

環境省請負業務

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

平成 25 年 3 月



中電技術コンサルタント株式会社  
Chuden Engineering Consultants Co.,Ltd.



## まえがき

本報告書は、環境省請負業務として実施した「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」の成果をとりまとめたものである。

### [業務目的]

本業務は、これまで環境省が行ってきた検討結果を基礎として、風力発電施設からの騒音・低周波音の予測手法、評価指標、評価方法及び参考とすべき値等を提案することを目的として実施したものである。

### [業務期間]

自) 平成 24 年 7 月 24 日  
至) 平成 25 年 3 月 22 日

### [業務内容]

- ① 風力発電施設からの騒音・低周波音を適切に調査・予測・評価するための手法等の提案
  - ・風力発電施設からの騒音・低周波音の予測手法及び評価指標等の検討
  - ・検討会の設置・運営
  - ・健康影響小委員会の設置・運営
- ② 報告書の作成

### [業務担当]

中電技術コンサルタント株式会社 環境部

(〒734-8510 広島県広島市南区出汐二丁目3番30号, Tel. 082-256-3356)

総括責任者	佐々並 敏明	(技術士：建設部門（河川、砂防及び海岸・海洋、建設環境）、総合監理部門、RCCM（建設環境）)
管理技術者	山田 孝	(技術士：建設部門（建設環境）、環境部門（環境測定）、環境計量士：騒音・振動関係)
担当技術者	松尾 克美	(技術士：建設部門（建設環境）、環境部門（環境保全計画）、総合監理部門)
	〃 前川 尚嗣	(技術士：建設部門（建設環境）)
	〃 山本 陽児	(技術士：建設部門（河川、砂防及び海岸・海洋）、測量士)
	〃 峰松 勇二	
	〃 増本 育子	

なお、本業務の各種検討及び報告書の作成に際しては、下記に示す有識者の方々に検討会委員及び小委員会委員の委嘱を行い、検討会・小委員会において、活発な議論・検討をいただいた。大変お忙しい中、多大なるご協力を賜った検討会委員の方々、小委員会委員の方々及びその他の関係各位に謝意を表するとともに、本報告書が広く有用な資料として活用されることが望まれる。

### 【検討会・小委員会委員名簿】

#### ■風力発電施設の騒音・低周波音に関する検討会

	氏名	所属	専門分野
委員長	橘 秀樹 たちばな ひでき	千葉工業大学	建築工学、環境科学
副委員長	末岡 伸一 すえおか しんいち	末岡技術士事務所	環境政策、環境科学
委員	今泉 博之 いまいずみ ひろゆき	独立行政法人産業技術総合研究所	音響工学、情報処理
委員	落合 博明 おちあい ひろあき	財団法人小林理学研究所	音響工学、環境科学
委員	櫻澤 博文 さくらざわ ひろふみ	さくらざわ労働衛生コンサルタント	産業医学、疫学
委員	佐藤 敏彦 さとう としひこ	青山学院大学	疫学、健康リスク評価学
委員	塩田 正純 しおだ まさずみ	芝浦工業大学	建築工学、振動工学
委員	新美 育文 にいみ いくふみ	明治大学	法学、環境法
委員	矢野 隆 や の たかし	熊本大学	建築工学、社会反応

※委員長は委員の互選により決定。委員の掲載順は、五十音順

#### ■健康影響に係る小委員会

	氏名	所属	専門分野
委員長	佐藤 敏彦 さとう としひこ	青山学院大学	疫学、健康リスク評価学
委員	石竹 達也 いしたけ たつや	久留米大学	環境医学、産業医学
委員	櫻澤 博文 さくらざわ ひろふみ	さくらざわ労働衛生コンサルタント	産業医学、疫学
委員	土岐 茂 と き しげる	広島大学	精神医学

※委員長は委員の互選により決定。委員の掲載順は、五十音順

## 報告書概要

この報告書は、環境省請負業務として、風力発電施設の環境影響評価手法の技術的な状況について、平成 23 年度に暫定的に取りまとめた調査、予測及び評価の手法に関して、さらに知見を収集・整理して検討を進め、環境影響評価制度の適切な運用に資するために取りまとめた資料である。

風力発電施設は、平成 22 年（2010 年）2 月 22 日の中央環境審議会答申「今後の環境影響評価制度の在り方について」において、「風力発電施設の設置を法の対象事業として追加することを検討すべき」とされたことを踏まえ、平成 24 年（2012 年）10 月施行の「環境影響評価法施行令の一部を改正する政令」により、環境影響評価法の対象事業に追加された。

環境影響評価法に基づく環境影響評価の手法については、基本的事項<sup>1</sup>や主務省令<sup>2</sup>等において「参考手法」が示されており、そのうち評価の手法については、「環境影響が、実行可能な範囲でできる限り回避又は低減されているかどうか」及び「国又は地方公共団体による施策によって、選定項目に係る環境要素に関して基準又は目標が示されている場合には、当該基準又は目標に照らすこととする考え方を明らかにしつつ、当該基準又は目標と調査及び予測の結果との間に整合が図られているかどうか」について検討することとされている。

しかし、我が国においては、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が存在せず、何らかの基準又は目標の策定が求められている状況にあった。そこで、本業務では、風力発電施設からの騒音・低周波音について、これまで環境省が行ってきた検討結果を基礎として、風力発電施設からの騒音・低周波音を適切に評価するために、現時点で最適と思われる評価指標、評価手法及び参考とすべき値（目標値）等の案を提案することを目的として、更なる検討を行った。

その結果、本業務においては、以下の成果を得た。

- ・ 現在、国内外で進められている予測及び評価の手法の調査・研究の情報について収集・整理を行った結果、環境研究総合推進費の平成 22 年度戦略指定研究開発領域公募課題「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」からは、一般的な風車騒音では可聴性に対する低周波数成分の寄与は小さいこと、風車騒音では振幅変調音がアノイアンスを高めていること、風車騒音の評価量としては、一般環境騒音の評価として

---

<sup>1</sup> 環境影響評価法に基づく基本的事項（環境庁告示第八十七号）

<sup>2</sup> 発電所の設置又は変更の工事に係る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、環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令（平成十年六月十二日通商産業省令第五十四号）

一般的に用いられている A 特性音圧レベル（騒音レベル）が適用できること、などが明らかになった。

- ・ 国内における過去の低周波音に関する研究について整理を行い、計測・伝搬・影響・評価の各項目について、これまでの国内における見解を明らかにした。
- ・ 我が国における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となり得る「値」の検討を行うにあたり、諸外国におけるガイドライン値、基準値等のほか、検討の際に参考になると考えられる項目について整理を行った結果、諸外国では主に、①一定の値で設定する方法、②風速に応じた値を設定する方法、③暗騒音に一定の値を加えた値を設定する方法、④セットバック距離を設定する方法の 4 種類があることが明らかとなり、評価量については、環境騒音全般に広く用いられている A 特性音圧レベル（騒音レベル）が採用されていることが分かった。その他、評価の対象音、評価値の意味合い、時間区分・地域区分の有無及び振幅変調音・純音性騒音等の扱いについて、各国における考え方や設定の仕方について明らかにした。
- ・ 医学的な視点からの検討の不足を補うために、風車から発生する騒音が人体に何らかの健康影響を起し得るかどうかの検討を行うために、これまでに発表されている関連学術論文等を収集し評価した結果、風車騒音と健康影響との因果関係を示す科学的根拠はなかった。
- ・ 基準又は目標となり得る「値」について、評価を行う際に具体的な目標となる値を想定した「目標値」の検討を行った結果、目標値を「事業者が最低限守るべき目標値として推奨する値」と定義づけした上で、風力発電施設を設置する場合に適切と考える騒音・低周波音の目標値について、A 特性音圧レベルで 35 dB を提案した。
- ・ 風力発電施設の風車騒音に関する調査、予測及び評価の手法について、平成 23 年度に行われた整理をベースとして、新たに検討された点及び今年度の評価手法の提案等により変更した点について更新（追記・変更）する形で、再整理を行った。

## 英文概要

This report, under the contract with the Ministry of the Environment, consists of the compiled materials to contribute to the appropriate deployment of the environmental impact assessment systems of wind power stations through the furtherance of the collection / classification of the insights relating to the investigations, predictions and assessment provisionally arranged as of 2011 in relation to the technical status of the environmental impact assessment methods.

The wind power stations were added to the objective projects of the Environmental Impact Assessment Act, pursuant to the “Ordinance for the Partial Revision of the Enforcement Decree for the Environmental Impact Assessment Act” enforced as of October, 2012 following the statement, *“It is advisable that the installation of wind power stations be added to the statutory subjects of the projects,”* proposed in the Central Environment Council’s report dated February 22, 2010.

With regard to the methodology for environmental impact assessment, “referential methods” have been presented in the basic matters<sup>1</sup> and the ordinance<sup>2</sup> of the competent minister, etc.; among which, as for the methodology of environmental assessment based on the Environmental Impact Assessment Act, a study was recommended concerning the guidelines epitomized in *“whether or not the environmental impact is avoided or reduced as much as possible within the feasible limits”* and *“whether or not the consistency between the standards/targets and the results of prediction has been sought out, in cases where such standards/targets for the environmental factors involving the selected assignments are shown in the national or local government policies, while on the other hand elucidating all these concepts against the yardsticks of such standards or targets.”*

In Japan, however, we don’t have any such standards or targets relating to the noise and low-frequency noise from wind power stations, so that the establishment of certain kind of standards or targets is being sought. Consequently, it’s the aim of this report to propose assessment guideposts and methods with reference values (target values), etc., for the adequate valuation of the noise and low-frequency noise from wind power stations deemed the most

---

<sup>1</sup>Basic matters according to the Environmental Impact Assessment Act (Environment Agency Announcement No.87)

<sup>2</sup>Ministerial Ordinance to Define the Items of Environmental Impact Assessment Related to Construction of power Station to Installation or alteration, and the Related to said Items; Guidelines for the Selection of Method to Conduct the Investigation, Prediction and Assessment Reasonably; and Guidelines Related to the Measures for Environmental Preservation (July 12, 1998 MITI Ordinance No.54).

appropriate at this time, to serve as reference when valuating such noise and low-frequency noise based on the results of deliberation so far conducted by the Ministry of Environment.

As a result, we have the following outcomes to report:

- Based on the results of the collection/classification of the information on the methods for the prediction and assessment, it was made clear, according to the publicly-offered action assignment “Study of the Environmental Impact of Low-Frequency Noise Generated by Wind Power stations in Terms of the Impact on People,” sponsored by the Fund for the Overall Promotion of Environmental Research: 2010 Strategy-Designated Research and Development Domain, that the contribution of the low-frequency spectra to the audibility is small in the area of usual wind turbine noise, amplitude-modulation tones in wind turbine noise enhance annoyance, A-weighted sound pressure level (noise level) generally accepted as the method for assessment of general environmental noise may have good applicability, and so on.
- Past researches on the low-frequency noise domestically conducted have been compiled and organized, thereby clarifying the views so far developed within the country concerning the respective themes of measurements, propagation, impact and assessment.
- After conducting orderly sorting over the guideline indices, baseline values used in foreign countries and some other items considered informative in the study of the “values” that can be used as the standards or targets in executing the environmental impact assessment in Japan, it was made clear that, in foreign countries, (1) the method to set up with a fixed value, (2) the method to set up with a value tailored to the wind velocity, (3) the method to set up with a value defined by adding a fixed value to the background noises and (4) the method to set up with a setback distance, namely, four different methods are in use for the most part, and that A-weighted sound pressure level (noise level) generally accepted as the method for valuation of general environmental noises being employed as the means of quantitative evaluation. Other than the foregoing, the target sound tied with assessment value, significance of assessment value, existence/non-existence of the time-space divisions, handling of amplitude-modulated tones and pure tones, etc., have become evident along with concepts and setup methods well-established in foreign countries.
- In order to compensate the insufficiency in discussions from the medical viewpoints, related academic papers, etc., so far publicized have been collected for study on an assessment basis to investigate the potentials of health effects, and it was shown that there was no scientific grounds demonstrating a causal link between the wind turbine noise and the effect on health.
- Regarding the “Value” that can be the standard or target, it was proposed that the target value deemed appropriate when installing the wind power stations should be 35 dB in A-weighted

sound pressure level, after conducting a due deliberation assuming the specific “target value” in making a clear evaluation in terms of the definition “Value Recommended as the Target Value to be Observed at a Minimum by the Operators.”

- The relevant events were reorganized by way of updating (append/change) the ongoing recognition based on arrangements conducted in 2011, placing focuses around the reviewed points and the aspects transformed according to the proposals made this year concerning the investigation, prediction and assessment methods in relation to the wind turbine noise from wind power stations.



## 用語解説

本報告書で用いる用語の意味は、以下のとおりである。

### 1. 法令関連

#### 環境影響評価（環境アセスメント）

環境に著しい影響を及ぼすおそれがある事業について、その事業の実施にあたり、あらかじめ事業者自らがその事業の環境への影響を調査、予測及び評価する。その結果に基づき、事業について適正な環境配慮を行い、結果を公表し、地域住民、専門家や地方公共団体等から意見を聞き、それらを踏まえて環境保全の観点からより良い事業計画を作り上げていこうとする制度。この環境影響評価は、戦略的環境アセスメントと事業段階で実施する事業アセスメントに区分されるが、従来の環境影響評価法に基づく制度は、事業アセスメントである。

#### 戦略的環境アセスメント

従前の事業段階における環境影響評価（事業アセスメント）とは異なり、政策決定、上位計画決定、事業の意思決定段階で実施される環境影響評価のことで、SEA と略称されている。これは、①重大な環境影響の回避など事業化以前に環境配慮を検討しなければ効果的でない場合もある、②個別事業のみならずすべての意思決定で環境保全に配慮させる、との考え方から考え出されたものである。「環境影響評価法の一部を改正する法律」（以下、「改正環境影響評価法」という。）により平成 25 年（2013 年）4 月より創設される「計画段階配慮書手続」が戦略的環境アセスメントの一部に含まれる。

#### 環境影響評価法

環境影響評価制度の内容や手続を定めた法律。平成 9 年（1997 年）6 月に成立し、平成 11 年 6 月に施行された。また、環境影響評価法の完全施行から 10 年の経過を受け、法律の見直しに向けた検討が行われ、平成 23 年（2011 年）4 月に改正環境影響評価法が成立し、平成 25 年（2013 年）4 月に、新たな手続の創設（計画段階配慮書手続及び事後調査報告書の公表・報告手続）を含め完全施行される予定である。

## 第一種事業、第二種事業

環境影響評価法に基づく対象事業のうち、規模が大きく環境影響の程度が著しいものとなるおそれがある事業を「第一種事業」として定め、環境影響評価の手続を必ず行うこととされている。この「第一種事業」に準ずる規模の事業を「第二種事業」として定め、手続を行うかどうかを個別に判定することとされている。風力発電事業については、第一種事業が総出力 1 万 kW 以上、第二種事業が総出力 7,500 kW 以上と設定された。

## 環境基準

昭和 42 年（1967 年）の公害対策基本法（現・環境基本法）に基づき定められ、個別の規制のみでは、環境の改善が不十分な状況を受けて、集積された汚染の全体としての改善の目標として定められた基準である。この環境基準という言葉は、各国それぞれの意味で使われており、我が国では、「環境対策において実現させたい数値目標であり、国民の権利義務を定める法規としての性格を有するものではない。」とされている。

行政上の政策目標として定めるもので、受忍限度や許容限度というものではない。

## 規制基準

法律又は条例に基づいて定められた公害の原因となる行為を規制するための基準であり、工場等にはこの基準を守る義務が課せられている。騒音規制法においては、工場・事業場と建設作業の騒音が敷地境界における騒音レベルで規制されている。

## 目標値

静穏な地域に風力発電施設を設置する際、風車騒音による生活環境への影響を未然に防止するための目安として推奨される値で、本業務では風車騒音の目標値について、検討・提案を行った。

## 2. 風力発電関連

### 風車（風力発電設備）

風が持つ運動エネルギーを原動力として電気を発生するための設備で、ブレード、ナセル、タワー等で構成される。

### 風力発電施設（風力発電所）

一つのまとまりとして扱われる風力発電設備の集合体で、英語の wind farm に相当する。

### 風力発電事業

風力発電施設を設置又は変更する事業。

### 定格出力

安全に使用できる限界の値のことを定格といい、風車が最も効率よく運転している状態における出力の値を定格出力という。風車の機種により異なり、風車を設計するときに設定する。なお、定格運転となるときの風速を定格風速という。

### ブレード

風車の回転翼（羽）で、回転に伴って各部位から流体力学的騒音が発生する。

### ハブ

ブレード又はブレード組立部品をロータ・シャフトに取り付けている部分。

### ナセル

水平軸風車でタワーの上部に配置され、動力伝達装置、発電機、制御装置等を格納するもの。

### 洋上風力発電

海岸線から離れた沖合に設置して行う風力発電。広義には、海上・湖沼・河川等の水面を利用して、直接、風力発電装置、制御・監視装置を設置し、発電するシステムと定義される。海底に基礎を立てる方式（着床式）が現状では一般的であるが、水深の深い場所にも設置可能な、洋上に浮体を浮かべて風車を設置するフローティング方式や、風車を浮体ごと移動可能なセイリング風車等の浮体式も検討されている。

### 3. 音響関連

#### 可聴周波数

正常な聴力をもつヒトが聞くことができる周波数で、ほぼ 20 Hz～20 kHz とされている。

#### 超低周波音

可聴周波数より周波数が低い音。国際基準 ISO 7196:1995 では、周波数が 1～20 Hz の音と定義している。

#### 低周波音

近年、産業機械や土木構造物の振動によって放射される低い周波数の音が問題となり、この用語が使われるようになった。我が国では、平成 12 年（2000 年）10 月に環境省から公表された「低周波音の測定方法に関するマニュアル」で、1/3 オクターブバンド中心周波数で 1～80 Hz の範囲の音を低周波音と定義しているが、国際的にはまだ明確に定義されていない。因みに、ドイツでは 10～80 Hz、デンマークでは 10～160 Hz、ニュージーランドでは約 200 Hz 以下の周波数の騒音としている。

#### 低周波数騒音（本報告書のみで使用する用語）

本報告で採用した名称で、可聴周波数の範囲で低い周波数の成分を多く含む騒音をいう。この種の騒音等については国際的な定義が明確になっていないため、ここでは周波数が 20～概ね 100 Hz の範囲の騒音とした。風車騒音もその一つで、-4 dB/オクターブ程度の周波数特性を持つことが多い。

#### 風車騒音（本報告書のみで使用する用語）

本報告では、風力発電施設から発生する騒音、低周波数騒音、超低周波音の総称とした。

#### 音圧レベル

音圧をレベル表示した値で、次式で表される。量記号は  $L_p$ 、単位はデシベル（dB）。

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

ここに、 $p$ ：音圧（Pa）、 $p_0$ ：基準の音圧（20 $\mu$ Pa）。

#### 騒音レベル

A 特性の周波数重みづけ特性をつけて評価した音圧レベルで、A 特性音圧レベルともいう。量記号は  $L_A$ 、単位はデシベル（dB）。単位記号としては、慣用的に dBA 又は dB(A) が用いられることも多い。

## A 特性

種々の周波数成分を含む音に対してヒトが感じる音の大きさの感覚を評価するための周波数重みづけ特性の一つで、比較的小さな音の評価のための特性として提案されたが、現在では各種の騒音の大きさを評価するための特性として広く用いられている。JIS 1509-1 によって特性が規定されている（図 1 参照）。

## C 特性

種々の周波数成分を含む音に対してヒトが感じる音の大きさの感覚を評価するための周波数重みづけ特性の一つで、比較的大きな音を評価するための特性として提案されたが、衝撃音などを除いて騒音の評価にはあまり用いられることはない。JIS 1509-1 によって特性が規定されている（図 1 参照）。

## G 特性

超低周波音の測定のための周波数重みづけ特性で、超低周波音に対する感覚閾値の周波数特性に基づいて ISO 7196 で規格化されている（図 2 参照）。

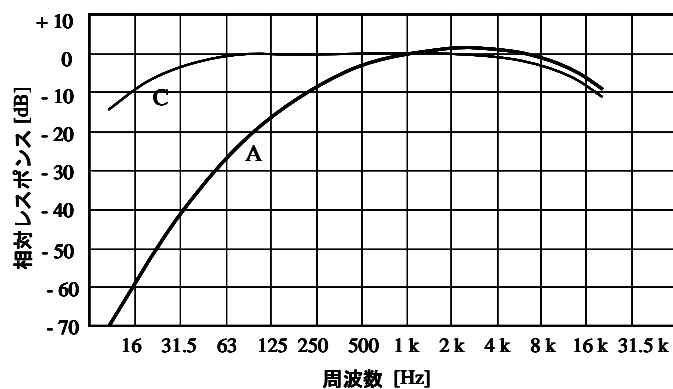


図 1 騒音計の周波数重みづけ特性：A 特性と C 特性

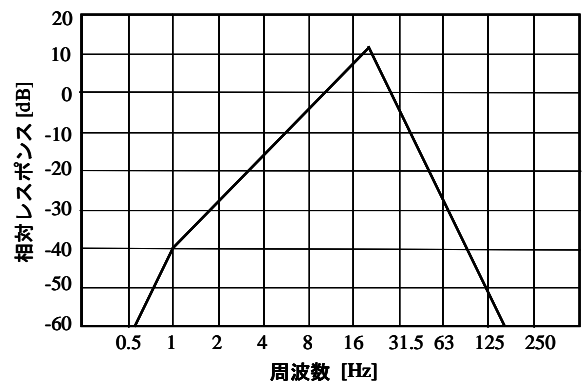


図 2 G 特性周波数重みづけ特性

## 等価騒音レベル

時刻  $t_1$  に始まり時刻  $t_2$  に終わる時間間隔  $T$  について、変動する騒音の騒音レベルをエネルギー的な平均値として表した量で、次式による。記号は  $L_{Aeq,T}$ 、単位はデシベル (dB)。時間平均騒音レベルともいう。

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

ここに、 $p_A(t)$ ：瞬時 A 特性音圧 (Pa)、 $p_0$ ：基準の音圧 (20 $\mu$ Pa)。

### 時間帯補正等価騒音レベル

昼間、夕方、夜間の時間帯別に重みをつけて求めた一日の等価騒音レベルで、昼夕夜平均騒音レベルともいう。記号は  $L_{den}$ 、単位はデシベル (dB)。時間帯の重みづけとしては、昼間は 0 dB、夕方は 5 dB、夜間は 10 dB とする。

### 時間率騒音レベル

変動する騒音が対象とする時間  $T$  の  $N\%$  の時間にわたってある騒音レベルを超えている場合、その騒音レベルをいう。記号は  $L_{AN}$ 、単位はデシベル (dB)。50 % 時間率騒音レベル  $L_{A50}$  を中央値、5 % 時間率騒音レベル  $L_{A5}$  を 90 % レンジの上端値、95 % 時間率騒音レベル  $L_{A95}$  を 90 % レンジの下端値などという。

### オクターブバンド

下限周波数 ( $f_1$ ) と上限周波数 ( $f_2$ ) との比が 2 となるように分割した周波数帯域で、その中心周波数は  $f_c = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$  となる。周波数を対数軸にとった場合、オクターブバンドは等間隔となるが、それをさらに  $1/N$  ごとに分割した場合、それぞれの周波数帯域を  $1/N$  オクターブバンドという。 $N=3$  とした場合が  $1/3$  オクターブバンドで、騒音の分析に広く用いられている。

### 音響パワーレベル

音源の音響出力をレベル表示した量で、次式で表される。記号は  $L_w$ 、単位はデシベル (dB)。

$$L_w = 10 \log_{10} \frac{P}{P_0}$$

ここに、 $P$  : 音響パワー (W)、 $P_0$  : 基準の音響パワー (1pW)。

風車が発生する騒音の音響パワーレベルの測定方法としては、IEC 61400-11 (JIS C 1400-11) の規定がある。

### ラウドネス

ある音の感覚的な大きさを表す心理尺度で、JIS によれば「音の強さに関する聴覚上の属性」と定義されている。しかし、音の大きさは音の強さだけでは決まらず、周波数スペクトルや時間構造にも依存する。

### 聴覚閾値

聴覚において「聞こえる音」と「聞こえない音」との境目にあたる刺激値を指す。感覚を生じる最も小さな刺激値を「閾値」という。

## アノイアンス

アノイアンス (annoyance) とは、明確な定義は容易でないが、自らに悪影響を与えていると考え、認知している要因や状態に関する不快な感情と一般には訳されている。また、日本語としては、「うるささ」という言葉をあてることが多いが、個人が妨害を被ったと認識する影響と定義する場合もあり、妨害もしくは迷惑としてとらえられるもので、騒音による不快感の総称ともいえる。騒音そのものによる不快感と騒音に付随して生じる不快感を包含するもので、騒音、個人的要因、音源に対する態度などの影響とともに、これらの要因による生活妨害等の直接影響に関わるものととらえられている。騒音は感覚公害であることから、基準の検討で基本的事項として調査されている。

## 純音

瞬時音圧が時間の単一正弦関数である音。自然界に完全な純音はないが、音叉の音や電気回路の発信によって出る音は純音に近い。

## 純音性騒音

特定の周波数で強い成分をもつ騒音。このような音は耳につきやすく、うるささの感覚も大きい。その程度の判定方法としては、ISO 1996-2 に記述されている方法が国際的に広く用いられている。

## 振幅変調音

風車のブレードの回転に伴って発生する騒音で、振幅が規則的に変動する音。シューツ、シューツというように聞こえることから英語では **swish sound** などと呼ばれている。その変動のしかたは風向、風速によって異なるが、変動周期は風車の回転周期をブレードの数（通常は 3）で割った時間に相当する。

## 4. 騒音の分類

### 環境騒音

一般の居住環境における騒音。

### 総合騒音

ある場所における、ある時刻の総合的な騒音（図 3 参照）。

### 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で、騒音源が特定できることが多い（図 3 参照）。

### 暗騒音

ある特定の騒音に着目した時、それ以外のすべての騒音。しばしば、次項の残留騒音と区別しないで用いられることがある（図 3 参照）。

### 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（図 3 参照）。

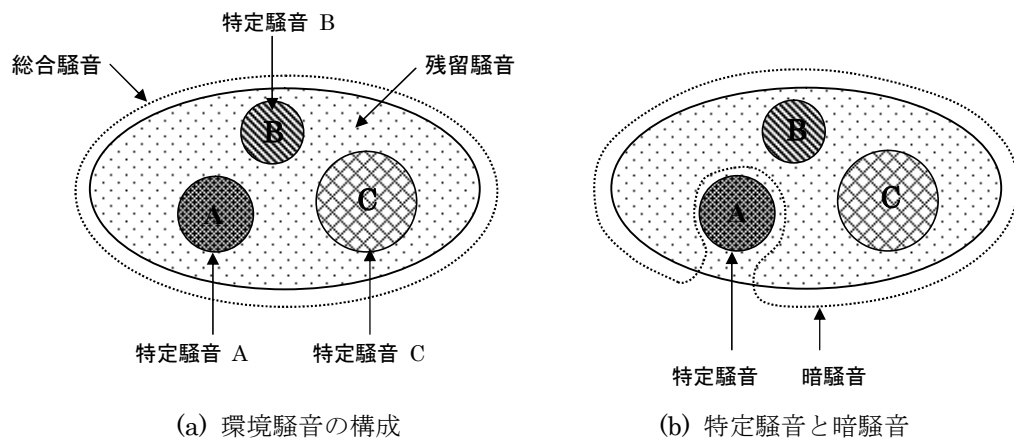


図 3 騒音の構成に着目した環境騒音の分類



## 5. 健康影響関連

### 疫学

ヒト集団を対象として、その集団に起こった健康事象（疾患や死亡等）の頻度を観察したり、集団どうしで比較し、差の有無を検討することによって因果関係の有無を調べたりする研究手法。

### 量影響関係

個人レベルで、ある化学物質や物理的エネルギーの暴露量や強さと、ある一つの影響の程度との関係、又は暴露量により異なった影響がみられる場合の量と種々の影響との関係。

### 量反応関係

ある化学物質や物理的エネルギーの暴露量や強さの増加と、それらに対する集団中で反応するヒトの割合との関係。

### 慢性影響

半年以上の期間をかけ、徐々に生じる影響。疾患にまでなると回復に時間がかかり、治療しにくい状況になる。

### バイアス

測定の指標を、真の値から系統的に歪めるもの。偶然のばらつきによって生じる偏りではない。

### エビデンス

科学的根拠と訳される。その根拠の強さの程度をエビデンスレベルといい、研究方法やその質によって決定される。疫学研究ではバイアスの入り込む余地がないものほどエビデンスレベルが高い、すなわち、科学的根拠として強い。

## 目 次

第1章 業務概要	1
1.1 業務の目的	1
1.2 業務履行期間	1
1.3 業務の内容	1
第2章 風車騒音等の経過と現状	4
2.1 風力発電施設に係る騒音問題の経過	4
2.2 風車騒音と健康影響	5
2.3 環境影響評価法改正の経過	6
2.4 環境省における風車騒音等に対する検討の経過	7
第3章 最新の研究等の収集・整理	12
3.1 背景	12
3.2 環境研究総合推進費戦略指定研究開発領域公募課題 「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」	12
3.3 環境省地球温暖化対策技術開発事業 「騒音を回避・最小化した風力発電に関する技術開発」	14
3.4 NEDO「次世代風力発電技術研究開発」	15
3.5 国内における過去の低周波音に関する研究について	16
3.6 その他の文献・資料等について	25
第4章 諸外国のガイドライン、基準等に関する情報の収集・整理	38
4.1 はじめに	38
4.2 収集方法	38
4.3 各国の風車騒音のガイドライン値、基準値等の概要	40
4.4 整理結果	52
第5章 健康影響に関する文献レビュー	55
5.1 はじめに	55
5.2 健康影響の種類	55
5.3 研究方法の種類と特徴	55
5.4 疫学研究の評価方法	56
5.5 文献の選択及び評価方法	60
5.6 風車騒音による健康影響に関する研究課題	60

5.7 結果 .....	61
5.8 まとめ .....	67
第6章 風車騒音の影響評価手法の提案.....	69
6.1 はじめに .....	69
6.2 風車騒音の影響評価における問題点.....	69
6.3 風車騒音の影響評価手法設定のための検討事項.....	70
6.4 風車騒音の影響評価手法の提案.....	72
第7章 環境影響評価における調査、予測及び評価の手法 .....	81
7.1 これまでの国内における環境影響評価事例について .....	81
7.2 調査手法 .....	85
7.3 予測手法 .....	89
7.4 評価手法 .....	92
7.5 事後調査の手法 .....	93
第8章 終章 .....	95
8.1 まとめ .....	95
8.2 今後の課題 .....	97

## 第1章 業務概要

### 1.1 業務の目的

風力発電施設については、近年、その設置数が増加していること、騒音・低周波音による苦情が発生していることなどから、その実態の把握とともに、騒音・低周波音の調査、予測及び評価の手法についての知見の充実が求められている。環境省では、平成20年度から調査・検討を行ってきており、平成23年度に「平成23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（平成24年3月）」（以下、「平成23年度報告書」という。）がとりまとめられているが、いくつかの解決すべき課題が残され、引き続き検討を進める必要があった。

そこで本業務では、これまで環境省が行ってきた検討結果を基礎として、風力発電施設からの騒音・低周波音の予測手法及び適切に評価するために最適と思われる評価指標や評価方法、参考とすべき値等を提案することを目的とした。

### 1.2 業務履行期間

自) 平成24年7月24日  
至) 平成25年3月22日

### 1.3 業務の内容

#### 1.3.1 報告書

下記の項目について、検討結果をとりまとめた。

#### (1) 風車騒音等の経過と現状

我が国でも風力発電施設が建設されるようになってから、苦情等として、風車騒音等の問題が発生してきた。これに伴い、地方公共団体や国においても、種々の施策が実施されてきており、これらの背景・経過・現状について、整理を行った。

#### (2) 最新の研究等の収集・整理

風力発電施設における騒音・低周波音の発生・伝搬状況のメカニズムやその影響についての解明が十分に行われていない状況にあり、国内外で調査研究が進められている。そこで、現在進められている調査・研究に係る情報について収集・整理を行った。

#### (3) 諸外国のガイドライン、基準等に関する情報の収集・整理

諸外国においては、風車騒音に対する基準が設定されている事例がある。そこで、我が国における環境影響評価の評価値となり得る「値」の検討を行うにあた

り、各国のガイドライン値、基準値等のほか、検討の際に参考になると考えられる項目について整理を行った。

#### (4) 健康影響に関する文献レビュー

風車騒音等の検討を行うにあたり、医学的な視点からの検討も必要と考え、健康影響に関する文献のレビューを行った。ここでは、疫学研究そのものの特徴や限界について整理し、その上でこれまでに公表されてきた疫学研究に係る文献等について検証し、論点としてとりまとめた。さらに、今後、必要と考えられる研究調査方法についてとりまとめを行った。

