博士、Colby 博士、Dobie 博士、Kaliski 氏は、カナダと米国の環境法廷の公聴会で証言を行いました。マサチューセッツ工科大学は、解説の学術的独立性を確保し、文献の解釈における偏りを排除するために、最終原稿の独立したレビューを実施しました。また、6 人の



共著者全員が原稿全体をレビューし、最終版に含めるためのコメントを筆頭著者に提供しました。”

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).<sup>36</sup> 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.<sup>12</sup> 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。<sup>36</sup> 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。<sup>12</sup> 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。

誰でも、お金には弱いものです。

“カナダ風力エネルギー協会(CanWEA)は、マサチューセッツ工科大学(MIT)の生物工学科への助成金を通じてこのプロジェクトに資金を提供しました。”

\_\_\_\_\_

- 環境アセスでは、事業特性や地域特性を踏まえ、一般的な事業において環境影響評価の項目に

- 事業者は、発電所アセス省令※の参考項目を勘案し、個別事業の環境影響評価の項目を選定。
- 国は、参考項目に記載がない項目でも、事業特性等によって必要な場合には、項目に選定するよう勧告を行うことができる。

調査項目 (第二十一～四節)														
環境要素の区分	環境の自然的構成要素の区分(自然環境)の条件を勘定して、国定、市定別に分類されるべき環境要素								生物・地質・地味等の自然環境の要素を勘定して、国定、市定別に分類されるべき環境要素				人と自然との関わり合い(文化・社会)を勘定して、国定、市定別に分類されるべき環境要素	
	文化環境				自然環境		その他の環境		景観	生物	地質・地味	生物・地質・地味等の自然環境の要素を勘定して、国定、市定別に分類されるべき環境要素	人と自然との関わり合い(文化・社会)を勘定して、国定、市定別に分類されるべき環境要素	開発地域
	文化環境		自然環境		その他の環境									
	文化環境	自然環境	その他の環境	その他の環境	その他の環境	その他の環境								
自然環境の区分														
文化環境														
自然環境														
その他の環境														
景観														
生物														
地質・地味														
生物・地質・地味等の自然環境の要素を勘定して、国定、市定別に分類されるべき環境要素														
人と自然との関わり合い(文化・社会)を勘定して、国定、市定別に分類されるべき環境要素														
国定・市定														
民間														

備考  
一 ○印は、各欄に掲げる環境要素が、影響要因の区分の項に掲げる各要因により影響を受けるおそれがあるものであることを示す。  
二 この表における「影響要因の区分」は、次に掲げる発電所における一般的な事業の内容を踏まえ区分したものである。  
三 ～ (略)

※：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

環境アセスでは、事業特性や地域特性を踏まえ、一般的な事業において環境影響評価の項目に

決定されるべきものを参考項目として規定。

事業者は、発電所アセス省令<sup>\*</sup>の参考項目を勘案し、個別事業の環境影響評価の項目を選定。

国は、参考項目に記載がない項目でも、事業特性等によって必要な場合には、項目に選定するよう勧告を行うことができる。

原子力発電では地震や津波と原子炉制御。放射性廃棄物の処理、使用済み核燃料の処分

火力発電では、CO<sub>2</sub> や煙

水力発電では、土砂や雨

対処するには、計測や分析が必要だったのだが、環境省や経産省はそれを妨害してきた。

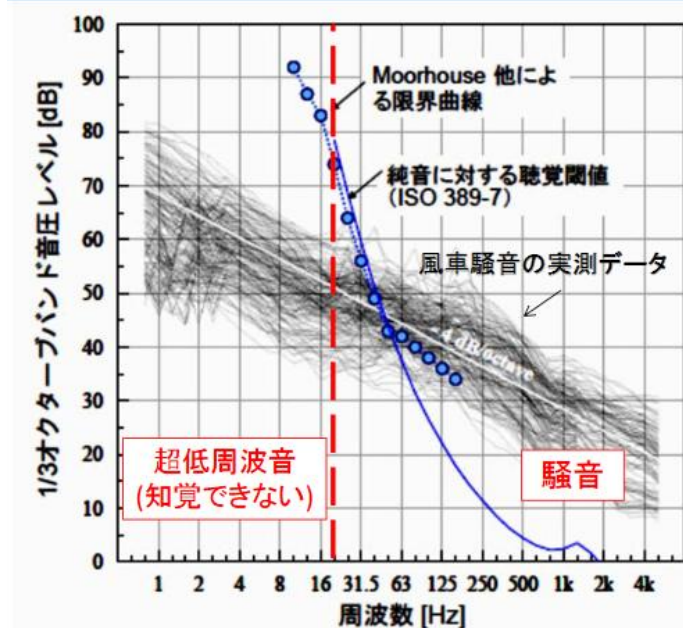


## 兵庫県のケース

・環境基準値からの脱却

環境省は、英語、国語、数学の学力が小中学制程度の学者を集めて、

### 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



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

というような結論を出させた。

最近では、風車音の被害は、業者の説明の仕方で行くかのような言い方をする学者も現れた。

風力発電について語るが、風車音の計測や解析をして、風車音が超低周波音（20Hz 以下）の塊であることを示す学者はいなくなった。

[風力発電所による近隣住民への影響に関する社会調査（本巢芽美、丸山康司）](#)

[風力発電所による近隣住民への影響に関する社会調査（本巢芽美、丸山康司）の疑問点](#)

[東邦大学理学部生命圏環境科学科准教授／竹内彩乃氏](#)

[東邦大学理学部生命圏環境科学科准教授／竹内彩乃氏の問題意識](#)

それでも心配な環境省は、“風雑音”と“除外音処”を用意した。

環境省も少し前までは、低周波音の影響を評価することも考えていた。参照値、指針値、などを用意して、普通の環境騒音による被害とは異なることを理解していたが、沢山の御用学者の協力もあって、ひどい考え方が広まった。山形県の考え方や酒田市の考え方などはもっとひどいものになっている。

兵庫県は、そのような考え方を修正した。

兵庫県の古い考え方は、一般の騒音規制に関する規制基準を使うものであった。

# 1 風力発電設備の現状

## (4) 風力発電設備から発生する騒音の特徴

○風力発電施設は、静穏な地域に設置されることが多いため、そこから発生する騒音等のレベルは比較的低くても、周辺地域に聞こえやすいことがある。

○また、風力発電施設からは、ブレード（翼）の回転によって振幅変調音（スウィッシュ音）が、また、一部の施設では内部の増速機や冷却装置等から純音性成分が発生することがあり、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。

○一方で、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。

（出典）風力発電施設から発生する騒音に関する指針（平成29年 5 月26日環境省）

## 4 風力発電設備に関する騒音規制

### 4. 2 国指針

#### (3) 規制基準・ガイドライン・国指針の比較

	規制基準	ガイドライン	国指針
規制基準値等	規制基準を適用	環境基準を適用	残留騒音 + 5dB ※下限値は35dB (指針値)
測定地点	敷地境界線上	直近民家から 1 m	(対象地域) 風車騒音により人の生活環境に影響を与えるおそれがある地域 (測定地点) 対象地域を代表する残留騒音又は風車騒音が把握できる地点 地面以外の反射物から原則として3.5m以上離れた位置
測定高さ	1.2m～1.5m	0 m	0.2m～1.2m
対象騒音	総合騒音	風車到達騒音※	残留騒音 + 風車到達騒音※

※ 風車到達騒音：風力発電設備から発生し、測定地点に到達する騒音

## 4 風力発電設備に関する騒音規制

### 4. 1 環境保全条例の規制

#### (2) 規制基準

別表第6 (騒音の規制基準)

区分	規制基準 (単位 デシベル)		
	昼間 (午前8時から 午後6時まで)	朝夕 (午前6時から午前8時まで 午後6時から午後10時まで)	夜間 (午後10時から 翌日の午前6時まで)
第1種区域	50	45	40
第2種区域	60	50	45
第3種区域	65	60	50
第4種区域	70	70	60

備考 1～3 (略)

4 風力発電設備に係る騒音にあっては、当該風力発電設備が発生させる騒音により、周辺の生活環境が損なわれるおそれがないと認められる場合は、この表に定める基準によらないことができる。

5 測定場所は、騒音を発生する工場等の敷地境界線上とする。(略)

6～8 (略)

12

(ここでの基準値と国の騒音規制での基準値の関係が不明である。)

## 4 風力発電設備に関する騒音規制

### 4. 1 環境保全条例の規制

#### (3) ガイドライン

○ガイドラインは、市町長が環境保全条例に基づく規制対象となる風力発電設備の設置者を指導する際の判断等に関して必要な事項を定めるもの。

#### 1) 騒音レベルの予測と評価

##### ① 予測方法

○以下の式を用いて、騒音レベルの予測を設置者に実施させ、関係資料を提出させる。

$$SPL = PWL - 20\log_{10}R - 8 + \Delta Lcor$$

SPL: 敷地境界でのA特性音圧レベル (dB)、PWL: 見かけのA特性音響パワーレベル (dB)

R: 敷地境界の地面からロータ中心までの距離 (m)

$\Delta Lcor$ : 音の伝播に影響を与える各種の減衰要素に関する補正值 (dB)

○空気の音響吸収によるもの  $Lair$  (dB)、○地表面効果による減衰  $Lgnd$  (dB)

$$\Delta Lcor = Lair + Lgnd$$

同一敷地に風力発電設備を複数設置する場合は、SPLは合成値を求める。

##### ② 評価方法

①の値が敷地境界線上で規制基準値適合 → OK

①の値が敷地境界線上で規制基準値不適合 → 2)により判断。

13

## 4 風力発電設備に関する騒音規制

### 4. 1 環境保全条例の規制

#### 2) 生活環境が損なわれるかどうかの判断

○基本的には環境基準値との適合状況を見ることにより判断する。

○予測は設置者に実施させ、関係資料を提出させる。

##### ①予測方法

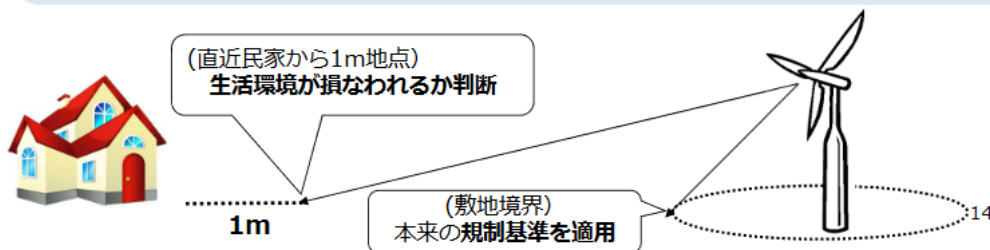
直近民家から風力発電設備に向かって1mの位置でのA特性音圧レベルSPL' (dB) の値を予測。

予測は1)の①と同様に行う。ただし、Rは直近民家から風力発電設備に向かって1m位置の地面から風力発電設備のロータ中心までの距離R' (m)

##### ②評価方法

SPL'が環境基準値適合 → OK

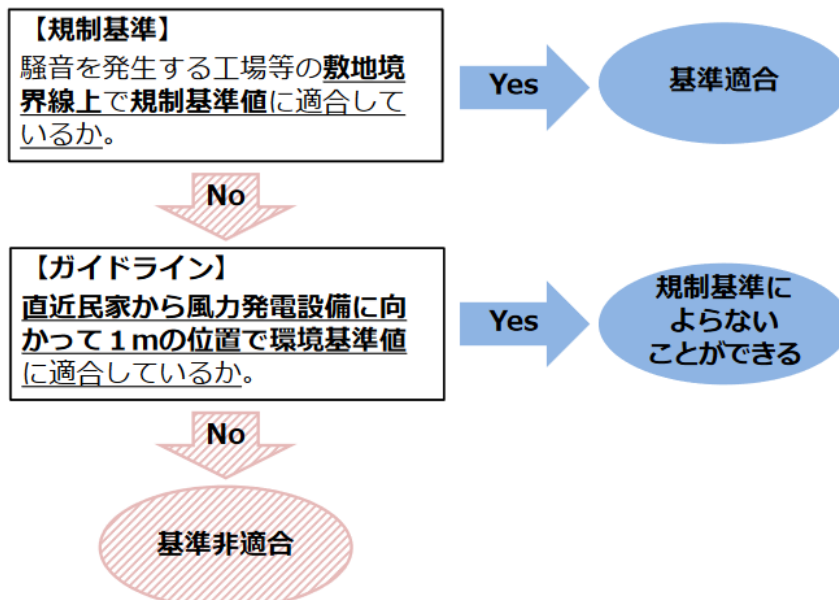
SPL'が環境基準値不適合 → 周辺の生活環境が損なわれるおそれがあると判断し、計画を再検討させる。



## 4 風力発電設備に関する騒音規制

### 4. 1 環境保全条例の規制

#### (4) 規制基準・ガイドラインの判断フロー



15

ここまでが、兵庫県の古い考え方です。



兵庫県の新しい考え方は、

“風車到達騒音を、「環境基準値から 10 dB を減じた値」とする必要がある。” というものである。

環境省の圧力がある中で、住民の生活に配慮するという地方自治体の基本的な姿勢をしたものであり、この結論を得るのに、大変な苦労をされた事と思われる。

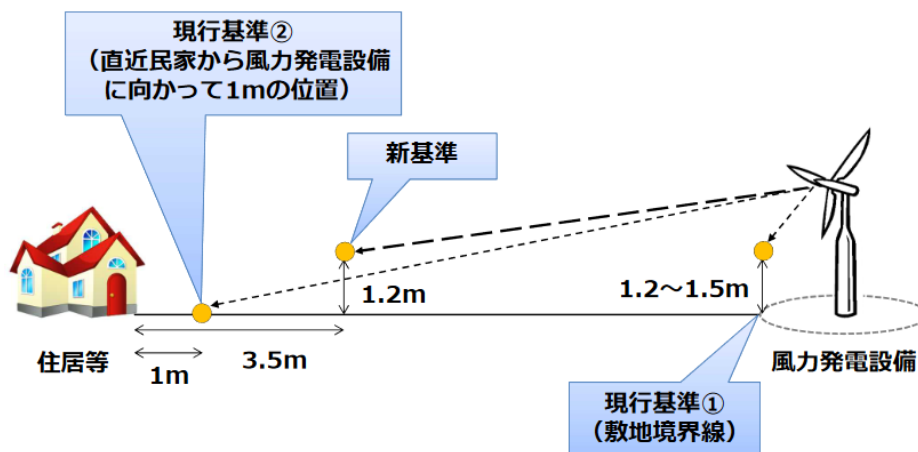
残念ながら、問題点が幾つか残っている。

最も残念なのは、風車音の正確な測定と解析がなされていない事と、水平軸型の風車と垂直軸型の風車の比較検討がなされていないことです。

平成 31 年 3 月 4 日(平成 30 年度第 2 回)

【資料 1】風力発電設備に関する騒音規制のあり方（案）(PDF ファイル：783KB)

### 【参考】基準適用地点のイメージ



## 6 規制対象騒音・規制基準値の考え方

- 1) 2つの騒音がある場合、それらの合成音は大きい方の騒音に小さい方の騒音の影響が加わる。
- 2) 騒音 (dB) の和は、下表のとおり、“2つの騒音の差”ごとに“増加する騒音”の値が大きい方の騒音に加わる。

2つの騒音の差 (dB)	0～1	2～4	5～9	10以上
増加する騒音 (dB)	3	2	1	0

(例) 45dBと45dBの合成音は48dB、45dBと40dBの合成音は46dB、  
45dBと35dBの合成音は45dB

- 3) “2つの騒音の差”が10dB以上の場合、合成音は大きい方の騒音と同値となる。(小さい方の騒音の影響がなくなる。)

以上から、風力発電設備の影響により環境基準値を超過しないためには、**風車到達騒音※を「環境基準値から10dBを減じた値」とする必要がある。**

※ 風車到達騒音：風力発電設備から発生し、基準適用地点に到達する騒音

11



**【参考】風車到達騒音が「環境基準値から10dBを減じた値」となるために必要な水平距離**

風力発電設備 の音響パワー レベル	環境基準の地域の類型					
	A A		A及びB		C	
			環境基準値－10dB			
	昼間	夜間	昼間	夜間	昼間	夜間
	40dB	30dB	45dB	35dB	50dB	40dB
90dB	80m	306m	0m	175m	0m	80m
95dB	175m	496m	80m	306m	0m	175m
100dB	306m	768m	175m	496m	80m	306m
105dB	496m	1,152m	306m	768m	175m	496m
110dB	768m	1,683m	496m	1,152m	306m	768m

※   ：風力発電設備を設置する地域に多い類型

※ 風力発電設備の基礎と受音点の標高が同一とし、ロータ中心から受音点までの間に障害物がない場合の値（ハブ高さを85mと仮定）

**【参考】環境基本法（抜粋）**

第2章 環境の保全に関する基本的施策

第3節 環境基準

第16条 政府は、大気汚染、水質汚濁、土壌汚染及び騒音に係る環境上の条件について、それぞれ、人の健康を保護し、及び生活環境を保全する上で維持されることが望ましい基準を定めるものとする。

4 政府は、この章に定める施策であつて公害の防止に関係するものを総合的かつ有効適切に講ずることにより、第1項の基準が確保されるように努めなければならない。

第5節 国が講ずる環境の保全のための施策等

第21条 国は、環境の保全上の支障を防止するため、次に掲げる規制の措置を講じなければならない。

一 大気汚染、水質汚濁、土壌汚染又は悪臭の原因となる物質の排出、騒音又は振動の発生、地盤沈下の原因となる地下水の採取その他の行為に関し、事業者等の遵守すべき基準を定めること等により行う公害を防止するために必要な規制の措置

第7節 地方公共団体の施策

第36条 地方公共団体は、第5節に定める国の施策に準じた施策及びその他のその地方公共団体の区域の自然的社会的条件に応じた環境の保全のために必要な施策を、これらの総合的かつ計画的な推進を図りつつ実施するものとする。この場合において、都道府県は、主として、広域にわたる施策の実施及び市町村が行う施策の総合調整を行うものとする。

16

配慮の内容は県民にもよく理解され、好意的な意見が寄せられた。

令和元年 12 月 26 日(令和元年度第 2 回)

[【資料 5】](#)「風力発電設備に関する騒音規制のあり方について(骨子案)」の県民意見提出(パブリック・コメント)手続きの結果(PDF ファイル:87KB)

県民からの意見

“風力発電建設で静かな環境が騒音で満たされることを心配しています。低周波音や超低周波音による健康への被害も心配されます。”

に対する回答は、

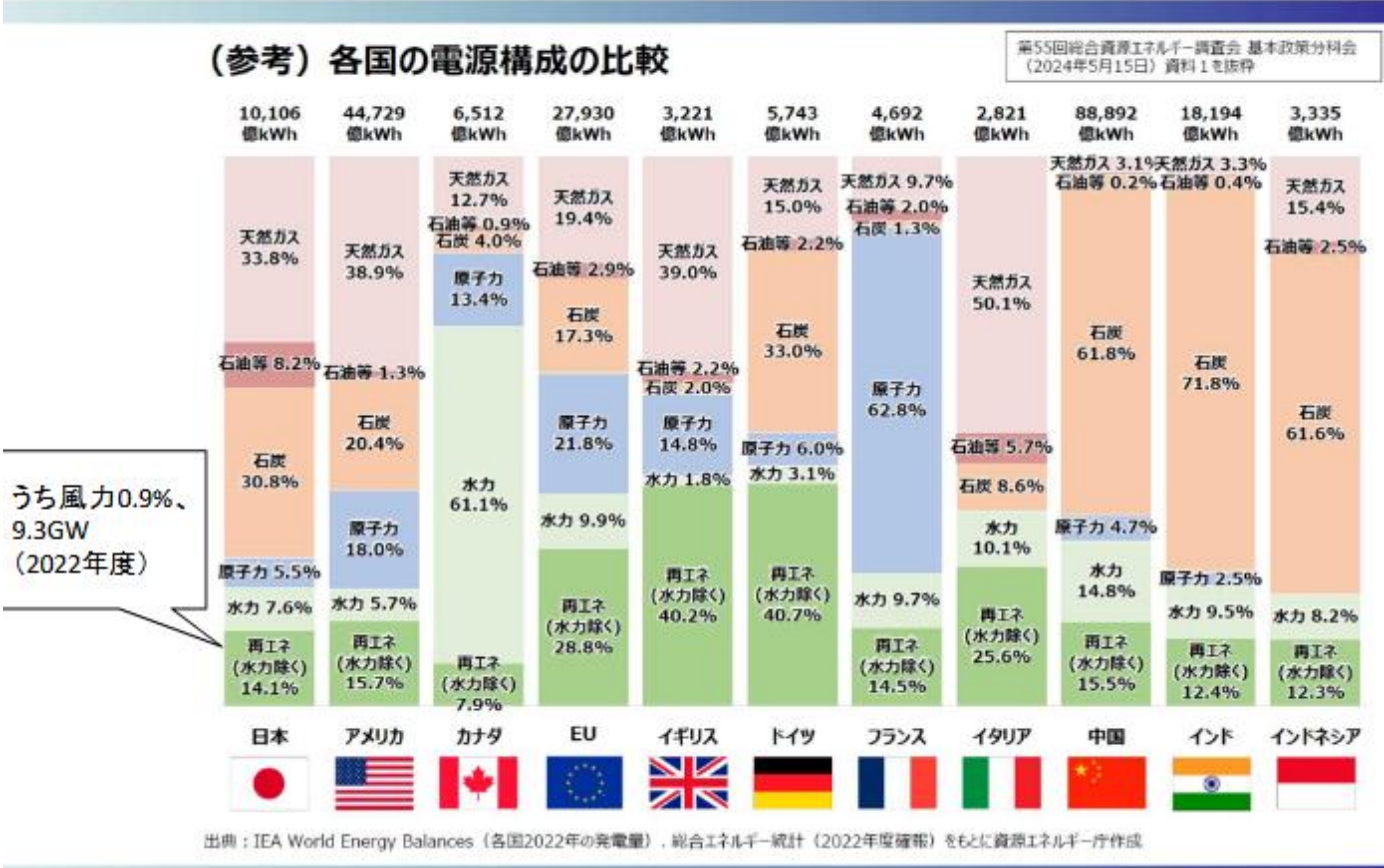
〔今後の施策の課題とします〕

“低周波音のうち、可聴音については、これまでも一般的な騒音として規制の対象に含まれており、今回定めようとする新基準（案）においても同様の扱いとなります。

なお、平成 29 年 5 月に環境省が発表した「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」では、他の環境騒音と比べても、特に低い周波数成分の騒音の卓越は見られなかったことや、風力発電施設から発生する低周波音及び超低周波音と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ことが報告されています。

引き続き国等の動向を注視しつつ知見の収集に努めます。”

# (参考)各国の電源構成



風力発電について語るには  
水平軸型の風車と垂直軸型の風車の違い

水平軸型の風車から強烈な超低周波音が発生するメカニズム  
その物理的な影響

等を丁寧に開設してから議論すべきです。

## 2.2. 音に関する基礎知識 （リオン社の HP を参考にしました。）

実効値

正弦波  $y = A \sin \omega t$  の場合は、正弦波の実効値が

### 実効値の定義式

ある周期  $T$  の関数  $f(t)$  の実効値は、次式で与えられる。

$$f(t) \text{ の実効値} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 dt} \quad \dots \textcircled{1}$$

となっているので、

$$\text{実効値} = \text{最大値} \div \sqrt{2}$$

となります。

音圧と音圧レベル

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 m<sup>2</sup>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/m<sup>2</sup>)

$$J = (p \cdot p) / (\rho \cdot c) \quad (\text{W/m}^2)$$

ここで、 $p$  (Pa) は音圧、 $\rho$  は空気の密度 (kg/m<sup>3</sup>)、 $c$  は音の速度 (m/s)、積  $\rho \cdot c$  は空気の音響インピーダンスと呼ばれ、 $\rho c \approx 400 [\text{NS/m}^3]$  である。

音の速さ

$$c = \sqrt{\gamma P / \rho}$$

$\gamma$  は比熱比（定圧比熱と定積比熱の比）、 $P$  は大気圧 (Pa)、 $\rho$  は空気の密度 (kg/m<sup>3</sup>)

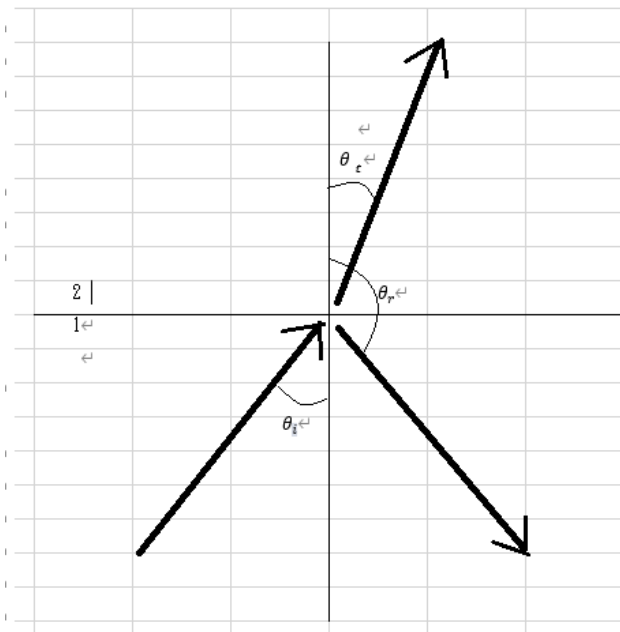
音圧レベル

基準音圧 $p_0$  ( $20 \mu \text{Pa} = 20 \times 10^{-6} = 2 \times 10^{-5} \text{ (Pa)}$ )と比較して、次のように求めた値

$$L_p = 10 * \log \left( \frac{p^2}{p_0^2} \right)$$

ここで、 $p$  は音圧、 $L_p$  は音圧レベル。

## 音の反射、透過、吸収



2 種類の媒質 1, 2 の境界に平面波が当たるときには、一部は反射し、一部は透過する。

入射角、反射角、屈折角を  $\theta_i, \theta_r, \theta_t$  とする。

### 音の反射

平面波が境界に当たった時の入射角  $\theta_i$  が 0 の場合から考える。

固有音響抵抗が  $\rho_1 c_1$ 、 $\rho_2 c_2$ 、で  $\theta_i = 0$ 。

音圧反射率は、(反射波の音圧  $p_r$ ) / (入射波の音圧  $p_i$ ) であり、

$$\frac{p_r}{p_i} = \frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2}$$

となる。

音のエネルギー反射率  $r_0$  は、

$$\frac{p_r^2}{p_i^2} = r_0 = \left( \frac{\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2} \right)^2$$

です。

$\theta_i \neq 0$  の場合エネルギー反射率  $r$  は、

$$\frac{p_r^2}{p_i^2} = r = \left( \frac{\rho_1 c_1 \cos \theta_t - \rho_2 c_2 \cos \theta_i}{\rho_1 c_1 \cos \theta_t + \rho_2 c_2 \cos \theta_i} \right)^2$$



(cf. Principal of optics, Max Born and Emil Wolf, p42)

### 音の透過

音の透過については、固有音響抵抗を、 $\rho_1 c_1$ 、 $\rho_2 c_2$ 、 $\theta_i = 0$  のときは、音圧透過率は、(透過波の音圧  $p_t$ )/(入射波の音圧  $p_i$ ) であり、

$$\frac{p_t}{p_i} = \left( \frac{2\rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2} \right)$$

音のエネルギー透過率  $t_0$  は、

$$\frac{p_t^2}{p_i^2} = t_0 = \frac{4\rho_1 c_1 \rho_2 c_2}{(\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2)^2}$$

$\theta_i \neq 0$  の場合の音のエネルギー透過率  $t$  は、

$$t = \frac{4\rho_1 c_1 \rho_2 c_2 \cos\theta_t \cos\theta_i}{(\rho_1 c_1 \cos\theta_t + \rho_2 c_2 \cos\theta_i)^2}$$

(cf. Principal of optics, Max Born and Emil Wolf, p43)

### 音の屈折

媒質 1 での音の速さを  $c_1$ 、媒質 2 での音の速さを  $c_2$  とすると、

$$\frac{\sin\theta_i}{c_1} = \frac{\sin\theta_t}{c_2}$$

が成立して、これを Snell の法則と呼びます。

大気中に温度差があつて、空気の密度の違いがあると、音は進行方向を変えます。

大気の温度は、通常は上空ほど温度が低いので、道度が高く、音の速さ

$$c = \sqrt{\gamma P / \rho}$$

$\gamma$  は比熱比 (定圧比熱と定積比熱の比)、 $P$  は大気圧 (Pa)、 $\rho$  は空気の密度 ( $\text{kg/m}^3$ )

は、小さくなります。従つて、地表近くから放出された音は、上空に向かった進路をとる。冬場、地表の温度が上空よりも低い場合は、逆に地表近くで放出された音は、地面に向かう進路をとる。

### 吸音率、透過損失

壁などの実際の境界面では、音のエネルギーの一部は消失する。境界面で吸収・透過された残りの、反射音のエネルギーを  $I_r$ 、透過音のエネルギーを  $I_t$ 、入射音のエネルギーを  $I_i$  として、

反射率  $r$  を  $r = I_r / I_i$  と決める。

吸音率  $\alpha$  を

$$\alpha = 1 - r = (I_i - I_r) / I_i$$

透過率  $\tau$  を

$$\tau = I_t / I_i$$

透過損失 TL を

$$TL = 10 \log (1/\tau)$$

と決める。

## 18. 音の距離減衰

音源から放射された音は、幾何学的（球状または半球状）に拡散し、距離とともにその強さは減衰する。伝搬が長距離になると空気による吸収、地表の状態などの影響を受け、幾何学的な減衰に加えてその分大きく減衰する。このような音の減衰を超過減衰という。気象の影響は複雑であり、上空の温度分布、風向、風速傾度などによって音の伝搬の様子は変化する。

### 18.1 点音源

自由音場（反射体が無い自由空間）において、音響パワーが  $P$  (W) の点音源があるとき、音源から  $r$  (m) 離れた点における音の強さ  $I$  (W/m<sup>2</sup>) は次式で与えられる。

$$I = P/4\pi r^2$$

同様に、半自由音場（例えば、音源が地面に置かれているような場合など）では、

$$I = P/2\pi r^2$$

それぞれを音響パワーレベル  $L_W$  (dB) と音圧レベル  $L_p$  (dB) の関係で表せば、

$$\text{自由音場} : L_p = L_W - 20 \log r - 11$$

$$\text{半自由音場} : L_p = L_W - 20 \log r - 8$$

である。したがって、音圧レベルは音源からの距離が 2 倍になれば 6 dB 減衰する。これを「逆二乗則」という。

これらの関係は、音源が全指向性である場合に成り立つ。実際には、音源の寸法が距離に比べて十分に小さければ近似的に上式が適用できる。

### 18.2 線音源

音源が無限に長い線状の場合、音は線音源を軸として円筒状に広がる。この音源は、自由音場において、音源の単位長さ当たりの音響パワーが  $P$  (W) の線音源があるとき、音源から  $r$  (m) 離れた点における音の強さ  $I$  (W/m<sup>2</sup>) は次式で与えられる。

$$I = P/2\pi r$$

同様に、半自由音場（例えば、音源が地面に置かれているような場合など）では、

$$I = P/\pi r$$

それぞれを音響パワーレベル  $L_W$  (dB) と音圧レベル  $L_p$  (dB) の関係で表せば、

$$\text{自由音場} : L_p = L_W - 10 \log r - 8$$

$$\text{半自由音場} : L_p = L_W - 10 \log r - 5$$

である。したがって、音圧レベルは音源からの距離が 2 倍になれば 3 dB 減衰する。

有限の長さの線音源については、無指向性の点音源が有限長だけ連続していると仮定して計算できる。実用的には、線音源の長さの  $1/\pi$  程度の距離までは無限長線音源と同様に倍距離 3 dB の減衰傾向とし、それ以上の距離では点音源と同様に倍距離 6 dB の減衰傾向とする近似的な関係を適用する。

なおこの場合は、騒音源、例えば自動車が多数連続して並んでいるような場合を考えていて、それらの点音源は互いに無関係な位相の騒音を発生していて音波の干渉などの現象が無視でき、エネルギーだけが加算されると仮定している。

### 18.3 面音源

大きな開口部からの騒音や壁面を透過して出てくる騒音などのように、音源がかなりの広がりをもっている場合を面音源とし、理想的には点音源が無数に連続して分布しているとする。

無限大面音源であれば音は減衰しない。有限の面音源の場合、各点音源は互いに無関係な位相の騒音を発生し、干渉などの現象が無視できると仮定して音の距離減衰を計算する。実用的には、長方形面音源の場合、短辺の  $1/\pi$  程度の距離までは音の減衰は無く、その付近から長辺の  $1/\pi$  程度の距離までは線音源と同様に倍距離 3 dB の減衰傾向とし、その付近からは点音源と同様に倍距離 6 dB の減衰傾向とする近似的な関係を適用する。

### 18.4 空気による音の吸収

空気中に伝わる音波の減衰は、主として波面の広がりによるものであるが、遠距離の伝搬においては空気の吸音減衰の影響を受ける。この空気による音の吸収は、空気の温度と相対湿度および音の周波数に関係し、温度と湿度が低いほど、また周波数が高いほど大きくなる。

空気分子の熱エネルギーへの変換による音の減衰について

音のエネルギーは、波面の広がり考えた場合の減衰よりも著しく減衰する。これは、エネルギーが分子運動などの熱エネルギーとして失われるからである。

平面は、波面の広がりはないのであるが、エネルギーの吸収がある場合に、x 軸方向の平面の音圧は、

$$P = P_0 e^{-\alpha x}$$

となり、 $\alpha$  を減衰定数という。 $\alpha$  の実測値は、振動数を  $\nu$  とすれば、

空気中では、 $\alpha = 2.0 \times 10^{-11} \nu^2$ 、海水中では、 $\alpha = 2400 \times 10^{-15} \nu^2$ , ( $8 \times 300 = 2400$ )  
です。

平面波で波面の広がりにより減衰が無い場合					(P0=1とした場合)				
		周波数Hz							
		1	20	200	500	1000	2000	5000	8000
距離m	1000	1.00000	0.99999	0.99920	0.99501	0.98020	0.92312	0.60653	0.27804
	2000	1.00000	0.99998	0.99840	0.99005	0.96079	0.85214	0.36788	0.07730
	3000	1.00000	0.99998	0.99760	0.98511	0.94176	0.78663	0.22313	0.02149
	4000	1.00000	0.99997	0.99681	0.98020	0.92312	0.72615	0.13534	0.00598
	5000	1.00000	0.99996	0.99601	0.97531	0.90484	0.67032	0.08208	0.00166

空気分子の熱エネルギーへの変換による音の減衰については、20Hz 以下の周波数の音に関しては、5km離れても変化は無い。

20Hz 以下の低周波音の場合でも、波形が球面状か、円筒状ならば、波面の広がりによる減衰が起こる。

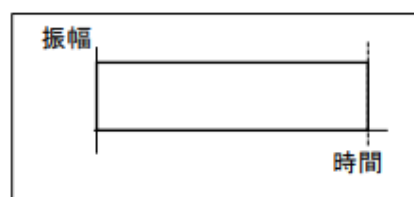
## 周波数スペクトルの計算における窓関数の選択

道路騒音の場合は、観測された長時間の音圧データから、幾つかのフレーム時間ごとのデータに分割して、分割されたデータに対して、窓関数を掛けてから、周波数スペクトルを計算して、その平均を取ることが多い。

窓関数としては、

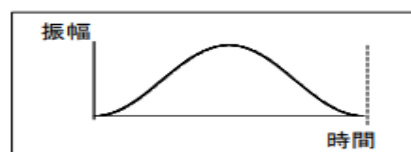
### (1) レクタングュラ

フレーム時間内の信号をそのまま通す窓関数で、実質的に窓関数をかけないことに等しい。単発パルス信号の分析に向いている。フレーム時間と元の信号の周期が一致しない場合は、フレーム端で信号が不連続になるため、リーケージが発生する。リーケージが発生しない条件では、周波数分解能は最も高い。



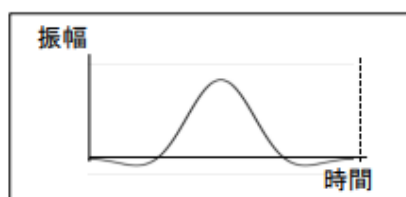
### (2) ハニング

代表的な窓関数で、フレームの開始と終端を 0 にする曲線の窓関数。フレーム端の信号が急激に立ち上がるのを防ぐ。騒音や振動などの連続信号の分析に向いており、最も多く使われる。特定の用途のスイープ信号やインパルス信号の分析には不向きである。



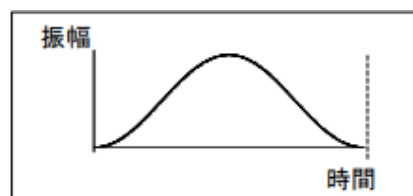
### (3) フラットトップ

FFT 分析したスペクトルの頂部が減衰なく平らになる窓関数。周波数分解能は他の窓関数に比べて劣るが、振幅を正確に読み取れる利点がある。たとえば、騒音計や振動計などの AC 出力を FFT 分析するのに先立って FFT 分析器を校正する場合に、校正信号の大きさを正確に読み取るのに使用する。



#### (4) ハミング

代表的な窓関数で、フレームの開始と終端を 0 にする曲線の窓関数。フレーム端の信号が急激に立ち上がるのを防ぐ。騒音や振動などの連続信号の分析に向いており、最も多く使われる。特定の用途のスweep信号やインパルス信号の分析には不向きである。



ハミング窓を使って計算した場合の数値は、リオン社のソフトによる解析結果に近い値が得られる。

#### 平均の取り方

幾つかのフレーム時間が重ならないようにする場合と、フレーム時間を半分ほどずらして重ねる場合があります。平均を取ると、滑らかなデータが得られます。



## 23. 音圧・音圧レベル

### 音圧と音圧レベル

# 1. 音とは

音は空気の微小な圧力変動です。その変動が耳に伝わって、鼓膜を振動させることにより、人は音として感じます。

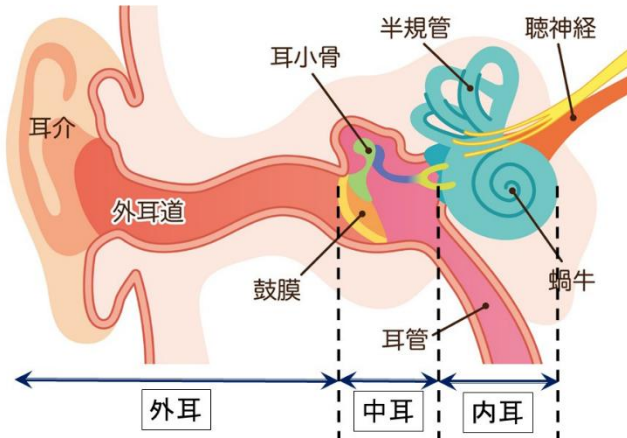
このとき、大きい圧力変動であれば大きい音、小さい圧力変動であれば小さい音に聞こえます。

また、1秒間に振動する回数を周波数といい、回数が多ければ高い音、少なければ低い音として聞こえます。

当然ですが、鼓膜が振動しなければ、音としては感知出来ません。ある程度の速さで振動してくれないと“うるささ”は認識できないのです。超低周波音では、鼓膜がゆっくり振動するので、音としての感知は困難になります。

水泳キャップを付けて水中に潜るときは、鼓膜と海水の間の外耳道には空気が少しあります。

### 耳の構造



水中に潜れば、外耳道にある空気の圧力は増し、鼓膜に対する圧力も増します。水面に戻れば圧力は減少します。この圧力の変化を“うるさい”とは感じません。

潜った時に耳が痛いと感じたりします。深く潜りすぎれば鼓膜を痛めて難聴になりますが、感覚としては痛みであり、うるささではありません。

空気の微小な圧力変動ですが、音が無い時の気圧に対しての変動が、

$$P = \sqrt{2}p \sin \omega t$$

だとして考えます。

$\sqrt{2}p$ が音圧、 $p$ が音圧の実効値です。これ以後は、音圧の実効値を中心に扱いますので、音圧と言え、音圧実効値を意味することが、ほとんどです。

## 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 m<sup>2</sup>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/m<sup>2</sup>)

$$J = (p \cdot p) / (\rho \cdot c) \quad (\text{W/m}^2)$$

ここで、 $p$  (Pa) は音圧、 $\rho$  は空気の密度 (kg/m<sup>3</sup>)、 $c$  は音の速度 (m/s)、積  $\rho \cdot c$  は空気の音響インピーダンスと呼ばれ、 $\rho c \approx 400[\text{NS/m}^3]$ である。

## 音の速さ

$$c = \sqrt{\gamma P / \rho}$$

$\gamma$  は比熱比（定圧比熱と定積比熱の比）、 $P$  は大気圧 (Pa)、 $\rho$  は空気の密度 (kg/m<sup>3</sup>)

## 音圧レベル

基準音圧  $p_0$  ( $20 \mu\text{Pa} = 20 \times 10^{-6} = 2 \times 10^{-5} (\text{Pa})$ ) と比較して、次のように求めた値

$$L_p = 10 \cdot \log \left( \frac{p^2}{p_0^2} \right)$$

ここで、 $p$  は音圧、 $L_p$  は音圧レベル。

### 音圧レベル＜物理的な大きさ＞

$$L_p = 10 \cdot \log_{10} (p^2 / p_0^2)$$

$L_p$  : 音圧レベル (dB)

$p$  : 音圧実効値 (Pa)

$p_0$  : 基準音圧  $2 \times 10^{-5} (\text{Pa})$  (=20  $\mu\text{Pa}$ )

\* OA音圧レベル (dB), 1/3オクターブバンド音圧レベル (dB)

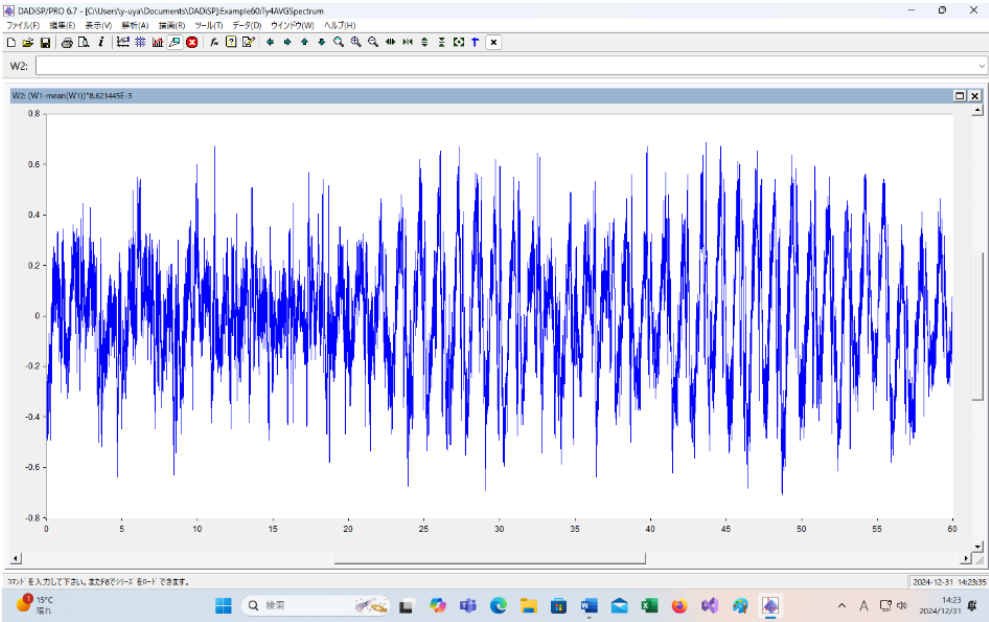
音響出力は音圧の  
二乗に比例する

dB値(参考): 0.002 Pa = 40 dB,  
0.00002 ( $2 \times 10^{-5}$ ) Pa = 0 dB

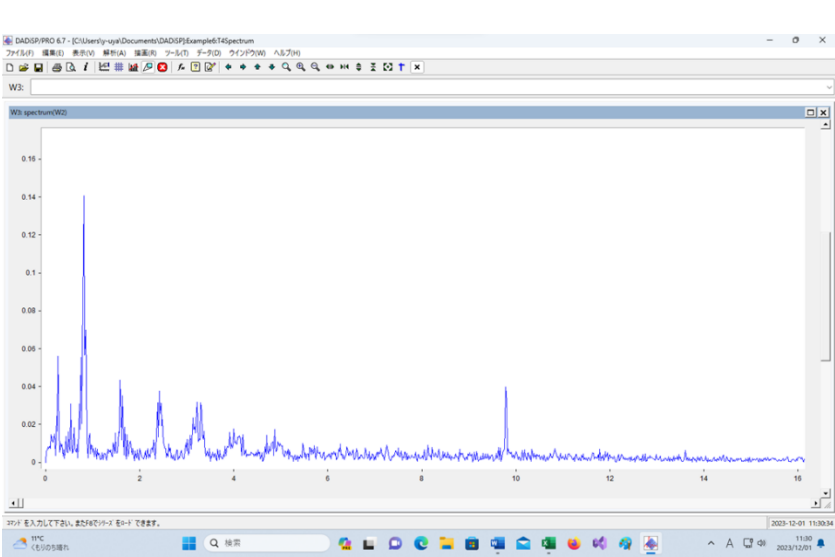
となります。

具体的な計算で確認します。

風車音の波形は次のグラフです。



周波数スペクトル（音を周波数成分に分解したもの）とピーク値です。

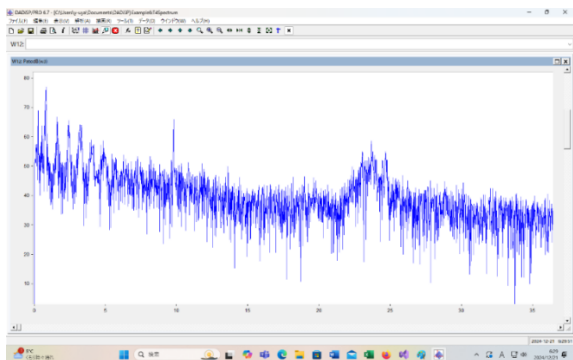


周波数	周波数/0.8167	音圧[Pa]
0.2667	0.3266	0.0560
0.5333	0.6530	0.0309
0.8167	1.0000	0.1405
1.5833	1.9387	0.0436
2.4167	2.9591	0.0377
3.2167	3.9387	0.0317
4.0000	4.8978	0.0177
4.8667	5.9590	0.0173
5.4667	6.6936	0.0101
6.2667	7.6732	0.0098

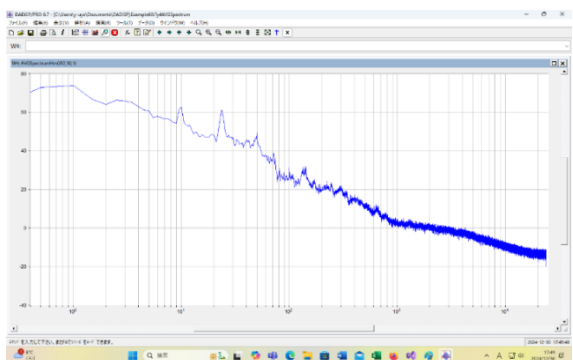
0.8167Hz で最大値 0.1405 パスカル (Pa) になっています。なお、 $f=RZ/60=0.8167\text{Hz}$  です。  
ピーク値以外での音圧は、1.2Hz では、0.005Pa であり、6.2667Hz での音圧 0.0098Pa の半分程度です。4.8Hz の音圧は、0.017Pa 程度であり、0.005Pa の 3 倍です。

上のグラフを、 $L_p = 10 * \log(\frac{p^2}{p_0^2})$   $p$  は音圧 (Pa) を使って、単純に dB 表示に変えると、次のぎざぎざのあるグラフになるのです。

この形のグラフでは、風車音での離散的な周波数特性が見えなくなっています。

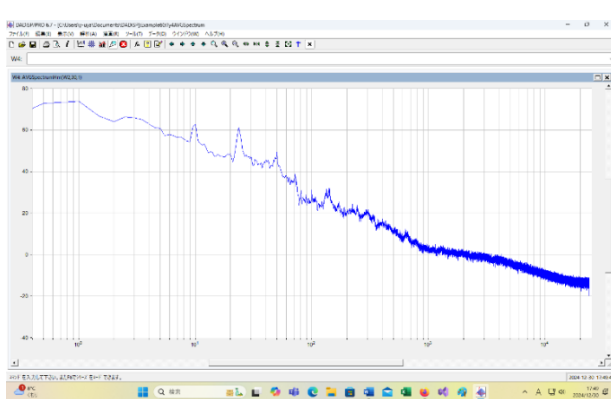
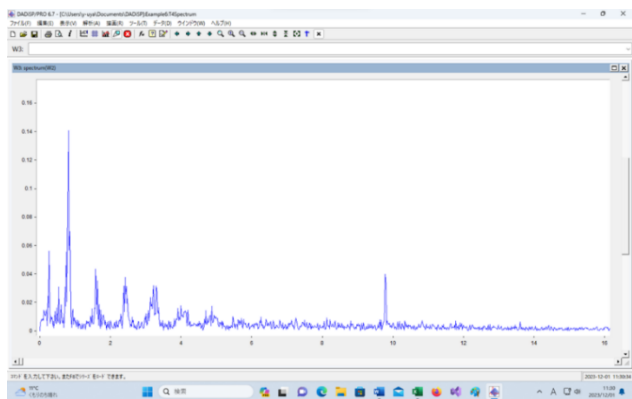


多くの場合は、周波数スペクトルを 30 回程度計算して、その平均値を取ってから、dB 表現に変換します。すると次のグラフになります。



グラフは綺麗ですが、風車音の特徴が消えてしまっています。このグラフでは、風車音が発生する仕組みを解明出来ません。

風車音の計測結果から、2 つのグラフが得られます。



左を選べば、 $f/3$ 、 $2f/3$ 、 $f$ 、 $2f$ 、 $3f$ 、Hz で音圧がピークとなることが分り、その事から風車音が発生する仕組みや頭痛が起きる理由を解明できるが、右のグラフを選べば風車音被害の原因は究明できなくなります。さらに、最大音圧は半分の数値として評価されます。

どちらを選択するかは、被害を実際に起きていると考えるか、被害の可能性が有ると考えるかの違いです。超低周波音の解析技術は色々です。掲げる課題と方針によってその技術の価値が決まって来るのです。

不思議な表現ですが、超低周波音の大きさを評価する測定量の一つである G 特性音圧レベル (ISO7196) に対して<感覚的な大きさ>と書いてあります。

## 騒音(低周波音)・超低周波音の大きさの表し方

### G特性音圧レベル(ISO 7196)<感覚的な大きさ>

$$L_G = 10 \cdot \log_{10}(p_G^2 / p_0^2)$$

$L_G$  : G特性音圧レベル(dB)

$p_G$  : G特性音圧実効値(Pa)

$p_0$  : 基準音圧  $2 \times 10^{-5}$  (Pa)

超低周波音の大きさを  
評価する測定量で、可  
聴騒音を評価する場合  
の A特性音圧レベル  
(騒音レベル) に相当  
する

“知覚できない”と言われることの多い超低周波音です。どのような感覚でその大きさが把握できるのかが書いてない。知覚できないのに、感覚的な大きさが把握できるとは思えない。

細かな点は別にしても、この計算を実行するときには、別の問題が発生します。  
上の式にある、 $P_G$ の値です。この値を得る方法が問題になります。

コンデンサー・マイクはダイアフラムとバック・プレートがコンデンサーの電極のように働き、音圧でダイアフラムが動いたときに信号電圧が作られる仕組みになっています。信号電圧をマイクの特性に従って変換すればある時点での音圧  $p$  が判明します。

[ISO7196 での G 特性での重み](#)は次のものです。(ネット情報)

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

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

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	

G 特性音圧レベル $L_G$ の値は、 $L_p$ の値に、上の表にある重みを加算して得られます。

風車の例ですが、上が平坦特性音圧レベル、下が G 特性音圧レベルです。

No-W	88.34	69.43	66.39	82.26	71.87	81.04	80.49	78.65	80.46	79.77	77.75	70.44	61.24	61.25	69.84	68.51	64.56	55.92	60.98	50.36	max	88.34
f	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80		

G-W	45.34	31.93	33.79	53.96	47.77	61.04	64.49	66.65	72.46	75.77	77.75	74.44	68.94	70.25	73.54	64.51	52.56	35.92	32.98	14.36	max	77.75
f	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80		

1Hz の成分の平坦特性音圧レベルが 88.34 d B と分かった時に、1 Hz の G 特性音圧レベルが 88.34+ (−43)



=45.34 として得られます。

1 Hz の平坦特性音圧レベル 88.34 を得るには、1 Hz の成分の音圧（パスカル）が分れば計算できます。  
では、ある瞬間の音圧  $p$  が分ったら、その時の 1 Hz の成分の音圧は分かるでしょうか？

これは分かりません。音は、沢山の周波数成分の寄せ集めです。寄せ集めの結果としての音圧が分っても、それぞれの周波数成分のそれぞれ音圧は分かりません。

ある瞬間の音圧が 1 つだけ分っても、その瞬間の周波数成分ごとの音圧は分からないのです。

例えば、1 Hz の成分が有るか無いかを調べるには、少なくとも 1 秒間のデータは必要です。1 Hz の成分がると言えるためには、ある程度の期間、1 Hz の成分が継続して存在する必要があります。

また、1 Hz の周波数成分を正確に把握する為には、その近くの周波数の成分の大きさも詳しく知る必要があります。周波数分解能を高くする必要があります。

0.98 Hz、0.99 Hz、1.0 Hz、1.01 Hz、1.02 Hz での音圧が分れば、ある程度正確に把握できたとと言えます。（周波数分解能が 0.01 Hz という事です。）

また、波形を正確に理解するには、音圧をこまめに計測することが必要です。サンプリングレートを高くする必要があります。1 秒間に 48\*1000 回程度の計測が必要です。（サンプリングレート 48 kHz という事です。）

結論は、高いサンプリングレートで、ある程度長い時間、例えばサンプリングレート 48 kHz で 120 秒間以上の計測結果が必要になります。この 120 秒分のデータを調べれば、周波数成分について、かなり正確にわかります。

このデータがあれば、1 Hz の成分について、平坦特性での音圧レベル、 $L_p = 88.34$  dBだと判明します。  
その後で、重みづけをすれば、G 特性音圧レベル  $L_G = 45.34$  dB が得られます。

そして、

$$L_G = 10 * \log \left( \frac{p_G^2}{p_0^2} \right)$$

を逆に計算すれば、 $P_G$  が得られます。

説明の式だけを見ると、一瞬にして  $P_G$  が分り、それから  $L_G$  が計算されるように見えますが、その様な神業は存在しないのです。

予測地点における騒音レベルは、それぞれの風力発電機から発生する騒音レベルを(3.1)式によって計算し、これらを(3.3)式によって重合することで求められる。

$$L_p = 10 \log(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10}) \quad (3.3)$$

ここで、

$L_p$  : 予測地点における騒音レベル(dB)

$L_n$  :  $n$  番目の風力発電機による騒音レベル(dB)

最初に、騒音レベル (A 特性音圧レベル) ではなく、単なる音圧レベル (A 特性での重みがすべて 0 の場合) で考えます。

$$L_p = 10 \log(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}})$$

の式で、

$$L_i = 10 * \log\left(\frac{p_i^2}{p_0^2}\right)$$

を右辺に代入して計算する。

$$10^{\log\left(\frac{p_i^2}{p_0^2}\right)} = \frac{p_i^2}{p_0^2}$$

であり、

$$p^2 = p_1^2 + \dots + p_n^2$$

とおけば、

$$L_p = 10 \log\left(\frac{p^2}{p_0^2}\right)$$

となる。これは、音圧  $p$  に対する音圧レベルの計算である。

## 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/m<sup>2</sup>)

$$J = (p * p) / (\rho c) \quad (\text{W/m}^2)$$

ここで、 $p$  (Pa) は音圧、 $\rho$  は空気の密度 (kg/m<sup>3</sup>)、 $c$  は音の速度 (m/s)、積  $\rho c$  は空気の音響インピーダンスと呼ばれ、 $\rho c \approx 400[\text{NS/m}^3]$  である。

を使えば、

$$p^2/(\rho c) = p_1^2/(\rho c) + \dots + p_n^2/(\rho c)$$

と書けて、エネルギーの合計を扱っていることが分る。

1/3 オクターブ解析での計算に於いては、各帯域で、この様なエネルギーの和を考えて、中心周波数の所に、合計したエネルギーを持っている音があり、その音圧が p だとし、それを音圧レベルに変換した表を作る。

それが平坦特性音圧レベルの表です。

No-W	88.34	69.43	66.39	82.26	71.87	81.04	80.49	78.65	80.46	79.77	77.75	70.44	61.24	61.25	69.84	68.51	64.56	55.92	60.98	50.36	max	88.34
f	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80		

