

(案)

風力発電施設から発生する騒音等への対応について

平成28年〇月

風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会

目次

1. はじめに.....	1
2. これまでに得られた知見.....	3
2-1. 風車騒音の実態と環境影響に関するこれまでの研究等の知見.....	3
(1) 風車騒音に関する物理的な実態の研究等.....	3
(2) 風車騒音の人への影響に関する研究.....	7
2-2. 風車騒音の聴感的な特徴.....	14
(1) 立地環境と周辺環境.....	14
(2) 発生する音の特徴・性質.....	14
2-3. 風車騒音に関する諸外国の基準等.....	16
3. 風車騒音の評価の考え方、調査・予測手法、対応策等.....	20
3-1. 風車騒音の評価の考え方.....	20
3-2. 設置前における調査・予測.....	23
(1) 調査.....	24
(2) 予測.....	28
3-3. 設置後における調査.....	29
3-4. 騒音への対応策.....	30
(1) 対策技術的な事項.....	31
(2) 設計・運用的な事項.....	35
3-5. 今後必要な取組.....	39
(1) 対策技術的な事項.....	39
(2) 設計・運用的な事項.....	39
(3) 関係者間のコミュニケーション.....	40
4. 本報告書の活用と今後の課題.....	41
(1) 風力発電施設の設置事業者・製造事業者による活用と課題.....	41
(2) 行政（国、地方公共団体）による活用と課題.....	42
(3) 地域住民の理解促進.....	43
5. 参考文献.....	44
(参考1) 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 名簿.....	49
(参考2) 風力発電施設に係る騒音対策技術等の検討に関する分科会 名簿.....	50
(参考3) 風車騒音に係る音響用語の解説.....	51

1. はじめに

再生可能エネルギーの導入加速化は我が国の重要なエネルギー政策である。再生可能エネルギーの中でも、風力による発電は、大気汚染物質や温室効果ガスを排出せず、国内で生産できることからエネルギー安全保障にも寄与できる重要な低炭素の国産エネルギー源の一つであり、日本の「エネルギー基本計画」（平成 26 年 4 月閣議決定）においても、大規模に開発できれば発電コストが火力並であることから、経済性も確保できる可能性のあるエネルギー源と位置付けられている。

我が国の風力発電施設は平成 13 年頃から設置台数が増加し、平成 27 年までに 2,102 基（平成 28 年 3 月末現在）⁽¹⁾が導入されている。また、長期エネルギー需給見通し関連資料（平成 27 年 7 月資源エネルギー庁）によると、風力発電施設は、2030 年度には約 1000 万 kW の導入が見込まれており⁽²⁾、現在、既に導入されている約 310 万 kW から 3 倍以上増加することが予想される。

一方、風力発電施設は、風を受けブレード（羽）を回転して発電する構造上、一定の音が出る。発生する騒音レベルは通常著しく高いものではないが、風向風速等の気象条件が適した地域を選択する必要性から、もともと静穏な地域に建設されることが多いため、比較的低い騒音レベルであっても苦情等が発生している事例がある。

そのような中、これまでに多くの風力発電事業が計画され、環境影響評価法や条例に基づき、風力発電施設から発生する騒音等（以下「風車騒音」とする。）について、個別の事業ごとに事業の特性や地域の特性に応じて環境影響評価の取組が進められてきたが、風車騒音の調査、予測及び評価に関しては、風力発電施設特有の事象があり、これらを十分に考慮した最新の科学的知見等に基づく手法の整備が求められている。

これを踏まえ、本検討会では、風力発電施設の設置事業者・製造事業者、行政（国、地方公共団体）、地域住民等の関係者の参考となるよう、主として商業用に用いられる一定規模以上の風力発電施設を対象とし、現時点までの知見及び風車騒音の評価方法について取りまとめた。

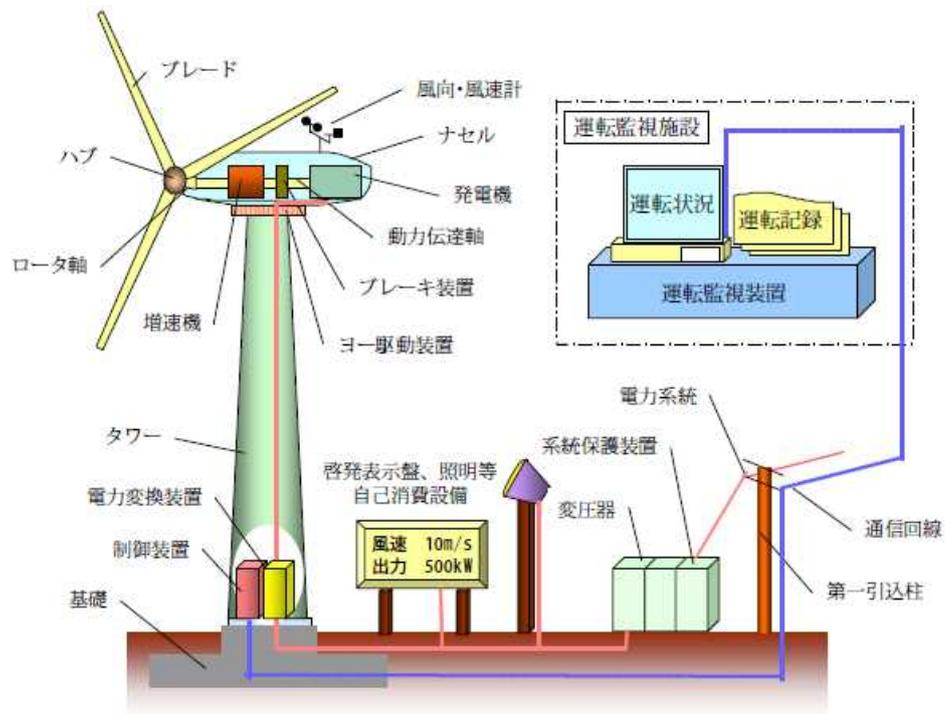


図1 風力発電施設の機器構成例⁽³⁾

2. これまでに得られた知見

2-1. 風車騒音の実態と環境影響に関するこれまでの研究等の知見

風車騒音に関しては、環境影響に関する様々な研究がなされている。これらの知見について、以下に整理する。

(1) 風車騒音に関する物理的な実態の研究等

<騒音の実測調査>

平成22年度から平成24年度にかけて、環境研究総合推進費の公募型研究「風力発電施設等による低周波音の人への影響評価に関する研究」において、我が国の風車騒音の実測調査が全国規模で行われた。この研究で得られた知見⁽⁴⁾を以下に示す。

- ・ 全国29の風力発電施設の周辺の合計164の測定点で得られた1/3オクターブバンド音圧レベルから、一般に風車騒音はオクターブ当り-4 dBの傾きのスペクトル特性を持っていることが分かった。そのうち、すべての超低周波音領域における1/3オクターブバンド音圧レベルは、ISOの純音に関する聴覚閾値やMoorhouse他が提案している低周波音の評価のための基準曲線を下回っており（図2）、風車騒音の超低周波音領域の成分は、知覚できないレベルであることがわかった。本研究プロジェクトの一部として、曝露側における風車騒音に含まれている低周波数成分の可聴性が実験室実験で調べられているが、その結果でも超低周波数領域の成分は聞こえない／感じないということが確かめられている。これらの結果は、風車騒音は超低周波音による問題ではないということを示している。
- ・ 20 Hz以上の可聴周波数領域では、およそ40 Hz以上の周波数域で1/3オクターブバンド音圧レベルは上記の基準曲線並びにISO 389-7で規定されている聴覚閾値を超えている。これは、風車騒音は“聞こえる”音（騒音）として議論すべきであることを意味している。

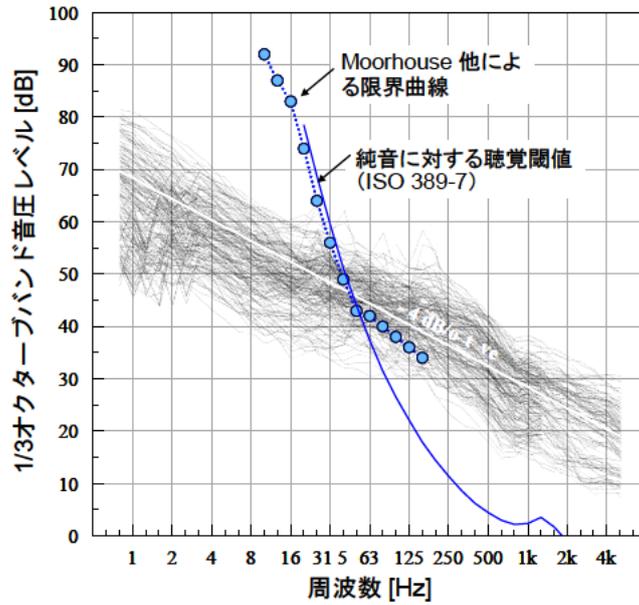


図2 全国 29 の風力発電施設周辺 164 地点における風車騒音の周波数特性の分析結果

- ・ 本研究で得られた曝露側における風車騒音のすべての測定結果は、時間平均 A 特性音圧レベルで 26～50 dB の範囲に分布していた(図 3)。これらのレベルは他の環境騒音に比べてそれほど高いとは言えないが、耳に聞こえるレベルであり、一般にきわめて静穏な地域に立地する風力発電施設周辺の居住域ではわずらわしさ(アノイアンス)を引き起こす可能性がある。

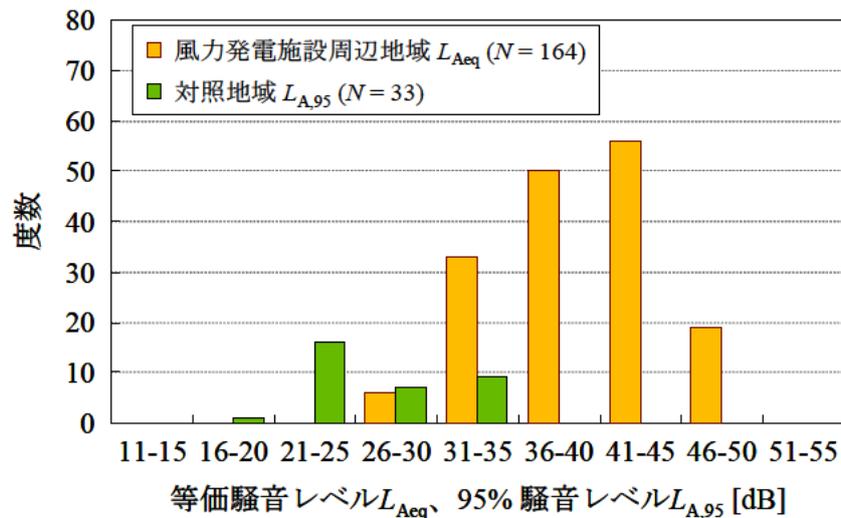


図3 風力発電施設周辺地域における等価騒音レベル (L_{Aeq}) と対照地域における 95%時間率騒音レベル (L_{A95}) の比較

- 風車騒音の距離による減衰については、風力発電施設から測定点までの水平距離が大きくなるほど音圧レベルが低下する（図4）。ただし、風力発電施設の機種や測定時の向きとの関係、地形・植生、気象条件などによって、発生する音やその伝搬が異なることから、距離と等価騒音レベルとの関係にはばらつきが生じている。

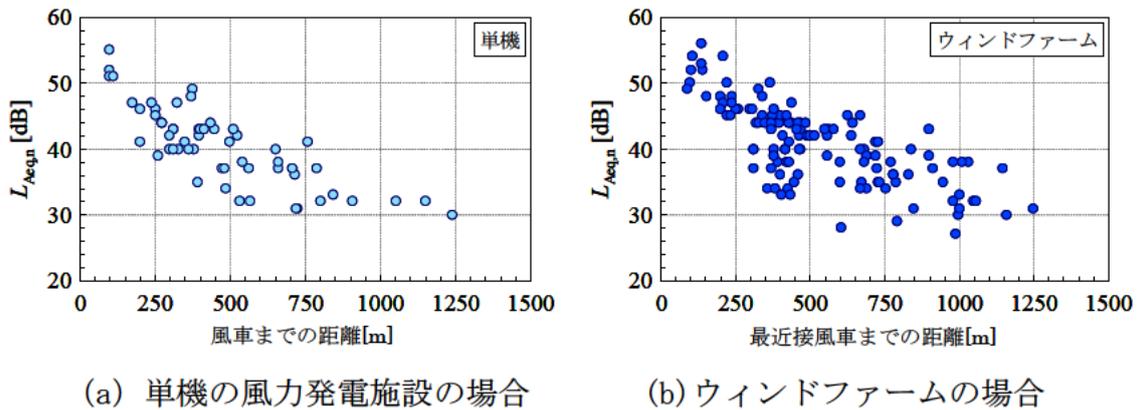


図4 風力発電施設から測定点までの水平距離と風車騒音の関係

- 風車騒音には比較的高い割合の低周波数成分が含まれているので、その評価はC特性音圧レベルで行うべきとの主張がしばしば行われている。本研究の一部として、超低周波数領域の成分も含んだ各種の環境騒音を試験音としてラウドネス実験を行ったところ、C特性音圧レベルよりもA特性音圧レベルの方がラウドネス評価に適していることが分かった。（図5）したがって、風車騒音の評価には、一般環境騒音と同様にA特性音圧レベルを主要な評価尺度として用いてよいと言える。

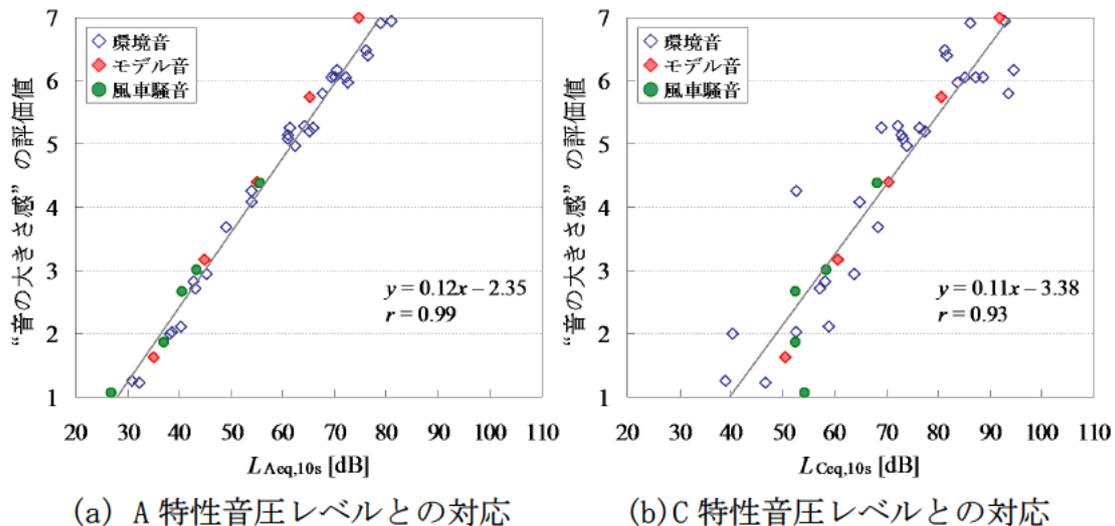


図5 「音の大きさ」の判断結果とA特性音圧レベル、C特性音圧レベル

また、落合（2013）⁽⁵⁾によれば、風力発電施設周辺で苦情を申し立てている住居における内外音圧レベル差を測定した結果で、窓を閉めた状態の A 特性音圧レベルにおける内外音圧レベル差は 11～18dB 程度、やや特殊なケースであるが玄関扉を開放した状態でのレベル差は 7 dB 程度となった。「騒音に係る環境基準」における基準値の設定にあたっては、我が国の一般的住居の遮音性能（騒音レベルで評価した内外音圧レベル差）として、窓を閉めた状態で 25dB、窓を開けた状態で 10dB が想定されており、他の騒音と比較して風車騒音の屋内外のレベル差が小さいことを示している。一般に低い周波数ほど遮音されにくいことが知られており、風車騒音（20Hz 以上の聞こえる音）に関しては、より低い周波数成分の割合が大きいことから、遮音による屋内外のレベル差が小さくなっていると考えられる。そのため、他の騒音があまりない静穏な環境においては、風車騒音は、屋内において通常の騒音より相対的に聞こえやすくなる点に留意が必要である。