#### (5) 風車騒音の影響評価手法の提案

風力発電施設を設置する際、風車騒音による生活環境への影響を未然に防止するための目安として推奨される値として、「目標値」の検討を行った。この「目標値」は、風力発電施設を設置する際、騒音・低周波音による影響を予防するため、「事業者が最低限守るべき目標値として推奨する値」として提案した。

#### (6) 環境影響評価における調査、予測及び評価の手法

風力発電事業に関しては、「平成 23 年度報告書」の中で、「環境影響評価手法の検討」として、環境影響評価法の対象事業となる風力発電施設の風車騒音に関する調査、予測及び評価の手法について、基本的事項及び主務省令に定められた事項に従っての整理が行われている。

本業務においては、この前年度に行われた整理をベースとして、今年度の目標値の提案等により必要となった事項等について追加修正を行った。

### 1.3.2 検討会・小委員会の設置

本業務では、本報告書作成のために、工学系、医学系及び法学系等の学識経験者等からなる「風力発電施設の騒音・低周波音に関する検討会」を設置し、専門的な見地からの検討審議を行い、その結果に基づいて、報告書を取りまとめた。

また、医学的及び疫学的な検討については、医学関係の専門家による「健康影響に係る小委員会」を設置し、医学系の専門的な見地からの検討審議を行い、その結果についても報告書に取りまとめた。

なお、本業務で設置した検討会及び小委員会の委員名簿及び開催状況については、以降に示すとおりである。

【検討会・小委員会委員名簿】

■風力発電施設の騒音・低周波音に関する検討会

	氏名	所属	専門分野
委員長	たちばな ひでき 橘 秀樹	千葉工業大学	建築工学、環境科学
副委員長	すえおか しんいち 末岡 伸一	末岡技術士事務所	環境政策、環境科学
委員	いまいずみ ひろゆき 今泉 博之	独立行政法人産業技術総合研究所	音響工学、情報処理
委員	おちあい ひろあき 落合 博明	財団法人小林理学研究所	音響工学、環境科学
委員	さくらざわ ひろふみ 櫻澤 博文	さくらざわ労働衛生コンサルタント	産業医学、疫学
委員	さとう としひこ 佐藤 敏彦	青山学院大学	疫学、健康リスク評価学
委員	しおだ まさずみ 塩田 正純	芝浦工業大学	建築工学、振動工学
委員	にいみ いくふみ 新美 育文	明治大学	法学、環境法
委員	や の たかし 矢野 隆	熊本大学	建築工学、社会反応

※委員長は委員の互選により決定。委員の掲載順は、五十音順

■健康影響に係る小委員会

	氏名	所属	専門分野
委員長	さとう としひこ 佐藤 敏彦	青山学院大学	疫学、健康リスク評価学
委員	いしたけ たつや 石竹 達也	久留米大学	環境医学、産業医学
委員	さくらざわ ひろふみ 櫻澤 博文	さくらざわ労働衛生コンサルタント	産業医学、疫学
委員	と き しげる 土岐 茂	広島大学	精神医学

※委員長は委員の互選により決定。委員の掲載順は、五十音順

【検討会・小委員会の開催状況】

■風力発電施設の騒音・低周波音に関する検討会

検討会	開催日	場所	内容
第1回検討会	平成24年10月1日	東京	業務内容の確認、課題への対応方針
第2回検討会	平成24年11月5日	東京	収集した資料の検討・審議
第3回検討会	平成24年12月7日	東京	個々の課題に対する検討・審議
第4回検討会	平成24年12月17日	東京	個々の課題に対する検討・審議
第5回検討会	平成25年2月4日	東京	とりまとめ方針の確認
第6回検討会	平成25年3月5日	東京	報告書(案)の審議・確認

■健康影響に係る小委員会

検討会	開催日	場所	内容
第1回小委員会	平成25年1月11日	久留米	検討内容の確認、方針決定
第2回小委員会	平成25年2月19日	東京	とりまとめ(案)の審議・確認

## 第2章 風車騒音等の経過と現状

### 2.1 風力発電施設に係る騒音問題の経過

我が国における風力発電施設の建設は、昭和48年（1973年）のオイルショックを契機に国の主導で太陽光や風力などの開発を行う「サンシャイン計画」から始まった。また、平成2年（1990年）の電気事業法及び関連法令の改正による設置手続の簡素化等を背景として、地方公共団体等による導入も行われるようになり、それ以降、設置基数が飛躍的に増えてきた。このような状況において、平成10年頃から風力発電施設からの騒音等の苦情・問題は、行政機関においても顕在化し、同時に、各地で住民運動等も起こり、これらに対する対応が必要となり、地方公共団体主導でガイドラインづくり等が進められることになった。

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）においても、再生可能エネルギーとして風力発電施設の導入を進めており、「風力発電導入ガイド」が平成8年（1996年）12月に作成され、最新版は、平成20年（2008年）2月の第9版となっている<sup>1)</sup>。

また、風力発電施設の導入にあたっては、事前の環境影響評価が必要であるとして、NEDOで環境影響評価のガイドラインづくりが行われ、平成15年（2003年）7月に「風力発電のための環境影響評価マニュアル（以下、「NEDOマニュアル」という。）」の初版が発行（平成18年（2006年）2月に第2版に改訂）され、事業者が実施する自主的な環境影響評価において、しばしば参照されるようになった<sup>2)</sup>。

一方、地方公共団体においても、NEDOマニュアル等の資料に基づき、風力発電施設の立地規制や環境影響評価を導入するところが増加してきた。これらは、ガイドラインによるものが多かったが、より積極的に環境影響評価制度として条例手続を導入する団体もあった。地方公共団体のガイドライン等による環境影響評価対象となる規模は、小型風車を含めて100kW以上と規定されている例が多くなっている。

風力発電施設の増加に伴い、風力発電施設の設置に係るガイドラインは、主として市などで制定されてきたが、徐々に県レベルにおいて環境影響評価条例の改正等が行われるようになってきた。なお、後述するが、平成24年（2012年）10月に施行された「環境影響評価法施行令の一部を改正する政令」により、環境影響評価法の対象事業に大規模の風力発電所が追加されたことに伴って、多くの地方公共団体においても小規模の風力発電所を条例の対象に追加する動きがある。

このような中で、平成23年（2011年）5月には、一般社団法人 日本風力発電協会において自主アセスの規程として「風力発電環境影響評価規程」が制定されている<sup>3)</sup>。「環境影響評価法」の基本的事項等が定められたことに合わせて必要な見直しを行うとされており、「環境影響評価法」や条例によるものを除いて自主アセス等に活用するとされている。ここには、騒音・低周波音についての記述は無いが、景観を基本に自然環境の良好な地域における風力発電施設の設置について、必要事項が定められてい

る。なお、ここでは、レクリエーション施設等の極めて良好な地域における風車騒音等については、今後の検討課題であるとしている。

平成 24 年（2012 年）7 月には、一般社団法人 日本小形風力発電協会において「小形風車導入手引書」が発行されている<sup>4)</sup>。この中では、環境影響評価の実施についての記載はないが、風車騒音等に関しては、「小形風車から発生する音や振動」に関して、発生現象の解説が行われている。そこでは、風車の設置に関する一般的注意点として、「風車騒音が近隣の家にとって迷惑なものとなり得ることを十分承知し、注意する必要があります。」と注意喚起がなされている。

このような経過のなか、我が国では、今後の風力発電技術の開発方向として、洋上風力発電が注目されており、これらの研究も進んできている。環境省は、長崎県五島市で浮体式の実証試験を実施しており、平成 28 年度（2016 年度）の実用化を目指しているほか、経済産業省は、震災復興事業として福島県沖における浮体式の設置検討を進めている。

この洋上風力発電の環境影響評価について、諸外国では陸上とほぼ同じ手続が定められているが、騒音による海洋生物等への影響についての調査等が定められている例もある。なお、この浮体式についての「洋上風力発電施設の安全ガイドライン」が、平成 24 年度（2012 年度）内の作成を目指し、国土交通省において検討・作成が進められている。ただし、内容については、具体的な設計手法、性能評価方法を定める設計指針（安全ガイドライン）であり、環境影響評価に関する記載はない。

## 2.2 風車騒音と健康影響

風車騒音に関する議論は、平成 10 年代末頃になると、超低周波音の影響から風力発電症候群まで多様な議論が続出し、国としての統一的な対応が不可避となってきた。また、国際的にも大きな課題として検討がより進展するようになり、風車騒音に係る基準等の設定も進むとともに、公的機関による規模の大きい調査が次々に行われるようになってきた（詳細については平成 23 年度報告書を参照）<sup>5)</sup>。

例えば、平成 21 年（2009 年）12 月に、米国とカナダの風力エネルギー協会においては、風車音と健康影響における最新の知識に関する再検討、分析結果が報告された<sup>6)</sup>。また、平成 24 年（2012 年）1 月に、米国マサチューセッツ州環境保護省が独立した専門家による研究班を設置して騒音振動、シャドウフリッカー及び氷片落下を要素として研究が実施されている<sup>7)</sup>。

さらに、平成 24 年（2012 年）3 月に、米国オレゴン州健康局環境公衆衛生事務所が、住民からの風車問題についての要請等が増大したことから、風力発電について、騒音、景観、大気汚染、経済効果及び社会の利害対立の 5 点について調査検討を行っている<sup>8)</sup>。

一方、我が国においても、風車騒音にかかる苦情等が全国で発生していることから、地方公共団体などで調査が行われるようになった。環境省においても、平成 20 年（2008



年) 4月から、全国の風車騒音苦情等の状況についてアンケート調査を実施している。この調査は、平成22年(2010年)10月に公表されたが、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例であった<sup>9)</sup>。さらに、環境省総合環境政策局環境影響評価課が風力発電事業者や該当する地方公共団体に対して平成22年(2010年)6~9月にアンケート調査を実施した。これによると、対策工事(二重サッシ、エアコンの設置)の実施や風車に高油膜性ギアオイルを取り付けた事例があった<sup>10)</sup>。

これらの調査結果から、風力発電施設の騒音・低周波音について、国としても積極的に対応する必要があると認識され、調査研究の拡充等が検討された。そこで、風車騒音の解析や低騒音化等の技術開発について一連の事業が実施されることになった。これらについては、現在も継続中の事業が多いが、平成24年度(2012年度)からは、成果が順次とりまとめられ、公表される予定となっている。

### 2.3 環境影響評価法改正の経過

我が国では、「閣議アセス」や「省議アセス」と呼ばれる行政指導ベースの環境影響評価制度から出発し、平成9年(1997年)6月に「環境影響評価法」の制定による法律ベースの新たな環境影響評価の仕組みが導入された。地方公共団体の条例による環境影響評価制度と相まって、現在の環境影響評価の仕組みが構築されている。この「環境影響評価法」では、規模が大きく環境影響の程度が著しいものとなるおそれがある事業で、かつ国が実施する又は許認可を行う事業等である13事業を対象事業として政令で定め、具体的な手続が定められている。

その後、平成18年(2006年)4月には、「第3次環境基本計画」において、「環境影響評価法」の見直し等が検討され<sup>11)</sup>、戦略的環境アセスメント(SEA)制度の導入や風力発電施設の法対象事業への追加等が環境影響評価法の課題とされた。これを受けて「環境影響評価総合研究会」が平成20年(2008年)6月に環境省に設置され、事業者やNPOを含めた幅広いヒアリング調査などを含めた検討が実施された。同研究会では風力発電の法対象事業への追加の是非についても議論され、報告書においては、追加すべきとの意見と追加すべきでないとの意見の両論が併記された<sup>12)</sup>。さらに平成22年(2010年)2月の、中央環境審議会答申、「今後の環境影響評価制度の在り方について」<sup>13)</sup>においては戦略的環境アセスメント制度の導入と風力発電事業の法対象事業への追加等について検討すべきことが記述された。この答申を受け、環境省は風力発電施設の環境影響評価法の対象化にともなって、規模要件などの具体的な事項を含む制度面についての検討を行った。

平成24年(2012年)10月に「環境影響評価法施行令の一部を改正する政令」が施行され、風力発電施設についても環境影響評価法の対象事業となった。表2-1に環境影響評価の歴史的経過を整理した。

表 2-1 我が国における環境影響評価の歴史

昭和 44 年 (1969 年)	12 月	米国国家環境政策法 (NEPA) 成立
昭和 47 年 (1972 年)	6 月	「各種公共事業に係る環境保全対策について」閣議了解
昭和 52 年 (1977 年)	7 月	通産省：発電所アセス省議決定
昭和 53 年 (1978 年)	7 月	建設省：所管事業アセス事務次官通達
昭和 54 年 (1979 年)	1 月	運輸省：整備新幹線アセス大臣通達
昭和 56 年 (1981 年)	4 月	旧「環境影響評価法案」閣議決定・国会提出
昭和 58 年 (1983 年)	11 月	旧「環境影響評価法案」審議未了・廃案
昭和 59 年 (1984 年)	8 月	「環境影響評価の実施について」閣議決定 (閣議アセス)
平成 5 年 (1993 年)	11 月	「環境基本法」制定
<b>平成 9 年 (1997 年)</b>	<b>6 月</b>	<b>環境影響評価法制定 (1999 年施行)</b>
平成 23 年 (2011 年)	4 月	改正環境影響評価法の公布
<b>平成 24 年 (2012 年)</b>	<b>10 月</b>	<b>風力発電事業が環境影響評価法の対象事業になる</b>
平成 25 年 (2013 年)	4 月	改正環境影響評価法の完全施行 (計画段階環境配慮書の手続及び事後調査報告書の公表・報告等)

## 2.4 環境省における風車騒音等に対する検討の経過

風力発電施設については、風車騒音の発生メカニズムや、伝搬性状とその影響についての解明が十分に行われていない状況であった。そこで、国内外で調査・研究が進められ、環境省でも、平成 20 年度から情報収集を始め、その構造や設置場所の特性を踏まえた検討が行われてきた<sup>5), 9), 10), 14)~16)</sup>。

また、風車騒音が周辺住民の健康に影響を及ぼしているとの指摘や苦情があるが、風車騒音の影響等は必ずしも明らかとはなっておらず、環境省は平成 22~24 年度の 3 年間の環境研究総合推進費戦略指定研究開発領域公募課題「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」(以下、「環境省戦略指定研究」という。)を実施し、現地での実態把握調査や周辺住民に対する社会反応調査、実験室での聴感実験などを行っている。一方、環境影響評価の実施については、考え方の整理が必要であり、平成 22 年 (2010 年) 10 月に「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」が設けられ、騒音・低周波音、シャドウフリッカー、バードストライク及び景観について技術上の課題についても基本的な考え方が検討された。この検討会の検討結果は、平成 23 年 (2011 年) 6 月に公表・報告されたが、騒音・低周波音にかかる環境影響の懸念や NEDO マニュアルによる自主アセスでは、住民意見の聴取手続が行われていない事例があるなどの課題が指摘されている<sup>17)</sup>。

### ◀ 環境省における風車騒音等に対する検討 ▶

- ① 諸外国における風力発電施設から発生する騒音・低周波音に係る基準等の状況について (平成 20 年度)<sup>14)</sup>

諸外国における風力発電施設から発生する騒音・低周波音に係る基準等の状況を暫定版としてとりまとめ、地方公共団体に情報提供を行った。

② 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 21～22 年度）<sup>15), 16)</sup>

風力発電施設に関する低周波音の苦情が寄せられていることから、愛知県豊橋市・田原市、愛媛県伊方町、静岡県東伊豆町及び兵庫県南あわじ市において騒音・低周波音の実態把握のための調査を行い、測定結果について解析を行った。

③ 移動発生源の低周波音に関する検討調査（平成 20～22 年度）<sup>14)~16)</sup>

工場・事業場等以外の固定発生源、風力発電施設及び新幹線等の移動発生源について、新たな知見の収集による実態把握と、その対応・評価手法を確立するための基礎的検討を行った。

④ 風力発電施設に係る騒音・低周波音の実態把握調査（平成 22 年度）<sup>9), 10)</sup>

平成 22 年（2010 年）4 月 1 日時点で稼働中の総出力 20kW 以上の風力発電施設（186 事業者、389 か所）を対象に、騒音・低周波音に関する苦情の有無等の実態を把握するために、アンケート調査を行った。また、苦情等が発生している風力発電施設を対象に、事業者・地方公共団体へのヒアリング等の調査を行った。

⑤ 環境省戦略指定研究「風力発電等からの低周波音の人への影響評価に関する研究」（平成 22～24 年度）

低周波数成分を含む風車騒音の影響を調べることを目的として、風車騒音の実測調査と施設周辺の住民を対象とした社会反応調査及びこの種の騒音に対する人間の生理・心理的反応を調べるための聴感評価実験等が 3 年計画で実施されている。平成 24 年度が最終年度であり、成果が近々報告される予定である。

⑥ 風力発電施設の騒音・低周波音に関する検討調査（平成 23 年度）<sup>5)</sup>

風力発電施設が我が国の「環境影響評価法」の対象事業となったことを受け、風車騒音について、環境省で行われた環境影響評価に係る検討を基礎として、さらに、国内外の科学的知見を追加し、風力発電施設からの騒音等を適切に調査、予測及び評価する手法に関して必要な事項を調査検討し、暫定的なとりまとめを行い、環境影響評価に関する最新の情報を示した。

本業務は、これらの一連の風力発電施設に関する対応の経過を受けての調査検討であり、今後、想定される風力発電施設の建設時における参考資料として整理し、とりまとめた内容を報告書とした。

今後は、この報告書を含めた種々の成果を基に、関係省庁において技術的なガイドライン等の整備など、関係事務の整備がさらに進む運びとなる。

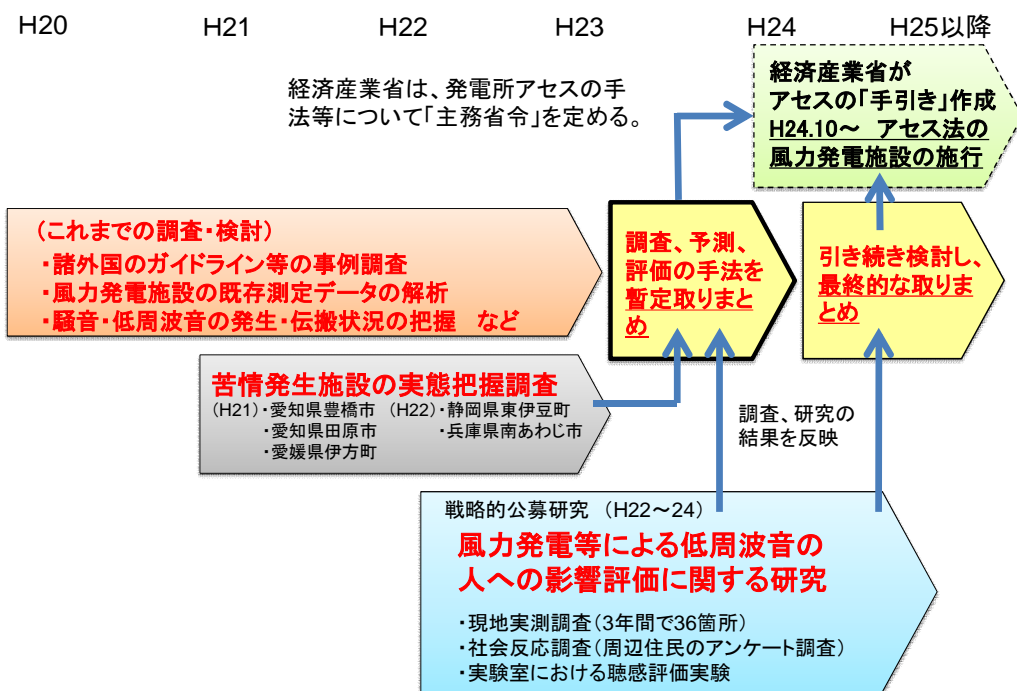


図 2-1 環境省における取り組み

## ■参考文献（第2章）

- 1) 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：風力発電導入ガイドブック（2008年2月改訂版9版）. (2008)
- 2) 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：風力発電のための環境影響評価マニュアル（第2版）. (2006)
- 3) 一般社団法人 日本風力発電協会：風力発電環境影響評価規定（JWPA 自主規制 Ver.1.1）. (2011)
- 4) 一般社団法人 日本小形風力発電協会：小形風力導入手引書 Small Wind Turbine Guide Introductions 第1版. (2012)
- 5) 公益社団法人 日本騒音制御工学会：環境省請負業務 平成23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（平成24年3月）. (2012)
- 6) American Wind Energy Association and Canadian Wind Energy Association：Wind Turbine Sound and Health Effects An Expert Panel Review. (2009)
- 7) Massachusetts Department of Environmental Protection Massachusetts Department of Public Health：Wind Turbine Health Impact Study:Report of Independent Expert Panel. (2012)
- 8) Health Impact Assessment Program Research and Education Services Office of Environmental Public Health Public Health Division Oregon Health Authority：STRATEGIC HEALTH IMPACT ASSESSMENT ON WIND ENERGY DEVELOPMENT IN OREGON. (2012)
- 9) 環境省 水・大気環境局 大気生活環境室：記者発表資料 「風力発電施設に係る騒音・低周波音の実態把握調査」について（お知らせ）. <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=13011>. (2010)
- 10) 環境省 総合環境政策局 環境影響評価課・環境影響審査室：第1回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資料，資料3-5. [http://www.env.go.jp/policy/assess/5-2windpower/wind\\_h22\\_1/mat\\_1\\_3-05.pdf](http://www.env.go.jp/policy/assess/5-2windpower/wind_h22_1/mat_1_3-05.pdf). (2010)
- 11) 環境省 総合環境政策局 環境計画課：記者発表資料 第三次環境基本計画（環境から拓く 新たなゆたかさへの道）の閣議決定について. <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=7033>. (2006)
- 12) 環境省 総合環境政策局 環境影響評価課：環境影響評価制度総合研究会報告書. (2009)
- 13) 中央環境審議会：今後の環境影響評価制度の在り方について（答申）（平成22年2月）. (2010)
- 14) 平成20年度移動発生源等の低周波音に関する検討会：諸外国における風力発電施設から発生する騒音・低周波音に係る基準等の状況について（暫定版）（平成21年3月）. (2009)

- 15) 社団法人 日本騒音制御工学会：環境省請負業務 平成 21 年度移動発生源等の低周波音に関する検討調査等業務 報告書（平成 22 年 3 月）. (2010)
- 16) 社団法人 日本騒音制御工学会：環境省請負業務 平成 22 年度移動発生源の低周波音等に関する検討調査業務 報告書（平成 23 年 3 月）. (2011)
- 17) 環境省 総合環境政策局 環境影響評価課：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 6 月）. (2011)

### 第3章 最新の研究等の収集・整理

#### 3.1 背景

風力発電施設における、騒音・低周波音の発生・伝搬状況の把握が十分に行われていない状況にあるため、現在、国内外において、予測及び評価手法についての調査・研究が進められている。環境省は、平成20年度（2008年度）から情報収集を始め、その構造や設置場所の特性を踏まえた様々な検討を行っている。

騒音・低周波音の評価手法・評価指標等の検討について現在継続中の主要な調査研究には、以下に示す「環境省戦略指定研究」等がある。概要を以下に述べる。

表 3-1 新たな知見・情報の調査対象

区分	研究等 概要
① 現在継続中の主要な調査研究	<p>○環境研究総合推進費戦略指定研究開発領域公募課題「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」</p> <p>平成22～24年度の3カ年で、全国34施設（36箇所）での詳細測定、アノイアンス及びTHI質問票を用いた自覚的健康状態の調査、低周波数騒音に対する閾値等の基本検討等が実施されている。</p>
	<p>○環境省地球温暖化対策技術開発事業「騒音を回避・最小化した風力発電に関する技術開発」</p> <p>平成23年に風車騒音の計測と分析、低減対策の検討を行い、実際に低減対策を施した設備について効果の検証・評価が行われている。合わせて、制御システムや騒音の予測手法を開発が行われている。</p>
	<p>○(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）「次世代風力発電技術研究開発」</p> <p>NEDOでは、風力発電等に係る技術開発が進められているが、我が国特有の外部条件に適した風車設計の研究開発として風車騒音予測手法の開発も実施されている。</p>
② 文献・資料等（国内・海外）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・平成23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</li> <li>・環境省における騒音・低周波音に係る各種マニュアル、手引書、事例集等</li> <li>・15th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control (22<sup>nd</sup> – 24<sup>th</sup> May 2012)</li> <li>・国際騒音制御工学会議 inter-noise 2012</li> <li>・各種文献（騒音制御、日本音響学会誌、等）、ホームページ 等</li> </ul>

#### 3.2 環境研究総合推進費戦略指定研究開発領域公募課題「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」

##### 3.2.1 目的

我が国では、平成12年頃から風力発電施設が建設され始めてきたが、近年、風力発電施設の近隣住民が騒音被害を訴えるケースが生じてきている。しかし、風車騒音に関してはまだ科学的知見が乏しく、評価基準が整備されるには至っていない状況にある。

そこでこの研究では、低周波数成分を含む風車騒音の影響について調べることを目的に、風車騒音の実測調査と施設周辺の住民を対象とした社会反応調査及びこの種の騒音に対する人間の生理・心理的反応を調べるための聴感評価実験等を平成22

～24年度の3年計画で実施している。これによって、風車騒音に対する行政的対応の指針ならびに環境影響評価のための事前評価手法の確立に資する基礎資料が蓄積された。

### 3.2.2 内容

この研究では、まず超低周波音領域まで測定可能な計測システムを開発し、それを用いて全国34施設（36箇所）の風力発電施設周辺の居住地域における風車騒音の暴露状況に関する実測調査を実施した。その結果から、風車騒音の実態把握、各種騒音評価量による分析及び風車騒音の特徴である振幅変調音の特性分析などを行った。この実測調査と同時に、風力発電施設周辺におけるインタビュー方式による社会反応調査を実施し、住環境に関する一般的印象や風車騒音によるアノイアンスの程度、風力発電に関する意見（評価）、睡眠影響、自覚的健康状態などについて調べた。これらの実測調査・社会反応調査は、地域特性が類似し、風車騒音の影響を受けていない地域（対照地域）18箇所を選定し、比較のための調査を行い、風車騒音の影響を受けている地域の結果と比較した。

これらの現地調査とは別に、低周波音に重点を置いてヒトの聴感反応を調べるための実験的研究も行った。そのために、まず東京大学生産技術研究所の音響実験室に超低周波音まで再生できる実験装置を作製し、これを用いて①低周波数の純音に対する聴覚閾値、②風車音に含まれる低周波数成分の可聴性及びラウドネスに対する寄与、③振幅変調音の聴感印象、④低周波数成分を含む一般環境騒音のラウドネス評価などの実験を行った。それらの結果から、一般的な風車騒音では可聴・可覚性に対する低周波数成分の寄与は小さいこと、風車騒音では振幅変調音がアノイアンスを高めていること、風車騒音の評価量としては、一般環境騒音の評価として一般的に用いられているA特性音圧レベル（騒音レベル）が適用できること、などが明らかになった（この研究の成果は、平成25年5月に取りまとめられる予定である）。



### 3.3 環境省地球温暖化対策技術開発事業「騒音を回避・最小化した風力発電に関する技術開発」

#### 3.3.1 目的

騒音を回避・最小化した風力発電に関する技術開発の基礎的検討として、我が国特有の地形や風況を考慮した風車音の特性、発生部位の特定、低減対策等について精査し、その結果を踏まえて、機械に起因する純音成分を 5 dB 低減、翼の空力音を 3 dB 低減することを目的としている。それと同時に、ウインドファームの発生騒音を監視し、発電量との関係を踏まえて適正に運転を制御するシステムを開発することとしている。

#### 3.3.2 内容

##### (1) 機械音低減技術の開発

###### 1) 音源の特性、音の放射性状等の確認

既設の実稼働風車を対象として、風車近傍の騒音・低周波音、ナセル内騒音、各構成部位の振動を測定し、加振試験等によって騒音、振動の発生状況を把握する。また、コンピュータ数値モデルによる解析結果と比較検討し、風車構造物の振動伝搬、音響放射性状を明らかにすることとしている。

###### 2) 低減技術の開発

吸・遮音材等を用いて増速機、発電機、ファン等を音源とするナセル及びタワーからの放射音の低減対策を検討し、実証試験を行う。また、アクティブ制振などの振動制御技術、制振材料の適用について開発・研究が行われる。

##### (2) 空力音低減技術の開発

ブレードの後縁形状や前縁表面粗度の変更等によるハード的な低減策と、風車の回転数制御等によるソフト的な低減策の開発が行われ、実証試験においてそれらの効果を確認する。また、ブレードで発生する空力音を予測し、発生音の低減に有効なブレード形状の開発・設計を可能とする手法の開発が行われる。

##### (3) 風車音自動監視・運転制御技術の開発

ウインドファームからの発生音を低減する方法として、気象条件に応じて風車運転制御による逸失発電量の最小化が可能となるような制御定数データベースを組み込んだ風車音の自動監視・制御システムの開発が行われている。この中には、風車の回転数制御及び最大出力制御と風車発生音の最適な運転制御手法の開発、騒音伝搬予測の検討も含まれている。

### 3.4 NEDO「次世代風力発電技術研究開発」

#### 3.4.1 目的

風車音の計測と周波数分析、風車音の発生部位の特定及び風車音低減対策の精査を実施し、実風車を用いた低減対策により主要項目ごとに掲げた騒音低減目標の達成を図り、風車音の監視・制御システムや風車音の予測手法を開発することを目的としている。このうち、風車音予測手法の開発としては、個々の風車からの合成音が風力発電施設周辺地域でどのように分布するかを風車音特性、地形及び風況の影響等を考慮して予測するシミュレーション技術開発を行うものである。

#### 3.4.2 内容

風車は、同じ時間であっても周辺地形や風況によって運転状態が異なることから、それぞれの風車から発生する音（音圧、周波数）も異なる。そこで、この事業においては、風車の運転状態を加味した風車合成音予測システムを構築することを目的としている。本システムで実装する機能は、①風車音源モデル、②風車音伝搬モデル、③風車音合成モデル、④同化技術・統計的補正モデルである。

平成24年（2012年）11月に行われた「NEDO 自然エネルギー成果報告シンポジウム2012」における発表によると、研究開発している本モデルにおいて音圧変動の再現が行うことができた等の成果が得られたということであるが、今後、モデルの精度検証及びモデル同化の実証をすべく事業者に協力を得てフィールドでの音計測を実施するとともに、事業者をはじめとする使用者が使えるようにプラットフォームの準備を進めていく段階であるということであった。

### 3.5 国内における過去の低周波音に関する研究について

#### 3.5.1 概要

我が国では、風車音について、低周波音が問題であるとの声がある。しかし、風車から発生する低周波音の影響については、詳細は、必ずしも明らかになっていないのが実情である。

そこで、ここでは、国内における過去の低周波音に関する研究結果について整理した。このうち、最近の研究については「平成 23 年度報告書」の第 2 章に詳細に記載されていることから、原則として 5 年前（平成 20 年（2008 年））程度を目安とし、それより以前の研究に注目した。

整理にあたっては、まず、我が国における低周波音問題の変遷を記載し、そのあとに項目別の整理を行った。項目としては、計測・伝搬・影響・評価の 4 つを取り上げ、各項目について更に細分した。計測に関しては、①測定方法、②風雑音の影響、防風スクリーンの効果について、伝搬に関しては、①距離減衰、②家屋内外音圧レベル差について、影響に関しては、①低周波音暴露実験室、②聴覚・感覚閾値、③振動感覚閾値、④心理的影響、⑤生理的影響、⑥睡眠影響、⑦物的影響について、また、評価方法に関しては、心理的・生理的影響と物的影響の評価特性等について、それぞれ整理した。

#### 3.5.2 内容

##### (1) 我が国における低周波音問題の変遷

はじめに、我が国における低周波音問題の変遷について簡単にまとめた。

我が国で低周波音問題が発生したのは昭和 45 年頃のことである。当初は工場・事業場や道路高架橋、ダムの放流等に起因して発生する超低周波音による建具のがたつき等の物的苦情が多くを占めていたが、昭和 55 年頃までに工場事業場で超低周波音の対策が進み、苦情件数は減少した。環境庁では、昭和 51 年から低周波音（当時は低周波空気振動と呼ばれた）の実態調査を開始し、昭和 59 年 12 月にそれまでの調査結果をとりまとめて公表している<sup>1)</sup>。