G 特性の場合は、各帯域に対して G 特性での重みを加算して表が完成します。

G-W	45.34	31.93	33.79	53.96	47.77	61.04	64.49	66.65	72.46	75.77	77.75	74.44	68.94	70.25	73.54	64.51	52.56	35.92	32.98	14.36	max	77.75
f	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80		

この数値全体を重合した数値が、全体としての G 特性音圧レベルです。

i 番目の帯域に対する G 特性での重みを  $W_{Gi}$ 、平坦特性での音圧レベルを  $L_i$ 、G 特性での音圧レベルを  $L_{Gi}$  とする。

$$L_{Gi} = L_i + W_{Gi}$$

となる。

$$L_G = 10 \log \left( 10^{\frac{L_{G1}}{10}} + 10^{\frac{L_{G2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{Gn}}{10}} \right)$$

全体としての G 特性レベル  $L_G$  は上の式で計算される。

風車が 2 つあって、 $L_{1G}$ 、 $L_{2G}$  の重合結果  $L_{TG}$  は

$$L_{TG} = 10 \log \left( 10^{\frac{L_{1G}}{10}} + 10^{\frac{L_{2G}}{10}} \right)$$

$$L_{1G} = 10 \log \left( 10^{\frac{L_{1G1}}{10}} + 10^{\frac{L_{1G2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{1Gn}}{10}} \right)$$

$$L_{2G} = 10 \log \left( 10^{\frac{L_{2G1}}{10}} + 10^{\frac{L_{2G2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{2Gn}}{10}} \right)$$

$$L_{1Gi} = L_{1i} + W_{Gi}$$

$$L_{2Gi} = L_{2i} + W_{Gi}$$

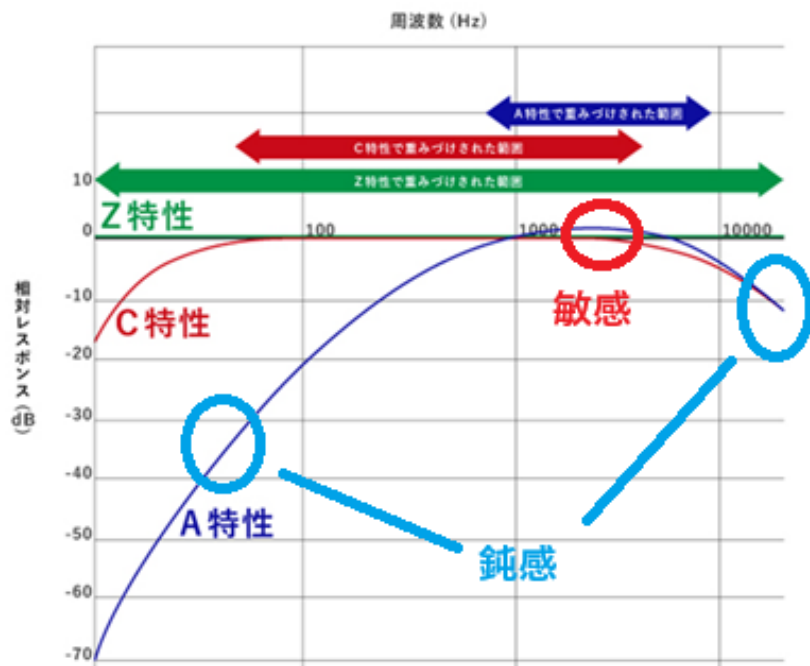
を代入して計算すると、先に平坦特性での重合を帯域ごとに行ってから、G 特性での重みを付けて、全体としての G 特性音圧レベルを計算した結果と一致する。

## 音の大きさの評価（A 特性・G 特性・アノイアンス特性）

音の大きさをどのように表現すべきでしょうか？

物理的なエネルギーを基準に考える方法もあるが、聴覚で感じる“音の大きさ”を基準にして考える方法もある。

人間の耳の感度は 1000Hz 前後の周波数でもっとも高くなると言われています。



上のグラフだと、1000Hz～5000Hz のあたりにプラスの重みが付いている。

ある音圧レベルの 1000Hz の音の聞こえ方を基準にすれば、同じ音圧だった場合には、1000Hz～5000Hz の音は、その音圧レベルに比べてより大きく聞こえる。聞こえやすさの観点からは、物理的な音圧レベルにおまけをつけて評価する。1000Hz よりも低い周波数の音は、同じ音圧レベルだったとしても 1000Hz の音よりは聞こえにくい。マイナスの重みを付けて聞こえやすさの評価を下げる。1000Hz を越える音も聞こえにくいので、物理的な音圧レベルにマイナスの重みを加えて、聞こえやすさを評価する。その結果、上のグラフのような重み付けのグラフになる。

このような聴覚の特性を考慮し、重みづけがされたのが A 特性になります。

超低周波音の場合も可聴域の音と同様の表現をすべきだろうか？これは大きな問題です。

G 特性でも重み付けのグラフの形は A 特性のものと似ている。

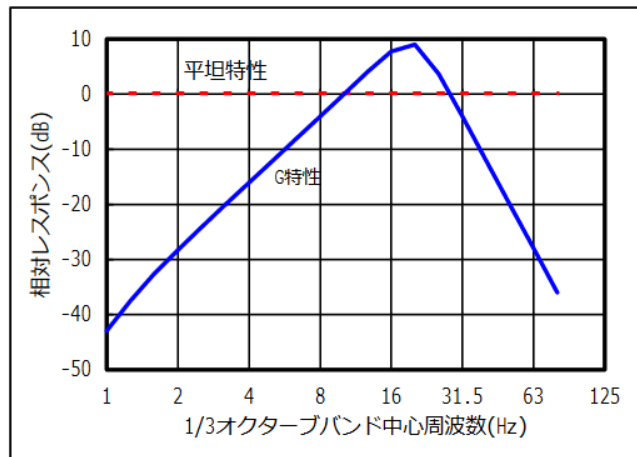


図-1.1 低周波音の周波数補正特性

A 特性での重み付けの観点からすれば、人間の感覚の鋭敏さを次の様に評価したことになる。

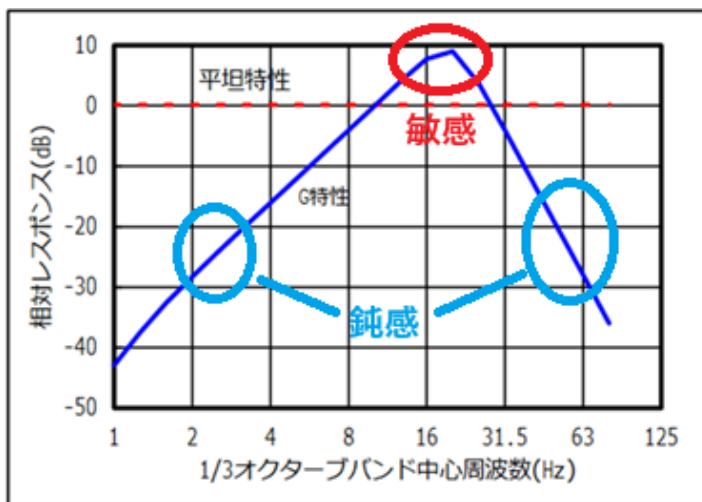


図-1.1 低周波音の周波数補正特性

A 特性での曲線を書き込めば次の様になる。

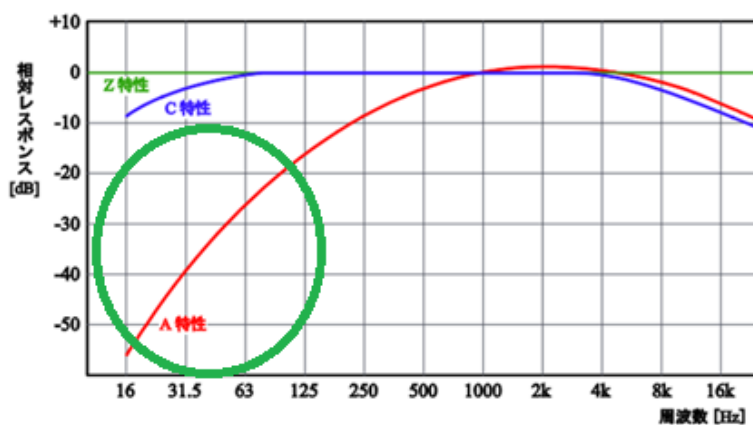


図 2 周波数重み付け特性 A/C/Z



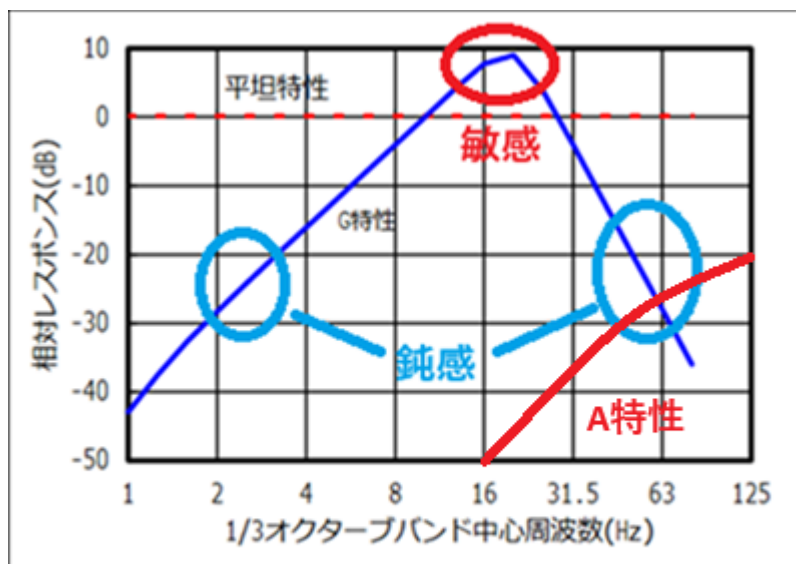


図-1.1 低周波音の周波数補正特性

しかし、10Hz～20Hz に比べて、30Hz～63Hz 辺りの音はより聞きにくいのでしょうか？  
あるいは、より（不快感を）感じにくいのでしょうか？

ISO 389-7:2019 にある聴覚閾値の表の数値と、2つの参照値などを纏めれば、次の表になります。

周波数Hz	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
物的参照値 dB	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99						
心身参照値 dB				92	88	83	76	70	64	57	52	47	41				
聴覚閾値							78.1	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5	26.5	22.1	17.9	14.4
聴覚閾値(旧)							78.5	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5	26.5	22.1	17.9	14.4
夜間参照曲線				92	87	83	74	63	56	49	43	42	40	38	36	34	

上の表の心身参照値と夜間参照曲線の数値は、16Hz～80Hz（125Hz）と周波数が増えると小さな数値になります。これは、周波数が高ければ、音圧が低くても不快感を覚える人が多いという事を意味します。同じ音圧ならば、周波数が高いほど、より不快に感じるという事なのです。

アノイアンスの観点からは、16Hz～125Hz での重みはプラスで増加させることになります。

聴覚は、20Hz 以上が可聴域なので、20Hz 以上で鈍感になることはあり得ない。63Hz あたりで、-30 dB の重みを付けて、鈍感さを補正する必要は無い。16Hz の音よりは 63Hz の音の方が聞きやすいのです。

補正するならば、16Hz ではマイナス、63Hz ではプラスにすべきです。

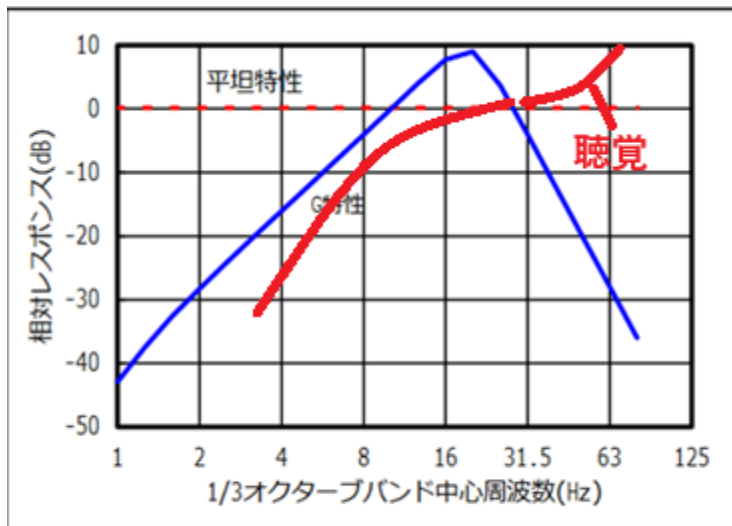


図-1.1 低周波音の周波数補正特性

人体への影響を評価するとの観点で言えば、他の感覚器官での把握を含めて考えて、アノイアンス（不快感）での圧迫感や物理的な圧縮膨張に着目して、その影響が強い部分にプラスの重みを付けるならば、

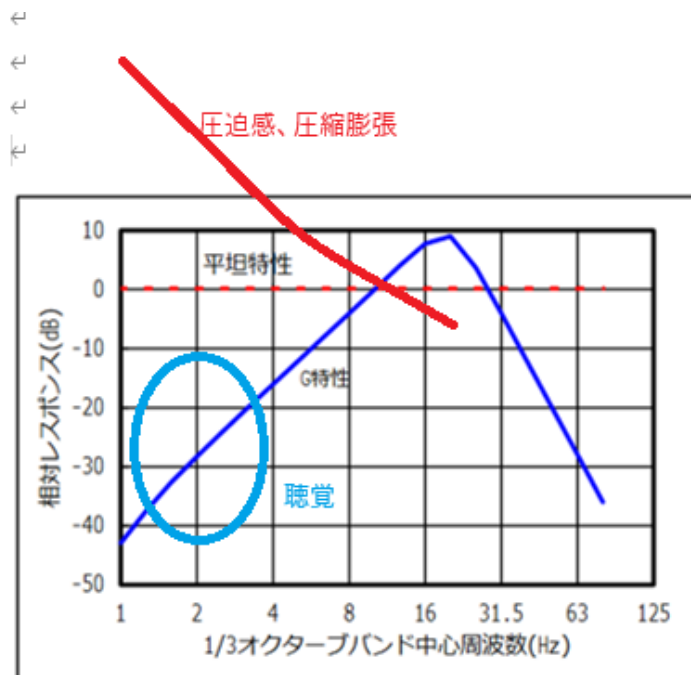


図-1.1 低周波音の周波数補正特性

圧迫感や、体に対する圧縮膨張を考えれば、上の赤い曲線になります。

10Hz 以下に関しては、聴覚での違いは判断できないが、圧迫感では違いを判断できると考えるならば、アノイアンスの把握との観点で、複数の感覚器官によるアノイアンス（不快感）の総合的な把握と考える時の重みは、下の図の赤い曲線（アノイアンス特性曲線）のようによすべきです。

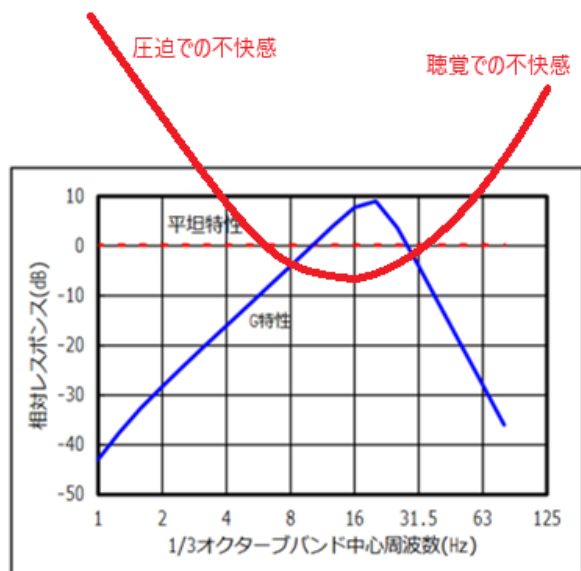


図-1.1 低周波音の周波数補正特性

もちろん、本来の G 特性での重みづけに従って反応する、感覚器官があるならば、その感覚器官の具体的な反応の詳細を示す必要があります。

ある人は、“感覚的な大きさ”と言っています。どのような感覚器官で把握された感覚なのかが示されていません。

## 騒音(低周波音)・超低周波音の大きさの表し方

### G特性音圧レベル(ISO 7196)＜感覚的な大きさ＞

$$L_G = 10 \cdot \log_{10}(p_G^2 / p_0^2)$$

$L_G$  : G特性音圧レベル(dB)

$p_G$  : G特性音圧実効値(Pa)

$p_0$  : 基準音圧  $2 \times 10^{-5}$  (Pa)

超低周波音の大きさを評価する測定量で、可聴騒音を評価する場合の A特性音圧レベル(騒音レベル)に相当する

A 特性での話と同様に考えれば、10Hz～20Hz の音は、感覚的に大きく感じるが、30Hz～63Hz 辺りの音は感覚的に小さく感じるから、山形の曲線になっているのです。どんな感覚器官が、その様な条件を満たすのでしょうか？

A 特性での重み付けは、聴覚の特性に従っていると言えるが、G 特性での重み付けはどのような感覚器官の特性に従っているかを示す必要があるのです。

超低周波音による、人体に対する圧縮膨張を考えるならば、不眠の原因であるアノイアンス（不快感）を評価する為の重み付けとして考えると、G 特性での重みは、アノイアンス（不快感）の程度を把握できなくするための数値でしかないのです。さらに、風雑音と除外音処理で、徹底的に妨害しているのが、環境省なのです。

## 風車からの超低周波音

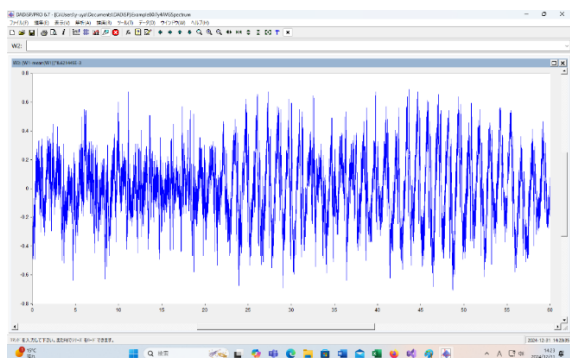
以前、環境省は

“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。”

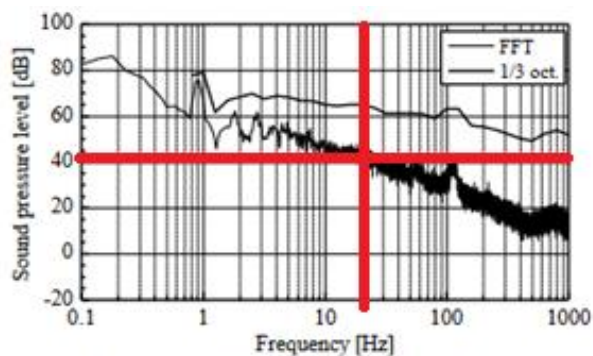
と言っていました。

“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。しかし、間違っている部分もある。

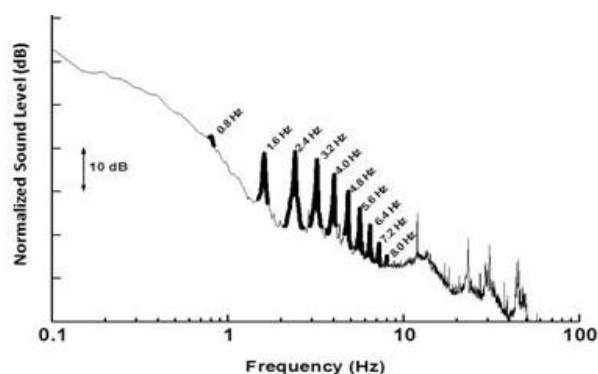
風車音の波形は次のグラフです。

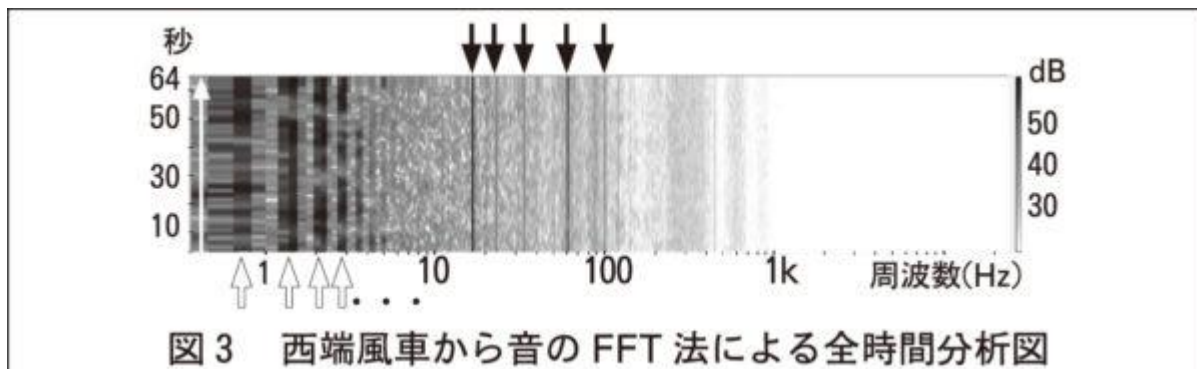


周波数を調べたグラフでは、次のようなものしか見つからない。

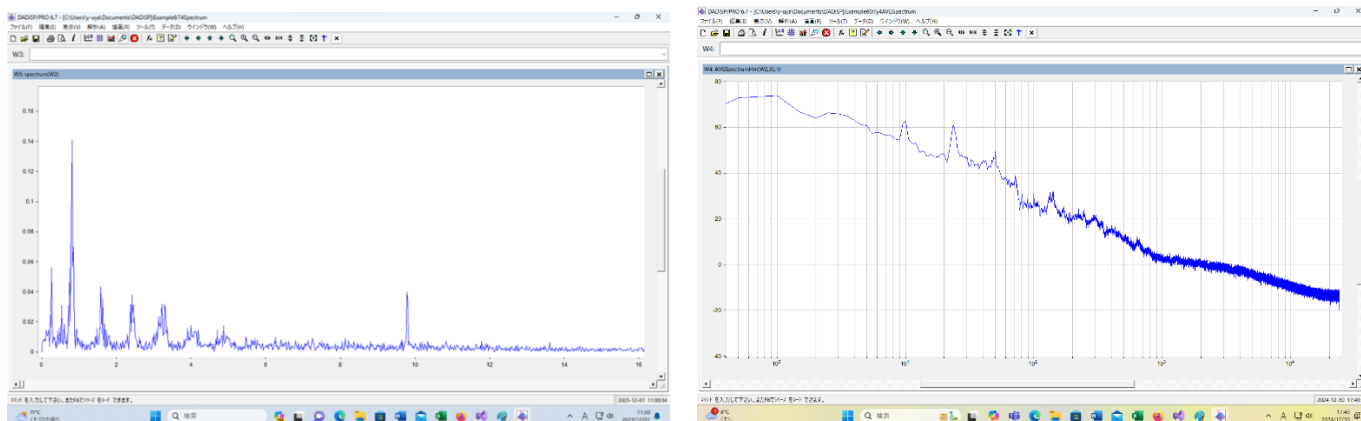


図(2)-11 図(2)-9の音圧のスペクトル





風車音の計測結果から、ピーク値での音圧が分かるものとしては2つのグラフが得られます。



左を選べば、 $f/3$ 、 $2f/3$ 、 $f$ 、 $2f$ 、 $3f$ 、Hz で音圧がピークとなることが分り、その事から風車音が発生する仕組みや頭痛が起きる理由を解明できるが、右のグラフを選べば風車音被害の原因は究明できなくなります。

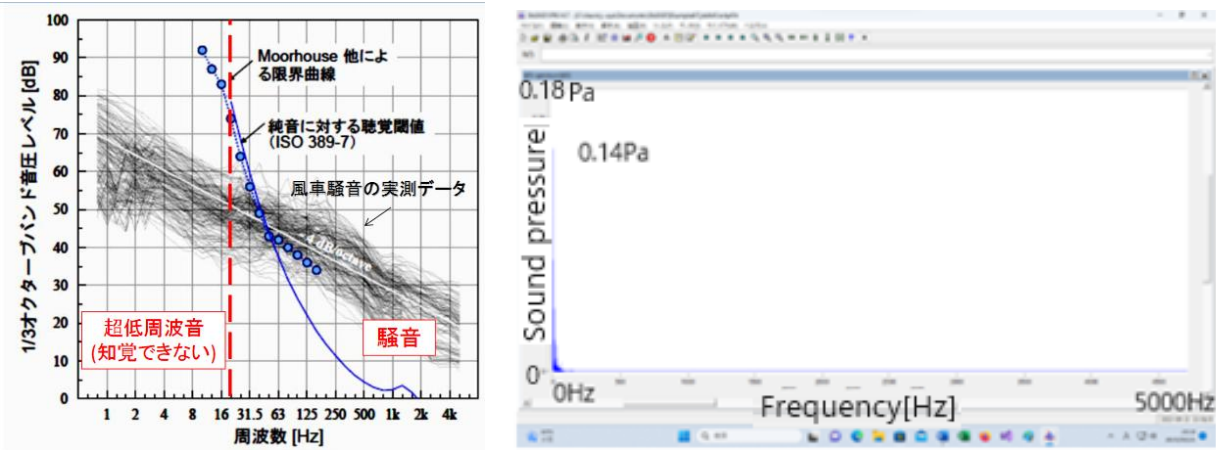
左側のグラフは、風車のどの部分が、どのように動いて、超低周波音を含む風車音が発生するのかを教えてくださいますが、右のグラフは、教えてくれないのです。

どちらを選択するかは、被害を実際に起きていると考えるか、被害の可能性が有ると考えるかの違いです。超低周波音の解析技術は色々です。掲げる課題と方針によってその技術の価値が決まって来るのです。

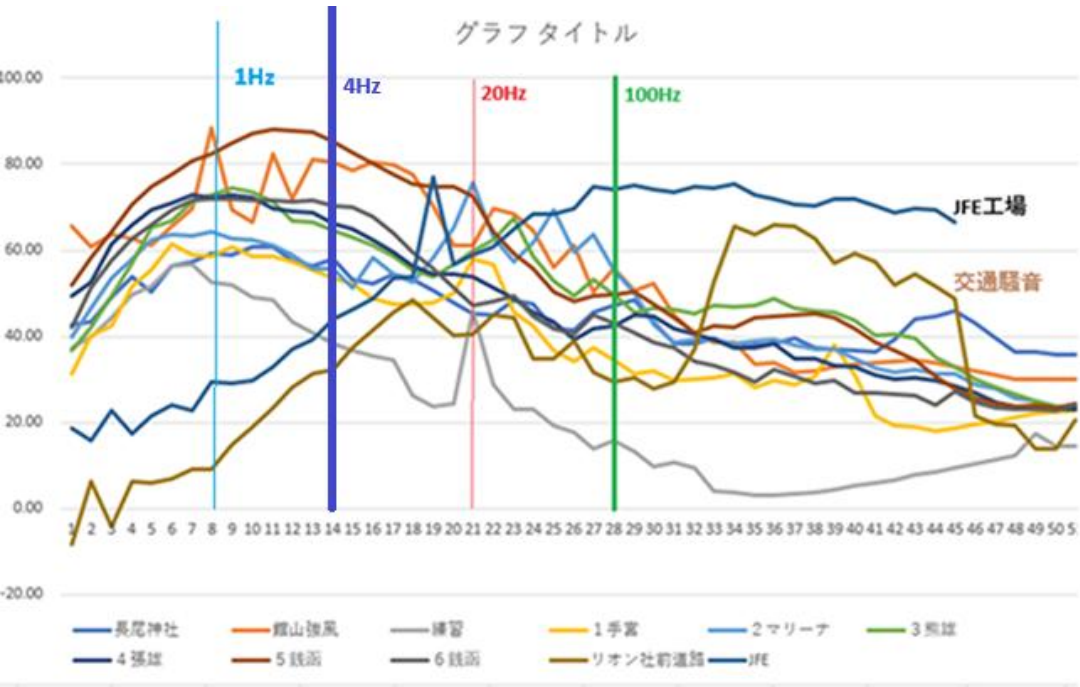


グラフの形

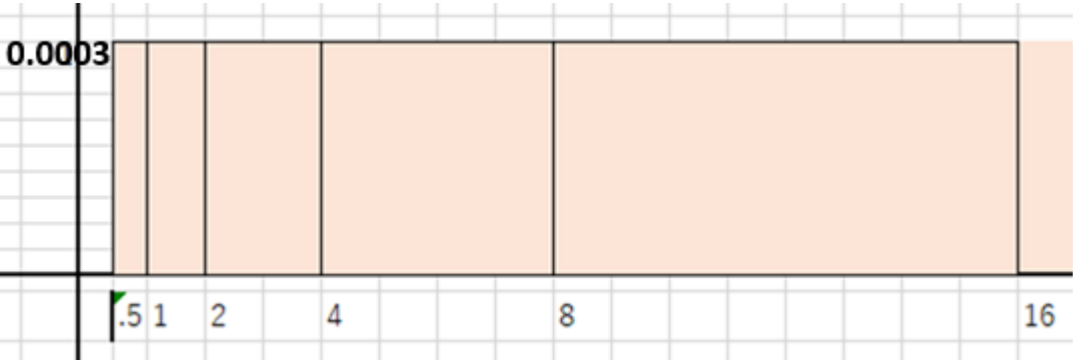
次の2つのグラフは同じものを表現している。



次のグラフで右上がりと右下がりの違いは何か？

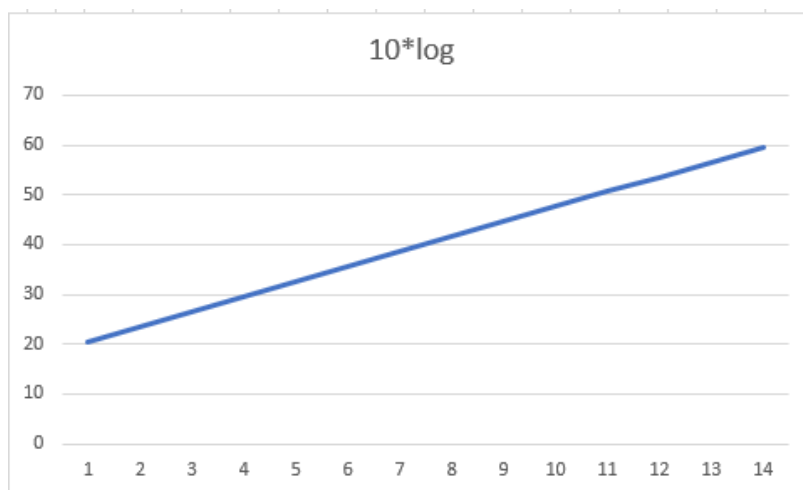


JFE 工場の場合を簡単にして、



横目盛	0.5	1	2	4	8	16
音圧	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
音圧	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
音圧*音圧	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
幅 * 音圧^2	0	9E-08	2E-07	4E-07	7E-07	1.4E-06
10*log	20.5	23.52	26.53	29.54	32.553	35.563

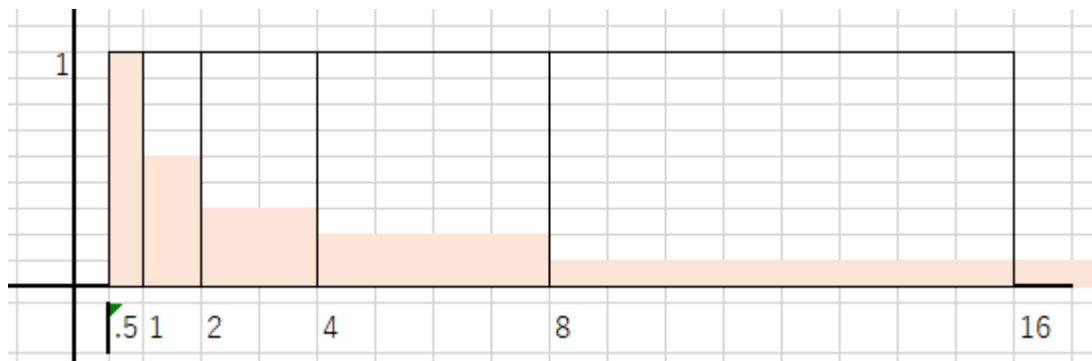
横目盛	0.5	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024	2048	4096
音圧	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
音圧	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
音圧*音圧	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
幅 * 音圧^2	0	9E-08	2E-07	4E-07	7E-07	1.4E-06	2.9E-06	6E-06	1.2E-05	2.3E-05	5E-05	9E-05	0.000184	0.0004
10*log	20.5	23.52	26.53	29.54	32.553	35.563	38.5733	41.584	44.5939	47.6042	50.615	53.62	56.63512	59.645



広帯域なら右上がりになり、中心周波数の増大につれて大きくなる。

風車音の場合のモデルを考える。

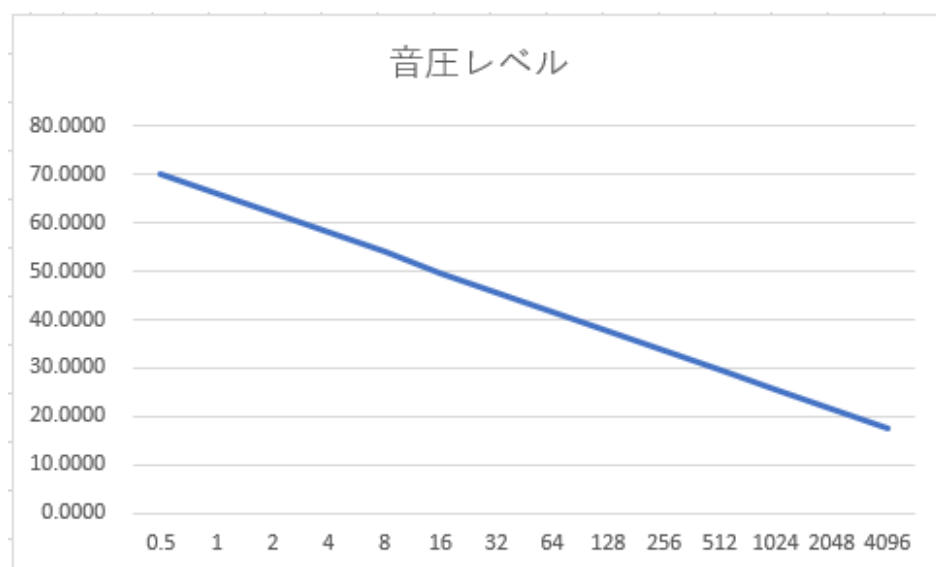
傾きが-4 になるのは、



横目盛	0.5	1	2	4	8	16
音圧	1	$1/2.25$	$1/(2.25)^2$	$1/(2.25)^3$	$1/(2.25)^4$	$1/(2.25)^5$
音圧	1.0000	0.4444	0.1975	0.0878	0.0390	0.0173
音圧*音圧	1.0000	0.1975	0.0390	0.0077	0.0015	0.0003
幅*音圧^2	0.5	0.198	0.078	0.031	0.0122	0.00481
10*log	-3	-7.04	-11.08	-15.1	-19.14	-23.177
68+10log	70	65.96	61.92	57.89	53.856	49.8229

横目盛	64	128	256	512	1024	2048	4096
音圧	$1/(2.25)^7$	$1/(2.25)^8$	$1/(2.25)^9$	$1/(2.25)^{10}$	$1/(2.25)^{11}$	$1/(2.25)^{12}$	$1/(2.25)^{13}$
音圧	0.0034	0.0015	0.0007	0.0003	0.0001	0.0001	0.00003
音圧*音圧	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
幅*音圧^2	0.0008	0.0003	0.00012	5E-05	2E-05	7.23E-06	3E-06
10*log	-31.24	-35.277	-39.31	-43.344	-47.4	-51.4105	-55.44
68+10log	41.756	37.7229	33.6895	29.656	25.62	21.5895	17.556

横目盛	0.5	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024	2048	4096
音圧	1	$1/2.25$	$1/(2.25)^2$	$1/(2.25)^3$	$1/(2.25)^4$	$1/(2.25)^5$	$1/(2.25)^6$	$1/(2.25)^7$	$1/(2.25)^8$	$1/(2.25)^9$	$1/(2.25)^{10}$	$1/(2.25)^{11}$	$1/(2.25)^{12}$	$1/(2.25)^{13}$
音圧	1.0000	0.4444	0.1975	0.0878	0.0390	0.0173	0.0077	0.0034	0.0015	0.0007	0.0003	0.0001	0.0001	0.00003
音圧*音圧	1.0000	0.1975	0.0390	0.0077	0.0015	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
幅*音圧^2	0.5	0.198	0.078	0.031	0.0122	0.00481	0.0019	0.0008	0.0003	0.00012	5E-05	2E-05	7.23E-06	3E-06
10*log	-3	-7.04	-11.08	-15.1	-19.14	-23.177	-27.21	-31.24	-35.277	-39.31	-43.344	-47.4	-51.4105	-55.44
68+10log	70	65.96	61.92	57.89	53.856	49.8229	45.7896	41.756	37.7229	33.6895	29.656	25.62	21.5895	17.556



狭帯域だと右下がりになる。

1/3 オクターブ解析のグラフが右下がりという事は、音圧が急激に減少していることを意味している。  
これは、音のエネルギーが超低周波音の領域に集中していて、周波数が高くなるに従って急激に音圧が減少することを意味している。

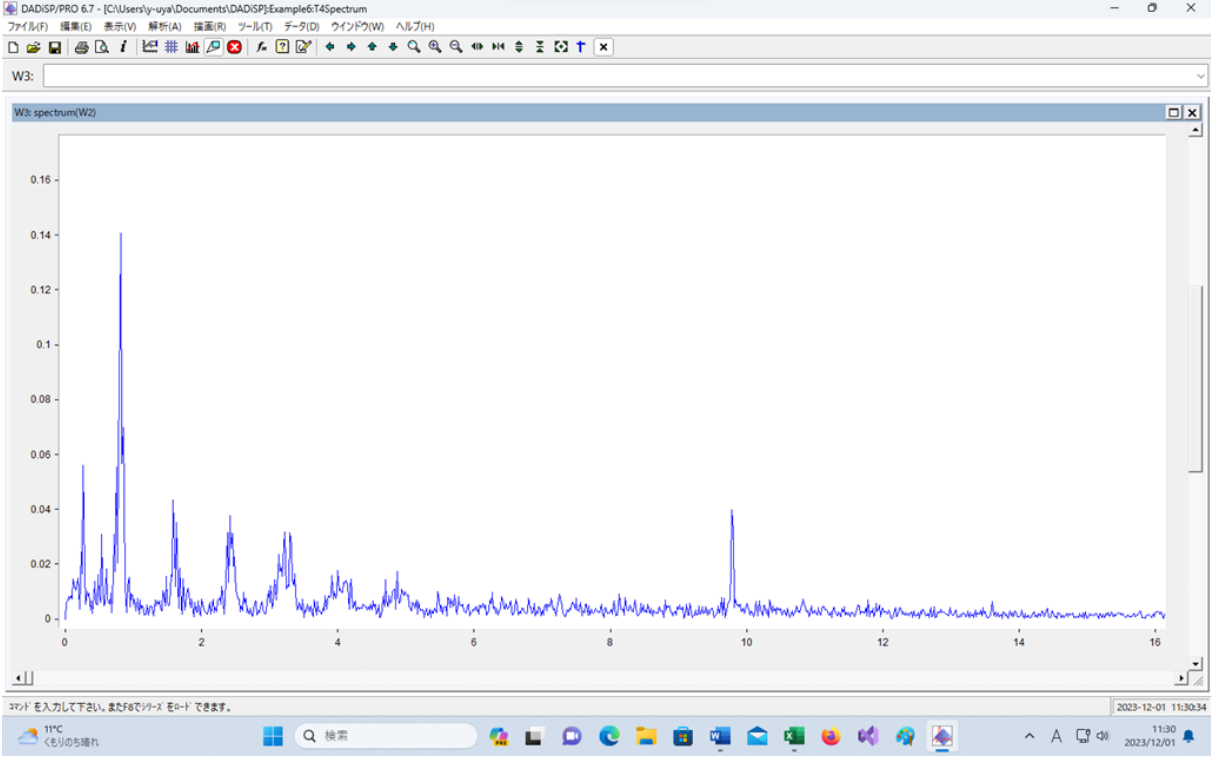
1/3 オクターブ解析でのグラフは広帯域の音ならば右上がり、狭帯域の音ならば、右下がりになっているのです。

周波数  $f/3$ 、 $2f/3$ 、 $f$ 、 $2f$ 、 $3f$ 、 $\dots$ 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  $R(\text{rpm})$ 回、翼枚数を  $Z(\text{枚})$ とするとときに、 $f = RZ/60[\text{Hz}]$ 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、 $f/3$ 、 $2f/3$ 、 $f$ 、 $2f$ 、 $3f$ 、 $\dots$ に於いて音圧がピーク値となるのです。

実際の風車音で計測された音圧（パスカル）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とも言えるのです。更に風車の運動との関連を調べれば、金属疲労の試験装置の様なものになっている事も判明する。秋田県でブレード破損による死亡事故が起きたが、これは水平軸型風車の物理的な宿命が最悪の形で現れてしまった結果である。

後で示すが、超低周波音の解析によって事故の予兆を把握できる可能性が有る。

一般的な環境騒音と風車音の違い

NL-62 には、波形収録機能があります。これは、

#### “● 概要

本器に、波形収録プログラム NX-42WR をインストールすると、音圧波形を PCM 形式の WAVE ファイルとしてストアデータと共に SD カードに記録（録音）することができます。

記録した WAVE ファイルは、PC 上でストア時の音圧波形を再生、確認することや再分析することが可能となります。“

というものです。

サンプリングレートを  $48\text{ kHz}$  として、60 秒あるいは 120 秒の計測データを作り、これを使って、FFT の計算をすれば、フーリエ級数で、音圧の変化を表現できます。周波数分解能は 60 秒だと  $0.01667\text{ Hz}$ 、120 秒だと  $0.00833\text{ Hz}$  となり、最大周波数は  $24\text{ kHz}$  です。これを使って、交通騒音、工場騒音、風車騒音の特徴を比較する事が可能になります。 $0\text{ Hz} \sim 24\text{ kHz}$  の範囲でのエネルギー分布もすぐに分かります。勿論、ISO7196 に従って、中心周波数  $0.25\text{ Hz} \sim 315\text{ Hz}$  での  $1/3$  オクターブ解析も可能です。

風車音の特徴を、他の環境騒音と比べてみます。

交通騒音や工場の騒音と、風車音ではその性格が全く異なります。次の図 1，2，3 を見れば、風車音は  $0.8\text{ Hz}$  の辺りに集中している音であり、工場音や風車音のような広帯域の音ではないのです。

図 1．交通騒音（リオン社前）  $0 \sim 5000\text{ Hz}$

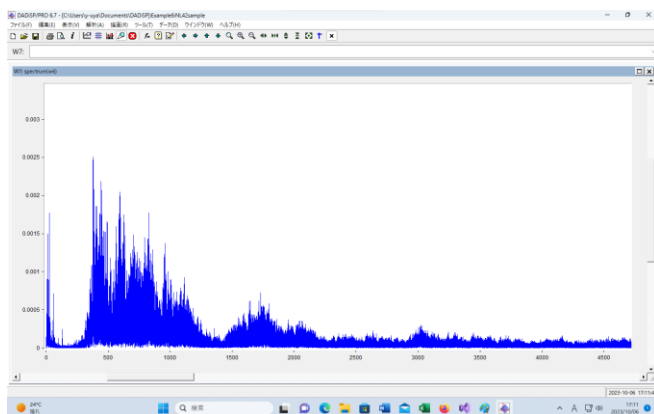


図 2．工場騒音（製鉄所内の音）  $0 \sim 5000\text{ Hz}$

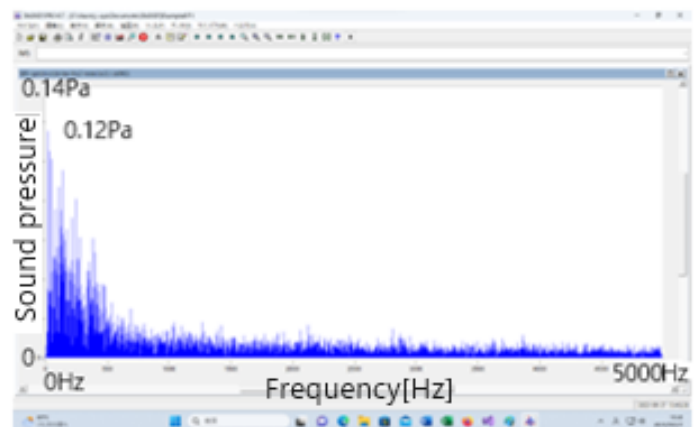


図 3．風車音（館山風の丘） 0 ～5000Hz

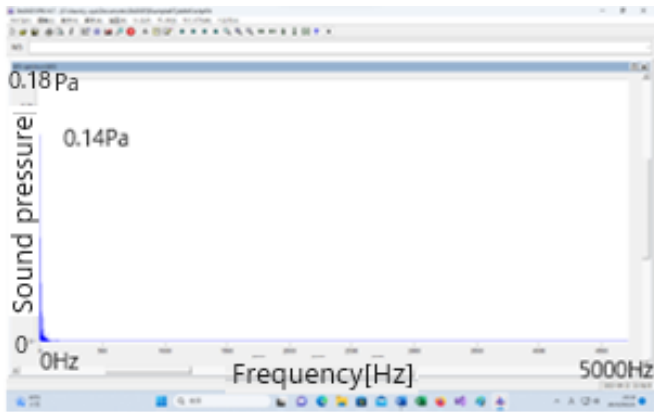


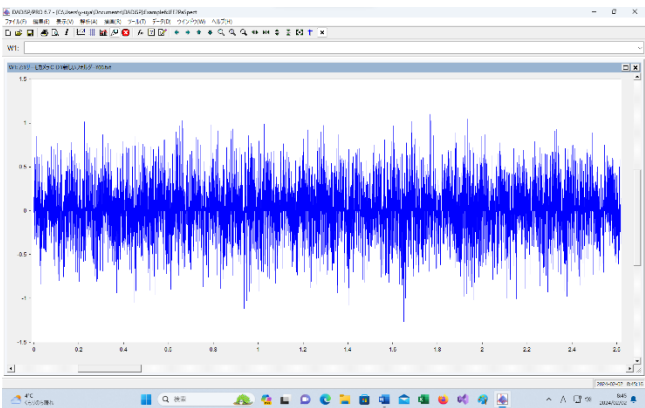
表 2．エネルギーの分布

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

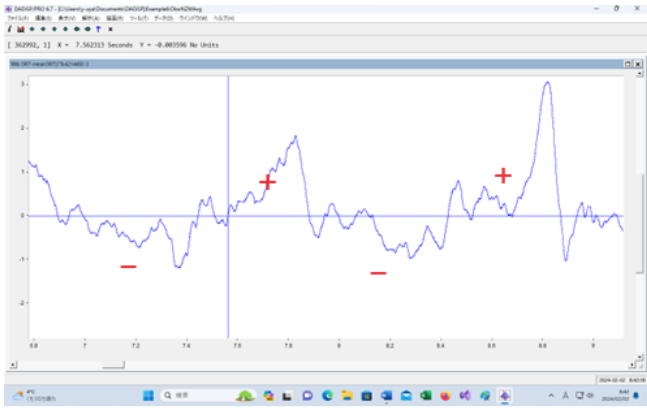
表 2 を見れば分かりますが、A 特性音圧レベル（20Hz 以上）での評価は、風車音のエネルギーの 93% を無視して、他の環境騒音と比べることになるのです。

超低周波音の部分を無視するならば、風車音の問題は見過ごされてしまうのです。  
また、このような特殊な周波数構造が音圧波形での符号を決定します

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、体内で圧縮・膨張が繰り返される原因です。

## 1（1）前回WGの御議論の振り返り

- 前回WGにおいて、**風力発電所の環境アセスの参考項目**（稼働中の風力発電所からの超低周波音や工事の実施に伴う大気環境）の**取扱い**について、委員の皆様にご議論いただいたところ。
- 前回WGにおける委員からの御意見を踏まえ、対応方針（案）について御議論いただきたい。

### ＜前回WGにおける主な御意見＞

#### 1．稼働中の風力発電所の超低周波音の取扱い

- （1）**環境アセスの簡素化や科学的なエビデンスに基づく対応は支持**。一方で、（主観的な問題で）被害を訴えている住民もいるため、**科学的なエビデンスだけでなく、社会的な合意形成への配慮も必要**。住民の意思決定や合意形成への参画など**手続きの透明性の観点**も必要。
- （2）仮に参考項目から**超低周波音を削除した場合、住民の懸念への対応**について、予め検討が必要。
- （3）**地形的な条件による共振や増幅等の技術的な課題**についても検討が必要。

#### 2．工事の実施に伴う大気環境の取扱い

**工事の実施に伴う大気環境**（工事用資材の搬出入・建設機材の稼働に伴う大気質、騒音及び振動）の**取扱いについては、簡素化の方向で概ねご了承**をいただいたところ。

1

この根拠自体が検証されなくてはならないのだが、WGのメンバーは、その仕事をさぼっているようです。

WGのメンバーは、

第22回新エネルギー発電設備事故対応・構造強度ワーキンググループ

委員名簿

（敬称略・五十音順）

（座長）

勝呂幸男 横浜国立大学産学連携研究員

（出席者）

青木雅 一般財団法人日本建築センター評定部兼既存建築物技術審査部審議役

大関崇 国立研究開発法人産業技術総合研究所太陽光発電研究センターシステムチーム長

奥田泰雄 国立研究開発法人建築研究所シニアフェロー

川田宏之 早稲田大学理工学術院基幹理工学部機械科学・航空学科教授

熊田亜紀子 東京大学工学系研究科電気系工学専攻教授

曾我美紀子 西村あさひ法律事務所パートナー弁護士

西尾真由子 筑波大学システム情報系構造エネルギー工学域准教授

西川省吾	日本大学理工学部電気工学科教授
弘津祐子	一般財団法人電力中央研究所原子力リスク研究センターリスク評価研究チーム上席研究員
福長恵子	公益社団法人日本消費生活アドバイザー・コンサルタント・相談員協会常任顧問
前田太佳夫	国立大学法人三重大学大学院工学研究科教授
安田陽	京都大学大学院経済学研究科再生可能エネルギー経済学講座特任教授
若尾真治	早稲田大学理工学術院先進理工学部教授 (オブザーバー)
海津信廣	一般社団法人日本風力発電協会技術部長
斉 藤長	一般社団法人日本風力発電協会理事企画部長
久保昌也	一般社団法人日本小形風力発電協会副理事長
鈴木聡	一般社団法人太陽光発電協会事務局長
伊賀川治	一般社団法人住宅生産団体連合会調査部長 (説明者)
平田浩顕	京セラ株式会社ソーラーエネルギー事業本部ソーラーエネルギー開発部第 1 開発部責任者
塚脇正幸	日本風力開発ジョイントファンド株式会社 代表取締役

この裏付けについての検証は、お金と時間はかかるが、理論としての難しい点はない。

精密騒音計 (NL-62、NL-63、SA-A1 のどれか)、ポリ袋、段ボールの箱、車を用意して、風車の近くまで行って、風がマイクに当たらないようにして計測した結果と、同じ場所で、マイクに風が当たる様にして計測した結果の周波数スペクトルを比較すれば良いだけのことです。

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ます。風車からは、風雑音ではない超低周波音が出ていることが分ります。

風車から 7 k m くらい離れて、マイクに風を当てながら計測すれば、真の風雑音が計測できます。周波数スペクトルを比較すれば、風の影響は、超低周波音の計測ではほとんど問題にならない。計算誤差の範囲内だとも言えることが分ります。

これを、WG のメンバー各自が自分の責任で確認することが必要なのです。費用は、精密騒音計と振動レベル計で、150～200 万円、さらに、P C と解析ソフトのお金が必要です。



この中の、

1. (1) には、“科学的なエビデンスに基づく対応は支持”とあるが、  
エビデンス (evidence) とは、「証拠」「根拠」「裏付け」「形跡」といった意味を持つ言葉です。  
経産省は、

### ○超低周波音の健康影響について

#### ・環境省検討会報告(※1)、 環境省水・大気環境局長通知(※2)

- ー風車からの騒音の実測データ
- ー健康影響について論文レビュー

※1 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（平成28年11月））


※2 環境省水・大気環境局長通知「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」（平成29年5月26日）

#### ・NEDO報告(※3)

- ー風車からの騒音の実測データ

※3風力発電等導入支援事業／環境アセスメント調査早期実施実証事業／環境アセスメント迅速化研究開発事業既設風力発電施設等における環境影響実態把握Ⅰ報告書、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構、平成30年2月

### <これまでの知見>



超低周波音については、  
ー人間の聴覚・知覚閾値を下回っていること  
ー健康影響との明らかな関係はないことから、  
**風車騒音の問題は超低周波音によるものではないとしている。**

“風車からの騒音の実測データ”とあるが、なぜ、“風車からの音の実測データ”と書けないのか？  
理由は簡単です。計測機材と解析方法を追及されるからです。

“騒音”と付けて、議論から逃げ出す準備をしているのです。更に、日本語としての聴覚閾値と知覚閾値の違いを無視している。これによって、人間には耳以外の感覚器官が無いと考えた上での主張になっている。

“風車騒音の問題は超低周波音によるものではないとしている”では、日本語としては、見るに堪えない表現である。騒音とあれば可聴音でなくてはならない。当然、“風車騒音の問題”は可聴域の音に関する問題なので、超低周波音によるものではない。うるさは風車騒音の問題であるが、圧迫感や不快感は風車からの超低周波音の問題である。WGの人選では日本語が理解できる人を選んでほしかった。

人間に聴覚以外の感覚器官があり、超低周波音がいろいろな形で作用して、健康に害を与えることを考えれば、

超低周波音については

人間の聴覚閾値を下回ってはいるが、圧迫感やガタツキの感知、体内の圧力を強制的に変動させることを見れば、風車音の影響は、慢性的な睡眠妨害や循環器系の障害や頭痛として知覚される。

健康影響は、風車超低周波音の物理的な性質を調べれば、物理的に必然的な結果として、循環器系の障害や頭痛が起きることが分る。(流体力学と偏微分方程式の知識が必要)

よって、

風車音による健康被害の問題は、風車からの超低周波音によるものであることが、計測と解析の結果と物理学の常識が有れば分かる。

少し勉強した人ならば、常識にすぎない事柄です。

※1について（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

### ＜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たり-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。

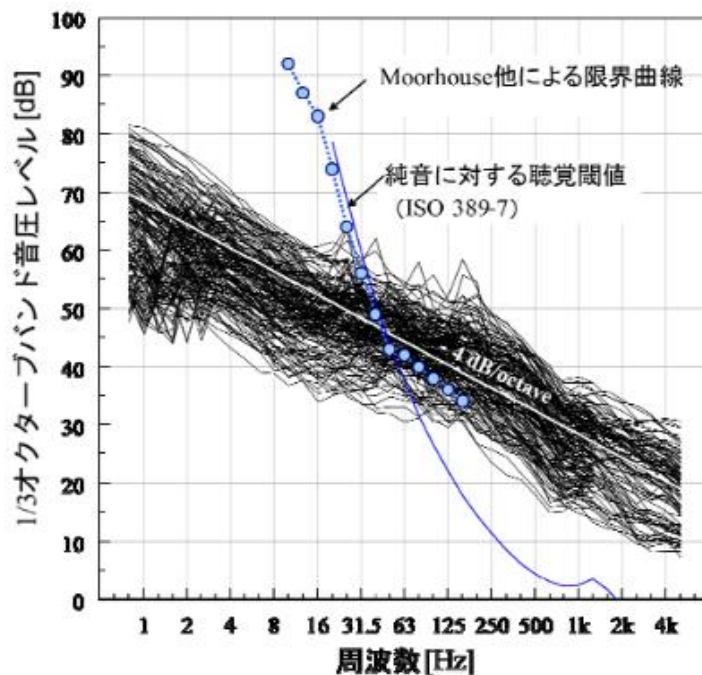


図3 全国29の風力発電施設周辺164地点における風車騒音の周波数特性の分析結果

ここで、  
“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。”  
とあるが、  
可聴性が調べられているのは理解できる。10Hz 程度まではスピーカから音が出せて圧迫感や不快感についての実験も可能であるが、

低周波音問題に関する Q&A

Q7 感覚閾値と『参照値』は違うものですか？  
A7 感覚閾値とは、なんらかのかたちで低周波音を感じることでできる最小の音圧レベルです。一方、『参照値』には、1) 建具類のがたつきなどの「物的苦情の『参照値』」と2) 圧迫感、振動感、不快感などの「**心身に係る苦情の『参照値』**」の2種類があります。「物的苦情の『参照値』」については、建具等ががたつき始める最小の音圧レベルを実験等によって求めたものです。「心身に係る苦情の『参照値』」については、長時間継続する低周波音を受けた場合に、大部分の人があまり気にならないで許容できる最大音圧レベルです。このように、「心身に係る苦情の『参照値』」と「感覚閾値」とでは定義が異なります。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。

