

2019.9.20

令和元年度 環境影響評価研修



環境影響評価の技術的動向（生活環境）

風車騒音の特徴と指針・測定マニュアルについて

落合博明（小林理学研究所）

本日の講習内容

1. はじめに
2. 風力発電機の種類
3. 風車稼動時の騒音発生源
4. 風車騒音による苦情
5. 近年の騒音苦情の特徴
6. 環境省戦略指定研究における研究結果
7. 風力発電施設から発生する騒音等への対応
について(検討会報告書)
8. 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
9. おわりに

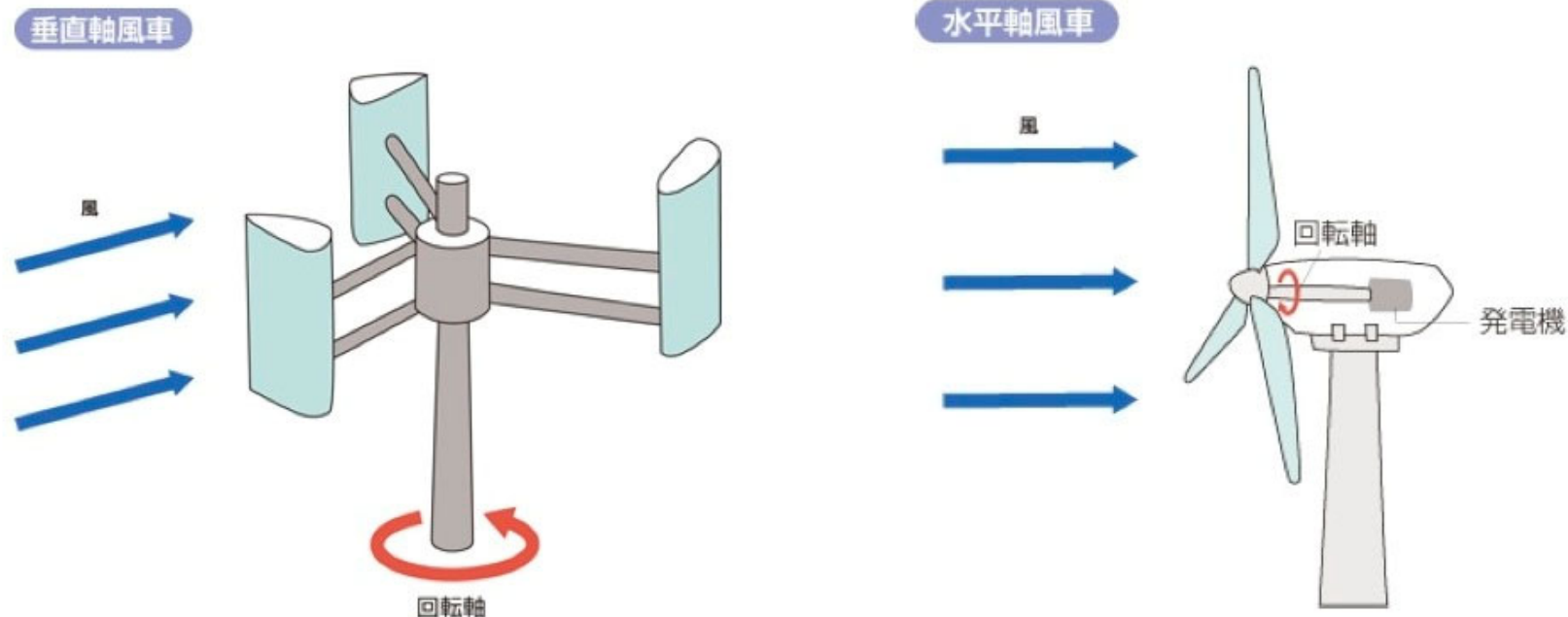
1. はじめに

はじめに

- 再生可能エネルギーの導入は、我が国の重要なエネルギー政策
- 風力発電は重要な低炭素エネルギー源の1つ
- 国内では2253基、350万KWが導入(2017年度)
- 今後も導入の見通し
- 風力発電施設の増加に伴い騒音問題も増加
- 環境省では実測調査、社会調査、聴感実験、最新知見の収集等を実施
- 検討委員会の検討結果に基づき、評価指針・騒音測定マニュアルを公表

2. 風力発電機の種類

風力発電機の種類

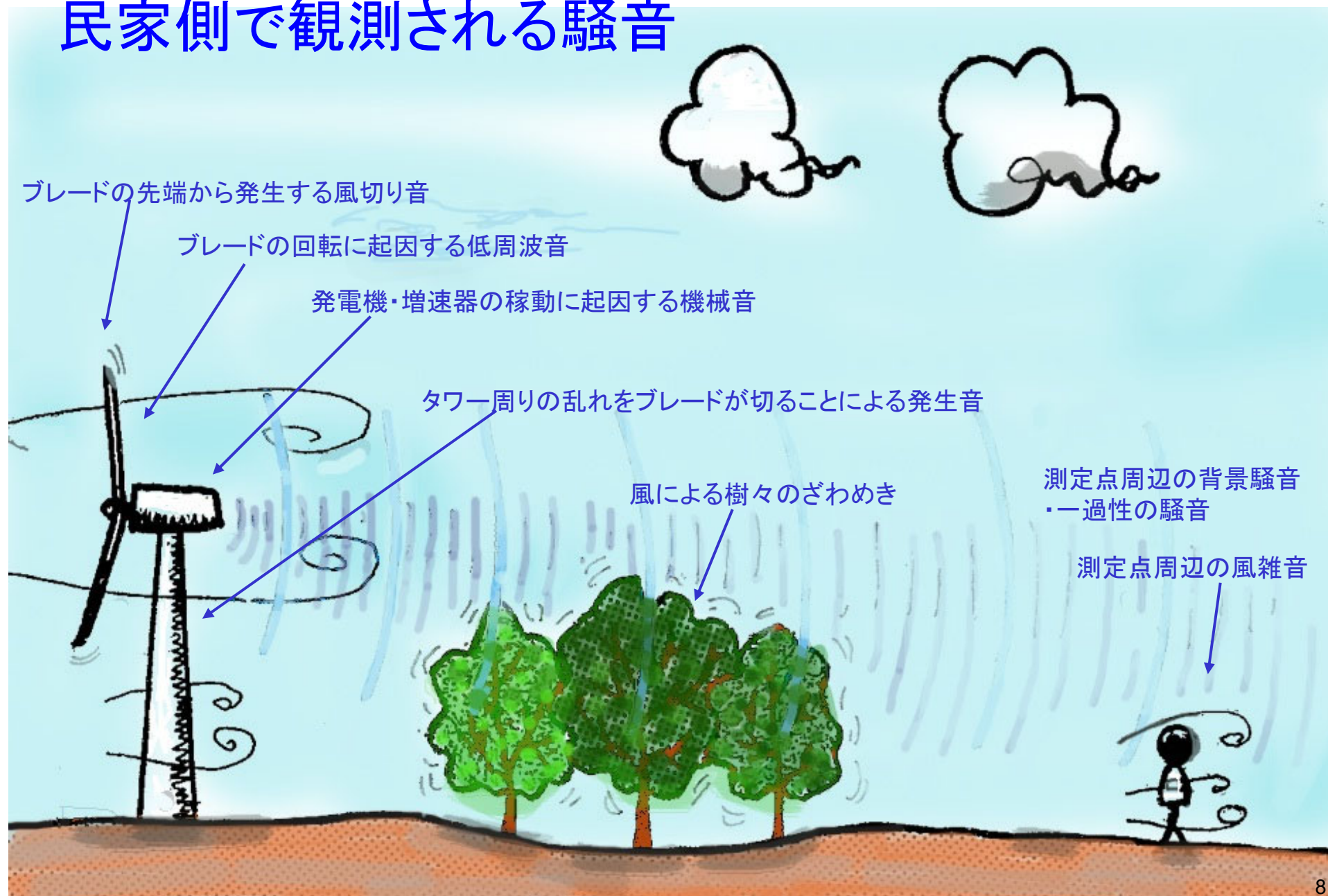


- 垂直軸風車：風向きに左右されず、発生する騒音は小さいが、軌道トルクが小さい。大規模化には向かない。
- 水平軸風車：最も普及している。高速で回転でき発電効率がよいが、方位制御機構が必要。騒音が発生する。
 - ▷ アップウインド型風車：タワーがブレードの風下側にある。
 - ▷ ダウンウインド型風車：タワーがブレードの風上側にある。

3. 風車稼動時の騒音発生源

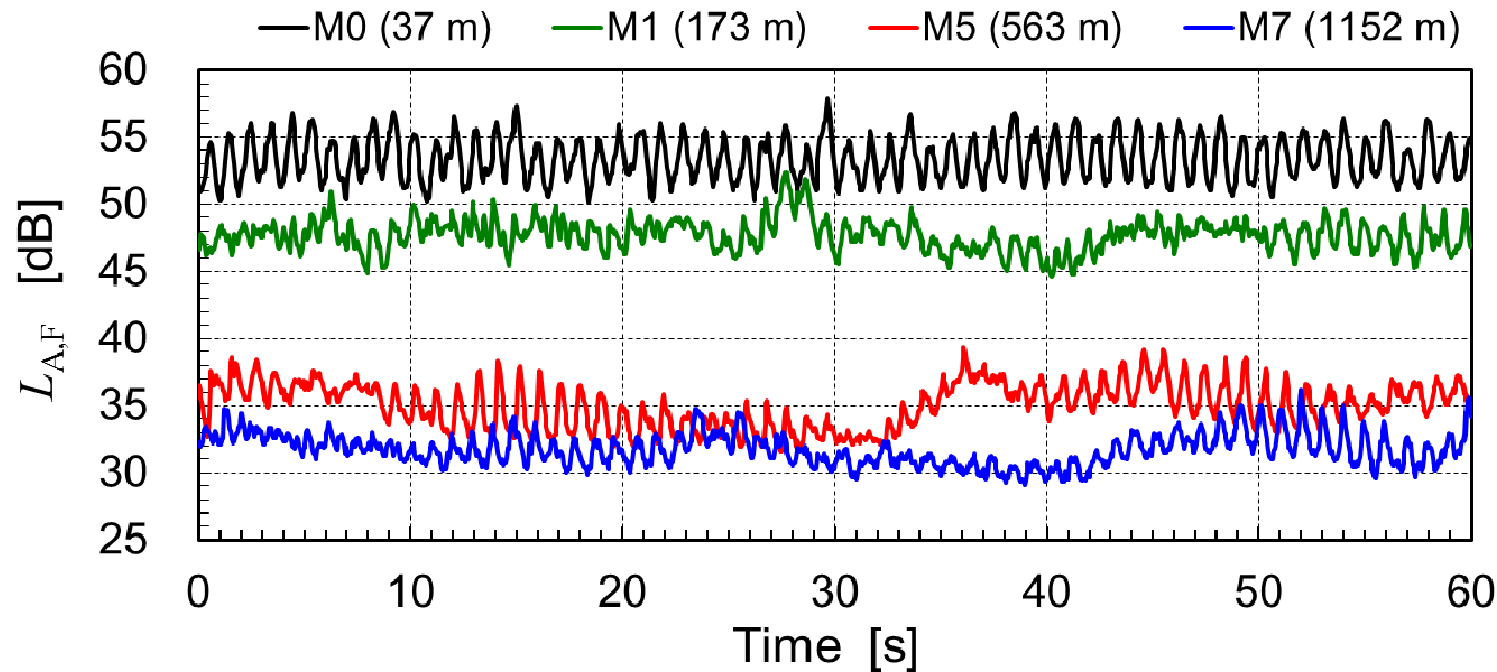
風車稼働時の騒音発生源

民家側で観測される騒音

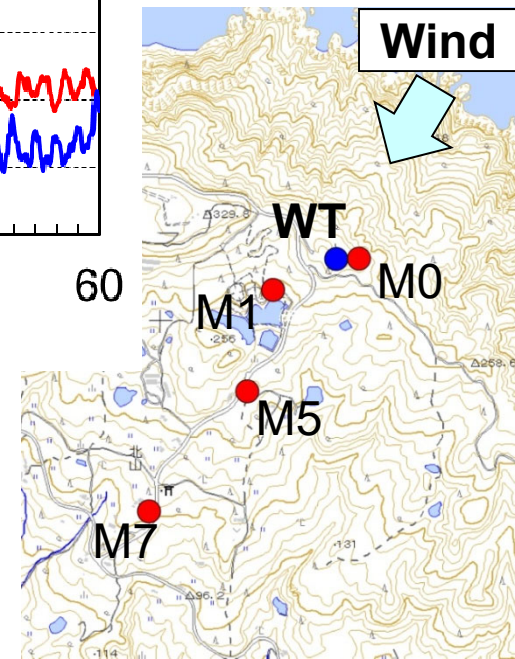


特徴的な風車騒音の紹介

振幅変調音 (騒音レベル $L_{A,F}$ の測定例)



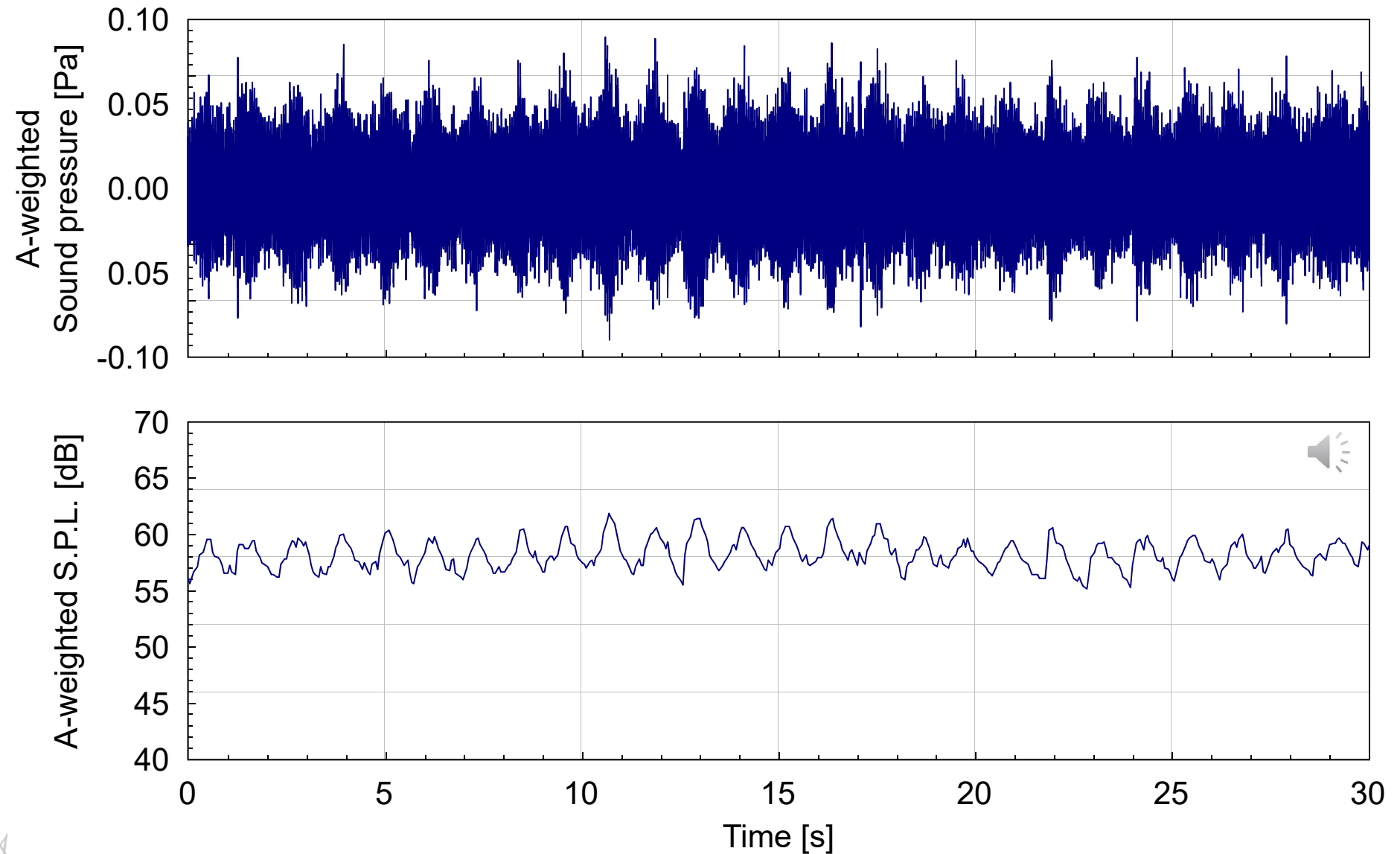
◆ 定格出力 : 1,950 kW, 単基



A. Fukushima *et al.*, "Study on the amplitude modulation of wind turbine noise: Part 1 – Physical investigation," inter-noise 2013 (2013.9).

