

8 撤去

20年間の洋上風力発電事業実施後には、施設の撤去を行うこととなる。また、観測タワー、送電線、連系変電所等の撤去も必要となる。

海洋投棄による海洋の汚染を防止することを目的とした国際条約としては「1972年の廃棄物その他の物の投棄による海洋汚染の防止に関する条約（ロンドン条約）」があり、1975年8月に発効した。その後、廃棄物の海洋投棄等の規制を更に強化することを目的とした「1972年の廃棄物その他の物の投棄による海洋汚染の防止に関する条約の1996年の議定書（96年議定書）」が採択され、2006年3月に発効している。96年議定書では、陸上起源の廃棄物その他の物の海洋（海底下も含む）投棄及び洋上焼却を原則禁止とし、海洋投棄を検討することができる廃棄物その他のものを同議定書附属書Iに限定列挙するとともに、海洋投棄する場合には環境影響評価等に基づいて規制当局が許可を発給することを規定している。

96年議定書附属書Iにおける、海洋投棄を検討することができる廃棄物その他の物は以下の通りである。

1. 浚渫物
2. 下水汚泥
3. 魚類残渣又は魚類の工業的加工作業から生ずる物質
4. 船舶及びプラットフォームその他の人工海洋構築物
5. 不活性な地質学的無機物質
6. 天然起源の有機物質
7. 主として鉄、鋼及びコンクリート並びにこれらと同様に無害な物質であって物理的な影響が懸念されるものから構成される巨大な物（ただし、投棄以外に実行可能な処分の方法がない孤立した共同体を構成する島嶼等の場所においてそのような廃棄物が発生する場合に限る。）
8. 二酸化炭素を隔離するための二酸化炭素の回収工程から生ずる二酸化炭素を含んだガス

洋上風力発電設備の撤去に関する取り組みについては、欧州が先行している。2011年にはイギリス政府が、業界向けのガイダンス「Decommissioning of offshore renewable energy installations under the Energy Act 2004」を公表している。この中では原則として洋上風力発電設備は全部撤去であるが、海上交通への支障、海洋環境への影響、撤去費用等を勘案し、一部残置の可否を判断することになっている。またClimate Change Capital（2010）によれば、デンマークやオランダでも洋上風力発電施設の一部残置が事案により許容されている。いずれの国も96年議定書の締約国であることから、洋上風力発電設備を同議定書の附属書Iの対象とした上で一部残置を許容していると考えられる。

世界で洋上風力発電所の導入が本格化して間もないこともあり、世界で撤去されたウィンドファームの事例は少ない。近年撤去された事例として2つ取り上げる。1つ目の事例では設備の一部が残置され、もう1つの事例では設備が完全に撤去された。

一部残置の事例は、スウェーデンのYttre Stengrund wind farmである。当発電所は2016年1月に撤去されている。この発電所はモノパイル式の2MW風車5基からなっており、沖合

2km の水深 6-8m の海域で 2001 年に運転を開始している。事業者によれば、採算性や技術面を考慮すると、設備を更新して事業を継続するよりも撤去した方がよいという判断になったということである（Vattenfall 社 HP : <https://corporate.vattenfall.com/press-and-media/press-releases/2016/the-first-decommission-in-the-world-of-an-offshore-wind-farm-is-now-complete/>）。施設の撤去にあたっては、基礎は海底面の位置で切断されて海底面下の基礎部分はそのまま残置されている。

完全撤去の事例は、オランダの Lely Wind Farm である。この発電所はモノパイル式の 500kW 風車 4 基からなっており、Ijssel 湖の水深 3-4m の水域で 1992 年に運転を開始している。2016 年 9 月に撤去工事が開始され、ケーブルを含め全ての設備が 3 週間以内に撤去された。モノパイルはバイプロハンマを利用して引き抜かれている

(<http://www.offshorewind.biz/2016/12/07/lely-wind-farm-fully-decommissioned-video/>)。

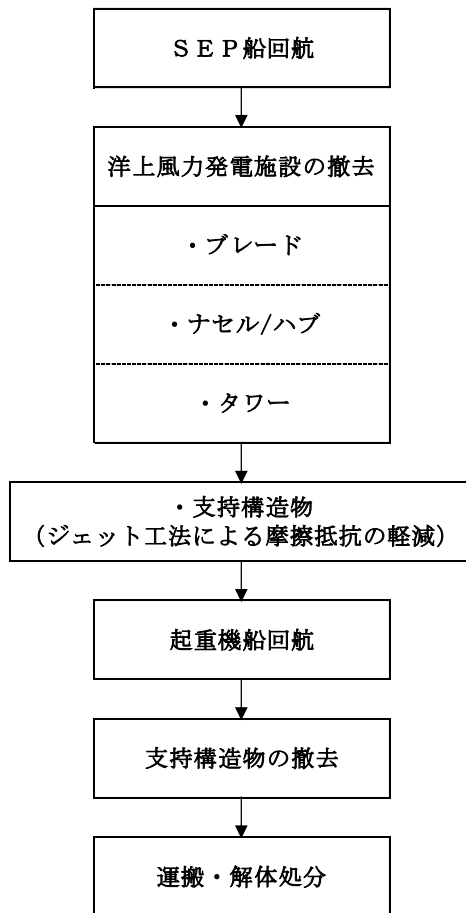
上述の英国政府の業界向けガイダンスのような、洋上風力発電設備に特化した撤去の国内の指針・基準は、現在のところ日本にはない。基礎構造物等の海洋投棄については、96年議定書を受けて改正された「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律（海洋汚染防止法）」および「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（廃棄物処理法）」が適用される。海洋汚染防止法では海域に設けられる工作物である「海洋施設」そのものを海洋に投棄することを原則として禁止しているが、同法で規定されている基準を満たせば例外として海洋への廃棄が許可される。洋上風力発電施設は同法で規定している「海洋施設」に該当すると考えられることから、基礎構造物等の一部残置が認められるためには同法に規定されている基準を満たす必要がある。

しかし日本では、そもそも一部残置を行った海洋施設の撤去事例自体が少なく、石油施設の事例が数例あるのみである。また洋上風力発電所の場合ある範囲の海域に数十基もの施設が設置されるため、残置による影響が石油施設の場合と大きく異なることから、石油施設の残置の考え方が洋上風力発電所にそのまま当てはまるわけではないことに留意が必要である。

一方港湾区域においては、「港湾区域等に風力発電施設を設置する場合の占用等の許可基準等の参考指針」の中で、港湾管理者が占用等の許可を行う上での留意事項として「事業の廃止、占用許可の期間満了時等に風力発電施設を撤去し、原状回復すること。」があげられている。「港湾における洋上風力発電の占用公募制度の運用指針Ver.1」では、「洋上風力発電施設にかかる占用許可期間が満了した場合、撤去することが基本となるため、当該施設の撤去の方法や撤去に係る費用を売電収入等から積み立てる計画を示す必要がある旨を公募占用指針に示しておくことが必要と考える。」としている。

洋上風力発電設備を完全撤去する場合、その方法は、Ⅲ.6.2 項に取りまとめた組立作業とは逆の手順となると考えられる（図Ⅲ.8-1）。風車本体およびタワーは、組み立て時と同様に SEP 船（自己昇降式作業台船）を使用して解体する。支持構造物も、SEP 船を使ってジェット工法により海底土中部を攪乱し周辺摩擦抵抗を軽減させた後、起重機船の吊り上げ荷重やバイプロハンマの起振力を利用して回収し、洋上風力発電事業区域の現状復帰を図ることとなる。

撤去工事は設置工事と同様に海象のよい時期に行い、現場で各設備を切り離して順次陸揚げする。陸上部には仮置場や解体ヤードを設ける必要があるため、それらにどの程度の広さが必要かをあらかじめ調べておく必要がある。



図Ⅲ. 8-1 風力発電施設の撤去施工手順の概要（モノパイルの場合の例）

【豆知識Ⅲ.8-1】

●撤去が簡便な支持構造物の形式

支持構造物のサクシオン形式は、重力式、モノパイルとサクシオンアンカー技術の利点を併せ持つハイブリッド設計で、海底地盤中に挿入した支持構造物スカート内の水を抜いて内部を減圧することで、上部に作用する水压差（サクシオン）を利用してスカートを貫入させる工法である（イギリスの Carbon Trust による Offshore Wind Accelerator（OWA）Programme の中で、商用化に向けた開発が進められている）。反対に、スカート内に空気を送り込み加圧することで、比較的容易に撤去できる。

砂質、泥質の海底地盤に適用される工法であるが、大水深まで対応可能であること、モノパイルよりも鋼材料が 25%削減可能なこと、グラウト接合は不要なこと、設置時の騒音削減が期待できること、完全撤去が可能なこと等の利点があるとされている。

石油ガス開発分野では 1,000m 級の大水深でも使用されている。これまで洋上風力発電に対するサクシオンの実績は、図 1 に示す 2003 年に Vestas 3MW 風力発電機の実証試験（Frederikshavn：デンマーク）のみであったが、2014 年にドイツの Borkum Riffgrund 1 洋上ウインドファーム（312MW：海底地盤は砂質）において、Siemens 3.6MW 洋上風車のジャケット式支持構造物の据付に採用された（図 2）。

その他、サクシオンは Horns Rev2、Dogger Bank 等における洋上風況観測タワーの実績がある。



図 1 Frederikshavn のサクシオン支持構造物形式
(Lindvig, 2010)



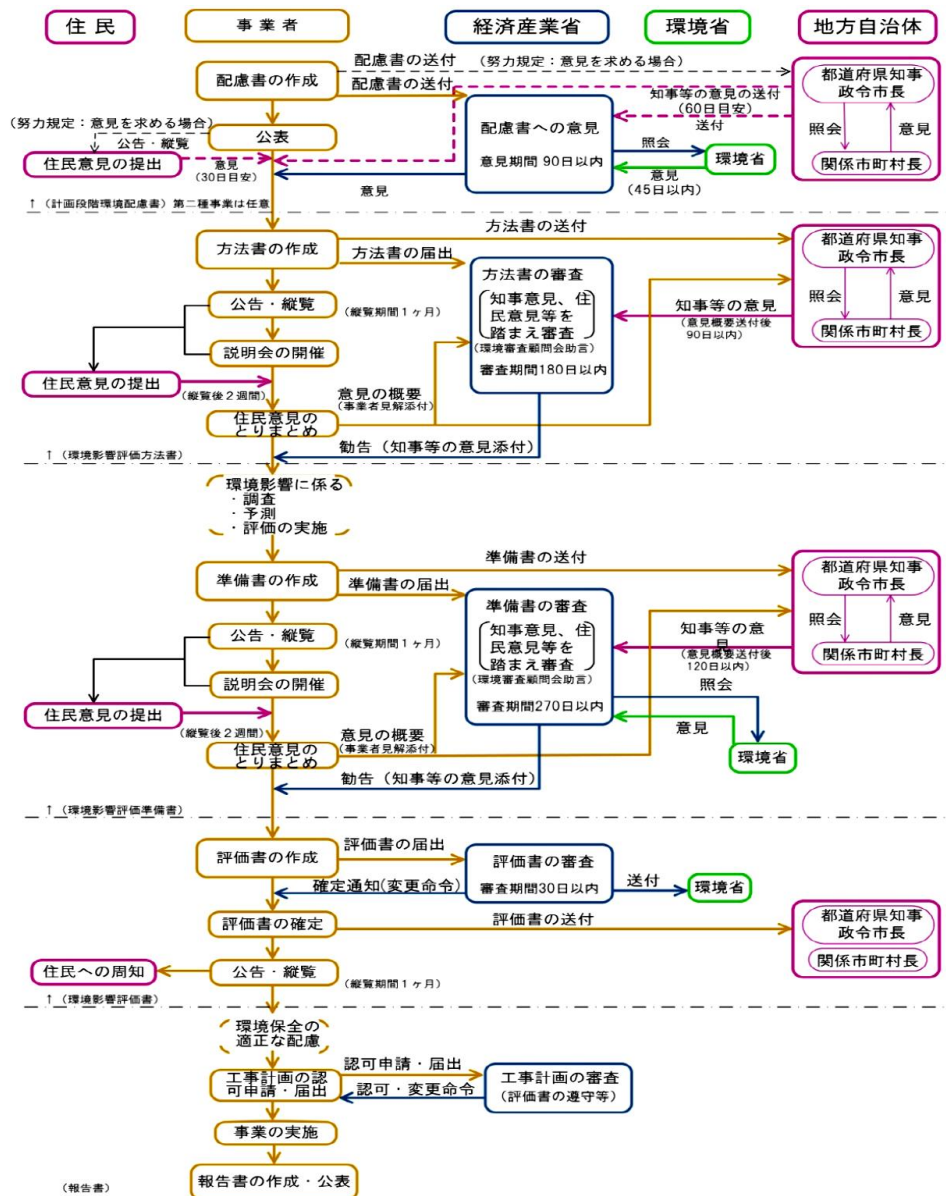
図 2 Borkum Riffgrund1 のサクシオン支持構造物形式 (Weston, 2014)

9 環境影響評価

環境アセスメントの手続の概要を示すとともに、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。

9.1 環境影響評価手続

環境影響評価法において、風力発電の規模要件は第1種事業（必ず法に基づく環境アセスメントを行う事業）が出力1万kW以上、第2種事業（法に基づく環境アセスメントが必要かどうか個別に判定する事業）が出力0.75万kW以上1万kW未満と定められている。洋上風力発電の場合多くの基数を設置することになるため、第1種事業に該当する事業が多くなることが想定される。第1種事業の発電所における環境アセスメントの手続は図Ⅲ.9.1-1に示す通りである。



図Ⅲ.9.1-1 発電所事業における第1種事業に係る環境アセスメントの手続（経済産業省商務流通保安グループ電力安全課, 2017）

計画段階環境配慮書は、事業実施想定区域を提示して、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と影響要因を勘案して計画段階配慮事項を選定し、それらについて既往文献等により調査を行い、その結果に基づき事業の実施に伴う影響を予測・評価し、複数案ごとに評価結果を比較検討するものである（環境大臣・主務大臣からの意見提出・住民/知事等の意見を聴取）。なお、第2種事業では配慮書手続の実施は任意とされている。

①事業実施想定区域の設定

事業実施想定区域の設定は、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。しかし、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。事業実施想定区域の検討には、地形・地質条件、風況条件等の事業性に関する条件以外にも、地域の自然的状況及び社会的状況について把握し、自然環境保全上の課題や先行利用等の状況を調査する必要がある。参考までに、以下に自然的状況および社会的状況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

✓環境アセスメントデータベース（EADAS）

・全国環境情報

事業計画の立地環境調査や、環境影響評価手続の配慮書の段階に参照すべき自然環境、社会環境に関する情報の閲覧。

・情報整備モデル地区環境情報

全国から選定した情報整備モデル地区（85地区、うち洋上24地区）において、資料調査、ヒアリング調査、現地調査を実施して取りまとめられた自然環境、社会環境に関する情報の閲覧。

・参考文献検索

鳥類への影響に関する文献資料情報および騒音等に関する文献資料情報等の閲覧。

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、事業特性および地域特性を踏まえ、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、主に重大な影響が生じうる環境要素としては、水中音、バードストライク、景観等があげられる。これらについて配慮書段階で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。

配慮書手続以降の手続としては、環境影響評価方法書の作成、公告・縦覧、環境影響評価の実施、環境影響評価の結果をとりまとめた環境影響評価準備書の作成、公告・縦覧、それを補正した環境影響評価書の作成、公告、縦覧が挙げられる。また、工事完了後に1回作成するこ

とを基本とし、環境保全措置の効果や事後調査の結果等を取りまとめた報告書手続を作成、公表することとされている。段階ごとに主務大臣（風力発電の場合は経済産業大臣）、都道府県知事（対象事業実施区域が環境影響評価法で定める政令市に該当する場合は市長）、住民等の意見を聴取する手順を踏む（環境大臣は、発電所の場合配慮書、準備書にのみ意見を述べる）。

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）とも言い、対象事業実施区域およびその周辺に与える影響について、調査・予測および評価を行う環境影響評価項目（影響要因、環境要素）およびその手法を選定し取りまとめる。なお、調査は、選定項目について適切に予測・評価を行うために必要な程度において、可能な限り定量的なデータを取得する方法で実施する。

環境影響評価項目の選定にあたっては、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Ⅱ.3.3-5を参照）を勘案するが、環境省総合政策局（2011）及び洋上風力発電所等に係る環境影響評価の基本的な考え方に関する検討会（2017）の指摘のように、個々の事業の事業特性や地域特性を踏まえ、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。なお、参考項目には取り上げられていないが、事業特性・地域特性に応じて必要な項目の追加等についても検討する必要がある、洋上風力発電に係る環境影響評価の場合には水中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調査・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。

③評価書

大臣勧告、知事意見、住民意見等を踏まえて準備書に記載した事項を修正し、評価書として確定する。評価書を公告することにより、環境影響評価法における実施制限の適用がされなくなる。

④報告書

工事中に実施した環境保全措置の効果や事後調査結果等について取りまとめる。なお、工事中又は供用後において、必要に応じて事後調査や環境保全措置の結果等を公表する物とする。

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、一般的に3-4年程度かかると考えられる。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、国等の審査期間の短縮化を図るとともに、環境省において環境基礎情報等をデータベースとして提供する取組が進められている。また、NEDOにおいても2014年度より現地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）が実施されている。

9.2 洋上風力発電の導入にあたって想定される主な環境影響

発電所アセス省令の別表五の参考項目（表Ⅱ.3.3-4、参照）の中で、着床式洋上風力発電による環境要素は、水質（水の濁り）、地形・地質、動物（水中音、バードストライク）、景観等が考

えられる。環境省総合政策局（2011）は、アセス図書に関して地域特性を考慮し参考項目（環境要素）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おり、洋上風力発電所等に係る環境影響評価の基本的な考え方に関する検討会（2017）において、洋上風力発電における評価項目の選定の考え方を整理している。

ここでは洋上風力発電書の導入に当たって想定される主な環境影響である「水中音」、「動物（鳥類）」、「景観」を選定するとともに、その他の影響として「蝸集効果」を取り上げてまとめた。

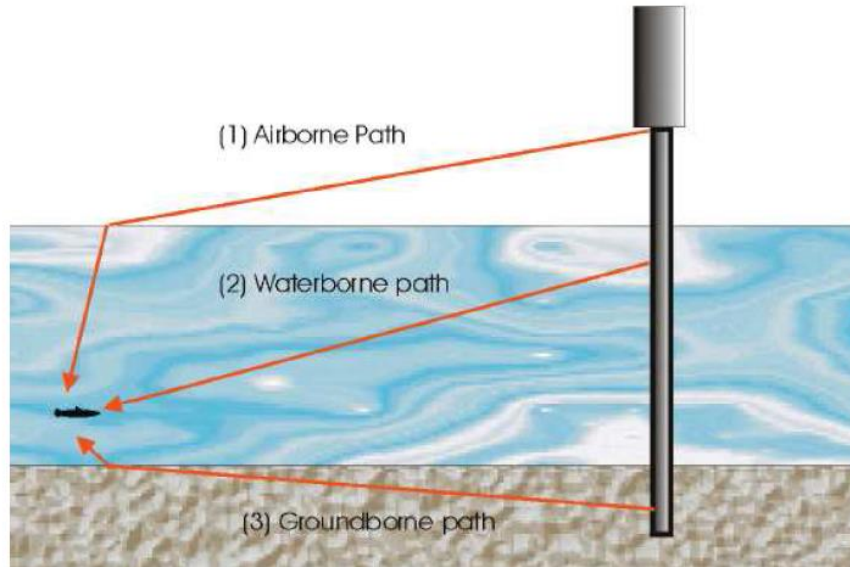
(1) 水中音

1) 水中音の伝播経路とその音圧レベル

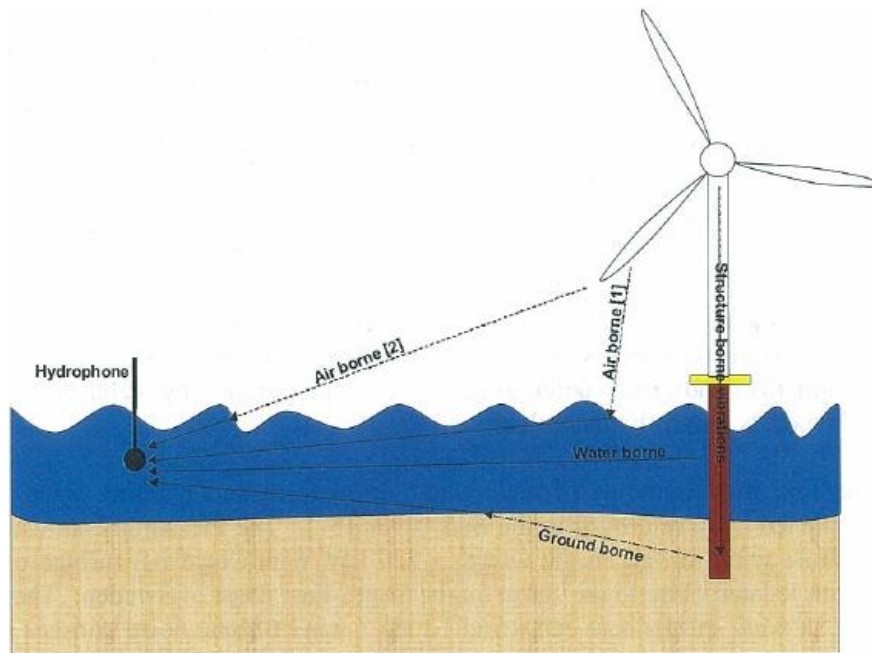
工事中の洋上風力発電設備による水中音の経路は、空中伝播、水中伝播および地中伝播に区分される。一例として、支持構造のモノパイルの打設時の伝播経路を図Ⅲ.9.2-1に示す。空中伝播の場合、水面への入射角が 13° より小さい音圧エネルギーが水中に伝播するため（Gerjuoy,1947）、水中音に影響を及ぼす空中伝播の大部分は工事近傍海域に限定されるとされている。また、水中伝播と地中伝播は、それぞれモノパイルや海底地盤を介して発生する。水中音はモノパイルの振動による水中伝播が主体である。地中伝播は地盤の条件によって影響の大きさが異なる。なお、ジャケットの底面杭打ちでは、伝播経路は水中伝播と地中伝播の2経路となる。

一方、洋上風力発電設備の稼働に伴う水中音の経路は、工事中と同様に、空中伝播、水中伝播および地中伝播からなり（図Ⅲ.9.2-1）、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に由来し、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）。

『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Ⅲ. 9. 2-1 洋上風力発電の水中音の伝播経路 (Nedwell and Howell, 2004)

<参考>

- ・水中音圧レベル： $20\log_{10} (P/Pref.)$ (dB re 1 μ Pa)
 P :対象音圧 (Pa)、 $Pref$:基準音圧 (Pa) =1 μ Pa (水中)、20 μ Pa (大気中)
 * 大気中と水中では基準音圧が違う。同じ音圧であっても、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： $20\log_{10} (2P/Pref.) = 20\log_{10} 2 + 20\log_{10} (P/Pref.) = 6 + 20\log_{10} (P/Pref.)$
- ・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 μ Pa@1m) で、いわゆる、(受信) 音圧レベル (単位:dB re 1 μ 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 μ Pa peak to peak/ dB re 1 μ Pa@1m peak to peak)。

洋上風力発電の各種支持構造の工法による水中音の音源音圧レベルを表Ⅲ.9.2-1に示す。同表に示すように、工事に伴う水中音の音圧レベルは支持構造の形式によって異なり、最も音圧レベルが大きい工法は 252 dB re 1 μ Pa の大型打込みモノパイル式、最も音圧レベルが小さい工法は 162 dB re 1 μ 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音のうち、モノパイルの打設工事による音圧レベルが大きく、そのレベルはモノパイルの直径にほぼ比例する。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し、また表面積の増加により伝播効率が上がるためと考えられる。その結果、本来、受信音圧レベルに係る水深や地質の伝播に対する影響は相対的に小さくなる (Nedwell *et al.*, 2009)。

表Ⅲ.9.2-2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ある。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Ⅲ.9.2-1 洋上風力発電の各種支持構造の工法に係る騒音特性
(Prior and Shrimpton, 2009 より作成)

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 (dB re 1 μ Pa@1m)	252 (直径4.7mのモノパイル) (SMRU Ltd., 2007)	162 (Nedwell and Brooker, 2008)	20程度の減 (Nehls, <i>et al.</i> , 2007)	225 (直径1.8mのパイル) (Talisman, 2005)	168-186 (ドレッジ時の測定) (Cefas, 2009)

表Ⅲ.9.2-2 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 [m]	L_{p-p} [dB re 1 μ 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Ⅲ.9.2-1にある穿孔モノパイル式 (Drilled Monopile) は、本ガイドブックⅢ.6.2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: 本ガイドブックⅢ.6.2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)。豆知識Ⅲ.8-1に示しているような支持構造のサクシオン形式も、騒音の低減が期待できる工法である。

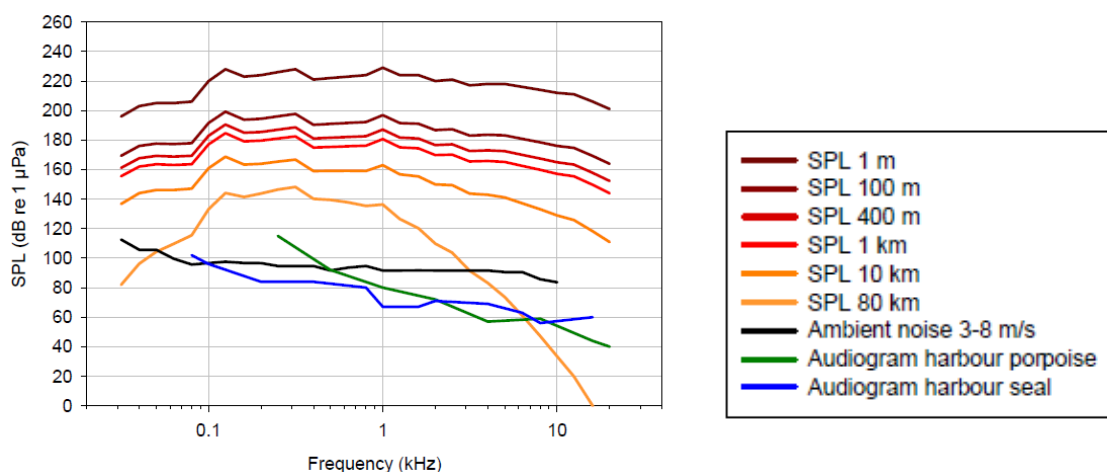
稼働中の風車からの水中音の音圧レベルは、工事中のそれよりも小さいことは明瞭であるが、風力発電施設の規模、測定時の気象海象条件が異なるため、単純な比較は難しい。既往調査資料では、風車の大型化とともに大きくなる傾向が見られる（表Ⅲ.9.2-3）。

表Ⅲ.9.2-3 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 μ Pa) (dB re 1 μ Pa@1m)	暗騒音 (dB re 1 μ 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) 水中音の周波数特性

モノパイルの打設時における水中音の周波数特性の例を図Ⅲ.9.2-2 に示す。本図は、音圧レベルの RMS (Root Mean Square : 二乗平均平方根) 値でありピーク値ではないことから、広範囲の周波数にわたって高い音圧レベルを示していることが分かる。

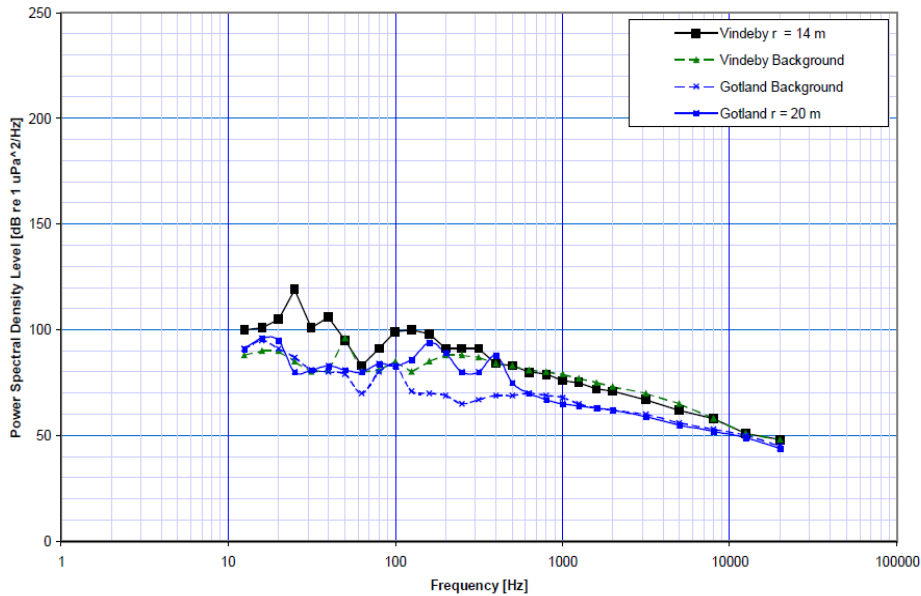


図Ⅲ.9.2-2 モノパイルの打設時における水中音の周波数特性の例 (Thomsen *et al.*, 2006)

洋上風車の稼働中の水中音測定は、Westerburug (1999) の報告書に見ることができる。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見られる。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は前者の Vindeby で 119dB re 1 μ Pa (25Hz;暗騒音 86dB re 1 μ Pa)、後者の Gotland で 95dB re 1 μ Pa (160Hz;暗騒音 70dB

re 1 μ Pa) と報告している (図Ⅲ.9.2-3)。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音は、モノパイルの打設時に見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。

