

## 付録

- 付録 1 関連研究論文の概要
- 付録 2 ISO 9613-2 に関する解説資料
- 付録 3 NEDO 予測式等に関する資料（抜粋）
- 付録 4 市販の 2 次防風スクリーン（カタログ情報）
- 付録 5 風力発電環境影響評価規程自主規制（案）（抜粋）

## 付録 1 関連研究論文の概要

2010年6月に開催された The 14th International Conference on Low Frequency Noise and Vibration and its Control (Low Frequency 2010) および The 39th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (INTER-NOISE 2010) における研究論文の中から、特に風力発電施設から発生する騒音等の測定方法の検討および環境影響評価に向けた騒音等の予測方法及び予測結果の評価方法の検討について最新の知見を報告した論文を抜粋し、その概要を整理した。

1.論文タイトル等
Low Frequency Noise Monitoring of a Wind Turbine
Werner G. Richarz, Tony Gambino
Low Frequency Noise 2010
2.概要
<p>風車から750m離れた住宅(苦情者)の屋外(2箇所)と屋内で測定を実施。屋外用のマイクには90mm径WS+2次ウインドスクリーンを装着し、直径1mのプレート上に設置(つまり、IEC61400-11に準拠)。屋内用のマイクは同じ90mm径WSを装着し三脚上に設置。測定は、20分間隔で1分間の風車音を測定。苦情者は1時間に1度だけ、風車音による健康影響を感じる際に録音が出来する装置も併設。屋外と屋内の結果を比較すると、コヒーレンスは0.05以下と非常に小さい。コヒーレンスは特に10-150Hzの純音成分に支配され、風車が低-中程度に発電している際に生じた。その大部分はギア騒音であった。屋外における測定結果を詳細に分析すると、翼がタワーを通過する時間間隔で再度ローブ(side lobes)が発生していた。</p>
3. 風車に関するポイント
風車のギア音が10-150Hzに位置し、低-中程度の発電状態で発生することを記載。
4. 特記事項(測定方法について)
<ul style="list-style-type: none"> <li>・測定場所(風車との位置関係): 風車から750m離れた苦情者宅の内外</li> <li>・使用機器: 1/2マイクロホンに90mm径WS(屋外では2次スクリーンを併用し1m径の硬いプレート上に、屋内は三脚で1.2m高さ)+DA-20</li> <li>・騒音指標:</li> <li>・測定時間: 20分間隔で1分間の計測</li> <li>・気象条件(風向/風速):</li> <li>・その他: 苦情者が健康影響を感じた際に風車音の録音を可能にする装置を導入</li> </ul>

1.論文タイトル等
An analysis of low frequency noise from large wind turbines
Christian Sejer Pedersen, Henrik Møller
Low Frequency Noise 2010
2.概要
<p>48台の風車について、実測と過去の測定結果を分析(11台が2MW以上、37台が2MW未満)。全て3枚翼のアップウインド型。実測はIEC61400-11に準拠。ISO9613-2を用いて1/3オクターブバンド毎の住居側における音圧レベルを予測。空気吸収はISO9613-1を適用し10°C、80%を想定。地表面減衰として-1.5dBを適用(デンマーク方式)。AbarとAmiscはゼロ。</p> <p>風車規模が大きくなると、低周波成分が相対的に増加する傾向を示す(2MWで分け、統計的に両者の差が有意)。</p> <p>見かけの音響パワーレベル(1/3オクターブバンド)からG特性パワーレベルを推計すると2MW以上の風車に対して122-128dBとなり、仮に150m離れた住居ではG特性音圧レベルが69-75dBとなり可聴域より低い。</p> <p>純音成分は風車の機械的な固有特性に因り、ギアボックスや冷却装置等がそれに該当する。この純音成分は、風速によってそのレベルや周波数が変化することが明らかになった。それは最大3-4dB程度。</p> <p>ピッチ制御型の風車では、風速7-8m/s以上の風速で見かけのパワーレベルが一定あるいは低下する傾向が見えた。</p> <p>仮に35dBを限度値と考えると、2MWを越える風車でこれに適合するための距離は600-1200m程度であり、この距離では空気吸収の効果が表れるため、低周波成分が一層卓越する傾向となる(アセスの場合に要注意)。ただし、超低周波音は放射されるが閾値以下である。</p> <p>地表面効果として-1.5dBを適用したが、低周波音が卓越する状況では過小評価であり、-6dBを適用すべきかも知れない。</p> <p>10m高さで実測した風速に対数則を適用してハブ高さの風速を予測する方法は適当ではないという指摘があり、IEC61400-11改訂版もハブ高さにおける風速を実測する方法に変更された。</p>
3. 風車に関するポイント
4. 特記事項(測定方法について)
<ul style="list-style-type: none"> <li>・測定場所(風車との位置関係):</li> <li>・使用機器:</li> <li>・騒音指標:</li> <li>・測定時間:</li> <li>・気象条件(風向/風速):</li> <li>・その他:</li> </ul>

1.論文タイトル等
Rating of wind turbine noise using Lden
G.P. van den Berg
INTER-NOISE 2010, No. 73
2.概要
<p>ハブ高さにおける長期間風速測定から得られる“長期間平均音響パワーレベル”の提案であり、2010年にオランダで採用されると示唆。</p> <p>長期間平均音響パワーレベルは、日周期に対する長期間を通じたハブ高さでの風速分布から計算されるLE(長期間平均音響パワー)、(整数による)風速が発生する時間区分を用いて、全ての要素を対数合計した値である。</p> <p>景観は、ウィンドファームの開発で住民にとって最も重要な要素となっており、また実際のウィンドファーム建設までにおいて(感じられる)公平さがもう一つの重要な要素である。これには、情報の完全さ、意思決定の透明性、損得のバランスが含まれる。騒音は、定量的に評価が出来る最も重要な被害であり、定量的な限度を決めなければならない。</p> <p>過去の風車は風車と住民が概ね類似した気象条件内にいたが、風車が大型化したため、夜間風車高さで風速が大きい(騒音も大)一方で、住民側は風速が小さく(騒音も小)であるため風車音がマスクされない。風車騒音を評価するために使用される風速プロファイルは重要な時間帯(つまり夜間)において現実と合っていない。</p> <p>風速測定は1年ないし数年間を要し、ハブ高さで実施。実際にウィンドファームを開発する地区あるいはその近傍の別のサイトで実施。</p> <p>オランダの予測方法はISO9613-2に類似するが、気象補正だけが異なる(特有の南西風に配慮)。</p>
3. 風車に関するポイント
<p>ハブ高さにおける風速分布を基にした長期間平均音響パワーレベルを提案。現在使用される風速プロファイルの決定方法に不備を指摘。オランダの予測方法はISO9613-2に類似し、気象補正も考慮(ただし、若干の修正あり)。</p>
4. 特記事項(測定方法について)
<ul style="list-style-type: none"> <li>・測定場所(風車との位置関係):</li> <li>・使用機器:</li> <li>・騒音指標:</li> <li>・測定時間:</li> <li>・気象条件(風向/風速):</li> <li>・その他:</li> </ul>

1.論文タイトル等
PREDICTING ANNOYANCE BY WIND TURBINE NOISE
Sabine A. Janssen; Henk Vos; Arno R. Eisses; Eja Pedersen
INTER-NOISE 2010, No. 659
2.概要
<p>スウェーデンとオランダにおいて実施された3件の調査結果を用いて、屋内および屋外におけるアノイアンスとLdenの関係を調査した。Ldenは、10m高さで8m/sの風速である中立大気条件下で、風が受音者の方向へ吹く場合に計算された受音レベルを基に算出された。具体的には、計算された受音レベルに+4.7dBされLden値とした(この補正値は8m/s風速におけるLdenと受音レベルの平均的な差異であり、従前の検討で得られたものである)。</p> <p>調査結果は、(1)風車騒音によって室内でうるささを訴える人の割合は、工場騒音のような定常音の場合に比べて高く、騒音レベルの増加とともに急増する、(2)風車騒音によってうるささを訴える人の割合は、典型的な交通騒音による同じ曝露レベルの場合よりも高い、(3)風車騒音によるアノイアンスの割合は、道路交通騒音による同程度のアノイアンスよりもかなり小さなLdenで発生する、となった。</p>
3. 風車に関するポイント
<p>風車騒音に関するアンケート調査結果の解析。風車騒音がほかの騒音源によるアノイアンスと特質が大きく異なることが明らかになっている。</p>
4. 特記事項(測定方法について)
<ul style="list-style-type: none"> <li>・測定場所(風車との位置関係):</li> <li>・使用機器:</li> <li>・騒音指標:</li> <li>・測定時間:</li> <li>・気象条件(風向/風速):</li> <li>・その他:</li> </ul>

1.論文タイトル等
WHY IS WIND TURBINE NOISE POORLY MASKED BY ROAD TRAFFIC NOISE?
Eja Pedersen, Frits van den Berg
INTER-NOISE 2010, No. 351
2.概要
<p>なぜ道路交通は風車騒音に悩まされるリスクを低減できないのかを議論している。調査方法は、ウィンドファームがある地域に住む1948人の住民で、アンケート調査を実施。</p> <p>理由として、(1)レベルの日変動:自動車騒音の夜間レベルは風車のLdenよりも約6dB低い、(2)周波数スペクトルの違い:風車騒音のスペクトルは500Hzよりも低い周波数域で道路騒音よりも大きく、500-4kHzで小さい、(3)swishing:既往の研究では、swishのレベル差(ピーク)は約5dBで、最大9dBに達し、可聴変調は注意を引き易い、(4)風車は音源が高い位置にあるため、シャドーゾーンが構成されるまでの距離が道路騒音の場合よりも長い、を挙げている。</p>
3. 風車に関するポイント
風車騒音の特異性を列記している。
4. 特記事項(測定方法について)
<ul style="list-style-type: none"> <li>・測定場所(風車との位置関係):</li> <li>・使用機器:</li> <li>・騒音指標:</li> <li>・測定時間:</li> <li>・気象条件(風向/風速):</li> <li>・その他:</li> </ul>

1.論文タイトル等
Improved noise audit technique for wind farms
Steven Titus; Payam Ashtiani
INTER-NOISE 2010, No. 466
2.概要
<p>風車騒音の新しい検査方法の提案とその分析における最新技術の紹介を行っている。</p> <p>無人測定の問題点として、(1)音響指標のみが記録され、その測定結果が何に起因するのかわからないし、単一値ではスペクトル情報も得られない、(2)長期間観測のために選択される時間間隔は通常10分から1時間であるため長過ぎて、様々な音源からの寄与を除去できない(風車音も定常ではなく風速によって変動する)、(3)騒音測定と風速測定を同一点で実施しないまま相関を求めると、測定結果に対する不確かさが増す、等を挙げている。</p> <p>有人測定については、(1)10m高さで風速を測定し、標準風速プロファイルを計算するが、現実のプロファイルと必ずしも一致しない、(2)この場合でも風雑音の除去は困難である(風車騒音は概ね80Hz-1kHzに分布するが、道路騒音や風雑音を重複する)。そのために風車をON/OFFさせるといい、(3)10分間隔の測定データは風に影響されたデータとそれ以外を分離するには長過ぎる、等を指摘している。</p> <p>その上で提案する測定方法としては、(1)測定位置は住居周辺であるが壁からの反射に配慮、マイク高さは受音者の位置を考慮して1.5mと4.5mが一般的(オンタリオ州の場合)、風向風速計は10m高さに設置して、騒音と同時測定、(2)騒音測定は20Hz-20kHzを対象に1/3オクターブバンド分析を併用、二重スクリーンを使う方がいい、WAVファイルを記録すれば再生して収録音の確認が可能、オンタリオ州は1時間Leqで限度値が規定されているが、劇的な変動を避けられる程度に十分短い測定間隔として1分を推奨し、L90やL10を並行して測定する、最低10日間の連続測定、(3)風車騒音以外の影響を除去するために、最も近いWTを止めて試行測定を行うことを推奨、しかも夜間にハブ高さの風速が7m/s以上の時が良い、30分毎にWTのONとOFFを繰り返し、分析時には類似した風速条件に対してON/OFF時の結果を集計することでデータ精度の向上が期待できる、等を記している。</p>
3. 風車に関するポイント
風車騒音を無人/有人測定する場合の問題点を指摘し、それらを克服するための測定方法を提案している。
4. 特記事項(測定方法について)
<ul style="list-style-type: none"> <li>・測定場所(風車との位置関係):</li> <li>・使用機器: 20-20kHzをカバーするマイクロホン(1/3オクターブバンド分析を併用)</li> <li>・騒音指標: Leq,1min(L90やL10の併用を推奨)</li> <li>・測定時間: 最低10日を推奨</li> <li>・気象条件(風向/風速): ハブ高さの風速が7m/s以上</li> <li>・その他: 最寄りのWTをON/OFF</li> </ul>

