

風力発電施設における騒音及び超低周波音について



出典: <https://www.nedo.go.jp/fuusha/haikei.html>

日本大学 町田 信夫

令和元年12月26日(木)

秋田県 再エネ海域利用法に基づく協議会

- ・能代市, 三種町, 男鹿市沖
- ・由利本荘市沖

話 題

- ・騒音(超・低周波音)問題の一般的事項

音の種別, 低周波音とは, 人体反応発生機序,
騒音(超・低周波音), 感覚閾値など

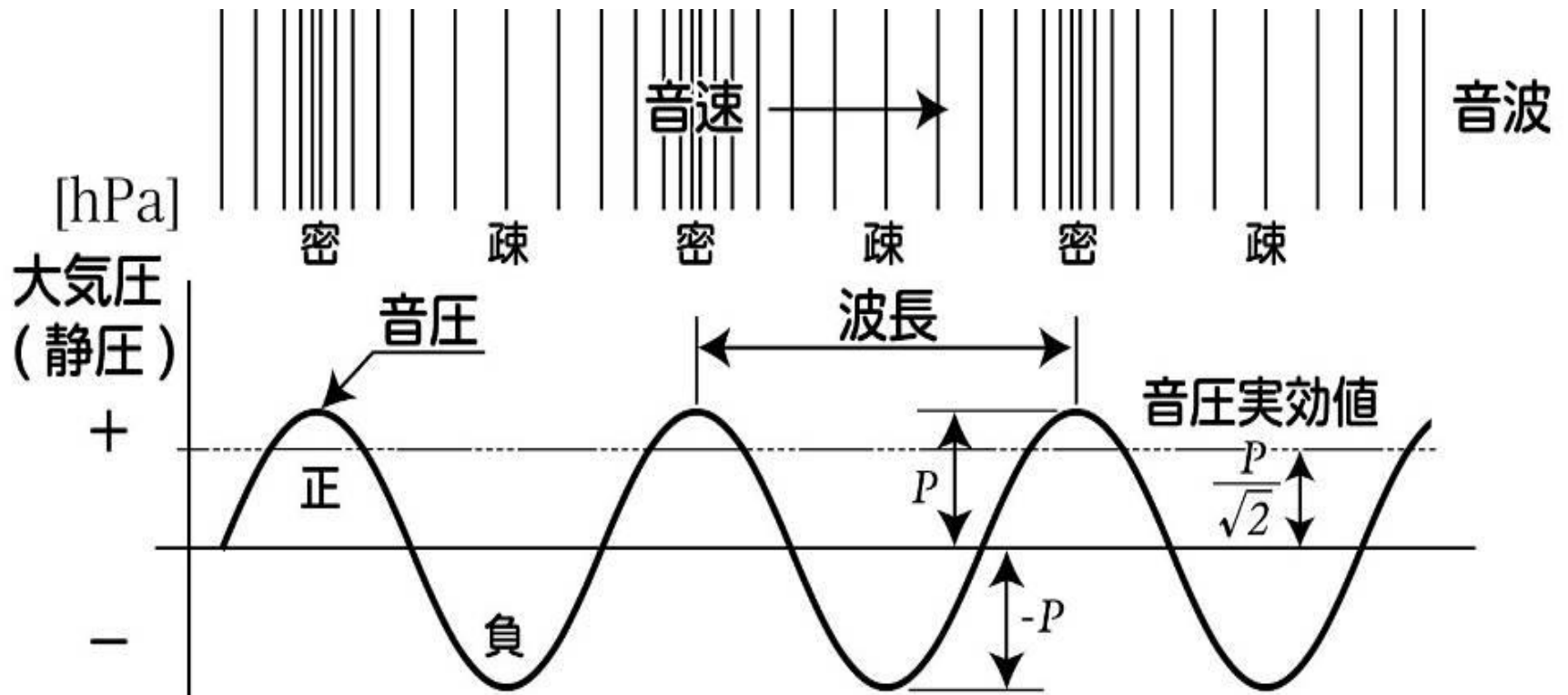
[p.3～p.15]

- ・風車騒音問題について

風車騒音問題の捉え方, 風車騒音の特徴,
風車騒音の人への影響, 風車騒音の評価(指針値)
など

[p.16～p.32]

音 波



* 音とは: 空気の微小な圧力変動

周波数 $\Rightarrow$ 1秒間に繰り返される疎密波の数

1気圧=1,013hPa(ヘクトパスカル)=101,300Pa

音の種別

(参考)超・低周波音の波長*

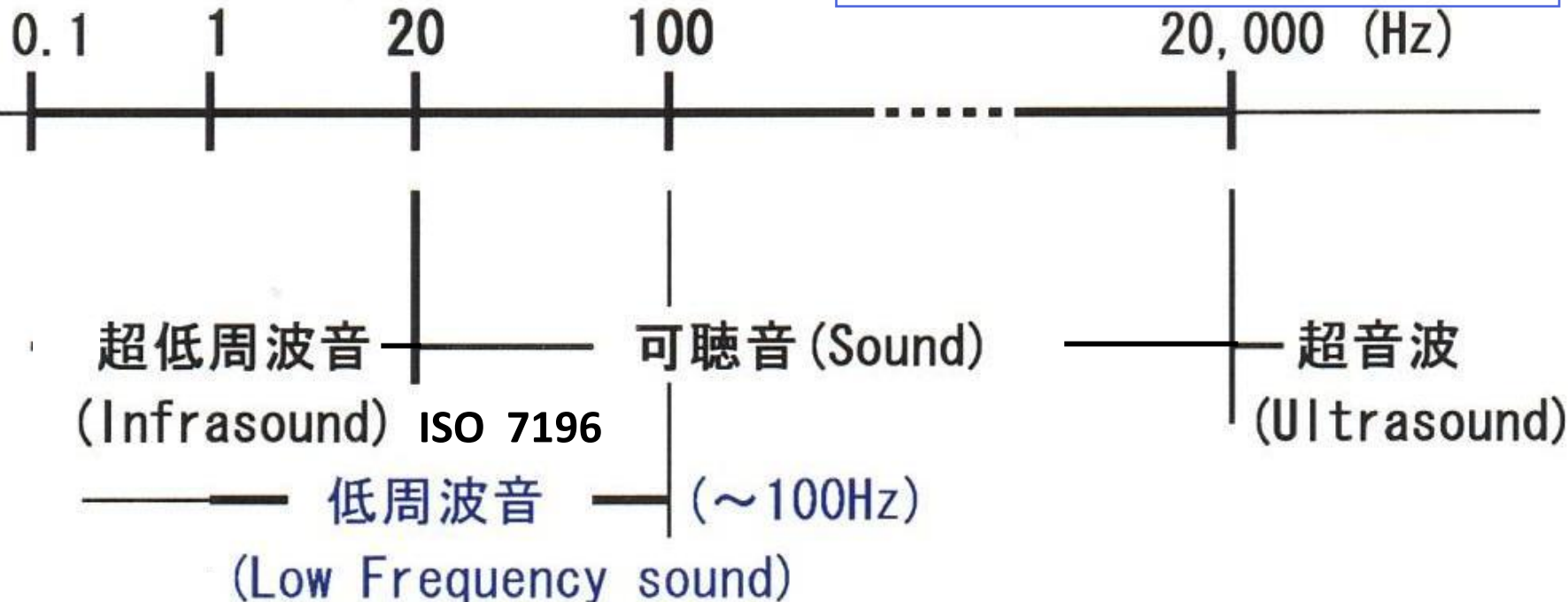
1 Hz・・・ 340m

10Hz・・・ 34m

100Hz・・・3.4m

*音速 340 m/s(15°C)

周波数



環境省 * : 1～80Hz(1/3oct.)(低)

JIS C 1400-0: 20～100Hz(低)

20Hz以下(超低)

