

「風力発電施設に係る騒音対策技術等に関する分科会」報告書(案)

1. 分科会の概要

風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会では、風力発電施設からの騒音測定手法等について幅広く検討を実施しているところであるが、風力発電施設から発生する騒音のメカニズムについて把握し、対策技術の進捗状況も十分に把握することは、今後の検討及び施策検討において必要不可欠である。

そこで、風力発電施設の騒音発生メカニズム等を把握し、対策技術の進捗状況について知見を収集するため、風力発電施設に係る騒音対策技術等に関する本分科会が設置された。

本分科会は、風力発電施設から発生する騒音について、ナセルやブレード等の施設ごとの騒音発生メカニズム及び施設における騒音対策技術等の現状について情報収集・調査検討を行った。

2. 分科会での調査について

風力発電施設に係る騒音対策技術等について、風力発電施設製造事業者（以下「メーカー」という。）3社、風力発電施設設置事業者（以下「発電事業者」という。）3社及び一般社団法人日本風力発電協会から、ヒアリング項目は、平成26年2月の第1回分科会に基づき決定した「風力発電施設に係る騒音対策技術等に関する分科会の進め方について」（別紙）に基づき実施した。

その結果、現時点で実施されている騒音対策や今後実現可能な見込みのある技術、円滑な風力発電施設の設置を促進しうる取組が明らかになった。その一方、現時点ではすぐに実現することが困難な対策を、引き続き調査・検討を継続する必要があることが判明した。

ヒアリングで得られた知見は、現状で実施されている各種の騒音対策技術や取組を技術的事項、設計・運用的事項等に整理するとともに、国、地方公共団体、メーカー、発電事業者等による取組・対策が必要な事項と、調査・検討が必要な事項に幅広く整理した。とりわけ、対応が求められる事項については、「委員提言」としてとりまとめた。

※ ヒアリングを行った事業者については、下記のとおり整理を行った。

- ・メーカー：a社、b社、c社
- ・発電事業者：A社、B社、C社、D社

(1) 技術的な事項

①機械・筐体に係る騒音低減の取組

(メーカー・発電事業者の説明)

機械音¹⁾としては、“ナセル”、“増速機”、“コンバータ冷却ファン”、“固体伝搬音”の4つに、主に騒音対策が行われていることが判明した。

風力発電施設から発生する騒音は、一般的には空力音²⁾が支配的であるが、メンテナンスや追加設備の取り付け、制振装置や遮音性能のある遮音ルーバーの設置等により、卓越周波数において10～20dB低減することが可能であると説明があった。

メーカー及び発電事業者は、苦情発生時等において、更なるメンテナンスや防音制振装置の設置を行っている場合もあるが、各部品メーカーに対策を任せているところも多かった。また、比較的騒音低減対策が取られている事例や対応が難しいと判断している事例も見られた。

「対策している事項」	
ナセル	<p>固体伝搬音に対する機器対策として、低振動型機器を使用している事例がある。(A社)</p> <p>ナセル透過音(空気音)対策として、ナセルのパネル防音材(遮音材・吸音材)の施工による遮音・吸音強化を実施した。(A社)</p> <p>固体伝搬音の放射対策として、動吸振器設置による放射面制振、ダンピング材の取り付けによる放射面の減衰付与の設置試験を実施した。(A社)</p> <p>メーカーと共同で対応を行い、共振抑制用制振材の取り付けを実施した。(C社)</p> <p>ナセルケーシングの防音性能(遮音、吸音、防振、制振)の向上をさらに高め、機械音放射の低減を検討していくべきと考えられる。(委員意見)</p> <p>ナセルからの騒音には増速機の騒音も含まれ、施設設置後における追加対策は、費用対効果の面から対策可能な手法の一つと考えられる。(委員意見)</p>
増速機	<p>固体伝搬音に対する機器対策として、メンテナンス・修理による低振動化を実施した。(A社)</p> <p>歯車のかみ合い精度向上と防振ゴムを用いた支持による低振動化を実施した。(a社、c社)</p> <p>固体伝搬音の放射対策として、機器設置部への防振材挿入による防振支持、振動絶縁を実施した。(A社)</p> <p>ギアレス化の検討をしている。(B社)</p>

1)機械音：風車の発電機、タービンや冷却ファンの音などを指す。

2)空力音：空気の流れにより、起因する音。風車が風を切る音など、機械的な音以外のもの。

	<p>歯車のかみ合いの精度の向上、あるいは歯面的的確な表面処理、摺動部分の粗さの管理等により騒音を低減させた。(c社)</p> <p>増速機をサポートしている部材の共振防止を実施している。(c社)</p> <p>摺動部の油の循環を改善するため、メーカー指定の油に、添加剤の追加による抵抗減及び劣化抑制を試験・検討中である。(D社)</p> <p>軸受け破損による騒音が大きい為、早期調査・発見をし、交換をする。(D社)</p> <p>発電施設の設置において、騒音対策が適正な状況になるよう、メーカー対応が必要と考えられる。(委員意見)</p>
コンバータ 冷却ファン	<p>放射開口部対策としてサイレンサーを設置した。(A社、C社)</p> <p>防音遮断、不要時(低出力時)の停止、インバータ制御(回転数を下げる)及び消音ルーバー設置(卓越周波数 10~20dB 低下)を行った。(a社)</p> <p>冷却器を水冷にすることによる冷却効率、信頼性の向上により、騒音を低下させた。(b社)</p> <p>冷却ファンに遮音ルーバーを取り付け、騒音低減を行った。(C社)</p> <p>コンバータ由来の騒音は、内部調整を実施し、オーバーオールでの減少は僅かだが、周波数特性をなだらかにすることで、聴感的に静音性を向上させた。(C社)</p> <p>設計により、低速回転化の実施や、一定周期での交換を実施している。(D社)</p>
電力変換器	<p>部品修繕等は、メーカーに対応を依頼している。(D社)</p>
制震装置 (タワー)	<p>固体伝搬音対策として、増速機付近からタワー表面にアクティブ型の制振装置を導入することで、ピーク周波数の変化する特性に対応をする計画がある。(120Hz と 200Hz のピーク周波数で 10dB 程度低下)(A社)</p> <p>設計段階から、ブレードの加振周波数と共振しないようなタワーの構成を織り込んでいる。また基礎部分に砂利を入れ、内部減衰により、共振のピークを下げるようにしている。(c社)</p>
固体伝搬音 (タワー)	<p>固体伝搬音対策として、構造に貼り付けるタイプの高分子材料(減衰材料)(5~9dB 低減)を開発し、設置試験をしている。(A社)</p> <p>タワー部分の密閉構造化を実施、また吸排気口等開閉部の開閉回数削減等の対応を実施した。(c社)</p>
利用素材	<p>内部摩擦の多いような材質を選定して、繊維を複雑に絡み合わせる等により、減衰効果を上げ得るといった二次的な効果が出るような部材を採用している。また、減衰素材の寿命も、風車設計寿命と同じ(約 20 年)に設計している。(c社)</p>