## 付録 2 ISO 9613-2 に関する解説資料

## ISO規格による騒音伝搬予測法\*

井 清 武 弘\*<sup>1</sup>

## 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」<sup>1)</sup>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音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、通常の夜にみられるように、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等価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。

音源については多様なものを想定しており、道路、鉄道、工場、建設作業あるいはその他の地上にある騒音源に対して適用が可能としている。ただし、この手法は飛行中の航空機からの音、鉱山の発破音あるいはそれに類似した軍事行動などによる音には適用出来ない。

## 2. 基礎計算式

風下の受音点におけるオクターブバンド等価音圧

\* General Calculation Method of Attenuation of Sound during Propagation Outdoors by ISO Standard

\*<sup>1</sup> Takehiro Isei : National Institute for Resources and Environment (資源環境技術総合研究所)

レベル $L_{iT}$  (dB) をそれぞれの点音源と虚音源に対して、63Hzから8kHzまでの中心周波数について次式で計算する。

$$L_{iT} = L_w + D - A \quad (1)$$

ここで、 $L_w$  は音源の音響パワーレベル (dB)、 $D$  (dB) は、音源の指向性補正值で、音響パワーレベル $L_w$ の無指向性の点音源と比較したときのレベル差で定義される。無指向性の音源が自由空間で音を放射している場合、 $D = 0$  dBとなる。 $A$  (dB) は、計算対象の点音源から受音点までの伝搬中の減衰で、次式で与えられる。

$$A = A_{\text{div}} + A_{\text{atm}} + A_{\text{ground}} + A_{\text{screen}} + A_{\text{misc}} \quad (2)$$

ここで、 $A_{\text{div}}$  は、幾何拡散による減衰、 $A_{\text{atm}}$  は、空気吸収による減衰、 $A_{\text{ground}}$  は、地表面の影響による減衰、 $A_{\text{screen}}$  は、塀による減衰、 $A_{\text{misc}}$  は、その他の要因による減衰である。

(2) 式中の最初の4項は一般的な計算方法が規格中に示されており、最後の項、 $A_{\text{misc}}$  に関係する要因、つまり、植栽中、工場立地の中及び家屋群の中の伝搬減衰などについては計算方法が付録に示されている。

受音点における等価騒音レベルは、各点音源について各オクターブバンドごとに、(1) 式と (2) 式に基づいて時間平均音圧を計算し、レベル合成することで得られる。(3) 式に示すように、個々のバンドの減衰レベルを計算してレベル合成する前にA特性補正を行う。各音源の各オクターブバンドのA特性補正音圧の合算とともに計算対象の $n$ 個の点音源についてレベル合成して、単期間の順風条件下におけるA特性音圧レベル $L_{AT}$  (dB) を次式により求める。

$$L_{AT} = 10 \log \left\{ \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^8 10^{0.1(L_{\pi(i,j)} + A_f(j))} \right) \right\} \quad (3)$$

63Hzから8kHzに対応するオクターブバンドの中心周波数は $j$ で示されている。 $A_f(j)$  (dB) は $j$ 番目のオクターブバンド中心周波数のA特性補正值である。

長期間の等価騒音レベル $L_{AT}(LT)$  (dB) は次式で計算する。

$$L_{AT}(LT) = L_{AT} - C_{\text{meteo}} \quad (4)$$

ここで、 $C_{\text{meteo}}$ は、各気象条件の出現の割合に基づく長期間の補正項である。

### 3. 各減衰項の計算

#### (1) 幾何拡散 ( $A_{\text{div}}$ )

幾何拡散は、自由空間における点音源からの球面伝搬に基づいて、デシベル単位で次式で求める。

$$A_{\text{div}} = \left\{ 20 \log \left( \frac{d}{d_0} \right) + 11 \right\} \quad (5)$$

ここで、 $d$  (m) は、音源から受音点までの距離、 $d_0$  (m) は、基準距離で、1mである。(5)式の中の定数11は、無指向性点音源から1mの点における音圧レベルと音源のパワーレベルを関係づける定数である。

#### (2) 大気吸収 ( $A_{\text{atm}}$ )

距離 $d$  (m) を伝搬する間の、大気吸収による減衰 $A_{\text{atm}}$  (dB) は、対象とするオクターブバンドについて、次式で計算する (最大約15dBまで)。

$$A_{\text{atm}} = \alpha d / 1,000 \quad (6)$$

ここで、 $\alpha$  は、キロメートル当たりの大気吸収係数。各気象条件における $\alpha$ の値は、表一による。表一と異なる条件の場合はISO 9613-1<sup>2)</sup>を参照のこと。

表一 湿度 $T$ と相対湿度 $RH$ 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 $\alpha$  (ISO 9613-1参照)

(単位: dB/km)

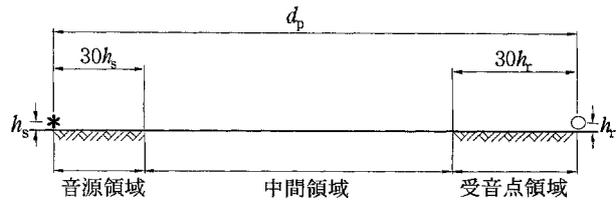
$T$ (°C)	$RH$ (%)	オクターブバンド中心周波数 (Hz)							
		63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
10	70	0.1	0.4	1.0	1.9	3.7	9.7	32.8	117.0
20	70	0.1	0.3	1.1	2.8	5.0	9.0	22.9	76.6
30	70	0.1	0.3	1.0	3.1	7.4	12.7	23.1	59.3
15	20	0.3	0.6	1.2	2.7	8.2	28.2	88.8	202.0
15	50	0.1	0.5	1.2	2.2	4.2	10.8	36.2	129.0
15	80	0.1	0.3	1.1	2.4	4.1	8.3	23.7	82.8

#### (3) 地表面の影響 ( $A_{\text{ground}}$ )

##### 1) 一般的な計算方法

地表面による減衰 $A_{\text{ground}}$ は地表面からの反射波が音源から受音点に直接伝搬する音と干渉することなどにより発生する。音線の方向が地表面に向かうような伝搬条件 (風下伝搬) の場合には、音源と受音点の近傍の地表面がその減衰を主に左右する。この方法は地表面が水平か、一定の傾斜でほぼ平坦に近い場合のみ適用可能で、地表面による減衰量を決める3つの領域が区分されている (図一1参照)。

・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)。



図一1 地表面による減衰を決定するための3領域

- ・受音点領域：受音点から音源方向へ距離 $30h_r$ まで広がり、その最大値は $d_p$  ( $h_r$ は受音点の高さ)。
- ・中間領域：音源と受音点の間に広がる領域。 $d_p < (30h_s + 30h_r)$ の場合、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響特性は地盤係数 $G$ 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。

- ・硬い地表面：舗装面、水、氷、コンクリート及び他の多孔性の低いすべての地表面。例えば、工場の敷地などに見られるように突き固められ、硬いと判断される地表面。硬い地盤の場合、 $G = 0$
- ・多孔質な地表面：草地、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。多孔質な地表面の場合、 $G = 1$
- ・混合地表面：地表面に硬い地表面と多孔質な地表面が混っている場合、 $G$ は0から1の間の値をとり、その値は全体のうちの多孔質な地表面の含まれる割合で決まる。

特定のオクターブバンドに対する地表面による減衰を計算する場合、最初に音源領域に対して (当該領域の) 地盤係数 $G_s$ を用いて減衰 $A_s$ を計算し、ついで地盤係数 $G_r$ により受音点領域の減衰 $A_r$ さらに地盤係数 $G_m$ により中間領域の減衰 $A_m$ を表一2の中 of 式を用いて計算する (表一2の中の関数 $a'$ 、 $b'$ 、 $c'$ 、 $d'$ は図一2の中の曲線から選択して得られる)。オクターブバンドの減衰値は次式により求める。

$$A_{\text{ground}} = A_s + A_r + A_m \quad (7)$$

##### 2) A特性音圧レベルの減衰を計算する方法

受音点における騒音レベルを予測する場合で、地表面の大半が多孔質でなおかつ予測対象の音源の音が純音性でない場合には、地表面がどのような形であっても、地表面に起因する減衰は次の式で計算する。

$$A_{\text{ground}} = 4.8 - (2h_m/d) [17 + (300/d)] \geq 0 \quad (8)$$

ここで、 $d$  (m) は、音源から受音点までの距離、 $h_m$  (m) は、伝搬経路の地表面上の平均高さである。この平均高さ $h_m$ は図一3に示されている方法で決め

表-2 オクターブバンド帯域の地盤による減衰 $A_s$ ,  $A_r$ と $A_m$ を求めるための式。 $A_s$ の計算の場合,  $G = G_s$ と $h = h_s$ とし,  $A_r$ の計算の場合,  $G = G_r$ と $h = h_r$ とする。 $G$ の値については(3)-1) 参照

オクターブバンド中心周波数 (Hz)	$A_s$ あるいは $A_r$ (dB)	$A_m$ (dB)
63	-1.5	$-3q$
125	$-1.5 + G \cdot a'(h)$	$-3q(1 - G_m)$
250	$-1.5 + G \cdot b'(h)$	
500	$-1.5 + G \cdot c'(h)$	
1,000	$-1.5 + G \cdot d'(h)$	
2,000	$-1.5(1 - G)$	
4,000	$-1.5(1 - G)$	
8,000	$-1.5(1 - G)$	

ここで,

$$a'(h) = 1.5 + 3.0 \cdot e^{-0.12(h-5)^2} \left(1 - e^{-\frac{d_p}{50}}\right) + 5.7 \cdot e^{-0.09 \cdot h^2} \left(1 - e^{-2.8 \cdot 10^{-6} \cdot d_p^2}\right)$$

$$b'(h) = 1.5 + 8.6 \cdot e^{-0.09 \cdot h^2} \left(1 - e^{-\frac{d_p}{50}}\right)$$

$$c'(h) = 1.5 + 14.0 \cdot e^{-0.46 \cdot h^2} \left(1 - e^{-\frac{d_p}{50}}\right)$$

$$d'(h) = 1.5 + 5.0 \cdot e^{-0.9 \cdot h^2} \left(1 - e^{-\frac{d_p}{50}}\right)$$

$q = 0$   $d_p \leq 30(h_s + h_r)$  の場合  
 $q = 1 - \frac{30(h_s + h_r)}{d_p}$   $d_p > 30(h_s + h_r)$  の場合

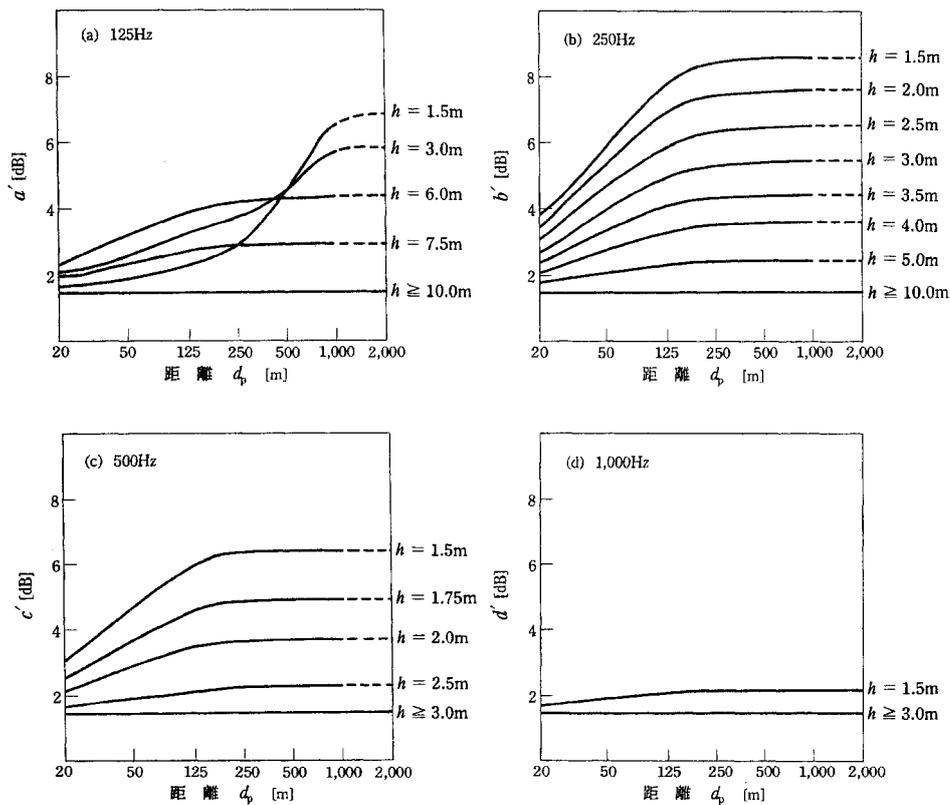


図-2 地表面による減衰 $A_{ground}$ に影響を及ぼす音原・受音点間の距離 $d_p$ と音源・受音点の高さ $h$ の影響を評価するための関数 $a'$ ,  $b'$ ,  $c'$ と $d'$