特徴的な風車騒音の紹介

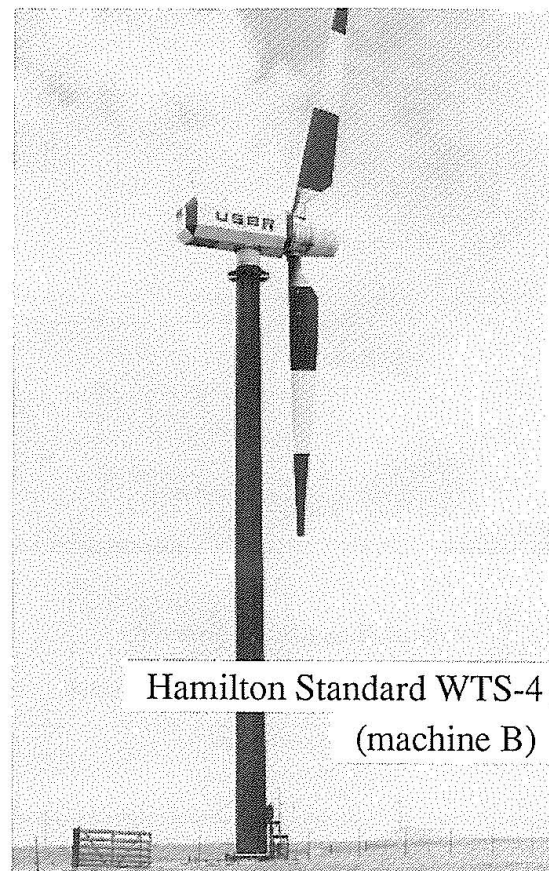
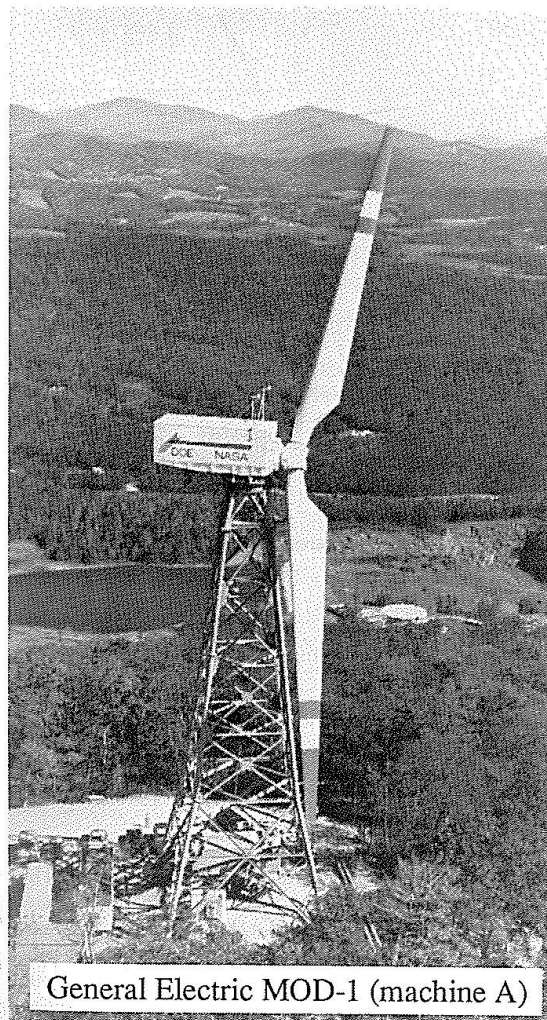
振幅変調音 (AM音, スウィッシュ音)



4. 風車騒音による苦情

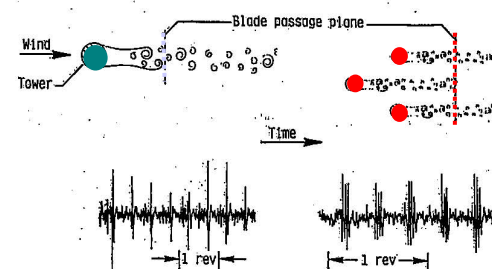
過去に問題となった風車の事例

ダウンウインド型風車による苦情



(a) downwind configurations

以前、アメリカで問題となった風車はダウンウインド型でブレードとタワーの距離が近い。

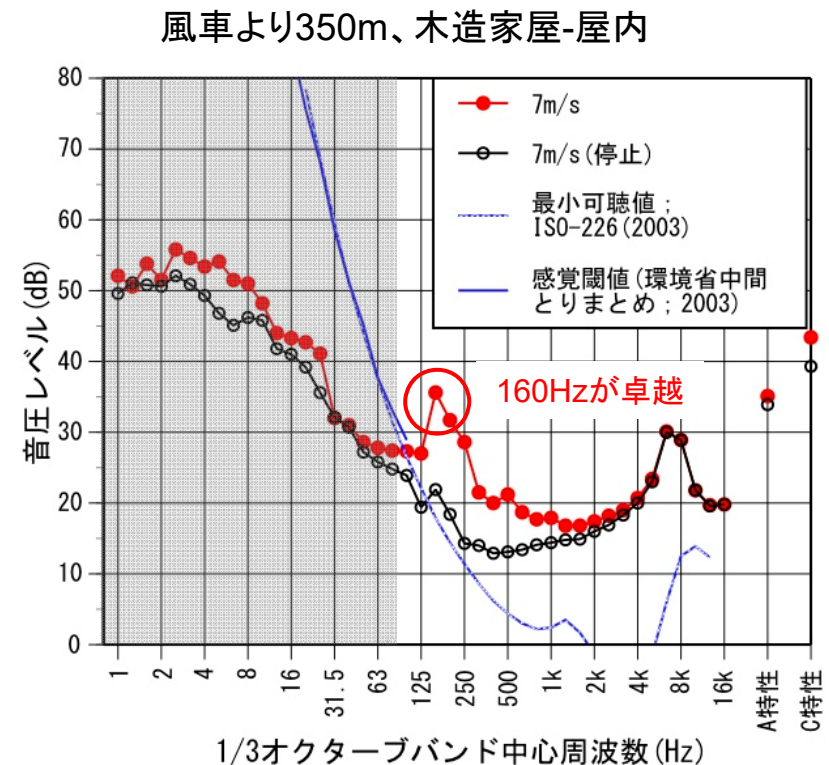
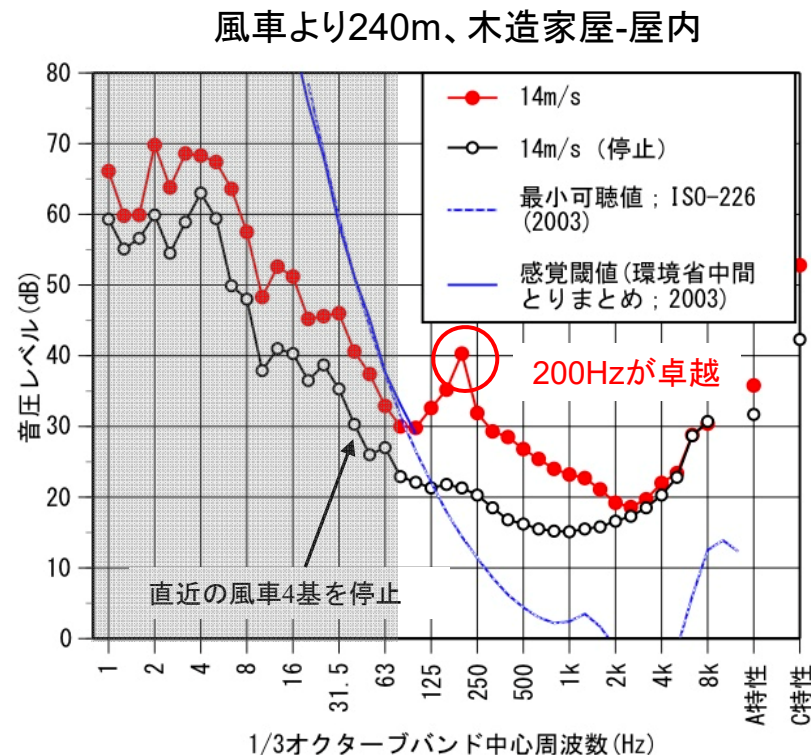


(a) WTS-4

(b) USWP-50

・ Sound Pressure Time Histories from Two Downwind Machines

家屋内で観測された風車音の周波数特性



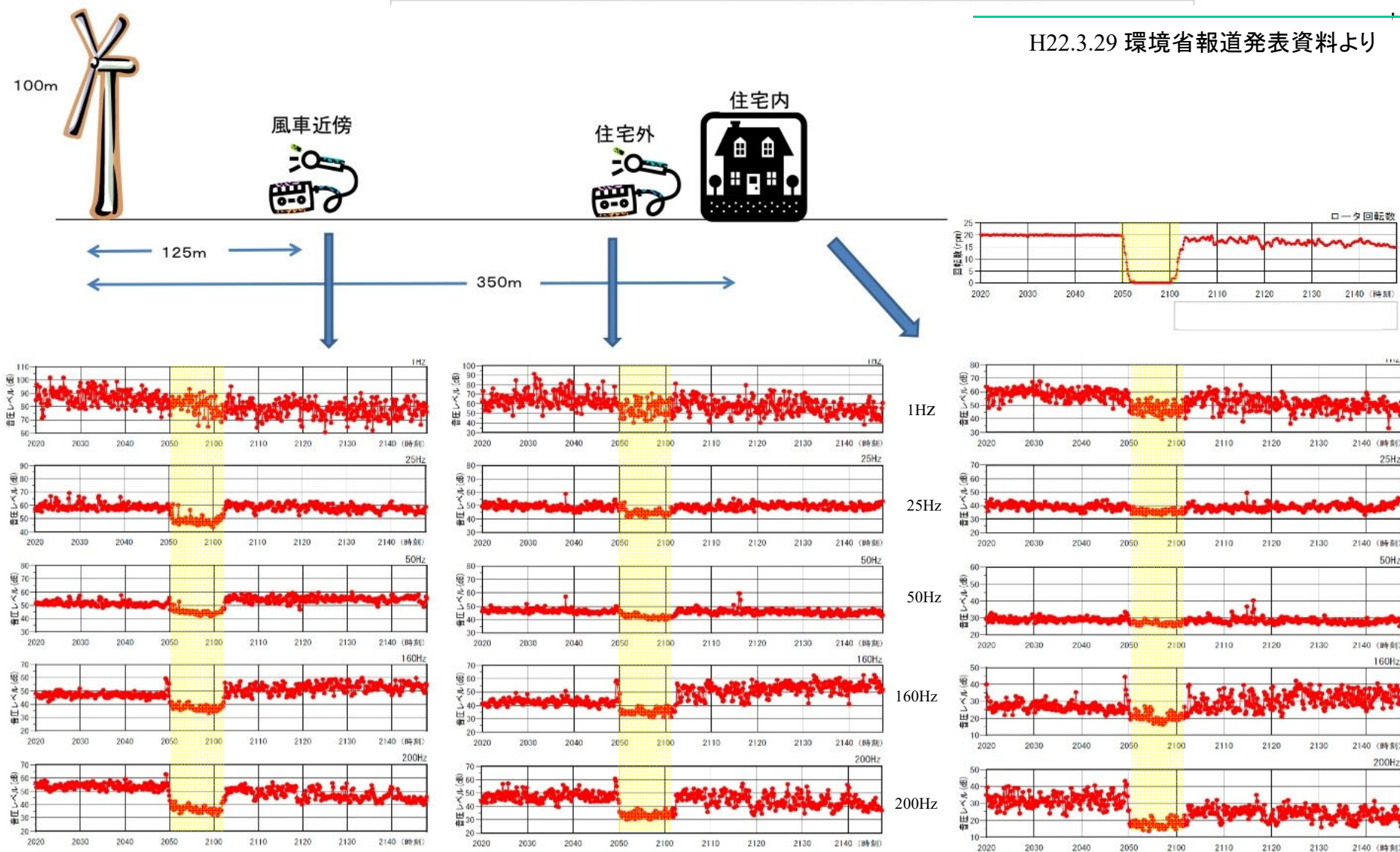
⇒ 問題となっている周波数範囲として100 Hz以上程度の周波数の騒音の可能性を示唆

落合、今泉、井上、山田; 風車音の実測調査結果について、日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演
論文集、(2010.9) より抜粋

我が国における苦情発生地域での測定事例

家屋内で観測された風車音の音圧レベル変動

H22.3.29 環境省報道発表資料より

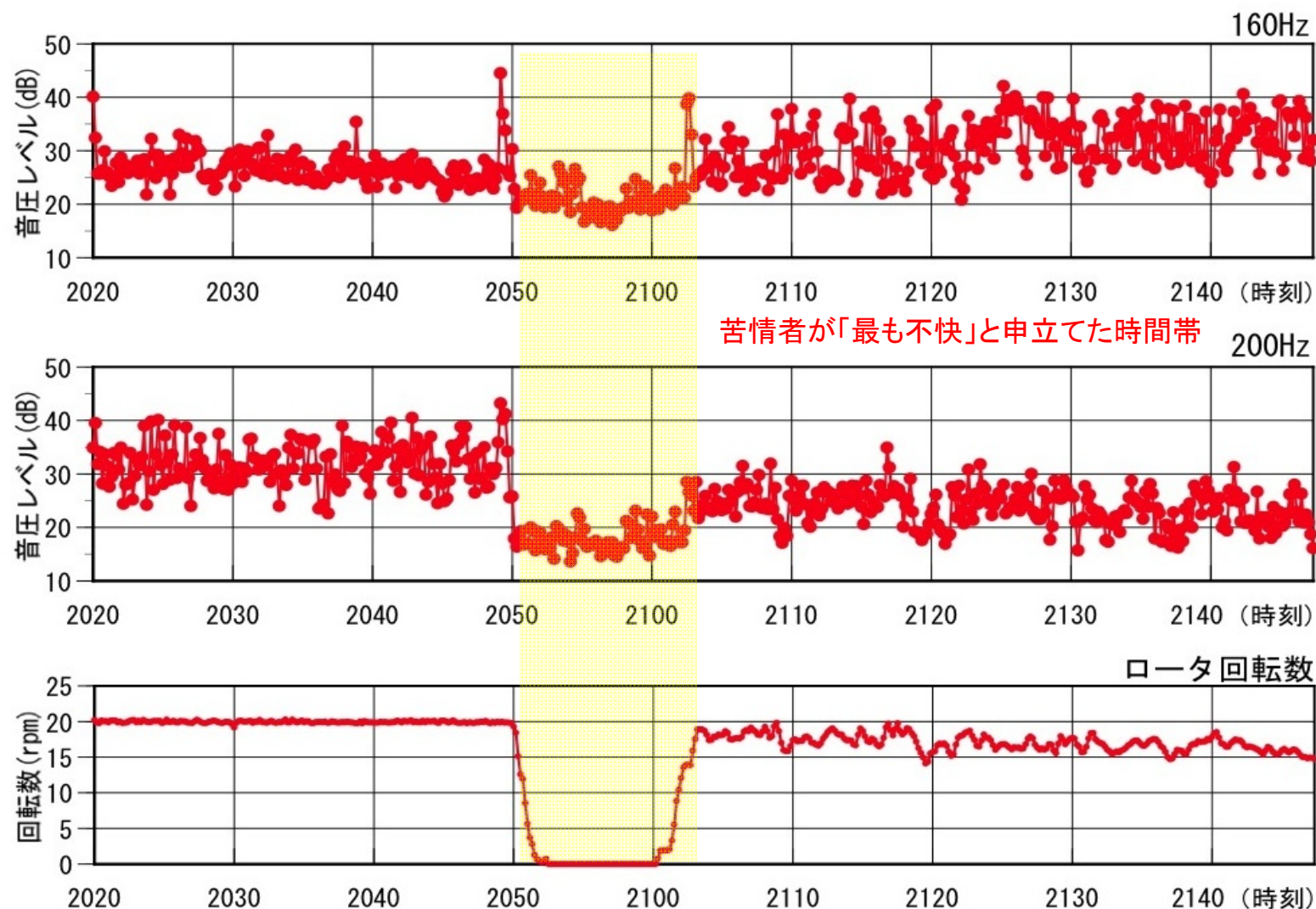


環境省;報道発表資料、風力発電施設から発生する騒音・低周波音の調査結果(平成21年度)について(お知らせ)、2010.3.29

我が国における苦情発生地域での測定事例

家屋内で観測された風車音のレベル変動

風車から350mの住戸



落合他; 風車音の実測調査結果について、日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集、(2010.9) より抜粋

5. 近年の騒音苦情の特徴

近年の騒音苦情の傾向

エコキュート騒音による心身苦情事例

図22 事案12：ア点（ヒートポンプ給湯機近傍）の音測定結果

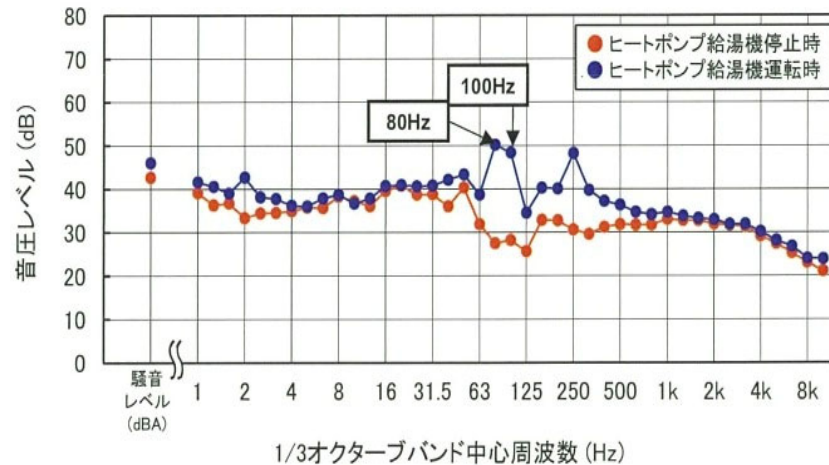
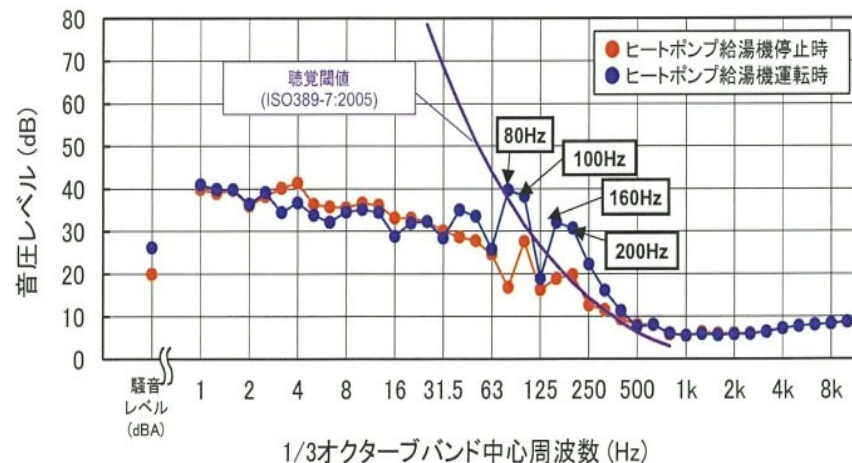


図23 事案12：イ点（健康症状が重い部屋）の音測定結果



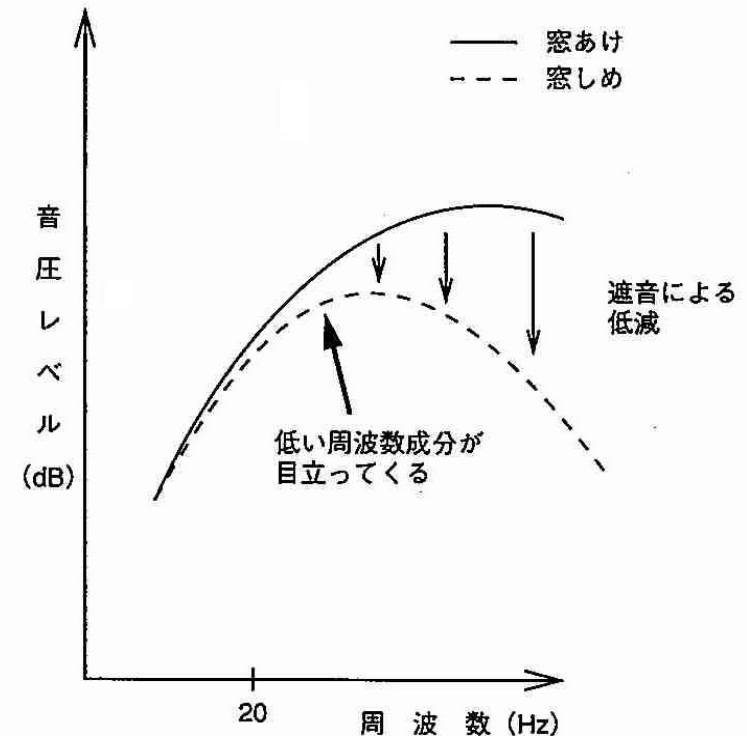
- エコキュート騒音の苦情発生家屋内と機器近傍にて測定。
- 測定の結果、機器近傍と苦情者宅内で観測された低周波音・騒音の卓越周波数（80Hz,100Hz）に対応がみられる。
- 苦情者宅内では、機器近傍で観測された80Hz,100Hz成分に加え、160Hz,200Hz成分（80Hz,100Hzの高調波成分?）も観測されている。

消費者安全調査委員会；消費者安全法第23条第1項に基づく事故等原因調査報告書、
家庭用ヒートポンプ給湯機から生じる運転音・振動により不眠等の健康症状が発生したとの申出事案、平成26年12月19日

近年の騒音苦情の傾向

低レベルの騒音苦情の増加

- ・ 家屋の遮音性能向上 ⇒ 中高周波数域の音圧レベル低下
⇒ 低周波数域が目つようになる
- ・ 室内の暗騒音レベル低下 ⇒ 低レベルの音が気になる、不快
- ・ エコキュート、室外機等



(地域指定なし)

- ・ 風車 ⇒ 静穏な地域に設置 ⇒ 夜間の環境基準; 45 dB
- ・ WHO夜間の室内基準; 30 dB + 家屋内外レベル差
(少し窓開けの状態); 15 dB * = 45 dB
- ・ * この値は道路交通騒音をベースとした値 ⇒ 風車騒音は低音成分が多く含まれるので、道路交通騒音に比べて 5 dB程度小さい。
- ・ ⇒ 屋外の騒音レベル; 30 + 10 = 40 dB程度が目安?