<騒音の予測手法>

国内外において適用事例が多い騒音の予測手法である「ISO 9613-2：1996」と「風力発電のための環境影響評価マニュアル(第2版)」による2手法について、その特徴を以下に示す。

①ISO 9613-2:1996

- ・ ISO 9613-2 とは、各種の音源から屋外を伝搬する音について騒音レベルを予測するための計算方法を定めたものであり、音が伝搬しやすい気象条件を前提として、各種の減衰を個別に計算し、受音点での等価騒音レベルを求めるものである。
- ・ 計算にあたっては、騒音発生源の音響パワーレベル（単位時間あたりに発生する音のエネルギー量）を用い、騒音の減衰について周波数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（全周波数）の等価騒音レベルを求める予測手法である。
- ・ このため、環境影響が最大となる状況を把握するに当たっては、風力発電施設が定格出力ないし最大出力で稼働している場合の、各オクターブバンド毎の音響パワーレベルに係る情報が重要となる。
- ・ この方法は、音が伝搬しやすい気象条件を前提とした予測手法であり、音源の指向性や気象条件による補正（音が伝搬しやすい条件と異なる場合に対する補正）を組み込むことが可能で、63Hz～8,000Hz のオクターブバンド毎の周波数に対して計算が可能である。

②風力発電のための環境影響評価マニュアル(第2版)

- ・ 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構が平成15年7月に作成(平成18年2月、第2版に改訂)した「風力発電のための環境影響評価マニュアル」に記載された予測手法は、風力発電施設を点音源としてモデル化し、風力発電機の製造事業者等から示される音響パワーレベルを用いるものである。
- ・ この手法では、伝搬過程における音の拡散による距離減衰や、空気吸収による減衰を考慮している。風力発電施設が複数基設置される場合は、音響パワーレベルを用いて算出した風車騒音のレベル(A特性音圧レベル)を合成することによって予測地点における騒音レベルを求めている。

(2) 風車騒音の人への健康影響に関する研究

国際的にも風車騒音の健康等への影響は注目されており、数多くの研究が進められてきている。

風車騒音の人への健康影響に関する研究については個別の研究を吟味してまとめたレビュー(総説)論文が数編出されている。それらのレビュー論文と、個別の研究論文のうち主なものについて、要点を表1に例示する。また、2014年にはカナダ健康省が風車騒音と健康影響に関する大規模な調査を行いその結果を、さらに2015年にはオーストラリア国立保健医療研究委員会が風力発電施設と人の健康に関する報告書と声明を公表しており、その要点についても表1に併せて記載した。

一般的に騒音による影響には、聴力損失への影響(聴力影響)、会話を妨害される影響(会話影響)、睡眠を妨げられる影響(睡眠影響)、不快感/わずらわしさ(アノイアンス)等がある。風車騒音による健康影響については、風車騒音のレベルとわずらわしさ(アノイアンス)を感じる程度の間には統計的に有意な関連が複数の論文で報告されている。また、睡眠影響については、風車騒音のレベルとの直接的な関係性、またはわずらわしさ(アノイアンス)の程度が上がる結果としての間接的な関係性がある可能性を示唆する知見が報告されている。ただし、睡眠影響との関連の科学的根拠は現段階ではわずらわしさ(アノイアンス)に関するものよりも限定的である。一方、それ以外の聴力影響、頭痛、耳鳴り、糖尿病、高血圧、循環器疾患等の健康影響については、統計的に有意な根拠は認められなかった。以上の知見により、風車騒音は、わずらわしさ(アノイアンス)に伴う睡眠影響を生じる可能性はあるものの、人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。

20Hz 以下の超低周波音については、諸外国においても、我が国での実測結果と同様に風力発電施設近辺の住宅でのレベルは一般的に感覚閾値を大きく下回るとされていた。また、超低周波音と低周波音の健康リスクについては、明らかな関連を示す知見は確認できなかった。

なお、風車騒音については、風力発電施設を主観的にどのように捉えているかにより、わずらわしさ（アノイアンス）が変化することが多くの研究により報告されており、風力発電施設により景観が損なわれたと感じる場合にわずらわしさ（アノイアンス）の度合いが大きくなるとの知見や、風力発電施設により経済的利益が得られる場合にはわずらわしさ（アノイアンス）の度合いが小さくなるとする知見、さらに風車騒音には悪影響があるのではないかという思い込みによって、わずらわしさ（アノイアンス）や他の健康影響を訴える可能性があるとする知見等が報告されており、このようなバイアスや交絡要因の存在の可能性をどのように排除して健康影響を評価するかは課題となる。

表1 風車騒音の人への影響に関する主な研究 (1/4)

著者等	結果の概要
Robert J. Mc Cunney ら(2014) ⁽⁶⁾	<p><レビュー論文（査読論文のみを対象。162の文献を引用）></p> <ul style="list-style-type: none"> ・風車は超低周波音を発生するが、風車近辺の住宅での超低周波音のレベルは、一般的に可聴閾値を遥かに下回る。 ・風車騒音と、自己申告の難聴、糖尿病、循環器疾患等の疾病やその他の人の健康への有害性を示す指標との間には、明確な、あるいは一貫した関連性は見られない。 ・複数の疫学研究により、風車の近くに住んでいることとわずらわしさ（アノイアンス）の関連性が示されている。 ・風車から発生する騒音の成分（超低周波音と低い周波数成分の騒音を含む）は風車近辺に住む人に対して風車に特異的な健康リスクを与えるものではない。 ・風車近郊に住むことによって生じるわずらわしさ（アノイアンス）は個人的な要素に関連する複雑な現象である。人が風車に関連するわずらわしさ（アノイアンス）を訴える場合には、風車騒音よりも、風車の視覚的影響、風車に対する態度（肯定的か否定的か）、経済的な便益の有無等他の要素がより強く関連している。
Roy D. Jeffery ら(2014) ⁽⁷⁾	<p><レビュー論文（査読されていない論文も対象に含む。62の文献を引用）></p> <ul style="list-style-type: none"> ・風車が居住地域に著しく近い場合には、風車は身体的、精神的、社会的に悪影響を与える可能性がある。 ・風車から発生する可聴音（騒音）によるわずらわしさ（アノイアンス）によって、様々な健康影響が引き起こされることを否定できない。 ・風車から発生する振幅変調音、聞こえる低い周波数成分の音、純音、夜間の騒音は、わずらわしさ（アノイアンス）と他の健康影響の発現に寄与する。 ・風車から発生する聞こえない低い周波数成分の音や超低周波音は、健康影響が生じるかもしれない原因として除外できない。

表1 風車騒音の人への影響に関する主な研究 (2/4)

著者等	結果の概要
Jesper Hvass Schmidt と Mads Klokke (2014) ⁽⁸⁾	<p><レビュー論文（査読されていない論文も対象に含む。116の文献を引用）></p> <ul style="list-style-type: none"> ・風車は低い周波数成分の音を含む騒音を発生する。これらの音は風車から距離が離れると低減する。 ・現時点では、風車騒音はわずらわしさ（アノイアンス）と自己申告による睡眠障害のリスクを増加させると結論付けるのが適当と思われる。これらには量-反応関係が見られ、許容できるレベルは L_{Aeq} でおよそ 35 dB と見られる。 ・風車騒音のその他の健康への影響（頭痛、耳鳴り、めまい、難聴）に関しては、統計的に有意な根拠は見られなかった。 ・風車による経済的利益とわずらわしさ（アノイアンス）とは、統計的に有意に負の関連があるとの知見も認められた。
Loren D. Knopper ら (2014) ⁽⁹⁾	<p><レビュー論文（査読論文のみを対象。101の文献を引用）></p> <ul style="list-style-type: none"> ・現段階での科学的知見は、電磁場、シャドーフリッカー、低い周波数成分の音、超低周波音は、人の健康に影響を及ぼす可能性は少ないことを示している。 ・いくつかの研究では、可聴域の風車騒音が一部の人にわずらわしさ（アノイアンス）を与えている可能性を明らかにした。特に A 特性音圧レベルで 40 dB を超える場合には、わずらわしさ（アノイアンス）と自己申告による人への影響（睡眠障害など）とが関連しているかもしれない。 ・主観的な要素（対象としているものをどうとらえるか、または期待しているか）がわずらわしさ（アノイアンス）と関連しており、わずらわしさ（アノイアンス）を感じている場合には、ノセボ効果（全く悪影響のないとされること等でも「悪影響があるに違いない」という思い込みによって実際に悪影響が出てしまう効果のこと）によって他の健康影響を引き起こしている可能性がある。そのため、一部の人達に関しては、たとえ風車騒音を制限したとしても、引き続きわずらわしさ（アノイアンス）あるいは他の健康影響を訴え続ける可能性がある。

表1 風車騒音の人への影響に関する主な研究 (3/4)

著者等	結果の概要
Sonoko Kuwano ら (2014) ⁽¹⁰⁾	<ul style="list-style-type: none"> ・ 風車騒音 ($L_{Aeq,n}$) とわずらわしさ (アノイアンス) について量-反応関係が得られた ($p < 0.01$)。 ・ 風車騒音は交通騒音に比較してよりわずらわしさ (アノイアンス) を感じやすかった。 ・ 風車騒音が聞こえる場合には、睡眠障害に影響が見られ、$L_{Aeq,n}$ が 40 dB 以上のときに特に顕著であった。 ・ 風力発電施設からの距離と施設稼働時の騒音レベルとの物理的な関係を調査したところ、「風車騒音に非常に悩まされる」と回答した割合が、施設からの距離が近いほど大きかった。 ・ また、夜間の等価騒音レベルで比較したところ、騒音レベルが高くなるほど「非常に悩まされる」と回答する割合が増加する傾向が見られた。
Hideki Tachibana ら (2014) ⁽¹¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> ・ 一般的な風車騒音では、可聴性・可覚性について、およそ 20Hz 以下の音の寄与は極めて小さかった。 ・ 被験者が訴える耳障りな音としては、可聴領域の周波数成分を有する振幅変調音 (風力発電施設のブレード (羽) の回転に伴い発生する「シュッシュ」 という一定の間隔で一定の騒音レベルの変動がおこる現象。『スイッチ音』とも呼ばれる) によるものが顕著であった。
カナダ健康 省 (2014, 2015) ^{(12) (13)}	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1,238 名の風車近傍 (0.25~11.22km) の居住者を対象とした調査を実施。 ・ 46dBA までの風車騒音と Quality of life(QOL) の間に関連性はなかった。 ・ 風車騒音が 35dB をこえるとわずらわしさ (アノイアンス) は統計的に有意に増加した。 ・ 風車騒音への曝露と自己申告の睡眠影響、病気、ストレス、生活の質の変化との間には統計的に有意な関連性は見られなかった。また風車騒音と客観的な指標である髪の毛に含まれるコルチゾール、血圧、安静時心拍数、測定による睡眠状況との間にも関連性は見られなかった。

表1 風車騒音の人への影響に関する主な研究 (4/4)

著者等	結果の概要
<p>オーストラリア国立保健医療研究委員会 (2015) (14) (15)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ <4000 以上の文献を調査。騒音の他、シャドーフリッカー、電磁波も対象 > ・ これまでの一連の知見を慎重に考察・審議した結果、風力発電施設が人の健康に悪影響を及ぼすとする一貫性のある科学的根拠（エビデンス）は存在しないと結論する。 ・ 身体あるいは精神の健康：風車騒音への暴露が身体あるいは精神の健康に影響することを示す直接的な科学的根拠は存在しない。 ・ わずらわしさ（アノイアンス）：風車騒音とわずらわしさ（アノイアンス）との関連について一貫性はあるものの質的には不十分な直接的な科学的根拠が存在する。不十分とする理由はアノイアンスの定義がそれぞれの調査・研究で一貫していない点と、バイアスや交絡因子の存在の可能性からである。 ・ 睡眠影響：風車騒音による睡眠影響については、わずらわしさ（アノイアンス）ほどの一貫性がなく（文献間のばらつきがある）、また、質的にも不十分な直接的な科学的根拠は存在する。不十分とする理由は、睡眠影響が客観的に評価されていない点と、観察された関係には様々なバイアスや交絡因子による説明が可能である点による。 ・ 超低周波音と低周波数成分を含む音：風車から発生する超低周波音と低周波数成分を含む音が人の健康に影響を及ぼすことを示す直接的な科学的証拠は存在しない。

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、50dB を超えない範囲においては、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6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L_{dn}で60dB程度、20%程度は53dB程度、10%程度は43dB程度となる。

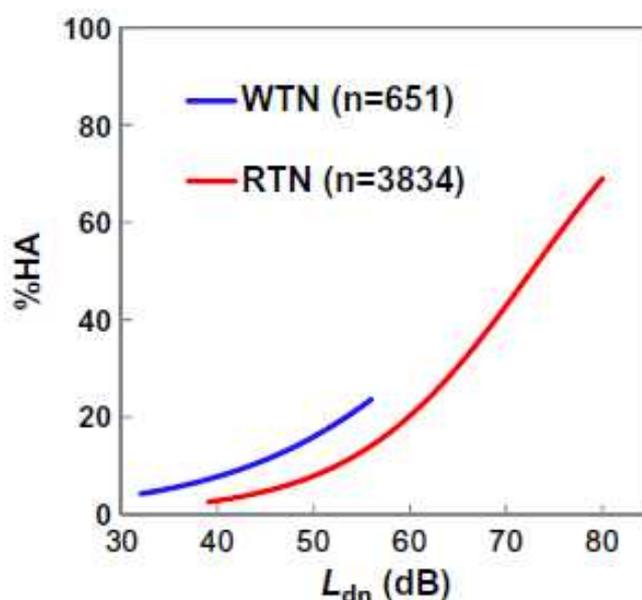


図6 風車騒音（WTN）と道路交通騒音（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（L_{dn}）*と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（%HA）

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

なお、McCunneyらは、多くの研究成果より、風車騒音とわずらわしさ（アノイアンス）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。

2-2. 風車騒音の聴感的な特徴

既設の風力発電施設の設置状況を見ると、一部の施設では風車騒音に関する苦情が一定程度生じてきている実態がある。

一般に、騒音に関する苦情は騒音レベルの高さ自体が原因となることが多い。これに対して、風車騒音に関しては、元来静かな地域に風力発電施設が設置されることにより、元々の地域の騒音レベルが高い地域と比べ感知しやすいことに加えて、風力発電施設から発生する低い周波数の音への懸念、振幅変調音や純音成分等の風車騒音の音の性質などに特徴が見られる。

参考：風力発電に関する苦情件数

- ・平成 21 年度 全国の風力発電施設の騒音苦情等の状況アンケート調査
回答数 389 例のうち騒音・低周波音の苦情や要望があった事例は 64 例。

(1) 立地環境と周辺環境

風力発電施設は、風況⁽¹⁶⁾を踏まえて十分な風速を確保できる地域に設置する必要があるため、結果的に残留騒音（特定できる騒音を除いた騒音、参考 3 を参照）が極めて低い静穏な地域に設置されることが多い。そのため、風車騒音のレベルは比較的低くても、風力発電施設停止時の背景的な騒音レベルが低いために感知しやすく、気になりやすいという特徴がある。

(2) 発生する音の特徴・性質

風力発電施設は、他の施設から発生する騒音と比較して、より低い周波数の騒音が発生していると一般に思われているが、2-1. で示したとおり、20Hz 以下の音（超低周波音）に関しては、音圧レベルが聴覚閾値を超えるものは確認されておらず、図 7 に示すとおり、他の様々な騒音の実測値と比較しても、風車騒音で特に低周波数成分の騒音の卓越が見られるわけではない。