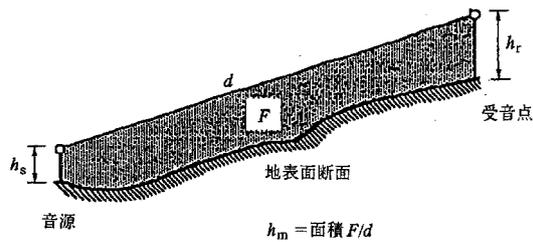


図-3 平均高さ $h_m$ を評価する方法

る。(8)式で $A_{\text{ground}}$ の値が負の場合、 $A_{\text{ground}} = 0$ とする。

地表面による減衰を(8)式で計算する場合。(1)式の指向性補正係数 $D$  (dB)は次式で求める。

$$D = 10 \log \left\{ 1 + \frac{[d_p^2 + (h_s - h_r)^2]}{[d_p^2 + (h_s + h_r)^2]} \right\} \quad (9)$$

ここで、 $h_s$  (m)は、音源の地表面からの高さ、 $h_r$  (m)は、受音点の地表面からの高さ、 $d_p$  (m)は、音源から受音点を地表面上に投影した距離である。

#### (4) 障壁の遮蔽効果 ( $A_{\text{screen}}$ )

対象物が次の条件を備えている場合、遮蔽障害物(障壁あるいは防音壁とも呼ばれる)として取り扱う。

- ・面密度が少なくとも  $10 \text{ kg/m}^2$  以上ある場合
- ・対象物に大きな亀裂や隙間が無く閉鎖した状態
- ・音源・受音点を結ぶ線に垂直な方向の水平寸法が対象とするオクターブバンドの中心周波数に該当する波長 $\lambda$ より大きい場合、つまり、 $l_1 + l_r > \lambda$ の場合(図-4参照)。

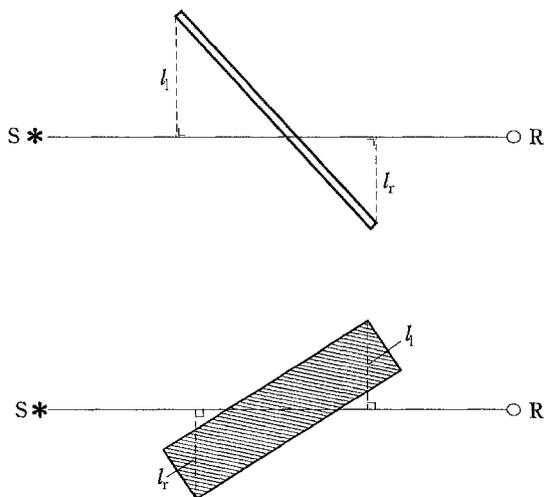


図-4 2種類の障壁の平面図。対象物の音源と受音点を結ぶ線SRに垂直な方向の長さが対象とする音の波長より長い場合 ( $l_1 + l_r > \lambda$ ) に障壁として評価する。

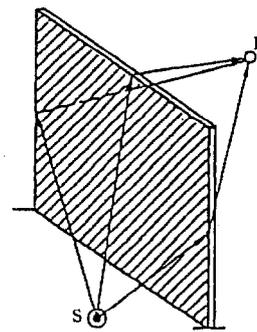


図-5 障壁の各伝搬経路

以上の条件に適合する場合、遮蔽物は垂直楔により代替し、遮蔽物の頂点のエッジは直線で傾斜しているとみなす。

この規格の目的上、障壁による減衰は挿入損として与えられる。頂点や垂直方向の端からの回折が重要な意味を持つ場合もある(図-5参照)。順風伝搬の条件下におけるエッジからの回折効果による減衰はdB単位で次式で与えられる。

$$A_{\text{screen}} = D_z - A_{\text{ground}} > 0 \quad (10)$$

また、垂直なエッジからの回折に対しては、

$$A_{\text{screen}} = D_z \quad (11)$$

ここで、 $D_z$ は、各オクターブバンドの遮蔽(12)式参照)による減衰量、 $A_{\text{ground}}$ は、遮蔽物が無いときの(すなわち遮蔽物が取り除かれた状態の)地表面による減衰である。

全体の減衰 $A$ を求めるために、(10)式で定義される $A_{\text{screen}}$ が(2)式に代入されると、式中の $A_{\text{ground}}$ の項は相殺される。したがって、(11)式の障害物による遮蔽効果 $D_z$ は、障壁がある場合の地表面の影響を含んだものである。

遮蔽効果による減衰 $D_z$ を計算する場合、音源から受音点の間に存在する最も重要な経路のみを想定する。この仮定が成立しない場合、図-5に示されるような個別の伝搬経路の計算が必要になる。

当該の経路の塀の遮蔽効果 $D_z$  (dB)は次式で計算される。

$$D_z = 10 \log \{ 3 + (C_2 / \lambda) C_3 z K_w \} \quad (12)$$

ここで、 $C_2 = 20$ で、地表面の反射の影響を含む(特別な場合、虚音源を考慮に入れて、地表面の反射は個別に評価する場合、 $C_2 = 40$ とする)。回折の回数により $C_3$ は次式の値をとる。

回折回数が1回の場合(図-6参照)

$$C_3 = 1$$

回折回数が2回の場合(図-7参照)、

$$C_3 = \{ 1 + (5\lambda / e)^2 \} / \{ (1/3) + (5\lambda / e)^2 \} \quad (13)$$

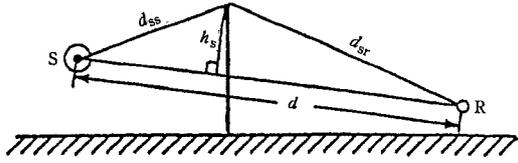


図-6 1回回折の場合の伝搬経路差を決めるための幾何学的諸量

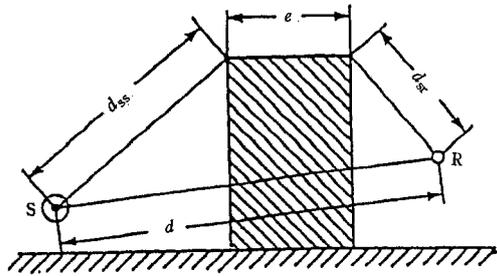


図-7 2回回折の場合の伝搬経路差を決めるための幾何学的諸量

ここで、 $\lambda$  (m) は、当該のオクターブバンドの中心周波数に相当する波長、 $z$  は、直接波と回折波の伝搬経路差で、(14) 式あるいは (15) 式により計算する。 $K_w$  は、気象条件による補正項で、(16) 式により求める。 $e$  は、回折回数が2回の場合、2つの回折端の間の距離 (図-7 参照) である。図-6 に示されるように、1回の回折の場合、伝搬経路差は (14) 式で計算する。

$$z = d_{ss} + d_{sr} - d \quad (14)$$

仮に音源 S と受信点 R を結ぶ線が、障壁の頂点より上を通る場合は、 $z$  には負の記号を付ける。図-7 に示されたように、2回の回折条件の場合、伝搬経路差  $z$  は (15) 式で計算する。

$$z = d_{ss} + d_{sr} + e - d \quad (15)$$

(12) 式に示される気象条件に伴う補正項  $K_w$  は次式で計算する。

$$K_w = \exp\left\{-\frac{1}{2000}\sqrt{d_{ss}d_{sr}}\right\} \quad z > 0 \text{ のとき}$$

$$K_w = 1 \quad z \leq 0 \text{ のとき} \quad (16)$$

障壁の横回りの平行回折の場合、 $K_w = 1$  とする (図-5 参照)。

音源と受信点の間の距離が100m以下の場合、(12) 式を用いる計算で、 $K_w = 1$  の場合、精度は1dB程度である。(13) 式は、 $C_3 > 1$  の1回の回折条件 ( $e = 0$ ) から、 $C_3 = 3$  となる十分離れた2回の回折条件 ( $e > \lambda$ ) まで計算することができる。音源から受信点までの経路の近くに反射物がある場合、(10) 式から (16) 式で計算される障壁の効果はより低い値となる。

障壁の減衰効果の  $D_z$  は、回折回数が1回の場合 (すなわち薄い障壁の場合)、最大値は20dB、また回折回数が2回の場合 (すなわち、厚い障壁の場合)、最大値は25dB とする。

図-7 の下側に示されているように、2枚の障壁の場合については、2回の回折用の (12) 式により計算する。2枚以上障壁がある場合、最も影響を及ぼすと考えられる2枚の障壁を選択し、他の障壁は無視して、(12) 式を用いて計算を行う。

#### (5) 反 射

この規格では反射の影響は、別に虚音源がある場合として取り扱う。反射は天井や、建物の表側の壁などから生じ、結果として、受信点のレベルを増加させることになる。地表面からの反射は、 $A_{ground}$  の項で計算されるのでこの項では対象とならない。

次に示されるすべての条件に該当する場合、障害物からの反射について、全周波数に対して計算を行う。

- ・ 図-8 に示されるように典型的な反射条件が構成される場合
- ・ 障害物の音の反射率が、0.2 より大きい場合
- ・ 当該のオクターブバンドの中心周波数  $f_c$  が次の条

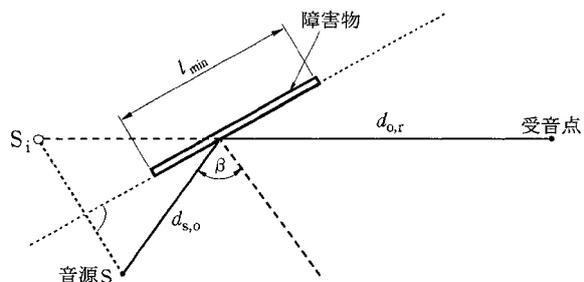
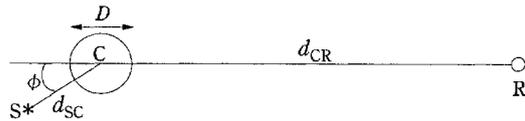


図-8 障壁からの反射。障壁の反射により生ずる入射角  $\beta$  の音源 S と受信点 R を結ぶ経路  $d_{s,o} + d_{o,r}$  が存在する。反射音は虚音源  $S_i$  から伝搬すると想定する。

表-3 音の反射率 $\rho$ の選択

対象物	$\rho$
平坦な硬い壁	1
窓や格間等の付属物がある建物の壁	0.8
50%程度の開口率、設備パイプ等のある工場の壁	0.4
硬い表面の円筒構造物 (タンク、サイロ、等) *	$\frac{D \sin(\phi/2)}{2d_{SC}}$
開放構造物 (パイプ、タワー、等)	0

\*この式は、音源Sから円筒構造物Cへの距離 $d_{SC}$ が、円筒構造物から、受音点Rまでの距離 $d_{CR}$ よりはるかに小さいときのみ適用する。



件に該当する場合

$$f_c > \{2c / (l_{min} \cos \beta)\}^2 |d_{s,o} d_{o,r} / (d_{s,o} + d_{o,r})| \quad (17)$$

ここで、 $c$  (m/s) は空気中の音速、 $d_{s,o}$  は、音源から障害物上の反射点までの距離、 $d_{o,r}$  は、障害物上の反射点から受音点までの距離、 $\beta$  は、入射角、 $l_{min}$  は、反射障害物表面の最短の長さ (図-8 参照)。

以上の条件以外の場合、反射は無視してよい。

音源と虚音源は個別に取り扱い、虚音源の音響パワーレベルは次式で計算する。

$$L_{w,image} = L_w + 10 \log(\rho) + D_r \quad (18)$$

ここで、 $\rho$  は、障害物表面の反射率、 $D_r$  は、音源の反射障害物方向の音響パワーレベルと受音点方向の音響パワーレベルの差である。障害物の音の反射率が不明なときは、表-3を用いて推定する。

虚音源に対する (2) 式の減衰計算を行う場合や、(18) 式中の  $\rho$  及び  $D_r$  の計算においては、伝搬経路長は、反射経路の長さを用いる。受音点において、実音源に起因する音圧レベルよりも、虚音源に起因する音圧レベルが 7dB 以上小さい場合は虚音源の存在は無視する。

