

「(仮称)西山風力発電事業 環境影響評価準備書」

ご意見記入用紙

「(仮称)西山風力発電事業 環境影響評価準備書」(以下「準備書」という。)について、環境の保全の見地からのご意見をお持ちの方は、書面に必要事項をご記入の上、意見書受付終了日(令和6年12月9日(月))までに、縦覧場所に備え付けの意見書箱にご投函いただくか、下記の郵送先へ郵送ください。

- 意見書の郵送先 〒949-4205 新潟県柏崎市西山町浜忠 2935 番 1  
西山風力合同会社 清水、木村、森山、オリギル 宛
- 意見書の提出期日 令和6年12月9日(月)〔当日消印有効〕

意見書

令和6年12月2日

| 項目                                                           | ご記入欄                            |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| お名前<br>(法人その他の団体にあつては、<br>法人名・団体名、代表者の氏名)                    | 宇山 靖政                           |
| ご住所<br>(法人その他の団体にあつては、<br>主たる事務所の所在地)                        | 〒<br>南房総市                       |
| 準備書についての環境の<br>保全の見地からのご意見<br>(日本語により意見の理由を<br>含めて記載してください。) | 意見書は要約しないで完全に掲載して下さい。           |
|                                                              | 貴社の意見の根拠となる具体的な計測結果や数値については、誰でも |
|                                                              | 再計算ができる形のデータとしても公開して下さい。        |
|                                                              |                                 |
|                                                              |                                 |
|                                                              |                                 |
|                                                              |                                 |
|                                                              |                                 |
|                                                              |                                 |
|                                                              |                                 |
|                                                              |                                 |
|                                                              |                                 |
|                                                              |                                 |

- 注：1. お名前、ご住所の記入をお願いいたします。  
なお、本用紙の情報は、個人情報保護の観点から適切に取り扱いいたします。
2. この用紙に書ききれない場合は、裏面又は同じ大きさ（A4 サイズ）の用紙をお使いください。

貴社の見解は、風車音に関する基本的な性質についての理解が欠けていることを示している。  
さらに、参照値の表が作られた時に考えられていた低周波音と風車音の超低周波音は性質が大きく異なる  
と言う認識に欠けている。

これでは、風車からの音による被害が出た場合に、それが貴社の風車によるものと理解できなくて、風  
雑音だと言って、居直る結果になってしまう。

低周波音の原因と低減

風車音の知覚と風車の影響の知覚

ガタツキ閾値

計算式と被害の予測

健康影響との関連

について簡単に述べる。

### (c) 評価の結果

#### 7. 環境影響の回避、低減に係る評価

施設の稼働に伴う超低周波音の影響を低減するための環境保全措置は、以下のとおり  
である。

- ・風力発電機の設置位置は、住宅等から可能な限り離隔して計画する。
- ・風力発電設備の適切な点検・整備を行い、性能の維持に努め、超低周波音の原因と  
なる異音等の発生を低減する。

「4. 国又は地方公共団体による基準又は目標との整合性の検討」に記載のとおり、環  
境保全の基準等との整合が概ね図られており、さらに、上記の保全措置を講ずることで、  
施設の稼働に伴う超低周波音については実行可能な範囲内で影響の低減が図られているも  
のと評価する。

#### 4. 国又は地方公共団体による基準又は目標との整合性の検討

超低周波音（20Hz 以下）については、現在、基準が定められていないが、施設の稼働に伴う将来の G 特性音圧レベルは秋季、春季とも 64～70 デシベルで、すべての予測地点において、いずれの季節でも ISO 7196:1995 に示す「超低周波音を感じる最小音圧レベル」である 100 デシベルを下回る。

また、「建具のがたつきが始まるレベル」と比較した場合、風力発電施設から発生する 1/3 オクターブバンド音圧レベルの寄与値は、すべての予測地点において、いずれの季節でも「建具のがたつきが始まるレベル」を下回る。

「圧迫感・振動感を感じる音圧レベル」と比較した場合、風力発電施設から発生する 1/3 オクターブバンド音圧レベルの寄与値は、中心周波数 20Hz 以下の超低周波音領域において、すべての予測地点において、いずれの季節でも「わからない」レベルを下回り、20～80Hz で「気にならない」レベルを下回り、100～200Hz で「気にならない」レベルと同等か、又は、上回るレベルである。

以上のことから、すべての予測地点で環境保全の基準等との整合が概ね図られているものと評価する。

なお、「風力発電施設から発生する騒音に関する指針」（環境省、平成 29 年）において、風力発電施設から発生する超低周波音については、人間の知覚閾値を下回ること、他の騒音源と比べても低周波音領域の卓越は見られず、健康影響との明らかな関連を示す知見は確認されなかったことが記載されている。

#### (7) 計算式

すべての風力発電機が同時に稼働するものとし、点音源の距離減衰式にしたがって計算した。なお、空気の吸収等による減衰、障壁等の回折による減衰、地表面の影響による減衰は考慮しないこととした。

$$L = PWL - 8 - 20 \times \log_{10} r$$

[記 号]

$L$  : 音源から距離 $r$ における音圧レベル（デシベル）

$PWL$  : 音源の音響パワーレベル（デシベル）

$r$  : 音源からの距離（m）

貴社の超低周波音に関する認識は、支離滅裂としか言えない。

### (c) 評価の結果

#### 7. 環境影響の回避、低減に係る評価

施設の稼働に伴う超低周波音の影響を低減するための環境保全措置は、以下のとおりである。

- ・風力発電機の設置位置は、住宅等から可能な限り離隔して計画する。
- ・風力発電設備の適切な点検・整備を行い、性能の維持に努め、超低周波音の原因となる異音等の発生を低減する。

上の記述には、“超低周波音の原因となる異音等の発生を低減する。”とあり、“異音”が“超低周波音”の原因と理解できる。“異音”から“超低周波音”が発生する仕組みを説明する必要がある。それが無ければ、低減は出来ない。

もちろん、異音から超低周波音が発生すると考えるのは、物理学を全く理解していない証拠である。

例えば、カナダ政府の HP には、

[A Primer on Noise](#) (Date modified:2014-10-2)と、[Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results](#) (Date modified:2014-10-30)があります。

A Primer on Noise には、次の記述もあります。

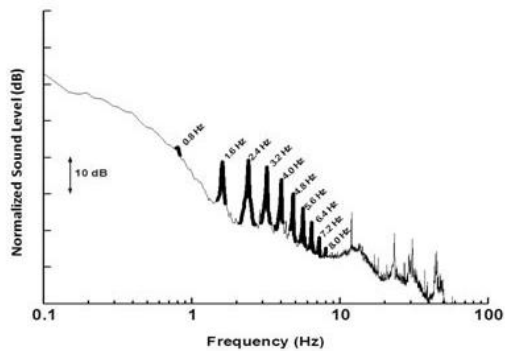
“音はどうやって作られるのか?

物体が前後に振動すると、空気圧がわずかに増減し、音波として空气中を伝搬します。科学者が音の周波数に言及するとき、彼らは音源が 1 秒間に生成する完全な音波の数、つまりサイクル/秒、またはヘルツ(Hz)を指します。人間の耳は極端に低い周波数や高い周波数にそれほど敏感ではないため、人々が音にどのように反応するかを理解しようとするとき、音の周波数は非常に重要です。固定されていませんが、一般的に、正常な聴覚を持つ若者は、通常、20Hz から 20,000Hz の周波数で通常の日常レベルの音を聞くことができますが、人間の耳は 2000Hz から 5000Hz の間の音に最も敏感です。”

“音源の回転周波数は、音を発している音源を特定するために使用できます。たとえば、毎分 16 回転(RPM)で回転する 3 枚のブレードを備えた風力タービンの基本周波数は、0.8 Hz(つまり、(3 ブレード X 16 RPM)を 60 秒で割った値)に対応します。したがって、この例では、特定の距離で測定された音において、風力タービンによる騒音レベルが、基本周波数と基本周波数の倍数で周波数ピークを示すのに十分なほど高い場合、風力タービン音をバックグラウンドノイズから分離することができます。これらの倍数は高調波と呼ばれ、基本周波数が 0.8Hz のソースの場合、1.6Hz、2.4Hz、3.2Hz、4.0Hz、4.8Hz などになります。”

“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することが知られているため、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。”



低減の対象となる“超低周波音”はどのようなものか、すなわち、低減前の超低周波音の周波数特性、音圧、エネルギーを示す必要がある。

対策の結果、超低周波音の周波数特性、音圧、エネルギーがどの様に変化したのかを示す必要がある。この計測結果が示されていない。

物理の常識として、エネルギーの保存と言う考えがある。原因となる異音の持つエネルギーを測定して、超低周波音のエネルギーと比較する必要がある。

私が、計測した館山市の風車については、風車音の周波数成分は次のような特徴を持っています。

## 周波数の倍音構造

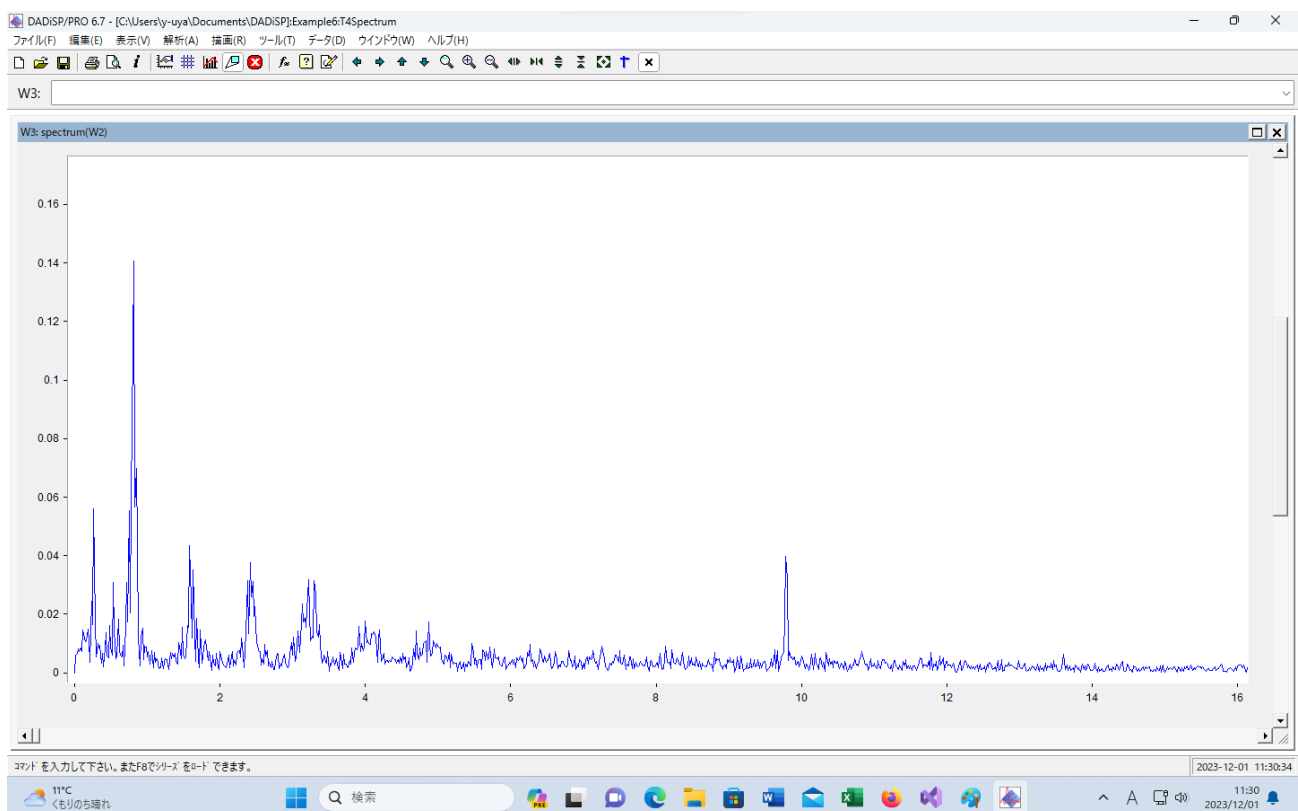


図.3 Wind turbine noise (0～25Hz)

音圧がピーク値となるときにの周波数に、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 |

$f = RZ/60 \text{ Hz}$  とすれば、風車からの超低周波音は、 $f/3$ 、 $2f/3$ 、 $f$ 、 $2f$ 、 $3f$ 、 $\dots$ 、 $\text{Hz}$  に於いて音圧がピーク値を取ります。しかも、風車音のエネルギーは  $f \text{ Hz}$  の辺りに集中しています。工場での音や、交通騒音とは大きく異なる性質です。

周波数スペクトル

図 1．交通騒音（リオン社前） 0～5000Hz  
最大音圧 0.0025[Pa] (379.4[Hz])

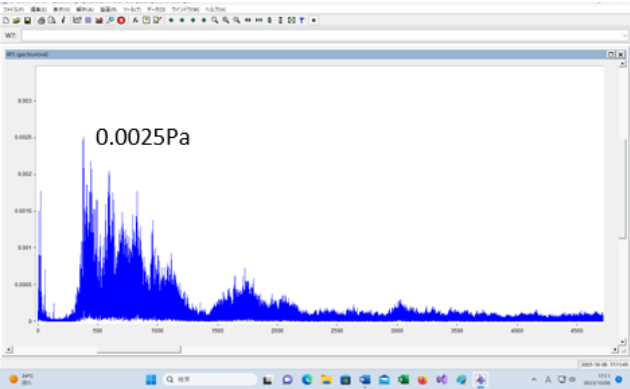


図 2．工場騒音（製鉄所内の音） 0～5000Hz  
最大音圧 0.12[Pa] (12Hz)

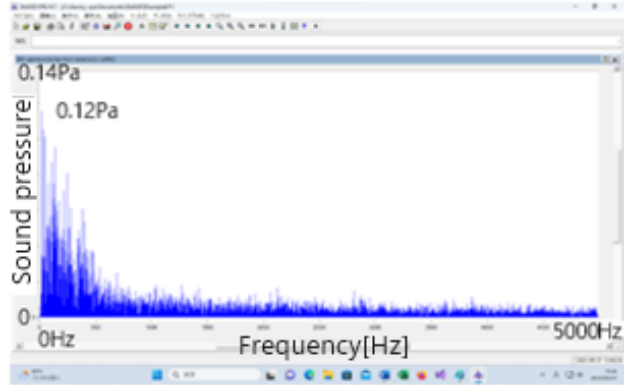
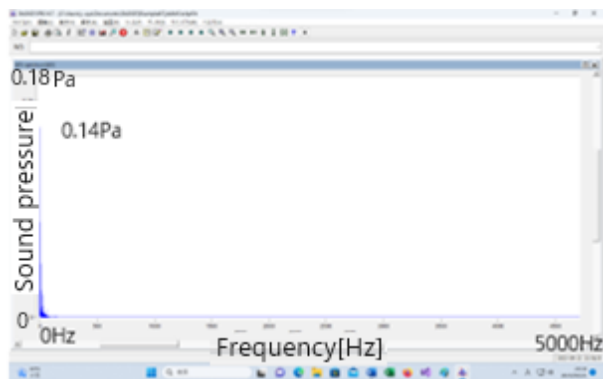


図 3．風車音（館山風の丘） 0～5000Hz  
最大音圧 0.14[Pa] (0.8Hz)

表 2．エネルギーの分布



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

0～20Hz 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% |

風車音で 20Hz 以上の周波数を持っている音のエネルギーを集めても、風車音全体のエネルギーの 7%以下です。93\*0.613=57%ですから、風車音全体のエネルギーの 57%は 1Hz よりも周波数が低い部分に含まれています。

交通騒音では、20Hz 以上の周波数を持っている音のエネルギーを集めると、交通騒音全体のエネルギーの 99%以上となります。

#### 音の強さ

音場内の 1 点において、単位面積を単位時間に通過する音響エネルギーを音の強さ（I または J と書く）と言います。単位は、(W/m<sup>2</sup>)

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

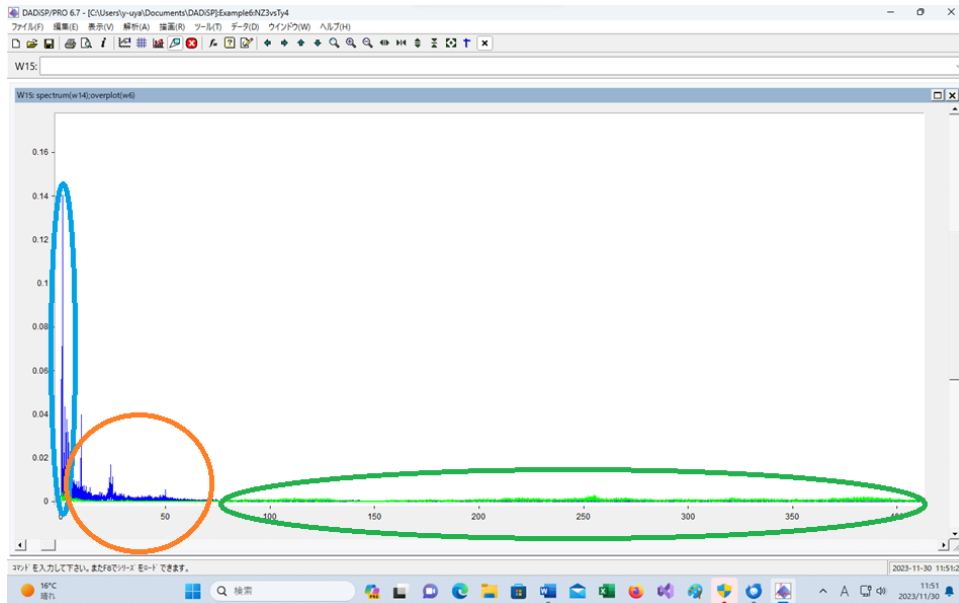
に注意して、音がマイクを通過するときの音の強さ (W/m<sup>2</sup>) を計算したものが次の表です。

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

風車音は上の表から分かる通り、非常に大きなエネルギーを持っています、

風車音の全体的な特徴は、次のグラフです。

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



上の図で、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～20 k Hz 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～20 k Hz 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。

超低周波音の原因となるような、高いエネルギーを持った異音は観測されていません。

更に、全国 164 か所の風車音を観測して結果からも、エネルギー保存の法則にあっているような異音で、超低周波音の原因となるようなものは観測されていません。

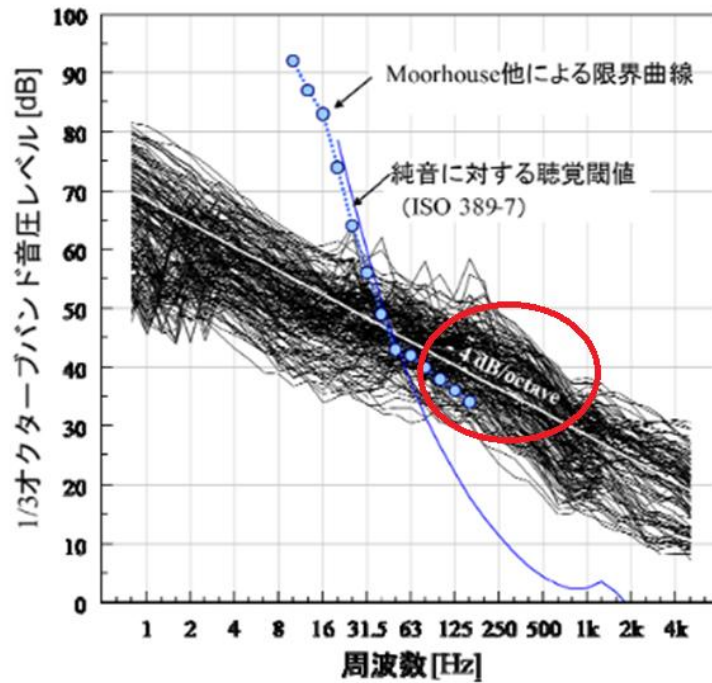


図 3 全国 29 の風力発電施設周辺 164 地点における風車騒音の周波数特性の分析結果

どのような異音が、このような性質を持つ“超低周波音”の原因になるのでしょうか？  
もし、異音の原因ならば、その異音の持っているエネルギーはどの程度でしょうか？  
異音が発生する原因は何だと言うのでしょうか？

この疑問に関する明確な回答を要求します。この答えを書けないならば、出鱈目の理由で誤魔化そうとしたとしか言えません。

自社の主張が正しいと考えるならば、その根拠を詳細に説明して下さい。もちろん、他社も同様の主張をしていることは知っています。しかし、それは正しいと言う証拠にはならないのです。

環境省がそのように指導したとしても、環境省の職員の学力を考えると、正しさの根拠とは言えなくなります。

貴社の考えと同様の考えを説明している論文があるならば、その論文を示して下さい。

塔の運動や風車音の持つ指向性にあった形の粗密波を発生させる仕組みを示す必要があります。  
超低周波音の離散的な性質や、指向性、風速や風向の変化による音圧の変化を考えれば、平均的な数値からは判断できない被害の程度の変化や、発生要因が判明する。

超低周波音の性質を調べれば、超低周波音によって健康被害が発生する理由が分る。  
正確な分析と、正しい発生理由が必要なのです。

超低周波音が発生する仕組みを簡単に説明します。

## 2. 1. 3 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、風雑音、揚力ベクトル、回転モーメント、塔の振動

Key Words : Infrasound, wind noise, lift vector, moment of rotation, vibration of tower

### 1. はじめに

風車音の 5Hz 以下の成分を“風雑音”と考え“これを除去すれば本来の風車音が得られる。”との主張もあるが、周波数の分析と風車の振動原因の解明により、この音が“風車による超低周波音”であることを示す。

### 2. 計測機材と解析対象

計測機材：NL-62、NX-42WR、解析対象：千葉県館山市風の丘にある回転軸が水平の風車\*1

### 3. 騒音の比較

特徴を示す為に周波数スペクトルを比較する。

(横軸は周波数ヘルツ[Hz]、縦軸は音圧パスカル[Pa])

Fig.1 : JFE の製鉄所内の音(0～5000Hz)

Fig.2 : 風車の近くで計測した音(0～5000Hz)

Fig.3 : 風車の近くで計測した音(0～25Hz)

Fig.4 : 長尾神社境内の音(0～25Hz)

図1図2は0～5000Hz範囲での比較であり、製鉄所内の音は広帯域だが、風車音は左隅の0.8Hzの近くに集中しており広帯域の音ではない。

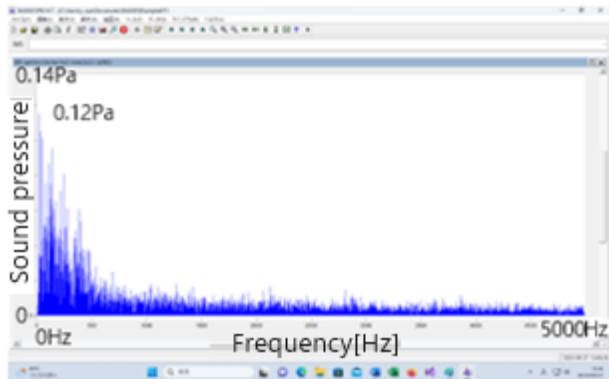


Fig.1 JFE iron mill ; Max 0.12[Pa] (12Hz)

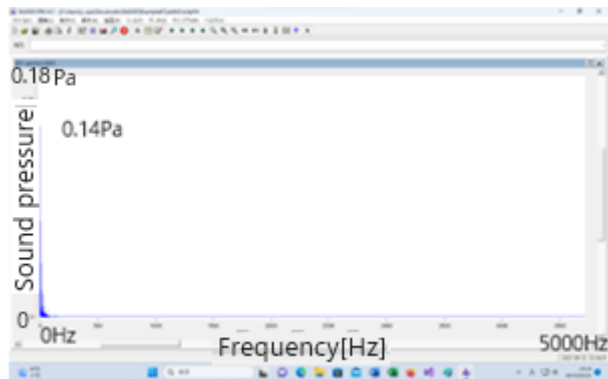


Fig.2 Wind turbine noise ; Max 0.14[Pa] (0.8Hz)

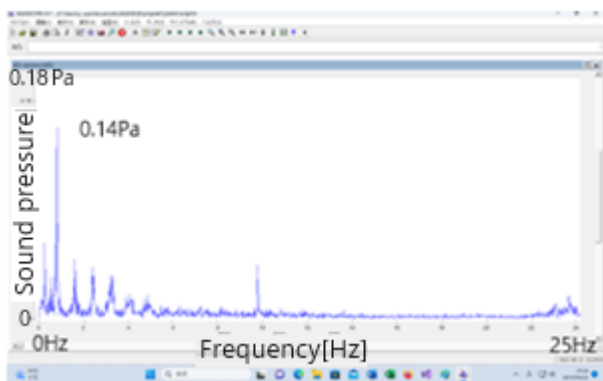


Fig.3 Wind turbine noise (0～25Hz)

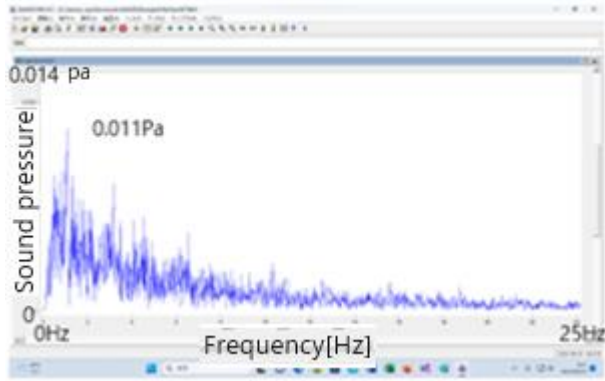


Fig.4 Nagao shrine (0～25Hz); 0.011[Pa] (1.1Hz)

