

卷末資料

— (仮称) 瀬戸ウィンドヒル建替え事業に係る騒音予測 —

本資料は、既設と現状想定されうる建替え風力発電機の機種や配置を複数ケース設定し、風力発電機の設置予定範囲から約 1.0km の範囲の 4 住宅における騒音レベルを確認することを目的とし、騒音レベルの寄与値を予測した。なお、実際の風力発電機の配置は未決定で、風力発電機の設置予定範囲内に 3 基若しくは 4 基を配置した際の参考値である。

1. 予測地点

施設の稼働に伴う騒音の影響を受けるおそれのある住宅として、風力発電機の設置予定範囲から約 1.0km の範囲にある 4 住宅を騒音予測地点とした（図 1、図 3 参照）。

騒音予測の高さは標高+1.2m とした。

2. 予測条件

騒音予測時における音源として、騒音予測ケース①～⑪における風力発電機の諸元や配置は、表 1 及び図 1、2、3 のとおりである。なお、騒音予測ケース①～⑥及び⑧～⑪は、現段階で想定される最も有力な風力発電機の諸元と、風力発電機の設置予定範囲内の想定配置で設定したものである。また、騒音予測地点の住宅から建替え風力発電機の設置想定位置までの直達距離については、騒音予測ケース①～⑥については表 2 のとおり、騒音予測ケース⑧～⑪については表 3 のとおりである。

また、騒音予測ケース⑦は、既設の風力発電機の諸元と配置を示している。これは既設と建替えの風力発電機の騒音予測レベルの比較のために用いた。

表 1 騒音予測ケース①～⑪の風力発電機の仕様、パワーレベル、配置

騒音予測ケース	機種	ハブ高さ	基数	A 特性 パワーレベル	風力発電機の配置
ケース①（建替え）	4MW級 (通常騒音型)	84 m	3 基	106.0 デジベル	風力発電機の設置想定位置（図 1）
ケース②（建替え）	4MW級 (低騒音型)	84 m	3 基	103.0 デジベル	
ケース③（建替え）	4MW級	112 m	3 基	103.9 デジベル	
ケース④ (建替え+佐田岬)	4MW級 (通常騒音型)	84 m	3 基	106.0 デジベル	風力発電機の設置想定位置（図 1）
	MWT-1000A	68 m	9 基	101.1 デジベル	佐田岬風力発電所（図 2）
ケース⑤ (建替え+佐田岬)	4MW級 (低騒音型)	84 m	3 基	103.0 デジベル	風力発電機の設置想定位置（図 1）
	MWT-1000A	68 m	9 基	101.1 デジベル	佐田岬風力発電所（図 2）
ケース⑥ (建替え+佐田岬)	4MW級	112 m	3 基	103.9 デジベル	風力発電機の設置想定位置（図 1）
	MWT-1000A	68 m	9 基	101.1 デジベル	佐田岬風力発電所（図 2）
ケース⑦ (既設：瀬戸ウィン ドヒル+佐田岬)	MWT-1000A	50 m	2 基	101.1 デジベル	瀬戸ウィンドヒル発電所 1 号機 佐田岬風力発電所 1 号機（図 2）
	MWT-1000A	68 m	8 基		佐田岬風力発電所 2-9 号機（図 2）
	MWT-1000	50 m	10 基	99.5 デジベル	瀬戸ウィンドヒル発電所 2-11 号機 (図 2)
ケース⑧（建替え）	4MW級 (通常騒音型)	84 m	4 基	106.0 デジベル	風力発電機の設置想定位置（図 3）
ケース⑨（建替え）	4MW級 (低騒音型)	84 m	4 基	103.0 デジベル	
ケース⑩ (建替え+佐田岬)	4MW級 (通常騒音型)	84 m	4 基	106.0 デジベル	風力発電機の設置想定位置（図 3）
	MWT-1000A	68 m	9 基	101.1 デジベル	佐田岬風力発電所（図 2）
ケース⑪ (建替え+佐田岬)	4MW級 (低騒音型)	84 m	4 基	103.0 デジベル	風力発電機の設置想定位置（図 3）
	MWT-1000A	68 m	9 基	101.1 デジベル	佐田岬風力発電所（図 2）