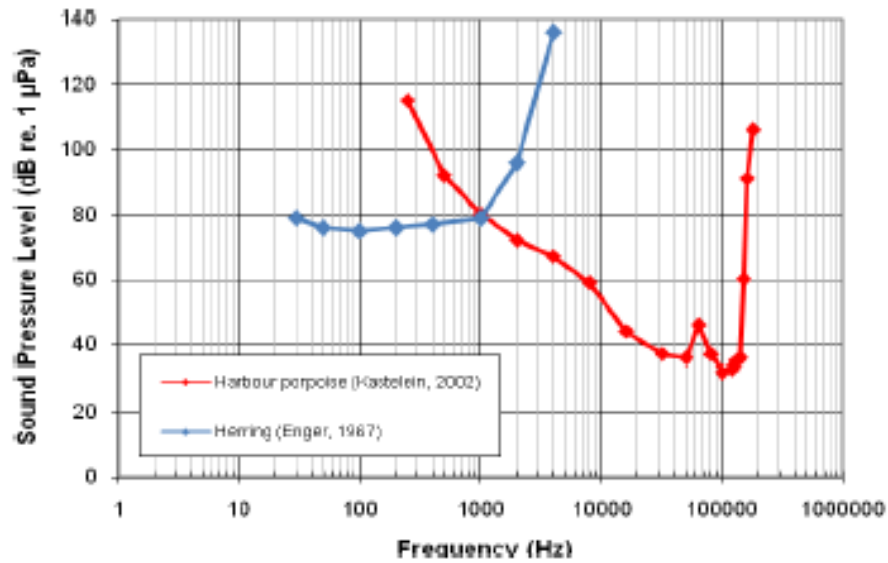


図Ⅲ.9.2-3 2つの洋上ウィンドファームにおける水中音の測定結果 (Nedwell and Howell, 2004)

3) 水中音の海洋生物への影響

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

一般に、図Ⅲ.9.2-4 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.*,2009)。



図Ⅲ. 9. 2-4 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。

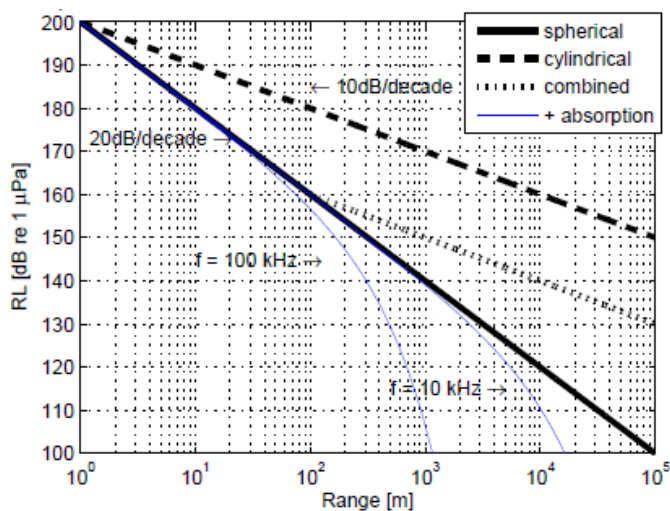
一般に、水中音による海洋生物への影響に係る予測・評価の手順は、次に示す順序に従って行われることが多い。

① 水中音シミュ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）

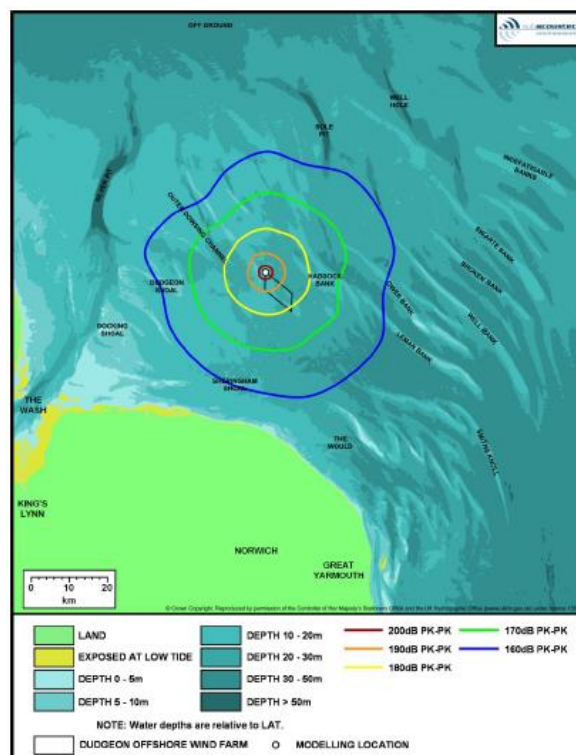
✓ 水中音シミュレーションモデル

- ・ 球面拡散モデル
- ・ 円筒拡散モデル
- ・ 数学モデル

図Ⅲ.9.2-5 の左図で、球面拡散モデル (spherical) と円筒拡散モデル (cylindrical) および中間モデル (combined) に係る伝搬損失の例を示すとともに、右図で、数学モデルとして、水中音に係る影響評価基準別に音圧伝搬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）=100m 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=100kHz, f=10kHz のケース（球面拡散モデル）



図Ⅲ. 9. 2-5 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)

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_{a,s}:Impulse)
- ・障害：220dB (peak to peak) または (35P_{a,s}:Impulse)
- ・障害（体重 0.01g 未満の小魚）：210dB (Peak to Peak) または (187P_{a2,s}: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)：Nedwell and Howell (2004) が提唱したもので、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、ゼニガタアザラシ）は、洋上風車の稼働時に発生する低周波域の水中音（周波数 80Hz と 160Hz に 128dB re 1Pa² Hz⁻¹ at 1m のピークレベル）を感知できることが示されている (Koschinski *et al.*,2003)。一般的には上記 2 種や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音に影響を受けるとの指摘がある (Madsen *et al.*,2006; Nedwell *et al.*,2007b)。

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。

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 μ 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)。

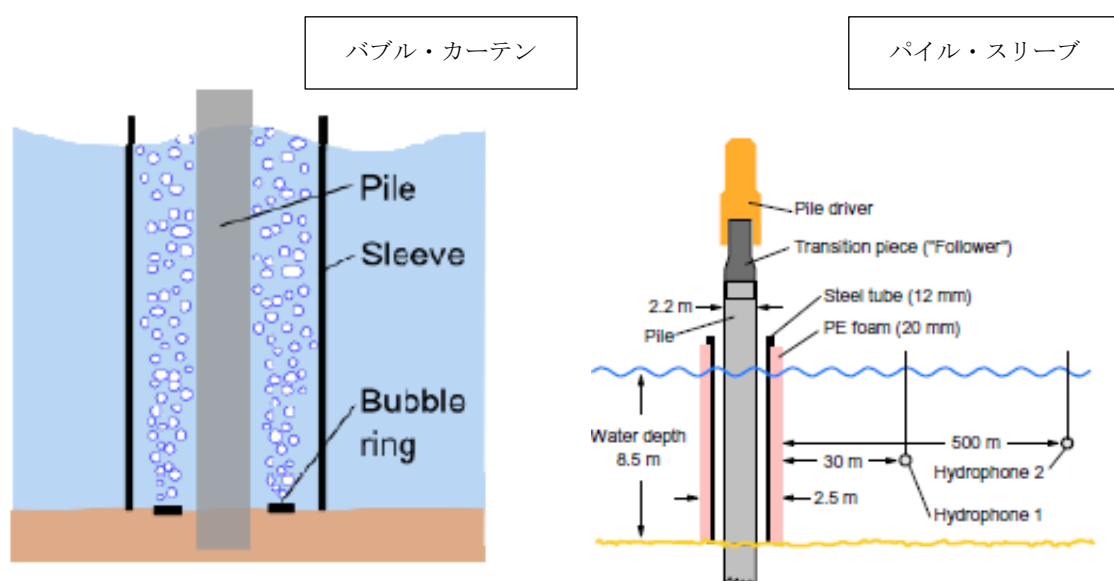
また、北九州市沖の洋上風力発電実証研究サイトにおけるマウンドの捨石工事および重錘均し作業時の水中音は、施工箇所から 50m 離れた測点でのオールパス値がそれぞれ 149.5dB1 μ Pa と 157.7dB1 μ Pa であったことから、魚類や海棲哺乳類が威嚇あるいは反応する音圧レベルであったと考えられる。

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る計画に変更して再予測・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を低減させる計画に変更する場合、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、水中音に馴れさせる）
- b. パイル構造の改造
- c. バブル・カーテン（図Ⅲ.9.2-6）
- d. パイル・スリーブ（図Ⅲ.9.2-6）

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



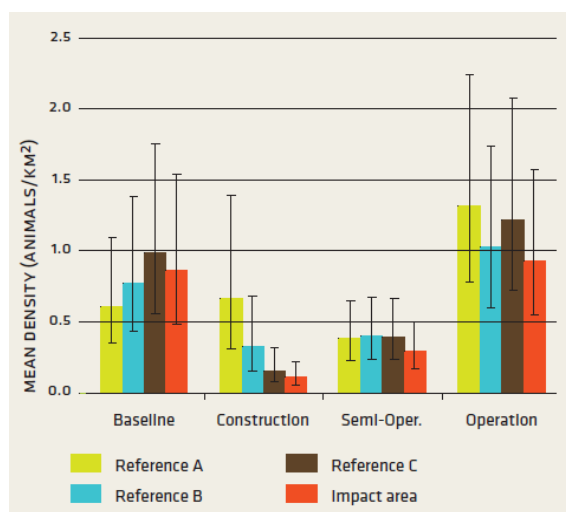
図Ⅲ.9.2-6 パイリング騒音に係る環境保全策の例（Nehls *et al.*, 2007）

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音暴露レベルは、風車から 750m 離れた地点において 160dB rel $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ 、また peak level で 190dB rel μPa 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）。

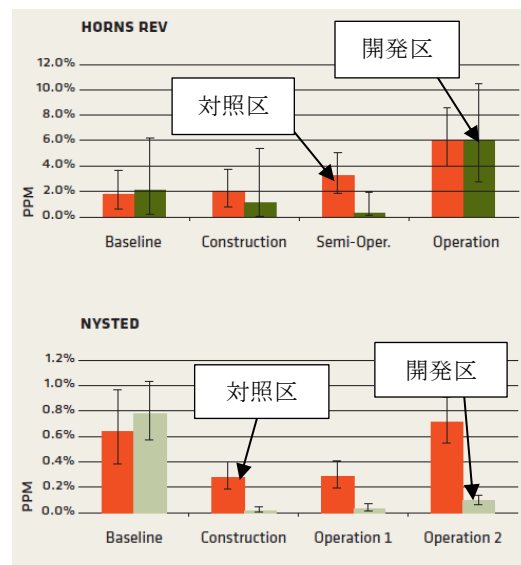
以下、洋上風力発電所による海洋生物への影響に関する海外の調査結果（Dong Energy *et al.*,2006）を紹介する（同報告書の概要は、中尾（2007）を参照されたい）。図Ⅲ.9.2-7 は、デンマークの Horns Rev 洋上ウィンドファームにおいて、建設海域と 3 箇所 の 対 照 海 域 に お け る 建設前後のネズミイルカの生息密度を船舶により調査した結果である。図示されているように、生息密度は工事中や半稼働時（Semi-Operation：建設直後の集中的なメンテナンスと電気工事等の付帯工事）には減少しているが、稼働時のそれは元のレベルかそれを上回っている。Horns Rev では、同様の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Ⅲ.9.2-8：図中の

Operation 1 と Operation 2 は、2 年間にわたる調査を意味する)。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。

- 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。

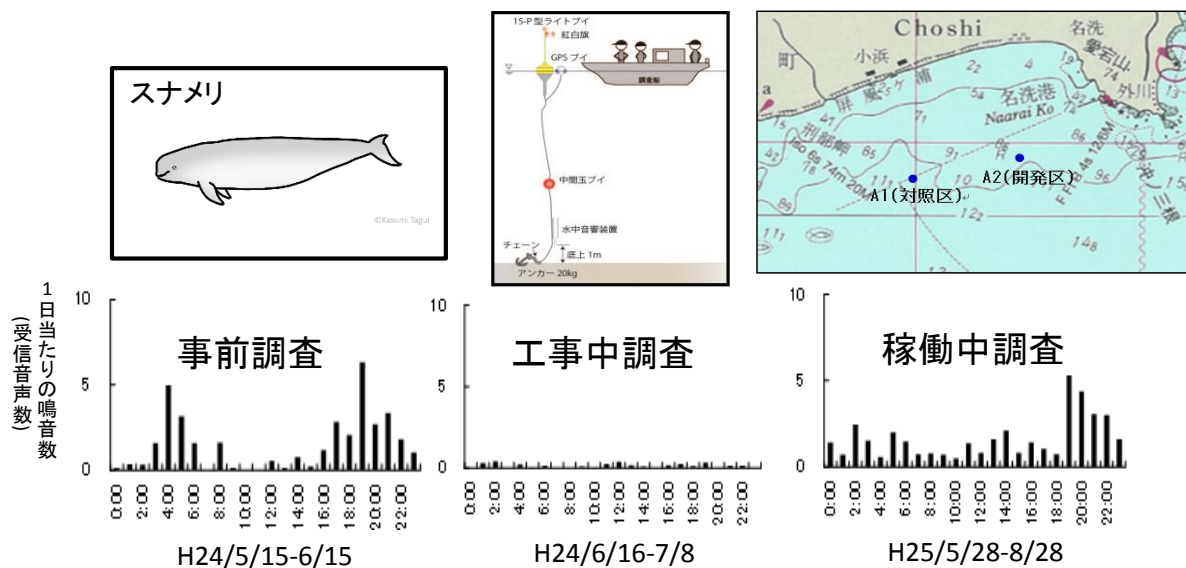


図Ⅲ.9.2-7 Horns Rev 洋上ウィンドファームのネズミルカの生息密度の変化に関する船舶調査結果 (Dong Energy *et al.*, 2006)



図Ⅲ.9.2-8 Horns Rev および Nysted 洋上ウィンドファームのネズミ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)

我が国では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ることができ、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Ⅲ.9.2-9 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、工事による水中音の影響は一時的なものであることが明らかになった。なお、運転開始後の調査結果によると、スナメリの数は建設前の水準に回復している。



※各時間帯の鳴音数は、上記期間の平均値

図Ⅲ. 9. 2-9 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

洋上風力発電事業を起因とする海洋生物への影響について海外での事例も含めてまとめると、工事中の建設海域において一時的な影響を与えると思われるものの、稼働時には概ね大きな影響を与えないことが示唆された。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音低減対策の他、監視員、ソナーによる生物検知によって魚類や海棲哺乳類への影響が大きい時間帯・時期（産卵期、生育期、回遊期等）を避けて工事を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。

Carbon Trust (2018) では、建設時の騒音が音に敏感な海棲哺乳類に与える影響を緩和する方法として 2 つ挙げている。一つ目は音響による接近抑止装置 (ADD : Acoustic Deterrent Devices) を使用して海棲哺乳類をサイトから遠ざけること、二つ目は騒音低減技術により音の影響を低減することである。

一つ目の ADD を使用して海棲哺乳類が嫌忌する信号を出すことで、工事区域から海棲哺乳類が離れるように誘導することができる。この技術には以下の利点がある。

- ✓安全性状況把握の向上：ADD は、設置場所の周囲を完全に網羅することができる。また、安全性状況把握も向上し、したがって、ハンマ杭打ちが海棲哺乳類に与える影響を低減することができる。
- ✓操作性が容易：ADD は建設サイトの中央に取り付けるため、追加の船舶や人的資源を必要としない。
- ✓設置遅延の回避：ADD は、海棲哺乳類の存在をモニタリングするのではなく、海棲哺乳類が設置サイトに入らないようにする予防的措置のため、洋上風車設置工事の中断を避けることができ、平均設置時間が短縮する。

これらの利点によりコストを大きく削減することができる。だが、ADD の効果は、所定の地域内の全ての優先種に対して証明される必要がある。また、対象動物に対する慣れおよび ADD

の有効範囲については、事前に十分な確認をした上で運用することが必要である。欧州では、所定の環境に対して最適な ADD 技術を特定するために、様々な設計の効率を評価するような調査事業が進行中である。

二つ目の設置サイトから出る騒音を低減する技術については、かなりの研究が行われてきた。主な技法のひとつは、パイル・スリーブを使用するものである。このような技術には、主に以下の利点がある。

- ✓音響スペクトル全体を網羅：ADD が特定の海棲哺乳類、または海棲哺乳類群を遠ざける音を生成するのに対し、サウンド・ダンパーは 50～5,000Hz の杭打ち騒音の周波数範囲全体を対象に使用される。
- ✓適用可能範囲が広い：パイル・スリーブのサイズ、低減可能な周波数範囲、および減衰率を完全に制御することができる。
- ✓現在の対策と比べてコストが削減できる：ADD の場合と同様、追加の船舶や人的資源の必要が低減し、設置の遅延が避けられる。
- ✓測定の精度が向上：ADD の場合と同様、設置サイトの周囲全体に有効である。

なお、2016 年 7 月に、アメリカ海洋大気庁から海棲哺乳類に関する新しい騒音曝露基準を示した技術ガイダンス「Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing」が公表された。この基準の特徴は、永久的な聴覚障害（PTS：permanent threshold shift）を基準にしていること、パルス音と連続音を区別していること、生物種によって周波数の重み付けをしていることなどである。当ガイダンスによれば、スナメリやネズミイルカが属する high-frequency cetaceans（高周波のクジラ目）の場合、 $L_{pk,flat}=202\text{dB p-p re } 1\mu\text{Pa}$ （ L_{pk} ：ピーク音圧）となっている。

【豆知識Ⅲ.9.2-1】

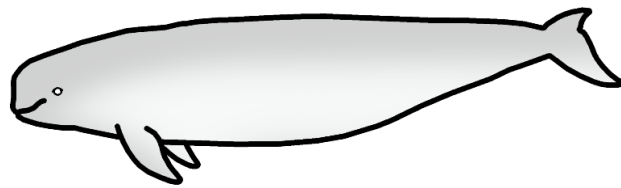
●スナメリとネズミイルカ

「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 asiaorientalis* (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、性成熟は太平洋側および瀬戸内海で雄が 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)。



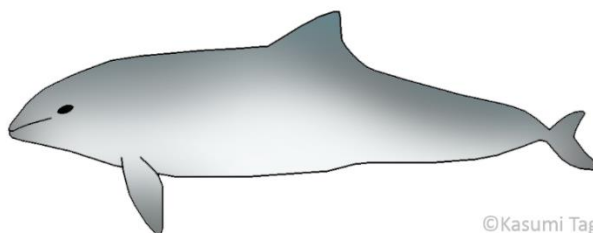
©Kasumi Tagui

「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、1.4-1.7m (出生時:0.7-0.9m)、体重 60-90kg である。

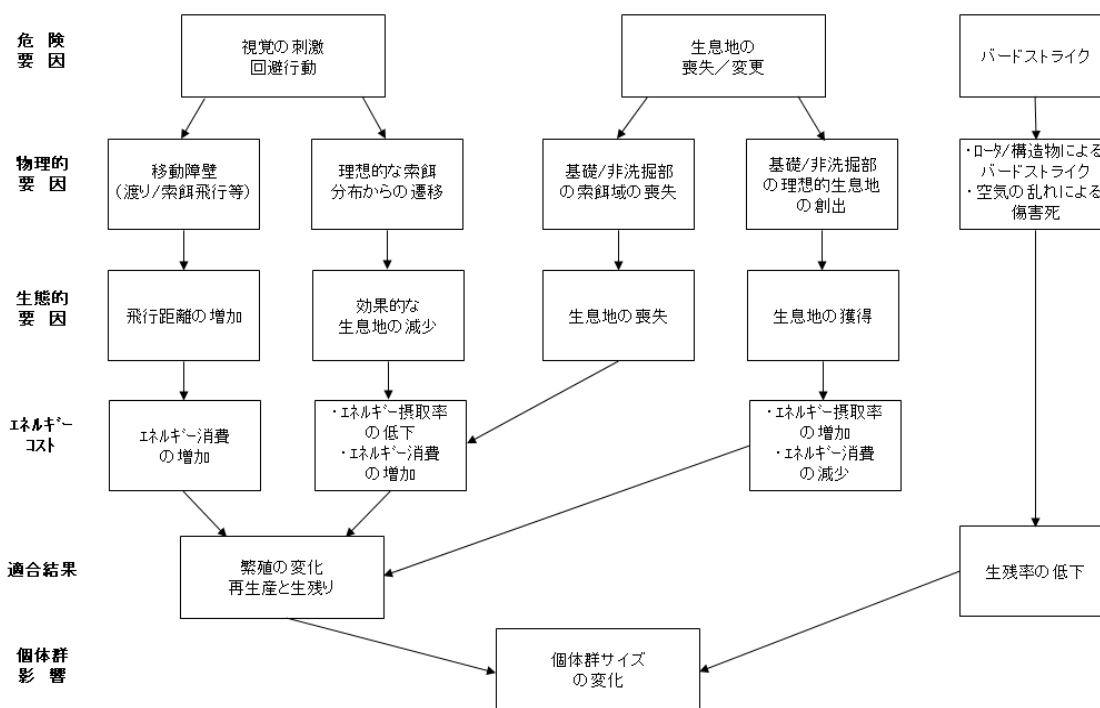


©Kasumi Tagui

(2) 動物（鳥類）

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）および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）のリスク等である（図Ⅲ.9.2-10）。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、生残率等の多くのデータが必要である。

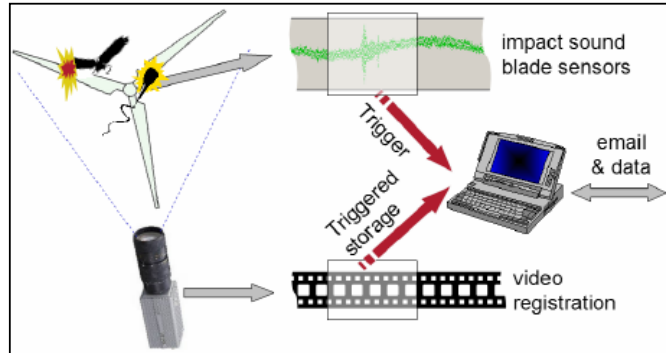


図Ⅲ.9.2-10 洋上風力発電施設による鳥類の個体群レベルへの影響プロセス
（中尾, 2007; Dong Energy *et al.*, 2006 を基に作成）

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Ⅲ.9.2-11）やバードストライク監視装置（WT-Bird、図Ⅲ.9.2-12）が使用されている例もある。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）等からな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（同様の装置は、NEDO 洋上風力発電実証研究の銚子沖でも設置されている）。



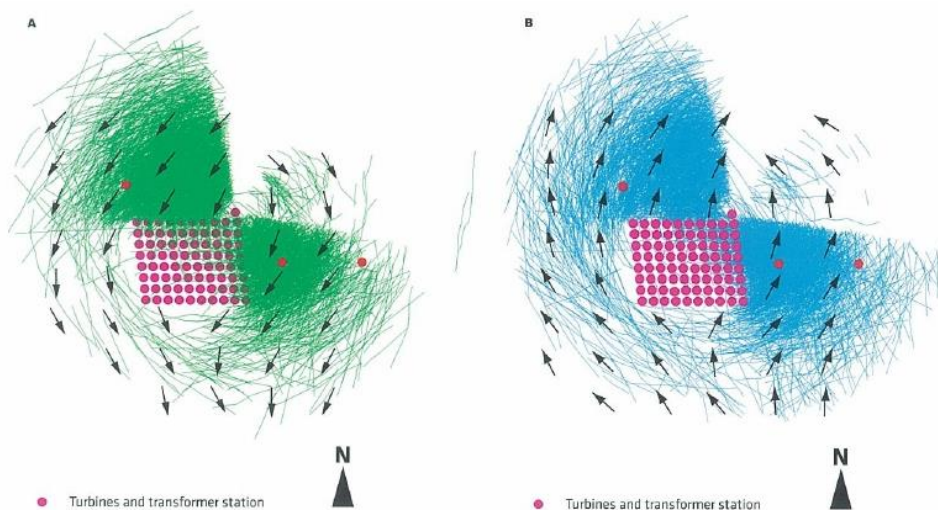
図Ⅲ.9.2-11 赤外線探知機の設置状況
(Desholm and Kahlert, 2005)



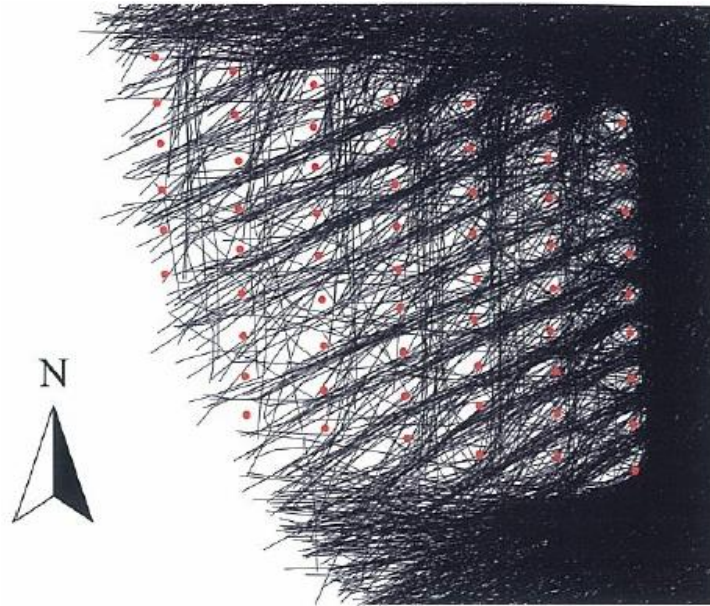
図Ⅲ.9.2-12 WT-Bird バードストライク監視装置
(Wiggelinhuizen *et al.*, 2006)

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確認されている。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Ⅲ.9.2-13)。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Ⅲ.9.2-14)、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 (1.5km 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、同様の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Ⅲ.9.2-13 Horns Rev におけるレーダによる鳥類の飛行軌跡 (Dong Energy *et al.*, 2006)



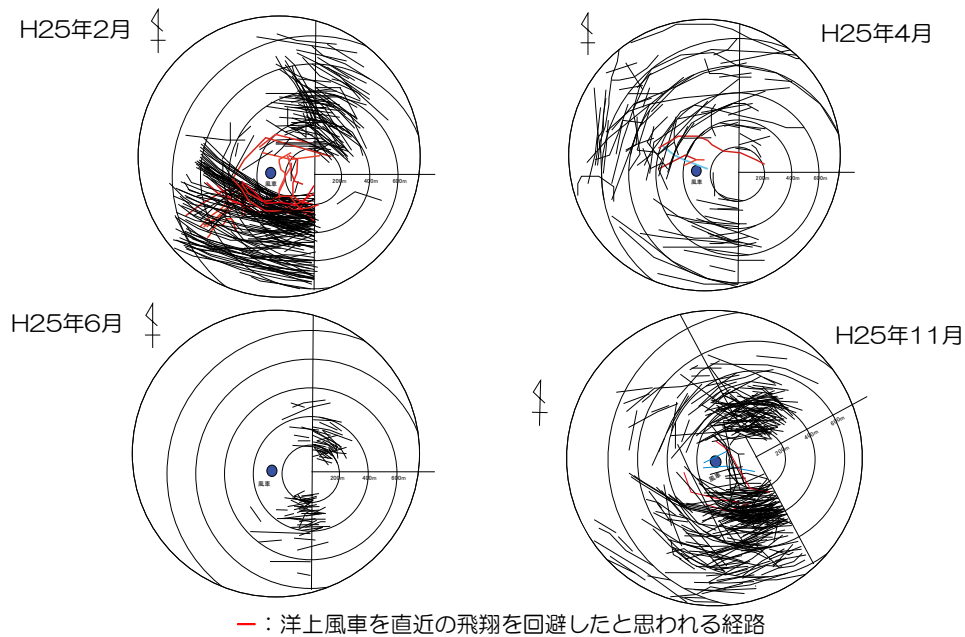
図Ⅲ.9.2-14 Nystedにおけるレーダによる鳥類の飛行軌跡 (Desholm and Kahlert, 2005)

鳥類が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、種類別に見ると、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以内の海域でこれらの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、施設の建設前後にわたって鳥類調査 (船舶トランセクト調査、定点調査およびレーダ調査) 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Ⅲ.9.2-15)。ただし、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Ⅲ. 9. 2-15 銚子沖におけるレーダの水平照射調査結果

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Ⅲ.9.2-4 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、カモメ属の一種、コアジサシ、セグロカモメおよ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。