図3図4は0～25Hz範囲での、風車の近くで車内に機材を置き風下の窓を開けて計測した音（最大音圧0.14[Pa] (0.8Hz)）と、近所の長尾神社の階段にマイクを置き風が当たる状態で計測した音（最大音圧0.011[Pa] (1.1Hz)）との比較である。表3で風車の近くの“風雑音”の持つ規則性を詳しく記す。図4から風車の無い場所では音圧が低く周波数に規則性がない事が分る。これらの“風雑音”の区別が必要である。

表1表2は周波数帯ごとのエネルギー分布である。

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

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 200～24 k Hz の成分として表したもの。図7は図5の音を PC のスピーカで再生し、再度 NL-62 で収録した音を図6と同様に分割したもの。

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

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

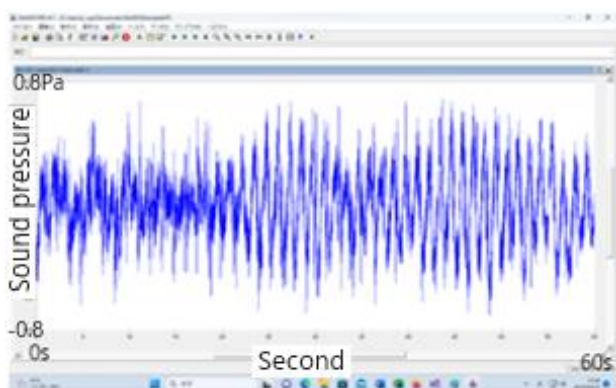


Fig.5 Wind turbine noise

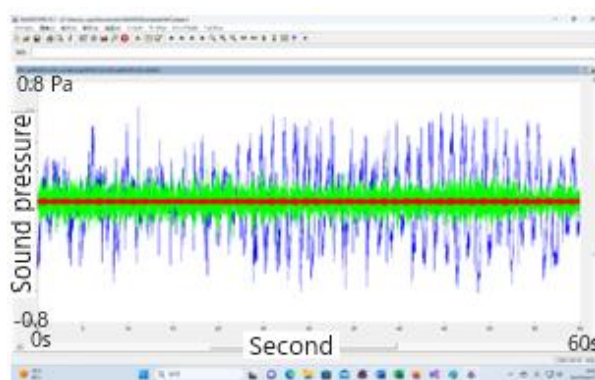


Fig.6 Separated Wind turbine noise

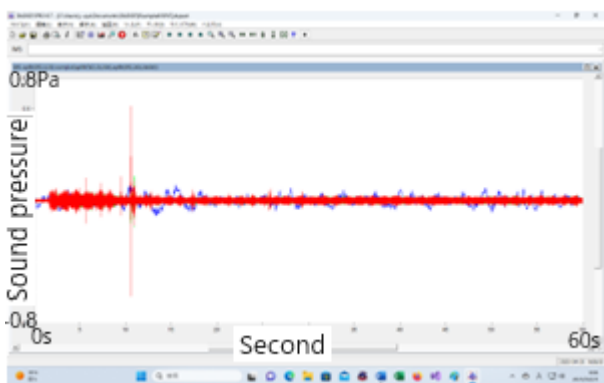


Fig.7 Separated sound from speaker

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

台に実験室を作って風車の近くに行くしかない。

## 5. 風車音の細かな特徴

表3は、図3に於ける音圧のピーク値とその時の周波数を対応させたものである。

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

Table 3 Frequencies of the peak values

最大音圧となるときの周波数 0.8Hz,は、翼の回転数を  $R(\text{rpm})$ 、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。

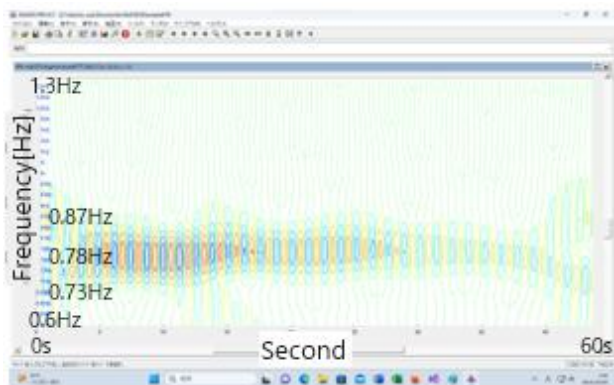


Fig.8 Fine fluctuation nearby 0.8Hz

| 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の一部である。周波数は風速の変化に対応して細かく変化し、図8の変化と一致する。

図8で色の濃い部分は音圧が高いことを示し、図8は 60 秒間の計測結果なので、音圧が高い状態が 20 秒程度継続することが分る。10 分間の計測結果から、0.8Hz に近い周波数成分の音圧は、風が弱いときは 0.10[Pa]、風が強いときは 0.37[Pa]、平均で 0.18[Pa]程度であることが分る。

## 7. 塔の振動方向と風車音の指向性

ナセルや、塔の地上 40m の側面の振動の方向や大きさ、音の指向性を揚力ベクトルの方向に注目しながら考える。(1.6Hz は小型風車で回転数が高いため。)

### “風車ナセル・タワーの振動解析” 1)

では、ナセル部分について、“図 3 のローリング方向では 0.8Hz、1.6Hz、2.7Hz にゲインの増大が確認でき、ロータの偏芯が顕著には現れておらず、代わりに 1.6Hz に羽根数×回転数の振動が表れている。これは、上下左右の風速さと羽根数によるブレード変形振動が起因している” “図 4,5 はナセル振動の 210 度方向、300 度方向スペクトルを示す。” “210 度方向ではロータ回転周波数 0.5Hz が若干表れ、羽枚数×回転数 1.6Hz が顕著に表れている”、さらに、1) の図 6, 7 からタワー内 40m の振動にも、210 度方向、300 度方向に 1.6Hz の成分が表れていることが分る。

### “風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について” 2)

では、“200 度の位置のレベルが高くなっている。この位置はキャンセレーションメカニズムが働きレベルが低下する位置であり指向性の予測とは逆の現象が現れている。” とあり、20 度、110 度、200 度、290 度の方向で音圧が高いことが、2) の図 6 から分る。

“円筒の弾塑性純曲げ崩壊に関する研究” 3) を参考にすれば、塔の側面の変動は図 9 図 10 となる。

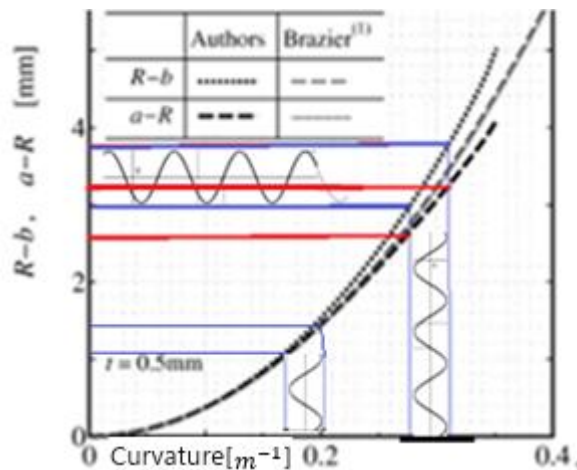


Fig.9 Force fluctuation and side vibration

図 9 は塔の側面が塔に掛かる力の変化に応じて振動することを示す。右の方が側面の振動幅が大きい。塔の断面は、図 10 の右側の様に円筒が曲がるときに楕円になる。加えられた力の方向の側面の振動と、それに直交する方向の側面の振動が発生する。その結果、風車音は指向性を持ち、周波数は塔に掛かる力の周波数と一致する。さらに、断面が円から楕円になれば、面積が減少するので塔内の容積が減少する。逆に断面が円に近づけば容積は増加する。塔の変形は塔内の気圧変動も引き起こす。

## 8. 風車にかかる力とその影響

“流体力学(前編)” 4)によれば、

翼に働く揚力  $L$  は、Kutta-Jopukowski の定理より、

$$L = \rho U \Gamma = 4\pi\rho U^2 \lambda \sin(\alpha - \delta) \quad (1)$$

で与えられ、揚力は、一様流の速度  $U$  の 2 乗に比例する。

ブレードと塔の距離が近いことを考え、揚力  $L$  の大きさや塔に対する回転モーメントが周期的に変化することを調べれば、塔の変形の様子と風車音の発生原因が分り、風車音の周波数と音圧の程度も分る。

“風車の振動解析” 5)では、揚力  $L$  について述べた後で、風車に掛かる力について考察がされている。

“風速は高さにより変化するので、ブレードが回転すると、これらの力は周期的に変化する。その結果、ブレードとタワーに周期的励振力が加わる。”

“ブレードからタワーに加わる力の各振動数成分は、枚数倍となる。以上のように、回転速度の  $n$  倍の振動数  $nP$  をもつ多くの励振力が加わる。”と述べている。

“回転速度の  $n$  倍の振動数  $nP$  をもつ多くの励振力”としたのでは、風車音の指向性の考察が欠けていて、塔がどのように変形して音が出るのかという事に繋がらない。

“空力音響学” 6)には、振動する物体からどのように音が発生するかが書かれている。

風車の側面の振動を考えるには、塔に掛かる力の観点から、塔に掛かる回転モーメントに視点を移して計算する必要がある。塔の変形は、釣り竿が曲がる場合と似ている。釣り竿の変形は、釣り竿に対する回転モーメントで決る。上部の揺れは円形のままでも可能だが、側面の揺れは、切り口の変形を伴う。

風車は揚力によって回転し、ブレードの角度を変えて回転速度を調節する。回転開始時は回転方向の成分が大きくなるようにブレードの向きを調整し、定格出力運転時には揚力ベクトルの方向を  $200 \sim 210$  度の向きにして、ブレードの回転を抑える。この結果、揚力の回転軸方向の成分が大きくなる。

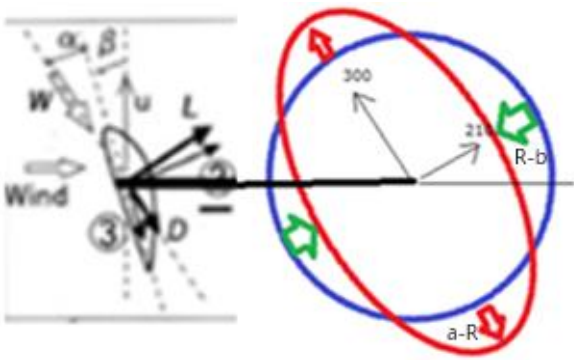


Fig.10 Lifting vector and modification

## 9. 塔に掛かる力と回転モーメント

(9桁の数値で計算し、最後に四捨五入した。)

ナセルや塔の揺れに関してはブレードが真上に来た時の揚力ベクトルの方向を重視すべきだが、ここでは、揚力ベクトルの回転軸方向への成分を考える。

単純化して、塔の高さは 100m、ブレードの代りに、丸い標識のような形の板が中心から 50mの所に付い

A diagram of a rotating arm of length  $e$  pivoted at the top. Three masses are attached to the arm at different angles. The top mass is labeled 6 and has a downward force vector  $mg$ . The bottom-left mass is labeled 5 and has a downward force vector  $mg$ . The bottom-right mass is labeled 7 and has a centripetal force vector  $me\omega^2$  pointing towards the pivot. The arm is shown at an angle  $e$  from the vertical.

円盤の地上からの高さは  $100 + 50 * \sin(\omega t + \theta)$  m となる。

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  $V$  に応じた幂指数  $\alpha(v)$

$$V_{ZG(V)}/V_{Zh1} = (Z_{G(V)}/Z_{h1})^{\alpha(V)} \quad (2)$$

田園地域で、地上 10m の時の風速が  $7[\text{m/s}]$  のときは、  
地上  $100+50 \cdot \sin(\omega t + \theta)$  m での風速は

$$7 * ((100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))/10)^{0.15} \quad [\text{m/s}] \quad (3)$$

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

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

16

$$P = \frac{\left( \left( 7 * \left( \frac{(100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))}{10} \right)^{0.15} \right)^2 \right)}{2} \quad [N] \quad (5)$$

\* 1.23 \* 1.2 \* 10

となる。この力は風速の2乗に比例する。

この力によって引き起こされる風車を倒そうとする力は、回転軸を地表とブレードの回転面の共有する直線としたときの回転モーメントであり、

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

となる (k=181.24)。ここでは

$$(100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))^{1.3} \quad (7)$$

の部分に注目して考える。

ブレードのなす角は  $2\pi/3$  なので回転モーメント M は、

$\omega = 2\pi * 0.8/3$  と置いたときに、

$$f(t) = (100 + 50 * \sin(\omega t))^{1.3} + (100 + 50 * \sin(\omega t + 2\pi/3))^{1.3} + (100 + 50 * \sin(\omega t + 4\pi/3))^{1.3} \quad (8)$$

とすれば、

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

となる。マクローリン展開

$$(1 + x)^\alpha = 1 + \frac{\alpha}{1!}x + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2!}x^2 + \frac{\alpha(\alpha-1)(\alpha-2)}{3!}x^3 + \dots \quad (10)$$

を使って計算する。(Sin での計算を示すが、cos でも同様となる。)

電卓での近似計算 (0.8Hz の根拠)

$$(100 + 50 * \sin(\omega t))^{1.3} = (100^{1.3})(1 + (1/2) * \sin(\omega t))^{1.3} \quad (11)$$

に注意して展開式に  $(1/2)\sin(\omega t)$  を代入すれば、

$$(100 + 50 * \sin(\omega t))^{1.3} = 398.11 * \{1 + 0.65 \sin(\omega t) + 0.05 \sin^2(\omega t) - 0.006 \sin^3(\omega t) + \dots\} \quad (12)$$

となる。次の関係式に注意して計算する。

$$\sin(x) + \sin(x + 2\pi/3) + \sin(x + 4\pi/3) = 0 \quad (13)$$

$$\sin^2(x) + \sin^2\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) + \sin^2\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) = \frac{3}{2} \quad (14)$$

$$\sin^3(x) = (3\sin(x) - \sin(3x))/4 \quad (15)$$

なので、 $\sin$  の 3 乗の和のうち、 $\sin(x)$  の和は 0 となり、 $\sin(3x)$  の和は

$$\sin(3x) + \sin\left(3\left(x + \frac{2\pi}{3}\right)\right) + \sin\left(3\left(x + \frac{4\pi}{3}\right)\right) = 3\sin(3x) \quad (16)$$

となるから

$$\sin^3(x) + \sin^3\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) + \sin^3\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) = -(3/4)\sin(3x) \quad (17)$$

よって、

$$f(t) \approx 1223.43 + 1.70\sin(3\omega t) \quad (18)$$

となる。

3 枚のブレードが、 $\sin(\omega t)$ 、 $\sin(\omega t + 2\pi/3)$ 、 $\sin(\omega t + 4\pi/3)$  に従って回転している場合には、塔にかかる回転モーメントは

$$M = k * f(t) \approx 221734.19 + 307.78\sin(3\omega t) \quad (19)$$

となり、ブレードの回転周波数が、0.26666Hz ならば、塔にかかるモーメントは 0.8Hz の周波数で変化する。

ブレードの回転周期の 1/3 の周期で回転モーメントが変化することが分る。

(2) 不均等な場合 (0.27Hz, 0.53Hz の根拠)

次に、ブレードの 1 枚だけが他の 2 枚よりも少し大きい場合を考える。

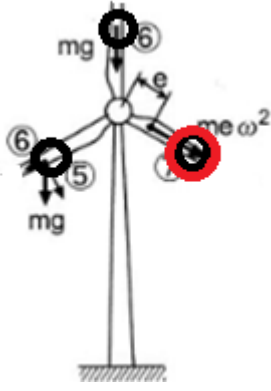


Fig.12 Wind turbine imbalance

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

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

$* 1.23 * 1.2 * 10 * 1.003 \text{ [N]}$

より、

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

となる。 $\theta = 0$  のものが大きいとして、

$$g(t) = f(t) + 0.003 * (100 + 50 * \sin(\omega t))^{1.3} \quad (22)$$

を考える。( (8) 式を使った。)

$$0.003 * (100 + 50 * \sin(\omega t))^{1.3} = 0.003 * 398.11 \{ 1 + 0.65 \sin(\omega t) + 0.05 \sin^2(\omega t) - 0.006 \sin^3(\omega t) + \dots \} \quad (23)$$

となり、冪乗の項を倍角で表現して計算すれば、

$$M = k * g(t) = 221955.93 + 139.77 \sin(\omega t) - 5.28 \cos(2\omega t) + 308.08 \sin(3\omega t) + \dots \quad (24)$$

を得る。これが、超低周波音での、0.27Hz、0.53Hz 成分が出現する根拠である。

(3) 0.8Hz、1.6Hz、2.4Hz、...が出現する根拠  
次の命題に注目する。

命題； $(\sin x)^n$ は、定数と $\sin(mx)$ 、 $\cos(mx)$  ( $m=1\sim n$ ) の一次式で表現できる。(Cos も同様)

$n=1$  の場合は、 $(\sin x)^1 = \sin(1x)$  で正しい。

$n=k$  の時に成立すると仮定すると、

$$(\sin x)^{k+1} = f_k(x) * \sin x, \quad (25)$$

定数\* $\sin x$  は条件を満たし、

$$\sin(mx) * \sin x = -(\cos(mx+x) - \cos(mx-x))/2 \quad (26)$$

$$\cos(mx) * \sin x = (\sin(x+mx) + \sin(x-mx))/2 \quad (27)$$

となるので、(25) 式は、定数と $\sin(mx)$ 、 $\cos(mx)$  ( $m=1\sim k+1$ ) の一次式で表現できる。

よって、 $(\sin x)^n = f_n(x)$ は次の形で書ける。

$$f_n(x) = c_n + \sum_{m=1}^n a_m \sin(mx) + \sum_{m=1}^n b_m \cos(mx) \quad (28)$$

そこで

$$(\sin x)^n + \left(\sin\left(x + \frac{2\pi}{3}\right)\right)^n + \left(\sin\left(x + \frac{4\pi}{3}\right)\right)^n \quad (29)$$

を考えるには、1 次式の和

$$\sin(mx) + \sin\left(m\left(x + \frac{2\pi}{3}\right)\right) + \sin\left(m\left(x + \frac{4\pi}{3}\right)\right) \quad (30)$$

について調べればよいことになる。

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

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、

$$\sin((3k+1)x) + \sin\left((3k+1)x + \frac{6\pi k + 2\pi}{3}\right) + \sin\left((3k+1)x + \frac{12\pi k + 4\pi}{3}\right) = 0 \quad (32)$$

となる ( $m=3k+2$  の場合も同様)。よって、

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

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

(8)(9) 式には、(10) の展開式を長くしても、定数項と、 $\sin(3m\omega t)$ ,  $\cos(3m\omega t)$  の項しか残らない。

塔には、ブレードの揚力による力のほかに、塔自体に吹き付ける風の力もあって風下に向かって少し曲がる。高さによって風速が異なるので、ブレードの揚力は塔にかかる力を周期的に変化させる。3枚のブレードが完全に均等で風が安定していても、 $3*R/60[\text{Hz}]$  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、塔の切り口は楕円となり、塔の側面での振動が起きる。この結果、側面が大きく振動する方向への指向性を持った超低周波音が発生する。

規則的な周波数を持ち、ブレードの回転に起因する塔の振動で発生する音を“風雑音”と言ってはならない。“風車から超低周波音が発生する”のである。

図4は“風雑音”を表すが、図3は風車からの超低周波音を表す。音の持つ指向性と周波数の規則性がその特徴である。

胴の部分に2つの太鼓、上部に笛を付けた楽器のようなイメージを図13に示す。これは、塔内の気圧変動も含めて、風車音の特徴を考えた上での、風車から音が発生する仕組みを表す模式図である。



Fig.13 Image of Wind turbine noise

## 10. 室内での計測とカオス理論

“低周波数騒音に対するハウスフィルタのモデル化”<sup>7)</sup>には、“室内の音場は特に低周波数領域では複雑で、物理的にも難しい問題を多く含んでいる。”と書かれている。

室内の音の解析は難しいが、カオス理論を使えば困難を克服できる。図14は、製鉄所内の騒音から故障している機械を見つける為の解析である。

1段目は騒音のグラフ、2段目は周波数スペクトル、3段目は Wavelet 解析。ここまでの解析では特徴が不明だが、“Average Wavelet Coefficient-Based Detection of Chaos in Oscillatory Circuits”<sup>8)</sup>を使えば4段目のグラフとなる。

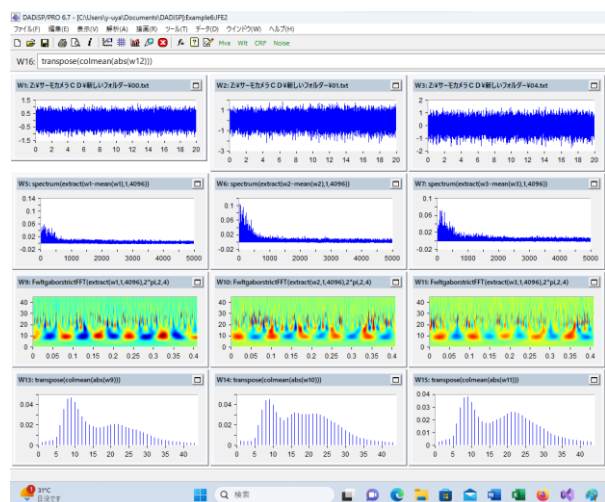


Fig.14 Effect of Chaos theory

4段目はラクダが座っているようなグラフで、コブが1つなら固有振動数が1つ、コブが2つなら固有振動数が2つの物の振動を表す。中央のグラフは固有振動数を2つ持つ四角い篩が原因であることを示している。

## 11. 風車音で留意すべき事項

音圧と圧迫感の関連を調べるには、最大音圧をパスカル値のままで扱う必要がある。また、音圧の変動に関しては、音響キャビテーションによる気泡発生の可能性も検討する必要がある。体内に小さな気泡が発生すれば、潜水病と同じ状態になり頭痛が起きる。ほんの少しの可能性でも詳細に検討すべきである。（“泡のエンジニアリング”<sup>9)</sup>）

## 12. まとめ

水平軸型の風車が超低周波音の発生装置そのものであることが示されたが、パリのエッフェル塔には、希望の灯が残っている。そこでは音も静かで振動も少ない垂直軸の風車が発電をしている。垂直軸型の風車から超低周波音が発生する要因は見あたらない。

（2015年2月、エッフェル塔に2機の風力発電機が地上約120メートルの部分に設置された。）

### 1 3. 引用文献

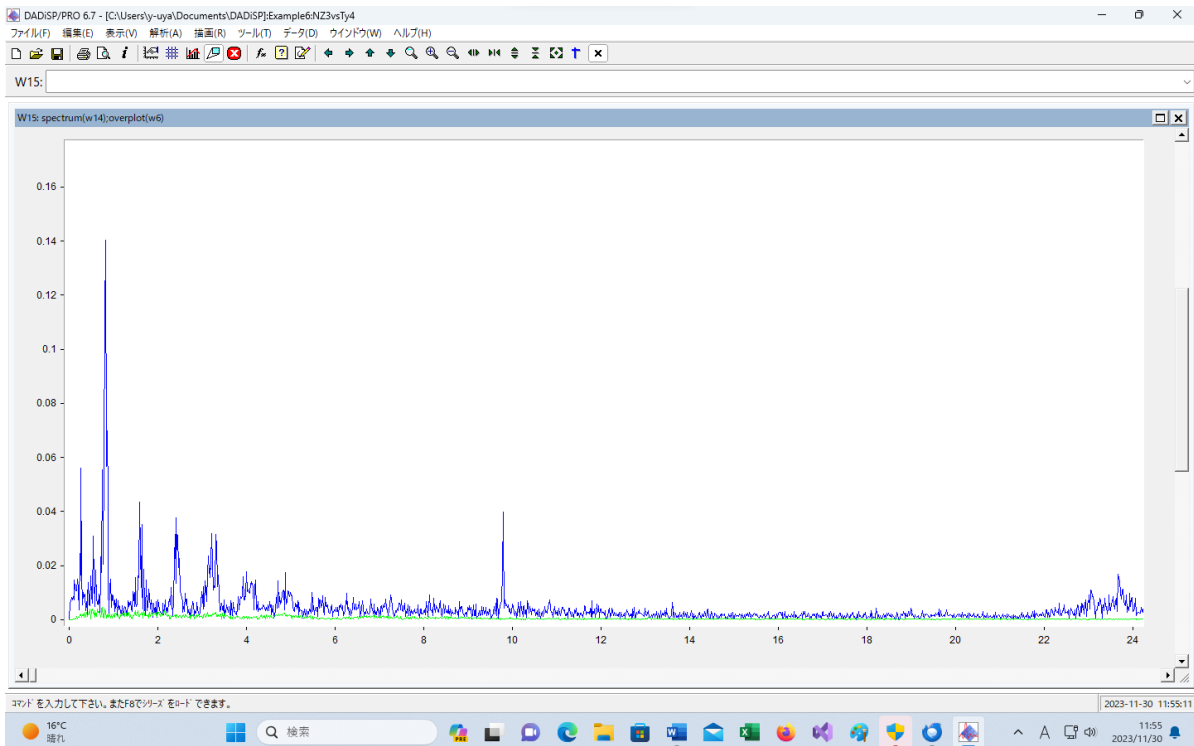
- 1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久敏,川端浩和,田中元史,小垣哲也,濱田幸雄,風車ナセル・タワーの振動解析,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.40,p.251-254,2018
- 2) 菊島義弘,長島久敏,橋本品太,鯨岡政斗,濱田幸雄,川端浩和,小垣哲也,風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.38 p. 69-72, 2016
- 3) Dai-Heng CHEN,増田健一,尾崎伸吾,円筒の弾塑性 純曲げ崩壊に関する研究, 日本機械学会論文集 A 編, Vol.74, No.740, p. 520-527, 2008
- 4) 今井巧,流体力学(前編),裳華房,第 17 版,1990
- 5) 石田幸雄,風車の振動解析,Journal of JWEA Vol.34 No.4, 2010
- 6) M.S.Howe, 空力音響学, 共立出版、初版、2015
- 7) 橘秀樹, 福島昭則, 落合博明,低周波数騒音に対するハウスフィルタのモデル化,日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, Vol. 2017:春季 p.13-16, 2017
- 8) Vesna Rubežić, Igor Djurović, Ervin Sejdić,  
Average Wavelet Coefficient-Based Detection of Chaos in Oscillatory Circuits,  
COMPEL The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering 36(1):188-201, January 2017
- 9) 石井俣夫編集,泡のエンジニアリング,テクノシステム, 初版, 2005