その後、平成 5 年頃の新幹線の高速化に伴い、高速列車のトンネル突入時に発生する超低周波音による物的苦情が増えはじめ、環境庁では平成 6 年から低周波音に関する調査を再開した。これについては、トンネル緩衝工の設置等の対策が行われ、苦情は減少した。

環境庁では、調査委員会における検討結果を基に平成 12 年 12 月に「低周波音の測定方法に関するマニュアル」を公表し、全国実態調査を開始した<sup>2)</sup>。

平成 12 年以降、近隣の店舗や民家等に設置された空調室外機や冷凍機、ボイラー等の機器を発生源とする低周波音に係る不快感や不眠等の心身苦情が増加して

いる。苦情発生個所は暗騒音レベルが低く、観測される低周波音は音圧レベルの変動が小さく 20 Hz より高い周波数域に主要成分がある。寄せられた「低周波音苦情」の中には 100 Hz 以上の騒音が原因と思われるものや耳鳴り等の苦情申立者自身の問題が原因である場合も含まれており、対応が難しくなっている。そこで、環境省では、このような苦情に的確に対応するため、平成 16 年 6 月に「低周波音問題対応の手引書」を公表した<sup>3)</sup>。

## (2) 低周波音の測定器、測定方法

超低周波音を計測するため、セラミックマイクロホンと振動レベル計を用いた低周波音測定器が開発された<sup>4)</sup>。測定周波数範囲は 1~90 Hz (1/3 オクターブバンド中心周波数で 1~80 Hz) である。昭和 51 年から環境庁では低周波空気振動(低周波音)の全国実態調査を開始したが、測定器に「低周波音マイクロホン+振動レベル計」を一部使用していたため、低周波空気振動の測定周波数範囲の上限が 1/3 オクターブバンド中心周波数 80 Hz となっている。

昭和 54 年には騒音計タイプの低周波音レベル計が、平成 11 年には G 特性と周波数分析機能が付いた低周波音レベル計が製品化された。

低周波音の測定方法については、社団法人 日本騒音制御工学会低周波音分科会により、低周波音、超低周波音の定義及び測定方法がとりまとめられた<sup>5)</sup>。この提案の考え方が平成 12 年に環境庁でまとめられた「低周波音の測定方法に関するマニュアル」の基になっている。このなかで、低周波音は 1/3 オクターブバンド中心周波数で 1~80 Hz の音波、超低周波音は 1~20 Hz の音波と定義している。評価量は G 特性音圧レベル(超低周波音)と 1/3 オクターブバンド音圧レベルとしている。1/3 オクターブバンド音圧レベルとしたのは、低周波音・低周波数騒音の評価加重特性が国内・海外とも定まっていないことによる。

環境庁により公表された「低周波音の測定方法に関するマニュアル」<sup>2)</sup>には、低周波音及び超低周波音の定義や低周波音を測定する際の測定方法、測定量、注意点などが記載されている。測定マニュアルの中で、1/3 オクターブバンド中心周波数 1~80 Hz の音波を低周波音、そのうち 1~20 Hz の音波を超低周波音と定義している。また、測定量は G 特性音圧レベル(超低周波音)と 1/3 オクターブバンド音圧レベルとしている。

低周波音は低い周波数域まで測定するため、風雑音の影響を受けやすい。大熊は、低周波音測定における防風スクリーンの風雑音低減効果を把握する目的で現場実験を実施した<sup>6)</sup>。それによると、直径 20 cm のウレタン製防風スクリーンでおおよそ 10~20 dB で、高さ 1.2 m に設置するよりも地上に設置した方が風による影響が少ないことが分かったとしている。

低周波音測定における風雑音低減の研究も行われており、落合らは、低周波音

測定の際に問題となる風雑音を低減するため、二重ネットと円筒ウレタンを組合せた低周波音の自動監視用防風スクリーンの開発<sup>7)</sup>、低周波音の現場測定用に開発した半球二重ネット構造の防風スクリーンに関する報告が行われている<sup>8)</sup>。

高橋（盛）らによる、セル数の異なる数種類のウレタン製フィルタ材を用いた円筒形ウインドスクリーンと二重ネットと円筒ウレタンを組合せたウインドスクリーンの風雑音低減効果の測定<sup>9)</sup>や高桑らによる信号処理を用いた風雑音低減<sup>10)</sup>、丹羽らによる風速等の情報を用いた風雑音低減の試み<sup>11)</sup>も行われている。

### (3) 低周波音の伝搬

低周波音問題が発生した当初は、苦情が発生して問題となった主な発生源は、工場・事業場や道路高架橋、鉄道トンネル、ダム放流等であったことから、距離減衰の測定は最大でも100～300 m程度までしか行われていない。この程度の範囲では、低周波音についても点音源であれば、-6 dB/倍距離で減衰する傾向がある。これより、遠方への伝搬については、発破や爆発、砲撃等のような大音圧の発生源による騒音・低周波音の測定結果しかない。

岡本らによる砲撃音の伝搬測定結果の報告の音圧ピーク値を用いた距離減衰結果をみると、600 m程度までは概ね-6 dB/倍距離で減衰する傾向がみられるが、それより遠方のデータは地形等による遮蔽の影響か、減衰が大きくなっている<sup>12)</sup>。また、井清らによる、現場で収録した発破音データから出した評価加重特性の違いによる距離減衰傾向の違いの比較によると、発生源からの距離が離れるとA特性音圧レベルは、低周波数域を考慮した他の周波数加重特性に比べて減衰が大きくなる傾向を示したとしている<sup>13)</sup>。

低周波音の家屋内外音圧レベル差については、環境庁による実態調査の結果がある。低周波音の苦情発生個所の家屋内外で測定された低周波音の音圧レベル差を家屋構造別及び窓構造別に整理した報告によると、コンクリート造は木造家屋や木造モルタル家屋と比較して、より内外音圧レベル差が若干大きい。木造家屋や木造モルタル家屋の内外音圧レベル差については、6.3 Hz以下ではほとんどなく、8 Hz以上ではおよそ3 dB/oct.の傾向を示している<sup>3)</sup>。落合らによる、航空機から発生する低周波音を対象とした家屋内外の音圧レベル差の測定によると、アルミサッシ窓の木造家屋における内外音圧レベル差は6.3 Hz以下ではほとんどなく、8 Hz以上ではおよそ5 dB/oct.の傾向を示したとしている<sup>14)</sup>。

### (4) 低周波音暴露実験室

低周波音の被験者実験を行うための実験室には、聴力測定室のようなボックスタイプと被験者が数人入れるようなある程度の大きさを持つものに大別される。例えば、前者には山梨大学の実験室が、後者には財団法人 小林理学研究所<sup>15)</sup>、独

立行政法人 産業技術総合研究所や独立行政法人 労働安全衛生総合研究所、東京大学生産技術研究所<sup>16)</sup>等の実験室がある。後者の方は、実験室の容積が大きくなると、音圧レベルが上がらない、周波数が高くなると場所によって音圧レベルが異なるなどの問題点はあるが、ボックスタイプに比べて閉塞感は少ないという利点がある。

## (5) 低周波音の閾値

低周波音の閾値測定は、時田や山田、町田、犬飼をはじめとして、多くの研究者により測定されており、ほとんど同様なデータが得られている。20 Hz 以上については、ISO 226 : 2003 あるいは ISO 389-7 : 2005 に示された最小可聴値の値とほぼ同じであり、20 Hz 未満についてはおよそ  $-12 \text{ dB / oct.}$  の傾向を示している。海外における測定結果と比較してもほぼ同様の傾向を示している。

倉片らは、低周波音・可聴音の閾値をパーセンタイル値で表示した。それによると、閾値のばらつきは $\pm 6 \text{ dB}$ 程度であることが分かった<sup>17)</sup>。

犬飼らは、被験者実験により、一般成人と高齢者の低周波音による閾値を比較した。その結果、30～50 才代では一般成人との差はごくわずかであるが、60 才代、70 才代では閾値は上昇し、一般成人よりも数 dB 以上大きな音でないと感知できないことが分かったとしている<sup>18)</sup>。60 才代以上で閾値が上昇する傾向は、戦略研究における実験結果<sup>16)</sup>と類似している。

山田らは、低周波音の苦情申立者の感覚閾値を測定している。それによると、苦情申立者は健聴者と比べて特に感度が良いという結果は得られなかったとしている。また、低周波音の苦情申立者は、低周波音を知覚すると反応が激しく、感受性が強かったとしている<sup>19)</sup>。

犬飼らは、一般成人と苦情申立者を対象に聴覚閾値を測定した。それによると、苦情申立者の年齢が 40 才以上であったこともあって、閾値は一般成人より高かったとしている<sup>20)</sup>。

山田らは、聾者の感覚閾値を測定し、健聴者（学生）の閾値と比較した。これによると、聾者の閾値は健聴者の閾値より 30 dB 程度大きかったとしている<sup>21)</sup>。

岡本らは、耳栓やイヤーマフを被験者に装着させて超低周波音の閾値を測定している。それによると、耳栓をした場合の閾値は耳栓をしない場合よりも 25 dB 程度高い結果となっている<sup>22)</sup>。

松本らは、10 Hz、20 Hz 及び 40 Hz の純音による閾値と、同じ周波数より高周波数側をカットした広帯域ノイズの閾値を測定し比較している。同じ周波数で比較すると広帯域ノイズの閾値は純音による閾値よりも大幅に低くなったように見えるが、閾値を決定しているのは 40 Hz 以下の低周波音ではなく、さらに高い周波数域の可聴域の音であることを示唆する結果となっていた<sup>23)</sup>。

Ryuらは、150 Hz以下の周波数域において、2つあるいはそれ以上（2～6つ）の複合音を提示した場合の閾値を被験者実験により求めた。それによると、2つの周波数成分から成る複合音の場合、両成分の音圧レベルが等しい場合には閾値に変化はみられなかったが、閾値の周波数特性と同等の音圧レベル差を持たせて2音を提示した場合（感覚的に同等な場合）には閾値が低くなる傾向がみられたとしている<sup>24)</sup>。

倉片らは、2つの純音で周波数0.5～8 Hzのビートを発生させ、閾値を測定したところ、最大値ではなくエネルギー平均値で閾値が決まることが分かったとしている<sup>25)</sup>。

#### (6) 低周波音の振動感覚閾値

高橋（幸）は、低周波音を暴露されたときに生じる振動感覚の閾値を、20～50 Hzの周波数について実験室実験により検討した。その結果、振動感覚閾値は聴覚閾値に比べて5～15 dB高かった。また、周波数が大きくなるにつれて振動感覚閾値も低くなる傾向がみられたが、40 Hzで最も低くなる傾向がみられたとしている<sup>26)</sup>。

#### (7) 低周波音の心理的影響

中村らは、低周波音（1/3オクターブバンドノイズ）を被験者に提示し、あらかじめ用意された言葉の中から提示音に最も近いと思われる感覚の言葉を記載する実験を行い、40 Hz付近を中心として「圧迫感、振動感」が特に強く感じられることが分かったとしている<sup>27)</sup>。

犬飼らは、低周波音が継続して発生している場合を想定した不快感及び居間・寝室等における許容値を実験的に求めた。その結果、周波数が低くなるとより大きな音でないと同じ不快感に感じないこと、居間・寝室等で低周波音を聞いた場合、低い不快感でも許容できない傾向がみられることが分かったとしている<sup>28)</sup>。

また、犬飼らは、低周波音による「居間の許容値」について、一般成人と高齢者の被験者実験結果を比較した。その結果、20～50才代では差が小さく、60才代、70才代では一般成人との差が顕著になることが分かったとしている<sup>18)</sup>。

さらに、犬飼らは、一般成人と苦情申立者について閾値及び低周波音による「居間の許容値」を被験者実験により求め、一般成人と苦情申立者の結果を比較した。それによると、苦情申立者は高齢の人が多かったため閾値は一般成人より高かった。一方、許容値については、苦情申立者は音が聴こえただけで許容できない傾向がみられ、一般成人の許容値より低かった<sup>29)</sup>。その後、環境省の「低周波音問題対応の手引書」に関連して、一般成人と苦情申立者に対して聴覚閾値及び居間・寝室の許容値について実験室実験が行われた。実験結果は、上記の実験結果と同様に、苦情申立者の閾値は一般成人より高く、許容値は一般成人より低かった。

許容値の結果を基に、寝室の許容値の10%タイル値を「心身に係る苦情に関する参照値」とした。また、実験では狭帯域ノイズとその複合音に対する許容値についても検討が行われた<sup>20)</sup>。

## (8) 低周波音の生理的影響

岡井らは、低周波音による生体反応を調べるための予備的な実験として、超低周波音を暴露して心電図、心拍数、血圧、呼吸数、脳波、まばたき及び胃の運動を調べている。提示レベルは110~120 dB程度、暴露時間は最大で1時間程度である。その中で、周波数20 Hz：音圧レベル120 dB（以下、同じ。）の低周波音暴露時に呼吸波形の脱落、眼振の発症、悪心・嘔吐（風邪等の健康障害のある被験者）等がみられた例があったことも報告している<sup>30)</sup>。

環境庁では、昭和51~59年にかけて低周波音（当時は低周波空気振動と呼ばれた）に関する実態調査や実験を行った。生理的な影響に関しては、心拍数、呼吸数、まばたき（及び眼振）、血圧及び脳波誘発電位を生理的指標とし、ストレス反応については尿中ホルモンを指標として、低周波空気振動暴露実験室において被験者暴露実験を実施した<sup>3)</sup>。その結果は以下のとおりである。

①心拍数、呼吸数及びまばたき数については、例えば、10 Hz：110 dBといったかなり高いレベルの低周波空気振動の暴露によっても、その変化は一定の傾向を示さず、有意な変化はみられなかったとしている。また、暴露中に悪心や嘔吐等の医学的に重要な特殊反応はみられなかったとしている。

②血圧については10 Hz：110 dB、20 Hz：100 dB、40 Hz：90 dBの低周波空気振動を被験者に暴露して実験を行っている。それによると、10 Hz：110 dBの収縮期血圧の変化についてのみ有意な変化が得られたが、それ以外の条件では有意な変化は検出されず、実験で設定した暴露条件下では、低周波空気振動が血圧へ及ぼす明確な影響はみられなかったとしている。

③脳波誘発電位については、100 Hz以上の、高い周波数領域の方が反応ありの割合が高いという結果が得られ、音圧レベルと反応の有無に関しては、明確な関係は得られなかったとしている。

④ストレス反応（尿中ホルモン量）については、定常純音の低周波空気振動では、例えば10 Hz：110 dBといった高いレベルの暴露によっても有意な変化はみられなかったとしている。2~20 Hzの成分を有する変動模擬音の低周波空気振動では、暴露レベル $L_{50} = 75$ 、85及び95 dB、変動幅 $\Delta = 6$  dB及び16 dBの暴露条件のうち、 $L_{50} = 95$  dB、変動幅 $\Delta = 16$  dBで有意な変化がみられたのみで、それ以外の条件では有意な変化は検出されなかったとしている。また、全体的に見て、実験に用いた暴露条件下では、低周波空気振動が副腎機能に対して大きな影響を与えるという結果は得られなかったとしている。



町田は、自身の研究も含めた低周波音の暴露実験による生理影響の研究に関するレビューをとりまとめている。それによると、実験条件では、試験音の周波数は2～100 Hz程度、音圧レベルは感覚閾値を中心に50～120 dB程度、試験音の提示時間は数分から1時間程度である。実験結果では、感覚閾値以上で生理反応が現れるようであるが、一定の傾向を見出すには至っていないとしている<sup>31)</sup>。

#### (9) 低周波音の睡眠影響

環境庁で昭和51～59年にかけて行われた低周波音に関する実態調査、実験の中で、睡眠影響については、低周波空気振動（定常純音）のみを暴露した場合と、建具のがたつき音も併せて暴露した場合について実験を行っている<sup>31),32)</sup>。

①低周波空気振動のみによる睡眠影響に関する実験結果によると、一般環境中に存在するレベル程度の低周波空気振動の暴露では、睡眠に対する影響は現れなかったが、これより高いレベル（例えば10 Hz : 100 dB）の低周波空気振動暴露によって、浅い睡眠に影響が現れ始めるという結果が得られたとしている。

②低周波空気振動に建具のがたつき音を付加した場合の睡眠影響に関する実験では、10 Hz : 100 dBの低周波空気振動、騒音レベル30 dB、50 dBのがたつき音及びこれらを複合した暴露音を用いて睡眠実験を行っている。実験結果によると、がたつき音と低周波空気振動と組み合わせた場合には、どちらか睡眠妨害の大きい方の影響のみが現れる傾向がみられ、複合暴露によって妨害が増大するという所見は得られなかったとしている。

#### (10) 低周波音の物的影響

環境庁で昭和51～59年にかけて行われた低周波音に関する実態調査、実験の中で、建具のがたつき等の物的影響についても実験を行っている。実験では、15種類の建具を対象に各建具の揺れやすい3つの周波数を選択し、定常的な低周波音（純音）を用いて、低周波音による建具のがたつき始める音圧レベルを求めている。これによると、揺れやすい建具では、低周波音の音圧レベルが5 Hz : 70 dB、20 Hz : 80 dB程度からカタカタと音を発生してがたつき始めることが分かったとしている<sup>33)</sup>。

落合らは、低周波音による建具のがたつき始める音圧レベルを定常的な低周波音（純音）を用いて実験的に求めた。実験した周波数範囲は2～50 Hz、対象とした建具は63種類である。併せて、建具のがたつきに寄与する要因についても実験的に検討した。それによると、建具のがたつき始める音圧レベルは建具の大きさ・重さ・種類・取付け条件等によって異なり、30～40 dB程度のばらつきがあることが分かった。また、環境庁による調査で得られた「低周波音による建具のがたつき閾値（昭和52年）」（以下、「建具のがたつき閾値」という。）は、周波数別に得

られた建具のがたつき始める音圧レベルの「平均-標準偏差」に相当するとしている<sup>34)</sup>。

国松らは、低周波音による建具のがたつきについて、個別要素法 (DEM) を用いた低周波音正弦波入力に対する建具の応答解析を行った。それによると、建具の接触回数を基に、解析結果が「建具のがたつき閾値」<sup>33)</sup>と傾向的に概ね一致するとしている<sup>35)</sup>。

一ノ瀬らは、低周波音による窓振動の共振特性と衝撃波形 (単発波形) の低周波音による建具のがたつき始める音圧レベルを測定するのに適した計測器の時定数について検討した。その結果、窓の振動は、1/6 oct.程度の幅の共振現象であること、低周波音レベル計の時定数は 0.63 秒又は 1.0 秒が適していることが分かったとしている<sup>36)</sup>。

落合らは、道路高架橋周辺で収録した実音を用いて建具のがたつき実験を行い、定常純音による建具のがたつき閾値と比較したところ、実音の最大値と概ね対応があることが分かった。また、バースト音と定常音の比較では、バースト音の継続時間が 1 秒以上では、ほぼ定常音のがたつき閾値と変わらないことが分かったとしている<sup>37)</sup>。

## (11) 低周波音の評価方法

低周波音の評価方法として、評価重み特性によるものと、評価曲線と周波数分析結果とを比較するものがある。

### ○低周波音による心理的・生理的反応に関する評価方法

中村らは、低周波音の優先感覚実験結果<sup>27)</sup>により導かれた、低周波音特有の感覚「圧迫感・振動感」に基づく低周波音の評価加重特性”LSL”を提案した。LSL 特性は 2~500 Hz で提案されており、50 Hz を基準 (相対レスポンス 0 dB) として低周波数側及び高周波数側とも急な傾斜な特性となっている<sup>38)</sup>。このほか、測定事例等では、中村らによる優先感覚実験結果の、「圧迫感・振動感」や「気になる-気にならない」の評価曲線と低周波音の周波数分析結果を比較している例も見受けられる。

犬飼らは、低周波音が可聴音と複合した場合の心理反応との適合性を考慮した評価加重特性”LF”を提案した。LF 特性は 5~500Hz で提案されているが、100 Hz 以下では A 特性に比べて傾斜が緩やかになっている<sup>39)</sup>。犬飼らは、低周波音 (純音) と 1/3 オクターブバンドノイズを用いた心理実験を行い、低周波音の不快感評価のための周波数荷重特性を推定し、その信頼性等について検討している。それによると低周波音とノイズの複合音では A 特性よりも LF 特性の方が対応よく、不快感評価に使えることが示唆されたとしている<sup>40)</sup>。

中野は、2～20 Hz について ISO 提案の G1 特性（後の G 特性）をベースにした超低周波音の感覚閾値に基づく A1 特性、A 特性のうち 20～90 Hz を抜き出した A2 特性を提案している<sup>41)</sup>。

環境省では、地方公共団体職員を対象として、室外機やボイラー等の固定発生源から低周波音に係る苦情が発生した際の対応方法として「低周波音問題対応の手引書」をとりまとめている。その中で、発生源の稼働状況と苦情申立者側の物理量の変化や苦情申立者の反応との間に対応関係が認められた場合に、苦情の原因が低周波音か否かを判断するための目安となる値として「参照値」が示された<sup>5)</sup>。このうち、低周波音による不快感等の心理的・生理的苦情に関しては、「低周波音による心身に係る苦情に関する参照値」が示されている。なお、犬飼<sup>42)</sup>や町田<sup>43)</sup>の文献に、この参照値の根拠となったデータ等の解説が記載されている。

松井は、基底膜の変位と不動毛での機械的電気変換メカニズム（順応を含む）に基づくことにより、100 Hz 以下の臨界帯域内において、周波数に依存せずに純低周波音の知覚を評価できる可能性のある指標を見出したとしている<sup>44)</sup>。しかし、前出の Ryu らによる実験<sup>24)</sup>によれば、複合音の周波数特性（周波数的な音圧レベル）により影響が異なるという結果が得られており、今後更なる検討・考察が望まれる。

## ○低周波音による物的反応に関する評価方法

中村らは、LSL 特性に加えて、建具のがたつき実験結果に基づく Lx 特性も提案している。Lx 特性は 5～10 Hz が平坦特性で、10 Hz より高い周波数では  $-12 \text{ dB / oct.}$  の傾斜となっている<sup>45)</sup>。

中野も、A1 特性、A2 特性に加えて、2～20 Hz の周波数範囲について  $-6 \text{ dB / oct.}$  の傾斜を持つ建具のがたつきを考慮した B1 特性を提案している<sup>41)</sup>。

環境省より公表された「低周波音問題対応の手引書」では、建具のがたつき等の物的苦情を対象とした「低周波音による物的苦情に関する参照値」も示されている。なお、落合<sup>46)</sup>の文献に、参照値の根拠となったデータ等の解説が記載されている。

測定事例等では、環境庁による「建具のがたつき閾値」<sup>33)</sup>と低周波音の周波数分析結果を比較している例も見受けられる。

井上は、超低周波音に係る苦情が発生した場合の診断、調査、防止対策方法及び目標値について述べ、既存の事例を基に対策の目標値として「建具のがたつき閾値」より 10 dB 低い値を提案している<sup>47)</sup>。

### 3.6 その他の文献・資料等について

国内外の騒音関連学会において、平成 24 年度に発表された論文のうち風車騒音に関する深いものを調査した。

#### 3.6.1 15th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control (22<sup>nd</sup> - 24<sup>th</sup> May 2012)

この会議は低周波数の騒音・振動に関する国際会議で、隔年に開催されており、今回は 15 回目である。この会議で発表された論文のうち、風車騒音に関する論文の概要は以下のとおりである。

① Brian Howe, Nick McCabe, Sean Ferguson : Infrasonic measurements, pre- and post-commissioning, Ontario wind farm.

概要：カナダ・オンタリオ州の風力発電施設を対象として行われた超低周波音領域の音圧レベル測定について報告している。地中にウインドスクリーンを装着したマイクロホンを設置する方法による長期にわたる屋外測定と住宅（2 軒）の内部における有人測定である。内外で類似した結果が得られたとしている。

② Jørgen Jakobsen : Danish regulation of low frequency noise from wind turbines.

概要：デンマークの風車騒音に関する法令（2012 年 1 月より施行）では、低周波音に関する新しい内容が追加された。この新たな規制では、室内における低周波音の 10~160 Hz（1/3 オクターブバンド）の周波数範囲における A 特性音圧レベルが 20 dB 以下と規定された。

③ Mahtab Kamali, Siva Sivothythaman and Stephen McColl : Analysis of Models for Audible and Low Frequency Noise Prediction for Wind Turbine Case Studies.

概要：再生可能エネルギー利用としての風力発電の最近の傾向について概観し、風車騒音の低周波音問題についてデンマークにおける問題を概説している。

④ Christian Sejer Pedersen, Henrik Møller, Steffen Pedersen : Low-frequency noise from large wind turbines – additional data and assessment of new Danish regulations.

概要：最近の大型風車では低周波数成分が大きくなっており、デンマークの新しい騒音規制では低周波騒音の規制が付け加えられた。この報告では 3.6 MW までの風車のデータが追加された。その中で、250 Hz 以下の帯域に主成分

が示された。したがって低周波数成分が重要であることは間違いない。デンマークの規制では計算に基づいて室内の音圧レベルを予測することになっているが、それでは過小評価になるおそれがある。

⑤ **Werner Richarz, Harrison Richarz : Can Infrasonic Lift Noise from Wind Turbine Rotors Contribute to Audible Sound?**

概要：風車騒音の自己相関関数から風車のブレードの通過周波数で周期的なパルスが生じていることが分かる。その振幅から風車騒音の低周波数成分のパワーが分かるが、それは 50 %あるいはそれ以下である。自己相関関数の形は最初の数個の倍音成分で決まり、それより高い倍音成分は位相がランダムになるため自己相関関数の形には大きく影響しない。低周波数のパルスは実際には非可聴で、位相がランダムになった成分が振幅変調音となって聞こえている。

⑥ **Thomas Sørensen : Experiences with the New Danish Rules for the Calculation of Low Frequency Noise from Wind Turbines.**

概要：2012年2月に改正されたデンマークの風車騒音の規制では、風車からの低周波騒音に関する条件が付け加えられた。それには風車からの発生騒音の低周波数成分の測定方法と伝搬計算モデルが含まれている。しかし、これらを実際に適用する際には多くの問題があり、それらについて実例を基に述べている。

⑦ **Bruce Walker : Time domain analysis of low frequency wind turbine noise.**

概要：超低周波音及び低周波音の位相も正確に把握できるフィールド測定に適した測定システムを開発した。このシステムでは、複数の対を組んで相互相関関数を求めることによって音源位置の推定も可能である。本報告では、このシステムの進歩及び実際の適用例を示す。それと同時に聴覚閾値とアノイアンスの判定をするための低周波数までの再生が可能なシステムを組み立てた。

⑧ **Hiroo Yano, Tatsuya Ohta, Hideki Tachibana : Development of measurement system for wind turbine noise.**

概要：平成22年度から開始された風車騒音に関する環境省戦略指定研究に関する発表で、風車騒音の測定用の広帯域音圧レベル計の試作、風雑音を防ぐためのウインドスクリーンの開発を行い、その性能を調べるために実施した実験的検討の結果を述べている。

- ⑨ Hideki Tachibana, Shinichi Sakamoto, Sakae Yokoyama, Hiroo Yano : Audibility of low frequency sounds – Part 1: Experiment on hearing thresholds for pure tones.

概要：平成 22 年度から開始された風車騒音に関する環境省戦略指定研究に関する発表で、低周波数の音に対するヒトの可聴性を調べるための実験的研究として、実験設備の作成、それを用いた基礎的実験として行われた 20～200 Hz までの純音に対する聴覚閾値の実験結果が報告されている。

- ⑩ Sakae Yokoyama, Shinichi Sakamoto, Hiroo Yano, Hideki Tachibana : Audibility of low frequency sounds – Part 2: Audibility of low frequency components in wind turbine noises.

概要：平成 22 年度から開始された風車騒音に関する環境省戦略指定研究に関する発表で、現場で測定された風車騒音とモデル音を用いて風車騒音の低域成分の可聴性について M 系列相関の手法を適用して行った聴感実験の結果を報告している。この実験では、一般の風車騒音に含まれている超低周波音領域の成分は非可聴であることを確認している。

### 3.6.2 国際騒音制御工学会議 inter-noise 2012

この会議は騒音・振動制御を主な内容とする国際会議で、世界各地で毎年開催されている。この会議で発表された論文のうち、風車騒音に関する論文の概要は以下のとおりである。

- ① Hideki Tachibana, Hiroo Yano, Shinichi Sakamoto, Shinichi Sueoka : Synthetic research program on wind turbine noise in Japan.

概要：平成 22 年度から開始された風車騒音に関する環境省戦略指定研究に関する発表で、この研究プロジェクトで行われている全国規模の実測調査と社会反応調査、低周波音の聴感印象に関する実験室実験の概要が報告された。

- ② Valentin Buzduga, Sarah Taubitz : On the Characterization of the Secondary Windscreens Used in Wind Turbine Noise Measurements.

概要：風車騒音の音響パワーレベル測定に関する国際規格 IEC61400-11 に関して、二次防風スクリーンの性能測定について技術的な検討結果を述べている。

- ③ Jesper Gomes : Noise Source Identification with Blade Tracking on a Wind Turbine.

概説：風車騒音の発生メカニズムの解析のためにアレーマイクロフォンを用いた Beam Forming の手法が有効であるとし、その原理と応用、効用について述べている。

- ④ Charlie Pearson, Will Graham, Tamás Bertényi : Phased array measurement and simulation of vertical axis wind turbine noise.

概説：垂直軸風車の騒音発生メカニズムについて、風車の翼に対する乱流の作用、翼の上で騒音が発生する条件などシミュレーションによる検討結果について述べている。

- ⑤ Conny Larsson, Olof Öhlund : Variations of sound from wind turbines during different weather conditions.

概要：風車騒音の伝搬に影響を与える気象条件及び地域条件について検討するために、スウェーデンの森林地域、湾（水上）及び複合的な地表条件の地域において、1～2年間にわたる長期観測を行った結果が報告されている。

- ⑥ Lars S. Søndergaard : Noise from wind turbines under non-standard conditions.

概要：風車騒音の発生メカニズムに関して、翼に対する風の入射条件について二つの方法による実験的研究の結果を述べている。

- ⑦ Peter McPhee, Amy Barad, Tyler Studds, Leigh Cameron, Martha Broad, Nils Bolgen : Development of a pre-construction acoustic methodology for wind energy projects.

概要：風車騒音の環境影響評価の手法について、The Massachusetts Clean Energy Center (MassCEC)が開発した騒音予測、実測、データ分析などの方法の概要を報告している。

- ⑧ Peter H. Guldberg : Analysis of background low frequency sound levels at four wind energy sites.

概要：風力発電施設建設前の暗騒音について、風車の稼働条件の風速以上の条件における低周波数（12.5～500 Hz）のレベルを4カ所で測定した結果について報告している。

- ⑨ Lawrence Cheung, Giridhar Jothiprasad, Hao Shen : Large eddy simulation of airfoil self-noise.

概要：風車の翼近傍における騒音の発生メカニズムについて Large Eddy Simulations (LES)による解析結果と実測結果の比較について述べている。

- ⑩ Seunghoon Lee, Soogab Lee : Wind turbine noise reduction by means of serrated trailing edges.

概要：風車の流体力学的騒音を低減するために、翼端を鋸歯状にすることによる効果を実験的に調べた結果、5 dBA の低減効果が得られたとしている。

- ⑪ Takashi Ohmura, Masamitsu Nakanishi, Nozomi Sakurai, Akira Shimada, Atsushi Kawabara : Investigation, prediction and assessment of wind turbine noise and infrasound in Japan.

概要：日本における風車騒音の現状とそれに対する取り組み方に関する環境省の方針、特に 2012 年から施行される環境影響評価法に風車騒音が含まれることなどを紹介している。

- ⑫ Martin T. Schiff, Shannon R. Magari, Clinton E. Smith, Annette C. Rohr : Evaluation of wind turbine-related noise in western New York State.

概要：米国ニューヨーク州における風力発電施設周辺の 5 カ所と風車騒音がない対照地域 2 カ所で気象条件と騒音の測定を行い、社会反応調査との対応について調べた結果を報告している。

- ⑬ David S. Michaud, Steven E. Keith, Katya Feder, Tara Bower : Health Impacts and Exposure to Wind Turbine Noise: Research Design and Noise Exposure Assessment.

概要：カナダでも風力発電が増加しており、事業者は 2025 年には総発電量の 25 % を占める見込みを示している。しかし、風車騒音による健康影響が懸念されている。この問題に対する Health Canada と Statistics Canada の共同研究の方針が述べられている。

- ⑭ Francisco de Assis Leandro Filho : Evaluation of the structural response of typical wind turbines by stochastic methods.

