

平成29年度公開セミナー「風力発電事業における環境アセスメント」

2. 「風力発電事業により発生する影響等について」 騒音、低周波音について



日本大学 町田 信夫

平成30年3月1日(木)徳島会場

平成30年3月2日(金)広島会場

本日のセミナーに関する主な参考資料

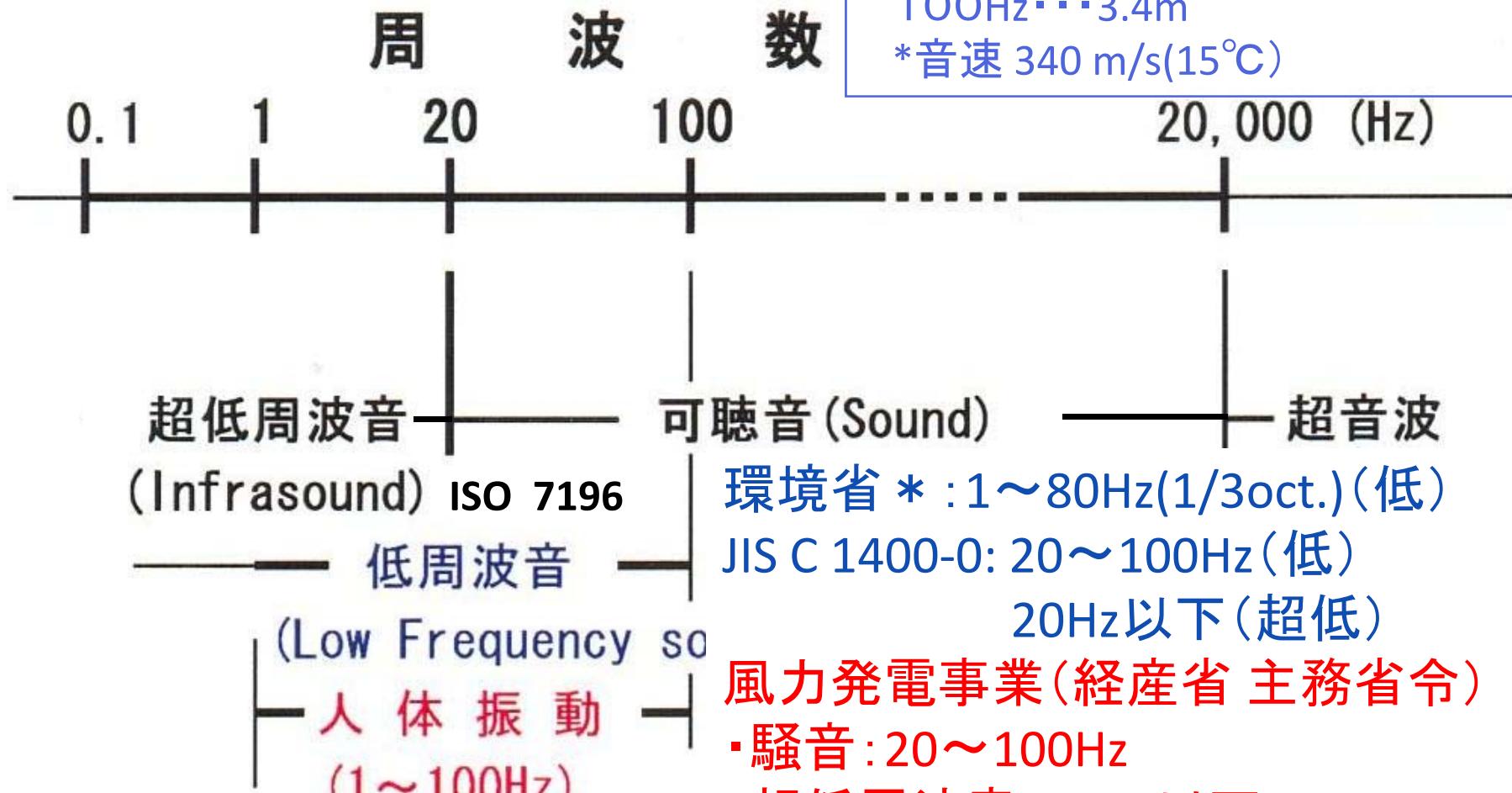
- ・環境省 水・大気環境局大気生活環境室発行
「よくわかる低周波音」 平成19年12月
- ・環境省 風力発電施設から発生する騒音等の評価手法
に関する検討会報告書
「風力発電施設から発生する騒音等への対応
について」 平成28年11月
- ・環境省
「風力発電施設から発生する騒音等測定
マニュアル」 平成29年5月
- ・環水大大発第1705261号（平成29年5月26日）
「風力発電施設から発生する騒音に関する指針
について」

目 次

- 騒音、低周波音の基礎的事項
- 風力発電に関する騒音、低周波音について
- 風車騒音の実態と影響
- 風車騒音評価の考え方・指針値
- 風車騒音の調査・予測
- 今後の課題

騒音、低周波音の基礎的事項

騒音の種別



* 低周波音の測定方法に関するマニュアル

風力発電事業(経産省 主務省令)
・騒音: 20~100Hz
・超低周波音: 20Hz以下
「低周波音」の用語を用いない
低周波音の周波数範囲 国により相違する！

低周波音の測定量

音圧レベル

$$L_p = 10 \cdot \log_{10}(p^2 / p_0^2)$$

音響出力は音圧の
二乗に比例する

L_p : 音圧レベル(dB)

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

p : 音圧実効値(Pa)

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

p_0 : 基準音圧 2×10^{-5} (Pa) ($20\mu\text{Pa}$)

* OA音圧レベル(dB)、1/3oct.音圧レベル (dB)

G特性音圧レベル(ISO 7196)

＜超低周波音の評価量＞

$$L_G = 10 \cdot \log_{10}(p_G^2 / p_0^2)$$

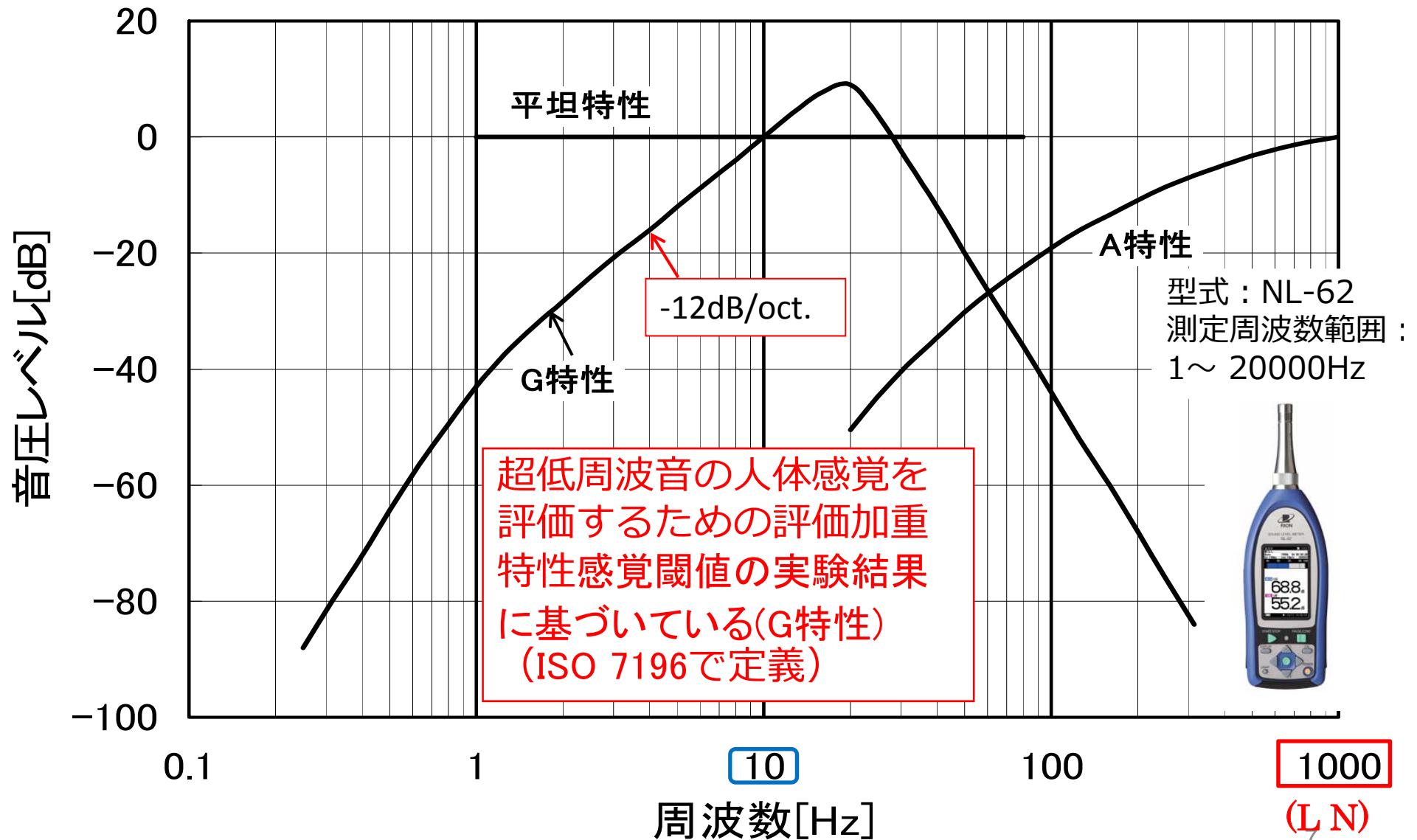
L_G : G特性音圧レベル(dB)

p_G : G特性音圧実効値(Pa)

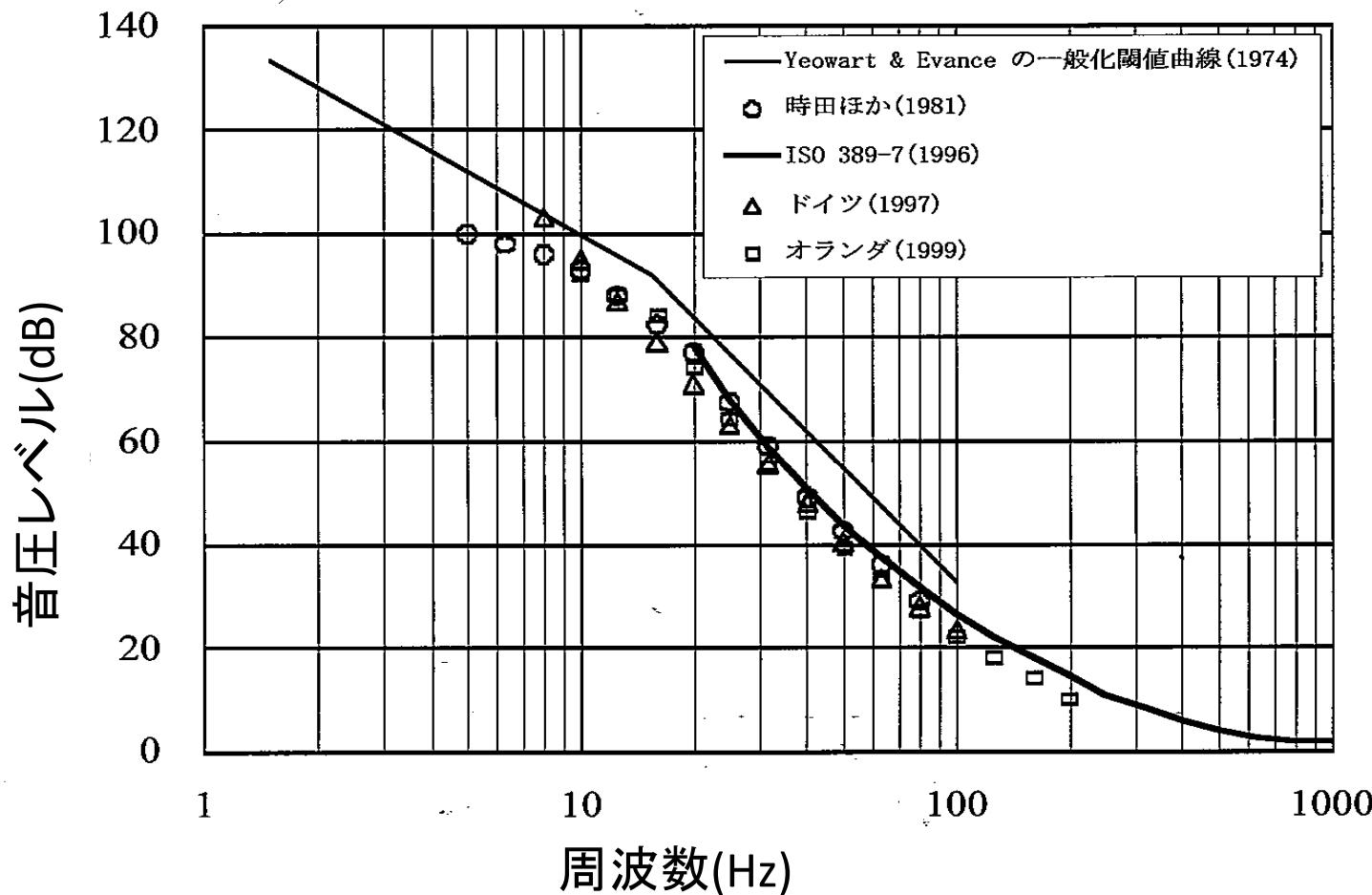
p_0 : 基準音圧 2×10^{-5} (Pa)