風車音のエネルギー分布は 1 点集中型です。この事が、風車音による直接的な健康被害である“頭痛”を発生させる原因なのです。

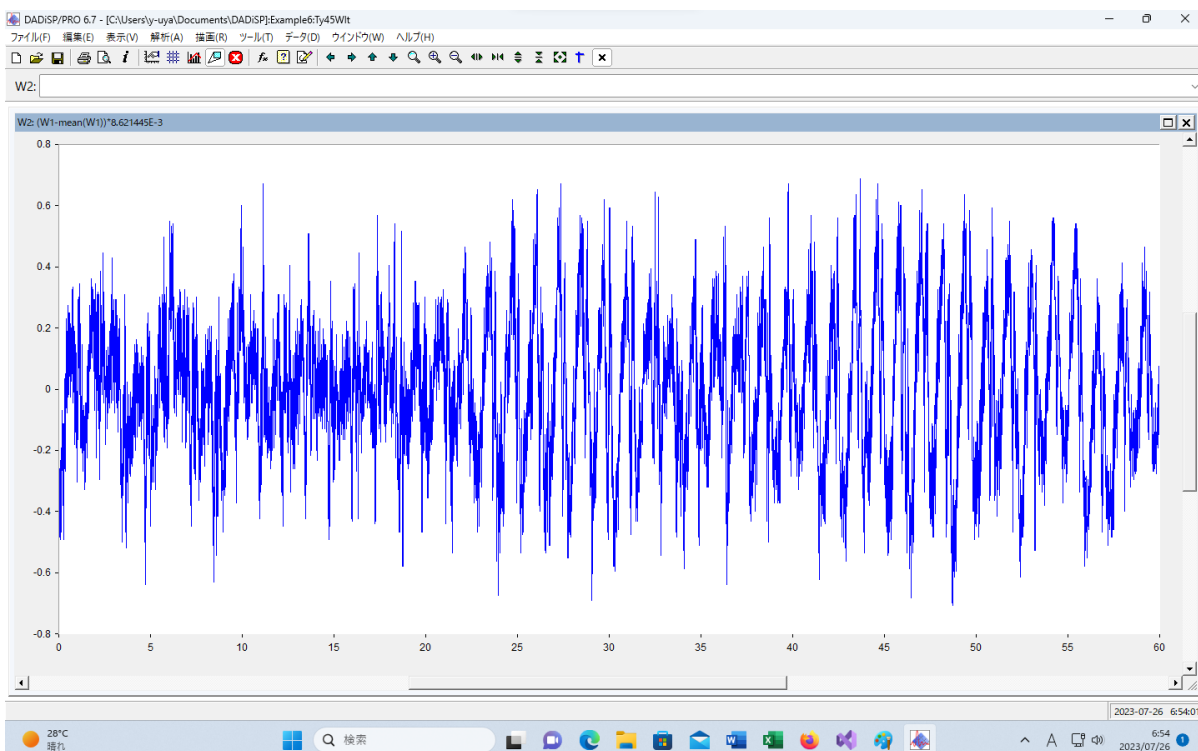
以下、その過程について説明します。

## 2. 1. 4 音響キャビテーション

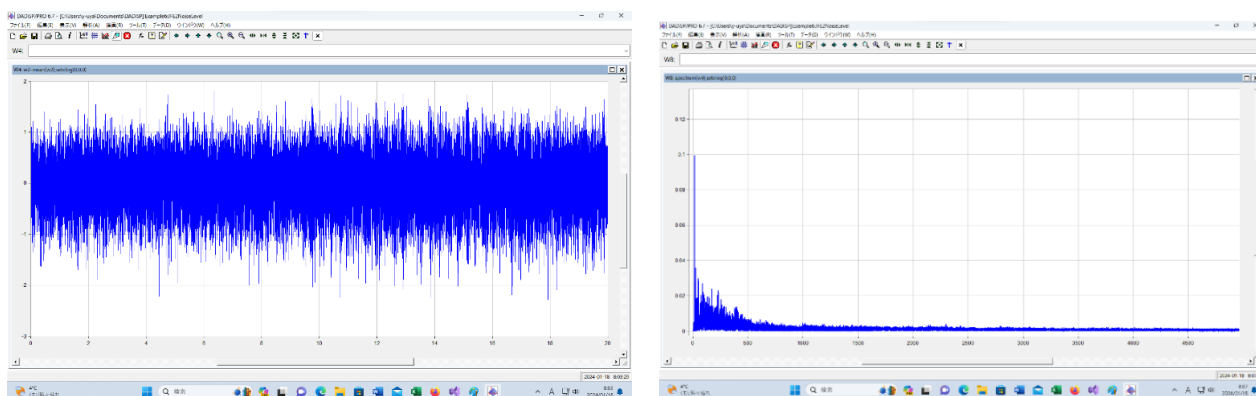
風車音の周波数スペクトルから、風車からの超低周波音は離散的であり、 $f=RZ/60=1\text{ Hz}$  の成分が卓越した音圧を持っていることが分ります。



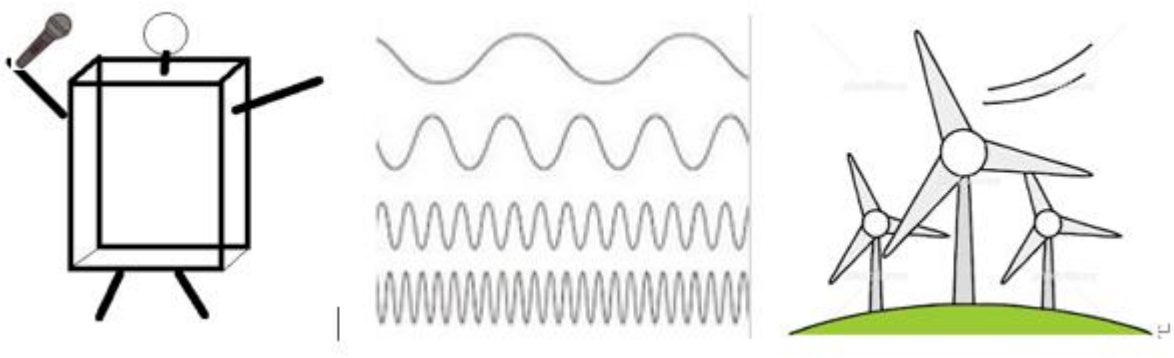
グラフは、1Hz の成分が卓越した音圧を持っているので、グラフの基本的な形を決定します。他の成分は、基本的なグラフに部分的な変動を与えるだけです。



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。

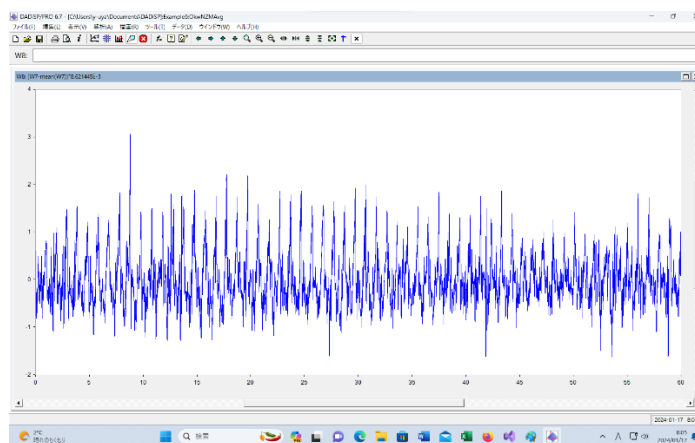
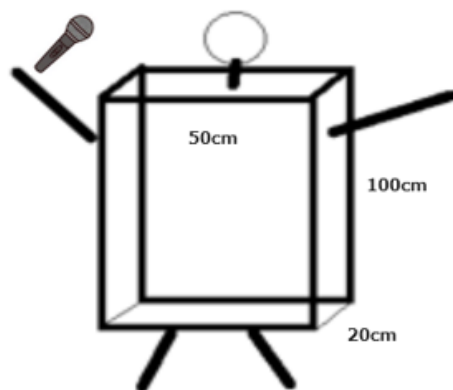


この性格の違いは、人体に対する圧迫に仕方に影響します。



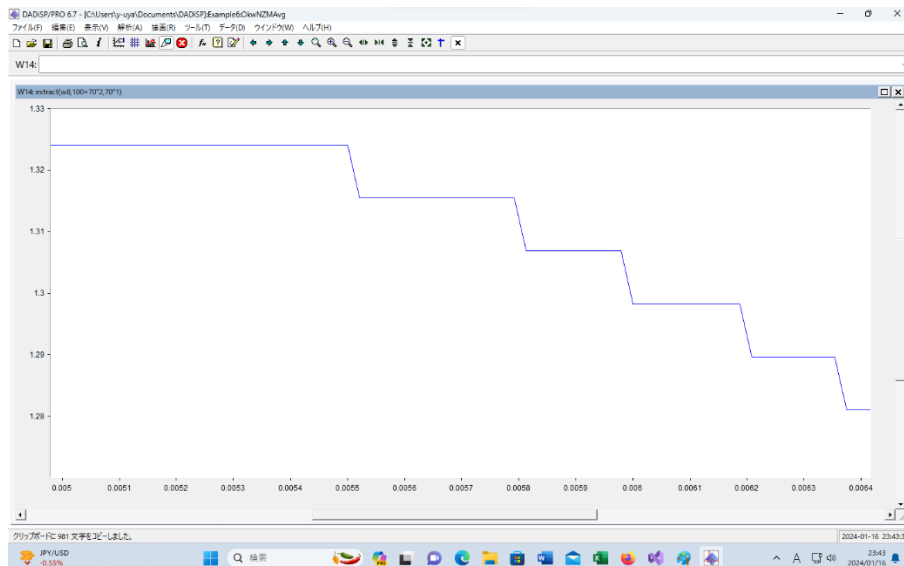
いろいろな波長の音が、秒速 340m で風車から人間まで届くとします。人間の横幅 50 c m、胴長 100 c m、厚み 20 c m として、音は平面波とします。

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



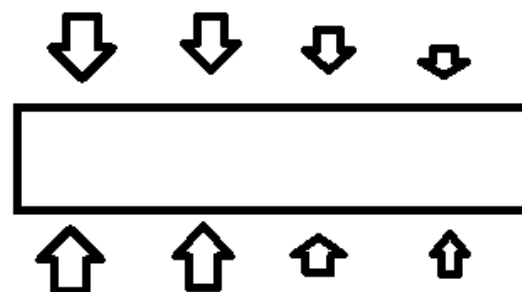
右側は、計測した風車音のデータです。これから 70 個分を取り出します。

音圧の、70 個の連続した数値のグラフは、



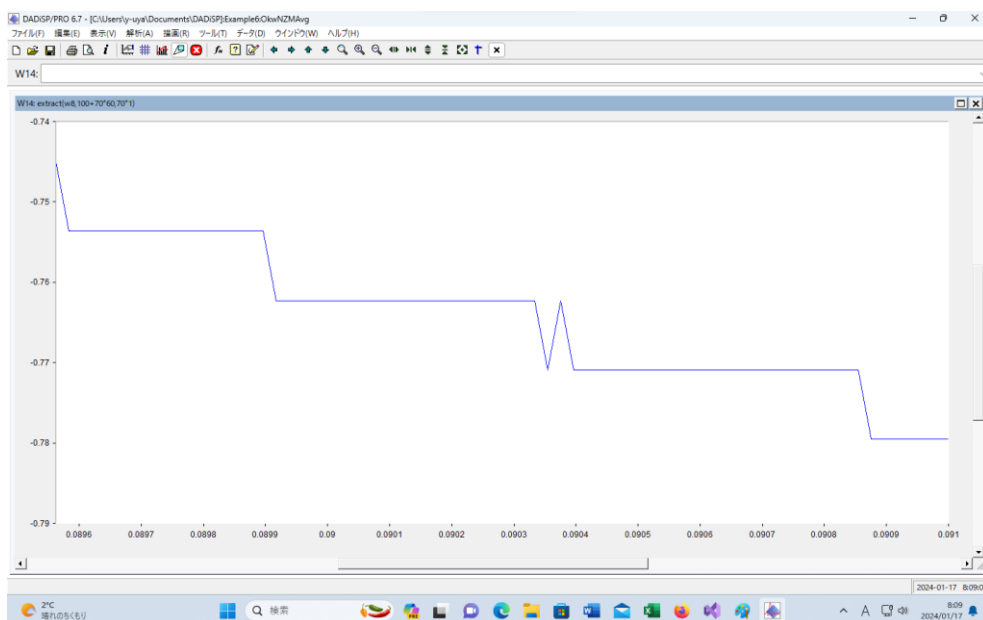
となり、数値は、

|          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|
| 1.324106 | 1.324106 | 1.306864 | 1.289621 |
| 1.324106 | 1.324106 | 1.306864 | 1.289621 |
| 1.324106 | 1.324106 | 1.306864 | 1.289621 |
| 1.324106 | 1.324106 | 1.306864 | 1.289621 |
| 1.324106 | 1.324106 | 1.306864 | 1.289621 |
| 1.324106 | 1.324106 | 1.306864 | 1.289621 |
| 1.324106 | 1.315485 | 1.306864 | 1.289621 |
| 1.324106 | 1.315485 | 1.306864 | 1.280999 |
| 1.324106 | 1.315485 | 1.306864 | 1.280999 |
| 1.324106 | 1.315485 | 1.298242 | 1.280999 |
| 1.324106 | 1.315485 | 1.298242 |          |
| 1.324106 | 1.315485 | 1.298242 |          |
| 1.324106 | 1.315485 | 1.298242 |          |
| 1.324106 | 1.315485 | 1.298242 | 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。

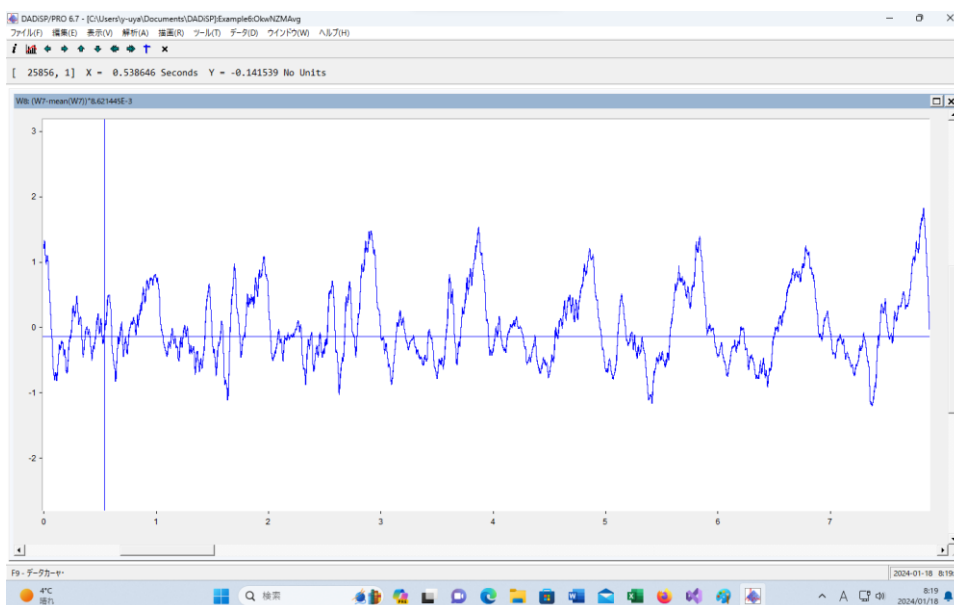
もちろん、



もう少し経つと、引っ張られて膨張する状態になります。

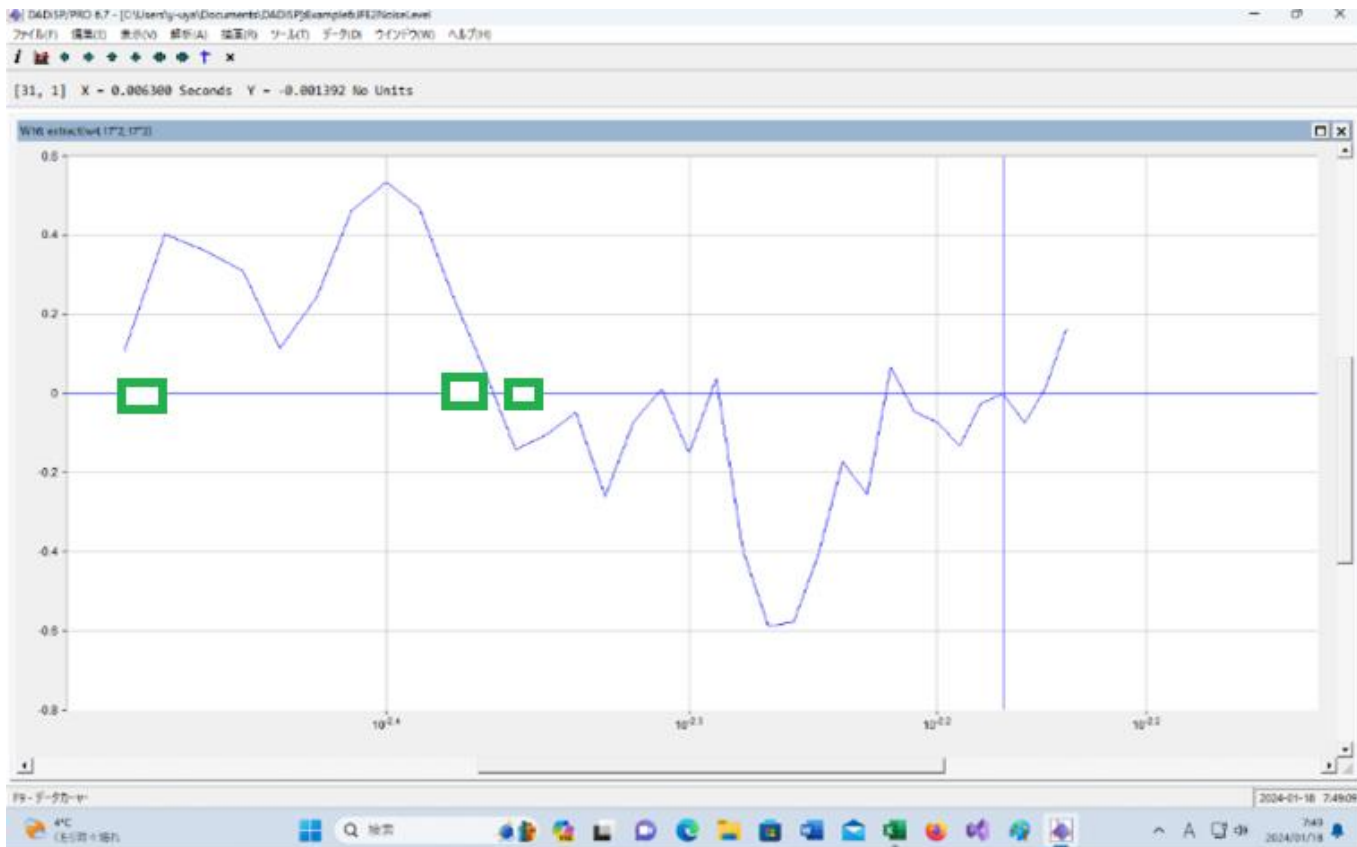
上のグラフの値は、**-0.77Pa** 程度です。強制的に膨張させられている状態です。

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



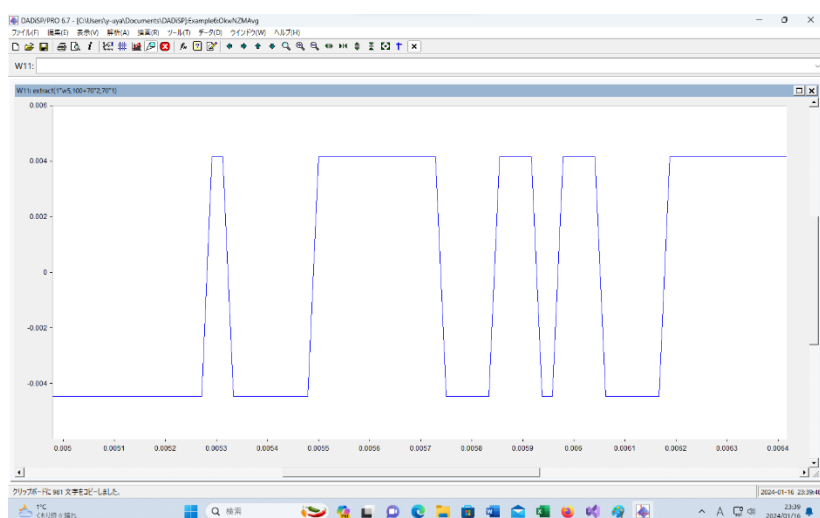
人間の体は、圧迫感を感じるというよりは、0.5 秒ごとに圧縮と膨張を繰り返すのです。物理的には圧力が周期的に変化するのです。

工場音の場合は、秒速 340mの音が 50 c mを通過するのに必要な時間は、0.001 秒です。0.002 秒間の波形を拡大してみれば、次のグラフになります。



圧縮、膨張の継続時間は  $0.04 \cdot 2 \cdot 0.001 = 0.038$  秒程度です。時間が短いので、皮膚が圧縮での運動を開始したとたんに膨張の動きを開始します。他は、50 c mの範囲内に圧縮と膨張が混在します。体内への圧力変動に要る影響は軽微だと考えられます。

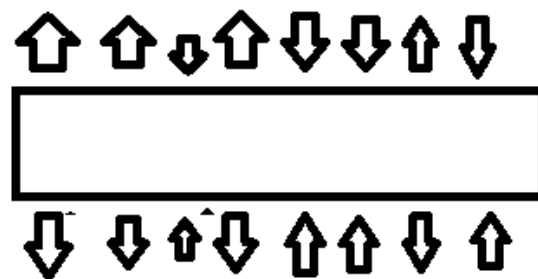
神社での音の音圧の、70 個の連続した数値のグラフは、



であり、

数値は、

|          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|
| -0.00446 | -0.00446 | -0.00446 | 0.00416  |
| -0.00446 | -0.00446 | -0.00446 | 0.00416  |
| -0.00446 | -0.00446 | 0.00416  | 0.00416  |
| -0.00446 | -0.00446 | 0.00416  | 0.00416  |
| -0.00446 | -0.00446 | 0.00416  | 0.00416  |
| -0.00446 | 0.00416  | 0.00416  | 0.00416  |
| -0.00446 | 0.00416  | -0.00446 | 0.00416  |
| -0.00446 | 0.00416  | -0.00446 | 0.00416  |
| -0.00446 | 0.00416  | 0.00416  | 0.00416  |
| -0.00446 | 0.00416  | 0.00416  | 0.00416  |
| -0.00446 | 0.00416  | 0.00416  |          |
| -0.00446 | 0.00416  | 0.00416  |          |
| -0.00446 | 0.00416  | -0.00446 |          |
| -0.00446 | 0.00416  | -0.00446 |          |
| -0.00446 | 0.00416  | -0.00446 |          |
| 0.00416  | 0.00416  | -0.00446 | 合計       |
| 0.00416  | 0.00416  | -0.00446 | -0.01919 |
| -0.00446 | -0.00446 | -0.00446 |          |
| -0.00446 | -0.00446 | 0.00416  | 平均       |
| -0.00446 | -0.00446 | 0.00416  | -0.00027 |



合計：－0.01919Pa、平均：－0.00027Pa です。

押される場所と、引っ張られる場所が混在しているので、一方的に押しつぶされることはありません。

時間がたっても、プラスマイナスが混在する状況は、あまり変化しません。

風車は、50cmの幅全体が押されるのですが、神社の音では、各部分ごとに押したり引いたりすることになるので、全体としての影響は1/100程度になってしまいます。

風車の場合（特別な周波数の音が極端に強い）は圧迫感を感じても、神社の音のような性質を持っている（沢山の周波数成分を持っている）場合には、圧迫感を感じないのです。

風車音の下では、人間の体は、圧迫感を感じるというよりは、0.5秒ごとに圧縮と膨張を繰り返すのです。人体に掛かる、物理的な圧力が周期的に変化するのです。

超低周波音の中でも、1Hzのものが圧倒的に高い圧力を持っているので、その周期によって人体への圧力変動が決まってしまう。これに近い周波数のものが、同じような音圧で存在すれば、このようにはなりません。この点が、風車音と他の環境騒音の最も大きな違いです。

