

宮城県環境影響評価マニュアル
(風力発電所設置事業)

追補版 (素案)

平成 25 年 10 月

宮 城 県

追補版策定にあたって

国においては、低炭素社会への転換にあたり、風力発電の導入が期待されている一方で、騒音・低周波音による健康被害や鳥類への影響等の環境影響が問題化していることなどから、一定規模以上の風力発電所の設置又は変更の工事の事業を環境影響評価法の対象とした。

宮城県では、環境影響評価法施行令の改正を踏まえ、「風力発電所の設置又は変更の工事の事業（以下、「風力発電所設置事業」という）」を条例の対象事業に追加した。

法と条例の風力発電所設置事業の規模要件は以下のとおりである。

表1 風力発電所設置事業の規模要件

項目		環境影響評価法	宮城県条例
対象事業規模	第一種事業	10,000 kW 以上	7,500kW 以上
	第二種事業	7,500kW 以上 10,000kW 未満	5,000kW 以上 7,500kW 未満
施行年月日		平成 24 年 10 月 1 日	平成 25 年 4 月 1 日

現在、本県の環境影響評価マニュアルについては、

- ① 方法書
- ② 準備書・評価書
- ③ 動物・植物・生態系
- ④ 大気・水・土壌その他の環境
- ⑤ 人と自然との豊かな触れ合い・環境負荷分野
- ⑥ 環境保全措置・事後調査

の6冊で運用されているが、風力発電所設置事業の条例対象化により、「電波障害」、「風車の影」といった新たな環境影響評価項目が追加されたこと、また、騒音、鳥類への影響、景観等については、風力発電所設置事業の持つ独自の事業特性に対応する必要があることより、既存のマニュアルを補完するために当該追補版を作成するものである。

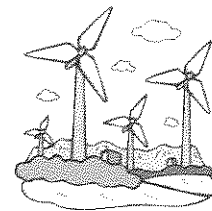
追補版の策定にあたっては、新たに評価項目に加わった「電波障害」、「風車の影」については、これまでのマニュアルのフォーマットに従い新規に作成し、「騒音・低周波音」、「動物（鳥類）」、「景観」については、風力発電所設置事業を行う上で特記すべき事項をとりまとめたものである。

風力発電のうち、海洋風力発電は実証試験段階であり、環境影響調査の手法についてもマニュアル化されていないため、本マニュアルの風力発電施設は、陸上もしくは海岸線近傍を条件とした。

本マニュアルの検討にあたっては、以下の文献・資料を参考とした。

- 1) 既に策定済みの各都道府県・政令指定都市のマニュアル
- 2) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：『風力発電のための環境影響評価マニュアル（第2版）』、2006年2月
- 3) 環境省自然環境局：『鳥類等に関する風力発電施設立地適正化のための手引きについて』、2011年1月

- 4) 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程 (IWPA 自主規制 ver. 1. 1)』, 2011 年 5 月
- 5) 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』, 2011 年 6 月
- 6) 公益社団法人 日本騒音制御工学会:『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』, 2012 年 3 月
- 7) 中電技術コンサルタント(株):『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』, 2013 年 3 月
- 8) 環境省:『国立・国定公園内における風力発電施設の審査に関する技術的ガイドライン』, 2013 年 3 月
- 9) 環境省総合環境政策局:『風力発電所の環境影響評価のポイントと参考事例』, 2013 年 6 月
- 10) 環境省:『風力発電事業の円滑な環境アセスメントの実施に向けて』, 2013 年 7 月



目 次

追補版策定にあたって

1. 風力発電所設置事業による環境影響について	1
1.1 風力発電所設置事業の特徴	1
1.2 環境影響の状況	3
1.3 環境影響と評価項目の選定	6
2. 概況調査（方法書手続き段階における調査）	7
2.1 概略事業計画として立案すべき内容（例）	7
2.2 騒音・低周波音	8
2.3 風車の影	9
2.4 電波障害	14
2.5 景観	20
3. 調査、予測及び環境保全措置	22
3.1 騒音・低周波音	22
3.2 風車の影	25
3.3 電波障害	36
3.4 動物	50
3.5 景観	59
【資料編】	
資料-1：騒音予測方法（ISO 9613 シリーズ）	69
資料-2：電波障害予測計算と事例	74
資料-3：眺望景観保全のための措置の立案	86

1. 風力発電所設置事業による環境影響について

1.1 風力発電所設置事業の特徴

風力発電所の施設概要を図 1.1 に示すほか、表 1.1 に風力発電施設の機器構成をまとめて示す。

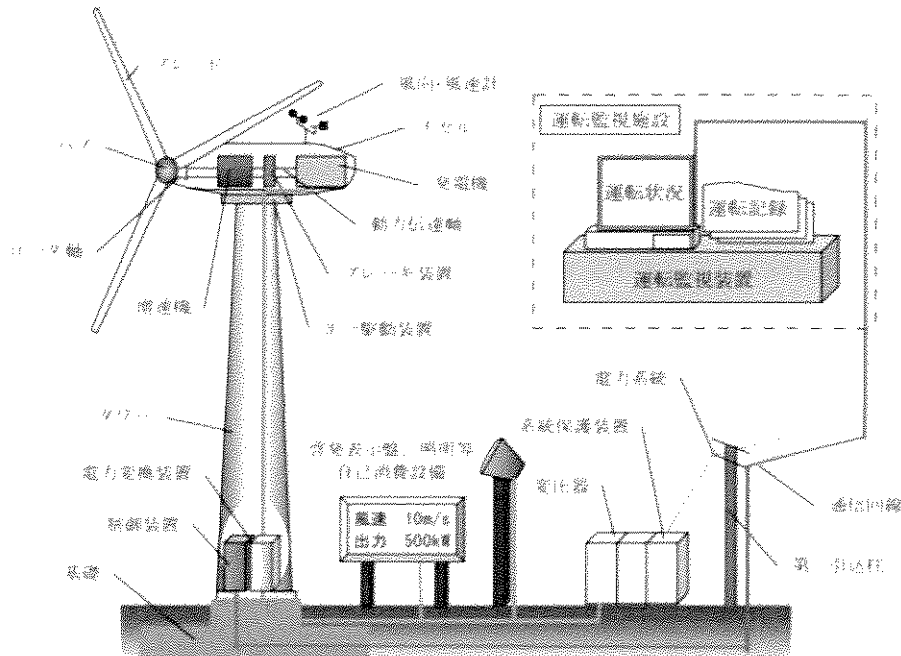


図 1-1-1 風力発電所の施設概要

出典：「風力発電導入ガイドブック（2008 年 2 月改訂第 9 版）」
 （平成 20 年 2 月、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）

表 1.1 風力発電施設の機器構成

構成系	機器の名称と機能
ロータ系	ブレード…………… 回転羽根、翼 ロータ軸…………… ブレードの回転軸 ハブ…………… ブレードの付け根をロータ軸に連結する部分
伝達系	動力伝達軸…………… ロータの回転を発電機に伝達する。 増速機…………… ロータの回転数を発電機に必要な回転数に増速する歯車（ギア）装置（増速機のない直結ドライブもある）
電気系	発電機…………… 回転エネルギーを電気エネルギーに変換する 電力変換装置※1…………… 直流、交流を変換する装置（インバータ、コンバータ） 変圧器…………… 系統から電気、系統への電気の電圧を変換する装置 系統連携保護装置…………… 風力発電システムの異常、系統事故時に設備を系統から切り離し、系統側の損傷を防ぐ保護装置
運転・制御系	出力制御…………… 風車出力を制御するピッチ制御あるいはストール制御 ヨー制御…………… ロータの向きを風向に追従させる プレーキ装置…………… 台風時、点検時等にロータを停止させる 風向・風速計…………… 出力制御、ヨー制御に使用され、ナセル上に設置される 運転監視装置…………… 風車の運転停止、監視、記録を行う
支持・構造系	ナセル…………… 伝達軸、増速機、発電機など収納する部分 タワー…………… ロータ、ナセルを支える部分 基礎…………… タワーを支える基礎部分

※1 電力変換装置はDCリンク方式の場合に設置

風力発電所設置事業の特徴をまとめると以下のとおりである。

- 風力発電所設置事業は、山地や海岸、あるいは洋上など、特性の異なる多様な地域で計画されることから、影響を受ける環境要素は個々の事業に応じて多岐にわたることが想定される。
- 条例の第一種事業の対象となる総出力 7,500kW 以上の風力発電所の場合、現在一般的な風力発電設備の単機出力 2,000～3,000kW 級の風力発電設備であれば、風力発電設備が 3～4 基以上設置されることになる。既存の風力発電所では 1,000kW 当たりの改変面積の平均は 0.39 ha であり、総出力 1 万 kW 以上の発電所では 5ha 程度以上となる。
- 発電設備の設置に加え、工事用仮設道路、取付道路や土捨場等の付帯施設の設置による土地の改変が想定される。また、立地条件によっては、港湾から発電所までの風力発電設備（ブレード、タワー等）の輸送ルートが長大となる可能性があり、かつ、一部道路の拡幅等による土地の改変が行われる可能性がある。



【コラム】風力発電所の建設に伴う改変面積

平成 22 年 4 月 1 日現在稼働中の風力発電所（250 事業）を対象として、環境省が行った“風力発電所の設置に係る環境影響に関する懸念等の発生状況”に関するアンケート調査結果のうち、土地改変による環境影響の状況は以下のとおりである。

1) 改変面積の合計

- 改変面積の合計について回答のあった 157 件について、1 万 kW 未満の発電所では 5ha 未満が 98% を、1 万 kW 以上の発電所では 5ha 以上が 61% を占めていた。
- 定格出力 1,000kW 当たりの改変面積の平均は 0.39 ha。

2) 風力発電設備に係る改変面積

- 風力発電設備に係る改変面積について回答のあった 150 件について、1 万 kW 未満の発電所では 1 ha 未満が 92% を、1 万 kW 以上の発電所では 1 ha 以上が 38% を占めていた。
- 定格出力 1,000kW 当たりの改変面積の平均は 0.08ha。

3) 運搬道路に係る改変面積

- 工事用資材等の運搬道路に係る改変面積について回答のあった 82 件については、既設道路の活用等を行うため 0ha であるとの回答が最も多かった（41%）。
- 道路の建設に当たり 5ha 以上改変している事例がみられ、これらはすべて 1 万 kW 以上の発電所であった。
- 運搬道路を建設した 55 件について、運搬道路の幅は、1～5m が 76%、5 m 以上が 24% であった。



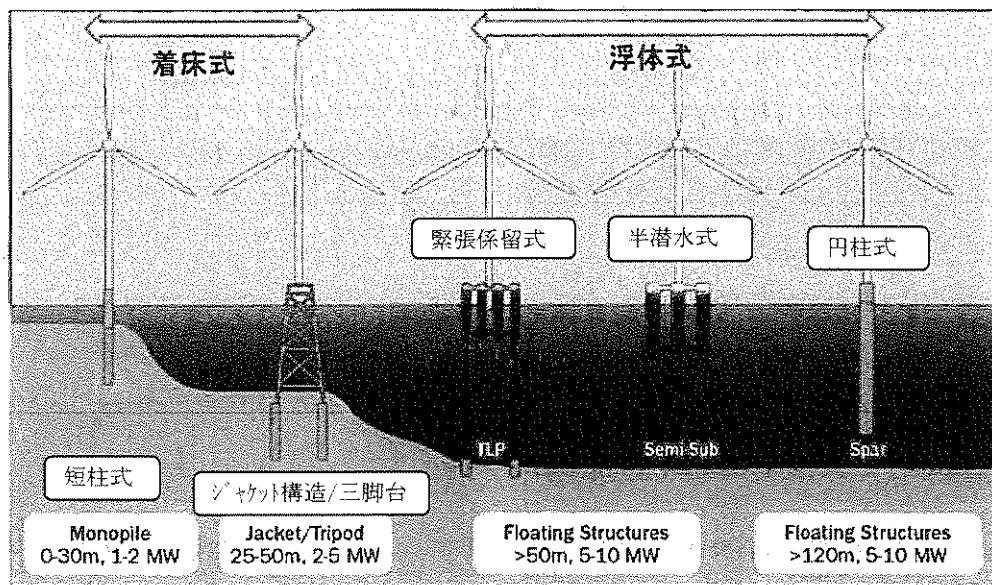
【コラム】洋上風力発電

我が国は、平野部における陸上風力発電の適地が減少傾向にあり、山岳部ではアクセス道路整備などのコスト負担が増加していることから、今後の風力発電導入には長い海岸線の特徴を活かした洋上風力発電の導入が不可欠となっている。一般的に洋上では風況が良く、風の乱れが小さいため陸上より風力発電機の稼働率が格段に改善されること、陸から離れた場所であるため、騒音、景観への影響が小さいこと、さらに大型風車の設備運搬が容易となることから、高い事業性が見込まれている。

しかし、洋上での風車設置やメンテナンスでコストがかさむこと、信頼性等様々な課題があることや、欧州と我が国では気象・海象条件が異なっていることから、欧州での事例をそのまま適用することはリスクが大きくなるおそれがある。そのため、我が国特有の海上風特性や気象・海象条件を把握し、これらの自然条件に適合した洋上における風況観測や風力発電システムに関する技術開発及び環境影響評価手法の情報収集等に向け、実証研究を行っている。

(独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 HP より)

洋上風力発電はその支持構造形式により、着床式と浮体式に大別され、さらにいくつかの基礎形式のものが提案されている(下図、参照)。



Source: Principle Power

洋上風力での支持構造物 (基礎)

1.2 環境影響の状況

風力発電所設置事業による主な環境影響として、工事中においては、風力発電設備や取付道路、土捨場等の設置に伴って土地を改変することにより、動植物の生息・生育環境が直接改変されたり、水の濁りが発生して動植物の生息・生育環境に間接的な影響を生じさせるおそれや、

地域の生活環境への影響も懸念される。

供用時の主な環境影響としては、風力発電設備の稼動に伴い発生する騒音・低周波音による影響や、バードストライク、鳥類の移動経路の阻害といった鳥類への影響、ブレードの影が回転して地上部に明暗が生じる現象（シャドーフリッカー）による影響が挙げられる。加えて、風力発電設備等の存在によって、景観への影響が生じるおそれがある。また、土地の改変に関わる設計、施工及び維持管理が適切に行われていない場合には、水の濁りや法面の崩壊等が生じるおそれがある。

風力発電所設置事業における環境要素ごとの主な影響は以下のとおりである。

（以下、出典「風力発電施設に係る環境影響評価に基本的考え方に関する検討会 報告書」、環境省、2011）

(1) 騒音・低周波音

風力発電設備の近隣を中心に地域住民が健康被害の苦情等を訴える問題が生じている。

例えば、2,000kwの風力発電設備1～11基が一行に配置された風力発電所を仮定し、発電所からの距離と騒音レベルの関係を従来の予測方法で試算したところ、夜間の騒音環境基準（A・B類型で45dB）を満たすような距離は、概ね300～600mであった。一方、各種アンケート調査やヒアリング調査等によると、このような風力発電所から1km以上離れた場所に居住している住民からも、眠れなくなった等の苦情が寄せられている事例がある。

(2) 動植物

鳥類については、バードストライク等の問題が生じている。例えば、オジロワシについては、風力発電設備によるバードストライクが2番目に多い傷病要因となっていることが判明している。また、鳥類に関する風力発電設備による影響が及ぶ範囲について諸外国における知見は以下のとおりである。

○鳥類の生息への影響が及ぶとされる範囲

- ・風力発電設備より数十mから400m又は500mまで様々であり、最も遠いとされている文献では約800m（フランスのガイドライン）
- ・風力発電設備から600m。例えば、オオハクチョウ、コザクラバシガン等が風力発電設備の周辺から姿を消したり、利用が減少。（NGO報告書）

○生息地のかく乱を受ける範囲

- ・20種の鳥類（ガンカモ類、カモメ類）について、50～400mの範囲において70～90%の確率でかく乱（オランダの環境影響評価事例）

○生息地への影響

- ・キジオリイチョウについて、騒音の影響により、約200m以内にある集団求愛場が利用できなくなる（米国の環境影響評価事例）

動植物全般については、山地の尾根や海岸等において、風力発電設備や十数kmにもわたる取付道路等が設置されることに伴い、土地が改変され、動植物の生息・生育環境が消失あるいは分断されることや、水の濁りが発生することにより周辺環境への影響が生じる等の問題が発生するおそれがある。

(3) 景観

景観については、風力発電設備は相当の高さがあり、稜線上、海岸、岬、高原、島嶼等、見通しの良い場所等に設置される場合が多いことから、国内外において、景観への影響に関する問題が生じている事例がある。

苦情の発生する要因としては、事業実施区域が自然公園やその近辺であること、住宅から数百mの距離に設置され圧迫感を生じさせること、景観資源を眺望する際に視認されるおそれがあること等が挙げられる。また、ヒアリング調査等によると、20km以上離れた隣接する地方公共団体からの眺望景観を考慮して風力発電設備の配置等を変更する等、影響が広範囲に及んでいる事例もある。

(4) その他

シャドーフリッカーとは、晴天時に風力発電設備の運転に伴い、巨大なブレードの影が回転して地上部に明暗が生じる現象を指す。住宅等がシャドーフリッカーの範囲に入っている場合、この明暗による住民の生活妨害等の影響が懸念されている。

 **【コラム】風力発電と風速の変化（朝日新聞、2013/6/3）**



風力発電、強風弱める

庄内平野「清川だし」20年で半減

山形県の庄内平野に吹き、日本三大悪風の一つとして知られる「清川だし」が、風力発電所の建設に伴い、風下で弱まっている。東北学院大学名譽教授の菊地立氏（気候学）らの研究で分かった。

清川だしは、同県庄内町清川付近で夏場に吹く強い東風。農作物に被害をもたらす。岡山県の広戸風、愛媛県のみよし風と並んで、日本三大悪風の一つとされる。

清川のある旧立川町は遊蕩の発想で強風を利用しようと、1994年に「第1回全国風サミット」を開いた。93年から2003年にかけて計11基の

風を受けて回る風車。1帯には9基が立ち並び山形県庄内町

東北学院大、風車の影響研究

風力発電所を建設してきた。菊地さんが学院大のゼミの学生と、清川地区から4キロ西のアメマス狩川のテータを調べたところ、風力発電所の建設前後で、最大風速10メートル以上の日が半減していることが分かった。

清川だしの吹く5〜9月に風速10メートル以上の風が吹いた日数は、発電所建設以前の81〜90年で184日あったが、建設後の01〜10年では92日になった。風速15〜20メートル未満の「強い風」が吹いた日も、15日から4日に減った。

東の風の平均風速だけが約1メートル弱まっていることもあり、菊地さんは「風力発電所の風車が風のエネルギーを奪い、風下で風速が低下したとみられる」と結論づけた。成果は、『10月』にも東北地理学会の学会誌に掲載予定だ。

（松本紗知）

1.3 環境影響と評価項目の選定

条例における風力発電所設置事業に係る環境要素と影響要因の区分は下表のとおりである。

表 1.3-1 環境影響と評価項目の選定（風力発電所設置事業）

(技術指針 別表第一より抜粋)

影響要因の区分			工事の実施			土地又は工作物の存在及び供用	
			建設機械の稼働	運搬資材に用いられる車両の運行	造成時の施工による影響	風力発電所の存在	施設の稼働
環境要素の区分							
大気環境	大気質	窒素酸化物		○			
		硫黄酸化物					
		浮遊粒子状物質 粉じん等		○			
	騒音	騒音・低周波音	○	○			○
	振動	振動	○	○			
	悪臭	悪臭					
水環境	水質	土砂等による水の濁り			○		
		水の汚れ					
		水温					
		富栄養化					
		溶存酸素					
		水素イオン濃度					
	底質	有害物質			○		
		水底の泥土					
	地下水の水質及び水位	地下水の水位			○		
		塩素イオン濃度					
有害物質				○			
その他	流向及び流速				○		
土壌の他の環境	地形及び地質	重要な地形及び地質			○	○	
		地盤沈下 地盤の安定性			○	○	
	土壌汚染	有害物質			○		
		日照障害				○	
	その他の環境要素	風車の影					○
		電波障害					○
動物	重要な種及び注目すべき生息地	海域以外		○		○	
		海域			○	○	
植物	重要な種及び群落	海域以外			○	○	
		海域			○	○	
生態系	地域を特徴づける生態系		○		○		
景観	主要な眺望点及び景観資源、主要な眺望景観並びに主要な回廊景観				○		
人と自然との触れ合いの活動の場	主要な人と自然との触れ合いの活動の場			○	○		
廃棄物等	建設工事に伴う副産物			○			
	産業廃棄物						
温室効果ガス等	二酸化炭素						

備考

- 印は、各欄に掲げる環境要素が、影響要因の区分の項に掲げる各要素により影響を受けるおそれがあることを示す。
- この表における「影響要因の区分」は、次に掲げる一般的な事業の内容を踏まえて区分したものである。
イ～フ（省 略）
フ 風力発電所設置事業
(1) 工事用資材の搬入として、建築物、工作物等の建築工事に必要な資材の搬入、工事関係者の通勤、残土、伐採樹木、廃材の搬出を行うこと。
(2) 建設機械の稼働として、建築物、工作物等の設置工事（既設工作物の撤去又は廃棄を含む。）を行うこと。なお、海域に設置される場合は、海底の掘削等を含む。
(3) 造成等の施工として、樹木の伐採等、掘削、地盤改良、盛土等による敷地、搬入道路の造成、整地を行うこと。なお、海域に設置される場合は、海底の掘削等を含む。
(4) 地形改変及び施設の存在として、地形改変等を実施し建設された風力発電所を有すること。なお、海域に設置される場合は、海域における地形改変等を伴う。
(5) 施設の稼働として、風力発電の運転を伴うこと。
- この表において「粉じん等」とは、粉じん、ばいじん及び自動車の運行又は建設機械の稼働に伴い発生する粒子状物質をいう。
- この表において「重要な地形及び地質」「重要な種」及び「重要な群落」とは、それぞれ学術上又は希少性の観点から重要なものをいう。
- この表において「注目すべき生息地」とは、学術上又は希少性の観点から重要である生息地又は地域の象徴であることその他の理由により注目すべき生息地をいう。
- この表において「主要な眺望点」とは、不特定かつ多数の者が利用している景観資源を眺望する場所をいう。
- この表において「主要な眺望景観」とは、主要な眺望点から景観資源を眺望する場合の眺望される景観をいう。
- この表において「主要な回廊景観」とは、不特定かつ多数の者が日常的に利用している場としての身のまわりの景観をいう。
- この表において「主要な人と自然との触れ合いの活動の場」とは、不特定かつ多数の者が利用している人と自然との触れ合いの活動の場をいう。

10～12（省 略）

2. 概況調査（方法書手続き段階における調査）

2.1 概略事業計画として立案すべき内容（例）

※未定の項目については“およそ”や“見込み”で可

①風力発電施設設置箇所の位置図（縮尺 1/25,000 以上の精度を基本とする）

- ・事業に伴う改変区域（土地及び植生等を改変する区域）
- ・風車の設置位置及び設置位置の標高
- ・付帯する送電鉄塔の設置位置
- ・既存送電線までの送電経路（地下埋設の場合を含む）
- ・その他主要付帯工作物の設置位置（航空標識塔・変送電施設・管理施設等）
- ・工事用・管理用道路の設置位置（既存道路の改良箇所を含む，新設・既存改良の別が分かるように表示）及び計画幅員

②設置予定の工作物の内容

ア) 風車

設置基数，各基の発電出力，立面図（ハブ高・ロータ径ほか主要部位の寸法を記載したもの），同型機種の写真（事例写真等）

イ) 送電鉄塔

設置基数，各基の付帯構造物の規模（高さ），立面図（主要部位の寸法を記載したもの）

ウ) その他工作物

高さ 13m を超える付帯工作物の立面図主要部位の寸法を記載したもの，建築物の場合は平面図（外観及び主要部位の寸法が分かるもの）

2.2 騒音・低周波音

環境省「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」資料では、評価項目の選定にあたって、以下の調査事例が示されている。

- 風車から 500m以上離れている住居・施設からも苦情が発生している実態を考慮すると、500 以上離れているからといって影響が軽微であると判断するのは必ずしも適切ではない。
- 風力発電所による騒音は、騒音レベルが低くても、「非常に不快」と感じる人が他の設備（航空機、自動車、鉄道）と比較して多いという調査データも存在する。



騒音・低周波音の選定／非選定に関する留意点

- 「最寄り住居・施設までの距離」を判断基準としている事例が多いが、本質的な判断基準としては、人体に与える健康影響の程度やリスクである。しかし、現在の知見では、人体への健康影響を適切に評価する方法が確立されていないため、既往施設の苦情発生状況などを参考に検討することが望ましい。
- 風力発電所は静穏な地域に設置する機会が多いため、環境基準を満たしていても苦情が発生することがあることから、現況騒音からの増分の程度についても調査した上で評価する必要がある。
- 風力発電所からの騒音による健康影響は、他の発生音源よりも個人差が大きく、影響評価の不確実性が高い。苦情発生確率が低いと推測される場合であっても、生じる影響が健康影響につながる可能性があり、それだけで影響が軽微であると言い切れない面もある。そのため、非選定とした場合でも、供用後には騒音調査の実施により継続的にデータを収集し、また住民とのコミュニケーションにより、周辺住民への影響を継続的にモニタリングすることが望ましい。

2.3 風車の影

(1) 調査すべき情報

調査項目については、風力発電所設置事業の規模及び地域の概況を勘案し、風力発電所設置事業の実施により風車の影（シャドーフリッカー）が及ぼす影響を適切に把握し得るよう十分に配慮し、次に掲げる項目のうちから現況（必要に応じて過去、将来）を把握するために必要なものを選択する。

- ア. 土地の利用状況
- イ. 地形の状況
- ウ. 日影の状況

(2) 調査地域

調査地域は、土地利用及び地形の特性を踏まえて、風車の影（シャドーフリッカー）に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域とする。

(3) 調査方法

資料調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析とする。

(4) 調査結果

(1)調査すべき情報として選択した項目ごとに、風車の影（シャドーフリッカー）に関する自然的社会的特性を記載する。

(5) 環境保全に係る検討の経過

風力発電所設置事業の内容を具体化する過程で、環境保全に係る検討がどのように進められたのか、その経緯及び内容について整理する。

「風車の影」の影響の内容細目としては、工作物の静的施設による「日照阻害」及び風車等の動的施設による「シャドーフリッカー」が挙げられる。

本項では「風車の影」の影響を「シャドーフリッカー」に限定し記載する。

なお、工作物の静的施設による「日照阻害」については、既存のマニュアルを参照する。



【コラム】シャドーフリッカーとは

シャドーフリッカーとは、晴天時に風力発電設備の運転に伴い、風車の羽(ブレード)の影が回転して、地上部に明暗が生じる現象を指す。住宅等が風車の影の範囲に入っている場合、この影の明暗により住民が不快感を訴えるなどの苦情が生じており、住民への生活妨害等の影響が生じている。

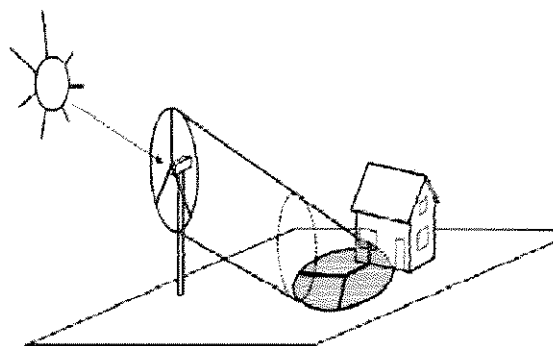


図 2.3-1 シャドーフリッカーのイメージ図

(出典) 環境省：『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(資料編)』, 2011年6月

(1) 調査すべき情報

調査項目については、風力発電所設置事業の規模及び地域の概況を勘案し、風力発電所設置事業の実施により風車の影(シャドーフリッカー)が及ぼす影響を適切に把握し得るよう十分に配慮し、次に掲げる項目のうちから現況(必要に応じて過去、将来)を把握するために必要なものを選択する。

- ア. 土地の利用状況
- イ. 地形の状況
- ウ. 日影の状況

【解説】

(1) 調査すべき情報

概況調査はスコーピング段階の調査であり、環境影響評価の調査・予測・評価の計画立案のために必要な情報を得ることを目的に行う。

ア. 土地の利用状況

土地利用の一般的状況として、次に掲げるものを調査する。

- 1) 宅地、商業地、緑地等土地利用の状況
- 2) 住宅、学校、病院、文化財保護法等で指定された文化財及びこれらに類する施設等シャドーフリッカーの影響を受けやすい施設の状況

イ. 地形の状況

地形の状況についての調査事項は、標高、等高線、土地の傾斜、谷地・崖地・台地等の位置その他必要な事項とする。

また、必要に応じて以下の項目について調査する。

ウ. 日影の状況

- 1) 予測しようとする季日の日影の状況を把握するため、日影の範囲、日影となる時刻及び時間数を調査する。
- 2) 対象事業を実施しようとする周辺地域で、対象事業の実施により、シャドーフリッカーによる影響を及ぼすと予想される地域の主要な地点における日影の状況。
- 3) 対象事業の対象事業実施区域の北側に、日照の確保を必要とする用途の施設等がある場合は、それらの地点における時刻別日影及び日影時間数等の状況を調査する。

(2) 調査地域

調査地域は、土地利用及び地形の特性を踏まえて、風車の影（シャドーフリッカー）に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域とする。

【解説】

(2) 調査地域

対象事業の建設完了時において、春秋分、夏至日及び冬至日の真太陽時の日の出から日没までの間に日影が生じると想定される地域を基本とする。

調査地域をシャドーフリッカーが発生するとされる風力発電機ローター直径の10倍の範囲とする海外の既存文献^{※1}もあるが、海外のその他の事例ではローター直径の10倍よりも広範囲としている事例もみられることに留意する必要がある。

(海外での調査範囲例)

ドイツ	: 1,300m以内
デンマーク	: 1,500m～2,000m
カナダオンタリオ州	: 1,300m
イギリス	: 900m
アメリカ	: 可視領域内

※1 "Planning for Renewable Energy A Companion Guide to PPS22" (Office of the Deputy Prime Minister, 2004)