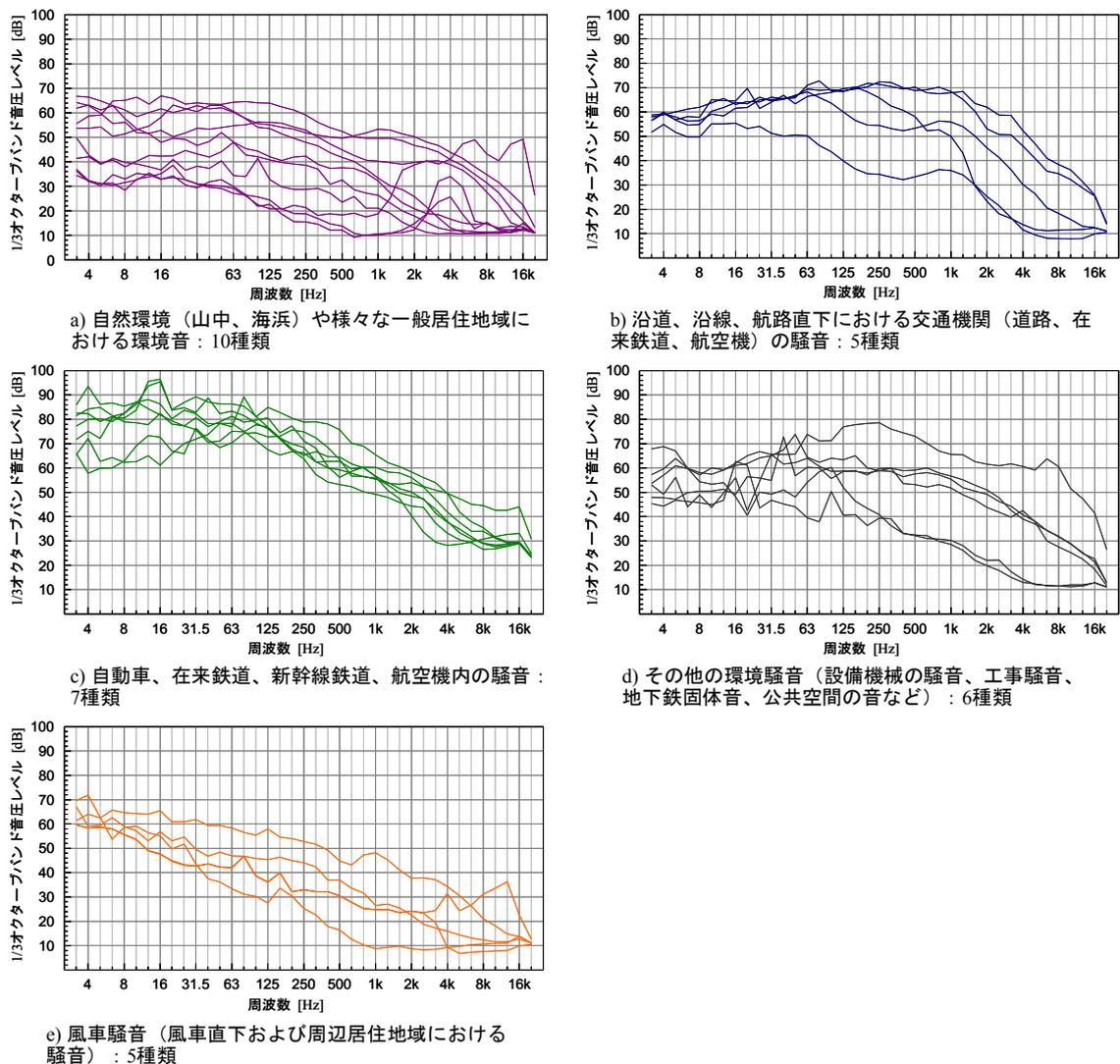


図7 様々な環境騒音の周波数特性⁽¹⁷⁾

また、2-1. に示したとおり、風力発電施設のブレード（羽）の回転に伴い発生する音は、ブレードの回転面や風向の変化、受音者との位置関係により、騒音レベルが周期的に変動する振幅変調音（スイッチュ音）として聞こえ、これがわずらわしさ（アノイアンス）に繋がる。これとは別に風力発電施設内の増速機や冷却装置等から、ウィーンといった音が発生することがある。このような純音性の周波数成分（純音性成分）が騒音に含まれていると、わずらわしさ（アノイアンス）が著しく高まることがある。

2-3. 風車騒音に関する諸外国の基準等

風力発電施設は、世界各国で広く導入が進んでおり（図8）、各国で騒音に関する基準等も定められている。世界各国における風車騒音の基準やガイドライン値について表2に示す。

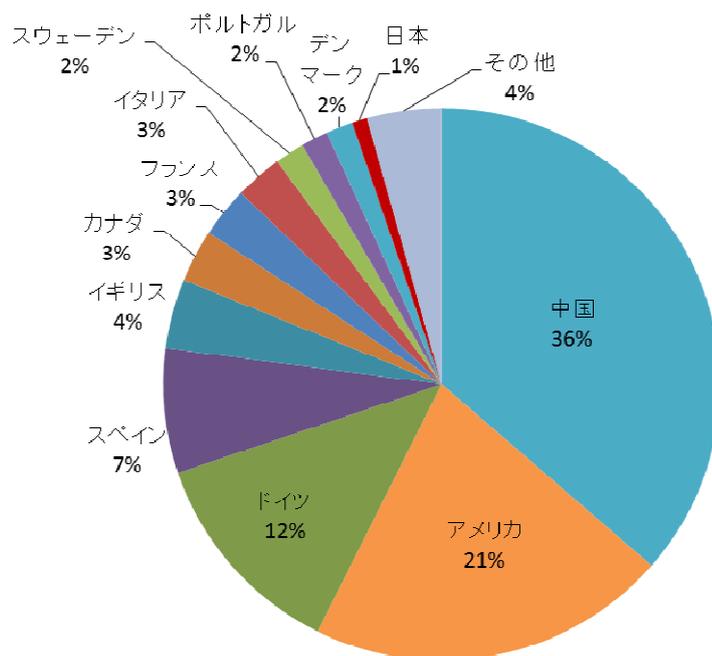


図8 2014年までの累積風力発電の導入量（全世界で315GW）

出典：IEA Wind 2014 Annual report

基準値・ガイドライン値は、同じ住宅地域に関しても35～56dBと幅があり、昼夜の別、暗騒音との差、地域類型（田園、住宅、工業地域に近い住宅等）を考慮しているところが多い。振幅変調音や純音性成分に対してより厳しく扱っている国（州）や、暗騒音をベースとしてそれに5dBを加えた値を限度値として設定している国（州）もある。例えば、ニュージーランドでは、地域類型の別に定めたある一定の値（35又は40dB）と暗騒音のレベルに5dB加えた値のうち、高い方の値を風車騒音の限度値とする方法が定められている。

なお、この表における「暗騒音」とは、本報告書の他の部分における「暗騒音」ではなく「残留騒音」を意味している可能性がある点に、留意が必要である。

表2 世界各国における風車騒音の基準・ガイドラインの比較⁽¹⁸⁾ (1/3)

	国/地方	騒音指標	地域の類型別の騒音限度値				騒音限度値と評価時間			振幅変調音・純音性成分への対応		セットバック距離の規定
			田園地域	住宅地域	工業地域に近い住宅地域	その他の地域	地域の類型の概要	時間帯区分	騒音限度値の位置付け	振幅変調音	純音性成分	
1	Denmark ⁽¹⁹⁾	L_p (6 m/s) L_r (8 m/s)	42 dB (6 m/s) 44 dB (8 m/s)	37 dB (6 m/s) 39 dB (8 m/s)	—	—	・田園地域：郊外 ・住宅地域：静穏を要する地域	時間帯区分なし	法律規制値 limit values	—	5 dB のペナルティ	—
2	Norway ⁽²⁰⁾	L_{den}	45 dB				・静穏を要する地域	昼間 (07 00-19 00) ・ 夕方 (19 00-23 00) ・ 夜間 (23 00-07 00) の 3 区分	指針の推奨値 Anbefalte støygrenser (Recommended noise limits)	—	—	—
3	Sweden ⁽²¹⁾	L_{Aeq} (8 m/s)	35 dB	40 dB			・田園地域：一般の住居地域 ・住宅地域：地方部の暗騒音が低い地域	時間帯区分なし	推奨値 recommended noise limit	—	5 dB のペナルティ	—
4	Belgium/ Flanders ⁽²¹⁾	L_{Aeq}	昼：48 dB 夕/夜：43 dB	昼：44 dB 夕/夜：39 dB	昼：48 dB 夕/夜：43 dB	昼：45-60 dB 夕/夜：39-55 dB	・田園地域：地方部 ・住宅地域：住居地域、保養地 ・工業地域に近い住宅地域：産業地域から 500 m 以内の住居地域 ・その他の地域：産業地域、その他の地域	昼間・夕方/夜間の 2 区分	法律規制値 threshold limits	—	—	有
5	Belgium/ Wallonia ⁽²²⁾	L_{Aeq}	45 dB				—	時間帯区分なし	法律規制値 seuil (noise limit)	—	—	有
6	France ⁽²³⁾	L_{Aeq}	昼 (07 00-22 00)：暗騒音レベル+5 dB 夜 (22 00-07 00)：暗騒音レベル+3 dB (風車稼働時の騒音が 35 dB を超える場合) ※風車高さの 1.2 倍離れた地点 昼：70 dB, 夜：60 dB				—	昼間 (07 00-22 00) ・ 夜間 (22 00-07 00) の 2 区分	規則規制値 valeurs admissibles (noise limit)	—	—	有
7	Germany ⁽²⁴⁾	L_r	昼：60 dB 夜：45 dB	昼：50-55 dB 夜：35-40 dB	昼：60 dB 夜：45 dB	昼：45-70 dB 夜：35-70 dB	・田園地域：村落 ・住宅地域：住居専用地域、住居地域 ・工業地域に近い住宅地域：中心市街地等、多用途の地域 ・その他の地域：保養施設等、商業地域、工業地域	昼間 (06 00-22 00) ・ 夜間 (22 00-06 00) の 2 区分	法律規制値 Immissionsrichtwe rte (noise limit)	—	3~6 dB のペナルティ	有
8	The Netherlands ⁽²⁵⁾	L_{den} L_{night}	昼： L_{den} 47 dB 夜： L_{night} 41 dB				—	昼間 (07 00-19 00) ・ 夕方 (19 00-23 00) ・ 夜間 (23 00-07 00) の 3 区分	法律規制値 beperken van geluidhinder aan de norm (noise level)	—	—	—
	United Kingdom ⁽²⁶⁾	$L_{A90,10min}$	昼：暗騒音レベル+5 dB (最低 35 dB 又は 40 dB) 夜：暗騒音レベル+5 dB (最低 43 dB)				—	昼間 (07 00-23 00) ・ 夜間 (23 00-07 00) の 2 区分に静穏を要する 昼間の時間帯を追加 月曜・金曜 1800-2300, 土曜 13 00 - 18 00, 日曜 07 00 - 18 00	推奨値 (罰金あり) noise limits	—	1.54~5 dB までのペナルティ	—
10	New Zealand ⁽²⁷⁾	$L_{A90,10min}$	35 dB 又は暗騒音+5 dB の高い方の値	静穏を要する地域；40 dB 又は暗騒音+5 dB の高い方の値			・田園地域：夕方・夜間の騒音限度が 40 dB $L_{Aeq(15 min)}$ 又は 40 dBA L_{10} 以下に設定されている地域) ・静穏を要する地域：騒音に配慮が必要な住居地域 (商業地域・工業地域の住居は除く) 及び文教地区	時間帯区分なし	規格の基準値 noise limit	1~6 dB のペナルティ	1~6 dB のペナルティ	—
11	Australia/ New South Wales ⁽²⁸⁾	風車騒音： $L_{Aeq,10min}$ 暗騒音： $L_{A90,10min}$	35 dB 又は暗騒音+5 dB の高い方の値				—	昼間 (07 00-22 00) ・ 夜間 (22 00-07 00) の 2 区分	指針の推奨値 recommended noise level	5 dB のペナルティ	5 dB のペナルティ	—
12	Australia/ South Australia ⁽²⁹⁾	風車騒音： $L_{Aeq,10min}$ 暗騒音： $L_{A90,10min}$	35 dB 又は暗騒音+5 dB の高い方の値	40 dB 又は暗騒音+5 dB の高い方の値			・田園地域：田園地帯の住居地域 (静穏を要する地域) ・その他の地域	時間帯区分なし	指針の推奨値 noise criteria	—	5 dB のペナルティ	—

表2 世界各国における風車騒音の基準・ガイドラインの比較⁽¹⁸⁾ (2/3)

国/地方	騒音指標	地域の類型別の騒音限度値				騒音限度値と評価時間			振幅変調音・純音性成分への対応		セットバック距離の規定	
		田園地域	住宅地域	工業地域に近い住宅地域	その他の地域	地域の類型の概要	時間帯区分	騒音限度値の位置付け	振幅変調音	純音性成分		
13 Australia/Victoria ⁽³⁰⁾	$L_{A90,10min}$	35 dB 又は暗騒音+5 dB の高い方の値	静穏を要する地域；40 dB 又は暗騒音+5 dB の高い方の値			・田園地域：夕方・夜間の騒音限度が 40 dB $L_{Aeq(15min)}$ 又は 40 dBA L_{10} 以下に設定されている地域 ・静穏を要する地域：騒音に配慮が必要な住居地域（商業地域・工業地域の住居は除く）及び文教地区	時間帯区分なし	指針の推奨値 noise limit	1~6 dB のペナルティ	1~6 dB のペナルティ	-	
14 Australia/Western Australia ⁽³¹⁾	風車騒音： $L_{Aeq,10min}$ 暗騒音： $L_{A90,10min}$	35 dB 又は暗騒音+5 dB の高い方の値				-	-	時間帯区分なし	指針の推奨値 noise generated will not exceed 5dB(A) above the background sound level or 35dB(A)	-	-	有
15 Canada/Alberta ⁽³²⁾	L_{Aeq}	交通機関との距離（3カテゴリー）と住戸密度（3段階）の9段階に設定 夜：カテゴリー1 40-46 dB カテゴリー2 45-51 dB カテゴリー3 50-56 dB (昼は+10 dB、人為活動等による調整値-10 dB~+10 dB)				・カテゴリー1：交通量の多い道路/鉄道から500m以上離れているか航空機の影響がない住居地域 ・カテゴリー2：交通量の多い道路/鉄道から30m以上500m未満離れているか航空機の影響がない住居地域 ・カテゴリー3：交通量の多い道路/鉄道から30m未満離れているか航空機の影響がない住居地域	昼間（07 00-22 00）・夜間（22 00-07 00）の2区分	州法規制値 permissible sound level	-	-	-	
16 Canada/Manitoba ⁽³³⁾	L_A	40 dB（風速 4 m/s）から 53 dB（11 m/s）まで段階的に設定				-	-	時間帯区分なし	指針の推奨値 recommended sound criteria	-	-	有
17 Canada/New Brunswick ⁽³⁴⁾	L_A	40 dB（風速 4 m/s）から 53 dB（11 m/s）まで段階的に設定（近接風車から 1km の範囲の静穏を要する地域）				・静穏を要する地域には、保養地、住居地域、工業地域を含む	時間帯区分なし	推奨値 recommended sound criteria	-	-	-	
18 Canada/Ontario ⁽³⁵⁾	$L_{Aeq,10min}$	40 dB（風速 4 m/s）から 51 dB（10 m/s）まで段階的に設定	45 dB（風速 4 m/s）から 51 dB（10 m/s）まで段階的に設定（都市地域として分類された地域）			・田園地域（クラス 3） ・都市地域（クラス 1 及びクラス 2） ・クラス 1（人口密集地で暗騒音に人工音が含まれる地域） ・クラス 2（クラス 1・3 の中間で、夕方（19:00-23:00）・夜（23:00-07:00）の残留騒音が低い地域） ・クラス 3（自然音が卓越する郊外地域）	時間帯区分なし	環境影響評価の際の限度値 applicable sound level limits	-	5 dB のペナルティ	-	
19 USA/Colorado-Arapahoe County ⁽³⁶⁾	L_{Aeq}	-	昼：55 dB 未満 夜：50 dB 未満	-	昼：65-80 dB 未満 夜：60-75 dB 未満	・田園地域：住宅地域 ・その他の地域：商業地域、軽工業地域、工業地域	昼間（07 00-19 00）・夜間（19 00-07 00）の2区分	州法規制値 maximum permissible noise levels	-	-	有	
20 USA/Georgia ⁽³⁷⁾	L_{Aeq}	55 dB				-	-	時間帯区分なし	条例規制値（罰金あり） shall not exceed 55 dBA	-	-	有
21 USA/Illinois ⁽³⁸⁾		土地利用区分毎・オクターブバンド中心周波数別の環境騒音の限度値を設定 クラス C 地域から クラス A 地域への限度値				・クラス A 地域：住宅地等 ・クラス B 地域：商業・小売商等 ・クラス C 地域：農業・工業等（風力発電施設は C 地域）	昼間（07 00-22 00）・夜間（22 00-07 00）の2区分	規格の基準値 allowable octave band sound pressure levels	-	-	-	
		オクターブバンド中心周波数 [Hz]	31.5	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	
		昼 [dB]	75	74	69	64	58	52	47	43	40	
		夜 [dB]	69	67	62	54	47	41	36	32	32	
		注 測定位置は、発生源の敷地境界から 25 フィートとする										
22 USA/Indiana-Tipton County ⁽³⁹⁾		オクターブバンド中心周波数別の限度値を設定				-	-	時間帯区分なし	条例規制値 maximum permitted sound level	-	-	有
		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		
		昼 [dB]	75	70	65	59	53	48	44	41		
		注 測定位置は、発生源から 200 フィートとする										
23 USA/Maine ⁽⁴⁰⁾	L_A	静穏を要する地域；昼：55 dB，夜：42 dB 風力発電施設の敷地境界線上；終日 75 dB				・静穏を要する地域：残量騒音が昼間 45dB、夜間 35dB 以下の地域	昼間（07 00-19 00）・夜間（19 00-07 00）の2区分	州法規制値 Sound Level Limits	5 dB のペナルティ	5 dB のペナルティ	-	

