

### 3.5 環境影響評価

2.4.3 項の「洋上風力発電の導入に係る課題」で環境影響評価について概説したように、2012年10月に改正環境影響評価法(以下、法アセスと称する)が施行され(2013年4月1日に完全施行)、風力発電事業が法アセスの対象事業として位置づけられた。

以下、環境アセスメントの手続の概要とともに、洋上風力発電の環境影響評価に関して、特に重要な影響要因を取り上げて取りまとめた。

#### 3.5.1 環境アセスメントの手続

法アセスにおいて、風力発電の規模要件は第1種事業(必ず環境アセスメントを行う事業)で出力1万kW以上、第2種事業(環境アセスメントが必要かどうか個別に判断する事業)で出力0.75万kW以上1万kW未満と定められた。なお、第2種事業を法アセスの対象とするか否かの判定はスクリーニングと称される。法制度の概要は図3.5.1-1に示すように、事業実施段階前の手続と事業実施段階の手続の2つに大別される。

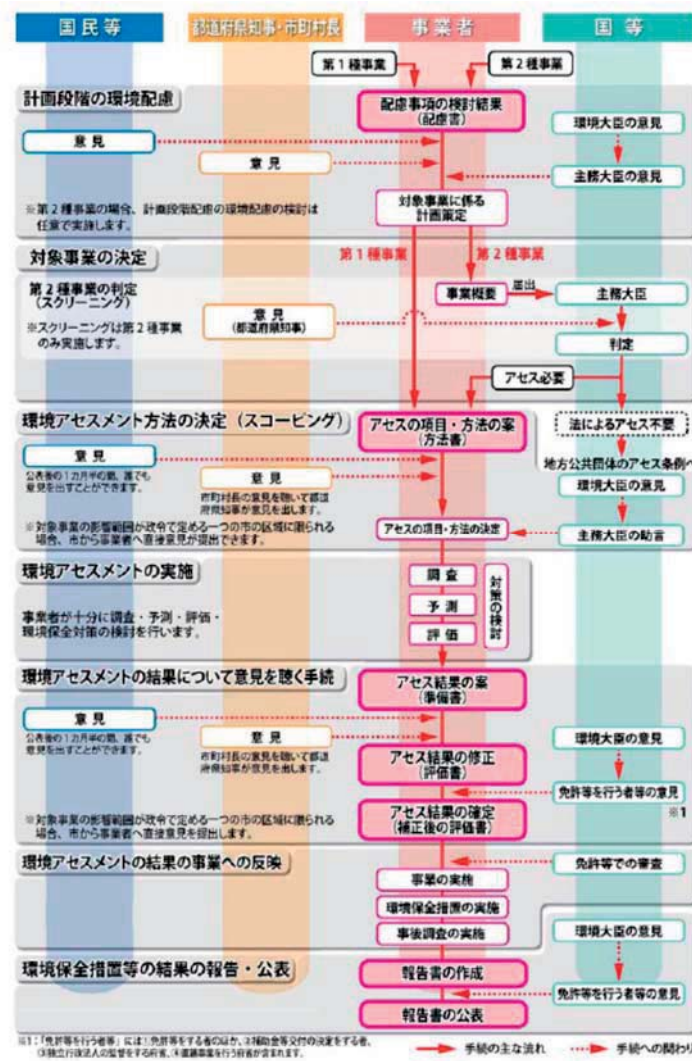


図 3.5.1-1 環境影響評価法の法制度の概要(環境省総合環境政策局環境影響評価課, 2013)

### 【事業実施段階前の手続】

事業実施段階前における配慮書は、原則として対象計画に係る工事の完了後を対象とし、事業実施想定海域及びその周囲を提示して、既往調査資料等により複数案の計画について重大な環境影響を受けるおそれのある環境要素を予測・評価するものである(環境大臣・主務大臣・住民/知事等の意見を聴取)。なお、第2種事業では配慮書の実施は任意とされている。

#### ① 事業実施想定海域の選定

事業実施想定海域の選定は、発電所アセス省令第3条の規定により第一種事業に係る風力発電設備等の「構造」、「配置」、「位置」、「規模」に関し、複数案を設定して検討するが、地形・地質条件の制約、風況条件の制約、経済面、技術面等から複数案の設定が現実的ではないケースも考えられる。その場合には複数案を設定しない理由を明らかにする必要がある。事業実施想定海域の検討には地形・地質条件、風況条件等の自然条件以外に、法的な規制あるいは、他の社会的な制約があるか否か、精査する必要がある。つまり事業実施想定海域を包括する広めの海域において、洋上風力発電の立地調査に関連する法律と許認可との関係について検討することとなるが(表3.2.2-1を参照)、同海域に貴重な動植物や絶滅危惧種等の生息が確認されている海域、自然公園等の指定海域等については、その海域を事業実施想定海域から除外するような配慮が重要であると考え。参考までに、以下に自然条件及び社会条件に関するデータベース化された資料名を列記する。

#### ●国土交通省

- ✓海洋情報クリアリングハウス(愛称：マリンページ)
- ✓海洋台帳(海洋政策支援情報ツール)

#### ●環境省

- ✓環境アセスメント環境基礎情報データベースシステム

- ・情報モデル地区環境情報

地域の既存資料調査結果、地元有識者のヒアリング調査結果、動植物・生態系等の現地調査結果(GIS データ)の提供。

- ・地域既存環境情報

環境影響評価の際の基礎情報となる国や地方公共団体等による自然情報、社会情報の閲覧。

- ・参考文献検索

鳥類への影響に関する文献資料情報及び騒音・超低周波音に関する文献資料情報等の閲覧。

- ・環境影響評価事例検索

都道府県、政令指定都市等の条例に基づく風力発電事業の環境影響評価書の検索・閲覧。

#### ② 計画段階配慮事項の選定

計画段階配慮事項の選定は、発電所アセス省令第5条に基づき、配慮書事業特性及び配慮書地域特性を踏まえ、事業に伴い環境影響を及ぼすおそれがある要因により、重大な影響を受けるおそれがある環境要素について影響の重大性を客観的・科学的に検討するものである。洋上風力発電の事業特性から重大な環境要素とは水中騒音、バードストライク、景観等があげられ、これらについて配慮書段階では原則として比較的簡易な手法により予測を行うことになるが、可能な限り定量的に把握すること、困難な場合には定性的に行うことが求められている。

## 【事業実施段階の手続】

事業実施段階では、所謂、環境影響評価書の作成に係る「方法書」、「準備書」及び「評価書」があげられる他、環境の保全のための措置(回復することが困難であるためその保全が特に必要であると認められる環境に係るものであって、その効果が確実でないものとして環境省令で定められたものに限る)、あるいは環境の状況把握のための措置等について報告する手続(「報告書手続」)がある。各段階ともに必要に応じて環境大臣、主務大臣(風力発電の場合は経済産業大臣)、都道府県知事、住民の意見を踏まえて、環境影響評価書等を取りまとめる手順を踏む。

### ①方法書

本手続は、スコーピング(アセスの項目・手法の選定)と言い、対象事業実施海域及びその周囲に与える影響について、環境要素、調査・予測及び評価手法を選定し取りまとめる。なお、調査は可能な限り定量的なデータを取得する方法で実施する。

方法書において、発電所アセス省令の別表五で取り上げられている参考項目(表 2.4.3-4 を参照)に照らして実施することが求められると推察されるが、環境省総合政策局(2011)の指摘のように、環境影響評価書は個々の事業の地域特性を踏まえ、必要な項目についての十分な評価となるよう参考項目の適切な絞り込みや重点化を図って設定することが重要であると考えられる。なお、洋上風力発電に係る環境影響評価の場合には参考項目には取り上げられていないが、水中騒音が重要な環境要素となろう。

### ②準備書

方法書に基づいて可能な限り定量的な予測・評価を実施し、その結果を環境保全措置の検討結果と併せて取りまとめる。なお、予測時期は建設工事による影響が最大となる時期、及び供用後の対象生物の生息環境が安定した時期、並びに、その他の予測に適切且つ効果的であると認められる時期、期間または時間帯とする。

### ③評価書

環境影響評価結果を修正し、評価書として確定する。

### ④報告書

環境保全のための措置あるいは環境の状況把握のための措置等について報告書を作成する。

なお、環境影響評価に要する期間は配慮書から評価書に至るまで、3～4年程度掛かると考えられるが(3.1節、参照)、現在、環境影響評価手続きの迅速化が求められており、環境アセスメントの手続期間を半減することを目指し、NEDOにおいても2014年度より環境影響調査の前倒し実施に関する課題の特定・解決を図るための実証事業(環境アセスメント調査早期実施実証事業)が開始されたところである。

### 3.5.2 洋上風力発電の主な環境影響要因

風力発電の導入に伴う主要な環境影響について、着床式洋上風力発電と陸上風力発電を比較して図 3.5.2-1 に示す。本図から両者の大きな違いは、影響を受ける対象(環境要素)である。陸上風力発電は、騒音及び景観について直接的に人間への影響が懸念されるケースもあるが、着床式洋上風力発電では沖合の海上に建設されることもあって、特に騒音に関しては人間へ直接影響することは陸上風力発電と比較して小さいと考えられる。

発電所アセス省令の別表五の参考項目(表 2.4.3-4,参照)の中で、着床式洋上風力発電による影響要因は、動物{水中騒音による海生生物(魚類、海棲哺乳類等)、バードストライク(鳥類等)}、植物(海草・海藻類)、水の濁り、海底地形の改変、景観等が考えられるが、前述のように、環境省総合政策局(2011)は、環境影響評価書に関して地域特性を考慮し参考項目(影響要因)の適切な絞り込みや重点化を図って設定することが重要であると指摘している。海外における環境影響評価の事例からもうかがわれるように、主たる影響要因は水中騒音及びバードストライクであり、また陸上ほどではないけれども景観問題であると考えられる。なお、これは配慮書における重大な環境要素として掲げられている項目と同一である。

よって、ここでは「水中騒音」、「バードストライク」、「景観」を選定するとともに、その他の影響として「蝟集効果」を取り上げてまとめた。

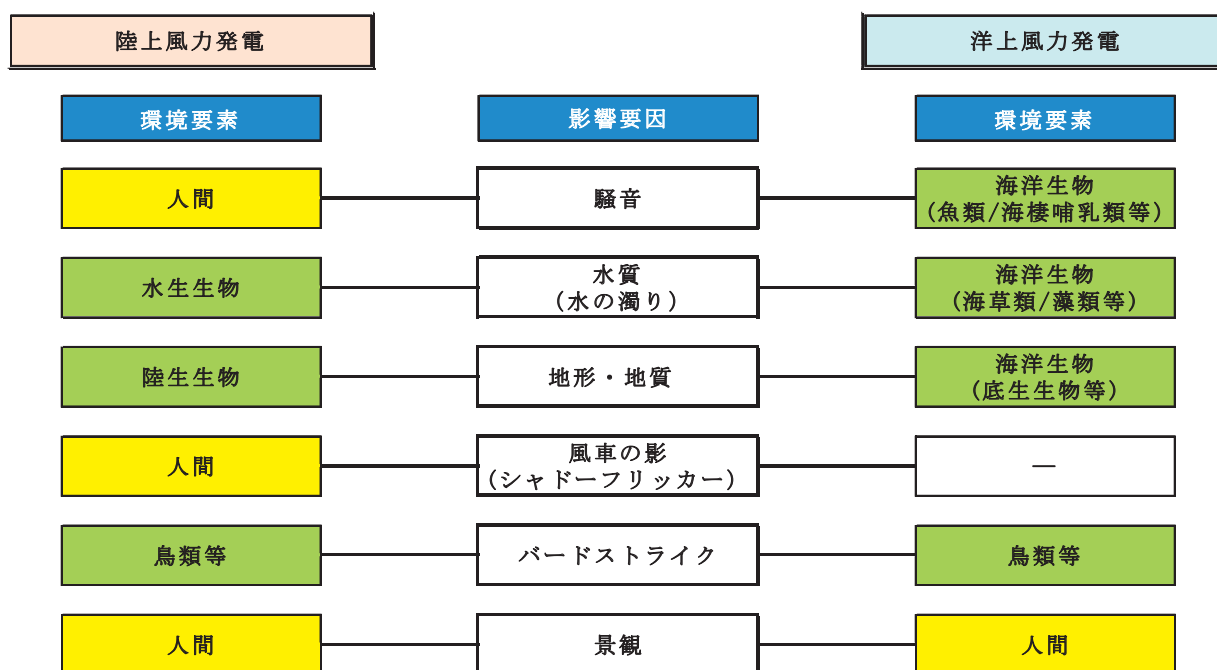


図 3.5.2-1 環境影響に係る着床式洋上風力発電と陸上風力発電の比較

#### (1) 水中騒音

##### 1) 水中騒音の伝播経路とその音圧レベル

工事中の洋上風力発電設備による水中騒音の経路は、一例として支持構造のモノパイルの打設時の伝播経路を図 3.5.2-2 に示すように、空中伝播、水中伝播及び地中伝播に区分される。空中伝播の場合、水面への入射角が 13° より小さい音圧エネルギーが水中に伝播するため

(Gerjuoy,1947)、空中伝播の大部分は工事近傍海域に限定されるとされている。また、水中伝播と地中伝播はそれぞれモノパイルや海底地盤を介して水中騒音が発生するもので、地中伝播は地盤の条件によって異なると考えられ、水中騒音の主体はモノパイルの振動等による水中伝播が支配的であると思われる。なお、ジャケットの底面杭打ちでは、伝播経路は水中伝播と地中伝播の2経路となる。

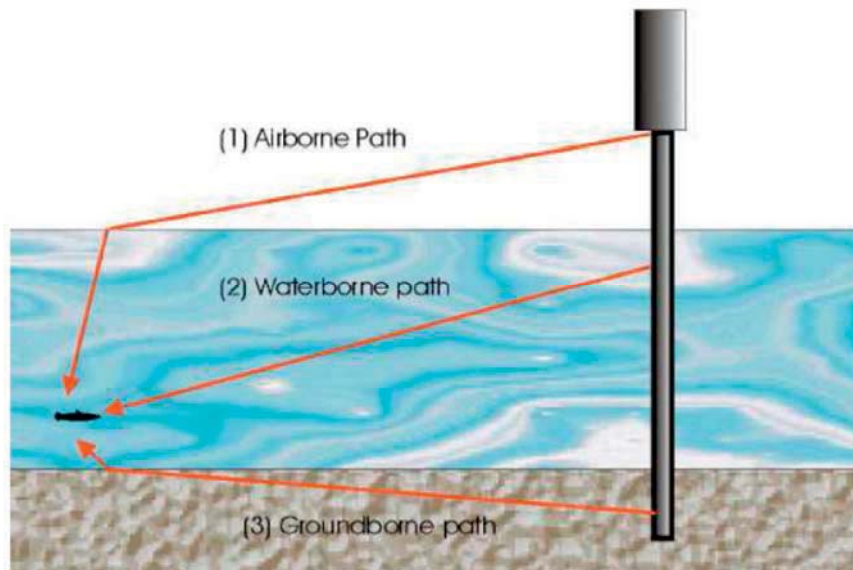
一方、洋上風力発電設備の稼働に伴う水中騒音の経路は、工事中と同様に、空中伝播、水中伝播及び地中伝播から成り(図 3.5.2-2)、その音圧レベル(SPL: Sound Pressure Level)は風速、風車出力等に依存する。ブレードの風切り音は水面で反射して水中にはほとんど影響しないとの報告があるように(Dong Energy *et al.*,2006)、水中騒音の多くは水中伝播によるもので、発電機、ギアボックス、変圧器の冷却装置等の機械装置由来のもので、タワーの振動を通して水中に伝播すると指摘されている(Nedwell and Howell,2004)。

---

<参考>

- ・水中音圧レベル： $20\log_{10}(P/Pref.)$  (dB re 1 $\mu$ Pa)  
P:対象音圧(Pa)、Pref:基準音圧(re)=1 $\mu$ Pa(水中)、20 $\mu$ Pa(大気中)  
\*大気中と水中では基準音圧が違う。水中での音圧レベルは空気中より 26dB 大きい。  
\*音圧 2 倍は 6dB の増加： $20\log_{10}(2P/Pref.) = 20\log_{10}2 + 20\log_{10}(P/Pref.) = 6dB + 20\log_{10}(P/Pref.)$
- ・音源音圧レベル：音源から 1m の距離の測定値に換算した音圧レベル(単位:dB re 1  $\mu$  Pa@1m)で、所謂、(受信)音圧レベル(単位:dB re 1  $\mu$  Pa)とは異なる。
- ・ピーク音圧レベル：最大音圧レベルを表す(単位:dB re 1  $\mu$  Pa peak to peak/ dB re 1  $\mu$  Pa@1mpeak to peak)。

『モノパイルの打設時の騒音経路』



『風車稼働時の騒音経路』

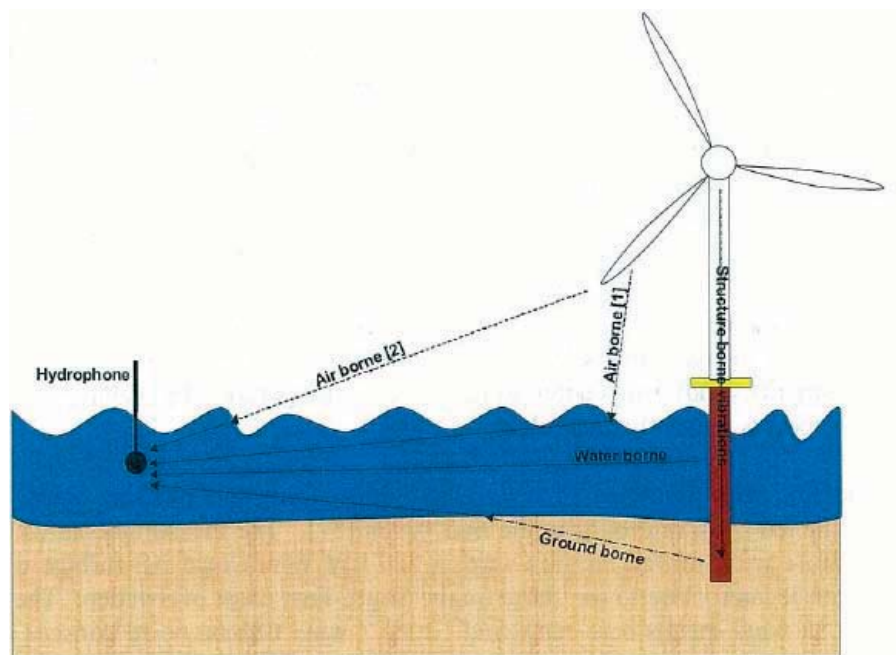


図 3.5.2-2 洋上風力発電の水中騒音の伝播経路 (Nedwell and Howell, 2004)

