

内容

問題点：水平軸型と垂直軸型があるのに、水平軸型の風車を選定する理由が書かれていない。	4
問題点：時代遅れの資料で、大型風車から出る 0.5Hz の超低周波音を隠蔽しようとした。	8
問題点：音圧と周波数の関係を隠すことで、健康被害と超低周波音の因果関係を隠蔽しようとした。	11
問題点：低周波音を 1~100Hz と定義しながら、4Hz からのグラフで問題点 (0Hz~4Hz) を隠蔽している。	16
問題点：“風車騒音の指針値”を“風車音の指針値（環境省）”として超低周波音まで含めて評価しているかのように見せかけた。	27
問題点：説明会の参加住民の居住範囲	40
カナダ政府と超低周波音	40
累積的影響	42
問題点：根拠とは言えない環境省の主張を引用する（引用の仕方も間違っている。）	45
日本国憲法第 25 条	51
5. 1 風車音の性質	52
5. 1. 1 風車音の基本的な性質	52
5. 1. 2 他の騒音と風車音の比較	56
5. 1. 3 エネルギー分布	59
5. 1. 4 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。	64
5. 1. 5 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。	65
5. 1. 6 周波数 $f/3$ 、 $2f/3$ 、 f 、 $2f$ 、 $3f$ 、...Hz で音圧が高くなる	67
5. 1. 7 風車音の指向性、十字架型	69
5. 1. 8 塔の運動	72
5. 1. 9 全国 164 か所で音圧の高い超低周波音が計測された。	74
5. 1. 10 風速変化による、周波数と音圧の変動	81
6. 計測・解析	92
リオン社	92
10. 健康被害と原因	95
10. 1 アノイアンスとラウドネス	95
大型風車による地盤振動伝播*	98
周辺の家の振動（野中 氏）	100
参考資料—低周波音の基礎知識—	102
10. 1. 1 唾液コルチゾール検査	104
10. 1. 2 カナダ政府の風車騒音と健康に関する調査	105
10. 1. 3 風車音の影響	109
直接的影響と間接的影響	109
10. 2 間接的な健康影響（安眠妨害）	123
10. 2. 1 風車による睡眠へ影響	123
10. 2. 2 ガタツキ閾値	123

10. 2. 3	圧力変動の感知	125
10. 2. 4	不眠による被害	129
安眠妨害は拷問の手法		131
睡眠は、健康な生活にとって極めて重要なのです。		132
南房総市の健康だより		133
10. 3	直接的な健康被害（循環器障害と頭痛）	139
10. 3. 1	超低周波音の解析と発生の仕組み	139
10. 3. 2	圧縮と膨張	153
10. 3. 3	長期曝露による循環器障害	159
10. 3. 4	音響キャビテーションと頭痛	163
10. 3. 5	潜水病についての資料	173
14.	風車被害と企業責任	178
熊ドンと風車音		178
三重県での崩落		180

ご意見記入用紙

「(仮称) 上沼風力発電事業 環境影響評価方法書」について、環境保全の見地からのご意見をお持ちの方は、本用紙に必要事項をご記入のうえ、縦覧場所に設置しました意見箱へ投函もしくは下記へご郵送ください。

【郵送先】

〒020-0021 岩手県盛岡市中央通一丁目 7 番 35 号 コアフィールドモリオカ 4 階
株式会社グリーンパワーインベストメント 東北統括事務所

【意見書の提出期限】 令和 7 年 4 月 24 日 (木) (当日消印有効)

――

「(仮称) 上沼風力発電事業 環境影響評価方法書」に対するご意見書

令和 7 年 4 月 21 日

お名前 :

宇山 靖政

ご住所 :

〒295-0026

千葉県南房総市千倉町大川 256-1

環境保全の見地からのご意見 (日本語でご記入ください) :

方法書についての住民説明会に参加した友人から、“住民説明会の資料に間違いがあるのではないか”と相談を受けました。二人で相談した結果を“超低周波音での健康被害と住環境の保全”の観点からの意見として纏めましたので、連名で提出します。

結論：あまりにもひどい内容なので、資料を作り直して、もう一度、説明会を開いてください。

問題点：水平軸型と垂直軸型があるのに、水平軸型の風車を選定する理由が書かれていない。

（仮称）上沼風力発電事業 環境影響評価方法書

では、素晴らしい目標が掲げられている。

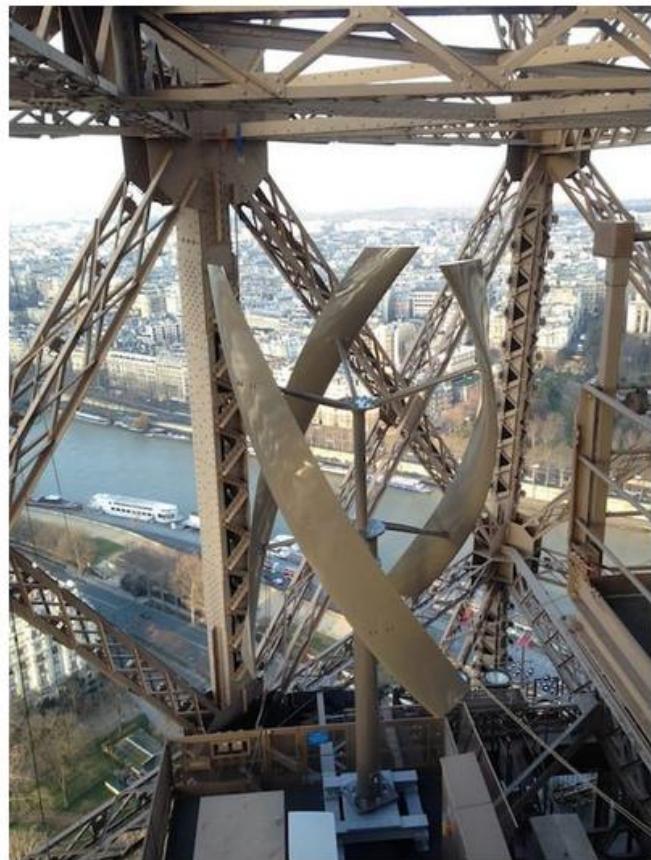
2.1 対象事業の目的

近年の異常気象の要因の一つに、温室効果ガス(以下、「GHG」)が挙げられる。この GHG の排出を抑えるために、国際社会では、低炭素社会への移行が求められている。これに對して、2015 年に開かれた COP21(国連気候変動枠組み条約第 21 回締結国会議)によつて、すべての国が参加する公平かつ実効性のある新たな国際的枠組みとして、パリ協定が採択された。我が国においては、当初 2030 年度の GHG 排出量を 2013 年の水準から 26% 削減することを目標と定めていたが、2021 年 4 月に開催された国連気候変動首脳会合(気候変動サミット)では、この目標を 46% に引き上げ、同年 11 月の COP26 では、2030 年の削減目標を 50% と表明した。

我が国では、東日本大震災の経験を経て、エネルギー供給に関する問題意識が高まっている中、「第 6 次エネルギー基本計画(2021 年 10 月 22 日閣議決定)」で 2050 年までに排出を実質ゼロとする「カーボンニュートラル」の実現を目標に掲げている。この基本計画において、風力をはじめとする再生可能エネルギーは、「エネルギー安全保障にも寄与できる有望かつ多様で、重要な国産エネルギー源である。」として位置付けており、主要電源として導入に取組む方針である。なお、風力発電は 2030 年度に 2,360 万 kW (陸上 1,790 万 kW、洋上 570 万 kW) の導入目標が掲げられているものの、2023 年末時点の導入量は 480.2 万 kW (陸上 478.85 万 kW、洋上 1.35 万 kW) と、より一層の導入拡大が求められている。なお、風力発電については、北海道や東北をはじめとする風力発電の適地を最大限効率的に活用するため、農林業と調和・共生のとれた活用を目指し、更なる規制・制度の合理化に向けた取組を行うこと等が掲げられている。

しかし、風力発電に関わる企業としての基本的な認識が欠けている。

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



フランスの名所、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。

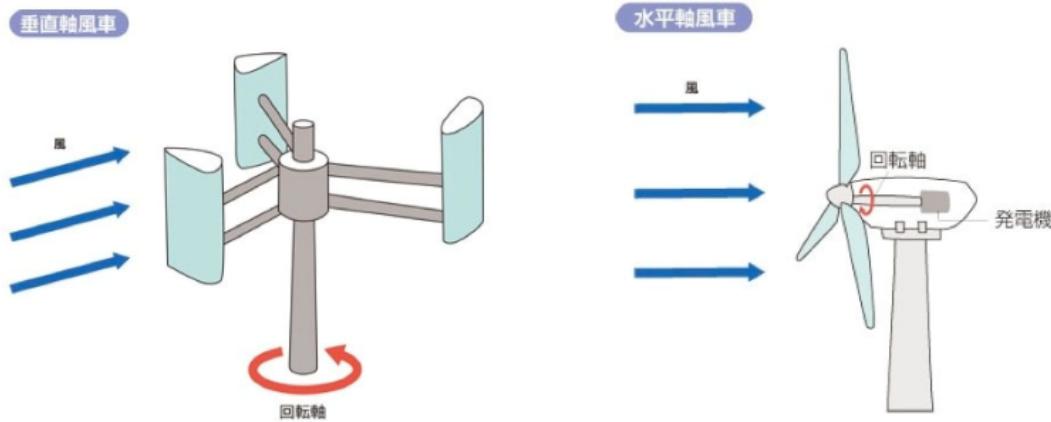
設置された風力発電は垂直軸方式のもので、風力発電特有のタービン音がほとんどないという。発電事業を担当する Urban Green Energy International (UGE) によると、発電量は年間 10,000kWh で、エッフェル塔の観光客向け電力をほとんど賄うことができるという。

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。

日本では、被害の原因である超低周波音を計測から除外して、被害を本人の気のせいだ、としているが、フランスでは、静かな風車をパリの中心部に建てているのです。

[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**：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>

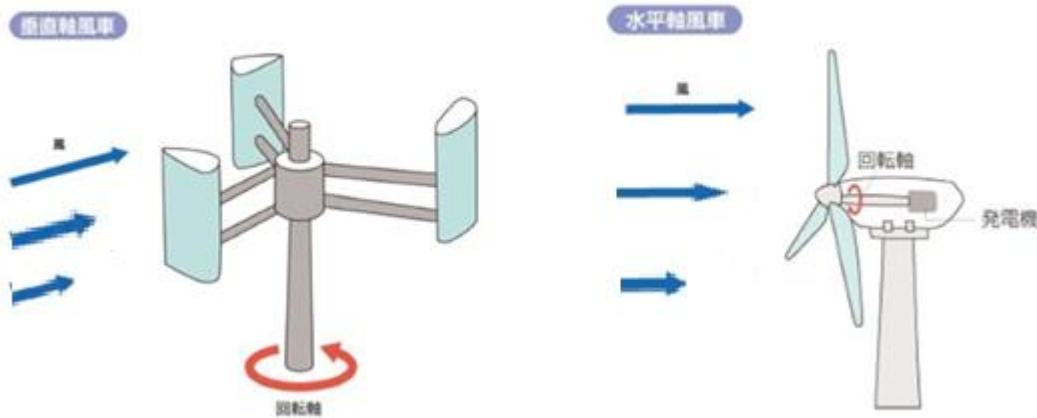
垂直軸のものは、“発生する騒音は小さい”とあるが、残念ながら誤りがある。上の図の様に風が上空でも地上付近でも風速が同じならば、どちらの風車からも超低周波音が発生しない事が分かる。

確認するには、“超低周波音の解析と発生の仕組み”の計算に於いて、高さと風速の関係式を少し変えて計算すればすぐに分かる。

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

上の図では風速の矢印が同じ長さですが、正しく書けば、次の様になります。

風力発電機の種類

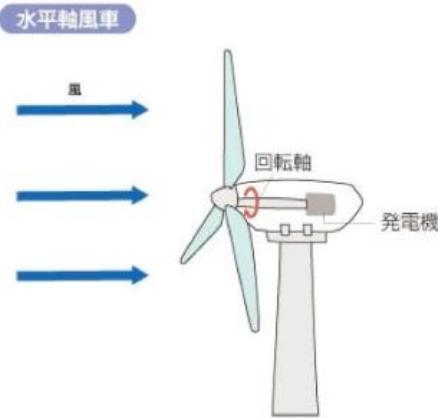


上空の風の速度が速いので、ブレードに掛かる揚力ベクトルが、水平軸型の場合には、ブレードの回転に従って周期的に変化します。これよって、塔が曲がり、塔の側面の振動が起きて、強い指向性を持った超低周波音が発生することになります。風速の特徴を詳しく調べると、マクローリン展開の係数に従って、超低周波音の周波数スペクトルが離散的となることや、音圧の特徴についても、計算結果と計測結果が一致することが分ります。

回軸が垂直の場合にはこのような現象は起きないので静かなのです。

簡単に言えば、水平軸型の風車は超低周波音の発生装置そのものなのです。

ただし、風速に高度差による違いが無い



として計算すれば、超低周波音は発生しないと言う結論になってしまいます。

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

物理的、工学的に考えれば欠陥商品そのものであり、産業廃棄物なのです。日本を粗大ごみで埋め尽くす方針にしか見えません。

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仕組みについて後ほど説明するが、地域社会を破壊する、水平軸型の風車を建てようとすることは、日本にとっての自殺行為に他ならない。

風力発電に関する住民説明会に関しては、

説明会及び事前周知措置実施ガイドライン

2024年2月策定

2025年4月改訂

資源エネルギー庁

“第4節 説明項目及び説明事項

総則

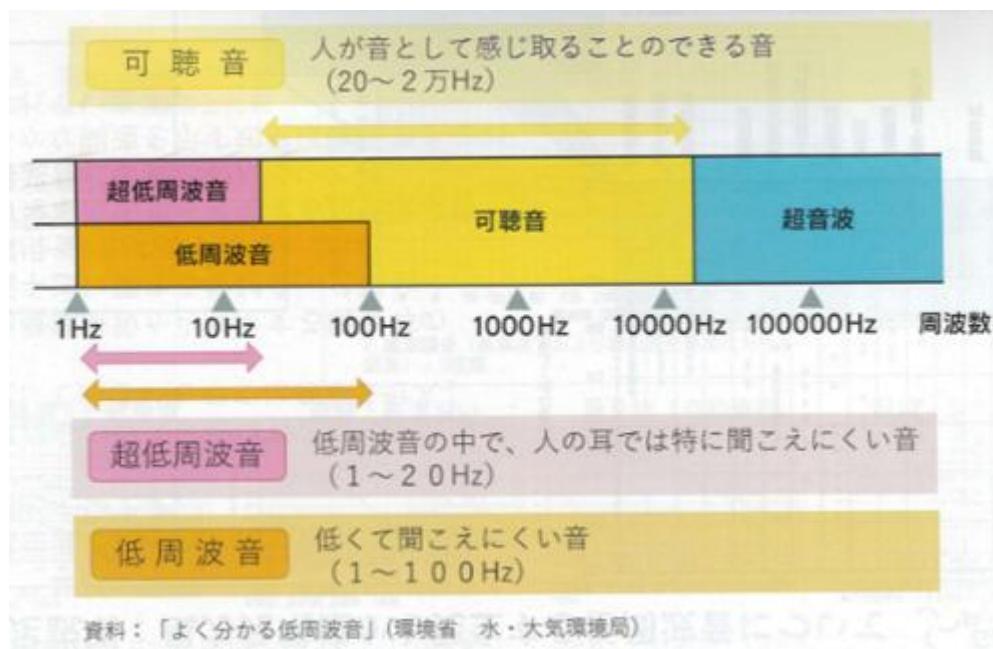
再エネ発電事業計画の概要等（後記2.）及び事業の影響と予防措置（後記3.）の説明項目について、それぞれ定める説明事項に係る説明をすること。

説明に当たっては、資料を配布し、当該資料に基づいて説明すること。配布資料においては、全ての説明項目について概要を記載すること。また、分かりやすく説明するため、必要に応じて、説明を補足する図面やイメージ写真（電気設備、原動力設備、排水対策施設、柵塀、標識等を設置する場所が具体的に分かるもの等）などを活用すること。

説明会において説明した内容が、説明会後、実際に行われた再エネ発電事業と異なる場合は、虚偽の説明を行ったものとして、認定を行わず、又は認定を取り消すなどの厳格な対応を行う。“となっている。

問題点：時代遅れの資料で、大型風車から出る0.5Hzの超低周波音を隠蔽しようとした。

説明会の内容には、大きな誤りがあることを示します。その誤りは、建設後の計測で判明する。すなわち、虚偽の説明であったことが判明する。



説明会の資料では、超低周波音は1Hz～20Hz、低周波音は1Hz～100Hzになっている。この資料だけを見れば、0.5Hz～0.8Hzの音は出ないように見える。これは事実に反する事柄を主張している事になる。

誤解を生むための資料を配布することは、住民に対する虚偽説明にあたる。

風車からの超低周波音の周波数は、昔の環境省が言っていた方法で、ある程度計算できる。

“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。

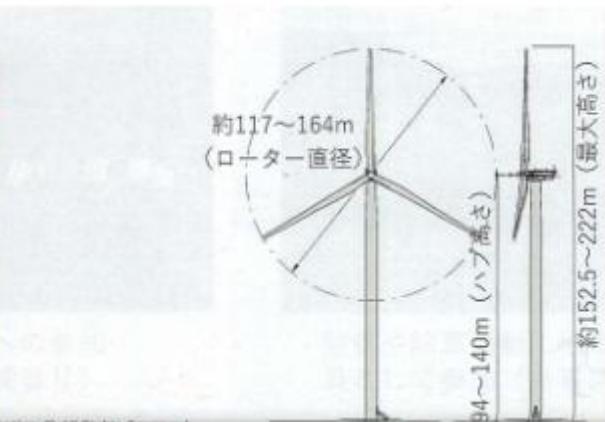
大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は 1~3 枚 (3 枚が主)、回転数は 30~60 (rpm) 程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。“

この説明での回転数を見ると小型の風車に関する記述だと分かる。

建設予定の風車は 4200 kW 級の風車であり、翼の先端部分のスピードは空気の粘性や音速との関係であり大きくは出来ない、よって 1 分間の回転数はより小さくなる。

災害時の活用可能性：未定

項目	諸元
定格出力	4,200kW級～6,100kW級
最大高さ (地上から羽根までの高さ)	約152.5～222m
ローター直径 (羽根の回転直径)	約117～164m
ハブ高さ (地上から風車の中心の高さ)	約94～140m



ハブの高さが 65m 程度の風車では、基本周波数が 0.8~1Hz 程度である。計画中の風車はハブの高さが 94~100m、ブレードの長さが 58.5~132m なので、回転数が下がり、基本周波数 $f = RZ/60$ は、0.5Hz~0.7Hz 程度になる。この部分の音圧が極めて高いことが分っています。風車音のエネルギーは基本周波数の近くに 60% 程度が集中しています。

大型風車 株式会社エヌ・イー・アイ・シー・ジャパン によれば、実際の風車の回転数は、最近の大型風車では

ローター直径(m)	80 / 90
風車高(m)	80
ローター回転数(rpm)	10.4~18.1

となっている。大型風車は、 $10.4*3/60=0.52\text{Hz}$ から $18.1*3/60=0.905\text{Hz}$ となり、1Hz よりは低くなる。

別の大型風車では、

表 2.2-10 風力発電機の概要

項目	諸元
定格出力 (定格運転時の出力)	4,200kW
設置基数	最大 13 基
ブレード枚数	3 枚
ローター直径 (ブレードの回転直径)	約 136m
ハブ高さ (ブレードの中心の高さ)	約 104m
風力発電機の高さ	約 172m
カットイン風速	3m/s
定格稼働となる風速	11m/s
カットアウト風速	32m/s
定格稼働時の回転数	10.8rpm
耐用年数	20 年

定格出力 : 42000 kW、定格稼働時の回転数 : 10.8rpm

となっていて、周波数を求める $10.8 \times 3 / 60 = 0.54 \text{Hz}$ となる。

大型化すれば、より低い周波数の超低周波音が高い音圧で放出されるにも関わらず、1Hz 以下の周波数成分を隠しているのは、隠蔽としか言えません。大型風車を建てるにも関わらず、昔の小型風車での資料を引用することは、住民を騙す行為なのです。

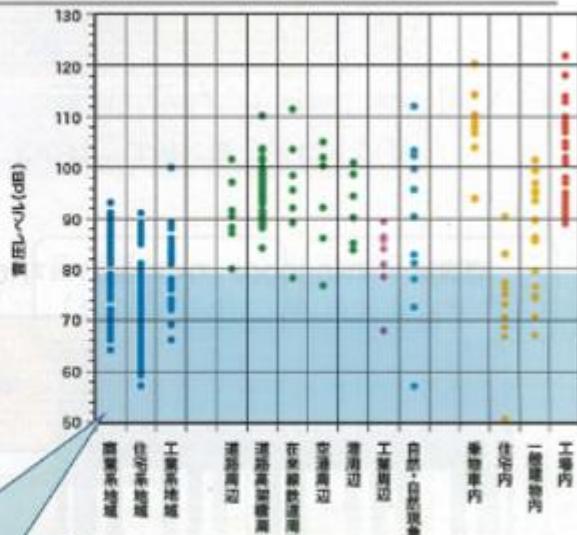
音圧が高く、周波数が 0.5Hz 程度の音は、物理的に考えて、循環器系の障害と頭痛を引き起こすのです。1Hz 以上の話題に限定すること自体が、超低周波音発生装置を作るにも拘らず、風車被害の原因を隠蔽することであり、設置者の責任を放棄した無責任体質を意味していると考えます。

問題点：音圧と周波数の関係を隠すことで、健康被害と超低周波音の因果関係を隠蔽しようとした。

補足説明：風力発電機から発生する低周波音について



- 日常生活の環境の中には低周波音が存在しています。
- 風車からの低周波音は身近な低周波音と比較して大きいものではありません。
- 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・分科会（環境省 平成28年11月）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ませんとされています。



風車から発生する
低周波音レベル

注) 離軸の音圧レベルは人の感覚補正をしていない音圧レベル

身の回りのいろいろな場所における低周波音の大きさの例

資料：「よく分かる低周波音」（環境省 水・大気環境局）

この図の元になっているのは、

低周波音の測定方法に関するマニュアル

にある図です。

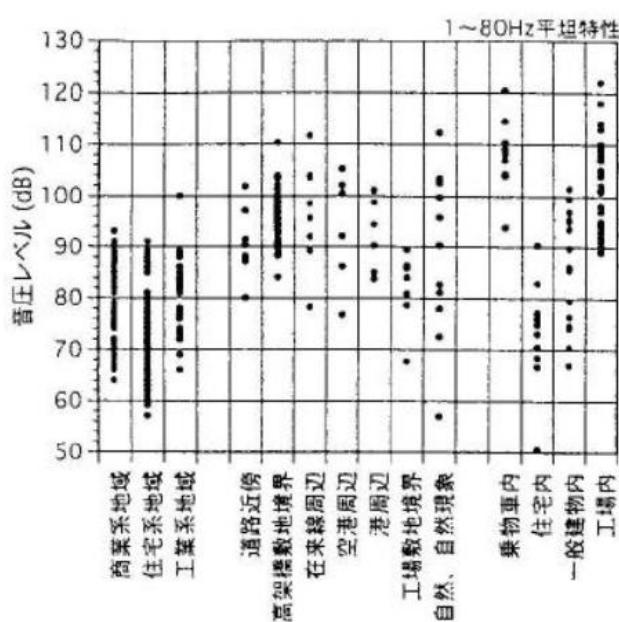


図-e.1 発生源周辺を含めた一般住宅空間における
1-80Hz 平坦特性の音圧分布（分析区間の最大値）
1-80Hz 平坦特性の音圧分布（分析区間の最大値）

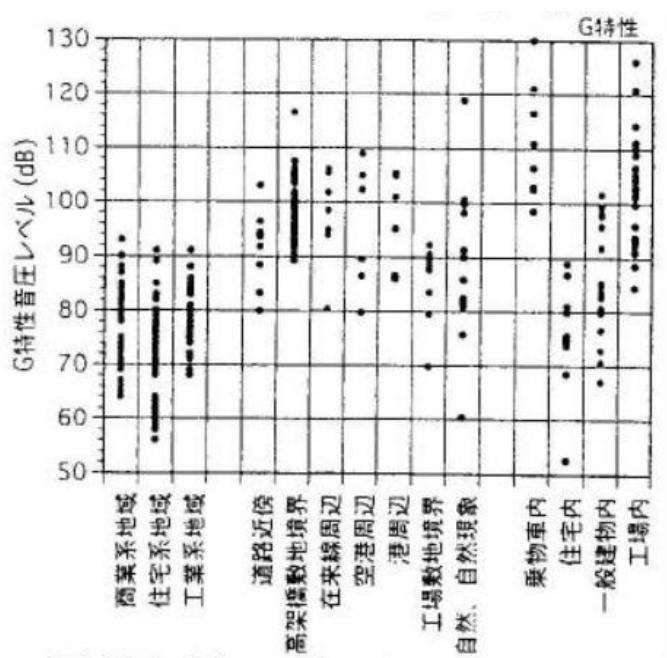


図-e.2 発生源周辺を含めた一般住宅空間における
G 特性音圧レベル分布（分析区間の最大値）

左側のグラフの作り方は、1-80Hz での平坦特性の音圧分布を、1/3 オクターブ解析を基にして作ります。右は 1-80Hz での G 特性での音圧分布を、1/3 オクターブ解析を基にして作ります。

神社での、平坦特性での最大値は 60.92 dB (2 Hz)、G 特性での最大値は、55.42 dB (16Hz)。

No-W	59.27	58.97	60.82	60.92	57.58	56.47	57.98	53.35	52.15	54.43	53.22	50.67	47.72	45.22	45.05	48.57	47.63	41.64	41.55	45.86	max	60.92
Hz	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	16.27	21.47	28.22	32.62	33.48	36.47	41.98	41.35	44.15	50.43	53.22	54.67	55.42	54.22	48.75	44.57	35.63	21.64	13.55	9.86	max	55.42
Hz	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		

左のグラフで 60.92 dB の所に点を打ちます。右のグラフでは 55.42 dB の所に点を打ちます。

風車では、平坦特性での最大値は 88.34 dB (1Hz)、G 特性では 77.75 dB (10Hz)。

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
Hz	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
Hz	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		

左のグラフで 88.34 dB の所に点を打ちます。右のグラフでは 77.75 dB の所に点を打ちます。

JFE の工場では、平坦特性では 74.11 dB (80Hz)、G 特性では 77.66 dB (12.5Hz)

No-W	32.68	34.65	34.56	44.81	48.62	51.44	53.24	54.06	59.37	56.97	60.42	73.66	60.6	58.07	63.2	66.76	69.26	70.66	72.43	74.11	max	74.11
Hz	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	-10.3	-2.85	1.964	16.51	24.52	31.44	37.24	42.06	51.37	52.97	60.42	77.66	68.3	67.07	66.9	62.76	57.26	50.66	44.43	38.11	max	77.66
Hz	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		

左のグラフで 74.11 dB の所に点を打ちます。右のグラフでは 77.66 dB の所に点を打ちます。

リオン社前の道路では、平坦特性では 48.58 dB (10Hz)、G 特性では 49.54 dB (20Hz)

No-W	10.27	14.98	18.93	23.52	28.25	31.26	32.24	37.39	41.56	45.56	48.58	44.3	40.24	40.54	44.82	44.34	34.82	34.89	38.84	31.64	max	48.58
Hz	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	-32.7	-22.5	-13.7	-4.78	4.148	11.26	16.24	25.39	33.56	41.56	48.58	48.3	47.94	49.54	48.52	40.34	22.82	14.89	10.84	-4.36	max	49.54
Hz	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		

左のグラフで 48.58 dB の所に点を打ちます。右のグラフでは 49.54 dB の所に点を打ちます。

よく見ると、(分析区間の最大値) が削除されています。この区間は 1Hz~80Hz ですから、超低周波音の範囲、0Hz~20Hz とは異なるのです。

平坦特性での 1/3 オクターブ解析では、館山での風車音の場合は中心周波数が 1Hz の時に最大音圧 88.34 dB になりますが、JFE の工場の音は、80Hz で 74.11 dB になります。

88.34 が 74.11 よりも大きな事は問題になりますが、それよりも重要なのは周波数です。1Hz と 80Hz では、たとえ同じ音圧だったとしても、人体を圧縮膨張させる力は大違いなのです。

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

気圧変動の振幅が 1 パスカルのときは、

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。

大型風車での基本周波数が低いので、人体に対する圧縮膨張の力は大きいと言うことになります。

これが健康被害を引き起こす仕組みは後ほど述べます。

都合が悪いからと言って、1Hz 未満を隠蔽してはいけないのです。

風車では、平坦特性での最大値は 88.34 dB (1Hz)、G 特性では 77.75 dB (10Hz)。

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
Hz	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
Hz	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		

JFE の工場では、平坦特性では 74.11 dB (80Hz)、G 特性では 77.66 dB (12.5Hz)

No-W	32.68	34.65	34.56	44.81	48.62	51.44	53.24	54.06	59.37	56.97	60.42	73.66	60.6	58.07	63.2	66.76	69.26	70.66	72.43	74.11	max	74.11
Hz	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	-10.3	-2.85	1.964	16.51	24.52	31.44	37.24	42.06	51.37	52.97	60.42	77.66	68.3	67.07	66.9	62.76	57.26	50.66	44.43	38.11	max	77.66
Hz	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		

平坦特性での最大値は、

風車は、1Hz で 88.34 dB、JFE は 12Hz で 77.66 dB です。

この意味は、1/3 オクターブ解析での、各帯域でのエネルギーを全て集めた数値ですから、

風車：帯域幅*エネルギー密度 = 88.34

JFE：帯域幅*エネルギー密度 = 77.66

中心周波数 1 Hz での帯域幅は、0.226

中心周波数 12Hz での帯域幅は、2.873

です。

風車：0.226*エネルギー密度 = 88.34

JFE：2.873*エネルギー密度 = 77.66

となり、

エネルギー密度は

風車：エネルギー密度 = 88.34/0.226 = 391

JFE：エネルギー密度 = 77.66/2.873 = 27

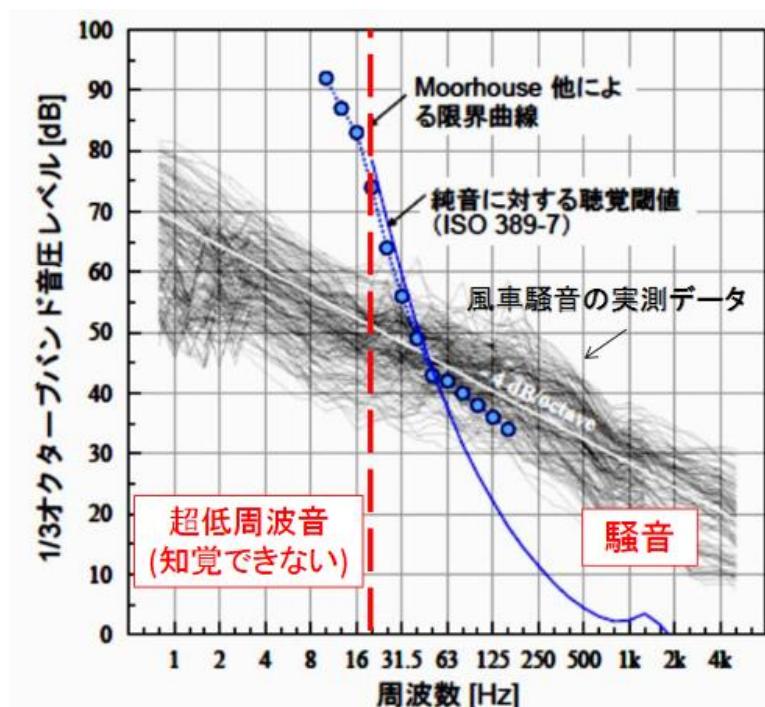
となります。

この数値 391 と 27 は、音が人間の体内の圧力を強制的に変化させ、人体を強制的に圧縮膨張させる観点から見ると重要な数値になります。

風車音は人間の体を強制的に圧縮膨張させる力が強い(391)が、JFE の工場での音は、人間の体内の圧力を変化

させる力は弱い(27)という事を意味する数値になります。

この数値は末梢血管内の血流に対する影響を示す数値になっています。当然、心臓に対する負荷を示す数値でもあります。



20Hz以下の超低周波音領域は、すべて知覚閾値を下回っている

**風車騒音は
超低周波音ではなく、
通常可聴周波数範囲の騒音の問題**

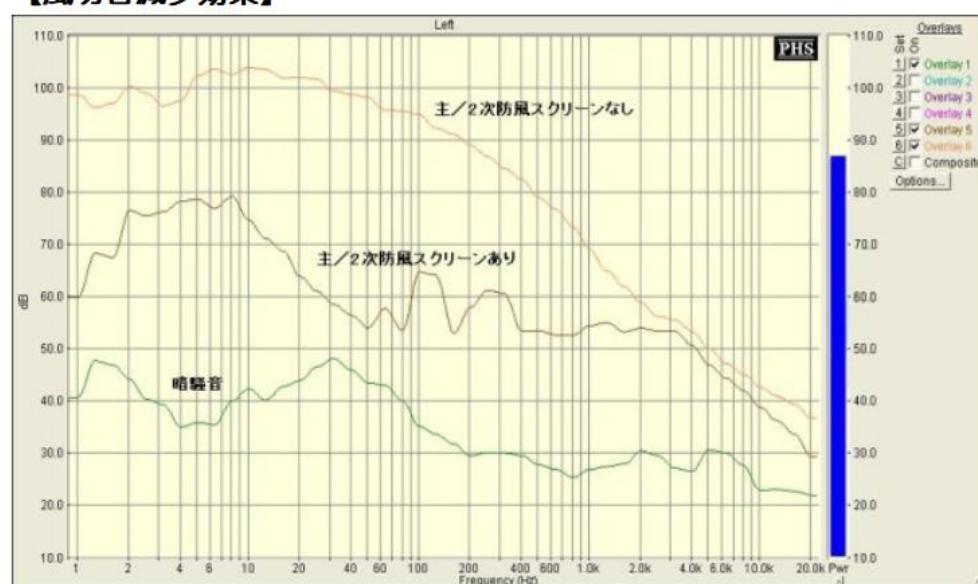
上のグラフを見れば、全ての風車から、1Hzでは、50~80dBの音が観測されていることが判明します。しかし、この数値には更なる疑問が発生します。 それは、二重防風スクリーンの性質です。

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)

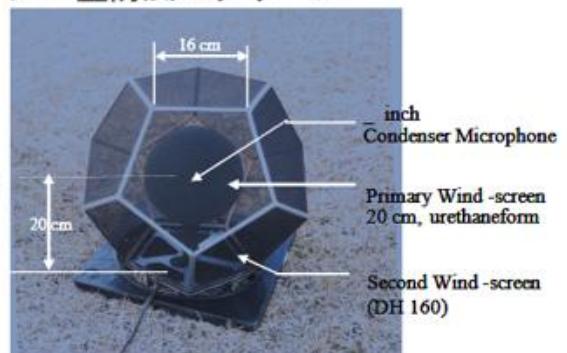
【風切音減少効果】



音の大きさに〇〇デシベルの差があるとは?	大きさは何倍なのか
60デシベルの差とは→	百万倍の差
50デシベルの差とは→	10万倍の差
40デシベルの差とは→	1万倍の差
30デシベルの差とは→	1千倍の差
20デシベルの差とは→	100倍の差
10デシベルの差とは→	10倍の差
$dB\text{の差} = 10 \log(1/A)$	



◆ 二重防風スクリーン



超低周波音の 1Hz で 38 d B、5Hz で 20 d B 程度の減衰がある。これは超低周波音を 1/100~1/6300 程度の大きさのものとして評価するという事です。

風車の近くにある家の中で測れば、二重防風スクリーンの必要なないので、1Hz に関しては、38 を加えて、88 d B~118 d B の音圧が計測されると考えられます。

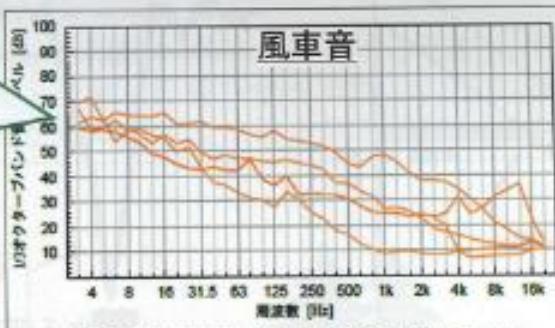
問題点：低周波音を1~100Hzと定義しながら、4Hzからのグラフで問題点（0Hz~4Hz）を隠蔽している。

次の記述は、環境省の資料での“低周波音”が20Hz~100Hzであることが理解できていないことを意味しています。

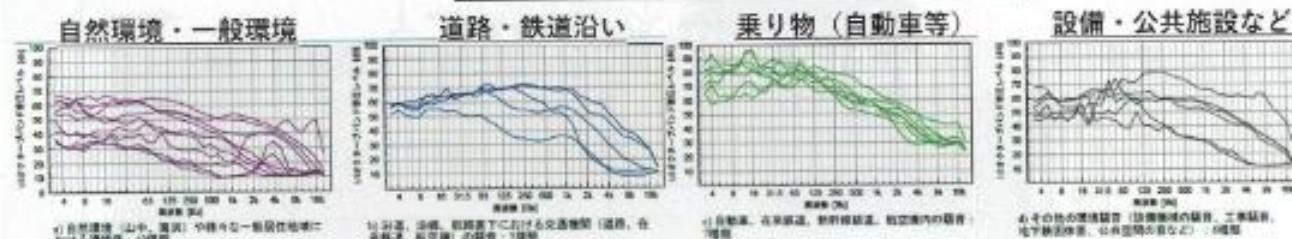
補足説明：風力発電機から発生する低周波音について



自然環境、道路、鉄道、飛行機、自動車等の他の環境騒音と比較しても、
風車音だけに低周波音が含まれるわけではなく、身の回りのどこにでも存在しています。



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



「風力発電施設から発生する騒音等への対応について（概要資料）」（環境省、平成28年）より作成

Green Power Investment Corporation © All Rights Reserved.

45

説明会の資料では、超低周波音は1Hz~20Hz、低周波音は1Hz~100Hzになっている。

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。

“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15Pの記述、

“2) 発生する音の特徴・性質

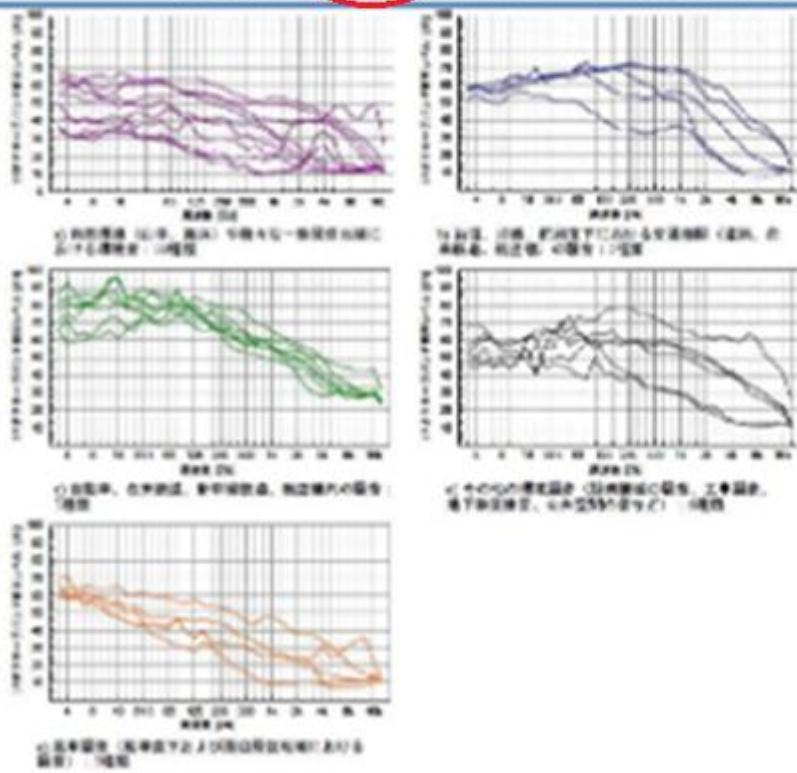
風力発電施設は、他の施設から発生する騒音と比較して、より低い周波数の騒音が発生していると一般に思われている。しかし、2-1. で示したとおり、20Hz以下の音（超低周波音）に関しては、音圧レベルが聴覚閾値を超えるものは確認されていない。また、風車騒音と他の様々な騒音（表2）の1/3オクターブバンド音圧レベルを比較した結果は図8に示すとおりであり、他の様々な騒音の実測値と比較しても、風車騒音で特に低い周波数成分の騒音の卓越が見られるわけではない。

“低い周波数成分の騒音”では、騒音とあるので20Hz以上、低い周波数とあるので、100Hz以下となります。従って、20Hz～100Hzの音を意味することになるのです。

環境省が、“低周波音”と言う用語を使う場合には、20Hz～100Hzの帯域の音を指すのです。超低周波音を低周波音に含めないようにしているのです。

環境省の資料にもよく似たものがある。

これまでに得られた知見② 1 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

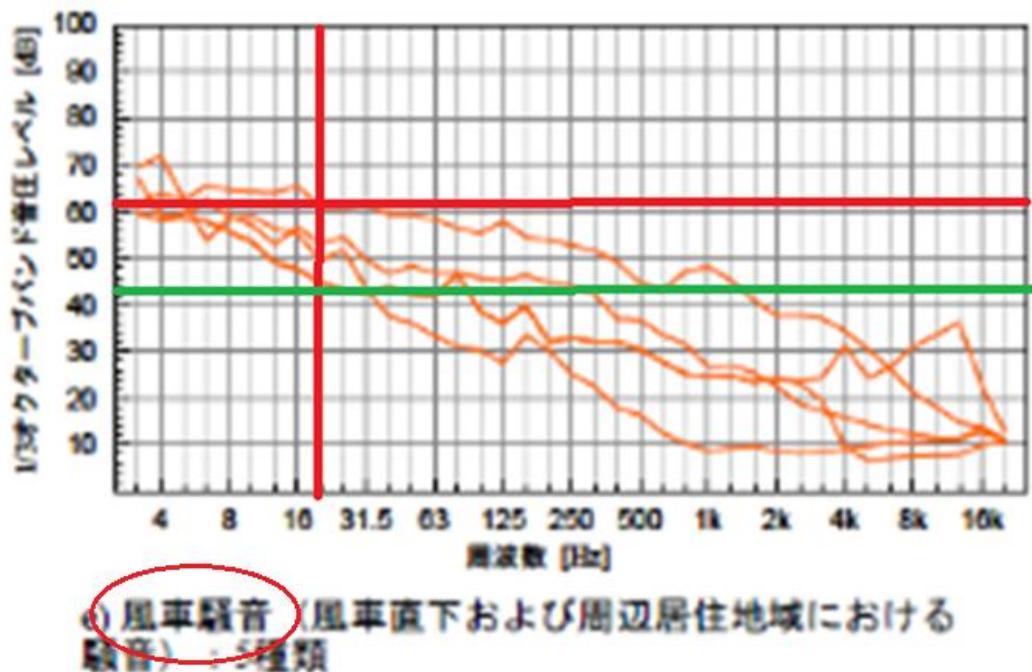
他の環境騒音と
比較して、低周
波数領域の卓越
はみられない

環境省の資料では、“風車騒音”となっています。

これを、“風車音”と書くと、健康被害の原因である、超低周波音を隠蔽しているグラフだと追及されるからです。

“風車騒音”は20Hz以上の成分を指すので、4Hz以上の部分が書いてあるグラフなので、風車騒音に關

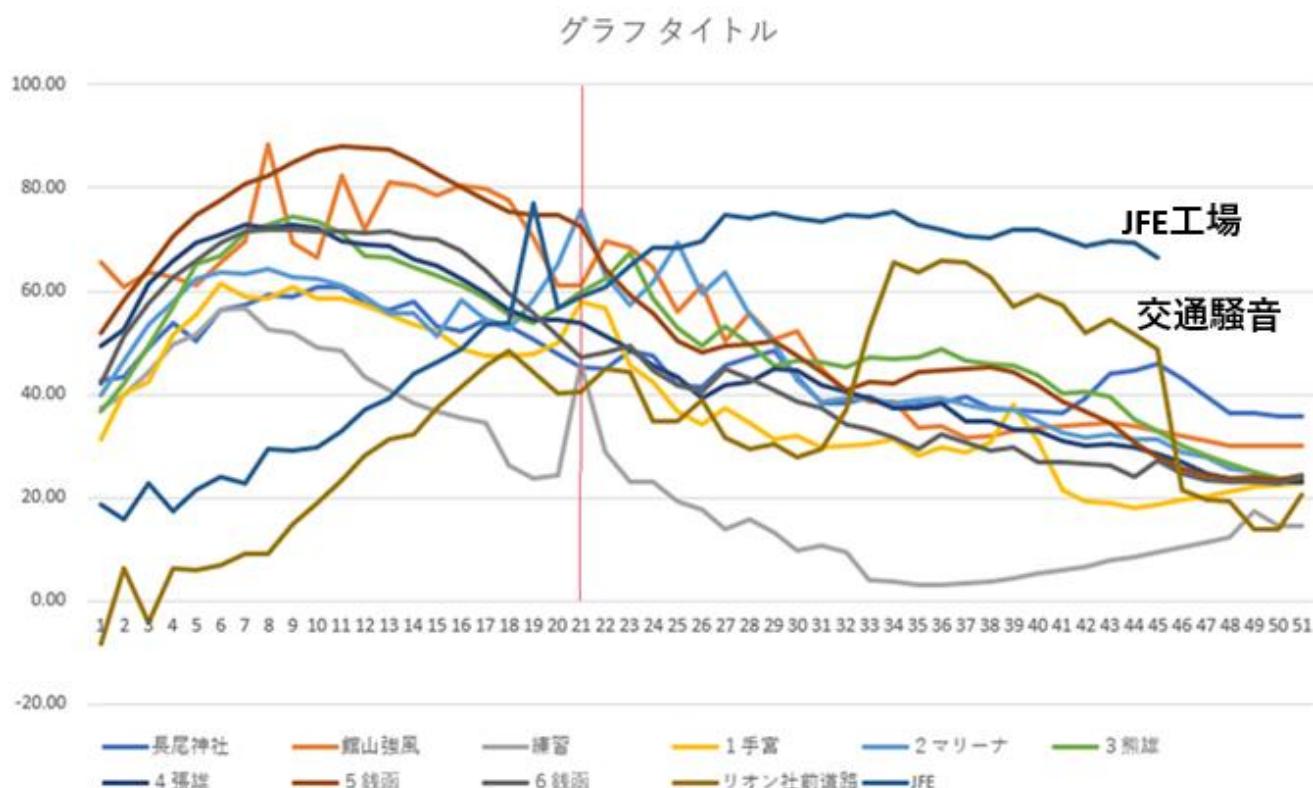
するグラフだと言い張れるのです。



環境省の資料では、“風車騒音”、“他の環境騒音”となっていて、“風車音”とは書いていないのです。“騒音”とすることで、周波数範囲を20Hz以上に限定しているのです。

低周波音を20~100Hzとした場合と、1~100Hzとした場合で何が違ってくるのかを確認します。ISO7196では、G特性での重みが、0.25Hz~315Hzまで定義されています。それを使って、石狩湾での音と、JFEの工場音、リオン社前の道路の音、千葉県館山市の風車音を比較すれば、

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

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

赤い線が20Hzですから、低周波音が20～100Hzになっていれば、赤い線の右側で比較することになります。赤い線の右側では、風車音が交通騒音やJFE工場の音に対して卓越しているとは言えません。

では、低周波音が1～100Hzの場合はどうでしょうか。赤い線の左側では、1Hzの近くでは風車からの超低周波音が、交通騒音やJFE工場の音に対して卓越しているのです。

音のエネルギーの側面から検討してみれば、

音圧

音は空气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。1m²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/m²)

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

ここで、p（Pa）は音圧、ρは空気の密度（kg/m³）、cは音の速度（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出来ます。

周波数帯ごとのエネルギーを比べれば、次の表になります。

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

交通騒音では、1.76*10⁻⁷、風車音では8.19*10⁻⁴～1.49*10⁻³であり、風車音は交通騒音に比べて、100倍～10000倍のエネルギーを持っているのです。