表 2 予測地点から建替え風力発電機 A～C までの直達距離

騒音予測地点	予測地点と各風力発電機の直達距離（m）		
	風力発電機 A	風力発電機 B	風力発電機 C
住宅 1	1,549	1,018	497
住宅 2	2,280	1,740	982
住宅 3	1,737	1,382	934
住宅 4	930	803	1,052

表 3 予測地点から建替え風力発電機 A～D までの直達距離

騒音予測地点	予測地点と各風力発電機の直達距離 (m)			
	風力発電機 A	風力発電機 B	風力発電機 C	風力発電機 D
住宅 1	1,549	1,118	671	495
住宅 2	2,280	1,840	1,378	1,073
住宅 3	1,737	1,426	1,223	998
住宅 4	930	785	909	998

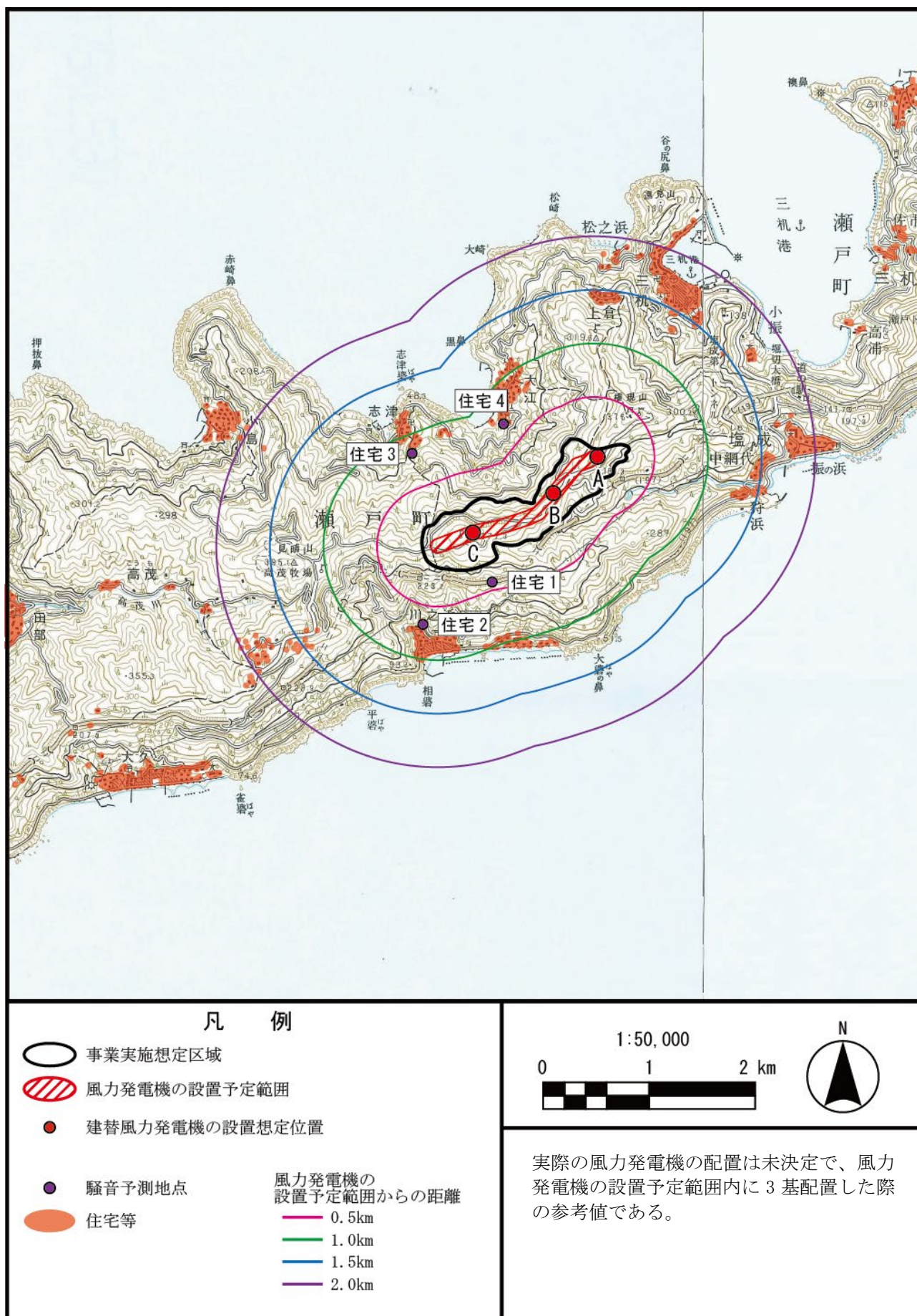


図1 騒音予測ケース①～⑥における風力発電機3基の設置想定位置と騒音予測地点（住宅1～4）

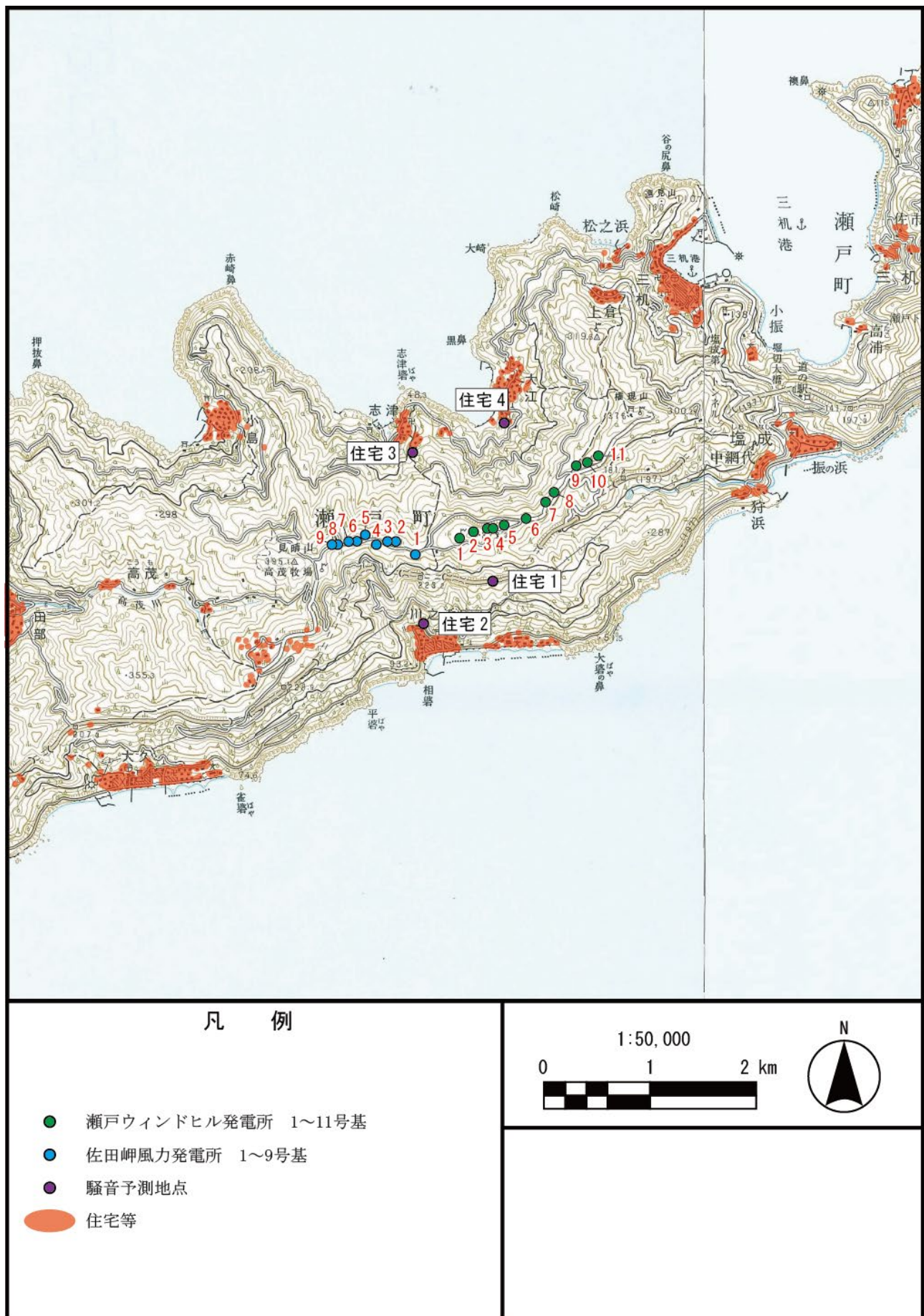


図2 既設の風力発電機と騒音予測ケースにおける騒音予測地点（住宅1～4）