6. 戦略指定研究における研究結果

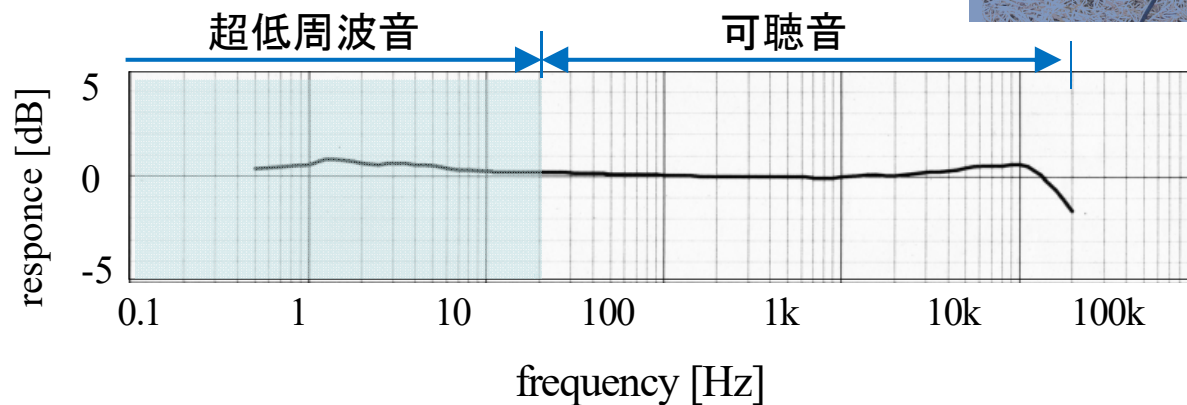
戦略指定研究における騒音測定機器

◆ 騒音計（録音機能付き）

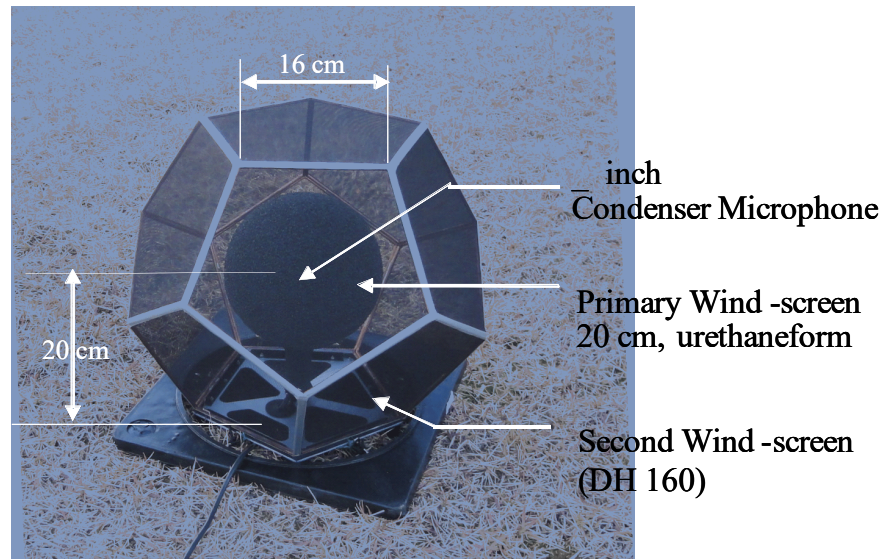


- 測定周波数帯域: 1 Hz ~ 20 kHz
- 録音機能: WAVE-format

◆ 騒音計の周波数応答特性

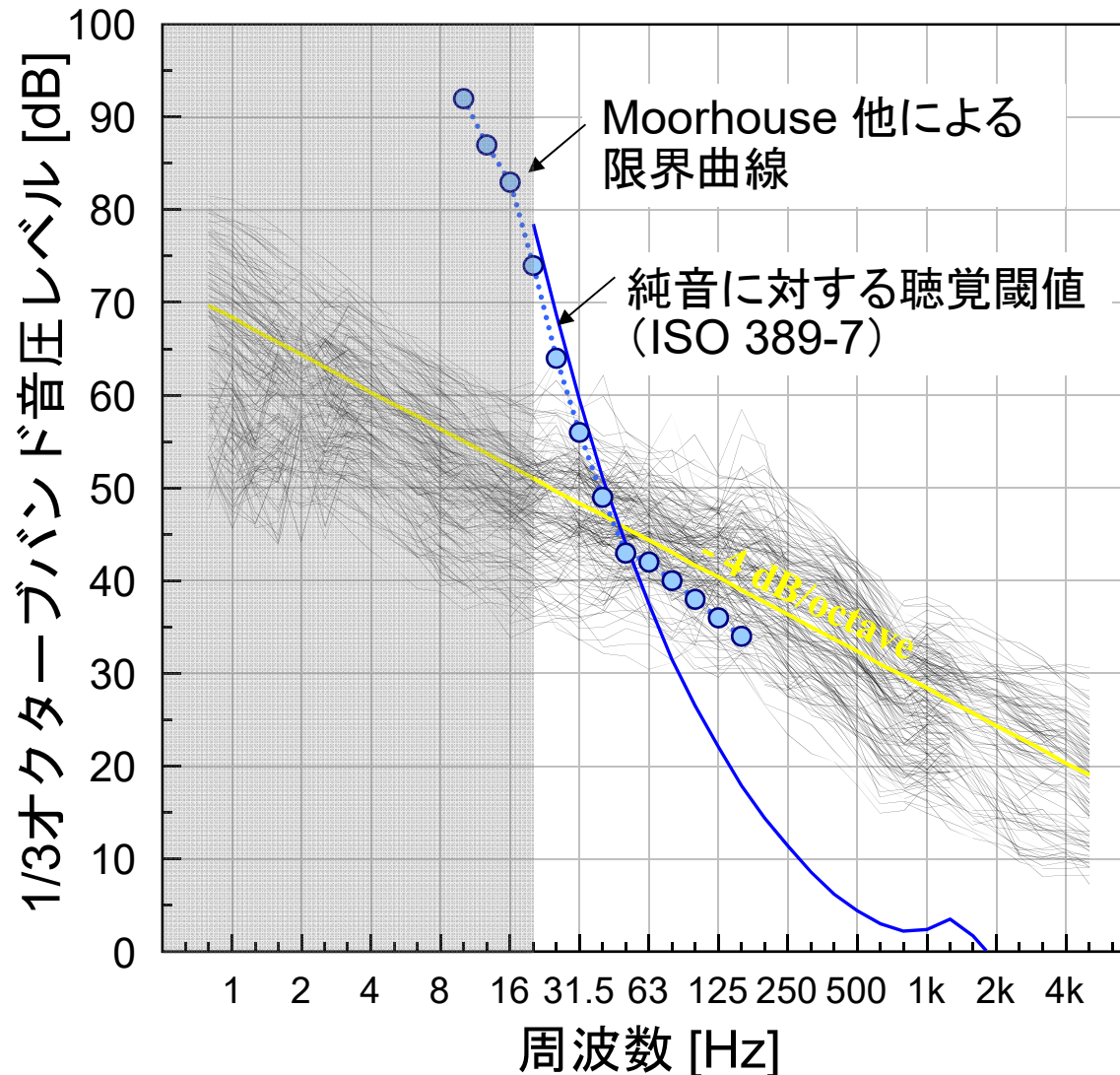


◆ 二重防風スクリーン



矢野，太田，橘：風車騒音のimmission測定に用いる計測システムの開発，日本騒音制御工学会秋季研究発表会（2011.9）

夜間(22-06)の周波数特性 $L_{\text{peq},n}(f)$



◆ 29風力発電施設周辺
合計164地点における
測定結果

- 20 Hz以下の周波数では
閾値を10 dB以上下回る。
⇒ 風車音は超低周波音の
問題ではない。

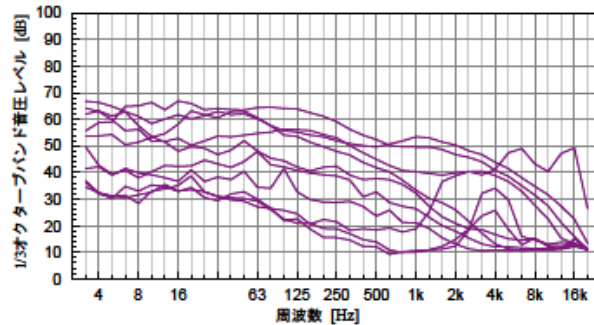
H. Tachibana *et. al.*, Nationwide field
measurements of wind turbine noise
in Japan. Noise Control Eng. J.
2014:62 (2):99-101.

夜間の騒音レベル $L_{Aeq,n}$ (一過性の騒音は除外)

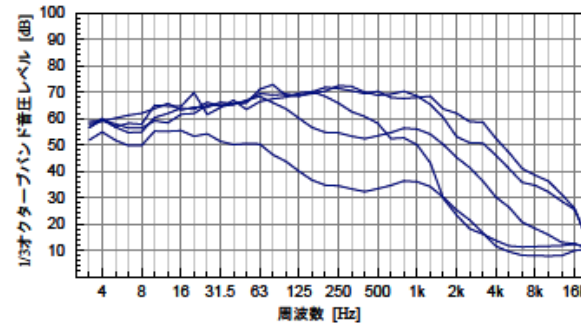
地域	度数分布	確率密度分布	環境基準
風車地域	<p>風車地域 (N=164)</p> <p>度数 (測定点数)</p> <p>$L_{Aeq,n}$ [dB]</p>	<p>確率密度</p> <p>$L_{Aeq,n}$ [dB]</p>	A,B類型 45 dB (夜間)
対照地域(風車無し)	<p>対照地域 (N=32)</p> <p>度数 (測定点数)</p> <p>$L_{Aeq,n}$ [dB]</p>	<p>確率密度</p> <p>$L_{Aeq,n}$ [dB]</p>	A,B類型 45 dB (夜間)

風車周辺地域の音環境

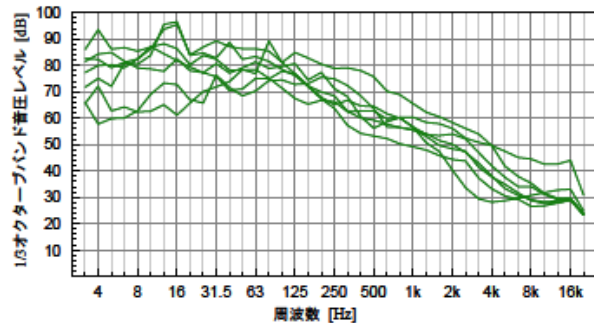
一般住環境における音環境との比較



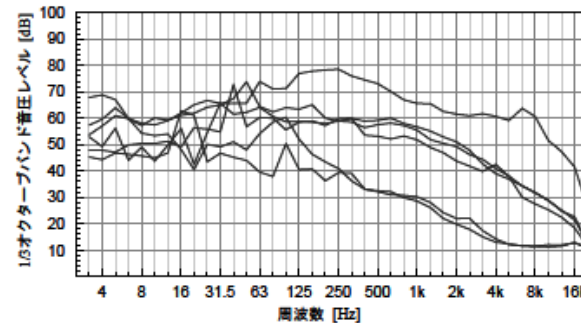
a) 自然環境（山中、海浜）や様々な一般居住地域における環境音：10種類



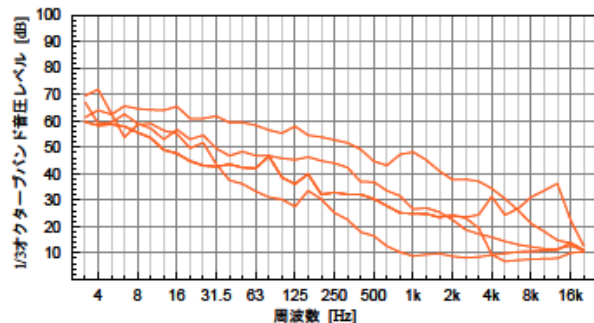
b) 沿道、沿線、航路直下における交通機関（道路、在来鉄道、航空機）の騒音：5種類



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

⇒ 他の環境騒音と比べて、
風車音は低周波数域で突出している訳ではない。

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...風力発電施設から発生する騒音等への対応について 中間とりまとめ 平成28年2月

風車騒音の社会調査結果

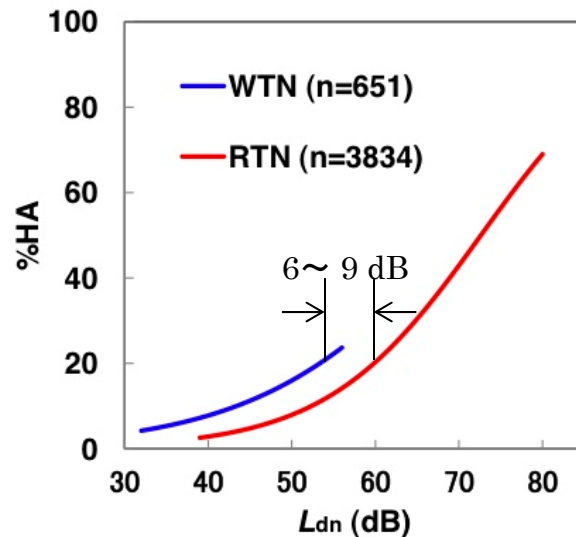


Fig.7 Relationship between L_{dn} and percentage of highly annoyed response of wind turbine noise (WTN) and road traffic noise (RTN)

- 全国の風車騒音が聞こえる地区34箇所と風車騒音の影響のない地区 16箇所(いずれも静かな田園地域あるいは山岳地域)において実施した社会調査結果
- 風車騒音と自動車騒音の量反応関係の比較;
- 風車騒音は自動車交通騒音よりうるさく、両者の差は L_{dn} を用いた暴露-反応曲線で6~9 dB。

⇒ 風車騒音は音圧レベルが小さくても耳につくことがわかった。

超低周波数成分の可聴性

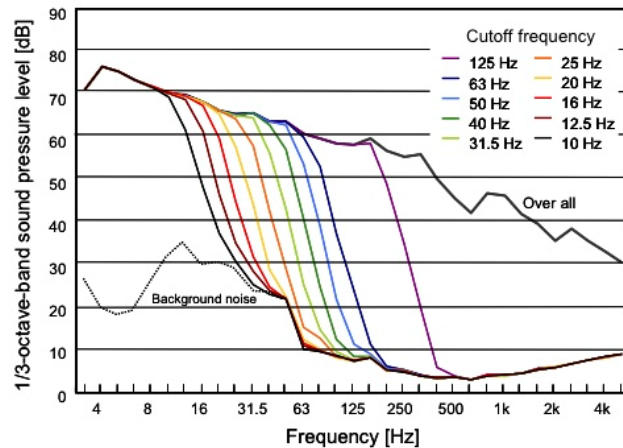


Fig. 3 Original of test sound No.1 and its 10 variations modified by low-pass filtering.

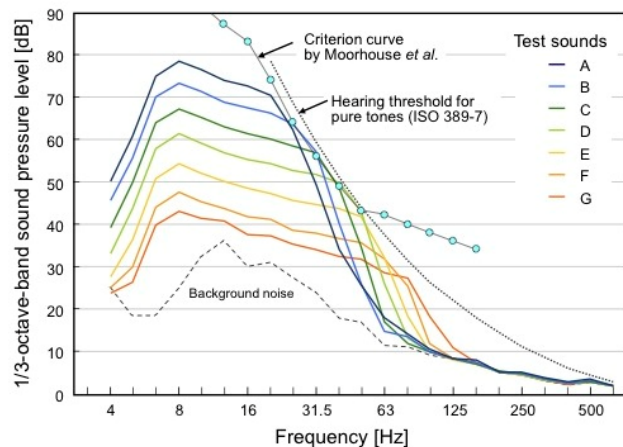


Fig. 6 1/3-octave-band sound pressure levels at the hearing-thresholds for the 7 band-limited low-frequency noises.

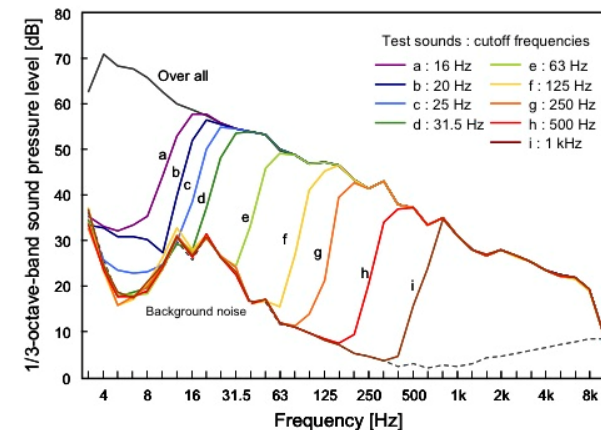


Fig. 8 Spectrum characteristics of the original sound ($S_S=45$ dB) and its 10 variations modified by high-pass filtering.