風の音（木の葉のこする音や電線のなる音）と風車音の比較

風車が無い場所で、マイクに風を当てて計測すれば、音圧が低くて、周波数に規則性が無い、超低周波音が計測されます。風車が有る場所では、音圧が高くて、規則的な周波数を持っている超低周波音が計測され

ます。

左が風車の近くの音、右は風車がない場所でマイクに風を当てて収録した音の超低周波音の部分です。

図5. 風車音（館山風の丘）0～25Hz

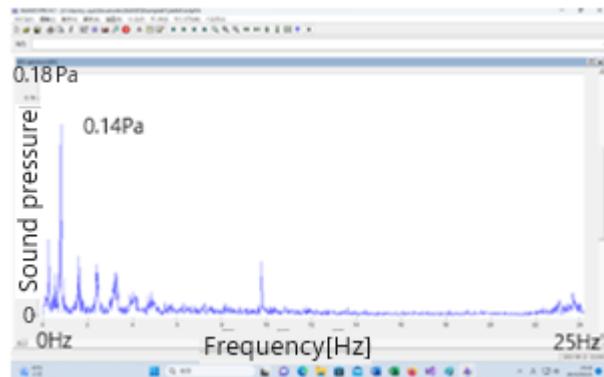
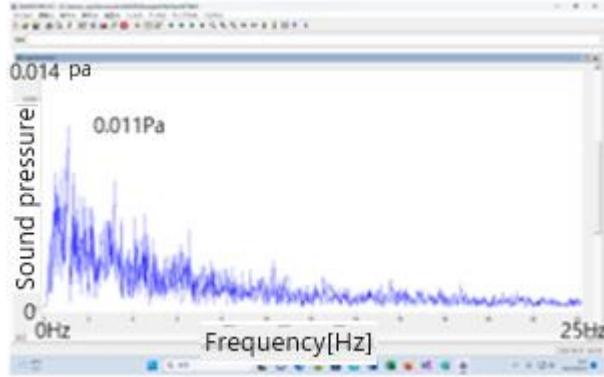


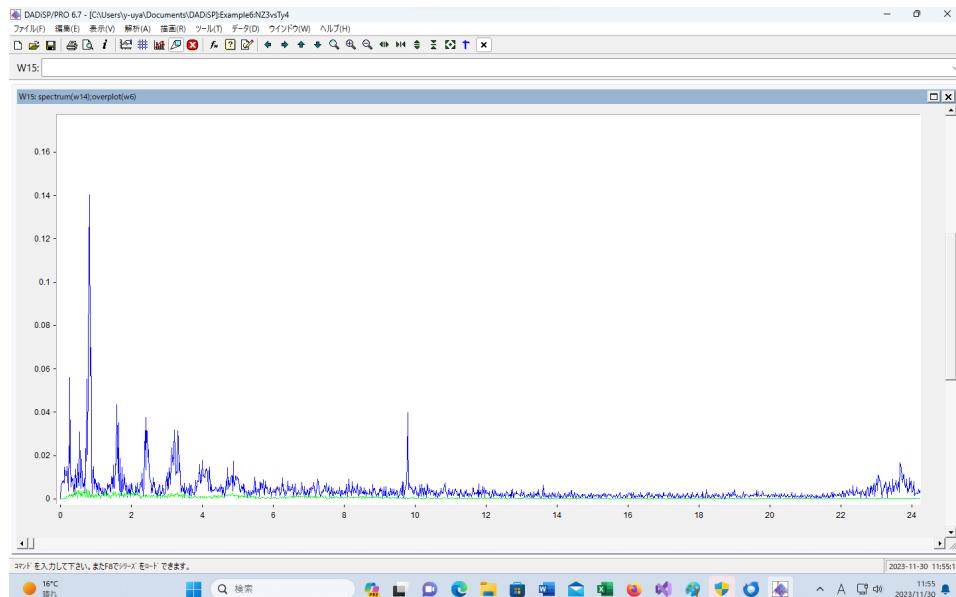
図6. 長尾神社の音 0～25Hz



風車の近くでは 0.14Pa、風車が無い場所では 0.01Pa の音圧を持っている超低周波音が存在します。だから、風車の近くでは音圧が 10 倍です。音圧は、風速で変化します。風車の近くで 0.37Pa、風車が無い所で 0.003Pa の時もあります。これだと音圧は 100 倍です。

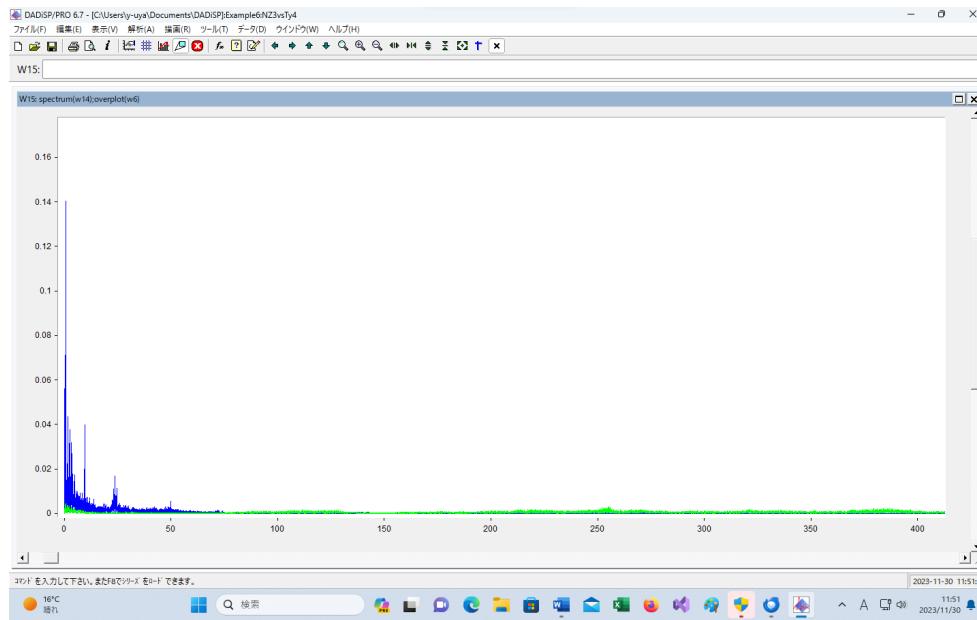
次のグラフは、青い線が風車の近くの超低周波音、緑の線が風車が無い場所での超低周波音です。

0～24Hzまでの拡大図、風車音（青）と神社の音（緑）の周波数スペクトル



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がありません。

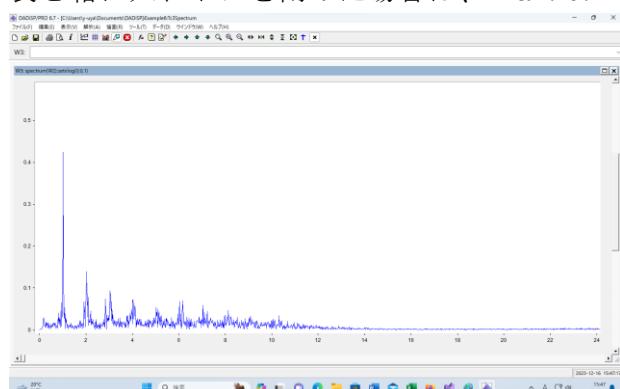
風車の近くでは、マイクに風が当たらなくても超低周波音が計測される。

風車の近くでの計測で、

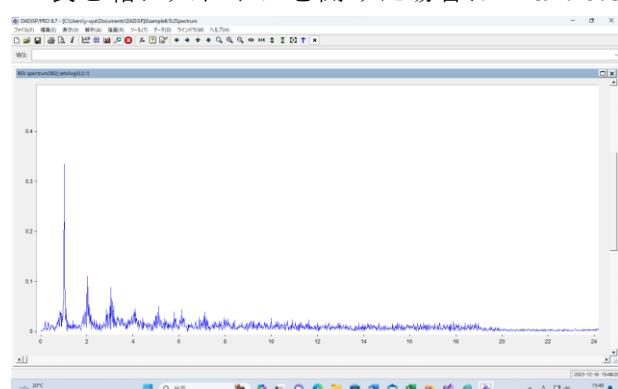
騒音計をビニール袋に入れて、それを段ボール箱に入れて、ビニールをかぶせて、



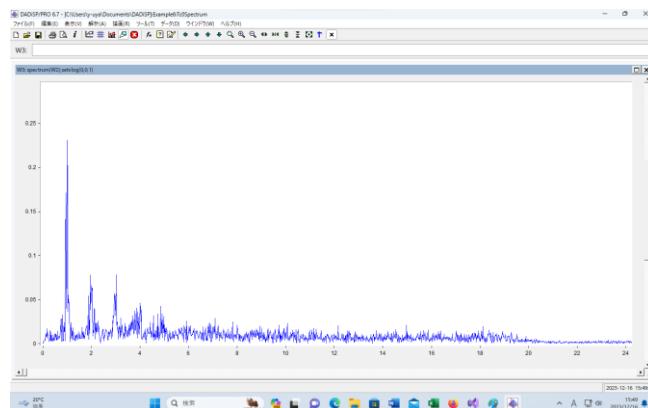
袋と箱に入れドアを閉めた場合は、Max. 0.42Pa



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ていた結果は 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。

環境省は、

“(注) 二重ウインドスクリーン等を使用しても風雑音を十分に除外できない場合には除外音処理を行い、風雑音の影響範囲を除外する等の対応が必要である。”

と言っているが、

これは“風雑音”ではありません。風車が近くにあれば、精密騒音計に風が当たらないようにして計測しても、離散的で規則的な音圧を持っている超低周波音が計測されます。

風車音に関しては、次の様に理解する必要があります。

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音と比較して、より低い周波数の音が発生している。

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が、風車音の影響は、聴覚でのうるささ、圧迫感、頭痛、振動など、として感知される。これらの刺激は睡眠妨害を引き起こす。

人間の体内の圧力変動と言う観点からは、0.5~1Hz の音は、音圧と同程度の大きさの体内の圧力変動を引き起こす。これは人体に対して、強制的に圧縮膨張の繰り返しを起こし、その結果としての物理的な反応が起きる。結果として循環器系の障害と頭痛が起きる。これは、単なる感覚器官による感知ではない。

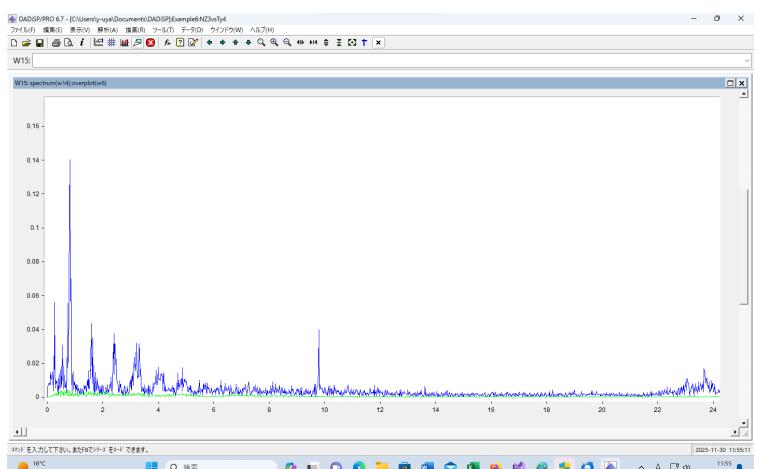
知性のある人間は、感知された刺激の原因が風車だと認識できる。ガタツキ閾値の数値を見れば、聴覚閾値（100 dB 程度）よりも低い値（65 dB 程度）でも、風車音の影響が建具や床の振動として知覚されることが分る。

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の図 8 では、中心周波数の範囲が狭くて風車音の影響を評価できない。少なくとも ISO7196 にある様に中心周波数を 0.25Hz から 315Hz にした比較が必要である。

騒音と言う言葉で、20Hz 以上に限定して議論すれば、「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。」と言えるが、超低周波音の領域まで含めて議論すれば、風車音は超低周波音の領域で卓越した音圧を持っていて、周波数 $f=RZ/60[\text{Hz}]$ で最大音圧となる。

音のエネルギーの観点で言えば、風車音では 0~20Hz の範囲に 93% 以上が集中していて、20Hz 以上の範囲には 7% 以下のエネルギーが分布している。交通騒音では 0~20Hz の範囲に 1% 以下、20Hz 以上の範囲に 99% 以上のエネルギーが分布していることが知られている。

なお、低周波音はどこにでも存在するが、次のグラフのように、離散的で $f = RZ/60\text{Hz}$ での音圧が極めて高くなる超低周波音は、水平軸型の風車からしか発生しません。この周波数特性は風車音が発生する仕組みや健康被害の発生する仕組みと深い関係があるのです。

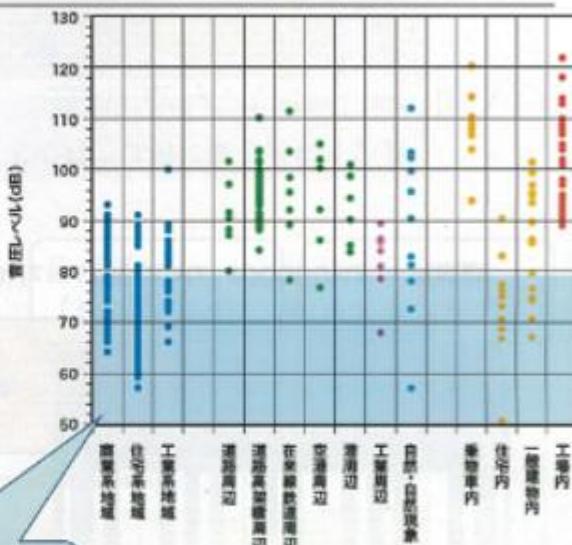


これまでの確認を踏まえて、資料を再度検討すれば、

補足説明：風力発電機から発生する低周波音について

- ・日常生活の環境の中には低周波音が存在しています。
- ・風車からの低周波音は身近な低周波音と比較して大きいものではありません。
- ・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・分科会（環境省 平成28年11月）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いとされています。

風車から発生する
低周波音レベル



注) 離輪の音圧レベルは人の感覚補正をしていない音圧レベル

身の回りのいろいろな場所における低周波音の大きさの例

資料：「よく分かる低周波音」（環境省 水・大気環境局）

“日常生活の環境の中には低周波音が存在しています。”

これは正しい。

“風車からの低周波音は身近な低周波音と比較して大きいものではありません。”

これは、低周波音を 1Hz～100Hz にしたことで完全な嘘と言いうことになります。

低周波音が 20Hz～100Hz ならば正しい。

超低周波音 0Hz～20Hz に於いて、風車音の音圧が極めて高くなるので、交通騒音や工場での音に比べると卓越した音圧を持っているのです。しかも、離散的で $f = RZ/60H\ z$ の音の音圧が極めて高いので、健康被害が発生するのです。

“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・分科会（環境省平成 28 年 11 月）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いとされています”

これは、古すぎる考えです。平成 28 年は、2016 年です。今は 2025 年です。9 年経てば明らかな関連を示す知見も発表されるのです。

環境省の役人様は、聴覚閾値と参照値の事で電話して、 $76 < 78.1$ だから、環境省のHPが間違っているので修正して下さいとお願いしたら、“書いてある通りです。”と言いました。

環境省の職員は、 $76 > 78.1$ だと主張します。小学 3 年生の知識が無いのです。

また、日本語に関しては、聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値を区別できない。

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。

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できます。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じるのは、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。

英語の翻訳では“Moorhouse 他による限界曲線”と訳します。

元の論文には、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。

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）

なので、基準曲線または参照曲線と訳すべきです。“限界曲線”とすれば全く違う意味になってしまいます。

環境省の職員は、算数も、国語も、英語も分からぬのですから、目の前に、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があるにも関わらず、その内容が理解できない為に、大切な知見を確認できなかつたのです。

ですから、

環境省の主張を根拠に

“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とされています”と言ってはいけないのです。

知見が確認できないという事と、知見が存在しないという事は、全く別の事です。

知見はあるのです。その内容が正しいか否かを判断する能力が無いことが問題なのです。環境省の職員の学力では理解できなかつただけなのです。

理解するには、マクローリン展開程度の数学の知識、偏微分方程式と音響キャビテーションの知識、デジタル信号処理の知識、物理学の知識が必要です。

水平軸型の風車を建てれば、被害者に対する責任が発生します。環境省が裁判で訴えられることはあまり無いでしょうが、民間企業は違います。責任を自覚した慎重な判断が必要になるのです。

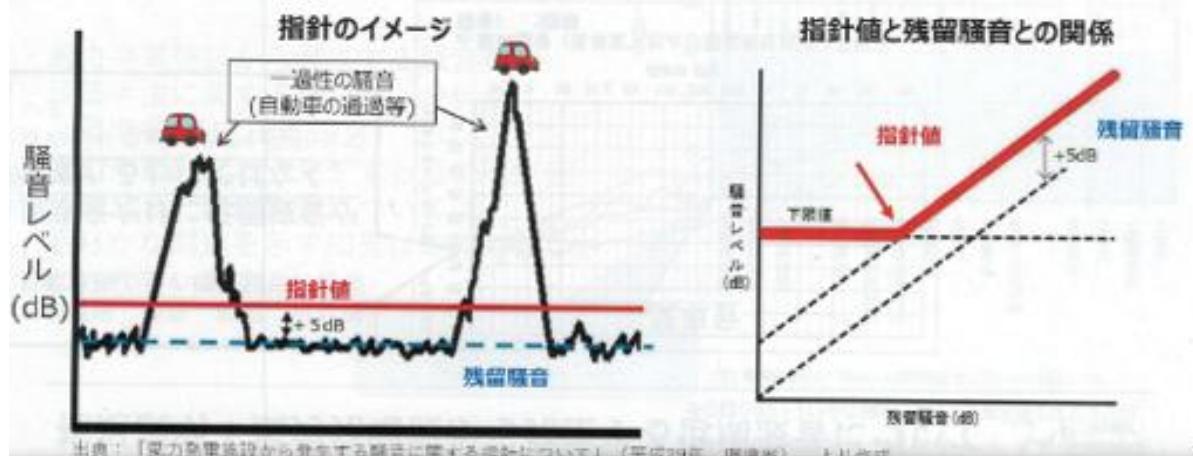
問題点：“風車騒音の指針値”を“風車音の指針値（環境省）”として超低周波音まで含めて評価しているかのように見せかけた。

指針値ですが、ここでも間違った理解をしています。

補足説明：風車音の指針値（環境省）について



- 過去、環境省は数年をかけて、独自に様々な調査や有識者会議を重ね、平成29年に風車音に関する指針値を発表
- この指針は、従来の環境基準のような全国一律の数値ではなく、各地域の残留騒音（現況）からの増加分を抑えることを意図しています



“風車音の指針値（環境省）”と書いてあります。

上のグラフの左側に、“騒音レベル”と書いてあるのが見えないのか、それとも“騒音レベル”的意味が分からぬのか、それとも、“風車音の全体を評価した上での数値である”かの様に住民を騙そうとしているのかは分かりません。

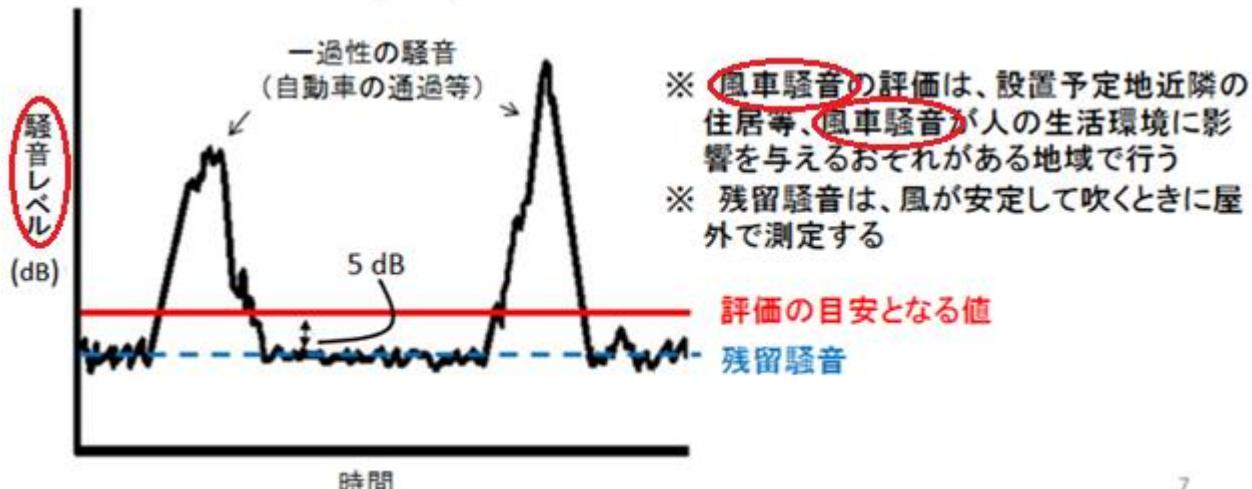
“風力発電施設から発生する騒音に関する指針について”であって、“風力発電施設から発生する風車音に関する指針について”ではないのです。

この程度の理解力で、風車を建てようとする勇気にはビックリします。環境省の資料に間違いが多いからと言って、全く理解しないで、住民向けの資料を作って、配布してはいけません。

“風車音の指針値（環境省）”とありますが、環境省は、

風力発電施設騒音の評価の考え方①

- 風力発電施設の設置又は発電設備の新設を伴う変更が行われる場合が対象
- 屋内の生活環境保全を考慮し、屋外で昼夜毎に評価
- 「残留騒音」(一過性の特定できる騒音を除いた騒音)からの増加量が5dBに収まるように設定する

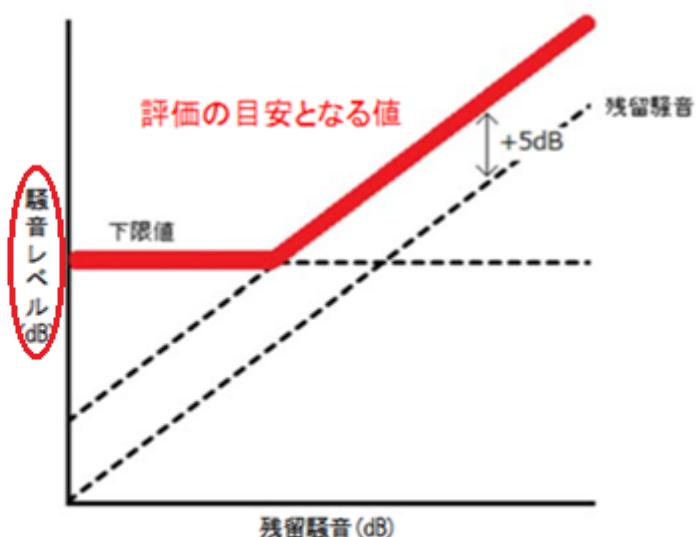


7

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。



環境省の資料では“風車音”と言う言葉ではなく、“風車騒音”と言う言葉を使います。

評価するのは、風車音ではなく、風車騒音です。風車音には、超低周波音（0～20Hz）と風車騒音（20Hz以上）が含まれますが、20Hz以上の成分だけを対象とした計算で指針値を決めるのです。

風車騒音は、A特性音圧レベルの数値として評価されます。従って、20Hz以下（場合によっては16Hz以下）を無視して計算されます。

指針値は、“風車音”に対して決められるのではなく、20Hz以上の成分である“風車騒音”に対して決められるのです。風車音のエネルギーの93%を無視して計算された数値を扱うのが指針値なのです。

その根拠の1つは、次のものです。

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”

“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。”

とあり、

“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。”とも書かれている。

ラウドネス（うるささ）の評価には、A特性音圧レベル（騒音レベル）が適していることはおおむね正しい。

しかし、アノイアンスとの関連を忘れてはいけないのです。風車音の特徴はアノイアンス（不快感）にあるのです。

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

ラウドネス（うるささ）とアノイアンス（不快感）の関係は次の様になっています。

・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。

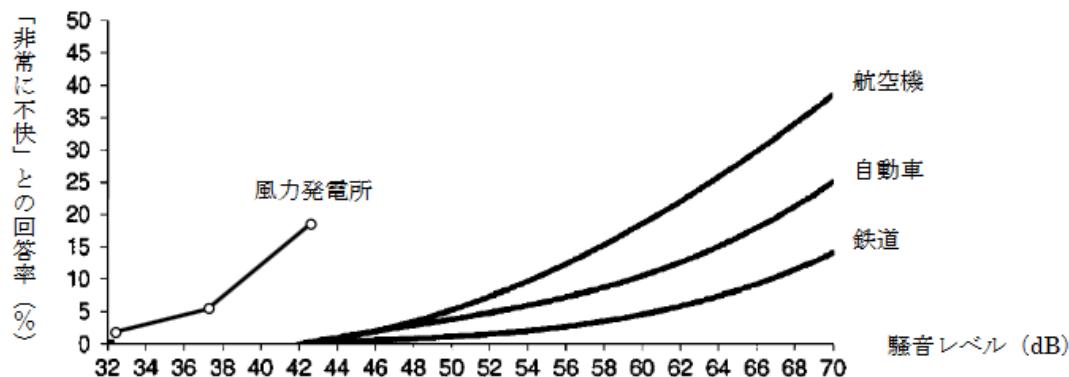


図8. 「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係

(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。

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（Ldn）で 60dB 程度、20% 程度は 53dB 程度、10% 程度は 43dB 程度となる。

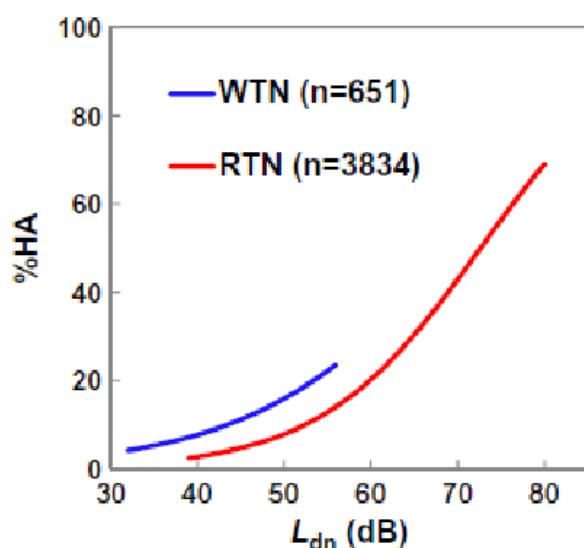


図 7 風車騒音（WTN）と道路交通騒音（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（Ldn）※ と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（% HA）

※ 風車騒音については、終日定常に運転されていると仮定し、LAeq に 6dB を加算して Ldn を推計している。

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

アノイアンス（不快感）へのラウドネス（うるささ）の寄与率は9%～13%なのです。
従って、睡眠妨害の程度を評価する指数“アノイアンス指数”が必要なのです。

さて、指針値は安全性の基準として適切なのでしょうか？

環境省のHPを探せば、次のものが見つかります。

- 騒音については、感じ方に個人差があること、地域によって風力発電施設の立地環境や生活様式、住居環境等が異なることから、指針値を超えない場合であっても、地域の音環境の保全に配慮し、可能な限り風車騒音の影響が少なくなるように、事業者は対策を講ずるよう努めることが必要

その理由が問題ですが、それは後回しにして、

- 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

この2つから、観測された騒音から、住宅へ到達している風車音の部分を切り離して、到達風車音が35dBを越えているか否かを判断基準にすれば、被害の程度を評価できます。

鹿島沖の洋上風力発電に関して、茨城県の情報公開で次の資料を得た。

風速帯 (m/s)	予測地点	時間 区分	残留 騒音 [a]	寄与騒音 レベル [b]	将来騒音 レベル [c:aとbの 合成]	指針値 [d]	評価 [c vs d]	増加分 [c-a]
7	KN-1	昼間	43	30	43	48	○	0
		夜間	45	30	45	50	○	0
	KN-2	昼間	41	31	41	46	○	0
		夜間	41	31	41	46	○	0
	KN-3	昼間	47	36	47	52	○	0
		夜間	46	36	46	51	○	0
14	KN-1	昼間	43	38	44	48	○	1
		夜間	45	38	46	50	○	1
	KN-2	昼間	41	39	43	46	○	2
		夜間	41	39	43	46	○	2
	KN-3	昼間	47	44	49	52	○	2
		夜間	46	44	48	51	○	2

従って、“風車騒音が35～40 dBを超過する”ので、指針値を目安にする限り、“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”のです。

- ・平成22年、環境省の調査
- ・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⁵。

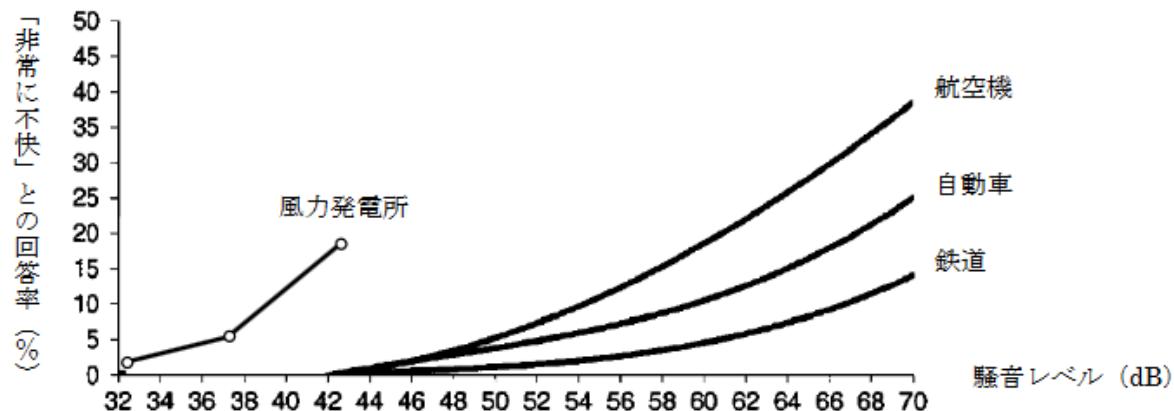


図8. 「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係
(脚注3及び5の文献より環境省作成)

グラフを参考にして、

到達風車音	50.0	49.7	49.3	48.0	47.7	46.7	45.5	43.8	43.7	43.3	42.0	40.8	36.7	36.1
非常に不快 (%)	40	39	37	35	32	30	25	22	22	20	16	14	5	5

と言う表を作りました。

風速帯 (m/s)	予測地点	時間 区分	残留 騒音 [a]	寄与騒音 レベル [b]	非常に 不快	将来騒音 レベル [c:aとbの 合成]	指針値 [d]	評価 [c vs d]	増加分 [c-a]
7	KN-1	昼間	43	30		43	48	○	0
		夜間	45	30		45	50	○	0
	KN-2	昼間	41	31		41	46	○	0
		夜間	41	31		41	46	○	0
	KN-3	昼間	47	36	5%	47	52	○	0
		夜間	46	36	5%	46	51	○	0
14	KN-1	昼間	43	38	7%	44	48	○	1
		夜間	45	38	7%	46	50	○	1
	KN-2	昼間	41	39	12%	43	46	○	2
		夜間	41	39	12%	43	46	○	2
	KN-3	昼間	47	44	22%	49	52	○	2
		夜間	46	44	22%	48	51	○	2

寄与騒音レベルで、35 dB～40 dB を越える数値が見られる。指針値以内に納まっているが、アノイアンス（不快感）での被害が出ると予測できる。指針値以内であっても、被害は出るのです。

兵庫県は、ここでの35dBを意識して、次のような方針を立てた。

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”的な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。

11

※ 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

【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					
	AA		A及びB		C	
	環境基準値 - 10dB					
	昼間	夜間	昼間	夜間	昼間	夜間
40dB	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、大気の汚染、水質の汚濁、土壌の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 大気の汚染、水質の汚濁、土壌の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、地盤の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)

風車騒音に対しての規制基準値を改正されるとのことで大変ありがたく喜んでおります。 一日も早く告示改正いただき施行されんことをお願い致します。	1件	【既に盛り込み済です】 新基準の適用については、告示改正後、一定の周知期間を設け、速やかに施行する予定です。
今回の厳しい騒音規制によって、集落に残っている村人が、安心して暮らせることを望みます。騒音や暑さ寒さが、だんだんと身に応えるようになりつつあります。社会的年齢的な弱者に優しい環境保全のための騒音規制を厳しく進めていただきたい。	1件	【既に盛り込み済です】 今回の新基準(案)は、周囲の状況に関わらず、風力発電設備からの騒音の影響により、生活環境において環境基準値を超過しないような水準とする予定です。

議題 (2) 「風力発電設備に関する騒音規制のあり方」について

審議の参考とするため、事務局(水大気課大気班長)の説明を聴取した。(資料4, 5, 7)

(主な発言)

(住友委員)

資料5について、パブリック・コメントの意見のほとんどが好意的であると感じ、安心した。

低周波音の回答であるが、環境省の調査はかなり多くの調査が行われているが、その中で、低周波音と健康影響との因果関係は確認されなかったと言っている。したがって、環境基準がないという曖昧な答えではなく、環境省の調査では低周波音は確認されていないということをはっきりと書いてもよいのではないか。

資料4について、「新基準(案)」では地上からの高さを1.2mと固定しているが、JISや環境省の測定マニュアルでは幅を持たせており、0.2~1.2mとなっている。一定の高さに固定しない方がよいのではないか。

数値としては平成29年に環境省が策定した指針よりもやや厳しいものとなるが、考え方としては良いと思う。全国に先駆けて制定される条例になると思うが、参考になるところが多いと思う。

(水大気課大気班長)

パブリック・コメント意見への回答については、そのような趣旨で回答するよう考える。

資料4については、告示改正の際に対応させていただくが、高さも含め、JISに定められた方法に委ねようと思っている。

(小林委員)

今回の見直しの考え方についてはこれで良いと思うが、実際に風力発電設備の騒音を測定する方法はどこかに記載するのか。JISには測定方法のみが規定されており、実際、基準の適用状況の確認体制はどのように考えているか。

(水大気課大気班長)

告示の中に、風力発電設備を設置する時の予測式を明記する。

風力発電設備が稼働した後については、JISに基づいた測定を行い、同じ風速で、風力発電設備が回っている時の音と停止している時の音を測定し、その差分から算出するしか方法がないと考えており、その算出方法を告示に明記する。

秋田県の様子は全く違います。

知事への手紙(秋田県 2019/10/23 受付) : 対して、市民から意見が寄せられました。

“秋田県は、国からの洋上風力開発推進区域に指定されていますが、佐竹知事自身はどうお考えなのでしょうか。

最近の知事の発言(報道)は、地上イージスの新屋地区配備に関しては、防衛省のずさんな調査が明らかになったことから、反対的な意見を表明しています。知事は県民の命を守るとの発言をしていたと私は記憶しています。

しかしながら、由利本荘市沖をはじめとする男鹿沖、能代沖の洋上風力開発では、県民の命はおろか県民の健康や意見にも配慮せずに推進していくのでしょうか。

特に由利本荘沖は、事業主の株式会社レノバの計画によると、海岸から 10?15 キロ沖に西目沖から道川沖にかけて建造するというものです。この建設設計画を佐竹知事は御存知でしょうか。

令和元年 10 月 22 日付魁新聞の記事によると、この事業の説明会で、風車による健康被害を懸念して訴えた方がいたようです。健康被害を訴えても「気のせいだ。」とか「更年期障害だ。」などといって聞く耳を持たないそうです。賛成意見しか聞かない説明会は、聞くのも見るのは嫌です。

先の「全国豊かな海づくり大会」での天皇陛下のお言葉もあります。これ以上、秋田県沖の美しい景観が失われるのを我慢ができません。知事の賢明な判断をお願いします。秋田県民の命と健康、美の国秋田を守ってください。”

これに対して。

秋田県からの回答：

“超低周波音等による健康影響については、環境省によると、「風車から発生する超低周波音は、音圧レベルが低く、人間に感じられないものであり、また、日常生活において身近な自動車のエンジンから発生するものと比較しても、特別大きいわけではない。」とされています。また、「各国政府の報告書や、過去の論文等を整理したところ、風車から発生する超低周波音や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。」という所見も示されておりますが、一方で、風車の音が騒音として聞こえる場合は、睡眠等への影響が考えられることから、事業者は、計画している風車の仕様や設置場所に基づき、調査・予測・評価し、その結果を環境影響評価準備書で示すことになっています。

県としましては、事業者に対し、環境影響評価の結果等について、地域住民に丁寧に説明し、環境への影響を回避できるレベルとするよう求めてまいります。”

残念ながら、

風車から発生する超低周波音に匹敵するような超低周波音 (0.5Hz) を出せる自動車のエンジンは存在しないのです。

嘘を言つてはいけません。

山形県酒田市の市民は

アンケート名:酒田市広報 11 月特集「風のまち酒田の未来を考える一カーボンニュートラルの実現に向けて一」質問 5 回答で、

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

「[風力発電事業に係る環境影響評価の在り方について](#) (一次答申) (案)」に関する[意見の募集 \(パブリックコメント\)](#)の結果について

における意見、

“石狩市及び石狩湾にはたくさんの風力発電が建設され住民の生活環境と自然環境への影響はひどいものになっています。一つの 地域にこんなにも再エネを建設することがゼロカーボンに寄与するとは思えないです。石狩に住んでから 45 年ほどたちますが野 鳥の減少は素人目でもわかります。これは大型風車ができるから減少しています。カモメが漁港ではなく内陸のゴルフ場に休みに 来るという住民の話もあります。風車を避けているとしか考えられません。環境影響評価に必要な基礎的な環境に関する情報・データーが十分に無く、素人の日常感じることは全く取り上げられません。風車が建設されるたびに現地の自然が破壊されていることは住民が一番知っていることです。石狩海岸がたった 20 年くらいの発電のために貴重な海岸植生が奪われました。石狩湾新港 と言え貴重な自然が豊かに残っています。それが厚田・浜益までの自然を奪うとは、何がゼロカーボンなのでしょうか。海は人間 のためだけのものではありません。まだまだ未知のものです。厚田区の山々の方にもたくさんの風車計画があり森林組合の道路とは思えない広範にわたる森林伐採が行われ、すでに土砂が流出がみられます。360 度見渡せが大型風車・小型風車が目に入り観光地ではなくなりっています。漁業組合が許可すれば建設できるなどとんでもありません。漁師さんたち（特に若いこれから頑張ろう としている漁師さん）全員の意見を聞くことが将来にわたって漁業資源を保全できると考えます。住民の意見を十分に聞いて日本の素晴らしい自然を後世に残せるようにしてもらいたいと思います。私は大型風車が建設されてからは新港内に長くいることができません。必ずひどい頭痛に寝込んでしまいます。これは低周波音が原因です。なぜ低周波音が原因とわかるとかと言いますと、ひどい頭痛は新港内に行かなければ絶対に起きないからです。先日も風車を見に行ってしまい寝込んでしまいました。しっかり医学的科学的に低周波音について調査をしてください。新港内企業の労働者で低周波音に弱い人がやめていくというのは周知の事実 ですが、決して行政側も企業側からも声をあげていないのが実情です。野鳥を殺し、再エネ被害に目をつぶり、ゼロカーボンを目 指すことは地球の破滅としか思えないです。現地を見に来てください。効率の悪い風車の建設が必要ではないことがよくわかります。石狩湾新港には LNG 火発もバイオマス発電もあります。風車をこれ以上建設して環境を悪くしないでください。”

“県としましては、事業者に対し、環境影響評価の結果等について、地域住民に丁寧に説明し、環境への影響を回避できるレベルとするよう求めてまいります。”

とあるが、

環境省や県や企業は住民から説明してもらって、しっかり勉強することが必要なのです。

知識が無いのは、環境省、県、市、業者なのです。

問題点：説明会の参加住民の居住範囲

説明会及び事前周知措置実施ガイドライン

2024年2月策定

2025年4月改訂

資源エネルギー庁

には、

① 再エネ発電事業を実施する場所（以下「実施場所」という。）の敷地境界線からの水平距離が、次の場合に応じて掲げる一定の範囲内に居住する者に対して説明すること。

(i) 低圧電源の場合：100m

(ii) 高圧電源又は特別高圧電源の場合（次の場合を除く。）：300m

(iii) 環境影響評価法に基づく環境アセスメント対象事業（第一種事業に限る。）の場合
：1km

〔施行規則第4条の2の3第2項第1号イ～ハ〕

② 再エネ発電事業の実施場所に隣接する土地又はその上にある建物を所有する者（以下「土地/建物所有者」という。）に対して説明すること。〔施行規則第4条の2の3第2項第1号〕

③ 「周辺地域の住民」の範囲について、再エネ発電事業の実施場所が属する市町村に事前相談を行うこと。市町村から「周辺地域の住民」に加えるべき者についての意見があつた場合には、当該者を「周辺地域の住民」の範囲に加え、当該者に対しても説明すること。〔施行規則第4条の2の3第2項第1号〕

④ ③の相談に対して、市町村から、再エネ発電事業の実施場所が近接する他の市町村にも「周辺地域の住民」の範囲について相談すべき旨の意見があつた場合には、③と同様に、当該他の市町村に事前相談を行うこと。当該他の市町村から「周辺地域の住民」に加えるべき者についての意見があつた場合には、当該者を「周辺地域の住民」の範囲に加え、当該者に対しても説明すること。〔施行規則第4条の2の3第2項第1号〕

※ 上記①～④により定められた者を、以下この章において「周辺地域の住民」という。とあるが、

被害の様子と風車音の到達範囲及び風車の基数と考えれば、風車から3kmの範囲には説明をすべきである。

カナダ政府のHPには、風車から2.5km離れた場所で風車音を把握した例が載っています。

カナダ政府と超低周波音

カナダ政府のHPにある、[ノイズ入門](#)には、

“グラフのX軸は0.1ヘルツ(Hz)から100Hzまでの周波数を表し、Y軸は測定された音の強さをデシベル(dB)で表します。この図は、夏の晴れた夜に4基の風力タービンから2.5km離れた場所で測定した例です。図の0.8、1.6、2.4、3.2、4.0、4.8、5.6、6.4、7.2、8.0Hzのピークは、これらの特定の風力タービンがこれらの特定の周波数の音を生成しているため、測定された音が風力タービンからのものであることを裏付けています。”との説明がある。

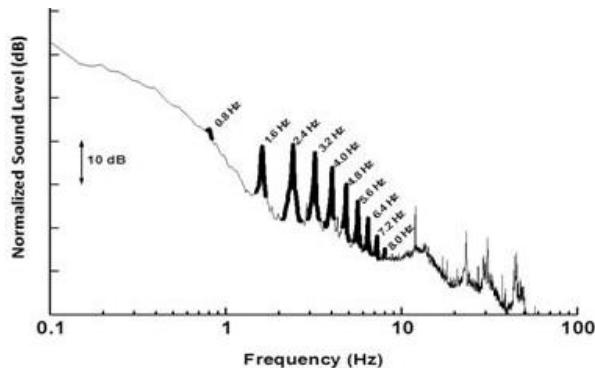


Fig. 1 Noise from Wind turbine

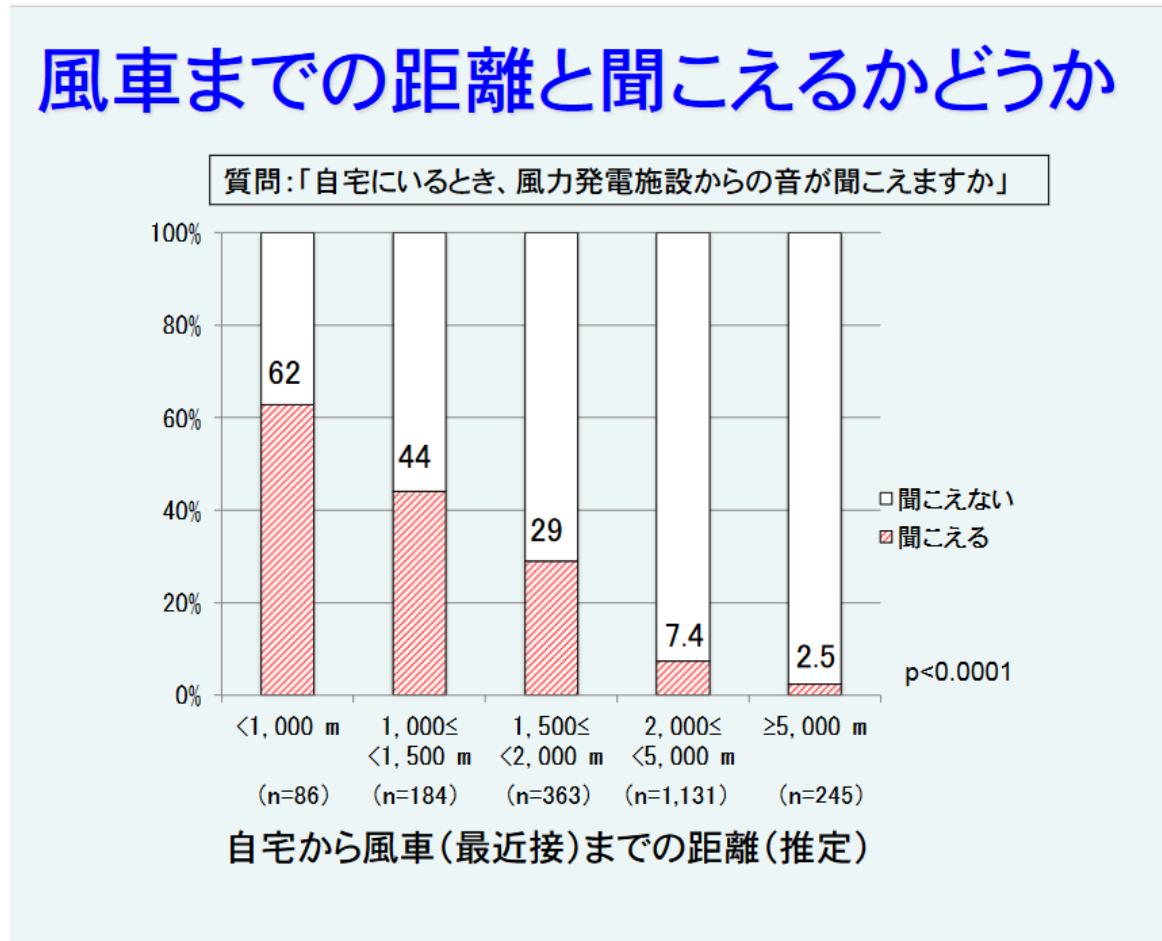
環境研究総合推進費 課題成果報告会（2016.3.11）

風力発電等による低周波音・騒音の長期健康影響に関する疫学研究

研究代表者：石竹達也（久留米大学医学部）

研究実施期間：平成 25～27 年度

石竹達也氏（久留米大学医学部）の調査結果は



2000mから 5000mの距離でも 7.4%の人に音が聞こえる。

2000m圏内では、29%の人が騒音を認識する。

風車音は、2.5 km以上離れた場所に届きます。遠方での計測結果が、風車音か環境騒音かの判別には正確

な周波数による周波数特性の把握が必要となる。岸から 2 km 離れていて、1 km よりは離れているので問題ないと言うように考えてはならない。さらに、風車群の大きさや、風車音の指向性を含めて議論する必要がある。

累積的影響

住宅から、2～4 km の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多いのですが、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。

10～20 km 離れた風車群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 10～20 km 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。

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。（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 km 離れ

た場所での音圧レベル L_1 、2 km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

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

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 km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、

$$L_r = PL - 11 - 20\log(1000 * r) = L_1 - 20\log r = L_1 + 10.00$$
$$-20\log r = 10.00$$

より、

$$\log r = -0.5$$

$$r = 0.316$$

1000 * 0.316 = 316m 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、とても近い距離でから、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2km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。

風車から、400m離れた場所での騒音被害で、引っ越しを考えている人もいます。FBでの友人は、

“こんばんは。

500メートル近すぎます。更に近い400メートル離れた我が家今夜の音です。

夜11時に一旦眠りに就きましたが、午前1時20分この音で目が覚めました。

佐々木さん、バードストライクに遭う鳥たちは間違って風車にぶつかったのかな？

わたしは今夜初めて、人間ストライクしたいと発作的に思いましたよ。気が狂いそうなほど音です 😱

鳥たちは気がおかしくなって、自らぶつかって行ったのではないだろうか？？

今夜はもう眠れそうにありません。頭も肩も首も背中も、身体中が自分じゃないみたいで

ヒーリング音楽を流し横になっていますが、ここから逃げ出したい“

“コメントありがとうございます。わたしは移住三年目で、住民説明会などの資料は持っていません。

騒音計測についてのお話しされていますが、まだそれに至ってはおりません。

わたしは引っ越ししか方法がないと考えていますが、わたしの故郷に近い松前町や江差町の人々に、風車の影響を知って欲しいと思い、こちらにコメントを置かせていただきました。

