

風車騒音に何しては疑問点がいろいろあります。次のものに関しては、問題点の検討結果を公開してあります。

コントロール + クリック で移動できます。

[低周波音問題に関する Q&A\(環境省\)](#)

[風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル\(環境省\)](#)

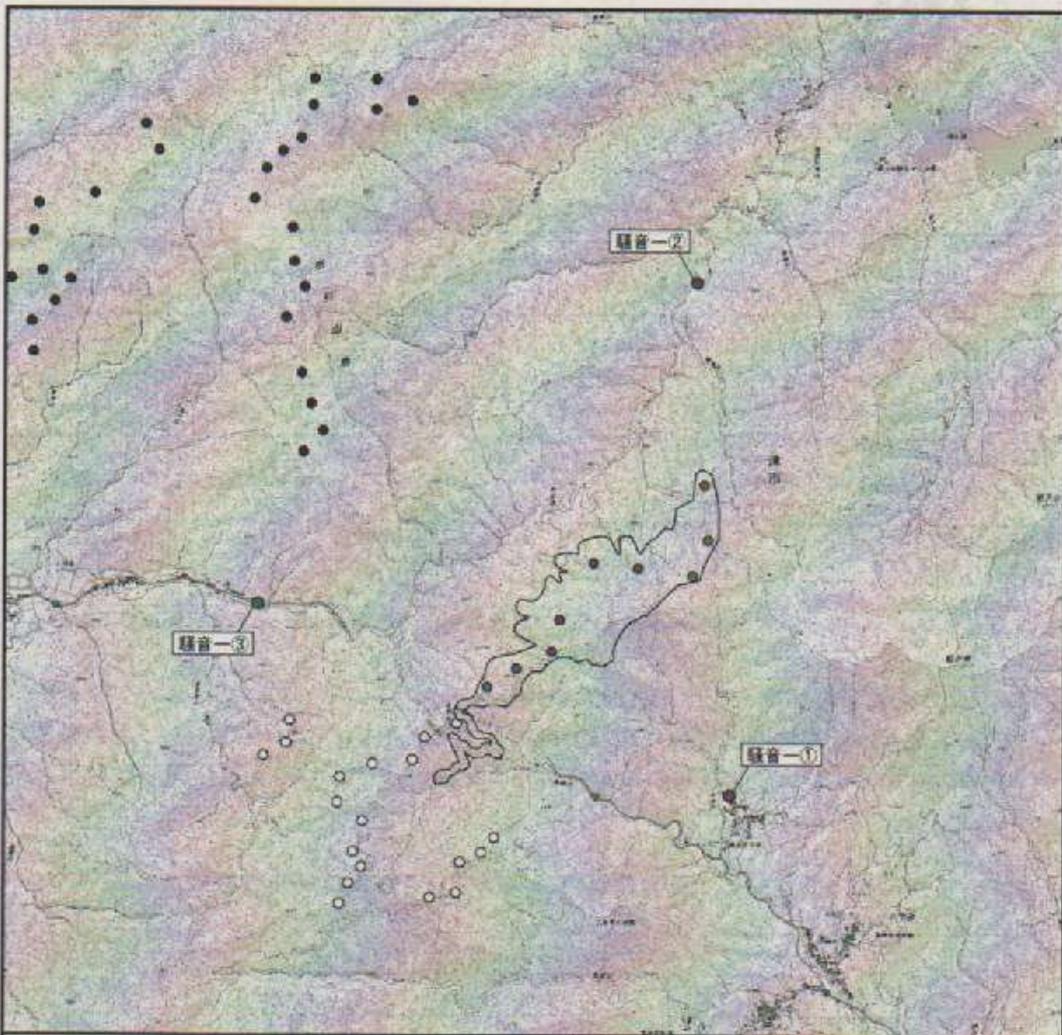
[風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会の報告書\(環境省\)](#)

[電力中央研究所報告](#)

[町田先生の講演会](#)

[井上氏の講演会](#)

GPI 社の計画の他に、CTech 社の既設の風車や、CTech 社の計画中の風車もありました。



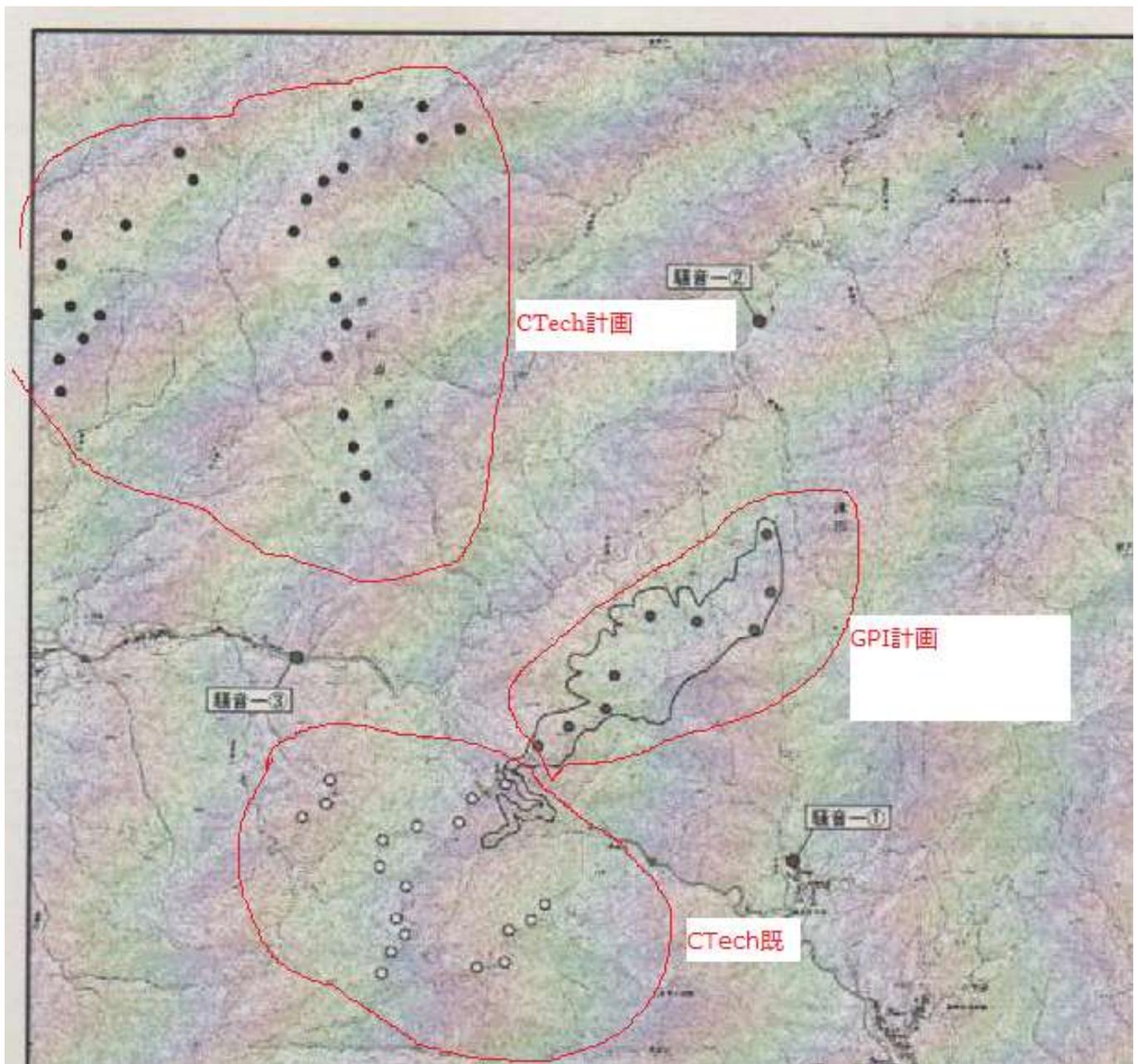
凡 例

- 対象事業実施区域
- 風力発電機の設置位置(本事業)
- 風力発電機の設置位置(既存施設)
- 風力発電機の設置位置(計画中施設)
- 環境騒音・低周波音予測地点

0 1 2 km



図 10.1.3-10 風力発電機の配置図



上の地図での、騒音-③の場所は、3方向に風車群が設置されることとなります。

最初は、GPIの計画している9基の影響だけを計算していましたが、CTech社の既設分や計画分の影響の計算も必要です。

GPI社の風車のデータとCTech社の既設分についての、A特性パワーレベルの表がありましたので、表の中の、本事業がGPIのもの、既設はシーテックの2000kwのもの、計画中施設はシーテックの2300kwの風車のデータです。

4) 予測条件

7. 風力発電機の配置及び種類、基数

風力発電機の配置を図 10.1.3-10 に、種類及び基数を表 10.1.3-14 に示す。
 なお、予測に当たっては、全ての風力発電機が同時に稼働しているものとした。

表 10.1.3-14 風力発電機の種類及び基数

項目	施設規模	風力発電機の仕様		
		ハブ高さ	ローター直径	
本事業	(仮称) 平木阿波ウィンドファーム事業	出力：25,200kW (4,200kW×6基)	112m	117m
	(仮称) 平木阿波第二ウィンドファーム事業	出力：12,600kW (4,200kW×3基)	112m	117m
既存施設	ウインドパーク笠取風力発電所	出力：38,000kW (2,000kW×19基)	65m	83.3m
計画中施設	(仮称) ウインドパーク布引北風力発電事業	出力：64,000kW (2,300kW×28基)	78m	82m

注1: 既存事業については環境影響評価書を、計画中施設については環境影響評価準備書を参考とした。

4. 風力発電機のパワーレベルと周波数特性

本事業及び既存施設、計画中施設の既設風力発電機のパワーレベル及び周波数特性を表 10.1.3-15 に、本事業の風力発電機の風速別パワーレベル及び周波数特性を表 10.1.3-16 に示す。

表 10.1.3-15 風力発電機のパワーレベル及び周波数特性

単位：dB

項目	1/1オクターブバンド中心周波数(Hz)：A特性パワーレベル								A特性 (dB)
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
本事業	86.3	93.5	98.2	100.5	100.4	97.7	92.7	85.1	106.0
既存施設	89.2	91.0	88.5	97.2	102.5	98.3	97.8	87.3	105.9
計画中施設	87.2	94.8	93.9	96.7	98.5	94.2	82.7	75.4	103.1

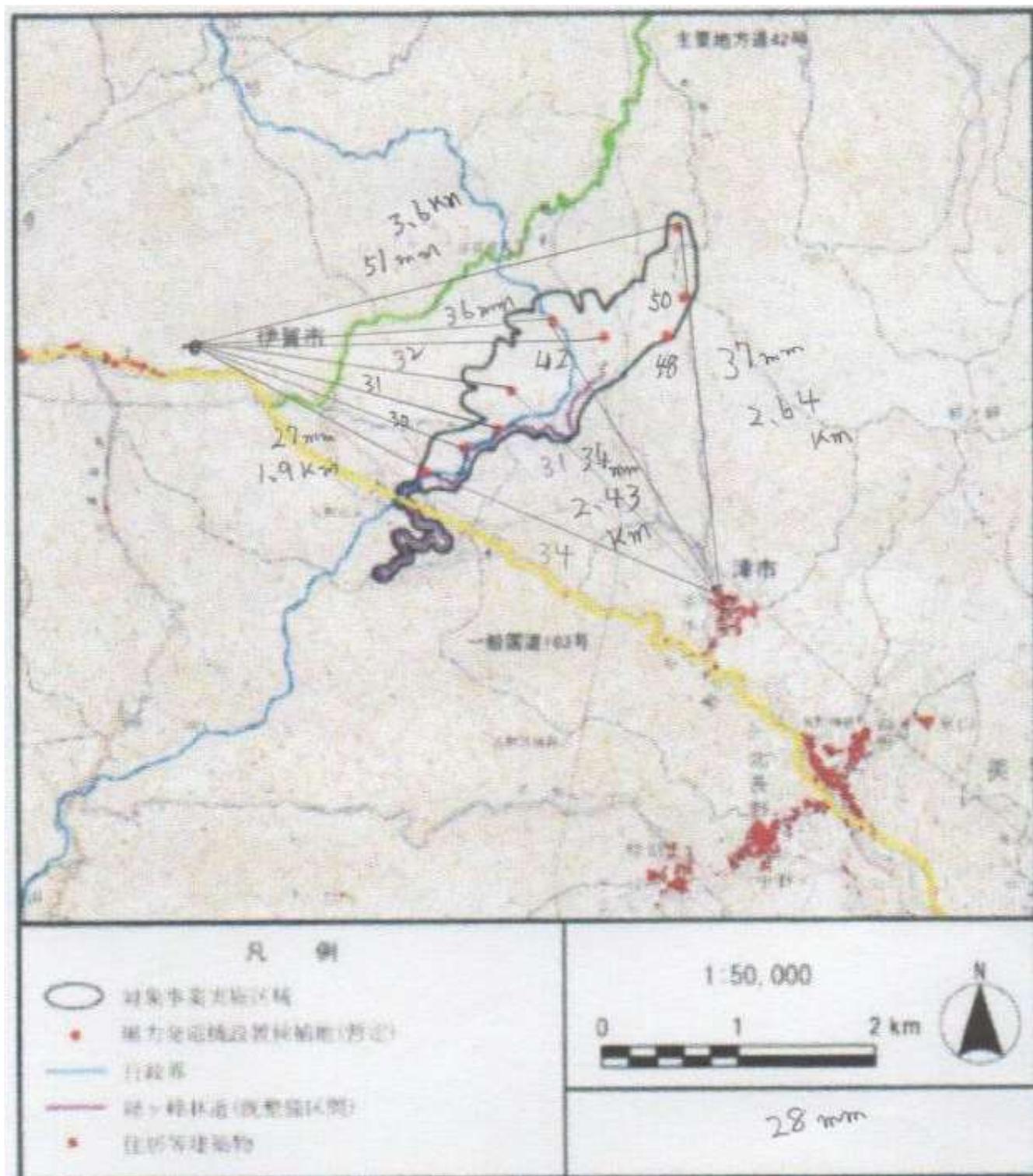
注1: 既存事業及び計画中施設の施設規模及び風力発電機の仕様は、計画中施設の「(仮称) ウインドパーク布引北風力発電事業環境影響評価準備書」(2020年4月 株式会社シーテック)を参考とした。

表 10.1.3-16 本事業の風力発電機の風速別パワーレベル及び周波数特性

単位：dB

ハブ高さ 風速 (m)	1/1オクターブバンド中心周波数(Hz)								A特性
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
3	70.3	78.8	84.3	87.1	86.9	83.8	77.9	69.0	92.2
4	70.8	79.4	85.0	87.7	87.5	84.3	78.2	69.1	92.8
6	75.7	83.9	89.3	91.9	91.6	88.5	82.5	73.7	97.0
8	82.7	90.1	95.1	97.5	97.3	94.5	89.2	81.2	102.8
9	85.3	92.6	97.4	99.7	99.5	96.8	91.7	84.0	105.1
10	86.3	93.5	98.3	100.6	100.4	97.7	92.5	84.8	106.0
12	86.3	93.5	98.2	100.5	100.4	97.7	92.7	85.1	106.0

下の図の右下が、平木地区、左上を上阿波地区として計算していました。



最初の図の騒音③とは、500mほどずれているようですが、場所の修正は後ほど行います。

平木地区と上阿波地区の予測値を確認してみましょう。この表は、GPI 社が準備書の説明会で住民に配布した資料です。

【騒音（累積的影響）】予測及び評価結果

施設の稼働による騒音の影響

▶ いずれの地点においても指針値を下回っております。

※冬季調査結果に基づく、空気吸収による騒音減衰が最小の場合の予測。 【単位：デシベル】

予測地点	現況値	予測結果		環境省指針値	
		本事業	累積		
騒音-① 平木地区	昼間	33	34	35	40
	夜間	35	36	37	40
騒音-② 河内中地区	昼間	40	40	40	45
	夜間	40	40	40	45
騒音-③ 上阿波地区	昼間	38	39	40	43
	夜間	37	38	40	42

注：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間6～22時、夜間22～6時）のとおりです。



Green Power Investment Corporation 2022© All Rights Reserved.

この数値の意味は後ほど確認します。最初は、現況値が 33、本事業の予測が 34、この 2 つの累積が 35 の様に理解したのですが、GPI に確認したら、別の意味だと分かりました。それにしても誤解しやすい表です。

G P I の予定している風車：

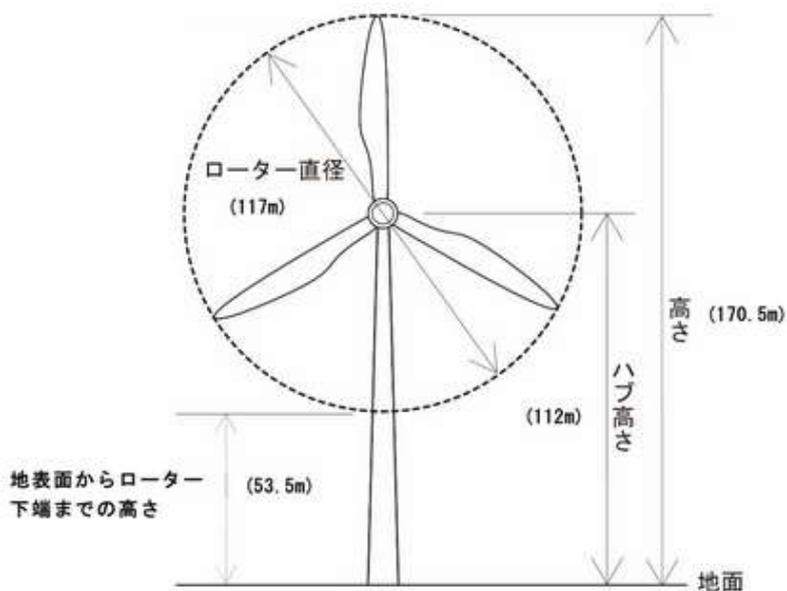


図 2.2-9(1) 風力発電機（外形図）

ハブの高さ（プロペラの中心の位置の地上からの高さ）が、112mです。

風車の立つ山の高さ、550m~650m くらいなので平均して 600mとしました。

ハブ+山=100+600=700

平木地区標高：264m

高低差：700-264=436

<p>三重県津市美里町平木 (この地点の標高: 海拔264m)</p> <p>地図の中心から直線距離: 1.8km</p> <p>🕒 01/19日の入17:14 🕒 01/20日の出06:57</p> <p>🖨️ 地図印刷 📧 地図URL 🏠 付近の宿 📱</p> <p>🚊 電車・徒歩で行く 🚗 車で行く</p>	<p>三重県伊賀市上阿波 (この地点の標高: 海拔301m)</p> <p>地図の中心から直線距離: 67m</p> <p>🕒 01/20日の出06:58 🕒 01/20日の入17:15</p> <p>🖨️ 地図印刷 📧 地図URL 🏠 付近の宿 📱</p> <p>🚊 電車・徒歩で行く 🚗 車で行く</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

上阿波地区は、

上阿波地区標高：301m

高低差：700-301=399

です。

三重県津市芸濃町河内
(この地点の標高: 海拔170m)

地図の中心から直線距離: 3m

🕒 02/04日の入17:29 🕒 02/05日の出06:48

🖨️ 地図印刷 📧 地図URL 🏠 付近の宿 📱 キヨリ別

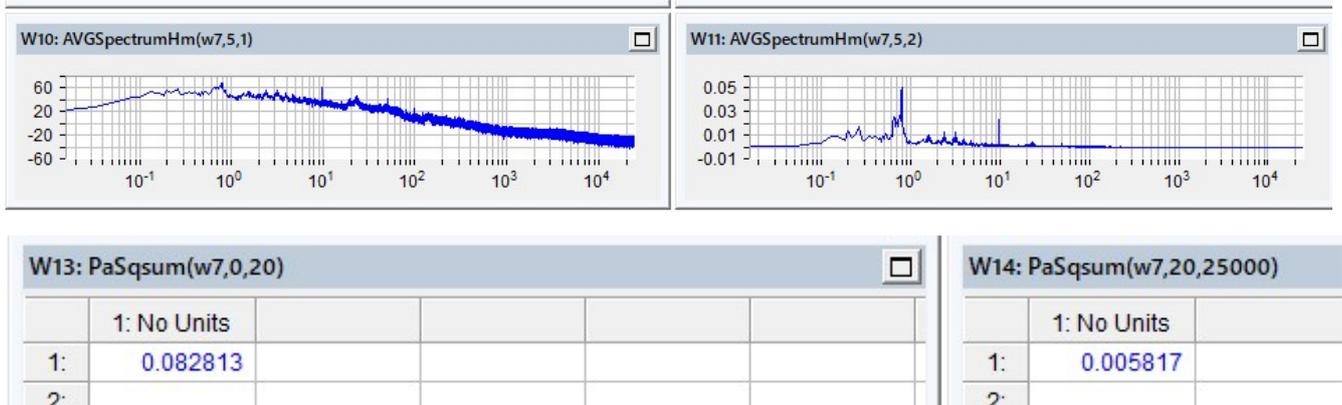
🚊 電車・徒歩で行く 🚗 車で行く

★ 保存する

河内中地区は、海拔 170m、高低差：700-170=530m

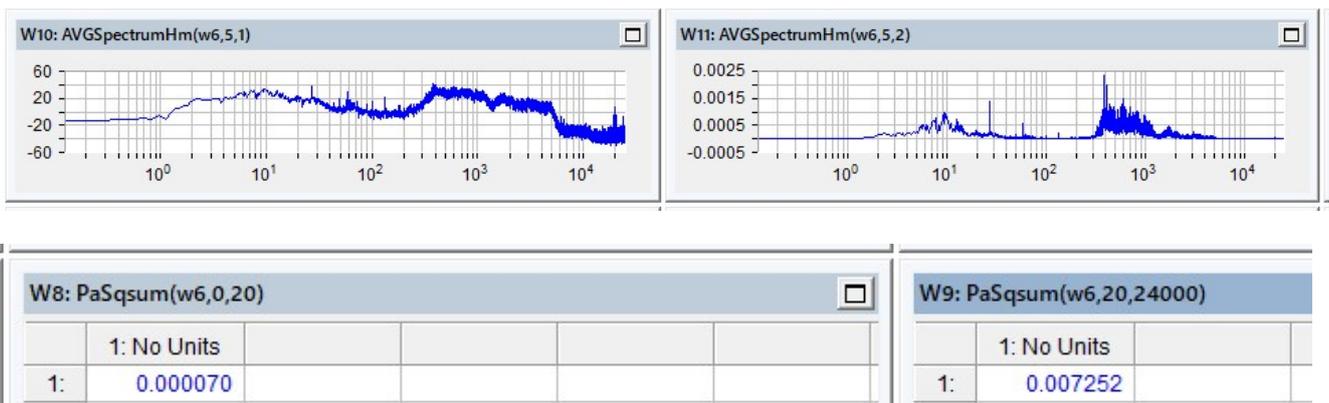
平均的な計算の他に、風車から出る音の特徴にも注意が必要です。

風車の騒音(20Hz以下の成分が強く、100Hz以上の成分は弱い。)千葉県館山市にある風車の騒音です。



下の2つの数値は、20Hz以下では、0.082813、20Hz以上では、0.005817 ですから、超低周波部分のエネルギーは、20Hz以上の成分のエネルギーの14.2倍です。(エネルギーの比率は、20Hz以下は93.4%、20Hz以上は6.6%)

自動車の騒音

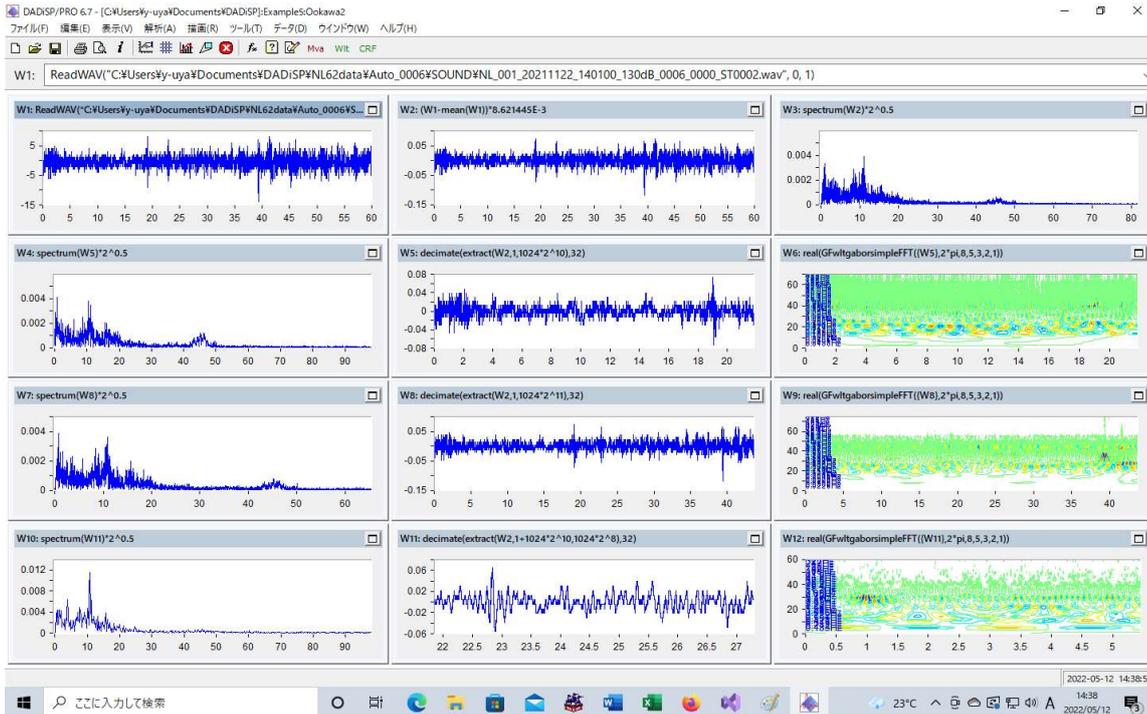


このデータは、リオン社前の道路騒音を計測したものです。上の左のグラフはデシベル値での表示です。

上の右側は、パスカル値での表示です。下の2つの数値は、エネルギーの比率を計算するための数値です。

20Hz以下では、0.000070、20Hz以上では、0.007252 ですから、超低周波部分のエネルギーは、20Hz以上の成分のエネルギーの1/100以下です。(エネルギーの比率は、20Hz以下0.956%、20Hz以上99.04%)

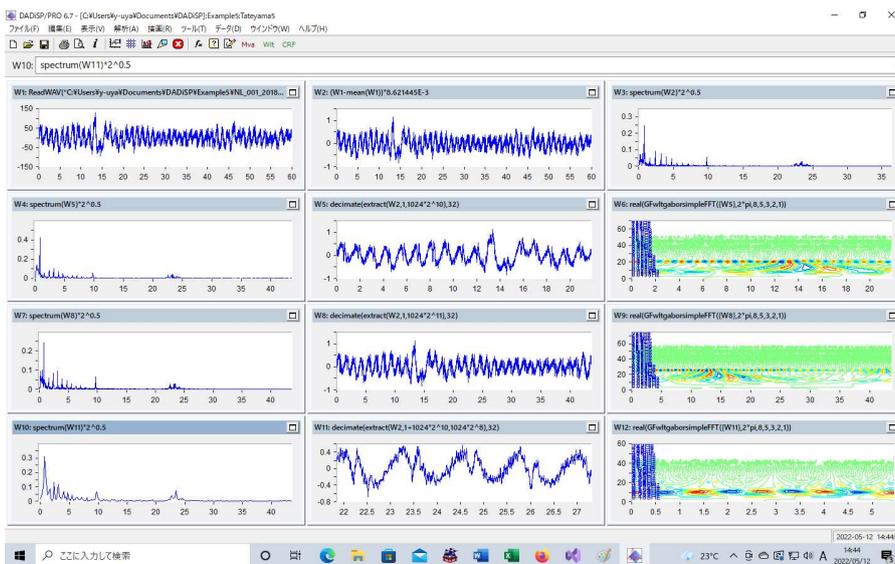
周波数の安定性と Wavelet 解析



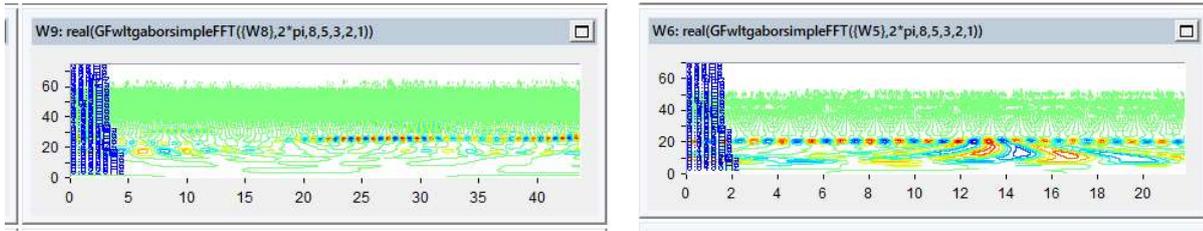
その風車によって、どの周波数成分が特に強くなるのかが決まっています。これは、風車の指紋のようなものです。

低周波騒音問題が発生した場合は、原因を特定するために、周波数スペクトルが利用できます。1/3 オクターブバンドを使って計測したのでは、周波数帯ごとのグループに纏めて扱うので、詳細な周波数の分析が出来ません。従って原因を特定できなくなります。

次の 1 分間の計測結果は次のグラフです。



この2分間の結果を並べて表示すれば、下のようになり、



0.8Hz の成分が、0.3 パスカル程度の強さで放出される状態が 100 秒程度継続することが分かります。気柱共鳴などを発生させるには十分な継続時間です。色が比較的濃い部分は 0.8Hz の音を表します。

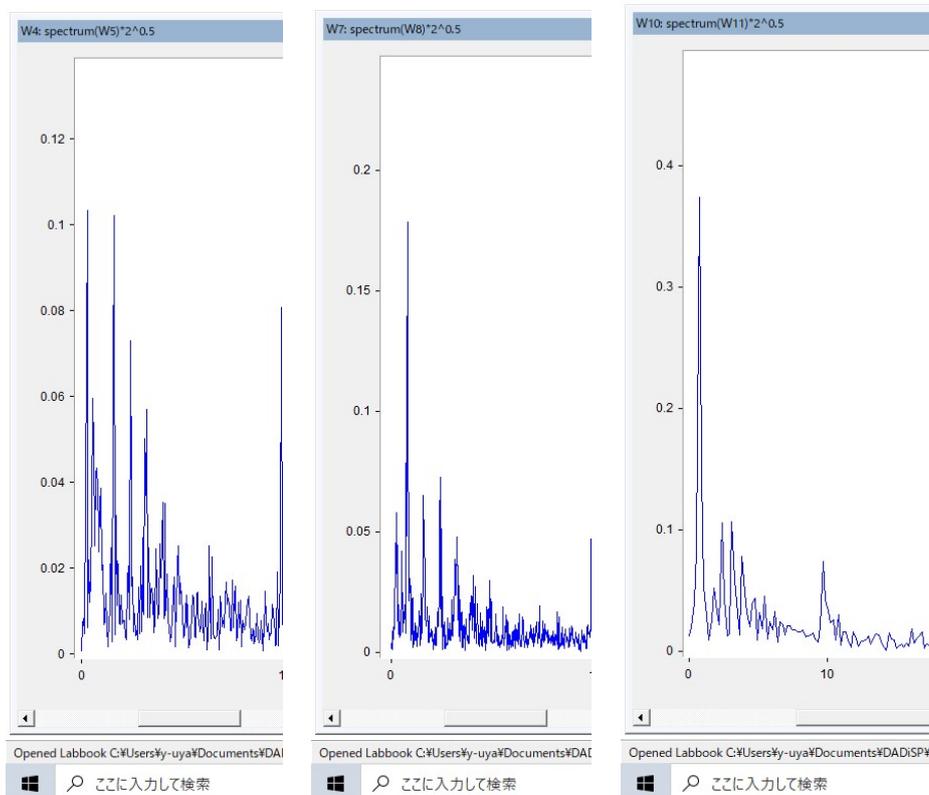
この線が上に上がれば周波数が高くなり、下に下がれば周波数が低くなったことを表します。色が濃は音が大きいことを意味します。薄い色は音が小さいことを意味します。風速や風向が激しく変化しているのに、0.8Hz という周波数は安定しているのです。

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

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

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

風速も風向も不安定なのです。

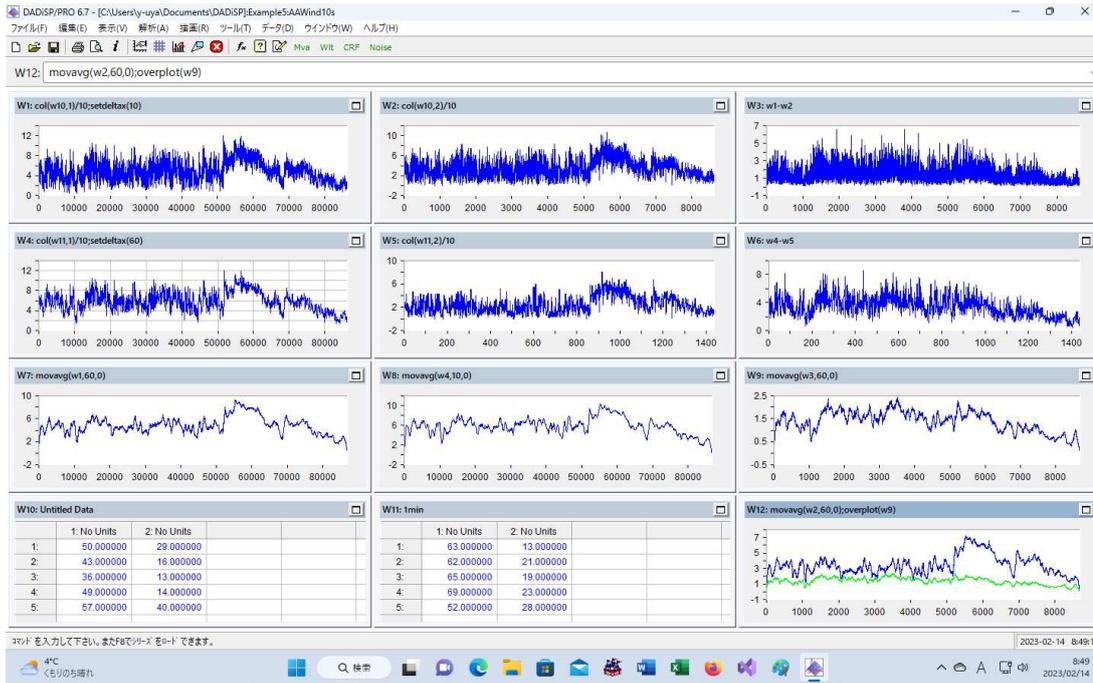


0.104Pa

0.175Pa

0.37Pa

風の性質:



(上のグラフは、2019年1月1日の24時間分の記録です。)

W1(上段左)は、前10秒間最大瞬間風速の値(10秒ごと)

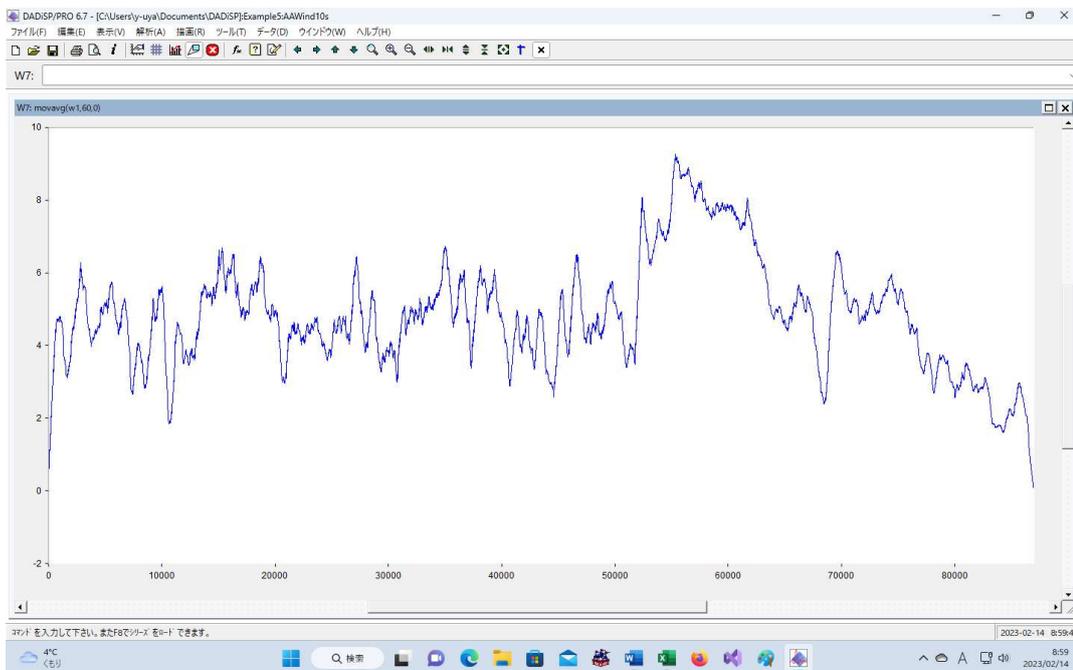
w2(上段中央)は、前10秒間最小瞬間風速の値(10秒ごと)

w4(2段目左)は、最大瞬間風速(3秒間移動平均)の値(1分ごと)

w5(2段目中央)は、最小瞬間風速(3秒間移動平均)の値(1分ごと)

です。

w1の移動平均をとると、



となります。

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

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

上の表を見れば、1時間に、1回くらい風車に強い風が当たる。ことになります。

これは、波動方程式に関する強制振動の問題を考えると、外力が1時間に1回くらいの割合で特別に大きくなることを意味しています。強風と弱風の違いで、タワーの断面の変形が起きて、円→楕円→円→楕円、と変化する場合は、変分法を考えると、円の場合が最大の面積なので、楕円の場合は面積が減る。これは断面積の変化となり、これによってタワーの容積の変動が起きるので、タワー内の気圧が強制的に変動する。この気圧変動はタワー内の気柱の満たす波動方程式に対する外力の変化として作用する。

これは、1時間に1回くらい目覚まし時計が鳴るような効果を持つ。

普通の人、一度目が覚めると、音が弱くなったといっても、すぐには寝付けません。

そんな中で、周波数は安定しているのですが、音圧は変化します。0.8Hz の成分の周波数は変化しませんが、音圧はかなり変化します。弱いときは、0.104 パスカル、1 分間の平均では、0.175 パスカル、強いときは、0.37 パスカルになるのです。

音圧が、平均的な音圧の 2 倍となり、100 秒程度継続することも起きます。

リオン社の NL-62 のマニュアルには、

$$L_{Aeq} = 20 \log_{10} \left\{ \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_A^2(i) \right)^{\frac{1}{2}} / P_0 \right\}$$

と言う式が書いてあります。

これは、物理的な回路網で A 特性を近似して $P_A(i)$ ($i=1, \dots, N$) が得られることを意味しています。

ISO7196 の記述“備考:G 特性は、誘導子/抵抗器/コンデンサからなる簡単な回路網によって物理的に近似することができる。”に従って、直接的に計測時間ごとの A 特性音圧レベルを求め、その結果を使って全体の A 特性音圧レベルを上での式で求めていることとなります。

リオン社に確認したところ、サンプリング周波数 48kHz の場合は、 $P_A(i)$ の値が、1 秒間に 48000 個得られるとの事でしたが、どのようにして、 $P_A(i)$ を決定しているかは公開していないとの事でした。

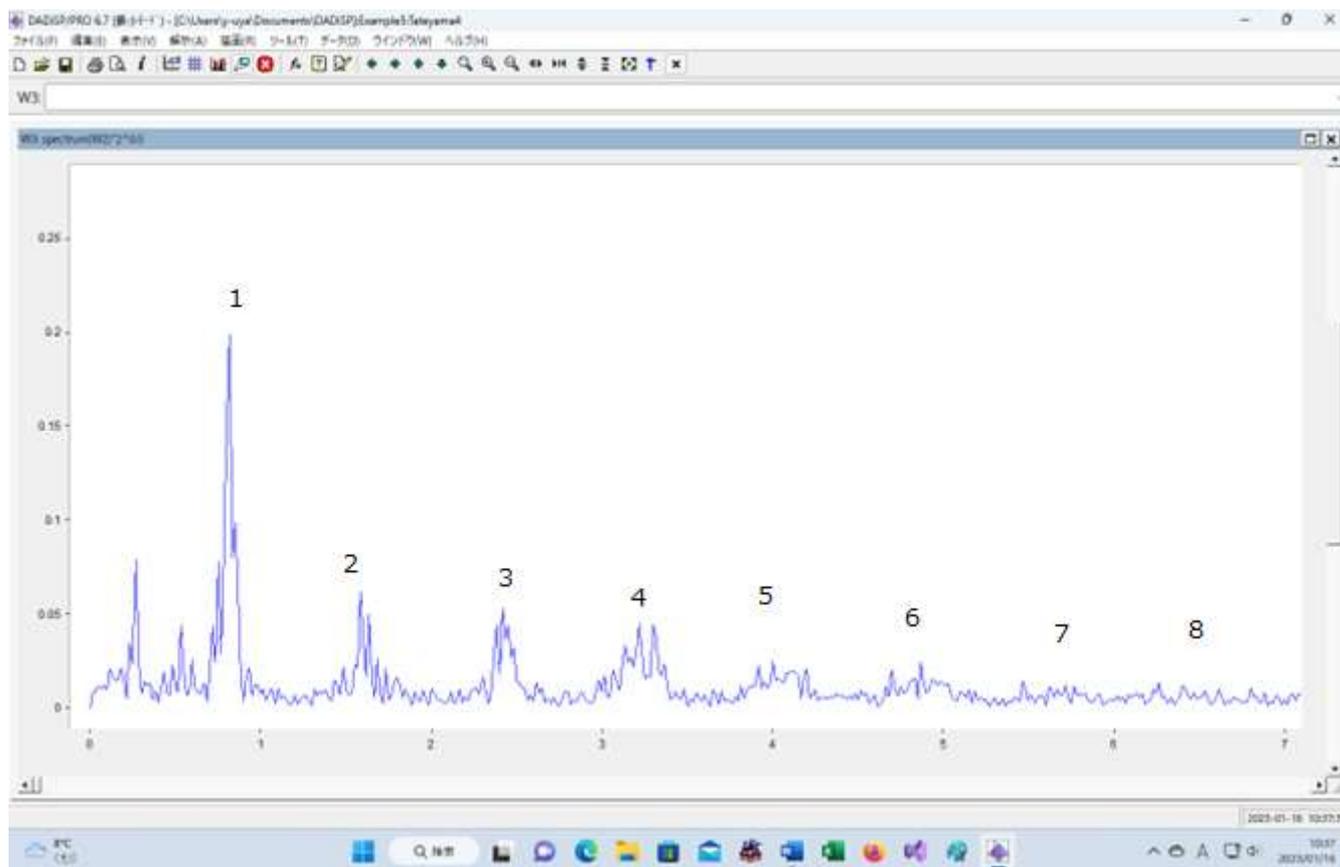
マニュアルから推測すると、0.25 秒間に計測される音圧データか、1 秒間に計測された音圧データをもとにして、 $P_A(i)$ を計算していると思われます。サンプリング周波数 48kHz の場合は、0.25 秒間の場合では、12000 個のデータから計算するので最低の周波数は 4Hz となり、1 秒間の場合には 48000 個のデータから計算するので最低周波数は 1Hz となります。

平均して、0.175 パスカルの音圧で、A 特性音圧レベル (20Hz~) が評価されていて、指針値での限界にかなり近い場合において、時々、例えば 1 時間に 1 回くらい、平均値の 2 倍程度の音圧になる状態が 2 分間程度継続するのです。

これは、1 時間ごとに目覚まし時計が鳴るような状態に置かれると言う事です。

いくら目覚まし時計が鳴っても、起きない人もいますが、普通の人は目が覚めます。

周波数の細かな特徴は、

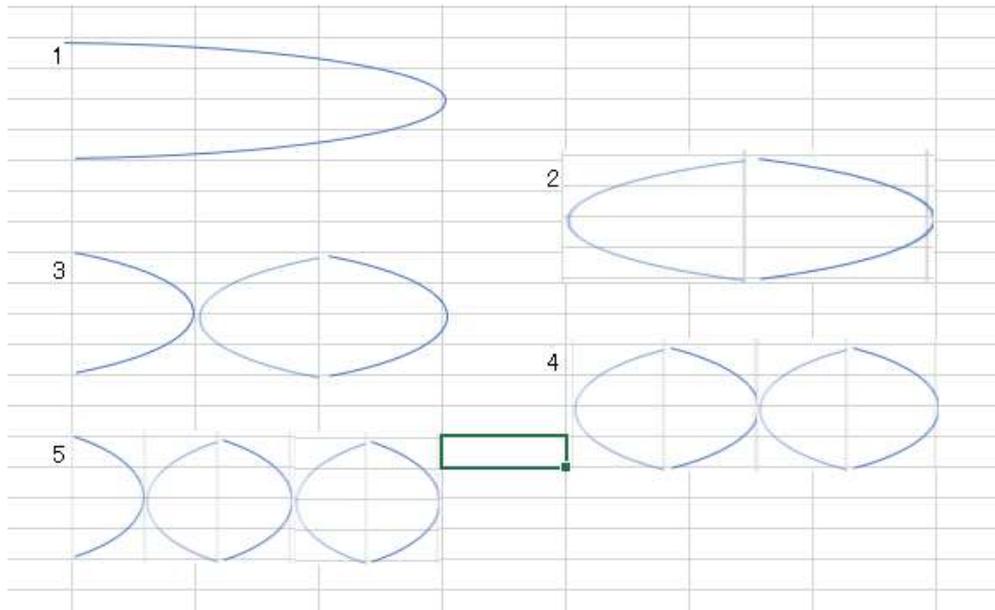


音圧がピーク値となるときに、次のような規則性があることです。

周波数	倍率1	倍率2	音圧			
0.266667	1		0.05604			
0.533333	1.999996		0.03093802			
0.816667	3.062497	1	0.01405225	0.816667	1	0.816667
1.583333	5.937491	1.938774	0.0435531	1.633334	2	1.633334
2.416667	9.06249	2.959183	0.02416667	2.450001	3	
3.216667	12.06249	3.938774	0.03173804			3.266668
4.000000	14.99998	4.897957	0.01772484	4.083335	5	
4.866667	18.24998	5.959182	0.01728335			4.900002
5.466667	20.49998	6.693875	0.01009538	5.716669	7	
6.266667	23.49997	7.673467	0.00978232			6.533336
9.783333	36.68745	11.97959	0.03974005			

となっていて、規則性が高くなっています。

振動数は、



0.817Hzの2倍、3倍、、、は

1→0.817Hz、 2→1.634Hz、 3→2.451Hz、 4→3.268Hz、 5→4.085Hz、 6→4.902Hz、 7→5.719Hz、 8→6.356Hz
となります。

実際のピーク値は、

1→0.817Hz、 2→1.583Hz、 3→2.417Hz、 4→3.217Hz、 5→4.000Hz、 6→4.867Hz、 7→5.467Hz、 8→6.267Hz
超低周波音(0Hz～20Hz)の透過率が高いことと、一部はナセルの部分で反射すると思えば良い。

この音を観測した風車は、

「房総かぜの丘」にある、出力 1500KW、タワー高さ 65m、ブレード直径 70.5m、ナセル重量 52トン

音が風車の塔の底で反射すると思えると、塔の直径3mとして開口端補正 $0.6 \times 1.5 = 0.9m$ を入れて計算してみると、
 $\lambda / 4 = 66m$ とすると、 $\lambda = 264m$ 、 $340 / 264 = 1.29Hz$ となる。

逆に、補正した開口端から仮の動かない低までの距離を xm とすると、
 $\lambda / 4 = xm$ とすると、 $\lambda = 4xm$ 、 $340 / 4x = 0.816667Hz$ 、 $x = 104.1m$

$104.1 - 66 = 38.1m$ となって、塔の長さが足りません。

この問題は、塔の底が動かないと考えるから困るのであって、塔の底が、0.01mm程度の振幅で振動すると思えば解決できます。そして、この考え方が正しいか否かは、塔の底に精密騒音計と振動レベル計を設置して計測すれば判断できます。

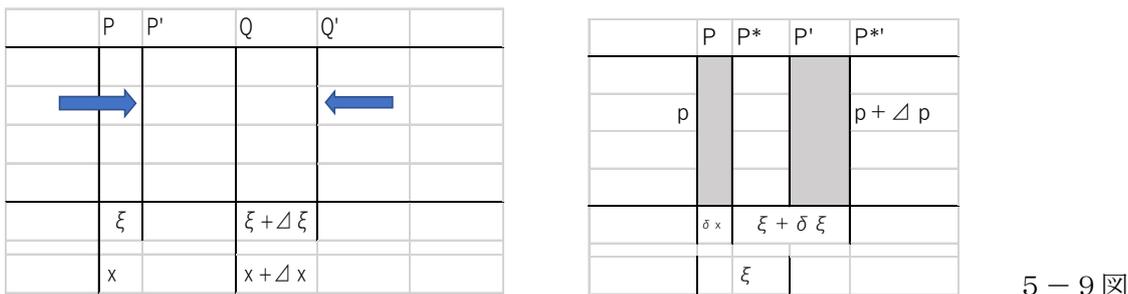
少し準備をしてから、塔の底の振動と塔にかかる力の変化について考えます。

管の中の気体の振動（振動・波動 有山）

細長い管の中の気体は1種の棒と考えても良い。これを気柱と呼ぶこともある。管の口を吹いたり、音叉などの振動している物体を近づけたりすると、管の中の気体に振動が起こる。ただし、気体にはずれの弾性がないから、横振動やねじれ振動はおこらず、縦振動だけが起こる。また、期待は圧縮率が極めて大きいので、振動に伴って各部分の密度も顕著に変化する。したがって気体の振動は固体の振動のように物質の周期的変位として受け取っても良いが、むしろ密度または圧力の振動として理解したほうが都合の良い場合もある。

気体の振動は厳密には流体力学の方程式から出発して議論しなくてはならないが、荒い近似としては § 5.2 で述べた棒の縦振動と同様に取り扱うことができる。簡単のために太さ一様なまっすぐな管を考えよう。その中に、密度 ρ 圧力 p の気体が満たされているとする。

管の軸に沿って x 軸をとり、5-9 図 (a) のように x 、 $x + \Delta x$ の位置に x 軸と垂直な断面、 P 、 Q を考える。振動が起こって P 面は ξ だけ変位して P' へ、 Q 面は $\xi + \Delta \xi$ だけ変位して Q' へ移動した状態で、 P' 面と Q' 面に挟まれた部分の運動方程式を作ると、



5 - 9 図

管の断面積を A 、 P' 面での圧力を P_1 、 Q' 面での圧力を P_2 とすれば、

$$\rho A (\Delta x) \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = (p_1 - p_2) A \quad (1)$$

と書ける。ただし、気体の粘性や渦が発生することなどはすべて無視している。

P_1 、 P_2 は、§ 5.2 で応力を求めたのと同様の考え方で求めることができる。すなわち、 P 面から δx だけ離れた P^* 面を考え、 P 面と P^* 面に挟まれた部分に着目する。5-9 図 (b)。 δx は極めて小さく取っておく。 P 面が ξ だけ変位した時 P^* 面は $\xi + \delta \xi$ だけ変位したとすると、 PP^* の部分の体積

$$\delta v = A \{ (\delta x + \delta \xi) - \delta x \} = A \delta \xi$$

だけ変化する。気体の体積弾性率を K とすると、この体積の変化の結果、 PP^* の部分の圧力は

$$\Delta p = -K \frac{\delta v}{v} = -K \frac{\delta \xi}{\delta x}$$

だけ変化する。 δx を限りなく小さくした極限では

$$\Delta p = -K \frac{\partial \xi}{\partial x}$$

これは、気体内の任意の点での変位と圧力の化との関係を与える式である。従って

$$p_1 = p - K\left(\frac{\partial \xi}{\partial x}\right)_x$$

$$p_2 = p - K\left(\frac{\partial \xi}{\partial x}\right)_{x + \Delta x}$$

ところで、 $(\partial \xi / \partial x)_x$ と書いたのは、位置 x における $(\partial \xi / \partial x)$ の値と言う意味である。これから、

$$\begin{aligned} p_1 - p_2 &= K\left\{\left(\frac{\partial \xi}{\partial x}\right)_{x + \Delta x} - \left(\frac{\partial \xi}{\partial x}\right)_x\right\} \\ &= K\left\{\left(\frac{\partial \xi}{\partial x}\right)_x + \left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}\right)_x (\Delta x) - \left(\frac{\partial \xi}{\partial x}\right)_x\right\} \\ &= K\left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}\right)_x (\Delta x) \end{aligned}$$

これを、(1) の右辺に代入し、添え字の x は一般的な場所と解釈できるので、それを省いて

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \frac{K}{\rho} \left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}\right) \quad (3)$$

を得る。摂動に伴う各部分の膨張、圧縮は速やかに行われるので、断熱変化が起きると考えてよい。そうすると、

$$K = \gamma p, \quad \gamma = c_p / c_v$$

と書けるので、(3) は

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \gamma \frac{p}{\rho} \left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}\right) = v^2 \left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}\right)$$

となる。

これは、2 回偏微分方程式であり、次の式

$$f_1(x - vt) + f_2(x + vt)$$

はこの解であり、また、解は必ずこの形にかけることも分かる。(振動・波動 有山、104 ページ)

$$f_1(x - v(t + 1)) = f_1((x - v) - vt)$$

と書けるので、時刻 $(t + 1)$ 時の位置 x での波の形は、時刻 t の時の位置 $(x - v)$ での波の形と一致することが分かる。

これは、波の形が 1 秒間に v の速さで x 軸の正の方向に (右側に) 移動することを意味する。

$$f_2(x + v(t + 1)) = f_2((x + v) + vt)$$

と書けるので、時刻 $(t + 1)$ 時の位置 x での波の形は、時刻 t の時の位置 $(x + v)$ での波の形と一致することが分かる。

これは、波の形が 1 秒間に v の速さで x 軸の負の方向に (左側に) 移動することを意味する。

解を具体的に求めるには、変数が分離できて、

$$\xi(t, x) = X(x)T(t)$$

と仮定して代入すれば、

$$X(x) \frac{d^2 T(t)}{dt^2} = v^2 T(t) \left(\frac{d^2 X(x)}{dx^2}\right)$$

両辺を $v^2 A(x)B(t)$ で割れば

$$\frac{1}{v^2 T(t)} \frac{d^2 T(t)}{dt^2} = \frac{1}{X(x)} \left(\frac{d^2 X(x)}{dx^2} \right)$$

となって、左辺は t の関数、右辺は x の関数。これらが等しくなるのは両辺が定数の場合だけなので、この共通の値を α とおけば、

$$\begin{aligned} \frac{d^2 T(t)}{dt^2} &= \alpha v^2 T(t) \\ \left(\frac{d^2 X(x)}{dx^2} \right) &= \alpha X(x) \end{aligned}$$

となって、線形の 2 階微分方程式を得る。

波動の速度については、次のようにも考えられる。

$$(2.10) \quad \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = T \frac{\partial^2 u(x)}{\partial x^2}$$

ここで、波は一定の速度 v で進むと仮定する。

時刻 $t=0$ で $u(x)$ だった波動は、変形せずに進むので、時刻 $t=t$ には $u(x-vt)$ になる。

$$(2.11) \quad \frac{\partial^2 u(x-vt)}{\partial t^2} = v^2 u''(x-vt)$$

$$(2.12) \quad \frac{\partial^2 u(x-vt)}{\partial x^2} = u''(x-vt)$$

従って

$$(2.13) \quad \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2}$$

この式から $\sqrt{T/\rho}$ が波動の速度を表すことが解る。この式を古典的な一次元の波動方程式といい、 $u(x,t)$ を古典的波動関数という。

波動に周期性がある場合を考える。波長 λ , 波数 k , 周期 T , 角周波数 ω , 振動数 ν であるとすれば、

$$(2.14) \quad u(x,t) = u(kx - \omega t)$$

$$(2.15) \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$(2.16) \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$$

古典的波動方程式は次のようにかける

$$(2.17) \quad \frac{\partial^2}{\partial t^2} u(x,t) = v^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} u(x,t)$$

$$(2.18) \quad v = \frac{\omega}{k}$$

2.3 時間部分

$$(2.24) \quad \frac{d^2 T(t)}{dt^2} = \alpha v^2 T(t)$$

$\alpha = 0$ の時には $T(t) = 0$ となるので意味がない。

$\alpha > 0$ ならば $\alpha v^2 = \beta^2$ と置いて

$$(2.25) \quad T(t) = a_1 e^{\beta t} + a_2 e^{-\beta t}$$

これは、振動的な波動ではなく、単調な増加または減衰を表す。 $t = -\infty$ または $t = \infty$ で発散し、通常の波動を表すには適当でない。

$\alpha < 0$ ならば $\alpha v^2 = -\omega^2$ と置いて

$$(2.26) \quad T(t) = b_1 \sin \omega t + b_2 \cos \omega t \\ = P_i \sin(\omega t + \varphi_{0i})$$

となり、角周波数 ω の周期的な波動を表す。定常波に対してはこのようになっていなければならない。

すると、古典的な波動関数は次のようにも書けることになる。

$$(2.27) \quad \frac{\partial^2 u(x)}{\partial x^2} = -\frac{\omega^2}{v^2} u(x) = -k^2 u(x)$$

2.4 定常波

時間的に変化しない波動を定常波という。ここでは両端が固定されている振動(たとえば弦楽器の弦)を考える。

境界条件は両端 $x = 0$ と $x = L$ で振動なし、つまり $u(0, t) = u(L, t) = 0$ である。

変数分離型で書くと $X(0)T(t) = X(L)T(t) = 0$ だから、 $X(x)$ のみに関して $X(0) = X(L) = 0$ である。

ところで、

$$(2.28) \quad \alpha = -\frac{\omega^2}{v^2} = -k^2$$

だから

$$(2.29) \quad \frac{d^2 X(x)}{dx^2} + k^2 X(x) = 0$$

この微分方程式の一般解は

$$(2.30) \quad X(x) = c_1 \sin kx + c_2 \cos kx \\ = P_r \sin(k_1 x + \varphi_{0r})$$