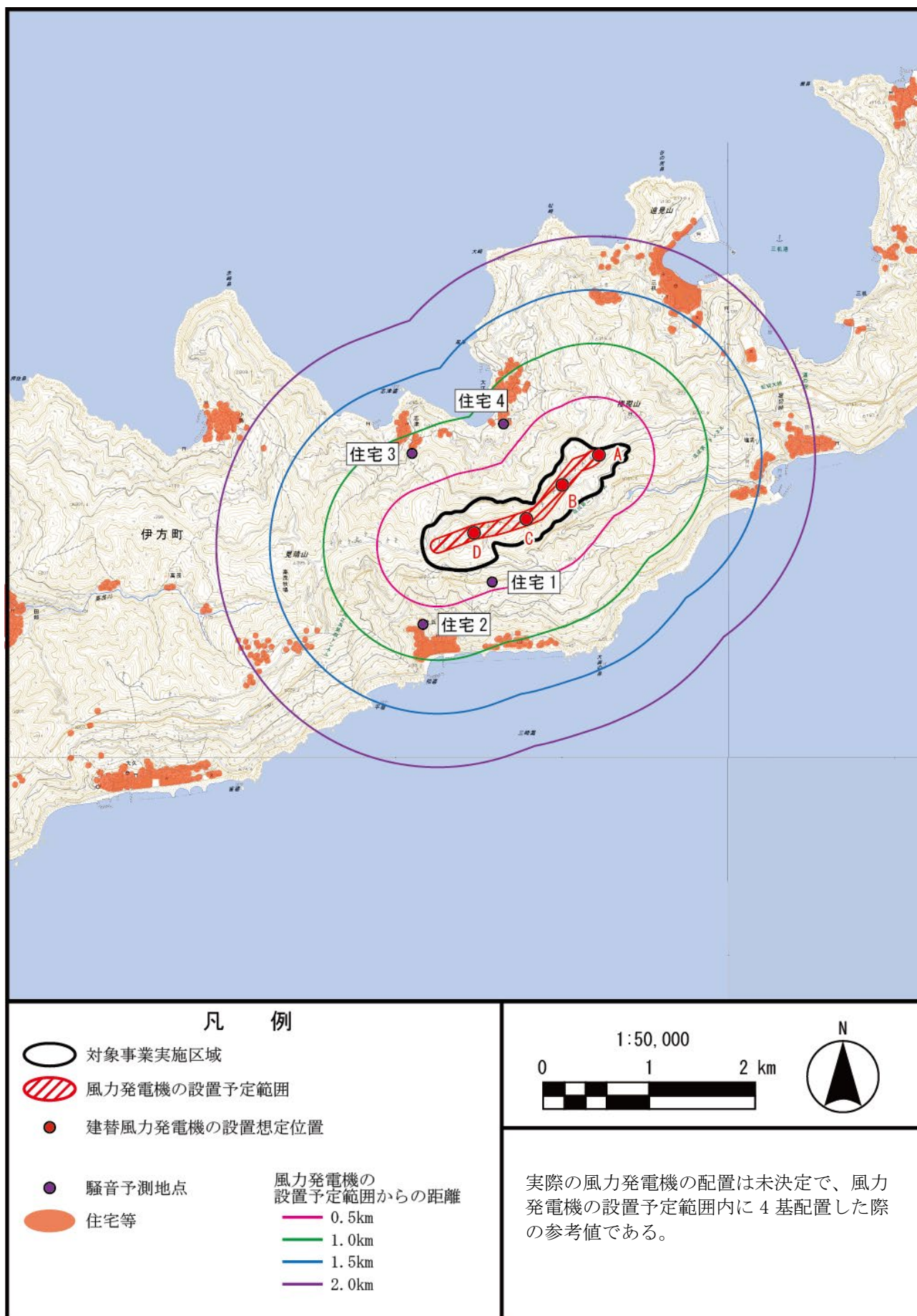


図3 騒音予測ケース⑧～⑪における風力発電機4基の設置想定位置と騒音予測地点（住宅1～4）

3. 予測手法

すべての風力発電機が定格風速の出力レベルで稼働しているとし、オクターブバンド毎の A 特性パワーレベル（表 1）を設定し、音の伝搬理論式により騒音レベルを予測した。

施設の稼働に伴う騒音の予測手順は、図 4 のとおりである。

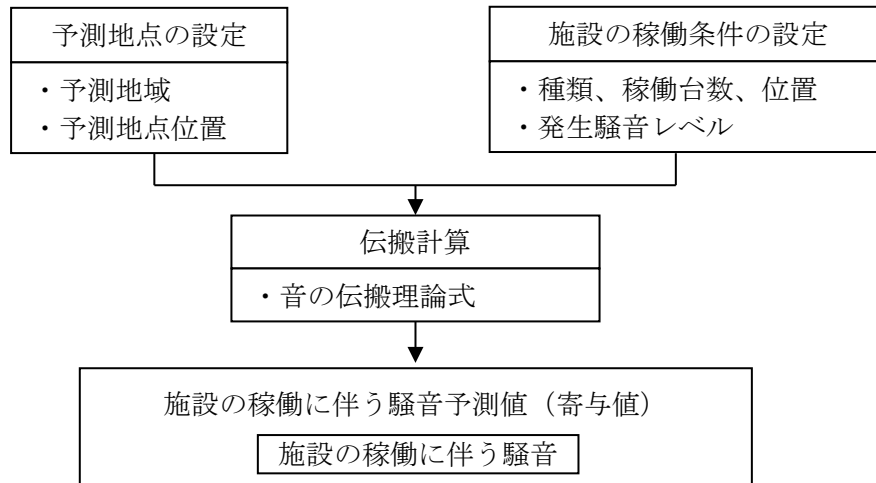


図 4 施設の稼働に伴う騒音の予測手順

4. 計算式

すべての風力発電機が同時に稼働するものとし、騒音のエネルギー伝搬予測方法 (ISO9613-2:1996) にしたがって計算した。

$$L = PWL - 11 - 20 \log_{10} r - A_E - A_T - A_G$$

[記 号]

L	: 音源から距離 r における騒音レベル (デシベル)
PWL	: 音源のパワーレベル (デシベル)
r	: 音源からの距離 (m)
A_E	: 空気の吸収等による減衰 (デシベル)
A_T	: 障壁等の回折による減衰 (デシベル)
A_G	: 地表面の影響による減衰 (デシベル)