可聴騒音を評価する場
合のA特性音圧レベル
(騒音レベル)に相当す
る

低周波音及び可聴音(～1000Hz)の周波数重み付け特性

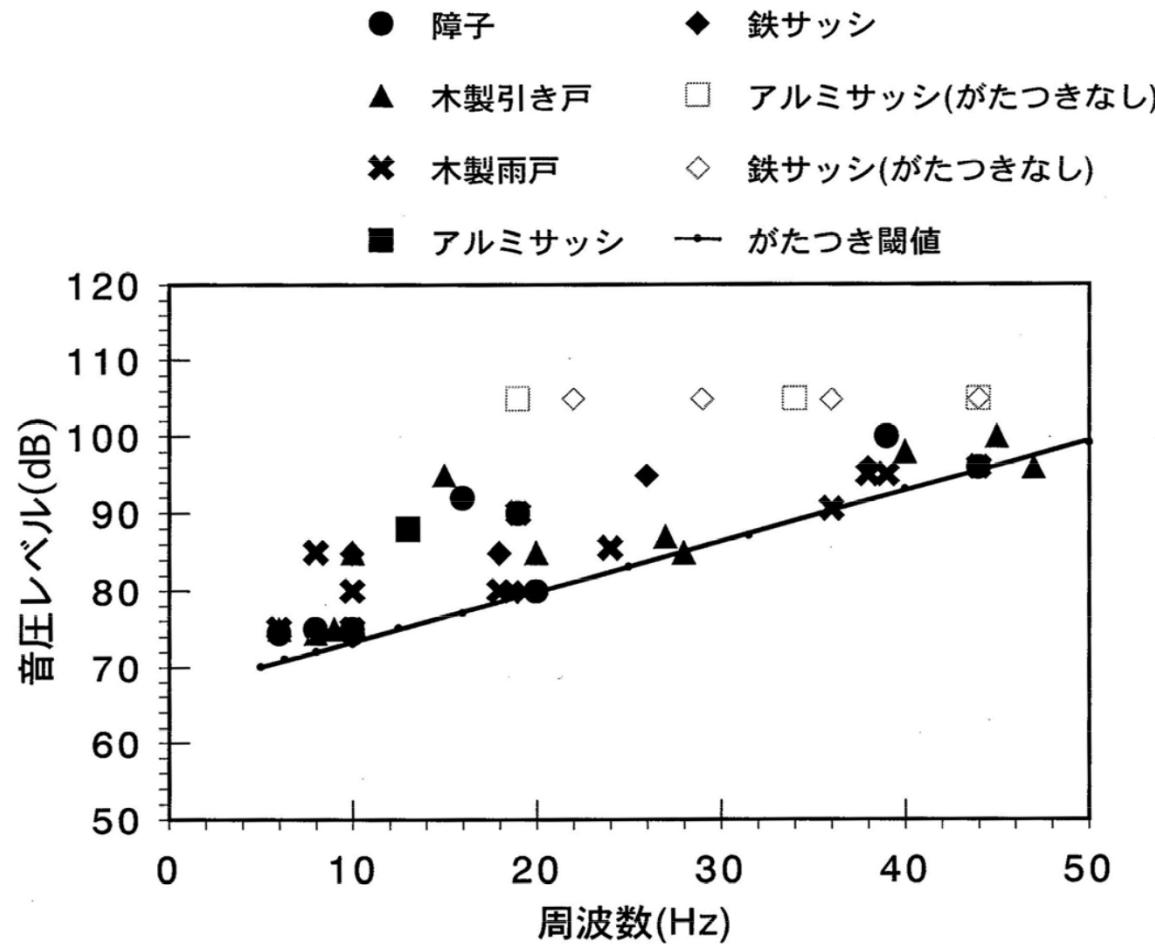


低周波音の閾値

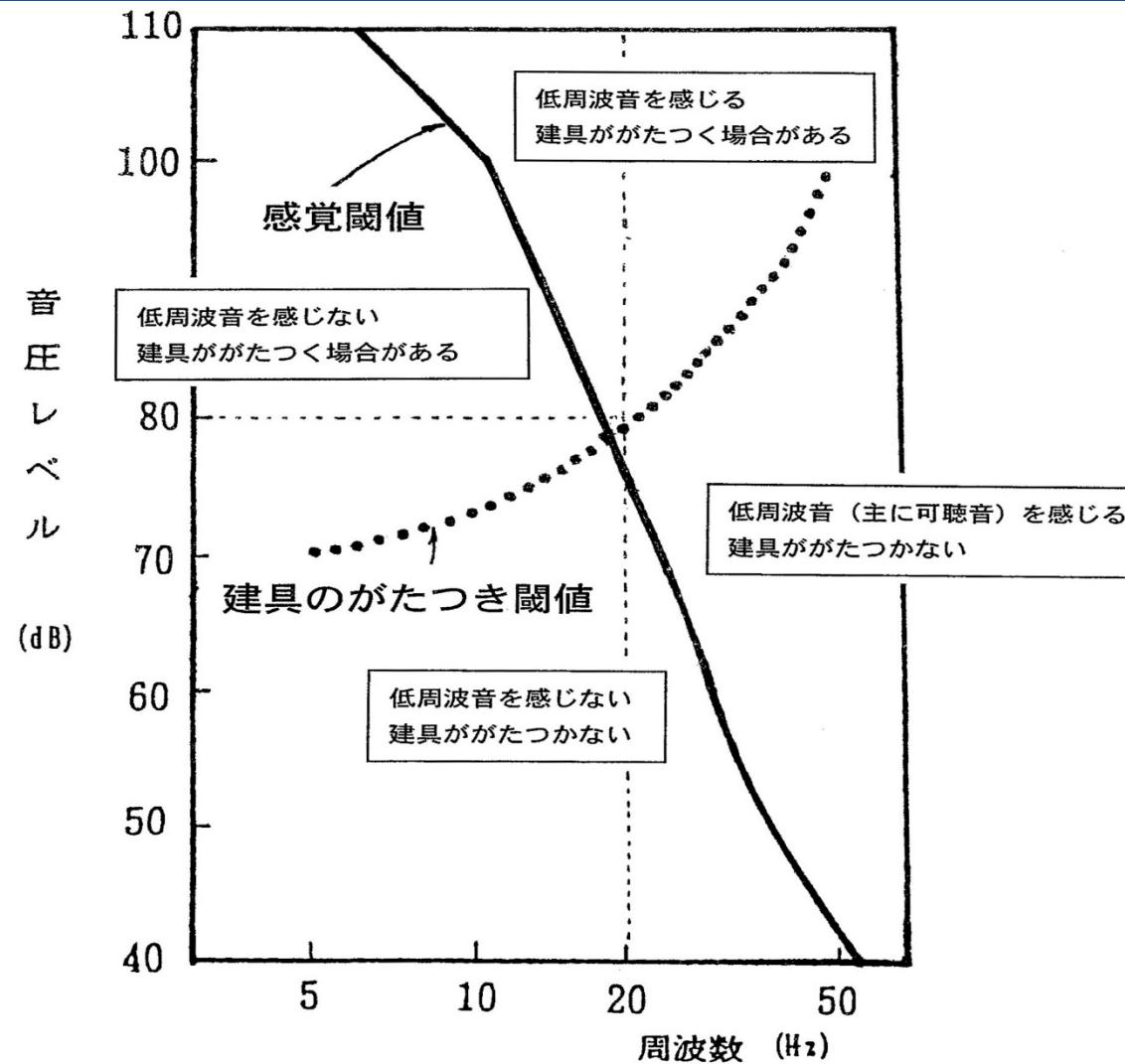


これまでの研究によると、閾値以下では不快感等は生じないと考えられている。

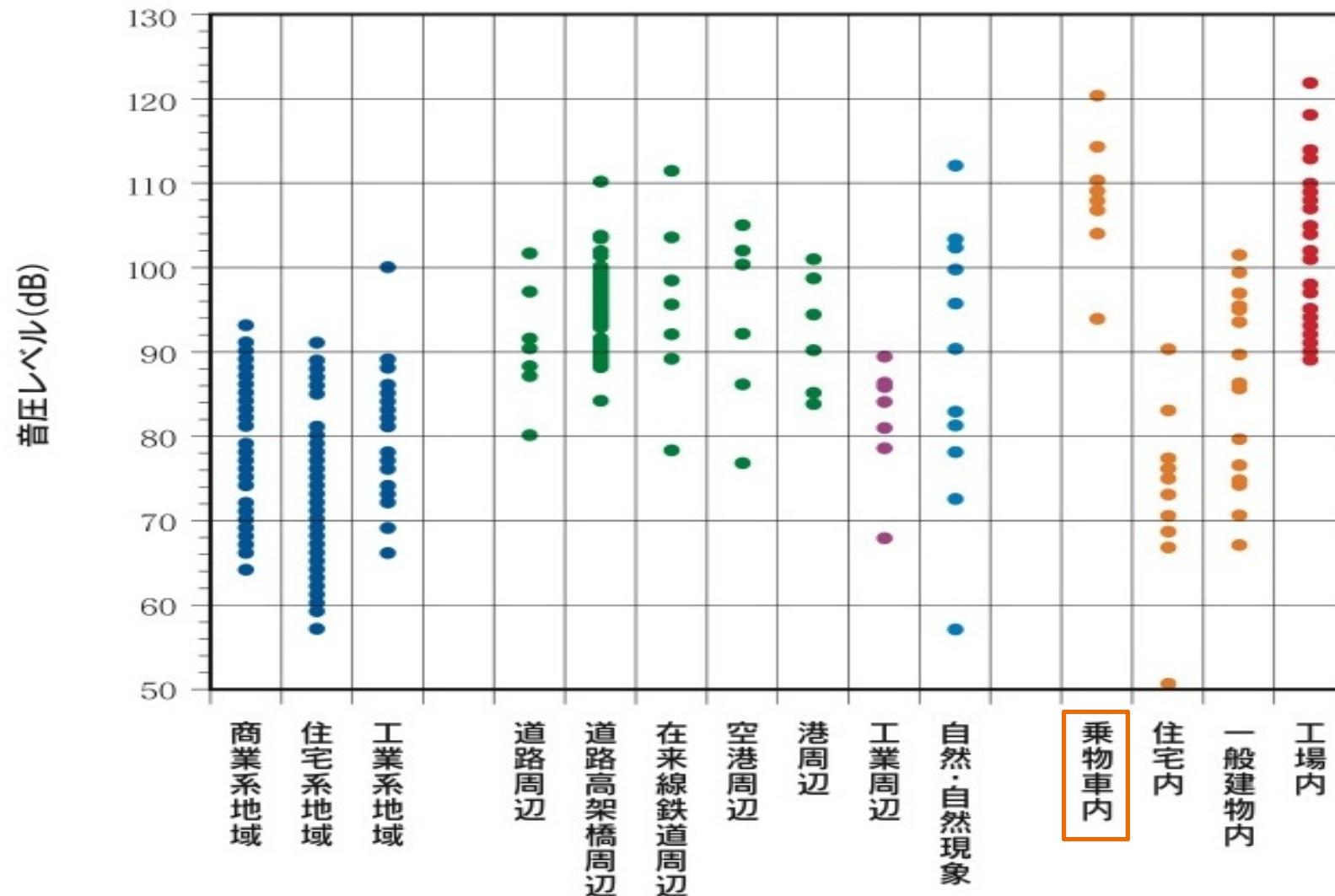
建具のがたつき閾値



低周波音に対する人の感覚閾値と 建具のがたつき閾値の違い



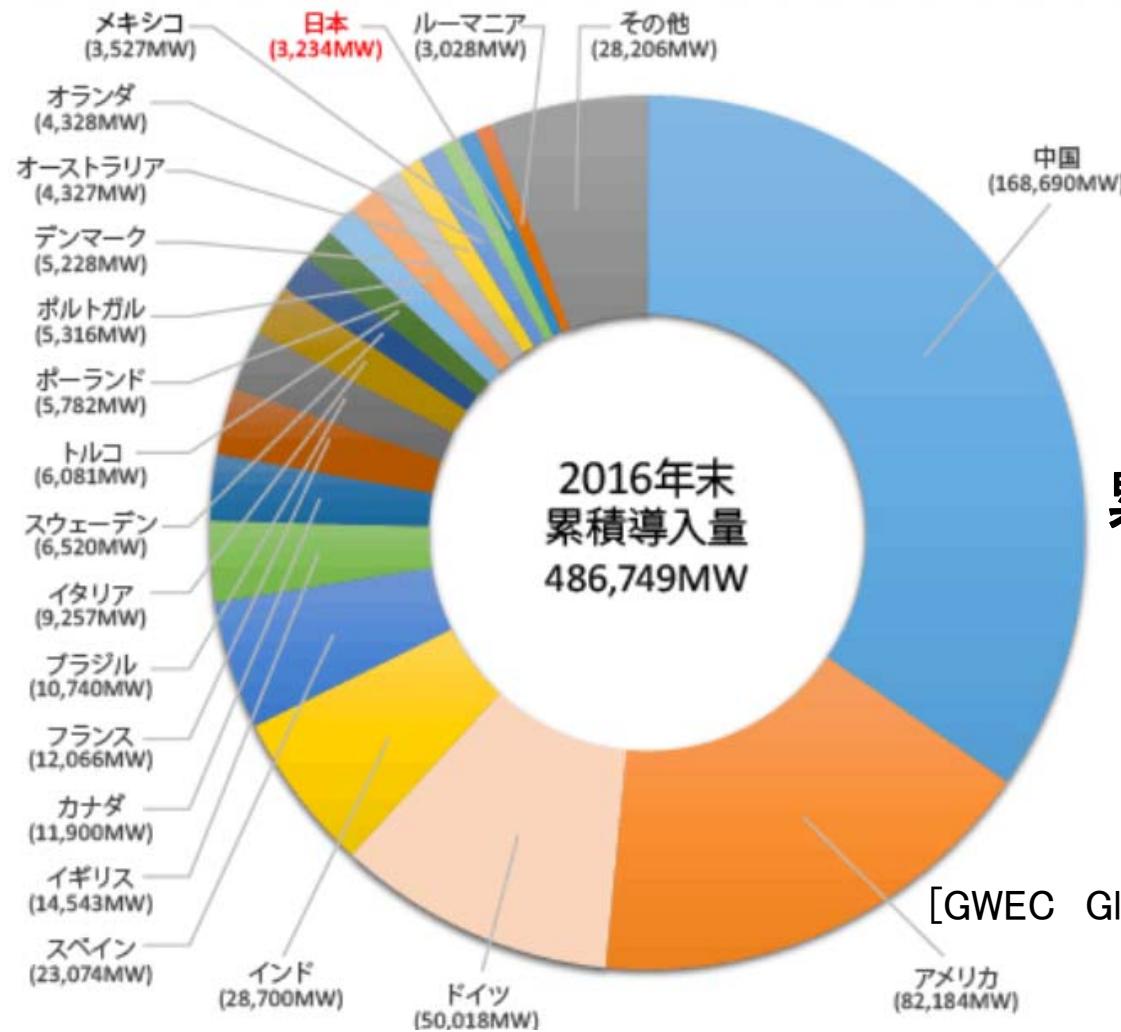
低周波音はどこにでも存在する



身の回りのいろいろな場所における低周波音の大きさの例 (1~80Hzの音圧レベル)

風力発電に関する騒音、低周波音について

世界の風力発電の導入状況

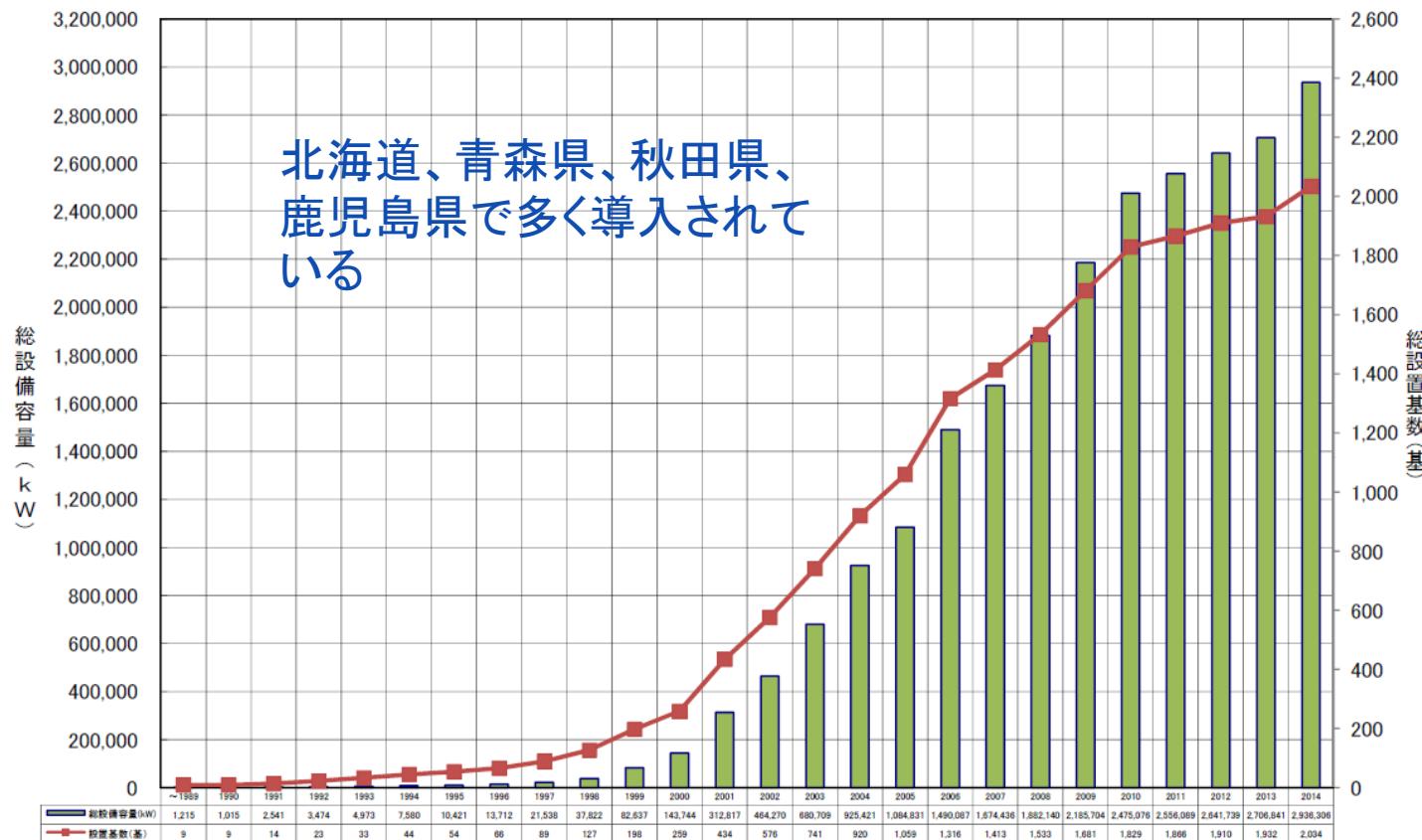


累積風力発電の導入割合
2016年末で約486GW

[GWEC Global Wind Report]

世界各国で広く導入が進んでいる

日本の風力発電の導入状況



[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]

2015年度 2102基、設備容量約311万kW

2030年度 約1000万kWの導入が見込まれている(平成27年度
7月資源エネルギー庁)

風力発電の導入について

- 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
- 風力発電は、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

エネルギー需給施策の基本の方針：風力発電の位置づけ

- 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
- ただし、北海道や東北北部の風力適地では、必ずしも供給の変動性に対応する十分な調整力がなく、系統の整備、広域的な運用による調整力の確保、蓄電池の活用等が必要