低周波音の周波数範囲は、国により
相違する！

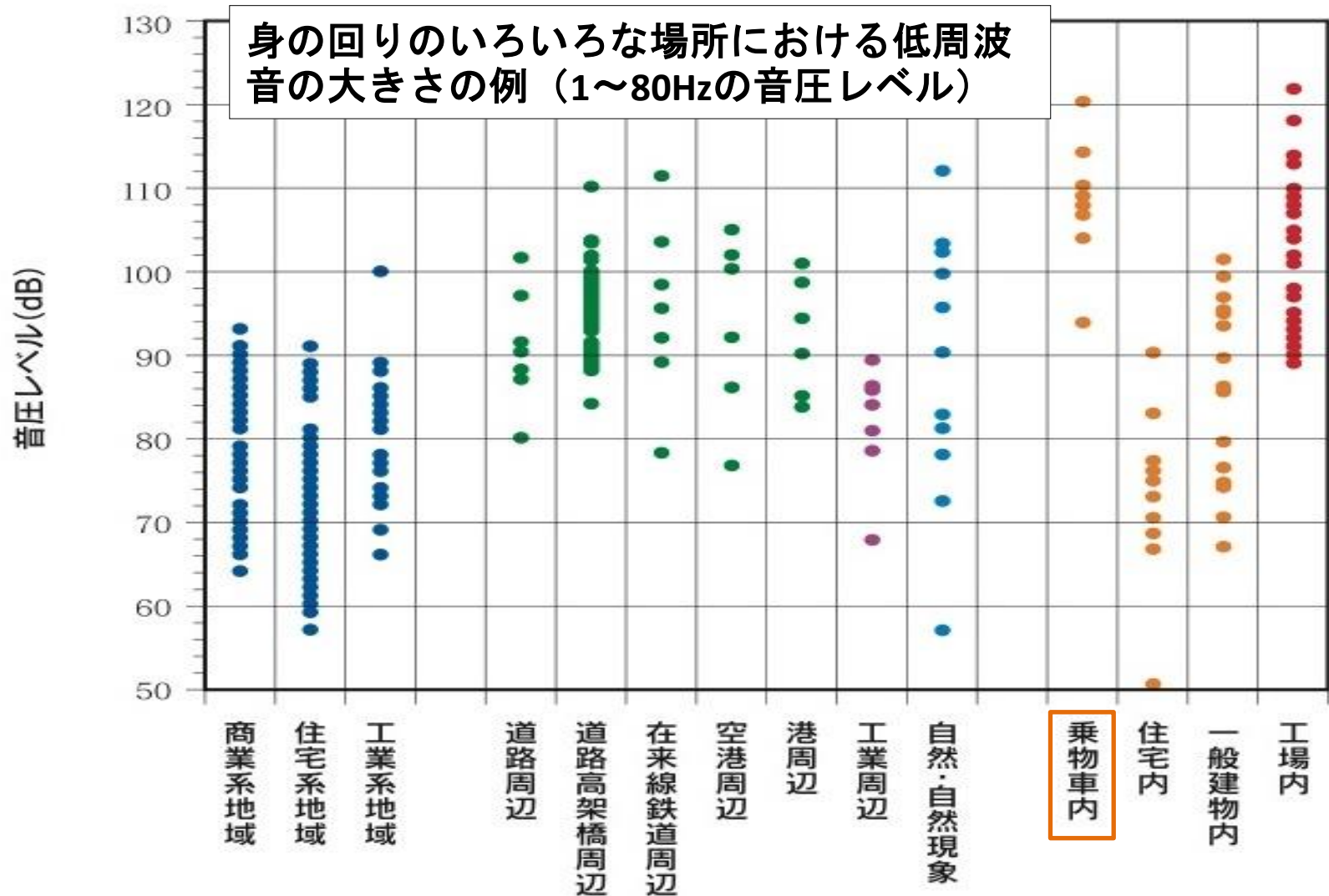
風力発電事業(経産省 主務省令)

・騒音: 20～100Hz

・超低周波音: 20Hz以下

「低周波音」の用語を用いない

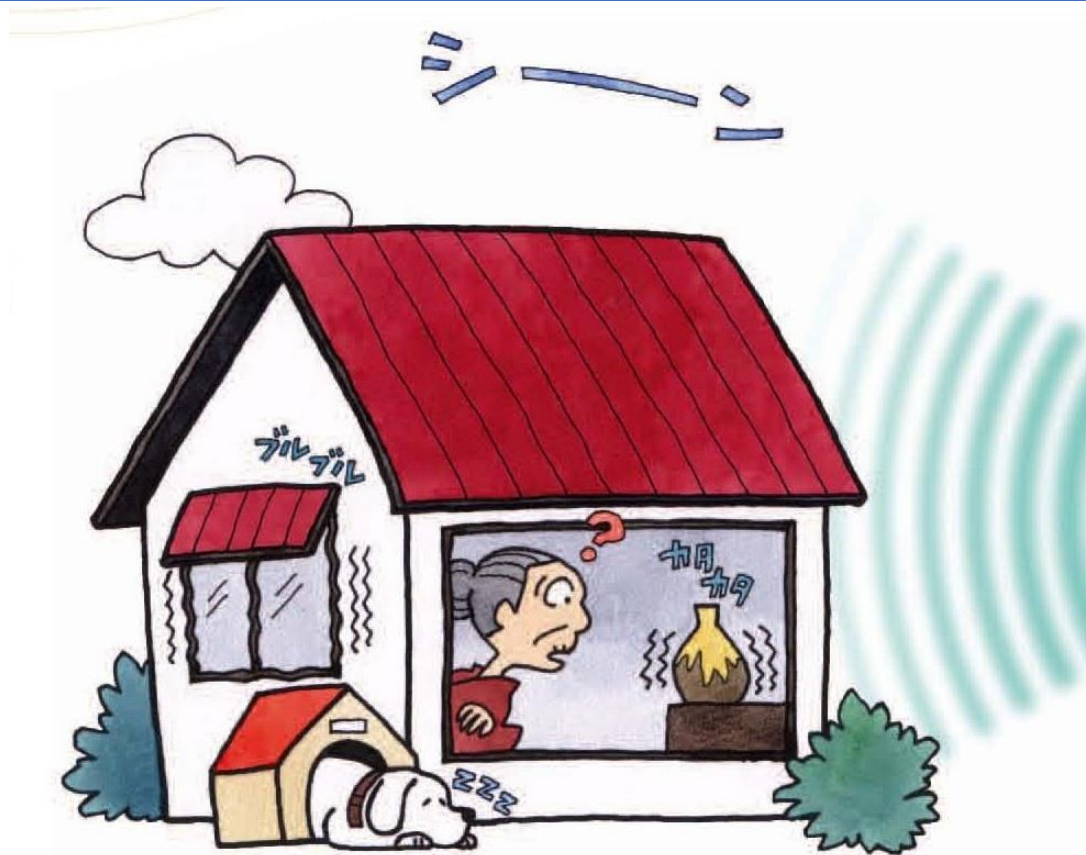
低周波音はどこにも存在する



●日本で低周波音問題が起きたのは、1960代後半頃から

6

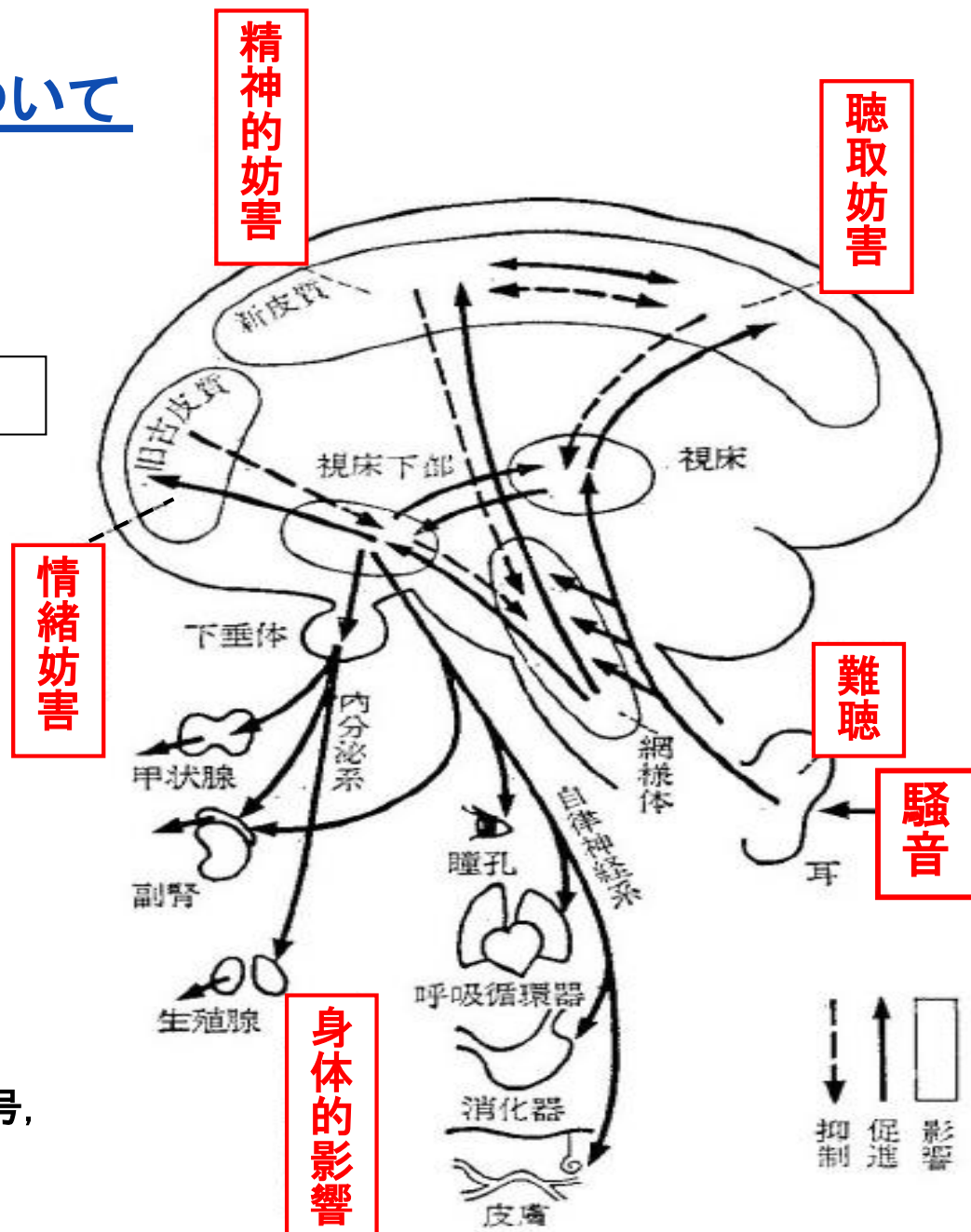
人と物では、低周波音に対する 感度に違いがある



建具の低周波音に対する反応は、低い周波数(20Hz以下程度)では人の感度より良く、揺れやすい窓や戸では、低周波音の主要な周波数と窓の揺れやすい周波数が一致(共振)すると、人が感じるより低い音圧レベルでがたつく場合がある。