「未対策もしくは対応困難な事項」	
ナセル	内面に吸音材を貼るだけでは低周波数の音への対策が困難と判断している。(a社)
トランス	音のレベルは低いため対応していないが、「ジー」という音が発生する事例があった。(a社)
タワー	タワー内の固有振動数との共鳴音は、音のレベルが小さいため、影響が小さいと考える。(a社)
機械音	機械音の解析、対策を一通り実施し、現在空力音が支配的であることから、空力音側に注力している。(a社) 自社ではなく、増速機メーカーに依頼している。(c社) 歯車等は機械加工精度として JIS 規格に対応済みであり、最善となるよう対応している。(c社) それぞれの機器・部品において、共振点があると大きな音になるとの懸念はあるが、発生事例はない。(D社)
増速機	空力音対策が主であるため、個々の対策費用算出が難しい。(a社)

(委員意見)

- ・ ナセルからの騒音には増速機の騒音も含まれ、施設設置後における追加対策は比較的安価な場合もある。
- ・ また、増速機は発電施設設置の新設において、適正な状況になるようメーカー対応が必要である。

②空力音に係る騒音低減の取組

(メーカー・発電事業者の説明)

風力発電施設から発生する特徴的な騒音の多くがブレードから発生する空力音であることから、メーカーにおいても、ブレードに関して多くの対策がとられ、人材及び研究費が多くかけられていることが判明した。具体的には、出力の向上につながる大型の風車ブレードの低騒音形状の開発、予測モデル活用による改良等が行われている。

一方、既設の施設に関しては、デバイスの設置等による対策が検討されている事例があるが、落雷等の環境条件や接合部の強度等の検討が必要であり、速やかな実現は難しいとの説明があった。

また、ブレードを製造するための型の製造には、多大な費用がかかるが、各メーカーともブレード先端部の構造設計や偏差角に伴うエネルギー損失等の低減について、検討が行われている例も見られた。一方で費用対効果の面から劇的な改善は見込めないとの説明があった。

さらに、発電事業者は要望や苦情発生時の対応を行うことがあるが、基本的には購入時に低騒音型機器の導入を検討することが中心であるとの説明があった。

「対策している事項」

ブレード	<p>翼形状及び翼端の形状を低騒音のものに変更（ブレードの表面平滑化、又はブレードの後縁の鋭角化）した。（A社）</p> <p>既設風車のブレードに後付け可能な空力音低減デバイスを開発した（限定的な範囲で、約 3dB 低減、Swish 音³⁾も低減した）。（A社）</p> <p>ブレード対策として、可変速、ピッチ制御（風速に応じて翼の角度が変化する制御）、ブレードの先端ナイフエッジ化、後縁シャープ化、ツイストバッグ等を実施した。（a社）</p> <p>定常 CFD（数値流体解析）と実験を基にした経験式等と連携した風車翼の騒音予測手法の開発により、翼の設計時に騒音を評価し、限定的な範囲で 2dB 程度の低減であるが、性能を低下させずに低騒音化を可能とした。（a社）</p> <p>ブレードの迎角はブレードのピッチ角と翼への流入角度から決まるため、風速の変化に応じて迎角を変化する。（b社）</p> <p>主な騒音源は、翼端渦、乱流、ブレード後縁、タワーとの空力干渉等が合わさったものと確認している。（b社）</p> <p>ブレードの径の拡大が発電量向上につながり、翼端速度が増加する傾向にある。発電施設の販売に直結するため、騒音を低減するブレードの先端部の形状について、研究にかなりリソースを割いている。（b社）</p> <p>ブレード先端部を丸型から鋭角にする、また鋭角にしたものを曲げることにより、2,000Hz で 12dB、500Hz で 2dB 程度減少する。避雷システムも設置しやすいよう、コストと製造効率が最も良い形を判断している。（b社）</p> <p>ブレードのピッチ角とピッチ角速度を常時制御することで、出力と回転速度を制御し、騒音も低減している。（b社）</p> <p>ピッチ角とロータ速度により、ロータ効率が変化するため、騒音と発電量の最適化を発電事業者に提案する場合がある。（b社）</p> <p>低周波音対策として、タワーとブレードをできる限り離れた設計を行っている。（c社）</p> <p>可聴音低減化として、ブレードエッジの仕上げ精度向上、ブレード表面における空気の流れの低減、先端速度の最適化、制御プログラムによる騒音低減化を実施している。（c社）</p> <p>ダウンウインド型採用により、発電施設のタワーに影響される前の風向を確認することができ、精度が向上することから、ブレードと風向の偏差角ズレによるエネルギー損失を低下させ、それに伴う騒音が低減している。（c社）</p>
------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3) Swish 音：風車のブレードの回転に伴って発生する音で、音の大きさが規則的に変動する音。

	ブレードエッジの仕上げ精度の最適化により、ブレード表面の空気の流れを低減するような形態として、可聴音を低減させている。(c社) 空力音は、前縁厚みを考慮してどこまで薄くすることが出来るか等、今後の更なる低騒音型翼型の開発を期待したい。(委員意見)
空力音予測モデル	既存の予測モデルを風洞実験と CFD (数値流体解析) 等により改良し、予測精度の向上、発生音制御のための制御パラメーターの評価を可能にした。(A社) 解析模擬技術として、有限要素法を使ったタワーやブレード周辺の空気流れの解析技術を開発している。(c社)