風力発電導入の課題

周辺環境への影響への懸念が国内外で顕在化

- 騒音・低周波音については、騒音についての環境基準を満たしている場所においても、健康被害の苦情等の発生事例がある
- 風況が良く風力発電に適した地点は、渡り鳥のルートや希少な鳥類の生息地と重なることがあり、鳥類が風力発電設備の羽根(ブレード)に衝突する事故(いわゆる「バードストライク」)事例がある
- 自然度の高い地域に立地することで、土地の改変に伴う動植物の生息・生育環境や水環境に対する影響が懸念される
- 風力発電設備は相当の高さがあり、かつ、見通しの良い場所に設置される場合が多いことから、景観への影響が生じる事例がある

「風力発電施設に係る環境影響評価の基本的考え方に関する検討会報告書」
平成23年3月環境省総合政策局より

風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会の設置（環境省水・大気環境局長委嘱）

- 平成24年10月施行「環境影響評価法施行令の一部を改正する政令」により風力発電施設が環境影響評価法の対象事業に追加された
- 我が国では、風力発電施設からの騒音・低周波音に関する基準又は目標値が存在しない
 - 何らかの基準又は目標値が求められた
 - 風力発電施設から発生する騒音等の調査予測・評価については風力発電施設特有な事象を十分考慮した手法がない

【検討項目】

- ①風力発電施設から発生する騒音等の調査、予測、評価の手法の検討
- ②風力発電施設から発生する騒音等の評価値(目標値)の検討

「風力発電施設から発生する騒音の評価手法等 に関する検討会」報告書について

- 検討会報告書では、これまでの国内外で得られた科学的な知見の整理
- 風車騒音の評価の考え方(目安となる値)
- 騒音への対策
- 今後必要な事項(対策技術・設計・運用的な事項等)
- その他事項

検討会報告書の公表(平成28年11月25日)

「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」

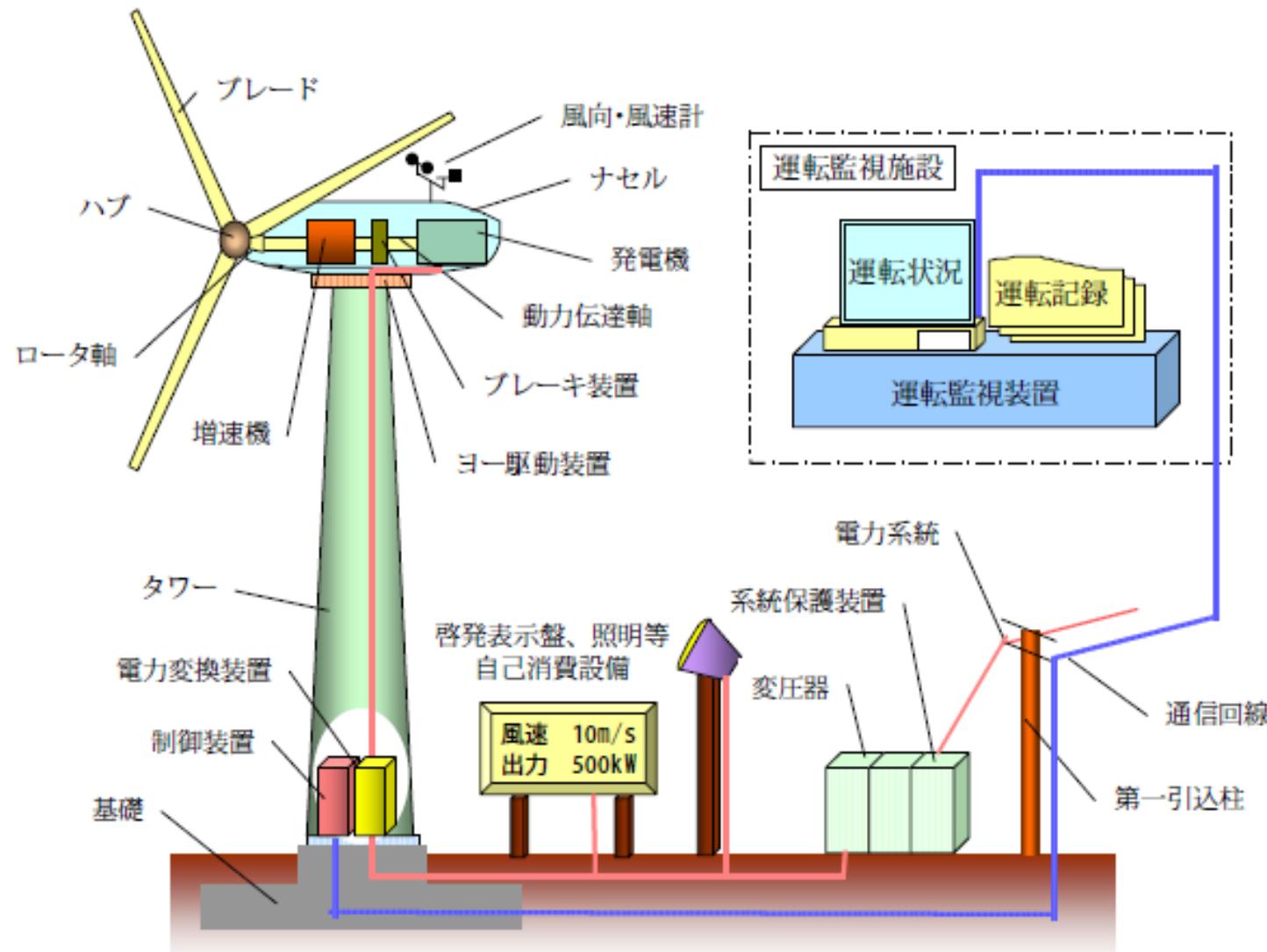
* 環境省HP :