風車の影の選定／非選定に関する留意点

風車の影は、比較的新しい問題であり十分な知見が収集されていないことから、評価項目の選定／非選定に係らず、供用後に現地調査を実施することが望ましい。

(3) 調査方法

資料調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析とする。

【解説】

(3) 調査方法

土地利用の状況及び地形の状況調査は、都市計画図、地形図、住宅詳細地図、土地利用現況図、建物用途別現況図、航空写真等既存資料に基づく整理・解析の方法による。

(4) 調査結果

(1)調査すべき情報として選択した項目ごとに、風車の影（シャドーフリッカー）に関する自然的社会的特性を記載する。

【解説】

(4) 調査結果

調査すべき情報として選択した項目ごとに、シャドーフリッカーに関する自然的社会的特性をわかりやすく記載する。

図 2.3-2 に、日影図を用いたとりまとめ例を示す。

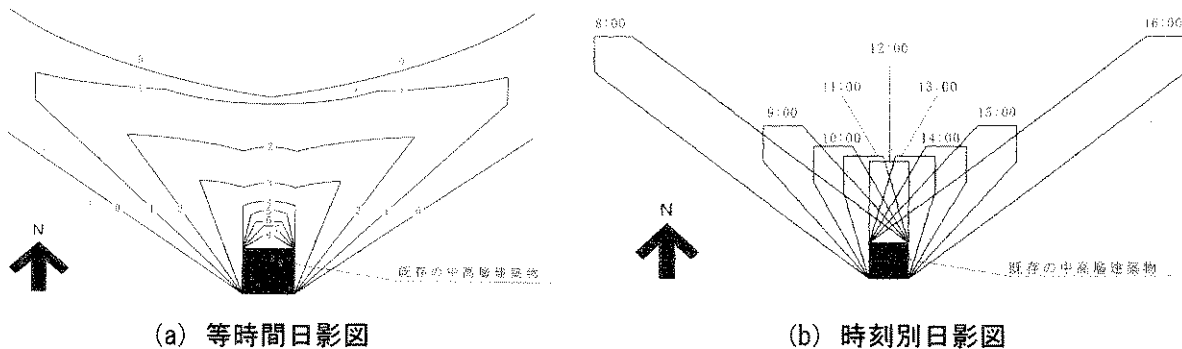


図 2.3-2 現況日影図の一例

(5) 環境保全に係る検討の経過

風力発電所設置事業の内容を具体化する過程で、環境保全に係る検討がどのように進められたのか、その経緯及び内容について整理する。

【解説】

(5) 環境保全に係る検討の経過

事業をより良いものにするためには、事業者自らが関係機関や地域住民などとのコミュニケーションを図り、事業の内容について詳細に、わかりやすく説明することが求められる。それによって事業の実施に際して、地域住民からより一層の理解が得られるとの効果も期待できる。このような観点から、事業内容を具体化する過程で検討された様々な環境保全への配慮について整理する。

なお、これらの内容は、準備書以降における「環境保全措置」の箇所において、「環境影響評価手続き以前の環境保全措置の検討経緯」として再掲されることとなることに留意する。

参考として、表 2.3-1 にとりまとめ例を示す。

表 2.3-1 環境保全に係る検討の経過及びその内容（風力発電所設置事業）（例）

項 目	コ メ ン ト
事業による影響	<ul style="list-style-type: none"> ・ 東西方向の尾根部に計画される風力発電施設によって、尾根の北側の住居地区（〇〇地区）が日照障害やシャドーフリッカーの影響を受ける可能性が考えられる。
事業特性及び地域特性を踏まえた環境保全の考え方	<ul style="list-style-type: none"> ・ 風車の影が住宅にかからない場所に風車を設置し、影響の少ない位置・構造を検討する。
スコーピング段階における配慮	<ul style="list-style-type: none"> ・ 本事業を計画する段階において、騒音・低周波音の影響を考慮して、□□地区及び△△地区から十分な距離を確保するよう配慮した。

2.4 電波障害

(1) 調査すべき情報

調査項目については、風力発電所設置事業の規模及び地域の概況を勘案し、風力発電所設置事業の実施が電波の伝播に及ぼす影響を適切に把握し得るよう十分に配慮し、次に掲げる項目のうちから現況（必要に応じて過去、将来）を把握するために必要なものを選択する。

- ア. 電波発信の状況
- イ. 電波受信の状況
- ウ. 地形の状況
- エ. 土地利用の状況
- オ. その他

(2) 調査地域

調査地域は、電波の伝播の特性を踏まえて、電波受信に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域とする。

(3) 調査方法

資料調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析とする。

(4) 調査結果

選択した項目ごとに電波障害に関する自然的社会的特性を記載する。

(5) 環境保全に係る検討の経過

風力発電所設置事業の内容を具体化する過程で、環境保全に係る検討がどのように進められたのか、その経緯及び内容について整理する。

(1) 調査すべき情報

調査項目については、風力発電所設置事業の規模及び地域の概況を勘案し、風力発電所設置事業の実施が電波の伝播に及ぼす影響を適切に把握し得るよう十分に配慮し、次に掲げる項目のうちから現況(必要に応じて過去、将来)を把握するために必要なものを選択する。

- ア. 電波発信の状況
- イ. 電波受信の状況
- ウ. 地形の状況
- エ. 土地利用の状況
- オ. その他

【解説】

(1) 調査すべき情報

概況調査はスコーピング段階の調査であり、

- ① 地域の電波障害の概況を網羅的に把握する
- ② 環境影響評価の調査・予測・評価の計画立案のために必要な情報を得る

ことの2点を目的に行う。

なお、調査に当たっては、予測・評価を行っていく上で必要な情報であることから、過去の電波障害の状況(大規模な開発などが実施される以前)や将来(計画中の大規模な開発などの完成後)の土地利用についても留意する。

概況調査の対象とすべき事項はア. 電波発信の状況及びイ. 電波受信の状況を基本とし、その他関連項目の把握を行う。

ア. 電波発信の状況

- ・ 電波を発信している施設の位置、送信出力、対象事業実施位置予定地との距離等

イ. 電波受信の状況

- ・ 受信可能なテレビ放送の種類、電波の到来方向
- ・ 電波の受信条件(既に共同受信設備を設置しているか等)
- ・ 電波障害の状況

ウ. 地形の状況

- ・ 電波の伝播経路の地形、既に電波障害の原因となっている地形条件等

エ. 日影の状況

- ・ 周辺の土地利用の状況(電波障害を受ける可能性のある住宅等の状況)
- ・ 電波障害を生じさせている可能性のある周辺の高層建築物等の状況

オ. その他

- ・ 将来の開発動向等

(2) 調査地域

調査地域は、電波の伝播の特性を踏まえて、電波受信に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域とする。

【解 説】

(2) 調査地域

調査地域は、事業予定地と送信アンテナの位置等より電波障害の及ぶ可能性のある範囲を考慮し設定する。



電波障害の項目選定時の留意点

- ・目安として、建設物等の高さが10mを超えると遮蔽障害が、30mを超えると反射障害が生じ、この両者を合わせた面積は、送信アンテナの1/2以下の場合、およそ建築物等の高さの3乗に比例し、これを超えると指数関数的に急増する。
- ・電波障害が想定される範囲内に、住宅等被害を受けるおそれのある対象が相当期間存在しないことが明らかな場合、簡略化することができる。
- ・電波障害が想定される範囲内で、既に共同受信施設が利用されている場合には、簡略化することができる。

(3) 調査方法

資料調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析とする。

【解 説】

(3) 調査方法

調査方法は、以下を基本とする。

ア. 電波受信の状況

- ・放送局の送信条件に関する資料の収集、整理による。

イ. 電波受信の状況

- ・電波の受信条件や電波障害の状況は、既存資料、現地での聞き取り、現地確認による。

ウ. 地形の状況

- ・地形図及び現地確認による。

エ. 土地利用の状況

- ・地形図等の既存資料及び現地確認による。

オ. その他

- ・市町村への聞き取り等による。

(4) 調査結果

(1) 調査すべき情報として選択した項目ごとに電波障害に関する自然的社会的特性を記載する。

【解 説】

(4) 調査結果

調査すべき情報として選択した項目ごとに電波障害に関する自然的社会的特性をわかりやすく記載する。

例) 電波障害の概況目次及び作成図表

① 電波受信の状況

・テレビジョン電波到来方向及び現在の受信条件、電波障害が生じている可能性等についての記述。

図. 電波の到来方向図等

② 電波障害防止上の留意点

・上記の内容及び関連する概況調査項目(ウ～オ)の内容を勘案し、事業予定地周辺における電波障害防止上の留意点を記述(ウ～オの関連事項のうち、電波障害に係る内容については概要を記載すること)。

(5) 環境保全に係る検討の経過

風力発電所設置事業の内容を具体化する過程で、環境保全に係る検討がどのように進められたのか、その経緯及び内容について整理する。

【解 説】

(5) 環境保全に係る検討の経過

事業をより良いものにするためには、事業者自らが関係機関や地域住民などとのコミュニケーションを図り、事業の内容について詳細に、わかりやすく説明することが求められる。それによって事業の実施に際して、地域住民からより一層の理解が得られるとの効果も期待できる。このような観点から、事業内容を具体化する過程で検討された様々な環境保全への配慮について整理する。

なお、これらの内容は、準備書以降における「環境保全措置」の箇所において、「環境影響評価手続き以前の環境保全措置の検討経緯」として再掲されることとなることに留意する。

参考として、表 2.4-1 にとりまとめ例を示す。

表 2.4-1 環境保全に係る検討の経過及びその内容(風力発電所設置事業)(例)

項 目	コ メ ン ト
事業による影響	・東西方向の尾根部に計画される風力発電施設によって、尾根の北側の住居地区(〇〇地区)が電波障害の影響を受ける可能性が考えられる。
事業特性及び地域特性を踏まえた環境保全の考え方	・電波障害の影響が住宅地区及ばない場所に風車を設置し、影響の少ない位置・構造を検討した。
スコーピング段階における配慮	・本事業を計画する段階において、騒音・低周波音の影響を考慮して、□□地区及び△△地区から十分な距離を確保するよう配慮した。



【コラム】電波障害とは

電波障害は広義では、テレビ、ラジオ及び無線通信などにおける画像、音声の障害を指すが、最近では特に高層建築物や鉄道、航空機の運行等によるテレビの受信障害を指すことが多い。

図 2.4-1 に示すように、建造物による受信障害には、テレビ電波が建造物で遮られ電波の強さが低下して発生する「遮蔽障害」と、建造物で反射した電波が複数の伝播経路から受信点に到達して生じる「反射障害（マルチパス障害）」がある。

一般に、デジタル波の障害はアナログ波に比較して少なくなり、反射障害においてはデジタル放送はアナログ放送に比べ大幅に改善され、多くの場合障害は発生しない。受信される電波の強さが大きく影響する。弱電界の場合には、アナログ波より障害予測範囲が広がることある。

風力発電施設は一般的なビル等比べて投影面積が小さいため、受信障害の原因とはなりにくい。受信地域への直接波に比べて風車への入射波が強い場合では、受信障害が発生することがある。また、1基では受信障害とならない規模の風車でも、複数建設される場合には障害となることがある。

風力発電機の稼動によって電波障害が現れた事例があるが、これらは全てフラッター障害であったとされる。風力発電機の稼動によるフラッター障害の場合、ブレードの回転に合わせて画像が乱れることがある。

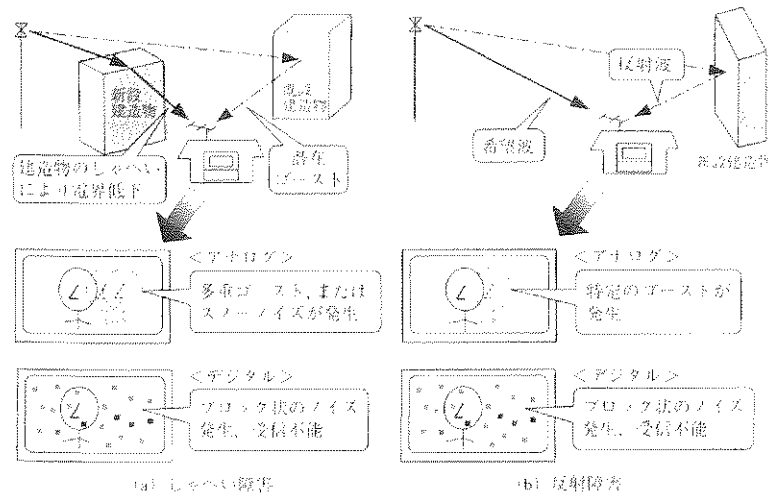


図 2.4-1 建造物障害の発生メカニズム

(出典) NHK受信技術センター編：『建造物障害予測技術（地上デジタル放送）』，2003年



【コラム】フラッター障害とは

風車後方の受信点では、送信点から風車羽根を通らずに到来する直接波と、風車羽根の透過波が同時に受信される。このとき、透過波は風車羽根による反射波をベクトル的に減算した電波となるため、受信点位置に対応して位相と電界強度の差を生じ、合成された受信電界は変化する。

さらに、羽根が回転することにより、透過波の位相と強度が時間的に変化するため、受信界は時間的な変動を伴う。

図 2.4-2 (a) に示すように、送信点が見通しの場合、直接波が強いため透過波の位相と強度の変化による影響は少なく、受信電界の変動は無視できる。

図 2.4-2 (b) のように、送・受信点間にある高い丘などにより直接波が遮られ、受信電界が弱い場合は、透過波による変動が無視できなくなり、アナログ波ではフラッター障害が発生することがある。アナログ波と比べて起こる可能性は低いものの、デジタル波においても障害が発生することが考えられる。

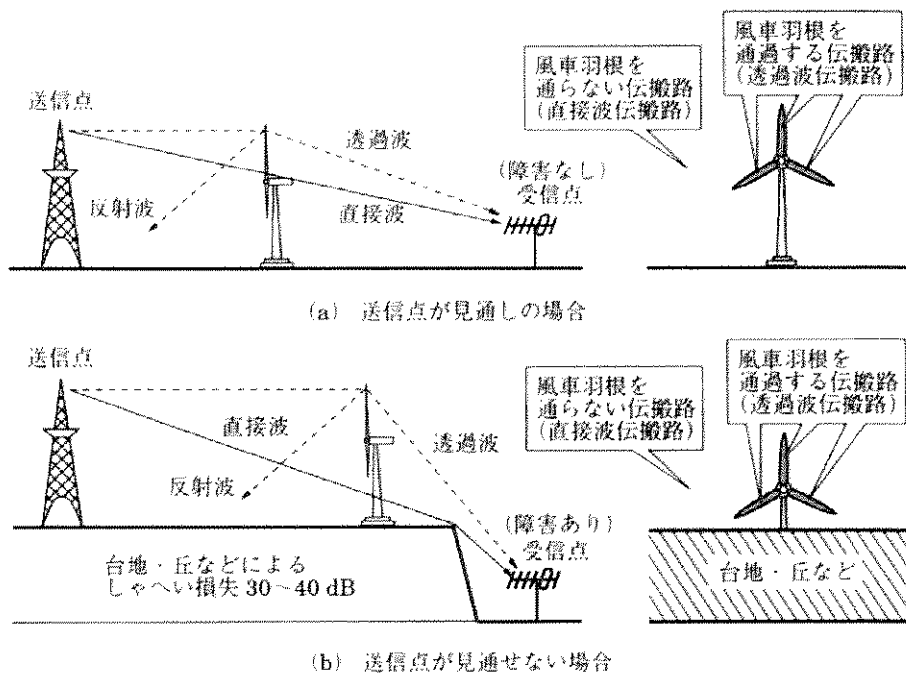


図 2.4-2 風車後方の受信点に到来する電波

(出典) NHK受信技術センター編：『建造物障害予測技術（地上デジタル放送）』，2003年

2.5 景観

事業地を選定する段階で、風力発電施設の立地地点が、優れた自然の風景地を確実に回避することが必要である。さらに、展望地からの眺望に対する支障を小さくすることが必要である。

このため、事業地の選定を経て概略事業計画（風車の規模、基数、配置等）を検討する段階で主要な展望地の分布状況と眺望特性を把握し、風力発電施設の設置による主要な展望地からの眺望への支障の程度を、展望地ごとに確認する。

○眺望点の抽出範囲（距離）について

風力発電施設のような大規模な構造物の場合、相当程度離れた場所からも視認される。

視認される可能性が高い距離は、設置される風車の規模によって異なってくるが、例えばブレード天端高が100mを超える風車の場合、100km以上離れた距離から視認される可能性がある。したがって、想定される風車の規模に応じて適切に主要な眺望点の抽出範囲を設定する必要がある。



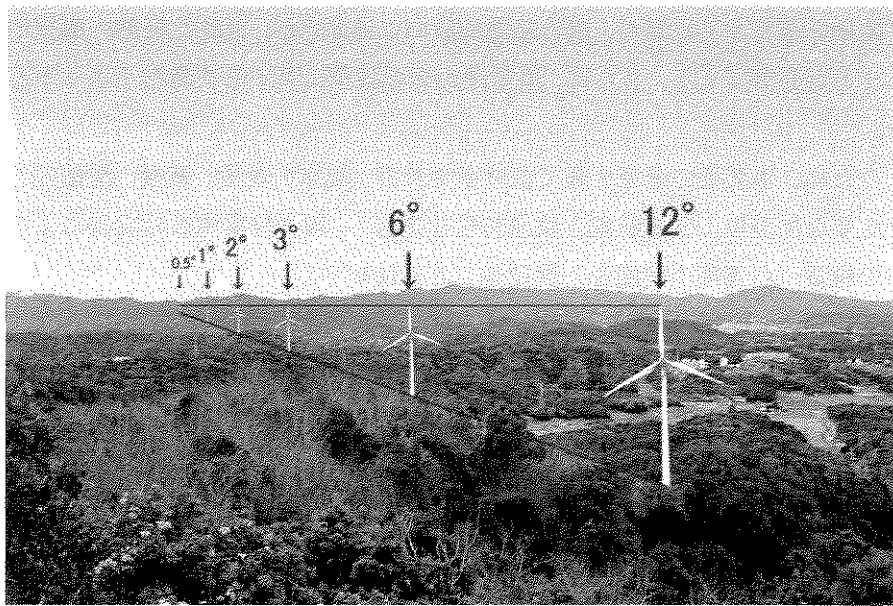
【コラム】垂直見込角に応じた対象の見え方

出典：「国立・国定公園内における風力発電施設の審査に関する技術的ガイドライン」
2013年3月

- ・人間の視力で対象をはっきりと識別できる見込角の大きさ（熟視角）は、研究例によって解釈が異なるが、一般的には1～2°が用いられている。
- ・下表は風力発電施設と同様、塔状の構造物である送電鉄塔の垂直見込角に応じた見え方に関する知見だが、垂直見込角が1～2°を超えると景観的に気になり出す可能性があると考えられる。
- ・逆に垂直見込角が0.5°以下であれば、気象条件や太陽光線の状態等によっては視覚的に判別しにくい（見えにくい）状況になるとされている。

表 2.5-1 垂直視角と鉄塔の見え方（鉄塔高さが約70mの場合）

視覚	距離	鉄塔の場合
0.5°	8000m	輪郭がやっとわかる。季節と時間（夏の午後）の条件は悪く、ガスのせいもある。
1°	4000m	十分見えるが、景観的にはほとんど気にならない。ガスがかかって見えにくい。
1.5°～2°	2000m	シルエットになっている場合には良く見え、場合によっては景観的に気になり出す。シルエットにならず、さらに環境融和塗色がされている場合には、ほとんど気にならない。光線の加減によっては見えないこともある。
3°	1300m	比較的細部まで良く見えるようになり、気になる。圧迫感を受けない。
5°～6°	800m	やや大きく見え、景観的にも大きな影響がある（構図を乱す）。架線もよく見えるようになる。圧迫感はあまり受けない（上限か）。
10°～12°	400m	眼いっぱい大きくなり、圧迫感を受けるようになる。平坦などところでは垂直方向の景観要素としては際立った存在になり、周囲の景観とは調和しえない。
20°	200m	見上げるような仰角にあり、圧迫感も強くなる。



備考：写真は水平画角60°・垂直画角40°

写真 2.5-1 垂直見込角に応じた風車の見え方の変化に関するシミュレーション

3. 調査、予測及び環境保全措置

3.1 騒音・低周波音

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^{※1}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成分そのものは感覚閾値以下である。

※1 風車騒音：風力発電設備から発生する騒音，低周波音，超低周波音の総称

- 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）や特定の周波数で強い成分をもつ純音性の騒音が近隣住民のアノイアンス（うるささ）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。

3.1.1 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値（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の情報を入手する。
- ・ 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。
- ・ 風速ごとの音響パワーレベルのオーバーオール、型番、ハブ高さ、ロータ直径、定格風速や発電量等の情報も収集する。

(2) 伝播特性について

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、反射、吸収、透過、屈折、回折等の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。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ると、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のデータを収集する。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（河川や湖沼等を含む）についても十分なデータが必要となるほか、地形の影響によって音が増幅される場合もあるので、特徴的な地形の有無についても留意する必要がある。

さらに、風力発電施設は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^{※1}の状況を調査する必要がある。

※1 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 3.1-1 参照）

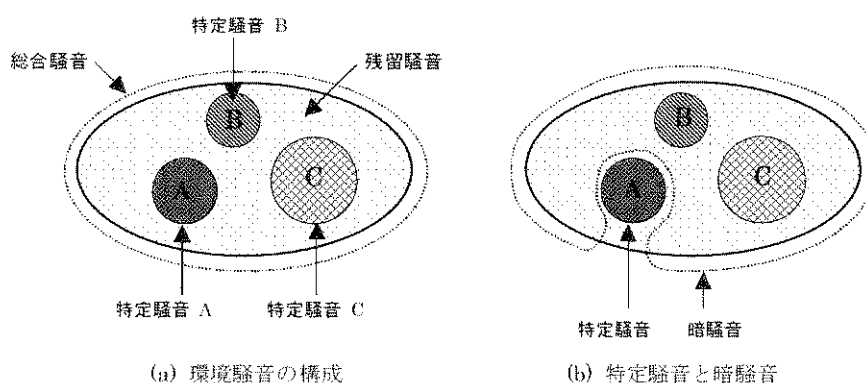


図 3.1-1 騒音の構成に着目した環境騒音の分類

出典：「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」

3.1.2 予測計算及び予測式

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。

(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 63Hz～8Hz 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ものである。

予測計算式の詳細を、資料編 資料-2：騒音予測方法（ISO 9613 シリーズ）に示す。

(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マニュアル及び風力発電環境影響評価規程（JWPA 自主規制 ver. 1.1）による予測計算方法では、風力発電機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パワーレベル値を用いて、伝搬過程における幾何学的拡散による距離減衰、空気の吸収等による超過減衰等を考慮した予測計算式によって、それぞれの音源による到達騒音レベルを算出する。なお、予測に用いるパワーレベルは、風車型式認証時に採用されている

標準化風速 8m/s（地上高さ 10m）時の提示値を用いることを原則とするが、現地調査時において確認された風速データを参考に、提示値を採用することへの妥当性の検討を行うものとする。また、増設の場合は、既設発電所を含む音源、また、対象事業実施区域内に他の音源がある場合にはそれも含めて予測を行う。

予測式は以下のとおりである。

$$L_n = L_w - 10 \log(r^2 + h^2) - 8 - \Delta L_{AIR}$$

ここで

L_n : n 番目の風力発電機から水平距離 r (m) 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)

r : 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)

ΔL_{AIR} : 空気減衰 (dB)

$$\Delta L_{AIR} = \alpha (r^2 + h^2)^{1/2} / 1000$$

α : 定数 (=0.005 dB/m)

3.1.3 風力騒音に係る評価

わが国では、風力発電施設からの騒音等に係る基準又は目標値は設定されていないため、本マニュアルでは、「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、騒音レベル（A特性音圧レベル）で 35dB を参考値として示す。

- ・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（参考） : 騒音レベル（A特性音圧レベル）で 35dB
- ・時間区分 : なし（終日）
- ・対象地域 : 設定しない

3.2 風車の影

3.2.1 調査

方法書での手法や概況調査結果を踏まえ、詳細な分析・検討を加えながら調査方法を決定し、実施する。

(1) 調査すべき情報

調査項目については、風力発電所設置事業の規模及び地域の概況を勘案し、風力発電所設置事業の実施により風車の影（シャドーフリッカー）が及ぼす影響を適切に把握し得るよう十分に配慮し、次に掲げる項目のうちから予測及び評価を行うために必要なものを選択する。

- ア. 土地の利用状況
- イ. 地形の状況
- ウ. 日影の状況

(2) 調査地域

調査地域は、土地利用及び地形の特性を踏まえて、風車の影（シャドーフリッカー）に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域とする。

(3) 調査地点

調査地点は、土地利用の状況及び地形の特性を踏まえて、(2)調査地域における風車の影（シャドーフリッカー）に係る環境影響を予測し、及び評価するために適切かつ効果的な地点を選定する。

(4) 調査期間

調査期間は、土地利用及び地形の状況を適切に把握することができる時期とする。

(5) 調査方法

文献その他の資料及び現地調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析とする。

3.2.2 予測

(1) 予測項目

風力発電所設置事業の実施による風車の影（シャドーフリッカー）の及ぶ範囲、時刻及び時間数等の日影の状況の変化の程度とする。

(2) 予測地域及び予測地点

調査地域のうち、土地利用及び地形の特性を踏まえて、風車の影（シャドーフリッカー）による環境影響を受けるおそれがある地域、及びその環境影響を的確に把握できる地点とする。

(3) 予測時期

発電所の運転が定常状態となる時期及び風車の影（シャドーフリッカー）に係る環境影響が最大となる時期とする。

(4) 予測方法

等時間の日影線を描いた日影図の作成及びシミュレーションとする。

(5) 予測結果

(1)予測項目で挙げた各項目ごとに可能な限り具体的かつ定量的に記載する。引用箇所はその旨を示し、文末に文献目録を添える。

3.2.3 環境保全措置

(1) 環境影響評価手続き以前の環境保全措置の検討経緯

方法書の作成までに検討した環境保全措置の一連の検討結果とその内容について、時系列に沿って段階的に整理する。

(2) 環境保全措置の検討

予測結果から得られた風車の影（シャドーフリッカー）が及ぼす変化の状況に応じて、環境保全措置の必要性があると判断された場合には、保全措置の検討項目、検討目標、検討手順・方針等の保全方針を設定する。

ア. 回避、低減に係る環境保全措置

(3) 検討結果の検証

環境保全措置についての複数の案の比較検討、実行可能なより良い技術が取り入れられているかどうかの検討その他の適切な検討を通じて、事業者により実行可能な範囲内で対象事業に係る環境影響ができる限り回避され、又は低減されているかどうかを検証する。

(4) 検討結果の整理

環境保全措置の検討に当たっては、その内容、効果、不確実性について明らかにし、整理する。

ア. 環境保全措置の実施主体、方法その他の環境保全措置の実施の内容

イ. 環境保全措置の効果及び環境保全措置を講じた後の環境の状況の変化

ウ. 環境保全措置の実施に伴い生ずるおそれのある環境への影響

3.2.4 評価

(1) 環境影響の回避、低減に係る評価

環境保全措置の検討を行った場合には、その検討結果をふまえ、風力発電所設置事業の実施による風車の影（シャドーフリッカー）に係る環境影響が、事業者によって実効可能な範囲内でできる限り回避又は低減されるか否か、さらに必要に応じてその他の方法により環境の保全についての配慮が適正になされているかどうかを評価する。

なお、風車の影に対し保全目標値等を定めたものはない。

3.2.1 調査

方法書での手法や概況調査結果を踏まえ、詳細な分析・検討を加えながら調査方法を決定し、実施する。

(1) 調査すべき情報

調査項目については、風力発電所設置事業の規模及び地域の概況を勘案し、風力発電所設置事業の実施により風車の影（シャドーフリッカー）が及ぼす影響を適切に把握し得るよう十分に配慮し、次に掲げる項目のうちから予測及び評価を行うために必要なものを選択する。

- ア. 土地の利用状況
- イ. 地形の状況
- ウ. 日影の状況

【解説】

(1) 調査すべき情報

ア. 土地の利用状況

周辺の地形、土地利用等の状況について把握する。

イ. 地形の状況

地形の状況についての調査事項は、標高、等高線、土地の傾斜、谷地・崖地・台地等の位置その他必要な事項とする。

ウ. 日影の状況

日影の状況として、主要な既存建築物や地形等による日影の範囲、日影となる時刻及び時間数を調査する。日影の状況は、春秋分、夏至日及び冬至日の状況把握を基本とする。

(2) 調査地域

調査地域は、土地利用及び地形の特性を踏まえて、風車の影（シャドーフリッカー）に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域とする。

(3) 調査地点

調査地点は、土地利用の状況及び地形の特性を踏まえて、(2)調査地域における風車の影（シャドーフリッカー）に係る環境影響を予測し、及び評価するために適切かつ効果的な地点を選定する。

(4) 調査期間

調査期間は、土地利用及び地形の状況を適切に把握することができる時期とする。

(5) 調査方法

文献その他の資料及び現地調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析とする。

【解説】

(5) 調査方法

日影の状況の現地調査は、次に掲げる方法による。

- ① 現況の日影の状況を表す時刻別日影図、等時間日影図等の作成による方法
- ② 現地踏査及び写真撮影による方法
- ② 天空図の作成、又は画角180度の魚眼レンズを用いた天空写真を撮影する方法

3.2.2 予測

(1) 予測項目

風力発電所設置事業の実施による風車の影（シャドーフリッカー）の及ぶ範囲、時刻及び時間数等の日影の状況の変化の程度とする。

(2) 予測地域及び予測地点

調査地域のうち、土地利用及び地形の特性を踏まえて、風車の影（シャドーフリッカー）による環境影響を受けるおそれがある地域、及びその環境影響を的確に把握できる地点とする。

(3) 予測時期

発電所の運転が定常状態となる時期及び風車の影（シャドーフリッカー）に係る環境影響が最大となる時期とする。

【解説】

(1) 予測項目

予測項目は、春秋分、夏至日及び冬至日における日影の範囲を原則とし、風力発電所設置事業の実施（建築物等の建設完了時）における真太陽時の日の出から日没までに生じる時刻別日影及び等時間日影とする。

ただし、必要に応じ上記以外の日の日影の範囲、日影となる時刻及び時間数等の日影の状況の変化の程度を予測する。

- ① 風車の影が影響を及ぼす範囲に住宅地、学校及び病院等が存在する場合で、かつ、年間を通じての日照を考慮する必要があると認められる場合には、春秋分、夏至日及び冬至日以外の日で予測が必要な日。
- ② 風車の影が影響を及ぼす範囲に既存の中高層建築物が多数存在し、これらと複合して著しい日影を生じるおそれがある場合には、春秋分、夏至日及び冬至日以外の日で予測が必要な日。

(4) 予測方法

等時間の日影線を描いた日影図の作成及びシミュレーションとする。

【解説】

(4) 予測方法

シャドーフリッカーにおける予測は、風車近隣の住宅においてシャドーフリッカーの及ぶ範囲及び時間帯を、シミュレーションにより定量的に予測する。（図3.2.2-1）

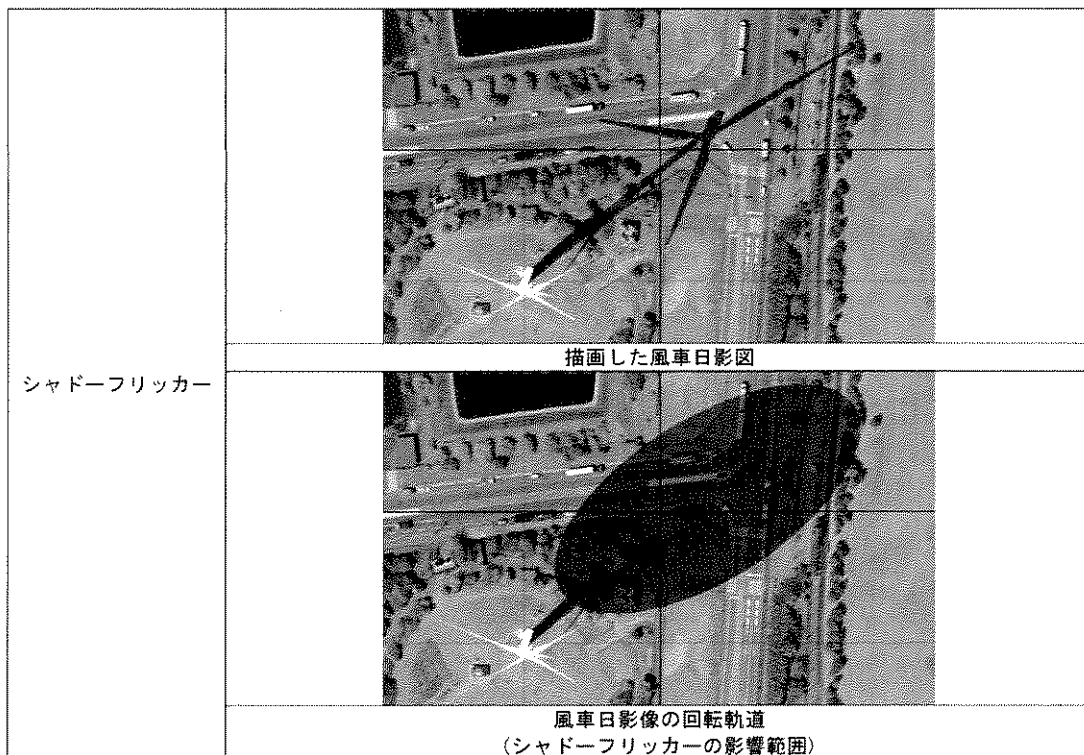


図3.2.2-1 風車の日影図(例)