計測された164か所の風車音も、0.5～1Hzあたりの孤立した周波数の音が、他の周波数よりも極端に高い圧力を持つことも分ります。164か所の計測対象となった全ての風車の近くでは、人体は強制的な、圧縮、膨張にさらされるのです。

圧縮、膨張についてさらに確認します。

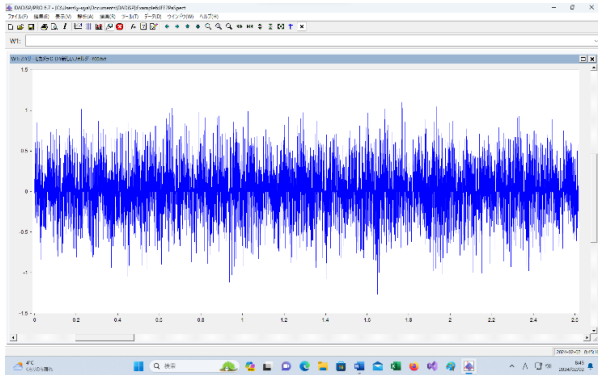
風車音は風速に変化によって変わります。速度が増せばブレードに掛かる揚力が増えます。揚力

の大きさは風速の2乗に比例します。これによって、塔に掛かる回転モーメントも変化します。結果として塔の側面の振幅も増加します。音圧も変化します。

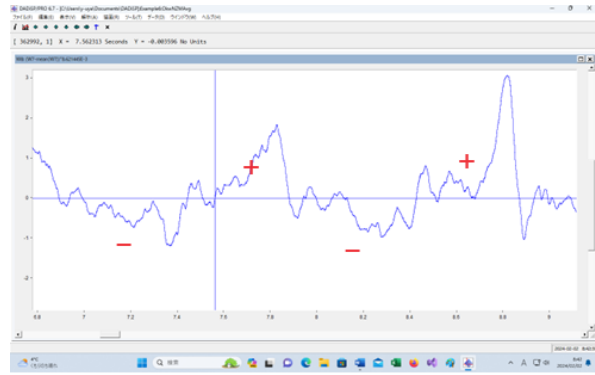
風が弱い時の音圧は 0.15Pa ですが、風が強いと 0.42Pa までは増加します。基本周波数は 0.8Hz から 1.0Hz 程度に増加します。

音圧の変動は大きいですが、周波数の変動は小さいです。

工場騒音の、2.6 秒間の波形

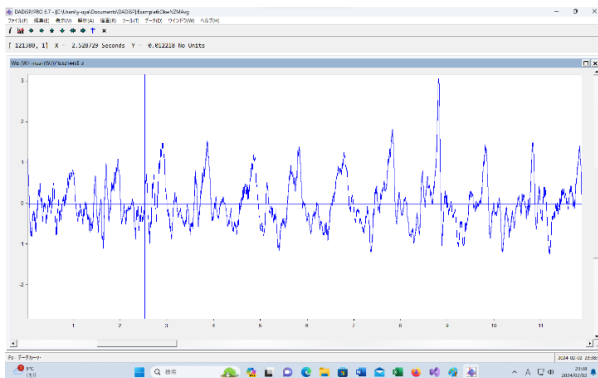


風車音の 2.2 秒間の波形

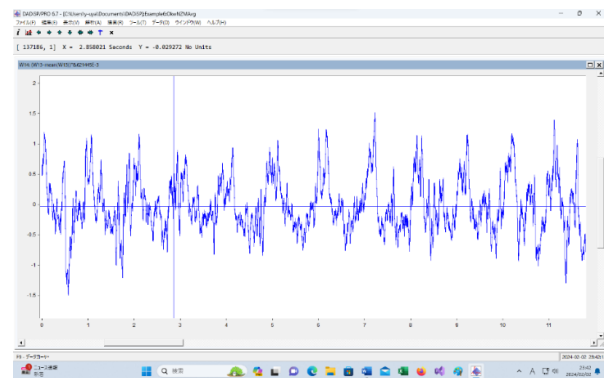


これが、圧縮と膨張が、ゆっくり繰り返される原因です。

音圧が高い（風が強い）ときの 12 秒間



音圧が低い（風が弱い）ときの 12 秒間



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

風が強い時は、0.42Pa 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    |

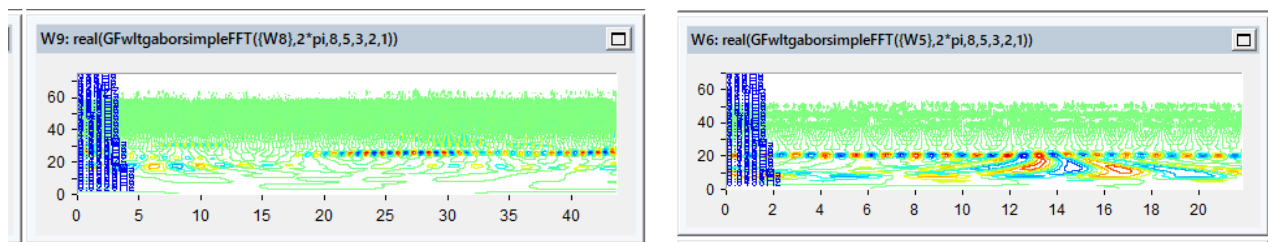
符号決定率＝最大音圧/2番目の音圧

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、



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

さらに、色が特に濃い部分は 20 秒程度継続します。この部分が継続すれば、高い音圧での影響を感知することになります。目が覚めるだけの影響ならば良いのですが、継続時間が長いと気泡発生の可能性が高くなります。

“泡のエンジニアリング” テクノシステム を参考にすれば、

## 1 1. 音場中の気泡の成長

圧力一定のもとでは、不凝縮ガスが過飽和でない限り、気泡は消滅する。これに対して、音響場の中に置かれた気泡では不足飽和状態でも、不凝縮ガスの析出による気泡の成長が見られる。この現象が音響キャビテーション発生の原因となり、また、液体中の溶存ガス除去促進にも利用される。

気泡への不凝縮ガス析出量は式(5.5.55)

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

による。

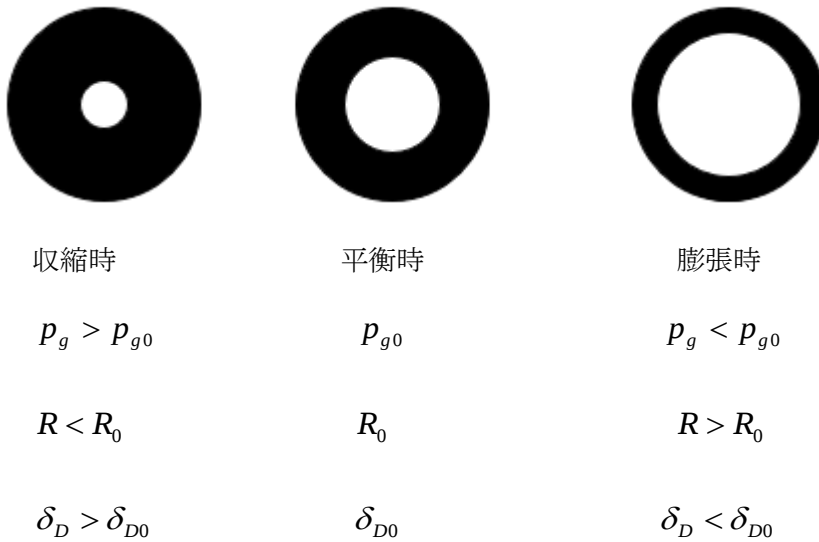
液体中の濃度境界層厚さを  $\delta_D$  とすれば、単位時期あたりのガス析出・溶解量は

$$\dot{m}_g \propto R^2 \times (\rho_{g0} - \rho_{giw}) / \delta_D \quad (2.5.61)$$

となる。

これに踏まえて、図 2.5.6 に示す現象のメカニズムを説明する。

図 2.5.6



まず、気泡表面液体の不凝縮ガス濃度  $\rho_{gLW}$  はヘンリーの法則

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

にしたがって、収縮・膨張する圧力変動とともに、上昇・低下する。濃度が上昇する凝縮時には気泡内の不凝縮ガスが液体に溶解し、濃度が低下する膨張時にはガスは気泡へ析出する。

この際、気泡表面積は膨張時のほうが大きいため、**膨張・収縮の 1 サイクルで見るとわずかながら析出量が勝る**と考えられる。

音波の振動数が大きな場合には、液体内に溶けているガスの拡散が起こらないので、気泡の成長は鈍る。

振動数が小さい場合は、膨張したときは、液体内のガスが気泡内に析出し、気泡の周囲のガスの濃度が減少する。収縮が始まる前に液体内に溶け込んでいるガスの拡散によって濃度が元に戻る。

収縮によって、気泡内のガスが周囲の溶液に溶け込む。周囲の液体内に溶けているガスの濃度があまり下がっていないので溶け込む量は少なくなる。

この過程を繰り返して、**低周波の場合のほうが気泡は成長する**と考えられる。

次に、表面近傍液体中の不凝縮ガス濃度境界層は、膨張時には薄く、収縮時には厚くなる。境界層の厚さが薄くなるにつれて、拡散による物質輸送が顕著になることを考えると、やはり、膨張による析出量が収縮

による溶解量を上回ることになる。

となっています。

大型風車では、風車の回転数  $R$  が小さくなって、 $0.5\text{Hz}$  辺りでの音圧が最大となります。微小な気泡による頭痛や圧迫感などによる体調不良が増加すると予測されます。

超低周波音の中でも、 $1\text{Hz}$  のものが圧倒的に高い圧力を持っているので、その周期によって人体への圧力変動が決まってしまう。これに近い周波数のものが、同じような音圧で存在すれば、このようにはなりません。この点が、風車音と他の環境騒音との最も大きな違いです。

計測された 164 か所の風車音も、 $0.5\sim 1\text{Hz}$  あたりの孤立した周波数の音が、他の周波数よりも極端に高い圧力を持つことは、すでに確認しました。計測対象となった全ての風車の近くでは、人体は強制的な、圧縮、膨張にさらされるのです。

これは、音響キャビテーションの影響を考えれば、体内に溶け込んでいる空気が析出して気体となる可能性がある事を意味しているのです。体内の気泡は潜水病を同じで頭痛の原因になります。

これは、風車音による直接的な健康への影響なのです。これは、極めて物理的な原因であり、風車音の周波数特性から引き起こされます。そして、回転軸が水平の風車が、上空と地上付近での風速差がある中で、ブレードに掛かる揚力によって回転することからの必然的な帰結です。

風車の物理的な構造が、健康障害を引き起こす根本的な原因なのです。

従って、水平軸型の風車は、最大の欠陥商品なのです。

それを沢山並べることは狂気の沙汰です。

次に、

「イ. 国又は地方公共団体による基準又は目標との整合性の検討」に記載のとおり、環境保全の基準等との整合が概ね図られており、さらに、上記の保全措置を講ずることで、施設の稼働に伴う超低周波音については実行可能な範囲内で影響の低減が図られているものと評価する。

“実行可能な範囲内で影響の低減が図られている”とあるが、巨大な円筒の上に乘った、水平軸型の風車は、その構造から考えて、超低周波音の発生装置そのもののなのです。超低周波音の低減は出来ないのです。

対策は、発生源対策しかないのです。方法は3つです。

1つ目は、垂直軸型の風車です。

(<https://rief.jp.org/ct10/50264> での情報ですが、)

そのうちの1つは、垂直軸型の風車です。フランスのエッフェル塔には、優れた風車があります。

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。

2つ目は、夜間の風車停止です。

3つ目は、自分で考えてみて下さい。

根本的な対策があるのに、水平軸型の風車に固執して、被害を大きくしてはいけません。

## ガタツキ閾値

また、「建具のがたつきが始まるレベル」と比較した場合、風力発電施設から発生する 1/3 オクターブバンド音圧レベルの寄与値は、すべての予測地点において、いずれの季節でも「建具のがたつきが始まるレベル」を下回る。

とあり、ガタツキ閾値に関する問題は無いと主張しているが、しかし、大きな間違いである。

ガタツキ閾値の表は 5Hz までしかない。

**表 1 低周波音による物的苦情に関する参照値**

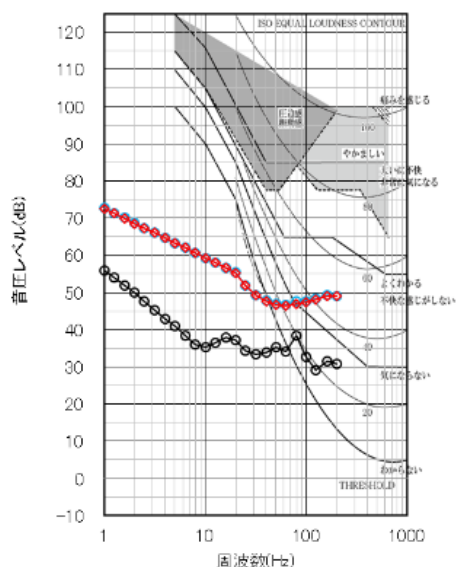
| 1/3 オクターブバンド<br>中心周波数 (Hz) | 5  | 6.3 | 8  | 10 | 12.5 | 16 | 20 | 25 | 31.5 | 40 | 50 |
|----------------------------|----|-----|----|----|------|----|----|----|------|----|----|
| 1/3 オクターブバンド<br>音圧レベル (dB) | 70 | 71  | 72 | 73 | 75   | 77 | 80 | 83 | 87   | 93 | 99 |

しかし、家は、1 Hz や 2 Hz で揺れることもある。

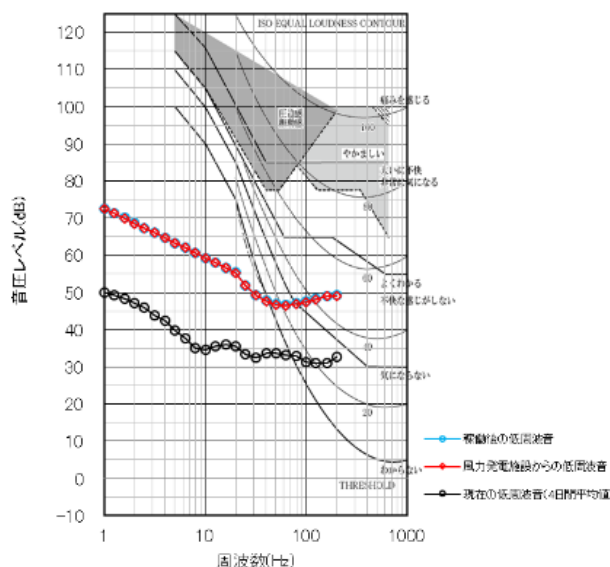
地震の被害を調査した結果、日本家屋の固有振動数は 1～2Hz であることが分っている。建具や床は、表には無くても 1Hz や 2Hz で揺れることがあるのです。

上の表をよく見れば、周波数が低くなるに従って音圧レベルが減少している。この傾向と、日本家屋の固有振動数の件を合わせて考えれば、2Hz でのガタツキ閾値は 65 d B 程度だと考えられる。もちろん、振動レベル計での計測が必要である。

春季



秋季

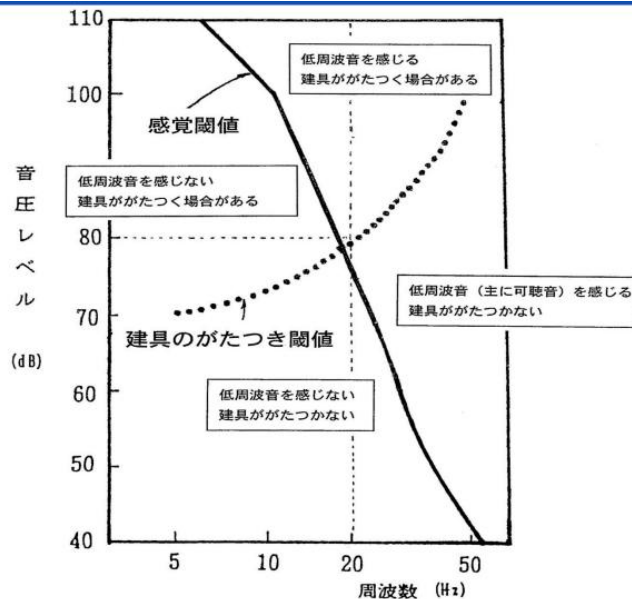
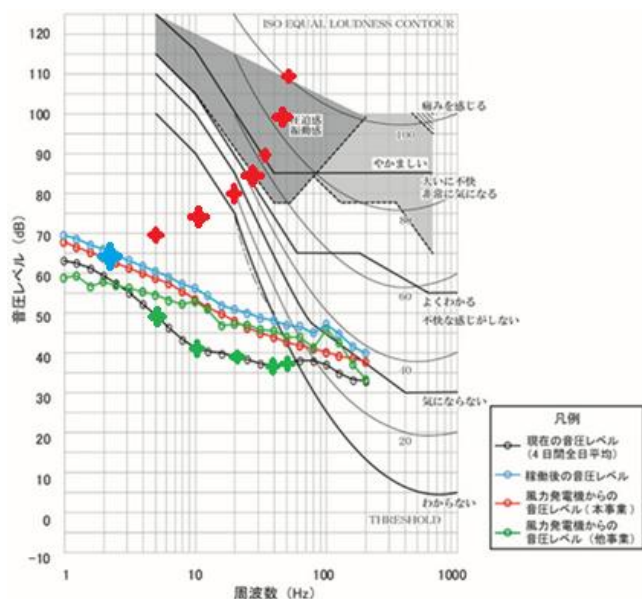


「超低周波音の生理・心理的影響と評価に関する研究班報告書」  
(昭和 55 年度文部省科学研究費「環境科学」特別研究) より作成

図 10.1.1.2-7(9) 圧迫感・振動感を感じる音圧レベルとの比較結果  
(騒音 9 : 全日平均)

このグラフに、ガタツキ閾値の線を書き込んで、2Hz での交点を予測すれば 65 d B がガタツキ閾値だと考えられる。

ガタツキに関して考えれば、2 Hz で 65 d B 程度の音でがたつきが起きる可能性が高いと言えます。



ガタツキによるアノイアンス（不快感）で睡眠妨害を受ける時の音圧レベルは 65 d B 程度です。

目が覚める時には、風車音に起因するガタツキを知覚しています。

ラウドネス（うるささ）に限定した聴覚閾値の観点からは、65 d B での影響を受けても目が覚めることは無いかもしれませんが、風車からの振動は、粗密波として伝播し、建物の強制振動あるいは共振によってガタツキとして知覚されるのです。この場合は、振動によって睡眠が妨害されるのです。

貴社は、ガタツキに関しては問題ないと主張するが、振動レベル計での計測結果で、風車からの超低周波音に関連する周波数での振動が計測されたときは、どのようにして責任を取りますか？

（精密騒音計と振動レベル計は用意しています。）

## 「低周波音問題対応の手引書」の公表にあたって

2004 年 6 月 22 日 環境省環境管理局大気生活環境室

### ○手引策定の背景

近年、低レベルの低周波音に関する苦情が見受けられる。これらの苦情の多くは暗騒音が小さい静かな地域の家屋内において発生しており、すでに公表している「低周波音の測定方法に関するマニュアル」や「低周波音対策事例集」に記されている方法では対応できないケースも多くなっています。主な発生源は工場、作業場、店舗、近隣の家屋などに設置された設備機器等で、家屋内で観測される低周波音・騒音は 20～200Hz 程度の周波数域に主要周波数成分を持つものが多くみられます。

環境省は、このような苦情を的確に対応するため、(社) 日本騒音制御工学会に委託し、同学会において平成 14 年 8 月学識経験者等からなる低周波音対策検討調査委員会が設置され、その対応について検討してきました。このたび、その結果が別途のように、固定発生源の低周波音問題対応のための「手引」、「評価指

針」、「評価指針の解説」としてまとめられました。このなかで、従来の手法では対応の難しかった**低レベルの低周波音に関する苦情に対処するための参照値が提案**されました。

この検討に基づき、環境省はその主な内容を「低周波音問題対応の手引書」として公表するものです。

#### ○手引書の役割

本手引書は、地方公共団体における低周波音問題対応に役立ててもらうために作成したものです。**手引書では、苦情申し立ての受付から解決に至る道筋**における、具体的な方法や配慮事項、技術的な解説などを盛り込んでいます。

地方公共団体の低周波音担当者及び公害苦情担当者又は専門家においては、本手引書を参考としながら、**地域の実情などを踏まえて適宜工夫を加えて活用していくことが大切です。**

#### ○手引書の検証・改善

本手引書は、現時点での集積データをもとにしたものです。今後、全国の各地方公共団体で活用していただき意見や要望を踏まえ、その有効性や課題などを検証し、必要に応じてその内容等についてよりよいものにしていくことを目指します。

#### ○手引書の構成

本手引書は、低周波音問題対応のための「手引」、「評価指針」、「評価指針の解説」の3部構成になっています。それぞれの主な内容は以下の通りです。

##### ①低周波音問題対応のための「手引」

苦情申し立ての受付から、低周波音の聞き取り調査、測定、評価、対策検討までの流れに沿って、具体的な方法や配慮事項について記載しています。

##### ②低周波音問題対応のための「評価指針」

低周波音による建具等のがたつき、室内での不快感などについて苦情申し立てがあった場合に、**低周波音によるものかどうかを判断する目安となる値（参照値）**などを示しています。

とあり、

主な対象が、

“主な発生源は工場、作業場、店舗、近隣の家屋などに設置された設備機器等で、家屋内で観測される低周波音・騒音は **20～200Hz 程度の周波数域**に主要周波数成分を持つものが多くみられます。”

とあるように、

20～200Hz ならば、G 特性音圧レベル、1Hz からの 1/3 オクターブ解析、参照値も活躍できたのですが、0～20Hz の間にエネルギーの 93%が集中している風車音に対して使うのは、やや無理筋という事になります。

参照値の表を拡張するには、困難が伴います。困難は、計測機材、計測方法、解析方法だけではなく、実験方法も大きく変える必要があります。

0.5Hz、1Hz の音を出すには、100m\*10m程度の大きさのスピーカが必要です。そのスピーカを入れる実験室は作れません。

可能な実験方法は、実験室をトレーラーの荷台に乗せて、風車の近くに行ってみるという方法です。

表に数値が記載されていないから、被害が無いと考えるのは誤りです。

貴社は、

#### 4. 国又は地方公共団体による基準又は目標との整合性の検討

超低周波音（20Hz 以下）については、現在、基準が定められていないが、施設の稼働に伴う将来の G 特性音圧レベルは秋季、春季とも 64～70 デシベルで、すべての予測地点において、いずれの季節でも ISO 7196:1995 に示す「超低周波音を感じる最小音圧レベル」である 100 デシベルを下回る。

と書いているが、ISO7196 の内容を確認しましたか？

The perception of infrasound, although apparently achieved through the auditory mechanism, differs in some respects from that usually understood by hearing. The normal threshold of perception is considerably higher than at audio frequencies (about 100 dB relative to 20  $\mu$  Pa at 10 Hz), whilst toleration for high levels is not raised correspondingly, that is, the dynamic range is smaller and the rate of growth of sensation with sound pressure level is much more rapid. In the frequency range 1Hz to 20Hz, sounds that are just perceptible to an average listener will yield weighted sound pressure levels close to 100dB when measured in accordance with this International Standard. A very loud noise will yield a weighted level in the order of 120 dB, only 20 dB above. Weighted sound pressure levels which fall below about 90 dB will not normally be significant for human perception.

超低周波音の感知は、明らかに聴覚メカニズムによって達成されるが、通常、聴覚として理解されるものとは、いくつかの点で異なる。通常の感知の閾値は、可聴周波数よりもかなり高い(10Hz で 20 $\mu$ Pa に対して約 100dB)。一方、高いレベルに対する許容度はそれに応じて上昇しない、すなわち、ダイナミックレンジは小さく、音圧レベルでの感覚の成長速度ははるかに速い。1Hz～20Hz の周波数範囲では、平均的なリスナーに感知できる音は、この国際規格に従って測定すると、加重音圧レベルで 100dB に近い値となる。非常に大きな騒音は、加重音圧レベルで、わずか 20 dB だけ大きい、120 dB の程度となる。加重音圧レベルが、約 90dB を下回れば、通常、人間の感知にとって重要ではありません。

ISO7196 では、“超低周波音の感知は、明らかに聴覚メカニズムによって達成される”となっている。残念ながら、超低周波音は粗密波として聴覚を刺激するだけではなく、ゆっくりとした圧力変動として体全体を圧縮、膨張させるのです。海に潜るときはゆっくりとした圧力変動が鼓膜にもかかりますが、これを、“音がする”と感じる人はいません。このゆっくりとした圧力変動は、圧迫感として、聴覚とは別の感覚器官で把握されます。また、ガタツキでの振動は、2 次的な音で把握されることもあるが、床の振動そのものとして感知されます。

人間には、聴覚以外にも感覚器官があり、風車の影響をいろいろな形で知覚するのです。ですから、「超低周波音を感じる最少音圧レベル」は、誤解の元です。「超低周波音を聴覚で感じる最少音圧レベル」と修正する必要があります。

ISO7196 での“加重音圧レベルで 100dB”は聴覚に関する数値なのです。

この数値を、他の感覚器官による風車の影響の知覚閾値にまで拡大してはいけません。

感覚閾値[2-13]

[2-13] [井上保雄, 低周波音の調査方法, 騒音制御](#) Vol. 30, No. 1, pp. 17-24, 2006.