表 2 世界各国における風車騒音の基準・ガイドラインの比較⁽¹⁸⁾ (3/3)

	国/地方	騒音指標	地域の類型別の騒音限度値				騒音限度値と評価時間			振幅変調音・純音性成分への対応		セットバック距離の規定
			田園地域	住宅地域	工業地域に近い住宅地域	その他の地域	地域の類型の概要	時間帯区分	騒音限度値の設定方法	振幅変調音	純音性成分	
24	USA/ Massachusetts ⁽⁴¹⁾	L_A	夜間の騒音限度 過疎地域：44 dB (風速 8 m/s), 42 dB (風速 6 m/s) 住居地域：39 dB (風速 8 m/s), 37 dB (風速 6 m/s) 村落・混在地域：45 dB, 商業地域：50 dB, 工業地域：70 dB				ドイツ・デンマークの規制値を参考に、土地利用区別に限度値を設定	夜間 (22 00-07 00) のみ	推奨値 sound pressure level nighttime limits	-	-	-
25	USA/ Michigan ⁽⁴²⁾	L_{Aeq}	敷地境界線上：55 dB 又は暗騒音+5 dB の高い方の値				-	時間帯区分なし	指針の推奨値 sound pressure level	-	-	-
26	USA/ Michigan-Huron County ⁽⁴³⁾	L_{A90}	住宅地域：50 dB 又は暗騒音+5 dB の高い方の値 その他の地域：55 dB 又は暗騒音+5 dB の高い方の値				地域区分についての記載なし	時間帯区分なし	条例規制値 shall not exceed 50 dBA, or the ambient sound pressure level plus 5 dBA	-	5 dB のペナルティ	-
27	USA/ Minnesota ⁽⁴⁴⁾	L_{10} L_{50}	エリア 1 昼：65 dB (L_{10}), 60 dB (L_{50}) 夜：55 dB (L_{10}), 50 dB (L_{50}) エリア 2 昼夜：70 dB (L_{10}), 65 dB (L_{50}) エリア 3 昼夜：80 dB (L_{10}), 75 dB (L_{50})	-	-	・エリア 1：住宅地・福祉施設・学校等 ・エリア 2：商業・小売商, 保養地等 ・エリア 3：農業・工業等	昼間 (07 00-22 00)・夜間 (22 00-07 00) の 2 区分	州規則 noise standards	-	-	-	
28	USA/ Minnesota-Linc oln county ⁽⁴⁵⁾	L_{Aeq}	50 dB				-	時間帯区分なし	条例規制値 noise standards	-	-	有
29	USA/ Nevada-Lyon County ⁽²¹⁾	L_{Aeq}	55 dB				原文の URL が削除されているため不明	時間帯区分なし	原文の URL が削除されているため不明	-	-	有
30	USA/ New York-Town of Jefferson ⁽⁴⁶⁾	L_{A10}	-	50 dB 又は暗騒音+5 dB の高い方の値	-	-	地域区分についての記載なし	時間帯区分なし	州法規制値 (罰金あり) the applicable standard shall be the ambient dBA plus 5 dBA	5 dB のペナルティ	5 dB のペナルティ	有
31	USA/ North Carolina ⁽⁴⁷⁾	L_{Aeq}	55 dB				-	時間帯区分なし	条例規制値 shall not exceed 55 dBA	-	-	有
32	USA/ Oregon ⁽⁴⁸⁾	L_{A50}	環境悪化基準：暗騒音+10 dB (暗騒音を測定していない場合は暗騒音を 26 dB とみなす) 最大許容基準：昼間：55 dB, 夜間：50 dB				地域区分についての記載なし	昼間 (07 00-22 00)・夜間 (22-00-07 00) の 2 区分	州法規制値 ambient degradation standard	-	-	-
33	USA/ Pennsylvania-P otter County ⁽⁴⁹⁾	L_{Aeq}	敷地境界線上で暗騒音+5 dB				地域区分についての記載なし	時間帯区分なし	条例規制値 (罰金あり) shall not exceed 5 dB above ambient or background sound	-	-	有
34	USA/ Wisconsin ⁽⁵⁰⁾	L_{Aeq}	昼間：50 dB, 夜間：45 dB				地域区分についての記載なし	昼間 (06 00-22 00)・夜間 (22 00-06 00) の 2 区分	州法規制値 noise limits	-	-	有
35	USA/ Wisconsin-Shaw ano County ⁽⁵¹⁾	風車騒音： L_{Aeq} 暗騒音： L_{A90}	・暗騒音+5 dB ・敷地境界から半径 1 マイルの範囲で 1/3 オクターブバンド毎に限度値を設定				地域区分についての記載なし	時間帯区分なし	条例規制値 (操業停止命令, 罰金あり) noise standard	5 dB のペナルティ	5 dB のペナルティ	有
36	USA/ Wyoming ⁽⁵²⁾		風車騒音に関する規制は設けていない				地域区分についての記載なし	-	規制無し	-	-	有
37	USA/ Wyoming-Lara mie County ⁽⁵³⁾	L_{Aeq}	50 dB (敷地境界線上)				地域区分についての記載なし	時間帯区分なし	条例規制値 (罰金あり) noise level	-	-	有

注 1：地域の類型は、国（州）によってかなり異なるが、この表では各基準・ガイドラインにおける規定の内容から、おおよその分類を行っている。

注 2：表中の量記号、略号； L_{Aeq} ：等価騒音レベル（時間平均 A 特性音圧レベル）
 L_{A90} ：90%時間率騒音レベル
 L_L ：評価騒音レベル（等価騒音レベルに純音性及び衝撃性に対する補正を加えた値）
 L_{pA10} ：室内における低周波騒音の評価指標（Denmark）
 L_{A10} ：10%時間率騒音レベル

L_{den} ：昼夜時間帯補正等価騒音レベル

L_{night} ：夜間等価騒音レベル

L_{dn} ：昼夜時間帯補正等価騒音レベル

注 3：騒音限度値の位置付けの英字等は、引用文献記載の表記を示す。

3. 風車騒音の評価の考え方、調査・予測、対応策等

2. で示した知見を踏まえると、風車騒音は、20Hz 以下の超低周波音^(注)の問題ではなく、“聞こえる”音（騒音）の問題としてとらえるべきものであり、A特性音圧レベルでの評価を基本とすることが適当である。このようなことを前提とした上で、ここでは、風車騒音の評価の考え方を示すとともに、主に風力発電施設の設置事業者を想定し、風力発電施設の設置前・後に行うべき調査・予測の考え方を整理した。なお、今後本報告書の考え方に基づき、より具体的な測定・評価手法を定めたマニュアル等を策定することが適当である。

(注)「超低周波音」についての補足

我が国では、苦情の発生状況を踏まえ「低周波音」という用語が「おおむね100Hz以下の音」として定義され用いられてきたが、国際的には、「低周波音」の周波数範囲は国によりまちまちで定まったものではない。一方、IEC（国際電気標準会議）規格61400シリーズにより、20Hz以下を「超低周波音」(infrasound)、20～100Hzを「低周波音」(low frequency noise)と定義しており、国内ではこれを受けたJIS C 1400-0:2005（風車発電システム-第0部：風力発電用語）で同様に定義されている。これを踏まえ、環境影響評価法において個別事業種ごとの技術的な指針として定められた主務省令では、「騒音（周波数が20～100Hzまでの音を含む）及び超低周波音（周波数が20Hz以下の音）」と規定しており、「低周波音」という用語を用いないこととされた。

これらの状況を踏まえ、本報告書では、20Hz以下の音を「超低周波音」とし、それ以外の音（周波数が20～100Hzまでの音を含む）を「騒音」と表記する。

3-1. 風車騒音の評価の考え方

風車騒音のレベルは、通常それほど高いものではないが、振幅変調音（スイッチング音）が聞こえ、一部の風力発電施設では純音性成分を含むという特殊性があることから、交通騒音等の他の騒音と比較して、より耳につきやすいことが指摘されており、元々静穏な地域に建設されるような場合には、比較的低い騒音レベルであっても苦情等が発生する事例がある。

そのため、風力発電施設の設置又は発電設備の新設を伴う変更（以下「風力発電施設の設置等」とする）に当たり、騒音問題を未然に防止するために対策を講じ、生活環境を保全する上での参考として、風車騒音の評価の目安を定めることが適当である。

ただし、風車騒音は風力発電施設の規模、設置される場所の風況等でも異なり、さらに騒音の聞こえ方は、風力発電施設からの距離や、その地域の地形や被覆状況、土地利用の状況等により影響される。これらの特性を踏まえ、評価の考え方としては、全国一律の値とするのではなく、地域の状況に応じて、

必要な対策等を講じ生活環境を保全するための目安と位置付けることが適当である。

2. で述べたとおり、風車騒音と健康影響については多くの研究が国内外において進められてきており、風車騒音のレベルとわずらわしさ（アノイアンス）を感じる程度の間には統計的に有意な関連が複数の論文で報告されている。また、睡眠影響については、限定的ではあるが、風車騒音が直接あるいは間接的に関係する可能性を示唆する知見が見られた。一方で、上記以外の健康影響については、風車騒音との統計的に有意な関係を示す知見は確認できなかった。評価の目安においては、これらの知見を踏まえ、わずらわしさ（アノイアンス）と睡眠影響に注目し、風車騒音により、人の生活環境に影響を及ぼすおそれがある地域において、屋内の生活環境が保全されるように、屋外において昼間と夜間の風車騒音をそれぞれ評価することが適当である。

（注）「騒音に係る環境基準」では、昼間を午前6時から午後10時までの間、夜間を午後10時から翌日の午前6時までの間としており、風車騒音の評価についても同様とする。

評価の目安となる値は、地域の音環境の差異を考慮し、その地域における残留騒音（特定できる騒音を除いた騒音）を基に、風車騒音により生ずる残留騒音からの増加量が一定のレベルに収まるように設定することが考えられる。その際、Konoら（1982）による、日常の平均的な騒音レベルよりも平均して4～5 dB騒音レベルが高くなると人はわずらわしさ（アノイアンス）を訴えるとする報告等を参考とし、評価の目安となる値を「残留騒音に5 dBを加算した値」とすることが適当である（図9）。

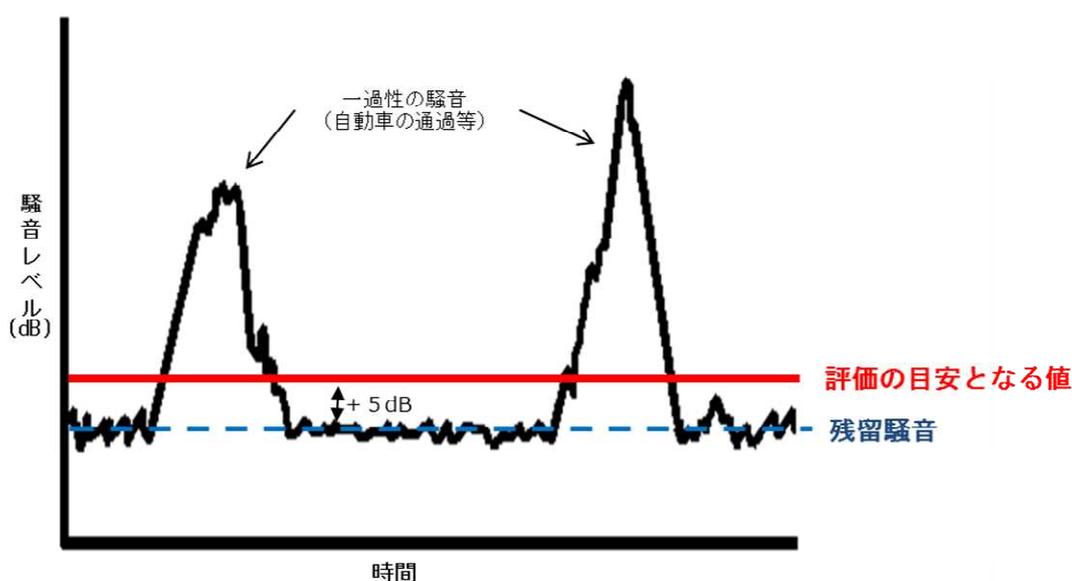


図9 評価の目安となる値の考え方

ただし、地域によっては、残留騒音が 30dB を下回る等の著しく静穏な環境である場合がある。そのような場合、残留騒音からの増加量のみで評価すると、生活環境保全上必要なレベル以上に騒音低減を求めることになるおそれがある。そのため、地域の状況に応じて、生活環境に支障が生じないレベルを考慮して、目安となる値における下限値を設定することが適当である（図 10）。

下限値としては、2. の風車騒音の人への影響に関する国内外の知見において、風車騒音が 35～40dB を超過するとわずらわしさ（アノイアンス）が増加し、それにより睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることを示唆する知見があることを踏まえ、地域の状況に応じて 35～40dB の範囲で設定することが考えられる。具体的には、残留騒音が著しく低く（30dB を下回る場合）特に静穏を要する地域や、地域において保存すべき音環境がある場合においては、下限値を 35dB とし、それ以外の地域においては 40dB とすることが考えられる。

以上を踏まえ、風車騒音の評価の目安は以下のとおり設定することが適当である。

評価の目安となる値：残留騒音 + 5 dB

- ※ただし、残留騒音が著しく低い地域等では、上記の値では生活環境保全上必要なレベル以上に騒音低減を求めることになるおそれがある。そのため、残留騒音が著しく低く（30dB を下回る場合）特に静穏を要する地域や、地域において保存すべき音環境がある場合においては 35dB、それ以外の地域においては 40dB を下限値として設定する。
- ※ 風車騒音の評価は、設置予定地近隣の住居等、風車騒音が人の生活環境に影響を与えるおそれがある地域の屋外で行う。
- ※ 残留騒音の測定及び風車騒音の評価は、昼間（午前 6 時から午後 10 時まで）と夜間（午後 10 時から翌日の午前 6 時まで）のそれぞれについて行う。

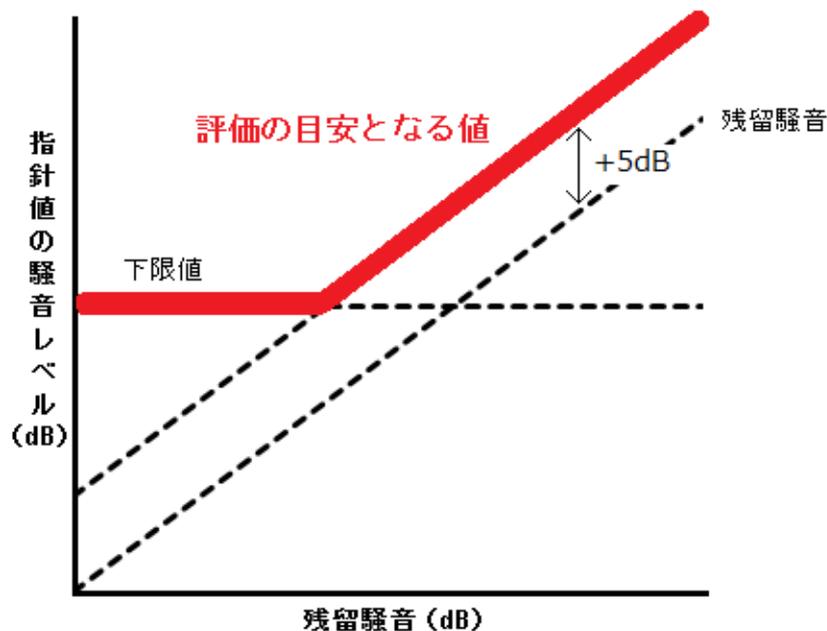


図 10 評価の目安となる値における下限値の設定

この目安は、風力発電施設の設置等を行う場合に、周辺住民の生活環境に支障が生じないことを旨として定めるものであるが、騒音については感じ方に個人差があり、また地域によって風力発電施設の立地環境や生活様式、住居環境等が異なることに留意する必要がある。評価の目安となる値を超えない場合であっても、地域の音環境の保全に配慮し、風車騒音の影響が小さくなるよう、事業者は合理的な範囲で対策を講ずるよう努めることが必要である。