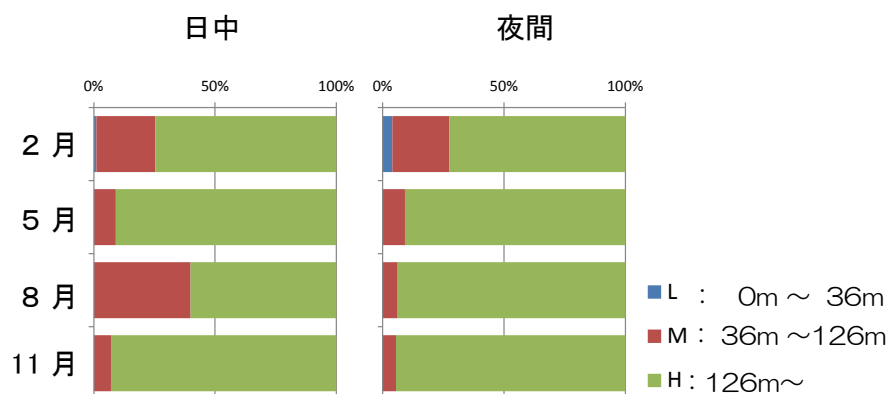
表Ⅲ. 9. 2-4 銚子沖における鳥類の飛翔高度に係る建設前定点調査結果

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

※高度 S：0m（着水）、高度 L：0-36m、高度 M：36-126m、高度 H：>126m

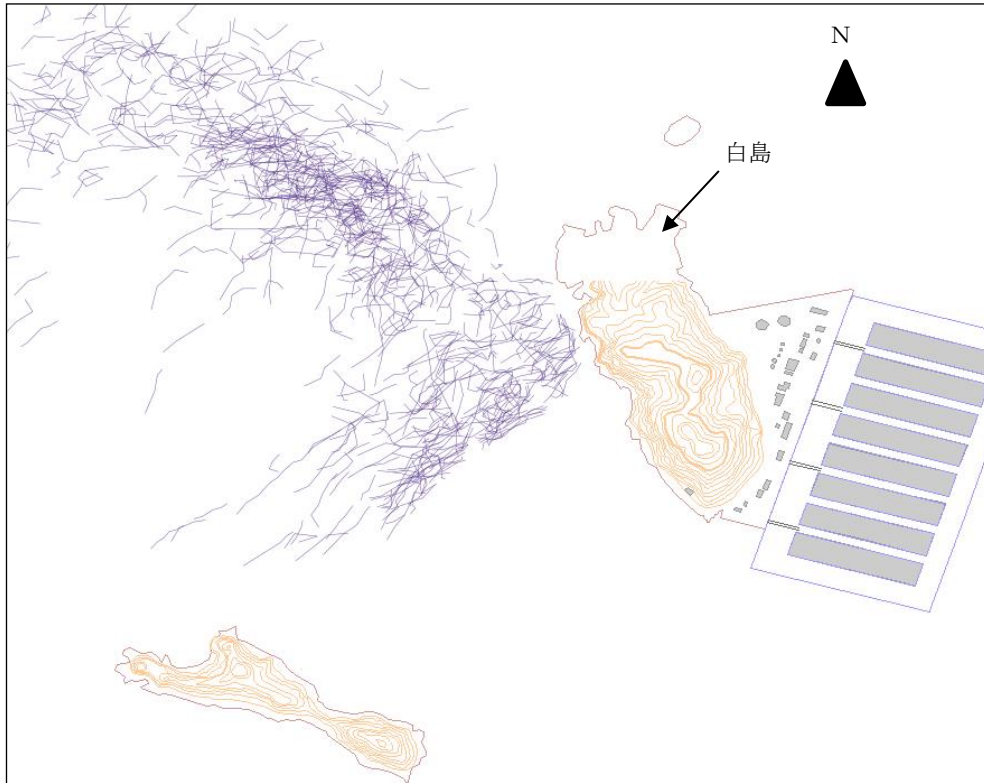
また、レーダの垂直照射調査からは概して四季別・昼夜別ともにブレードの最先端高度を超えて（高度 H:>126m）飛ぶ鳥類が多いことが認められているが、8月の昼間にはロータ面の M 高度を飛翔する鳥類（目視観測からウミネコと推定されている）が比較的多い結果となっている（図Ⅲ.9.2-16）。なお、図示していないが、洋上風車の停止時でも飛翔高度の傾向は稼働時と変わらないこと、時間帯別調査結果（2月）によれば日没前の鳥類出現数が圧倒的に多くそれ以外の出現ピークは日の出前後に見られること、また、飛翔高度は日の出前後にはロータ面高度の出現が 70-80%であるのに対して他の時間帯ではブレードの最先端高度を超える出現が 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。



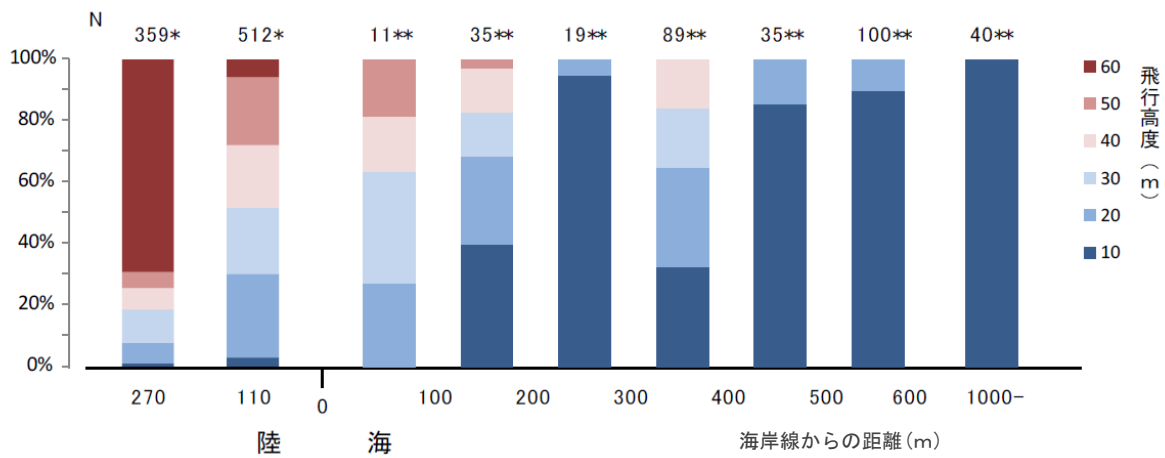
図Ⅲ.9.2-16 銚子沖におけるレーダの垂直照射調査結果

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Ⅲ.9.2-17）。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Ⅲ.9.2-18）。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Ⅲ.9.2-5）。また、同年5月に行われた海域における定点調査では、高度 L で6羽のミズナギドリ目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Ⅲ.9.2-6）。なお、海域においてロータ面の M 高度を飛翔する鳥類として、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、タカ目およびハヤブサ目があげられ（表Ⅲ.9.2-5；表Ⅲ.9.2-6）、1月調査では前述のようにオオミズナギドリの出現は見られなかったが、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、チドリ目等が確認されている。



図Ⅲ. 9. 2-17 オオミズナギドリの飛翔経路 (2012年7月30日夕方)



図Ⅲ. 9. 2-18 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)

表Ⅲ. 9. 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)

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

※高度 S : 0m (着水)、高度 L : 0-30m、高度 M : 30-130m、高度 H : >130m

表Ⅲ. 9. 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)

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

※高度 S : 0m (着水)、高度 L : 0-30m、高度 M : 30-130m、高度 H : >130m

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)。鳥の飛翔高度とブレードの回転高度が一致すれば衝突確率は高くなるが、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よく知られている。衝突死の原因の一つとして「モーション・スミア (モー

ジョン・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るために、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見られるが(古南,2008)、斃死数は発見率に依存するため、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、そのうち、245羽は嘴の出血(41.3%)、頭蓋の損傷(18.0%)と脚の骨折(16.8%)の損傷が見られた。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フォームの照明に誘引されてタワーを周回し、方向感覚に異常をきたしたものと考えられている。

銚子沖においては、鳥衝突感知システム(TADS)と赤外線カメラ映像より、バードストライクは確認されなかった。一方、北九州市沖においては、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、鳥衝突感知システム(TADS)の記録からバードストライクと確認された(図Ⅲ.9.2-19)。実証期間中に北九州市沖で発生したバードストライクは、この1件のみであった。

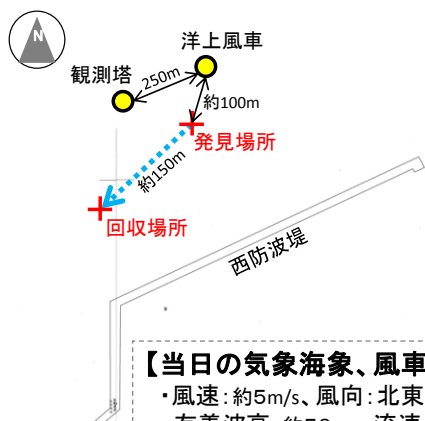
【発見日時】2014年11月10日(月)10:10頃

※発見後、すぐに交通船にて個体を回収。

【発見場所】洋上風車の南西約100m地点

【個体写真】「ミサゴ」と同定

※貴重種の該当 環境省:準絶滅危惧種NT、福岡県:未設定



【当日の気象海象、風車運転状況】

- ・風速:約5m/s、風向:北東
- ・有義波高:約50cm、流速(上層):約16cm/s、流向:南西
- ・風車:運転中(回転数10~12min⁻¹)

【原因調査】

- ①鳥衝突感知システム⇒画像を確認した結果、鳥類衝突を確認(右の画像参照。11月10日 10:04頃)
- ②個体解剖を実施した結果、死因は「椎骨が折れており、相当強い衝撃を受けたことによるもの」(速報結果)



➡ バードストライクであることを確認

図Ⅲ.9.2-19 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

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)

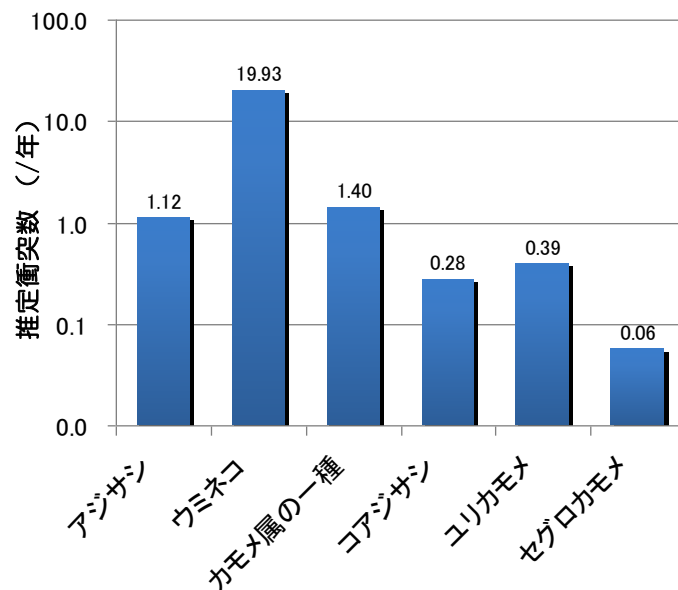
- ・ 衝突危険範囲 (Risk window)
- ・ 鳥類の衝突危険範囲の飛翔数
- ・ ウィンドファーム全体のロータ面積と全体面積に対する割合
- ・ ロータを通過する鳥類の個体数
- ・ リスク空間 (V_w) = ウィンドファームの面積×風車高
- ・ ウィンドファーム全体のロータ回転容量 (V_r)
- ・ 危険領域における鳥類の占有率
- ・ 鳥類の飛行速度
- ・ 鳥類のロータ範囲通過時間と通過個体数
- ・ 風車の諸元 (ブレード数、回転速度、ピッチ角、ロータ半径)
- ・ 鳥類の諸元 (体長、翼長、アスペクト比、ロータ通過速度、ロータの通過位置等)

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 での鳥類調査で、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た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 羽のうち、95%の信頼限界で 0.018-0.020% (41-48 羽) が衝突死するという推定結果となっており、これはデンマークでの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III.9.2-20)。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/年以下となっている。



図Ⅲ. 9. 2-20 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

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が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。

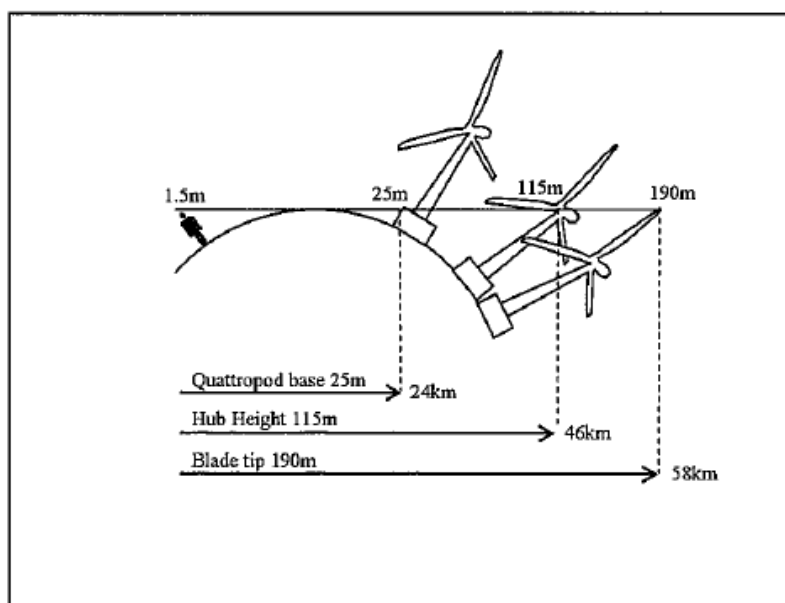
バードストライク対策は、基本的には風力発電施設の計画海域が鳥類の渡りのルート、営巣域、索餌域等に該当する場合には候補海域として除外することであるが、その他の対策として、風車の大型化による風車の設置基数・配列の変更、あるいは運転制限等があげられる（Schepers *et al.*, 2007）。また、風力発電事業者は、稼働後のある期間モニタリング調査を実施し、バードストライクの実態を把握することが望ましく、鳥類研究者においては個体群への影響を的確に予測・評価できるように鳥類の分布・行動や生理・生態等に関する研究を進めることが求められている。

(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、陸上風力発電と比べ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。ここでは、地球の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）および海面からブレード最先端までの高さ（190m）を、海面上1.5mの高さから見た場合、その距離はそれぞれ2.4km、46km および58kmとなる（図Ⅲ.9.2-21）。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未満の範囲と言われている（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Ⅲ.9.2-21 海面上1.5mの位置から見た10MW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として、可視領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Ⅲ.9.2-22）。同図は、離岸距離 6km に位置するウィンドファームで、異なる明か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の出と日没時によく見えるとされ、逆に太陽が高い位置にあるとき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単なる“ちらつき”に見えるとされる。



図Ⅲ.9.2-22 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)

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を行う。NEDO 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を行っている（図Ⅲ.9.2-23 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、講演来場者および「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を行っており、景観上の違和感は全体の約 60%から“無い”との

回答が得られているが、年齢別に見ると50～60歳代から“違和感がある”との回答が多かった(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、事前・事後に行ったアンケート等の価値認識調査によって住民・観光客等の意見を確認することができた。



図Ⅲ. 9. 2-23 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

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にある施設であり、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とき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を行った (Moeller & Groenborg AS, 1998)。その結果、ウェ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、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*として、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、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。

* 魚介類が集群することを蛸集（いしゅう）と言い、一時的であれ漁獲量が増える等の効果があること。

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発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・研究が実施されてきた。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の明確な結果を示していないが、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その他、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ことを指摘している。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の魚礁効果をもたらすものと推察される。その効果は底質が岩礁・転石の海域と比べて、特に Horns Rev のように底質が砂質・砂泥質の海域で、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）部分の幅を広くする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運転開始後に実施した。

銚子沖では基礎の壁面に付着生物が確認され、マダイ等の構造物や付着生物の出現により蛸集した種や、ソラスズメダイ等の構造物や付着生物の物影等を生息場とする種等が確認された。銚子沖における蛸集魚類調査結果を表Ⅲ.9.2-7 に示す。

表Ⅲ.9.2-7 銚子沖における実証機・観測タワー基礎部周辺の蛸集魚類調査結果

調査方法：潜水士による目視観察

調査年度	項目 \ 調査時期	春 季	夏 季	秋 季	冬 季		
平成 25年度	調査月日	平成25年6月28日	平成25年8月23日	平成25年11月14日	平成26年2月21日		
	総出現種類数	脊椎動物	6	15	10	2	
		その他	0	0	0	0	
		合計	6	15	10	2	
	総出現個体数 (個体/目視)	脊椎動物	215	1,210	53	2	
		その他	0	0	0	0	
		合計	215	1,210	53	2	
	出現種	脊椎動物	カハクダイ (定位) ホシサノハバラ (定位) マダイ (定位) タインギンボ (定位・依存) マアジ (回遊) ウミタナコ (回遊)	メジナ (定位) ヒメジ科 (定位) イシダイ (定位) イシガキダイ (定位) オヤビツチャ (定位) イサキ (定位) マハタ (定位) マダイ (定位) クロダイ (定位) コモンフグ (定位) ヒカンフグ (定位) ソラスメダイ (依存) ギンボ 亜目 (依存) カンハチ (回遊) ブリ (回遊)	キュウセン (定位) ヒメジ科 (定位) イシダイ (定位) イサキ (定位) ニシギンボ (定位) アイメ (定位) ウマヅラハキ (定位) コモンフグ (定位) ギンボ 亜目 (依存) マアジ (回遊)	ギンボ 亜目 (依存) コモンフグ (定位)	
		その他					
	平成 27年度	調査月日	平成27年6月17日	海底ケーブル工事 のため調査未実施	平成27年12月2日	平成28年2月4日	
総出現種類数		脊椎動物	14		5	5	
		その他	0		0	0	
		合計	14		5	5	
総出現個体数 (個体/目視)		脊椎動物	192		16	12	
		その他	0		0	0	
		合計	192		16	12	
出現種		脊椎動物	トチサメ (依存) ウミタナコ (定位) キュウセン (依存) ホシサノハバラ (依存) ニシケバラ (依存) イシダイ (定位) スズキ (定位) マダイ (定位) クロダイ (定位) タインギンボ (依存) ギンボ 亜目 (依存) メバル (依存) アイメ (依存) コモンフグ (定位・依存)			ウミタナコ (定位) ギンボ 亜目 (依存) アイメ (依存) コモンフグ (定位・依存)	アイメ (依存) コモンフグ (定位・依存)
		その他					

注：1. 出現種は、出現した全ての種を記載した。

2. 出現種の欄の () 内の用語は、利用形態を示す。利用形態は以下のとおり。

定位：構造物が出現したことによって蛸集した種

依存：構造物周辺を生息場としていた種

回遊：構造物周辺を回遊していた種

北九州市沖でも同様に、構造物にフジツボ類やアオサ類が生息・生育しており、構造物直下でマアジが四季にわたって確認され、また定着生のイシダイが確認される等、水産上有用な魚類が蛸集していた。北九州市沖における魚類等調査結果を表Ⅲ.9.2-8 に示す。

表Ⅲ. 9. 2-8 北九州市沖における実証機等脚部直下の魚類等調査結果

項目\調査時期		夏季	秋季	冬季	春季
魚類等 遊泳動物	調査月日	平成25年8月19日	平成25年11月23日	平成26年2月25日	平成26年5月29日
	出現種数 (種)	42	32	8	29
	個体数 (個体)	5580	43603	31	1573
	主な出現 魚種	マアジ イサキ アミメハギ マダイ	マアジ	コモンフグ ヒガンフグ マアジ	マアジ メバル属の一種 イシダイ
	調査月日	平成27年8月19日・ 28日	平成26年11月11 日・19日	平成27年1月14日・ 21日	平成27年5月19日・ 27日
	出現種数 (種)	27～30	28～30	14～19	22～25
	個体数 (個体)	12～1256	121～13203	3～10011	9～222
	主な出現 魚種	マアジ イサキ 等	マアジ カマス科の一種 アイゴ イシダイ カワハギ 等	マアジ コモンフグ ホシササノハベラ メバル属の一種 等	マアジ キュウセン メバル属の一種 ホンベラ イシダイ 等

10 事業性評価

本節では、洋上風力発電事業に係る評価として、キャッシュフローによる方法を概観するとともに、特に事業リスク要因とコスト低減策について取りまとめる。

10.1 キャッシュフローによる事業性評価

洋上風力発電事業を計画するにあたって、基本的にはその風力発電事業に係る初期投資、売電収入、費用支出等の操業費用に係る現金の流れを示すキャッシュフロー計算書を作成し、その経済性分析を行い、その風力発電事業が経済的に成立するか否かを検討することが必要である。その際、種々のリスクについて十分に検討することが重要である。

(1) 評価の方法

キャッシュとは現金および現金同等物を言う。キャッシュフロー計算書とは事業のキャッシュの増減を事業期間で示したものであり、キャッシュフロー計算書により資金繰りを読み取ることが可能である。

長期間にわたる風力発電事業の場合、プロジェクトの採算性を検討する手法として DCF 法（ディスカウントキャッシュフロー法）が用いられることが多い。これは、将来の収益予測値に割引率を用いて現在価値に換算し、投資判断を行う手法である。

DCF 法の主なものには IRR（Internal Rate of Return）と NPV（Net Present Value）がある。IRR は事業投資に対する収益が割合で示されるのに対して、NPV は事業価値を実額で示す。事業採算性は、Equity IRR（投下資本内部収益率）もしくは NPV（現在価値）で評価する。事業性評価の場合には、これら 2 つの指標を用いて事業へ投下できる資本力も考慮して決定していく必要がある。IRR の評価は、事業者の採算性に対する考え方やその時点の経済状況によっても変化するが、洋上風力発電事業の場合、FIT の価格は税引前の Project IRR10%を基に売電価格（36 円/kWh：税抜き）が設定されており、この水準を目安に事業化の判定を行うこととなる。

(2) 事業性の検討

1) キャッシュフロー策定に必要な入力データ

キャッシュフローを作成する際の経済指標入力データとしては収入、総事業費、運転・保守費用、資本金、借入金等を入力して計算を行う。

① 収入

キャッシュフロー策定に重要な入力データの一つに発電電力量があり、洋上風力発電事業による収入は、発電電力の全量を売電することから得られる。

Ⅲ.4.5 項に示したように、風況観測データと風車の性能を表すパワーカーブ（性能曲線）を用いて理論年間発電電力量を求めるが、風力発電の事業化を詳細に検討するには、正味年間発電電力量の推定が重要で、それを基に年間収入を推計する。

・理論年間発電電力量 (kWh)

風況観測データ (1時間値) および風車パワーカーブから1年間の発電電力量を算出する。

・正味の年間発電電力量 (kWh)

正味の年間発電電力量＝理論年間発電電力量×利用可能率×出力補正係数により算出する。

『利用可能率』: 風力発電設備に限らず機器には、初期故障期間、安定期間と終期故障期間が存在する。特に、運転初期は建設地点の風況等に応じた制御パラメータの最適化等に時間を要する場合もあることから、これらの時間をメンテナンスロスに加味して事業計画を立てることが望ましい。この場合は、風車メーカーの利用可能率保証値や実績を確認して、年間の利用可能率を設定する。ただし、風車メーカーの利用可能率保証値には、“点検時間”や“電力会社からの解列要請”が含まれていない場合が多いので、必要に応じて事業者側で再計算を行う必要がある。

『出力補正係数』: ウェイクの影響、風速の経年変動、ハブ高の風速への換算誤差、風向変動に伴うヨー制御、発電ロス等を考慮した発電電力量の低減割合 (安全率) を設定する (本ガイドブックⅢ. 4. 5 項を参照)。

・年間収入 (円/年)

正味年間発電電力量 (kWh/年) ×売電単価 (円/kWh) により算出する。

② 支出

a. 総事業費用

総事業費は、事業化までに必要な調査・基本設計費等の開発費と、実際に風力発電システムを建設する建設費に大別することができ、これらに建設期間中の金利費用を合わせる。表Ⅲ.10.1-1 に総事業費 (含む、撤去費) に係る項目を示すが、同表に示している予備費はリスク対応費とみなし得る費用であり、事業リスクを減らして予備費を削減することが事業性の確保の点からも重要である。なお、同表には撤去費を載せているが、計画段階時に撤去費も考慮して事業性の評価をする必要がある。

表Ⅲ.10.1-1 に示した総事業費は初期投資と呼ばれるもので、洋上風力発電事業の開始時に必要な費用であるが、その他、融資に係る費用 (借入れ金に対する金利や融資手数料) が必要となる。風力発電プロジェクトを事業単位で考えた特別目的会社 (SPC) では、一般に総事業費は通常資本金と借入金で賄うこととなる。借入金は、事業の採算性により借入れ可能金額が決定されることになるが、一般的には総事業費の7割前後であり、借入金で不足する金額は通常資本金として事業へ投下することとなる。

表Ⅲ. 10. 1-1 総事業費に係る項目の概略

項 目		内訳の項目
開 発 ・ 設 計 段 階	立地調査費	地理的条件(自然条件, 社会条件)の調査費、周辺地域の既往風況データ収集費等
	気象・海象調査費	風速・風向計設置費、海上風観測費、風況データ解析費(コンサルタント費)、波浪調査費、海潮流調査費等
	基本設計費	風車位置決定、機種選定に係る設計費用、環境影響評価費等
	実施設計費	測量調査費、地質調査費、設備設計費、工事設計費等
建 設 段 階	風車設備費	風車本体費、輸送費(国内、国外)、据付費等
	電気設備費	受変電設備費、送電線費(含, 海底ケーブル)、系統保護設備費等
	電気工事費	海底ケーブル敷設費等の電気工事全般に係る費用等
	土木工事費	海底土木工事費、支持構造物工事費、陸上工事費等
	計測記録設備費	計測設備費、記録設備費、監視設備費等
	電力負担金工事費	系統連系対策費、専用線敷設費等
	その他の設備費	海上交通安全設備費等
	保険費	火災保険、工事組立保険費、賠償責任保険費等
	一般管理費	登記費、通信費、交通費等
	予備費	リスク対応費
段 撤 去	撤去費	設置20年後の撤去費

b. 運転・保守費用

洋上風力発電施設の運転・保守に必要となる費用としては、風車本体・支持構造物の点検費、電気設備関係の点検費、通信費、一般管理費、損害保険料等がある(表Ⅲ.10.1-2)。

風力発電設備は、事業用電気工作物であり、保安規程に基づく点検が必要である。経済産業省の告示(平成15年経済産業省告示第249号)により、月に1回以上の目視による外観点検等異常のチェックが規定されている。また部位ごとの点検周期(半年～2または3年)に応じて、外観点検等と併せて潤滑油の補給や消耗品の交換等の定期的な保守点検を行う必要がある。しかし、洋上風力発電の場合特異な環境下にあるので、陸上風力発電と異なり点検頻度は多くなるものと考えられる。

発電規模が2,000kW未満の風力発電所では、電気保安協会等の指定法人へ保安業務を委託し、管轄の経済産業局長の承認が得られれば、主任技術者を選任しなくてもよい(不選任)ことが認められている。しかし洋上風力発電の場合、経済性の面から発電規模は2,000kWを超える風力発電所となることから、電気主任技術者の選任の届け出が必要で、その場合、洋上風力発電所の容量等により異なるが費用がかかる。

表Ⅲ. 10. 1-2 運転・保守費用に係る項目の概略

項目		内訳の項目
運転・保守段階	点検費	風車・支持構造物点検費、電気設備点検費(部品交換費を含む)
	大規模点検費	大規模修繕費(直接費を含む)
	通信費	オペレーション費
	一般管理費	水域占有料、電気主任技術者雇用費、発電電力量等のデータ計測・記録費用等
	保険費	火災保険、賠償責任保険費、利益保険等
	予備費	リスク対応費

c. その他の費用

洋上風力発電事業に係る「その他の費用」として、固定資産税、事業税、法人税、借入金に対する金利の支払い等の費用があげられる。

2) キャッシュフローの試算例

調達価格等算定委員会(2014)および資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部(2014)による洋上風力発電の調達価格に係る検討オプションとして、「比較的安価な基礎構造で、期待できる設備利用率も適度に高く(30%程度)、投資回収を相対的により確実に実現するケース」が採用され、事業単価 56.5 万円/kW、運転・保守単価 2.25 万円/kW/年と設定された。これを基に、洋上風力発電の調達価格は、税引前 Project IRR 約 10%を満たす額である 36 円/kWh(税別)と算出された。なおこの調達価格は、2019 年度まで適用される。

ここでは、上記のケースを踏まえ、事業性評価のための算出条件を整理し(表Ⅲ.10.1-3)、本算出条件に基づくキャッシュフローの試算結果を表Ⅲ.10.1-4 に示す。最下段に示す「借入金残高+累積資金」の最初の 8 年間は赤字となっているが、9 年目より黒字に転じ、最終年度の 20 年目には約 330 億円の黒字となっている。また、税引前 Project IRR 約 10%を満たす売電価格は 36 円/kWh(税別)と算出され、本計画は、事業性が認められると評価された。

表Ⅲ. 10. 1-3 事業性評価のための算出条件

区分	項目	設定値	区分	項目	設定値
設置海域	平均水深	13-26m	事業コスト	総事業費用(単価)	56.5万円/kW
	平均離岸距離	2.0-5.5km		運転・保守費用(単価)	2.25万円/kW/年
	地質	砂質	税率	固定資産税率	1.40%
洋上風力発電所	発電規模	60MW		事業税率	1.30%
	風車の定格出力	2MW		法人税率	36.2%
	設置基数	30基		インフレ率	1.0%
	支持構造物	モノパイル		減価償却	10.87%
洋上風力発電所	年間発電電力量	160,834MW	期間 価格と	売電価格	36円/kWh
	設備利用率	30.0%		事業期間	20年

