

いすみ市沖洋上風力プロジェクト

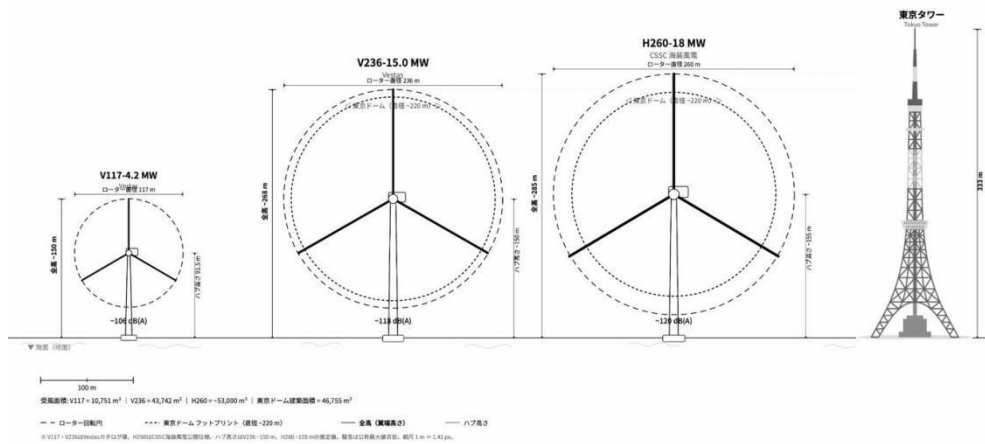
騒音影響評価

【要約版】

バナ・ゲルゲイ (Gergei Bana) Ph.D.

洋上風力タービン サイズ比較図

ローター正面視——東京ドーム・東京タワーとの比較 (同一縮尺)



※ この文書（要約版）は、約 120 ページの本編文書の主要な知見と結論を、専門知識のない一般の方にも理解できるよう要約したものです。要約版に記載された数値の根拠と詳細な計算過程は、本編に収録されています。本書の全文の PDF はこちら：<https://gergeibana.com/IsumiWindfarm.pdf>

1. 本書について

(本編 第 1 章「はじめに」に対応)

千葉県いすみ市の海岸から約 3 キロメートルの沖合に、高さ 260～300 メートルにもなる巨大な風力発電用の風車（風力タービン）を 25～42 基、設置する計画が進んでいます。風車 1 基あたりの発電能力は 12～18 メガワット（MW）、全体の発電規模は 450～525 メガワットに達します。

本書は、いすみ市に居住する一住民（数学・コンピューターサイエンスの専門家）が、この計画によって生じる騒音影響について、公開されている科学文献と標準的な音響計算手法を用いて独自に分析したものです。筆者は再生可能エネルギーの推進そのものに反対する立場ではなく、むしろその実現を支持しています。問題は計画の存在そのものではなく、風車を海岸からわずか 3 キロメートルという近距離に設置するという具体的な選択です。

本書の構成

本書（本編）は大きく 2 部で構成されています。

- **第 1 部「国内外の事例・法制度・事業者予測の検証」（第 2 章～第 6 章）**：世界の洋上風力発電所との離岸距離の比較、浮体式技術の現状、住民調査の知見、日本の法制度の構造的問題、および事業者が提出した騒音予測値の独立検証を扱います。
- **第 2 部「音響工学に基づく騒音伝搬の分析」（第 7 章～第 12 章）**：騒音の物理的な基礎から出発し、いすみ市沖の具体的な気象・地形条件のもとで独自の騒音伝搬計算を行い、住民への影響を定量的に評価します。