#### 4. 気象条件による補正 ( $C_{meteo}$ )

前項で示したように (2) 式を用いた場合、音源から受音点に対して伝搬しやすい気象条件の下における受音点での A 特性補正を音圧レベル  $L_{AT}$  を直接計算するようになっている。しかしながら、時間間隔が数箇月あるいは 1 年間というような長期間にわたる平均 A 特性音圧レベル  $L_{AT}$  ( $LT$ ) を求める必要がある。このような場合は当然、伝搬に適した条件とそうでない条件の両方を含む。このような条件の下での  $L_{AT}$  ( $LT$ ) の値は、(4) 式中の気象条件の補正

を項  $C_{meteo}$  を用いて、(2) 式による  $L_{AT}$  を補正して求める。

(4) 式の中の  $C_{meteo}$  の値は、時間的にみて一定した音響出力を有する点音源の場合、(19) 式を用いて計算する。

$$C_{meteo} = 0 \quad d_p \leq 10 (h_s + h_r) \text{ の場合}$$

$$C_{meteo} = C_0 \{1 - 10 (h_s + h_r) / d_p\} \quad d_p > 10 (h_s + h_r) \text{ の場合} \quad (19)$$

ここで、 $h_s$  (m) は、音源の高さ、 $h_r$  (m) は、受音点の高さ、 $d_p$  (m) は、地面上に投影した音源と受音点の距離、 $C_0$  は、その地点における風速、風向と気温勾配を考慮に入れた気象統計に基づく定数である。

音の伝搬に及ぼす気象条件の影響は  $d_p$  が短い場合は少なく、音源と受音点間の距離が長い場合に大きくなる。(19) 式はこのような条件を図-9 に示すような観点で考慮に入れている。

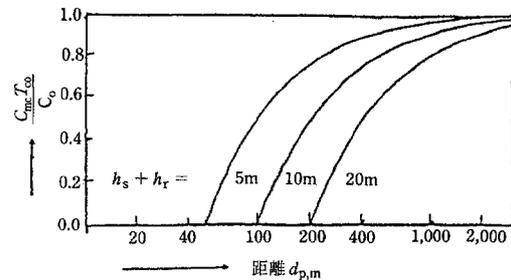


図-9 気象条件による補正項  $C_{meteo}$

(19) 式の中の  $C_0$  の値は、対象地域の気象統計のデータをもとに求める。例えば、本規格でいう音が伝搬しやすい気象条件が、予測対象とする時間の 50% 出現するとした場合  $C_0$  の値はおよそ +3dB となる。というのは、伝搬に都合の悪い気象条件の場合、受音点に到達する音響エネルギー (ここでは  $C_0 \equiv C_{meteo}$ ) は無視できる。同様に、伝搬に好都合な時間が全体の 33% あれば  $C_0$  はおよそ +5dB となるなどである。

$C_0$  を評価するための気象条件は地方気象台等から発表されるものを使用する。経験からいうと、 $C_0$  の値は、0 ~ 5dB の間の値になる。 $C_0$  に対して  $\pm 1$ dB の精度を確保するために必要な地方気象データは基本的なもので十分である。(19) 式において、音源がいくつかの点音源で構成されている場合、代表的な音源高さ  $h_s$  を音源中央から受音点までの距離  $d_p$  を用いて計算する。

## 5. 本規格を使うに当たっての注意事項

本規格は、1989年4月に第1次草案が提示され、各国の意見を求めつつ数度の修正を経て1995年に規格として採択された。この規格の前提としている環境条件が、「音の伝搬しやすい環境」を想定している点にある。この条件については「順風伝搬」とか「地表面（からの放射冷却）による逆転層が中程度に発達した条件」のように抽象的な定義しかされていない。また、規格の中でもこの予測法の精度についても触れられているが、100mまでの伝搬距離で音源あるいは受音点の高さが5m以下の時は±3dB、音源あるいは受音点の高さが5mから30mの範囲では±1dB、伝搬距離が100m以上、1,000mまでの場合は、音源、受音点の高さの関係なく±3dBとしている。

この規格の計算方法については、その理論的背景

や研究基礎が明確にされていない点もあり、今後予測精度などについては、予測実績と実測値の比較データの積み重ねをして、評価・検討を行うことが必要と考えられる。

本稿では計算の基本式となる(2)式の右辺の第4項までの、幾何拡散、空気吸収、地表面による吸収減衰、及び、遮音障壁による減衰について述べた。第5項に示されているその他の要因、すなわち、植栽、建物、工場内施設などの影響評価については、原規格を参照されたい。

### 参 考 文 献

- 1) ISO 9613-2 : Acoustics-Attenuation of sound during propagation outdoors-Part 2 : General method of calculation.
- 2) ISO 9613-1 : Acoustics-Attenuation of sound during propagation outdoors-Part 1 : Calculation of the absorption of sound by the atmosphere.

付録3 NEDO 予測式等に関する資料（抜粋）

風力発電のための  
環境影響評価マニュアル  
(第2版)

独立行政法人  
新エネルギー・産業技術総合開発機構

## 第3節 調査、予測及び評価の手法の選定

### 1. 騒音

本項目は評価項目として選定することが望ましい。

#### (1) 調査すべき内容

(a) 騒音の状況

(b) 地表面の状況

#### (2) 調査の基本的な手法

文献その他の資料及び現地調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析。この場合において、(1)(a)の騒音の状況については環境基準において定められた騒音についての測定の方法、測定場所及び測定時刻。

#### (3) 調査地域

音の伝搬の特性を踏まえ、騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域

#### (4) 調査地点

音の伝搬の特性を踏まえ、(3)の調査地域における騒音に係る環境影響を予測し、評価するために適切かつ効果的な地点

#### (5) 調査期間等

音の伝搬の特性を踏まえ、(3)の調査地域における騒音に係る環境影響を予測し、評価するために適切かつ効果的な期間、時期及び時間帯

#### (6) 予測の基本的な手法

音の伝搬理論に基づく計算

#### (7) 予測地域

(3)の調査地域のうち、音の伝搬の特性を踏まえ、騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域

#### (8) 予測地点

音の伝搬の特性を踏まえ、(7)の予測地域における騒音に係る環境影響を的確に把握できる地点

#### (9) 予測対象時期等

風力発電機の運転が定常状態となる時期

## [解説]

### (1) 調査すべき内容について

#### (a) 騒音の状況

対象事業実施区域周辺における騒音レベルを測定する。

#### (b) 地表面の状況

調査地点の地表面の状況（草地、舗装面等）について調査する。

### (2) 調査の基本的な手法について

#### (a) 騒音の状況

##### 文献その他の資料

地方公共団体が行っている環境騒音測定資料がある場合は、それにより情報収集を行う。

##### 現地調査

「騒音に係る環境基準について」で定められた JIS-Z8731「騒音レベル測定方法」に定める測定方法により等価騒音レベルを算出する（時間率騒音レベルについても記録に努める）。測定機器としては、直接または計算によって等価騒音レベルを算出できるものを用い、JIS C 1505 に定める精密騒音計又はこれらと同等以上の性能を持つ少なくとも JIS C 1502 に定める普通騒音計に適合する測定器と JIS C 1512 に適合するレベルレコーダとの組み合わせ、あるいはこれと同等の処理が可能な測定機器を用いることを原則とする。また、写真 3-3 に示すような全天候型防風スクリーンを設置し、直接風が当たることによるノイズの除去に努めることが望ましい。

測定時には、騒音測定に影響を与える天気、風向・風速、気温、湿度についても調査する。特に風向・風速については、設置を計画している風力発電機の稼働条件を考慮し、様々な条件下での測定を行い、その状況を幅広く把握することが望ましい。

なお、測定は環境基準の時間の区分ごとに全時間を通じて連続測定することを原則とする。対象とする騒音の範囲は、環境基準の適用対象である騒音であり、航空機騒音、鉄道騒音、建設作業に係る騒音、鳥の鳴き声や虫の声等の平常でない自然音、パトカーのサイレン等の時限的・限定的に発生する音、犬の声等測定による付加的な音は除外して測定・評価する。なお、一般的には除外している木の葉の擦れ音については、風力発電所の立地条件として特性を勘案し、測定・評価の対象に加えるものとする。



写真 3-3 全天候型防風スクリーン

(b) 地表面の状況

測定場所について、予測時の空気の吸収等による超過減衰量を求めるために必要な、草地、舗装面等地表面の状況について、現地調査により把握する。

(c) 調査結果のとりまとめ

調査地点別に各時間帯の騒音レベル、天気、風向・風速等を一覧表等により整理する。また、騒音レベルは、必要に応じてオクターブバンド別に記載する。

測定値は、原則的に「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)に基づいて評価する。ただし、評価対象となる地点において地域類型指定がなされていない場合には、周辺地域の状況より適切と考えられるものを選定する。

(解説) オクターブバンド別に記載

騒音は種々の周波数からなる複合音であるため、その周波数成分を知ることが重要となる。騒音に関しては、63～8,000Hz の 8 周波数帯域 (オクターブバンド) を分析することが一般的である。

(3) 調査地域について

施設の稼働による騒音の伝搬特性を考慮して、騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域 (一般的には、対象事業実施区域及びその周辺、半径 500m 前後の範囲内) とする。

(4) 調査地点について

調査地点において、騒音の状況については、環境保全のために特に配慮が必要な施設 (学校、病院等) 及び住宅の配置の状況を考慮して、施設の稼働による騒音の予測及び評価を行うことが適切かつ効果的と考えられる地点とする。具体的には、風力発電機の設置予定位置から最寄りの住宅等を選定することが望ましい。

また、地表面の状況については、騒音の発生源と予測地域との間の区域を代表する地

点を選定する。

(5) 調査期間等について

対象事業実施地域及びその周辺地域の実態に応じた適切な時期を選定し、1季以上について平日又は休日、或いはその両日に昼間及び夜間の各時間帯に連続調査する。

(6) 予測の基本的な手法について

(a) 予測手法

予測計算においては、風力発電機を点音源としてモデル化し、風力発電機メーカー等から示されるパワーレベル値を用いて、伝搬過程における幾何学的拡散による距離減衰、空気の吸収等による超過減衰等を考慮した予測計算式によって、それぞれの音源による到達騒音レベルを算出し、さらに音源毎の到達騒音レベルを合成することによって予測点における到達騒音レベルを算出する。増設の場合は既設発電所を含む音源、また、対象事業実施区域内に他の音源がある場合はそれも含めて予測を行う。

(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)

$L_{AIR}$  : 空気減衰 (dB)

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

: 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)

また、風力発電所の稼働後における将来の騒音レベルは、(3.3)式によって求められた風力発電機による騒音レベルを、現地調査によって得られる暗騒音に重合することで求められる。

$$L = 10 \log(10^{L_p/10} + 10^{L_b/10}) \quad (3.4)$$

ここで、

L : 風力発電所稼働後の将来の騒音レベル(dB)

L p : 風力発電機による騒音レベル(dB)

L b : 現地調査によって得られる暗騒音(dB)

#### (b) 予測結果のとりまとめ

予測地点毎の予測値及び環境騒音との合成値を一覧表により整理する。また、騒音レベルは、必要に応じてオクターブバンド別に記載する。

なお、環境騒音に既設発電所や対象事業実施区域内の他音源が含まれている場合には、新設分のみを対象とした予測値と環境騒音との合成値を整理する。

#### (7) 予測地域について

調査地域と同じとする。

#### (8) 予測地点について

原則として、調査地点と同じとする。

#### (9) 予測対象時期等について

最も騒音が大きくなると考えられる全ての風力発電機が運転している状態において予測する。その際、現地調査時において確認された風速データ等を参考にしながら、風速に応じた騒音レベルを予測する必要がある。

(解説)「騒音に係る環境基準」(平成 10 年環境庁告示第 64 号)

環境基本法(平成 5 年法律第 91 号)第 16 条第 1 項の規定に基づく騒音に係る環境基準は、表 3-6～表 3-7 のように示される。なお、地域類型の指定は都道府県が行うこととなっているが、指定のない地域に関しては、周辺の状況を勘案して適切と考えられるものを選定する。

表 3-6 騒音に係る環境基準（2車線以上の道路に面しない場合）

地域の類型	基準値	
	昼間	夜間
A A	50dB 以下	40dB 以下
A 及び B	55dB 以下	45dB 以下
C	60dB 以下	50dB 以下

- (注) 1. 時間の区分は、昼間を午前 6 時から午後 10 時までの間とし、夜間を午後 10 時から翌日の午前 6 時までの間とする。
2. A A を当てはめる地域は、療養施設、社会福祉施設等が集合して設置される地域等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。
- ただし、表 3-7 に掲げる地域に該当する地域（以下「道路に面する地域」という）については、表 3-6 によらず次表の基準値の欄に掲げるとおりとする。