今ある風車については、正直無駄なエネルギーを使い疲弊するだけなので、自分が離れるしか手立てはない
と思います。“
と言っています。

問題点：根拠とは言えない環境省の主張を引用する（引用の仕方も間違っている。）

環境省はアセスの評価項目から超低周波音を除外（2021年12月）した。

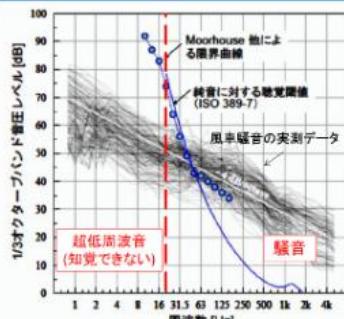
環境省が主張する“理由”は以下の通りです。

超低周波音について



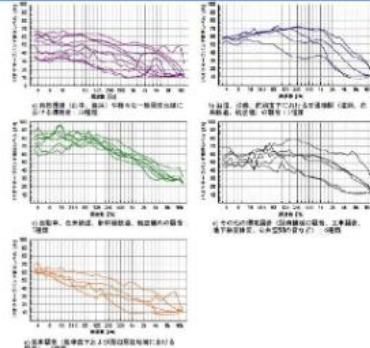
- 平成28年、風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会の報告書がとりまとめられた。
- 風車騒音は超低周波音ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音（=聞こえる音）の問題。
- なお、他の交通騒音などの環境騒音と比較して、低周波領域の卓越はみられない。

これまでに得られた知見① 風車騒音に含まれる超低周波音



※全国29の風力発電施設の周辺の合計164測定点で騒音を測定

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）

知見①と知見②に関してはすでに検討したので、残りを確認する。

超低周波音について

3

- 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。

ですが、

まず、

- 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。

については、その通りです。

この文章は、“風車騒音”的意味を説明しているだけなのです。同義反復であり、理論的な推論ではないのです。

“風車騒音”とすれば、すでに20Hz以上の可聴域に限定したことになり、超低周波音は0~20Hzの音な

ので、可聴域の音ではありません。ですから、書いてあることは同義反復にすぎません。

風車音の全体的なエネルギーを評価する観点から書き直せば、

“風車音問題は、通常可聴域の問題ではなく、エネルギーの 93%を占めている超低周波音の問題なのです。”となります。

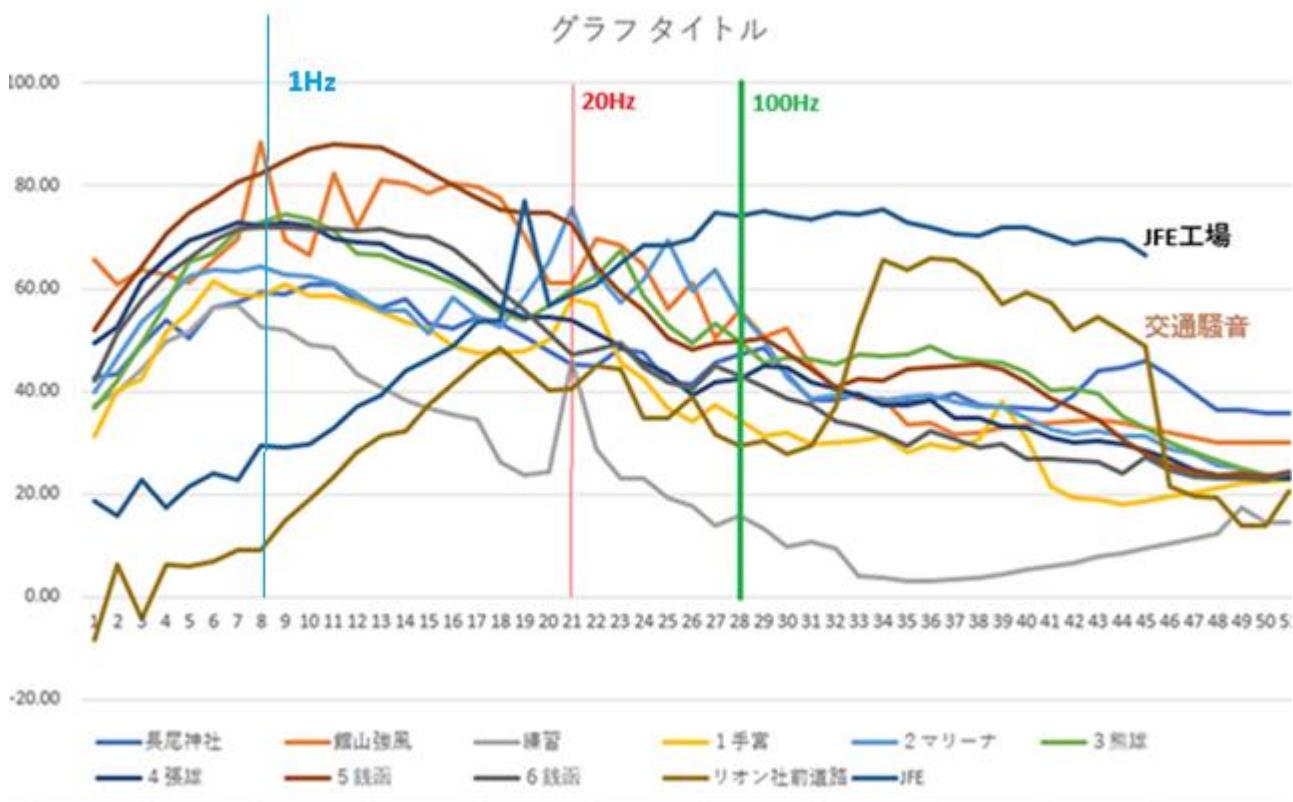
風車音は、強烈な超低周波音と微弱な可聴音から構成されているのです。音のエネルギーの比率で言えば、超低周波音の部分が 93%以上、可聴域の音が 7%以下なのです。超低周波音の音圧が高く、周波数スペクトルが離散的になるので、音響キャビテーションの条件を満たす場合には、物理的な理由で頭痛起きます。高い音圧の影響で、圧迫感や不快感と覚える人もいます。交通騒音と風車音で“非常に不快である”と感じる割合に違いが出るのです。

周波数が 200Hz 以上の音は、体内の圧力を変動させる力は弱いのですが、風車から出ている、0.5Hz～1Hz の超低周波音は体内の圧力を大きく変動させます。人体を強制的に圧縮膨張させる働きがあるのです。

さらに、

■ 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。

については、低周波音の意味が、“20～100Hz を「低周波音」(low frequency noise)” なのですから、この領域で比較すれば、JFE の工場騒音よりも音圧レベルは低いのです。



しかし、超低周波音の領域も含めて考えれば、

“他の交通騒音などの環境騒音と比較して、20～100Hz の範囲である低周波領域での卓越は見られないが、超低周波音の領域、特に 1Hz の近くでは、大幅な卓越が確認される。最大音圧は風車音で 0.15～0.42Pa、交通騒音では、0.0025Pa 程度です。100 倍程度です。”

とあるにも関わらず、風車音の周波数スペクトルの1つも示されていないのは、羊頭狗肉とでもいべきなのでしょうか？

超低周波音は存在しない。騒音計で計測されるのは、風がマイクに当たったことによる風雑音だとでも言いたいのでしょうか？

さて、せっかく

■ なお、他の交通騒音などの環境騒音と比較して、低周波領域の卓越はみられない。

と書いて誤魔化したのに、“低周波数領域（20～100Hz）”を省略する人がいます。

秋田県知事は、県民の声に対する回答の中で、

“超低周波音等による健康影響については、環境省によると、「風車から発生する超低周波音は、音圧レベルが低く、人間に感じられないものであり、また、日常生活において身近な自動車のエンジンから発生するものと比較しても、特別大きいわけではない。」とされています。また、「各国政府の報告書や、過去の論文等を整理したところ、風車から発生する超低周波音や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。」という所見も示されておりますが、一方で、風車の音が騒音として聞こえる場合は、睡眠等への影響が考えられることから、事業者は、計画している風車の仕様や設置場所に基づき、調査・予測・評価し、その結果を環境影響評価準備書で示すことになっています。”

と言っています。

石狩湾新港ウインドファーム（仮称）事業に係る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見解の提出 平成 26 年 4 月 15 日 エコ・パワー株式会社

では、

“環境省が数年に渡り継続調査した結果から、風力発電機に起因する超低周波音は、日常生活におけるレベル（バスや電車、自家用車内）と同程度で、感知されるレベルを遙かに下回ることが分かっています。対象事業実施区域は、石狩湾新港地域内に位置し、周辺で操業している企業活動によるさまざまな超低周波音が発生している状況です。そのような状況下で、風力発電機から生じる超低周波音が特別に大きいレベルではないと考えています。”

と書かれています。

“低周波数領域（20～100Hz）”を省略した記述は、計測結果から見れば完全な誤りです。

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

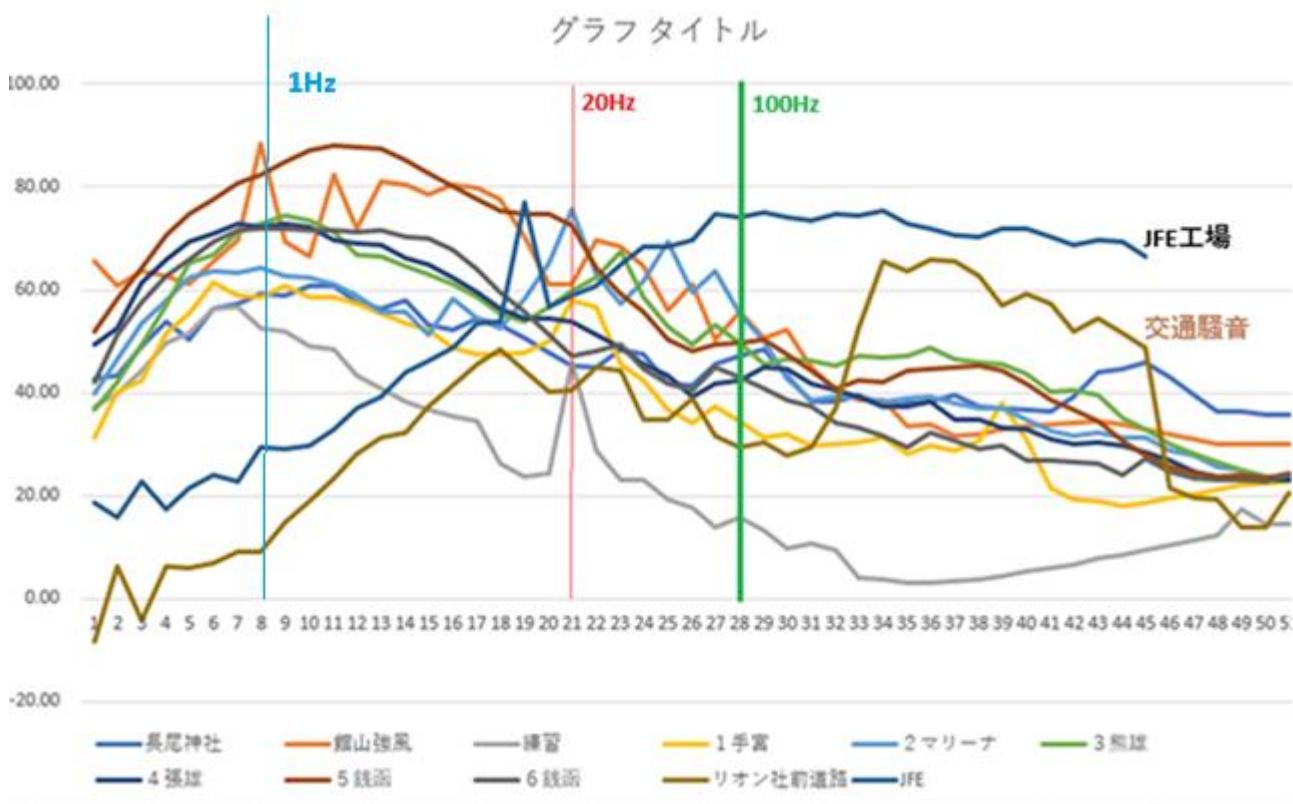
なお、番号と中心周波数の関係は次の表です。

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

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

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

20Hz は、21番（赤い直線）、100Hz は28番（緑の直線）の所です。



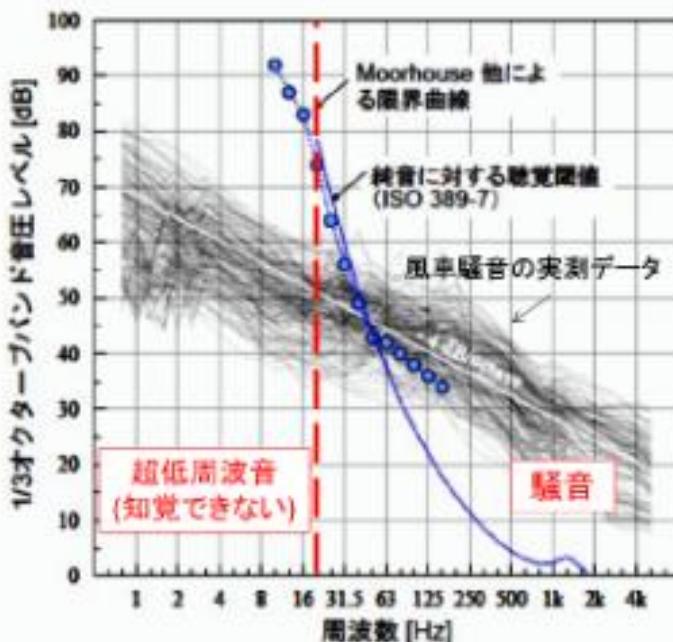
グラフの中央部分（8番～33番、1Hz～315Hz）の辺りでは、風車音は、全体として周波数が大きくなると音圧レベルが減少するが、交通騒音などは周波数が高くなると音圧レベルが上昇する。

JFE の製鉄所内の騒音でも、0～20Hz の領域では小さな音圧ですが、この領域では風車音の音圧は極めて高いのです。

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

となっています。

また、



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**

にある、“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”を使って、

発電所アセス省令の改正（環境影響評価の参考項目の見直し）



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

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

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

→

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

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

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

“超低周波音に対する理解促進”を業者に要請する前に、環境省は下の表の空欄を埋める必要がある。

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

日本国憲法第 25 条

日本国憲法第 25 条は、

- 1 すべて国民は、健康で文化的な最低限度の生活を営む権利を有する。
- 2 国は、すべての生活面について、社会福祉、社会保障及び公衆衛生の向上及び増進に努めなければならぬ

とあります。安眠は健康を維持し、地域社会を維持するための必要事項です。美味しいものを食べていと
いうような贅沢ではありません。

風車の影響の感知の仕方はいろいろですが、安眠妨害指数を目安にすれば、風車が地域社会に与える影響
を評価できると思います。例えば、

安眠妨害指数 = $\text{Min}\{ \text{聴覚閾値、ガタツキ閾値、圧迫感閾値、地中伝搬振動閾値、頭痛閾値、など \}$
この数値が、風車の被害に関する感覚閾値なのです。

10Hz の音について考えれば、

音が聴覚を刺激して“うるさい”という形で安眠を妨害するときの音圧は、100 dB (問題あり)

音が“圧迫感や不快感”として安眠を妨害するときの音圧は、92 dB (参照値、心身)

音が“ガタツキ”として安眠を妨害するときの音圧は、73 dB (参照値、物的)

5 Hz では

音が聴覚を刺激して“うるさい”という形で安眠を妨害するときの音圧は、115 dB (問題あり)

音が“圧迫感や不快感”として安眠を妨害するときの音圧は、記載なし (スピーカの音が出せない)

音が“ガタツキ”として安眠を妨害するときの音圧は、70 dB (参照値、物的)

0.5Hz では、体内の圧力が大きく変動します。外圧での変形は外部に近い場所から起きるので、末梢血管
が細くなり血圧が上昇する。これが繰り返されると、動脈壁が肥大化し、心筋へのダメージが蓄積して循環
器系の障害が起きる。体内の圧力変動は音響キャビテーションでの気泡発生条件を満たし、結果として頭痛
がおきる。

住民は安眠を妨害されます。そして、仕事や学習に大きな影響が出ます。安眠妨害の形として、ガタツキ
に注目すれば、5Hz で 70 dB 以下の数値が、風車被害の知覚閾値となります。圧迫感の閾値が分ればもっと
下がる可能性があります。さらに、0.5Hz の音は極めて音圧が高く、健康被害の直接的な原因になるのです。

5. 1 風車音の性質

風車音に関しては、たくさんのがあります、それらの説は、観測結果について、その理由を説明できなくてはなりません。計測された超低周波音の性質を説明できなければ失格です。

5. 1. 1 風車音の基本的な性質

風車音に関する資料を探しても、詳細な周波数スペクトルのグラフは見つかりません。精密騒音計で計測したデジタルデータを公開している方も見当たりません。

風車音の周波数スペクトルを調べて、なぜその周波数の音が出るのかを考えれば、風車の超低周波音が発する理由が明確になります。残念ながら、風車から、緒低周波音が発生する仕組みを解明した論文も見つかりません。

もちろん、無ければ自分で考えて、超低周波音が発生する仕組みを解明して、理論的な周波数と観測結果が一致することを示せば良いだけのことです。（“風車超低周波音 2023”に書いておきました。）

次のグラフは、音の成分を調べたものです。グラフが広がっていれば、低い周波数の成分から高い周波数の成分までいろいろ入っていることを意味しています。

図 1. 交通騒音（リオン社前） 0～5000Hz

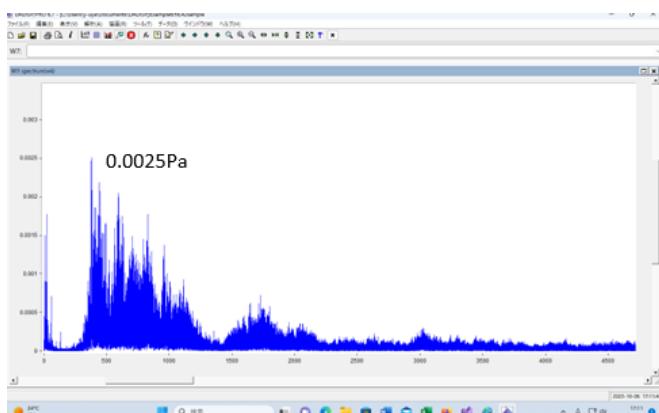


図 2. 工場騒音（製鉄所内の音） 0～5000Hz

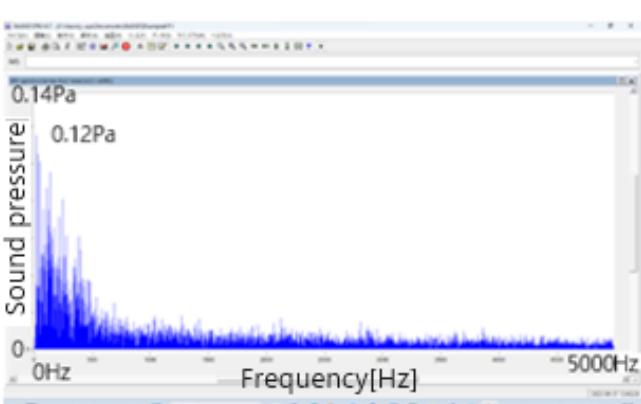


図 3. 風車音（館山風の丘） 0～5000Hz

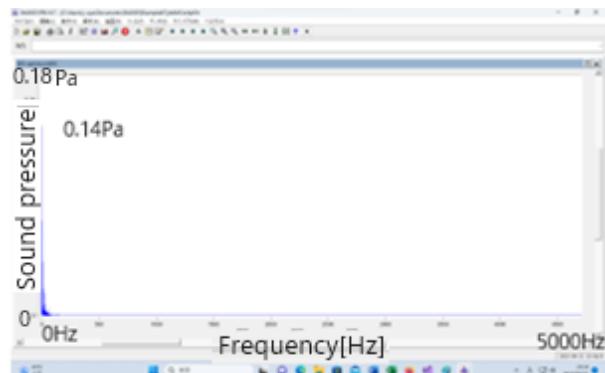


表 2. エネルギーの分布

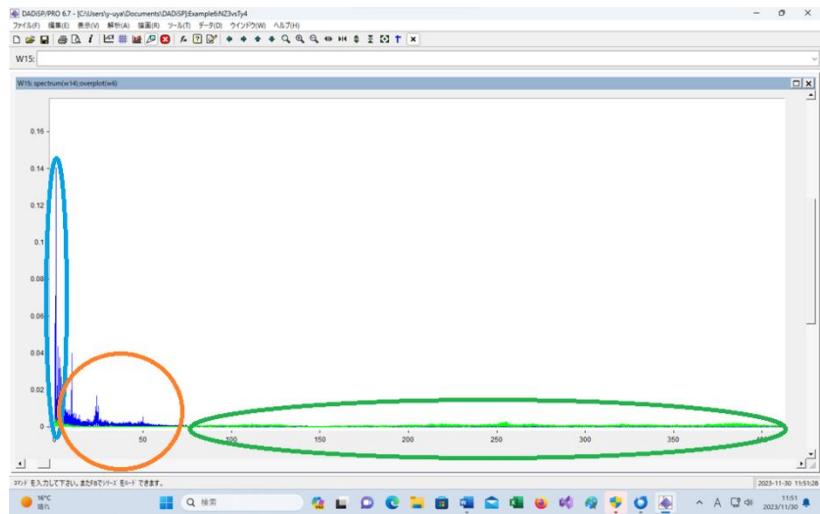
エネルギー分布	0～20Hz	20Hz以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

交通騒音や工場での音は、グラフが広がっていることから、いろいろな周波数成分が入っている広帯域の音ですが、風車音は左隅の 1 か所に集中しています。風車音の成分のほとんどが超低周波音と言われる 0～20Hz の範囲に集中しています。

これは音のエネルギーの分布を表す表からも分ります。1か所に集中していることが、大きな問題を引き起こします。

風車音の特徴は、下のグラフの楕円に注目すれば分かります。

0～400Hzまでの拡大図、風車音（青）と神社での音（緑）の周波数スペクトル



上の図で、濃い緑色の楕円は100Hz～400Hz辺りの音をします。

上の計測結果を参考にして、風車音をグループ分けすると、

- ① 0～8Hz は、塔の側面の振動を主な要因とする超低周波音。
- ② 10Hz～100Hz は、発電機などの機械音。
- ③ 200Hz～20kHz は、ブレード面での乱流による高周波音。

となります。

0～8Hzでの特徴は、マクローリン展開の係数の大小関係に対応した形での、音圧のピーク値が表れていることです。

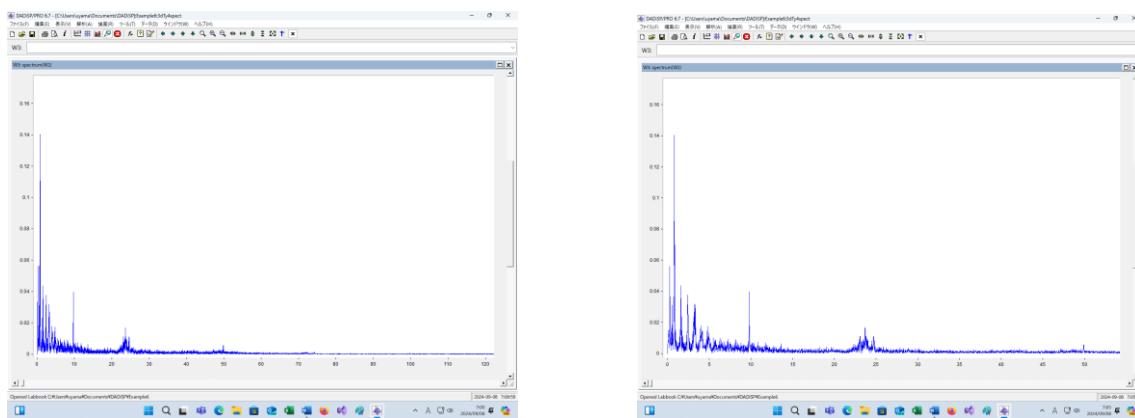
10Hz～100Hz辺りは、機械音で、機械の大きさや動き方の特徴に従った音が観測されています。

200Hz～20kHzでは、極めて低い音圧で、周波数が高い音が観測されています。

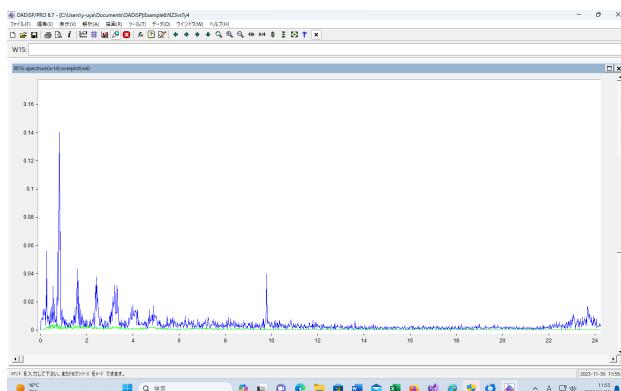
風車音の周波数スペクトルを詳しく見れば、次の様になります。

0～120Hz

0～50Hz



0～24Hz



エネルギーの分布は次の様になっています。

表2. エネルギーの分布

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

0～20Hz でのエネルギーの分布

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

さて、 $93 \times 0.613 = 57\%$ ですから、風車音全体のエネルギーの 57% は 1Hz よりも周波数が低い部分に含まれています。風車音のエネルギー分布は 1 点集中型である、と言えます。

工場騒音や、交通騒音は、音のエネルギーが広い帯域にわたって分布していますので広帯域の音と言えます。

風車音は、狭い帯域に音のエネルギーが集中しているので、広帯域の音とは言えません。

ISO7196 における“infrasound”的定義は、

3 Definitions

For the purpose of this International Standard. The following definitions apply.

3.1 infrasound: Sound of noise whose frequency spectrum lies mainly in the band from 1 Hz to 20 Hz.

となっている。

“infrasound”は、“1～20Hz の音波”ではなくて、“周波数スペクトルが主に 1Hz から 20Hz の帯域に入っている音”と定

義されています。

まさに、風車音はこの性質を持っています。風車音は“infrasound”そのものなのです。

この様な音に対する防音窓の効果は、次のグラフから分かります。

風車音は 10Hz 以下の部分の音圧が高い。特に 4Hz 以下の成分が卓越した音圧を持っているので、アルミサッシ二重窓での防音効果は期待できません。

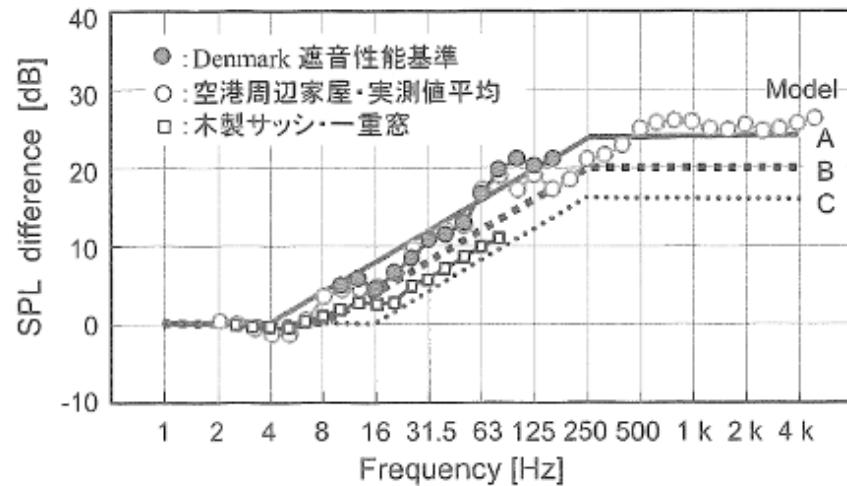


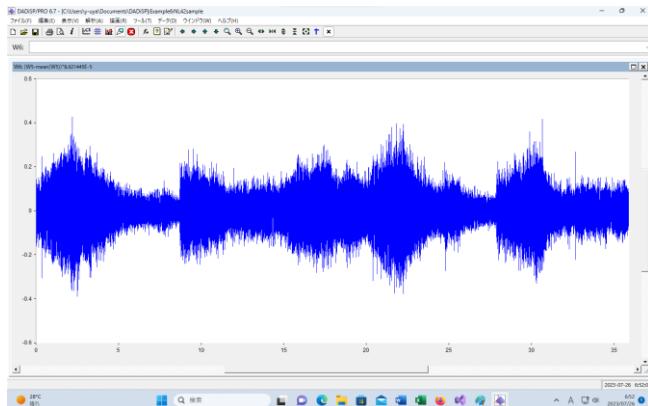
図 5 ハウスフィルター・モデルと 3 種類の参考データの比較

風車音、とりわけ 20Hz 以下の超低周波音に関しては、その原因をめぐって様々な説があるので、それらについては、風車音の性質と比べながら、妥当性を確認してゆきます。

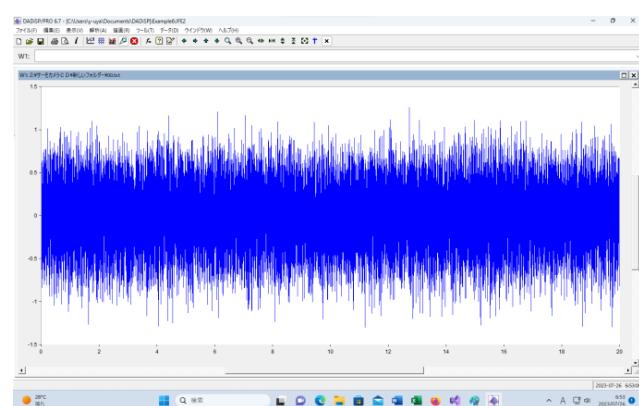
5. 1. 2 他の騒音と風車音の比較

風車音について調べてみました。交通騒音、製鉄所での騒音、風車音には大きな違いがあるのです。

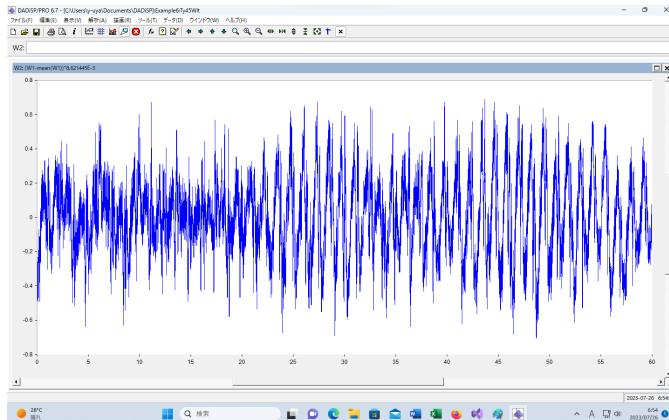
リオン社前の交通騒音



JFE の製鉄所内の音



館山の風車音

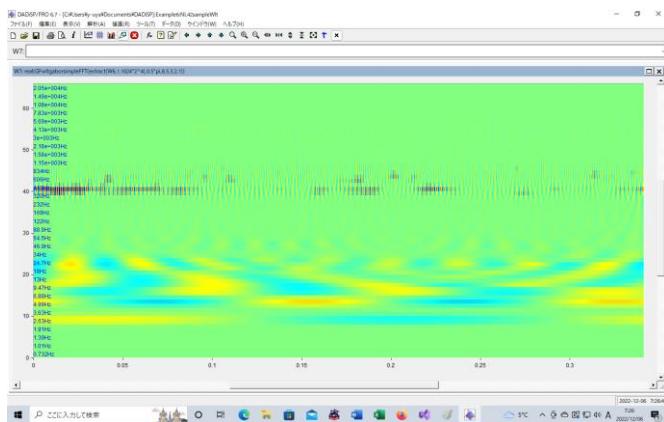


見てすぐわかるのは、風車音のグラフはスカスカです。他のグラフはぎっしり詰まっているという違いがあります。

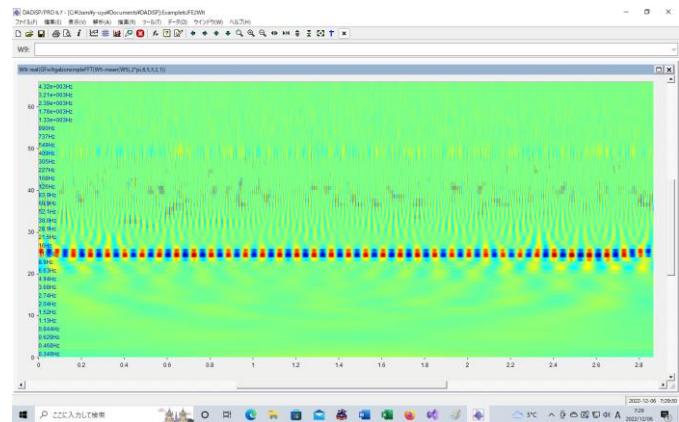
原因は、風車音では高周波成分が微弱だからです。ほとんどが超低周波音なのです。高周波成分が強ければぎっしり詰まったグラフになります。

Wavelet 解析

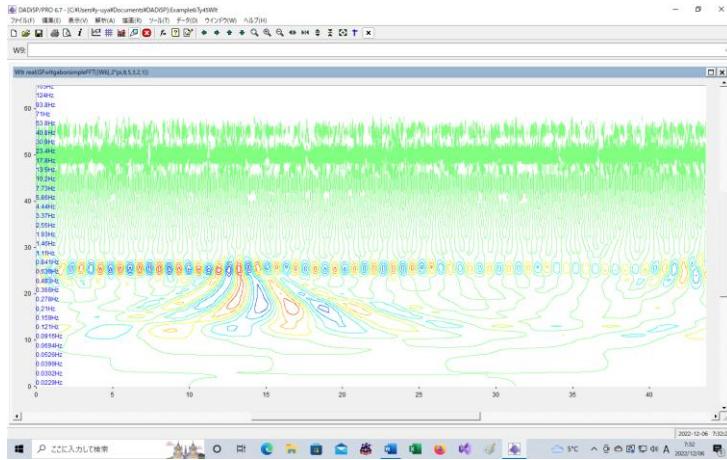
交通騒音 (0Hz 以上)



工場騒音 (0Hz 以上)



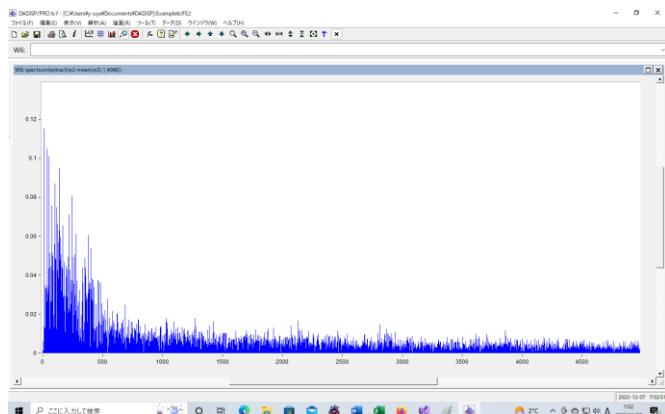
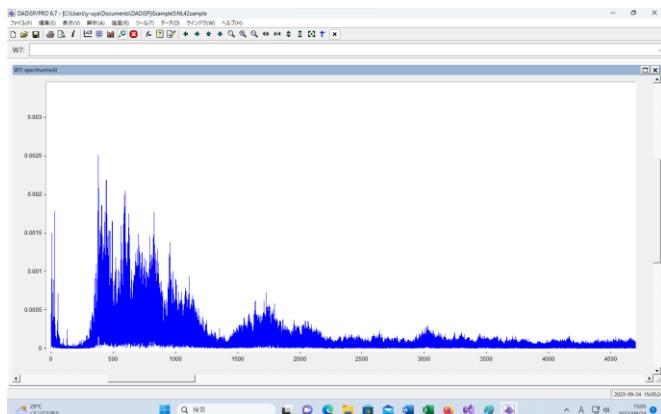
風車騒音(0Hz以上)



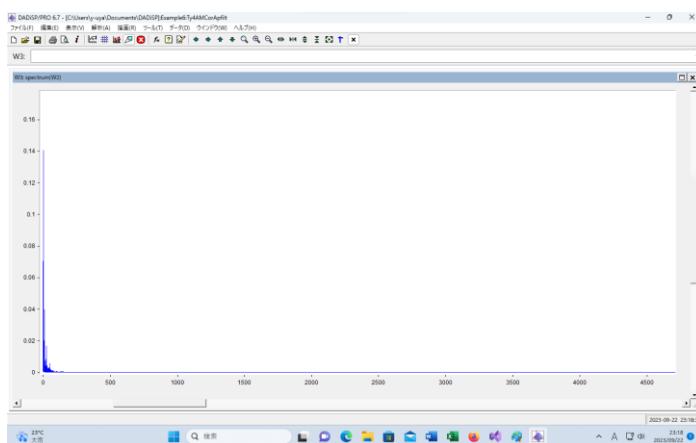
グラフの下は低い周波数、上は高い周波数成分を表します。色の濃い場所の周波数成分の振幅が大きいことを意味しています。

タイプ4:周波数スペクトル

交通騒音(0~5 kHz)：最大 0.0025[Pa] (379.4[Hz]) 製鉄所(0~5 kHz)；最大 0.12[Pa] (12Hz)



風車音(0~5000Hz)；最大音圧 0.14[Pa] (0.8Hz)



風車音は、左端の細い線で表されています。

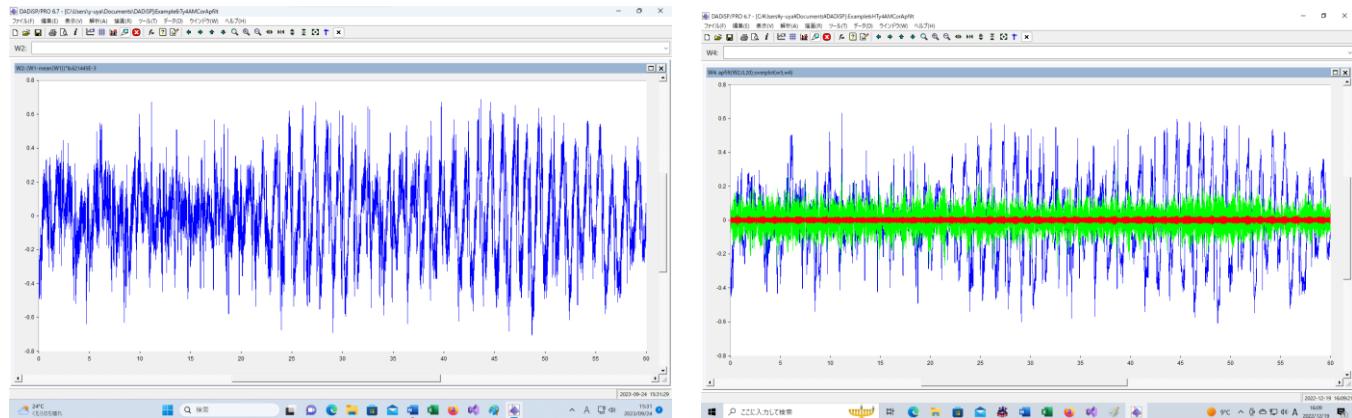
交通騒音は、音の周波数範囲はある程度広いが、工場騒音に比べるとそれほどでもない。工場騒音は広帯域の音

です。

風車音は特殊で、左端の線にエネルギーが集中しているのです。風車音のこの特徴は、音響キャビテーションで気泡が発生するときの条件に合致しています。

風車音の成分の比較

風車音のグラフは、次のものです。(パスカル値)



FFTを使えば、風車音を各周波数帯に分割できます。0~20Hzを青、20~200Hzを緑、200~24000Hzを赤として重ねたものが右の図です。超低周波音の音圧がとても大きいです。

赤い部分は、200Hz以上の成分で、振幅は変化していて、振幅変調の傾向が見られますが、振幅自体が小さく、変調の度合いも小さい。

この計算方法をRC回路のものにすると、超低周波音の影響が表れて、振幅変調が大きいように見える可能性もある。(これに関しては検討中です。)

5. 1. 3 エネルギー分布

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。

音圧

音は空气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 m²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

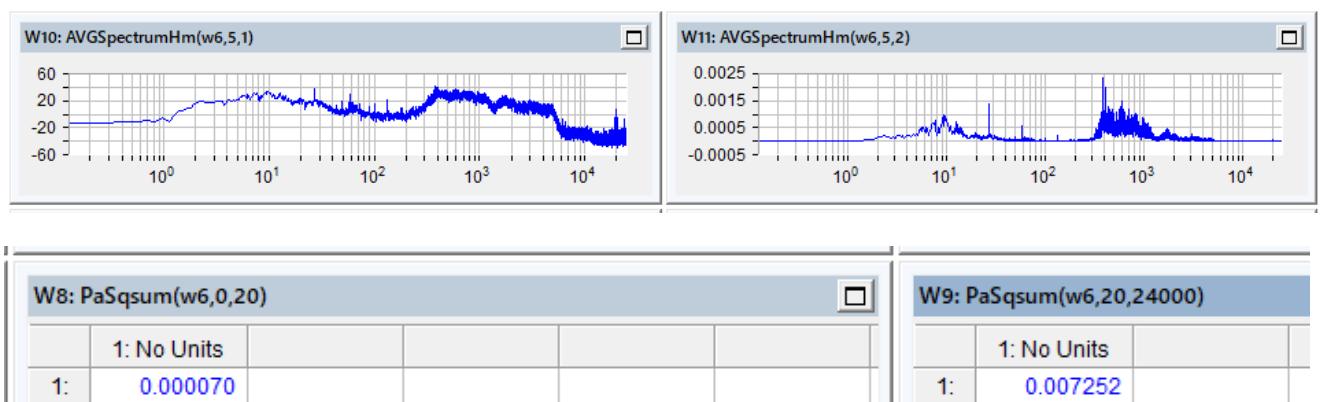
音場内の 1 点において、単位面積を単位時間に通過する音響エネルギーを音の強さ（I または J と書く）と言います。単位は、(W/m²)

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

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

自動車の騒音 (0Hz 以上) では (20Hz 以下の成分は弱く、300Hz~1000Hz 辺りの成分が強い。)
最大の音圧レベルは 40 dB 程度



このデータは、リオン社前の道路騒音を計測したものです。

上の左のグラフはデシベル値での表示、上の右側は、パスカル値での表示です。

下の 2 つの数値は、エネルギーの比率を計算するための数値です。

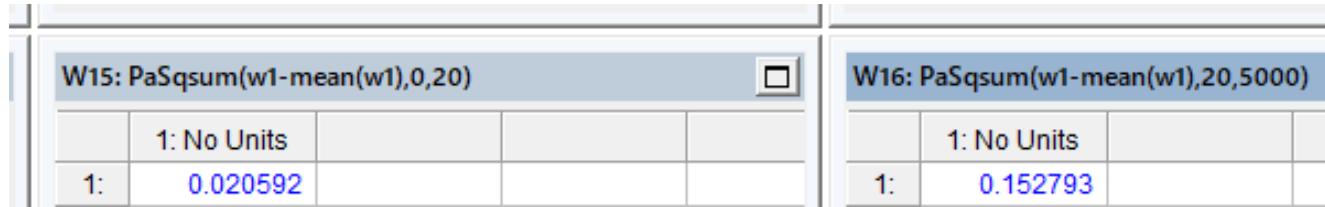
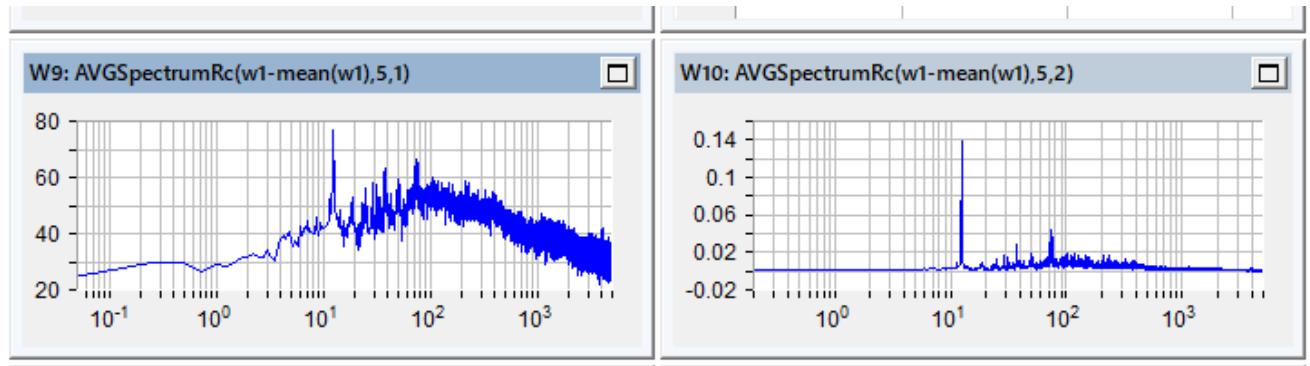
20Hz 以下では、0.000070 (1%)、20Hz 以上では、0.007252 (99%) ですから、

道路での交通騒音 (0Hz 以上) では、

超低周波部分のエネルギーは、20Hz 以上の成分のエネルギーの 1/100 以下です。

この場合は、20Hz 以下の部分を省略しても問題はない。

工場の騒音(10Hzのあたりに極めて強い成分があり、50Hzから500Hz辺の成分も目立つ。)



これは、JFEの工場での騒音です。鉄鉱石を篩にかけて大きさを揃える工程での騒音です。

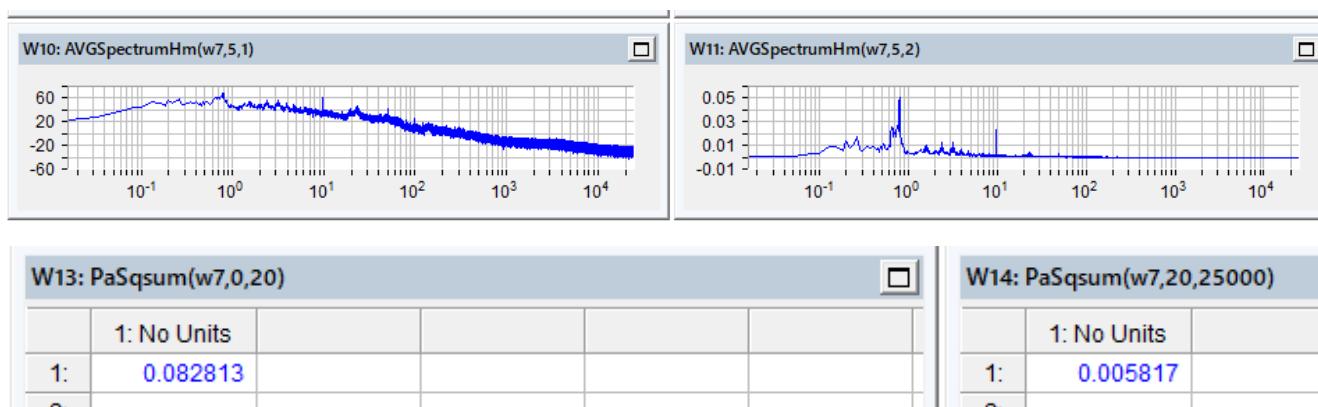
最大の音圧レベルは 78dB 程度であり、かなり煩いことが分かります。

下の 2 つの数値は、20Hz 以下では、0.020592(12%)、20Hz 以上では、0.152793(88%) ですから、

超低周波部分のエネルギーは、20Hz 以上の成分のエネルギーの **0.135 倍** です。 (14/100 くらい)

この例でも、音のエネルギーの大半を 20Hz 以上の成分が持っています。

風車の騒音(20Hz 以下の成分が強く、100Hz 以上の成分は弱い。) 70dB 程度



これは、千葉県館山市にある風車の騒音(0Hz 以上)です。

下の 2 つの数値は、20Hz 以下では、0.082813(93%)、20Hz 以上では、0.005817(7%) ですから、

超低周波部分のエネルギーは、20Hz 以上の成分のエネルギーの **14.2 倍** です。

風車騒音(0Hz 以上)のエネルギーの 93% 程度を、超低周波音(0Hz-20Hz)の部分が持っているのです。

この場合は、超低周波音(0Hz-20Hz)の部分を切り捨てはいけません。

表にすれば。

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

となります。

現在の環境省は、20Hz以上の部分だけ、すなわち、風車音のエネルギーの7%以下の部分を計測して、その数値を被害の目安にしようと決めたのです。

さらに、0～20Hzないでのエネルギーの分布は。

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

Table 2 Energy distribution (0～20Hz)