騒音の人体影響について

騒音影響のルート模型

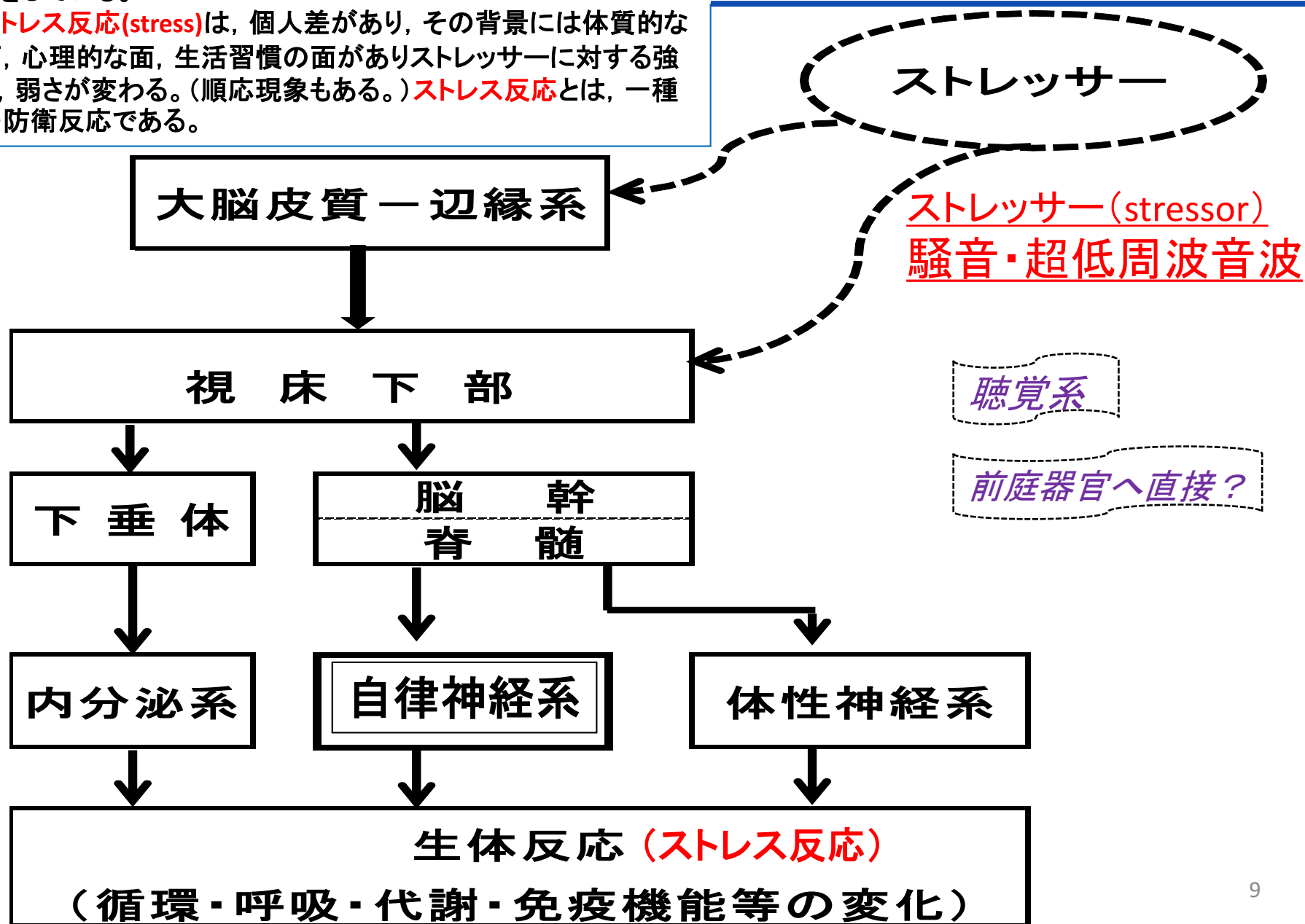


長田:騒音の健康被害
公衆衛生院研究報告22巻4号,
1973

自律神経系(交感・副交感神経)は、外部環境の変化に対して生体内の内部環境を恒常に保つ(生体恒常性(homeostasis))働きをしている。

ストレス反応(stress)は、個人差があり、その背景には体質的な面、心理的な面、生活習慣の面がありストレスに対する強さ、弱さが変わる。(順応現象もある。) **ストレス反応**とは、一種の防衛反応である。

人体反応(影響)発生機序



低周波音の苦情について（定常的低周波音）

心理的苦情	うるさい，気分のいらいら 等 G特性音圧レベルで約100dBを超えると超低周波音を感じ始め，120dBを超えると強く感じる。
生理的苦情	頭痛，耳なり，吐き気，胸や腹の圧迫感 等 超低周波音による直接的な人体影響を明確に証明できるデータは得られていない．圧迫感・振動感は40Hz付近で特に強く感じる。
睡眠影響	入眠妨害，睡眠深度の浅度化，覚醒促進 浅い眠りの場合10Hzで100dB，20Hzで95dBあたりから影響が現れるというデータもある。
物的苦情 （低周波音による共振現象）	建具（戸，障子，窓ガラス等）の振動，置物，家具の移動，ガタツキによる二次的騒音 がたつきの目安になる音圧レベルは，5Hz：70dB，10Hz：73dB，20Hz：80dB程度が目安になる。 建具の固有振動数（5-20Hz位）で発生することが多い。

* 苦情申し立てがあった場合は，その原因が低周波音によるものかどうかを判断する目安の値として「参照値*」がある。ただし，発生源と苦情との対応関係がある場合に限る。*環境省「低周波音問題対応の手引書」参照

騒音(低周波音)・超低周波音の大きさの表し方

音圧レベル<物理的な大きさ>

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

L_p : 音圧レベル(dB)

p : 音圧実効値(Pa)

p_0 : 基準音圧 2×10^{-5} (Pa) (=20 μ Pa)

* OA音圧レベル (dB), 1/3オクターブバンド音圧レベル (dB)

音響出力は音圧の
二乗に比例する

dB値(参考): 0.002Pa=40dB,

0.00002(2×10^{-5}) Pa=0dB

G特性音圧レベル(ISO 7196)<感覚的な大きさ>

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

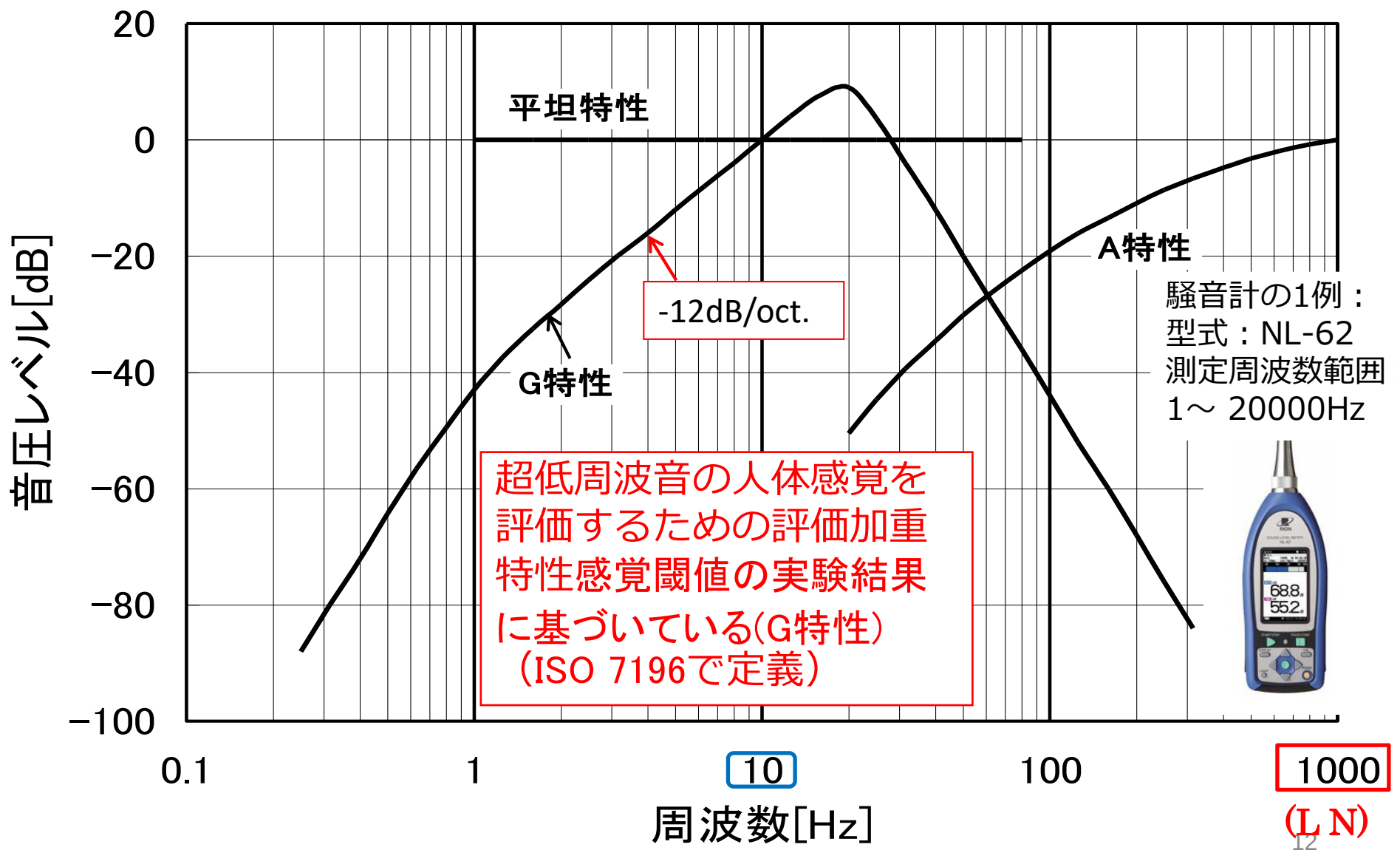
L_G : G特性音圧レベル(dB)

p_G : G特性音圧実効値(Pa)

