

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

公益社団法人 日本騒音制御工学会

## はじめに

風力発電施設にかかる環境影響については、風車施設数の増大とともに騒音などを中心に地域住民の大きな関心事になっている。一方、福島原発事故を契機に風力発電等の再生可能エネルギーについての国民的議論も巻き起こっており、我が国としても今後のエネルギーや環境にかかる施策について十分な検討が求められている。

そのような中で、国においては、環境影響評価法の見直し検討が行われ、風力発電施設を環境影響評価の対象に追加する法令改正が行われ、適切な評価手法や予測手法の整備が求められることになった。

そこで、具体的な環境影響評価にかかる技術上の情報などを国民に示すために、適切な環境影響評価の実施に向けた調査検討が必要になってきた。本業務は、この騒音などについての技術上の情報に関して、内外の知見を整理し検討を行い、今後の環境影響評価制度の適切な運営に資するものである。

さらに、環境影響評価法の対象とはならない風力発電施設や小型風車と呼ばれる施設の設置も進んでいる。また、我が国の地形などから、洋上発電施設への関心が高まっており、我が国においても技術開発が進んでいる。これらのことから、風車騒音の測定評価法などにおいても、新たな検討課題が生じてきている。

当騒音制御工学会は、騒音振動にかかる専門学会として測定、評価、予測などについて、長年の歴史を有しており、風車騒音についても環境省からの委託事業などを継続的に実施してきた。今回は、これらの受託事業の実績をもとに、最新の内外の知見などを収集して、専門的な見地から関係情報の整理検討を行ったものである。

風車騒音については、評価手法や評価量など、なお研究を実施すべき事項も多く残っているが、本報告は、現時点で得られる最新の知見について整理したものである。当学会としては、引き続き風車騒音等についての調査研究を推進していく所存であるが、これらの成果がわが国の環境行政に大きく貢献できるものと信じている。

最後に、本報告の作成に協力いただいた関係各位に謝意を表するとともに、この成果が広く活用されることを願っている。

日本騒音制御工学会

会長 山田 一郎

## 報告書概要

この報告書は、環境省からの委託により、風力発電施設の環境影響評価手法についての技術的な状況について、知見を収集・整理して、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、「環境影響評価法」の見直しに伴い、新たに対象施設として追加されることになった。そこで、騒音・低周波音に関する調査、予測、評価の手法などについて、最新の知見を収集・整理したもので、これまで国が行ってきた調査等を基礎にしながら検討を行った。また、諸外国を含む最新の知見について、実例を収集して検討するなど、種々の観点から見解も示した。

この風力発電施設からの騒音・低周波音についての調査・予測・評価等は、まだ実例が少なく確定したものになっていない。国においても、環境省戦略指定研究等を実施して、知見の収集に努力している最中であるが、本報告では、現在得られる知見を収集・整理して取りまとめた。

その結果、調査手法については、低周波音の測定に対応した防風スクリーンの開発なども行われており、おおむね課題は解決されている。

予測手法については、ISO 規格に基づく手法や NEDO が示した手法が採用されている例が多かった。ただし、丘陵部に設置される場合や海岸部に設置される場合など、複雑な地形での予測など、なお開発を要する技術も残されている。

評価手法については、騒音・低周波音による直接的な生理的影響があるという明確な証拠は認められていないが、アノイアンス(不快感)については、調査・検討の必要性が認められた。なお、具体的な評価においては、絶対値による方法、暗騒音との相対値による方法など種々の手法が採用されていた。また、国内では環境基準値の流用など不適切と認められる事例もあった。

本報告では、これら収集した知見を整理するとともに、それぞれの事例概要や見解を示し、今後の課題についても検討し明らかにした。なお、多くの調査研究が、国などの主導で現在実施されている最中であり、これらの調査研究の成果を踏まえることにより、より適切な環境影響評価手法の確立に資することができると考えている。

## 英文概要

This report has been commissioned by the Ministry of the Environment, and collates and summarizes opinions regarding the technical situation surrounding environmental assessment methods for wind power stations to provide for proper operation of environment impact assessments.

Subsequent to revisions in the Environmental Impact Assessment Law, wind power stations have been newly designated as facilities to be subject to assessment. State-of-the-art knowhow and expertise have thus been collected and collated on the basis of results of investigations thus far conducted by the government. Also, the most recent experiences and findings both within Japan and overseas have been reviewed in a collection of actual examples to form positions from variable standpoints.