また、純音性成分を含む場合のわずらわしさ（アノイアンス）への影響や既に風力発電施設が設置されている場合の騒音の累積的な影響については現時点で科学的知見が十分ではない。これらの場合においては、IEC 61400-11:2012 に基づく純音性可聴度や、騒音の累積的な影響について把握に努めるとともに、わずらわしさ（アノイアンス）が大きくなる可能性がある点にも十分に留意し、実行可能な範囲で騒音の影響を回避・低減することが望ましい。

3-2. 設置前における調査・予測

風力発電施設の設置前においては、風力発電施設の音響パワーレベルを基に、「ISO 9613-2:1996」や「風力発電のための環境影響評価マニュアル(第2版)」等の騒音の伝搬予測手法を用いて住居等のある受音点における騒音レベルを求め、現地調査により測定したその地域の音環境の状況（静かさの程度）を表

す残留騒音（特定できる騒音を除いた騒音）を加味して、受音点における風力発電施設稼働時の音の予測値を求める。風車騒音の評価の考え方を踏まえ、具体的な調査・予測について以下のとおりまとめた。

（１）調査

調査に当たっては、適切に予測及び評価を行うために必要な範囲内で事業特性、地域特性を踏まえて様々な情報を収集する必要がある。特に風車騒音については、①風力発電施設に係る音源特性、②風力発電施設から受音点までの伝搬特性、③風車騒音に曝露される受音点状況、に大別して検討することが重要である。

① 音源特性

以下の点に留意した調査が重要である。

- ・ 風力発電施設の仕様、製造事業者、型番、ハブ高さ、ローター直径、定格風速、発電量等の情報
- ・ 発生騒音の音響パワーレベル
- ・ 定格(最大)出力時の音響パワーレベルの A 特性オーバーオール値及び周波数特性(1/3 オクターブバンド音響パワーレベル等)
(環境影響が最大となる状況を把握するため)
- ・ 風速ごとの音響パワーレベルの A 特性オーバーオール値及び周波数特性(1/3 オクターブバンド音響パワーレベル等)
- ・ 純音性の周波数成分の有無 (IEC 61400-11:2012 により判断する)
- ・ 稼働中の同一機種に係る既存データ

② 伝搬特性

日本においては、風力発電施設が山間部に設置されることも多い。山間部に設置された風力発電施設から放射された音波は、平原や砂漠等の広い平らな土地に設置される場合と比較し、受音点（評価地点）まで伝搬する過程で様々な要因の影響を受け、反射、吸収、透過、屈折、回折等の現象により、騒音レベルや周波数特性が変動しやすい。したがって、以下の点に留意した調査が重要である。

- ・ 起伏のある地形や山稜部による風車騒音の反射や吸収、回折現象等
(住宅等を含む数値地図(国土交通省国土地理院のホームページ等を参照)が活用可能。)
- ・ 地表面の状況 (河川や湖沼等も含む)
(地表面によって音の伝搬特性は影響を受ける。)

- ・ 風向風速や発生頻度等の風況等の気象情報
(風力発電施設は基本的に風速が大きい地域に立地するため、受音側の屋外における風速等の気象の状態が音の伝搬に影響を及ぼす。気象データについては、風力発電施設が設置される地域近傍の気象観測所や測候所のデータが活用可能。また、近隣の風力発電施設で得られたデータが入手できる場合には、ナセル高さにおける風速データが参考となる。)

③ 受音点（評価地点）情報

調査を行う地点については、風力発電施設の周辺住民の日常生活や活動の状況を中心に、以下の点に留意することが重要である。

- ・ 学校、病院その他の環境の保全についての配慮が特に必要な施設の配置の状況及び住宅の配置（家屋構造等も含む）の概況
(特に環境保全への配慮を必要とする施設を把握するためには、現地調査が重要である。その際にも数値地図が有効である。)
- ・ その地域の音環境の状況（静かさの程度）

④ 調査

その地域の音環境の状況（静かさの程度）として、残留騒音（特定できる騒音を除いた騒音）を測定する。

ア. 除外音処理する音

風力発電施設は、比較的静穏な地域に設置されることが多いことを踏まえ、受音点の元々の騒音レベルを適切に把握するため、除外音処理すべき音は以下のとおりである。なお、風力発電施設は、風が吹いている状況で稼働するものであることから、海鳴りや草木がざわめく音などの風に伴う騒音は除外しない。ただし、風が騒音計のマイクに当たることにより生じる「風雑音」は取り除く必要があり、後述のとおり防風スクリーンを活用する。

i) 近隣を通過する自動車・船舶等の音や航空機騒音など一過性の騒音

ii) 定常的には発生しない人工音

事件・事故、暴走族の通過、救急・緊急車両、選挙活動、防災無線等
行政的な必要な音、古紙回収などのスピーカを使った移動販売等

iii) 定常的には発生しない自然音

雨・枯葉など自然現象に伴う音（なお、波の音は定常的に発生するものとして取り扱う）、カエル・カラス・セミ・秋の虫など動物等の鳴き声等

iv) 測定の際の付加的な音

測定者に対する話しかけ、測定を見つけての自転車ブレーキ音、犬の鳴き声、測定器に対するいたずら、たまたま測定点の前面に停車した清掃車等

なお、90%時間率騒音レベル (L_{A90}) に 2dB を加算することにより、除外音処理を行うことなく残留騒音が推定できるとの知見が示されていることから、この方法を用いてもよい。

注： L_{A95} でもほぼ同様の推定が可能である。ただし L_{A90} と L_{A95} を比較すると、 L_{A90} の方がより安定した結果が得られ、またイギリスやニュージーランド等の諸外国でも用いられている。

イ. 調査機器等

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

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

なお、風雑音の影響を最小限にする例として、Tachibana ら(2014)は、市販されている 20 cm 径防風スクリーン(直径 20cm、ウレタンフォーム製)を 12 面体の各面にネットを貼った二次防風スクリーンで覆った特別なスクリーン内にマイクロホン (1/2inch コンデンサーマイクロホン) を挿入して、風車騒音及び残留騒音の測定を行っている (図 11)。



図 11 Hideki Tachibana ら(2014)の測定システム

ウ. 調査地域・地点

風車騒音の伝搬特性を踏まえ、風力発電施設周辺における住宅等、風車騒音により人の生活環境に影響を与えるおそれがある地域^(注)を対象とする必要がある。この中には、病院等特に静穏な環境を保全すべき地域が含まれる場合もある。調査地域のうち具体的な調査地点の選定に当たっては、風力発電施設の立地を計画している地点に加えて、その周辺の住宅など、特定の音源の局所的な影響を受けず地域における平均的な騒音レベルを評価できると考えられる地点を選定する必要がある。測定は、建物外部で地面を除く反射物から 3.5m 以上離れた場所で行う。

(注) 発電所の設置又は変更の工事の事業に係る計画段階配慮事項の選定並びに当該計画段階配慮事項に係る調査、予測及び評価の手法に関する指針、環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査、予測及び評価を合理的に行うための手法を選定するための指針並びに環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令(平成 10 年 6 月 12 日 通商産業省令第 54 号)では、発電所一般において環境影響を受ける範囲であると認められる地域は、事業実施想定区域及びその周囲 1 km の範囲内としている。

エ. 調査期間・時間

測定は、年間の状況を正確に把握するため、風力発電施設が稼働する代表的な気象条件毎(原則として四季毎、ただし、気象条件の変動が少ない等の理由で、四季毎に調査を行わなくても音環境の把握ができる場合等は、調査回数を減らすことができる)に行う。

測定は、風力発電施設が安定して稼働する程度の風が吹いている状況で行う。なお、ある程度安定した風速の下、長時間の連続測定を行うことは困難と考えられることから、風速との同時測定を行い、条件に適合する風が吹いている時間帯について評価を行うこととする。

昼間（6:00～22:00）と夜間（22:00～6:00）の時間帯について、それぞれ把握する。

（２）予測

① 予測に当たっての留意事項

前述のとおり、日本においては風力発電施設が山間部に設置されることも多い。平原や砂漠等の広い平らな土地に設置される場合と比較し、山間部に設置された風力発電施設から放射された音波は三次元的に拡散しながら伝搬することから、地質の状況や植生等の違い、風等の気象条件、地形等の影響を受けやすい。

また、距離による減衰、地表面による反射・吸音、音響的障害物による反射及び回折、空気の音響吸収による減衰等の作用を受け、騒音の伝搬としては極めて複雑となることに留意が必要である。

2. で紹介した「ISO 9613-2 : 1996」は「風力発電のための環境影響評価マニュアル(第2版)」と比較して詳細な条件を組み入れることができるが、予測計算がやや複雑であり、また、山稜部に設置する際等の、地表面からの反射の影響が問題となる場合に反射率をどのように算定するかについて課題となる。一方、「風力発電のための環境影響評価マニュアル(第2版)」は、「ISO 9613-2 : 1996」と比較して簡易に使用できるが、気象影響等の考慮が困難となる。したがって、「ISO 9613-2 : 1996」や「風力発電のための環境影響評価マニュアル(第2版)」を用いる場合にはこれらの特性について十分に留意する必要がある。

② 予測

風力発電施設の音響パワーレベルを基に、「ISO 9613-2 : 1996」や「風力発電のための環境影響評価マニュアル(第2版)」等の騒音の伝搬予測手法を用いて住居等のある受音点における騒音レベルを求め、現地調査により測定した地域の残留騒音を加味して、受音点における風車騒音の予測値を求める。

ア. 予測地域

予測地域は、原則として調査地域と同じとする。

イ. 予測地点

予測地点は、原則として、調査地点を含め影響が想定される地点とする。

ウ. 予測時期等

音源特性、伝搬特性及び受音点（評価地点）の状況を総合的に判断し、人の生活環境への影響が最大になると考えられる時期、期間を選定する。

3-3. 設置後における調査

3-2. に記載のとおり、風車騒音の予測においては、発生源からの騒音の放射特性、伝搬過程における気象条件や地形・構造物の影響等、不確実性が大きい要因があり、設置前の予測値と設置後の測定値が大きく異なる場合があることに留意する必要がある。

ここでは、設置後における調査の手法に係る留意点を整理した。

①調査に当たっての留意事項

調査に当たっては、騒音の伝搬等に影響を与える可能性がある測定環境等について、併せて把握する必要がある。少なくともナセル高さにおける風向風速、発電出力の変動状況、空気吸収減衰を算出するために必要な気象データ（風向風速及び温湿度）について把握する。

除外音処理等の手法は、施設の設置前の調査に準じる。

② 調査

ア. 調査地域・地点

原則として、風力発電施設設置前に調査を行った地域・地点と同じとする。

イ. 調査期間・時間

調査は、年間の状況を正確に把握するため、風力発電施設が稼働する代表的な気象条件毎（原則として四季毎、ただし、気象条件の変動が少ない等の理由で、四季毎に調査を行わなくても音環境の把握ができる場合等は、調査回数を減らすことができる）に行う。その際、風力発電施設が定格稼働するような季節も含めるよう努める。

昼間（6:00～22:00）と夜間（22:00～6:00）の時間帯について、それぞれ

れ把握する。

風車騒音は風況によって大きく変化し、稼働・停止を繰り返すことが多く、ある程度安定した風速の下、長時間の測定を行うことは困難と考えられる。したがって、測定は風力発電施設の稼働状況を踏まえて、適切な時間帯に行う。一例として、風力発電施設が安定して稼働している風速時における 10 分間の時間平均レベル(10 分間等価騒音レベル： $L_{Aeq, 10min}$)を測定し、代表値とする方法が考えられる。なお、長時間にわたって風力発電施設が安定して稼働している場合には、例えば毎正時ごとに 10 分間の測定を行い、その時間帯全体にわたるエネルギー平均を求めることも、安定したデータを得る上で有効である。

ウ. 調査結果の整理

施設の設置後の調査結果については、風車騒音のレベルが最高で、かつ暗騒音の影響が小さい時間帯（夜間等）における等価騒音レベル： $L_{Aeq, T}$ ^(注)を代表値とする。また、純音性成分の有無についても確認する必要がある。

(注) 環境研究総合推進費の公募型研究「風力発電施設等による低周波音の人への影響評価に関する研究」(平成 22～24 年度)における風車騒音の測定では、夜間の毎正時 10 分間の等価騒音レベル ($L_{Aeq, 10min}$) を測定し、そのパワー平均値を代表値として用いている。なお、等価騒音レベルの測定では、風車騒音以外の特定騒音の影響を受けやすいので、その除去に細心の注意を払う必要がある。なお、90%時間率騒音レベル (LA90) に 2dB 程度を加算することにより、除外音処理を行うことなく等価騒音レベルを推定できる。

3-4. 騒音への対応策

風車騒音を低減するためには、まず、配置にあたって影響を受けやすい住宅等からできる限り離すことが重要である。その上で必要な対策を検討することになるが、風車騒音発生のメカニズムや対策技術の進捗状況について把握することは、施設構造の検討及び対策手法の確認に必要不可欠である。

また、風力発電施設に対するわずらわしさ (アノイアンス) は、騒音のみならず視覚など他の要素等も関わっている。このため、風力発電施設の住民に対する影響を軽減するためには、騒音低減策のみならず、地域とのコミュニケーションや、協定の締結等によるソフト面の対策も求められる。

そのため、本検討会の下に設けられた風力発電施設に係る騒音対策技術等に関する分科会（以下「分科会」という。）等において、風力発電施設の設置事業者及び製造事業者からのヒアリング等により、風力発電施設の設置の実態及び具体的な対策事例について知見の収集を行った。

（１）対策技術的な事項

日本に設置されている風力発電施設のうち、主要な製造事業者 17 社のものについて、定格出力ごとの音響パワーレベル（カタログ値）を整理した図を以下に示す。図 12 のとおり、定格出力の増加に伴い音響パワーレベルが上がる傾向が見受けられるが、同じ定格出力でも 10dB 近くの差がある事例もあり、風力発電施設を選定する際には、低騒音型の機種を選定することが重要である。また、風車騒音に純音性成分が含まれるとアノイアンスが著しく高まることから、選定の際には IEC 61400-11:2012 に示された方法により純音性可聴度（Tonal Audibility）を確認し、より低い機種を選定することが重要である。

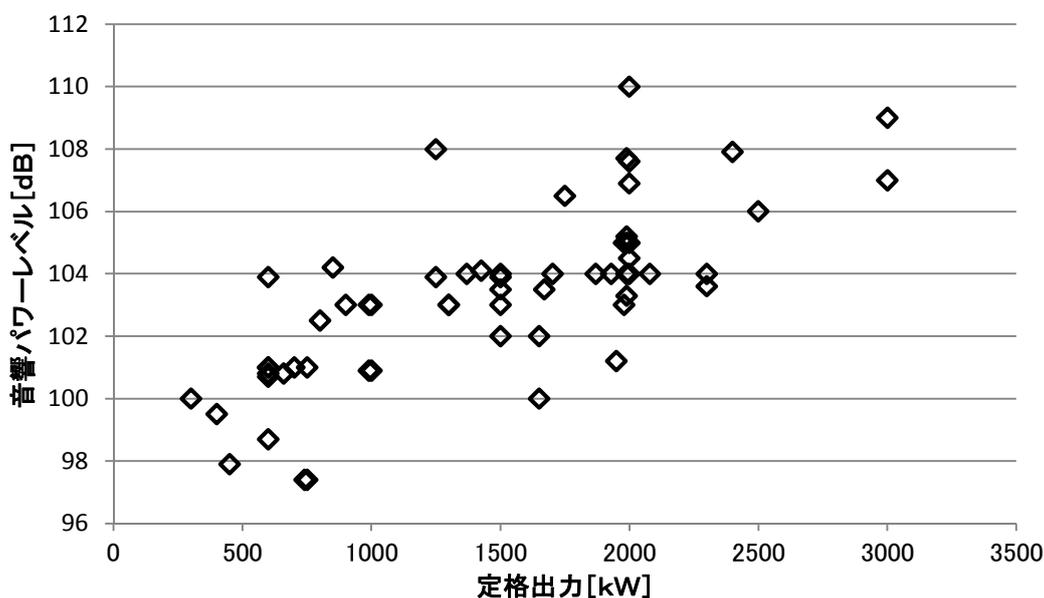


図 12 定格出力と音響パワーレベルの関係

設置後の騒音対策としては、立地済みの施設のブレード（羽）へ空力音低減デバイスを追加したり、遠隔監視や現地訪問によって音の発生状況を調査している事例が見られた。また、ブレード（羽）等の各部品の製造事