とあるが、20Hz での大小関係と 25Hz 以上での大小関係は異なる。

周波数Hz	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
物的参照値 dB	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99						
心身参照値 dB				92	88	83	76	70	64	57	52	47	41				
聴覚閾値							78.1	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5	26.5	22.1	17.9	14.4
聴覚閾値(旧)							78.5	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5	26.5	22.1	17.9	14.4
夜間参照曲線				92	87	83	74	63	56	49	43	42	40	38	36	34	

G特性の重み加算																					
周波数Hz	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
井上聴覚閾値	102	102	103	102	103	103	101	100	99												
物的参照値 dB					58	63	68	73	79	85	89	87	83	81	79						
心身参照値 dB								92	92	91	85	74	60	45	32	19	5				
聴覚閾値											87	72	56	40	24	10	-5	-18	-30	-42	-54
聴覚閾値(旧)											88	72	56	40	24	10	-5	-18	-30	-42	-54
夜間参照曲線								92	91	91	83	67	52	37	23	14	4	-6	-16	-26	

2 Hz～5 Ha ではイヤホンで耳に刺激を与えている。

低周波音による被害は、“うるさい”というものよりは、

“しかし、その後も音を強く感じる日は眠れない。9月末、2回目の受診で病院に行ったときのことだ。待合室にいと急にドキドキし始め、調べてもらったら血圧がかなり高くなっており、内科に行って心電図を調べても

らうようにいわれた。内科では上室性期外収縮（不整脈）と診断された。血液検査をしてみると、ドーパミンやアドレナリンの数値が異常に高くなっていて、ストレスによる緊張が原因といわれた。

その後も睡眠不足は続いており、寝ているときグウングウンと低周波音が強く感じられるとドキドキすることが多くなった。胸のあたりがぐうっと押された感じがして少し痛んだり、頭がズーンズーンと痛むこともある。また、頻繁に肩がこるようになった。“

とあるので、圧迫感や不整脈の形の被害が多い。

“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。”

では、

“低周波数成分の可聴性が実験室実験で調べられて”、“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”

となっているので、

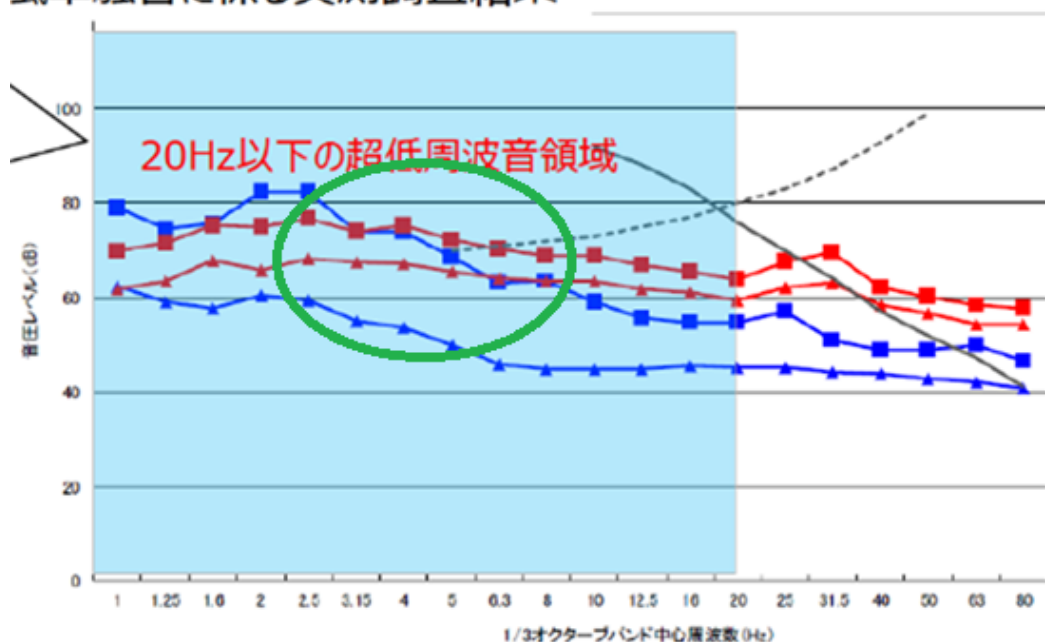
可聴性に関する実験での、“聞こえない/感じない”と言うことであり、圧迫感を感じないとか、ガタツキを感じないという意味ではない。

風車被害の中で、睡眠妨害が継続することが大きな問題であり、質の良い十分な睡眠が取れなければ健康な生活は維持できない。もちろん、うるさくても睡眠妨害になるが、ガタツキや圧迫感も睡眠を妨害する。

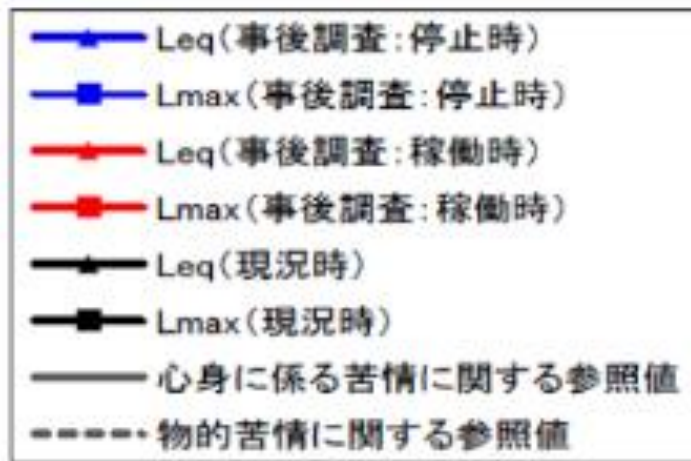
ガタツキでの睡眠妨害は経産省の示す次のグラフから明らかだし、少し計算をすれば、0.5Hz や 1Hz の超低周波音は、体内の圧力を強制的に変動させることが分る。圧力変動の伝搬を考えたり、音響キャビテーションでの気泡発生条件を考えれば、風車からの超低周波音が、循環器系の障害や頭痛を引き起こす物理的な原因であることは、少し勉強すれば分かる。

WGの学者は、人間には耳以外の感覚器官があることを忘れている。聞こえなくてもガタツキや圧迫感や頭痛を感じて、目が覚めてしまうのです。

## 風車騒音に係る実測調査結果







WGの方々は、5Hz以下ではガタツキは起きないと考えますか？

いくらガタついても、人間は目を覚まさないと考えますか？

人間は毎日睡眠妨害を受けても健康に生活できると考えますか？

WGの学者への宿題が出ます。

上の表の左側に空欄を埋める事。

その範囲に対応する、知覚閾値の数値と、その根拠となる実験内容記述すること。

風車の大型化から、0.5Hzと1Hzでの知覚閾値は何パスカルですか？

その根拠は何ですか？

それはどのようにして計測しましたか？計測結果を、その様に計算したのですか？

自分で風車音を計測して、横軸を周波数の線形目盛り、縦軸の目盛りをパスカル単位にしてグラフを作ってください。使用した機材、計測結果のデジタルデータ、計算アルゴリズム、解析で使ったプログラムも公開すること。

少なくとも、

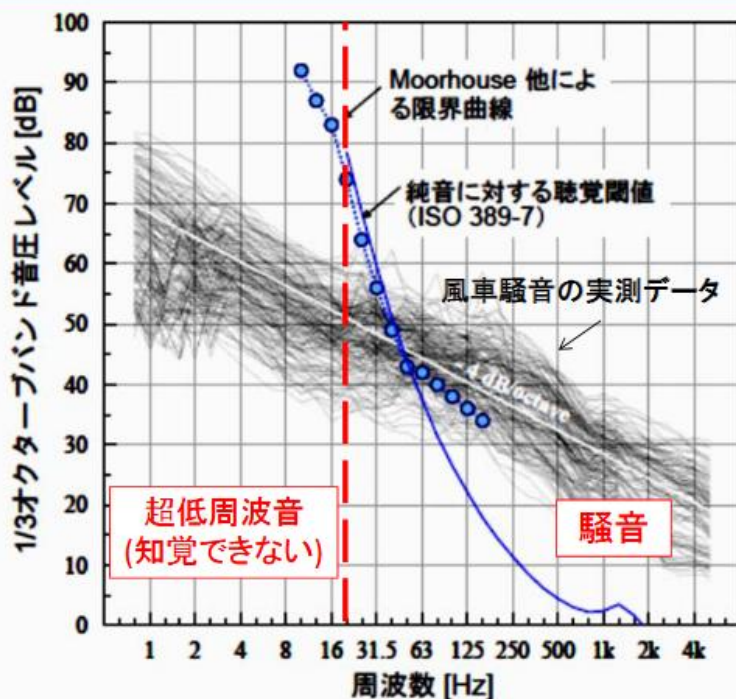
昔の環境省が言っていた、

“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、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、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。”

事柄が正しいか否かが判断できる程度の正確さで調べる事。

風車音の他に交通騒音のデータを計測して、ISO7196に従って、中心周波数0.25Hz～315Hzでの1/3オクターブ解析での比較結果を公開して下さい。

## 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



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

のグラフを利用しています。

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”

とあり、

騒音と付けば、超低周波音 (20Hz 以下の音) 以外の音なので、20Hz 以上の周波数成分を対象とすることになるのです。

残念ながら、これは、科学とは無縁の主張である。以下、それを示します。

科学的な議論では、言葉の意味を明確にする必要がある。

「騒音」：これは騒がしいと感じられる音でなくてはなりません。対象は可聴域の音で 20Hz 以上とすべきです。従って、「風車騒音」は風車から出る音のうちで、可聴域成分を意味するものとして使うべきです。風車からは、可聴域成分である騒音の部分と、聴覚では騒がしさが把握できない超低周波音が出ている事になります。これらの現象を表すには、風車音を風車から出る音の全体、風車騒音を風車音の位置の可聴域成分（20Hz 以上）、風車超低周波音を風車音のうちの聞こえない成分（0～20Hz）と表現すべきです。

よく見ると、矛盾だらけである。

グラフに対する注釈で、

※全国 29 の風力発電施設周辺の合計 164 測定点で騒音を測定

と書いてあるが、

グラフでは、縦に赤い線があって、右側が騒音、左側が超低周波音になっている。計測したのは超低周波音と騒音の両方である。

グラフと注釈から、風車音が風車超低周波音と風車騒音に分かれる事になる。全体を風車音、風車音のうちで 20Hz 以下が風車超低周波音、20Hz 以上（より大きいとすべきだが面倒なのでこのように表現する。）のものを風車騒音と呼ぶしかない。

しかし、表題は“風車騒音に含まれる超低周波音”と書いてある。騒音が 20Hz 以上の音を意味するので、風車からの騒音には、風車からの超低周波音は含まれない。表題を、“風車音に含まれる超低周波音”と修正する必要がある。

スピーカから 10Hz 以下の音を出して、被験者の全身を包むような実験はできない。10Hz 以下の実験では、イヤホンから耳に音を伝えて実験している。刺激は聴覚だけに限定される。このような実験の結果の閾値は、聴覚閾値と考えるのが正しい。

環境省は、聴覚閾値と訳すべき、threshold of hearing を感覚閾値と訳す。風車音の被害では、

## ②風力発電所からの騒音・低周波音に関する訴え

□ Nina Pierpont は、風力発電所の近くに住む 10 家族（38 名）に対する症例調査を行っている 6。それによれば、風力発電所から発生する低周波音により、内耳の器官が影響を受けて、様々な健康被害（睡眠障害、頭痛、耳鳴り、めまい、吐き気、頻脈、集中力低下、記憶障害、倦怠感、パニック症状等）が生じているとされている。

“とあり、被害の多くは騒がしくて困るというような内容ではない。

少し計算すれば、同じ音圧でも 1Hz の超低周波音は体内の圧力を変動させる力が強いことが分かる。強制的な圧縮膨張を受ければ、循環器系の障害や頭痛が起きるのは物理的に見て必然的な結果である。

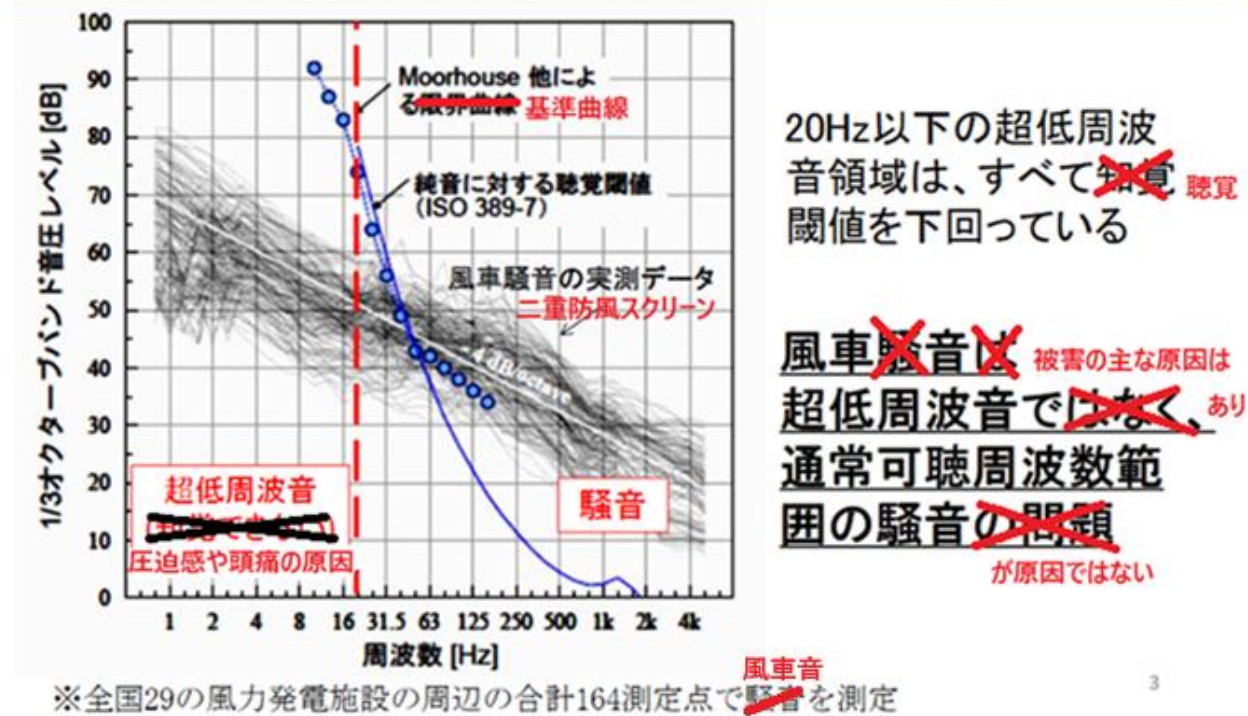
聴覚では知覚できない、1Hz の超低周波音を、圧迫感（実際に圧迫が起きる）として感知することがあるのだから、聴覚閾値と感覚閾値を混同してはいけない。さらに、ガタツキによる睡眠妨害を考えれば、聴覚では感知できない超低周波音が、5Hz で 70 dB もあれば、ガタツキで睡眠を中断させることもある。

また、聴覚で感知できないことと、他の感覚器官で感知できないこととは別の事柄であるが、睡眠妨害が毎晩



毎晩起きて、健康な生活を妨げるという共通点があることに注意する必要がある。

## 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



“騒音”の意味は、“騒がしい音、耳にうるさく感じる音”なので、“風車騒音”は風車の音で耳にうるさく感じる部分を指すことになる。耳で聞き取れる音ですから、20Hz～20 k Hz の周波数範囲の音が対象となる。

それに対して、“風車超低周波音”は風車音のうちで周波数が 0Hz～20Hz の成分を指し、耳では聞き取れない音を意味することになる。

従って、“風車騒音”が“風車超低周波音”を含むような意味で使うことは、日本語の基礎学力の欠如をいみする。あるいは、数の最少関係が分からないのかもしれない。

“風車音 (0Hz～24 k Hz)”として、聞き取れるか否かには関係のない言葉を使うべきである。

もちろん、“風車騒音”を“風車超低周波音”を含む意味で使っている資料、  
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  
課題代表者名 橋秀樹 (千葉工業大学附属総合研究所教授) S2-11-v  
もある。

しかし、  
”平成 28 年 11 月 25 日に出た検討会報告書「[風力発電施設から発生する騒音等への対応について](#)」“  
検討会報告書の記載

“(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。”

とあるのだから、これに従った言葉を選ぶ必要がある。

もし、風車音の中の可聴域成分のエネルギーが、風車音のエネルギーの 99%を占めているならば、風車音を風車騒音と呼ぶのもある程度理解できる。

交通騒音では、全体のエネルギーの 99%以上が可聴域の成分に属しているが、風車音では全体のエネルギーの 7%程度が可聴域の成分に属している。

この様な、エネルギーの観点から見ても、風車音全体を、風車騒音と表現するのは適切ではない。

“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”ならば、下の補油の左側の空欄に閾値を帰入して下さい。

周波数Hz	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
物的参照値 dB	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99						
心身参照値 dB				92	88	83	76	70	64	57	52	47	41				
聴覚閾値							78.1	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5	26.5	22.1	17.9	14.4
聴覚閾値(旧)							78.5	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5	26.5	22.1	17.9	14.4
夜間参照曲線				92	87	83	74	63	56	49	43	42	40	38	36	34	

G特性の重み加算																					
周波数Hz	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
井上聴覚閾値	102	102	103	102	103	103	101	100	99												
物的参照値 dB					58	63	68	73	79	85	89	87	83	81	79						
心身参照値 dB								92	92	91	85	74	60	45	32	19	5				
聴覚閾値											87	72	56	40	24	10	-5	-18	-30	-42	-54
聴覚閾値(旧)											88	72	56	40	24	10	-5	-18	-30	-42	-54
夜間参照曲線								92	91	91	83	67	52	37	23	14	4	-6	-16	-26	



周波数Hz	0.5	1	2	3	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20
聴覚閾値												78.1
感覚閾値												
知覚閾値												
圧迫感の閾値												
振動感の閾値												
不快感の閾値												
頭痛の閾値												
ガタツキ閾値												
物的参照値 dB						70	71	72	73	75	77	80
心身参照値 dB									92	88	83	76
聴覚閾値												78.1
聴覚閾値(旧)												78.5
夜間参照曲線									92	87	83	74

すくなことも、上の表の左側の空欄を全て埋めてから考える必要があるのです。

大型風車では、0.5H z や 1H z での閾値が必要になります。

知覚閾値以下だと言うからには、0.5H z や 1H z での閾値が分っているはずです。

記入して下さい。

実験が妥当であることも詳しく説明して下さい。

## ＜前回WGにおける主な御意見＞

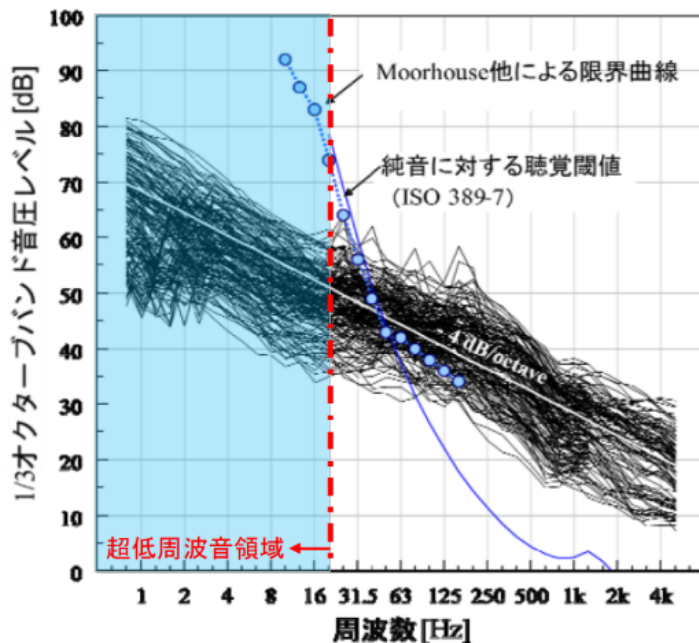
### 1. 稼働中の風力発電所の超低周波音の取扱い

- (1) 環境アセスの簡素化や科学的なエビデンスに基づく対応は支持。一方で、（主観的な問題で）被害を訴えている住民もいるため、科学的なエビデンスだけでなく、社会的な合意形成への配慮も必要。住民の意思決定や合意形成への参画など手続きの透明性の観点も必要。
- (2) 仮に参考項目から超低周波音を削除した場合、住民の懸念への対応について、予め検討が必要。

## （参考）風車騒音に係る実測調査結果①

第21回WG資料

- 「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」（環境省、平成22～24年度）では、風力発電所から発生する超低周波音領域（～20Hz）における音圧レベルは、聴覚閾値を下回っていることが現地調査及び聴覚実験で明らかにされた。



・全国29の風力発電所周辺の計164地点において、風車騒音を測定した。その結果、**全ての結果において超低周波音領域（～20Hz）における音圧レベルが、聴覚閾値を下回っている**ことが明らかになった（左図）。

・また、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を**実験室実験**で調べたところ、**超低周波数領域の成分は聞こえない/感じないことが確認された**。

図 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

8

この資料では、**聴覚閾値を下回る**ことや、実験が**可聴性を調べた**ことが書かれている。人間には聴覚以外の感覚器官があり、風車による様々な影響を受ける。

聴覚に対する影響だけではなく、ガタツキや圧迫、振動の地中伝搬や、航空障害灯の光や、風車の陰による影響もある。

人間の感覚器官が耳だけならば、聴覚閾値＝感覚閾値＝知覚閾値となって、WGの学者の主張もある程度納得できるが、風車による被害の内容を理解し、被害者の苦痛を理解し、問題を解決する気があるならば、もう少ししな議論をするだろう。WGと経産省の主張は、被害者を更に苦しめて、問題の解決を妨げるためのものである。

WGの参加者は、自分たちの判断が社会に大きな影響を与えるという自覚は無いのでしょうか？少しでも自覚があれば、風車の近くへ行って、風車音を録音して、結果を解析するくらいのことはすべきです。

お金が無いならば、私の計測結果がWAVファイルの形で公開してあるので、企業や大学の友人に、周波数分解能を高くして、周波数スペクトルを調べて、その結果をやさしく説明して下さいと、お願いすることは可能です。

**可聴性**について調べたので、**聴覚閾値を下回る**という主張は理解できますが、勝手に知覚閾値を追加してはいけません。

他の感覚器官や物理的影響に関してはどのようにして調べたのでしょうか？

CTやMRIで血管の太さを計測しましたか？

### <これまでの知見>



超低周波音については、  
—人間の聴覚・知覚閾値を下回っていること  
—健康影響との明らかな関係はないことから、  
**風車騒音の問題は超低周波音によるものではないとしている。**

人間には様々な感覚器官があり、どの様な感覚器官でも影響を感知できない、さらに人体への物理的な影響が無い、ならば知覚閾値を下回ると言えるでしょうが、

聴覚以外の感覚器官や物理的影響を無視して、“知覚閾値を下回る”と言うのは、科学的なエビデンスに欠けます。

少なくとも“風車騒音”（20Hz以上の可聴成分で騒がしいと感じる）と“風車音”（風車超低周波音と風車騒音をあわせたもの）の区別くらいは付けて欲しい。

日本人が、“論理学”を理解できないかのように見られてしまいます。日本人としては不名誉で恥ずかしい文章です。

なお、風車の超低周波音が人体に物理的に作用して、健康被害を引き起こす事は少し調べれば分かります。

※2について ([風力発電施設から発生する騒音に関する指針について](#))

・風力発電施設から発生する騒音に関する指針について（2017 年）

環水大大第 1705261 号 平成 29 年 5 月 26 日

都道府県知事 市長・特別区長 殿

環境省水・大気環境局長

[風力発電施設から発生する騒音に関する指針について](#)

再生可能エネルギーの導入加速化は我が国の環境政策において極めて重要であり、風力による発電は、大気汚染物質や温室効果ガスを排出せず、国内で生産できることからエネルギー安全保障にも寄与できる重要なエネルギー源の一つです。風力発電施設は国内外を問わず設置数が大きく増加していますが、一方で、そこから発生する騒音等については、不快感の原因となることや健康影響の懸念等が指摘されています。このため、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。貴職におかれましては、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慮をお願いいたします。

各都道府県におかれましては、この旨、管下町村に対して周知いただきますようお願いいたします。

なお、本通知は地方自治法第 245 条の 4 第 1 項に基づく技術的な助言であることを申し添えます。

記

第 1. 検討会において整理された主な知見及び指針策定の趣旨

(1) 検討会において整理された主な知見

風力発電施設は、風向風速等の気象条件が適した地域を選択する必要性から、もともと静穏な地域に設置されることが多い。そのため、風力発電施設から発生する騒音のレベルは、施設周辺住宅等では道路交通騒音等と比較して通常著しく高いものではないが、バックグラウンドの騒音レベルが低いために聞こえやすいことがある。また、風力発電施設のブレード（翼）の回転に伴い発生する音は、騒音レベルが周期的に変動する振幅変調音（スウィッシュ音）として聞こえることに加え、一部の風力発電施設では内部の増速機や冷却装置等から特定の周波数が卓越した音（純音性成分）が発生することもあり、騒音レベルは低いものの、より耳につきやすく、わずらわしさ（アノイアンス）につながる場合がある。

全国の風力発電施設周辺で騒音を測定した結果からは、20Hz 以下の超低周波音については人間の知覚閾値を下回り、また、他の環境騒音と比べても、特に低い周波数成分の騒音の卓越は見られない。

これまでに国内外で得られた研究結果を踏まえると、風力発電施設から発生する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。また、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い。

ただし、風力発電施設から発生する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、風力発電施設から発生する騒音が 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。また、超低周波数領域の成分の音も含めた実験の結果、周波数重み付け特性として **A 特性音圧レベルが音の大きさ（ラウドネス）の評価に適している。**

なお、諸外国における騒音の指標を調べたところ、多くの国が A 特性音圧レベルを用いている。また、周囲の背景的な騒音レベルから一定の値を加えた値を風力発電施設から発生する騒音の限度としている国が複数みられる。

## （２）指針策定の趣旨

（１）に示した知見を基に、検討会では、風力発電施設からの騒音については、通常可聴周波数範囲の騒音として取り扱い、**わずらわしさ（アノイアンス）と睡眠影響に着目して、屋内の生活環境が保全されるよう屋外において昼夜の騒音をそれぞれ評価することが適当である**と整理され、風力発電施設から発生する騒音の評価の目安が提案されたところである。これを踏まえ、環境省では、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指針を別紙のとおり策定した。

また、風力発電施設から発生する騒音は、当該施設が稼働する風が吹く際に発生するため、上記指針に係る測定については、雑音を抑制するため強い風を避ける通常的环境騒音の測定とは異なる測定手法が必要であるため、別途通知する測定に関するマニュアルを作成した。

本指針及び測定に関するマニュアルは、風力発電施設の設置事業者及び運用事業者等による具体的な対策実施等に資するとともに、地方公共団体による関係する事業者や住民等への対応の際の参考となることを期待し、定めるものである。風力発電施設から発生する騒音による影響を未然に防止するため、本指針及び測定に関するマニュアルの活用に努められたい。

## 第２．騒音に関する環境基準との関係

風力発電施設から発生する騒音は、風力発電施設の規模、設置される場所の風況等でも異なり、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、植生や舗装等の地表の被覆状況、土地利用の状況等により影響される。本指針における指針値はこのような風力発電施設から発生する騒音の特性を踏まえ、全国一律の値とするのではなく、風力発電施設の設置事業者及び運用事業者等による地域の状況に応じた具体的な対策の実施等に資するために策定したものであり、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として定められている騒音に係る環境基準（平成 10 年 9 月 30 日環境庁告示第 64 号、最終改正平成 24 年 3 月 30 日環境省告示第 54 号）とは性格及び位置付けが異なる。従って、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努められたい。

以上

### （別紙）

#### 風力発電施設から発生する騒音に関する指針

風力発電施設は、静穏な地域に設置されることが多いため、そこから発生する騒音等のレベルは比較的低くても、周辺地域に聞こえやすいことがある。また、風力発電施設からは、ブレード（翼）の回転によって振幅変調音（スウィッシュ音）が、また、一部の施設では内部の増速機や冷却装置等から純音性成分が発生することがあり、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。一方で、**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。

このような知見を踏まえ、風力発電施設の設置又は発電施設の新設を伴う変更に際し、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。

#### 1. 対象

主として商業用に用いられる一定規模以上の風力発電施設の稼働に伴い発生する騒音を対象とする。

#### 2. 用語

本指針における用語の意味は以下のとおりである。

○残留騒音：一過性の特定できる騒音を除いた騒音

○風車騒音：地域の残留騒音に風力発電施設から発生する騒音が加わったもの

#### 3. 風車騒音に関する指針値

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、まれに通過する自動車等の一過性の騒音により、その地域の騒音のレベルは大きく変化する。また、風車騒音は風力発電施設の規模、設置される場所の風況等でも異なり、さらに騒音の聞こえ方は、風力発電施設からの距離や、その地域の地形や被覆状況、土地利用の状況等により影響される。

これらの特徴を踏まえ、風車騒音に関する指針値は、全国一律の値ではなく、地域の状況に応じたものとし、残留騒音に 5 dB を加えた値とする（図 1 及び図 2）。ただし、地域によっては、残留騒音が 30dB を下回るような著しく静穏な環境である場合がある。そのような場合、残留騒音からの増加量のみで評価すると、生活環境保全上必要なレベル以上に騒音低減を求めることになり得る。そのため、地域の状況に応じて、生活環境に支障が生じないレベルを考慮して、指針値における下限値を設定する（図 2）。具体的には、残留騒音が 30dB を下回る場合、学校や病院等の施設があり特に静音を要する場合、又は地域において保存すべき音環境がある場合（生活環境の保全が求められることに加えて、環境省の「残したい日本の音風景 100 選」等の、国や自治体により指定された地域の音環境（サウンドスケープ）を保全するために、特に静穏を要する場合等）においては下限値を 35dB とし、それ以外の地域においては 40dB とする。

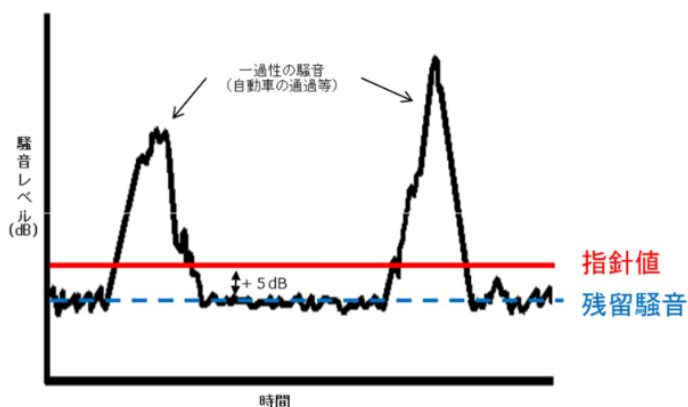


図 1 指針値と残留騒音のイメージ

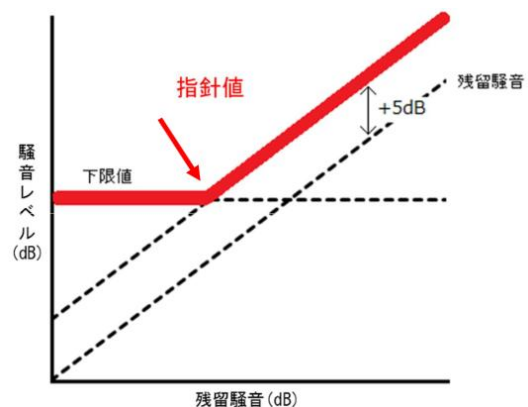


図 2 指針値のイメージ

#### 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。通常的环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。

#### 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。

#### 6. 指針の見直し

本指針については、設定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。

#### 7. その他

騒音については聞こえ方に個人差があり、また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、指針値を超えない場合であっても、可能な限り風車騒音の影響を小さくするなど、地域の音環境の保全に配慮することが望ましい。

ここでは次の様な主張がされる。

“超低周波数領域の成分の音も含めた実験の結果、周波数重み付け特性として **A 特性音圧レベルが音の大きさ（ラウドネス）の評価に適している。**”

ラウドネス（うるささ）の評価に適していても、風車音の被害の評価には適していない。

“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。”

及び、不眠とアノイアンス（不快感）の関係、

## これまでに得られた知見④

### 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

に注意するならば、アノイアンス（不快感）の指標となるものを見つけるべきなのである。

圧迫感や頭痛に着目すれば、風車音での最大音圧（基本周波数での音圧になる）に着目すべきである。これが正確に計測出来れば、健康被害との統計的な関連性が判明する。

洋上風力は丸見えだし、風車で得する人は、少数の漁民くらいであり、沿岸に住む多くの人は、二重の意味で強いアノイアンス（不快感）を感じる事になる。

大きな被害が出る。

更に、

“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、

“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慮をお願いいたします。

各都道府県におかれましては、この旨、管下町村に対して周知いただきますようお願いいたします。”

とある。（これは、県や市の独自の測定に対する妨害活動です。）

“[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”

マニュアルは、

“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。”

との事であるが、  
その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。”

となっていて、

“除外音処理”で消し去ることを要求しています。

“風車騒音（20Hz 以）を測れ”、“風雑音は消しなさい”と言っているのです。

では、

消し去るべき対象である風雑音とは何か？

知り合いは、次の様に教えてくれました。

“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。”

と指導していただきましたが、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。

“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。

**5Hz** 以下の音、**10Hz** 以下の音、騒音計で計測される超低周波音、などが、風雑音であり、疑似音であり、風車からの超低周波音ではない。

と言っているのです。

マイクに風が当たらなければ、風雑音も疑似音も発生しません。マイクに風が当たらないようにして計測してみれば、結論はすぐに出ます。

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、

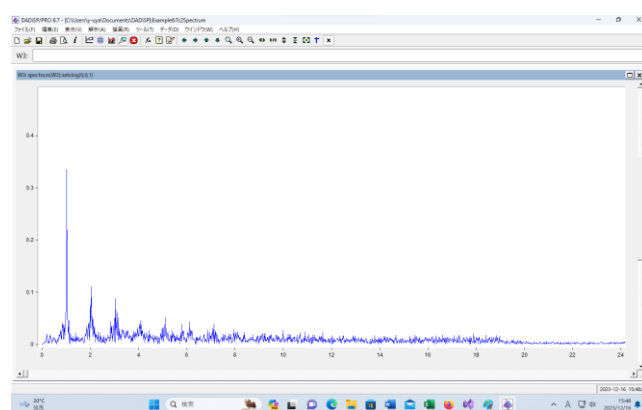
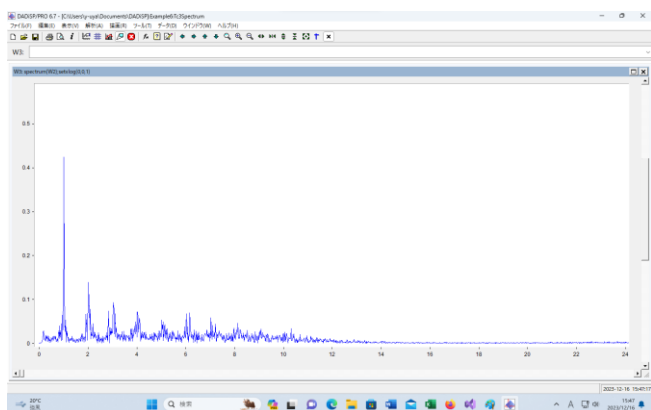
騒音計をビニール袋に入れて、それを段ボール箱に入れて、ビニールをかぶせて、



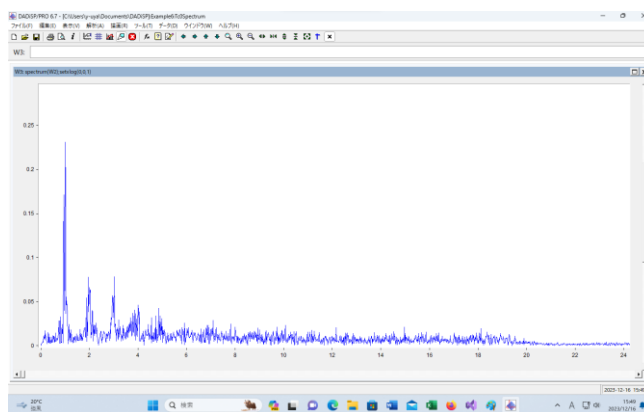


袋と箱に入れ、ドアを閉めた場合は、Max. 0.42Pa

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いときでも、マイクに風を当てたときでも、音圧が高く、規則的な周波数を持った超低周波音は観測されます。

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。

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

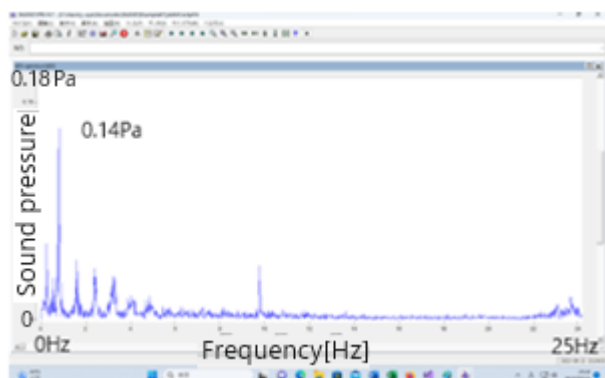
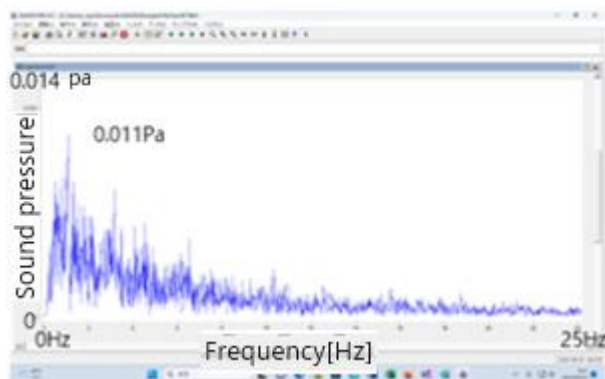


図6．長尾神社の音 0～25Hz

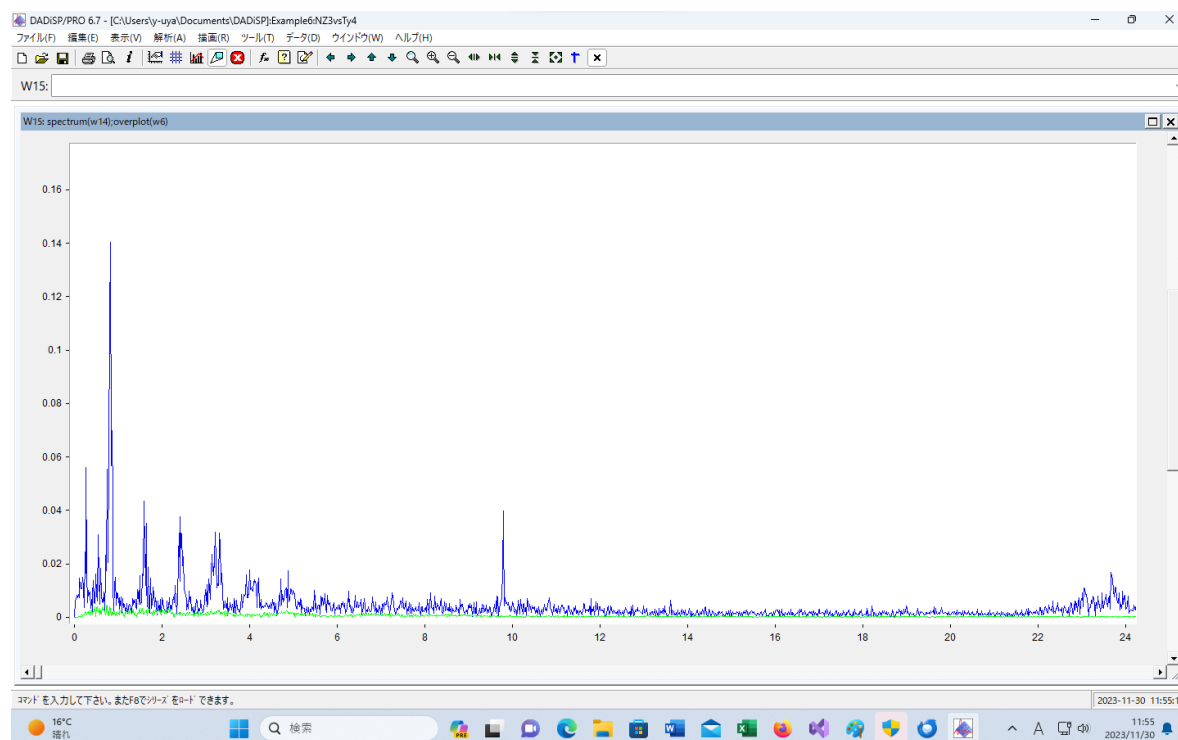


風車の近くでは 0.14Pa、風車が無い場所では 0.01Pa の音圧を持っている超低周波音が存在します。だから、風車の近くでは音圧が 10 倍です。

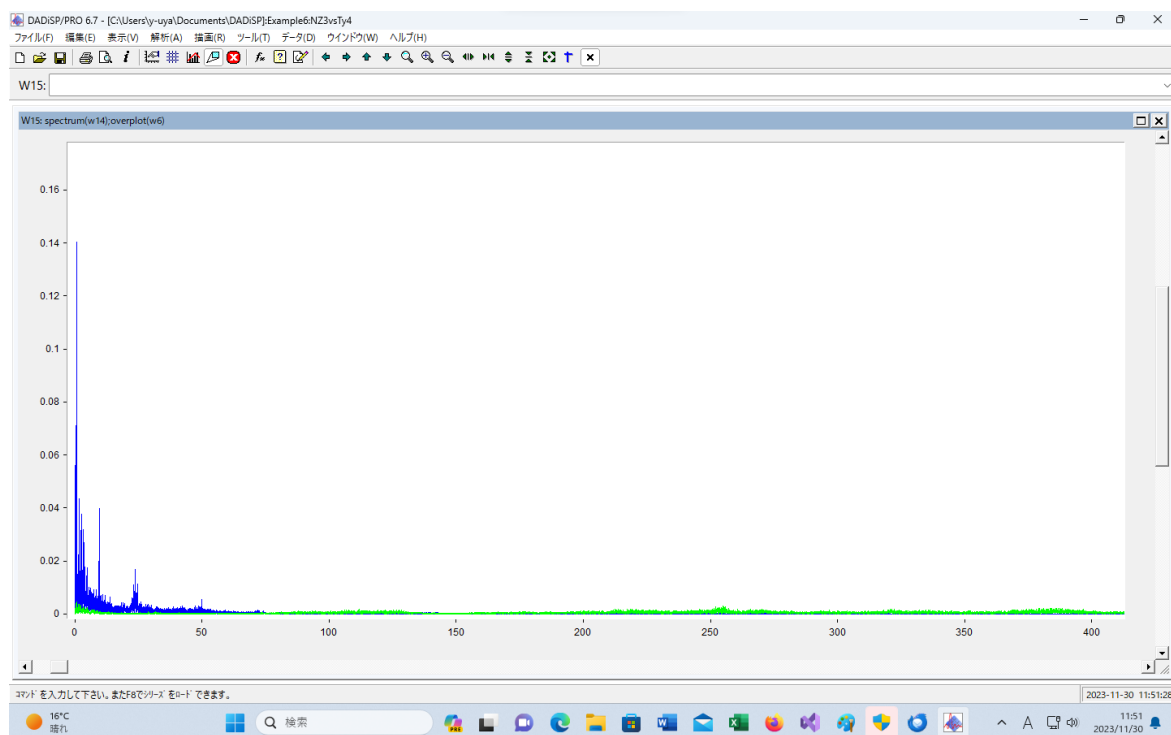
音圧は、風速で変化します。風車の近くで 0.37Pa、風車が無い所で 0.003Pa となる場合もあります。これだと音圧は 100 倍です。

次のグラフは、青い線が風車の近くの超低周波音、緑の線は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はありません。

風車の近くで計測される、特別な周波数構造を持った超低周波音は、風雑音ではないことは、明らかなです。皆様も、NL-62、NL-63、SA-A1 を使って、同様の実験をして、録音結果をネットに上げてください。

風車音は、特殊な性質を持っています。その性質は、音響キャビテーションによって気泡が発生する条件と一致します。これを考えて、超低周波音を隠蔽するために、“風雑音”を考えたのかもしれませんが。

実際に、マイクに風を当てなくても計測される超低周波音は、風雑音

### “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）。”

ではないのです。

勝手に低減するから、室内で防風スクリーン無しでの計測が出来なくなるのです。室内は風が無いのですから防風スクリーンは不要です。

室内での防風スクリーン無しでの結果と屋外での防風スクリーンを付けての結果を比較すれば、防風スクリーンが、被害を隠蔽するための小道具だと分かってしまいます。

次の図は、[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）にあるもの。

## 風車騒音の測定機器

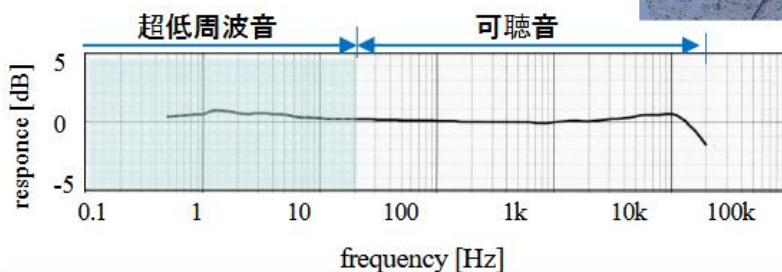
# 戦略指定研究における騒音測定機器

### ◆ 騒音計（録音機能付き）

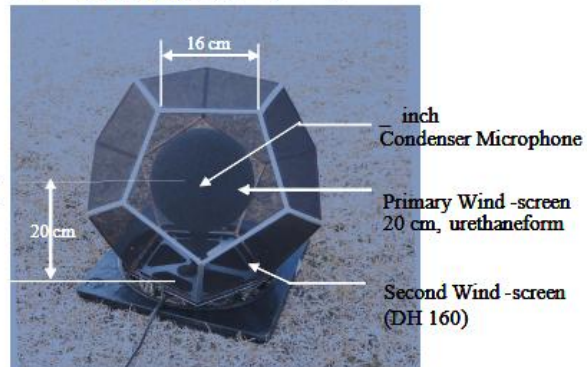


- 測定周波数帯域: 1 Hz ~ 20 kHz
- 録音機能: WAVE-format

### ◆ 騒音計の周波数応答特性



### ◆ 二重防風スクリーン



矢野，太田，橘：風車騒音のimmission測定に用いる計測システムの開発，日本騒音制御工学会秋季研究発表会（2011.9）

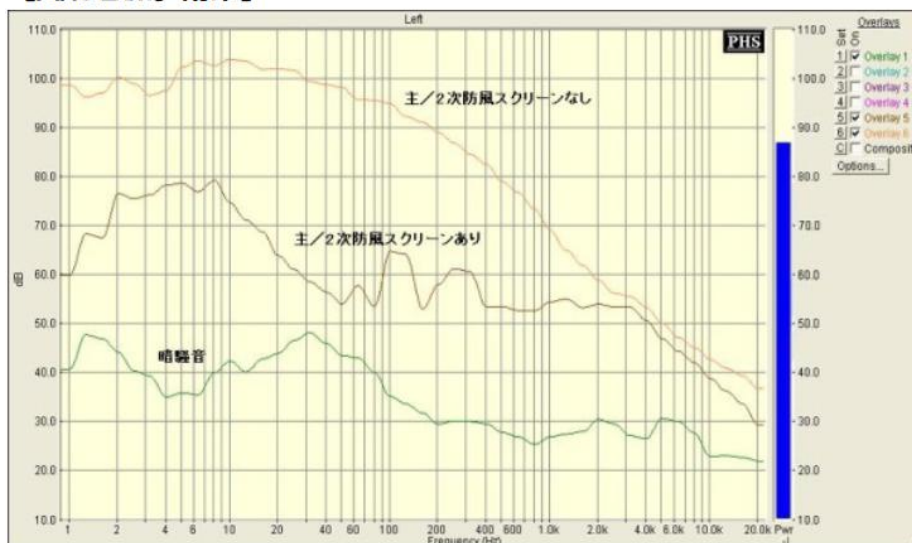
二重防風スクリーンや除外音処理で、一律に排除してはいけないのです。

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】





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

二重防風スクリーンを付けて計測した結果は、1～500Hzの間では、20 dB～40 dB 程度の減衰となるので、実際の音圧の 1/5000 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推奨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ません。

屋外では、防風スクリーンを付けて計測するのですが、8Hz の音に対しては、10 dB～13 dB 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、10～13 dB 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、5～8 dB 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。10 dB 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。13 dB 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。

## 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 p 71

“いずれの商品も通常の測定で用いられる 9cm φ 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 9cm φ のウレタン製球形防風スクリーン、直径 20cm φ 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。“

#### 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。

“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。

しかも、風車の近くでは、マイクに風が当たらなくても、風雑音と同じものが計測されるのです。

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ければなりません。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。後ほど、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。

質問：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、20cm φ 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。”

貴社が計測する場合は、どのような防風スクリーンを使っていますか？

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が、貴社はどのように

考えますか？

(答)

質問：

風車音被害の多くは睡眠に関係します。人間は室内で眠ります。被害が起きるのは室内です。風車音が室内でどのようなになっているかを調べる必要があります。

室内には風が吹いていないので、防風スクリーンは必要ありません。息がかかるのを防ぐだけで充分ですから、直径9 c mのウレタンのもので十分です。

貴社が、被害が起きることを気にしているなら、防風スクリーン無しで室内での計測を追加して下さい。

もちろん、屋外で防風スクリーンを付けての計測もして下さい。

計測は、NL-62、NL-63、SA-A1 のどれかで行って、音圧変動を WAV ファイルに記録して、ファイルを公開して下さい。これは、貴社の風車音についての責任との観点から見て最低限の要求だと考えますが、

貴社は、風車音によって被害が発生する仕組みを明確にすることについて、どう考えていますか？

(答え)

[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 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。

纏めれば、

**“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。”**

“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。”

となり、

住民の被害の根拠を示す数値は全て隠しなさい。

裁判では証拠がないと言って、訴えを退けなさい。

ということなのです。

(A 特性の重みでの)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](#)”の33ページでは、  
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。

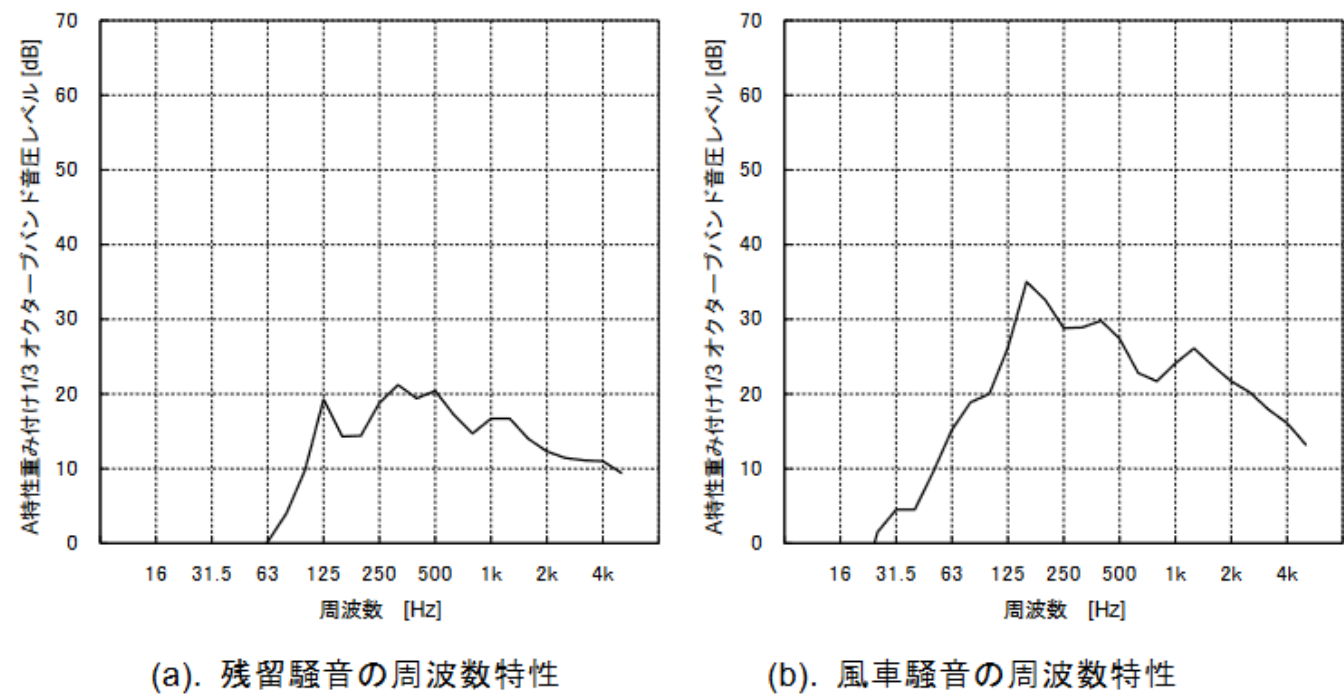
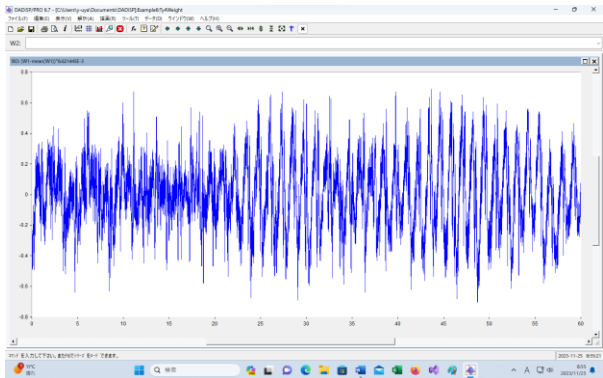


図 B.1 周波数特性の表示例

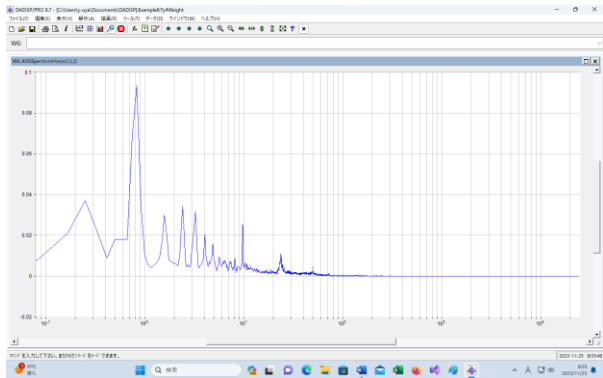
右側のグラフを見れば、20Hz 以下は 0 として扱われます。

環境省は、超低周波音を“風雑音”と決めつけて“除外音処理”で消し去れと言っているのです。  
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。

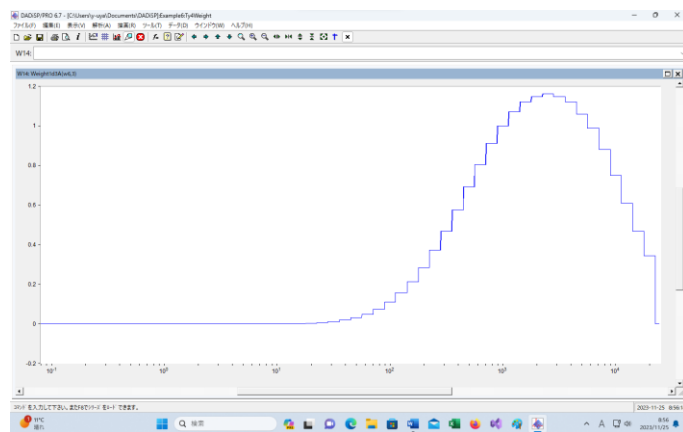
これは、計測された風車音のグラフ



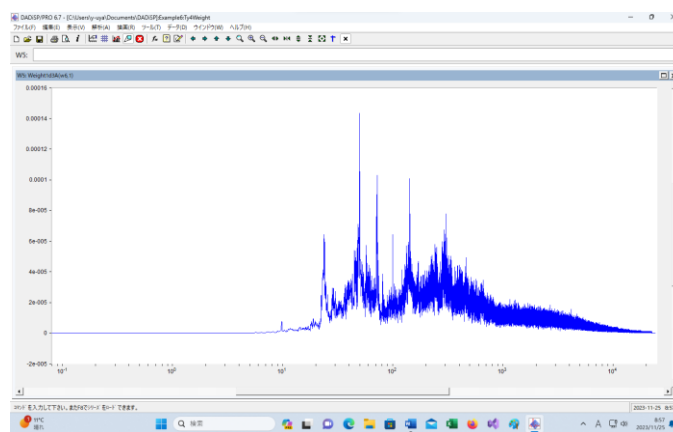
ハミング窓を使った周波数特性 (Pa 表示)