- ・風車音をベースに高域側をカットして作成した試験音を用いて聴覚閾値を調べたところ、風車音ベースの閾値は1/3オクターブバンドノイズや純音による閾値とほぼ一致した。(左図)
- ・低域側をカットした試験音による実験では、風車音は数10Hz以下の成分は非可聴でラウドネスにも影響しない。(右図)

横山他; 風車騒音の低周波数成分の可聴性に関する聴感実験、日本音響学会秋季研究発表会講演論文集、pp.1079-1082、2014.9

風車騒音の特徴

- ・ 風車騒音は超低周波音ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音の問題である。
- ・ 風車騒音は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。
- ・ 風車騒音を日本で実測した結果、周辺の住宅等音の影響を受け得る場所では、時間平均A特性音圧レベルで26～50 dB(書店や美術館の中程度)であり、それほど高いレベルではなかった。
- ・ ⇒ 風車騒音は騒音レベルは低いですが、ブレードの回転に伴う振幅変調音や増速機や発電機からの純音性成分は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。

風車騒音の人への影響

- 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。静かな環境では、風車騒音が35～40 dBを超過すると、わずらわしさ(アノイアンス)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かった。

7. 風力発電施設から発生する 騒音等への対応について

これまでのアセス書記載例(施設の稼働)

騒音			超低周波音		
影響要因	調査の手法		影響要因	調査の手法	予測の手法
施設の稼働	(1) 調査すべき情報 (a) 騒音の状況 (b) 地表面の状況	(1) 予測 理 等価 を予測 空 事業 の平 に加 小と 件時 ISO9 算す	施設の稼働	(1) 調査すべき情報 (a) 超低周波音の状況 (b) 地形及び工作物の状況	(1) 予測の基本的な手法 理論伝搬式により、 音圧レベルのパワー平均値を予測する。 なお、空気減衰は考慮しないものとする。
	(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によるものとし、上記(a)については、「騒音に係る環境基準」(平成10年環境庁告示第64号)に基づき、日本工業規格 JIS Z 8731 (環境騒音の表示・測定方法) に準拠して行う。	(2) 予測 事 事		(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によるものとし、上記(a)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)及び「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)に準拠して、G特性音圧レベル及び1/3オクターブバンド音圧レベル(中心周波数1Hz~20Hz)を測定する。	(2) 予測地域 事業実施想定区域及びその周辺とする。
	(3) 調査地域 事業実施想定区域及びその周辺とする。	(3) 予測 事 事		(3) 調査地域 事業実施想定区域及びその周辺とする。	(3) 予測地点 事業実施想定区域周辺の居住地域とする。
	(4) 調査地点 事業実施想定区域及びその周辺とする。	(4) 予測 事 事		(4) 予測対象時期等 風力発電施設の稼働が定常となる時期とし、定格運転に達した状態を予測する。	(4) 予測対象時期等 風力発電施設の稼働が定常となる時期とし、定格運転に達した状態を予測する。
	(5) 調査期間等 四季について、それぞれ3日間(72時間連続)とする。	(5) 予測 事 事			
騒音: JIS Z 8731に準拠して測定			超低周波音: G特性音圧レベル、1/3オクターブバンド音圧レベル(1-20Hz)を測定		
生理的(睡眠)影響: G特性音圧レベル100dB、 心理的影響: 「圧迫感・振動感」を感じる音圧レベル 物的影響: 「建具のがたつきが始まる音圧レベル」と比較			「圧迫感・振動感」の苦情は1980年代以前に多く発生した音圧レベルの大きい低周波音による苦情であり、近年の閾値前後程度の低レベルの苦情の評価には適さない		

一過性騒音などの
特定騒音を含む

実際は20Hz
以上も測定

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2 dB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を対象とする。

※ 発電所アセス省令では事業実施区域から1 kmを環境影響を受ける範囲としている。

風車騒音の調査・予測・評価

- ・ 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）に、稼働する風が安定して吹いている状況で行う。

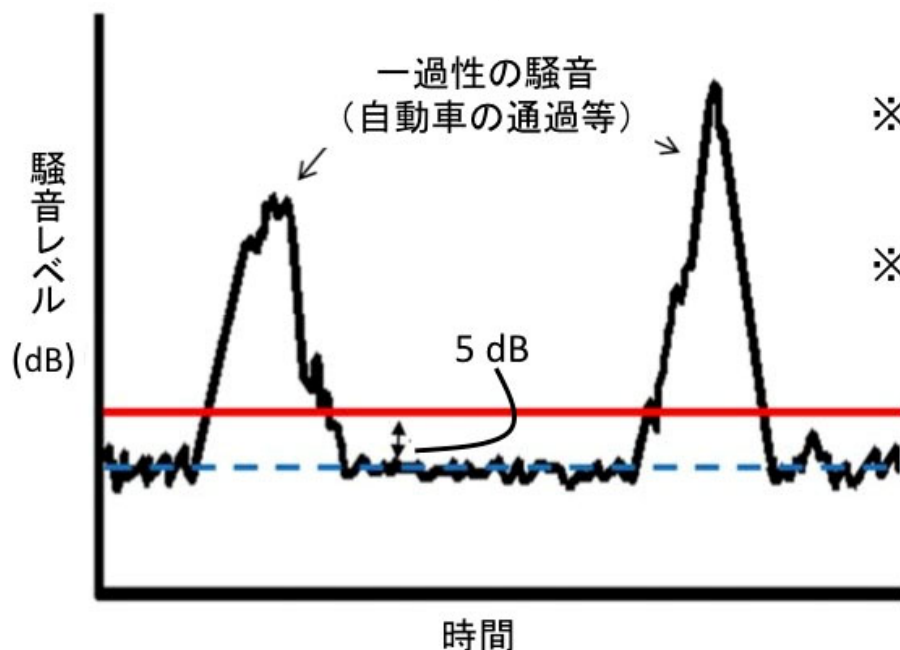
※但し、気象条件の変動が小さい場合等は、調査回数を減らすことが可。

- ・ 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。

風力発電施設騒音の評価の考え方

- ・ 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(一過性の特定できる騒音を除いた騒音)からの増加量が 5 dBに収まるように設定する*。

* 日常の平均的な騒音レベルよりも4～5 dB高くなると人は煩わしさ(アノイヤンス)を訴えたとの報告等に基づく。



※ 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

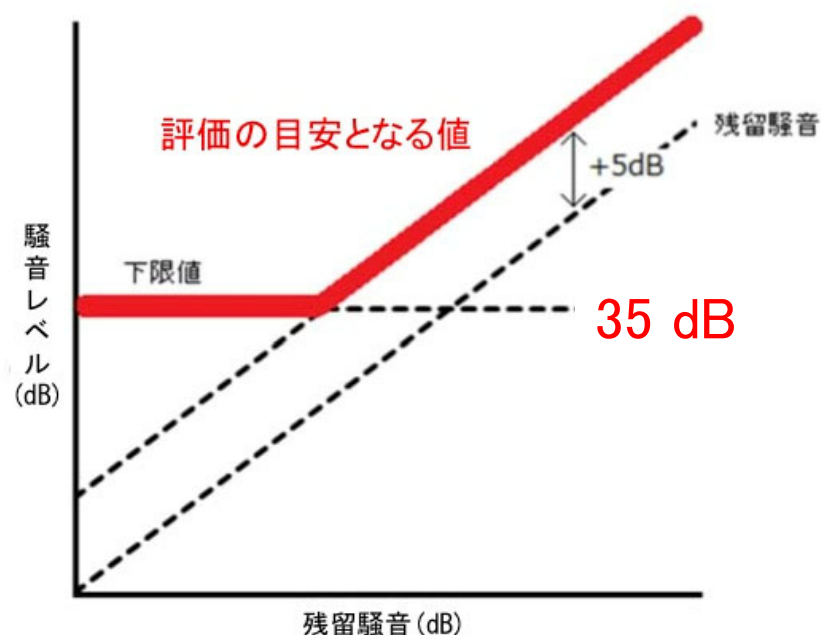
※ 残留騒音は、風が安定して吹くときに屋外で測定する

評価の目安となる値

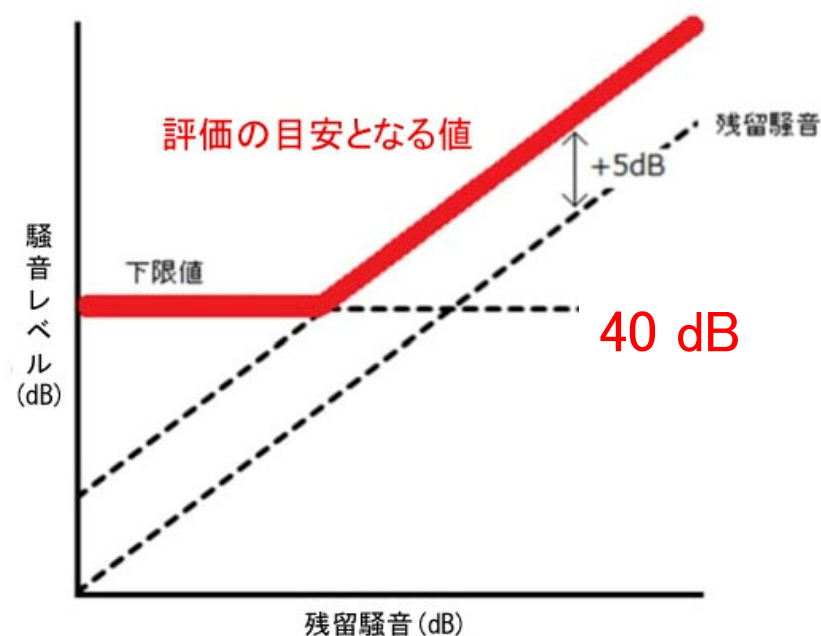
残留騒音

風力発電施設騒音の評価の考え方

- ・特に静穏を要する地域；残留騒音が著しく低く(30dB)を下回る地域
- ・地域に保存すべき音環境がある場合



- ・それ以外の地域



評価の目安となる値：
残留騒音 + 5dB

(参考) 風車騒音に関する諸外国の基準等

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 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)	—	—
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			

世界各国における風車騒音の基準・ガイドラインの比較 (一部抜粋改変)

10

8. 風力発電施設から発生する 騒音等測定マニュアル

目的(抜粋) (p.1)

風力発電施設は山間部等の静穏な地域に設置されることが多く、これらの地域では、まれに通過する自動車等の一過性の騒音により、騒音レベルが大きく変化する。

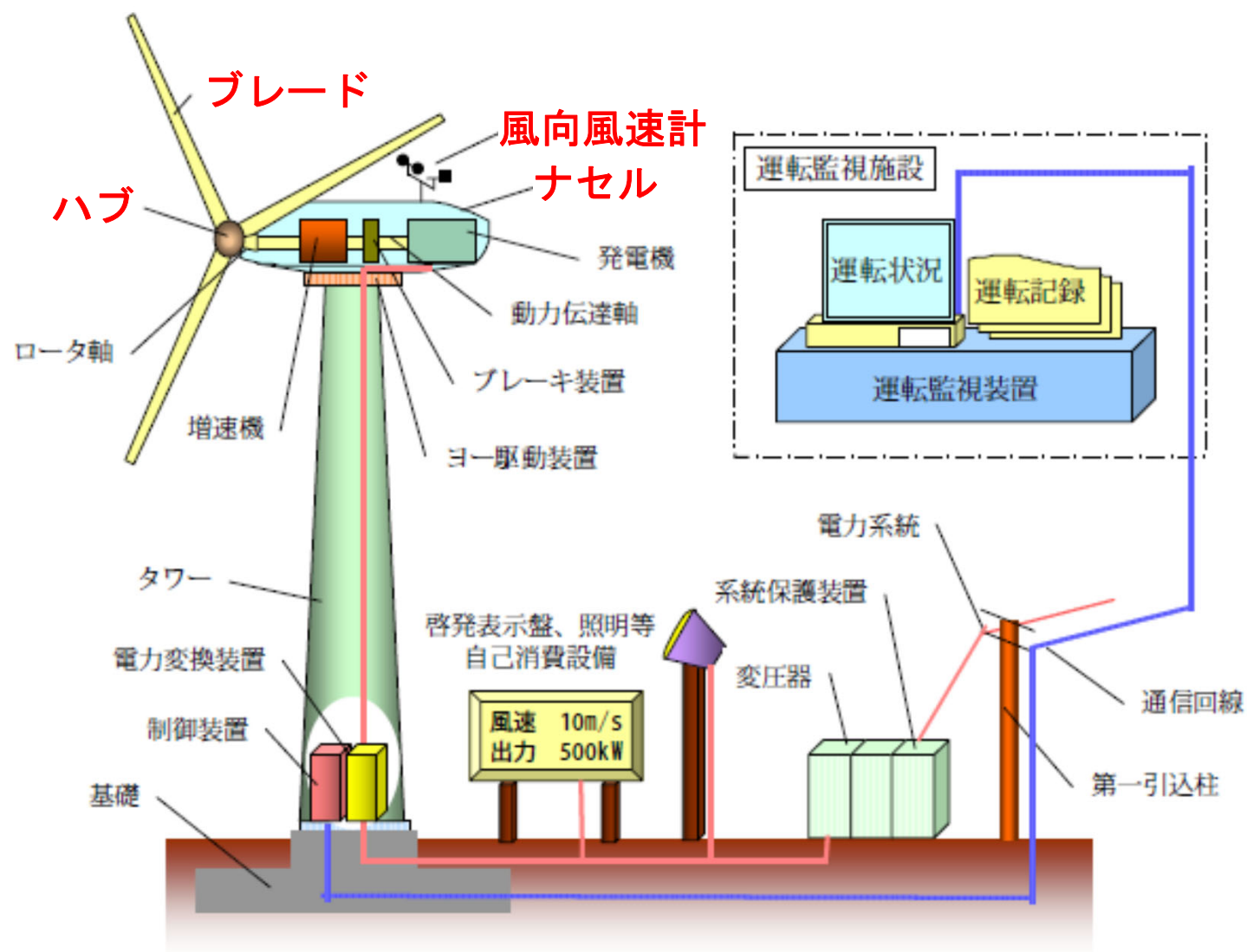
また、風力発電施設から発生する騒音は、風力発電施設の規模や設置される場所の風況等で異なり、さらに騒音の聞こえ方は、風力発電施設からの距離や、その地域の地形、土地利用の状況等により影響される。

また、通常的环境騒音の測定においては、強い風を避けることとされているが、風力発電施設から発生する騒音等については、当該施設が稼働する風が吹く際に測定することが必要である。

本マニュアルは、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等が、風力発電施設から発生する騒音に関する測定を行う場合の標準的な方法を示すものであり、風車騒音、残留騒音の測定方法の他、測定手順や留意点等も併せて記載したものである。

2. 用語の意味(マニュアルで用いられている重要な用語)

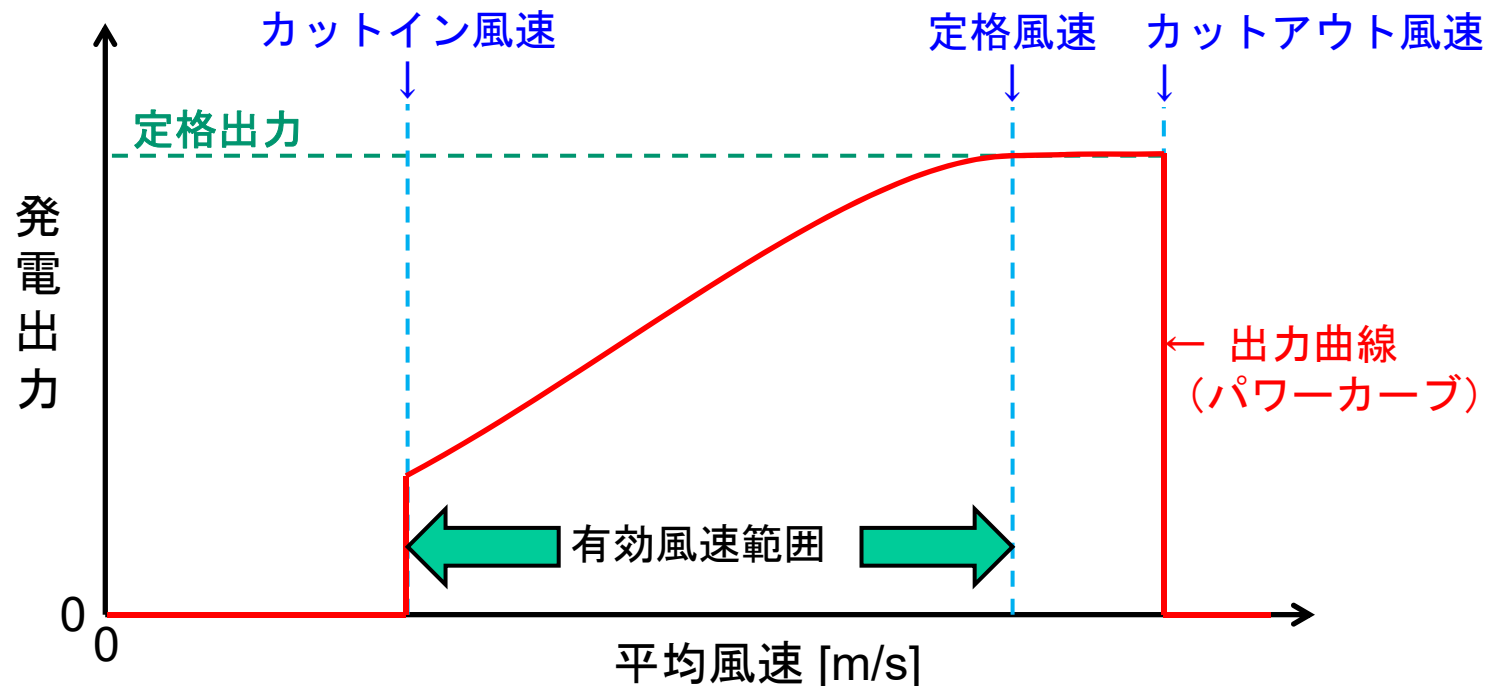
風力発電に係る用語(p.1)



2. 用語の意味(マニュアルで用いられている重要な用語)

風況に係る用語(p.2)

- 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]



2. 用語の意味(マニュアルで用いられている重要な用語)