http://www.env.go.jp/air/noise/wpg/conf_method.html

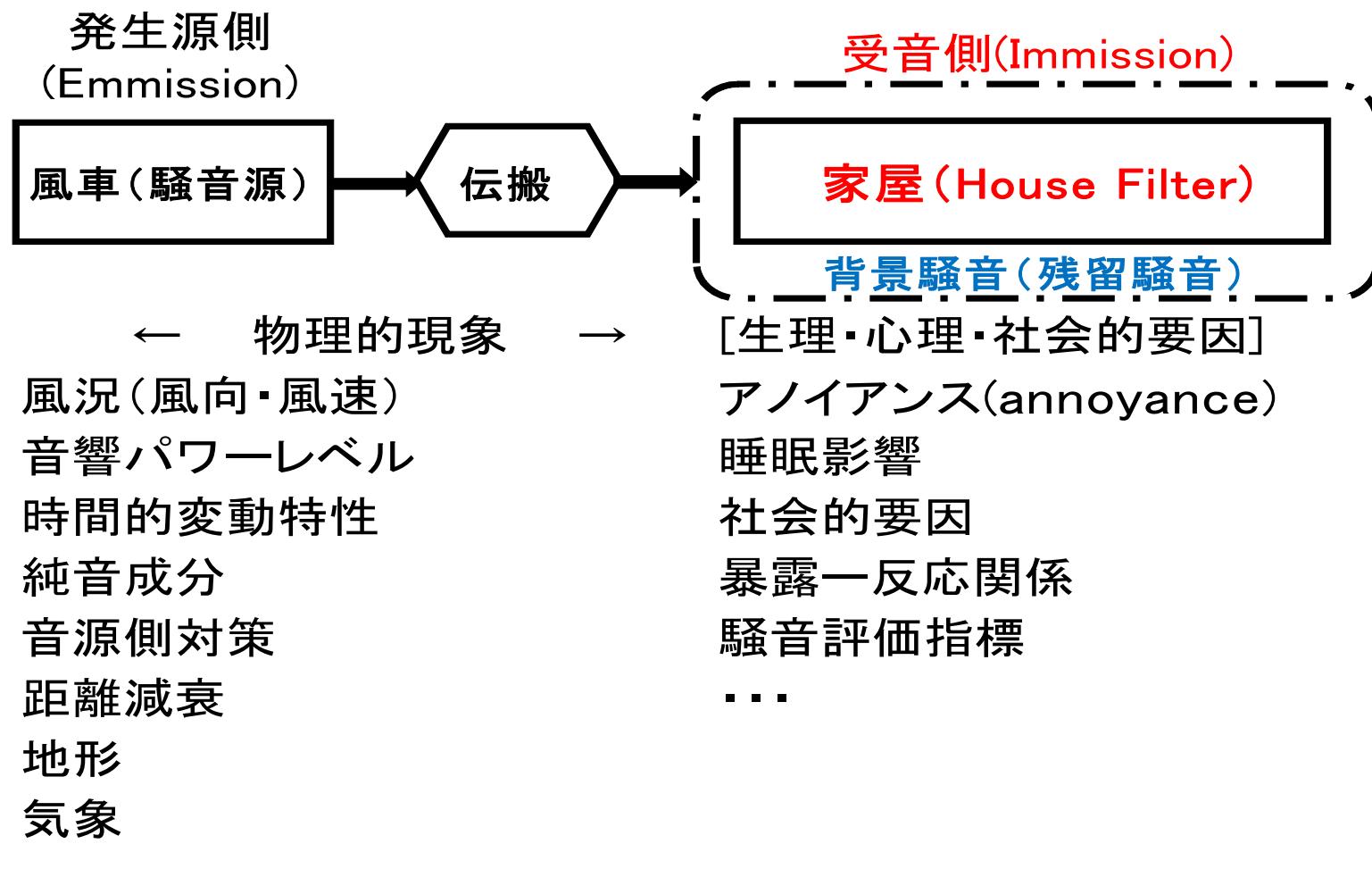
風車騒音の実態と影響

－これまでに得られた知見について－

風力発電施設(風車)の構造



風車騒音問題の捉え方



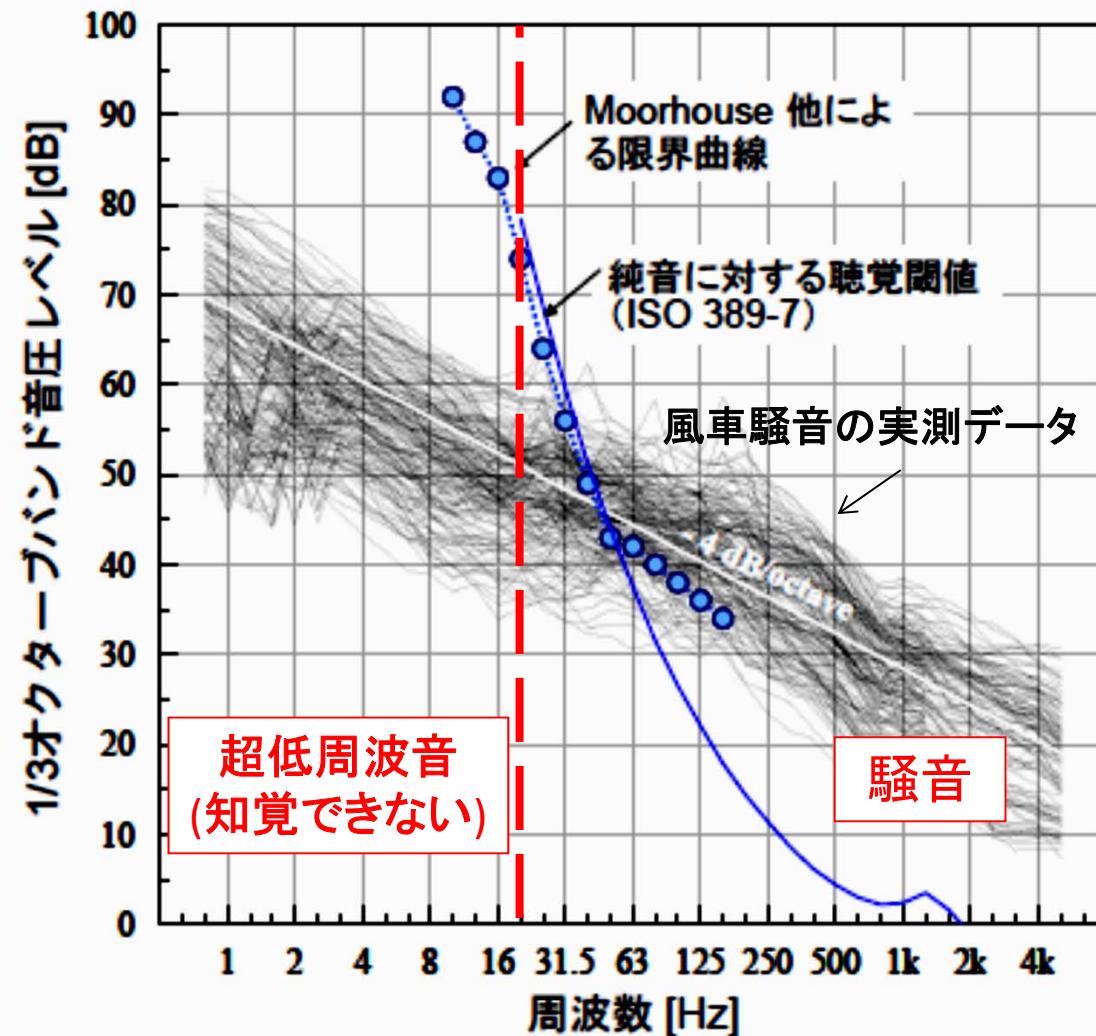
*平成22-24年度環境省 戦略指定研究領域 研究課題 (S2-11風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究:研究代表者橋 秀樹) より改変

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＞

- 環境省では、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「風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究」(研究代表者:橘秀樹)において、風車騒音の実測調査を全国規模で実施
- 全国29の風力発電施設の周辺の合計164測定点で騒音を測定

風車騒音の測定結果



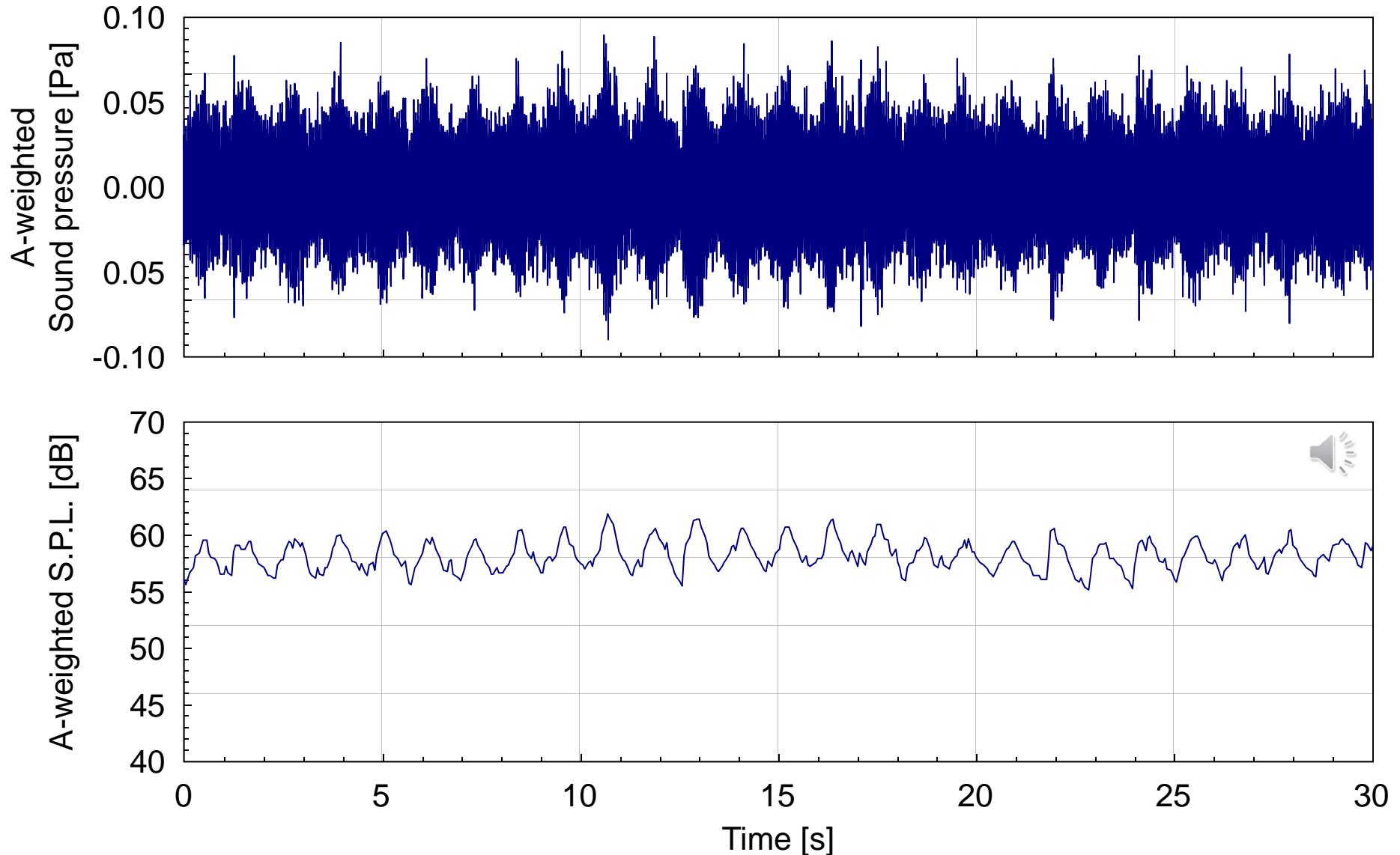
20Hz以下の超低周波音領域は、すべて知覚閾値を下回っている。

**風車騒音は
知覚できない超低周波音ではなく、
通常可聴周波数範囲の騒音の問題。**

全国29の風力発電施設の周辺合計164箇所での測定結果

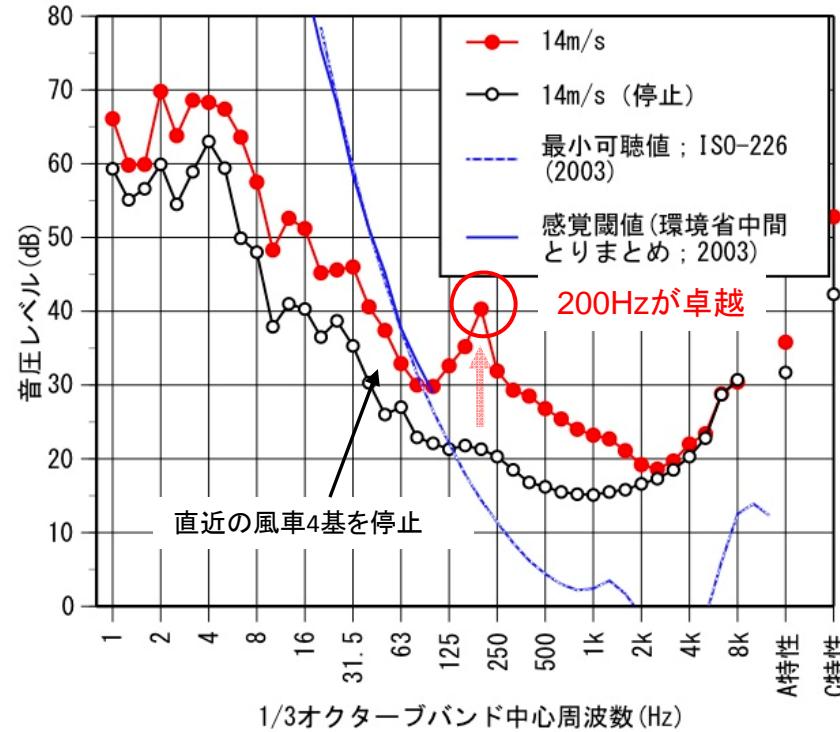
特徴的な風車騒音の紹介

振幅変調音(AM音, スウェイッシュ音)