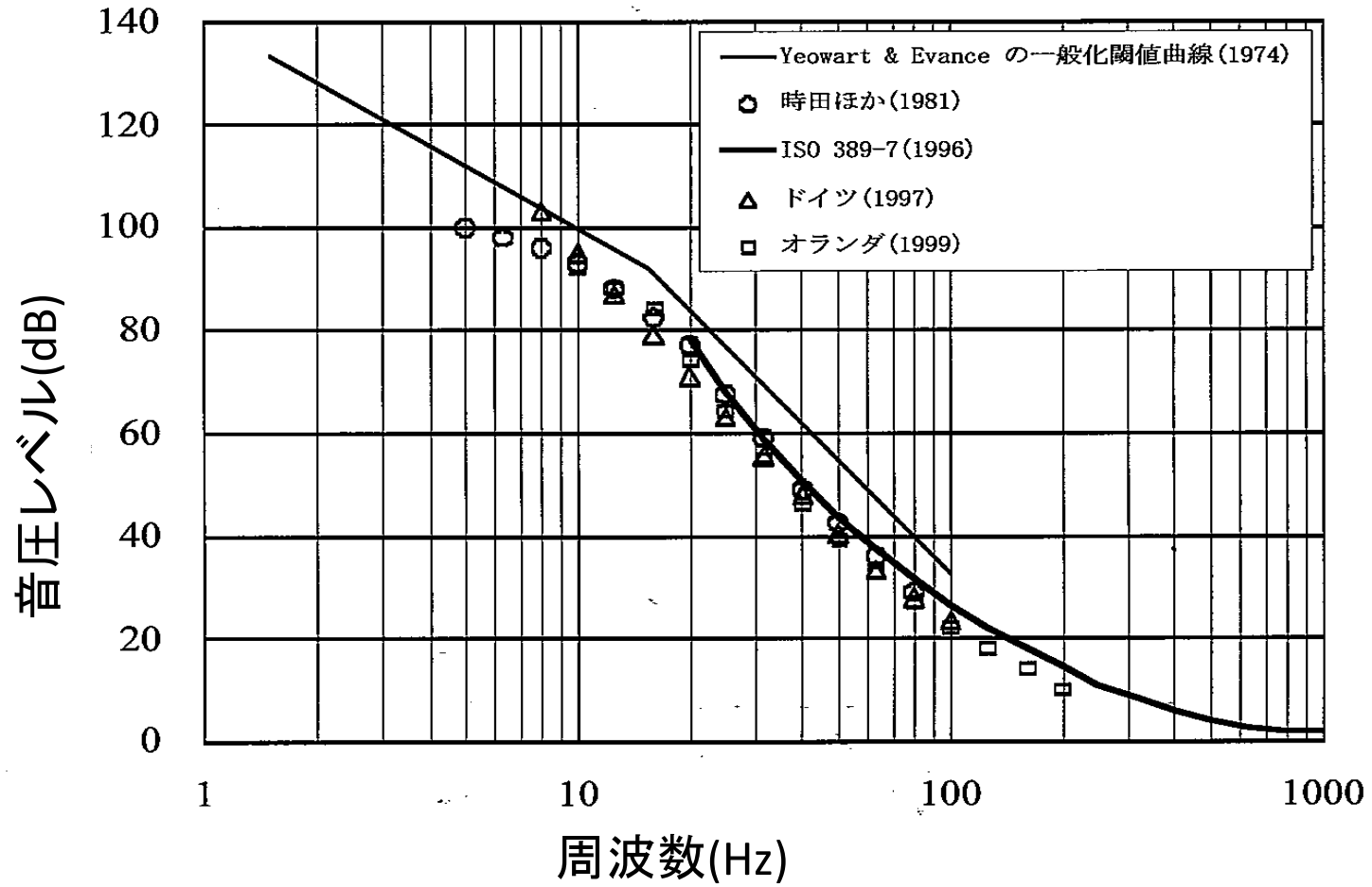
p_0 : 基準音圧 2×10^{-5} (Pa)

超低周波音の大きさを
評価する測定量で、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

超・低周波音及び可聴音(～1000Hz)の周波数重み付け特性

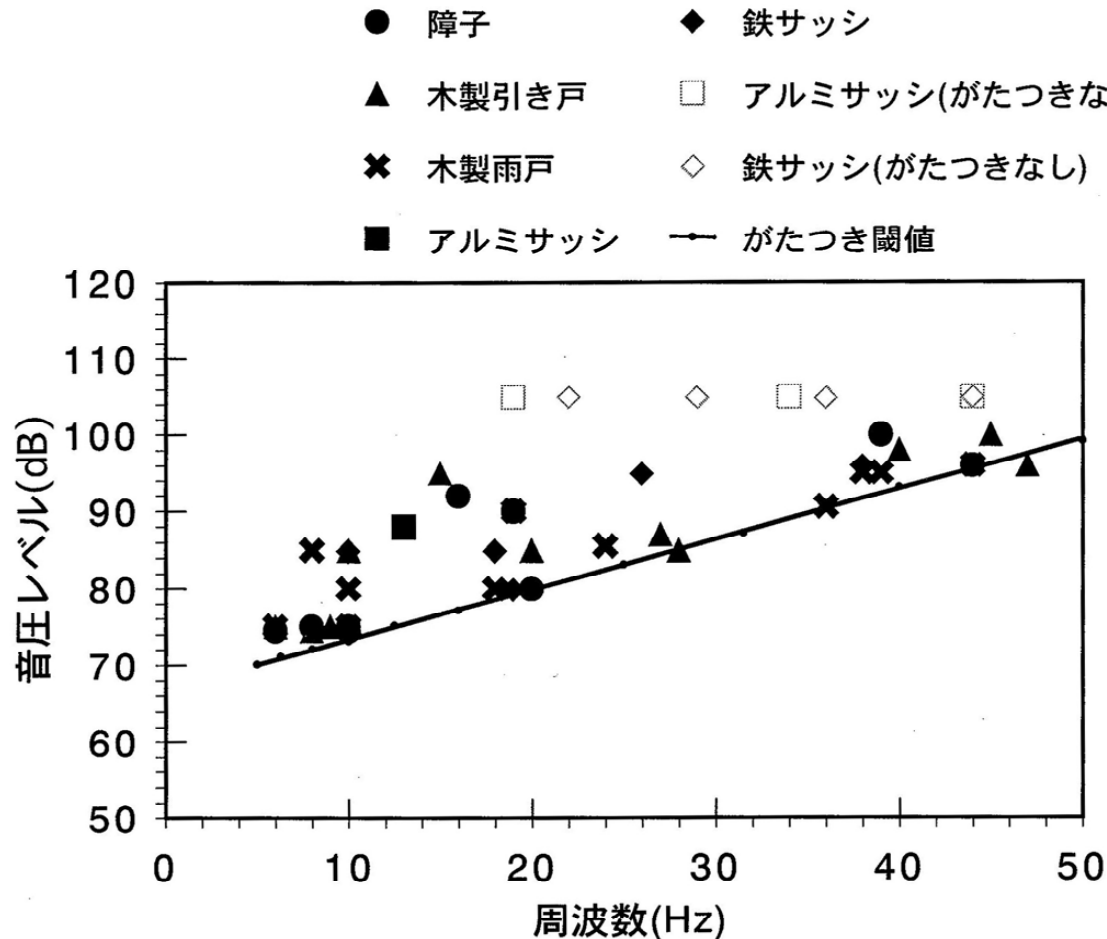


低周波音の閾値(最小可聴値)