最後に、第 13 章で結論、第 14 章で提言を述べています。

基本用語の説明

本書を読み進めるにあたり、いくつかの基本的な用語を知っておくと理解が容易になります。

<p>周波数・周波数帯域</p>	<p>音は空気の振動（波）であり、1 秒間に振動する回数を周波数（単位：ヘルツ、Hz）という。数値が小さいほど低い音、大きいほど高い音。音響分析では、連続する周波数を一定の幅でまとめた「帯域（バンド）」に区切って評価するのが標準的な手法である。</p>
<p>デシベル（dB）</p>	<p>音の大きさを表す単位で、対数（ログ）スケールを使う。数値が 3 上がるとエネルギーは約 2 倍、10 上がると 10 倍になる。全帯域の音をまとめた「総合レベル」で示す場合と、帯域ごとに分けて示す場合がある。身近な例では、静かな住宅街の夜間が約 30 dB、冷蔵庫の前が約 40 dB、エアコン室外機のそばが約 50 dB、掃除機の使用音が約 70 dB。</p>
<p>低周波音</p>	<p>周波数が概ね 20～200 Hz の低い音の総称。同じ大きさのエネルギーの音でも、周波数が低くなるほど人間の耳には弱く聞こえる。壁や窓を透過しやすく、距離が離れても減衰しにくい特徴がある。大型風車の騒音は低周波成分が支配的。</p>
<p>超低周波音（インフラサウンド）</p>	<p>周波数が概ね 20 Hz 以下の音。人間の耳にはほとんど聞こえないが、強ければ胸や腹部に圧迫感として感じることもある。</p>
<p>Z 特性 dB(Z)</p>	<p>重み付けなし。全周波数のエネルギーをありのまま測る「基準のものさし」。</p>
<p>A 特性 dB(A)</p>	<p>人間の耳が敏感な中～高い音を重視し、低い音を大幅に差し引くフィルタ。全帯域をまとめた dB(A)の総合レベルでは、大型風車が主に発する低周波エネルギーの約 96%が数値から消えるため、低周波音の影響評価には不向き。日本の規制はこの総合 dB(A)だけで評価を行っている。</p>
<p>C 特性 dB(C)</p>	<p>低い音もほとんど差し引かないフィルタ。C-A 差が 15～20 dB 以上なら「低周波問題あり」とする国際基準が複数ある。</p>
<p>G 特性 dB(G)</p>	<p>超低周波音（インフラサウンド）に焦点を合わせた専用フィルタ。エストニアやデンマークが洋上風力の規制に採用。日本には基準なし。</p>

<p>ダクト効果</p>	<p>冷たい海面の上に暖かい空気の層ができると、音がトンネルのように閉じ込められ遠くまで届く現象。夏季夜間に起こりやすい。</p>
<p>浮体式洋上風力</p>	<p>海底に土台を固定する「着床式」に対し、風車を浮かぶ構造物に載せる方式。沖合の深い海域にも設置可能。ノルウェーで海岸から 140 km 沖で商業運転中。</p>
<p>環境影響評価</p>	<p>大規模開発が環境に与える影響を事前に予測・評価する手続き。日本ではこれまで事業者自身が実施してきたが、2025 年の法改正で国主導の「セントラル方式」が創設された。ただし新制度の詳細は未確定。</p>

※ 4 つのものさし (Z・A・C・G 特性) については、セクション 6 で改めて解説します。

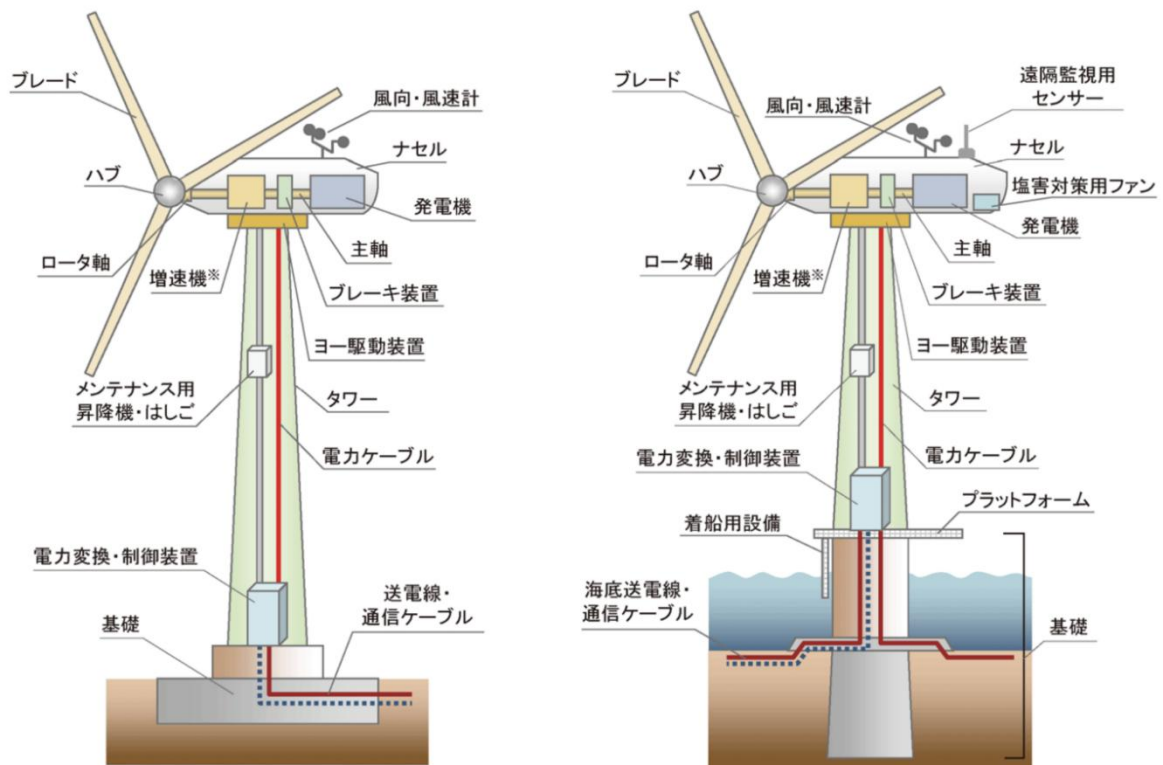


図 1：風力発電機の主要な構成要素（左：陸上風力 右：洋上風力） 出典：NEDO 再生可能エネルギー技術白書第 2 版

2. 世界に前例のない近さ

(本編 第 2 章 に対応)