(1) 空気の吸収等による減衰の算出

空気の吸収等による減衰 (A_E) は、JIS Z 8738:1999「屋外の音の伝搬における空気吸収の計算」(ISO9613-1:1993) より、下式により算出される。

$$A_E = \alpha \times r$$

[記 号]

r	: 音源からの距離 (m)
α	: 単位長さ当たりの減衰係数 (デシベル/m)

$$\begin{aligned} \alpha &= 8.686 f^2 \left\{ 1.84 \times 10^{-11} \left(\frac{P_\alpha}{P_r} \right)^{-1} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{1}{2}} \right\} + \left(\frac{T}{T_0} \right)^{-\frac{5}{2}} \\ &\times \left\{ 0.01275 \left[\exp \left(\frac{-2239.1}{T} \right) \right] \left[f_{ro} + \left(\frac{f^2}{f_{ro}} \right) \right]^{-1} \right. \\ &\quad \left. + 0.1068 \left[\exp \left(\frac{-3352.0}{T} \right) \right] \left[f_{rN} + \left(\frac{f^2}{f_{rN}} \right) \right]^{-1} \right\} \\ f_{ro} &= \frac{P_\alpha}{P_r} \left(24 + 4.04 \times 10^4 h \frac{0.02 + h}{0.391 + h} \right) \\ f_{rN} &= \frac{P_\alpha}{P_r} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{-1/2} \times \left\{ 9 + 280 h \exp \left\{ -4.170 \left[\left(\frac{T}{T_0} \right)^{-1/3} - 1 \right] \right\} \right\} \\ h &= h_r (P_{sat}/P_r) / (P_\alpha/P_r) \\ P_{sat}/P_r &= 10^c \\ C &= -6.8346 \left(\frac{T_{01}}{T} \right)^{1.261} + 4.6151 \end{aligned}$$

[記 号]

f	: 周波数 (Hz)
f_{ro}	: 酸素の緩和周波数 (Hz)
f_{rN}	: 窒素の緩和周波数 (Hz)
P_α	: 気圧 (kPa) (=101.325kPa [1気圧])
P_r	: 基準の気圧 (kPa) (=101.325kPa)
P_{sat}	: 飽和水蒸気圧 (kPa)
T	: 温度 (K)
T_0	: 基準の温度 (293.15K)
h_r	: 相対湿度 (%)
h	: 水蒸気モル濃度 (%)
T_{01}	: 水の3重点等温温度 (K) (273.16K)

予測は最も騒音レベルが大きくなる（空気吸収の影響が小さくなる）温度及び相対湿度となる条件について予測を行なった。

(2) 障壁等の回折による減衰の算出

地形の凹凸による回折減衰を算出するため、基盤地図情報数値標高モデル(10m メッシュ標高)より地形情報を読み取り、以下の式により回折による減衰 (A_r) を算定した。

$$A_r = D - A_G$$

[記 号]

D	: 地表面による減衰も含めた障壁の遮蔽効果 (デシベル)
A_G	: 障壁がない場合の地表面による減衰 (デシベル)
$D = 10 \log_{10}[3 + (C_2/\lambda)C_3ZK_W]$	
C_2	: = 20
C_3	: = 1 (単一障壁)
C_3	: = $[1 + (5\lambda/e)^2]/[(1/3) + (5\lambda/e)^2]$ (e 複数の障壁の障壁間距離)
λ	: オクターブバンド中心周波数の波長 (m)
Z	: 直接音と回折音の経路差 (m)
K_W	: 気象条件による補正項
$K_W = \exp[-(1/2000) \times \sqrt{(d_{ss} \times d_{sr} \times d)/2Z}]$	$Z > 0$ の場合
$K_W = 1$	$Z \leq 0$ の場合

(3) 地表面の影響による減衰の算出

地表面の影響による減衰 (A_G) は、地表面を音源領域、中間領域、受音点領域の3つの領域に分け、以下のとおり算出した (ISO 9613-2:1996)。

- ・ 音源領域：音源から受音点方向へ距離 $30h_s$ まで広がり、その最大値は d_p (h_s は音源高さ、 d_p は音源から受音点までの地表面上への投影距離)。
- ・ 受音点領域：受音点から音源方向へ距離 $30h_r$ まで広がり、その最大値は d_p (h_r は受音点高さ)。
- ・ 中間領域：音源と受音点の間に広がる領域。 $d_p < 30h_s + 30h_r$ の時、音源領域と受音点領域は重なり、この場合には中間領域はない。