Lack of practical examples, however, has rendered current researches, predictions and assessments rather inconclusive as regards the noise and low-frequency noise produced by wind power generators. At the national government level, some strategically designated studies are now in progress to strive for the accumulation of knowledge. In the meantime, in this report the knowledge and findings currently available have been assembled and put in order.

As a result, it is concluded that investigative method issues have generally been addressed and resolved as evidenced by developments of windscreens to deal with measurement of low-frequency noise impact.

Prediction methods either based on ISO standards or NEDO-directed have been noted in many instances. Nevertheless, predictions made on irregular landforms such as hilly ground or seashore will require ongoing research and development.

Assessment methods have provided no definite proof are yet linking noise and low-frequency noise directly to physiological effects. However, it has been recognized that future research and investigation will be required to be made into annoyance. The various methods for actual assessment that have been noted have been conducted on absolute values or on relative values vis-à-vis background noises. In some instances, improper practices of diversion of environmental quality standards for noise were identified.

In this report, those collected findings have been put in order, with brief case overviews and our observations attached, while clarifying issues and tasks to be addressed hereafter. Since there are many research projects currently being undertaken either assigned or directed by the government or other bodies, it is expected that examination of the results from these projects will form a firmer basis for establishing better environmental impact assessment methodologies.

## 業務内容

### 1 目的

風力発電施設については、近年設置数が増加していること、風車騒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、風車騒音の調査、予測、評価の手法についての知見の充実が求められている。環境省においては、平成 20 年度から調査・検討を行ってきたが、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から、具体的な検討が求められることになった。従来の経過に引き続いて調査・検討を行うとともに、これらの知見について暫定的に取りまとめを行い、環境影響評価に関係する機関に最新の情報を示す必要がある。

そこで、この業務では、風力発電施設から発生した騒音等について、これまで環境省が行ってきた検討結果を基礎として、更に内外の知見を追加し、風力発電施設からの騒音等を適切に調査、予測、評価する手法に関して必要な事項を調査検討し、環境影響評価を行うに当たって現段階で最適と思われる情報を取りまとめて示すことにした。

### 2 契約期間

平成 23 年 10 月 31 日～平成 24 年 3 月 19 日

### 3 検討事項

本業務の内容は、「風力発電施設から発せられた風車騒音の調査、予測、評価の手法に関する検討および取りまとめ」であり、仕様書に基づき検討会を設置して検討を行った。なお、風力発電施設に係る環境影響評価については、事例が十分でなく、影響、評価手法、予測手法などについて、現在調査研究が引き続き実施されている状況にある。そこで、この検討においては、現状で得られる知見の収集整理のほか、専門的見地から想定される手法(技術)や今後早急に検討を行うべき課題についても審議を行い報告書にまとめた。

この報告書は、上記の検討会における専門的な見地からの検討審議の結果に基づいて整理・記述した。具体的な内容については、下記の項目のとおりである。

#### (1) 風車騒音の経過と現状

風車騒音等に係る環境影響評価については、風力発電施設に対する苦情の増加などから、国において一連の検討が実施されてきた。

この中で、風力発電施設に係る環境影響評価の大枠が決定されてきており、これらを踏まえて技術的課題を整理する必要がある。そこで、①風力発電施設に係る騒音問題の経過、②風車騒音と健康影響、③環境影響評価法改正の経過、④日本風力発電協会のアセス規程、⑤特に留意すべき事項、に区分して経過と現状について記述した。

## (2) 風車騒音に係る最新知見

風力発電施設にかかる文献資料は、内外ともに増加しつつあり、特に最近は、公的機関等による規模の大きい調査研究が目立ってきている。我が国でも、2年ほど前から国等において、規模の大きい調査研究が計画・実施されている。

そこで、本報告においては、主として規模の大きい調査研究の成果について、その概要を整理記述した。具体的には、①アメリカ・カナダ風力エネルギー協会報告書、②オーストラリア国立保健医療研究評議会報告書、③Wind Turbine Noise 2011 会議総括レポート、④オレゴン州における風力エネルギー開発に係る戦略的健康影響評価、⑤風力発電設備の健康影響の研究：独立専門家研究班の報告（マサチューセッツ州）、⑥風力騒音（Wind Turbine Noise）、⑦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」において得られた研究成果概要（中間報告）、⑧各国の風車騒音の基準、について、その概要を整理記述した。