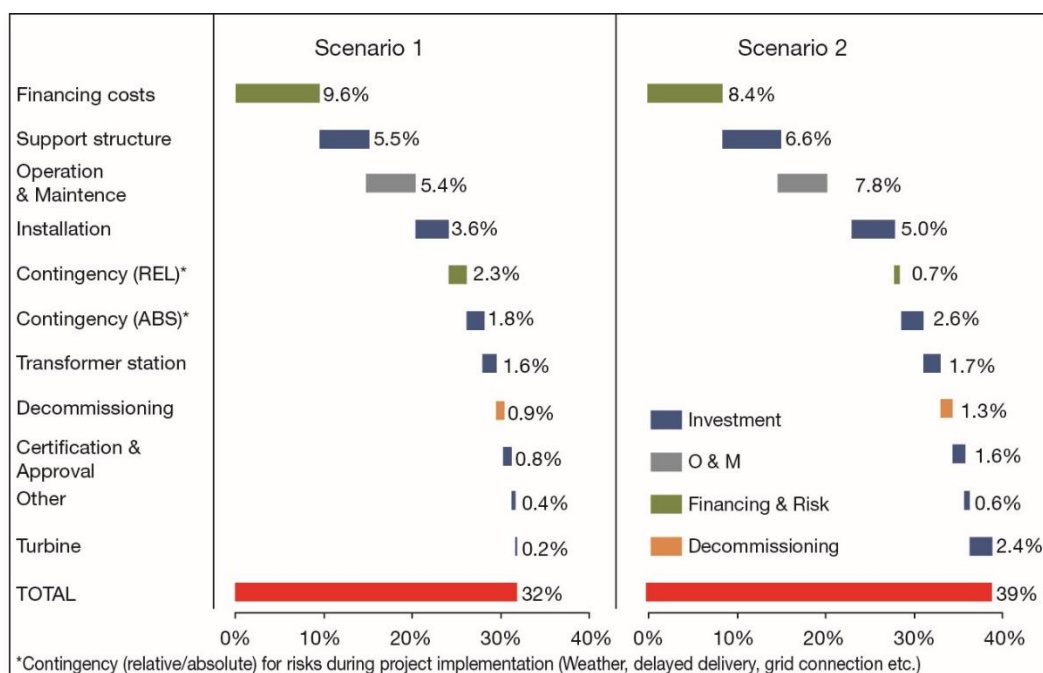
しかしながら、上記の設定条件では、保険費、予備費、撤去費の設定が不明であり、我が国の港湾整備や特殊作業船等のインフラ設備の現状を鑑みると、事業性の評価にはある程度のリスクも存在するものと考えられる。したがって、売電価格が税引前 **Project IRR** 約 10% で 36 円 /kWh と試算されても、事業性が確保されるという保証はない。そのため、次項で取りまとめるように、事業性の確保には「事業リスクを回避し、コストを削減する」ことが重要である。

10.2 事業リスク要因とコスト低減

洋上風力発電事業を成立させるためには、いかに事業リスク*を回避し、コストの低減を図るかにかかっているとと言っても過言ではない。

菊地・石原（2014）は、エンジニアリングモデルを用いた着床式洋上ウィンドファームの事業性に関する評価結果から、港湾および建造船の整備とともに、風車の大型化、支持構造物の最適化、運転・保守費用の低減等のコスト削減が必要であることを指摘している（本ガイドブックⅡ.3.3項参照）。また、洋上風力発電のコスト低減に関して、イギリス政府（DECC：エネルギー・気候変動省）は「英国、再生可能エネルギーロードマップ」で、洋上風力発電の発電原価（LCOE）を2020年までに100£/MWh（約13円/kWh；130円/£）に下げる必要があるとし、その対策として「技術革新の加速」と「サプライチェーンの構築」を掲げている（Carbon Trust,2008；The Crown Estate,2012等）。

以上のように、主としてハード面の技術開発と整備によるコスト低減が謳われているが、ドイツでは洋上風力発電所建設に伴う不測事態の軽減によって2023年までに最大約3%、また、今後、建設が増え経験を積むことにより融資調達コストは最大約10%の低減化が可能とし、それによるコスト低減効果は風車、建設、O&M等による技術開発効果よりも大きいとしている（図Ⅲ.10.2-1）。つまり、洋上風力発電に係る事業リスクを回避することにより、コストの低減が図られることを指摘している。



Sourct: [Prognos / Fichtner]

図Ⅲ.10.2-1 洋上風力発電のコスト削減割合（Hoboham, et al., 2013）

* 事業リスク：リスクには危険、冒険、脅威等と訳語があるが、リスクマネジメントに代表されるように、ここでは事業化に伴う種々の危険度を表す。

(1) 事業リスク要因

事業に係るリスクには、本ガイドブックⅢ.4.3 項に記している故障事故以外にも多くの要因があり、資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 (2014)、Melgaard (2014)、SeaRoc (2014) 等により指摘されているように、事業を計画する際にはリスクに対する事前の検討・評価が重要である。洋上風力発電プロジェクトにおける主要なリスクはプロジェクトの段階によって変わるが、継続的にリスク管理を行って、各リスクを定性的・定量的に評価し、緩和戦略を構築・実施することは、起こり得る不測事態を考慮に入れた資源と予算の立案にも有用となる。

以下、これまで本ガイドブックで記述した事項および上記の資料を基に、洋上風力発電の計画から撤去・解体に至る各過程のリスク要因を抽出して取りまとめた。これらのリスク要因を回避することにより、洋上風力発電の初期投資費用、運転・保守費用あるいは発電原価に係るコストの低減につながる。

1) 事業計画

ヨーロッパにおいて、洋上風力発電のプロジェクトの開発から計画・合意形成までには多くの労力を費やし、数年を要している。多くの計画された案件が初期開発段階で遅延あるいは完全中止となったこともあり、プロジェクト開発の初期段階で最も重要なことは「金融と技術的な観点からの事業化可能性の検討のみならず、開発予定サイトの環境制約要因の評価も含め、計画されたプロジェクトの実行性を理解する」こととされ、これがリスクを回避する要諦となっている。

リスク要因 1：洋上風力発電の設置海域の定義

・洋上風力発電の候補海域（サイト）が明確に定義付けられ、十分に理解されていないと、利害関係者との関係のみならず最適設計ができないことにもつながり、コストにも潜在的な悪影響を及ぼすことになる。しかし、技術要素と環境要素を考慮に入れた最適設計を行うためには、候補海域に対する柔軟性も確保しておく必要がある。

リスク要因 2：離岸距離

・系統連系点までの離岸距離により、技術的・経済的な視点からケーブル容量の検討が必要である。一般的には、離岸距離約 10km までは 120kV、20km 超では 132kV/220kV で、132kV 以上のケーブルを必要とする洋上ウィンドファームの最小規模は 250-300MW となる。大規模なケースでは、陸上までの送電連系を HVAC（高圧交流送電）、HVDC（高圧直流送電）のいずれにするかの選択は、初期投資と洋上風力発電の事業期間を通じた送電ロスによる損失費用との比較となるが、HVDC 技術は新しいもので、開発事業者はわずかながら高いリスクを負うことになる。

リスク要因 3：サイト選定と制約要因

- ・事業計画段階における風況評価では、既往調査資料に基づく机上検討が行われる。サイト選定の精度を上げるためには、計測データの出典と履歴、データの取得高度およびメッシュ・地図の解像度等の情報を得て評価することが必要である。
- ・水深、海底地盤の情報は、支持構造物の選定や経済面での検討に必要なとともに、海上風、波浪等の情報は建設や運転・保守 (O&M) の計画あるいは経済検討に重要なものである。結果として、気象海象の厳しいサイトでは O&M 費用の想定に慎重さが求められる。
- ・英国では、環境面から Natural 2000 指定 (例えば特別保護地域 (SPA's) と特別保全地域 (SAC's))、各国指定 (例えば科学上特別地域 (SSSI)、国家指定科学地域、国家指定自然保護地域)、地域指定 (例えば地域自然保護区) 等の海域では合意形成リスクがあるため、このような生物保護等の指定海域の選定はできるだけ避けるべきである。
- ・頻繁な航行がある水路、海域および係留地は、洋上風力発電サイトとしては“重要な”制約要因となる。欧州では、風車設置位置と航行水路の間には 2km 程度の間隔をとることが推奨されており、また、海運業者にとって風車を直線上に配置する計画が受け入れやすい。
- ・建設基地港と洋上風力発電計画海域間の輸送時間は、初期投資額の検討に反映されるものであり、地元港湾は建設資材の保管場所、O&M 作業に不可欠なものであることから、早期の段階で利用可能な港湾設備を地元雇用の面も含めて検討しておくことは有用である。
- ・電波障害、例えばレーダーへの影響を軽減する対策費は、開発者が負うことになっている。そのため多額の出費をもたらすとともに、合意形成にも時間を要することから、大きな制約要因となっている。我が国においても洋上風力発電施設、特に回転するブレードが自衛隊等のレーダー施設や漁業無線等の電波塔へ影響することが懸念されるサイトもあるため、事業計画に際しては十分に調査を行って予測・評価する必要がある。
- ・景観問題に対しては、ヨーロッパでは合意形成段階で公開協議と海景影響評価 (LVSIA's) を通じて多大な努力が払われているが、英国では比較的“軽微な”制約要因と見なされてきた。しかし、最近の Marine Scotland による“Strategic Environmental Assessment (SEA) for Scottish Water”では、海岸線より 8km 以内の案件は LVSIA's レベルでは許容できないとなっており、英国においても景観は重要な制約要因になるものと考えられている。
- ・系統連系の受入能力は、全ての洋上風力発電計画案件の基本的事項であり、“重要な”制約要件と見なされる。
- ・海域利用者のうち、漁業者は欧州で強い政治的ロビー力を持っていることから、漁業者との合意形成は計画段階での重要な部分を占める。特に、底曳網業者は海底ケーブルを含む洋上風力発電設備と容易に妥協点を見いだすことは難しく、現行の商業漁業活動と合意形成ができない場合には、それまで要した時間と費用は大きな負担となる。

リスク要因4：基本設計とエンジニアリング

- ・英国では、一般に環境影響評価調査と並行してサイトの地質特性評価も行われる。地質調査は、サイト全般にわたる土壌や堆積物に関する地質モデルを作成するために行われるもので、支持構造物の基本設計、施工方法あるいは環境影響評価等の検討にも活用される。地質・地盤調査結果から当該サイトでは想定外の土壌条件のために経済性の成り立たない事業評価となった場合、並行して進めている環境影響評価に係る費用と時間を費やすリスクにつながるため、調査は早目に行うことが重要である。

2) ファイナンス

洋上風力発電の事業資金にはいくつかの選択肢があるが、資金を確保する上での主な課題は、産業自体リスクが高く費用が嵩むと見られている点である。解決策は包含するリスクをいかに軽減するのかを理解して、プロジェクトをファイナンス面で魅力的な機会にすることである。プロジェクトの高い品質を維持しつつ、技術リスクを最小化して、プロジェクトの目指すゴール（例えば、Bankable（銀行で資金を調達できること）な要求基準を満たす）に到達することが賢明である。

リスク要因1：ファイナンスの仕組み

- ・ヨーロッパでは、小規模な洋上風力発電施設の場合、これまで一部政府の資金支援を得て、開発事業者/発電事業者が自社のバランスシートをベースに出資あるいは借入することで案件の資金手当てをしてきた。本手法によるメリットは、低コストである、事業主が全ての権限を持つことができる、意思決定が早い等であるが、反面、デメリットとして全てのリスクを背負うことがあげられる。しかしながら、施設の大規模化に伴いプロジェクトの所要資金が多くなってきたことで、発電事業者はプロジェクトファイナンスとして、他の事業者と法人格を持たない合弁会社（プロジェクトを遂行する PFI 事業会社）を設立して出資を募る、あるいは第三者の出資を受ける形で他の資金源を求める傾向にある。このリスクとして借入コストや手数料等でコスト増となることがある。なお、資金調達の際の担保は、コーポレートファイナンスとは異なり、事業から発生する収益と事業の持つ資産のみが対象となり、親会社への債務保証を求めない。このことを「ノン・リコース（不遡及）ファイナンス」という。プロジェクトファイナンスとコーポレートファイナンスの比較を表Ⅲ.10.2-1 に示す。

表Ⅲ. 10. 2-1 プロジェクトファイナンスとコーポレートファイナンスの比較
(環境省, 2014 より作成)

項目	プロジェクトファイナンス	コーポレートファイナンス
借入人	プロジェクト会社	企業（複数事業を手がける場合が多い）
資金使途	特定の事業に限定 ※プロジェクトファイナンスにおいては他業を行うことは禁止される	運転資金等の名目で厳格に特定されないケースがほとんど
返済原資	当該事業が産み出すキャッシュフロー	企業収益全体（特定部門、特定事業の収益に限定されていない）
返済遡及	スポンサーに対してリミテッドリコース（限定遡及）またはノンリコース（不遡及）	スポンサーを保証人として、フルリコース（全面遡及）
担保	プロジェクト会社の保有する資産、プロジェクト会社の所有する諸契約上の権利への担保設定等	スポンサーの保証 スポンサーの一般財産を担保として徴求
プロジェクト・リスクの負担	プロジェクト関係者間にてリスクを分担 リスクの排出とそのリスクの分配。その結果を徹底的に文書化（ドキュメンテーション）	スポンサーが単独負担

リスク要因2：リスク構造

- ・ 全ての出資者は、プロジェクトの信頼性を向上させるために、投資意欲、プロジェクトのリスクおよびリスク軽減方法について検討する。関連するリスクはプロジェクトの段階により異なるが、常にプロジェクトを脅かす主な商業リスクとして、電力買取り料金、制度上のリスク、為替変動、金利変動、不可抗力事象等があり、これらに関して明確に対応する必要がある。
- ・ 風力発電事業には、様々なリスクが存在する。環境省（2016）で示している風力発電事業の主なリスクを以下に示す。これらのリスクは、陸上の風力発電事業を念頭に置いているが、洋上風力発電事業にも当てはまる。
 - a. 完工リスク：完工遅延、コストオーバーラン
 - b. 発電量リスク：想定外の事象による発電量の減少、楽観的な発電量予測
 - c. 天候・自然災害等による事故・故障リスク：落雷や台風・乱流の発生、事故による設備の損壊
 - d. 性能リスク：故障による出力の低下、機器等トラブルによる売電量の減少
 - e. メーカー倒産・事業撤退リスク：倒産によるメンテナンス対応の困難化
 - f. 操業リスク：運転業務の瑕疵に伴う売電量の低下・停止、事業会社の経営能力不足
 - g. 制度リスク：出力抑制の実施

上記の中で特にキャッシュフローに影響を与えるのは、b.発電量リスク、c.天候・自然災害等による事故・故障リスク、d.性能リスクとしている。リスクへの対応は当然必要なもの

の、リスクを過度に評価してしまうと事業費が膨大となってしまう。どのような対応策を取ればリスクが受容できるものになるのか、他の事例を基に慎重に検討することが必要である。

- ・デューディリジェンスとは、投資対象となる資産の価値・収益力・リスクなどを様々な観点から詳細に調査・分析することである。デューディリジェンスは、投資家、融資者、その他の関係者に対してウィンドファームプロジェクトの成立性を実証するためのプロジェクト管理を含んでいる (Twidellら,2011)。風力発電に限らず大規模なプロジェクトにおいては、投資家や金融機関が第三者にデューディリジェンス調査を求めるのが一般的である。その第三者は、プロジェクトにおける様々なリスクを評価し、投資家や金融機関はその情報に基づいて、リスクが融資可能な範囲内であるかどうかを判断する。

リスク要因 3 : 保険

- ・ヨーロッパの洋上風力発電市場において、80%以上の保険求償はファーム内インターアレーあるいは送電のケーブルに起因するもので、最近、保険会社はケーブル敷設、接続、保護設計ならびに工事に関する契約関係の調査に、より多くの時間を費やしている。事業者の積極的な保険戦略 (多様な保険制度の加入) は、コストとリスクの削減に貢献するが、高額な保険費用が発生することを念頭に置いておく必要がある。なお保険制度に加入する場合には、保険証券の内容に注意すべきである。以下に典型的な保険証券の例を示す。

- a.CAR (建設総合リスク) b.第三者責任 c.操業開始遅延
d.財物損害補償 e.部分的操業と事業中断 f.運転 (操業)

- ・欧州の洋上風力発電事業では、建設作業期間、商業稼働期間ともに風力発電設備全体をパッケージで保険手配する方法が一般的である。建設作業期間の保険を Wind CAR Policy、商業稼働期間の保険を Wind OP Policy とする。それらの概要を表Ⅲ.10.2-2 に示す。今後日本でも、この方法が準用されていくと考えられる。

表Ⅲ.10.2-2 欧州の洋上風車保険の内容 (足立, 2014 より作成)

Wind CAR Policy (建設工事段階)		Wind OP Policy (商業発電運転段階)	
保険の略称	補償の概要	保険の略称	補償の概要
Construction All Risks (CAR)	風力発電設備全体の建設工事に関わる財物損害を補償	Property Damage (PD)	変電設備や送電ケーブルなども含み、風力発電設備全体の財物をオールリスクで補償 (一部不担保危険あり)
Third Party Liability (TPL)	風力発電設備全体の建設工事に関わる第三者賠償責任を補償	Third Party Liability (TPL)	風力発電設備の商業運転に起因する法律上の賠償責任を補償
Delay in Start Up (DSU)	CARの担保保険に起因した、建設工事の作業遅延により喪失した商業稼働時の利益を補償	Business Interruption (BI)	PDの担保保険に起因した、風力発電設備の稼働不能により喪失した利益を補償

- ・マリンワランティサーベイとは、海上作業が規定されたリスク水準範囲内で実施されることを確実にするために行う、独立した検証と調査作業である (内田,2015)。建設・設置工事期間は洋上風力発電設備にとって最もリスクが高い期間であるため、欧米では、その期間中のアセットに対する保険の保証条項として、事業者によるマリンワランティサーベイの起用が

定着している。保険会社は事業者がマリンワランティサーベイを起用することを条件に、保険を付与する。サーベイヤーは第三者の立場から、施工状況が保険会社の要求を満たす技術規格に適合しているかを確認する。日本でも、マリンワランティサーベイの実施を保険の引き受け条件にする保険会社が出てきている。

リスク要因4：商業的見通し

・事業予算は、経験と知識に基づいた、十分な臨時出費を含む現実的かつ堅固なものが要求される。また、商業的見通しはプロジェクトの成功に不可欠である。そのためには以下に掲げる各種の技術的、商業的側面について、継続して見直し確認し、商業的リスクを最小化することが重要である。

- a.風況モデリング
- b.初期投資の見積り
- c.プロジェクト費用内容（特に運転費用）
- d.収入見通し
- e.事前収益性分析

3) プロジェクトの体制

洋上風力発電ファームのように規模が大きく複雑なプロジェクトにおける財務的な成功は、多くの場合、効果的かつ効率的な組織づくりにかかっている。ヨーロッパから学ぶべき教訓のひとつは、無駄な努力を避け、プロジェクトを整然と進める必要があるということである。プロジェクトの初期段階で行う決断が、プロジェクトライフサイクルを通して影響する場合があります。プロジェクトの初期からの質の高い組織は、リスクや潜在的な損失を著しく軽減することができる。

リスク要因1：プロジェクト管理

・プロジェクト管理は、通常、法的に責務があり、かつ説明責任のあるプロジェクト取締役会が担うことになる。プロジェクト管理の目的は、戦略、プロセス、管理計画に裏付けられた論理的、健全かつ繰り返し性のある管理決定プロセスを実現することであり、確固たる基本方針が定められていなければ事業の成達は期待できない。そのためには、「プロジェクト憲章」の中で、プロジェクトのゴール、キーバリューとなる動機、主な利害関係者の期待、法律や規制に対する準拠性について詳述し、プロジェクトの実現に必要な予算や物資を明確にする必要がある。プロジェクトの責任者はプロジェクトの基本的管理文書である「プロジェクト憲章」に基づく詳細なプロジェクト管理（実行）計画を作成し、説明する責任を負う。

リスク要因2：プロジェクト管理計画

・プロジェクト管理計画は、プロジェクトの開発ならびに実施における基本的管理文書となるもので、適宜検討と更新を加え、プロジェクトにおける全ての変更点を反映させなければならない。プロジェクトの組織構成に則った分野別担当者の役割と報告系統を明確に規定し、全員がプロジェクトにおけるそれぞれの特定の役割と工程について理解できるようにしなければならない。

リスク要因 3：リスク管理

- ・ 進行中のプロジェクトに対するリスク管理として、次に示すプロセスに則して実践することによりリスクを低減する。
 - a. プロジェクトの全期間にわたるリスクの特定
 - b. プロジェクトの見込みや影響の観点から定性的、定量的なリスクの評価の提供
 - c. 実況文書と定期的に更新されるリスク記録の展開
 - d. プロジェクトに対するリスクの優先順位付け
 - e. リスクに対処するための階層別プロセスの取り決め、および的確なリスク対応計画の準備と行動
 - f. リスク管理の担当職務および説明責任の明確化ならびに担当者への割り当て

4) 関係者の同意

事業に対する関係者の同意を得る作業は、事業の建設段階に向けての不確定要素がある中で、前もって資本投資をしなければならないことから、財務上の高いリスクを伴い、かつ時間のかかる過程である。利害関係者からの同意の遅れを防ぎつつ、初期の支出を最適化するためには、事業のプロセスや関係法令を掌握することが必要不可欠である。

リスク要因 1：同意取得過程におけるエンジニアリングの役割と理解

- ・ 英国内では、洋上ウィンドファームの事業計画書には、最終計画に対して何通りかの異なる設計に関する検討結果が記載されている。基本設計調査では、建設に対してプロジェクトを定義することを必要とし、これらの作業には費用と時間がかかる。このため、最近の英国における事業者の提案書では、事業の同意が得られるまで基本設計の実施を待つことを選択している。そのようにすることで、これらの調査を実施する前の支出リスクを減少させている。

リスク要因 2：同意取得のための管理プロセス

- ・ 基本設計の結果が反映されていない事業計画の場合、風車の定格出力や基数、基礎形式等に関して複数案の環境影響評価報告書を取りまとめることとなる。許認可機関や利害関係者の意見を取り入れた環境影響評価や追加調査報告書（Habitats Regulation Assessment）の変更は、同意取得の遅延をもたらす（同意事項として、しばしば鳥類の衝突確率の低下が期待できる大型風車の計画が推奨される）。そのため、コスト低減の観点から風車の定格出力や基数、基礎形式等が設定された上で環境影響評価を行うことが重要である。

リスク要因 3：利害関係者への対応

- ・ 早い時点における正確な情報を中心的な利害関係者に伝えることは、事業決定を長引かせないために必要不可欠で、環境影響評価における最も重要な手段である。利害関係者との協議においては、環境影響評価の項目や手法（調査地点、調査時期等）の選定にあたり、利害関係者が関与する最も重要な問題に焦点を絞ることである。
- ・ NEDO（2015）では、調査対象海域の資料調査解析、国内における事例調査および海外における事例調査の結果を元に、漁業者や地域のステークホルダーとの合意形成の課題を整理

し、合意形成メニューを作成している。その合意形成メニューを表Ⅲ.10.2-3に記す。

表Ⅲ. 10. 2-3 合意形成メニュー（NEDO, 2015 より作成）

目的	合意形成メニュー
合意形成の場の設置	海域別にみた協議会 法律、条例及びルールを整備
漁業者の事業への参画・提携・支援等	洋上風力発電所の環境アセスメント調査、事後調査（モニタリング）等への漁業関係者の作業支援、洋上風力発電所の保守・点検作業（メンテナンス）への漁業関係者の作業支援、共同事業化
水産資源の保護並びに海洋環境への影響評価	洋上風力発電による魚類の増集効果
	水産資源モニタリングの重要性
	環境アセスメント
漁業施設としての洋上風力発電施設の利活用	自給型養殖、沖合養殖及び浮き魚礁、地産地消
観光資源	観光資源 観光資源、港湾クルージング、次世代エネルギーパーク等におけるサイエンスツアー、遊漁業
経済効果	経済効果
情報提供・情報共有	情報提供・情報共有

- ・ 漁業者との交渉は、長期にわたるスケジュールとコストに対するリスクがあることから、有能な人材の配置が要求され、英国では通常、元漁業者がその任を担っている。それは、漁業や漁業者に関することに熟知し理解していることや、事業者からの情報を明確に伝えることができるからである。
- ・ NEDO（2013）では、海洋再生可能エネルギーの導入にあたっては漁業との協調が不可欠であるとし、洋上風力発電の漁業協調方策の具体的なメニューを5つ挙げている。その概要を以下で紹介する。

a. 風車基礎部の人工魚礁化利用

ア. 資源保護育成目的

ウィンドファーム内を漁業制限区域（水産資源保護水面あるいは禁漁区）として設定する。この場合、ウィンドファーム内において漁業はできないが、区域内を水産資源の増殖海域と位置づけ、人工魚礁等の設置により効果の向上を図る。

イ. 周辺での漁業操業目的

風車の支柱や基礎部に集魚効果のある部材を取り付ける他、周辺部に人工魚礁等を配置することにより、水産資源の増殖や漁獲量の増加を図る。

b. 海洋データの収集・提供

海洋エネルギー発電プラントに、水温、塩分、流向、流速等の計測センサー類を設置して環境影響モニタリングし、イリジウム通信などによりデータを発信する。データはリアルタイムでインターネットに公開する。これらのリアルタイムデータを漁業者に漁場形成に関する情報として活用してもらう。これにより、漁業操業の効率化そして燃料節約・省エネに寄与できると考えられる。

c. 観光・レクリエーション利用

ア.海釣り公園の併設

遊漁を行う海域として風車群の設置海域を利用する。また、同海域の一角に洋上デッキを併設して海釣り公園を整備することも考えられる。さらに、同海域における風車群の風景を含めた海洋景観を楽しむ遊覧船や沿岸部に設置した展望台等により観光・レクリエーション利用を行う。

イ.ダイビングスポットとしての活用

風車群の設置海域をダイビングスポットとして、基礎構造物や人工魚礁群、その周辺の魚介藻類などの海中景観を楽しむ場として利用する。

d. 電力供給利用

地域で活動する漁協が、風力発電により、地域の資源である「風エネルギー」を自らの施設のエネルギーとして活用する「新エネルギーの地産地消」の取り組みである。

e. 洋上発電関連事業への参画

ア.洋上発電施設の建設・保守点検における漁船利用

洋上風車建設工事時の警戒船や、運転時の保守点検作業における洋上風車への連絡に漁船を活用する。また、保守点検作業の一部を漁協に委託するなどして、漁船、漁業組合員を活用する。

イ.洋上発電事業への出資・参画

洋上発電等における事業に対して、漁業協同組合や漁業協同組合連合会が参画・出資し、その割合に応じた事業を担うとともに配当等を受け取る。漁業協同組合が漁業以外の事業で利益を得ることについては、特段の問題はない。

- ・銚子沖実証研究では、実際に漁業を行っている組合員にヒアリングを行うとともに、漁船に同乗して共同調査を行った上で、洋上風力発電施設の設置位置を確定させた。また、環境への影響や漁業との共生方策についての評価を行う第三者委員会を立ち上げた。当委員会には、銚子漁協がオブザーバーとして参加している。
- ・北九州市沖では、実証研究の実施にあたり、事業者である電源開発と漁協関係者が協議を重ね、洋上風力発電施設の設置位置を決定した。また、洋上風力発電施設のメンテナンスの実施に際し、漁協関連団体が所有する船舶を備船する等、漁業者との協調を図っている。

リスク要因4：異なる管轄部署への申請

- ・洋上風力発電施設は、洋上風車に代表される洋上施設と変電所のある陸上施設からなっている。そのため、洋上と陸上を監督する複数の機関の許認可を得るが必要があり（英国では、洋上では管理者の助言のもとで直接大臣、陸上では大臣の代理としての地方計画局）、手続きの複雑さに加え、許認可の可否判断の相違や遅延リスクがある。

5) 風力資源

洋上風力発電事業における収益リスクの原則は、風力資源を計画段階や建設段階の全てのステージで考慮することである。事業化は、当該サイトにおいて期待されるエネルギー生産量に

大きく依存するため、風力エネルギーの予測を正確で厳格にするばかりでなく、当該サイトから最大限のエネルギーを取得することも考慮すべきである。これに対するキーポイントは予測の不確定さを最小にすることで、大きな不確定さをもった予測は、サイトにおける事業が運転段階に至ったときに計画発電電力量に合致しないリスクをもたらす。また、ウィンドファームのエネルギー源の鉄則は、風力エネルギー取得量を最大とし、ロスを最小とするようなサイト内の風車の配置計画を考慮すべきことである。これは、また風車の疲労荷重を軽減させ、寿命を延ばすことにつながる。

なお、洋上風力発電施設計画海域のオンサイトで実測された気象・海象データがない場合の事業に係るリスクについて、Ummels *et al.* (2011) 等を参考に、中尾 (2014) が事業の流れに沿ってリスク要因を整理しているので参照されたい。

リスク要因 1：風況観測

- ・洋上風力発電サイトの風況観測地点は、多くの風車位置を代表することができるよう注意深く選定されるべきである。
- ・風況観測の最高高度は、風車のハブ高さに合わせることを望ましいが、最低でもハブ高さの 2/3 の高度が必要である。また、マストの横断面の形状に起因する風速観測時の気流の歪みを最小にするように、各観測高度において少なくとも 3 箇所のブームが必要である。
- ・風力資源の評価のために風向、風速、大気安定度（ウエイクロスに影響）に関するデータを取得すべきである。
- ・財務上の評価には最低でも 1-2 年間のデータを収集すべきで、データの取得率も高くすべきである。
- ・洋上における風況観測タワーには相当の投資が必要となることから、浮体式の風況観測装置（LiDAR 等）の利用も考えられる。これは風車の計画配置内において異なる地点でのデータを収集することができ、風力資源の平面的な変化の検証を可能にするとともに、ハブ高さを含むより高い高度の観測が可能である。ただし、ブイの動揺を補正する動揺補正アルゴリズムが必要で、現時点ではファイナンスレベルのデータの精度は検証されていないが、今後の有力な洋上風況観測システムである。