洋上風力発電の各種支持構造の工法による水中騒音の音源音圧レベルを表 3.5.2-1 に示す。同表に示すように、工事に伴う水中騒音の音圧レベルは支持構造の形式によって異なり、大型打込みモノパイル式が最も音圧レベルが高く 252dB re 1 $\mu$  Pa、最も音圧レベルが低い工法は 162 dB re 1 $\mu$  Pa の穿孔モノパイル式であった。このように、洋上風力発電所に係る水中騒音で、モノパイルの打設工事による音圧レベルが高く、そのレベルはモノパイルの直径に比例する。この理由は、大きなパイルの打設にはより多くの力を必要とすること、そして表面積の増加により伝播効率が上がるためと考えられ、本来、受信音圧レベルに関係する水深や地質の伝播に対する影響は相対的に低くなる (Nedwell *et al*, 2009)。表 3.5.2-2 は、モノパイル打設工事

で実測された音源音圧レベルを示したもので、モノパイルの直径 1m と 5m の音圧レベルを比較して、後者は前者の約 1.25 倍のレベルとなっている。

表 3.5.2-1 洋上風力発電の各種支持構造の工法に係る騒音特性

| 工法                                  | 大型打込みモノパイル式                                | 穿孔モノパイル式                           | 改良型大型打込みモノパイル式                          | ジャケット式(小径パイルの打込み)                       | 重力式                                    |
|-------------------------------------|--|------------------------------------|---|---|--|
| 水中音の特徴                              | 高  | 低-中                                | 中-高                                     | 中                                       | 低-中                                    |
| 水中騒音の音圧レベル<br>(dB re 1 $\mu$ Pa@1m) | 252<br>(直径4.7mのモノパイル)<br>(SMRU Ltd., 2007) | 162<br>(Nedwell and Brooker, 2008) | 20程度の減<br>(Nehls, <i>et al.</i> , 2007) | 225<br>(直径1.8mのパイル)<br>(Talisman, 2005) | 168-186<br>(ドレッジ時の測定)<br>(Cefas, 2009) |

出典) Prior and Shrimpton(2009)より作成

表 3.5.2-2 モノパイルの直径の違いによる音源音圧レベルの相違 (Nedwell *et al.*, 2009)

| モノパイル直径<br>[m] | $L_{p-p}$<br>[dB re 1 $\mu$ Pa @ 1m] |
|----------------|--------------------------------------|
| 4.7            | 252                                  |
| 4.7            | 250                                  |
| 4.0            | 249                                  |
| 4.3            | 243                                  |
| 4.2            | 257                                  |
| 2.4            | 242                                  |
| 1.8            | 234                                  |
| 0.9            | 201                                  |

なお、表 3.5.2-1 にある穿孔モノパイル式(Drilled Monopile)は、3.7.2 項の「施工」のモノパイルの説明で記載しているように、コンクリート製のモノパイル内に掘削機が挿入され、所定の海底深度まで掘削するもので、鋼鉄のモノパイルの打設よりも騒音の低減が図られる工法である。その他、騒音低減対策として振動打設(Vibrohammer: 3.7.2 項、参照)やエアバブルカーテンによる方法(周波数により異なるが、5-25dB の音圧低減が測定されている)、またはそれらを組み合わせた対策が提唱されている(Elmer *et al.*, 2006)他、豆知識 3.9-1 に示しているように支持構造のサクション形式も騒音低減の期待できる工法である。

稼働風車からの水中音の音圧レベルは、工事中のそれよりも小さいことは明瞭であるが、風力発電施設の規模、測定時の気象海象条件が異なるので単純な比較は難しい。既往調査資料では 95~156dB re 1  $\mu$  Pa の結果が得られ、風車の大型化とともに大きくなる傾向がみられる(表 3.5.2-3)。

表 3.5.2-3 既往調査資料による稼働風車からの水中音の音圧レベル

| 国      | 洋上風力発電施設      | 風車の定格出力 (kW) | 風車基数 | 水中音 (dB re 1 $\mu$ Pa)<br>(dB re 1 $\mu$ Pa@1m) | 暗騒音 (dB re 1 $\mu$ Pa) | 測定場所               | 出典                    |
|--------|---------------|--------------|------|---|------------------------|--------------------|-----------------------|
| デンマーク  | Vindeby       | 450          | 11   | 119   | 86 (25Hz)              | 風車の支持構造物から25m離れた地点 | Degn(2000)            |
|        | Gotland       | 550          | 5    | 95  | 70(160Hz)              |                    |                       |
| スウェーデン | Utgrunden     | 1425         | 7    | 156.3   | —                      | 音源音圧レベル (風速:8m/s)  | Lidell(2003)          |
| イギリス   | North Hoyle   | 2000         | 30   | 128   | —                      | 音源音圧レベル            | Nedwell et al. (2007) |
|        | Scroby Sands  | 2000         | 30   | 130   | —                      |                    |                       |
|        | Kentish Flats | 3000         | 30   | 114   | —                      |                    |                       |
|        | Barrow        | 3000         | 30   | 124   | —                      |                    |                       |

## 2) 水中騒音の周波数特性

モノパイルの打設時における水中騒音の周波数特性の例を図 3.5.2-3 に示す。本図は、音圧レベルの RMS(Root Mean Square:二乗平方根)値であり、ピーク値ではないことから広範囲の周波数に亘って高い音圧レベルを示していることが分かる。

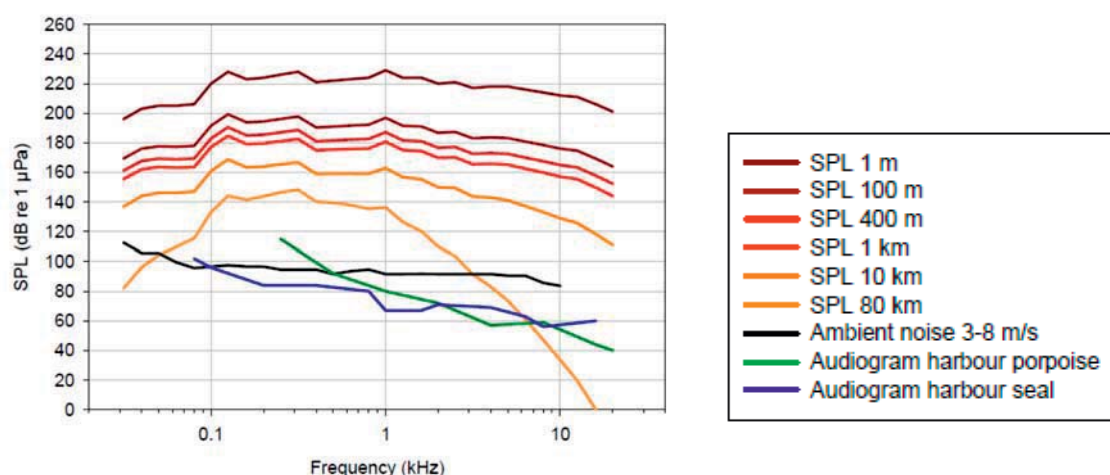


図 3.5.2-3 モノパイルの打設時における水中騒音の周波数特性の例 (Thomsen *et al.*, 2006)

洋上風車の稼働中の水中騒音測定は、Westerburug(1999)の報告書にみることができる。スウェーデンの Nogersund(世界初の洋上風力発電実証研究施設)の 220kW 風車(ハブ高: 35m)から 100m 離れた場所の水中騒音のピークは 8Hz と 16Hz(風速: 12m/s)の 2 つの周波数、風速 6m/s では 16Hz の周波数にピークがみられている。Degn(2000)は、洋上風力発電施設の Vindeby(デンマーク)と Gotland(スウェーデン)を対象として支持構造物から 20m離れた測点で騒音測定を行っている。1/3 オクターブバンド周波数分析から両サイトともブレードの回転に伴う卓越成分(1~2Hz)は認められないが、音圧レベルのピークには前者の Vindeby で 119dB re 1  $\mu$  Pa (25Hz;暗騒音 86dB re 1  $\mu$  Pa)、後者の Gotland で 95dB re 1  $\mu$  Pa(160Hz;暗騒音 70dB re 1  $\mu$  Pa)と報告している(図 3.5.2-4)。また、Utgrunden(スウェーデン)と Horns Rev(デンマーク)で測定された結果によると 30Hz から 800Hz までの低周波帯に 2、3 のピークが観測されている(Dong Energy *et al.*,2006)。



このように風車による水中騒音は、モノパイルの打設時にみられる広域周波数帯における高い音圧レベルとは特性が異なり、比較的低い周波数帯に音圧レベルのピークが現れる特徴を有する。

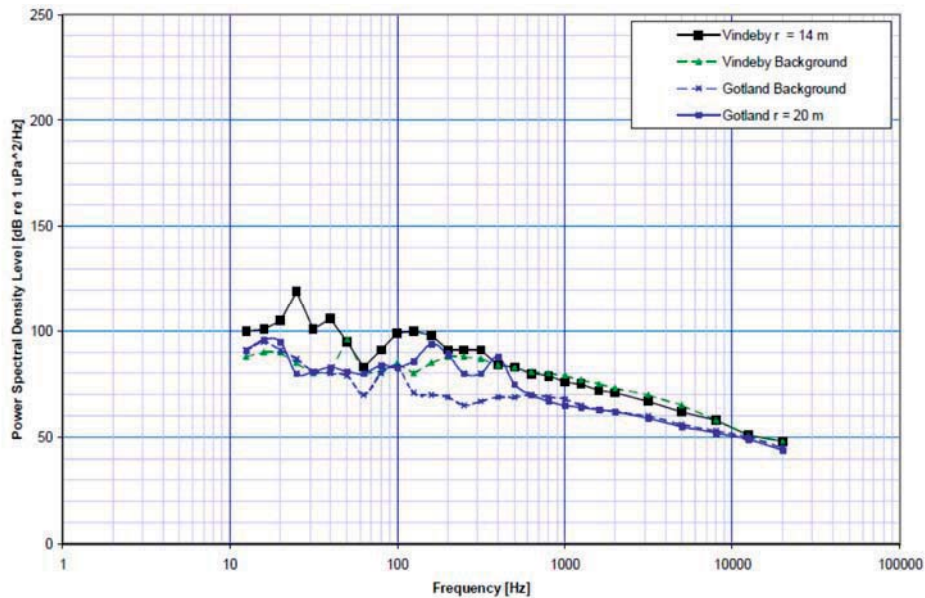


図 3.5.2-4 2つの洋上windファームにおける水中騒音の測定結果 (Nedwell and Howell, 2004)

### 3) 水中騒音の海洋生物への影響

水中騒音による影響が懸念される海洋生物は、魚類と海棲哺乳類をあげることができる。

一般に、図 3.5.2-5 に示すように、水中音に関して魚類は 1kHz 以下の比較的低い周波数に敏感であるが、海棲哺乳類はそれとは反対に 1kHz 以上の高い周波数に非常に敏感であると言われている (Nedwell *et al.*, 2007b)。

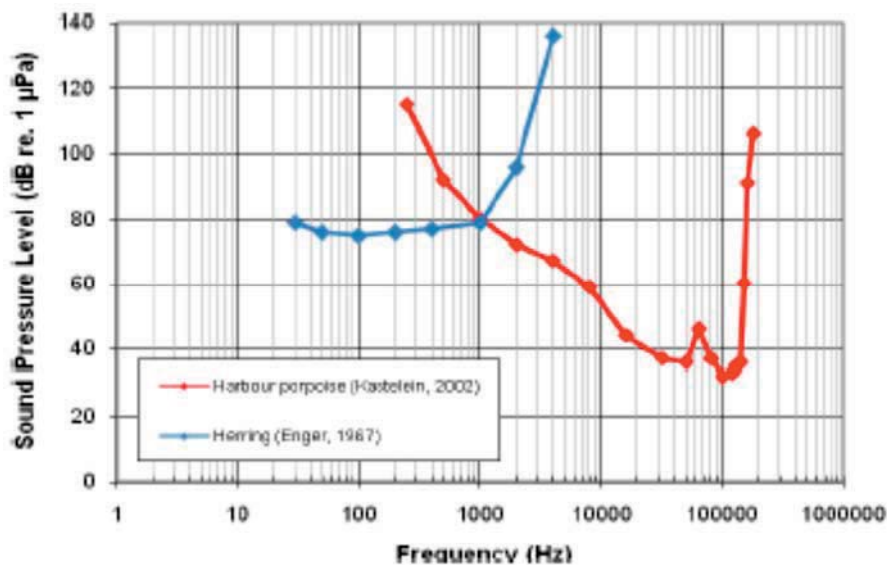


図 3.5.2-5 聴力図の例 (赤：ネズミイルカ, 青：ニシン) (Nedwell *et al.* 2009)

ここでは、これら 2 種類の海洋生物に係る水中騒音の影響の予測・評価と事後調査の結果について、その概要を示す。

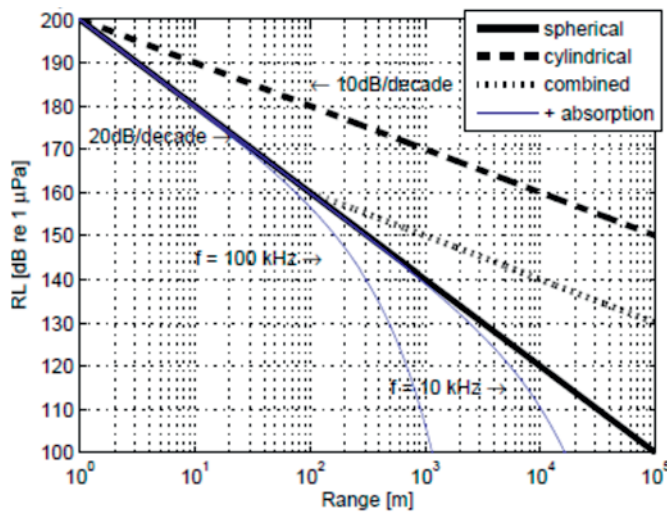
一般に、水中騒音による海洋生物への影響に係る予測・評価の手順は、次に示す順序に従って行われることが多い。

① 既往調査資料による知見あるいは水中騒音シュミレーションモデルによる音圧レベルの予測(工事と稼働時)

✓ 水中騒音シュミレーションモデル

- ・ 球面拡散モデル
- ・ 円筒拡散モデル
- ・ 数学モデル

図 3.5.2-6 の左図は、球面拡散モデル(spherical)と円筒拡散モデル(cylindrical)及び中間モデル(combined)に係る伝搬損失の例を示すとともに、右図は、数学モデルとして、水中騒音に係る影響評価基準別に音圧伝播分布が示されている INSPIRE(Impulse Noise Sound Propagation and Impact Range Estimator)の例を示す。



- ・ combined のケース: 拡散は、 $R$ (水平距離) $=H$ (水深) $=100\text{m}$  までは球面拡散モデル、それ以深では円筒拡散モデル
- ・ 吸収による損失:  $f=100\text{kHz}$ ,  $f=10\text{kHz}$  のケース (球面拡散モデル)

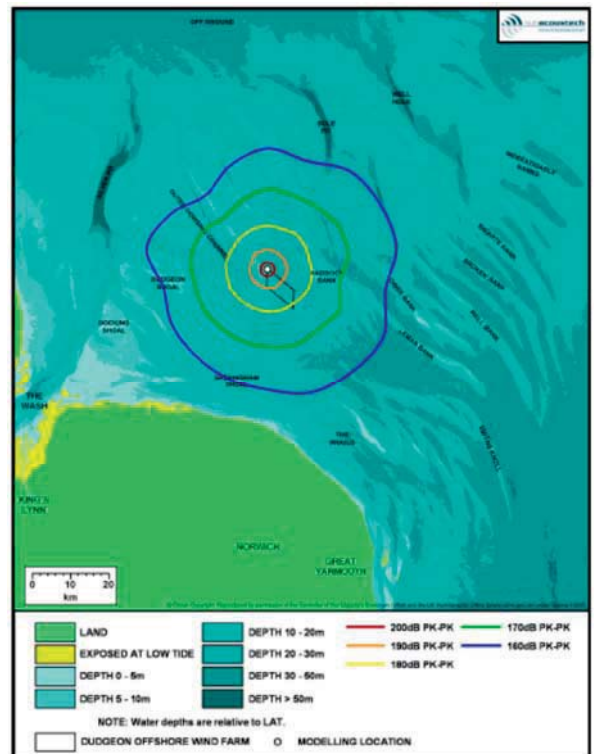


図 3.5.2-6 左図：モデルの違いによる伝搬損失 (Erbe, 2011)

右図：INSPIRE の音源レベル伝播分布 (Nedwell *et al.*, 2009)

② 水中音圧レベルと生物の反応に関する既往知見

✓魚類

- ・損傷レベル(> 210dB)、威嚇レベル(140-160dB)、誘致レベル(110-130dB)非骨鰾類の聴覚閾値(90-110dB)、骨鰾類の聴覚閾値(60-80dB) (畠山ら,1997)
- ・聴覚障害(206dB peak to peak) (Fisheries Hydroacoustic Working Group,2008)

✓海棲哺乳類

- ・反応閾値:120dB(ハクジラ亜目/鰭脚亜目/ヒゲクジラ亜目;Wartzok *et al.*,2012)
- ・反応生起:165dB(ハクジラ亜目/鰭脚亜目/ヒゲクジラ亜目の供試個体の半数が反応したレベル;Wartzok *et al.*,2012)
- ・PTS 聴覚障害\*:230dB peak to peak(クジラ目;Southall *et al.*,2007)、218dB peak(鰭脚亜目;Southall *et al.*,2007)
- ・TTS 聴覚障害\*:160dB (ハクジラ亜目マイルカ科ハンドウイルカ;Nachtigall *et al.*,2004)、195dB (ハクジラ亜目マイルカ科ハンドウイルカ;Finneran *et al.*,2005) (音圧レベルの相違は暴露時間の差による)、212dB peak to peak(鰭脚亜目;Southall *et al.*,2007)

注) \*PTS : Permanent Threshold Shift(永久的な聴覚障害で死亡や聴覚消失を表す)