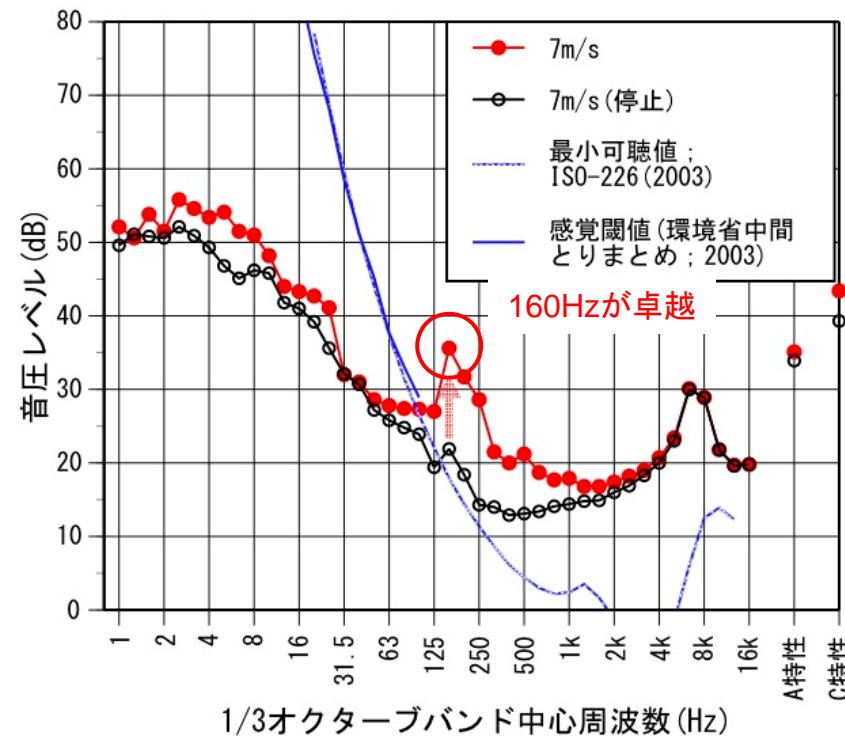


特徴的な風車騒音の紹介

純音性成分が含まれる風車騒音の例



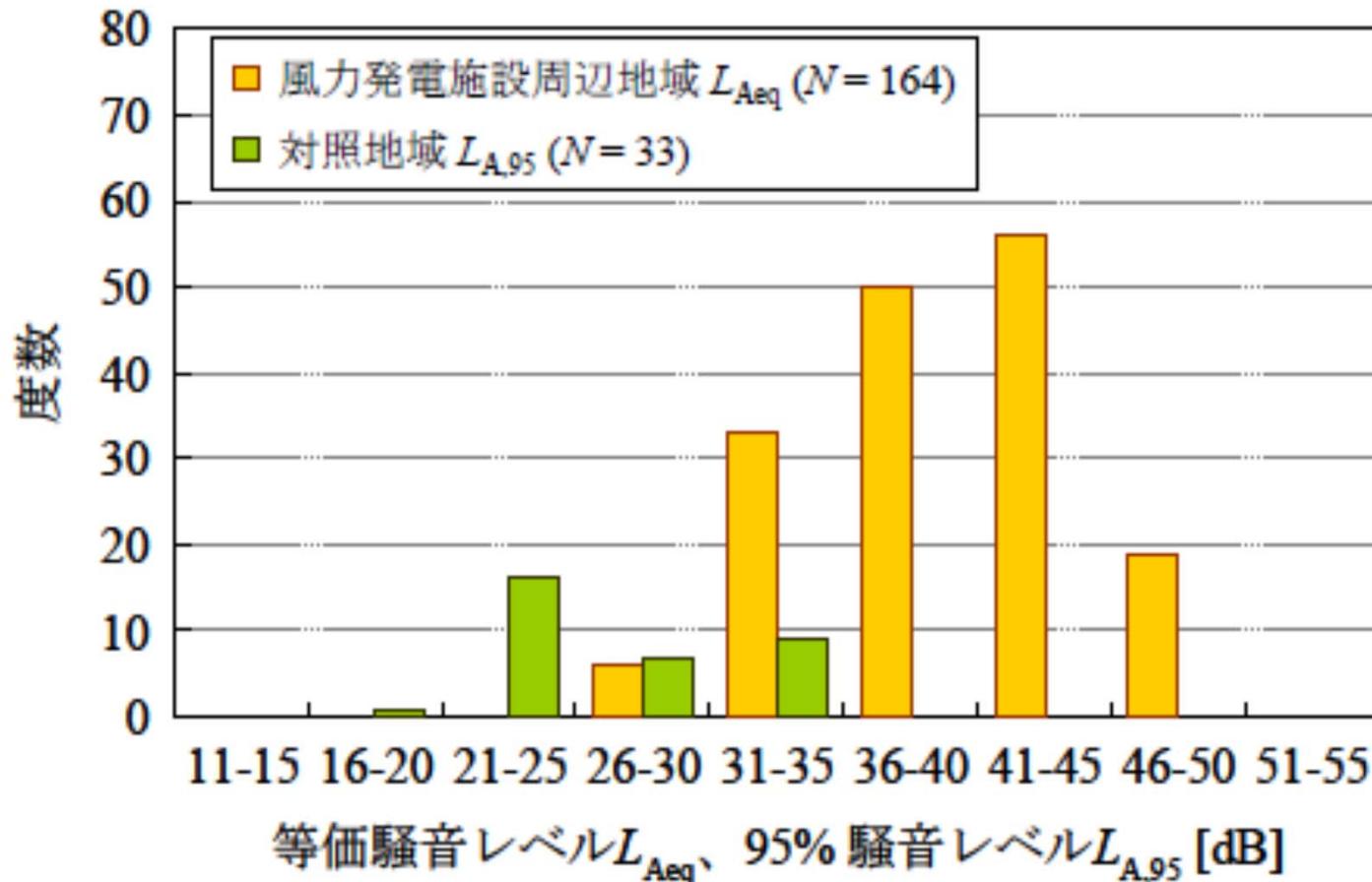
左; 風車より240m、木造家屋-屋内



右; 風車より350m、木造家屋-屋内

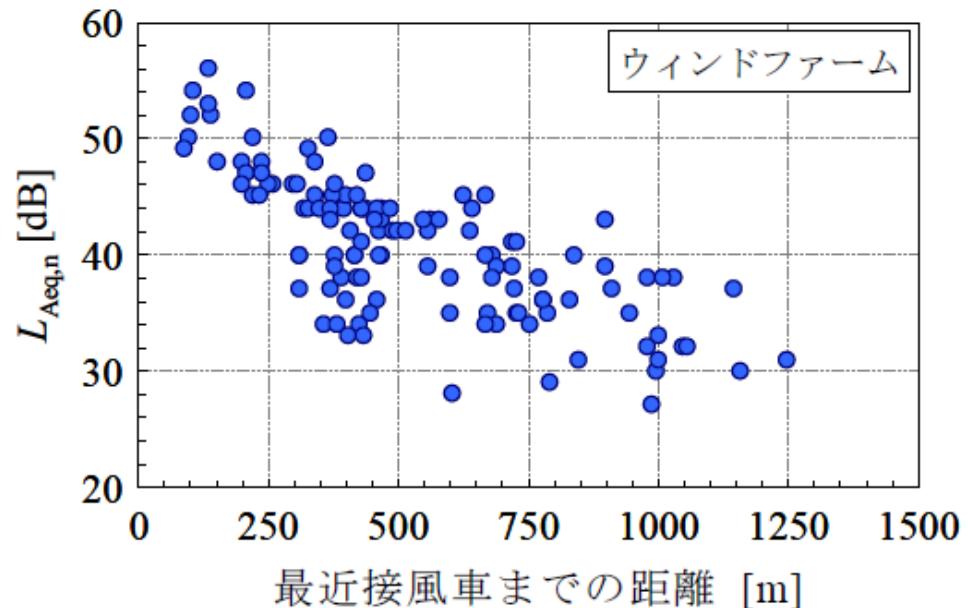
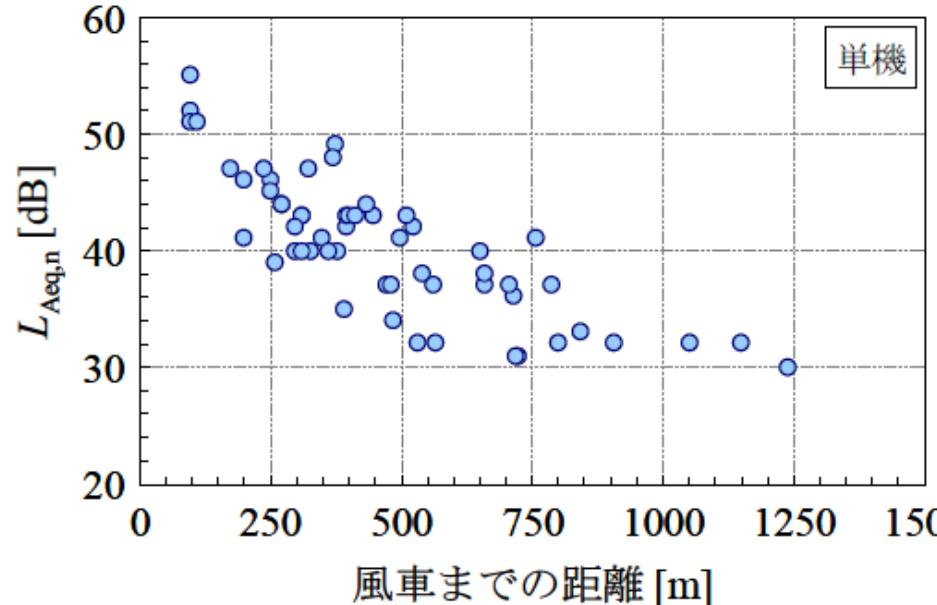
環境省H21年度調査結果より抽出; <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=12319> 参照

風車から発生する騒音レベル



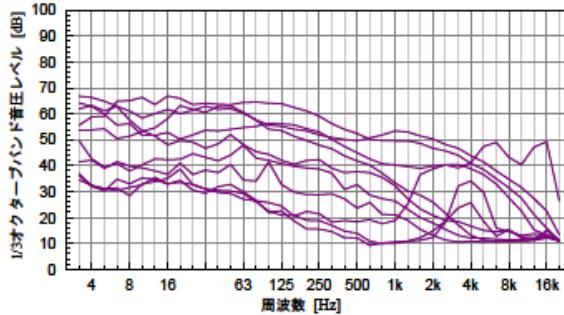
時間平均A特性音圧レベルで26~50dBの範囲に分布
他の環境騒音に比べてそれほど高いとは言えない

風車から測定点までの水平距離と風車騒音の関係

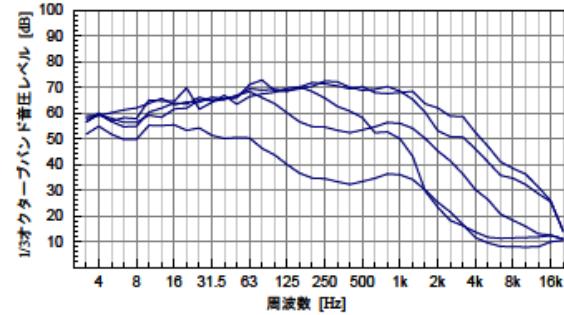


- 風車騒音の距離による減衰は、**水平距離が遠くなるほど音圧レベルが低下**
- 風車の機種、地形・植生、気象条件などによって、発生する音やその伝搬が異なることから、**距離と等価騒音レベルとの関係にはばらつきが生じる**