概要：風車の構造力学、発電量などを確率統計学的に考察し、解析ソフト ANSYS を用いて検討した結果を述べている。

- ⑮ Malgorzata Pawlaczyk-Luszczynska, Adam Dudarewicz, Kamil Zaborowski, Malgorzata Zamojska, Malgorzata Waszkowska, Mariola Sliwinska-Kowalska : Annoyance related to noise from wind turbines in subjective assessment of people living in their vicinity.

概要：風力発電施設周辺における騒音レベルの計算値とインタビュー方式による Golberg General Health Questionnaire GHQ-12 を含む住民反応調査の結果の



対応を調べており、騒音レベルが大きくなると反応が高くなること、また視覚的な影響もアノイアンスに関連することなどを述べている。

⑩ Stephen E. Ambrose, Robert W. Rand, Carmen M. E. Krogh : Falmouth,

Massachusetts wind turbine infrasound and low frequency noise measurements.

概要：マサチューセッツ州 Falmouth に建設された風力発電周辺で予想外の騒音及び健康影響が発生した。その周辺における騒音測定と健康影響について調査した結果、風速、風車の騒音発生出力と健康影響の症状の間に高い相関があったとしている。

⑪ Alec N. Salt, Jeffery T. Lichtenhan : Perception-based protection from low-frequency sounds may not be enough

概要：哺乳動物の聴覚は低周波数の音に対しては内毛細胞(IHC)より外毛細胞(OHC)の方が感度が高く、知覚できないようなレベルの低周波音にも反応するとの前提で、話声の領域に含まれるような高音域成分の有無によって低周波数の音に対する耳の感度が変化することを実験データによって示し、聴覚的に知覚されないような低周波数の音も耳は感知し、それによって人間に影響を与えている可能性があるとしている。

その他に、風車騒音によるアノイアンスに関する以下の論文が発表された。

⑫ Carmen ME Krogh, Roy D Jeffery, Jeff Aramini, Brett Horner : Annoyance can represent a serious degradation of health: wind turbine noise a case study.

⑬ Carmen ME Krogh, Roy D Jeffery, Jeff Aramini, Brett Horner : Wind turbine noise perception, pathways and effects: a case study.

⑭ Carmen ME Krogh, Roy D Jeffery, Jeff Aramini, Brett Horner : Wind turbines can harm humans: a case study.

### 3.6.3 日本騒音制御工学会 2012 年春季研究発表会講演論文集

日本騒音制御工学会は、「騒音・振動及びその制御に関する学術・技術の発展と普及を図り、もって生活環境の保全と向上に寄与すること」を目的としており、毎年、春季と秋季に研究発表会が開催されている。2012 年春季研究発表会で発表された論文のうち、風車騒音に関する論文の概要は以下のとおりである。

- ① 坂本慎一、横山栄、矢野博夫、橘秀樹：低周波性騒音に関わる聴感実験 — その 1. 純音閾値.

概要：平成 22 年度から開始された風車騒音に関する環境省戦略指定研究に関する発表で、低周波音の聴感特性を調べるための実験装置を作製し、その基礎的な応用として 10~200 Hz の純音に対するヒトの聴覚閾値を調べた結果を報告している。

- ② 横山栄、坂本慎一、矢野博夫、橘秀樹：低周波性騒音に関する聴感実験 — その 2. 風車音の可聴性.

概要：平成 22 年度から開始された風車騒音に関する環境省戦略指定研究に関する発表で、風車騒音に対するヒトの聴覚特性を調べる実験として、実際に収録した風車騒音を用いてその低周波数成分の可聴性について M 系列相関法を適用して調べた結果を報告している。

- ③ 田原靖彦、角田雅樹：超低周波音が脳波に及ぼす影響-若年層被験者を対象とした予備検討.

概要：超低周波音に暴露された時のヒトの脳波の変化を調べる実験として、スピーカ音源と脳波計を用いて、 $\alpha$  波、 $\gamma$  波の発生などを予備的に調べた結果を報告している。

- ④ 渡辺敏夫：低周波音のマスクング特性について.

概要：低周波数領域のバンドノイズによるマスクング効果について、20 Hz、40 Hz のバンドノイズを用いてマスクング効果を調べた結果、3 つのグループに分かれることを報告している。

- ⑤ 松田礼、町田信夫：作業時における低周波音の影響.

概要：定常性低周波音と変動性低周波音に着目し、低周波音用チャンバを用いてそれらの感覚閾値を測定し、それ以上の場合の作業パフォーマンスに対する影響を調べている。

- ⑥ 落合博明、井上保雄、今泉博之、塩田正純、山田伸志：風車音の家屋内外音圧レベル差の測定事例。

概要：風車騒音問題では住宅室内の音圧が重要である。この論文では、環境省の委託で行われた実測調査の結果を窓構造別に整理した結果を報告している。

- ⑦ 久保田富夫、福田敦史、福原安里、野呂啓史、福原博篤：風力発電設備の騒音・低周波音計測の一手法とその測定事例。

概要：風車の発生騒音の測定に関して、風雑音の防止の方法、測定点の配置などについて、実験的に検討した結果を報告している。

#### 3.6.4 日本騒音制御工学会 2012 年秋季研究発表会講演論文集

日本騒音制御工学会の 2012 年秋季研究発表会で発表された論文のうち、風車騒音に関する論文の概要は以下のとおりである。

- ① 小林知尋、福島昭則、岩瀬昭雄、橘秀樹：風車騒音に含まれる Swish 音の物理特性について。

概要：平成 22 年度から開始された風車騒音に関する環境省戦略指定研究に関する発表で、風車騒音に含まれる規則的な脈動音（swish 音）の物理的評価方法として、風車騒音の騒音レベルの Fast レベル記録と Slow レベル記録の差に着目し、その 90 %レンジの上端値と下端値の差を変動の大きさを示す指標とすることを提案している。

- ② 福島昭則、小林知尋、矢野博夫、橘秀樹：風力発電施設からの騒音・低周波音の測定における風の影響について。

概要：平成 22 年度から開始された風車騒音に関する環境省戦略指定研究に関する発表で、風車騒音の測定で大きな問題であるマイクロホンに対する風の影響について、単機の風力発電施設の周辺地域において同時測定した低周波音の相互相関に着目し、風雑音の影響を検討している。また風雑音による超低周波音域におけるレベル増加の傾向についても調べている。

### 3.6.5 日本音響学会 2012 年秋季研究発表会講演論文集

日本音響学会は、「音」に関するあらゆる分野の研究者や技術者が多数参加しており、毎年、春季と秋季に研究発表会が開催されている。2012 年秋季研究発表会で発表された論文のうち、風車騒音に関する論文の概要は以下のとおりである。

- ① 丸山勇祐、藤橋克己、島村亜紀子：風が建物屋内での音響計測にあたる影響について その 2. 周波数特性.

概要：室内における音圧測定に対する外部の風の影響について継続的に検討を行い、風によって室内で生じる音圧は風速の 2 乗に比例することと、風の乱流強度に応じて大きくなることを見出しているが、この報告ではさらに音圧の周波数特性と風の乱れの周波数特性との関係について調べている。

- ② 土肥哲也、中右介：家屋内における低周波音の音圧レベル分布－低周波音・衝撃音発生装置を用いたフィールド試験－.

概要：低周波数成分を含む外部騒音の建物内への影響に関して、低周波数成分を含んだ定常音・衝撃音の両音源と模擬家屋を用いたフィールド実験を行い、家屋内音圧レベルの分布と内外レベル差に対する衝撃性の影響を実験的に調べた結果を報告している。

- ③ 横山栄、坂本慎一、矢野博夫、橘秀樹：風車音の可聴性に関する聴感実験.

概要：平成 22 年度から開始された風車騒音に関する環境省戦略指定研究に関する発表で、実際に録音した風車騒音とそのモデル音をローパスフィルタリングによって高音成分を段階的にカットした時の可聴性を M 系列関連の手法を用いて実験的に調べた結果、一般的な風車騒音に含まれる超低周波音及び可聴周波数領域の低周波数成分は非可聴であることを明らかにしている。

### 3.6.6 日本音響学会 2013 年春季研究発表会講演論文集

日本音響学会の 2013 年春季研究発表会で発表された論文のうち、風車騒音に関する論文の概要は以下のとおりである。

- ① 岡田恭明、吉久光一、東一樹、西村直人：風力発電施設から発生する騒音の測定事例－音響放射特性に関する基礎検討－.

概要：風力発電施設周辺の多くの点で実測調査を行った結果に基づき、ナセル上部の風速や風車の発電出力と風車の音響放射特性の関連、風車騒音の指向特性、距離減衰特性などを検討した結果を示している。

- ② 横山栄、坂本慎一、矢野博夫、橘秀樹：風車音に含まれる低周波数成分に関する聴感閾値実験.

概要：平成 22 年度から開始された風車騒音に関する環境省戦略指定研究に関する発表で、風力発電施設から放射される低周波数成分の可聴性について実験室における聴感実験の結果について報告している。この実験では、ローパスフィルタリングによって低周波数に限定した風車音の可聴閾値を調べた結果、1/3 オクターブバンドスペクトルが純音閾値曲線に下から接するあたりで「聞こえる/耳元で何かを感じる」という感覚が生じ始めることを明らかにしている。

### ■参考文献（第3章）

- 1) 環境庁大気保全局：低周波音空気振動調査報告書，昭和59年12月。(1984)
- 2) 環境庁大気保全局：低周波音の測定方法に関するマニュアル，平成12年10月。(2000)
- 3) 環境省環境管理局大気生活環境室：低周波音問題対応の手引書，平成16年6月。(2004)
- 4) 大熊恒靖：超低周波音の測定方法．音響技術，Vol.6, No.1, 9-16. (1977)
- 5) 日本騒音制御工学会低周波音分科会：低周波音測定方法の提案について．騒音制御，Vol.16, No.4, 198-203. (1992)
- 6) 大熊恒靖：低周波音測定器．騒音制御，Vol.4, No.4, 219-222. (1980)
- 7) 落合博明，牧野康一，山田一郎，月岡秀文，黒澤高弘，福島健二，横田明則：低周波騒音計測用防風スクリーンの開発．騒音制御，Vol.30, No.5, 408-417. (2006)
- 8) 落合博明，牧野康一，福島健二：低周波音の現場測定用防風スクリーンの検討．日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集，233-236. (2008)
- 9) 高橋保盛，今泉博之，神宮司元治，国松直：二種類の屋外型スクリーンによる風雑音低減効果の比較．日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集，7-10. (2002)
- 10) 高桑誠明，小谷章二，太田光雄：風雑音混入下における航空機騒音の一簡易推定法．日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集，265-268. (2000)
- 11) 丹羽尚史，志村正幸，青木淳，立石賢吾，野村卓史，長谷部寛，山本稔，長船寿一，中藪信一，川崎康彦，伊藤芳樹，林孝明，岩井恒敬：低周波音測定における風ノイズの影響に関するフィールド予測式の検討．日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集，157-160. (2011)
- 12) 岡本圭弘，月岡秀文，新居一重，竹中雄一，中村昭：大音圧衝撃音響の伝搬性状について．日本音響学会騒音研究会資料，N-92-48. (1992)
- 13) 井清武弘，国松直，今泉博之：爆発音の単発騒音暴露レベル等の距離減衰．日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集，33-36. (1992)
- 14) 落合博明，牧野康一：低周波音の家屋内外レベル差の測定事例．日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集，305-308, (2004)
- 15) 時田保夫，中村俊一，織田厚：低周波音域暴露実験室の構造と音響特性．日本音響学会誌，Vol.40, No.10, 701-706. (1984)
- 16) 坂本慎一，横山栄，矢野博夫，橘秀樹：低周波性騒音に関する聴感実験 - その1. 純音閾値．日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集，7-10, (2012)
- 17) Kurakata K., Mizunami T. : Statistical distribution of normal hearing thresholds for low frequency tones. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, Vol.27, No.2, 97-104. (2008)

- 18) 犬飼幸男, 多屋秀人 : 低周波音の許容値における個人差及び年代差とその推定. 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, 229-232. (2003)
- 19) 山田伸志, 北村敏也 : 騒音・低周波音に対する苦情者の心理状況の実態と心理分析. 日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集, 279-282. (2000)
- 20) 犬飼幸雄, 多屋秀人, 山田伸志, 落合博明, 時田保夫 : 低周波音の聴覚閾値及び許容値に関する心理物理実験—心身に係る苦情に関する参照値の基礎データ. 騒音制御, Vol.30, No.1, 61-70. (2006)
- 21) 山田伸志, 渡辺敏夫, 小坂敏文 : 低周波音の感覚受容器. 騒音制御, Vol.7, No.5, 36-38. (1983)
- 22) 岡本健, 吉田昭男, 井上仁郎, 田丸浩志 : 超低周波音の人体に及ぼす影響. J.UOEH (産業医科大学雑誌) 特集号, 135-148. (1986)
- 23) Matsumoto Y., Takahashi Y., Maeda S., Yamaguchi H., Yamada K., Subedi J. K. : An investigation of the perception thresholds of band-limited low frequency noises: influence of bandwidth. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, Vol.22, 17-25. (2003)
- 24) Ryu J., Sato H., Kurakata K., Inukai Y. : Hearing thresholds for low-frequency complex tones of less than 150 Hz. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, Vol.30, No.1, 21-30. (2011)
- 25) Kurakata K., Mizunami T., Sato H. : Perceptual Effects of Low-Frequency Beating Tones. Proceedings of Inter-Noise. (2008)
- 26) 高橋幸雄 : 低周波音によって生じる振動感覚の閾値について. 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, 185-188. (2007)
- 27) 中村俊一, 時田保夫, 織田厚 : 低周波音に対する感覚と評価に関する基礎研究. 昭和 55 年度文部省科学研究費「環境科学」特別研究, 1-20. (1981)
- 28) 犬飼幸男, 中村則雄, 多屋秀人 : 低周波音の等不快度曲線の推定と生活場面に応じた許容限界音圧レベル. 日本音響学会講演論文集, 2001 (1): 785-786. (2001)
- 29) 犬飼幸男, 多屋秀人, 山田伸志 : 騒音被害者における低周波音の感覚閾値及び許容音圧レベルについて. 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, 23-26. (2002)
- 30) 岡井治, 斉藤正男, 西脇仁一, 森卓支 : 低周波音による一時間の生体反応. 日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集, 225-227. (1979)
- 31) 町田信夫 : 低周波音暴露による生理反応について. 日本騒音制御工学会・技術報告会技術レポート, 第 7 号, 47-58. (1987)
- 32) 山崎和秀, 時田保夫 : 低周波音領域音波の睡眠に及ぼす影響. 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, 423-424. (1982)
- 33) 環境庁 : 昭和 52 年度低周波空気振動等実態調査 (低周波空気振動の家屋等に及ぼす影響の研究) 報告書. (1978)

- 34) 落合博明, 田矢晃一 : 低周波音による建具のがたつき始める音圧レベルについて. 騒音制御, Vol.26, No.2, 120-128. (2002)
- 35) 国松直, 井清武弘 : DEM による低周波音入力に対する建具応答解析-純音入力に対するふすまの応答-. 騒音制御, Vol.17, No.6, 36-43. (1993)
- 36) 一ノ瀬和宏, 神谷治雄, 山田伸志 : 低周波音による窓のガタツキと振動特性. 日本音響学会講演論文集, 495~496. (1983)
- 37) 落合博明, 山田伸志 : 道路高架橋から発生する変動性低周波音による建具のがたつきについて. 騒音制御, Vol.31, No.1, 68-75. (2007)
- 38) 中村俊一, 時田保夫 : 低周波音公害評価のための測定器周波数加重特性の検討. 日本音響学会講演論文集, 131-132. (1981)
- 39) 犬飼幸男 : 低周波音評価の周波数加重特性について. 日本騒音制御工学会技術レポート, No.7, 19-31. (1987)
- 40) 犬飼幸男, 中村則雄 : 低周波音の不快感評価のための周波数荷重特性の推定. 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, 195-198. (1998)
- 41) 中野有朋 : 低周波空気振動の測定・評価方法と評価値についての提案. 騒音制御, Vol.11, No.2, 103-105. (1987)
- 42) 犬飼幸男 : 低周波音の心身に係る苦情に関する参照値の科学的知見 I. 騒音制御, Vol.30, No.1, 29-35. (2006)
- 43) 町田信夫 : 低周波音の心身に係る苦情に関する参照値の科学的知見 II -参照値の基本的な考え方と諸外国の低周波音規制の動向-. 騒音制御, Vol.30, No.1, 36-42. (2006)
- 44) 松井利仁 : 複合低周波音の評価指標に関する考察. 日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集, 229-232. (2010)
- 45) 中村俊一, 時田保夫, 織田厚 : 低周波音公害評価に用いる計測器特性について. 日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集, 225-228. (1981)
- 46) 落合博明 : 低周波音の物的苦情に関する参照値の科学的知見. 騒音制御, Vol.30, No.1, 43-47. (2006)
- 47) 井上保雄 : 低周波音の実態と対策. 騒音制御, Vol.23, No.5, 311-318. (1999)



## 第4章 諸外国のガイドライン、基準等に関する情報の収集・整理

### 4.1 はじめに

諸外国においては、我が国に先行して風車騒音に対する基準等が設定されている事例がある。

そこで、我が国における環境影響評価を行う際の評価値となり得る「値」について検討を行うにあたり、参考とすべき各国におけるガイドライン値や基準値等のほか、検討の参考となる項目について整理した。整理項目は表4-1に示すとおりであり、第6章の目標値の提案の基礎資料となるものである。

表4-1 諸外国のガイドライン・基準等の整理項目

項目	内容
対象とする騒音	評価値を設定するにあたり、対象とする騒音。 (風車騒音のみ、暗騒音+風車騒音など)
評価値の意味合い	設定されている評価値の法的意味合い (法的規制値、ガイドライン値など)
地域区分(地域類型)	評価値を設定するにあたり、地域の特性を考慮した区分がされているか。
時間区分	評価値を設定するにあたり、昼間・夜間あるいは昼間・夕方・夜間などの時間帯を区分しているか。
騒音評価量	騒音を評価するための評価尺度の種類 (周波数重みづけ特性、評価時間など)
設定値	設定されている評価値の具体的な値。
補正(ペナルティ)	振幅変調音、純音成分の有無など風車騒音の特性に応じて評価値に補正(ペナルティ)を加えているか否か。

### 4.2 収集方法

諸外国のガイドラインや基準等については、平成23年度報告書で整理されている「風車騒音(Wind Turbine Noise)<sup>1)</sup>」のほか、原則として各国の政府機関が公示している資料や関係者からの情報提供等により、関連する情報について新たに収集した。調査の対象とした資料は、基準・ガイドラインの原文やそれらに関することが記載されている文献等で、表4-2に示すとおりである。

表 4-2 収集した文献

国名 (年次)	原文	著者	文献名
デンマーク (2006)	○	Miljøministeriet	Bekendtgørelse om støj fra Vindmøller (2006)
ノルウェー (2005)	△	Tine Larsen	Lyd fra vindmøller Spørsmål og svar i debatten om vindmøller og støy (2006)
スウェーデン (-)	△	Dick Bowdler, Geoff Leventhall	Wind Turbine Noise (2011)
	△	Eja Pedersen	Noise annoyance from wind turbines - a review (2003)
オランダ (2010)	△	Martin van den Berg	Health based guidelines for wind turbine noise in the Netherlands (2011)
ドイツ (1998)	○	-	Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm) (1998)
イギリス (1996)	○	UK Department of Trade and Industry	The assessment and rating of noise from wind farms (1996)
チェコ (-)	△	Dick Bowdler, Geoff Leventhall	Wind Turbine Noise (2011)
カナダ (オンタリオ州) (2009)	○	Ministry of the Environment	Development of Noise Setbacks for Wind Farms. (2009)
カナダ (オンタリオ州) (2008)	○	Ministry of the Environment	Noise Guidelines for Wind Farms (2008)
ニュージーランド (2010)	○	-	NZS 6808:2010 New Zealand Standard Acoustics - Wind farm noise (2010)
オーストラリア (南オーストラリア) (2009)	○	Environment Protection Authority	Wind farms environmental noise guidelines (2009)

※ ○：ガイドライン等

△：原文ではないが、原文に関する記載がある文献

## 4.3 各国の風車騒音のガイドライン値、基準値等の概要

### 4.3.1 デンマーク

#### (1) 概要

デンマークでは、2006年（平成18年）に風力発電施設から発生する騒音に関する規則が定められた<sup>2)</sup>。

#### (2) 基準等

この基準では、風車からの音を対象とし、限度値を「農山村部」(rural areas)と「静穏を要する地域」(noise sensitive areas)とに区分して示している。限度値は、風速に応じて規定する方法が採用されており、IEC 61400-11の方法による10m高さにおける風速6 m/sと8 m/sに対して定められている。農山村部では、等価騒音レベル  $L_{Aeq}$  で風速6 m/sの場合42 dB、風速8 m/sの場合44 dB、静穏を要する地域では、6 m/sの場合37 dB、8 m/sの場合39 dBとなっている。静穏を要する地域は地域開発に関する文書で指定され、これには住居や夏場の別荘、娯楽地域等を含んでいる。

なお、受音点において純音が確認された場合、5 dBのペナルティが課される。

表 4-3 デンマークの限度値

高さ 10m における風速 (m/s)	6	8
農山村部に対する限度値 ( $L_{Aeq}$ ) (dB)	42.0	44.0
静穏を要する地域に対する限度値 ( $L_{Aeq}$ ) (dB)	37.0	39.0

#### (3) その他

その他、この基準において以下の記述がある。

- ・測定方法とともに、幾何拡散（距離減衰）とオクターブバンドの空気吸収に基づく予測方法を定める。
- ・風力発電設備の設置のための地域を指定した地域計画案の発行の日付よりも後に建設された住居等については、騒音アセスメントの対象とはしない。

また、2011年（平成23年）11月、デンマーク環境省は、産業界、自治体及び市民からの要請に応じて、風力発電に伴う低周波音（周波数範囲10～160 Hz）に対する限度が明確化される、と声明を出した。

この限度はデンマークでの他の産業に対して定められたものと類似すると考えられる。デンマーク環境省は、「低周波音がそれ以外の騒音よりも有害であるという証拠はなく、今日のデンマーク内にある風力発電施設から放射される低周波音

は、ごく近傍であっても可聴閾値より低く、非常にレベルの低い超低周波音を放射するのみである。したがって、超低周波音は最新の風力発電施設について問題ではない。」としている。

#### 4.3.2 ノルウェー

##### (1) 概要

風力発電施設の計画段階における騒音管理のための国レベルの新しいガイドラインが 2005 年（平成 17 年）に施行された<sup>3)</sup>。

##### (2) 基準等

このガイドラインでは、暗騒音と風車からの騒音の合成値を対象とし、勧奨値を「受音点が地形等によって風に影響される場所」と「風の影響を受けない受音点（1 年のうちの 30 % よりも長い期間がシェルターされた状態になる受音点）」に区分して、それぞれに示している。勧奨値は、一定値で規定する方法で設定されており、「受音点が地形等によって風に影響される場所」では、予測される時間帯補正等価騒音レベル  $L_{den}^{*}$  が 50 dB を上回らない値、「風の影響を受けない受音点」では、予測される時間帯補正等価騒音レベル  $L_{den}$  が 45 dB を上回らない値でそれぞれ設定されている。

風力発電施設から発生する音に関連して、受音点が地形等によって風に影響される場所とされない場所で異なった勧奨値が示されているが、これは、風の影響を受けない受音点では、風雑音によるマスキングが期待できないためとされている。それぞれの勧奨値は、国際的に見て、一般の人々の約 20～25 % がアノイアンスを訴える程度のレベルに設定されている。

また、純音等に対するペナルティは考慮されていないが、風切音の検討の必要性が明示されており、設計段階において排除するか最小限に抑えるための措置を行うこととしている。

表 4-4 ノルウェーの勧奨値

受音点が地形等によって 風に影響される場所 に対する勧奨値 ( $L_{den}$ )	風の影響を受けない 受音点に対する 勧奨値 ( $L_{den}$ )
50 dB	45 dB

※：EU で统一的に用いられている  $L_{den}$ （時間帯補正等価騒音レベル）は、時間帯別に重みづけをした等価騒音レベルであり、昼間（07:00～19:00）に 0 dB、夕方（19:00～23:00）に +5 dB、夜間（23:00～07:00）に +10 dB の補正をしているので、一日を通してレベルが一定の騒音の場合には、重みづけをしない等価騒音レベルに対して +6.4 dB の値となることに注意する必要がある。

### 4.3.3 スウェーデン

#### (1) 概要

スウェーデン環境保護庁（SEPA）は、風力発電に伴う騒音に関するガイドラインを定めている<sup>4)</sup>。

#### (2) 基準等

このガイドラインでは、風車騒音を対象とし、「一般地域」と「静穏を要する地域」（noise sensitive areas）に区分して、それぞれに対する勧奨値を示している。勧奨値は、一定値で規定する方法で設定（10 m 高さの風速 8 m/s において）されており、一般地域では、予測される等価騒音レベル  $L_{Aeq}$  が 40 dB、静穏を要する地域では、予測される等価騒音レベル  $L_{Aeq}$  が 35 dB を上回らないこととされている。

なお、純音性の成分が認められる場合には、5 dB の純音ペナルティが課せられる。

表 4-5 スウェーデンの勧奨値

一般地域に対する勧奨値 ( $L_{Aeq}$ )	静穏を要する地域に対する 勧奨値 ( $L_{Aeq}$ )
40 dB	35 dB

#### (3) その他

その他、このガイドラインの中において、以下の記述がある。

- ・陸上の風力発電施設における風車騒音の予測計算について、A 特性に基づき、最も近い風車までの距離が 1,000 m 未満の場合と、それよりも長距離の場合の 2 つの伝搬モデルが定められている。

### 4.3.4 オランダ

#### (1) 概要

オランダにおける風車騒音に対する規制は、2010 年（平成 22 年）に改訂された<sup>5)</sup>。この規制では、ハブ高さにおける風速統計から個々の時間区分（昼間、夕方、夜間）に対して決定される風車の長期平均音響パワーレベルに基づいている。

#### (2) 基準等

この基準では、風車からの騒音を対象とし、騒音限度値（Limit value）を地域区分は行わずに示している。時間区分としては、「終日」の限度値とともに、「夜間」（23:00～7:00）の限度値が示されており、その限度値は、「終日」については  $L_{den}$  で 47 dB、「夜間」については  $L_{night}$  で 41 dB に設定されている<sup>\*</sup>。この 47 dB とい

う屋外における  $L_{den}$  の限度値は、風車騒音に対して屋内で非常にうるさい (highly annoyed) と訴える住民割合を 8% に抑えることに基づいており、41 dB という  $L_{night}$  の限度値は、睡眠妨害を考慮して定められた。van den Berg<sup>5)</sup> やその参考文献で議論されているように、風車騒音と睡眠妨害の間の量-反応関係はまだ十分には明らかになっていない。41 dB というレベルは、音源は定かではないが、音によって少なくとも月に一度睡眠が妨害されたとメールによる調査で回答した人の 25% に対応する。41 dB に  $L_{night}$  の限度値を設定する過程で、世界保健機関 (以下、「WHO」という。) のヨーロッパにおける夜間騒音のガイドラインが考慮された。これらの限度値を決める過程で対象となった住民は、風力発電施設から直接的な利益を受けていない人々であり、利益を受けている住民ではほとんどうるささや睡眠妨害の反応はみられていない。

また、この規制では、純音性、振幅変調音、低周波音等に対するペナルティは考慮されていない。

表 4-6 オランダの騒音限度値

終日に対する騒音限度値 ( $L_{den}$ )	夜間に対する騒音限度値 ( $L_{night}$ )
47 dB	41 dB

※：終日の限度値を  $L_{den}$  で 47 dB、夜間の限度値を  $L_{night}$  で 41 dB としているが、前述のとおり、 $L_{den}$  は夕方及び夜間に +5 dB、+10 dB の補正をしているので、騒音がほぼ一定と仮定すれば、これらの限度値はほぼ等しいと考えてよい。

#### 4.3.5 ドイツ

##### (1) 概要

ドイツでは、風力発電施設から発生する音に関して、1998 年 (平成 10 年) に定められた騒音に係る技術指導書で規定される技術指針に従わなければならないとしている<sup>6)</sup>。

##### (2) 基準等

この指針では、限度値は暗騒音と風車騒音の合成値を対象としており、工業地域や商業地域、住工混合、住居、住居専用、病院等に区分してそれぞれに示している。時間区分としては、「昼間 (6:00~22:00)」と「夜間 (22:00~6:00)」の別に限度値が示されている。限度値は一定値で規定する方法であり、等価騒音レベル  $L_{Aeq}$  で表 4-7 のとおり設定されている。

なお、純音等に対するペナルティについては特に考慮されていない。

表 4-7 ドイツの騒音限度値

受音側の土地利用	昼間	夜間
村や混合利用地域に対する騒音限度値 ( $L_{Aeq}$ )	60 dB	45 dB
都市住居地域に対する騒音限度値 ( $L_{Aeq}$ )	55 dB	40 dB
住居専用地域に対する騒音限度値 ( $L_{Aeq}$ )	50 dB	35 dB
健康への配慮を要する施設に対する騒音限度値 ( $L_{Aeq}$ )	45 dB	35 dB

#### 4.3.6 イギリス

##### (1) 概要

イギリスで風力発電に対して共通して参照される騒音に係る必要条件是、1996年（平成8年）に開発された、イギリス通商産業部による「風力発電所からの騒音の評価」であり、一般に文書記号 ETSU-R-97 と呼ばれている<sup>7)</sup>。ETSU-R-97 の目標は、「風力発電所に対する過剰な規制を課すことなく、あるいは風力発電事業者や地方自治体にコストや行政的な負荷を過度に与えることなく、風力発電所の周辺住民を適切に保護する騒音レベルを示すこと。」である。

##### (2) 基準等

ETSU-R-97 では、風車騒音を対象とし、騒音限度値（Noise Limits）を地域区分は行わずに示している。時間区分としては、「静穏を要する昼間（quiet waking hours）」、「夜間（23:00～7:00）」の別に限度値が10分間あたりの90%時間率騒音レベル  $L_{A90,10min}$  で示されており、その値は、一定値で規定する方法と相対的な騒音レベルによる方法を組み合わせて設定されている。「静穏を要する昼間」では、屋外における快適さを保全すること、「夜間」では、睡眠妨害を防ぐことを目標としている。騒音限度値は、下表に示すとおりである。

表 4-8 イギリスの騒音限度値

時間帯	許容される騒音レベル ( $L_{A90,10min}$ )
静穏を要する昼間に対する騒音限度値	35～40 dBA 又は暗騒音+ 5 dBA のうち大きい方の値
夜間に対する騒音限度値	43 dBA 又は暗騒音+ 5 dBA のうち大きい方の値

##### (3) その他

その他、この基準において以下の記述がある。

- ・夜間の基準は、ETSU-R-97 で参照される睡眠妨害 35 dB から導出され、窓を開けた場合の建物内外の騒音レベルの差（建物の遮音性能）を 10 dB と見込んだ場合の許容量、また騒音評価値として  $L_{Aeq}$  ではなく  $L_{A90}$  を用いていることによる 2 dB の補正を含んでいる。

#### 4.3.7 チェコ

##### (1) 概要

産業ガイドラインが風力発電施設の騒音に対する規制に適用されている<sup>1)</sup>。

##### (2) 基準等

このガイドラインでは、風車騒音を対象とし、騒音指標が地域区分なしで示されている。時間区分としては、「昼間」と「夜間」の別に指標値が示されており、「昼間」では等価騒音レベル  $L_{Aeq}$  が 50 dB を、「夜間」では等価騒音レベル  $L_{Aeq}$  が 40 dB を上回らないこととされている。

また、純音成分に対して 5 dB のペナルティが課され、これは 10 Hz から 160 Hz の Z 特性による 1/3 オクターブバンドを評価することによって決定される。

表 4-9 チェコの指標値

昼間に対する指標値 ( $L_{Aeq}$ )	夜間に対する指標値 ( $L_{Aeq}$ )
50 dB	40 dB

#### 4.3.8 カナダ（オンタリオ州）

##### (1) 概要

カナダのオンタリオ州環境省（MOE）は、“Noise Guidelines for Wind Farms – Interpretation for Applying MOE NPC Publications to Wind Power Generation Facilities”（2008 年（平成 20 年）10 月）を公表し、風車騒音に対するガイドラインを定めた<sup>8)</sup>。また、“Development of Noise Setbacks for Wind Farms – Requirements for Compliance with MOE Noise Limits”（2009 年（平成 21 年）9 月）では、健康と環境を保護しながら風力発電施設の開発計画や見直しを容易にするような騒音に対するセットバックの確立の必要性について指摘している<sup>9)</sup>。