いすみ市沖計画の最大の特徴は、これほど巨大な風車を海岸からこれほど近くに設置する計画が、世界のどこにも前例がないという点です。2024 年 6 月の国会審議で環境省は「発電能力 10 MW 以上の洋上風車が海岸から 10 km 以内で稼働している事例は、国内外を通じて確認されていない」と答弁しています。いすみ市沖計画は、12~18 MW という最大級の風車を、10 km の 3 分の 1 にあたる 3 km に設置しようとするものです。

世界の主要プロジェクトとの比較

プロジェクト名	風車規模	離岸距離	国	状況
いすみ市沖	12~18 MW	約 3 km	日本	計画中
He Dreiht	15 MW	90~110 km	ドイツ	建設中
華潤連江	18 MW	18~25 km	中国	稼働中
Hywind Tampen	8.6 MW	140 km	ノルウェー	稼働中
Vesterhav S&N	8.4 MW	5.5~10 km	デンマーク	稼働中

ドイツでは沿岸 22 km 以内は自然保護のため風車設置不可、中国は 10 km 以上を統一基準としています。欧州の近岸事例（デンマークの Vesterhav 等）でも、沿岸は別荘地や漁村で常住人口がごく少なく、波浪音が風車騒音をかき消す環境が選ばれています。いすみ市のように住宅地が背後に広がる場所に、この規模の風車をこの距離に設置する計画は、国際的に極めて異例です。

なぜ 3 km なのか：技術ではなくコストの問題

いすみ市沖は急深で、着床式（海底に土台を固定する方式）が可能な浅い場所は海岸から 3~6 km に限られます。しかし、ノルウェーは同様の急深海域で浮体式技術を使い海岸から 140 km 沖での大規模発電を実現しています。3 km への設置は技術的必然ではなく、建設コスト削減のための選択であり、住民の生活環境とのトレードオフを伴います。

3. 騒音は住民にどのような不快感を与えるか

(本編 第3章 に対応)

風車騒音と住民の不快感に関しては、スウェーデン、オランダ、カナダ、米国、英国、ノルウェー、ポーランドの7か国で大規模な住民調査が行われ、比較的低いレベルから不快感が生じることが一貫して示されています。

騒音レベルと不快感の関係

- **35 dB(A)以下** : 不快感を報告する人は1~2%
- **35~40 dB(A)** : 不快感が急増 (5~10%)。重要な閾値
- **40~45 dB(A)** : 10~18%が強い不快感。日本の調査では40.5 dB(A)超で不眠症リスクが約5倍に
- **45 dB(A)以上** : 住民の約半数が不快感を報告

風車騒音は同じ大きさの自動車騒音より約17 dB分強い不快感を引き起こします。ブレードが空気を切る「シュツ…シュツ…」という脈動が、一定の音より人間の神経を強く刺激するためです。この脈動は夜間に最も強まります。

スコットランドの教訓：ハンターストーン試験施設

6~7 MW級の洋上用風車を住宅地から約2.5 kmで稼働させたスコットランドのハンターストーン試験施設(2012年設置)では、住民17名から「平衡感覚が失われまともに歩けない」「巨大な低音スピーカーのそばにるように体で感じる」等の深刻な症状が報告されました。いすみ市沖の風車はこの2~3倍の規模で、基数は25~42基と桁違いに多いことに留意が必要です。

4. 日本の規制制度には何が足りないのか

(本編 第4章・第5章 に対応)

日本弁護士連合会（日弁連）は、2013年・2022年・2025年の3度にわたり風力発電の騒音規制の不備を指摘しています。最新の2025年意見書は「環境アセスメントは機能していない」と断じています。

4つの構造的な問題

① 騒音予測を事業者自身が行い、計算手法も事業者が選ぶ

日本で事業者が使う主な計算手法は2つあります。

「NEDO式」は2006年に出力1～2 MW級の小型陸上風車を想定して作られた簡易モデルで、周波数ごとの分析を求めず、風車を大きさのない「点」として扱います。

もう一つの「ISO 9613-2」は国際標準の手法で周波数帯ごとの計算が可能ですが、もともと陸上用で、海面反射やダクト効果を考慮できません。

いずれも現在の12～18 MW級洋上風車に適用するには根本的な限界があります。しかし日本では、どちらを使うかも、気象条件の設定も事業者が自由に選べます。モデルの選び方だけで計算結果は約9 dB（エネルギーで約8倍）も変わります。欧州では計算方法は規制当局が指定します。