境界条件から直ちに $c_2 = 0$ である。 c_1 に関しては、境界条件のみからでは決まらないが、

少なくとも $c_1 \neq 0$ でなければならない。なぜなら、 $c_1 = 0$ は振動のない状態のみを表すからである。従って、境界条件を満たすためには

$$(2.31) \quad kL = n\pi, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

でなければならない。 $n = 0$ は振動していない状態を表す。 c_1 は振動の最大振幅で決まる。

管の場合の境界条件については。

境界条件を、 $x = 0$ において

管の端が閉じているとき $\xi = 0$

管の端が開いているとき $\frac{\delta\xi}{\delta x} = 0$

とすれば、

(1) 管の両端が開いている場合：

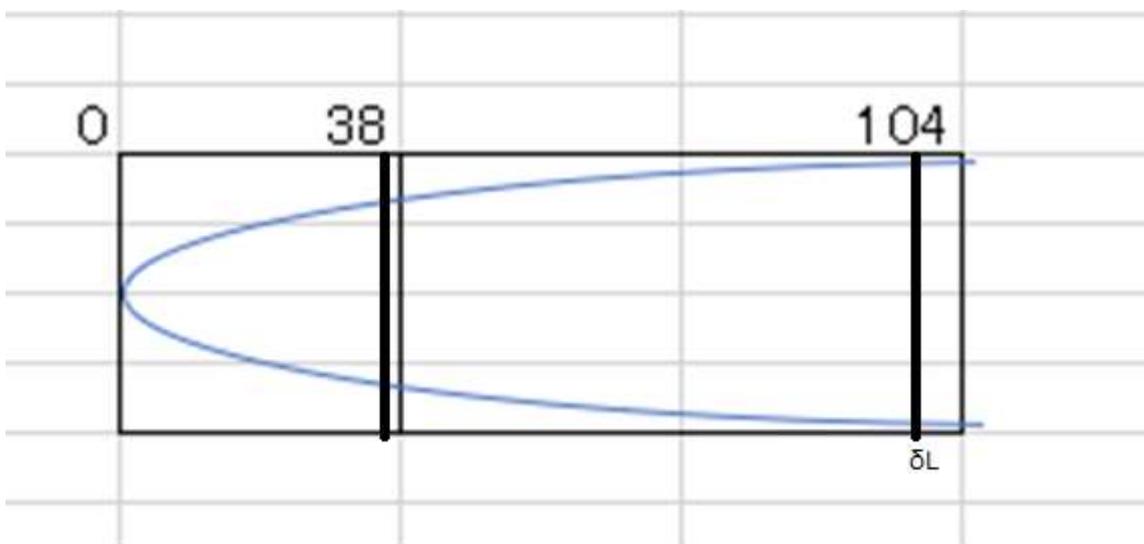
$$\xi(x, t) = C \cos\left(\frac{k\pi}{L}x\right) \cos\left(\frac{k\pi}{L}\sqrt{\frac{K}{\rho}}t + \alpha\right)$$

(2) 管の一端は閉じ一端は開いている場合：

$$\xi(x, t) = C \sin\left(\frac{(2k-1)\pi}{2L}x\right) \cos\left(\frac{(2k-1)\pi}{L}\sqrt{\frac{K}{\rho}}t + \alpha\right)$$

となる。

管の長さを L としたが、管の形が円形で波長に対して半径が小さい場合には、その半径の約 0.65 倍だけ管の長さに加えたものを L としなければならない。これは $\frac{\delta\xi}{\delta x} = 0$ となる位置が、それだけ管の外にずれるため、これを開口端補正という。



$\lambda/4 = 104\text{m}$ の音を考える。

(3) 管の一端は閉じ一端は開いている場合：

$$\xi(x, t) = C \sin\left(\frac{(2k-1)\pi}{2L}x\right) \cos\left(\frac{(2k-1)\pi}{L}\sqrt{\frac{K}{\rho}}t + \alpha\right)$$

となる。 L は補正後の値で、 104m とする。

開口端で空気の分子が δL だけ、押し詰められた場合を考える。

$\Delta P/P$ が実効値で $20\text{mPa}/10^5\text{Pa}=2*10^{(-7)}$ 程度とすれば、

$$PV=nRT$$

押されたときには、風車のタワーの断面積を S とすると、

$$(P+\Delta P)(104-\delta L)*S=nRT$$

$$(P)(104)*S=nRT$$

これから、

$$(P+\Delta P)(104-\delta L)=(P)(104)$$

$$-P*\delta L+104*\Delta P-\Delta P*\delta L=0$$

$$-\delta L+104*\Delta P/P-\Delta P/P*\delta L=0$$

$$\delta L=(104*(\Delta P/P))/(1+\Delta P/P)=104*(2*10^{(-7)})/(1+2*10^{(-7)})=0.00002\text{m}=0.02\text{mm}$$

$$C\sin\left(\frac{(2*1-1)\pi}{2*104}104\right)=0.00002\text{m}=0.02\text{mm}=C$$

$$0.00002\sin\left(\frac{(2*1-1)\pi}{2*104}38\right)=0.00001\text{m}=0.01\text{mm}$$

となるので、風車の底の部分が、 0.01mm 程度の振幅で揺れれば、仮の不動壁から開口端までが 104m あると考えられる。

これは、振動レベル計で計測すれば正しいか否かが分かる。

以上の事から、超低周波音 ($0\text{Hz}\sim 20\text{Hz}$) の最も大きな原因は、風の力による外力に対応する気柱共鳴であると言える。

もちろん、風車にかかる力についての考察が更に必要である。

3. 風車にかかる力について

風車は風を受けて回転し、風の運動エネルギーの 30% を電気エネルギーに変換します。

風車の塔は巨大な円柱です。風が平面に当たるときと円柱に当たるときでは同じ投影面積でも異なる荷重がかかります。

1.2.8 風による外力

風車は風を受けて回転し、風の運動エネルギーの 30% を電気エネルギーに変換します。

風車の塔は巨大な円柱です。風が平面に当たるときと円柱に当たるときでは同じ投影面積でも異なる荷重がかかります。

3. 1 風力係数

投影面積に対しての割増（割引）の値。形状が複雑になればなるほど、風力係数は大きな値が設定され、同じ投影面積でも加わる荷重が増大する。「空気抵抗」とも言われる。

従って、風速 40m/s における標識板（風力係数:1.2）と丸鋼管（風力係数:0.7）の風荷重を比較すると

空気密度を 1.23kg/m^3 とすると

$$P = (V^2/2) \times 1.23 \times Cd \text{ より}$$

P:風荷重 [N/m²]、V:風速 [m/s]、Cd:風力係数

$$\cdot \text{標識板 } P = 40^2/2 \times 1.23 \times 1.2 = 1181 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

$$\cdot \text{丸鋼管 } P = 40^2/2 \times 1.23 \times 0.7 = 689 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

となり、同じ投影面積であっても風荷重の算出においては

標識板/丸鋼管 $\div 1.7$ で 1.7 倍の差がある。

円柱の投影面積と風圧

投影幅 4m、高さ 80mの円柱の場合、風力係数が 0.7 なので、風速 13mの場合の単位面積当たりの風圧は

$$P = \frac{13^2}{2} \times 1.23 \times 0.7 = 72.75 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

となり、塔の根元にかかる回転モーメントは

$$\int_0^{40} x \cdot 4 \cdot 72.75 dx = 232800 \text{ [Nm]}$$

$$\int_{40}^{80} x \cdot 4 \cdot 72.75 dx = 931200 - 232800 = 698400 \text{ [Nm]}$$

この、698400のうち、10%が減少すると、69840 Nm = 7126.5 Kg 重m だけ減少する。

これを、80m先の位置での荷重の変化と考えると、7126.5/80 = 89.08 Kg 重だけ減ることになる。20%減少すると、80m先の位置で約 180Kg重 の減少となる。30%減少すると、80m先の位置で約 270Kg重 の減少となる。

風速 V のデータはあるので、

V² を三角関数で展開して、塔にかかる力を各周波数の外力の和で考える。

$$P = \sum_k (A_k \sin \omega_k t + B_k \cos \omega_k t)$$

と書ける。

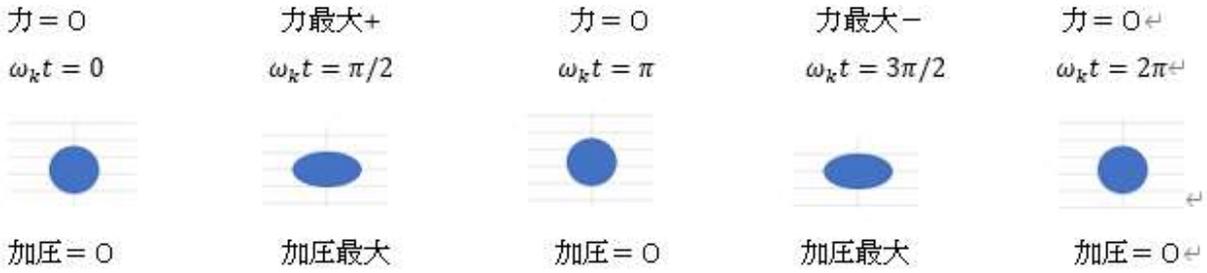
塔の底の振動を考えると、塔の上部は半分が思い発電機で蓋がしてあり、半分は薄い鉄板で超低周波音が自由に透過すると考えると、塔の気柱の固有振動数は 0.18667 の奇数倍の列と偶数倍の列の双方が考えられる。

塔に対する外力が

$$A_k \sin \omega_k t$$

の場合を考える。

塔はこの力に対応して変化する。塔の中央部の断面は、扁平度が変化する。



気柱の中央部分における圧力が、少し変化して、(本来の気圧+外力変動分)になると考える。

外力変動分は係数を変えたとして、

$$A_k \sin \omega_k t$$

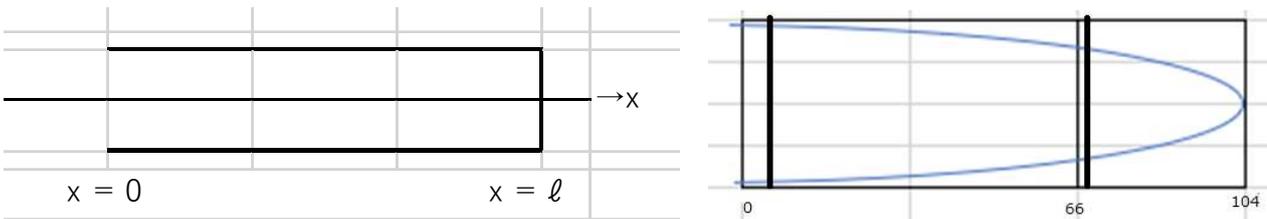
の和になると考える。

塔の中央部の変形で気柱に圧力がかかると考える代わりに、ブレードの軸を通じてナセルの床が振動して気柱に圧力がかかると考えることにする。

タワーの開口部で、

$$P = A_i \sin \omega_i t$$

の圧力がかかるとして、これが音によると考えて、この音が気柱を進むとする。



上の図で考えて、 $x=0$ で、の条件を満たすものとして

$$p_i(t, x) = P_i \sin (\omega_i t - k_i x)$$

をとる。

媒質 I の音速を c_1 、この波の周波数を h_i とすると、

$$h_i = \frac{\omega_i}{2\pi}$$

$$k_i = \frac{\omega_i}{c_1} = \frac{2\pi}{\lambda_1}$$

λ_1 は角振動数 ω_i の音の媒質 I 中の波長である。

$x=L=104\text{m}$ で反射すると考える。反射波は逆方向に進むので、周波数は変化しないとして、

$$p_r(t, x) = P_r \sin (\omega_i t + k_i x + \varphi_{0r})$$

(3)

また、入射音と反射音であるから

また、入射音と反射音であるから、

$$P_i > 0, P_r > 0$$

$$P_i \geq P_r$$

反射点(x=104m)において合成波の変位が0になる（つまり、合成波がx=104mで固定されている）場合の波の反射である。合成波は実際にこの場所で観測される波であり、入射波と反射波の重ねあわせでできている。数式で表現すると

入射波

$$p_i(t, 104) = P_i \sin(\omega_i t - k_i 104 + \varphi_{0i})$$

反射波

$$\begin{aligned} p_r(t, 104) &= P_r \sin(\omega_i t + k_i 104 + \varphi_{0r}) \\ &= -P_i \sin(\omega_i t - k_i 104 + \varphi_{0i}) = P_i \sin(\omega_i t - k_i 104 + \varphi_{0i} + \pi) \end{aligned}$$

が成立するには、

$$\varphi_{0r} = \pi - 2k_i 104 + \varphi_{0i}$$

$$p_r(t, x) = P_r \sin(\omega_i t + k_i x + \pi - 2k_i 104 + \varphi_{0i})$$

$$p(t, x) = p_i(t, x) + p_r(t, x) = P_i \sin(\omega_i t - k_i x + \varphi_{0i}) + P_r \sin(\omega_i t + k_i x + \pi - 2k_i 104 + \varphi_{0i})$$

その音波は、

$$p_I(t, x) = p_i(t, x) + p_r(t, x) \tag{6}$$

であり、逆方向に伝わる平面正弦音波の重ね合わせである。

(6) 式に (2)、(3) 式を代入して

$$p_I(t, x) = P_i \sin(\omega t - k_1 x + \varphi_{0i}) + P_r \sin(\omega t + k_1 x + \varphi_{0r})$$

この右辺に、加法定理を使えば、

$$\begin{aligned} &P_i \sin(\omega t - k_1 x + \varphi_{0i}) + P_r \sin(\omega t + k_1 x + \varphi_{0r}) \\ &= P_i \{ \sin(\omega t) \cos(k_1 x - \varphi_{0i}) - \cos(\omega t) \sin(k_1 x - \varphi_{0i}) \} \\ &+ P_r \{ \sin(\omega t) \cos(k_1 x + \varphi_{0r}) + \cos(\omega t) \sin(k_1 x + \varphi_{0r}) \} \\ &= \{ P_i \cos(k_1 x - \varphi_{0i}) + P_r \cos(k_1 x + \varphi_{0r}) \} \sin(\omega t) \\ &+ \{ -P_i \sin(k_1 x - \varphi_{0i}) + P_r \sin(k_1 x + \varphi_{0r}) \} \cos(\omega t) \\ &= P_I(x) \sin(\omega t + \varphi_I(x)) \end{aligned}$$

と書ける。ここで、

$$\begin{aligned} P_I(x) &= \{ (P_i \cos(k_1 x - \varphi_{0i}) + P_r \cos(k_1 x + \varphi_{0r}))^2 + (-P_i \sin(k_1 x - \varphi_{0i}) + P_r \sin(k_1 x + \varphi_{0r}))^2 \}^{1/2} \\ &= \{ (P_i)^2 + (P_r)^2 + 2P_i P_r \cos(2k_1 x - (\varphi_{0i} - \varphi_{0r})) \}^{1/2} \\ \tan(\varphi_I(x)) &= \frac{-P_i \sin(k_1 x - \varphi_{0i}) + P_r \sin(k_1 x + \varphi_{0r})}{P_i \cos(k_1 x - \varphi_{0i}) + P_r \cos(k_1 x + \varphi_{0r})} \end{aligned}$$

この重ね合わせた音波の x = 0 での振幅 P_I(0) は λ の関数であり周波数 h の関数でもある。

$$\cos(2k_1 0 - (\varphi_{0i} - \varphi_{0r})) = \cos\left(\pi - 2 * 104 * \frac{2\pi}{\lambda_i}\right)$$

$$= -\cos\left(2 * 104 * \frac{2\pi\omega_i}{2\pi c_1}\right) = -\cos\left(2 * 104 * \frac{2\pi\omega_i}{c_1 2\pi}\right) = -\cos\left(\frac{1307}{340} * h_i\right)$$

周波数	倍率1	倍率2	音圧				
0.266667	1		0.05604				
0.533333	1.999996		0.03093802				
0.816667	3.062497	1	0.01405225	0.816667	1	0.816667	
1.583333	5.937491	1.938774	0.0435531	1.633334	2	1.633334	2
2.416667	9.06249	2.959183	0.02416667	2.450001	3		
3.216667	12.06249	3.938774	0.03173804			3.266668	4
4.000000	14.99998	4.897957	0.01772484	4.083335	5		
4.866667	18.24998	5.959182	0.01728335			4.900002	6
5.466667	20.49998	6.693875	0.01009538	5.716669	7		
6.266667	23.49997	7.673467	0.00978232			6.533336	8
9.783333	36.68745	11.97959	0.03974005				

$$(1307/340)*0.816667=3.13936 = \pi$$

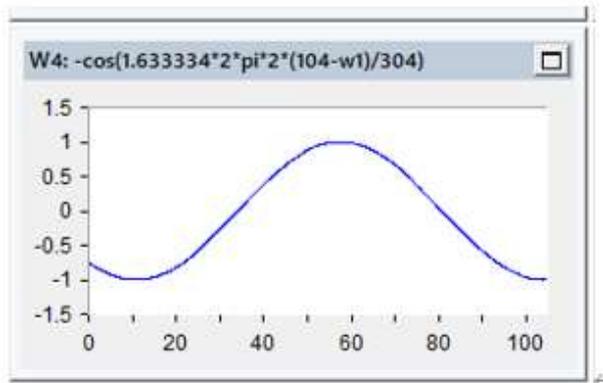
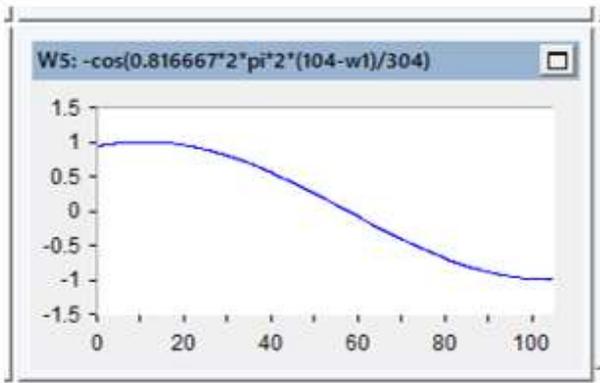
$$(1307/340)*1.633334=6.27872 = \pi * 1.99858$$

となり、

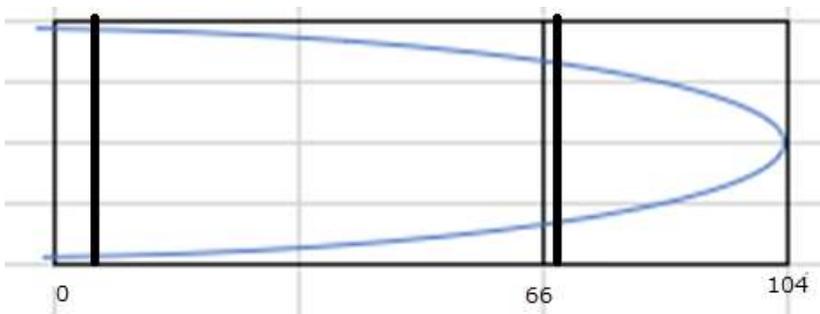
h_i が 0.81 の時は、振幅が $x=0$ で最大、 $x=104$ で最小となる音を表し、

h_i が 1.6 の時は、振幅が、 $x=0$ で最小、 $x=57.5$ で最大となる音を表す。

これは、 $x=0$ で腹となる音と、 x が節となる音をそれぞれ表している。



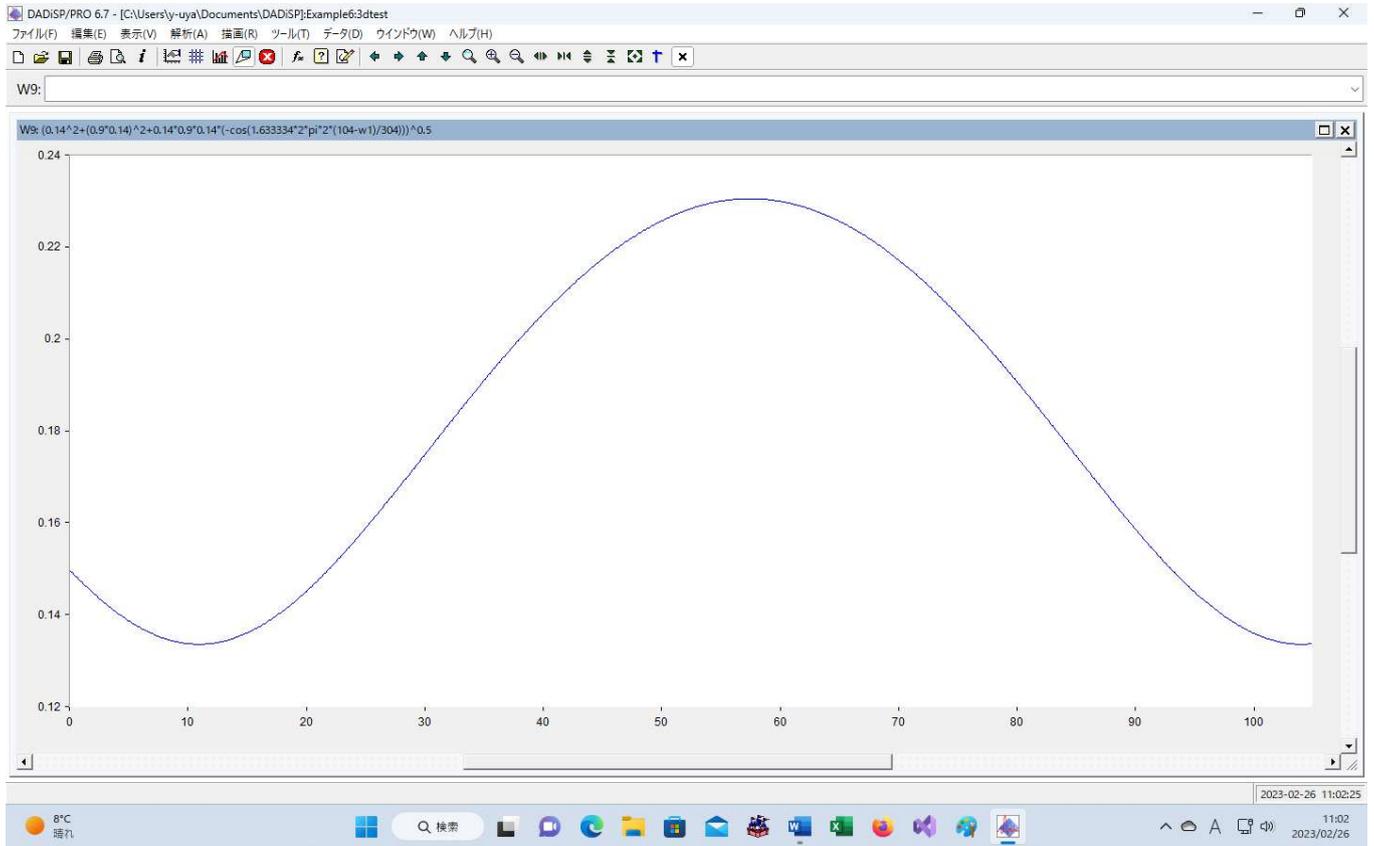
$$\cos(2k_1x - (\varphi_{0i} - \varphi_{0r})) = \cos\left(2\frac{2\pi}{\lambda_1}x + \pi - 2 * 104 * \frac{2\pi}{\lambda_i}\right) = -\cos\left(h_i \frac{2\pi}{c_1} * 2 * (104 - x)\right)$$



$$P_l(x) = \{(P_i \cos(k_1 x - \varphi_{0i}) + P_r \cos(k_1 x + \varphi_{0r}))^2 + (-P_i \sin(k_1 x - \varphi_{0i}) + P_r \sin(k_1 x + \varphi_{0r}))^2\}^{1/2}$$

$$= \{(P_i)^2 + (P_r)^2 + 2P_i P_r (-\cos\left(h_i \frac{2\pi}{c_1} * 2 * (104 - x)\right))\}^{1/2}$$

$P_i = 0.14Pa$, $P_r = 0.9 * 0.14Pa$ $h = 1.633334$, $c = 340$ とすれば、位置 x での振幅は、



となります。（左端の部分の検討が必要ですが、後回しにします。）

1.2.9 入射音と反射音の干渉、定常波 (“音と音波” 小橋豊著、裳華房)

媒質の境界面に音波が到達すると、その一部のエネルギーは反射して元の媒質中の反射音となり、一部のエネルギーはほかの媒質中に侵入する。

どちらの媒質も半無限に広がっているとしても、媒質が個体であれば、その中にはそれぞれ伝搬速度が異なる体積変化の波と変形の波の2つがあり得るので (§ 4.6 参照)、たとえその1つの種類の波が境界面に入射する場合でも、反射波や透過波には他の種類の波が同時に生じるのが普通である。

一方の媒質が流体であれば、その中では体積変化の波しか起こりえないのであるが、それでもなお一般の場合は複雑で簡単に説明できない。ただその時に、流体中の入射音の入射角と反射音の反射角は等しいし、入射角 θ_i と透過音の屈折角 θ_t の間には次の Smell の法則が成り立つ。

$$\frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_t} = \frac{c_1}{c_2}$$

ただし、 c_1 は流体中の音速、 c_2 は第2の媒質の中の音速である。もし第2の媒質が個体ならばそれぞれの種類の波についての音速をとれば θ_t はその波の屈折角になる。

ここでは、流体中の平面波が広い境界面に垂直に入射する場合のみを取り上げる。この場合には第2の媒質が個体であっても、境界面における面に垂直の方向の力の成分は連続であるから、そこに生じる波は定積変化の波だけであり、かつその取扱いは流体同士の間境界面の場合と全く同じである。

境界面を $x = 0$ にとり、 $x < 0$ の部分を媒質 I (流体) $x > 0$ の部分を媒質 II とする。したがって入射音は $x < 0$ の部分にあり、

		I	II		
		c_1	c_2		
		ρ_1	ρ_2		
	$p_i(t,x)$			$p_t(t,x)$	
	$p_r(t,x)$				
	5-1図				

$$p_i(t,x) = P_i \sin(\omega t - k_1 x + \varphi_{0i}) \tag{2}$$

反射波も同じく $x < 0$ の部分にあつて、

$$p_r(t,x) = P_r \sin(\omega t + k_1 x + \varphi_{0r}) \tag{3}$$

ただし、媒質 I の音速を c_1 として

$$k_1 = \frac{\omega}{c_1} = \frac{2\pi}{\lambda_1}$$

λ_1 は角振動数 ω の音の媒質 I の中の波長である。また、入射音と反射音であるから、

$$P_i > 0, P_r > 0$$

$$P_i \geq P_r$$

ただし、反射音がないときは

$$P_i > P_r = 0$$

我々は、 P_i と P_r を別々に感じたり、測定したりするのではなくて、その重ね合わせた音波を観測するのであるから、その音波は、

$$p_I(t, x) = p_i(t, x) + p_r(t, x) \quad (6)$$

であり、逆方向に伝わる平面正弦音波の重ね合わせである。

(6) 式に (2)、(3) 式を代入して

$$p_I(t, x) = P_i \sin(\omega t - k_1 x + \varphi_{0i}) + P_r \sin(\omega t + k_1 x + \varphi_{0r})$$

この右辺に、加法定理を使えば、

$$\begin{aligned} & P_i \sin(\omega t - k_1 x + \varphi_{0i}) + P_r \sin(\omega t + k_1 x + \varphi_{0r}) \\ &= P_i \{\sin(\omega t) \cos(k_1 x - \varphi_{0i}) - \cos(\omega t) \sin(k_1 x - \varphi_{0i})\} \\ &+ P_r \{\sin(\omega t) \cos(k_1 x + \varphi_{0r}) + \cos(\omega t) \sin(k_1 x + \varphi_{0r})\} \\ &= \{P_i \cos(k_1 x - \varphi_{0i}) + P_r \cos(k_1 x + \varphi_{0r})\} \sin(\omega t) \\ &+ \{-P_i \sin(k_1 x - \varphi_{0i}) + P_r \sin(k_1 x + \varphi_{0r})\} \cos(\omega t) \\ &= P_I(x) \sin(\omega t + \varphi_I(x)) \end{aligned}$$

と書ける。ここで、

$$\begin{aligned} P_I(x) &= \{(P_i \cos(k_1 x - \varphi_{0i}) + P_r \cos(k_1 x + \varphi_{0r}))^2 + (-P_i \sin(k_1 x - \varphi_{0i}) + P_r \sin(k_1 x + \varphi_{0r}))^2\}^{1/2} \\ &= \{(P_i)^2 + (P_r)^2 + 2P_i P_r \cos(2k_1 x - (\varphi_{0i} - \varphi_{0r}))\}^{1/2} \\ \tan(\varphi_I(x)) &= \frac{-P_i \sin(k_1 x - \varphi_{0i}) + P_r \sin(k_1 x + \varphi_{0r})}{P_i \cos(k_1 x - \varphi_{0i}) + P_r \cos(k_1 x + \varphi_{0r})} \end{aligned}$$

この重ね合わせた音波の振幅 $P_I(x)$ は x の関数となり、

$$x = -m \frac{\lambda_1}{2} + \frac{\varphi_{0i} - \varphi_{0r}}{2\pi} \frac{\lambda_1}{2} \quad m=0, 1, 2, \dots$$

では、振幅は極大で

$$P_{max} = P_i + P_r$$

となり、

$$x = -m \frac{\lambda_1}{2} - \frac{\lambda_1}{4} + \frac{\varphi_{0i} - \varphi_{0r}}{2\pi} \frac{\lambda_1}{2} \quad m=0, 1, 2, \dots$$

では、振幅は極小で

$$P_{min} = P_i - P_r$$

したがって、振幅の極大と極小とが $\lambda_1/4$ の間隔で交互に配列していて動かない。

すなわち $x < 0$ の部分で x 軸に沿って移動してみると音が大きいところと、小さいところが規則正しく並んでいることが分かる。

このような波を一般に定常波（定在波）という。

P_{max} になる場所を定在波の腹、 P_{min} となる場所を定常波の節という。

定常波に対して（2）式や（3）式で与えられる普通の波を進行波ともいう。

特に、

$$P_i = P_r = P > 0$$

である場合には（7）式は

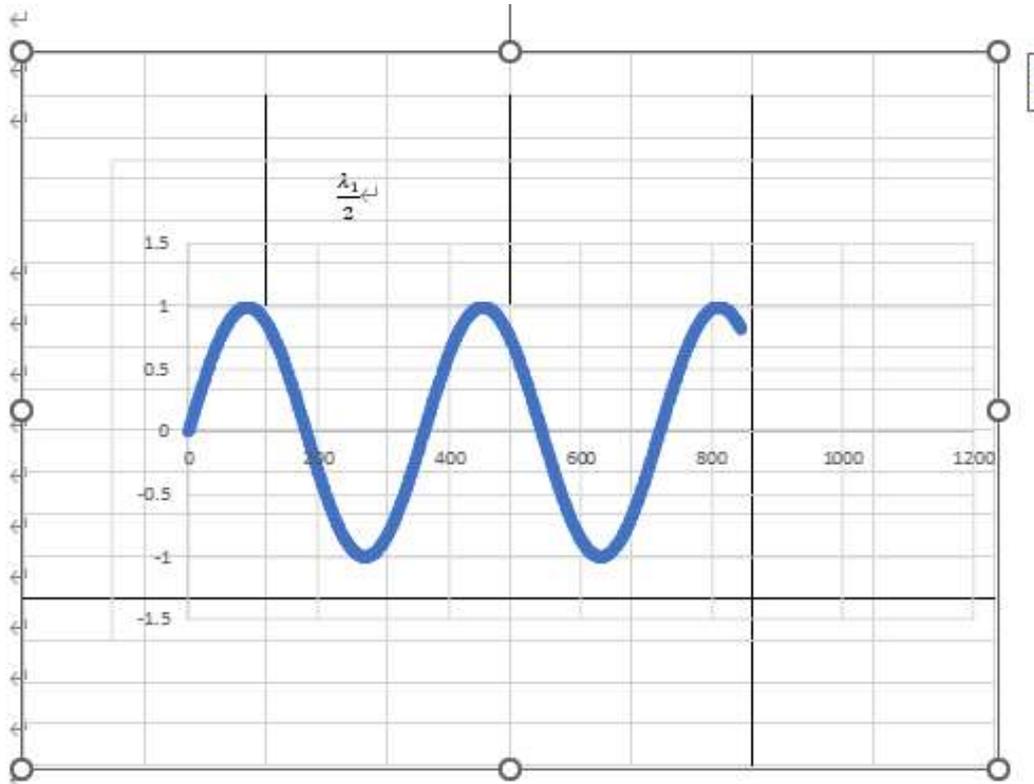
$$p_i(t, x) = P\{\sin(\omega t - k_1 x + \varphi_{0i}) + \sin(\omega t + k_1 x + \varphi_{0r})\}$$

この右辺の和を積に直せば、

$$= 2P\left\{\sin\left(\omega t + \frac{\varphi_{0i} + \varphi_{0r}}{2}\right) \cos\left(k_1 x - \frac{\varphi_{0i} - \varphi_{0r}}{2}\right)\right\}$$

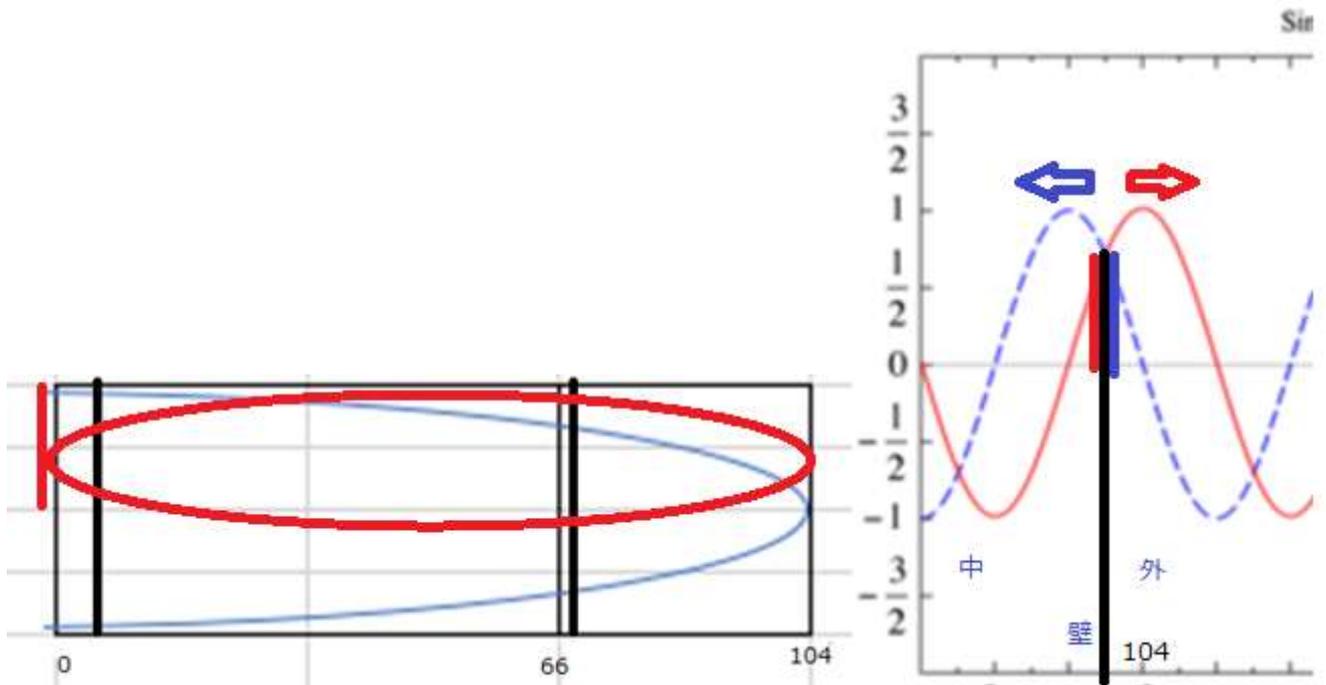
(14)

となって、x 軸に沿った各点ですべて同位相の振動が起こっていることになる。



反射波の重ね合わせ（両端反射管）

下の図の、壁の部分をも管の底、左側が管の中とする。赤い音が壁に当たっても壁は動かない。



これは、壁を取り払って青い波をぶつけてやっても、壁の部分の空気の粒子は動かなくなる。赤い縦の線が左からの圧力、右の青い線が右からの圧力として、これが一致すれば停止する。

入射波

$$p_i(t, x) = P_i \sin(\omega_i t - k_i x + \varphi_{0i})$$

反射波

$$p_r(t, x) = P_r \sin(\omega_i t + k_i x + \varphi_{0r})$$

として、上の条件は、

$$p_i(t, 104) = p_r(t, 104)$$

が成立することである。振幅が同じならば、

$$\varphi_{0r} = -2k_i 104 + \varphi_{0i}$$

$$p_r(t, x) = P_r \sin(\omega_i t + k_i x - 2k_i 104 + \varphi_{0i})$$

振幅が違っていると困るが、振幅がほぼ同じ時は、位相に関しては上の式が成立すると考える。その後で、振幅を変化させることにする。

反射は、地面と、ナセル内の発電機の部分で起こると考える。

壁や天井などの建築部材の吸音性能は、図1のように、入射音のエネルギーを I 、反射音のエネルギーを R とすると、吸音率 α は次式のように表される。

$$\alpha = \frac{I - R}{I} = \frac{A + T}{I}$$

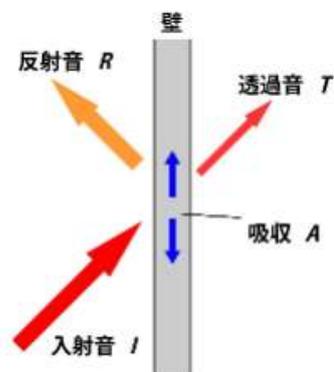


図1 音の入射と反射

表1 吸音率の例¹⁾

	オクターブバンド中心周波数 (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
コンクリート打放し面	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04
パイルカーペット10mm	0.09	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40
グラスウール16~24kg 50mm・空気層0mm	0.20	0.65	0.90	0.85	0.80	0.85
グラスウール16~24kg 50mm・空気層40mm	0.25	0.80	0.95	0.90	0.85	0.90
石膏ボード9~12mm・空気層45mm	0.26	0.13	0.09	0.05	0.05	0.05
岩綿吸音板12mm・下地石膏ボード捨張・空気層300mm	0.20	0.20	0.40	0.60	0.70	0.75

コンクリートの床では、

$$0.01 = \frac{I - R}{I}$$

より、 $R = 0.99 \cdot I$ を得る。ナセルの発電機の部分での反射についても同じ値だと仮定する。

$x = 104\text{m}$ で反射するとし、さらに、 $P_r = 0.99P_i = P_i$ と考えて、
入射波

$$p_i(t, 104) = P_i \sin(\omega_i t - k_i 104 + \varphi_{0i})$$

反射波

$$\begin{aligned} p_r(t, 104) &= P_r \sin(\omega_i t + k_i 104 + \varphi_{0r}) \\ &= P_i \sin(\omega_i t - k_i 104 + \varphi_{0i}) \end{aligned}$$

が成立するには、

$$\varphi_{0r} = -2k_i 104 + \varphi_{0i}$$

振幅を変化させて、

$$p_r(t, x) = 0.99 * P_i \sin(\omega_i t + k_i x - 2k_i 104 + \varphi_{0i})$$

$x = 104$ で反射した波が、 $x = 0$ に来た時に再度反射すると考えると、

$$P_r \sin(\omega t + k_1 x + \varphi_{0r}) = P_r \sin(\omega t + k_1 x - 2k_i 104 + \varphi_{0i})$$

2 度目の反射波が右に進むと考えて、

$$P_{i2} \sin(\omega t - k_1 x + \varphi_{0i2})$$

さらに、 $x = 0$ において反射するとして、

$$P_{i2} \sin(\omega t - k_1 0 + \varphi_{0i2}) = P_r \sin(\omega t + k_1 0 - 2k_i 104 + \varphi_{0i})$$

$$\varphi_{0i2} = -2k_i 104 + \varphi_{0i}$$

振幅を修正して、

$$P_{i2} \sin(\omega t - k_1 x - 2k_i 104 + \varphi_{0i}) = (0.99^2) * P_i \sin(\omega t - k_1 x - 2k_i 104 + \varphi_{0i})$$

これは、 $x = 104$ に於いて、

$$P_{i2} \sin(\omega t - 3k_i 104 + \varphi_{0i})$$

二度目の底での反射波を

$$P_{r2} \sin(\omega t + k_1 x + \varphi_{0r2})$$

とすると、

$$P_{r2} \sin(\omega t + k_1 104 + \varphi_{0r2}) = P_{i2} \sin(\omega t - 3k_i 104 + \varphi_{0i})$$

$$\varphi_{0r2} = -4k_i 104 + \varphi_{0i}$$

振幅を直して、

$$P_{r2} \sin(\omega t + k_1 x + \varphi_{0r2}) = (0.99^3) * P_i \sin(\omega t + k_1 x - 4k_i 104 + \varphi_{0i})$$

さらに、 $x = 0$ において 2 度目の反射をするとして、

$$P_{i3} \sin(\omega t - k_1 0 + \varphi_{0i3}) = P_{r2} \sin(\omega t + k_1 0 - 4k_i 104 + \varphi_{0i})$$

$$\varphi_{0i3} = -4k_i 104 + \varphi_{0i}$$

振幅を修正して、

$$P_{i3} \sin(\omega t - k_1 x - 4k_i 104 + \varphi_{0i}) = (0.99^4) * P_i \sin(\omega t - k_1 x - 4k_i 104 + \varphi_{0i})$$

3 度目の底での反射波を

$$P_{r3} \sin(\omega t + k_1 x + \varphi_{0r3})$$

とすると、

$$P_{r3} \sin(\omega t + k_1 104 + \varphi_{0r3}) = P_{i3} \sin(\omega t - k_i 104 - 4k_i 104 + \varphi_{0i}) = P_{i3} \sin(\omega t - 5k_i 104 + \varphi_{0i})$$

$$\varphi_{0r3} = -6k_1 104 + \varphi_{0i}$$

振幅を修正して、

$$(0.99^5) * P_i \sin(\omega t + k_1 x - 6k_1 104 + \varphi_{0i})$$

1 度目の入力波

$$P_i \sin(\omega t - k_1 x + \varphi_{0i})$$

2 度目の入力波 (x = 0 での反射波)

$$0.99^2 P_i \sin(\omega t - k_1 x - 2k_1 104 + \varphi_{0i})$$

3 度目の入力波 (x = 0 での反射波)

$$0.99^4 P_i \sin(\omega t - k_1 x - 4k_1 104 + \varphi_{0i})$$

x = 104m での 1 度目の反射波

$$0.99 * P_i \sin(\omega t + k_1 x - 2k_1 104 + \varphi_{0i})$$

x = 104 での 2 度目の反射波

$$(0.99^3) P_i \sin(\omega t + k_1 x - 4k_1 104 + \varphi_{0i})$$

x = 104 での 3 度目の反射波

$$(0.99^5) P_i \sin(\omega t + k_1 x - 6k_1 104 + \varphi_{0i})$$

$2k_1 * 104 = 2n\pi$ (h = 1.6346 * n) ならば、

$0.99 * 0.99 = 0.98$ として、これらの和は

$$\left(\frac{P_i}{1-0.98}\right) \sin(\omega t - k_1 x + \varphi_{0i}) + \left(\frac{0.99 * P_i}{1-0.98}\right) \sin(\omega t + k_1 x + \varphi_{0i})$$

となる。

以前の式、

$$\begin{aligned} p_I(t, x) &= P_i \sin(\omega t - k_1 x + \varphi_{0i}) + P_r \sin(\omega t + k_1 x + \varphi_{0r}) \\ &= P_I(x) \sin(\omega t + \varphi_I(x)) \end{aligned}$$

と書ける。ここで、

$$\begin{aligned} P_I(x) &= \{(P_i \cos(k_1 x - \varphi_{0i}) + P_r \cos(k_1 x + \varphi_{0r}))^2 + (-P_i \sin(k_1 x - \varphi_{0i}) + P_r \sin(k_1 x + \varphi_{0r}))^2\}^{1/2} \\ &= \{(P_i)^2 + (P_r)^2 + 2P_i P_r \cos(2k_1 x - (\varphi_{0i} - \varphi_{0r}))\}^{1/2} \\ \tan(\varphi_I(x)) &= \frac{-P_i \sin(k_1 x - \varphi_{0i}) + P_r \sin(k_1 x + \varphi_{0r})}{P_i \cos(k_1 x - \varphi_{0i}) + P_r \cos(k_1 x + \varphi_{0r})} \end{aligned}$$

で、 $\varphi_{0i} = \varphi_{0r}$ としたものが使える。

$$\{(P_i)^2 + (P_r)^2 + 2P_i P_r \cos(2k_1 x - (\varphi_{0i} - \varphi_{0r}))\}^{1/2} = \{(P_i)^2 + (P_r)^2 + 2P_i P_r \cos(2k_1 x)\}^{1/2}$$

この重ね合わせた音波の振幅 $P_I(x)$ は x の関数となり、

$$2k_1 x = 2m\pi$$

$$k_i = \frac{\omega_i}{c_1} = \frac{2\pi}{\lambda_1} = \frac{2\pi}{c_1} h_i$$

より、

$$x = m \frac{\lambda_1}{2} = m \frac{ch}{2}$$

$$m=0, 1, 2, \dots$$

では、振幅は極大で

$$P_{max} = P_i + P_r$$

となり、

$$2k_1 x = 2m\pi + \pi$$

$$x = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda_1}{2} = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{ch}{2}$$

$$m=0, 1, 2, \dots$$

では、振幅は極小で

$$P_{min} = P_i - P_r$$

となる。

$2k \cdot 104 = 2n\pi$ ($h = 1.6346 \cdot n$) より、

$h = 1.6346$ の場合は、 $m=0$ で $x=0$, $m=1$ で $x=104$ では、音圧の振幅は極大で

$$P_{max} = \left(\frac{P_i}{1-0.98}\right) + \left(\frac{0.99 \cdot P_i}{1-0.98}\right) = 99.5P_i$$

$m=0$ で $x=104/2=52m$, ($m=1$ で $x=104 \cdot 3/2$ は管の外で除外する。) では音圧の振幅は極小で

$$P_{min} = \left(\frac{P_i}{1-0.98}\right) - \left(\frac{0.99 \cdot P_i}{1-0.98}\right) = 0.5P_i$$

$h = 1.6346 \cdot n$ でも同様。

閉管での共鳴では、

$$h = \frac{340(2m+1)}{4 \cdot 104} = 0.8173(2m+1)$$

$$(m=0,1,2,..)$$

の場合すなわち、 $2k \cdot 104 = 2n\pi + \pi$ の場合に共鳴が起こる。

また、反射波の重ね合わせで。

$$2k \cdot 104 = 2n\pi \quad (h = 1.6346 \cdot n)$$

の場合も、高い音圧が塔の中で発生する。これは、中から塔をたたく効果があります。

これを合わせて考えると、 $2k \cdot 104 = n\pi$ となる波数 k の周波数の音が大きいと言える。

コンピュータでの計算

これは、開口端にある発電機で反射するケース。

1 度目の入力波

$$P_i \sin(\omega t - k_1 x + \varphi_{0i})$$

2 度目の入力波 (x = 0 での反射波)

$$0.99^2 P_i \sin(\omega t - k_1 x - 2k_1 104 + \varphi_{0i})$$

3 度目の入力波 (x = 0 での反射波)

$$0.99^4 P_i \sin(\omega t - k_1 x - 4k_1 104 + \varphi_{0i})$$

x = 104m での 1 度目の反射波

$$0.99 * P_i \sin(\omega t + k_1 x - 2k_1 104 + \varphi_{0i})$$

x = 104 での 2 度目の反射波

$$(0.99^3) P_i \sin(\omega t + k_1 x - 4k_1 104 + \varphi_{0i})$$

x = 104 での 3 度目の反射波

$$(0.99^5) P_i \sin(\omega t + k_1 x - 6k_1 104 + \varphi_{0i})$$

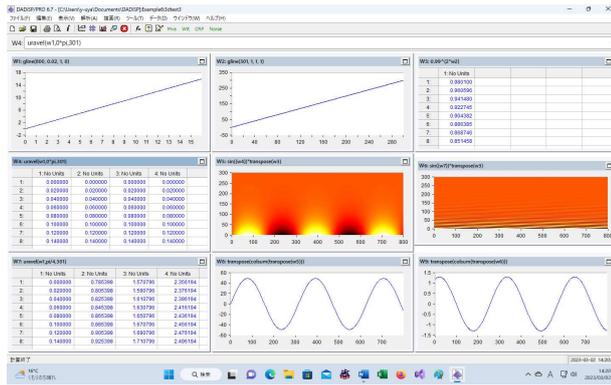
$2k_1 * 104 = 2n\pi + \delta$ 、 $0 < \delta < 2\pi$ 、 $\varphi_{0i} = 0$ 、として足してみると、

$$\begin{aligned} & P_i \sin(\omega t - k_1 x) + 0.99 * P_i \sin(\omega t + k_1 x - \delta) \\ & + 0.99^2 * P_i \sin(\omega t - k_1 x - \delta) + 0.99^3 * P_i \sin(\omega t + k_1 x - 2\delta) \\ & + 0.99^4 * P_i \sin(\omega t - k_1 x - 2\delta) + 0.99^5 * P_i \sin(\omega t + k_1 x - 3\delta) \end{aligned}$$

$0 < x < 4\pi$ と置き、 δ を変えてみる

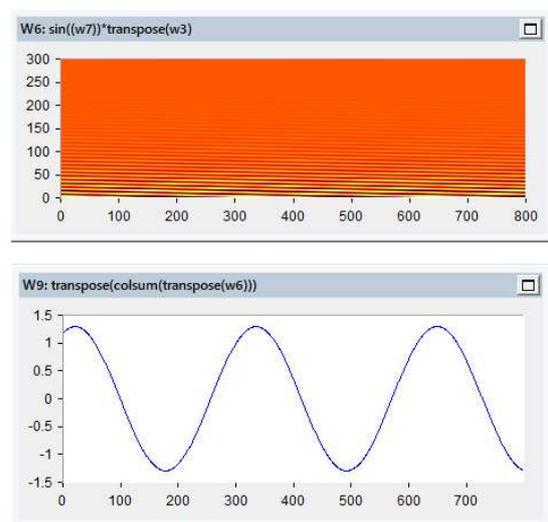
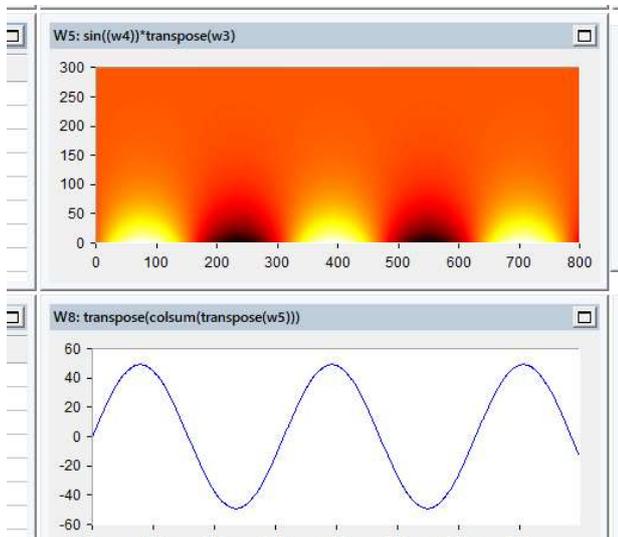
$$\begin{aligned} & P_i \sin(x) \\ & + 0.99^2 * P_i \sin(x - 2\delta) \\ & + 0.99^4 * P_i \sin(x - 4\delta) \\ & + , , , , \end{aligned}$$

300 回加算して、



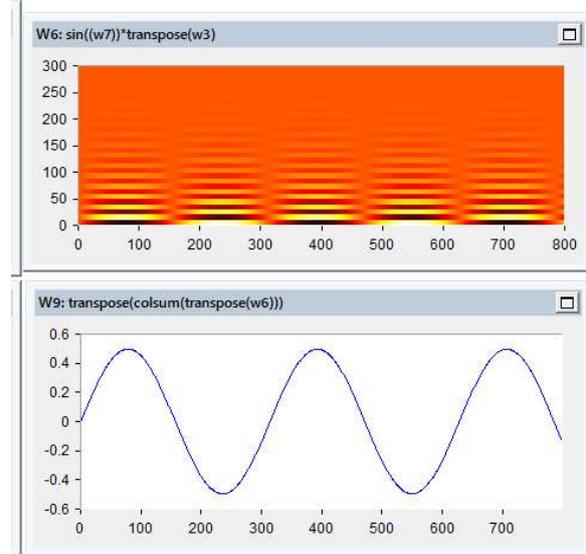
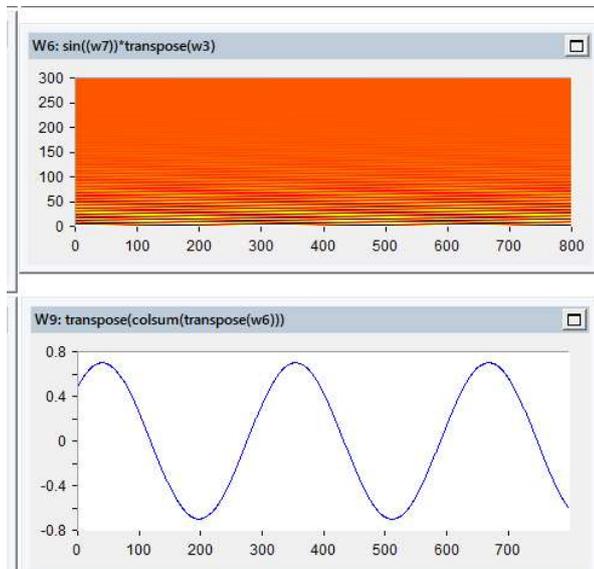
$\delta = 0$ だと、振幅は 49 程度。

$\delta = \pi/4$ だと、振幅は 1.29 程度です。



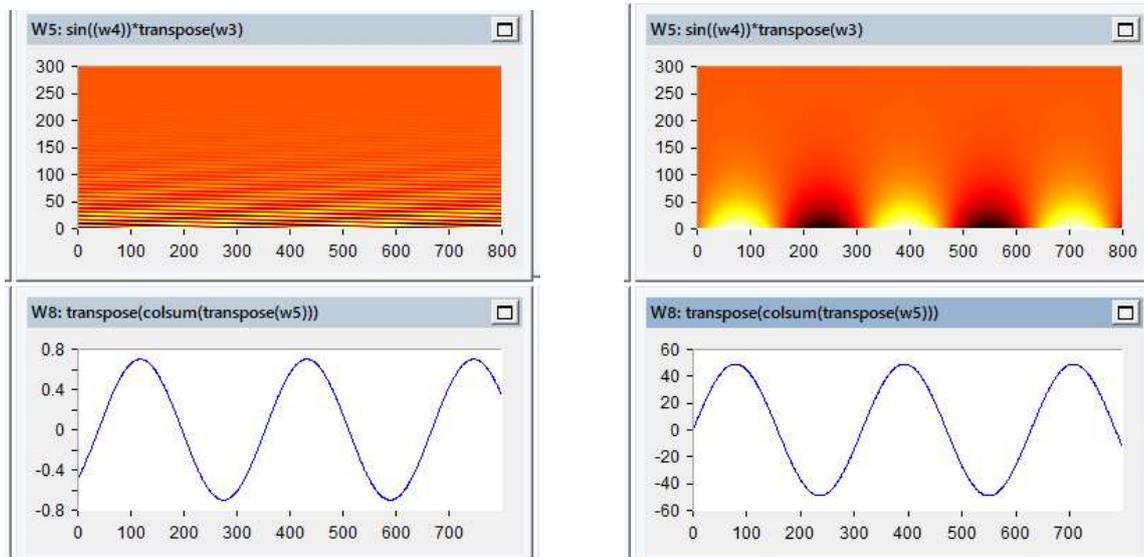
$\delta = \pi/2$ だと、振幅 0.699 くらい。

$\delta = \pi$ では、振幅 0.49 くらい。

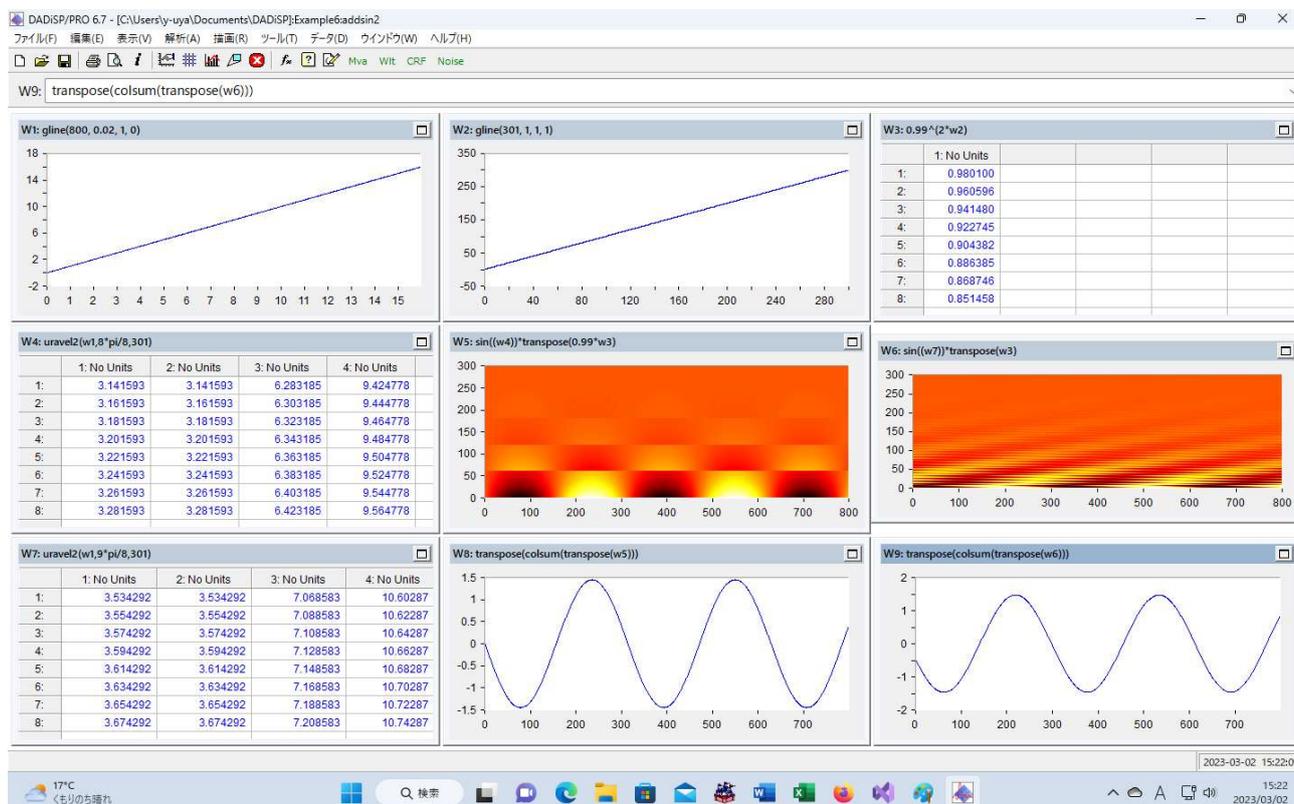


$\delta = 3\pi/2$ だと、振幅 0.699 くらい

$\delta = 4\pi/2$ だと、振幅 49 くらい

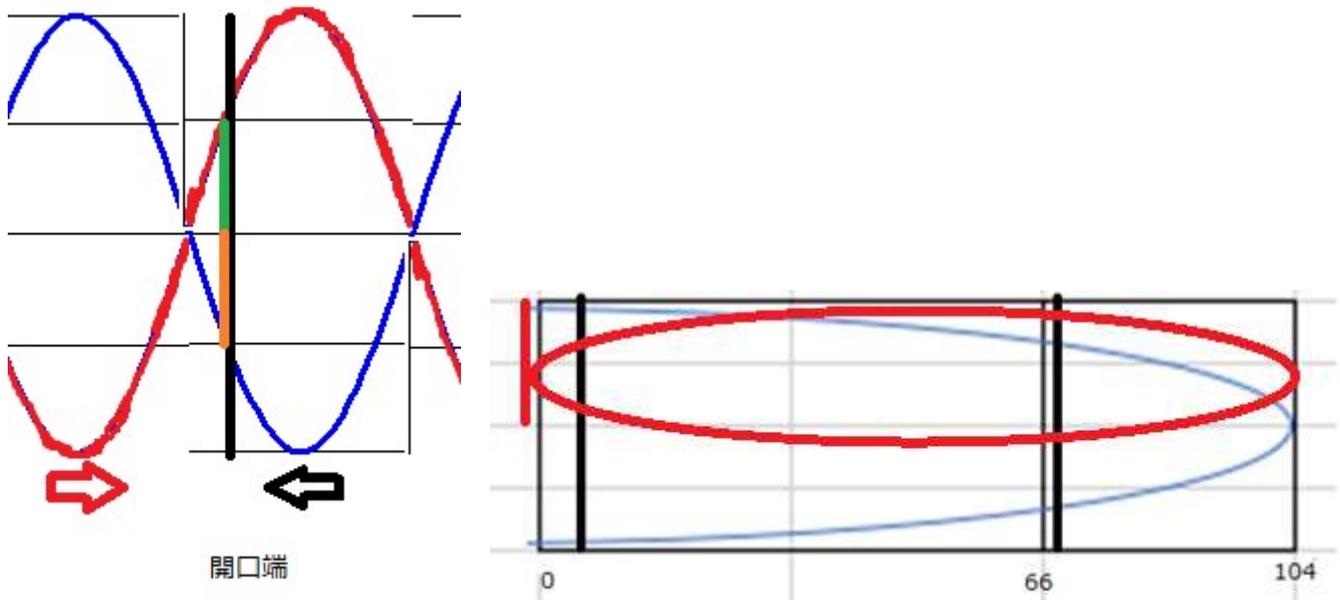


右側の和も同様、 $2n\pi$ で大きく、 $n\pi$ で小さい。



開口端での疑似反射

下の図の、開口端を考える。壁の場合は、動かないように音圧を加えたが、開口端では、音圧が0になるように外からの音圧をかける。



入射波

$$p_i(t, x) = P_i \sin(\omega_i t - k_i x + \varphi_{0i})$$

反射波

$$p_r(t, x) = P_r \sin(\omega_i t + k_i x + \varphi_{0r})$$

として、右の底が動かない条件は、

$$p_i(t, 104) = p_r(t, 104)$$

が成立することである。振幅が同じならば、

$$\varphi_{0r} = -2k_i 104 + \varphi_{0i}$$

$$p_r(t, x) = P_r \sin(\omega_i t + k_i x - 2k_i 104 + \varphi_{0i})$$

振幅については、閉口端で、

$$0.01 = \frac{I - R}{I}$$

として、 $R = 0.99I$ 。よって、 $P_r = 0.99P_i$

$$p_r(t, x) = 0.99P_i \sin(\omega_i t + k_i x - 2k_i 104 + \varphi_{0i})$$

反射波

$$p_r(t, x) = P_r \sin(\omega_i t + k_i x + \varphi_{0r})$$

が開口端に来た時に、これに対する疑似入射波

$$p_{i2}(t, x) = P_{i2} \sin(\omega_i t - k_i x + \varphi_{0i2})$$

が $x=0$ で音圧 0 の条件を満たせば、

$$p_{i2}(t, 0) = -p_r(t, 0)$$

$$P_{i2} \sin(\omega_i t - k_i 0 + \varphi_{0i2}) = -P_r \sin(\omega_i t + k_i 0 + \varphi_{0r})$$