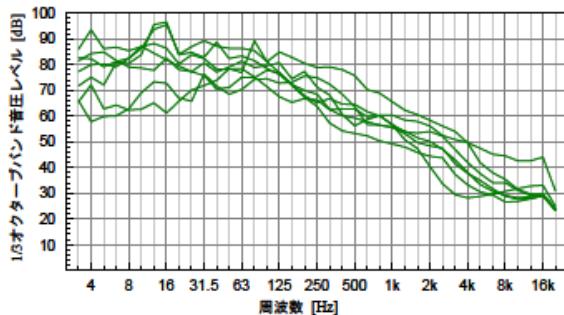
風車騒音と他の環境騒音の比較



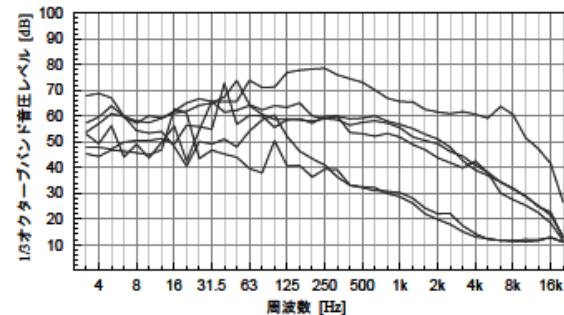
a) 自然環境（山中、海浜）や様々な一般居住地域における環境音：10種類



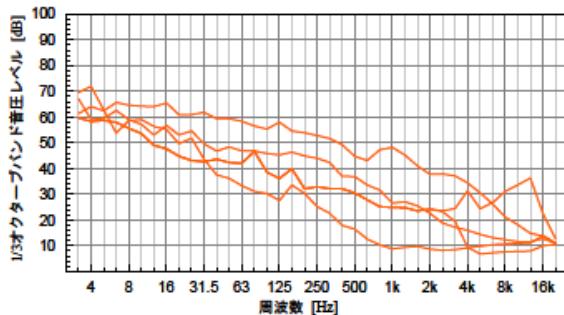
b) 沿道、沿線、航路直下における交通機関（道路、在来鉄道、航空機）の騒音：5種類



c) 自動車、在来鉄道、新幹線鉄道、航空機内の騒音：7種類



d) その他の環境騒音（設備機械の騒音、工事騒音、地下鉄固体音、公共空間の音など）：6種類

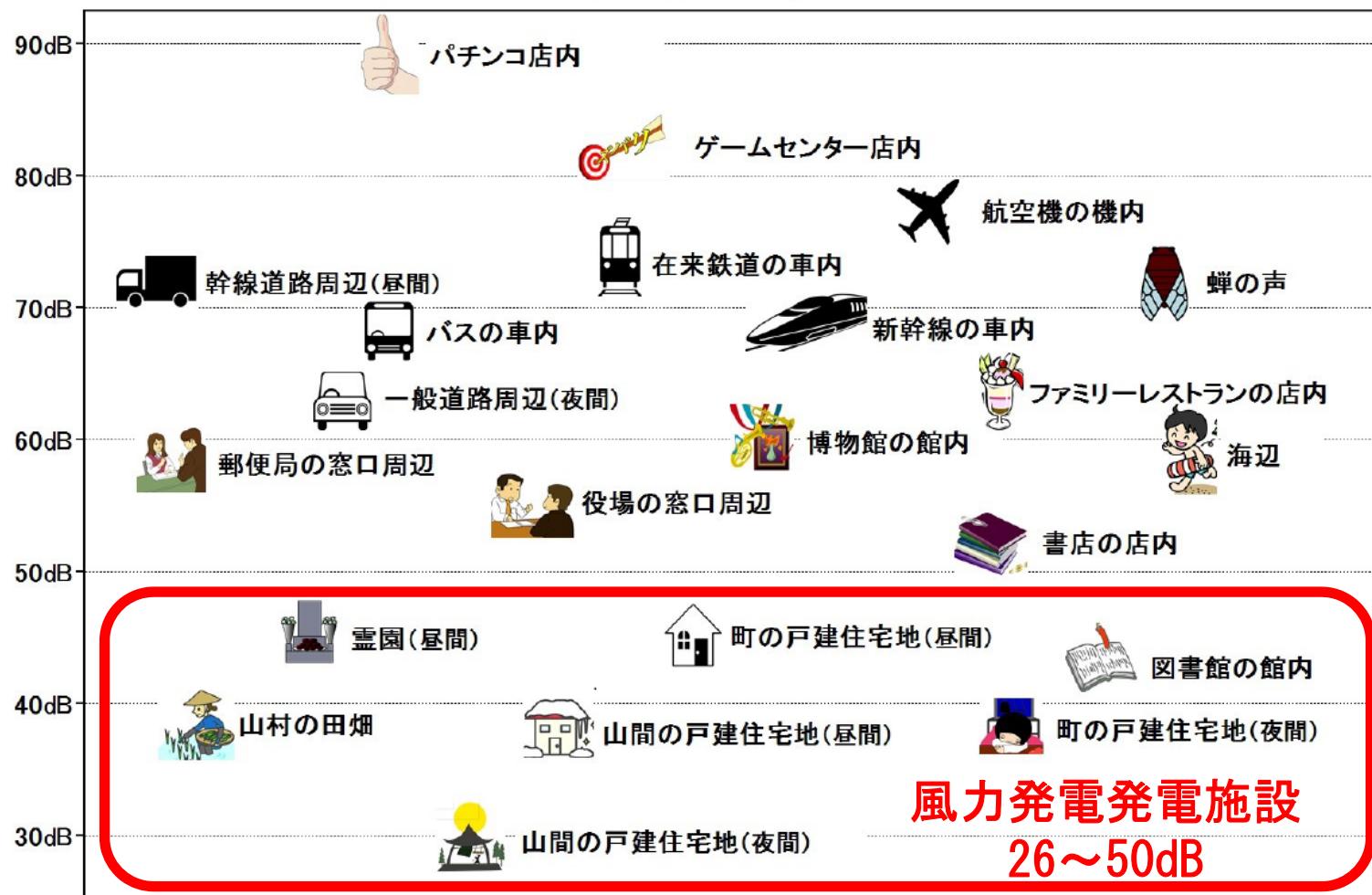


e) 風車騒音（風車直下および周辺居住地域における騒音）：5種類

* 他の環境騒音（一般環境騒音、交通騒音等）と風車騒音のスペクトルを比較

他の環境騒音と比較して、低周波数領域の卓越はみられない。

他の環境騒音のレベルとの比較

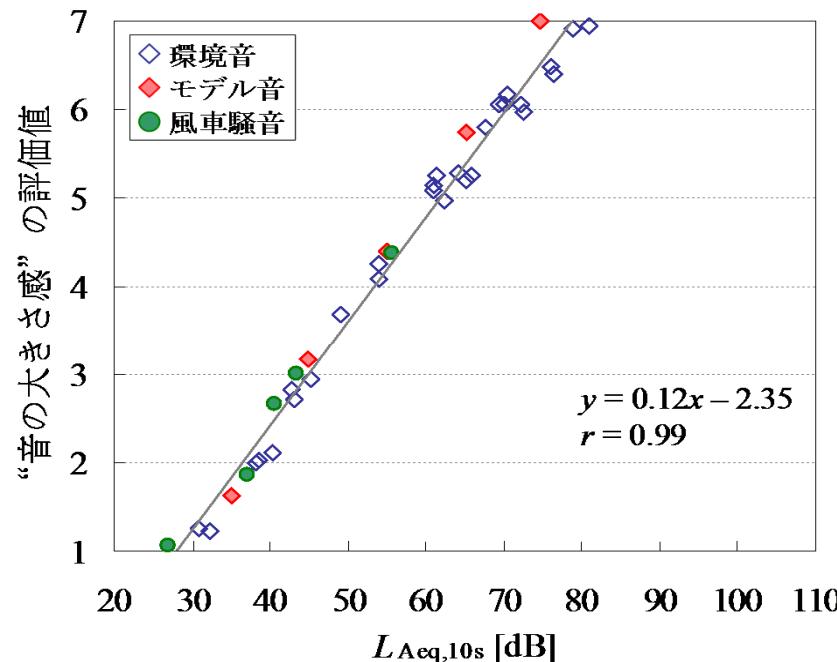


騒音の目安

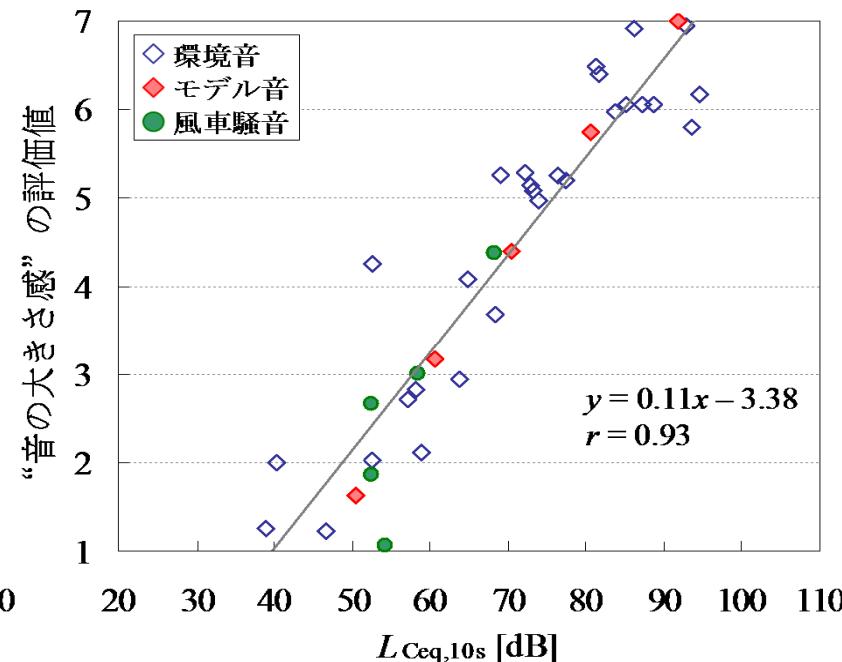
出典 全国環境研協議会 騒音小委員会

評価尺度としてのA特性音圧レベル

超低周波数領域の成分を含んだ各種の環境騒音を試験音としてラウドネス(人が感じる主観的な大きさ)実験を実施



(a) A特性音圧レベルとの対応



(b) C特性音圧レベルとの対応

- 風車騒音の評価は、一般環境騒音と同様にA特性音圧レベルを用いるのが適切

風車騒音の人への影響(その①)

- 人への健康影響については、国際的にも注目されており、数多くの研究が進められてきている
- 風車病に関する研究等も含む過去の研究について広く整理され専門家による審査を経て医学会誌等に掲載されたレビュー論文を中心に整理
- 各国政府機関の報告等も広く収集し整理
(カナダ健康省、オーストラリア国立保健医療研究委員会等)
- カナダ健康省の調査は、風力発電施設の近傍に居住している住民を対象にしており、一時的な影響だけではなく長期的な影響も考慮している

風車騒音の人への影響(その②)

国内外の主な研究結果の概要

- 風車騒音による影響については、風車騒音のレベルとわずらわしさ(アノイアンス:annoyance)を感じる程度の間には統計的に有意であることが複数の論文で報告
- 睡眠影響については、風車騒音レベルとの直接的な関係性、又は、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が、睡眠影響との関連の科学的根拠は限定的
- 聴力影響、頭痛、耳鳴り、糖尿病、高血圧、循環器疾病等の健康影響については、統計的に有意な知見は認められていない

風車騒音の人への影響(まとめ)

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

風力発電施設から発生する音の特徴(まとめ)

＜立地環境と周辺環境＞

- 静穏な地域に設置されることが多いため、風車騒音レベルは比較的低くても、気になりやすい特徴がある

＜発生する音の特徴・性質＞

- 風力発電施設のブレード(翼)の回転に伴い発生する音は、場所や風向等によっては、シュー、シューといった振幅変調音(AM音、スウィッシュ音(Swish))として聞こえる
- 機種によっては、内部の増速機や冷却装置等から、
ウーン、あるいはブーンといった純音性の音(純音性成分)が発生

⇒ 騒音レベルは低いが、より耳につきやすく、わずらわしさ(アノイアンス)につながる場合がある

風車騒音に関する諸外国の基準等(その①)

国/地方	騒音指標	地域の類型			
		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
Denmark	$L_r(6 \text{ m/s})$ $L_r(8 \text{ m/s})$	42 dB(6 m/s) 44 dB(8 m/s)	37 dB(6 m/s) 39 dB(8 m/s)	—	—
Sweden	L_{Aeq} @8 m/s	35 dB		40 dB	
Belgium/ Wallonia	L_{Aeq}			45 dB	
France	L_{Aeq}		昼(07:00-22:00): 残留騒音レベル+5 dB 夜(22:00-07:00): 残留騒音レベル+3 dB (風車稼働時の騒音が35dBを超える場合)		
Germany	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
The Netherlands	L_{den} L_{night}			L_{den} : 47 dB L_{night} : 41 dB	
United Kingdom	$L_{A90,10min}$		昼: 残留騒音レベル+5 dB(最低35 dBまたは40 dB) 夜: 残留騒音レベル+5 dB(最低43 dB)		
New Zealand	$L_{A90,10min}$	35 dBまたは残留騒音 +5dBの高い方の値		静穏を要する地域: 40 dBまたは残留騒音+5 dBの 高い方の値	
Australia/ Victoria	$L_{A90,10min}$	35 dBまたは残留騒音 +5dBの高い方の値		静穏を要する地域: 40 dBまたは残留騒音+5 dBの 高い方の値	
Canada/ Manitoba	L_{Aeq}		40 dB(風速4 m/s)から53 dB(11 m/s)まで段階的に設定		
USA/ Maine	L_{Aeq}		静穏を要する地域; 昼: 55 dB, 夜: 45 dB 風力発電施設の敷地境界線上; 終日75 dB		