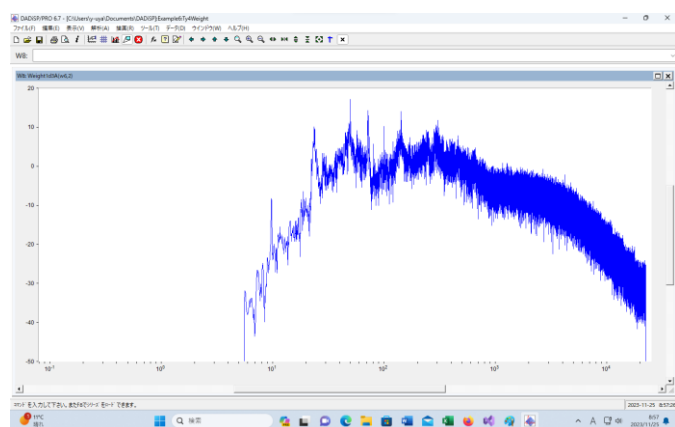
## A 特性による窓関数



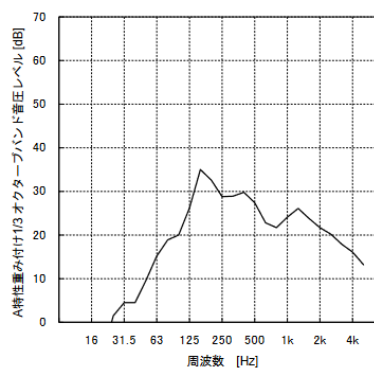
## A 特性の窓関数を使った周波数特性 (Pa 表示)



## A 特性の窓関数を使った周波数特性 (dB 表示)



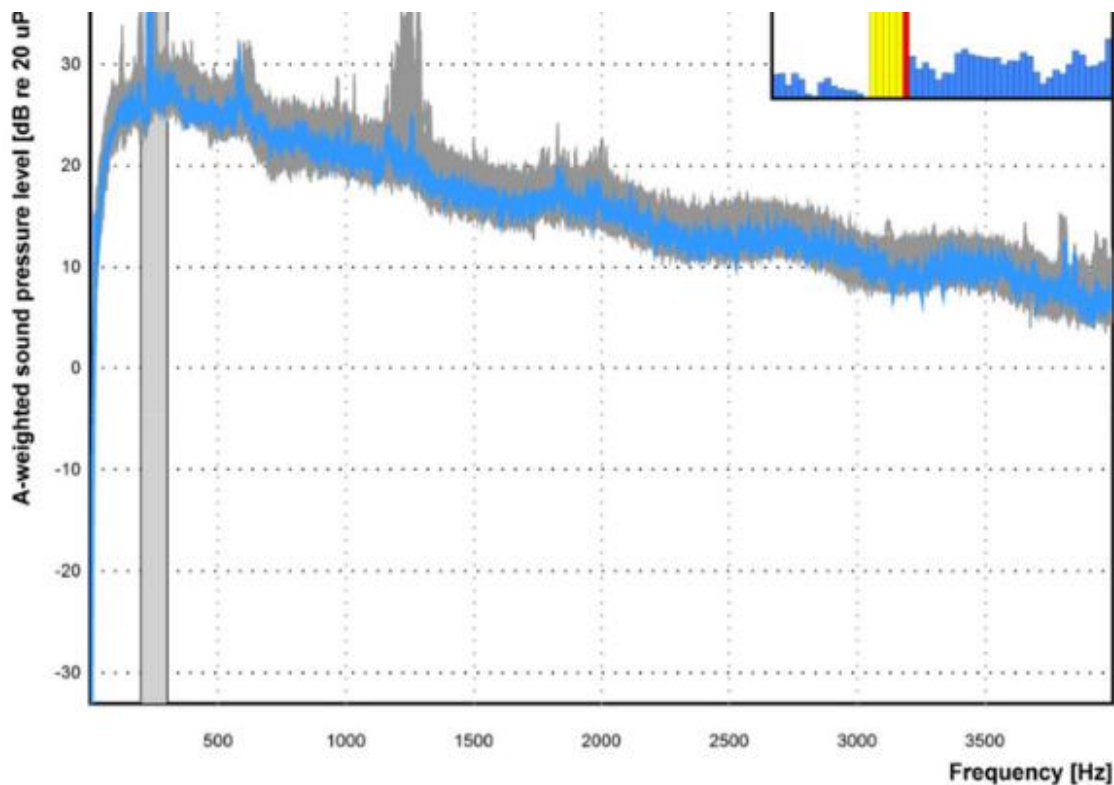
左のグラフを周波数帯ごとに纏めたもの。



(b). 風車騒音の周波数特性

- A-weighted sound pressure level [dB]

下のグラフを、“FFT 分析結果”と主張する人もいます。

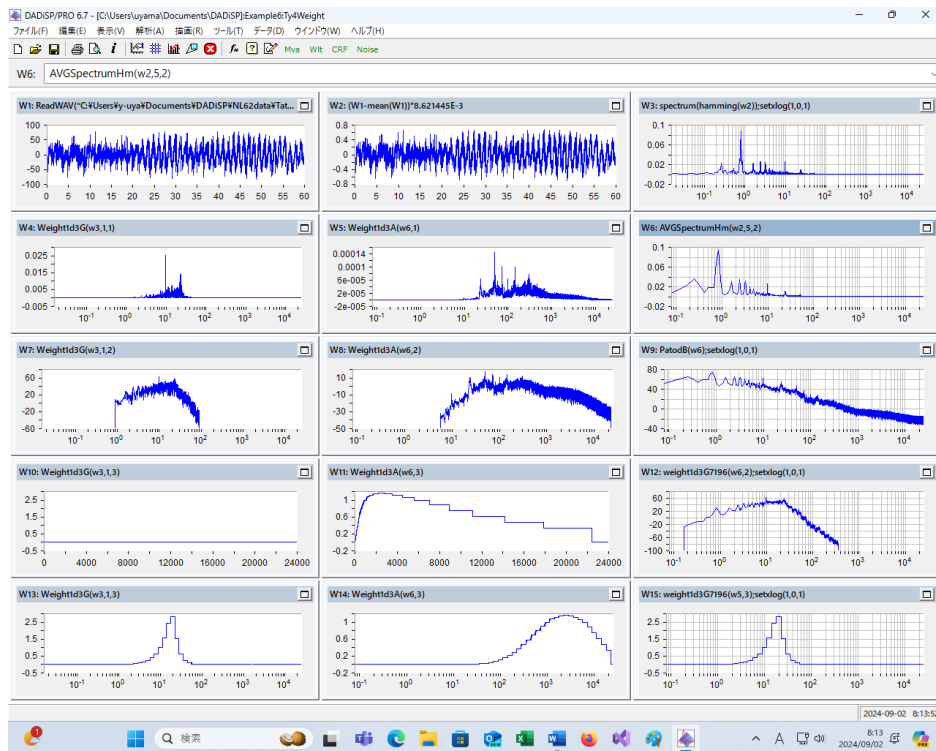


注) グラフ中の灰色の帯で示す箇所（臨界帯域）の詳細を右上に示す。

## 12.2-11(1) 風力発電機から発生する騒音の周波数特性（FFT 分析結果：8m/s）

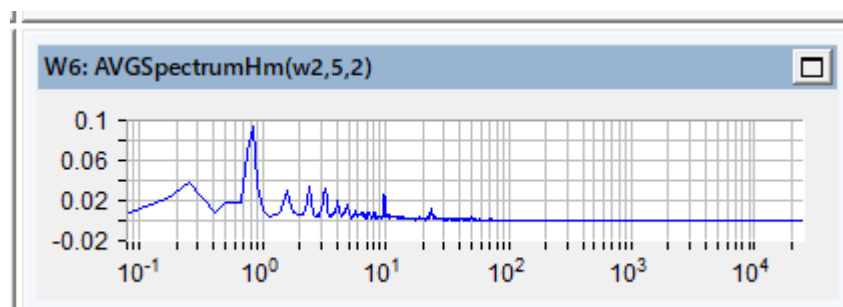
左側をよく見ると、A-weighted sound pressure level [dB] と書いてあります。

### Ty4Weight

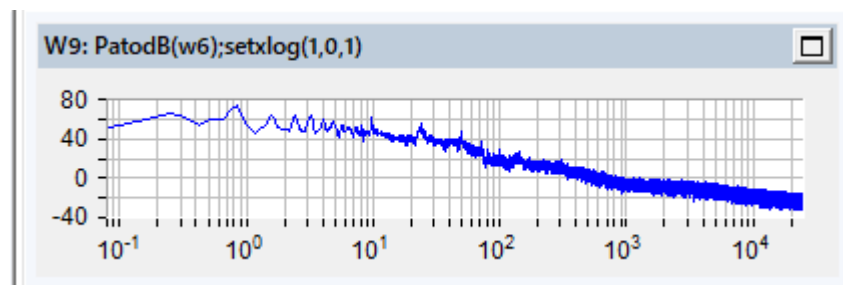




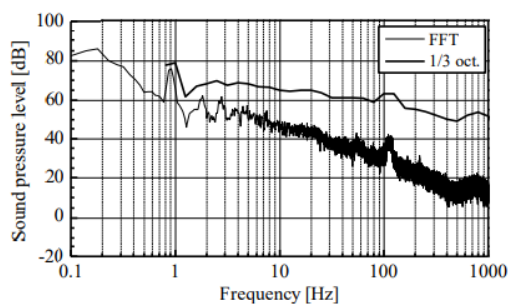
W2 の風車音の周波数スペクトルが W6(音圧、パスカル)です。



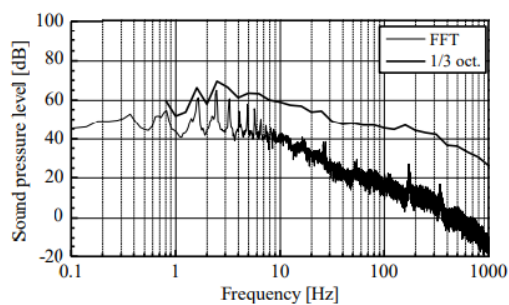
音圧 (Pa) から音圧レベル (dB) に直したものが W9 です。



これを、音圧のスペクトルと呼びます。

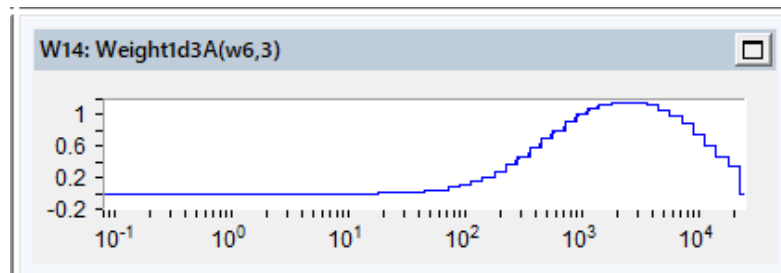


図(2)-11 図(2)-9の音圧のスペクトル



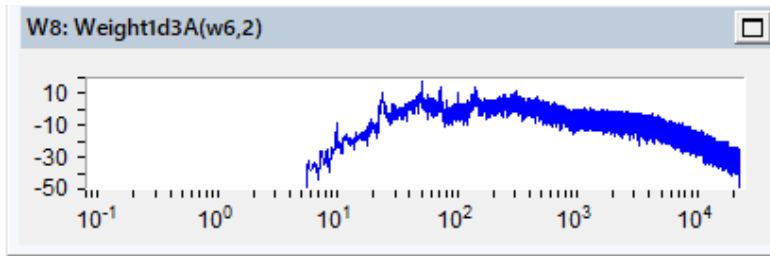
図(2)-12 図(2)-10の音圧のスペクトル

これに対して、A 特性での重みづけ

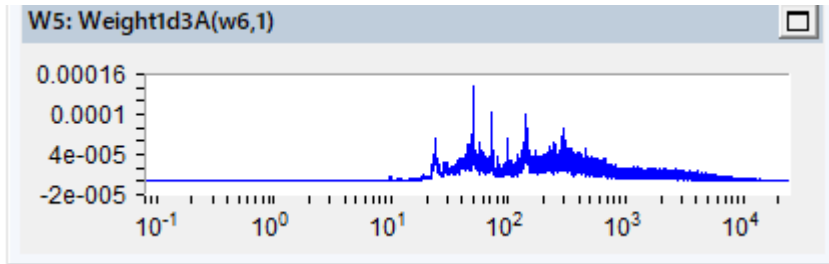


を作用させると、次のグラフになります。

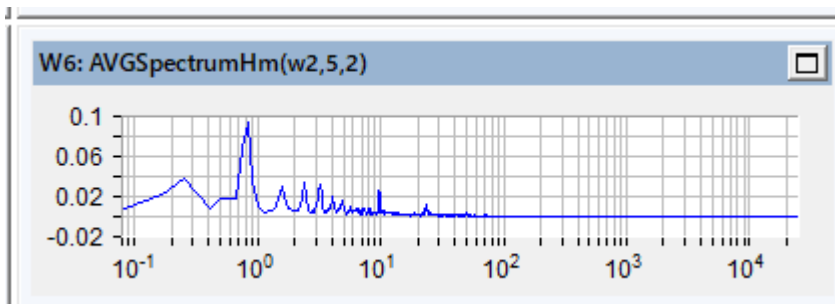
A-weighted sound pressure level [dB]



これを、音圧(Pa)単位での表示に戻せば、次のグラフになります。



もとのグラフ



と比べてみると、全く別のグラフになっています。

FFT から、周波数スペクトルを計算すると、元のグラフになります。A 特性の重みづけを使って、超低周波音の部分を消してしまったものを、“FFT 分析結果”だと言っているのです。

はっきりしている事は、A 特性の重み付けでは、超低周波成分は除外されるという事です。

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うえば、楽になります。

## 10. 健康被害と原因

### 10.1 アノイアンスとラウドネス

都道府県知事 市長・特別区長 殿 環境省水・大気環境局長

“風力発電施設から発生する騒音に関する指針について”

“風力発電施設から発生する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、風力発電施設から発生する騒音が 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。また、超低周波数領域の成分の音も含めた実験の結果、周波数重み付け特性として A 特性音圧レベルが音の大きさ（ラウドネス）の評価に適している。”

とある。

ラウドネス（うるささ）の評価に、A 特性音圧レベル（騒音レベル）の数値が適しているのだが、アノイアンス（不快感）の評価には適していない。

騒音レベルの数値が同じでも、風車音でのアノイアンスと交通騒音でのアノイアンスには、大きな違いがある。

鳥取県における発電用風車の騒音に係る調査報告（十倉 毅・山本 和季・矢野 大地）

での、聴覚での“うるささ”以外の被害は次のものである。

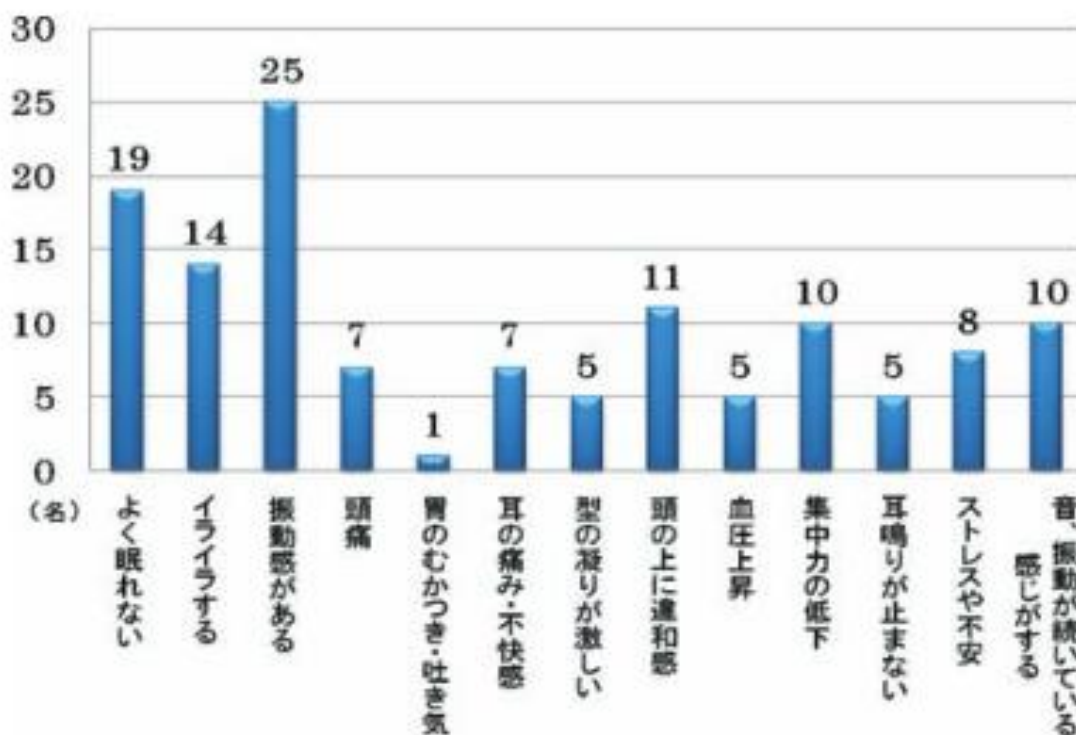


図2 苦情の訴え（「Q5」、複数回答を含む）

石狩風車の低周波音測定結果と健康被害 元札幌医科大学講師・山田大邦氏の論文より 2018年2月8日には、

“2007年末、東伊豆の別荘地では1500基×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割減らすことー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。“とあります。

・平成22年、環境省の調査

風力発電所に係る騒音・低周波音に関する問題の発生状況

には、

“【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】

- 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。
- 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。

・また、風車音と他の騒音源からの同等レベルの騒音を比較した場合、不快に感じる人の割合は風車音の方が高い<sup>5</sup>。

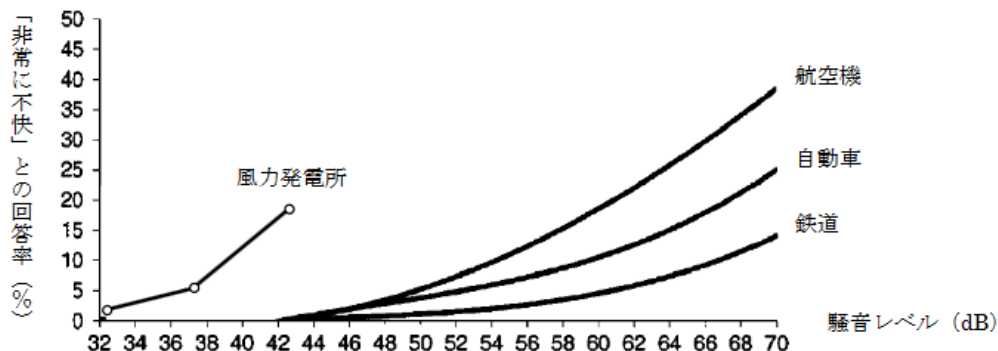


図8. 「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係

（脚注3及び5の文献より環境省作成）

## ②風力発電所からの騒音・低周波音に関する訴え

□ **Nina Pierpont** は、風力発電所の近くに住む 10 家族（38 名）に対する症例調査を行っている 6。それによれば、風力発電所から発生する低周波音により、内耳の器官が影響を受けて、様々な健康被害（睡眠障害、頭痛、耳鳴り、めまい、吐き気、頻脈、集中力低下、記憶障害、倦怠感、パニック症状等）が生じているとされている。

とあります。

環境省が作った上のグラフは、“不快感”という観点で風車音と他の環境騒音を比較すれば、A 特性音圧レベル（騒音レベル）が 42 dB のとき、風車音では 20%程度の人が“非常に不快”と感じるが、一般の環境騒音では、“非常に不快”と感じる人はいないことが分ります。

アノイアンス（不快感）の内容は様々です。ラウドネス（うるささ）もその一部です。

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（p 14）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（L<sub>dn</sub>）で 60dB 程度、20%程度は 53dB 程度、10%程度は 43dB 程度となる。

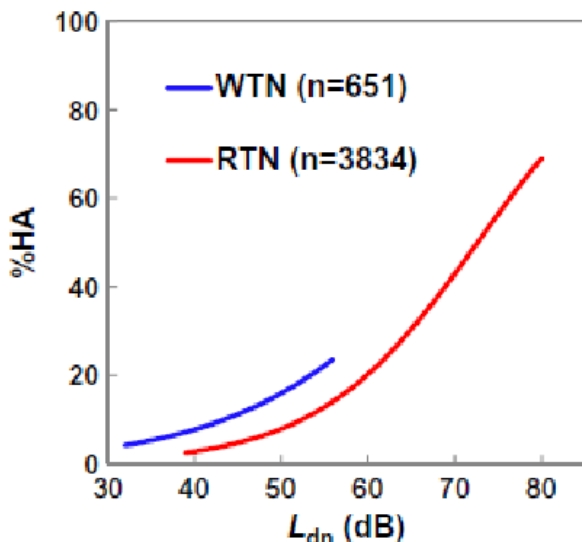


図 7 風車騒音（WTN）と道路交通騒音（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（L<sub>dn</sub>）※ と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（%HA）

※ 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、L<sub>Aeq</sub> に 6dB を加算して L<sub>dn</sub> 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。“



次の論文から、不快感に関してはより小さな数値でも安心できないことが分ります、

## 大型風車による地盤振動伝播\*

—立地環境による差異—

Ground vibration originated from large-scale wind turbines

— difference by the foundation situation —

小野寺 英輝

### 3-2. アノイアンス問題発生地域での計測

風車近隣(それでも数百 m 離れている)住民が申告する被害と地盤振動の伝播との関連に関して具体的な状況を知るため、当該地域へ赴き、ヒアリングと地盤振動の計測を行った。計測結果の一例を図 5 に示す。(a)は、これまでに計測を実施した第 1, 第 2 地域における計測結果の代表例, (b)が今回計測したアノイアンス問題申告のある地域での結果を示す。

(b)では、微細な変化の観察を容易とすることを目的に縦軸を(a)の 200 倍としてある。ただし、(b)を(a)と同じスケールの縦軸にすると振幅データは、およそ 10Hz 以上の領域を除けば、値の上下はほとんど観察されない。なお、図中のギリシャ数字は前記の表 1 にある風車の略号を示す。ただし、それぞれの計測箇所までの距離は、表 1 に示した通り一定ではない。これらのうち、最大のピーク値を示すVの場合の振動加速度は  $8.9 \times 10^{-2}(\text{Gal})$  , アノイアンスの申告があったVIの場合、 $6.7 \times 10^{-6}(\text{Gal})$ で、数値的には非常に小さくなっている。なお補足であるが、震度 1 の最小値は  $0.6(\text{Gal})$ である。

次に、これまでの計測結果とヒアリング内容を対照してみたい。ヒアリングによると、風車の稼働に伴う体調への影響は、ある限定された状況で、強度が増すという申告を得た。今般のヒアリングにおいては、具体的には以下の 3 項目が挙げられた。

1. 雨の日には 24 時間強い不快感を感じる
2. 水田にいと楽になる
3. 冬がひどく、夏はいくらかよい

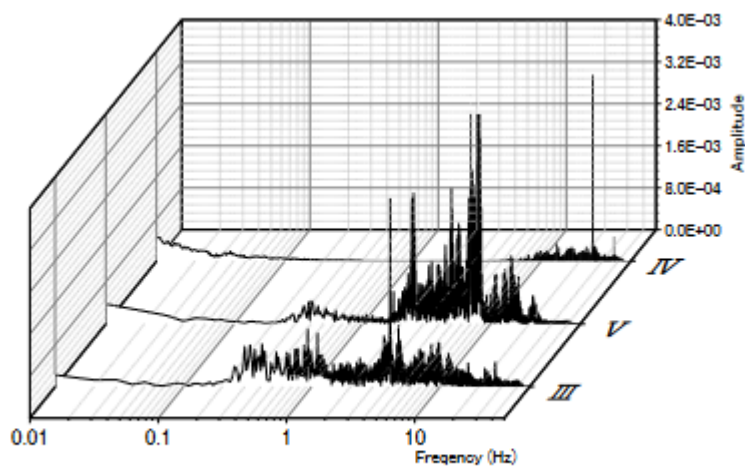
今回の計測時は、数日前に降雨があったものの、地表は完全に乾燥していた。従って、上記申告に基づくと、やや症状が軽い状況になる。なお、伝播途中の土質の変化、あるいは振動の面的分散によるものかは不明であるが、VIの場合に、x 方向の振動振幅が他と比して若干大きくなっていたので、他のデータについても、x 方向の計測結果を用いている。

計測データを見ると、Ⅲでは、Ⅳ、Ⅴと比較して 0.1~2Hz の範囲の振幅値も大きくなっている。この領域の振動は、俗にいう船酔いの原因となる振動(揺動)周波数(8)に近接している。風車から直線距離で 950m 離れたVIに関しても距離減衰に伴い値は非常に僅かであるが、振動特性は類似しており、これも、およそ 1Hz 以下で上昇がみられる。Ⅷに関しては、0.08Hz 程度以下での上昇があるが、他の 2 つに比してその傾きは小さい。周波数が大きい側の領域をみると、Ⅲ、Ⅴでは 0.3~20Hz の範囲で値の上昇がみられるのに対し、Ⅳでは 8~40Hz, VIでは 10~40Hz, Ⅶでは 7~50Hz, 風車近傍のⅧでは 0.9Hz~となっている。

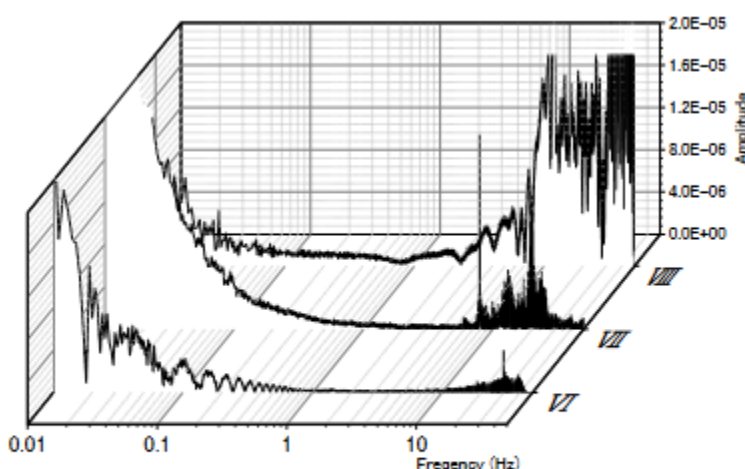
これらのうち、アノイアンス申告が顕著であったのがVI関係地域であり、次いでⅧ地(民間の作業所)であるが、後者は風車に近接していることから、一般の空力騒音によるものではないかと考えられる。

#### 4. まとめ

- (1)本報の範囲では減衰割合は、砂地では  $z$  方向が、土質地盤では  $y$  方向が他に比して大きい。
- (2)風車の立地条件によると思われる極低周波数側の振幅増加が他と比して大きい周波数から発生する可能性がある。
- (3)1Hz 以下で、波状の周波数分布を示す風車があり、本調査の範囲では、アノイアンス申告のある地域と一致している。



(a) Referring places



(b) Abnormal places

Fig.5 Frequency profiles of measured points

#### 質問

建設後に、事前予測と異なって室内でのガタツキが起きることもあります。

計測が必要である。そのような機材を使って、どのように計測し、どのように解析すべきかを詳しく述べて下さい。

現実が予測と違って、被害が出たら、どのような責任を取るのかを、例えば“夜間は風車を停止する。”などの様に具体的に述べて下さい

(答え)

周辺の家の振動(野中 氏)

ここでは、音だけではなく地盤振動に関する記述があります。

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測器下限値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ません。
- (出典:中野論文より)

です。

振動の影響は、国より公害の1つと定義されています。その種類には、産業機械作業振動、工事・建設作業振動、道路交通振動、鉄道振動等があり、法により基準が定められています。

しかし、その基準に該当するものが特定の機械設備であることや、該当しないものが振動源とされる場合がある等様々な事例があり、この問題をより難しくさせています。

2←	65～75←	屋内にいる人の多くが、揺れを感じる。↓ 眠っている人の一部が、目を覚ます。←	電灯などのつり下げ物が、わずかに揺れる。←
1←	55～65←	屋内にいる人の一部が、わずかな揺れを感じる。←	コップ等の水がわずかに揺れる。←
0←	55 以下 ←	人は揺れを感じない。←	←

記述は、振動に関しての上記のような情報を基にしているのだろうが、“住宅屋外地面で測定した振動レベルは計測器下限値 30 d B以下でした。”との事記述は、不良品の計測器を使ったとしか思えない。

【振 動 の 単 位 】

振動量を表す単位には以下の単位がありますが、「振動レベル」以外は物理量です。

名 称	記号	単位	解 説
変 位	$\delta$	$\mu$ mm	物体が振動した時、図-1 のおもりが変位した量です。単に「振幅」と標記される場合は、変位量を示します。
速 度	$v$	cm/sec kine	物体が振動して変位する時の速度。振動による構造物の被害は加速度よりも速度との相関が強いとも言われ、速度で管理する場合があります。単位を見て分かる通り速度は変位を時間で 1 回微分したものです。kine は発破振動で良く用いられる単位で $\text{kine} = \text{cm/sec}$ です。
加 速 度	$a$	$\text{cm/sec}^2$ gal G	物体が振動する時の速度の変化量。地震動など多くの振動はこの加速度で管理される場合が多いです。変位を時間で 2 回微分したものが加速度です。 $\text{cm/sec}^2 = \text{gal}$ 、重力加速度 $1G = 980 \text{ gal}$ 変位と速度とは(1)式の関係となります。
加速度実効値	$a_{\text{rms}}$	$\text{cm/sec}^2$ gal	振動の多くは異なる周波数成分を含む複合振動ですので、波形のピーク値のみでは、その振動の仕事量は計れません。(2)式により求められる“振動の仕事量”(力積)に相当する値です。
振動加速度レベル	LVA	dB	人の感覚が対数尺度に近いため、(3)式により加速度実効値を対数尺度で表す値。帯域の広い振動量を示すのに都合が良いです。
振動レベル	LV	dB	振動加速度レベルに感覚補正(周波数重付補正)された値で、この振動レベルのみ物理的な量でなく“感覚量”です。

震度 階級	地震加速度 (gal)参考	振動加速 度レベル (dB)	振動レ ベル (dB)	人間	屋内の状況	屋外の状況
0	0.8 以下	55 以下	49 以下	人は揺れを感じない。		
1	0.8～2.5	55～65	49～58	屋内にいる人の一部が、わずかな揺れを感じる。		
2	2.5～8	65～75	58～67	屋内にいる人の多くが、揺れを感じる。 眠っている人の一部が目覚めます(睡眠への影響レベル)。	電灯などのつり下げ物がわずかに揺れる。戸、障子が僅かに動く(苦情の発生レベル)。	
3	8～25	75～85	67～77	屋内にいる人の殆どが揺れを感じる。	棚にある食器類が音を立てることがある。	電線が少し揺れる。

加速度 ( $\text{m/s}^2$ )・振動加速度レベル(dB)の相互変換

$\text{AdB} = 10 \log(a_1/a_0)^2 = 20 \log(a_1/a_0)$  ,  $a_0 = 10^{-5} \text{ m/s}^2$  で換算してます。

$1G = 9.807 \text{ m/s}^2$   $1\text{gal} = 1 \text{ cm/s}^2$  で換算してます。

## 参 考 資 料—低周波音の基礎知識—

の参考2-のページには、

・低周波音の苦情と実態

### 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。

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。

このうちで、

安眠妨害を引き起こしそうな不快感を集めてみると、

ラウドネス（うるささ）関連の刺激や状態

風車の騒音がうるさい

アノイアンス（不快感）関連の刺激や状態（ラウドネス以外のもの）

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、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、風車からの音による不快感、不眠、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、

評価の指標となる数値

コルチゾール検査の数値、A 特性音圧レベル（騒音レベル）、G 特性音圧レベル、1/3 オクターブ解析での数値、最大音圧と周波数、振動レベル計での計測値

不快感が継続すれば、ストレスが溜まります。その程度を評価するものとして、コルチゾール検査があります。

### 10. 1. 1 唾液コルチゾール検査

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 仕事ははかどらない（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） 146

146 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。

## 10. 1. 2 カナダ政府の風車騒音と健康に関する調査

### Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results

“風車騒音と健康に関する調査:結果の概要”には、

“コルチゾールはストレスのバイオマーカーとして確立されており、伝統的に血液や唾液から測定されます。しかし、血液や唾液からの測定値は、コルチゾールの短期的な変動を反映しており、時間帯、食物摂取量、体位、短時間のストレスなど、疫学研究で制御することが非常に困難な多くの変数の影響を受けます。コルチゾールは成長するにつれて髪に取り込まれるため、毛髪サンプル中のコルチゾールを測定することで、このような懸念は大幅に解消されます。1ヶ月あたり1cmの予測可能な平均成長率で、髪のコルチゾールを測定することで、ストレスへの曝露の月を遡及的に調べることができます。したがって、コルチゾールは、WTNへの長期曝露がストレスに関連する主要なバイオマーカーの1つに及ぼす潜在的な影響を評価するのに特に有用です。”

“重回帰分析の結果から、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。

“

“多くの変数が測定された睡眠に有意な影響を与えたことがわかりますが、参加者の自宅の近くで計算された屋外の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。”

#### “ストレス対策

毛髪コルチゾール、血圧、安静時心拍数の測定値を知覚ストレス尺度に加えて適用し、WTNへの曝露がストレスに関連していることが知られている生理学的変化と関連している可能性をより完全に評価しました。

コルチゾールはストレスのバイオマーカーとして確立されており、伝統的に血液や唾液から測定されます。しかし、血液や唾液からの測定値は、コルチゾールの短期的な変動を反映しており、時間帯、食物摂取量、体位、短時間のストレスなど、疫学研究で制御することが非常に困難な多くの変数の影響を受けます。コルチゾールは成長するにつれて髪に取り込まれるため、毛髪サンプル中のコルチゾールを測定することで、このような懸念は大幅に解消されます。1ヶ月あたり1cmの予測可能な平均成長率で、髪のコルチゾールを測定することで、ストレスへの曝露の月を遡及的に調べることができます。したがって、コルチゾールは、WTNへの長期曝露がストレスに関連する主要なバイオマーカーの1つに及ぼす潜在的な影響を評価するのに特に有用です。

重回帰分析の結果から、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。

“

### “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。

調査結果は、健康と福祉への影響が、風力タービンへの曝露以上に、コミュニティの不快感に影響を与える活動に部分的に関連している可能性があることを示唆しています。

#### ウ. 客観的に測定された結果

客観的に測定された健康アウトカムは一貫しており、対応する自己申告の結果と統計的に関連していることがわかった。WTN は、多重回帰モデルの適用後、毛髪コルチゾール濃度、血圧、安静時心拍数、または測定された睡眠(睡眠潜時、覚醒、睡眠効率など)に関連していることは観察されませんでした脚注 6。“

とありますが、

不快感の原因を 20Hz 以上の成分に限定してはなりません。

ですから、

WTN (Wind Turbine Noise) ではなく WTS (Wind Turbine sound) とする必要があるのです。

とある内容を表にすれば次の様になります。

特徴は、コルチゾール検査の結果と、被害者の訴えには相関性があるが、WTN の数値との相関性は薄いという事です。関連性を表にすれば、次の様になります。

(×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	心拍数	血圧	コルチゾール	不快感	知覚	片頭痛	耳鳴	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、正直であり嘘ではないのです。

追加すべき項目は、最大音圧と、その周波数です。

音響キャビテーションでの、気泡発生条件、周波数が低くて音圧が高い。に関連するからです。

#### カナダ健康省の調査

- カナダ健康省の調査は、風力発電施設の近傍に居住している住民を対象にしており、一時的な影響だけではなく長期的な影響も考慮している

\*環境省「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」(平成25年5月～平成28年11月)

について確認しました。

カナダ政府の HP にある、

Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results

には、

となっています。

“風車騒音と健康に関する調査:結果概要”（ Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results）の問題点は、WTN（Wind Turbine Noise）と健康の関連を調査する。との方針にあります。

本来ならば、超低周波音での最大音圧との関連を調べるべきなのに、20Hz 以上を対象とする WTN との関連を調べても、上手くは行かないのです。

調査結果は、次の様になりました。



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

低周波音被害に関する日本の研究結果の項目は相互に関連しているが、WTNとの関連は薄いのです。

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

● 聴力影響、頭痛、耳鳴り、糖尿病、高血圧、循環器疾病等の健康影響については、統計的に有意な知見は認められていない

従って、ここでの“統計的に有意な知見”とは、WTN（A特性音圧レベル、騒音レベル）と“低周波音苦情”の項目との統計的に、深い関連性は認められなかったという意味です。

風車音の特徴をWTNで表現できると考えてことが間違いの原因です。WTNは 20Hz 以上の周波数から計算されます。風車音では、20Hz 以上の周波数を持っている成分のエネルギーは全体の 7%です。

WTN の数値は、可聴域での被害“うるさい”との関係は深いのですが、圧迫感や頭痛などの不快感との関連は薄いのです。このような低周波音による被害との関連を求めるには、圧迫感に注目すれば、圧迫の原因そのものである最大音圧を多変量解析での項目にしなくてはならないのです。

安眠妨害に関係が深いのは、ラウドネス（うるささ）ではなく、アノイアンス（不快感）なのです。

風車音による被害としての安眠妨害を評価する数値は、圧迫感に注目して考えれば、最大音圧をパスカル値で表現した数値なのです。

アノイアンス（不快感）は、風車音の大きな特徴であり、1 日中続く風車音は、長期間にわたり継続的に安眠妨害を引き起こす。

その結果、風車音→安眠妨害→健康被害の形で、風車音は間接的に健康被害を引き起こす。

風車から出る超低周波音は、離散的な周波数構造を持っていて、強風時の波形を見れば、音響キャビテーションにおける気泡発生条件を満たす。体内に発生する微小な気泡によって、潜水病の状態と同じ状態になるので、頭痛が起きる。これは風車音による直接的な健康被害である。

### 10. 1. 3 風車音の影響

#### 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い**。
- 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**。

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。

#### 直接的影響と間接的影響

“風力発電施設から発生する騒音が 人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い”

との主張について確認すべき事項があります。

“騒音” とは、20Hz 以上の周波数成分であり、20Hz 以上の成分は風車音にはあまり含まれていないのです。ですから、騒音の部分を A 特性音圧レベルとして数値化したものと、被害の関連を調べれば、その関連性は低いのです。これは被害の中身を見ればはっきりします。音が聞こえてうるさいという（ラウドネスに関連する）訴

えは少ないのです。

うるさくて眠れない場合もあるでしょう。鉄道も夜は走りません。車の交通量も夜は減ります。風車音は夜も止まりません。このことによる影響については、

“風車騒音が人の健康に間接的に影響を及ぼす可能性は高い” と言うべきです。

なぜなら、風車騒音は、“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” からです。

風車音による被害の形は、“うるささ” だけではありません。

睡眠障害、頭痛、耳鳴り、めまい、吐き気、頻脈、集中力低下、記憶障害、倦怠感、パニック症状等が訴えの内容の訴えがあります。

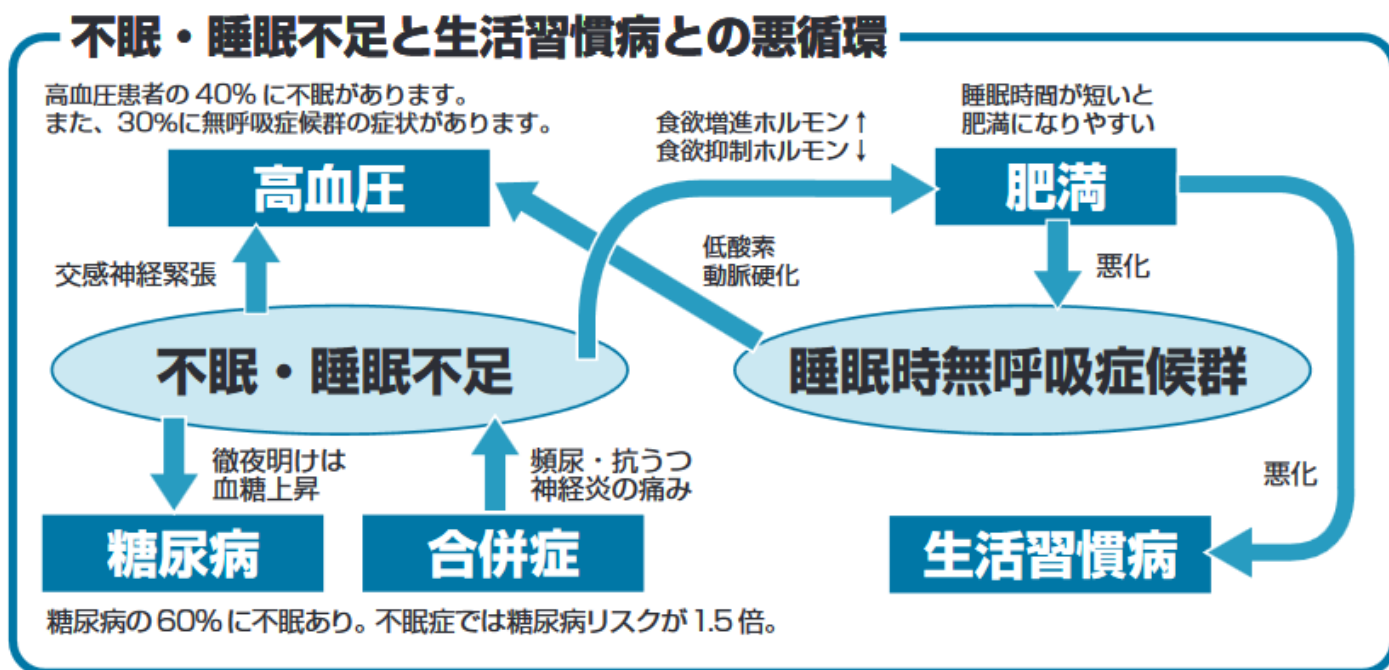
これらの被害は不快感となり（アノイアンスによる）睡眠妨害を引き起こします。

これが可聴域の音が原因で起きるならば、交通騒音でもこのような訴えが多発するはずですが、そうではありません。

風車音が、うるさい（ラウドネス）から眠れない、不快感（アノイアンス）で眠れないのかは別にしても、風車被害の調査結果では最も多いのが、風車音による睡眠妨害の訴えです。

この調査結果を踏まえれば、風車騒音は睡眠を妨げることによって、健康に大きな影響を与えるのです。長年にわたる睡眠不足は、糖尿病や心筋梗塞の要因となります。更に、子供の健やかな成長を妨げるのです。

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。



さらに、

“風力発電施設から発生する騒音が 人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い”かもしれないが、

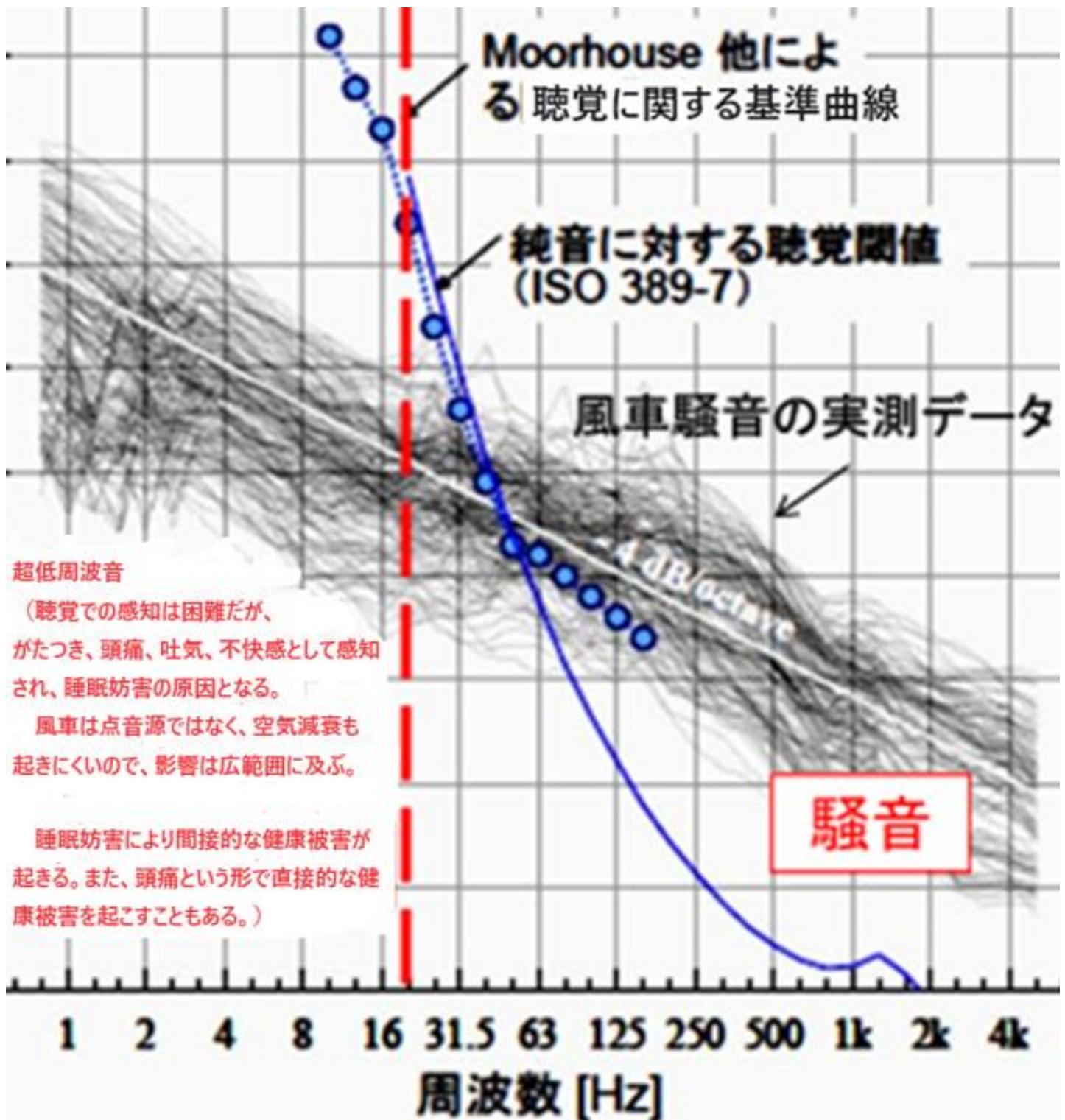
“風力発電施設から発生する超低周波音が 人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は高い”

のです。

健康被害のうちで“頭痛”は、風車の超低周波音との密接な関係を持っているのです。“頭痛は、風車の超低周波音が原因で起きる直接的な健康被害である。”と言えます。風車音の性質、音響キャビテーション、潜水病の検討の後で詳しく述べます。



ですから、図は次の様に修正されるべきです。



質問：“明らかな関連”ですが、何がどのように示されたときに、貴社は“明らかな関連”があると認めますか？  
(答え)

明らかな関連に関して

“明らか”の意味は色々である。数学の命題で、証明を省いて“明らか”と書いてある事も多いが、初学者にとっては決して明らかではない。

例えば、“ $2+3$ ”を計算せよと言われたら、“ $2+3=5$ ”と答える人がほとんどだと思います。  
では、

“ $2+3=5$  を証明せよ。”と言われたら、どうしますか？“明らか”でしょうか？

“ $\sqrt{2}$  が無理数であることを証明せよ。”と言われたら、どうしますか？“明らか”でしょうか？

“ $\pi$  が超越数であることを証明せよ。”と言われたら、どうしますか？“明らか”でしょうか？

“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い”ですが、“風車の運転を止めれば不眠や体調不良が無くなり、運転すれば不眠や体調不良が起きる。”から、関連は明らかである。

と主張したら、関連を認めるのでしょうか？たぶん、企業は認めないのだと思います。

では、風車音が原因で、体内に小さな気泡が発生することを、物理的、数学的に、解明して、コンピュータシミュレーションで示したら、関連が“明らか”になったと認めるのでしょうか？

9) 石井俣夫編集,泡のエンジニアリング,テクノシステム, 初版, 2005

この本の、音響キャビテーションに関する内容をさらに研究すれば、現在の物理と数学から見て、関連が明らかになったと言える。と考えます。

実際に被害を受けて苦しんでいる人がいても、その原因を究明し、問題を解決することが出来ないならば、科学の価値は無い。

1/3 オクターブ解析を使い周波数の特定さえもしようとしない。家の中で振動レベル計を使う提案もしない。これでは、問題は決して解決しない。

もちろん調査は必要だが、調査の前に、“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”と言うような考えを流布し、被害を訴えさせなくする風潮を改める必要がある。  
また、被害を苦情と言い換え、単なる主観や経済的利益の問題に摩り替えてはいけない。

風車建設前の広域的な健康調査とその数値化、風車建設後の広域的な健康調査とその結果の比較。

風車を中心に3 km圏内の広域的な健康調査と、10 km以内に風車が無くて住民構成が似ている地域でのある点を中心とした半径3 kmの地域の健康調査との統計的な比較など、できることは沢山ある。

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 (p 14) 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。

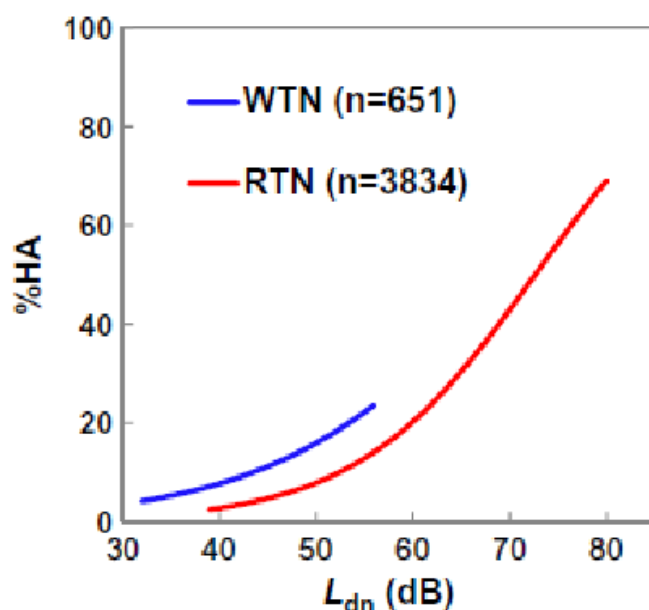


図 7 風車騒音 (WTN) と道路交通騒音 (RTN) の昼夜時間帯補正等価騒音レベル ( $L_{dn}$ ) ※と非常に不快と感じた者のパーセンテージ (%HA)

※ 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、 $L_{Aeq}$  に 6dB を加算して  $L_{dn}$  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 ～20 H z	20 H z 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、“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ャー) 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	70 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・騒々しい事務所の中</li> <li>・騒々しい街頭</li> <li>・セミの鳴き声（2m）</li> <li>・やかんの沸騰音（1m）</li> </ul>
	大きく聞こえ、うるさい。声を大きくすれば会話ができる	60 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・洗濯機（1m）</li> <li>・掃除機（1m）</li> <li>・テレビ（1m）</li> <li>・トイレ（洗浄音）</li> <li>・アイドリング（2m）</li> <li>・乗用車の車内</li> </ul>
普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	50 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・静かな事務所</li> <li>・家庭用クーラー（室外機）</li> <li>・換気扇（1m）</li> </ul>
	聞こえるが、会話には支障なし	40 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・市内の深夜</li> <li>・図書館</li> <li>・静かな住宅地の昼</li> </ul>
静か	非常に小さく聞こえる	30 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・郊外の深夜</li> <li>・ささやき声</li> </ul>
	ほとんど聞こえない	20 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ささやき</li> <li>・木の葉のふれあう音</li> </ul>

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 55 d B、夜間で 45 d B です。

騒音レベル（WTN）の値が同じでも、不快感を感じる人の比率は、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ません。指標として役立つためには、同じWTNの値の時に、不快感を感じ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ません。

グラフのズレについて 6 ～ 9 d B 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 ～ 13 d B になりました。

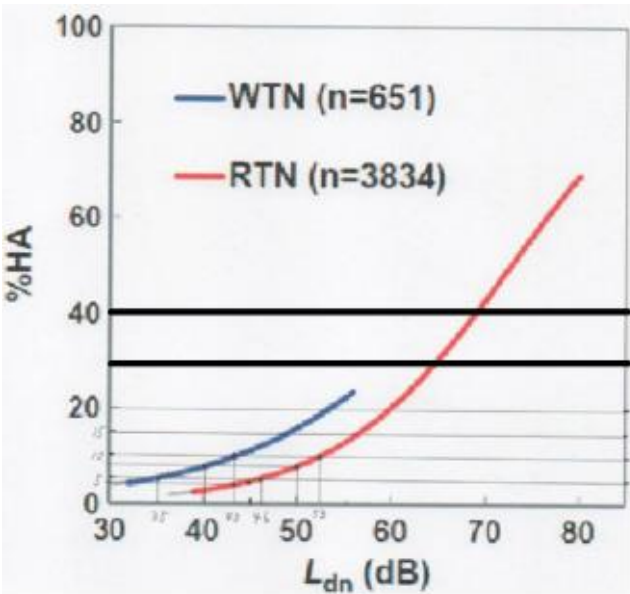
ズレの理由を次の様に考えました。

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、

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

となって、11.5 d B 増加します。

報告書（p 14）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	10dB
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 11.5 d B 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%	60 d B	64 d B	4 d B	71.5dB	64 d B	-7.5 d B
20%	53 d B	60 d B	7 d B	64.5dB	60 d B	-4.5 d B
10%	43 d B	53 d B	10 d B	54.5dB	53 d B	-1.5 d B
8%	40 d B	50 d B	10 d B	51.5dB	50 d B	-1.5 d B
5%	35 d B	46 d B	11 d B	46.5dB	46 d B	-0.5 d B
4%	30 d B	43 d B	13 d B	41.5dB	43 d B	1.5 d B

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、不快感を感じる人の割合が、ほぼ一致と言えます。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、53 d B 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 p 14 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ります。風車騒音で 35 d B は、交通騒音で 46 d B の場合と同じ被害が出ます。5%の人が、“非常に不快である” という数値です。単純に“不快である” という人をその 2 倍と仮定すれば、合計で 15%の人が不快感を感じる数値です。普通は、風車は夜間も停止しません。AA 地区で、夜間で 46 d B 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。

（防音効果は無視して考えれば、）

風車騒音は屋外で計測した A 特性音圧レベル（20 Hz～）を使って評価します。

住宅地域での指針値の下限として 40 d B が示されています。風車騒音での 40 d B 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 50 d B に相当します。

風車は夜間も停止しません。もし、風車音で 40 d B の音が夜間放出されると、被害は、夜間に於いて交通騒音 50 d B 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 50 d B 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、10～13 dB 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 10～13 dB 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 (20  $\mu$  Pa) (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、20Hz 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>

$$L_p = 10 \cdot \log_{10}(p^2 / p_0^2)$$

音響出力は音圧の  
二乗に比例する

$L_p$  : 音圧レベル(dB)

dB値(参考): 0.002Pa=40dB,

$p$  : 音圧実効値(Pa)

0.00002( $2 \times 10^{-5}$ ) Pa=0dB

$p_0$  : 基準音圧  $2 \times 10^{-5}$  (Pa) (=20 $\mu$ Pa)

\* 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 40 dB すなわち、

$$40 = 10 \cdot \log_{10}((P / P_0)^2)$$

のときに、全体のエネルギー (14 倍) を含めた評価は、

$$10 \cdot \log_{10}(((P / P_0)^2 \cdot 14)) = 40 + 10 \cdot \log_{10}14 = 40 + 10 \cdot 1.1 = 51$$

となる。(1 dB 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 40 dB の場合に、全体のエネルギーを評価した値が 51 dB 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、20 Hz 以上の音が全体のエネルギーの 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 0.8 Hz 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、室内の状況を考えます。

石竹達也 氏の研究内容に、

## 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 $L_{\text{Geq},n}$ 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 $L_{\text{Aeq},n}$ 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

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 40 d B の風車騒音では、エネルギーの 7%に対する評価値が 40 d B となっています。この部分に対しては、防音窓によって 24 d B の減衰が得られます。従って、16 d B となって、次の表から