「未対策もしくは対応困難な事項」	
ブレード	空力音低減デバイスの実用化に対し、落雷や強風等の環境条件が厳しいため、材料、施工方法、耐久性や追加素材の接合方法の検討が必要と判断している。(A社) 風速が上がるほど、翼端速度が高くなり、それに併せて騒音が大きくなる。(b社) ブレードの「型」の製造に多大な費用がかかる(数億円程度)ため、騒音低減対策で、個別事業所に対してブレードの製造を行う等の対応は現実的ではないと考えている。(a社) 将来的に急激な騒音低減は期待しづらいと判断しているが、他社も含め、効率と並立し得る範囲で騒音低減を行っている。(c社) 苦情発生時に部品整備を実施する事例はあるが、基本的にメーカーから、現地に適していると判断される機器を購入している。(C社) タワーとブレードが交差する時に発生する音について、改善する余地があると考えている。(D社) 空力音が長距離伝搬することで、受音側に住んでいる人達に睡眠影響やアノイアンスを与えたりしている。(委員意見)
空力音予測モデル	実際に稼働している施設における予測モデルの評価・検討がまだ行われていない。(A社)

(委員意見)

- ・ 空力音対策として、ブレード形状の改良や開発が重要である。
- ・ ブレードについて、形状の改良等を整理していくと今後の状況が見えやすい。
- ・ 翼全体のプロファイルは、腹面と背面の空気の流れ速度差等について突き詰めていく等、性能向上と併せて騒音低減も図られる可能性がある。

③風車制御に係る騒音低減の取組

(メーカー・発電事業者の説明)

風車制御に係る騒音低減は、騒音自動監視システムや特定条件下において低騒音型の運転を行うことによる対策を行っている事例があり、特定方向から風が吹く場合や設定された騒音レベルを超過した際に施設を停止させるシステムを活用していると説明があった。また、そのデータを施設の配置計画に応用することも考えられるが、対策を取ると発電量の低減につながる恐れもあり、運転制御システムによる回転数変化のみの対策を積極的に図ることが難しいと判断している発電事業者が多かった。

さらに、運転制御システム等の導入について、各社のノウハウが少ない為、システム自体の保守管理や施設稼働停止の判断根拠データが少なく、施設維持管理費が増加すると考えている発電事業者もいる。

「対策している事項」	
風車回転翼の制御	<p>特定の条件下で回転速度を低減し、周速を抑制することで騒音が低減される事例があった。(A社)</p> <p>回転速度制御を改善することにより、発電出力の低下を緩和するとともに、騒音が低減した事例があった。(A社)</p> <p>低騒音型の運転では発電効率が大幅に減少してしまうが、そのような運転が必要な場所でも、十分に事業として成立する技術を開発した。また、風向に応じて騒音制御の対応を変更することで、騒音を抑えながら発電効率を上げる制御方法を発電事業者に対して紹介している。(b社)</p>
自動監視・制御システム	<p>実際に住宅の近くにマイクを置いて、音が大きければ風車の回転数を下げる、または風速・風向、風車音等のデータからシミュレーションにより伝搬音を予測し、回転数を下げるための風車音自動監視・制御システムの開発を行った。(A社)</p> <p>風向きにより、騒音低減モードの運転を採用するため、制御ソフトを開発や適用をしている。(c社)</p> <p>風向きと方向との偏差角を極力減らせるようなシステムを開発した。(c社)</p> <p>機械音低減化対策に向けたシステムを導入し、施設の稼働停止をしたケースもある。(C社)</p> <p>基本的に、暗騒音より 3dB 以上を越えないよう対策しており、風向等をパラメーターとした運転制御のシステム化を行い、場合により数ヶ月程度停止を行う事例もあった。(C社)</p>

	継続的に騒音等の影響を低減するよう、騒音低減及び経済性を確保した自動監視・制御システムの導入・検討が重要と考えられる。(委員意見)
研究開発体制	施設の設置及び配置にあたり、住宅や事業所との離隔距離を総合的に解析。最適なものを推奨し、発電事業者と共同で事業計画を策定している。(c社)

「未対策もしくは対応困難な事項」	
風車回転翼の制御	発電量が下がるマイナス面とのバランスをとることが難しいが、風速抑制を行う手段がある。(A社、B社)
騒音制御システム	発電効率等も含めて、施設全体の開発の一つとして、騒音対策を取り組んでいる。(c社) 現在、制御システムによる運用もしているが、制御信号がどの程度のレスポンスで動くか、騒音の大小による制御量の調整、エリア単位か1基単位かによる調整等、課題が多いと理解している。(C社) システム導入に伴う、システム自体の保守点検に、人員や費用が発生すると判断している。(C社)
騒音寄与の割合	風力発電施設として検討しており、ブレードやトランス等、個別の音としては、把握していない。(a社)
研究開発体制	発電事業者から見て、発電機器それぞれのノウハウが分からない部分があるため、技術的対策の詳細説明が必要である。(C社) メーカーに対して、特段の改善要求等は行っておらず、既存の施設を選択している。振動に係る研究調査は現在行われている最中と聞いている。(D社)

(委員意見)

- ・ 研究開発を行うにあたり、一部品毎ではなく、効率化を図る上で施設を一体として開発、対応できるような仕組みづくりをサポートする体制構築があると良い。
- ・ また、継続的に騒音等の影響を低減するよう、騒音低減及び経済性を確保した自動監視・制御システムの導入・検討が重要である。

(2) 設計・運用的事項

①設計・計画等の事前になされる騒音低減の取組

(メーカー・発電事業者の説明)

設計・計画等の事前に行われる取組として、風力発電施設における音響データや低周波音等の測定は行われているが、特に施設と住宅の離隔距離を取ることを基本として、施設設置を検討している発電事業者が多かった。

また、低騒音型の施設を選択していた発電事業者が多かった。

しかし、低騒音型の技術や能力の情報が明確ではなく、発電事業者の立場から、複数の候補から合理的に選択できる環境にはなっていない。また、新設施設は騒音を含めた環境影響の低減から、地点の選択肢が狭まってきている状況にあるとの説明があった。