(出典) 小川主水, ブルネル・スピリット研究会: 『風力発電用風車の日影による環境影響シミュレーション』

(5) 予測結果

(1) 予測項目で挙げた各項目ごとに可能な限り具体的かつ定量的に記載する。引用箇所はその旨を示し、文末に文献目録を添える。

【解説】

(5) 予測結果

シャドーフリッカーに関する予測結果は、シャドーフリッカーが生じる範囲及び時間帯を地図上に図示して整理する(図3.2.2-2及び図3.2.2-3参照)。

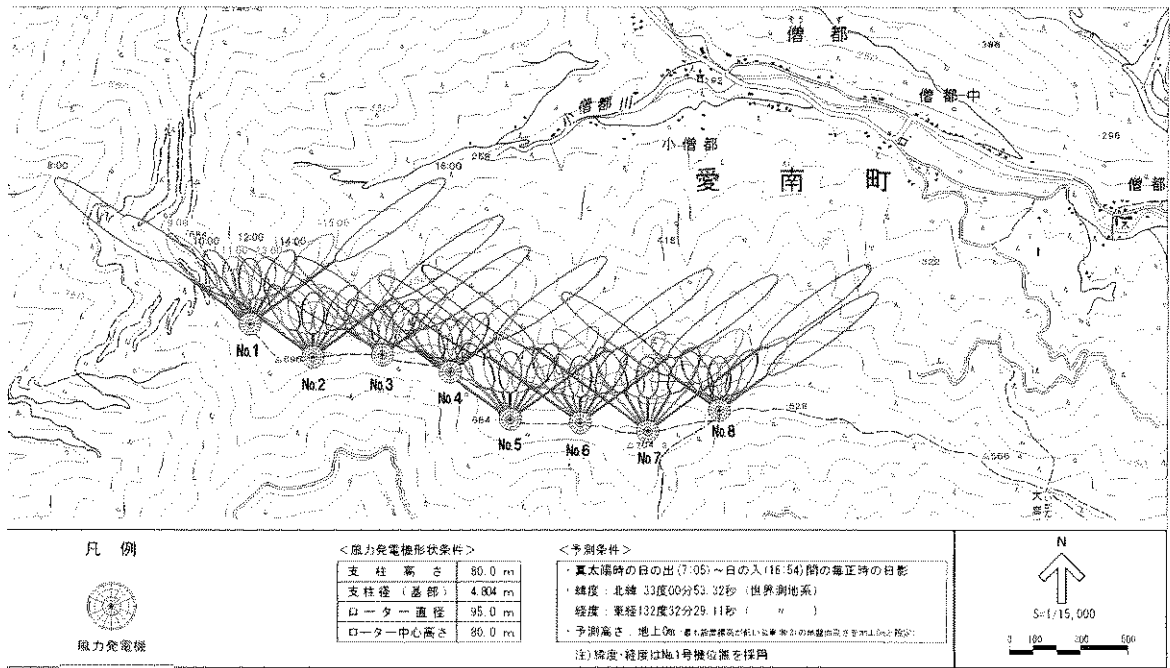


図 3.2.2-2 時刻別日影図(冬至)例

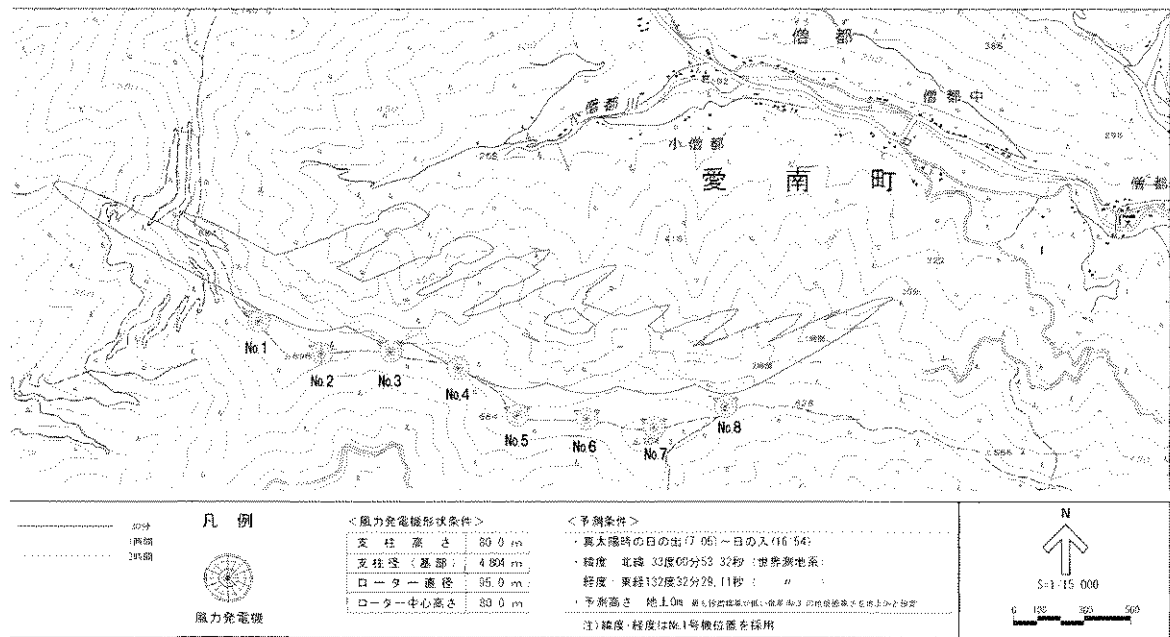


図 3.2.2-3 等時間別日影図(冬至)例

(出典) 四国風力発電株式会社, 株式会社ジャネックス

:『(仮称) 僧都ウィンドシステム発電事業環境影響評価準備書』, 平成 24 年 8 月, 愛媛県庁 HP より引用

3.2.3 環境保全措置

(1) 環境影響評価手続き以前の環境保全措置の検討経緯

方法書の作成までに検討した環境保全措置の一連の検討結果とその内容について、時系列に沿って段階的に整理する。

【解説】

(1) 環境影響評価手続き以前の環境保全措置の検討経緯

環境保全措置は、方法書の検討段階やそれ以前の計画段階など、事業の早期段階からより良い環境配慮を志向する主旨で行うべきものである。したがって、準備書及び評価書段階で行う環境保全措置の検討に先立って、早期段階で検討した環境保全の考え方や環境配慮事項の検討内容について、時系列に沿った段階ごとの体系的な整理が必要である。

これらの内容は、以後の環境保全措置の検討内容の妥当性の根拠を明らかにすることから、準備書、評価書に具体的に記載する（図 3.2.3-1 参照）。

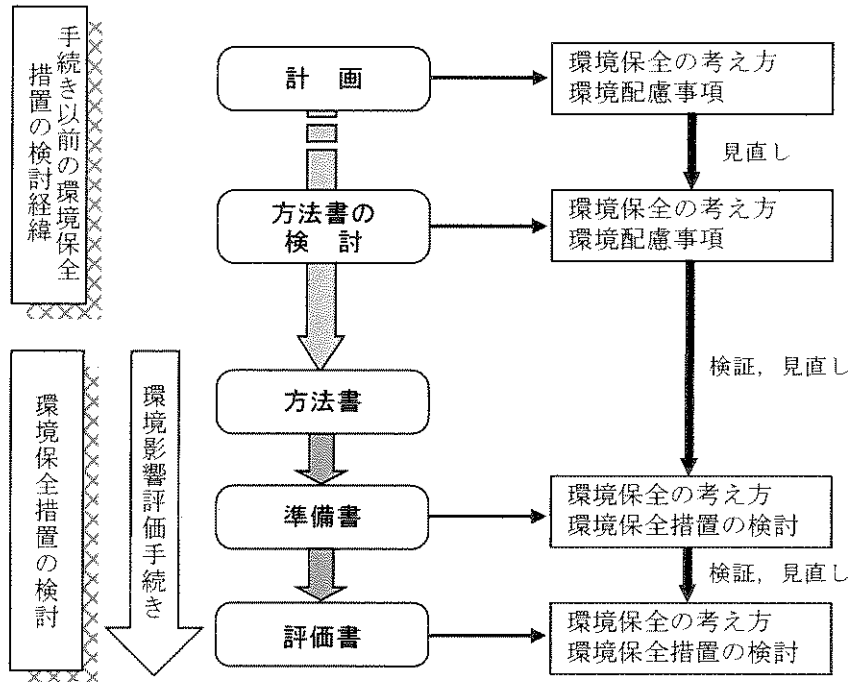


図 3.2.3-1 環境保全措置の検討経緯の流れ

(2) 環境保全措置の検討

対象事業の実施が、シャドーフリッカーによる日照への影響を与えると判断される場合、事業者は実行可能な範囲内で選定項目に係る環境影響をできる限り回避、低減する。

【解 説】

(2) 環境保全措置の検討

環境保全措置（回避、低減）の検討を行うに当たっては、方法書で示した環境保全の考え方、事業特性、地域特性、影響予測結果等に基づき、保全措置の検討対象、検討目標、検討手順・方針等の保全方針を策定する。

環境保全措置の検討項目の例を以下に示す。

ア. 回避、低減に係る保全措置

事業者は、国又は関係する地方公共団体が示す基準又は目標の達成に努めるとともに、できる限り環境への影響を回避、低減する努力姿勢が求められる。

環境保全措置に関しては、事業計画上配慮した施設の配置、規模、構造等について述べ、必要に応じてこれらによって事業による環境への影響がどの程度軽減されるかを検討し、明らかにする。

環境保全措置の検討項目例を以下に示す。

1) シャドーフリッカー（例）

- ・ 設備の位置や基数の変更
- ・ 風車の影が及ぶ時期・時間帯における運転停止
- ・ 保全対象における影を視覚的に遮る措置(カーテン、植栽等)等

(出典) 環境省：『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（資料編）』、平成23年6月

(3) 検討結果の検証

環境保全措置についての複数の案の比較検討、実行可能なより良い技術が取り入れられているかどうかの検討その他の適切な検討を通じて、事業者により実行可能な範囲内で風力発電所設置事業に係る環境影響ができる限り回避され、又は低減されているかどうかを検証する。

【解 説】

(3) 検討結果の検証

環境保全措置の複数案のそれぞれについて、以下の項目の検討と予測を行うことにより、実行可能な範囲で環境影響ができるだけ回避され、又は低減されるかを検証する。

ここでは、複数案のそれぞれについて検討結果の検証手法と検証結果を示す。また、複数案のそれぞれについての検討結果及び検証結果は、「(4) 検討結果の整理」として整理し、さらに、複数案の比較検討結果は、「3.2.4 評価 (1) 環境影響の回避、低減に係る評価」で総合的にとりまとめるものとする。

なお、環境保全措置の検討とその効果の予測は、最善の措置が講じられると判断されるまで繰り返し行う事が望ましい。

ア. 複数案の比較検討と効果の予測

複数案の比較は、予測された環境影響に対し、複数の環境保全措置を検討した上でそれぞれ効果の予測を行い、その結果を比較検討することにより、効果が適切かつ十分に得られると判断された環境保全措置を採用する。

なお、環境保全措置の検討とその効果の予測は、最善の措置が講じられると判断されるまで繰り返し行う事が望ましい。

イ. 実行可能なより良い技術の取り入れ

実行可能なより良い技術とは、高水準な環境保全を達成するのに最も効果的な技術をいい、事業の計画、設計、建設、維持、操業、運用、管理、廃棄などに際して用いられるハード面の技術、およびその運用管理などのソフト面での技術を指す。

より良い技術が取り入れられているか否かの判断に当たっては、最新の研究成果や類似事例の参照、専門家による指導、必要に応じた予備的な試験の実施などにより、環境保全措置の効果をできる限り客観的に示すことが望ましい。

ウ. その他の環境要素への影響の確認

環境保全措置の実施による他の環境要素や検討対象への影響にも配慮する。特に、ある環境要素への影響の回避、低減策が、他の環境要素には悪影響となる場合もあるので、環境要素の関連性についても十分な検討を行う。

(4) 検討結果の整理

環境保全措置の検討に当たっては、その内容、効果、不確実性等について明らかにし、整理する。

- ア. 環境保全措置の実施主体、方法その他の環境保全措置の実施の内容
- イ. 環境保全措置の効果及び環境保全措置を講じた後の環境の状況の変化
- ウ. 環境保全措置の実施に伴い生ずるおそれのある環境への影響

【解説】

(4) 検討結果の整理

環境保全措置の検討に当たっては、以下の事項について表 3.2.3-1 に示す検討結果の整理(例)などを用いて検討過程及び検証過程における内容も含め、可能な限り具体的に整理する。

ア. 環境保全措置の実施主体、方法その他の環境保全措置の実施の内容

環境保全措置の実施主体、実施方法、実施機関、当該措置の種類、位置などをできるだけ具体的に記述する。

イ. 環境保全措置の効果及び環境保全措置を講じた後の環境の状況の変化

環境保全措置の効果及び環境保全措置を講じた後の環境の状況の変化は、採用する環境保全措置を講ずる前後の予測結果を用いて、できる限り定量的にその効果をまとめる。

なお、実行可能なより良い技術かどうか、できる限り客観的に示し、必要に応じ当該環境保全措置の効果の不確実性の程度についても整理する。

ウ. 環境保全措置の実施に伴い生ずるおそれのある環境への影響

環境保全措置を実施することにより、その他の環境要素への新たな環境影響が、副次的に生ずるおそれがある場合は、その内容及び程度を示す。

表 3.2.3-1 環境保全措置検討結果の整理 (例)

実施者		
実施内容	保全措置の種類	注) 回避又は低減を優先し、代償の場合は回避・低減が困難である理由を記述する。また、代償の場合は、実施が可能と判断した根拠を記述する。
	実施項目	
	実施方法	
	実施期間	
	実施位置	
保全措置の効果及び変化		注) 代償措置の場合は、代償措置の効果の根拠を記述する。
不確実性の程度		
副次的な環境影響		

3.2.4 評価

(1) 環境影響の回避、低減に係る評価

環境保全措置の検討を行った場合には、その検討結果をふまえ、風力発電所設置事業の実施による風車の影（シャドーフリッカー）に係る環境影響が、事業者によって実効可能な範囲内でできる限り回避又は低減されるか否か、さらに必要に応じてその他の方法により環境の保全についての配慮が適正になされているかどうかを評価する。

なお、風車の影に対し保全目標値等を定めたものはない。

【解説】

(1) 環境影響の回避、低減に係る評価

ア. 事業者は、施設等の構造や配置、環境保全設備、工事の方法等の幅広い環境保全措置を対象として、複数の案を比較検討すること、あるいは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すること等の方法により、風力発電事業の環境に与える影響が回避、低減されているか否か、またその程度はどれくらいであるかについて評価する。

イ. 事業者は、環境保全措置に関して環境影響を最小限にとどめるよう、実行可能な範囲で最大限の努力を払ったか否かについて評価する。

複数案の比較に際しては、実行可能性、技術的な信頼性などシャドーフリッカーに係る適切な比較項目を設定し、また必要に応じマトリックス評価表などを作成し、優劣又は順位付けができるよう可能な限り定量的な評価となるように工夫する。

複数の比較案のうち、全ての比較項目において優れた環境保全措置となる場合を除き、評価した理由を具体的に記述し、総合的な評価を行うものとする。



【コラム】シャドウフリッカーの評価基準の海外事例

○諸外国のガイドラインにおいて、シャドウフリッカーの暴露時間に関して次のとおり指針値が定められている。

- 実際の気象条件等を考慮しない場合で、年間30時間かつ1日30分間を超えないこと。
- 実際の気象条件等を考慮する場合で、年間8時間を超えないこと。
：ドイツ（ノルトライン・ヴェストファーレン州、シュレースヴィヒ・ホルシュタイン州、ラインラント・プファルツ州）
- 実際の気象条件等を考慮する場合で、年間10時間を超えないこと。
：デンマーク
- 年間30時間かつ1日30分間を超えないこと。
：ベルギー（ワロン地域）
- 年間30時間を超えないこと。
：オーストラリア（ビクトリア州）

○諸外国の風力発電所のアセス事例において、以下の指針値を参照したものがみられた。

<実際の気象条件等を考慮しない場合>

- 風車の影になる時間が、年間30時間かつ1日30分間を超えないこと。
：イギリス、デンマーク
- 風車の影になる時間が、年間30時間を超えないこと。
：カナダ（オンタリオ州、プリンスエドワードアイランド州）

<実際の気象条件等を考慮する場合>

- 風車の影になる時間が、年間8時間を超えないこと。
：カナダ（プリンスエドワードアイランド州）、デンマーク
- 風車の影になる時間が、年間10時間を超えないこと。
：デンマーク

（出典）環境省：『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（資料編）』、平成23年6月

【参考文献】

1. 環境省：『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（資料編）』、平成23年6月
2. 環境省：『風力発電所の環境影響評価のポイントと参考事例』、平成25年6月
3. 小川主水、ブルネル・スピリット研究会：『風力発電用風車の日影による環境影響シミュレーション』
4. (社)環境情報科学センター編：『環境アセスメントの技術』、平成11年
5. 環境省：『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. 四国風力発電株式会社、株式会社ジャネックス：『(仮称) 僧都(そうず) ウィンドシステム発電事業環境影響評価準備書』、平成24年8月

3.3 電波障害

3.3.1 調査

方法書での手法や概況調査結果を踏まえ、詳細な分析・検討を加えながら調査方法を決定し、実施する。

(1) 調査すべき情報

調査項目については、風力発電所設置事業の規模及び地域の概況を勘案し、風力発電所設置事業の実施が電波障害に及ぼす影響を適切に把握し得るよう十分に配慮し、次に掲げる項目のうちから予測及び評価を行うために必要なものを選択する。

ア. 電波の発信状況

イ. 電波の受信状況

(2) 調査地域

調査地域は、電波の伝播の特性を踏まえて、電波受信に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域とする。

(3) 調査地点

調査地点は、電波の伝播の特性を踏まえて (2)調査地域における電波受信に係る環境影響を予測し、及び評価するために必要な情報を適切かつ効果的に把握できる地点を選定する。

(4) 調査期間

調査期間は、電波の伝播の特性を踏まえて (2)調査地域における電波受信に係る環境影響を予測し、及び評価するために必要な情報を適切かつ効果的に把握できる期間、時期及び時間帯とする。

(5) 調査方法

文献その他の資料及び現地調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析とする。

3.3.2 予測

(1) 予測項目

風力発電所設置事業の実施による電波障害の範囲とする。

(2) 予測地域及び予測地点

調査地域のうち、電波の伝播の特性を踏まえて電波受信に係る環境影響を受けるおそれがある地域、及びその環境影響を的確に把握できる地点とする。

(3) 予測時期

発電所の運転が定常状態であり、適切に予測できる時期とする。

(4) 予測方法

実用式によるコンピューター・シミュレーション又は事例の引用若しくは解析とする。

(5) 予測結果

(1)予測項目で挙げた各項目ごとに可能な限り具体的かつ定量的に記載する。引用箇所はその旨を示し、文末に文献目録を添える。

3.3.3 環境保全措置

(1) 環境影響評価手続き以前の環境保全措置の検討経緯

方法書の作成までに検討した環境保全措置の一連の検討結果とその内容について、時系列に沿って段階的に整理する。

(2) 環境保全措置の検討

予測結果から得られた電波の伝播の変化の状況に応じて、環境保全措置の必要性があると判断された場合には、保全措置の検討項目、検討目標、検討手順・方針等の保全方針を設定する。

ア. 回避、低減に係る環境保全措置

イ. 代償措置に係る環境保全措置

(3) 検討結果の検証

環境保全措置についての複数の案の比較検討、実行可能なより良い技術が取り入れられているかどうかの検討その他の適切な検討を通じて、事業者により実行可能な範囲内で対象事業に係る環境影響ができる限り回避、低減又は代償されているかどうかを検証する。

(4) 検討結果の整理

環境保全措置の検討に当たっては、その内容、効果、不確実性について明らかにし、整理する。

ア. 環境保全措置の実施主体、方法その他の環境保全措置の実施の内容

イ. 環境保全措置の効果及び環境保全措置を講じた後の環境の状況の変化

ウ. 環境保全措置の実施に伴い生ずるおそれのある環境への影響

エ. 代償措置を講ずる場合の根拠と環境保全措置の妥当性

3.3.4 評価

(1) 環境影響の回避、低減又は代償に係る評価

環境保全措置の検討を行った場合には、その検討結果をふまえ、風力発電所設置事業の実施による電波障害に係る環境影響が、事業者によって実効可能な範囲内でできる限り回避又は低減されるか否か、さらに必要に応じてその他の方法により環境の保全についての配慮が適正になされているかどうかを評価する。

(2) 国又は関係する地方公共団体が実施する環境の保全に関する施策との整合性に係る評価

ア. 国が実施する環境の保全に関する施策（環境基準等）

イ. 県が実施する環境の保全に関する施策（環境基本計画等）

ウ. 市町村が実施する環境の保全に関する施策

3.3.1 調査

方法書での手法や概況調査結果を踏まえ、詳細な分析・検討を加えながら調査方法を決定し、実施する。

(1) 調査すべき情報

調査項目については、風力発電所設置事業の規模及び地域の概況を勘案し、風力発電所設置事業の実施が電波障害に及ぼす影響を適切に把握し得るよう十分に配慮し、次に掲げる項目のうちから予測及び評価を行うために必要なものを選択する。

- ア. 電波の発信状況
- イ. 電波の受信状況

【解説】

(1) 調査すべき情報

ア. 電波の発信状況

対象事業実施区域周辺において、テレビジョン電波（デジタル）を発信している施設的位置、送信出力、対象事業実施予定地の距離等を、文献その他の資料及び現地調査により明らかにする。

イ. 電波の受信状況

対象事業実施区域周辺において、テレビジョン電波（デジタル）を受信している家屋あるいは事業所的位置、受信可能な放送局とその受信状況を、文献その他の資料及び現地調査により明らかにする。

次に掲げる事項についても調査する。

ウ. 重要無線の状況

電波法により、電波通信業務障害防止区域内での建設事業の届出、調査、報告が義務づけられている固定地点間の890MHz以上の電波の送受信状況を聞き取り調査等により明らかにする。

エ. その他の電波送受信施設の状況

国土交通省、NTT、防衛省、防災無線等、個別に調整を進めるべき電波送受信施設の設置状況を、文献その他の資料及び現地調査により明らかにする。

その他、必要に応じて、周辺の地形、土地利用、電波障害を発生させていると思われる建設物等の状況についても把握する。

(2) 調査地域

調査地域は、電波の伝播の特性を踏まえて、電波受信に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域とする。

(3) 調査地点

調査地点は、電波の伝播の特性を踏まえて（2）調査地域における電波受信に係る環境影響を予測し、及び評価するために必要な情報を適切かつ効果的に把握できる地点を選定する。

【解説】

(2) 調査地域

調査地域は、電波の伝播の特性を踏まえて、電波受信に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる地域とする。

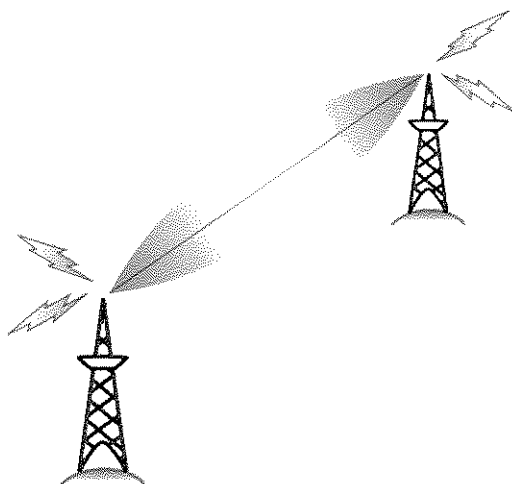
なお、調査対象範囲に接近した地域で、他の建造物ならびに地形などの影響がある場合は、これらの地域も調査地域とする。また、原則として地上デジタル放送局それぞれの出力に応じて行う。

(3) 調査地点

テレビジョン電波の受信状況については、テレビジョン電波を受信している住宅あるいは事業所のうち、電波障害の程度予測及び評価を行うことが適切かつ効果的と考えられる地点とする。

次に掲げる点について留意し、地点を選定する。

- ア. 事前に机上で予測を行った結果に基づき、電波障害を受けるおそれがあると判断された地点を対象とすること。
- ① 遮蔽障害想定地域における調査地点数は、原則として30～50m四方に1地点程度選定する。遮蔽障害範囲だけでなくその近傍も含める。
 - ② 反射障害想定地域における調査地点数は、原則として30～50m四方に1地点程度選定する。反射障害範囲だけでなくその近傍も含める。
- イ. 重要無線の状況については、対象事業実施区域が重要無線の指定地に近接する場合には、その近接する地点等を対象にフレネルゾーン等の調査を行う。



(解説) フレーネルゾーン
電波が持つ広がりのこと。

図3.3.1-1 フレーネルゾーン概念図

(出典) 牛山満(編著):『風力エネルギー読本』, 2005, オーム社

(4) 調査期間

調査期間は、電波の伝播の特性を踏まえて(2)調査地域における電波受信に係る環境影響を予測し、及び評価するために必要な情報を適切かつ効果的に把握できる期間、時期及び時間帯とする。

【解説】

(4) 調査期間

対象事業実施地域及びその周辺地域の実態に応じた適切な時期を選定し、1季以上について調査を行う。

(5) 調査方法

文献その他の資料及び現地調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析とする。

【解説】

(5) 調査方法

ア. テレビジョン電波（デジタル）の受信状況

- ① 受信特性測定器を用いて、その地域で受信しているすべてのチャンネルについて、建造物予測計算に必要な受信特性の測定を行う。
- ② 図3.3.1-2に示す電波受信状況測定車を用い、受信アンテナ端子電圧（75Ω 終端尖頭値を1μV（0dB）を基準としたデジベル表示に換算して表示し、映像周波数レベル）について測定を行う。
- ③ 測定器や地上デジタル受信機を用いてBER（Bit Error Rate）の測定をする。
（解説）BER：ビット誤り率。BERが 2×10^{-4} 以下であれば画質劣化がほとんど検知できない良好受信となる。
- ④ 全調査地点においてチャンネルごとにテレビジョン画像を受信し画像評価（表3.3.1-1を参照）を行う。ブロックノイズや画面フリーズの有無を確認する。
- ⑤ 全調査地点において調査する全てのチャンネルの品質を評価基準に従って評価する（表3.3.1-2を参照）。
- ⑥ 全調査地点において全チャンネルの品質評価等から受信の可否を判定する（総合評価、表3.3.1-3を参照）。
- ⑦ 必要によりチャンネルの受信画面及び調査地点の風景を撮影または記録する。
- ⑧ 測定器としては、テレビ受像機、端子電圧測定器及びアンテナより構成されるものを標準とし、必要に応じてその他の測定器等を接続する。測定時には、対象家屋周辺の路上において地上8～12mのアンテナを延ばして、受信状況を確認する。

表3.3.1-1 画像評価基準

評価表示	評価基準
○	正常に受信
△	ブロックノイズや画面フリーズあり
×	受信不能いっしょにするいっしょにする

表3.3.1-2 品質評価基準

評価表示	評価基準
A	きわめて良好：画像評価○で、 $BER \leq 1E-8$
B	良好：画像評価○で、 $1E-8 < BER < 1E-5$
C	おおむね良好：画像評価○で、 $1E-5 \leq BER \leq 2E-4$
D	不良：画像評価○ではあるがただし $BER > 2E-4$, または画像評価△
E	受信不能：画像評価×

表3.3.1-3 受信可否総合評価

評価表示 (地点ごと)	評価基準
I	個別受信可能と考えられる 品質評価すべて「AもしくはB」の地点
II	調査時は個別受信可能であったが、余裕度が少なく注意が必要である 品質評価の最低が「C」の地点
III	個別受信困難 品質評価に「DもしくはE」が含まれる地点

(出典：「建造物によるテレビ受信障害調査要領 (地上デジタル放送)」2010, (社) 日本CATV技術協会)

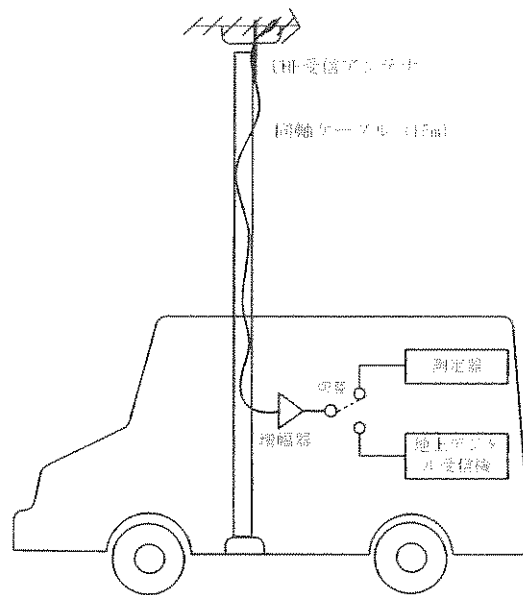


図3.3.1-2 電波受信状況測定車

(出典：「建造物障害予測技術～地上デジタル放送～」2003, NHK受信センター編)

表3.3.1-3 建造物障害の調査測定項目

調査測定項目	デジタル	使用測定器等
受信機入力端子電圧	○	レベル計, 電界強度測定器, スペクトラムアナライザー, 地上デジタル放送受信特性測定器
受信画質評価	○	アナログ受信機, デジタル受信機
受信画像写真	○	カメラ
振幅周波数特性波形	○	スペクトラムアナライザー, 地上デジタル放送受信特性測定器
BER	○	ビット誤り率測定器, 地上デジタル放送受信特性測定器
遅延プロファイル	△	遅延プロファイル測定器
MER (コンスタレーション)	△	MER測定器
余裕度		可変ATT
水平パターン	△	
ハイトパターン	△	
個別宅内調査	△	
ビル屋上調査	△	
受信形態調査 (個別)	△	

○：要測定項目 △：必要に応じて確認または測定する項目

(出典) (社) 日本CATV技術協会：『建造物によるテレビ受信障害調査要領 (地上デジタル放送)』, 2010年

イ. 重要無線の状況

重要無線の届出状況を、東北総合通信局に問い合わせをして、聞き取り調査を行う。

ウ. その他の電波総受信施設の状況

対象事業実施区域周辺に存在するその他の電波送受信施設の状況を、当該市町村が保有する資料あるいは現地調査によって整理する。

3.3.2 予測

- (1) 予測項目
風力発電所設置事業の実施による電波障害の範囲とする。
- (2) 予測地域及び予測地点
調査地域のうち、電波の伝播の特性を踏まえて電波受信に係る環境影響を受けるおそれがある地域、及びその環境影響を的確に把握できる地点とする。
- (3) 予測時期
発電所の運転が定常状態であり、適切に予測できる時期とする。