表 3-7(1) 道路に面する地域の騒音にかかわる環境基準（2車線以上の道路に面する場合）

地域の区分	基準値	
	昼間	夜間
A 地域のうち 2 車線以上の車線を有する道路に面する地域	60dB 以下	55dB 以下
B 地域のうち 2 車線以上の車線を有する道路に面する地域及び C 地域のうち車線を有する道路に面する地域	65dB 以下	60dB 以下

備考) 車線とは、1 縦列の自動車安全かつ円滑に走行するために必要な一定の幅員を有する帯状の車道部分をいう。この場合において、幹線交通を担う道路に近接する空間については、上表にかかわらず、特例として表 3-7(2)の基準値の欄に掲げるとおりとする。

表 3-7(2) 幹線交通を担う道路に近接する空間の騒音にかかわる環境基準

基準値	
昼間	夜間
70dB 以下	65dB 以下
備考 個別の住居等において騒音の影響を受けやすい面の窓を主として閉めた生活が営まれていると認められるときは、屋内へ透過する騒音に係る基準（昼間にあっては 45dB 以下、夜間にあっては 40dB 以下）によることができる。	

## 2. 低周波音

本項目は、環境保全のために特に配慮が必要な施設（学校、病院等）や住宅等が対象事業実施区域に近接する場合において選定することが望ましい。

### (1) 調査すべき内容

- (a) 低周波音の状況
- (b) 地表面の状況

### (2) 調査の基本的な手法

文献その他の資料及び現地調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析。この場合において、(1)(a)の低周波音の状況については「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10月）において定められた低周波音についての測定の方法。

### (3) 調査地域

音の伝搬の特性を踏まえ、低周波音に係る環境影響を受けるおそれがある地域

### (4) 調査地点

音の伝搬の特性を踏まえ、(3)の調査地域における低周波音に係る環境影響を予測し、評価するために適切かつ効果的な地点

### (5) 調査期間等

音の伝搬の特性を踏まえ、(3)の調査地域における低周波音に係る環境影響を予測し、評価するために適切かつ効果的な期間、時期及び時間帯

### (6) 予測の基本的な手法

事例の引用又は音の伝搬理論に基づく計算

### (7) 予測地域

(3)の調査地域のうち、音の伝搬の特性を踏まえ、低周波音に係る環境影響を受けるおそれがある地域

### (8) 予測地点

音の伝搬の特性を踏まえ、(7)の予測地域における低周波音に係る環境影響を的確に把握できる地点

### (9) 予測対象時期等

風力発電機の運転が定常状態となる時期

## [解説]

### (1) 調査すべき内容について

#### (a) 低周波音の状況

対象事業実施区域周辺における低周波音レベルを測定する。

#### (解説) 低周波音

人の耳には聞こえにくい低い周波数帯域(概ね 100Hz 以下)の音をいう。

#### (b) 地表面の状況

調査地点の地表面の状況(草地、舗装面等)について調査する。

### (2) 調査の基本的な手法について

#### (a) 低周波音の状況

文献その他資料

地方公共団体が行っている測定資料がある場合は、それにより情報収集を行う。

現地調査

「低周波音の測定方法に関するマニュアル」において定められた方法により低周波音レベルを算出する。併せて測定に影響を与える天気、風向・風速、気温、湿度についても調査する。特に風向・風速については、設置を計画している風力発電機の稼働条件を考慮し、様々な条件下での測定を行い、その状況を幅広く把握することが望ましい。

#### (b) 地表面の状況

測定場所について、草地、舗装面等地表面の状況について、現地調査により把握する。

#### (c) 調査結果のとりまとめ

現地調査を実施する場合には、調査地点別に低周波音レベル、天気、風向・風速等を一覧表等により整理する。また、低周波音レベルは、必要に応じて 1 / 3 オクターブバンド別に記載する。

#### (解説) 1 / 3 オクターブバンド別に記載

低周波音は種々の周波数からなる複合音であるため、その周波数成分を知ることが重要となる。低周波音に関しては、1 ~ 80Hz の 20 周波数帯域(オクターブバンド)を分析することが一般的である。

### (3) 調査地域について

施設の稼働による低周波音の伝搬特性を考慮して、低周波音に係る環境影響を受けるおそれがある地域(一般的には、対象事業実施区域及びその周辺、半径 500m 前後の範囲内)とする。

(解説) 調査地域を対象事業実施区域及びその周辺、半径 500m 前後の範囲とする

近年の主流機であるアップウィンド型 2 MW 級風力発電機の低周波音は、風下側 200m で 65dB (風速 12m/s 時) とされる (出典: 「Infrasound Emission from Wind Turbines, Jorgen Jakobsen, 11th International Meeting On Low Frequency Noise and Vibration and its Control」)。これから推定される 500m での低周波音は 56dB 程度であり、後述する ISO-7196 に記載される感覚閾値 (100dB) を十分に下回るレベルである。また、建具等ががたつき始める音圧レベルは 5 ~ 20Hz の各周波数帯域において約 75dB 以上とされ (出典: 「低周波音の測定方法に関するマニュアル」)。これらの周波数帯域の感覚補正值 (-14 ~ +10dB) を考慮すると、オールパスの低周波音が 56dB 程度であれば、がたつきが発生する可能性は小さいものと考えられる。

(解説) 感覚閾値

ISO-7196 に記載される G 特性音圧レベルの感覚閾値 (人が感じることのできる最小限のレベル) は、100dB とされている。

#### (4) 調査地点について

調査地点において、低周波音の状況については、環境保全のために特に配慮が必要な施設 (学校、病院等) 及び住宅の配置の状況を考慮して、施設の稼働による騒音の予測及び評価を行うことが適切かつ効果的と考えられる地点とする。具体的には、風力発電機の設置予定位置から最寄りの住宅等を選定することが望ましい。

また、地表面の状況については、低周波音の発生源と予測地域との間の区域を代表する地点を選定する。

#### (5) 調査期間等について

現地調査を実施する場合においては、対象事業実施地域及びその周辺地域の実態に応じた適切な時期を選定し、1 季以上について平日又は休日、或いはその両日に調査する。

#### (6) 予測の基本的な手法について

対象事業実施区域周辺の環境保全のために特に配慮が必要な施設 (学校、病院等) 及び住宅の状況を踏まえ、対象事業による環境影響の程度を把握し、既存事例の引用は騒音の予測計算式に準じた伝搬理論による予測を行う。

#### (7) 予測地域について

調査地域と同じとする。

#### (8) 予測地点について

原則として、調査地点と同じとする。

#### (9) 予測対象時期等について

最も低周波音が大きくなると考えられる全ての風力発電機が運転している状態において予測する。その際、現地調査時において確認された風速データ等を参考にしながら、風速に応じた低周波音レベルを予測する必要がある。

#### 付録 4 市販の 2 次防風スクリーン（カタログ情報）



『風切音低減・防水性・音響透過性』の3拍子揃った  
風力発電用の専用ウインドスクリーン

**【新開発】**

## 風力発電用全天候ウインドスクリーン NA-0380

定価

240,000円

折りたたみ式

## 風力発電用全天候ウインドスクリーン NA-0380A

定価

270,000円

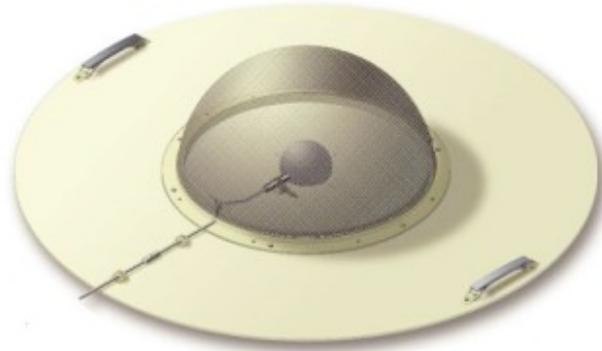
**【特許出願中】**

アコー・静岡大学・巴川製紙所の産学連携によって共同開発された特殊シートによって、測定現場での使い勝手を最大限に考慮した、従来品にない抜群の防水性と、100%に近い音響透過性を実現しました。

外観



イメージ図



### 【仕様】

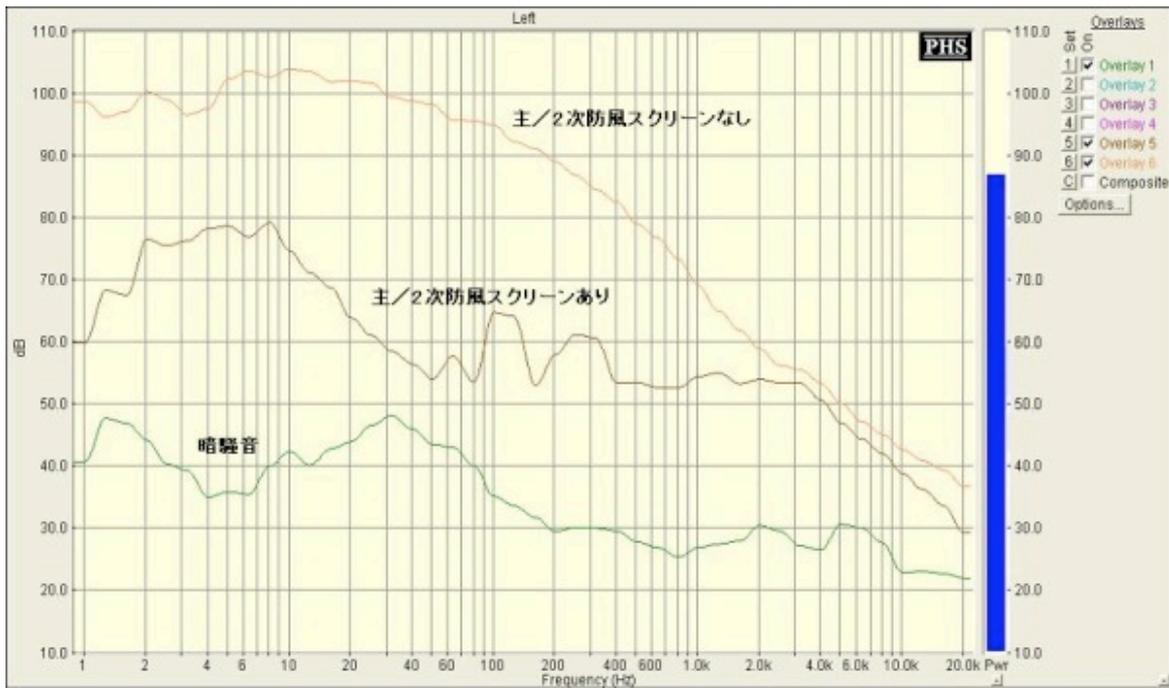
規格	: JIS C 1400-11:2005(IEC61400-11:2002)
周波数特性	: 1Hz~12.5kHz
風切音低減	: 40dB以上(80Hz)
適用範囲	: 風速20m/s以下 降水量30mm/h以下
耐候性	: 3年間
構造	: 防水性 保護等級3 防雨形 JIS C 0920 ※特殊な断熱防風構造により一般的な測定環境では結露しません
材質	: 本体/アルミニウム ウインドスクリーン/ アルミ繊維吸音材(リサイクル可能)
絶縁抵抗	: マイクロホンと円盤間 100MΩ以上(DC 500V 印加)
温度湿度	: -10~+50℃ / 30~95%
寸法重量	: 円盤 Φ1,000×3(t) 約8kg

2次防風スクリーン Φ460×230(H)