\*TTS : Temporary Threshold Shift(一時的な聴覚障害で時間とともに回復する)

③ 上記の①の算出結果と②の生物影響評価基準(音圧レベル)を比較し、予測・評価を行う。Nedwell *et al.*(2007a)は、海洋生物(魚類,海棲哺乳類)への影響度の軽重によって評価指標を変えている。

✓致死・障害レベル

- ・致死 : 240dB(peak to peak)または (100P<sub>a,s</sub>;Impulse)
- ・障害 : 220dB(peak to peak)または (35P<sub>a,s</sub>;Impulse)
- ・障害(体重 0.01g 未満の小魚) : 210dB(Peak to Peak)または (187dBPa<sub>2,s</sub>;Impulse)

✓回避レベル

- ・強い回避行動(全個体) : 90dBht(Species)
- ・騒音の許容限界 : 110 dBht(Species)
- ・外傷性聴覚障害の可能性 : 130 dBht(Species)
- \* dBht(Species):Nedwelland Howell(2004)に提唱したもので、生物種ごとの周波数感度特性を考慮した騒音の感受レベルである。物理的に同じ音圧レベルで暴露されても受信者の聴覚特性によって騒音影響が異なると考えられることから、このような評価方法が提案された。また、Southall *et al.*(2007)は海棲哺乳類用として、M-weighted dBを提案している)。

海棲哺乳類(ネズミイルカ、ゼニダカアザラシ)は、洋上風車の稼働時に発生する低周波音(周波数 80Hz と 160Hz に 128dB re1 Pa<sup>2</sup> Hz<sup>-1</sup> at 1m のピークレベル)を感知できることが示されているが(Koschinski *et al.*,2003)、一般的には上記 2 種以外にハンドウイルカを含めた海

棲哺乳類は稼働時よりも建設時の水中騒音に影響を受けるとの指摘がある(Madsen *et al.*,2006; Nedwell *et al.*,2007b)。

④ 必要に応じ環境保全措置により発生源の音圧レベルを減少させて予測・評価する。

モノパイルの打設工事(パイリング工事)の保全対策には次にあげる方法が提案されている。これらの環境保全措置を講ずることにより音源の音圧レベルが低下したケースでは①から再予測・再評価を行う。

- a. ソフト・スタート(最初は軽めに打設し、水中騒音に馴らせる)
- b. パイル構造の改造
- c. バブル・カーテン(図 3.5.2-7)
- d. パイル・スリーブ(図 3.5.2-7)
- e. 監視員、ソナーによる生物検知
- f. 影響が少ない時間帯での工事

(出典:a.SMRU,2007, b.~d.Nehls *et al.*,2007)

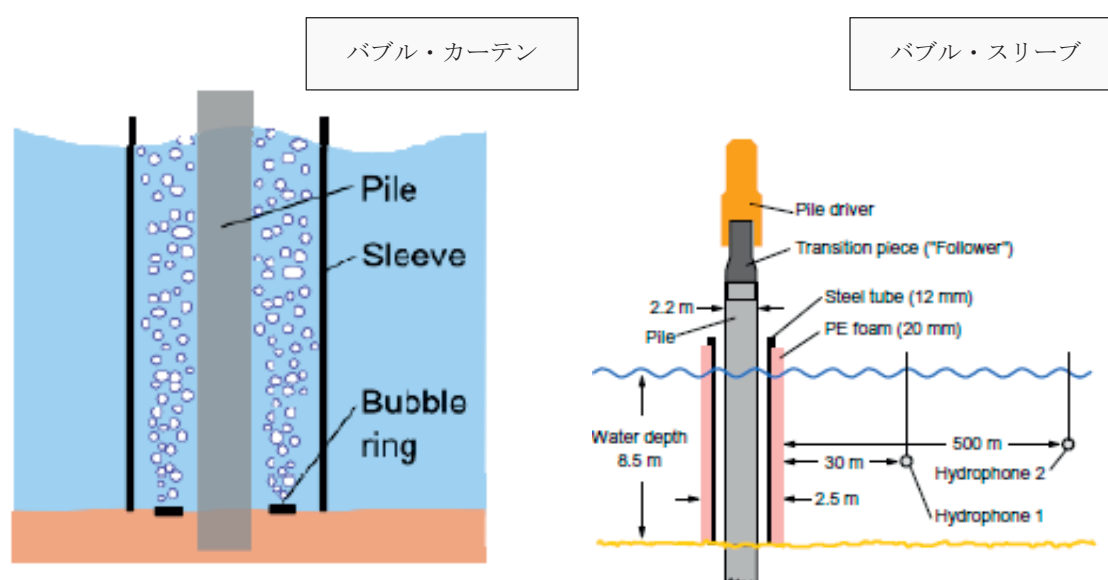


図 3.5.2-7 パイリング騒音に係る環境保全策の例 (Nehls *et al.*, 2007)

工事中の影響に関して、Elmer *et al.*(2006)によれば、直径 3.5m のモノパイルの打設工事 (Impulse hammer)の時に 1km 離れたところで 180dB re 1  $\mu$  Pa 以上の音圧測定が得られており、この音圧レベルは工事の近傍海域では魚類の損傷レベルに近いものである。また、海棲哺乳類は、モノパイル施工時の水中音について 80km 離れていてもその音を聞き分けることが可能で、20km 位の範囲では拒否反応が行動に現れ、1.8km の近くになると聴力異常を来すとの報告もある(Prior and Shrimpton,2009)。

また、北九州市沖の洋上風力発電実証研究サイトにおけるマウンドの捨石工事及び重錘均し作業時の水中騒音は施工箇所から 50m 離れた測点で、オールパス値はそれぞれ 149.5dB1  $\mu$  Pa と 157.7dB1  $\mu$  Pa であったことから魚類や海棲哺乳類が威嚇あるいは反応する音圧レベルであったと考えられる。

なお、ドイツの Alpha Ventus 洋上風力発電施設における海棲哺乳類を対象とした生態学研究において、パイルの打込み時の水中騒音暴露レベルは風車から 750m離れた地点において 160dB rel  $\mu Pa^2s$ 、また peak level で 190dB rel  $\mu Pa$  Peak を、それぞれ超えないことが求められている (Federal Maritime and Hydrographic agency/Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety Eds., 2014)。

以下、洋上風力発電所による海洋生物影響に関して海外の調査結果(Dong Energy *et al.*, 2006)を紹介する(同報告書の概要は中尾(2007)を参照されたい)。図 3.5.2-8 は、デンマークの Horns Rev 洋上ウィンドファームにおいて、船舶により建設海域と 3 箇所の対照海域における建設前後のネズミイルカの生息密度を調査した結果である。図示されているように、生息密度は工事中や半稼働時(Semi-Operation:建設直後の集中的なメンテナンスと電気工事等の付帯工事)には減少しているが、稼働時のそれは元のレベルかそれを上廻っている。Horns Rev では、同様な傾向が生物音探知機(T-POD:パッシブソナー)を使用した調査からも認められるが、Nysted で建設後の鳴音数の回復が遅れているようである(図 3.5.2-9 : 図中の Operation 1 と Operation 2 は 2 年間に亘る調査を意味する)。Dong Energy *et al.*(2006)は、その相違の理由について次の 3 つの事項をあげているが、明確な結論は得られていない。

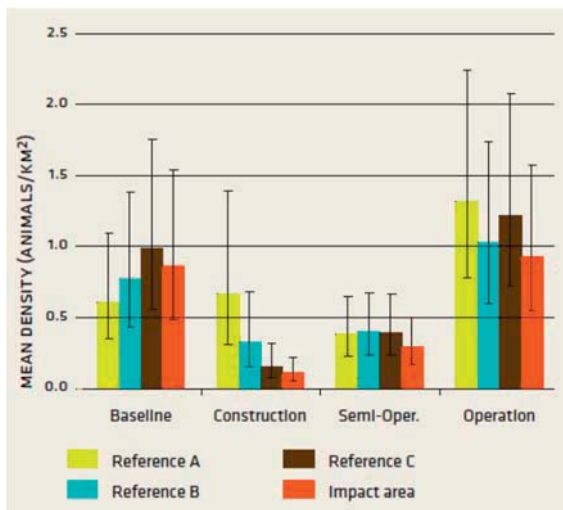


図 3.5.2-8 Horns Rev 洋上ウィンドファームのネズミイルカの生息密度の変化に関する船舶調査結果 (Dong Energy *et al.*, 2006)

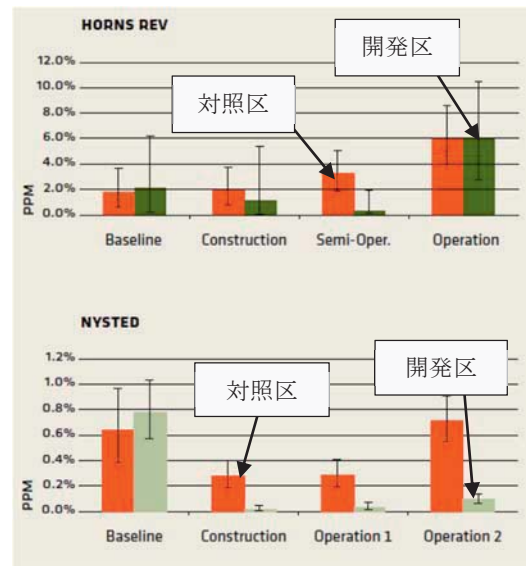


図 3.5.2-9 Horns Rev 及び Nysted 洋上ウィンドファームのネズミイルカの鳴音数の変化に関する生物音探知機調査結果 (Dong Energy *et al.*, 2006)

- i) 支持構造物の違い(Horns Rev : モノパイル式、Nysted : 重力式)による。ii) Nysted は、Horns Rev と比べて元々生息量が少ないように生息環境が適していないこともあるのか工事の影響でその場を離れるとなかなか元に戻らない傾向があること。
- iii) Nysted は Horns Rev よりもその海域が相対的に閉鎖海域であるため風車の稼働時の騒音影響を受けやすいこと。

我が国の銚子沖と北九州市沖の洋上風力発電実証研究海域において、受動的音響探知機(A-tag)を使用し、風車建設前後のスナメリの鳴音数(受信音声数)の調査が行われている。本調査手法は、船舶調査では目視観測が困難な夜間のスナメリの生息状況も捉えられ、その鳴音連続観測から日周行動等を把握することができるものである。一例として、図 3.5.2-10 に銚子沖における調査結果を示す。本図から海外の事例と同様に、工事による水中騒音の影響は、一時的なものであることが明らかになった。

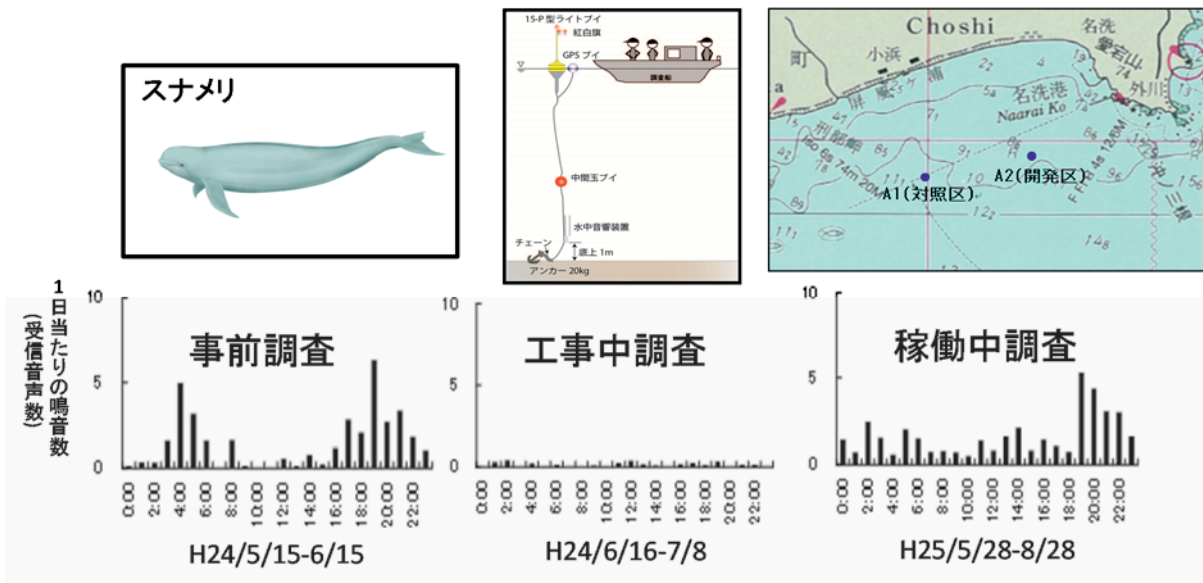


図 3.5.2-10 銚子沖洋上風力発電施設におけるスナメリの鳴音数調査結果 (E&ES, 2014)

洋上風力発電に係る海洋生物への影響は、海外における事例も含めて建設海域において工事中には一時的な影響を受けるとされるものの、稼働時には概ね大きな影響を与えるものではないことが示唆されたが、工事中においては、前述のように、振動ハンマや油圧ハンマの使用、エアバブルカーテンによる方法あるいはそれらの組み合わせによるハード面の水中騒音低減対策の他、工事を魚類や海棲哺乳類の産卵期、生育期、回遊期等を避けた時期に設定する等のソフト面での対策も検討することが望ましい。

### 【豆知識 3.5.2-1】

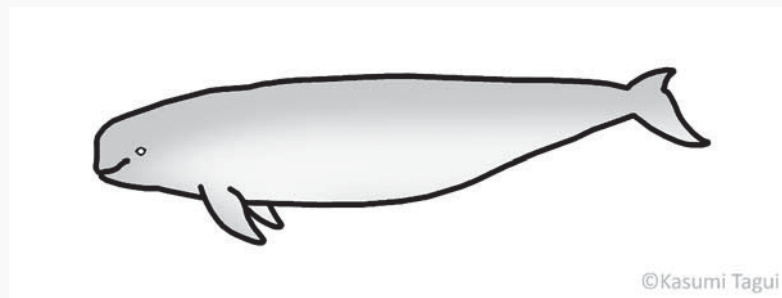
#### ●スナメリとネズミイルカ

##### 「スナメリ」

スナメリは、クジラ目ハクジラ亜目ネズミイルカ科に属する海棲哺乳類で、最近になって特に頭蓋骨の形態学的な特徴から台湾以南に生息する亜種とは区分され、日本近海に生息する種類は *Neophocaena asiaeorientalis*(英名 Narrow-ridged Finless Porpoise)とされ、水産資源保護法に基づく捕獲禁止対象種となっている(吉田,2011)。

我が国の太平洋側では、宮城県以南の海域や伊勢湾・三河湾、瀬戸内海その他、九州西岸、日本海側では山口県以南の海域に多く分布し(吉田,2011)、ストランディング(陸地に乗り上げた状態)の記録からも同様な分布傾向が認められている(山田・天野監訳 ; Geraci and Lounsbury.1996)。スナメリの分布域である浅い沿岸域は、洋上風力発電の建設適地と重なっていることが多い。

出産期は、伊勢湾・三河湾や瀬戸内海では春～夏(4月ピーク)であるが、九州の有明海、橘湾では秋～春となっている(吉田,2011)。また、性成熟は太平洋側及び瀬戸内海で雄が3-9歳(体長145-155cm)、雌が4歳以下(体長<140cm)、有明海、橘湾では雄が4-6歳(体長135-140cm)、雌が5-9歳(体長135-145cm)となっている(吉田,2011)。

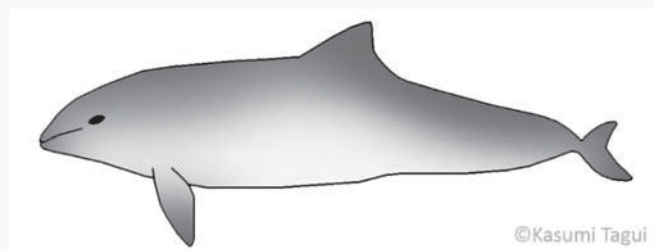


##### 「ネズミイルカ」

ネズミイルカ(学名 *Phocoena phocoena*; 英名 Harbor Porpoise)は、スナメリと同じクジラ目ハクジラ亜目ネズミイルカ科に属する海棲哺乳類で、スナメリよりも外洋域に生息するが、川を遡上することもある。

我が国では、上述のストランディングの記録からも東北以北の北海道を中心とする緯度の高い海域に多く分布している(山田・天野監訳 ; Geraci and Lounsbury.1996)。

成体の体長は、1.4m～1.7m(出生時:0.7-0.9m)、体重 60m-90kg である。



## (2) バードストライク(衝突死)

洋上風力発電所の建設に伴う鳥類への影響に関して海外の調査結果(主に、Dong Energy *et al.*,2006)を紹介する(同報告書の概要は中尾(2007)を参照されたい)。

洋上風力発電施設が鳥類に与える影響は、i)視覚的な刺激に対する回避行動、ii)施設の建設に伴う物理的な生息環境の喪失・変更(基礎・洗掘防止の捨石による新たな生息場の創出も含む)及びiii)施設への衝突死(バードストライク:コウモリ類の衝突死(Bats Strike)も問題視されている)リスク等である(図 3.5.2-11)。これらの要因が鳥類の生理・生態に影響を及ぼす結果、エネルギー消費・摂取率が変化することにより生物生産力が変化するとともに、バードストライクによる生残率の低下と相俟って鳥類個体群に影響することとなる。これらの影響を定量的に予測・評価するためには、洋上風力発電所の障壁影響によるエネルギー消費の増加に伴う影響(繁殖や再生産の変化等)を例にとってみても給餌率、繁殖率、生残率等の多くデータが必要である。