業者による要素技術での騒音対策に留まらず、風力発電施設全体を総体として騒音低減に取り組む事例が確認された。また、受音側の対策として、住宅の防音対策措置の導入等の事例があった。

具体的な事例について、1) 機械・筐体等に係る騒音低減の取組、2) 空力音に係る騒音低減の取組、3) 風力発電施設の制御に係る騒音低減の取組、の3つに分けて以下に示す。

1) 機械・筐体等に係る騒音低減の取組

現在実施・検討されている具体的な事例	
ナセル	<p>固体伝搬音に対する機器対策として、低振動型機器を使用する</p> <p>ナセル透過音（空気音）対策として、ナセルのパネル防音材（遮音材・吸音材）の施工による遮音・吸音強化を行う</p> <p>固体伝搬音の放射対策として、動吸振器の設置による放射面の制振や、ダンピング材（振動防止材）の取付けによる放射面の減衰付与を行う</p> <p>共振抑制用制振材を取り付ける</p>
増速機	<p>固体伝搬音に対する機器対策として、メンテナンス・修理による低振動化を行う</p> <p>防振ゴムを用いた支持による低振動化を行う</p> <p>固体伝搬音の放射対策として、機器設置部への防振材挿入による防振支持、振動絶縁を行う</p> <p>ギアレスの風力発電施設を導入する</p> <p>歯車のかみ合いの精度の向上や、歯面の的確な表面処理、摺動部分の粗さの管理等により騒音を低減させる</p> <p>増速機をサポートしている部材の共振防止を行う</p> <p>摺動部の油の循環を改善するため、添加剤の追加による抵抗減及び劣化抑制を行う</p> <p>軸受け破損による騒音レベルが高い為、早期調査・発見をし、交換を実施する</p>
コンバータ 冷却ファン	<p>放射開口部対策としてサイレンサーを設置する</p> <p>低出力時に停止させたり、インバータ制御により回転数を下げる</p> <p>冷却器を水冷にすることにより、冷却効率や信頼性の向上とともに、騒音を低下させる</p> <p>冷却ファンに遮音ルーバーを取り付け、騒音低減を行う</p> <p>内部調整を実施することにより、周波数特性をなだらかにすることで、聴感的な静音性を向上させる</p> <p>設計により、低速回転化を実施する</p>
電力変換器	<p>想定以上の騒音が発生した際は、製造事業者に速やかな改修等を依頼する</p>
タワー	<p>固体伝搬音対策として、増速機付近からタワー表面にアクティブ型の制振装置を導入することにより、ピーク周波数の低減を図る</p> <p>固体伝搬音対策として、高分子材料（減衰材料）を構造に貼り付けることにより、騒音の低減を図る</p> <p>ブレードの加振周波数と共振しないようにタワーを設計する</p> <p>基礎部分に砂利を入れ、内部減衰により、共振のピークを下げるようにする</p> <p>タワー部分を密閉構造化する。また吸排気口等の開閉部の開閉回数を削減する</p>
利用素材	<p>内部摩擦が大きく、繊維が複雑に絡み合うことにより、騒音減衰効果が期待されるような部材を採用する</p>

2) 空力音に係る騒音低減の取組

現在実施・検討されている具体的な事例	
ブレード	<p>ブレードの表面平滑化・先端のナイフエッジ化・後縁の鋭角化、ツイストバックの導入等による、翼型の低騒音化を図る</p> <p>既設風力発電施設のブレードに後付け可能な空力音低減デバイスの開発、設置を行う</p> <p>風速に応じたブレードのピッチ角とピッチ角速度の制御を行うことにより、回転速度を制御し、騒音を低減させる</p> <p>タワーとブレードをできる限り離れた設計とすることにより、スイッチュ音の低減を図る</p> <p>ダウンウィンド型を採用し、発電施設のナセルとローターに影響を受ける前の風向を、高い精度で確認することにより、ローターと風向の偏差角によるエネルギー損失を低下させ、騒音を低下させる</p>
空力音予測モデル	<p>既存の空力音予測モデルを風洞実験と CFD（数値流体解析）等により改良し、予測精度を向上させ、性能を低下させることなく低騒音化を図る</p> <p>有限要素法を使ったタワーやブレード周辺の空気流れの解析技術を開発する</p>

3) 風力発電施設の制御に係る騒音低減の取組

現在実施・検討されている具体的な事例	
回転翼の制御	<p>回転翼の回転速度を低減し、周速を抑制することにより騒音の低減を図る</p> <p>風向等に応じて、回転速度を制御することにより、騒音を抑制しつつ発電効率の低下を最小限にとどめる</p> <p>発電効率の低下する低騒音型の運転においても、十分に事業として成立する技術を開発する</p>
自動監視・制御システム	<p>住宅の近傍にマイクを置き、実際の騒音に応じて風力発電施設の回転速度を制御する</p> <p>風車騒音、風向、風速等のデータからシミュレーションにより音の伝搬を予測し、回転速度を制御する自動監視システムを開発する</p> <p>風向きと回転翼の軸方向との偏差角を極力減らせるようなシステムを開発する</p>
研究開発体制	<p>施設の設置及び配置に当たり、住宅や事業所との離隔距離を総合的に解析し、風力発電施設の設置事業者と製造事業者の共同で事業計画を策定する</p>

(2) 設計・運用的な事項

風力発電施設の運用による発生源の周波数特性の変化、風洞実験と CFD（数値流体解析）等による既存予測モデルの改良及び予測精度の向上、風力発電施設の設置事業者から騒音測定データ等のフィードバックを受けそれを反映した設計、落雷や軸受の異常時の自動停止や常駐監視員による音の確認などが実施されている。

具体的な事例について、1) 設計・計画時になされる騒音対策、2) 設置・稼働後になされる騒音対策、の2つに分けて以下に示す。

1) 設計・計画時になされる騒音対策

現在実施・検討されている具体的な事例	
音響データ等の測定状況	機種別及び風速別に音響パワーレベルを測定する 施設単機は IEC61400 シリーズ等に準拠した騒音測定を実施し、施設全体の騒音評価を、風力発電施設の設置事業者と共同で測定する
音響データの活用	風力発電施設の設置事業者に逐次データを報告し、データを考慮した設置を実施する体制を整える
風力発電施設の選定	可能な範囲で風車騒音のパワーレベルが低い機種を優先的に選定する 実際に風力発電施設が設置されている類似の現場を調査し、騒音対策や共振等の状況を風力発電施設の製造事業者から確認する
風力発電施設の設置位置	風力発電施設の設置場所について、社内規定等で住宅からの距離を定め、できる限り距離を確保する 谷間等の地形には風力発電施設の設置を避ける 台風等の様々な気象状況をデータベース化し、地形の状況や民家までの距離を考慮してシミュレーションを行うことにより、事前に騒音の伝搬を予測し、設置に不向きな地域の判断を行う 環境関係コンサルタントを適宜活用し、総合的・客観的評価を行うことにより、立地の検討を行う 風力発電施設の製造事業者提供の騒音データ及び地形の影響等を考慮することにより、風力発電施設を的確な配置とする
風車騒音等の測定	住民不安を払拭するため、測定ポイントの追加や強風時、季節の違いを踏まえて測定を行い、評価書等で報告する。稼働後も現状把握の目的で測定を実施する

2) 設置・稼働後になされる騒音対策

現在実施・検討されている具体的な事例	
風力発電施設の機器の交換	風力発電施設の設置事業者と製造事業者の間で頻繁に打合せを行い、不具合等が確認された場合は新たな部品が開発され次第、交換を実施する
風力発電施設の回転数低減	風向・風速を調査し、騒音が暗騒音を一定以上超過する場合は施設を一時停止する
測定データの蓄積	風力発電施設の設置事業者から測定データ等のフィードバックを受け、それを反映した設計等を考慮する
稼働後の異音	現地状況を把握した上で、購入時に想定されていない異音等の対策を風力発電施設の製造事業者と共同で実施する 住民からの要望を受け止め、複数の対策を提案することにより解決を図る
事後調査	風力発電機の設置後に事後調査を行い、予測結果が適切かどうかの確認を実施する
風力発電施設の監視体制	落雷や軸受の異常が発生、もしくは発生のおそれがある場合は、異常信号が送信され、自動停止やメンテナンス等を行うことのできる24時間の監視体制を実施する 見た目だけでなく、音に変化が生じることも考慮し、常駐監視員による音の確認を行う ブレードへの雷撃等による破損や、風による堆積物の監視を望遠レンズで実施する
風力発電施設の維持管理	年間1～2回は落雷等により、レセプターの飛散や翼の破損が発生するため、保守点検を実施する 風力発電施設の設置事業者は不具合や問題点、改善要望を風力発電施設の製造事業者に連絡し、また製造事業者は設置事業者に点検項目等を提示し、異音発生が無いように共同で対応を行う オンラインによる騒音の遠隔監視システムにより、騒音発生を抑制する 予防保全対応を行い、施設・機器を最適な状況に維持することにより、異音を防止する 施設破損等の問題発生時は24時間以内を目途に現地入りし、対策を検討することのできる体制を取る 保安規定として、1年点検（施設停止）、半年点検（施設停止）、各月点検（目視）を行い、また管理事務所にて適宜モニタリングを行う
受音側対策	風力発電施設設置後に苦情が発生した際に、受音側対策として住宅の窓等の防音性能を高める

(3) 関係者間のコミュニケーション

風車騒音については、感覚公害特有の問題点を踏まえ、風力発電施設の設置事業者、製造事業者、地方公共団体、地域住民等の関係者間でのコミュニケーションを推進していくことが重要である。

風力発電施設の設置事業者による説明会の実施、施設の設置及び配置に係る住宅・事業所との隔離距離の総合的解析に基づく最適事業計画の策定、苦情発生時のフォローの継続や地元住民・地元自治体との協定締結などの、地域住民との良好な関係を維持するための取組がなされている。また、こうした取組により、実際に苦情発生が少なくなった等、適切な対応事例も確認された。

さらに、苦情発生時における住民対応やその後の改善策の導入等、風力発電施設の設置事業者及び製造事業者が連携して対応し、効果的な対策を実現している事例も確認された。

これらの具体的な事例を以下に示す。

現在実施・検討されている具体的な事例	
風車騒音等に係る説明	<p>関係機関と協力して、超低周波音等の適切な説明を案件ごとに繰り返し実施する</p> <p>設置計画等の総合的・客観的データを環境影響の説明の一つとして公開し、住民への確認と了解を頂く等、万全を期す</p> <p>新規開発案件では設置計画の初期段階から、住民説明会等を開催し、地域との協調性を図る</p> <p>小学校での再生エネルギーに関する教育等を実施する</p> <p>苦情が発生した際には、なぜ苦情を言っているのかについて十分に事情を把握し、誠意をもって適切な対応を行う</p> <p>苦情が発生した際には、施設の稼働停止を1基ずつ繰り返し、またデータ提供を行いながら、説明、確認を実施する</p> <p>施設周辺の問題解決について長期的な対応を行うこととし、苦情発生時のフォローを継続する</p> <p>地元自治会と良好な関係を築くために、協定を締結（可能な場合、立会者として地元自治体が介在）する</p> <p>地域住民及び公共団体とコミュニケーションを取り、事業活動を理解してもらうとともに、異音発生等の情報を提供してもらう</p> <p>地元説明は同一町内のみではなく、施設から半径何百mなど、エリアを決めて説明する</p>
現地の地方公共団体との協力	<p>施設設置計画において、地方公共団体の長から、地元住民に対して設置に係るメリットやデメリットの説明をしてもらい、総合的に判断をしてもらう</p> <p>苦情等が発生した場合は対応を統一化するため、自治体の環境課に窓口をもらう。また苦情申し立ての際には地区長にも来てもらうようにする</p> <p>国や地元の地方公共団体と円滑な情報交換を実施し、苦情対応等の際に、一体化して対応を行う</p>
地元貢献	<p>地元イベントや観光利用等の協力を行うなど、地元への貢献を行う。また、発電施設周辺を津波の避難場所として設定する</p>

3-5. 今後必要な取組

3-4. で示した騒音への対応策事例を踏まえて、今後、さらに必要と考えられる取組について以下に示す。

(1) 対策技術的な事項

ア. 短期的事項

風力発電施設の固体伝搬音やブレード（羽）の空力音等について、導入可能な対策とその騒音低減効果の整理や適切な情報発信が求められる。また、振幅変調音に係る対策については、航空等他業種の類似事例も参考にしつつ、空気の流れ等を考慮した低騒音型のブレードの開発が求められる。純音性成分に係る対策としては、増速器・冷却ファン等の騒音発生源の低騒音化とともに、サイレンサーの設置等、機械部分からの騒音に関する追加的な防音対策等も有効であると考えられる。

イ. 中長期的事項

音の性質に着目した技術的対策や、空力音予測モデルの適切な活用による運転方法の確立を行うとともに、騒音低減のために回転数を抑制した場合の発電量低下の対策を行い、立地条件を反映した空力音伝搬予測モデルの検討、騒音抑制のための取組を広く推進させるための支援的な技術の検討開発が期待される。

(2) 設計・運用的な事項

ア. 短期的事項

個別施設におけるデータの収集・蓄積を図りつつ、風力発電施設のスペックの設定における風車騒音等に関する情報整理や、騒音低減性能確保のための保守管理対策の実施、施設設置の際の気候・土地利用状況等による音の影響の違いを踏まえた場所別の対策の実施などが期待される。

イ. 中長期的事項

製造コストやランニングコスト面から更なる騒音低減を図ることは容易でないが、下記（3）等を考慮し、引き続き風力発電施設の設置事業者、製造事業者と継続的に環境対応を深めていくことが重要である。

(3) 関係者間のコミュニケーション

ア. 短期的事項

施設設置計画段階における風力発電施設の騒音対策など、より一層の環境保全対策を中心とした研究の促進を進めるとともに、風車騒音の聴覚的印象等に係る地域住民への正確な情報提供、さらには、地域住民が抱える懸念に対して説明会実施等において整理して対応し、運転開始後においても定期的な運転状況等を情報提供していくことが望まれる。

イ. 中長期的事項

安価で取り扱いやすく利用しやすい技術や対策の検討を行うとともに、風力発電施設の設置事業者や製造事業者の環境意識や専門知識の向上を図っていく必要がある。また、関連する地方公共団体職員の専門知識のより一層の向上を図るための教育等の実施も必要である。風車騒音のわずらわしき（アノイアンス）は風力発電施設について肯定的に捉える住民間では低く、風力発電施設の設置に対する受容性が上がるという知見も報告されている。これらのことも踏まえつつ、コミュニケーション手法の検討を深めていくことが望まれる。

4. 本報告書の活用と今後の課題

本検討会では、風力発電施設の設置事業者・製造事業者、行政（国、地方公共団体）、地域住民等の関係者の参考となるよう、現時点までの知見及び風車騒音の評価方法について取りまとめた。

本報告書で明らかになったことについて、技術的な調査事項等に限らず、関係者間のコミュニケーション等のソフト面の対応を含め、様々な関係者の方々により活用され、よりよい取組・対策が行われることを期待したい。

（1）風力発電施設の設置事業者・製造事業者による活用と課題

本報告書は、計画段階及び設置後の風車騒音等の調査、予測及び評価についての考え方を整理するとともに、風力発電施設の設置事業者及び製造事業者が取り組んでいる対策内容も取りまとめており、特に設置事業者に広く活用されることを期待する。