## (3) 国内アセス事例検討

我が国においては、風力発電施設が環境影響評価法の対象となっていなかったため、本格的な環境影響評価の実施例は存在していない。現在までに実施されてきたのは、補助金申請等にかかわり NEDO（（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構）で作成された「風力発電のための環境影響評価マニュアル」に基づく環境影響評価が中心である。さらに、地方公共団体の条例やガイドライン等による環境影響評価も基本的には、NEDO のマニュアルに基づくものが多かった。

以上の状況を考慮しながら、本検討においては、入手可能な4例の文書について事例研究として検討を実施した。具体的には、A～Dの4つの事業所について、今後の環境影響評価を推進するために課題検討を行った。

## (4) 海外の事例検討

前述のように我が国では、これから環境影響評価が本格的に実施される所であり、知見の蓄積も急速に進むと期待されている。そこで、海外における事例について、参考に調査検討するものとし、3カ国の事例を検討した。具体的には、①カナダにおける事例、②イギリスにおける事例、③アメリカにおける事例、について検討を行った。

## (5) 環境影響評価手法の検討

上記の(1)～(4)の検討内容をふまえて、環境影響評価手法に係る技術的事項について検討・整理した。前述のとおり、風力発電施設の環境影響評価に関し、とりわけ騒音等については、今後の技術開発が求められる課題も多くあるが、現在得られている知見から最善を求めるものとして整理を行った。具体的には、①基本的事項、②調査手法、③予測手法、④評価手法、⑤環境影響評価に係る考え方、に区分して記述した。

## (6) 風車騒音の評価に係る考え方

風車騒音に関しては、現在、なお引き続き調査検討が行われている状況で、それらを踏まえて環境影響評価が実施されていかなければならない。また、国立公園内での風力発電施設の立地や洋上発電施設の操業など新たな課題もあり、風車騒音の評価についての考え方を整理した。

## 4 検討会の設置

この業務を遂行するために、工学系、医学系およ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、前述の業務内容に沿って検討審議を実施し、報告書として取りまとめた。

検討委員の名簿は、以下のとおりである。

	氏名	所属	専門分野
委員長	橘 秀樹	千葉工業大学	建築工学、環境科学
副委員長	末岡 伸一	末岡技術士事務所	環境政策、環境科学
委員	落合 博明	(財)小林理学研究所	音響工学、環境科学
委員	影山 隆之	大分県立看護科学大学	疫学、環境科学
委員	塩田 正純	芝浦工業大学	建築工学、振動工学
委員	藤本 一壽	九州大学	建築工学、音響工学
委員	矢野 隆	熊本大学	建築工学、社会反応
委員	柳 憲一郎	明治大学	法学、環境法
幹事	今泉 博之	(独)産業技術総合研究所	音響工学、情報処理

## 5 検討会の開催状況

以下のとおり東京で計4回の検討会を開催し、報告書を取りまとめた。

- ① 第1回検討会 平成23年12月7日 東京にて 業務内容の確認、調査の手順
- ② 第2回検討会 平成24年1月11日 東京にて 収集した資料の検討・審議
- ③ 第3回検討会 平成24年2月15日 東京にて 取りまとめの方向、追加資料の審議
- ④ 第4回検討会 平成24年3月6日 東京にて 報告書(案)の審議・確認

## 参考資料

本報告を作成するに当たって、参考又は検討した主な資料について下記に整理した。

環境影響評価条例	鳥取県以下 11 地方公共団体
風力ガイドライン	福島県以下 7 地方公共団体
環境の保全と創造に関する条例施行規則	兵庫県
環境影響評価の基本的事項に関する技術検討委員会報告	技術検討委員会(環境省総合環境政策局)
今後の環境影響評価制度の在り方について(答申)	中央環境審議会
環境影響評価制度総合研究会報告書	環境影響評価制度総合研究会(環境省総合環境政策局)
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	環境省総合環境政策局
低周波音問題対応の手引書	環境省水・大気環境局
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	日本騒音制御工学会(環境省水・大気環境局)
風力発電導入ガイドブック(2008 年 2 月改訂第 9 版)	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)
小型風力発電の導入ガイド	日本小型風力発電協会
風力発電のための環境影響評価マニュアル(第2版)	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)
風力発電環境影響評価規程(JWPA 自主規制 ver.1.1)	日本風力発電協会