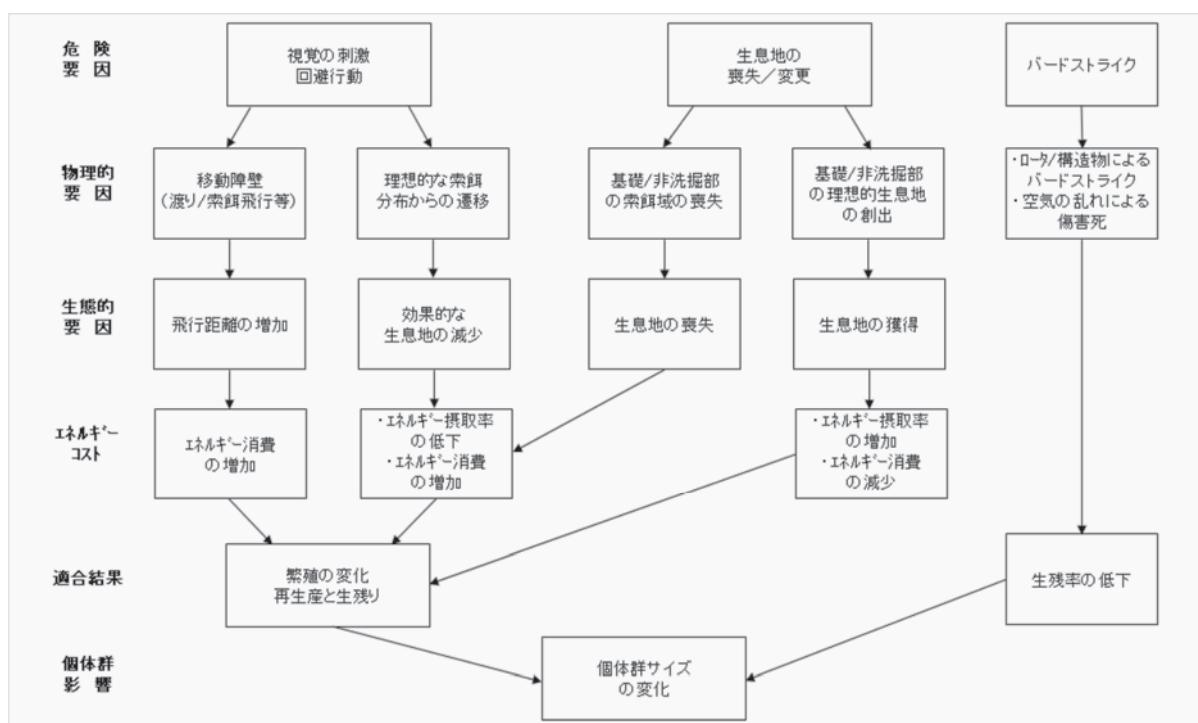


図 3.5.2-11 洋上風力発電施設による鳥類の個体群レベルへの影響プロセス

(中尾, 2007; Dong Energy *et al.*, 2006 を基に作成)

鳥類調査は、船舶、飛行機による写真・ビデオ・目視観察の他、レーダ観測等により行われ、取得されたデータ(種類、個体数、飛翔高度、飛翔ルート等)は環境影響評価に活用されている。また、風車稼働後の鳥類調査としてバードストライクの実態を把握するため、赤外線探知機(TADS:Thermal Animal Detection System、図 3.5.2-12)やバードストライク監視装置(WT-Bird、図 3.5.2-13)が使用されている。これには、高感度カメラ、赤外線ビデオ、加速度計(衝突の振動測定)等から成る監視システムが構築され、モニタリング調査に使用されている(同様な装置は NEDO 洋上風力発電実証研究の銚子沖でも設置されている)。





図 3.5.2-12 赤外線探知機の設置状況 (Desholm and Kahlert, 2005)

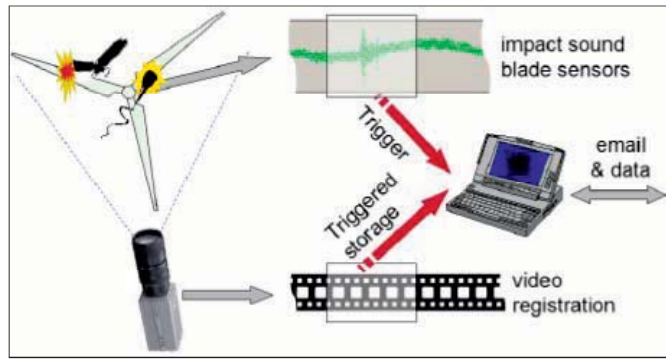


図 3.5.2-13 WT-Bird バードストライク監視装置 (Wiggelinhuizen *et al.*, 2006)

### 1) 鳥類の飛翔特性

Dong Energy *et al.*(2006)によれば、鳥類は風力発電施設を避けて飛翔することが認められている。Hors Rev では、71-86%の鳥類がウィンドファームの 1.5-2km 手前に近づくと左右に分かれウィンドファームから 5km 位離れて周囲を飛翔する行動が確認されている(図 3.5.2-14)。これは、Nysted においても同様で、鳥類は 1.5-5km に達すると飛行ルートを変えて風車の間を飛翔するよりもウィンドファームの周囲を優先的に飛翔するパターンが確認され(図 3.5.2-15)、建設前後でウィンドファーム内の空間利用が 78%減少したことが報告されている。また、鳥類は周辺海域で昼間よりも夜間の方が高高度(1,500m 以下)を飛翔しているが、ウィンドファーム近傍で飛行方角を変える位置は両洋上風力発電サイトとも夜間(0.5km)の方が昼間(1.5km)よりもウィンドファームに近づいてから方向を変える傾向があるとされている。なお、TADS 観測によれば、ウィンドファーム内の夜間の飛行高度は 120m 以下になることはなく、夜行性の渡り鳥(カモメ類やカワウ)が風車の灯火に誘引されることもなかったと報告されている。また、Nysted のウィンドファーム内で夜間や悪天候下の鳥類の飛行は認められず、同様な現象はスウェーデンの洋上風力発電施設でも観測されている(Petterson,2005)。

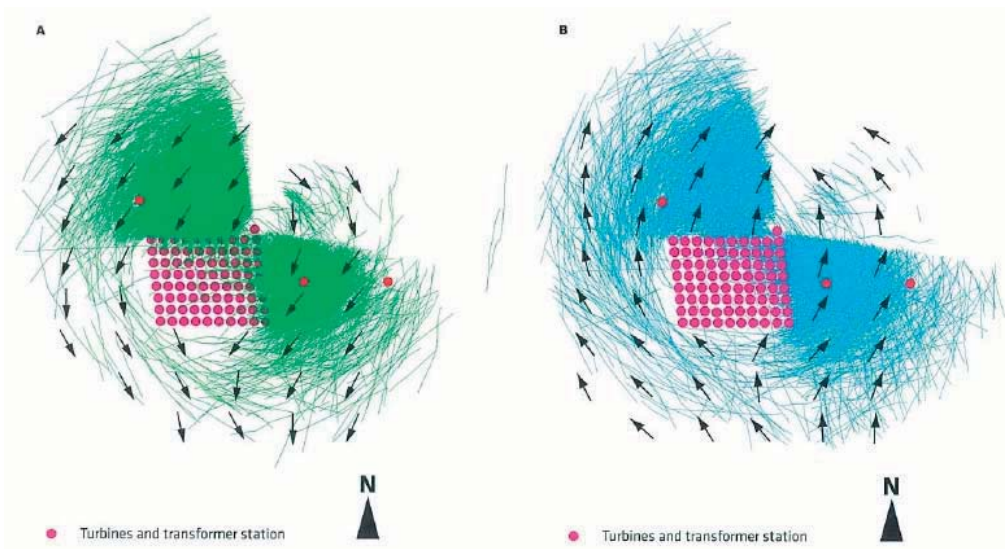


図 3.5.2-14 Horns Rev におけるレーダによる鳥類の飛行軌跡 (Dong Energy *et al.*, 2006)

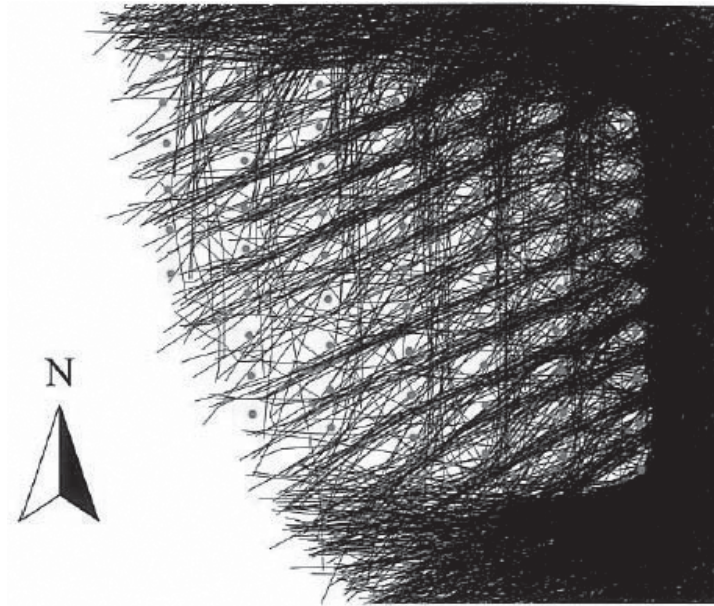


図 3.5.2-15 Nysted におけるレーダによる鳥類の飛行軌跡 (Desholm and Kahlert, 2005)

鳥類は、風力発電施設を避けて飛翔することは前述の通りであるが、種類別にみると、その傾向が最も顕著なのはアビ(Horns Rev)とコオリガモ(Nysted)で、ウィンドファームの周辺 2km 以内の海域で生息密度は著しく減少している。これは餌場が変わった結果とされているが、将来、鳥類の飛行ルートに沿って別のウィンドファームが整備された場合、個々のウィンドファームの影響が蓄積され(累積的影響)、ある時点で影響が顕在化することも考えられ、留意すべき問題点である。

銚子沖と北九州市沖の洋上風力発電実証研究海域において、施設の建設前後に亘って鳥類調査(船舶トランセクト調査、定点調査及びレーダ調査)が行われ、鳥類の飛翔特性に関する知見が得られている。

#### ① 銚子沖

銚子沖におけるレーダの水平照射調査の結果から、海外の事例と同様に、鳥類が洋上風車を回避して飛翔しているパターンが確認されている(図 3.5.2-16)。ただ、バードストライクによる衝突数を推定するには鳥類の飛翔高度を把握しなければならない。

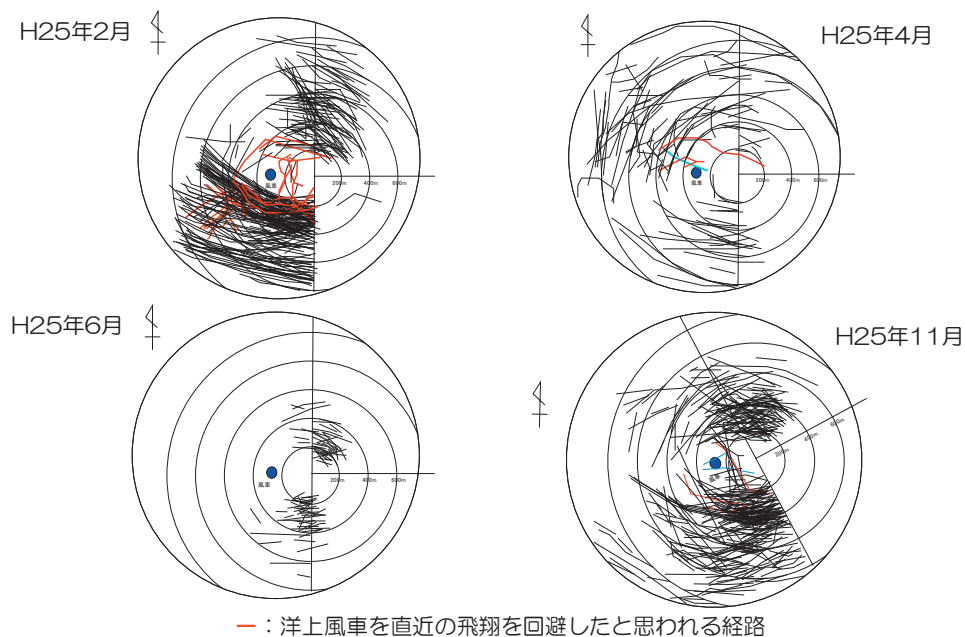


図 3.5.2-16 銚子沖におけるレーダの水平照射調査結果(東京電力・東京大学資料)

洋上風力発電施設の建設前の定点調査における鳥類の飛翔高度を表 3.5.2-4 に示す。朱書きで表示されているように、洋上風車のロータ面の M 高度(36-126m)を飛翔する鳥類は、アジサシ、ウミネコ、カモメ族の一種、コアジサシ、セグロカモメ及びユリカモメがあげられ、なかでもウミネコが最も多い結果となっている。本海域に多数生息しているオオミズナギドリはロータ面の高度以下の L 高度(0-36m)の飛翔数が圧倒的に多く、約 2,200 羽となっている。

表 3.5.2-4 銚子沖における鳥類の飛翔高度に係る建設前定点調査結果(東京電力・東京大学資料)

| 種名         | 高度 S | 高度 L  | 高度 M | 高度 H |
|------------|------|-------|------|------|
| ●アジサシ      |      |       | 23   |      |
| アジサシ属の一種   |      | 4     |      |      |
| ウトウ        |      | 3     |      |      |
| ウミウ        |      | 12    |      |      |
| ウミガラス      |      | 2     |      |      |
| ウミスズメ      |      | 8     |      |      |
| ●ウミネコ      | 3    | 276   | 188  | 3    |
| オオミズナギドリ   | 101  | 2,194 |      |      |
| カモメ科の一種    |      | 84    |      |      |
| ●カモメ属の一種   |      | 3     | 53   |      |
| カワウ        |      | 1     |      |      |
| カンムリカイツブリ  |      | 3     |      |      |
| クロガモ       | 4    | 25    |      |      |
| ●コアジサシ     |      | 2     | 7    |      |
| シギ科の一種     |      | 1     |      |      |
| シロエリオオハム   |      | 21    |      |      |
| ●セグロカモメ    |      | 3     | 1    |      |
| ハシジロアビ     |      | 1     |      |      |
| ハシボソミズナギドリ |      | 7     |      |      |
| ●ユリカモメ     |      | 5     | 8    |      |

単位：羽数/半径 300m,10.5 時間

また、レーダの垂直照射調査からは概して四季別・昼夜別ともに飛翔高度はブレードの最先端高度(高度 H: >126m)を超えて飛ぶ鳥類の多いことが認められているが、8月の昼間にはロータ面の M 高度を飛翔する鳥類(目視観測からウミネコと推定されている)が比較的多い結果となっている(図 3.5.2-17)。なお、図示していないが、洋上風車が停止している状態にあっても、飛翔高度の傾向は稼働時と変わらないこと、時間帯別調査結果(2月)によれば、日没前の鳥類出現数が圧倒的に多く、それ以外の出現ピークは日出前後にみられること、また、飛翔高度は日出前後にはロータ面高度の出現が 70-80%であるのに対して、他の時間帯はブレードの最先端高度を超える出現が 80%以上となっていること等が、鳥類の飛翔に関する特徴としてあげられる。

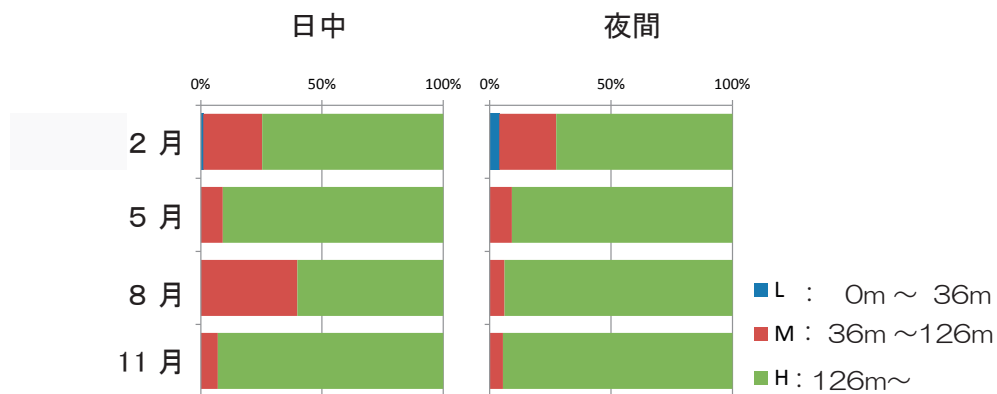


図 3.5.2-17 銚子沖におけるレーダの垂直照射調査結果(東京電力・東京大学資料)

## ② 北九州市沖

北九州市沖におけるレーダ水平照射調査からオオミズナギドリが白島(オオミズナギドリのコロニーの存在が確認されている島嶼)の北西から西北西方向に行き来していることが認められている(図 3.5.2-18)。また、オオミズナギドリの飛翔高度について、2013年10月の船舶調査と目視観測から陸上では 60m が多かったが、海岸から 500m も離れた沖合では 10m 以下の低い高度を飛んでいることが確認されている(図 3.5.2-19)。2014年1月に行われたトランセクト調査では、オオミズナギドリは確認されていないが、同年5月の調査では洋上風車のロータ面以下の L 高度(0-30m)を飛翔する個体が 74 羽認められた他、ロータ面の M 高度(30-130m)にも 4 羽の飛翔が確認されている(表 3.5.2-5)。また、同年5月に行われた海域における定点調査では、ミズナギドリ目として高度 L で 6 羽が確認されているが、陸上の定点調査からはミズナギドリ目の出現は認められていない(表 3.5.2-6)。なお、海域においてロータ面の M 高度を飛翔する鳥類は、5月調査ではオオミズナギドリの他、ウミネコ、ミサゴ、トビ、タカ目及びハヤブサ目があげられ(表 3.5.2-5 ; 表 3.5.2-6)、1月調査では前述のようにオオミズナギドリの出現はみられなかったが、ウミネコ、セグロカモメ、オオセグロカモメ、カモメ科の一種、ミサゴ、トビ、チドリ目等が M 高度を飛翔する鳥類として確認されている。