が成立することである。振幅が同じならば、

$$\varphi_{0i2} = \pi + \varphi_{0r}$$

$$p_{i2}(t, x) = P_{i2} \sin(\omega_i t - k_i x + \pi + \varphi_{0r})$$

振幅が違っていると困るが、振幅がほぼ同じ時は、位相に関しては上の式が成立すると考える。

その後で、振幅を変化させることにする。

開口端でも、

$$0.01 = \frac{I - R}{I}$$

として、 $R=0.99I$ 。 $P_{i2} = 0.99P_r$ と考えて、振幅を変化させて、

$$p_{i2}(t, x) = 0.99 * P_r \sin(\omega_i t - k_i x + \pi + \varphi_{0r})$$

$$= 0.99^2 * P_i \sin(\omega_i t - k_i x + \pi - 2k_i 104 + \varphi_{0i})$$

$x=0$ から入ってきた波 $p_{i2}(t, x)$ が、 $x=104$ に来た時に再度反射すると考えると、

$$p_{i2}(t, 104) = 0.99^2 * P_i \sin(\omega_i t - k_i 104 + \pi - 2k_i 104 + \varphi_{0i})$$

反射波を

$$P_{r2} \sin(\omega t + k_1 x + \varphi_{0r2})$$

とおいて、

$$p_{r2}(t, 104) = P_{r2} \sin(\omega t + k_1 104 + \varphi_{0r2}) = 0.99^2 * P_i \sin(\omega_i t + \pi - 3k_i 104 + \varphi_{0i})$$

$$\varphi_{0r2} = \pi - 4k_i 104 + \varphi_{0i}$$

さらに、振幅を調整して、

$$p_{r2}(t, x) = 0.99^3 * P_i \sin(\omega_i t + k_1 x + \pi - 4k_i 104 + \varphi_{0i})$$

これが開口端での疑似反射で

$$p_{i3}(t, x) = P_{i3} \sin(\omega_i t - k_i x + \varphi_{0i3})$$

となるとして、

$$p_{i3}(t, 0) = P_{i3} \sin(\omega_i t - k_i 0 + \varphi_{0i3}) = -p_{r2}(t, 0) = 0.99^3 * P_i \sin(\omega_i t + k_1 0 + 2\pi - 4k_i 104 + \varphi_{0i})$$

$$\varphi_{0i3} = 2\pi - 4k_i 104 + \varphi_{0i}$$

振幅を調整して

$$p_{i3}(t, x) = 0.99^4 * P_i \sin(\omega_i t - k_i x + 2\pi - 4k_i 104 + \varphi_{0i})$$

入力波 1

$$p_i(t, x) = P_i \sin(\omega_i t - k_i x + \varphi_{0i})$$

入力波 2

$$p_{i2}(t, 104) = 0.99^2 * P_i \sin(\omega_i t - k_i x + \pi - 2k_i 104 + \varphi_{0i})$$

入力波 3

$$p_{i3}(t, x) = 0.99^4 * P_i \sin(\omega_i t - k_i x + 2\pi - 4k_i 104 + \varphi_{0i})$$

反射波 1

$$p_r(t, x) = 0.99 P_i \sin(\omega_i t + k_i x - 2k_i 104 + \varphi_{0i})$$

反射波 2

$$p_{r2}(t, x) = 0.99^3 * P_i \sin(\omega_i t + k_1 x + \pi - 4k_i 104 + \varphi_{0i})$$

反射波 3

$$p_{r3}(t, x) = 0.99^4 * P_i \sin(\omega_i t + k_1 x + 2\pi - 6k_i 104 + \varphi_{0i})$$

$2k * 104 = 2n\pi + \pi$ の場合は、

入力波 1

$$p_i(t, x) = P_i \sin(\omega_i t - k_i x + \varphi_{0i})$$

入力波 2

$$p_{i2}(t, 104) = 0.99^2 * P_i \sin(\omega_i t - k_i x + \varphi_{0i})$$

入力波 3

$$p_{i3}(t, x) = 0.99^4 * P_i \sin(\omega_i t - k_i x + \varphi_{0i})$$

反射波 1

$$p_r(t, x) = -0.99 P_i \sin(\omega_i t + k_i x + \varphi_{0i})$$

反射波 2

$$p_{r2}(t, x) = -0.99^3 * P_i \sin(\omega_i t + k_1 x + \varphi_{0i})$$

反射波 3

$$p_{r3}(t, x) = -0.99^4 * P_i \sin(\omega_i t + k_1 x + \varphi_{0i})$$

合計して、

$$\left(\frac{P_i}{1 - 0.98}\right) \sin(\omega t - k_1 x + \varphi_{0i}) + \left(\frac{-0.99 * P_i}{1 - 0.98}\right) \sin(\omega t + k_1 x + \varphi_{0i})$$

$$\begin{aligned}
&= \left(\left(\frac{P_i}{1-0.98} \right) + \left(\frac{-0.99 * P_i}{1-0.98} \right) \right) \cos k_1 x \sin(\omega t + \varphi_{0i}) + \left(\left(\frac{-P_i}{1-0.98} \right) + \left(\frac{-0.99 * P_i}{1-0.98} \right) \right) \sin k_1 x \cos(\omega t + \varphi_{0i}) \\
&= (0.5P_i) \cos k_1 x \sin(\omega t + \varphi_{0i}) - (99.5)P_i \sin k_1 x \cos(\omega t + \varphi_{0i}) \\
&\cong -(99.5)P_i \sin k_1 x \cos(\omega t + \varphi_{0i})
\end{aligned}$$

振幅の大きな波となる。

コンピュータでの計算

入力波 1

$$p_i(t, x) = P_i \sin(\omega_i t - k_i x + \varphi_{0i})$$

入力波 2

$$p_{i2}(t, 104) = 0.99^2 * P_i \sin(\omega_i t - k_i x + \pi - 2k_i 104 + \varphi_{0i})$$

入力波 3

$$p_{i3}(t, x) = 0.99^4 * P_i \sin(\omega_i t - k_i x + 2\pi - 4k_i 104 + \varphi_{0i})$$

反射波 1

$$p_r(t, x) = 0.99P_i \sin(\omega_i t + k_i x - 2k_i 104 + \varphi_{0i})$$

反射波 2

$$p_{r2}(t, x) = 0.99^3 * P_i \sin(\omega_i t + k_1 x + \pi - 4k_i 104 + \varphi_{0i})$$

反射波 3

$$p_{r3}(t, x) = 0.99^4 * P_i \sin(\omega_i t + k_1 x + 2\pi - 6k_i 104 + \varphi_{0i})$$

$2k * 104 = 2n\pi + \delta$ 、 $0 < \delta < 2\pi$ 、 $\varphi_{0i} = 0$ 、として足してみると、

$$P_i \sin(\omega t - k_1 x) + 0.99 * P_i \sin(\omega t + k_1 x - \delta)$$

$$+ 0.99^2 * P_i \sin(\omega t - k_1 x + \pi - \delta_i) + 0.99^3 * P_i \sin(\omega t + k_1 x + \pi - 2\delta)$$

$$+ 0.99^4 * P_i \sin(\omega t - k_1 x + 2\pi - 2\delta_i) + 0.99^5 * P_i \sin(\omega t + k_1 x + 2\pi - 3\delta)$$

$0 < X = \omega t - kx < 4\pi$ と置き、 δ を変えてみる

$$P_i \sin(X)$$

$$+ 0.99^2 * P_i \sin(X + \pi - \delta_i)$$

$$+ 0.99^4 * P_i \sin(X + 2\pi - 2\delta_i)$$

+, , , , ,

この式は、

$$P_i \sin(x)$$

$$+0.99^2 * P_i \sin(x - 2\delta_i)$$

$$+0.99^4 * P_i \sin(x - 4\delta_i)$$

+,,,,,

での、 2δ を $(\pi - \delta)$ に置き換えたものであり、前の結果と同様になる。

$\delta = \pi$ だと、振幅は 49 程度。

$\delta = \pi/2$ だと、振幅は 1.29 程度です。

$\delta = 0$ だと、振幅 0.699 くらい。

$\delta = \pi$ では、振幅 0.49 くらい。

$\delta = -2\pi$ だと、振幅 0.699 くらい

$\delta = -3\pi$ だと、振幅 49 くらい

右側の和も同様、 $2n\pi$ で大きく、 $n\pi$ で小さい。

粒子速度

平面正弦音が境界面に垂直に入射するとき、粒子速度の関係について。

§ 4.3 において調べた通り、+x の方へ行く入射平面音波では、粒子速度は

$$u_i(t, x) = \frac{p_i(t, x)}{\rho_1 c_1}$$

-x の方への反射音波では、

$$u_r(t, x) = -\frac{p_r(t, x)}{\rho_1 c_1}$$

したがって、媒質 I の中で、

$$\begin{aligned} u_I(t, x) &= u_i(t, x) + u_r(t, x) = \frac{1}{\rho_1 c_1} (P_i(t, x) - P_r(t, x)) \\ &= U_I(x) \sin(\omega t + \psi_I(x)) \end{aligned}$$

$$\rho_1 c_1 U_I(x) = \{(P_i)^2 + (P_r)^2 - 2P_i P_r \cos(2k_1 x - (\varphi_{0i} - \varphi_{0r}))\}^{1/2}$$

$$\tan(\psi_I(x)) = -\frac{P_i \sin(k_1 x - \varphi_{0i}) + P_r \sin(k_1 x + \varphi_{0r})}{P_i \cos(k_1 x - \varphi_{0i}) - P_r \cos(k_1 x + \varphi_{0r})}$$

これから、粒子速度も音圧と同じような定常波になるが (10) 式で与えられる P_{max} の位置で U_I は極小

$$U_{min} = U_i - U_r = \frac{P_i - P_r}{\rho_1 c_1} = \frac{P_{min}}{\rho_1 c_1}$$

となり、(12) 式で与えられる P_{min} の位置で極大

$$U_{max} = U_i + U_r = \frac{P_i + P_r}{\rho_1 c_1} = \frac{P_{max}}{\rho_1 c_1}$$

となる。

$P_i = P_r = P$ の時には (25) 式は

$$u_I(t, x) = \frac{2P}{\rho_1 c_1} \left\{ \sin\left(-k_1 x + \frac{\varphi_{0i} - \varphi_{0r}}{2}\right) \cos\left(\omega t + \frac{\varphi_{0i} + \varphi_{0r}}{2}\right) \right\} \quad (28)$$

あるいは、

$$\frac{P}{\rho_1 c_1} = U$$

とにおいて、

$$u_I(t, x) = 2U \left\{ \sin\left(-k_1 x + \frac{\varphi_{0i} - \varphi_{0r}}{2}\right) \cos\left(\omega t + \frac{\varphi_{0i} + \varphi_{0r}}{2}\right) \right\} \quad (28)'$$

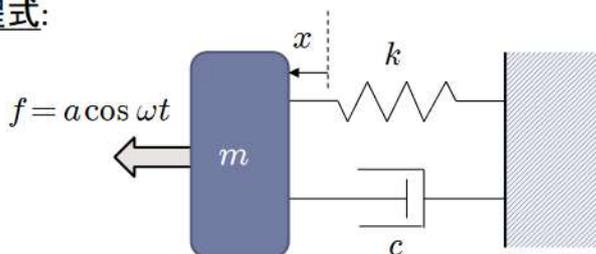
強制振動では、強制振動の周波数が固有振動数から離れれば、影響が少なく、固有振動の時が一番影響が大きい。

強制振動とは

- ▶ 外力を振動させた場合の運動方程式:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = a \cos \omega t$$

- ▶ a が外力の振幅を表す。
- ▶ 一般解 (実数固有値をもつ場合):



自由振動の一般解

$$x = C_1 \exp(\lambda_1 t) + C_2 \exp(\lambda_2 t) + A \cos(\omega t - \phi) \rightarrow \text{定常振動解}$$

$$A = \frac{a}{\sqrt{(m\omega^2 - k)^2 + c^2\omega^2}}, \quad \phi = \arg(k - m\omega^2, c\omega)$$

定常振動の振幅(Amplitude) 位相遅れ(Phase delay; Phase lag)

- ▶ 「自由振動の一般解」の部分の未定係数は外力項の影響を受ける。
- ▶ このように、一般解が自由振動解と定常振動解の「和」になるのは、「線形微分方程式」だからである。単振り子のように非線形の場合は、厳密には一般解が「和」にならない。

東京大学のチームの研究結果より。

表 1 固有振動数の観測値と予測値との比較

No	観測 (Hz)	固有値解析 (Hz)		
		ブレード	タワー	風車全体
1	0.50	2.19	0.54	0.50
2	0.50	4.73	0.54	0.51
3	1.98	-	4.36	2.10
4	2.15	-	4.36	2.19
5	2.20	-	-	2.20
6	-	-	-	3.26
7	3.80	-	-	3.46
8	3.81	-	-	3.91
9		-	-	4.77
10		-	-	5.05

大きな風車は、もっと低い固有振動数を持つ。

風車の塔が曲がれば、楕円形となり中の体積が減る、よって圧力が高まる。

この変化は、外力に比例すると考えると、

風の速さの2乗を三角級数に展開した時のものが、外力として圧力の変化に直接対応するとみなせる。

これは、波動方程式に関する強制振動の問題を考えるときに、外力が1時間に1回くらいの割合で大きくなることを意味しています。風によって、タワーの断面の変形が起きて、円→楕円→円→楕円、と変化する場合は考えれば、変分法を考えると、円の場合が最大の面積なので、楕円の場合は面積が減る。これは断面積の変化となり、これによってタワーの容積の変動が起きるので、タワー内の気圧が強制的に変動する。この気圧変動はタワー内の気柱の満たす波動方程式に対する外力の変化として作用する。

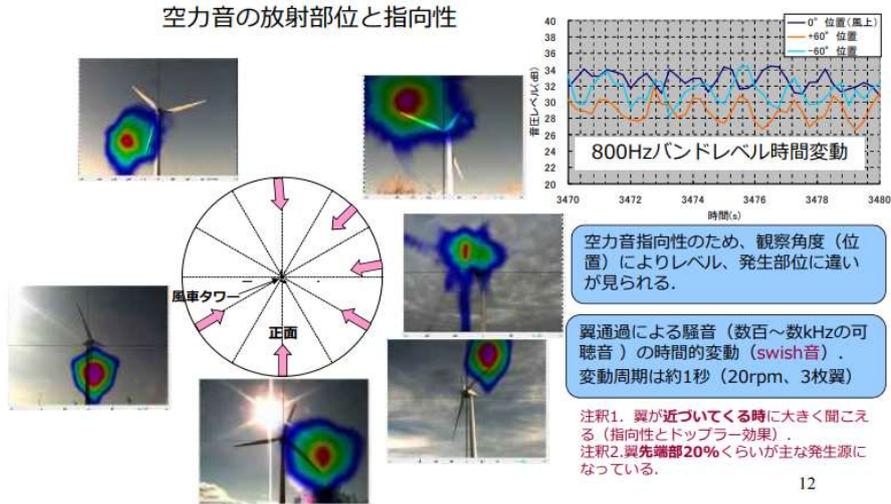
これは難しいので、円筒内での減衰と共鳴を手掛かりにした。

もちろん、数百 Hz～2000Hz、というような周波数の高い成分も含まれています。下図は音響カメラでの撮影結果です。

風車ブレード（翼）空力音の発生源

(風車音の大部分はブレードの回転による空力音)

空力音の放射部位と指向性



12

この周波数が高い部分の計算も A 特性音圧レベル(20Hz～)に関しては重要です。

「音響カメラ」は、画像を撮影するカメラと、音の到来方向を特定するマイクロホンアレイ技術を組合せ、画像と音の2種類のデータを合成して表示する装置です。

マイクロホンアレイ技術は、多数のマイクロホンを配置し、それぞれのマイクロホンに到達する音波の違いを検出して到来方向を知ることが出来ます。



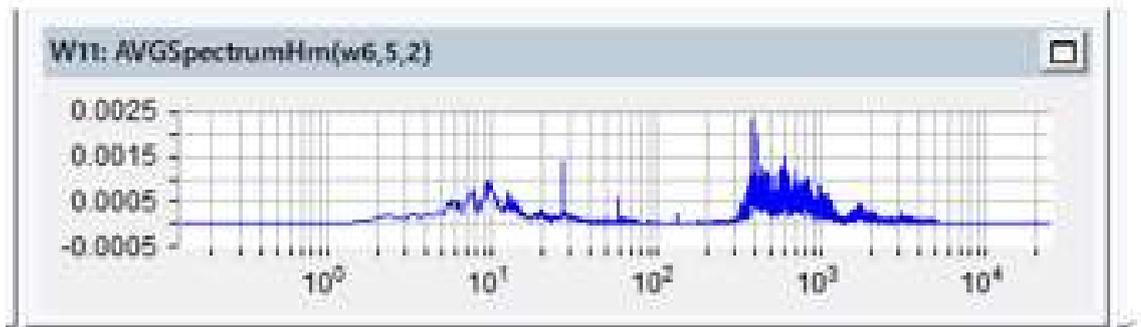
音響カメラによる計測

音響カメラの欠点は、マイクロホンの欠点でもあります。普通の低周波に強いマイクは、20Hz～20kHzに対応しています。超低周波音の計測では、[マイクロホン UC-59L](#) や [TYPE4152NH](#) 必要となる。また、詳細な音圧変動の記録も必要となります。詳細な音圧変動の記録をもとに計算するには、30個のマイクロホンのうち15個を音圧変動の把握できるものに置き換えると、15個*70万円＝1050万円の追加費用がかかる。

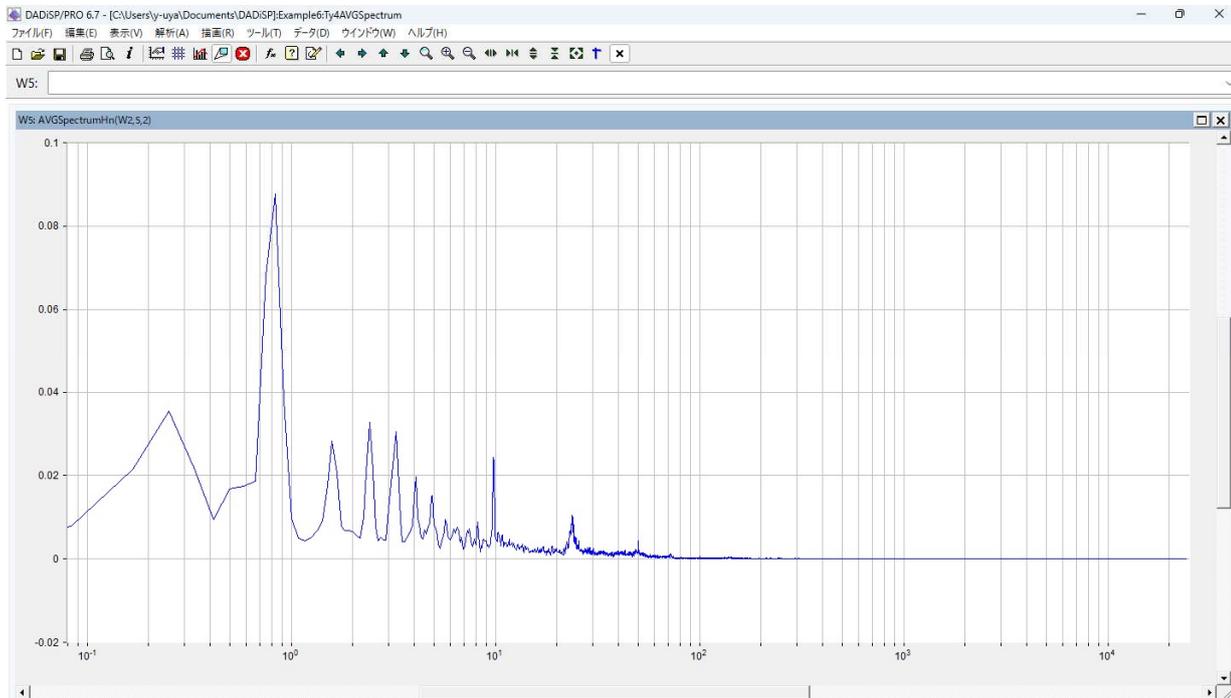
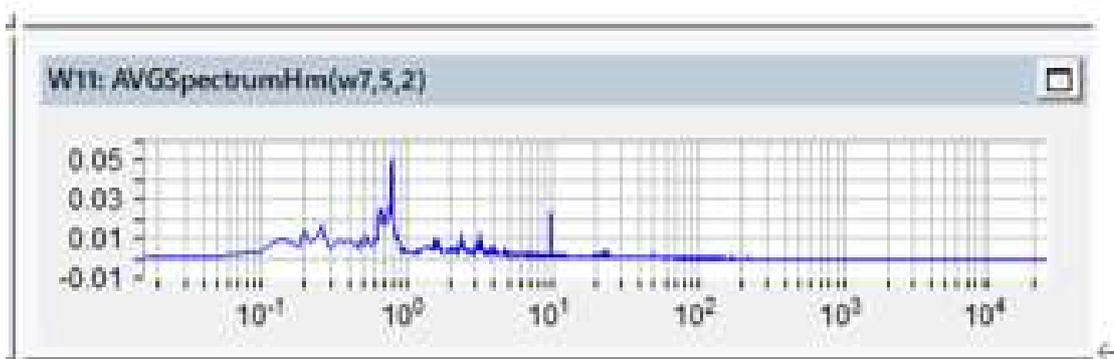
普通のマイクを使ったものでは、超低周波音(0Hz～20Hz)は映らないのです。

タイプ2：対数軸と音圧（パスカル）

交通騒音（0Hz 以上） ←



風車騒音（0Hz 以上） ←



上の図から、風車音の成分は、100Hz 以下のものがほとんどであることが分かります。

A 特性音圧レベルの計算では、1000Hz～5000Hz の成分が重視されて、重み付けの値が正の値となります。

A

A特性の補正値を列記します。補正値は「JIS C 1509」に記載されています。フラットの値 (dB) に下記の値を加算してください。

周波数 (Hz)	補正値 (dB)
20	-50.5
25	-44.7
31.5	-39.4
40	-34.6
50	-30.2
63	-26.2
80	-22.5
100	-19.1
125	-16.1
160	-13.4
200	-10.9
250	-8.6
315	-6.6
400	-4.8
500	-3.2
630	-1.9
800	-0.8
1000	0.0
1250	0.6
1600	1.0
2000	1.2
2500	1.3
3150	1.2
4000	1.0
5000	0.5
6300	-0.1
8000	-1.1
10000	-2.5
12500	-4.3
16000	-6.6
20000	-9.3

風車騒音の予測をするには、3つのデータが必要です。

1番目は、GPIの準備書にある、次の表です。 p 829

表 10.1.4-4 風力発電機のパワーレベル及び周波数特性

単位：dB

項目	1/3オクターブバンド中心周波数(Hz)：平坦特性音響パワーレベル											
	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5
本事業	133.1	131.8	130.5	129.2	127.9	126.6	125.3	124.0	122.7	120.7	118.7	116.7
既存施設	121.0	121.9	118.2	118.1	117.4	116.1	113.4	112.1	110.6	109.1	107.8	106.6
計画中施設	119.2	117.5	118.9	122.4	121.2	121.2	121.4	120.7	119.4	118.8	119.8	117.8

項目	1/3オクターブバンド中心周波数(Hz)：平坦特性音響パワーレベル											G特性	
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160		200
本事業	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2	108.0	107.1	106.3	105.4	104.5	103.9	103.0	128.4
既存施設	103.9	102.1	101.1	101.3	101.7	97.4	102.6	99.8	108.0	100.5	96.8	93.8	117.5
計画中施設	113.3	114.2	114.1	112.7	112.3	111.2	109.8	107.2	105.6	108.7	102.1	97.5	128.5

注1：既存事業及び計画中施設の施設規模及び風力発電機の仕様は、計画中施設の「(仮称)ウインドパーク布引北風力発電事業環境影響評価準備書」(2020年4月 株式会社シーテック)を参考とした。

表の、“既存施設”は、CTech社の2000kwのもの、計画中施設は2300kwのものです。
 上の表では200Hzまでしか書かれていないので、200Hz以上の成分を考える手掛かりは、

2番目に必要な数値は、準備書のp801にある、A特性パワーレベルの表です。 p 801

表 10.1.3-15 風力発電機のパワーレベル及び周波数特性

単位：dB

項目	1/1オクターブバンド中心周波数(Hz)：A特性パワーレベル								A特性 (dB)
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
本事業	86.3	93.5	98.2	100.5	100.4	97.7	92.7	85.1	106.0
既存施設	89.2	91.0	88.5	97.2	102.5	98.3	97.8	87.3	105.9
計画中施設	87.2	94.8	93.9	96.7	98.5	94.2	82.7	75.4	103.1

注1：既存事業及び計画中施設の施設規模及び風力発電機の仕様は、計画中施設の「(仮称)ウインドパーク布引北風力発電事業環境影響評価準備書」(2020年4月 株式会社シーテック)を参考とした。

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

上の表は1/3オクターブ解析での数値、下の表は1/1オクターブ解析での数値です。

騒音の予測値を計算するには、調整が必要となります。これについては後ほど記述します。

騒音の煩さを表す数値はA特性音圧レベルです。これに沿って測った値の大きさについての評価をしているのが指針値です。(問題点はあるが、それは別の機会に述べます。)

音響パワーと音圧レベルの関係を調べて、変換できるようにします。

音響パワーと音圧レベル

音響パワーとは、単位時間あたりに音源が放射した空気中の音響エネルギーの総量です。一方音圧は、音源が放射した音のエネルギーが、その場の音響環境の影響を受けて測定された物理量です。音響パワーは原因、音圧は環境の影響を受けた結果といえます。

音響パワーと音圧の関係

音響パワーと音圧の関係を、熱に例えて説明しましょう。

電気ヒーターは一定の熱出力があり、それが部屋に放射されて部屋の温度を上げています。ヒーターの出力は、そのヒーターが設置されてある部屋には依存しません。しかし部屋の温度は、ヒーターからの距離や部屋の広さ、壁や床の熱の吸収や伝わり具合などの部屋の環境によって変わってきます。

音源の音響パワーと空間の音圧レベルの関係はこれと似ています。音源から放射される音のエネルギーは、その空間の音圧レベルを上昇させます。音源の音響パワーレベルは部屋に依存しませんが、音圧レベルは音源からの距離や部屋の特性に依存します。部屋の大きさ、室内の壁、床、天井などがどれだけ音を反射または吸収するかなどが関係します。

Sound Power	Sound Pressure
	
Power, W [W= J/s]	Pressure, p [N/m ² = Pa] L _p [dB]
$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} \text{ dB}$	$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \text{ dB}$
(W ₀ = 1 pW)	(p ₀ = 20 μPa)

音圧と同じように、音響パワーもデシベルで表わされます。たまた基準が省略された表記で混乱を招くこともあるようですが、基準はそれぞれ、音圧レベルは 20 μPa、音響パワーレベルは 1pW です。

この基準は、完全な自由音場、伝搬面積が 1m² の距離において、音圧レベルと音響パワーレベルが等しくなるように選定されています。

音響パワーはどのように測定するか？

音響パワーは、音圧または音響インテンシティから算出されます。

音圧から音響パワーを求めるには、直接法と比較法の2つの方法があります。直接法は自由音場で測定するのが一般的ですが、残響音場でも可能です。一方比較法は、残響音場でのみの測定となります。

直接法では、測定対象物を囲う仮想表面を定義し、その表面上の複数の位置で音圧測定を行います。これらの音圧レベル測定値は空間的に平均され、そこから音響環境（暗騒音など）の影響を補正します。

測定面の平均音圧レベルが求めれば、基準表面積（ $S_0 = 1\text{m}^2$ ）と測定面の表面積（ S ）を下式に代入するだけで、音響パワーレベルを算出することができます。このようにして、音圧レベルは音響パワーレベルと等しくなるのです。

$$L_W = L_p + 10 \lg \frac{S}{S_0} \text{ dB}$$

比較法は少し異なります。比較法では、既知の安定した音響パワーレベルを持つ基準音源を使用します。試験室では、基準音源が動作している状態と測定対象が動作している状態の両方で音圧測定を行います。そして、それぞれの音源で測定した音圧レベルを比較することで、測定対象の音響パワーレベルを算出します。

て、それぞれの音源で測定した音圧レベルを比較することで、測定対象の音響パワーレベルを算出します。

$$L_W = L_p + (L_{W\text{ref}} - L_{p\text{ref}})$$

音響インテンシティ測定から音響パワーを算出する方法は、音圧法における直接法と非常によく似た手順です。しかし、音響インテンシティは時間平均されたベクトル量であるため、音圧法の測定よりも暗騒音や残響の影響を受けにくくなっています。このため、音響インテンシティベースの音響パワー測定は、特に現場での測定に適しています。

音響パワーレベルと音圧レベルの関連をさらに確認します。

空気の密度 ρ と音速 c の積、 ρc ですが、空気の音響インピーダンスと呼ばれます。値は、

(例) 空気の音響インピーダンス

$$Z = 1.205[\text{kg}/\text{m}^3] * 340[\text{m}/\text{s}] = 409.7[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})] = 409.7 [\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^3]$$

これより、 $\rho c = 400 = 20 * 20$ [NS/m³]と考えます。

もう少し調べます。

2. 音響パワーレベルの定義

音響パワーレベル (Sound Power Level) は、音源が空間内に放射する音響パワー (単位: $W = J/s$), すなわち音源が単位時間 (1 s) あたりに放射する音響エネルギーをレベル表示した量で、国際的な約束として次のように定義されている。

$$L_w = 10 \log_{10} (P/P_0) \quad (1)$$

ただし, L_w : 音源の音響パワーレベル (dB)

P : 音源の音響パワー (W)

P_0 : 基準の音響パワー (10^{-12} W)

この定義から明らかなように、音響パワーあるいは音響パワーレベルは、定常的 (完全に定常的でなくても、ある時間をとれば統計的に定常とみなせる音も含む) を放射する音源についてのみ定義できる量で、間欠的あるいは衝撃的な音を発生する音源については適用できない。(この種の過渡的な音については、パワーではなく、放射エネルギーに着目してレベル表示する方法²⁾が提案されているが、現在のところ音響パワーレベルほど一般的にはなっていない。)

(1) 音圧法 I (自由音場法または半自由音場法)

図-1 に示すように、自由音場内に置かれた音源を中心として、それをとり囲む球面を考えると、音源が放射する音響パワー P (W) と球面を通過する音の強さ (音響インテンシティ) の面上の平均値 \bar{I}

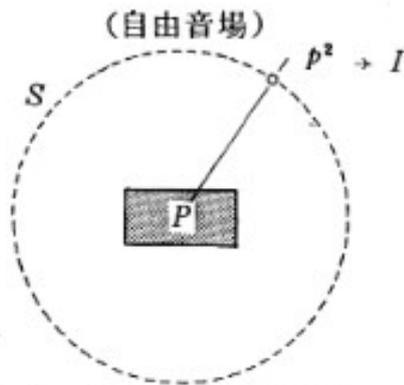


図-1 自由音場法（音圧法-I）

（ W/m^2 ）の間には、次の関係がある。

$$P = \bar{I} \cdot S \quad (2)$$

ただし、 S ：球面の面積（ m^2 ）

ここで、自由音場内で音源からある程度離れた場所では、音の強さ I と音圧 p の2乗の時間平均値以下、平均2乗音圧という）の間には次の関係が成り立つ。

$$I = p^2 / \rho c \quad (3)$$

ただし、 ρ ：空気の密度、 c ：空気中の音速

したがって(2)式は

$$P = (p^2 / \rho c) \cdot S \quad (4)$$

と表すことができ、定義式(1)に従って両辺を 10^{-12} で除してレベル表示することにより、音源の音響パワーレベルは次式で表される。

$$L_w = 10 \log_{10} (P / P_0) \quad (1)$$

ただし、 L_w ：音源の音響パワーレベル（dB）

P ：音源の音響パワー（W）

P_0 ：基準の音響パワー（ 10^{-12} W）

$$\begin{aligned} L_w &= 10 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{10^{-12}} \right) = 10 \log_{10} \left(\left(\frac{1}{10^{-12}} \right) \left(\frac{p^2}{\rho c} \right) * S \right) \\ &= 10 \log_{10} \left(\left(\frac{p^2}{400 * 10^{-12}} \right) * S \right) = 10 \log_{10} \left(\left(\frac{p}{20 * 10^{-6}} \right)^2 \right) + 10 \log_{10}(S) \end{aligned}$$

$$\rho c * 10^{-12} = 400 * 10^{-12} = (20 * 10^{-6})^2 = p_0^2 \quad \text{と}$$

$S_0 = 1$ に注意すれば、

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} \text{ dB} \quad L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \text{ dB}$$

($W_0 = 1 \text{ pW}$) ($p_0 = 20 \text{ } \mu\text{Pa}$)



より、

$$L_w = \bar{L}_p + 10 \log_{10} (S/S_0) \tag{5}$$

ただし、 \bar{L}_p : 球面上の平均音圧レベル
 S_0 : 基準の面積 (1 m^2)

($S = 4\pi r^2$ とすると、自由音場の式になる。)

球面上で音圧レベルが一定ならば、平均音圧レベルは、先の L_p と一致する。

以上のように、この方法は測定球面上で測定される音圧から間接的に音の強さを求め、それから音源の音響パワーを求める方法であり、その意味からこの方法は音圧法 (音圧法 - I) と呼ばれている。また測定音場に着目する場合には、自由音場法と呼ばれている。

また、

音響パワーレベルは、無響室あるいは残響室と呼ばれる実験室において測定される音圧レベル等から算定される。音響パワーレベルと音圧レベルの単位は同じく dB であるが、対象としている物理量は異なることに留意する。

音響パワーレベル L_w (dB) を有する無指向性の音源と、 r (m) 離れた点 (受音点) における音圧レベル L_p との関係は、反射音のない空間 (自由空間) において、式 1 で与えられる。 $4\pi r^2$ は、音源を中心とした半径 r の球の表面積である (図 1)。距離が離れて表面積が大きくなり、単位面積当たりの音のエネルギーが小さくなるに伴い、音圧レベルは小さくなる。式 1 は、音源からの距離が大きくなるに従い音圧レベルが小さくなることを表すことから、距離減衰の式と呼ばれる。

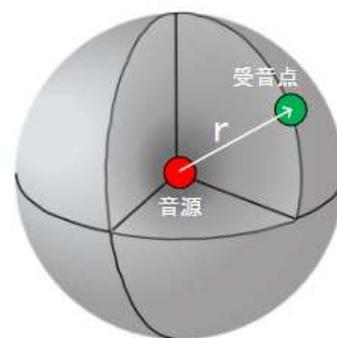


図 1 音の放射の概念図

$$\begin{aligned} L_p &= L_w + 10 \log_{10} \frac{1}{4\pi r^2} \\ &= L_w - 10 \log_{10} 4\pi r^2 \\ &= L_w - 10 \log_{10} r^2 - 10 \log_{10} 4\pi \\ &\approx L_w - 20 \log_{10} r - 11 \end{aligned} \tag{式 1}$$

との関係式もあります。

こちらの式は、音源が地上から離れていて波面が球形となる場合に適していると考えます。

また図-2に示すように、一つの面が反射性である半自由音場内の反射面の上に音源を置き、それを

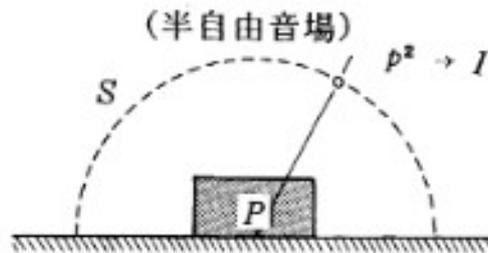


図-2 半自由音場法（音圧法-I）

とり囲む半球面を設定した場合にも、全く同様の原理で音響パワーが測定できる。この方法は、音場の種類から半自由音場法と呼ばれている。もちろんその場合には、(4), (5)式の中の S としては、半球面の面積をとらなければならない。

半球面の面積は、 $2\pi r^2$ なので、

$$L_p = L_w - 10 \log(2\pi r^2) = L_w - 20 \log r - \log(2\pi) = L_w - 20 \log r - 7.98$$

こちらの式は、音源が地面に近い場合に使われるようです。

風車では、低周波音の予測にはこれを使うようです。

② 予測式

低周波音は、一般的な騒音と同じ伝搬を示し、半自由空間における距離減衰式は、一般的に広く騒音予測計算を用いており、かつマニュアル等で示された手法である。

特に低周波音は、施設建物等による遮へい・回折による減衰をしにくいことから、遮へい・回折減衰は考慮しないこととし、発生源における低周波音が距離減衰する伝搬理論計算式を用いた。

また、本施設は低周波音の発生として特殊な施設ではなく、地形は平坦であり、特異な低周波音の発生や伝搬状況とはならないと考えられることから、下記の予測式の適用は妥当であると考ええる。また、遮へい・回折減衰を考慮していないことから、低周波音が大きくなる条件での予測手法となっている。

[半自由空間における点発生源の距離減衰式]

$$SPL = PWL - 8 - 20 \cdot \log(r)$$

ここで、

SPL : 予測点における低周波音レベル (dB)

PWL : 発生源の低周波音レベル (仮想点発生源の低周波音レベル) (dB)

r : 発生源から予測点までの距離 (m)

[低周波音圧レベルの合成]

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

ここで、

ΣL : 合成された低周波音圧レベル (dB)

L_n : 発生源 n に対する低周波音圧レベル (dB)

GPI が使う低周波に関して使う予測式は次式です。(騒音の計算は別の式でした。)

(7) 予測式

音の伝搬理論式に基づき計算を行った。なお、空気の吸収等による減衰、障壁等の回折による減衰及び地表面の影響による減衰を考慮しないこととした。

$$L_i = PWL_i - 8 - 20 \cdot \log_{10} r$$

[記号]

L_i : 音源から距離 r における音圧レベル (デシベル)

PWL_i : 音源のパワーレベル (デシベル)

r : 音源からの距離 (m)

予測地点における G 特性音圧レベル及び 1/3 オクターブバンド音圧レベルは、各風力発電機から発生する 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を計算し、それらを重合させて算出した。

$$L_p = 10 \log(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10})$$

[記号]

L_p : 予測地点における音圧レベル (デシベル)

L_n : n 番目の風力発電機による音圧レベル (デシベル)

環境省の平成 22 年度 移動発生源の低周波音等に関する検討調査等業務報告書の付録に、次のように書かれている。

(解説) パワーレベル

風力発電機のパワーレベルの提示方法は、国際規格である IEC 61400-11 により規定されている。タワーの高さとローター径により定められる所定の距離で現地測定されたデータから、強制的に運転を停止させて得られる暗騒音の影響を差し引いて求められる。

(解説) 予測計算式

すべての風力発電機が同時に稼働するものとし、(3.1)式に示す騒音のエネルギー伝搬予測方法にしたがって計算した (出典:「風力発電導入ガイドブック」, 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 平成 17 年 5 月)。

$$L_n = L_w - 10 \log(r^2 + h^2) - 8 - \Delta L_{AIR} \quad (3.1)$$

ここで、

L_n : n 番目の風力発電機から水平距離 r (m) 離れた地点での騒音レベル (dB)

L_w : 風力発電機のパワーレベル (dB)

r : 風力発電機から騒音予測地点までの水平距離 (m)

h : 風力発電機のブレード中心までの高さ (m)

ΔL_{AIR} : 空気減衰 (dB)

$$\Delta L_{AIR} = \alpha (r^2 + h^2)^{1/2} \quad (3.2)$$

α : 定数 (=0.005 dB/m)

予測地点における騒音レベルは、それぞれの風力発電機から発生する騒音レベルを (3.1) 式によって計算し、これらを (3.3) 式によって重合することで求められる。

$$L_p = 10 \log(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10}) \quad (3.3)$$

ここで、

L_p : 予測地点における騒音レベル(dB)

L_n : n 番目の風力発電機による騒音レベル(dB)

GPI 準備書 p 828 には、2つの式

$$L_i = PWL_i - 8 - 20 * \log_{10} r$$

$$L_p = 10 \log (10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}})$$

があり、上の式は、

$$L_n = L_w - 10 \log(r^2 + h^2) - 8 - \Delta L_{AIR} \quad (3.1)$$

で、 $h = 0$ 、 $\Delta L_{AIR} = 0$ と置いたものと同一であり、2番目の式は(3.3)式と同じです。

色々ありますが、1Hz から 40Hz までは、GPI 準備書 p 828 にある2つの式

$$L_i = PWL_i - 8 - 20 * \log_{10} r$$

$$L_p = 10 \log (10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}})$$

で計算をします。

周波数が高くなると、空気減衰を考える必要が出てくるので、50Hz 以上の周波数に関しては、

(解説) 予測計算式

すべての風力発電機が同時に稼働するものとし、(3.1)式に示す騒音のエネルギー伝搬予測方法にしたがって計算した。

$$L_n = L_w - 10 \log(r^2 + h^2) - 8 - \Delta L_{AIR} \quad (3.1)$$

ここで、

L_n : n 番目の風力発電機から水平距離 r (m) 離れた地点での騒音レベル (dB)

L_w : 風力発電機のパワーレベル (dB)

r : 風力発電機から騒音予測地点までの水平距離 (m)

h : 風力発電機のブレード中心までの高さ (m)

ΔL_{AIR} : 空気減衰 (dB)

$$\Delta L_{AIR} = \alpha (r^2 + h^2)^2 / 1000 \quad (3.2)$$

α : 定数（以下の表に一例を記載するが詳細は IS09613-2 に記載される
大気吸収減衰係数を参照し、オクターブバンド別に計算を行う）

温度と相対湿度におけるオクターブバンド騒音に対する大気吸収減衰係数 α									
温度(°C)	相対湿度(%)	オクターブバンド中心周波数(Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10	70	0.1	0.4	1.0	1.9	3.7	9.7	32.8	117.0
20	70	0.1	0.3	1.1	2.8	5.0	9.0	22.9	76.6
30	70	0.1	0.3	1.0	3.1	7.4	12.7	23.1	59.3
15	20	0.3	0.6	1.2	2.7	8.2	28.2	88.8	202.0
15	50	0.1	0.5	1.2	2.2	4.2	10.8	36.2	129.0
15	80	0.1	0.3	1.1	2.4	4.1	8.3	23.7	82.8

に従って、空気減衰の項を追加します。

A 特性音響パワーレベルと A 特性音圧レベル(20Hz～)の関連を示す式には次のものもあります。

A特性音圧レベル $L_{A,i}$ のユニットパターンは、無指向性点音源の半自由空間における伝搬を考慮して次式によって計算した。

$$L_{A,i} = L_{WA,i} - 8 - 20 \log_{10} r_i + \Delta L_{dif,i} + \Delta L_{grnd,i} + \Delta L_{air,i}$$

ここで、

$L_{A,i}$: i 番目の点音源から予測点に伝搬する A 特性音圧レベル (dB)

$L_{WA,i}$: i 番目の音源位置における自動車走行騒音の A 特性音響パワーレベル (dB)

r_i : i 番目の音源位置から予測点までの直達距離 (m)

$\Delta L_{dif,i}$: 回折に伴う減衰に関する補正量 (dB)

$\Delta L_{grnd,i}$: 地表面効果による減衰に関する補正量 (dB)

$\Delta L_{air,i}$: 空気の音響吸収による減衰に関する補正量 (dB)

ここでの計算は、

$$Ln = Lw - 10 \log(r^2 + h^2) - 8 - \Delta L_{AIR} \quad (3.1)$$

を使う事にします。これで、A 特性音響レベルから、A 特性音圧レベル (20Hz～) が得られます。

この式が低周波音の計算に適していることと、風車音の成分は 100Hz 以下の低周波成分がほとんどであることから、上の (3.1) 式を使って計算したものを作りました。

騒音予測-8(半自由空間)Excel.xlsx

この計算では、GPI の計算と差が出ます。

計算対象とする周波数は、20Hz～20kHz としてあります。理由は、63Hz～8kHz にするよりは、風車音の特性に合っている事と、A 特性音圧レベル (20Hz～) の計算方法の一つとして示されたものであるからです。A 特性音圧レベル (20Hz～) の計算の定義で、周波数範囲を 63Hz～8kHz としたものは見つかりませんでした。

② 予測式

低周波音は、一般的な騒音と同じ伝搬を示し、半自由空間における距離減衰式は、一般的に広く騒音予測計算を用いており、かつマニュアル等で示された手法である。

特に低周波音は、施設建物等による遮へい・回折による減衰をしにくいことから、遮へい・回折減衰は考慮しないこととし、発生源における低周波音が距離減衰する伝搬理論計算式を用いた。

また、本施設は低周波音の発生として特殊な施設ではなく、地形は平坦であり、特異な低周波音の発生や伝搬状況とはならないと考えられることから、下記の予測式の適用は妥当であると考ええる。また、遮へい・回折減衰を考慮していないことから、低周波音が大きくなる条件での予測手法となっている。

[半自由空間における点発生源の距離減衰式]

$$SPL = PWL - 8 - 20 \cdot \log(r)$$

ここで、

SPL : 予測点における低周波音レベル (dB)

PWL : 発生源の低周波音レベル (仮想点発生源の低周波音レベル) (dB)

r : 発生源から予測点までの距離 (m)

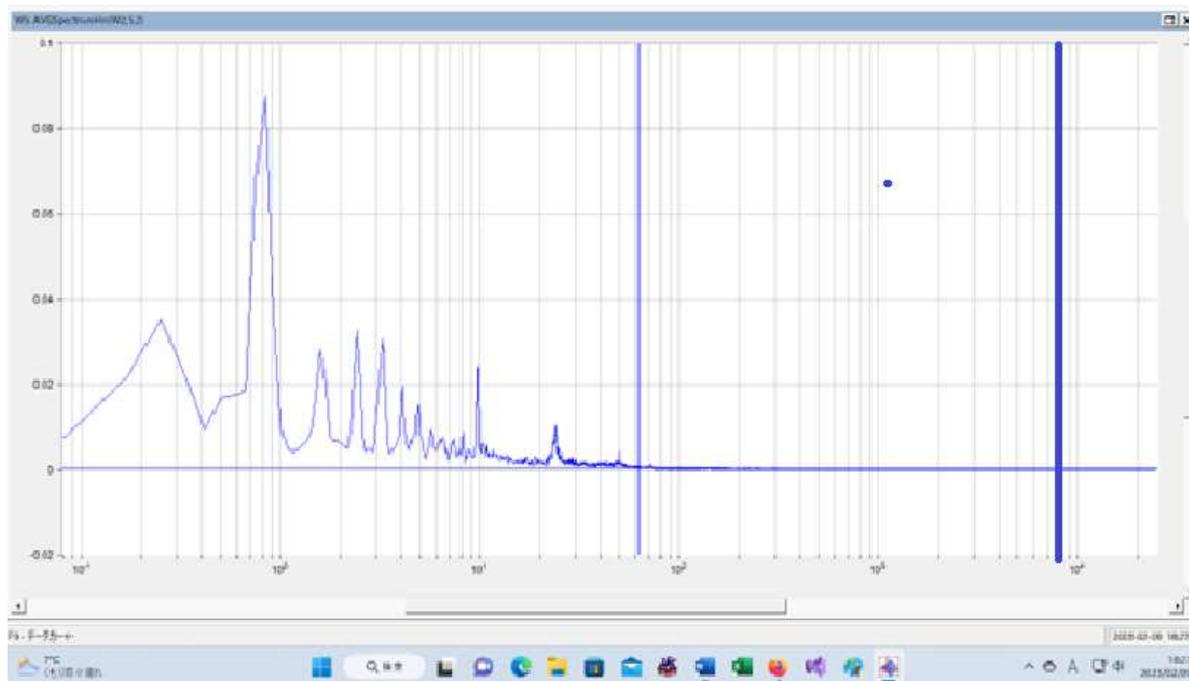
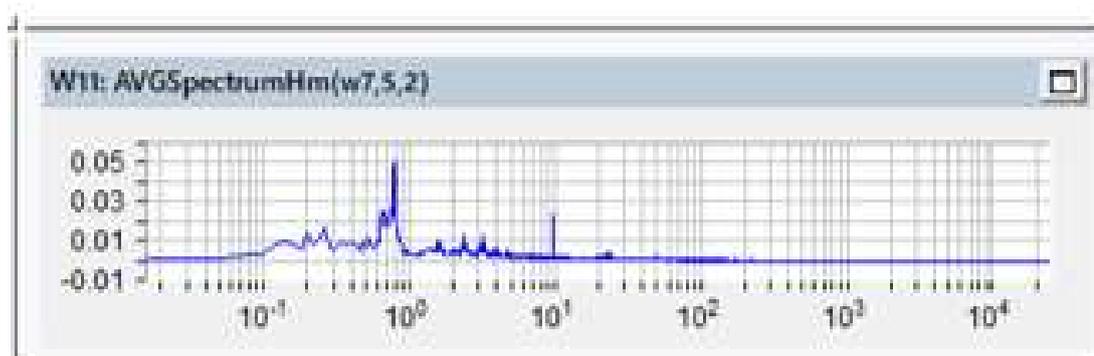
風車音は、低周波成分が主な成分なので、予測式としては、半自由空間に相当する式を使うべきだと考えます。

タイプ2：対数軸と音圧（パスカル）

交通騒音（0Hz 以上） ←



風車騒音（0Hz 以上） ←



上の図の左の縦線は 63Hz、右の縦線は 8kHz の位置を表します。

騒音の計算では、GPI は次の式を使います。ISO9613-2 に従っています。

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、騒音の伝搬予測方法 (ISO 9613-2) にしたがって計算した。

$$L_i = PWL_i - 11 - 20 \cdot \log_{10} r - A_E - A_T - A_G$$

[記号]

L_i : 音源から距離 r における騒音レベル (dB)

PWL_i : 音源のパワーレベル (dB)

r : 音源からの距離 (m)

A_E : 空気の吸収による減衰 (dB)

A_T : 障壁等の回折による減衰 (dB)

A_G : 地表面による減衰 (dB)

この式では、値が減少しそうなものしかありませんが、場所が風下になった時の増加、反射してきた音による増加も考慮すべきです。

計算は、

1. 規格の考え方と適用範囲

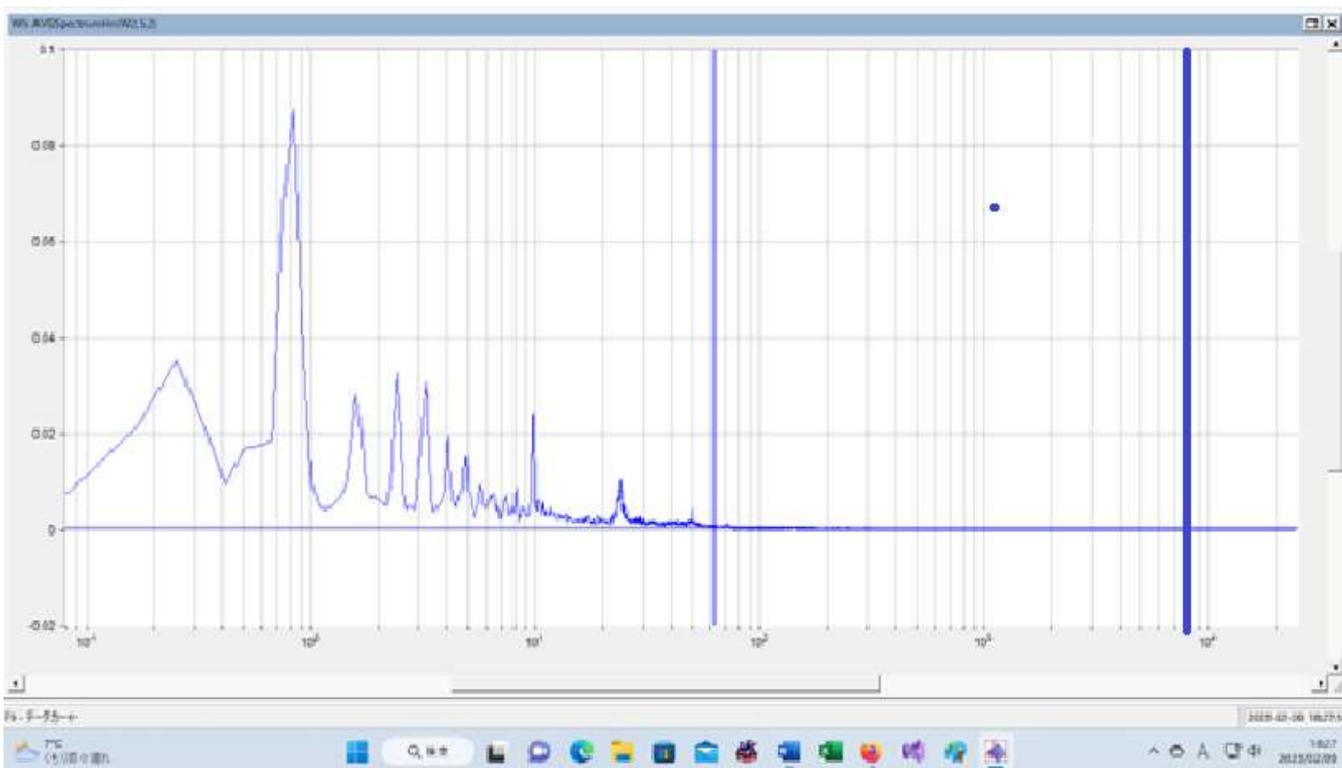
ISO 9613-2 「音響学—屋外の音の伝搬減衰、その2：一般的計算方法」¹⁾には、各種の音源から屋外を伝搬する音について環境騒音レベルを予測するための計算方法が示されている。

この規格は、音が伝搬しやすい気象条件を前提として、各種の物理的メカニズムによる減衰を個別に計算する方法を採用して受信点での等価騒音レベルを求めることとしている。音が伝搬しやすい気象条件とは、風と同じ方向に音が伝搬する順風伝搬の場合、あるいは、通常の子にみられるように、地表面に起因する気温逆転層が中程度に発達した条件の下での伝搬などが該当する。

計算方法としては、1つの点音源あるいは点音源の集合から発生する騒音の減衰について、63Hzから8kHzのオクターブバンドごとに個別に計算し、最終的にオーバーオール等の騒音レベルを求めるようになっている。具体的な計算方法として、幾何拡散、大気吸収、地表面の影響、障害物による遮蔽、及び、表面からの反射などの物理的要因による減衰の予測方法が示されている。また、家屋群、植栽及び工場立地の中の伝搬についてもその影響の評価方法が付録に示されている。

計算の対象となる周波数は63Hz～8kHzです。交通騒音などでは、この範囲に騒音の主な部分が入っているので適切だと思いますが、風車騒音では、不適切です。

次のグラフは、風車音の周波数スペクトルです。



上の図の左の縦線は63Hz、右の縦線は8kHzの位置を表します。計算範囲を63Hz～8kHzにすると後で問題が起きるのです。

GPIは指針値を決定するために、残留騒音を求めました。

p816

表 10.1.3-21(2) 施設の稼働に伴う騒音の予測結果（指針値との比較）
（累積的影響：調査期間中の空気吸収による減衰量が最小時）

【春季】 単位：dB

予測地点	時間区分	騒音レベル					将来予測値 累積 e=a+b+c+d	増加分 e-a	指針値
		現況値 a	風力発電施設寄与値						
			本事業 b	既存 c	計画中 d				
騒音-①	昼間	34	29	28	18	36	2	40	
	夜間	36				37	1	41	
騒音-②	昼間	43	30	17	18	43	0	48	
	夜間	43				43	0	48	
騒音-③	昼間	40	31	34	27	42	2	45	
	夜間	39				41	2	44	