##### (2) 基準等

ガイドラインでは、風車からの騒音を対象とし、騒音限度値（Sound Level Limits）を「農山村部」（rural area）と「都市部」（urban）に区分して、それぞれに対して限度値を示している。限度値は、風速に応じて相対的に規定されており、この規格では、穏やかな風速下で郊外にある住居において実質的に等価騒音レベル  $L_{Aeq,1h}$  が 40 dB となる。

また、純音性騒音を発生する変電トランスに対して、5 dB のペナルティが考慮されている。



表 4-10 カナダ・オンタリオ州の騒音限度

高さ 10m における風速 (m/s)	4	5	6	7	8	9	10
農山村部に対する騒音限度値 ( $L_{Aeq,1h}$ ) (dB)	40.0	40.0	40.0	43.0	45.0	49.0	51.0
都市部に対する騒音限度値 ( $L_{Aeq,1h}$ ) (dB)	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	49.0	51.0

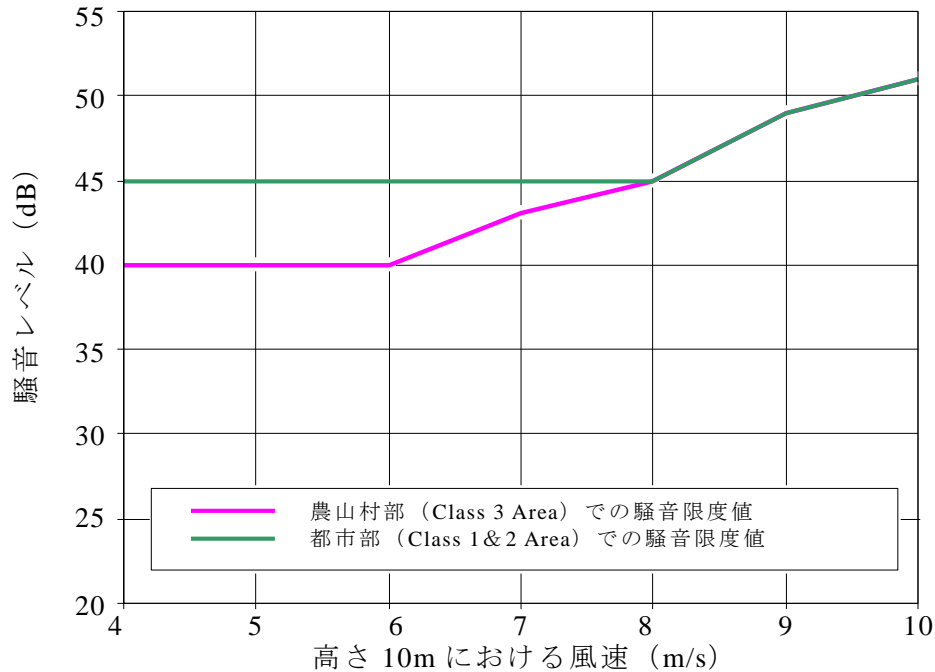


図 4-1 カナダ・オンタリオ州の騒音限度

### (3) その他

さらに、ガイドラインで規定した限度値に基づき、セットバックを決めるための技術的な手法が提案され、同州内で典型的と考えられる風力発電施設の開発計画に対して提供されるセットバックの値が示された。セットバックについては、上述したガイドラインの限度値に基づいて値が検討されているため、表 4-14、表 4-15 には整理していないが、具体的には、以下のような記述がなされている。

- ・ 開発計画の中に含まれるユニットあたりの風車数を 5、10、25 機と限定
- ・ そのユニットの施設内レイアウトを単純化
- ・ 風車ユニットが出力の 95% で稼働すると想定した場合の音響パワーレベルを 102 dB、104 dB、105 dB 及び 107 dB の 4 種類に設定
- ・ 受音点高さを 4.5 m (2 階層に相当) に設定
- ・ 風速や施設の稼働状況に関係なく基準値を 40 dB ( $L_{Aeq}$ ) に設定
- ・ この値を満足する施設内の風車ユニットと受音点の距離を ISO 9613-2 によって算出する。ここで、変電設備等から発生する騒音は考慮されない。
- ・ なお、この基準値は、上記した“Noise Guidelines for Wind Farms”の中で高さ 10

m における風速が 6 m/s の場合に相当し、最も厳しい条件を採用して両者を整合させたことになる。

- ・以上の結果、風車数とその音響パワーレベルから受音点までの最低セットバックがマトリックスで示され、その値は 550 m から 1,500 m となっている。

表 4-11 陸上型風力発電プロジェクトに対して提案されたセットバック

風車数*	最短の風車ユニットまでの最低セットバック			
	107 dB**	105 dB**	104 dB**	102 dB**
25	1,500 m	1,250 m	850 m	750 m
10	1,200 m	1,000 m	700 m	650 m
5	950 m	850 m	600 m	550 m

\* 受音点からの半径がそれぞれ 3 km、2 km、1 km 内の風車数 (25 基、10 基、5 基)

\*\* 定格出力の 95 % で稼働する風車に対する A 特性音響パワーレベル値 (基準値は 1 pW)。

#### 4.3.9 ニュージーランド

##### (1) 概要

1998 年 (平成 10 年) に制定された風車騒音の予測・測定・評価に関する規格 NZS6808 の改定版 (NZS6808-2010) を 2010 年 (平成 22 年) に改正した<sup>10)</sup>。この改定にあたっては、音響学や音響工学、計画担当、資源政策、環境健康、風力発電施設事業、地方公共団体などの専門家・関係者及び関心の高い個人を含めた委員会が設置された。

##### (2) 基準等

「静穏を要する場所」(noise sensitive location) に対する風車騒音の限度 (noise limits) としては、10 分間における 90 % 時間率騒音レベル  $L_{A90,10min}$  が 40 dB あるいは 90 % 時間率騒音レベル  $L_{A90,10min}$  で評価した暗騒音のレベルに 5 dB を加えた値のうちの大きな方のレベルとする。

さらに、「特に静穏を要する地域」(high amenity areas) に対しては、夕方及び夜間にはさらに厳しい基準、すなわち、 $L_{A90,10min}$  で 35 dB あるいは  $L_{A90,10min}$  で評価した暗騒音のレベルに 5 dB を加えた値のうちの大きな方のレベルを騒音の限度値としてもよい。

また、純音性、衝撃性、振幅変調音など特殊な可聴特性 (special audible characteristics) が含まれる場合には、ペナルティとして測定されたレベルに最大 6 dB を算術加算して評価するとしている。

表 4-12 ニュージーランドの騒音限度

暗騒音レベル	静穏を要する場所に対する騒音限度 ( $L_{A90,10min}$ )	特に静穏を要する地域に対する騒音限度 ( $L_{A90,10min}$ )
> 35 dB	暗騒音レベル + 5 dB	暗騒音レベル + 5 dB
30~35 dB	40 dB	
< 30 dB		

### (3) その他

その他、この規格において以下の記述がある。

- ・ 風がある場合の風車騒音は時間の大部分 (90 %) でそれを超過するレベル (90 % 時間率騒音レベル) で表すのが適当である。時間率レベルは各種の騒音の時間的变化を十分に表すものではないが、風車騒音は一定の時間変動特性を持っているので、 $L_{90}$  は安定した客観的な評価量として適当である。また、静穏を要する場所において睡眠妨害を防ぎ、適度の快適性を保持するための屋外における騒音レベルの限度値としては、 $L_{A90, 10min}$  で 40 dB が適当である。
- ・ 風車は人間の可聴周波数範囲外の周波数の音 (超音波及び超低周波音) を発生することもあるが、これらの成分の強さは人間の知覚域に比べて十分低いと考えられる。
- ・ 風力発電所からの騒音レベルについては、IEC 61400-11 に準拠して測定された見かけの音響パワーレベルを用いることとし、これは風車の製造者から入手する。
- ・ 風車に直接適用できる標準化された騒音伝搬の計算方法はまだないが、ISO 9613 によれば、風力発電施設の測定データと良い対応を示している。予測は、地上 10m における風速をハブ高さにおける風速に変換して行う。
- ・ 風車建設後に限度値を超えている場合で、建設前に暗騒音レベルの測定がなされていない場合には、ON/OFF 試験を実施することとし、その方法が記載されている。

#### 4.3.10 オーストラリア（南オーストラリア州）

##### (1) 概要

オーストラリア国内のビクトリア州を除く全州は、南オーストラリア州の EPA による“Wind Farms Environmental Noise Guideline”（2009 年（平成 21 年）6 月）を風力発電施設から発生する音に関するガイドラインとして適用している<sup>11)</sup>。

##### (2) 基準等

このガイドラインでは、風車からの騒音を対象とし、「農山村部」(rural living) と「それ以外の地域」(other zone) に区分して、それぞれに対して基準値（超過してはならない値）を示している。基準値は、一定値で規定する方法と相対的な騒音限度値を規定する方法を組み合わせにより設定されており、農山村部では、10 分間あたりの等価騒音レベル  $L_{Aeq,10min}$  が 35 dB 又は 10 分間あたりの 90% 時間率騒音レベルで評価した暗騒音のレベル  $L_{A90,10min} + 5$  dB のうち大きな方の値、それ以外の地域では、 $L_{Aeq,10min}$  が 40 dB 又は暗騒音のレベル  $L_{A90,10min} + 5$  dB のうち大きな方の値でそれぞれ設定されている。

また、風車騒音に純音成分が含まれる場合は 5 dB の補正（ペナルティ）が必要であるとしている。

表 4-13 南オーストラリア州の基準値

地域区分	基準値 ( $L_{Aeq,10min}$ )
農山村部	35 dB 又は 暗騒音レベル+ 5 dB のうち大きな方の値
それ以外の地域	40 dB 又は 暗騒音レベル+ 5 dB のうち大きな方の値

##### (3) その他

その他、この基準において以下の記述がある。

- ・暗騒音レベルは、連続する 10 分間の測定を風速値とともに最低 2,000 データを取得し、それらを 3 次多項式で回帰して、風速との関係から求めるとしている。受音点は屋外で地上 1.2~1.5 m に設け、風速は風力発電施設のハブ高さで実測するか、別の高さで実測し、計算によってハブ高さの風速を算出しても良いとしている。

また、「風車騒音 (Wind Turbine Noise)」によると、以下のような記述がある。

- ・純音性について 5 dB のペナルティが示唆される。
- ・風力発電所によって発生する低周波音や超低周波音のレベルは、通常、健康影響を引き起こすために要する最大レベルよりも十分小さい。
- ・そのため、これらのガイドラインは低周波音や超低周波音に対して特別の評価はしない。しかし、苦情への対応のための手引を示す必要がある。

表 4-14 諸外国の基準値、ガイドライン値（1）

国名 (年次)	値の意味合い	評価の対象とする音	地域区分	評価の時間区分 (昼夜区分)	参考とする「値」 (基準値、ガイドライン値)	評価量	補正（ペナルティ等） (振幅変調音、純音等) について
デンマーク (2006) 「風力発電施設から発生する騒音に関する規則」	国レベルの基準  not exceed the following limit value (限度値)	風車からの騒音	有  ・ rural areas 農山村部 ・ noise sensitive Areas 静穏を要する地域 (living area 住居地域, Institutions 公共施設 holiday houses or recreative areas 別荘・保養地等)	無	「風速に応じて変化する基準値」 ・ 風速：高さ 10 m の風速。 ・ 低周波音は風速 8 m/s 及び 6 m/s で 20 dB** ・ 風速 8m/s : 44 dB ・ 風速 6m/s : 42 dB ・ 風速 8m/s : 39 dB ・ 風速 6m/s : 37 dB	$L_{Aeq}$  (時間は不明)  ・ 高さ 1.5m における騒音測定	有  ・ 5 dB (純音成分に対し)
ノルウェー (2005) 「風力発電施設の計画段階における騒音管理のためのガイドライン」	ガイドラインによる基準  guidelines values (勧奨値)  ※法的拘束力のあるルールではない	暗騒音＋ 風車からの騒音 (合成値)	有  ・ 受音点が地形等によって風に影響される場所 ・ 風の影響を受けない受音点（1年のうちの30%よりも長い期間がシールドされた状態になる受音点）	無	「一定の値を基準値」 ・ 国際的にみて、一般の人々の約 2~25 % がアノイアンスを訴える程度のレベルに設定されている。 ・ 50 dB  ・ 45 dB	$L_{den}$  (時間は不明)	無  ※風切音の検討の必要性が訴えられ、排除するか最小限に抑えるための重要な措置を設計段階で行う。
スウェーデン (一) 「風力発電に伴う騒音に関するガイドライン」	ガイドラインによる基準  recommended highest sound pressure level (勧奨値)	風車からの騒音	有  ・ 一般地域  ・ noise sensitive area (静穏を要する地域)	無	「一定の値を基準値」 ・ 風速：8 m/s（高さ 10 m）における基準 ・ 40 dB ・ 35 dB	$L_{Aeq}$  (時間は不明)	有  ・ 5 dB pure tone (純音成分に対し)
オランダ (2010) 「環境保護法」	国レベルの基準  limit value (限度値)	風車からの騒音	無	有  ・ 終日 ・ 夜間（23:00~7:00）	「一定の値を基準値」 ・ 終日： $L_{den}$ 47 dB ・ 夜間（23:00~7:00）： $L_{night}$ 41 dB ・ WHO のヨーロッパにおける夜間騒音の指針を考慮	$L_{den}$  $L_{Aeq}$ (時間は不明)	無  (純音性、振幅変調音、低周波音の考慮なし)
ドイツ (1998) 「騒音に係る技術指導書」	騒音の技術指針による限度  regulation (限度値)	暗騒音＋ 風車からの騒音 (合成値)	有 ・ 工業地域 ・ 商業地域 ・ 住工混合 ・ 住居 ・ 住居専用 ・ 病院等	有 ・ 昼間（6:00~22:00） ・ 夜間（22:00~6:00） ・ 昼間（6:00~22:00） ・ 夜間（22:00~6:00） ・ 昼間（6:00~22:00） ・ 夜間（22:00~6:00） ・ 昼間（6:00~22:00） ・ 夜間（22:00~6:00） ・ 昼間（6:00~22:00） ・ 夜間（22:00~6:00） ・ 昼間（6:00~22:00） ・ 夜間（22:00~6:00）	「一定の値を基準値」 ・ 70 dB ・ 70 dB ・ 65 dB ・ 50 dB ・ 60 dB ・ 45 dB ・ 55 dB ・ 40 dB ・ 50 dB ・ 35 dB ・ 45 dB ・ 35 dB	$L_{Aeq}$  ※フルパワーの 95 % (at 95 % of rated power)	無

※デンマークにおける低周波音の周波数範囲は 10~160 Hz。

表 4-15 諸外国の基準値、ガイドライン値（2）

国名 (年次)	値の意味合い	評価の対象とする音	地域区分	評価の時間区分 (昼夜区分)	参考とする「値」 (基準値、ガイドライン値)	評価量	補正（ペナルティ等） (振幅変調音、純音等) について
イギリス (1996) 「風力発電施設からの騒音の評価」	風力発電所の周辺住民の適切な保護を提案する値 noise limits (騒音限度値)	風車からの騒音	無	有 ・ 昼間 18:00～23:00：毎日 13:00～23:00：土曜 7:00～23:00：日曜 ・ 夜間（23:00～7:00）	「一定の値を基準値」と「暗騒音に一定値を加えた基準値」の併用 ・ 30～35 dB より小さい⇒35～40 dB ・ 30～35 dB より大きい⇒暗騒音 + 5 dB  ・ 38 dB より小さい⇒43 dB ・ 38 dB より大きい⇒暗騒音 + 5 dB	$L_{A90, 10min}$  ※ $L_{Aeq}$ でなく、 $L_{A90}$ を用いることによる 2dB の補正を考慮している。	無  ※影響を受ける土地所有者が風力発電所と財政的な関わりがある場合、レベルの増加を検討すべきとの記載あり。
チェコ共和国 (-) 「産業ガイドライン」	産業／工場騒音のガイドラインを風車に適用 騒音指標	風車からの騒音	無	有 ・ 昼間  ・ 夜間	「一定の値を基準値」  ・ 50 dB  ・ 40 dB	$L_{Aeq}$  (時間は不明)	有 ・ 5 dB (純音成分に対し)
カナダ (オンタリオ州) (2008) * 「風力発電からの騒音に関するガイドライン」	ガイドラインによる基準 sound level limits (騒音限度値)	風車からの騒音	有 ・ クラス 3 (rural area 農山村部)  ・ クラス 1 と 2 (urban 都市部)	無	「風速に応じて変化する基準値」 ・ 風速：高さ 10 m の風速。 ・ 風速 10 m/s : 51 dB ・ 風速 8 m/s : 45 dB ・ 風速 6 m/s : 40 dB ・ 風速 4 m/s : 40 dB ・ 風速 10 m/s : 51 dB ・ 風速 8 m/s : 45 dB ・ 風速 6 m/s : 45 dB ・ 風速 4 m/s : 45 dB	$L_{Aeq, 1h}$	有 ・ 5 dB Transformer substation noise (変電トランスに対し)
ニュージーランド (2010) 「風力発電施設から発生する音に関する基準」	国レベルの基準 静穏を要する場所で受容できる騒音の限度値の指針 noise Limit (騒音限度値)	風車からの騒音	有 ・ noise sensitive location 静穏を要する場所 ・ high amenity areas 特に静穏を要する場所	一部有 ・ なし ・ 昼間（7:00～22:00） ・ 夕、夜間（22:00～7:00）	「一定の値を基準値」と「暗騒音に一定値を加えた基準値」の併用 ・ 40 dB 又は暗騒音 + 5 dB のいずれか大きい方  ・ 昼間（7:00～22:00） : 40 dB 又は暗騒音 + 5 dB のいずれか大きい方 ・ 夕、夜間（22:00～7:00） : 35 dB 又は暗騒音 + 5 dB のいずれか大きい方	$L_{A90, 10min}$	有 ・ 最大 6 dB Special audible characteristics (純音性、衝撃性、振幅変調)  ※低周波数騒音、超低周波音の考慮なし
オーストラリア (南オーストラリア州) (2009) 「ウインドファームの環境騒音ガイドライン」	ガイドラインによる基準 noise Level should not exceed (超過してはいけない値)	風車からの騒音	有 ・ rural living 農山村部  ・ other zones それ以外の地域	無	「一定の値を基準値」と「暗騒音に一定値を加えた基準値」の併用 ・ 35 dB 又は暗騒音 ( $L_{A90, 10min}$ ) + 5 dB のいずれか大きい値 (other zones [それ以外の地域]) ・ 40 dB 又は暗騒音 ( $L_{A90, 10min}$ ) + 5 dB のいずれか大きい値	$L_{Aeq, 10min}$  (暗騒音は $L_{A90, 10min}$ )	有 ・ 5 dB Characteristic of the WTG (wind turbine generator) noise (純音成分に対し)

※カナダ (オンタリオ州) では、2008 年のガイドラインで規定された限度値に基づき、2009 年にセットバックを決めるための技術的な方法も提案されている (Development of Noise Setbacks for Wind Farms - Requirements for Compliance with MOE Noise Limits)。

## 4.4 整理結果

### 4.4.1 評価値の設定方法

風車騒音に係る基準値等の設定の考え方として、諸外国では主に以下の4種類があることが分かった。

#### (1) 一定の値で設定する方法

一定の数値によって風車騒音の上限値を定める方法（絶対値規定）である。オランダ、ノルウェー、ドイツ、チェコ及びスウェーデンではこの方法を採用しており、ニュージーランド、南オーストラリア州及びイギリスでは、後述する「暗騒音に一定の値を加えた値を設定する方法」と併用している。

#### (2) 風速に応じた値を設定する方法

風車の発生騒音がナセル高さの風速に依存することから、その風速に応じて限度値を設定する方法（相対値規定）である。カナダ・オンタリオ州及びデンマークではこの方法を採用している。

#### (3) 暗騒音に一定の値を加えた値を設定する方法

風車騒音の規制値として、暗騒音レベルに一定値を加えた値を設定する方法で、相対値規制のひとつである。ニュージーランド、南オーストラリア州及びイギリスではこの方法と前述の「一定の値で設定する方法」とを併用している。

#### (4) セットバック距離を設定する方法

風力発電施設の設計時の必要条件として、対象施設から最も近い住居までの距離（セットバック距離）を規定する考え方であり、カナダ・オンタリオ州ではこの方法を採用している。

### 4.4.2 評価値の対象とする音

評価値の対象とする音は、「風力発電施設から発生する音」と「暗騒音＋風力発電施設から発生する音」の2種類の考え方があり、前者は、ニュージーランド、オランダ及び南オーストラリア州等で、後者は、ノルウェー及びドイツで採用されている。

一般に風車騒音はレベルが低く、実際に測定する際には周囲のさまざまな音（暗騒音）や残留騒音の影響を避けることが難しい場合が多い。そこで、「暗騒音＋風力発電施設から発生する音」で評価するという考え方に至ったと思われるが、暗騒音はきわめて局所的に変化するので、実際の適用にあたっては十分な注意が必要である。

#### 4.4.3 評価量

調査した全ての国において、環境騒音全般で広く用いられている A 特性音圧レベル（騒音レベル）を採用している。

#### 4.4.4 時間帯区分

評価値を時間帯の区分をして設定している国では、昼間・夜間の 2 区分に分けて考える国が多く、ニュージーランドでは地域区分によって時間区分の有無が異なって設定されている。一日を昼間・夜間に時間区分し、それぞれに評価値を設定している国が多い。また、オランダなどでは一般環境騒音と同様に時間帯補正等価騒音レベル  $L_{den}$  と夜間だけの等価騒音レベル  $L_{night}$  に区分し、それぞれに評価値を設定している。

#### 4.4.5 地域区分

地域区分については、ニュージーランドでは、「静穏を要する地域」と「特に静穏を要する場所」に、南オーストラリア州、カナダ・オンタリオ州及びデンマーク等では、「静穏を要する地域」と「一般地域」にそれぞれ区分し、評価値が設定されている。一方、オランダ、イギリス及びチェコでは地域区分は設定されていない。

なお、ドイツについては、日本の環境基準のように、土地の利用状況（例えば、住居地域、商業地域等）によって区分し、評価値が設定されている。

#### 4.4.6 振幅変調音・純音性騒音等の扱い

環境騒音の評価において、欧米では、振幅変調音・純音成分・衝撃成分が含まれると評価を厳しくする考え方（ペナルティを課す）がある。その値については一定値とする場合と変動値とする場合があり、前者は、南オーストラリア州、後者は、ニュージーランドで採用されている。なお、変動値の場合は純音性の程度によってその値が変わる。

なお、純音性の評価方法については、ISO 1996-2 : 2007 Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2: Determination of environmental noise level に二つの方法が規定されている。



■ 参考文献（第 4 章）

- 1) Bowdler D., Leventhall G. : Wind Turbine Noise. (2011)
- 2) Miljøministeriet : Bekendtgørelse om støj fra vindmøller. (2006)
- 3) Larsen T. : Lyd fra vindmøller Spørgsmål og svar i debatten om vindmøller og støj.  
ZERO-NOTAT - August 2006, (2006)
- 4) Pedersen E. : Noise annoyance from wind turbines - a review. Swedish Environmental  
Protection Agency Report, 5308. (2003)
- 5) Van den Berg M. : Health based guidelines for wind turbine noise in the Netherlands. Fourth  
International Meeting on Wind Turbine Noise, Roma, Italy, (2011)
- 6) Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz  
(Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm). (1998)
- 7) UK Department of Trade and Industry : The assessment and rating of windfarm noise.  
Noise Working Group Final Report, ETSU-R-97, (1996)
- 8) Ministry of the Environment : Development of Noise Setbacks for Wind Farms. (2009)
- 9) Ministry of the Environment : Noise Guidelines for Wind Farms. (2008)
- 10) New Zealand Standards. NZS 6808 : 2010 New Zealand Standard Acoustics – Wind farm  
noise. (2010)
- 11) Environment Protection Authority : Wind farms environmental noise guidelines. (2009)

## 第5章 健康影響に関する文献レビュー

### 5.1 はじめに

前述のとおり、風力発電施設の設置に伴う健康影響の可能性は主に低周波数騒音を含む騒音との関連で議論されてきた。したがって、本章では風車から発生する騒音が人体に何らかの健康影響を起こしうるかどうかを検討するために、これまでに発表されている学術論文等の関連文献を収集、評価した。文献の評価にあたっては、まず、健康影響の種類、研究方法の種類、さらに、風車騒音と健康影響の関連を検討するために重要な研究課題を整理した上で、それぞれの研究課題に答えうる科学的な根拠が十分にあるかどうかという視点から行った。

### 5.2 健康影響の種類

一般に、ある物質や環境への暴露が人体に有害な健康影響があるかどうかを検討、評価する際には、その健康影響が、暴露後どのぐらいの時間を経て、どの臓器に生じるものかどうかをまず考える必要がある。暴露後比較的早期（直後から1週間程度）に生じる健康影響を「急性影響」、逆に健康影響が生じるまでに半年以上かかるものを「慢性影響」、さらにその中間を「亜急性影響」と呼んでいる。急性影響には、皮膚炎や肺炎、肝炎のような「疾患」の他、頭痛や吐気、腹痛のような「自覚症状」も含まれる。一方、慢性影響には、がんや白血病、白内障等、徐々に身体に影響を及ぼし、不可逆的（暴露が無くなっても自然には元に戻らない）な疾患が多く含まれる。

風車騒音による健康影響の検討では、これまで主として自覚症状を中心とした急性影響が対象となっているが、これは騒音という「有害環境」が人体に及ぼす慢性影響に関する知見が未だ限られていることが原因と思われる。知見が限られている理由には以下に述べるように、慢性影響を調べるための研究方法には多くの困難な点があることが考えられる。

### 5.3 研究方法の種類と特徴

有害な健康影響の有無を評価するための研究の方法は、影響を受ける対象に何を用いるかによって分類することができる。すなわち、微生物や魚類、マウス、ラット等の実験動物、そしてヒトである。また、近年では動物あるいはヒトの細胞を用いる場合もある。動物に実際に暴露させ、健康影響の有無を評価する研究方法を「動物暴露実験」と呼ぶのに対し、ヒトに試験的に暴露させ、健康影響の有無を評価する研究方法を「人体暴露実験」と呼ぶ。実験動物を用いた暴露実験では、影響の発現を確認するために通常起こりえない高レベルの暴露を行うことが可能なのに対し、ヒトに対して有害な影響を起こしうる物質（又は環境）の高レベル暴露は倫理的に問題があるために人体暴露実験では日常起こりうるレベル以下に留めざるを得ない。また、動物暴

露実験では、12ヶ月間あるいは24ヶ月間という、マウスやラットにとってはほぼ一生にあたる長期の暴露により慢性影響を調べることが可能であるが、ヒトへの暴露実験では長期暴露による慢性影響を調べることはできない。したがって、ヒトの慢性影響を調べるためには疫学研究という手法を用いることが必要となる。

疫学研究とは、ヒト集団を対象として、その集団に起こった健康事象（疾患や死亡等）の頻度を観察したり（これを「記述疫学」という）、集団同士で比較し、差の有無を検討することによって因果関係の有無を調べたりする（これを「分析疫学」という）研究方法である。時間の経過を考慮するかどうかで、分析疫学をさらに「横断研究」と「縦断研究」に分けることができる。例えば、風車の近隣住民100名と、そうでない100名を対象にして「不眠の有無」の聞き取り調査をある時点で行いその頻度の差を検討することは「横断研究」である。縦断研究には症例対照研究（ケースコントロール研究ともいう）とコホート研究の2つがあるが、前者は健康事象の有無で集団を分けて、それぞれの集団における「要因」の頻度を比較するものであるのに対し、後者は「要因」の有無で集団を分けて、その後、それぞれの集団において発生した健康事象の頻度を比較するものである。例えば、肺がんの患者100名と、そうでない100名それぞれに対し、過去の喫煙の有無を聞き、各集団の喫煙率を比較することにより喫煙と肺がんの因果関係を調べる研究は症例対照研究であり、喫煙者1万名と非喫煙者1万名を予め用意し、その後その各1万名の集団を観察し、それぞれの集団において生じた肺がん患者の割合を比較し、喫煙と肺がんの因果関係を調べる方法がコホート研究である。優れた疫学研究かどうかは、後述する「バイアス（系統誤差）」がどの程度制御されているかによるが、ケースコントロール研究、コホート研究いずれもその研究方法上、バイアスは完全に制御することはできない。

#### 5.4 疫学研究の評価方法

ヒトへの健康影響を評価するためには、種間による影響がありうる他の動物よりもヒトを用いた疫学研究の結果を用いる方が、信頼性が高いのは明らかである。しかしながら疫学研究においても、結果を評価する際には真実を捻じ曲げうる様々な要因（バイアス）を念頭に置き、注意深く検討する必要がある。以下に、疫学研究を評価する際に注意すべき点を示す。

##### 5.4.1 無作為誤差（ランダムエラー）

真の体重が70kgの人の体重を測定した時に70.1kgであったり、69.8kgであったり、測定によりばらつくことがある。ばらつき方は体重計の精度によるが、何度も測定すれば、その平均値は必ず真の値である70kgになる。この場合の、これら測定値と真の値との差を「無作為誤差（ランダムエラー）」という。疫学研究では集団を対象にするが、人数が少ない場合には、観察された「差」が無作為誤差による可

能性が高くなる。疫学研究では統計学的手法を用いて、観察された差がこの無作為誤差によりたまたま生じた可能性を計算し、その可能性が十分小さければ（通常は5%未満）、その差は真のものとする。したがって、疫学研究では統計処理の方法が正しいかどうかはその評価において重要となる。

#### 5.4.2 バイアス（系統誤差）

真の体重が70 kgの人の体重を測定した時に何度測っても70 kg以上あるいは以下の場合には、多め（あるいは少なめ）に測ってしまう何らかの原因があると考えられる。このようにある一方向に誤差が生じるものを「系統誤差」という。系統誤差が生ずる理由はさまざまである。疫学研究では、そのような系統誤差が生じるような設定をできるだけ排除する配慮がどれだけされているかが評価のポイントとなる。以下に系統誤差の代表的なものを簡単に説明する。

##### ① 情報バイアス：疾病又は暴露の分類ミス

暴露量と健康影響発現の関連を調べようとするときに、暴露量の測定が間違っていたり、健康影響の有無の判定が誤っていたりすれば、その関連性は不正確なものとなる。したがって、「暴露量の測定をどのように行ったか」、「健康影響の有無をどのように判定したか」の情報は重要である。「暴露量」、「健康影響」とともに、その種類によって測定の困難さは様々である。健康影響においては、客観的に判断できるがんのような疾病は判断に誤りは出にくいですが、自覚症状や診断の難しい疾病では分類を誤りやすくなる。

##### ② 選択バイアス

調査対象となる集団（標本集団という）は、調べようとする事象に関わるすべての人（母集団という）を代表していなければならない。この条件が整うことにより、調査結果の普遍性が保たれることになる。そのために標本集団は母集団から無作為（ランダム）に抽出されることが行われる。このようなプロセスを経ずに、例えば、調査に協力的な人たちのみを対象としたり、性、年齢、職業等、健康事象の出現に関連するような要因に偏りがあつたりする場合には「選択バイアス」となり得る。また、質問票調査などで、回答が回答者の意思に任されている場合には、回答者と回答しなかった者との間には集団の特性に何らかの違いがある可能性が生ずる。このような場合、回答者の結果のみを使用して論ずるならば、同じく選択バイアスとなる可能性がある。

### ③ 交絡バイアス

ある因子の暴露とその結果である健康事象との関連を考える際に、その因子に付随し、表面には現れていないその他の因子が健康事象と関連しており、実は観察している因子は、直接的には関連していない場合がある。これを「交絡」と呼び、その表面に現れていない因子を「交絡因子」という。例えば、コーヒーの摂取が肺がん発症のリスクを増加させるかどうかを調べた結果、コーヒーをたくさん飲む人の方が肺がんになりやすいことが分かった。しかし、もし、「コーヒーを飲む人はより喫煙する傾向にある」という関係があったとしたら、コーヒー多飲者に認められた肺がんの増加はコーヒーのせいではなく、喫煙によるものである可能性が高い。この場合、喫煙は交絡因子となる。交絡因子は存在すると真実を歪める結果となるので、「交絡バイアス」とも呼ぶ。交絡バイアスを制御するためには、喫煙しない人だけで調査したり（対象者の限定）、同じような喫煙量の集団ごとに分けて調査したりする方法（層別化）がある。