## 用語解説

下表においては、この報告書で使われている主要な用語について解説した。

なお、太枠・★印の用語については、本報告書のみで使用しているものである。

用語	解説
事業アセスメント	環境の汚染や破壊を未然に防止するために、開発行為が環境にどのような影響を与えるかについて、事前に調査・予測・評価することが環境影響評価制度であり、環境アセスメントとも呼ばれる。このアセスメントは、戦略的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。
戦略的アセスメント	SEA と略称されており、従前の事業段階における環境影響評価とは異なり、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ある。これは、①事業化以前に環境影響評価を行わ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。
環境基準	昭和 42 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たものである。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。行政上の目標として定めるもので、受忍限度とか、許容限度というものではない。
規制基準	環境基準は、騒音に曝露される側の基準として定められるが、騒音発生源側における基準として定められたものが規制基準といえる。規制基準は、一般には、罰則をもって法もしくは条例で定められているものである。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。
★低周波数騒音	本報告で採用した名称で、周波数が 20～おおむね 100Hz の範囲の騒音とした。(低い周波数の騒音等について国際的な定義が明確になっていないため。詳細については、第 1 章 5 を参照)
低周波音	従来、環境省では、超低周波音と上記の低周波数騒音を合わせて「低周波音」としていたが、JIS や国際的には、超低周波音を含まない可聴域の騒音を低周波音と呼んでいる。なお、本文中で引用した文献はおおむね低周波数騒音を低周波音と記述していると思われる。
超低周波音	周波数が 20Hz 以下の音。
★風車騒音	本報告では、風力施設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。
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。

用語	解説
風力発電所	1つのまとまりとして扱われる風力発電設備の集合体のこと。本報告では、風力発電施設と記述している。
純音	特定の周波数成分が際立っていることで、測定結果に加算することが行われている。もともと ISO 1996 シリーズに記述されており、欧米では実施されている事が多いが、我が国では採用されていない。
スウィッシュ音	風車に特有のシュッシュとレベルが変化する音で、swish、swishing、whooshing と記述されている。欧米では、このレベル変動する音が風車苦情の主要な要素と考えられている。類似の音として、ドンドンと聞こえるサンブ音があり、thump、thumping、pulsing と呼ばれる音もしばしば聞こえる。
定格出力	一般には、製造業者によって指定される機器または装置の規定の運転状態における出力の値。
定格風速	風力発電施設の定格出力を発生させる規定の風速。
音響基準風速	粗度長 0.05m、高さ 10m における 8m/s の風速とされている。なお、粗度長とは、風速の高度分布が対数則に従うとした場合、平均風速がゼロとなる外挿高さのことである。
騒音レベル	A 特性補正音圧レベルとも呼ばれ、量記号は LA、単位は、dB である。なお、騒音レベルという呼び方は、我が国独特のものがある。
A 特性	騒音レベルの算出に使われる聴感補正回路であり、比較的聴感に近い傾向がある。単位は dB であるが、しばしば dBA、dB(A)とも記述される。
C 特性	聴感補正特性の一つで、全周波数にわたって平坦に近い特性で、以前はレベルが高いときに使われた。なお、最新の騒音計の JIS においては、平坦特性として Z 特性が規格化されている。
等価騒音レベル	ある時間範囲 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、次式で与えられる。 $L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right\}$ LAeq,T : 等価騒音レベル (dB) pA(t) : 瞬時 A 特性音圧 (Pa) p0 : 基準音圧 (20 μ Pa)
Lden	影響の大きい夕方や夜間の時間帯について加重を行った等価騒音レベルのことである。この Lden は、我が国の航空機騒音に係る環境基準に採用されている。
Ldn	Lden と同様の評価量であるが、夜間の時間帯についてのみ加重を行った等価騒音レベルのことで DNL とも記述される。この Ldn は、米国を中心に用いられている。
時間率騒音レベル	騒音レベルがある値以上である時間が、実測時間の N(%) を占める場合、その騒音レベルを N パーセント時間率騒音レベルといい、50 % 時間率騒音

