

3 第6回「オペレーション・維持管理・施設の廃棄」

北海道科学大学 名誉教授 白石 悟 氏
((一社)寒地港湾空港技術研究センター 審議役)

本日は、会場並びに WEB でご参加いただきまして、ありがとうございます。白石でございます。これより着席して説明をさせていただきます。

洋上風力発電技術セミナーも全6回の最終回となりました。今回は洋上風力発電のオペレーション、維持管理、そして洋上風力発電がその運用を終えた後の廃棄について説明したいと思います (図-3.1)。それではこれより説明させていただきます。

これは、これまでのセミナーでも示したスライドです。2050年にカーボンニュートラルを達成するため、脱炭素のための様々な取り組みが進められております。今年は、「グリーントランスフォーメーション法」、いわゆる「GX法」が成立し、これを契機に様々な施策が進められております。再生可能エネルギーの導入拡大においては、風力発電の導入が大きな推進力となると思います。とりわけ洋上風力発電は、これから増々注目されていくと思います (図-3.2)。

我が国では、海外より石油・LNG・石炭など大量の化石燃料を輸入しており、エネルギーの

国内自給率は極めて低い状況に留まっております。再生可能エネルギーの導入拡大は我が国のエネルギー自給率の大幅な向上につながります。あわせて、再生可能エネルギーの導入拡大によりCO₂を削減できるため、地球温暖化を抑止できる効果があります (図-3.3)。

まず、最初に前回の6月23日のセミナー以降の最近の話題について紹介いたします。6月23日以前のもので、前回のセミナーでは紹介できなかった話題も含まれていることを最初にお断りいたします。

環境省では、「洋上風力発電の環境影響評価制度の最適な在り方に関する検討会」を立ち上げ、5月11日に第1回の検討会を開催しまし

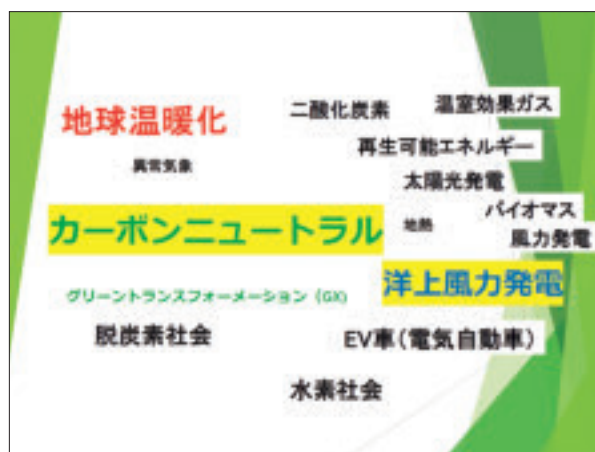


図-3.2

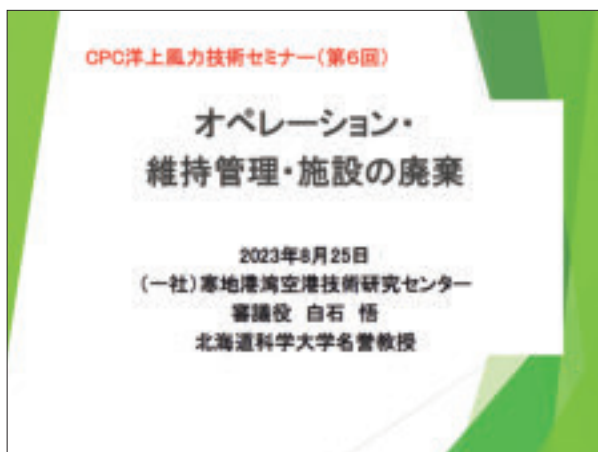


図-3.1

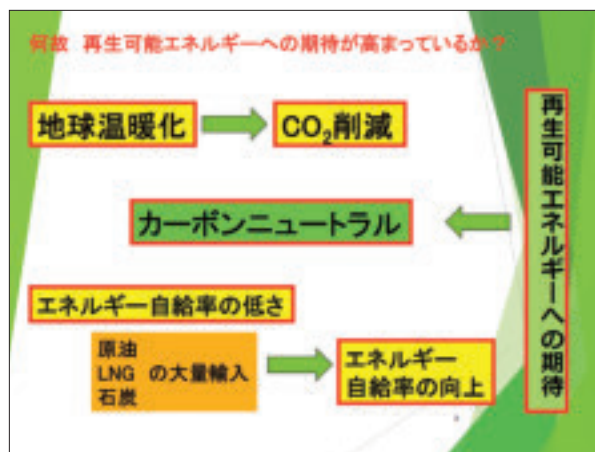


図-3.3

た。また第2回の検討会は6月1日、第3回の検討会は7月13日に開催されています(図-3.4)。これに加えて第4回の検討会が7月31日月曜日13:30~16:30で開催されています。この検討会で検討された内容については、後程具体的に紹介したいと思います。

経済産業省と国土交通省は「浮体式産業戦略検討会」を開催しております。第1回会議は6月23日に開催されました。これは、令和2年(2020年)12月に策定された「洋上風力産業ビジョン(第1次)」の後の動向をふまえ、今後、普及拡大が期待される浮体式洋上風力に係る産業の在り方を検討することを目的に設置されたものです。この会議で検討された内容は「洋上風力産業ビジョン(第2次)」として取りまとめられる予定となっております(図-3.5)。

最近の話題①
環境省
「洋上風力発電の環境影響評価制度の最適な在り方に関する検討会」を開催
(2023年5月01日報道)

2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、電源の創成高化が急となる中で、再生可能エネルギーに関しては、環境への適正な配慮を確保しつつ、地域との共生を図りながら、最大の導入を促すことが重要です。

また、規制改革実施計画(令和4年6月閣議決定)において、環境影響評価制度について、立地や環境影響などの洋上風力発電の特性を踏まえた最適な在り方を、関係府省等の連携の下検討し、速やかに結論を得ることとされています。このような背景から、「洋上風力発電の環境影響評価制度の最適な在り方に関する検討会」を公開で開催します。

第1回 令和5年5月11日(木) 14:00~16:30
第2回 令和5年6月1日(木) 14:00~16:30
第3回 令和5年7月13日(木) 13:00~15:30

引用: https://www.env.go.jp/press/press_91570.html

図-3.4

石狩湾新港の洋上風力向け作業員輸送船(CTV)である「RERAAS(レラアシ)」が運航を開始しました。このCTVは、石狩湾新港の港湾区域内に建設が進められている洋上風力発電の建設・運転・保守に従事する作業員の輸送に用いられます(図-3.6)。

風車のウェイクとは、風車背後の風の乱れと風速低下が、風下側の風車に与える影響を指します。風車のウェイクはウインドファーム全体の発電効率の低下につながります。この事業では、風車ウェイクに関する観測や評価を行うことにより、風車ウェイクについての指針を示し、ウインドファームの効率的な発電を実現することを目指しております。実際の洋上ウインドファームを用いて、風車ウェイクの実観測を実施する事業者を公募するものです(図-3.7)。

最近の話題③
石狩湾新港洋上風力発電向け作業員輸送船(CTV)「RERAAS」が運航開始
(2023年7月5日報道)

全長	: 27.8メートル
型幅	: 9.80メートル
総トン数	: 138トン
乗客定員数	: 25名
建造所	: PT Kim Seah Shipyard Indonesia (Penguin Shipyard International子会社)

洋上風力向け作業員輸送船(CTV)「RERAAS」は、石狩湾新港洋上風力発電の建設・運転・保守を行う世界的な風力タービンメーカー「Siemens Gamesa(シーメンスカメサ社)」と日本船舶の共同開発に基づき、7月4日、石狩湾新港で日本船舶からシーメンスカメサ社への引き渡しが完了。今後、本船は日本船舶グループの北洋海運株式会社シーメンスカメサ社との契約のもと、船体管理と運航を行い、保守作業に携わる作業員輸送を2月4日に開始する。本船は日本船舶グループとして保守・運航する初のCTVで、日本国内で現役運用中のCTVの中では最大の総トン数となる。

引用: https://www.nytk.com/news/2023/20230705_01.html

図-3.6

最近の話題②
経済産業省・国土交通省「浮体式産業戦略検討会」を開催
(2023年6月23日報道)

経済産業省及び国土交通省は、洋上風力発電の導入拡大に加えて、関連産業の競争力強化、国内産業振興、インフラ環境整備等の相互の「好循環」を実現するため、令和2年7月に「洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会」を設置し、同年12月に「洋上風力産業ビジョン(第1次)」を策定しました。

このビジョンにおいて、2030年までに10GW(千ガワット)、2040年までに30から45GWの案件を形成する目標を設定し、これまでに「海洋再生可能エネルギー発電設備の設置に係る海域の利用の促進に関する法律」に基づき、漂浮式洋上風力を中心に合計3.5GWの案件を創出しています。