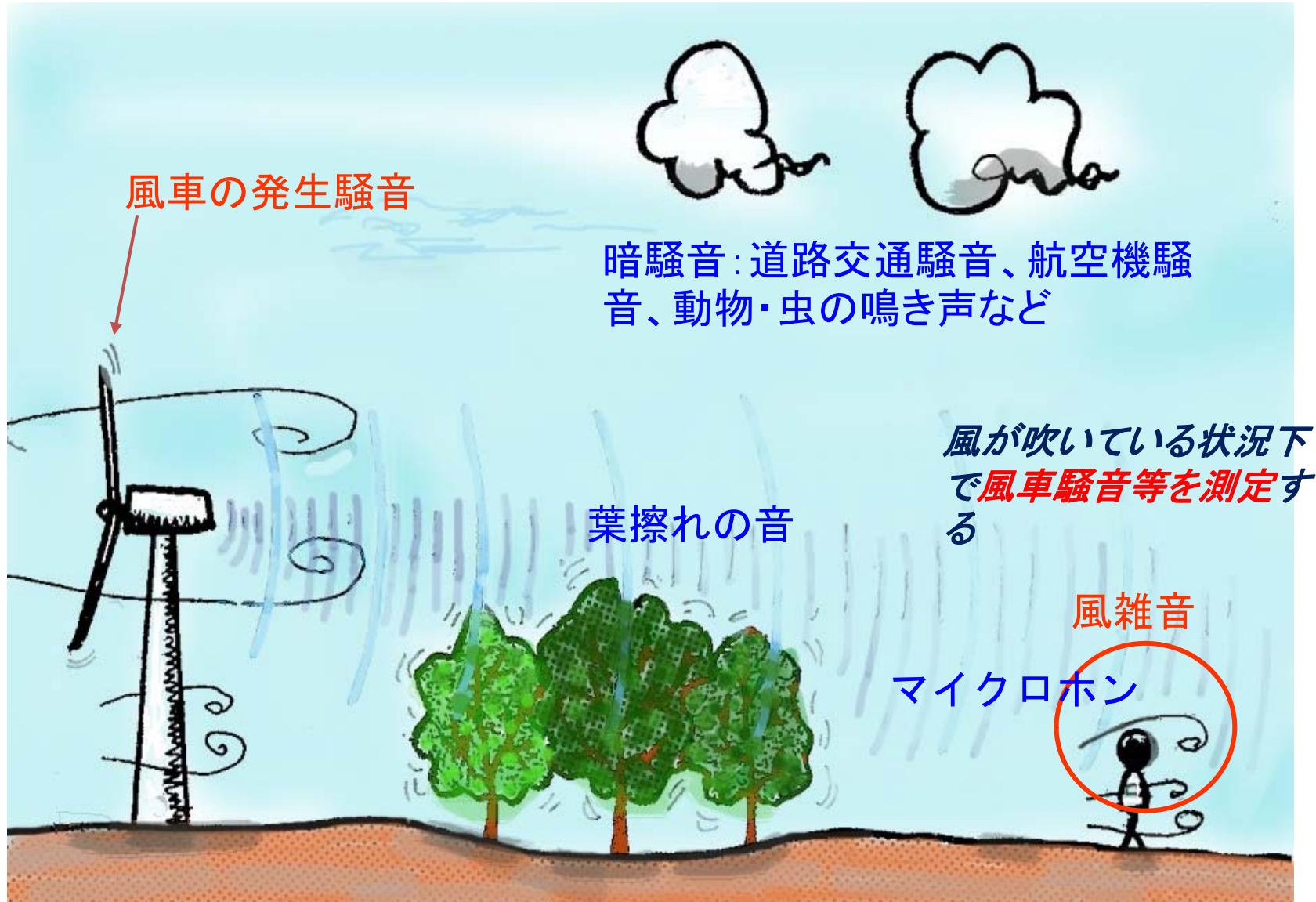
風車騒音に関する諸外国の基準等(その②)

- 世界各国で風車騒音に関する基準やガイドラインが定められている
- 住宅地域に関しては、35～56dBと幅があり、昼夜の別、暗騒音との差、地域類型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、暗騒音をベースとして5dBを加えた値を限度値として設定している国もある

風車騒音評価の考え方・指針値 風車騒音の調査・予測

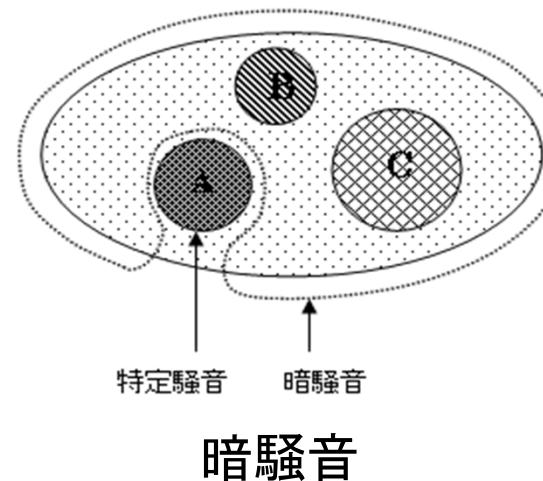
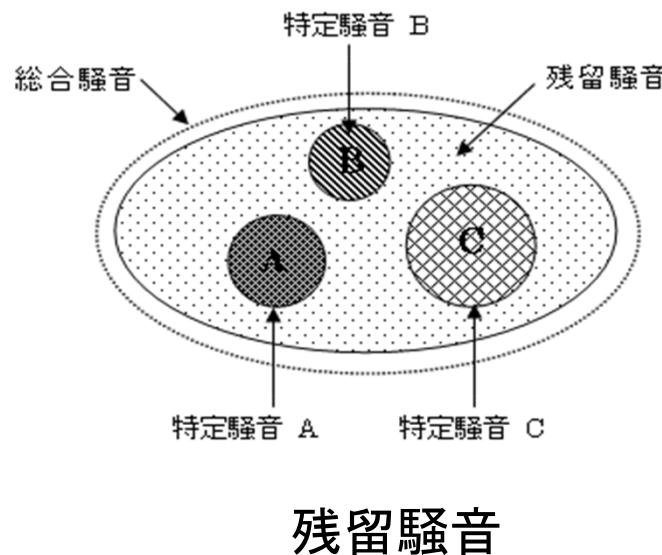
風車周辺地域の音環境(受音点の音環境の捉え方)

風車騒音の測定(調査)における問題点



暗騒音と残留騒音(参考)

- 一般に、騒音の評価においては、評価すべき音のすべての騒音である「**暗騒音**」を基に比較等を行う
- 風車においては、静穏な地域に設置されることが多く、まれに通過する自動車等の一過性の騒音により、暗騒音のレベルが大きく変化することから、評価にあたっては、これらの一過性の特定できる騒音全てを除いた「**残留騒音**」を基に評価を行う



受音点(地域)の騒音の測定について

＜残留騒音の算出＞

- 残留騒音の算出は、基準時間帯毎(10分間)の測定値から調査日の測定値を求め、さらに調査日の測定値をエネルギー平均し、測定時期の測定値(L_{Aeq})を求める
- 対象地域内の複数地点で残留騒音の測定を行った場合、対象地域の残留騒音は、対象地域内の測定地点における基準時間帯のL_{Aeq}を算術平均して求める

＜風車騒音の算出＞

「風車騒音」とは、地域の残留騒音に風力発電施設から発生する騒音が加わったものをいう」

- 風車騒音の算出は、基準時間帯毎(10分間)の測定値から調査日の測定値を求め、さらに調査日の測定値をエネルギー平均し、測定時期の測定値(L_{Aeq})を求める

⇒詳細は、測定マニュアル参照

風車騒音測定時に除外音処理する音

- 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、除外音処理が必要となる
 - **一過性の交通騒音**
一時的に近隣を通過する自動車・船舶等の音や航空機など
 - **定常的に発生しない人工音**
救急・緊急車両、防災無線など
 - **定常的には発生しない自然音**
雨・雷などの自然現象音、セミ・カエルなどの動物の鳴き声

残留騒音および風車騒音の測定

除外音処理の対象となる騒音

騒音の種類	風車騒音マニュアル	環境騒音マニュアル
道路交通騒音(近傍)	除外	対象
道路交通騒音(遠方)	対象(ベース)	対象
航空機騒音	除外	除外
新幹線鉄道騒音	除外	除外
在来線鉄道騒音	除外	除外
建設作業騒音	除外	除外
工場・事業所騒音(定常)	対象(ベース)	(記載なし)
工場・事業所騒音(一過性)	除外	(記載なし)
自然音(波音, 川音, 葉擦れ音等)	対象(一過性は除外)	対象(記載なし)
自然音(風雨, 鳥, 虫, 蛙, 雷等)	除外	除外
通常は発生しない人工音(緊急車両, 暴走族, 放送等)	除外	除外
測定による付加的な音	除外	除外
評価の対象としている音(基本)	ベースとなる騒音	平常時の総合騒音

評価の目安となる値(指針値)の策定の趣旨(検討会)

- 風力発電施設から発生する騒音による生活環境への影響を未然に防止するためのもの(←指針値*)
 - 風力発電施設の設置事業者及び運用事業者等による具体的な対策実施等に活用していただくとともに、地方公共団体による関係する事業者や住民等への対応の際の参考とするもの(一定規模以上)
-
- 評価の目安となる値:都道府県知事、市長・特別区長宛文書(環水大大第1705261[H.29.5.26])にて、目安となる値を風車騒音に関する指針値*として通知した

指針値の考え方(その①)

- これまでの知見から、風車騒音は風力発電施設の規模、設置される場所の風況でも異なる
- 風車騒音の聞こえ方は、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、全国一律の値ではなく、地域の状況に応じたものを定める必要がある

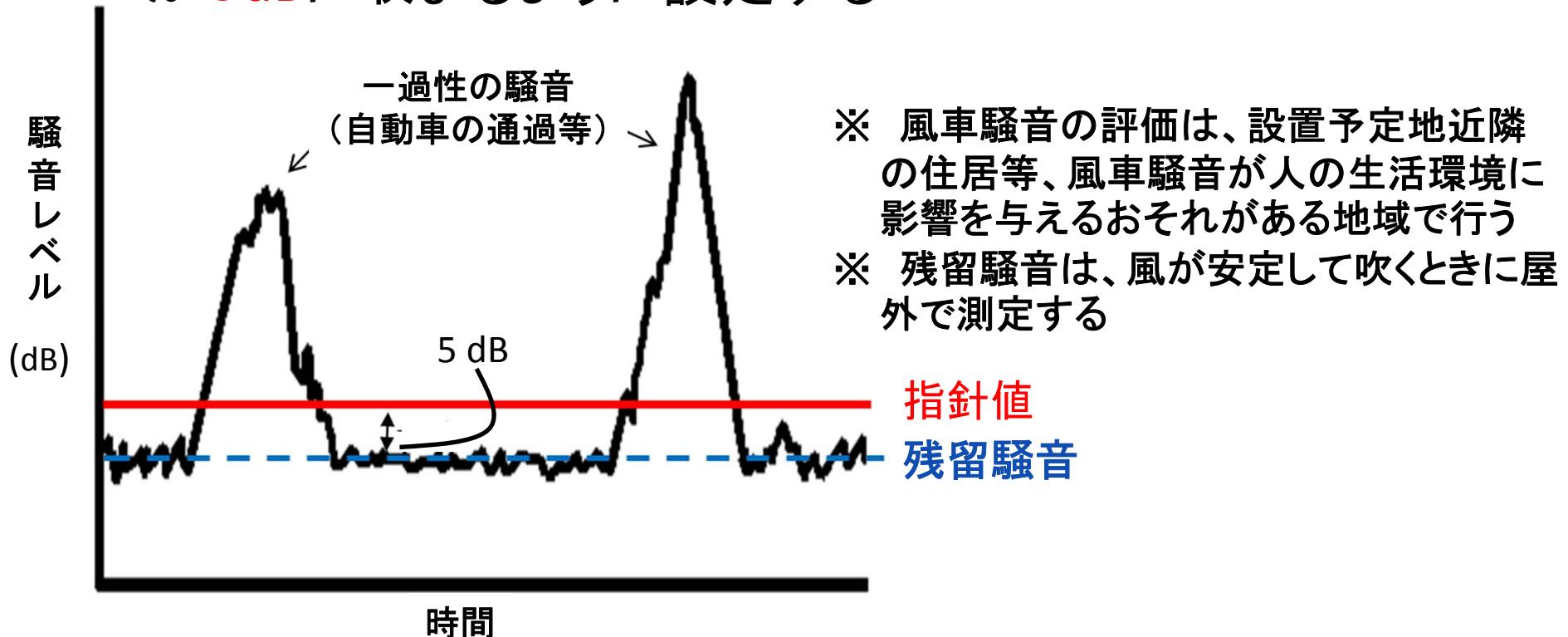
指針値の考え方(その②)

- 日常の平均的な騒音レベルよりも平均して4～5dB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)を訴えるとする知見
- 諸外国の風車騒音の評価において複数の国で+5dBが用いられていること
- 検討会では、技術的、専門的な観点からの知見に基づく考え方をとりまとめ、風力発電施設の設置等に当たり、騒音問題を未然に防止するために対策を講じ、生活環境保全をする上での参考となるように設定した