を確認したが、理解に苦しむ内容です。

次の表の④の項目で、

表-2 低周波音

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

“④超低周波音の感覚閾値と最小可聴値”となっている。これでは、感覚閾値と最小可聴値が同じものになってしまう。最小可聴値は聴覚閾値と同じ内容です。人間の音に関する感覚器官が、聴覚しかないならば、“感覚閾値＝最小可聴値＝聴覚閾値”となります。人間は聴覚以外の感覚器官でも風車音を感知するので、“感覚閾値≠最小可聴値＝聴覚閾値”となるのです。

| 周波数Hz  | 2   | 2.5 | 3.15 | 4   | 5   | 6.3 | 8   | 10  | 12.5 |
|--------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 井上聴覚閾値 | 130 | 126 | 123  | 118 | 115 | 111 | 105 | 100 | 95   |

心身に係る参照値は、

表 2-3 低周波音による心身に係る苦情に関する参照値<sup>[1-6]</sup>

| 1/3 オクターブバンド<br>中心周波数(Hz) | 10 | 12.5 | 16 | 20 | 25 | 31.5 | 40 | 50 | 63 | 80 | オーバーオール値 |
|---------------------------|----|------|----|----|----|------|----|----|----|----|----------|
| 1/3 オクターブバンド<br>音圧レベル(dB) | 92 | 88   | 83 | 76 | 70 | 64   | 57 | 52 | 47 | 41 | 92dB(G)  |

です。

この数値は、10Hz で 92 d B あれば 10%程度の人が“許容できない”と感じるという意味です。

“参照値以下の低周波音に対しては、90%以上の人にとって許容値範囲内であり、苦情の原因にはならないと予想される。”とあるが、これだと 95%の人が許容する場合も考えられる。

[「心身に係る苦情の『参照値』の説明では、](#)

一般成人の「寝室の許容値」の 10 パーセンタイル値が苦情者の許容値レベルとの対応が良かった。このため、各周波数間の数値のばらつきを平滑化した表 2 の値を心身に係る苦情に関する参照値とした。

「パーセンタイル値」とは、

“全体を 100 として小さい方から数えて何番目になるのかを示す数値”ですから、

100 人の苦情者の許容レベルを小さい方から順に並べる。10 番目の数値は小さい方から数えて 10 番目の

で、許容できないと感じる人が、少なくとも 10 人はいることになる。同じ数値で複数いる場合を考えると、10 人以上の人が許容できないと感じることになる。

表現としては、少なくとも 10%以上の人が許容できないレベルのうちでの最小値。という事になる。

これだと、95%の人が許容することはあり得ない。

Q 6 『参照値』に科学的な根拠はありますか？

A 6 『参照値』は平成 15 年に独立行政法人産業総合研究所において実施した聴感実験データから、一般被験者の 90%の人が寝室で許容できるレベルとして設定したものです。この聴感実験では、低周波音を発生させた実験室に被験者を部屋に入れて、被験者の反応を調査することで行いました。なお、被験者は、実験室の中で、耳だけでなく全身が低周波音に浴しており、いわゆる骨導音の影響も実験の中で自然に含まれ、総合的に把握されていると考えられます。

とある。

環境省の Q&A に、問題は有るものの、参照値での数値は、“許容できない”とする数値です。

聴覚閾値ではありません。

次のグラフでは、“超低周波音の感覚閾値”との表現は、参照値が、“許容できない”とする数値であることに矛盾します。

聴覚以外の感覚器官での知覚の結果、“許容できない”としているのです。この数値が“感覚閾値”よりも小さいことはあり得ないのです。従って、“超低周波音の聴覚閾値”と修正する必要があります。

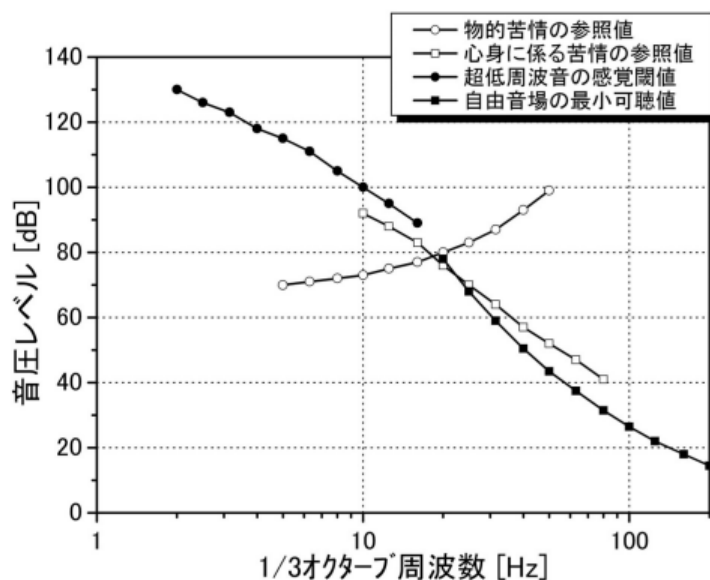


図 2-2 低周波音による苦情の参照値

心身に係る参照値は 20Hz 以上では平均的な人の最小可聴値よりも高いが、20Hz 以下では平均的な人の感覚閾値よりも小さい。

[参照値は[1-6]，超低周波音の感覚閾値は[2-13]，自由音場の最小可聴値は[2-14]をそれぞれ参照)

聴覚域との曲線と参照値の曲線の重なる部分に、G 特性での重みを付けて書き直せば、次の様になります。

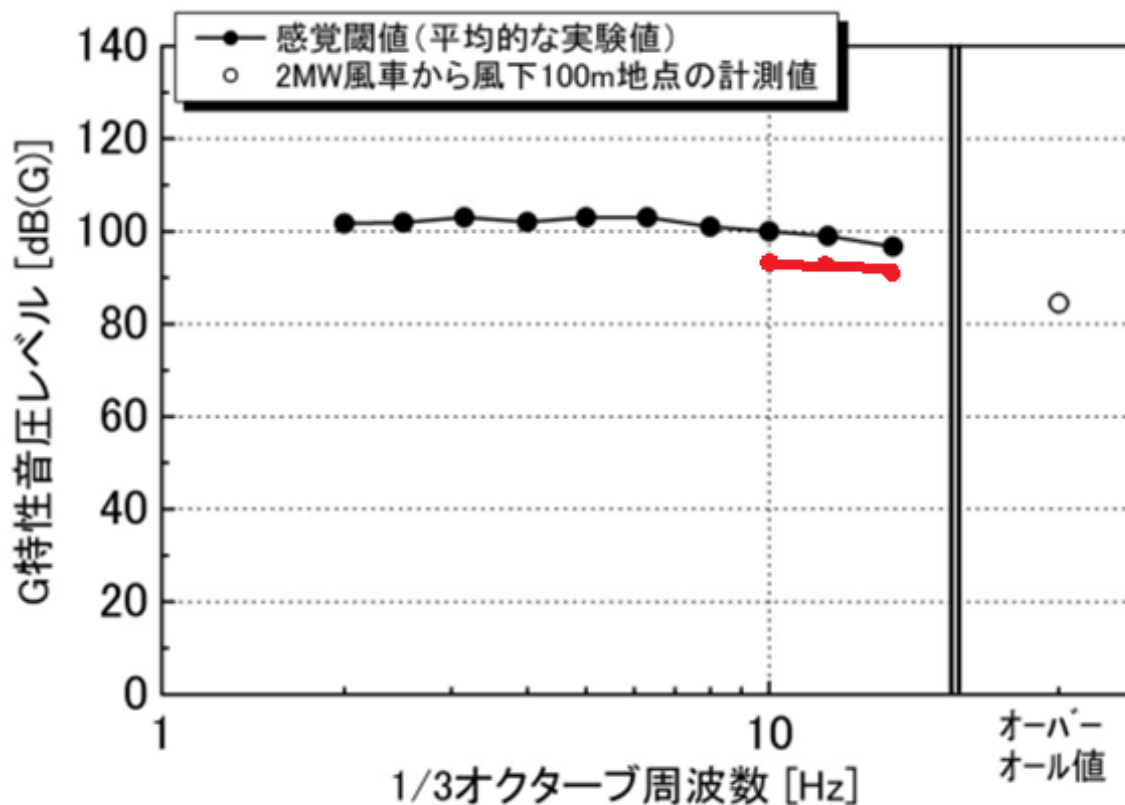


図 3-7 風車からの超低周波音の音圧レベルと感覚閾値との比較

感覚閾値[2-13]の値を元に G 特性音圧レベルに換算.  
風車音 (超低周波音) の計測値は[4-2]の値を示す.

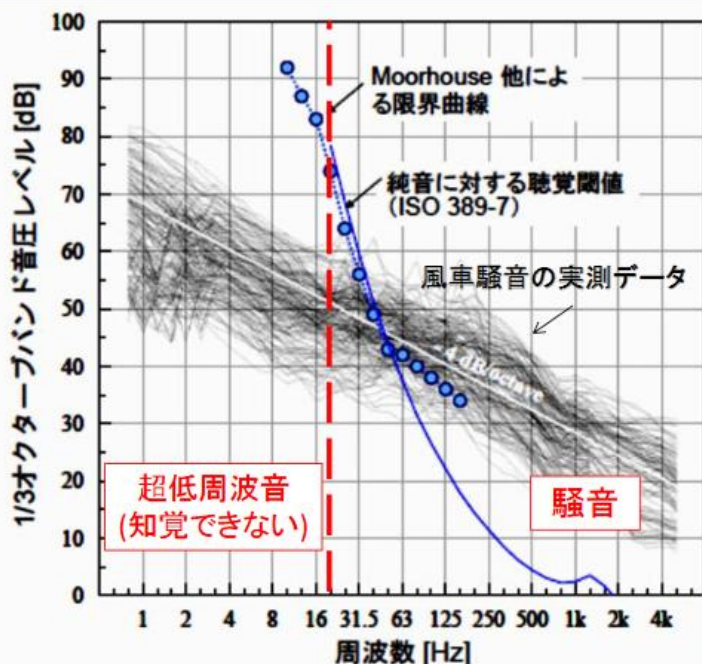
聴覚閾値よりも、感覚閾値は低いのです。

聴覚閾値の値よりも低い音圧の音に対して“許容できない”と思うのですから、聴覚とは別の感覚器官で風車の不快な影響を感知して、“許容できない”を思うのです。

聴覚以外にも風車の影響を感知する感覚器官があるので、感覚閾値は聴覚閾値よりも低くなるのです。

聴覚閾値を、感覚閾値や知覚閾値のすり替えたいと願う環境省は、次の図を公開しています。

## これまでに得られた知見① 風車騒音に含まれる超低周波音



20Hz以下の超低周波音領域は、すべて知覚閾値を下回っている

**風車騒音は超低周波音ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音の問題**

※全国29の風力発電施設の周辺の合計164測定点で騒音を測定

3

もとの論文、



University of  
**Salford**  
MANCHESTER

## A procedure for the assessment of low frequency noise complaints

Moorhouse, AT, Waddington, DC and Adams, MD

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

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

には、次のように書かれています。

The proposed criteria curve is provided as guidance for environmental health officers in their evaluation of an LFN complaint, and **not as an absolute limit**.

This means that tonal sounds at, or just below, the threshold of the hearing should be considered as environmental sources potentially responsible for the complaint.

提案された基準曲線は、環境衛生担当者のためのガイダンスとして提供されています、LFN 苦情の評価であり、**絶対的な制限としての評価ではありません**。これは、騒音が聴覚閾値より大きい、または少しだけ小さい場合は、環境音源として考慮されるべきであることを意味します。

Criterion の意味は、

1. (判断・評価などの) 基準、規範、尺度、よりどころ

2. 特徴

語源は、ギリシャ語の基準（分ける、決めるより）

であり、これは、基準曲線と訳すべきです。基準は聴覚に関連する基準です。

ですから、基準曲線または参照曲線と訳すべきであり、“限界曲線” と言え、その限界よりも低ければ問題なし。と聞こえてしまいます。

“not as an absolute limit” と書いてあるのに、まるで、“absolute limit.” と書いてあるかのように訳してはいけないのです。

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

表 V: 提案された夜間参照曲線

| Hz | 10 | 12.5 | 16 | 20 | 25 | 31.5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 |
|----|----|------|----|----|----|------|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| dB | 92 | 87   | 83 | 74 | 63 | 56   | 49 | 43 | 42 | 40 | 38  | 36  | 34  |

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

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

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

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

これは、“限界曲線” としたから矛盾する数値となるのです。本来の“参照曲線” と訳せば、100Hz の音は、26.5 d B になれば聴覚で知覚できるが、低周波音としての影響で苦情が出るほどの大きさではなく、38

d B 程度になっていたら、うるさくて苦情が出て当然なので、計測値が 38 d B に近かったら、低周波音に起因する問題と考えて、音の発生源についての調査をやってみましょう。と言うような数値であり、調査開始の目役となる数値だという事なのです。

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

環境省の悪あがきは、他にもあります。

環境省の HP にある、[参 考 資 料—低周波音の基礎知識—](#)の、- 参考 5 - のページには、

#### d.1 感覚閾値

低周波音の**感覚閾値**（低周波音を感じずる最小音圧レベル）については多くの研究者によって検討がなされている。図-d.1 は様々な研究者によって得られた感覚閾値である 1)。これらの閾値は実験方法や実験施設の違いによって 5～10dB 程度の違いがある。大部分の結果は可聴音の閾値（ISO-226（**最小感覚閾値の部分については 1996 年に ISO389-7 に改訂されている**））の延長線上にあり、周波数が低くなるに従い閾値は上昇している。数 Hz～50Hz 位を代表する傾斜はほぼ -12dB/oct.となっており、この傾斜が ISO-7196（超低周波音の心理的・生理的影響の評価特性）においても採用されている。通常、音としては知覚されないとされる超低周波音については、ISO-7196 によると、平均的には、G 特性音圧レベルで 100dB を超えると超低周波音を感じ、概ね 90dB 以下では人間の知覚としては認識されないと記されている。G 特性の基になった超低周波音の感覚閾値は欧米の実験結果に基づいている。

これらの値は平均値であり、例えば中村らの実験結果によれば閾値には $\pm 5 \sim 10$ dB 程度の幅があり、山田らによれば、標準偏差の 2 倍である $\pm 10$ dB の範囲に大部分の人が入るとされている

この中の、

（**最小感覚閾値の部分については 1996 年に ISO389-7 に改訂されている**）

についてだが、この規格の名前は、ISO 389-7:2019

Acoustics -- Reference zero for the calibration of audiometric equipment -- Part 7: Reference threshold of hearing under free-field and diffuse-field listening conditions

であり、threshold of hearing なのだから、**最小聴覚閾値**と訳すべきです。

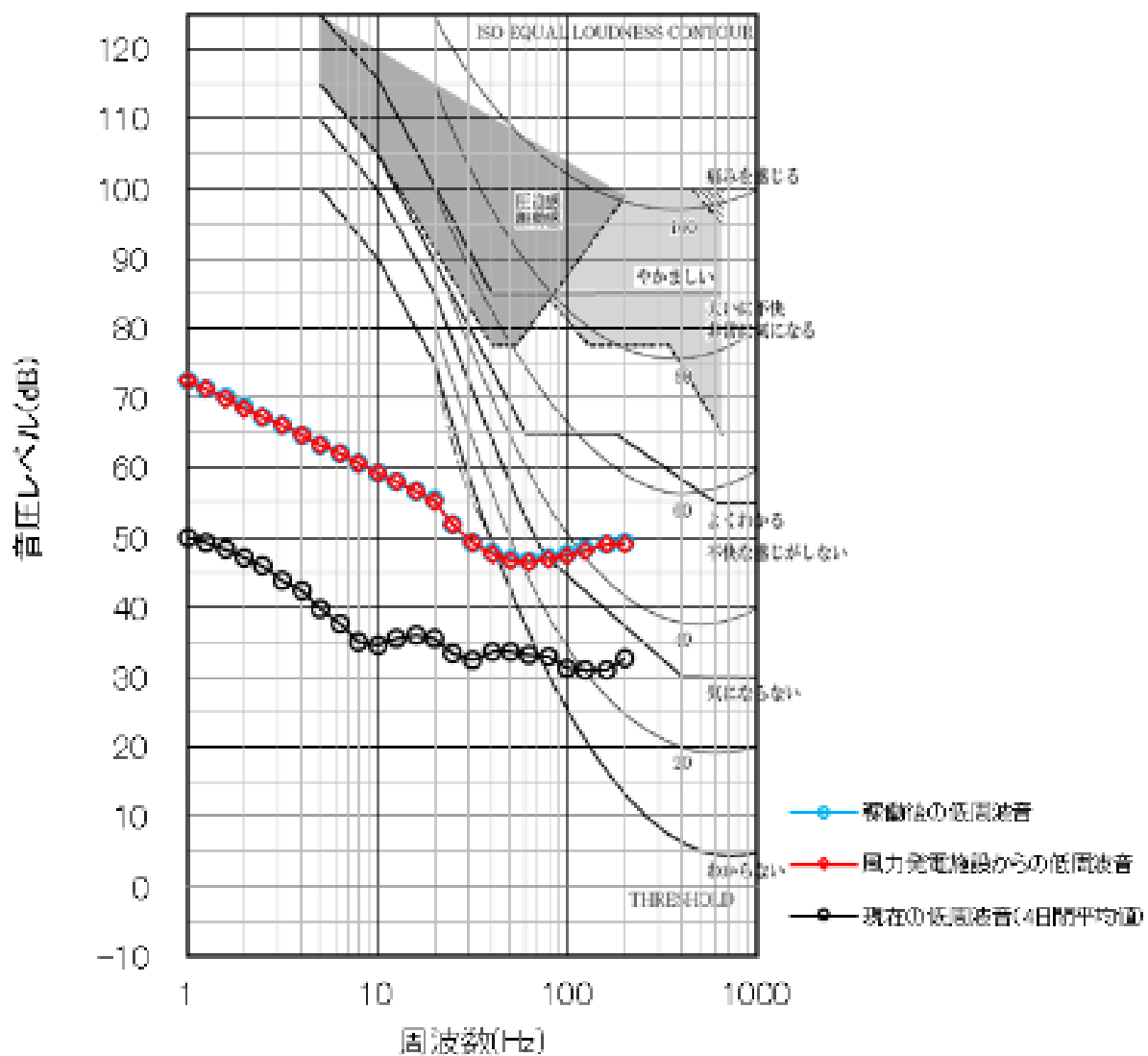
人間には、聴覚以外にも感覚器官があり、風車の影響をいろいろな形で知覚するのです。ですから、「超低周波音を感じる最少音圧レベル」は、誤解の元です。「超低周波音を聴覚で感じる最少音圧レベル」と修正する必要があります。

この修正は、“超低周波音による健康被害”の原因究明の要なのです。

つぎは、圧迫感ですが、

「圧迫感・振動感を感じる音圧レベル」と比較した場合、風力発電施設から発生する1/3オクターブバンド音圧レベルの寄与値は、中心周波数20Hz以下の超低周波音領域において、すべての予測地点において、いずれの季節でも「わからない」レベルを下回り、20～80Hz)で「気にならない」レベルを下回り、100～200Hzで「気にならない」レベルと同等か、又は、上回るレベルである。

## 秋季

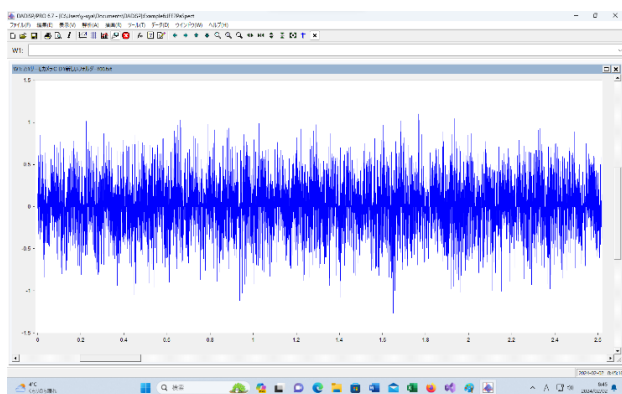


上のグラフでの、「わからない」の曲線は、5Hz以上の部分しかありません。

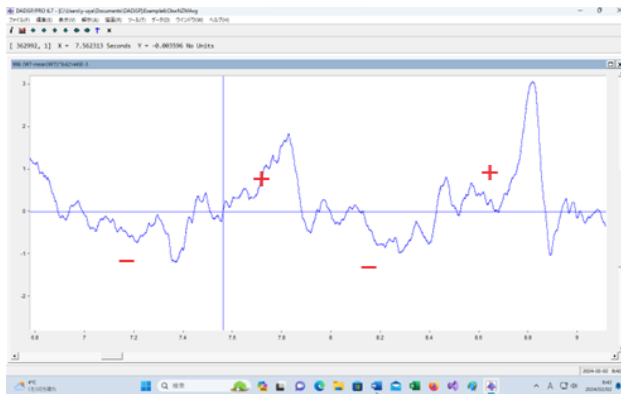
さらに、圧迫する状態になるか否かは、波形によって決まる部分が大きく、音圧レベルだけでは決まらないのです。体の各部分が1cmおきに押されたり引かれたりすれば全体としては圧迫された事にはならないです。

いのです。

工場騒音の、2.6 秒間の波形



風車音の 2.2 秒間の波形

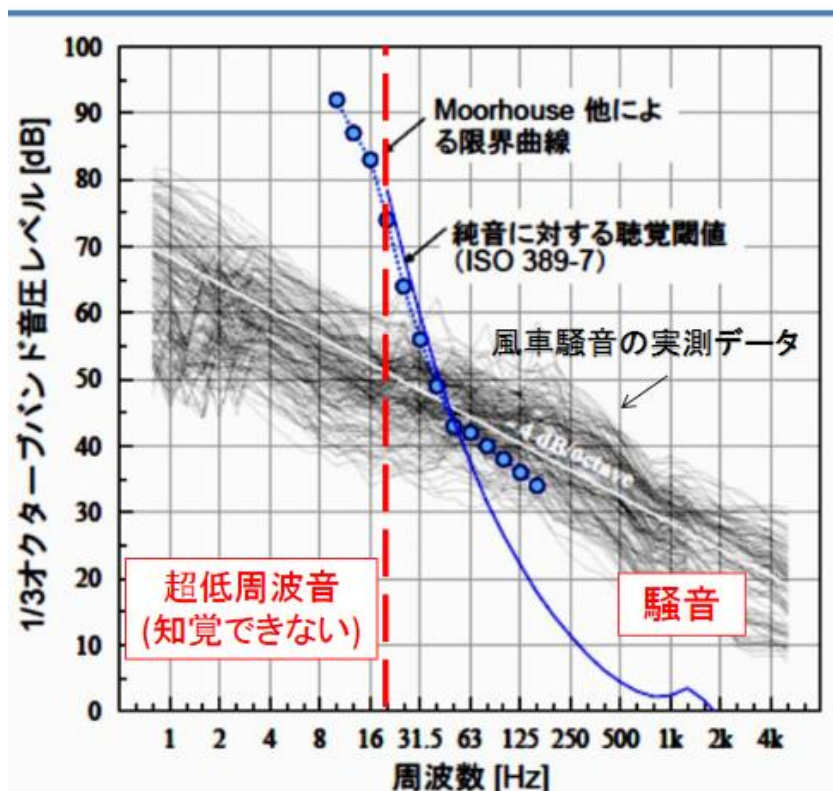


右側の風車音では、体全体が一様に加圧されたり、減圧されたりするのですが、左の工場騒音の場合は、1 cm 刻みでの加圧と減圧となり、平均すれば 0 に近い値となり、圧迫感はそれほど感じられないのです。