更なる導入を図るため、今後、普及拡大が期待される浮体式洋上風力に係る産業の在り方等を検討することを目的に、有識者、業界団体、発電事業者、浮体製造事業者等から構成される「浮体式産業戦略検討会」を設置し、検討を進めます。

6月23日から、御蔵町にわたり検討会を開催したのち、官民協議会において「洋上風力産業ビジョン(第2次)」(案)を取りまとめる予定

<https://www.meti.go.jp/press/2023/06/20230623003/20230623003.html>

図-3.5

最近の話題④
風車ウェイクの実観測公募
(2023年7月6日報道)

(1) 概要
2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、洋上風力発電においては、2030年までに1,000万kW、2040年までに3,000万から4,500万kWの案件を形成するという雄大な目標が示され、洋上ウインドファームの導入拡大が進むなか、さらなる発電コストの低減が必要。

本事業では、風車ウェイクに関する観測手法の整理やウインドファームの発電効率向上に資する技術開発ニーズ等の調査を行いつつ、洋上ウインドファーム等を活用した風車ウェイクの観測、評価を実施し、日本特有の自然環境を考慮した風車ウェイク観測手法の検討等を実施することで、ウインドファームの効率的な発電を実現する一助とする。

(2) 事業期間
2023年度から2025年度

引用: https://www.nedo.go.jp/kaibo/FF2_100380.html

図-3.7

世界気象機関（WMO）は、2023年7月7日に世界平均気温が17.24℃を記録し、過去最高であった2016年8月16日の16.94℃を上回ったことを公表しました（図-3.8）。この記録の更新には人為起源の地球温暖化による気候変動とエルニーニョ現象が影響しているとされています。また、気象庁は7月の平均気温が平年を示す基準値、これは1991年から2020年までの30年間の平均であります、これを1.91℃上回り、統計を開始した1898年以降で最も高くなったことを発表しています。特に高温傾向は北日本で顕著であり、北海道では+2.9℃、東北では+2.7℃となっております。

7月14日、石狩湾新港の沖合で建設が進められている洋上風力発電所で風車タービンの設置作業が開始されました。設置工事には清水建

設所有のSEP「BIUE WIND」が使用されております（図-3.9）。

7月20日に、札幌市において北海道洋上風力フォーラム2023が開催されました。5名の発表者による基調講演と4テーマのパネルディスカッションが行われ、北海道の洋上風力発電について様々な視点からの意見が発表され、また議論されました（図-3.10）。

本日の発表内容をここに示しております（図-3.11）。本日のテーマである「オペレーション」「維持管理」「撤去」を中心に説明させていただきます。それに先立ち、着床式と浮体式の洋上風力発電の比較、環境調査、日本の電力系統の課題等についてもふれてみたいと思います。

この図は、陸上風車と洋上風車を比較したものです（図-3.12）。洋上風車では海の中で風車

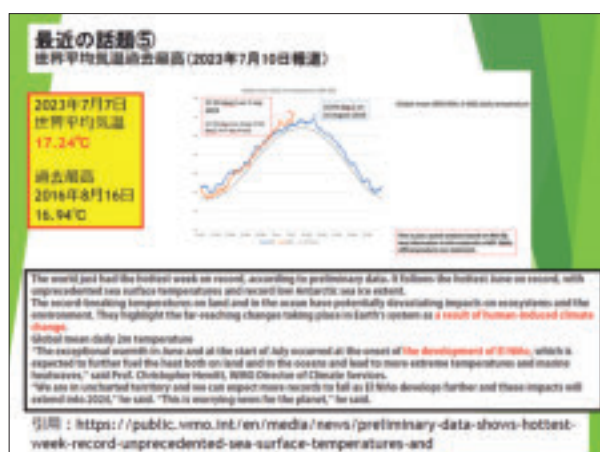


図-3.8



図-3.10



図-3.9

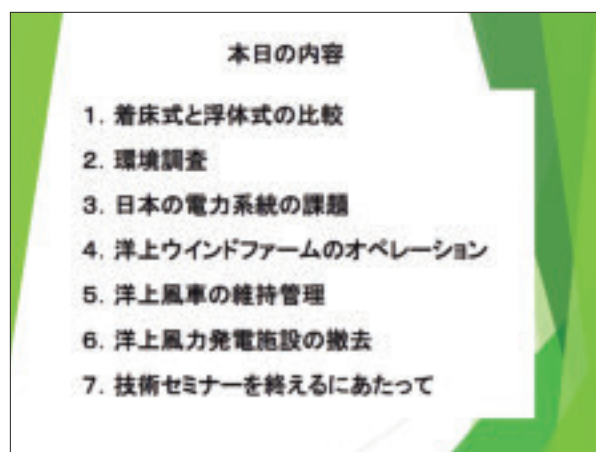


図-3.11

とタワーを支える海洋基礎が必要になります。前の3回は、この海洋基礎について、モノパイル構造・ジャケット構造、浮体構造について、構造型式別にそれぞれ説明いたしました。

今回も説明の中で発電量の単位が出てきます。風車による電力の出力の単位はkWという単位で、これを時間で積分したものがkWhという単位になります。1kWの1000倍が1MWという単位です。最近建設されている洋上風車の中心サイズは8～10MWになります(図-3.13)。今後はさらに洋上風車が大型化されることが見込まれており、15MWサイズが新たな開発の中心サイズになると思います。風車は複数基配置されるのが一般的です。風車群のかたまりはウインドファームと呼ばれます。最近の大きな開発例では1GWクラスの洋上ウ

インドファームが出現しています。1GWはkWの単位で示すと100万kWです。これは平均的な火力発電所1基の規模にほぼ相当します。

最初に、洋上風力発電について着床式と浮体式の比較について述べていきたいと思います(図-3.14)。

この図は、陸上風車と洋上風車についてその基礎構造を水深別に示しております。洋上風車を浮体で支持する構造は、モノパイル構造あるいはジャケット構造では建設が難しくなるより深い水深における支持構造として採用されております(図-3.15)。