② A特性のみの評価：低い音のエネルギーの約96%が見えなくなる

日本の規制はA特性だけで騒音を評価します。大型風車のエネルギーのうちA特性が反映するのは約4%にすぎません。ドイツ、カナダ、デンマークではC特性やG特性での評価も義務付けています（詳細はセクション6）。

③ 複数夜の平均化：深刻な時間帯が薄められる

夜間8時間の騒音を複数夜にわたって平均するため、ある夜の深夜の最悪値は静かな時間帯や別の夜と平均化されて「薄められ」ます。

④ 低周波音の基準が存在しない

環境省は低周波音の参照値（苦情が生じる可能性が高い水準）を定めていますが、風力発電の評価ではこの参照値との照合を義務付けていません。環境省自身が「参照値以下でも許容できない可能性が10%程度残る」と認めています。

制度改革の動き

なお、2025年6月に環境影響評価法が改正され、事業者ごとに個別に行われていた評価を国が主導する「セントラル方式」が創設されました。ただし、騒音予測モデルの指定や低周波音の評価義務など新制度の詳細は未確定であり、本書が指摘した技術的課題が解消されるかは不明です。

制度がどう変わっても、大型風車の低周波音の物理的性質と3 kmでの受音レベルは変わりません。

5. 事業者の予測値を検証する

(本編 第6章 に対応)

なぜ 1 社の資料しか検証できないのか

いすみ市沖における洋上風力発電事業には 2022～2023 年に 8 事業者が環境配慮書を提出しました。しかし日本の制度では、これらは法定の「縦覧期間」(通常 30～45 日間)の間だけ公開され、期間終了後は事業者が削除できます。2026 年現在、入手可能なのは 4 社コンソーシアム(三井物産、RWE Renewables Japan、大阪ガス、K&O エナジーグループ)の資料のみです。第 6 章では、この唯一の資料をもとに検証しました。

事業者の予測値：約 32 dB(A)、独立再計算の結果

事業者は海岸線での騒音を約 32 dB(A) (「ささやき声程度」)と予測しています。その再現性を検証するため、ISO 9613-2 で独自に再計算した結果：

- 事業者にもっとも有利な条件(海面反射無視、高温多湿の空気)でも約 33 dB(A)で、予測値を約 1 dB 上回りました。
- 物理的に妥当な条件(海面反射あり、年間平均気象)では約 36～37 dB(A)で、予測値を 4～5 dB (エネルギーで約 3 倍) 上回りました。
- 上記は「穏やかな条件」のみの計算で、夜間のダクト効果等は含みません。
- しかも、事業者は dB(A)の単一値しか提示していないため、全帯域に均等配分した「フラットスペクトル」で計算せざるを得ず、これ自体が予測値を低く出す(事業者にもっとも有利な)方向に働いています。

事業者の予測値に近づけるには、「海面が音を反射しない」「年平均より高温多湿」という物理的に現実的とは言い難い仮定を複数重ねる必要がありました。

6. 音の4つの「ものさし」：なぜ測り方で数値が変わるのか

(本編 第8章 に対応)

セクション 5 で事業者の予測値を検証しましたが、その予測は A 特性という「ものさし」だけで行われています。ここで、なぜそれが問題なのかを理解するため、4 つのものさしの違いを見ます。

音の大きさを表す単位「デシベル (dB)」は、その音を持つエネルギーの大きさを表しますが、私たちの耳は音の高さ (周波数) によって感度が大きく異なります。低い音は同じエネルギーでも小さく聞こえ、20 Hz 以下の超低周波音はほぼ聞こえませんが (ただし強ければ体に圧迫感として伝わります)。この耳の特性を補正して、物理的なエネルギーの大きさではなく、「実際に人がどの程度うるさく感じるか」を数値で表すために、測定値に対して周波数ごとにデシベルを差し引いたり上乗せしたりすることを「重み付け」といいます。同じ音でも、測る「ものさし」(重み付け) によって数値が大きく変わります。

Z 特性 dB(Z) (ありのまま)：補正なし。全周波数のエネルギーをそのまま測定。重み付けを一切行わず、物理的な音のエネルギーの実態を最も正直に示す基準値。

A 特性 dB(A) (日常騒音用)：人間の聴覚が最も敏感な中～高い音はそのまま通すが、低い音を大幅に差し引く。63 Hz で約-26 dB。日常的な騒音評価に広く用いられるが、低周波主体の大型風車では全エネルギーの約 96%が消える。

C 特性 dB(C) (低周波も拾う)：低い音をほとんど差し引かない。63 Hz で A 特性が-26 dB のところ C 特性はわずか-0.8 dB。低周波が主体の環境では実態に近い値を示す。