それぞれの地表面領域の音源特性は地盤係数 G により区分される。3つの反射特性を次のように区分する。今回は、安全側を考慮して $G = 0$ とした。

- ・ 固い地表面：舗装面、水、氷、コンクリート及び他の多孔性の低いすべての地表面。 $G = 0$ 。
- ・ 多孔質な地表面：草木、樹木、他の植栽で覆われている地表面と農地のように植栽可能な地表面。 $G = 1$ 。
- ・ 混合地表面：地表面に固い地表面と多孔質な地表面が混ざり合っている場合、 G は0から1までの間の値を取り、その値は全体のうちの多孔質な地表面が含まれる割合で決まる。

音源領域、受音点領域及び中間領域の地表面効果による減衰を計算する場合は、表4の中のをを用いて計算する。そして、地表面効果による減衰は、次式のとおりこれらの合計で表される。

$$A_G = -\Delta L_{\text{gmd}}$$

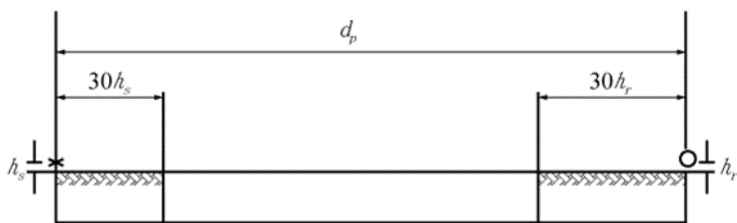
$$\Delta L_{\text{gmd}} = \Delta L_{\text{gmd,s}} + \Delta L_{\text{gmd,r}} + \Delta L_{\text{gmd,m}}$$

[記号]

- $\Delta L_{\text{gmd,s}}$: 音源領域の地表面効果による減衰 (デシベル)
- $\Delta L_{\text{gmd,r}}$: 受音点領域の地表面効果による減衰 (デシベル)
- $\Delta L_{\text{gmd,m}}$: 中間領域における地表面効果による減衰 (デシベル)

表 4 地表面効果による減衰の計算表

オクターブ バンド 中心周波数 (Hz)	$\Delta L_{\text{gmd},s}$ あるいは $\Delta L_{\text{gmd},r}$ (デシベル)	$\Delta L_{\text{gmd},m}$ (デシベル)	ここで、 $a'(h) = 1.5 + 3.0 \cdot e^{-0.12(h-5)^2} (1 - e^{-d_p/50})$ $+ 5.7 \cdot e^{-0.09h^2} (1 - e^{-2.8 \cdot 10^6 \cdot d_p^2})$ $b'(h) = 1.5 + 8.6 \cdot e^{-0.09h^2} (1 - e^{-d_p/50})$ $c'(h) = 1.5 + 14.0 \cdot e^{-0.46h^2} (1 - e^{-d_p/50})$ $d'(h) = 1.5 + 5.0 \cdot e^{-0.9h^2} (1 - e^{-d_p/50})$
63	1.5	$3q$	
125	$1.5 - G \cdot a'(h)$	$3q(1 - G)$	
250	$1.5 - G \cdot b'(h)$		
500	$1.5 - G \cdot c'(h)$		
1000	$1.5 - G \cdot d'(h)$		
2000	$1.5(1 - G)$		
4000	$1.5(1 - G)$		
8000	$1.5(1 - G)$		$q = 0 \quad d_p \leq 30(h_s + h_r)$ $q = 1 - \frac{30(h_s + h_r)}{d_p} \quad d_p > 30(h_s + h_r)$