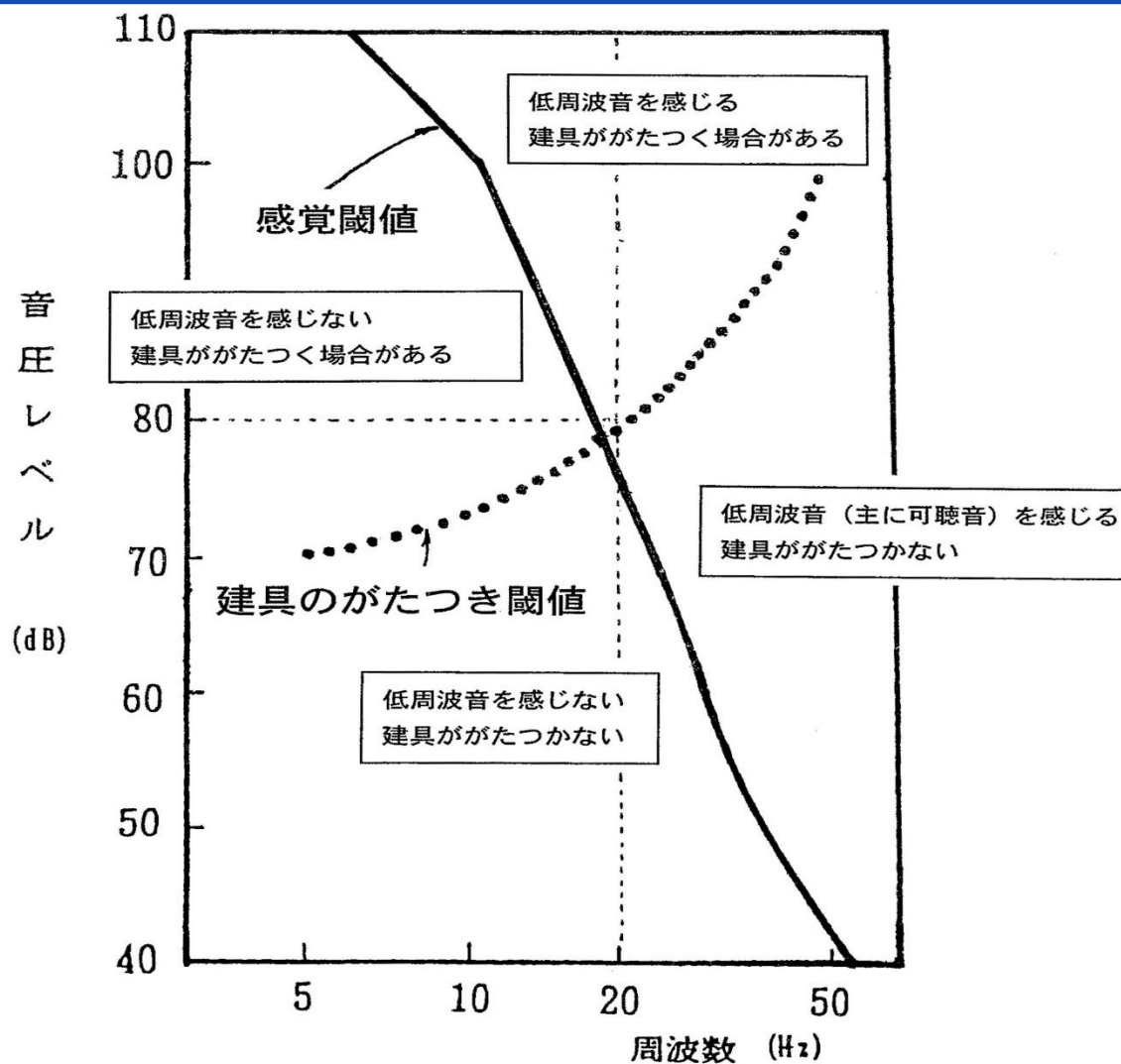
* これまでの研究によると、**閾値以下では不快感等は生じない**と考えられている