風車音での音圧は、0.5Hz や 1Hz で最大になります。“わからない” という曲線を延長するための実験が必要なのです。

さらに、

次のグラフの元になったデータは、二重防風スクリーンを付けて計測されたものです。



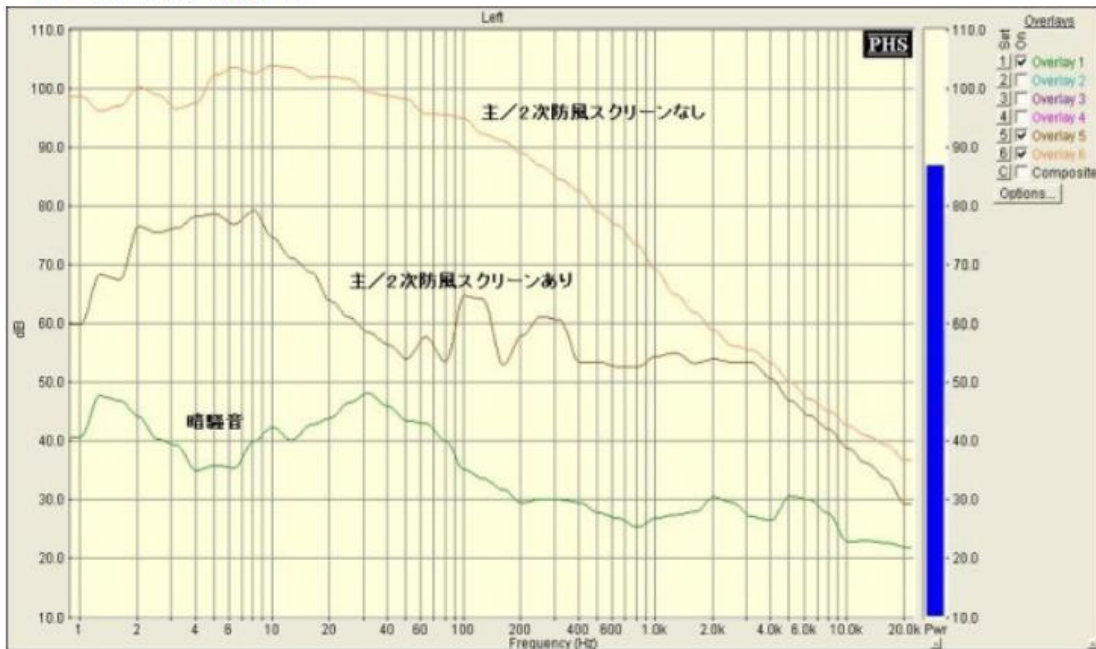
二重防風スクリーンは、1Hz の辺りでは、-38 d B 程度の減衰をもたらします。

2次防風スクリーン Φ460×230(H)

主防風スクリーン Φ90半割内蔵

組 立 : 簡易取り付け方式 (約10分)

### 【風切音減少効果】



計測結果が、1Hz では、50～80 d B なので、本来の音圧レベルは、88～118 d B です。

この数値と、風車音の波形の特殊性を考えると、“わからない”と言える数値が、0.5Hz や 1Hz の時にはどの様になっているかが、大きな問題になります。

住民が、圧迫感を含めた不快感を覚えたと言ったら、室内での、精密騒音計と振動レベル計での計測を行い、コルチゾール検査の数値、最大音圧、A 特性音圧レベル、G 特性音圧レベル、住民アンケート調査の結果についての、統計的な分析をすることが必要です。

「圧迫感・振動感を感じる音圧レベル」と比較した場合、風力発電施設から発生する 1/3 オクターブバンド音圧レベルの寄与値は、中心周波数 20Hz 以下の超低周波音領域において、すべての予測地点において、いずれの季節でも「わからない」レベルを下回り、20

0.5Hz や 1Hz での比較データが無いのに、「わからない」レベルを下回ったと言ってはいけません。それとも、貴社には、0.5Hz や 1Hz まで延長した、「分からない」曲線のデータがあるのでしょうか？ 持っていなければ、嘘をついている事になります。

結論の部分で貴社は次の様に言っている。

以上のことから、すべての予測地点で環境保全の基準等との整合が概ね図られているものと評価する。

なお、「風力発電施設から発生する騒音に関する指針」（環境省、平成 29 年）において、風力発電施設から発生する超低周波音については、人間の知覚閾値を下回ること、他の騒音源と比べても低周波音領域の卓越は見られず、健康影響との明らかな関連を示す知見は確認されなかったことが記載されている。

ここに、

“他の音源と比べても低周波音領域の卓越は見られず、健康影響との明らかな関連を示す知見は確認されなかったことが記載されている”

とある。

確かに記載されているが、意味を考えてから、引用しているのでしょうか？

“他の音源と比べても低周波音領域の卓越は見られず”の部分では、“低周波音領域”が 20Hz～100Hz ならば、誤りとは言えないが、これが、0Hz～100Hz の範囲であり、超低周波音（0～20Hz）の領域を含むときは、完全な嘘になります。音圧も、エネルギーも、風車音が卓越しているのです。

図 1．交通騒音（リオン社前） 0～5000Hz  
最大音圧 0.0025[Pa] (379.4[Hz])

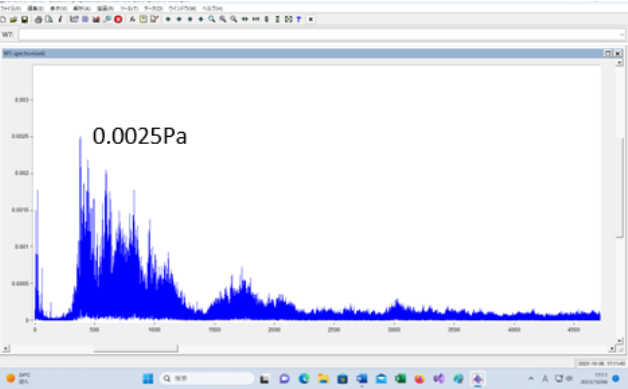


図 2．工場騒音（製鉄所内の音） 0～5000Hz  
最大音圧 0.12[Pa] (12Hz)

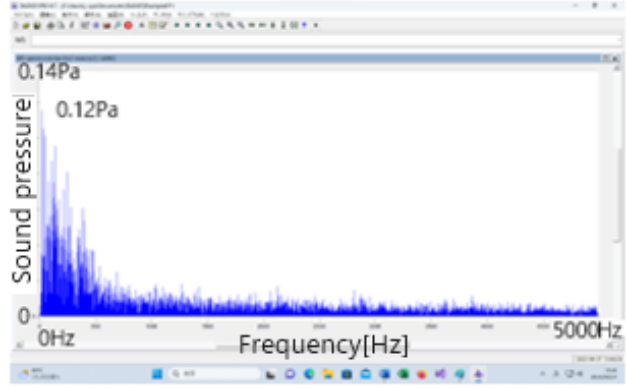


図 3．風車音（館山風の丘） 0～5000Hz  
最大音圧 0.14[Pa] (0.8Hz)

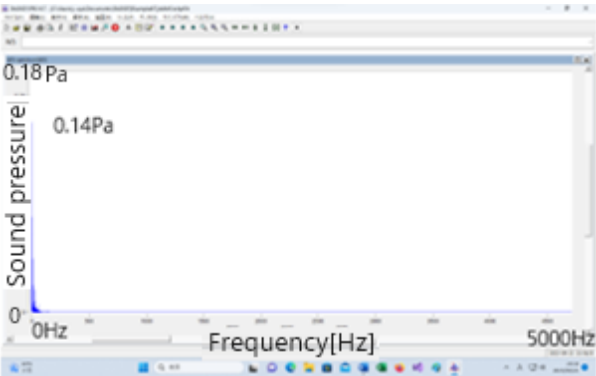


表 2．エネルギーの分布

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

0～20Hz 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% |

風車音で 20Hz 以上の周波数を持っている音のエネルギーを集めても、風車音全体のエネルギーの 7%以下です。93\*0.613=57%ですから、風車音全体のエネルギーの 57%は 1Hz よりも周波数が低い部分に含まれています。

交通騒音では、20Hz 以上の周波数を持っている音のエネルギーを集めると、交通騒音全体のエネルギーの 99%以上となります。

音の強さ

音場内の 1 点において、単位面積を単位時間に通過する音響エネルギーを音の強さ（I または J と書く）と言います。単位は、(W/m<sup>2</sup>)

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

に注意して、音がマイクを通過するときの音の強さ (W/m<sup>2</sup>) を計算したものが次の表です。

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

さらに、

“健康影響との明らかな関連を示す知見は確認されなかった”

については、

“健康影響との明らかな関連を示す知見は有るが、それが書いてない文献だけを選んで内容を確認した”

と、修正すべきです。

物理学の知識と数学の常識があれば、風車音と健康影響関係は明白になるのです。

その手掛かりは、風車の超低周波音の部分です。この性質が判明すれば、健康被害との関連はすぐに分かるのです。

それを知っている環境省は、1Hz での高い音圧と隠すために二重防風スクリーンを付けて測れと言い、それでも残っていた場合は除外音処理で完全に消し去れと言ってきたのです。

“[風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル](#)”（平成 29 年 5 月 環境省）

### “2.3.5 風雑音

風がマイクロホンにあたることにより発生する雑音。測定においてはウインドスクリーン（防風スクリーン）を装着することにより風雑音を低減する必要がある（3.1(2)参照）。

風により発生する葉擦れ音や風音は自然音であり風雑音ではない。”

とあり、7ページでは、

#### “(2) ウインドスクリーン（防風スクリーン）

風車の有効風速範囲の風況下で騒音を測定する際には、一般的に用いられる直径 10 cm 以下のウインドスクリーンでは、風雑音を十分に低減することはできない。風雑音の影響を低減するためには、より大型の、全天候型のウインドスクリーンを使用する必要がある。

風の影響が大きい場合には二重のウインドスクリーン等の、より性能の良いウインドスクリーンを使用する。

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

環境省のお役人様は、とっても偉い。

### Q7 感覚閾値と『参照値』は違うものですか？

A7 感覚閾値とは、なんらかのかたちで低周波音を感じることでできる最小の音圧レベルです。一方、『参照値』には、1) 建具類のがたつきなどの「物的苦情の『参照値』」と2) 圧迫感、振動感、不快感などの「心身に係る苦情の『参照値』」の2種類があります。「物的苦情の『参照値』」については、建具等ががたつき始める最小の音圧レベルを実験等によって求めたものです。「心身に係る苦情の『参照値』」については、長時間継続する低周波音を受けた場合に、大部分の人があまり気にならないで許容できる最大音圧レベルです。このように、「心身に係る苦情の『参照値』」と「感覚閾値」とでは定義が異なります。大小関係で言うと、実際には、「心身に係る苦情の『参照値』」は「感覚閾値」より少し大きな値となっています。

とあるが、（ここでの感覚閾値は、次の表の聴覚閾値のこと）

ISO 389-7:2019 にある、聴覚閾値の表の数値と、心身に係る苦情に関する参照値

### 2.2 心身に係る苦情に関する参照値

低周波音による心身に係る苦情に関する参照値は、表 2 及び G 特性音圧レベル  $L_G=92$ (dB) とする。

表 2 低周波音による心身に係る苦情に関する参照値

| 1/3 オクターブバンド<br>中心周波数 (Hz) | 10 | 12.5 | 16 | 20 | 25 | 31.5 | 40 | 50 | 63 | 80 |
|----------------------------|----|------|----|----|----|------|----|----|----|----|
| 1/3 オクターブバンド<br>音圧レベル (dB) | 92 | 88   | 83 | 76 | 70 | 64   | 57 | 52 | 47 | 41 |

との対応表をつくれば、

|                          |      |      |      |      |    |      |      |
|--------------------------|------|------|------|------|----|------|------|
| バンド（ヘルツ）                 | 20   | 25   | 31.5 | 40   | 50 | 63   | 80   |
| 参照値（デシベル）                | 76   | 70   | 64   | 57   | 52 | 47   | 41   |
| 聴覚閾値（デシベル）<br>感覚閾値（デシベル） | 78.1 | 68.7 | 59.5 | 51.1 | 44 | 37.5 | 31.5 |

（感覚閾値は聴覚閾値の間違いです。threshold of hearing だから、聴覚（聴力）閾値です。）

“大小関係で言うと、実際には、「心身に係る苦情の『参照値』」は「感覚閾値」より少し大きな値となっています。”

の表現は、25 Hz 以上の周波数成分については、正しい表現だが、20 Hz の所は、参照値が 76、感覚閾値が 78.1 となっていて、参照値よりも感覚閾値のほうが大きい。

これは、上記の表は、聴覚で音としてとらえる場合の限界、聴覚閾値 78.1 にならなくても、それより低い 76 の値の時に、音としてではなく、例えば圧迫感とかの他の感覚で音圧の変化をとらえて、不快感を覚えるという事を示していると考えます。

環境省は、20 Hz での参照値と聴覚閾値（感覚閾値）の数値の逆転について、どう考えているのだろう？  
環境省の職員は、76 と 78.1 のどちらが大きな数値なのか、判断が出来ないのかもしれない。

この事を電話で指摘したら、“書いてある通りです”と言われた。  
広く人材を集めている環境省には、少数の最少関係が理解できない職員もいるようです。いろいろな人に就職の機会を与えると言う観点からは、素晴らしいと言えますが、

“小学3年生の算数、小数（小数のたし算・ひき算・筆算）の練習問題プリントです。  
1/10 の位までの小数のたし算、ひき算と筆算を練習できます。”

を使って学習して、小学校3年生の学力をつけて欲しいと願ってしまいます。

貴社の職員は、小学3年生の知識を持っていると期待しています。  
小学生の学力も無い環境省の職員に頼りすぎではいけません。

被害が出れば、貴社の責任です。環境省のお役人様は責任を取ってくれません。

慎重に考えて下さい。

予測式について、

#### (7) 計算式

すべての風力発電機が同時に稼働するものとし、騒音のエネルギー伝搬予測方法（ISO 9613-2）にしたがって計算した。

$$L = PWL - 11 - 20 \log_{10} r - A_E - A_T - A_G$$

[記 号]

|       |                              |
|-------|------------------------------|
| $L$   | : 音源から距離 $r$ における騒音レベル（デシベル） |
| $PWL$ | : 音源のA特性音響パワーレベル（デシベル）       |
| $r$   | : 音源からの距離（m）                 |
| $A_E$ | : 空気の吸収等による減衰（デシベル）          |
| $A_T$ | : 障壁等の回折による減衰（デシベル）          |
| $A_G$ | : 地表面の影響による減衰（デシベル）          |

とあるが、

これは、音源が点音源の場合の式です。

風車は、点音源として音を出すような運動はしていません。

次の論文を確認してください。

1) 高橋厚太, 賀川和哉, 長嶋久敏, 川端浩和, 田中元史, 小垣哲也, 濱田幸雄, 風車ナセル・タワーの振動解析, 風力エネルギー利用シンポジウム Vol.40, p.251-254, 2018

風車が点音源ならば、次の論文にある様な、指向性を持ちません。

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

さらに、石狩湾での計測結果を見れば、点音源として計算した音圧レベルよりも高い音圧レベルが計測されています。

## 2. 1. 6 石狩湾での計測結果

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

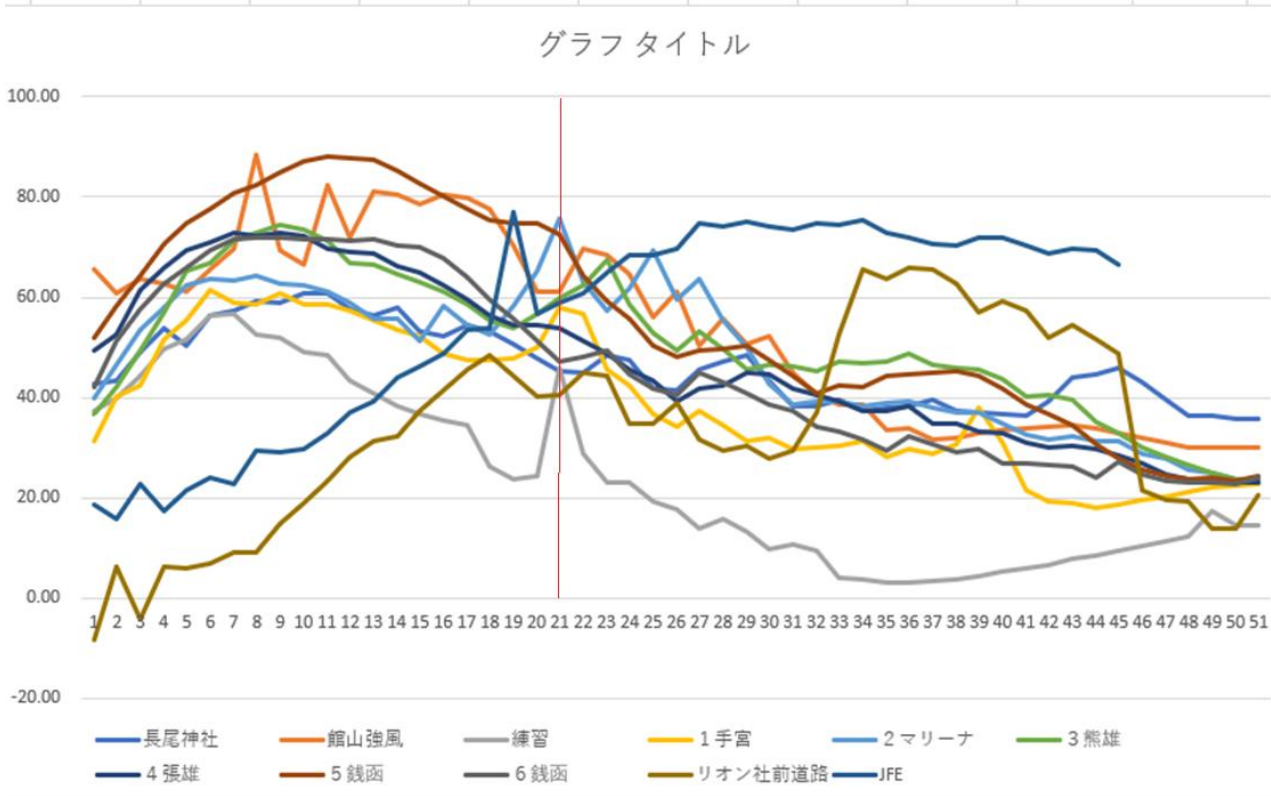
なお、番号と中心周波数（0.19Hz～20000Hz）の関係は次の表です。

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

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

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

20Hz は、21 番のところでは、(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。

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

銭函での騒音レベル（A 特性音圧レベル）は、40.500459 dB です。

20Hz 以下では、風車音の音圧が高いのですが、20Hz 以上では、神社での音や JFE の工場音の音圧が高い

のです。

騒音として、20Hz 以上の成分だけを考えれば、一般騒音の方が A 特性音圧レベル (A) が高いのです。

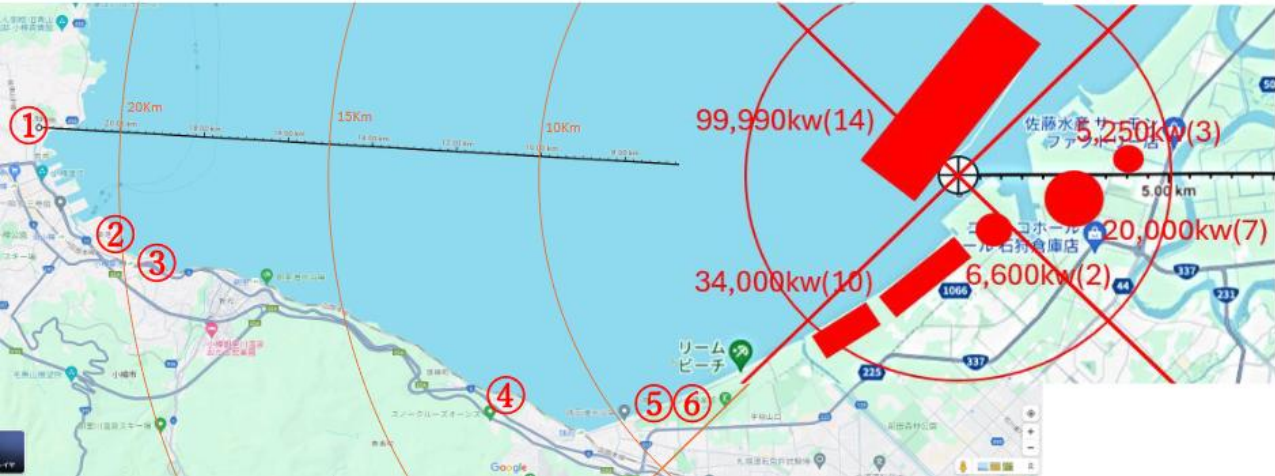
G 特性音圧レベル (G) (0.25~315Hz) を計算すれば、(距離にもよりますが) 風車音の方が大きくなります。

結果として、一般騒音は G が小さく A が大きいので G-A は小さい数値になります。

風車音では、G が大きく A が小さいので、G-A は大きな値になります。

石狩湾では、海上で 14 基の風車が動いています。(さらに陸上に 22 基で合計 36 基) 海の上に立つ、風車！その数 14 基！国内 2 例目の「大規模洋上風力発電所」です。

下の地図の①～⑥での計測結果です。(鈴木氏の「低周波音を測ってみた」小樽から銭函まで 2024/3/21)



|   | 場所   | 開始時刻  | 測定時間  | 備考                         |
|---|------|-------|-------|----------------------------|
| ① | 手宮公園 | 16:17 | 10分   | 車通行1~2台、カラス                |
| ② | マリーナ | 16:50 | 6分26秒 | 小型船のエンジンの音、監視船のアナウンス、海猫の鳴声 |
| ③ | 熊碓   | 17:09 | 10分   | 波の音、海猫の鳴声、交通量の多い道路近い       |
| ④ | 張碓   | 17:44 | 10分   | 車の通行3~4台                   |
| ⑤ | 銭函   | 18:14 | 10分   | 強風、マイクに直接風が当たらないように車の向きを調整 |
| ⑥ | 銭函   | 18:25 | 10分   | ⑤と同じ場所でドアを閉めて測定            |

マリーナと熊碓を別とすれば、風車音の影響で、G-A が 20~30 程度になっていることが分ります。神社では、G-A=8.43 となっていて、風車音の影響が無いと判断できます。J F Eの製鉄所では-0.46、リオン社前の道路では、-15.20 になっています。熊碓(くまうす)では、交通量が多い関係で 17.27 になっています。

G-A>15 の場合は、風車音の影響が大きい

G-A<10 の場合は、風車音の影響は小さい

と判断できます。

|                       | G     | A     | G-A    |
|-----------------------|-------|-------|--------|
| 手宮1、A=43.69、G=68.92   | 68.92 | 43.69 | 25.23  |
| マリーナ2、A=48.93、G=85.08 | 85.08 | 48.93 | 36.15  |
| 熊確3、A=55.07、G=72.34   | 72.34 | 55.07 | 17.27  |
| 張確4、A=43.31、G=67.85   | 67.85 | 43.31 | 24.54  |
| 銭函5、A=52.62、G=87.06   | 87.06 | 52.62 | 34.44  |
| 銭函6、A=40.5、G=67.95    | 67.95 | 40.5  | 27.45  |
| 館山弱風、A=49.09、G=79.06  | 79.06 | 49.09 | 29.97  |
| 館山強風、A=47.74、G=82.92  | 82.92 | 47.74 | 35.18  |
| 神社、A=53.02、G=61.45    | 61.45 | 53.02 | 8.43   |
| JFE製鉄所                | 81.42 | 81.88 | -0.46  |
| 道路(リオン社前)             | 55.92 | 71.12 | -15.20 |

・騒音の計測値と予測値の誤差

準備書などでは、風車を点音源として扱って、風車音の累積的な影響を予測します。しかし、風車音が指向性を持っている事実は、風車が点音源ではないことを示しています。

石狩湾にある 36 基の風車音の予測計算（点音源と仮定したもの）で、

$$L_n = L_W - 20 * \log R - 8 - \Delta L_{AIR}$$

を使った場合は、

| 風車36基 | 2000  | 3000  | 5000  | 7000  | 10000 | 15000 | 20000 | 25000 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A     | 43.35 | 41.48 | 39.12 | 37.68 | 36.48 | 35.7  | 35.47 | 35.4  |
| G     | 70    | 66.49 | 62.09 | 59.23 | 56.25 | 53    | 50.86 | 49.34 |

となるが、実測値よりはかなり小さい。

[線音源の場合（日本環境アムニティ株式会社）](#)の式（線音源と仮定したもの）、

$$L_n = L_W - 10 * \log R - 8 - \Delta L_{AIR}$$

を使うと大きすぎる数値となる。

風車音の指向性と振動面の大きさを考えて、  
点音源と線音源の中間の式

$$L_n = L_W - 15 * \log R - 8 - \Delta L_{AIR}$$

を使うと実測値に近い数値、

| 風車36基 | 2000  | 3000  | 5000  | 7000  | 10000 | 15000 | 20000 | 25000 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A     | 53.61 | 50.6  | 46.59 | 43.84 | 40.99 | 38.25 | 36.9  | 36.24 |
| G     | 86.5  | 83.86 | 80.53 | 78.34 | 76.01 | 73.38 | 71.5  | 70.05 |

となる。

累積的な影響は大きく、石狩湾の近く、手稲山口（風車群の中心から 10 k m、一番近い風車から 5 k m）の団地では、ヘリコプターが近くに着陸するかのような音が響いています。