指針値: 残留騒音+5dB

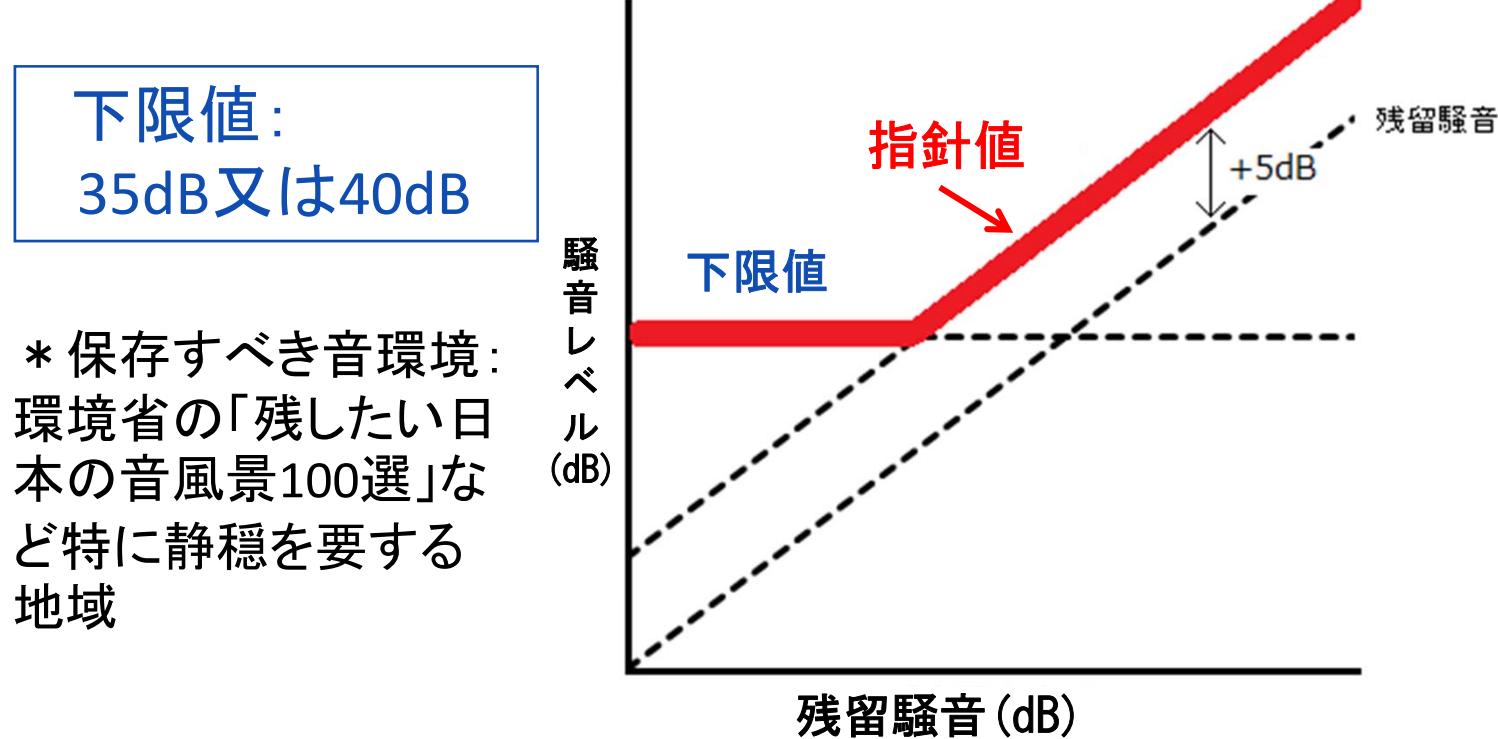
指針値の考え方(その③)

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



指針値における下限値の設定

残留騒音が著しく低く(30dBを下回る場合)、学校・病院などがあり特に静穏を要する場合、地域において保存すべき音環境*がある場合は、35dBを下限値として設定する。
それ以外の地域においては40dBを下限値として設定する。



「指針値」と「騒音に関する環境基準」との関係

● 指針値

風車騒音は他の環境騒音と比べ特徴的な音であることを勘案し、風力発電施設の設置等に当たり、風力発電施設から発生する騒音による生活環境への影響を未然に防止するためのもの

● 「騒音に係る環境基準」

行政の政策上の目標として一般的な騒音を対象として、生活環境を保全し、人の健康を保護する上で維持されることが望ましいもの

@両者では性格や位置づけが異なる。

騒音に係る環境基準の類型指定がなされており、風力発電施設が設置されている地域において、一般的な騒音に対しては引き続き当該環境基準に基づき生活環境を保全する。風力発電施設から発生する騒音については、本指針に基づき未然防止の観点から、当該地域の状況に応じた具体的な対策等を講じる。

風車騒音の調査・予測

風力発電施設設置前においては、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、残留騒音を加味して予測値を求める

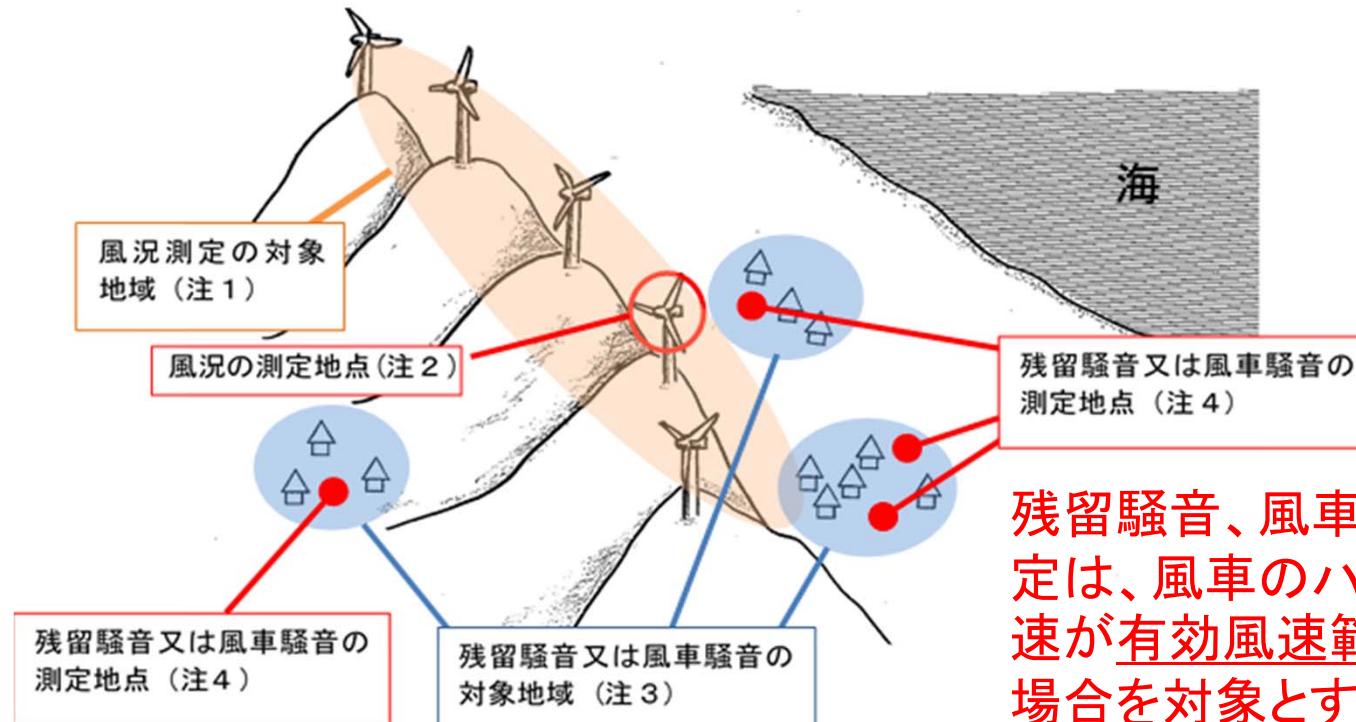
⇒「風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会」報告書参照

風車騒音の調査・予測・評価

- 風車騒音は、騒音レベル(A特性音圧レベル)で測定する
- 測定の際には、一時的に近隣を通過する自動車の音等の一過性の交通騒音や、定常的には発生しない人工音・自然音等の影響は、適切に除外音処理を行う
※90%時間率騒音レベル(L_{A90})に2dB加算することで代替することも可
- 風力発電施設周辺の住宅等、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(対象地域:測定地点)を対象とする
※発電所アセス省令では事業実施区域から1kmを環境影響を受ける範囲としている
- 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(原則四季毎、ただし気象条件の変動が小さい場合は、調査回数を減らすことができる)に、稼働する風が安定して吹いている状況で行う
- 残留騒音は、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

※具体的な測定:「風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル」参照

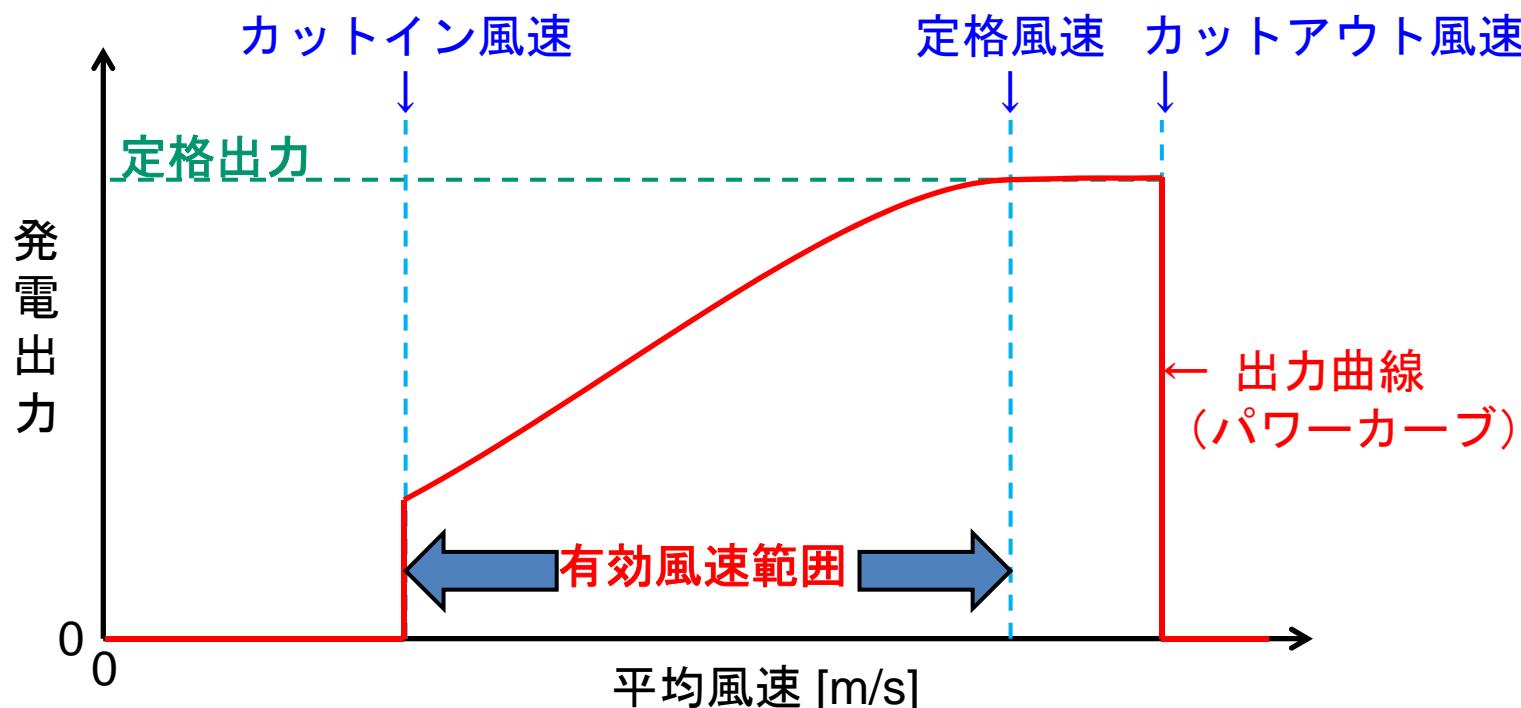
測定地点の配置(測定マニュアル参照)



- (注1) 風力発電施設が設置予定、あるいは設置されている地域
- (注2) 風況の対象地域でハブ高さ付近の風況を把握することができる地点
- (注3) 風車騒音が人の生活環境に影響を及ぼすおそれのある地域
- (注4) 残留騒音又は風車騒音の対象地域（複数の対象地域を設定する場合は対象地域毎）における残留騒音又は風車騒音を把握することができる地点

風況に係る用語について(測定マニュアル参照)

- ① 平均風速 : ハブ高さでの10分間の瞬時風速の算術平均値
- ② カットイン風速 : 発電を開始するハブ高さにおける風速[m/s]
- ③ カットアウト風速 : 発電を停止するハブ高さにおける風速[m/s]
- ④ 定格風速 : 定格出力に達するときの風速[m/s]
- ⑤ **有効風速範囲*** : 平均風速がカットイン風速以上, 定格風速未満の範囲
本マニュアルでの騒音データ処理で扱う風速範囲[m/s]



今後の課題

【課題】

今後、引き続き知見の集積を図り、必要に応じて**指針値**
(評価の目安となる値)を見直していく

- 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検討
- 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検討
- 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検討
- 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検討

指針値(評価の目安となる値)に関する留意点

- 騒音については、感じ方に個人差があること、地域によって風力発電施設の立地環境や生活様式、住居環境等が異なることから、**指針値を超えない場合**であっても、**地域の音環境の保全に配慮し、可能な限り風車騒音の影響が少なくなるように、事業者は対策を講ずるよう努めることが必要**
- 本指針は、風力発電施設から発生する騒音等に関する検討を踏まえて設定したものであるため、その他の騒音の評価指標として使用することはできない
- 本指針は、必要に応じて改定する

2.「風力発電事業により発生する影響等について」

騒音、低周波音について

ご清聴ありがとうございました

本稿をまとめるにあたり、多くの文献を
参照(引用)させて頂きました。
お礼申しあげます。