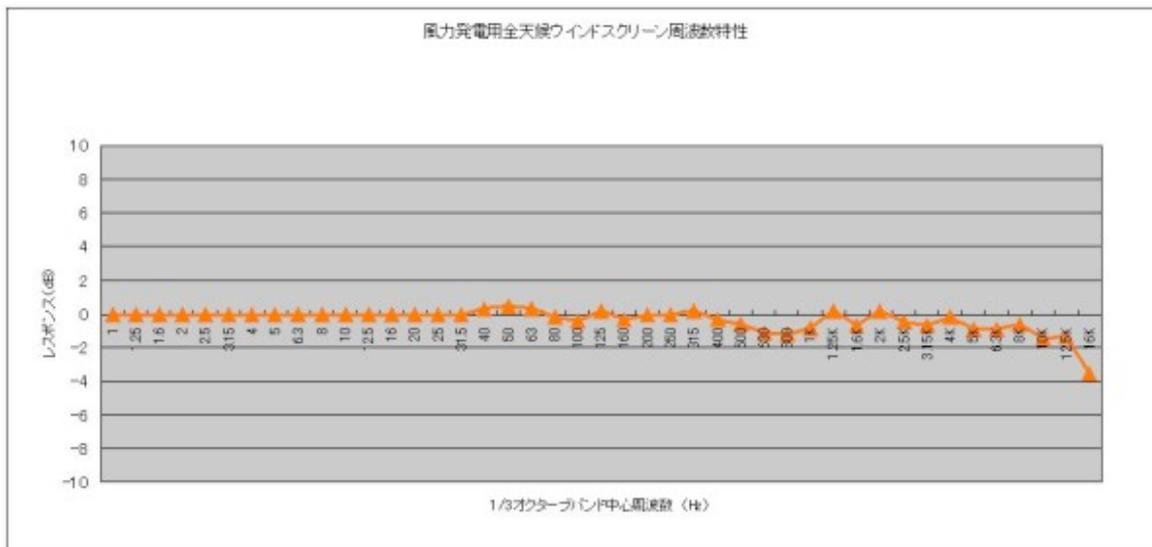
主防風スクリーン Φ90半割内蔵

組立：簡易取り付け方式（約10分）

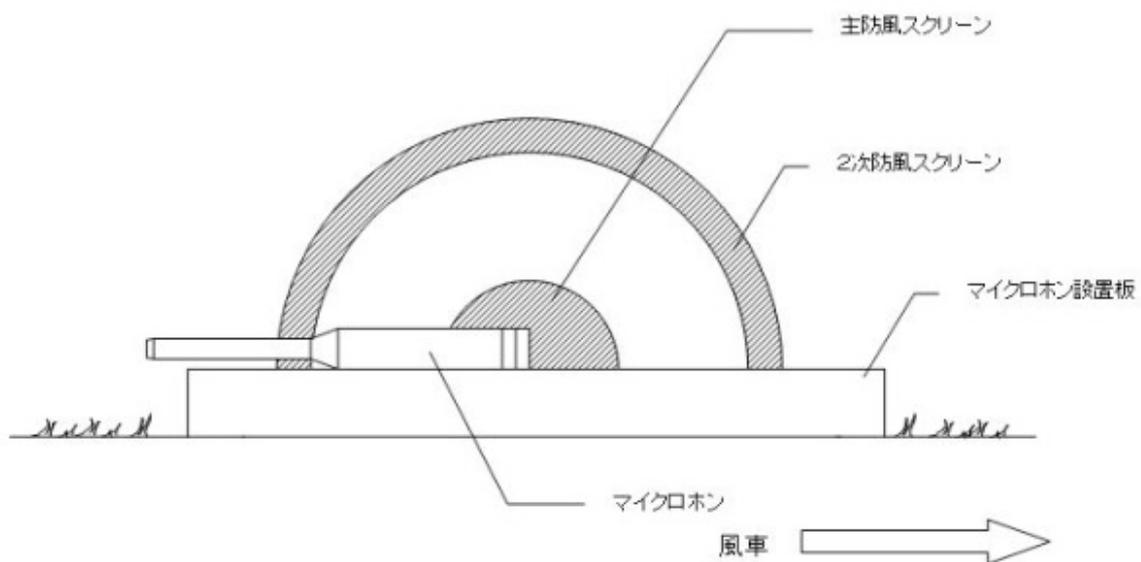
## 【風切音減少効果】



## 【周波数特性】



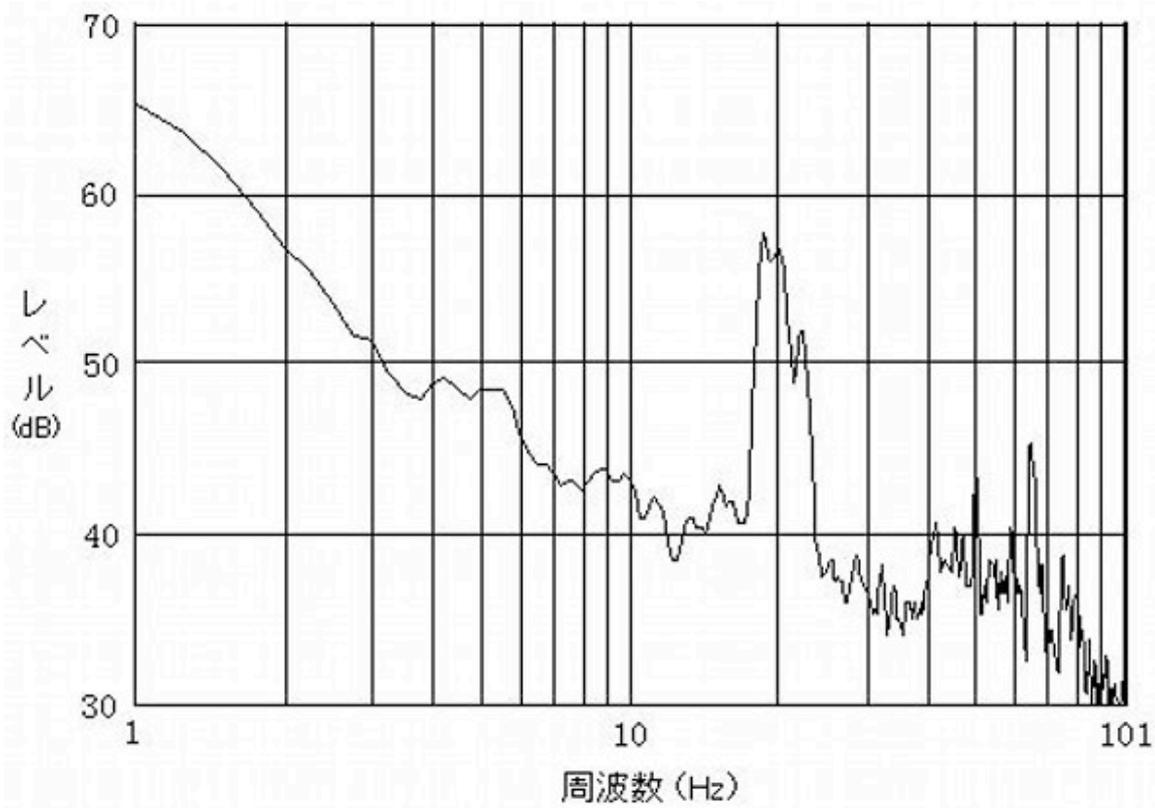
マイクロホンの取り付け - 断面図



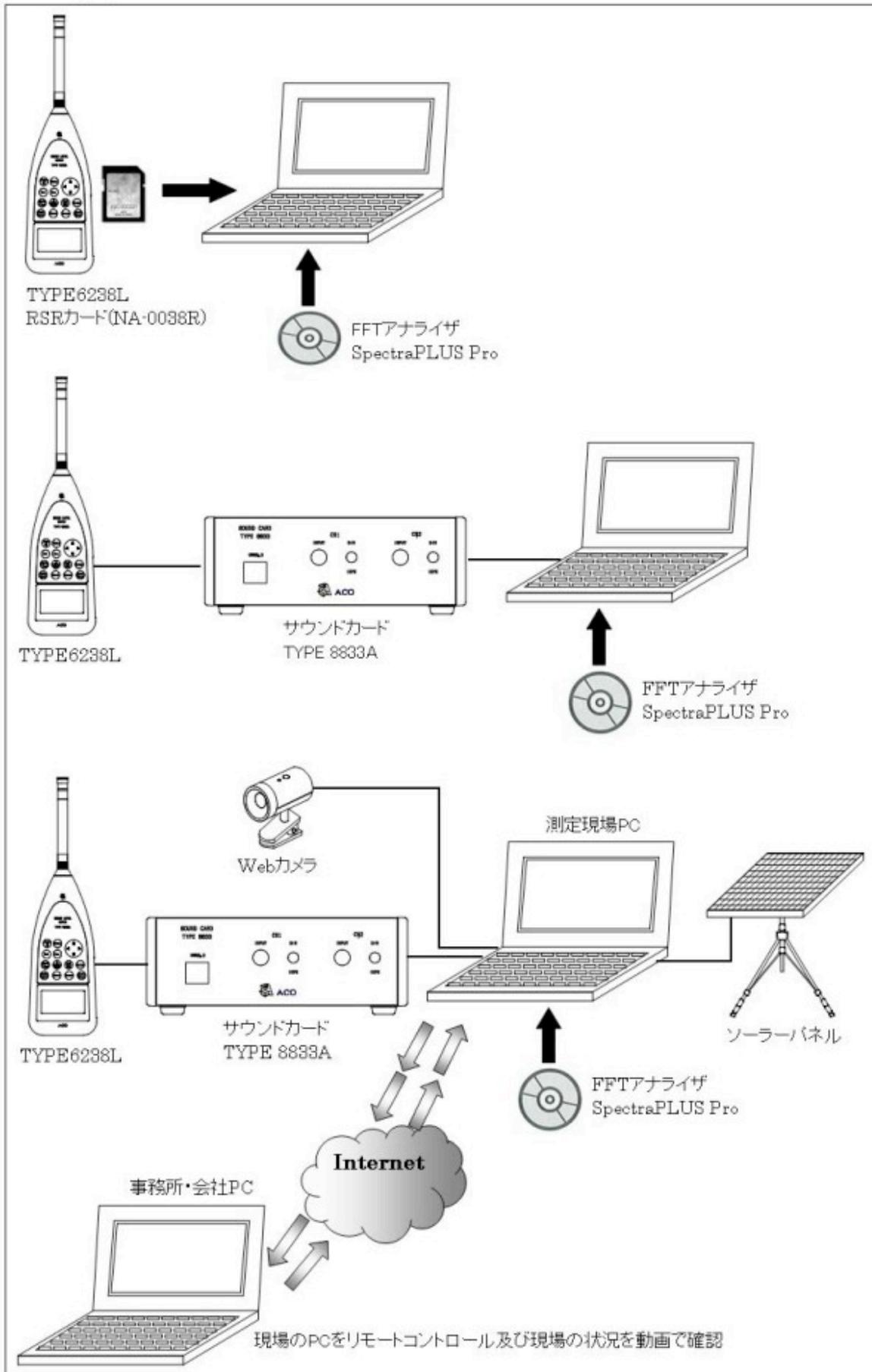
参考：JIS C 1400-11:2005(IEC61400-11:2002)

### 【風力発電装置周辺での測定例】





ブロック図



【オプション】

風力発電用全天候ウインドスクリーン収納ケース NA-0080

(折りたたみ式NA-0380A用)

定価70,000円



**【仕様】**

型	式 : NA-0080
材	質 : アルミ合板
寸	法 : 800(W) x 800(D) x 315(H)
取	手 : 5個
重	量 : 約14kg

**低周波用全天候ウインドスクリーン(φ175) NA-0305A**

定価40,000

円



使用例 1：延長ケーブル



使用例 2

**【仕様】**

型 式 : NA-0305A  
 周 波 数 特 性 : 1Hz~500Hz  
 風 切 音 低 減 : 30dB以上(100Hz)  
 適 用 範 囲 : 風速20m/s以下 降水量30mm/h以下  
 耐 候 性 : 2年間  
 構 造 : 全天候 (特殊防滴処理)  
 寸 法 : φ175mm  
 適用マイクロホン口径 : 1/2インチ

**【その他】**

**防水の種類及び意味(JIS C 0920より)**

保護等級	種類	意味
0		無保護なもの
1	防滴Ⅰ形	鉛直から落ちてくる水滴によって有害な影響がないもの
2	防滴Ⅱ形	鉛直から15度の範囲で落ちてくる水滴によって有害な影響がないもの
3	防雨形	鉛直から60度の範囲の降雨によって有害な影響がないもの
4	防沫形	いかなる方向からの水の飛沫を受けても有害な影響がないもの
5	防噴流形	いかなる方向からの水の直接噴流を受けても有害な影響がないもの
6	耐水形	いかなる方向からの水の直接噴流を受けても内部に水が入らないもの
7	防浸形	定められた条件で水中に没しても内部に水が入らないもの
8	水中形	指定圧力の水中に常時没して使用できるもの

[▲このページのTOPへ戻る](#)

### 全天候型騒音・低周波音用防風スクリーン

一部特許取得済 他多数特許申請中

低周波音の測定を行う場合、風の影響により測定ができない事が多々あります。しかしながらやむを得ず、風のあるときに測定を行わなければならない場合、騒音測定用防風スクリーンをマイクロホンに付け、かつ地面近くで測定する事もありますが多大に風雑音低域を期待する事はできません。

本防風スクリーンは雨や強風時に長時間の音測定を目的とした防風スクリーンで、騒音と低周波音を同時測定できる構造です。そのため、大量の雨・強風時においても反射板中央に設置しているマイクロホンが雨に濡れるようなことはまったくありません。