まず、ヨーロッパと日本の沿岸海域の条件を比較してみることといたします。ヨーロッパでは、特に北海海域では遠浅の海域が広がってお

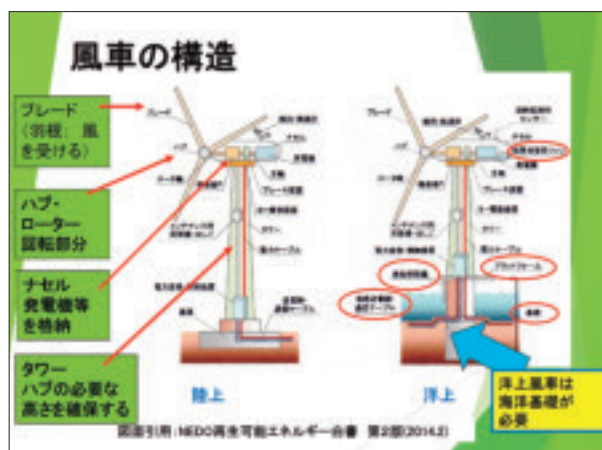


図-3.12

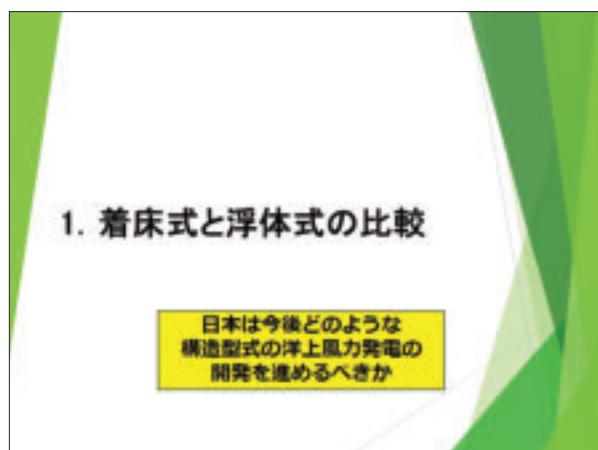


図-3.14

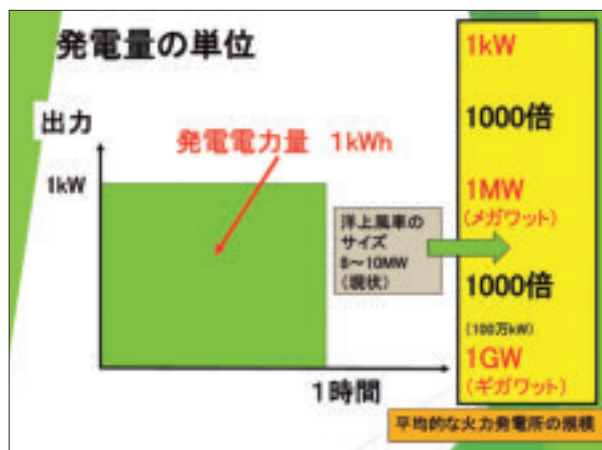


図-3.13

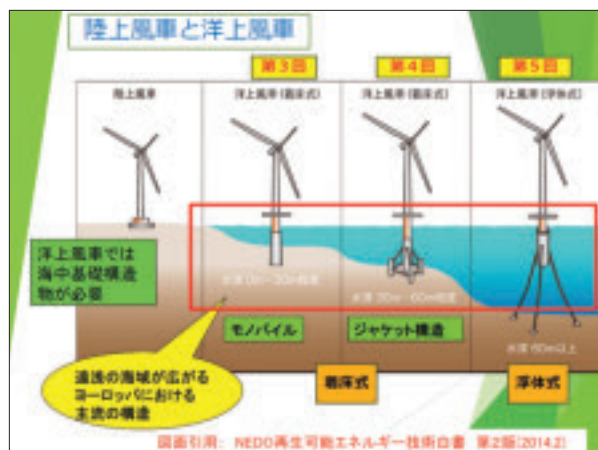


図-3.15

ります。したがって水深が約 40～50 m より浅い海域では、これまでもモノパイル方式やジャケット構造による着床式の洋上風車が数多く建設されております。一方、日本では海岸付近の水深は急深であるため着床式の洋上風車の建設は限られた場所に限定されております（図-3.16）。

この図は世界の海洋の水深分布を示しております。この図に示されるように北海海域は水深が浅く高緯度であるため強風域になっております。また、中国沿岸においても水深が浅い海域が広がっていることがわかります。したがって、これらの海域において着床式の風力発電施設が数多く建設されております（図-3.17）。

この図は日本近海の水深図を示しております。日本周辺では、水深の浅い海域は沿岸の限

定された海域のみとなっております。こうした海域ではモノパイル構造やジャケット構造による着床式の洋上ウインドファームが建設されております。EEZ を含む沖合海域では水深が深くなってしまうため、洋上風力発電を建設しようとする、スパー型、セミサブ型、TLP 型などの浮体式構造にならざるを得ません。その点が着床式の洋上風力発電の建設が進む中国とは異なる条件であることがわかります（図-3.18）。

この図は北海道周辺の水深図と年平均風速を示しています。2023 年 5 月 12 日時点では、北海道沖合では、右下の図に示すように 5 カ所が再エネ海域利用法における「有望な区域」に指定されております。今後は水深が比較的浅く、強風域が広がる留萌管内や宗谷管内などにおける洋上風力発電の開発が期待されております（図-3.19）。

洋上風車の構造型式は、図の中央に示すモノパイルあるいはジャケット構造による着床式と図の右側に示す浮体式に大別されます。着床式はモノパイル、ジャケット構造のいずれについても構造型式がほぼ確立していると言えます。一方、浮体式はこれから説明するように様々な形式が存在し、設計、建設等において、今後の技術開発の余地が残されております（図-3.20）。

この図は着床式のうち、水深が比較的浅い海域に建設されるモノパイル構造を示していま



図-3.16

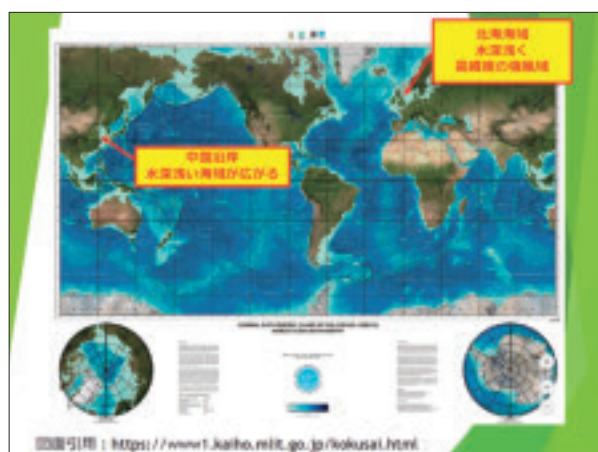


図-3.17

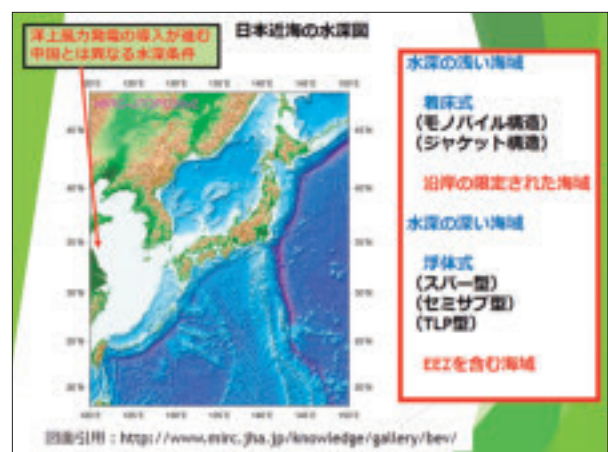


図-3.18

す。この構造では、海中に打設された一本の杭構造の上に洋上風車を建設します（図-3.21）。モノパイルの打設や洋上風車の設置には自己昇降式台船（SEP）が使用されます。

次に水深がやや深くなるとモノパイルではなくてジャケット構造の上に洋上風車を搭載する構造が採用されます（図-3.22）。ジャケット構造の建設コストは先程示したモノパイル構造に比べて一般的に高くなるため、設置水深の条件に加えて洋上風車の設置海域が高風速であることが求められます。

そして、水深がさらに深くなると着床式では建設が困難になる、あるいは着床式の建設費が高くなるため、期待される発電量と比較して、着床式では経済的に成立しなくなります。その様な海域で洋上風力発電施設を建設しようとす

ると、浮体式構造となります。浮体式構造は、水深条件等により構造型式が多様であるという特徴を有します（図-3.23）。

この図は、浮体式洋上風力発電の構造型式について代表的なものを示しております。図の左



図-3.21

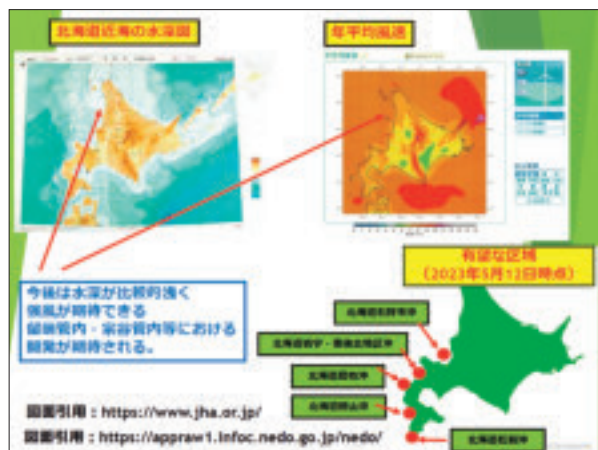


図-3.19



図-3.22

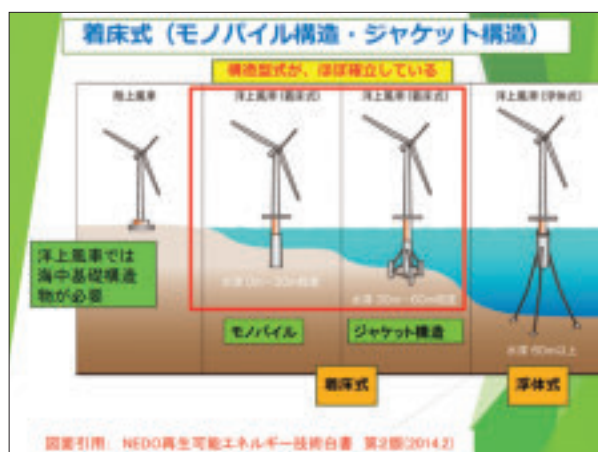


図-3.20

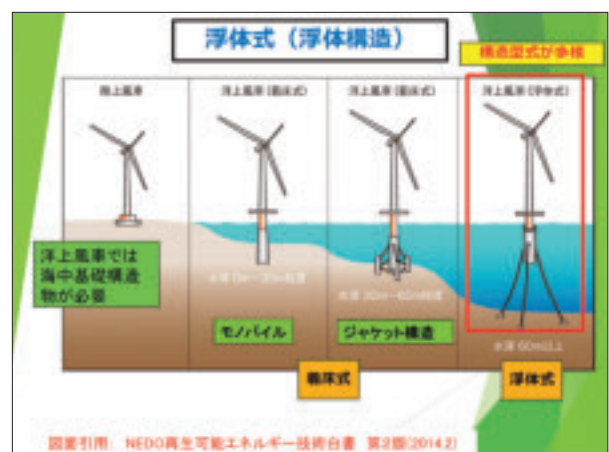


図-3.23

側からスパー型、セミサブ型、バージ型、TLP型について示しております。このように浮体構造の洋上風力発電施設の構造型式は多様であるということがわかります（図-3.24）。