となっています。

$J = (p * p) / (\rho c)$ (W/m²) を使って計算すると次の様になります。

JFE の工場の音がマイクを通過するときの音のエネルギー(W/m²)を計算したものが次の表です。

W16: EngDistributionWm2(w1,0,20,200,5000)				
	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units
1:	0.000051	0.000150	0.000232	0.000433
2:				

0～20Hz	0.000051 (W/m ²)
20～200Hz	0.000150 (W/m ²)
200～5000Hz	0.000232 (W/m ²)
0～5000Hz	0.000433 (W/m ²)

リオン社前での交通騒音では 10^{-5}

W15: EngDistributionWm2(w6,0,20,200,24000)				
	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units
1:	1.757791E-007	8.079829E-008	1.805011E-005	1.830650E-005
2:				

0～20Hz	1.757791E-007 (W/m ²)
20～200Hz	8.079829E-008 (W/m ²)
200～24000Hz	1.805011E-005 (W/m ²)
0～24000Hz	1.830650E-005 (W/m ²)

エネルギー分布の%表示は

W12: w15*100/max(w15)

	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units
1:	0.960200	0.441364	98.599449	100.000000
2:				

となります。

風が弱いときの風車の近くでは、 10^{-4} 程度

W15: 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
2:				

風が強いときの風車の近くでは、 10^{-3}

W9: EngDistributionWm2(w8,0,20,200,24000)

	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units
1:	1.492656E-003	2.285370E-005	6.942087E-008	1.515570E-003
2:				

纏めれば、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 ²
神社風	8.23E-06	3.91E-07	2.12E-07	8.83E-06	W/m ²
JFE工場	4.80E-05	4.01E-04	5.34E-04	9.84E-04	W/m ²
風車弱風	8.19E-04	2.40E-05	3.82E-07	8.43E-04	W/m ²
風車強風	1.49E-03	2.30E-05	6.94E-08	1.52E-03	W/m ²

大型化する風車では、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さらに低くなります。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ぬ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。

そして住民は次の様に考えます。

“コメントをありがとうございます。わたしは移住三年目で、住民説明会などの資料は持っていないません。

騒音計測についてのお話しさりますが、まだそれに至ってはおりません。

わたしは引っ越ししか方法がないと考えていますが、わたしの故郷に近い松前町や江差町の人々に、風車の影響を知りて欲しいと思い、こちらにコメントを置かせていただきました。

今ある風車については、正直無駄なエネルギーを使い疲弊するだけなので、自分が離れるしか手立てはないと思います。“

健康に暮らすことが出来ない場所からは、引っ越ししてしまうのです。

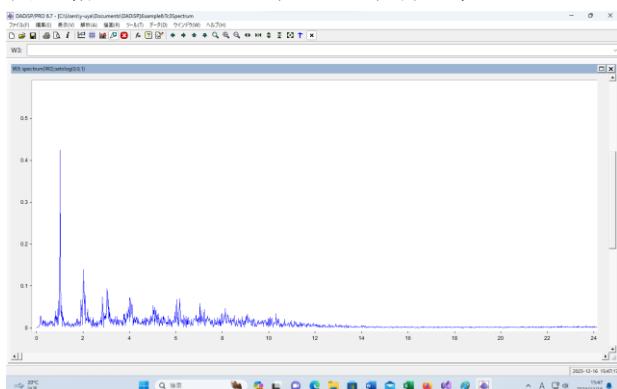
5. 1. 4 風車の近くでは、マイクに風が当たらなくても超低周波音が計測される。

風車の近くでの計測で、

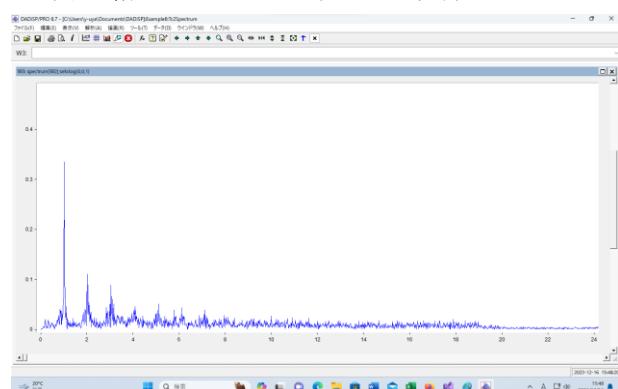
騒音計をビニール袋に入れて、それを段ボール箱に入れて、ビニールをかぶせて、



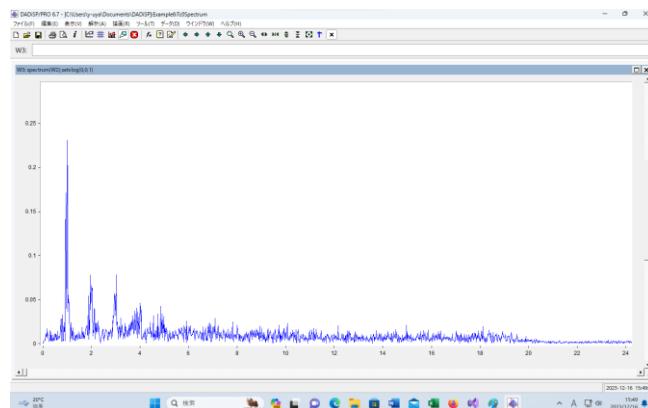
袋と箱に入れドアを閉めた場合は、Max. 0.42Pa



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ていた結果は 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。

5. 1. 5 風車が無ければ、マイクに風を当てても音圧の高い超低周波音は発生しない。

風車が無い場所で、マイクに風を当てて計測すれば、音圧が低くて、周波数に規則性が無い、超低周波音が計測されます。風車が有る場所では、音圧が高くて、規則的な周波数を持っている超低周波音が計測されます。

左が風車の近くの音、右は風車がない場所でマイクに風を当てて収録した音の超低周波音の部分です。

図 5. 風車音（館山風の丘） 0 ~ 25Hz

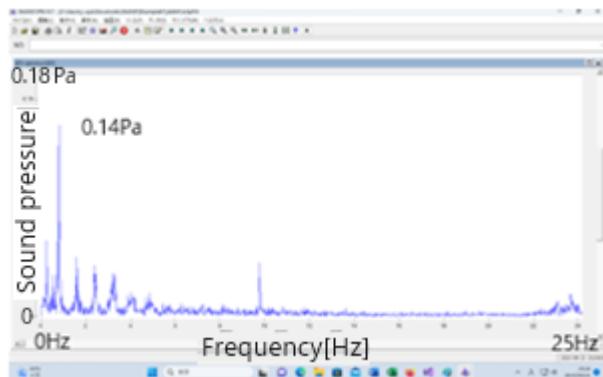
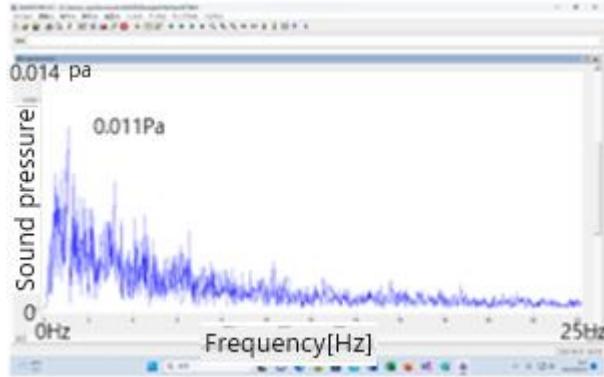


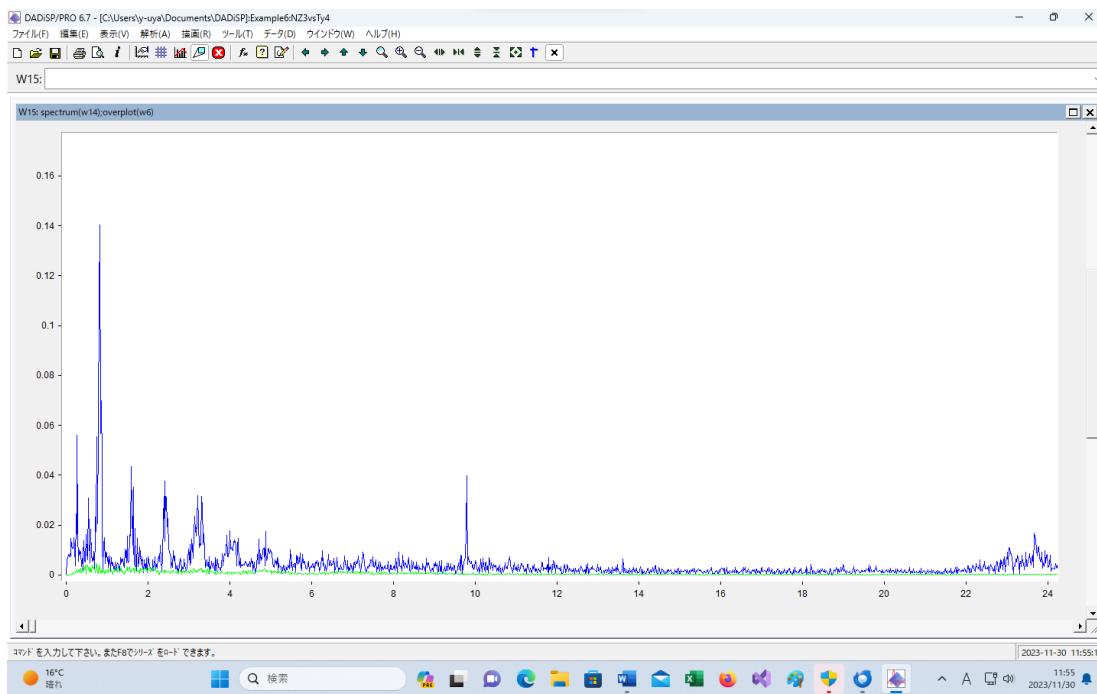
図 6. 長尾神社の音 0 ~ 25Hz



風車の近くでは 0.14Pa、風車が無い場所では 0.01Pa の音圧を持っている超低周波音が存在します。だから、風車の近くでは音圧が 10 倍です。音圧は、風速で変化します。風車の近くで 0.37Pa、風車が無い所で 0.003Pa の時もあります。これだと音圧は 100 倍です。

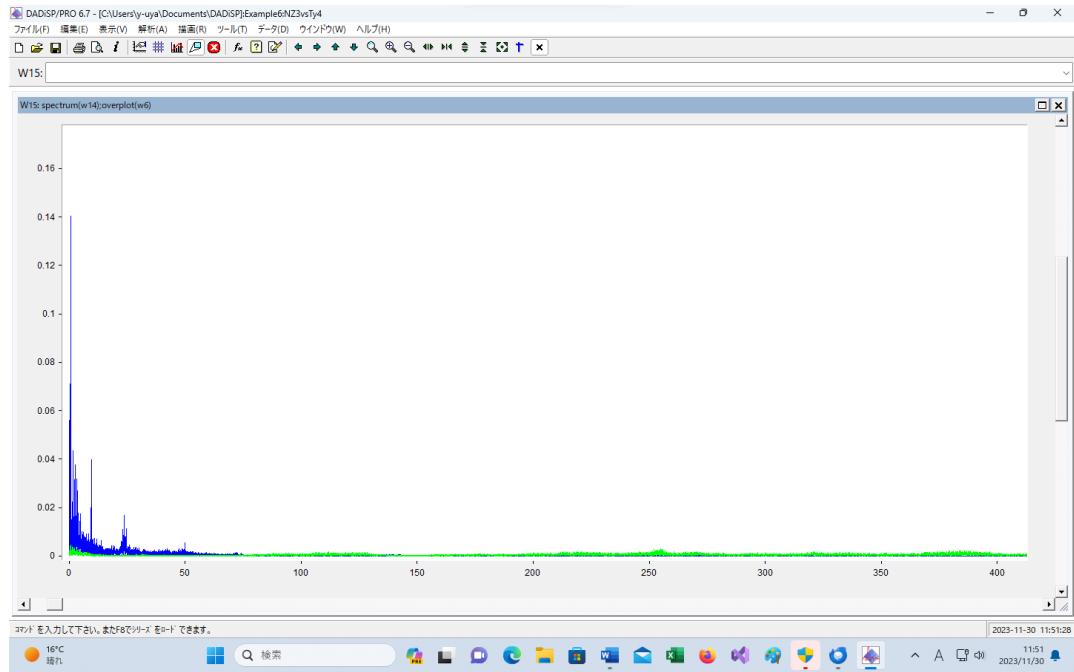
次のグラフは、青い線が風車の近くの超低周波音、緑の線が風車が無い場所での超低周波音です。

0~24Hzまでの拡大図、風車音（青）と神社の音（緑）の周波数スペクトル



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がありません。

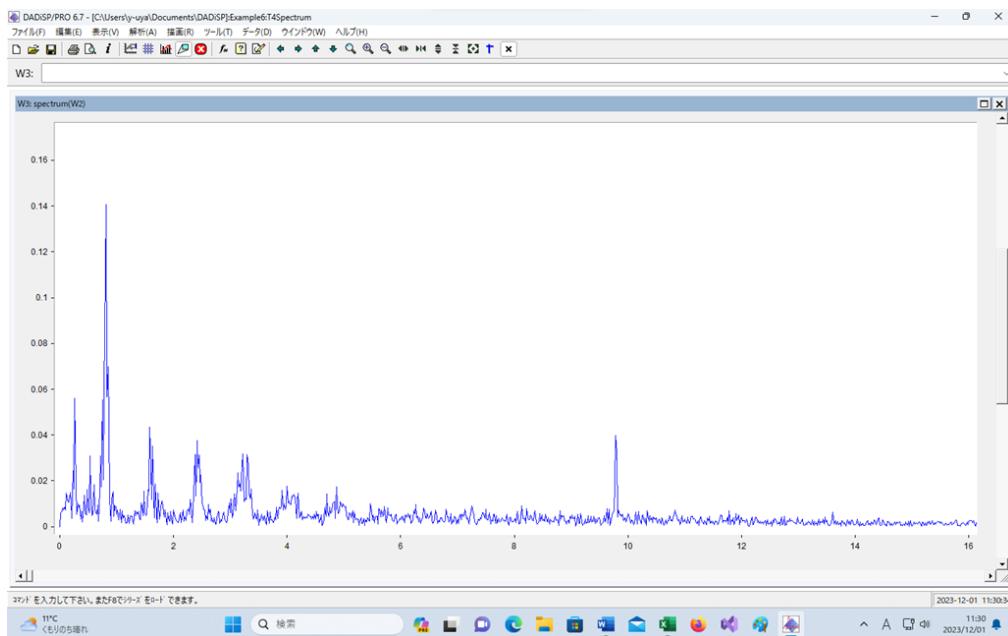
風車の近くでの離散的なピーク値の音圧の関係について、そうなる理由を説明することも必要です。

5. 1. 6 周波数 $f/3$ 、 $2f/3$ 、 f 、 $2f$ 、 $3f$ 、…Hz で音圧が高くなる

風車の近くの超低周波音は、高い音圧と規則的な周波数を持ちます。

翼の回転数毎分を R (rpm)回、翼枚数を Z (枚)とするときに、 $f = RZ/60$ [Hz]として計算した周波数に於いて、最大音圧になります。更に、超低周波音の領域での周波数は離散的であり、 $f/3$ 、 $2f/3$ 、 f 、 $2f$ 、 $3f$ 、…に於いて音圧がピーク値となるのです。

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

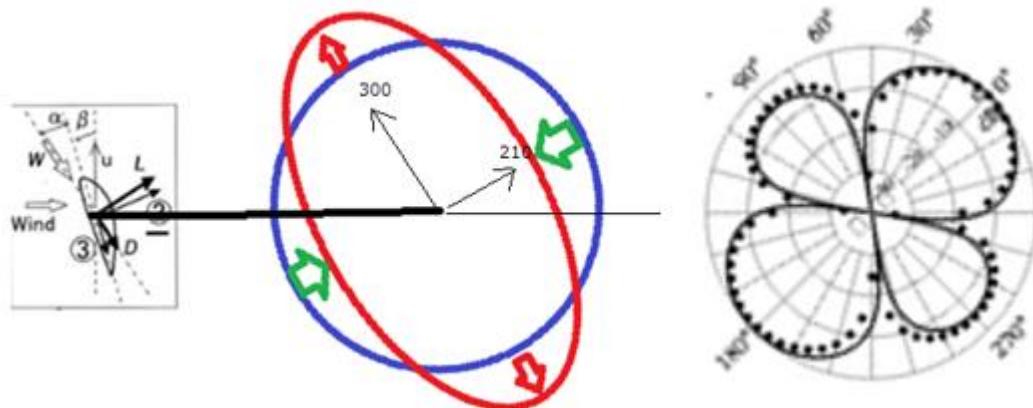
5. 1. 7 風車音の指向性、十字架型

風車音は指向性を持ちます。

2) 菊島義弘,長島久敏,橋本晶太,鯨岡政斗,濱田幸雄,川端浩和,小垣哲也, [風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について](#),風力エネルギー利用シンポジウム Vol.38 p. 69-72, 2016

に詳しく書かれています。

音が強くなる方向は、



となっています。

ブレードに掛かる揚力ベクトルの方向が基準になります。

風車は風の来る方向を向きます。風車の向きと風速で揚力ベクトルの方向と大きさが決まります。

また、上に示した通り、風車音の音圧は風速によって大きく変化します。

風車音が強く影響する場所とその程度は、風向や風速に大きく依存しているのです。

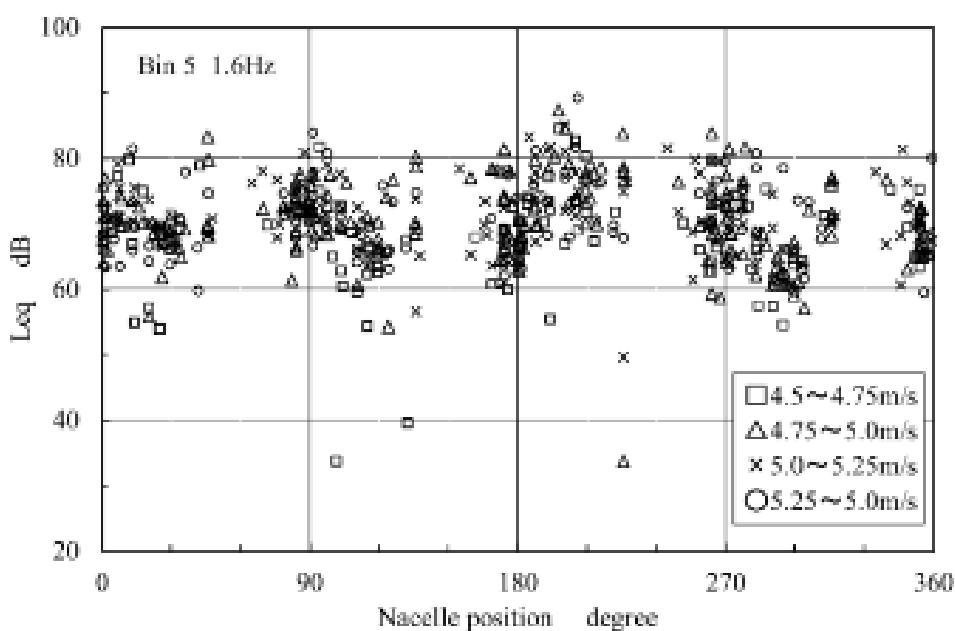


図 6 Bin 5 中心周波数 1.6Hz の指向性分布

さらに、

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

Vibration Analysis of Wind Turbine Nacelle and Tower

いる。図3のローリング方向では 0.8Hz, 1.6Hz, 2.7Hz にゲインの増大が確認でき、ロータの偏芯が顕著には

現れておらず、代わりに 1.6Hz に羽根数×回転数の振動が現れている。これは、上下左右の風速差と羽根数によるブレード変形振動が起因しているものと考える。また、0.7Hz に 1 次のタワー曲げ振動モードが表れており、0.8Hz のタワーねじり振動モードと同レベルとなっていることが観測でき、タワー振動がブレードに影響していることが分かる。

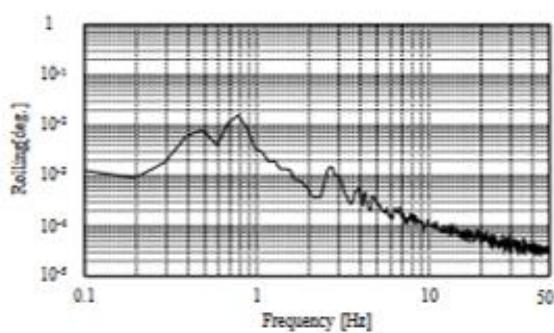


図2 ナセル内傾斜計鉛直方向スペクトル

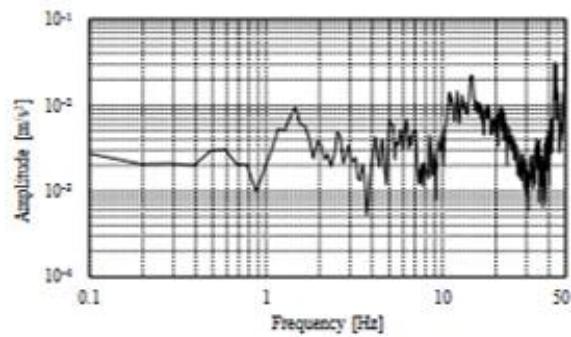


図4 ナセル内加速度 210 度方向スペクトル

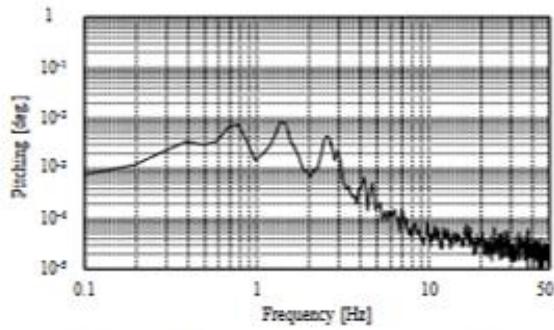


図3 ナセル内傾斜計ローリング方向スペクトル

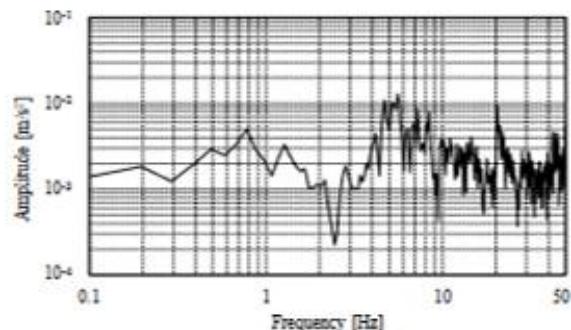


図5 ナセル内加速度 300 度方向スペクトル

風車ナセル・タワーの振動解析では、

210 度方向ではロータ回転周波数 0.5Hz が若干表れ、羽根数×回転数 1.6Hz が顕著に表れている。

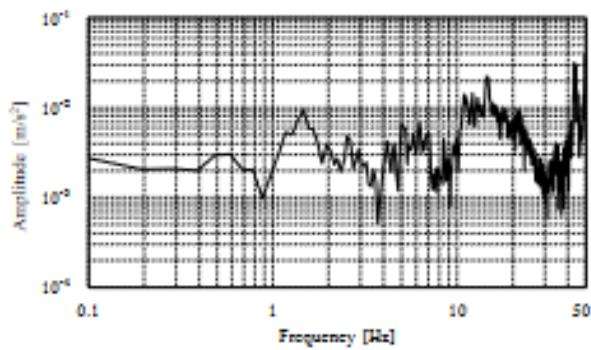


図 4 ナセル内加速度 210 度方向スペクトル

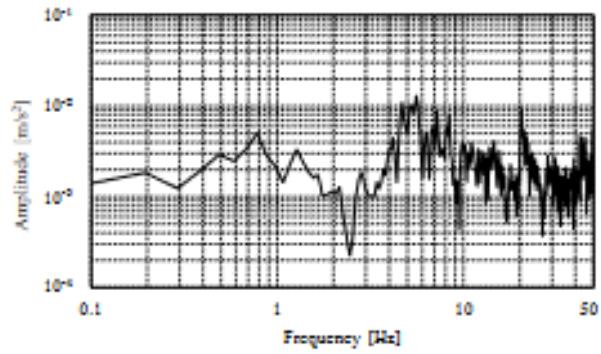


図 5 ナセル内加速度 300 度方向スペクトル

ここで、210 度については、塔の中心の真上にあるナセル内の床を原点にとり、回転軸がブレードの方向を向く方向を基準にして、左回りの回転で計測した、角の大きさだと考えます。この時、 $210+90=300$ ですから、210 度方向には大きく揺れるが、それに対する直角方法では、振幅が少し小さくなる。

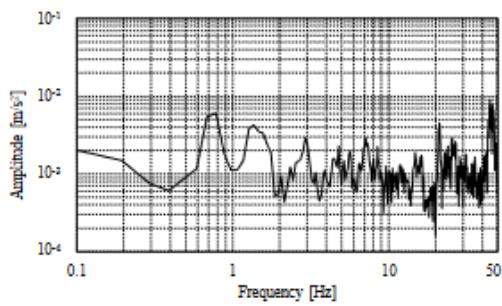


図 6 タワー内 40m 加速度 210 度方向スペクトル

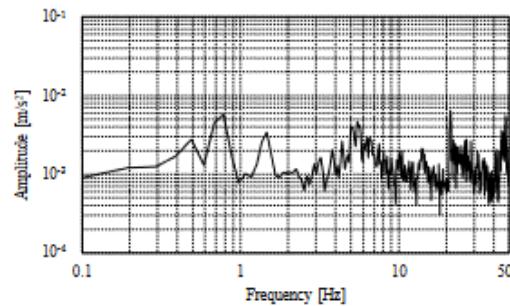


図 7 タワー内 40m 加速度 300 度方向スペクトル

5. 1. 8 塔の運動

1) 高橋厚太, 賀川和哉, 長嶋久畠, 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

Vibration Analysis of Wind Turbine Nacelle and Tower

いる。図3のローリング方向では 0.8Hz, 1.6Hz, 2.7Hz にゲインの増大が確認でき、ロータの偏芯が顕著には

現れておらず、代わりに 1.6Hz に羽根数×回転数の振動が現れている。これは、上下左右の風速差と羽根数によるブレード変形振動が起因しているものと考える。また、0.7Hz に 1 次のタワー曲げ振動モードが表れており、0.8Hz のタワーねじり振動モードと同レベルとなっていることが観測でき、タワー振動がブレードに影響していることが分かる。

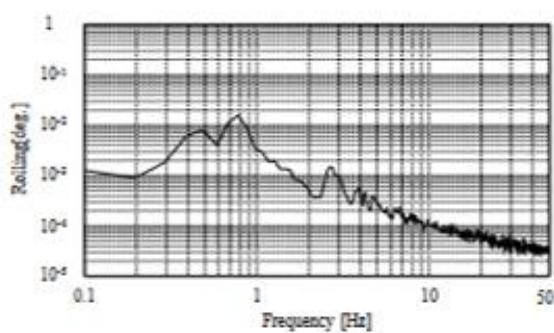


図2 ナセル内傾斜計鉛直方向スペクトル

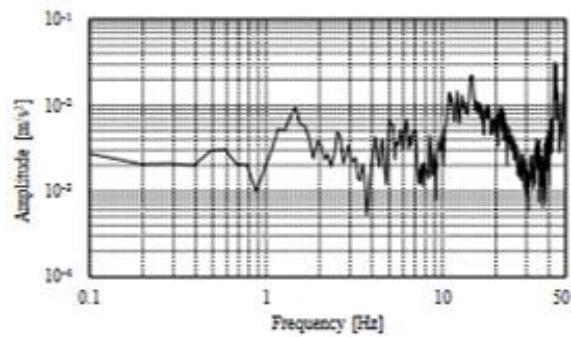


図4 ナセル内加速度 210 度方向スペクトル

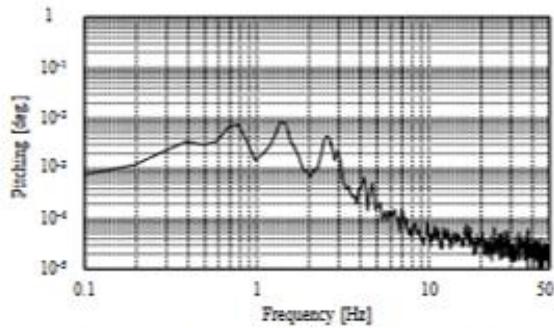


図3 ナセル内傾斜計ローリング方向スペクトル

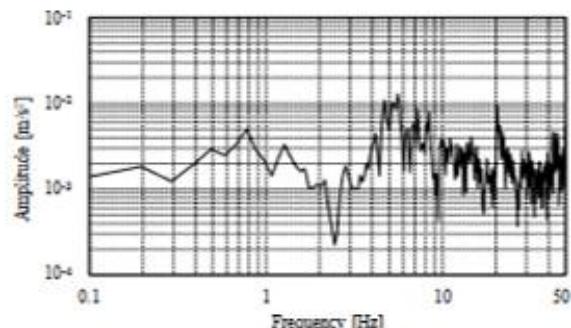


図5 ナセル内加速度 300 度方向スペクトル

風車ナセル・タワーの振動解析では、

210 度方向ではロータ回転周波数 0.5Hz が若干表れ、羽根数×回転数 1.6Hz が顕著に表れている。

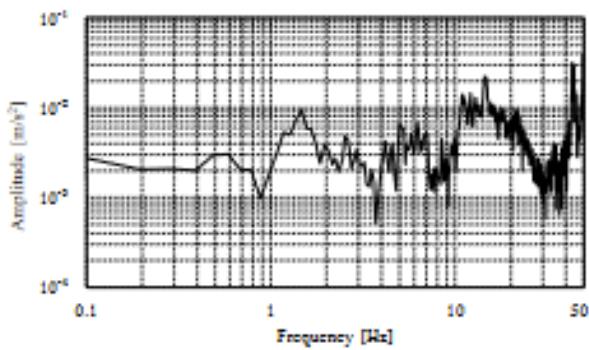


図 4 ナセル内加速度 210 度方向スペクトル

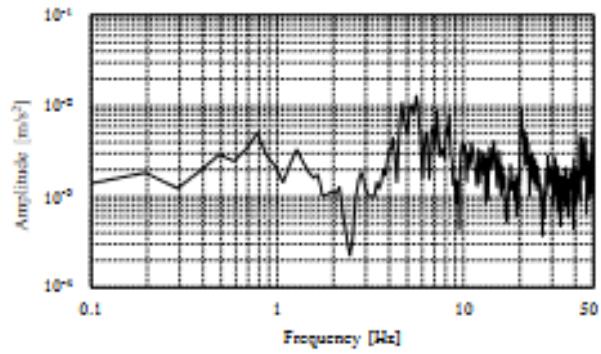


図 5 ナセル内加速度 300 度方向スペクトル

ここで、210 度については、塔の中心の真上にあるナセル内の床を原点にとり、回転軸がブレードの方向を向く方向を基準にして、左回りの回転で計測した、角の大きさだと考えます。この時、 $210+90=300$ ですから、210 度方向には大きく揺れるが、それに対する直角方法では、振幅が少し小さくなる。

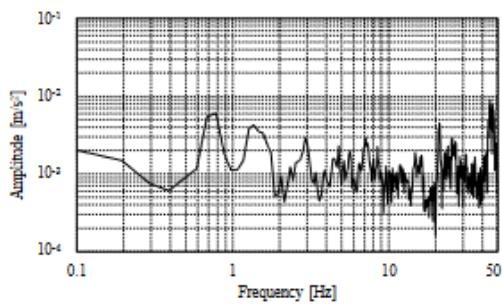


図 6 タワー内 40m 加速度 210 度方向スペクトル

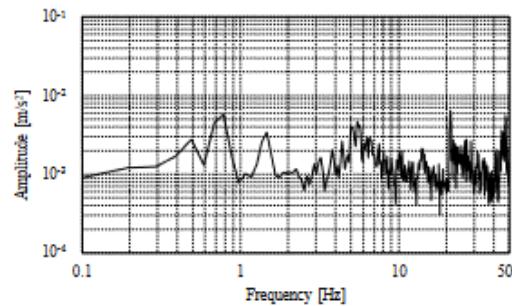


図 7 タワー内 40m 加速度 300 度方向スペクトル

5. 1. 9 全国 164 か所で音圧の高い超低周波音が計測された。

風車の周辺では、環境省が依頼した調査の結果では、調査した 164 か所の全ての地点で超低周波音が計測されています。

次のグラフは、「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」にあるものです。

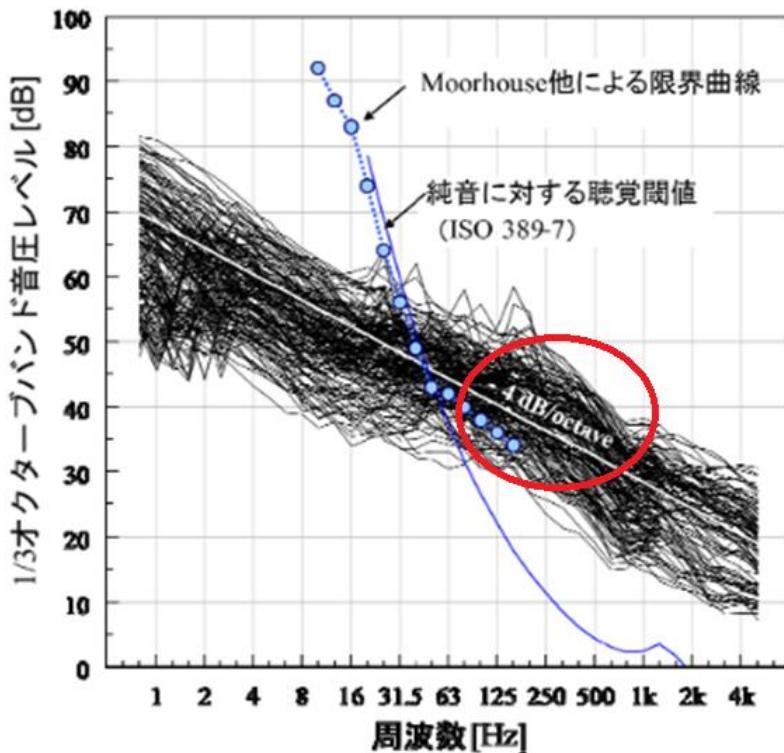


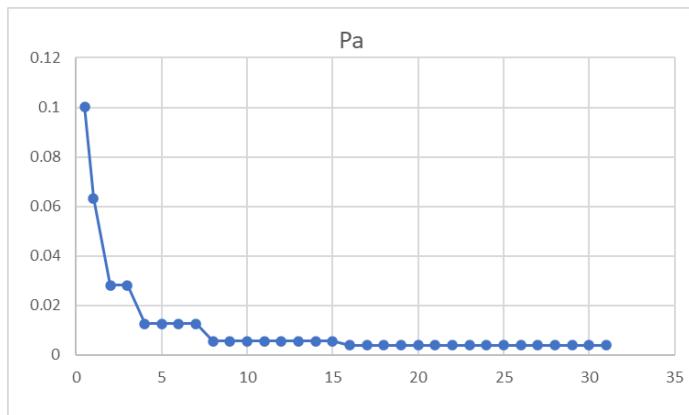
図 3 全国 29 の風力発電施設周辺 164 地点における風車騒音の周波数特性の分析結果

上のグラフを見れば、20Hz 以下の部分の音圧が極めて高いことが見て取れます。これは、超低周波音が高い音圧で存在することを意味しています。

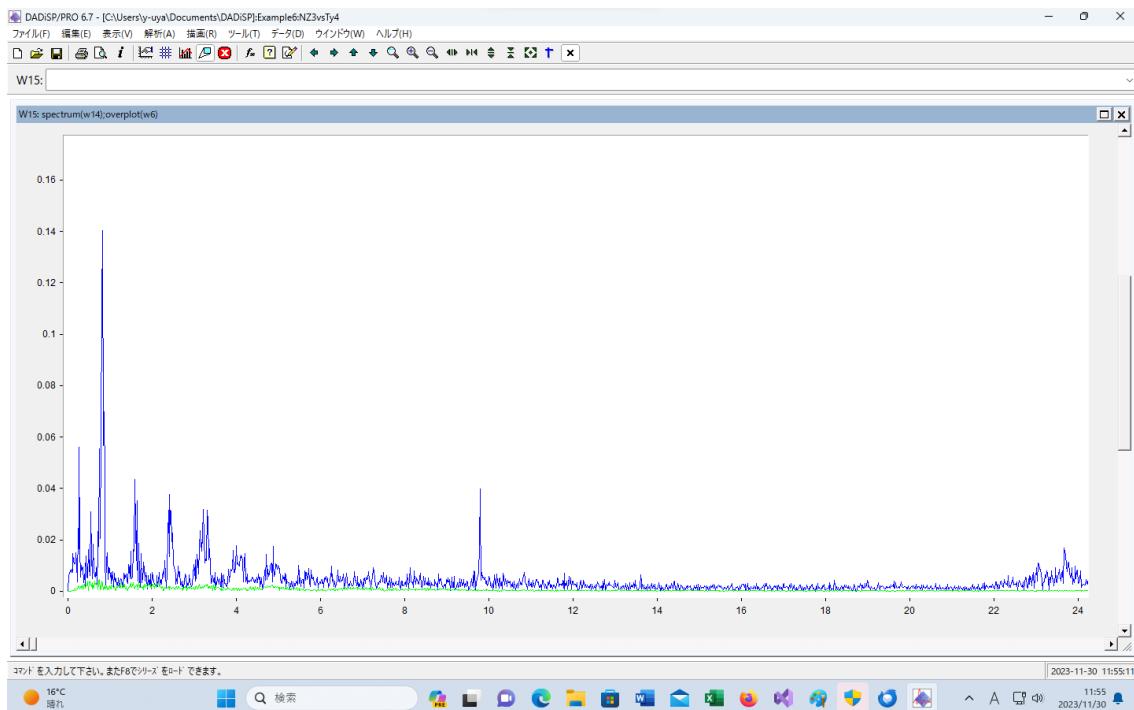
グラフを、よく見ると、-4dB/octave と書いてある。これは、「ある音を基準として、周波数比が 2 倍になる音」を「1 オクターブ上の音」と呼んでいます。周波数が 2 倍になると 1 オクターブ増える。1 オクターブ増えると音圧レベルが 4 dB 減る。という事ですので、

図 3 のグラフの横軸を線形座標、縦軸をパスカル値に変換すればグラフは次の様になります。

Hz	dB	Pa*Pa	Pa*Pa	Hz	Pa
0.5	74	0.010048	0.010047546	0.5	0.100237
1	70	0.004	0.004	1	0.063246
2	66	0.001592	0.000796214	2	0.028217
3			0.000796214	3	0.028217
4	62	0.000634	0.000158489	4	0.012589
5			0.000158489	5	0.012589
6			0.000158489	6	0.012589
7			0.000158489	7	0.012589
8	58	0.000252	3.15479E-05	8	0.005617
9			3.15479E-05	9	0.005617
10			3.15479E-05	10	0.005617
11			3.15479E-05	11	0.005617
12			3.15479E-05	12	0.005617
13			3.15479E-05	13	0.005617
14			3.15479E-05	14	0.005617
15			3.15479E-05	15	0.005617
16	58	0.000252	1.57739E-05	16	0.003972
17			1.57739E-05	17	0.003972



右側のグラフは、下のグラフの青い線とよく似た形です。



これは、風車音の計測結果ですから、似ていて当然です。

また、100Hz から 4 k Hz の間では、

Hz	dB	Σ (Pa*Pa)	Pa*Pa	Hz	Pa
128	46	1.592E-05	1.24408E-07	128	0.000353
256	42	6.34E-06	2.4764E-08	256	0.000157
512	38	2.524E-06	4.92935E-09	512	7.02E-05
1024	34	1.005E-06	9.81206E-10	1024	3.13E-05
2048	30	0.0000004	1.95313E-10	2048	1.4E-05
4096	26	1.592E-07	3.88777E-11	4096	6.24E-06

Hz	dB	Σ (Pa*Pa)	Pa*Pa	Hz	Pa
1024	38	2.524E-06	2.46468E-09	1024	4.96E-05
1024	34	1.005E-06	9.81206E-10	1024	3.13E-05
1024	15	1.265E-08	1.23526E-11	1024	3.51E-06
2048	35	1.265E-06	6.17632E-10	2048	2.49E-05
2048	30	0.0000004	1.95313E-10	2048	1.4E-05
2048	12	6.34E-09	3.09549E-12	2048	1.76E-06

これと、窓による遮音効果を考えれば、

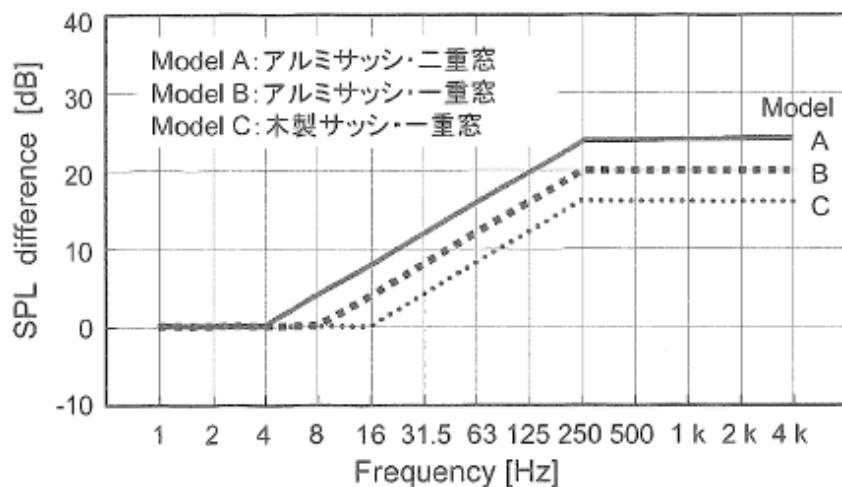
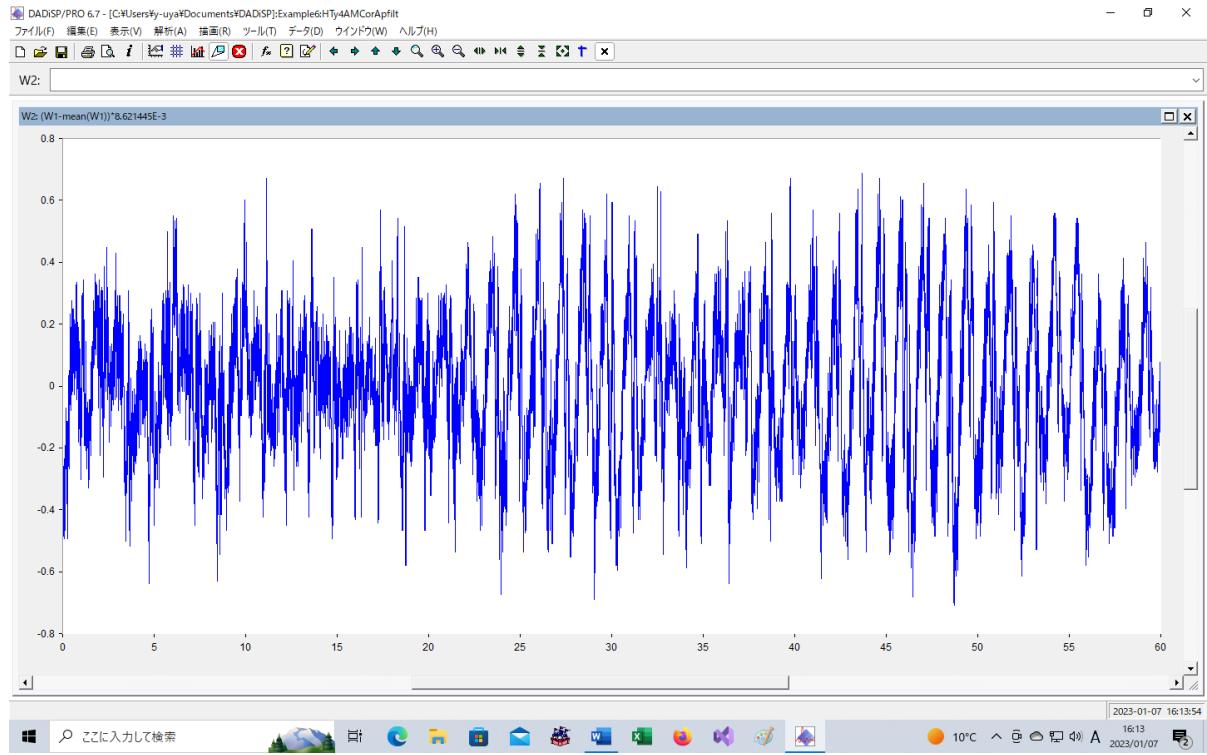


図 4 開口部構造別のハウスフィルター・モデルの案

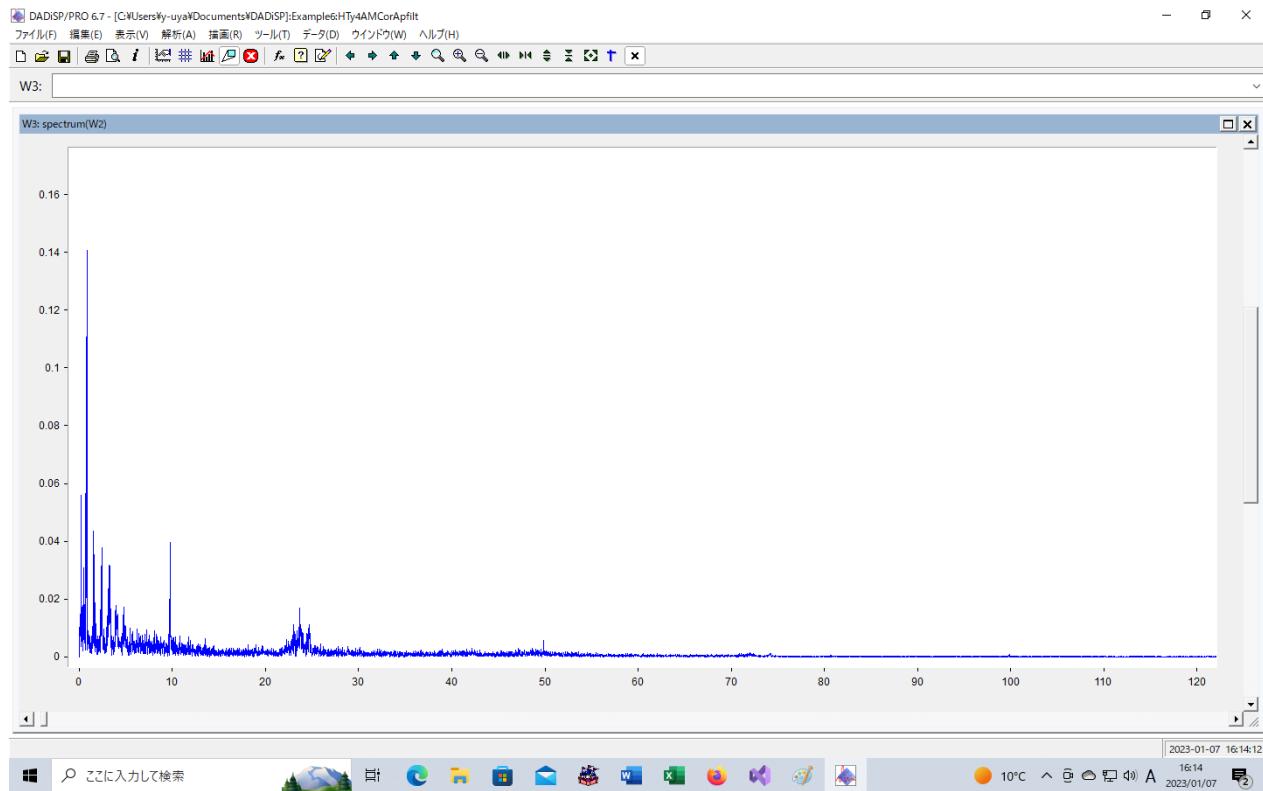
室内では、1 k Hz の音は、18 dB 以下、2 k Hz の音は 15 dB 以下だと考えられます。