リスク要因 2：長期間の参照データ

- ・一般的なウィンドファームの寿命は 20-25 年であり、サイトでは風速や風向分布に年変動が見られる。この風力資源の年変動が最終的なエネルギー取得量の予測における不確実性の原因となっている。平年的な風力資源量を算出するには、短期間のサイトの風況観測データを長期間の代表とするデータに修正し、風速予測の不確定さを減少させる必要がある。

リスク要因 3：風車の配置

- ・サイト内のウエイクの影響を抑止するためには、風車の配置設計の段階で、以下に示す要因について考慮されるべきである。
 - a. 風車間隔（最低でもロータ直径の 6 倍の離隔距離）
 - b. 配置の形状

リスク要因 4：風車の選定

- ・新しい技術には品質と信頼性のリスクが付き物である。このため、技術的リスクを低減し、開発サイトの風況条件と事業目的に適った最適な風車を選定することが重要である。ただし、事業開発段階の早い時点で風車の最終モデルを決定することは相応しくなく、開発期間を通して複数の風車候補を検討すべきで、風車メーカーにもプロジェクトに参入してもらってアドバイスを受けることが必要である。

6) 建設段階

プロジェクトの設計段階および建設段階は、技術的に最もチャレンジングな段階であり、そのプロセスのほとんど全ての過程において求められる決定・決断は、現場の要員の健康と安全あるいは工事の工程に影響を及ぼす可能性がある。建設段階の機器の費用および人件費は相当の額に及び、ほんの少しの工期の遅れが極めて大きな金銭的損失につながる可能性がある。そのため、ヨーロッパのデベロッパーやコントラクターは、過去の経験から、現場作業の遅れのリスクを最小限にするテクニックを開発してきた。

リスク要因 1：組織と管理業務

- ・プロジェクトには、引き渡しの段階に至るまで、明確な役割と責任が与えられた経験豊かな人材からなる組織を維持することが欠かせない。組織は、個別の作業パッケージごとに責任を持つマネージャーと、傘下の個々の分野に配置された経験豊かなエンジニアによって構成される。

リスク要因 2：エンジニアリング

- ・プロジェクトの全ての段階を通じ、エンジニアリングデザイン（詳細設計）を行い、設定された条件の範囲内で、健康・安全、予算、プログラム、運転上の要件および品質に対して、望ましいプロジェクトを形成することが大切である。それには工程に沿って危険要因を特定し、危険軽減措置（設計変更等）を講じてリスクを軽減できるようにしなければならない。
- ・工事段階では、発見された危険要因の監視および是正が行われるが、それにはエンジニアリングマネジメントを補完するツールとして、インターフェースマトリックスの作成（部門間の境界と相互理解の明確化）とリスクの登録を行う必要がある。

リスク要因 3：工程管理

- ・建設スケジュールは、現実的であると同時に、請負業者間の遅れを防ぐために明確に調整、配列されていることが重要である。全ての活動をカバーし、操業開始が遅れないように注意深くモニターする必要がある。

リスク要因 4：工事

- ・ヨーロッパでは、洋上ウィンドファームの建設と運転には **Marine License**（マリンライセンス）と呼ばれる認可が必要で、それにはライセンス要件を順守するために工事前、工事中お

よび工事後の環境モニタリングについても規定されている。また、同意条件として工事前のモニタリング調査の実施とともに、施工計画書、船舶管理計画、海洋汚染対策計画および航行安全計画について、認可機関およびその関係者に申請し、認可を受ける必要がある。したがって、このような条件を満たすために必要な費用と時間を考慮しておく必要がある。

リスク要因 5：基礎とトランジションピース

- ・風車の基礎工事には、リスクと不確実性が付きまとう。それらは、海底条件、気象・海象条件、海上での重量物運搬、高所作業や局所作業等に伴うものであり、それに加えてアクセス、補整作業あるいは据付後の構成部品の交換等によるコスト増もありうる。そのため、基礎の最終設計では、設計段階で行われた地質調査結果を踏まえて、プロジェクトの要件に適合した設計を行う必要があり、基礎設計とサイトの自然条件を照らして輸送・据付の戦略を立てることが重要である。

リスク要因 6：風車とタワー

- ・風車とタワーの据付作業は、通常、SEP 船を利用して行われる。風車とタワーの据付方法（一体型、分割型）は、風車/タワーの重量、SEP 船の能力、サイトの自然条件（風況、波浪、海潮流）、工事用の港湾状況等を勘案するとともに、安全面・経済面の観点から最適な方法を検討する。

日本の太平洋側では、“うねり”が卓越し、海上作業の稼働率が低いため、コスト削減に密接な関係を有する SEP 船等の作業計画は、綿密に立てることが重要である。

リスク要因 7：海底ケーブルの敷設と埋設

- ・送電用とアレイケーブルに関するサイズと設計は、電気系統全般の設計とウィンドファームの構成・配置により決まる。更なる設計条件として、送電ルート、土質、埋設深度、補足的保護措置等が与えられれば、海底ケーブルの製作者が必要とするケーブルの諸要素を特定することができる。なお、英国の大規模な沖合の洋上ウィンドファームの開発では、HVAC（高圧交流送電）と HVDC（高圧直流送電）を比較検討し、コスト削減とリスクヘッジの両面から送電方法を選ぶ傾向にある。

- ・地質調査は、ケーブルルートの最終案を決定する上で不可欠な調査で、これにより個々のケーブルの長さ、最適敷設方法、ケーブル保護の必要性等が確定される。

我が国では欧州に比べて、海底土質に係る調査実績が少なく、ボーリング等の計測機器や専用船舶が不十分である。実際、北九州市沖洋上風力発電実証研究施設では当初考えられていた候補海域の海底土質条件が悪く、候補海域を変更する結果となった。このように海底土質に関するリスクが大きいので、コスト低減の観点からも注視する必要がある。

- ・海底ケーブルの敷設は、正しい手順で行われることが重要である。英国で海底ケーブルのキックが起こった事故では、ケーブルハンドリングチームとバックデッキチームのコミュニケーション不足が理由にあげられた。対策としてオペレータに十分な訓練を受けさせて手順に精通させること、デッキに監督者を配置することがあげられている。

- ・海底ケーブルルートの一部が埋設されていない箇所は、埋設に代わる代替技術（マットレッシング、岩石投下、ウォータージェット法、あるいはそれらの組み合わせ）でケーブルを保護する必要がある。
- ・アレイケーブル末端部を風車基礎に接続するには、ケーブルを支え、保護するためのケーブル保護システム（CPS）を特定し、それを受け入れられるような基礎設計を構築する必要がある。従来使用されてきたシステムは、ケーブルに設置されたケーブル保護システムと J チューブエンドのベルマウスが合うように設計されたラッチ機構を備えている。この機構は、保護システムを固定し、海底と基礎間にあるケーブルを支え、保護する役割を果たしている。ケーブルはこの機構を通して、スイッチギアでケーブルを停止できる長さまで引き上げるが、英国ではアレイケーブルが「ねじれ」のために途中で詰まった事故が起こっている。対策として、引っ張り添え柵の再設計（CPS システムの隙間を拡大）と手順変更により、引き上げ作業中の絡まりを最小限に抑えることが可能になった。

銚子沖洋上風力発電実証研究施設では、台風による波浪の影響で基礎部の海底ケーブルの可とう防護管接続用鋼材の羽根部分が動いて、接地線防護管（PVC 管）に接触・損傷し、絶え間ない波浪により接地線防護管の損傷が拡大・破断に至る事故があった。このように、我が国のように厳しい自然条件下にあっては可とう防護管ではなく、固定式防護管を使用することや、接地線のチタンベルトの固定には電食防止措置を施すとともに、基礎との間に隙間がないようにする等の対策が必要である。また、北九州市沖洋上風力発電実証研究施設では、遊漁船のアンカーの引っかけと推定されているが、海底ケーブルの変位と防食層の損傷事故があり、対策として鋳鉄防護管の取り付けが行われた。このように海底ケーブルに関する自然的あるいは人為的な要因による事故が多いので、設計波高等の予測技術に係る課題や漁業者等の動向も踏まえ、施工方法や管理には特に留意する必要がある。

7) 調達戦略

調達に係わる戦略は、事業者のリスクに対する関心度、財政投資および現行のサプライチェーンといった主要ファクターに左右される傾向がある。曖昧な範囲と成果物は、遅れとコスト増加につながる恐れがある。

リスク要因 1：調達戦略と契約

- ・明確な調達戦略には、コスト、品質、プログラム、HSE（健康・安全・環境）等に関して、プロジェクトにとって最善の選択を可能にする競争調達プロセスが含まれていなければならない。
- ・調達戦略は、請負業者が合意済みの作業範囲をスケジュール通りに達成できること、また、契約が、約定損害賠償、不可抗力、連続不良（シリアルディフェクト）、瑕疵担保期間、保証/担保等をカバーしていることを確実にするものでなければならない。

リスク要因 2：サプライチェーン

- ・適切なサプライヤーの選択は、プロジェクトのサポートに不可欠である。このため、経験豊かで、高い評価を受け、豊かな資源を持ち、信用できるサプライヤーを選択することが重要

である。一方で、サプライヤーや請負業者は、コンポーネント/設備/船舶等がそれぞれに求められているタスクに適したものであることを保証できなければならない。

- ・ヨーロッパでは、プロジェクトの調達に影響し、最終的にプロジェクトのスケジュールにも影響を及ぼす主要なコンポーネントは、船舶、発電機、海底ケーブル、変圧器と考えられている。サプライチェーンの生産能力と主要アイテムの供給に伴うリスクを理解するためにも、サプライチェーンとの関わりに優先順位をつけておくことが不可欠となる。

8) 運転・保守

ヨーロッパで最初の商業的洋上風力発電所が就役したのは、僅か 10 年前である。そのため、運転・保守 (O&M: Operation & Maintenance) 段階のコストとリスクは未だ解明途上にある。公表されている調査結果によると、O&M の推定生涯コストはプロジェクトの全投資額の 25-40%を占める。このため、O&M は、コスト削減機会を特定し、電力販売による収入を確保する上で重要な段階である。

リスク要因 1 : 稼働率の向上

- ・強力で有効な O&M 理念は発電量に影響を及ぼすリスクを特定すると同時に、以下のものを含む生産ベースの稼働率の最大化に向けた目標を特定するものでなければならない。そして、これらの主要分野に影響を及ぼすためには、オーナーの役割、契約戦略、O&M 物流、予備部品戦略に対する入念な考慮が必要となる。
 - a. 年間で風速が最も低い日に、予定されている保守活動を実施する。
 - b. 年間の風車停止基数の最小化を目的とした、先を見越した保守作業を計画する。
 - c. ダウンタイムにつながる故障タービンの早期修理を徹底する。
 - d. 故障を予防し、発生前に故障を予測するシステム (CMS 等) を提供する保守戦略を整備する。

リスク要因 2 : リスク管理

- ・O&M に対する理念は、風車のライフサイクルを通して発生する、様々な問題を適切に管理する考えに基づいていなければならない。ライフサイクル全体にわたるリスクを理解し、管理することは、不均衡リスクや取引機能とのインターフェース等の商業問題を確実に管理し、適切な保険保障を確保するための明確な戦略を構築する上で重要である。また、O&M 理念は安全衛生リスク、高い安全衛生管理基準の重要性、サイトパフォーマンスの最大化にも貢献する従業員と請負人に対する注意義務を明確にするものでなければならない。

リスク要因 3 : O&M 戦略

・ O&M 戦略は、O&M 理念を費用的に効率良く実施する方法を特定し、以下の a.-e.を含むものでなければならない。故障が起きた場合には、故障の原因を調査し、再発防止に向けて再設計あるいは改良する価値があるか否かを決定することも重要である。現在、このようなアプローチは、主にタービンサプライヤー主導で行われているが、故障原因の理解を早めるオーナー主導の解析 (RCA : Root Cause Analysis) の例も出現し始めている。この場合、オーナーが OEM サービス/保証契約によって RCA へのアクセス権を与えられていること、また、オーナーが自社で工学的調査を行うか、あるいは OEM 主導の工学的調査、部品の取り外し、徹底的調査等に立会人を送る権利を保持していることが重要となる。

- a. 全般的なメンテナンス戦略
- b. 船舶とアクセス戦略
- c. 効果的な物流の実施
- d. 主要コンポーネントの管理
- e. 送電システムの管理

リスク要因 4 : 船舶とアクセス戦略

・ 事業者が船舶を保有あるいは傭船することによって、コスト削減と管理向上を実現できる可能性が生まれる。風力発電所への良好なアクセスの確保は、修理時間の短縮と気象関連のコスト削減にとって不可欠である。適切なアクセスを確保しつつコストを最適化できる船舶仕様を選択するために、波や気象データを利用することも重要である。考慮すべきその他の要素は、最寄りの適切な港までの距離、潮流の方向・流速・範囲、サイトの深さ、最多風向等である。また、洋上風力発電施設にはアクセス性を高めるために梯子を 2 基設置し、風車上の船舶アクセスフェンダーについても付着生物が付着していない清潔な状態を維持し、梯子の使用中に高所からの落下を防ぐための落下防止システムを備えていなければならない。

・ 適切なアクセス戦略を決定する場合、特に氷、霧、強風、雷を伴った嵐等の荒天候下における安全衛生リスクを考慮に入れることが重要である。

リスク要因 5 : 物流と O&M 基地

・ 予備部品の速やかな入手と船積み地点に近い場所での保管を確実にするためには、入念かつ徹底した物流計画を構築しなければならない。

・ 波止場付近には、予備部品やツール類を船に積み込むためのクレーンを含む十分な荷役設備が必要である。また、予備ケーブルや予備の風力発電所用主要コンポーネント等は、大型船舶が停泊できる別の場所に保管しておく必要がある。コンポーネントメーカーに対して戦略的予備品の供給を保証する契約を取り決めることも、バランスシート上の在庫を減らすのに有効である。

・ 物流サポートチームは、洋上で作業する技術者やエンジニアと共同で動ける体制を作っておかなければならないし、事業者は適切な福祉施設も提供する必要がある。

リスク要因 6：送電システム管理

- ・洋上風力発電所の収入源にも影響を及ぼすため、事業者がオペレータとの良い関係を維持し、送電システム障害のリスクを低減するための協力関係/相乗効果を追求することが重要になる。

リスク要因 7：安全規則

- ・故障に速やかに対応するためには、高電圧安全規則に基づき作業許可証やその他の安全文書を発行する権限を付与された、十分な数の上級権限者を任命しておくことが重要である。

リスク要因 8：IT 資産管理システム

- ・洋上風力発電施設の大規模化に伴い、メンテナンス作業の計画と実施を管理する適切な IT ソリューションを構築することが重要になる。これは、メンテナンスが最適な時間に行われるようにするために重要であるが、コンピュータ化されたメンテナンス管理システム（平均稼働時間と平均修理時間、風車の故障・事故履歴、予備品の管理状況、最新気象情報へのアクセス、船舶位置情報等の主要なパフォーマンス指標）の運用は、効率的な資産管理に欠かせないものである。

9) 健康・安全性・環境・セキュリティ

ヨーロッパの洋上風力エネルギー市場は、国内規制の遵守と事故の回避を目的とした高度な「健康・安全性・環境保全」基準を業界の基礎としている。国内規制の遵守は、プロジェクトの成功にとって重要であるだけでなく、建設・運用段階での事故およびコストの削減にも寄与する。

リスク要因 1：海上活動

- ・国際連合の専門機関である国際海事機関（IMO）の目的のひとつは、海上航行と船員のための国際規制の枠組みを構築し、維持することにある。洋上風力業界が適用対象となる最も関連性の高い国際海事規制あるいは手段は以下の通りであり、これらの条約を遵守して海上作業を行う必要がある。

- a. 1966 年の満載喫水線に関する国際条約（LL 条約）
- b. 1972 年の海上における衝突の予防のための国際規則に関する条約（COLREG 条約）
- c. 1973 年の船舶による汚染の防止のための国際条約（MARPOL 条約）
- d. 1974 年の海上における人命の安全のための国際条約（SOLAS 条約）
- e. 1978 年の船員の訓練及び資格証明並びに当直の基準に関する国際条約（STCW 条約）

リスク要因 2：共同企業体プロジェクト

- ・洋上風力発電プロジェクトでは、数多くの請負業者が、特にプロジェクトの建設段階で関与するケースが増えており、多くの人材、船舶移動および設備が安全衛生上のリスクが高い活動に関与している。このような共同企業体プロジェクトでは安全衛生管理が重要で、そのた

めには事業者のリーダーシップ、リスク管理、施工計画、企業間のインターフェース管理が必要である。

リスク要因 3：安全衛生

- ・洋上風力発電プロジェクトにおいては、安全衛生が重要で、単独作業あるいは複数の作業間との調整を図って事故が起こらないようにしなければならない。そのためには、安全衛生基準と手順を整備し、作業員の安全衛生教育とともに、管理システムの構築と的確な運用が必要である。なお、海上作業の遅れは、既定のスケジュール確保に起因するリスクを増大させる可能性があるため、注意を要する。

10) 撤去・回収

洋上風力発電施設の撤去・回収作業の範囲は、そのときに整備されている法律と安全作業慣習に基づいて決定される。洋上風力発電施設のサイトは、海域環境への悪影響を最低限に抑えるために、承諾条件、環境/生態学的/建築学的状態を配慮しつつ可能な限り現状復帰され、撤去後は、関係規制当局に報告書を提出する手順を踏むことになると考えられる。

英国では、洋上風力発電施設の撤去事例はないが、業界は国内外の知識、経験、教訓を共有し、撤去・解体の各作業範囲に最善の技術、資源、処理手順を用いて対処することになる。撤去された全ての資材は、可能な限りリサイクルあるいはリユースされることになる。

リスク要因 1：撤去計画

- ・撤去計画は、プロジェクト設計とレイアウトが確定される開発段階に起草し、運用段階で定期的に見直し、更新されなければならない。撤去時期が近づくと撤去計画の最終見直しを行い、提案されている作業プログラムを既定の承諾条件に沿って決定しなければならない。洋上風力発電所の廃止は、建設・設置プロセスの逆のプロセスであるが、英国では埋設された海底ケーブルの回収は環境に悪影響を及ぼす可能性が高いとし、残置の方針がとられている。

リスク要因 2：安全衛生

- ・撤去作業においては、「健康・安全性・環境保全」をあらゆる分野において優先して作業を行う必要がある。

リスク要因 3：撤去費用

- ・撤去費用は、会計処理上も資産除去債務を計上することが必要となることもあり、事業実施のための費用として考慮されている。撤去費用の水準は、陸上風力と同様に資本費の 5% (IEA 試算) とされているが、10% (日本の事業者の試算) とのヒアリング結果もある。英国において、事業者は洋上風力発電施設の撤去のための保証金を供託することが義務付けられているため、開発段階中にこの財政的負担を相殺できるようにしなければならない。このため、事業の財務力を運用段階で強化し、使用可能なキャッシュフローから撤去に係る資

金を賄う必要がある。なお、撤去費用は債券や信用状等の手段によって賄うことも可能である。

また、撤去計画に対する一部の承諾条件には、撤去後の環境モニタリング・メンテナンス計画の作成を義務付けているので、これに関する費用も予算化しておかなければならない。

(2) コスト低減策

ヨーロッパの洋上風力産業は、投資家にとってより魅力的なものとなるように、最初のスコーピングから概念設計とエンジニアリング、研究開発、建設・設置方法、運転・保守、品質とパフォーマンスまでを含む全ての分野で、常にコスト削減方法を模索している。

前項では、事業の段階ごとにリスク要因の抽出をしたが、これらのリスク要因を抑止することがすなわちコストの低減に結び付く。ここでは、改めて洋上風力発電事業者にとって関係の深いコスト低減策について概観する。

1) 許認可

洋上風力発電計画の許認可待ちの状態にある事業者は、その間、経済的負担と関連リスクを抱えることになる。この承諾プロセスが早くなればなるほど、事業者のリスクは低減し、投資家にとってプロジェクトはより魅力的なものになる（英国では、特に大きな障害がないと仮定したケースでも、承諾を得るのには最低で5年は必要である）。

2) 契約戦略

大規模なマルチ契約の獲得プロセスには膨大な時間と資源を要するが、それぞれ一回限りの契約関係になる傾向がある。しかし、事業者とサプライヤーの両者にとって有益な包括協定を設定できれば、コスト削減も可能である。包括協定では、最初の入札を実施した後は、その後入札を行う必要はなくなるため、入札に伴う時間、労力、コストを削減できるだけでなく、契約獲得プロセスを早めるというメリットもある。また、長期的な関係の構築は、サプライヤーの技術力と可用性に対する理解を深め、プロジェクトの発展を促進する。

3) プロジェクトの管理

適切なプロジェクト管理ツール、技術、プロセスを備えた知識と経験豊かなチームは、リスクを低減し、予算の超過を減らし、インターフェースを管理し、プロジェクトを計画通りに、しかも予算内で達成することに貢献できる。なお、プロジェクトの計画は、十分な危機管理計画と現実的な予算に基づいた、達成可能なものでなければならない。

4) 物流

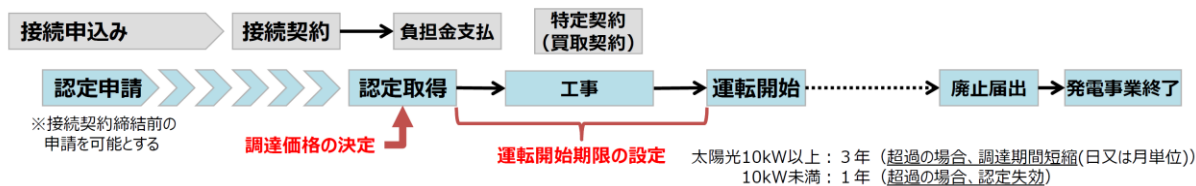
洋上風力発電の建設、運転・保守に係る物流は、官民協力の下、海運業界の専用船舶や専用設備の利用と設計によって大きく改善させることが可能である。コスト削減方法として、船舶の共有もひとつのやり方であるが、前述のように海上作業の稼働率を勘案し、SEP 船等の作業計画は綿密に立てることが重要である。

5) 運転・保守

事業者は、メンテナンスパートナーシップを構築し、多大な出費につながる重要なメンテナンス作業や、突発的な重大障害を対象とした契約を交わすことにより、コスト低減が図られる。また、メンテナンス会社は O&M 設備、専門ツール、予備部品等の共有化、また、サービス時間を減らしパフォーマンスを高める画期的なサービス計画の構築等の方法によって、コスト削減イニシアティブを実施することが可能と考えられる。

11 運転開始までの手続き

風力発電の運転開始までの手続きとして、国による事業計画認定と接続検討（系統連系に関する手続き）がある。前者は国（発電設備の立地場所の都道府県を管轄する経済産業局又は内閣府沖縄総合事務局（以下、「経済産業局等」という。）への申請、後者は一般送配電事業者等への申込みである。系統接続の契約を締結した後に国の認定を受け、その認定を取得したときに調達価格が決定する（図Ⅲ.11-1）。



図Ⅲ.11-1 認定申請から発電事業終了までの流れ

(経済産業省 HP :

http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/dl/fit_2017/setsumeishiryou.pdf)

11.1 事業計画認定

固定価格買取制度を活用して再生可能エネルギー電気を特定契約により一般送配電事業者等に対し供給する事業を行うためには、事業計画を経済産業大臣に申請し、「再生可能エネルギー発電事業計画の認定」を受ける必要がある。当認定制度では、①再生可能エネルギー電気の利用の促進に資するものであり、②円滑かつ確実に事業が実施されると見込まれ、③安定的かつ効率的な発電が可能であると見込まれる場合に、経済産業大臣によって認定が行われる。この事業計画に基づき、事業実施中の保守点検及び維持管理並びに事業終了後の設備撤去及び処分等を適切に実施することが求められており、違反時には改善命令や認定取消しを行うことが可能となっている。なお、事業計画の策定にあたっては、認定申請書中に示される表Ⅲ.11.1-1に掲げる事項を遵守することへの同意が求められる。事業計画を立案する際には「事業計画策定ガイドライン（風力発電）」に従う必要があり、当ガイドラインは以下の HP に掲載されている。

(http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/dl/fit_2017/legal/guideline_wind.pdf)

表Ⅲ. 11. 1-1 再生可能エネルギー発電事業の実施において遵守する事項（資源エネルギー庁, 2017）

再生可能エネルギー発電事業の実施において遵守する事項 （注）下記事項を遵守することに同意する場合には、下記□内に印をつけること。	
事業計画策定ガイドラインに従って適切に事業を行うこと。	□
安定的かつ効率的に再生可能エネルギー発電事業を行うために発電設備を適切に保守点検及び維持管理すること。	□
この事業に関係ない者が発電設備にみだりに近づくことがないように、適切な措置を講ずること。	□
接続契約を締結している一般送配電事業者又は特定送配電事業者から国が定める出力抑制の指針に基づいた出力抑制の要請を受けたときは、適切な方法により協力すること。	□
発電設備又は発電設備を囲う柵塀等の外側の見えやすい場所に標識を掲示すること（20kW未満の太陽光発電の場合を除く。）。	□
再生可能エネルギー発電事業に関する情報について、経済産業大臣に対して正確に提供すること。	□
この再生可能エネルギー発電事業で用いる発電設備を処分する際は、関係法令（条例を含む。）を遵守し適切に行うこと。	□
この認定の取得から3年以内に運転を開始できない場合には、変更された調達期間によりこの再生可能エネルギー発電事業を行うこと。【10kW以上の太陽光発電の場合のみ】	□
再生可能エネルギー発電事業を実施するに当たり、関係法令（条例を含む。）の規定を遵守すること。	□
発電開始前から継続的に源泉等のモニタリング等を実施するなど、地熱発電を継続的かつ安定的に行うために必要な措置を講ずること。【地熱発電の場合のみ】	□

事業計画認定に必要な書類は以下の通りで、これら書類は

「http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/fit_nintei.html#sun50kW」から入手できる。

〈新規認定申請〉

- ・再生可能エネルギー発電事業計画認定申請書（10kW未満の太陽光発電を除く）
- ・関係法令手続状況報告書
- ・一般送配電事業者の接続の同意を証する書類

なお、事業計画内容を変更する場合は、まず「変更内容ごとの変更手続の整理表」

（http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/dl/fit_2017/henkou_seirihyou.pdf）を確認し、その上で

「http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/fit_change_other.html#top」に示されている変更認定申請書・届出書の様式のうち、該当するものを使用して書類を作成するとともに、必要な書類を添付し、経済産業局等に送付する。

11.2 接続検討

「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法等の一部を改正する法律」が 2017 年 4 月 1 日より施行され、特定契約の締結義務者が小売電気事業者から一般送配電事業者等になった。一般送配電事業者は、大手 10 電力会社の送配電部門である。

一般送配電事業者等に発電電力を供給するには、系統に連系するための技術的な調整と手続きが必要で、技術的な事項については「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン」（資源エネルギー庁編；以下、系統連系ガイドラインと略す）に則って行う必要がある。さらに、電力販売に関する手続きのための買取価格に関する調整と手続きが必要である。

(1) 系統連系技術要件ガイドライン

風力発電システムで発電した電力は、小規模な独立系システムまたは特殊な事例を除き、一般送配電事業者等による商用系統に接続され（系統連系と呼ぶ）運転を行うのが一般的である。しかし、連系したことにより既存電力の品質、信頼性、保安等に影響を与え、他の電力使用者が従来 of 電力を使用できなくなることを避けるため、風力発電システムの設置者側が技術的に適切な措置を施しておく必要がある。これらの技術的措置に関して標準的に守るべき要件が「系統連系ガイドライン」であり、これを補完および解説するものとして民間の技術指針である「分散型電源系統連系技術指針」が発刊されている。また、連系する一般送配電事業者等ごとに「系統アクセスルール」が公表されており、これらを基に電力会社と協議を進めていく必要がある。

「系統連系ガイドライン」の主要な条文概要を表Ⅲ.11.2-1 に示す。

なお、「系統連系ガイドライン」は以下の HP に掲載されている。

(http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/summary/regulations/pdf/keito_guideline.pdf)