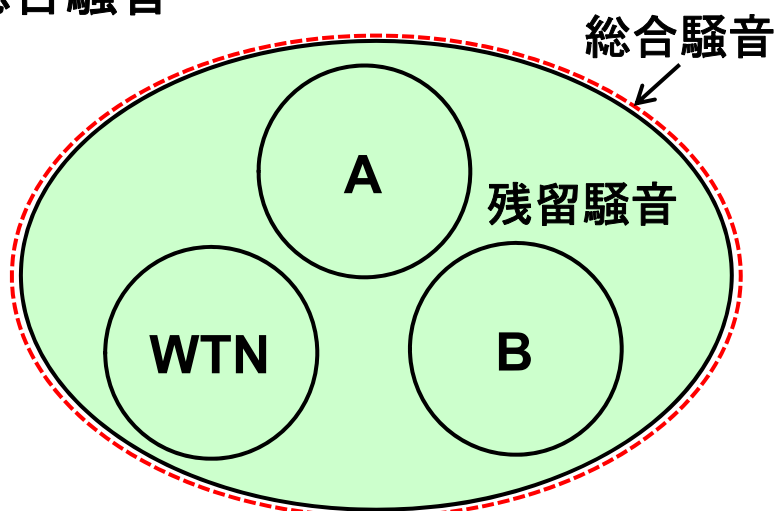
騒音に係る用語：環境騒音の分類(p.2-3)

- ① 総合騒音：ある場所におけるある時刻の総合的な騒音
- ② 特定騒音：総合騒音の中で音響的に明確に識別できる騒音。本マニュアルでは、一時的に発生する騒音のうち時間軸上で分離(除外)可能な騒音を特に特定騒音とする。
- ③ 残留騒音：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。本マニュアルでは、地域の静けさを表わす騒音レベルのベースに含まれる準定常的な暗騒音は残留騒音に含める。したがって、残留騒音でも音源が識別できる場合がある(遠方の、波音、川音、道路交通騒音等)。なお、測定地点周辺に既設の風力発電施設がある場合は、これらの施設から発生する騒音を除いた騒音を残留騒音とする。
- ④ 暗騒音：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

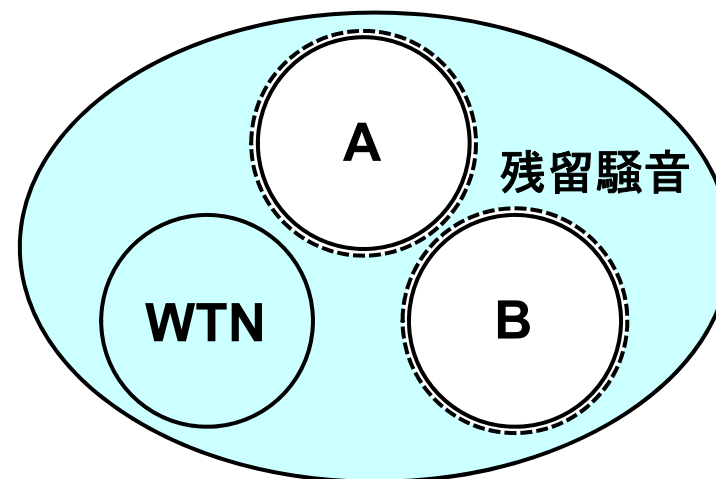
2. 用語の意味(マニュアルで用いられている重要な用語)

騒音に係る用語：環境騒音の分類(p.2-3)

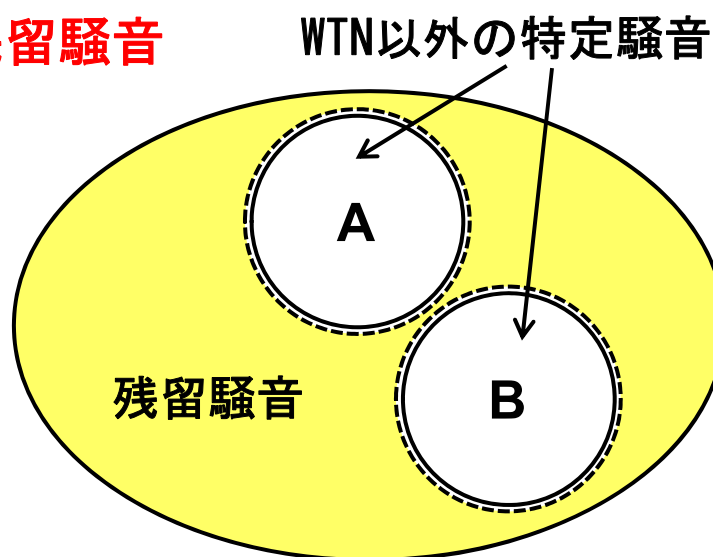
(a). 総合騒音



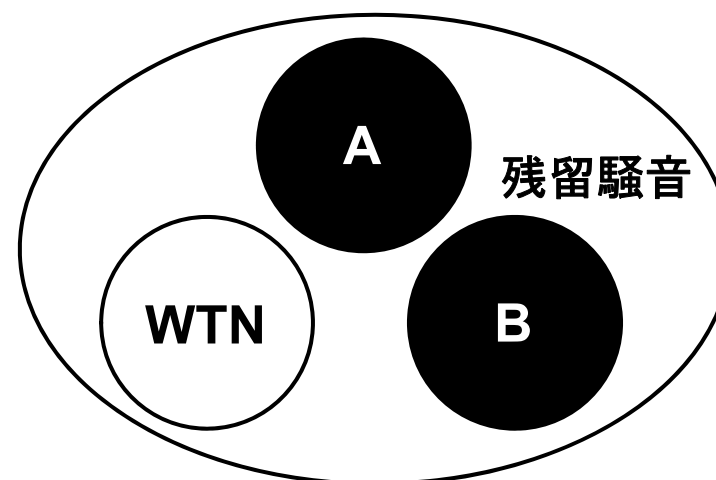
(b). 風車騒音



(c). 残留騒音

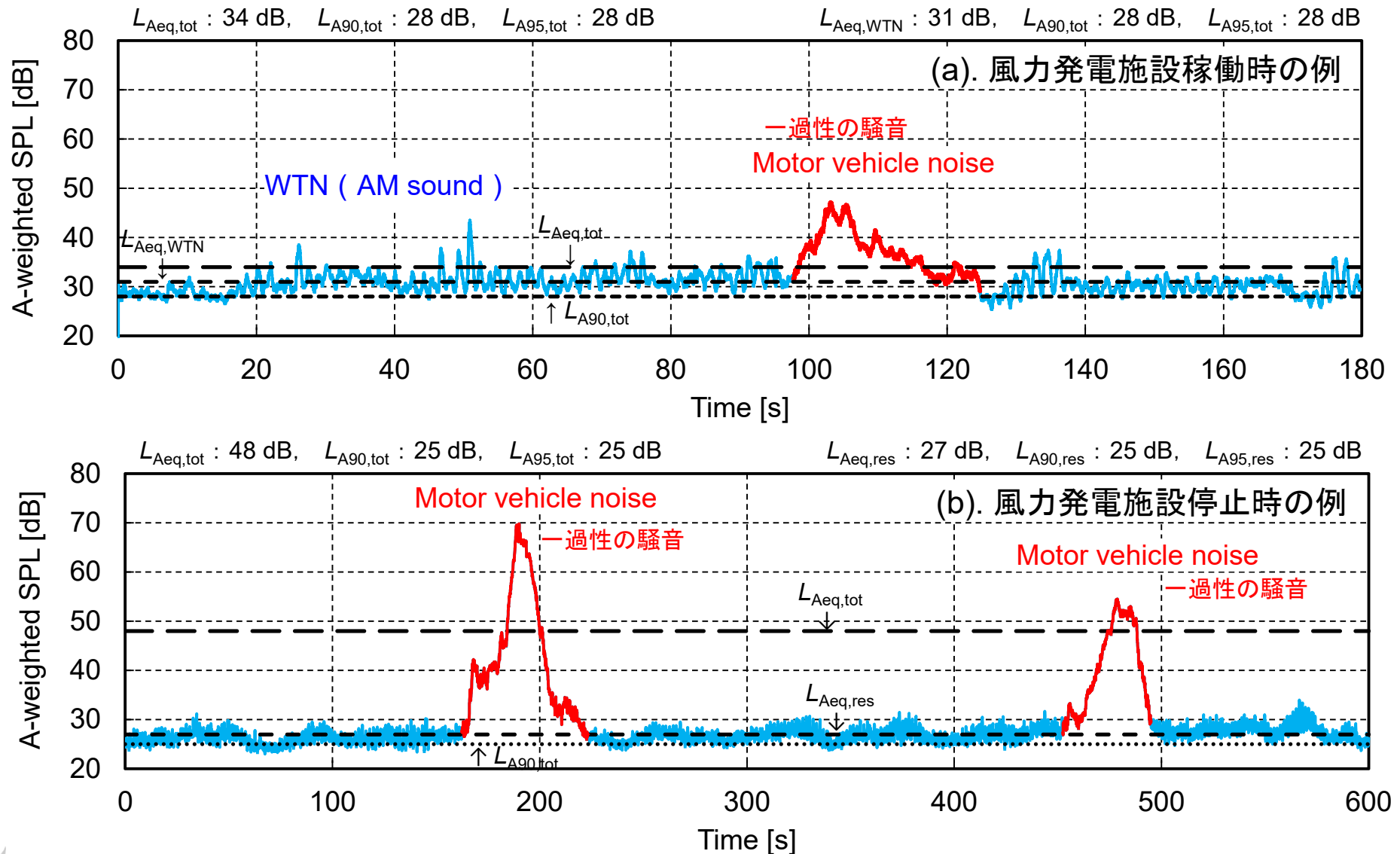


(d). 一過性の騒音：除外



2. 用語の意味(マニュアルで用いられている重要な用語)

騒音に係る用語：環境騒音の分類(p.2-3)



2. 用語の意味(マニュアルで用いられている重要な用語)

騒音に係る用語：風車騒音，・・・，風雑音(p.3)

- ① 風車騒音：風力発電施設が稼働しているときの騒音。本マニュアルにおける風車騒音は地域の残留騒音に風力発電施設から発生する騒音が合成された騒音である。一過性の暗騒音を除外する必要がある。
- ② 振幅変調音：音の大きさが周期性をもって時間変動する騒音。風車騒音では、風車のブレードが回転面内の1点を通過する周期に応じ発生する。
- ③ 純音性騒音：風車によっては、騒音に純音またはそれに近い狭帯域の周波数成分（純音性成分）が含まれていることがある。
- ④ 風雑音：風がマイクロホンにあたることにより発生する雑音。測定においてはウインドスクリーンを装着し風雑音を低減する。

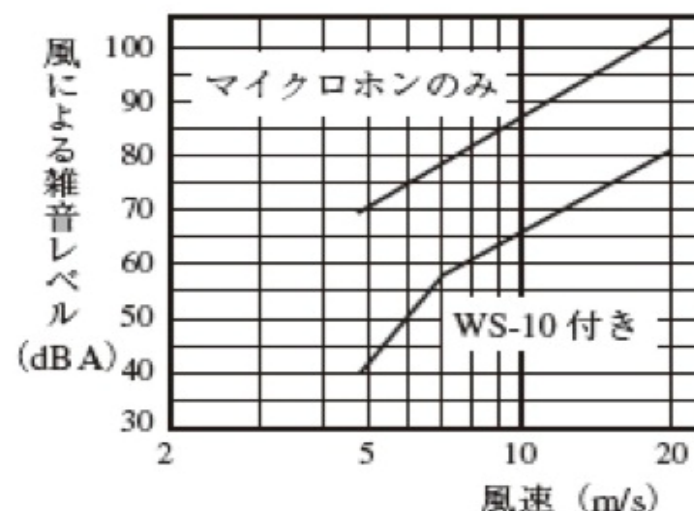


図 風雑音による雑音レベル(A特性音圧レベル)
WS-10は直径7 cmφのウレタン製ウインドスクリーン

※ ウインドスクリーンの直径が2倍になると、風雑音は6 ～ 7 dB程度低減する

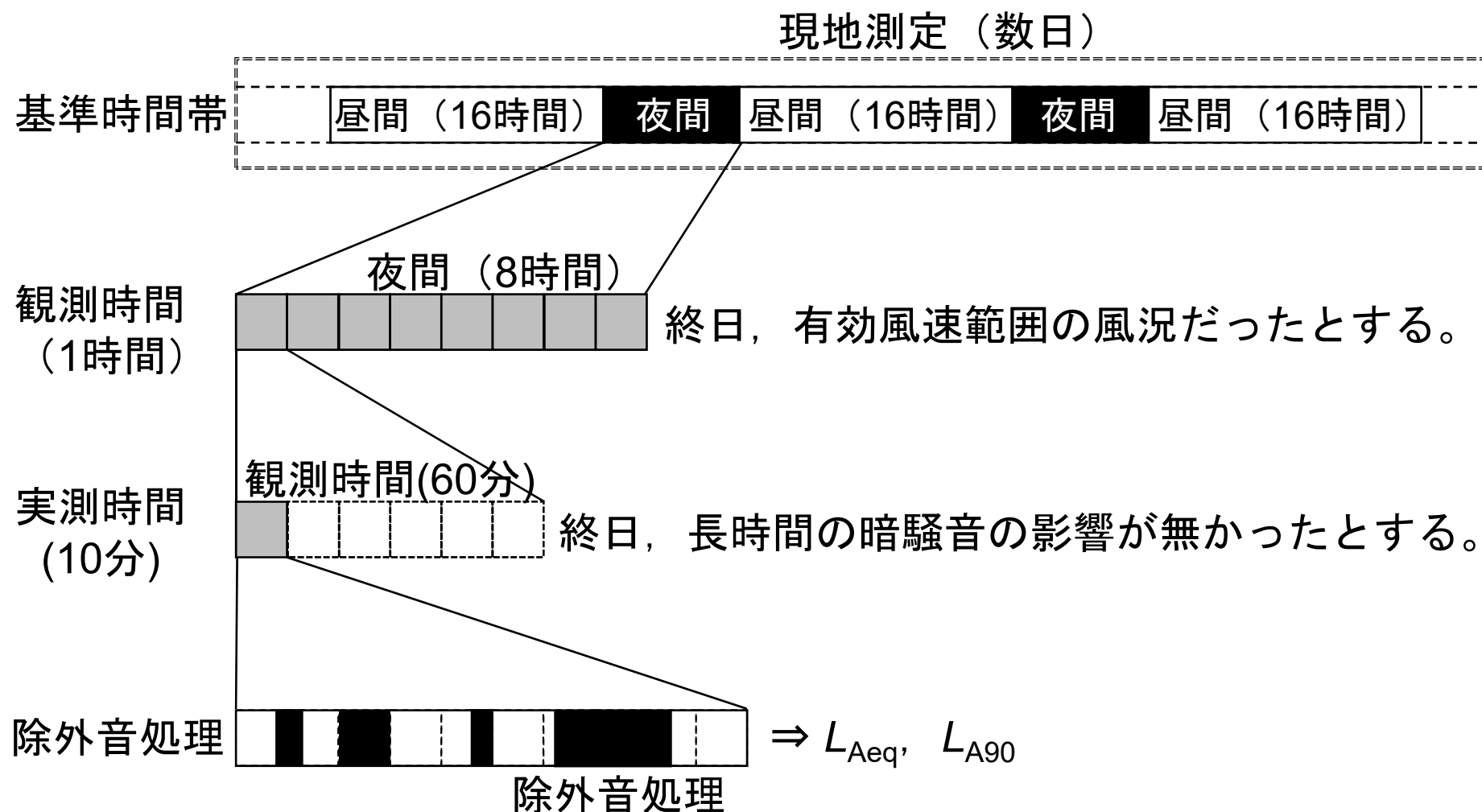
2. 用語の意味(マニュアルで用いられている重要な用語)

時間帯に係る用語(p.3)

- ① 基準時間帯 : ひとつの等価騒音レベルの値を代表値として適用する時間帯。本マニュアルでは、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）を基準時間帯としている。
- ② 観測時間 : 騒音レベルを測定する際の対象とする時間であり、騒音の状態がほぼ一定とみなせる時間をいう。本マニュアルでは1時間とする。
- ③ 実測時間 : 観測時間のうち実際に騒音を測定（分析）する時間をいう。本マニュアルでは実測時間は10分間とする。実測時間の開始時刻は原則として毎正時とするが、長時間にわたり暗騒音の影響を受けたり、風が弱く風車が停まっているようなときは10分単位で開始時刻をずらす。

2. 用語の意味(マニュアルで用いられている重要な用語)

時間帯に係る用語の補足説明

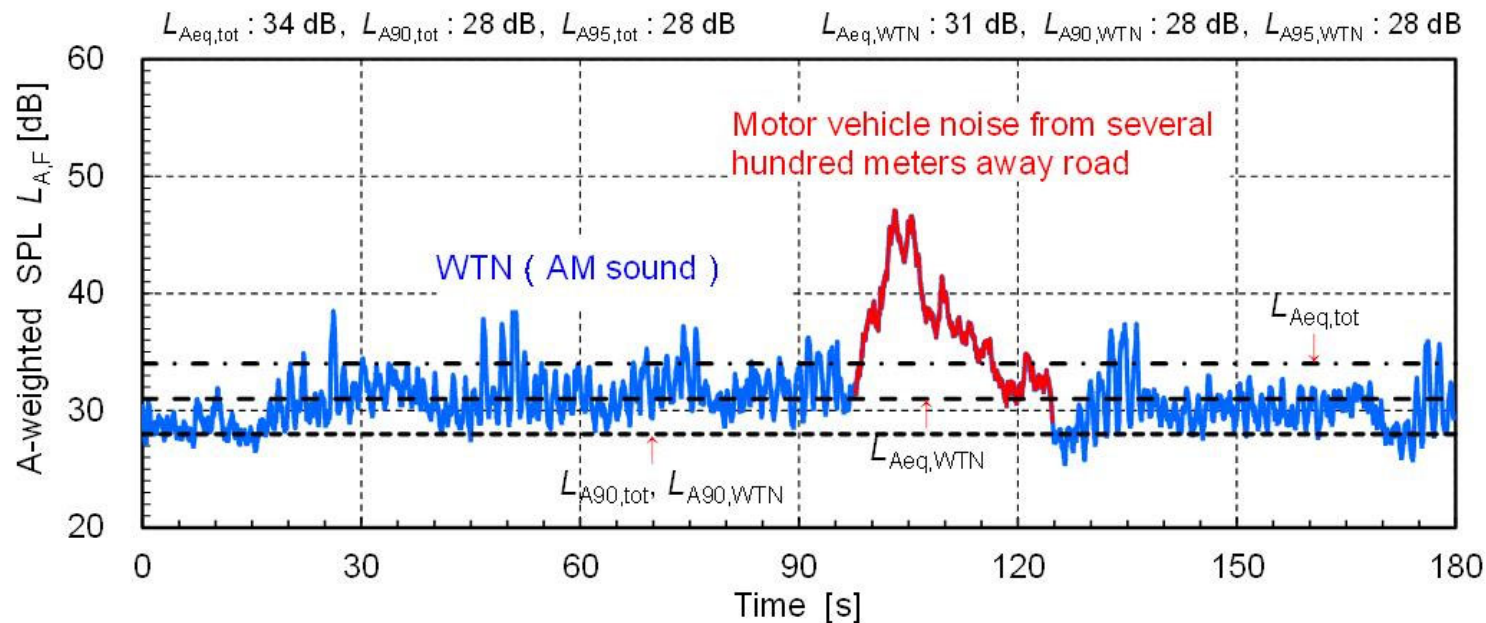


福島，藤本，吉久，岩瀬：風車騒音の分析における暗騒音の影響の除去と分析対象時間の設定方法について，
日本騒音制御工学会秋季研究発表会（2011.9）

2. 用語の意味(マニュアルで用いられている重要な用語)