【冬季】 単位：dB

予測地点	時間区分	騒音レベル					将来予測値 累積 e=a+b+c+d	増加分 e-a	指針値
		現況値 a	風力発電施設寄与値						
			本事業 b	既存 c	計画中 d				
騒音-①	昼間	33	29	28	18	35	2	40	
	夜間	35				37	2	40	
騒音-②	昼間	40	30	17	18	40	0	45	
	夜間	40				40	0	45	
騒音-③	昼間	38	31	34	27	40	2	43	
	夜間	37				40	3	42	

注1：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間：6～22時、夜間：22時～6時）

注2：現況値は、現地調査における測定値より算出した残留騒音（ $L_{A90}+2dB$ ）とした。

注3：指針値は、残留騒音+5dBとした。なお、「残留騒音+5dB」が40dB未満の場合は40dBとした。

（本事業の値が、縦に、29, 30, 31となっているが、GPIの風車に近い順は、①、②、③です。

数値は、③と①については、風車からの距離とは逆になっています。

既存の値は、28, 17, 34であり、風車に近い順は、③、①、②です。近い所が大きな値になっています。

計画中の値は、18, 18, 27で、風車に近い順は、③、②、①です、近い所が大きな値です。

この数値の逆転に関しては、後で詳しく考えます。）

GPIは残留騒音を計算してから、指針値を示しました。

冬季の騒音①(平木地区)について確認すれば、指針値が昼間、夜間ともに40です。

騒音レベルの予測値が、29, 28, 18と横に並んでいます。

今度は、騒音の現況値(実際に計測された値)を用いて将来の騒音の予測値を出しました。

p814

表 10.1.3-20(2) 施設の稼働に伴う騒音の予測結果(環境基準との比較)
(累積的影響: 空気吸収による減衰量が最小時)

【春季】 単位: dB

予測地点	時間区分	騒音レベル (L_{Aeq})					環境基準 (参考)	
		現況値 a	風力発電施設寄与値			将来予測値 累積 e=a+b+c+d		増加分 e-a
			本事業 b	既存 c	計画中 d			
騒音-①	昼間	39	29	28	18	40	1	(55)
	夜間	37				38	1	(45)
騒音-②	昼間	42	30	17	18	42	0	(55)
	夜間	42				42	0	(45)
騒音-③	昼間	45	31	34	27	46	1	(55)
	夜間	40				42	2	(45)

【冬季】 単位: dB

予測地点	時間区分	騒音レベル (L_{Aeq})					環境基準 (参考)	
		現況値 a	風力発電施設寄与値			将来予測値 累積 e=a+b+c+d		増加分 e-a
			本事業 b	既存 c	計画中 d			
騒音-①	昼間	39	29	28	18	40	1	(55)
	夜間	37				38	1	(45)
騒音-②	昼間	40	30	17	18	40	0	(55)
	夜間	39				40	1	(45)
騒音-③	昼間	45	31	34	27	46	1	(55)
	夜間	39				41	2	(45)

注1: 時間区分は、「騒音に係る環境基準について」(平成10年環境庁告示第64号)に基づく区分
(昼間: 6~22時、夜間: 22時~5時)

注2: 現況値は、現地調査における測定値 (L_{Aeq}) とした。

注3: 環境基準は、地域の類型指定が定められていないことから、参考として「騒音に係る環境基準について」(平成10年環境庁告示第64号)における「A類型」の基準値を()で示した。

風力発電施設寄与値には季節による変化はありません。騒音①の平木地区は、冬に北北西の風が強く吹く時には、GPIの風車の風下に当たるのですが、予測時には、風向や風速の影響を考える項目が入っていないのです。

騒音①(平木地区)では、風力発電施設寄与値が、29, 28, 18と並んでいます。この数値は、ISO9613-2に従って求めた値ですから、計算範囲は、63Hz~8kHzになっています。計算式には風の影響は入っていません。

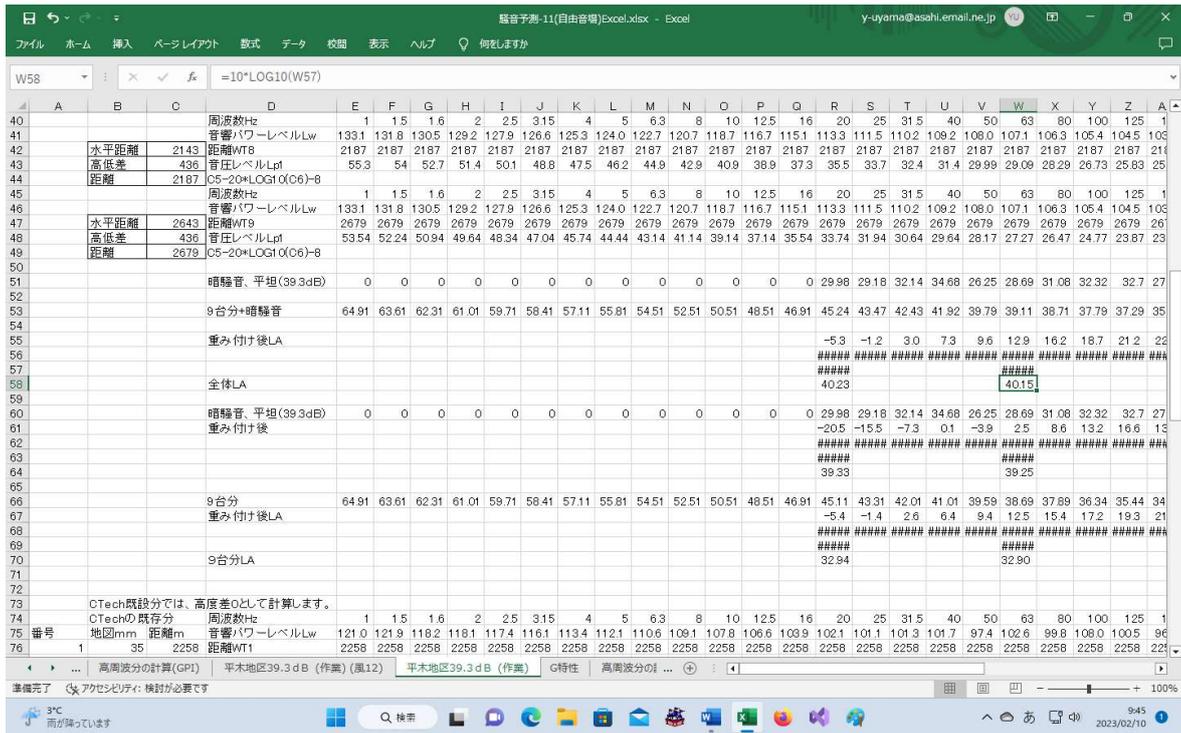
騒音①(平木地区)の昼間では、39, 29, 28, 18, 40と言う数値が並んでいます。四捨五入してこの値になる場合を検討します。

$$10 \cdot \log_{10}(10^{39/10} + 10^{29/10} + 10^{28/10} + 10^{18/10}) = 39.75$$

大き目の数値で考えると

$$10 \cdot \log_{10}(10^{39.4/10} + 10^{29.4/10} + 10^{28.4/10} + 10^{18.4/10}) = 40.15$$

計算式は違いますが、63Hz~8kHzの部分で計算したA特性音圧レベルが40.15となるものがありました。



計算範囲を 20Hz～20kHz に広げたときに、40.23 になりました。

表 10.1.1-2(1) 風向出現頻度及び平均風速

調査地点 : 一般-①
 調査期間 : (春季) 2020年5月20日(水)～5月26日(火)
 調査期間 : (夏季) 2020年8月21日(金)～8月27日(木)
 調査期間 : (秋季) 2020年10月16日(金)～10月22日(木)
 調査期間 : (冬季) 2021年1月15日(金)～1月21日(木)

[風向出現頻度]

(単位: %)

風向		NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	静穏	合計
春季	全日	1.8	0.6	1.2	0.6	1.8	9.5	11.9	11.9	4.8	0.6	0.6	1.8	3.0	7.1	23.8	13.1	6.0	100
	昼間	3.1	1.0	1.0	0	2.0	13.3	16.3	12.2	6.1	1.0	1.0	3.1	2.0	6.1	14.3	13.3	4.1	100
	夜間	0	0	1.4	1.4	1.4	4.3	5.7	11.4	2.9	0	0	0	4.3	8.6	37.1	12.9	8.6	100
夏季	全日	1.2	1.8	2.4	3.0	8.3	14.3	10.7	8.3	2.4	0.6	0	1.2	3.0	9.5	21.4	4.8	7.1	100
	昼間	0	1.1	1.1	4.4	13.2	23.1	18.7	13.2	4.4	1.1	0	0	3.3	1.1	8.8	3.3	3.3	100
	夜間	2.6	2.6	3.9	1.3	2.6	3.9	1.3	2.6	0	0	0	2.6	2.6	19.5	36.4	6.5	11.7	100
秋季	全日	0	0.6	0.6	0	5.4	6.0	6.5	1.8	0	0	1.8	5.4	21.4	32.1	14.9	0.6	3.0	100
	昼間	0	1.2	1.2	0	8.3	7.1	11.9	3.6	0	0	3.6	6.0	22.6	23.8	6.0	0	4.8	100
	夜間	0	0	0	0	2.4	4.8	1.2	0	0	0	0	4.8	20.2	40.5	23.8	1.2	1.2	100
冬季	全日	3.6	0.6	0	0	0.6	0	0.6	5.4	3.0	1.8	1.8	2.4	3.0	19.0	38.1	18.5	1.8	100
	昼間	7.8	1.3	0	0	1.3	0	1.3	11.7	6.5	2.6	3.9	3.9	5.2	16.9	20.8	14.3	2.6	100
	夜間	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	0	1.1	1.1	1.1	20.9	52.7	22.0	1.1	100
全期間	全日	1.6	0.9	1.0	0.9	4.0	7.4	7.4	6.8	2.5	0.7	1.0	2.7	7.6	17.0	24.6	9.2	4.5	100
	昼間	2.6	1.1	0.9	1.1	6.3	11.4	12.6	10.3	4.3	1.1	2.0	3.1	8.0	11.4	12.3	7.7	3.7	100
	夜間	0.6	0.6	1.2	0.6	1.6	3.1	1.9	3.1	0.6	0.3	0	2.2	7.1	23.0	37.9	10.9	5.3	100

表 10.1.3-16 本事業の風力発電機の風速別パワーレベル及び周波数特性

単位：dB

ハブ高さ 風速 (m)	1/1オクターブバンド中心周波数 (Hz)								A特性
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
3	70.3	78.8	84.3	87.1	86.9	83.8	77.9	69.0	92.2
4	70.8	79.4	85.0	87.7	87.5	84.3	78.2	69.1	92.8
6	75.7	83.9	89.3	91.9	91.6	88.5	82.5	73.7	97.0
8	82.7	90.1	95.1	97.5	97.3	94.5	89.2	81.2	102.8
9	85.3	92.6	97.4	99.7	99.5	96.8	91.7	84.0	105.1
10	86.3	93.5	98.3	100.6	100.4	97.7	92.5	84.8	106.0
12	86.3	93.5	98.2	100.5	100.4	97.7	92.7	85.1	106.0

さらに、

風を風速 0m、と考えると、

63Hz～8 kHz の部分で計算した A 特性音圧レベルが 40.15

20Hz～20kHz での A 特性音圧レベル(20Hz～)を計算したら、40.23 になりました。

冬期の風を風速 12m、北北西の風と考えると、

63Hz～8 kHz の部分で計算した A 特性音圧レベルが 40.23

20Hz～20kHz での A 特性音圧レベル(20Hz～)を計算したら、40.31 になりました。

冬期の風を風速 22m、北北西の風と考えると、

63Hz～8 kHz の部分で計算した A 特性音圧レベルが 40.31

20Hz～20kHz での A 特性音圧レベル(20Hz～)を計算したら、40.38 になりました。

この計算では、パワーレベルの変動は無視しています。

冬に吹く北北西の風の影響を考えて現況値と GPI の風車分を重合するときには、29 を 29.23 として計算するべきだと考えます。パワーレベルの上昇を考えると、もう少し上がると思います。

計算式は、自由音場(球形)での距離減衰と周波数減衰を入れてあります。

($W47-20*\text{LOG}_{10}(W48)-11-0.1*W48/1000$ のような式です。)

40.31 も、39.75 も四捨五入すると 40 です。

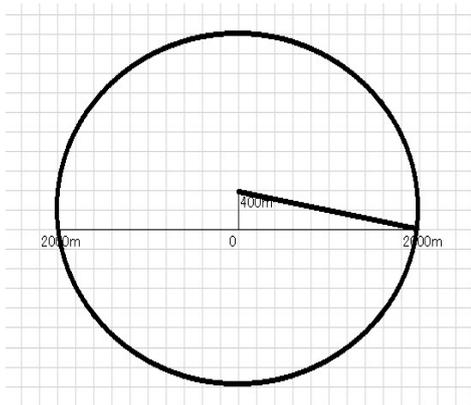
風が強く吹けば、0.23 増える可能性があります。39.75 は 39.98 になり、40.31 が 40.54 になる可能性があります。

平木地区に関しては、南東側の山による反射波の影響も検討すべきです。

計算が大変でも計測は簡単です。GPI が心配ないとした数値以内に収まっているかどうかを確認することが必要です。計測に関して GPI に頼る気持ちはありません。こちらで計測します。

もし GPI の予測値を超えていたら、責任を取って風車を撤去していただければ結構です。

さらに、



高低差 400mで、2000m離れた場所では、波面は半球型と見るべきです。

予測式は、

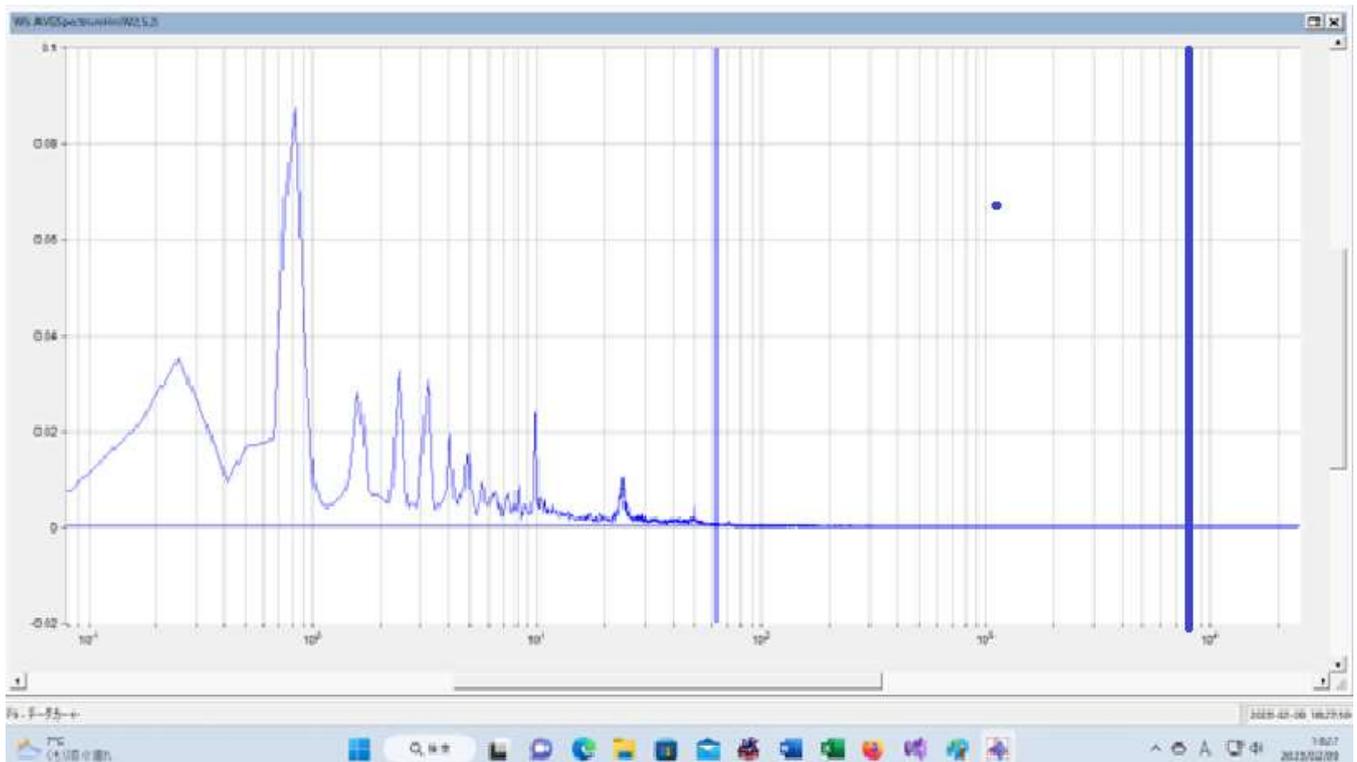
$$L_i = PWL_i - 11 - 20 \cdot \log_{10} r - A_E - A_T - A_G$$

よりも、

$$L_n = L_w - 10 \log(r^2 + h^2) - 8 - \Delta L_{\text{AIR}} \quad (3.1)$$

の方が適切だと考えます。

私が計測した千葉県館山市の風車は小さなものでした。音の主な成分は 50Hz 以下の低周波領域に集中していて、音圧のピーク値は 0.8Hz の時でした。



大型の風車では、回転数が低くなり、音のエネルギーはさらに周波数の低い領域に集中します。

周波数が 0.5Hz くらいの時に、音圧がピーク値を取ることになります。

A 特性音圧レベル(20Hz～)は人間の聴覚を基準にした評価方法です。
低周波音(0 Hz～100 Hz)では圧迫感などの形で不快感を感じる人が増えます。

三重県の委員は、

“騒音の予測に用いたモデルはあくまでもモデルであり、複雑な地形の場所について、それほど正確に音の伝搬を予測できるわけではありませんので、ぜひ事後評価を実施してください。”

と主張しています。

このような理由で、建設後に測定をすれば、40dB を超える値となる可能性が極めて高いと考えます。

“うるさい”とは別の“不快である”と感じるケースが増えると考えます。

この点を考えると、GPI の計画は無謀なものだと思います。

必要な計測機材については、最後のページに書いておきました。

この機材は、三重県には無いようですので、風車建設後には、私が自分の機材を持って、ボランティアで計測に参加します。

A 特性での重みは、1/1 オクターブ解析では、次の表のようになっています。

1/1オクターブバンド重み付け特性

Frequency [Hz]	A-Weighting
8	-77.8
16	-56.7
31.5	-39.4
63	-26.2
125	-16.1
250	-8.6
500	-3.2
1000	0
2000	1.2
4000	1.0
8000	-1.1
16000	-6.6

1/1 オクターブ解析での、A 特性音響エネルギーから、A 特性音圧レベル（20Hz～）がえられ、重み付けを取り去れば、平坦特性での音圧レベルが得られます。

これは、1/1 オクターブ解析での平坦特性音圧レベルですが、1/3 オクターブ解析での平坦特性音圧レベルでの等しい値が3個集まって、1/1 オクターブ解析での、平坦特性音圧レベルになったと考えると、次のような表になります。

Hz	1/1 重みA	1/1 LWA	距離		1/1 平坦	1/3 平坦	確認
			1/3 重みA	LA			
50			-30.2			33.3	
63	-26.2	86.3	-26.2	11.9	38.1	33.3	38.0598
80			-22.5			33.3	
100			-19.1			30.4	
125	-16.1	93.5	-16.1	19.1	35.2	30.4	35.1598
160			-13.4			30.4	
200			-10.9			27.6	
250	-8.6	98.2	-8.6	23.8	32.4	27.6	32.3598
315			-6.6			27.6	
400			-4.8			24.5	
500	-3.2	100.5	-3.2	26.1	29.3	24.5	29.2598
630			-1.9			24.5	
800			-0.8			21.2	
1000	0	100.4	0	26.0	26.0	21.2	25.9598
1250			0.6			21.2	
1600			1			17.3	
2000	1.2	97.7	1.2	23.3	22.1	17.3	22.0598
2500			1.3			17.3	
3150			1.2			12.5	
4000	1	92.7	1	18.3	17.3	12.5	17.2598
5000			0.5			12.5	
6300			-0.1			7.0	
8000	-1.1	85.1	-1.1	10.7	11.8	7.0	11.7598
10000			-2.5			7.0	
12500			-4.3				
16000	-6.6						
20000							

125Hz での、A 特性音響パワーレベルが 93.5 dB の時には、

125Hz での、2099m 離れた場所での A 特性音圧レベルは、19.1 dB です。

平坦特性での音圧レベルは、 $19.1 + 16.1 = 35.2$ dB

このとき、中心周波数は、125Hz ですが、この 1/1 での周波数帯を 3 つに分割します。

中心周波数 100Hz、125Hz、160Hz に分けます。この細分化された帯域の平坦特性音圧レベルが、30.4 dB ならば、 $10 \cdot \log((10^{(30.4/10)})^3) = 35.2$

となるのです。

作業は、他のページの距離の値を上の方の赤い字の場所に値貼り付けします。

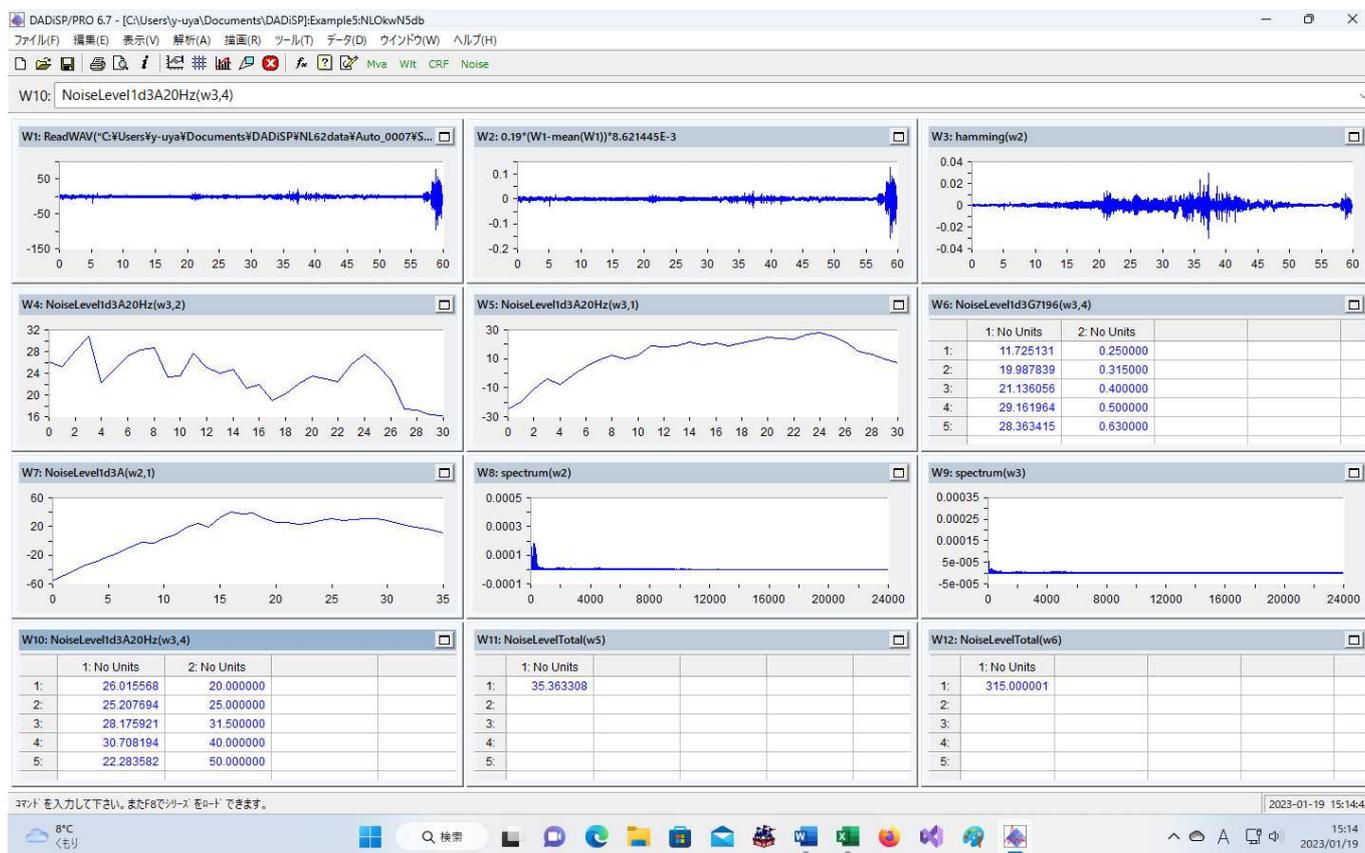
右下の範囲をコピーして、他のページの部分に、形式を選択して貼り付け、値、行と列を入れ替える。

として貼り付けます。

このような値を使って計算します。エクセルワークシートでの表計算を見て下さい。

必要な数値の3番目は、暗騒音（風車が無いときの騒音）の数値です。

計算では、暗騒音としては、私が近くの神社で計測したでデータを調整して使いました。



計測した音圧に、0.19 を掛けたものに対して、A 特性音圧レベル（20Hz～）を計算したら、35.4 dB になりました。

この時、1/3 オクターブ解析での各周波数帯での平坦特性音圧レベルを計算しました。

W10: NoiseLevel1d3A20Hz(w3,4)		
	1: No Units	2: No Units
1:	26.015568	20.000000
2:	25.207694	25.000000
3:	28.175921	31.500000
4:	30.708194	40.000000
5:	22.283582	50.000000
6:	24.725255	63.000000
7:	27.115936	80.000000
8:	28.355723	100.000000
9:	28.731041	125.000000

この数値を、暗騒音の 1/3 オクターブ解析での各帯域の音圧レベルと考えました。

Excel spreadsheet showing noise measurement data. The spreadsheet has columns A, B, C, and D. The data includes parameters like '高低差' (height difference), '距離' (distance), '音圧レベルLp1' (sound pressure level), '周波数Hz' (frequency), and '音響パワーレベルLw' (sound power level). The status bar at the bottom indicates '準備完了' (ready) and '誤差 平木地区35.4 dB概算' (error: estimated 35.4 dB for Hirakata area).

	A	B	C	D
23	高低差	436	音圧レベルLp1	58.59
24	距離	2117	C5-20*LOG10(C6)-8	
25			周波数Hz	1
26			音響パワーレベルLw	133.1
27	水平距離	2286	距離WT5	2327
28	高低差	436	音圧レベルLp1	57.76
29	距離	2327	C5-20*LOG10(C6)-8	
30			周波数Hz	1
31			音響パワーレベルLw	133.1
32	水平距離	2000	距離WT6	2047
33	高低差	436	音圧レベルLp1	58.88
34	距離	2047	C5-20*LOG10(C6)-8	
35			周波数Hz	1
36			音響パワーレベルLw	133.1
37	水平距離	1857	距離WT7	1908
38	高低差	436	音圧レベルLp1	59.49
39	距離	1908	C5-20*LOG10(C6)-8	
40			周波数Hz	1
41			音響パワーレベルLw	133.1
42	水平距離	2143	距離WT8	2187
43	高低差	436	音圧レベルLp1	58.3
44	距離	2187	C5-20*LOG10(C6)-8	
45			周波数Hz	1
46			音響パワーレベルLw	133.1
47	水平距離	2643	距離WT9	2679
48	高低差	436	音圧レベルLp1	56.54
49	距離	2679	C5-20*LOG10(C6)-8	
50				
51			暗騒音、平坦(35.4dB)	0
52				
53			9台分+暗騒音	67.91
54				
55			重み付け後LA	
56				
57				
58			全体LA	
59				

Excel spreadsheet showing noise measurement data. The spreadsheet has columns P, Q, R, S, and T. The data includes numerical values for each parameter. The status bar at the bottom indicates '7657794 データの個数: 17 合計: 266.5018'.

	P	Q	R	S	T
	40.59	38.79	36.99	35.69	34.69
	2.5	16	20	25	31.5
	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2
	2327	2327	2327	2327	2327
	39.76	37.96	36.16	34.86	33.86
	2.5	16	20	25	31.5
	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2
	2047	2047	2047	2047	2047
	40.88	39.08	37.28	35.98	34.98
	2.5	16	20	25	31.5
	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2
	1908	1908	1908	1908	1908
	41.49	39.69	37.89	36.59	35.59
	2.5	16	20	25	31.5
	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2
	2679	2679	2679	2679	2679
	38.54	36.74	34.94	33.64	32.64
	0	0	26.02	25.21	28.18
	49.91	48.14	46.34	45.1	44.21
		-2.4	1.6	5.7	9.6
		#####	#####	#####	#####
		#####			
		38.67			

暗騒音、平坦 (35.4 dB) の行に、20Hz で 26.02 として入っています。

最初に計算していた、騒音予測-8(半自由音場)Excel.xlsx では、風車音の主成分は 100Hz 以下の低周波音 (20Hz~100Hz) であることから、次の様にしていました。

低周波部分は、1Hz から、40Hz までは、

表 10.1.4-4 風力発電機のパワーレベル及び周波数特性

単位：dB

項目	1/3オクターブバンド中心周波数(Hz)：平坦特性音響パワーレベル												
	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	
本事業	133.1	131.8	130.5	129.2	127.9	126.6	125.3	124.0	122.7	120.7	118.7	116.7	
既存施設	121.0	121.9	118.2	118.1	117.4	116.1	113.4	112.1	110.6	109.1	107.8	106.6	
計画中施設	119.2	117.5	118.9	122.4	121.2	121.2	121.4	120.7	119.4	118.8	119.8	117.8	
項目	1/3オクターブバンド中心周波数(Hz)：平坦特性音響パワーレベル												G特性
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	
本事業	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2	108.0	107.1	106.3	105.4	104.5	103.9	103.0	128.4
既存施設	103.9	102.1	101.1	101.3	101.7	97.4	102.6	99.8	108.0	100.5	96.8	93.8	117.5
計画中施設	113.3	114.2	114.1	112.7	112.3	111.2	109.8	107.2	105.6	108.7	102.1	97.5	128.5

注1：既存事業及び計画中施設の施設規模及び風力発電機の仕様は、計画中施設の「(仮称) ウインドパーク布引北風力発電事業環境影響評価準備書」(2020年4月 株式会社シーテック)を参考とした。

と、GPI 準備書 p 828 にある式

$$L_i = PWL_i - 8 - 20 * \log_{10} r$$

を使って、平坦特性での音響パワーレベルから、平坦特性での音圧レベルを計算しました。

距離は、地図上での水平距離、平木地区の標高と、山の高さ、ナセルの位置を考えた計算になっています。

50Hz~200Hz に関しては、上の式に、空気減衰による影響を加味して計算しました。

$$L_n = L_w - 10 \log(r^2 + h^2) - 8 - \Delta L_{AIR} \tag{3.1}$$

$$\Delta L_{AIR} = \alpha (r^2 + h^2)^2 / 1000 \tag{3.2}$$

α : 定数 (以下の表に一例を記載するが詳細は IS09613-2 に記載される大気吸収減衰係数を参照し、オクターブバンド別に計算を行う)

温度と相対湿度におけるオクターブバンド騒音に対する大気吸収減衰係数 α									
温度(°C)	相対湿度(%)	オクターブバンド中心周波数(Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10	70	0.1	0.4	1.0	1.9	3.7	9.7	32.8	117.0

250Hz 以上に関しては、A 特性音圧レベルの計算結果を使い、

Hz	1/1重みA	1/1LWA	距離 1/3重みA	2099 LA	1/1平坦	1/3平坦	確認
50			-30.2			33.3	
63	-26.2	86.3	-26.2	11.9	38.1	33.3	38.0598
80			-22.5			33.3	
100			-19.1			30.4	
125	-16.1	93.5	-16.1	19.1	35.2	30.4	35.1598
160			-13.4			30.4	
200			-10.9			27.6	
250	-8.6	98.2	-8.6	23.8	32.4	27.6	32.3598
315			-6.6			27.6	

さらに、空気減衰を考慮しました。

平木地区の騒音の概算では、

最短の距離が 1857m、8 基は 2430m 以内、残り 1 基は 2643m ですから、
水平距離で 2000m が 9 基のケースと、2500m が 9 基のケースを計算しました。
個別に計算すれば、この間の値になると考えます。

こちらは、水平距離 2000m での計算。

Excel 画面					
セル	内容	計算式	値	値	値
A8	平木地区				
B8					
C8		最短1857m、8基は2430m以内、残り1基は			
D8		A特性の重み			
E8	GPI	周波数Hz	1	1.5	
F8		音響パワーレベルLw	133.1	131.8	131.8
G8	水平距離	2000	距離WT1	2099	2099
H8	高低差	636	音圧レベルLp1	58.66	57.36
I8	距離	2099	C5-20*LOG10(C6)-8		
J8					
K8		暗騒音、平坦(35.4dB)	0	0	
L8		9台分+暗騒音	68.2	66.9	
M8					
N8		重み付け後LA			

暗騒音 35.4 の時、予測値は、37.66 dB~38.88 dB でした。

	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	
38															
39															
40															
41 周波数Hz	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400
42 音響パワーレベルLw	133.1	113.3	111.5	110.2	109.2	108.0	107.1	106.3	105.4	104.5	103.9	103.0			
43 距離WT1	200	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000			
44 音圧レベルLp1	59.08	39.28	37.48	36.18	35.18	33.98	33.08	32.28	31.38	30.48	29.88	28.98	0	0	0
45 C5-20*LOG10(C6)-8													41.42	41.39	37.97
46															
47 暗騒音、平坦(35.4dB)	0	26.02	25.21	28.18	30.71	22.28	24.73	27.12	28.36	28.73	23.35	23.43	27.62	25.12	23.96
48															
49 9台分+暗騒音	68.62	48.84	47.05	45.8	44.89	43.55	42.69	41.97	41.16	40.33	39.53	38.65	27.69	25.24	24.11
50															
51 重み付け後LA		-1.7	2.4	6.4	10.3	13.4	16.5	19.5	22.1	24.2	26.1	27.8	19.1	18.6	19.3
52		#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
53		#####													
54 全体LA		37.09													
55															
56															
57															
58 A特性の重み		-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6	-6.6	-4.8
59															
60 周波数Hz	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400
61 音響パワーレベルLw	133.1	113.3	111.5	110.2	109.2	108.0	107.1	106.3	105.4	104.5	103.9	103.0			
62 距離WT1	250	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500			
63 音圧レベルLp1	57.14	37.34	35.54	34.24	33.24	32.04	31.14	30.34	29.44	28.54	27.94	27.04	0	0	0
64 C5-20*LOG10(C6)-8															
65															
66 暗騒音、平坦(35.4dB)	0	26.02	25.21	28.18	30.71	22.28	24.73	27.12	28.36	28.73	23.35	23.43	27.62	25.12	23.96
67															
68 9台分+暗騒音	68.68	46.92	45.13	43.9	43.04	41.63	40.79	40.11	39.34	38.56	37.65	36.79	27.69	25.24	24.11
69															
70 重み付け後LA		-3.6	0.4	4.5	8.4	11.4	14.6	17.6	20.2	22.5	24.2	25.9	19.1	18.6	19.3
71		#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
72		#####													
73 全体LA		36.6													
74 暗騒音LA、38.7dB)															

また、250Hz 以上の音圧レベルを全て 0 dB として計算する（この数値は予測値とは言えない数値です。）と、累積の値については、大き目の見積もりで 36.78 dB、小さ目の見積もりで 36.33 dB になります。

風車ごとの距離を使って、こまめに計算してみたら、次の結果になりました。

Row	Column	Content	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA
23	高低差	436	58.59	57.29	55.99	54.69	53.39	52.09	50.79	49.49	48.19	46.19	44.19	42.19	40.59	38.79	36.99	35.69	34.69	33.27	31.57	30.04	29.14	28.54	26.37	
24	距離	2117																								
25		音圧レベルLpt																								
26		周波数Hz	1	1.5	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
27	水平距離	2286	133.1	131.8	130.5	129.2	127.9	126.6	125.3	124.0	122.7	120.7	118.7	116.7	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2	108.0	107.1	106.3	105.4	104.5	103.9	103.0
28	高低差	436	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327
29	距離	2327	57.76	56.46	55.16	53.86	52.56	51.26	49.96	48.66	47.36	45.36	43.36	41.36	39.76	37.96	36.16	34.86	33.86	32.43	31.53	30.73	29.13	28.23	27.63	25.34
30		音圧レベルLpt																								
31		周波数Hz	1	1.5	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
32		音響パワーレベルLw	133.1	131.8	130.5	129.2	127.9	126.6	125.3	124.0	122.7	120.7	118.7	116.7	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2	108.0	107.1	106.3	105.4	104.5	103.9	103.0
33	水平距離	2000	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047
34	高低差	436	58.88	57.58	56.28	54.98	53.68	52.38	51.08	49.78	48.48	46.48	44.48	42.48	40.88	39.08	37.28	35.98	34.98	33.57	32.67	31.87	30.36	29.46	28.86	26.73
35	距離	2047																								
36		音圧レベルLpt																								
37		周波数Hz	1	1.5	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
38	水平距離	1857	133.1	131.8	130.5	129.2	127.9	126.6	125.3	124.0	122.7	120.7	118.7	116.7	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2	108.0	107.1	106.3	105.4	104.5	103.9	103.0
39	高低差	436	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908
40	距離	1908	58.49	58.19	56.89	55.59	54.29	52.99	51.69	50.39	49.09	47.09	45.09	43.09	41.49	39.69	37.89	36.59	35.59	34.2	33.3	32.5	31.03	30.13	29.53	27.48
41		音圧レベルLpt																								
42		周波数Hz	1	1.5	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
43	水平距離	2143	133.1	131.8	130.5	129.2	127.9	126.6	125.3	124.0	122.7	120.7	118.7	116.7	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2	108.0	107.1	106.3	105.4	104.5	103.9	103.0
44	高低差	436	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187
45	距離	2187	58.3	57	55.7	54.4	53.1	51.8	50.5	49.2	47.9	45.9	43.9	41.9	40.3	38.5	36.7	35.4	34.4	32.99	32.09	31.29	29.73	28.83	28.23	26.02
46		音圧レベルLpt																								
47		周波数Hz	1	1.5	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
48	水平距離	2643	133.1	131.8	130.5	129.2	127.9	126.6	125.3	124.0	122.7	120.7	118.7	116.7	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2	108.0	107.1	106.3	105.4	104.5	103.9	103.0
49	高低差	436	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679
50	距離	2679	56.54	55.24	53.94	52.64	51.34	50.04	48.74	47.44	46.14	44.14	42.14	40.14	38.54	36.74	34.94	33.64	32.64	31.17	30.27	29.47	27.77	26.87	26.27	23.70
51		音圧レベルLpt																								
52		周波数Hz	1	1.5	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
53		音響パワーレベルLw	133.1	131.8	130.5	129.2	127.9	126.6	125.3	124.0	122.7	120.7	118.7	116.7	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2	108.0	107.1	106.3	105.4	104.5	103.9	103.0
54	水平距離	2643	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679
55	高低差	436	56.54	55.24	53.94	52.64	51.34	50.04	48.74	47.44	46.14	44.14	42.14	40.14	38.54	36.74	34.94	33.64	32.64	31.17	30.27	29.47	27.77	26.87	26.27	23.70
56	距離	2679																								
57		音圧レベルLpt																								
58		周波数Hz	1	1.5	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
59		音響パワーレベルLw	133.1	131.8	130.5	129.2	127.9	126.6	125.3	124.0	122.7	120.7	118.7	116.7	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2	108.0	107.1	106.3	105.4	104.5	103.9	103.0
59		距離WT9	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679	2679
59		音圧レベルLpt																								
59		周波数Hz	1	1.5	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
59		音響パワーレベルLw	133.1	131.8	130.5	129.2	127.9	126.6	125.3	124.0	122.7	120.7	118.7	116.7	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2	108.0	107.1	106.3	105.4	104.5	103.9	103.0
59		距離WT8	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187	2187
59		音圧レベルLpt																								
59		周波数Hz	1	1.5	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
59		音響パワーレベルLw	133.1	131.8	130.5	129.2	127.9	126.6	125.3	124.0	122.7	120.7	118.7	116.7	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2	108.0	107.1	106.3	105.4	104.5	103.9	103.0
59		距離WT7	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908	1908
59		音圧レベルLpt																								
59		周波数Hz	1	1.5	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
59		音響パワーレベルLw	133.1	131.8	130.5	129.2	127.9	126.6	125.3	124.0	122.7	120.7	118.7	116.7	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2	108.0	107.1	106.3	105.4	104.5	103.9	103.0
59		距離WT6	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047
59		音圧レベルLpt																								
59		周波数Hz	1	1.5	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
59		音響パワーレベルLw	133.1	131.8	130.5	129.2	127.9	126.6	125.3	124.0	122.7	120.7	118.7	116.7	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2	108.0	107.1	106.3	105.4	104.5	103.9	103.0
59		距離WT5	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327
59		音圧レベルLpt																								
59		周波数Hz	1	1.5	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
59		音響パワーレベルLw	133.																							

上阿波地区、昼で暗騒音 38 dB の場合を計算しました。

暗騒音の値が、38.1 dB だと、予測値は 39.52 dB でした。四捨五入では 40 dB です。

暗騒音の値が、38.4 dB だと、予測値は 39.76 dB でした。四捨五入では 40 dB です。

暗騒音 38.1 dB の時のワークシートは、

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data points for noise level 38.1 dB:

項目	値
暗騒音	38.1
予測値	39.52
9台分+暗騒音	38.1
重み付け後LA	39.52

となり、予測値は、39.52 dB でした。

暗騒音 38.4 dB の時のワークシートは、

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data points for noise level 38.4 dB:

項目	値
暗騒音	38.4
予測値	39.76
9台分+暗騒音	38.4
重み付け後LA	39.76

予測値は、39.76 dB でした。

エクセルワークシートの上阿波地区の部分を確認して下さい。

GPI の表に関しての誤解がありました。GPI の表の数値の扱いが
 $10 \times \text{LOG}_{10}(10^{(33/10)} + 10^{(34/10)}) = 35$ となっているのかと思っていました。
 誤解の元に、誤差の表を作りました。

平木地区に関しては、私の計算した累積値と GPI の計算した累積値との誤差が大きいのです。

※冬季調査結果に基づく、空気吸収による騒音減衰が最小の場合の予測。 【単位：デシベル】

予測地点		現況値	予測結果		環境省 指針値
			本事業	累積	
騒音-① 平木地区	昼間	33	34	35	40
	夜間	35	36	37	40
騒音-② 河内中地区	昼間	40	40	40	45
	夜間	40	40	40	45
騒音-③ 上阿波地区	昼間	38	39	40	43
	夜間	37	38	40	42

注：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間6～22時、夜間22～6時）のとおりです。

GPI の表は、p 814

【冬季】 単位：dB

予測地点	時間 区分	騒音レベル						指針値
		現況値 a	風力発電施設寄与値			将来予測値 累積 e=a+b+c+d	増加分 e-a	
			本事業 b	既存 c	計画中 d			
騒音-①	昼間	33	29	28	18	35	2	40
	夜間	35				37	2	40
騒音-②	昼間	40	30	17	18	40	0	45
	夜間	40				40	0	45
騒音-③	昼間	38	31	34	27	40	2	43
	夜間	37				40	3	42

注1：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間：6～22時、夜間：22時～6時）
 注2：現況値は、現地調査における測定値より算出した残留騒音（ $L_{A90} + 2\text{dB}$ ）とした。
 注3：指針値は、残留騒音 + 5dB とした。なお、「残留騒音 + 5dB」が 40dB 未満の場合は 40dB とした。

騒音①昼間の場合は、33 と GPI の分を重合して、
 $10 \times \text{LOG}_{10}(10^{(33/10)} + 10^{(29/10)}) = 34.45 = 34$
 さらに、CTech の既設のものと予定のものを追加して、
 $10 \times \text{LOG}_{10}(10^{(33/10)} + 10^{(29/10)} + 10^{(28/10)} + 10^{(18/10)}) = 35.42 = 35$
 この数値が、33、34、35 と並んでいるとの事でした。
 騒音②の場合は、40 と 30 を重合して
 $10 \times \text{LOG}_{10}(10^{(40/10)} + 10^{(30/10)}) = 40.41 = 40$
 更に、残りの2つを重合して
 $10 \times \text{LOG}_{10}(10^{(40/10)} + 10^{(30/10)} + 10^{(17/10)} + 10^{(18/10)}) = 40.45 = 40$
 となるので、40、40、40 となっているのです。

しかも、29, 28, 、などの値は、
ISO9613-2 に従って、

$$L_i = PWL_i - 11 - 20 \cdot \log_{10} r - A_E - A_T - A_G$$

を使って求めた値でした。

GPI は、環境基準の数値を併記した資料を、準備書の中に掲載しています。 p 805

【冬季】 単位：dB

予測地点	時間区分	騒音レベル (L_{Aeq})				環境基準 (参考)	
		現況値 a	風力発電施設寄与値		将来予測値 b		増加分 b-a
			本事業				
騒音-①	昼間	39	29		39	0	(55)
	夜間	37			38	1	(45)
騒音-②	昼間	40	30		40	0	(55)
	夜間	39			40	1	(45)
騒音-③	昼間	45	31		45	0	(55)
	夜間	39			40	1	(45)

この表のより詳細なものは、次の表でした。 p 814

【冬季】 単位：dB

予測地点	時間区分	現況値 a	風力発電施設寄与値			将来予測値 累積 e=a+b+c+d	増加分 e-a	環境基準 (参考)
			風力発電施設寄与値					
			本事業 b	既存 c	計画中 d			
騒音-①	昼間	39	29	28	18	40	1	(55)
	夜間	37				38	1	(45)
騒音-②	昼間	40	30	17	18	40	0	(55)
	夜間	39				40	1	(45)
騒音-③	昼間	45	31	34	27	46	1	(55)
	夜間	39				41	2	(45)

この2つの表を比べると、騒音①で、40 になったのは、CTech の責任の様に見えてしまいます。

現在、CTech の既設の風車は稼働しています。近い将来G P I の風車が立つと考えられます。遠い将来においてさらに CTech の風車が立つ。将来予測では、2段階に計算する必要があります。

近い将来、騒音①の昼間では、

$$39 \text{ と } 29 \text{ を重合して、 } 10 \cdot \text{LOG}_{10}(10^{(39/10)} + 10^{(29/10)}) = 39.41 = 39$$

でも、既設の風車(CTech)があるのです。少なくとも、39, 29, 28 を重合するべきです。

$$10 \cdot \text{LOG}_{10}(10^{(39/10)} + 10^{(29/10)} + 10^{(28/10)}) = 39.72 = 40$$

さらに、夜間では、

37 と 29 を重合させて、

$$10 \cdot \text{LOG}_{10}(10^{(37/10)} + 10^{(29/10)}) = 37.63 = 38$$

既設の風車(CTech)があるのです。少なくとも、37, 29, 28 を重合するべきです。

$$10 \cdot \text{LOG}_{10}(10^{(37/10)} + 10^{(29/10)} + 10^{(28/10)}) = 38.09 = 38$$

p805

【冬季】		騒音レベル (L _{den})				環境基準 (参考)
予測地点	時間区分	現況値	風力発電施設寄与値	将来予測値	増加分	
		a	本事業			
騒音①	昼間	39	29	39	0	(55)
	夜間	37		38	1	(45)
騒音②	昼間	40	30	40	0	(55)
	夜間	39		40	1	(45)
騒音③	昼間	45	31	45	0	(55)
	夜間	39		40	1	(45)

近い将来において、既設の CTech の風車が消え去るとでも考えているのでしょうか？

騒音①地域の将来予測値で 39 はあり得ません。四捨五入が慣例なので、39.72 は 40 と表記しなくてはなりません。勝手に切り捨て表記にはいけません。

騒音①の昼間に、実際に測った時に、現況値が 39 でも、指針値は勝手に変更できないと思います。

GPIの数値から計算		ISO9613-2		63Hz~8kHz			GPI		
冬季		現況値		現況値と	CTech	近い	将来予測	CTech	指針値
			本事業	GPI	既設風車	GPI建設	予定風車	CTech	
騒音①	昼間	39	29	39	28	40	18	40	40
	夜間	37	29	38	28	38	18	38	40
騒音②	昼間	40	30	40	17	40	18	40	45
	夜間	39	30	40	17	40	18	40	45
騒音③	昼間	45	31	45	34	45	27	46	43
	夜間	39	31	40	34	41	27	41	42

GPI 自身の責任で、40 になるのが嫌だからと言って、勝手に既設の風車を消し去ってはいけません。

p 805 での将来予測値では、現況値が既設の風車騒音の影響を含んだもの(既設分<現況値)だから、現況値と本事業の重合で、既設風車の影響を含んだ値となる。それが 39 d Bだと主張するかもしれません。

この場合は、p 814 の表が間違っていることとなります。

p 814 では、abcd の全てで、将来予測値が 40 d B になっています。

(既設分<現況値)とするならば、将来予測値は、abd の重合です。(c の分は a に含まれている。)

abd の重合は、39 d B となり、p 814 での 40 d B にはなりません。

従って、現況値が既存風車分を含むとは言えません。

p 805 の将来予測値 39 は、既設分の計算を忘れた値なのです。

GPIの数値から計算		ISO9613-2				63Hz~8kHz			
冬季		現況値	風力発電施設寄与値			将来1	将来2	将来3	将来4
			本事業	既存	計画中		c<a		c<a
			a	b	c	d	abc	ab	abcd
騒音①	昼間	39	29	28	18	40	39	40	39
	夜間	37	29	28	18	38	38	38	38
騒音②	昼間	40	30	17	18	40	40	40	40
	夜間	39	30	17	18	40	40	40	40
騒音③	昼間	45	31	34	27	45	45	46	45
	夜間	39	31	34	27	41	40	41	40

GPIの数値から計算		ISO9613-2				63Hz~8kHz			
冬季		現況値	風力発電施設寄与値			将来1	将来2	将来3	将来4
			本事業	既存	計画中		c<a		c<a
			a	b	c	d	abc	ab	abcd
騒音①	昼間	39	29	28	18	39.72	39.41	39.75	39.45
	夜間	37	29	28	18	38.09	37.64	38.13	37.69
騒音②	昼間	40	30	17	18	40.43	40.41	40.46	40.44
	夜間	39	30	17	18	39.54	39.51	39.57	39.55
騒音③	昼間	45	31	34	27	45.49	45.17	45.55	45.24
	夜間	39	31	34	27	40.69	39.64	40.87	39.87

厳密に言えば、40 を超えてはいません。

しかし、推定値の信頼性を考えると、39.72 は十分に危険な数値なのです。

冬季の風速、風向を考えると、0.23 増えて、39.72 が 39.95 となる可能性が高く、さらに音の反射や、2 分間程度の急激な音圧上昇も考慮すべきです。

風速や風向が激しく変化することは、気象庁のデータで示しました。館山の風車では、0.8Hz の成分の周波数は変化しませんが、音圧はかなり変化します。

弱いときは、0.104 パスカル、1 分間の平均では、0.175 パスカル、強いときは、0.37 パスカルになるのです。音圧が、平均的な音圧の 2 倍となり、100 秒程度継続することも起きます。

風の変化は局所的に起きると考えています。平均して、0.175 パスカルの音圧で、A 特性音圧レベルが評価されていて、指針値での限界にかなり近い場合においては、時々、例えば 1 時間に 1 回くらい、平均値の 2 倍程度の音圧になる状態が 2 分間程度継続すると言えます。このとき音圧レベルも上昇します。

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。これでは、昼間の仕事に支障が出ます。

GPI の表には、右端に環境基準値が記載されています。これを見ると、将来予測値と環境基準の数値が直接比較できるかの様に誤解してしまいます。

将来予測値は、風車騒音での数値です。この値と、交通騒音などの環境騒音での数値では、同じ数値だった時に、被害を受ける人の割合が大きく異なります。

このような記載は、安全であるかのような誤解を誘発するためのものでしかありません。

環境省の HP には、次の報告書が掲載されています。

風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会 の報告書 (p14) には、不快感と A 特性音圧レベル (20Hz~) の関連を示す記述がある。(これは、統計的な分析結果です。)

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

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

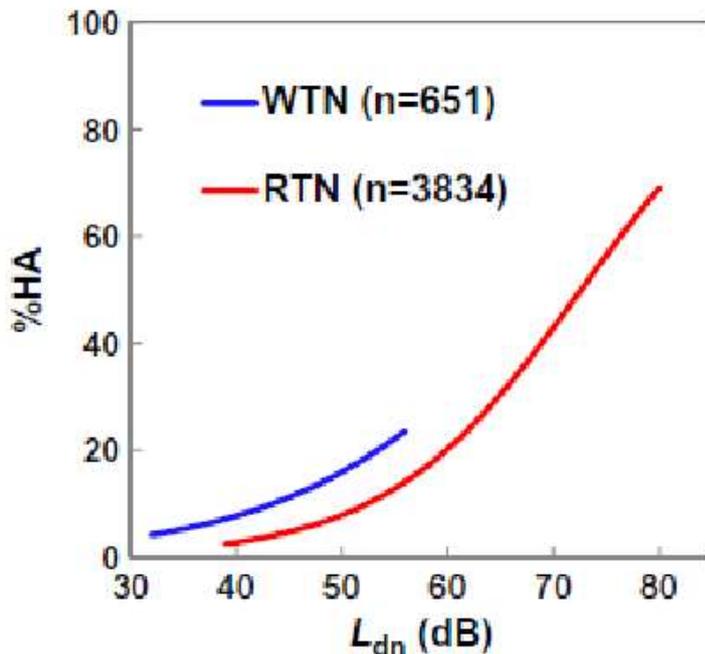


図 7 風車騒音 (WTN) と道路交通騒音 (RTN) の昼夜時間帯補正等価騒音レベル (Ldn) ※ と非常に不快と感じた者のパーセンテージ (%HA)

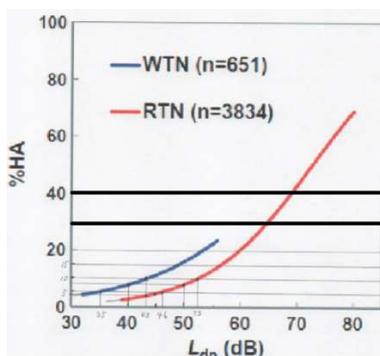
※ 風車騒音については、終日定常的に運転されていると仮定し、LAeq に 6dB を加算して Ldn を推計している。

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

ている。

“同程度の音圧レベルにおいては、風車騒音（20Hz 以上）は他の交通騒音（20Hz 以上）よりもわずらわしさ（アノイアンス）を引き起こしやすいことが示唆されている。”

とあり、この差を調べると、



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

“非常に不快である”と感じる人の割合にかなりの差がある。

私の計算した風車騒音の予測値（38～41 dB）だと、7%～9%程度の人が、“非常に不快である”と感じるレベルです。単に不快であると感じる人が、その5倍と考えれば、不快感を覚える人は、21%～24%程度と予測されます。

この値は、交通騒音での、48 dB～51 dBに相当するものです。

交通騒音での基準値の表と比較してみます。

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

(注)

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

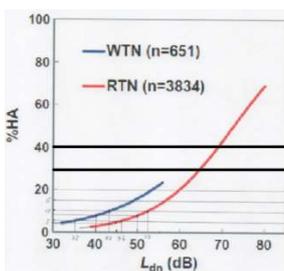
住宅街での交通騒音での基準値は昼間で55 dB、夜間で45 dBです。

この数値の意味は、騒音値の基準と目安（日本騒音調査ソーチャー）の資料によれば、

うるさい	かなりうるさい。かなり大きな声を出さないと会話ができない	70 db	<ul style="list-style-type: none"> ・騒々しい事務所の中 ・騒々しい街頭 ・セミの鳴き声（2 m） ・やかんの沸騰音（1 m）
	大きく聞こえ、うるさい。声を大きくすれば会話ができる	60 db	<ul style="list-style-type: none"> ・洗濯機（1 m） ・掃除機（1 m） ・テレビ（1 m） ・トイレ（洗浄音） ・アイドリング（2 m） ・乗用車の車内
普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	50 db	<ul style="list-style-type: none"> ・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（1 m）
	聞こえるが、会話には支障なし	40 db	<ul style="list-style-type: none"> ・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅地の昼
静か	非常に小さく聞こえる	30 db	<ul style="list-style-type: none"> ・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	20 db	<ul style="list-style-type: none"> ・ささやき ・木の葉のふれあう音

交通騒音での、48 dB～51 dB の意味を、上の表から考えれば、夜寝るには、厳しい条件です。

環境基準が参考として書いてあるものですが、“同程度の音圧レベルにおいては、風車騒音（20Hz 以上）は他の交通騒音（20Hz 以上）よりもわずらわしさ（アノイアンス）を引き起こしやすいことが示唆されている。”とあり、この差を調べると、



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

“非常に不快である”と感じる人の割合にかなりの差がある。被害状況では、風車騒音に 10 dB 程度加えた値の環境騒音に相当する被害が出ることも言うべきです。

風車に関する予測値、

【冬季】		騒音レベル (L _{day})						単位: dB
予測地点	時間区分	現況値 a	風力発電施設寄与値			将来予測値 累積 e=a+b+c+d	増加分 e-a	環境基準 (参考)
			本事業 b	既存 c	計画中 d			
騒音-①	昼間	39	29	28	18	40	1	(55)
	夜間	37				38	1	(45)
騒音-②	昼間	40	30	17	18	40	0	(55)
	夜間	39				40	1	(45)
騒音-③	昼間	45	31	34	27	46	1	(55)
	夜間	39				41	2	(45)

例えば、騒音①（平木地区）夜間では、38+10=48、ですから、平木地区夜間では環境基準 45 を超えて 48 になった時の交通騒音被害と同程度の被害が予測されるのです。

これは、平均的な話であり、風速や風向が激しく変化することは、気象庁のデータで示しました。この中で、0.8Hz の成分の周波数は変化しませんが、音圧は平均値の 2 倍程度まで上昇することがあります。この時には、指針値を大きく超える状態が 100 秒程度継続することになります。もちろん被害も大きくなります。

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

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

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

風速も風向も不安定なのです。差が大きいところでは

10 秒間の最大瞬間風速は 11.2m/秒、最小瞬間風速は 7.1m/秒で、その差は、4.1m/秒です。

10 秒間の最大瞬間風速は 14.6m/秒、最小瞬間風速は 10.7m/秒で、その差は、3.9m/秒です。

10 秒間の最大瞬間風速は 12.2m/秒、最小瞬間風速は 8.2m/秒で、その差は、4.0m/秒です。

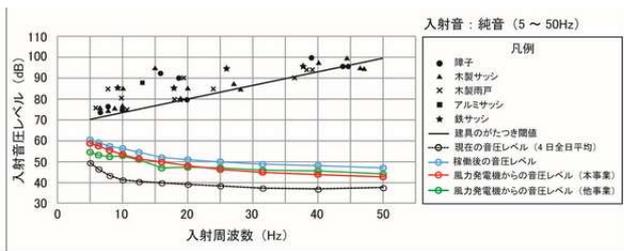
もちろん風向も変化します。これは、風車にかかる力が激しく変化することを意味しています。