音源領域 中間領域 受信点領域

地表面による減衰を考慮するための3領域

(4) 各音源からのレベル合成

予測地点における騒音レベルは、それぞれの風力発電機から発生する騒音レベルを計算し、重合することで求められる。

$$L_p = 10 \log_{10} (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10})$$

[記号]

L_p : 予測地点における騒音レベル (デシベル)

L_n : n 番目の風力発電機による騒音レベル (デシベル)

5. 予測結果

風力発電機から発生する騒音レベルの寄与値は表 5、表 6 のとおりである。周囲の予測地点において空気吸収による減衰量が最小となる条件（空気吸収減衰最小時）で風力発電機から発生する騒音レベルの寄与値は、各建替え風力発電機単独の騒音予測では 27～42 デシベル、各建替え風力発電機と佐田岬風力発電所の複合影響による騒音予測では 38～44 デシベルであった。

表 5 風力発電機 3 基から発生する騒音レベルの寄与値（空気吸収減衰最小時）

（単位：デシベル）

予測地点	各建替え風力発電機 3 基 単独の騒音予測			各建替え風力発電機 3 基と佐田岬風力 発電所の複合影響による騒音予測		
	ケース① （建替え）	ケース② （建替え）	ケース③ （建替え）	ケース④ （建替え＋ 佐田岬）	ケース⑤ （建替え＋ 佐田岬）	ケース⑥ （建替え＋ 佐田岬）
住宅 1	42	39	40	42	40	41
住宅 2	30	27	28	39	39	39
住宅 3	31	28	34	40	40	41
住宅 4	40	37	39	40	38	39

表 6 風力発電機 4 基から発生する騒音レベルの寄与値（空気吸収減衰最小時）

（単位：デシベル）

予測地点	既設風力発電所の 騒音予測	各建替え風力発電機 4 基 単独の騒音予測		各建替え風力発電機 4 基 と佐田岬風力発電所の 複合影響による騒音予測	
	ケース⑦ （既設：瀬戸ウィンド ヒル+佐田岬）	ケース⑧ （建替え）	ケース⑨ （建替え）	ケース⑩ （建替え＋ 佐田岬）	ケース⑪ （建替え＋ 佐田岬）
住宅 1	41	39	36	43	42
住宅 2	39	21	18	39	39
住宅 3	41	31	28	41	41
住宅 4	40	42	39	44	43

6. まとめ

直近住宅における風力発電機から発生する騒音レベルの寄与値（表 5、表 6 参照）の比較は以下のとおりである。

住宅 1：ケース⑦の既設の風力発電機の寄与値 41 デシベルに対して

- ・各建替え風力発電機単独の騒音予測では 36～42 デシベル
- ・各建替え風力発電機と佐田岬風力発電所の複合影響による騒音予測では 40～43 デシベル

住宅 2：ケース⑦の既設の風力発電機の寄与値 39 デシベルに対して

- ・各建替え風力発電機単独の騒音予測では 18～30 デシベル
- ・各建替え風力発電機と佐田岬風力発電所の複合影響による騒音予測では全て 39 デシベル

住宅 3：ケース⑦の既設の風力発電機の寄与値 41 デシベルに対して

- ・各建替え風力発電機単独の騒音予測では 28～34 デシベル
- ・各建替え風力発電機と佐田岬風力発電所の複合影響による騒音予測では 40～41 デシベル

住宅 4：ケース⑦の既設の風力発電機の寄与値 40 デシベルに対して

- ・各建替え風力発電機単独の騒音予測では 37～42 デシベル
- ・各建替え風力発電機と佐田岬風力発電所の複合影響による騒音予測では 38～44 デシベル

今後、「風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル」（環境省、平成 29 年）等を参考に現地調査を実施し、現地調査結果をもとに、超低周波音を含めた音環境を把握し、風力発電機の選定状況に応じたパワーレベルを設定したうえで予測計算を行う。そのうえで、騒音及び超低周波音の影響の程度を把握し、風力発電機の配置及び機種を検討する。