この図は、スパー型について、浮体式洋上風力発電施設の設置水深による影響を示しています。水深が比較的浅い海域では、係留チェーン長は短くてすみため建設コストは相対的に小さくて済みます。一方、水深が深い海域では、係留チェーン長は長くなるため、洋上風車とその支持浮体が仮に同じサイズであっても、建設コストは相対的に大きくなります。すなわち、同一構造であっても水深が深くなることによって、建設コストは増加していきます（図-3.25）。

この表は、着床式と浮体式の洋上風車について比較しています。着床式は、これまでも説明

してきたように、モノパイル式でもジャケット式でも構造型式がほぼ確立しております。そして水深の比較的浅い海域では、経済的に建設できるため建設事例も数多く存在します。これに対して浮体式では、水深が50 m よりも深い海域でも設置することが可能ですが、建設コストは一般的に高くなります。また、浮体構造の洋上風力発電施設は技術開発の途上にあり、構造型式もスパー型、セミサブ型、TLP 型など構造型式が多様となります。そして、建設事例も着床式と比べてまだまだ少ないと言えます（図-3.26）。

次に、洋上風力発電の計画における環境調査の位置付けについて説明したいと思います（図-3.27）。本来であれば、第3回から第5回の構造別の洋上風力発電施設の説明より前の段階で



図-3.24

着床式と浮体式の比較		
	長所	短所
着床式	- モノパイル式もジャケット式も構造型式が、ほぼ確立している。 - 浅い海域では、経済的に建設できる。 - 建設事例が多い。	水深50mより深い海域では、建設ができない。または、経済性に劣る。
浮体式	水深が50mより深い海域においても設置できる。	- 建設コストが一般的に高い。 - 技術開発の途上にあり、構造型式が定まっていない。（スパー型、セミサブ型、TLP型など構造型式が多様。） - 建設事例が少ない。

図-3.26

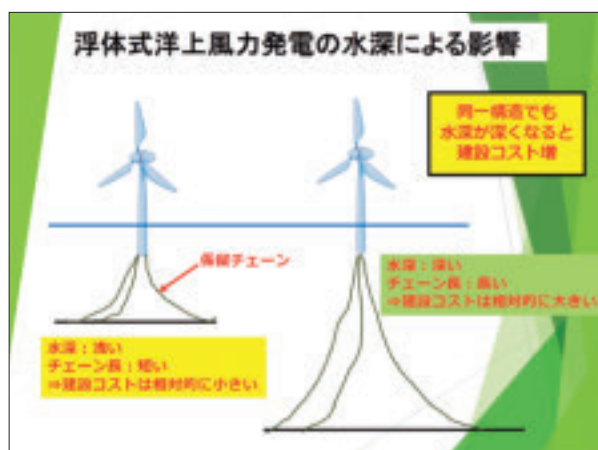


図-3.25

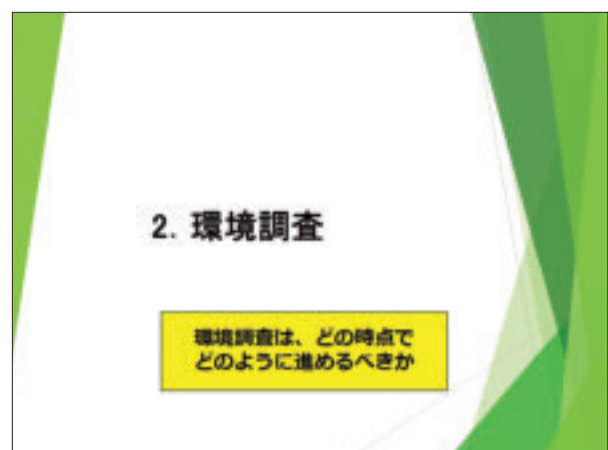


図-3.27

述べていなければならなかった内容です。これまでのセミナーでは設置海域の環境調査に関する説明が欠けていましたので、最終回の内容に加えて説明させていただきます。

この図は、再エネ海域利用法に基づく区域指定と、促進区域に指定後の事業者公募の流れについて示しております。図に示すように区域占用許可が出て、洋上ウインドファームの建設前に環境アセスメントが位置付けられております（図-3.28）。

この図は、環境影響評価法および電気事業法に係る環境アセスメント調査の概要を示しています。環境アセスメントは環境影響評価法に基づき、事業者自らが事業実施前に環境への影響を評価し、その結果を公表し、国、地方公共団体、国民からの意見を聞き、それらを事業に反映させていくことが求められております（図-3.29）。

これは、洋上風力発電に関するセントラル方式についての説明資料です。セントラル方式とは、洋上風力発電事業の案件形成に向けた風況・海底地盤等のサイト調査、系統接続の確保や環境影響評価、洋上風力発電事業の実施区域の指定や公募、地域調整や漁業実態調査に関して、政府や地方公共団体の主導的な関与により、効率的な案件形成を実現する仕組みです（図-3.30）。

これは、環境影響評価の流れを示しています。環境影響評価は、配慮書、方法書、準備書、評価書、報告書の順に資料が作成されます。実際には、当該海域において実施事業者が決定された後に行うのが適当ですが、現実には促進区域としての指定がなされる前に、その海域で開発を行おうとしている洋上ウインドファームの開発事業者によって先行的に開始されることが少なくありません（図-3.31）。

再エネ海域利用法では、促進区域に指定される前に地元との合意形成が必要となります。また、促進区域選定過程における地元意見の聴取が必要となります（図-3.32）。このことから、地元調整のための要素として、その海域での環境調査ならびに環境影響評価が求められることが少なくないのが現状です。



図-3.29



図-3.28

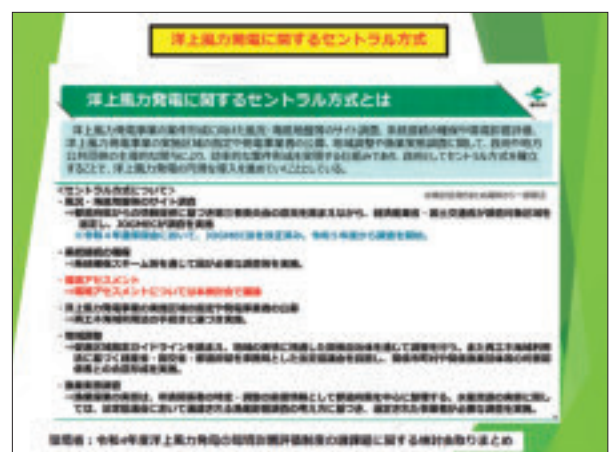


図-3.30

したがって、現実には再エネ海域利用法による区域の整理、促進区域となってからの事業者選定のプロセスと環境アセスメントのプロセスが並行して進められているのが現状です。したがって、事業の実施が見込まれる区域の選定、具体的な事業計画に係る内容、などの面から環境影響評価が切り離せられなくなっております(図-3.33)。

また、再エネ海域利用法において、洋上ウインドファームの区域を指定する段階での環境配慮を確保するためには、どのタイミングで環境影響評価を行うのが良いのか、どのような環境配慮の仕組みを考えるのが妥当かについて整理しておく必要があります(図-3.34)。

したがって、洋上風力発電の促進区域の指定、事業者の選定の流れの中で、海域の先行利用者

である漁業者や地元住民などの多様な関係者とのコミュニケーションの中で、環境影響評価の適切な位置付けを明確にしておく必要があります(図-3.35)。

すなわち、再エネ海域利用法により促進区域

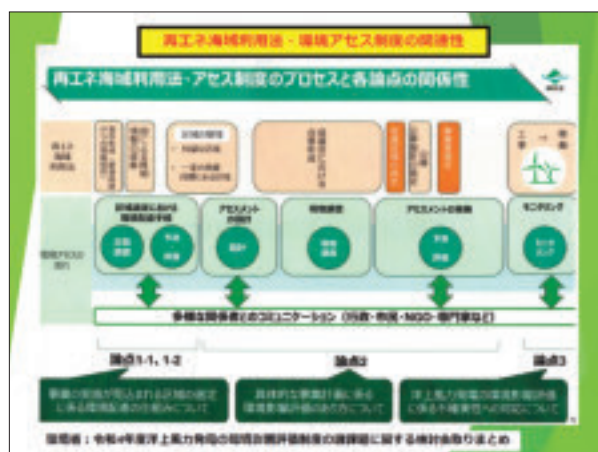


図-3.33



図-3.31

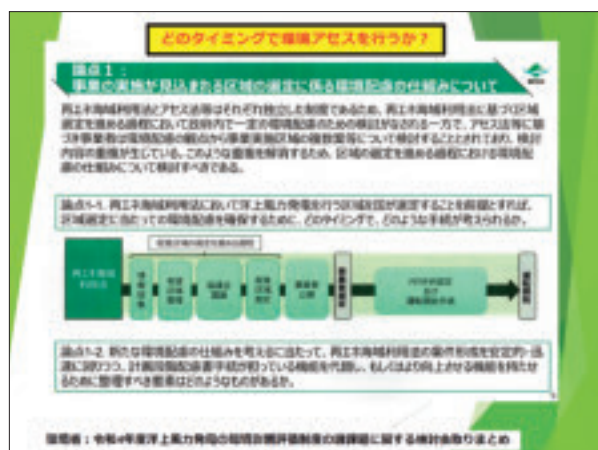


図-3.34



図-3.32



図-3.35

として指定される前に、国が先行して行う環境影響評価、それと事業者が公募されかつ事業予定者が選定されてから行う事業者による環境影響評価を、適切にライン付けすることが重要となります（図-3.36）。