「対策している事項」	
音響データ等の測定状況	機種別及び風速別に音響パワーレベルを測定している。(a社) 施設単機は IEC61400 シリーズ等に準拠した騒音測定を実施し、施設全体の騒音評価を、発電事業者と共同で測定している。(c社)
音響データの活用	発電事業者に逐次データを報告し、データを考慮した設置を実施する体制を整えている。(B社) 音響データの公表及び発電事業者とメーカーサイドの協力による音響データの蓄積を可能な限り行うことで、対策の推進を図っていく必要がある。(委員意見)
風力発電施設の選定	具体的な値の要求はしていないが、音を小さくできるものを優先して選択している。(B社) 導入にあたり、カタログ値ではなく、実際に設置されている現場を調査し、騒音対策や共振等の状況をメーカーから確認する。(C社) 地形や輸送面の問題もあるが、可能な地点は風車騒音のパワーレベルが低い機種を選定している。(D社) 風車選定においては、出力や費用面だけではなく騒音低減も重要な要素であること認識し、仕様等の項目にて検討する必要があると思われる。(委員意見)
風力発電施設の設置位置	住宅から 550～800メートル程度の離隔距離が推奨されているため、社内規定で 1 km 以上離すこととしている。(B社) 個々の施設ではなく、ウィンドファームとして騒音がどう影響するかの測定が必要と考えている。(b社) 音の伝搬は距離及び地形の状況が大きく係わっていることから、台風等、全ての気象をデータベース化し、「この地区は気象条件により伝搬がこうなるので販売しない」といったリスクアセスメント等に時間をかけている。(b社) 騒音発生シミュレーションを行い、販売時に約束した騒音レベルを超過した場合、かつ発電量を減らす必要が生じたときは、発電量の差額分の保証を検討している。(b社) 発電施設を的確な配置にするよう、発電事業者に騒音データの提供を行い、また地形効果等も配慮してもらっている。(c社) 環境関係コンサルを適宜活用し、総合的・客観的評価を行い、立地の検討している。(c社)

	<p>最新の技術動向を把握し、騒音低減対策を基軸にしつつ、基本的に施設と住宅等を1km程度以上確保するよう設計している。(C社)</p> <p>風力発電施設の設計等に関する研究を参考に、特に離隔距離の効果を確認している。(C社)</p> <p>メーカーからの騒音データ及びこれまでの実績を鑑み、できる限り住宅から距離を確保するように、現在は、400～500メートル距離をとり、設置している。また、過去の経験から、谷間等の地形は避けて、配置を検討している。(D社)</p> <p>住宅等との離隔として「風車設置が望ましくない範囲」、「制御の対策により風車の設置が可能な範囲」、「住宅と十分離れているので風車を設置することが問題ない範囲」を距離や騒音レベル視点から、ガイドライン等の整備を行うことで、設置計画が立てやすくなると思われる。(委員意見)</p> <p>音伝搬のデータベースを作ることにより、風車設置前の簡易な騒音回避に活用できると考える。(委員意見)</p>
低周波音等の測定	<p>住民不安を払拭するため、測定ポイントの追加や強風時、夏期及び冬期の測定を行い、評価書等で報告している。稼働後も現状把握の目的で測定を実施している。(B社、C社)</p> <p>低周波音等の伝搬は地形の影響、各風車の発生騒音のスペクトルを用いて、各周波数で異なる空気中の温度や湿度を考慮した騒音減衰率(音の伝搬特性)を考慮した細かなシミュレーションを三次元で行うことで予測すべきであるとの考えもあるが、この計算を全て行うのは、現状では超高仕様の要求となる恐れがあり、検討が可能になるような手順のようなものを研究開発する必要があると思慮している。(委員意見)</p>

「未対策もしくは対応困難な事項」	
施設の音響データ	<p>機種毎の騒音の違い、実際に設置した場合の騒音状況の知見は十分ではない。このための測定は行っている。(B社)</p> <p>オールバンドでの値のみであるが、メーカーから入手した値に基づくシミュレーションを行っている。(C社)</p>
騒音の影響	<p>風力発電施設設置に伴う騒音の増加分が、どの程度まで増加しても影響がないかという知見は現段階では持っていない。(c社)</p>
施設の選定	<p>補助金等を活用した施設導入の場合、見積りで最安価な施設である必要があり、特定の企業の製品を必ずしも購入出来ない。(C社)</p> <p>ノイズラベリング制度は、低騒音の技術や能力等の情報が少なく、これまでの施設設置の計画段階においては、検討できる環境になっていない。(C社)</p>

	騒音予測値は、メーカー提示の施設データから算出しているが、データが、中央値か保証値なのか、不明の場合もある。(C社)
風力発電施設の設置位置	陸上では1キロメートル以上の距離をおける場所がなくなってきており、設置場所は限られてきていると認識している。(B社) 風速が高く、高電圧の電力系統がある広い土地は限られており、次第に風が弱い、制約の大きい土地の方に設置計画を立案している。(b社) 騒音に関する技術、情報が蓄積されているが、設置場所の範囲が狭くなっている。(b社) 具体的なスペックを示してはいないが、メーカーに対し騒音低減を要求する場合はある。(B社)

(委員意見)

- ・ 設置にあたっては風力発電施設の特徴、地域の特性等現状に応じた対応を行えるように方法を検討する必要がある。
- ・ 施設選定に際して、出力や費用面だけではなく騒音低減も重要な要素であると認識し、仕様等の項目にて検討する必要がある。
- ・ 低周波音等の伝搬は細かな予測計算を行うことで推定すべきであるとの考えもあるが、この計算を全てに行うのは現状では難しいことから、今後研究を進めて行くことが必要である。

②設置後になされる騒音低減の取組

(メーカー・発電事業者の説明)

騒音は感覚公害的な問題も重要であることから、地域の暗騒音を踏まえた考え方を整理し、対応には注意していく必要がある。設置後になされる騒音低減の取組は、事後調査、定期管理の実施、データの蓄積及び監視体制の整備、異音等や苦情の発生時に即座の対策が行えるよう、体制の整備は行われている。一部には、発電事業者及びメーカーで合同対策が行われている事例があった。

また、事後に施設改造等を行う場合、コストの増加や利益減少につながるため、できる限り事前の配置等で対応している事例もあった。

「対策している事項」	
風力発電施設の機器の交換	メーカーと頻繁に打合せを行い、不具合が見つかった場合は新たな部品が開発され次第、交換を実施する。(B社)
風力発電施設の	回転数低減は発電量が減少するため、発電事業者からの要望がある場合に限り実施する。(a社、b社)