GPIの準備書の中に、

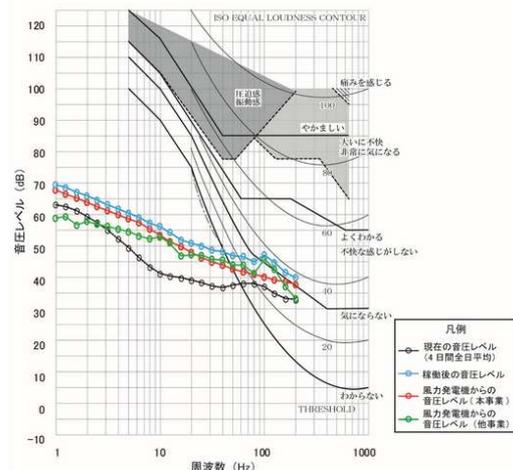
1/3 オクターブバンド音圧レベル（平坦特性）についての「建具のがたつきが始まるレベルとの比較結果」を、後述の累積的影響を含めて示した図 10.1.4-7 に、「圧迫感・振動感を感じる音圧レベルとの比較結果」を図 10.1.4-8 に示す。

「建具のがたつきが始まるレベルとの比較結果」では、全ての予測値が建具のがたつきが始まるレベルを下回っていた。「圧迫感・振動感を感じる音圧レベルとの比較結果」では、予測結果は全て「気にならない」の境界付近あるいはそれ以下となっていた。

と書いています。2つのグラフは次のものです。

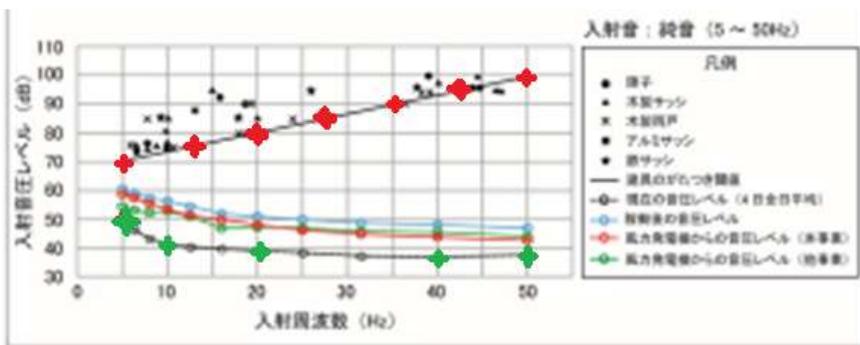


出典：「低周波音の測定方法に関するマニュアル」（環境庁大気保全局、平成12年）より作成
 図 10.1.4-7(1) 建具のがたつきが始まるレベルとの比較結果
 （環境-①：春季全日平均）



出典：「文部省科学研究費『環境科学』特別研究：超低周波音の生理・心理的影響と評価に関する研究班『昭和55年度報告書1低周波音に対する感覚と評価に関する基礎研究』」より作成
 図 10.1.4-8(1) 圧迫感・振動感を感じる音圧レベルとの比較結果
 （環境-①：春季全日平均）

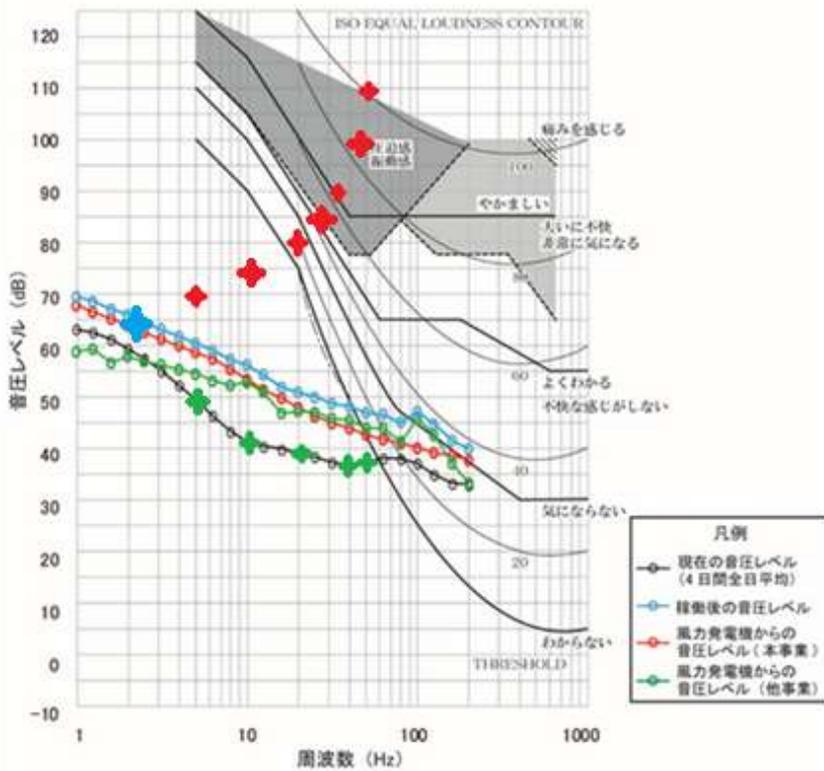
2つのグラフの対応する点に印をつけました。上のグラフの直線状の赤い点と、下の曲線状の緑の点です。



出典：「低周波音の測定方法に関するマニュアル」（環境庁大気保全局、平成12年）より作成
 図 10.1.4-7(1) 建具のがたつきが始まるレベルとの比較結果
 （環境-①：春季全日平均）

さて、上のグラフでは、5Hzまでしかなかった曲線が、下のグラフでは1Hzまで伸びています。

でも、上の図の直線に当たるものが消えていますので、赤い印を追加しました。赤い印は、がたつき閾値の直線に対応します。



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

図 10.1.4-8(1) 圧迫感・振動感を感じる音圧レベルとの比較結果

(環境①：春季全日平均)

ガタツキ閾値は、次の数値です。

2.1 物的苦情に関する参照値

低周波音による物的苦情に関する参照値は、表1とする。

表1 低周波音による物的苦情に関する参照値

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

この表は、周波数が下がれば、ガタツキ閾値も小さくなることを示しています。

もちろんこの表には、1Hz、2Hzでのガタツキ閾値は書かれていませんが、表になれば建具のガタツキが起きないというわけではありません。

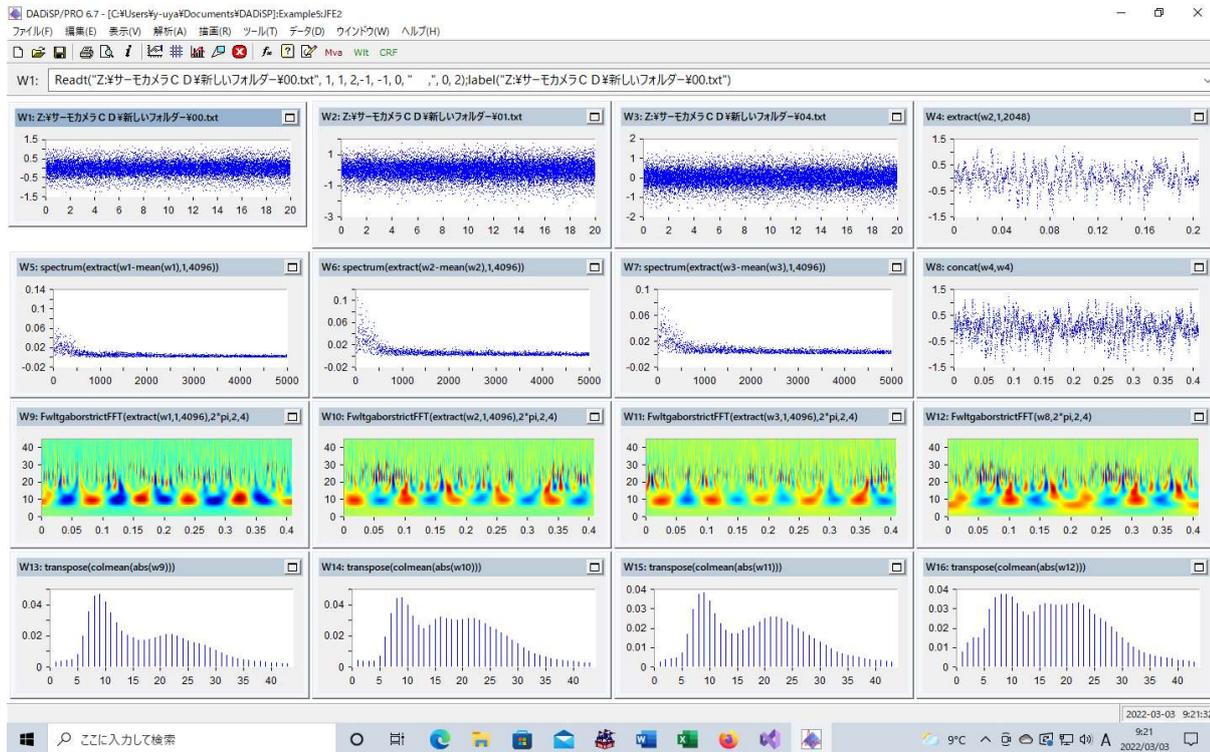
したがって、GPIの示したグラフは、1Hzや2Hzの固有振動数を持っているものがあれば、共振によりガタツキが発生する可能性が高いことを意味しています。日本家屋の固有振動数が1Hz程度であるという研究もあります。

振動が起きたか否かは、室内に振動レベル計を置いて計測すれば確認できます。

ガタツキが起これば、睡眠障害が発生します。これが毎日毎晩、20年間継続するのです。

室内では、共鳴現象も起きます。3次元ですから、精密騒音計で測っただけでは、共鳴の確認は難しいと思います。でも、カオス理論を使えば、表示できると考えています。

JFE の工場内での騒音を解析した結果が次のグラフです。



上の段の左側3つは、計測された騒音データ。

上から2段目は、1段目の周波数スペクトル (FFT)。

上から3段目は、Wavelet 解析の結果。

一番下は、カオス理論を使って解析した結果です。

1段目、2段目、3段目を見て、違いが分かる人は少ないと思います。でも、カオス理論を用いて解析した結果である、4段目のグラフを見れば、工場内での音の特徴が分かります。

一番下の段は左から (子供のヒトコブラクダ、フタコブラクダ、大人のヒトコブラクダ) のように見えます。コブの数は、固有振動数の個数です。一つなら棒状のもの、2つなら長方形のもの、と判断できます。

この方法が、有効であることは、JFE の方も認めているし、アメリカで振動解析のコンサルタントをしている友人も、仕事に役立ったと言っていました。

室内で共鳴が起きれば、音圧が極端に上昇します。この場合に、睡眠障害が発生することは明らかですが、発生状況や、室内での音圧分布の記述は大変なので、これに関しては改めて書くことにします。

また、平木地区は上阿波地区よりも、GPIの風車に近く、地形から考えてみると、ほぼすべての風車が見えるような状態となる。当然、上阿波地区に対する風車の影響よりも、平木地区に対する風車の影響の方が大きいと考える。本事業の数値は、河内中地区で40、上阿波地区で38, 39なので、平木地区での市況が、この数値以下になる事は無いと考えて、試算してみたら、次の様になった。

平木地区に関しては、本事業の影響を38, 39, 40として計算したものを追加しておきました。指針値40を超える、41.2と言う計算結果も出ています。

風車音の距離減衰、空気減衰、風向(冬場に北北西の風が多く吹く)ことを考えると、GPIが準備書の説明として市民に配布した資料自体が出鱈目な数値を並べただけのものだと考えられる。

GPI は、下の表に関して、
 ”いずれの地点においても指針値下回っています。”
 と言うのだが、これについては大きな問題がある。

【騒音（累積的影響）】予測及び評価結果

施設の稼働による騒音の影響

▶ いずれの地点においても指針値を下回っております。

※春季調査結果に基づく、空気吸収による騒音減衰が最小の場合の予測。 【単位：デシベル】

予測地点		現況値	予測結果		環境省 指針値
			本事業	累積	
騒音－① 平木地区	昼間	34	35	36	40
	夜間	36	37	37	41
騒音－② 河内中地区	昼間	43	43	43	48
	夜間	43	43	43	48
騒音－③ 上阿波地区	昼間	40	41	42	45
	夜間	39	40	41	44

注：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間6～22時、夜間22～6時）のとおりです。



【騒音（累積的影響）】予測及び評価結果

施設の稼働による騒音の影響

▶ いずれの地点においても指針値を下回っております。

※冬季調査結果に基づく、空気吸収による騒音減衰が最小の場合の予測。 【単位：デシベル】

予測地点		現況値	予測結果		環境省 指針値
			本事業	累積	
騒音－① 平木地区	昼間	33	34	35	40
	夜間	35	36	37	40
騒音－② 河内中地区	昼間	40	40	40	45
	夜間	40	40	40	45
騒音－③ 上阿波地区	昼間	38	39	40	43
	夜間	37	38	40	42

注：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間6～22時、夜間22～6時）のとおりです。



現況値とは何か。

普通の日本語で考えれば、実際に観測される騒音の状態の様に理解できる。

GPI は現況値を2種類の意味で使う。一つは、残留騒音（33, 35,..）の意味であり、

注1：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間：6～22時、夜間：22時～6時）
 注2：現況値は、現地調査における測定値より算出した残留騒音（ $L_{A90}+2dB$ ）とした。
 注3：指針値は、残留騒音+5dBとした。なお、「残留騒音+5dB」が40dB未満の場合は40dBとした。

もう一つは、

注1：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間：6～22時、夜間：22時～6時）
 注2：現況値は、現地調査における測定値（ L_{A90} ）とした。
 注3：環境基準は、地域の類型指定が定められていないことから、参考として「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）における「A類型」の基準値を（ ）で示した。

現地調査における測定値（39, 37, .）の意味です。

GPIは指針値を決定するために、残留騒音を求めました。p816

表 10.1.3-21(2) 施設の稼働に伴う騒音の予測結果（指針値との比較）
 （累積的影響：調査期間中の空気吸収による減衰量が最小時）

【春季】 単位：dB

予測地点	時間区分	騒音レベル					将来予測値 累積 $e=a+b+c+d$	増加分 $e-a$	指針値
		現況値 a	風力発電施設寄与値						
			本事業 b	既存 c	計画中 d				
騒音-①	昼間	34	29	38	18	36	2	40	
	夜間	36							37
騒音-②	昼間	43	30	17	18	43	0	48	
	夜間	43							43
騒音-③	昼間	40	31	34	27	42	2	45	
	夜間	39							41

【冬季】 単位：dB

予測地点	時間区分	騒音レベル					将来予測値 累積 $e=a+b+c+d$	増加分 $e-a$	指針値
		現況値 a	風力発電施設寄与値						
			本事業 b	既存 c	計画中 d				
騒音-①	昼間	33	29	28	18	35	2	40	
	夜間	35							37
騒音-②	昼間	40	30	17	18	40	0	45	
	夜間	40							40
騒音-③	昼間	38	31	34	27	40	2	43	
	夜間	37							40

注1：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間：6～22時、夜間：22時～6時）
 注2：現況値は、現地調査における測定値より算出した残留騒音（ $L_{A90}+2dB$ ）とした。
 注3：指針値は、残留騒音+5dBとした。なお、「残留騒音+5dB」が40dB未満の場合は40dBとした。

GPIは残留騒音をもとにして指針値を計算しました。

冬季の騒音①(平木地区)については、指針値が昼間、夜間ともに40です。

現地調査において計測されて値を現況値として将来の騒音の予測値を出しました。p814

表 10.1.3-20(2) 施設の稼働に伴う騒音の予測結果（環境基準との比較）
（累積的影響：空気吸収による減衰量が最小時）

【春季】 単位：dB

予測地点	時間区分	騒音レベル (L_{Aeq})					環境基準 (参考)	
		現況値 a	風力発電施設寄与値			将来予測値 累積 e=a+b+c+d		増加分 e-a
			本事業 b	既存 c	計画中 d			
騒音-①	昼間	39	29	28	18	40	1	(55)
	夜間	37				38	1	(45)
騒音-②	昼間	42	30	17	18	42	0	(55)
	夜間	42				42	0	(45)
騒音-③	昼間	45	31	34	27	46	1	(55)
	夜間	40				42	2	(45)

【冬季】 単位：dB

予測地点	時間区分	騒音レベル (L_{Aeq})					環境基準 (参考)	
		現況値 a	風力発電施設寄与値			将来予測値 累積 e=a+b+c+d		増加分 e-a
			本事業 b	既存 c	計画中 d			
騒音-①	昼間	39	29	28	18	40	1	(55)
	夜間	37				38	1	(45)
騒音-②	昼間	40	30	17	18	40	0	(55)
	夜間	39				40	1	(45)
騒音-③	昼間	45	31	34	27	46	1	(55)
	夜間	39				41	2	(45)

注1：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分
（昼間：6～22時、夜間：22時～5時）

注2：現況値は、現地調査における測定値 (L_{Aeq}) とした。

注3：環境基準は、地域の類型指定が定められていないことから、参考として「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）における「A類型」の基準値を（ ）で示した。

騒音①(平木地区)では、風力発電施設寄与値が、29, 28, 18と並んでいます。この数値は、ISO9613-2に従って求めた値ですから、計算範囲は、63Hz～8kHzになっています。計算式には風の影響は入っていません。

騒音①(平木地区)の昼間では、39, 29, 28, 18, 40と言う数値が並んでいます。

指針値は、被害に関する一つの目安である。

実際に発生する可能性が高い騒音レベルを予測すべきである。現地調査の時に、騒音が計測できたのならば、将来もそのような騒音が発生していて、さらに風車音が重合されて被害が出ると考えるべきである。

施設の稼働による、実際の被害を予測する観点からは、GPIの主張と資料は不適當なものです。

被害の発生を予測するならば、実際の現況値 (39, 37,) を使うべきです。

現況値として、残留騒音の値 (33, 35,) を使って計算することは、被害の発生を認識しながら、隠蔽するための手段しにしか見えません。

1時間に1回目覚まし時計が鳴るようならば、安眠出来ないのですから、計測された現況値で被害予測をすべきです。

GPI は次の表を掲載して、“指針値を下回るとは言えません。”と明言すべきです。

GPIの数値から計算		ISO9613-2			63Hz～8kHz				
冬季		現況値	現況値と		CTech	近い	CTech	GPI	指針値
			本事業	GPI		将来予測			
					既設風車	GPI建設	予定風車	CTech	
騒音①	昼間	39	29	39	28	40	18	40	40
	夜間	37	29	38	28	38	18	38	40
騒音②	昼間	40	30	40	17	40	18	40	45
	夜間	39	30	40	17	40	18	40	45
騒音③	昼間	45	31	45	34	45	27	46	43
	夜間	39	31	40	34	41	27	41	42

そして、予測式の適合性の確認の意味で建設後の計測は不可欠なのです。

GPIの数値から計算		ISO9613-2			63Hz～8kHz				
冬季		現況値	風力発電施設寄与値			将来1	将来2	将来3	将来4
			本事業	既存	計画中		c<a		c<a
		a	b	c	d	abc	ab	abcd	abd
騒音①	昼間	39	29	28	18	40	39	40	39
	夜間	37	29	28	18	38	38	38	38
騒音②	昼間	40	30	17	18	40	40	40	40
	夜間	39	30	17	18	40	40	40	40
騒音③	昼間	45	31	34	27	45	45	46	45
	夜間	39	31	34	27	41	40	41	40

GPIの数値から計算		ISO9613-2			63Hz～8kHz				
冬季		現況値	風力発電施設寄与値			将来1	将来2	将来3	将来4
			本事業	既存	計画中		c<a		c<a
		a	b	c	d	abc	ab	abcd	abd
騒音①	昼間	39	29	28	18	39.72	39.41	39.75	39.45
	夜間	37	29	28	18	38.09	37.64	38.13	37.69
騒音②	昼間	40	30	17	18	40.43	40.41	40.46	40.44
	夜間	39	30	17	18	39.54	39.51	39.57	39.55
騒音③	昼間	45	31	34	27	45.49	45.17	45.55	45.24
	夜間	39	31	34	27	40.69	39.64	40.87	39.87

そもそも GPI の残留騒音は、 $L_{A90} + 2 \text{ dB}$ である。

注1：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第54号）に基づく区分（昼間：6～22時、夜間：22時～6時）
 注2：現況値は、現地調査における測定値より算出した残留騒音（ $L_{A90} + 2 \text{ dB}$ ）とした。
 注3：指針値は、残留騒音 + 5dB とした。なお、「残留騒音 + 5dB」が 40dB 未満の場合は 40dB とした。

$L_{A9} + 2 = 35$ の時は、 $L_{A9} = 33$ 。

これは、一定の時間 T に及ぶ計測をしたとき、時間範囲の 90% で 33 dB を超えていた。

T = 100 分として、0 分～5 分では 45 dB、5 分から 10 分では 39 dB、10 分から 100 分では 33 dB の時は、 $L_{A90} = 33$ となります。

計測時間のうちで 10% 以内の短い間ならば、かなり大きな音がしても、その部分は無視されるのです。

③ 時間率騒音レベル ($L_{AN,T}$) :

騒音レベルが、対象とする時間範囲 T の $N\%$ の時間にわたってあるレベル値を超えている場合、そのレベルを N パーセント時間率騒音レベルという。なお、50 パーセント時間率騒音レベル L_{A50} を中央値、5 パーセント時間率騒音レベル L_{A5} を 90 パーセントレンジの上端値、95 パーセント時間率騒音レベル L_{A95} を 90 パーセントレンジの下端値などという。単位はデシベル (dB)。本編では特に混同のおそれがない場合には単に L_{AN} と表す。

③ 時間率騒音レベル ($L_{AN,T}$)

騒音レベルが対象とする時間範囲 T の $N\%$ の時間にわたってあるレベル値を超えている場合、そのレベルを N パーセント時間率騒音レベルという。旧環境基準で用いられてきた中央値 (L_{A50}) は、その騒音レベル以上の占める時間の割合が 50% であるようなレベル値のことである。

L_{A50} をはじめ、時間率騒音レベルは統計的な指標である。したがって、異なる音源による寄与を合成したり、複合的な騒音から分解したりといったことは原理的に不可能であり、複合的な騒音影響の把握や予測計算などでは取り扱いが難しい。

また、ある時間内でレベルの高い騒音が発生しても、その頻度が少なければ L_{A5} や L_{A10} は増加するが L_{A50} はほとんど増加しない。このように L_{A50} は安定した測定値が得られやすいが、逆にレベルの高い騒音の発生に対して敏感な指標ではない。

他方、時間率騒音レベルは、(L_{A5} 、 L_{A50} 、 L_{A95}) といった一組の時間率騒音レベルがわかれば、その騒音の統計的性質がある程度わかることになり、騒音エネルギーの平均的暴露量を反映した L_{Aeq} だけでは把握できない騒音の統計的な特性を把握する上では重要な指標であるといえる。

また、(時間率騒音レベルではないが) 対象とする時間範囲に発生した騒音レベルの最大値 (時間重み特性 F による騒音計の指示値の最大値: $L_{A,Fmax}$) も、測定対象以外の騒音の混入による L_{Aeq} の変動要因を把握するための参考指標となる。

知覚閾値について：

低周波音に関しては、次のように述べています、



【低周波音（累積的影響）】 予測及び評価結果

施設の稼働による低周波音の影響

▶ いずれの地点においても知覚閾値100デシベルを下回っております。

※春季調査結果に基づく予測。 【単位：デシベル】

調査地点		現況値	予測結果		超低周波音を感じ始める 最小音圧レベル（知覚閾値）
			本事業	累積	
騒音-① 平木地区	昼間	53	64	66	100
	夜間	53	63	66	
	全日	53	63	66	
騒音-② 河内中地区	昼間	52	62	66	
	夜間	45	62	66	
	全日	51	62	66	
騒音-③ 上阿波地区	昼間	59	63	68	
	夜間	54	62	68	
	全日	58	63	68	

注：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間6～22時、夜間22～6時）のとおりです。



【低周波音（累積的影響）】 予測及び評価結果

施設の稼働による低周波音の影響

▶ いずれの地点においても知覚閾値100デシベルを下回っております。

※冬季調査結果に基づく予測。 【単位：デシベル】

調査地点		現況値	予測結果		超低周波音を感じ始める 最小音圧レベル（知覚閾値）
			本事業	累積	
騒音-① 平木地区	昼間	59	65	66	100
	夜間	59	64	66	
	全日	59	65	66	
騒音-② 河内中地区	昼間	52	62	66	
	夜間	49	62	66	
	全日	51	62	66	
騒音-③ 上阿波地区	昼間	58	63	68	
	夜間	53	62	68	
	全日	57	63	68	

注：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間6～22時、夜間22～6時）のとおりです。

知覚閾値が G 特性音圧レベル (1Hz~20Hz) で 100 dB だとの主張は多い。

知覚は、感覚器官と知識を合わせても、捉えられないとの意味で解釈する。

もし、音が耳で聞こえれば、感覚の一つ聴覚で捉えられたので、その時の音の強さは聴覚閾値以上である。

もちろん、感覚閾値以上である。そして知覚閾値以上である。

人間には圧力を感知する器官があるとの研究結果がある。

その器官で圧迫感を感じるような音圧レベルは、聴覚閾値以上か否かは不明だが、圧力を感じる感覚器官で把握できたのだから、感覚閾値以上である。もちろん知覚閾値以上である。

規格 ISO389-7 の名前は、

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

(音響-オーディオメーター校正のための基準ゼロ-第 7 部: 自由音場及び拡散音場聴音条件下の基準聴力限界) です。

“**threshold of hearing**” なのだから、日本語にするならば、**聴力限界**とか**聴覚閾値**と訳すべきです、決して、“**感覚閾値**”と訳してはいけません。感覚閾値と訳すと、次のような矛盾が生じます。

環境省の HP には次のような記述があります。

低周波音問題に関する Q&A

Q7 感覚閾値と『参照値』は違うものですか？

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

しかしながら、

「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。

の部分、2重の間違いを含んでいます。

環境省の資料では、“感覚閾値”の説明として

d.1 感覚閾値

最小感覚閾値の部分については 1996 年に ISO389-7 に改訂されていると言っています。

この規格 ISO389-7 の名前は、

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

(音響-オーディオメーター校正のための基準ゼロ-第 7 部：自由音場及び拡散音場聴音条件下の基準聴力限界) です。

“threshold of hearing” なのだから、日本語にするならば、**聴力限界**とか**聴覚閾値**と訳すべきです、決して、“**感覚閾値**”と訳してはいけません。感覚閾値と訳すと、次のような矛盾が生じます。

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

との対応表をつくれば、次のようになります。

バンド (ヘルツ)	20	25	31.5	40	50	63	80
参照値 (デシベル)	76	70	64	57	52	47	41
感覚閾値 (デシベル)	78.1	68.7	59.5	51.1	44	37.5	31.5
(2005年)	(78.5)						
聴覚閾値 (デシベル)	78.1	68.7	59.5	51.1	44	37.5	31.5
(2005年)	(78.5)						

20Hz での数値に関しては、弁護士の村頭氏から、次のような連絡をいただいています。

お尋ねの件について、書かれているのは ISO389-7 の 2019 でしょうか。私のブログに書いたのは ISO389-7 の 2005 (2016 による修正あり) ですので、その違いだと思います。2005 (2016) では、20Hz は 78.5 です。

ISO7196 には、参照値と比較できるような数字は記載されていません。比較可能な数字があるのは、ISO389-7 です。

環境省が公開している、参考資料

—低周波音の基礎知識—

には、

d. 低周波音の影響

以下に低周波音の評価に参考となる資料をつける。これらについては、まだ確定したものではなく、国内外の研究データを参考資料として載せるものである。測定データをこれらの資料と比較し、総合的に判断し対策等に生かしていく必要がある。

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±5～10dB 程度の幅があり、山田らによれば、標準偏差の 2 倍である±10dB の範囲に大部分の人が入るとされているとある。

環境省の主張、

「心身に係る苦情の『参照値』と『感覚閾値』と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。

については、

25 Hz より周波数が高い部分に関しては、ISO389-7 に記載されている値のほうが小さい。よって、この部分だけならば、環境省の言い分は、感覚閾値と云う語訳の問題を除けば正しい。しかし、20 Hz の所は、ISO389-7 の値の方が大きいのです。

これは、偶然ではありません。

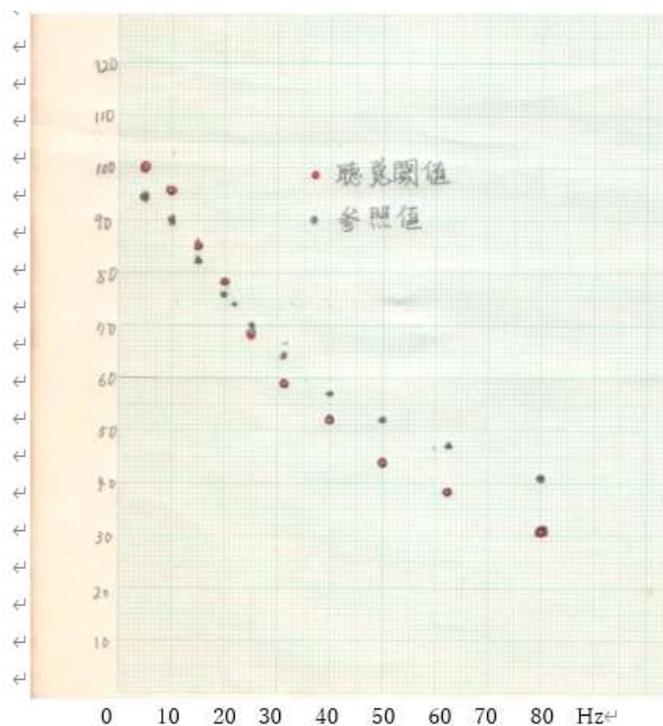
参照値 - 聴覚閾値 の表を作れば次のようになります。

バンド (ヘルツ)	20	25	31.5	40	50	63	80
参照値 - 聴覚閾値	-2.1	1.3	4.5	5.9	8	9.5	9.5

この表は、周波数が低くなればなるほど、聴覚閾値と参照値（不快感を感じ始める値）の差が小さくなってきていて、20Hz では逆転することを示します。

10Hz、5Hz、1Hz、0.5Hz と低くなればなるほどこの傾向は続くと考えます。

グラフにすれば（参照値の予測もしてみました。）次のようになります。



参照値は、被験者の10%が不快だと感じる値です。

これは、20Hzの音が76dBの時に、人間が不快感を覚えたと言いう事です。もし、ISO389-7の値が感覚閾値ならば、人間は20Hzの音の音圧が78.1dB(78.5dB)になるまで、人間は不快感を覚えないはずなのに、それよりも小さな値76dBで不快感を覚えてしまうという矛盾が生じます。

聴覚閾値と正しく訳しておけば、20Hzの音に対して、人間の聴覚は78.1dBになるまでは認識しないが、それ以外の感覚(圧迫感、頭痛、など)で76dBの段階でも不快感を覚えると理解できるので、矛盾は生じません。

いまは、小学生も英語を習う時代です。threshold of hearing を感覚閾値と訳したのでは小学生に笑われます。聴覚閾値と訳しましょう。

環境省のいう“感覚閾値”をISO 389-7:2019との関連で使用すれば、常識を疑われると考えます。このことが外国に知れたら、日本人の知性を疑われてしまいます。私は恥ずかしくて海外旅行に行けません。

最も恥ずかしいのは、76と78.1(78.5)のどちらが大きいのが判断できない、お役人様がいることです。

さて、ISO 7196:1995 のiiiページの記述で100dBの話が出てくる段落は、

The perception of infrasound, although apparently achieved through the auditory mechanism, differs in some respects from that usually understood by hearing.

(超低周波音の感知については、一見すると音を認識する仕組みを通してなされるように思えるにもかかわらず、幾つかの観点で、聴覚として通常理解されているものとは異なっている。)から始まっている。

100dBについては、

In the frequency range 1Hz to 20Hz, sounds that are just perceptible to an average listener will yield weighted sound pressure levels close to 100dB when measured in accordance with this International Standard.

(1Hzから20Hzの周波数帯について、平均的な聞き手がちょうど感知できる音は、この国際規格に従って計測した時の、重み付き音圧レベルで100dBに近い値となるであろう。)

となっている。

この段落の最後は、

“Weighted sound pressure levels which fall below about 90 dB will not normally be significant for human perception.”

「(周波数)重み付け音圧レベルで約90dB未満は、人間の認知機能にとって一般的に有意にはならない(または、認識されない)。」

と書かれている。

トータル値で考えるときの参照値は92dBです。100dBよりも小さいのです。これを超えると圧迫感を感じて、不快になる人が10%程度出ると言う事です。100dBまでは感知できないと言う事は無いのです。

これは、ISO 7196:1995の最後の記述とも一致しています。聴覚閾値を勝手に、感覚閾値、知覚閾値と拡大してはいけません。

低周波音に関する予測式は、GPI 準備書 p 828 にある 2 つの式です。

$$L_i = PWL_i - 8 - 20 * \log_{10} r$$

$$L_p = 10 \log (10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}})$$

この計算は、距離 r が大きくなれば Li は小さくなります。この式は G P I が示した式です。

私は、周波数が高くなると、空気減衰を考える必要がでてくるので、63Hz 以上の周波数に関しては、

(解説) 予測計算式

すべての風力発電機が同時に稼働するものとし、(3.1) 式に示す騒音のエネルギー伝搬予測方法にしたがって計算した。

$$L_n = L_w - 10 \log(r^2 + h^2) - 8 - \Delta L_{AIR} \quad (3.1)$$

ここで、

L_n : n 番目の風力発電機から水平距離 r (m) 離れた地点での騒音レベル (dB)

L_w : 風力発電機のパワーレベル (dB)

r : 風力発電機から騒音予測地点までの水平距離 (m)

h : 風力発電機のブレード中心までの高さ (m)

ΔL_{AIR} : 空気減衰 (dB)

$$\Delta L_{AIR} = \alpha (r^2 + h^2)^2 / 1000 \quad (3.2)$$

α : 定数 (以下の表に一例を記載するが詳細は IS09613-2 に記載される大気吸収減衰係数を参照し、オクターブバンド別に計算を行う)

温度と相対湿度におけるオクターブバンド騒音に対する大気吸収減衰係数 α									
温度 (°C)	相対湿度 (%)	オクターブバンド中心周波数 (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10	70	0.1	0.4	1.0	1.9	3.7	9.7	32.8	117.0
20	70	0.1	0.3	1.1	2.8	5.0	9.0	22.9	76.6
30	70	0.1	0.3	1.0	3.1	7.4	12.7	23.1	59.3
15	20	0.3	0.6	1.2	2.7	8.2	28.2	88.8	202.0
15	50	0.1	0.5	1.2	2.2	4.2	10.8	36.2	129.0
15	80	0.1	0.3	1.1	2.4	4.1	8.3	23.7	82.8

に従って、空気減衰の項を追加した式、

$$L_n = L_w - 10 \log(r^2 + h^2) - 8 - \Delta L_{AIR} \quad (3.1)$$

を使ったのですが、この式でも、風車からの距離が大きくなれば、 L_n が小さくなるのです。

また、風下に立てば、風車音の影響は、風がないときよりも大きくなります。

大きな風船が風車を中心に膨らんできて、平木地区まで届いた時と、風船は大きくなるのですが、風に乗って風船が平木地区の方へ移動すれば、少し小さな状態で平木地区に到達します。風船が大きいとエネルギーが

表年全体に拡散して、影響が小さくなる（距離減衰）のですが、あまり大きくならない状態で届くと、エネルギーがあまり拡散されていないので、大きな影響を受けます。風の影響は、風車により近づいたような効果を持ちます。

平木地区（騒音①）は上阿波地区（騒音③）よりも、GPIの風車に近いのです。

また、GPIの資料にあるように、年間を通して吹く風は、風車から平木地区に向かって吹くことが多いのです。準備書709ページに地上10mでの、風向のデータがある。

表 10.1.1-2(1) 風向出現頻度及び平均風速

調査地点 : 一般-①
 調査期間 : (春季) 2020年5月20日(水)～5月26日(火)
 調査期間 : (夏季) 2020年8月21日(金)～8月27日(木)
 調査期間 : (秋季) 2020年10月16日(金)～10月22日(木)
 調査期間 : (冬季) 2021年1月15日(金)～1月21日(木)

[風向出現頻度]		(単位: %)																	
期間	風向	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	静穏	合計
春季	全日	1.8	0.6	1.2	0.6	1.8	9.5	11.9	11.9	4.8	0.6	0.6	1.8	3.0	7.1	23.8	13.1	6.0	100
	昼間	3.1	1.0	1.0	0	2.0	13.3	16.3	12.2	6.1	1.0	1.0	3.1	2.0	6.1	14.3	13.3	4.1	100
	夜間	0	0	1.4	1.4	1.4	4.3	5.7	11.4	2.9	0	0	0	4.3	8.6	37.1	12.9	8.6	100
夏季	全日	1.2	1.8	2.4	3.0	8.3	14.3	10.7	8.3	2.4	0.6	0	1.2	3.0	9.5	21.4	4.8	7.1	100
	昼間	0	1.1	1.1	4.4	13.2	23.1	18.7	13.2	4.4	1.1	0	0	3.3	1.1	8.8	3.3	3.3	100
	夜間	2.6	2.6	3.9	1.3	2.6	3.9	1.3	2.6	0	0	0	2.6	2.6	19.5	36.4	6.5	11.7	100
秋季	全日	0	0.6	0.6	0	5.4	6.0	6.5	1.8	0	0	1.8	5.4	21.4	32.1	14.9	0.6	3.0	100
	昼間	0	1.2	1.2	0	8.3	7.1	11.9	3.6	0	0	3.6	6.0	22.6	23.8	6.0	0	4.8	100
	夜間	0	0	0	0	2.4	4.8	1.2	0	0	0	0	4.8	20.2	40.5	23.8	1.2	1.2	100
冬季	全日	3.6	0.6	0	0	0.6	0	0.6	5.4	3.0	1.8	1.8	2.4	3.0	19.0	38.1	18.5	1.8	100
	昼間	7.8	1.3	0	0	1.3	0	1.3	11.7	6.5	2.6	3.9	3.9	5.2	16.9	20.8	14.3	2.6	100
	夜間	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	0	1.1	1.1	20.9	52.7	22.0	1.1	100
全期間	全日	1.6	0.9	1.0	0.9	4.0	7.4	7.4	6.8	2.5	0.7	1.0	2.7	7.6	17.0	24.6	9.2	4.5	100
	昼間	2.6	1.1	0.9	1.1	6.3	11.4	12.6	10.3	4.3	1.1	2.0	3.1	8.0	11.4	12.3	7.7	3.7	100
	夜間	0.6	0.6	1.2	0.6	1.6	3.1	1.9	3.1	0.6	0.3	0	2.2	7.1	23.0	37.9	10.9	5.3	100

全体としては、北北西の風が吹くことが多い。北北西の風が吹くとき、風下に当たるのが、平木地区である。上阿波地区は、風車から見て西にあり、平木地区は風車から見て南東にある。北北西の風下に当たるのは、平木地区である。この点を考えても、平木地区の方が上阿波地区よりも風車音の影響を強く受けると言える。

この2つの条件を考えたときに、風車音の影響は、上阿波地区に対する影響よりも、平木地区に対する影響の方が大きいのです。

低周波音に関する表は、このことを示しています。

騒音の予測の約束はあるのですが、低周波音が主成分ある風車騒音の予測には、この式が適していると考えます。

低周波音に関する GPI の数値：

低周波音に関しては、次のように述べています、マニュアル p 46

【低周波音（施設稼働時）】 予測及び評価結果



施設の稼働による低周波音の影響

▶ いずれの地点においても知覚閾値100デシベルを下回っております。

【春季】

(単位：デシベル) 【冬季】

(単位：デシベル)

調査地点		現況値	将来予測結果	超低周波音を感じ始める最小音圧レベル (知覚閾値)	調査地点		現況値	将来予測結果	超低周波音を感じ始める最小音圧レベル (知覚閾値)
騒音-① 平木	昼間	53	64		100	騒音-① 平木	昼間	59	
	夜間	53	63	夜間			59	64	
	全日	53	63	全日			59	65	
騒音-② 河内中	昼間	52	62	騒音-② 河内中		昼間	52	62	
	夜間	45	62			夜間	49	62	
	全日	51	62			全日	51	62	
騒音-③ 上阿波	昼間	59	63	騒音-③ 上阿波		昼間	58	63	
	夜間	54	62			夜間	53	62	
	全日	58	63			全日	57	63	

注：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間6～22時、夜間22～6時）のとおりです。 46

平木地区に関する数値は、春季、冬季ともにあり得ない数値です。

p 832、マニュアル p 52

【低周波音（累積的影響）】 予測及び評価結果



施設の稼働による低周波音の影響

▶ いずれの地点においても知覚閾値100デシベルを下回っております。

※春季調査結果に基づく予測。

【単位：デシベル】

調査地点	現況値	予測結果		超低周波音を感じ始める最小音圧レベル (知覚閾値)
		本事業	累積	
騒音-① 平木地区	昼間	53	64	100
	夜間	53	63	
	全日	53	63	
騒音-② 河内中地区	昼間	52	62	
	夜間	45	62	
	全日	51	62	
騒音-③ 上阿波地区	昼間	59	63	
	夜間	54	62	
	全日	58	63	

注：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間6～22時、夜間22～6時）のとおりです。

春季の数値は、p 832、マニュアル p 52 での、予測結果、本事業の数値、64, 63, 63 と同じです。

この値は、次の表を使って計算します。

表 10.1.4-6 施設の稼働に伴う低周波音 (L_{eq}) の予測結果 (累積的影響)

【春季】 単位 : dB

予測地点	時間区分	G特性音圧レベル (L_{eq})					超低音周波音を感じる最小音圧レベル (ISO-7196:1995)	
		現況値 a	風力発電施設寄与値			将来予測値 累積 e=a+b+c+d		増加分 e-a
			本事業 b	既存 c	計画中 d			
騒音-①	昼間	53	63	54	61	66	13	100
	夜間	53				66	13	
	全日	53				66	13	
騒音-②	昼間	52	62	50	64	66	14	
	夜間	45				66	21	
	全日	51				66	15	
騒音-③	昼間	59	61	57	66	68	9	
	夜間	54				68	14	
	全日	58				68	10	

現況値は続けて 53 です。寄与値の本事業の値は 63、既設の値が 54 です。

53 と 63 で計算すれば、 $10 \cdot \text{LOG}_{10}(10^{(59/10)} + 10^{(63/10)}) = 63.41 = 63$

53, 63, 54 で計算すれば、 $10 \cdot \text{LOG}_{10}(10^{(53/10)} + 10^{(63/10)} + 10^{(54/10)}) = 63.88 = 64$

53, 63, 54, 61 で計算すれば $10 \cdot \text{LOG}_{10}(10^{(53/10)} + 10^{(63/10)} + 10^{(54/10)} + 10^{(61/10)}) = 65.69 = 66$

となるので、将来予測値、本事業の数値は同じものが並ぶはずです。

GPIの数値から計算		ISO9613-2			63Hz~8kHz			
春季	時間区分	現況値 a	風力発電施設寄与値 本事業 b	既存 c	計画中 d	本事業 ab	将来1 abc	将来3 累積 abcd
騒音①	昼間	53	63	54	61	63	64	66
	夜間	53	63	54	61	63	64	66
	全日	53	63	54	61	63	64	66
騒音③	昼間	52	62	50	64	62	63	66
	夜間	45	62	50	64	62	62	66
	全日	51	62	50	64	62	63	66
騒音③	昼間	59	61	57	66	63	64	68
	夜間	54	61	57	66	62	63	68
	全日	58	61	57	66	63	64	68

冬季の表の間違が多いです。

p 832, マニュアル p 53

【低周波音（累積的影響）】予測及び評価結果



施設の稼働による低周波音の影響

▶ いずれの地点においても知覚閾値100デシベルを下回っております。

※冬季調査結果に基づく予測。

【単位：デシベル】

調査地点	現況値	予測結果		超低周波音を感じ始める 最小音圧レベル（知覚閾値）
		本事業	累積	
騒音-① 平木地区	昼間	59	65	100
	夜間	59	64	
	全日	59	65	
騒音-② 河内中地区	昼間	52	62	
	夜間	49	62	
	全日	51	62	
騒音-③ 上阿波地区	昼間	58	63	
	夜間	53	62	
	全日	57	63	

注：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間6～22時、夜間22～6時）のとおりです。

【冬季】

単位：dB

予測地点	時間区分	現況値 a	G特性音圧レベル (L_{Geq})				増加分 e-a	超低周波音を感じる 最小音圧レベル (ISO-7196:1995)
			風力発電施設寄与値			将来予測値 累積 e=a+b+c+d		
			本事業 b	既存 c	計画中 d			
騒音-①	昼間	59	63	54	61	66	7	100
	夜間	59				66	7	
	全日	59				66	7	
騒音-②	昼間	52	62	50	64	66	14	
	夜間	49				66	17	
	全日	51				66	15	
騒音-③	昼間	58	61	57	66	68	10	
	夜間	53				68	15	
	全日	57				68	11	

注1：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間：6～22時、夜間：22時～6時）

注2：現況値は、現地調査における測定値とした。

GPIの数値から計算		ISO9613-2			63Hz～8kHz			
冬季	現況値	風力発電施設寄与値			計画中	本事業	将来1	将来3
		本事業	既存					累積
	a	b	c	d	ab	abc	abcd	
騒音①	昼間	59	63	54	61	64	65	66
	夜間	59	63	54	61	64	65	66
	全日	59	63	54	61	64	65	66
騒音③	昼間	52	62	50	64	62	63	66
	夜間	49	62	50	64	62	62	66
	全日	51	62	50	64	62	63	66
騒音③	昼間	58	61	57	66	63	64	68
	夜間	53	61	57	66	62	63	68
	全日	57	61	57	66	62	64	68

となるので、騒音①と騒音③の所が間違っています。

【低周波音（累積的影響）】予測及び評価結果

施設の稼働による低周波音の影響

▶ いずれの地点においても知覚閾値100デシベルを下回っております。

※冬季調査結果に基づく予測。 【単位：デシベル】

調査地点	現況値	予測結果		超低周波音を感じ始める 最小音圧レベル（知覚閾値）
		本事業	累積	
騒音-① 平木地区	昼間	59	65	100
	夜間	59	64	
	全日	59	65	
騒音-② 河内中地区	昼間	52	62	
	夜間	49	62	
	全日	51	62	
騒音-③ 上阿波地区	昼間	58	63	
	夜間	53	62	
	全日	57	63	

注：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間6～22時、夜間22～6時）のとおりです。

この表を最初に見たときは、冬季の平木地区、昼間での、59, 65, 66 について

$$10 \cdot \text{LOG}_{10}(10^{(59/10)} + 10^{(65/10)}) = 65.97 = 66$$

と考えたのですが、それは誤解でした。

この数値は、p 835 にある値、

現況値 本事業 既存 計画中 累積

59, 63, 54, 61, 66

を使って計算しています。

計算方法の誤解は解けたのですが、新しい問題が発生しました。

p 832 の本事業は、現況値 59 と p 835 での本事業 63 を重合したものです。

$$10 \cdot \text{LOG}_{10}(10^{(59/10)} + 10^{(63/10)}) = 64.45 = 64 \text{ (65 は間違いです。)} \text{ となります。}$$

64 が 3 個並ぶはずです。

風車からの距離と影響力：

数値の間違いと 100 dB の問題は別として、

p 835

表 10.1.4-6 施設の稼働に伴う低周波音 (L_{eq}) の予測結果 (累積的影響)

【春季】

単位：dB

予測地点	時間区分	G特性音圧レベル (L_{eq})					超低周波音を感じる最小音圧レベル (ISO-7196:1995)	
		現況値 a	風力発電施設寄与値			将来予測値 e=a+b+c+d		増加分 e-a
			本事業 b	既存 c	計画中 d			
騒音-①	昼間	53	63	54	61	66	13	100
	夜間	53				66	13	
	全日	53				66	13	
騒音-②	昼間	52	62	50	64	66	14	
	夜間	45				66	21	
	全日	51				66	15	
騒音-③	昼間	59	61	57	66	68	9	
	夜間	54				68	14	
	全日	58				68	10	

の風力発電施設寄与値の値は、本事業の部分で、93, 62, 61 となっています。

これは、GPI の風車群からの距離に準じた大きさになっています。

【冬季】

単位：dB

予測地点	時間区分	G特性音圧レベル (L_{eq})					超低周波音を感じる最小音圧レベル (ISO-7196:1995)	
		現況値 a	風力発電施設寄与値			将来予測値 e=a+b+c+d		増加分 e-a
			本事業 b	既存 c	計画中 d			
騒音-①	昼間	59	63	54	61	66	7	100
	夜間	59				66	7	
	全日	59				66	7	
騒音-②	昼間	52	62	50	64	66	14	
	夜間	49				66	17	
	全日	51				66	15	
騒音-③	昼間	58	61	57	66	68	10	
	夜間	53				68	15	
	全日	57				68	11	

注1：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」(平成10年環境庁告示第64号)に基づく区分
(昼間：6～22時、夜間：22時～6時)

注2：現況値は、現地調査における測定値とした。

c 既存、d 計画中でも同じです。低周波音に関しては、

本事業の値が、縦に、63, 62, 61 となっているが、GPI の風車に近い順は、①、②、③です。

既存の値は、54, 50, 57 であり、既存の風車に近い順は、③、①、②です。近い所が大きな値になっています。

計画中の値は、61, 61, 66 で、風車に近い順は、③、②、①です、近い所が大きな値です。
これは、近いならば影響が大きい、風下ならば影響が大きい。の原則に合っています。

また、現況値と GPI 風車の騒音が重合されて本事業の下の値となり、累積の値は現況値、GPI、Ctech 既設、Ctech 予定の重合となるのです。

数値をよく見ると、現況値に対して、風車から出る音が圧倒的に大きいことが分かります。

現況値	本事業	既存	計画中
-----	-----	----	-----

59,	63,	54,	61,
-----	-----	-----	-----

2倍で3増えます。4倍で6増えます。

では、騒音の方ではどうでしょうか？

【騒音（累積的影響）】 予測及び評価結果
施設の稼働による騒音の影響
 ▶ いずれの地点においても指針値を下回っております。

※春季調査結果に基づく、空気吸収による騒音減衰が最小の場合の予測。

予測地点		現況値	予測結果	
			本事業	累積
騒音-① 平木地区	昼間	34	35	36
	夜間	36	37	37
騒音-② 河内中地区	昼間	43	43	43
	夜間	43	43	43
騒音-③ 上阿波地区	昼間	40	41	42
	夜間	39	40	41

注：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく（昼間6～22時、夜間22～6時）のとおりです。

Green Power Investment Corporation 2022© All Rights Reserved.