建具のがたつき閾値

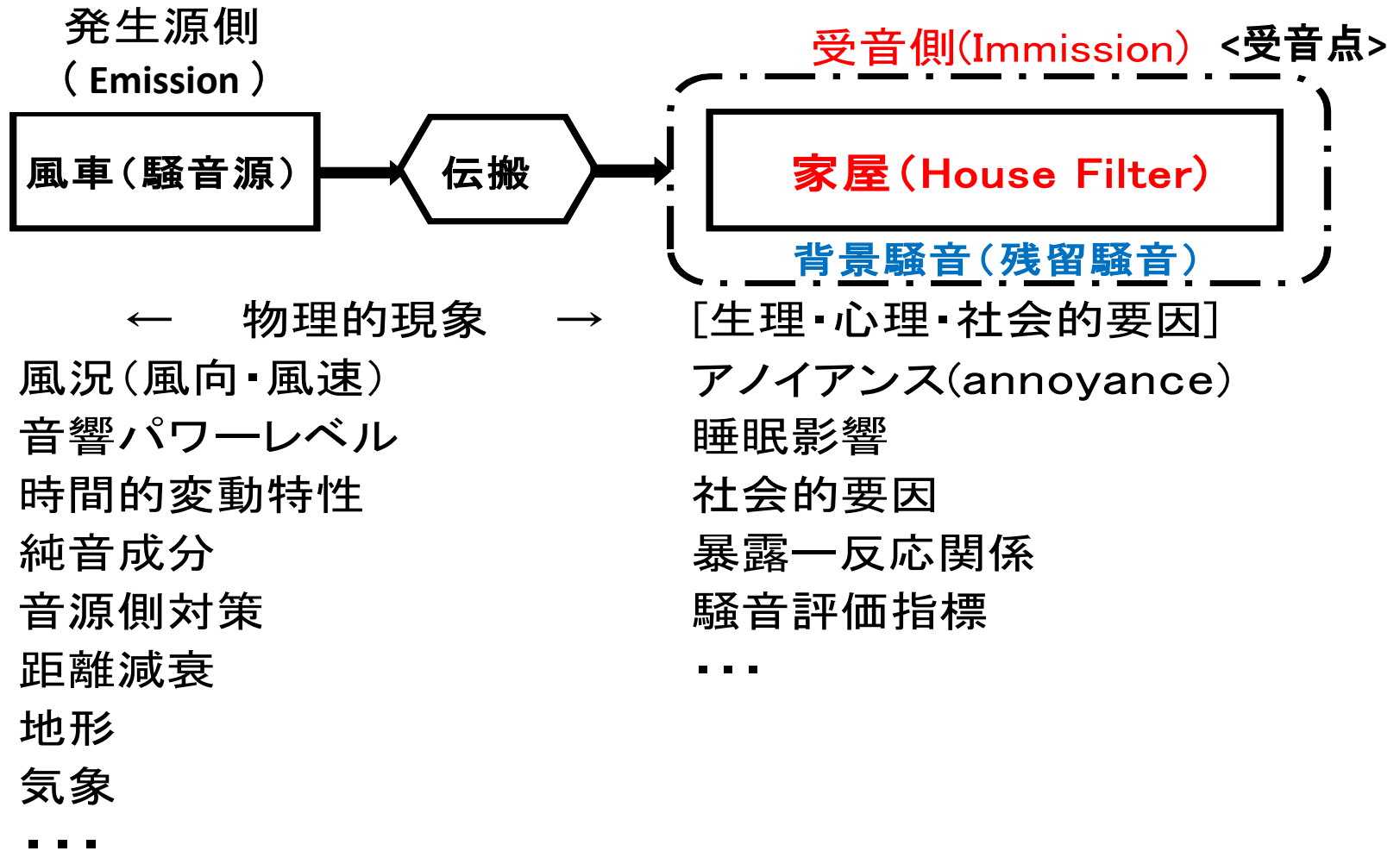


建具の応答解析
(共振現象)
高い周波数にな
るとがたつき現象
が起きにくくなる。

低周波音に対する人の感覚閾値・建具のがたつき閾値と影響評価の考え方

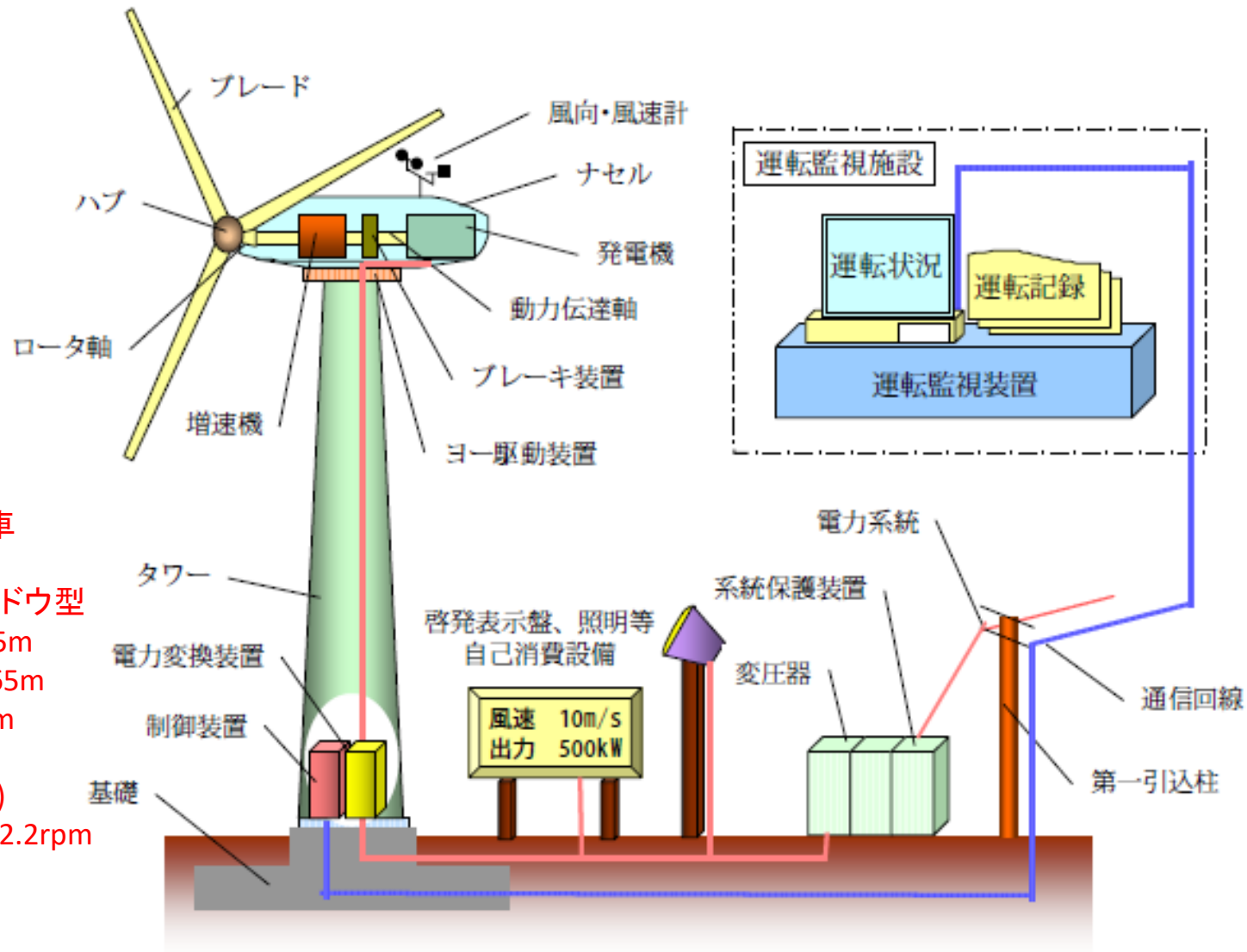


風車騒音問題の捉え方



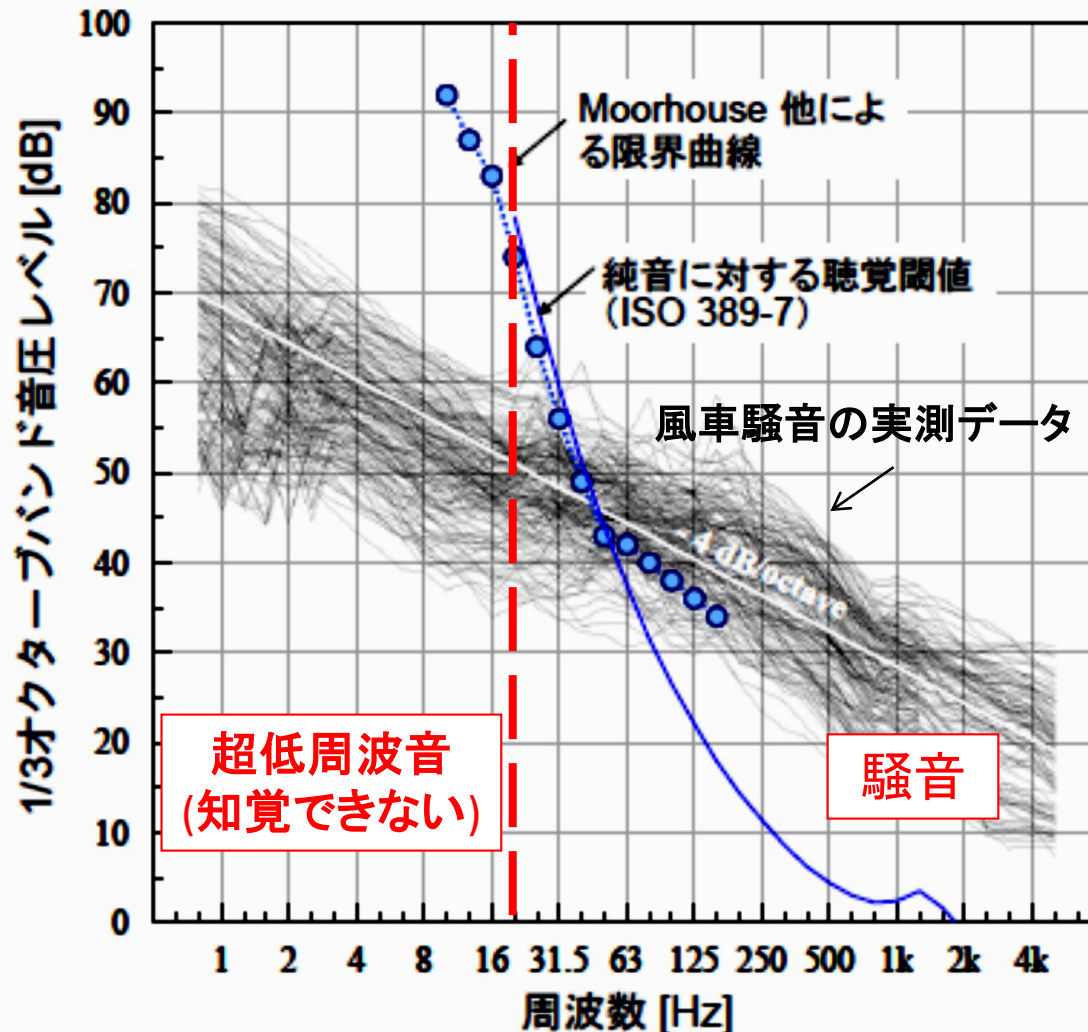
*平成22-24年度環境省 戦略指定研究領域 研究課題 (S2-11風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究:研究代表者橘 秀樹)より改変

風力発電施設(風車)の構造



(例)大型風車
1.5MW機
アップウィンドウ型
ロータ径70.5m
タワー高さ:65m
全高:約100m
誘導発電機
(増速機あり)
回転数:12-22.2rpm
翼端速度
:82m/s(max)

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

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

受音点(地域)の風車騒音の測定について

<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(LAeq)を求める

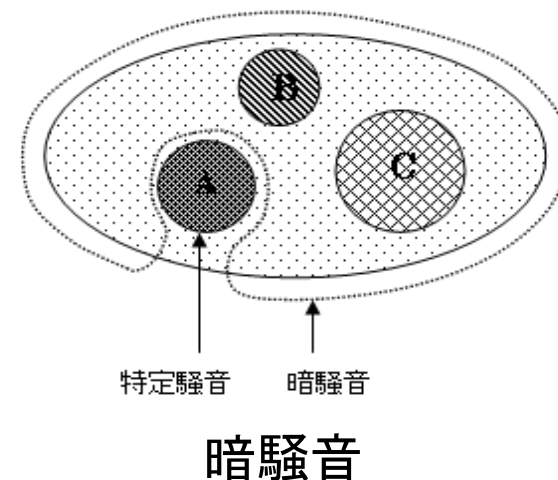
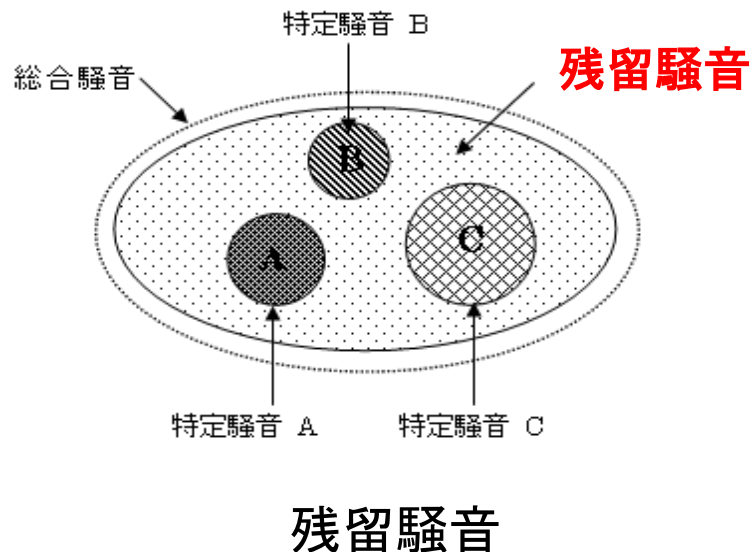
<残留騒音の算出>

- 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(LAeq)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LAeqを算術平均して求める

⇒詳細は、「風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル」参照

(参考) 暗騒音と残留騒音

- 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 residual noise**」を基に評価を行う