周波数が高い部分の音圧は極めて低いことが分ります。この成分の振幅変調はありますが、元々小さく、防音効果が効くので問題ではありません。

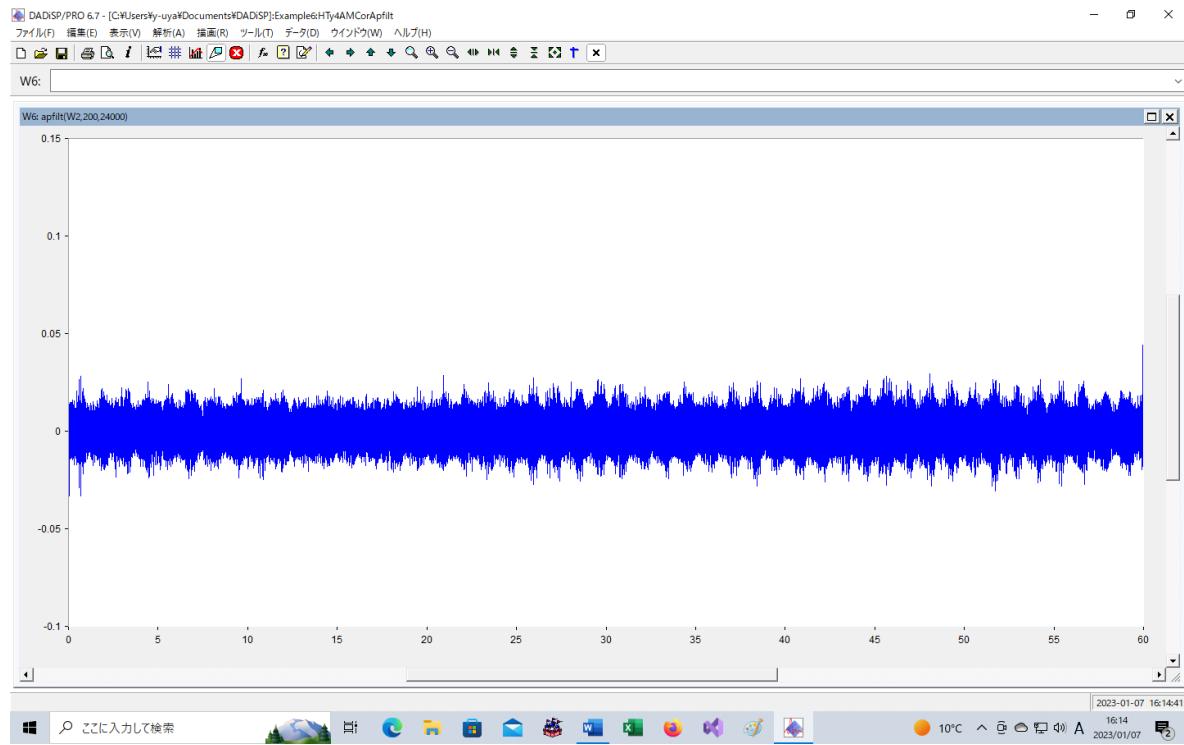
風車音を 60 秒計測したデータを表すグラフは次のものです。(これが風車音そのものです。)



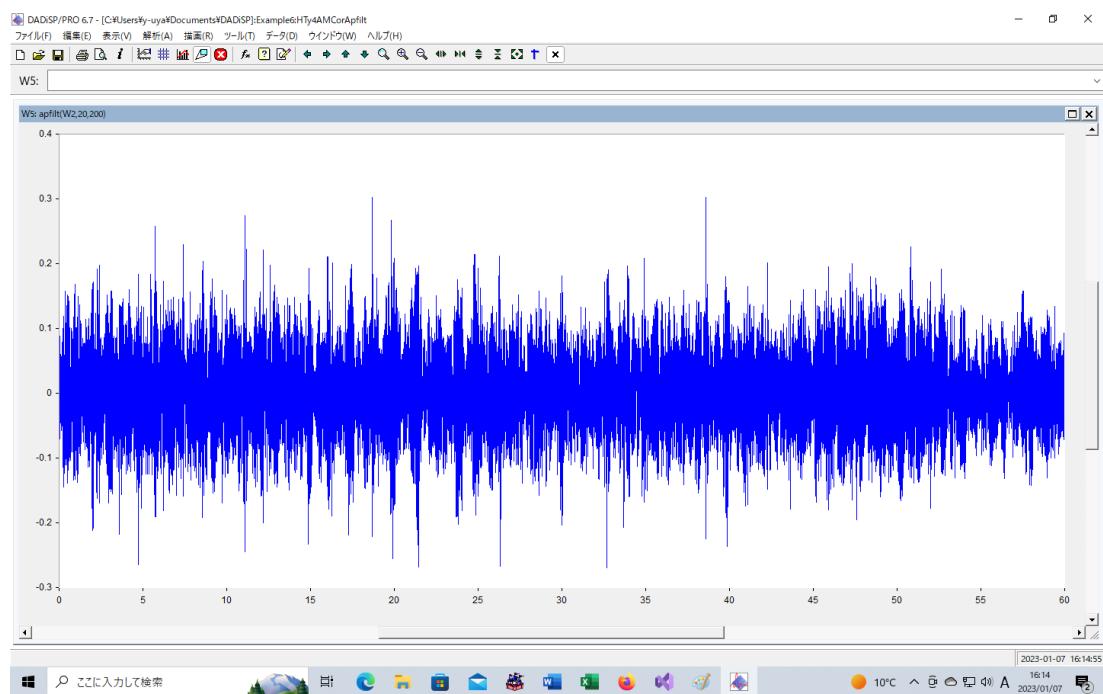
低周波部分を拡大した、周波数スペクトルは次のグラフです。50Hz 以下の成分が大半を占めています。このグラフからも、200Hz 以上の成分は、微弱なものであることが分かります。



FFT は逆変換が出来るので、元の波形から、200Hz～24000Hz の成分を取り出しました。確かに、振幅が変動しています。

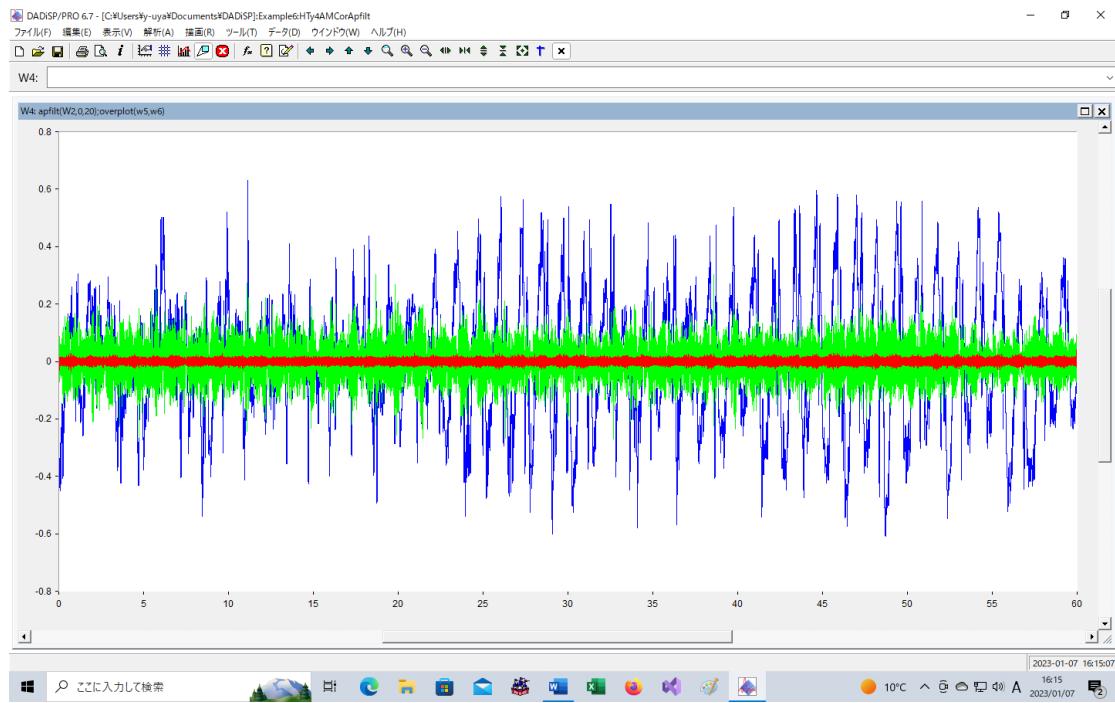


同様に、20Hz～200Hz の成分を取り出しました。

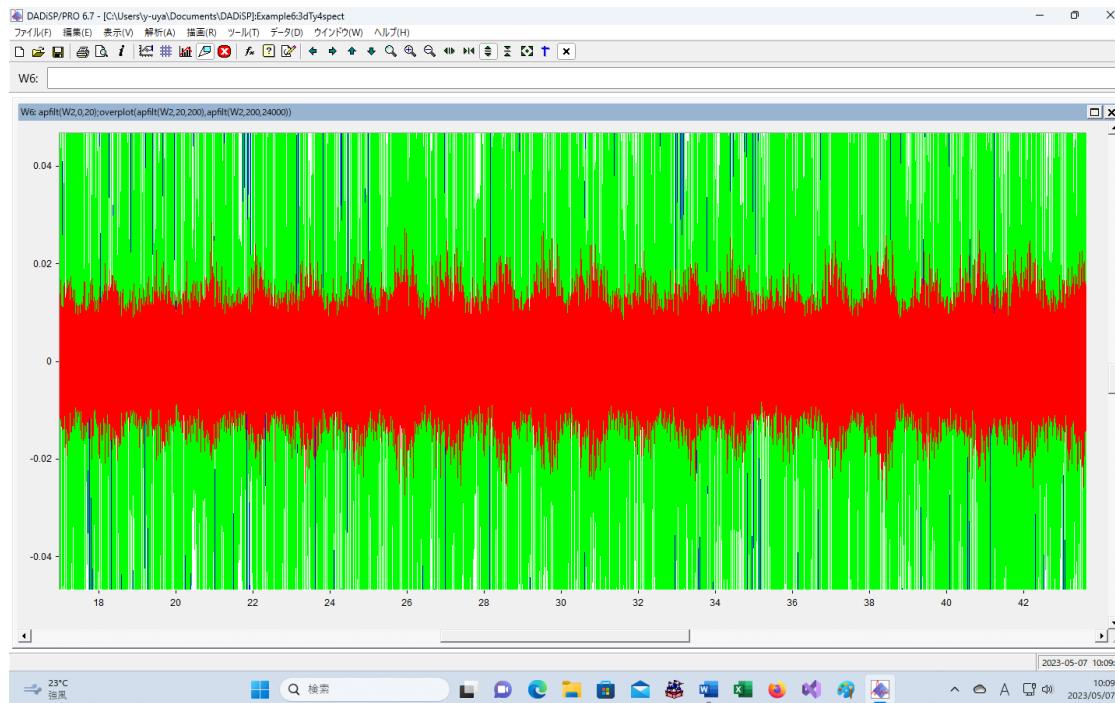


同様に取り出した、0Hz～20Hzの超低周波音成分を青で、20Hz～200Hzの成分を緑で、200Hz～24000Hzの成分を赤で、重ね書きしてみました。高い音圧を持っているのは、超低周波音の成分であることが分かります。

赤い部分の200Hz以上の成分は、他の成分に比べて、極めて弱い音であることが見て取れます。



赤い部分を拡大すれば、振幅変調も見て取れますが、周波数が高いので、防音窓で防げると考えます。事論、屋外と屋内で精密騒音計を使って、0.01Hz刻みの周波数で調べて、比較してみることが必要です。さらに、A特性音圧レベル（20Hz～）が同程度の交通騒音が存在する場所でも、同じ計測をして、比較してみることも必要です。



赤の部分は、微弱で周波数が高いのですから、部屋の中で窓を閉めて、24 dB 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、7 dB 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。

検討会報告書 p 8

また、落合 (2013) (7)によれば、風力発電施設周辺で苦情を申し立てている住居における内外音圧レベル差を測定した結果で、窓を閉めた状態の A 特性音圧レベルにおける内外音圧レベル差は 11~18dB 程度、やや特殊なケースであるが玄関扉を開放した状態でのレベル差は 7 dB 程度となった。「騒音に係る環境基準」における基準値の設定にあたっては、我が国の一般的住居の遮音性能（騒音レベルで評価した内外音圧レベル差）として、窓を閉めた状態で 25dB、窓を開けた状態で 10dB が想定されており、他の騒音と比較して風車騒音の屋内外のレベル差が小さいことを示している。一般に低い周波数ほど遮音されにくくことが知られており、風車騒音に関しては、より低い周波数成分の割合が大きいことから、遮音による屋内外のレベル差が小さくなっていると考えられる。そのため、他の騒音があまりない静穏な環境においては、風車騒音は、屋内において通常の騒音より相対的に聞こえやすくなる点に留意が必要である。

検討会報告書 p 28

イ. 調査機器等

調査機器は、基本的に騒音計(サウンドレベルメータ)、防風スクリーン及びデータレコーダないしレベルレコーダで構成される。最近では、騒音計内に測定データの保存機能を有するものが一般的であり、長時間のデジタルデータを格納することができる。

風力発電施設周辺の地域は一般に風が強いことから、残留騒音を測定する際に風雑音の影響をできるだけ避けるため、防風スクリーンの使用が不可欠である。ウレタン製の球形で径が異なる数種類の防風スクリーンが市販されており、一般に径が大きいほど風雑音の影響を受けにくい。

なお、風雑音の影響を最小限にする例として、推進費研究(5)では、市販されている 20 cm 径防風スクリーン(直径 20cm、ウレタンフォーム製)を 12 面体の各面にネットを貼った二次防風スクリーンで覆った特別なスクリーン内にマイクロホン (1/2 inch コンデンサーマイクロホン) を挿入して、風車騒音及び残留騒音の測定を行っている (図 11)

これに関しては、風車から 20 km 離れた場所と、風車のすぐ近くで、風速が同じ時にマイクに風を当てながら計測したデータを比較すれば、疑問点はすぐに解決します。

5. 1. 10 風速変化による、周波数と音圧の変動

A 特性での等価騒音レベルの 46 dB は、ピーク値での大きさを示すものではありません。

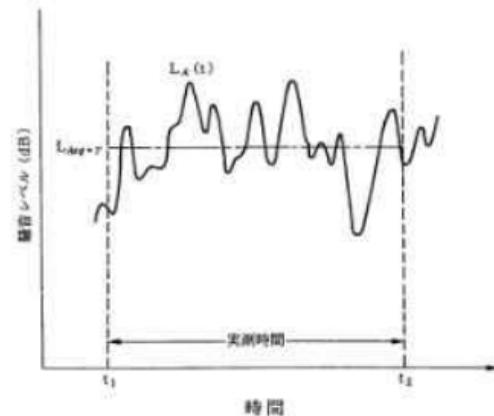
例えば L_{Aeq} (等価騒音レベル) の意味は

等価騒音レベル L_{Aeq} (10min) (dB)

equivalent continuous A-weighted sound pressure level

- 騒音レベルが時間とともに変化する場合、測定時間内でこれと等しい平均二乗音圧を与える連続定常音の騒音レベル（変動騒音と等しいエネルギーを持つ同じ長さの定常音で表す）。
- 騒音測定時間全体にわたり、一定時間間隔ごとに騒音レベルを測定、下式から求める。

$$L_{Aeq} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{L(t)}{10}} dt \right]$$



注釈1. 等価騒音レベルはサンプル値のエネルギー平均値 (dBの平均)。

注釈2. サンプリングの時間間隔は、騒音計の動特性 F A S T (時定数: 0.125秒) を用いる場合、0.25秒以下、S L O W (時定数: 1秒) の場合、2秒以下が望ましい (JIS Z 8731より)。
現在、市販騒音計の大部分は0.1秒以下の時間間隔でサンプリングしている。

46

注釈1. 時間間隔 T ($t_1 \sim t_2$) [s] の騒音レベルのサンプル値 $L_{A,i}$ (サンプル数 N) から、等価騒音レベル $L_{Aeq,T}$ を求める場合には、次式による。

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left(\frac{\Delta t}{T} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{A,i}}{10}} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{A,i}}{10}} \right)$$

ここに、 i は騒音レベルの i 番目の瞬時値を表す添え字、 Δt はサンプリング間隔 [s]、 N はサンプル数。

であり、右上の図から明らかなように、ピーク値よりは低いです。

工場の騒音は安定していますが、風車音は風速で変化します。風速大きい時間が 20 秒間程度継続することがある。この時、音圧が 2 倍になれば、圧迫感や頭痛などが起きて目が覚める。

風速が落ちて、音が静かになっても、すぐには眠れない。

風の性質について、

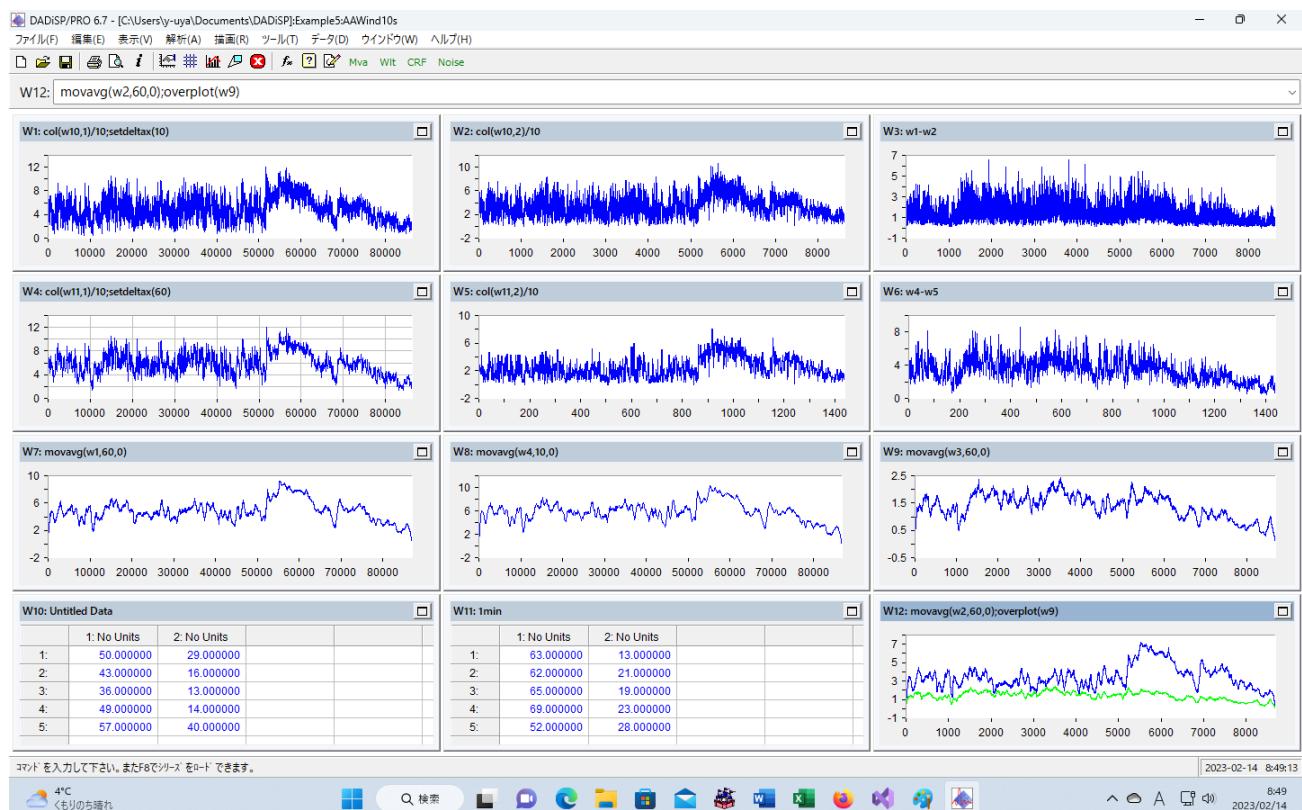
次の表は、気象庁が計測したデータを、気象業務支援センターから入手したものです。

年	月	日	時	分	秒	前10秒間最大瞬間風速	前10秒間最小瞬間風速	前10秒間風程
						0.1m/s	0.1m/s	
2019	2	2	0	12	40	147	124	132
2019	2	2	0	12	50	146	107	131
2019	2	2	0	13	0	122	82	102
2019	2	2	0	13	10	105	65	83
2019	2	2	0	13	20	112	71	82

(前10秒間風程は、10秒間に風が進む行程を意味します。132は秒速13.2mの風速です。)

風速も風向も不安定なのです。

風の強さの変動：



(上のグラフは、2019年1月1日の24時間分の記録です。)

W1(上段左)は、前10秒間最大瞬間風速の値(10秒ごと)、

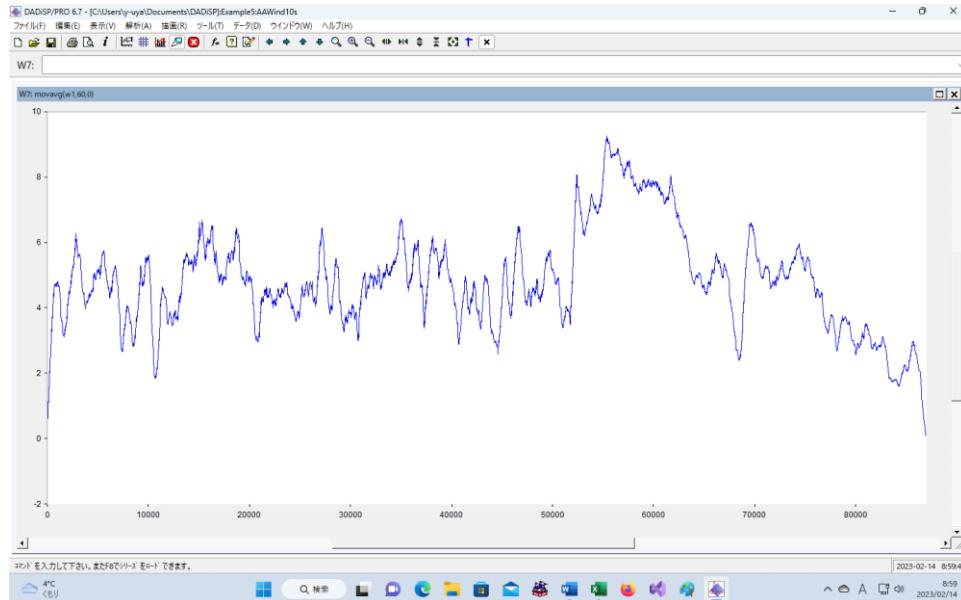
w2(上段中央)は、前10秒間最小瞬間風速の値(10秒ごと)、

w4(2段目左)は、最大瞬間風速(3秒間移動平均)の値(1分ごと)、

w5(2段目中央)は、最小瞬間風速(3秒間移動平均)の値(1分ごと)、

です。

w1の移動平均をとると、



となります。

ピーク値は、2820, 5640, 6780, 10070, 15030, 16310, 18720、、秒の辺りです。

秒	分	経過 (分)
2820	47	
5640	94	47
6780	113	19
10070	168	55
15030	251	83
16310	272	21
18720	312	40

上の表を見れば、1時間に1回くらい風車に強い風が当たることが分かります。

強い風が当たれば、揚力ベクトルが大きくなり、風車の振動も大きくなります。その結果風車から発生する音も大きくなります。

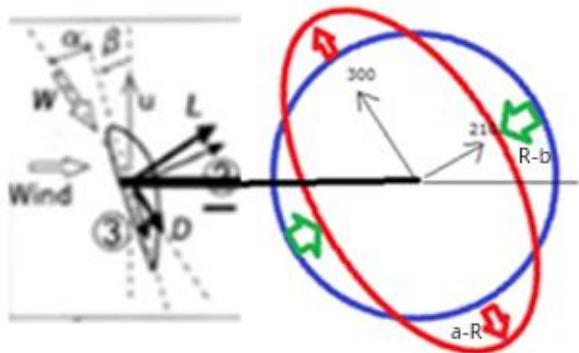
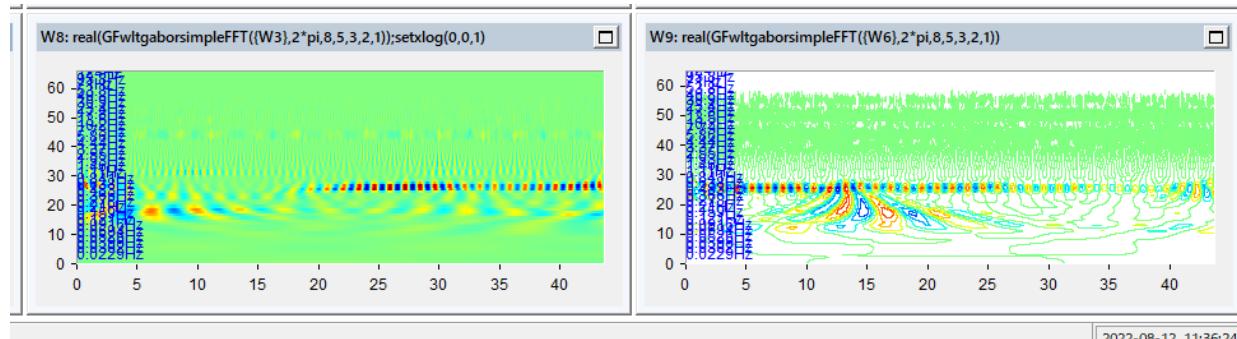


Fig. 10 Lifting vector and modification

揚力ベクトルの大きさは、風速の2乗に比例します。風速が2倍になれば、揚力ベクトルの大きさは4倍になります。塔の側面の振幅も大きくなるので、風車音の音圧も大きくなるのです。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。

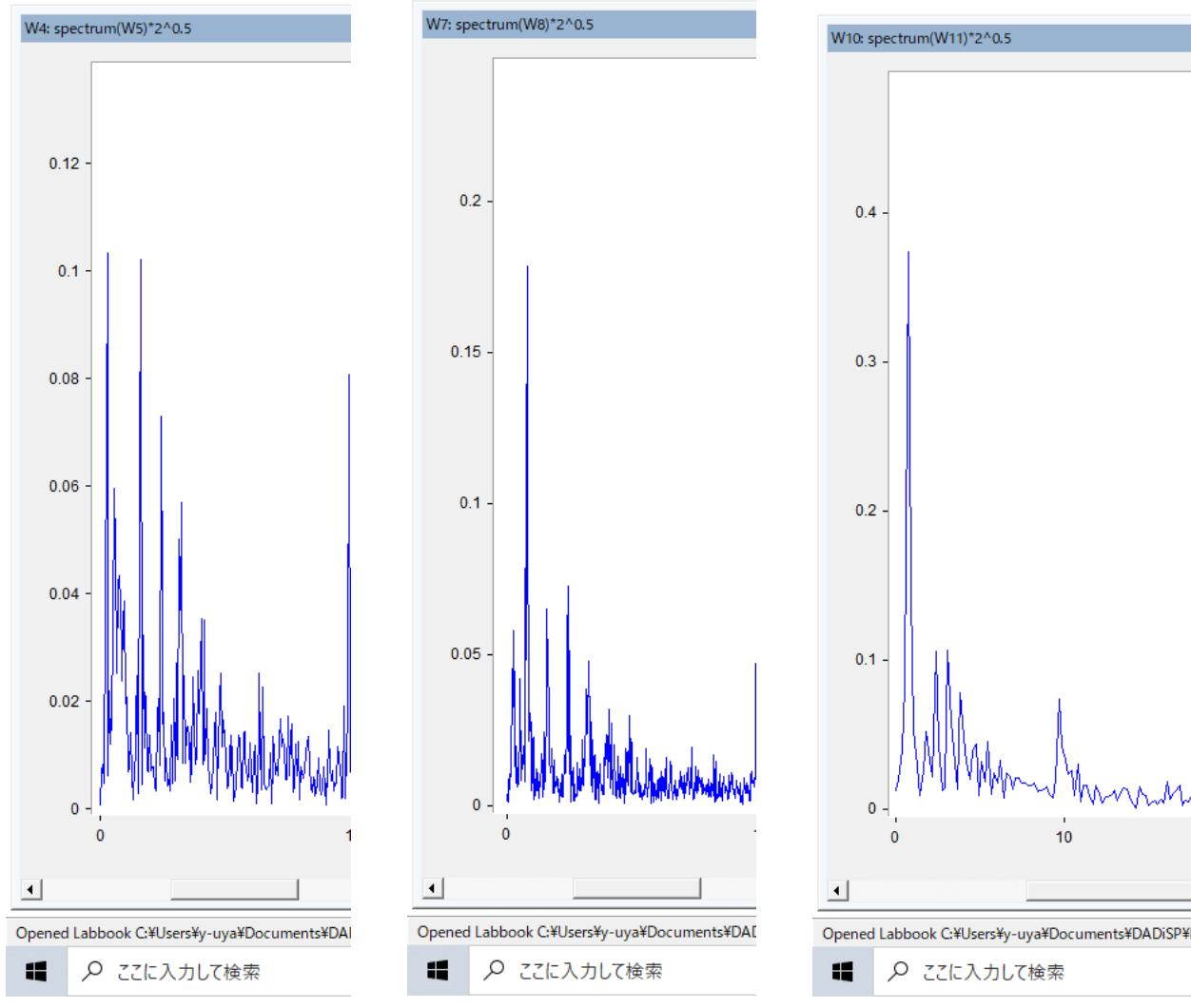
Wavelet 解析の結果として、0.8Hz の成分の周波数が時間的に安定していることも分かります。



色の濃い部分は音圧が高く色が薄い部分は音圧が低いことを意味しています。0.8Hz を示す色の濃い帯があるが、風速の変化で色の濃さが変わります。色の濃い部分は 30 秒くらい継続します。

周波数は 0.7Hz～0.9Hz の辺りで、かなり安定しているのですが、音圧はかなり変化します。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。



周波数の変動幅は少ないので、音圧は平均すると 0.175Pa、弱いときは 0.104Pa、強いときは 0.37Pa です。強いときは、平均の 2 倍程度の音圧になり、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。

平均して、0.175Pa の音圧で、A 特性音圧レベル（20Hz～）が評価されていて、指針値での限界にかなり近い場合において、1 時間に 1 回くらい、平均値の 2 倍以上の音圧になる状態が起きるのです。

これは、1 時間ごとに目覚まし時計が鳴るような状態に置かれると言う事です。いくら目覚まし時計が鳴っても、起きない人もいますが、普通の人は目が覚めます。

そして、次の朝になり、子供は学校で居眠りできますが、大人は仕事です。車を運転する人もいるでしょう。事故でも起きたら、その責任は誰が取るのでしょうか？

さて、ほぼ 1 時間おきに、風が強く吹くならば、音圧も上がります。計測は 21 時から 6 時まで継続する必要があります。

風車から離れた住宅で、46 dB だと、音圧は 0.004Pa 程度ですが、風速が大きくなつて風車の音の音圧が 2 倍になると、音圧レベルは 52 dB となります。

1 時間に 1 回くらいは、52 dB の風車音を浴びることになります。風車音で 50 dB ならば、交通騒音での 60 dB に相当します。

うるさい	大きく聞こえ、うるさい。声を大きくすれば会話ができる	60 dB	・洗濯機（1m） ・掃除機（1m） ・テレビ（1m） ・トイレ（洗浄音） ・アイドリング（2m） ・乗用車の車内
普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	50 dB	・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（1m）

夜中の交通騒音の 60 dB は厳しい数値です。

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

その影響は、1 時間に 1 回くらいは、20% の人が “非常に不快である” と感じるような状態になるという事です。（交通騒音の数値で言えば、60 dB 程度の音による不快感です。）

これは、20% の人は 1 時間ごとに目覚まし時計が鳴るような状態に置かれると言う事です。いくら目覚まし時計が鳴っても、起きない人もいますが、普通の人は目が覚めます。

そして、風車音の被害

“今陸上風車から約2キロのところに住んでいますが、騒音で眠れない、起こされる日が年に何十日もあります。中心市街地から近い場所に建てることは公害となる可能性があり問題です。大型の風車の音はどこまで聞こえますか。聞こえないくらい離すべきです。騒音規制ギリギリでは被害が出ているので、聞こえない位置まで離さなければなりません。促進区域の時点で遠くへ設定しなければ、事業者公募で否定できませんよね。事業者は何かと理由をつけて対応しません。結局市役所にクレームが行くのではないですか。一度決めたことは後戻りできないのでしょうかから、今遠くへ設定すべきと考えます。もちろん地球温暖化対策は大切ですが、普通の住宅街に住んでいる人に健康への影響を出してまで推し進めるものではないのでしょうか。苦しんでいる人を切り捨てないよう、切にお願いします。“が起きるのです。

風車建設後に騒音計測をしたデータがあります。

([風力発電サイトにおける事後調査報告](#)) には、次の表があります。

3-6) 事前、事後の比較(騒音)

：

調査地点 (風車までの距離)	時間区分	事後調査結果			風車設置前の 調査結果 (平成17年)		環境 基準 (B類型)
		1日目	2日目	3日目	通常時	強風時	
T 1 (350m)	昼間	53dB	52dB	50dB	50dB	55dB	55dB
	夜間	45dB	39dB	43dB	42dB	<u>※59dB</u>	45dB
H 1 (400m)	昼間	49dB	50dB	—	42dB	<u>※56dB</u>	55dB
	夜間	<u>※46dB</u>	41dB	—	42dB	<u>※55dB</u>	45dB
M 2 (470m)	昼間	45dB	41dB	43dB	39dB	52dB	55dB
	夜間	<u>※46dB</u>	36dB	44dB	36dB	<u>※59dB</u>	45dB
N 1 (680m)	昼間	43dB	51dB	45dB	45dB	<u>※59dB</u>	55dB
	夜間	<u>※48dB</u>	41dB	34dB	42dB	<u>※53dB</u>	45dB

・調査員を配置して、音源識別を実施。

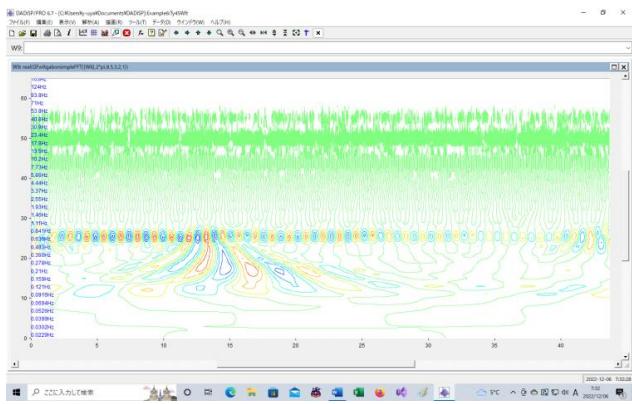
・(※)を付した箇所は環境基準を超過。風雑音、波音、犬の鳴き声等影響あり。

M2の夜間の1日目では、46dBであり、残留騒音を36dBとすると、指針値は41dBです。指針値も、環境基準の45dBも越えています。45dBの意味は、交通騒音などで考えると、寝ていられる人は極めて少ないと考えられる数値です。

なお、風雑音との言い訳をしていますが、NL-62で録音したデータの周波数スペクトルを示す必要があります。根拠のないウソをついてはいけないので。

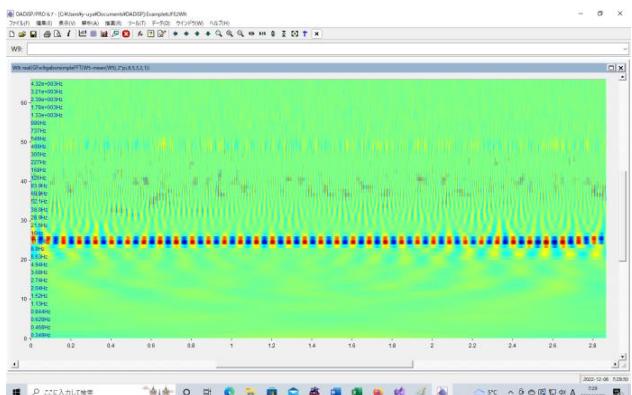
このようは風の変化に対して、風車音を Wavelet 解析した結果は、次のグラフです。0.8Hz の辺りに色の濃い部分が見えます。上下の変動（周波数の変化）は少ないが、色は変化します。色が濃い場所は音圧が高いことを表します、色が薄い場所は音圧が低いことを表します。

風車騒音（0Hz 以上）



工場音では、1Hz に、音圧も周波数も安定している音が含まれることが分ります。

工場騒音（0Hz 以上）



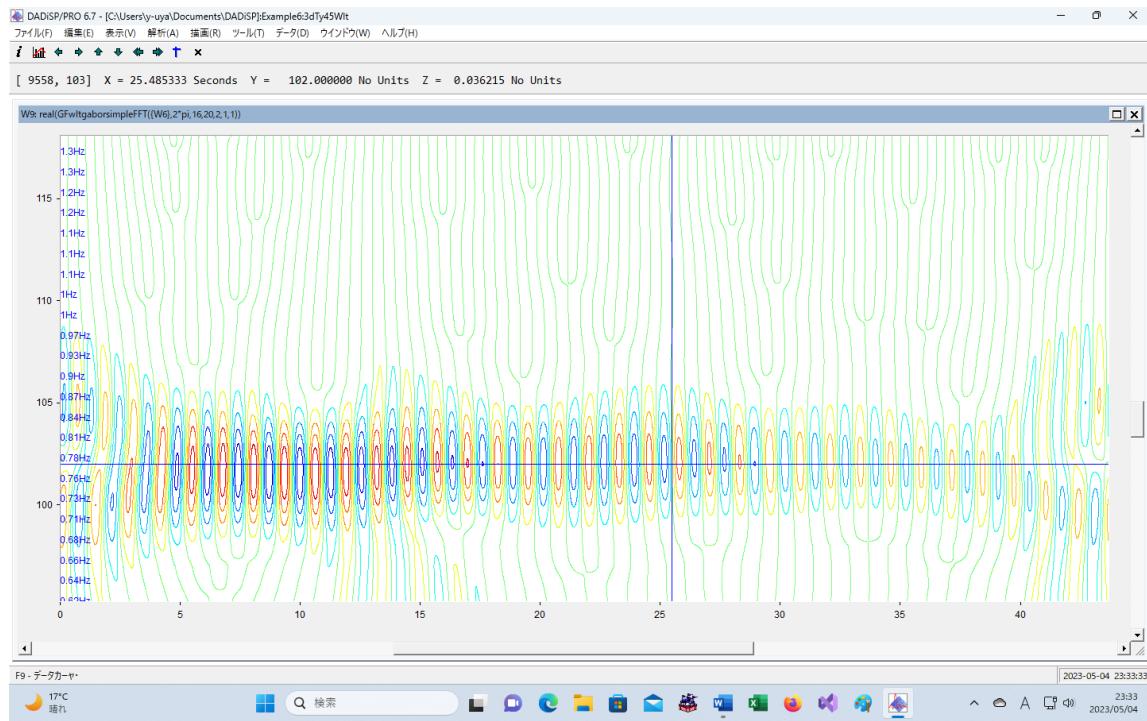
風の変動と機械の安定性の違いが表れています。

周波数の細かな変動

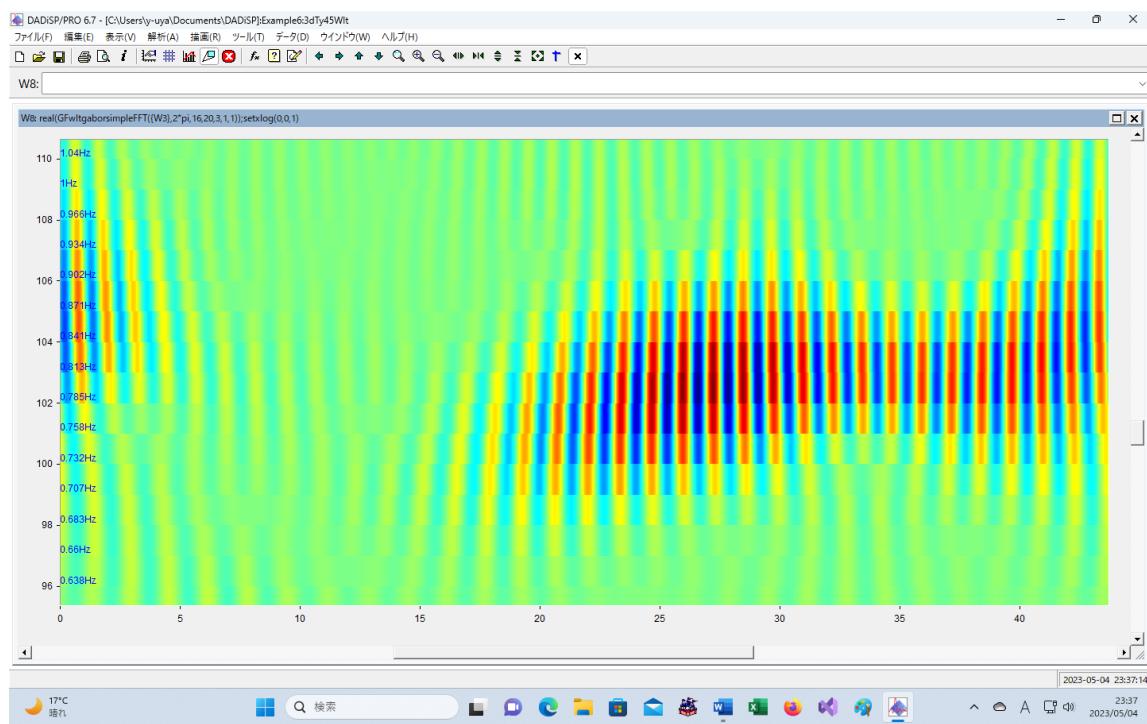
0.8Hz 辺りの周波数の時間的な変動を調べます。

次のグラフからは、

0.77Hz を中心にして、0.73Hz から 0.80Hz の間辺りで変化していることが分かります。



次のグラフでは、変動が大きくて、0.71Hz～0.94Hzの間で周波数が変動することが分かります。



風車音を録音した時に、ビデオで風車が回転する様子も撮影しました。

ブレードが塔の前を21回通過するのにかかる時間を計測して、それを元にして周波数を計算してみました。その変動の様子は、Wavelet解析での変動の様子とほぼ一致します。

7回転		
21回通過	秒	周波数
21	28	0.75
21	22	0.95
21	23	0.91
21	23	0.91
21	24	0.88
21	27	0.78
21	30	0.70
21	24	0.88
21	26	0.81
21	25	0.84
21	26	0.81
21	26	0.81
21	26	0.81
21	27	0.78
21	31	0.68
21	31	0.68
21	27	0.78
21	26	0.81
21	25	0.84
21	26	0.81
21	28	0.75
21	28	0.75
平均		0.80

一定の風速があり、風車が回転数を一定に保つ機能を持っている場合には、音圧が最大となるときの周波数は、ブレードが塔の前を通過する回数と、それに要する時間によって決まる。

$$\text{周波数 } f = \text{通過回数 } N \div \text{時間 } T$$

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 $3 \times n = N$ 、この間の時間を T とすれば $f = n \times 3 \div T$

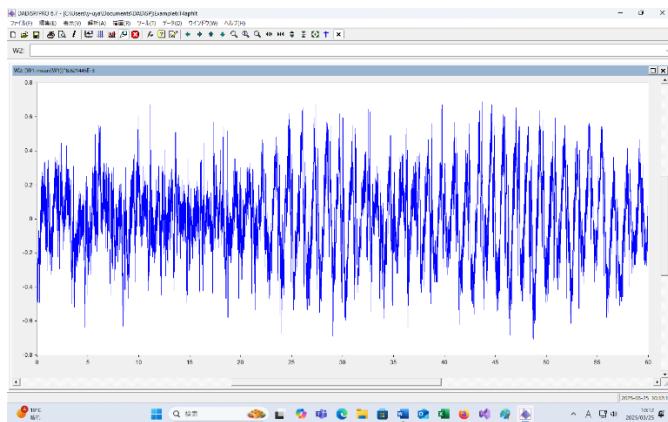
と言える。

1分間に R 回転すれば、 $R \times 3 \div 60 = f$ 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)

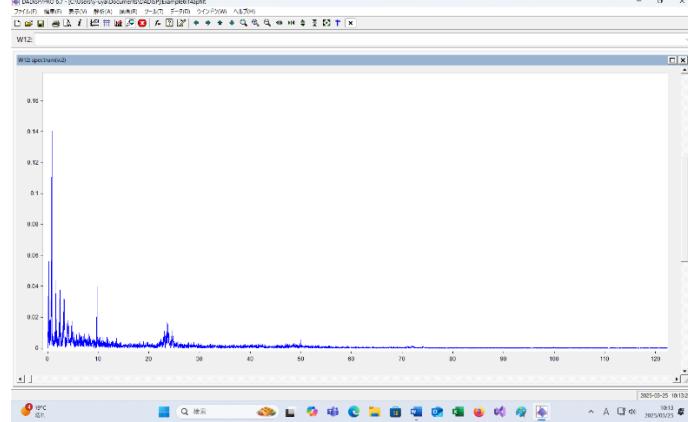
が正しいことになります。

周波数スペクトルを計算した場合は、上の表での平均値 0.8 Hz に於いて音圧がピーク値となる。

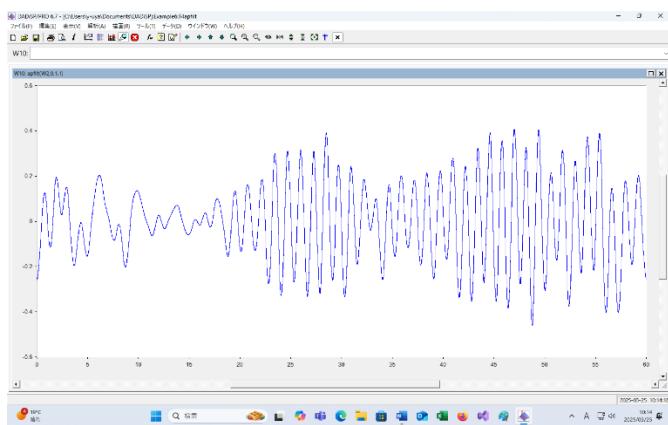
全体の波形



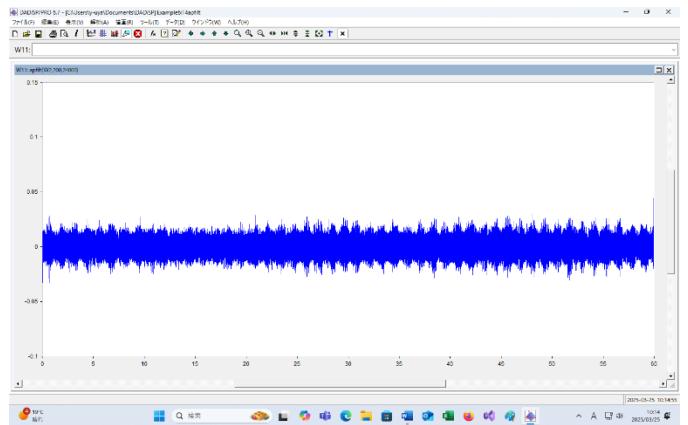
周波数スペクトル (0~120Hz)



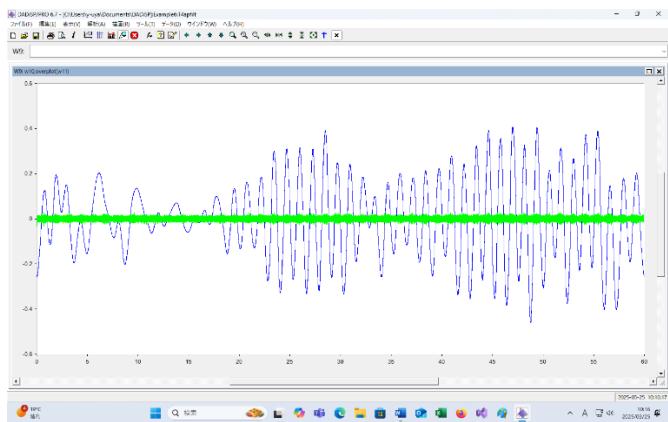
音圧変動 (0~1.1Hz の成分の変動は大きい)



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



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
2:				