回転数低減	風向・風速を調査し、暗騒音を 3dB 超過する場合は施設を一時停止するとの地域住民との合意を行っている事例がある。(C社)
測定データの蓄積	発電事業者から測定データ等のフィードバックを受け、それを反映した設計等を考慮している。(c社)
稼働後の異音	現地状況を把握した上で、購入時に想定されていない異音等の対策をメーカーと共同で実施している。(C社) 一つの対策が終了し、以前より静かになったとしても、住民からの要望を受け止め、複数の対策を提案し、解決を図っている。(C社)
事後調査	風力発電施設と住宅が約 300m の距離にある事例では、事後調査を行い、予測結果が適切かどうかの確認を実施している。(D社)
風力発電施設の監視体制	24 時間体制で異常音等の監視を実施している。落雷や軸受の異常が発生、もしくは発生のおそれがある場合は、異常信号が送信され、自動停止やメンテナンス等を行っている。また、見た目が同じでも、音に変化が生じることがあるため、常駐監視員による音の確認も併せて行っている。(B社) ブレードへの雷撃等による破損や、風による堆積物の監視を望遠レンズで実施している。騒音問題の発生を防止するため、早期発見を必要条件としている。(D社)
風力発電施設の維持管理	年間 1～2 回は落雷等により、レセプターの飛散や翼の破損が発生するため、保守点検を実施している。(B社) 不具合や問題点、改善要望を製造企業に連絡し、対応検討をしてもらう体制を取っている。(B社) 点検項目を提示し、施設運営に関して異音発生が無いように発電事業者と共同対応している。(c社) オンラインによる運転モードのモニタリングが可能であり、騒音の遠隔監視システムにより、騒音発生を相当抑えることが出来るシステムがある。(c社) 異音が発生しないために、施設・機器を最適な状況に維持するよう、予防保全対応を推奨している。(c社) 施設破損等の問題発生時は 24 時間以内を目途に現地入りし、対策を検討する体制を取っている。(c社) 保安規定として、1 年点検（施設停止）、半年点検（施設停止）、各月点検（目視）を行い、また管理事務所にて適宜モニタリングを行っている。(D社) 定期検査等による保守・点検は、一定の精度を維持させる手法があったほうが望ましいと思われる。(委員意見)

受音側対策	風車設置後に苦情が発生した際に、受音点対策として住宅に二重サッシを導入し、騒音問題が解決した事例がある。(B社)
地元貢献	地元イベント等の協力を行うなど、地元への貢献を行っている。また、発電施設周辺を津波の避難場所として設定する予定である。(B社)

「未対策もしくは対応困難な事項」	
既設風車への対策	大幅な構造変更、タワーを建て替える等の大規模改造は、費用等の面から、開発が困難であるため、事前の対策が必要と考えている。(A社) 機器側の対策費用は障害防止対策より高価であるが、地域に恩恵があるように、機器対策を進めている。(C社)
風力発電施設の回転数低減	騒音問題等で施設を約 80 時間 9 万 kWh 程度の停止を行っていた事例があり、約 100 万円程度の利益損失が発生した事例がある。(C社)
事後調査	施設から発生する騒音の常時測定は難しいと判断しているが、定期検査時における測定は行っている。(D社)
測定データの蓄積	騒音低減技術の急激な向上は難しいと考えるため、配置等変更を主体に対応している。(c社)
風車近傍への住宅設置計画	現在、施設から住宅まで距離をとって建設しているが、今後、現状より近い位置に住宅が建設されることは想定していない。(B社) 地域住民から異常音の話がある場合は施設を停止するが、具体的な基準は設定していない。(B社)

(委員意見)

- ・ 定期検査等による保守・点検について、一定の精度を維持させる手法があったほうが望ましい。

(3) その他

①日本における状況

(メーカー・発電事業者の説明)

EU 等含めた諸外国と同程度の施設を、日本国内で販売しているメーカーもいるとのことであった。また、風力発電施設は、個別の機器における対策技術はある程度実施されており、機種別の差別化は難しいと考えているメーカーが見受けられた。ラベリング制度(騒音低減機能の表示)をそのまま単純に導入しても、効果を直ちに得るのは難しいとの説明もあった。

「判明した事項」	
日本における風車の仕様	騒音に関して取り入れている技術等は、EU も含めて諸外国と同程度の水準のものがある。(b 社)

「未対策もしくは対応困難な事項」	
ラベリング制度	ラベリング制度は、低騒音型の施設を選定するにあたり、効果がある対策の一つと考えられるが、個別の技術は、他社も含め差別化が難しく、制度化は難しいと考えている。(c 社)

(委員意見)

- ・ 風力発電施設のラベリング制度の構築及び導入が実現すれば、性能評価等により施設選定時に選択に幅が広がるのではないかと考えられる。

②制度・資金等様々な騒音低減のための取組

(メーカー・発電事業者の説明)

施設から発生する騒音低減化のため、様々なシミュレーションの実施や、音響パワーレベルの保証等を実施している事例があり、研究開発もコンスタントに実施していることが判明した。しかし、騒音対策技術を第一として技術開発することは、国際競争力の確保や発電性能の向上の問題もあるため、現状では困難との説明があった。

また、発電事業者において、担当者が複数の環境問題を担当としていることから、専門的な事項の対応が難しく、コンサルタント会社に環境に係る対応を委託し、騒音実態の詳細を把握していない事例もあった。

「対策している事項」	
ロータ位置	ブレードがタワー前後の通過に伴う低周波音について、ダウンウィンドロータでは、タワーを風が通過する影響で、音が発生する事例があるが、アップウィンドロータでは影響が少ない。(a 社)
流体力学	信頼性の向上のため、計算流体力学により風車に作用する風を解析し、長期間 (25 年程度) ブレードが維持できるよう、開発に力を入れている。(b 社)
騒音パワーレベル	世界的な販売展開の中で、騒音レベルの 98% のパワーカーブ保証をしている。なお、統計的なばらつき部分は、安全側の値を使用しているが、保証に関しては発電事業者との交渉によっている。シミュレーションには代表データを使用している。(b 社)
コスト	風車の価格は 15 万円/kW 程度であり、ブレードが約 10% を占めているため、概ね数千万円となる。(a 社)