静か	非常に小さく聞こえる	3 0 db	・ 郊外の深夜 ・ ささやき声
	ほとんど聞こえない	2 0 db	・ 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 d B 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 50 d B 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 40 d B、超低周波音（0Hz～20Hz）の部分を加えた合計が 50 d B 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。

$$10 \log_{10} \left( 10^{\frac{73}{10}} + 10^{\frac{77}{10}} + 10^{\frac{75}{10}} \right) = 80 \text{ (dB)} \quad \text{式 11-7}$$

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、（ $J = (p * p) / (\rho c)$ ）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、 $(P_{800}/P_0)^2 = 10^{L_{800}/10}$

となり、

$$\begin{aligned} L_{1/1} &= 10 * \log_{10}(P_{1/1}/P_0)^2 \\ &= 10 * \log_{10}(((P_{800})^2 + (P_{1000})^2 + (P_{1250})^2)/P_0^2) \\ &= 10 * \log_{10}(10^{L_{800}/10} + 10^{L_{1000}/10} + 10^{L_{1250}/10}) \end{aligned}$$

となります。

そこで、

$$\begin{aligned} (P_L)^2 + (P_H)^2 &= P_T^2 \\ 40 &= 10 * \log_{10}(P_H/P_0)^2 \\ 50 &= 10 * \log_{10}(P_T/P_0)^2 \end{aligned}$$

とすれば、

$$\begin{aligned} (P_L/P_0)^2 &= (P_T/P_0)^2 - (P_H/P_0)^2 \\ &= 10^5 - 10^4 \end{aligned}$$

$$10 * \log_{10}(P_L/P_0)^2 = 10 * \log_{10}(10^5 - 10^4) = 10 * (4 + \log_{10} 9) = 49.5$$

この部分が、7 dB 減衰すれば、42.5 dB

$$10 * \log_{10}(P_{L425}/P_0)^2 = 42.5$$

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 24 d B なので、

$$40 - 24 = 16 = 10 * \log_{10}(P_{H16}/P_0)^2$$

とにおいて、

$$(P_{H16}/P_0)^2 = 10^{1.6}$$

$$(P_{L425}/P_0)^2 + (P_{H16}/P_0)^2 = 10^{4.25} + 10^{1.6}$$

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 42.5 d B に相当すると言えます。

交通騒音（20Hz 以上）で 45 d B だった場合はどうなるかと考えると、これは、24 d B の減衰がそのまま使えて、室内では 21 d B になると言えます。

交通騒音（20Hz～100Hz）で 40 d B だった場合は、24 d B の減衰があれば、16 d B 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 40 d B は、室内での交通騒音（20Hz 以上）の 42.5 d B に相当します。防音対策をした後の室内での、16 d B と 42.5 d B 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	5 0 db	・ 静かな事務所 ・ 家庭用クーラー（室外機） ・ 換気扇（1 m）
	聞こえるが、会話には支障なし	4 0 db	・ 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	3 0 db	・ 郊外の深夜 ・ ささやき声
	ほとんど聞こえない	2 0 db	・ 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（20 Hz～）はこれを表現できません。

10.2 間接的な健康影響（安眠妨害）

10.2.1 風車による睡眠へ影響

風車音の影響は聴覚に対してだけではなく、風車音の被害を把握するには8つの観点が必要です。

音がうるさい

圧迫感や吐き気などによる不快感

直接的な健康被害としての頭痛

音が原因の建具や床のガタツキを感じる

夜間の光（航空障害灯）による安眠妨害

風車の陰によるイライラ

風車振動の地中伝搬（大型風車による地盤振動伝播 小野寺 英輝）

音源としての風車の形と距離減衰

です。

どれが起きても、睡眠を妨げられます。

10.2.2 ガタツキ閾値

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	

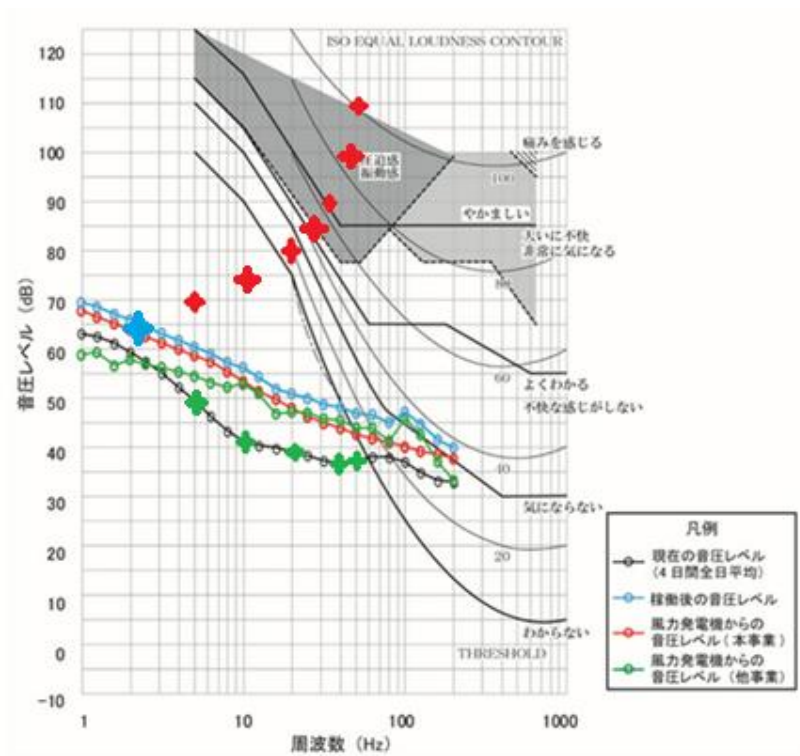
5Hzでは69.88≒70dB、1.25Hzでは71.97dBです。ガタツキ閾値の数値、5Hzで70dBになっています。

表1 低周波音による物的苦情に関する参照値

1/3オクターブバンド											
中心周波数 (Hz)	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
1/3オクターブバンド											
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。



上の図から、2Hz で 65 d B 程度で、ガタツキが起きると考えられます。

### 10. 2. 3 圧力変動の感知

音は粗密波であり、密になった場合は人体に掛かる大気圧は増加し、疎になった場合には大気圧は減少する。次の研究報告によれば、この気圧の変化を感知できると考えられる。

これは、1 Hz の粗密波を、音として感知するのではなく、大気圧の変動として感知できるという意味です。根拠は、次の論文です。

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不明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、球形囊）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

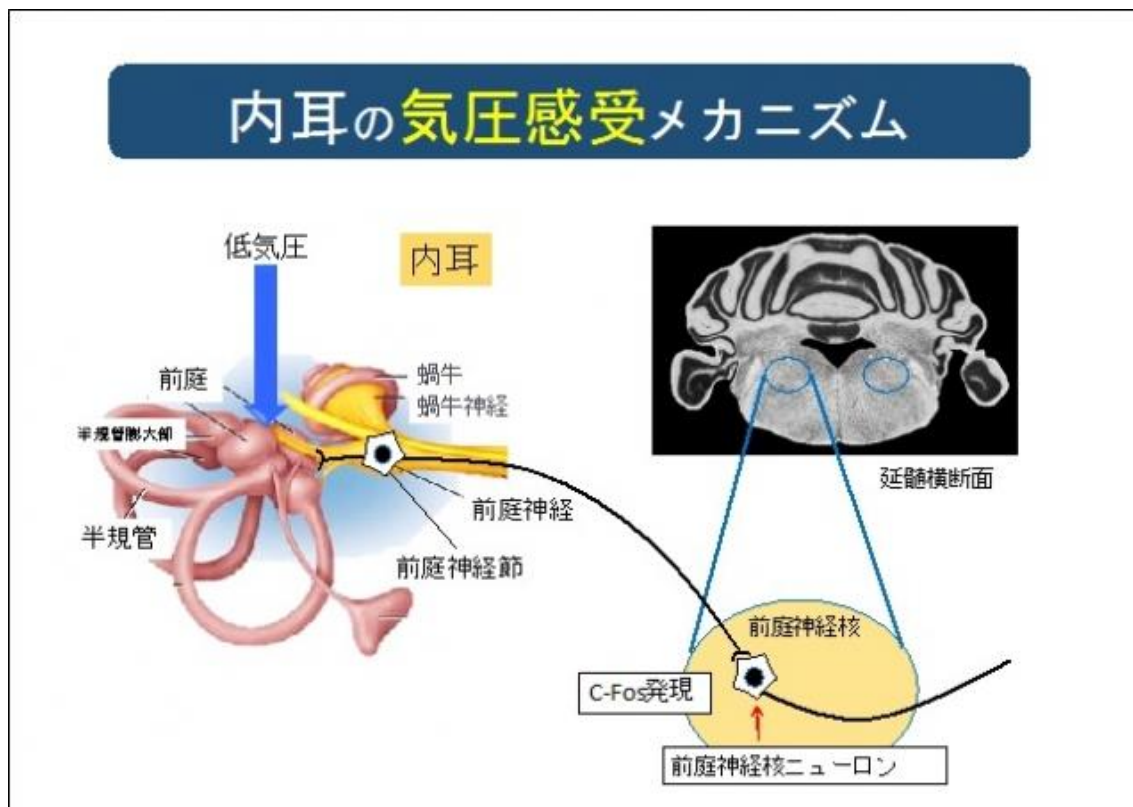
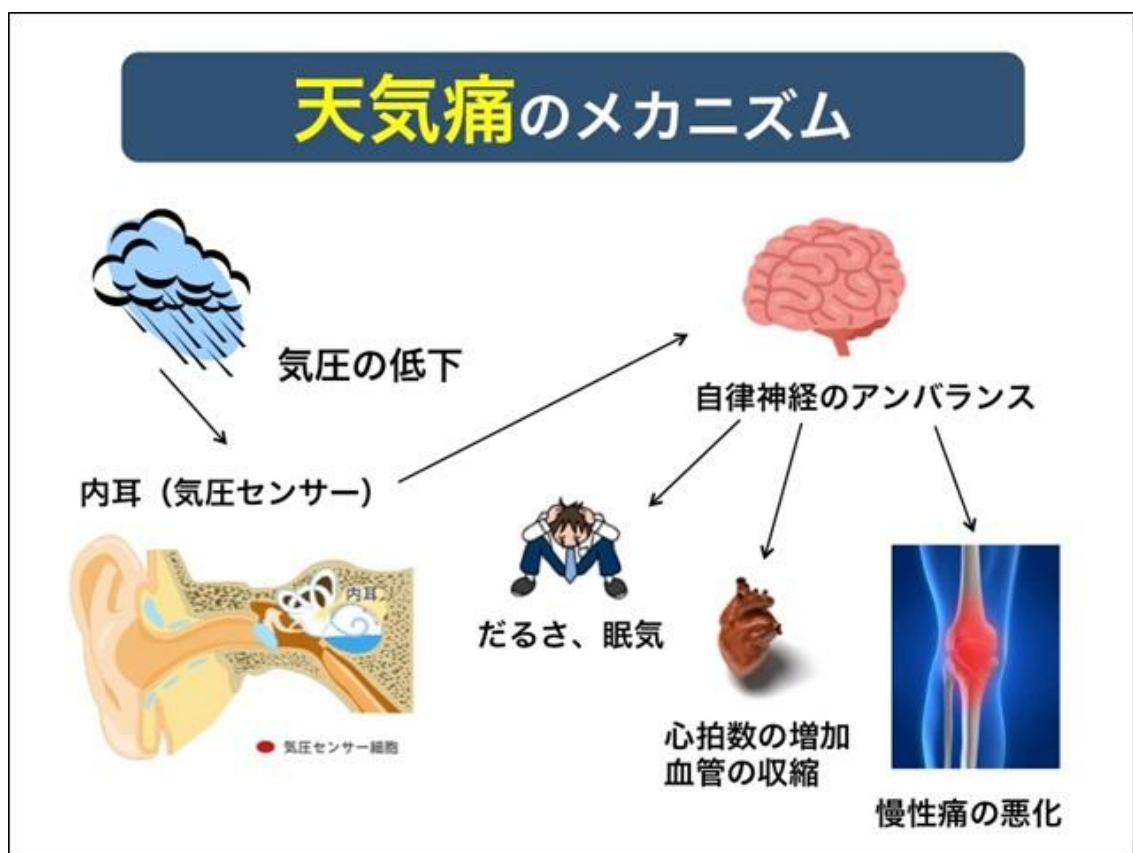


図 2





## 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流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可能性を意味しています。もちろん、これは聴覚による感知ではありません。

周波数が 0.5 (Hz) の音を考える。

波長は、 $340/0.5=680\text{m}$ 、波は、1秒間に 0.5 回、したがって、2秒に1回の割合で繰り返す。

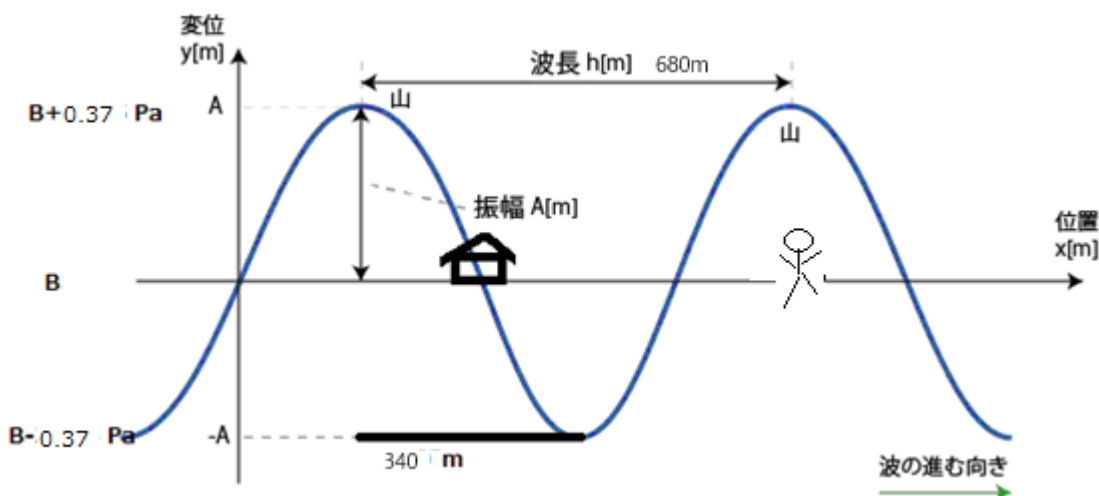
音圧を 0.37 (Pa) として、ある時刻  $t$  を固定すれば、下の図のようになる。

右の人物（風船のように反応すると考える）は、

気圧が高くなった中にいるので、押しつぶされている。

1秒後には波が右に 340m進むので、気圧が低くなり、膨張する。

2秒後には、波は 680m進むので、気圧が高くなり、押しつぶされる。



押しつぶされたり、膨張したりすれば、圧迫感を覚えるのは当然です。これは、聴覚での把握とは言えません。

周波数が高ければ、風船の表面は振動するでしょう。これは、鼓膜が振動するのと同じですから、この場合は、音を聴覚で感知したと言えます。



ですから、表面が振動する反応と、表面が振動しないで押しつぶされたり膨張したりする反応の2種類があると考えられます。

音に対して、聴覚での“うるささ”としての感知と、体に対する圧力変動を“圧迫感”として感知する場合の2種類があると考えerべきです。こちらは、頭痛などとの関連が考えられます。

従って、超低周波音の感知には、聴覚メカニズムによらないものがある。と考えるべきです。

人間の体は、人体に加わる圧力の変化に敏感に反応することは、七浦地区に住み海に潜ってアワビを採っている人ならば皆が知っています。深く潜ったり、浮き上がったりする動作を繰り返すと、頭痛がしたり、鼻血が出たり、耳が痛くなったりします。人体に加わる圧力変動の観点からの議論する必要があります。

私も海に潜って漁をします。潜り始めて1週間くらいは頭痛がします。圧力変化に体が直接反応して、鼻血が出たり、耳が痛くなったりします。

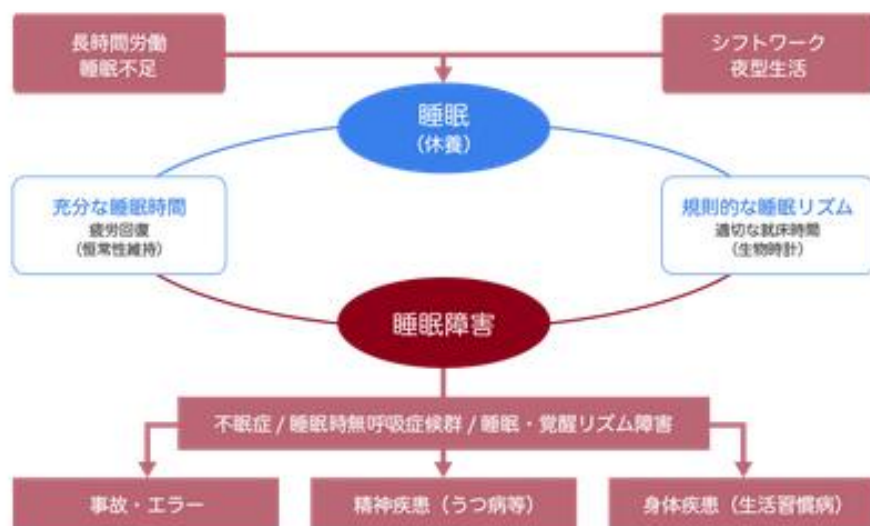
## 10. 2. 4 不眠による被害

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。

睡眠と生活習慣病との深い関係（厚生労働省）

質の悪い睡眠は生活習慣病の罹患リスクを高め、かつ症状を悪化させることが分かっています。睡眠問題は「睡眠習慣」と「睡眠障害」の問題に分けられます。睡眠習慣については睡眠不足やシフトワークなどによる体内時計の問題、睡眠障害については睡眠時無呼吸と不眠症の問題を取り上げ、それぞれ生活習慣病との関係を明らかにします。

### 「睡眠習慣」と「睡眠障害」の問題



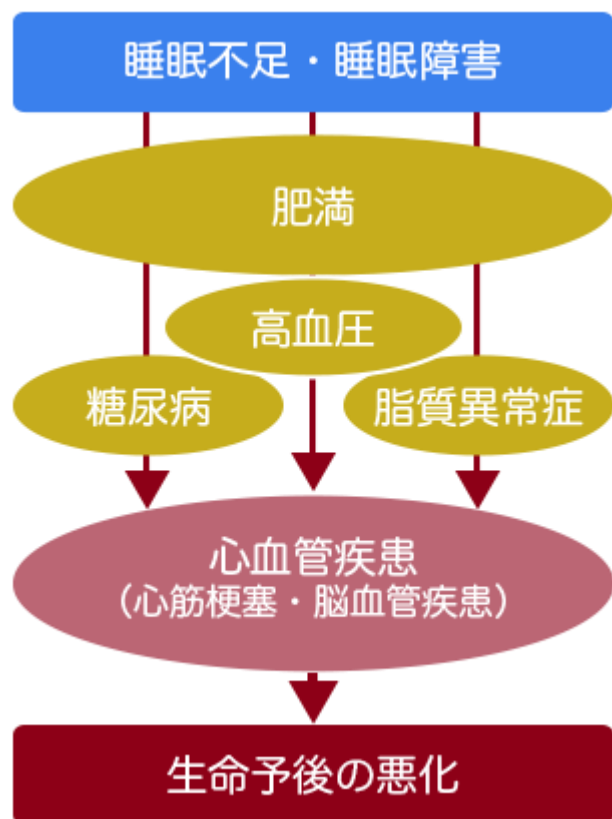
日本人、特に子供たちや就労者の睡眠時間は世界で最も短いと言われています。【図 2】は就労者の男女別の睡眠時間を国際比較した結果です。日本人の睡眠時間が如何に短いかお分かりいただけると思います。とりわけ女性は家事や育児の負担が大きいため男性よりもさらに睡眠時間が短く、平日・週末を問わず慢性的な寝不足状態にあると言えます。

慢性的な睡眠不足は日中の眠気や意欲低下・記憶力減退など精神機能の低下を引き起こすだけではなく、体内のホルモン分泌や自律神経機能にも大きな影響を及ぼすことが知られています。一例を挙げれば、健康な人でも一日 10 時間たっぷりと眠った日に比較して、寝不足（4 時間睡眠）をたった二日間続けただけで食欲を抑えるホルモンであるレプチン分泌は減少し、逆に食欲を高めるホルモンであるグレリン分泌が亢進するため、食欲が増大することが分かっています。ごくわずかの寝不足によって私たちの食行動までも影響を受けるのです。実際に慢性的な寝不足状態にある人は糖尿病や心筋梗塞や狭心症などの冠動脈疾患といった生活習慣病に罹りやすいことが明らかになっています。

また日本人の約 2 割は交代勤務に従事しています。夜勤に入ることによって、体内時計と生活時間との間にずれ

が生じやすくなります。体内時計にとって不適切な時間帯に食事を取ることも生活習慣病の原因のひとつになると推測されています。夜間には体内時計を調節する時計遺伝子の一つである **BMAL1** 遺伝子とその蛋白質が活性化しますが、この蛋白質は脂肪を蓄積し分解を抑える作用を持っています。すなわち「夜食べると太る」という我々の経験は科学的にも正しかったわけです。夜勤中についつい間食をしている方にとっては耳の痛い話ではないでしょうか。

#### 睡眠障害と生活習慣病



睡眠障害もまた生活習慣病の発症に関わっています。以前から生活習慣病患者さんでは睡眠時無呼吸症候群や不眠症の方が多くことが知られていました。その後の多くの研究によって、睡眠障害が生活習慣病の罹患リスクを高め症状を悪化させることや、その発症メカニズムが明らかになりつつあります。

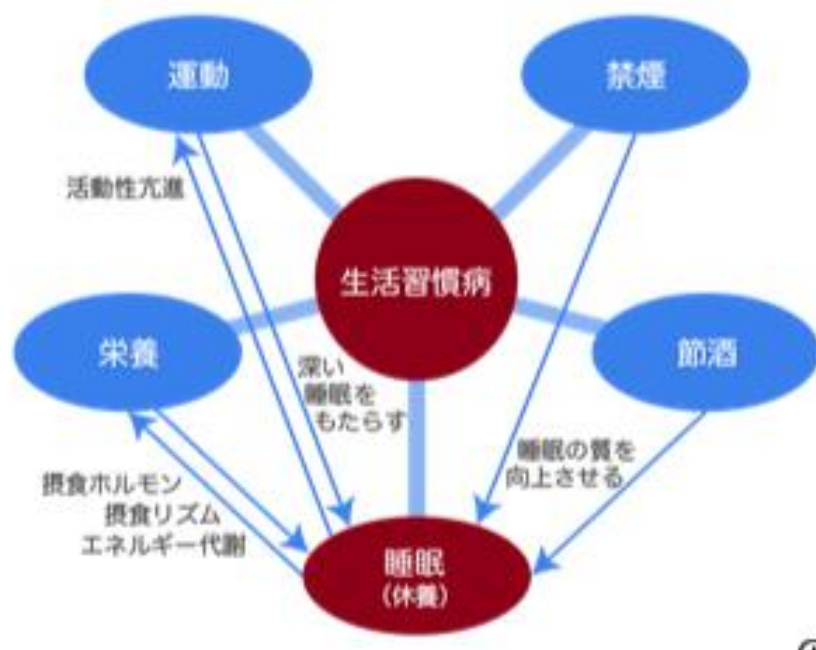
例えば睡眠時無呼吸症候群の患者さんでは、夜間の頻回の呼吸停止によって「低酸素血症と交感神経の緊張（血管収縮）」「酸化ストレスや炎症」「代謝異常（レフチン抵抗性・インスリン抵抗性）」などの生活習慣病の準備状態が進み、その結果として5～10年後には高血圧・心不全・虚血性心疾患・脳血管障害などに罹りやすくなります。

また慢性不眠症の患者さんもまた、「交感神経の緊張」「糖質コルチコイド（血糖を上昇させる）の過剰分泌」「睡眠時間の短縮」「うつ状態による活動性の低下」など多くの生活習慣病リスクを抱えています。入眠困難や中途覚醒・早朝覚醒など不眠症状のある人では良眠している人に比較して糖尿病になるリスクが1.5～2倍になることが知られています。

#### 睡眠障害もまた生活習慣病のひとつ

21世紀における国民健康づくり運動（健康日本21）では「栄養・食生活の管理」「身体活動・運動」「禁煙・節酒」などと並んで「十分な睡眠の確保」に取り組んできました。不規則な食事・運動不足・ニコチン・アルコール

ル過飲によって睡眠状態は悪化しますので、これら生活習慣を改善することは良質な睡眠を保つことにもつながります。逆に言えば睡眠障害もまた生活習慣病のひとつと考えるべきでしょう。



日々の生活の中で睡眠時間はともすれば犠牲になりがちです。ただし今回ご紹介したように長期にわたり睡眠不足を続けたり、睡眠障害を放置したりするとは私たちの健康を大きく害します。睡眠問題は静かにしかし着実に心身の健康を蝕みます。睡眠習慣の問題や睡眠障害を放置せず、ご自分の睡眠状態に疑問を感じたら、かかりつけ医もしくは睡眠専門医に相談をしてみましょう。

## 安眠妨害は拷問の手法

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。

PhantaPorta  
バンタポルタ



魔女狩りの常套手段！ 人間性を奪う拷問「睡眠妨害」の恐怖

拷問の歴史

西洋史

狸穴醒

歴史・文化

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えます。

## 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」<sup>1)</sup>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。



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 10k m 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 時までに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”とい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った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月末までの間に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、

## これまでに得られた知見④

### 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

“静かな環境では、風車騒音が 35～40 dB 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。

**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．**

- **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．**

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、

- **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い．**

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。

### 10.3.1 超低周波音の解析と発生仕組み

超低周波音の解析と発生仕組み

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。

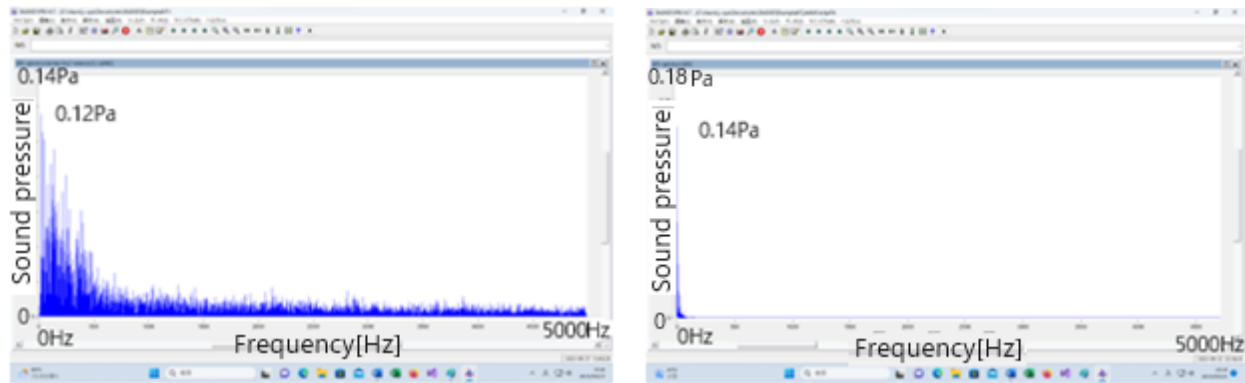


Fig.1 JFE iron mill ; Max 0.12[Pa](12Hz)      Fig.2 Wind turbine noise ; Max 0.14[Pa](0.8Hz)

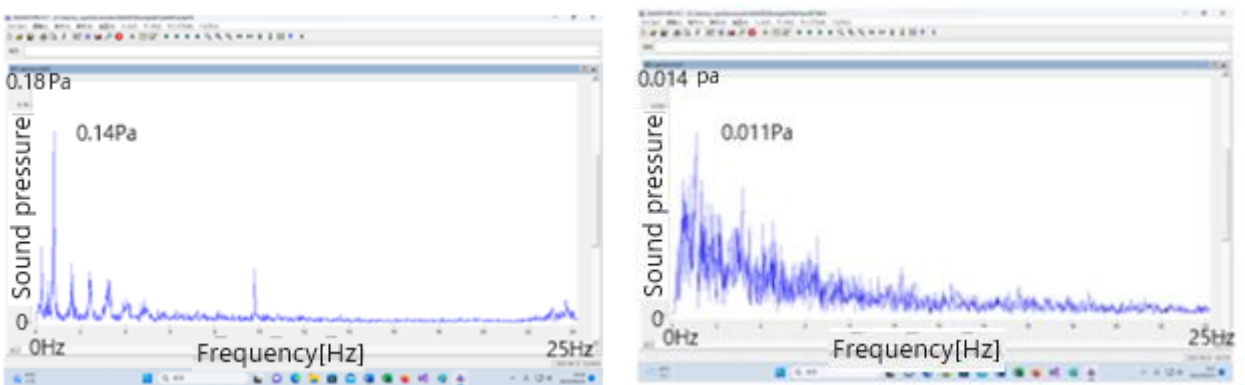


Fig.3 Wind turbine noise (0～25Hz)      Fig.4 Nagao shrine (0～25Hz); 0.011[Pa](1.1Hz)

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ない事が分る。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%

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 1 Energy distribution (0~5000Hz)

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 200~24 k Hz 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。

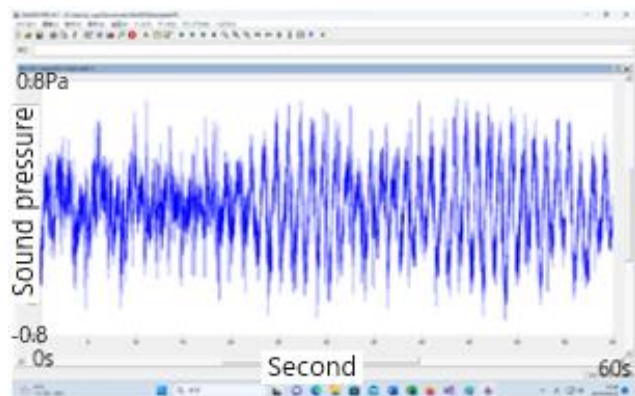


Fig.5 Wind turbine noise

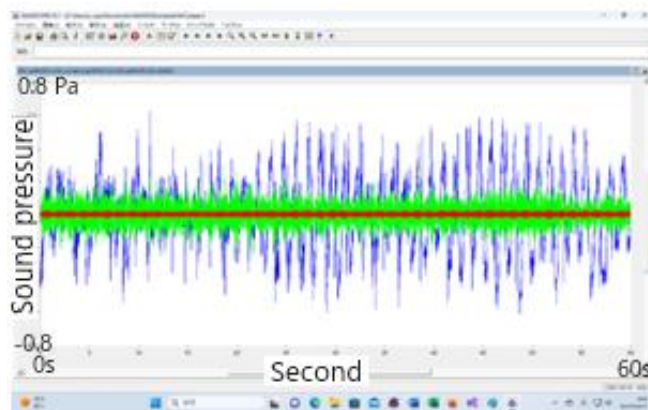


Fig.6 Separated Wind turbine noise

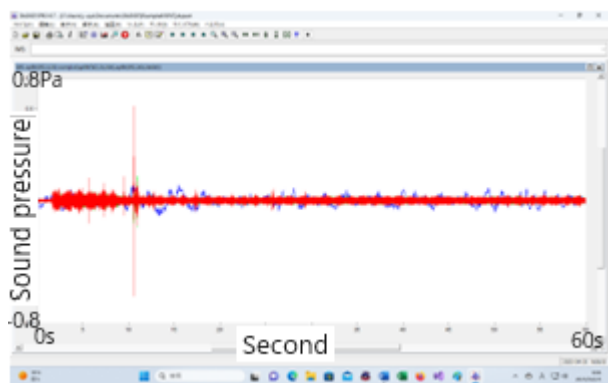


Fig.7 Separated sound from speaker

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。

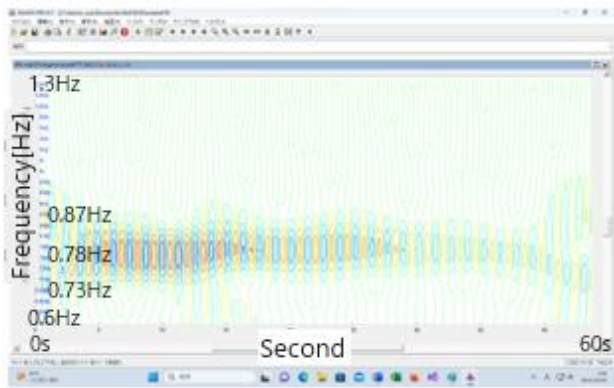


Fig.8 Fine fluctuation nearby 0.8Hz

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。

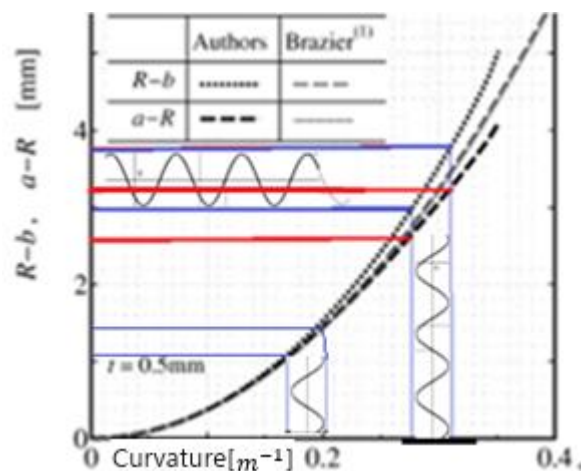


Fig.9 Force fluctuation and side vibration

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、

$$L = \rho U \Gamma = 4\pi\rho U^2 \lambda \sin(\alpha - \delta) \quad (1)$$

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。

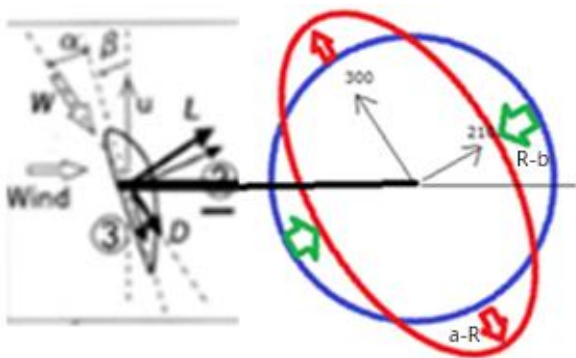


Fig.10 Lifting vector and modification

## 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。

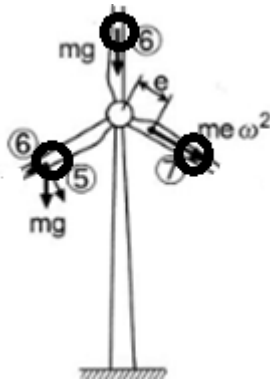


Fig.11 Wind turbine in balance

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  $\alpha(V)$

としたときに、次の関係式

$$V_{ZG(V)} / V_{zh1} = (Z_{G(V)} / Z_{h1})^{\alpha(V)} \quad (2)$$

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  $100 + 50 * \sin(\omega t + \theta)$  m での風速は

$$7 * ((100 + 50 * \sin(\omega t + \theta)) / 10)^{0.15} \quad [\text{m/s}] \quad (3)$$

となる。

空気密度を  $1.23[\text{kg/m}^3]$ 、風力係数  $C_d = 1.2$ 、とすると風速  $V[\text{m/s}]$  のとき、 $P$ : 風荷重  $[\text{N/m}^2]$  は

$$P = (V^2 / 2) * 1.23 * 1.2 \quad [\text{N/m}^2] \quad (4)$$

となり、標識の面積が  $10[\text{m}^2]$  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、

$$P * (100 + 50 * \sin(\omega t + \theta)) = k * (100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))^{1.3} \quad [Nm] \quad (6)$$

となる (k=181.24)。ここでは

$$(100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))^{1.3} \quad (7)$$

の部分に注目して考える。

ブレードのなす角は  $2\pi/3$  なので回転モーメント  $M$  は、  
 $\omega = 2\pi \cdot 0.8/3$  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、

$$M = k * f(t) = 181.24 * f(t) \quad [Nm] \quad (9)$$

となる。マクローリン展開

$$(1+x)^\alpha = 1 + \frac{\alpha}{1!}x + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2!}x^2 + \frac{\alpha(\alpha-1)(\alpha-2)}{3!}x^3 + \dots \quad (10)$$

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。)

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  $(1/2)\sin(\omega t)$  を代入すれば、

$$(100 + 50 * \sin(\omega t))^{1.3} = 398.11 * \{1 + 0.65 \sin(\omega t) + 0.05 \sin^2(\omega t) - 0.006 \sin^3(\omega t) + \dots\} \quad (12)$$

となる。次の関係式に注意して計算する。

$$\sin(x) + \sin(x + 2\pi/3) + \sin(x + 4\pi/3) = 0 \quad (13)$$



$$\sin^2(x) + \sin^2\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) + \sin^2\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) = \frac{3}{2} \quad (14)$$

$$\sin^3(x) = (3\sin(x) - \sin(3x))/4 \quad (15)$$

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

$$\sin(3x) + \sin\left(3\left(x + \frac{2\pi}{3}\right)\right) + \sin\left(3\left(x + \frac{4\pi}{3}\right)\right) = 3\sin(3x) \quad (16)$$

となるから

$$\sin^3(x) + \sin^3\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) + \sin^3\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) = -(3/4)\sin(3x) \quad (17)$$

よって、

$$f(t) \approx 1223.43 + 1.70\sin(3\omega t) \quad (18)$$

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、塔にかかる回転モーメントは

$$M = k * f(t) \approx 221734.19 + 307.78\sin(3\omega t) \quad (19)$$

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。

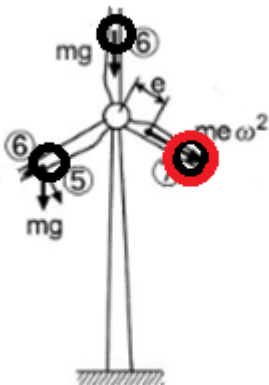


Fig.12 Wind turbine imbalance

大きな部分の面積が、 $10 \times 1.003 = 10.03 \text{ m}^2$  だとすれば、この時、赤い丸の部分が受ける力は、

$$P = \frac{\left( \left( 7 * \left( \frac{(100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))}{10} \right)^{0.15} \right)^2 \right)}{2} \quad (20)$$

$* 1.23 * 1.2 * 10 * 1.003 \text{ [N]}$

より、

$$P * (100 + 50 * \sin(\omega t + \theta)) = k * ((100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))^{1.3} + 0.003 * (100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))^{1.3}) \quad (21)$$

となる。 $\theta = 0$  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。

$$0.003 * (100 + 50 * \sin(\omega t))^{1.3} = 0.003 * 398.11 \{ 1 + 0.65 \sin(\omega t) + 0.05 \sin^2(\omega t) - 0.006 \sin^3(\omega t) + \dots \} \quad (23)$$

となり、冪乗の項を倍角で表現して計算すれば、

$$M = k * g(t) = 221955.93 + 139.77 \sin(\omega t) - 5.28 \cos(2\omega t) + 308.08 \sin(3\omega t) + \dots \quad (24)$$

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 ;  $(\sin x)^n$  は、定数と  $\sin(mx)$ 、 $\cos(mx)$  ( $m=1 \sim n$ ) の一次式で表現できる。(Cos も同様)

$n=1$  の場合は、 $(\sin x)^1 = \sin(1x)$  で正しい。

$n=k$  の時に成立すると仮定すると、

$$(\sin x)^{k+1} = f_k(x) * \sin x, \quad (25)$$

定数 $\sin x$  は条件を満たし、

$$\sin(mx) * \sin x = -(\cos(mx + x) - \cos(mx - x))/2 \quad (26)$$

$$\cos(mx) * \sin x = (\sin(x+mx) + \sin(x-mx))/2 \quad (27)$$

となるので、(25) 式は、定数と  $\sin(mx)$ 、 $\cos(mx)$  ( $m=1 \sim k+1$ ) の一次式で表現できる。

よって、 $(\sin x)^n = f_n(x)$  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

$$(\sin x)^n + \left(\sin\left(x + \frac{2\pi}{3}\right)\right)^n + \left(\sin\left(x + \frac{4\pi}{3}\right)\right)^n \quad (29)$$

を考えるには、1 次式の和

$$\sin(mx) + \sin\left(m\left(x + \frac{2\pi}{3}\right)\right) + \sin\left(m\left(x + \frac{4\pi}{3}\right)\right) \quad (30)$$

について調べればよいことになる。

$$m=3k, \quad m=3k+1, \quad m=3k+2 \quad (k=0,1,2,\dots)$$

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、 $\sin(3\omega t)$ ,  $\cos(3\omega t)$  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、 $3 \cdot R/60[\text{Hz}]$  のほかに、 $2 \cdot 3 \cdot R/60[\text{Hz}]$ 、 $3 \cdot 3 \cdot R/60[\text{Hz}]$ 、 $4 \cdot 3 \cdot R/60[\text{Hz}]$ 、... 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、 $R/60[\text{Hz}]$  の他に、 $2 \cdot R/60[\text{Hz}]$ 、 $3 \cdot R/60[\text{Hz}]$  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。

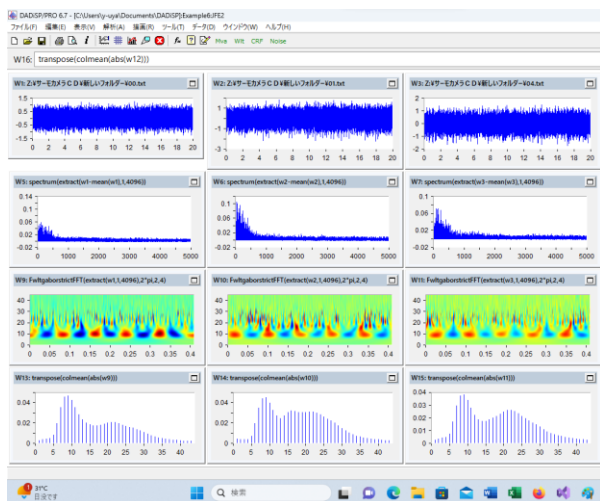


Fig.14 Effect of Chaos theory

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。

### 1 1. 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))

### 1 2. 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。）

### 1 3. 引用文献

- 1) 高橋厚太, 賀川和哉, 長嶋久敏, 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) 橋秀樹, 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) 石井淑夫編集,泡のエンジニアリング,テクノシステム, 初版, 2005

### 10. 3. 2 圧縮と膨張

人体を半径 0.5mの球とみる。表面積は  $4 \times 3.14 \times 0.5 \times 0.5 = 3.14 \text{ m}^2$

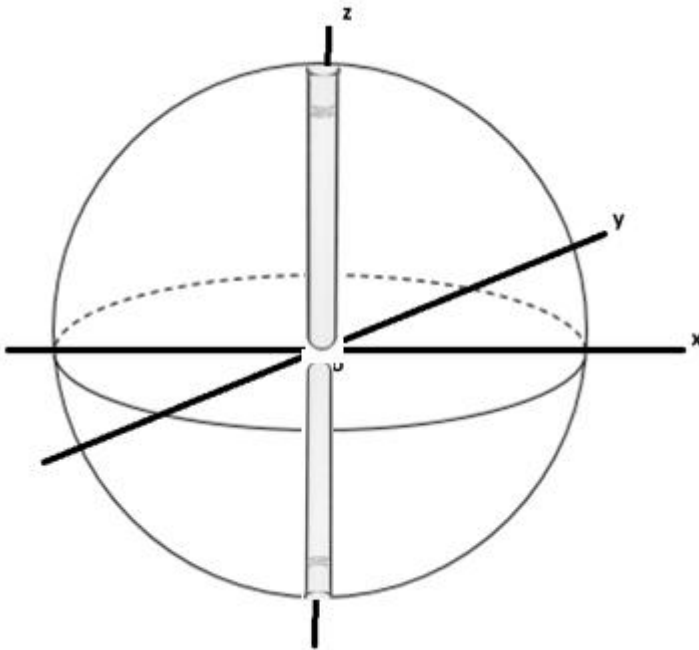
表面の部分は体重 (60 k g) に相当する質量を持ち、面密度は  $60/3.14 = 19 \text{ kg/m}^2$

音 (平面波) の波面に対して、x 軸が垂直になっているとする。

音速は 340m/秒とする。

パスカル値については、1 パスカルは、1 平方メートル (m<sup>2</sup>) の面積につき 1 ニュートン (N) の力が作用する圧力または応力と定義されている[1]。

ニュートンについては、1 ニュートンは、1 kg の質量を持つ物体に 1 m/s<sup>2</sup> の加速度を生じさせる力である。



北極と南極に向けた 2 本の試験管のような部分を考える。

試験管の半径を  $r = 0.005 \text{ m}$ 、断面積を  $ds = \pi \times 0.000025 = 0.0000785 \text{ [m}^2\text{]}$ 、

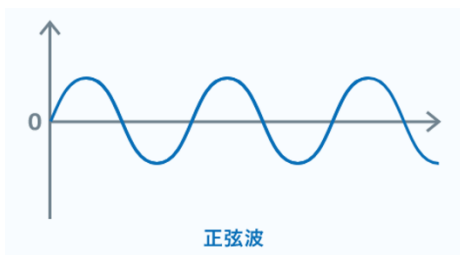
殻の部分の密度を  $\rho = 19.1 \text{ kg/m}^2$  とする。

試験管の口の部分の質量は  $M = \rho \times ds = 19 \times \pi \times 0.000025 = 0.0015 \text{ [kg]}$  となる。

この部分を、y z 平面に平行な平面波が通過すると考える。

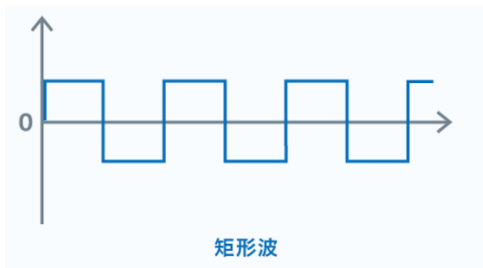
試験管の口の部分での音圧  $P(t)$ が

$$P(t) = A \sin \omega t$$



としたいのだが、

計算を簡単にするために、矩形波で考える。



音が来る前の大気圧を $P_0$ と置く。試験管の中の圧力も同じだったとする。  
試験管の蓋に掛かる圧力は $P_0 + A$ と $P_0 - A$ の繰り返しとなる。

1000Hz の音波が通過する場合を考える。

音速は 340m/秒なので、波長は、 $340/1000=0.34\text{m}$

$P_0 + A$ の部分の長さは、 $0.17\text{m}=170\text{ cm}$

この部分が蓋の部分を通過する時間は、 $0.17/340=0.0005$  秒

よって、0.0005 秒ごとに、蓋に掛かる圧力が変化することになる。

内圧が $P_0$ で外圧が $P_0 + A$ になったとすれば、蓋に掛かる力は（ $A \cdot$ 蓋の面積）パスカルになる。  
この状態が  $dt$  秒間継続したとすれば、 $F = m \alpha$  より、

$$A \cdot ds = M \alpha$$

$$\alpha = A \cdot ds / M$$

となり、 $dt$  秒後には、測度  $v1 = \alpha dt$ 、移動距離は初速度  $v0=0$  なので、

$$dl = (1/2) \alpha (dt)^2 + v0 \cdot dt$$

となる。

試験管の長さを、 $L$  とすれば試験管の容積は  $L \cdot ds$  となる。 $dt$  秒後の状態は、蓋が移動したので試験管内の容積は、 $ds \cdot (L - dl)$  に変わる。

容積が減ったので、管内の気圧が上がり  $P_1$  となる。

とりあえず、管内の気体の温度は同じと仮定する。（あとで修正する）

$$P_1 \cdot ds \cdot (L - dl) = P_0 \cdot ds \cdot L$$

よって、 $dt$  秒後の状態は、

$$v1 = \alpha \cdot dt$$

$$dl = (1/2) \alpha (dt)^2$$

$$P_1 = P_0 \cdot L / (L - dl)$$

$$L_1 = (L - dl)$$

となる。

次は、外圧は $P_0 + A$ 、内圧は  $P_1 = P_0 \cdot L / (L - dl)$  として考える。この時の初速度は  $v1$ 、

蓋に掛かる圧力差は $P_0 + A - P_1$ 、これが蓋  $ds$  の部分を押す。

加速度 $\alpha_1$ として、 $(P_0 + A - P_1) * ds = M * \alpha_1$

$$\alpha_1 = \frac{(P_0 + A - P_1) * ds}{M}$$

$$dl_1 = v_1 * dt + \left(\frac{1}{2}\right) \alpha_1 * dt^2$$

$$v_2 = v_1 + \alpha_1 * dt$$

蓋が移動したので試験管内の容積は、 $ds * (L - dl - dl_1)$ に変わる。

試験管内の圧力 $P_2$ は、 $P_2 * ds * (L - dl - dl_1) = P_1 * ds * (L - dl) = P_0 * ds * L$ より、

$$P_2 = P_1 * (L - dl) / (L - dl - dl_1) = P_0 * L / (L - dl - dl_1)$$

$$L_2 = (L - dl - dl_1)$$

次は、外圧は $P_0 + A$ 、内圧は  $P_2 = P_0 * L / (L - dl - dl_1)$ として考える。

蓋に掛かる圧力差は $P_0 + A - P_2$ 、これが蓋  $ds$  の部分を押す。

加速度 $\alpha_2$ として、 $(P_0 + A - P_2) * ds = M * \alpha_2$

初速度は  $v_2$

$$\alpha_2 = \frac{(P_0 + A - P_2) * ds}{M}$$

$$dl_2 = v_2 * dt + \left(\frac{1}{2}\right) \alpha_2 * dt^2$$

$$v_3 = v_2 + \alpha_2 * dt$$

蓋が移動したので試験管内の容積は、 $ds * (L - dl - dl_1 - dl_2)$ に変わる。

試験管内の圧力 $P_3$ は、 $P_3 * ds * (L - dl - dl_1 - dl_2) = P_0 * ds * L$ より、

$$P_3 = P_0 * L / (L - dl - dl_1 - dl_2)$$

$$L_3 = (L - dl - dl_1 - dl_2)$$

次は、外圧は $P_0 + A$ 、内圧は $P_3 = P_0 * L / (L - dl - dl_1 - dl_2)$ として考える。

蓋に掛かる圧力差は $P_0 + A - P_3$ 、これが蓋  $ds$  の部分を押す。

加速度 $\alpha_3$ として、 $(P_0 + A - P_3) * ds = M * \alpha_3$

初速度は  $v_3$

$$\alpha_3 = \frac{(P_0 + A - P_3) * ds}{M}$$

$$dl_3 = v_3 * dt + \left(\frac{1}{2}\right) \alpha_3 * dt^2$$

$$v_4 = v_3 + \alpha_3 * dt$$

蓋が移動したので試験管内の容積は、 $ds * (L - dl - dl_1 - dl_2 - dl_3)$ に変わる。

試験管内の圧力 $P_4$ は、 $P_4 * ds * (L - dl - dl_1 - dl_2 - dl_3) = P_0 * ds * L$ より、

$$P_4 = P_0 * L / (L - dl - dl_1 - dl_2 - dl_3)$$

$$L_4 = (L - dl - dl_1 - dl_2 - dl_3)$$

次は、外圧は $P_0 + A$ 、内圧は $P_4 = P_0 * L / (L - dl - dl_1 - dl_2 - dl_3)$ として考える。

蓋に掛かる圧力差は $P_0 + A - P_4$ 、これが蓋  $ds$  の部分を押す力になる。

加速度 $\alpha_1$ として、 $(P_0 + A - P_4) * ds = M * \alpha_4$

初速度は  $v_4$

$$\alpha_4 = \frac{(P_0 + A - P_4) * ds}{M}$$

$$dl_4 = v_4 * dt + \left(\frac{1}{2}\right) \alpha_4 * dt^2$$

$$v_5 = v_4 + \alpha_4 * dt$$

以下、同様。

となる。

$dt=0.00125$  秒、 $L=0.5m$ 、 $M=\rho * ds=0.0015kg$ 、 $A=1$ 、として上記の計算をすれば、  
 $dt * k = \text{周期}/2$  となるまでは内部の圧力が上昇するが、その後は、外の気圧が、外圧は $P_0 - A$ となるので、  
試験管内の空気は膨張を開始する。この膨張は、周期/2 の間だけ継続する。その後、外圧は $P_0 + A$ となり、また、  
圧縮過程に入る。

最初の圧縮過程が終了する時点での試験管内の圧力は次の表のようになる。

周波数	0.5	1	2	10	20	50	100	200
周期/2	1	0.5	0.25	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025
内気圧	102400.9991	102400.9742	102400.861	102400.467	102400.369	102400.303	102400.132	102400.033

回数	外気圧	外力	気柱長さ	気柱体積	内気圧	内力	気圧差	外力－内力	初速度	加速度	終速度	移動距離 dl	開始秒	終了秒
0	102401	8.0384785	0.5000000000	0.00003925	102400	8.0384	1	7.85E-05	0	0.05233333	6.5417E-05	4.08854E-08	0	0.00125
1	102401	8.0384785	0.4999999591	3.925E-05	102400.0084	8.03840066	0.99162667	7.7843E-05	6.5417E-05	0.05189513	0.00013029	1.22314E-07	0.00125	0.0025
2	102401	8.0384785	0.4999998368	3.925E-05	102400.0334	8.03840262	0.96657677	7.5876E-05	0.00013029	0.05058418	0.00019352	2.02376E-07	0.0025	0.00375
3	102401	8.0384785	0.4999996344	3.925E-05	102400.0749	8.03840588	0.92513015	7.2623E-05	0.00019352	0.04841514	0.00025403	2.79719E-07	0.00375	0.005
4	102401	8.0384785	0.4999993547	3.92499E-05	102400.1322	8.03841037	0.86784356	6.8126E-05	0.00025403	0.04541715	0.00031081	3.53026E-07	0.005	0.00625
5	102401	8.0384785	0.4999990017	3.92499E-05	102400.2045	8.03841605	0.79554369	6.245E-05	0.00031081	0.04163345	0.00036285	4.21034E-07	0.00625	0.0075
6	102401	8.0384785	0.4999985806	3.92499E-05	102400.2907	8.03842282	0.70931554	5.5681E-05	0.00036285	0.03712085	0.00040925	2.90007E-08	0.0075	0.00875
7	102401	8.0384785	0.4999985516	3.92499E-05	102400.2966	8.03842328	0.70337617	5.5215E-05	0.00040925	0.03681002	0.00045526	2.87578E-08	0.00875	0.01
8	102401	8.0384785	0.4999985229	3.92499E-05	102400.3025	8.03842375	0.69748653	5.4753E-05	0.00045526	0.0365018	0.00050089	2.8517E-08	0.01	0.01125

気圧変動の振幅が 1 パスカルのときは、  
200Hz だと、体内の圧力は 0.033 パスカル増えた後で減圧過程に入る。  
100Hz だと、体内の圧力は 0.132 パスカル増えた後で減圧過程に入る。  
10Hz だと、体内の圧力は 0.467 パスカル増えた後で減圧過程に入る。  
1Hz だと、体内の圧力は 0.974 パスカル増えた後で減圧過程に入る。  
0.5Hz だと、体内の圧力は 0.999 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