騒音の評価量に係る用語(p.4-5)

- ① 音圧 p
- ② A特性音圧 p_A
- ③ 音圧レベル L_p
- ④ 騒音レベル (A特性音圧レベル) L_A
- ⑤ 時間率騒音レベル L_{AN} : L_{Aeq} を推計する場合に必要
- ⑥ 等価騒音レベル L_{Aeq} : 風車騒音の評価量



3. 測定機器

風況の測定機器, 騒音の測定機器 (p.6-7)

① 風況の測定機器

風向・風速計, LIDAR, SODAR

② 騒音の測定機器

騒音計 : 計量法第71条の条件, JIS C 1509-1の仕様

ウインドスクリーン (防風スクリーン) :

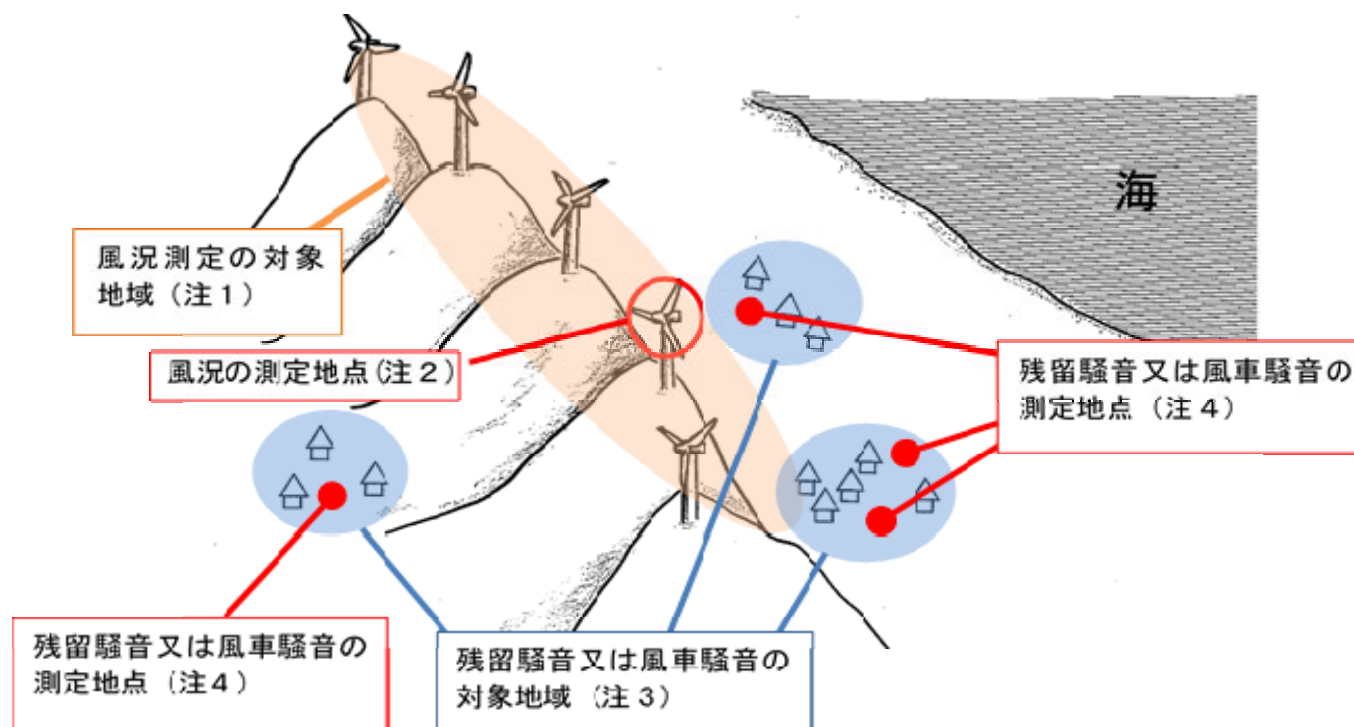
全天候型のウインドスクリーン (直径20 cm)

二重ウインドスクリーン

音響校正器, 周波数分析器, レベルレコーダ

4. 風況および騒音の測定に必要な事項

測定地点の配置(p.8)



- (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のできる地点

5. 風況の測定

地域・地点・時期・期間の選定(p.9)

- ① 対象地域 : 風力発電施設の設置が予定されている, あるいは風力発電施設が設置されている地域
- ② 測定地点 : (計画段階) 設置予定の風車のハブ高さ付近における対象地域を代表する風況が把握できる地点
(稼働時) 風車のハブ高さ
- ③ 測定時期 : 騒音の測定と同時期

※ 騒音の測定時期 :

風車が稼働する代表的な風況の時期で, 原則として四季の測定が望ましい
(季節による風況変化が少ない場合 : 年間の代表的な風況の時期)。

- ④ 測定期間・時間帯 : 騒音の測定と同じ。実測時間は10分間毎

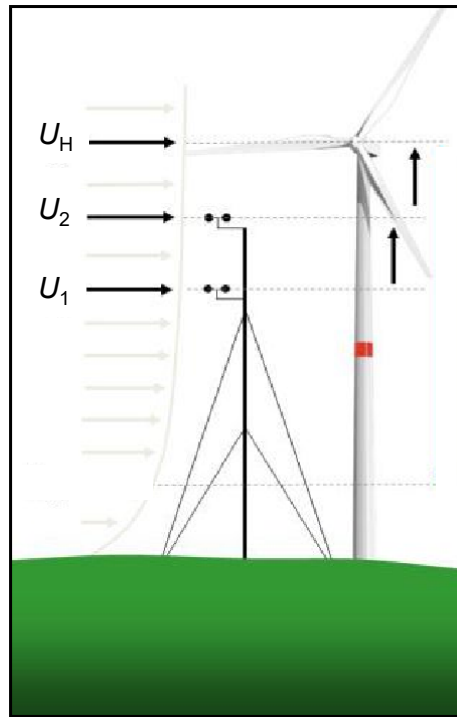
※ 騒音の測定期間 :

有効風速範囲における騒音の測定として有効な日数が昼夜間ともに3日間以上確保できる期間

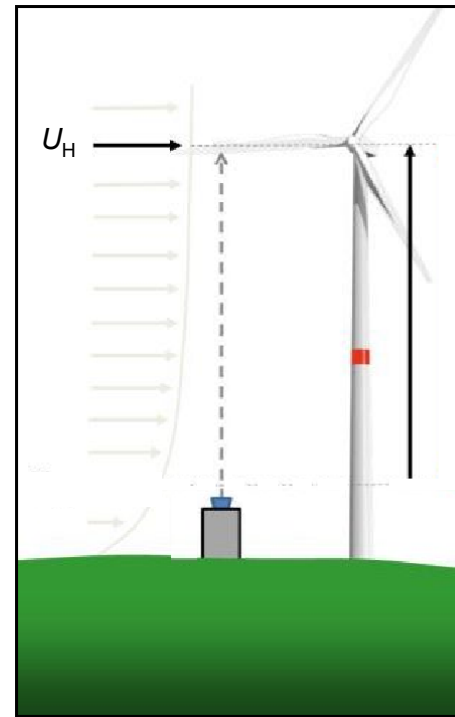
5. 風況の測定

風速の測定方法(p.9-11)

- ① 間接測定法（2点の風速から推定）
- ② 直接測定法（LIDAR, SODAR）
- ③ 出力曲線を用いる方法：風車稼働時



(a). 間接測定法

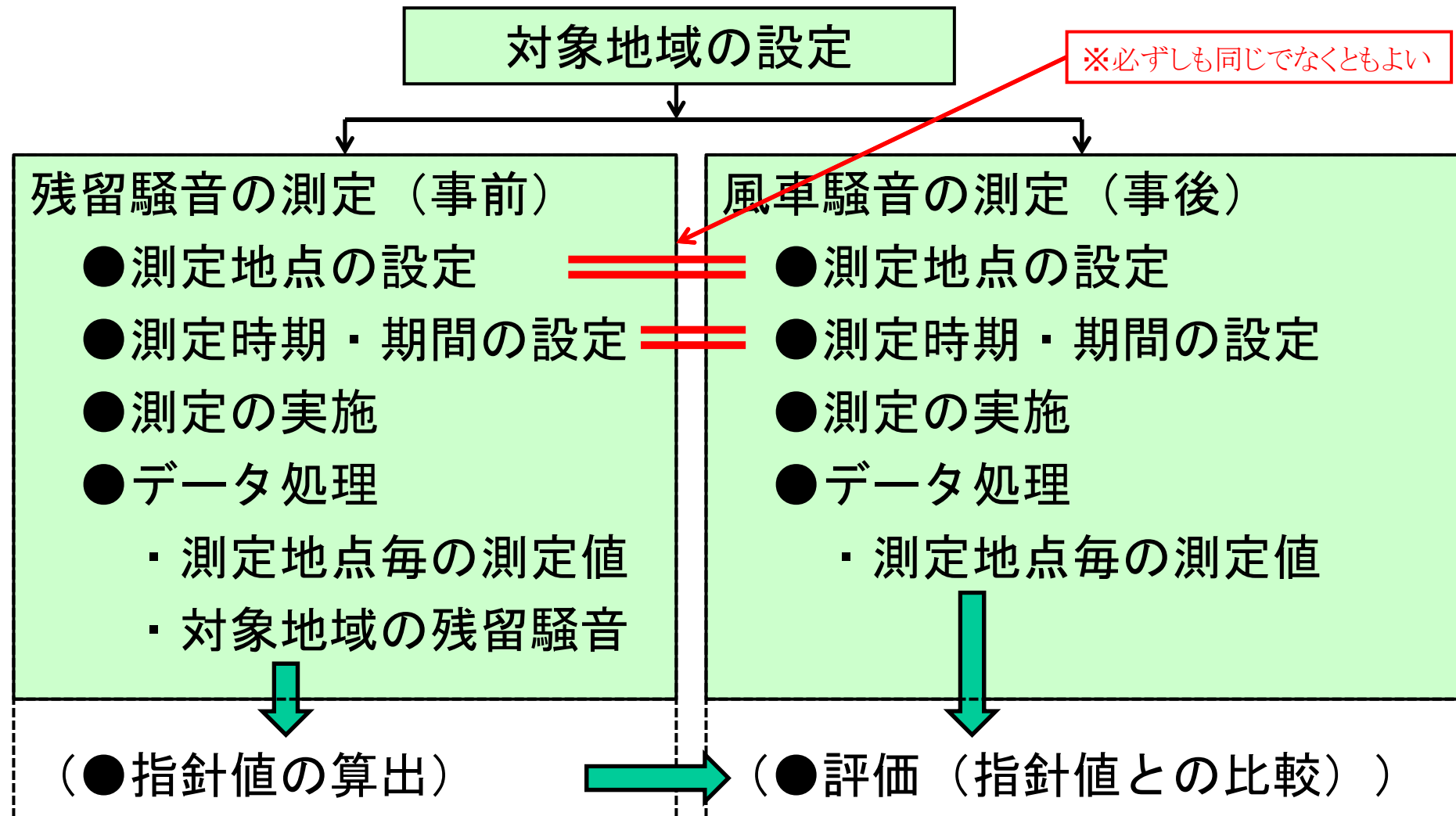


(b). 直接測定法

図5.1 残留騒音の測定時におけるハブ高さ相当位置での風速の測定

6. 残留騒音および風車騒音の測定

評価に至るまでの一般的な流れ



対象地域の選定(p.12)

- 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
- 特に静穏な環境を保全すべき対象や住宅等の配置，地域の音環境等の状況を考慮した上で設定する。

なお，現地の状況によっては，対象地域を複数設定することもある。

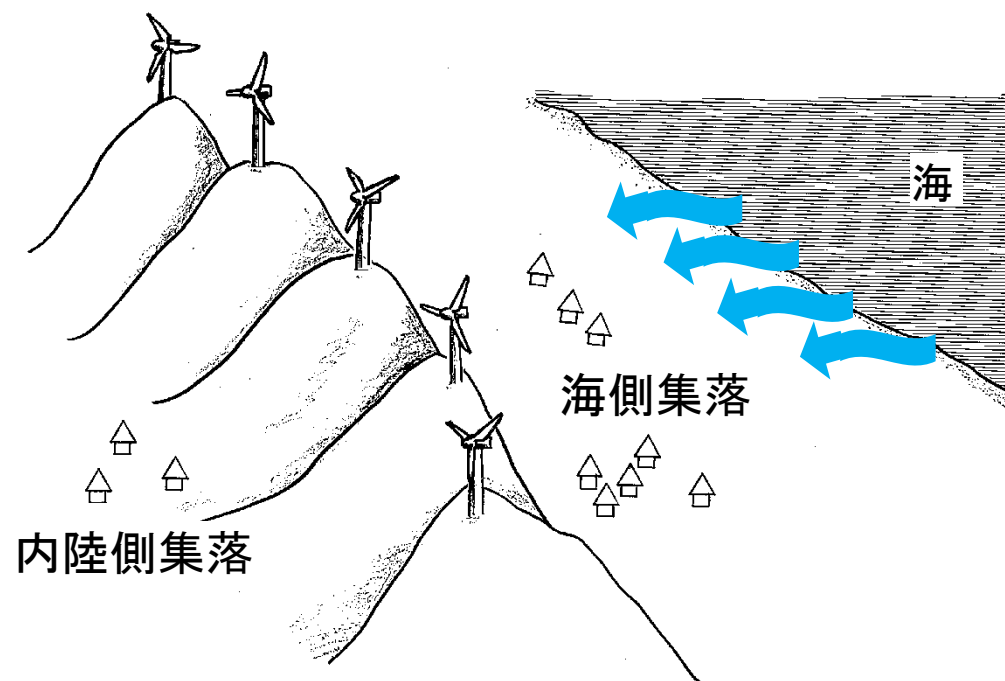


図. 対象地域を分割する必要がある例
【海側集落：波音】＞【内陸側集落：山影】

測定地点の選定(p.12)

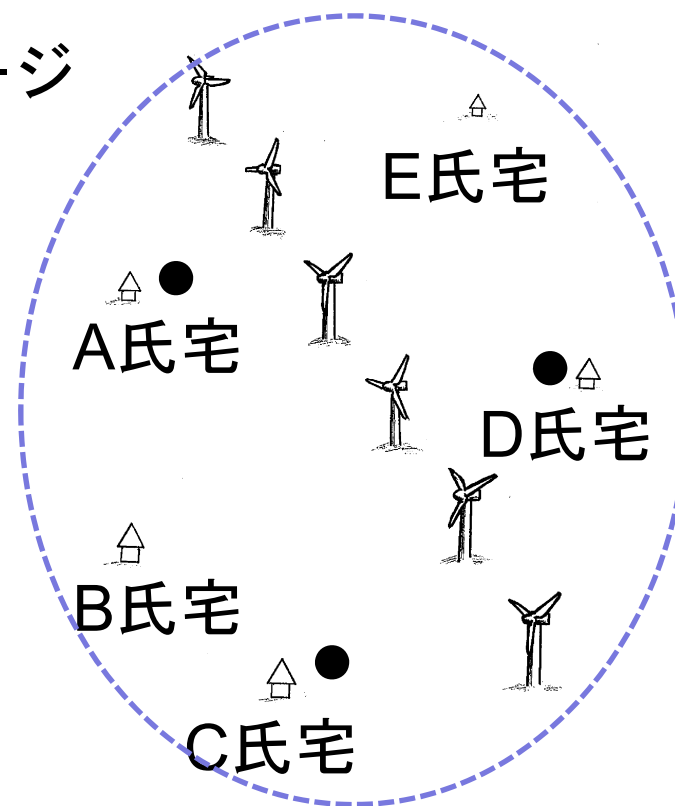
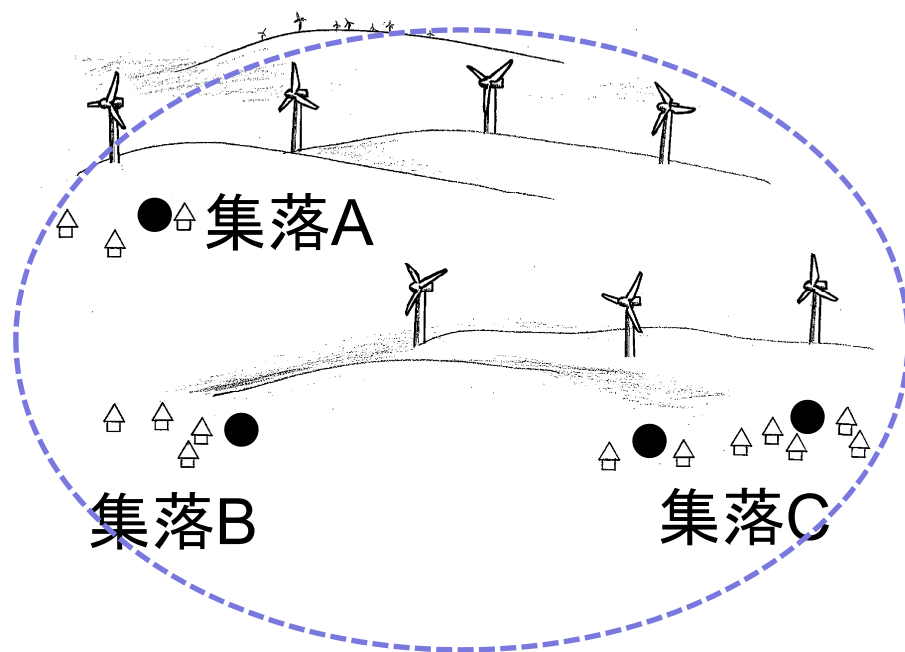
- 測定地点：対象地域を代表する残留騒音又は風車騒音が把握できる地点。風力発電施設との位置関係も考慮する。

- 避けるべき地点：風力発電施設以外の特定の音源からの局所的な影響を受ける地点
 - ・ 交通量が多い主要道路や鉄道沿線
 - ・ 臨海部で波音が大きく聞こえる地点
 - ・ 樹木の葉擦れ音や防風林の松籟が大きく聞こえる地点
 - ・ 河川に近接し水流音がよく聞こえる地点
 - ・ エアコン室外機や浄化槽のポンプなどの設備機器の近く
 - ・ 風力発電施設が建物等で遮蔽されるような地点

6. 残留騒音および風車騒音の測定

測定地点の選定(p.12)