G 特性 dB(G) (超低周波専用)：20 Hz 以下の超低周波音 (インフラサウンド) に焦点を合わせた専用フィルタ。耳には聞こえなくても体を感じる領域を評価。エストニア・デンマークが洋上風力の規制に採用。

同じ風車を4つのものさしで測った比較

Vestas V236-15MW (1 基) の音源レベルをものさし別に示します。

	Z 特性	A 特性	C 特性	G 特性
1 基の音源レベル	134 dB	120 dB	130 dB	132 dB

この差は距離とともに拡大します。高い音は空気に吸収されて消え、低い音だけが残るため、海岸線に届く音は低周波成分がさらに支配的になり、A特性が見逃すエネルギーの割合はもっと大きくなります。日本の規制がA特性だけで評価するのは、デンマーク・ドイツ・エストニア等の低周波評価基準を持つ国々と比べ、大きな制度的空白です。

7. 本書の独自分析：何をどう計算したか

(本編 第9章～第12章 に対応)

事業者の予測を検証するだけでなく、本書では4つのステップで独自の騒音伝搬計算を行いました。

ステップ1：いすみ市沖の気象条件の分析（第9章）

気象庁とNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）のデータに基づき、季節ごとの気温・湿度・風向・風速を整理しました。特に、海から陸へ風が吹く頻度（年間約25～35%、夏季夜間は50%以上）と、音が増幅されるダクト効果が起こりやすい条件の頻度を分析しています。

ステップ2：風車はどれほどの音を出すのか（第10章）

本書では、大型風車として唯一、周波数帯域別の詳細な騒音データが公開されているデンマーク Vestas 社の 15 MW 機（V236-15MW）の実測スペクトルを基準として使用しました。低い音から高い音まで31の帯域に分けたデータであり、周波数ごとに異なる空気の吸収や地面の反射を正確に計算できます。このデータを基に、12 MW 機と 18 MW 機の音源レベルも推定しました。

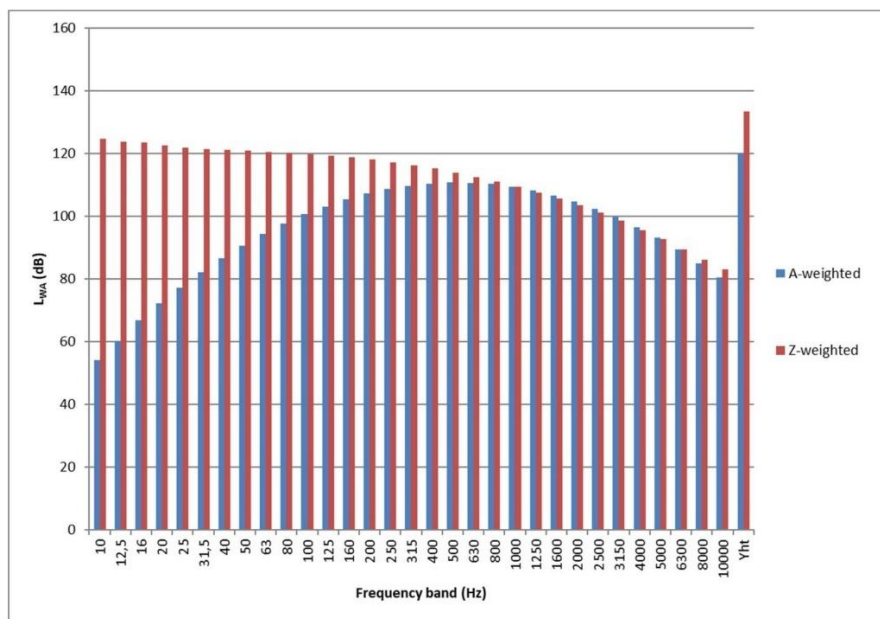


図1：風力発電機の主要な構成要素（左：陸上風力 右：洋上風力）出典：NEDO 再生可能エネルギー技術白書第2版

風速と騒音の関係：風車が最大の騒音を出すのは「定格風速」（この風車の場合、高さ150メートルで約10～11 m/s）に達してフル出力で回転しているときです。定格風速を超えると、ブレードの角度を調整（ピッチ制御）して出力を一定に保つため、騒音はそれ以上増えません。一方、いすみ市沖の年間平均風速は約8 m/sで、定格風速より低いため、年間を通じた平均的な騒音レベルはフル出力時より約4～6 dB（エネルギーで3～4分の1程度）低くなります。本書では、フル出力時と年間平均風速時の両方について計算結果を示しています。