風車からの距離は、銭函とほぼ同じです。

洋上風力発電では、イギリスは2001年には離岸距離の規制は無かったが、2003年には8～13 kmと規定した。2009年には22.2 km以上に変更した。

ドイツ、オランダも22.2 km以上の離岸距離をとるようにしている。中国では離岸距離が10 km以上となっているが実際は20 km以上離して建設している。

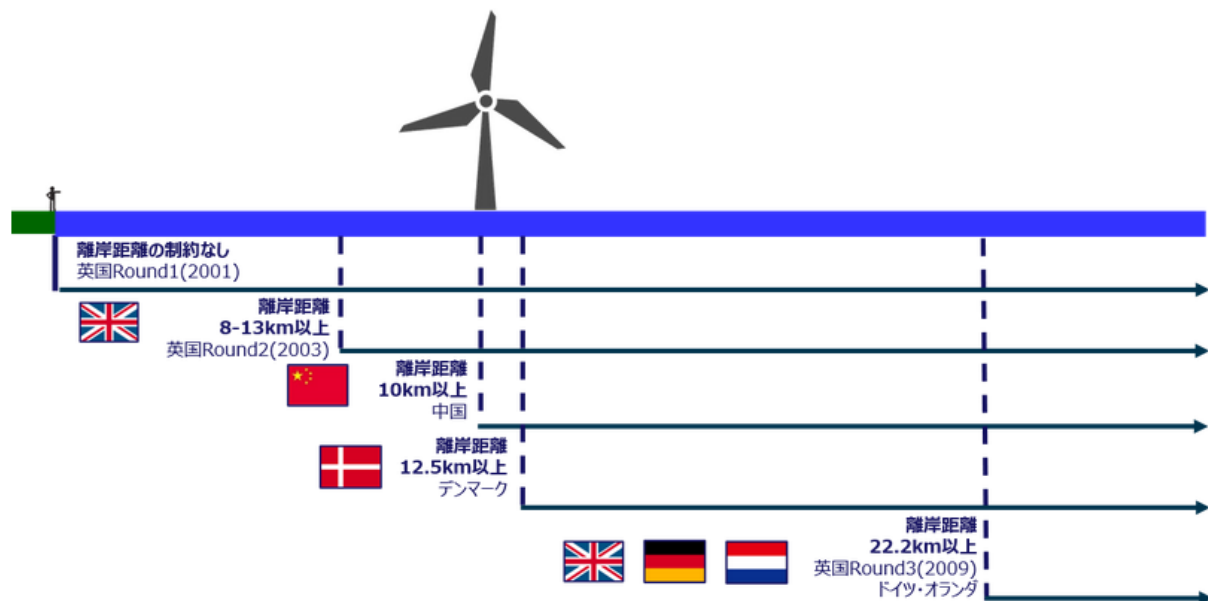


図 諸外国において洋上風力の立地を認める最低離岸距離

参考文献: BMT Cordah Limited, Everington, BSH, 国家能源局, Danish Energy Agency, Government of the Netherlands

超低周波音の部分を詳しく調べれば、計測音の中での風車音の成分の大きさが推定できます。

風車音が発生するときの仕組みを考えた予測式を作れば被害の程度が推測できます。

遠方の音源の影響を把握する必要があります。

点音源での計算式は簡単ですが、被害を過小評価することに繋がります。

安易な方法を選んではいけません。有限要素法を使えば、もっと精度の高い予測式が作れます。手を抜き過ぎです。

## これまでに得られた知見④ 風車騒音の人への影響

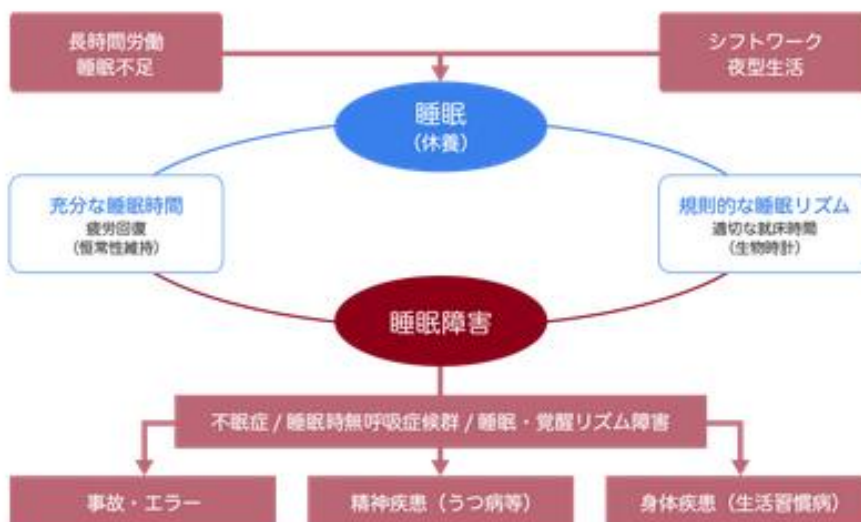
- これまでに国内外で得られた科学的知見を踏まえると、風車騒音が人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。ただし、風車騒音に含まれる振幅変調音や純音成分等は、わずらわしさ(アノイアンス)を増加させる傾向がある。静かな環境では、風車騒音が35～40dBを超過すると、わずらわしさ(アノイアンス)の程度が上がり、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている
- 風力発電施設から発生する超低周波音・低周波音と健康影響については、明らかな関連を示す知見は確認できなかった
- 景観のような視覚的な要素や経済的利益に関する事項等も、わずらわしさ(アノイアンス)の度合いを左右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

とあり、睡眠への継続的な影響が有れば、健康被害がでます。

### 睡眠と生活習慣病との深い関係 (厚生労働省)

質の悪い睡眠は生活習慣病の罹患リスクを高め、かつ症状を悪化させることが分かっています。睡眠問題は「睡眠習慣」と「睡眠障害」の問題に分けられます。睡眠習慣については睡眠不足やシフトワークなどによる体内時計の問題、睡眠障害については睡眠時無呼吸と不眠症の問題を取り上げ、それぞれ生活習慣病との関係を明らかにします。

### 「睡眠習慣」と「睡眠障害」の問題

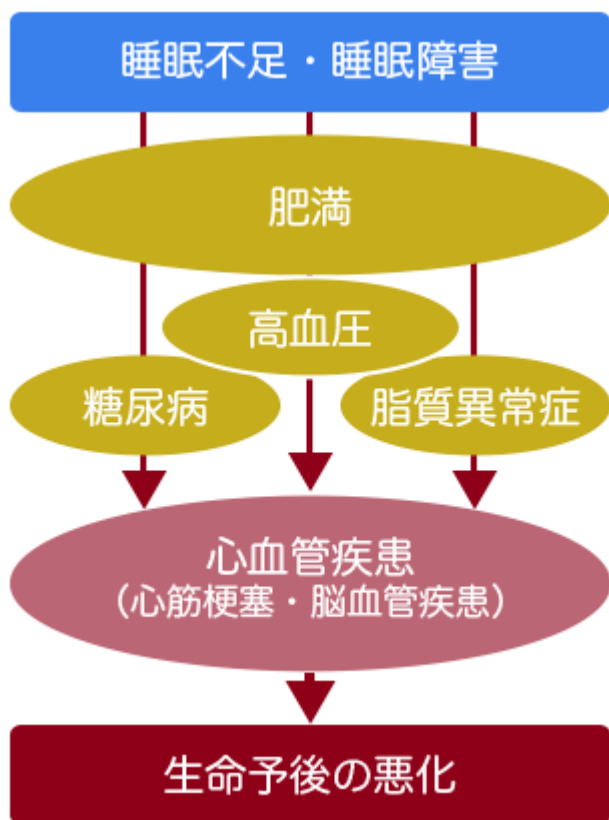


日本人、特に子供たちや就労者の睡眠時間は世界で最も短いと言われています。【図 2】は就労者の男女別の睡眠時間を国際比較した結果です。日本人の睡眠時間が如何に短いかわかりいただけたと思います。とりわけ女性は家事や育児の負担が大きいため男性よりもさらに睡眠時間が短く、平日・週末を問わず慢性的な寝不足状態にあると言えます。

慢性的な睡眠不足は日中の眠気や意欲低下・記憶力減退など精神機能の低下を引き起こすだけではなく、体内のホルモン分泌や自律神経機能にも大きな影響を及ぼすことが知られています。一例を挙げれば、健康な人でも一日 10 時間たっぷり眠った日に比較して、寝不足（4 時間睡眠）をたった二日間続けただけで食欲を抑えるホルモンであるレプチン分泌は減少し、逆に食欲を高めるホルモンであるグレリン分泌が亢進するため、食欲が増大することが分かっています。ごくわずかの寝不足によって私たちの食行動までも影響を受けるのです。実際に慢性的な寝不足状態にある人は[糖尿病](#)や心筋梗塞や狭心症などの[冠動脈疾患](#)といった生活習慣病に罹りやすいことが明らかになっています。

また日本人の約 2 割は交代勤務に従事しています。夜勤に入ることによって、[体内時計](#)と生活時間との間にずれが生じやすくなります。体内時計にとって不適切な時間帯に食事を取ることで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

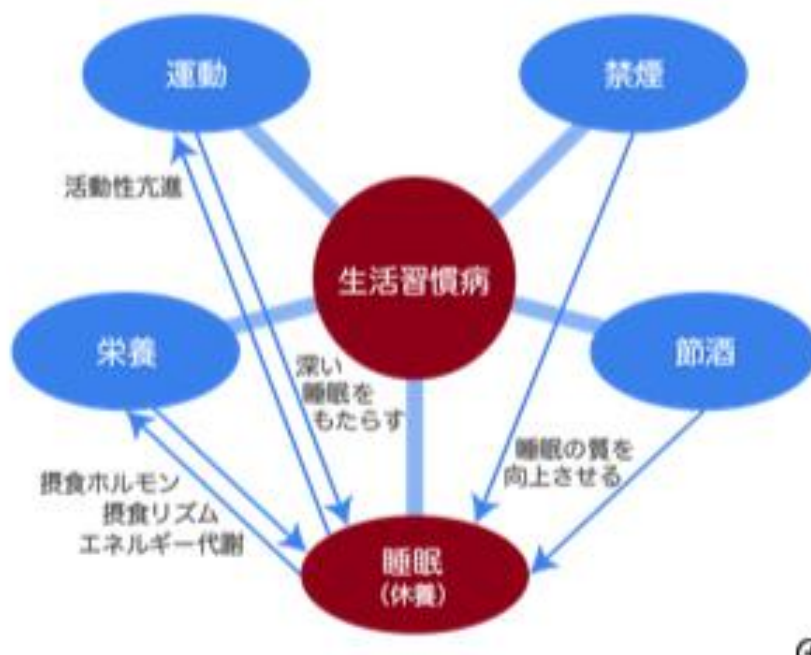
患リスクを高め症状を悪化させることや、その発症メカニズムが明らかになりつつあります。

例えば睡眠時無呼吸症候群の患者さんでは、夜間の頻回の呼吸停止によって「低酸素血症と交感神経の緊張（血管収縮）」「酸化ストレスや炎症」「代謝異常（レプチン抵抗性・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がちです。ただし今回ご紹介したように長期にわたり睡眠不足を続けたり、睡眠障害を放置したりするとは私たちの健康を大きく害します。睡眠問題は静かにしかし着実に心身の健康を蝕みます。睡眠習慣の問題や睡眠障害を放置せず、ご自分の睡眠状態に疑問を感じたら、かかりつけ医もしくは睡眠専門医に相談をしてみましょう。

風速や風向はかなり変化します。

結果として、1時間に1回程度の割合で、音圧が平均的な音圧の2倍になることもおきます。

平均的な数値よりもかなり大きな影響が起きて、1時間に1回くらい、風車の影響で目が覚めてしまうことも多い。

山形県酒田市の市民は

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

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

次の意見もありました。

“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ます。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。”

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ます。事故でも起きたら、その責任は誰が取るのでしょうか？

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

安眠を妨害すると言う住民の訴えに対して、貴社はどのように責任を取るのかを明記して下さい。

まとめ

異音が超低周波音の原因だとする考えは、物理学の常識のかけらもないことを意味している。

超低周波音と健康障害の関連を示す論文が沢山ある。

人間には聴覚以外にも感覚器官がある。

実際に風車を作る貴社には、被害に対する責任が発生する。

おわり。



補足：

#### 4. 国又は地方公共団体による基準又は目標との整合性の検討

超低周波音（20Hz 以下）については、現在、基準が定められていないが、施設の稼働に伴う将来の G 特性音圧レベルは秋季、春季とも 64～70 デシベルで、すべての予測地点において、いずれの季節でも ISO 7196:1995 に示す「超低周波音を感じる最小音圧レベル」である 100 デシベルを下回る。

また、「建具のがたつきが始まるレベル」と比較した場合、風力発電施設から発生する 1/3 オクターブバンド音圧レベルの寄与値は、すべての予測地点において、いずれの季節でも「建具のがたつきが始まるレベル」を下回る。

「圧迫感・振動感を感じる音圧レベル」と比較した場合、風力発電施設から発生する 1/3 オクターブバンド音圧レベルの寄与値は、中心周波数 20Hz 以下の超低周波音領域において、すべての予測地点において、いずれの季節でも「わからない」レベルを下回り、20～80Hz で「気にならない」レベルを下回り、100～200Hz で「気にならない」レベルと同等か、又は、上回るレベルである。

以上のことから、すべての予測地点で環境保全の基準等との整合が概ね図られているものと評価する。

なお、「風力発電施設から発生する騒音に関する指針」（環境省、平成 29 年）において、風力発電施設から発生する超低周波音については、人間の知覚閾値を下回ること、他の騒音源と比べても低周波音領域の卓越は見られず、健康影響との明らかな関連を示す知見は確認されなかったことが記載されている。

低周波音の測定方法に関するマニュアル 平成 12 年 10 月 環境庁大気保全局

#### 1. 本マニュアルに用いる用語

##### (1) 超低周波音

一般に人が聴くことができる音の周波数範囲は 20Hz-20kHz とされており、周波数 20Hz 以下の音波を超低周波音という。ここで取り扱う範囲は 1/3 オクターブバンド中心周波数 1-20Hz（またはオクターブバンド中心周波数 2-16Hz）の音波である。

##### (2) 低周波音

我が国における低周波音苦情の実態を考慮して、およそ 100Hz 以下の低周波数の可聴音と超低周波音を含む音波を低周波音という。従前、環境庁で低周波空気振動と呼んでいたものである。ここで取り扱う範囲は 1/3 オクターブバンド中心周波数 1-80 Hz（またはオクターブバンド中心周波数 2-63 Hz）の音波である。

##### (3) G 特性

1-20Hz の超低周波音の人体感覚を評価するための周波数補正特性で、ISO-7196 で規定された。可聴音における聴感補正特性である A 特性に相当するものである。この周波数特性は、10Hz を 0dB として 1-20Hz は 12dB/oct.の傾斜を持ち、評価範囲外である 1Hz 以下および 20Hz 以上は 24dB/oct.の急激な傾斜を持つ（図-1.1、表-1.1 参照）。

1-20Hz の傾斜は超低周波音領域における感覚閾値の実験結果に基づいている。

[低周波音問題対応の手引書 \(H16.6\)](#) では、

### 3. 測定

#### 3.1 測定方法

「低周波音の測定方法に関するマニュアル（平成 12 年 10 月）」及び低周波音問題対応のための「手引」が定められており、低周波音の測定は、原則的にはこの方法を用いることとした。

#### 3.2 測定場所

##### (1) 物的苦情に関する測定場所

低周波音による建具のがたつきに関する実験結果が建具へ入射する音圧レベルにより整理されていることから、**測定場所は屋外とした**。屋外の測定点は、一般環境中の低周波音を測定する場合には周囲の建物による反射等の影響を考慮して建物より 3.5m 以上離れた場所に定めるのが望ましいが、物的苦情が発生している場合には、低周波音の測定場所は問題となる住居等の建物から 1～2m 程度離れた位置とした。

##### (2) 心身に係る苦情に関する測定場所

苦情者が低周波音や不快感などを最も感じる部屋の最も感じる位置で測定を行い、苦情者が訴える低周波音の特徴を把握する。最も感じる位置としたのは、部屋の中で特定の周波数で定在波が発生し、場所によって音の大きいところや小さいところが生じる場合があることを考慮したためである。

また、苦情者が低周波音や不快感などを感じない部屋の感じない位置でも測定を行い、両者の違いを比較することが有効な場合もある。

#### 3.3 測定量

低周波音の測定量は、**参照値の基礎となる実験結果が周波数別に示されていることから、1/3 オクターブバンド音圧レベルを測定する**。なお、20Hz 以下の超低周波音については ISO-7196 に評価加重特性が規定されていることから、**超低周波音による心身への不快感に関する評価にあたっては、G 特性音圧レベルとする**。

#### 3.4 測定周波数範囲

測定を行う周波数範囲は、原則として、「低周波音の測定方法に関するマニュアル」で規定された 1/3 オクターブバンド**中心周波数 1Hz～80Hz** とした。

#### 3.5 測定結果の算出方法

本指針で適用対象とする低周波音は発生源近傍では音圧レベルの変動幅が小さいものであるが、発生源では音圧レベルの変動は少なくとも、伝搬の過程の種々の要因により変動幅が大きくなることも予想されることから、低周波音の音圧レベルが変動する場合についても結果の算出方法を示した。

また、風により低周波音の音圧レベルが変動する場合については、風による影響の少ない個所、すなわち音圧レベルの変動の少ない個所を測定し、それらのパワー平均を算出する。

なお、音圧レベルの変動幅は低周波音レベル計のメーター又はレベルレコーダの指示値により判定する。その際、低周波音レベル計の聴感補正特性は周波数分析の場合は平坦特性に、**G 特性音圧レベルを求める場合は G 特性（G 特性の付いていない低周波音レベル計では平坦特性も可）とする**。

参照値は、  
 環境省は、“参照値”として、低周波音の被害の目安となる数値も示していた。

表 1 低周波音による物的苦情に関する参照値

|                            |    |     |    |    |      |    |    |    |      |    |    |
|----------------------------|----|-----|----|----|------|----|----|----|------|----|----|
| 1/3 オクターブバンド<br>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<br>音圧レベル (dB) | 70 | 71  | 72 | 73 | 75   | 77 | 80 | 83 | 87   | 93 | 99 |

表 2-3 低周波音による心身に係る苦情に関する参照値<sup>[1-6]</sup>

|                           |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |          |
|---------------------------|----|------|----|----|----|------|----|----|----|----|----------|
| 1/3 オクターブバンド<br>中心周波数(Hz) | 10 | 12.5 | 16 | 20 | 25 | 31.5 | 40 | 50 | 63 | 80 | オーバーオール値 |
| 1/3 オクターブバンド<br>音圧レベル(dB) | 92 | 88   | 83 | 76 | 70 | 64   | 57 | 52 | 47 | 41 | 92dB(G)  |

上の 2 つの表の数値です。

2024.10.25

風力

(仮称) 西山風力発電事業 環境影響評価準備書

(7) 計算式

すべての風力発電機が同時に稼働するものとし、騒音のエネルギー伝搬予測方法（ISO 9613-2）にしたがって計算した。

$$L = PWL - 11 - 20 \log_{10} r - A_E - A_T - A_G$$

[記 号]

- $L$  : 音源から距離 $r$ における騒音レベル（デシベル）
- $PWL$  : 音源のA特性音響パワーレベル（デシベル）
- $r$  : 音源からの距離（m）
- $A_E$  : 空気の吸収等による減衰（デシベル）
- $A_T$  : 障壁等の回折による減衰（デシベル）
- $A_G$  : 地表面の影響による減衰（デシベル）

#### (4) 予測条件

予測時における音源である風力発電機は 12 基で、風力発電機の配置図は図 10.1.1.1-3 のとおりである。

また、風力発電機の仕様は表 10.1.1.1-19、風速に応じた A 特性音響パワーレベルは表 10.1.1.1-20 のとおりである。

予測に当たっては、残留騒音調査時の風速に応じて、風力発電機との水平距離が近い方の風況観測塔の風況データを参照し、各調査時期の A 特性音響パワーレベルを表 10.1.1.1-21 のとおり設定した。風速毎の周波数別 A 特性音響パワーレベルは表 10.1.1.1-22 のとおり、定格時の周波数特性と相対的に同じスペクトルとした。

なお、予測時の気象条件として、調査時の柏崎地域気象観測所の気温、相対湿度を基に設定した。

表 10.1.1.1-19 風力発電機の仕様

| 項 目                        | 仕 様        |
|----------------------------|------------|
| 基数                         | 12 基       |
| ハブ（ナセル）高さ                  | 110m       |
| カットイン風速                    | 3.0m/s     |
| 定格風速                       | 14.0m/s    |
| A 特性音響パワーレベル（定格風速 14m/s 時） | 112.1 デシベル |

表 10.1.1.1-20 ハブ高さ風速毎の A 特性音響パワーレベル

（単位：デシベル）

|               |       |       |       |         |       |
|---------------|-------|-------|-------|---------|-------|
| ハブ高さの風速 (m/s) | 3     | 4     | 5     | 6       | 7     |
| A 特性音響パワーレベル  | 101.4 | 101.6 | 101.7 | 104.0   | 107.4 |
| ハブ高さの風速 (m/s) | 8     | 9     | 10    | 14（定格時） |       |
| A 特性音響パワーレベル  | 110.2 | 111.8 | 112.1 | 112.1   |       |

注：数値はメーカーカタログ値とした。

表 10.1.1.1-22 風速毎の周波数別 A 特性音響パワーレベル

(単位:デシベル)

| オクターブバンド中心周波数(Hz) |          | 63   | 125  | 250   | 500   | 1k    | 2k    | 4k   | 8k   | O. A. |
|-------------------|----------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| A 特性<br>音響パワーレベル  | 風速 3m/s  | 77.4 | 88.9 | 95.7  | 96.8  | 94.8  | 90.8  | 83.6 | 71.2 | 101.4 |
|                   | 風速 4m/s  | 77.2 | 89.0 | 95.8  | 97.0  | 95.0  | 91.0  | 83.7 | 71.4 | 101.6 |
|                   | 風速 5m/s  | 77.7 | 89.1 | 95.9  | 97.1  | 95.1  | 91.1  | 83.9 | 71.5 | 101.7 |
|                   | 風速 6m/s  | 79.6 | 91.5 | 98.3  | 99.4  | 97.5  | 93.4  | 86.2 | 73.8 | 104.0 |
|                   | 風速 7m/s  | 83.4 | 94.8 | 101.6 | 102.7 | 100.8 | 96.7  | 89.5 | 77.2 | 107.4 |
|                   | 風速 8m/s  | 85.8 | 97.7 | 104.5 | 105.6 | 103.6 | 99.6  | 92.4 | 80.0 | 110.2 |
|                   | 風速 9m/s  | 87.8 | 99.2 | 106.0 | 107.1 | 105.2 | 101.1 | 93.9 | 81.6 | 111.8 |
|                   | 風速 10m/s | 87.6 | 99.5 | 106.3 | 107.4 | 105.5 | 101.4 | 94.2 | 81.9 | 112.1 |
|                   | 風速 14m/s | 87.6 | 99.5 | 106.3 | 107.4 | 105.5 | 101.4 | 94.2 | 81.9 | 112.1 |

注: 1. 周波数特性はメーカー値による。

2. 風速はハブ高さにおける値である。

3. 「O. A.」(オーバーオールレベル)は、周波数分析を行った結果から得られる各周波数バンドの騒音レベルの総和による合成レベルである。

表 10.1.1.1-23(1) 風力発電機から発生する騒音の寄与値

(単位:デシベル)

| 予測地点 | 風力発電機から発生する騒音の寄与値                 |    |       |    |                                             |    |       |    | 近接する風力発電機<br>(上位 3 基) との距離 |             |             |
|------|-----------------------------------|----|-------|----|---------------------------------------------|----|-------|----|----------------------------|-------------|-------------|
|      | 平均的な時期の気象条件<br>(表 10.1.1.1-21 参照) |    |       |    | 空気吸収減衰が最小となる<br>気象条件<br>(気温 0.3℃、相対湿度 100%) |    |       |    | 風力発電機<br>No.               | 直達距離<br>(m) | 水平距離<br>(m) |
|      | 春季調査時                             |    | 秋季調査時 |    | 春季調査時                                       |    | 秋季調査時 |    |                            |             |             |
|      | 昼間                                | 夜間 | 昼間    | 夜間 | 昼間                                          | 夜間 | 昼間    | 夜間 |                            |             |             |
| 騒音 1 | 32                                | 35 | 32    | 34 | 32                                          | 35 | 32    | 35 | 9 号機                       | 699         | 676         |
|      |                                   |    |       |    |                                             |    |       |    | 12 号機                      | 1,028       | 1,007       |
|      |                                   |    |       |    |                                             |    |       |    | 11 号機                      | 1,310       | 1,294       |
| 騒音 2 | 29                                | 32 | 29    | 31 | 29                                          | 32 | 29    | 32 | 10 号機                      | 921         | 889         |
|      |                                   |    |       |    |                                             |    |       |    | 11 号機                      | 1,116       | 1,094       |
|      |                                   |    |       |    |                                             |    |       |    | 12 号機                      | 1,372       | 1,354       |
| 騒音 3 | 30                                | 33 | 30    | 33 | 31                                          | 33 | 31    | 33 | 9 号機                       | 925         | 911         |
|      |                                   |    |       |    |                                             |    |       |    | 12 号機                      | 1,248       | 1,234       |
|      |                                   |    |       |    |                                             |    |       |    | 11 号機                      | 1,599       | 1,588       |
| 騒音 4 | 28                                | 31 | 28    | 30 | 29                                          | 31 | 29    | 31 | 7 号機                       | 1,376       | 1,361       |
|      |                                   |    |       |    |                                             |    |       |    | 6 号機                       | 1,664       | 1,653       |
|      |                                   |    |       |    |                                             |    |       |    | 12 号機                      | 1,781       | 1,772       |
| 騒音 5 | 26                                | 29 | 26    | 28 | 27                                          | 29 | 27    | 29 | 6 号機                       | 1,476       | 1,464       |
|      |                                   |    |       |    |                                             |    |       |    | 8 号機                       | 1,706       | 1,696       |
|      |                                   |    |       |    |                                             |    |       |    | 7 号機                       | 1,941       | 1,931       |