## 5.4.3 疫学研究における因果関係に対する基準

疫学研究の主たる目的のひとつは、因果関係の検討であることは前述したとおりである。観察された関連が偶然を含めた単なる関連ではなく、因果関係であるか否かを判断する手助けとなる基準については、Hill<sup>1)</sup>によって詳述されている。因果関係の検討を目的とした疫学研究は、以下のような Hill が論じた基準の観点から評価されるのが通常である。

### ① 関連の強固性：

暴露因子の有無と疾病発現の間の強固性は、暴露因子があることにより、何倍その疾病発症のリスクが高まるかによって決まる。例えば、喫煙者は非喫煙者の5～10倍肺がんになりやすいといわれている。また、喫煙は大腸がん発症のリスクも増加させるが、その大きさは1.2倍程度、すなわち20%増大させるにすぎない。したがって、喫煙と発がんの関連の強固性は大腸がんよりも肺がんの方がはるかに高い、ということになる。

### ② 関連の一致性：

もし、異なった状況下で異なった母集団中に同様の関連が観察されたとすれば、因果関係が存在する可能性が高く、方法論上の人為的なものによる可能性は低くなる。すなわち、複数の研究で同様の結果が得られていれば、より因果関係の存在が示唆される。

③ 関連の特異性：

要因と結果の間に特異的な関係が認められることをいう。例えば、その要因が存在する場合に非常に稀な疾患や特徴的な症状が現れたとすれば、特異性は高いことになる。

④ 関連の時間性：

要因が作用してから結果が現れるまでの時間的關係が妥当であることをいう。すなわち、疑わしい要因の暴露が疾患発生前に存在し、その間隔が疾患の潜伏期間に相当するものでなければならない。喫煙と肺がんを例に取れば、喫煙してから相当年数が経過してから肺がんが発症しなければならない。

⑤ 関連の整合性：

要因と結果の關係が、これまでの科学的な知見などと矛盾しないことをいう。すなわち、要因が疾病発症のリスクが増大した場合、その理由が矛盾なく説明できること。喫煙者で肺がんが増加することは、タバコの煙中に発がん物質が多く含まれることから整合性があるということになる。

⑥ 量反応關係：

疾病発症のリスクが暴露レベルの増加とともに上昇することを、量反応關係という。喫煙本数別に集団を分けた場合、喫煙本数が多くなるにつれて、肺がんを発症する人の割合は高くなる。

以上のように、因果關係の立証は、様々な観点から検討される必要がある。したがって多くの知見が集積されていない状況で因果關係の存在を示すことは困難である。一方、これらの知見に乏しいことが、因果關係が存在しないことを示唆するものでもない。

## 5.5 文献の選択及び評価方法

### 5.5.1 論文抽出方法

医学文献データベースである MEDLINE において、検索語を “wind turbine noise” とし、選択されたヒト又は動物を対象とした原著論文の他、専門家から情報提供された MEDLINE には収載されていない学会講演録や報告書等の「査読」（編集者及び 2～3 名の外部の専門家により論文として掲載の可否を評価するシステム）のない文献も対象とした。

### 5.5.2 文献評価方法

文献を評価する際には、研究の目的を明らかにした上で、どのような研究方法によるものか（動物暴露実験か、人体暴露実験か、疫学研究か）、評価する健康影響は何なのか、暴露レベルはどのぐらいか、を念頭に置き、それらの方法が、研究の目的に合致したものであるかどうか、結果の解釈が妥当であるかどうか等により行った。

## 5.6 風車騒音による健康影響に関する研究課題

「(通常の暴露レベルでの) 風車騒音により人に健康影響は起こりうるか」、という命題に対する答えを見出すことが、本文献調査の最終ゴールである。その命題を検討するにあたって、以下に示す研究課題を設定した。

- (1) 風車騒音暴露による主たる健康影響は何か
- (2) 長期暴露による慢性影響はあるのか
- (3) 健康影響が起こるとすれば、それはどのような暴露レベル（音圧）で起こるか
- (4) 健康影響は感覚閾値以下の音圧で起こりうるか
- (5) 低周波音による健康影響を修飾する要因はあるか

抽出された文献が、上記の研究課題に対してそれぞれどのようなエビデンス（科学的根拠）を提示しているのかについて評価していくこととした。

## 5.7 結果

### 5.7.1 風車騒音による主たる健康影響は何か

前述したように、これまでに風車騒音による健康影響は一過性の急性影響が主なものである。文献調査により比較的信頼性が高いと考えられた4つの疫学調査<sup>2~5)</sup>のうち3つにおいて風車騒音と「アノイアンス」との関係について言及している。Pedersonらは、2000年（平成12年）にスウェーデンの風力発電所周辺で、平坦な地に住む住民351名を対象とした横断研究を行った<sup>2)</sup>。風力発電による発生音圧による影響を把握するという趣旨は対象者に秘匿した質問票調査であった。68.4%の回答を寄せた回答者の住居を対象に、屋外での音圧レベル測定をスウェーデン環境保護庁のガイドラインに基づいて調査したところ、A特性音圧の増加に比してアノイアンスを示した者の割合は、共に統計学的に有意に増加する結果が示された。そこでPedersonらは2004年（平成16年）に、500kW以上の風力発電施設を擁し、地形も多様性に富んだ7地域に居住する発電所周辺住民1,309世帯を対象とした追試験を実施した<sup>3)</sup>。実施内容は2000年（平成12年）の横断研究と同様であった。すなわち、風力発電による発生音圧による影響を把握するという趣旨は秘匿しつつ、屋外での音圧レベル測定をスウェーデン環境保護庁のガイドラインに基づいた調査したところ、回答率は57.6%であった。回答者の特性において、平均年齢が4才高かったという差異はあったものの、A特性音圧の増加に比して覚知しえた者の割合と、アノイアンスを示した者の割合は、共に統計学的に有意に増加する結果が示された（順にオッズ比：1.3、95%信頼区間：1.25~1.40、オッズ比：1.1、95%信頼区間：1.01~1.25）。また、同グループは2007年（平成19年）4月に、今度はオランダにて、以下の条件で抽出された風力発電所から2.5km以内に住む成人を対象に、道路交通の騒音を含めた室内外での生活環境調査を実施し<sup>4)</sup>、やはり、騒音レベルが上がるほどアノイアンスを示す者の割合が高くなるという結果を示した。

以上はいずれも疫学研究の断面調査（横断研究）であり、質問票により自覚症状の有無や病気の有無を尋ねるものである。Pedersonらは、質問票の中に睡眠障害、頭痛、易疲労感、頸肩背部痛や違和感、緊張感、焦燥感の有無等を組み込んでいたが、これらについては結果で述べておらず風車騒音との関連性は認められなかったようである。残りの一つの疫学研究<sup>5)</sup>は主観的な健康度を同じく質問票で測ったものである。風力発電所からの騒音影響把握という趣旨を隠した上で、WHOによる健康関連QOL(HRQOL)の得点を発電所からの距離で区分した2群間で比較した結果、把握した。睡眠満足度の低下やアノイアンスへの高い訴えと、活力度低下が近傍住民群にて確認し、睡眠満足度の低下並びにアノイアンスへの高い訴えと活力度低下は、健康度や幸福感の低下に帰着しえると結論づけている。その他、低周波音による健康被害を訴えている人12名に対するインタビュー調査<sup>6)</sup>もあるが、前述したよ



うにバイアスの入り込む余地が大きく結果の信頼性は低い。

また、自覚症状以外では、van den Berg ら<sup>7)</sup>はオランダの調査を基にした査読なし報告書において、風車騒音と糖尿病、高血圧、耳鳴り、難聴、心疾患、偏頭痛の有無との間に関連がなかった、としている。また、自覚症状以外を調べた人体暴露実験としては、夜間就寝時に低周波音を暴露し、起床時の血中コルチゾルを測定しストレス影響について検討したものがあるが<sup>8)</sup>、そのようなストレスが加わるとどのような健康影響が起こりうるかについては不明である。

一方、動物実験では、脳や聴覚器、心臓への影響を検討している論文が見受けられた<sup>9~11)</sup>。これらの研究はいずれもラットに 5~15 Hz : 130 dB の低周波音を 1 日数時間、1~2 週間の間暴露し、各臓器への影響を調べるものであった。Pei ら<sup>9)</sup>は 5 Hz : 130 dB の低周波音の 1 日 2 時間の暴露を 1、7 及び 14 日間続け、心筋細胞のカルシウムチャンネル等の微細構造の変化による、それに伴う血圧や心拍数の変化について検討し、7 日暴露群及び 14 日暴露群において細胞内カルシウム濃度の変化を引き起こすなどの変化を示し、これらの結果から低周波音が心筋に損傷する可能性があるとして結論している。Pei らはその後も同様の暴露プロトコールにより心筋細胞のアポトーシス関連の蛋白発現を調べることにより低周波音暴露による心筋障害の可能性を示している<sup>10)</sup>。また、Liu ら<sup>11)</sup>は脳への影響に着目し、ラットに 16 Hz : 130 dB の低周波音の 1 日 2 時間の暴露を 7 日間行い、脳の海馬における細胞分化や細胞内 Ca 濃度、さらにアポトーシスについて調べ、低周波音が脳の海馬に影響を与えることを示唆した。これらの動物実験では非常に高レベルの低周波音が心筋細胞や脳細胞に影響を与えることを示したものであるが、暴露レベルの設定の根拠が不明であり、しかも高レベルのみの暴露であることから、より低レベルの暴露による影響を推定することが困難である他、暴露方法についての記載も不十分であった。

以上から、風車騒音によりヒトに起こり得る健康障害としては、いくつかの疫学研究の結果から、現在のところ、アノイアンス及び睡眠障害が最も可能性が高いものといえる。これらアノイアンスや睡眠障害が持続すれば、ストレスから高血圧や精神疾患等の疾患のリスクが高まることも考えうるが、これまでの疫学研究においてはそのようなエビデンスは認められなかった。

#### 5.7.2 長期暴露による慢性影響はあるのか

前項で述べたように、これまでに認められている健康影響は、アノイアンス及び睡眠障害である。これらは暴露開始後、比較的早期から起こる症状であり、しかも、暴露が無ければ起こらない、いわば「反応性」のものである。ここでいう「慢性影響」は長期間の暴露により身体に何らかの不可逆的变化が起こったことを指すが、これまでにヒトにおいて風車騒音によるそのような健康影響は報告されていない。

動物実験においては 130 dB という極めて高いレベルの暴露により組織に形態学

的变化を及ぼすことを示している研究があり、このようなレベルの暴露では不可逆的な影響の可能性を示すが、実際の起こり得る暴露はこれらのレベルよりも数段低いものであり、長期間暴露したとしても同様の変化が起こることは考えにくい。その他、比較的低いレベルの慢性暴露を動物に行い、平衡感覚への影響を見た事例もあり<sup>12)</sup>、ヒトへの影響の可能性も示唆されるがこれは今後の疫学研究において検討される必要があると考えられる。

### 5.7.3 健康影響が起こるとすれば、それはどのような暴露レベル（音圧）で起こるか

暴露レベルによって起こりうる影響は異なる。これを「量影響関係」という（注：似た用語として「量反応関係」があるが、これは、量が増加するにつれ、ある健康影響の起こる割合が増加していくことをいう）。一般に暴露が小さいレベルで起こる健康影響は軽度かつ可逆的なものであり、高レベルではじめて起こる影響は重度で不可逆的な影響となり、さらに高い暴露では死に至る場合もある。ここでは最も軽度で、かつ看過できないと思われる健康影響が出現する暴露レベルがどのぐらいかを考えることとする。この設問に答える文献は、前述したアノイアンスと睡眠障害を健康影響のアウトカム（暴露要因による影響を評価する分析項目）とする4つの疫学調査にほぼ限られる。

Pederson らの 2004 年（平成 16 年）に行った横断研究によれば、A 特性音圧の増加に比して覚知しえた者の割合と、アノイアンスを示した者の割合は、以下のように共に統計学的に有意に増加する「量反応関係」が示された（順にオッズ比：1.3、95 %信頼区間：1.25～1.40、オッズ比：1.1、95 %信頼区間：1.01～1.25）。

表 5-1 A 特性音圧の増加に比する反応の割合

音圧 (dB)	知覚しえた者の割合 (%)	アノイアンスを訴えた者の割合 (%)
32.5 ~ 35.0	40	3
35.0 ~ 37.5	50	4
37.5 ~ 40.0	76	6
> 40.0	90	15

また、同グループのオランダでの調査では、どちらかというとな不快と回答した者の割合は、30 dB 未満では 2 %、30 dB 以上 35 dB 以下では 7 %だったものが、35 dB(A) 以上では 18 %と同じく「量反応的」な増加が確認された。

以上の結果からは 40 dB 近傍が多くの人にアノイアンスを生じさせるレベルと考えられるが、後述するようにアノイアンスの有無には「視認性」及び「風力発電への立場・態度 (attitude)」も関連しており、これらの因子で補正すると、アノイアンスと音圧レベルとの関連が失われる。当然のことながら、視認性と音圧レベルは強く相関しているため、どちらがアノイアンスに強く寄与しているかの判断は困難で

ある（前述の交絡因子。また、アノイアンスは情動に左右されるものであるから、アノイアンスは、風力発電への立場・態度が基盤にあり、視覚を含め、聴覚、振動覚により風力発電施設の存在を感じることによって生じると考えるのが妥当であろう。したがって、何らかの健康影響が起これば、暗騒音が少なく、また静穏が望まれる夜間の睡眠時において、聴覚、振動覚等により風力発電の稼働を知覚し、その存在を再認知することから、アノイアンスが生じ、それが持続することによるものと考えられる。

このようなシナリオにおいて健康影響を生じせしめる音圧レベルを想定することは極めて困難であると言わざるを得ない。

#### 5.7.4 健康影響は感覚閾値以下の音圧以下で起こりうるか

前項で、低周波音を知覚することによりアノイアンスあるいは睡眠障害が生じ、これが持続することから他の何らかの健康影響が生ずる可能性があるということを述べた。そこでは感覚により低周波音を認識しなければ健康影響を生じないという前提に立っているが、近年、感覚閾値以下の低周波音が直接脳に影響を生ずる可能性があるとする研究が報告されている。

Saltらはモルモットを使った実験により、内耳の蝸牛にある外有毛細胞が内有毛細胞より低周波音に対して敏感であること、高周波音の存在により低周波音に対する耳の反応性が影響されていることを示し、これらから、聴覚閾値以下の低周波音が外有毛細胞に直接作用し、何らかの影響を及ぼす可能性があるとしている<sup>13)</sup>。しかしながら、麻酔下のモルモットを用いた実験結果であり、暴露条件もどこまで現実を反映しているかが評価できず、また、外有毛細胞から脳への影響については言及されておらず、この結果をもって感覚閾値以下で健康影響がありうるという著者の主張は論理にはやや飛躍があると言わざるを得ない。

#### 5.7.5 低周波音による健康影響を修飾する要因はあるか

～交絡因子として何を考えるべきか～

前述したように、低周波音の暴露による健康影響を検討する際には、交絡因子の存在の可能性を検討しなければならない。既に、視認性や、風力発電に対する立場・姿勢がアノイアンスの有無に影響することが疫学研究によって示されていることを記したが、ここではもう少し詳しく述べることにする。

風力発電施設に対して、否定的立場や姿勢を示す住民は、13.4倍（95%信頼区間：6.03～29.59）、景観を風力発電所が損ねていることに対して否定的な見解を持つ住民になると、14.4倍（95%信頼区間：6.37～32.44）、アノイアンスを強く感じていた<sup>3)</sup>。また、最近、住居を改築した者の場合も、2.6倍（95%信頼区間：1.03～6.33）と、いずれも騒音感性のある住民が2.5倍（95%信頼区間：1.14～5.63）、不快に感じ

ている割合が高かった。これらはすべて A 特性による音圧レベル増加に伴うアノイアンス増加が 1.1 倍 (95 %信頼区間: 1.00~1.25) であったことより、倍率が高かった。元々、自然豊かなで落ち着いた環境である田園地帯を住居として指向したにもかかわらず、風力発電施設が建造され、かつ、音響が放散されるようになると、指向したはずの快適性と景観が損なわれると、風力発電施設の存在自体を目障りな存在としてとらえ、自然破壊の象徴として認知され、不快な情動が生じるという考察がなされていた<sup>3)</sup>。さらに、自ら選択したはずの住環境の快適性が自らの意思とは無関係に侵食され、心休まる環境ではなくなったとの認識が固定化すると、実際に熟睡不良といった健康関連 QOL への悪影響として帰結しえるという考察もなされていた<sup>5)</sup>。

視認性の観点での層別解析を行った研究では<sup>4)</sup>、暴露レベルが 30dB 未満の群でさえも、住まいから風力発電を視認出来るとアノイアンスが 4.1 倍になることを示している。ロジスティック回帰分析による各種変数のオッズ比 (各変数があることによりアノイアンスが増加する倍率) は、それぞれ、音圧レベル 1.1、聴覚過敏性 1.4、一般的な風力発電への立場・姿勢 1.7、視認性あり 13.7 と、視認性が最も強く影響していた。また、この研究では、変数間の関連分析も実施しており、聴覚過敏性と音圧レベルの間に関連は認められなかったが、聴覚過敏性とアノイアンスの間には有意な強い関連が確認された。また、聴覚過敏性と風力発電に対する立場・姿勢とも関連があった。「どちらかという」と以上の否定的な立場・姿勢を示していたのが全回答者の 14 %であるのに対し、「視認性がある」者では 36 %へと増加していた。

Pedersen らはまた、風力発電施設の立地条件について検討をしている<sup>3)</sup>。風力発電施設が、都市近郊かつ平坦な地に立地している場合に対して、平坦な田園地帯に立地している場合で 5.2 倍 (95 %信頼区間: 1.62~16.55)、複雑地形を示す田園地帯に立地している場合で 10.1 倍 (95 %信頼区間: 2.46~41.61) アノイアンスが増加していた。複雑な地形だと、トンネル効果が音響に影響を与えたのではないかの考察がなされていた。同研究グループは、平坦な地であるオランダを選んで、より仔細を検討している<sup>4)</sup>。「市街地」、「幹線道路を含む田園地帯」、「幹線道路を含まない田園地帯」に住まいを区分した上での層別分析では、35dB 以上になると、幹線道路のない田園地帯の方が、幹線道路のある田園地帯の方より知覚のみならずアノイアンスにおいても統計学的な有意差が確認された。田園地帯に立地していた場合でも、幹線道路があれば、暗騒音が上がることから、オッズ比は 0.3 に収まっていた。逆に、市街地では 1.9 へと跳ね上がっていたことから市街地は避ける必要があるとしている。

Shepherd らの研究<sup>5)</sup>によると、事前に周囲の関係者と相談したとか、風力発電施設に関する情報を収集したといった対処行動を選択した住民では、統計学的に有意に音響へのアノイアンスが少なかった。また、不幸/抑うつ、いらいら、絶望とい

った、緊迫感や緊張感に関する質問肢においても統計学的に有意に少なかった。

Pedersen ら<sup>3)</sup>の研究で対象となった725人のうち100人は、風力発電施設の所有権を一部又は全部所有しているか、経済的利益を享受できるという立場であった。これらの群と、経済的利益享受関係にない群とでは、音圧の増加に対する知覚に統計学的有意差は認められなかったが、35 dB 以上になると、Mann-Whitney の U 検定にてアノイアンスにおいて有意差が確認された。なお、100人中76名が、40 dB 以上と音圧レベルの高い場所に住まいがあったものの、3%のみしかアノイアンスを示していなかった。また、ロジスティック回帰分析でも、経済的利益がある場合のオッズ比は0.1だった。同様の傾向は、他でも確認されていた。屋外での音圧とアノイアンスとの関係について検討した研究<sup>4)</sup>では、経済的利益がないと12%が「どちらかという」と以上にアノイアンスを示していたのに対して、経済的利益を受けている群では4分の1の3%に過ぎなかった。屋内になると、経済的利益がないと、「どちらかという」と以上にアノイアンスを示していたのは8%であったのに対して、経済的利益があると0%であった。

以上のように、疫学研究からは、音圧レベル以外に視認性、風力発電施設に対する立場・姿勢、聴覚過敏性、地形・設置地区、事前の情報の有無、経済的利益の有無、等がアノイアンスの有無に影響していることが示された。一方、元々の病気の有無や性格等との関連について言及した研究は認められなかった。

## 5.8 まとめ

本章では、風力発電施設から発生する低周波数騒音を含む騒音の暴露が健康影響を及ぼすかどうかを、これまでに報告された学術論文や報告書を基に検討した。検討においては、それら論文等の内容を吟味し、科学的根拠の強さの評価を行った上で、幾つかの重要な課題に対して現在知りうる状況を整理した。その結果、以下のようなことが確認された。

- ①風力発電施設から発生する低周波音の健康影響を調べることを目的とした疫学研究は限られており、4編の学術論文が発表されているのみであった。これらはいずれも近隣住民を対象とした自記式の質問票による横断研究であった。
- ②風車から発生する騒音との関連の可能性のある影響はアノイアンスと睡眠障害であり、その他疾患（高血圧、糖尿病、心臓疾患、脳疾患等）との関連を示す研究はなかった。
- ③風車騒音とアノイアンスとの関連は認められたが、視認性やその他の要因が間に介在している可能性があり、その因果関係については評価が困難であった。
- ④同じく、風車騒音と睡眠障害との関連は認められたが、その因果関係を示す明らかな根拠はなかった。
- ⑤アノイアンス及び睡眠障害を起こしうる音圧レベル（閾値）を決定しうる明かな根拠は存在しなかった。様々な個人要因が個人の感受性の違いを生ずる可能性があることが確認された。
- ⑥動物実験では、心臓の細胞における変化等を示した研究もあるが、それらはいずれも極めて高いレベルの暴露によるものであり、現実の風車による騒音暴露のリスク評価の用いる根拠としては妥当性に乏しいものであった。
- ⑦以上のように、これまでの調査・研究において風車騒音と健康影響との因果関係を示す科学的根拠はないと判断された。風車騒音と、アノイアンス及び睡眠障害との関連は示唆されるため、これらが慢性的に惹起されることによるストレスから何らかの健康影響が生ずることは、否定はできない。ただし、現時点においてそのような健康影響の有無を評価した信頼に足る研究の発表はなかった。

### ■参考文献（第5章）

- 1) Hill A. Bradford : The environment and disease: Association or causation? Proc. R. Soc. Med., 58(5):295-300. (1965)
- 2) Pedersen E., Waye K. P. : Perception and annoyance due to wind turbine noise--a dose-response relationship. J Acoust Soc Am, 116(6):3460-70. (2004)
- 3) Pedersen E., Waye K. P. : Wind turbine noise, annoyance and self - reported health and

- well - being in different living environments. *Occup Environ Med.*, 64(7):480-486. (2007)
- 4) Pedersen E., van den Berg F., Bakker R., Bouma J. : Response to noise from modern wind farms in The Netherlands. *J Acoust Soc. Am.*, 126(2):634-43. (2009)
  - 5) Shepherd D., McBride D., Welch D., Dirks KN., Hill EM. : Evaluating the impact of wind turbine noise on health-related quality of life. *Noise Health*, 13(54):333-9. (2011)
  - 6) Adam M., Moorhouse A., Waddington D. : Social effects of low frequency noise exposure on sufferers: developing a procedure of assessment. *Proceeding of 12 International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control*, Bristol, UK. (2006)
  - 7) van den Berg F., Pedersen E., Bouma J., Bakker R. : Visual and Acoustic impact of wind turbine farms on residents. FP6-2005-Science and Society-20, Specific Support Action Project no. 044628. A report financed by the European Union. (2008)
  - 8) Wayne K. P., Clow A., Edwards S., Hucklebridge F., Rylander R. : Effects of nighttime low frequency noise on the cortisol response to awakening and subjective sleep quality. *Life Sciences*, 72:863-875. (2003)
  - 9) Pei Z., Sang H., Li R., Xiao P., He J., Zhuang Z., Zhu M., Chen J., Ma, H. : Infrasound - induced hemodynamics, ultrastructure, and molecular changes in the rat myocardium. *Environ Toxicol*, 22 (2):169-75. (2007)
  - 10) Pei Z., Zhuang Z., Xiao P., Chen J., Sang H., Ren J., Wu Z., Yan G.. : Influence of infrasound exposure on the whole L-type calcium currents in rat ventricular myocytes. *Cardiovasc Toxicol*, 9 (2):70-7. (2009)
  - 11) Liu J., Lin T., Yan X., Jiang W., Shi M., Ye R., Rao Z., Zhao G. : Effects of infrasound on cell proliferation in the dentate gyrus of adult rats. *Neuroreport*, 21(8): 585-589. (2010)
  - 12) Tamura H., Ohgami N., Yajima I., Iida M., Ohgami K., Fujii N. Itabe H., Kusudo T., Yamashita H., Kato M. : Chronic Exposure to Low Frequency Noise at Moderate Levels Causes Impaired Balance in Mice. *PlosOne*, 7(6):e39807. doi:10.137. (2012)
  - 13) Salt A. N., Hullar T. E. : Responses of the ear to low frequency sounds, infrasound and wind turbines. *Hearing Research*, 268:12-21. (2010)

## 第6章 風車騒音の影響評価手法の提案

### 6.1 はじめに

風車騒音の既存の影響評価手法については、前述のとおり取り組まれてきたものの、決して十分なものであったとは言い難い。そこで、本業務において、国際的な動向などを考慮して評価手法の提案を行う。この提案は、環境省の戦略指定研究の成果等を踏まえて整理したものであり、風力発電施設の多くが静穏な地域に設置されることを鑑みて、環境影響評価が適切に実施されるための手法として取りまとめたものである。

### 6.2 風車騒音の影響評価における問題点

#### 6.2.1 環境基準の適用について

環境影響評価法に基づく環境影響評価にあたっては、基本的事項や主務省令で「環境影響評価の参考手法」が示されており、評価の手法は、「環境影響が、実行可能な範囲でできる限り回避又は低減されているかどうか」及び「国又は地方公共団体による施策によって、選定項目に係る環境要素に関して基準又は目標が示されている場合には、当該基準又は目標に照らすこととする考え方を明らかにしつつ、当該基準又は目標と調査及び予測の結果との間に整合が図られているかどうか」について検討することとされている。しかし、現段階では風力発電施設については統一的な基準や目標がないため、環境影響の回避・低減が十分に行われることが重要となる。

ここで、「基準や目標」については、国内で実際に行われた環境影響評価で、環境基準が受忍限度や基礎指針のように使用されている事例がある。このような用いられ方は、環境基準の性質ないし趣旨からして適切でない。一般に、風力発電施設の設置地域は極めて静穏な地域で類型指定がなされていない地域であるが、既存の風力発電施設の環境影響評価においては、類型指定のない地域に環境基準値を準用したり、さらには A/B 類型の基準値までの排出が許容されるとする考え方を取っているケースも見受けられる。こうした考え方は不適切であり、現在良好で静穏な状況である場合には、原則として引き続きその環境を維持するように努めるべきである。

#### 6.2.2 音環境の変化

第4章で述べたとおり、国によっては、現況（暗騒音）に比べて風車の建設によってどれだけ騒音が増大するかを考慮して評価する手法（相対的評価）が採用されている。これは、静穏な地域でも、全く施設等の新設を認めないのは現実的ではなく、住民に増加量を示して同意を得た上で事業を進めるべきとの考え方によるものである。

環境省の「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6月）」においても、下記のように記述されている。



「騒音の評価手法については、環境基準以下であるにもかかわらず、苦情等が発生しうることから、静穏な地域に設置する場合には、風力発電設備の設置により環境騒音がどの程度騒音が増加するかについても調査・予測を行い、その結果を住民等に示して評価すべきである。」

## 6.3 風車騒音の影響評価手法設定のための検討事項

### 6.3.1 諸外国における風車騒音の基準の考え方

諸外国における風車騒音の基準の考え方については、第4章で述べたとおりであるが、ここでは各方法の留意点等について記載する。

#### (1) 一定の値で設定する方法

この方法は単純明快であるが、基準値を設定する際にその地域の暗騒音（残留騒音）の状況を十分に考慮する必要がある。どのような状態（昼間／夜間のような時間区分を含む）、どのような場所での暗騒音（残留騒音）を考慮するか、など判断を示す必要がある。また、値の設定においては、設定根拠について明確な説明も必要である。

#### (2) 風速に応じた値を設定する方法

個別の条件により、相対的に限度値を定める方法（相対値規制）である。その一つとして、風車の騒音放射がナセル高さでの風速に依存すること、また風速の上昇に伴って風による周辺の暗騒音も上昇することを考慮して、それぞれの場所における風速値と連動させて限度値を設定する方法である。

#### (3) 暗騒音に一定の値を加えた値を設定する方法

風車騒音の規制値として、暗騒音レベルに一定値を加えた値を設定する方法で、相対値規制の一つである。

この方法による場合、地域ごとに暗騒音（残留騒音）を設定する必要があり、地域特性の把握と暗騒音の測定が大きな課題となる。

#### (4) セットバック距離を設定する方法

風力発電施設の設計時の必要条件として、対象施設から最も近い住居までの距離（セットバック距離）を規定する考え方がある。このセットバック方式は、騒音源から遠ざかるにつれて騒音が小さくなるという考え方（距離減衰）に基づいているが、実際には風車からの騒音伝搬性状は地形などの影響によってきわめて複雑である。なお、シャドウフリッカーや景観の観点からは考慮する価値はあると考えられる。

### 6.3.2 我が国で取るべき評価手法

風車騒音の影響評価における基準値等を考える場合、「(2) 風速に応じた値を設定する方法」は、風速と風によって生じる暗騒音が一定の関係にあるとの前提に立っているが、実際には風によって生じる騒音は同じ地域でも地形や植生等によって局所的に大きく変化する。したがって、我が国の風車騒音の影響評価を考える場合、この考え方を採用するのは適当でない。

また、「(3) 暗騒音に一定の値を加えた値を設定する方法」では、まず地域ごとに、あるいは局所的な暗騒音の大きさを知る必要があり、これは実際にはきわめて困難である。また、暗騒音に加える一定の値（増分）を決定するためには、地域ごとの暗騒音の実測調査、環境騒音に関するマスキング効果などに関する聴覚生理・心理学的検討、あるいは社会反応調査による検討が必要であり、現時点では採用は困難と考えられる。

さらに、「(4) セットバック距離を設定する方法」は考え方としては分かりやすいが、実際には距離だけでなく、地形や気象条件などによって騒音の伝搬特性はきわめて複雑に変化する。また、風車が複数設置される場合には、単純な距離減衰は期待できない。我が国の「環境影響評価法」において第一種事業として規定された1万kWを越える発電規模の風力発電施設では、数百m程度のセットバック距離では、環境影響評価手続における合意形成は困難と考えられる。

環境省戦略指定研究では、全国各地の風力発電施設周辺において風車騒音の実測調査が行われており、最近接風車からの距離と風車騒音のレベルの関係が調べられている。その結果によれば、距離による減衰のおおよその傾向はみられるものの、現象としてはきわめて複雑であることが示されている。したがって、セットバック距離の設定は必要条件ではありえても十分条件とは言えない。

上記の方法に対して、「(1) 一定の値で設定する方法」は、我が国における他の基準値（環境基準の基準値、騒音規制法の規制値など）がこの方法で設定されており、理解されやすいと考えられる。一方、問題点としては場所によって暗騒音（残留騒音）が一樣ではないことから、値の設定をどの程度にするかについては慎重な議論・考察が必要であるが、風力発電施設が建設される地域は元来静穏な地域（農山村部などで、残留騒音（調査方法は後述する。）が騒音レベルで30 dBあるいはそれ以下）が多く、そのような地域に住居が散在している環境を前提として風車騒音の目標値を検討することが適当である。

## 6.4 風車騒音の影響評価手法の提案

### 6.4.1 評価の対象とする音

風車の稼働状態は風速に大きく依存し、周辺地域に伝搬する騒音は風況によって大きく変動する。そこで、対象とする騒音は、風車が定格出力で発電している間に発生し、周辺に伝搬する騒音とする。実際には、地域の暗騒音（残留騒音）も同時に観測されるので、事後調査などにおける測定では十分な注意が必要である。

### 6.4.2 評価の対象とする地点

環境影響評価では、周辺地域（住民等）への影響の有無・程度を考慮するものであり、評価地点には、地域を代表する地点又は特に静穏が求められる地点として、民家周辺をはじめ入院施設のある病院、学校等が選定される。これらの地点は、環境影響評価における調査地点、予測地点、評価地点となる。

風車騒音の影響評価では、夜間の睡眠に対する影響を最も重視する必要があることから、住宅の寝室等の居室内部における暴露状況を評価すべきである。しかし、環境騒音モニタリングとして居室内に測定点を設けることは、屋内における生活音が測定に影響を与えることや、プライバシーの問題もあることから、特殊な場合を除いて実際に測定を行うことはきわめて難しい。そこで、建物内外の音圧レベルの差（後述）を考慮に入れた上で、屋外における騒音の状態を評価の対象とするのが適当である。その際、住居等のうち、騒音の影響を受けやすい面において評価すべきである。