【騒音（累積的影響）】 予測及び評価結果
施設の稼働による騒音の影響
 ▶ いずれの地点においても指針値を下回っております。

※冬季調査結果に基づく、空気吸収による騒音減衰が最小の場合の予測。

予測地点		現況値	予測結果	
			本事業	累積
騒音-① 平木地区	昼間	33	34	35
	夜間	35	36	37
騒音-② 河内中地区	昼間	40	40	40
	夜間	40	40	40
騒音-③ 上阿波地区	昼間	38	39	40
	夜間	37	38	40

注：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく（昼間6～22時、夜間22～6時）のとおりです。

Green Power Investment Corporation 2022© All Rights Reserved.

p816

表 10.1.3-21(2) 施設の稼働に伴う騒音の予測結果（指針値との比較）
 （累積的影響：調査期間中の空気吸収による減衰量が最小時）

【春季】 単位：dB

予測地点	時間区分	騒音レベル						指針値
		現況値 a	風力発電施設寄与値			将来予測値 累積 e=a+b+c+d	増加分 e-a	
			本事業 b	既存 c	計画中 d			
騒音-①	昼間	34	29	28	18	36	2	40
	夜間	36				37	1	41
騒音-②	昼間	43	30	17	18	43	0	48
	夜間	43				43	0	48
騒音-③	昼間	40	31	34	27	42	2	45
	夜間	39				41	2	44

【冬季】 単位：dB

予測地点	時間区分	騒音レベル						指針値
		現況値 a	風力発電施設寄与値			将来予測値 累積 e=a+b+c+d	増加分 e-a	
			本事業 b	既存 c	計画中 d			
騒音-①	昼間	33	29	28	18	35	2	40
	夜間	35				37	2	40
騒音-②	昼間	40	30	17	18	40	0	45
	夜間	40				40	0	45
騒音-③	昼間	38	31	34	27	40	2	43
	夜間	37				40	3	42

注1：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間：6～22時、夜間：22時～6時）

注2：現況値は、現地調査における測定値より算出した残留騒音（ $L_{A90} + 2dB$ ）とした。

注3：指針値は、残留騒音+5dBとした。なお、「残留騒音+5dB」が40dB未満の場合は40dBとした。

(本事業の値が、縦に、29, 30, 31 となっているが、GPI の風車に近い順は、①、②、③です。

数値は、③と①については、風車からの距離とは逆になっています。

既存の値は、28, 17, 34 であり、風車に近い順は、③、①、②です。近い所が大きな値になっています。

計画中の値は、18, 18, 27 で、風車に近い順は、③、②、①です、近い所が大きな値です。

この数値の逆転に関して詳しく考えます。

私は、29, 30, 31 という数値は誤りで、33, 30, 31 (または、32, 30, 31) が正しいを考えています・

計算式の違いがあるので、結果の数値がこのようになるのかもしれませんが、いろいろ問題があります。

このような結果になるならば、予測式として適当か否かが問われます。この時は、予測値と建設後の測定値を詳細に比較して検証する必要が出てきます。

騒音の計算では、GPI は次の式を使います。ISO9613-2 に従っています。

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、騒音の伝搬予測方法 (ISO 9613-2) にしたがって計算した。

$$L_i = PWL_i - 11 - 20 \cdot \log_{10} r - A_E - A_T - A_G$$

[記号]

L_i : 音源から距離 r における騒音レベル (dB)

PWL_i : 音源のパワーレベル (dB)

r : 音源からの距離 (m)

A_E : 空気の吸収による減衰 (dB)

A_T : 障壁等の回折による減衰 (dB)

A_G : 地表面による減衰 (dB)

計算対象が 63Hz~8 k Hz に限定されたことや、地形による減衰項はあるが、反射による増加項が無いこと。風の影響が計算式に含まれないことなども考えられますが、

A T と A G に関する値の違いで、距離が近いのに影響が小さいと言う逆転現象が起きているのでしょうか？
このような大きな逆転現象が起きるならば、前に確認した予測式はどれも使いえないことになります。

$$\begin{aligned} L_p &= L_w + 10 \log_{10} \frac{1}{4\pi r^2} \\ &= L_w - 10 \log_{10} 4\pi r^2 \\ &= L_w - 10 \log_{10} r^2 - 10 \log_{10} 4\pi \\ &\approx L_w - 20 \log_{10} r - 11 \end{aligned} \tag{式 1}$$

や、

[半自由空間における点発生源の距離減衰式]

$$SPL = PWL - 8 - 20 \cdot \log(r)$$

ここで、

SPL : 予測点における低周波音レベル(dB)

PWL : 発生源の低周波音レベル(仮想点発生源の低周波音レベル)(dB)

r : 発生源から予測点までの距離(m)

では、誤差が大きすぎることとなります。

しかし、予測式の表現

$$L_i = PWL_i - 11 - 20 \cdot \log_{10} r - A_E - A_T - A_G$$

はAE、AT、AGが予測結果に大きな影響を与えないとの意味だと考えられます。

AT、AGの省略が、大きな誤差となるならば、障壁となる山の状況に関する詳細な記述が必要です。

GPIの準備書には、山の位置や高さの差などの詳しい記載はないし、地面の状態に関する詳しい記述も無い。

これは、あまり大きな影響は無いから、それほど気にしなくても良い。事を意味していると考える。

GPIが記載した、本事業の数値29, 30, 31が間違いである可能性が高いと考える。いくつかの理由があります。

イ. 障壁等の回折による減衰の算出

回折による減衰 (A_T) の算定は以下のとおりとした。

$$A_T = D - A_G$$

$$D = 10 \log_{10} [3 + (C_2/\lambda) C_3 z K_W]$$

[記号]

D : 地表面による減衰も含めた障壁の遮蔽効果 (dB)

A_G : 障壁がない場合の地表面による減衰量 (dB)

C_2 : = 20

C_3 : = 1 (単一障壁)

C_3 : = $\left[1 + (5\lambda/e)^2\right] \left[(1/3) + (5\lambda/e)^2\right]$ (複数の障壁の障壁間距離)

λ : オクターブバンド中心周波数の波長 (m)

z : 直接音と回折音の経路差 (m)

K_W : 気象条件による補正項

$K_W = \exp\left[-(1/2,000) \times \sqrt{(d_{ss} \times d_{sr} \times d)/2z}\right]$ $z > 0$ の場合

$K_W = 1$

$z \leq 0$ の場合

ウ. 地表面による減衰の算出

地表面による補正 (A_G) は、地表面を音源領域、中間領域、受音点領域の3つの領域に分け、以下のとおり算出した (ISO 9613-2)。

- ・音源領域：音源から受音点方向へ距離 $30h_s$ まで広がり、その最大値は d_p (h_s は音源高さ、 d_p は音源から受音点までの地表面上への投影距離)
- ・受音点領域：受音点から音源方向へ距離 $30h_r$ まで広がり、その最大値は d_r (h_r は受音点高さ)
- ・中間領域：音源と受音点の間に広がる領域。 $d_p < 30h_s + 30h_r$ の時、音源領域と受音点領域は重なり、この場合には中間領域はない。

それぞれの地表面領域の音源特性は地盤係数 G により区分される。3つの反射特性を次のように区分する。今回は、安全側の予測となるように $G=0$ とした。

固い地表面：舗装面、水、氷、コンクリート及び他の多孔性の低い全ての地表面。
 $G=0$ 。

多孔質な地表面：草木、樹木、他の植栽で覆われている地表面と農地のように植栽可能な地表面。 $G=1$ 。

混合地表面：地表面に固い地表面と多孔質な地表面が混ざり合っている場合、 G は0から1までの間の値をとり、その値は全体のうちの多孔質な地表面が含まれる割合で決まる。

音源領域、受音点領域及び中間領域の地表面効果による減衰を計算する場合は、表 10.1.3-13 の中の式を用いて計算する。そして、地表面効果による減衰は、次式のとおりこれらの合計で表される。

$$A_G = -\Delta L_{gnd}$$

$$\Delta L_{gnd} = \Delta L_{gnds} + \Delta L_{gndr} + \Delta L_{gndm}$$

[記号]

ΔL_{gnds} : 音源領域の地表面効果による減衰 (dB)

ΔL_{gndr} : 受音点領域の地表面効果による減衰 (dB)

ΔL_{gndm} : 中間領域における地表面効果による減衰 (dB)

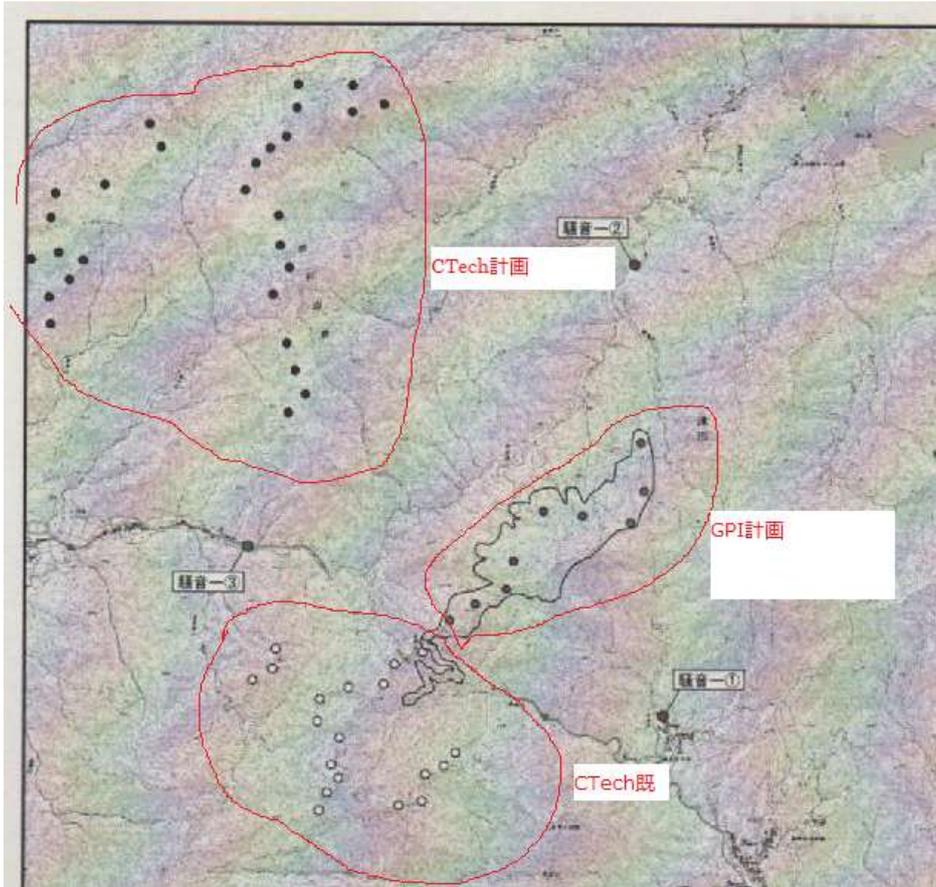
表 10.1.3-13 地表面効果による減衰の計算表

オクターブ バンド 中心周波数 (Hz)	ΔL_{ground} 、あるいは ΔL_{ground} (dB)	ΔL_{ground} (dB)	ここで、 $a'(d) = 1.5 + 3.0 \cdot e^{-0.12(d-5)^2} (1 - e^{-d_p/50})$ $+ 5.7 \cdot e^{-0.09d^2} (1 - e^{-2.8 \cdot 10^{-4} d_p^2})$ $b'(d) = 1.5 + 8.6 \cdot e^{-0.09d^2} (1 - e^{-d_p/50})$ $c'(d) = 1.5 + 14.0 \cdot e^{-0.46d^2} (1 - e^{-d_p/50})$ $d'(d) = 1.5 + 5.0 \cdot e^{-0.9d^2} (1 - e^{-d_p/50})$
63	1.5	$3q$	$q = 0 \quad d_p \leq 3(h_s + h_r)$ $q = 1 - \frac{30(h_s + h_r)}{d_p} \quad d_p > 3(h_s + h_r)$
125	$1.5 - G \cdot a'(d)$	$3q(1-G)$	
250	$1.5 - G \cdot b'(d)$		
500	$1.5 - G \cdot c'(d)$		
1000	$1.5 - G \cdot d'(d)$		
2000	$1.5(1-G)$		
4000	$1.5(1-G)$		
8000	$1.5(1-G)$		

音源領域 中間領域 受音点領域

地表面による減衰を考慮するための3領域

さて、GPI が間違えたと考える根拠を示します。



平木地区(騒音①)と上阿波地区(騒音③)から風車までの距離の比較

平木地区		上阿波地区	
GPI計画分		GPI計画分	
水平距離	1857	水平距離	1900
水平距離	2000	水平距離	2140
水平距離	2000	水平距離	2214
水平距離	2071	水平距離	2280
水平距離	2107	水平距離	2571
水平距離	2143	水平距離	3000
水平距離	2286	水平距離	3214
水平距離	2286	水平距離	3571
水平距離	2643	水平距離	3643

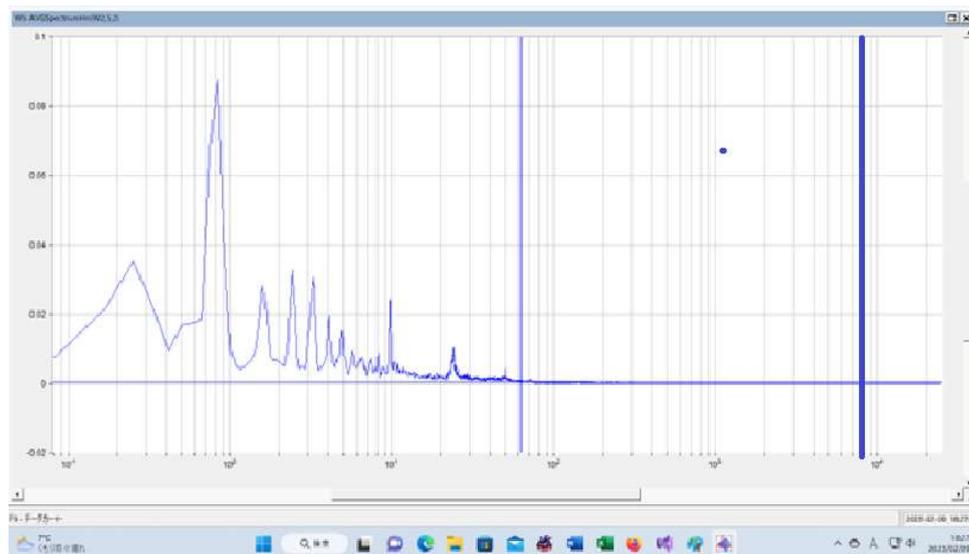
平木地区の方が、上阿波地区よりも風車に近いので、風車音の影響は平木地区の方が大きいはずである。

根拠1;

低周波音では、距離が影響を決定する主な要因であった

【冬季】		G特性音圧レベル (L_{Geq})						単位: dB
予測地点	時間区分	現況値 a	風力発電施設寄与値			将来予測値 累積 $e=a+b+c+d$	増加分 $e-a$	超低周波音を感じる最小音圧レベル (ISO-7196:1995)
			本事業 b	既存 c	計画中 d			
騒音-①	昼間	59	63	54	61	66	7	100
	夜間	59				66	7	
	全日	59				66	7	
騒音-②	昼間	52	62	50	64	66	14	
	夜間	49				66	17	
	全日	51				66	15	
騒音-③	昼間	58	61	57	66	68	10	
	夜間	53				68	15	
	全日	57				68	11	

そして、風車音は、ほとんどが低周波成分であること。



根拠2:

※冬季調査結果に基づく、空気吸収による騒音減衰が最小の場合の予測。 【単位：デシベル】

予測地点		現況値	予測結果		環境省 指針値
			本事業	累積	
騒音-① 平木地区	昼間	33	34	35	40
	夜間	35	36	37	40
騒音-② 河内中地区	昼間	40	40	40	45
	夜間	40	40	40	45
騒音-③ 上阿波地区	昼間	38	39	40	43
	夜間	37	38	40	42

注：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間6～22時、夜間22～6時）のとおりです。

p816

【冬季】 単位：dB

予測地点	時間 区分	騒音レベル					将来予測値 累積 e=a+b+c+d	増加分 e-a	指針値
		現況値 a	風力発電施設寄与値			将来予測値 累積 e=a+b+c+d			
			本事業 b	既存 c	計画中 d				
騒音-①	昼間	33	29	28	18	35	2	40	
	夜間	35				37	2	40	
騒音-②	昼間	40	30	17	18	40	0	45	
	夜間	40				40	0	45	
騒音-③	昼間	38	31	34	27	40	2	43	
	夜間	37				40	3	42	

注1：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間：6～22時、夜間：22時～6時）

注2：現況値は、現地調査における測定値より算出した残留騒音（ $L_{A90} + 2dB$ ）とした。

注3：指針値は、残留騒音+5dBとした。なお、「残留騒音+5dB」が40dB未満の場合は40dBとした。

GPIの資料を表にしてみた。

GPIの数値から計算		ISO9613-2			63Hz～8kHz		将来1	将来3
冬季	現況値 a	風力発電施設寄与値			本事業 ab	将来1 abc	将来3 abcd	
		本事業 b	既存 c	計画中 d				
騒音①	昼間	33	29	28	18	34	35	35
	夜間	35	29	28	18	36	37	37
騒音②	昼間	40	30	17	18	40	40	40
	夜間	40	30	17	18	40	40	40
騒音③	昼間	38	31	34	27	39	40	40
	夜間	37	31	34	27	38	39	40

なるべく、GPI の数値に近くなるような条件で予測してみた。

ISO9613-2 に近い計算		宇山の計算		63Hz～8kHz		将来1	将来3	
冬季		現況値	風力発電施設寄与値		計画中	本事業	将来1	将来3
		a	本事業	既存				
			b	c	d	ab	abc	abcd
騒音①	昼間	33				35.93	36.61	
平木	夜間	35				37.06	37.59	
騒音②	昼間	39.6				40.20	40.25	40.54
河内中	夜間	40.0				40.56	40.60	40.86
騒音③	昼間	38				38.75	40.21	40.79
上阿波	夜間	37				37.92	39.64	40.29

平木地区に関しては、誤差が大きすぎる。

誤差(宇山-GPI)		ISO9613-2		63Hz～8kHz		将来1	将来3	
冬季		現況値	風力発電施設寄与値		計画中	本事業	将来1	将来3
		a	本事業	既存				
			b	c	d	ab	abc	abcd
騒音①	昼間	33	29	28	18	1.47	1.27	
	夜間	35	29	28	18	1.09	0.97	
騒音②	昼間	40	30	17	18	-0.21	-0.18	0.08
	夜間	40	30	17	18	0.15	0.17	0.40
騒音③	昼間	38	31	34	27	-0.04	0.18	0.54
	夜間	37	31	34	27	-0.05	0.20	0.61

試しに、GPI の数値の、平木地区の本事業だけ、数値を 33 にしてみると、次の表になる。

GPIの数値から計算		ISO9613-2		63Hz～8kHz		将来1	将来3	
冬季		現況値	風力発電施設寄与値		計画中	本事業	将来1	将来3
		a	本事業	既存				
			b	c	d	ab	abc	abcd
騒音①	昼間	33	33	28	18	36.01	36.65	36.71
	夜間	35	33	28	18	37.12	37.63	37.67
騒音②	昼間	40	30	17	18	40.41	40.43	40.46
	夜間	40	30	17	18	40.41	40.43	40.46
騒音③	昼間	38	31	34	27	38.79	40.03	40.25
	夜間	37	31	34	27	37.97	39.44	39.68

この表の値と私の予測値はかなり近い数値となっている。

33, 30, 31(または、32, 30, 31) は、風車に近い地区が大きな影響を受ける。という原則にも合っている。

これが、33, 30, 31(または、32, 30, 31) が正しいと考える理由です。

なお、平均気温、平均湿度での数値は、

表 10.1.3-17(1) 施設の稼働に伴う騒音の予測結果（環境基準との比較）
（本事業：平均気温、平均湿度）

【春季】 単位：dB

予測地点	時間区分	騒音レベル (L_{Aeq})				環境基準 (参考)
		現況値 a	風力発電施設 寄与値	将来予測値 b	増加分 b-a	
			本事業			
騒音-①	昼間	39	28	39	0	(55)
	夜間	37		38	1	(45)
騒音-②	昼間	42	29	42	0	(55)
	夜間	42		42	0	(45)
騒音-③	昼間	45	30	45	0	(55)
	夜間	40		40	0	(45)

【冬季】 単位：dB

予測地点	時間区分	騒音レベル (L_{Aeq})				環境基準 (参考)
		現況値 a	風力発電施設 寄与値	将来予測値 b	増加分 b-a	
			本事業			
騒音-①	昼間	39	28	39	0	(55)
	夜間	37		38	1	(45)
騒音-②	昼間	40	29	40	0	(55)
	夜間	39		39	0	(45)
騒音-③	昼間	45	30	45	0	(55)
	夜間	39		40	1	(45)

28, 29, 30 と並びますが、数値の大小関係については、下のものと同様の問題を含んでいます。

表 10.1.3-17(2) 施設の稼働に伴う騒音の予測結果（環境基準との比較）
（本事業：空気吸収による減衰量が最小時）

【春季】 単位：dB

予測地点	時間区分	騒音レベル (L_{Aeq})				環境基準 (参考)
		現況値 a	風力発電施設 寄与値	将来予測値 b	増加分 b-a	
			本事業			
騒音-①	昼間	39	29	39	0	(55)
	夜間	37		38	1	(45)
騒音-②	昼間	42	30	42	0	(55)
	夜間	42		42	0	(45)
騒音-③	昼間	45	31	45	0	(55)
	夜間	40		41	1	(45)

根拠3:

平木地区と上阿波地区を比較してみると、

$$L_i = PWL_i - 11 - 20 \cdot \log_{10} r - A_E - A_T - A_G$$

距離減衰は、上阿波地区の方が遠いので大きい。

空気減衰の値は、距離が大きくなると大きくなる。

AG(地表面の性質による影響)に関しては、どちらも地表面は山林の樹木で覆われているので、どちらも同じ。

ATは、回折による減衰です。これは、山によって風車が見えなくなった時は影響が大きい。

防音壁を介した伝搬音を求める場合、防音壁を透過してくる音が十分小さい条件であれば、音源近傍の音圧レベルから、防音壁を考慮しない直線距離での距離減衰量を減じ、さらに計算図等から求めた回折減衰量を差し引くことで、受音点の音圧レベルを計算できる。図2の条件において、防音壁を介した伝搬音を計算した例を図3に示す。

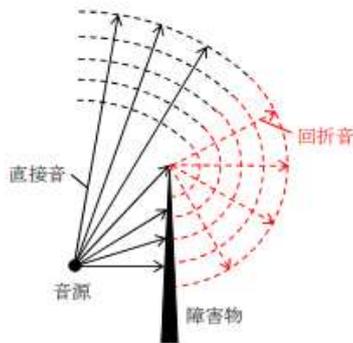


図1 音の回折現象

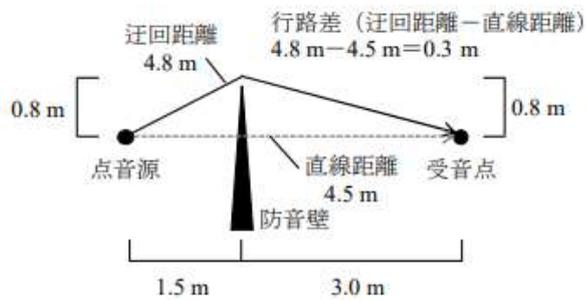
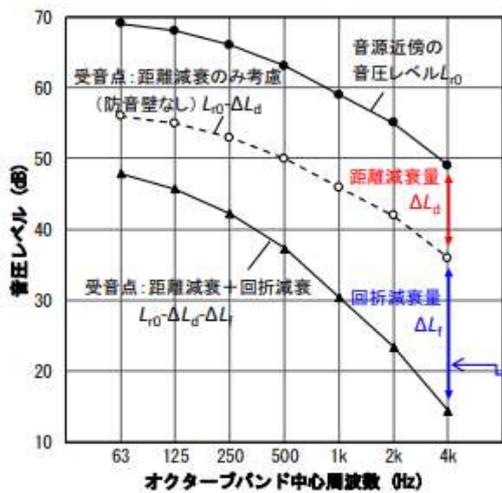


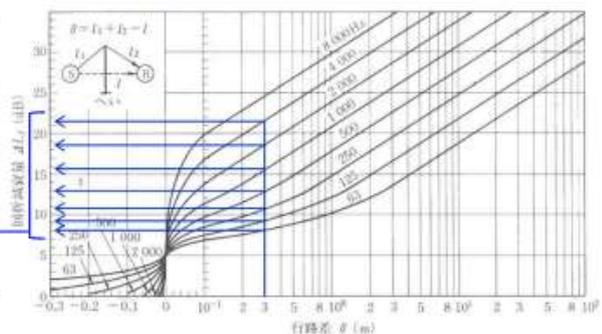
図2 防音壁を介した伝搬音の計算条件

計算式: $L_r = L_{r0} - \Delta L_d - \Delta L_f$

- L_r : 受音点の音圧レベル (dB)
- L_{r0} : 音源近傍の音圧レベル (dB)
- ΔL_d : 距離減衰量 (dB)
- ΔL_f : 回折減衰量 (dB)



音圧レベル計算結果



出典: 日本建築学会編: 実務的騒音対策指針 応用編 (一部加筆)

計算図による回折減衰量の評価

要するに、見えない風車が多ければ、風車騒音の影響は小さくなる。と言う事です。

GPIの風車は9基です。



GPIが作成した予想図によれば、平木地区からは、4基が見えて、5基が隠れています。



Green Power Investment Corporation 2021 © All Rights Reserved.

では、上阿波地区ではどうでしょうか？
GPI の資料によれば、

景観の予測結果



Green Power Investment Corporation 2021 © All Rights Reserved.

見えている風車は2基、見えない風車が7基です。ですから、回折の影響で騒音が減少する効果が大なのは、上阿波地区です。

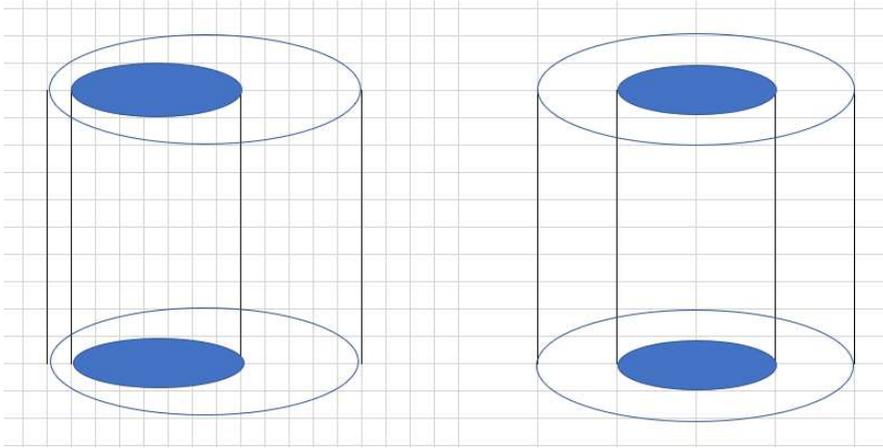
上阿波地区は、平木地区よりも、距離減衰が大きい、空気減衰も大きい、回折による減衰も大きい、地面の性質による効果は同じ程度。となっているので、上阿波地区の方が風車音の影響が小さく、平木地区の方が風車音の影響が大きいのです。平木地区が29、上阿波地区31と言っているのは、あり得ないのです。

住民説明会で、安心、安全だと説明したのですが、その根拠とした数値が嘘なのです。

県が検討をお願いした専門家も、嘘の数値が書いてあるとは思わなかったのでしょうか。委員会の発言で、29、30、31の問題に関するものは無かったです。準備書に関しての住民説明会は終わっています。県知事の意見も出ています。

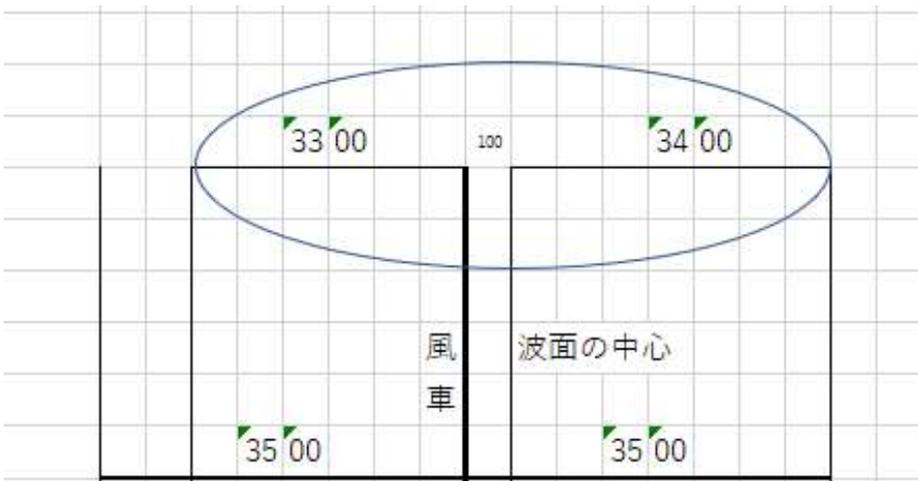
嘘の数値を使って、安全、安心であるとして住民を誤魔化した責任を、GPIはどの様にするつもりでしょうか？
私が嘘だと判断した理由が間違っているのでしょうか？ 私の計算が間違っているのでしょうか？
GPIの反論を待っています。

また、風下になると被害が増えることも分かっている。



理由は簡単です。上の図で右側は無風状態での音波の波面の広がる様子を表します。線音源としての風車から出た音は、空気の中を同心円上に広がって行きます。

風車から、3500m離れた場所にいる人は、中心から1mの所での波面のエネルギー密度を J とすれば、無風状態では、波面の広がりから考えて、エネルギー密度は、 $J/3500$ となりますが、



風があるときは、波面を含む空気全体が移動します。例えば風速 10m/s 、音速を 340m/s とするとき、風下の地点で、風車から 3500m 離れた場所について考えると、風車から発せられた音の波面は、10秒後には、波面の半径は 3400m ですが、波面全体が 100m 移動するので、風車から 3500m の地点に届きます。この時の波面の半径は 3400m ですから、エネルギー密度は $J/3400$ です。

風上で、風車から 3500m 離れて地点では、 t 秒後には波面の中心は風車から $10t\text{m}$ の場所にあり、音が届くためには、 $340t = 3500 + 10t$ より、 $t = 10.6$ 秒で、 $340 * 10.6 = 3606\text{m}$ なので、音のエネルギー密度は $J/3606$ となる。

$J/3606 < J/3500 < J/3400$ より、風車からの距離が同じでも、風があるときは、風上の地点での音のエネルギーは減少し、風下の地点では増えることが分かります。

以上のことから、無風状態では、その影響が同心円状に広がるとしても、風があるときは、風下の方が大きな影響を受けることとなります。

適用すべき予測式についての検証が必要だと考えます。

(仮称)平木阿波ウインドファーム事業及び(仮称)ウインドファーム津芸濃事業に係る環境影響評価方法書
 三重県環境影響評価委員会小委員会(第2回) 質疑概要
 日時:令和元年 5 月 27 日(月)13:00~場所:県庁講堂

委員：もう1点、気象のことについて、気象観測地点が3か所設定してありますが、津气象台が入っていないのはなぜですか。

事業者：平木阿波事業の方法書には、縮尺の問題で、比較的近いところで考えており、笠取山側の気象観測所を最も近いところ、それからより近いところで亀山と上野を考えていました。ただ、津芸濃事業の方法書では、津の気象観測所も記載しており、把握はしています。

委員：布引おろしという言葉はご存知ですか。

事業者：しっかり把握はしていませんが、鈴鹿おろしの類似のような内容だと思います。

委員：そうです。布引山地からも、津の方向に冬に強い風が吹いてきます。そういったデータを使うことは検討していませんか。

事業者：風況データについては、実測して把握していますし、気象データとして把握しますので、現地調査ではそちらを使っていくことになっていくと思います。

委員：分かりました。

GPIは、布引おろしについての認識もあった。

さらに、準備書709ページに地上10mでの、風向のデータがある。

表 10.1.1-2(1) 風向出現頻度及び平均風速

調査地点：一般-①
 調査期間：(春季)2020年5月20日(水)~5月26日(火)
 調査期間：(夏季)2020年8月21日(金)~8月27日(木)
 調査期間：(秋季)2020年10月16日(金)~10月22日(木)
 調査期間：(冬季)2021年1月15日(金)~1月21日(木)

[風向出現頻度]

(単位：%)

期間	風向	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	静穏	合計
		春季	全日	1.8	0.6	1.2	0.6	1.8	9.5	11.9	11.9	4.8	0.6	0.6	1.8	3.0	7.1	23.8	13.1
	昼間	3.1	1.0	1.0	0	2.0	13.3	16.3	12.2	6.1	1.0	1.0	3.1	2.0	6.1	14.3	13.3	4.1	100
	夜間	0	0	1.4	1.4	1.4	4.3	5.7	11.4	2.9	0	0	0	4.3	8.6	37.1	12.9	8.6	100
夏季	全日	1.2	1.8	2.4	3.0	8.3	14.3	10.7	8.3	2.4	0.6	0	1.2	3.0	9.5	21.4	4.8	7.1	100
	昼間	0	1.1	1.1	4.4	13.2	23.1	18.7	13.2	4.4	1.1	0	0	3.3	1.1	8.8	3.3	3.3	100
	夜間	2.6	2.6	3.9	1.3	2.6	3.9	1.3	2.6	0	0	0	2.6	2.6	19.5	36.4	6.5	11.7	100
秋季	全日	0	0.6	0.6	0	5.4	6.0	6.5	1.8	0	0	1.8	5.4	21.4	32.1	14.9	0.6	3.0	100
	昼間	0	1.2	1.2	0	8.3	7.1	11.9	3.6	0	0	3.6	6.0	22.6	23.8	6.0	0	4.8	100
	夜間	0	0	0	0	2.4	4.8	1.2	0	0	0	0	4.8	20.2	40.5	23.8	1.2	1.2	100
冬季	全日	3.6	0.6	0	0	0.6	0	0.6	5.4	3.0	1.8	1.8	2.4	3.0	19.0	38.1	18.5	1.8	100
	昼間	7.8	1.3	0	0	1.3	0	1.3	11.7	6.5	2.6	3.9	3.9	5.2	16.9	20.8	14.3	2.6	100
	夜間	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	0	1.1	1.1	20.9	52.7	22.0	1.1	100	
全期間	全日	1.6	0.9	1.0	0.9	4.0	7.4	7.4	6.8	2.5	0.7	1.0	2.7	7.6	17.0	24.6	9.2	4.5	100
	昼間	2.6	1.1	0.9	1.1	6.3	11.4	12.6	10.3	4.3	1.1	2.0	3.1	8.0	11.4	12.3	7.7	3.7	100
	夜間	0.6	0.6	1.2	0.6	1.6	3.1	1.9	3.1	0.6	0.3	0	2.2	7.1	23.0	37.9	10.9	5.3	100

全体としては、北北西の風が吹くことが多い。北北西の風が吹くとき、風下に当たるのが、平木地区である。

上阿波地区は、風車から見て西にあり、平木地区は風車から見て南東にある。北北西の風下に当たるのは、平木地区である。この点を考えても、平木地区の方が上阿波地区よりも風車音の影響を強く受けると言える。しかし、GPIの予測は逆です。(予測的に風向、風速の項目が、無いがこの項目は重要です。)

準備書の表において、本事業の値は、春季 28, 29, 30、冬季 29, 30, 31、であり、上阿波地区(騒音③)の方が、平木地区(騒音①)よりも値が大きいのです。この数値は住民の生活への影響を予測する大切な値です。予測式の信頼性に関しても、建設後の精密な計測をもとにして、慎重に検討しなくてはなりません。“布引おろし”を認識しているならば、予測式は、少なくとも、風の影響も考慮したものを使用すべきです。風速、風向を考慮して予測することが、委員会でのコミュニケーションが取れたことの証となるのです。そうでなければ、GPIは委員の発言を聞き流しただけと言う事になってしまいます。

三重県中部山岳地(青山高原)の風力エネルギー調査研究 ★

Investigation of Wind Energy in the Central Mountaneous District
of Mie Prefecture (Aoyama Highlands)

*	**	+	++
清水幸丸 (三重大工)	黒川静夫 (三重県教員)	太田定浩 (三重県教員)	古市助一 (三重県教員)
Yukimaru SHIMIZU	Shizuo KUROKAWA	Sadahiro OHTA	Sukekazu HURUICHI

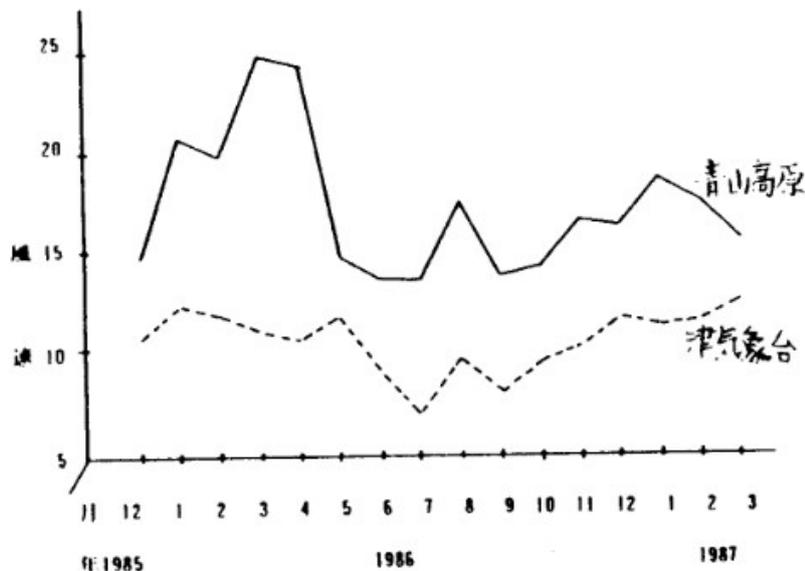


図4 最大風速の比較

布引おろしを考慮すべきなのです。上のグラフから、2月から4月にかけては風速22m程度の風が吹く。

この数値を考慮した予測では、平均的な数値で、40.23 dBのものが、40.43 dBまで上昇するとの結果も出た。(エクセルシートを見て下さい。)

表 10.1.3-16 本事業の風力発電機の風速別パワーレベル及び周波数特性

単位：dB

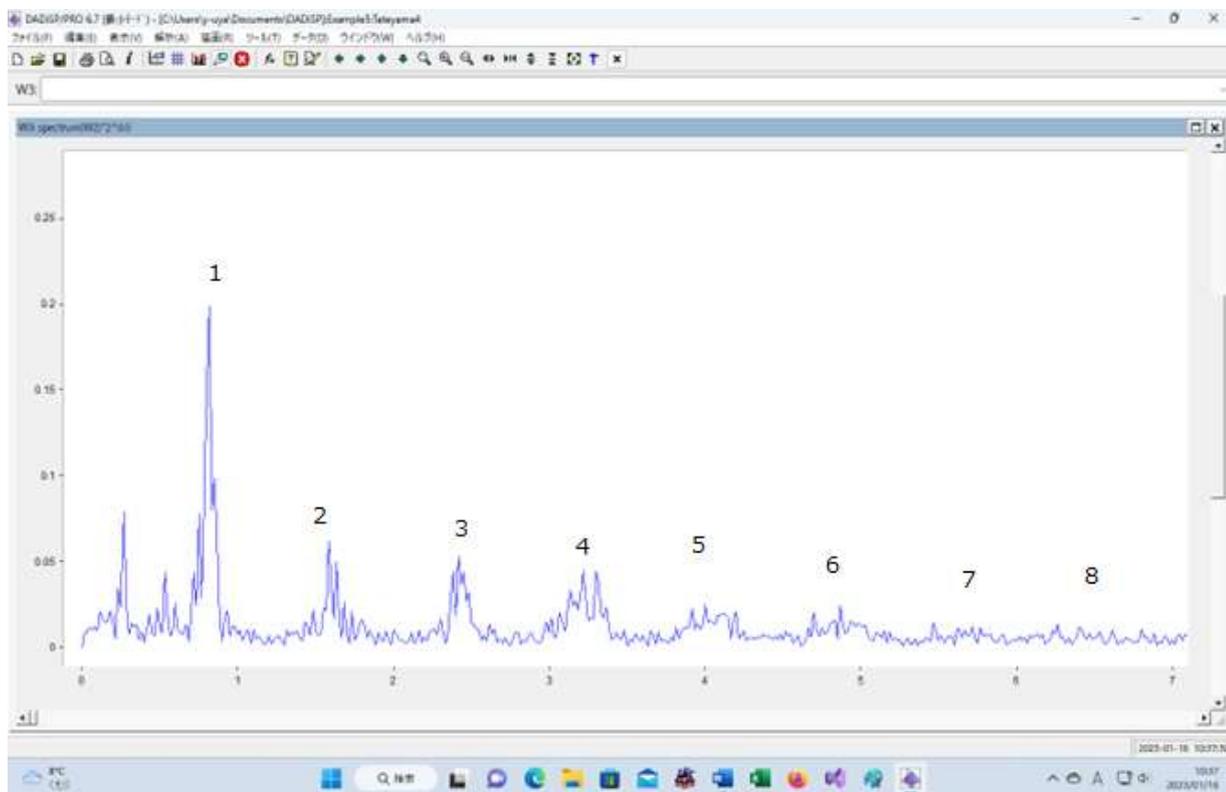
ハブ高さ 風速 (m)	1/1オクターブバンド中心周波数 (Hz)								A特性
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
3	70.3	78.8	84.3	87.1	86.9	83.8	77.9	69.0	92.2
4	70.8	79.4	85.0	87.7	87.5	84.3	78.2	69.1	92.8
6	75.7	83.9	89.3	91.9	91.6	88.5	82.5	73.7	97.0
8	82.7	90.1	95.1	97.5	97.3	94.5	89.2	81.2	102.8
9	85.3	92.6	97.4	99.7	99.5	96.8	91.7	84.0	105.1
10	86.3	93.5	98.3	100.6	100.4	97.7	92.5	84.8	106.0
12	86.3	93.5	98.2	100.5	100.4	97.7	92.7	85.1	106.0

困ったことが増えました。風速22mの時の音響パワーレベルの数値が無いのです。
この数値を出してもらわないと、冬場の騒音レベルが計算できません。

GPIは風速12m以上では、ブレード（羽）の角度を変えて回転が一定になるように調整するから、風速が大きくなっても、音は大きくなりません。

それを主張すると、風車音の発生機構に関する説明が要求されます。果たして、風車音の発生に仕組みが、回転数が一定ならば風が強くなっても風車音が大きくなりません。というような物理的な理由があることを示さなくてはならない。

その仕組みを示すときには、風車音の発生理論に従って、風車音の周波数の細かな特徴が、次のグラフや、表のようになる理由も示す必要がある。



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ことです。

周波数	倍率1	倍率2	音圧				
0.266667	1		0.05604				
0.533333	1.999996		0.03093802				
0.816667	3.062497	1	0.01405225	0.816667	1	0.816667	
1.583333	5.937491	1.938774	0.0435531	1.633334	2	1.633334	2
2.416667	9.06249	2.959183	0.02416667	2.450001	3		
3.216667	12.06249	3.938774	0.03173804			3.266668	4
4.000000	14.99998	4.897957	0.01772484	4.083335	5		
4.866667	18.24998	5.959182	0.01728335			4.900002	6
5.466667	20.49998	6.693875	0.01009538	5.716669	7		
6.266667	23.49997	7.673467	0.00978232			6.533336	8
9.783333	36.68745	11.97959	0.03974005				

となっていて、高い規則性がある。

風車に対する風の力と、塔内の定常波を考えると、この周期性は説明できる。その場合は、風速が強まれば風車にかかる力も増して、音の振幅が増加することが分かる。ようするに、回転が一定でも、音は大きくなるのです。

と私は考えています。（“風車超低周波音 2023”を見て下さい。）

冬に、22m/s以上の風が吹くことを考えるときには、風による距離の現象効果の他に、音響パワーレベルの増加についても考慮する必要があるのです。

表 10.1.3-17(1) 施設の稼働に伴う騒音の予測結果（環境基準との比較）
（本事業：平均気温、平均湿度）

【春季】

単位：dB

予測地点	時間区分	騒音レベル (L_{Aeq})				環境基準 (参考)
		現況値 a	風力発電施設 寄与値	将来予測値 b	増加分 b-a	
			本事業			
騒音-①	昼間	39	28	39	0	(55)
	夜間	37		38	1	(45)
騒音-②	昼間	42	29	42	0	(55)
	夜間	42		42	0	(45)
騒音-③	昼間	45	30	45	0	(55)
	夜間	40		40	0	(45)

【冬季】

単位：dB

予測地点	時間区分	騒音レベル (L_{Aeq})				環境基準 (参考)
		現況値 a	風力発電施設 寄与値	将来予測値 b	増加分 b-a	
			本事業			
騒音-①	昼間	39	28	39	0	(55)
	夜間	37		38	1	(45)
騒音-②	昼間	40	29	40	0	(55)
	夜間	39		39	0	(45)
騒音-③	昼間	45	30	45	0	(55)
	夜間	39		40	1	(45)

に関しては、

距離をしっかり考える。回折についても確認する。季節風の風速を考えて距離の減少効果を計算に入れる。風速が 22 m/sの時の音響パワーレベルの表を提供する。

事が必要です。

住民を騙してはいけません。

県や国に嘘を書いた準備書を提出してはいけません。

準備書の再提出、正しい数値をもとにした再度の住民説明会が必要です。

これらの観点から考えると、

“三重県民は英文の資料を確認はしないだろう。適当な数値を使って説明会を行っても住民は反論してこないから問題ない。”

と考えているとしか思えません。これほど県民を愚弄する行いを、三重県知事は許すのでしょうか？

方法書的时候は、騒音及び低周波音の影響に関する、津市長の見解は以下のものでした。

(2) 騒音及び低周波音の影響

ア 方法書に対する住民等からの意見書には、騒音及び低周波音（以下「騒音等」という。）による影響を懸念する意見が多く寄せられている。このことを踏まえ、今回の造成工事等の施工、工事用資材の輸送や施設の稼働による騒音等が地域住民の生活に影響が及ぶことのないよう、十分な調査、予測及び評価を行うこと。また、その結果、重大な環境影響が認められるときは、風力発電施設の機種や適正な配置の見直しなどあらゆる選択肢を勘案して事業計画を検討し、これらの影響を回避又は極力低減すること。

イ 対象事業実施区域及びその周辺は、元来、静穏な地域であることを踏まえ、施設の稼働による騒音の評価に当たっては、環境省が平成29年5月26日に公表した「風力発電施設から発生する騒音に関する指針」及び「風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル」の内容を参考に、季節に留意しながら調査、予測を行い、風力発電施設の機種や適正な配置の検討を含め、影響が回避又は十分に低減されるかどうかの観点から評価を行うこと。

伊賀市の意見書では、次の様に書かれていました。

・風車稼働による騒音及び低周波音等について、最新の知見等に基づき適正な環境影響の調査、予測及び評価を行ない、風力発電設備等の配置や機種の検討等により、騒音又は低周波音等の影響を極力回避・低減すること。累積的・複合的な影響についても考慮すること。

最新の知見を持つとは言いません。でも CTech の既設の風車を忘れてはいけません。

累積的・複合的な影響と言われたのを忘れたのでしょうか？

実際の被害が大きくなる可能性を示す数値を隠してはいけません。

GPIの数値から計算		ISO9613-2			63Hz~8kHz					
冬季		現況値	現況値と		CTech	近い	CTech	GPI	指針値	
			本事業	GPI	既設風車	将来予測	CTech	CTech		
						GPI建設	予定風車	CTech		
騒音①	昼間	39	29	39	28	40	18	40	40	
	夜間	37	29	38	28	38	18	38	40	
騒音②	昼間	40	30	40	17	40	18	40	45	
	夜間	39	30	40	17	40	18	40	45	
騒音③	昼間	45	31	45	34	45	27	46	43	
	夜間	39	31	40	34	41	27	41	42	

そして、予測式の信頼性、適合性に関する検証が必要となるのです。

現況値を、39 にすると、本事業の数値を 33 にすると、基準値 40 を超える。

GPIの数値から計算		ISO9613-2			63Hz~8kHz				
冬季		現況値	風力発電施設寄与値			将来1	将来2	将来3	将来4
			本事業	既存	計画中	c<a			c<a
		a	b	c	d	abc	ab	abcd	abd
騒音①	昼間	39	33	28	18	40.24	39.97	40.27	40.00
	夜間	37	33	28	18	38.83	38.46	38.87	38.49
騒音②	昼間	40	30	17	18	40.43	40.41	40.46	40.44
	夜間	39	30	17	18	39.54	39.51	39.57	39.55
騒音③	昼間	45	31	34	27	45.49	45.17	45.55	45.24
	夜間	39	31	34	27	40.69	39.64	40.87	39.87

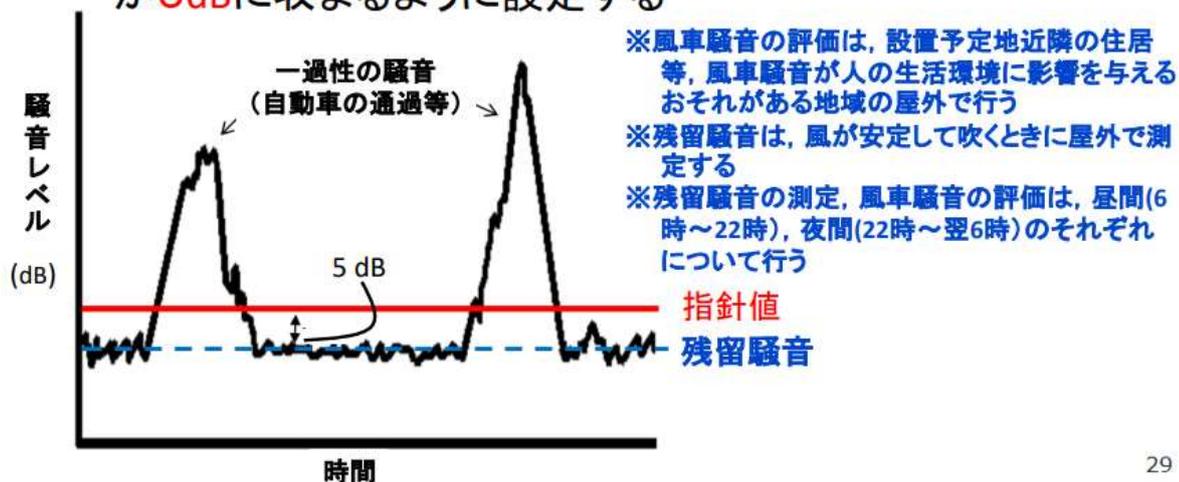
現況値が 33, ならば、数値は 40 にならない。

GPIの数値から計算		ISO9613-2			63Hz~8kHz			
冬季		現況値	風力発電施設寄与値			本事業	将来1	将来3
			本事業	既存	計画中		本事業	累積
		a	b	c	d	ab	abc	abcd
騒音①	昼間	33	33	28	18	36	37	37
	夜間	35	33	28	18	37	38	38
騒音②	昼間	40	30	17	18	40	40	40
	夜間	40	30	17	18	40	40	40
騒音③	昼間	38	31	34	27	39	40	40
	夜間	37	31	34	27	38	39	40

33、35 の数値は、計測時間の 90% の数値を考慮して求めた値です。残り 10% では、大きな値となっても構わないのです。

風力発電施設騒音の評価(指針値)の算定

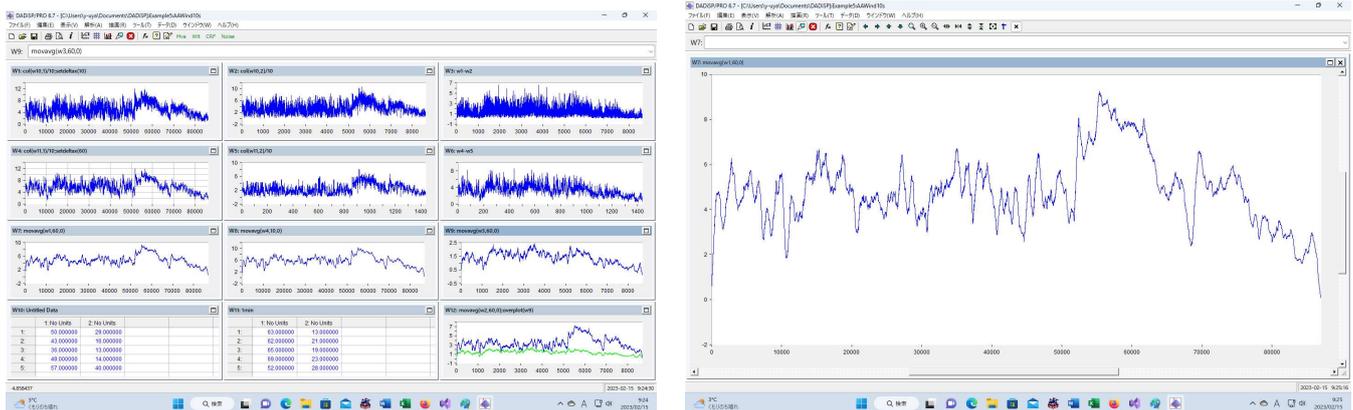
- 風力発電施設の設置又は発電設備の新設を伴う変更が行われる場合が対象
- 屋内の生活環境保全を考慮し、屋外で昼夜毎に評価
- 「**残留騒音**」(一過性の騒音を除いた騒音)からの増加量が**5dB**に収まるように設定する



29

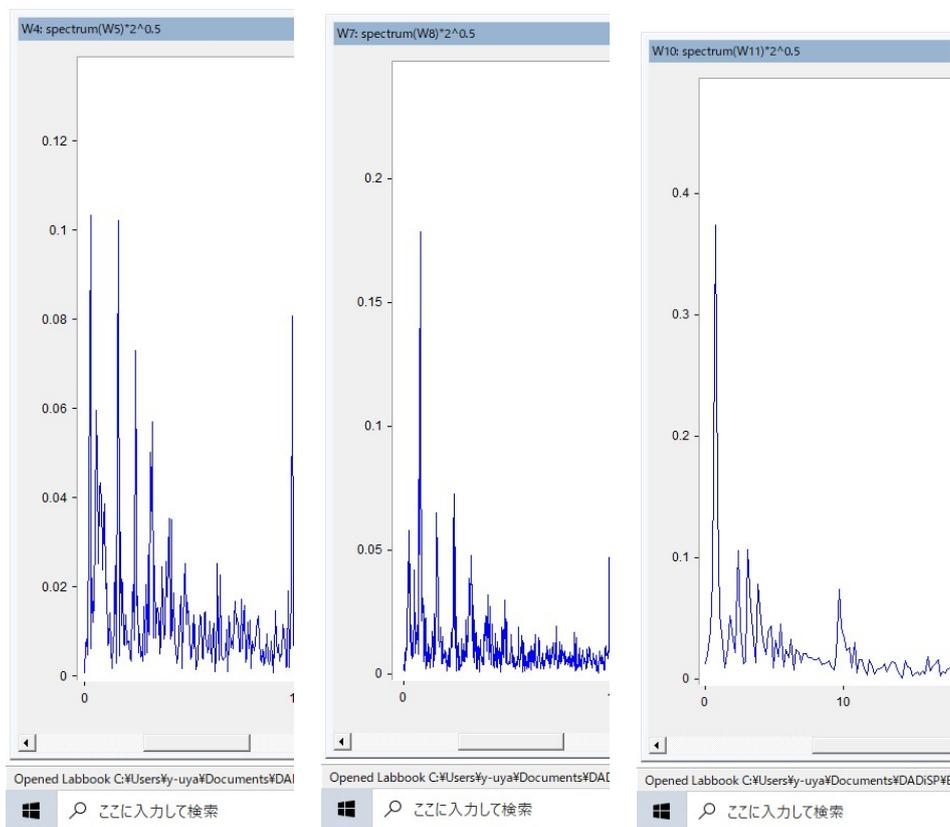
残留騒音が 33, 35 でも、測った時に 39, 37 だったとしても不思議は無いのです。

本事業の予測値 33 は、平均的な風の状態での予測値です。



前に示した、風の性質では、平均風速が 4.8m/s、移動平均でのピーク値は、7~9m/s です。

風速の変化で、風車騒音の音圧が変動します。



0.104Pa

0.175Pa

0.37Pa

音圧 (パスカル Pa) が 2 倍になると音圧レベル (デシベル dB) は、 $20 \cdot \log 2 = 6$ となるので、6 dB 増加します。すべての周波数で、このようになるとは考えませんが、3 dB 増えて 36 の場合と、6 dB 増えて 39 dB の場合で幾つか計算してみれば、次の様になります。

実際の被害の予測には、風の状態や、風車の物理的な性質などの詳細なデータが必要ですので、以下の表の数値は可能性を示している。という事になります。

GPIの数値から計算		ISO9613-2		63Hz～8kHz		将来1	将来3	
冬季	現況値	風力発電施設寄与値		計画中	本事業	将来1	将来3	
		本事業	既存					本事業
	a	b	c	d	ab	abc	abcd	
騒音①	昼間	33	33	28	18	36.01	36.65	36.71
	夜間	35	33	28	18	37.12	37.63	37.67
騒音②	昼間	40	30	17	18	40.41	40.43	40.46
	夜間	40	30	17	18	40.41	40.43	40.46
騒音③	昼間	38	31	34	27	38.79	40.03	40.25
	夜間	37	31	34	27	37.97	39.44	39.68

GPIの数値から計算		ISO9613-2		63Hz～8kHz		将来1	将来3	
冬季	現況値	風力発電施設寄与値		計画中	本事業	将来1	将来3	
		本事業	既存					本事業
	a	b	c	d	ab	abc	abcd	
騒音①	昼間	33	36	28	18	37.76	38.20	38.24
	夜間	35	36	28	18	38.54	38.91	38.94
騒音②	昼間	40	30	17	18	40.41	40.43	40.46
	夜間	40	30	17	18	40.41	40.43	40.46
騒音③	昼間	38	31	34	27	38.79	40.03	40.25
	夜間	37	31	34	27	37.97	39.44	39.68

GPIの数値から計算		ISO9613-2		63Hz～8kHz		将来1	将来3	
冬季	現況値	風力発電施設寄与値		計画中	本事業	将来1	将来3	
		本事業	既存					本事業
	a	b	c	d	ab	abc	abcd	
騒音①	昼間	33	39	28	18	39.97	40.24	40.27
	夜間	35	39	28	18	40.46	40.70	40.72
騒音②	昼間	40	30	17	18	40.41	40.43	40.46
	夜間	40	30	17	18	40.41	40.43	40.46
騒音③	昼間	38	31	34	27	38.79	40.03	40.25
	夜間	37	31	34	27	37.97	39.44	39.68

GPIの数値から計算		ISO9613-2				63Hz～8kHz			
冬季	現況値	風力発電施設寄与値			将来1	将来2	将来3	将来4	
		本事業	既存	計画中		c<a		c<a	
	a	b	c	d	abc	ab	abcd	abd	
騒音①	昼間	39	33	28	18	40.24	39.97	40.27	40.00
	夜間	37	33	28	18	38.83	38.46	38.87	38.49
騒音②	昼間	40	30	17	18	40.43	40.41	40.46	40.44
	夜間	39	30	17	18	39.54	39.51	39.57	39.55
騒音③	昼間	45	31	34	27	45.49	45.17	45.55	45.24
	夜間	39	31	34	27	40.69	39.64	40.87	39.87

GPIの数値から計算		ISO9613-2				63Hz～8kHz			
冬季	現況値	風力発電施設寄与値			将来1	将来2	将来3	将来4	
		本事業	既存	計画中		c<a		c<a	
	a	b	c	d	abc	ab	abcd	abd	
騒音①	昼間	39	36	28	18	40.99	40.76	41.01	40.79
	夜間	37	36	28	18	39.83	39.54	39.86	39.57
騒音②	昼間	40	30	17	18	40.43	40.41	40.46	40.44
	夜間	39	30	17	18	39.54	39.51	39.57	39.55
騒音③	昼間	45	31	34	27	45.49	45.17	45.55	45.24
	夜間	39	31	34	27	40.69	39.64	40.87	39.87

GPIの数値から計算		ISO9613-2				63Hz～8kHz			
冬季	現況値	風力発電施設寄与値			将来1	将来2	将来3	将来4	
		本事業	既存	計画中		c<a		c<a	
	a	b	c	d	abc	ab	abcd	abd	
騒音①	昼間	39	39	28	18	42.18	42.01	42.20	42.03
	夜間	37	39	28	18	41.33	41.12	41.35	41.15
騒音②	昼間	40	30	17	18	40.43	40.41	40.46	40.44
	夜間	39	30	17	18	39.54	39.51	39.57	39.55
騒音③	昼間	45	31	34	27	45.49	45.17	45.55	45.24
	夜間	39	31	34	27	40.69	39.64	40.87	39.87

表 10.1.3-16 本事業の風力発電機の風速別パワーレベル及び周波数特性

単位：dB

ハブ高さ 風速 (m)	1/1オクターブバンド中心周波数(Hz)								A特性
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
3	70.3	78.8	84.3	87.1	86.9	83.8	77.9	69.0	92.2
4	70.8	79.4	85.0	87.7	87.5	84.3	78.2	69.1	92.8
6	75.7	83.9	89.3	91.9	91.6	88.5	82.5	73.7	97.0
8	82.7	90.1	95.1	97.5	97.3	94.5	89.2	81.2	102.8
9	85.3	92.6	97.4	99.7	99.5	96.8	91.7	84.0	105.1
10	86.3	93.5	98.3	100.6	100.4	97.7	92.5	84.8	106.0
12	86.3	93.5	98.2	100.5	100.4	97.7	92.7	85.1	106.0

困ったことが増えました。風速22mの時の音響パワーレベルの数値が無いのです。
この数値を出してもらわないと、冬場の騒音レベルが計算できません。

読賣新聞

2023年(令和5年)

1月13日 金曜日

2023年(令和5年)1月13日(金曜日)

青森

津

青森

津の風力発電中止へ

青山高原 建設中2基は撤去

大手住宅メーカー・住友林業が津市の青山高原で進めていた、風車4基を整備する風力発電計画が、中止されることが分かった。既に建設中の風車2基は撤去される見通しで、同社は「反対する土地所有者の意見をはじめ、騒音に関する自主環境影響評価(アセスメント)の調査結果や今後の事業性を総合的に判断した」としている。

同社によると、当初、青山高原に高さ121メートルの風車4基(出力計7・49メガワット)を建設することを計画。2018年3月に経済産業省から再生可能エネルギー発電事業計画として認定さ

れ、20年7月に着工した。風車の出力が7・5メガワット未満の場合、事業者は環境影響評価を行う必要はな



撤去される風車(提供写真)

いが、一部の近隣住民が「事前に説明がなかった」として健康被害への懸念を訴えたことから、同社は21年11月に工事を中断。同市や県に事業を中止させる権限はないが、地域住民グループは、約1600人分の反対署名を集めて22年10月、市と県に提出していた。

同社は着工前に、自主的に環境影響評価を行っていたものの、住民の意見を受けて同年11月、条件を変えて評価を再実施。一部の地域で、環境省の風力発電の指針を超える騒音レベルに達する可能性があることが分かり、昨年末、計画の中止を決めたという。

地元の「住友林業の三重風力発電所に反対する地域住民の会」代表の山名利美さん(74)は「健康被害の原因となるものが除去されることになり、ほっとしている。守り続けてきた青山高原の景観も、次世代にその

まま引き継げることになって安心してほしい」と話した。県内では、松阪市飯高町の蓮ダム周辺でも風力発電の事業計画が持ち上がっているが、住民が健康への影響などを訴えて中止を要望している。

国の方針もあります。風力発電すべてに反対するのは困難でしょう。しかし、県民を愚弄する企業の活動を認めてはいけないと思います。(準備書は三重県にも提出されています。これに対する意見を書く立場の県知事に対して提出されたものでもあります。) 三重県民の誇りを守る事は県知事の大切な使命だと考えます。三重県の知事として、GPIの準備書に対しては、怒りを込めた糾弾の知事意見を書くべきだと思います。

騒音と振動の計測に関して、地域住民から県にお願いしたことがありました。(別の会社シーテックの場合です。)

風車建設前と建設後の騒音、振動についての計測のお願い。

伊豆のほうでは風車騒音で困っている人がいると聞いています。

騒音の原因が何なのかをはっきりさせることは、将来風車が建設された後でも住民が安心して暮らせるようにするために必要なことだと考えます。

風車が建設される前と、風車が建設された後の騒音と振動の比較ができれば、騒音問題の解明の手がかりとなります。

公平性と正確性を確保するために、計測は県(または市)、風力発電の事業者、第三者(大学等)で複数の機械で同時に行い、その結果を公開して、様々な人の力を結集して問題点の解明をすることが必要です。

Wavelet 解析ソフトの開発をされている人に伺ったところ、以下のようにする必要があるのでした。

多くの場合騒音の計測は、1/3 オクターブ解析として扱われる場合が多く、このようなデータでは、周波数の正確な分析が不可能であり、問題解明ができません。

計測後に、FFT や Wavelet による解析が可能であり、必要ならば 1/3 オクターブ解析もできるようなデータ形式で計測結果を収録しなくてはなりません。また、データの扱いやすさも考えるならば、16 ビットの符号付整数で記録された WAV ファイルとして、平坦特性で収録する必要があると考えます。

騒音については、

リオン社の精密騒音計 NL-62 で計測され、波形収録プログラム NX-42WR によって 16 ビットの符号付整数を使って収録された WAV ファイルを作る。収録時の周波数重みづけは Z 特性(平坦特性)とする。サンプリングレートは 48 kHz、連続する収録時間としては 1 分から 10 分程度とする。

振動については、

リオン社の振動レベル計 VM-55 で計測され、波形収録プログラム VX-55WR を使って収録された WAV ファイルを作成する。

ストアモードは Auto、測定チャンネルは XYZ、総測定時間は 1 分から 10 分程度とする。

ビデオカメラでの撮影、

風車が存在して回転している場合は、ビデオカメラで回転の様子を撮影する。

計測場所は、

建設前については、建設計画で風車がほぼ 1 列になっている場合は、風車の列の中央部分。

さらに、風車の列に対して直角方向で民家が存在する方向に向かって、500mおきに 2km まで 5 か所での測定をする。測定は、昼間と夜間の 2 回とし、これを春夏秋冬の季節ごとに行う。(季節ごとの風向の影響も考える。) 計測を希望する家があれば、さらに数か所を追加する。家の中での騒音、振動の

計測も行う。

風車建設後にも、建設前に測定した場所と同じ場所で計測を行う。建設前と同様に、測定は昼間と夜間の2回とし、これを春夏秋冬の季節ごとに行う。これによって、風車建設前と風車建設後での騒音、振動のデータを比較することが可能になる。

計測結果の解析、

騒音の原因が何かを考えるには、音の周波数を計算する必要があります。上記のWAVファイルがあれば、FFTによる解析が可能となります。

風速の変化によって風車の回転数が変化すると、音の周波数は微妙に変化します。この微妙な変化をとらえるには、FFT解析ではなくて、Wavelet解析が必要となります。また低周波の解析では、カオス理論の活用が有効となる場合もあります。

測定結果の解析には、このような機能を持ったソフトウェアを確保する必要があります。

データの交換、

計測は県（または市）、風力発電の事業者、第三者（大学等）で複数の機械で同時に行い、測定結果のデータを互いにその場で交換して、お互いの測定結果を全員が共有することが必要があります。

さらに、お互いの測定結果がほぼ同じであることを、その場でお互いに確認する必要があります。

データの公開、

低周波音の解析では、高度の機能を備えているソフトウェアを使う必要が出てきます。県や市、業者、大学に、そのような機能を持ったソフトウェアが無い場合も考えられます。

計測したデータを一般に公開すれば、必要なソフトウェアを持っている人からの援助も受けられます。多くの立場の人が、異なるソフトウェアで解析した結果が一致すれば、原因の究明に向けての大きな力となります。