表Ⅲ.11.2-1 電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドラインの概要

条 項	内 容
第1章4 連系の区分	(2) 高圧配電線との連系 発電設備等の一設置者当たりの電力容量が原則として2,000kW未満の発電設備等は、第2章第1節及び第3節に定める技術要件を満たす場合には、高圧配電線と連系することができる。
第1章5 協議	このガイドラインは系統連系に要する技術要件についての標準的な指標であり、実際の連系にあたっては発電設備の設置者及び系統側の電力事業者は誠意を持って協議に当るものとする。
第2章第1節1 電気方式	(1) 発電設備等の電気方式は、(2)に定める場合を除き、連系する系統の電気方式と同一とする。 (2) 省略
第2章第3節1 力率	高圧配電線との連系のうち、逆潮流がない場合の受電点の力率は、標準的な力率に準拠して85%以上とし、かつ系統側からみて進み力率とはならないこととする。逆潮流がある場合の受電点の力率は、低圧配電線との連系の場合と同様に取り扱う。
第2章第3節2 自動負荷制限	発電設備等の脱落時等に連系された配電線路や配電用変圧器等が過負荷となるおそれがあるときは、発電設備等設置者において自動的に負荷を制限する対策を行うものとする。
第2章第3節3 逆潮流の制限	配電用変電所におけるバンク単位で逆潮流が発生すると、系統運用者において系統側の電圧管理面での問題が生ずるおそれがあることから逆潮流のある発電設備等の設置によって、当該発電設備等を連系する配電用変電所のバンクにおいて、常に逆潮流が生じないようにすることが必要である。
第2章第3節4 電圧変動	(1) 常時電圧変動対策：低圧需要家の電圧を標準電圧100Vに対しては $101 \pm 6V$ 、標準電圧200Vに対しては $202 \pm 20V$ 以内に維持する必要がある。 (2) 瞬時電圧変動対策：発電設備等の並解列時の瞬時電圧低下は常時電圧の10%以内とし、瞬時電圧低下対策を適用する時間は2秒程度までとする。
第2章第3節5 不要解列の防止	連系された系統以外の短絡事故等により系統側で瞬時電圧低下等が生ずることがあるが、連系された系統以外の事故時には、発電設備等は解列されないようにするとともに、連系された系統から発電設備等が解列される場合には、逆電力継電器、不足電力継電器等による解列を自動再開路時間より短い時限、かつ、過渡的な電力変動による当該発電設備等の不要な遮断を回避できる時限で行うものとする。
第2章第3節6 連絡体制	系統側電気事業者の営業所等と発電設備等設置者の技術員駐在箇所等との間には、保安通信用電話設備を設置するものとする。

(2) 系統連系の手続き手順

一般送配電事業者等との系統連系について電気事業法では特に規定されていないため、系統連系を行う場合には「系統連系ガイドライン」に基づき、連系する一般送配電電気事業者等と協議調整を行う。表Ⅲ.11.2-2 に系統連系の手続きの概要を示す。一般送配電電気事業者等との

協議や調整には通常 3 ヶ月程度を要することから、風力発電システムを設置するための基本的な設計が終了した段階で事前相談の依頼を行えばよいが、設計計画・検討の早い段階で一般送配電事業者等と調整作業に入るのが望ましい。実際に、一般送配電事業者等との協議や調整は、風力発電システム設置業者や風車メーカー等が代行する場合が多い。

表Ⅲ.11.2-2 系統連系の手続き

項目	内容
事前相談 接続検討	接続検討申込書にて営業的条件、技術的条件の検討及び書類の不備等の確認を行い、連系方法を電力会社と相談する。記載内容に問題等がなければ、接続検討申込みを実施する。
契約申込	接続検討の結果(回答)により接続に問題がなければ、電力会社に系統連系の契約を申し込む。
契約の締結	電力会社側にて供給対策検討・系統連系工事設計を実施した後、契約申し込みに対し回答(供給承諾)がなされる。回答(供給承諾)が得られたら、電力会社と契約の締結を行う。電力会社は系統連系工事の施工に入る。
竣工検査	施工完了後の自主検査の際に、電力会社が連系協議合意内容に基づいているか検査を行う。

事前相談では、風力発電システムの概要、連系する系統、系統連系希望日、単線結線図、機器・保護継電装置の仕様等を一般送配電事業者等に提出し、これらについて前準備的な協議を行う。協議において問題がなければ接続検討申込みを行い、一般送配電事業者等にて接続可否の検討が行われる。この検討結果により接続可能となれば、系統連系申込み(契約申込)を行うことになる。

接続検討申込みの際には、電気申込書、高圧受電希望書、発電設備仕様書等の接続検討に必要な書類を提出し、「系統連系ガイドライン」や電力会社の「系統アクセスルール」に基づいて申請内容の照合、電圧・力率・高周波等の概略の検討が行われる。検討の進み具合に応じて、「系統連系規程(JESC E0019-2012)」に例示されている表Ⅲ.11.2-3a,b に示す資料の提出や検討が行われる。なお、風力発電システムは、人為的に発電電力制御を行うことが不可能であることや可変速機が主流になりつつあること等、一般的な分散型電源と異なる点があるので、申請先の一般送配電事業者等ごとの風力発電系統連系申請フォーマットを入手する必要がある。

表Ⅲ. 11. 2-3a 一般送配電事業者等との系統連系協議に必要な資料例

(出典:分散型電源系統連系技術指針)

	系統連系協議資料例	主な検討項目
共通	・保護装置のガイドラインとの適合性等の説明	同左
	・逆潮流の有無に関する説明 ・最大出力値、連系点での最大逆潮流値、最大受電値	連系の適用区分（逆潮流の有無） 常時電圧変動
	・受電設備構成 ・単線結線図による継電器、計器用変成器等の設置図	解列箇所 保護協調等の確認
発電機	・発電機に関する事項	
	○同期発電機の場合（ACリンク方式） ・交流出力に関する定格 定格容量、定格出力、定格電圧、定格力率等 ・電気定数 同期リアクタンス(X_d)、 過渡リアクタンス(X_d')、初期過渡リアクタンス(X_d'') 開路過渡時定数(T_{do}')、 短絡過渡時定数(T_d')、短絡初期過渡時定数(T_d'') ・自動制御装置（機能） 自動同期投入装置（有・無）、 自動力率調整装置（有・無）	常時電圧変動 保護協調（リレーの整定） 瞬時電圧変動、短絡電流（短絡容量） 瞬時電圧変動、短絡電流（短絡容量）
	○誘導発電機の場合（ACリンク方式） ・交流出力に関する定格 定格容量、定格出力、定格電圧、定格力率等 ・電気定数 拘束リアクタンス(X_L)、励磁リアクタンス(X_M) 一次漏れリアクタンス(X_1)、一次抵抗(r_1) 二次漏れリアクタンス(X_2)、二次抵抗(r_2) ・自動制御装置（機能） ソフトスタート開路（有・無） ソフトスタート時の電流制限値と継続時間 限流リアクトル（有・無）とその仕様 力率改善コンデンサ（有・無）とその仕様 発電機単体力率と改善後力率（出力別）	常時電圧変動 保護協調（リレーの整定） 瞬時電圧変動、短絡電流（短絡容量） 瞬時電圧変動 瞬時電圧変動 常時電圧変動 常時電圧変動
	○逆変換装置を用いて連系する場合（DCリンク方式） ・交流出力に関する定格 定格容量、定格出力、定格電圧、定格力率等 ・逆変換装置 過電流（短絡電流）制限値 逆変換器ゲートブロック電流値 高調波電流（総合、各次） 交流出力側限流リアクトル（有・無）とその仕様 ・自動制御装置（機能） 自動同期投入装置（有・無） 自動力率調整装置（有・無）	常時電圧変動 保護協調（リレーの整定） 瞬時電圧変動 瞬時電圧変動 電力品質 瞬時電圧変動 瞬時電圧変動 常時電圧変動

表Ⅲ. 11. 2-3b 一般送配電事業者等との系統連系協議に必要な資料例

(出典:分散型電源系統連系技術指針)

	系統連系協議資料例	主な検討項目
保 護	<ul style="list-style-type: none"> ・系統連系用保護継電器に関する事項 ・シーケンス、メーカー、形式、特性、整定範囲等 ・単独運転検出機能（原理、整定値等） 	保護協調 （保護断電器の種類、整定、設置箇所の確認） 保護協調（単独運転防止）
機 器	<ul style="list-style-type: none"> ・系統連系用機器に関する事項 ・進相コンデンサ（形式、容量等） ・遮断器（種別、遮断容量、遮断時間等） ・開閉器（種別、開閉容量） ・変圧器（種別、容量、%インピーダンス等） ・中性点接地装置（種別、抵抗値、リアクトル容量） ・機器定格、型式、制御方法等の基本事項 ・保安通信設備（種別、方式：低圧連系は除く） ・計器用変成器（VT、CT：仕様、使い方） 	力率、常時電圧変動 短絡容量 開閉容量 瞬時電圧変動、常時電圧変動 瞬時電圧変動 連絡体制 保護協調（VT、CTの兼用）
そ の 他	<ul style="list-style-type: none"> ・その他 ・運転体制、連絡等に関する説明 ・保安規程 	連絡体制 定期点検等の確認

接続検討申込書の具体的な記載については、日本風力発電協会が HP で記載例を公開している (http://jwpa.jp/page_182_jwpa/detail.html) ので、これを参照するとよい。また、参考として、日本風力発電協会が公開している発電機の項目に関する具体的な記載例を表Ⅲ.11.2-4a、b、c に示す。

系統連系（契約）申込み後に、一般送配電事業者等側で供給対策の検討および系統連系工事設計が進められ、連系時の条件や工事負担金の提示等とともに、契約申込みに対する回答（供給承諾）が行われる。回答（供給承諾）受領後に契約の締結に進み、工事負担金の支払い等も含めて契約完了後に設置工事が開始される。系統連系を行うことにより必要となる計量器や安全保護装置の設置、修理、管理費等の費用は、一般的に風力発電事業者が負担する。

表Ⅲ. 11. 2-4a 一般送配電事業者等との系統連系協議に必要な資料と記入例（発電設備/同期機）

平成〇〇年〇〇月〇〇日

発電設備仕様（同期機）

2013年3月時点における量産風車で当該機種は無い。但し、開発中の油圧ドライブ方式の風車が該当する。

各数値は、開発完了後メーカーに確認し、数値を記載の事

発電設備設置者名 〇〇〇〇

1~〇号発電機
(既設・新設・増設)

1. 全般

(1) 原動機の種類（蒸気タービン、ガスタービン、内燃機関など）	風力
(2) 発電機台数	〇 [台]

2. 交流発電機

(1) メーカー・型式	【メーカー】 〇〇〇〇	【型式】 〇〇〇〇	
(2) 電気方式	三相3線式 <input checked="" type="checkbox"/> ・ 単相3線式 <input type="checkbox"/> ・ 単相2線式 <input type="checkbox"/>		
(3) 定格容量	〇〇〇〇 [kVA]		
(4) 定格出力	〇〇〇〇 [kW]		
(5) 出力変化範囲	0 [kW] ~ 〇〇〇〇 [kW]	出力変化速度	〇〇〇〇 [kW/分]
(6) 定格電圧	〇〇 [kV]	連続運転可能端子電圧（定格比）	95[%] ~ 105[%]
(7) 力率（定格）	100 [%]	力率（運転可能範囲）	遅れ 95 [%] ~ 進み 95 [%]
(8) 定格周波数	50 [Hz]		
(9) 連続運転可能周波数	49.0 [Hz] ~ 51.0 [Hz]		
(10) 運転可能周波数（300秒）	47.5 [Hz] ~ 51.5 [Hz]		
(11) 励磁系	(a) 励磁方式	添付 様式5の1 参照	
	(b) 自動電圧調整装置(AVR等)の有無・定数 有の場合制御方式	有(添付 様式5の1参照) ・ 無 VR・APFR・その他(
	(c) 系統安定化装置(PSS)の有無・定数	有(添付 様式5の1参照) ・ <input checked="" type="checkbox"/> 無	
(12) 调速機(ガバナ)の定数	添付 様式5の2 参照		
(13) 系統並解列箇所	添付 様式5の4 参照		
(14) 自動同期検定装置の有無	<input checked="" type="checkbox"/> 有 ・ 無		
(15) 発電機の飽和特性	添付 様式5の3 参照		
(16) 諸定数（基準容量 kVA）		飽和値	不飽和値
(a) 直軸同期リアクタンス	(Xd)	〇〇 [%]	〇〇 [%]
(b) 直軸過渡リアクタンス	(Xd')	〇〇 [%]	〇〇 [%]
(c) 直軸初期過渡リアクタンス	(Xd'')	〇〇 [%]	〇〇 [%]
(d) 直軸短絡過渡時定数(Td')	(Td')		〇〇 [sec]
	または直軸開路時定数(Tdo')		〇〇 [sec]
(e) 直軸短絡初期過渡時定数(Td'')	(Td'')		〇〇 [sec]
	または直軸開路初期時定数(Tdo'')		〇〇 [sec]
(f) 横軸同期リアクタンス	(Xq)	〇〇 [%]	〇〇 [%]
(g) 横軸過渡リアクタンス	(Xq')	〇〇 [%]	〇〇 [%]
(h) 横軸初期過渡リアクタンス	(Xq'')	〇〇 [%]	〇〇 [%]
(i) 横軸短絡過渡時定数(Tq')	(Tq')		〇〇 [sec]
	または横軸開路時定数(Tqo')		〇〇 [sec]
(j) 横軸短絡初期過渡時定数(Tq'')	(Tq'')		〇〇 [sec]
	または横軸開路初期時定数(Tqo'')		〇〇 [sec]
(k) 電機子漏れリアクタンス	(XL)	〇〇 [%]	〇〇 [%]
(l) 電機子時定数	(Ta)		〇〇 [sec]
(m) 逆相リアクタンス	(X2)	〇〇 [%]	〇〇 [%]
(n) 零相リアクタンス	(X0)	〇〇 [%]	〇〇 [%]
(o) 慣性定数（発電機+タービン合計値）	(2H)		〇〇 [MW・sec/MVA]
(p) 励磁系頂上電圧 ^{※1}			〇〇 [PU]
(q) 制動巻線		<input checked="" type="checkbox"/> 有 ・ 無 ^{※2}	

※1：励磁系頂上電圧は無負荷定格電圧運転時の励磁電圧を基準として記入
 ※2：制動巻線を有しているものと同等以上の乱調防止効果を有する資料を添付

【留意事項】

- 異なる仕様の発電機がある場合は、本様式を複写し、仕様毎に記入してください。
- 系統安定度の検討などで、さらに詳細な資料を確認させていただく場合があります。

表Ⅲ. 11. 2-4b 一般送配電事業者等との系統連系協議に必要な資料と記入例（発電設備/巻線形二次励磁）

平成〇〇年〇〇月〇〇日

発電設備仕様（二次励磁巻線形誘導機）

可変速度風車の内、増速機を有する殆どの風車が該当する。

発電設備設置者名 〇〇〇〇

1～10号発電機
(既設・新設 増設)

1. 全般

(1) 原動機の種類（風力など）	風力
(2) 発電機台数	10 [台]

2. 交流発電機

(1) メーカー・型	【メーカー】 〇〇〇〇	【型式】 〇〇〇〇		
(2) 電気方式	三相 3 線式 ・ 単相 3 線式 ・ 単相 2 線式			
(3) 定格容量	2,100 [kVA]			
(4) 定格出力	2,000 [kW]			
(5) 定格電圧	0.69 [kV]			
(6) 力率	定格	100 [%]	運転可能範囲	遅れ 95 [%]～進み 95 [%]
	調整範囲	力率設定範囲： 95 [%]～ 95 [%] 力率設定ステップ： 1.0 [%]		
(7) 定格周波数	50 [Hz]			
(8) 連続運転可能周波数	49.0 [Hz] ～ 51.0 [Hz]			
(9) 運転可能周波数 (300 秒)	47.5 [Hz] ～ 51.5 [Hz]			
(10) 系統並解列箇所	添付 様式 5 の 4 参照			
(11) 自動的に同期がとれる機能の有無	有 ・ 無			
(12) 誘導発電機諸定数 (基準容量 2,100kVA)				
	(a) 拘束リアクタンス	(X _L)	20 [%]	
(13) 二次励磁装置種類				
(a) 主回路方式	式インバータ ・ その他 (自励式			
	電圧型 ・ 電流型			
(b) 出力制御方式	電圧制御方式 ・ 電流制御方式			
	PWM ・ PAM (サイリスタ)			
(14) 事故時運転継続 (FRT) 要件適用の有無	有 ・ 無			
(15) 高調波電流歪率	総合	0.5 [%]		
	各次最大	第 17 次 0.2 [%]		

自励式三相ブリッジ(PMW制御)の場合は、サイリスタ適用時と異なり、「等価容量」(6パルス変換装置容量に変換)算出係数がゼロ(ki=0)の為、数値はゼロとなるが、ここでは風車認証時などのデータを記入の事

＜参考＞電協研46巻2号 総合5%以下、各次3%以下 が望ましい

【留意事項】

- 異なる仕様の発電機がある場合
- 系統安定度の検討などで、

表Ⅲ. 11. 2-4c 一般送配電事業者等との系統連系協議に必要な資料と記入例（発電設備/逆変換装置）

平成〇〇年〇〇月〇〇日

発電設備仕様（逆変換装置）

可変速度風車の内、全出力を逆変換装置を介して連系する機種が該当する。

発電設備設置者名 〇〇〇〇

1~10号発電機
(既設 ・ 新設) 増設

1. 全般

(1) 原動機の種類（風力、太陽光など）	風力
(2) 台数（逆変換装置またはPCSの台数）	10 [台]

2. 逆変換装置

(1) メーカー・型式	【メーカー】 〇〇〇〇	【型式】 〇〇〇〇	
(2) 電気方式	<input checked="" type="checkbox"/> 三相3線式 ・ <input type="checkbox"/> 単相3線式 ・ <input type="checkbox"/> 単相2線式		
(3) 定格容量	2,100 [kVA]		
(4) 定格出力	2,000 [kW]		
(5) 出力変化範囲	0 [kW] ~ 2,000 [kW]		
(6) 定格電圧	0.4 [kV]		
(7) 力率（定格）	100 [%]		
(8) 力率（運転可能範囲）	遅れ 95[%] ~ 進み 95[%]		
(9) 定格周波数	50 [Hz]		
(10) 連続運転可能周波数	49.0 [Hz] ~ 51.0 [Hz]		
(11) 運転可能周波数 (300秒)	47.5 [Hz] ~ 51.5 [Hz]		
(12) 自動電圧調整機能	<input checked="" type="checkbox"/> 進相無効電力制御機能・出力制御機能・その他 ()		
(13) 自動同期検定機能（自励式の場合）	<input checked="" type="checkbox"/> 有 ・ 無		
(14) 系統並解列箇所	添付 様式5の4 参照		
(15) 通電電流制限値	150 [%]		
	0.1 [sec]		
(16) 主回路方式	<input checked="" type="checkbox"/> 自励式 (<input checked="" type="checkbox"/> 電圧形 ・ <input type="checkbox"/> 電流形)		
	他励式		
(17) 出力制御方式	制御方式・ <input checked="" type="checkbox"/> 電流制御方式・その他 ()		
(18) 事故時運転継続（FR T 適用の有無）	<input checked="" type="checkbox"/> 有 ・ 無		
(19) 高調波電流歪率	総合	0.8 [%]	
	各次最大	第 13次	0.5 [%]

自励式の場合、無効電力(力率)調整が可能であり、特殊な要求が無い限り、別置のSVCなどは不要。

自励式三相ブリッジ(PMW制御)の場合は、サイリスタ適用時と異なり、「等価容量」(6パルス変換装置容量に変換)算出係数がゼロ(ki=0)の為、数値はゼロとなるが、ここでは風車認証時などのデータを記入の事

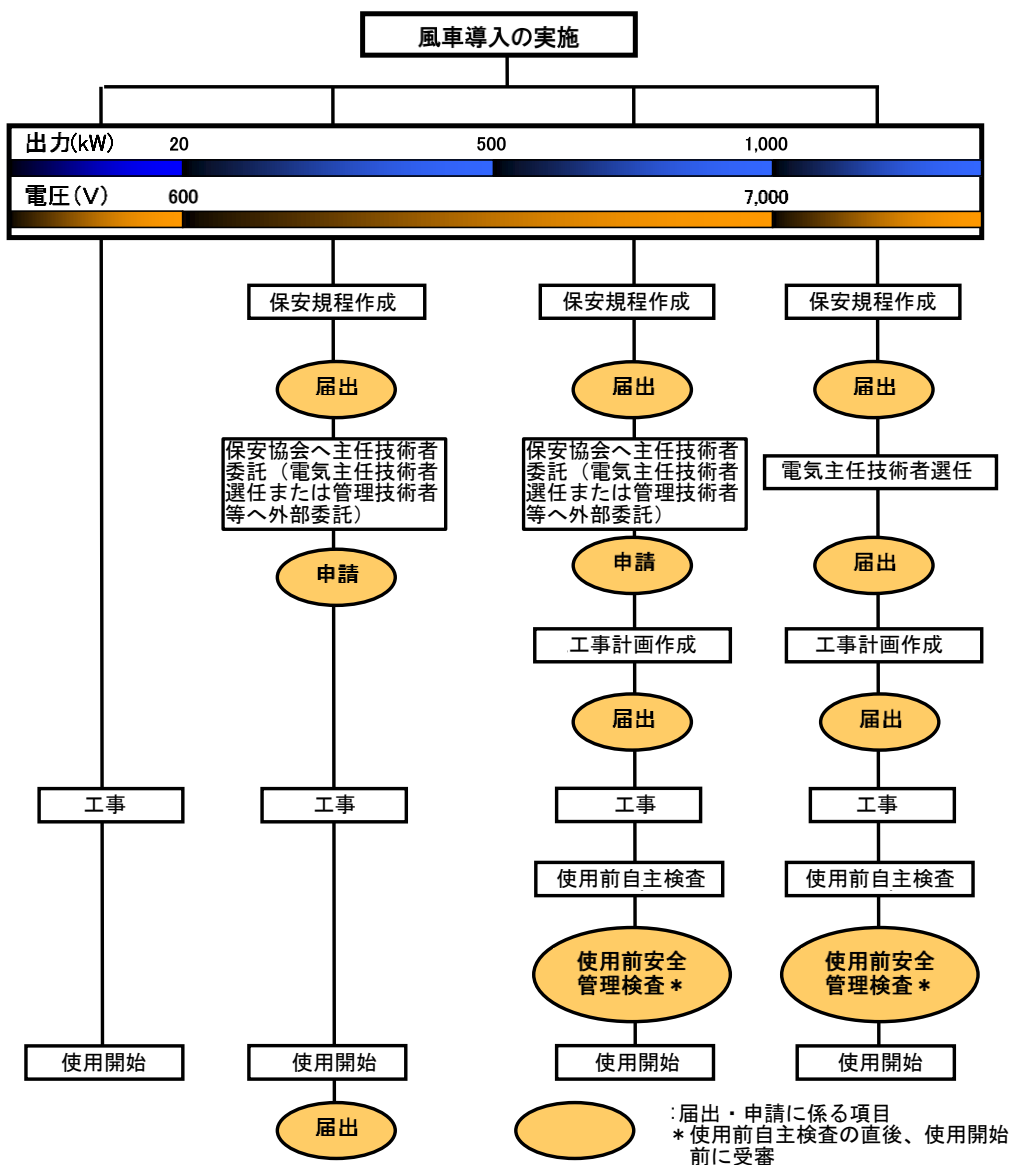
【留意事項】

- 異なる仕様の逆変換装置がある
- 電圧変動の検討などで、さらに

12 電気事業法による法的手続き

12.1 手続きの概観

発電所を建設する際に係る電気関係の基本的な法令は、電気事業法である。また、電気事業法の施行令および施行規則によって、風力発電所の設置、変更工事を行う際に必要な諸手続きが規定されている。手続きには工事計画、電気主任技術者選任（または外部委託承認）、保安規程等があり、手続きの要否は発電所の規模（発電出力、電圧階級）により異なる。風力発電所の建設に伴う電気事業法に係る手続きの概要を図Ⅲ.12.1-1 に示す。なお、「発電用風力設備に関する技術基準を定める省令」の第一条から第八条に定められた条項を満たさなければならない（Ⅲ.5.1 項を参照）。



※出力 2,000kW 未満 7,000V 以下での連系の場合、
電気主任技術者を選任しなくてもよい。

図Ⅲ.12.1-1 電気事業法に基づく風力発電導入に関する手続き (NEDO, 2008)

申請または届出先は経済産業大臣であるが、電気事業法施行令により、その権限が電気工作物の設置場所を管轄する産業保安監督部長に委任されているため、通常は所轄の産業保安監督部長に申請または届け出をすればよい。

12.2 保安規程の作成

電気事業法第 42 条および同施行規則第 50 条に、事業用電気工作物を設置する者は、工事、維持およ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開始前に、経済産業大臣に届け出なければならないと規定されている。

事業用電気工作物である発電規模 20kW 以上の風力発電所を建設する際は、工事、維持および運用に関する一体的な保安を確保するために事業用電気工作物の組織ごとに保安規程を作成し、経済産業大臣（産業保安監督部長）へ工事の開始前に届け出ることが必要となる。他の事業用電気工作物が既に設置されている場所に増設する場合には、届け出る保安規程の変更・追加手続きを行うとともに、変更・追加した事項を経済産業大臣（産業保安監督部長）へ届け出る必要がある。

保安規程の内容には、電気事業法施行規則第 50 条に基づいて、事業用電気工作物の種類ごとに以下の事項について記載するよう定められている。また、添付書類として、設備の概要、単線結線図、命令・連絡体制等を明記した資料が必要となる。

[一般送配電事業、送電事業又は発電事業（法第 38 条第 4 号に規定される者に限る）の用に供するもの以外のもの]

- * 事業用電気工作物の工事、維持又は運用に関する業務を管理する者の職務及び組織に関すること。
- * 事業用電気工作物の工事、維持又は運用に従事する者に対する保安教育に関すること。
- * 事業用電気工作物の工事、維持又は運用に関する保安のための巡視、点検及び検査に関すること。
- * 事業用電気工作物の運転又は操作に関すること。
- * 発電所の運転を相当期間停止する場合における保全の方法に関すること。
- * 災害その他非常の場合に採るべき措置に関すること。
- * 事業用電気工作物の工事、維持及び運用に関する保安についての記録に関すること。
- * 事業用電気工作物の法定事業者検査に係る実施体制及び記録の保存に関すること。
- * その他の事業用電気工作物の工事、維持及び運用に関する保安に関し必要な事項。

[一般送配電事業、送電事業又は発電事業（法第 38 条第 4 号に規定される者に限る）の用に供するもの]

- * 事業用電気工作物の工事、維持又は運用に関する保安のための関係法令及び保安規程の遵守のための体制（経営責任者の関与を含む）に関すること。
- * 事業用電気工作物の工事、維持又は運用を行う者の職務及び組織に関すること。
- * 電気主任技術者の職務の範囲及びその内容並びに電気主任技術者が保安の監督を行う上

で必要となる権限及び組織上の位置付けに関すること。

- * 事業用電気工作物の工事、維持又は運用を行う者に対する保安教育に関すること。
- * 発電用の事業用電気工作物の工事、維持又は運用に関する保安を計画的に実施し、及び改善するための措置。
- * 発電用の事業用電気工作物の工事、維持又は運用に関する保安のために必要な文書の作製、変更、承認及び保存の手順に関すること。
- * 上記文書についての保安規程上の位置付けに関すること。
- * 発電用の事業用電気工作物の工事、維持又は運用に関する保安についての適正な記録に関すること。
- * 事業用電気工作物の保安のための巡視、点検及び検査に関すること。
- * 事業用電気工作物の運転又は操作に関すること。
- * 発電用の事業用電気工作物の保安に係る外部からの物品又は役務の調達の内容及びその重要度に応じた管理に関すること。
- * 発電所の運転を相当期間停止する場合における保全の方法に関すること。
- * 災害その他非常の場合に採るべき措置に関すること。
- * 保安規程の定期的な点検及びその必要な改善に関すること。
- * その他の事業用電気工作物の工事、維持及び運用に関する保安に関し必要な事項。

なお、保安規程の作成にあたっては、「自家用電気工作物保安管理規程 (JESC E0021_2013)」等を参照するとよい。

12.3 電気主任技術者の選任・委託

電気事業法第 43 条および同施行規則第 52 条により、2,000kW 以上の風力発電所の維持運用のためには、電気主任技術者の選任の届け出が必要となる。一方 20kW 以上 2,000kW 未満の風力発電所の維持運用のためには、外部委託の承認が必要となる。

発電規模 2,000kW 以上の風力発電所では、風力発電所の建設工事、維持、運用に係る保安の監督をさせるため、電気主任技術者免状の交付を受けている者のうちから電気主任技術者を選任し、管轄の産業保安監督部へ届け出なければならない。電気主任技術者免状の種類には、第一種電気主任技術者免状、第二種電気主任技術者免状、第三種電気主任技術者免状があり、経済産業省令で定める学歴または資格および実務経験を有する者や、電気主任技術者試験に合格した者等に交付される。電気主任技術者を変更する場合は、前任者を解任し、後任者を選任する届け出が必要となる。

発電規模 2,000kW 未満の風力発電所では、電気保安協会等の保安法人又は電気管理技術者へ保安に関する業務を委託し、管轄の産業保安監督部長による承認を得れば、電気主任技術者を選任しなくてもよいことが認められている。さらに、発電規模 20kW 未満の風力発電所は、一般用電気工作物であることから電気主任技術者の選任および届け出は不要となっている。管轄の産業保安監督部へ電気主任技術者の届け出を行う際の手続き書類は、主任技術者選任許可申請書、

主任技術者選任または解任届出書、主任技術者外部委託承認申請書のうち、該当する様式を提出する。

12.4 工事計画

電気事業法第 48 条および同施行規則第 65 条に、500kW 以上の風力発電所の設置または変更の工事をしようとする者は、発電所を設置する場所を管轄する産業保安監督部へ工事計画の届け出をしなければならないと規定されている。

また、その工事計画の変更をしようとする時も、同様に届け出が必要となる。ただし、届け出が受理されてから 30 日を経過した後でなければ工事を開始してはならないので、注意が必要である。

届出書類として、風力発電システムや遮断器の仕様を記載した工事計画届出書には少なくとも以下の資料を添付する必要がある（電気事業法規則別表 3）。

- ・送電系統図
- ・地形図
- ・発電所の敷地境界を明示した図面
- ・発電所内の主要機械配置図
- ・環境影響評価法に係る措置に関する説明書
- ・単線結線図
- ・発電方式に関する説明書
- ・風車、支持物の構造図
- ・風車、支持物の強度計算書
- ・雷撃からの風車の保護に関する説明書
- ・制御方式に関する説明書
- ・短絡強度計算書
- ・電気設備の技術基準に対する説明書
- ・風力発電設備に関する技術基準を定める省令に対する説明書 等

12.5 使用前安全管理検査

電気事業法第 51 条第 1 項および同施行規則第 73 条の 2 の 2 および同施行規則第 73 条の 3 から 10 に、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い、その結果を記録しておかなければならないと規定されている。また、電気事業法第 51 条第 3 項には、使用前自主検査を行う時期に、使用前自主検査の実施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と規定されている。電気工作物を設置する場所を管轄する産業保安監督部へ使用前安全管理審査申請書を提出して受審する。

13 参考文献

- ・ 足立慎一 (2014) : 風力発電保険の実態と課題～保険が担う健全性確保の可能性～.第 36 回風力エネルギー利用シンポジウム,日本風力エネルギー学会・日本科学技術振興財団,146-158.
- ・ 足立慎一 (2015) : 風力発電設備の火災事故と消火装置.損保ジャパン日本興亜 RM レポート, 損保ジャパン日本興亜リスクマネジメント,
<http://www.sjnk-rm.co.jp/publications/pdf/r139.pdf>, アクセス 2017 年 2 月 7 日.
- ・ 赤川正臣 (1990) : 海氷.続・日本全国沿岸海洋誌,日本海洋学会 沿岸海洋研究会部会編,東海大学出版会, 69-80.
- ・ 秋田港・能代港再生可能エネルギー導入検討協議会 (2014) : 秋田港・能代港再生可能エネルギー導入検討協議会報告書.秋田県,
http://www.pref.akita.lg.jp/uploads/public/archive_0000007961_00/pdf4.pdf,アクセス 2017 年 2 月 7 日.
- ・ 青木宏明 (2009) : 「ウインド・パワーかみす」風力発電所の概要. 風力エネルギー33(4), 56-61.
- ・ Ballast Nedam (2011) : Accelerating Foundation Installation. The real focus point for offshore wind –logistics. EWEA Offshore 2011.
- ・ Becki, M. (2011) : Offshore Wind O&M Challenges.2011 Wind Turbine Condition Monitoring Workshop,Sept.,19,2011.
- ・ Boezaart *et al.* (2011) : Implementing Offshore Remote Wind Sensing Technologies including Protocols for the Evaluation, Selection and Validation. EWEA Offshore 2011, Poster No.332.
- ・ Brown, D. (2011) : The Carbon Trust's Offshore Wind Accelerator (OWA) : Marine Access, Transportation and Logistics. EWEA Offshore 2011, Lessons and innovations applied in upcoming wind farms, 1-20.
- ・ 中国新聞夕刊 (2014. 5. 9) : 生物保護へ重要海域選定.
- ・ Carbon Trust (2008) : Offshore wind power : big challenge, big opportunity, Maximising environmental, economic and security benefits.
<http://www.carbontrust.com/media/42162/ctc743-offshore-wind-power.pdf>, アクセス 2015 年 3 月 5 日.
- ・ Carbon Trust (2014) : Mainstream and DNV GL validate floating offshore wind measurement device as part of Carbon Trust OWA programme. Press2014 (September) .
- ・ Carbon Trust (2018) : Offshore Wind Cost Reduction in Japan Learnings from Europe to deliver cost reduction (日本の洋上風力発電コスト削減 欧州の事例に学ぶコスト削減達成策) .
- ・ Climate Change Capital (2010) : Offshore Renewable Energy Installation Decommissioning Study Final Report.
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/47955/900-offshore-renewable-installation-decom.pdf,アクセス 2017 年 2 月 8 日.