国が先行して調査を行うセントラル方式では、独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構（JOGMEC）が海域情報を先行して調査を行い、これらを当該海域で立地を検討している事業者に情報提供する仕組みが構築されており（図-3.37）。この図は、JOGMEC がセントラル方式で行う風況調査、海底地盤調査等の海域調査のイメージを示したものです（図-3.38）。

洋上風力発電施設の計画やオペレーションに関連して、日本の電力系統の課題について説明を加えたいと思います（図-3.39）。

この図は、日本の電力ネットワークについて OCCTO（電力広域的運営推進機関）のホームページより引用しています。日本の電力ネットワークは、基幹系統（特別高圧）、ローカル系統（特別高圧）、配電系統（高圧、低圧）から構成されています。電力会社間をつなぐのは、上段の基幹系統（特別高圧）になります（図-3.40）。

この図も OCCTO のホームページより引用させていただいています。日本の電力ネットワークは北海道から九州に至るまで日本列島に沿って串団子状に配列されています。北海道と本州の間の送電線網は北本線という北海道本州間の送電線網によって繋がっています（図-3.41）。この北本線の送電容量では、今後、北海道で開発が期待される洋上風力発電の開発をサポートするには脆弱なものとなっています。し

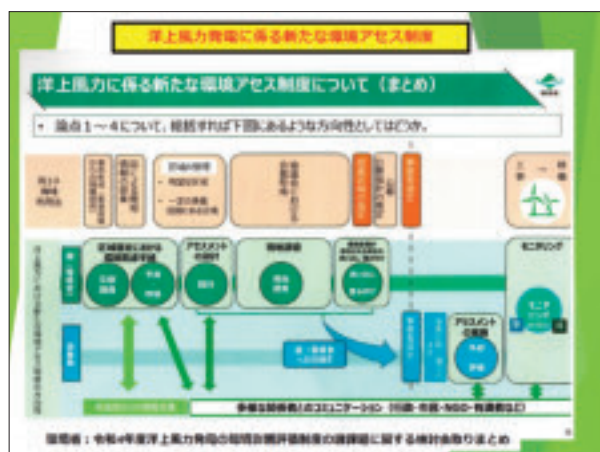


図-3.36

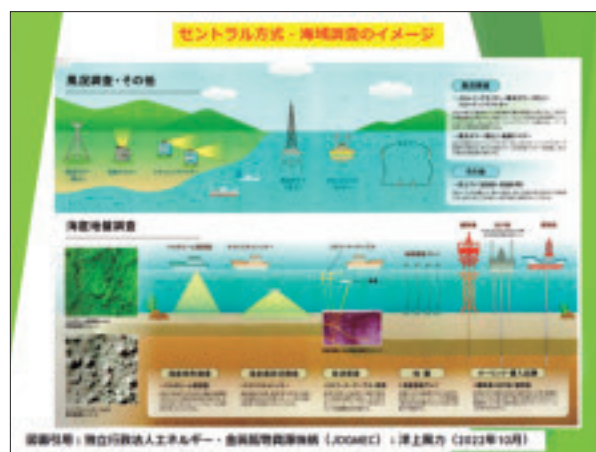


図-3.38



図-3.37

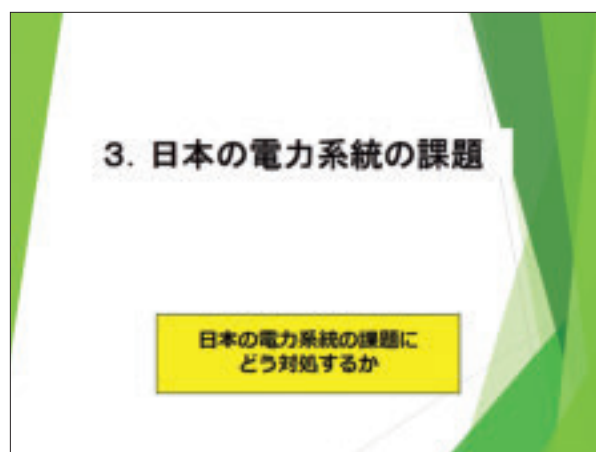


図-3.39

たがって、直接電気で送るためには、新たな送電線の確保が必要であり、海底直流送電線の計画が検討されております。一方、こうした送電線によらない方法としては、蓄電池を利用した電気運搬船構想や、洋上風力発電による電力から水素を製造し、水素運搬船で輸送する方法などが考えられます。

この図は、洋上風力発電によるエネルギーの運搬の方法を示しております。図の上段は、蓄電池による輸送です。洋上風力発電による発電電力を蓄電船のバッテリーに充電し、船で海上輸送し、消費地で陸上送電線に接続するという考え方です。図の中央は、現状の送電線網では、容量不足で送電できない部分について、新たに海底直流送電線を敷設することにより消費地に送る考え方です。図の下段は、洋上風力発電に

よる電力を用いて水素を製造し、それを水素運搬船で輸送し、水素として供給するものです(図-3.42)。この方法では、電力のように需要と供給のバランスを考える必要がないので、エネルギーとしての長期の需給調整が可能となります。

まず、送電線による電力輸送についてご説明します。

この図は、電力需給・系統の課題について示しております。日本の場合、電力系統はくし型になっております。電力会社間の電力系統は隣りあわせの電力会社との間のみで繋がっている形です。すなわち北海道電力管内から直接、大消費地の電力会社である東京電力管内には送電できない形になっております。すなわち北海道の発電電力は、必ず東北電力管内の電力系統を経由しなければなりません。これに対してヨーロッパの電力系統は左側の下の図のように網の目型になっており、電力の相互の融通性が高い電力供給システムとなっております(図-3.43)。

この図は少し古い資料となりますが、風力発電のさらなる連携拡大に向けた対応方策について示しております。この時点における連携拡大については、蓄電池を活用することが主となり、電力会社間の電力の相互の融通による連携拡大は、あまり重要視されておられませんした(図-3.44)。

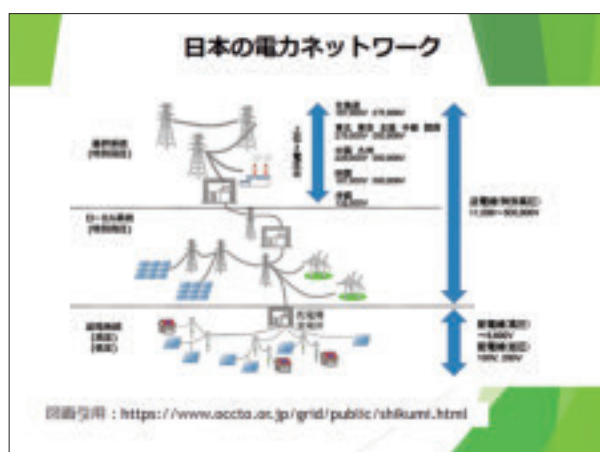


図-3.40

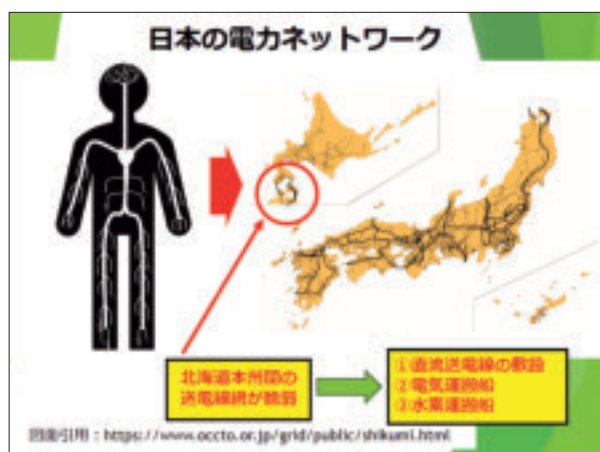


図-3.41

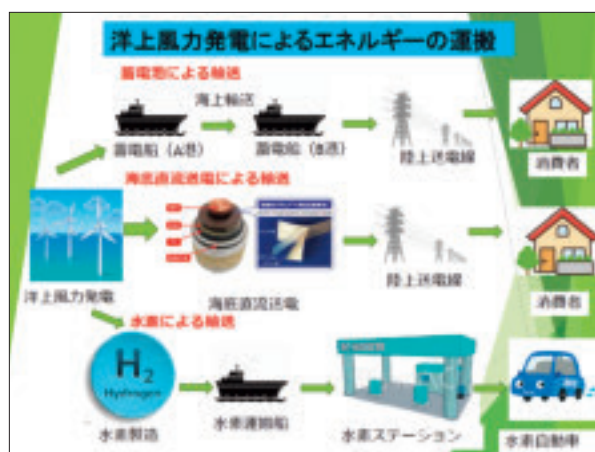
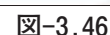
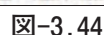
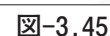
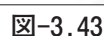