ソフトウェアを揃えると100万円くらいします。公開すれば、お金も節約できて、様々な立場からの検討が可能となるので、データの一般公開は必要なことだと考えます。

計測機器について

上記の計測機器を新たに購入すると150万円くらいが必要です。計測機器のレンタルもありますが、マニュアルを読む時間として2か月程度は見ておく必要があります。さらに、記録されている符号付整数の意味についてはリオン社に確認する必要もあります。

上のような、Wavelet解析ソフトの開発者の方の意見を参考にして考えた結論として、この地域の住民として、風車建設前と、建設後の騒音、振動の計測を複数の立場の人で行い、そのデータをFFTやWavelet解析が可能な形で公開し、その土地に暮らす人々にとっての環境の変化を明らかにしてゆく方向で、県、業者、大学の方々の協力をお願いします。

県へのお願い：

県として上記の内容をふまえた、騒音、振動の計測計画を立てて、風力発電の事業者、地元の大学に対して参加してくれるようにお願いしてください。

さらに、その計画を全国に知らせ、無料のボランティアで計測に参加してくれる人やデータ解析に参加してくれる人を広く募集してください。

住民が安心して生活できる環境を維持するために、県として支援して下さるようお願いします。

区長さんへのお願い：

区民の中に風車建設に賛成の意見も反対の意見もある中で、区長として中立的な立場に立とうとされていることは十分理解できます。

この地域での、現在の騒音、振動を前もって測定しておくことで、風車建設後の地域における環境の変化を科学的に把握することが可能となります。もしも、問題が発生した場合にはきちんとしたデータに基づいての議論が可能となります。

風車建設前と風車建設後の、騒音、振動の計測実施にむけて、県や市への働きかけについて、お力添えしていただけるよう、お願いいたします。

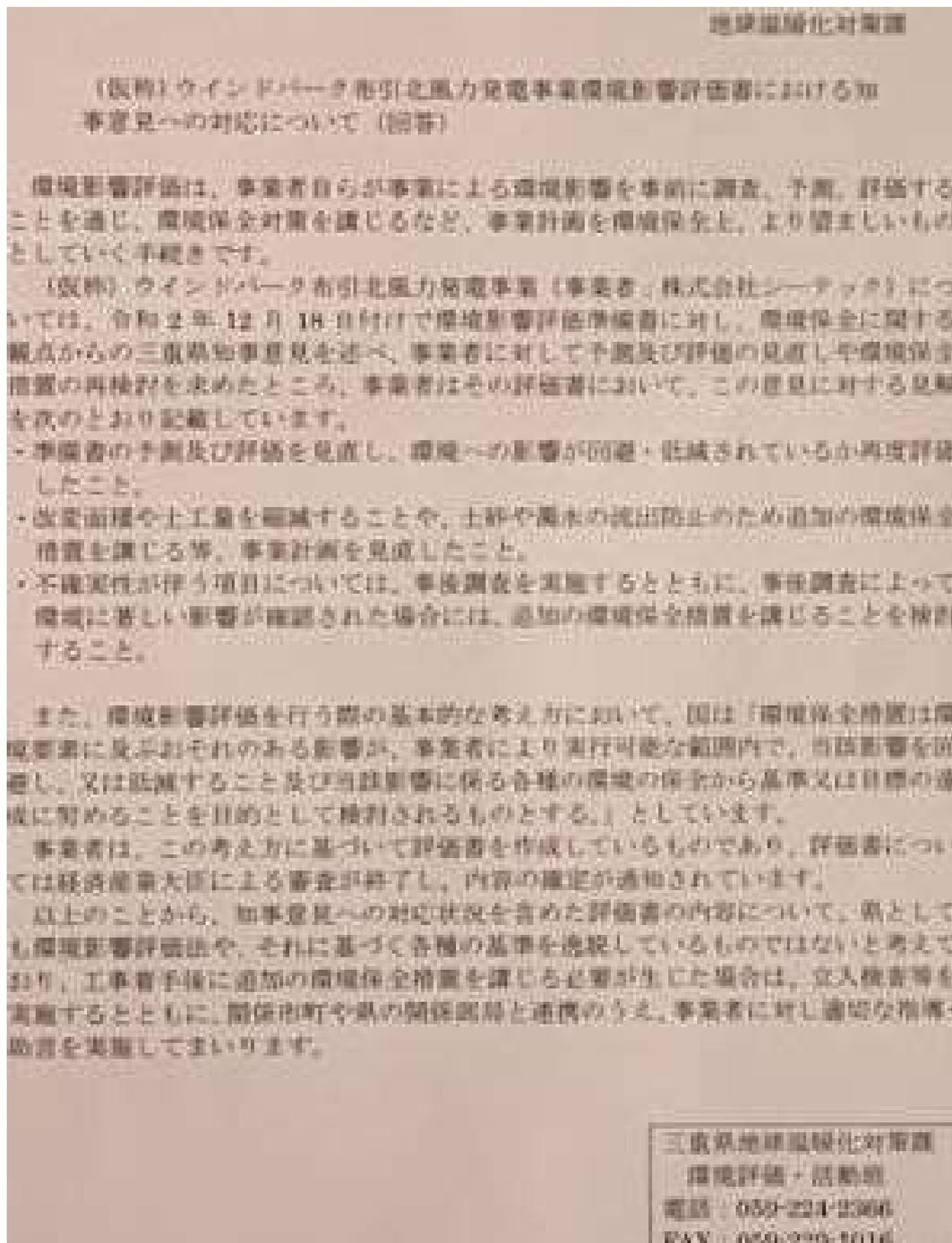
県の地球温暖化対策室の回答は次のものでした。

残念ながら、県は計測を拒否しました。環境アセスメントの中では企業が行う事になっている。のですが、企業の示す数値は信頼できるのでしょうか？

企業にも色々あるのです。GPIは信頼できる企業なのでしょうか？

準備書説明会で配布した資料、準備書に対して市民から出された意見に対する回答、地権者の承諾なしでの立ち入り、などを見れば、信頼できない企業だと考えます。

県の計測、GPIの計測、住民の計測 を比較することが必要なのです。



「風車建設前と建設後の騒音、振動についての計測のお願い」
について (20等)

〔西條〕ウインドパートナー船引北風力発電事業（事業者：株式会社シーテック）
につきましては、環境影響評価法に基づき環境影響評価手続が行われており、事
業者により調査、予測及び評価が行われた結果に於いて、経済産業大臣による審
査が終了したものです。

環境影響評価制度は、事業の計画段階において、事業者自らが環境保全上の配
慮を行うものであり、県として騒音等の測定を実施するものではなく、また、県
の組織（地域防災推進事務所、研究所等）において、測定いただいたような精
密騒音計を所有していないことから、測定望いただいたような計測等について
はお応えいたしかねますが、工事着手後に環境への影響が生じた場合は、空入機
変等を実施するとともに、関係市町や県の関係部局と連携のうえ、事業者に対し
適切な指導・助言を実施してまいります。

今回は、GPI 社の準備書についての問題点です。経済産業大臣による審査は終了していません。

GPI の準備書に書かれた数値には信頼性がありません。また、準備書に関する住民説明会での資料は、自
社の主張とも矛盾する支離滅裂な数値が並んでいます。

いまこそ、事業者に対して適切な指導・助言が実施されるべきだと考えます。計測に関しては、これほど
出鱈目な数値を並べた業者を信頼するのか否かも問われます。

企業、県、市、住民、第三者での異なる計測機材を使つての同時測定が必要です。そして、計測データの
客観性を保つには、すべての計測データを公開することが必要です。

シーテックを信頼するあまり市民からの計測のお願いを拒否したので、GPI は三重県を甘く見たのです。
そして、住民説明会の資料には、どんな数値を並べても大丈夫と考えたのです。

GPI に対する指導・助言の内容としては、撤退の勧告以外には考えられません。

この間の、GPIの行いは、

地権者の承諾を得ないで、勝手に調査に入った。

GPIは、地権者の承諾は不要で、一方的なお知らせをすれば良いと考えています。

意見 8: GPIは、私的所有権を無視した理由を明確に書いて下さい。日本の法律を破壊するような行動だとの自覚があるのか無いのかを明記して下さい。	把握している地権者様及び対象事業実施区域を含む地区には調査する旨をお伝えした上で、調査を実施しております。
-----------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------

意見の概要	事業者の見解
法務局へ行って調査したのですか？それとも、法務局へは行かなかったのですか？ 法務局で調査したとすれば、私的所有権についての知識があると判断できるが、地権者に無断で立ち入ることは、私的所有権を否定する行為です。日本の法律を尊重する気持ちは無いのですか？この間の具体的な行動に踏まえて、具体例を踏まえて記述して下さい。	※見解は前項に記載。

住民からの質問状を無視した。準備書に対する意見に対する事業者見解は誤魔化しに終始している。その見解の問題点も指摘した文書は経済産業省にも国民の意見として送っていった。

仮称)平木阿波ウインドファーム事業及び(仮称)平木阿波第二ウインドファーム事業に係る環境影響評価準備書
環境影響評価委員会小委員会 議事概要

日時:令和4年8月 29 日(月)14:00~17:00 場所:三重県勤労者福祉会館 講堂

には、GPIの事業者としての次の発言が記載されている。

“事業者:地域の皆様の理解を醸成していくにあたってコミュニケーションをとっていくべきということだと思っておりますが、ご指導いただいたように、積極的に事業の必要性を含めてコミュニケーションを図っていきたいと思います。”

理解を得たいのならば、住民からの質問状には文書で回答すべきです。

コミュニケーションとは、一方的な宣伝では無いのです。

私的所有権に関する法律を無視してはいけません。お知らせを見ても、承諾できない地権者もいるのです。

配慮書は、平成30年3月9日(金曜日)公開

方法書は、平成31年1月11日(金曜日)公開

準備書は、令和4年5月10日(火曜日)公開

でした。

方法書が出た段階での、三重県での委員会の記録に次の部分があります。

(仮称)平木阿波ウィンドファーム事業及び(仮称)ウィンドファーム津芸濃事業に係る環境影響評価方法書
三重県環境影響評価委員会小委員会 質疑概要

日時:平成 31 年 4 月 24 日(水)10:00～ 場所:JA三重健保会館

委員：複数の風車が計画されていますが、1つの風車の位置を複数考えながら、予測されるのでしょうか。

事業者：風車設置場所の計画に際しては、年間を通じてどの方向から特に風が吹くのか、シミュレーションなり現地の実測データを用いながら確認します。風車はある程度間隔を取りながら配置しないと、風の乱れ等が影響して壊れやすくなったり、発電量が低下したりします。そうなると、検討において1箇所の風車を移動すると、全体が動きますので、いろいろな観点で考えながら、予測評価する際には、1箇所のみ示すのではなく、風車の基数を減らすことも含め、配置を検討していきます。

GPI は、

“風車はある程度間隔を取りながら配置しないと、風の乱れ等が影響して壊れやすくなったり、発電量が低下したりします。”

と認識しているながら、北北西の風が吹く場所に、風の向きに沿って300mおきに風車を3台並べる案をあげて提示したのです。



黄色い部分については、GPI の認識からしても、無謀な計画でした。

準備書に対する知事意見（令和5年2月10日）では、

- 3 本事業は、方法書の段階から対象事業実施区域を縮小した上で風力発電施設設置数を削減するなど、一定の環境配慮がなされている。一方で、騒音及び低周波音による影響、土砂災害の懸念、獣害の増大、生物多様性及び景観への影響などについて、地域住民等から引き続き意見が寄せられるなど、事業への懸念を抱く住民は現在も多く存在する。
これらをふまえ、事業実施にあたっては、地域住民や自治体等と十分なコミュニケーションを図り、不安の払しょく及び不満の解消に最大限努めること。なお、関係者とのコミュニケーションにあたっては、「事業計画策定ガイドライン（風力発電）」（2017年3月資源エネルギー庁）を参考とすること。
- 4 準備書の環境影響の予測において、知見が不十分で定量的な予測が困難なことなどにより影響の程度が明らかにならなかった項目について、「影響が小さい」と記載されている。評価書の作成にあたっては、既存の風力発電施設の運用で得られた知見、既存の文献、類似事例等を参考にしたうえで、可能な限り定量的な予測に努めるとともに、知見が不十分で影響の程度が明らかにならないものについては、そのように記載したうえで事後調査を検討すること。
- 5 本事業の対象事業実施区域周辺では、既に多くの風力発電施設が稼働中であり、また他事業者においても風力発電事業の環境影響評価手続きが行われていることから、これらの事業者と情報交換に努め、累積的な影響を可能な限り低減できるように計画すること。
また、計画内容や環境保全措置の効果を他事業者に対して積極的に情報発信するなど、他事業者とも共同して地域全体への影響を低減できるよう配慮すること。
- 6 事業の実施にあたっては、環境保全対策に関する最新の知見を考慮するとともに、最善の利用可能技術を導入するなど、より一層の環境影響の低減に努めること。

（個別的事項）

1 騒音等

- （1）風力発電施設からの騒音及び低周波音については、予測の結果「影響は小さい」とされているが、複雑な地形を有する地域では、騒音が予測結果よりも増幅して伝搬することもあるため、風力発電稼働後の環境監視及びその結果の公表について検討する

こと。

また、住民等から風力発電施設の稼働後に苦情等が生じ、騒音等による影響が確認された場合は、状況に応じて稼働を停止する等、適切に環境保全措置を講じること。

(2) 工事实施時における資材の運搬等により、工事関係車両の通行が長期間発生することから、運搬経路及びその周辺的生活環境への影響を低減できるよう配慮すること。

また、大型部品の輸送にあっては、夜間に実施されることから、生活環境への影響を十分低減できるよう配慮すること。

縮小した部分への一定の評価が書いてあるが、GPIの見解から考えると、縮小された部分は、捨て石として最初から予定されていたことです。この縮小を評価することは、GPIの見せかけの縮小作戦に引っかかってしまった。としか言えません。

委員会では、次の発言もありました。

(仮称)平木阿波ウインドファーム事業及び(仮称)平木阿波第二ウインドファーム事業に係る環境影響評価準備書
環境影響評価委員会小委員会 議事概要

日時:令和4年8月 29 日(月)14:00~17:00 場所:三重県勤労者福祉会館 講堂

委員:今回は元々の計画から縮小していただいたということで、それは非常に良いことだと思いますが、それでもかなり切土盛土の範囲があるように見受けられます。幹事意見に対する回答で「盛土計画部分で土量の調整を図る」という切土盛土バランスさせるような工夫、盛土のところで調整しますということが書かれていて、確かに切土盛土でバランスをとるのが、基本だとは思いますが、もし搬出するのを避けるために必要ないところで盛土として土を処理しようというお考えですと、考慮していただきたいです。砂防指定地、土石流危険溪流に指定されてるようなところで、そこまで盛土して大丈夫かと非常に懸念されます。すでに最低限というふうに設計していただいていると思いますが、盛土計画部分での土量の調整ということはどういう意味でしょうか。

知事意見では、計測と風車の停止に関して述べていますが、残念ながら、不十分です。

風の強さが変化することによる風車自体の振動が起こり、タワー内での気柱に関する共鳴現象が起きますので、風車が停止していても、超低周波音(0Hz~20Hz)は発生します。風車自体を撤去する必要があるのです。

会議の議事録で、気になった点を掲載しておきます。

委員: 工事中のことはさることながら、かなりの長期間にわたってずっと施設がありますので、もちろん、両面の意見があると思いますが、現状では、住民意見或いは市長意見を拝見しても、十分に納得いただけるようなコミュニケーションが取れているとは思えないと感じられますので、一層丁寧な説明や対応をお願いしたいと思います。

事業者: ご意見ありがとうございます。引き続き、ご理解いただけるように努めます。

委員長: 事務局に伺いますが、本日欠席されてる委員からの意見はありますか。

事務局: ご意見をいただいております。

委員(事務局が代読): 工事用道路は夜間に使用すると記述されていますが、夜間における騒音への配慮について、見解をお示してください。

WTN に含まれる純音成分については、純音成分がふくまれていない機種、少なくとも純音成分が少ない機種を選定する必要があると考えますが、見解をお示してください。

周辺に既存のウインドファームがあります。他事業ではあるものの、説明会等を行っている中で、これまでに寄せられた苦情(把握した苦情)について、どのようなものがあるか、お示してください。

2km 以内に住宅が存在していますが、どの風車をどれだけ移動すると騒音レベル、シャドウフリッカーがどれだけ低減(又は悪化)するのか、抽象的ではなく、具体的にかつ数量的な予測をお示してください。

騒音の予測手法について、P623 には ASJ model の 2013 により予測を行うとの記述がありますが、実際は P784 にあるとおり 2018 年のモデルを使用しているのか、念のため確認します。

騒音の予測に用いたモデルはあくまでもモデルであり、複雑な地形の場所について、それほど正確に音の伝搬を予測できるわけではありませんので、ぜひ事後評価を実施してください。

事務局: この質問に対する見解については、後日いただければと思います。ただ、既存風車の苦情については、出席委員の皆様にも共有させていただければと思いますので、説明会等でも把握された苦情等があれば、回答をお願いします。

事業者: 他の事業者様のことでありますので、どこまで説明するのは難しいのですが、既存風車について、その騒音を感じるというご意見もお聞きしたことがあります。今回さらに風車が建つということで、さらなる影響があるのではないかとご意見もいただいたこともあります。それに対して、当該ご意見をいただいたのは、伊賀側なのですが、既存の風車に比べて、今回風車を建てる離隔は離せていること、今回予測をして、基準或いは指針値を超えるような結果になっていないということをご説明して、一定のご理解をいただいております。

委員: この場に出席させていただいて、何を感じたかという、先ほど供用が終われば責任を持って撤去しますということが書いてありましたよね。これについても、確かに先ほど言われたとおりで、基礎を全部取った形で終了となった場合は、かえって危険なこととして、コンクリートの基礎工事を行って鉄筋も打ったものを、全部撤去すると言われ

ば、ますます危険だと思いながら、一方では、今回の事業をはじめ、このエリアには随分たくさんの風車が建っています。その供用が終わったときにどうなるのかと。確かに今の世代にとっては、クリーンなエネルギーが確保され、それは良い面も悪い面も含めて、事業が展開されていくわけですが、事業が全部終わった時に、あの場所に何が残るかというのと、上の風車は撤去しても、風車の基礎となったものが、山の頂付近に累々と並ぶという状況を、私たちは、何年、何十年か後に子供たち、孫たちに、そういう存在を残していつてしまうことを、今検討しているのだと私は感じました。また、他の委員から、事業者は質問に誠意を持って答えていないという意見も出ていましたが、私がお願いしたいのは、事業者の責任において、法令に基づいて撤去するとか、他事業も踏まえて、それに習うというのではなく、事業者が積極的にこういう考えを持っているということを提示いただきたいということです。そのことは、他の事業者たちにも影響を与えることなので、その点は、やはり重要な問題だと思います。あの山の辺りで色々なものが残されることになると、コンクリートも鉄筋も自然のものではないので、そういったものが、何十年にわたって谷川に流れ出していくことを考えれば、化学成分の上でも、或いはもっと別の観点から考えても、良くないことだと思います。少なくとも事業者としては、将来撤去するにあたってこういう考えを持っているということを書いてください。事業者としてそういうことを書いていただけるのであれば、それは信頼を受けることだと思いますので、具体的に、先進的に書いていただくことは、とても大切だと思いますので、ぜひお願いしたいと思いながら、先ほどから聞いていました。本当に孫、子の世代にわたって、あの場所にそういったものが、残置されてしまうということも思っていましたので、できるだけ根本的な、或いは先進的な考え方を、一行でも二行でもいいから書いていただけると、良い事業になってくるのではないかという印象を持ちました。

事業者:ご意見いただきまして、ありがとうございます。撤去の方法も含めて、事業者としての考え方をきちんと示すべきだというご意見だと思います。仰るとおりと考えます。私どもも、将来世代のためにこそ、再生可能エネルギーを普及していくべきだと考えています。一過性の10年20年発電できればいいと考えているわけではありません。昨今、電気代等も高くなっていますし、本当にこのまま火力、原子力に頼ったようなエネルギーの使い方で、いいのかというところに対して、やはり再生可能エネルギーを増やしていくべきだと考えています。それは国或いは県の方でもそういった方針が示されているものと考えます。ですので、一定期間、発電して終わりということではなく、半永久的に、立てたものがずっと使えるというわけではありませんが、風況が良いということは短いスパンで変わるものではありませんので、部品の交換やリプレイスをすることで、今回計画している土地で、中長期的に事業をさせていただきたいというのが事業者としての思いです。一方、撤去する場合も想定しておくべきだというご意見も、そのとおりだと思いますので、そこに対する考え方は示せるものをお示しさせていただきたいと考えています。先ほど触れられたご質問、住民意見94頁では、事業者の責任において撤去しますという曖昧な回答だったのですが、基礎につきましては、例えば89頁では基礎を完全撤去する場合は周辺地盤を沈下させるおそれもあるので、当該地盤状況や、地権者様との協議を踏まえて決めていくこととなりますといった回答もさせていただいています。統一性がなく、分かりづらく、失礼いたしました。

GPIの資料に関する誤解もありました。電話で教えてもらって理解できた部分もあるが、問題点がより増えてしまいました。この解説も大幅に書き換えました。

エクセルでの計算も、2つ作りしました。予測式として相応しいのはどちらかなのかを検証する必要があります。

間違いもあると思います。皆様の確認と、ご意見を、お待ちしております。

A 特性:

人間にとっての騒音の煩さを表す数値が A 特性音圧レベル(単位はデシベルdB)です。この計算には、人間の聴覚での可聴域が 20Hz から 20000Hz であることと、周波数によって人間の感じる煩さ(聴覚で感じる騒音の大きさ)が異なることを考慮して、周波数帯ごとに重み付けをして全体としての騒音レベル(dB)計算します。

計算対象となる周波数帯の中心周波数(1/3 オクターブ解析の場合についてのみ考えます)は、幾つかの場合がありますが、低周波帯での重み付け(6.3Hz では -85.4 dB)があるので、計算結果はどれも同じような値となります。

IEC61672:2014 規格では、

1/3 オクターブバンド重み付け特性 (IEC61672:2014 規格)

Frequency [Hz]	A-Weighting	C-Weighting	Z-Weighting
6.3	-85.4	-21.3	0.0
8	-77.8	-17.7	0.0
10	-70.4	-14.3	0.0
12.5	-63.4	-11.2	0.0
16000	-6.6	-8.5	0.0
20000	-9.3	-11.2	0.0

となっていて、6.3Hz から 20000Hz です。

JIS C 1509 では、

●周波数重み付け特性 A/C/Z の値

JIS C1509 に規定された周波数重み付け特性 A/C/Z の値とそのグラフを表1、図2に示します。

表1 周波数重み付け特性 A/C/Z (1/3 オクターブバンド)

No	公称周波数 (Hz)	厳密周波数 (Hz)	A 特性 (dB)	C 特性 (dB)	Z 特性 (dB)
10	10	10.00	-70.4	-14.3	0.0
11	12.5	12.59	-63.4	-11.2	0.0
12	16	15.85	-56.7	-8.5	0.0
13	20	19.95	-50.5	-6.2	0.0
14	25	25.12	-44.7	-4.4	0.0

41	12500	12589.25	-4.3	-6.2	0.0
42	16000	15848.93	-6.6	-8.5	0.0
43	20000	19952.62	-9.3	-11.2	0.0

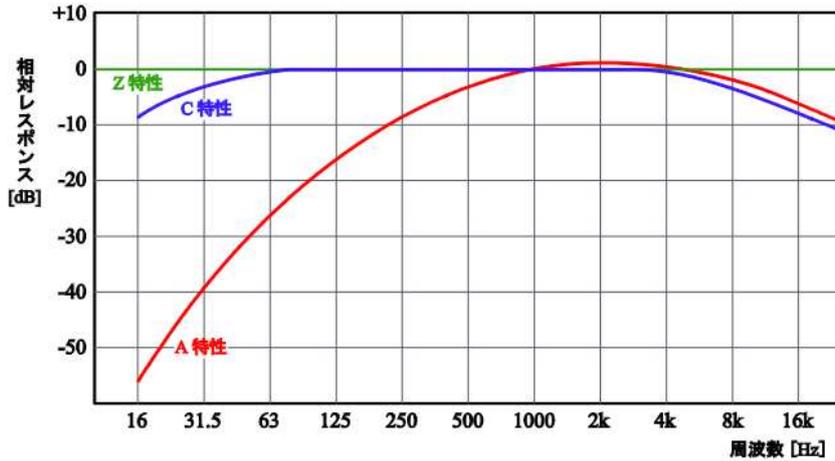


図2 周波数重み付け特性 A/C/Z

公称周波数は各 1/3 オクターブバンドの中心周波数をきりのよい周波数であらわしたものです。厳密周波数はバンド番号 n を 10 ~ 32 の整数として式 1 により求めた各バンドの厳密な中心周波数の値です

$$f = 1000 \times 10^{0.1 \times (n-30)} \quad [\text{Hz}] \quad \dots\dots\dots (1)$$

表 1 は各 1/3 オクターブバンドの周波数重み付け特性の値です。表 1 から 1/1 オクターブバンドの周波数 (16 Hz、31.5 Hz、63 Hz、125 Hz、250 Hz、500 Hz、1 kHz、…、16 kHz) の行だけを残し他の行を削除すれば 1/1 オクターブバンドの表になります。

10Hz から 20000Hz となっています。

小野測器の HP では、

A

A特性の補正値を列記します。補正値は「JIS C 1509」に記載されています。フラットの値 (dB) に下記の値を加算してください。

周波数 (Hz)	補正値 (dB)
20	-50.5
25	-44.7
31.5	-39.4
16000	-6.6
20000	-9.3

20Hz から 20000Hz の範囲となっています。

上記の中心周波数に対するバンドパスフィルタの特性は次のようになっています。

● 1/3 オクターブバンドフィルタ

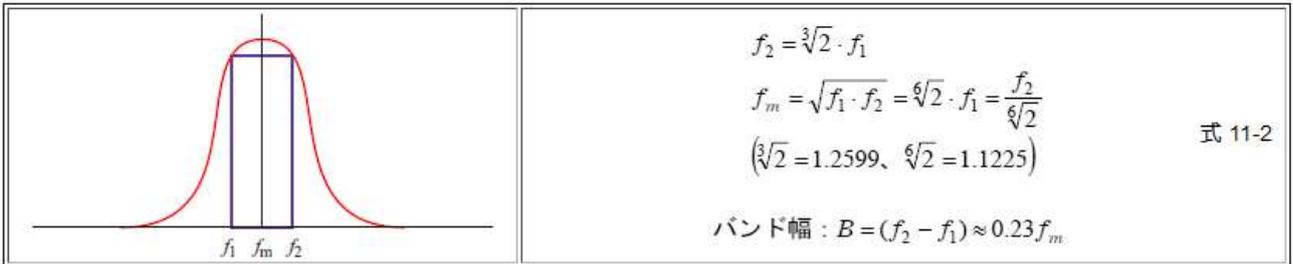
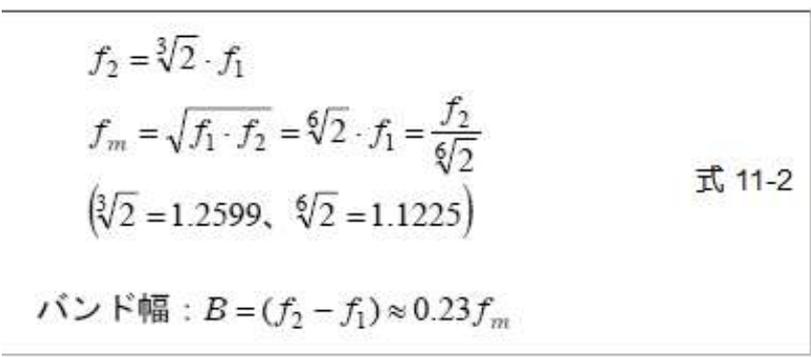


図 11-2 1/3 オクターブバンドにおける中心周波数、上下限周波数とバンド幅

上下限周波数とバンド幅は、



1/3 オクターブバンドフィルタ クラス 1 の周波数、上下限周波数とバンド幅

です。

その周辺での減衰は

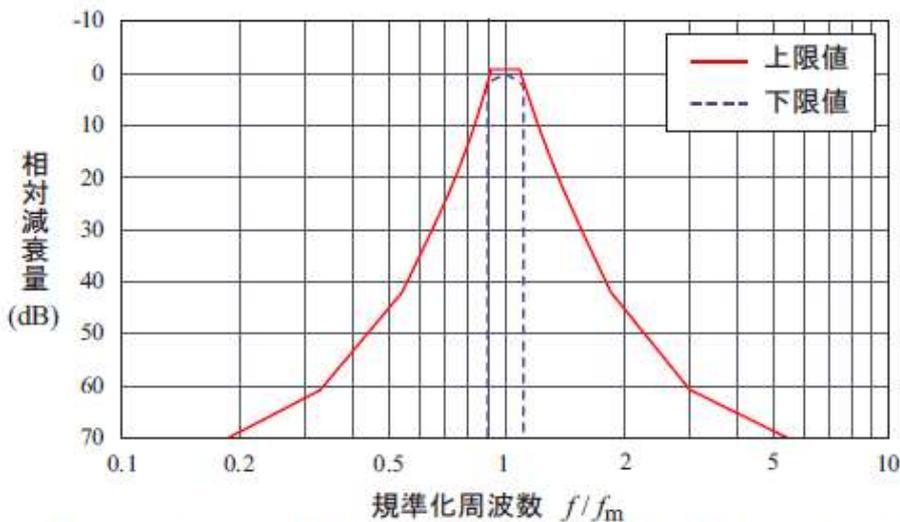


図 11-5 1/3 オクターブバンドフィルタ クラス 1 の相対減衰量の限界値

となっています。

重み付けの意味が良く分かる、具体的な計算例は、
日本建設連合会 技術研究部会音響専門部会の資料です。

	オクターブバンド中心周波数 (Hz)						
	63	125	250	500	1k	2k	4k
① ● 道路騒音の例	70.8	69.0	68.7	65.8	63.8	59.2	53.3
② A特性の重み付け	-26.2	-16.1	-8.6	-3.2	0.0	1.2	1.0
③ ○ A特性重み付け後(①+②)	44.6	52.9	60.1	62.6	63.8	60.4	54.3
騒音レベル(下式参考)	68.3						

[dB]

$$L_A = 10 \log_{10} (10^{L_{A63}/10} + 10^{L_{A125}/10} + 10^{L_{A250}/10} + 10^{L_{A500}/10} + 10^{L_{A1k}/10} + 10^{L_{A2k}/10} + 10^{L_{A4k}/10})$$

ここで、 L_A : 騒音レベル(dB)、 $L_{A63} \sim L_{A4k}$: 63 Hz~4 kHz 帯域の A 特性の重み付け後の音圧レベル(dB)

上の計算例と、A 特性での重みづけのグラフを比較してみると、
計算例の表では

1 kHz での道路騒音の例の値は 63.8、A 特性重み付けは 0.0 となっています。A 特性での重みづけのグラフにおいて、A 特性を表す曲線が 1 kHz の所でレスポンス (dB) 0 の横線と交わっていることに対応します。

63Hz での道路騒音の例の値は 70.8、A 特性重み付けは -26.2 となっています。A 特性での重みづけのグラフにおいて、A 特性を表す曲線が 63Hz の所でレスポンス (dB) -26.2 の横線と交わっていることに対応します。

従って、63Hz の音は、音のエネルギーの評価としては 70.8 デシベルであるにも関わらず、44.6 デシベルの値のものとして扱われることを意味します。

聴覚に対応した周波数重みである A 特性で重み付けした音圧 p_A から騒音レベル L_A (A 特性音圧レベル) (dB) を求める式は次のようになります。

$$L_A = 10 \log_{10} \frac{p_A^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p_A}{p_0}$$

p_A : 測定された周波数重み A 付きの (瞬時) 音圧の実効値

p_0 : 基準となる音圧の実効値 (20 μ Pa) (Pa はパスカルという圧力単位)

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

で、 $P_0 = 2 \times 10^{-5}$ 、 $L_p = 70.8$ 、 $L_A = 44.6$

$$L_p = 70.8 = 10 * \log_{10}(P_{70.8}/P_0)^2$$

より、63Hz で 70.8 (dB) の音の音圧は、 $10^{(70.8/20)} = 3467.37 = P_{70.8}/P_0$
 $P_{70.8} = 3467.37 * (2 * 10^{-5}) = 0.06935$

$$L_A = 44.6 = 10 * \log_{10}(P_{44.6}/P_0)^2$$

より、63Hz で 44.6 (dB) の音の音圧は、 $10^{(44.6/20)} = 169.8 = P_{44.6}/P_0$
 $P_{44.6} = 169.8 * (2 * 10^{-5}) = 0.003396$

ここで、

$$-26.2 = 10 * \log_{10}(P_{44.6}/P_{70.8})^2$$

が成立する。これは、A 特性による補正值です。

$$\frac{P_{44.6}}{P_{70.8}} = 10^{\left(\frac{-26.2}{20}\right)} = 0.05$$

となるので、音圧は 0.05 倍になったものとして扱われます。

さて、全体の騒音レベルの計算ですが、次のリオン社の資料を確認します。

【参考】：1/3 オクターブのデータより 1/1 オクターブのデータへの変換

既知の 1/3 オクターブデータの dB 値より対応する 1/1 オクターブバンドデータの dB 値へ変換するには、求めたい 1/1 オクターブバンドに対応する 1/3 オクターブバンドデータの dB 値の和を計算します。例えば、1/1 オクターブの中心周波数 1000 Hz のバンドデータ値を求める場合、対応する 1/3 オクターブのバンドデータが次のような dB 値であるとき；

800 Hz	73 dB
1000 Hz	77 dB
1250 Hz	75 dB

；中心周波数 1000Hz の 1/1 オクターブバンド値は次の式から求められます。

$$10 \log_{10} \left(10^{\frac{73}{10}} + 10^{\frac{77}{10}} + 10^{\frac{75}{10}} \right) = 80 \text{ (dB)} \quad \text{式 11-7}$$

この計算では、各周波数帯の音のエネルギーの和に対しての騒音レベルを計算しています。

音圧の 2 乗が音の強さ(エネルギー)に比例することから、この帯域でのエネルギーの大きさを $P_{1/1}^2$ とすれば、エネルギーの和を考えると、

$$(P_{800})^2 + (P_{1000})^2 + (P_{1250})^2 = P_{1/1}^2$$

が成立する。

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

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

となり、

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

となります。

(今回の関数では、各中心周波数に対して、帯域幅を決めて、その中の成分に関して、音圧を 2 乗してから、和をとって、その値を、中心周波数の音圧の 2 乗として扱って計算してあります。)

従って、

$$L_A = 10 \log_{10}(10^{L_{A63}/10} + 10^{L_{A125}/10} + 10^{L_{A250}/10} + 10^{L_{A500}/10} + 10^{L_{A1k}/10} + 10^{L_{A2k}/10} + 10^{L_{A4k}/10})$$

ここで、 L_A ：騒音レベル(dB)、 $L_{A63} \sim L_{A4k}$ ：63 Hz～4 kHz 帯域の A 特性の重み付け後の音圧レベル(dB)

は、A 特性で重みづけをした後の各周波数帯での騒音レベルを使って全体の騒音レベルと計算していることとなります。あるいは、エネルギーの和を考えてから騒音レベルを計算しているとも言えます。

数値は、

$$\begin{aligned} &10 * \log_{10}(10^{L_{63}/10} + 10^{L_{125}/10} + 10^{L_{250}/10} + 10^{L_{500}/10} + 10^{L_{1000}/10} + 10^{L_{2000}/10} + 10^{L_{4000}/10}) \\ &10 * \log_{10}(10^{44.6/10} + 10^{52.9/10} + 10^{60.1/10} + 10^{62.5} + 10^{63.5/10} + 10^{60.4/10} + 10^{54.3/10}) \end{aligned}$$

=68.34502291

となり、これが計算例の騒音レベル 68.3 です。

上の計算例に従えば計算手順は、

1. 各周波数帯ごとの音圧 (パスカル単位) を計算する。
2. 基準音圧と比較して、その周波数帯での音圧レベル (dB 単位) を求める。
3. 周波数帯域ごとの重み付けをする。
4. 重み付けした値を基に、全体のエネルギーと計算して、全体としての音圧レベル (dB 単位) を求める。

となりますが、

リオン社の NL-62 のマニュアルには、

$$L_{Aeq} = 20 \log_{10} \left\{ \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_A^2(i) \right)^{\frac{1}{2}} / P_0 \right\}$$

と言う式が書いてあります。

これは、物理的な回路網で G 特性を近似して $P_A(i)$ ($i=1, \dots, N$) が得られることを意味しています。

ISO7196 の記述“備考:G 特性は、誘導子/抵抗器/コンデンサからなる簡単な回路網によって物理的に近似することができる。”に従って、直接的に計測時間ごとの A 特性音圧レベルを求め、その結果を使って全体の A 特性音圧レベルを上での式で求めていることとなります。

風車ごとの音の特徴を調べるには、平坦特性 (Z 特性) で記録したデータを使う必要があります。この平坦特性で記録された音圧データを基に計算する必要があります。

新しく作った関数では、各中心周波数に対して、帯域幅を決めて、その中の成分に関して、音圧を 2 乗してから、和をとって、その値を、中心周波数の音圧の 2 乗として扱って計算してあります。

リオン社の精密騒音計 NL-62 に、波形収録プログラム NX-42WR を追加すると、16 ビットの符号付整数を使って収録された WAV ファイルを作れます。

収録時の周波数重みづけは Z 特性 (平坦特性) とし、サンプリングレートは 48 kHz、連続する収録時間として 1 分程度記録すれば、0.01667 Hz から、24 kHz まで計測できます。

リオン社から、解析ソフト AS-60, AS-70 と NL-42 で計測したデータ音のデータが公開されています。解析で使うデータは、Z 特性 (重み付けなし) で記録された音圧のデータなので、上の式は使えません。

リオン社の騒音計では、ファイルに記録するときに 1 つの整数値に対して使用するビット数には、24 ビットの符号付整数と 16 ビットの符号付整数の 2 種類が可能です。ここでは、16 ビットの場合を扱います。

まず、符号付の整数については、次のような解説があります。

符号付の整数で表現できる範囲

負の数に 2 の補数を使うとき、8 ビットの符号付きの整数では $-128 \sim 127$ の範囲の値が使用できる。同様に、16 ビットの符号付きの整数では $-2^{15} \sim 2^{15}-1$ の範囲の値が、32 ビットの符号付きの整数では $-2^{31} \sim 2^{31}-1$ の範囲の値が使用できる。

いずれも負の数の個数が 1 つ多くなる。

さて、計測された値の整数による表現ですが、

16 ビットの場合で考えると、

計測値が、 -282.51 の場合を、整数値 $\{-2^{15}\}$ で表現すると
 $+282.51$ を表現するには 整数値 $\{+2^{15}\}$ が必要となります。
 でも、正の整数の最大値は $\{+2^{15}-1\}$ なので、対応できません。
 そこで、
 計測値、 $+282.51$ と -282.51 に対しては、
 整数値 $\{+2^{15}-1\}$ と $\{-2^{15}+1\}$ を対応させる。

騒音計で計測できる音圧の範囲については、精密騒音計（低周波音測定機能付）NL-62 取扱説明書に最大で 148dB だと記載されている。

表示・出力フルスケール の項に、出力電圧のフルスケールで、設定できる範囲は 70dB~130dB までで、10dB 刻みだと書かれている。

ここで、130dB を選んだときは、WAV ファイルの名前は
 NL_001_20220503_111400_130dB_0008_0000_ST0001
 となり、名前の中央部分から、出力電圧のフルスケールを 130 dB に設定したことが分かります。
 wav ファイルへ記録するデータは、もう少し大きな音圧にも対応できるようになっていて、表示出力フルスケール値の+13 dBが WAVE ファイルのフルスケール値になります。
 そこで、設定で 130 dB としたとしても、WAVE ファイルでの実際のフルスケール値 : 143 [dB] であり、これは、 $2 \times 10^{(-5)} \times 10^{(143/20)} = 282.51$ [Pa]に相当する。

理由は

騒音(低周波音)・超低周波音の大きさの表し方

音圧レベル<物理的な大きさ>

$$L_p = 10 \cdot \log_{10}(p^2 / p_0^2)$$

L_p : 音圧レベル(dB)

p : 音圧実効値(Pa)

p_0 : 基準音圧 2×10^{-5} (Pa) (=20 μ Pa)

* OA音圧レベル (dB), 1/3オクターブバンド音圧レベル (dB)

音響出力は音圧の
二乗に比例する

dB値(参考): 0.002Pa=40dB,
0.00002(2×10^{-5}) Pa=0dB

より、 $L_p = 10 \cdot \log_{10}(p^2 / p_0^2) = 20 \cdot \log_{10}(p / p_0)$

であり、

$$143 = 20 \cdot \log_{10}(p / (2 \cdot 10^{-5}))$$

$$p / (2 \cdot 10^{-5}) = 10^{(143 / 20)}$$

$$p = (2 \cdot 10^{-5}) \cdot 10^{(143 / 20)} = 10^{(143 / 20)} = 282.5 \text{ Pa} \quad (\text{実効値})$$

となるからです。

実効値で 282.5Pa (143dB) となる値を、wav ファイルにどのような数値として記載するかについては、ファイルによって異なる。

16 ビットの場合は、整数値 $\{+2^{(15)}-1\}$ を対応させる。従って、

16 ビットの場合は、整数値 1 は 282.5Pa (143dB) / $\{+2^{(15)}-1\}$ の音圧 (実効値) を意味する。

$$\left(\frac{282.5\text{Pa}}{\{+2^{(15)}-1\}} \right) = 8.621479 \times 10^{(-3)}$$

となるので、整数値 k は、

$$k * (282.5\text{Pa} (143\text{dB}) / \{+2^{(15)}-1\})$$

$$= k * 8.621479 * 10^{(-3)} \text{ Pa (実効値)}$$

を意味する

リオン社のサンプルデータファイルは、NL_001_20100101_000146_090dB_0001_0000_SL0001 であり、

16 ビット符号付整数のデータで、表示出力フルスケール値、90dB を選んで計測していることがわかります。

また、wav ファイルへ記録するデータは、もう少し大きな音圧にも対応できるように、なっていて、

(表示出力フルスケール値の+13 dBが WAVE ファイルのフルスケール値になります。)

そこで、WAVE ファイルのフルスケール値: 103 [dB] となり、このパスカル値は、 $2 \times 10^{(-5)} \times 10^{(103/20)}$

$$= 2.825 [\text{Pa}] \text{ となる。}$$

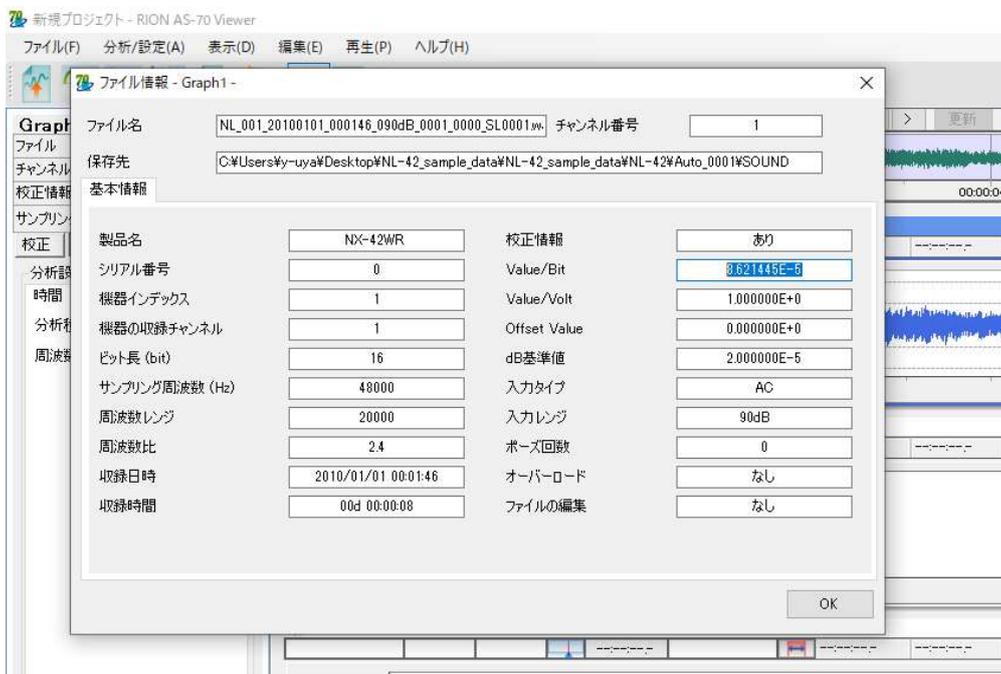
$$\left(\frac{2.825\text{Pa}}{\{+2^{(15)}-1\}} \right) = 8.621479 * 10^{(-5)}$$

となるので、整数値 k は、 $k * 8.621479 * 10^{(-5)}$ Pa (実効値) を意味する

この数値、 $8.621479 * 10^{(-5)}$ は、符号付整数のビット数や表示出力フルスケール値の設定によって決まる。

計算が面倒な場合は、AS-70 にデータを読み込ませて、次の操作をすればよい。

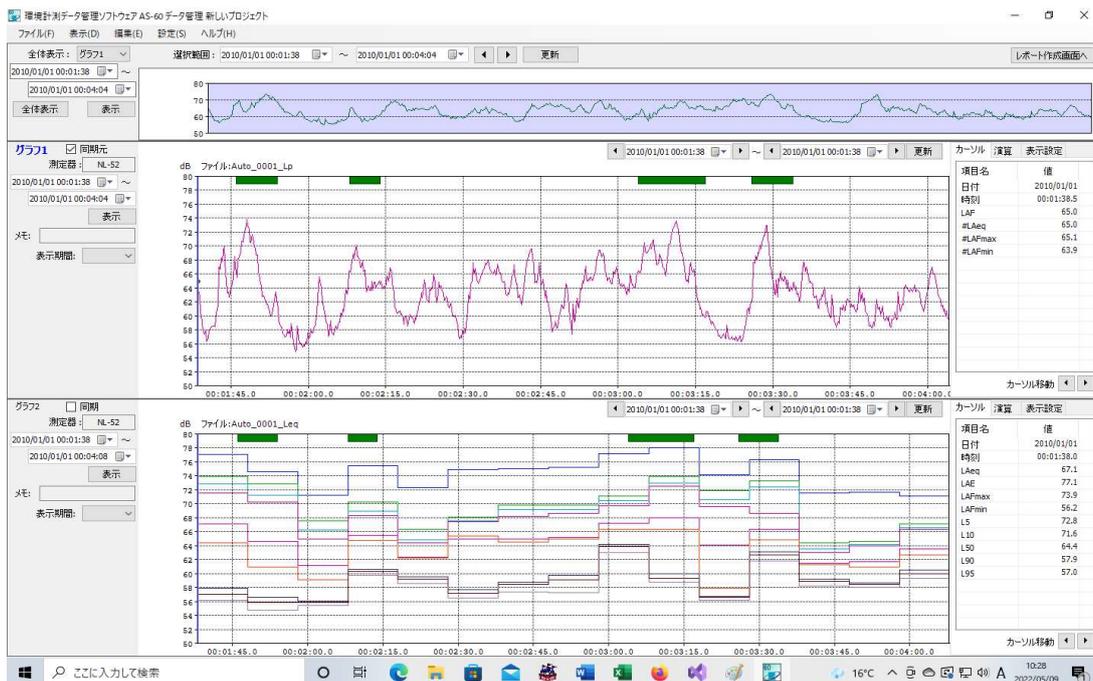
表示 — ファイル情報 として、Value/Bit の値 (8.621445E-5) を使えばよい。



を表示させて、ここでの Value/Bit の値を使って変換すればパスカル値 (実効値) となる。

なお、入力レンジの項目が 90dB となっていることを確認して下さい。

さて、リオン社は、詳細な計算方法を公開していませんが、サンプルデータを AS-60 で表示させると、

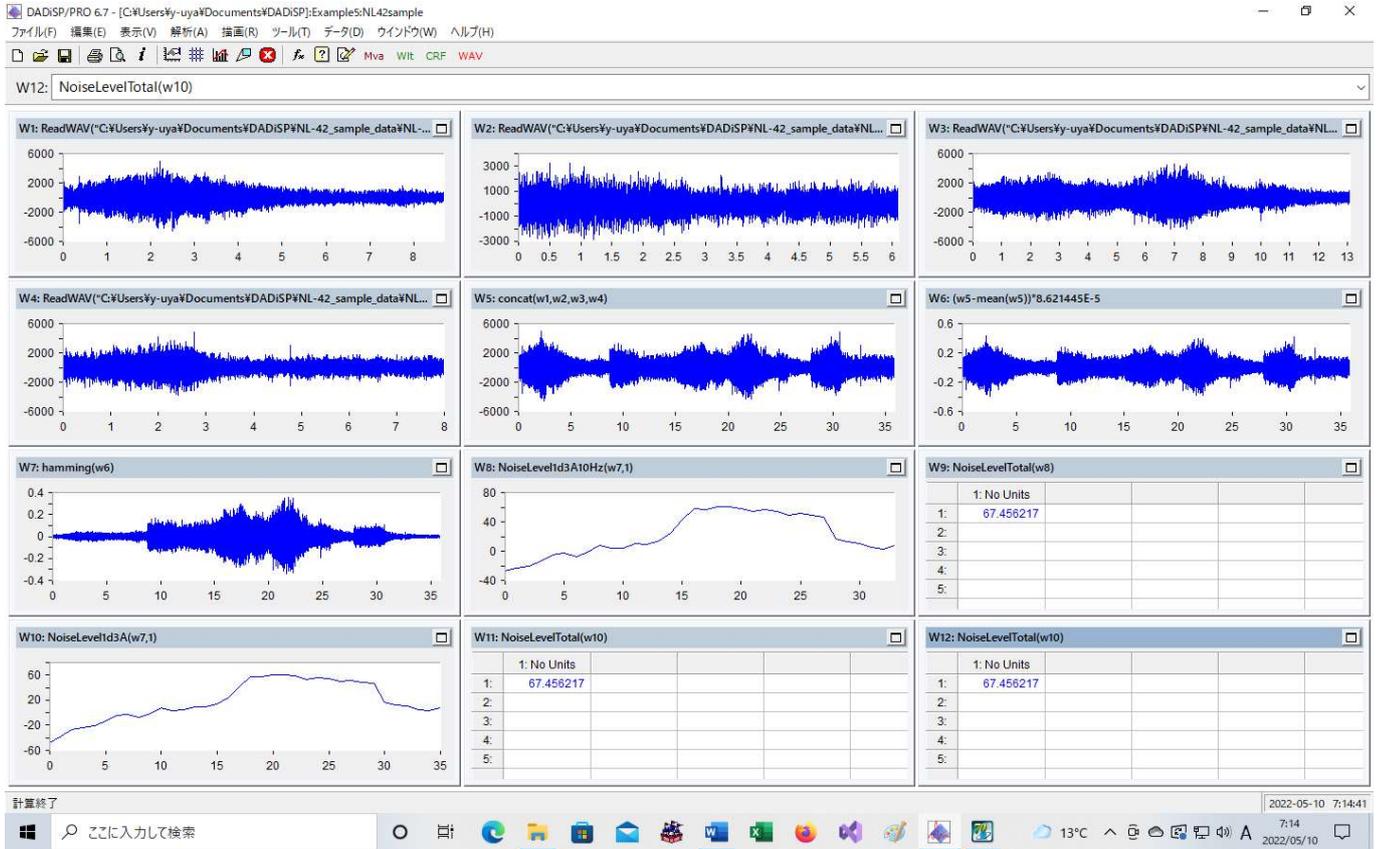


カーソル	演算	表示設定
項目名		値
日付		2010/01/01
時刻		00:01:38.0
LAeq		67.1

となって、LAeq の値が、67.1 であることが分かります。

DADISP で、WAV ファイルを扱うには、別売の WAV モジュールが必要です。このモジュールを組み込むと WAV ファイルを読み込めます。

同じデータを DADISP を使って計算してみると、(ワークシート NL42sample)



W9: NoiseLevelTotal(w8)	
	1: No Units
1:	67.456217
2:	

W12: NoiseLevelTotal(w10)	
	1: No Units
1:	67.456217
2:	

となり、67.456217 が得られます。使用するフィルタによっても数値に少しだけ差が出ます。

ここで、 W7: hanning(w6) と変更すれば、

W9: NoiseLevelTotal(w8)	
	1: No Units
1:	67.257334
2:	

W12: NoiseLevelTotal(w10)	
	1: No Units
1:	67.257334
2:	

となるので、リオン社の計算結果により近くなります。

Wavelet の計算をする都合もあるので、W2 では、平均値を引いておきました。パスカル値に調整するために、*8.621445E-5 としました。この値 (8.621445E-5) は、AS-70 を使って確認しました。

整数値からパスカル値への変換はファイル名をよく見るか、AS-70 を使う必要があります。

DADISP での計算方針は、

各中心周波数に関して、周波数帯域ごとの音のエネルギーの和を基にして、各中心周波数に対する音圧レベルと計算する。

重み付けをする。

全体としての音圧レベルを求める。

ですが、幾つか問題が発生します。

次の表を見ると、中心周波数 6.3Hz に対する上限周波数 7.07 に対して、中心周波数 8Hz に対する下限周波数は 7.13Hz であり、少し隙間が開きます。8Hz と 10Hz では重なりができません。

そこで、 $(7.07+7.13)/2=7.1\text{Hz}$ を周波数帯の境界として採用することにしました。

下限周波数	中心周波数	上限周波数		上限－下限
5.61	6.30	7.07		-0.06
7.13	8.00	8.98		0.07
8.91	10.00	11.22		0.09
11.14	12.50	14.03		-0.22
14.25	16.00	17.96		0.14

バンドパスフィルタのスロープは無視して、矩形のフィルタとして扱いました。

計測データに対して、不要な高周波成分の出現を防ぐために、ハミングウインド、ハニングウインドを掛けてから、FFT を計算しました。

各中心周波数に関して、FFT の計算結果から、対応する周波数帯の部分を切り出して、各成分のエネルギーを合計して、その周波数帯の音圧レベルを計算しました。

次に、A 特性での重み付けをしました。

その後、全体としての音圧レベルを、
日本建設連合会 技術研究部会音響専門部会の資料
に従って計算してあります。

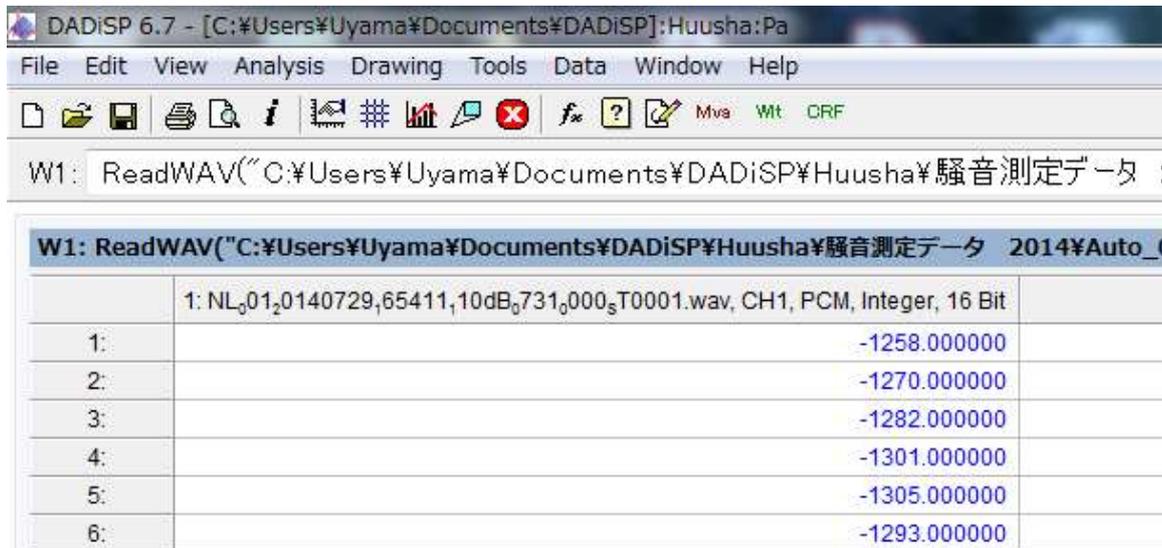
関数としては、1/3 オクターブバンド重み付け特性 (IEC61672:2014 規格)に従って計算するものと、中心周波数 10Hz 以上について計算するものを作りました。
2つの関数の計算結果に、大きな差は出ません。

注意：

表示出力フルスケール値、110dB を選んだ場合、表示出力フルスケール値の+13 dBが WAVE ファイルのフルスケール値になります。

そこで、WAVE ファイルのフルスケール値:123 [dB] となり、このパスカル値は、 $2 \times 10^{(-5)} \times 10^{(123/20)} = 28.25$ [Pa] となる。 $(28.25 \text{Pa} / \{+2^{(15)}-1\}) = 8.621479 \times 10^{(-4)}$

このとき、wav ファイルを DADISP で表示させた場合、16 ビットでの整数値が次のような値だとして、



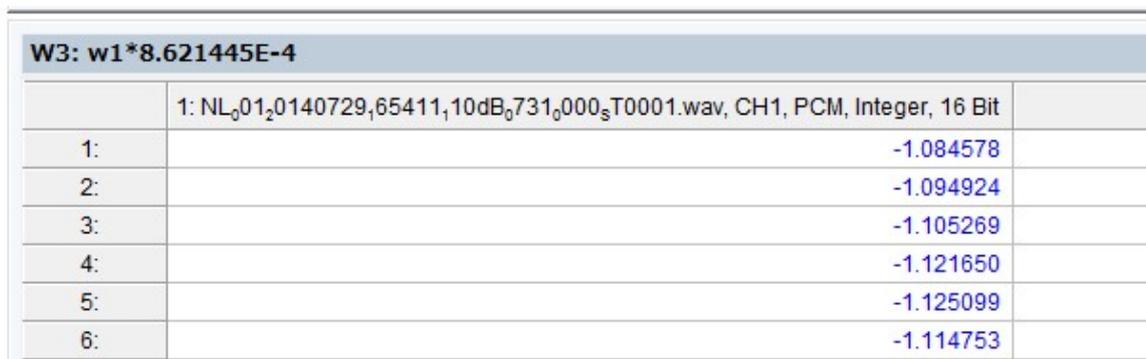
DADISP 6.7 - [C:\Users\Uyama\Documents\DADISP]:Huusha:Pa

File Edit View Analysis Drawing Tools Data Window Help

W1: ReadWAV("C:\Users\Uyama\Documents\DADISP\Huusha\騒音測定データ :

W1: ReadWAV("C:\Users\Uyama\Documents\DADISP\Huusha\騒音測定データ 2014\Auto_	
	1: NL_01_20140729_65411_10dB_731_000_S_T0001.wav, CH1, PCM, Integer, 16 Bit
1:	-1258.000000
2:	-1270.000000
3:	-1282.000000
4:	-1301.000000
5:	-1305.000000
6:	-1293.000000