音の性状を正しく測定するためにマイクロホンを反射板近傍に設置し、直接音や反射音の干渉によるスペクトルの変化を軽減し、正確な音量を測定することを可能としています。

また、風に対してもスクリーンは風雑音の発生が小さく、割合と小さな音でも測定が可能です。



防風スクリーン外観



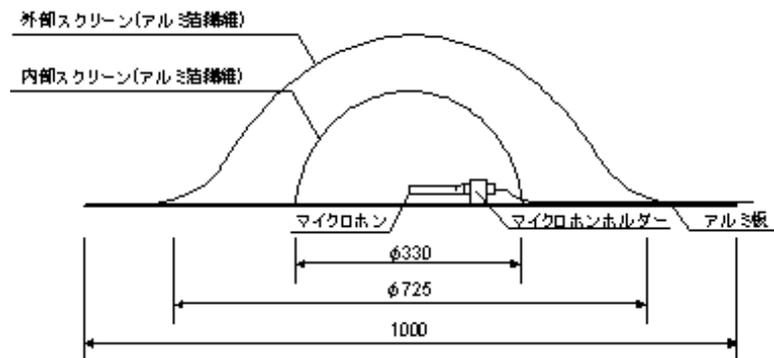
反射板にマイクロホンをセットした様子



内部スクリーン

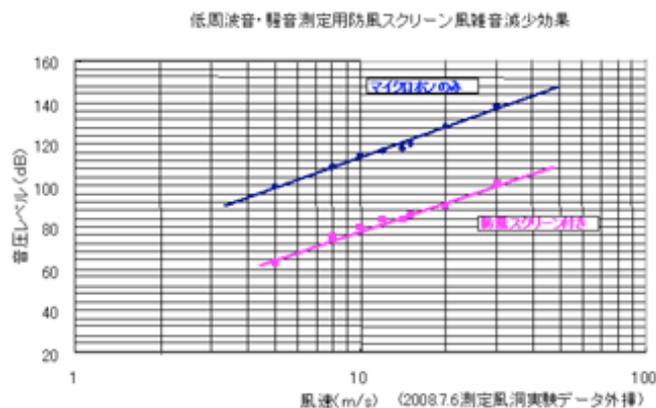
### ● 構造

スクリーン材料には、当社が開発したA1箔繊維吸音材、「エーアールソーバー」に使用しているものと同一材料のアルミ箔繊維を積層とし、電熱炉で成型し、音波はスムーズに透過させ、雨滴は繊維表面に沿って流れるような二重構造（内部スクリーン、外部スクリーン）にしています。



### ● 風雑音減少効果

風雑音の低減効果は、マイクロホンに直接風があたったとき（防風スクリーンなしのとき）に発生する雑音レベルを基準とし、風速を5m/sから30m/sまで変化させたとき、騒音計の周波数補正を平坦特性（FまたはZ）にした場合は約36～38dB、周波数補正をA特性にした場合は約28～26dBの低減効果があります。風速が変化しても安定した風雑音低減効果を発揮します。



【騒音計の平坦特性による測定】

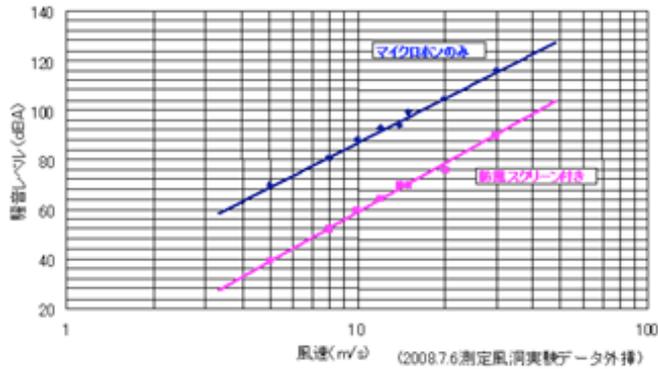
風速

5m/s : 約36dB

10m/s : 約38dB

20m/s : 約36dB

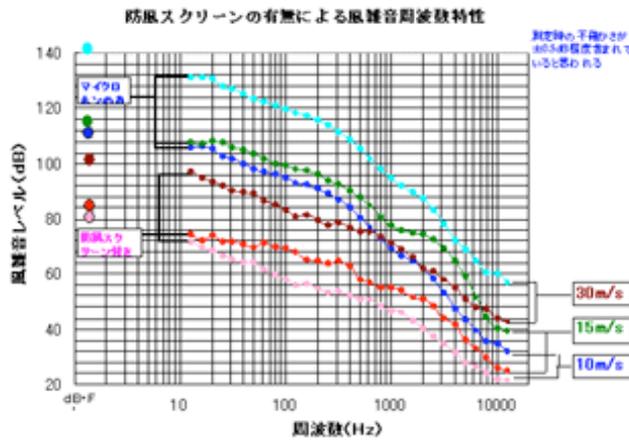
低周波音・騒音測定用防風スクリーン風雑音減少効果



【騒音計のA特性による測定】  
 風速  
 5m/s : 約28dB  
 10m/s : 約28dB  
 20m/s : 約26dB

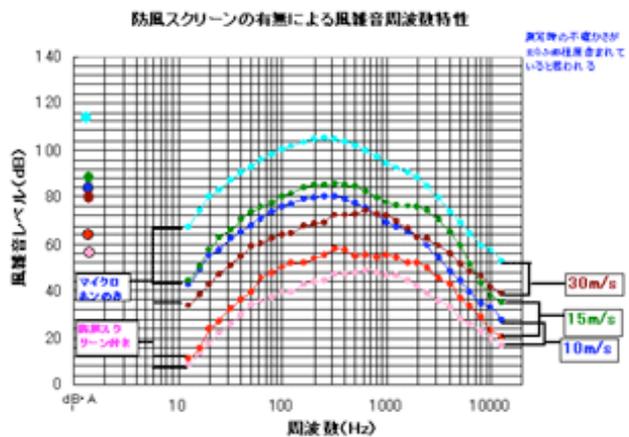
● 周波数特性への影響

周波数特性への影響については、マイクロホンに直接風があたったとき（防風スクリーンなしのとき）に発生する雑音レベルを基準として、風速を10, 15, 30m/sで変化させたとき、下記の代表的な周波数において風速が変化しても一様の風雑音低減効果を発揮します。



【騒音計の平坦特性による測定】

高速	10m/s	15m/s
20Hz	38dB	38dB
50Hz	34dB	38dB
100Hz	40dB	34dB
500Hz	32dB	34dB



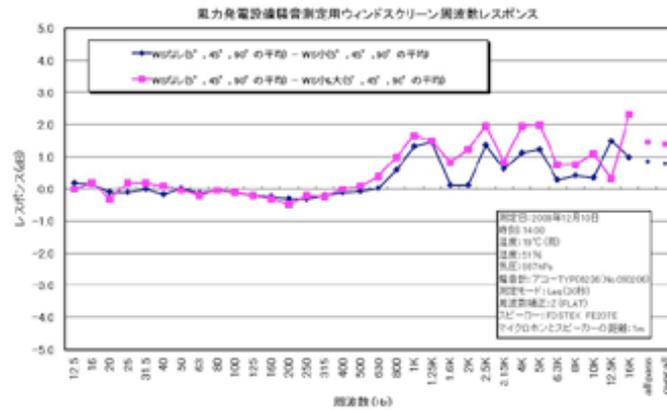
【騒音計のA特性による測定】

高速	10m/s	15m/s
20Hz	40dB	34dB
50Hz	38dB	32dB
100Hz	36dB	30dB
500Hz	30dB	36dB

● 防風スクリーンのマイクロホンに与える周波数の影響

無響室（風なし）におけるスクリーン装着時（ピンク：一次・二次スクリーン装着時、青：一次スクリーン装着時）のスクリーン無し時との差による周波数レポンスは、12.5Hzから1kHz付近までは+/-1.0dB以下で、1kHz付近から16kHzまでは2dB程度以下で、ウインドスクリーンによる周波数特性への影響はほとんどありません。

なお、音波は反射板に設置されたマイクロホンの正面方向（0°）より5°、45°、90°の3方向からスピーカーで入射し、各スクリーン装着条件の周波数特性はその平均値としました。

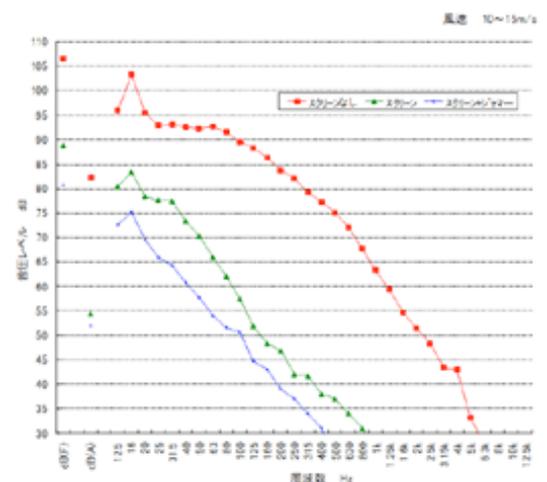


### 【オプション】 防風スクリーンの低周波音領域風雑音低減ウインドジャマー

ウインドジャマーを装着すると、ウインドジャマー付きの場合の方が防風スクリーン単体の場合より風雑音レベルがスクリーン表面で発生する風の雑音が4～8dBくらい異なり、風雑音を低減する効果があります。



風力発電装置音測定時にウインドジャマーを使用している例



### ● 使用例

#### 風力発電装置の音測定

内部防風スクリーンの位置の如何にかかわらず、外部防風スクリーンを写真のようにセットすることにより、風雑音を大きく軽減し、特に低周波音の測定が容易になります。



付録 5 風力発電環境影響評価規程自主規制（案）（抜粋）

加筆修正された部分を太字で示す。

### 第3節 調査、予測及び評価の手法の選定

#### 1. 騒音

本項目は明らかに影響が認められない場合を除き評価項目として選定する。

(1) 調査すべき内容

- (a) 騒音の状況
- (b) 地表面の状況

(2) 調査の基本的な手法

文献その他の資料及び現地調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析。この場合において、(1) (a)の騒音の状況については環境基準において定められた騒音についての測定の方法、測定場所及び測定時刻。

(3) 調査地域

音の伝搬の特性を踏まえ、騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域

(4) 調査地点

音の伝搬の特性を踏まえ、(3)の調査地域における騒音に係る環境影響を予測し、評価するために適切かつ効果的な地点

(5) 調査期間等

音の伝搬の特性を踏まえ、(3)の調査地域における騒音に係る環境影響を予測し、評価するために適切かつ効果的な期間、時期及び時間帯

(6) 予測の基本的な手法

音の伝搬理論に基づく計算

(7) 予測地域

(3)の調査地域のうち、音の伝搬の特性を踏まえ、騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域

(8) 予測地点

音の伝搬の特性を踏まえ、(7)の予測地域における騒音に係る環境影響を的確に把握できる地点

(9) 予測対象時期等

風力発電機の運転が定常状態となる時期

## [解説]

### (1) 調査すべき内容について

#### (a) 騒音の状況

対象事業実施区域周辺における騒音レベルを測定する。

#### (b) 地表面の状況

調査地点の地表面の状況（草地、舗装面等）について調査する。

### (2) 調査の基本的な手法について

#### (a) 騒音の状況

##### ① 文献その他の資料

地方公共団体が行っている環境騒音測定資料がある場合は、それにより情報収集を行う。

##### ② 現地調査

「騒音に係る環境基準について」で定められた JIS-Z8731「騒音レベル測定方法」に定める測定方法により等価騒音レベルを算出する（時間率騒音レベルについても記録に努める）。測定機器としては、直接または計算によって等価騒音レベルを算出できるものを用い、JIS C 1505 に定める精密騒音計又はこれらと同等以上の性能を持つか少なくとも JIS C 1502 に定める普通騒音計に適合する測定器と JIS C 1512 に適合するレベルレコーダとの組み合わせ、あるいはこれと同等の処理が可能な測定機器を用いることを原則とする。また、写真 3-3 に示すような全天候型防風スクリーンを設置し、直接風が当たることによるノイズの除去に努める。

測定時には、騒音測定に影響を与える天気、風向・風速、気温、湿度についても調査する。特に風向・風速については、設置を計画している風力発電機の稼働条件を考慮し、様々な条件下での測定を行い、その状況を幅広く把握する。