図-3.42

この図は、経済産業省の長距離海底直流送電の整備に向けた検討会において示されたものです。化石燃料を用いた従来型の発電から、再エネを活用した発電へ大きく転換するためには、

次に蓄電池による電力輸送について示します。この図は、電気運搬船の構想図です（図-3.47）。この構想では、船長 140 m の電気運搬船に搭載電池の容量として 96 個のコンテナ型電池を搭載して 241 MWh の電力量を輸送する計画です。

次に、水素によるエネルギー輸送について示します。この図は、水素運搬船の構想図です。全長約 346 m、幅約 57 m、喫水 9.5 m の船には 40,000 m³ のタンク 4 基を搭載し、合計で 160,000 m³ のタンク容量を持つ、水素運搬船の



構想図です（図-3.48）。

前置きが少し長くなってしまいましたが、本日の説明の主要なテーマである洋上ウインドファームのオペレーションについて説明したいと思います（図-3.49）。



図-3.47



図-3.48

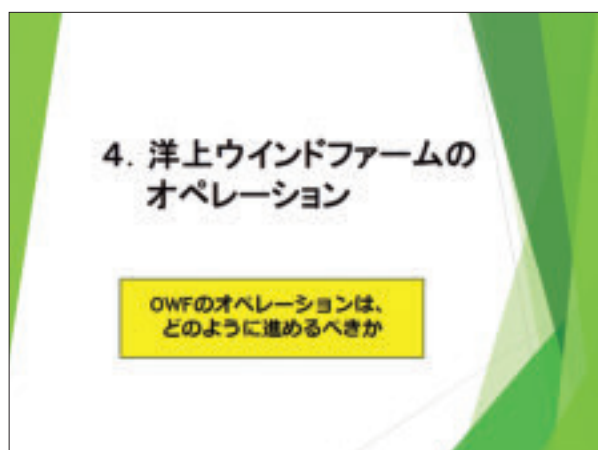


図-3.49

まず、個々の洋上ウインドファームのオペレーションについて説明したいと思います。個々の事業者においては、この図に示されているように洋上ウインドファームの近傍の陸上に設置された監視所に置かれた遠隔監視センターにおいて、洋上風力発電の運転状況を監視するのが一般的だと思います。陸上には陸上変電所が設置され、ここから陸上の送電設備へ接続されます（図-3.50）。

陸上の監視施設あるいはO & M拠点は基地港湾に置かれるのが一般的です。データが少し古くなりますが、2019年9月に調査した欧州の基地港湾の状況について紹介したいと思います（図-3.51）。欧州においては、基地港湾のネットワークとして、Offshore Wind Port Platform という組織があります。2019年9月時点では

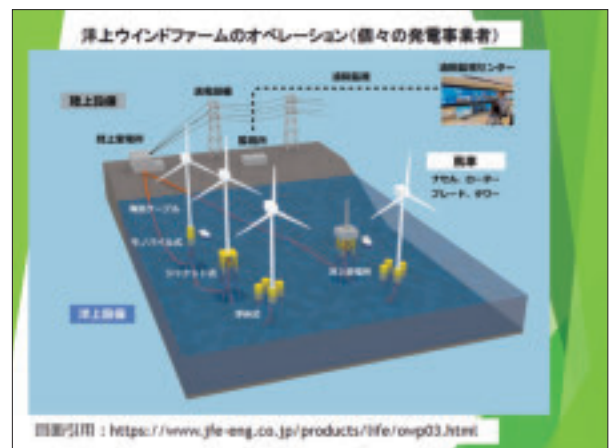


図-3.50



図-3.51

14 港がこのネットワークに加わっておりまし
た。2023 年 8 月の時点では、このネットワー
クへの加入は 28 港まで拡大しております（図-
3.52、図-3.53）。

まず、デンマークのエスビアウ港（Esbjerg
Port）事例から紹介したいと思います。エスビ
アウ港は、デンマークのユトランド半島の西海
岸の北海に面する港湾です（図-3.54）。この写
真は、上段が基地港湾のエスビアウ港の全景を
示しております。また左下は港湾管理者の事務
所です（図-3.55）。基地港湾としての機能は、
風車のプレアセンプルと積出、港湾における風
車等の部品の荷役と出荷、O & M サービス、洋
上風力関連の産業基盤の提供などです。エスビ
アウ港では、風車のプレアセンプル基地と O
& M 基地は、図に示すように港の中で別の場

所に位置しています（図-3.56）。この図はエス
ビアウ市における産業従事者数の推移を示して
おります。1960 年以降、北海海域における漁獲
高の減少により水産業は衰退の一途をたどって
おります。また、2010 年以降は、北海における



図-3.54

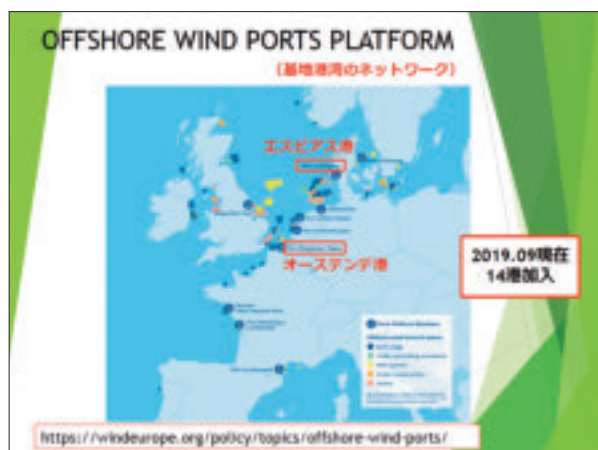


図-3.52

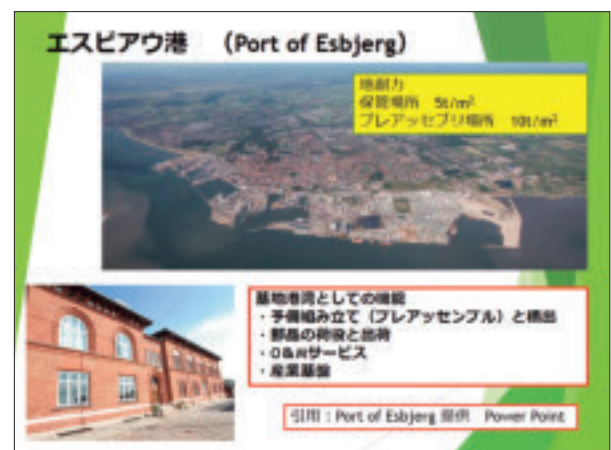


図-3.55

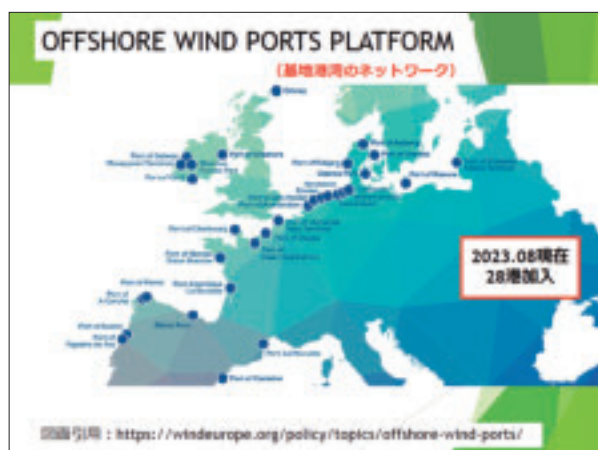


図-3.53



図-3.56

オイル・ガスの生産が減退しております（図-3.57）。これに代わる産業として風力産業の成長が期待されています。この図はエスビアウ港と北海洋上ウインドファームまでのサイト距離を示しています。エスビアウ港は基地港湾としてカバーする海域として約 150 km までを主たる距離と考えております（図-3.58）。これにはデンマーク、ドイツの EEZ が含まれております。この図はデンマークの EEZ 内における洋上ウインドファームの将来計画を示しております。2018 年 12 月末の洋上風力発電の導入量は 1.33 GW ですが、これに対して 2030 年の導入目標量は、ほぼ 10 倍の 12.4 GW となっています（図-3.59）。エスビアウ港では、基地港湾としての機能を拡大するため、現在使用されているブレアッセンブル基地に加えて、将来の拡張