風車騒音の特徴

<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

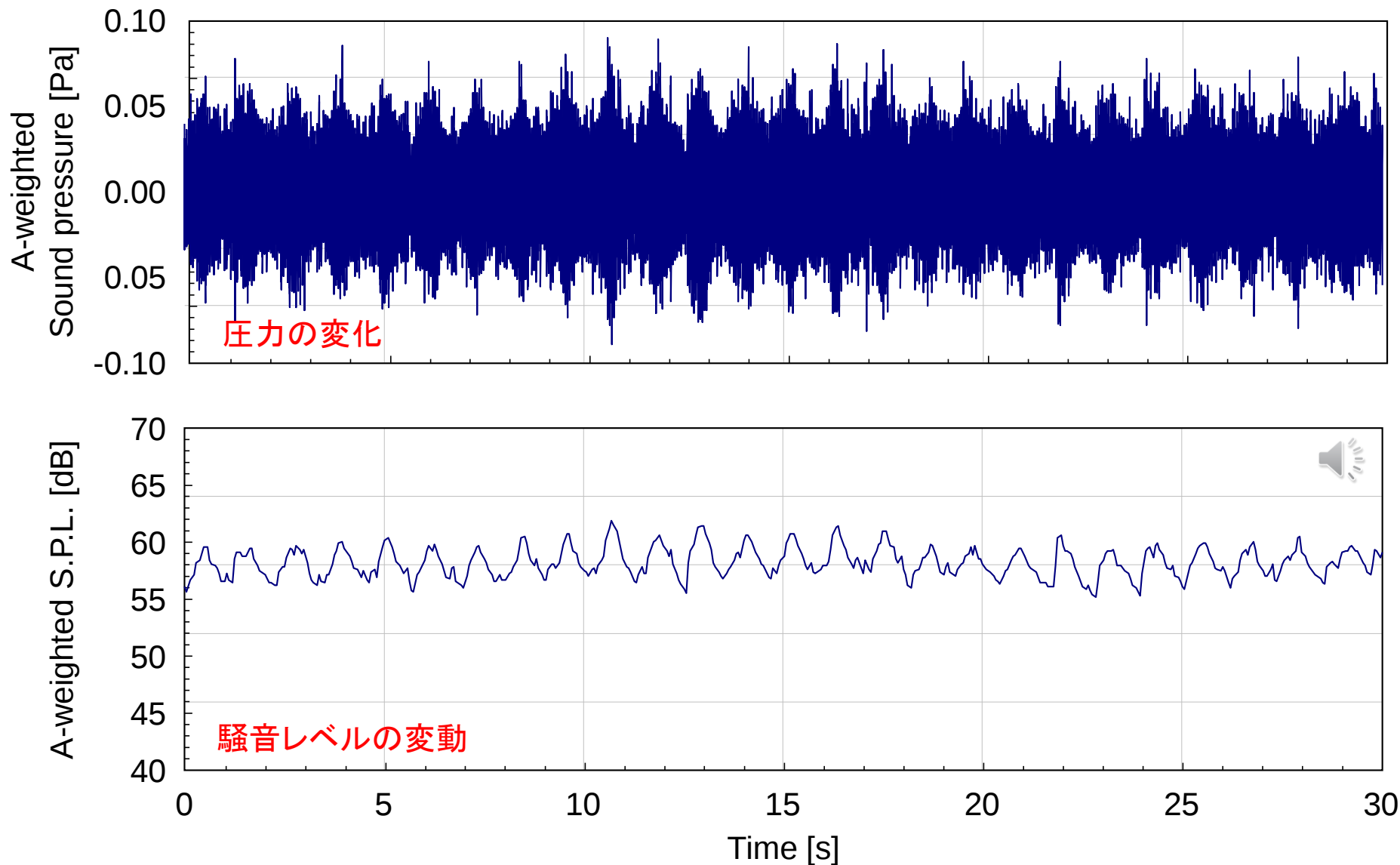
<発生する音の特徴・性質>

- 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, スウィツシュ音(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、ウィーン、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

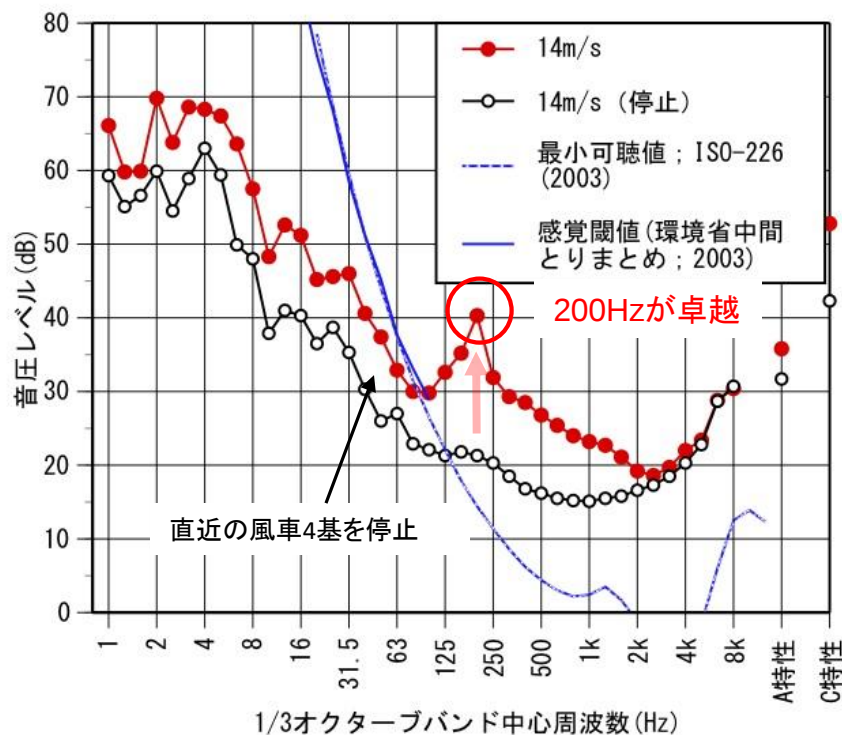
特徴的な風車騒音の紹介

振幅変調音 (AM音, スウィッシュ音)