【解説】

(3) 予測時期

大型建設機械等による電波障害が想定される場合には、工事中についても予測対象とし、それらの最大使用時等とする。

- (4) 予測方法
実用式によるコンピューター・シミュレーション又は事例の引用若しくは解析とする。

【解説】

(4) 予測方法

理論計算による場合においては、一般戸別受信者の受信局電波到来方向を計算の上、理論計算式あるいは定性的な予測手法を用いて、障害発生が予測される地域の検討を行う。

- ① フラッター障害等についての障害の範囲は既存の類似事例から推定し予測する。
- ② 原則として、予測した障害範囲が住居と重なることをもって障害発生の基準とする。

対象事業実施に伴い発生しうる受信障害の実用式例を以下に示す。

なお、詳細な風力発電施設による障害予測は資料編 資料2「電波障害予測と事例」に示した。

ア. フラッター障害

風車羽根を通過する電波の強さを正確に求めるためには、複雑な計算が必要となるが、モデル化により概略値が計算できる。

モ:

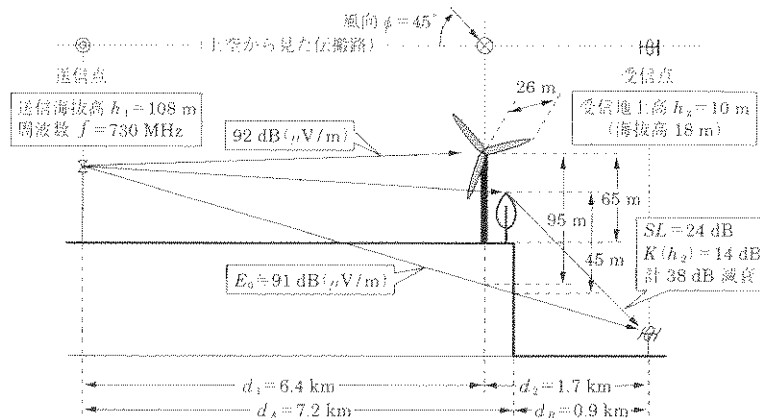


図3.3.2-1 計算上条件例

(出典) NHK受信センター編：『建造物障害予測技術～地上デジタル放送～』，2003年

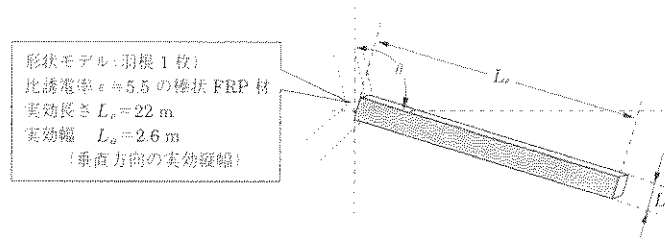


図3.3.2-2 モデル化した風車羽根

(出典) NHK受信センター編：『建造物障害予測技術～地上デジタル放送～』，2003年

受信点は送信点方向にある丘によってあらかじめ遮蔽されており，その丘の上に風力発電用風車が建設されるとする。風向 ϕ は送信点方向からの離角で，風車羽根は図3.3.2-2に示すように均一材質の角材とみなす。羽根の回転に伴って羽根のフレネル積分値と羽根入射波の受信点の電界強度比 E_x ，完全透過波に対する透過波の減少率（透過波減少率） α は変化するが，羽根は送受信点の見通し点より十分に高い位置にあり，羽根の回転角速度に対応した E_x と α の変化に対し，羽根のフレネル積分値は非常に速く変化する。このため，羽根のフレネル積分値は羽根の回転角 θ によって変化するベクトル量として扱うが， E_x と α はスカラー量の一定値として計算する。

これらの条件を基に風車後方の瞬間受信電界 E_L を求める計算式を以下に示す。

$$E_L(\theta) \approx E + 10 \log_{10} \{ (1 - E_x \cdot \alpha \cdot F_{Re})^2 + (E_x \cdot \alpha \cdot F_{Im})^2 \}$$

ただし，

$E_L(\theta)$ ：風車後方の電界強度 [dB (μ V/m)]

θ ：羽根の回転角

E ：風車建設前の電界強度 [dB (μ V/m)]

E_x ：羽根入射波と受信点の電界強度比

α ：透過波減少率

F_{Re} ：羽根3枚分のフレネル積分値の実数部

F_{Im} ：羽根3枚分のフレネル積分値の虚数部

デジタル波の場合でも，受信点で受信される電波は直接波と透過波の合成波であり，透過波の遅延時間が非常に短いため，その影響は受信機入力端子電圧の変動として現れる。受信機入力端子電圧が受信機の最低入力レベルを下回るような変動がある場合には障害となり得る。

(5) 予測結果

(1) 予測項目で挙げた各項目ごとに可能な限り具体的かつ定量的に記載する。引用箇所はその旨を示し，文末に文献目録を添える。

【解説】

(5) 予測結果

予測結果は，テレビジョン電波の受信状況については，電波障害が起こりうる範囲を，遮蔽及び反射に分類して図示することにより整理する。

重要無線の状況については，対象事業区域が重要無線の指定地に近接する場合には，その近接する地点付近のフレネルゾーンの範囲等を計算し整理する。

3.3.3 環境保全措置

(1) 環境影響評価手続き以前の環境保全措置の検討経緯

方法書の作成までに検討した環境保全措置の一連の検討結果とその内容について、時系列に沿って段階的に整理する。

【解説】

(1) 環境影響評価手続き以前の環境保全措置の検討経緯

環境保全措置は、方法書の検討段階やそれ以前の計画段階など、事業の早期段階からより良い環境配慮を志向する主旨で行うべきものである。したがって、準備書及び評価書段階で行う環境保全措置の検討に先立って、早期段階で検討した環境保全の考え方や環境配慮事項の検討内容について、時系列に沿った段階ごとの体系的な整理が必要である。

これらの内容は、以後の環境保全措置の検討内容の妥当性の根拠を明らかにすることから、準備書、評価書に具体的に記載する（図 3.3.3-1 参照）。

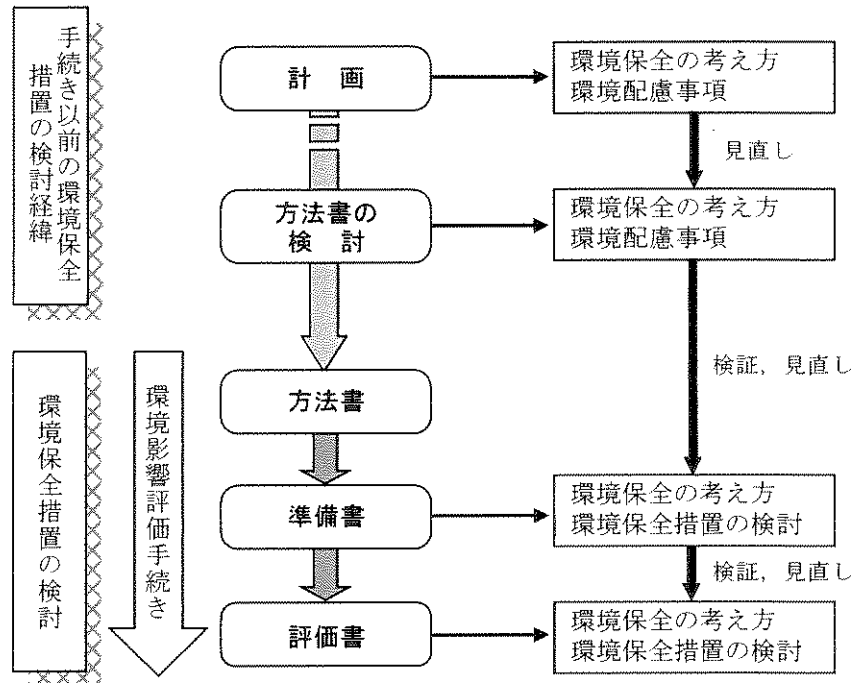


図 3.3.3-1 環境保全措置の検討経緯の流れ

(2) 環境保全措置の検討

対象事業の実施が、電波障害に影響を与えると判断される場合、事業者は実行可能な範囲内で選定項目に係る環境影響をできる限り回避、低減又は代償する。

【解説】

(2) 環境保全措置の検討

環境保全措置（回避・低減、代償）の検討を行うに当たっては、方法書で示した環境保全の考え方、事業特性、地域特性、影響予測結果等に基づき、保全措置の検討対象、検討目標、検討手順・方針等の保全方針を策定する。

環境保全措置の検討項目の例を以下に示す。

ア. 回避、低減に係る保全措置

事業者は、国又は関係する地方公共団体が示す基準又は目標の達成に努めるとともに、できる限り環境への影響を回避、低減する努力姿勢が求められる。

環境保全措置に関しては、

- ① 事業計画上配慮した施設の配置、規模、構造
- ② 供用後は施設等の管理方法

等について述べ、必要に応じてこれらによって事業による環境への影響がどの程度軽減されるかを検討し、明らかにする。

環境保全措置の検討項目例を以下に示す。

- 1) 計画施設の位置、高さのコントロール
- 2) 配置（向き）形状（凹凸壁面や湾曲壁面の採用）、壁面材料の変更
- 3) 高性能アンテナの設置

イ. 代償に係る環境保全措置

代償に係る環境保全措置として、次に掲げるものがある。

- 1) 共同受信設備、SHF放送局の設置
- 2) 既存ケーブルテレビ（CATV）への加入

(3) 検討結果の検証

環境保全措置についての複数の案の比較検討、実行可能なより良い技術が取り入れられているかどうかの検討その他の適切な検討を通じて、事業者により実行可能な範囲内で対象事業に係る環境影響ができる限り回避、低減又は代償されているかどうかを検証する。

【解説】

(3) 検討結果の検証

環境保全措置の複数案のそれぞれについて、以下の項目の検討と予測を行うことにより、実行可能な範囲で環境影響ができるだけ回避、低減又は代償されているかを検証する。

ここでは、複数案のそれぞれについて検討結果の検証手法と検証結果を示す。また、複数案のそれぞれについての検討結果及び検証結果は、「(4) 検討結果の整理」として整理し、さらに、複数案の比較検討結果は、「3.3.4 評価 (1) 環境影響の回避、低減又は代償に係る評価」で総合的にとりまとめるものとする。

なお、環境保全措置の検討とその効果の予測は、最善の措置が講じられると判断されるまで繰り返し行う事が望ましい。

ア. 複数案の比較検討と効果の予測

複数案の比較は、予測された環境影響に対し、複数の環境保全措置を検討した上でそれぞれ効果の予測を行い、その結果を比較検討することにより、効果が適切かつ十分に得られると判断された環境保全措置を採用する。

なお、環境保全措置の検討とその効果の予測は、最善の措置が講じられると判断されるまで繰り返し行う事が望ましい。

イ. 実行可能なより良い技術の取り入れ

実行可能なより良い技術とは、高水準な環境保全を達成するのに最も効果的な技術をいい、事業の計画、設計、建設、維持、操業、運用、管理、廃棄などに際して用いられるハード面の技術、およびその運用管理などのソフト面での技術を指す。

より良い技術が取り入れられているか否かの判断に当たっては、最新の研究成果や類似事例の参照、専門家による指導、必要に応じた予備的な試験の実施などにより、環境保全措置の効果をできる限り客観的に示すことが望ましい。

ウ. その他の環境要素への影響の確認

環境保全措置の実施による他の環境要素や検討対象への影響にも配慮する。特に、ある環境要素への影響の回避、低減又は代償策が、他の環境要素には悪影響となる場合もあるので、環境要素の関連性についても十分な検討を行う。

(4) 検討結果の整理

環境保全措置の検討に当たっては、その内容、効果、不確実性等について明らかにし、整理する。

- ア. 環境保全措置の実施主体、方法その他の環境保全措置の実施の内容
- イ. 環境保全措置の効果及び環境保全措置を講じた後の環境の状況の変化
- ウ. 環境保全措置の実施に伴い生ずるおそれのある環境への影響
- エ. 代償措置を講ずる場合の根拠と環境保全措置の妥当性

【解説】

(4) 検討結果の整理

環境保全措置の検討に当たっては、以下の事項について表 3.3.3-1 に示す検討結果の整理(例)などを用いて検討過程及び検証過程における内容も含め、可能な限り具体的に整理する。

ア. 環境保全措置の実施主体、方法その他の環境保全措置の実施の内容

環境保全措置の実施主体、実施方法、実施機関、当該措置の種類、位置などをできるだけ具体的に記述する。

イ. 環境保全措置の効果及び環境保全措置を講じた後の環境の状況の変化

環境保全措置の効果及び環境保全措置を講じた後の環境の状況の変化は、採用する環境保全措置を講ずる前後の予測結果を用いて、できる限り定量的にその効果をまとめる。

なお、実行可能なより良い技術かどうか、できる限り客観的に示し、必要に応じ当該環境保全措置の効果の不確実性の程度についても整理する。

ウ. 環境保全措置の実施に伴い生ずるおそれのある環境への影響

環境保全措置を実施することにより、その他の環境要素への新たな環境影響が、副次的に生ずるおそれがある場合は、その内容及び程度を示す。

エ. 代償措置を講ずる場合の根拠と環境保全措置の妥当性代償措置を講ずる場合

環境保全措置として代償措置を採用する場合には、環境影響を回避し又は低減させることが困難である理由を明らかにする。また、損なわれる環境及び環境保全措置により創出される環境に関し、それぞれの位置並びに損なわれ又は創出される当該環境に係る環境要素の種類及び内容について整理する。さらに、採用した代償措置の効果の根拠及び実施が可能と判断した根拠についても、学識経験者などの助言を踏まえ、整理する。

表 3.3.3-1 環境保全措置検討結果の整理（例）

実施者		
実施内容	保全措置の種類	注) 回避又は低減を優先し、代償の場合は回避・低減が困難である理由を記述する。また、代償の場合は、実施が可能と判断した根拠を記述する。
	実施項目	
	実施方法	
	実施期間	
	実施位置	
保全措置の効果及び変化		注) 代償措置の場合は、代償措置の効果の根拠を記述する。
不確実性の程度		
副次的な環境影響		

3.3.4 評価

(1) 環境影響の回避、低減又は代償に係る評価

環境保全措置の検討を行った場合には、その検討結果をふまえ、風力発電所設置事業の実施による電波障害に係る環境影響が、事業者によって実効可能な範囲内でできる限り回避又は低減されるか否か、さらに必要に応じてその他の方法により環境の保全についての配慮が適正になされているかどうかを評価する。

【解説】

(1) 環境影響の回避、低減又は代償に係る評価

ア. 事業者は、施設等の構造や配置、環境保全設備、工事の方法等の幅広い環境保全措置を対象として、複数の案を比較検討すること、あるいは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すること等の方法により、対象事業の環境に与える影響が回避、低減又は代償されているか否か、またその程度はどれくらいであるかについて評価する。

イ. 事業者は、環境保全措置に関して環境影響を最小限にとどめるよう、実行可能な範囲で最大限の努力を払ったか否かについて評価する。

複数案の比較に際しては、環境基準等の達成度合い、実行可能性、技術的な信頼性など電波障害に係る適切な比較項目を設定し、また必要に応じマトリックス評価表などを作成し、優劣又は順位付けができるよう可能な限り定量的な評価となるように工夫する。

複数の比較案のうち、全ての比較項目において優れた環境保全措置となる場合を除き、評価した理由を具体的に記述し、総合的な評価を行うものとする。

(2) 国又は関係する地方公共団体が実施する環境の保全に関する施策との整合性に係る評価

ア. 国が実施する環境の保全に関する施策（環境基準等）

イ. 県が実施する環境の保全に関する施策（環境基本計画等）

ウ. 市町村が実施する環境の保全に関する施策

【解説】

(2) 国又は関係する地方公共団体が実施する環境の保全に関する施策との整合性に係る評価

事業者が計画する環境保全措置について国又は関係する地方公共団体が実施する環境の保全に関する施策との整合性が図られているか否かについて評価する。

電波障害に関する環境基準等及び国又は関係する地方公共団体が実施する環境の保全に関する観点からの施策内容は以下のとおりである。

ア. 国が実施する環境の保全に関する施策（環境基準等）

- ①「電波法」（昭和 25 年法律第 131 号）
- ②「高層建築物による受信障害解消についての指導要領について（通達）」（昭和 51 年，郵政省（現総務省））

【参考文献】

- 1.（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構：『風力発電のための環境影響評価マニュアル（第 2 版）』，平成 18 年 2 月
- 2.（社）日本風力発電協会：『風力発電環境影響評価規程（JWPA 自主規制 Ver1.1）』，平成 23 年 5 月
3. 牛山泉（編著）：『風力エネルギー読本』，平成 17 年，オーム社
- 4.（社）日本CATV技術協会：『建造物によるテレビ受信障害調査要領（地上デジタル放送）』，平成 22 年
5. NHK受信センター編：『建造物障害予測技術～地上デジタル放送～』，平成 15 年

3.4 動物

風力発電所の設置に伴う動物への主な環境影響要因は以下のとおりである。

表 3.4-1 風力発電所の設置に伴う環境影響要因（動物）

影響要因	分類群			
	哺乳類	鳥類	両性・爬虫類	昆虫類
改変による生息環境の減少・喪失	●	●	●	●
騒音による生息環境の悪化	●	●	●	—
騒音による餌資源の逃避・減少	●	●	—	—
繁殖・採餌に係わる移動経路の遮断，阻害	●	●	—	—
ブレード，タワー等への接近・接触	—	●	—	—
夜間照明による誘引	●	●	—	●

出典：独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（2006）

このうち、既存のマニュアルで触れられていないブレード，タワー等への接近・接触（バードストライク）については、「鳥類等に関する風力発電施設立地適正化のための手引き（2011年1月）」に詳しいが、本マニュアルでは当該手引きの内容を要約して記載する。



【コラム】衝突リスクの高い地形条件

●水際線・断崖線

対象事業実施区域が水域に近接し、水鳥類の飛来（飛翔）頻度が高くなることが想定される場合、水域における飛翔特性を把握する必要がある。同様に、対象事業実施区域が断崖に近接し、猛禽類等の飛来（飛翔）頻度が高くなることが想定される場合、断崖における飛翔特性について把握するべきである。これらの地形においては、水際線や断崖線からの離隔距離という環境勾配に着目し、環境勾配に応じた飛翔頻度の変化を検討することが重要である。

なお、立地の検討にあたっては、断崖付近での風況特性も考慮する必要がある。

●山稜線

対象事業実施区域が山稜線に近接し、猛禽類等の渡りルートに相当する場合は、山稜線における飛翔特性について把握する必要がある。

とりわけ、季節別、気象条件別にみた渡りルートの変化、および飛翔高度、帆翔（ソアリング）や滑翔（グライディング）を行う場所等の分布を把握することが重要である。これらの結果をもとに対象事業実施区域における衝突リスクがどのような条件の下で高くなるのかを検討することが望ましい。

（出典）：鳥類等に関する風力発電施設立地適正化のための手引き

3.4.1 調査手法の選定

表 3.4-2 と表 3.4-3 に、対象事業区域の特性に基づく調査項目の選定表と、調査手法選定マトリックスを示した。ここで、渡り経路でかつ水際など、複数の要素を含む場合や、調査

の途中で新たな要素が発見・確認された場合も、各条件に対応する調査手法を立案する必要がある。

表 3.4-2 対象事業実施区域の特性に基づく調査項目選定表

対象事業実施区域およびその周辺は・・・	望まれる調査項目
1) 希少猛禽類生息地(イヌワシ、クマタカ、オオタカ等)である。	猛禽類の行動圏に関する調査を実施することが望ましい。
2) 鳥獣保護区に指定されている。	「鳥獣の保護を図るための事業を実施するための基本的な指針」に基づき指定区分 [※] された生息地に関する調査を実施することが望ましい。
3) シギ・チドリ類渡来地湿地目録に登録されている。	渡り経路、集結地、餌場と休息地の移動経路等に関する調査を実施することが望ましい。
4) シギ・チドリ類重要渡来地域に指定されている。	
5) ラムサール条約湿地に登録されている。	
6) 渡り経路、集結地、餌場と休息地の移動経路等である。	
7) 水際や断崖等、衝突リスクの高い地形条件が存在する。	水際や断崖等に関する調査を実施することが望ましい。
1)～7)いずれも該当しない。	空間飛翔調査を実施することが望ましい。
備考) 複数の条件が該当する、もしくは調査の途中で新たな要素が発見・確認された場合	それぞれの条件を満たす調査を実施することが望ましい。

※: 森林鳥獣生息地、大規模生息地、集団渡来地、集団繁殖地、希少鳥獣生息地、生息地回廊および身近な鳥獣生息地に区分される。

表 3.4-3 調査手法選定マトリックス

条件	対象種群	既存データ等	空間飛翔調査	飛翔軌跡調査	船舶レーダ(セオドライト)	測風経緯儀	レーダ距離計	月面調査 鳴き声調査	GIS解析	衝突 確率モデル	気流調査
保護上重要な地域	イヌワシ・クマタカ	生息分布2次メッシュ	●	●※	○	○	○	○	●※	●	○
保護上重要な地域	シギ・チドリ等をはじめとする水鳥類	渡来登録湿地、重要渡来地、ラムサール条約登録湿地を含む2次メッシュ	●	●	○	○	○	○	●業務、採餌、休息、飛翔経路等を整理	●	○
渡り経路	猛禽類(サンバ、ハチクマ、ノスリ、アカハラダカ)	渡り経路2次メッシュ	●	●	○	○	○	○	●軌跡、滑翔、休息場所等を整理	●	○
渡り集結地	ガン・カモ類、ハクチョウ類	渡り集結地2次メッシュ	●	●	○	○	○	○	●飛翔ルート等を整理	●	○
断崖	オジロワシ・オオワシ、水鳥類	オジロワシ、オオワシについては秋渡り、春渡りの2次メッシュ	●	●	○	○	○	○	●断崖からの着陸線を作成	●	○
水際線	鳥類全般	○	●	●	○	○	○	○	●水際からの着陸線を作成	●	○
山稜線	渡り猛禽類	渡り経路2次メッシュ	●	●	○	○	○	○	●軌跡、滑翔、休息場所等を整理	●	○
その他(猛禽類)	オオタカ等の猛禽類	オオタカについては、生息分布2次メッシュ 地元自治体関係部署 鳥類に関する有識者	●	●※	○	○	○	○	●※、※※	●	○
その他(オジロワシ・オオワシ)	越冬地(オジロワシ、オオワシ)、営巣地(オジロワシ)	越冬地については冬季2次メッシュ	●	●	○	○	○	○	●日中の行動圏等を整理	●	○
その他(夜間の渡り)	主に小鳥類	鳥類の関する有識者	○	○	○	○	○	○	○	○	○
上記に近接もしくは上記どれにも該当なし	鳥類全般	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○

●: 実施することが望ましい ○: 必要に応じて実施することが望ましい

※: 改訂版「猛禽類保護の進め方」

※※: オオタカ保護指針策定調査の結果について(環境省: <http://www.env.go.jp/press/press.php?techai=6660>)に分布情報等が掲載されている

(1) 空間飛翔調査

対象事業実施区域における空間の鳥類飛翔量(利用量)を推定するものである。対象事業実施区域が均一な環境の場合、推定は容易であろう。しかしながら、実施区域が様々な環境

を含む場合、各環境で飛翔量を観測し、実施区域の飛翔量（利用量）を推定する等の工夫が必要となる（たとえば、植生・地形・風車予定地等で類型区分し、類型区分別に調査地点を定める等）。調査者は一定時間内に飛翔した鳥類を観察・記録する（図 3.4-1）。観察には目視および双眼鏡を用い、出現した種、個体数、高度、時刻、行動状況等を記録する。調査時間は地点毎に 30 分間を目安とする。計画段階であると、風車が建設されていないため飛翔高度の把握は難しいが、たとえば、Morrison(1998)では、高度を 4 区分し、それぞれ A（明らかにブレード回転領域内）、B（回転域の縁）、C（十分に回転域より低空）、D（十分に回転域より高空）等とし、周辺に風況観測タワー等がある場合、一定時間毎にそれを参照するなどして、高度感覚の補正をおこなうとしている。

調査期間については、環境省(2008a, 2009a, 2010a)では毎月 1 回（1 回につき原則 2 日間）2 年間実施したが、カリフォルニア州ガイドラインの BUC(鳥類飛来頻度: Bird Use Count)は、週に 1 回、30 分の BUC の通年調査を求めている（和訳は環境省 2008e）。北野(Kitano2009)は、調査区域を断崖、丘陵地、山地に区分した上で、数地点を設定し、1 年 4 ヶ月の調査期間で、1 地点あたり延べ 50 時間の飛翔調査を実施している（表 3.4-4）。



図 3.4-1 Morrison (1998)に基づく高度区分の例

表 3.4-4 空間飛翔調査（利用状況調査）手法の概略

	調査期間・頻度	調査地点(数)	調査項目
カリフォルニア州ガイドライン	日中の時間帯のほとんど、気象状況を網羅しつつ、1 回/週、30 分間を 1 年間。	何もささげるものがなく、周囲の地形を見渡せる地点。地点数は 1 平方マイル (2.6 平方キロ) につき 1~1.5 個。	種類、個体数、距離、高度等を短い間隔（たとえば 30 秒毎）に記録。
スモールウッド・日本野鳥の会	定点カウントは 3~10 分、目視調査は 10 分~30 分。	建設予定地や既存の風車を見渡せる場所、半径 800 m~無限遠。	範囲を定めず、見える範囲の鳥類の確認位置を 1 分間毎にプロットする。
Morrison(1998)	施設計画の大きさ、想定される鳥類衝突、経費等によって定める。理論上、サンプリング間隔は 1 年間を通して、2 週間に 1 回である。	地形条件と配置計画案に基づくが、ひとつもしくは複数の施設を同時に調査できる場所。	地点番号と環境条件を記録し、そののち正確に 30 分間にわたって飛翔通過するすべての鳥類を記録する。複数地点の場合は、観測時刻、気象条件等が最終的に均一になるよう調査の順序を調整すること。
環境省(2008a,2009a,2010a)	毎月 1 回、1 地点につき、30 分を 2 回とし、2 年間実施した。	風車施設毎とし、半径をブレードの 2 倍、高さをハブ高にブレード半径の 2 倍を加えた円柱空間とした。	円柱を高度別に区分し、各高度を通過した個体数をカウントした。

【参考文献】

- 環境省(2008a)：平成19年度 風力発電施設バードストライク防止策実証業務報告書
(2008e)：平成19年度 風力発電施設バードストライク防止策実証業務—米国動向調査報告書—
(2009a)：平成20年度 風力発電施設バードストライク防止策実証業務報告書
(2010a)：平成21年度 風力発電施設バードストライク防止策実証業務報告書
Kitano M (2009) : An ecological study on the causes of bird collisions at wind farms in Tomamae, northern Hokkaido, Japan. Division of Environmental Science Development Graduate School of Environmental Science Hokkaido University (北海道大学 環境科学研究所 修士論文)
Morrison (1998) : Avian risk and fatality protocol
米国カリフォルニア州のガイドラン: California Guidelines for Reducing Impacts to Birds and Bats from Wind Energy Development (2007)

(2) 飛翔軌跡調査

定点調査を基本とする。各定点に調査員を配置し、相互に連絡を取りながら出現位置や飛翔軌跡を地図上に記録する。飛翔が確認された場合は、確認時刻、種名、飛翔高度(L：地表からブレード回転域より下, M:ブレード回転域, H:ブレード回転域より上。図3.4-2)、天気、風向・風速、確認状況等を記録する。飛翔高度区分の概念図を図3.4-2に示す。対象種は中～大型鳥類(ハト以上の大きさのもの)とする。

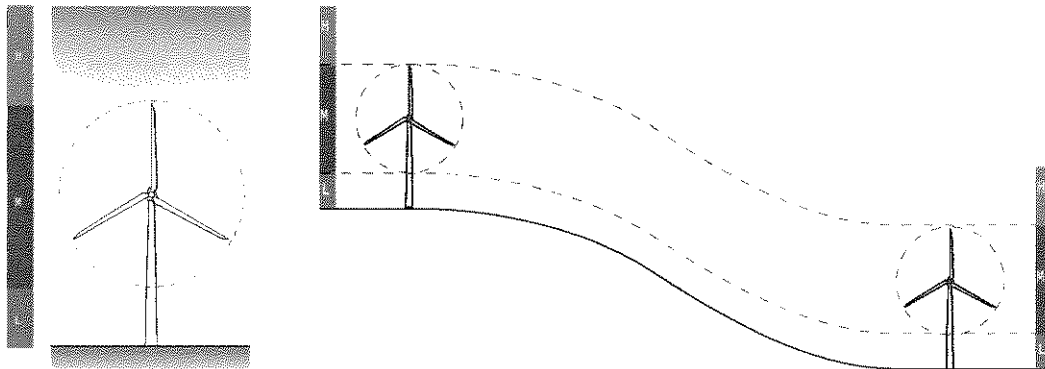


図 3.4-2 飛翔高度の区分の概念図

(3) 小鳥類の渡り(夜間調査)

国内において小鳥類の渡りに関する情報はほとんどなかったが、植田ほか(2008)の気象レーダと船舶レーダを併用した調査により、小鳥の渡りが徐々に明らかになりつつある。

早朝の渡りについては、目視及び鳴き声の聞き取りが簡単でかつ効果的な方法だが、夜間では用いることができず、その他の調査手法にも一長一短がある。

夜間における小鳥類の渡り調査手法として推奨される調査時期等を表 3.4-5、調査手法を表 3.4-6 に示す。

表 3.4-5 小鳥類の調査時期、調査時刻および天候

項目	概要
調査時期	渡りは春と秋を中心に行われるが、その季節的なパターンは地域によって異なっている。例えば、日本海側では春にも多くの鳥が渡るが太平洋側はそれほどでもない。気象レーダーに映るエコーの状況より各地域の渡りのパターンが分かっているので、近隣の地域での渡りの状況を参考に調査時期を決めることが望まれる(付表D ウィンドプロファイラによる鳥エコー出現状況)。
調査時刻	小鳥類の渡りは夜間に多いことがわかっている。また、渡りは日没後1～2時間後に本格化し、夜半から減少する。したがって、日没後1～2時間後から夜半にかけての時間帯に調査するとよい。ただし、夜明けにもピークが生じる場所もある。また夜間と早朝では渡っていく鳥の種が異なっているので、早朝にピークが見られない場所でも、調査を実施しておくことが望まれる。
調査時の天候	雨天の渡りは少ない。追い風(春なら南系の風、秋なら北系の風)が吹くことの多い地域では、追い風の吹いている日に、あまり吹かない地域では風の弱い日に多く渡ることが知られている。したがって、そのような天候時に調査を行えば、より多くの記録を得ることができる。