また、引き続き、設置事業者及び製造事業者において、特に次の項目について調査や検討を深められていくことが望まれる。

- 設置事業者と住民間の円滑なコミュニケーションを推進するための各種ツールの開発・普及等、総合的な取組の実施
- 設置事業者と製造事業者の相互協力による、立地現場や運転状況に即した騒音対策技術の導入・開発等の騒音対策の実現
- 風車騒音の聴覚的印象に関する正確な情報の普及啓発等による地元住民の理解促進
- 風力発電施設の騒音低減のための技術開発・運転方法改善等の情報の収集・発信
- 個別の設置施設におけるデータ等の収集・蓄積（気象条件・土地利用状況等による音の違いによる対策等）
- 安価かつ取り扱いやすい技術や、対策の検討等による一層の環境保全対策を中心とした研究の促進（既存施設への導入や、伝搬に関する騒音予測モデル等の検討）
- 「ISO 9613-2 : 1996」や「風力発電のための環境影響評価マニュアル(第2版)」等の特徴を踏まえた、風車騒音の受音点における新たな予測手法の開発
- 設置後における風車騒音の調査データの蓄積と予測への活用
- 騒音ラベリング制度等の導入可能性の検討

(2) 行政（国、地方公共団体）による活用と課題

本報告書において騒音対策手法の事例や対応に関する現状と課題を取りまとめたので、地方公共団体の職員が設置事業者や住民に対応する時に適切に活用されること、地方公共団体自らが調査を行う場合は、本報告書に記載した調査手法を参考とされることを期待する。また、環境影響評価の際に、調査、予測及び評価において本報告書の考え方を参考とされることを期待する。

今後の課題として以下にそのいくつかを例示する。

① 風力発電施設の技術・運用、普及啓発等に関する事項

風力発電施設に関して寄せられる苦情に適切に対応できるようマニュアル等を整備・反映するとともに、設置事業者が実施している対策技術のうち、他の施設にも応用できる事例等を収集・共有ができるような仕組みの検討や、風車騒音の聴覚的特性に関する正確な情報等の普及啓発による地元住民の理解促進への取組等が望まれる。

風力発電施設に対する騒音苦情については、騒音レベルの高さや音の性質だけではなく、視覚的な要素等も関係すると考えられる。これらの騒音以外の要素の影響についても、引き続き知見の収集に努め、対応策について検討することが必要である。

② 風車騒音の影響・評価に関する事項

本検討会において、風車騒音の評価の目安を3-1.のとおり整理したが、次に掲げる点を中心に引き続き知見の集積を図り、今後必要に応じて評価の目安を見直していくこととする。

- 既に設置されている風力発電施設の現地における事後調査の分析結果を踏まえた風車騒音の伝搬等に関すること
- 純音性成分の評価等の、現時点で知見が不足している風車騒音の人への影響に関すること
- 既に風力発電施設が設置されている地域に新たに別の風力発電施設を建設する場合の騒音の累積的な影響に関すること
- 今後風力発電施設が超大型化した場合の騒音等の影響に関すること

なお、静穏な地域における音環境については、風力発電施設に限らず立地する全ての騒音発生施設を対象に検討する必要がある。今後、諸外国の事例・制度等の調査を行いつつ、我が国における静穏な地域での音環境の調

査・予測・評価のあり方について、検討していく必要がある。

(3) 地域住民の理解促進

本報告書は、風車騒音の調査及び評価の考え方・対策技術等に加え、風車騒音の発生のメカニズムやわずらわしさ（アノイアンス）の感じ方等の最新の知見等も整理している。風力発電施設の設置に関して課題になり得ると考えられる点について設置事業者等とコミュニケーションを進める際に、参考として活用していただきたい。

5. 参考文献

- (1) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 Web,
<http://www.nedo.go.jp/>
- (2) 長期エネルギー需給見通し関連資料（平成 27 年 7 月資源エネルギー庁）
- (3) 「風力発電導入ガイドブック（2008 年 2 月改訂第 9 版）」（平成 20 年 2 月、
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構エネルギー対策推進部）
- (4) Hideki Tachibana, Hiroo Yano, Akinori Fukushima and Shinichi Sueoka.
Nationwide field measurements of wind turbine noise in Japan. *Noise Control Engineering Journal*, 62(2), pp. 90-101(2014).
- (5) 落合 博明：風車音の実測調査結果について -風車音で問題となる周波数範囲の検討-, 日本音響学会 騒音・振動研究会資料, 資料番号 N-2013-06, 2013. 1. 30
- (6) Robert J. McCunney, MD, MPH, Kenneth A. Mundt, PhD, W. David Colby, MD, Robert Dobie, MD, Kenneth Kaliski, BE, PE, and Mark Blais, PsyD. Wind Turbines and Health: A Critical Review of the Scientific Literature. *Journal of Occupational & Environmental Medicine*: November 2014-Volume 56-Issue 11-p e108-e130
- (7) Roy D. Jeffery, Carmen M. E. Krab, Brett Horner. Industrial wind turbines and adverse health effects. *Canadian Journal of Rural Medicine* 2014;19(1), p21-26.
- (8) Jesper Hvass Schmidt, Mads Klokke. Health Effects Related to Wind Turbine Noise Exposure: A Systematic Review. *PLOS ONE*, DOI:10.1371/journal.pone.0114183 December 4, 2014, p1-28.
- (9) Loren D. Knopper, Christopher A. Ollson, Lindsay C. McCallum, Melissa L. Whitfield Aslund, Robert G. Berger, Kathleen Souweine and Mary McDaniel. Wind turbines and human health. *Frontiers in PUBLIC HEALTH*. June 2014, Volume 2, Article 63, p1-20.
- (10) Sonoko Kuwano, Takashi Yano, Takayuki Kageyama, Shinichi Sueoka and Hideki Tachibana. Social survey on wind turbine noise in Japan. *Noise Control Engineering Journal*, 62(6), pp. 503-520(2014)
- (11) Hideki Tachibana, Hiroo Yano, Akinori Fukushima and Shinichi Sueoka. Nationwide field measurements of wind turbine noise in Japan. *Noise Control Engineering Journal*, 62(2), pp. 90-101(2014).
- (12) Health Canada, Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results
カナダ健康省 Web
<http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/noise-bruit/turbine-eoliennes/summary-resume-eng.php>
- (13) Michaud et al. (2015). An assessment of quality of life using the WHOQOL-BREF among participants living in the vicinity of wind turbines. *Environmental Research*, 142 (2015): 227-238.
- (14) Australian Government, National Health and Medical Research Council (NHMRC), Information Paper, Evidence on Wind Farms and Human

Health

オーストラリア国立保健医療研究委員会 Web,

<https://www.nhmrc.gov.au/guidelines-publications/eh57>

- (15) NHMRC Statement: Evidence on Wind Farms and Human Health
オーストラリア国立保健医療研究委員会 Web,
<https://www.nhmrc.gov.au/guidelines-publications/eh57>
- (16) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 Web 局所的風況予測モデル H18 年度版, <http://app8.infoc.nedo.go.jp/nedo/top/top.html>
- (17) 平成 22-24 年度 環境省 環境研究総合推進費 (戦略指定研究領域) 研究課題「S2-11 風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究」報告書
- (18) 橘秀樹: 諸外国における風車騒音に関するガイドライン、日本音響学会誌 71 巻 4 号 (2015), p. 199.
- (19) “Statutory Order on Noise from Wind Turbines Translation of Statutory Order no. 1284 of 15 December 2011”,
http://eng.mst.dk/media/mst/66206/engelsk_vindmoellebekendtgørelse.pdf
- (20) “Retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging (T-1442/2012)” (2 July 2012),
https://www.regjeringen.no/contentassets/c19e1ed84f1449aabfd8ba7829e009c9/t-1442_2012.pdf
- (21) Kevin Fowler, Erik Koppen and Kyle Matthis. “International legislation and regulations for wind turbine noise,” Proc. Wind Turbine Noise 2013, 22 pages (2013).
- (22) Gouvernement Wallon. “Cadre de référence pour l’implantation d’éoliennes en Région Wallonne, Gouvernement Wallon” (21 February 2013),
[http://www.eolien.be/ckfinder/userfiles/files/CRD\(1\).pdf](http://www.eolien.be/ckfinder/userfiles/files/CRD(1).pdf)
- (23) Ministère de l’Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement. ” Décrets, arrêtés, circulaires Textes Généraux, Arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d’électricité utilisant l’énergie mécanique du vent au sein d’une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l’environnement NOR: DEVP1119348A” , 27 août 2011 JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE Texte 14 sur 136, (2011)
- (24) “Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm) vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503)”
- (25) “Besluit van 19 oktober 2007, houdende algemene regels voor inrichtingen (Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer)” ,
<http://www.rotterdam.nl/Clusters/BSB/Document%202013/Directie%20Ve>

- iligheid/Activiteitenbesluit-milieubeheer.pdf
- (26) Department of Trade and Industry. “ETSU-R-97 The Assessment and Rating of Noise from Wind Farms Final Report” (September 1996),
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/49869/ETSU_Full_copy__Searchable_.pdf
 - (27) “NZS 6808:2010, New Zealand Standard, Acoustics - Wind farm noise” (Superseding NZS 6808:1998),
<https://shop.standards.govt.nz/catalog/6808%3A2010%28NZS%29/view>
 - (28) New South Wales Government Planning and Infrastructure. “Draft NSW Planning Guidelines Wind Farms, A resource for the community, applicants and consent authorities” (December 2011),
<http://www.planning.nsw.gov.au/~media/Files/DPE/Guidelines/draft-nsw-planning-guidelines-wind-farms-a-resource-for-the-community-applicants-and-consent-2011-12.ashx>
 - (29) Environment Protection Authority, South Australia. “Wind farms environmental noise guidelines” (July 2009),
http://www.epa.sa.gov.au/xstd_files/Noise/Guideline/windfarms.pdf
 - (30) Victorian Government Department of Planning and Community Development. “Policy and planning guidelines for development of wind energy facilities in Victoria” (July 2012),
http://www.dtpli.vic.gov.au/__data/assets/pdf_file/0009/231768/Policy-and-planning-guidelines-for-development-of-wind-energy-facilities-in-Victoria-July-2012.pdf
 - (31) Western Australian Planning Commission. “Guidelines for Wind Farm Development” , PLANNING BULLETIN Number 67. (May 2004)
 - (32) Alberta Utilities Commission. “Rule 012, Noise Control” (2013),
http://www.auc.ab.ca/rule-development/noise-control/Documents/Rule%20012_noiseControl_april1%20.pdf
 - (33) EDS Consulting. “Land Use Planning for Wind Energy Systems in Manitoba, Final Report to Manitoba Intergovernmental Affairs” (October 2009),
<http://www.gov.mb.ca/ia/plups/MobilePages/pdf/weg.pdf>
 - (34) New Brunswick Department of Environment. “Environmental Assessment Guidance Document -Additional Information Requirements for Wind Turbines” (revised April 2008),
<http://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/env/pdf/EIA-EIE/SectorGuidelines/WindTurbines.pdf>
 - (35) Ontario Ministry of the Environment. “Noise Guidelines for Wind Farms” (October 2008),
<https://dr6j45jk9xcmk.cloudfront.net/documents/1683/164-noise-guidelines-for-wind-farms-en.pdf>
 - (36) “Colorado Noise Related Statutes” ,
<https://www.noisefree.org/stateord/colorado.pdf>

- (37) “Georgia Wind Working Group, Model Wind Ordinance for Wind Energy Facilities” (March 2010),
http://www.gawwg.org/images/GA_Model_Wind_Ordinance_March_2010.pdf
- (38) State of Illinois. “Administrative Code, Title 35: Environmental Protection, Subtitle H: Noise, Chapter I: Pollution Control Board, Part 901: Sound Source Emission Standards and Limitations for Property-Line Noise Sources” (2006),
<ftp://www.ilga.gov/JCAR/AdminCode/035/03500901sections.html>
- (39) “Tipton County Zoning Ordinance, Article Five Development Standards”,
[http://www.in.gov/oed/files/Tipton_County_Wind_Ordinance_\(see_Sec_522\).pdf](http://www.in.gov/oed/files/Tipton_County_Wind_Ordinance_(see_Sec_522).pdf)
- (40) Department of Environmental Protection. ” Chapter 375: No Adverse Environmental Effect Standard of the Site Location Law” ,
<https://www1.maine.gov/sos/cec/rules/06/096/096c375.doc>
- (41) “Wind Turbine Health Impact Study: Report of Independent Expert Panel” (January 2012),
<http://www.mass.gov/eea/docs/dep/energy/wind/turbine-impact-study.pdf>
- (42) State of Michigan, Department of Labor & Economic Growth. “Michigan Siting Guidelines for Wind Energy Systems” (14 December 2005),
http://www.ewashtenaw.org/government/departments/planning_environment/planning/wind_power/Michigan%20Siting%20Guidelines%20for%20Wind%20Energy%20Systems
- (43) “Article X, Huron County Wind Energy Conversion Facility Overlay Zoning Ordinance” ,
http://www.michigan.gov/documents/CIS_EO_Huron_County_Wind_Ordinance_147374_7.pdf
- (44) Minnesota Pollution Control Agency. “Minnesota Administrative Rules, Chapter 7030 Noise Pollution Control” ,
<https://www.revisor.leg.state.mn.us/rules/?id=7030&version=2014-01-18T08:21:40-06:00&format=pdf>
- (45) Lincoln County Environmental Office. “Lincoln County Comprehensive Development Ordinance No. 40” (2009),
<http://www.co.lincoln.mn.us/Departments/Enviro/Comprehensive%20Development%20Ordinances.pdf>
- (46) “Town of Jefferson Wind Energy Facilities Law” ,
<http://www.schohariecounty-ny.gov/townjef/JeffersonWindLaw.pdf>
- (47) North Carolina Wind Working Group. “Model Wind Ordinance for Wind Energy Facilities in North Carolina” (July 2008),
https://nccleantech.ncsu.edu/wp-content/uploads/NC_Model_Wind_Ordinance_June_2008_FINAL-updated-contact_-info.pdf
- (48) Department of Environmental Quality. “Division 35, Noise Control

- Regulations” ,
http://arcweb.sos.state.or.us/pages/rules/oars_300/oar_340/340_035.html
- (49) “Article 12, County of Potter, Commonwealth Pennsylvania, Ordinance No. 1-2008” ,
<http://www.pottercountypa.net/planning/saldo/Article12.doc>
- (50) “State of Wisconsin Legislation, Chapter PSC 128 Wind Energy Systems” ,
https://docs.legis.wisconsin.gov/code/admin_code/psc/128.pdf
- (51) “Wind Energy Conversion System (WECS) Ordinance of Shawano County” ,
<http://www.windcows.com/files/Shawano.pdf>
- (52) “Wyoming State Section 1. 18-5-501 through 513 “ ,
<https://legisweb.state.wy.us/2010/Bills/HB0072.pdf>
- (53) ” 55.300 Laramie County Wind Energy System Regulations” ,
<http://www.naco.org/sites/default/files/documents/Laramie%20County,%20WY%20-%20Wind%20Energy%20System%20Regulations.pdf>
- (54) 平成 26 年 9 月公益社団法人日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集
(2-2-3 風車騒音の測定・評価指標に関する実測データに基づく検討)
- (55) 平成 24 年度風力発電施設の騒音・低周波音に関する検討調査業務報告書
- (56) 環境省水・大気環境局自動車環境対策課「自動車騒音常時監視マニュアル
(平成 23 年 9 月)」
- (57) 環境省水・大気環境局自動車環境対策課「交通騒音問題の未然防止のための
沿道・沿線対策に関するガイドライン(平成 26 年 4 月)」
- (58) 計画段階配慮手続に係る技術ガイド(平成 25 年 3 月環境省計画段階配慮技術
手法に関する検討会)

(参考1) 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 名簿

沖山 文敏 環境アセスメント学会理事

落合 博明 一般財団法人小林理学研究所協力研究員

桑野 園子 大阪大学名誉教授

佐藤 敏彦 青山学院大学大学院社会情報学研究科特任教授

塩田 正純 元工学院大学工学部教授

橘 秀樹 東京大学名誉教授

田中 充 法政大学社会学部教授

新美 育文 明治大学法学部専任教授

船場 ひさお 岩手大学COC推進室特任准教授

(座長) 町田 信夫 日本大学理工学部特任教授

矢野 隆 熊本大学大学院先端科学研究部教授

(50音順、敬称略。所属は平成28年7月現在)