なお、測定は環境基準の時間の区分ごとに全時間を通じて連続測定することを原則とする。対象とする騒音の範囲は、環境基準の適用対象である騒音であり、航空機騒音、鉄道騒音、建設作業に係る騒音、鳥の鳴き声や虫の声等の平常でない自然音、パトカーのサイレン等の時限的・限定的に発生する音、犬の声等測定による付加的な音は除外して測定・評価する。なお、一般的には除外している木の葉の擦れ音については、風力発電所の立地条件として特性を勘案し、測定・評価の対象に加えるものとする。



写真 3-3 全天候型防風スクリーン

(b) 地表面の状況

測定場所について、予測時の空気の吸収等による超過減衰量を求めるために必要な、草地、舗装面等地表面の状況について、現地調査により把握する。また地形の影響によって音が増幅される場合もあるので、特徴的な地形については注意して記載しておく。

(c) 調査結果のとりまとめ

調査地点別に各時間帯の騒音レベル、天気、風向・風速等を一覧表等により整理する。また、騒音レベルは、オクターブバンド別に記載する。

測定値は、原則的に「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）に基づいて評価する。ただし、評価対象となる地点において地域類型指定がなされていない場合には、周辺地域の状況より適切と考えられるものを選定する。

(解説) オクターブバンド別に記載

騒音は種々の周波数からなる複合音であるため、その周波数成分を知ることが重要となる。騒音に関しては、63～8,000Hz を中心周波数とする 8 周波数帯域（オクターブバンド）を分析することが一般的である。

(3) 調査地域について

施設の稼働による騒音の伝搬特性を考慮して、騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域とする。

(4) 調査地点について

調査地点において、騒音の状況については、環境保全のために特に配慮が必要な施設（学校、病院等）及び住宅の配置の状況を考慮して、施設の稼働による騒音の予測及び評価を行うことが適切かつ効果的と考えられる地点とする。具体的には、風力発電機の

設置予定位置から最寄りの住宅等を選定する。

また、地表面の状況については、騒音の発生源と予測地域との間の区域を代表する地点を選定する。

#### (5) 調査期間等について

対象事業実施区域及びその周辺地域の実態に応じた適切な時期を選定し、様々な条件下の騒音レベルが把握できる期間において昼間及び夜間の各時間帯に連続調査する。

#### (6) 予測の基本的な手法について

##### (a) 予測手法

予測計算においては、風力発電機を点音源としてモデル化し、風力発電機メーカー等から示されるパワーレベル値を用いて、伝搬過程における幾何学的拡散による距離減衰、空気の吸収等による超過減衰等を考慮した予測計算式によって、それぞれの音源による到達騒音レベルを算出する。なお、予測に用いるパワーレベルは、風車型式認証時に採用されている標準化風速8m/s(地上高さ 10m)時の提示値を用いることを原則とし、当該地の平均風速によらないものとし、合わせて現地調査時において確認された風速データを参考に、提示値を採用することへの妥当性の検討を行うものとする。また、増設の場合は既設発電所を含む音源、また、対象事業実施区域内に他の音源がある場合はそれも含めて予測を行う。

##### (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。 **なお、パワーレベルの提示値は、より影響が大きいと考えられる、風下側における測定値が採用されている。**

##### (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。

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

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)

$\Delta L_{AIR}$  : 空気減衰 (dB)

$$\Delta L_{AIR} = \alpha (r^2 + h^2)^{1/2} / 1000 \quad (3.2)$$

$\alpha$  : 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 $\alpha$									
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

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。

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

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)

また、風力発電所の稼働後における将来の騒音レベルは、(3.3)式によって求められた  
 風力発電機による騒音レベルを、現地調査によって得られる暗騒音に重合すること  
 で求められる。

$$L = 10 \log \left( 10^{L_p/10} + 10^{L_b/10} \right) \quad (3.4)$$

ここで、

$L$  : 風力発電所稼働後の将来の騒音レベル (dB)

$L_p$  : 風力発電機による騒音レベル (dB)

$L_b$  : 現地調査によって得られる暗騒音 (dB)

(b) 予測結果のとりまとめ

予測地点毎の予測値及び環境騒音との合成値を一覧表により整理する。また、騒音  
 レベルは、オクターブバンド別に記載する。

なお、環境騒音に既設発電所や対象事業実施区域内の他音源が含まれている場合に  
 は、新設分のみを対象とした予測値と環境騒音との合成値を整理する。

(7) 予測地域について  
調査地域と同じとする。

(8) 予測地点について  
原則として、調査地点と同じとする。

(9) 予測対象時期等について  
最も騒音が大きくなると考えられる全ての風力発電機が運転している 状態において予測する。その際、現地調査時において確認された風速データ等を参考にしながら、風速に応じた騒音レベルを予測する必要がある。

(解説)「騒音に係る環境基準」(平成 10 年環境庁告示第 64 号)

環境基本法(平成 5 年法律第 91 号)第 16 条第 1 項の規定に基づく騒音に係る環境基準は、表 3-6～表 3-7 のように示される。なお、地域類型の指定は都道府県が行うこととなっているが、指定のない地域に関しては、周辺の状況を勘案して適切と考えられるものを選定する。

表 3-6 騒音に係る環境基準(2車線以上の道路に面しない場合)

地域の類型	基準値	
	昼間	夜間
AA	50dB 以下	40dB 以下
A及びB	55dB 以下	45dB 以下
C	60dB 以下	50dB 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等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。  
ただし、表 3-7 に掲げる地域に該当する地域(以下「道路に面する地域」という)については、表 3-6 によらず次表の基準値の欄に掲げるとおりとする。

表 3-7(1) 道路に面する地域の騒音にかかわる環境基準(2車線以上の道路に面する場合)

地域の区分	基準値	
	昼間	夜間
A地域のうち2車線以上の車線を有する道路に面する地域	60dB 以下	55dB 以下
B地域のうち2車線以上の車線を有する道路に面する地域及びC地域のうち車線を有する道路に面する地域	65dB 以下	60dB 以下

備考) 車線とは、1 縦列の自動車及安全かつ円滑に走行するために必要な一定の幅員を有する帯状の車道部分をいう。この場合において、幹線交通を担う道路に近接する空間については、上表にかかわらず、特例として表 3-7 (2)の基準値の欄に掲げるとおりとする。

表 3-7 (2) 幹線交通を担う道路に近接する空間の騒音にかかわる環境基準

基 準 値	
昼 間	夜 間
70dB 以下	65dB 以下
備考 個別の住居等において騒音の影響を受けやすい面の窓を主として閉めた生活が営まれていると認められるときは、屋内へ透過する騒音に係る基準（昼間にあっては 45dB 以下、夜間にあっては 40dB 以下）によることができる。	

【評価基準の考え方と海外事例】

海外における騒音・低周波音の基準を記載する。

評価では、現時点においては騒音に係る環境基準（平成 10 年環境庁告示第 64 号）との整合性を検討することを原則とするが、これを満たすレベルであったとしても、風力発電機から特定の周波数帯で特徴的な音を発することにより住民に不快感を与える可能性もあることから、音源としての風力発電機の周波数特定についても留意が必要である。また、今後、国等から何らかのガイドライン等が示された場合には、これに従うものとする。

なお、参考までに、海外における風力発電の騒音に係る基準等の事例を巻末に紹介する。

## 2. 低周波音

本項目は、明らかに影響が認められない場合を除き評価項目として選定する。

なお、評価においては、「人が音を聞き取れる（感じ取れる）範囲」（『よくわかる低周波音』、環境省水・大気環境局大気生活環境室，平成19年2月）や、「物的苦情に関する参照値」、「心身に係る苦情に関する参照値」（『低周波音問題対応の手引書』、環境省環境管理局大気生活環境室，平成16年6月）などが参考となる。

### (1) 調査すべき内容

- (a) 低周波音の状況
- (b) 地表面の状況

### (2) 調査の基本的な手法

文献その他の資料及び現地調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析。この場合において、(1)(a)の低周波音の状況については「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10月）において定められた低周波音についての測定の方法。

### (3) 調査地域

音の伝搬の特性を踏まえ、低周波音に係る環境影響を受けるおそれがある地域

### (4) 調査地点

音の伝搬の特性を踏まえ、(3)の調査地域における低周波音に係る環境影響を予測し、評価するために適切かつ効果的な地点

### (5) 調査期間等

音の伝搬の特性を踏まえ、(3)の調査地域における低周波音に係る環境影響を予測し、評価するために適切かつ効果的な期間、時期及び時間帯

### (6) 予測の基本的な手法

事例の引用又は音の伝搬理論に基づく計算

### (7) 予測地域

(3)の調査地域のうち、音の伝搬の特性を踏まえ、低周波音に係る環境影響を受けるおそれがある地域

### (8) 予測地点

音の伝搬の特性を踏まえ、(7)の予測地域における低周波音に係る環境影響を的確に把握できる地点

### (9) 予測対象時期等

風力発電機の運転が定常状態となる時期

## [解説]

### (1) 調査すべき内容について

#### (a) 低周波音の状況

対象事業実施区域周辺における低周波音レベルを測定する。

#### (解説) 低周波音

人の耳には聞こえにくい低い周波数帯域（概ね 100Hz 以下）の音をいう。**その中でも、人間の耳では特に聞こえにくいとされる 20Hz 以下の音を超低周波音という。**

#### (b) 地表面の状況

調査地点の地表面の状況（草地、舗装面等）について調査する。

### (2) 調査の基本的な手法について

#### (a) 低周波音の状況

##### ① 文献その他資料

地方公共団体が行っている測定資料がある場合は、それにより情報収集を行う。

##### ② 現地調査

「低周波音の測定方法に関するマニュアル」において定められた方法により低周波音レベルを算出する。併せて測定に影響を与える天気、風向・風速、気温、湿度についても調査する。特に風向・風速については、設置を計画している風力発電機の稼働条件を考慮し、様々な条件下での測定を行い、その状況を幅広く把握することが望ましい。

#### (b) 地表面の状況

測定場所について、草地、舗装面等地表面の状況について、現地調査により把握する。**また地形の影響によって音が増幅される場合もあるので、特徴的な地形については注意して記載しておく。**

#### (c) 調査結果のとりまとめ

現地調査を実施する場合においては、調査地点別に低周波音レベル、天気、風向・風速等を一覧表等により整理する。また、低周波音レベルは、必要に応じて1/3オクターブバンド別に記載する。

#### (解説) 1/3オクターブバンド別に記載

低周波音は種々の周波数からなる複合音であるため、その周波数成分を知ることが重要となる。低周波音に関しては、1～80Hz を中心周波数とする 20 周波数帯域（1/3オクターブバンド）を分析することが一般的である。

### (3) 調査地域について

施設の稼働による低周波音の伝搬特性を考慮して、低周波音に係る環境影響を受けるおそれがある地域とする。

(解説) 感覚閾値

ISO-7196 に記載されるG特性音圧レベルの感覚閾値（人が感じることのできる最小限のレベル）は、100dB とされている。

(解説) G 特性音圧レベル

G 特性は、1～20Hz の超低周波音の人体感覚を評価するための 周波数補正特性で、ISO-7196 で規定されている。G 特性音圧レベルは、低周波音の1/3オクターブバンド音圧レベルをG特性で補正した値である。

#### (4) 調査地点について

調査地点において、低周波音の状況については、環境保全のために特に配慮が必要な施設（学校、病院等）及び住宅の配置の状況を考慮して、施設の稼働による騒音の予測及び評価を行うことが適切かつ効果的と考えられる地点とする。具体的には、風力発電機の設置予定位置から最寄りの住宅等を選定することが望ましい。

また、地表面の状況については、低周波音の発生源と予測地域との間の区域を代表する地点を選定する。

#### (5) 調査期間等について

対象事業実施区域及びその周辺地域の実態に応じた適切な時期を選定し、様々な条件下の低周波音レベルが把握できる期間において昼間及び夜間の各時間帯に連続調査する。

#### (6) 予測の基本的な手法について

対象事業実施区域周辺の環境保全のために特に配慮が必要な施設（学校、病院等）及び住宅の状況を踏まえ、対象事業による環境影響の程度を把握し、既存事例の引用 や騒音の予測計算式に準じた伝搬理論による予測を行う。ただし、低周波音の予測計算においては、空気減衰の効果を無いものとした以下の予測式を用いることが適当である。

$$L_n = L_w - 10 \log(r^2 + h^2) - 8 \quad (3.5)$$

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 低周波音レベル (dB)

$L_w$  : 風力発電機のパワーレベル (dB)

$r$  : 風力発電機から 低周波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)

(7) 予測地域について  
調査地域と同じとする。

(8) 予測地点について  
原則として、調査地点と同じとする。

(9) 予測対象時期等について  
最も低周波音が大きくなると考えられる 全ての風力発電機が運転している状態において予測する。その際、現地調査時において確認された風速データ等を参考にしながら、風速に応じた低周波音レベルを予測する必要がある。