表 3.4-6 夜間における小鳥類の渡り調査手法

調査手法	概略
船舶レーダ	船舶レーダ上に映る鳥類からの反射エコーを数える方法である。2km程度の範囲の鳥類を捕捉することができ、霧が出ていても観測が可能なので、対象事業実施区域およびその周辺における渡りの規模を知る上では最も効率的な手法である。通常は水平回転だが、縦回転にすれば飛翔高度の観測も可能になる。 実際に船舶レーダを設置する場合には、電波法により「無線局の開設」に関する総務大臣の免許を必要とするほか、その操作にあたっては無線技師免許等が必要である。
鳴声の聞き取りの調査	夜間に渡る小鳥類は、飛翔中に鳴き声を発することが多いため、その声を聞き取り・記録する方法である。特別な機材を必要とせず、種の識別が可能なのが利点である。 しかしながら、小鳥が上空を通過したときに必ずしも鳴くとは限らないこと、周辺の騒音等の影響を受けると高高度の鳴き声は聞き取れないことから、定量的な調査には不向きである。
鳴き声の録音・解析調査	指向性の高い集音マイクで鳴き声をサンプリングし、スペクトル解析をすることで種の判定、個体数を推定するものである。米国では様々なデバイスが開発されているが、国内における風力発電事業での調査実績はない。
月面を通過する鳥のビデオ録画	月面をビデオで録画し、その前面を通過していく鳥類を数える(ビデオ録画)方法である。数を把握する上では効率的な手法といえる。 しかしながら、月が出ていない時には使用できないこと、月を録画し続けるには自動追尾装置が必要なこと、種の識別が困難なことなどが欠点である。
赤外線サーモグラフィによる調査	温度の違いを映像として記録することのできる赤外線サーモグラフィ(によるビデオ録画)を使用して、周辺を通過する鳥類(恒温動物)を記録する。分解能が低く近傍を通過する鳥類しか記録できないこと、機材費が高いこと、種の識別が困難なこと等が欠点である。風車近傍を飛翔する鳥類(あるいはコウモリ)の概数を把握するという目的には合致する。



【コラム】ウィンドプロファイラーについて

環境省(2008d)および植田ほか(2008)によれば、気象庁ウィンドプロファイラの鳥エコー頻度と4種類の野外調査手法(夜間の鳴き声調査, 早朝の通過鳥調査, 月面通過鳥調査, 船舶レーダ調査)はいずれの手法で得た鳥の飛行頻度の結果とも有意な正の相関が認められた。このことから、ウィンドプロファイラの鳥エコーは、実際の鳥類からの反射であって、時期および行動から渡りの頻度を反映している、と結論した。ただし、船舶レーダの結果のうち早朝のものは船舶レーダで捉えた鳥の数と比べて、「鳥エコー頻度」が低い傾向にあり、早朝におけるウィンドプロファイラの「鳥エコー頻度」は鳥の渡りを過小評価している、と考察している。

(出典): 鳥類等に関する風力発電施設立地適正化のための手引き

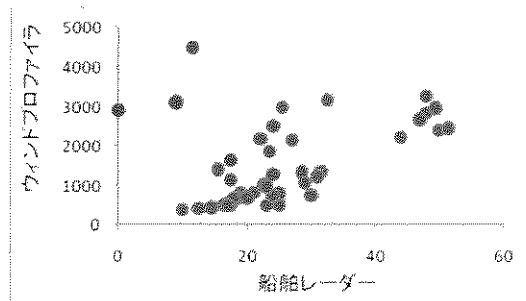


図3.4-3 ウィンドプロファイラと船舶レーダの渡り鳥エコー頻度の比較

(1時間値: 環境省2008d)

Kendall の順位相関 $P=0.0004$ 最下図の赤い丸は、朝6時以降のデータを示す

3.4.2 衝突リスク解析

衝突リスク解析とは、調査結果を用いて「風車への接触(衝突)の可能性を解析する」ことをいう。解析例として「①衝突確率モデル等を用いた衝突数の予測」、「②飛翔頻度の高い地域の把握(飛翔ポテンシャルマップ)」、供用後ならば死骸調査を踏まえた「③衝突数の推定、衝突リスク指数の把握」、「④衝突リスクポテンシャルマップ」等を参考とする。

衝突率は飛翔頻度に依存すると考えられるため、飛翔頻度を用いて衝突数の予測を試みることは衝突リスク解析のひとつといえる(=衝突確率モデル)。したがって、飛翔頻度の多い場所、地形、地域は、頻度の少ない場所に比べ、相対的に衝突リスクが高くなることが予想される。飛翔頻度が主に地形条件等の環境要因に依存するなら、そのような環境要因を抽出・整理することで、衝突リスクの高い場所を把握することができる(=飛翔ポテンシャルマップ)。

事後(死骸)調査で衝突数が判明すれば(=衝突数の推定)、衝突リスク指数=推定衝突数/飛翔頻度と定義することで、衝突しやすい、または衝突しにくい鳥類種の把握が可能に

なる。さらに、死骸が発見された場所の地形条件を解析することによって、飛翔頻度の高い地形条件を把握することができる（＝衝突リスクポテンシャルマップ）。

(1) 衝突確率モデルを用いた衝突数の解析

衝突確率モデルを用いることで予測衝突数が得られることから、保全措置の検討や利害関係者間におけるリスクコミュニケーションが必要とされる場合、有効である。その際、解析にあたって採用した確率モデルやそのパラメータについての説明が必要である。数理モデルの取り扱いに不慣れな場合は、専門家の指導を受けることが望まれる。モデルの精度を野外で検証した例は少ない。予測結果を検証し、精度を上げるためにも、事後調査を実施する必要がある。

なお、風車への衝突数を予測するため、衝突確率モデルがいくつか考案されている。それらのモデルの中では、対象とする種が風車の回転ブレードを通過しようとする時に、ブレードに接触（衝突）する確率を求めるものが使われる。Tucker（1996）の確率モデルが最も早く、それ以降、Desholm et al（2006）、Desholm & Kahlert（2005）、Smales & Muir（2005a）、Smales & Muir（2005b）、Smales（2006）、Band et al.（2007）、Whitfield（2009）、Whitfield & Madders（2006）等があり、日本でも、杉本・松田（2008）がガンカモ類を対象にした衝突確率モデルを提案しているが、現段階（平成21年）で、汎用性の高いモデルは提唱されていない。リスクコミュニケーションにおいては、解析にあたって採用した確率モデルや回避率等のパラメータについて十分な説明が必要である。モデルの精度を野外で検証した例は少ない。予測結果を検証し、精度を上げるためにも、事後調査を実施する必要がある。

(2) 飛翔頻度の高い地域、衝突リスクの高い地形条件の把握

飛翔調査結果と地形要因等から、統計モデルを用いてメッシュ解析を行い、飛翔ポテンシャルマップの作成を試みることは、飛翔ポテンシャルに寄与する環境要因（＝地形要因）を検討する上で、有益な情報が得られる可能性がある。

統計モデルにおいて、応答変数（飛翔軌跡）は、（様々な環境要因）の説明変数の関数として説明される。一般に、重回帰モデルやポアソン回帰モデルなどが知られているが、飛翔軌跡は空間的自己相関*を伴うことがある。これを回避するためには、空間的自己相関が解消されるメッシュサイズ**で解析を行うか、空間的自己相関を考慮した統計モデルを用いる。これには空間的自己回帰モデル（SAR）や地理加重回帰モデル（GWR）等があるが、結果の解釈は難しくなる。

また、供用後の事後調査（死骸調査）等の調査結果から、衝突事象の発生しやすい地形条件をあらゆる衝突リスクポテンシャルマップの作成も可能である。これについてはエントロピー最大化モデル（maxent）等も勧められる。

本解析は、GIS（Geographic Information System：地理情報システム）に関する基本的な知識・技術を必要とする。解析手順の概要を表3.4-7に示す。

表3.4-7 解析手順の概要

項目	概要
a. 飛翔軌跡データ収集	[飛翔軌跡] 現地調査から対象種の飛翔軌跡データを収集する。
b. 環境要因データ収集	[地形条件] (標高, 傾斜度, 斜面方位) は, DEM*から作成する。 [植生]環境省HPもしくは現地調査からポリゴン(多角形)データとして整備する。
c. データ整備	[メッシュポリゴン]メッシュ格子を用意。 [飛翔軌跡]メッシュ格子を用いて, 1.の飛翔軌跡データを切断(オーバーレイ)し, メッシュの属性に飛翔軌跡頻度として加える。 [地形条件]メッシュ格子と地形条件を重ね合わせ(オーバーレイ), メッシュ属性に地形条件データを加える。 [植生]メッシュ格子と植生を重ね合わせ, メッシュ属性に植生群落名等を加える [その他]離岸距離, 断崖線および山陵線からの一定距離圏(バッファリング)は必要に応じて求めておき, メッシュ属性に加える。
d. データの検討	散布図行列を作成し, 飛翔頻度とそれぞれの環境要因の分布を概括する。
e. 統計モデルによる解析(1)	重回帰モデル, ポアソン回帰モデルによる解析を行う。
f. 空間的自己相関の検討	空間的自己相関(モラン指数等)を用いて, 飛翔軌跡データの検証を行う。
g. 統計モデルによる解析(2)	空間的自己相関が認められた場合, 空間的自己回帰モデル, 地理加重回帰モデル等による解析を行う。
h. 解析結果の検討 (重要因子の抽出)	得られた統計モデルの結果から, 飛翔頻度に影響を与える環境要因を抽出する。
i. 飛翔ポテンシャルマップ作成	構築されたモデルを用いて, 予測値を作成し, ポテンシャルマップを得る。
j. 衝突リスクポテンシャルマップの作成	死骸の発見場所と環境要因データから, 衝突の発生し易い場所を推定する。

*空間的自己相関:ある空間スケールにおいて隣接する場所で類似パターンがあらわれること。飛翔軌跡をメッシュ解析すると, 軌跡上のメッシュは連続(隣接)することとなるため, 空間的自己相関が生じる。

**モラン統計量などを指標として, メッシュサイズを段階的に変更し, ランダム分布に近づいてきた頃合いをみて, そのメッシュサイズで解析すると, 空間的自己相関の影響を軽減して処理することができる。

3.4.3 環境保全措置

(1) 風車の配列

風車は, 鳥類の主要な飛翔方向を妨げないように配列するような計画とする。また, 風車の立地は, 水際線や断崖線から, ある程度離隔させるよう見当することが望まれる。

(2) 風車ブレードの彩色

衝突が懸念される場合, あらかじめブレードに彩色を施すことで, 背景とのコントラスト比が増して視認性が高くなり, 衝突リスクの低減が期待できる。

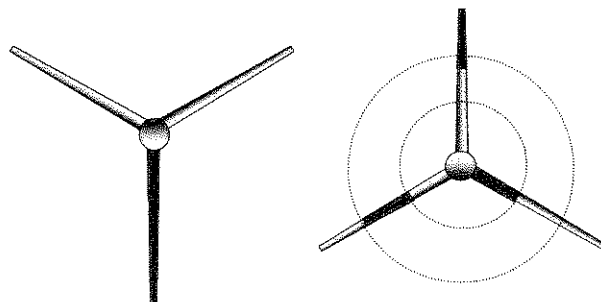


図 3.4-4 風車ブレードの彩色案 (左: 一枚彩色, 右: 三枚彩色)

(3) ライトアップの抑制

ライトアップは、渡り時期の荒天時（濃霧・吹雪等を含む）には運用を控えたほうがよい。米国における通信鉄塔やカリフォルニア州風力発電施設のガイドライン資料には、ライトアップが鳥類を誘引し衝突リスクを高めることが示されている。また、国内においても、国立・国定公園内での取り扱いは慎重に取り扱うべきとの考え方があり、荒天時の夜間にライトアップした施設において、鳥類の衝突が増加した事例も確認されている。ツグミとヒヨドリを用いた室内実験では、暗視下でも風車を視認することを示唆する結果が得られている。

また、ライトアップが昆虫類を誘引することで、それを餌とする夜行性鳥類やコウモリ類も誘引される可能性にも留意することが望ましい。

(4) 弾力的な運用管理

鳥類の渡りルート、集結地、休息地等、一時的に飛翔の密度が高くなり、衝突リスクが高まることが懸念される場合には、飛翔状況をリアルタイムで監視することで、風車を弾力的に管理運用するような検討が望まれる。また、濃霧・下層雲の発生に伴い、視程が悪化することにより衝突リスクが懸念される場合にも、視程をリアルタイムで監視しながら、弾力的に管理運用するような検討が望まれる。

(5) 案山子・反射テープ

対象事業実施区域が留鳥性猛禽類の餌場となり、衝突リスクが高まることが懸念されている場合に保全措置の検討が望まれる。対象とする猛禽類によって、飛来低減の効果が異なる点に留意して活用すること。単独の手法にとどまらず、(4)、(6)を踏まえ総合的なリスク回避・飛来低減策を検討する必要がある。

(6) 植生および環境管理

対象事業実施区域が留鳥性猛禽類の餌場となることを想定したものである。対象事業実施区域に生息するとされる餌動物の特性を把握した上で、植生・環境管理を行う。たとえば、イヌワシを例にとると、イヌワシの餌資源であるノウサギを誘引させない植生環境づくりや、風車本体をイヌワシが好む伐採地跡から隔離、あるいは伐採跡地を増加させない森林管理なども検討されてよい。なお、単独の手法にとどまらず(4)、(5)を踏まえ、総合的なリスク回避・飛来低減策を検討する必要がある。

3.5 景観

調査、予測はフォトモンタージュ等の視覚的資料を用いて行うことを基本とする。

3.5.1 調査

調査すべき情報は、既存の環境影響評価マニュアルに従い

- ア 主要な眺望点の状況
- イ 景観資源の状況
- ウ 主要な眺望景観の状況
- エ 主要な圍繞（いによろ）景観の状況

とする。このうち、表 3.5-1 に眺望点の状況確認に際しての把握項目・内容・方法等を、表 3.5-2 に眺望景観の現地確認の把握事項・内容・方法を示す。

表 3.5-1 眺望点の状況確認に際しての把握項目・内容・方法等

把握項目	把握内容	把握方法・備考等
位置情報	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地図上の位置 ・ 標高 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地形図や公園計画図等を用いて把握する。 ・ 把握には標準的に国土地理院の 1/25,000 地形図を用いる。 ・ 例えば山中の歩道上等、地図上で正確な位置の特定が困難な場合は、適宜空中写真(ネット上で各種公開)やGISを用いた座標取得により把握する。
施設の状況	<ul style="list-style-type: none"> ・ 展望台等の施設の状況 ・ 展望地内で眺望利用が生じる箇所の高さ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現地観察や関係者へのヒアリング調査等により把握する。 ・ 展望台等の施設の場合は、実際に眺望利用が生じる場所の高さ(施設設置標高+施設高さ)を把握(現況写真の撮影を含む)
利用の状況	<ul style="list-style-type: none"> ・ 利用者数、利用形態、利用多い時期・時間帯等 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 展望地の利用重要性の評価や、利用上重要な時期・時間等を確認するのに用いる。 ・ 地方自治体の観光統計等の資料、施設管理者からのヒアリング調査等により把握する(利用状況の分かる現況写真があるとよい)

出典：国立・国定公園内における風力発電施設の審査に関する技術的ガイドライン, 2013年3月

表 3.5-2 眺望景観の現地確認に際しての把握項目・内容・方法等

把握項目	把握内容	把握方法・備考等
眺望範囲	・眺望点から眺望が開けているすべての方向	・眺望が開けている方向（方位や角度）を確認し、地図上への図示や現況写真撮影により記録する
主眺望方向	・眺望範囲の中で眺望範囲が視認される方向、方位	・現地確認や利用者の行動観察により、眺望範囲の中で特に眺望の対象として眺められる方向や範囲（方位・角度等）を把握し、地図上への図示や現況写真撮影により記録する。 ・当該眺望点を紹介したガイドブック、現地に設置された解説板等に掲載された写真や図版等も参考にすると良い。
眺望対象	・当該眺望点からの眺めの主題となる対象の分布範囲	・把握した主眺望方向の中で、眺望の主題となっている対象を特定し、その具体的な分布範囲、眺望範囲内における位置や視認方位等を地図や写真上に記録する。
眺望構成要素	・眺望範囲の眺めを構成する（特徴となる）重要な要素（地形、地物、地被等）、眺望視野内の位置等	・各眺望点の眺望の状況に応じて下記に例示する要素（眺望範囲内における視認位置や分布範囲、規模（≒見込角））を把握・記録する。 ○スカイライン ⇒ [技術解説6] 参照 ○支配線 ⇒ [技術解説7] 参照 ○眺めの骨格をなす要素 ⇒ [技術解説8] 参照 ○基調をなす（眺望範囲を主に構成する）色彩 ○主要な人工物（市街地、大規模な建築・工作物、特に風車に類似する鉄塔や煙突等）の分布・視認状況

出典：国立・国定公園内における風力発電施設の審査に関する技術的ガイドライン, 2013年3月

[技術解説6] 眺望構成要素 … スカイライン

- ・「スカイライン」とは、山並みや地物、建築物群等が空と画する輪郭線を指すが、眺めの広がりや規定する機能を持つことから、眺望を構成する極めて重要な要素となる。
- ・ただし、空との輪郭線となっていない山稜線等であっても、眺めの空間的広がりを規定する境界となる等、重要な意味を持つものは、スカイラインと同等に取り扱うことが望ましい。
- ・また、スカイラインまでの視距離が大きく、気象や太陽光線等の状況によってその存在がほとんど分からなくなる（空と同化する）ような場合は、より手前にある地物が実質的にスカイラインとしての機能を持つことになる。



■空と画する輪郭線を基本とするが、スカイラインまでの視距離が極端に大きい場合は、より手前の稜線等を実質的なスカイラインとし捉えることが必要

図5 スカイラインの捉え方

[技術解説7] 眺望構成要素 … 支配線

- ・ 支配線は眺望視野全般において眺めの大まかな形やシルエット、方向性等を規定する線状の要素を指し、前項で解説したスカイラインも支配線の一種である。
- ・ 自然景観において支配線となりうる要素を下記に例示したが、地形や植生等の地物、人工物等のうち、線的なもの、面的なもの境界部等があげられる。
- ・ スカイラインが眺めを構成する極めて重要な要素となることから分かりますとおり、支配線もスカイラインに準じた重要な要素となる。

■地形

- ・ 稜線(尾根、スカイライン)
- ・ 河川、河谷(谷筋)
- ・ 地平線、岬等の平坦または一定傾斜の地形
- ・ 海岸/湖岸
- ・ 水面/水平線
- ・ 断崖、段丘等の崖線
- ・ 地形変換線(傾斜の急激な変換点) など

■地物・人工物

- ・ 植生界、土地利用界
- ・ 樹林の樹冠
- ・ 道路、線路、堤防、防波堤等の線的構造物
- ・ 家並み など

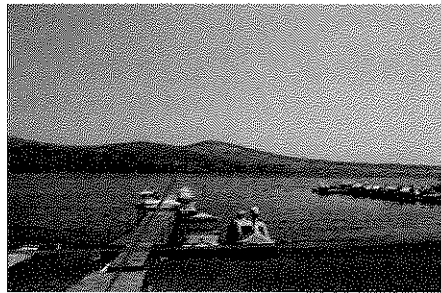
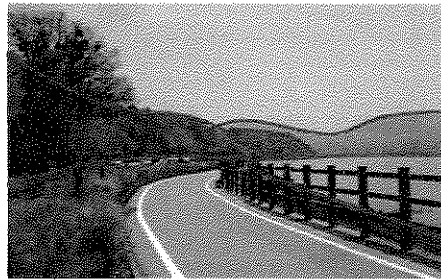


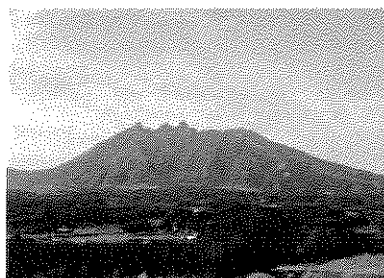
図6 景観の「支配線」となる要素の例

[技術解説8] 眺望構成要素 … 眺めの骨格構造をなす要素

- ・ 眺めは、それを構成する要素の状況によってまさに千差万別であるが、眺めの大まかな骨格、全体像を決定づける要素は、ランドマーク/エッジ/パス/ディストリクト/ノードの5つに区分して捉えることができる。
- ・ 人間の興味(目線)は、こうした眺めの骨格を構成する要素やその境界部に行きやすい特性があるため、眺望を保全するためにはこうした骨格をなす要素に人工物が介在しないようにすることが重要となる。

ランドマーク (Landmarks/目標・目印)

- ・ 眺望景観における目標物や目印となる要素であり、特に視線の集まりやすい景観の「図」となる要素(視対象)として重要である。
- ・ 自然風景地においては山稜や岬等の地形的要素がこれにあたるケースが多いが、集落地の風景においては、特徴的建造物や鎮守の森のようなまとまった樹林、巨木等が対象となる。



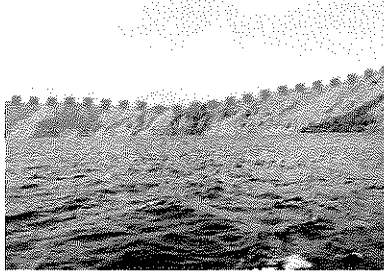
■独立峰(阿蘇くじゅう国立公園)



■社寺(日光国立公園)

エッジ (Edges/境界)

- ・山稜、海岸、河川、樹林縁、その他面的な土地利用の境等、眺めの空間的広がりを規定する境界となる線状の要素で、「スカイライン」も「エッジ」の一種である。
- ・自然風景地においては稜線や樹林の上端外郭線等がこれにあたるケースが多いが、集落地等の人工的要素で構成された景観においては、家並み等の人工物によってスカイラインが形成される場合もある。



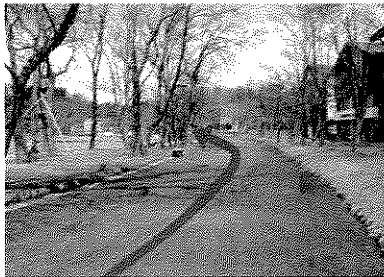
■山並み(十和田八幡平国立公園)



■家並み(伊勢志摩国立公園)

パス (Paths/視軸)

- ・道路、歩道や、河川、海岸、湖岸等の視線が通りやすい要素。
- ・「場の景観」において例えば遊歩道や河川、海岸の堤防沿いの道路等、連続した「視点」となるケースが多い。



■歩道(十和田八幡平国立公園)



■河川(伊勢志摩国立公園)

ディストリクト (Districts/独立空間)

- ・等質性のある景観的なまとまりをもって、面的な広がりを有する空間。
- ・例えば凹地や鞍部、浜等の独立した地形域、一団の植生地や集落地、農地等がディストリクトとして認識されやすい。



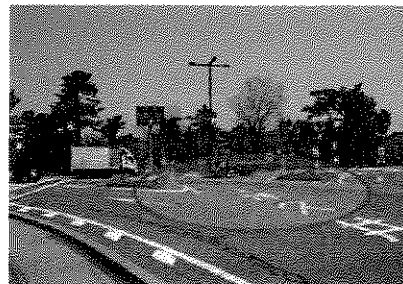
■湿原(十和田八幡平国立公園)



■浜(伊勢志摩国立公園)

ノード (Nodes/結節点)

- ・パス、エッジ、ディストリクト等の接合するポイント。
- ・例えば河川や岬等の地形の合流点、集落地の入口や集落地内の主要な交差点、中心的広場等が挙げられる。
- ・それ自体が眺望対象として興味を持たれることは少ないが、視線が集まりやすい場所ではある。



■主要な道路の交差点(富士箱根伊豆国立公園)

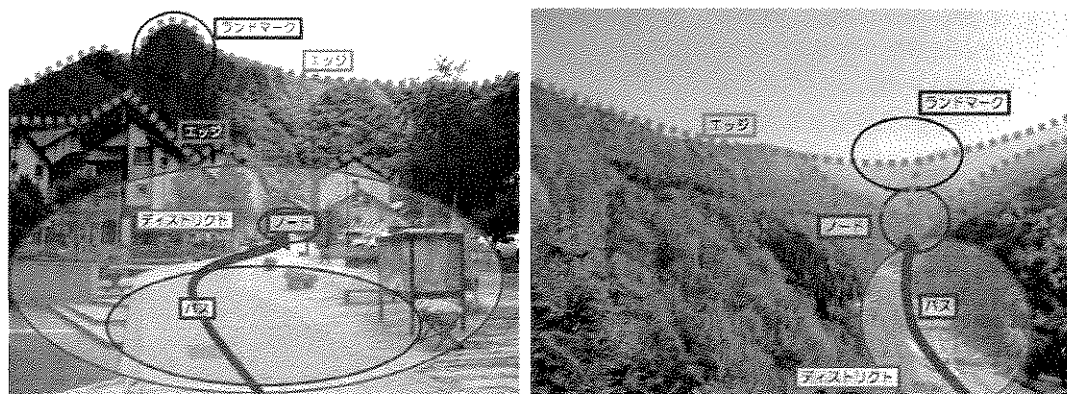


図7 「眺めの構成要素」の把握例



フォトモンタージュの作成上の留意点

- ・ フォトモンタージュは、景観変化の程度を視覚的に示す情報として環境アセスメントにおける景観分野では一般的に用いられており、特に近年のCG（コンピュータ・グラフィック）や写真合成技術の進歩が著しい。
- ・ しかし、合成に用いる写真の内容（撮影地点、画角、アングル、撮影季節等）や、合成する構造物の描画内容（コントラストや色あい等）、合成の正確さ等によって、大きく印象が異なるものとなってしまう。
- ・ このような問題点をふまえ、フォトモンタージュを作成する際には、通常の範囲内で「最悪条件」（風力発電施設の見えやすさ、目立ちやすさが最大となる状態）を想定したモンタージュを作成するよう留意する。

作成したフォトモンタージュが適切かつ正確なものであるかを確認するためのポイントは以下のとおりである。

- ・ 適切な現況写真を用いているか？（風力発電施設が最も見えやすい時期・天気・時刻。水平画角 60° 程度、かつ画角が明らかにされている。視点付近の障害物の写り込みがない）
- ・ 視認される可能性があるすべての工作物、木竹伐採域、地形改変域等が描写されているか？
- ・ 風力発電施設の出現位置は正確か？
- ・ 風力発電施設の規模（垂直見込角）は正確か？
- ・ 地形や植生等による見え隠れは正確に表現されているか？
- ・ 色彩等は実際に採用予定のものを的確に表現しているか？

出典：国立・国定公園内における風力発電施設の審査に関する技術的ガイドライン

3.5.2 予測

予測は、フォトモンタージュ等で作成した視覚的資料を用いて行う。予測にあたってフォトモンタージュの作成方法の違いによる見え方の変化事例を以下に示す。

<使用する写真>

○最近1年以内の晴天時に撮影したもの

…言うまでもなく可能な限り最近の、かつ視程がよい天候時の写真を用いる必要がある。特に風力発電施設の背景が空となるケースでは、背景が快晴状態か曇天状態かで見え方の印象は大きく異なるため、最悪条件を考慮し、風力発電施設と背景とのコントラストが強く出る晴天時の写真を用いる必要がある。



注：本図は、状況をわかりやすく解説するためのものであり、眺望への支障の有無を表したものではない。

■晴天の場合(くっきりと見える)

■曇天の場合(背景の空と同化し、見えにくい)

写真16 写真の天候の違いによる見え方の変化

○落葉時を含め、可能な限り四季を通して撮影したもの

…事業計画地周辺の樹林が落葉樹の場合、展葉期・落葉期で風力発電施設の見えの程度が大きく変わる場合があるため、最悪条件を考慮し、落葉期の写真を用いることが必須である。また、季節によって基調をなす色彩が大きく変化することから、モンタージュは四季を通じて撮影した写真で複数点作成することが望ましい。特に積雪地で、積雪期も利用がある場合は、積雪期の状態でのモンタージュ作成も行うことが望ましい。

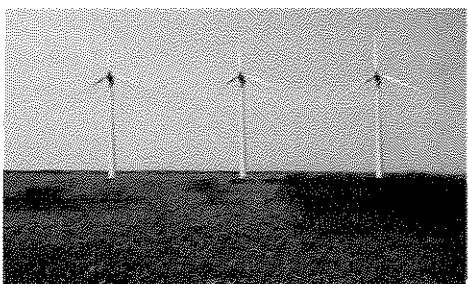


■展葉期(葉によってほとんど見えない)



■落葉期(足下含めて風車全体が見える)

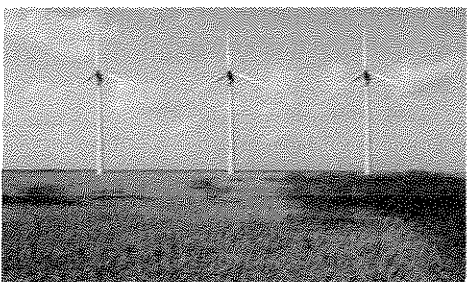
写真17 季節(展葉・落葉)の違いによる見え方の変化



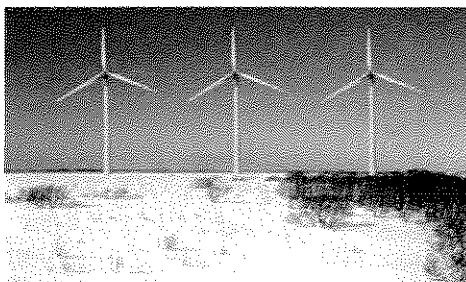
■春 季



■夏 季



■秋 季



■冬 季

写真18 四季を通じた基調となる色彩の変化に応じた風車の見え方の変化

…実際の見た目に近いモンタージュと
 するためには、人間の通常の視野角（[技
 術解説-02] 参照）に近い写真を用いる
 ことが必要である。また、作成された
 フォトモンタージュに描画された工作
 物等の見込角を計測するためには、写
 真の撮影画角が何度であるかを知る必
 要があることから、事業者がモンタ
 ージュを提出する際には、必ず使用し
 た写真の画角を明記することが必要で
 ある。なお、展望地の視野が広範囲に
 開けている場合は、あわせて眺望範囲
 全体を撮影した写真を用いたモンタ
 ージュも作成するとよい。

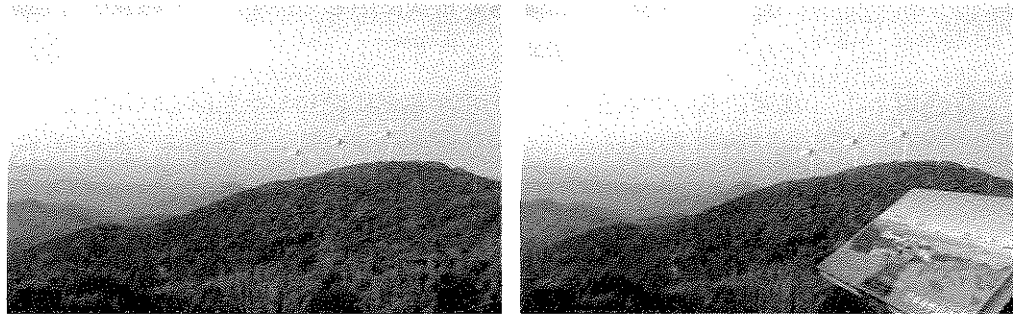
写真19 画角の違いによる見えの違い

注：本頁に掲載した図は、状況をわかりやすく解説するためのものであり、眺望への支障の有無を表したものではない。



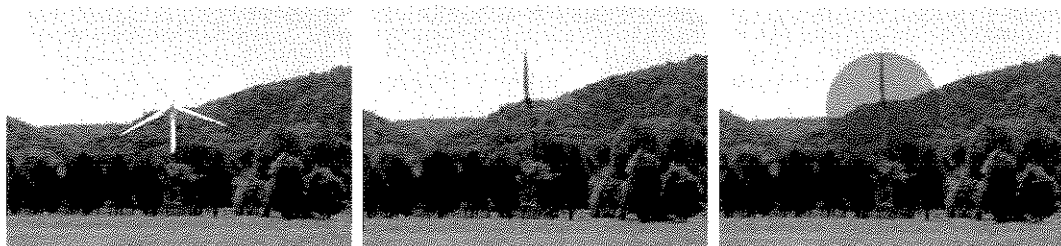
○視点付近の障害物がない状態で撮影したもの

…写真に既存の人工物がどの程度写り込んでいるかで、フォトモンタージュの印象は大きく変化する場合があります。このため、視点付近の人工物・障害物（例：展望施設、東屋、電柱、電線、標識類、自動車等）の写り込みを極力避けた写真を用いる。