表 10.1.1.1-24(1) 施設の稼働に伴う将来の騒音の予測結果（現況値は春季残留騒音）

(単位：デシベル)

| 項目<br>予測地点 | 時間<br>区分 | 騒音レベル    |              |       |                 |     |     | 評価 |
|------------|----------|----------|--------------|-------|-----------------|-----|-----|----|
|            |          | 残留<br>騒音 | 風力発電機<br>寄与値 | 予測値   | 残留騒音<br>+5 デシベル | 下限値 | 指針値 |    |
| 騒音 1       | 昼間       | 36       | 32           | 37(1) | 41              | —   | 41  | ○  |
|            | 夜間       | 31       | 35           | 36(5) | 36              | 40  | 40  | ○  |
| 騒音 2       | 昼間       | 34       | 29           | 35(1) | 39              | 40  | 40  | ○  |
|            | 夜間       | 30       | 32           | 34(4) | 35              | 40  | 40  | ○  |
| 騒音 3       | 昼間       | 34       | 30           | 35(1) | 39              | 40  | 40  | ○  |
|            | 夜間       | 32       | 33           | 36(4) | 37              | 40  | 40  | ○  |
| 騒音 4       | 昼間       | 37       | 28           | 38(1) | 42              | —   | 42  | ○  |
|            | 夜間       | 36       | 31           | 37(1) | 41              | —   | 41  | ○  |
| 騒音 5       | 昼間       | 34       | 26           | 35(1) | 39              | 40  | 40  | ○  |
|            | 夜間       | 35       | 29           | 36(1) | 40              | —   | 40  | ○  |

表 10.1.1.1-24(2) 施設の稼働に伴う将来の騒音の予測結果（現況値は秋季残留騒音）

(単位：デシベル)

| 項目<br>予測地点 | 時間<br>区分 | 騒音レベル    |              |       |                 |     |     | 評価 |
|------------|----------|----------|--------------|-------|-----------------|-----|-----|----|
|            |          | 残留<br>騒音 | 風力発電機<br>寄与値 | 予測値   | 残留騒音<br>+5 デシベル | 下限値 | 指針値 |    |
| 騒音 1       | 昼間       | 44       | 32           | 44(0) | 49              | —   | 49  | ○  |
|            | 夜間       | 35       | 34           | 38(3) | 40              | —   | 40  | ○  |
| 騒音 2       | 昼間       | 39       | 29           | 39(0) | 44              | —   | 44  | ○  |
|            | 夜間       | 32       | 31           | 35(3) | 37              | 40  | 40  | ○  |
| 騒音 3       | 昼間       | 36       | 30           | 37(1) | 41              | —   | 41  | ○  |
|            | 夜間       | 33       | 33           | 36(3) | 38              | 40  | 40  | ○  |
| 騒音 4       | 昼間       | 35       | 28           | 36(1) | 40              | —   | 40  | ○  |
|            | 夜間       | 30       | 30           | 33(3) | 35              | 40  | 40  | ○  |
| 騒音 5       | 昼間       | 34       | 26           | 35(1) | 39              | 40  | 40  | ○  |
|            | 夜間       | 27       | 28           | 31(4) | 32              | 35  | 35  | ○  |

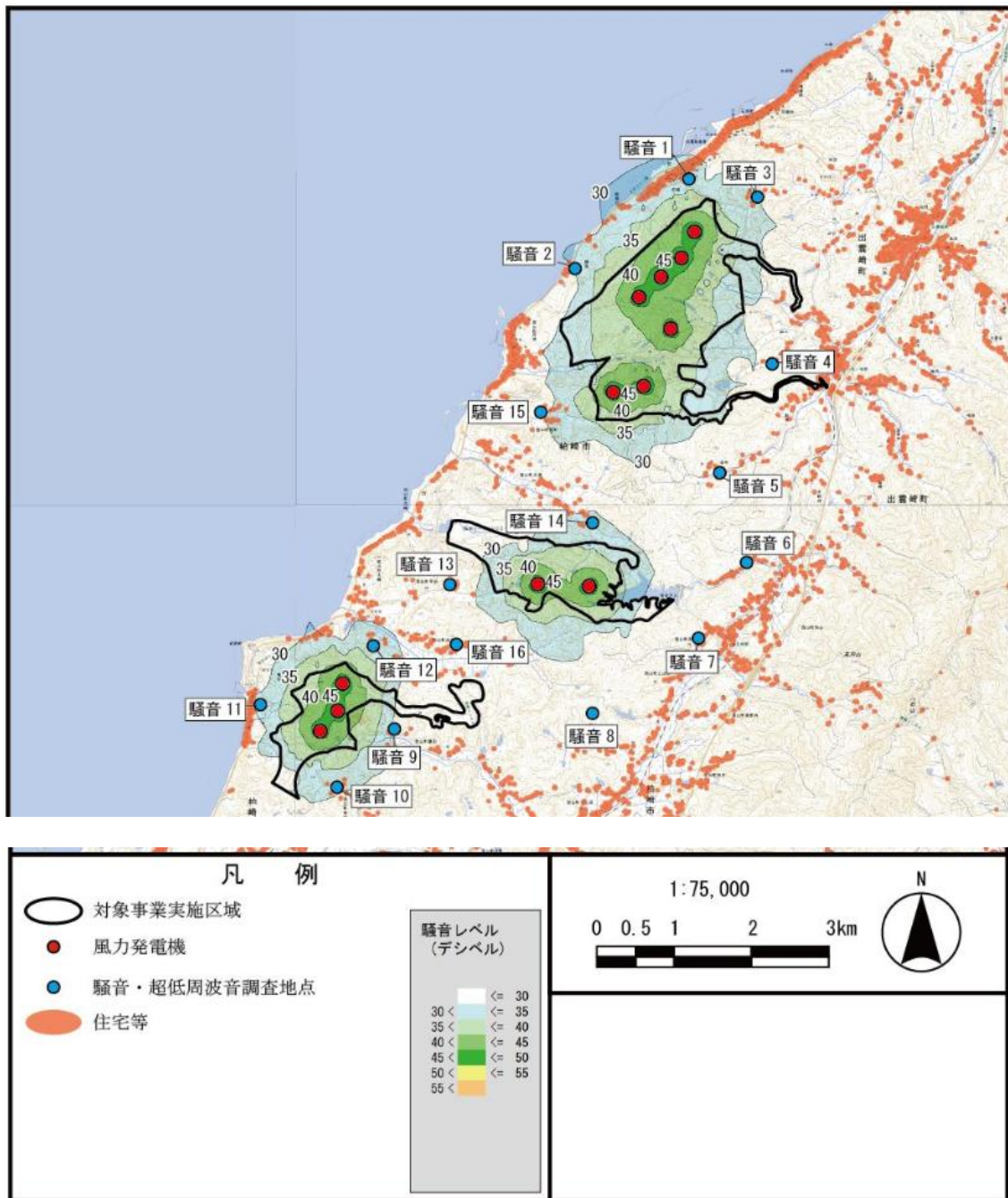


図 10.1.1.1-10(1) 風力発電機から発生する騒音の寄与値（春季昼間：平均的気象条件）

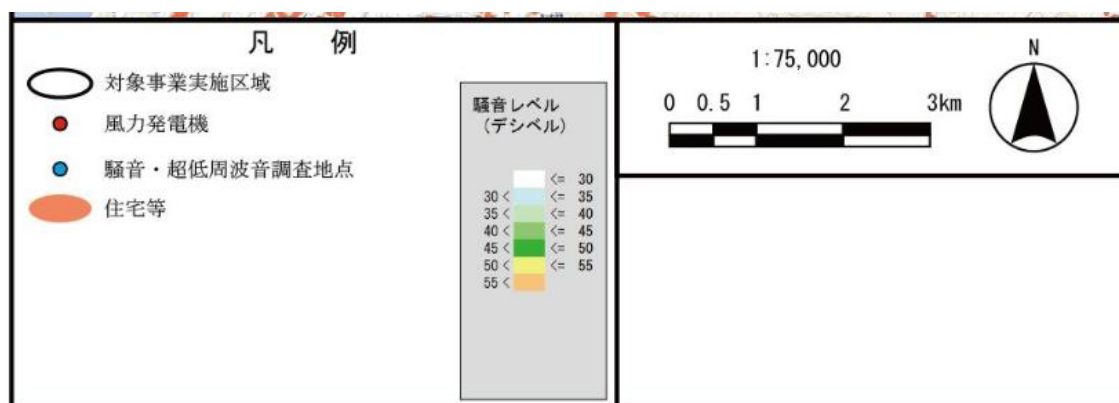
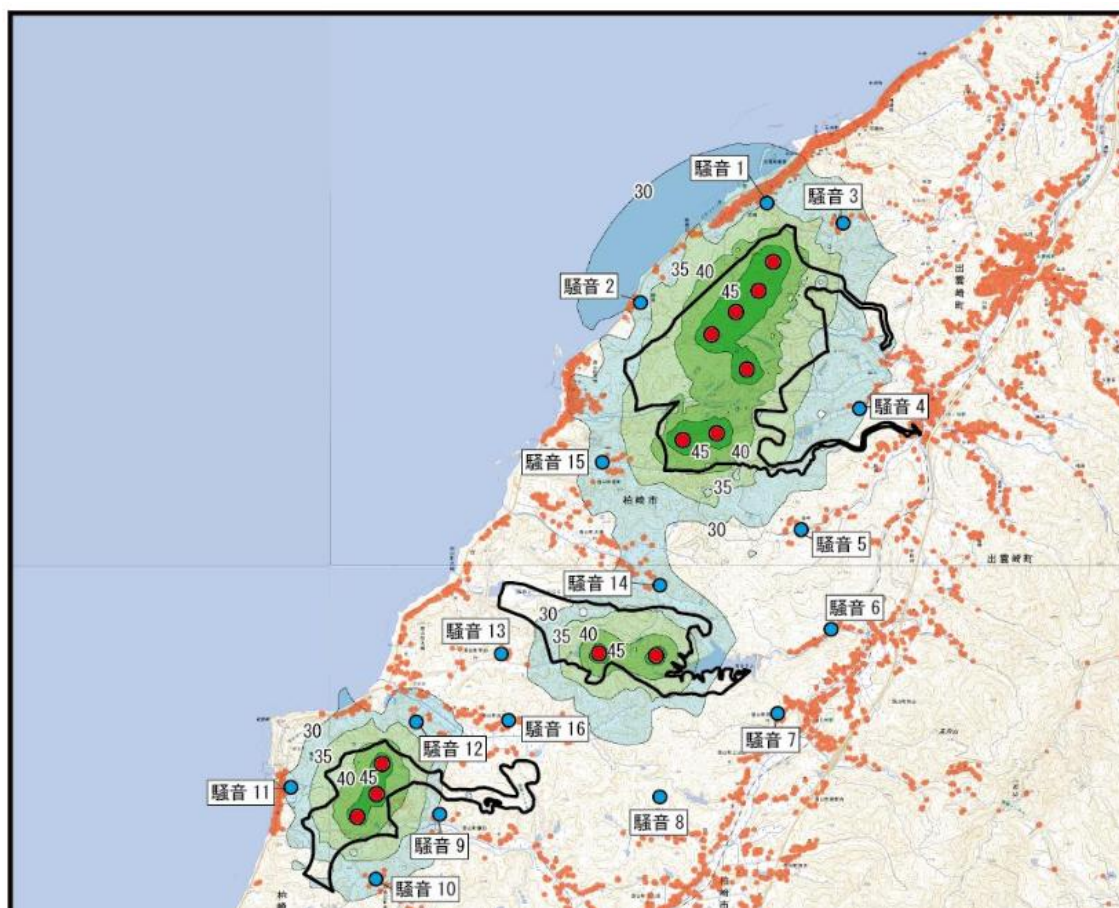


図 10.1.1.1-10(2) 風力発電機から発生する騒音の寄与値（春季夜間：平均的气象条件）

## 2. 超低周波音

### (1) 調査結果の概要

#### ① 超低周波音の状況

##### a. 現地調査

##### (a) 調査地域

調査地域は対象事業実施区域及びその周囲とした。

##### (b) 調査地点

調査地点は図 10.1.1.2-1 のとおり、対象事業実施区域の周囲の 16 地点（騒音 1～騒音 16）とした。

##### (c) 調査期間

調査期間は以下のとおり、春季及び秋季の 2 季に実施した。

春季調査：令和 4 年 4 月 18 日（月）13 時～4 月 22 日（金）13 時

秋季調査：令和 4 年 10 月 31 日（月）13 時～11 月 4 日（金）13 時

##### (d) 調査方法

「低周波音の測定方法に関するマニュアル」（環境庁、平成 12 年）に定められた方法により G 特性音圧レベル及び 1/3 オクターブバンド音圧レベル（中心周波数 1～200Hz）を測定し、調査結果の整理及び解析を行った。

調査結果の整理及び解析については、騒音の場合と同様にハブ高さの有効風速範囲内（3.0～14.0m/s）のすべての 10 分間データから昼間（6～22 時）、夜間（22～6 時）及び全日のエネルギー平均値を算出した。ただし、基準時間帯平均値が有効でない場合（時間帯における有効データが半数以下）は、調査期間平均値の算出に用いないこととした。

表 10.1.1.2-2(1) G 特性音圧レベル ( $L_{Geq}$ ) の調査結果（春季調査）

（単位：デシベル）

| 調査地点 | 時間区分 | 1 日目 | 2 日目 | 3 日目 | 4 日目 | 4 日間平均値 |
|------|------|------|------|------|------|---------|
| 騒音 1 | 昼間   | 53.6 | 53.8 | 55.0 | 53.7 | 54      |
|      | 夜間   | 49.4 | 48.9 | 52.5 | 49.0 | 50      |
|      | 全日   | 52.6 | 52.5 | 54.1 | 52.6 | 53      |
| 騒音 2 | 昼間   | 58.8 | 58.6 | 59.2 | 58.0 | 59      |
|      | 夜間   | 53.1 | 49.8 | 55.4 | 49.7 | 53      |
|      | 全日   | 57.7 | 56.9 | 58.2 | 56.5 | 57      |
| 騒音 3 | 昼間   | 47.9 | 47.2 | 48.6 | 47.3 | 48      |
|      | 夜間   | 40.6 | 45.1 | 43.7 | 45.5 | 44      |
|      | 全日   | 46.3 | 46.6 | 47.4 | 46.8 | 47      |
| 騒音 4 | 昼間   | 50.4 | 50.9 | 52.1 | 50.0 | 51      |
|      | 夜間   | 46.9 | 49.6 | 48.1 | 48.7 | 48      |
|      | 全日   | 49.5 | 50.5 | 51.0 | 49.6 | 50      |
| 騒音 5 | 昼間   | 48.1 | 48.0 | 47.2 | 46.6 | 48      |
|      | 夜間   | 42.4 | 47.3 | 45.5 | 47.3 | 46      |
|      | 全日   | 46.8 | 47.8 | 46.7 | 46.9 | 47      |

## (7) 計算式

すべての風力発電機が同時に稼働するものとし、点音源の距離減衰式にしたがって計算した。なお、空気の吸収等による減衰、障壁等の回折による減衰、地表面の影響による減衰は考慮しないこととした。

$$L = PWL - 8 - 20 \times \log_{10} r$$

[記 号]

$L$  : 音源から距離 $r$ における音圧レベル (デシベル)

$PWL$  : 音源の音響パワーレベル (デシベル)

$r$  : 音源からの距離 (m)

予測地点における G 特性音圧レベルは、それぞれの風力発電機から発生する G 特性音圧レベルを計算し、重合することで求めた。

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

[記 号]

$L_G$  : 予測地点における G 特性音圧レベル (デシベル)

$L_n$  :  $n$  番目の風力発電機による G 特性音圧レベル (デシベル)

## ii. 風力発電機のパワーレベルと周波数特性

風力発電機のパワーレベル及び周波数特性は表 10. 1. 1. 2-6 のとおりである。

なお、メーカーデータは 1/3 オクターブバンド中心周波数 20～200Hz の A 特性補正值で示しているため、A 特性逆補正を行い平坦特性とした。

また、16Hz 以下の周波数については「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」（風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会、平成 28 年）に「一般に風車騒音はオクターブ当り-4dB の傾きのスペクトル特性を持っている」と記載されていることから、20Hz の平坦特性の値から-4dB/オクターブの傾きでパワーレベルを設定した。

表 10. 1. 1. 2-6(1) 風力発電機の仕様とパワーレベル

| 項 目                    | 仕 様        |
|------------------------|------------|
| 基数                     | 12         |
| ハブ（ナセル）高さ              | 110m       |
| カットイン風速                | 3.0m/s     |
| 定格風速                   | 14.0m/s    |
| G 特性パワーレベル（風速 14m/s 時） | 131.3 デシベル |

表 10.1.1.2-6(2) 音源の周波数特性（定格風速時）

（単位：デシベル）

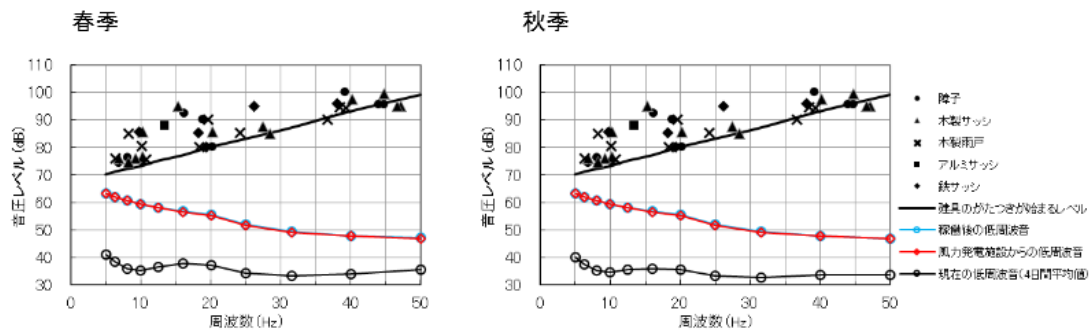
|           | 1/3 オクターブバンドレベル（平坦特性） |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           | 1.0                   | 1.25  | 1.6   | 2.0   | 2.5   | 3.15  | 4.0   | 5.0   | 6.3   | 8.0   | 10.0  | 12.5  |
| 中心周波数(Hz) | 134.3                 | 133.0 | 131.7 | 130.3 | 129.0 | 127.7 | 126.3 | 125.0 | 123.7 | 122.3 | 121.0 | 119.7 |
| パワーレベル    | 16                    | 20    | 25    | 31.5  | 40    | 50    | 63    | 80    | 100   | 125   | 160   | 200   |
| 中心周波数(Hz) | 118.3                 | 117.0 | 113.5 | 110.9 | 109.4 | 108.4 | 108.2 | 108.7 | 109.2 | 109.9 | 110.8 | 110.8 |
| パワーレベル    |                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

注：20Hz 以上の周波数についてはメーカーカタログ値、16Hz 以下の周波数についてはオクターブ当り－4 デシベルの周波数特性とした。

表 10.1.1.2-8(1) 施設の稼働に伴う将来の G 特性音圧レベルの予測結果（春季）

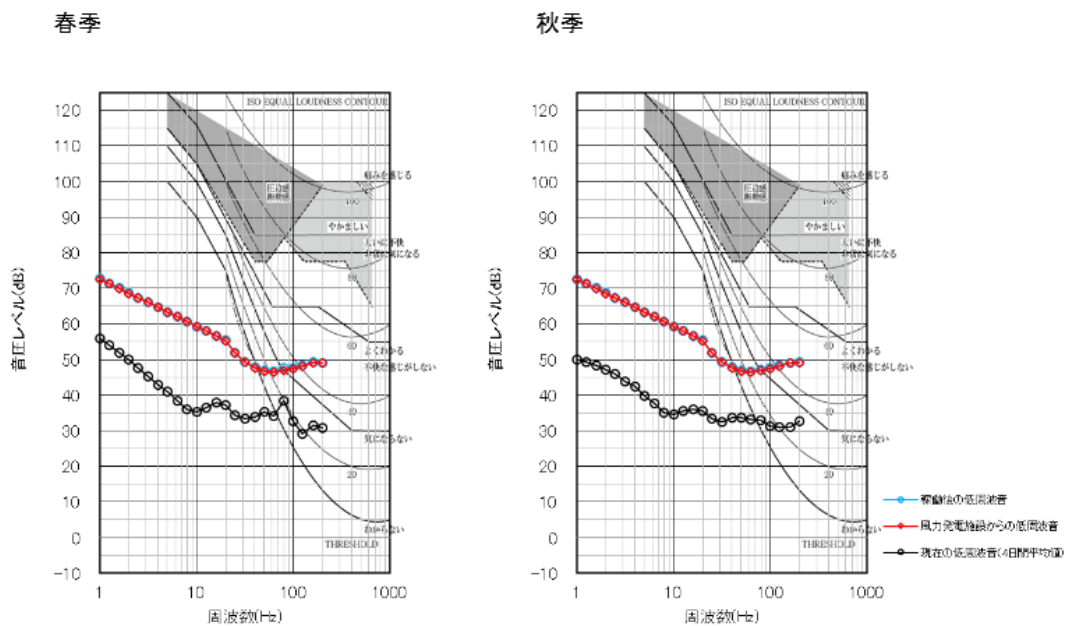
（単位：デシベル）

| 項目<br>予測地点 | 時間<br>区分 | G 特性音圧レベル ( $L_{G_{eq}}$ ) |               |          |            | 超低周波音を感じる<br>最小音圧レベル<br>(ISO 7196:1995) |
|------------|----------|----------------------------|---------------|----------|------------|-----------------------------------------|
|            |          | 現況値<br>a                   | 風力発電施設<br>寄与値 | 予測値<br>b | 増加分<br>b-a |                                         |
| 騒音 1       | 昼間       | 54                         | 70            | 70       | 16         | 100                                     |
|            | 夜間       | 50                         |               | 70       | 20         |                                         |
|            | 全日       | 53                         |               | 70       | 17         |                                         |
| 騒音 2       | 昼間       | 59                         | 69            | 69       | 10         |                                         |
|            | 夜間       | 53                         |               | 69       | 16         |                                         |
|            | 全日       | 57                         |               | 69       | 12         |                                         |
| 騒音 3       | 昼間       | 48                         | 68            | 68       | 20         |                                         |
|            | 夜間       | 44                         |               | 68       | 24         |                                         |
|            | 全日       | 47                         |               | 68       | 21         |                                         |
| 騒音 4       | 昼間       | 51                         | 67            | 67       | 16         |                                         |
|            | 夜間       | 48                         |               | 67       | 19         |                                         |
|            | 全日       | 50                         |               | 67       | 17         |                                         |
| 騒音 5       | 昼間       | 48                         | 66            | 66       | 18         |                                         |
|            | 夜間       | 46                         |               | 66       | 20         |                                         |
|            | 全日       | 47                         |               | 66       | 19         |                                         |



〔「低周波音の測定方法に関するマニュアル」(環境庁、平成 12 年)より作成〕

図 10.1.1.2-6(9) 建具のがたつきが始まるレベルとの比較結果  
(騒音 9 : 全日平均)



〔「超低周波音の生理・心理的影響と評価に関する研究班報告書」  
(昭和 55 年度文部省科学研究費「環境科学」特別研究)より作成〕

図 10.1.1.2-7(9) 圧迫感・振動感を感じる音圧レベルとの比較結果  
(騒音 9 : 全日平均)

## (c) 評価の結果

### 7. 環境影響の回避、低減に係る評価

施設の稼働に伴う超低周波音の影響を低減するための環境保全措置は、以下のとおりである。

- ・風力発電機の設置位置は、住宅等から可能な限り離隔して計画する。
- ・風力発電設備の適切な点検・整備を行い、性能の維持に努め、超低周波音の原因となる異音等の発生を低減する。

「4. 国又は地方公共団体による基準又は目標との整合性の検討」に記載のとおり、環境保全の基準等との整合が概ね図られており、さらに、上記の保全措置を講ずることで、施設の稼働に伴う超低周波音については実行可能な範囲内で影響の低減が図られているものと評価する。

### 4. 国又は地方公共団体による基準又は目標との整合性の検討

超低周波音（20Hz 以下）については、現在、基準が定められていないが、施設の稼働に伴う将来の G 特性音圧レベルは秋季、春季とも 64～70 デシベルで、すべての予測地点において、いずれの季節でも ISO 7196:1995 に示す「超低周波音を感じる最小音圧レベル」である 100 デシベルを下回る。

また、「建具のがたつきが始まるレベル」と比較した場合、風力発電施設から発生する 1/3 オクターブバンド音圧レベルの寄与値は、すべての予測地点において、いずれの季節でも「建具のがたつきが始まるレベル」を下回る。

「圧迫感・振動感を感じる音圧レベル」と比較した場合、風力発電施設から発生する 1/3 オクターブバンド音圧レベルの寄与値は、中心周波数 20Hz 以下の超低周波音領域において、すべての予測地点において、いずれの季節でも「わからない」レベルを下回り、20～80Hz) で「気にならない」レベルを下回り、100～200Hz で「気にならない」レベルと同等か、又は、上回るレベルである。

以上のことから、すべての予測地点で環境保全の基準等との整合が概ね図られているものと評価する。

なお、「風力発電施設から発生する騒音に関する指針」（環境省、平成 29 年）において、風力発電施設から発生する超低周波音については、人間の知覚閾値を下回ること、他の騒音源と比べても低周波音領域の卓越は見られず、健康影響との明らかな関連を示す知見は確認されなかったことが記載されている。