### 6.4.3 評価量

風車騒音では超低周波音及び低周波数騒音の影響が話題となっている。この問題に関しては、国際的にも関心が高く、多くの研究が行われているが、平成23年度報告書でも紹介したとおり、アメリカ、カナダ及びオーストラリアなどで行われた専門家パネルによる文献調査の結果によれば、風車騒音がアノイアンスの原因となり、それが睡眠妨害、健康影響を惹起する可能性はあるが、低周波数の成分が健康に直接的な影響を与えるという科学的証拠は見出されていないとしている。また、第5章でも述べたとおり、本業務で調査した結果でも、風車騒音が直接的にヒトの健康に影響を与えるという疫学的あるいは病理学的なエビデンスは示されていない。前述の環境省戦略指定研究では、超低周波音及び低周波数騒音の可聴性等について実験室における聴感実験が行われており、一般的な風車騒音では、数10 Hz以下の周波数成分は聴覚（感覚）閾値以下であることが確認されている<sup>1)~4)</sup>。

上記のとおり、風車騒音の低周波音としての問題については現在のところ科学的根拠が乏しく、今後の研究を待たなければならない状況であるため、環境影響評価

などにあたっては、可聴性の騒音として風車騒音を量的に扱う必要がある。そこで重要となるのは騒音評価尺度である。環境基準など一般環境騒音の評価では、A特性音圧レベル（騒音レベル）が騒音評価の基礎量として用いられている。また、第4章で述べたとおり、風車騒音に係る諸外国の基準等でも、ほとんどがA特性音圧レベルを評価量としている。A特性は、比較的小さな音に対するヒトの聴覚特性（ラウドネス特性）を反映させた形で複合音を評価するために考案された周波数重み付け特性であり、多くの騒音の評価に一般的に用いられているが、超低周波音領域を含む低周波数の成分まで含めて評価する場合に、その適用性を検討しておく必要がある。そこで、環境省戦略指定研究の本年度の研究では、一般的な居住環境における種々の音、沿道・沿線・航路直下における交通騒音、乗物（自動車、鉄道列車、飛行機）内の音、建設工事音などに風車騒音も加えて超低周波音まで含めて録音し、それを実験室内で再生して聴感実験が行われている。この研究では、A特性音圧レベル以外にC特性音圧レベルや精緻な聴覚モデルに基づくZwickerのラウドネスレベル $LL_z$ 、Mooreのラウドネスレベル $LL_m$ も含めてラウドネス反応との対応が調べられている。その結果として、一般環境に存在する多様な音について超低周波音領域までの低周波数成分を含めて評価した場合でも、A特性音圧レベルが優れていることが見出されている。

以上に述べたことから、現段階ではヒトへの影響が明白であり、適切かつ効果的な措置を講ずべき可聴性の騒音に対する対策に重点を置くべきである。そのための風車騒音の評価量としては、騒音レベル（A特性音圧レベル）を採用するのが適当である。

#### 6.4.4 時間区分

「騒音に係る環境基準」では、生活の中心である屋内において、昼間は会話影響、夜間は睡眠影響を適切に防止する上で維持されることが望ましい騒音のレベルが、昼間と夜間の時間区分ごとに示されている。

一方、風車騒音について考えると、その大きさは会話に影響を与える程度ではなく、環境省戦略指定研究で行われた社会反応調査の結果でも、夜間の睡眠に対する影響が大きな問題であることが示されている。一般に夜間は交通騒音など周囲の暗騒音が低くなり、その中で振幅変調音を伴う風車の稼働音が気になって睡眠に影響を与えることが最も大きな問題であると考えられる。

以上のことから、風車騒音の環境影響評価においては、夜間の騒音レベルを重視して目標値を設定すべきである。しかし、風力発電施設の稼働は風況に応じて断続するが、発生騒音の大きさは昼夜の区別はない。したがって、目標値は時間帯の区別はせず、一定の値で定めることが適当である。

#### 6.4.5 地域区分

騒音に係る我が国の環境基準では、特に騒音対策が必要な地域を土地利用状況によって類型化し、それぞれに対して行政上の政策目標値である環境基準値を設定している。これは、地域ごとの暗騒音などの音環境の実態、騒音低減の技術的・経済的問題などが考慮されているためである。風車騒音に関しても、諸外国では地域を類型化して、段階的な規制値を設定している例も多い。しかし、ここでは静穏な環境に立地する風力発電施設を対象としており、これらの地域（主として農山村部で、住居が点在するような地域）には「騒音に係る環境基準」の類型指定はされない地域がほとんどである。

以上のことから、風車騒音の影響評価における目標値の設定にあたっては、地域区分は行わないこととし、現在良好で静穏な地域において風力発電施設の設置が計画される場合を主たる対象とすることが適当である。ただし、都市部に近く広域の交通騒音などの影響を受けている地域や海浜に近くて波浪の音が大きく聞こえる地域など、定常的に暗騒音が大きくなっている地域に風力発電施設が立地する場合には、その状況を個別に考慮して影響評価を行う必要がある。

#### 6.4.6 振幅変調音の扱い方

風車のブレードの回転によって音圧が規則的に変動する振幅変調音は、最近の大型風車では1秒前後の周期で発生する。その一例を図6-1に示す。この音はきわめて気になる音であるため、風車騒音によるアノイアンスを高めている最大の原因と考えられ、ニュージーランドなどの基準では、発生が認められた場合にペナルティを考慮することが規定されている。しかし、振幅変調音は風車騒音では必然的に生じる音であるため、あらかじめその影響を含めて影響評価を行うべきである。環境省戦略指定研究で行われた全国各地の風力発電施設周辺を対象とした実測調査の結果でも、ほとんど全ての風車騒音に振幅変調音が認められている<sup>5)</sup>。

また、この研究では、詳細な実測及び聴感評価実験が行われており、振幅変調音の影響が明らかにされつつある。その結果によれば、振幅変調の大きさが2 dB以上になると規則的な変動感が生じるようになり、ノイジネス（やかましさ）も増大する傾向が見出されている。このような傾向は他の多くの研究でも指摘されている。したがって、風車騒音では振幅変調音の聴覚心理的影響も考慮して最大5 dB程度のペナルティを見込んでおくことが適当と考えられる。前述のニュージーランドの規格NZS6808では、純音性、衝撃性、振幅変調音など特殊な可聴特性が含まれている場合のペナルティを最大6 dBとしている。

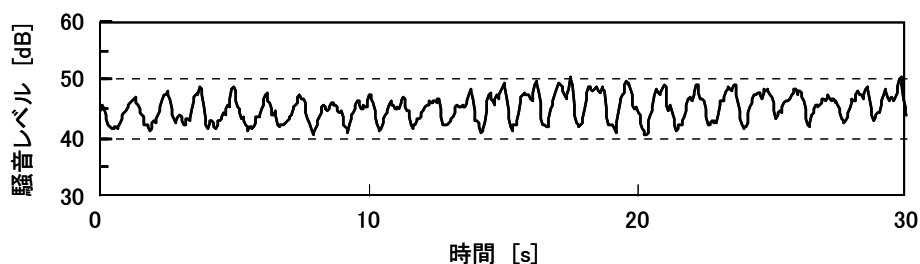


図 6-1 風車騒音の振幅変調音の例 (2,500 kW 風車から 560 m 離れた地点)

#### 6.4.7 純音性騒音の扱い方

風車のナセルに内蔵されている動力伝達装置、発電機、制御装置などから純音性の騒音が発生することがあり、それが著しい場合には聴感上問題となる。この種の騒音は、風車の機種や保守状況によって異なるので、ここでは付随的な騒音として考え、その発生が認められた場合にペナルティとして考慮すべきである。この考え方により、風力発電施設の計画にあたって純音性騒音の発生が少ない機種の選定を促すことになり、また風車の保守点検においても重点項目となる。

なお、純音性騒音の評価・判定に際しては、多くの国で採用されているように、ISO 1996-2 の規定を適用することが考えられる。

#### 6.4.8 風車騒音の影響評価における目標値

##### (1) 目標値設定にあたっての考え方

風車騒音の影響評価のための目標値の設定にあたっては、その影響の実態を考える必要がある。前述のとおり、環境省戦略指定研究などの研究によれば、風車騒音が特に問題となるのは夜間で、睡眠に対する影響を重視しなければならない。

WHO の環境騒音に関するガイドライン (1999 年) では、健康を保持するための環境騒音の推奨値として、夜間の寝室における騒音のレベルを等価騒音レベルで 30 dB とし、これを保持するための外部騒音は 45 dB 以下に保つべきとしている。これは、窓を開けた状態における建物内外のレベル差は 15 dB 程度であるとの前提に立っている。ただし、このガイドラインでは道路交通騒音などの一般的な環境騒音を対象としていることに注意する必要がある。

##### (2) 建物の遮音性能

「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 25 dB、少し窓を開けた状態で 20 dB、ある程度窓を開けた状態で 15 dB、窓を開けた状態で 10 dB が想定されている。また、前述の WHO のガイドラインでは、窓を開けた状態で 15 dB が前提となっている。これらの値は、中・高域成分

も多く含む道路交通騒音などを対象としていることに注意する必要がある。

一方、比較的low周波数成分を多く含む風車騒音に対する住居の遮音性能を調査した例は少ない。その中で、落合によれば、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、窓を閉めた状態の内外音圧レベル差は11～18 dB程度、やや特殊なケースであるが玄関扉を解放した状態でのレベル差は7 dB程度となっている<sup>6)</sup>。また、環境省戦略指定研究における実測調査の結果の中では、家屋の内外で同時に風車騒音を測定したデータは少ないが、窓を閉めた状態のレベル差は10～25 dB程度（アルミサッシ二重窓のデータを一部含む）、窓を開けた状態で13 dB（1データのみ）となっている。

以上に述べたように、low周波数成分を多く含む風車騒音に対する一般的な住居の遮音性能（内外音圧レベル差）としては、通風・換気のために少し窓を開けて就寝することを前提として、騒音レベルで10 dB程度と設定するのが適当と考えられる。因みに、イギリスの基準でも、窓を開けた場合の建物内外の騒音レベルの差を10 dBとしている。

### (3) 目標値の設定

以上に述べた考察の結果を総合して、風車騒音に係る目標値を考察する。夜間の寝室内の騒音レベルはWHOのガイドラインでは30 dBとしており、これを保持するための外部騒音は45 dB以下にすべきとしている。しかし、low周波数成分を多く含む風車騒音では建物の遮音性能が10dB程度しか見込めないことから、屋外において40dBとなる。さらに、風車騒音にはアノイアンスを高める振幅変調音が必ず含まれていることから、これに対するペナルティを5 dB程度見込む必要がある。これらのことから、静穏な地域に建設される風力発電施設からの騒音の影響評価のための目標値としては、住宅等静穏を必要とする施設の屋外で、騒音レベル（A特性音圧レベル）で35 dBとすることが適当であると考えられる。

この目標値を設定するにあたって検討した事項とその結果をまとめて表6-1に示す。また、諸外国の基準等における設定値との比較を表6-2及び表6-3に示す。これを見ると、ここで推奨する目標値の設定にあたっては、静穏な地域を対象としていること、振幅変調音の影響も含めて考えていること等から、諸外国で設定されている基準値（騒音限度値）と比較して特段大きな違いはない。

なお、この騒音レベルの測定・評価方法としては、風車が定格発電の状態にある10分間の等価騒音レベル $L_{Aeq,10min}$ とし、長時間の測定が可能である場合には、その間のエネルギー平均値を取ることが適当である。

#### (4) 既存施設への目標値の扱いについて

この目標値は、国内で稼働中の風力発電施設を対象とした実測調査等の結果や、WHO ガイドラインの推奨値等を踏まえて検討したものであり、事業者においては、既存の風力発電施設において、上に述べた目標値を参考とし、環境影響の低減に引き続き努めるとともに、環境影響評価における評価の手法として用いることが期待される。

#### (5) 残留騒音の高い地域における目標値の扱いについて

ここで設定した目標値は、我が国で一般的な農山村部など残留騒音の低い地域を想定して設定している。したがって、沿岸地域で波浪の音が大きい場所や都市域に近い地域など残留騒音の高い地域にこの目標値を一律に適用することは適切ではない。そのような地域については、風車騒音により現況の騒音レベルを悪化させないことを目標とすることが適当と考えられる。



表 6-1 目標値設定にあたって検討した事項と検討結果

検討課題	検討の視点	検討内容	検討結果
評価の対象とする音	<ul style="list-style-type: none"> <li>「風力発電施設から発生する音」とするか「暗騒音+風力発電施設から発生する音」とするか。</li> <li>暗騒音は局所的であり、把握するためには多くの測定が必要となる。ただし、地域区分ごとに暗騒音を設定（想定）する考え方もある。</li> <li>暗騒音の扱い方が課題と考えられる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風力発電施設の多くは、静穏な環境の農山村部に設置</li> <li>暗騒音（残留騒音）については、自然の音が大部分を占め、地形や風向といった自然条件により場所・時間によって大きく異なり、また大きく変動</li> <li>自然界の音を人工的に制御することは困難かつ不要</li> </ul>	風力発電施設から発生する音（風車騒音）
評価の対象とする地点	<ul style="list-style-type: none"> <li>「風力発電施設周辺の民家地点」とすることが考えられる。</li> <li>環境影響評価においては、暴露される側での評価が基本である。</li> <li>風向（指向性）、地形等による影響がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>睡眠への影響を重要視することから、寝室等の主要居室内部における騒音を対象とすることが望ましい</li> <li>客観的測定場所としてはその外部とし、house filter（標準的住宅の屋内外の音圧レベル差）を考慮することが現実的</li> </ul>	暴露側である「風力発電施設周辺の民家等の地点（屋外）」
評価量	<ul style="list-style-type: none"> <li>人の感覚に適切に対応していることが必要条件である。</li> <li>日本では、すべての環境騒音の評価に、A特性音圧レベル（騒音レベル）が採用されている。</li> <li>諸外国のガイドライン、基準等でもA特性音圧レベル（騒音レベル）が主流である。</li> <li>環境省戦略指定研究の実験結果（実験室実験）における動向の確認が必要。</li> <li>風力発電施設から発生する超低周波音は影響を及ぼすか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>環境省戦略指定研究の基礎的な聴感実験の結果より、A特性音圧レベル（騒音レベル）で評価するのが適当。超低周波音は、感じるレベルではない。</li> <li>諸外国のガイドライン等では、風車騒音の評価量として、A特性音圧レベルを採用している国が多い。</li> <li>健康影響からの検討によると、風力発電施設から発生する超低周波音からの影響があると十分な証拠はない。</li> <li>A特性音圧レベルは、人の聴覚特性を考慮した周波数重みづけ特性であり、我が国では、すべての環境騒音の評価で採用</li> <li>A特性音圧レベルについては、我が国でも、国際的にも多くの知見が得られており、多様な環境騒音を統一的に比較・評価することが可能</li> </ul>	A特性音圧レベル（騒音レベル）
時間区分	<ul style="list-style-type: none"> <li>評価の時間区分を行う必要があるかどうか。</li> <li>区分を行う場合、どう区分するか。（何区分、何時から何時まで。）</li> <li>諸外国の事例からも設定の有無が分かれている。</li> <li>風力発電施設から発生する音は、風速（風向による指向性はある）の大きさにより決まり、昼夜による発生の違いが生じることは稀である。</li> <li>風力発電施設の運転調整を行うことを考えた場合、周囲の人間活動の状況により、適切な基準値を設定することで、効率的な運営ができる。</li> <li>騒音に係る環境基準では、「昼間（6:00～22:00）」、「夜間（22:00～6:00）」の2区分としている。（「騒音影響に関する屋内指針」を参考に、昼間：会話影響、夜間：睡眠影響を考慮）</li> <li>騒音規制法の「特定工場等において発生する騒音の規制に関する基準」：昼間・朝・夕・夜間の4区分、航空機騒音に係る環境基準における時間帯補正等価騒音レベル（<math>L_{den}</math>）の重みづけは、昼間、夕方、夜間の3区分で行っている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風車からの音で問題となっているのは、夜間に多く、そのほとんどが睡眠に関するものである</li> <li>昼間の会話影響が問題となっている事例は見受けられない</li> <li>風車から発生する音を対象とした場合、昼夜の違いで発生レベルが変わることはなく、さらに、時間帯ごとに風車を制御することについても困難</li> </ul>	区分なし
地域区分	<ul style="list-style-type: none"> <li>目標値の地域区分を実施する必要があるかどうか。</li> <li>設定する場合、どう区分するか。</li> <li>諸外国の事例からも設定の有無が分かれている。</li> <li>暗騒音の小さい地域に対する考え方を考慮する必要がある。</li> <li>暗騒音の違いについて、考慮する必要がある。</li> <li>あまり細かく設定しても、その根拠設定が難しい。</li> <li>既存の環境基準との整合性についての検討。（分かりやすさ）</li> <li>海岸部等、暗騒音の高い地点についての検討。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>「現在良好で静穏な地域において風力発電施設の設置が計画される場合」を対象とする。</li> <li>今回定める目標値は、受音側での暴露抑制目標であり、受音側の様々な土地利用状況（地域の類型）によって目標値が変わることは混乱を及ぼすおそれが大きい</li> <li>同じ土地利用状況（地域の類型）であったとしても、場所によって暗騒音（残響騒音）のレベルは様々であり、また、これは地形や風向によっても異なることから極めて複雑であり、一様な値を設定（想定）することは困難</li> </ul>	設定しない
振幅変調音の扱い方	<ul style="list-style-type: none"> <li>補正を行う必要があるかどうか。</li> <li>諸外国における補正値は+5～6 dBが多いが、一定値でない国、補正が考えられていない国もある。</li> <li>日本における実験結果による検討も必要である。</li> <li>日本においても、swish音やthump音の振幅変調性の音の発生が、風力発電施設からの音の中の問題点として重要視されている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>既設の風力発電施設の音の状況や諸外国の文献等を見てきたところ、現時点における風車から発生する音について、振幅変調音は、すべての風車に例外なく含まれていると判断される。</li> </ul>	振幅変調音を考慮した目標値を設定
純音性騒音の扱い方	<ul style="list-style-type: none"> <li>補正を行う必要があるかどうか。</li> <li>諸外国における補正値は+5～6 dBが多いが、一定値でない国、補正が考えられていない国もある。</li> <li>純音が認められる場合にはその騒音に対してより騒々しく感じるものがしばしば経験される、と言われている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>アノイアンスに影響を及ぼしている可能性があること、機種等によって発生の有無が異なり、低減対策が可能であると考えられること、多くの場合、供用後に発生の有無が判明すること、等を勘案し、目標値の設定に関しては考慮しない。</li> <li>実際の運用は、別途ペナルティを与えることを考えてもよい。純音性の評価方法については、ISO 1996-2に記載されている。</li> </ul>	別途、考慮する
風車騒音の影響評価における目標値	<ul style="list-style-type: none"> <li>人の感覚に対応している値を決定する。</li> <li>環境省戦略指定研究による検討結果を踏まえる必要がある。（整合性）</li> <li>既存の基準値、規制値等との整合性（諸外国等）を確認する必要がある。</li> <li>医学的見解（疫学、病理学）からの検討も踏まえる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>戦略指定研究による検討結果、医学的見解（疫学、病理学）、諸外国のガイドライン値等に基づいて決定</li> <li>屋内における睡眠影響を考慮</li> <li>屋内外のレベル差を考慮</li> <li>振幅変調音の心理的影響を考慮</li> </ul>	35 dB

表 6-2 諸外国の基準等における設定値との比較

国名 (年次)	各国における設定値 (基準値、ガイドライン値)	備考
日本 (本報告による提案)	・ $L_{Aeq}$ : 35 dB	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 目標値</li> <li>・ 風車騒音で設定</li> <li>・ 振幅変調音を含む</li> </ul>
デンマーク (2006)	・ $L_{Aeq}$ : 37~44 dB [風速に応じて変化]	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 国レベルの基準値 (絶対限度)</li> <li>・ 風車騒音で設定</li> <li>・ 純音成分に対して 5 dB のペナルティ有</li> </ul>
ノルウェー (2005)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>L_{Aeq}</math> : 50 dB (受音点が地形等によって風に影響される場所)</li> <li>・ <math>L_{Aeq}</math> : 45 dB (風の影響を受けない場所)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ガイドラインによる基準値 (推奨値)</li> <li>・ 暗騒音+風車騒音で設定</li> <li>・ 振幅変調音に対してのペナルティ無</li> </ul>
スウェーデン (-)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>L_{Aeq}</math> : 40 dB (一般地域)</li> <li>・ <math>L_{Aeq}</math> : 35 dB (静穏を要する地域)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ガイドラインによる基準値 (推奨値)</li> <li>・ 風車騒音で設定</li> <li>・ 純音成分に対して 5 dB のペナルティ有</li> </ul>
オランダ (2010)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>L_{den}</math> : 47 dB (終日)</li> <li>・ <math>L_{night}</math> : 41 dB (夜間)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 国レベルの基準値 (限度値)</li> <li>・ 風車騒音で設定</li> <li>・ 振幅変調音に対してのペナルティ無</li> </ul>
ドイツ (1998)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>L_{Aeq}</math> : 45~70 dB (昼間)</li> <li>・ <math>L_{Aeq}</math> : 35~70 dB (夜間)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 技術指針による限度値</li> <li>・ 暗騒音+風車騒音で設定</li> <li>・ 振幅変調音に対してのペナルティ無</li> </ul>
イギリス (1996)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>L_{Aeq}</math> : 35~40 dB 又は暗騒音+ 5 dB (昼間)</li> <li>・ <math>L_{Aeq}</math> : 43 dB 又は暗騒音+ 5 dB (夜間)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 住民の保護に対し提案する値 (騒音限度値)</li> <li>・ 風車騒音で設定</li> <li>・ 振幅変調音に対してのペナルティ無</li> </ul>
チェコ共和国 (-)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>L_{Aeq}</math> : 50 dB (昼間)</li> <li>・ <math>L_{Aeq}</math> : 40 dB (夜間)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ガイドラインによる基準値 (騒音指標)</li> <li>・ 風車騒音で設定</li> <li>・ 純音成分に対して 5 dB のペナルティ有</li> </ul>
カナダ (オンタリオ州) (2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>L_{Aeq}</math> : 40~51 dB (農山村部)</li> <li>・ <math>L_{Aeq}</math> : 45~51 dB (都市部)</li> </ul> [風速に応じて変化]	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ガイドラインによる基準値 (限度値)</li> <li>・ 風車騒音で設定</li> <li>・ 変電トランスに対して 5 dB のペナルティ有</li> </ul>
ニュージーランド (2010)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>L_{Aeq}</math> : 40 dB 又は暗騒音+ 5 dB (昼間)</li> <li>・ <math>L_{Aeq}</math> : 35 dB 又は暗騒音+ 5 dB (静穏地域の夕、夜間)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 国レベルの基準値 (限度値)</li> <li>・ 風車騒音で設定</li> <li>・ 純音性、衝撃性、振幅変調音に対して最大 6 dB のペナルティ有</li> </ul>
オーストラリア (南オーストラリア) (2009)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>L_{Aeq}</math> : 35 dB 又は暗騒音+ 5 dB (農山村部)</li> <li>・ <math>L_{Aeq}</math> : 40 dB 又は暗騒音+ 5 dB (それ以外の地域)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ガイドラインによる基準値 (超過してはいけない値)</li> <li>・ 風車騒音で設定</li> <li>・ 純音成分に対して 5 dB のペナルティ有</li> </ul>

表 6-3 諸外国の風車騒音に係る基準・ガイドライン等の比較

国・地域	地域区分	時間区分	暗騒音考慮	風速依存性	特異音補正	評価量	騒音レベル: $L_{Aeq}$ (dB)				
							30	35	40	45	
デンマーク	○	×	×	○	○	$L_{Aeq}$		風速: 6 m/s	8 m/s		
ノルウェー	○	×	×	×	×	$L_{den}$		風の影響: 低			高
スウェーデン	○	×	×	×	○	$L_{Aeq}$					
オランダ	×	○	×	×	×	$L_{night}$ ( $L_{Aeq}$ )					
ドイツ	○	○	×	×	×	$L_{Aeq}$					
イギリス	×	○	○	×	×	$L_{A90}$			静穏を要する昼間		夜間
チェコ	×	○	×	×	○	$L_{Aeq}$					
カナダ・ オンタリオ州	○	×	×	○	○	$L_{Aeq}$					
ニュージーランド	○	△	○	×	○	$L_{A90}$		特に静穏を要する地域: 夕夜間			
オーストラリア・ 南オーストラリア州	○	×	○	×	○	$L_{Aeq}$					

注: この表では、各国の基準のうち、静穏を要する地域と時間帯（主に夜間）に着目して整理した。  
 なお、 $L_{den}$ 、 $L_{A90}$  による値は、それぞれ、 $L_{den} - 6 = L_{Aeq}$ 、 $L_{A90} + 2 = L_{Aeq}$  で近似した。

暗騒音考慮: 「一定値」と「暗騒音に一定値を加えた基準値」の併用  
 風速依存性: 「風速に応じて変化する基準値」を設定  
 特異音補正: 振幅変調音や純音等について補正（ペナルティ）を考慮

■参考文献（第6章）

- 1) Tachibana H., Sakamoto S., Yokoyama S., Yano H. : Audibility of low frequency sounds – Part 1: Experiment on hearing thresholds for pure tones. Proc. 15th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control, 271-277. (2012)
- 2) Yokoyama S., Sakamoto S., Yano H., Tachibana H. : Audibility of low frequency sounds – Part 2: Audibility of low frequency components in wind turbine noises. Proc. 15th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control, 350-367. (2012)
- 3) 横山 栄, 坂本 慎一, 矢野 博夫, 橘 秀樹 : 風車音の可聴性に関する聴感実験. 日本音響学会 2012 年秋季研究発表会, CD-ROM. (2012)
- 4) 横山 栄, 辻村 壮平, 坂本 慎一, 矢野 博夫, 橘 秀樹 : 風車音に含まれる低周波数成分に関する聴覚閾値実験. 日本音響学会 2013 年春季研究発表会, CD-ROM. (2013)
- 5) 小林 知尋, 福島 昭則, 岩瀬 昭雄, 橘 秀樹 : 風車騒音に含まれる Swish 音の物理特性について. 日本騒音制御工学会 2012 年秋季研究発表会, 189-192. (2012)
- 6) 落合 博明 : 風車音の実測調査結果について—一般住環境における騒音・低周波音の測定結果との比較—. 日本騒音制御工学会秋季研究発表会, 181-184. (2012)

## 第7章 環境影響評価における調査、予測及び評価の手法

環境影響評価の項目及び調査、予測及び評価の手法の選定等については、すべての事業種に共通する基本的な考え方を環境大臣が告示する「基本的事項」と、事業特性や立地条件等を勘案して事業所管大臣が事業種ごとに、環境大臣と協議の上で定める「主務省令」によって規定されている。

一部の事業種においては、環境影響評価の手法や主務省令の内容等について解説するガイドライン等が策定されており、例えば、発電施設については、「発電所に係る環境影響評価の手引」（経済産業省原子力安全・保安院）が、道路については、「道路環境影響評価の技術手法」（財団法人 道路環境研究所）が作成されている。

風力発電事業に関しては、「平成23年度報告書」の中で、「環境影響評価手法の検討」として、環境影響評価法の対象事業となる風力発電施設の風車騒音に関する調査、予測及び評価の手法について、基本的事項及び主務省令に定められた事項の整理が行われている。この平成23年度の調査結果を踏まえ、今年度の業務における目標値の設定に伴って必要となった事項を加えて、風車騒音に係る環境影響評価の進め方を整理した。

### 7.1 これまでの国内における環境影響評価事例について

#### 7.1.1 概要

国内の風力発電所を対象とした環境影響評価事例について、収集できた範囲で調査、予測、評価及び事後調査の手法の実態を整理し、問題点を抽出した。

整理の対象は、平成23年度報告書における4事例に加え、表7-1及び表7-2に示す新たに入手した8事例の計12事例である。

表 7-1 国内の風力発電施設に係る環境影響評価事例の概要 (1)

文献名 (年次)	風力発電機 の概要	調査			予測				評価		
		調査手法	調査地点	調査時期 期間	予測式※1	風力発電機 のパワーレベル	予測地点	予測 対象時期	評価手法	参考とする値 (環境基準※2)	
A 風力発電事業 環境影響評価書 (平成 17 年 10 月)	基数：17 基 出力：3,000 kW ハブ高さ：80 m ローター径：90 m	・ JIS Z 8731:1999 「環境騒音の表示・ 測定方法」に準拠	・ 対象事業実施 区域に最も近 い住宅地域の 3 地点	・ 年間を通じて平均 的な様相を呈す ると思われる 2 日間 (48 時間連続観測) ・ 1 回 (11 月)	NEDO： 「風力発電 導入ガイ ドブック」	109.4 dB	・ 予測地域を 100 m 間隔に区切 った格子点及 び現況騒音の 測定地点	発電機が稼 働する時点	・ 環境保全目標 として「騒音 に係る環境基 準」を設定 ・ 目標と比較し、 環境影響の回 避・低減が図 られているか を評価	・ C 地域 … 現況の騒音レベルより設定	
B 風力発電事業 環境影響評価書 (平成 22 年 9 月)	基数：21 基 出力：3,000 kW ハブ高さ：80 m ローター径：90 m		・ 対象事業実施 区域に近い住 宅地域の 3 地 点	・ 1 日間 (24 時間連続観測) ・ 1 回 (12 月)		109.4 dB				・ A 地域 … 現況の騒音レベルより設定	
C 風力発電事業 環境影響評価書 (平成 23 年 3 月)	基数：20 基 出力：2,000 kW ハブ高さ：77 m ローター径：83.3 m		・ 対象事業実施 区域に近い住 宅地域の 7 地 点	・ 1 日間 (24 時間連続観測) ・ 1 回 (5 月)		104.2 dB				・ A 地域のうち道路に面する地域 … 現況の騒音レベルより設定 (調 査地点が国道に近いことも考 慮)	
D 風力発電事業 環境影響評価書 (平成 23 年 7 月)	基数：15 基 出力：2,000 kW ハブ高さ：77 m ローター径：83.3 m	・ JIS Z 8731:1999 「環境騒音の表示・ 測定方法」に準拠 ・ JIS C 1400-11:2005 「風力発電システム — 第 11 部：騒音測定 方法」を参考	・ 対象事業実施 区域に立地す る住居等の保 全対象を考慮 して 4 地点を 設定 ・ 参考として、 道路沿道にも 3 地点	・ 年間を通じて平均 的な様相を呈す ると思われる 1 日間 (24 時間連続観測) ・ 2 回 (6 月、12 月)		104.2 dB	・ 現況騒音の測定 地点		(評価手法に関 する記述な し)	・ A 地域 … 現況の騒音レベルより設定 (用途地域の指定及び住居等 の保全対象が立地しているこ とも考慮)	
E 風力発電事業 環境影響評価書 (平成 23 年 12 月)	基数：12 基 出力：2,300 kW ハブ高さ：78 m ローター径：82 m	・ JIS Z 8731:1999 「環境騒音の表示・ 測定方法」に準拠	・ 対象事業実施 区域に近い住 宅地域の 5 地 点	・ 1 日間 (24 時間連続観測) ・ 1 回 (11 月)		104.5 dB	・ 予測地域を 100 m 間隔に区切 った格子点及 び現況騒音の 測定地点		・ 環境保全目標 として「騒音 に係る環境基 準」を設定 ・ 目標と比較し、 環境影響の回 避・低減が図 られているか を評価	・ A 地域 … 現況の騒音レベルより設定	
F 風力発電事業 環境影響評価書 (平成 24 年 5 月)	基数：21 基 出力：2,000 kW ハブ高さ：77 m ローター径：83 m		・ 対象事業実施 区域に近い住 宅地域の 6 地 点			・ 1 日間 (24 時間連続観測) ・ 1 回 (11 月)	104.2 dB			・ 予測地域を 50 m 間隔に区切 った格子点及 び現況騒音の 測定地点	・ A 地域 … 現況の騒音レベルより設定
G 風力発電事業 環境影響評価書 (平成 24 年 5 月)	基数：18 基 出力：2,000 kW ハブ高さ：77 m ローター径：83 m										・ A 地域、A 地域のうち道路に面 する地域、幹線交通を担う道路 に近接する空間 … 現況の騒音レベルより設定 (主 要な騒音源 (自動車等) も考慮)
H 風力発電事業 環境影響評価書 (平成 24 年 5 月)	基数：22 基 出力：2,000 kW ハブ高さ：77 m ローター径：83 m							・ A 地域 … 現況の騒音レベルより設定			