<合成する風力発電施設>

- 風車だけでなく、一連の事業で設置されるすべての工作物、地形や植生の改変地もれなく描画されたものである必要がある。
- また、風力発電施設のように塔状で面的規模の小さい工作物の場合、合成する工作物の色合いや光の当たり具合等を僅かに変化させただけでモンタージュ上の見え方は大きく変化する。
- さらに風力発電施設はブレードが回転するという特殊な工作物であり、静止状態と回転状態で実物の見えの印象は大きく変化するが、モンタージュでは静止状態しか表現できない。
- このため、構造物本体に加え、ブレード先端の軌跡の内側を目立ちやすい色彩で着色することで風車の「見えの大きさ」を的確に表現した確認用画像を作成することが望ましい。



■白

■目立ちやすく赤く着色

■ブレード軌跡内側を含めて赤く着色

※静止状態ではスカイラインをそれほど大きく越えていないように見えるが、軌跡(面)で捉えると実際にはブレードの上半分がスカイラインを上回る状態であることが明確に分かる。

写真21 通常のモンタージュと確認用画像との表現性の差異

注：本頁に掲載した図は、状況をわかりやすく解説するためのものであり、眺望への支障の有無を表したものではない。

3.5.3 環境保全措置の考え方

景観における環境保全措置としては、主要な眺望点からの眺望に対して、風力発電施設の設置による支障をできる限り小さいものとするために必要な措置を立案するものとする。

保全措置としては、大きくは以下に例示する3つの観点から立案するが、既往の知見や事例を参考に、眺望特性に応じた適切なものを選択し、科学的かつ具体的に立案する必要がある。

各観点の詳細については、資料編 資料-3「眺望景観保全のための措置の立案」として示した。

<環境保全措置立案の観点>

- ①規模 ・絶対的な規模をできる限り小さくする

- ・スカイラインやその他眺望構成要素に対して過大でない規模とする
- ②配置
 - ・地形、植生等の地物を活かし、風力発電施設が遮蔽される位置に配置する。
 - ・風力発電施設が複数設置される場合は、視認される範囲が小さくなるように配置する。また、立地等の状況に応じて雑然とした印象を与えないように整然と配置するなど検討を行う。
- ③色彩
 - ・風車の背景や眺望の基調をなす色彩に調和した色彩を採用する。
 - ・機械室等の建築物が比較的近距離で視認される場合は、色彩だけでなく素材（自然素材の採用等）にも留意する。

【資料編】

資料-1：騒音予測方法（ISO 9613 シリーズ）

資料-2：電波障害予測計算と事例

資料-3：眺望景観保全のための措置の立案

資料1：騒音予測方法（ISO 9613シリーズ）

出典：「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」，
公益社団法人 日本騒音制御工学会

(1) 予測の基本的な手法

予測の基本的な手法として、音響理論に基づく計算と事例の引用または解析による方法が考えられる。

風車騒音が予測地点あるいは予測地域まで伝搬する過程で生じる様々な音響現象を理論に基づいて計算できる方法をいう。ここでは、国内外において適用事例が多いと考えられる方法を列記する。

① ISO 9613 シリーズによる方法

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等価騒音レベルによって予測する手法である。道路、鉄道、工場等の多様な音源を想定し、幾何拡散、空気吸収、地表面の影響、障害物による遮蔽等の伝搬中の物理的要因に対して個別に周波数毎(中心周波数 63 Hz～8 kHz のオクターブバンド)に減衰量を算出することで、受音点における等価騒音レベルを予測することができる。

この方法は、音が伝搬し易い気象条件を前提として構築され、風と同じ方向に音が伝搬する順風(風下)伝搬の場合、あるいは通常の子夜に見られるような気温逆転層が中程度に発達した条件下において、その伝搬は“音が伝搬し易い気象条件”に該当するとしている。風下に位置する受音点におけるオクターブバンド毎の等価音圧レベル L_{IT} (dB) は、次式で計算される。

$$L_{IT} = L_W + D - A$$

L_W : 音源の音響パワーレベル (dB)

D : 音源の無指向性補正值 (dB) であり、音響パワーレベル L_W を無指向性の点音源と比較した時のレベル差(無指向性の音源が自由空間で音を放射する場合、 $D = 0$ dB となる)。

A は音源から予測点までの伝搬過程における減衰の総和を示し、次式で与えられる。

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{ground} + A_{screen} + A_{misc}$$

ここで、

A_{div} : 幾何拡散による減衰 (dB)

A_{atm} : 空気吸収による減衰 (dB)

A_{ground} : 地表面の影響による減衰 (dB)

A_{screen} : 遮蔽壁による減衰 (dB)

A_{misc} : その他の要因(植栽中、工場立地中および家屋群中)による減衰 (dB)

オクターブバンド毎に上記の2式を用いて伝搬予測計算を行い、レベル合成して等価音圧レベルを算出するが、この過程で A 特性補正を行うことで等価騒音レベル(短期間の順風条件下における A 特性音圧レベル)を求めることができる。また音源が n 個の点音源から構成される場合は、

次式を用いて受音点における等価騒音レベル L_{AT} (dB) を算出する。

$$L_{AT} = 10 \log_{10} \left(\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^8 10^{\frac{L_{AT}(i,j) + Af(j)}{10}} \right) \right)$$

j は、63 Hz～8 kHz の 8 つのオクターブバンド中心周波数に対応し、 $Af(j)$ は、 j 番目のオクターブバンド中心周波数に対する A 特性補正值 (dB) である。

これらを基にして、数ヶ月から 1 年程度を想定した長期間の等価騒音レベル $L_{AT}(LT)$ (dB) を得るために、各気象条件の出現割合に基づく補正項 C_{meteo} を適用し次式で計算する。

$$L_{AT}(LT) = L_{AT} - C_{meteo}$$

次に、主要な減衰項の計算方法について示す。

a) 幾何拡散 (A_{div})

本方法における幾何拡散は、自由空間における点音源からの球面波伝搬に基づいて次式で計算される。

$$A_{div} = 20 \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + 11$$

ここで、

d : 音源から受音点までの距離 (m)

d_0 : 基準距離で 1 m

b) 空気吸収 (A_{atm})

空気吸収は、距離 d (m) を伝搬する過程を対象としてオクターブバンド毎に次式で計算するが、最大は約 15 dB である。

$$A_{atm} = \alpha \cdot d / 1000$$

なお、 α は前節でも述べた通り ISO 9613-1 で規定される定数 (dB/km) であり、気温や相対湿度、大気圧に依存する。

c) 地表面の効果 (A_{ground})

一般的な計算方法と A 特性音圧レベルの減衰を計算する方法とを提案している。

前者は、地表面が水平か、一定の傾斜ではほぼ平坦に近い場合に適用可能で、地表面による減衰量を決める 3 つの領域を定義している。

・音源領域 : 音源から受音点方向へ距離 30hs まで (最大値は dp)

・受音点領域 : 受音点から音源方向へ距離 30hr まで (最大値は dp)

・中間領域 : 音源と受音点の間の領域で、 $dp < 30(hs + hr)$ の場合はこの領域はない

なお、 dp は音源から受音点までの地表面上への投影距離 (m)、 hs と hr はそれぞれ音源と受音

点の高さ(m)である。

それぞれの地表面領域の音響特性を地盤係数 G で表し、3種類の反射特性を以下のように定めている。

- ・硬い地表面 : 舗装面や水、氷、コンクリートおよび他の多孔性の低い地表面であり、 $G = 0$
- ・多孔質な地表面: 草地、樹木、他の植栽で覆われた、ないし植栽可能な地表面であり、 $G = 1$
- ・混合地表面 : 上記2つが混じった地表面であり、 G の値は全体に占める多孔質な地表面の割合で決まる(0と1の間の値)

特定のオクターブバンドに対する減衰量を計算する場合は下表を用い、音源領域の地盤定数 G_s を使って減衰 A_s を計算し、同じ要領で受音点領域の G_r によって減衰 A_r を、中間領域の G_m によって減衰 A_m を求め、最後に A_{ground} は次式で求める。

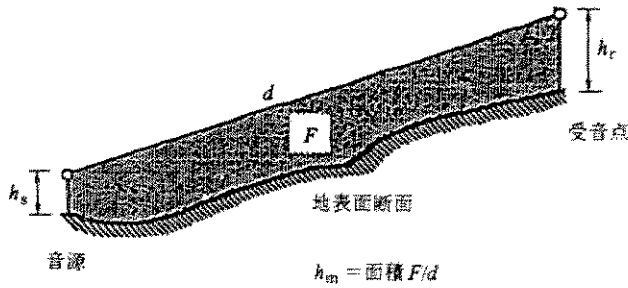
$$A_{\text{ground}} = A_s + A_r + A_m$$

オクターブバンド中心周波数 (Hz)	A_s あるいは A_r (dB)	A_m (dB)
63	-1.5	$-3q$
125	$-1.5 + G \cdot a'(h)$	$-3q(1 - G_m)$
250	$-1.5 + G \cdot b'(h)$	
500	$-1.5 + G \cdot c'(h)$	
1,000	$-1.5 + G \cdot d'(h)$	
2,000	$-1.5(1 - G)$	
4,000	$-1.5(1 - G)$	
8,000	$-1.5(1 - G)$	
ここで、		
$a'(h) = 1.5 + 3.0 \cdot e^{-0.12(h-5)^2} \left(1 - e^{-\frac{h}{5}}\right) + 5.7 \cdot e^{-0.009h^2} \left(1 - e^{-2.8 \cdot 10^{-6} \frac{h^2}{d}}\right)$		$c'(h) = 1.5 + 14.0 \cdot e^{-0.006h^2} \left(1 - e^{-\frac{h}{5}}\right)$
$b'(h) = 1.5 + 8.6 \cdot e^{-0.09h^2} \left(1 - e^{-\frac{h}{5}}\right)$		$d'(h) = 1.5 + 5.0 \cdot e^{-0.008h^2} \left(1 - e^{-\frac{h}{5}}\right)$
$q = 0$	$d_s \leq 30(h_s + h_r)$	の場合
$q = 1 - \frac{30(h_s + h_r)}{d_s}$	$d_s > 30(h_s + h_r)$	の場合

一方、後者(A 特性音圧レベルの減衰を計算する方法)は地表面の大半が多孔質で、かつ予測対象の音源が純音性でない場合に適用可能で、地表面の形状は問わない。この場合の計算方法は次式の通りである。

$$A_{\text{ground}} = \begin{cases} 4.8 - (2h_m/d)[17 + (300/d)] \geq 0 \\ 0 < 0 \end{cases}$$

ここで、 h_m は伝搬経路の地表面上の平均高さ(m)であり、下図に示す方法で計算する。

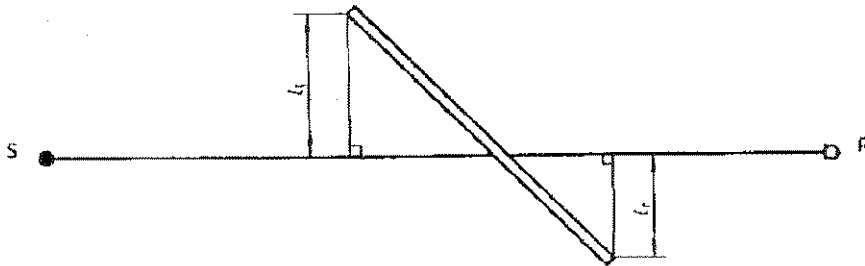


この方法で地表面減衰を求める場合、音源の無指向性補正值 D の算出には次式を用いる。

$$D = 10 \log_{10} \left\{ 1 + \frac{d_p^2 (h_s - h_r)^2}{d_p^2 (h_s + h_r)^2} \right\}$$

d) 障壁の効果 (Ascreen)

対象物を遮蔽障害物 (障壁や防音壁ともいう) として取り扱う場合、面密度が少なくとも 10 kg/m^2 以上、対象物に大きな亀裂等がなく閉鎖された下図においては、オクターブバンドの中心周波数の波長が $(l_l + l_r)$ より小さくなる。



遮蔽効果による減衰 D_z は、音源から受信点の間の最も重要な経路のみを想定し、次式で計算する。

$$D_z = 10 \log_{10} \left\{ 3 + (C_2 / \lambda) \cdot C_3 \cdot z \cdot K_w \right\}$$

ここで C_2 は 20 であり、回折の回数によって C_3 は以下の値となる。

$$C_3 = \begin{cases} 1 & \text{回折 1 回} \\ \frac{1 + (5\lambda/e)^2}{(1/3) + (5\lambda/e)^2} & \text{回折 2 回} \end{cases}$$

e は 2 つの回折端間の距離 (m) であり、この場合直達波と回折波との伝搬経路差 (m) である z は、

$$z = \begin{cases} d_{ss} + d_{sr} - d & \text{回折 1 回} \\ d_{ss} + d_{sr} + e - d & \text{回折 2 回} \end{cases}$$

で計算される。さらに、 K_w は気象条件による補正項を表し、次式より求める。

$$K_w = \begin{cases} \exp \left\{ - (1/2000) \sqrt{d_{ss} d_{sr} d / (2z)} \right\}, & z > 0 \\ 1, & z \leq 0 \end{cases}$$

なお、Dz は回折 1 回の場合は最大 20 dB、2 回の場合は 25 dB とし、2 枚以上の障壁は影響が最も大きい 2 枚を選択(他は無視)して計算を行う。

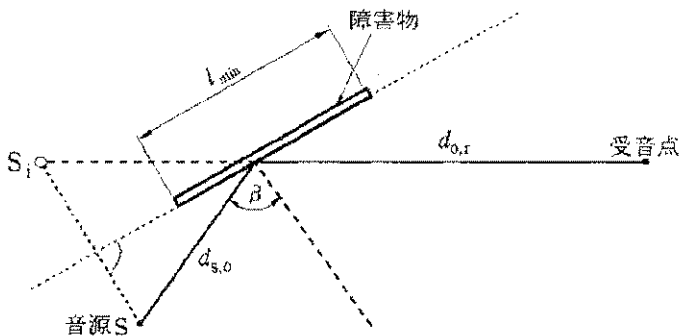
e) 反射

反射の影響は、別に虚音源がある場合として扱われ、次に示す条件がすべて満たされる場合に障害物からの反射が全周波数に対して計算できる。反対に、これらが満たされない場合、反射は無視することができる。

- ・下図に示すように典型的な反射条件が校正される場合
- ・障害物の反射係数が 0.2 より大きい場合(下表を参照)
- ・当該オクターブバンドの中心周波数 f_c が次式を満たす場合

$$f_c > \left\{ 2c / (l_{\min} \cos \beta) \right\}^2 \left\{ d_{s,o} d_{o,r} / (d_{s,o} + d_{o,r}) \right\}$$

- c : 空気中の音速 (m/s)
- $d_{s,o}$: 障害物上の反射点から音源までの距離 (m)
- $d_{o,r}$: 障害物上の反射点から受音点までの距離 (m)
- β : 入射角
- l_{\min} : 反射障害物表面の最短長さ (m)



対象物	ρ
平坦な硬い壁	1
窓や格間等の付属物がある建物の壁	0.8
50%程度の開口率、設備パイプ等のある工場の壁	0.4
硬い表面の円筒構造物 (タンク、サイロ、等) *	$\frac{D \sin(\phi/2)}{2d_{sc}}$
開放構造物 (パイプ、タワー、等)	0

以上より、虚音源のパワーレベルは

$$L_{W, \text{image}} = L_W + 10 \log_{10}(\rho) + D_r$$

で計算でき、虚音源に対する減衰計算等では伝搬経路長として反射経路の長さを用いる。なお、実音源に起因する音圧レベルよりも虚音源に起因する音圧レベルが 7 dB 以上小さいならば、虚音源は無視する。なお、 ρ は障害物表面の反射率、 D_r は音源の反射障害物方向の音響パワー

付録 10 風力発電施設による障害予測計算と事例

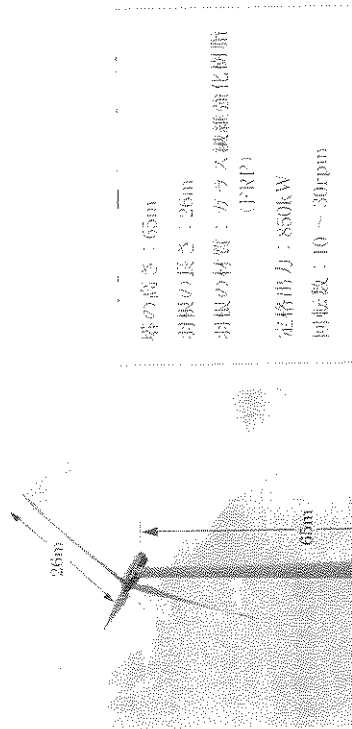
風力発電施設は投影面積が小さいため、一般的に受信障害の原因とはなりにくいですが、建設地およびその周辺の受信環境によっては障害の原因となる場合があります。

ここでは、風車によるフラッター障害と、反射障害の予測計算方法と事例について解説する。

1 風力発電施設による受信障害の概要

風力発電は地球環境に優しい新エネルギー源として注目されており、国による補助もあることから、多数の風力発電施設が計画、建設されている。

付図 10-1 に風力発電施設の例を示す。



付図 10-1 風力発電施設の例

風力発電施設は一般的なビル等と比べて投影面積が小さいため、受信障害の原因とはなりにくいですが、受信地域への直接波に比べて風車への入射波が強い場合では、受信障害が発生することがある。

また、1基では受信障害とならない規模の風車でも、複数建設される場合には障害となることがある。

2 風力発電用風車後方におけるフラッター障害

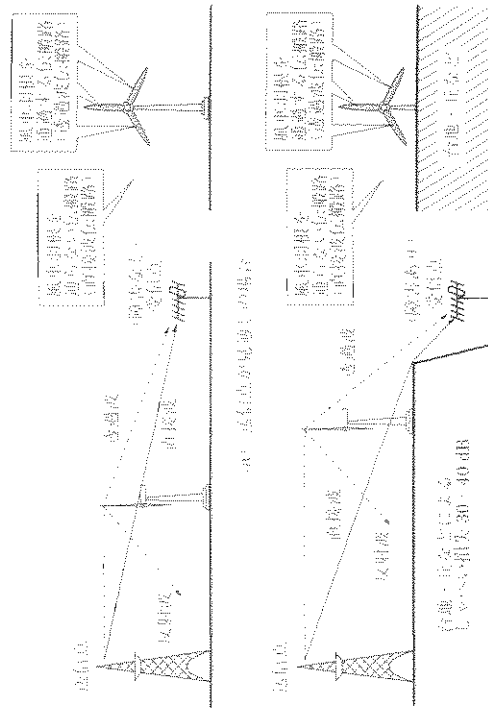
2-1 障害発生メカニズム

風車後方の受信点では、送信点から風車羽根を直らせずに到来する直接波と、風車羽根の透過波が同時に受信される。このとき、透過波は風車羽根による反射波をベクトル的に減算した電波となるため、受信点位置に対応して位相と電界強度の差を生じ、合成された受信電界は変化する。

さらに、羽根が回転することにより、透過波の位相と強度が時間的に変化するため、受信電界は時間的な変動を伴う。

付図 10-2(a) に示すように、送信点が見通しの場合、直接波が強いため透過波の位相と強度の変化による影響は少なく、受信電界の変動は無視できる。

しかし、付図 10-2(b) のように、送・受信点間にある高い丘などにより直接波が遮られ、受信電界が弱い場合は、透過波による変動が無視できなくなり、アナログ波ではフラッター障害が発生することがある。付図 10-3 にアナログ波でのフラッター障害の画面症状例を示す。



付図 10-2 風車後方の受信点に到来する電波

資料 2 : 「電波障害予測計算と事例」

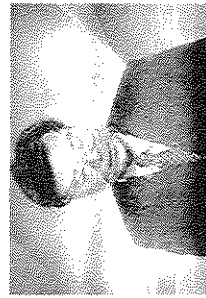
引用 : 「建造物障害予測技術 (地上デジタル放送)」, NHK受信技術センター編

障害発生時は、透過波の位相と強度の変化により、受信点に到来する電界強度が大きく変化するため、受信画像は正常状態とスノーノイズ症状を繰り返すフラッター障害となる。

障害の程度は、風速と風向きに応じて変わる羽根のピッチや、回転面の向きにより変化する。



(通常時の受信画像)



(障害時の受信画像)

付図 10-3 風車後方での受信画像 (アナログ波)

2-2 風車後方の電界強度

風車建設後の瞬時受信電界 $E_t(\theta)$ は、付式 10-1 に示すように、直接波から風車羽根による反射波をベクトル的に減算することによって求めることができる。

$$E_t(\theta) = E + 20 \log_{10} \left| 1 - \sum_{i=1}^n \left\{ E_x(s_{\theta i}) \cdot \alpha(s_{\theta i}) \cdot F(s_{\theta i}) \right\} \right| \quad (\text{付式 10-1})$$

ただし、

E : 風車建設前の受信電界強度 [dB($\mu\text{V}/\text{m}$)]

n : 羽根の数

$s_{\theta i}$: 回転羽根の瞬時位置における微少面積

$E_x(s_{\theta i})$: 羽根の微少面積への入射電界強度と風車建設前の受信点での電界強度の比

$\alpha(s_{\theta i})$: 羽根の微少面積での完全透過波に対する透過波の減少率

$F(s_{\theta i})$: 羽根の微少面積でのフレネル積分値

2-3 モデル化計算例

風車羽根を透過する電波の強さを正確に求めるためには、複雑な計算が必要となるが、モデル化により概略値が計算できる。

モデル化の例として付図 10-4 に示す条件について検討する。

受信点は送信点方向にある正によってあらかじめ決められており、その正の上に風力発電用風車が建設されたとする。

風向 ϕ は送信点方位からの離角で、風車羽根は付図 10-5 に示すように均一材質の角材とみなす。

羽根の回転に伴って羽根のフレネル積分値と羽根入射波と受信点の電界強度比 E_x 、完全透過波に対する透過波の減少率 (透過波減少率) α は変化するが、羽根は送信点の見通し線より十分高い位置にあり、羽根の回転角速度に対応した E_x と α の変化に対し、羽根のフレネル積分値は非常に速く変化する。このため、羽根のフレネル積分値は羽根の回転角 θ によって変化するベクトル量として扱うが、 E_x と α はスカラー量の一定値として計算する。

これらの条件を基に付式 10-1 を簡略化した計算式を付式 10-2 に示す。

$$\begin{aligned} E_t(\theta) &= E + 20 \log_{10} \left| 1 - E_x \cdot \alpha \cdot \sum_{i=1}^3 F(S_{\theta i}) \right| \\ &= E + 10 \log_{10} \left\{ \left(1 - E_x \cdot \alpha \cdot F_{Re} \right)^2 + \left(E_x \cdot \alpha \cdot F_{Im} \right)^2 \right\} \end{aligned} \quad (\text{付式 10-2})$$

ただし、

$E_t(\theta)$: 風車後方の電界強度 [dB($\mu\text{V}/\text{m}$)]

θ : 羽根の回転角

E : 風車建設前の電界強度 [dB($\mu\text{V}/\text{m}$)]

E_x : 羽根入射波と受信点の電界強度比

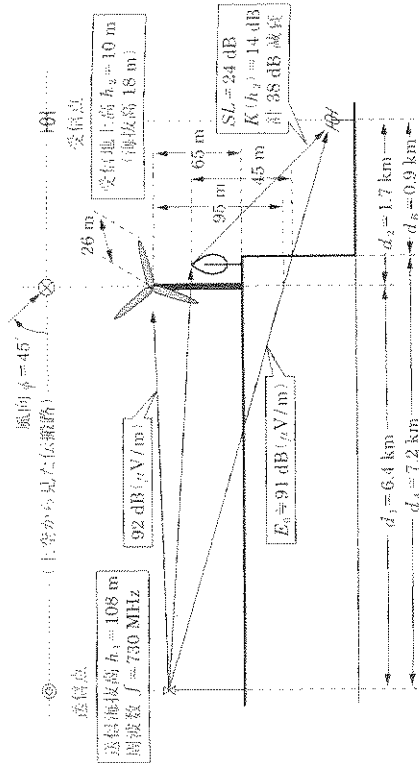
α : 透過波減少率

$S_{\theta i}$: 風向 ϕ に対応した羽根 i 枚分の有効面積

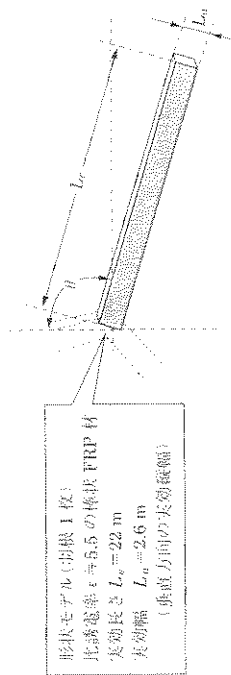
$\sum_{i=1}^3 F(S_{\theta i})$: 羽根 3 枚分のフレネル積分値

F_{Re} : 羽根 3 枚分のフレネル積分値の実数部

F_{Im} : 羽根 3 枚分のフレネル積分値の虚数部



付図 10-4 計算条件例



付図 10-5 モデル化した風車羽根

<風車羽根の反射損失、透過率、透過波減少率>
 風車羽根への入射波と反射波、透過波は、付図 10-6 に示す関係にあり、入射波から反射波をベクトル的に減算したものが透過波となる。

比誘電率 ϵ の FRP 材である風車羽根各部の厚み l_i [m] に対応する反射損失 η_i [dB] は、風車羽根を付図 10-7 に示す分布定数回路とみなし、大気の入インピーダンス Z_0 を 1 とすると、次式で表される。

$$\eta_i = 20 \log_{10} \left| \frac{1+Z_i}{1-Z_i} \right| = 20 \log_{10} \left| \frac{1+Z_r}{1-Z_r} \right| j \frac{2Z_r}{1-Z_r^2} \tan(\beta l_i) \left| \right|$$

$$= 20 \log_{10} \left| \frac{1+1/\epsilon - j \frac{2\sqrt{1/\epsilon}}{1-1/\epsilon} \tan(\beta l_i)}{1-1/\epsilon - j \frac{2\sqrt{1/\epsilon}}{1-1/\epsilon} \tan(\beta l_i)} \right|$$

ただし、

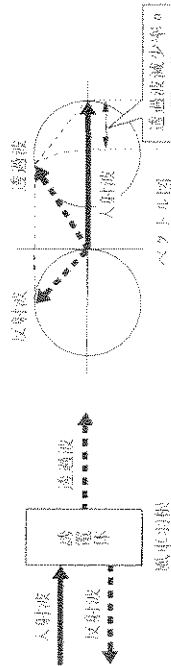
$$Z_i = Z_r \frac{Z_0 \cos(\beta l_i) + j Z_r \sin(\beta l_i)}{Z_r \cos(\beta l_i) + j Z_0 \sin(\beta l_i)}$$

$$Z_r = 1/\sqrt{\epsilon}, \quad \beta = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon}, \quad Z_0 = 1$$

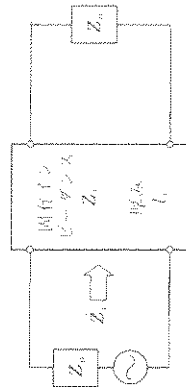
FRP 材の比誘電率 $\epsilon = 5.5$ とすると、

$$\eta_i = 20 \log_{10} \left| \frac{1+1/5.5 - j \frac{2\sqrt{1/5.5}}{1-1/5.5} \tan(\beta l_i)}{1-1/5.5 - j \frac{2\sqrt{1/5.5}}{1-1/5.5} \tan(\beta l_i)} \right| = 20 \log_{10} \left| \frac{1.44 - j \frac{1.04}{\tan(\beta l_i)}}{\dots} \right|$$

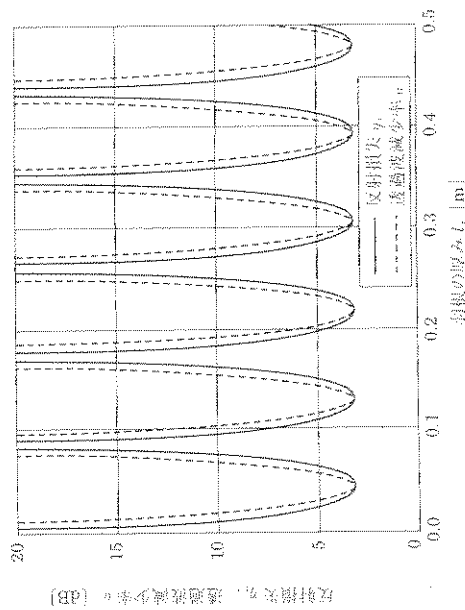
となり、付図 10-8 のように、 η_i は l_i の変化により 3.2dB から無限大まで周期的に変化する。



付図 10-6 羽根の入・反射波と透過波の関係



付図 10-7 風車羽根の分布定数回路



付図 10-8 風車羽根の厚みと反射損失η_r、透過減少率α

反射損失がη_rのときの入射波の透過率γは、

$$|\gamma| = \left| 1 - 10^{-\eta_r/20} \right| = \left| 1 - 1/\left[\frac{1+1/\epsilon}{1-1/\epsilon} - j \frac{2\sqrt{1/\epsilon}}{1-1/\epsilon} \tan(\beta t) \right] \right|$$

となり、このときの透過減少率αは、次式となる。

$$\alpha = 1 - |\gamma| = 1 - \left| 1 - 1/\left[\frac{1+1/\epsilon}{1-1/\epsilon} - j \frac{2\sqrt{1/\epsilon}}{1-1/\epsilon} \tan(\beta t) \right] \right| \quad (4式 10-3)$$

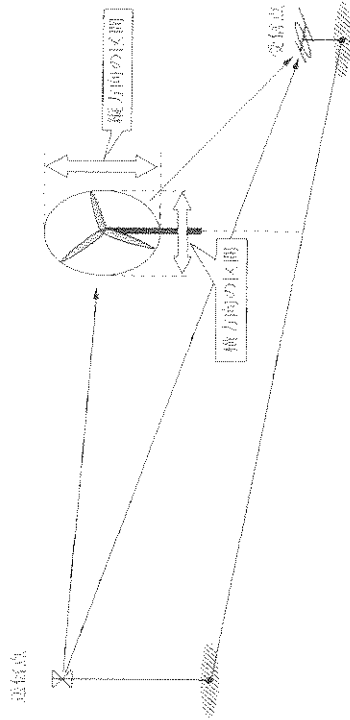
概略計算のためのη_r 50%値は、比誘電率ε=5.5とすると約5dBであり、透過減少率αの50%値は、付式 10-3 において tan(βt) = 1 として、

$$\alpha = 1 - |\gamma| = 1 - \left| 1 - 1/\left[\frac{1+1/5.5}{1-1/5.5} - j \frac{2\sqrt{1/5.5}}{1-1/5.5} \right] \right| = 0.364 (= 8.8dB)$$