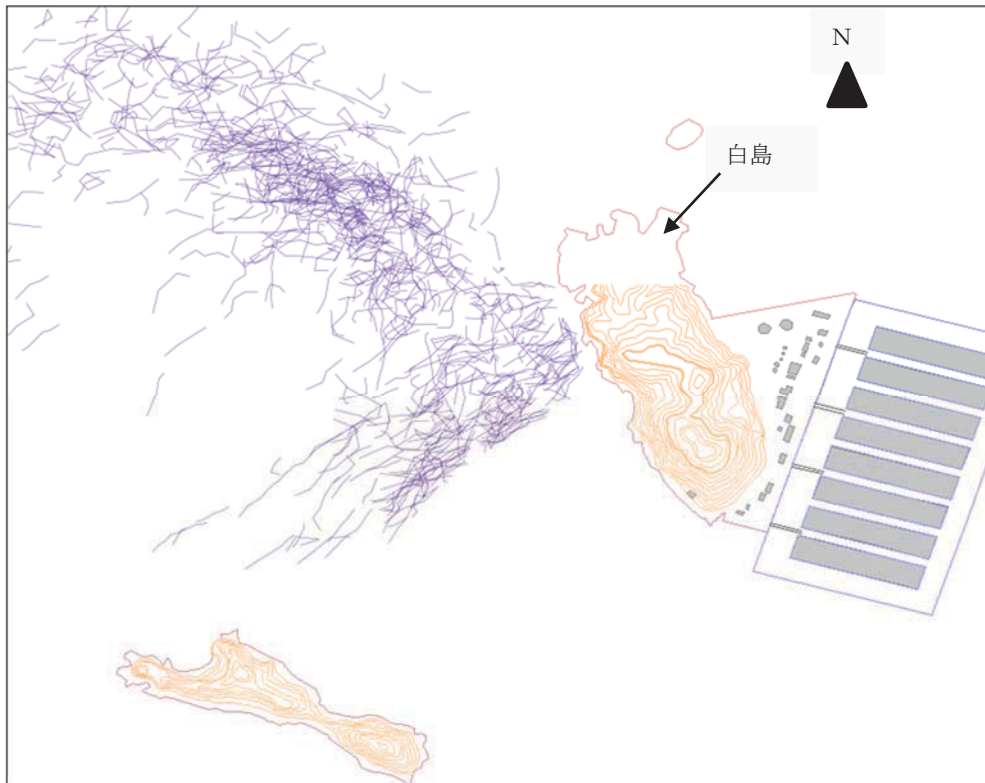


図 3.5.2-18 オオミズナギドリの飛翔経路(2012年7月30日夕方)  
(電源開発資料)

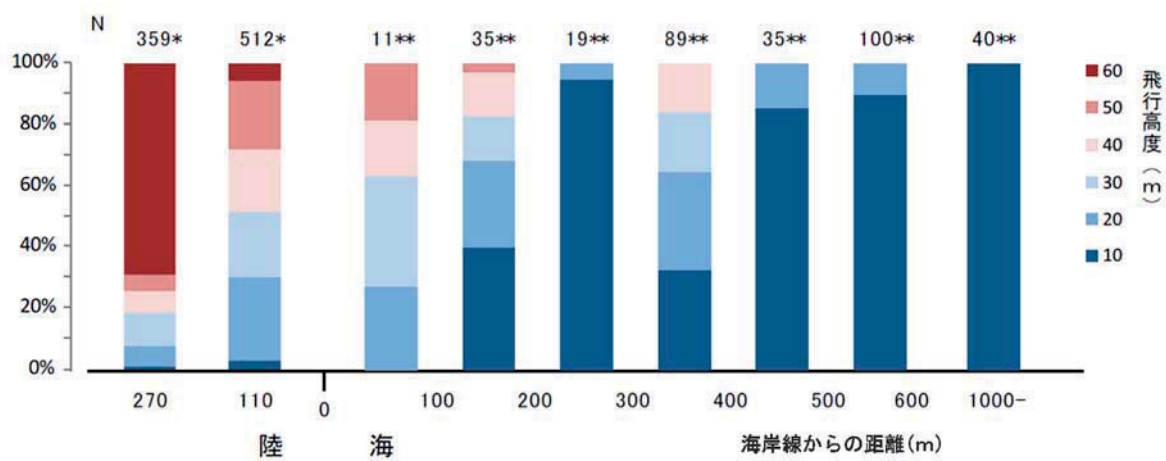


図 3.5.2-19 オオミズナギドリの飛翔高度と海岸線からの距離(2013年10月)  
(電源開発資料)

表 3.5.2-5 北九州市沖における船舶トランセクト調査による  
鳥類の飛翔高度調査結果(2014年5月27,28日)  
(電源開発資料)

| 種名        | 高度S | 高度L | 高度M | 高度H | 合計  |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| オオミズナギドリ  |     | 74  | 4   |     | 78  |
| ウミウ       |     | 1   |     |     | 1   |
| アオサギ      |     | 2   |     |     | 2   |
| ダイサギ      |     | 5   |     |     | 5   |
| ウミネコ      | 1   | 7   | 3   |     | 11  |
| コアジサシ     |     | 5   |     |     | 5   |
| カンムリウミスズメ | 4   |     |     |     | 4   |
| ミサゴ       |     | 2   | 2   |     | 4   |
| トビ        |     | 2   | 10  |     | 12  |
| スズメ目の一種   |     | 1   |     |     | 1   |
| 合計        | 5   | 99  | 19  | 0   | 123 |

表 3.5.2-6 北九州市沖における定点調査による鳥類の  
飛翔高度調査結果(2014年5月8-10日)  
(電源開発資料)

| 位置     | 目名      | 5月期 |     |     |     | 合計  |     |
|--------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|        |         | 高度S | 高度L | 高度M | 高度H |     |     |
| 海域     | ミズナギドリ目 |     | 6   |     |     | 6   |     |
|        | カツオドリ目  |     | 7   |     |     | 7   |     |
|        | ペリカン目   |     | 6   |     |     | 6   |     |
|        | アマツバメ目  |     |     |     | 12  | 12  |     |
|        | チドリ目    |     | 443 |     |     | 443 |     |
|        | タカ目     |     | 30  | 47  | 8   | 85  |     |
|        | ハヤブサ目   |     |     | 1   | 3   | 4   |     |
|        | スズメ目    |     | 8   |     | 16  | 24  |     |
|        | 合計      |     | 0   | 500 | 48  | 39  | 587 |
|        | 陸域      | カモ目 |     | 18  |     |     | 18  |
| ハト目    |         |     | 35  | 2   |     | 37  |     |
| カツオドリ目 |         |     | 2   |     |     | 2   |     |
| ペリカン目  |         |     | 12  | 1   | 2   | 15  |     |
| ツル目    |         |     | 1   |     |     | 1   |     |
| チドリ目   |         | 5   | 72  | 8   |     | 85  |     |
| タカ目    |         |     | 42  | 34  | 4   | 80  |     |
| キツツキ目  |         |     | 2   |     |     | 2   |     |
| スズメ目   |         |     | 366 | 6   |     | 372 |     |
| 合計     |         |     | 5   | 550 | 51  | 6   | 612 |

## 2) 衝突個体数・衝突確率の推計

バードストライクは、鳥類が風力発電施設へ衝突し、死に至ることであるが、ブレードの回転等に伴う気流の乱れにより障害を受けることも含まれる(Langston,2010)。衝突確率は、鳥の飛翔高度とブレードの回転高度が一致すれば高くなるが、バードストライクは風力発電固有の問題ではなく、ビル、自動車、飛行機、鉄道、送電鉄塔等の人工物に相当数の鳥類が衝突死していることは既に良く知られている。衝突死の原因の一つとして「モーション・スミア(モーショ

ン・トランスペアレント)』と呼ばれる現象があり、これは風車のブレードのように時速 300km 程度の速度になると鳥の目には回転翼が透けて見え衝突することである(Hodos,2007)。

我が国における鳥類の陸上風力発電施設への衝突事例は、北海道、岩手県、愛媛県、長崎県、沖縄県等の風力発電施設にみられるが(古南,2008)、斃死数は発見率に依存するのでバードストライクの実態を把握することは、特に洋上風力発電の場合においては難しい。Hüppop *et al.*(2006)は、ドイツの北海に設置されている洋上風況観測タワー(FINO1)において、2003年10月～2004年12月の間に発生したバードストライク(442羽;21種)について報告している。明らかに飢餓状態と思われた個体を除いて、見た目には物理的に正常な個体が多かったが、その内、245羽は嘴の出血(41.3%)、頭蓋の損傷(18.0%)と脚の骨折(16.8%)の損傷がみられた。バードストライクの半数以上は、2003年10月1日夜間(86羽)と2004年10月29日夜間(196羽)に発生し、当夜は、霧が立ち込め霧雨で視界が非常に悪く、多くの鳥はタワーのプラットホームの照明に誘引されてタワーを周回し、明らかに方向感覚に異常を来したものと考えられている。

北九州市沖において、2014年11月10日10時頃にミサゴ(環境省:準絶滅危惧種、福岡県:未指定)の死体が漂流しているのが発見され、赤外線探知機(TADS)の記録からバードストライクと確認された(図 3.5.2-20)。



図 3.5.2-20 北九州市沖洋上風力発電施設におけるバードストライク(電源開発資料)

バードストライクによる衝突個体数の予測モデルは、風車諸元と鳥類諸元(大きさや飛翔速度等)から数学的に衝突確率を算定するモデル(Tucker,1996;Band *et al.*2007)と、鳥類がウィンドファーム領域に侵入し風車間を通過する確率等から衝突確率を算定する確率論的モデル

(Delson and Kahlert,2006)の2種類が主なモデルとなっている。以下に各モデルの入力条件を示す。

①数学的モデル(Band *et al.*モデルの例)

- ・衝突危険範囲(Risk window)
- ・鳥類の衝突危険範囲の飛翔数
- ・ウィンドファーム全体のロータ面積と全体面積に対する割合
- ・ロータを通過する鳥類の個体数
- ・リスク空間(Vw)= ウィンドファームの面積×風車高
- ・ウィンドファーム全体のロータ回転容量(Vr)
- ・危険領域における鳥類の占有率
- ・鳥類の飛行速度
- ・鳥類のロータ範囲通過時間と通過個体数
- ・風車の諸元(ブレード数、回転速度、ピッチ角、ロータ半径)
- ・鳥類の諸元(体長、翼長、アスオエクト比、ロータ通過速度、ロータの通過位置等)

②確率論的モデル(Kahlert *et al.*モデルの例)

- ・渡りの数
- ・鳥類のウィンドファーム内へ進入する割合
- ・鳥類の水平危険範囲へ進入する割合
- ・鳥類が特定高度以上を飛翔する割合
- ・鳥類が回避行動をとらずにロータ範囲を通過する割合
- ・鳥類が偶然ロータを通過できる可能性
- ・対象とする風車列の数

Desholm and Kahlert(2005)は、前述した Hors Rev と Nysted で鳥類調査を行っており、ウィンドファーム内に一旦入った鳥類はロータの高さよりも低高度で風車の間を等距離に保って飛行し衝突を回避していることを確認し、鳥類の風車への衝突リスクは 1%以下と報告している。また、Dong Energy *et al.*(2006)により Nysted 洋上風力発電施設を対象として確率論的な衝突予測モデルを用いて回転翼によるケワタガモ(当該海域で卓越種)の衝突確率が求められている。それによればケワタガモは一秋(1年)に 235,000羽の内、95%の信頼限界で 0.018-0.020%(41-48羽)が衝突死する推定結果となっており、これはデンマークで年間の狩猟による捕獲数(70,000羽)の 0.05%以下に相当し非常に少ないと指摘されている。

銚子沖洋上風力発電実証研究において、油井・島田(2013)の球体モデルを用いて鳥類の衝突数が推定されている(図 3.5.2-21)。その推定結果は、ウミネコが約 20羽/年で大きいものの、他の鳥類は 1.4羽/年となっている。



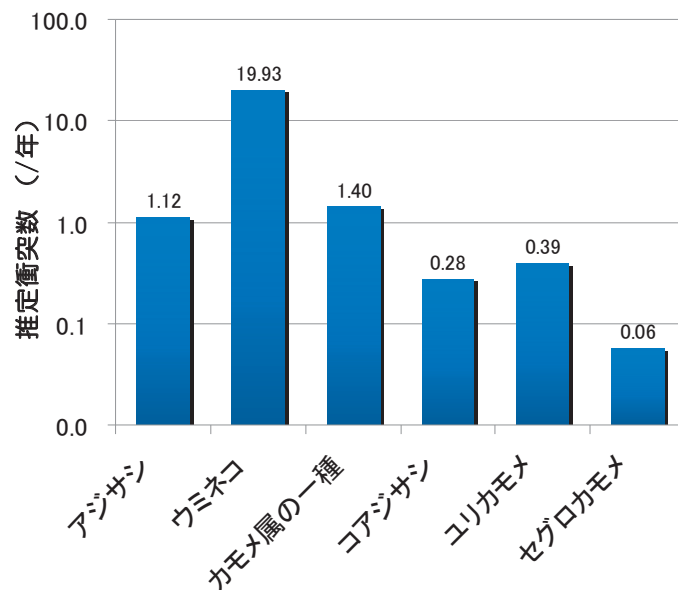


図 3.5.2-21 銚子沖における油井・島田の球体モデルによる鳥類衝突数の推定結果(東京電力・東京大学資料)

任意の洋上ウィンドファームにおいて、衝突確率を算定するための確実性のある入力データやパラメータの設定が難しく、これらの設定のための調査データの蓄積が待たれる。上記の由井・島田(2013)の球体モデルを使った鳥類衝突数の推定では、回避率は海外の文献値から引用されて算出されていることから、モデルの精度をあげるためには汎用的なパラメータの整備が必要である。さらに予測結果の評価に関して、単に衝突数の多寡によるのではなく、海外では既に実績のある鳥類の資源解析に基づく評価が必要で、今後、その基本となる鳥類の個体群の大きさを把握する努力が重要である。

バードストライク対策は、基本的には風力発電施設の計画海域が鳥類の渡りのルート、営巣域、索餌域等に該当する場合には候補海域として除外することであるが、その他の対策として、風車の大型化、風車の設置基数・配列の変更、あるいは運転制限等があげられる(Schepers *et al.*,2007)。ただ、風力発電事業者は、稼働後のある期間モニタリング調査を実施し、バードストライクの実態を把握することが望ましいし、鳥類研究者においては個体群への影響を的確に予測・評価できるように鳥類の分布・行動や生理・生態等に関する研究を進めることが求められている。

### (3) 景観

陸上風力発電施設は、基本的には開放系の風通しの良好な場所に設置するため、視認できる場所は多く、風車の大型化や導入量の増加に伴って複数の施設が隣り合うケース等、景観は重要な課題とされている。洋上風力発電は、陸から離れた海域に設置されることもあり、陸上風力発電と異なり景観問題は緩和されるものの、環境影響評価項目として重要な項目である。

#### 1) 景観影響の及ぶ範囲

景観への影響とは、i) 圧迫感・威圧感、ii) 眺望阻害、iii) 周辺の景観特性との非調和等があげられる。景観は主観的なものであるため客観的な評価は困難であるが、一般には周辺環境の景観との調和が図れるように配置・デザイン・色彩(風車のネイビーブルー塗装)等の配慮がなされている。洋上では、景観に影響する大きな要素として「離岸距離」がある。これは、地球の曲面、視界への気象影響、照明、物体の特徴、人間の視力等と関係している。地球の曲面は、風車が見える距離に影響するものの、非常に遠い距離でない限り無視しえるものであるが、ここでは地球曲面と大気による光の屈折効果を考慮して視覚可能な理論的な距離を算出した例を示す。風車(10MW)の大きさとして海面から支持構造の天端部までの高さ(25m)、海面からロータ中心までの高さ(115m)及び海面からブレード最先端までの高さ(190 m)を、海面上 1.5 m の高さから見た場合、その距離はそれぞれ 2.4km、46km 及び 58km となる(図 3.5.2-22)。風車の大きさが小さければ視認距離も短くなるが、理論的には最大視認距離は 35km 程度とされている(White Consultants,2009)。Dong Energy *et al.*(2006)によれば、海岸から 18km 離れるとかなり目立たなくなり、それよりもさらに離れると視認できなくなるとされているが、実際には気象・海象条件により洋上風車が確認できるのは海岸から 10km 未満の範囲とされている(Musial *et al.*,2006)。なお、スコットランドでは、離岸距離 8km 以内の海域には、景観上、洋上風力発電の建設は困難とされている(SeaRoc,2014)。

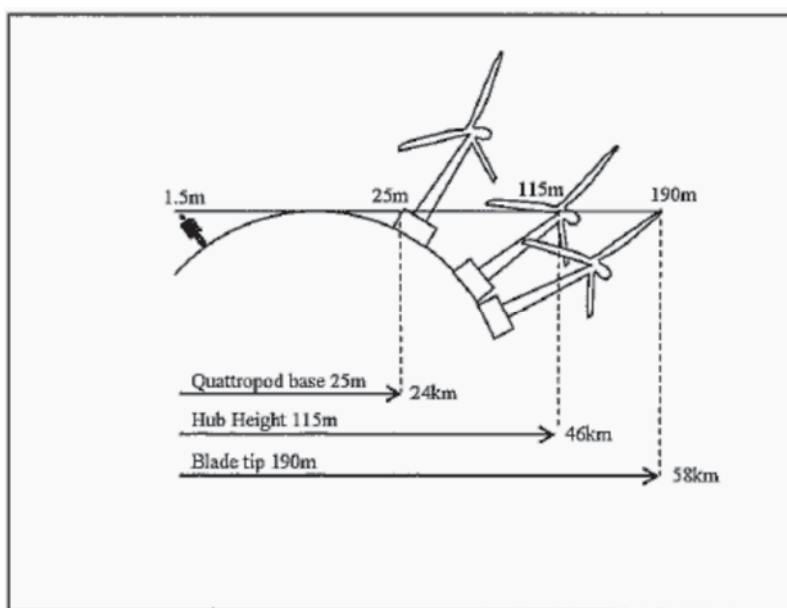


図 3.5.2-22 海面上 1.5 m の位置から見た 10 MW 風車の視認距離  
(White Consultants, 2009)

## 2) 景観の予測・評価

景観の基本的な予測手法は、可視領域域図から調査範囲を検討して主要な眺望点からのフォトモンタージュを作成する(図 3.5.2-23)。同図は、離岸距離 6km に位置するウィンドファームで、異なる明りの状態で起こるレベルのコントラスト差を示している。Department of Trade Industry(2005)によれば、明るさと暗さのコントラストが最大となる日出と日没時に良く見えるとされ、逆に太陽が高い位置にある時には風車は暗く見え、航空障害灯等の明かりは、夜間には明るい照明であっても海岸からは唯の“ちらつき”に見えるとされる。