Value/Bit の値 8.621445×10^{-4} を掛けると、次の数値が得られます。



W3: w1*8.621445E-4

W3: w1*8.621445E-4	
	1: NL_01_20140729_65411_10dB_731_000_S_T0001.wav, CH1, PCM, Integer, 16 Bit
1:	-1.084578
2:	-1.094924
3:	-1.105269
4:	-1.121650
5:	-1.125099
6:	-1.114753

この値が、パスカル値（実効値）となります。

この数値と、リオン社のソフト AS-70 でのグラフ表示では、違いが出ます。リオン社に確認したところ、弊社で WAVE ファイルを確認致しましたところ、一番上から 5 行目まではこちらの数値となり、単位は Pa（実効値）になります。

- 1.084578
- 1.094924
- 1.105269
- 1.12165
- 1.125099

ご質問 1 「AS-70 でのパスカル値確認」について。

AS-70 にて WAVE 波形をグラフ化してご確認を頂いているかと思いますが、AS-70 のソフト上では、波形の拡大率によって、特徴的な数値（最大値、最小値）を選択して間引きを行っており、拡大率によって間引き率が変わるため、何番目の数値か一概に申し上げることが出来ません。間引きがされていない数値をご確認頂く際は、WAVE ファイルを CSV として出力したデータをご確認頂ければと思います。となっているので、他の波形解析ソフトのグラフ表示とは一致しない場合がある。

との事でした。

C 特性：比較的平坦な周波数特性を持っています。もともとは大きな音の聴覚の近似として作られた特性ですが、今はあまり使用されていません。

Z 特性：細かな音圧を周波数ごとに調べて、周波数スペクトルを調べたり、Wavelet 解析をしたりする場合に必要となります。

G 特性 :

G 特性に関して、低周波音の測定方法に関するマニュアル 平成 12 年 10 月 環境庁大気保全局の資料には、
1～20 Hz の傾斜は、超低周波音領域における感覚閾値の実験結果に基づいている。

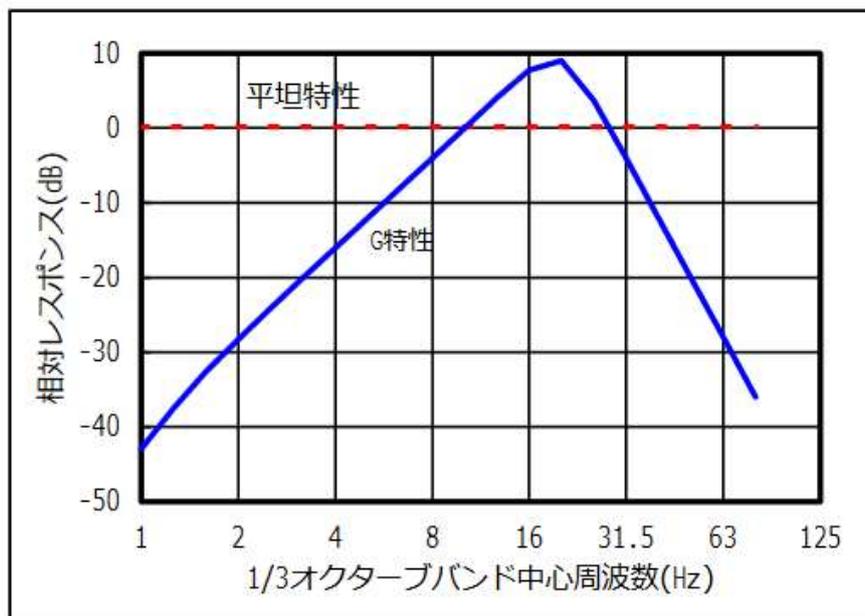


図-1.1 低周波音の周波数補正特性

表-1.1 基準周波数レスポンス及び許容差

中心周波数(Hz)	平坦特性		G 特性	
	基準レスポンス(dB)	許容差(dB)	基準レスポンス(dB)	許容差(dB)
1	0	±3	- 43	±3
1.25	0	±3	- 37.5	±3
1.6	0	±3	- 32.5	±3
2	0	±2	- 28.3	±2
2.5	0	±2	- 24.1	±2
3.15	0	±1.5	- 20	±1.5
4	0	±1	- 16	±1
5	0	±1	- 12	±1
6.3	0	±1	- 8	±1
8	0	±1	- 4	±1
10	0	±1	- 0	±1
12.5	0	±1	4	±1
16	0	±1	7.7	±1
20	0	±1	9	±1
25	0	±1	3.7	±1
31.5	0	±1	- 4	±1
40	0	±1	- 12	±1
50	0	±1	- 20	±1
63	0	±1	- 28	±1
80	0	±1.5	- 36	±1.5

(4) 音圧レベル

音圧の実効値 p の二乗を基準音圧 $p_0 (=2 \times 10^{-5} \text{ Pa})$ の二乗で除した値の常用対数の 10 倍である。単位はデシベル、単位記号は dB。低周波音の場合は、低周波音領域の平坦特性の周波数レスポンスを用いた音圧レベルであり、一般に低周波音圧レベルという。超低周波音の場合は、1~20 Hz 平坦特性の周波数レスポンスを用いた音圧レベルであり、一般に超低周波音圧レベルという。

低周波音の多くの場合は、1/3 オクターブバンド音圧レベルが測定される。そのときの測定量は、中心周波数ごとの 1/3 オクターブバンド音圧レベルとなる。

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2} \quad (1)$$

L_p : 音圧レベル (dB)

p : 音圧の実効値 (Pa)

p_0 : 基準音圧 $2 \times 10^{-5} \text{ (Pa)}$

(5) G 特性音圧レベル

ISO 7196 に定められた周波数補正特性 G 特性で重み付けられた音圧レベル。基準音圧は $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ 、単位は dB。

$$L_G = 10 \log_{10} \frac{p_G^2}{p_0^2}$$

L_p : G 特性音圧レベル (dB)
 p_G : G 特性音圧の実効値 (Pa)
 p_0 : 基準音圧 2×10^{-5} (Pa)

となっています。

ISO7196:1995 では、中心周波数として 0.25 から 315Hz までが採用されています。

関数としては、

1Hz から 80Hz の中心周波数によって G 特性音圧レベルを計算するも。

ISO7196 に従って、0.25Hz から 315Hz の中心周波数によって計算するもの。

基本は1Hz から 80Hz の中心周波数だが、中心周波数 1Hz の所だけバンドパスフィルタの低周波の部分を 0Hz から 1Hz の間で自由に決定できるもの。

の 3 種類の関数を用意しました。以下、3種類の関数を用意した理由を述べます。

G 特性の対象となる超低周波音に関しては、バンドパスフィルタ特性は、

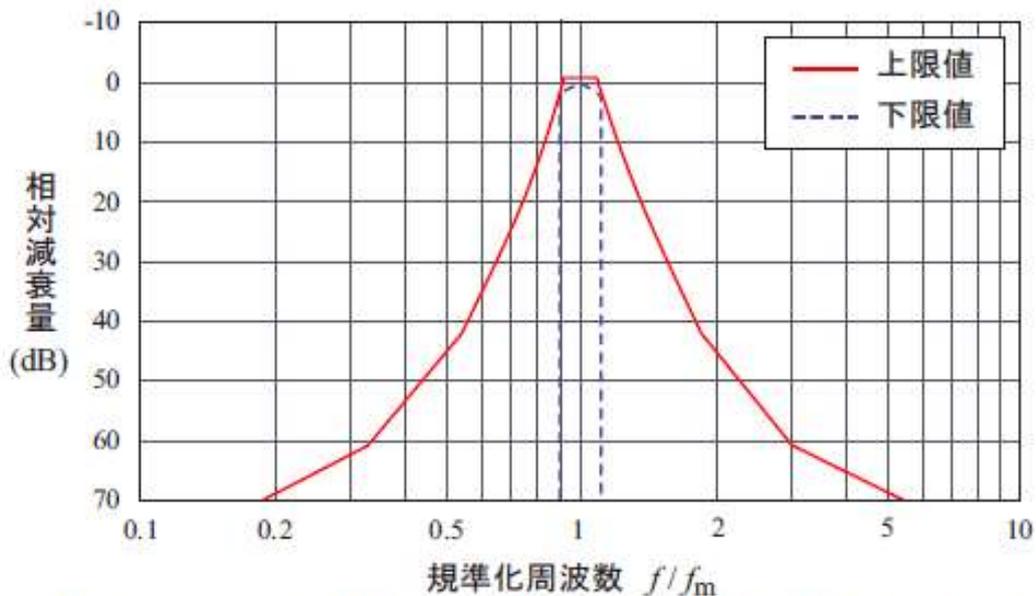


図 11-5 1/3 オクターブバンドフィルタ クラス1の相対減衰量の限界値

となっています。

以前、環境省は

“4.1.5 風車

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

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

で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。大型発電用風車の場合、一般に翼枚数は 1～3 枚 (3 枚が主)、回転数は 30～60 (rpm) 程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。“

と言っていました。

いまは、(甲 1 3 号証) 低周波音問題対応の手引書の、“参考資料”の中に、

6. 低周波音の対策方法

6.1 低周波音対策の基本的な考え方

の表の中で、次のように書かれています。

⑥回転翼が空気に与える衝撃	回転数が小さく、翼枚数も少ない場合は一定の周波数成分(回転数あるいは回転数×翼枚数)を持つ低周波音が発生することがある。
---------------	--------------------------------------------------------------

環境省の言う

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

の部分、環境省が昔主張していた方法で、3枚翼の場合で計算すると、 $30 \times 3 / 60 = 1.5 \text{ Hz}$ から $60 \times 3 / 60 = 3 \text{ Hz}$ となる。この周波数は、G 特性音圧レベルでのバンドパスフィルの影響を考慮しても、環境省の推奨する低周波音の測定方法が有効だと主張する根拠となるが、

(甲 2 7 号証) 大型風車 株式会社エヌ・イー・アイ・シー・ジャパン

によれば、実際の風車の回転数は

最近の大型風車では

ローター直径(m) 80 / 90

風車高(m) 80

ローター回転数(rpm) 10.4-18.1

となっている。

最近の大型風車は、 $10.4 \times 3 / 60 = 0.52 \text{ Hz}$ から $18.1 \times 3 / 60 = 0.905 \text{ Hz}$

また、最新の大型風車では、

表 2.2-10 風力発電機の概要

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

定格出力：42000 k w

定格稼働時の回転数：10.8rpm

となっていて、

昔の環境省の周波数の計算方法で周波数を求めると $10.8 \times 3 / 60 = 0.54\text{Hz}$ となり、

中心周波数 1 Hz (0.9765625Hz) の場合は、下限周波数 0.870018Hz、上限周波数 1.096154Hz なので、0.54Hz 成分は、バンドパスフィルタのスロープ部分で引っかかるとしても、計算上はほぼ 0 として扱われます。

精密騒音計だけを使ったのでは 0.54Hz の成分の影響を把握できません。この周波数帯の音は、いくら強くなっても、A特性であれ、G特性であれ、騒音計を普通に使ったときの音圧レベルの計測結果の数値には影響を与えません。しかし、人間に対して影響を与えないという事ではありません。

風車の大型化によって、予想される超低周波音のうちで特に強い成分の周波数は、0.54Hz に近いと考えられる。

音圧は電力に変換される風のエネルギーに比例したエネルギーが超低周波音として拡散される結果として決まると考えると、千葉県館山の風車は、出力 1500 kW、ブレードの長さは 35.25m、回転面の面積は、3904 平方メートル

出力 4200 kW、ブレードの長さは、68m、回転面の面積は、14527 平方メートル、風のエネルギーを回転面で比較すれば、3.7 倍、出力で比較すれば 2.8 倍です。

館山の風車で 0.8Hz の音圧は 0.3 パスカル。(84 dB 程度)

エネルギーは音圧の 2 乗に比例することを考えて

大きな風車の音圧を p として、 $(p^2)/(0.3)^2 = 3.7$ で計算すれば、 $p = 0.58 \text{ Pa}$

$(p^2)/(0.3)^2 = 2.8$ で計算すれば、 $p = 0.5 \text{ Pa}$

従って、音圧レベルとしては、87.96 dB から 89.25 dB 程度だと予測できます。

これを計測するには、リオン社の精密騒音計 NL-62 に、波形収録プログラム NX-42WR を追加して、16

ビットの符号付整数を使って収録された WAV ファイルを作る必要がある。

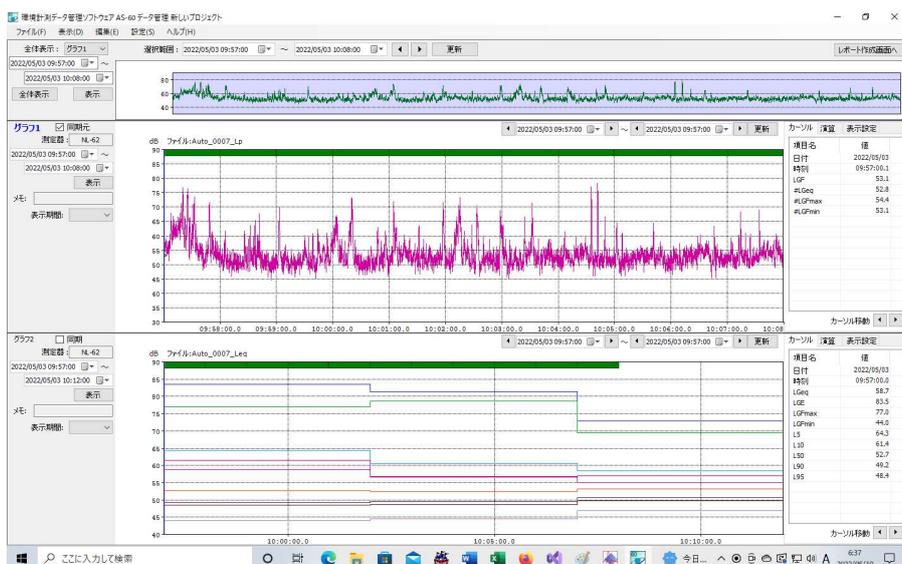
収録時の周波数重みづけは Z 特性（平坦特性）とし、サンプリングレートは 48 kHz、連続する収録時間として 1 分程度記録すれば、0.01667Hz から、24 kHz まで計測できます。

一見、ISO7196:1995 では、中心周波数として 0.25 から 315Hz までが採用されているので、そちらで計算すれば影響が予測できる数値が得られるようにも見えますが、結果の数値はほとんど同じ値となり、被害予測には有効ではありません。

実際のデータ (Auto__0007.mh) で計算してみます。

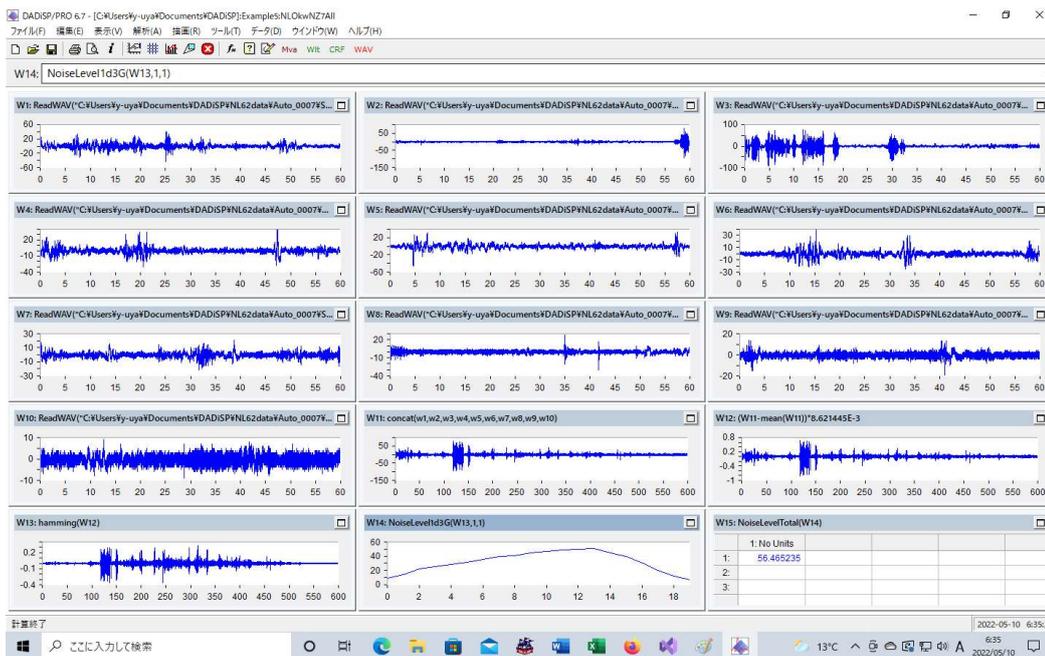
(リオン社のソフトとは 2dB 程度の差が出ますが、リオン社のソフトの計算方法が非公開なので原因は不明です。)

AS-60 では、LGeq=58.7

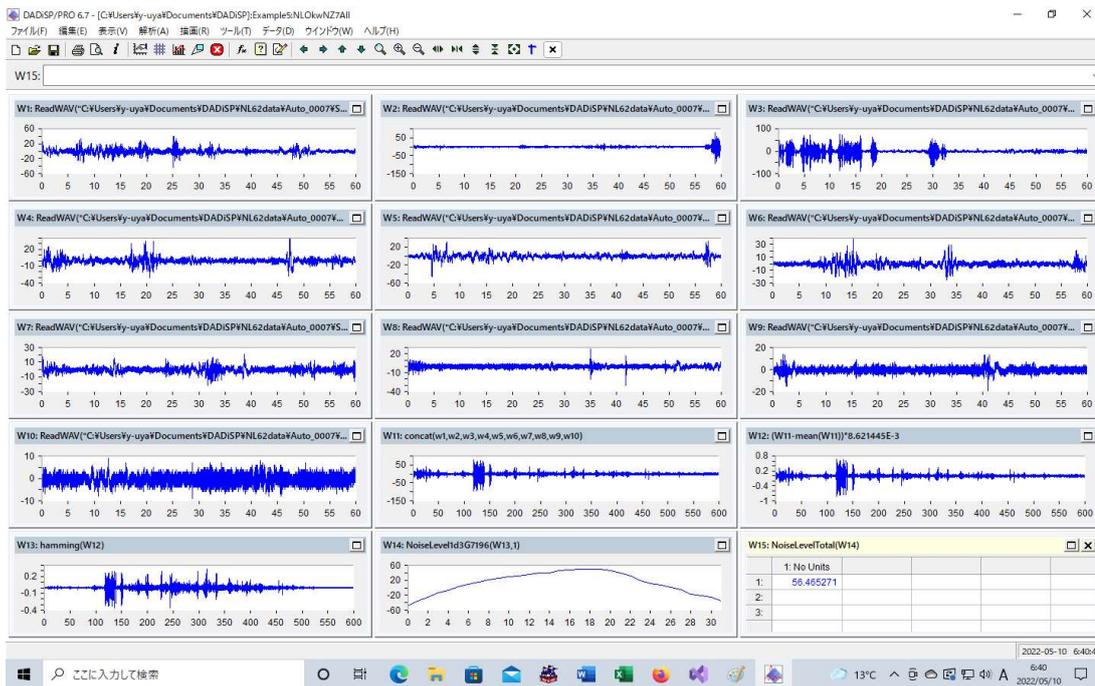


DADISP で同じデータを計算すれば、(ワークシート NLOkwNZ7All)

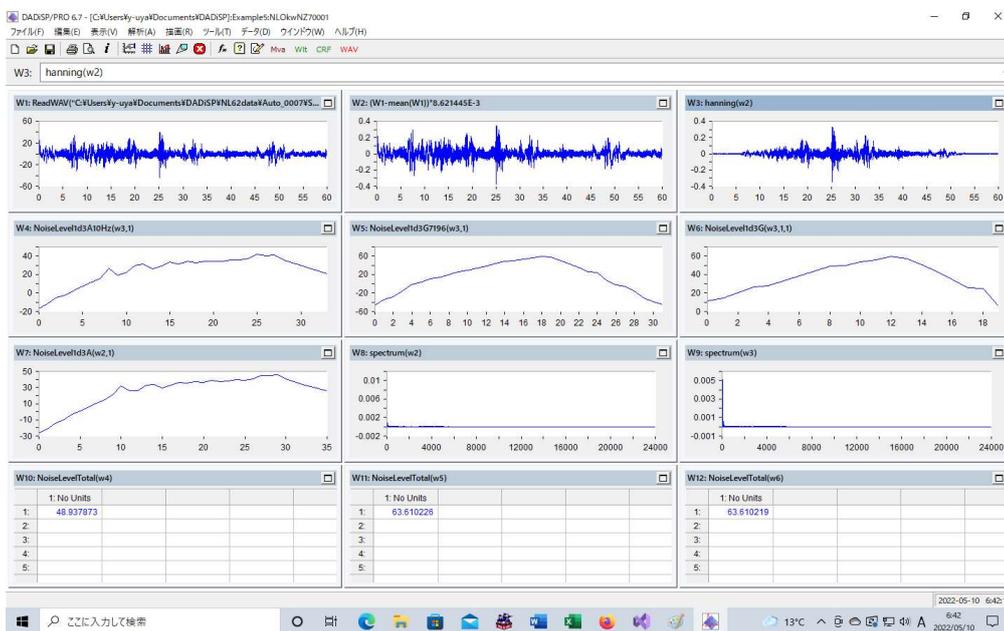
NoiseLevel1d3G(W13,1,1) では、56.465235



ISO7196:1995 の規格通りに計算、
 NoiseLevel1d3G7196(W13,1) では、 56.465271



他のデータで計算しても、(ワークシート NLOkwNZ70001)



下の図のように、ほとんど同じ値です。

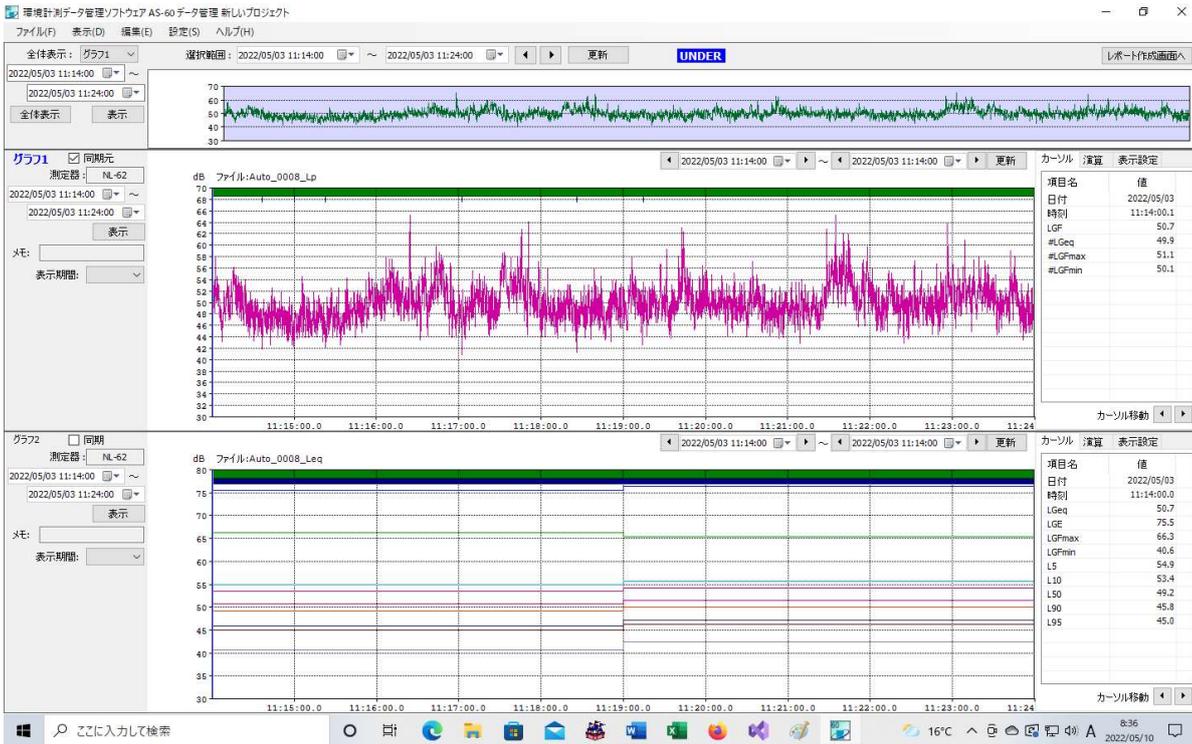
W11: NoiseLevelTotal(w5)	
1: No Units	
1:	63.610226
2:	
3:	

W12: NoiseLevelTotal(w6)	
1: No Units	
1:	63.610219
2:	
3:	

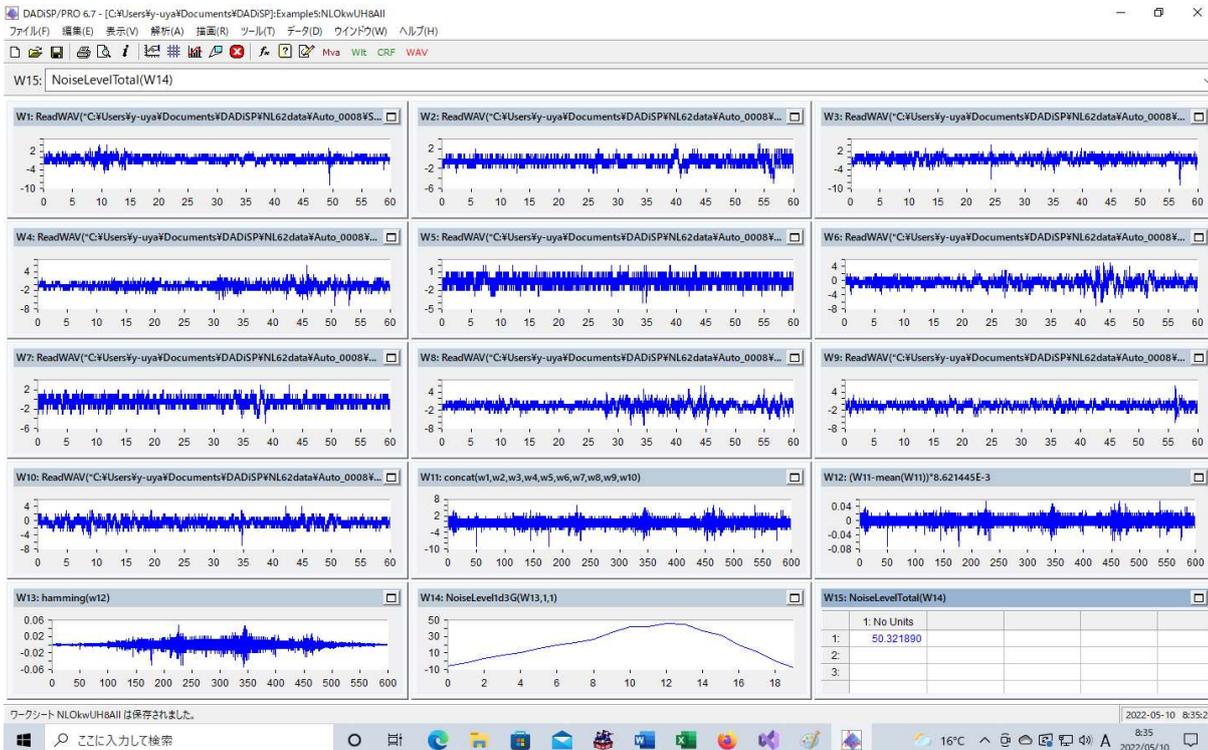
これは、ISO7196:1995 での超低周波成分に対する重み付けが原因です。

具体例での比較をもう一つ。

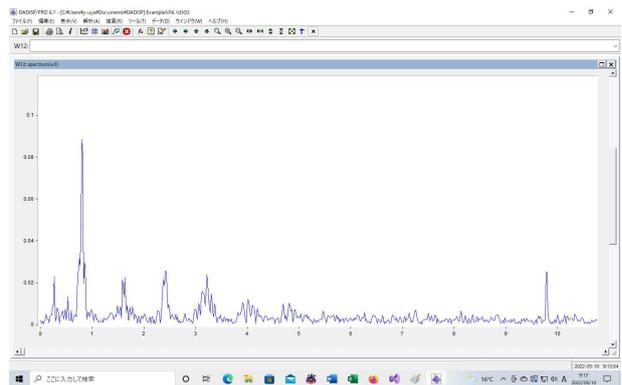
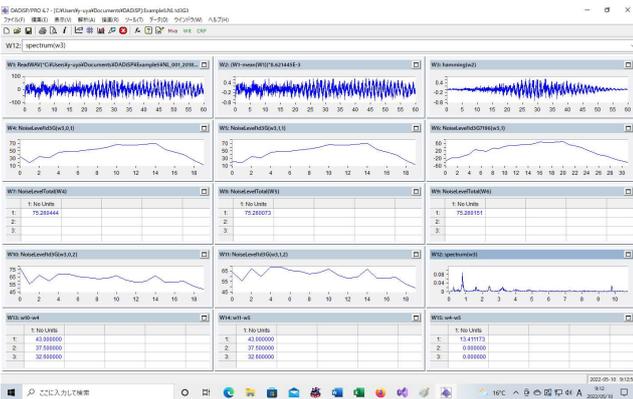
Auto_0008.mh を AS-60 で開くと、LGeq = 50.7



ワークシート NLOkwUHAI1 では、50.321890 となります。



3番目の関数の必要性については、ワークシート NL1d3G3 をみると分かります。



このデータでは、0.8 Hz成分が卓越しています。

重み付けする前の値も計算出来て、中心周波数 1 Hz の成分に関しては、0 Hz から計算に入れた場合のほうが、中心周波数 1 Hz の帯域での値が、13.4 dBほど大きいことが分かります。(w 1 2)

W4: NoiseLevel1d3G(w3,0,1)					W5: NoiseLevel1d3G(w3,1,1)				
	1: No Units					1: No Units			
1:	34.782638				1:	21.371465			
2:	18.187381				2:	18.187381			
3:	34.837905				3:	34.837905			
W7: NoiseLevelTotal(W4)					W8: NoiseLevelTotal(W5)				
	1: No Units					1: No Units			
1:	75.260444				1:	75.260073			
2:					2:				

もちろん、重み付けをしてから、全体のG特性音圧レベルを計算すれば、w 7, w 8 から、ほとんど同じになることが分かります。

中心周波数 1 Hz の帯域の音圧は、日本家屋の固有振動数に近いので、家の中で眠る人にとって重要な問題となります。これが、3番目の関数を作った理由です。

環境省の HP には、

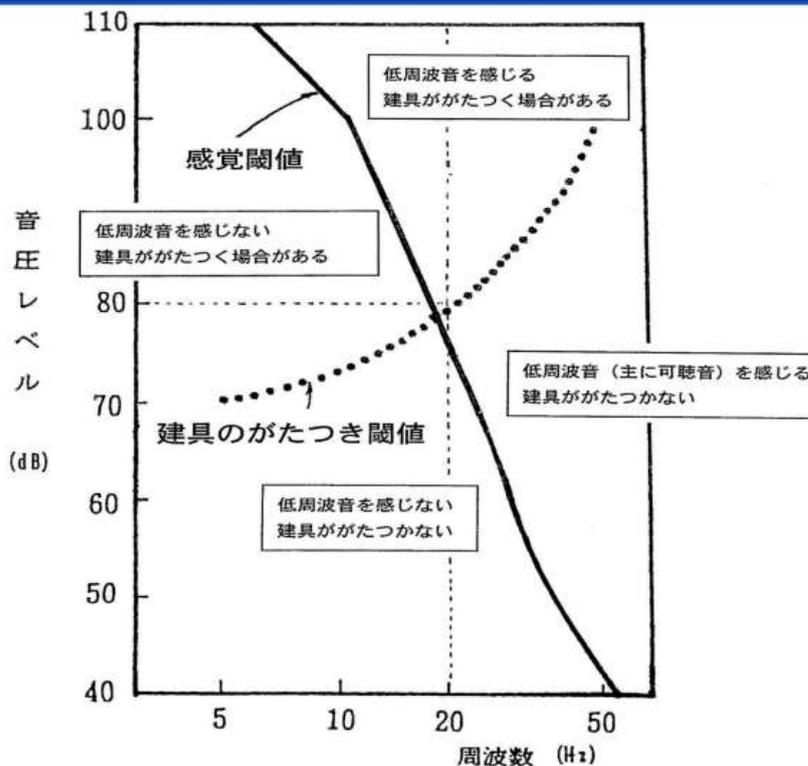
低周波音の建具などへの影響は？

建具の低周波音に対する反応は、低い周波数では人の感度よりも良く、揺れやすい窓や戸では、5Hzで70dB、20Hzで80dB程度の低周波音によってがたつく場合があります。

と書かれています。

注目すべきは、“揺れやすい窓や戸では、5Hzで70dB、20Hzで80dB”となっている部分です。周波数が低い5Hzの場合は、弱い音の程度70dBでも建具がゆれやすいと言うところです。

日本家屋の固有振動数は、1Hz程度だという資料があります。共振を考えれば、建物に作用する力の周期が固有振動数と一致すれば、小さな力が周期的に加わった場合でも、振動は大きくなります。



上のグラフから、音の周波数が低くなると、がたつき閾値は小さな値となる傾向が見て取れます。実験結果は、5Hz 辺りまでしか記載されていません。理由は、0.5Hz や 1Hz の超低周波音を実験室で作り出すことが困難だからです。実験室では困難でも、風車の周辺には 0.5Hz や 1Hz の音は、高いエネルギーを持った形で存在しています。

今までの研究成果と比較可能な形で、音圧レベルを計算して、被害予測をしようと言うのが 3 番目の関数です。0.5Hz と 1Hz の音の重み付けを同じにして扱い、建具のがたつき閾値に関係の深い、中心周波数 1 Hz の帯域のエネルギーをしっかりと捕えるのが目的です。

0Hz から計算したものと、普通に計算したものでは、中心周波数 1Hz の所で、13.4 dB の差があることが分

かります。聴覚では、0.5Hz と 1Hz の間には違いがあるかもしれませんが、建具との共振を考えるときには、ほとんど同じ性質を持つものとして扱うほうが良いと考えました。

W15: w4-w5					
	1: No Units				
1:	13.411173				
2:	0.000000				
3:	0.000000				

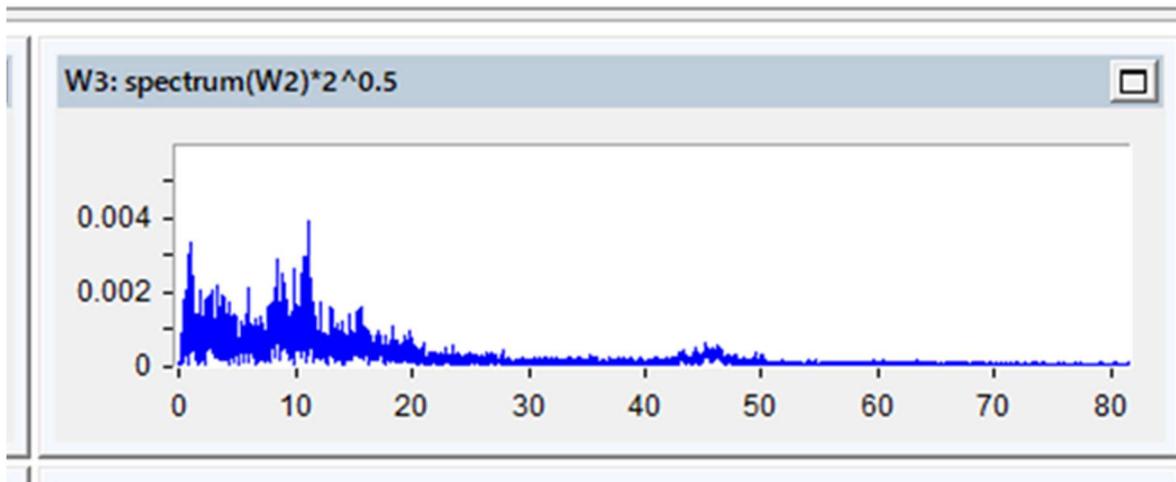
家の中で、何かがガタついていれば、人間はそのガタつきを、ガタつく音として聴覚で把握できるし、ガタガタする揺れを三半規管で感知できると思います。普通の人、家の中で眠るのですから、家の中の何かがガタついていれば、それを感知して睡眠が浅くなります。

このような刺激による、安眠妨害は、人間の健康を妨げます。また、睡眠不足やイライラは、交通事故のもとです。もちろん、睡眠不足は子供の成長に影響を与えます。また、授業中に眠れば、学力に影響します。そして生涯賃金に影響を及ぼします。

調査は、精密騒音計だけでなく、振動レベル計も併用して、1 Hz に近い周期の音や振動の強さと周波数を正確に把握しなくてはなりません。

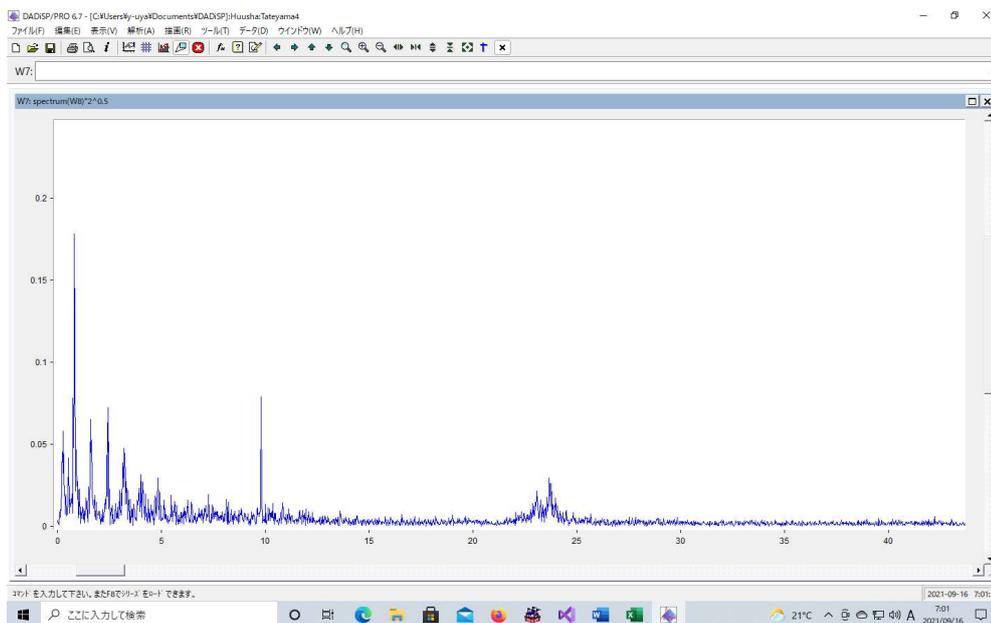
実際の計測結果については、

風車の無い場所では



超低周波音の強さは、0.003 パスカル程度です。

館山の風車の近くでは、0.3 パスカル程度の強さです。



エネルギーは、音圧の2乗に比例するので、 $100*100=10000$ 倍のエネルギーが超低周波音として拡散されることになります。

更に、共鳴、共振についての検討や、音響キャビテーションについての検討も必要となります。

室内での音の分析については、AVERAGE WAVELET COEFFICIENT が有効となります。

さて、この音圧の原因が正弦波 $y = A \sin \omega t$ の場合は、正弦波の実効値が

実効値の定義式

ある周期 T の関数 $f(t)$ の実効値は、次式で与えられる。

$$f(t) \text{ の実効値} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 dt} \quad \dots \textcircled{1}$$

となっているので、

$$\text{実効値} = \text{最大値} \div \sqrt{2}$$

となります。

実効値が 282.5Pa の音圧を与える正弦波は

$$y = (282.5 * \sqrt{2}) \sin \omega t = 399.5 \sin \omega t \quad (\text{Pa})$$

となります。

また、表示・出力フルスケールの設定で 70dB を選んだときは、wav ファイルへ記録するデータは、もう少し大きな音圧にも対応できるように、(表示出力フルスケール値の+13 dBが WAVE ファイルのフルスケール値になります。) するので、

WAVE ファイルのフルスケール値 : 83 [dB] となり、これは、 $2 \times 10^{-5} \times 10^{(83/20)} = 0.2825$ [Pa]

となる。これは、

24 ビットの場合は、0.2825Pa (83dB) に対して、整数値 $\{+2^{(23)}-1\}$ を対応させる。

16 ビットの場合は、整数値 $\{+2^{(15)}-1\}$ を対応させる。

従って、

24 ビットの場合は、整数値 1 は 0.2825Pa (83dB) / $\{+2^{(23)}-1\}$ の音圧 (実効値) を意味する。

整数値 k は、 $k * (0.2825 \text{Pa} (83\text{dB}) / \{+2^{(23)}-1\})$ の音圧 (実効値) を意味する。

16 ビットの場合は、整数値 1 は 0.2825Pa (83dB) / $\{+2^{(15)}-1\}$ の音圧 (実効値) を意味する。

整数値 k は、 $k * (0.2825 \text{Pa} (83\text{dB}) / \{+2^{(15)}-1\})$ の音圧 (実効値) を意味する

ここでの値は音圧なので、音による圧力の大気圧からの変動分である。単位はパスカル (Pa)。

音が無い場合の大気圧を B パスカル、

実効値が 282.5Pa の音圧を与える正弦波が

$$y = (282.5 * \sqrt{2}) \sin \omega t = 399.5 \sin \omega t \quad (\text{Pa})$$

であるとすれば、時刻 t における大気圧 A_p は

$$A_p = B + 399.5 \sin \omega t \quad (\text{Pa})$$

のように変化する、

さて、音速ですが、

音速には位相速度と群速度があるが、一般的に音速というときは位相速度のことをさす。

気体 [編集]

気体中では、音速は比熱比、平均分子量、温度に依存する。圧力はほとんど影響しない^[1]。ここで κ を気体の比熱比、 R を気体定数、 T を気体温度、 M を気体の平均分子量とすると音速 c は

$$c = \sqrt{\frac{\kappa RT}{M}}$$

と表される。なお、この関係から、音速測定によって気体定数を求めることもある^[2]。

もしくは、気圧 p [N/m²] と密度 ρ [kg/m³] を用いて

$$c = \sqrt{\frac{\kappa p}{\rho}}$$

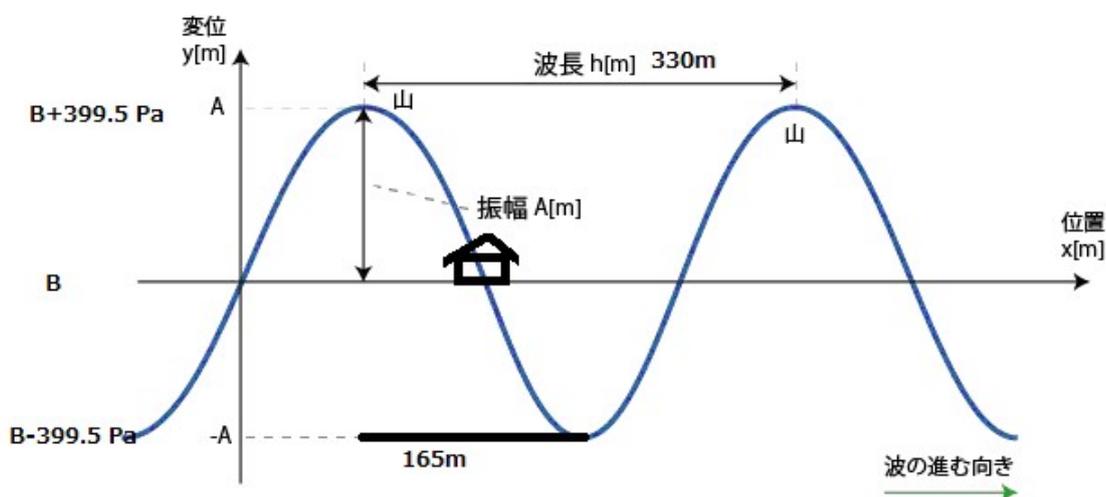
とも表せる。

比熱比や音速の導出については、岩波講座現代物理学の基礎 I、古典物理学 I に詳しい記述がある。

ここでは、音速が 330m/秒だとして考えることにする。

位相速度なので、330m先では、音圧は同位相となる。

周波数が 1 Hz の音の場合、音圧の様子は、ある時刻 t を固定すれば



上の図のようになる。

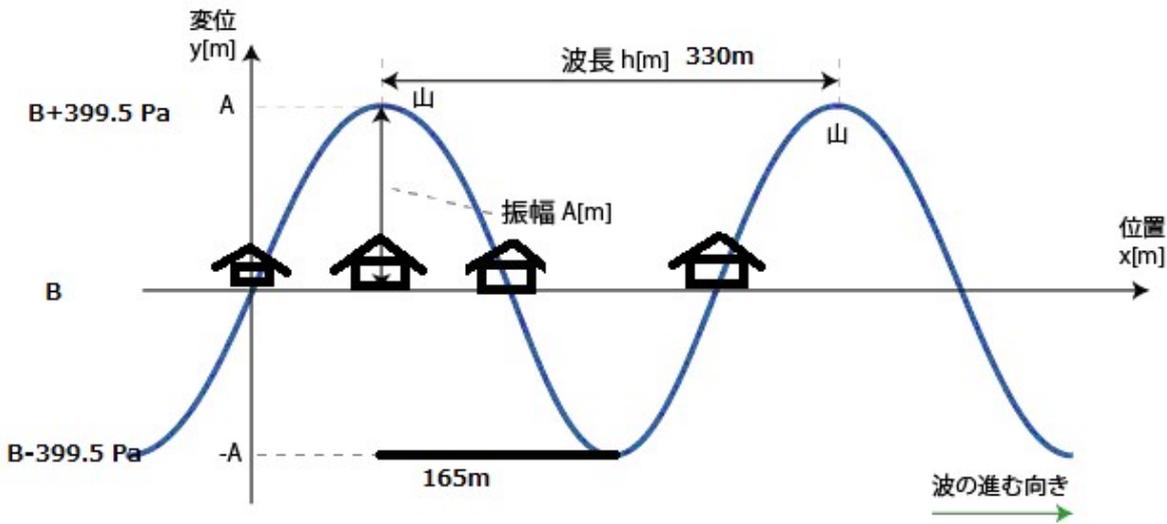
165m 離れると気圧差が、 399.5×2 (Pa) であり、家の中が 10m とすれば、家の左側と右側での気圧差

は、概算で、 $399.5 \times 2 \times (10/165) = 48.4$ (Pa) となる。

さて、 1.01325×10^5 Pa = 1013.25 HPa が標準大気圧で、この場合は、1 m²あたり 1.01325×10^5 N という圧力がかかることを意味する。(すなわち 1.01325×10^5 Pa という圧力。)

左側から家を押す力と、右側から家を押す力の差は、圧力差に壁の面積掛けて得られる。

この圧力を受ける家の壁の面積を、 $20\text{m} \times 5\text{m} = 100$ m² とすれば、上の図での圧力差は、 $48 \times 100 = 4800$ N となる。



質量とは、物質の量を示すもので、密度と体積との相乗積として考えられた量のことです。

SI 単位は「kg」で表示します。

力は、質量と重力加速度との積で、SI 単位は「N」で表示します。

「重量」「重さ」「荷重」という用語も「力」の意味で用います。

力は、旧単位表示で、「kgf」で、あらわします。

質量 1kg の物体は、標準加速度 9.80665m/s の場合、1kgf の重量となります。

1kgf = 9.80665N となります。

よって、9.8N の力は、質量 1 kg の物を持ち上げるときの力です。

$4800\text{N} / 9.8\text{N} = 489.8$ となり、左から押す力は、 $489.8 + F$ kg の物を持ち上げるくらいの力、右から押す力は F kg の物を持ち上げるくらいの力となり、差引、左から 500kg の物を持ち上げるくらいの力が掛かっていることとなります。(乗用車の半分くらい)

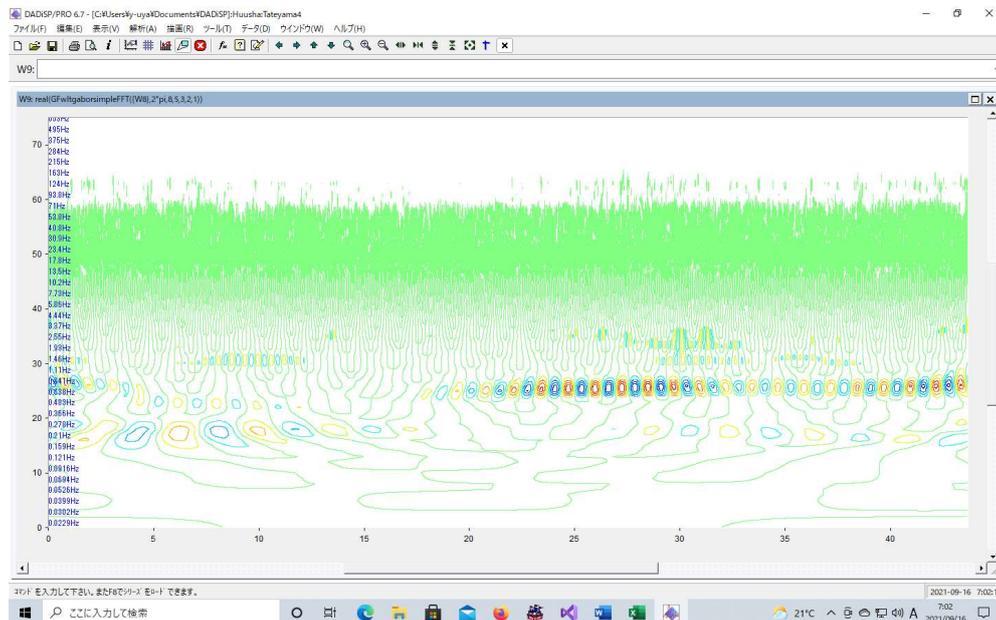
上の図で、左端の家は右から押されます。左から 2 番目の家は左右が釣り合っています。右端の家は、右から押されます。

家は、右から押されたり、左右からの圧力が釣り合ったり、左から押されたりします。

周期的な外力が掛かるのです。

千葉県館山市で1基だけ立っている場所での計測結果では、0.3パスカルでしたので、この強さの力が一度だけ加わるならば、家が衝撃を受けて揺れるようなことは無いと思います。

しかしながら、館山での計測結果のWavelet解析による結果を見ると、



上の図の右半分は、0.8Hzの波がかなり強い状態が40秒程度継続することを示しています。問題は、周波数が一定であることです。何秒間継続するかは風向や風力で決まります。

G 特性に関しては、

低周波音の測定方法に関するマニュアル 平成 12 年 10 月 環境庁大気保全局
の資料で、次のものがあります。

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

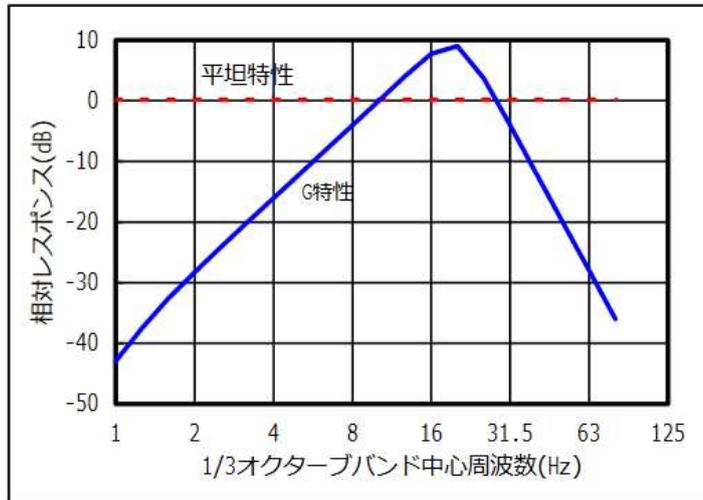


図-1.1 低周波音の周波数補正特性

表-1.1 基準周波数レスポンス及び許容差

中心周波数(Hz)	平坦特性		G 特性	
	基準レスポンス(dB)	許容差(dB)	基準レスポンス(dB)	許容差(dB)
1	0	±3	- 43	±3
1.25	0	±3	- 37.5	±3
1.6	0	±3	- 32.5	±3
2	0	±2	- 28.3	±2
2.5	0	±2	- 24.1	±2
3.15	0	±1.5	- 20	±1.5
4	0	±1	- 16	±1
5	0	±1	- 12	±1
6.3	0	±1	- 8	±1
8	0	±1	- 4	±1
10	0	±1	- 0	±1
12.5	0	±1	4	±1
16	0	±1	7.7	±1
20	0	±1	9	±1
25	0	±1	3.7	±1
31.5	0	±1	- 4	±1
40	0	±1	- 12	±1
50	0	±1	- 20	±1
63	0	±1	- 28	±1
80	0	±1.5	- 36	±1.5

(4) 音圧レベル

音圧の実効値 p の二乗を基準音圧 $p_0 (=2 \times 10^{-5} \text{ Pa})$ の二乗で除した値の常用対数の 10 倍である。単位はデシベル、単位記号は dB。低周波音の場合は、低周波音領域の平坦特性の周波数レスポンスを用いた音圧レベルであり、一般に低周波音圧レベルという。超低周波音の場合は、1~20 Hz 平坦特性の周波数レスポンスを用いた音圧レベルであり、一般に超低周波音圧レベルという。

低周波音の多くの場合は、1/3 オクターブバンド音圧レベルが測定される。そのときの測定量は、中心周波数ごとの 1/3 オクターブバンド音圧レベルとなる。

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2} \quad (1)$$

L_p : 音圧レベル (dB)

p : 音圧の実効値 (Pa)

p_0 : 基準音圧 2×10^{-5} (Pa)

(5) G 特性音圧レベル

ISO 7196 に定められた周波数補正特性 G 特性で重み付けられた音圧レベル。基準音圧は 2×10^{-5} Pa、単位は dB。

$$L_G = 10 \log_{10} \frac{p_G^2}{p_0^2}$$

L_G : G 特性音圧レベル (dB)

p_G : G 特性音圧の実効値 (Pa)

p_0 : 基準音圧 2×10^{-5} (Pa)

ISO7196:1995 では、中心周波数として 0.25Hz から 315Hz までが採用されている。

従って、関数としては、1Hz から 80Hz の中心周波数によって G 特性音圧レベルを計算するものと、0.25Hz から 315Hz の中心周波数によって計算するものと、基本は 1Hz から 80Hz の中心周波数だが、中心周波数 1Hz の所だけバンドパスフィルタの低周波の部分で 0Hz から 1Hz の間で自由に決定できる関数も作りませんでしたので、3 種類の関数が用意できます。

G 特性の対象となる超低周波音に関しては、バンドパスフィルタ特性を注意深く調べなくてはなりません。

各オクターブバンドに対して、次の関係式が成立します。

● 1/1 オクターブバンドフィルタ

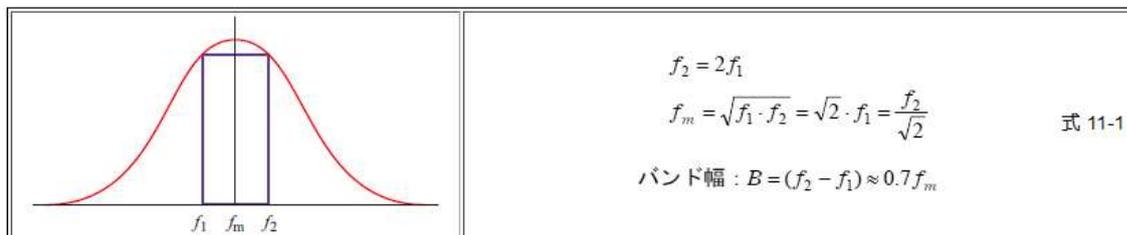


図 11-1 1/1 オクターブバンドにおける中心周波数、上下限周波数とバンド幅

● 1/3 オクターブバンドフィルタ

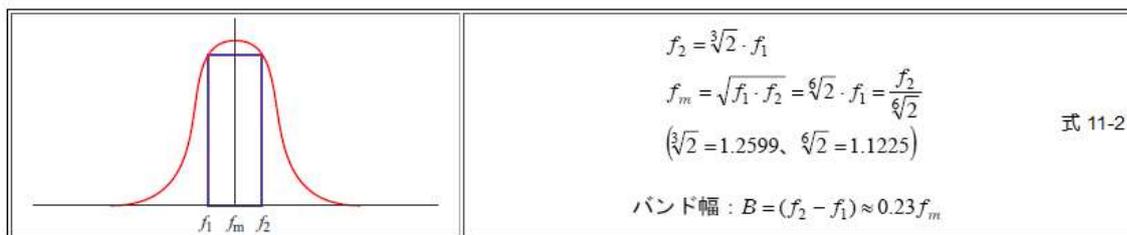


図 11-2 1/3 オクターブバンドにおける中心周波数、上下限周波数とバンド幅

計測と計測データについて:

騒音については、

リオン社の精密騒音計 NL-62 で計測され、波形収録プログラム NX-42WR によって16ビットの符号付整数を使って収録された WAV ファイルを作る。収録時の周波数重みづけは Z 特性（平坦特性）とする。サンプリングレートは48 kHz、連続する収録時間としては1分から10分程度とする。

出来るならば、この機材を2台同時に使って、室内と室外で同時に計測して、その結果を比較する。

振動については、

リオン社の振動レベル計 VM-55 で計測され、波形収録プログラム VX-55WR を使って収録された WAV ファイルを作成する。

ストアモードは Auto、測定チャンネルは XYZ、総測定時間は1分から10分程度とする。

ビデオカメラでの撮影、

風車が存在して回転している場合は、ビデオカメラで回転の様子を撮影する。

計測結果の解析、

騒音の原因が何かを考えるには、音の周波数を計算する必要があります。上記の WAV ファイルがあれば、FFT による解析が可能となります。

風速の変化によって風車の回転数が変化すると、音の周波数は微妙に変化します。この微妙な変化をとらえるには、FFT 解析ではなくて、Wavelet 解析が必要となります。また低周波の解析では、カオス理論の活用が有効となる場合もあります。

測定結果の解析には、このような機能を持ったソフトウェアを確保する必要があります。

私は CAE ソリューションズが販売している、DADISP、DADISP/WAV、Unit/Wavelet、Unit/Noise-Vibration を使いました。

データの公開、

低周波音の解析では、高度の機能を備えているソフトウェアを使う必要が出てきます。県や市、業者、大学に、そのような機能を持ったソフトウェアが無い場合も考えられます。

計測したデータをネットに公開すれば、必要なソフトウェアや知識を持っている人が世界には沢山いますので、そのような人からの援助も受けられます。

多くの立場の人が、異なるソフトウェアで解析した結果が一致すれば、原因の究明に向けての大きな力となります。公開すれば、ソフトウェアのお金も節約できて、様々な立場からの検討が可能となるので、データの一般公開は必要なことだと考えます。

計測機器の入手について

上記の計測機器を全て購入すると150万円くらいが必要です。計測機器のレンタルもありますが、マニュアルを読む時間として2か月程度は見ておく必要があります。さらに、記録されているデータの意味についてはリオン社に確認する必要もあります。

風車の会社と住民の利害は対立しますので、計測は企業側、住民側、第三者の3者で同じ場所で別々の機材で行って、その場でネットに公開して比較検証が出来る状態にすべきです。