となる。

<風車羽根実効面積に対応するフレネル積分>

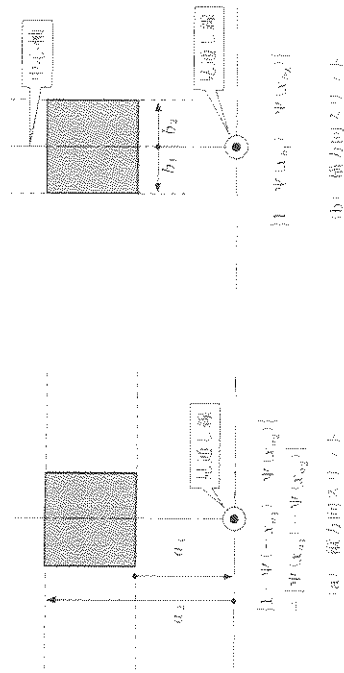
送信点と風車を結ぶ線上に受信点があるときの模式図を付図 10-9 に示す。各羽根のフレネル積分区間は、縦方向では羽根の回転中心位置から左右の先端位置までの線上となる。縦方向の積分区間は、送信点の見出し線上の風車位置を基点として、羽根の回転中心位置から上下の先端位置までとなる。



付図 10-9 フレネル積分の最大積分区間

これらの関係をもとに、風車羽根による縦方向と横方向のスリットのフレネル積分を整理したものを付図 10-10 に示す。

横方向のa₁, b₂に比べ縦方向のa₁, a₂は値が大きく、しやへい係数も大きい値となる。これをもとに風車羽根でのフレネル積分値は、縦方向と横方向のスリットのフレネル積分値の積で求められる。



付図 10-10 スリットのフレネル積分

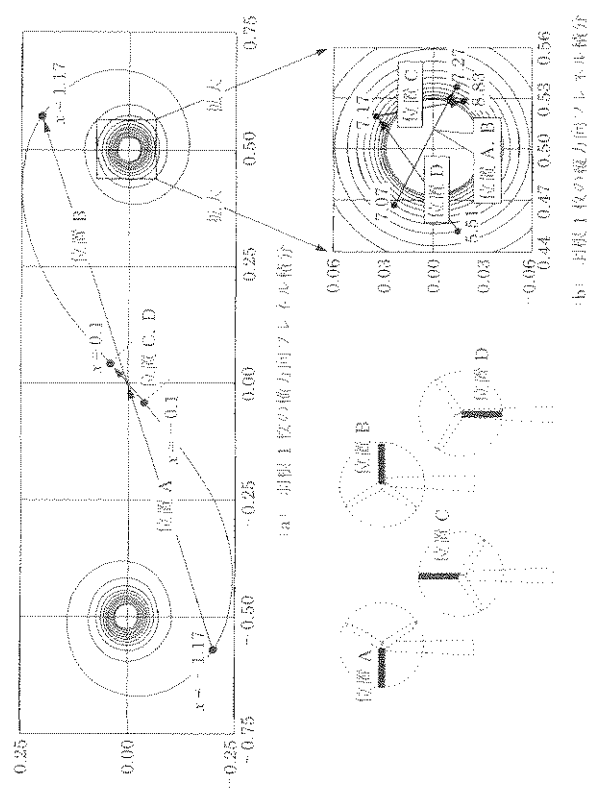


図 10-12 フレネル積分軌跡

各しやへい係数は、風向φ(送信点方向からの離角)が45°であるとき、

$$k = \sqrt{\lambda \cdot d_c} = \sqrt{\lambda(d_1 + d_2)} / (d_1 + d_2) \approx 0.0755$$

$$x_{1,fp} = k \cdot a_0 \approx 0.0755 \times 95 \approx 7.17 \text{ (回転中心の縦方向位置)}$$

$$x_{2,fp} = k \cdot a_0 + k \cdot L_c \cdot \cos \theta_1 \approx 7.17 + 1.66 \cdot \cos \theta_1$$

$$x_{1,fp} = 0 \text{ (回転中心の横方向位置)}$$

$$x_{2,fp} = k \cdot L_c \cdot \sin \theta_1 \approx 1.17 \cdot \sin \theta_1$$

ただし、 $k \cdot L_c \approx 0.0755 \times 2.6 \approx 0.2$ とし、

$$x_{1,fp} - x_{2,fp} < k L_c \text{ のとき、 } x_{1,fp} = 7.07, x_{2,fp} = 7.27 \text{ とする。}$$

$$x_{1,fp} - x_{2,fp} < k L_c \text{ のとき、 } x_{1,fp} = -0.1, x_{2,fp} = 0.1 \text{ とする。}$$

付図10-11は風車羽根の回転角としやへい係数値の関係を示した図で、付図10-12はしやへい係数をもとにフレネル積分値を求めるフレネル積分軌跡である。

この例では、風車回転中心高が送信点の見通し線より十分高いため、羽根が回転しても、羽根縦軸のフレネル積分ベクトルは付図10-12(a)のフレネル積分軌跡右側の高内、すなわち付図10-12(b)の領域を移動するだけとなる。つまり、羽根がどのような回転位置にあっても、縦方向のフレネル積分値は小さい値のなかで振幅が変化し、この位相は風車の回転速度よりも十分速い回転となる。

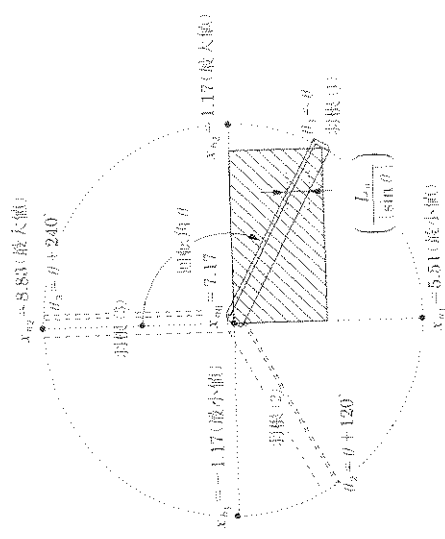


図 10-11 風車羽根モデルによるしやへい係数

そこで、本米は微少面積の積分として求める羽根1枚分のフレネル積分値は、付図10-11の斜線部分のフレネル積分値を求める次式で表される。

$$F(S_{\theta_1}) = \left\{ \Psi(x_{a\theta_1}) - \Psi(x_{b\theta_1}) \right\} \left\{ 1 - \Psi(x_{b\theta_2}) - \Psi(x_{a\theta_2}) \right\} \quad (付式 10-4)$$

ただし、

- $x_{a\theta_1}$ 、 $x_{b\theta_1}$: 羽根縦方向のしやへい係数
- $x_{a\theta_2}$ 、 $x_{b\theta_2}$: 羽根横方向のしやへい係数
- $\Psi(x_{a\theta_1}) - \Psi(x_{b\theta_1})$: 羽根縦方向のフレネル積分値
- $1 - \Psi(x_{a\theta_2}) - \Psi(x_{b\theta_2})$: 羽根横方向のフレネル積分値

＜風車建設前の受信電界と、風車羽根と受信点の電界強度比＞

風車建設前の受信電界強度 E は、前方の丘と樹木で約24dB、丘上の伝搬路上、地物で約14dBの合計約38dB減衰しており、53dB($\mu\text{V}/\text{m}$)となる。

$$E = E_0 - K(h_2) + 20 \log_{10} |\Psi(x_{on})| \approx 53 \text{ dB} (\mu\text{V}/\text{m})$$

ただし、

E_0 : 自由空間電界強度, 約94dB($\mu\text{V}/\text{m}$)

$K(h_2)$: 丘上の伝搬路上地物による減衰量, 約14dB

x_{on} : 丘のしゃへい係数

$$x_{on} = \sqrt{\frac{\pi}{\lambda \cdot d_{cp}}} \cdot a_0 = \sqrt{\frac{\pi}{0.41 \times 800}} \times 45 \approx 4.4$$

ただし d_{cp} は、

$$d_{cp} = \frac{d_A \cdot d_B}{d_A + d_B} = \frac{7200 \times 900}{7200 + 900} = 800 \text{ m}$$

$\Psi(x_{on})$: 丘にしゃへいされた伝搬路のフレネル積分値

$$\Psi(4.4) \approx 0.063 \rightarrow -24 \text{ dB}$$

この場合の風車羽根と受信点の電界強度比 E_x は、

$$E_x = 10 \left[\left[K(h_2) + 20 \log_{10} |\Psi(x_{on})| \right] / 20 \right] = 10^{(14 + 24)/20} \approx 79.4$$

となる。

なお、風車建設後に受信される合成波の電界強度は56dB($\mu\text{V}/\text{m}$)となり、端子電圧換算値を18dBとすると、受信機入力端子電圧は38dB(μV)となる。

＜計算結果と実測波形の例＞

付図10-13は付式10-2を用いた計算例で、羽根回転角を変化させたときの受信機入力端子電圧の変化を表している。

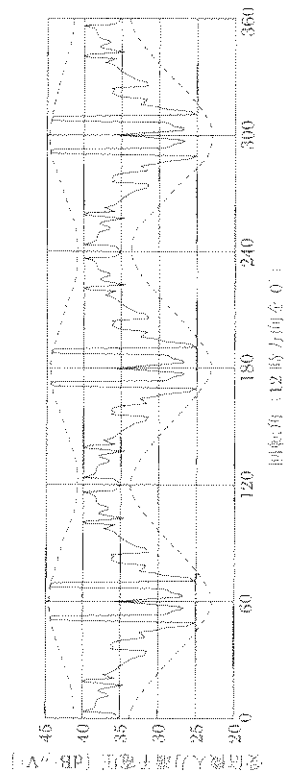
羽根回転角 θ が12時方向を 0° として、この例では、 0° 、 120° 、 240° 付近では変動が小さく、 60° 、 180° 、 300° 付近（羽根2枚が上部にあるY字型位置）では変動が大きい傾向が見られた。

付図10-14は、実際に風力発電用風車によるフラッター障害が発生した地点において受信機入力端子電圧を記録した波形の例である。波形の変化が前述の計算結果とよく似た傾向を示しており、概略計算により受信障害の発生原因が推定できることが分かる。

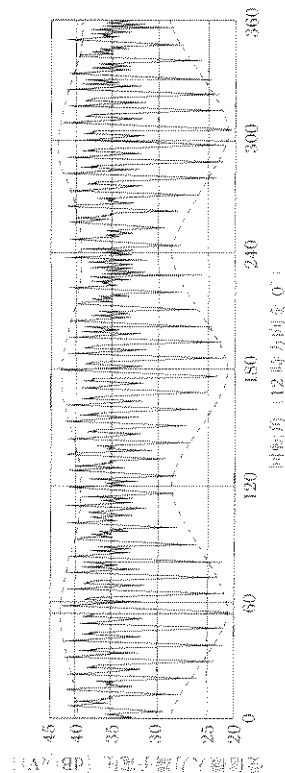
デジタル波の場合でも、受信点で受信される電圧は直接波と透過波の合成波であり、透過波の遅延時間が非常に短いため、その影響は受信機入力端子電圧の変動として表れる。

受信機入力端子電圧が受信機の最低入力レベルを下回るような変動がある場合には、障害となり得る。最低入力レベルはマルチパス等の妨害がある場合にはその影響によって変化し、受信機のパフォーマンスによって異なる。

この例では、受信機入力端子電圧が25dB(μV)程度まで低下することがあり、デジタル波でも障害の発生が予測される。



付図 10-13 羽根回転角に対する受信機入力端子電圧の計算例



付図 10-14 羽根回転角に対する受信機入力端子電圧の実測例

3 風力発電施設による反射障害

3-1 風車羽根による反射障害の概略検討

羽根による反射波の DU 比概略値は、次の計算式で求められる。

$$D/U = 20 \log_{10} \left(\frac{d_1 + d_2}{d} \right) + D_2 - D_1 + K_U(h_2) - K(h_2) + L_{ST} - L_S + \eta_c + A_r + B_e + D(\theta)_{ANT} \quad (\text{付式 10-5})$$

ただし、

- d_1 : 送信点・風車間の距離 [km]
- d_2 : 風車・受信点間の距離 [km]
- d : 送信点・受信点間の距離 [km]
- D_1 : 受信点方向の送信アンテナ指向性 [dB]
- D_2 : 風車方向の送信アンテナ指向性 [dB]
- $K_U(h_2)$: 風車・受信点間の都市減衰 [dB]
- $K(h_2)$: 送信点・受信点間の都市減衰 [dB]
- L_{ST} : 風車・受信点間の位相損失 [dB]
- L_S : 送信点・受信点間の位相損失 [dB]
- η_c : 羽根の反射損失 [dB]
- A_r : 反射面縦軸によるフレネル積分値 [dB]
- B_e : 反射面横軸によるフレネル積分値 [dB]
- $D(\theta)_{ANT}$: 受信アンテナ指向性 [dB]

羽根の反射損失 η_c は、前述の風車後方のフラッター障害を検討する際には分布定数回路の考え方や表面に凹凸があることによる散乱・減衰効果を考慮して、集中定数回路に置き換えた次式で扱う。

$$\eta_c = 20 \log_{10} \left| \frac{1 + Z_r}{1 - Z_r} \right| \quad (\text{付式 10-6})$$

ただし、 $Z_r = 1/\sqrt{\epsilon}$

反射面縦軸によるフレネル積分値 A_r と反射面横軸によるフレネル積分値 B_e は、見かけの反射面の縦幅、横幅をそれぞれ a, b とすると、次式で求められる。

$$A_r = -20 \log_{10} \frac{a}{L}, \quad B_e = -20 \log_{10} \frac{b}{L}$$

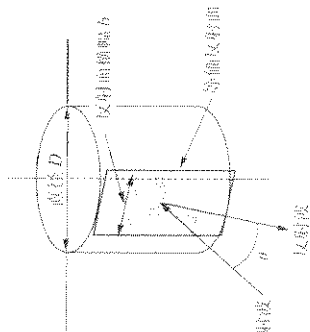
ただし、

$$L = \sqrt{\lambda \cdot d_1 \cdot d_2} = \sqrt{\lambda \cdot \frac{d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}} \quad (A_r, B_e, L \text{ の算出の詳細は付録 8 参照})$$

3-2 風車塔による反射障害

風車塔による反射障害の検討は、通常のビル等と同様に塔を反射面と考慮して計算する。風力発電用風車の塔は円柱が多いため、多くの場合、円筒形状反射面の検討となる。

円筒形状の建造物は、付図 10-12 に示すように等価的な反射面に置き換えて検討する。



付図 10-15 円筒状建造物の反射面

この等価的な反射面の横幅 b は次式により計算する。

$$b = \sqrt{\frac{100}{f}} D \cdot \cos \frac{\theta}{2} \quad (\text{付式 10-7})$$

ただし、

$b > D$ の場合は $b = D$

D : 円筒直径 [m]

f : 周波数 [MHz]

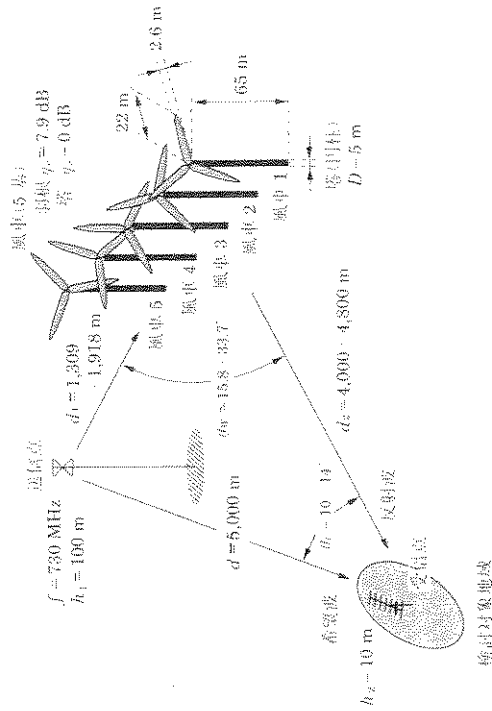
θ : 入射波と反射検討方向の角度差 [rad]

このように円筒を等価的な平面に置き換え、入射方向と反射検討方向の角度差 θ を変数として式付 10-5 により DU 比を計算し、予測範囲を求める。

3-3 反射障害検討事例

風力発電用風車による反射障害の予測例を示す。

付図10-16に示すように、風車5基が建設される場合を想定し、ある地域(検討対象地域)での希望波と反射波のDU比を計算する。



付図 10-16 風車と検討対象地域の位置関係イメージ

予検討の前提条件として、

$$D_1 = D_2, K_0(h_2) = K(h_2), L_{S1} = L_S, D(\theta)_{VF} = 0 \text{ とする。}$$

以上の条件で風車5基について予検討した結果を付表10-1に示す。

この例では、風車1基だけではいずれもDU比が大きく、アナログ波においては顕著な反射障害の発生は予測されないが、5基全ての反射波を電力加算したDU比 DU_{tot} は19.8dBとなり、反射障害の発生が予測される。

なお、デジタル波の場合は検討対象地域の状況が、障害が発生し始める限界のDU比19.8dB以下であれば、障害は発生しないと予測される。

付表 10-1 風車5基の反射障害検討結果

	d_1 [m]	d_2 [m]	h_1 [deg]	h_2 [deg]	L [m]	a [m]	b [m]	d_{c1} [dB]	θ [dB]	A, [dB]	B, [dB]	DU [dB]	DU_{tot} [dB]
風車1	1,918	4,800	10.0	15.8	23.7	羽根 2.6	22.0	7.0	0.0	19.2	0.7	34.8	29.1
					塔 65	0.8				0.0	29.3	36.3	
風車2	1,751	4,600	11.0	19.1	22.8	羽根 2.6	22.0	6.5	7.9	18.9	0.3	33.6	28.0
					塔 65	0.8			0.0	29.1	35.6		
風車3	1,593	4,400	12.0	23.1	21.9	羽根 2.6	22.0	6.0	7.9	18.5	0.0	32.4	26.9
					塔 65	0.8			0.0	28.6	34.8		19.8
風車4	1,444	4,200	13.0	27.9	21.0	羽根 2.6	22.0	5.5	7.9	18.1	0.0	31.5	26.0
					塔 65	0.8			0.0	28.6	34.1		
風車5	1,309	4,000	14.0	33.7	20.1	羽根 2.6	22.0	5.0	7.9	17.8	0.0	30.6	25.2
					塔 65	0.8			0.0	28.5	33.4		

ただし、

d_1 : 送信点・風車間の距離 [m]

d_2 : 風車・受信点間距離 [m]

h_1 : 受信点から見た希望波と反射波の到来角度差 [deg]

h_2 : 風車から見た受信点方向と送信点方向の角度差 [deg]

L : 受信点で自由空間電界と同じ強さの電界強度が得られる正方形形態の辺長 [m]

a : 反射面縦幅 [m]

b : 反射面横幅 [m]

$$d_{c1} = \text{希望波と反射波の伝搬距離差 [dB]} \quad d_{c2} = 20 \log_{10} \left\{ \frac{d_1 + d_2}{d} \right\}$$

θ : 反射損失 [dB]

A: 反射面縦幅によるフレネル積分値 [dB]

B: 反射面横幅によるフレネル積分値 [dB]

DU: 各風車の羽根と塔による反射波DU比 [dB]

DU_{tot} : 羽根と塔の反射波を電力加算したDU比 [dB]

DU_{tot} : 各風車の反射波を電力加算したDU比 [dB]

付録 8 建造物障害予測の概略計算と計算事例

建造物による障害範囲を求める場合、対象建造物周辺の地形地物を予測計算の中でどこまで取り扱うかを判断しなければならぬ。しかし、周辺の地形地物が対象建造物の障害にどの程度影響するかわからないと、計算条件を決めることができないうという難しい関係にある。

この関係を解消するためには、個々の周辺地形地物の影響度について即座に概略計算できることが必要となる。この計算を可能とするためには、使用頻度の高い各種定数と換算値ならびに予測の簡易計算式などを熟知する必要がある。

ここでは、これら概略計算に必要な主な各種定数、換算値、簡易計算式と計算例を紹介する。

1 主な各種定数と換算値

概略計算に必要な各種定数と換算値の代表的な数値例を付表 8-1 に示す。

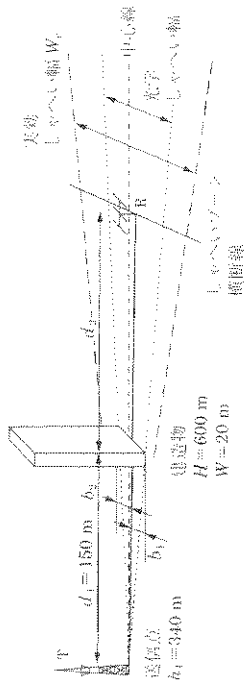
付表 8-1 概略計算に必要な各種定数と換算値

自由空間電界強度 E_0	70 dB $_{\mu}$ V/m ¹ (ERP=1kW, $d=70$ km の時) 60 dB $_{\mu}$ V/m ¹ (ERP=1W, $d=7$ km の時)
地球の半径 R [km]	8,500 km
見通し距離 d_0 [km]	$4.12\sqrt{h}$ (h : 送信アンテナ高 [m])
ガウス雑音レベル	5.18 dB $_{\mu}$ V/MHz (75Ω, 室温 20℃)
50Ω・75Ω電圧換算値	1.75 dB
絶対利得・相対利得換算値	2.15 dB
1 W/m ²	145 dB $_{\mu}$ V/m
1 dBmW	107.00 dB $_{\mu}$ V (50Ω) 108.75 dB $_{\mu}$ V (75Ω)

2 超高層建造物障害予測の概略計算

2-1 シャーペイ障害の概略計算

送信点近傍に建設される超高層建造物のシャープ障害概略計算の方法について、付図 8-1 を例に説明する。



付図 8-1 しゃへい障害の概略計算説明図

この例では、送信点と建造物間の距離 d_1 が 150m と短く、建造物高 ($H = 600\text{m}$) が送信高 ($h_1 = 340\text{m}$) に比べて十分高いことから、建造物上部からの回折波はきわめて弱くなり、建造物側面からの回折波が支配的になる。

したがって、建造物後方 d_2 [m] の受信点 R におけるしゃへい損失 SL [dB] は、送信点 T と受信点 R を直線で結び、 b_1 、 b_2 を求めたのち、しゃへい係数 x_{b1} 、 x_{b2} をそれぞれ計算して、次式により求めることができる。

$$SL = -20 \log_{10} | \Psi(x_{b1}) + \Psi(x_{b2}) | \quad \text{〔付式 8-1〕}$$

ただし、

$$x_{b1} = k \cdot b_1, \quad x_{b2} = k \cdot b_2$$

$$k = \sqrt{\frac{\pi}{\lambda \cdot d_e}}, \quad d_e = \frac{d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2} \quad \text{〔付式 8-2〕}$$

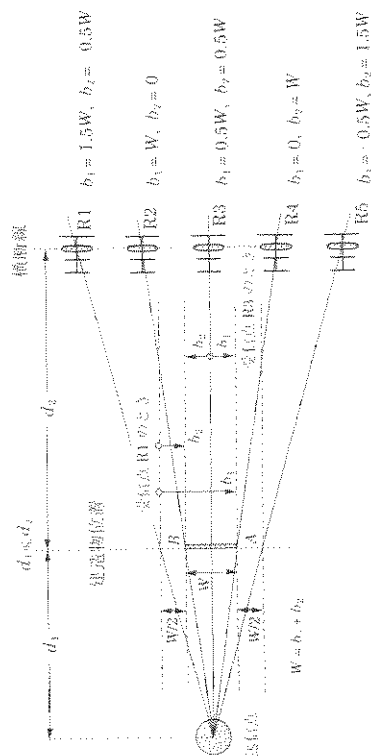
λ : 波長 [m]

超高層建造物では遠方の障害を予測計算する場合、 d_1 [m] が d_2 [m] に比べて十分短いなどの条件から、付式 8-2 の d_e [m] は、

$$d_e = \frac{d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2} = d_1 \quad \text{〔付式 8-3〕}$$

と扱うことで、計算式の簡略化が図れる。

つぎに、 b_1 、 b_2 の設定について、付図 8-2 により詳細に説明する。付図 8-2 では、任意の受信点と送信点を直線で結び、建造物位置においてその直線から建造物端 A までの長さを b_1 、他方の建造物端 B までの長さを b_2 としている。

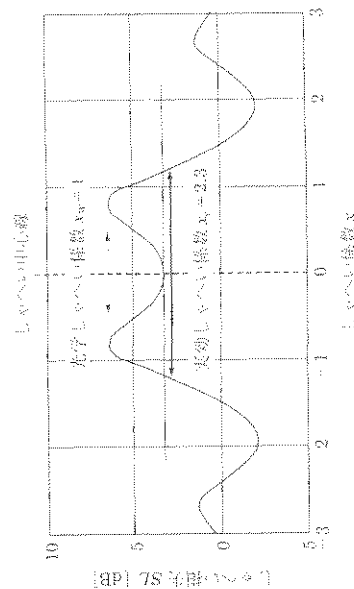


付図 8-2 b_1 、 b_2 設定の考え方

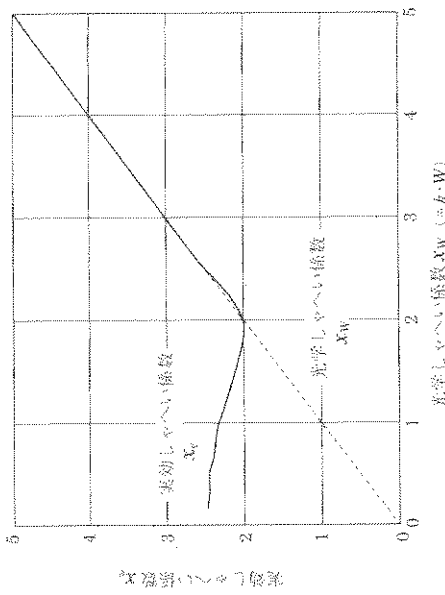
たとえば、中心線上に位置する受信点 R3 では、 b_1 、 b_2 の長さはそれぞれ $0.5W$ となる。また、受信点 R1 では、 b_1 は $1.5W$ 、 b_2 は $-0.5W$ となる。

ここで、建造物幅 W [m] において $x_{b1} = k \cdot W$ (光学しゃへい係数) とおき、この x_{b1} が「1」となるときを例に、しゃへいゾーン横断時におけるしゃへい損失 SL [dB] の計算結果を付図 8-3 に示す。

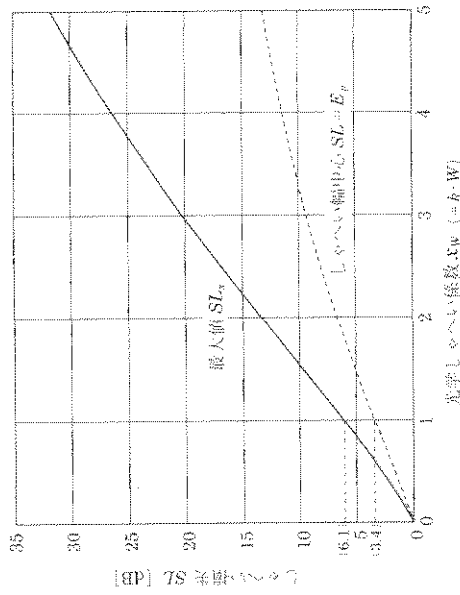
付図 8-3 の横軸は、 x_{b1} (または x_{b2}) でグラフ化しているが、そのまま実際のしゃへい係数を使用してグラフ化した場合、中心線上の受信点におけるしゃへい損失計算結果が横軸 $0.5 (= k \cdot 0.5W)$ にプロットされてしまい、感覚的に



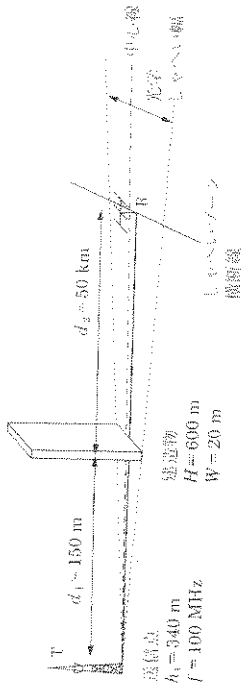
付図 8-3 $x_W = 1$ におけるしゃへい範囲横断時のしゃへい損失



付図 8-5 光学しゃへい係数と実効しゃへい係数の関係



付図 8-6 しゃへい範囲横断時の最大 SL と中心 SL の関係



付図 8-7 しゃへい障害概略計算の例題図

$d_1 \ll d_2$ より

$$d_c \approx d_1 = 150\text{m}$$

$$k = \sqrt{\frac{\pi}{\lambda d_0}} \approx \sqrt{\frac{\pi}{\lambda d_1}} = 0.084$$

と近似できるため、光学しゃへい係数 x_w は、

$$x_w = k \cdot W \approx 1.67$$

と計算できる。建造物後方 $d_2 = 50\text{km}$ のしゃへい範囲横断線上でのしゃへい損失 SL は、付図 8-6 より 6 ~ 11dB となることがわかる。

しゃへい障害範囲をイメージすることが困難となるため、中心線上の受信点
が座標「0」となるよう、しゃへい障害計算後にグラフ化する段階で、

$$x = x \cdot b_1 - x_{wz} = k \cdot b_1 - k \cdot 0.5W = k(b_1 - 0.5W)$$

または、

$$x = x \cdot b_2 - x_{wz} = k \cdot b_2 - k \cdot 0.5W = k(b_2 - 0.5W)$$

としてプロットしている。

付図8-3に示す光学しゃへい係数 $x_w (=1)$ は、いわば建造物両端の見通し
線間の幅を表している。また、実効しゃへい係数 x_e は、実際にしゃへい障害
を受けている幅を表しており、ここでは中心線上のしゃへい損失と再び同値
となるまでの幅とした。

付図8-3より、しゃへいゾーン横断線の地点ごとにしゃへい損失SL [dB]
が複雑に変化(振動)していることがわかる。これは、各地点において左右
から回り込み到来する電波(回折波)の伝搬路長差に対応する位相差が微妙
に異なっていることが原因で生じる現象である。

例えば、しゃへいゾーン中心軸上では、建造物左右からの回折波の伝搬路
長が等しく、同位相で合成されることから、しゃへい損失は小さくなる(付
図8-3より3dB程度)。一方、しゃへいゾーン中心部から外れ、逆位相となる
場所では、しゃへい損失が大きくなる(付図8-3より6dB程度)。

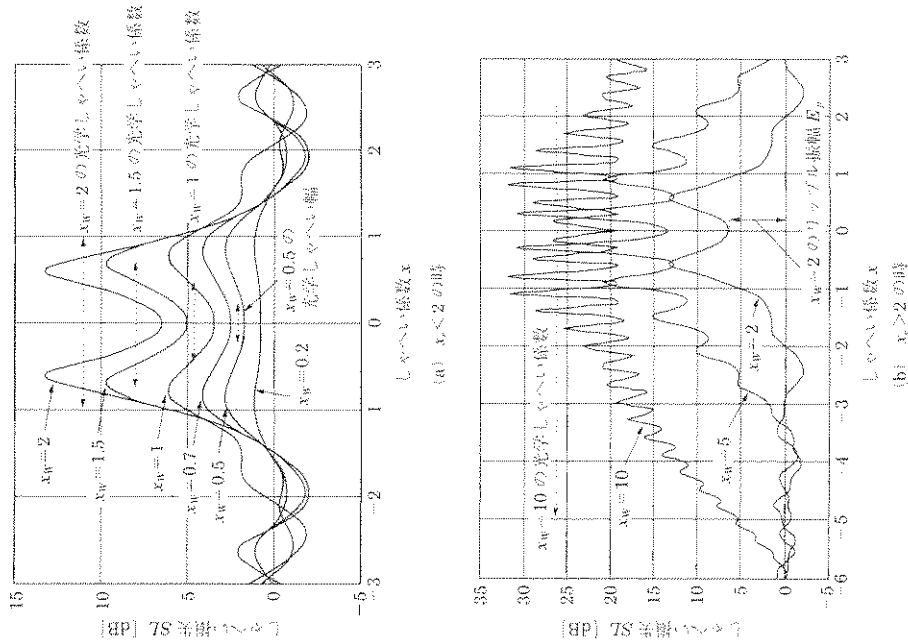
次に、建造物横幅Wを変えたとき(光学しゃへい係数 x_w を変えたとき)の
しゃへい損失SL [dB] の計算結果を付図8-4に示す。