ステップ3：騒音伝搬の計算手法の決定（第11章）

風車が発した音が海上を伝わり住民に届くまでの過程を計算するため、3種類の手法を構築しました。

（1）ISO 9613-2に基づくベースライン計算

まず、国際標準の計算規格（ISO 9613-2）に、ステップ2で準備したVestas V236-15MWの実測スペクトル（31帯域）を適用します。セクション5の事業者予測の検証ではフラットスペクトル（均等配分）を使わざるを得ませんでした。ここでは実際の風車のスペクトルを使うため、周波数ごとに異なる空気の吸収を正確に計算できます。この計算は風や気温による増幅を含まない最も保守的な（低い側の）推定値であり、ベースライン（基準線）となります。

（2）気象条件に応じた4段階の伝搬補正

ISO 9613-2は「適度な順風条件」を前提としており、洋上で頻繁に起こる風速勾配や温度逆転による音の増幅を考慮できません。そこで、北欧の実測データに基づく知見を活用して、気象条件に応じた4段階のシナリオ（ケース1～4）でベースラインに補正を加えます。

- **ケース1（穏やかな条件）**：ISO 9613-2のベースラインそのもの。風や気温による増幅なし。最も保守的な推定。
- **ケース2（風速勾配による増幅）**：高さ150mのハブ付近の強風と海面付近の弱風の差により、音が下向きに屈折して効率よく地上に届く効果を加味。風下条件で顕著。

- **ケース 3（気温逆転による増幅）**：ケース 2 に加え、冷たい海面と上空の暖かい空気による気温逆転層が音をさらに下向きに曲げる効果を考慮。春～夏の夜間に発生しやすい。
- **ケース 4（最強伝搬条件・ダクト効果）**：音が海面と逆転層の間に閉じ込められ、トンネルのように効率よく伝搬。通常の球面拡散（距離 2 倍で -6 dB）が円柱拡散（距離 2 倍で -3 dB）に近づく。夏季夜間の就寝時間帯に形成されやすく、影響は最も深刻。

(3) 理論上限値の検証：完全円筒拡散

最後に、音が海面と大気の中に完全に閉じ込められた場合（完全円筒拡散）の理論上限値を算出しました。これは現実には長時間持続する条件ではありませんが、ケース 4 の推定値が物理的に妥当な範囲にあること（つまり極端に高すぎも低すぎもしないこと）を確認するための検証です。

ステップ 4：計算結果と国際基準の照合（第 12 章）

3 つの風車配置案について計算を行いました。A 案（15 MW×35 基）と B 案（12 MW×42 基）は 4 社コンソーシアムが環境配慮書で提示した配置、C 案（18 MW×25 基）は別の事業者から得た非公開情報に基づく配置です。それぞれ 3 つの受音点（海岸線・内陸 3 km・内陸 5 km）について上記 4 シナリオで計算し、7 か国の疫学データ、環境省の参照値、および各国の低周波騒音基準と照合しました。3 つの配置案はいずれも総出力 450～525 MW 級であり、計算結果の配置間の差は 1～2 dB 程度に収まりました。つまり、どの配置を選んでも騒音影響はほぼ同等です。

8. 計算結果：海岸線や内陸にどれだけの騒音が届くのか

(本編 第 12 章 に対応)

3つの配置案の計算結果は1~2 dB程度の差に収まったため、以下では代表的な値(概数)で示します。

計算結果を読む前に、セクション 3 で整理した騒音レベルと不快感の関係を再掲します。

騒音レベル	住民への影響
35 dB(A)以下	不快感を報告する人は1~2%
35~40 dB(A)	不快感が急増(5~10%)。重要な閾値
40~45 dB(A)	10~18%が強い不快感。40.5 dB(A)超で不眠症リスク約5倍(日本の調査)
45 dB(A)以上	住民の約半数が不快感を報告

以下の計算結果は15 MW機のフル出力時(定格風速)の値です。年間平均風速(ハブ高さ150 mで約8 m/s)の条件に換算するには各値から約4~6 dBを差し引きます。ただし、ハブ高さで8 m/sの風が吹いていても地上ではほぼ無風のことがあり、その場合は周囲が静かなため風車騒音がより目立ちます。また、18 MW級の大型機を想定する場合は約+2 dBを加算します。

(1) ISO 9613-2 ベースライン：増幅効果なしの最も保守的な推定

まず、風や気温による増幅を一切含まないISO 9613-2の標準計算(ケース1)の結果です。これは実測スペクトルを使った計算であり、セクション5のフラットスペクトルとは異なります。

受音点	dB(A)	dB(C)	事業者予測	環境基準(夜間)
海岸線	約45	約62	約32 dB(A)	45 dB(A)
内陸3 km	約37	約57	—	45 dB(A)
内陸5 km	約34	約55	—	45 dB(A)

注：フル出力時の値。年間平均風速では各値から約4~6 dBを差し引きます。

増幅効果を一切含まないこの最も保守的な計算だけで、すでに海岸線のA特性は環境基準の45 dB(A)に達しています。しかも事業者予測(約32 dB(A))との差は約13 dB(エネルギーで約20倍)です。この差は、実測スペクトルを使ったことで低周波の減衰の小ささが正確に反映された結果です。