	<p>世界的には風力発電施設は投資要素が強く、火力等他の発電施設より優位に立つには、騒音だけに資本を絞るのは難しいが、騒音対策や発電効率を自社で実施しており、毎年、研究開発に対する投資はかなりの額をコンスタントに導入している。(b社)</p> <p>プライオリティは低い、ブレード以外の騒音低減対策実施している。(b社)</p> <p>発電事業者の設備投資に関して、施設の仕様に一定の保証を与えることで、発電施設の販売が行いやすくなると考えている。(b社)</p>
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

「未対策もしくは対応困難な事項」	
騒音パワーレベル	風の乱流や強弱によるサイト毎の騒音レベルの変化、乱れ度の取扱いは、現在データを蓄積中である。(b社)
コスト競争	<p>発電施設の開発競争等の激化により、発電効率の方が優先されている場合もある。(a社)</p> <p>発電能力向上等、総合的な開発であるため、算出は困難であるが、騒音低減化技術も含めた開発は行っている。(c社)</p>
運営費用	ランニングコスト低減は事業性を向上させるが、騒音対策と異なる部分もあるため、エネルギー損失をミニマムにするよう、両立するような検討をしている。(c社)

(委員意見)

- ・ 機器等の騒音対策の一層の改善を図るため、対策費用及びメンテナンス技術の程度について、明確に整理していくと対外的な説明がしやすくなる。

③住民理解のための取組

(メーカー・発電事業者の説明)

風力発電施設の設置にあたり、地元住民や設置地区の地方公共団体の理解を得るため、住民説明会の実施や、地元自治会との協定締結などの対策、取組が行われているとの説明があった。

住民説明会では特に低周波音等の説明が求められることから、低周波音等の認知度が未だに低く、更なる周知が必要であるとの説明があった。

このため、定期的に施設見学会の開催や、イベント等における風車騒音に関する情報の普及啓発活動も合わせて実施している発電事業者もいることが確認された。

また、施設の設置後において、運転状況や不具合の発生状況等を含めた定期的な測定結果等は情報公開していないが、地域活動等を通じて、施設の運用について地域住民との情報交換を行っているとの説明があった。

「対策している事項」	
騒音等に 係る説明	<p>関係機関と協力して、低周波音等の適切な説明を案件ごとに繰り返し実施している。(B社)</p> <p>住民説明会は、50～60歳代で設置に反対の意見を持つ住民が参加される傾向がある。(B社)</p> <p>住民説明会では、「低周波音の人体に係る影響」「設置工事による環境破壊」「濁水対策」に質問が集中する。環境破壊や水は施設設置工事の事業者から説明を行ってもらっており、騒音は自社で説明している。(B社)</p> <p>設置計画等の総合的・客観的データを環境影響の説明の一つとして公開し、住民への確認と了解を頂く等、万全を期している。(c社)</p> <p>新規開発案件では設置計画の初期段階から、住民説明会等を開催し、地域との協調性を図っている。また既存施設においても、小学校での再エネ教育等を実施している。(C社、D社)</p> <p>苦情が発生した際、数値のみでは地域の方が本当に望むものが分からないため、苦情発生時は事情を把握し、適切な対応を行う体制を取っている。(C社)</p> <p>施設の稼働停止を1基ずつ繰り返し、またデータ提供を行いながら、説明、確認を実施し、苦情原因を調査している。(C社)</p> <p>施設周辺の問題解決を長期的な対応を行うこととし、苦情発生時のフォローの継続について、住民と約束を取り交わしている。(C社)</p> <p>地元自治会と良好関係を築くために、協定を締結(可能な場合、立会者として地元行政庁を介在)している。(D社)</p> <p>地域住民と公共団体とコミュニケーションを取り、事業活動を理解してもらおうとともに、異音発生等の情報提供について協力いただいている。(D社)</p> <p>地元説明は同一町内のみではなく、施設から半径何100メートルなど、エリアを決めて説明している。(D社)</p> <p>形式的な説明会ではなく、メリット、デメリット等を含めた説明を行い、双方が納得した形で進めることが肝要であると思われる。(委員意見)</p> <p>騒音影響や説明不足による計画変更等を避けるため、国からも適切な情報周知が必要と考えられる。(委員意見)</p>
現地の地方 公共団体 との協力	<p>住民トラブルに対応するため、地方公共団体との連携を行っており、施設設置計画において、地方公共団体の長から、地元住民に対して設置に係るメリットやデメリットの説明をしてもらい、総合的に判断をしてもらっている。(B社)</p> <p>苦情等が発生した場合は対応を統一化するため、窓口を町の環境課としている。地区長にも苦情申し立てに来てもらうようにしている。(B社)</p>

	国や地元の地方公共団体と円滑な情報交換を実施し、苦情対応等の際に、一体化して対応している。(D社)
地元貢献	施設見学会等の実施を通じ、地元貢献の活動を行っている。施設が高台にあることを利用し、津波の避難場所の設置も行う予定である。(B社、D社) 著しく騒音が発生した場合があります、二重サッシの設置等の対策を行った事例がある。(C社)

「未対策もしくは対応困難な事項」	
騒音等に 係る説明	ウェブ等の記載から、低周波音の健康影響について懸念を持たれている人が多い。(B社) 発電事業者だけではなく、地方公共団体や国の機関も一緒に、騒音対策や住民説明等を実施し、正しい情報が周知されるような体制必要と考えている。(B社) 他の発電事業者では、1キロメートル以上の地域には住民説明をしないのがほとんどとの話は聞いている。(B社) 運転状況や不具合の発生、あるいは苦情発生の状況等の定期的な報告会等は開催していないが、苦情等が発生した場合の対応は適宜実施している。(B社) シャドーフリッカー等と異なり、対策が必要となる住宅の線引きが難しい。(C社)

(委員意見)

- ・ 施設設置において、発電事業者、地元自治体、住民の中で導入に対する考え方が異なっている場合もある。また、風車との距離によらず問題が発生することもあることから、事業実施に当たり、様々な対応が必要であることを、発電事業者に改めて認識してもらうことも必要である。
- ・ 住宅等暴露側の測定結果を適宜説明すると共に、対策技術等について、既に取り組みされている技術や効果がある技術の紹介やアピールを積極的に行っていくことも、住民理解を得る上で良い手法ではないか。
- ・ 形式的な説明会ではなく、メリット、デメリット等を含めた説明を行い、発電事業者と住民が納得した形で事業を進めることが必要である。