また、付図8-5は、付図8-4の結果において、光学しゃへい係数 x_w と実効しゃ
へい係数 x_e との関係を表したものである。建造物横幅Wが小さい場合(x_w が
2以下)、実効しゃへい係数は光学しゃへい係数を越えていることがわかる。
このことは、送信点が見通すことができる地点においても電界強度低下が発
生することを表しており、光学しゃへい係数 x_w が1.5以下と小さい場合は、注
意が必要となる。なお、 x_w が2より大きい場合については、光学しゃへい係
数と実効しゃへい係数がほぼ同値となっているが、これは建造物横幅Wが大
きくなることにより、建造物片側からの回折波が支配的になるためである。

付図8-6は、光学しゃへい係数 x_w を変化させたとき、しゃへい中心軸上の
SL値と、振動しているSL値の最大値を比較したものである。

例えば、 $x_w=1$ のとき、しゃへいゾーン中心軸上のSL値は3.4dBであるが、
中心軸からずれた位置でSL値が最大となり約2倍の6.1dBとなる。これは、
光学見通し領域で希望波が6.1 dB減衰することを意味する。

付図8-7の条件で、送信点近傍にある超高層建造物のしゃへい障害概略計算
の例を紹介する。



付図 8-4 光学しゃへい係数 x_w としゃへいゾーン横断時のしゃへい損失

資料3：「眺望景観保全のための措置の立案」

出典：「国立・国定公園内における風力発電施設の審査に関する技術的ガイドライン」、環境省

(1) 眺望保全のための措置の立案

「第2段階：概略事業計画の立案」で抽出した保全対象展望地からの眺望に対して、風力発電施設の設置による支障をできる限り小さいものとするために必要な措置を立案する。

保全措置は大きくは次の3つの観点から立案するが、第2段階の「(3) 視認可能性がある展望地の眺望特性の把握」で把握した各展望地の眺望特性に応じて設定することが必要である。

また、措置は以下に例示するような既往の知見や事例を参考に、眺望特性に応じた適切なものを選択し、科学的かつ具体的に立案することが必要である。

保全措置の立案の観点

- | | |
|------|---|
| ① 規模 | ・絶対的な規模をできる限り小さくする。
・スカイラインやその他眺望構成要素に対して過大でない規模とする。 |
| ② 配置 | ・地形、植生等の地物を活かし、風力発電施設が遮蔽される位置に配置する。
・風力発電施設が複数設置される場合は、視認される範囲が小さくなるように配置する、また立地等の状況に応じて雑然とした印象を与えないように整然と配置するなど検討を行う。 |
| ③ 色彩 | ・風車の背景や眺望の基調をなす色彩に調和した色彩を採用する。
・機械室等の建築物が比較的近距离で視認される場合は、色彩だけでなく素材（自然素材の採用等）にも留意する。 |

① 規模

A) 風力発電施設の規模を最小化する

構造物の出現による眺望への支障を回避・低減するための措置としては、構造物の見えの大きさ、つまり垂直見込角の最小化を第一に考えることが必要である。

垂直見込角を最小化する方法としては、風力発電施設の高さを小さくする方法と、施設の設置位置を展望地から遠ざける方法の二通りが考えられる。ただし後者の方法は、詳細事業計画を立案する段階において垂直見込角を大幅に小さくできるほど風力発電施設の設置位置を変更できる可能性は低いことから、第1段階の事業地の選定において検討する必要がある。したがって、前者の方法によって垂直見込角の最小化を図る。

垂直見込角に応じた構造物の視認特性は、[技術解説12]で解説したとおりであるが、垂直見込角が2°未満であっても立地、背景、光線の状況等によっては景観的に気になる水準で視認される可能性がある。最小化を図る際の具体的な目標値は、こうした知見に基づく数値、周辺の既存人工物の垂直見込角の状況等を参考に設定すると良い。

<補足>

・風車の規模と基数の関係について

規模（高さ）を抑えたために生じる発電量低下は、設置基数を増やすことで補うことも考えられるが、「大規模小数設置」と「小規模多数設置」を比較検証し、より眺望への支障が少ない事業計画案を採用することが必要である。

イ) スカイラインの切断、山腹への介在を回避・最小化できる規模とする

風力発電施設によるスカイラインの切断は眺望に対して重大な支障を与えやすいことは【技術解説6】で解説したとおりであるが、眺望対象や眺望構成要素と関係性が低いスカイラインであれば切断が容認される場合がある。ただし、この場合も【技術解説14】で解説するように風力発電施設がスカイラインから突出する割合（スケール比）を最小化できるように規模を検討することが必要である。

また、スカイラインを切断しない場合であっても、背景となる山稜の高さ（比高）に対する割合（シルエット比）が過大なものとならないような規模とすることが必要である。

② 配置

ア) スカイラインの切断、山腹への介在を回避・最小化できる配置とする

眺望の背景となるスカイラインや山腹への配慮の重要性は前項で解説したとおりであるが、「規模」だけでなく風力発電施設の「配置」（事業地内での設置位置の調整）によっても眺望への支障の程度を低減することが可能な場合がある。

具体的措置としては、設置位置の調整によるスカイラインの切断の回避、又はスケール比やシルエット比を小さくすることが考えられる。

【技術解説14】「スケール比・シルエット比」と規模・配置による風力発電施設の見え方の違い

- ・ここでいうスケール比とは、「構造物等の高さ／視点からの眺望の背景となる山稜の高さ」を表す概念であり、スケール比が大きい（＝構造物の高さが高い）ほど景観に与える影響は大きいものとなる。
- ・送電鉄塔に関する研究例では、鉄塔の高さ／背景となる山の高さが $1/2$ を越えると景観に混乱が生じ始めるとされる¹⁾。
- ・また、法面に関する事例としては、法高／背景の高さが $0.2\sim0.3$ を越えると「切り土面が背景に対して大きい」という評価が得られはじめ、法面底辺の高さ／背景の高さ $=0.35\sim0.45$ を越えると不安定感が増すとされる²⁾。
- ・また、構造物がスカイラインを切断している場合では、突出量が多いほど景観に与える影響は大きくなり、送電鉄塔の例では、シルエット比（鉄塔のスカイラインからの突出量／鉄塔の高さ）が $1/2$ 以上の場合に景観に大きな混乱が生じるとされる³⁾。

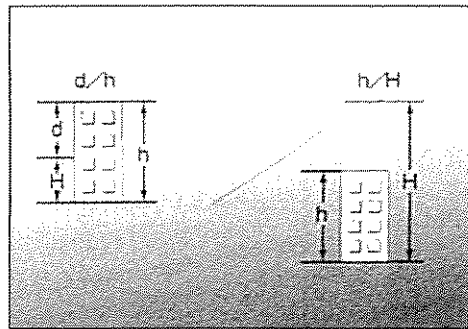


図14 スケール比(右)とシルエット比(左)の概念³⁾

<資料・画像出典>

- *1:「自然風景地における垂直構造物の視覚的影響」(1982 熊谷洋一、若谷佳史 造園雑誌45(4))
- *2:「道路の切土法面の景観評価に関する研究」(1980 山田順一、窪田洋一、小柳武和、中村良夫 土木学会年次学術講演会講演概要集第4部)
- *3:「自然環境アセスメント技術マニュアル」(1995 自然環境アセスメント研究会 (財)自然環境研究センター)

イ) 地形を活かして見えの大きさを最小化できる配置とする

設置される構造物をできる限り見えない（隠された）状態にすることも構造物の設置による眺望への支障を回避・低減するための基本的な措置のひとつである。

展望地と風力発電施設との間に起伏ある地形や既存の樹林、建築物等が存在する場合には、これらを活かして風力発電施設を遮蔽する措置を講じることで、見えの大きさを小さくすることが考えられる。

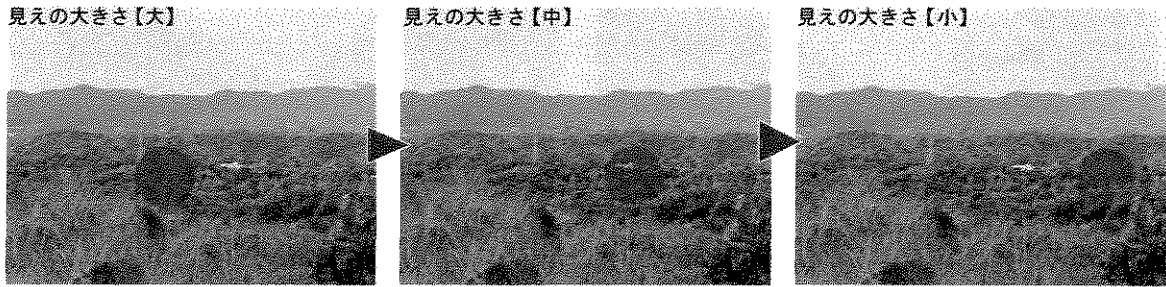


写真11 地形を活かした風力発電施設の遮蔽による効果のシミュレーション

注：本図は、状況をわかりやすく解説するためのものであり、眺望への支障の有無を表したものではない。

ウ) 眺望の視軸となる要素への介在を避けた配置とする

河川、谷、海岸、道路等の眺望を構成する直線的な要素は、視軸となりやすい（視線が集まりやすい）。このため、視軸上に構造物が出現した場合、眺望への支障がより大きくなるといえる。

したがって、風力発電施設を視軸の延長線上にあたる位置からできるだけ外れた位置に配置することが眺望への支障を小さくするための有効な措置となる。

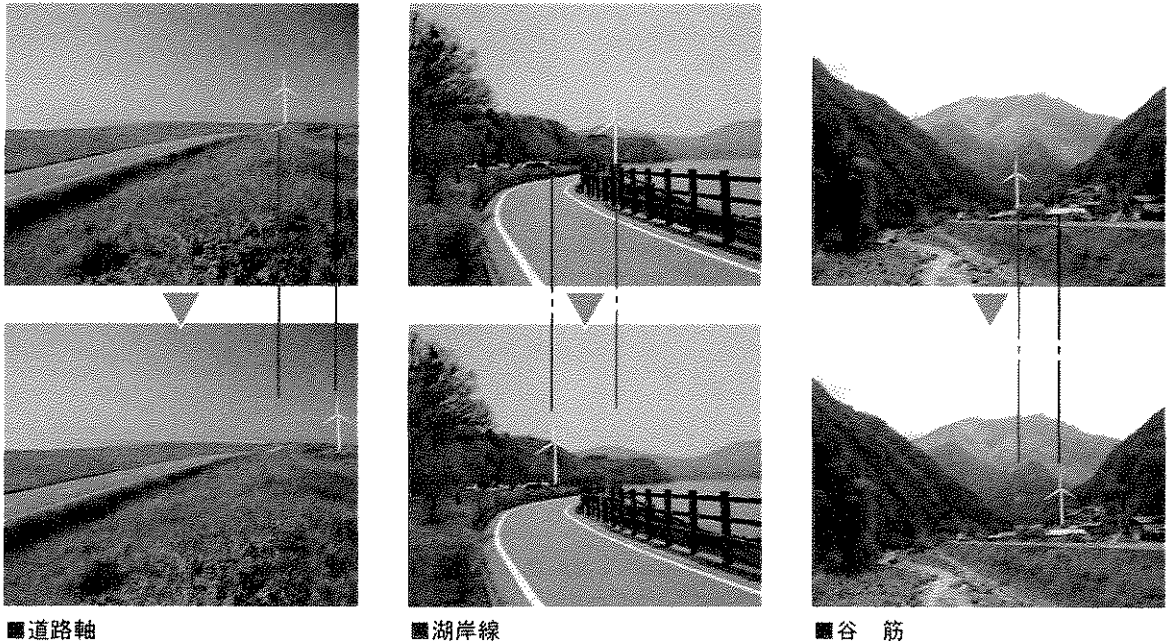
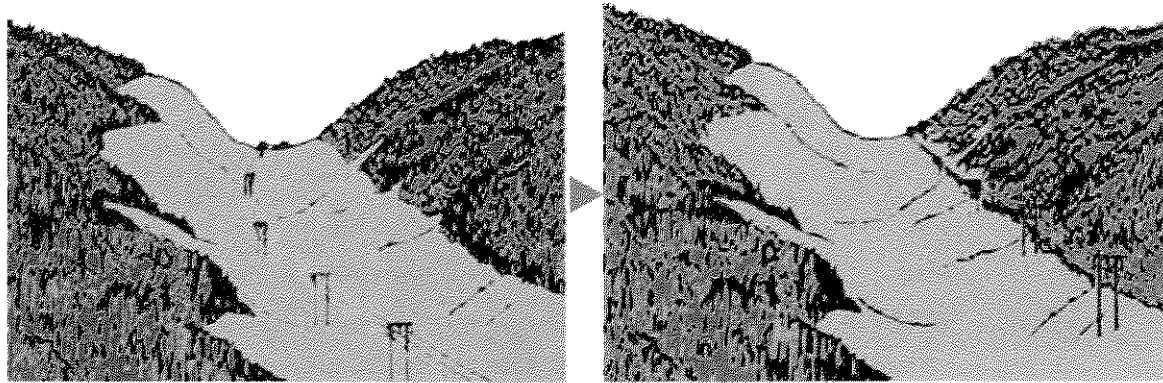


写真12 視軸上を選けた風力発電施設の配置による効果のシミュレーション

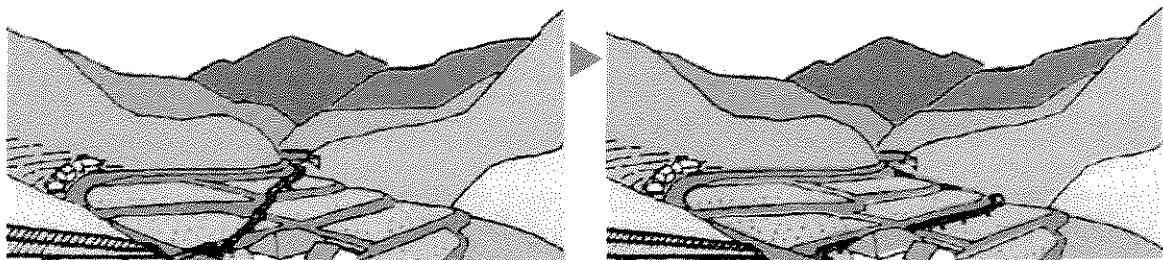
注：本図は、状況をわかりやすく解説するためのものであり、眺望への支障の有無を表したものではない。

工) 眺望の支配線に沿った配置とする

設置される構造物を自然景観と調和させるためには、構造物の配置を谷尾根や土地利用境界、道路・海岸・河川等によってもたらされる景観の支配線（エッジ）となる要素にあわせる措置が効果的である。この措置は、特に複数の風車、付帯する送電鉄塔が設置される場合に高い効果が期待できる。



■ 植生界のもたらす境界線に沿わせることで調和を図った例



■ 谷筋、道路に沿わせることで調和を図った例

図15 眺望の支配線に沿った配置のイメージ(送電線の例)

出典：「新体系土木工学 59 土木景観計画」(1982 篠原修 技報堂出版)、一部改



写真13 眺望の支配線(植生界)に沿った風力発電施設の配置による効果のシミュレーション

注：本頁に掲載した図は、状況をわかりやすく解説するためのものであり、眺望への支障の有無を表したものではない。

オ) 配置に法則性を持たせる

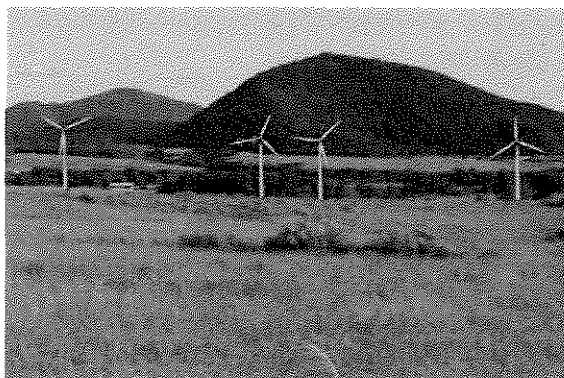
複数の構造物が設置される場合は、構造物の配置の仕方によっても見え方の印象は大きく異なってくる。

複数の風車や付帯する送電鉄塔を設置する場合は、構造物の配置に法則性を持たせる（等間隔にする、直線上に配置する、配列を地形に沿わせる等）等の措置により、煩雑な印象を低減することが可能となる。

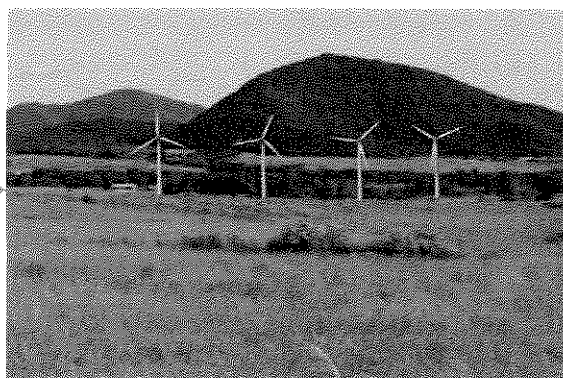
<補足>

・配置の法則性検討にあたっての留意事項について

段階的な拡充整備が想定される事業の場合、可能な限り将来的な増設計画（構想）もあわせて確認し、相互に連続性や法則性を持たせることができるよう、配慮することが望ましい。



■複数の風車を等間隔に配置した例



■道路と平行に等間隔に配置した例



写真14 風力発電施設の配置に法則性を持たせることによる効果のシミュレーション

注：本頁に掲載した図は、状況をわかりやすく解説するためのものであり、眺望への支障の有無を表したものではない。

③ 色彩

色彩や素材の持つ質感（テクスチュア）の配慮は、構造物が近～中景（概ね2km以内）で視認される場合の景観調和手法として特に有効である（[技術解説15] 参照）。

自然景観との調和を考えた場合、[技術解説16] のとおり明度、彩度の低い色を採用することが基本となる。自然景観に対しては、一般に茶系統がなじみやすいとされるが、それはもっぱら背景が樹林等の場合であり、背景が空、水面等の場合は、むしろ灰色等の無彩色がなじみやすい点に注意が必要である。特に風車や付帯する送電鉄塔は、多くの場合において背景が空となることから、茶系統よりむしろ明灰色を基本とした方が良いともいえる。

また、自然景観において強い反射光を持つ要素は、水面や雪面程度とごく少ないものであることから、色彩だけでなく、光沢を抑える（つや消し塗装にする）ことも効果的な措置といえる。

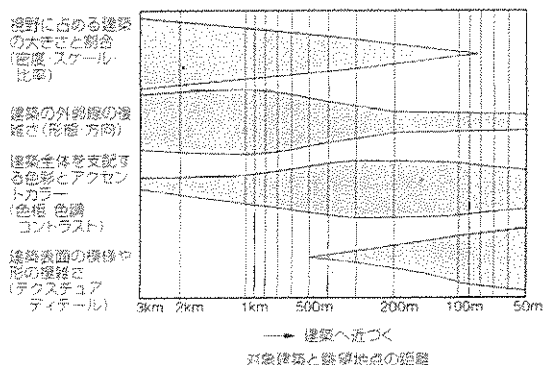
< 補足 >

- ・ 風力発電施設の色彩と航空法の対応について

風車や送電鉄塔の支柱は、航空法の規制により、国土交通省から“赤白塗装”を指導されるケースがあるが、景観調和の観点からは極力航空障害灯で代替するよう、調整を図ることが望まれる。

[技術解説15] 視距離に応じたものの見え方を規定する要因の変化

- ・ 右図は、視距離に応じた建築物の認知を規定する要素（テクスチュア、色彩、形態等）の変化を示したものである。
- ・ これによれば、建築物表面のディテールが視覚的に影響するのは視距離500m程度、色彩の違いが認識されるのは2km程度までとされており、2kmを超えると外観形状や見えの大きさが見え方を決定づける要因となる。
- ・ つまり対象までの視距離が近く、特に風力発電施設の視認規模が大きい場合には、色彩やその他微細なデザインによる景観調和措置が極めて重要になるといえる。



(注) 図は相対的な量関係を概念的に捉えるために作成したもので絶対的な実験値を示すものではない

図16 視距離に応じた認知を規定する要因の変化

資料・画像出典：「風景と建築の調和技術」（1979 進士五十八・麻生恵 国立公園356/359号）

[技術解説16] 自然景観と調和しやすい色彩

- ・ 色彩は、色相（色味）、明度（明るさ）、彩度（鮮やかさ）等で規定される。色相、明度、彩度等を数値化し、体系的に整理・表示したものとしては、「マンセル表色系」（[技術解説17] 参照）が著名である。
- ・ 色彩は視野内に存在する複数色の相互関係によって、調和・不調和が生じることとなる。景観の分野における色彩の調和に関する研究は、様々な分野で取り組まれており、主に右記のような見解が得られている。
- ・ なお、景観の基調をなす色彩は、季節によって変化するものであり、特に積雪地では大きく変化することであることに注意が必要である。

- 無雪期の自然風景地において特に視認性が高いのが「白色」、特に低いのが「茶色」。^{*1}
- （自然景観との調和を考えた場合）濃黄緑、灰、灰／暗茶、明茶／灰赤が好ましい。暗茶、暗灰緑等の地味な色はあまり好まれないがカモフラージュの観点からは有望である。鮮赤、青、オレンジ等の派手な色は好まれない。複数の色の組み合わせでは、対比色より同系色の方が好まれる。^{*2}
- 自然風景地で調和しやすい明度／彩度は3.5～5.5／3.0～6.0（無雪季）、4.0～6.0／3.0～6.0（積雪期）である。^{*3}

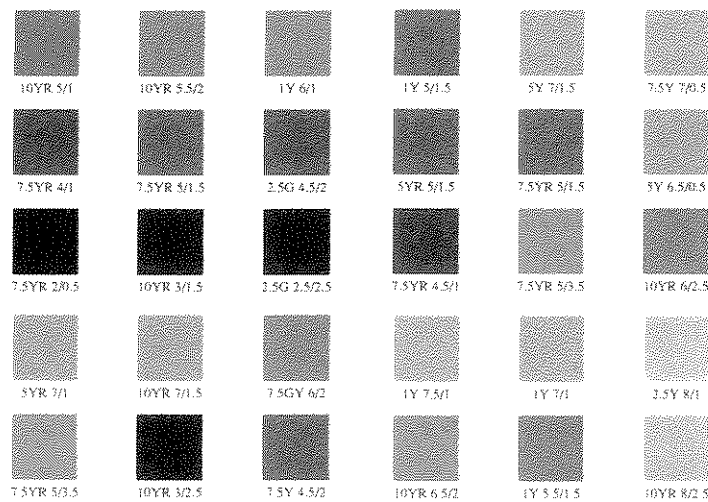


図17 自然景観と調和しやすい色彩の例^{*4}

<資料・画像出典>

- *1:「東京農業大学卒業論文集」(1974 近藤文子)
- *2:「自然景観地内建築物色彩イメージについての実験的研究」(1981 麻生恵・永嶋正信・進士五十八・西川生哉・児玉晃 日本造園学会春季大会発表会要旨)
- *3:「風景と建築の調和技術」(1979 進士五十八・麻生恵 国立公園356/359号)
- *4:「青森県景観色彩ガイドライン」(2000 青森県)

[技術解説17] マンセル表色系

- ・マンセル表色系は、色を「色相／明度／彩度」で数値化し、体系的に整理したもので、色を表現する値として一般に使われる（例えば、マンセル値10YR8.5/0.5とは、色相が10YR、明度が8.5、彩度が0.5であることを示す）。
- ・「色相」とは色味を示し、R（赤）YR（黄赤）Y（黄）GY（黄緑）G（緑）BG（青緑）B（青）PB（青紫）P（紫）RP（赤紫）の10色相の頭文字と、その変化を表す0から10までの数字の組み合わせで表示する。
- ・「明度」は、色の明るさを0から10の値で示したもので、数値が10に近いほど明るい色であることを示す。
- ・「彩度」は、色の鮮やかさを示し、無彩色を彩度0として、数値が増えるほど鮮やかな色であることを示す。

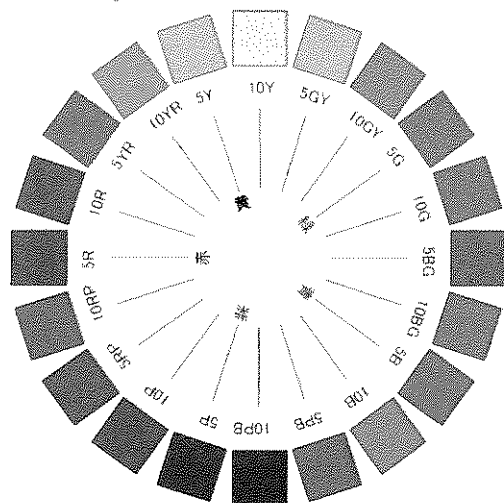
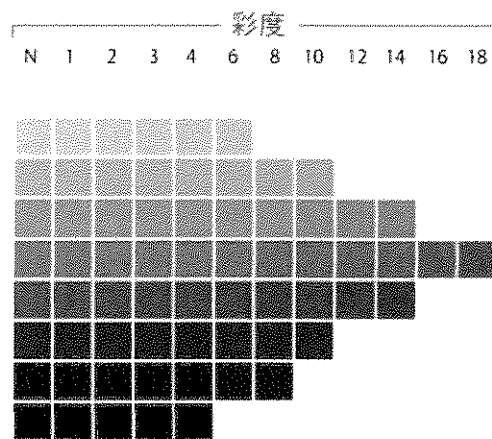


図18 マンセル表色系の色相環

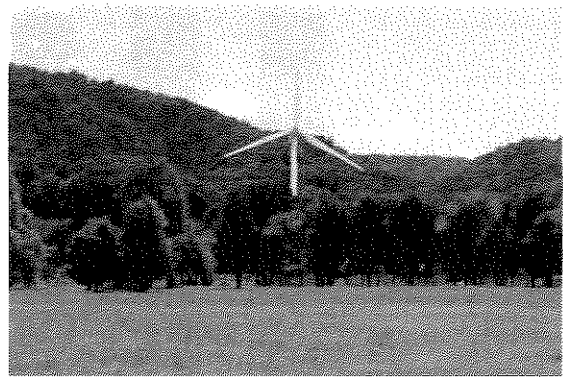


マンセル表色系・等色相カラーチャート（色相：5R）

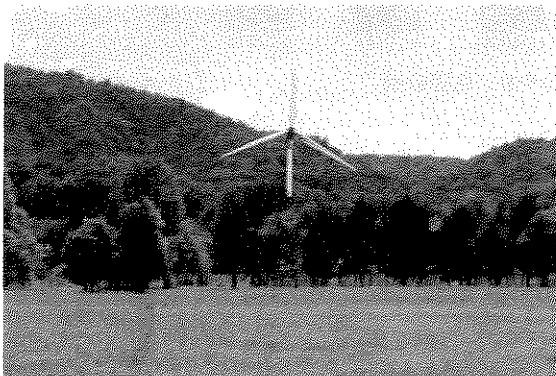
図19 「明度」と「彩度」の関係



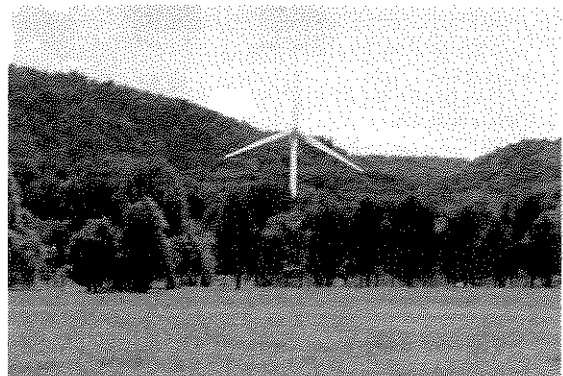
【白】最も一般的に採用されている色彩。清潔感を与えるが、コントラストが強く目立ちやすい。



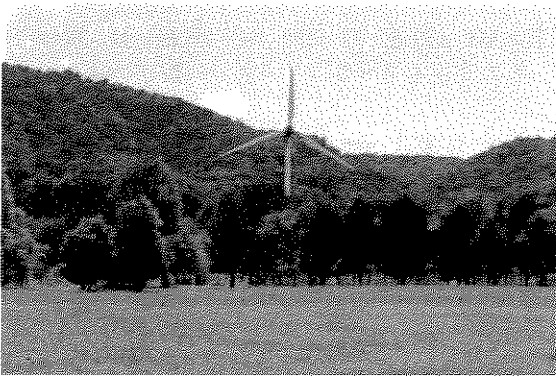
【青】背景が青空であっても調和しない。自然景観と調和しにくい色彩。



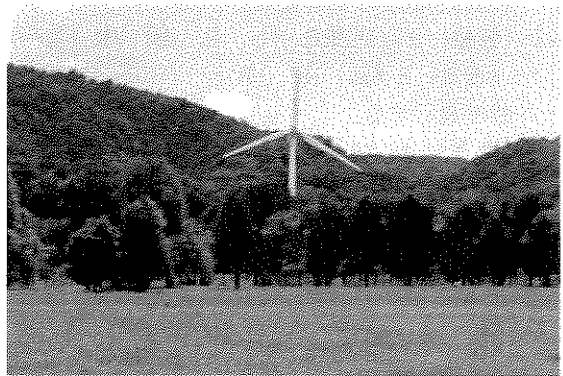
【暗灰】背景が山稜や樹林の場合に調和性が高く、空の場合にもまずまず。オールラウンド的。



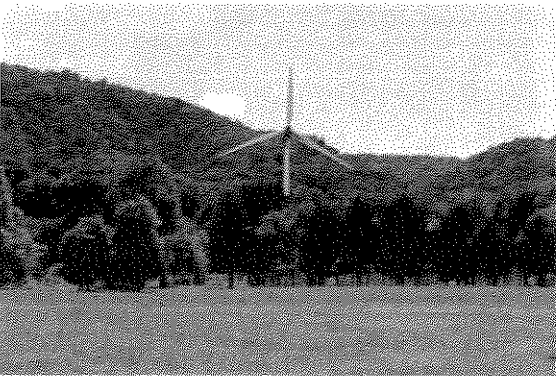
【明灰】背景が空の場合、調和性が高い。背景が山稜の場合でも「白」より調和性が高い。



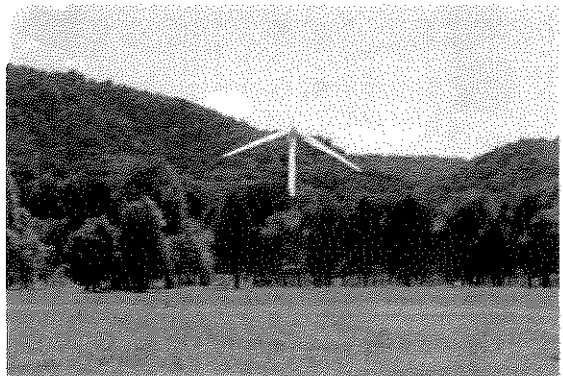
【暗茶】背景が山稜の場合に調和性が高いが、空との調和も考慮すると、灰色系統の調和性が高い。



【明茶】総合的に見て濃茶の方が調和性が高い。



【暗緑】明度、彩度を落とした緑は、樹林景観とは調和する。



【薄緑】緑でも明度、彩度を上げると不自然で浮き立ったような印象を与える。