$f=RZ/60=0.8\text{Hz}$ 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。

風切り音で言えば、R=16、Z=3 の場合に相当します。この 0.8Hz 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。”

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。

回転速度はあまり落ちないので、支柱との間で空気の流れ（風）を引きちぎる”力が小さくなつたとは思えません。切断される空気の量もあまり変化しないと思います。ですから、 $f=RZ/60\text{Hz}$ 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 $f\text{ Hz}$ の音の音圧変動を説明できません。

200Hz~24000Hz の音は、発電機の回転音などの機械音や、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、発電機の回転数もあまり変化しない。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、明確な説明が得られます。

6. 計測・解析

リオン社

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”
- と書かれている。

風車音か否かの判断基準となる 0.5~0.8Hz の音の測定に関しては、統一した方法が無く、また JIS 規格も無い。この部分の計測と解析は、G 特性音圧レベルや 1/3 オクターブ解析の技術では出来ないです。

“無ければ、自分で作れば良い。”という事で、風車音の詳細な性質を調べる為に必要な関数を作成し、具体的なデータを使って風車音の解析を行ってみました。必要なモジュール： DADiSP/WAV オーディオ モジュールが必要です。

リオン社の精密騒音計 NL-62 に、波形収録プログラム NX-42WR を追加して、サンプリングレートは 48 kHz、平坦特性で収録した Wav ファイル。

比較対象は、JFE の工場内での騒音データ、リオン社前の道路騒音のデータなどです。

振動については、リオン社の振動レベル計 VM-55 に、波形収録プログラム VX-55WR を追加して収録した WAV ファイルを使いました。

リオン社の機材の場合、

UC-59L と SA-A1 では、

周波数範囲 DC~20 kHz または 0.25Hz~20 kHz

NL-62A 測定範囲 1Hz~20000Hz

NL-52A 測定範囲 10Hz~20000Hz

NL-42A 測定範囲 20Hz~8000Hz

NL-27 測定範囲 20Hz~8000Hz

NA-28 測定範囲 12.5Hz~20000Hz

となっていて、一番低い周波数まで測れるのは、SA-A1 で 0.25Hz である。一見すると、SA-A1 以外では、0.5~0.8Hz の音の計測や解析が不可能であるように見えるが、そうではない。

NL-62 には、波形収録機能の説明は次の様になっています。

“● 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。

NL-62 と SA-A1 は同じマイクを使っている。波形収録ソフトを組み込めばマイクに掛かる音圧の変動を符号付整数として記録することが出来る。

音圧変動を記録するときに、サンプリングレートを 48 kHz とし、数値を 16 ビットの符号付整数として記録した場合は、NL-62 でも、SA-A1 でも同じ数値が WAV ファイルに記録される。

測定範囲に差があるのは、計算量を多くして周波数分解能を上げているからである。周波数成分を調べるには FFT の計算が必要となる。

騒音計はスイッチを入れた直後に画面に計測結果が表示されなくてはならない。計測で 60 秒かかれば 60 秒間は、画面が停止したままとなる。

48000*1 個（1 秒間）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、周波数の刻み幅を $h \text{ Hz}$ とすれば、 $h * 48000 * 1 = 48000$ となるので、 $h = 1 \text{ Hz}$ となり、周波数スペクトルは 0Hz から、24000Hz までの範囲であり、刻み幅 1Hz で表示されることになる。

48000*60 個（1 分間）のデータに対しての周波数スペクトルは、0Hz～24000Hz までの範囲を、刻み幅 $h = 0.01667 \text{ Hz}$ で表示する。

120 秒間の計測結果を解析すれば、周波数分解能は 0.0083Hz になるので、120 秒間のデータで計算すれば、定常的、周期的な性質を持つ風車からの超低周波音と他の雑音の違いが区別できる。

処理時間、必要な周波数分解能からみて、NL-62 (+波形収録ソフト NX-42WR) だけでは WAV ファイルの解析は不可能なのです。

符号付の整数で表現できる範囲は、負の数に 2 の補数を使うとき、16 ビットの符号付きの整数では $-2^{15} \sim 2^{15}-1$ の範囲の値が使用される。負の数の個数が 1 つ多い。

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 ファイル名は

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+13）dB が WAV ファイルのフルスケール値となる。

設定で 130 dB とすれば、WAV ファイルでのフルスケール値は 143 [dB] であり、これは、 $2 \times 10^{(-5)} \times 10^{(143/20)} = 282.5075088 \text{ [Pa]}$ に相当する。

実効値で 282.5075088Pa (143dB) となる値を、WAV ファイルにどの様な数値として記載するかについては、ファイルによって異なる。

16 ビットの符号付整数は $\{+2^{15}-1\} \sim (-2^{15})$ の範囲であり、音圧が -282.5075088Pa となる場

合に対して、負の整数 $-2^{15} = -32768$ を対応させる。

この時、整数値 1 は、 $-282.5075088 \text{Pa} / (-2^{15}) = 8.62144497 \times 10^{-3} \text{Pa}$ (実効値) を意味する。

整数値 k は、 $k \times 8.62144497 \times 10^{-3} \text{Pa}$ (実効値) を意味する

計算が面倒な場合は、AS-70 (試用版は無料です。) にデータを読み込ませて、次の操作をすればよい。

表示 — ファイル情報 として、Value/Bit の値 (8.621445E-5) を使えばよい。

PC での周波数スペクトルの計算では、読み込んだ符号付き整数のデータに対して、平均値を引いてから、パスカル値にするために、8.621445E-5 を掛ける。

この周波数スペクトルがあれば、表 1 の様に風車音の特徴が判明する。

計測機材も解析ソフトも新しいものがあります。私は、波形解析ソフト DADISP と WAV オーディオ モジュールと Noise&Infrasound Analysis を組み合わせて使っています。

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 豊・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。

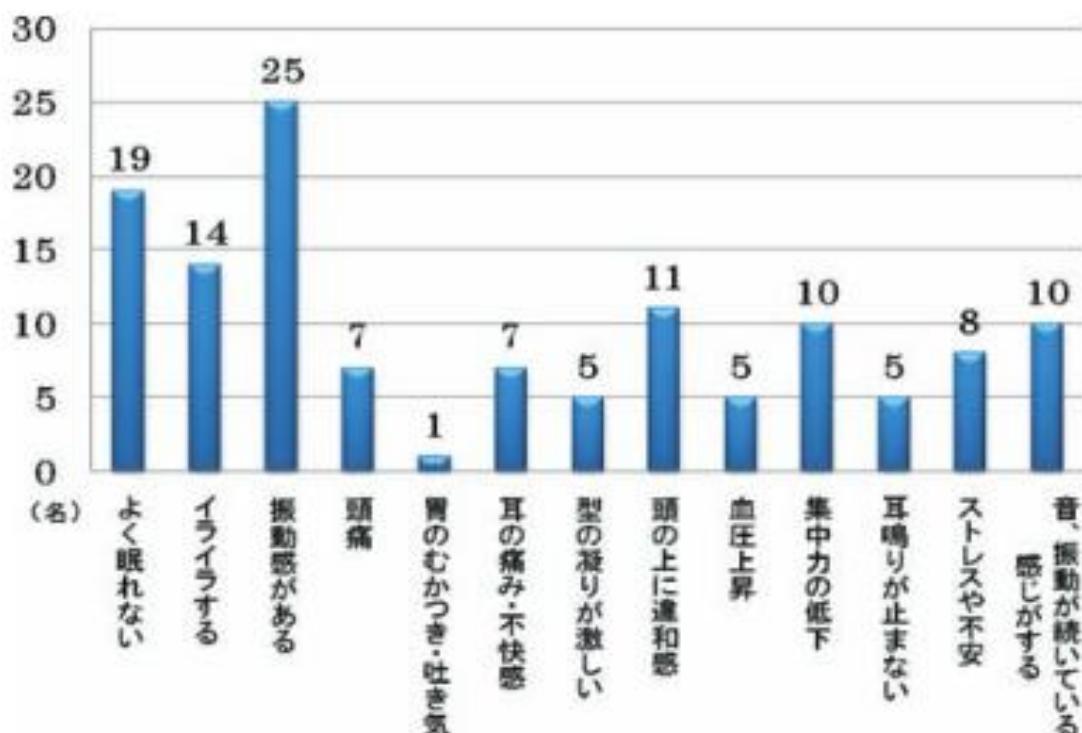


図2 苦情の訴え (Q5、複数回答を含む)

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キロワット×10基の風力発電が運転を始めた直後から、住民のなかで健康被害が続出した。この因果関係を調べるために、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。

・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。

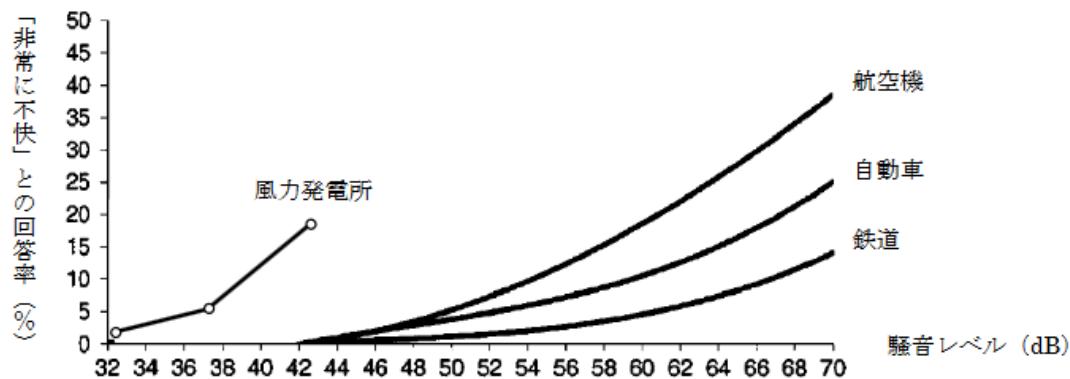


図8. 「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係

(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”と感じるが、一般的の環境騒音では、“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-反応関係について多くの研究がなされている。複数の報告により、同程度の音圧レベルにおいては、風車騒音は他の交通騒音よりもわずらわしさ（アノイアンス）を引き起こしやすいことが示唆されている。

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

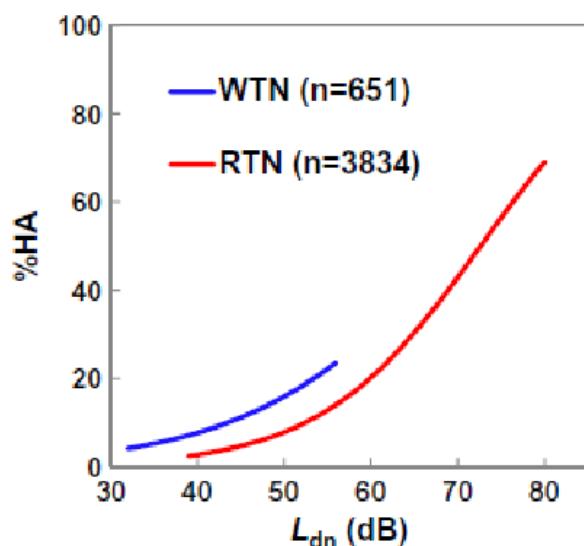


図 7 風車騒音（WTN）と道路交通騒音（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（Ldn）※ と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（% HA）

※ 風車騒音については、終日定常的に運転されていると仮定し、LAeq に 6dB を加算して Ldn を推計している。

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

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、それぞれの計測個所までの距離は、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 8.9×10^{-2} (Gal)、アノイアンスの申告があったVIの場合、 6.7×10^{-6} (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(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. 水田にいると楽になる
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。

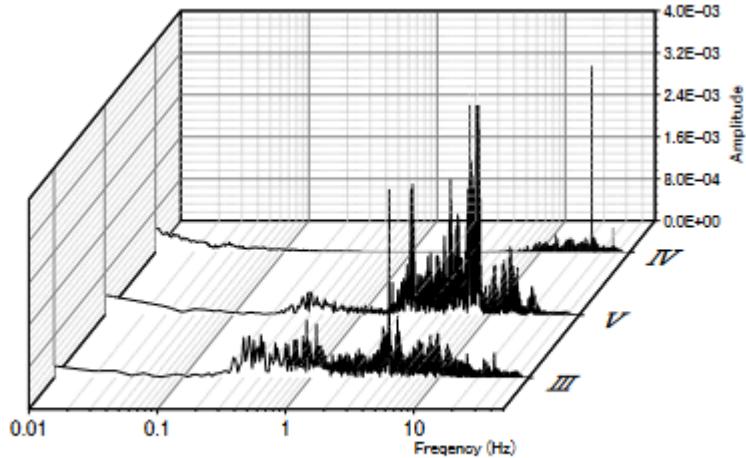
計測データを見ると、IIIでは、IV. V と比較して 0.1~2Hz の範囲の振幅値も大きくなっている。この領域の振動は、俗にいう船酔いの原因となる振動(揺動)周波数(8)に近接している。風車から直線距離で 950m 離れたVIに関しても距離減衰に伴い値は非常に僅かであるが、振動特性は類似しており、これも、およそ 1Hz 以下で上昇がみられる。VIIに関しては、0.08Hz 程度以下の上昇があるが、他の 2 つに比してその傾きは小さい。

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VIIでは 0.9Hz~となっている。

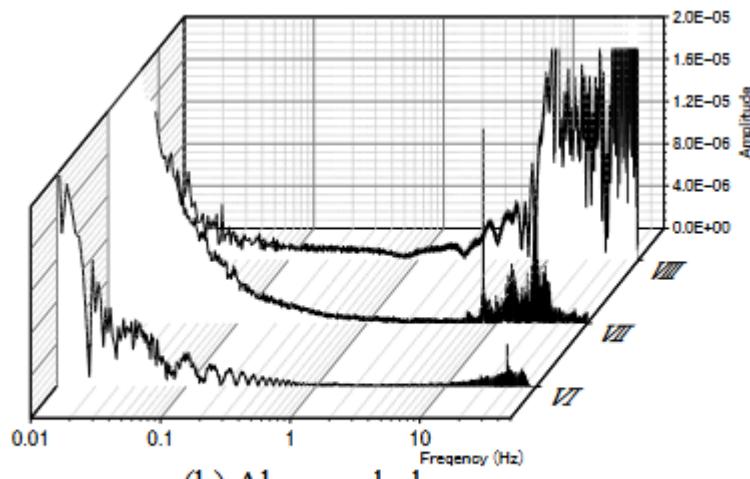
これらのうち、アノイアンス申告が顕著であったのがVI関係地域であり、次いでVII地(民間の作業所)であるが、後者は風車に近接していることから、一般的の空力騒音によるものではないかと考えられる。

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場合がある。
- (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

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量器下限界値30dB以下でした。
- 30dBであったとしても振動を感じるレベルの1万分の1であり風車で家屋が揺れるということはありません。

(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、振動に関する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界値30dB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	δ	μ 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もあります。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 $kine = cm/sec$ です。
加 速 度	a	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。 $cm/sec^2 = gal$ 、重力加速度 $1G = 980 gal$ 変位と速度とは(1)式の関係となります。
加速度実効値	a_{rms}	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を覚ます(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 (m/s²)・振動加速度レベル(dB)の相互変換

$AdB = 10 \log(a1/a0)^2 = 20 \log(a1/a0)$, $a0 = 10^{-5} m/s^2$ で換算してます。

$1G = 9.807 m/s^2$ $1gal = 1cm/s^2$ 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”的問題、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きる、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”的問題、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きます。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、クラクタする 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、ボートとする 記憶があやふや 午前10時まで目覚めない 午後3時から4時の間はぼんやりしている 夕食後、やっと元気になる 仕事がはかどらない（医者も知らないアドレナル・ファティーグ ジェームズ・L・ウィルソン著 中央アート出版社より引用） 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、ストレッサー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变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、ストレッサー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	耳鳴り	めまい
WTN		○	×	×						
睡眠障害	○									
心拍数	×									
血圧	×				△	○	△	△	△	△
コルチゾール				△		○	○	△	△	△
不快感				○	○		○	○	○	○
知覚ストレス				△	○	○		△	△	△
片頭痛				△	△	○	△		△	△
耳鳴り				△	△	○	△	△		△
めまい				△	△	○	△	△	△	

被害者の知覚ストレス、高血圧などの訴えが、体調の具体的な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、気泡発生の条件、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”的項目との統計的に、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た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。

安眠妨害に關係が深いのは、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

ヨンにおける気泡発生の条件を満たす。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”と言るべきです。

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。長期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。

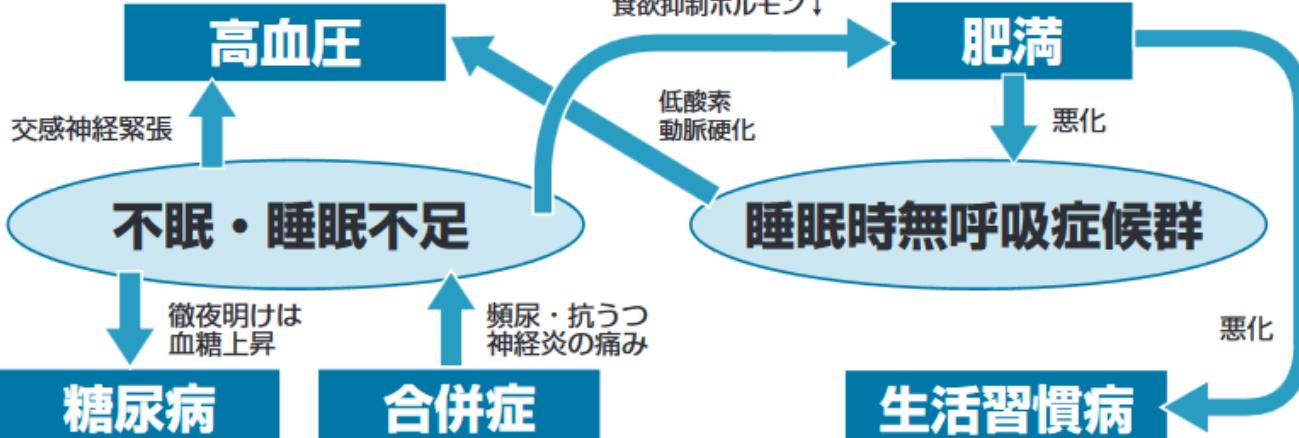
子どもの夜型化には大人の生活習慣が影響を与えています。大人の生活習慣を見直すことが大切です。大人にとっても睡眠は重要です。睡眠不足は糖尿病や心筋梗塞などの生活習慣病や認知症のリスクを高めます。

不眠・睡眠不足と生活習慣病との悪循環

高血圧患者の40%に不眠があります。
また、30%に無呼吸症候群の症状があります。

食欲増進ホルモン↑
食欲抑制ホルモン↓

睡眠時間が短いと
肥満になりやすい



糖尿病の60%に不眠あり。不眠症では糖尿病リスクが1.5倍。

さらに、

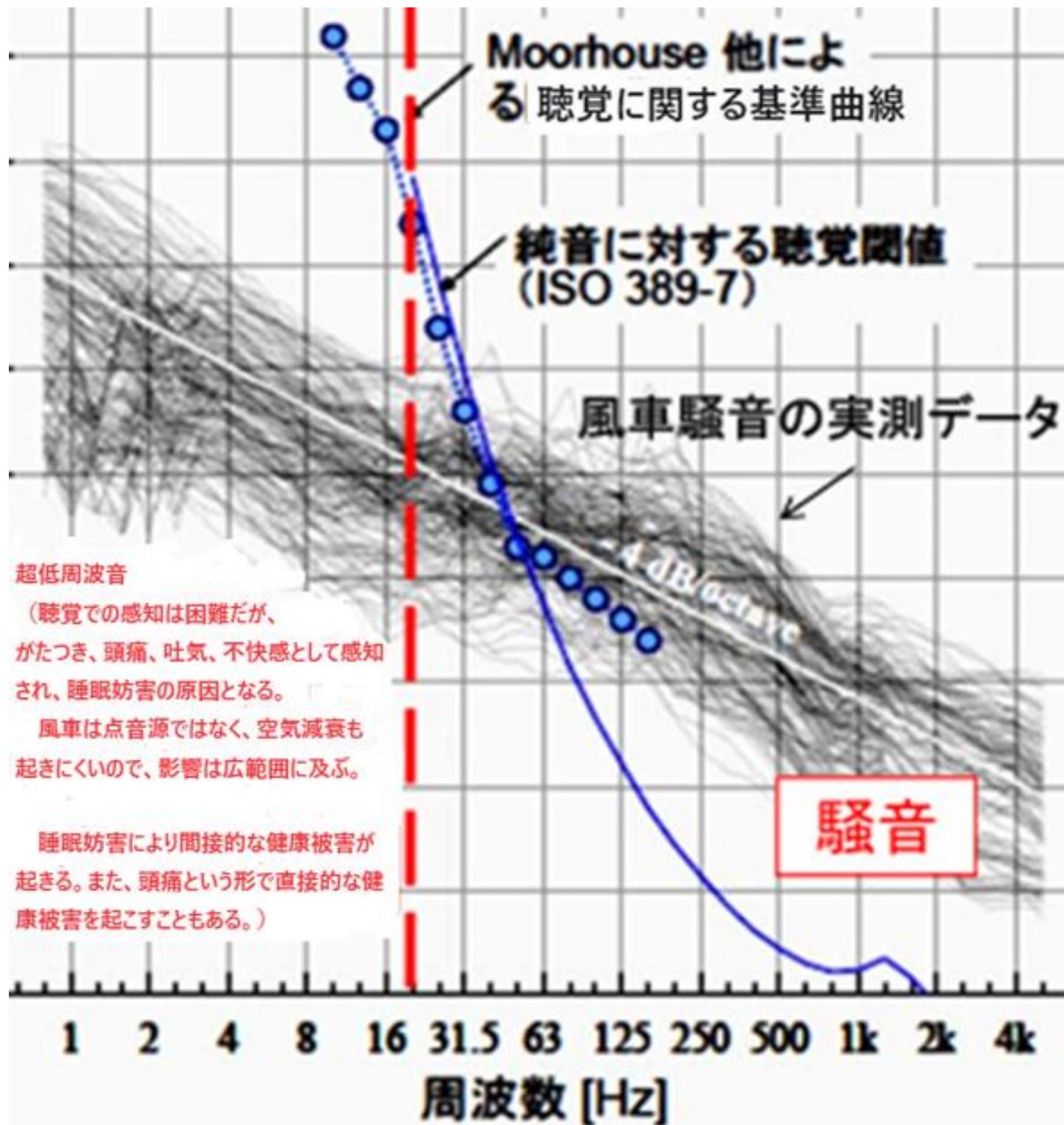
“風力発電施設から発生する騒音が 人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い”かもしれないが、

“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。



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？

“ π 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”なったと認めるのでしょうか？

9) 石井倅夫編集,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-反応関係について多くの研究がなされている。複数の報告により、同程度の音圧レベルにおいては、風車騒音は他の交通騒音よりもわずらわしさ(アノイアンス)を引き起こしやすいことが示唆されている。

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

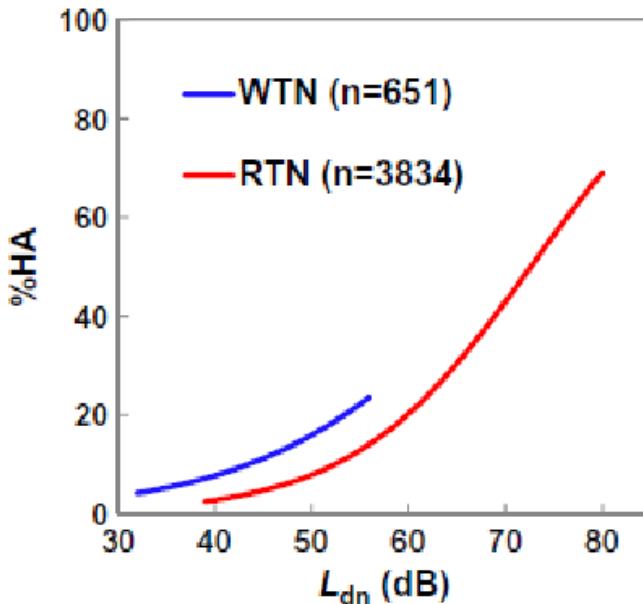


図 7 風車騒音 (WTN) と道路交通騒音 (RTN) の昼夜時間帯補正等価騒音レベル (L_{dn}) *と非常に不快と感じた者のパーセンテージ (%HA)

※ 風車騒音については、終日定常的に運転されていると仮定し、LAeq に 6dB を加算して Ldn を推計している。

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

と書かれている。

下の表は、風車音のうちで、“風車騒音 (20Hz 以上)” として扱われるものは、7 %であることを示す。

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

風車音のアノイアンスへの寄与を考えるとき、“風車騒音 (20Hz 以上)” の寄与は 7 %、超低周波音の寄与が 93% とえることもできる。これに関しては、多変量解析を使えばより明確となる。

A 特性音圧レベルでの数値は低いのだが、交通騒音の場合に比べて、同一の A 特性音圧レベルであっても、より大きな被害が出ています。レベルがそれほどではなくても被害が出る原因を見つける必要があります。

風車騒音を日本で実測した結果、周辺の住宅等音の影響を受け得る場所では、時間平均A特性音圧レベルで26~50dB (書店や美術館の中程度) であり、それほど高いレベルではなかった

これらの音の影響は、騒音値の基準と目安（日本騒音調査ソーチョー）の資料によれば、

うるさい	かなりうるさい。かなり大きな声を出さないと会話ができない	7 0 db	<ul style="list-style-type: none"> ・騒々しい事務所の中 ・騒々しい街頭 ・セミの鳴き声 (2 m) ・やかんの沸騰音 (1 m)
	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"> ・洗濯機 (1 m) ・掃除機 (1 m) ・テレビ (1 m) ・トイレ (洗浄音) ・アイドリング (2 m) ・乗用車の車内

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"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	2 0 db	<ul style="list-style-type: none"> ・ささやき ・木の葉のふれあう音

であることが分かります。

交通騒音での基準値の表と比較してみます。

地域の類型	基準値	
	昼間	夜間
A A	5 0 デシベル以下	4 0 デシベル以下
A 及び B	5 5 デシベル以下	4 5 デシベル以下
C	6 0 デシベル以下	5 0 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 A A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、不快感を覚える人の比率は、交通騒音と風車音では差があります。

WTNは不快感の指標にはなりえないので、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、

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

ズレの理由を次の様に考えました。

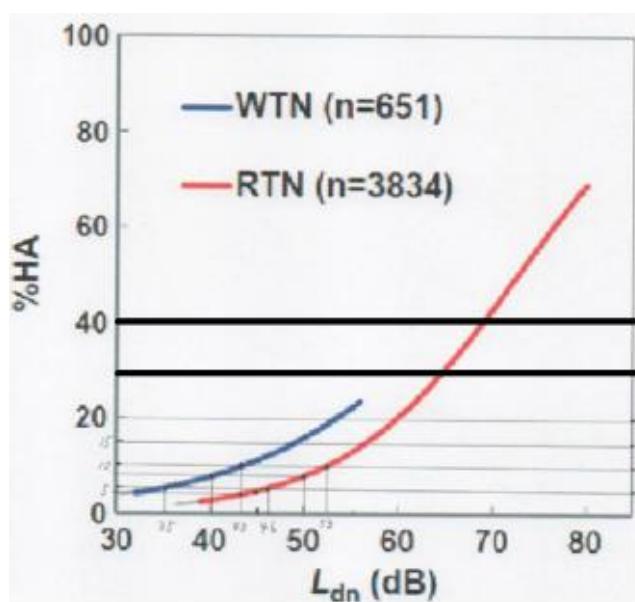
A特性音圧レベルで計算される騒音レベルは、風車音のエネルギーの7%と占める。この部分が、風車音全体のエネルギーの99%まで増加したとすれば、

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

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

となって、11.5dB増加します。

報告書（p14）にある、風車騒音と交通騒音の違いを表にすると、



% HA	風車騒音	交通騒音	差
30%	60dB	64dB	4dB
20%	53dB	60dB	7dB
10%	43dB	53dB	10dB
8%	40dB	50dB	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11.5dBだけ補正すれば、数値としては、ほぼ一致します。表を作れば、

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

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

交通騒音の場合は、53 dB 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 dB は、交通騒音で 46 dB 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 dB の騒音がある場合の被害が想定されます。言葉で言えば、“やや大きく聞こえるが、通常の会話は可能” のレベルです。これでは病人は安眠できません。眠れなければ、体力も落ちます。病気が治るとは思えません。対策が必要です。

もちろん、健康な人でも安眠できる状態ではありません。

（防音効果を無視して考えれば、）

風車騒音は屋外で計測した A 特性音圧レベル（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 dB が示されています。風車騒音での 40 dB 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 dB 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 dB 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 dB 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 dB 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、眠りが浅くなってしまっても、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れば、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

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。

“わざらわしさ（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。

わざらわしさ（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（ $20 \mu\text{Pa}$ ）（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>

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): $0.002\text{Pa}=40\text{dB}$,

p ：音圧実効値(Pa)

$0.00002(2 \times 10^{-5})\text{Pa}=0\text{dB}$

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)

を参考にして計算すれば、A特性音圧レベル（20Hz~）が40dBすなわち、

$$40 = 10 * \log_{10}(((P / P_0)^2)$$

のときに、全体のエネルギー（14倍）を含めた評価は、

$$10 * \log_{10}(((P / P_0)^2 * 14)) = 40 + 10 * \log_{10}14 = 40 + 10 * 1.1 = 51$$

となる。（1dBの誤差が出るが、近似値としては良い値だと考えます。）

音のエネルギーが14倍になった時には、可聴域のエネルギーを評価して40dBの場合に、全体のエネルギーを評価した値が51dBになると考えます。

これは、計測音のエネルギーの全体を横軸にして測れば、青いグラフは、11デシベル分だけ、右に動くと言う事になる。赤いグラフは、20Hz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0.8Hz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です。

これらの数値は、屋外での計測値です。

このエネルギー分布と音の透過率を考えながら、室内の情況を考えます。

石竹達也 氏の研究内容に、

最近接風車から約1,000m離れた地区の屋内外の超低周波音レベルおよび騒音レベル

- G特性等価音圧レベル $L_{Geq,n}$ は、屋内で44~55dB、屋外で48~59dBであった。屋内外音圧レベル差は最大で7dB程度：超低周波音領域で窓および壁の遮音効果は小さい。
- 等価騒音レベル $L_{Aeq,n}$ は、屋内で16~32dB、屋外で30~51dBであった。屋内外音圧レベル差は4~24dB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40dBの風車騒音では、エネルギーの7%に対する評価値が40dBとなっています。この部分に対しては、防音窓によって24dBの減衰が得られます。従って、16dBとなって、次

の表から

静か	非常に小さく聞こえる	30 dB	・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	20 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 dB しか減衰しません。

そこで、次のように考えてみます。

交通騒音 (20Hz 以上) で 50 dB 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 dB、超低周波音 (0Hz~20Hz) の部分を加えた合計が 50 dB 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。

$$L_{800} = 10 * \log_{10} (P_{800}/P_0)^2$$

$$\text{より } L_{800}/10 = \log_{10} (P_{800}/P_0)^2 \text{、よって、} (P_{800}/P_0)^2 = 10^{L800/10}$$

となり、

$$\begin{aligned} L_{1/1} &= 10 * \log_{10} (P_{1/1}/P_0)^2 \\ &= 10 * \log_{10} ((P_{800})^2 + (P_{1000})^2 + (P_{1250})^2) / P_0^2 \\ &= 10 * \log_{10} (10^{L800/10} + 10^{L1000/10} + 10^{L1250/10}) \end{aligned}$$

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 dB なので、

$$40 - 24 = 16 = 10 * \log_{10}(P_{H16}/P_0)^2$$

とおいて、

$$(P_{H16}/P_0)^2 = 10^{1.6}$$

$$(P_{L425}/P_0)^2 + (P_{H16}/P_0)^2 = 10^{4.25} + 10^{1.6}$$

このとき、

$$10 * \log_{10}((P_{L425}/P_0)^2 + (P_{H16}/P_0)^2) = 10 * \log_{10}(10^{4.25} + 10^{1.6}) = 42.5$$

となります。

エネルギーの全体を考えると、室内での風車騒音 (0Hz 以上) は、交通騒音 (20Hz 以上) に変換して考えた場合の 42.5 dB に相当すると言えます。

交通騒音 (20Hz 以上) で 45 dB だった場合はどうなるかと考えると、これは、24 dB の減衰がそのまま使って、室内では 21 dB になると言えます。

交通騒音 (20Hz~100Hz) で 40 dB だった場合は、24 dB の減衰があれば、16 dB になります。

交通騒音に対しては、家は防音窓を付けなければ、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。

屋外で測った時の、風車騒音 (0Hz 以上) での 40 dB は、室内での交通騒音 (20Hz 以上) の 42.5 dB に相当します。防音対策をした後の室内での、16 dB と 42.5 dB 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	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	2 0 db	<ul style="list-style-type: none"> ・ささやき ・木の葉のふれあう音

風車が大型化すると、この傾向はさらに顕著になります。従って、

“これらの結果は、風車騒音は超低周波音（ISO7196）による問題であるということを示している。”

“風車騒音（0Hz 以上）は通常可聴周波数範囲の騒音（20Hz 以上）としてではなく、超低周波音（ISO7196）の問題として議論すべきであることを意味している。”

のです。

ここでは、聴覚を中心に考えたが、圧力の感知や、共振による揺れの感知、共振による2次的な騒音の発生も検討が必要です。A特性音圧レベル（20Hz～）はこれを表現できません。

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ありません。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67.950932 dBですから、100 dB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	

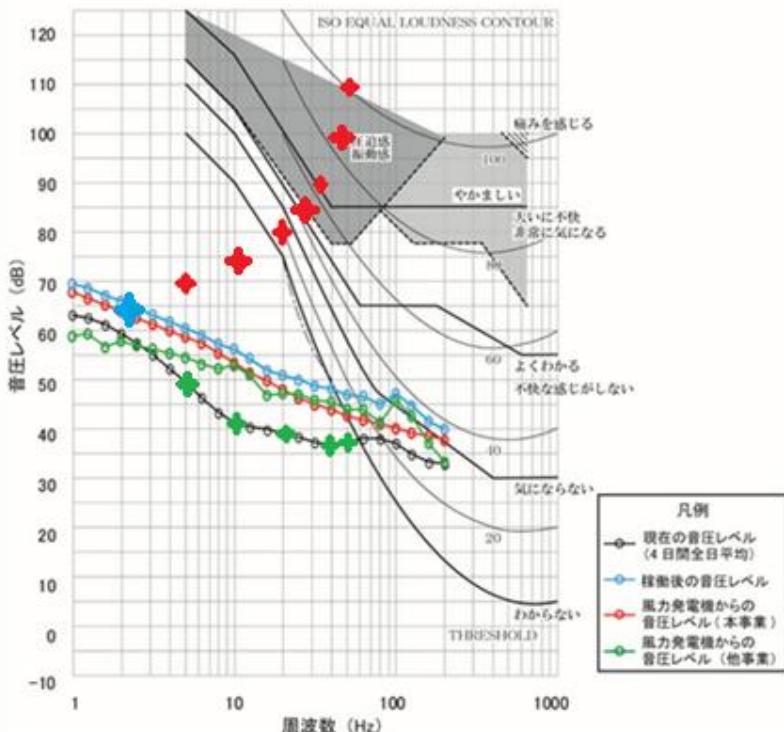
5Hzでは69.88=70 dB、1.25Hzでは71.97 dBです。ガタツキ閾値の数値、5Hzで70 dBになっています。

表1 低周波音による物的苦情に関する参考値

1/3オクターブバンド	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
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	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99
音圧レベル(dB)											

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65dB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 一気象病や天気痛の治療法応用に期待—（佐藤純教授らの共同研究グループ）

【2019年1月29日】

プレスリリース

鳥類には気圧を感じる器官が耳に存在することが分かっています。彼らはこの能力を使って、自分の飛んでいる高度を知り、雨が降るかどうかなどの気象変化を予見し行動していると考えられています。一方、ほ乳類に気圧を感じる能力があるかどうか明らかになっていませんが、「猫が顔を洗うと雨が降る」などの言い伝えもあり、わたしたち人間においても、「天気が崩れると頭痛がする、ぜん息ができる」、「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て脳に伝え、その結果、さまざまな疾患が発症したり悪化したりするという仮説（図1）を提唱してきましたが、今回の研究成果により、本来は平衡感覚を司る前庭器官に、気圧を感じる部位と機能もあることが確かめられました。

実験の内容は次のとおりです。

マウスを人工的に気圧が変えられる装置にいれて、天気の変化に相当する微小な低気圧に一定時間暴露します。その後、脳を取り出し、内耳の前庭器官からの感覚情報を中継する延髄の前庭神経核細胞の活動を観察しました。すると、前庭神経核のうち、おもに半規管（一部、球形囊）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

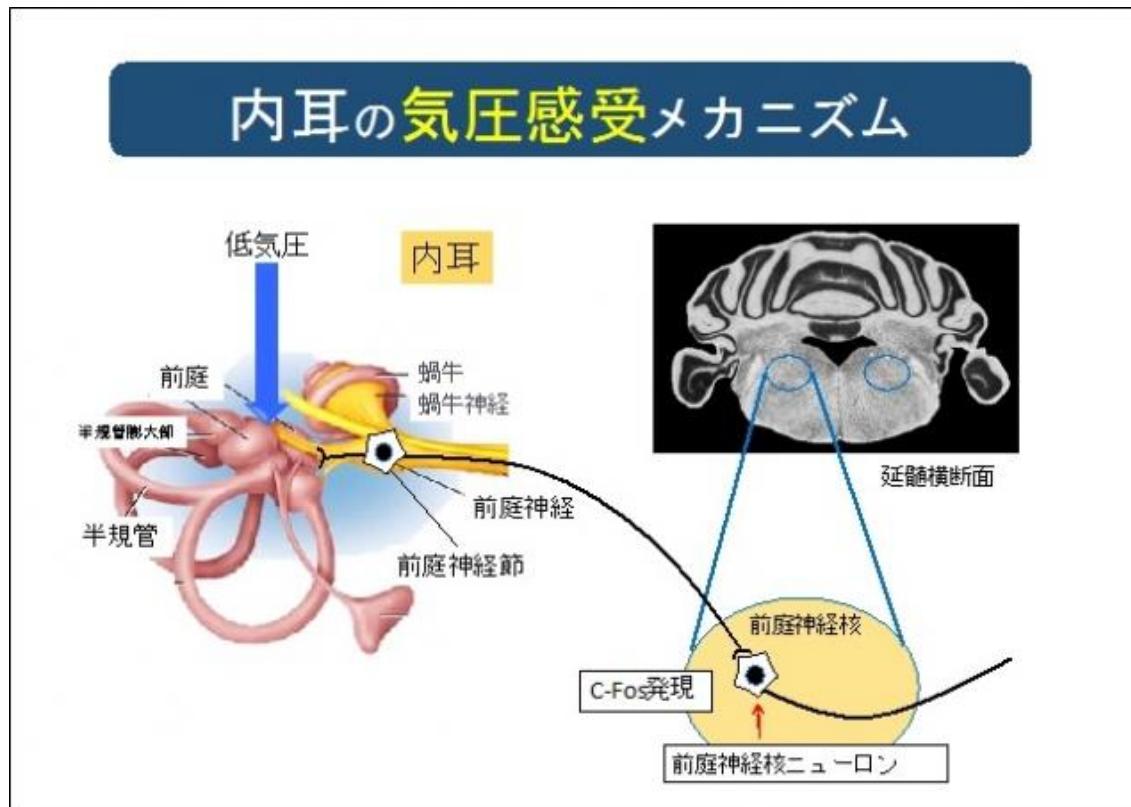
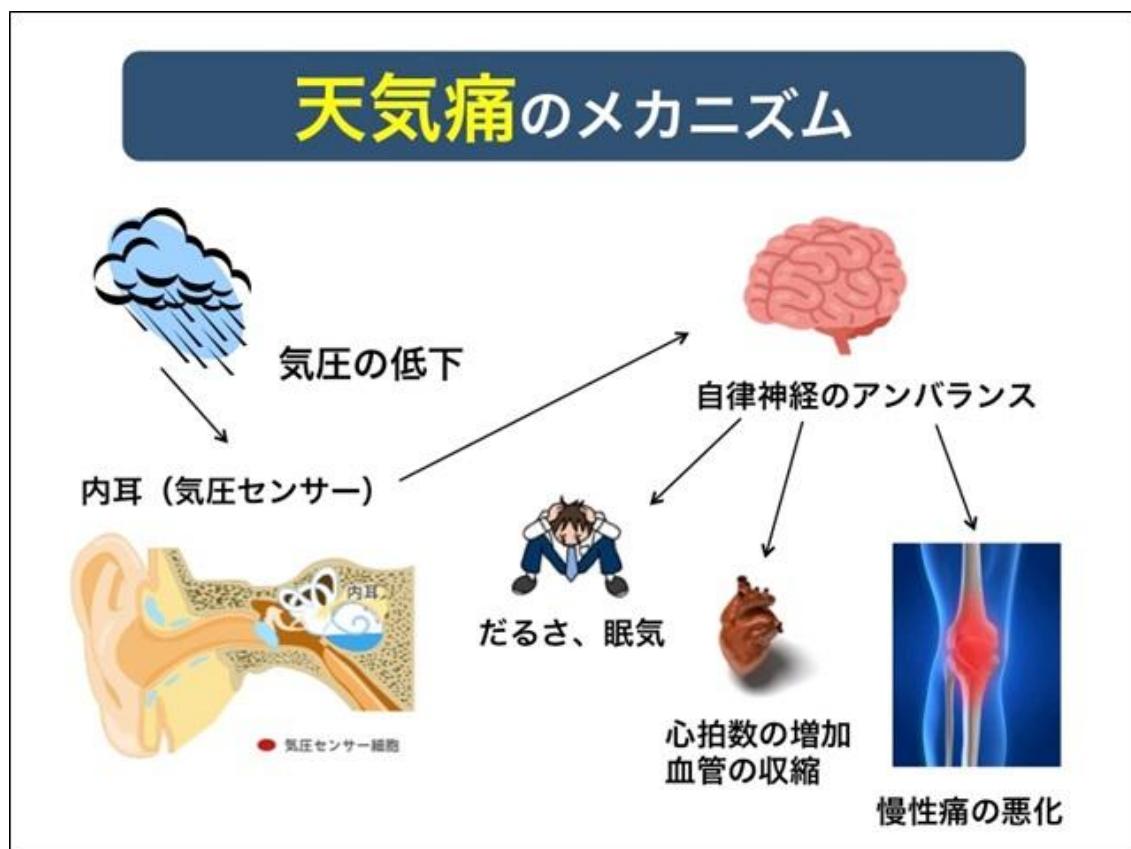


図 2



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崩れによって前庭器官が気圧の微妙な変化を感じとり、脳にその情報が伝わり、結果として古傷や持病の痛みを呼び覚ましたり、めまいや気分の落ち込みといった不調を起こすものと考えられます。これまで、平衡感覚のみを感じていると考えられてきた内耳の半規管に気圧の変化を感じる能力があることが分かりました。今後も研究を続け、どのようなメカニズムで前庭器官が気圧の変化を感じ取るのかを明らかにしていきます。また、このメカニズムを明らかにすることで、気象病や天気痛の有効な治療法の確立に繋げていきます。

研究成果の公表

本研究成果は、2019年1月25日午後2時（米国東海岸時間）、PLOS ONE誌オンライン版として掲載されました。

論文題名：

Lowering barometric pressure induces neuronal activation in the superior vestibular nucleus in mice
(低気圧はマウスの上前庭神経核ニューロンを興奮させる)

問い合わせ先

佐藤純（中部大学 生命健康科学部 理学療法学科教授）

E-mail : jsato[at]isc.chubu.ac.jp ※アドレスの[at]は@に変更してください。

これは、粗密波としての超低周波音を気圧変動として感知できる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。

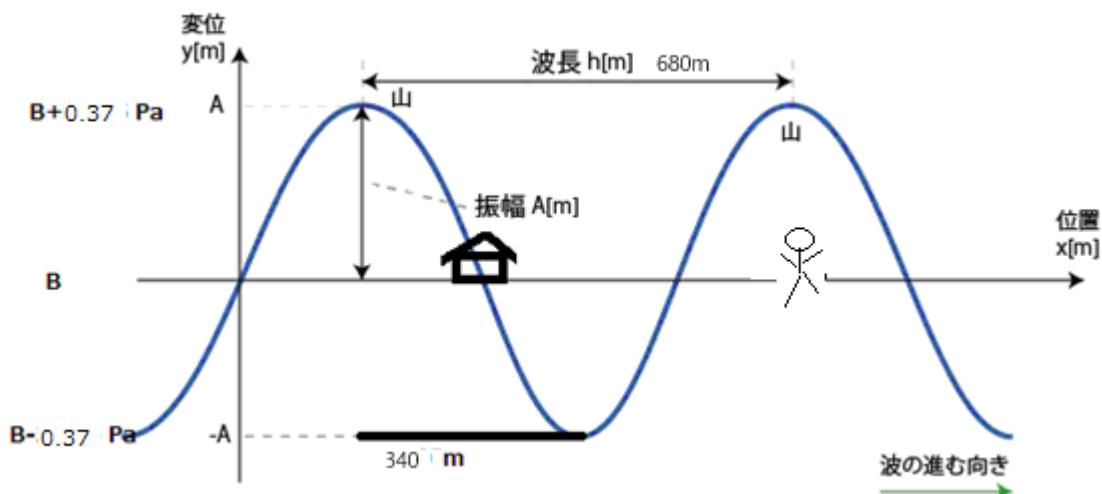
音圧を0.37(Pa)として、ある時刻tを固定すれば、下の図のようになる。

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。

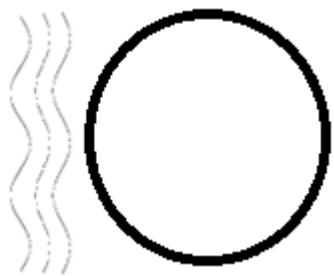
2秒後には、波は680m進むので、気圧が高くなり、押しつぶされる。



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種類があると考えるべきです。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。圧力変動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。

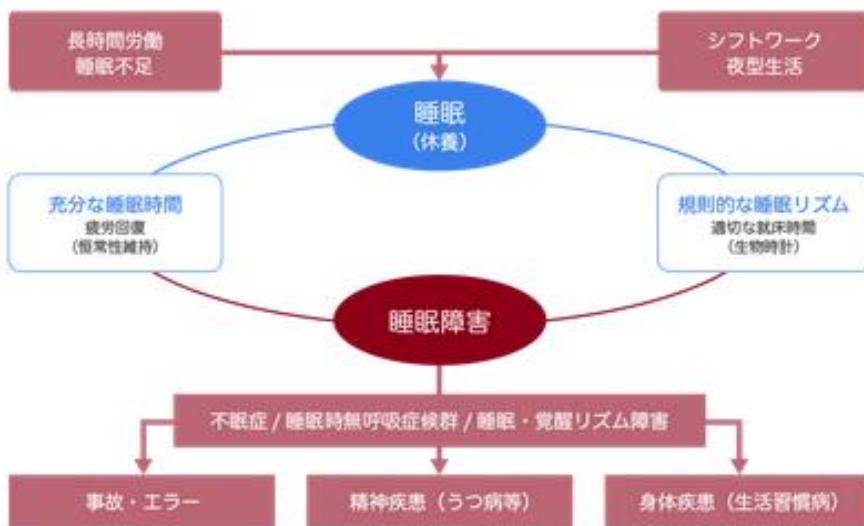
10. 2. 4 不眠による被害

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できます。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