- Copenhagen Environment and Energy Office (2003) : The Midelgrunden Offshore Wind Farm. A Popular Initiative. <https://stateofgreen.com/files/download/1087>, アクセス 2017 年 2 月 26 日.
- Coppys *et al.* (2011) : Case Study : The Value of Floating LIDAR Technology. During the Different Phases of Offshore Wind Farm Development. EWEA Offshore 2011, Poster No. 328.
- 調達価格等算定委員会 (2014) : 平成 26 年度調達価格及び調達期間に関する意見. 平成 26 年 3 月 7 日.
http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/report_003_01_00.pdf,
アクセス 2014 年 12 月 30 日.
- 第一東京弁護士会環境保全対策委員会編 (2016) : 再生可能エネルギー法務. 勁草書房.
- Danish Energy Authority (2006) : Offshore Wind Farms and the Environment – Danish Experiences from Horns Rev and Nysted. ISBN : 87-7844-620-1.
- Degn, U. (2000) : Offshore wind turbines VVM (EIA) , underwater noise measurements analysis and predictions. Tech. Rep. 00. 792 rev. 1, Rep. to : SEAS Distribution A. m. b. A. , Slagterivej 25, 4690.
- 電力広域的運営推進機関 (2016) : 平成28年度以降の連系線の運用容量算出結果について (第 4 回運用容量検討会資料1-1) .
<https://www.occto.or.jp/oshirase/kakusfuiinkai/files/02.unyouyouryou4.pdf>, アクセス2017 年2月8日.
- Department of Energy & Climate Change (2010) : Decommissioning of offshore renewable energy installations under the Energy Act 2004.
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/80786/orei_guide.pdf, アクセス 2017 年 2 月 8 日.
- Department of Trade and Industry (2005) : GUIDANCE ON THE ASSESSMENT OF THE IMPACT OF OFFSHORE WIND FARMS : Seascape and Visual Impact Report.
- Desholm, M. and Kahlert, J. (2005) : Avian collision risk at an offshore wind farm. *Biology Letters*, 1 (3), 296-298.
<http://rsbl.royalsocietypublishing.org/content/1/3/296>, アクセス 2015 年 3 月 5 日.
- Desholm, M. and J. Kahlert (2006) : A stochastic model analysis of avian collision risk at wind farms. in wind farm related mortality among avian migrants—a remote sensing study and model analysis, National Environmental Research Institute, Ministry of Environment, Denmark, 101-127.
- DET NORSKE VERITAS (2012) : 浮体式洋上風力発電施設の安全確保に係る保守・管理方法に関する調査報告書. 国土交通省請負調査.
- Dewan, A. (2014) : Logistic & Service Optimization for O&M of Offshore Wind Farms. Master of Science Thesis, delft University of Technology. Department of Aerospace Engineering.

- http://www.lr.tudelft.nl/fileadmin/Faculteit/LR/Organisatie/Afdelingen_en_Leerstoelen/Afdeling_AEWE/Wind_Energy/Education/Masters_Projects/Finished_Master_projects/doc/Ashish_Dewan_r_UPDATE.pdf, アクセス 2015 年 2 月 1 日.
- Dieseko Group (2016) : Offshore Vibratory Hammers Product Range.
<http://www.diesekogroup.com/wms/fm/userfiles/content/909DB8AC-A551-8459-4C31-BA3A7E69CB4E.pdf>, アクセス 2017 年 3 月 10 日.
 - DNV (2014) : Subsea Power Cables in Shallow Water Renewable Energy Applications.
 - DNV GL、三菱重工業、ジャパン マリンユナイテッド、日本船舶技術研究協会 (2014) : 平成 25 年度 海洋再生可能エネルギー導入促進に向けた環境整備技術に関する検討委託業務調査報告書.
 - DNV GL (2015) : 66 kV Systems for Offshore wind farms.
 - Dong Energy, Vattenfall, Danish Energy Authority and Danish Forest And Nature Agency (2006) : Danish offshore wind, Key environmental issues. Ens. netboghandel. dk.
 - Dolan, D. (2004) : MMI Eng. At Deepwater Wind Energy Workshop, Washington D. C. , PPT. <http://www.energetics.com/deepwater.htm> (original)
<http://www.offshorecenter.dk/log/bibliotek/Energy%20from%20offshore%20wind.PDF>, アクセス 2015 年 1 月 3 日.
 - Duwind (2001) : Offshore Wind Energy Ready to Power a Suitable Europe Final report.NNE5-1999-562.
 - イー・アンド・イー ソリューションズ株式会社 (2013) : 着床式洋上風力発電に係る基礎構造別適地海域面積 (比率) の算定調査報告書. 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 委託調査.
 - Elmer, K.-H., T. Neumann, J. Gabriel, W.-J. Gerasch, K. Betke, M. Schultz-von Glahn (2006) : Measurement and reduction offshore wind turbine construction noise. DEWEK2006, The International Technical Conference, 8th German Wind Energy Conference, Congress Centrum Bremen, Germany, 22-2.3 Nov., 2006, 12. 3.
http://www.researchgate.net/publication/237328918_Measurement_and_Reduction_of_Offshore_Wind_Turbine_Construction_Noise, アクセス 2015 年 3 月 5 日.
 - エンジニアリング協会 (2016) : 平成 27 年度大水深海底鉱山保安対策調査 報告書.
 - Erbe, C. (2011) : Underwater Acoustics Noise and the Effects on Marine Mammals A Pocket Handbook 3rd Edition. JASCO Applied Sciences.
<http://oalib.hlsresearch.com/PocketBook%203rd%20ed.pdf>, アクセス 2015 年 2 月 1 日.
 - EWEA (2011) : Wind in our Sails. The coming of Europe's offshore wind energy industry.
http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Offshore_Report.pdf, アクセス 2015 年 2 月 1 日.

- EWEA (2013) : Where's the money coming from? Financing offshore wind farms. http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Financing_Offshore_Wind_Farms.pdf, アクセス 2015 年 3 月 20 日.
- Faulstich, S., P. Kuhn, P. Lyding and S. Pfaffel (2011) : Offshore wind energy development, It's the cost that counts. EWEA Offshore 2011, Poster162.
- Federal Maritime and Hydrographic Agency/Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety Eds. (2014) : Ecological Research at the Offshore Windfarm alpha ventus, challenges, Results and Perspectives. Springer.
- Finneran, J. J., D. A. Carder, C. E. Schlund and S. H. Ridgway (2005) : Temporary threshold shift in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) exposed to mid-frequency tones. J. Acoust. Soc. Am., 118(4), 1-10. https://awionline.org/sites/default/files/uploads/legacy-uploads/documents/Finneran_TTS_dolphins_2005-1238105856-10153.pdf, アクセス 2015 年 3 月 5 日.
- Fisheries Hydroacoustic Working Group (2008) : Agreement in Principle for Interim Criteria for Injury to Fish from Pile Driving Activities, Memorandum dated June 12, 2008. http://www.dot.ca.gov/hq/env/bio/files/fhwgcriteria_agree.pdf, アクセス 2015 年 1 月 28 日.
- 古堅宗裕、饒波幸男、前門秀哉、横山知弘、興石幸男、江橋茂、岩崎邦男、木島孝、山口卓見、海津裕 (2002) : コストと自然環境に配慮した海底ケーブル線路. 古川電工時報, 109 号, 45-49. https://www.furukawa.co.jp/jiho/fj109/fj109_10.pdf, アクセス 2015 年 1 月 28 日.
- 古川絵里 (2016) : 洋上風力発電事業の終了時の施設撤去. 環境管理, 2016 年 6 月号, 37-41.
- Garrad Hassan (2009) : Offshore wind farm construction, installation methods and plant. Beijing.
- Gerjuoy, E. (1947) : The sound pressure in water resulting from a point source in air. Physical Review, 72.
- German Wind Energy Association«BWE» (2010) : OFFSHORE Service & Maintenance. WIND ENERGYMARKET Special.
- GL Garrad Hassan (2010) : Offshore Wind Energy Supply Chain Opportunities. The European Regional development Fund under the European Sustainable Competitiveness Programme for Northern Ireland. <http://secure.investni.com/static/library/invest-ni/documents/offshore-wind-energy-supply-chain-opportunities-june-2010-sd.pdf>, アクセス 2015 年 1 月 28 日.
- GL Garrad Hassan (2013) : A Guide to UK Offshore Wind Operations and Maintenance. The Crown Estate, Scottish Enterprise. <https://www.scottish-enterprise.com/knowledge-hub/articles/guide/offshore-wind-operations-and-maintenance-opportunities>, アクセス 2015 年 1 月 28 日.
- 牛腸明、矢嶋英明、吉田健治 (2010) : 洋上風力発電所におけるモノパイル基礎の施工 - ウインド・パワーかみす風力発電所施工報告 - . 熊谷組技術研究技報, 69, 141-146.

- Hamilton, B. (2011) : Offshore Wind O&M : Costs, Trends, and Strategies. EWEA Offshore 2011 Poster No. 280.
- 東野政則 (2010) : 洋上風力の情勢と環境アセスメント.第 11 回風力エネルギー利用総合セミナーテキスト,足利工業大学総合研究センター,114-139.
- Hoboham, J. , L. Krampe, F. Peter, A. Gerken, P. Heinrich and M. Richer (2013) : Cost Reduction Potentials of Offshore Wind Power in Germany. FICHTNER/PROGNOS. http://www.offshore-stiftung.com/60005/Uploaded/SOW_Download%7CEN_ShortVersion_CostReductionPotentialsOfOffshoreWindPower.pdf, アクセス 2015 年 1 月 3 日.
- Hodos, W. (2007) : 「モーション・スマアの最小化. 風車と鳥類の衝突事故防止策として」, 野鳥と風車, 野鳥保護資料集第2. 1集, (財) 日本野鳥の会, pp. 155-186.
- IEC (International Electricity Commission) : Power performance measurements of electricity producing wind turbines, Annex G, IEC61400-12-1.
- IEC (International Electricity Commission) : Wind turbines-Part3 : Design requirements for offshore wind turbines ,Edition 1.0,IEC61400-3.2009-02.
- 石原孟 (2005) : 関東沿岸における風況特性と洋上風力賦存量の評価. 第 2 回洋上風力発電フォーラム, 80-84. <http://windeng.t.u-tokyo.ac.jp/ishihara/>, アクセス 2015 年 1 月 3 日.
- 石原孟、松井正宏、日比一喜 (1996) : 中立時の大気境界層における強風の鉛直分布性質, その 2,台風時の強風. 日本風工学会論文集, No.66, pp.3-14.
- 石原孟、中尾徹、杉谷昭雄 (2005) : 風車のサイティング. 風力エネルギー読本, 牛山泉編著, オーム社, 25-48.
- 石原孟、山口敦、老川進 (2011) : モンテカルロシミュレーションと MCP 法を用いた混合気候における極値風速の予測. 第 33 回風力エネルギー利用シンポジウム, 日本風力エネルギー学会・日本科学技術振興財団, 175-178.
- 磯崎一郎 (1985) : 波浪概論-解析と推算-. 日本気象協会.
- 磯崎一郎 (1990) : 日本周辺海域の波浪について. 続・日本全国沿岸海洋誌, 日本海洋学会 沿岸海洋研究会部会編, 東海大学出版会, 170-194.
- 伊藤正治 (2014) : NEDO の洋上風力発電実証研究の経過. 第 15 回風力エネルギー利用総合セミナー, 足利工業大学総合研究センター, 1-11~1-47.
- Hüppop, O. , J. Dierschke, K. -M. Exo, E. Fredrich and R. Hill (2006) : Bird Migration and Offshore Wind Turbines. eds. Köller, J. , J. Köppel and W. Peters Offshore Wind Energy research om Environmental Impacts. Springer, 91-116.
- Ismael Ruiz de T. Alonso (2013) : Gravity Base Foundations For Offshore Wind Farms. Marine Operations And Installation Processes. Master in European Construction Engineering 2012-2013, Supervisor : Francisco Ballester, Moderator : Joaquin Diaz. <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/3429/Ruiz%20de%20Temi%20Alonso%20Ismael.pdf?sequence=6>, アクセス 2017 年 3 月 10 日.

- ・ 泉紀明、長野勝行、及川光弘、西澤あずさ、小野寺健英、伊藤弘志、笹原昇 (2008) : 2007年能登半島地震震源域における海底地形及び変動地形について.海洋情報部技報, Vol.26,57-62.
- ・ Jackson, G. (2011) : Concrete Gravity Foundations for Deep Water; Giving the industry more choice. EWEA Offshore 2011, Scanning wind, 1-17.
- ・ Jakobsen, F. and A. Z. Davidson (2012) : Design of Offshore Wind Farms. LIC Enginerring A/S.
http://sbwi.dhigroup.com/end_user_workshop/02_Design%20of%20Offshore%20Wind%20Farms.pdf, アクセス 2015年3月5日.
- ・ Japan Ocean Development Construction Association, Inc (2002) : Horns Rev. Vestas, PPT資料.
- ・ 加藤史訓 (2005) : 海象年表 25 年統計. 国土技術政策総合研究所資料, No. 274, 国土交通省 国土技術政策総合研究所.
- ・ 海洋調査協会 (2004) : 海洋調査技術マニュアル-海洋地質調査編-第 2 版
- ・ 海洋調査技術マニュアル-水質・底質調査編-第 1 版.
- ・ 環境省総合環境政策局環境影響評価課 (2012) : 環境アセスメント制度のあらまし.
- ・ 環境省 (2014) : 地域における再生可能エネルギー事業の事業性評価等に関する手引き (事業者向け) ~太陽光発電事業編~.
- ・ 環境省 (2016) : 地域における再生可能エネルギー事業の事業性評価等に関する手引き (金融機関向け) ~風力発電事業編~Ver1.2.
- ・ 川合英夫編 (1991) : 流れと生物と. 水産海洋特論. 京都大学学術出版会.
- ・ 経済産業省 (2012) : 地域間連系線等の強化に関するマスタープラン研究会中間報告 (平成 23 年 4 月) .
- ・ 経済産業省商務流通保安グループ電力安全課 (2016) : 風力発電設備の定期検査制度について. 産業構造審議会保安分科会電力安全小委員会 (第13回資料) ,
http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/hoan/denryoku_anzen/pdf/013_01_00.pdf,
アクセス2017年2月7日.
- ・ 経済産業省商務流通保安グループ電力安全課 (2017) : 発電所に係る環境影響評価の手引.
- ・ Kellner, J. (2008) : Latest developments in offshore wind measurements in the North Sea. Hamburg Offshore Wind conference 2008.
- ・ 菊地由佳、石原孟 (2014) : エンジニアリングモデルを用いた着床式洋上ウインドファーム建設費の評価と実データによる検証. 日本風力エネルギー学会論文集, 38(2), 36-43.
<http://windeng.t.u-tokyo.ac.jp/ishihara/>, アクセス 2015年1月3日.
- ・ 菊地由佳、石原孟 (2015) : 気象・海象シミュレーションを利用した洋上風力発電所の施工稼働率の評価. 日本風力エネルギー学会論文集, Vol.39, No.2, pp.23-30.
- ・ Klaus, W. (2010) : The Base of Power. -Gravity Foundation System for Offshore Wind-. Hamburg Offshore Wind Conference.
<http://www.gl-group.com/pdf/100505-06-CAn-GL-Hamburg-OW-conf-1.pdf>, アクセス 2015年3月5日.

- ・国土交通省港湾局・環境省地球環境局（2012）：港湾における風力発電について－港湾の管理運営との共生のためのマニュアル－ver. 1.
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/windport/man_harbor/manual.pdf, アクセス 2015年3月21日.
- ・国土交通省港湾局（2015）：港湾における洋上風力発電施設等の技術ガイドライン（案）.
<http://www.mlit.go.jp/common/001084179.pdf>, アクセス 2015年4月26日.
- ・国土交通省港湾局（2016）：港湾における洋上風力発電の占用公募制度の運用指針 Ver.1.
- ・古南幸弘（2008）：「風力発電と野鳥への影響評価」, 野鳥と風力発電・ワークショップ資料集, 野鳥保護資料集第2.3集, (財)日本野鳥の会, 7-16.
- ・Koschinski, S., B. M. Culik, O. D. Henriksen, N. Tregenza, G. Ellis, C. Jansen, G. Kathe
 (2003) : Behavioural reactions of free-ranging porpoises and seal to the noise of a simulated 2MW windpower generator. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 265, 263-273.
<http://www.int-res.com/articles/meps2003/265/m265p263.pdf>, アクセス 2015年3月5日.
- ・Kotsonis, T. (2010) : Offshore Wind Parks Availability and Maintenance Model.
 National Technical University of Athens, Carl von Ossietzky University of Oldenburg.
- ・構造計画研究所、北拓、UL Japan（2016）：平成27年度未利用エネルギー等活用調査（風力発電設備の維持及び管理の動向調査）報告書.
- ・港湾・沿岸域における風力発電推進研究会（2005）：港湾・沿岸域における風力発電推進に関する研究.
- ・Langston, R. H. W. (2010) : Offshore wind farms and birds. Round 3 zones, extensions to Round 1 & Round 2 sites & Scottish Territorial Waters. (洋上風力発電と鳥類 英国のラウンド3計画域、ラウンド1・2計画地の拡張とスコットランド領海域開発について) . 野鳥と洋上風力発電－影響とその評価. 日本野鳥の会, 野鳥保護資料集 第28集, 7-36.
- ・Lidell, H. (2003) : Utgrunden off-shore wind farm : Measurements of underwater noise. Technical report prepared for Airicole, GE Wind Energy and SEAS/Energi/E2 by Ingemansson Technology AB, Goteborg, Sweden.
https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Utgrunden_Underwater_Noise_2003.pdf, アクセス 2017年3月2日.
- ・Lindvig, K. (2009) : New Installation and Service Logistic for Par-distant Wind Farms Offshore. Hunburg Offshore Wind . A2SEA.
http://www.gl-group.com/pdf/06_2009.05.12_Hamburg_Offshore_Wind_2009.pdf, アクセス 2015年4月29日.
- ・Lindvig, K. (2010) : The installation and servicing of offshore wind farms. European Forum for Renewable Energy Source.
- ・Lindvig, K. (2011) : Offshore Wind Turbines. Danish Know How. A2SEA.
<http://www.skibstekniskelskab.dk/public/dokumenter/Skibsteknisk/Download%20materiale/2011/Offshore%20Wind%20Turbines/Kaj%20Lindvig%20A2SEA.pdf>, アクセス 2015年4月29日.

- López, J. A. , P. P. C. Izquierdo, A. G. Andreu, A. R. López (2010) : Offshore Access : A key driver to increase Offshore Wind Farms Efficiency. EWEA2010.
- MacAskill,A. (2007) : Beatrice Windfarm Demonstration Project.Part of the European DOWNVInD Programme, TALISMAN ENERGY.
- Madsen,P.S. (1996) : Tunoe Knob Offshore Wind Farm. EUWEC,1996,4-7.
- Madsen, P. T. , M. Wahlberg, J. Tougaard, K. Lucke, P. Tyack (2006) : Wind turbine underwater noise and marine mammals : implications of current knowledge and data needs. Mar. Ecol. Prog. Ser. , 309, 279-295.
http://marinebioacoustics.com/files/2006/Madsen_et_al_2006a.pdf,アクセス 2017 年 3 月 2 日.
- 前田修、助川博之、福本幸成 (2013) : わが国初の沖合洋上風力発電所の施工. 電力土木, No. 366, 1-4.
- Matthies, H. G. , C. Nath, T. E. Schellin, A. D. Garrad, M. A. Wastling, D. C. Quarton, J. Wei, M. Scherweit and T. Siebers (1995) : Study of Offshore Wind Energy in the EC. JOULE I (JOUR 0072) Verlag Natürliche Energie, Brekendorf.
- 松浦正浩 (2012) : 洋上風力発電と地域・漁業の共生に関する提言. 洋上風力発電と地域・漁業の共生に関する円卓会議 (<http://洋上風力.jp/>) .
- MECAL (2014) : Japanese Offshore Foundations. 日本風力発電協会資料.
- Melgaard, P. (2014) : Contract Strategies & Risk and Interface Management in Offshore Wind Farm Construction. 第 1 回洋上風力発電セミナー-欧州におけるリスクマネジメント最新情報-. 主催 豊通インシュアランスマネジメント株式会社, 29-54.
- 宮原猛省、牧野文彦、前田修、福本幸成 (2014) : 銚子沖の洋上風力発電に係る環境影響調査. 第 36 回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集,229-232.
- 水上貴央 (2016) : 再生可能エネルギービジネスの法律と実務. 日本加除出版.
- Moeller & Groenborg AS (1998) : Vindmoellepark pa Middelgrundten II. Koebenhavns Belysningsvaesen.
- Mortensen,A.,S.Vincent,W.T.Tung,M.I.Georgieva (2011) : Safe working environment when loading and installing offshore wind turbines from a large JU vessel.EWEA OFFSHORE 2011, Amsterdam, The Netherlands, Poster Session, PO251.
- Nachtigall, P. E. , A. Y. Supin, J. Pawloski and W. W. L. Au (2004) : Temporary threshold shifts after noise exposure in the bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) measured using evoked auditory potentials. Marine Mammal Science, 20(4), 673-687.
- 永井紀彦 (2002) : 風力エネルギー活用の観点から見た沿岸域洋上風の特徴. 港湾空港技術研究所資料, No. 1034, (独)港湾空港技術研究所, 1-34.
- 永井紀彦 (2002) : 全国港湾海洋波浪 30 年統計 (NOWPHAS1970-1999 年) . 港湾空港技術研究所資料, No. 1035, (独)港湾空港技術研究所.
- 長井浩、中尾力 (2004) : 地理情報システムを用いた洋上風力発電賦存エネルギー量の推定.第 26 回風力エネルギー利用シンポジウム,日本風力エネルギー協会,291-294.

- 中村充 (1979) : 流れ環境から見る人工魚礁. 水産土木, 15(2), 5-12.
- 中尾徹 (2007) : 洋上風力国際会議を知見として 洋上風力発電の環境影響と評価. 風力エネルギー, 31(2), 86-96.
- 中尾徹 (2014) : 洋上風力発電のプロジェクトリスク. 一般社団法人日本風力発電協会, JWPA, 第10号, 90-93.
- 中山和人 (2016) : 再エネ特措法の改正と洋上風力発電への実務影響. 環境管理, 2016年6月号, 42-46.
- 奈良長寿 (2012) : 洋上風力開発と漁業対策 (英国). 海外電力, 2012. 7, 32. 39.
- Navingo BV (2013) : offshore WIND.vol IV,No4,OCTOBER2013.
- Nedwell, JR. and D.Howell (2004) : A review of offshore windfarm related underwater noise sources. Report No.544 R 0308,COWRIE.
<http://www.subacoustech.com/information/downloads/reports/544R0308.pdf>, アクセス 2015年1月3日.
- Nedwell, J. R., Turnpenny, A. W. H., Lovell, J., Parvin, S. J., Workman, R., Spinks, J. A. L. and Howell, D. (2007a) . A validation of the dBht as a measure of the behavioural and auditory effects of underwater noise. Subacoustech Report Reference : 534R1231, Published by UK Government Department of Business, Enterprise and Regulatory Reform.
<http://www.subacoustech.com/information/downloads/reports/534R1231.pdf>, アクセス 2015年1月3日.
- Nedwell, JR., S.Parvin, B.Edwards, R.Workman, A.Brooker and J.Kynoch (2007b) : Measurement and interpretation of underwater noise during construction and operation of offshore windfarms in UK waters.COWRIE Noise-03-2003.
<https://www.thecrownstate.co.uk/media/5985/km-ex-pc-noise-122007-measurement-and-interpretation-of-underwater-noise.pdf>, アクセス 2017年3月4日.
- Nedwell, J. R., Brooker, A. G., Cummins, D. and Barham, R. (2009) . Underwater Noise Impact Modelling in Support of the Dudgeon Offshore Wind Farm. Subacoustech Report E200R0120 report prepared as Appendix 3.1 of Dudgeon Offshore Wind Farm Environmental Statement.
- Nehls, G., Betke, K., Ecklmann, S. and Ros, M. (2007) : Assessment and costs of potential engineering solutions for the mitigation of the impacts of underwater noise arising from the construction of offshore windfarms. COWRIE Report Reference : COWRIE ENG-01-2007.
<https://www.thecrownstate.co.uk/media/5886/ei-km-ex-pc-noise-092007-assessment-costs-potential-engineering-solutions-for-mitigation-of-impacts-underwater-noise-arising-from-construction-offshore-windfarms.pdf>, アクセス 2017年3月4日.
- 日本電気協会発変電専門部会 (2017) : 風力発電設備の定期点検指針 (電気技術指針発変電編) JEAG5005-2017.
- 日本風力エネルギー学会監訳 (2011) : 洋上風力発電. 鹿島出版会.