(2) 伝搬補正モデル：4つの気象シナリオの結果

ISO 9613-2 ベースラインに、風速勾配・気温逆転・ダクト効果の補正を加えた結果です。

受音点	穏やかな条件	最強伝搬条件	事業者予測	環境基準(夜間)
海岸線	約 46 dB(A)	約 51 dB(A)	約 32 dB(A)	45 dB(A)
内陸 3 km	約 38 dB(A)	約 44 dB(A)	—	45 dB(A)
内陸 5 km	約 35 dB(A)	約 41 dB(A)	—	45 dB(A)

事業者の予測値(約 32 dB(A))と最強伝搬条件(約 51 dB(A))の間には約 19 dBの開きがあります。音のエネルギーにして約 80 倍の違いです。

なお、上記のケース 4 は、4つのシナリオの中で最強という意味で「最強伝搬条件」と呼んでいますが、物理的にありうる最悪のケースではありません。暑い日の後の穏やかな夏の夜、海から陸への風が吹き、非常に強い気温逆転と薄いダクト層が重なる場合には、次項の完全円筒拡散に近い値が生じます。

(3) 理論上限値：完全円筒拡散

音が海面と逆転層の間に完全に閉じ込められた場合(完全円筒拡散)の理論上限値を算出し、ケース 4 の推定値が物理的に妥当な範囲にあることを確認しました。海岸線での比較を示します。

計算手法	dB(A)	dB(C)	dB(G)	ISO 比
ISO 9613-2 ベースライン	約 45	約 62	約 65	—
ケース 4 (最強伝搬条件)	約 51	約 68	約 68	+約 7
完全円筒拡散 (理論上限)	約 62	約 79	約 79	+約 18

ケース 4 は完全円筒拡散に対して約 11 dB のマージンがあり、ISO (下限) と円筒拡散 (上限) の範囲の中間よりやや下に位置します。つまり、本書の推定は過大評価ではなく中庸な値です。

なお、G 特性(超低周波音)はケース 4 でも約 68 dB(G)、理論上限でも約 79 dB(G)であり、デンマーク・エストニアの屋内基準(85 dB(G))を下回ります。超低周波音(インフラサウンド)そのものは本計画の主要な問題ではなく、問題の核心は 20~200 Hz の低周波音帯域にあります。

9. 日常の音との比較：大型トラックに例えると

(本編 第 12 章§12.6 に対応)

経済産業省の資料による大型トラックのアイドリング騒音（約 87 dB(A)）との距離換算：

- **穏やかな条件（約 40 dB(A)）**：約 60 m 先のトラック
- **通常の場合（約 45 dB(A)）**：約 35 m 先のトラック
- **最悪の場合（約 50 dB(A)以上）**：約 20 m 先（道路の向かい側）のトラック

ただし、トラックはやがて立ち去ります。風車の音は風が吹く限り一晩中続きます。しかも 3 km の伝搬で高い音が消え、残るのは低い音ばかりとなるため、窓を閉めても遮断しにくい音になります。

さらに、本書の計算結果はすべて時間平均値であり、実際の風車騒音はこれより悪化します。風車のブレードが回転するたびに「ドン…ドン…」という脈動（振幅変調）が生じ、そのピーク値は平均値より 3～6 dB 高くなります。また、複数の研究により、風車騒音は同じ dB(A)値の道路交通騒音と比べて約 17 dB 分も強い不快感を引き起こすことが確認されています。つまり、40 dB(A)の風車騒音は、体感的には 57 dB(A)の交通騒音に相当します。

10. A 特性では見えない音：計算結果が示す低周波の実態

(本編 第 8 章・第 12 章 に対応)

セクション 6 で説明した 4 つのものさしの違いを、実際の計算結果で確認します。海岸線に到達する風車騒音を 4 つのものさしで測った値 (A 案：15 MW×35 基、ISO 9613-2 ベースライン)：

受音点	Z 特性	A 特性 (日本)	C 特性	C-A 差
海岸線	65.9 dB	45.0 dB(A)	61.9 dB(C)	16.9 dB
内陸 3 km	61.5 dB	37.5 dB(A)	57.1 dB(C)	19.6 dB
内陸 5 km	59.4 dB	34.0 dB(A)	54.9 dB(C)	20.9 dB

C-A 差は全地点でドイツ・カナダの「低周波問題あり」基準 (15~20 dB) を超過しています。

最大の問題：80 Hz 帯域

総合レベルの比較以上に深刻なのが、個別の周波数帯域で見た場合です。環境省の「手引書」は各帯域に参照値 (苦情が生じる可能性が高い水準) を定めています。中でも 80 Hz 帯域 (参照値 41 dB) が最も深刻な超過を示します。80 Hz の音はピアノの最低音域に相当し、十分に聞こえる音です。この帯域が最大の問題となるのは、大気吸収が極めて小さいため遠くまで届く一方、参照値が相対的に低い水準に設定されているためです。