3. 分科会での調査で得られた知見について

(1) 現行の取組について

- 騒音対策技術についてメーカー及び発電事業者に聞き取りしたところ、ハード面での技術開発のみではなく、苦情発生時における住民対応等、ソフト面についてもメーカー及び発電事業者が合同で取組を行っている事例があるとの説明があった。

- ハード面での対策としては、既存施設の騒音防止に係る機器の追加や定期点検による機器の維持管理を適切に実施すると共に、遠隔監視や現地訪問による音の発生状況の調査を実施する等の事例について説明があった。また、今後の騒音低減が期待される手法として、各部品メーカーの要素技術での対策に留まらず、風力発電施設全体を総体として取り組む騒音低減化等が挙げられた。
また、機器の適正な管理の実施により、騒音低減化がなされた事例や、音の伝搬経路や特性を踏まえた距離の設定による騒音低減化の実施及び継続的な住民との協議により、苦情等が発生した場合において、早期問題点が明確になり解決に至った事例について説明があった。

- ソフト面での対策としては、発電事業者による住民説明会の実施や協定の締結、及び地域貢献や講習会の開催を行う等、地域住民との良好な関係を創る対策が行われ、またこうした取組により、実際に苦情発生が収まった事例等、適切な対応が行われているケースがあるとの説明があった。

(2) 取組・対策が必要な事項

メーカーや発電事業者等からのヒアリングにより、空力音が発生しにくいブレードの開発等、ハード面における対策は既に取り組まれているとの説明があった。現状の技術的課題は、騒音低減化対策技術は伸び代が少なく、更なる改善を実施するにあたり、費用対効果面から相当割高になる場合もある。適切に施設を運営していくためには、引き続き騒音低減化技術を開発していくと共に、地方公共団体及び地域住民を含めた関係者が適切に理解してもらうため、騒音以外も含めた対策を行うことも重要と考える。

そのためには、風力発電施設に係る騒音の発生状況や、現在取り組んでいる騒音低減のための対策及びその効果を整理し、実現可能な対策に係る知見として取りまとめ、活用するとともに、広く発信することが重要である。また、具体的に国、地方公共団体、メーカー・発電事業者等に期待される取組は以下のとおりである。

①技術的な事項

- ・ 風力発電施設の機械・筐体に係る固体伝搬音及びブレードに係る空力音等について、現在、販売・活用されている対策による騒音低減効果の整理及び正確な情報発信

②設計・運用的事項

- ・ 風力発電施設のスペックの設定における騒音等の情報の整理や騒音低減性能確保のための保守管理対策。また、個別の設置施設におけるデータ等の収集・蓄積
- ・ 発電施設設置の際に、気候・土地利用状況等による音の影響の違いを踏まえた場所別の対策の実施
- ・ 発電事業者とメーカーのより強力なコミュニケーションによる騒音対策の実現
- ・ 業者と住民の相互協力を推進し、リスクコミュニケーションの対応を促進

③その他

(制度・資金等様々な騒音低減のための取組)

- ・ 施設設置計画段階における風力発電施設の騒音対策の検討を促進
- ・ より一層の環境保全対策を中心とした研究の促進
- ・ メーカー及び発電事業者のより一層の取組を促進させるような、合理的な騒音対策の推進手法の検討

(住民理解のための取組)

- ・ 騒音のメカニズム等の正確な情報の普及啓発等による地元住民の理解促進
- ・ 設置時の説明会実施時に、地域住民が抱える懸念を整理して対応、また運転開始後においても、定期的な運転状況等の情報提供を行う
- ・ 風力発電施設設置に伴う、防災施設としての利用や勉強会の実施等の付加価値の提供

(3) 調査・検討が必要な事項

メーカーや発電事業者等からのヒアリングにより、空力音が発生しにくいブレードの開発等、ハード面における対策は既に取り組みれていることが多く、製造コストやランニングコストの面から技術開発等による更なる騒音低減を図ることは容易ではないとの説明があったが、技術面、設計・運用面及び制度・資金等を含めて、メーカー、発電事業者共に、環境意識の向上を行い、引き続き対応可能性を検討していくことが重要と考える。

より一層の風力発電施設に係る騒音低減及び円滑な施設の設置、運営を図るため、国、地方公共団体、メーカー及び発電事業者等において騒音低減に係る技術の開発や運転方法の確立に関し、引き続き調査・検討を要する事項は以下のとお

りである。

①技術的な事項

- ・ 騒音等の発生が低い機器の開発及び既存施設への導入可能性の検討
- ・ 機械音から発生する純音対策等の検討
- ・ 既存施設を含めた空力音予測モデルの適切な活用による騒音低減運転の実現
- ・ 騒音低減のための周速抑制運転による発電量低減に対する対策

②設計・運用的事項

- ・ 風力発電施設における最新の騒音対策等の情報収集、及び情報提供による風力発電施設の開発、販売、利用及び運営側における活用の促進
- ・ 施設の性能確保に当たって必要な騒音レベルや純音成分等の評価指標の検討
- ・ 発電事業者が設備選択の際に参考となる、Swish音及び純音成分に係る、発電施設の性能確保
- ・ 風力発電施設から住宅までの距離や異常音発生時の停止の判断等、施設の設置や運営に当たって参照する評価方法等の検討
- ・ ノイズラベリング制度等の導入可能性の検討
- ・ 既設施設における、大規模改良や後付けデバイスによる対策方法の検討

③その他

(制度・資金等様々な騒音低減のための取組)

- ・ 騒音対策を発電事業者が一層の取組を促進するよう、合理的な騒音対策の検討
- ・ 中小のメーカーや発電事業者にも使用できる、安価かつ取り扱いやすい技術や対策の検討
- ・ メーカー及び発電事業者共に、騒音等環境に関係する職員に対して、環境保全対策に係る意識及び専門知識のより一層の向上を図るための教育等の実施

(住民理解のための取組)

- ・ 施設設置後に風力発電施設周辺に住宅等が建設されることの取扱い

4. 委員提言

今後取組等が期待される事項は「3. 分科会での調査で得られた知見について」のとおり取りまとめたが、とりわけ対応が求められる事項については、以下のとおり整理した。

(全般)