計画を持っております。この図には、O & M 基地としての主要な施設を示しております（図-3.60）。このように O & M 基地としての機能のために様々な施設が必要となってきます（図-3.61）。

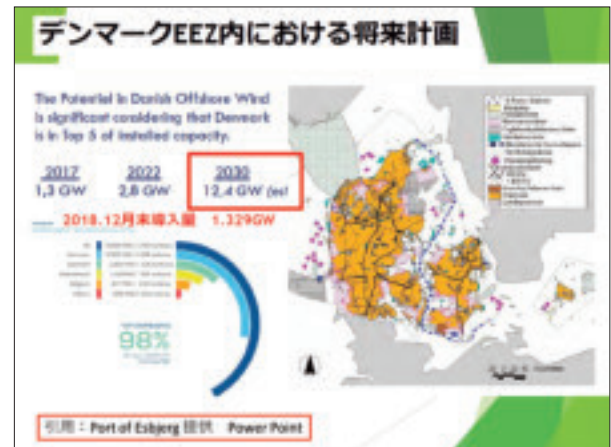


図-3.59



図-3.57



図-3.60



図-3.58



図-3.61

次にベルギーのオーステンデ港（Oostende Port）について紹介します。オーステンデ港は、北海に面して位置しております（図-3.62）。オーステンデ港は、港湾としては、規模はあまり大きくありませんが、北海に面している地の利を生かして基地港湾として機能しております（図-3.63）。この図はオーステンデ港の平面図です。オーステンデ港は港湾としては規模が大きくありませんが、洋上ウインドファームからの距離の近さをメリットとして、港湾の中に組立・積出基地であるとか、O & M 基地が存在しております（図-3.64）。この図は、オーステンデ港の洋上風力発電基地である REBO ターミナルを示しております。図の赤枠で囲った部分が洋上風力発電設備の組立・積出基地となっております（図-3.65）。REBO ターミナルでは、

先程も示したように組立・積出基地と O & M 基地は図のように別の場所に配置されております（図-3.66）。この図も REBO ターミナルについて示しております（図-3.67）。風車タワーの組立と風車の設置は、岸壁強度を補強した前



図-3.64



図-3.62



図-3.65



図-3.63



図-3.66

面の岸壁で行われております。この図は 2019 年時点の REBO ターミナルへの出資者を示しております。地方政府資金が最多の 40% を占めておりますが、港湾管理者、メンテナンス・設置作業会社、開発事業者、総合建設会社などが出資者となっております（図-3.68）。REBO ターミナルのあるオーステンデ港のカバーする海域は、主としてベルギーの EEZ 内を想定していますが、距離的にはオランダの EEZ も想定に入っております（図-3.69）。ベルギーにおける洋上風力発電エリアの拡張計画では、2030 年に向けて 221 km² の海域において 1.8 GW の規模を想定しております（図-3.70）。これらの海域の開発においてオーステンデ港が基地港湾として機能することが期待されております。この図はオーステンデ港の利用状況を示しており

ます。洋上風力発電のタワーの建造や風車のタワーへの搭載のために、既存の岸壁を前出して補強しています。地耐力は岸壁全面では 20 t/m²、後背地では 10 t/m² に増強されております（図-3.71）。この図は REBO ターミナルの



図-3.69



図-3.67

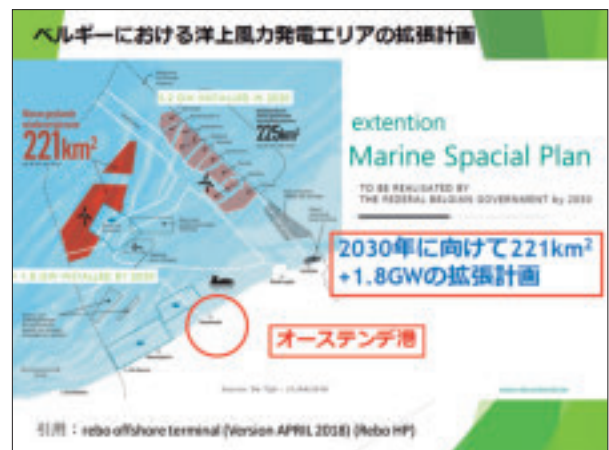


図-3.70



図-3.68



図-3.71

岸壁性能を示したものです。赤枠で示している様に岸壁の地耐力は 20 t/m^2 に増強されております。写真は、この REBO ターミナルの洋上風車の建造状況を示しているものです (図-3.72)。

次にドイツのムクラン港 (Mukuran Port) の事例について紹介します。ムクラン港はドイツ東部に位置します。東西ドイツ統一前の旧東ドイツに位置しており、アルコナ洋上ウインドファームの建設は、ここを基地港湾として実施されました (図-3.73)。この図は、ムクラン港の洋上風車の組立・積出基地を示しております。風車の組立・積出基地としては、一般貨物ターミナル (General Cargo Terminal) と洋上ターミナル (Offshore Terminal) が使用されました。洋上ターミナルは面積 $220,000 \text{ m}^2$ を有し、そ

の地耐力は 20 t/m^2 です。この洋上ターミナルには O & M 基地があります (図-3.74)。

次に、洋上風車の維持管理について述べていきたいと思えます (図-3.75)。

この図は、2020 年と 2030 年の英国における洋上風力発電施設の市場規模を示しています。この中で最も費用が大きいものが発電機で、2020 年に比べ 2030 年は約 1.7 倍になると予想されております。オペレーションとメンテナンスの費用の増加が顕著で約 2 倍となっています (図-3.76)。

この図は、2020 年から 2050 年までの英国における洋上風力発電の市場規模の推移について述べています。2020 年から 2030 年までは、洋上風力発電の市場規模は増加の傾向が顕著です。2030 年以降は、洋上風力発電の市場規模の



図-3.72



図-3.74



図-3.73

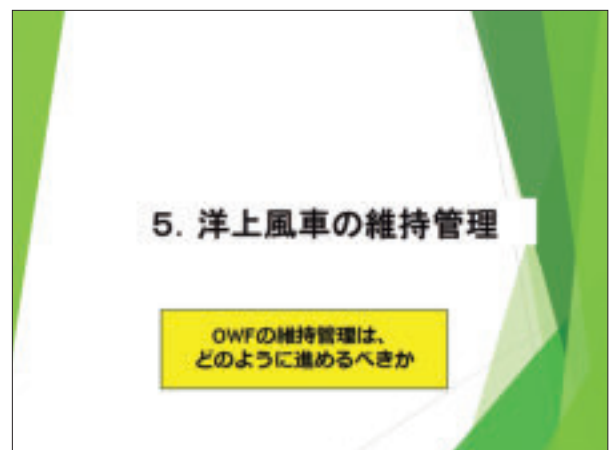


図-3.75

増加はゆるやかであると想定されております。
また、2030 年以降はオペレーションとメンテナンスの費用（O & M 費）が増加することが想定されております（図-3.77）。

この図は、2020 年と 2030 年の英国を除く世界の洋上風力発電の市場規模を比較しております。英国以外の市場では、発電機、基礎ほかの市場拡大が想定されています。また、オペレーションとメンテナンスの費用（O & M 費）も増加することが想定されています（図-3.78）。

この図は、2020 年から 2050 年までの英国を除く世界の洋上風力発電の市場規模の推移を示しております。2030 年以降、オペレーションとメンテナンスの費用（O & M 費）が増加していることがわかります（図-3.79）。