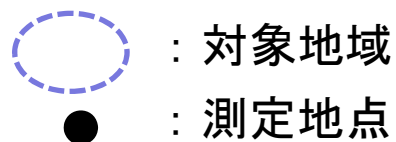
残留騒音の測定地点のイメージ



(a). いくつかの集落で構成される場合

(b). 個別の家屋が散在する場合

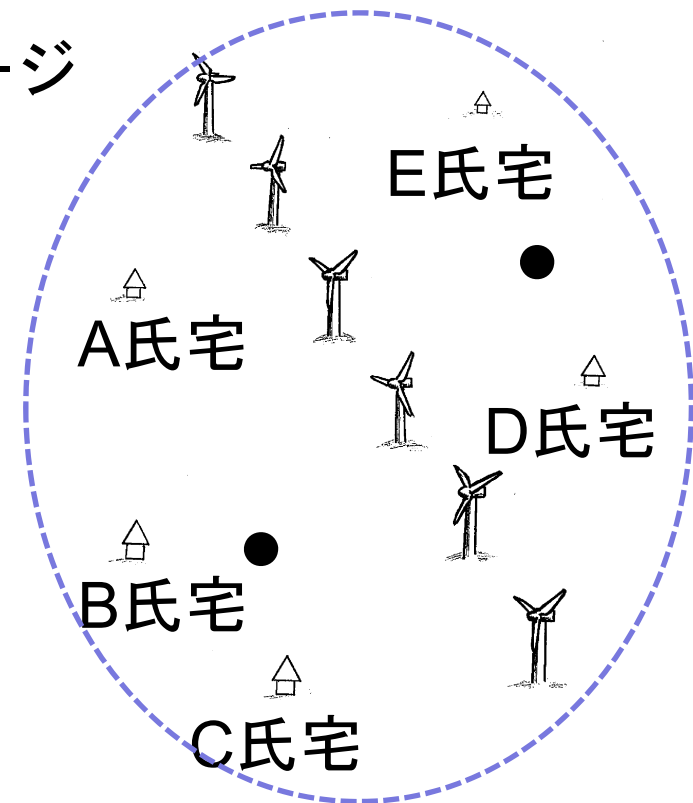
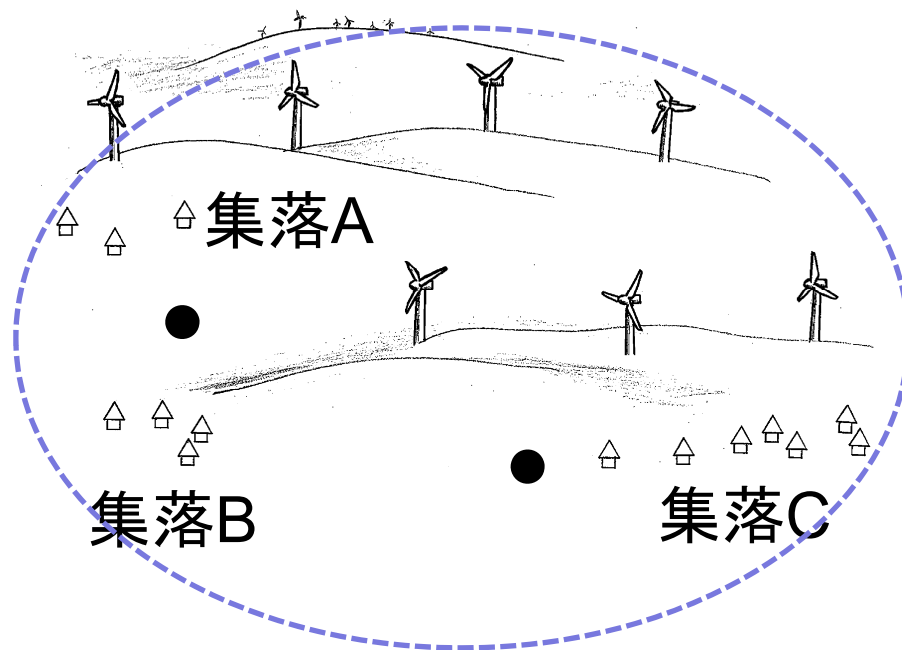
図. 対象地域内の測定地点の配置例



6. 残留騒音および風車騒音の測定

測定地点の選定(p.12)

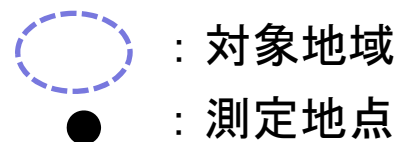
残留騒音の測定地点のイメージ



(a). いくつかの集落で構成される場合

(b). 個別の家屋が散在する場合

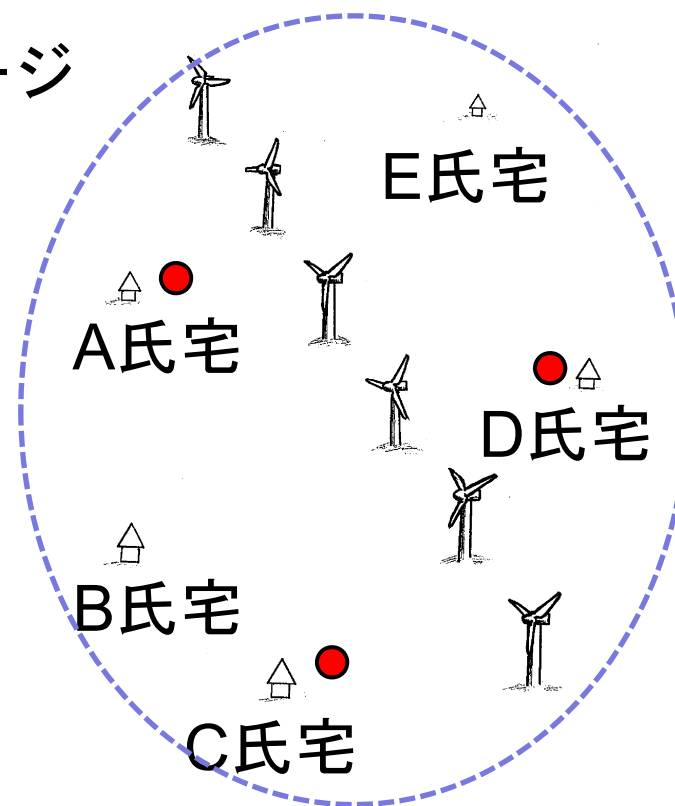
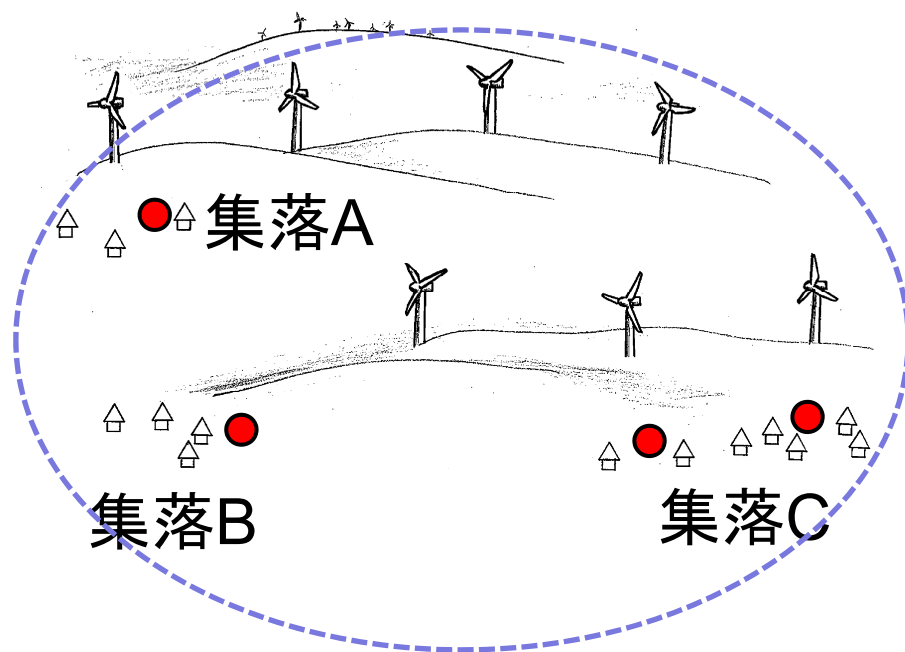
図. 対象地域内の測定地点の配置例



6. 残留騒音および風車騒音の測定

測定地点の選定(p.12)

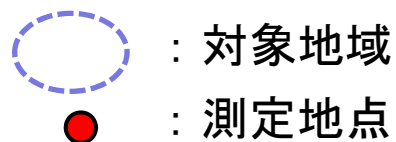
風車騒音の測定地点のイメージ



(a). いくつかの集落で構成される場合

(b). 個別の家屋が散在する場合

図. 対象地域内の測定地点の配置例



6. 残留騒音および風車騒音の測定

測定時期・期間の選定(p.12-13)

- ① 測定時期 : 風車が稼働する代表的な風況の時期で, 原則として四季の測定が望ましい。ただし, 季節による風況変化が少ない場合には, 年間の代表的な風況の時期。
- ② 測定期間 : 有効風速範囲 (ハブ高さの平均風速がカットイン風速以上で定格風速未満) における騒音の測定として有効な日数が昼夜間ともに3日間以上確保できる期間
 - ※ 有効風速範囲 : ハブ高さの平均風速がカットイン風速以上で
定格風速未満
 - ※ 騒音の測定として有効な日 : 基準時間帯の観測時間数の半数以上で
測定できた場合に有効 (昼間8時間以上, 夜間4時間以上)
- ③ 基準時間帯 : 昼間 (6:00~22:00) , 夜間 (22:00~6:00)
- ④ 観測時間は1時間, 実測時間は10分間

6. 残留騒音および風車騒音の測定

騒音測定(p.14-16(残留騒音), p.17-19(風車騒音))

① 騒音計の設定

周波数重み付け特性 : A / 時間重み付け特性 : F

0.1 s以下の時間間隔で連続してサンプリング

アンダーレンジにならないように注意

ウインドスクリーン（直径20 cm程度）を装着

② 騒音計（マイクロホン）の設置

地上0.2 m～1.2 mの高さで，反射物から3.5 m以上離す。

※ JIS Z-8731では，地上1.2 m～1.5 mの高さであるが，風雑音の影響を避けるため，測定点高さを下げる。

③ 騒音の録音

分析時の音源の判別（実音モニタ）

周波数分析（周波数特性，純音性騒音の純音性可聴度）

6. 残留騒音および風車騒音の測定

採用する騒音データ(p.16), 分析データの選定(p.21-23)

測定開始時刻	基準時間帯にわたり風速が有効風速範囲		基準時間帯の前半のみ有効風速範囲		基準時間帯の後半のみ有効風速範囲		基準時間帯の途中で風が吹いた場合		基準時間帯の途中で風が止んだ場合		基準時間帯で風速が複雑に変化した場合		基準時間帯で風の吹く時間が少なかった場合	
	風速	騒音	風速	騒音	風速	騒音	風速	騒音	風速	騒音	風速	騒音	風速	騒音
22:00	有効	分析	有効	分析	無効	--	無効	--	有効	分析	有効	分析	無効	--
	10	有効	--	--	無効	--	無効	--	有効	--	有効	--	無効	--
	20	有効	--	--	無効	--	無効	--	有効	--	有効	--	無効	--
	30	有効	--	--	無効	--	無効	--	有効	--	有効	--	無効	--
	40	有効	--	--	無効	--	無効	--	有効	--	有効	--	無効	--
	50	有効	--	--	無効	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--
23:00	有効	分析	有効	分析	無効	--	無効	--	有効	分析	無効	--	無効	--
	10	有効	--	--	無効	--	無効	--	有効	--	有効	分析	有効	分析
	20	有効	--	--	無効	--	無効	--						
	30	有効	--	--	無効	--	無効	--						
	40	有効	--	--	無効	--	無効	--						
	50	有効	--	--	無効	--	無効	--						
0:00	有効	分析	有効	分析	無効	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--
	10	有効	--	--	無効	--	無効	--	有効	分析	無効	--	無効	--
	20	有効	--	--	無効	--	有効	分析	無効	--	有効	分析	無効	--
	30	有効	--	--	無効	--	無効	--	無効	--	有効	--	無効	--
	40	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	有効	--	無効	--
	50	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
1:00	有効	分析	有効	分析	無効	--	有効	分析	無効	--	無効	--	無効	--
	10	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
	20	有効	--	--	無効	--	無効	--	無効	--	無効	--	無効	--
	30	有効	--	--	無効	--	無効	--	無効	--	無効	--	無効	--
	40	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
	50	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
2:00	有効	分析	有効	分析	無効	--	有効	分析	無効	--	無効	--	無効	--
	10	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
	20	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
	30	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
	40	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
	50	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
3:00	有効	分析	有効	分析	無効	--	有効	分析	無効	--	無効	--	無効	--
	10	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
	20	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
	30	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
	40	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
	50	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
4:00	有効	分析	有効	分析	無効	--	有効	分析	無効	--	無効	--	無効	--
	10	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
	20	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
	30	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
	40	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
	50	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
5:00	有効	分析	有効	分析	無効	--	有効	分析	無効	--	無効	--	無効	--
	10	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
	20	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
	30	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
	40	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--
	50	有効	--	--	無効	--	有効	--	無効	--	無効	--	無効	--

無効：10分間平均風速が有効風速範囲内でない場合

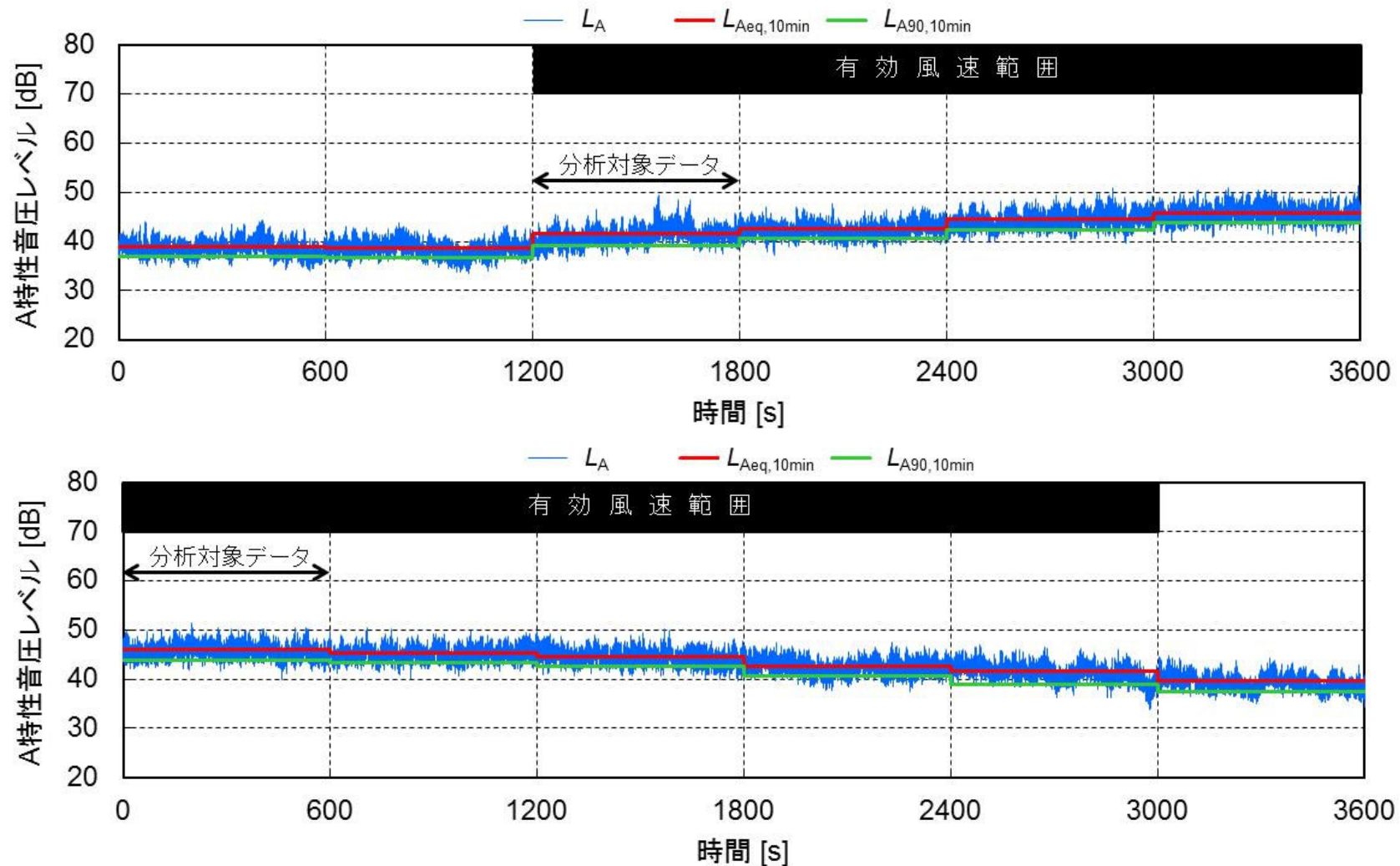
分析データ数が基準時間帯の実測時間帯数の半数未満の場合は再測定

注記 有効風速範囲：10分間平均風速がカットイン風速から定格発電風速までの風速範囲
無効：10分間平均風速が有効風速範囲にない場合
分析するデータ数が、基準時間帯の実測時間帯数（夜間8、昼間16）の半数（夜間4、昼間8）未満の場合は、再測定とする。

6. 残留騒音および風車騒音の測定

採用する騒音データ(p.16), 分析データの選定(p.21-23)