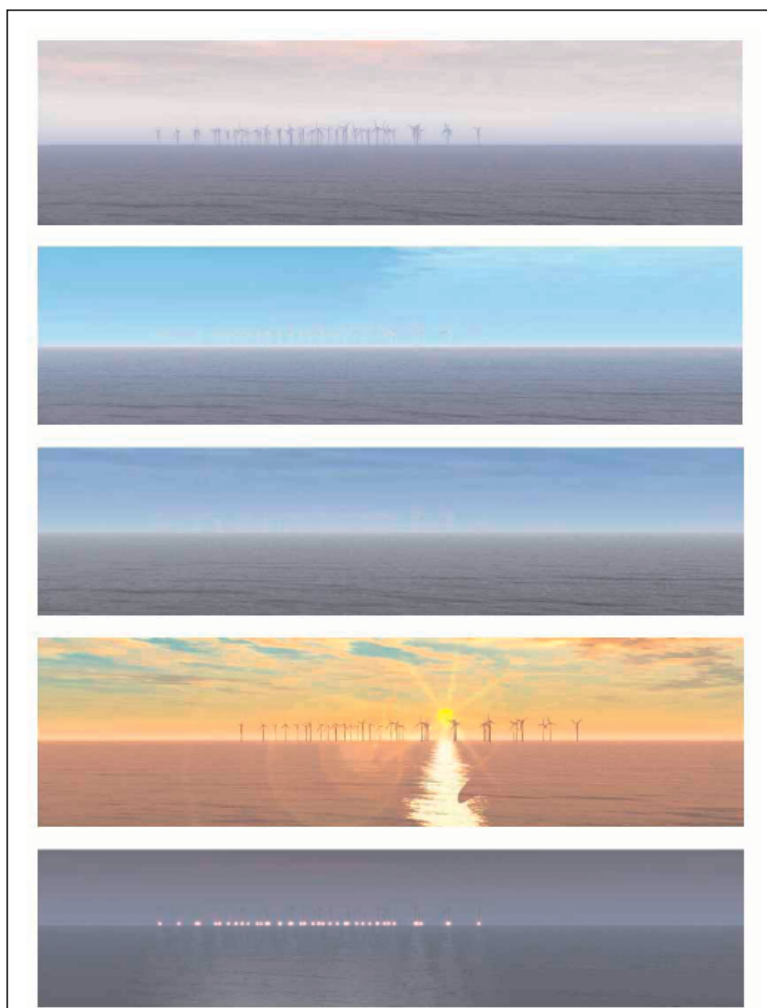
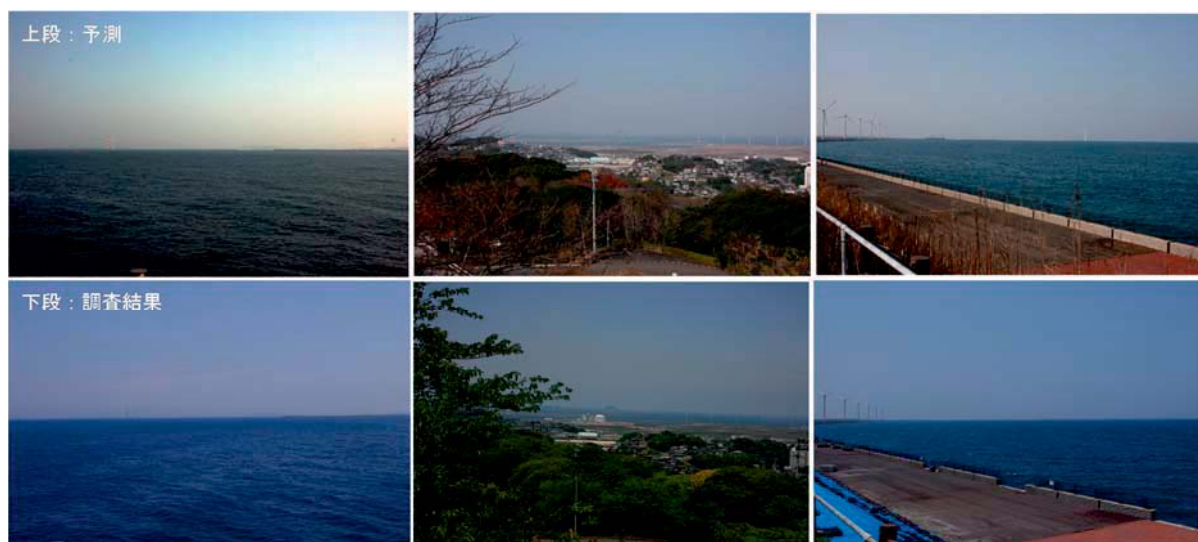


図 3.5.2-23 洋上ウィンドファームのフォトモンタージュの例  
(Department of Trade Industry, 2005)

評価は、フォトモンタージュを基に物理指標(視野占有率、見込角等)を算定するとともに、地域住民等へのアンケート、ヒアリング等による価値認識調査を行って、可能な限り定量的に評価する。洋上風力発電実証研究において、施設設置前(フォトモンタージュ)と設置後の景観について検討が行われている(図 3.5.2-24 は北九州市沖の例)。また、銚子沖実証研究サイトでは施設設置後に施設の見学者、講演来場者及び「地球の丸く見える丘展望館」の来館者を対象とし

たアンケート調査が行われており、景観上の違和感は全体の約60%が“無い”との回答が得られているが、年齢別にみると50～60歳代が“違和感がある”と回答が多かった(13-19%)。さらに“観光資源になり得るか”の質問に対して全体の約60%が肯定的な回答であった。その結果、フォトモンタージュが施設設置後の視認状態を良く表現し予測手法として適正なことや、アンケート等の価値認識調査も事前・事後に行って住民・観光客等の意見を確認し、予測手法に活かすことが大切であると考えられた。



脇田海釣り桟橋

高塔山公園 (展望台)

響灘北緑地 (展望広場)

図 3.5.2-24 北九州市沖の洋上風力発電施設の事前(上段)・事後(下段)の景観比較(電源開発資料)

洋上風力発電の景観対策で著名なのは、Middelgrunden 洋上風力発電施設である。ここは、デンマークの観光地としても名高いコペンハーゲン沖合いの施設であり、計画段階で住民に対してフォトモンタージュ手法を用いた洋上風力発電施設の完成写真を公聴会の時やインターネットを利用して提示し、精力的に意見の聴取が行われた(Moeller & Groenborg AS,1998)。その結果、ウエイクの影響により風力発電電力量が少し劣るものの、景観/美観が最重要視されて風車を古城の防衛城郭をイメージする弓形形状に配列することとなった。

このように、欧米では、洋上風力発電の環境アセスメントにおいて「景観問題」が重視されており、我が国においても景観に配慮した洋上風力発電施設計画を立てることが望ましい。

#### (4) 蛸集効果

魚介類の蛸集効果\*は、特に砂質・泥質の海底地盤に着床式洋上風力発電施設が導入されると、基盤(支持構造物)に付着生物が出現し、それをベースに従来とは異なる食物連鎖が形成され、新しい生態系が構築される可能性が考えられる。蛸集効果は、生物相が豊富になることにより、

\* 魚介類が集群することを蛸集(いしゅう)と言い、一次的であれ漁獲量が増える等の効果があること。

ある面でプラス効果と言える現象である。ここでは洋上風力発電施設の蛸集効果について既往の知見を取りまとめた。

## 1) 人工構造物と蛸集効果

一般に、魚礁とは隆起した海底地形に魚族が集群する漁場のことである(宇田,1961)。このような場に魚介類が集まる理由は以下のように考えられている(宇田,1961;佐藤 1977;中村,1979)。

①物理的要因：流れの変化を好むこと、陰影を好むこと

②生物的要因：餌料が豊富で索餌場・産卵場として優れていること、外敵から身を隠す避難所・逃避場として活用されること

魚類のこのような性質を積極的に利用して漁業生産を向上させる試みの一つに「人工魚礁」がある。これは海中に人工構造物を設置して魚介類を誘引し漁獲効率を高めるためのもので、その効果は“蛸集効果”、“魚礁効果”、“集魚効果”、“生産効果”、“増産効果”等と称されているが(例えば、小倉,1994)、ここでは“蛸集効果”に統一して用いた。

我が国における人工魚礁に関する研究は、国の公共事業として沿岸漁場整備開発事業が補足してから一層充実し、水産分野においてこれまで数多くの調査・研究が実施され、これらの知見は小倉(1994)によって詳細に取りまとめられている。ここでは、その成果を紹介することは差し控え、海底に支持構造物を設置する着床式洋上風力発電と同様に海底に魚礁を設置する構造物を「沈設魚礁」と総称すること、沈設魚礁による魚礁効果は、規模(大きさ・高さ)、構造(形状)、素材などによって差異があることを記すに留めることとする。

## 2) 洋上風力発電の蛸集効果

デンマークの Horns Rev 洋上風力発電施設(水深 6-14m)において、施設設置後に支持構造物(モノパイル)と洗掘防止のための捨石等に付着生物、カニ類等のベントスの種類と生物量が増加していることが報告されている(Danish Energy Authority,2006)。

同報告書では、調査が建設後間もないこともあって魚類の増加については明確な結果を示していないけれども、ベントス生物量の増加に伴って施設が魚類の索餌場や産卵場の役割を担うことの他、隠れ家の機能を有することにより魚礁効果が期待されると指摘している。洋上風力発電施設の設置は、上述のように人工魚礁と同様な魚礁効果をもたらすものと推察されるが、その効果は底質が岩礁・転石海域と比べて、特に、Horns Rev のように底質が砂質・砂泥質の海域では新たな付着基盤の創出により魚介類の強い蛸集が期待できる。そのような蛸集効果を高めるためには洋上風力発電施設の支持物の構造として、底面(裾)部分の幅広いことやジャケット方式であれば補助部材の間隔を狭めること、重力式であれば強度を保持しなければならないが、コンクリートの表面に凸凹や巣穴を設けること等の工夫が必要である。

なお、NEDO 洋上風力発電実証研究が行われている銚子沖と北九州市沖では魚類の蛸集効果を明らかにするための調査を実施中である。

### 3.6 実施設計

洋上風力発電に係る設備設計、工事設計及び工事計画の概要を示す。なお、実施設計に当たっては、洋上風力発電事業期間における温暖化による気象・海象条件の変化や地震も考慮した検討が必要である。

#### 3.6.1 設備設計

##### (1) 洋上風力発電システム設計

導入風車の仕様に対して、国内の法的基準を満たすように材料の強度や許容範囲、電力会社との系統連系等、必要な設備を以下の事項について照査、検討を行う必要がある。

- ・ 一般仕様に関する事項：風力発電システム仕様、規格摘要、環境条件
- ・ 運用計画に関する事項
- ・ 運用・保守・管理に関する事項：遠隔監視制御装置・表示盤仕様
- ・ 安全装置に関する事項
- ・ 保証に関する事項

また、従来、高さ 15m を超える風車を支持する工作物(特定支持物)であって陸上に設置されるものや洋上着床式のものについては、建築基準法及びこれに基づく政令等の規定による規制に基づく工作物としての規制を受けていたが、風力発電の導入促進を図るために発電用風力設備の安全性の審査は、電気事業法に規定される「発電用風力設備の技術基準(及び発電用風力設備の技術基準の解釈(風技解釈))」によるものとして平成 26 年 4 月に一本化されたことから、以降に設置する風車は電気事業法における構造安全性確保に関する審査を受ける必要がある。ただし、従来と同等の安全性を確保するために、特定支持物に対し適用されていた建築基準法第 88 条で準用される各規定(主に建築基準法施行令第 140 条に規定する同第 138 条第 1 項第 2 号に掲げる高さ 15m を超える鉄柱に対する規定)の実質的な内容を、風技解釈第 8 条から第 13 条に規定したものであり、特に建築基準法施行令第 139 条第 3 項及び第 4 項を踏まえ、風技解釈第 10 条においては高さ 60m を超える特定支持物に対する規定を、風技解釈第 11 条から第 13 条においては、高さ 15m を超え 60m 未満の特定支持物に対して規定しており、いずれかに該当すれば、経済産業省令第 7 条の構造上安全であるとみなしている。

なお、建築基準法に基づく特定支持物に対する構造強度に係る基準を満足する民間規格である土木学会「風力発電設備支持物構造設計指針・同解説」(2010 年版)の規定についても取り込まれており、土木学会指針に基づき適切に施設される一般的なものについては、構造上安全であるとみなされている。

概要は(4) 項「省令で定める技術基準」を参照のこと。

## (2) 電気設備設計

洋上風力発電設備工作物の電気設備は、陸上風力発電と同様に下記の法規や基準が適用される。

- ・電気事業法
- ・電気事業法施行令
- ・電気事業法施行規則
- ・電気設備に関する技術基準
- ・発電用風力設備に関する技術基準
- ・電気設備に関する技術基準の解釈
- ・発電用風力設備に関する技術基準の解釈
- ・電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン
- ・その他関係法令、条例及び規格

風力発電システムの電気設備には、電気事業法の定めにより電気設備の保安確保のため、最低の維持基準として「電気設備に関する技術基準」、「発電用風力設備に関する技術基準」等の省令が公布されている。なお、電力系統との連系に対し「系統連系技術要件ガイドライン(資源エネルギー庁編)」に連系要件が定められていたが、2004年10月に資源エネルギー庁から系統に連系することを可能とするために必要となる要件のうち、保安確保に係る部分は「電気設備の技術基準の解釈」に盛り込まれた。電圧、周波数等の電力品質を確保していくための事項及び連絡体制等については考え方を整理した「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン(平成25年改訂)」が公表されたことにより、従来の「系統連系技術要件ガイドライン」は廃止された。また、上記の法令や基準を補足するものとして下記の規程や指針があり、これらについても十分配慮して設備設計を進めることが重要である。

- ・発電規程(JESC E0003(2012))
- ・風力発電規程(JESC V0001(2011))
- ・高圧受変電設備規程(JESC E0013(2014))
- ・系統連系規程(JESC E0019(2012))および追補版(2013年、2014年)
- ・変電所等における電気設備の耐震設計指針(JESC E0001(1998))

## (3) 電気事業法

洋上風力発電システムは、発電設備となるので、陸上風力発電と同様に発電事業・電気事業に係る規制や電気工作物(一般用及び事業用)の定義や保安規程を定めている電気事業法に基づかなければならない。また、風力発電設備建設に必要な手続きについても「電気事業法」、「電気事業法施行令」及び「電気事業法施行規則」に定められている。条文の概要及び許認可について表3.6.1-1に示す。なお、電力システム改革の3本柱(①広域系統運用の拡大/広域的運営推進機関の設立、②小売及び発電の全面自由化、③法的分離の方式による送配電部門の中立性の一層の確保)の内、前2項に係る電気事業法改正法案が成立している(平成25年11月13日及び平成26年6月11日)。

表 3.6.1-1 電気事業法の関連条文と許認可に関する一覧

| 電気事業法（及び電気事業法施行規則）                    |   | 許認可申請/届出 | 許認可権者         | 備考            |
|---------------------------------------|---|----------|---------------|---------------|
| 法第3条<br>事業の許可                         | 電気事業（特定規模電気事業を除く）を営もうとする者は、経済産業大臣の許可を受けなければならない。  | ○        | ○<br>（経済産業大臣） | 当該経済産業局に申請/届出 |
| 法第16条の2<br>事業の届出                      | 一般電気事業者以外の者は、特定規模電気事業を営もうとするときは、経済産業大臣に届け出なければならない。   | ○        | ○<br>（経済産業大臣） | 当該経済産業局に申請/届出 |
| 法第38条<br>則第48条<br>電気工作物の区分            | 一般電気工作物…他の者から電気供給を受ける需要設備で受電電圧が600V以下のもの<br>事業用電気工作物…一般電気工作物以外の電気工作物<br>自家用電気工作物…事業の用に供する電気工作物の内、電気事業用の電気工作物及び一般電気工作物以外の電気工作物   |          |               |               |
| 法第39条<br>事業用電気工作物の維持                  | 事業用電気工作物を設置する者は、事業用電気工作物を経済産業省令で定める技術基準（電気設備、発電用風力設備）に適合するように維持しなければならない。   |          |               |               |
| 法第42条<br>則第50条、第51条<br>保安規程の届け出       | 事業用電気工作物を設置する者は、工事、維持及び運用に関する保安を確保するため、保安規程を定め、事業用電気工作物の使用の開始前に、経済産業大臣に届け出なければならない。   | ○        | ○<br>（経済産業大臣） | 当該経済産業局に申請/届出 |
| 法第43条<br>則第52条～第55条<br>主任技術者の選任又は不選任  | ・電気事業用発電所及び2,000kW以上の自家用電気工作物である風力発電所の維持運用のため、電気主任技術者の選任の届け出が必要となる。<br>・20kW以上2,000kW未満の自家用電気工作物である風力発電所の維持運用のため経済産業大臣（事業場が一の産業保安監督部の管轄区域内のみにある場合は、その所在地を管轄する産業保安監督部長）による電気技術者の不選任承認が必要となる。 | ○        | ○<br>（経済産業大臣） | 当該経済産業局に申請/届出 |
| 法第47条、第48条<br>則第62条、第65条<br>工事計画の事前届出 | 500kW以上の風力発電所の設置又は変更の工事をしようとする者は、工事の計画を届出しなければならない。   | ○        | ○<br>（経済産業大臣） | 当該経済産業局に申請/届出 |
| 法第51条<br>則第73条の2～9<br>使用前安全管理検査       | 500kW以上の風力発電所を設置する者は、その使用の開始前に当該事業用電気工作物について自主検査を行ない、その結果を記録しておかなければならない。使用前自主検査を行う時期に、使用前自主検査に係る体制について、経済産業大臣等が行う審査を受けなければならない。  | ○        | ○<br>（経済産業大臣） | 当該経済産業局に申請/届出 |
| 法第53条<br>則第87条・第88条<br>自家用電気工作物の使用の開始 | 自家用電気工作物を設置する者は、使用開始後遅滞なく、経済産業大臣に届け出なければならない。（工事計画を届け出た場合は不要）   | ○        | ○<br>（経済産業大臣） | 当該経済産業局に申請/届出 |

注) 着床式：建築基準法における安全性確保に関する審査を「発電用風力設備の技術基準の解釈」に取り込み、電気事業法上の審査に一本化されたが、内容的には従来通りのものが網羅されている。  
浮体式：支持構造物である浮体施設及びタワーについては、船舶安全法における「浮体式洋上風力発電施設技術基準」により安全性を確保する。

#### (4) 省令で定める技術基準

電気事業法(昭和39年法律第170号)第39条第1項及び第56条第1項に規定された技術基準には以下のものがあり、事業用電気工作物の設置者は技術基準に適合するように維持する義務がある(一般用電気工作物については、使用する電気を供給する電気供給者に一般用電気工作物が技術基準に適合しているかどうかの調査を義務づけている)。発電用風力設備に関する技術基準に定める省令と解釈概要は、表3.6.1-2に示す。