- 機械音や空力音対策による騒音低減化は、一定のレベルまで技術改善が行われており、現在、問題が発生している地域及び今後の施設設置計画がある地域においては、今後、ハード面での対策に加えて、地形等の条件も踏まえた設置場所の検討、体制整備や発電事業者と住民との円滑なコミュニケーションなど、ソフト面の対策も充実させることにより、総合的な対策を行うことが必要である。
- メーカー及び発電事業者による、一層の風力発電施設に係る騒音低減及び円滑な施設の設置・運営を推進するため、行政側においても、技術の開発や運転方法の改善等に関する情報の収集・発信を行うと共に、風力発電施設周辺における適切な環境保全のための方策・方針について諸外国における取組等も参考にしつつ、引き続き検討していくことが必要である。

(ハード面の対策)

- **Swish** 音に係る対策については、他業種の類似事例も参考にしつつ、更なる低騒音型の風車ブレードの形状等の開発を進めていくことが必要である。また、機械騒音等への追加対策も有効と考えられる。
- 空力音予測モデルについて、地形等の条件に対して、的確に予測が行えるよう、地形等の様々な条件に対しても、一層の精度向上を図ることが必要である。
- 風力発電施設からの騒音に対して、部品毎の対策だけではなく、全体をパッケージと見なした騒音低減対策が必要と考えられる。
- 風力発電施設の設置に当たっては、機体に関して低騒音の機器を選定することが重要である。
風力発電施設の設置位置（離隔距離）の決定にあたっては、発電出力、地形及び特に静穏を有する施設（病院・学校・住宅等）との距離の考え方の整理や音の伝わり方の検討が必要と考えられる。
また、回転速度の低減により空力音が低下することが知られているので、特定の風向・風速の組み合わせに対する運用制限も有効である。

- 風力発電施設保守点検について、騒音対策の観点から一定の水準を維持するための取組が必要である。その際、騒音対策について、どの程度費用がかかっているか、メンテナンス技術はどの程度かについて整理し、明確に示すべきものとする。

(ソフト面の対策)

- メリット、デメリットを含めた説明会を行い、住民と発電事業者が理解・合意した形で進めることが重要である。

風力発電施設に係る騒音対策技術等に関する分科会の進め方について

風力発電施設に係る騒音対策技術等の進捗状況について知見を収集および実行の可能性について把握するために、以下の項目についてヒアリングを実施いたします。

1. ヒアリング方法について

- (1) ヒアリング時間は1者あたり30～45分程度を想定(質疑応答を含む。)
- (2) 事前に配布する質問項目等を中心に説明していただく。
- (3) その後、10～15分程度の質疑応答を行うものとする。
- (4) 一回あたりのヒアリング実施者は2～3者程度を想定。

2. 主なヒアリング内容

- (1) 自らの事業概要
- (2) 風力発電施設に係る騒音対策として具体的に実施していること。(例：ブレードの形状の変更)
- (3) 上記、風力発電施設に係る騒音対策のこれまでの取組と現状について
- (4) 風力発電施設に係る騒音対策の今後の取組・展開の見込みについて
- (5) 風力発電施設に騒音対策技術等の中で、特に次ページに記載する個別の技術的事項について

3. ヒアリング対象について

日本国内において風力発電施設を製造・販売等や風力発電事業を行っている国内外の企業やその他各種専門家等。時間的な制約も考慮し、10者程度のヒアリングを予定。

4. 分科会における情報の取扱いについて

分科会におけるヒアリングでは現時点やこれからの開発展望などを含むため、特定の者に不当な利益若しくは不利益をもたらす恐れが生じないように、主査の判断により会議資料も含め非公開とすることがある。

5. その他

- (1) 委員各位からの情報提供にも適宜対応する。
- (2) その他委員から要望があれば適宜、各種企業・専門家等からのヒアリングに向けて調整を行う。

個別項目について

1. 騒音低減化技術等開発状況について
 - (1) 機械音を低減するための方法
 - (2) ブレードの回転に伴う空力音を低減するための方法
 - (3) タワーからの二次放射音低減のための方法
 - (4) タワー基礎からの地盤振動低減のための方法
 - (5) ナセル（ローター、ギア、増速機等）、ブレード、タワー等の利用素材およびそれらの稼働音に関する対策
 - (6) 音圧レベルの低減の推移
 - (7) ウィンドファームの設置を前提とした開発

2. 騒音低減化技術等の開発体制
 - (1) 研究開発体制はメーカー単独か又は共同連携か
 - (2) ランニングコストも考慮した開発
 - (3) これまでの技術開発における騒音低減化の1デシベル当たりのコスト

3. その他、技術に限らず個別に確認したい事項
 - (1) メーカー自身で風力発電施設からの発生する騒音等の測定
 - (2) 測定データの開発へのフィードバックおよびデータ等の蓄積状況
 - (3) 風車選定における、音響データの活用方法
 - (4) 環境省で自主的な取組として推進している騒音ラベリング制度の風力発電施設への導入の可能性
 - (5) 騒音低減化技術等の性能を担保するための保守点検（期間や実施方法）の推奨
 - (6) 騒音低減化を目的とした、風車音の自動監視・制御システム
 - (7) 風車設置場所の地形等の考慮状況
 - (8) 風力発電事業者の騒音低減化技術等の運用方法
 - (9) 風力発電事業者の運用開始後の騒音低減のための取組（住民、地元自治体とのコミュニケーションの確保等）
 - (10) 運用開始後に持続的な騒音低減の取組を行うための課題等

風力発電施設にかかる騒音対策技術等に関する分科会 名簿

- ◎ 塩田 正純 元工学院大学工学部教授
- 勝呂 幸男 横浜国大大学院工学研究科 産学連携研究員
(前一般社団法人日本風力エネルギー学会 会長)
- 高田 和彦 苫前町企画振興課新エネルギー係長
- 橘 秀樹 東京大学名誉教授
- 船場 ひさお フェリス女学院大学音楽学部講師
- 前田 太佳夫 三重大学大学院工学研究科教授
- 町田 信夫 日本大学理工学部教授
- 森下 達哉 東海大学工学部教授
- 吉岡 正雄 北栄町地域整備課長
- 吉田 茂雄 九州大学応用力学研究所教授

(50音順、敬称略。所属は平成26年8月現在)

(注:「◎」は主査)