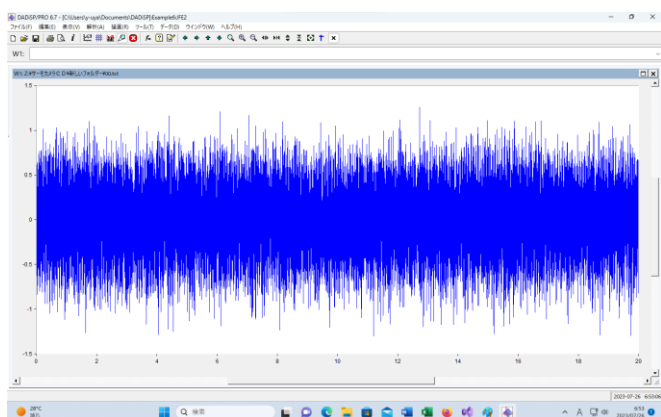
周波数が低いほど、体内の圧力変動が大きくなる。

200Hz 以上ならば、体内の圧力はほとんど変化しないが、10Hz 以下では、かなりの圧縮が起きる。  
これは、圧迫感ではなく、圧迫そのものです。

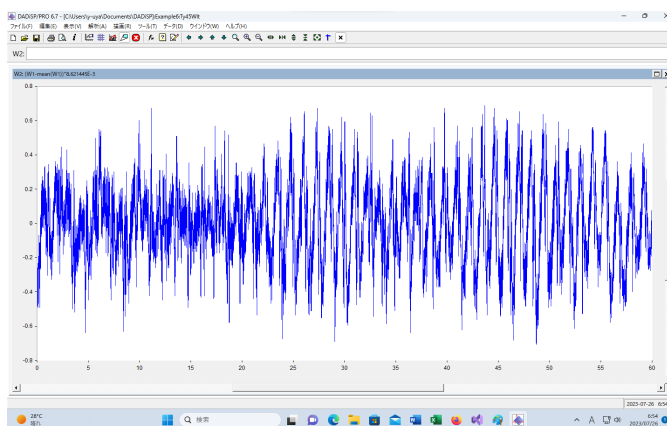
この圧力変動は、体内での気泡の溶解と発生の平衡状態を、発生が多い方に傾かせる。

ここでの計算は、波形が矩形波に近い場合でないと適用できない。

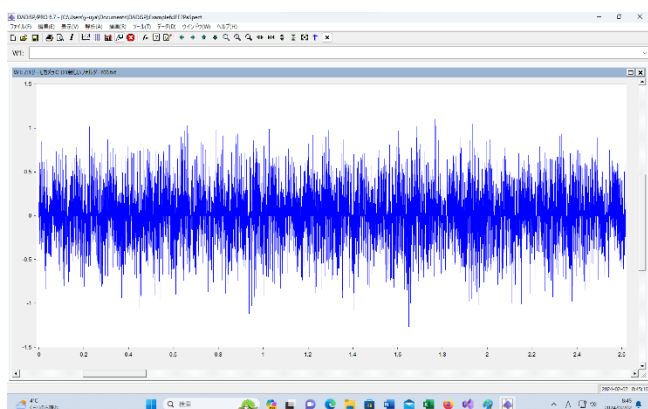
JFE の製鉄所内の音



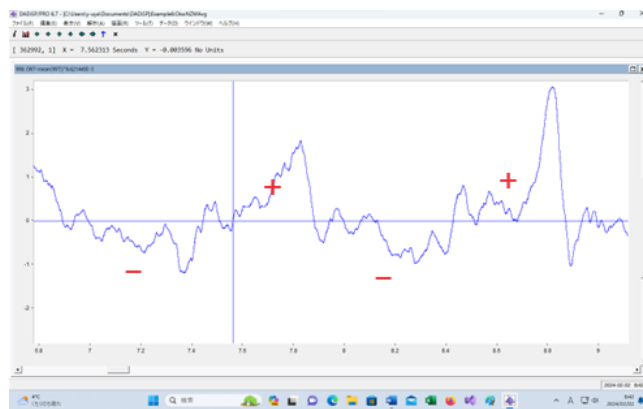
館山の風車音



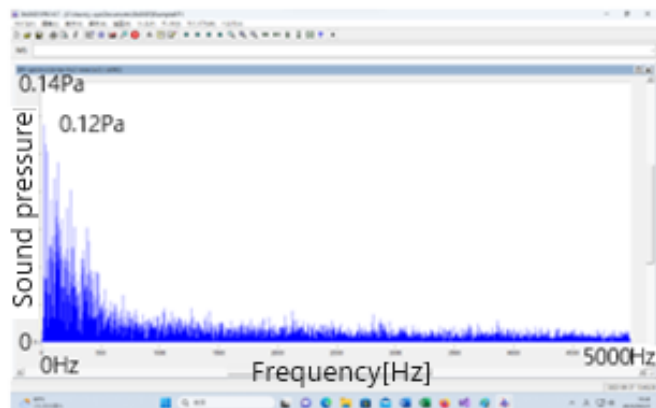
工場騒音の、2.6 秒間の波形



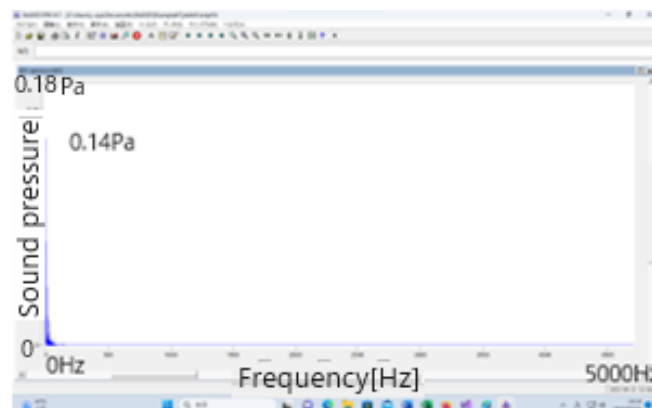
風車音の 2.2 秒間の波形



製鉄所(0~5 k Hz)；最大 0.12[Pa](12Hz)

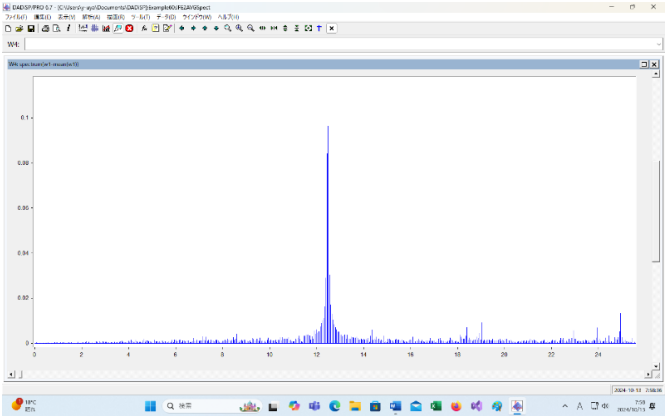


風車音(0~5000Hz)；最大音圧 0.14[Pa](0.8Hz)

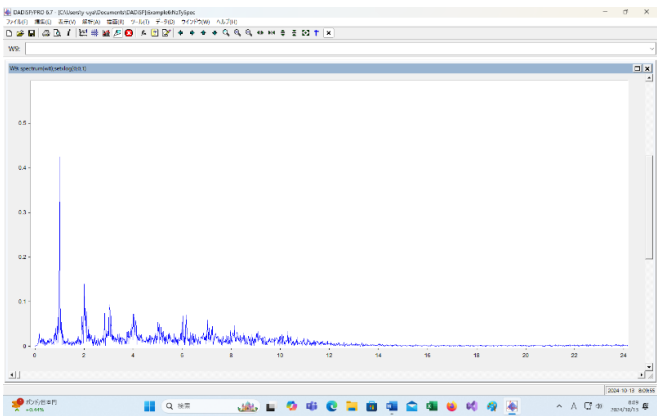




工場騒音 0～25Hz、最大音圧 0.1[Pa] （12.5Hz）



風車音（強風） 0～24Hz、最大音圧 0.42[Pa] （1Hz）



エネルギーの分布

周波数帯	0～20Hz	20～200Hz	200～24 k Hz	0～24 k Hz	単位
交通騒音	1.76E-07	8.08E-08	1.80E-05	1.80E-05	W/m2
神社風	8.23E-06	3.91E-07	2.12E-07	8.83E-06	W/m2
JFE工場	4.80E-05	4.01E-04	5.34E-04	9.84E-04	W/m2
風車弱風	8.19E-04	2.40E-05	3.82E-07	8.43E-04	W/m2
風車強風	1.49E-03	2.30E-05	6.94E-08	1.52E-03	W/m2

工場での音は、12.5Hz での音圧が 0.1 パスカルであるが、波形を決定するのは、エネルギーからみても、収録した波形から見ても 20～24 k Hz の部分であると言える。音圧の変動が激しいので、圧縮過程や膨張過程が継続できないので、体内の圧力を大きく変化させる力はない。

風車音では、エネルギーの分布を見れば、0～20Hz の成分が圧倒的に強く、この部分が波形を決める。強風時には、 $f=RZ/60\text{Hz}$  の波による音圧変動に近い形での圧縮と膨張が起こる。

$f = 0.5\text{Hz}$ 、 $f = 1\text{Hz}$  では、音の音圧変動と体内での音圧変動の大きさは同程度になる。結果として、工場音では体内での音響キャビテーションは起きないが、風車音では起きると考えられる。

### 10. 3. 3 長期曝露による循環器障害

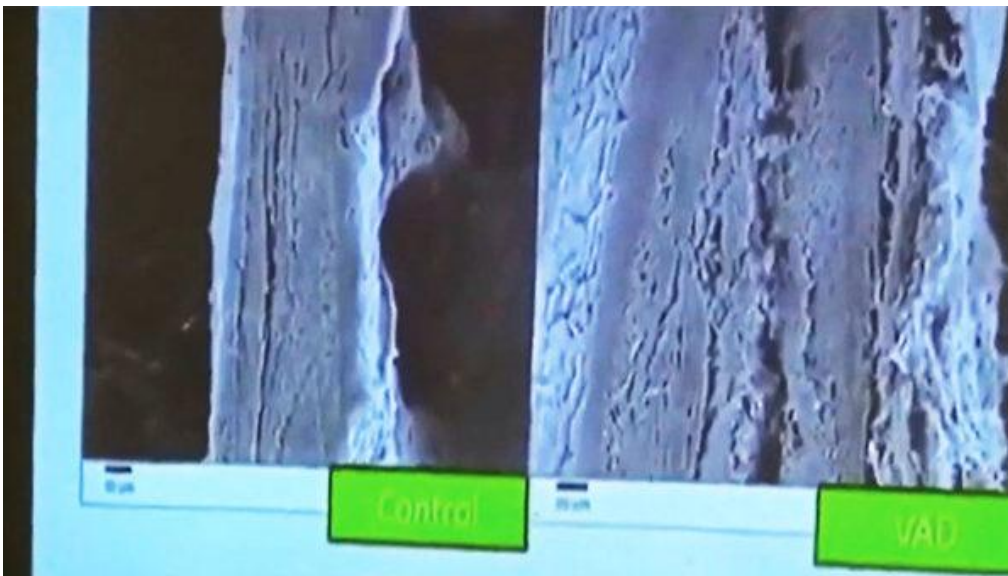
[長周新聞の記事](#)に次ものがある。

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  
博士は、

“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ミリの以下で、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ミリ未満だ。ところが低周波音に暴露した患者は、心膜が2・3ミリにもなる。

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）

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だけではなく、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は起きているとは、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。“と述べている。

風車音の影響による体内の圧力変動は、航空機での音よりも大きいと考えられる。理由はその周波数特性にある。周波数が低いほど、体内の圧力変動に大きく影響するからである。

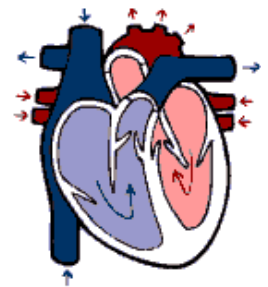
博士がこれに気が付かなかった理由は、風車音の発生する物理的な仕組みを解明しなかった。オクターブ解析に拘り過ぎたので、正確な周波数（ $f=RZ/60\text{Hz}$ ）と音圧を把握できなかった。ことにある。

### 高血圧症のはなし

高血圧との関連で言えば、体全体が圧縮されている場合は、末梢血管の直径も小さくなり、末梢血管の抵抗が増し、血流が流れづらくなる。この時には血圧が上昇する。

#### 高血圧とは

↓  
血液は全身に張り巡らされた血管を流れて、身体各部分に養分と酸素を供給し、老廃物を回収しています。この血液は心臓が収縮することで、動脈に押し出され、心臓が拡張するときに静脈から心臓に戻ります。↓  
心臓が収縮するときに動脈の血管にかかる圧力を**収縮期血圧**と言い、心臓が拡張してもなお血管内に残っている圧力を**拡張期血圧**と言います。↓  
この血圧は**体内を循環している血液の量**と**心臓の収縮で送り出される血液量**とで決まりますが、どちらの量も増加することで血圧が上昇します。↩



また、同時に**血管壁の弾力性**も血圧を決定する要因の一つで、血管がしなやかだと、血液の量が増え、血管壁が膨らんで血圧が急に高くなることを防ぎます。逆に血管に弾力性がないと血管の内圧が高まり、血圧が上昇します。これを**血管の抵抗**と言います。実際には太い血管から枝分かれした**抹消血管**が硬くなり、内腔が狭くなって血流が流れづらくなって抹消血管の抵抗が増加した場合に血圧が上昇するようです。↩

高血圧は痛みやめまいなどの自覚症状に乏しく、そのため軽く見てしまいがちです。しかし、それをほうっておくと**動脈硬化**が進行し、**脳卒中**や**心臓病**などの命にかかわる合併症を引き起こします。↩

さらに、

4. 高血圧で起きる病気

↓  
高血圧を放置しておくと体中の血管の壁に強い負担がかかります。すると、その刺激で血管は収縮し、さらに血管の内腔は狭くなります。また、血管壁には強い圧力がかかるため血管壁自体も補強され厚くなり、その結果さらに内腔は狭くなって、動脈硬化が促進されます。↓  
動脈硬化による血管の内腔の狭窄が進めば血液の流れは悪くなり、やがて血流は完全に途絶えてしまいます。血液は全身に酸素や養分を運んでいるので、その血流が悪くなると全身にさまざまな支障を与える重大な病気を引き起こしてしまいます。↓  
次に、高血圧によって引き起こされる代表的な病気について考えてみましょう。

1) 動脈硬化症	血管の壁が厚くなって弾力性が失われるなどして、もろくなり、内腔が狭くなった状態を言います。
2) 脳卒中	脳の血管がもろくなって破れ、脳出血が起こります。また動脈硬化で脳の血管が詰まれば脳梗塞が引き起こされます。
3) 心臓病	心臓の筋肉を養っている冠状動脈が動脈硬化で狭くなると狭心症を引き起こします。狭くなった血管が血栓で詰まると心筋梗塞となり命にかかわる大事になります。

となるので、  
血管壁は厚くなるようです。  
動脈硬化、脳卒中、心臓病、が起きる可能性が高まります。

知り合いの医師に教えていただいたのですが、  
  
“大動脈のような、大きな血管壁は、mri や CT などでは評価可能です。また、最近の血管の超音波検査（エコー）はかなり進んでいて、最新型のものであれば、かなり評価できます。一方、静脈壁の評価はかなり困難で、静脈内の血栓などの評価のみになります。また、毛細血管が、一番外因を受けやすいと思いますが、現在のところ、画像での評価は困難です。”

とのことでした。  
超低周波音の曝露と動脈の血管壁の厚さについては、どちらも客観的に計測できるので、統計的な因果関係の証拠になる。

被験者の体調の把握にはスマートウォッチも使えます。

## 睡眠中自動血圧測定可能



Management  
System  
EN ISO  
13485:2016  
www.tuv.com  
ID 9053034379



0197

Medizinisch zertifiziert

日本と欧州連合の医療機器認証取得

### 自動血圧モニタリングトレンド



この数値と、眠る人の近くに精密騒音計を置いて 6 時間の連続測定を置きながら結果を Wavelet 解析すれば関連性についての証拠の一つが得られます。

末梢血管での流量の変化と血圧の変化については、次の資料を参考にしてより詳細に記述する予定である。

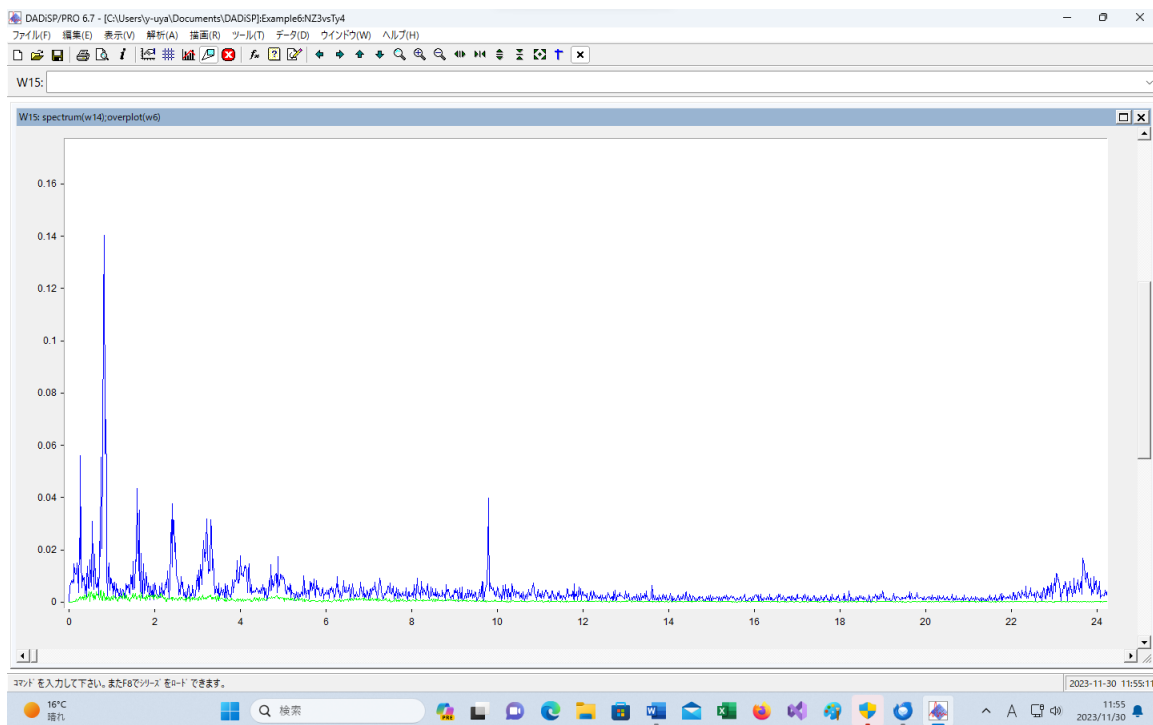
[衝撃問題における応力波の伝播と反射・透過について](#)

[いろいろな弾性波 \(その 1\)](#)

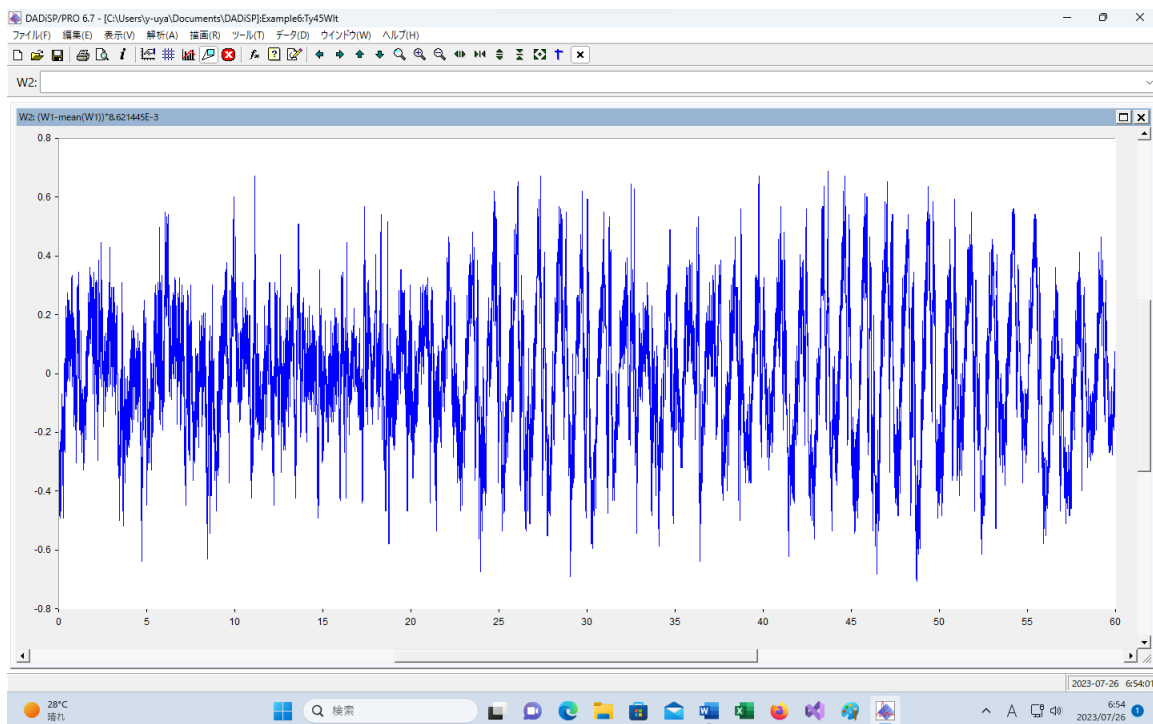
[金属中の応力波伝播\(高速変形の力学の基礎\)](#)

### 10. 3. 4 音響キャビテーションと頭痛

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、 $f=RZ/60=1\text{ Hz}$  の成分が卓越した音圧を持っていることが分ります。

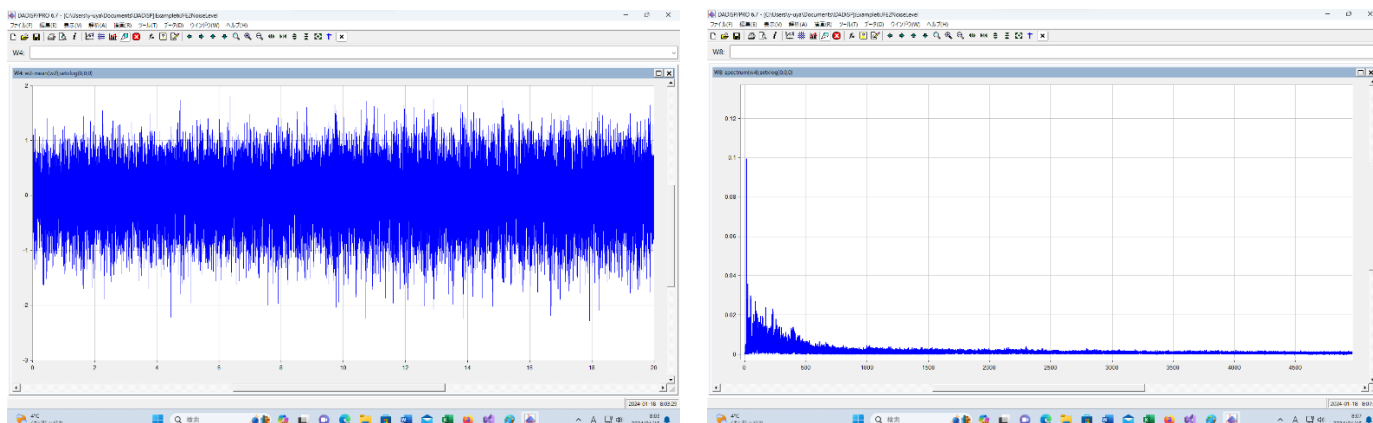


グラフは、1Hz の成分が卓越した音圧を持っているので、グラフの基本的な形を決定します。他の成分は、基本的なグラフに部分的な変動を与えるだけです。

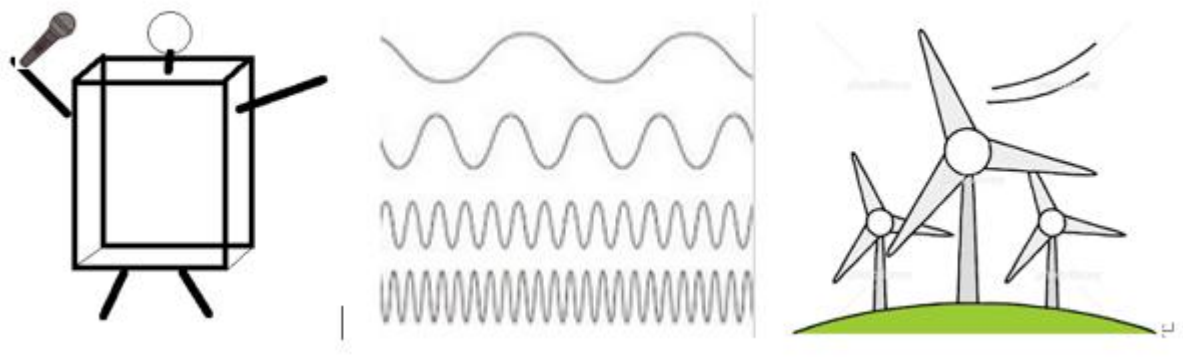




JFE の工場での音の全体のグラフと周波数スペクトルは次のグラフです。

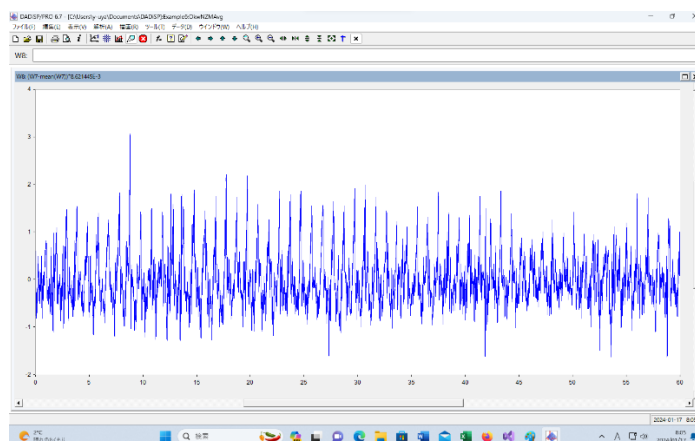
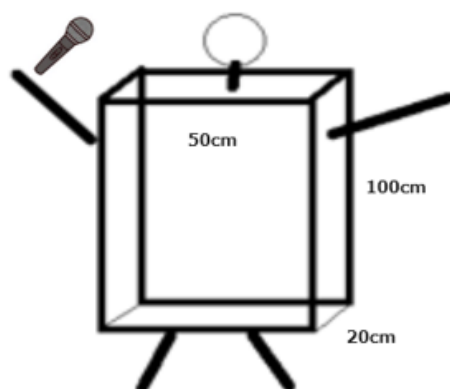


この性格の違は、人体に対する圧迫に仕方に影響します。



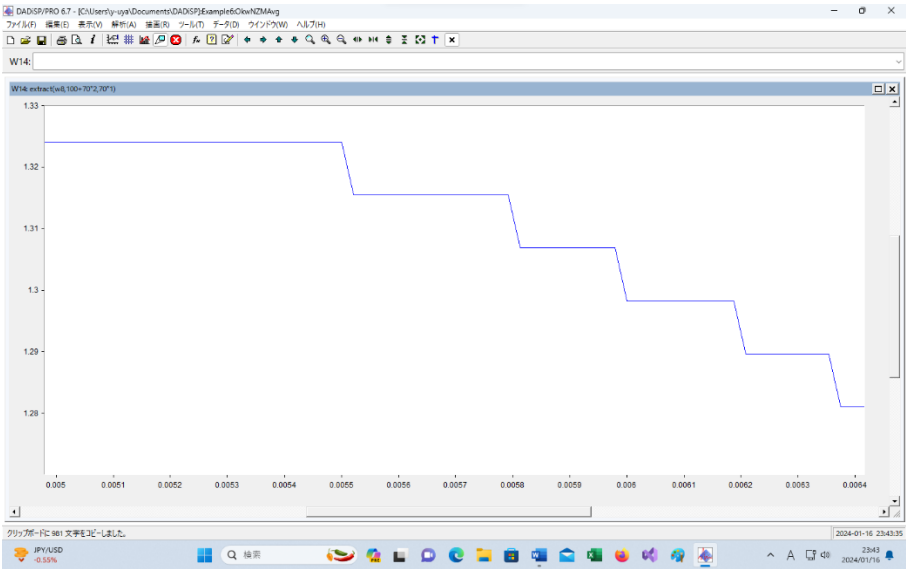
いろいろな波長の音が、秒速 340m で風車から人間まで届くとします。人間の横幅 50 c m、胴長 100 c m、厚み 20 c m として、音は平面波とします。

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、 $48000 \times 0.5/340 = 70.6 = 70$  回です。



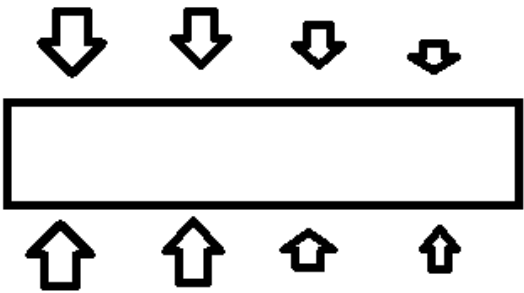
右側は、計測した風車音のデータです。これから 70 個分を取り出します。

音圧の、70 個の連続した数値のグラフは、



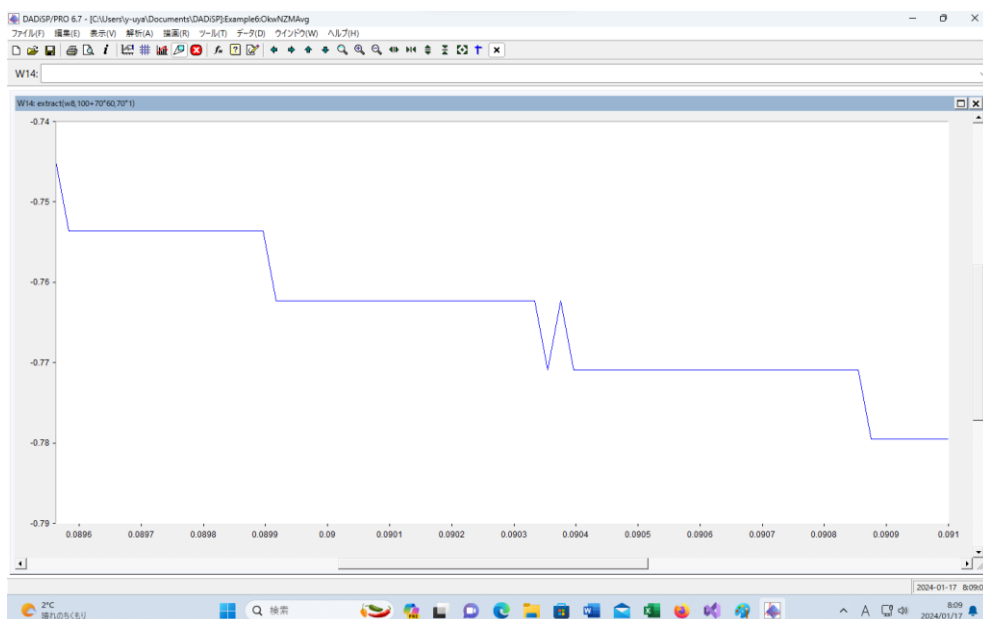
となり、数値は、

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	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。

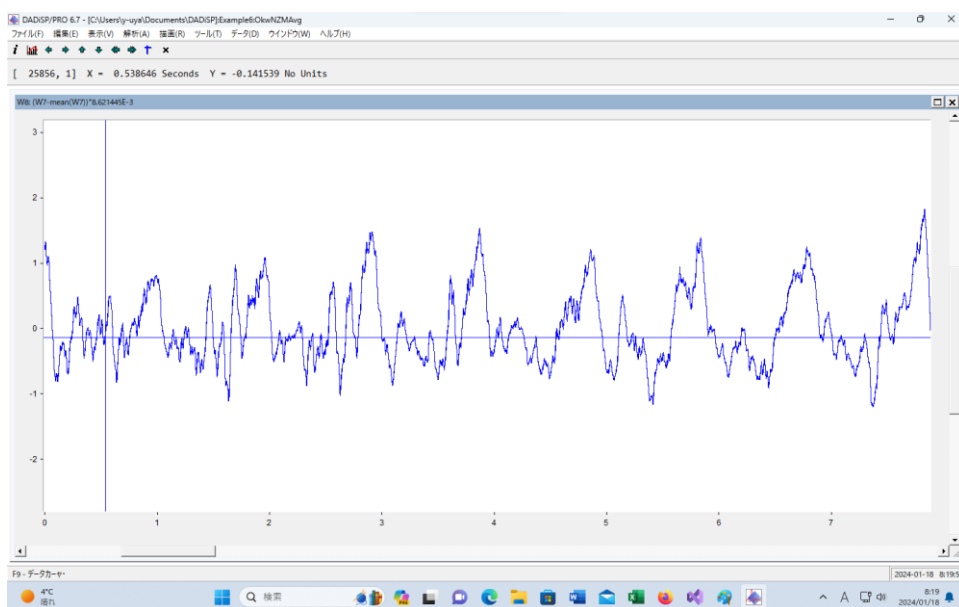
もちろん、



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、 $-0.77\text{Pa}$  程度です。強制的に膨張させられている状態です。

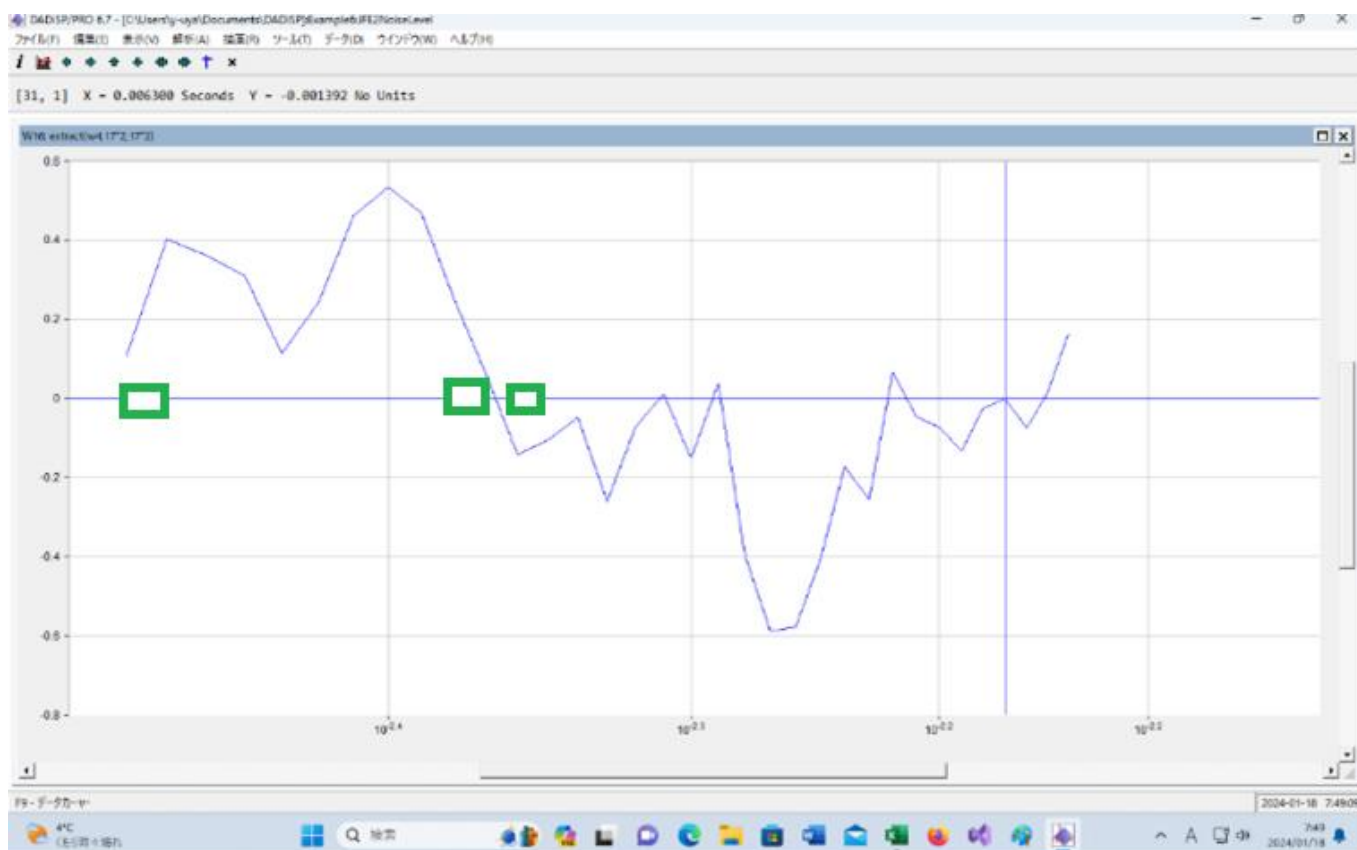
風車音の場合は、50 cmの全体が圧縮される時間が0.5秒、膨張させられる時間が0.5秒であることが次のグラフから分かります。



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。

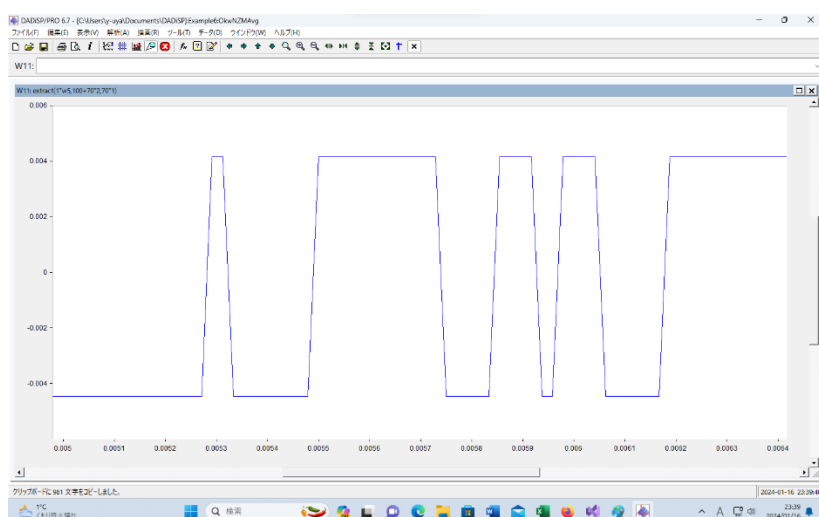
物理的には圧力が周期的に変化するのです。

工場音の場合は、秒速 340m の音が 50 c m 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  $0.04 \cdot 2 \cdot 0.001 = 0.038$  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、50 c m 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、

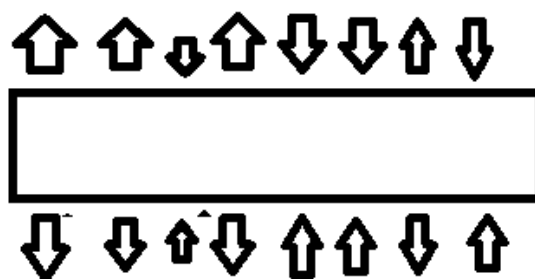


であり、

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。

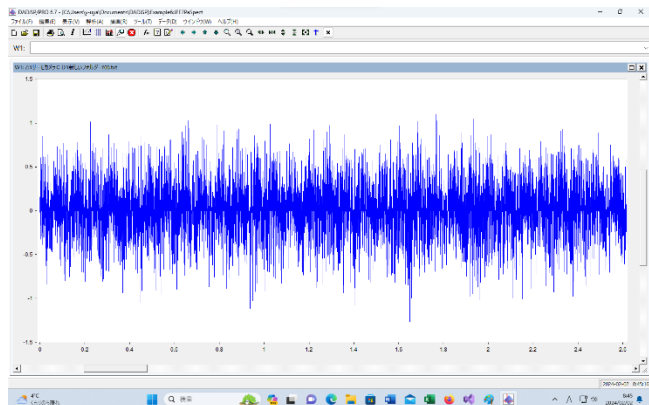
風車音は風速に変化によって変わります。速度が増せばブレードに掛かる揚力が増えます。揚力の大きさは風速の2乗に比例します。これによって、塔に掛かる回転モーメントも変化します。結果として塔の側面の振幅も増

加します。音圧も変化します。

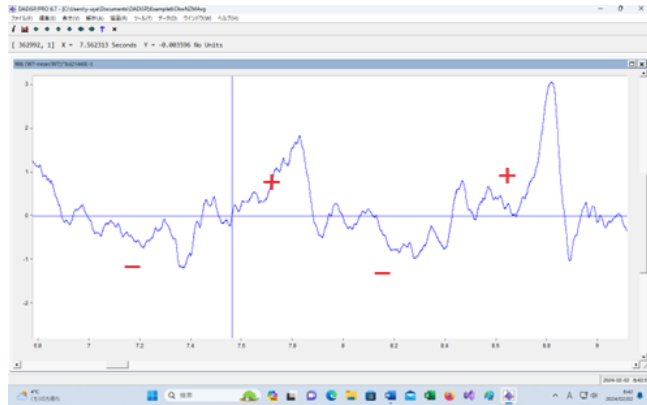
風が弱い時の音圧は  $0.15\text{Pa}$  ですが、風が強いと  $0.42\text{Pa}$  までは増加します。基本周波数は  $0.8\text{Hz}$  から  $1.0\text{Hz}$  程度に増加します。

音圧の変動は大きいですが、周波数の変動は小さいです。

工場騒音の、2.6 秒間の波形

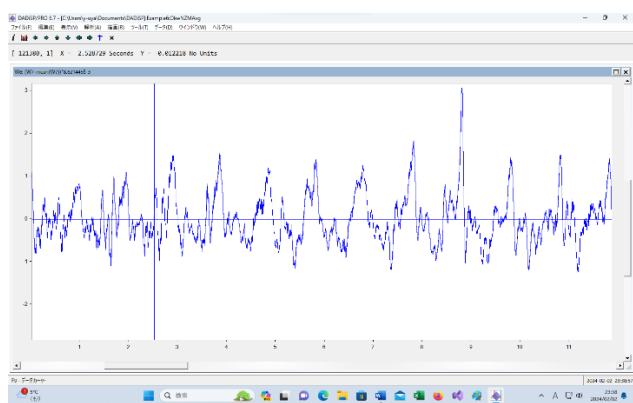


風車音の 2.2 秒間の波形

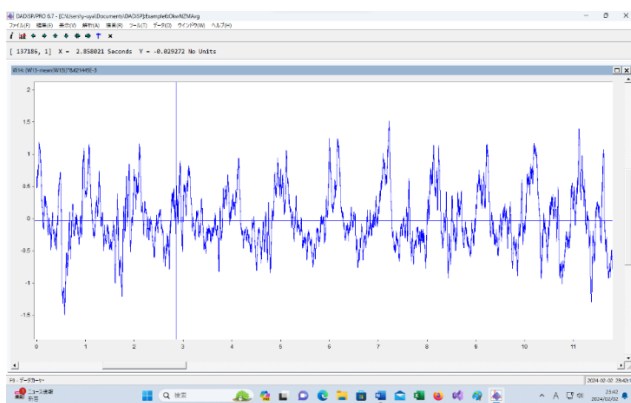


これが、圧縮と膨張が、ゆっくり繰り返される原因です。

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、 $0.42\text{Pa}$  で  $1\text{Hz}$  でした。風が弱い時は  $0.15\text{Pa}$  で  $0.8\text{Hz}$  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

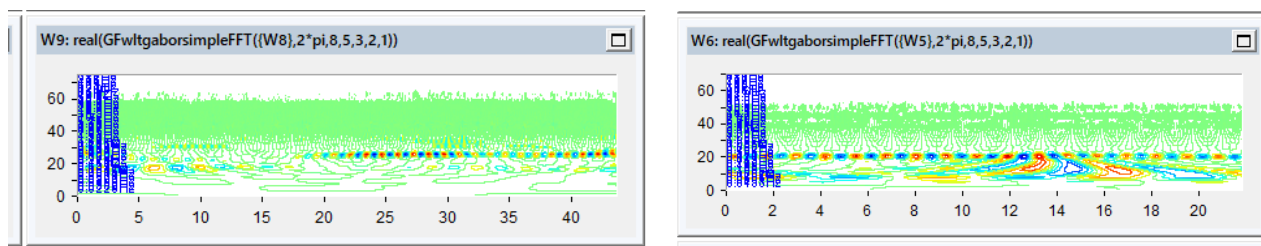
符号決定率＝最大音圧/2 番目の音圧

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、潜水病と同じですから、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、

## 1 1. 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)

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{4}{3} \pi R^3 \rho_g \right) = 4 \pi R^2 D_{gL} \frac{\partial \rho_{gL}}{\partial r} \Big|_R \quad (2.5.55)$$

による。

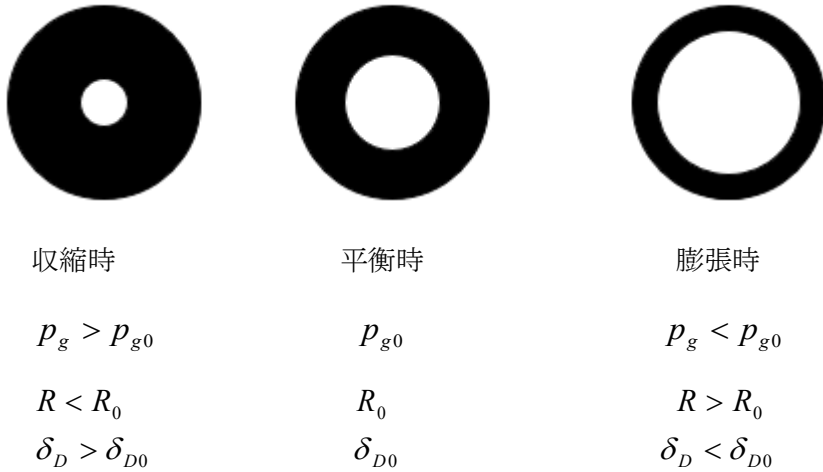
液体中の濃度境界層厚さを  $\delta_D$  とすれば、単位時期あたりのガス析出・溶解量は

$$\dot{m}_g \propto R^2 \times (\rho_{gi0} - \rho_{giW}) / \delta_D \quad (2.5.61)$$

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



まず、気泡表面液体の不凝縮ガス濃度  $\rho_{gLW}$  はヘンリーの法則

$$\rho_{gLW} = \alpha p_g \quad (2.5.58)$$

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、 $0.5\text{Hz}$  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、 $1\text{Hz}$  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う。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との最も大きな違いです。

計測された 164 か所の風車音も、 $0.5\sim 1\text{Hz}$  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。

従って、水平軸型の風車は、最大の欠陥商品なのです。

それを陸地から  $2\text{ km}$  の距離に並べることは狂気の沙汰です。

## 10. 3. 5 潜水病についての資料

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 ㍎での危険性は誰でも納得します。では、水深何㍎から危険なのでしょう。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 ㍎(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 ㍎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 ㍎溶け込んでいます。潜水すると水深 10 ㍎毎に溶け込む空気が倍増します。例えば水深 20 ㍎(大気圧の 1 気圧 + 水深 20 ㍎での水圧 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 ㍎になります。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 ㍎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(DCD)」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① 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。② 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。③ 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。④ 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。⑤ 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。⑥ 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た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メートルから20メートルへ移動する場合と、水深10メートルから水面へ浮上する場合とでは、同じ10メートルの水深変化なのですが、空気の大さきには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メートル付近から水面へ浮上する圧力差は、地上から上空1万8千メートル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を受けています。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メートル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メートル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メートル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メートル)。珊瑚のサンゴ虫と同じように、骨にも骨の細胞があつ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う、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土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

潜水土テキストは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。潜水土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 メートル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 メートルに 1 時間潜水すると水深 9 メートルで 10 分停止、6 メートルで 27 分停止、3 メートルで 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で減圧症になります。漠然と 6 メートルや 3 メートル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 メートル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 メートルを越える大深度潜水の場合、母船上の加压室で呼吸抵抗、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压室ごと潜降し、潜水業務中は加压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压室内で加压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(4 8 時間以内に 2 回以上潜ることも)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 メートル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 メートル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 メートル迄だと 55 分へと半減し、24 メートル迄では 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込み、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10m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バ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」は治療方法ではなく、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。

### 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バ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、チャンバ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、減圧症治療は金銭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、海外で再圧チャンバーによる減圧症治療を受けようとする、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. 計測・解析・実験での問題点

周波数スペクトルと計測

風車音の解析では、1/3（1/1）オクターブ解析が良く使われます。

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。

1/3 オクターブ解析では、風車からの超低周波音に関する上記の特徴を見ることは出来ません。

大型化した風車では、 $f = 0.5\text{Hz}$  となります。

騒音計のカタログを見ると、計測範囲は、

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。

次の組み合わせもあるが、この組み合わせでは、風車の超低周波音の離散的な構造は把握できません。

少なくとも、風車音であることの特徴を把握できるようにしなければ、被害原因の究明には繋がらないのです。

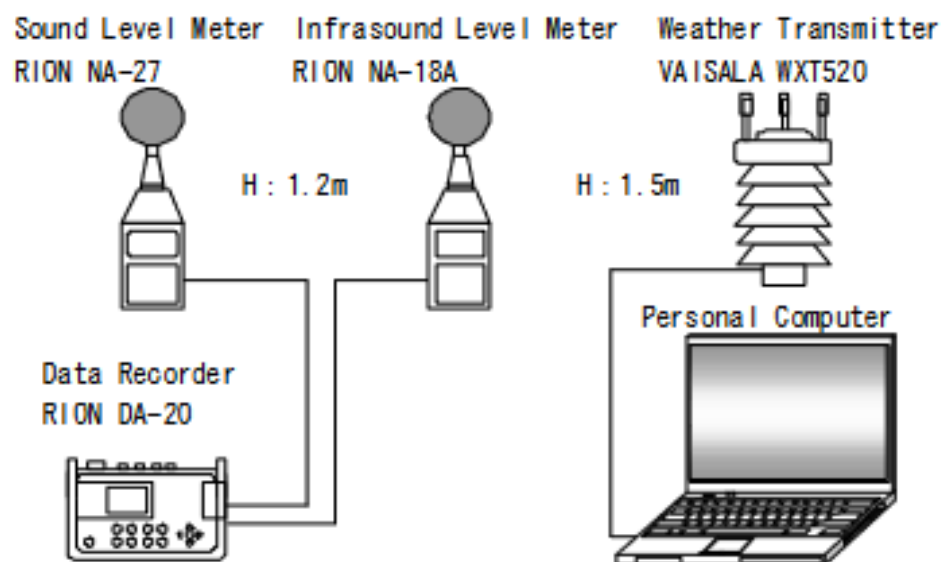


図 1 測定システム

精密騒音計精密騒音計 NA-27

騒音測定とオクターブバンド、1/3 オクターブ分析器付きの精密騒音計です。騒音計部は独立した 2 つの騒音計回路を持ち、1 台で異なった時間重み特性、周波数重み特性の条件での測定を同時に行うことが可能です。

メーカー	リオン
測定項目	騒音（オクターブバンド分析）
特長	<p>【測定レベル範囲】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ A特性 : 28~130dB</li> <li>・ C特性 : 33~130dB</li> <li>・ FLAT特性 : 38~130dB</li> </ul> <p>【周波数範囲】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 20~12500Hz（マイクロホン含む）</li> </ul>

低周波音レベル計低周波音レベル計 NA-18A

G 特性音圧レベルの測定と同時に、1/3 オクターブバンドの実時間分析を可能にした低周波音レベル計です。低周波音（1~500Hz）を測定することができます。人には聞きづらい（聞こえない）低周波数（1~100Hz）の

音を測定できます。

メーカー	リオン
測定項目	低周波音
特長	<p>測定レベル範囲</p> <p>G特性：43～143dB（過負荷3dB含む）</p> <p>FLAT特性：50～143dB（過負荷3dB含む）</p> <p>1/3オクターブバンド：30dB～143dB（過負荷3dB含む）</p> <p>周波数範囲：1.0～500Hz（マイクロホンを含む）</p>

適合規格	JIS C 1514:2002 クラス1、ISO7196：1995
測定機能	<p>低周波音圧レベルの測定</p> <p>1) 低周波音圧レベル：平坦特性（DR：周波数範囲1～500Hz）</p> <p>2) 低周波音圧レベル：平坦特性（FLAT：周波数範囲1～100Hz）</p> <p>3) G特性音圧レベル：LG</p> <p>4) 1/3オクターブバンド実時間分析（分析私有は数範囲1～80Hz）</p>
演算機能	<p>1) 瞬時値：Lp</p> <p>2) 等価騒音レベル：Leq</p> <p>3) 最大音圧レベル：Lmax</p>
演算時間設定	<p>10秒、1分、5分、10分、15分、30分、60分、Free</p> <p>（Free＝手動で演算が停止されるか、最大8時間まで）</p>
マイクロホン	UC-24（プリアンプ一体形セラミックマイクロホン）

低周波レベル計 NA-18A で、1～500Hz まで測り、精密騒音計精密騒音計 NA-27 で、20 から 12.5 k H z ま  
で測り、この結果を合わせて考えれば、良いとするのでしょうか、これでは、0Hz から 20 k H z までの全体を  
調べることが出来ません。グラフが繋がっていないと、交通騒音や工場騒音と比較して、違いを把握して、解析

方法考えることが出来ないのです。

風車音の Wavelet 解析をしてみたいと考えていて、上記の測定範囲を見たので、無理かとは思いつつながら、“FFT や 1/3 オクターブ解析にかけるときの、音圧変動そのもののデータは取り出せないのか？”

と聞いてみました。答えは YES でした。

波形収録ソフトを追加して、音圧変動の様子を、サンプリングレート 48 k Hz で、16 ビットの符号付整数として表したものを、WAV ファイルとして取り出せるので、それを解析すれば良い。とのことでした。

ファイルの数値とパスカル値での気圧変動の関係について、リオン社は HP での公開はしていなかったのですが、丁寧に説明してくれました。また、WAV ファイルの数値は、NL-62 でも SA-A1 でも同じ値だと教えてもらいました。

この数値があれば自由に解析で来ます。ただし、騒音計にある機能を、プログラムとして実装しなくてはなりませんでした。（実装には 2 年近くかかりました。）

SA-A1 では、0.25Hz から計測できるならば、大型風車の  $f=RZ/60=0.5\text{Hz}$  を計測できそうですが、そうではありません。これは 1/3 オクターブ解析での中心周波数です。

0.5Hz の周辺を詳しく調べるには、周波数分解能を高くしなくてはなりません。

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  $h\text{ Hz}$  とすれば、 $h*48000*60=48000$  となるので、 $h=0.01667\text{ Hz}$  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  $h=0.01667\text{ Hz}$  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。

$0.5/0.01667=29.99$  ですから、0~0.5Hz の間で、30 個の音圧を計測できることになります。

これを実装した精密騒音計では、スイッチを入れてから 60 秒間は表示されない事になります。

60 秒間の音圧変動が分れば、A 特性音圧レベルや G 特性音圧レベルが計算できます。この手順での計算は多くのメモリーと CPU の計算力が要求されます。画面表示も、精密騒音計の小さな画面では出来ません。

NL-62 では、測定範囲が 1~20000Hz になっています。もっと少ないデータで計算しているのです。結果として数値は荒くなるので、0.5Hz は極めて高い音圧ですが、計算からは除外されてしまいます。

解決方法は 2 つあります。

10Hz (5Hz) 以下は風雑音だとして、無視する方法

精密騒音計を音圧変動の記録装置として使い、音圧変動を記録したデータをコンピュータで解析する方法のどちらかになります。

オクターブ解析のグラフは、風車における超低周波音の問題を隠蔽してしまいます。精密な周波数スペクトルと、エネルギーの分布を確認しながら議論する必要があるのです。



## 目的と方法

風車病の被害者がいる。彼らは、風車（音）との因果関係が認められなくて、泣き寝入りをさせられている。風力発電に反対する人も多い。景観、バードストライク、伐採、崩落、などの議論はするが、風車音との因果関係を解明して被害者の状況を改善しようとする人は少ない。

低周波音と睡眠妨害の話をして、超低周波音による直接的な健康被害の仕組みについて説明する学者は見当たらない。

今までの計測では、G 特性音圧レベル、（平坦特性での）1/3 オクターブ解析、A 特性音圧レベルを求めている。風車音の影響を評価するには、これらの数値を、参照値、指針値、（騒音に関する）環境基準値と比較する。これらを使って現状を判断すれば、風車病の原因見つからなくて、苦情であり、被害ではないとされてしまう。

この状況を打破する方法が一つだけある。市民や被害者が、環境省が妨害する超低周波音を測定し、学者が嫌がる詳細な周波数スペクトルを計算し、超低周波音の物理的な影響と健康被害の関係を調べる事です。

過去の測定や考え方を確認します。

[低周波音の基礎および伝搬・影響・評価](#)（落合博明 氏）には、

“低周波音の測定にあたっては G 特性音圧レベルと 1/3 オクターブバンド音圧レベルを測定する”