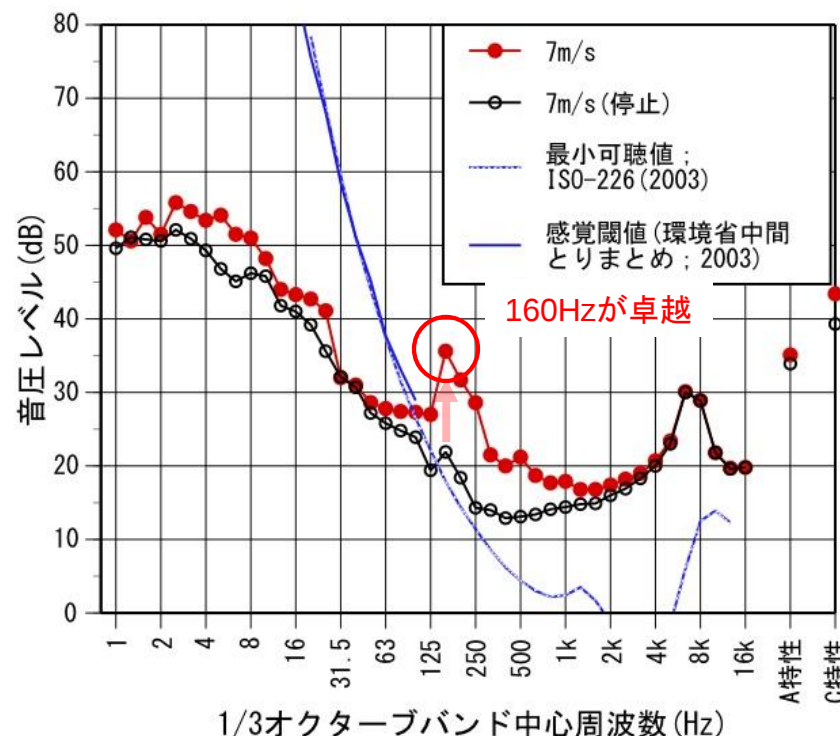


特徴的な風車騒音の紹介

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



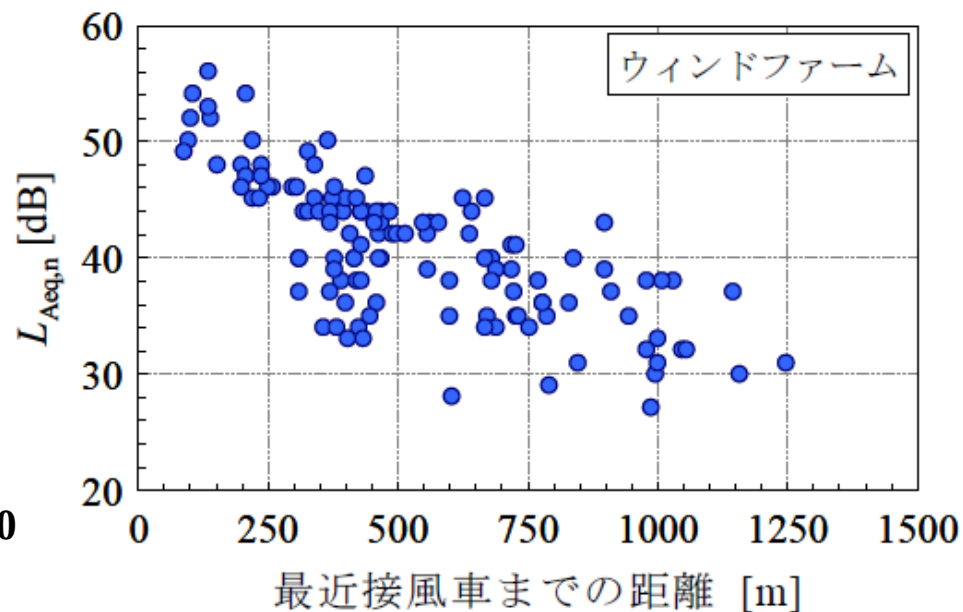
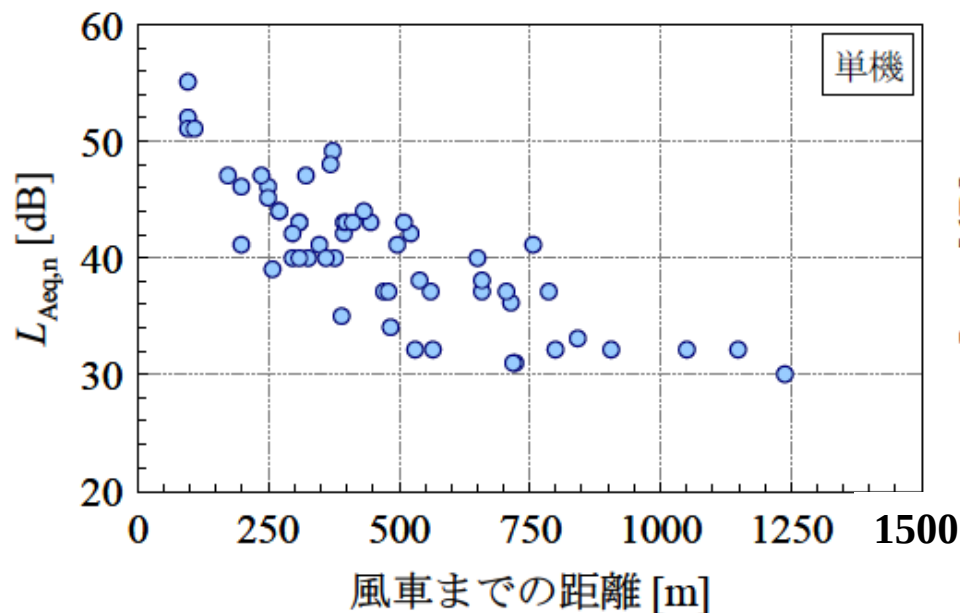
右; 風車より350m, 木造家屋-屋内

* 純音性成分は、増速機などの機械駆動部の振動に起因していることが考えられる

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

風車から測定点までの水平距離と風車騒音の関係

～距離減衰～



- 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**

風車騒音の人体影響(調査*)

- 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

*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」(平成25年5月～平成28年11月)

風車騒音の人体影響について(その1)

- 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

風車騒音の人体影響について(その2)

- 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

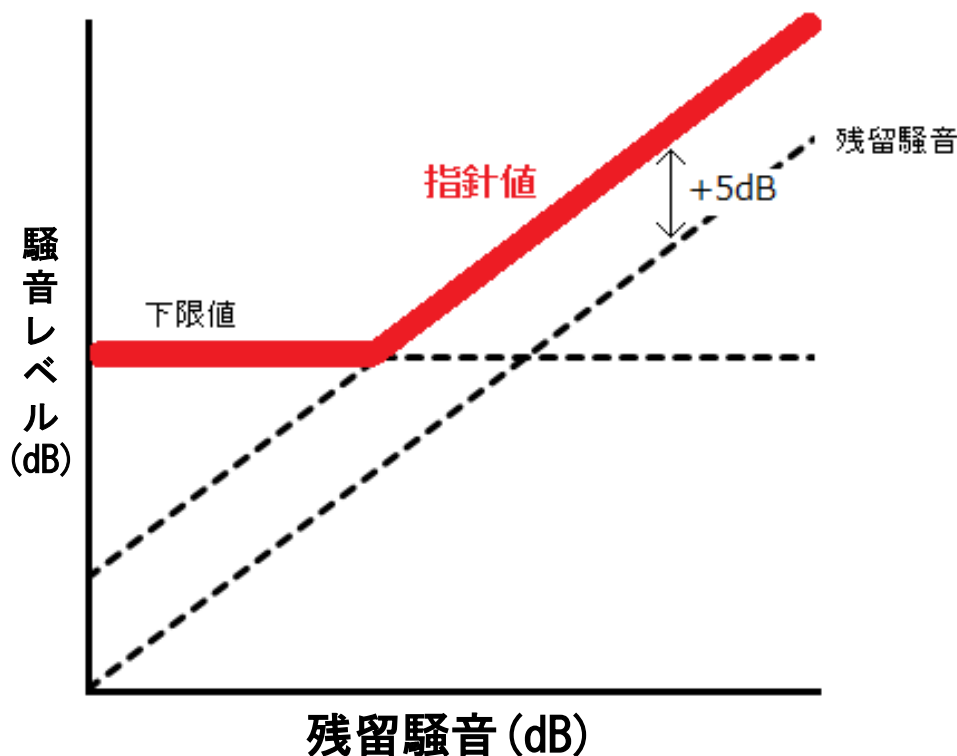
風車騒音の評価(指針値)について

風力発電施設から発生する騒音に関する指針値:

残留騒音 + 5dB

下限値の設定*

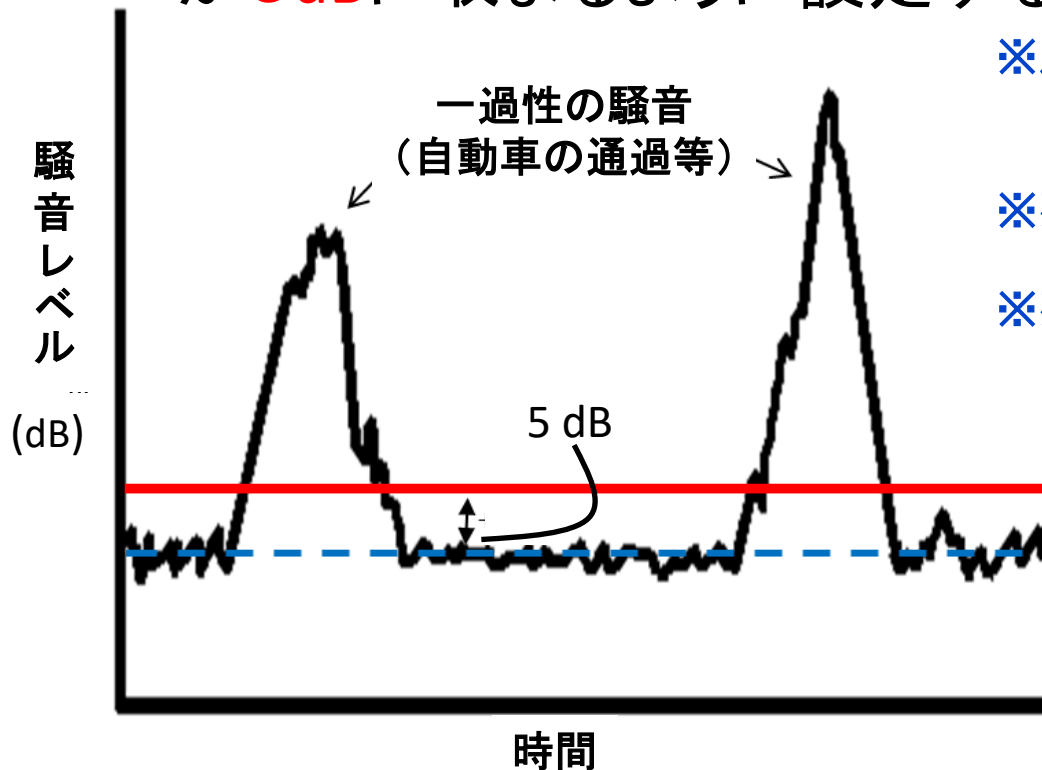
*残留騒音が著しく低く(30dBを下回る場合)特に静穏を要する地域や、地域において保存すべき音環境がある場合においては35dB, それ以外の地域においては40dBを**下限値**として設定する



平成29年5月26日 環境省水・大気環境局長通知「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」環水大大第1705261号
(検討会報告書:平成28年11月「評価の目安となる値」)

風力発電施設騒音の評価(指針値)の算定

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



※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

※残留騒音は、風が安定して吹くときに屋外で測定する

※残留騒音の測定、風車騒音の評価は、昼間(6時～22時)、夜間(22時～翌6時)のそれぞれについて行う

指針値

残留騒音

指針値（評価の目安となる値）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
 - 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するとともに、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）
 - 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」とした。

*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」

（平成25年5月～平成28年11月）

「指針値」と「騒音に関わる環境基準」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

騒音に係わ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。 その他、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ことに留意する。

指針値に関する留意点

- 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

参考資料(抄)

- 「よくわかる低周波音」環境省パンフレット
<https://www.env.go.jp/air/teishuha/yokuwaku/index.htm>
- 「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 (2004)
- ISO 7196:1995 Acoustics –Frequency weighting characteristic for infrasound measurements
- 「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「風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会」, 平成28年11月
- 「風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル」: 環境省, 平成29年5月
- 日本音響学会編: 音響サイエンスシリーズ16「低周波音－低い音の知られざる世界－」土肥哲也編著, コロナ社, 平成29年11月2日発行

風力発電施設における騒音及び 超低周波音について

秋田県 再エネ海域利用法に基づく協議会
於：秋田キャッスルホテル 2019.12.26

ご清聴ありがとうございました