(1) 風況が変化した場合

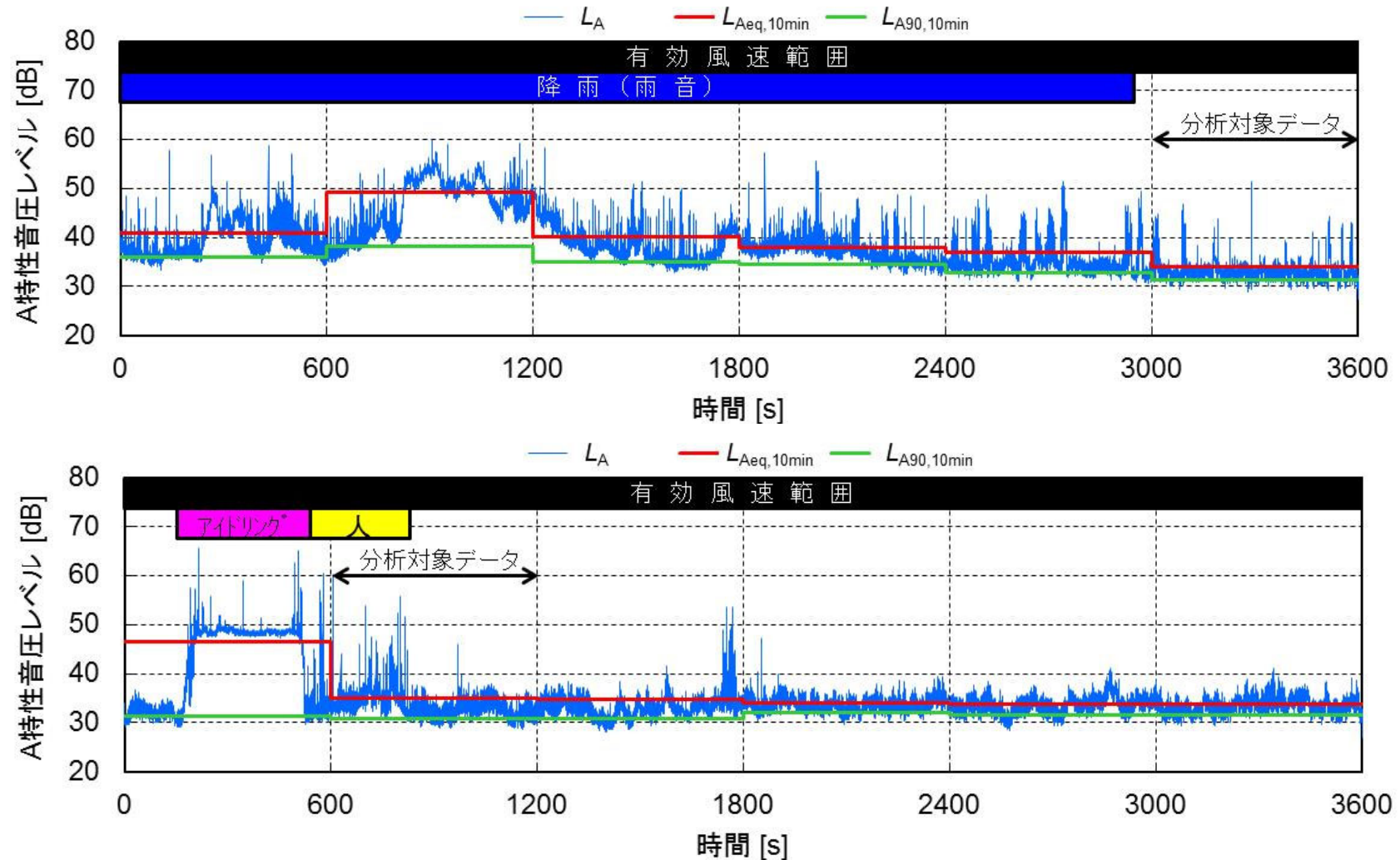


44

6. 残留騒音および風車騒音の測定

採用する騒音データ(p.16), 分析データの選定(p.21-23)

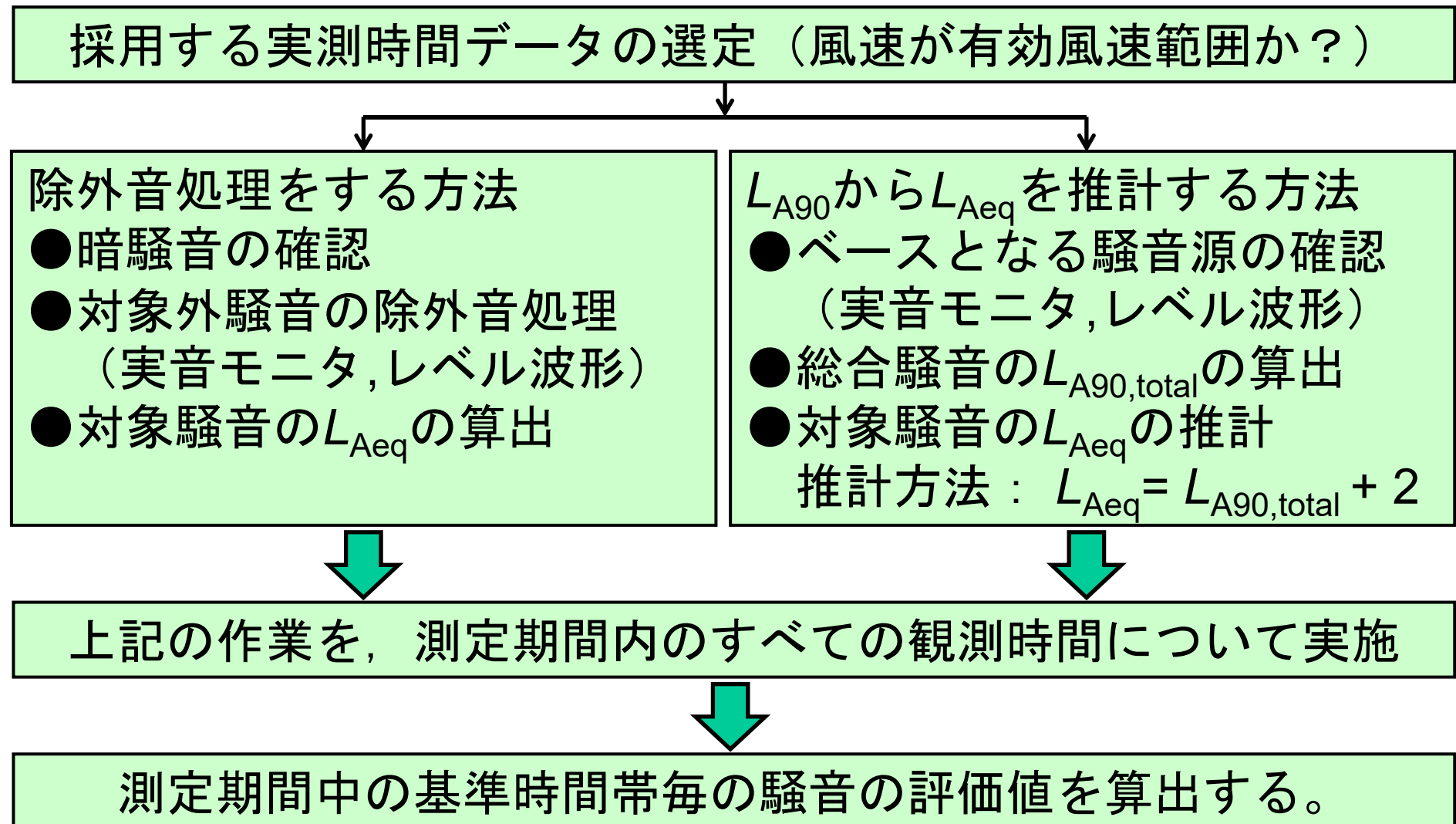
(2) 暗騒音の状況が変化した場合



44

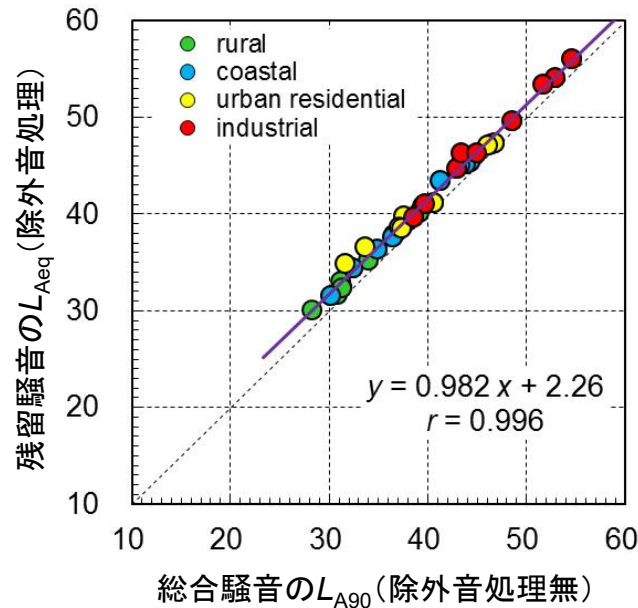
6. 残留騒音および風車騒音の測定

データ処理の流れ(p.16-17(残留騒音), p.19-20(風車騒音))

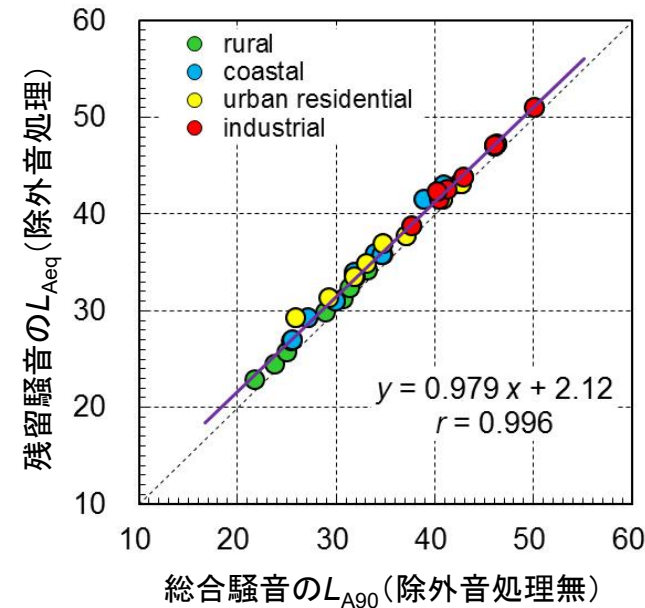


6. 残留騒音および風車騒音の測定

残留騒音の $L_{Aeq,res}$ と総合騒音の $L_{A90,tot}$ の相関



(a). 昼間 (06-22)



(b). 夜間 (22-06)

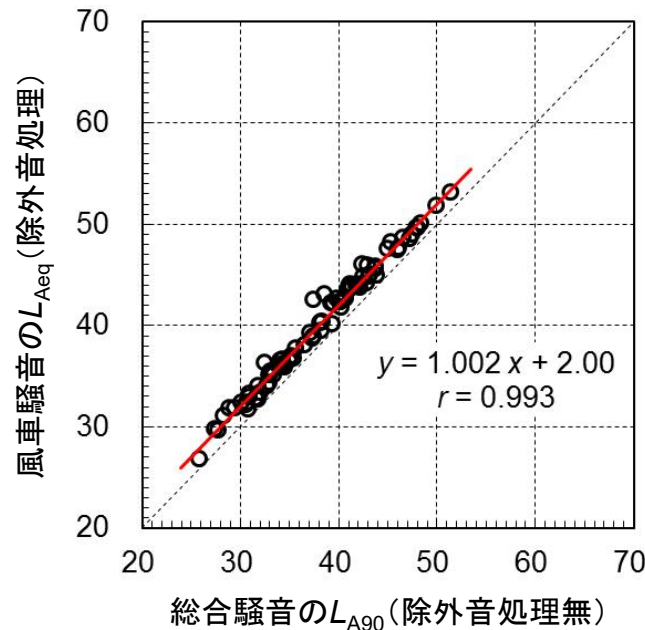
図 - 残留騒音の $L_{Aeq,res}$ と総合騒音の $L_{A90,tot}$ の相関 ($N=36$)

表 - 音圧レベル差の統計処理結果 [dB]

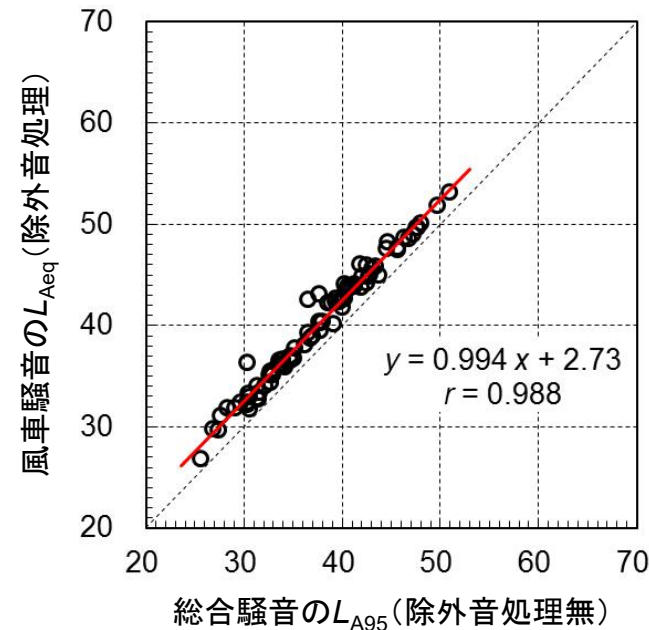
基準時間帯	平均値	標準偏差	最大値	最小値
昼間 (06-22)	1.5	0.61	3.3	0.6
夜間 (22-06)	1.4	0.67	3.4	0.5

6. 残留騒音および風車騒音の測定

風車騒音の $L_{Aeq,WTN}$ と総合騒音の $L_{AN,tot}$ の相関



(a). $L_{Aeq,WTN}$ vs. $L_{A90,tot}$



(b). $L_{Aeq,WTN}$ vs. $L_{A95,tot}$

図－風車騒音の $L_{Aeq,WTN}$ と総合騒音の $L_{AN,tot}$ の相関 ($N=81$)

表－音圧レベル差の統計処理結果 [dB]

レベル差の指標	平均値	標準偏差	最大値	最小値
$L_{Aeq,WTN} - L_{A90,tot}$	2.1	0.73	5.0	0.8
$L_{Aeq,WTN} - L_{A95,tot}$	2.5	0.91	5.9	1.1

44

6. 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

6. 残留騒音および風車騒音の測定

評価値算出の流れ (p.16-17(残留騒音), p.19-20(風車騒音))

実測時間（10分間）の L_{Aeq} （測定点毎）
（除外音処理をして算出 / L_{A90} から推計）



エネルギー平均，小数1位

基準時間帯（昼間・夜間）の L_{Aeq} （測定点毎，測定日毎）
（基準時間帯の観測時間数の半数以上で測定できている）



エネルギー平均，小数1位

測定時期の L_{Aeq} （基準時間帯毎，測定点毎）
（3日以上で基準時間帯の L_{Aeq} が測定できている）



算術平均，整数値

対象地域の残留騒音の算出
（指針値設定の基本となる値）



整数値

風車騒音の評価

6. 残留騒音および風車騒音の測定

基準時間帯の L_{Aeq} の算出 (p.16(残留騒音), p.20(風車騒音))

測定日毎の基準時間帯の L_{Aeq} は次式にしたがいエネルギー平均し、小数点第1位の値で算出する。

基準 時間帯	残留騒音	風車騒音
昼間	$L_{Aeq,resid,day} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{N_{day}} \sum_i 10^{\frac{L_{Aeq,resid,day,i}}{10}} \right)$	$L_{Aeq,WTN,day} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{N_{day}} \sum_i 10^{\frac{L_{Aeq,WTN,day,i}}{10}} \right)$
夜間	$L_{Aeq,resid,night} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{N_{night}} \sum_i 10^{\frac{L_{Aeq,resid,night,i}}{10}} \right)$	$L_{Aeq,WTN,night} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{N_{night}} \sum_i 10^{\frac{L_{Aeq,WTN,night,i}}{10}} \right)$

N_{day} および N_{night} は昼間および夜間の有効な観測時間の数(すべての観測時間が有効であれば $N_{day} = 16$, $N_{night} = 8$)

$L_{Aeq,resid(WTN),day,i}$ および $L_{Aeq,resid(WTN),night,i}$ は、昼間および夜間の*i*番目の実測時間の残留騒音(風車騒音)の等価騒音レベル[dB]

6. 残留騒音および風車騒音の測定

測定時期の L_{Aeq} の算出 (p.17(残留騒音), p.20(風車騒音))

測定時期の基準時間帯の L_{Aeq} は次式にしたがいエネルギー平均し、
残留騒音については小数点第1位の値で、風車騒音については整数
値で算出する。

基準 時間帯	残留騒音	風車騒音
昼間	$\bar{L}_{Aeq,resid,day} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{D_{day}} \sum_j 10^{\frac{L_{Aeq,resid,day,j}}{10}} \right)$	$\bar{L}_{Aeq,WTN,day} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{D_{day}} \sum_j 10^{\frac{L_{Aeq,WTN,day,j}}{10}} \right)$
夜間	$\bar{L}_{Aeq,resid,night} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{D_{night}} \sum_j 10^{\frac{L_{Aeq,resid,night,j}}{10}} \right)$	$\bar{L}_{Aeq,WTN,night} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{D_{day}} \sum_j 10^{\frac{L_{Aeq,WTN,night,j}}{10}} \right)$

D_{day} および D_{night} は残留騒音が測定できた日数 ($D_{day}, D_{night} \geq 3$)

$L_{Aeq,resid(WTN),day,j}$ および $L_{Aeq,resid(WTN),night,j}$ は残留騒音(風車騒音)が測定できた j 番目の測定日の昼間および夜間の基準時間帯の L_{Aeq}

6. 残留騒音および風車騒音の測定

対象地域の残留騒音の算出 (p.17)

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、次式に示すように対象地域内の測定地点における基準時間帯のを算術平均し、整数値で算出する。

昼間	夜間
$L_{\text{Aeq,resid,day,area}} = \frac{\sum_k \bar{L}_{\text{Aeq,resid,day},k}}{N_{\text{area}}}$	$L_{\text{Aeq,resid,night,area}} = \frac{\sum_k \bar{L}_{\text{Aeq,resid,night},k}}{N_{\text{area}}}$

$\bar{L}_{\text{Aeq,resid,day},k}$ および $\bar{L}_{\text{Aeq,resid,night},k}$ は昼間および夜間の対象地域の k 番目の測定地点における測定期間の残留騒音の等価騒音レベル[dB]

N_{area} は対象地域の測定地点数

7. 測定結果のとりまとめ

騒音測定結果等測定結果記入用紙他(p.24-33)

対象地域の範囲と測定地点の配置図

風況の測定地点の位置図

残留騒音／風車騒音の測定地点の配置図

測定結果個表(風況)

測定結果個表(残留騒音／風車騒音)

風速・風向の集計結果

測定地点別集計結果(残留騒音／風車騒音)

騒音レベル変動記録

周波数特性

純音性可聴度

9. おわりに

その他、注意事項等

- 風車騒音は 概ね - 6 dB/倍距離で減衰する。
- 風車1基の出力が2倍になれば音圧レベルは3 dB、4倍になれば6 dB増加する。
(半分の距離に元の出力の風車が1基あるのと同じ)
- 住宅から等距離となる風車の基数が2倍になれば音圧レベルは3 dB、4倍になれば6 dB増加する。
- 純音性成分の卓越する風車は苦情が発生しやすい。
- 風車の機種選定や配置にあたっては十分な配慮が必要。
- 他のWFの風車騒音との差が10 dB以上あれば複合影響の可能性は低い。
- 戦略研究で測定された風車の出力は最大でも3 MWなので、大型風車については超低周波音も測定評価しておくとい(主に物的影響)。

ご清聴ありがとうございました。