[低周波音の測定方法に関するマニュアル](#)には、（平成 12 年 10 月 環境庁大気保全局）

“3) 風雑音と低周波音の見分け方

風による音圧レベルと対象とする音圧レベルの違いを判別するのは簡単ではないが、次のような点に注意するとよい。

- ・多くの場合、対象とする低周波音は定常的、周期的あるいは特徴的な音圧レベルの変化を示すはずである。
- ・風による音圧レベルは、不規則に変化する。“

[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](#) には、

“風車音の計測に関しては、

- ・統一した方法はない
- ・計測機器が規格化されていない “

“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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 波動：疎密波</li> <li>・ 入射、反射、吸収、透過、共鳴、回折、干渉、屈折</li> <li>・ 衝突・衝撃・摩擦</li> <li>・ 回転・乱れ・脈動</li> <li>・ 渦・共鳴／共振</li> <li>・ 磁界・電磁気</li> </ul>	○		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 波動：疎密波</li> <li>・ 入射、反射、吸収、透過、共鳴、回折、干渉、屈折</li> <li>・ 衝突・衝撃・摩擦</li> <li>・ 回転・乱れ・脈動</li> <li>・ 渦・共鳴／共振</li> <li>・ 磁界・電磁気</li> <li>・ 爆発・燃焼・圧縮・膨張</li> </ul>	○	
妨害	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 心理的・生理的・身体的</li> <li>・ 精神的・生活・物的</li> </ul>	△	●	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 聴力低下・聴力妨害</li> <li>・ 心理的・生理的・身体的</li> <li>・ 精神的・生活・物的</li> </ul>	○	
計測	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 統一した方法はない</li> <li>・ 計測機器が規格化されていない</li> <li>・ 実験施設・実験方法も規格化されていない</li> </ul>		●	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 騒音規制法によるもの</li> <li>・ 日本工業規格で統一</li> <li>・ 計測機器は規格化</li> <li>・ 実験施設も充実</li> <li>・ 実験方法も規格化</li> </ul>	○	
予測	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ISO9613-2</li> <li>・ NEDO 式</li> <li>・ Nord2000 モデル</li> </ul> 等があるが、未完成部分あり		●	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 騒音発生源毎に予測手法が整備され、実用化</li> </ul>	○	
評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 物的影響は一般化</li> <li>・ 心身的影響、最小可聴値、アノイアンスは未解明</li> </ul>	△	●	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 騒音規制法、都道府県条例にて、規制基準値を設定</li> <li>・ 環境基準を設定</li> </ul>	○	
法律	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 国では未規制</li> <li>・ 一部、条例で規制</li> </ul>	△	●	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 環境影響評価法、騒音規制法、都道府県条例が整備</li> </ul>	○	

国 際	<ul style="list-style-type: none"> <li>論文発表件数が少ない</li> <li>特に、発生源、計測方法、評価に集中</li> <li>各国の評価法がまちまち</li> </ul>	△	●	<ul style="list-style-type: none"> <li>論文発表は充実している</li> <li>各国へ法規制・評価法を発信</li> </ul>	○	
医 学	<ul style="list-style-type: none"> <li>医学的な見地からの公的な見解が無い</li> </ul>		●	<ul style="list-style-type: none"> <li>ある一定以上の騒音暴露による影響についての公的な見解はある</li> </ul>	○	

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必要があります。

リオン社と相談した結果、サンプリングレートが 48 k Hz 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  $h$  Hz とすれば、 $h \cdot 48000 \cdot 60 = 48000$  となるので、 $h = 0.01667$  Hz となり、周波数スペクトルは 0 Hz から、24000 Hz までの範囲であり、周波数分解能は  $h = 0.01667$  Hz です。0 Hz から 24000 Hz まで、刻み幅 0.01667 Hz 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 0.0083 Hz 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 : 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/MVA、Unit/Noise&Infrasound

計測結果を調べてみれば、

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

$$f = RZ/60 \text{ (Hz)}$$

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。

ピーク値を取るのは、 $f/3$ 、 $2f/3$ 、 $f$ 、 $2f$ 、 $3f$ 、であり、これらの周波数での音圧の関係を、風車音が発生する仕組みから説明する必要があります。

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。さらに、風車音の物理的な特徴と健康被害の関係も分ります。

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かりません。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 や 0.8Hz 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。

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)

P C 20 万円

波形解析ソフト D A D I S P 41 万 7,900 円

DADiSP/WAV 135,000 円(税抜)

W a v e l e t 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問い合わせ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~20 k Hz 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 48 k Hz 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えます。

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、 $[Pa = \text{整数値} \times (\text{Value/Bit})]$  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 :  $143 \text{ [dB]} = 2 \times 10^{(-5)} \times 10^{(143/20)} = 282.51 \text{ [Pa]}$

・ 1 ビットあたりの Pa 値 :  $282.51 / \{2^{(23)}\} = 3.37 \times 10^{(-5)} \text{ [Pa/bit]}$

「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いただきます。

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「 $\text{m/s}^2$ 」に変換する必要があります。単位の変換は、 $[\text{m/s}^2 = \text{整数値} \times (\text{Value/Bit})]$  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。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きました。これがあれば、実際の音圧を推定出来ます。

## アコー社

普通騒音計 TYPE 6236 取扱説明書

### 2. WAV ファイルのヘッダ情報(Windows 標準)

4 byte	'R' 'T' 'F' 'F'	RIFF ヘッダ	
4 byte	これ以降のファイルサイズ (ファイルサイズ - 8)		
4 byte	'W' 'A' 'V' 'E'	WAVE ヘッダ	
4 byte	'f' 'm' 't' ' ' (←スペース含む)	fmt チャンク	
4 byte	バイト数	fmt チャンクの バイト数	リニア PCM 16(10 00 00 00)
2 byte	フォーマット ID		リニア PCM 1(01 00)
2 byte	チャンネル数		モノラル 1(01 00)
4 byte	サンプリングレート Hz		48kHz 48000(80 BB 00 00)
4 byte	データ速度 (Byte/sec)		48kHz 16bit モノラル 48000×2 = 96000 (00 77 01 00)
2 byte	ブロックサイズ (Byte/sample×チャンネル数)		16bit モノラル 2(02 00)
2 byte	サンプルあたりのビット数 (bit/sample)	WAV フォーマットでは 8bit か 16bit	16bit 16(10 00)
4 byte	'd' 'a' 't' 'a'	data チャンク	
4 byte	バイト数 n	波形データのバイト数	
n byte	波形データ		

7) Wave (生波形データ出力) : W

W:送信 → 返事:データ

16 ビットバイナリーの AD 生値出力

計測終了 (E) コマンドで終了します。

: データ内容

4 8 k Hz サンプリング毎 (20.8  $\mu$  s) の波形 (音圧変動) を連続的に排出する。

値は、16 ビットの符号付整数であり、

```

0|0000000 00000000 : 0
0|0000000 00000001 : 1
0|0000000 00000010 : 2
0|1111111 11111111 : 32767
1|1111111 11111111 : -1
1|1111111 11111110 : -2
1|0000000 00000000 : -32768

```

最大値+32767 から最小値-32768 までの値である。

レンジの最大値が 100 d B の場合は、計測での余裕を 8 d B としている

Measurement day, Measurement time, Frequency-weight, Level Range, Time setting

24/03/17, 02:20:00, Z, 100dB, 003h00m00s

ファイルの注釈には、100 d B と書かれている。

余裕分の 8 d B とを加えると、 $100+8=108$  d B になる。

これに相当する音圧（実効値）を  $P$  とすれば、

$108=20\log(P/(20*10^{-6}))$  より、 $P=5.023772912$ （パスカル）となり、 $-P=-5.023772912$  パスカルの値を  $-32768=-(2^{15})$

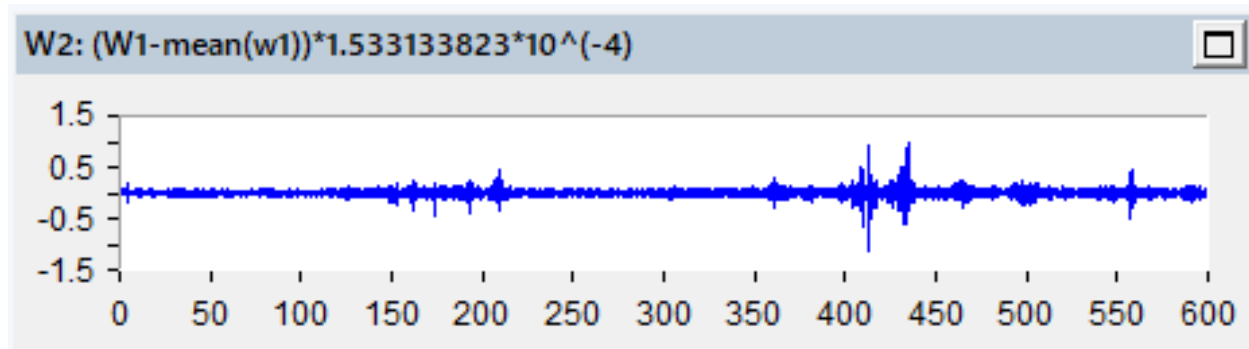
に対応させる。

整数+1 は、 $5.023772912/32768=1.533133823*10^{-4}$ （パスカル）に対応し、

整数値  $k$  は、 $5.023772912*(k/32768)=1.533133823*10^{-4}*k$ （パスカル）に対応する。

（マニュアルを上のように理解しました。）

読み込んだ符号付き整数を、パスカル値に変換するには、 $1.533133823*10^{-4}$ を掛けることになる。



後は、同じです。

アコー社の機器で計測したデータを 1/3 オクターブ解析にかけ、さらに、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、石狩湾近くの数か所で、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ようになります。

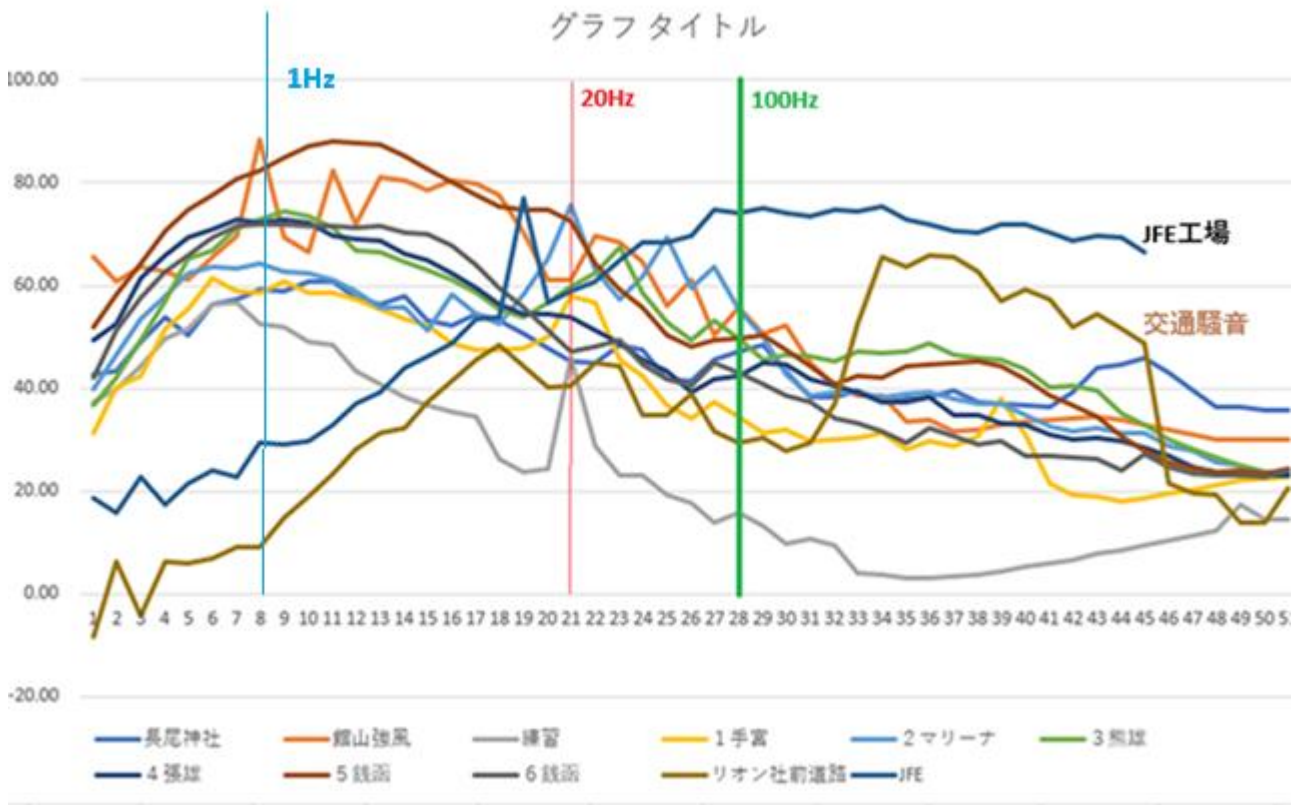
なお、番号と中心周波数（0.19Hz～20000Hz）の関係は次の表です。

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。(1/3 オクターブ解析での平坦特性音圧レベルのグラフです。)



グラフの中央部分（8 番～33 番、1H z ～315H z ）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（1H z ）から 15 番（5H z ）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。

## リオン社の NL-62 のマニュアル

には、

$$L_{Aeq} = 20 \log_{10} \left\{ \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_A^2(i) \right)^{\frac{1}{2}} / P_0 \right\}$$

とい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  $P_A(i)$  ( $i=1, \dots, N$ ) 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 48 k Hz 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 48 k Hz 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 4 Hz 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 1 Hz となります。

A 特性の計算では、1 Hz 以上でも、なんとかありますが、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、0.5 Hz から 0.8 Hz 程度です。

ISO7196 では、中心周波数 0.25 Hz から 315 Hz までの中心周波数が設定されています。0.25 Hz の時の帯域幅が 0.0575 Hz 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すので、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 48 k Hz、連続する収録時間として 1 分程度記録すれば、0.01667 Hz から、24 k Hz 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  $-128 \sim 127$  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  $-2^{15} \sim 2^{15}-1$  の範囲の値が、32 ビットの符号付きの整数では  $-2^{31} \sim 2^{31}-1$  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 130 dB 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 130 dB 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、 $2 \times 10^{(-5)} \times 10^{(143/20)} = 282.5075116$  [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)

dB値(参考): 0.002Pa=40dB,

$p$  : 音圧実効値(Pa)

0.00002( $2 \times 10^{-5}$ ) Pa=0dB

$p_0$ :基準音圧  $2 \times 10^{-5}$  (Pa) (=20μPa)

\* 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、
$$L_p = 10 \cdot \log_{10}(p^2 / p_0^2) = 20 \cdot \log_{10}(p / p_0)$$

であり、

$$143 = 20 \cdot \log_{10}(p / (2 \times 10^{-5}))$$

$$p / (2 \times 10^{-5}) = 10^{(143 / 20)}$$



$$p = (2 * 10^{-5}) * 10^{(143 / 20)} = 282.5075116 \text{ Pa} \quad (\text{実効値})$$

となるからです。

実効値で 282.5075116Pa (143dB) となる値を、wav ファイルにどのよう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  $\{+2^{(15)}-1\} \sim -2^{15}$  の範囲であり、音圧が  $-282.5075116 \text{ Pa}$  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  $282.5075116 \text{ Pa} / \{2^{(15)}\} = 8.621445056 * 10^{(-3)}$  の音圧 (実効値) を意味するので、整数値 k は、 $k * 8.621445056 * 10^{(-3)} \text{ Pa}$  (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、このパスカル値は、 $2 * 10^{(-5)} * 10^{(103/20)} = 2.825075116 \text{ [Pa]}$  となる。

$-2.825075116 \text{ [Pa]}$  を  $-2^{15} = -32768$  に対応させる。

$$(-2.825075116 \text{ Pa} / \{-2^{(15)}\}) = 8.621445056 * 10^{(-5)}$$

となるので、整数値 k は、 $k * 8.621445056 * 10^{(-5)} \text{ Pa}$  (実効値) を意味する

この数値、 $8.621445056 * 10^{(-5)}$  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 ( $8.621445 \text{E-5}$ ) を使えばよい。

新規プロジェクト - RION AS-70 Viewer

ファイル(F)

分析/設定(A)

表示(D)

編集(E)

再生(P)

ヘルプ(H)

ファイル情報 - Graph1 -

Graph1

ファイル

チャンネル

校正情報

サンプリング

校正

分析設定

時間

分析結果

周波数

ファイル名

NL\_001\_20100101\_000146\_090dB\_0001\_0000\_SL0001.wav

チャンネル番号

1

保存先

C:\Users\%y-uya\Desktop\NL-42\_sample\_data\NL-42\_sample\_data\NL-42\Auto\_0001\SOUND

基本情報

製品名	NX-42WR	校正情報	あり
シリアル番号	0	Value/Bit	8.621445E-5
機器インデックス	1	Value/Volt	1.000000E+0
機器の収録チャンネル	1	Offset Value	0.000000E+0
ビット長 (bit)	16	dB基準値	2.000000E-5
サンプリング周波数 (Hz)	48000	入力タイプ	AC
周波数レンジ	20000	入力レンジ	90dB
周波数比	2.4	ボーズ回数	0
収録日時	2010/01/01 00:01:46	オーバーロード	なし
収録時間	00d 00:00:08	ファイルの編集	なし

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。

W6: (w5-mean(w5))\*8.621445E-5

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、 $2 \times 10^{(-5)} \times 10^{(123/20)} = 28.25$  [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、

DADISP 6.7 - [C:\Users\Uyama\Documents\DADISP]:Huusha:Pa

File Edit View Analysis Drawing Tools Data Window Help

 Mva Wlt CRF

W1: ReadWAV("C:\Users\Uyama\Documents\DADISP\Huusha\騒音測定データ :

W1: ReadWAV("C:\Users\Uyama\Documents\DADISP\Huusha\騒音測定データ 2014\Auto\_

	1: NL01_0140729,65411,10dB0731,000sT0001.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: NL01_0140729,65411,10dB0731,000sT0001.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。

## 2.7. FFT について

FFT という用語がてくるので、FFT の前提となる基本的な概念について確認しておきます。

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  $x \perp y$  for each pair of distinct vectors  $x, y$  of  $S$ . If, in addition,  $\|x\|=1$  for each  $x \in S$ , then the set  $S$  is called an orthonormal 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

$$f = \sum_{j=1}^{\infty} f_{\alpha_j} x_{\alpha_j} = s\text{-}\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{j=1}^n f_{\alpha_j} x_{\alpha_j}$$

**Corollary 2.** Let  $l^2(A)$  be the space  $L^2(A, B, m)$  where  $m(\{\alpha\})=1$  for every point  $\alpha$  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

$$(f + g) \leftrightarrow \{f_\alpha + g_\alpha\}, \quad \beta f \leftrightarrow \{\beta f_\alpha\}, \quad \text{and} \quad \|f\|^2 = \|\{f_\alpha\}\|^2 = \sum_{\alpha \in A} |f_\alpha|^2$$

**Example.**  $\left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{int}; n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \right\}$  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る。

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る。その計算を高速で行う技術が FFT である。

## 12.1 フーリエ変換とFFT

### 12.1.1 離散フーリエ変換

離散信号  $x(n)$  に対して、 $\omega$  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、

$$x(n) = \frac{1}{2\pi i} \oint X(z)z^{n-1}dz \quad (\text{環状領域内の閉曲線上の線積分})$$

$$\begin{aligned} x(n) &= \frac{1}{2\pi i} \oint X(z)z^{n-1}dz \quad (\text{環状領域内の閉曲線上の線積分}) \\ &= \frac{1}{2\pi i} \int_{-\pi}^{\pi} X(\omega)e^{in\omega-i\omega}izd\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} X(\omega)e^{in\omega}d\omega \end{aligned}$$

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  $n=0,1,2,\dots,N-1$  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  $\omega$  は連続的に変化するのですが、つぎのような有限個の  $\omega$  の値についてのみ考えることにします。

$$\omega_k = \frac{2\pi k}{N} \quad (k=0,1,2,\dots,N-1)$$

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

$$W_N = e^{-\frac{j2\pi}{N}}$$

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

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W_N^{nk} \quad (k=0,1,2,\dots,N-1)$$

となります。この変換を離散フーリエ変換(D F T)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、

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k)W_N^{-nk} \quad (n=0,1,2,\dots,N-1)$$

が成立します。これを、離散フーリエ逆変換(I D F T)と呼びます。

この逆変換の式が成立することは、

$$(W_N)^k = e^{-\frac{j2\pi k}{N}} = 1$$

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、

$$X(k) = X(k+Nt), \quad x(n) = x(n+Nt) \quad t=\dots,-2,-1,0,1,2,\dots$$

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。

最初に D F T の内容について考えましょう。記号を少し変えて D F T を表現すれば、

N 個の複素データ  $f(0), f(1), f(2), \dots, f(N-1)$

に対して、

N 個の複素データ  $F(0), F(1), F(2), \dots, F(N-1)$

を次のようにして対応させるものです。

$$F(n) = \sum_{k=0}^{N-1} f(k) e^{-\frac{i2\pi nk}{N}} \quad (n=0, 1, 2, \dots, N-1)$$

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 の中乗の形ならば、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 D F T を、F F T とよびます。

D F T 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かりやすいでしょう。

1024 個の数値

$$\sin(2\pi k/1024) \quad (k=0, 1, 2, \dots, 1023)$$

に対する F F T の結果を調べてみましょう。

N=1024 として計算すれば、

$$F(n) = \sum_{k=0}^{N-1} \sin(2\pi k/N) e^{-\frac{i2\pi nk}{N}} = \frac{N}{2\pi} \sum_{k=0}^{N-1} \frac{2\pi}{N} \sin(2\pi k/N) \left\{ \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) - i \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \right\}$$

となり、 $n \ll N$  の場合には積分で近似できて、

$$F(n) = \frac{N}{2\pi} \left\{ \int_0^{2\pi} \sin(x) \cos(nx) dx - i \int_0^{2\pi} \sin(x) \sin(nx) dx \right\}$$

となり、三角関数の直交性に注意して  $F(1)$  を計算すれば、

$$F(1) = \frac{N}{2\pi} \left\{ \int_0^{2\pi} \sin(x) \cos(x) dx - i \int_0^{2\pi} \sin(x) \sin(x) dx \right\}$$

$$= \frac{1024}{2\pi} \left\{ -i \int_0^{2\pi} \sin(x) \sin(x) dx \right\} = \frac{1024}{2\pi} \left\{ -i \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} (1 - \cos(2x)) dx \right\} = \frac{1024}{2\pi} \left\{ -i \frac{2\pi}{2} \right\} = -512i$$

となります。

最初の数列が関数  $g(x)$  の  $[0, 1]$  で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  $g(x)$  が周期関数で有限和のフーリエ級数で表現できて、

$$g(x) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{m=1}^t \left\{ a_m \cos\left(\frac{x2\pi m}{1}\right) + b_m \sin\left(\frac{x2\pi m}{1}\right) \right\}$$

だとします。

$n < t < N$  の場合には、

$$f(k) = g\left(\frac{k}{N}\right) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{m=1}^t \left\{ a_m \cos\left(\frac{k2\pi m}{N}\right) + b_m \sin\left(\frac{k2\pi m}{N}\right) \right\}$$

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、

$$F(n) = \sum_{k=0}^{N-1} f(k) e^{-\frac{i2\pi nk}{N}} \quad (n=0,1,2,\dots,N-1)$$

$$\begin{aligned} F(n) &= \sum_{k=0}^{N-1} \left\{ \frac{1}{2}a_0 + \sum_{m=1}^t \left\{ a_m \cos\left(\frac{k2\pi m}{N}\right) + b_m \sin\left(\frac{k2\pi m}{N}\right) \right\} \right\} e^{-\frac{i2\pi nk}{N}} \\ &= \frac{N}{2} (a_n - ib_n) \end{aligned}$$

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。

$\exp(i2\pi Nk/N) = 1$  なので、

$$\begin{aligned} F(n) &= \sum f(xk) \exp(-i2\pi nk/N) \\ &= \sum f(xk) \exp(-i2\pi nk/N) \exp(i2\pi Nk/N) \\ &= \sum f(xk) \exp(i2\pi (N-n)k/N) \\ &= \{ \sum f(xk) \cos(2\pi (N-n)k/N) \} + i \{ \sum f(xk) \sin(2\pi (N-n)k/N) \} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(N-n) &= \sum f(xk) \exp(-i2\pi (N-n)k/N) \\ &= \{ \sum f(xk) \cos(2\pi (N-n)k/N) \} - i \{ \sum f(xk) \sin(2\pi (N-n)k/N) \} \end{aligned}$$

となるから、 $F(N-n)$  については

$$F(n) = a + bi \quad \text{ならば、} \quad F(N-n) = a - bi$$

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。

$$\begin{aligned} F(n) &= \sum_{k=0}^{N-1} \left\{ \frac{1}{2}a_0 + \sum_{m=1}^t \left\{ a_m \cos\left(\frac{k2\pi m}{N}\right) + b_m \sin\left(\frac{k2\pi m}{N}\right) \right\} \right\} e^{-\frac{i2\pi nk}{N}} \\ &= \frac{N}{2} (a_n - ib_n) \end{aligned}$$

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。そこで、

$\frac{2}{N}F(n) = (a_n - ib_n)$  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、各周波数成分の強さが分かります。

## 周波数スペクトルと最大音圧

そこで、 $[0,2]$ でサンプリングされた

$2N$ 個の複素データ  $f(0), f(1), f(2), \dots, f(N-1), g(0), g(1), g(2), \dots, g(N-1)$

に対して、

$2N$ 個の複素データ  $G(0), G(1), G(2), \dots, G(N-1), G(N+0), G(N+1), G(N+2), \dots, G(2N-1)$

を前と同様に対応させます。この時、

$$G(2n) = \sum_{k=0}^{N-1} f(k) e^{-\frac{i2\pi nk}{2N}} + \sum_{h=0}^{N-1} g(h) e^{-\frac{i2\pi n(N+h)}{2N}} = \sum_{k=0}^{N-1} f(k) e^{-\frac{i2\pi nk}{N}} + \sum_{h=0}^{N-1} g(h) e^{-\frac{i2\pi nh}{N}} \quad (n=0,1,2,\dots,2N-1)$$

$f(k)=g(k)$ ならば、

$$G(2n) = 2F(n) = \frac{2N}{2} (a_n - ib_n)$$

サンプリングの個数が  $2N$  なので、 $(2/2N)$  を掛けて、

$$\frac{2}{2N} G(2n) = \frac{2}{2N} 2F(n) = (a_n - ib_n)$$

となります。

$g(k)=0$  の場合は、

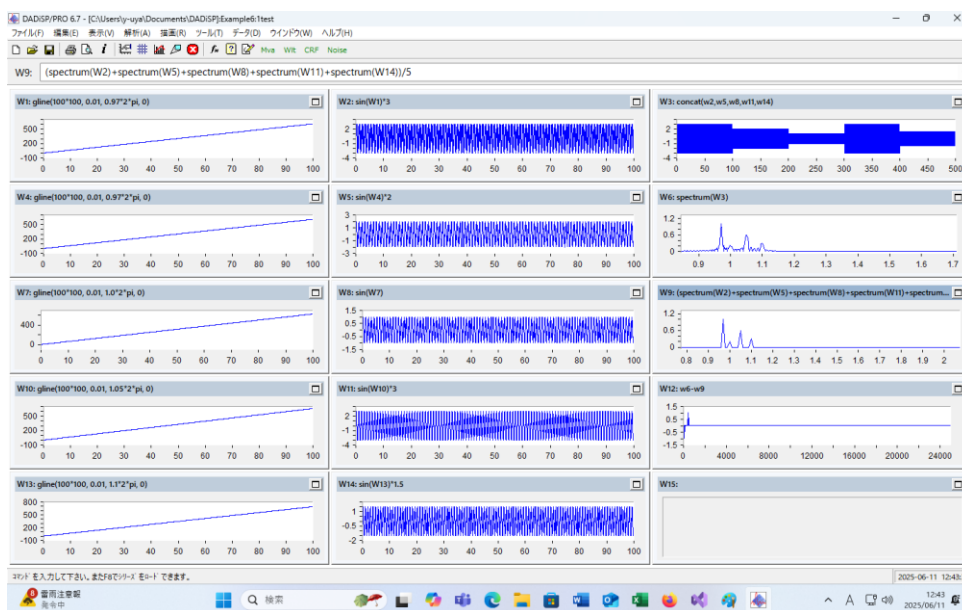
$$G(2n) = F(n) = \frac{N}{2} (a_n - ib_n)$$

サンプリングの個数が  $2N$  なので、これに、 $2/2N$  を掛けて。

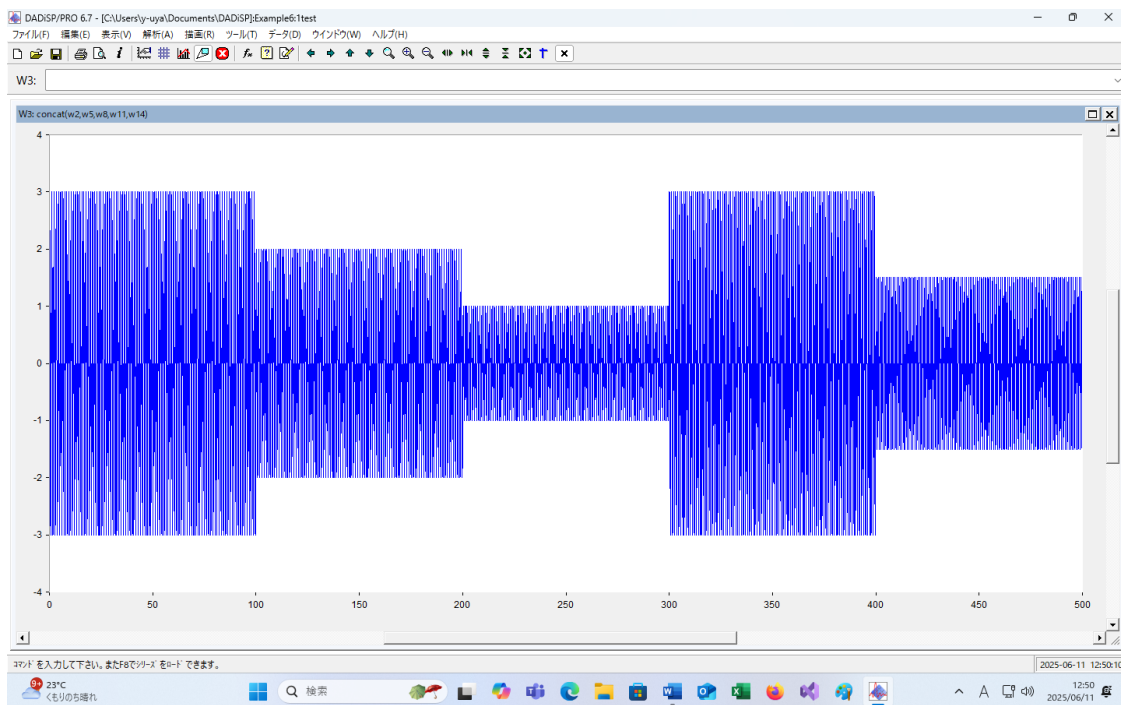
$$\frac{2}{2N} G(2n) = \frac{2}{2N} F(n) = \frac{1}{2} (a_n - ib_n)$$

となる。 $g(k)=0$  でなくても、積分が  $0$  になる場合や内積計算の結果が  $0$  に近ければ同様の結果になる。

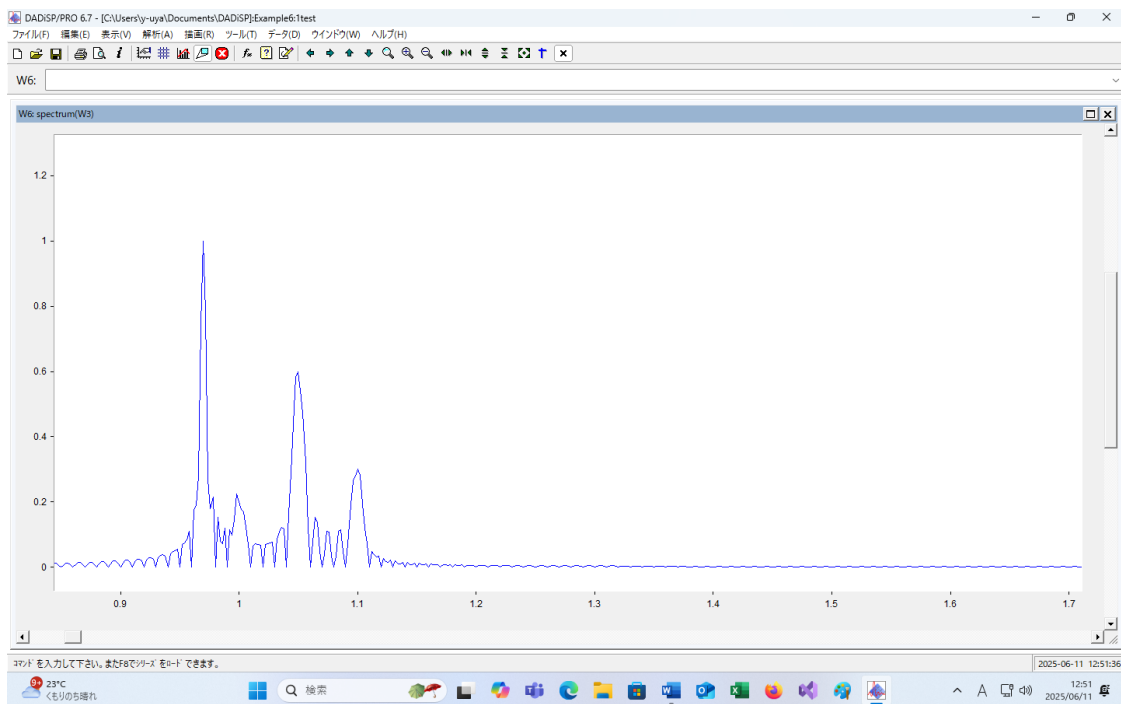
周波数と音圧が少し違う波を 5 個繋げて周波数スペクトルを計算すると、次の様になります。



0.97Hz で音圧が 3Pa、0.97Hz で音圧が 2Pa、1H z で音圧が 1 P a、1.05H z で音圧が 3 P a、1.1H z で音圧が 1.5 P a のものを繋いであります。



この全体して周波数スペクトルを計算すると、



0.97Hz で 1Pa ( $3/5+2/5=1$ )

0.998H z で 0.25 P a ( $1/5=0.25$ )

1.05H z で 0.6 P a ( $3/5=0.6$ )

1.1H z で 0.3 P a ( $1.5/5=0.3$ )

となっています。

この結果は、

$$(\text{spectrum}(W2)+\text{spectrum}(W5)+\text{spectrum}(W8)+\text{spectrum}(W11)+\text{spectrum}(W14))/5$$

とした計算結果とほぼ一致します。

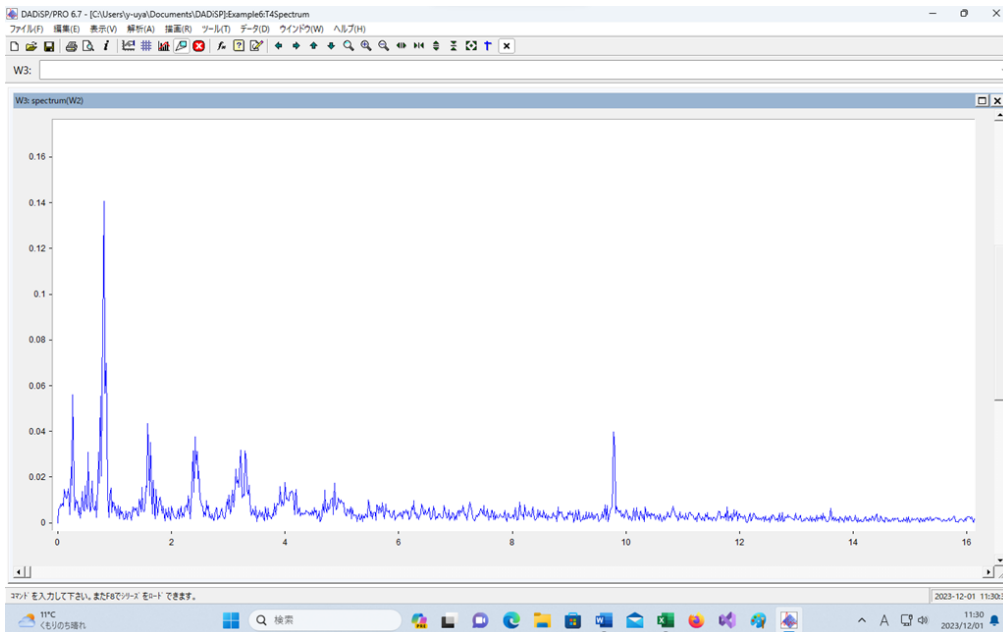
ここでの最大音圧は、0.97Hz での 1Pa ですが、それぞれの音圧は、3, 2, 1, 3, 1.5Pa であり、1 Pa と考えることは出来ません。

$$1+0.25+0.6+0.3=2.15 = (3+2+1+3+5) / 5$$

となるので、

この時間の音圧は平均して 2.15Pa であり、それは周波数スペクトルの各音圧の和に等しい。

風車音の場合、ある程度風速が安定している短時間での周波数スペクトルを計算すると、



となり、最大音圧は、基本周波数  $f = RZ/60\text{Hz}$  の時の音圧になります。

このような状態が継続すると考えれば、基本周波数が移動する範囲を考えて、その範囲の音圧の和を取れば、平均的な音圧になると考えます。

ブレードの質量を考えれば、周波数が急激に変動することは無いので、 $f - 0.5 f$  と  $f + 0.5 f$  の間で集計すれば良いと考えます。 $f = 1\text{Hz}$  の場合は、 $0.5\text{Hz} \sim 1.5\text{Hz}$  になります。基本周波数が  $0.5\text{Hz}$  の場合は、 $0.25 \sim 0.75\text{Hz}$  になります。

館山での観測結果は、風が弱かった時の記録では基本周波数が  $0.8\text{Hz}$  実際の変動範囲は、ビデオでの計算から、 $0.68\text{Hz} \sim 0.91\text{Hz}$  です。

$0.8-0.4=0.4$ 、 $0.8+0.4=1.2$  ですから、この範囲に入っています。

1/3 オクターブ解析での中心周波数  $1\text{Hz}$  での範囲は、 $0.870 \sim 1.096\text{Hz}$  です。

1/3 オクターブ解析での中心周波数  $0.8\text{Hz}$  での範囲は、 $0.691 \sim 0.870\text{Hz}$  です。



1/3オクターブバンド中心周波数と帯域幅							
x	x/3	$2^{(x/3)}$	厳密中心周波数 $1000 \cdot 2^{(x/3)}$	f 1	f 2	帯域幅	公称中心周波数
37	-12.3333	0.000194	0.194	0.173	0.218	0.045	0.194
36	-12	0.000244	0.244	0.218	0.274	0.057	0.250
35	-11.6667	0.000308	0.308	0.274	0.345	0.071	0.315
34	-11.3333	0.000388	0.388	0.345	0.435	0.090	0.400
33	-11	0.000488	0.488	0.435	0.548	0.113	0.500
32	-10.6667	0.000615	0.615	0.548	0.691	0.142	0.630
31	-10.3333	0.000775	0.775	0.691	0.870	0.179	0.800
30	-10	0.000977	0.977	0.870	1.096	0.226	1.000
29	-9.66667	0.00123	1.230	1.096	1.381	0.285	1.250
28	-9.33333	0.00155	1.550	1.381	1.740	0.359	1.600
27	-9	0.001953	1.953	1.740	2.192	0.452	2.000

風車音の発生仕組みから、各ピーク値以外は音圧が 0 ですから、 $2 \cdot 0.8/3 = 0.53$  と  $0.8 \cdot 2 = 1.6$ の間では、基本周期の音しかないはずですが、0.4 と 0.53 が重なりますが、0.53Hz での音圧は低いので無視。

気になるなら、集計範囲を、 $f - f/3 \sim f + f/2$ としても良い。

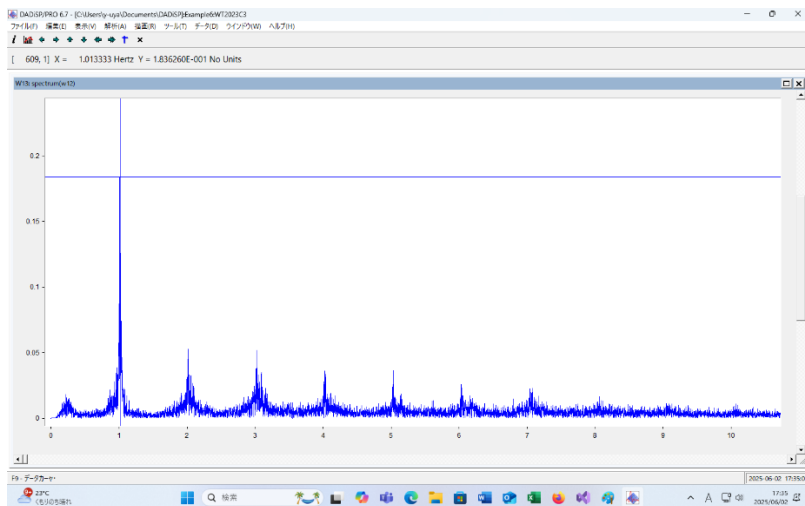
$0.8 - 0.8/3 = 0.53\text{Hz}$  なので、集計範囲を、 $f - f/3 \sim f + f/2$  と他方が良いかもしれない。

風車音の場合は、風速の変化で、基本周波数の周波数と音圧が変化します。風が強い時は揚力ベクトルが大きくなり、塔が大きく揺れるので基本周波数での音圧が高くなります。風が弱いと塔の揺れが小さくなり、基本周波数での音圧が低くなります。

回転数の方はあまり変化しないが、それでも風が強ければ、風車を回転させる揚力ベクトルの成分も大きくなるので回転速度が増加します。塔に掛かる力の周期はブレードの回転数で決るので、回転速度が増せば、早く回るので周期が短くなり、周波数は増加します。館山の風車の場合は、風が強い時は周波数が 1Hz あたりで、音圧が 0.42Pa 程度、風が弱まると、ブレードの回転がゆっくりとなり、周期が長くなり、周波数は減少します。館山の風車では、0.96Hz で 0.17Pa 程度になります。

計算の対象が 60 秒間のデータになっているので、音圧はそれほど下がっていませんが、5 秒間程度の間、基本周波数の音圧が極端に下がることもあります。

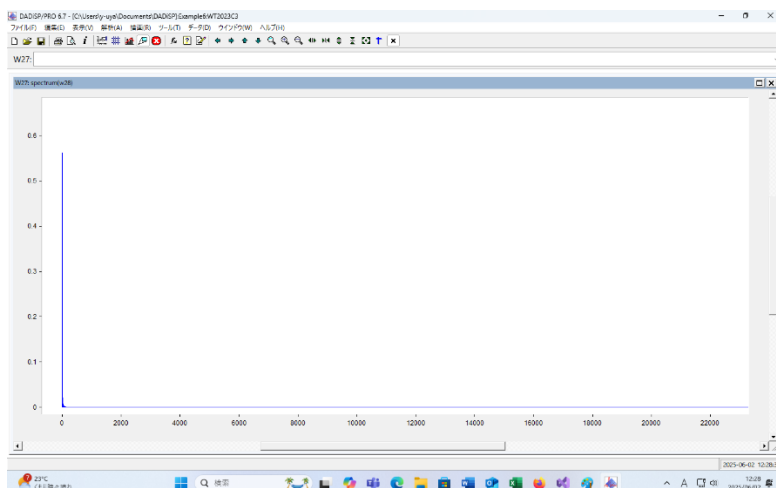
風が強い時の 10 分間のデータに対する計算結果は、最大音圧は 0.18Pa (1.01Hz) になりますが、



周波数が安定していれば、孤立的になるべきグラフですが、風速の変化で周波数も少し変化するので、1.01Hz の近くの周波数での音圧が高くなっています。

基本周波数の変化と、計算対象が長いデータなので、この様な数値になります。

風が強が強く周波数が安定している、最初の 30 秒だと、最大音圧は 0.56Pa (1.00Hz) です。



0.56Pa と 0.18Pa ではだいぶ差があります。

目覚まし時計が 30 秒間鳴れば、多くの人は目が覚めます。

0.56Pa は目が覚める刺激です。

人間が目で見えて判断すれば、振幅が大きくなっている時間帯を見つけることは出来ませんが、24 時間分のデータを調べるのは無理です。

そこで、他の方法を考えます。

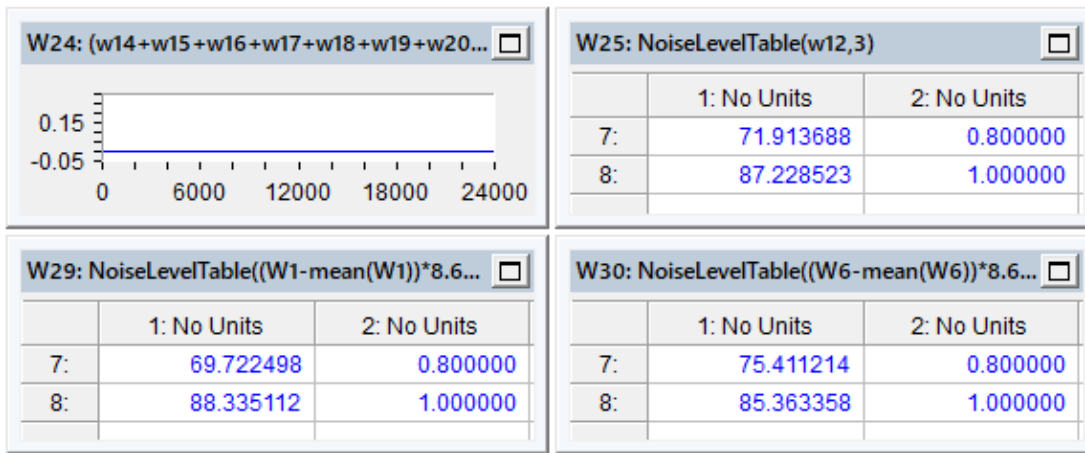
短い時間で考えれば、音圧が高いはずですが、10 分間の全体で考えれば低い音圧の様になります。

人体が受ける圧力は、30 秒間程度は、一定した高い音圧の音によるものです。

高い音圧の部分を直接調べる方法は、短時間 FFT と Wavelet がありますが、10 分間とか 1 時間の風車音のデータの場合にはどちらも計算が大変です。

館山の風車の場合周波数が 0.8Hz~1.1Hz の間で変化する場合が多いので。最大音圧になる周波数は、中心周波数が 0.8Hz の帯域と、中心周波数が 1Hz の帯域に入っている。これが平均化された数値が、0.8Hz ~ 1Hz の辺りの音圧になっていて、これらの成分のエネルギーは、エネルギーを成分が平均化されている。周波数は離散

的なので、この帯域のエネルギーの全体は、周波数の変動が無ければ、一つの周波数成分の音圧から計算されるものに等しいと考える。



から、0.8Hz と 1Hz の部分のエネルギーを加算してみる。

加算式は

【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。

$$10 \log_{10} \left( 10^{\frac{73}{10}} + 10^{\frac{77}{10}} + 10^{\frac{75}{10}} \right) = 80 \text{ (dB)}$$

式 11-7

中心周波数 0.8Hz と 1.0Hz の部分のエネルギー合計では

$10\log(10^{(71.9/10)}+10^{(87.2/10)})=87.3$

$10\log(10^{(69.7/10)}+10^{(88.3/10)})=88.4$

$10\log(10^{(75.4/10)}+10^{(85.4/10)})=85.8$

これが 1Hz の成分だけで実現されているエネルギーだとすれば

87.3 だと音圧は、0.46Pa

88.4dB だと音圧は、0.53Pa

85.8dB だと音圧は、0.39Pa

中心周波数 1Hz だけだと

87.2 d B だと音圧は、0.45Pa

88.3dB だと音圧は、0.52Pa

85.8dB だと音圧は、0.37Pa

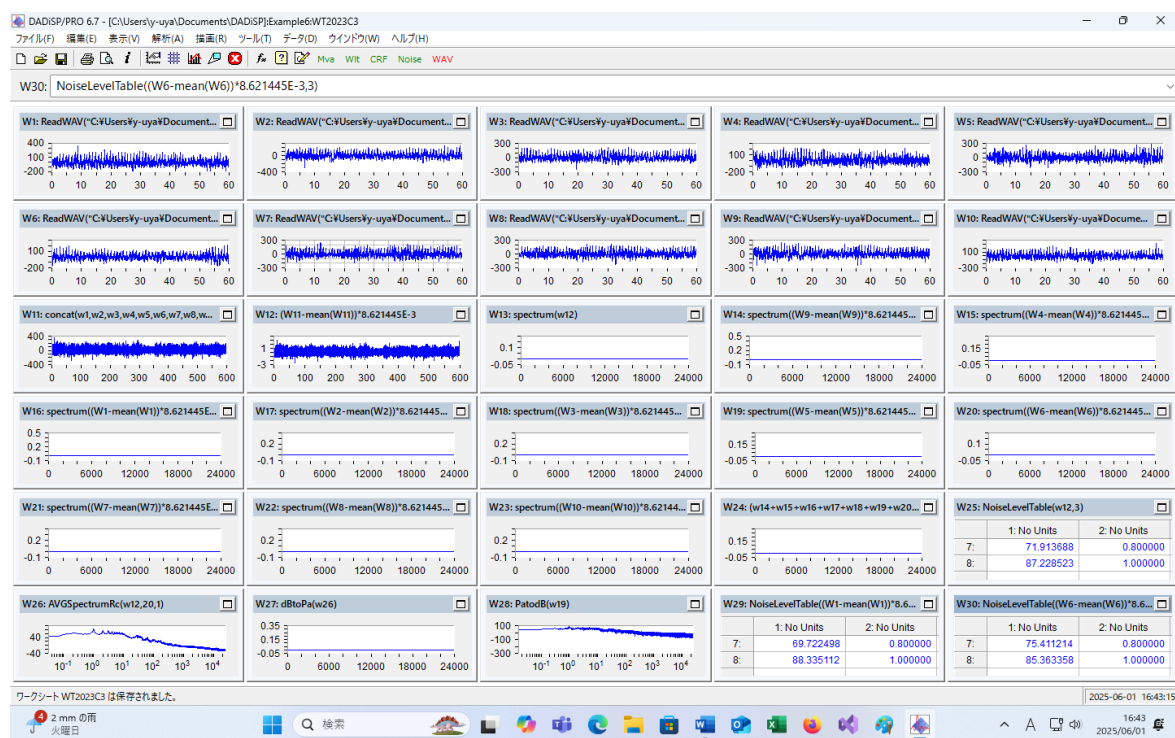
最初の 30 秒だと、最大音圧は 0.56Pa (1Hz) です。

1/3 オクターブ解析の結果から、最大音圧を推定するには、中心周波数 1Hz の帯域の成分をエネルギー加算して、それが中心周波数 1Hz の音で実現されると考えて、合計したエネルギーに対応する音圧を計算する方法も考えられる。

上の場合は、0.52Pa を 10 分間での最大音圧とみなすこともできる。

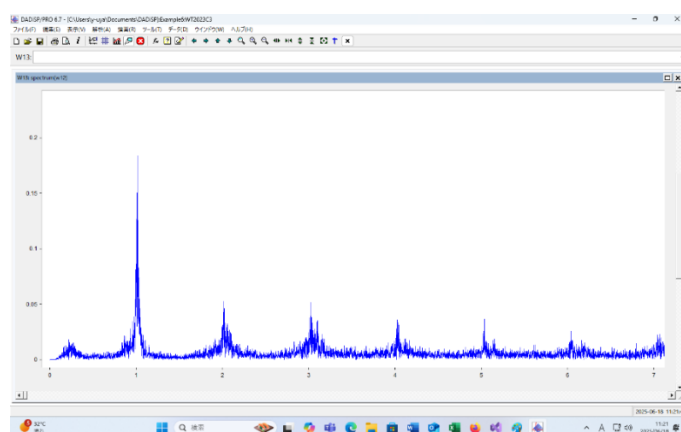
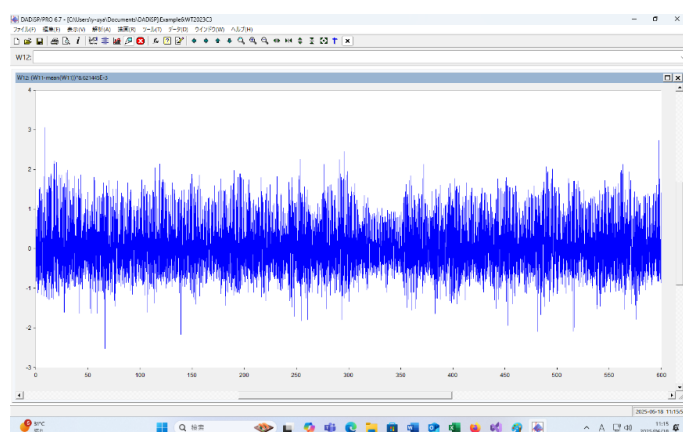
最大音圧の決定は、その風車の特徴や実際の計測結果と相談して工夫する必要があります。

全体のグラフは次のようになる。

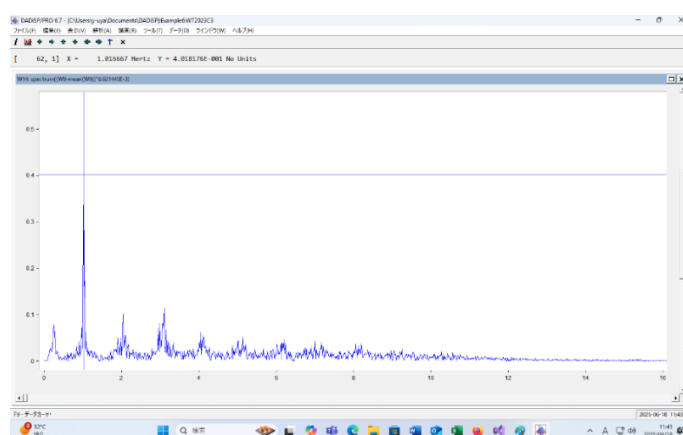


基本周波数  $f$  は 10 分間の計測結果から計算した周波数スペクトルで音圧が最大となる周波数とする。

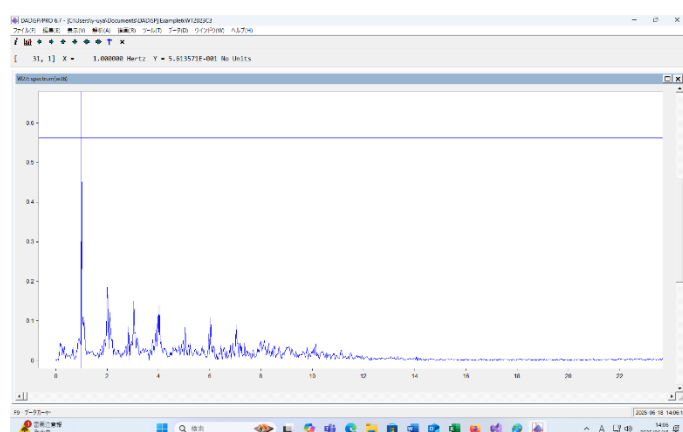
風が強い 10 分間



1.013333Hz で 0.183660Pa だが、1/3 オクターブ解析では、中心周波数 1Hz での音圧レベルは 87.228522 d B これを音圧に直すと、0.4596Pa になる。



1 分間の計算では、1.016667Hz で、0.4018176Pa が最大音圧。



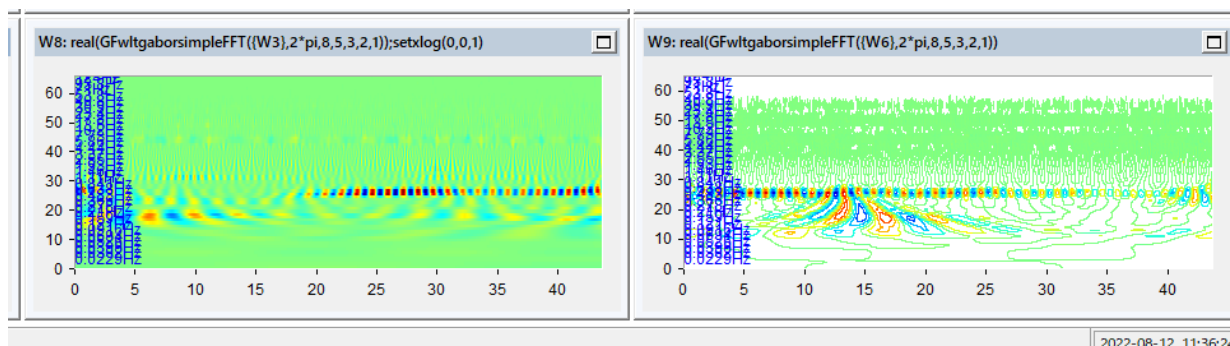
30 秒間の計算では、1.000000Hz で、0.56135716Pa が最大音圧となる場合もある。

C3

分	0～10																			
周波数	1.013																			
音圧	0.184																			
分	0～1	1～2	2～3	3～4	4～5	5～6	6～7	7～8	8～9	9～10	平均									
周波数	1.016667	1.016667	1.016667	1.016667	0.983333	0.966667	1.016667	1	1.016667	1	1.005									
音圧	0.424407	0.370196	0.322781	0.291005	0.266354	0.179982	0.370865	0.381001	0.401818	0.354761	0.336									
分	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
周波数	1	1.03	1.03	1	1	1.03	1	1.03	1	1	1	0.87	1.03	1	1	1	1.03	1	1	1
音圧	0.56	0.36	0.46	0.44	0.43	0.4	0.43	0.31	0.29	0.47	0.21	0.22	0.4	0.38	0.42	0.39	0.51	0.32	0.48	0.39