受音点	ISO 基準線	穏やかな条件	最強伝搬条件	円筒拡散(上限)
海岸線	52 (+11)	53 (+12)	59 (+18)	70 (+29)
内陸 3 km	47 (+6)	48 (+7)	54 (+13)	65 (+24)
内陸 5 km	45 (+4)	46 (+5)	52 (+11)	63 (+22)

注：単位は dB (Z 特性)。カッコ内は環境省参照値 (41 dB(Z)) からの超過量。概数。

この超過は伝搬補正を一切適用していない ISO 9613-2 ベースラインの時点で生じています。つまり、音源スペクトルと距離という基本物理のみから導かれる結論であり、どのような計算モデルを用いても、どのような気象条件を仮定しても解消できません。内陸 5 km (風車から 8 km 以上) の地点ですら参照値を超過しています。

北海道大学の田鎖 (2024) による独立した研究でも、80 Hz 帯が最も広い影響範囲を生じることが確認されており、本書の計算結果と整合します。

11. デンマークの教訓：「後から判明した」問題

(本編 第5章§5.6.1 に対応)

デンマークは世界最長の洋上風力の歴史を持ちます。初期のプロジェクトでは、現在の日本と同じ ISO 9613-2 で予測を行っていました。しかし風車が動き始めると、ダクト効果により予測を大きく超える低周波騒音が住民から報告されました。

デンマークはこれを受けて規制を抜本改正し、高精度モデル (Nord2000) の使用を義務付け、2012 年には低周波音 (10~160 Hz) に世界最厳の室内基準を新設しました。

いすみ市沖の夏季の気象条件 (冷たい海面 + 高温多湿の空気) はデンマークと同等かそれ以上にダクト効果が生じやすく、風力先進国で「風車を動かして初めて判明した」問題が再現する可能性は物理的に否定できません。

12. 解決策と提言

(本編 第2章・第13章・第14章 に対応)

本書は問題を指摘するだけでなく、建設的な解決策を提案します。

小型機への置き換え：同じ発電量で騒音を大幅に削減

15 MW 級風車 1 基は、4.2 MW 級風車約 16 基分に相当する騒音を発します。同じ総発電量を達成する場合、少数の超大型機を多数の小型機に置き換えると、合計騒音は約 6 dB (エネルギーで約 4 分の 1) 低下します。つまり、風車を小さくするだけで騒音影響を大幅に軽減できます。大型化はコスト効率の追求によるものですが、騒音の観点からは住民にとって最悪の選択です。

浮体式技術による沖合移設：最も確実な解決策

- ノルウェーのハイウィンド・タンペンは海岸から 140 km で商業運転中 (8.6 MW ×11 基)。
- 日本国内でも五島市沖と北九州響灘沖の 2 か所で浮体式が商業運転中。
- コストは急速に低下中。DNV・米国エネルギー省は 2035 年に 56~64 USD/MWh を予測 (日本の産業用電力料金を大幅に下回る水準)。
- いすみ市沖は海岸から 20 km まで大陸棚が広がり、浮体式の設置条件を十分に満たします。

提言 1：事業者から独立した専門的騒音予測

ISO 9613-2 を超える高度な計算手法 (ダクト効果や気温逆転を考慮できるモデル) による、事業者から独立した騒音予測を実施すべきです。A 特性だけでなく、C 特性・G 特性・帯域別分析を含めるべきです。

提言 2：浮体式技術による離岸距離の確保と小型機の採用

住民の生活環境と健康を保護しつつ洋上風力の便益を実現するため、離岸距離 3 km を根本的に見直し、浮体式で 20 km 以上を確保する方向で再検討すべきです。あわせて、風車の単機出力を可能な限り小さくすることで、同じ発電量でも合計騒音を大幅に低減できます。

提言 3 : 着床式の場合の次善策

浮体式が困難な場合でも、(1) 単機出力の制限（少数の超大型機より多数の小型機の方が合計騒音は大幅に低い）、(2) 離岸距離の最大化（6 km でも着床式の制約内）を検討すべきです。

洋上風力発電はエネルギー安全保障、経済効果、CO2 削減の観点から日本にとって重要な技術です。問題は風力発電そのものではなく、世界に前例のない近距離に巨大な風車を設置するという具体的な選択です。浮体式技術を活用すれば、住民の生活環境を守りながら洋上風力の便益を実現できます。

「現時点でコストが高い」という事実は、住民の健康と生活環境を犠牲にしてよい理由にはなりません。浮体式という現実的な代替手段が存在する以上、近距離・着床式を「唯一の選択肢」とする論拠は成り立ちません。