- (Ed. Twidell, J. and G. Gaudiosi (2009) : Offshore Wind Power, Multi-Science Publishing Co. Ltd)
- 日本風力発電協会 (2013) : 広域運用による平滑化効果と系統連系可能量拡大策.2012 年度 JWPA 活動成果発表会資料 23-34.
 - 日本風力発電協会系統部会 (2016) : 系統部会成果報告 (風力発電所の出力制御方法について) .
 - 日本産業機械工業会 (2010) : 欧州における洋上風力発電の現状 (その 2) . 情報報告 ウィーン, 日本産業機械工業会, 海外情報, 35-61. <http://www.jsim.or.jp/kaigai/1010/002.pdf>, アクセス 2015 年 1 月 3 日.
 - 日本プラントメンテナンス協会 機械保全技能ハンドブック編集委員会編 (1999) : 新機械保全技能ハンドブック 基礎編①. 日本プラントメンテナンス協会.
 - 日本船舶技術研究協会 (2013) : 我が国における洋上風車設置船・作業船の在り方について基礎検討調査報告書.
 - Nordex (2011) : From 1st to efficiency generation. EWEA Offshore 2011, New Big Turbine Concept, 1-15.
 - 小倉通男 (1994) : 人工魚礁と魚-II. -近年における人工魚礁等に関する研究-. (株) 小野田.
 - 岡野雅史 (2010) : 洋上風力発電の設置工事について.第 11 回風力エネルギー利用総合セミナーテキスト,足利工業大学総合研究センター,1-96~1-113.
 - 大澤輝夫 (2005) : 台風時における沿岸海上風の推定手法. 日本風工学会誌, Vol.32, pp.178-185.
 - Patrick Mengé, Nathalie Gunst (2008) : Gravity Base Foundations for the Wind Turbines on the Thorntonbank – Belgium. 15^{de} Innovatieforum Geotechniek, http://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=services&doc=pdf_9_Tekst_DEME_Thorntonbank.pdf&lang=nl, アクセス2017年3月3日.
 - Peire, K., H. Monneman and E. Bosschem (2009) : Gravity Base Foundations for the Thornton Bank Offshore Wind Farm. Terra et Aqua, No. 115, 19-29. <https://www.iadc-dredging.com/ul/cms/terraetaqua/document/2/5/8/258/258/1/article-gravity-base-foundations-for-the-thornton-bank-offshore-wind-farm-terra115-3.pdf>, アクセス 2015 年 1 月 3 日.
 - Petterson, J. (2005) : The impact of offshore wind farms on bird life in Southern Kalmar Sound, Sweden, Report to Swedish Energy Agency. https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/The_Impact_of_Offshore_Wind_Farms_on_Bird_Life.pdf,アクセス 2017 年 3 月 4 日.
 - Rispens,J.,S.Scheicher,M.Franken,J.Meier,V.Haye and M.Müller (2007) : OFFSHORE windenergie, Das Magazine der Windenergie-Agentur Bremerhaven/Bremen e.V. wab windenergie agentur.
 - Prior, A. and J. Shrimpton (2009) : Offshore foundation selection : designing out the marine mammal challenge?. PMSS, 35-37.

- Robertson, J. (2008) : Mass manufacturing creating a sustainable industry. Perfect know-HOW! Hamburg Offshore Wind conference. 23-24 Sept. , 2008, Germanischer Lloyd.
- Rogers, T., M. Yong, K. Briggs, G. Randall and H. Hughes (2011) : Remote Sensing on Moving Offshore Platforms. EWEA Offshore 2011, Poster No. 327.
- 佐藤任弘 (1970) : 海洋と大陸棚. 海洋開発シリーズ10, 佐々木忠義監修, 共立出版.
- 佐藤修 (1977) : 人工魚礁に関する諸問題. 沿岸海洋研究ノート, 14 (1, 2) , 88-100.
- SeaRoc (2014) : Offshore Windfarms-The Complete Lifecycle-.
- Scheper, J. G. , A. Curvers, S. Oerlemans, K. Braun, T. Lutz, A. Herring, W. Wuerz, A. Mantesang, L. Garcillan and M. Fischer (2007) : SIROCCO : Silent Rotors by Acoustic Optimisation. Second International Meeting on Wind Turbine Noise Lyon, France, 20-2. 1 Sept. , 2007, 1-2.
- Sharama, J. (2011) : Risk mitigation for offshore wind farms. EWEA Offshore 2011, Poster No. 58.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (2003) : 風力発電システム導入のための風況予測手法に関する検討.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 、日本風力発電協会、芙蓉海洋開発、イー・ネクスト、ウインド・エナジー、ネクストエナジー (2007) : 洋上風力発電導入のための洋上風況精査に関する調査報告書.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 、イー・アンド・イー ソリューションズ、風力エネルギー研究所、日本電機工業会 (2007) : 洋上風力発電導入のための技術的課題に関する調査報告書.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (2008) : 風力発電導入ガイドブック (2008年2月改訂第9版) .
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 、イー・アンド・イー ソリューションズ、風力エネルギー研究所、ネクストエナジー (2008) : 平成19年度 洋上風力発電実証研究 F/S に係る先行調査報告書.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 、東京電力、東京大学、鹿島建設 (2009a) : 平成20年度 洋上風力発電実証研究 F/S 調査報告書.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 、電源開発 (2009b) : 平成20年度 洋上風力発電実証研究 F/S 調査報告書.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (2010) : 次世代風力発電技術研究開発(自然環境対応技術等(故障事故対策)) (風力発電故障・事故調査委員会) .
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 、東洋設計 (2012) : 次世代風力発電技術研究開発(自然環境対応技術等(落雷保護対策)) . NEDO 自然エネルギー成果報告シンポジウム 2012, -風力・熱エネルギー・海洋エネルギー-, 平成23年11月5日/6日, 東京大学武田先端知ビル, 131-141.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 、国際航業、東洋設計 (2013) : 風力等自然エネルギー技術研究開発 海洋エネルギー技術研究開発 地域協調型海洋再生可能エネルギー

- ギー利用に関する検討 報告書.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)、名古屋大学、三井物産戦略研究所、日本気象協会 (2015) : 風力等自然エネルギー技術研究開発 洋上風力発電等技術研究開発 地域共存型洋上ウィンドファーム基礎調査.
 - 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 (2014) : 洋上風力の調達価格に係る研究会 取りまとめ報告書.
http://www.meti.go.jp/committee/shotatsu_kakaku/pdf/012_03_00.pdf, アクセス 2014年12月31日.
 - SMRU Ltd (Sea Mammal Research Unit) (2007) : Assessment of the potential for acoustic deterrents to mitigate the impact on marine mammals of underwater noise arising from the construction of offshore windfarms. Commissioned by COWRIE Ltd (project reference DETER-01-07) .
 - Southall, B.L., Bowles, A.E., Ellison, W.T., Finneran, J.J., Gentry, R.L., Greene, C.R., Kastak, D., Ketten, D.R., Miller, J.H., Nachtigall, P.E., Richardson, W.J., Thomas, J.A., Tyack, P.L. (2007) : Marine Mammal Noise Exposure Criteria : Initial Scientific Recommendations. *Aquatic Mammals* 33,411-522.
 - 菅原一旻、佐藤和敏、永井紀彦、川口浩二 (1999) : 全国港湾海洋気象観測施設台帳 (ナウファス施設台帳Ⅲ) . 港湾技研資料 No. 941, 運輸省港湾技術研究所.
 - 杉本悟史・近澤昌寿 (1980) : 気象庁沿岸波浪観測に基づく日本沿岸の波浪特性の調査. 測候時報, 第 75 卷 特別号, S77-S95.
 - 田口一夫、田畑雅洋 (2001) : 海洋計測工学概論【改訂版】.成山堂書店.
 - 種本純、石原孟 (2013a) : 熱帯低気圧に伴う風速場の予測手法に関する研究.日本風力エネルギー学会論文集, Vol.37, No.3, pp.47-54.
 - 種本純、石原孟 (2013b) : メソスケールモデルと台風モデルの合成風速場を用いた極値波高予測に関する研究.第 35 回風力エネルギー利用シンポジウム, 予稿集, pp.391-394.
 - 種本純、石原孟 (2014) : 波浪推算モデルと合成風速場を用いた風波とうねりの数値予測.Vol.38, No.4, pp.124-131.
 - Tavner, P. J., J. P. Xiang and F. Spinato (2007) : Reliability analysis for wind turbines. *Wind Energy*, 10(1), 1-18.
 - Tavner, P. J. (2014) : How monitoring improves reliability & availability of offshore wind turbines & lowers Cost of Energy. 次世代風力発電システムの創成寄付講座 第 2 回シンポジウム, 洋上風力発電ワークショップ 4、10-38.
 - The Crown Estate (2010) : A Guide to an Offshore Wind Farm. BVGassociates.
<https://www.thecrownestate.co.uk/media/5408/ei-a-guide-to-an-offshore-wind-farm.pdf>, アクセス 2017年3月7日.
 - The Crown Estate (2012) : Offshore Wind Cost Reduction Pathways study.
<http://www.thecrownestate.co.uk/media/5493/ei-offshore-wind-cost-reduction-pathways-study.pdf>, アクセス 2014年12月31日.

- Thomsen, F. , K. Ludermann, R. Kafemann and W. Piper (2006) : Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish. CWRIE.
<https://www.thecrownestate.co.uk/media/5935/km-ex-pc-noise-062006-effects-of-offshore-windfarm-noise-on-marine-mammals-and-fish.pdf> ,アクセス 2017 年 3 月 4 日.
- 辻本勝、石田茂資 (2016) : 日本近海の波と風データベース.海上技術安全研究報告 第 15 巻 第 4 号 特集号,437-447.
- Tucker, U. A. (1996) : A Mathematical Model of Bird Collision with wind Turbine Rotors. Journal of Solar Engineering, Nov. Vol. 118, 253-269.
http://www.altamontsrc.org/alt_doc/vance_tucker_rsa_published_papers.pdf,アクセス 2014 年 12 月 31 日.
- 内田行宣 (2014) : マリンワランティサーベイによる洋上風力発電のリスク管理.風力エネルギー,Vol.38,No.4,pp480-483.
- 宇田道隆 (1961) : 海洋漁場学. 恒星社厚生閣.
- Ummels, B. , G. Hulscher, A. Crockford and J. Coelingh (2011) : Offshore Wind Project Risks : Experience, Assessment and Reduction. EWEA Offshore 2011.
- U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service (2016) : Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing.
http://www.nmfs.noaa.gov/pr/acoustics/Acoustic%20Guidance%20Files/opr-55_acoustic_guidance_tech_memo.pdf,アクセス2017年2月8日.
- Vanermen, N. and E. Stienen (2009) : Seabirds and offshore wind farms : monitoring results 2008. offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea, State of the art after two years of environmental monitoring. in Degraer and R. Brabant (eds.) , Royal Belgian Institute for National Sciences Management Unit of the North Sea Mathematical Models Marine Ecosystem Management Section (MUMM) , 151-221.
- Vattenfall (2008) : Technical Description Lillgrund Wind Power Plant. Energimyndigheten.
https://corporate.vattenfall.se/globalassets/sverige/om-vattenfall/om-oss/var-verksamhet/vindkraft/lillgrund/technical_description_lillgrund_11336934.pdf,アクセス 2017 年 3 月 7 日.
- van Kuik, G., Ummels, B. and Hendriks, R. (2006) : Advances in New and Sustainable Energy Conversion and Storage Technologies, Perspectives of Wind Energy, Invited Paper at the IUC Conf., Dubrovnik.
- Vestas Wind Systems A/S (2007) : Wind, wind turbine and Vestas. Agenda Japan Wind Power Association, Hamburg.
- von der Veen,M.,E.van der Brug,M.der Bergen,D.van Griethuysen,K,Adelaar and J.Blokland (2011) : Drilled Monopile Foundations Environmental Friendly Robust and Cost Efficient. Ballast Nedam Offshore, EWEA Offshore 2011 Poster No.141.

- Wartzok, D., C. Erbe, W. M. Getz and J/Thomas (2012) : Marine Mammal Acoustics Exposure Analysis Models Used in US Navy Environmental Impact Statements. *in* Popper, A. N. and A. Hawkins (eds.) The Effects of Noise on Aquatic Life. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 730, Springer Science, 551-556.
- Weserburg, H. (1999) : Impact Studies of Sea-Based Windpower in Sweden. Pres. At : Technische Eingriffe in marine Lebensraume, Bundesamt für Naturschutz, Internationale Naturschutzakademie, Insel Viilm.
- Weston, D. (2014) : Suction bucket foundation at Borkum Riffgrund 1 Windpower Monthly 2014/8/29, <http://www.windpowermonthly.com/article/1309895/gallery-suction-bucket-foundation-borkum-riffgrund-1>, アクセス 2015 年 1 月 14 日.
- White Consultants (2009) : Offshore Energy Strategic Environmental Assessment (SEA) Seascape Study - WORKING PAPER.
- Wiggelinhuizen, E., S. Barhorst and H. den Boon (2006) : Bird Collision Monitoring System for Multi-Megawatt Wind Turbines WT-Bird. ECN-E-06-027. <https://www.ecn.nl/publications/ECN-E--06-028>, アクセス 2015 年 3 月 5 日.
- Willis, M. (2014) : Through Life Asset Management-the 3 A' s. LSC Group Ltd., International Onshore and Offshore Wind O&M Forum, Hamburg.
- 山田格、天野雅男監訳 (1996) : ストランディング・フイールドガイド 海の哺乳類. 海遊舎発行. (Geraci, J. R. and V. J. Lounsbury (1996) : *Marine Mammals Ashore A Field Guide for Strandings.*) .
- 吉田英可 (2011) : 53 スナメリ日本周辺. 国際漁業資源の現況-平成 23 年度現況-. FRA. http://kokushi.fra.go.jp/H23/H23_53.pdf, アクセス 2017 年 3 月 8 日.
- 吉田健治、牛揚明、大本晋士郎 (2010) : 洋上風力発電所モノパイル基礎の設計と施工について. 土木学会年次学術講演会講演概要集, 65, VI-475. 949-950. <http://www.jsce.or.jp/library/open/proc/maglist2/00035/2010/06/mg05.htm>, アクセス 2015 年 1 月 8 日.
- 洋上風力発電所等に係る環境影響評価の基本的な考え方に関する検討会 (2017) : 洋上風力発電所等に係る環境影響評価の基本的な考え方に関する検討会報告書.
- 由井正敏、島田泰夫 (2013) : 球体モデルによる風車への鳥類衝突数の推定法. 総合政策, 15(1), 1-17. http://ci.nii.ac.jp/els/110009646348.pdf?id=ART0010119707&type=pdf&lang=jp&host=ci.nii&order_no=&ppv_type=0&lang_sw=&no=1489716431&cp=, アクセス 2017 年 3 月 8 日.
- 全国漁業協同組合連合会 (1977) : 日本近海底質図.

参考となる資料

【一般図書および教科書】

- ・ 足立芳寛 (1997) : 「新エネルギー技術入門」、オーム社
- ・ 荒川正一 (2000) : 「局地風のいろいろ」、成山堂書店
- ・ 飯田睦治郎 (1980) : 「新しい気象学入門」、講談社
- ・ 石原孟監訳 (2012) : 「風力発電出力の短期予測」、オーム社
- ・ 井田均 (1994) : 「カリフォルニアに風力発電が多い理由 - 自然エネルギー大国への道」
- ・ 伊藤学 (1997) : 「風のはなし (I)」、技報堂
- ・ 伊藤学 (1992) : 「風のはなし (II)」、技報堂
- ・ 岩本晃一 (2012) : 「洋上風力発電 次世代エネルギーの切り札」、日刊工業新聞社
- ・ 牛山泉 (1999) : 「さわやかエネルギー風車入門 改訂版」、三省堂
- ・ 牛山泉 (1997) : 「さわやかエネルギー風車入門」、三省堂
- ・ 牛山泉 (2004) : 「やさしい風・風車・風力発電の話」、合同出版
- ・ 牛山泉・日本自然エネルギー (2005) : 「風力発電マニュアル 2005」、エネルギーフォーラム
- ・ 牛山泉 (2005) : 「風力エネルギーの基礎」、オーム社
- ・ 牛山泉 (2008) : 「風と風車の話」、成山堂
- ・ 牛山泉 (2010) : 「トコトンやさしい風力発電の本」、日刊工業
- ・ 牛山泉 (2012) : 「風力発電が世界を救う」、日本経済新聞出版社
- ・ 牛山泉 (2013) : 「風力発電の歴史」、オーム社
- ・ 牛山泉 (2013) : 「風車工学入門 第2版 基礎理論から運用のノウハウまで」、森北出版
- ・ 牛山泉編 (2005) : 「風力エネルギー読本」、オーム社
- ・ 牛山素行 (2000) : 「身近な気象・気候調査の基礎」、古今書院
- ・ 小沢行雄・吉野正敏 (1965) : 「小気候調査法」、古今書院
- ・ 小倉義光 (1999) : 「一般気象学」、東京大学出版会
- ・ 塩谷正雄 (1979) : 「強風の性質-構造物の耐風設計に関連して-」、開発社
- ・ 資源エネルギー庁 (1999) : 「新エネルギー便覧 平成10年度版」
- ・ 清水幸丸 (1999) : 「風力発電技術 (改訂版)」、パワー社
- ・ 清水幸丸 (1999) : 「自然エネルギー利用学 (改訂版)」、パワー社
- ・ 関和市、池田誠 (2002) : 「風力発電 Q&A」、学献社
- ・ 高田吉治 (2015) : 「風力発電設備と雷-その影響と対策-」、成山堂書店
- ・ 竹内清秀 (1997) : 「風の気象学」、東京大学出版会
- ・ 中村和郎 (1991) : 「雲と風を読む」、岩波書店
- ・ 日本風力エネルギー学会監訳 (2011) : 「洋上風力発電」、鹿島出版会
(Ed. Twidell, J. and G. Gaudiosi (2009) : Offshore Wind Power, Multi-Science Publishing Co. Ltd)
- ・ 日本風力エネルギー学会翻訳 (2012) : 「風力発電の系統連系～欧州の最前線～」、日本風力エネルギー学会
- ・ 日本風力エネルギー学会翻訳 (2013) : 「風力発電導入のための電力系統工学」、オーム社

- ・根本順吉 他 (1982) : 「図説 気象学」、朝倉書店
- ・野村卓史 (2002) : 「風車のある風景」、出窓社
- ・廣田勇 (1992) : グローバル気象学、東京大学出版会
- ・堀口郁夫・小林哲夫・塚本修・大槻恭一編著 (2004) : 「局地気象学」、森北出版
- ・本間拓也編 (1979) : 「風力エネルギー読本」、オーム社
- ・前田以誠 (1999) : 「風力発電ビジネス最前線」、双葉社
- ・真木太一 (1987) : 「風害と防風施設」、文永堂出版
- ・松宮輝 (1998) : 「ここまできた風力発電 改訂版」、工業調査会
- ・松宮輝 (2012) : 「風力発電 挑戦から未来へ 原発事故後のエネルギー」、東洋書店
- ・松本文雄 (2002) : 「風・風車の Q&A120」、パワー社
- ・光田寧 (1988) : 「気象のはなし I」、技報堂出版
- ・光田寧 (1988) : 「気象のはなし II」、技報堂出版
- ・宮沢清治 (1982) : 「現代の気象テクノロジー3」、朝倉書店
- ・村原正隆、関和市 (2007) : 「“風力よ” エタノール化からトウモロコシを救え」、パワー社
- ・安田陽 (2013) : 「日本の知らない風力発電の実力」、オーム社
- ・吉野正敏 (1986) : 「新版 小気候」、地人書館
- ・吉野正敏 (1978) : 「気候学 (自然地理学講座 2)」、大明堂

【辞典、ハンドブック、マニュアル類】

- ・浅井富雄、内田英治、河村武 (1999) : 「気象の事典」、平凡社
- ・牛山泉、三野正洋 (1980) : 「小型風車ハンドブック」、パワー社
- ・NHK放送文化研究所 (1995) : 「気象ハンドブック」
- ・エネルギー・資源学会 (1997) : 「エネルギー・資源ハンドブック」、オーム社
- ・エネルギー変換懇話会翻訳 (2007) : 「エネルギー用語辞典」、オーム社
- ・茅陽一監修 (2003) : 「新エネルギー大事典」、工業調査会
- ・環境庁企画調整局地球環境部 (1997) : 「風力発電導入マニュアル」
- ・気象庁 (1993) : 「日本気候図 1990 年版」
- ・気象庁 (1993) : 「地上気象観測指針」
- ・新エネルギー財団 (1998) : 「風力発電システム導入促進検討の手引き」 (1998)
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構、千代田デイムス・アンド・ムーア (1995) : 「平成 6 年度風況精査手法のマニュアル作成調査」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (1997) : 「風況精査手法のマニュアル (概要版)」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (2000) : 「風力発電システムの設計マニュアル」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (2003) : 「風力発電システム導入のための風況予測手法に関する検討」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (2006) : 「高所風況精査マニュアル」

- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）（2006）：「風力発電のための環境影響評価マニュアル（第2版）」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）（2010）：「NEDO 再生可能エネルギー技術白書」、エネルギーフォーラム
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、東洋設計（2012）：「次世代風力発電技術研究開発（自然環境対応技術等（落雷保護対策））. NEDO 自然エネルギー成果報告シンポジウム 2012, -風力・熱エネルギー・海洋エネルギー-, 平成 23 年 11 月 5 日/6 日, 東京大学武田先端知ビル 131-141.
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）（2012）：「NEDO 再生可能エネルギー技術白書第2版」、森北出版
- ・土木学会（2007）：「風力発電設備支持物構造設計指針・同解説」
- ・土木学会（2011）：「風力発電設備支持物構造設計指針・同解説【2010年版】」
- ・日本風工学会（2007）：「風工学ハンドブック - 構造・防災・環境・エネルギー -」、朝倉書店
- ・日本気象学会（1998）：「気象学辞典」、東京書籍
- ・日本伝熱学会（1996）：「エネルギー新技術大系」、エヌ・ティー・エス
- ・吉野正敏、野口泰生（1985）：「気候学・気象学辞典」、二宮書店
- ・和達清夫（1993）：「最新 気象の事典」、東京堂出版

【調査報告書】

- ・環境省地球環境局地球温暖化対策課（2010）：「平成 21 年度 再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書」
- ・環境省地球環境局地球温暖化対策課、エックス都市研究所ら（2011）：「平成 22 年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書」
- ・環境省地球環境局地球温暖化対策課（2012）：「平成 23 年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備調査報告書」
- ・環境省地球環境局地球温暖化対策課（2013）：「平成 24 年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書」
- ・環境省地球環境局地球温暖化対策課（2014）：「平成 25 年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書」
- ・環境省地球環境局地球温暖化対策課（2015）：「平成 26 年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書」
- ・環境省地球環境局地球温暖化対策課（2016）：「平成 27 年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書」
- ・環境省自然環境局野生生物課（2011）：「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」
- ・新エネルギー財団（1997）：「新エネルギー開発利用実態調査報告書」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）（1994）：「大型風力発電システム開発調査報告書」

- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (1994) : 「風力発電フィールドテスト事業に関する可能性調査」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 、千代田デイムス・アンド・ムーア (1999) : 「日本における洋上風力発電の導入可能性調査」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (1999) : 「風力開発における環境影響評価手法調査」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (1999) : 「風力発電システムにおける落雷と対策」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (1999) : 「風力開発フィールドテスト事業における収集データ評価解析 (訂正版)」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (2000) : 「新エネルギー技術開発関係データ集作成調査 (風力発電)」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (2002) : 「風力発電フィールドテスト事業 (運転研究) の運転データ収集・解析」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (2003) : 「風力発電システムの騒音に関する検討」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (2004) : 「平成 15 年度風力発電の技術的課題に対するアクションプランの検討」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (2005-2007) : 「風力発電利用率向上調査委員会および故障・事故等調査委員会」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (2005-2007) : 「風力発電設備への落雷対策に関する調査」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 、日本風力発電協会、芙蓉海洋開発、イーネックス、ウインド・エナジー、ネクストエナジー (2007) : 「洋上風力発電導入のための洋上風況精査に関する調査報告書」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 、イー・アンド・イー ソリューションズ、風力エネルギー研究所、日本電機工業会 (2007b) : 「洋上風力発電導入のための技術的課題に関する調査報告書」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 、イー・アンド・イー ソリューションズ、風力エネルギー研究所、ネクストエナジー (2008) : 「平成 19 年度 洋上風力発電実証研究 F/S に係る先行調査報告書」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 、東京電力、東京大学、鹿島建設 (2009a) : 「平成 20 年度 洋上風力発電実証研究 F/S 調査報告書」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 、電源開発 (2009b) : 「平成 20 年度 洋上風力発電実証研究 F/S 調査報告書」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (2010) : 「次世代風力発電技術研究開発 (自然環境対応技術等 (故障事故対策) (風力発電故障・事故調査委員会)」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 、イー・アンド・イー ソリューションズ株式会社・独立行政法人海上技術安全研究所・芙蓉海洋開発株式会社 (2011) : 「風力等自然エネ

- ルギー技術研究開発 洋上風力発電等技術研究開発 浮体式洋上風力発電に係る基礎調査 調査報告書」
- ・資源エネルギー庁、千代田デイムス・アンド・ムーア（1998）：「風力発電の導入見通しの策定調査報告書」
 - ・資源エネルギー庁、千代田デイムス・アンド・ムーア（2000）：「平成 11 年度 新エネルギー等導入促進基礎調査（我が国の諸条件を考慮した風力エネルギー利用可能性に関する調査）報告書」
 - ・資源エネルギー庁、伊藤忠テクノソリューションズ（2011）：「平成 22 年度新エネルギー等導入促進基礎調査（風力エネルギーの導入可能性に関する調査）報告書」
 - ・機械振興協会 経済研究所（2011）：「風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書」
 - ・日本機械工業連合会・新エネルギー財団（2002）：「平成 13 年度国内外における風力発電導入実態調査報告書」
 - ・日本産業機械工業会（2012）：「風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書」
 - ・日本産業機械工業会（2013）：「風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書」
 - ・日本産業機械工業会（2014）：「風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書」
 - ・日本産業機械工業会（2015）：「風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書」
 - ・日本産業機械工業会（2016）：「風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書」
 - ・日本野鳥の会（2011）：「野鳥と洋上風力発電－影響とその評価」

【講演会、シンポジウム資料、協会・学会誌等】

- ・足利工業大学総合研究センター（2001-2016）：「第 1-17 回風力エネルギー利用総合セミナーテキスト」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）（2010）：「風力発電技術開発及び関連事業 成果報告会」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）（2011）：「NEDO 自然エネルギー成果報告シンポジウム 2011-風力・海洋エネルギー・太陽 FT-」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）（2012）：「NEDO 自然エネルギー成果報告シンポジウム 2012-風力・熱エネルギー・海洋エネルギー-」
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）（2013-2016）：「平成 25-28 年度 NEDO 新エネルギー成果報告 風力発電分野」
- ・東海大学総合科学技術研究所（2002）：「新エネルギー・再生可能エネルギー普及利用シンポジウム」
- ・日本風力エネルギー協会（1979-2010）：「第 1-33 回風力エネルギー利用シンポジウム 講演要旨集」
- ・日本風力エネルギー学会（2011-2016）：「第 34-38 回風力エネルギー利用シンポジウム 講演要旨集」
- ・日本風力エネルギー協会（1977-2011）：「風力エネルギー 通巻 1-97」
- ・日本風力エネルギー学会（2011-2016）：「風力エネルギー 通巻 98-118」
- ・日本風力発電協会（2006-2016）：「風の達人・風の仲間 JWPA 第 1 号-第 12 号」

- ・日本電機工業会 新エネルギー技術委員会 風力発電システム分科会 (1995) : 「第 10 回 新エネルギー講演会 資料」
- ・日本電機工業会 新エネルギー技術委員会 風力発電システム分科会 (1996) : 「第 12 回 新エネルギー講演会 資料」
- ・日本電機工業会 新エネルギー技術委員会 風力発電システム分科会 (1999) : 「第 23 回 新エネルギー講演会 資料」
- ・日本電機工業会 (2009) : 「第 54 回 新エネルギー講演会 風力発電の最新技術」
- ・日本電機工業会 (2010) : 「第 62 回 新エネルギー講演会 風力発電の拡大のための政策、技術及び関連産業」
- ・日本電機工業会 (2012) : 「第 67 回 新エネルギー講演会 日本における風力発電の導入拡大に向けてー今後の課題と震災復興への貢献ー」
- ・日本電機工業会 (2013) : 「第 73 回 新エネルギー講演会/第 1 回 風力発電関連産業セミナー 風力発電関連産業の動向」
- ・日本電機工業会 (2014) : 「第 78 回 新エネルギー講演会/第 2 回 風力発電関連産業セミナー 風力発電関連産業の動向と将来展望」
- ・日本電機工業会 (2015) : 「第 82 回 新エネルギー講演会/第 3 回 風力発電関連産業セミナー 風力発電関連産業の動向と将来への期待」
- ・日本電機工業会 (2016) : 「第 86 回 新エネルギー講演会/第 4 回 風力発電関連産業セミナー 2030 年風力発電グリッドパリティを目指して」
- ・日本海事協会 (2011) : 「洋上風力発電ワークショップ 1」
- ・日本海事協会 (2011) : 「洋上風力発電ワークショップ 2」
- ・日本海事協会 (2012) : 「洋上風力発電ワークショップ 3」
- ・日本海事協会 (2013) : 「海洋再生可能エネルギーセミナー」
- ・日本海事協会 (2014) : 「洋上風力発電ワークショップ 4」
- ・日本海事協会 (2014) : 「洋上風力発電ワークショップ 5」
- ・日本海事協会 (2015) : 「洋上風力発電ワークショップ 6」
- ・海上技術安全研究所、鉄道建設・運輸施設整備支援機構、国立環境研究所 (2004-2006) : 「第 1-3 回洋上風力発電フォーラム講演集」
- ・再生可能エネルギー協議会 (2006-2016) : 「風力エネルギーセミナー 第 1-11 回再生可能エネルギー世界展示会&国際フォーラム」