※1 予測式  
予測式は、対象とした全事例で以下の方法を用いていた (NEDO:「風力発電導入ガイドブック」)。  
$$L_n = L_w - 10 \log(l^2 + h^2) - 8 - \Delta L_{AIR}$$
  
 $L_n$ : n 番目の風力発電機から水平距離 1m 離れた地点での騒音レベル (dB)  
 $L_w$ : 風力発電機のパワーレベル (dB)  
(風速 8m/s (測定高度: 10 m) 時に風力発電機の周囲で実際に測定された値 (メーカー提供))  
l: 風力発電機から騒音予測地点までの水平距離 (m)  
h: 風力発電機のブレード中心までの高さ (m)  
 $\Delta L_{AIR}$ : 空気減衰 (dB)

※2 環境基準

①一般地域			②道路に面する地域			③幹線交通を担う 道路に近接する空間		
地域の 類型	基準値 (dB)		地域の類型	基準値 (dB)		基準値 (dB)		
	昼間	夜間		昼間	夜間	昼間	夜間	
AA	50 以下	40 以下	A 地域のうち 2 車線以上の 車線を有する道路に面する地域	60 以下	55 以下	70 以下	65 以下	
A 及び B	55 以下	45 以下	B 地域のうち 2 車線以上の車線を有 する道路に面する地域及び C 地域の うち車線を有する道路に面する地域	65 以下	60 以下			
C	60 以下	50 以下						

表 7-2 国内の風力発電施設に係る環境影響評価事例の概要 (2)

文献名 (年次)	評価			影響予測結果			事後調査	
	評価量 評価の時間区分 (昼夜区分)	評価値の対象 とする音	補正 (振幅変調音、 純音等) について	現況騒音 (A特性)	予測値			評価
					風車からの騒音 (A特性)	合成値 (A特性)		
A 風力発電事業 環境影響評価書 (平成 17 年 10 月)	昼： $L_{Aeq,16hr}$ (6時～22時) 夜： $L_{Aeq,8hr}$ (22時～6時)	暗騒音＋ 風車からの騒 音(合成値)	無	昼：52～54 dB(1日目) 45～50 dB(2日目) 夜：52～54 dB(1日目) 45～50 dB(2日目)	48～50 dB	昼：53～55 dB 夜：52～54 dB (風の強い1日で評価)	・風力発電機が定格運転状態にて稼働するような気象条件時には、風自体に起因する暗騒音も非常に高くなることから、周辺居住者の生活に支障を与える可能性は小さいものと評価される、	・周辺の住宅地域において、何らかの影響が生じていると判断された場合に詳細な事後調査を実施する。
B 風力発電事業 環境影響評価書 (平成 22 年 9 月)				昼：42～46 dB 夜：37～42 dB	35～38 dB	昼：43～46 dB 夜：41～43 dB	・いずれの地点も環境基準を満たすものと評価される。 ・風力発電機が定格運転状態にて稼働するような気象条件時には、風自体に起因する暗騒音もより高くなることから、周辺居住者の生活に支障を与える可能性は小さいものと考えられ、騒音に係る環境影響は回避あるいは低減されているものと評価される。	・対象事業実施区域及びその周辺において聞き取り調査を実施し、何らかの影響が生じていると判断された場合には、詳細な現地調査を実施する。
C 風力発電事業 環境影響評価書 (平成 23 年 3 月)				昼：46～59 dB 夜：37～52 dB	38～45 dB	昼：47～59 dB 夜：42～52 dB	・現況の騒音レベルからの増大は最大で 5dB 程度にとどまり、いずれの居住地域においても環境基準を満たすものと評価される ・風力発電機が定格運転状態にて稼働するような気象条件時には、風自体に起因する暗騒音もより高くなることから、周辺居住者の生活に支障を与える可能性は小さいものと考えられ、騒音に係る環境影響は回避あるいは低減されているものと評価される。	
D 風力発電事業 環境影響評価書 (平成 23 年 7 月)				昼：43～57 dB(1日目) 44～57 dB(2日目) 夜：42～51 dB(1日目) 36～48 dB(2日目)	18～28 dB	昼：43～57 dB(1日目) 44～57 dB(2日目) 夜：42～51 dB(1日目) 36～48 dB(2日目)	・全ての地点において現況の騒音レベルを上昇させないと考えられる。 ・1地点を除き環境基準を下回り、上回っている地点も現況騒音レベルによるものである。 ・以上より、風力発電機の稼働による騒音の影響はないと考えられる。	・事後調査計画あり … 風力発電施設供用後に、事前調査と同様の地点・時期において実施。
E 風力発電事業 環境影響評価書 (平成 23 年 12 月)				昼：41～53 dB 夜：34～39 dB	27～40 dB	昼：42～53 dB 夜：38～43 dB	・いずれの地点も環境基準を満たすものと評価される。 ・風力発電機が定格運転状態にて稼働するような気象条件時には、風自体に起因する暗騒音もより高くなることから、周辺居住者の生活に支障を与える可能性は小さいものと考えられ、騒音に係る環境影響は回避あるいは低減されているものと評価される。	・施設の設置後には、必要に応じて風力発電機の稼働に伴う騒音の事後調査を実施する。
F 風力発電事業 環境影響評価書 (平成 24 年 5 月)				昼：49～61 dB 夜：29～53 dB	32～46 dB	昼：50～61 dB 夜：41～53 dB		・対象事業実施区域及びその周辺において聞き取り調査を実施し、何らかの影響が生じていると判断された場合には、詳細な現地調査を実施する。
G 風力発電事業 環境影響評価書 (平成 24 年 5 月)				昼：47～64 dB 夜：35～57 dB	36～47 dB	昼：50～64 dB 夜：39～57 dB	・ほとんどの居住地域において環境基準を満たすものと評価された。 ・一方で、夜間における環境基準を超過する地点においては、個々の家屋に対する防音対策を施すことにより、騒音に係る環境影響は低減されるものと評価される。	
H 風力発電事業 環境影響評価書 (平成 24 年 5 月)				昼：45～61 dB 夜：28～48 dB	36～47 dB	昼：46～61 dB 夜：38～49 dB		

### 7.1.2 整理の結果

整理を行った結果、いずれの事例も概ね同様の調査、予測及び評価の手法を採用しており、類似した問題点がみられた。主な内容は以下のとおりである。

#### 〔調査手法〕

- ・ 暗騒音等の測定で除外音処理を適切に行うことは重要であるので、実際に行った除外音処理の方法を記載する必要がある。
- ・ 発生源（風力発電施設）と調査地点との位置関係（方角、標高、水平距離、等）を明確にしておく必要がある。
- ・ 調査期間について、調査を行った事例では測定期間は最長でも2日であったが、この期間では平均的な環境騒音を得ることは困難である。年間の状況を正確に把握する必要があることから、少なくとも、代表的な時期に1週間程度の測定が必要である。

#### 〔予測手法〕

- ・ 予測に用いた風力発電設備の機種、風速等の予測条件について明記しておく必要がある（風力発電機メーカー、機種、仕様（カットイン風速、カットアウト風速、定格風速）等）。
- ・ 風力発電機の騒音発生特性としてはA特性音響パワーレベルだけでなく、オクターブバンドあるいは1/3オクターブバンド分析による周波数特性も示す必要がある。純音成分が大きい機種を選定する場合には、それによる影響も影響評価で考慮する必要がある。
- ・ 「年間の平均風速」が予測に用いられており、騒音が大きくなる状況（例えば定格出力時の風速）の把握が不十分である。

#### 〔評価手法〕

- ・ 「風が強い時は暗騒音も大きい」とした評価が見受けられるが、暗騒音（残留騒音）は地形や風向により異なる。
- ・ 風雑音が風車騒音をマスキングするから問題ないという評価が見受けられるが、一概に断定することはできず、騒音のマスキング効果を前提とした評価は適切ではない。
- ・ 環境基準の類型指定がなされていない地域についてまで、環境基準値を適用して評価しているのは、環境基準の趣旨から考えて不適切である。

#### [事後調査]

- ・ 事後調査としては居住者に対する聞き取りのみとしている例が多く、風車騒音の実測結果について明記している事例はなかったが、風車騒音は、騒音源の騒音放射特性、伝搬過程における気象条件や地形・地物の影響など不確実性が大きい要因が多いため、事後調査は必ず必要である。
- ・ 事後調査で得られた結果は、予測時の結果と比較して評価する必要がある、必要によっては、騒音低減のための対策検討の必要がある。

## 7.2 調査手法

### 7.2.1 概要

調査手法の選定では、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風力発電設備に係る音源特性、②風力発電施設から受音点までの伝搬特性、③風車騒音に暴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。なお、地域特性については、対象となる風力発電施設の実施区域や周辺における自然的状況、社会的状況であり、これらは時間の経過に伴って変化することにも十分に留意する必要がある。

### 7.2.2 調査すべき情報

#### (1) 風力発電設備の音源特性について

発生騒音の音響パワーレベルについて、オーバーオール値及び周波数特性（オクターブバンドあるいは 1/3 オクターブバンド）や純音性の周波数成分の有無を情報として入手する必要がある。予測地域あるいは予測地点において環境影響が最大となる状況を把握するために、風力発電設備が定格出力ないし最大出力で稼働している場合の音響パワーレベルに係る情報が非常に重要となる。

併せて、風速ごとの音響パワーレベルのオーバーオール値及び周波数特性も収集するとともに、風力発電設備のメーカー、型番、ハブ高さ、ローター直径、定格風速や発電量等の情報も収集する必要がある。



## (2) 伝搬特性について

風力発電施設からの騒音は、評価地点まで伝搬する過程で様々な要因の影響を受け、騒音レベルや周波数特性が変動する。これらは、反射、吸収、透過、屈折、回折等の現象に起因する。風力発電施設の多くが山稜部に設置されていることを考慮すれば、起伏のある地形や山稜部による風車騒音の反射や吸収、回折現象を把握するためにデータを収集する必要がある。また、地表面によって音の伝搬特性は著しく影響を受けるため、地表面の状況（河川や湖沼等も含む）についても十分な調査によるデータが必要である。

さらに、風力発電施設は基本的に風速が大きい地域に立地され、屋外における気象の状態が音の伝搬に著しく影響を及ぼすため、風向風速や発生頻度等の風況を調査する必要がある。

## (3) 評価地点について

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調査することが重要である。また、住宅の状況や配置を把握する必要があり、家屋構造についても可能な範囲で情報を収集することが望ましい。さらに、学校、病院及びその他環境保全についての配慮が特に必要な施設等も調査しておく必要がある。

風力発電施設の設置に伴う音環境の変化を詳細に把握するためには、現状における残留騒音の状況を調査する必要がある。

### 7.2.3 情報の取得方法

#### (1) 風力発電施設の音源調査について

導入を予定している風力発電設備のメーカーからその音響特性を示す資料や関連する情報等を入手する必要がある。また、他の風力発電施設において稼働中の同一設備に係る既存データも大いに参考となる。

なお、風力発電設備からの音響放射特定に係る測定方法は、IEC 61400-11: 2006 Wind turbine generator systems–Part 11: Acoustic noise measurement techniques あるいは JIS C 1400-11:2005 風力発電システムー第11部：騒音測定方法に定められている。

## (2) 伝搬特性調査について

風力発電施設周辺の地形等を把握するために、最近では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 <http://www.gsi.go.jp/>などを参照）が大いに活用できる。これによれば風力発電施設から評価地点までの地形断面など多くの情報も得られる。

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できる。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大いに参考となる。

## (3) 評価地点調査について

風力発電施設周辺における住宅、学校、病院及びその他、環境保全について、特に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。周辺状況の把握にあたっては、前述のとおり数値地図の活用が有効である。対象となる地域における残留騒音を把握するためには、実測あるいは近隣の風力発電施設における実測データからの推計、地方公共団体からの資料入手あるいは閲覧等が考えられる。

地域の残留騒音としては、昼夜に留意し、航空機騒音、自動車騒音、近隣における各種の作業音、自然音（鳥や虫の鳴き声、葉擦れの音）などの特定騒音が発生していない間の時間平均騒音レベルとすべきである。しかし、それには除外音処理など細心の注意が必要であるので、次善の方法として騒音計の時間重みづけ特性 FAST による 10 分間の測定時間における 95 % 時間率騒音レベル ( $L_{A90,10min}$ ) を測定し、それに代えてもよい。ただし、その場合にも、顕著な特定騒音のない時間帯に測定を行うべきである。なお、自動車騒音常時監視マニュアル（平成 23 年 9 月）における残留騒音の測定でも、 $L_{A95}$  が採用されている。

#### 7.2.4 測定機器等について

測定機器には、基本的に騒音計（サウンドレベルメータ）、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がある。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、一般に風が強く、残留騒音を測定する場合に風雑音の影響をできるだけ避けるために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。防風スクリーンの寸法、形状、材質等に関する規定はないが、防風スクリーンを装着することによって風速 5 m/s 程度までは風雑音の影響を少なくすることができる。

なお、環境省戦略指定研究では、超低周波音領域から可聴周波数領域までを測定可能な広帯域サウンドレベルメータを開発するとともに、市販されている 20 cm 径防風スクリーンを 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を挿入し（図 7-1）、風力発電施設からの風車騒音及び残留騒音の測定を行っている<sup>1)</sup>（図 7-2）。

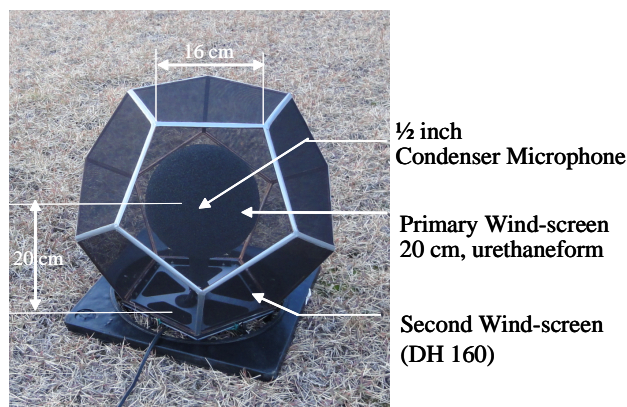


図 7-1 二重防風スクリーンの試作  
（環境省戦略指定研究）



図 7-2 風力発電施設における実測調査  
（環境省戦略指定研究）

### 7.2.5 調査地域

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、風車騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域とする。この中には、病院等、静穏な環境を保全すべき地域が含まれる場合もある。

### 7.2.6 調査地点

調査地点の考え方として、調査地域を代表する地点や調査が効果的であると認められる地点、その他法令等で定められた地点等があれば、それを選定する必要がある。調査地域を代表する地点には、風力発電施設の周辺にあつて風車騒音の影響を受けるおそれがある住宅や、近い将来、立地することが決定している地点等の屋外とする。

### 7.2.7 調査期間

風向風速等の気象条件の影響を受けるため、年間の状況を正確に把握する必要があることから、1週間程度の調査期間が必要である。なお、季節により気象条件が変動する場合は、季節ごとに調査する。

なお、残留騒音の測定は、原則、調査期間内において連続で行うこととする。

## 7.3 予測手法

### 7.3.1 概要

予測とは、対象事業の実施による環境影響を適切に評価するために、対象地域における風車騒音による音環境の変化を明らかにすることである。予測にあたっては、対象とする風力発電施設の騒音源としての特性とその稼働条件、気象条件等による騒音伝搬の不確実性、影響評価の考え方等についても考慮する必要がある。

### 7.3.2 予測の基本的な手法

騒音源から放射された音波は3次元的に拡散しながら伝搬する。その過程で距離による減衰、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、気象条件の影響（特に風の影響）及び空気の音響吸収による減衰などの作用を受け、現象としてはきわめて複雑である。環境影響評価などにおける実際の騒音予測では、これらの要因をできるだけ簡素化し、実用的な手法が考案されている。

風力発電施設からの騒音の予測手法としては、国内外において適用事例が多い手法として、以下の2手法が挙げられる。これらの内容については、「平成23年度報告書」にも詳述されている。

## (1) ISO 9613-2 による方法

この方法は、国際標準化機構（ISO）によって規格化されている伝搬予測計算に基づくものであり、各種音源から屋外を伝搬する騒音を予測する手法である。この手法では、多様な音源を想定し、幾何学的拡散（距離減衰）、空気による音響吸収、地表面の影響、障害物による遮蔽等の伝搬過程における物理的要因に対して個別に周波数ごと（中心周波数 63 Hz～8 kHz のオクターブバンド）に減衰量を算出し、その結果をエネルギー合成することによって受音点における等価騒音レベルを予測する。

## (2) 風力発電のための環境影響評価マニュアル（第2版）による方法

NEDO マニュアルに記載された予測計算方法では、風力発電設備を点音源としてモデル化し、風力発電機メーカー等から示される音響パワーレベルを用いるものとしている。この手法では、伝搬過程における幾何学的拡散による距離減衰、空気吸収による減衰を考慮している。予測地点における各風車からの騒音レベルを算出し、デシベル和を計算することによって予測点における騒音レベルを求める。

なお、実際にこれまでに我が国で実施されている環境影響評価のすべての事例で、NEDO マニュアルによる方法がとられている。

ここで紹介した「ISO 9613-2」と「NEDO マニュアル」の要点を整理して表 7-3 に示す。なお、屋外における騒音の伝搬については、現在も研究が進められており、将来その精度が確認されれば風車騒音の伝搬予測にも利用できるようになることが期待される。

表 7-3 予測にあたっての検討すべき課題等と対応方針

	① ISO9613-2 による方法	② NEDO マニュアルによる方法
手法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>海外において適用事例が多い。</li> <li>風車騒音を自由空間における点音源と仮定し、“音が伝搬しやすい条件”を前提とした予測手法である。減衰項として距離減衰、空気の音響吸収による減衰、地表面減衰、障害物による減衰及びその他（植栽、工場立地及び家屋群による減衰）を考慮する。</li> <li>音源の指向性や気象影響による補正（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ある。</li> <li>オクターブバンドごとの周波数（63 Hz～8 kHz）に対して計算が可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>我が国で広く利用されている予測方法である。</li> <li>風車騒音を半自由空間における点音源と仮定し、減衰項として距離減衰と空気の音響吸収による減衰（ISO 9613-1 あるいは JIS Z 8738 を参照）を考慮する。</li> <li>周波数ごとの予測計算を想定せず、オーバーオール値を算出する。</li> </ul>
課題等と解決方法の検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>風力発電施設の（見かけの）音響パワーレベル値（オクターブバンドごと、低周波音領域を含む）が必須であり、指向性に関するデータの入手も求められる。</li> <li>メーカーから関連するデータを提出させる仕組みづくりが必要（ラベリング制度の活用も考えられる）。 <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ 適切なデータの入手に努めることとする。</li> <li>⇒ メーカーに対し、関連データの必要性（重要性）について理解させる必要がある。場合によっては、「データがない風車は、我が国では設置できない」としても良いと考える。</li> </ul> </li> <li>風車騒音を点音源として扱えるかどうかの検討が必要である。（面音源的な扱いが適当ではないか） <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ 点音源としての予測と面音源としての予測について、どちらがより実態に合うか、実測結果を基に検討を行う必要がある。</li> </ul> </li> <li>指向性について予測への寄与度を見極める必要がある。</li> <li>我が国特有の地形の影響等の考慮も可能かもしれないが、知見の蓄積はほとんどなく今後の課題である。</li> <li>我が国の風車の立地状況から考え、“その他”による減衰項の影響がどの程度かについても検討が必要である。 <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ 環境影響評価結果及び事後調査結果が蓄積された段階で、指向性・地形の影響・“その他”による減衰項の影響について、実測結果を基に検討を行う必要がある。</li> </ul> </li> <li>風車の振幅変調音（大きなレベル変動）を考慮する必要があるかを実測結果を基に検討が必要である。 <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ 環境影響評価結果及び事後調査結果が蓄積された段階で、風車の振幅変調音（大きなレベル変動）の影響について、実測結果を基に検討を行うとともに、必要に応じては予測手法の検討が必要である。</li> </ul> </li> <li>予測計算のための運用上のデータが揃うかどうか、また、検証用データが入手可能かどうか等の面からも検討する必要がある。 <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ 環境影響評価が蓄積された段階で、データ入手の可能性について、検討を行う必要がある。</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風力発電施設の音響パワーレベル値（低周波音領域を含む）が必須であり、メーカーから関連するデータを提出させる仕組みづくりが必要（ラベリング制度の活用も考えられる）。 <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ メーカーに対し、関連データの必要性（重要性）について理解させる必要がある。場合によっては、「データがない風車は、我が国では設置できない」としても良いと考える。</li> </ul> </li> <li>風車騒音を点音源で扱えるかどうかの検討が必要である。（面音源的な扱いが適当ではないか） <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ 点音源としての予測と面音源としての予測について、どちらがより実態に合うか、実測結果を基に検討を行う必要がある。</li> </ul> </li> <li>気象影響や我が国特有の地形の影響等の考慮が困難である。</li> <li>地形の影響の見極めや気象条件による異常伝搬の扱い等は今後の課題であり、実測データの蓄積とその分析が必要である。 <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ 環境影響評価結果及び事後調査結果が蓄積された段階で、気象の影響・地形の影響・これらに伴う異常伝搬の扱いについて、実測結果を基に検討を行う必要がある。</li> </ul> </li> <li>風車の振幅変調音（大きなレベル変動）を考慮する必要があるかを実測結果を基に検討が必要である。 <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ 環境影響評価結果及び事後調査結果が蓄積された段階で、風車の振幅変調音（大きなレベル変動）の影響について、実測結果を基に検討を行うとともに、必要に応じては予測手法の検討が必要である。</li> </ul> </li> <li>予測計算のための運用上のデータが揃うかどうか、また、検証用データが入手可能かどうか等の面からも検討する必要がある。 <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ 環境影響評価が蓄積された段階で、データ入手の可能性について、検討を行う必要がある。</li> </ul> </li> </ul>

### 7.3.3 予測地域

予測地域は、原則として調査地域と同じとする。

### 7.3.4 予測地点

予測地点は、原則として調査地点を含む影響が想定される地点とする。

### 7.3.5 予測時期等

音源特性、伝搬特性及び予測地点（評価地点）の状況を総合的に判断し、環境影響が最大になると考えられる時期、期間を選定する。

## 7.4 評価手法

### 7.4.1 概要

一般に、環境影響評価法における評価の考え方は、①回避・低減、②基準又は目標との整合、の2種類に大別されている。これらのうち、①の視点からの評価は必ず行う必要があり、また、②に示される基準又は目標等がある場合には、この点からの評価についても必ず行う必要がある。風車騒音については、回避・低減の措置を十分に考慮した上で、本報告書で述べた目標値の実現可能性について評価する。

### 7.4.2 回避・低減に係る評価

風力発電施設の構造・配置、環境保全設備、建設工事の方法等を含め、幅広く環境保全対策について検討を行い、複数の案を時系列、並行的に比較検討する必要がある。また、事業者として実行可能なより良い技術が取り入れられているか否かについて検討を行い、対象事業を実施により環境に及ぼすおそれがある影響が、回避又は低減されているかについて、評価を行う。

### 7.4.3 基準又は目標との整合に係る評価

環境基準、環境基本計画、その他、国又は地方公共団体による環境保全施策によって、風車騒音に関する基準又は目標が示されている場合は、当該基準等の達成状況、環境基本計画等の目標又は計画の内容等と調査及び予測の結果との整合性が図られているか否かについて検討することとなっている。

我が国では風力発電施設からの騒音等に係る基準又は目標は現時点で設定されていないが、本業務において「風力発電施設を設置する際、騒音・低周波音による生活環境への影響を未然に防止するための目安として推奨する暫定の値」としての「目標値」を提案している。

## 7.5 事後調査の手法

### 7.5.1 概要

事後調査は、①予測の不確実性の程度が大きい手法を用いて環境保全措置を講ずる場合、又は②効果に係る知見が不十分な環境保全措置を講ずる場合で、かつ、環境影響の程度が著しいものとなるおそれがあるときに行うものとされている。風車騒音については、前述のとおり、騒音源の騒音放射特性、伝搬過程における気象条件や地形・地物の影響など不確実性が大きい要因が多いため、事後調査を必ず行うべきである。

### 7.5.2 事後調査の基本的な手法

事後調査としては、短期間の実測では不十分で、例えば、代表的な時期あるいは四季ごとにある程度の期間で実測することが必要である。

音源特性として、風力発電施設からの風車騒音が最大となる条件（定格出力での稼働）であることを確認しておく必要がある。また、ナセル高さにおける風向風速や発電出力の変動、風力発電施設から評価地点までの減衰状況を測定する。その際、気象データ（風向風速及び温湿度）も併せて収集・記録する。

また、振幅変調音及び純音成分の程度は、風車騒音評価で重要な要素であり、事後調査において十分に考慮する必要がある。

### 7.5.3 調査地域

調査地域は、原則として、環境影響評価時に調査を行った地域と同じとする。

### 7.5.4 調査地点

調査地点は、原則として、環境影響評価時に調査を行った地点（予測地点、評価地点）と同じとする。

### 7.5.5 調査期間

調査期間は、選定された調査地点において、環境影響が最大になると考えられる状況（すなわち、風車騒音が最大となり、評価地点での暗騒音が低いとき）を選定する必要がある。調査期間としては、必要により、季節ごとに1週間程度とし、その間は原則として連続で測定することが望ましい。



### 7.5.6 評価時間

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い。したがって、風車騒音の測定は風車が定格出力で稼働している間で、夜間など暗騒音の影響が小さい時間帯に行う。具体的には、騒音が安定している状態における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。なお、長時間にわたって風車が定格稼働し、騒音が測定できる場合には、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（例えば夜間）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。

### 7.5.7 評価手法

事後調査の結果と環境影響評価における予測結果とを比較し、予測値の検証を行うとともに、現実の状況进行评估する。回避・低減に係る措置や目標値との整合が十分でない場合は、追加的な環境保全措置を実施する必要がある。

なお、風車騒音に卓越した純音成分が含まれている場合には、ISO 1996-2に示されている判定方法に基づいて評価を行い、影響の低減に必要な措置をとる必要がある。

#### ■参考文献（第7章）

- 1) 矢野 博夫, 太田 達也, 橘 秀樹 : 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)

## 第8章 終章

### 8.1 まとめ

本業務において、風力発電施設からの騒音・低周波音について、これまで環境省が行ってきた検討結果並びに最新の国内外における研究成果等を基礎として、風力発電施設からの騒音・低周波音の予測手法、評価指標、評価方法の整理及び参考とすべき値（目標値）を提案することを目的として、以下の検討を行った。

#### 8.1.1 最新の研究等の収集・整理

現在、国内外で進められている予測及び評価手法の調査・研究の情報について収集・整理を行った。環境省戦略指定研究「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」では、以下のことが明らかにされている。

- ①風車騒音には超低周波音あるいはそれに近い低周波数の成分も含まれているが、一般的な風車騒音ではこれらの低周波数成分そのものは感覚閾値以下である。
- ②しかし、風力発電施設が建設されるのは本来静穏な地域が多く、風車騒音は可聴性の騒音として深刻な問題である。特に規則的に変動する振幅変調音（swish音）や純音性の成分が近隣住民のアノイアンスを高めていると考えられる。
- ③風車騒音は夜間など地域の暗騒音が低い時に気になり、睡眠影響などの原因となりやすい。ひいては、それが健康に影響を及ぼす可能性がある。
- ④風車騒音の評価量としては、一般環境騒音の評価に広く用いられている A 特性音圧レベル（騒音レベル）が適用できる。

その他、騒音予測手法の開発として、環境省地球温暖化対策技術開発事業「騒音を回避・最小化した風力発電に関する技術開発」及び NEDO「次世代風力発電技術研究開発」が行われているが、いずれもフィールドにおけるデータ蓄積やこれに伴うシステムの見直し、事業者等が使えるようなプラットフォームの整備等が必要とされている。

また、国内における過去の低周波音に関する研究について整理を行い、計測・伝搬・影響・評価の各項目について知見を整理した。

#### 8.1.2 諸外国のガイドライン、基準等に関する情報の収集・整理

風車騒音に関する我が国における環境影響評価を行うにあたっての目標値の検討を行うにあたり、各国におけるガイドライン値、基準値等及びそれらが設定されている諸条件について整理を行った。

その結果、評価値の設定方法については、諸外国では、①一定の値で設定する方法、②風速に応じた値を設定する方法、③暗騒音に一定の値を加えた値を設定する方法、④セットバック距離を設定する方法の4種類があることが分かった。

また、評価量については、環境騒音全般に広く用いられている A 特性音圧レベル（騒音レベル）が採用されていることが分かった。

その他、評価値の対象音、評価値の意味合い、時間区分・地域区分の有無、及び振幅変調音・純音性騒音等の扱いについて、各国における考え方や設定の方法について整理した。

### 8.1.3 健康影響に関する文献レビュー

風車から発生する騒音・低周波音が人体に何らかの健康影響を起し得るか否かについて医学的な視点からの検討を行うために、これまでに発表された関連学術論文等を収集し評価した。文献の評価にあたっては、健康影響の種類、研究方法の種類、さらに風車騒音と健康影響との関連について研究課題を整理した上で、それぞれの課題に答えうる科学的根拠が十分にあるかどうかの視点から行った。

その結果、これまでの調査・研究において、風車騒音と健康影響との因果関係を示す科学的根拠は確認されなかった。一方、風車騒音とアノイアンス及び睡眠障害との関連は示唆され、これらが慢性的に惹起されることによるストレスから何らかの健康影響が生ずることを否定する研究論文はなかった。

### 8.1.4 目標値の設定についての検討

前節に示した結果を基に「目標値」の検討を行った。この値は、風力発電施設を設置する際、騒音による影響を予防するために、「事業者が最低限守るべき目標値として推奨する値」と定義づけし、騒音レベル（A 特性音圧レベル）で 35dB を提案する。

提案した目標値の概要については、以下のとおりである。

- ・対象とする音           : 風力発電施設から発生する音（風車騒音）
- ・評価対象とする場所   : 風力発電施設周辺の民家等（屋外）
- ・評価値                   : 騒音レベル（A 特性音圧レベル）で 35 dB
- ・時間区分                 : なし（終日）
- ・対象地域                 : 設定しない

### 8.1.5 環境影響評価（調査、予測及び評価）の手法について

風力発電事業に関しては、平成 23 年度報告書の中で、「環境影響評価手法の検討」として、環境影響評価法の対象事業となる風力発電施設の風車騒音に関する調査、予測及び評価の手法について、基本的事項及び主務省令に定められた事項に従っての整理が行われている。本業務においては、特に提案した「目標値」を踏まえた評価手法や事後調査手法の整理に重きを置いた。

## 8.2 今後の課題

今年度の検討調査業務を実施して見出された風力発電施設からの風車騒音に関する今後の課題について、以下に整理した。

### 8.2.1 今後における新たな知見による目標値の見直しの必要性

本業務においては、風車騒音の影響について現時点で得られる研究並びに基準等の情報を収集し、当面の行政的取り組みとして環境影響評価における目標値を設定した。しかし、風車騒音の影響はきわめて複雑であり、今後の医学（疫学、病理学）、聴覚、社会心理学的な研究の進展に期待するところが多い。これらの研究の進展に応じて、また環境影響評価の経緯を慎重に見守りながら、本業務で提案した目標値並びに環境影響評価の進め方について、必要に応じて見直していくことが重要である。

### 8.2.2 情報収集

風車騒音の環境影響評価においては、風車騒音の伝搬に係る予測手法の妥当性の検証とともに、それら手法の相互比較による予測精度の検証を今後実施する必要がある。そのためには、測定条件を明確にすることが必要で、風雑音等も十分に配慮された測定データの拡充と蓄積が不可欠である。

それと同時に、騒音源である風車の騒音放射特性のデータの公開性が重要である。現状では、風車の音響パワーレベルや周波数スペクトル等のデータは、顧客からの要請に応じて、個別に開示されるのが通常であり、一般には公開されていない。これらの騒音源に係る基礎データは、当該環境影響評価において最も基本となるもので、情報の公開が強く望まれる。

### 8.2.3 洋上風力発電施設への対応

我が国における今後の風力発電開発を考える場合、陸域の適地は限られるため、大きなポテンシャルを有する洋上風力発電が本格的に普及することが想定される。しかし、我が国の沿岸部は諸外国のように海岸から沖合に向けて浅瀬が続くような地理条件ではなく、当面は、陸域に近い部分における洋上風力発電の開発が中心になるものと予想される。

この場合についても、陸上風力発電施設の場合と同様に、本業務で推奨する目標値に基づく環境影響評価を行うことが望ましい。