(参考2) 風力発電施設に係る騒音対策技術等の検討に関する分科会 名簿

- (主査) 塩田 正純 元工学院大学工学部教授
- 勝呂 幸男 横浜国大大学院工学研究科 産学連携研究員
(前一般社団法人日本風力エネルギー学会 会長)
- 高田 和彦 苫前町企画振興課新エネルギー係長
- 橘 秀樹 東京大学名誉教授
- 船場 ひさお フェリス女学院大学音楽学部講師
- 前田 太佳夫 三重大学大学院工学研究科教授
- 町田 信夫 日本大学理工学部教授
- 森下 達哉 東海大学工学部教授
- 吉岡 正雄 北栄町地域整備課長
- 吉田 茂雄 九州大学応用力学研究所教授

(50音順、敬称略。所属は平成26年8月現在)

(参考3) 風車騒音に係る音響用語の解説

1 環境騒音の分類

一般の環境では、複数の騒音が同時に存在するのが普通である。そこで、JIS Z 8731「環境騒音の表示・測定方法」には、以下のような騒音の分類が示されている。

総合騒音 (total noise) : ある場所におけるある時刻の総合的な騒音。

特定騒音 (specific noise) : 総合騒音の中で音響的に明確に識別できる騒音。騒音源が特定できることが多い。

備考 : ある場所におけるある時刻の総合騒音のうち、すべての特定騒音を除いた残りの騒音を**残留騒音 (residual noise)**と呼ぶことがある。また、ある特定の騒音に着目したとき、それ以外のすべての騒音を**暗騒音 (background noise)**ということがある。

以上の騒音の分類を図示すると、図1に示すとおりである。

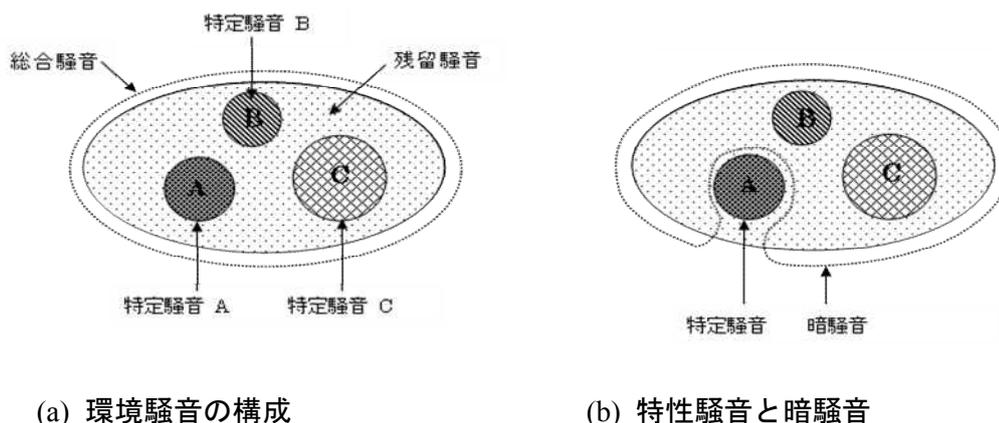


図1 騒音の構成に着目した環境騒音の分類

2 デシベル

電気や音響の分野では、ある物理量の大きさを表す場合、そのままの値で表す以外に、予め決められた基準値との比をとって常用対数で表し、さらにそれを10倍した値として表す方法がよく用いられている。このように表された値をレベルと呼び、単位にデシベル (dB) を用いる。

音についてこのような表し方をするのは、ヒトが聞くことができる音の強さ (音圧の2乗に比例する物理量) の範囲がきわめて広く、そのまま扱うと数値の範囲が10桁以上にもなるが、レベルで表せばほぼ2桁の範囲に収まること、また音の大きさの感覚が音の強さの対数にほぼ比例する (Fechnerの法則) ことによる。

3 音響パワーレベル (sound power level) : L_W

音源が1秒間に放射する音のエネルギーを音響パワー[P : 単位はワット (W = J/s)]
といい、それを次式のようにレベル表示した量を**音響パワーレベル**という。この量は、
定常的に音を発生している音源の音響放射量を表す場合に用いられる。単位はデシベル
(dB)。

$$L_W = 10 \log_{10} \frac{P}{P_0} \dots\dots(1)$$

ただし、 P_0 : 基準の音響パワー (10^{-12} W(=J/s))

なお、環境騒音の問題では、音響パワーにも A 特性 (後述) の周波数重み付けをして
て表示することがあり、その場合の音響パワーレベルを **A 特性音響パワーレベル**という。

4 音圧レベル (sound pressure level) : L_p

空間のある点における音圧 (p : 単位は Pa) を次式のようにレベル表示した量を**音圧
レベル**という。単位はデシベル (dB)。

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2} \dots\dots(2)$$

ただし、 p_0 : 基準の音圧 ($20\mu\text{Pa}$)。

上式は、数学的には $20 \log_{10}(p/p_0)$ と表すことができるが、デシベル表示の原則によれば
上式が正式の定義である。

5 A 特性音圧レベル (A-weighted sound pressure level) : L_{pA}

いろいろな周波数の成分を含む音を聞いたときにヒトが感じる音の大きさ (ラウドネ
ス) を簡便に評価するために、**図 2** に示す **A 特性** と呼ばれている周波数重み付けをし
た音圧レベルが広く用いられている。このようにして評価した音圧レベルを **A 特性音
圧レベル** または **騒音レベル** と呼ぶ。

A 特性は、**図 3** に示すヒトのラウドネス感覚の周波数特性 (等ラウドネス曲線) で、
音圧レベルが比較的低い場合には 1,000 Hz ~ 4,000 Hz の範囲で最も感度が鋭く、それよ
り低い、あるいは高い周波数で感度が鈍くなっていることを考慮した周波数重み付け特
性である。

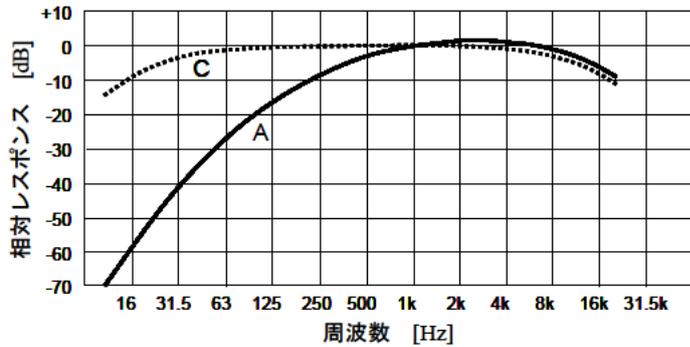


図2 周波数重み付け特性 (A 特性、C 特性)

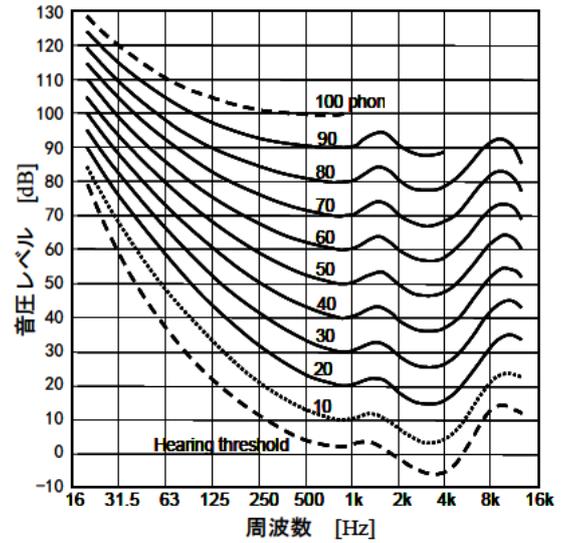


図3 純音に対する等ラウドネス曲線 (ISO 226)

6 C 特性音圧レベル (C-weighted sound pressure level) : L_{pC}

図2に示すC特性と呼ばれている周波数重み付けをして評価した音圧レベルである。C特性は、図3で音圧レベルが比較的高い場合には、等ラウドネス曲線が平坦に近づいていることから、比較的高い音圧レベルの音のラウドネスを評価するために提案された特性である。

7 G 特性音圧レベル (G-weighted sound pressure level) : L_{pG}

超低周波音(20 Hz以下の周波数の音)のヒトの心身に対する影響を評価するために、図4に示すG特性と呼ばれている周波数重み付けをして評価した音圧レベルである。

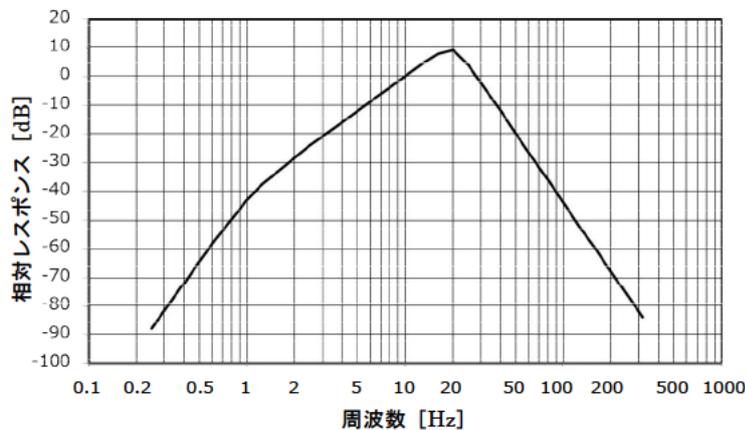


図4 超低周波音の評価のためのG特性 (ISO 7196)

8 時間率騒音レベル (percentile level) : $L_{AN,T}$

変動する騒音レベルを統計量として評価する指標で、図5に示すように騒音計の時間重みづけ特性 Fast によって測定した騒音レベルが評価の時間 T のうち N パーセント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する。たとえば、 $L_{A50,10\text{min}}$ は、10 分間のうちの 50 %の時間にわたって騒音レベルがその値以上である場合に用い、騒音レベルの中央値という。地域の音環境の特性として残留騒音を評価する際には、一定の時間 T (10 分程度とすることが多い) における 90 パーセント時間率騒音レベル $L_{A90,T}$ あるいは 95 パーセント時間率騒音レベル $L_{A95,T}$ が用いられる。

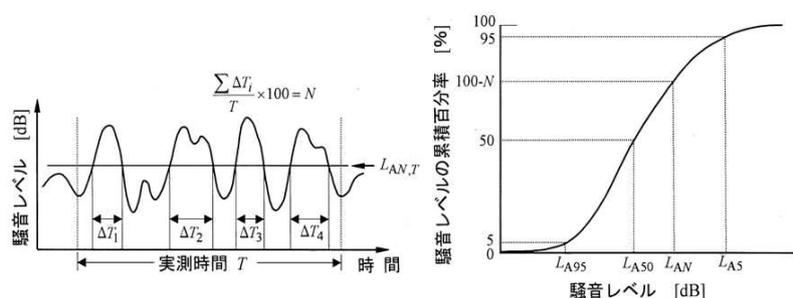


図5 時間率騒音レベル

9 等価騒音レベル (equivalent continuous A-weighted sound pressure level) : $L_{Aeq,T}$

あらかじめ決められた時間における騒音レベルをエネルギー平均的に評価するために、次式で定義される等価騒音レベル (時間平均騒音レベルともいう) が国際的に広く用いられている。単位はデシベル (dB)。

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left[\frac{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt}{p_0^2} \right] \dots\dots(3)$$

ただし、 $T=t_2-t_1$ [s] (評価時間)。

この式の意味は、図6に示すように、評価時間 T の全体にわたる A 特性音圧の 2 乗の時間積分値 (総量) をその時間で平均し、デシベル表示した値ということである。評価時間 T としては、環境騒音を評価する場合には、1 日 (24 時間)、昼間・夜間あるいは昼間・夕方・夜間の時間帯の別などとする。なお、長時間の等価騒音レベルを求める過程で、10 分など短時間の等価騒音レベルを求めることもある。

騒音の影響が時間帯によって異なるということから、時間帯別に騒音に重みづけをして 1 日にわたる等価騒音レベルとして評価することも行われている。このような補正を

含む等価騒音レベルを時間帯補正騒音レベルという。

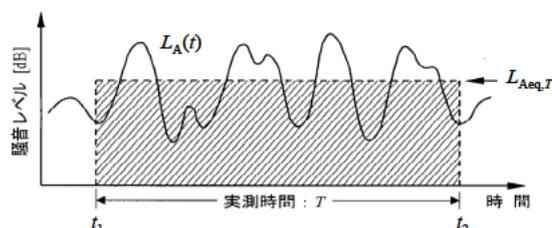


図6 等価騒音レベル（時間平均騒音レベル）

10 評価騒音レベル（rating sound level）： $L_{Ar,T}$

衝撃的な音は驚愕効果があること、卓越した純音性成分を含む音は目立ちやすく、不快に感じられること等から、これらの成分を含む騒音の評価方法として、 $L_{Aeq,T}$ に補正を加えた指標。騒音の環境基準として採用している国も存在するが、補正対象の音をどう定義するか、補正値をどの程度に設定するかについては、まだ国際的なコンセンサスは得られていない。

11 振幅変調音（amplitude-modulated sound）

風力発電施設のブレードの回転によって、音圧の振幅に規則的に強弱がついた音が発生する。このような音は、シュー、シューというように聞こえることから、スウィッシュ音（swishing sound）とも呼ばれている。振幅変調を含む風車騒音の測定例を図7に示す。

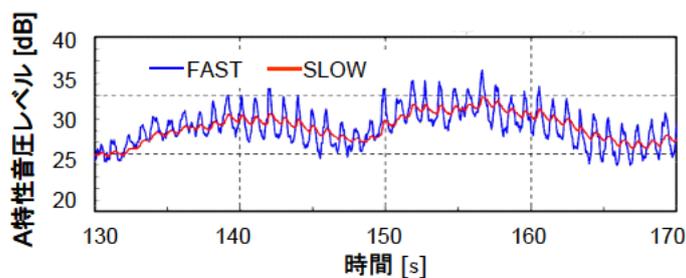


図7 振幅変調を含む風車騒音の例（FAST, SLOW 特性による騒音レベル記録）

12 純音性成分 (tonal components)

風力発電施設の機種によっては、ナセル内の増速機や冷却装置から発生されるウィーンというような音が聞こえる場合がある。このような純音性の音は、騒音レベルの増大はわずかでも耳障りな音質となり、アノイアンスを高める。風車騒音に含まれる純音性成分の評価方法としては、JIS C 1400-11 (IEC 61400-11 に対応) の中で**純音性可聴度** (tonal audibility) の検出方法が規定されている。

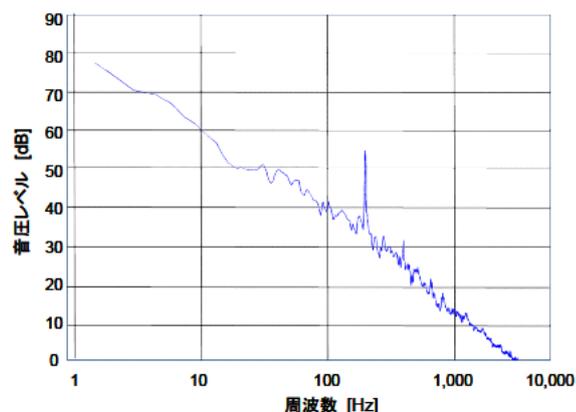


図 8 純音性成分を含む風車騒音の例 (FFT 狭帯域分析)

13 ラウドネス、ノイジネス、アノイアンス

ラウドネス、ノイジネス、アノイアンスの定義を巡ってこれまでに多くの報告がある。しかし一般に、ラウドネスは音の強さと関係のある感覚属性、ノイジネスは音色の悪さに伴うネガティブな印象、アノイアンスは日常生活において仕事、やすらぎ、安眠など生活を妨害する音による社会的影響（音源に対する怒り、苛立ちなど）としてとらえ、アノイアンスが音源の音響学的性質と必ずしも関与しないとするという点では諸報告を通じて共通する面がある。

14 閾値

感覚を生じる最も小さな刺激値。聴覚では「聞こえる」音と「聞こえない」音の境目にあたる刺激値を指す。