用語	解説
	レベルLA50を中央値、5%時間率騒音レベルLA5を90%レンジの上端値、95%時間率騒音レベルLA95を90%レンジの下端値などという。
オクターブバンド	上限周波数( $f_2$ )と下限周波数( $f_1$ )の比が2となるように分割した周波数帯域であり、その中心周波数 $f_c = \sqrt{f_1 f_2}$ 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の時は1/3オクターブバンドであり、一般に広く活用されている。
音響パワーレベル	音響出力をレベル表示した量で、次式で表される。 $L_w = 10 \log_{10} \frac{P}{P_0}$ <p><math>L_w</math> : 音響パワーレベル (dB)  <math>P_0</math> : 基準の音響パワー (1pW)</p> 音響基準風速で風下方向で測定される音響放射出力と同じ出力をもち、ロータ中心を点音源としたときの音響パワーレベルをいうこともある。
JIS C 1400 シリーズ	風力発電システムに係る規格であり、第 11 部に騒音測定方法が記述されている。IEC 61400 シリーズを翻訳して作成されたもので、騒音の発生源側での規格として定められている。
ISO 9613 シリーズ	屋外伝搬での空気減衰計算について定めた国際規格で、アセスメントなどの広域予測において利用されている。現在、ISO 9613-1(空気による音の吸収の計算)と ISO 9613-2(一般的計算方法)が発行されている。空気吸収の計算は、周波数別に距離と減衰係数で計算し、減衰係については、気温、水蒸気モル濃度、気圧により算出される。
騒音計	最新の規格、JIS C 1509 においては、サウンドレベル計(騒音計)となっており、10~20kHz の範囲を計測できる。証明行為などの計量を実施する場合の騒音計は、特定計量器を定めた計量法第 71 条の条件を満足していなければならない。
防風スクリーン	風雑音を避けるために、騒音計のマイクロホン部に取り付けるもので、ウィンドスクリーンとも呼ばれる。一般にウレタンフォーム、ナイロン布、ナイロン不織布などで作られ、外形が大きくなると効果が大きくなる。
総合騒音	ある場所におけるある時刻の総合的な騒音。
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。
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。しばしばバックグラウンド騒音と記述される。
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。

用語	解説
	<p>(a) 環境騒音の構成</p> <p>(b) 特定騒音と暗騒音</p>
ラウドネス	ある音の感覚的な大きさを表す心理尺度であり、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ことから、より一般的に、感覚的な音の大きさを意味すると考えられる。
等ラウドネス曲線	純音や狭帯域雑音の周波数を変化させ、ラウドネスが一定となる音圧レベルを結んで得られる周波数特性の曲線である。最新版は、多くの研究報告を集めて国際的に合意され、2003 年 8 月に ISO 226: 2003 Acoustics - Normal equal-loudness-level contours として改定・発効している。
閾値	刺激をゆっくりと変化させ加えたとき、その刺激に対する反応が転換したとき、その刺激量を閾値という。通常、音響においては、徐々にレベルを変えていったとき、聞こえなくなる音圧レベルを閾値と呼んでいる。
アノイアンス	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訳されている。日本語としては、「うるささ」という言葉をあてることも多く騒音影響の調査研究によく使われる。「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、騒音による不快感の総称ともいえる。音そのものによる不快感と音に付随して生じる不快感を包含するものととらえられている。

## 目次

第1章	風車騒音の経過と現状	1
1	風力発電施設に係る騒音問題の経過	1
2	風車騒音と健康影響	4
3	環境影響評価法改正の経過	7
4	日本風力発電協会のアセス規程	10
5	特に留意すべき事項	12
第2章	風車騒音に係る最新知見	16
1	最近の文献	16
2	アメリカ・カナダ風力エネルギー協会報告書	16
3	オーストラリア国立保健医療研究評議会報告書	19
4	Wind Turbine Noise 2011 の会議総括レポート	21
5	オレゴン州における風力エネルギー開発に係る戦略的健康 影響評価	21
6	風力発電設備の健康影響の研究:独立専門家研究班の報告	24
7	風車騒音	28
8	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」において得られた研究成果概要 (中間報告)	30
9	各国の風車騒音の基準	36
第3章	国内アセス事例検討	45
1	はじめに	45
2	A 事業所の例	45
3	B 事業所の例	50
4	C 事業所の例	52
5	D 事業所の例	55
6	まとめ	58
第4章	海外の事例検討	62
1	カナダにおける事例	62
2	イギリスにおける事例	66
3	アメリカにおける事例	68

第5章	環境影響評価手法の検討	72
1	調査手法	72
2	予測手法	79
3	評価手法	89
4	事後調査	91
第6章	風車騒音評価の考え方	94
1	評価指標の要件	94
2	評価方法とその設定状況	96
3	風車騒音に含まれる純音性等に対するペナルティ	98
4	低周波数騒音および超低周波音に関する考え方	99
第7章	終章	100
1	今後の課題	100
2	おわりに	103