- ・発電用風力設備に関する技術基準を定める省令(電気設備は対象外)
- ・発電用風力設備に関する技術基準の解釈
- ・電気設備に関する技術基準を定める省令
- ・電気設備に関する技術基準の解釈

これらの技術基準は、主に陸上風力発電システムを前提に規定されているが、洋上風力発電についても基本的なものは、これらの技術基準を遵守することが求められる。しかしながら、「電気設備に関する技術基準」の一部においては洋上風力発電システムとしてそぐわない点もあることから、経済産業省(電力安全課)において見直し・検討が進められている。なお、浮体式洋上風力発電システムのうち、船舶安全法第5条第1項に規定の適用を受ける「風車を支持する工作物」については、船舶安全法に基づく「浮体式洋上風力発電施設技術基準」によることになる。



表 3.6.1-2a 発電用風力設備に関する技術基準に定める省令と解釈概要

| 発電用風力設備に関する技術基準に定める省令     |  | 発電用風力設備の技術基準の解釈          |  |
|---------------------------|--|--------------------------|--|
| 条 項                       | 概 要  | 条 項                      | 概 要  |
| 第一条<br>適用範囲               | 風力を原動力として電気を発生するために施設する電気工作物(一般用電気工作物及び事業用電気工作物)について適用する。  | —                        | —  |
| 第三条<br>取扱者以外のものに対する危険防止措置 | 風力発電所を施設するに当たっては、取扱者以外の者に風車が危険である旨を表示するとともに、当該者が容易に接近するおそれがないように適切な措置を講じなければならない。<br>発電用風力設備が一般用電気工作物である場合には、前項の規定の内、「風力発電所」は「発電用風力設備」、「当該者が容易に」は「当該者が容易に風車に」と読み替えて適用する。   | 第2条<br>取扱者以外の者に対する侵入防止措置 | 発電用風力設備に設置する場所には、当該場所に取扱者以外の者が立ち入らないように、「柵、柵、立入禁止表示板、施錠装置」等いずれかの措置を講じること。但し、人が立ち入るおそれのない箇所は、この限りではない。<br>一般用電気工作物である発電用風力設備を設置する場所には、取扱者以外の者が容易に風車に接近しないように、「風車を接近のおそれない場所に設置、接触防止カバー、柵、柵」等いずれかの措置を講じること。  |
| 第四条<br>風車                 | 風車は次の各号により施設しなければならない。<br>1. 負荷を遮断した時の最大速度に対し構造上安全であること。<br>2. 風圧に対して構造上安全であること。<br>3. 運転中に風車に損傷を与えるような振動がない様に設置すること。<br>4. 通常想定される最大風速においても取扱者の意図に反して風車が起動することのないように施設すること。<br>5. 運転中に他の工作物、植物等に接触しないように施設すること。 | 第3条<br>風車の構造             | 令第4条第1号の「負荷を遮断したときの最大速度」とは、非常調速装置が作動した時点より風車がさらに昇速した場合も回転速度を含むものをいう。   |
|                           |  | 第4条<br>風車の構造             | 令第4条第1号の「風圧」とは、発電用風力設備を設置する場所の風車ハブ高さにおける現地風条件(極値風及び乱流を含む)による風圧が考慮されたもので、「風車の受風面の垂直投影面積が最大の状態での最大風圧」、「風速・風向の時間的変化による風圧」をいう。<br>発電用風力設備が一般用電気工作物である場合の「風圧」とは、風車の制御の方法に応じて風車の受風面の垂直投影面積が最大となる状態において、風車を受ける最大風速を含むものをいい、前項の規定は適用しない。   |
| 第五条<br>風車の安全な状態の確保        | 風車は、次の各号の場合に安全かつ自動的に停止するような措置を講じなければならない。<br>1. 回転速度が著しく上昇した場合<br>2. 風車の制御装置の機能が著しく低下した場合<br><br>発電用風力設備が一般用電気工作物である場合には、前項の「安全かつ自動的に停止するような措置」は「安全な状態を確保するような措置」と読み替えて起用する。                                     | 第5条<br>風車の安全な状態の確保       | 令第5条第1項及び第2項に規定する「安全かつ自動的に停止するような措置」及び「安全な状態を確保するような措置」とは、常用電源の停電時においても、非常用電源の保持等により、風車を制御可能な状態が確保できるような措置を含むものをいう。  |
|                           |  |                          | 令第5条第1項第一号に規定する「回転が著しく上昇した場合」とは、非常調速装置が作動する回転速度に達した場合をいう。<br>令第5条第1項第二号に規定する「風車の制御装置の機能が著しく低下した場合」とは、風車の制御用圧油装置の油圧、圧縮空気装置の空気圧又は電動式制御装置の電源電圧が著しく低下した場合をいう。<br>令第5条第2項に規定する「安全な状態」とは、風車の構造に応じて停止または回転速度の減速その他の措置を行い、人体に危害を及ぼしたまたは物件に損傷を与えない状態をいい、「安全状態を確保するような措置」とは、機械的及び電気的な保護機能の双方又は一方を用いて風車を安全な状態に維持することをいう。<br>令第5条第2項において適用する同条第1項第二号に規定する「風車の制御装置の機能が著しく低下した場合」とは、風車の制御用圧油装置の油圧、圧縮空気装置の空気圧又は電動式制御装置の電源電圧が著しく低下した場合その他制御装置の機能が著しく低下した場合をいう。 |

注) 詳細は経済産業省HP ([http://www.meti.go.jp/policy/safety\\_security/industrial\\_safety/oshirase/2014/05/260501-1-1.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/oshirase/2014/05/260501-1-1.pdf))を参照

表 3.6.1-2b 発電用風力設備に関する技術基準に定める省令と解釈概要

| 発電用風力設備に関する技術基準に定める省令              |  | 発電用風力設備の技術基準の解釈                                     |  |
|------------------------------------|--|---|--|
| 条 項                                | 概 要  | 条 項   | 概 要  |
| 第五条<br>風車の安全な状態の確保 (表 3.6.1-2aの続き) | <p>最高部の地表からの高さ20mを超える発電用風力設備には、雷撃から風車を保護するような装置を講じなければならない。ただし、周囲の状況によって雷撃が風車を損傷するおそれがない場合において、この限りでない。</p>  | 第五条<br>風車の安全な状態の確保 (表 3.6.1-2aの続き)                  | <p>令第五条3項に規定する「雷撃から風車を保護するような措置」とは、次に掲げる要件のすべてを満たすものをいう。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・発電用風力設備を設置する場所の落雷条件を考慮し、レセプター風の風車への取付け及び雷撃によって生ずる電流を風車に損傷を与えずに安全に地中に流すことができる引下げ導体等を施設すること。</li> <li>・風車を支持する工作物の高さが20mを超える部分を雷撃から保護するように、次のイ、ロの要件のすべてを満たす事。</li> <li>イ、雷撃によって生ずる電流を風車を支持する工作物に被害を及ぼすことなく安全に地中に流すことができる避雷設備として、日本工業規格A4201-2003に規定する外部雷保護システムに適合する構造である事</li> <li>ロ、避雷設備の雨水等により腐食の恐れのある部分にあつては、腐食しにくい材料を用いるか、又は有効な腐食防止のための措置を講じたものであること。</li> <li>・令第五条第3項に規定する「周囲の状況によって雷撃が風車を損傷するおそれがない場合」とは、当該風車を保護するように避雷塔、避雷針その他の避雷設備がある場合を含むものをいう。</li> <li>・「風車の制御装置の機能が著しく低下した場合」とは、風車の制御用圧油装置の油圧、圧縮空気装置の空気圧または電動式制御装置の電源電圧が著しく低下した場合その他制御装置の機能が著しく低下した場合をいう。</li> </ul> |
| 第六条<br>圧油装置及び圧縮空気装置の危険の防止          | <p>発電用風力装置として使用する圧油装置及び圧縮空気装置は次のより施設しなければならない。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 圧油タンク及び空気タンクの材料及び構造は、最高使用圧力に対して十分に耐え、かつ安全なものであること。</li> <li>2. 圧油タンク及び空気タンクは耐食性を有すること。</li> <li>3. 圧力が上昇する場合において、当該圧力が最高使用圧力に到達する以前に当該圧力を低下させる機能を有すること。</li> <li>4. 圧油タンクの油圧又は空気タンクの空気圧が低下した場合に圧力を自動的に回復させる機能を有すること。</li> <li>5. 異常な圧力を早期に見知できる機能を有すること。</li> </ol> | 第六条<br>圧油装置及び圧縮空気装置の施設                              | <p>電気設備の技術基準の解釈について(平成25年3月14日制定) 第40条第2項(第二号ロを除く)及び第3項の規定は、発電用風力設備として使用する圧縮装置及び圧縮空気装置について準用する。</p> <p>この場合において、同条第2項中「閉閉器及び遮断器に使用する圧縮空気装置」とあるのは「発電用風力設備として使用する圧縮装置及び圧縮空気装置」と、「空気圧縮機」とあるのは「油ポンプ及び空気圧縮機」と、「空気タンク」とあるのは「圧油タンク及び空気タンク」と、「圧縮空気を通ずる管」とあるのは「圧油及び圧縮空気を通ずる管」と読み替える。</p>  |
| 第七条<br>風車を支持する工作物                  | <p>風車を支持する工作物は、自重、積載荷重、積雪及び風圧並びに地震その他の振動及び衝撃に対して構造上安全でなければならない。</p>  | 第七条<br>風車を支持する工作物の構造耐力                              | <p>令第七条第1項に規定する「自重、積載荷重、積雪及び風圧並びに地震その他の振動及び衝撃」とは、風車を支持する工作物に作用する自重、積載荷重、積雪荷重、風圧、土圧及び水圧並びに風車の運転による振動並びに当該設置場所において通常想定される地震その他自然の要因により風車を支持する工作物に作用する振動及び衝撃(次項において「外力」という)をいう。</p> <p>令第七条第1項に規定する「構造上安全」とは、風車を支持する工作物の塔、基礎及びタワーと基礎の定着部が、工作物に作用する外力に対して安全であることを含むものをいう。</p> <p>発電用風力設備であつて最高部の地表からの高さ(以下「風力設備全体高」という)が15mを超える発電用風力設備を支持する工作物(以下「特定支持物」という)について、第8条及び第9条に掲げる全ての要件の全てを満たす場合であつて、次に掲げる要件のいずれかに該当するときは、当該特定支持物については、令第七条第1項に規定する「構造上安全」であるものとみなす。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・第10条に掲げる要件の全てを満たすものであること</li> <li>・風力設備全体高が60m以下の特定支持物であつて、第11条から第13条に掲げる要件のすべてを満たすものであること。</li> </ul>   |
|                                    |  | 第八条<br>特定支持物の構造等                                    | ・特定支持物の構造等に係る要件(一〜九/詳細は省略)   |
|                                    |  | 第九条<br>特定支持物の基礎                                     | ・特定支持物の基礎(鉄筋コンクリート造のものに限る)に係る要件(一〜九/詳細は省略)   |
| 第七条<br>風車を支持する工作物                  | <p>風車を支持する工作物は、自重、積載荷重、積雪及び風圧並びに地震その他の振動及び衝撃に対して構造上安全でなければならない。</p>  | 第十条<br>特定支持物に係る構造計算<br>(風力設備全体高が60mを超える特定支持物に対する規定) | <ul style="list-style-type: none"> <li>・特定支持物の構造計算に係る要件(一〜六/詳細は省略)</li> <li>ただし、次条から第13条に掲げる要件の全てを満たす場合はこの限りでない。</li> <li>・前項各号の構造計算及び確認を行うに当たっては、構造上主要な部分の断面に生ずる長期、短期及び極めて稀に発生する地震時の各応力度を別表第3に掲げる式によって計算すること。</li> <li>第1項各号の構造計算及び確認を行うに当たっては、次に掲げる許容応力度、許容せん断応力度及び材料強度を用いること。(一〜十三/詳細は省略)</li> </ul>  |
|                                    |  | 第十一条<br>風力発電設備全体高が60m以下の特定支持物に係る構造計算                | <ul style="list-style-type: none"> <li>・特定支持物(風力発電設備全体高が60m以下の場合に限る。以下この条から第13条までにおいて同じ)の構造計算に係る要件(一〜三/詳細は省略)</li> </ul>   |
|                                    |  | 第十二条<br>風力発電設備全体高が60m以下の特定支持物の構造上主要な部分              | <ul style="list-style-type: none"> <li>・特定支持物(鉄骨造のものに限る)の構造上主要な部分に係る要件(一〜八/詳細は省略)</li> </ul>   |
|                                    |  | 第十三条<br>風力発電設備全体高が60m以下の特定支持物の基礎                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・特定支持物の基礎に係る要件(一〜四/詳細は省略)</li> </ul>  |

注) 詳細は経済産業省HP ([http://www.meti.go.jp/policy/safety\\_security/industrial\\_safety/oshirase/2014/05/260501-1-1.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/oshirase/2014/05/260501-1-1.pdf))を参照

表 3.6.1-2c 発電用風力設備に関する技術基準に定める省令と解釈概要

| 発電用風力設備に関する技術基準に定める省令                       |   | 発電用風力設備の技術基準の解釈         |  |
|---|---|-------------------------|--|
| 条 項   | 概 要   | 条 項                     | 概 要  |
| 第七条<br>風車を支持する<br>工作物<br>(表3.6.1-2bの<br>続き) | 風車を支持する工作物は、自重、積載荷重、積雪及び風圧並びに地震その他の振動及び衝撃に対して構造上安全でなければならない。<br>(表3.6.1-2bの続き)  | 第14条                    | ・第7条3項の規定にかかわらず、特定支持物は建築基準法の工作物に適用される同法に基づく構造強度に係る各規定に適合するものであること。<br>・風車を支持する工作物(船舶安全法第2条第1項の規定を受けるものに限る)は、同項の規定に適合するものであること。 |
|   |   | 第15条<br>風車を支持する工作物の施設制限 | ・風車を支持する工作物は、支線を用いてその強度を分担させないこと。<br>・発電用風力設備が一般電気工作物である場合には、前項の規定は適用しない。  |
|   | 発電用風力設備が一般電気工作物である場合には、風車を支持する工作物に取扱者以外の者が容易に登ることができないように適切な措置を講じること。   | —                       | —  |
| 第八条<br>公害等の防止                               | ・電気設備に関する技術基準を定める省令(平成9年通商産業省令第52号)第19条第8項及び第10項の規定は、風力発電所に設置する発電用風力設備について準用する。<br>・発電用風力設備が一般電気工作物である場合には、前項の規定は、同項中「第19条第8項及び第10項」とあるのは「第19条第10項」と、「風力発電所に設置する発電用風力設備」とあるのは「発電用風力設備」と読み替えて適用する。 | —                       | —  |

注) 詳細は経済産業省HP ([http://www.meti.go.jp/policy/safety\\_security/industrial\\_safety/oshirase/2014/05/260501-1-1.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/oshirase/2014/05/260501-1-1.pdf))を参照

### 3.6.2 工事設計

#### (1) 電気工事設計

洋上風力発電システムの電気工事には、陸上風力発電と重複するものが多く、3.6.1(2)及び(3)項で述べた法令・規程類の他に、下記の法規や基準が適用される。

- ・電気工事業法
- ・建設業法
- ・その他関係法令、条例及び規格

#### (2) 土木・建築工事設計

洋上風力発電システムの土木・建築工事には、下記の法規や基準等が適用される(3.2.2 項の社会条件に関する記述を参照)。

- ・海岸法
- ・港湾法
- ・港則法
- ・水路業務法
- ・船舶安全法
- ・漁業法
- ・海洋水産資源開発促進法
- ・海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律
- ・海上交通安全法
- ・航路標識法
- ・海上衝突予防法
- ・自然公園法
- ・水産資源保護法
- ・漁港漁場整備法
- ・排他的経済水域及び大陸棚の保全及び利用の促進のための低潮線の保全及び拠点施設の整備等に関する法律
- ・各港湾管理者が定める条例
- ・道路法\*

\* 陸上で工事車両を通行させる場合に限る(建設場所付近の港湾又は沿岸まで)。

- ・ 道路交通法\*
- ・ 航空法
- ・ コンクリート標準示方書(土木学会)
- ・ 共通仕様書(土木工事共通仕様書)
- ・ 電気事業法/建築基準法・同施行令
- ・ 建築基礎構造設計指針(日本建築学会)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説(日本建築学会)
- ・ 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事(日本建築学会)

### 3.6.3 工事計画

#### (1) 一般論

洋上風力発電設備の建設に関連する海底地盤整備、支持構造物の設置、風車の据え付け、海底の送電ケーブル、アレイケーブル、洋上変電所等の諸工事が工期内に支障なく、安全に行われるように工事計画、工事工程表を立案・策定する必要がある。

表 3.6.3-1 には、洋上風力発電施設の設置以外の段階における使用船舶も示しているが、設置段階においては種々の船舶が必要となる。したがって、建設工事の母港となる港湾における様々な作業船、クレーン、資材置き場等の利用ができるように港湾管理者と、利用岸壁の長さ・水深、ストックヤードのスペース、岸壁、荷捌き地等の地耐力確保等の協議を早目に終えておくことが重要である。また、洋上風力発電建設海域の近傍港湾であれば、施設稼働後も風車や支持構造物の維持管理のために、継続して港湾を利用することも考えられることから入念な検討を要する。

風車や支持構造物の設置には、主として SEP 船(自己昇降式作業台船)が使用されるが、近年、

表 3.6.3-1 着床式洋上風力発電に関連する船舶(日本船舶技術研究会, 2013 を一部改変)

| 船 種                | 設置 | 試運転 | 維持管理 | 撤去 |
|--------------------|----|-----|------|----|
| はしけ                | ○  |     |      | ○  |
| 重量物運搬船             | ○  |     | △    | ○  |
| クレーン船/SEP船(自己昇降型船) | ○  |     | △    | ○  |
| タグボート              | ○  |     |      | ○  |
| アクセス船              | ○  | ○   | ○    | ○  |
| ケーブル敷設船            | ○  |     |      | ○  |
| ROV(遠隔無人探査機)搭載船    | ○  |     |      | ○  |
| 潜水作業支援船            | ○  |     |      | ○  |
| 監視・警戒船             | ○  |     |      | ○  |
| 保守管理作業船            |    |     | ○    |    |
| 沖合移住施設(母船)         |    |     | △    |    |
| 風車撤去作業船            |    |     |      | ○  |