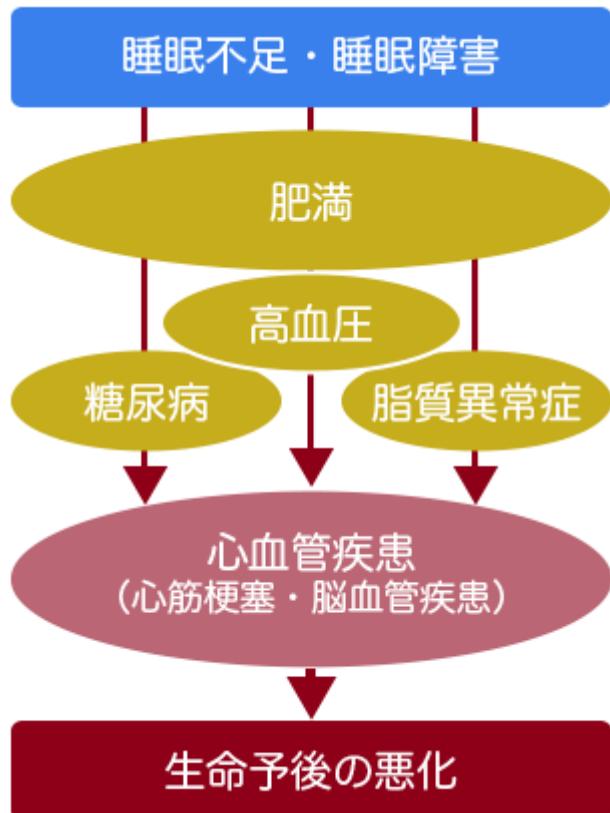
日本人、特に子供たちや就労者の睡眠時間は世界で最も短いと言われています。【図 2】は就労者の男女別の睡眠時間を国際比較した結果です。日本人の睡眠時間が如何に短いかお分かりいただけると思います。とりわけ女性は家事や育児の負担が大きいため男性よりもさらに睡眠時間が短く、平日・週末を問わず慢性的な寝不足状態にあると言えます。

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、体内的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シン分泌は減少し、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で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



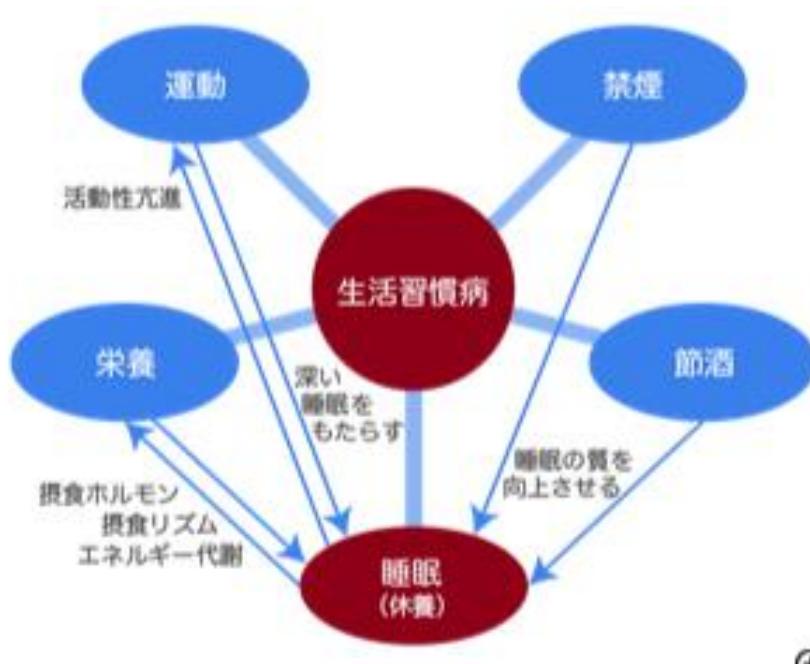
睡眠障害もまた生活習慣病の発症に関わっています。以前から生活習慣病患者さんでは睡眠時無呼吸症候群や不眠症の方が多いことが知られていました。その後の多くの研究によって、睡眠障害が生活習慣病の罹患リスクを高め症状を悪化させることや、その発症メカニズムが明らかになりました。

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ます。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
パンタポルタ



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 独穴醒 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さ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ます、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くことから、現代でも密かに行われ続けているといいます。

睡眠は、健康な生活にとって極めて重要なのです。

疲労物質と睡眠

疲労とは？疲労の原因と回復方法

公開日：2016年7月25日 12時00分

更新日：2019年8月5日 15時59分

疲労とは

疲労は「疲れ」とも表現され、痛みや発熱と同様に「これ以上、運動や仕事などの作業を続けると体に害が及びますよ」という人間の生体における警報のひとつです。疲労は、人間が生命を維持するために身体の状態や機能を一定に保とうとする恒常性（ホメオスタシス）のひとつとして、痛みや発熱などと並んでそれ以上の活動を制限するサインとして働いています。

疲労の定義

日本疲労学会では、「疲労とは過度の肉体的および精神的活動、または疾病によって生じた独特の不快感と休養の願望を伴う身体の活動能力の減退状態である」¹⁾と定義されています。疲労は、心身への過負荷により生じた活動能力の低下のことを言い、思考能力の低下や、刺激に対する反応の低下、注意力の低下、注意散漫、動作緩慢、行動量の低下、眼のかすみ、頭痛、肩こり、腰痛などがみられます。

疲労の原因

自律神経の中枢部では、身体の器官や組織の調節を行い、絶えず生命維持のための身体機能を一定に保っています。運動時には、運動強度や体調に応じて呼吸や心拍、体温などの機能の調節を行っており、身体へかかる負荷に合わせて生体機能のコントロールを行う自律神経の中枢も働き続けます。運動によって体にかかる負荷が大きくなるほど、自律神経の中枢にかかる負荷も大きくなり、自律神経の中枢がある脳がダメージを受けることで疲労が起こるとされています。

疲労を起こすのは活性酸素による酸化ストレスで、神経細胞が破壊されるからであると考えられています。運動などのエネルギーをたくさん使う活動では、酸素が多く消費されるとともに活性酸素も多量に発生します。活性酸素が発生すると、活性酸素を分解して体内から除去する抗酸化酵素が働くようになっていますが、発生する活性酸素の量が抗酸化酵素の働きを上回ると自律神経の細胞や筋肉が活性酸素によって攻撃されて疲労へとつながります。

加齢や紫外線を浴びることは活性酸素の影響を受けやすくなるため、疲労が起こりやすくなります。睡眠障害や睡眠時無呼吸症候群も疲労を蓄積させる原因となることが言われています。

乳酸は疲労物質か？

「乳酸は疲労物質」という考え方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つ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。

南房総市の健康だより

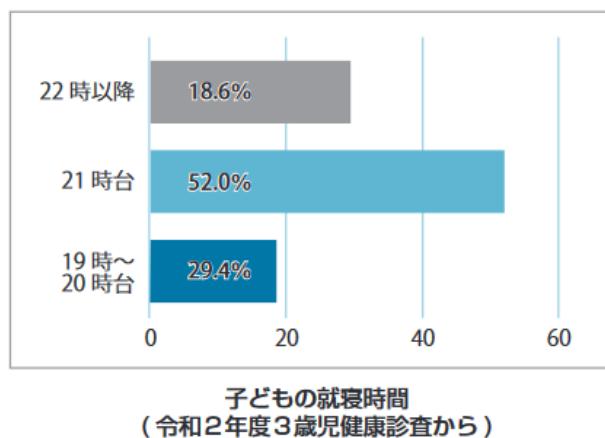
子どもの睡眠と成長ホルモン ～夜9時までに眠り、朝7時までに起きる～

健康だより

問 保健予防室 ☎ 36-1154

睡眠は子どもの成長に大きくかかわっています。3歳児健康診査状況からみると、南房総市では夜型の傾向が進んでいることが伺えます。子どもの成長には、食事や運動だけではなく、睡眠を意識した生活リズムを整えることが大切です。夜9時までに眠り、朝7時までに起きることが理想です。

身体の成長や健康の維持には、「成長ホルモン」と呼ばれるホルモンの働きが関与しています。「成長ホルモン」は①免疫力の増強、②筋肉の発達、③骨を伸ばす役割を担っています。睡眠時、とくに入眠直後の深い眠り(ノンレム睡眠)の間に多く分泌されます。



睡眠の質を高めるために

◇朝起きたら太陽の光で体内時計をリセット

朝強い光を浴びることで、体内時計をリセットしてくれ、脳と体を目覚めさせます。まずは、朝早く起きることからはじめ、日中天気の良い日は外でたくさん遊ばせましょう。

◇ブルーライトを遮断し、灯りは暗く

遅くまで、テレビ、ゲーム、スマホなどをしていると夜はなかなか眠れません。寝る前のテレビやスマホは避け、部屋の明かりを消して静かな環境を整えましょう。

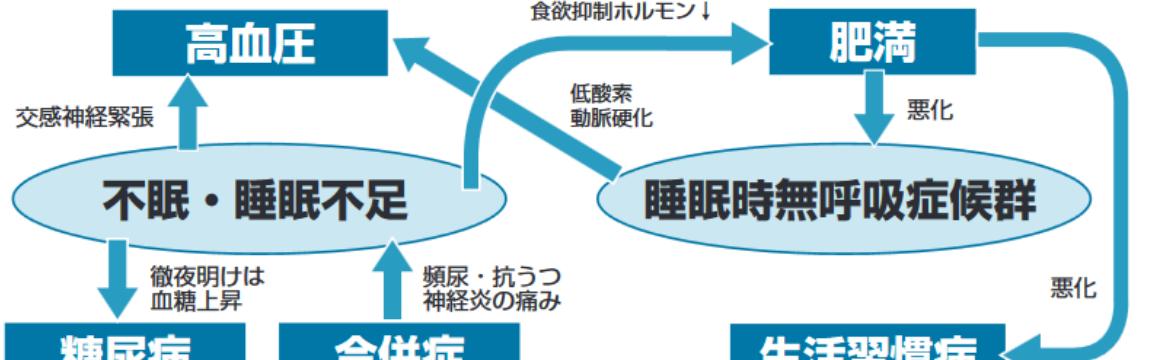
◇休日でもいつもと同じ時間に起床する

休み前の夜更かし、眠れなかった分を補おうと休日に多く睡眠時間を確保すると、より生活リズムが崩れてしまいます。休日も平日と同じ時間に就寝・起床し、眠気がある場合は短時間の午睡を取り入れましょう。

子どもの夜型化には大人の生活習慣が影響を与えています。大人の生活習慣を見直すことが大切です。大人にとっても睡眠は重要です。睡眠不足は糖尿病や心筋梗塞などの生活習慣病や認知症のリスクを高めます。

不眠・睡眠不足と生活習慣病との悪循環

高血圧患者の40%に不眠があります。
また、30%に無呼吸症候群の症状があります。



糖尿病の60%に不眠あり。不眠症では糖尿病リスクが1.5倍。

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が多い。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 10 km 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でトラブルを起こし、不登校になることもあります。

これが被害であることは明白です。

海に潜ってアワビを採る漁師にとっては、睡眠不足は命に関わる大問題です。夏の暑いときに畑で草取りをする人にとっても、体力不足での熱中症は命に関わる事柄です。トラックで荷物を運ぶ人にとっても、睡眠不足は交通事故に直結する重大問題です。

この常識を無視して、

“これらの音によりわずらわしさ（アノイアンス）を増加させ、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている。”と言われたら、“お前たちを拷問にかけてやる。”と宣言しているとしか思えません。いくら、環境省のお役人様が偉いといっても、このようなことは受け入れられません。

朝早くから、車を運転する人にとっては命に係わる重大な事柄です。居眠り運転は運転する人だけではなく、歩行者や、他の車を巻き込む事故の起きる可能性が大きくなります。

命に係わる事柄です。もちろん、騒音が 1 日だけとか、夕方 6 時から朝 6 時までは風車を止めるとかの配慮があれば、少しは危険性が減少するでしょうが、1 年中、24 時間うるさくされたら、住民は困り果てます。

“直接的”と“明らかな”と言う言葉で騙そうとしてはいけません。

“風車騒音が人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い”との表現は、“風車騒音が人の健康や労働に対して間接的に影響を及ぼし、地域社会を崩壊させる可能性は極めて高い”と言い換えるべきです。

風車騒音は、

わずらわしさ（アノイアンス）に伴う睡眠影響を生じる可能性はあるものの、人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。

に関しては、

風車騒音の意味が問題になる。

そして、

人間の健康に直接的に影響を及ぼす

の意味も問題です。

風車音を浴びて、数日後に死亡したと言うような事態は聞いたことが無い。

強烈な放射線を浴びて、数日後に死亡した人はいる。放射線と風車からの音はだいぶ違います。

極めて周波数が高い、超音波では、直接的と言える被害も出ています。もちろん、超音波を聴覚で捉えることは出来ません。聴覚閾値以下の音です。しかし、この聴覚閾値以下の超音波に人間の体は直接反応します。超音波を使った美顔器でも、使い方によっては事故が起きます。

この場合は、超音波を感知したと言うよりは、超音波に直接反応したと言うべきでしょうが、聴覚閾値に至らない音が、人体に直接作用して被害を生む事もあることが分かります。

“超音波使った美容施術” 規制が必要か検討へ 消費者事故調

2022年7月27日 7時07分

エステサロンなどで超音波の技術を使った美容施術を受けた結果、やけどやシミができるといった事故が相次いでいるとして、消費者庁の安全調査委員会が調査の中間結果を報告し、機器の使用などに関して法令による規制が必要かを検討していくことを明らかにしました。

事故が相次いでいるのは、エステティックサロンなどで行われている、肌のたるみを取ったり痩身（そうしん）効果を得たりするために「HIFU」と呼ばれる機器で超音波を照射する施術です。

去年から調査を進めている消費者庁の安全調査委員会、いわゆる消費者事故調が 26 日に調査の中間結果を報告しました。

それによりますと、2015年11月からことし5月末での間に 110 件の事故の情報が寄せられ、このうち 76 件はエステサロンで起きていて、

内訳は

△やけどが 45 件、

△皮膚が赤く腫れる、シミができたなどの「皮膚障害」が 23 件、

△マヒが残ったといった「神経・感覚の障害」が 13 件などとなっています。

これまでの調査では、施術者が施術の内容や注意事項などを十分に説明しておらず、利用者がリスクを理解していないケースも多いことや、非常に強い照射能力があり、やけどなどを引き起こすおそれがある機器がエステ店で広く使われていることが分かったということです。

事故調は今後、機器の使用などに関して法令による規制が必要かどうかなどをまとめ、今年度内に再発防止への提言を示したいとしています。

超低周波音（ISO7196）のケースは、超音波とは違いますが、可能性に関しては慎重に確認することが必要です。

“音波が、人間の健康に直接的に影響を及ぼす” 可能性があるような現象としては、強烈な超低周波音による音響キャビテーションや、強烈な超音波による障害の 2 つが考えられる。

風車音で、音響キャビテーションが起こるかどうかについては、シミュレーションのプログラムが必要です。

確かに、“人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い”と言えるでしょうが、

“人の健康に間接的に影響を及ぼす可能性は極めて高い”とも言えます。

一度建設された風車は、約 20 年間、昼も夜も住人に対して、超低周波音（ISO7196）を浴びせます。

不眠を訴える人が多く出ます。不眠が継続すると、問題が起きるのです。

これは、農漁村地区の人にとって重要な問題です。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、アワビを探る人にとっても、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35～40dBを超過すると、わずらわしさ（アノイアンス）の程度が上がり、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている”

と言わいたら、“お前たちを拷問にかけてやる。”と宣言しているとしか思えません。いくら、大学の先生や、環境省のお役人様が偉いといっても、このようなことは受け入れられません。

朝早くから、車を運転する人にとっては命に係わる重大な事柄です。居眠り運転は運転する人だけではなく、歩行者や、他の車を巻き込む事故の起きる可能性が大きくなります。

命に係わる事柄です。もちろん、騒音が1日だけとか、夕方6時から朝6時までは風車を止めるとかの配慮があれば、少しは危険性が減少するでしょうが、1年中、24時間うるさくされたら、住民は困り果てます。

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。

- 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しょうか？

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の仕組み

超低周波音の解析と発生の仕組み

Analysis of Infrasound and Generation Mechanism

宇山 靖政

Yasumasa UYAMA

Personal member of Japan Wind Energy Association.

Abstract

This document provides the results of analysis of the sound from wind turbine, and the mechanism of infrasound generation.

The part of the infrasound near the wind turbine is described as wind noise and the frequency is not examined in detail. However, when this feature is investigated, it becomes clear that the directivity of the wind turbine sound, the shaking of the top of the tower, and the vibration around 40 m above the ground of the tower are related, and it is found that the wind turbine generates directional infrasound. For wind noise, "Low-frequency wind noise is caused by wind hitting the microphone. This noise has a louder component as the frequency decreases. In the frequency range of about 5 Hz or less (in some cases about 10 Hz or less), it is difficult to eliminate wind noise." It is said,

Even if the wind is strong, the component of 10 Hz or less in a place where there is no wind turbine has an extremely low sound pressure and no regular wind noise. Even if the wind is not so strong, near the wind turbine, the sound pressure of the component below 10 Hz is high, and wind noise with regularity appears.

This is either to think that there are two types of wind noise: "wind noise in places where there are no wind turbine" and "wind noise in places where there are wind turbines", or to think that infrasound with high sound pressure is generated from wind turbine.

キーワード：超低周波音、風雜音、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 “風雜音” 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。

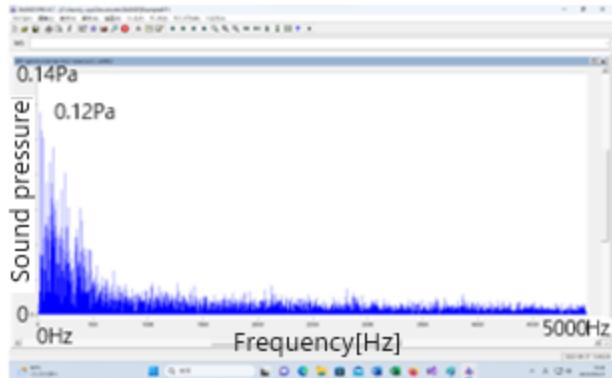


Fig.1 JFE iron mill ; Max 0.12[Pa](12Hz)

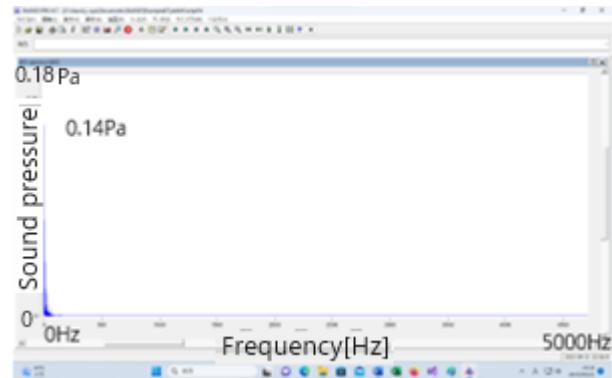


Fig.2 Wind turbine noise ; Max 0.14[Pa](0.8Hz)

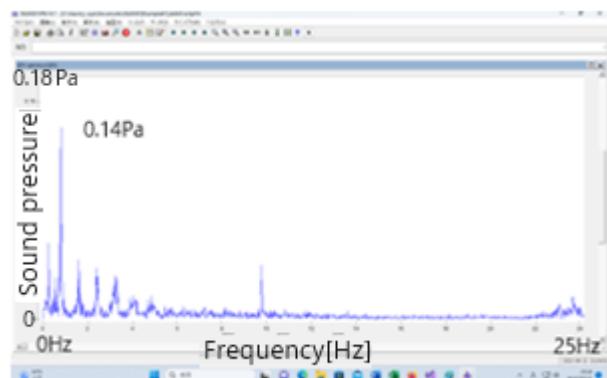


Fig.3 Wind turbine noise (0~25Hz)

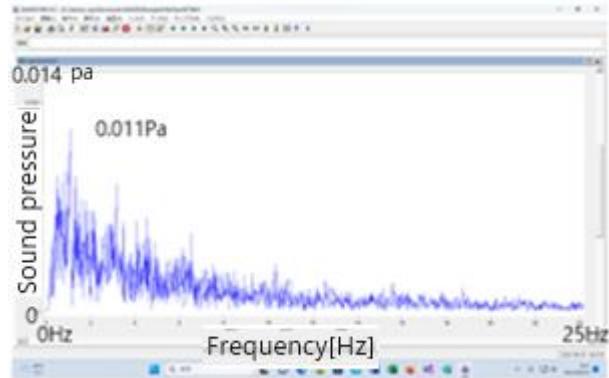


Fig.4 Nagao shrine (0~25Hz); 0.011[Pa](1.1Hz)

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”的持つ規則性を詳しく記す。図4から風車の無い場所では音圧が低く周波数に規則性が無い事が分る。これらの“風雑音”的区別が必要である。

表1表2は周波数帯ごとのエネルギー分布である。

Energy distribution	0~20Hz	20~5kHz
Wind turbine	93%	7%
Iron mill	12%	88%

Table 1 Energy distribution (0~5000Hz)

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

Table 2 Energy distribution (0~20Hz)

表1より、風車音を騒音（周波数20Hz以上）として考えると、音のエネルギーの93%を無視することになる。その結果、圧迫感などの不快感の原因となる部分を除外した数値と不快感を訴える人の割合を比較することになり、交通騒音の場合に比べると大きな誤差が出る。

表2より、0.8Hzの部分が、0~20Hzの音のエネルギーの61%を占めていることが分る。よって、超低周波音を1~20Hzに限定してはならない。

4. 風車音と再生音

図5はNL-62で記録した60秒間の風車音。図6はFFTを使って音を分割し、青を0~20Hz、緑を20~200Hz、赤を200~24kHzの成分として表したもの。図7は図5の音をPCのスピーカで再生し、再度NL-62で収録した音を図6と同様に分割したもの。

図6では200Hz~24kHzの成分に振幅変調が見られるが、音圧が極めて低く空気減衰やエネルギー透過率を考えれば室内への影響は弱い。逆に、超低周波音のエネルギーは大きく、その影響を慎重に調査すべきである。

なお、圧迫感を除けば、風車の近くで聞いた音とスピーカからの音の違いを聴覚では判別できなかった。

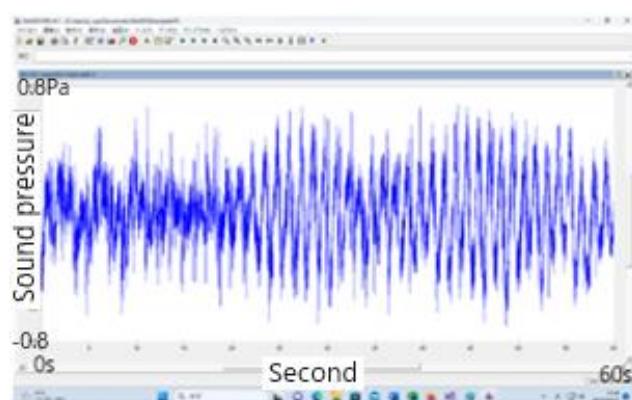


Fig.5 Wind turbine noise

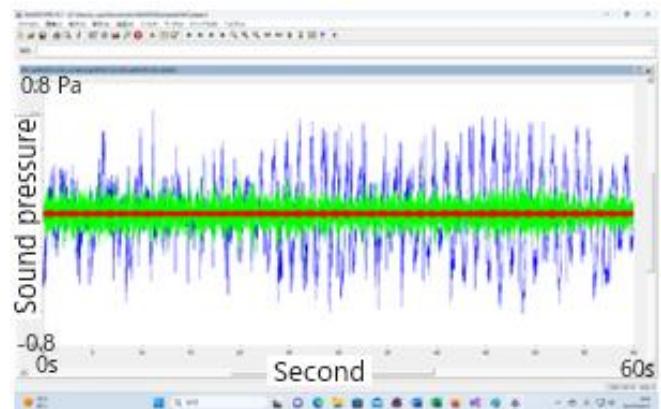


Fig.6 Separated Wind turbine noise

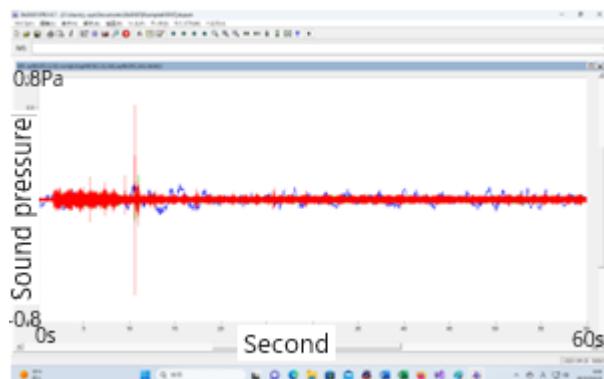


Fig.7 Separated sound from speaker

図7からスピーカ音には超低周波音が含まれない事が分る。大型のスピーカでも1Hz以下の音の再生は出来ない。これが風車音と実験室の再生音では圧迫感に差がでる原因である。実験をするならトレーラーの荷台に実験室を作って風車の近くに行くしかない。

5. 風車音の細かな特徴

表3は、図3に於ける音圧のピーク値とその時の周波数を対応させたものである。

Frequency at peak[Hz]	Rate(1)	Rate(2)	Sound pressure[Pa]
0.2667	1.0000		0.0560
0.5333	2.0000		0.0309
0.8167	3.0625	1.0000	0.1405
1.5833	5.9375	1.9388	0.0436
2.4167	9.0625	2.9592	0.0242
3.2167	12.0625	3.9388	0.0317
4.0000	15.0000	4.8980	0.0177
4.8667	18.2500	5.9592	0.0173
5.4667	20.5000	6.6939	0.0101
6.2667	23.5000	7.6735	0.0098

Table 3 Frequencies of the peak values

最大音圧となるときの周波数 0.8Hz, は、翼の回転数を $R(\text{rpm})$ 、翼枚数を $Z(\text{枚})$ とするときの $f = RZ/60[\text{Hz}]$ 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

$f = RZ/60[\text{Hz}]$ 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。

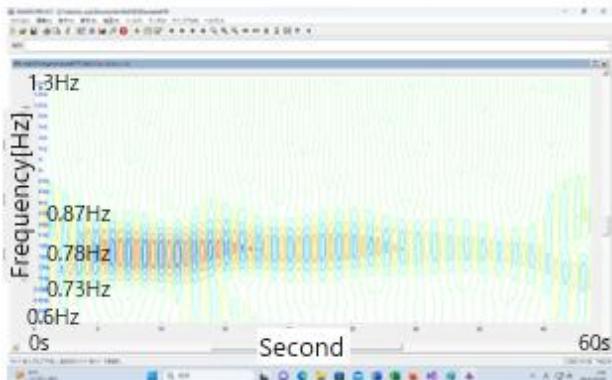


Fig.8 Fine fluctuation nearby 0.8Hz

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。

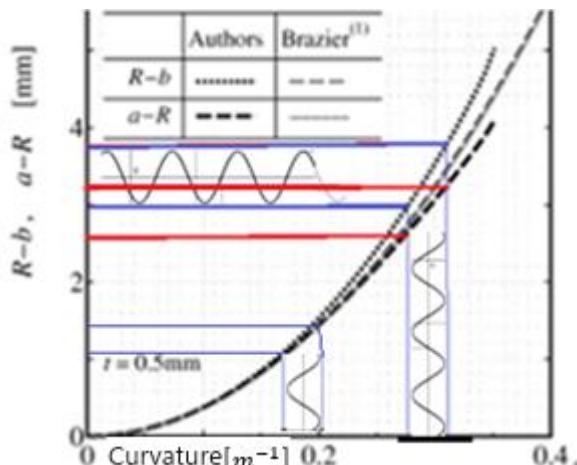


Fig.9 Force fluctuation and side vibration

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橢円になる。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、断面が円から橢円になれば、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 $n P$ 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 $n P$ 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。

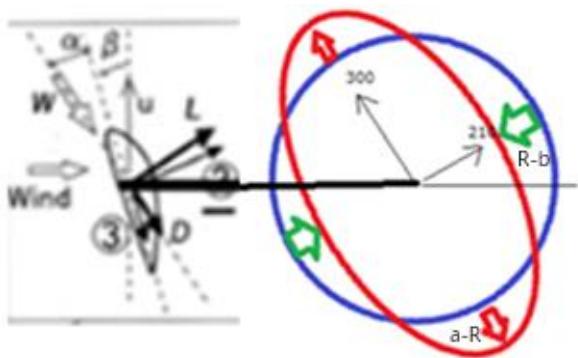


Fig.10 Lifting vector and modification

9. 塔に掛かる力と回転モーメント

(9 衍の数値で計算し、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。

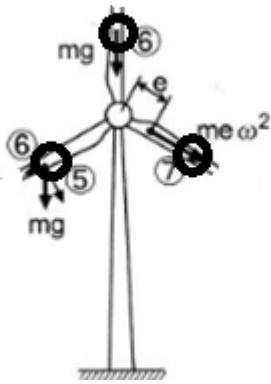


Fig.11 Wind turbine in balance

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 に応じた幕指数 $\alpha(V)$

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

$$P = (V^2 / 2) \times 1.23 \times 1.2 \quad [\text{N/m}^2] \quad (4)$$

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、

$$P * (100 + 50 * \sin(\omega t + \theta)) = k * (100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))^{1.3} \quad [\text{Nm}] \quad (6)$$

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、

$$M = k * f(t) = 181.24 * f(t) \quad [\text{Nm}] \quad (9)$$

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。

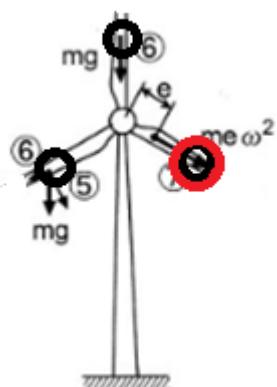


Fig.12 Wind turbine imbalance

大きな部分の面積が、 $10 * 1.003 = 10.03 \text{ m}^2$ だとすれば、この時、赤い丸の部分が受ける力は、

$$P = \frac{\left(\left(7 * \left(\frac{(100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))}{10} \right)^{0.15} \right)^2 \right)}{2} * 1.23 * 1.2 * 10 * 1.003 [N] \quad (20)$$

より、

$$P * (100 + 50 * \sin(\omega t + \theta)) = k * ((100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))^{1.3} + 0.003 * (100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))^{1.3}) \quad (21)$$

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。

$$f_n(x) = c_n + \sum_{m=1}^n a_m \sin(mx) + \sum_{m=1}^n b_m \cos(mx)$$

(28)

そこで

$$(\sin x)^n + (\sin \left(x + \frac{2\pi}{3}\right))^n + (\sin \left(x + \frac{4\pi}{3}\right))^n$$

(29)

を考えるには、1次式の和

$$\sin(mx) + \sin\left(m(x + \frac{2\pi}{3})\right) + \sin\left(m(x + \frac{4\pi}{3})\right)$$

(30)

について調べればよいことになる。

$$m=3k, m=3k+1, m=3k+2 \quad (k=0,1,2,\dots)$$

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、

$$\sin((3k+1)x) + \sin\left((3k+1)x + \frac{6\pi k + 2\pi}{3}\right) + \sin\left((3k+1)x + \frac{12\pi k + 4\pi}{3}\right) = 0$$

(32)

となる ($m=3k+2$ の場合も同様)。よって、

$$f_n(x) + f_n(x + 2\pi/3) + f_n(x + 4\pi/3) \quad (33)$$

には、 $\sin(3mx), \cos(3mx)$ のような形の項と定数だけが残る。これが、0.8Hz より大きな周波数、1.6Hz、2.4Hz、3.2Hz、4.0Hz でピーク値となる理由である。

(8) (9) 式には、(10) の展開式を長くしても、

定数項と、 $\sin(3m\omega t), \cos(3m\omega t)$ の項しか残らない。

塔には、ブレードの揚力による力のほかに、塔自体に吹き付ける風の力もあって風下に向かって少し曲がる。

高さによって風速が異なるので、ブレードの揚力は塔にかかる力を周期的に変化させる。3枚のブレードが完全に均等で風が安定していても、 $3*R/60[\text{Hz}]$ のほかに、 $2*3*R/60[\text{Hz}]$ 、 $3*3*R/60[\text{Hz}]$ 、 $4*3*R/60[\text{Hz}]$ 、…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、 $2*R/60[\text{Hz}]$ 、 $3*R/60[\text{Hz}]$ 、の揺れも含まれる。

この力が塔に作用すれば、塔の切り口は橿円となり、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) 橘秀樹, 福島昭則, 落合博明, 低周波数騒音に対するハウスマスクのモデル化, 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) 石井倅夫編集,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 $4*3.14*0.5*0.5=3.14 \text{ m}^2$

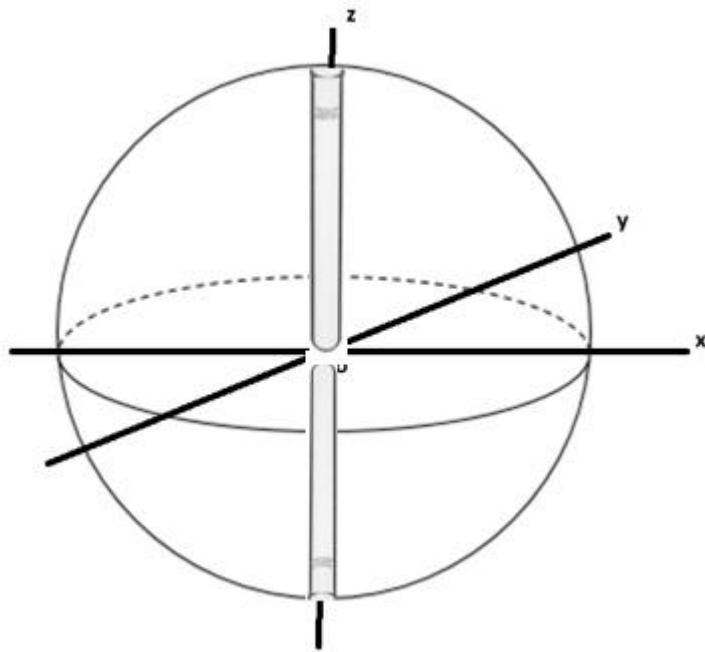
表面の部分は体重 (60 kg) に相当する質量を持ち、面密度は $60/3.14=19\text{kg/m}^2$

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^2) 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^2 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 $ds = \pi * 0.000025 = 0.0000785 [\text{m}^2]$ 、

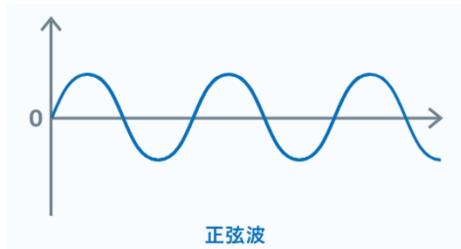
殻の部分の密度を $\rho = 19.1\text{kg/m}^2$ とする。

試験管の口の部分の質量は $M = \rho * ds = 19 * \pi * 0.000025 = 0.0015 [\text{kg}]$ 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。

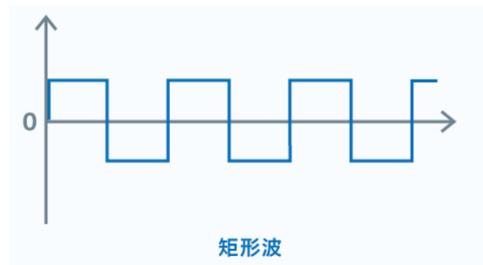
試験管の口の部分での音圧 $P(t)$ が

$$P(t) = A \sin \omega t$$



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、 $0.17\text{m} = 170\text{ c m}$

この部分が蓋の部分を通過する時間は、 $0.17/340 = 0.0005\text{ 秒}$

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 * 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、

$$A * ds = M \alpha$$

$$\alpha = A * ds / M$$

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、

$$dl = (1/2) \alpha (dt)^2 + v0 * dt$$

となる。

試験管の長さを、 L とすれば試験管の容積は $L * ds$ 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、 $ds * (L - dl)$ 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)

$$P_1 * ds * (L - dl) = P_0 * ds * L$$

よって、 dt 秒後の状態は、

$$v1 = \alpha * dt$$

$$dl = (1/2) \alpha (dt)^2$$

$$P_1 = P_0 * L / (L - dl)$$

$$L_1 = (L - dl)$$

となる。

次は、外圧は $P_0 + A$ 、内圧は $P_1 = P_0 * L / (L - dl)$ 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。

$$\text{加速度} \alpha_1 \text{ として、} (P_0 + A - P_1) * ds = M * \alpha_1$$

$$\alpha_1 = \frac{(P_0 + A - P_1) * ds}{M}$$

$$dl_1 = v1 * dt + \left(\frac{1}{2}\right) \alpha_1 * dt^2$$

$$v2 = v1 + \alpha_1 * dt$$

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 α_2 として、 $(P_0 + A - P_2) * ds = M * \alpha_2$

初速度は $v2$

$$\alpha_2 = \frac{(P_0 + A - P_2) * ds}{M}$$

$$dl_2 = v2 * dt + \left(\frac{1}{2}\right) \alpha_2 * dt^2$$

$$v3 = v2 + \alpha_2 * dt$$

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 α_3 として、 $(P_0 + A - P_3) * ds = M * \alpha_3$

初速度は $v3$

$$\alpha_3 = \frac{(P_0 + A - P_3) * ds}{M}$$

$$dl_3 = v3 * dt + \left(\frac{1}{2}\right) \alpha_3 * dt^2$$

$$v4 = v3 + \alpha_3 * dt$$

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 α_1 として、 $(P_0 + A - P_4) * ds = M * \alpha_4$

初速度は v4

$$\alpha_4 = \frac{(P_0 + A - P_4) * ds}{M}$$

$$dl_4 = v4 * dt + \left(\frac{1}{2}\right) \alpha_4 * dt^2$$

$$v5 = v4 + \alpha_4 * dt$$

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、 $\text{周期}/2$ 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。

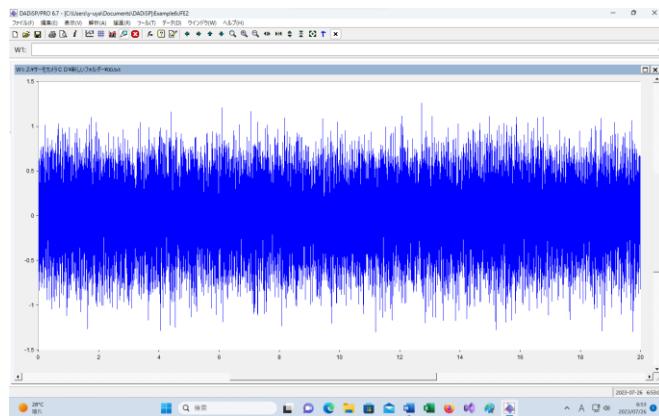
200Hz 以上ならば、体内の圧力はほとんど変化しないが、10Hz 以下では、かなりの圧縮が起きる。

これは、圧迫感ではなく、圧迫そのものです。

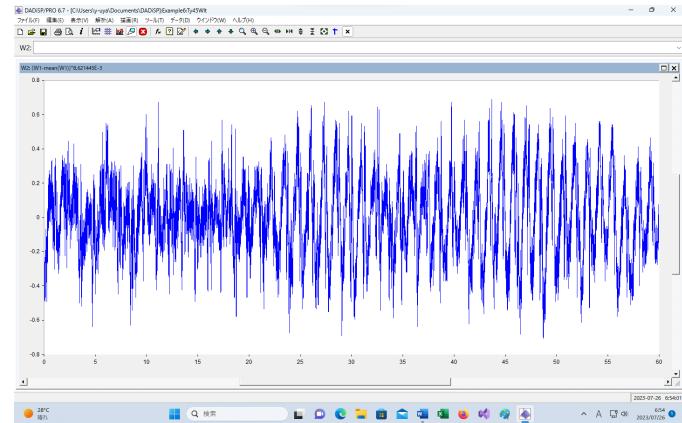
この圧力変動は、体内での気泡の溶解と発生の平衡状態を、発生が多い方に傾かせる。

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。

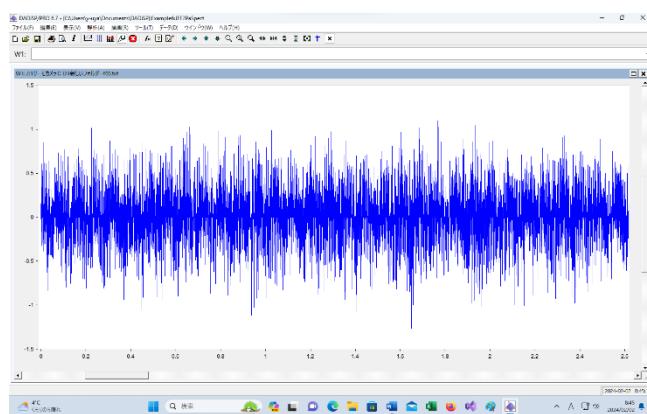
JFE の製鉄所内の音



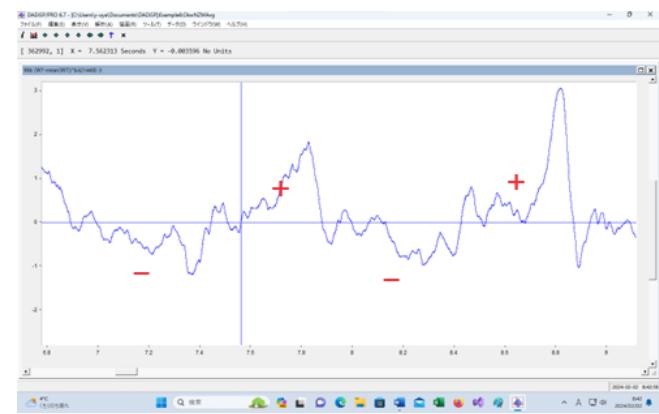
館山の風車音



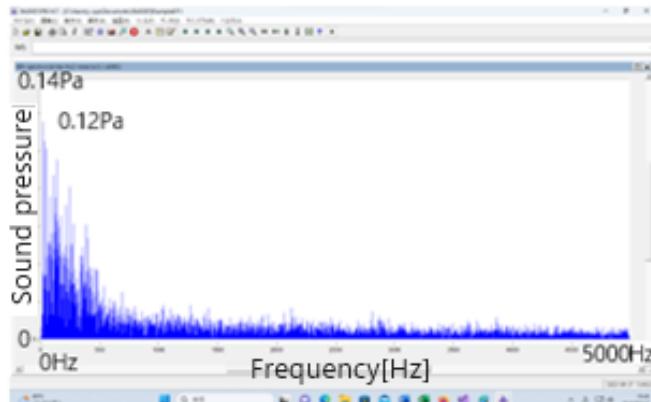
工場騒音の、2.6秒間の波形



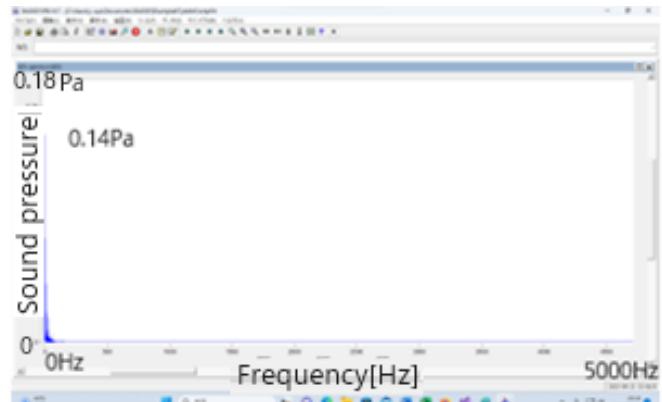
風車音の2.2秒間の波形



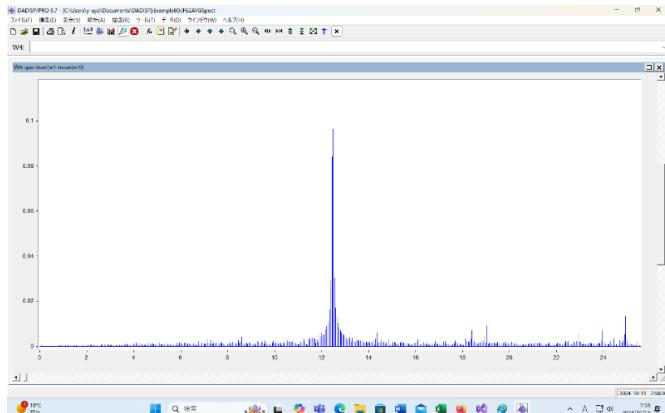
製鉄所(0~5 k Hz)；最大 0.12[Pa](12Hz)



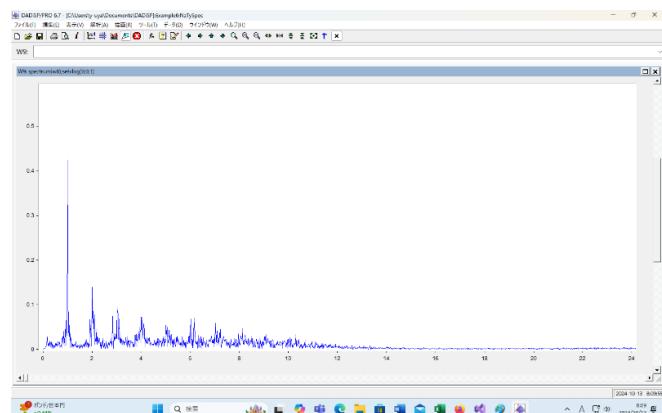
風車音(0~5000Hz); 最大音圧 0.14[Pa](0.8Hz)



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

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 kHz 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、 $f = RZ/60Hz$ の波による音圧変動に近い形での圧縮と膨張が起こる。

$f = 0.5Hz$ 、 $f = 1Hz$ 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

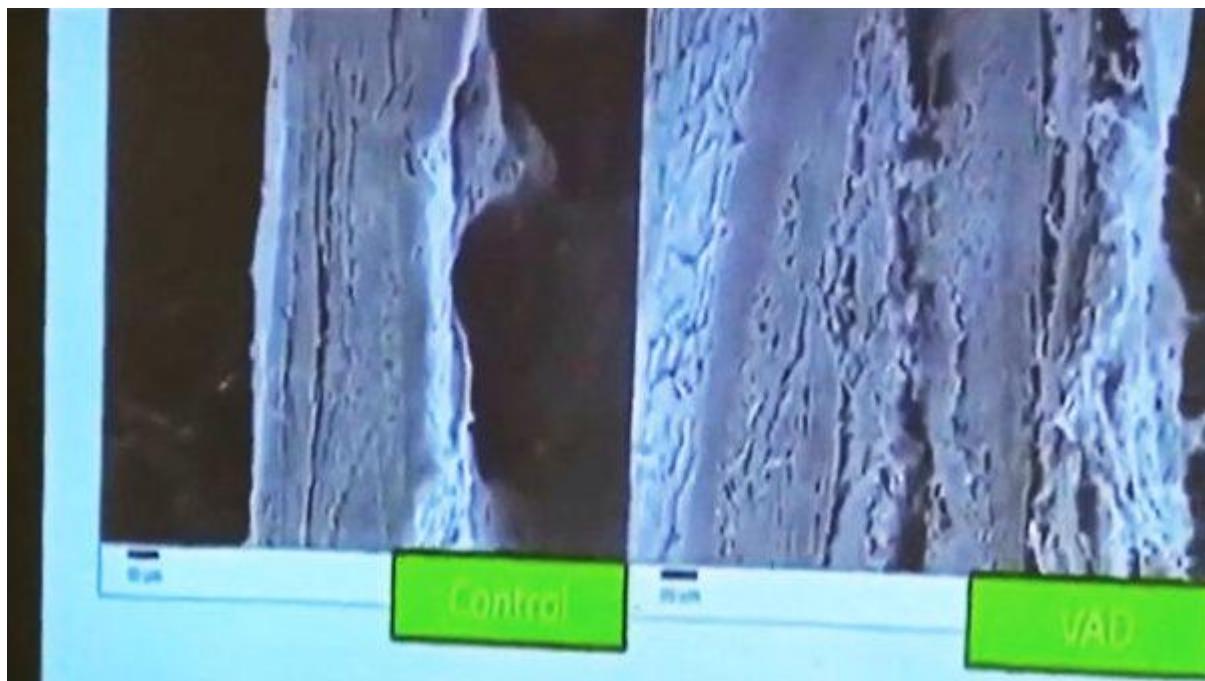
長周新聞の記事に次ものがある。

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つた腫瘍だった。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つた。12 番目の傷跡は 2 ミリメートル以下で、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 ミリメートル未満だ。ところが低周波音に暴露した患者は、心膜が 2・3 ミリメートルにもなる。

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つたのではなく、壁が肥厚した結果、閉じてしまうのだ。たとえば冠状静脈はとても小さくて、すぐに詰まってしまう。だから、このスタッフの場合、11 もの梗塞の跡があったのだ。そうなるともう血液が流れないから、問題が起こるわけだ。

この肥厚はコラーゲンとエラスチンが異常に増えたために起こると私たちは考えている。専門用語で形態形成という。そこにあるはずのない組織の発達という意味だ。これが低周波音のせいで起きているとは、最初は思いもよらなかった。身体全体が「生物によらない機械的な力」にさらされたために、身体がその力に対抗しようとして起こったのだ。