1/3 オクターブ解析では、中心周波数 1Hz での音圧レベルは 87.228522 dB これを音圧に直すと、0.4596Pa になる。これと、0.56 パスカル、0.394Pa、計算の手間を比べて、10 分間での音圧としては、0.4596Pa を採用する事も考えられる。

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。

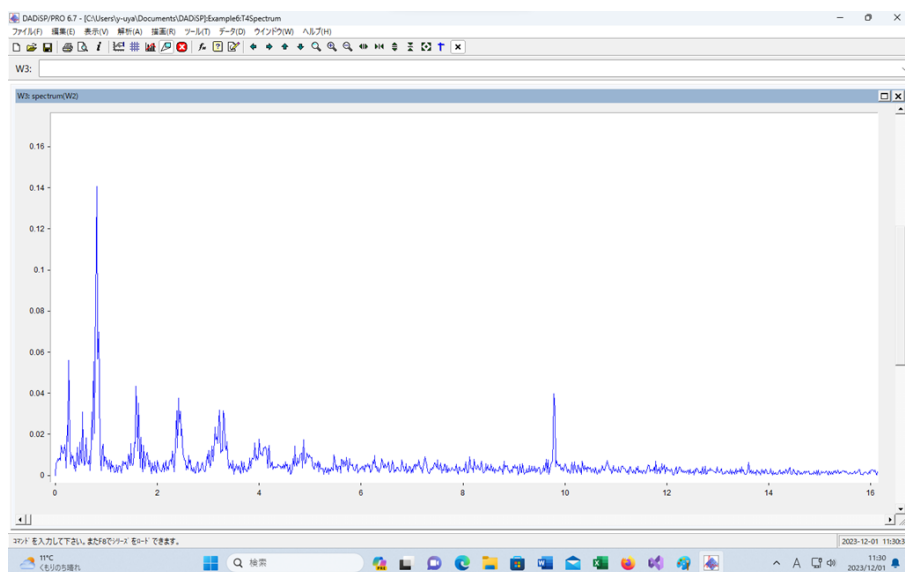


色の濃い部分は音圧が高く色が薄い部分は音圧が低いことを意味しています。0.8Hz を示す色の濃い帯があるが、風速の変化で色の濃さが変わります。色の濃い部分は 30 秒くらい続きます。

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。周波数が変化が小さいという事は、ブレードの回転数が安定していることを意味します。

さて、音圧の変化は、次の様になっています。

実際の風車音で計測された音圧（パスカル）には、周波数の倍音構造があります。

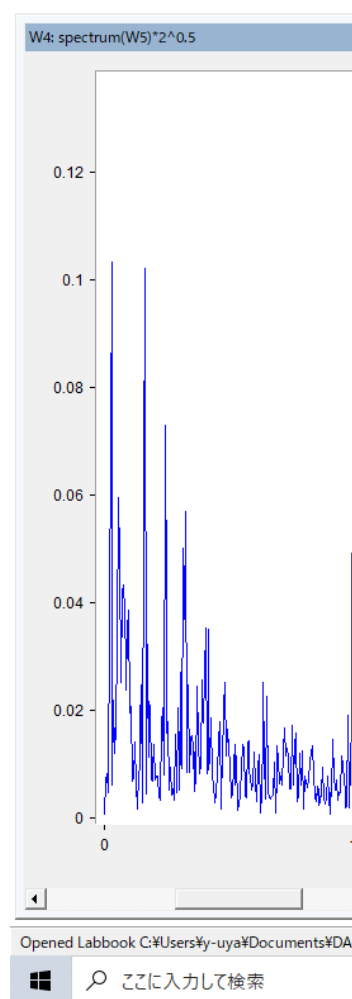




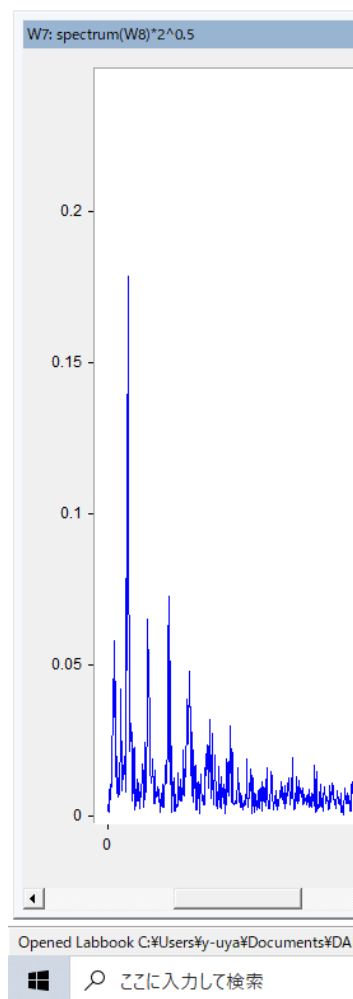
音圧（パスカル）がピーク値となるときの周波数に、次のような規則性がある。

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

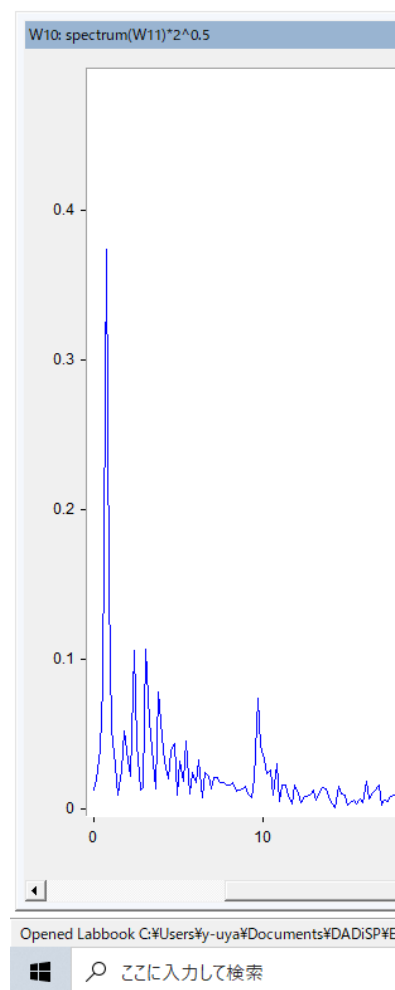
上のグラフの一番音圧が高い周波数 0.816Hz が、RZ/60 に対応します。（R は 1 分間の回転数、Z は翼の枚数）。他のピーク値の発生も必然的であり、明確な理由があります。



0.104Pa



0.175Pa



0.37Pa

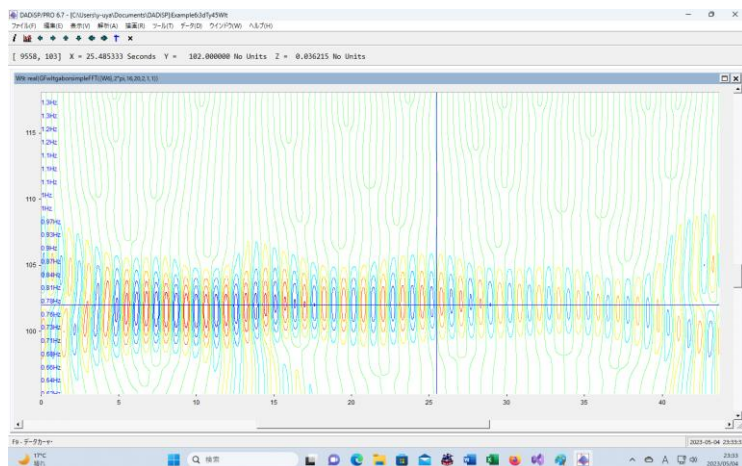
周波数の変動幅は少ないのですが、音圧は平均すると 0.175Pa、弱いときは 0.104Pa、強いときは 0.37 Pa です。強いときは、平均の 2 倍程度の音圧になり、激しく変動します。

風速が変わっても、ブレードの質量が大きいので発電機の抵抗があっても回転数はあまり変化しない。よって周波数はそれほど変化しない。揚力ベクトルの変化は大きいので塔の曲がり方が大きく変わる。そして音圧は大きく変動する。

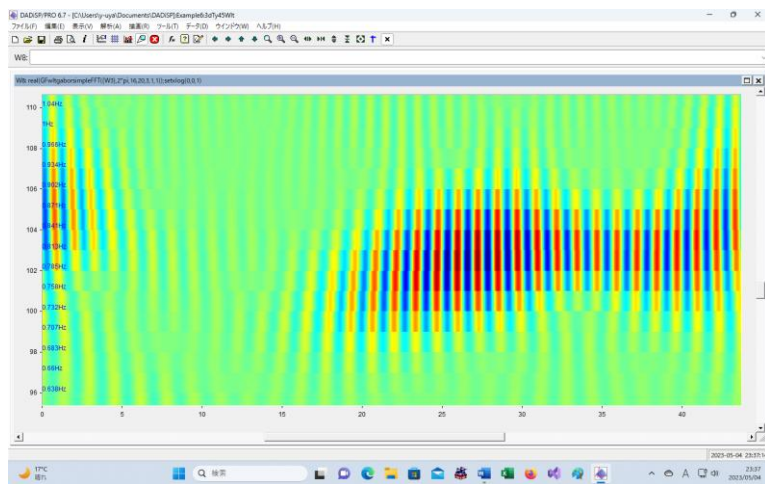
0.8Hz 辺りの周波数の時間的な変動を調べます。

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。

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	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、  
音圧が最大となる時の周波数は、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  
 $f = n * 3 \div T$

と言える。

1 分間に  $R$  回転すれば、 $R * 3 \div 60 = f$  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。

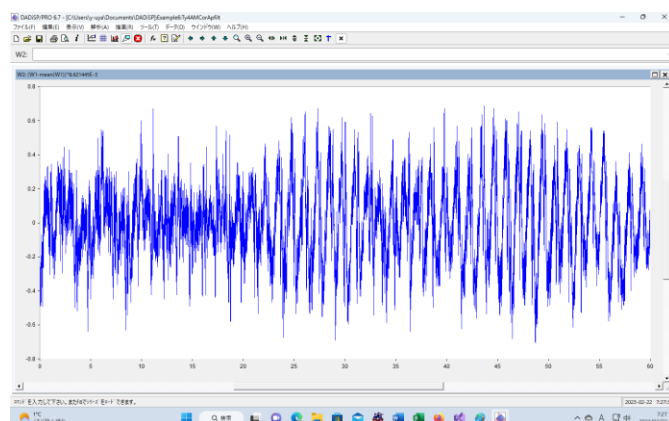
風車音（60 秒間）

実際の風車音を調べてみると次の様になっています。

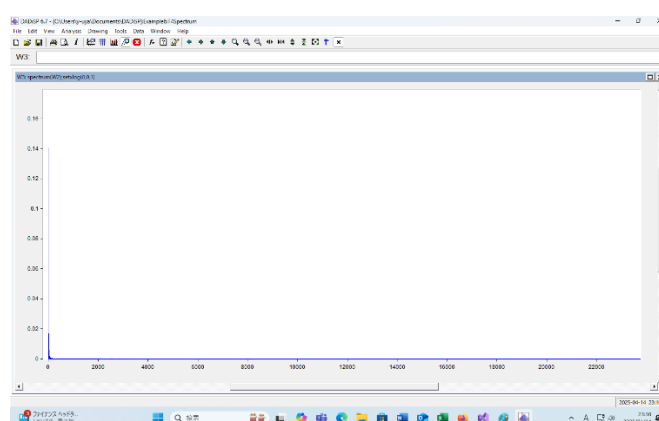


W2 は、1 秒間に 48000 回の割合で、風車音による音圧変動を記録した結果、すなわち風車音の波形データである。平均した場合、 $f=RZ/60\text{Hz}=0.8\text{Hz}$  となっています。

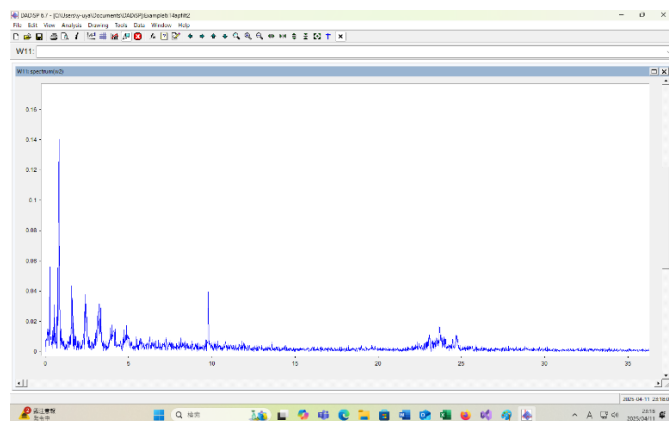
波形



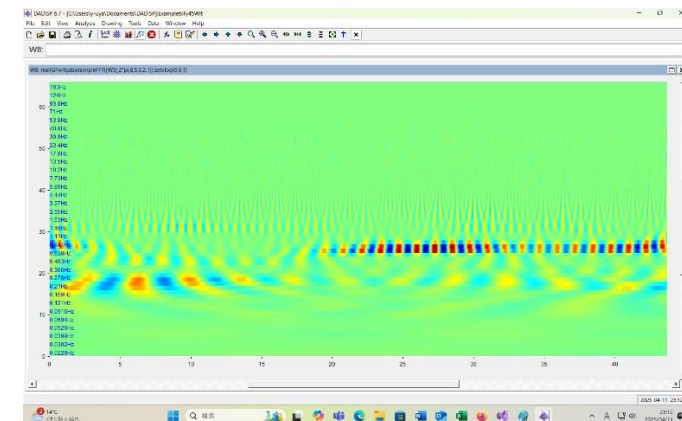
周波数スペクトル（0～24000Hz）



周波数スペクトル（0～50Hz）



Wavelet 解析の結果は次のグラフです。



上の周波数スペクトルをグループに分けて成分を取り出します。

A :  $f/3$ 、 $2f/3$

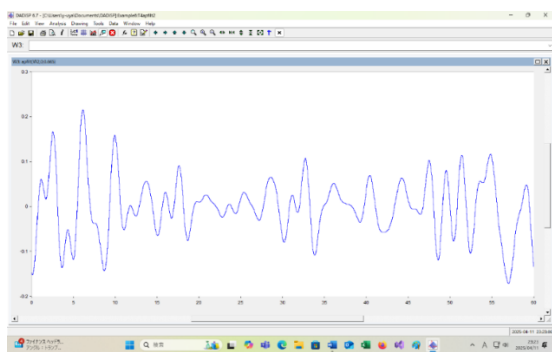
B :  $f$ 、 $2f$ 、 $3f$ 、 $4f$ 、 $5f$ 、 $6f$

C : 10Hz の近く

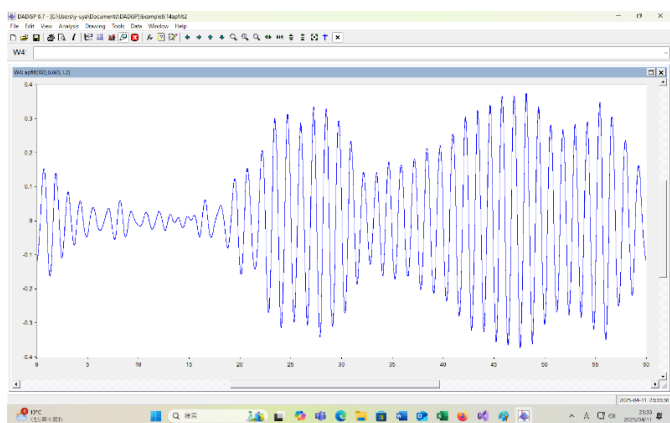
D : 20~30Hz

E : 200~24000Hz

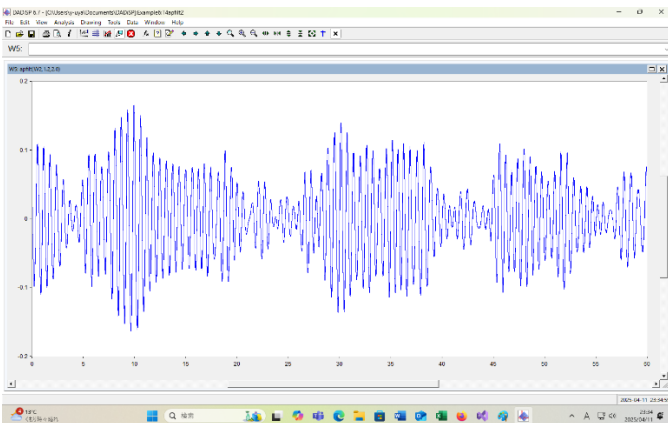
A : 0~ $2f/3$  Hz の成分 (0~0.665Hz)



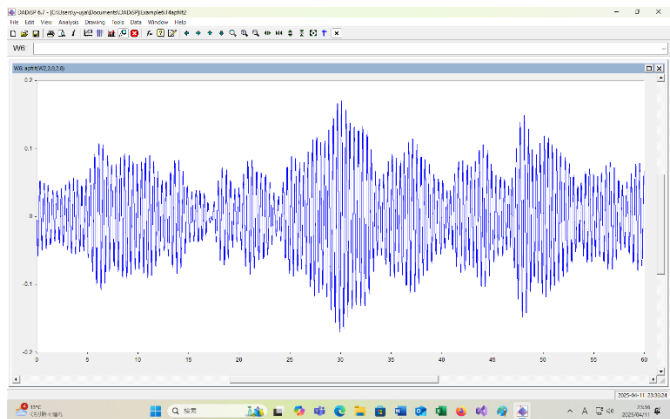
B :  $f = 0.8$  Hz 成分 (Max0.37Pa)



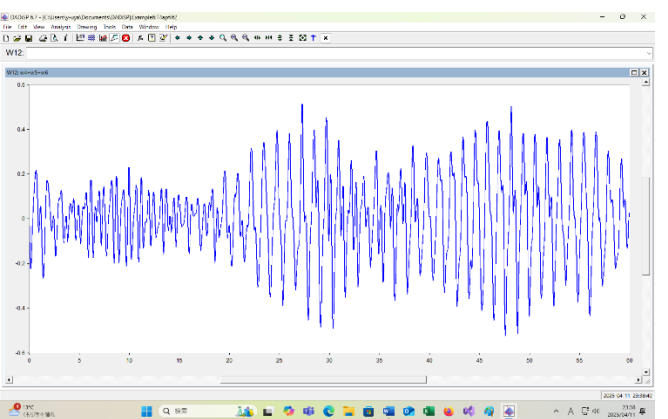
$2f = 1.6$  Hz 成分



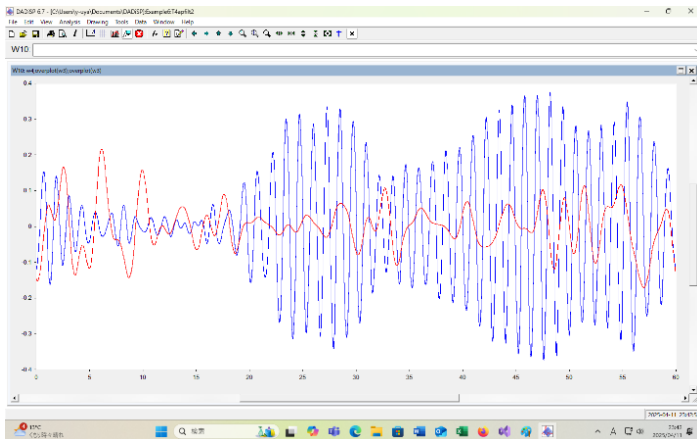
$3f = 2.4$  Hz 成分



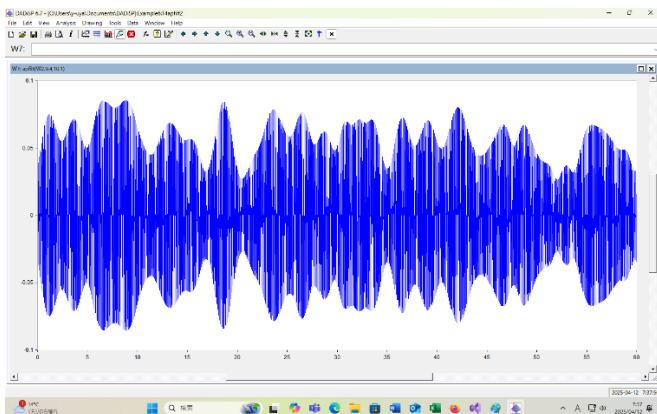
$f$  Hz 成分+ $2f$  Hz 成分+ $3f$  Hz 成分



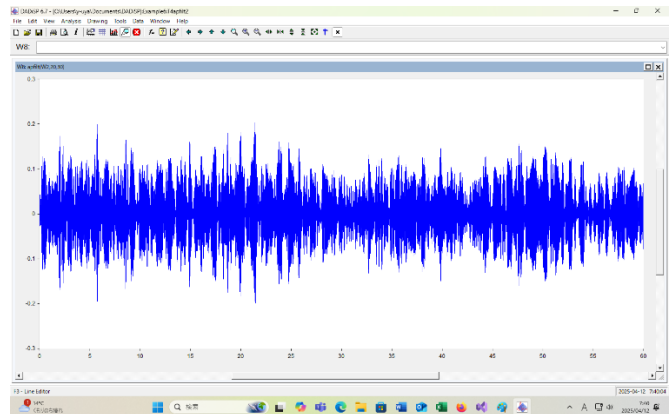
## f Hz 成分と (0~0.665Hz) 成分の比較



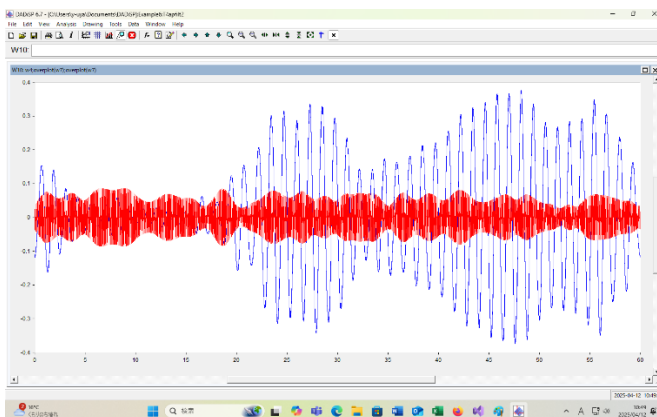
## C : 9.4~10.1Hz 成分



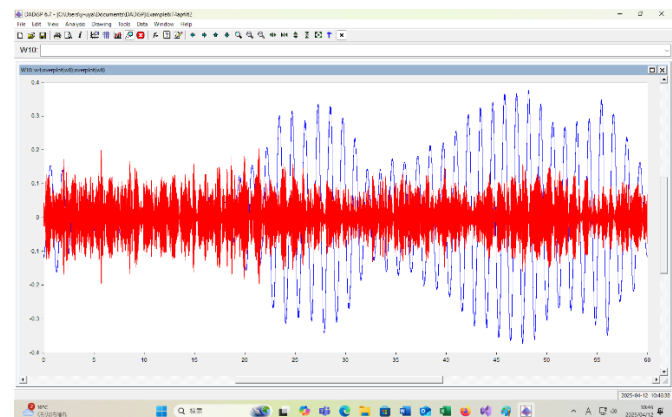
## D : 20~30Hz



## f = 0.8Hz 成分 (Max0.37Pa) と C の比較



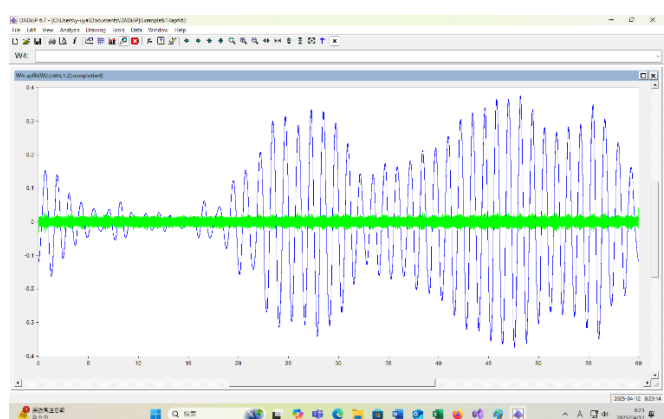
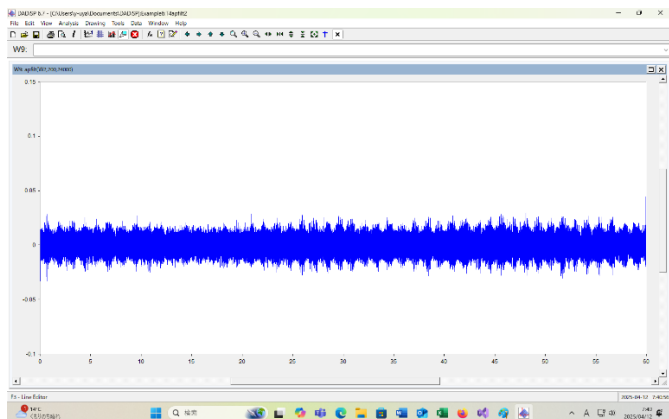
## f = 0.8Hz 成分 (Max0.37Pa) と D の比較





E : 200～24000Hz 成分（振幅 0.008～0.02Pa）

f = 0.8Hz 成分（Max0.37Pa）と E の比較



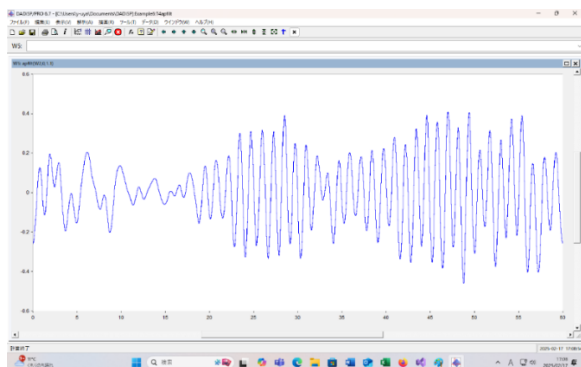
エネルギーの分布（0～20Hz、20～200Hz、200～24000Hz、0～24000Hz）

W3: EngDistributionWm2(w2,0,20,200,24000)

	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units
1:	2.432890E-004	2.138726E-005	1.627290E-007	2.648317E-004

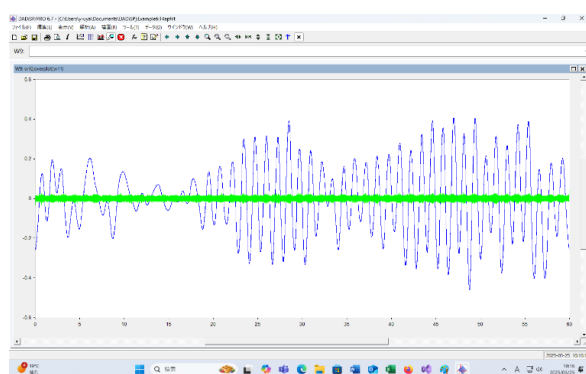
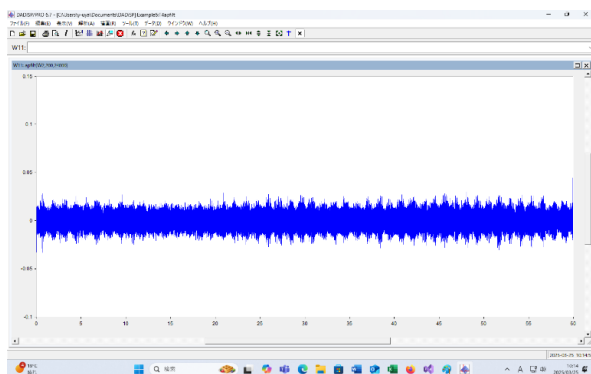
f=RZ/60=0.8Hz のデータでは、0～1.1Hz の部分は、音圧が大きく変化するが、200～24000Hz の部分の音圧は安定している。

0Hz～1.1Hz の成分を抽出すれば、次のグラフになる。



音圧変動（200～24000Hz の成分の変動は小さい）

振幅の変動（青 0～1.1Hz、緑 200～24000Hz）比較



10 秒～20 秒の間は、音圧が極端に低くなっています。

風切り音で言えば、 $R=16$ 、 $Z=3$  の場合に相当します。この  $0.8\text{Hz}$  の音の音圧はどのように決まるのでしょうか。上のグラフでは、風が弱まった時には、音圧が 0 に近い値になっています。

風切り音（一部の空力音説を含む）では、周波数をブレードが塔の前を通過する回数と関連付けます。それだけではなく、音圧を決める要因は何かが問題になります。

“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、時間中を持った大きなパルス状の音圧変動を起こします。”

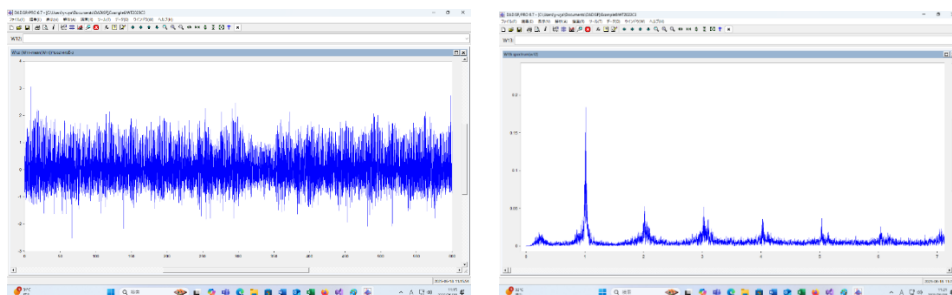
“支柱との間で空気の流れ(風)を引きちぎる”あるいは、“ブレードに纏わりついている空気が、塔によって切断される”ことが音の大きさ（音圧）を決める要因だと考えたときには、

ブレードの質量が大きいので、風速が小さくなっても、回転数はあまり減少しません。それなのに音圧がほぼ 0 になっているのです。

ブレードの回転速度はあまり落ちないのですから、“支柱との間で空気の流れ(風)を引きちぎる”力が小さくなったとは思えません。“ブレードに纏わりついている空気が、塔によって切断される”もあまり変化しないと思います。“風切り音”説が正しいならば、 $f = RZ/60\text{Hz}$  の音の音圧が極端に変化することは無いはずです。

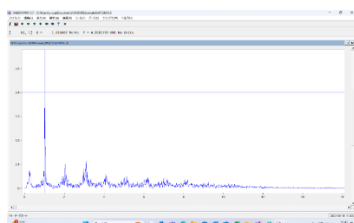
## 音圧の決定方法

10 分間のデータで計算すると、



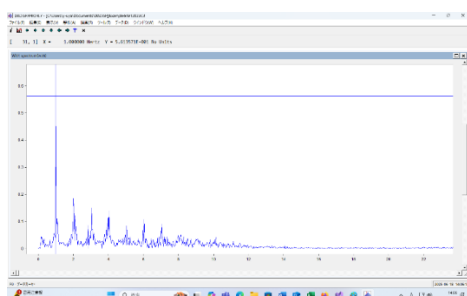
1.013333Hz で **0.183660Pa** だが、  
1/3 オクターブ解析では、中心周波数 1Hz での音圧レベルは 87.228522 d B  
これを音圧に直すと、0.4596Pa になる。

1 分間のデータで計算すると、



1 分間の計算では、1.016667Hz で、**0.4018176Pa** が最大音圧。

30 秒間のデータで計算すると、

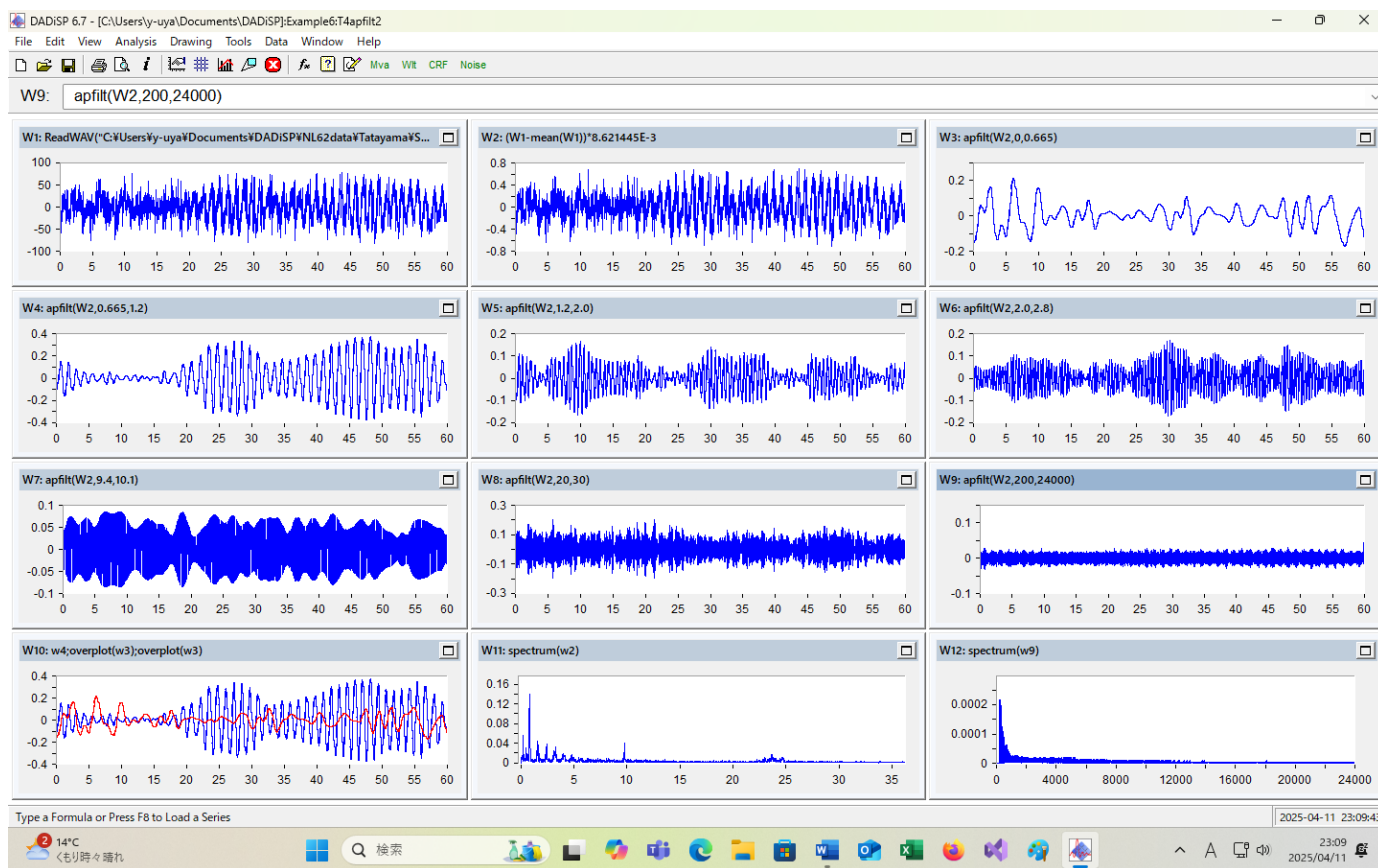


30 秒間の計算では、1.000000Hz で、**0.56135716Pa** が最大音圧となる場合もある。

分	0～10																			
周波数	1.013																			
音圧	0.184																			
分	0～1	1～2	2～3	3～4	4～5	5～6	6～7	7～8	8～9	9～10	平均									
周波数	1.016667	1.016667	1.016667	1.016667	0.983333	0.966667	1.016667	1	1.016667	1	1.005									
音圧	0.424407	0.370196	0.322781	0.291005	0.266354	0.179982	0.370865	0.381001	0.401818	0.354761	0.336									
分	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
周波数	1	1.03	1.03	1	1	1.03	1	1.03	1	1	1	0.87	1.03	1	1	1	1.03	1	1	1
音圧	0.56	0.36	0.46	0.44	0.43	0.4	0.43	0.31	0.29	0.47	0.21	0.22	0.4	0.38	0.42	0.39	0.51	0.32	0.48	0.39

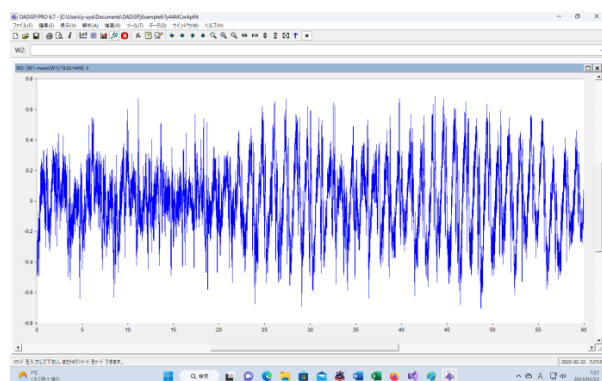
1/3 オクターブ解析では、中心周波数 1Hz での音圧レベルは 87.228522 dB これを音圧に直すと、0.4596Pa になる。これと、0.56 パスカル、0.394Pa、計算の手間を比べて、10 分間での音圧としては、0.4596Pa を採用する事も考えられる。

実際の風車音を調べてみると次の様になっています。

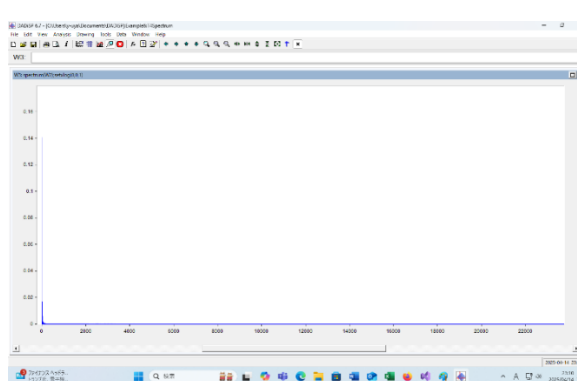


W2 は、1 秒間に 48000 回の割合で、風車音による音圧変動を記録した結果、すなわち風車音の波形データである。平均した場合、 $f=RZ/60\text{Hz}=0.8\text{Hz}$  となっています。

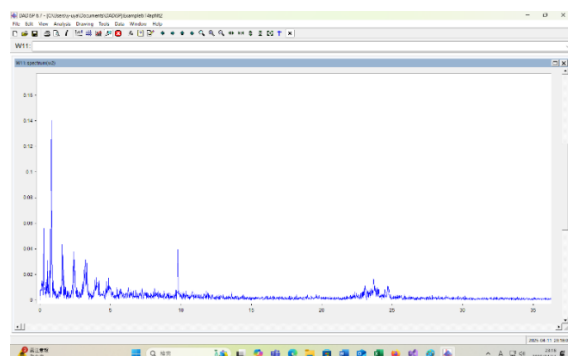
## 波形



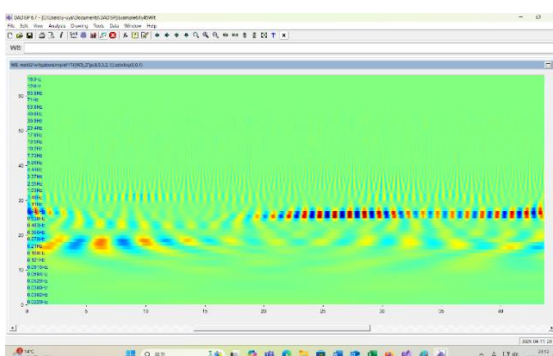
## 周波数スペクトル (0~24000Hz)



## 周波数スペクトル (0~50Hz)



## Wavelet 解析の結果は次のグラフです。



上の周波数スペクトルをグループに分けて成分を取り出します。

A :  $f/3$ 、 $2f/3$

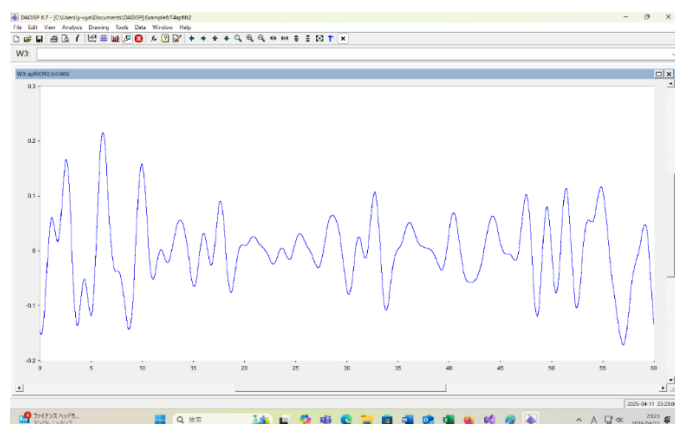
B :  $f$ 、 $2f$ 、 $3f$ 、 $4f$ 、 $5f$ 、 $6f$

C : 10Hz の近く

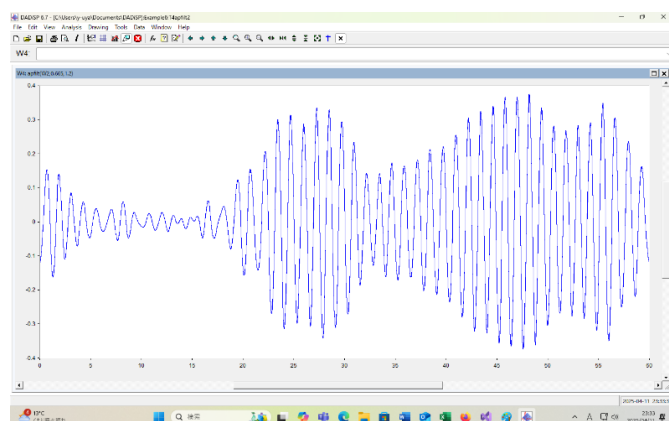
D : 20~30Hz

E : 200~24000Hz

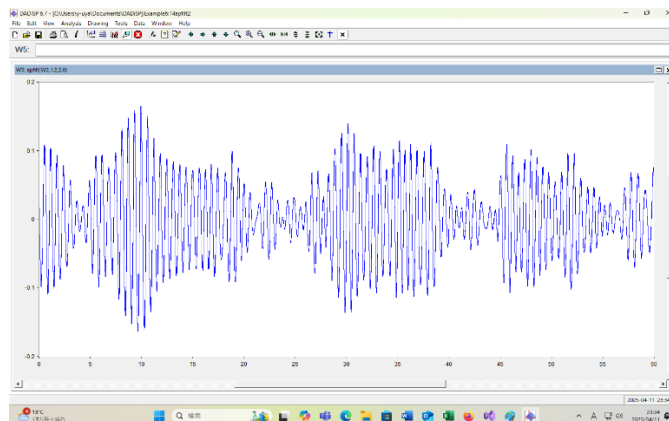
A : 0~ $2f/3$  Hz の成分 (0~0.665Hz)



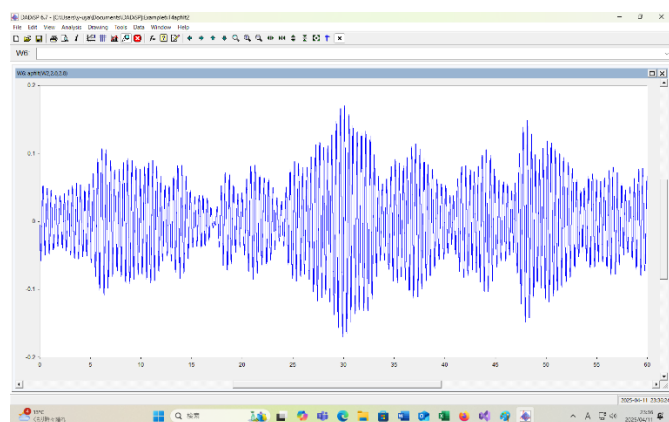
B :  $f = 0.8 \text{ Hz}$  成分 (Max0.37Pa)



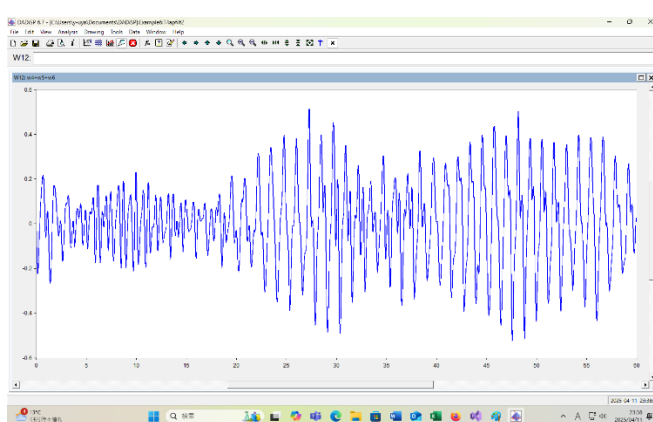
$2f = 1.6 \text{ Hz}$  成分



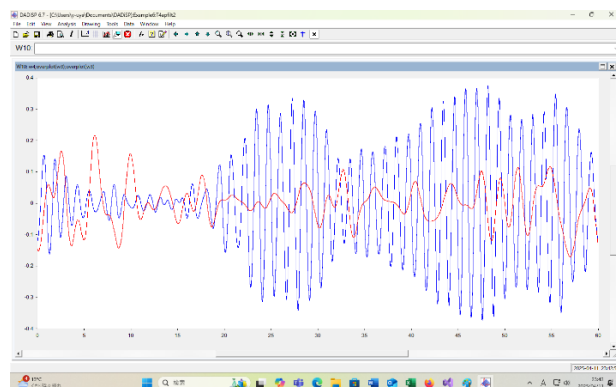
$3f = 2.4 \text{ Hz}$  成分



$f \text{ Hz 成分} + 2f \text{ Hz 成分} + 3f \text{ Hz 成分}$



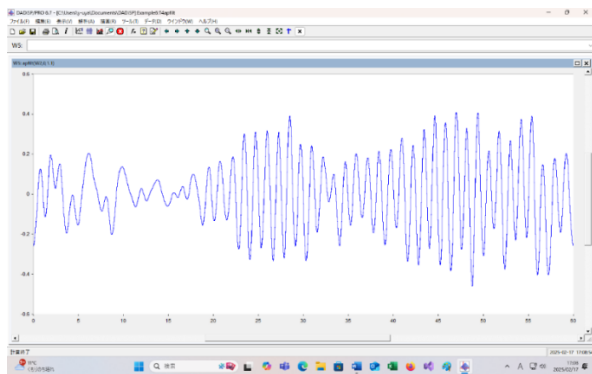
$f \text{ Hz 成分と } (0 \sim 0.665 \text{ Hz}) \text{ 成分の比較}$



$f = RZ/60 = 0.8 \text{ Hz}$  のデータでは、 $0 \sim 1.1 \text{ Hz}$  の部分は、音圧が大きく変化するが、 $200 \sim 24000 \text{ Hz}$  の部分の音圧は安定している。

$0 \text{ Hz} \sim 1.1 \text{ Hz}$  の成分を抽出すれば、次のグラフになる。





10 秒～20 秒の間は、音圧が極端に低くなっています。

風切り音で言えば、 $R=16$ 、 $Z=3$  の場合に相当します。この  $0.8\text{Hz}$  の音の音圧はどのように決まるのでしょうか。上のグラフでは、風が弱まった時には、音圧が 0 に近い値になっています。

風切り音（一部の空力音説を含む）では、周波数をブレードが塔の前を通過する回数と関連付けます。それだけではなく、音圧を決める要因は何かが問題になります。

**“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。”**

“支柱との間で空気の流れ(風)を引きちぎる”あるいは、“ブレードに纏わりついている空気が、塔によって切断される”ことが音の大きさ（音圧）を決める要因だと考えたときには、

ブレードの質量が大きいので、風速が小さくなっても、回転数はあまり減少しません。それなのに音圧がほぼ 0 になっているのです。

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

ブレードの回転速度はあまり落ちないのですから、“支柱との間で空気の流れ(風)を引きちぎる”力が小さくなったとは思えません。“ブレードに纏わりついている空気が、塔によって切断される”もあまり変化しないと思います。“風切り音”説が正しいならば、 $f = RZ/60\text{Hz}$  の音の音圧が極端に変化することは無いはずです。

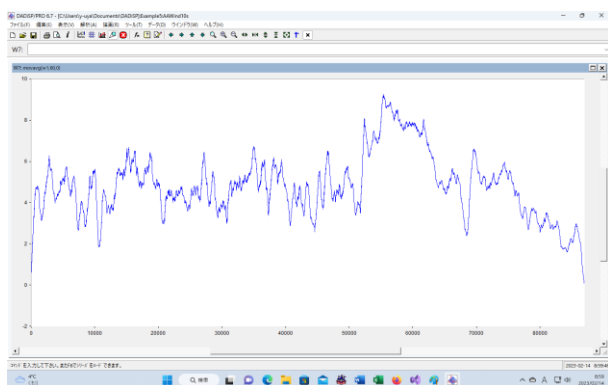
風が急に強くなった時は、ブレードの回転数はそれほど変化しませんが、音圧は2倍程度になります。音圧変動は、回転数の変化との整合性が無いのです。

風切り音説（一部の空力音説を含む）では、この  $f = RZ/60\text{Hz}$  の音の音圧変動を説明できません。

200Hz～24000Hz の音は、主に、ブレードの表面と空気の衝突や乱流によって発生するとみられますので、ブレードの回転数があまり変わらなければ、ブレードの回転速度も安定しているので、音圧（音の大きさ）はあまり変化しない。と考えられます。

もちろん、揚力ベクトルによる塔の腹の部分の振幅の変化を考えれば、0Hz～1.1Hz の成分の音圧変動に関する明確な説明が得られます。

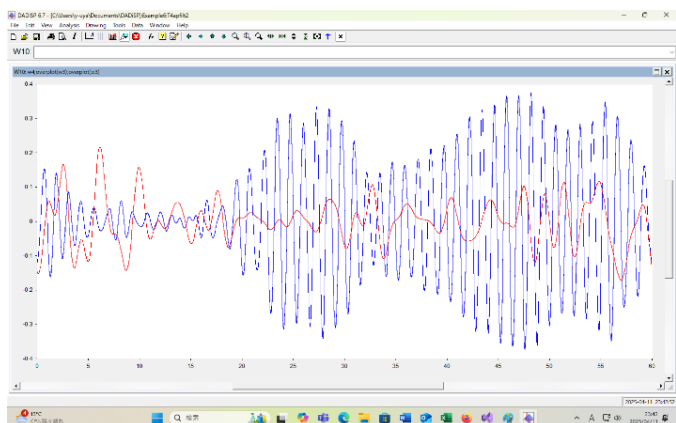
風速の移動平均をとると、次のグラフになります。



風速は細かく変化するので、それに対応して揚力ベクトルも細かく変動して、発電機に掛かる力が細かく変化した結果だと考えられる。

次のグラフについては、 $f\text{ Hz}$  成分が洗濯機のモーターが勢いよく回っている状態（大きな揚力ベクトル）。(0～0.665Hz) 成分は洗濯機の中身の偏り（ブレードの重さ、形、重心などの誤差）による振動が、モーターの力が弱まった時（風が弱まって揚力ベクトルが0になる）に起きるガタツキに対応すると考えられる。

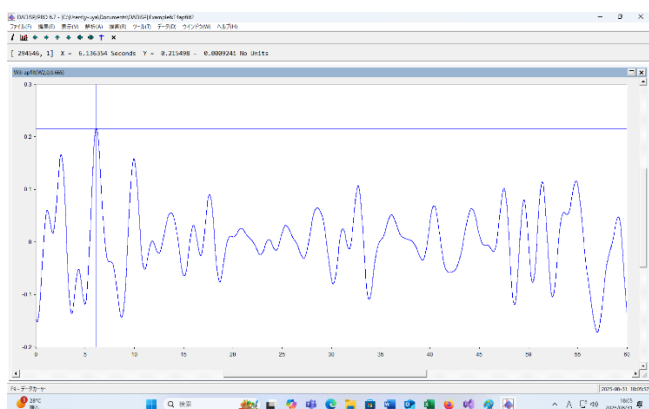
## f Hz 成分と（0～0.665Hz）成分の比較



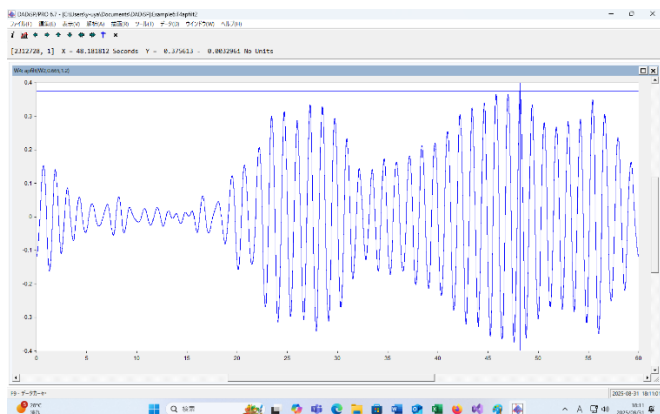
このグラフから、風が弱まりブレードを回転させる力が弱くなった時には、ブレード自体が異常な振動を起こすことが分ります。これが継続すればブレード自体が折れてしまいます。

風車の事故を考える場合に必要なデータなのです。主催者がこれを提供して議論すべきですが、多発する風車事故の根本原因を隠蔽するようにはしか見えません。

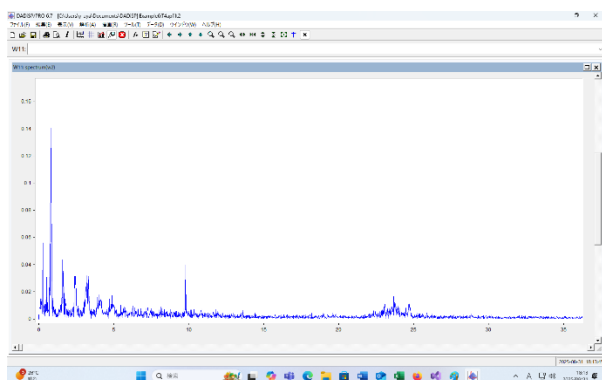
**0Hz～0.0665Hz の成分は最大音圧が 0.21Pa（80.4 d B）です。**



**0.665Hz～1.2Hz の成分は、最大音圧が 0.37Pa（85.34 d B）です。**

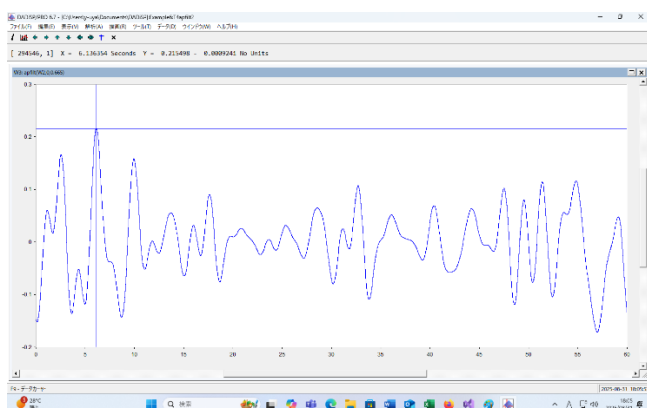


60 秒間で計算した周波数スペクトルでの音圧、 $f/3\text{Hz}$  での  $0.05\text{Pa}$  や  $1\text{Hz}$  での  $0.14\text{Pa}$  よりはかなり大きな数値です。



これは 60 秒間での音圧変動が大きい事を意味しています。

$0\text{Hz} \sim 0.0665\text{Hz}$  の成分は最大音圧が  $0.21\text{Pa}$  ( $80.4\text{ dB}$ ) です。この成分はブレードの物理的な不均衡が原因となって発生する音です。



平均的に大きな力が加わらなくても、瞬間的に大きな力が加わればブレードは折れます。

平均的には強い風が吹いていて、一瞬弱まった時に、この成分は大きくなります。この成分の大きさはブレードの異常な振動と深い関連があるのです。

10 分間ので一たで計算した  $f/3\text{Hz}$  での  $0.05\text{Pa}$  よりは、 $0.21\text{Pa}$  ( $80.4\text{ dB}$ ) として考えた方がブレードの破損を予測するうえで役に立つ数値だと考えます。

$1\text{Hz}$  での  $0.14\text{Pa}$  よりは、最大音圧が  $0.37\text{Pa}$  ( $85.34\text{ dB}$ ) とする方が、健康被害の予測には役に立つと考えます。

因果関係となる要素を抜き出して、影響の仕方との関連で、平均的な数値を選ぶべきか、瞬間的な数値を選ぶべきかが決まります。

ブレード破損が水平軸型の風車の宿命でもあるのです。水平軸型の風車が立ち並ぶ海域は、危険な海域なの

です。その下で漁をすることはあまりにも危険なのです。

漁業関係者に、超低周波音の計測データを示さない事は、漁師さんの人命を軽視している事になります。公園での死亡事故も、安全管理以前の問題であり、環境省や経産省が超低周波音を封印してきた結果なのです。