洋上風力発電の風車は大型化し、5000kW(5MW)クラスの超大型風車が設置される事例が増え、今後もさらに大型化の傾向にある(付属資料Ⅱを参照;SEP船については3.7.2項(3)及び付属資料Ⅳを参照)。参考までに風車と支持構造物について概略の諸元を表3.6.3-2と表3.6.3-3に示すように、支持構造物も大型構造物となっている。日本船舶技術研究会(2013)は、7MWクラスの風車を視野に入れて、将来のSEP船の概略スペックを以下のように取りまとめている。

- ◎対応水深：最低でも60m(望ましくは80-100m)
- ◎運航速度：7-8kt
- ◎デッキ面積：3000m<sup>2</sup>前後
- ◎最大有義波高：最低でも2m、できれば2.5m  
(うねり(Tp：≧10sec)への対応も必須)
- ◎クレーン能力：1000t超
- ◎クレーン吊り高さ：150m以上

我が国におけるSEP船は、現在、「くろしお」、「むつ」、「ASO」等が存在するが、一番大きい「くろしお」でもクレーン能力(積載可能なクローラークレーン)は750tCRであり、例えば、5MW風車(海面からハブ高までの高さ:105~110m)を設置する場合、この高さに吊り揚げるためにはSEP船の甲板を海面から20m高にセットする必要があり、その時のクローラークレーン97mブーム、R(作業半径)=20mの吊荷重性能は187tが限度となって、5MW風車の設置は難しい。

洋上風力発電施設工事の計画策定にあたっては、事前に次のことに留意しなければならない。

- ・前述のように、港湾管理者とは十分な協議を行って協力を得ておくこと。特に、岸壁、荷捌き地等の地耐力確保については、留意しなければならない。

表 3. 6. 3-2 5MW 風車の概略諸元

| 項目    |                | 諸元        |
|-------|----------------|-----------|
| 定格出力  |                | 5000kW    |
| ロータ直径 |                | 116m-139m |
| ブレード長 |                | 55m-67m   |
| ブレード数 |                | 3枚        |
| ハブ高   |                | 90m-120m  |
| タワー外径 |                | 5.3m      |
| 質量    | ブレード(1枚)       | 約16t      |
|       | ロータ(含む、ハブ)     | 約112t     |
|       | ナセル(除く、ロータ+ハブ) | 約235t     |
|       | タワー(3-4分割可)    | 約355t     |

注) 仕様は複数の風車の概算値

表 3. 6. 3-3 5MW 機対応の支持構造物の概略諸元 (MECAL, 2013)

| 支持構造物 | 水深     | 諸元             | 重量                          |
|-------|--------|----------------|-----------------------------|
| モノパイル | 20-40m | 直径：6.5-8.0m    | ~550t-1400t                 |
|       |        | 板厚：≦150mm      |                             |
|       |        | 長さ1：44m-82m    |                             |
| 重力    | ≦40m   | 直径(天端)：~6m     | ~2700t-3000t<br>(水深:27-30m) |
|       |        | 直径(底面)：~25m    |                             |
|       |        | 厚み：≦300mm      |                             |
|       |        | 長さ：≦40m        |                             |
| ジャケット | 20-60m | 天端断面幅(長さ)：~6m  | ~550t-1650t                 |
|       |        | 底面断面幅(長さ)：~19m |                             |
|       |        | 鋼管肉厚：≦30mm     |                             |
|       |        | 長さ2：~30m-70m   |                             |

長さ1：海底下のパイル及びトラジションピースの長さを含む

長さ2：海面上の長さを含む

- ・ 工事の開始前には各種許認可(開発許可、建築確認申請、工事計画届他)があり、関係する法律により提出時期、取得までの期間が異なるため、工事工程に組み込んでおくこと。
- ・ SEP 船、ケーブル敷設船、ハンマー、クレーン等の手配しておくこと。
- ・ 支持構造物、風車、ケーブル等の各サプライヤーとは供給契約を締結しておくこと。
- ・ 施設の撤去計画も併せて検討しておくことが必要である。欧州において海底下の支持構造物等の撤去は残置しているようであるが、この点に関して日本では国土交通省で検討されているので、その結果に倣うことになる。

主要な建設工事の概要は以下の通りである。

◎支持構造物(基本形はモノパイル、重力、ジャケット)の設置

事前に海底地盤の整備を行い、その後、SEP 船等により海底に支持構造物を据え付ける(支持構造物の種類により工事内容は異なる。3.7 節を参照)。

◎系統連系

風車を支持構造物に据え付ける前に送電ケーブル(洋上変電所と陸上変電所間の送電線)及び陸上変電所の工事を完工させ、陸上から洋上変電所まで送電線を繋いで置く。

◎風車

支持構造物、送電ケーブル及び陸上変電所の完工前から SEP 船を使用して風車を支持構造物に据え付ける工事を行い、別途、並行して行っていたアレイケーブル(洋上変電所と風車間の送電線)の敷設工事を完工させ、風車に送電線を連系して最終的な試験検査を実施して工事を完了する。

このように、複数の工事がある程度並行して進むために、他の工事との取り合いを十分考慮する必要がある。また、工事ごとに仕様書で示されている事項についても十分に留意する。

GL Garrad Hassan(2010)を参考に、洋上ウィンドファームの建設工事の工程を検討した(図 3.6.3-1)。ここでは設置海域を太平洋側と想定し、100MW~200MW(5MW 風車×20 基~40 基)程度のウィンドファームを建設する概略のスケジュールであり、作業船の稼働率を考慮し、海洋工事期間は春季から夏季の間と仮定して、全体の工期は概ね 3 年間としている。

### 洋上ウィンドファーム (100~200MW:5MW×20~40基)の工事工程

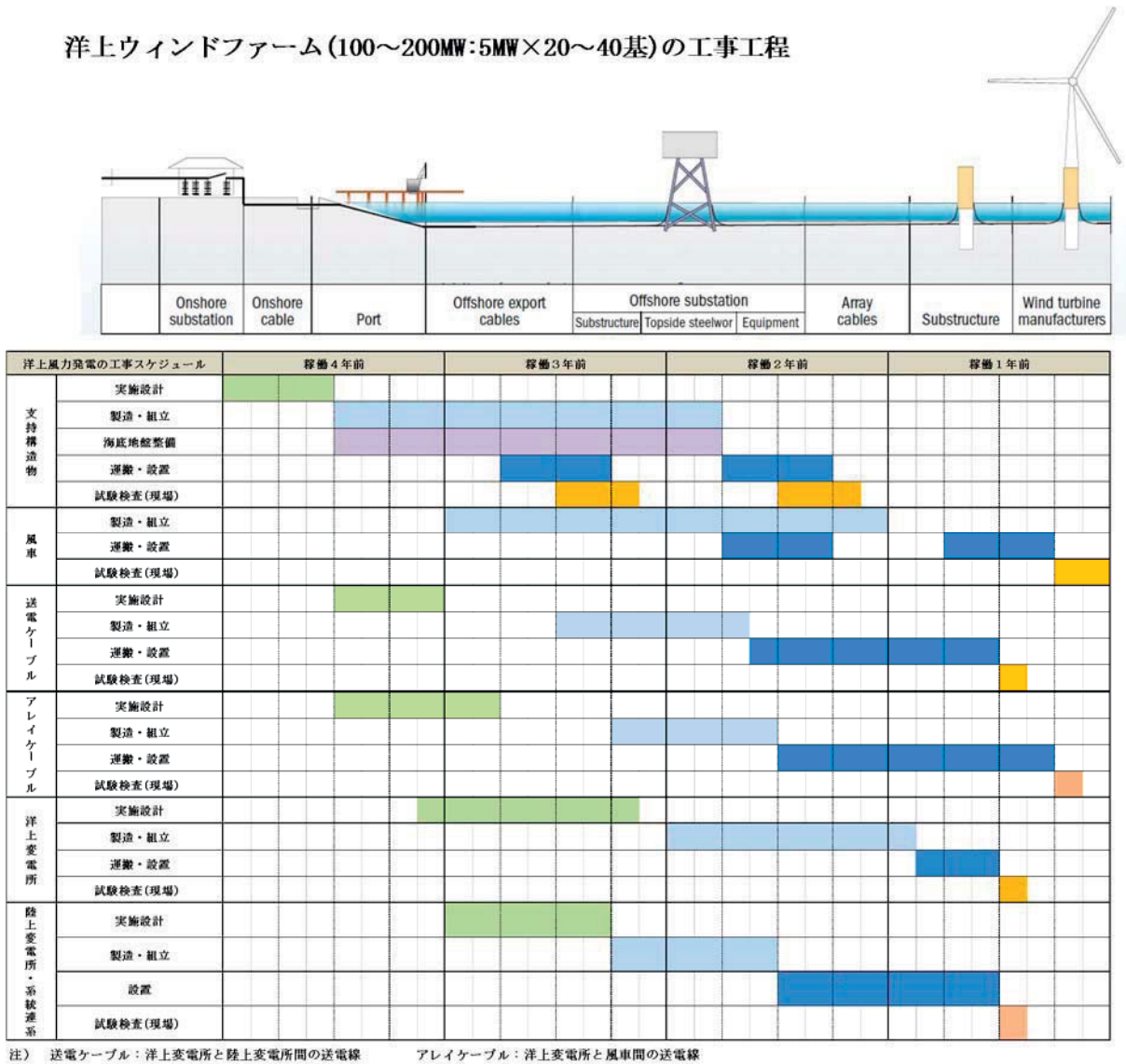


図 3.6.3-1 洋上ウィンドファームの工事工程の例—最上図は EWEA(2011)から引用—

(2) NEDO 洋上風力発電実証研究事例

1) 銚子沖

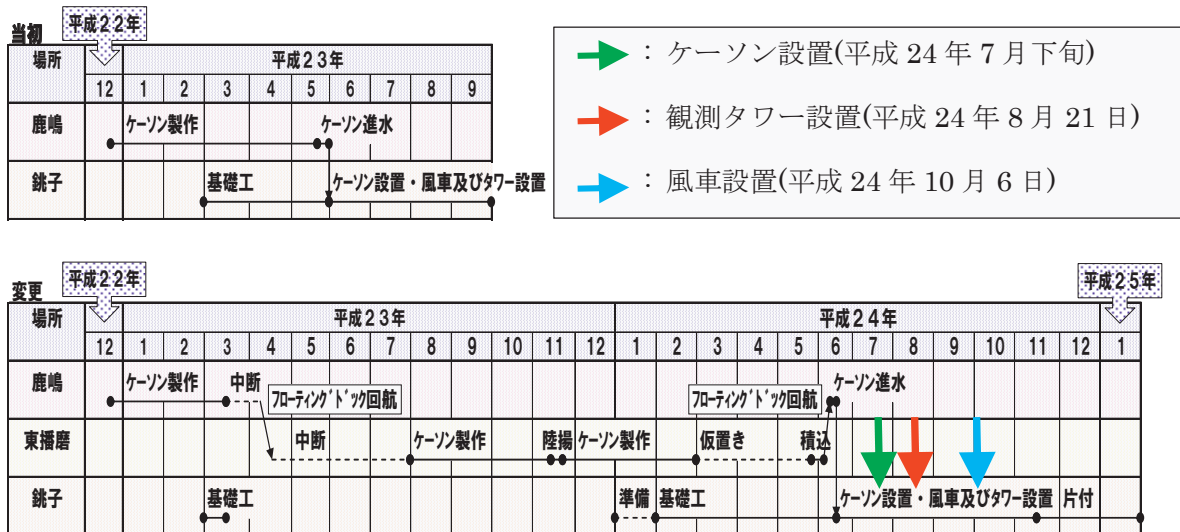
銚子沖における工事の全体工程を表 3.6.3-4 に示す。表示されているように、平成 22 年度の第 4 四半期から観測タワー、風車、ケーソン基礎等の製作を開始したが、平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災の影響により現場作業は 1 年間延期された。

表 3.6.3-5 はケーソンの製作から設置までの概略の工事工程である。震災後、ケーソンの製作は兵庫県東播磨で行われたため、運搬にも時間を要し、東播磨でのケーソンの製作から銚子沖に設置されるまで約 1 年間掛かっている。観測タワー用及び風車用のケーソンの設置は同時期に行われ、観測タワーは平成 24 年 8 月 21 日、風車は平成 24 年 10 月 6 日に設置されている。

表 3.6.3-4 銚子沖における工事の全体工程(東京電力資料)

|         | H22年度 |    |     |    | H23年度 |    |     |    | H24年度 |    |     |    |
|---------|-------|----|-----|----|-------|----|-----|----|-------|----|-----|----|
|         | I     | II | III | IV | I     | II | III | IV | I     | II | III | IV |
| 観測タワー   |       |    |     | ■  |       | ■  | ■   | ■  |       |    |     |    |
| 風車      |       |    |     | ■  | ■     |    |     |    |       |    |     |    |
| ケーソン基礎  |       |    |     | ■  |       | ■  | ■   |    |       |    |     |    |
| 浚渫工・基礎工 |       |    |     | ■  |       |    |     | ■  |       |    |     |    |
| 基礎運搬・据付 |       |    |     |    |       |    |     |    | ■     |    |     |    |
| 観測タワー設置 |       |    |     |    |       |    |     |    | ■     | ■  |     |    |
| 風車設置    |       |    |     |    |       |    |     |    |       |    | ■   |    |
| 電気通信設備  |       |    |     |    |       |    |     |    |       |    | ■   | ■  |
| 変電所     |       |    |     |    |       |    |     |    | ■     | ■  | ■   |    |
| 海底ケーブル  |       |    |     | ■  |       |    |     |    | ■     | ■  |     |    |

表 3.6.3-5 銚子沖におけるケーソン工事の工程(東京電力資料)





## 2) 北九州市沖

北九州市における観測タワーと風車の工事工程を表 3.6.3-6 と表 3.6.3-7 に、それぞれ示す。

観測タワー及び支持構造物の製作後、約 2 週間経った平成 24 年 6 月 30 日に観測タワーが設置されている。なお、海底ケーブルが敷設され、観測タワーと陸上間の送電されたのは平成 24 年 8 月 9 日であった。

風車用の支持構造物は、平成 24 年 9 月中旬に完成し、支持構造物の据付は 10 月 5 日(完成から据付まで約 20 日間)で、その後、ブロック据付工事があるが 10 月 15 日に設置完了している(風車への通電工事が完了したのは 10 月 26 日)。図 3.6.3-5 に示す海上鉄塔は海底ケーブルを陸上の変電所に系統接続するために護岸前面に設置された施設である。本工事は海底工事から鉄塔据付まで約 1 ヶ月間で完了している。

表 3.6.3-6 北九州市沖における観測タワーの工事工程(電源開発資料)

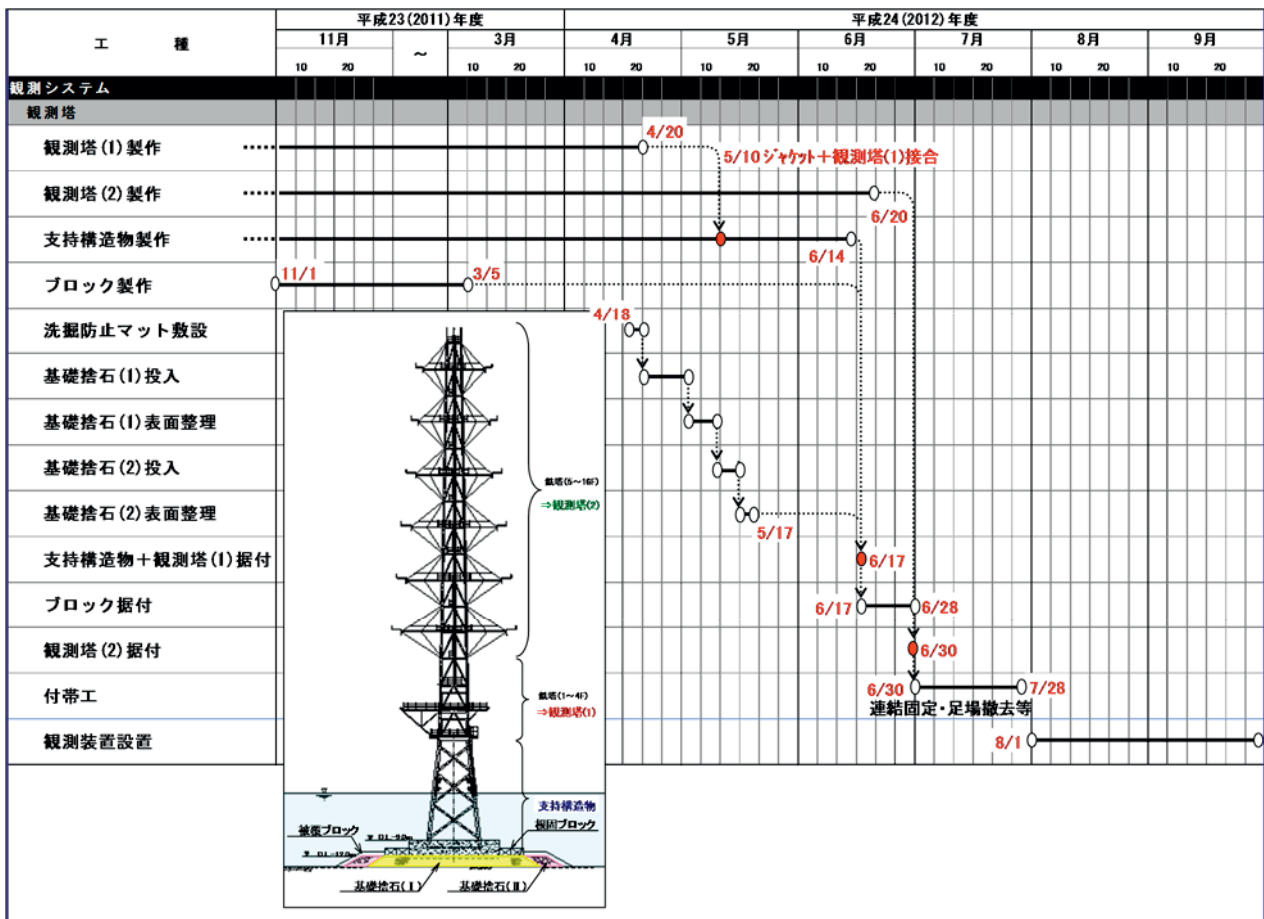


表 3.6.3-7 北九州市沖における風車の工事工程(電源開発資料)