1999年、この病気の進行の仕方について研究することになった。306人の航空技術者のグループを基本に、心臓血管病、糖尿病、連鎖球菌感染症がある人、精神安定剤を服用している人は除外し、残った140人の男性が研究対象になった。その140人が4年間、エンジンテストで低周波音に暴露され続けると、70人以上（50%以上）が気管支炎を発症した。10年の暴露で、70人以上が血尿を発症した。

もう一つ重要なことは、症状が蓄積していくということだった。気管支炎にかかっている状態で、さらに鼻からの出血やひどい筋肉痛が加わるのだ。血尿も止まらない。“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（ $f=RZ/60Hz$ ）と音圧を把握できなかった。ことがある。

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。

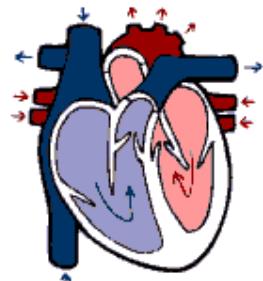
高血圧とは

↓

血液は全身に張り巡らされた血管を流れ、身体の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**といい、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**といいます。↓

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、血液の量が増えても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**が硬くなり内空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、それをほうておると**動脈硬化**が進行し、**脳卒中**や**心臓病**などの命にかか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います。**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むと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います。← |
| 2) 脳卒中 | 脳の血管がもろくなっています。← |
| 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。狭窄した血管が血栓で詰まると心筋梗塞となり命にかかる大事になります。← |

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、

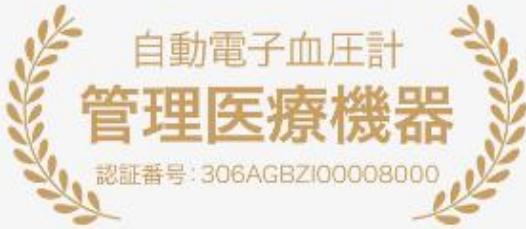
“大動脈のような、大きな血管壁は、MRI や CT などで評価可能です。また、最近の血管の超音波検査（エコー）はかなり進んでいて、最新型のものであれば、かなり評価できます。一方、静脈壁の評価はかなり困難で、静脈内の血栓などの評価のみになります。また、毛細血管が、一番外因を受けやすいと思いますが、現在のところ、画像での評価は困難です。”

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

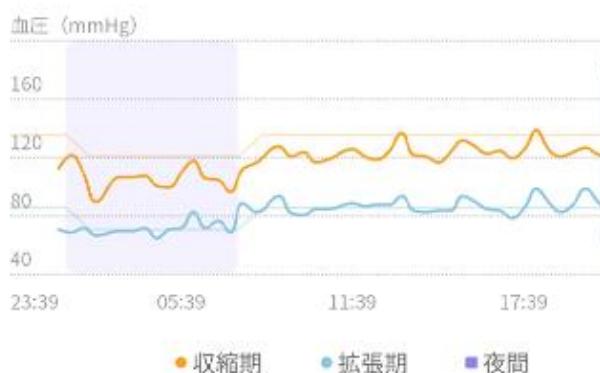


Management System
EN ISO
13485:2016
www.tuv.com
ID: 0002004379



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



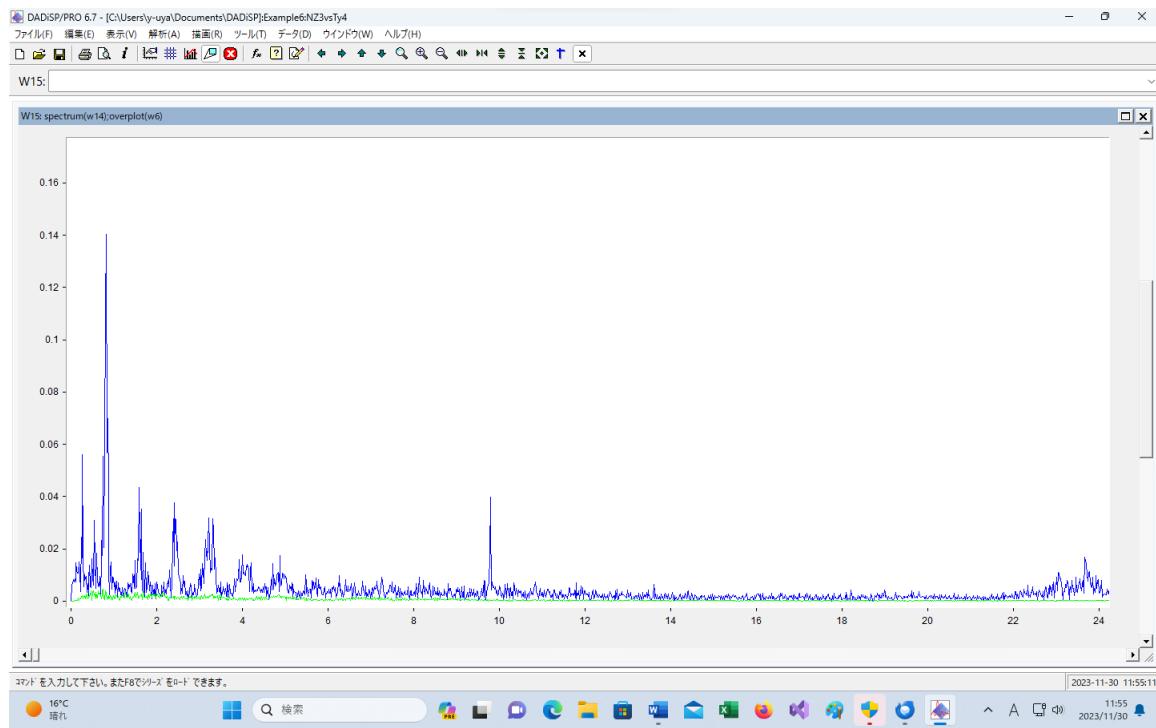
この数値と、眠る人の近くに精密騒音計を置いて 6 時間の連続測定を置きなった結果を Wavelet 解析すれば関連性についての証拠の一つが得られます。

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。

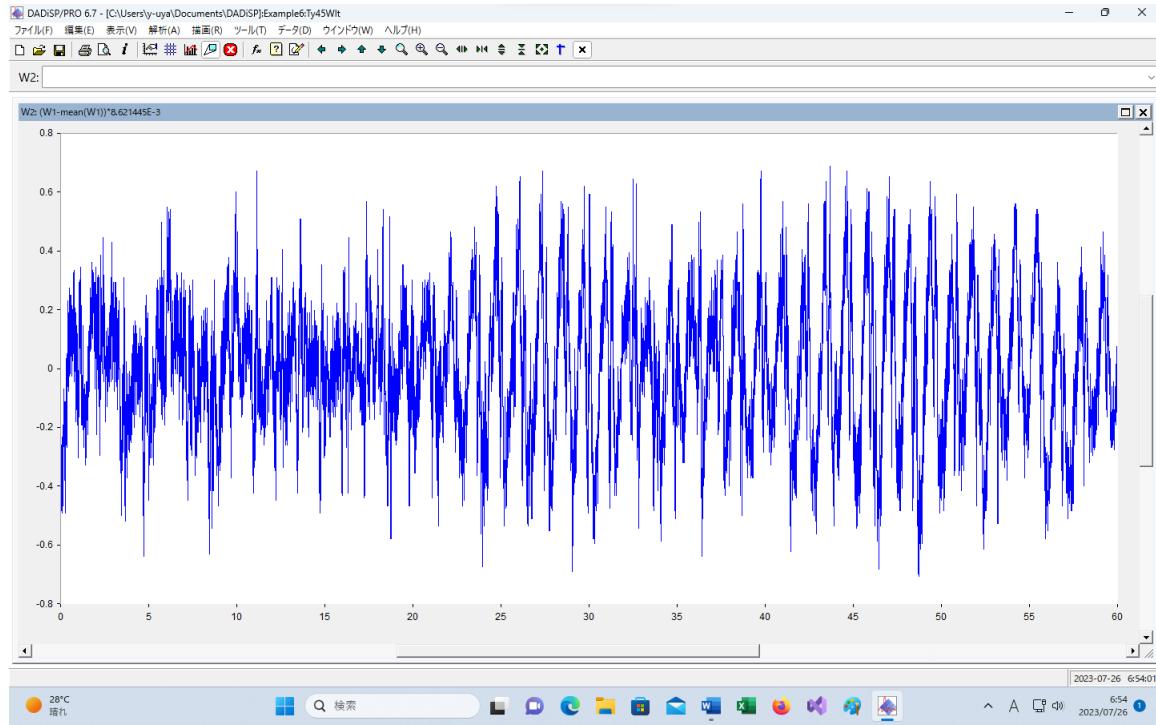
衝撃問題における応力波の伝播と反射・透過について
いろいろな弾性波（その 1）
金属中の応力波伝播(高速変形の力学の基礎)

10. 3. 4 音響キャビテーションと頭痛

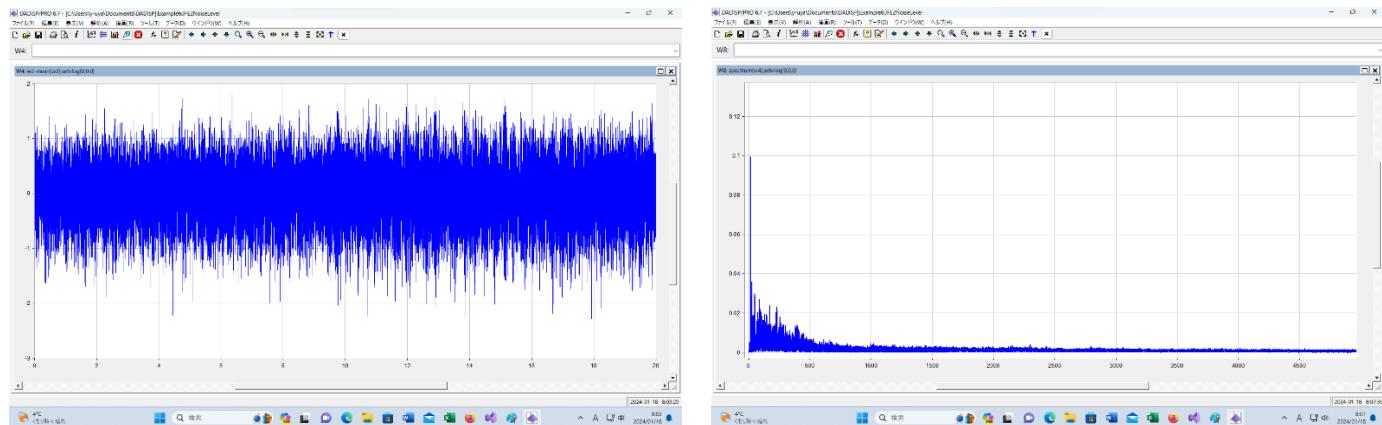
風車音の周波数スペクトルから、風車からの超低周波音は離散的であり、 $f=RZ/60=1\text{ Hz}$ の成分が卓越した音圧を持っていることが分ります。



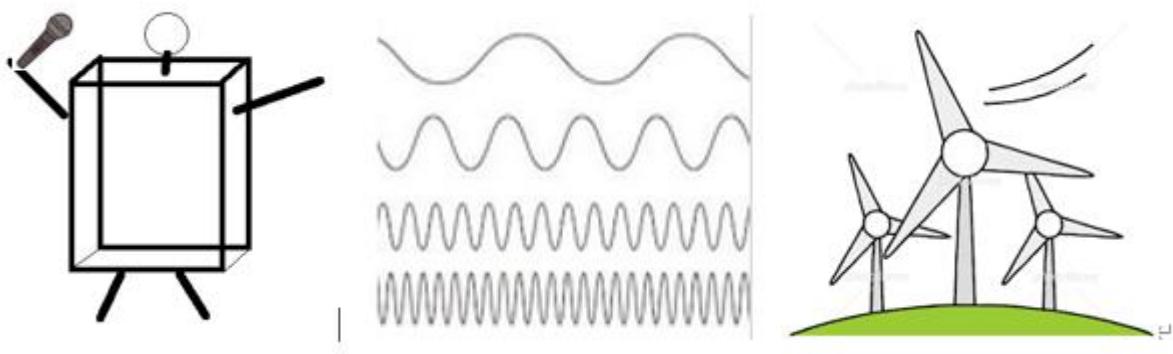
グラフは、1Hz の成分が卓越した音圧を持っているので、グラフの基本的な形を決定します。他の成分は、基本的なグラフに部分的な変動を与えるだけです。



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。

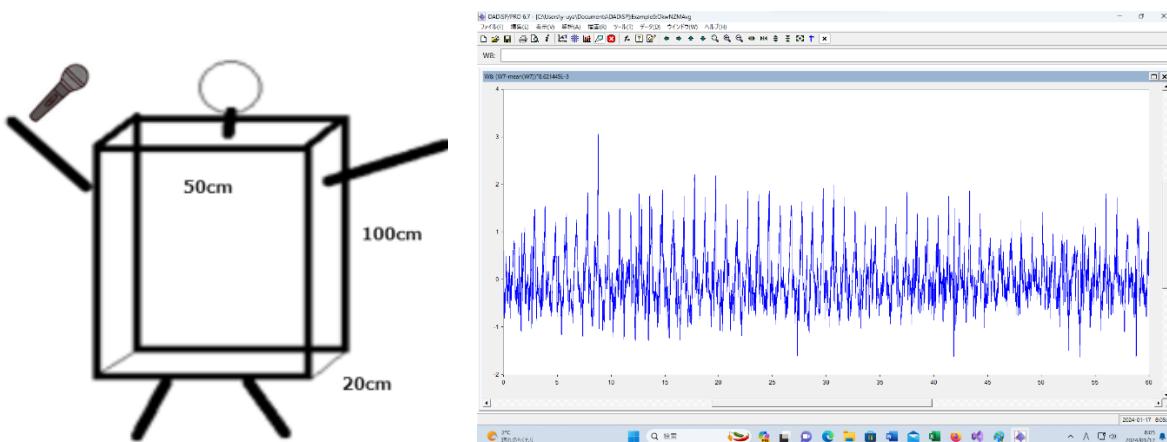


この性格の違は、人体に対する圧迫に仕方に影響します。



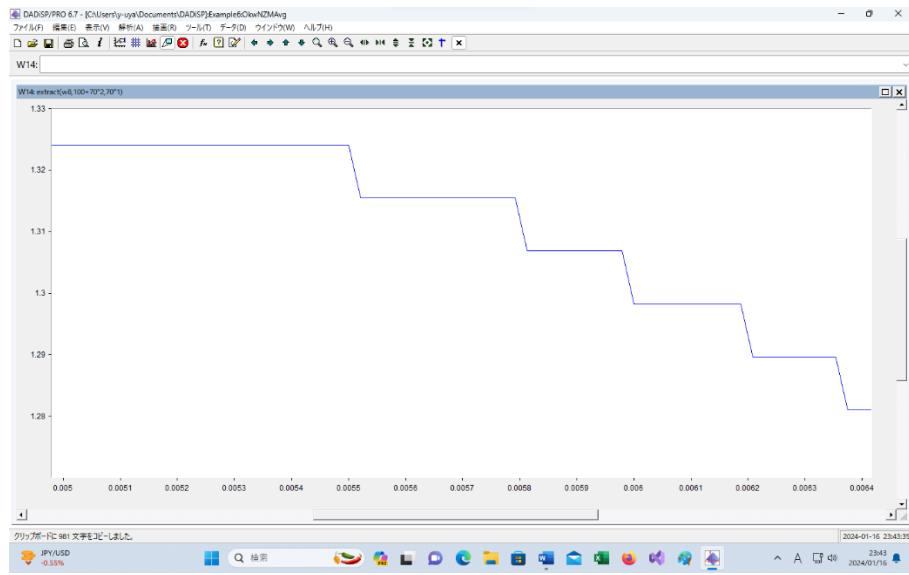
いろいろな波長の音が、秒速 340mで風車から人間まで届くとします。人間の横幅 50 cm、胴長 100 cm、厚み 20 cmとして、音は平面波とします。

音速が 340mですから、体の右側から、マイクのある体の左側までは、 $0.5/340$ 秒です。マイクが音圧を計測する回数が 1 秒間に 48000 回だとすれば、 $0.5/340$ 秒では、 $48000 * 0.5/340 = 70.6 = 70$ 回です。



右側は、計測した風車音のデータです。これから 70 個分を取り出します。

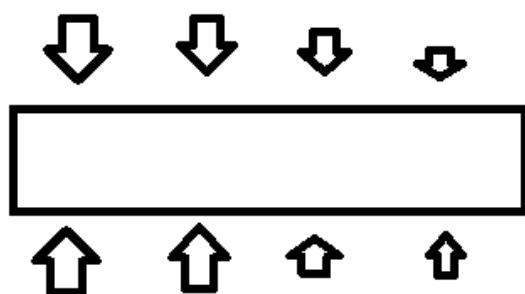
音圧の、70 個の連続した数値のグラフは、



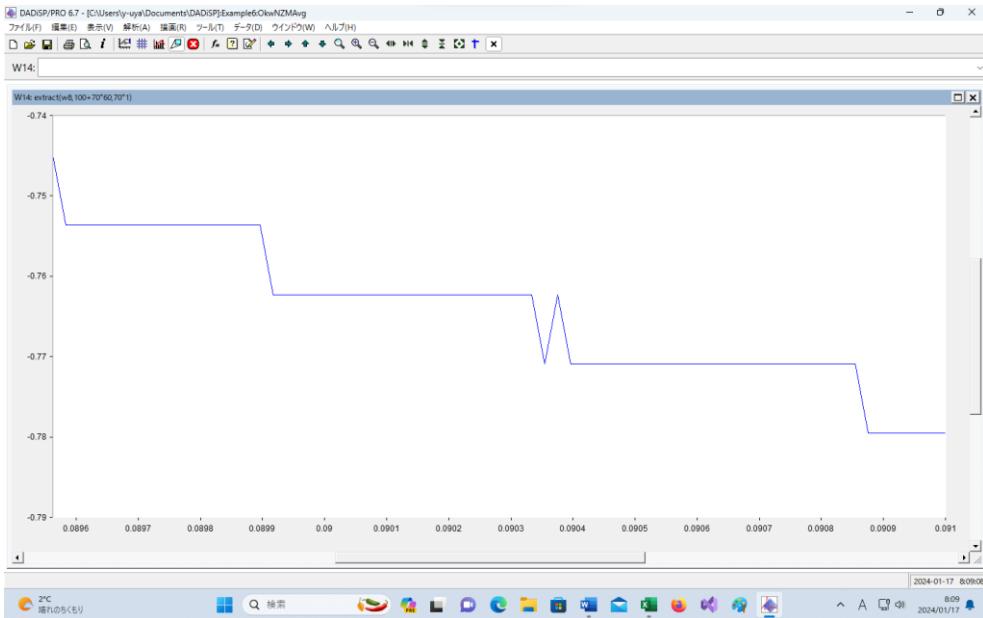
となり、数値は、

1.324106	1.324106	1.306864	1.289621
1.324106	1.324106	1.306864	1.289621
1.324106	1.324106	1.306864	1.289621
1.324106	1.324106	1.306864	1.289621
1.324106	1.324106	1.306864	1.289621
1.324106	1.324106	1.306864	1.289621
1.324106	1.315485	1.306864	1.289621
1.324106	1.315485	1.306864	1.280999
1.324106	1.315485	1.306864	1.280999
1.324106	1.315485	1.298242	1.280999
1.324106	1.315485	1.298242	
1.324106	1.315485	1.298242	
1.324106	1.315485	1.298242	
1.324106	1.315485	1.298242	
1.324106	1.315485	1.298242	
1.324106	1.315485	1.298242	合計
1.324106	1.315485	1.298242	91.74771
1.324106	1.315485	1.298242	
1.324106	1.315485	1.298242	平均
1.324106	1.315485	1.289621	1.310682

合計 : 91Pa、平均 : 1.3Pa です。この時は、体全体が押しつぶされる状態です。



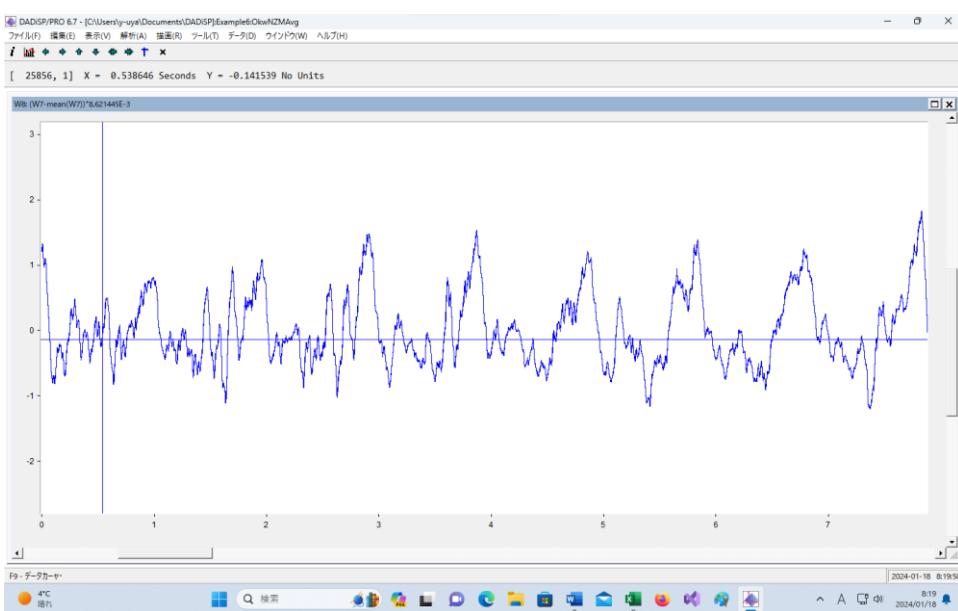
もちろん、



もう少し経つと、引っ張られて膨張する状態になります。

上のグラフの値は、-0.77Pa 程度です。強制的に膨張させられている状態です。

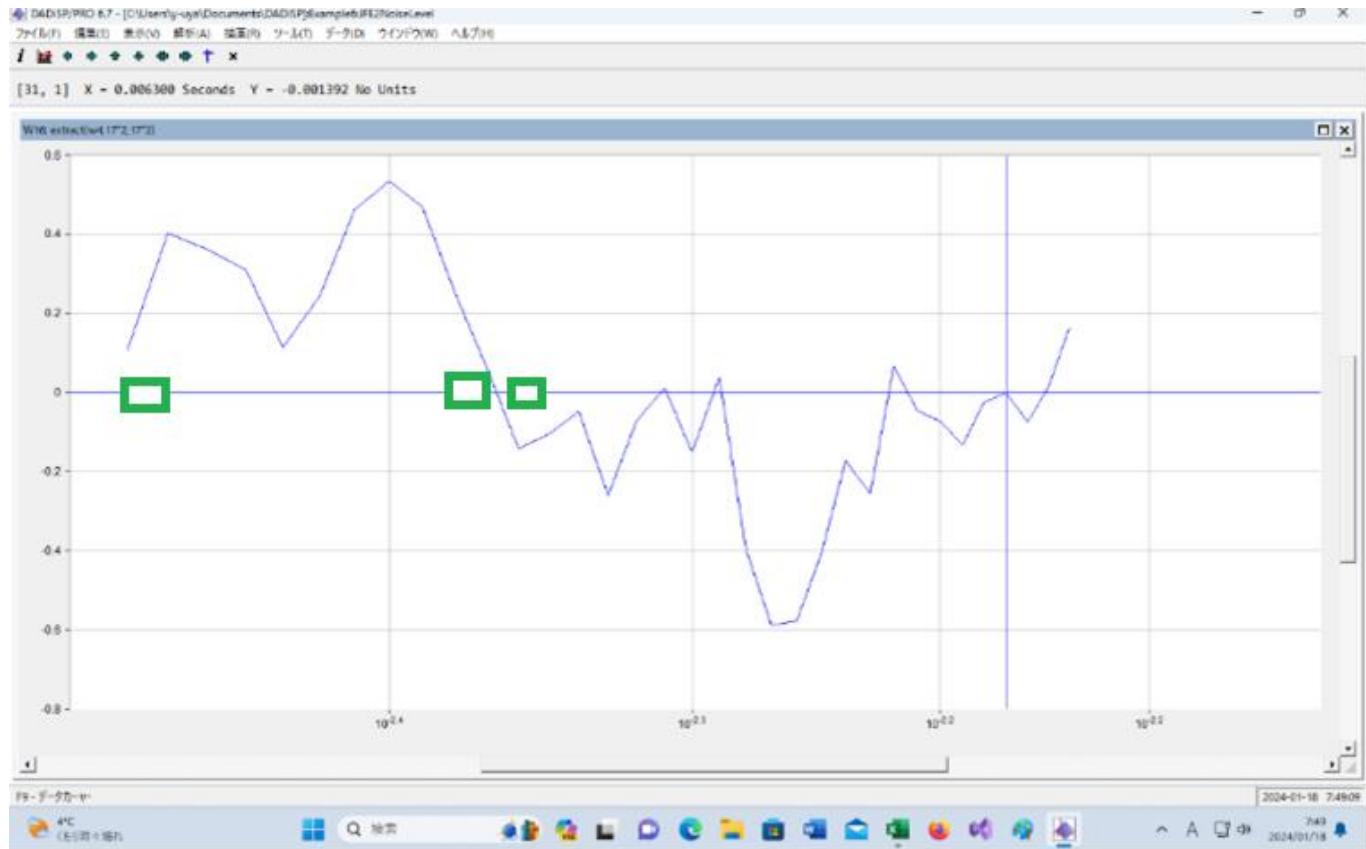
風車音の場合は、50 cm の全体が圧縮される時間が 0.5 秒、膨張させられる時間が 0.5 秒であることが次のグラフから分かります。



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。

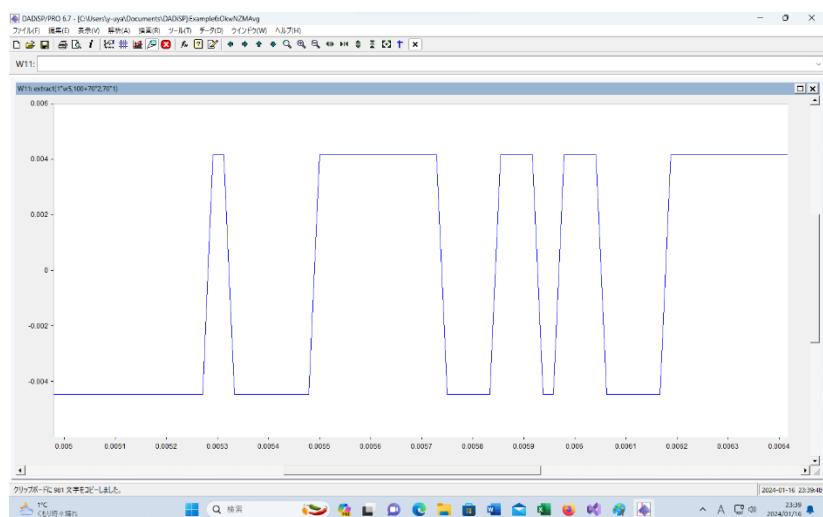
物理的には圧力が周期的に変化するのです。

工場音の場合は、秒速 340mの音が 50 cm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 cm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よ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、

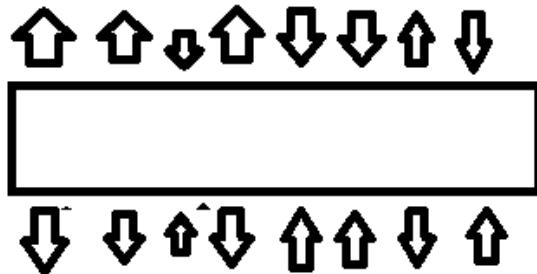


であり、

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	
-0.00446	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す。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、50 cm 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、1 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、0.5~1 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もあります。164 か所の計測対象となった全ての風車の近くでは、人体は強制的な、圧縮、膨張にさらされるのです。

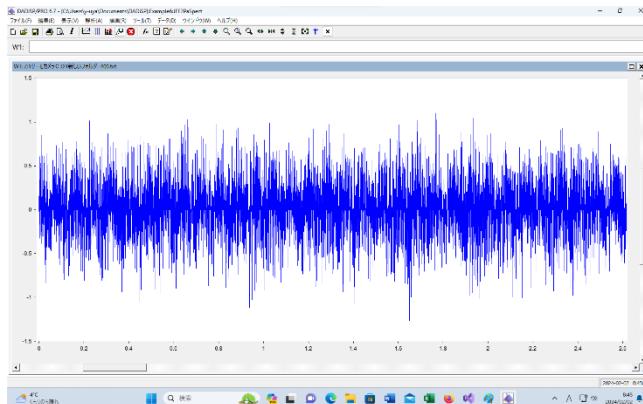
圧縮、膨張についてさらに確認します。

風車音は風速に変化によって変わります。速度が増せばブレードに掛かる揚力が増えます。揚力の大きさは風速の 2 乗に比例します。これによって、塔に掛かる回転モーメントも変化します。結果として塔の側面の振幅も増加します。音圧も変化します。

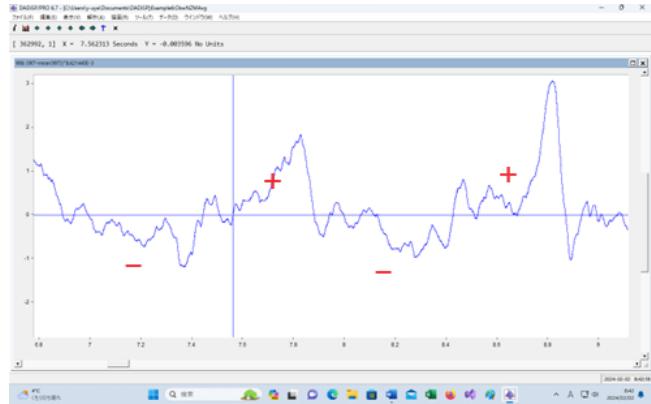
風が弱い時の音圧は 0.15Pa ですが、風が強いと 0.42Pa までは増加します。基本周波数は 0.8Hz から 1.0Hz 程度に増加します。

音圧の変動は大きいが、周波数の変動は小さいです。

工場騒音の、2.6秒間の波形

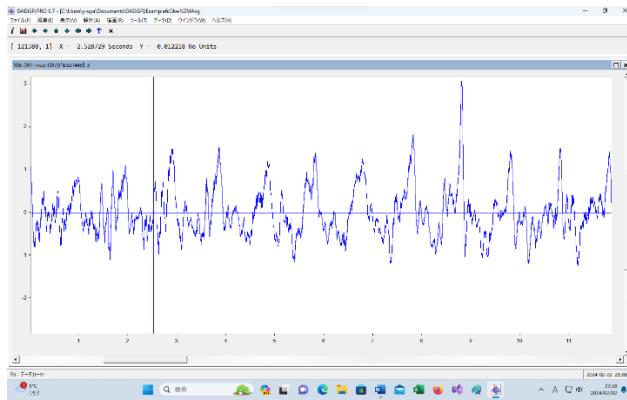


風車音の2.2秒間の波形

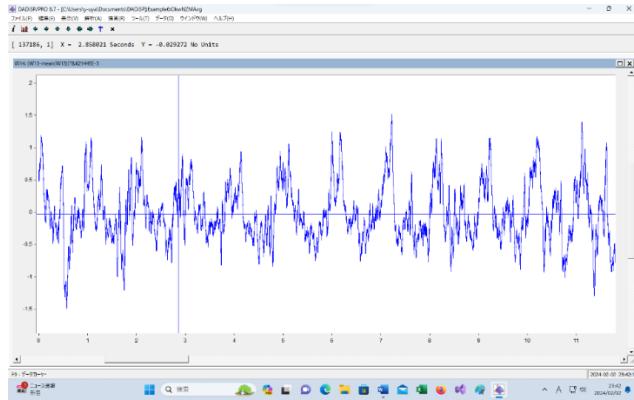


これが、圧縮と膨張が、ゆっくり繰り返される原因です。

音圧が高い（風が強い）ときの12秒間



音圧が低い（風が弱い）ときの12秒間



風が強い時の方が、音圧のプラス、マイナスがはっきりします。より強い形で、圧縮と膨張の過程が継続することになります。指向性も同様の効果を及ぼすと考えます。

風が強い時は、0.42Paで1Hzでした。風が弱い時は0.15Paで0.8Hzでした。周波数の変化は小さいのですが、音圧の変化は大きいです。

これから、多変量解析では、(PT=最大音圧*周期)の項目を設ければ良いことが分ります。

対象	周波数[Hz]	周期[S]	最大音圧	PT
車（強）	1	1	0.42	0.42
箱（中）	1	1	0.33	0.33
外（弱）	1	1	0.23	0.23
穏かな日	0.8	1.25	0.15	0.1875
JFE	12.5	0.08	0.096	0.00768
神社	1	1	0.01	0.01

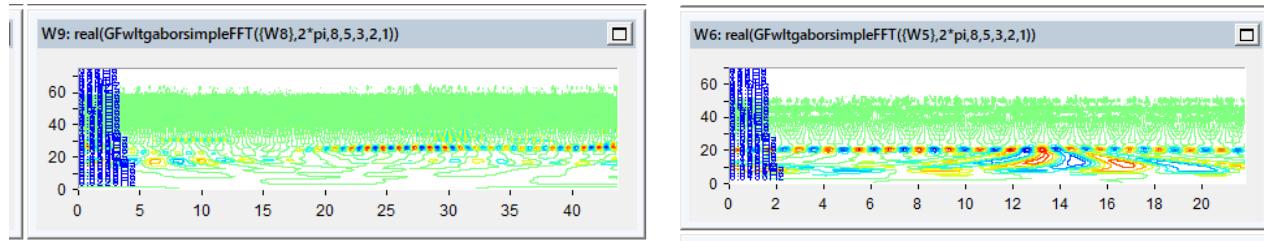
符号決定率＝最大音圧/2番目の音圧

をかけた方がよさそうですが、ここでは保留しておきます。

さらに音響キャビテーションの影響を考えれば、体内に溶け込んでいる空気が析出して気体となる可能性が高くなるのは、風が強い時だという事になります。体内の気泡は、潜水病と同じですから、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、下のようになります。



0.8Hz程度の周波数成分が、0.3パスカル程度の強さで放出される状態が100秒程度継続することが分かります。共鳴や共振現象などを発生させ、寝ている人間を起こすには十分な継続時間です。

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じることになります。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)

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{4}{3} \pi R^3 \rho_g \right) = 4 \pi R^2 D_{gL} \frac{\partial \rho_{gL}}{\partial r} \Big|_W \quad (2.5.55)$$

による。

液体中の濃度境界層厚さを δ_D とすれば、単位時間あたりのガス析出・溶解量は

$$\dot{m}_g \propto R^2 \times (\rho_{g,0} - \rho_{g,W}) / \delta_D \quad (2.5.61)$$

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



収縮時

平衡時

膨張時

$$p_g > p_{g0}$$

$$p_g = p_{g0}$$

$$p_g < p_{g0}$$

$$R < R_0$$

$$R = R_0$$

$$R > R_0$$

$$\delta_D > \delta_{D0}$$

$$\delta_D = \delta_{D0}$$

$$\delta_D < \delta_{D0}$$

まず、気泡表面液体の不凝縮ガス濃度 ρ_{gLW} はヘンリーの法則

$$\rho_{gLW} = \alpha p_g \quad (2.5.58)$$

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とすると、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 が小さくなっています。0.5Hz 辺りでの音圧が最大となります。微小な気泡による頭痛や圧迫感などによる体調不良が増加すると予測されます。

超低周波音の中でも、1Hz のものが圧倒的に高い圧力をもつていて、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、このようになります。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、0.5~1Hz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 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)

スクuba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 メートルでの危険性は誰でも納得します。では、水深何メートルから危険なのでしょうか。潜水業務に関する唯一の法律「高気圧作業安全衛生規則(以下、高圧則と略します)」の第 1 条 1 項 2,3 号の定義は「潜水器を用いて圧縮空気の供給を受ける水中」または「大気圧を越える気圧下(海底トンネル内工事等の潜函工法)」となっていて、大気圧(1 気圧)よりも高い空気圧を呼吸する業務が対象になります。第 27 条は「(水中)作業時間の規定は水深 10 メートル(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 メートル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)へ溶け込みます。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 リットル溶け込んでいます。潜水すると水深 10 メートル毎に溶け込む空気が倍増します。例えば水深 20 メートル(大気圧の 1 気圧 + 水深 20 メートルでの水圧 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 リットルになります。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 リットルの窒素ガスが溢れ出し、泡となって血管を塞いだり色々な細胞や組織を圧迫して様々な障害が現れます。これを「減圧症(DCI)」と言い、僅かな気泡または気泡により生じた血栓でも脳脊髄や肺や心臓への血管が塞がれれば即死します。更に、人体の 60%が水分で 20%以上は脂肪です。脂肪組織には水分の 5.3 倍の窒素が溶け込みますが、最も脂肪分と血流量が豊富な組織は脳脊髄神経系です。潜水病では血液中の気泡や血栓ばかりを考え勝ちですが、特に脳や脊髄の神経細胞内にできた気泡によって神経細胞が損傷を受ける事も忘れないで下さい。考え方として減圧症と脳梗塞や心筋梗塞は同じ病気です。つまり、その主な原因は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ると言う事も常に意識して下さい。気泡が障害を起こすか起こさないかの差は紙一重です。更に、潜水後の飲酒は2脱水状態を引き起します。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、空気の大きさには6倍の差があります。水面に近い程、肺や副鼻腔等の体内空間にある空気容積が大きく変化して身体に影響を及ぼします。水面近くでの急激な潜降や浮上は非常に危険です。例えば、水中で高圧空気を呼吸している時に、パニックや器材操作ミス等により安定した呼吸が出来ないまま急浮上してしまうと、水面近くで肺内の空気が大きく膨張して肺をパンクさせます。肺が破れると破れた肺血管に空気が吸い込まれて、特に脳への血管を塞いで意識を失って溺れます。これを「動脈ガス塞栓症(AGE) 旧称 エアエンボリズム」と呼びます。考え方として、1分間で水深10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に受けています。陸上と違い、海水の密度は空気の800倍ありますから、少しの動きでも大きな水の抵抗を受けて体力を消耗します。生活習慣病対策としてプールでのエクササイズが有効なのはこの水の抵抗と浮力のお陰ですが、ダイバーにとっては大きな負担です。また、水深10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れます。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って常に新しい骨へと置き換えています。潜水を行うと骨細胞に栄養を送っている血管が塞がったり骨細胞自体への圧迫等によって骨の再生が止まってしまい、気付かない内に骨がボロボロになります。これを「減圧症性骨壊死」と言い、痛み等の症状が出た時点では殆ど手遅れで、人工関節埋め込み手術等が必要になります。

これら以外の潜水障害についてもダイビングスクールや潜水士講習で教わっている筈なのですが、忘れてしまったか、インストラクター自身が潜水障害を全く理解していないのが現状です。

II.適切な訓練

潜水士テキストは1998年に大幅に改定されましたが、基本となる高圧則は1972年9月30日以来殆ど改

定されていません。潜水士免許は筆記試験だけで交付されますから、泳げなくて水が怖い方でも一生資格を失う事はありません。また、この法律での潜水事業は海底油田や海中トンネル等の大規模工事で、浮上する前に体内の余分な窒素を抜く為の減圧停止を行うヘルメット式減圧潜水を前提としています。ですから、水面からホースを使ってダイバーに空気を送る方法と、減圧停止を無視した場合の緊急再圧の教育(送気員、再圧員)だけを義務付けてはいますが、スキューバ関係の教育規定が一切ありません。更に、保護されるべきダイバーは被雇用者に限られているので、「個人事業主」である孫受け作業ダイバーやガイドダイバーそして漁師はこの法律の適用を全く受けません。沖縄県の水上安全条例ではレジャーダイビング従事者に潜水士免許取得を義務付けていますが、認可制では無く届出制ですので徹底されてはいません。ダイビングショップのインストラクターは潜水士免許が無くても業務に従事しますし、所属営利団体に年会費と保険料さえ払い続ければ、一切の追加教育や更新訓練を受けなくてもインストラクター資格を失う事もありません。この様に潜水業務は法律的にも行政的にも曖昧なまま放置されているので、世間一般に限らず潜水従事者自身も業務に伴う危険性と教育訓練の必要性を再認識する機会がありません。そこで、潜水業務従事者として継続的な教育訓練を受けるべき項目を幾つか挙げておきます。

限界潜水深度及び時間の算出：高圧則では水深 10 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出来ていません。

潜水現場に緊急再圧チャンバーと厳密な減圧停止の設備と人材が完備されていない限り、減圧潜水は極めて危険です。例えば、水深 34 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と減圧症になります。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、母船上の加圧室で呼吸抵抗、酸素中毒、窒素酔いを防止する為のヘリウムを使った特殊ガスと圧力に慣れさせた後に目的の水深へと加圧室ごと潜降し、潜水業務中は加圧室を居住区域とする飽和潜水を繰返し、水中業務が終了したら加圧室内で加圧されたまま母船へと引き上げた後に厳密な減圧手順を行います。ここまでやっても大深度での安全は保障できません。アメリカ海軍の特殊部隊 (Navy Seals) ダイバーでさえ基本的に減圧潜水も反復潜水 (48 時間以内に 2 回以上潜ること)も禁止されています。スペースシャトルから宇宙服へ着替えて船外へ出る場合には、1 気圧の居住区からエアロックへと移り 0.3 気圧まで(水深換算すると水深 7 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ますし、レギュレーターによる口だけからの呼吸となり、普段の鼻からの呼吸が出来ない違和感を伴います。更に、潜降すると保温スーツの生地が水圧で潰されて沈み気味となり、浮上すると逆に浮き気味になります。それぞれの水深での適正な中性浮力を保つ為には、精神的に安定した意識的な呼吸によって「肺の浮き袋機能」を活用しなければなりません。この様に、潜水業務では陸上とは全く違う状態でのバランス感覚を維持しておく必要があります。陸上の自転車でのバランス感覚等とは異なり、水中のバランス感覚はかなり継続的に訓練しておかなければ維持できません。また、安全索やホースで母船と結ばれているヘルメットダイバーと違い、スキューバダイバーは水面へ浮上した場合の潮流と風向のベクトルを、体感と視覚とコンパスによって浮上前に計算する訓練を積んでいないと、目標水面へ到達できずに漂流してしまいます。更に、人間は呼吸ができない状態になると 1 分程度で意識を失い溺れます。潜水訓練は厳重な安全管理と体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 項でのポンベによる潜水時の携行物として時計、水深計、刃物そして救命胴衣が義務付けられています。つまり BC ではなくてタンクハーネスだけでの潜水は違法です。

高圧則第 42 条 1 項では、水深 10 メートル以上での業務には再圧室を設置または利用できるような措置を講じる必要があります。現実的には医療用酸素の準備及び外洋からの航空機搬送体制の整備ですが法律的な問題が解決されていません。

最後に「吹かし」についてお話しします。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て伝わって「ベンズ」の治療方法として普及してしまったようです「吹かし」は治療方法では無く、異常が全く無い場合に限った減圧停止の緊急避難方法です。医療機関での高圧酸素を使って、3.8 気圧 6 時間掛けても治療出来るとは限らないのに、長くても 1 時間程度の「吹かし」で治療できる筈がありません。長期的にみても「吹かし」は骨壊死や関節痛、めまい等の慢性減圧症を必ず悪化させます。

III. 潜水適性

陸棲動物の人間にとて、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、肺囊胞
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、肺囊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囊胞、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、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、減圧症治療は金額的にも時間的にもメリットは全く無いのでやらない方が得策です。ちなみに、海外で再圧チャンバーによる減圧症治療を受けようすると、最低でも \$4,000- (¥45 万円～¥60 万円) 以上請求されますし、日本の健康保険も使えません。この様に、日本の潜水医療は制度的・医療技術的に世界基準から大きく遅れているのです。

14. 風車被害と企業責任

熊ドンと風車音

熊ドンと言う熊撃退の音を出すものがあります。

“クマよけ装置は、富士河口湖町の「T. M. WORKS」（轟秀明社長）が開発し、岡山理科大（岡山県）や帯広畜産大（北海道）と共同で実証実験した。クマが装置から1～7メートル程度に近づくと赤外線が感知し、80～120ヘルツの低周波の音を組み合わせて断続的に出す仕組み。轟社長によると、80～120ヘルツは、クマが警戒している時に発するうめき声と同程度の周波数という。”



実証実験で設置した「いのドン・くまドン」（北海道で）

=T. M. WORKS 提供

熊ドンでは、80～120ヘルツの低周波音が出ます。

風車からも出ています。エネルギーが高いのはもっと周波数の低い部分です。

4200 kW の風車

表 2.2-10 風力発電機の概要

項目	諸元
定格出力	4,200kW
カットイン風速	3m/s
定格風速	12m/s
カットアウト風速	27m/s
ロータ径	117m
ロータ中心までの地上高（ハブ高さ）	112m
ブレード枚数	3枚
定格回転数	13.6rpm
設置基数	9基

での、音響パワーレベルの表です。

GPI の準備書にある、次の表です。 p 829

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) ウィンドパーク布引北風力発電事業環境影響評価準備書」(2020年4月 株式会社シーテック)を参考とした。

表の、“既存施設”は、CTech社の2000 kWのもの、計画中施設は2300 kWのものです。

風車から300mから500mくらい離れると、100Hzの周波数成分は、

点音源で計算すると45～50dB程度の音圧レベルです。人間の感覚で言えば、大きく聞こえる、会話には支障なしですが、

風車音では、不快感としては、55～60dBの交通音に相当するので、こちらだと、うるさい、声を大きくすれば会話ができる、程度の不快感です。熊も大変です。

スピーカの音響パワーレベルは大きなもので、95～105dB程度です。

風車からの音の100Hz辺りの音響パワーレベルは、105dB程度ですから、風車はちょっと大きな熊ドンの動きをします。

熊が安眠出来ないと泣いています。

嘘だと思ったら、熊に聴いてみて下さい。

熊が民家の方に移動して、被害が出た時の責任の取り方を明確に表明する必要があります。

三重県での崩落

三重県に住んでいる友人は、

2023/2/23 付けのメール

お世話になります

音について できる限り情報整理が出来てからお送りします

今 音で気になっているのは

現在稼働中の 株シーテック社のウインドファーム笠取です 年中聞こえますが（離隔が 2 kmです）

特に10月から4月ごろまでが大きいです 音は耳で聴きとるのは異なる状況で難しいです

集落でよく聞こえる日の状況は 曇天 集落では風が弱い（その時は山では吹いているのでしょうか）

2023/1/22 付けのメール

お世話になり有難うございます

文中の株シーテックの稼働中の 19基の事業所名は「ウインドファーム笠取」です

騒音は現在大きなスイング音が平木集落に届いています

よく聞こえるときは ジェット機音のように聞こえます

シーテックを基準にすると、GPIの計画は離隔が近い 4200KWとシーテックの2.1倍大きいです
ので建設は危険と考えます

シーテック 28基の事業名は 「ウインドパーク布引北」 さるびの温泉から名阪道の加太町にかけて
評価書に進んでいるようです

私は準備書に自分の地域の事業のようにウインドパーク布引北の関係地区と共に参加しました

行政に一緒に出向きました

まずはお礼まで

と言っています。

近くの山は、風車でいっぱいです。



図3 「青山高原風力発電所」の全景。出典：青山高原ウインドファーム

金属疲労での事故もきました。

(3) 事故の概要（写真 1）

- ・推定発生日時：平成 25 年 4 月 7 日 16 時 37 分～16 時 55 分の間
- ・事故の状況：発電機・ナセル・ブレードが脱落



写真 1 タワー座屈・ブレード・ナセル脱落状況

風車建設で作った道路が崩壊しています。



さらに大規模な崩落もきました。

10月23日伊賀市市道笠取線の株シーテック社ウインドパーク笠取の崩落現場を見てきました、崩落は5年前です、崩落が進むので株シーテック社が橋梁架け替え工事する、伊賀市に確認しました



写真はウインドパーク笠取の伊賀市上阿波地区からです。
崩落現場の上では風車が稼働しています。発電所内には崩落している所、形跡があります。小委員会でも在りましたが地層は花こう岩、
崩落は風車の振動も一要因の説があります。



適正な工事をしても、崩落は起きます。崩落が起きた時の責任を明確にしておくことが必要です。