洋上風力発電設備の維持管理については、統

一的解説が令和 2 年（2020 年）3 月に公表されております（図-3.80）。

これは、洋上風力発電設備の維持管理に関連する法規を一覧で示しております。関連する法律としては、電気事業法、港湾法、海洋再生可

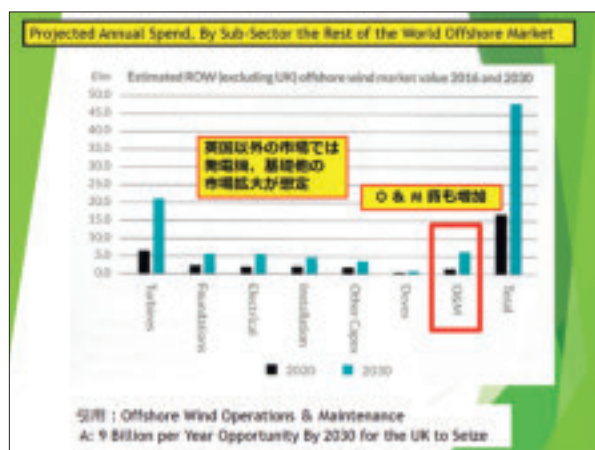


図-3.78

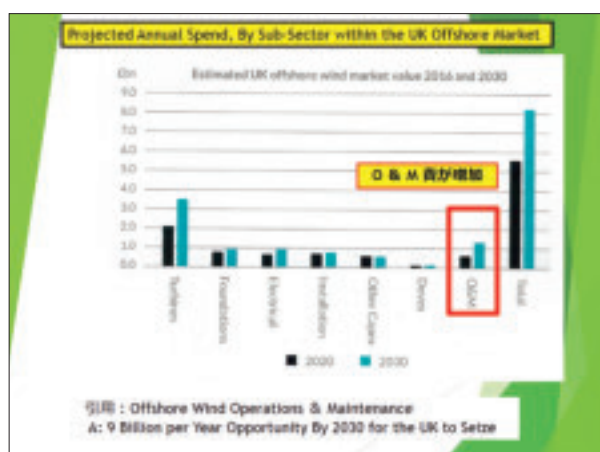


図-3.76

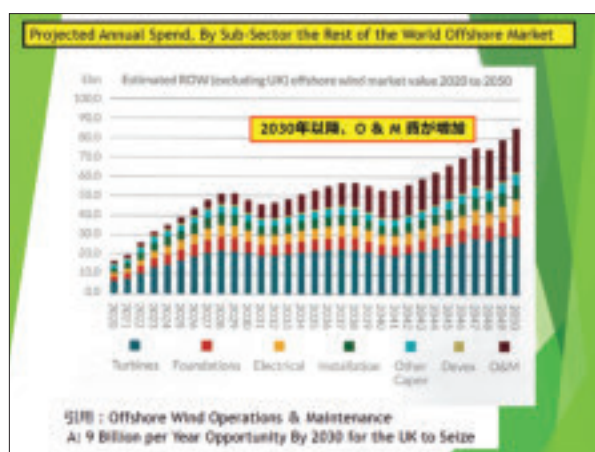


図-3.79



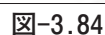
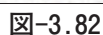
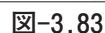
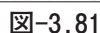
図-3.77



図-3.80

この図は、電気事業法による定期安全管理制度の構成を示しております。風車の事業者が公共の安全確保に関する部位の定期点検を行い、

この図は、維持管理計画の策定範囲とそのフローを示しています。点検は、日常点検、定期点検診断、臨時点検診断に分かれています。臨時点検診断は、地震や台風の直後の点検や日常点検時に変状が発見された時に行うものであります（図-3.86）。



日常のメンテナンスや定期点検には、洋上風車の場合には作業員輸送船（CTV）が使用されます。CTV 安全設計ガイドラインが今年3月に国土交通省海事局から公表されております。日本では、現状では沖合5～10 kmの近距離の洋上ウインドファームしか存在しないため、このガイドラインはそれらを対象として策定されております（図-3.87）。

この図は、洋上風車の基礎について維持管理の部位を示しております。維持管理は洋上風車の基礎構造物の気中部、水中部、海底ケーブル、海底地盤、洗堀防止工について行います。また、洋上変電所に対しても点検が必要となります（図-3.88）。

洋上風力発電所の維持管理は洋上風車だけではなく、その陸上設備についても必要となります

す。点検箇所は陸上変電所、送電線、監視制御設備等です（図-3.89）。

洋上風車の維持管理には作業員を洋上風力発電設備に輸送するCTVが必要となります。ここではそのCTVについて示していきます（図-

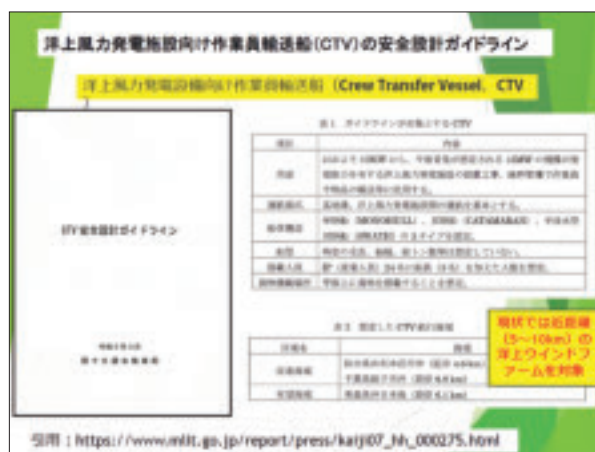


図-3.87

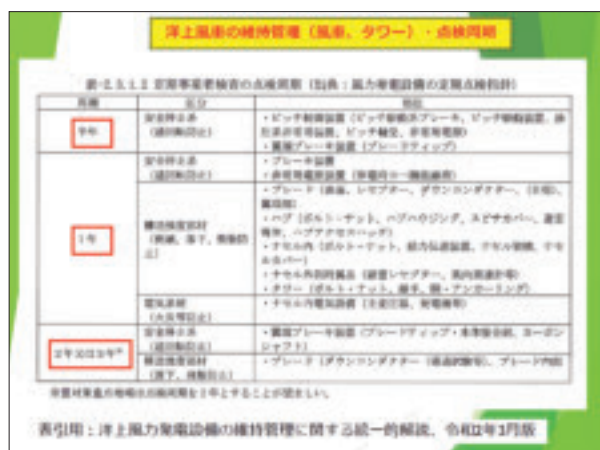


図-3.85

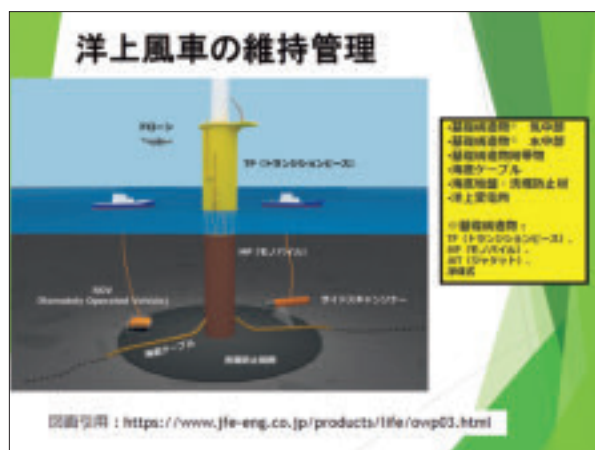


図-3.88



図-3.86



図-3.89

3.90)。

まず、最初にCTVについて、日本における事例を紹介していきます。これは、石狩湾新港の洋上風力発電設備のO & Mに使用されるCTVであるRERAAS（レラアシ）を示しております。このCTVは全長27.1m、幅9.0mで乗客定員は12名です（図-3.91）。

次に、欧州で稼働しているCTVの事例について紹介していきます。これはオランダで稼働しているCTVです。長さが25.75m、幅10.4m、喫水1.98mの双胴船です。乗員は12名、航行速度は22ノットです（図-3.92）。次に紹介するのは、ベルギーで稼働しているCTVです。長さ17.6m、幅5.2m、喫水1.5mの双胴船です。乗員は12名、航行速度は25ノットとなっています（図-3.93）。次に紹介するのはオ

ランダで稼働しているCTVです。長さ19.5m、幅5.0m、喫水0.9mで、乗員数は12名です。この船の航行距離は300海里です。航行速度は22ノット、最大速度は30ノットです。航行距離が300海里と大きくなっているのは、欧州では洋上風力発電設備が洋上沖合のEEZ海域に展開されていることによると思われます（図-3.94）。

次に、洋上風車の維持管理について具体的事例をご紹介します。

まず、最初に先程も紹介したムクラン港の事例を紹介します。ムクラン港は先程も紹介したように、旧東ドイツ地域に位置し、アルコナ洋上ウインドファームの基地港湾となっております（図-3.95）。この図は、ムクラン港を訪問した2019年の前年にあたる2018年のヨーロッパ

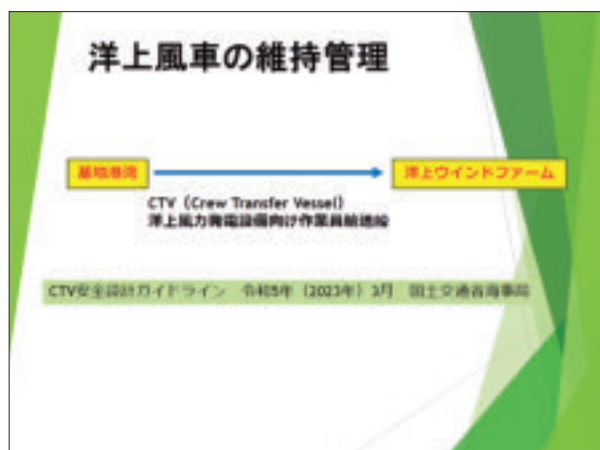


図-3.90



図-3.92



図-3.91



図-3.93

の発電事業者ごとの洋上風車の設置容量、同じく2018年12月末の累積の設備容量を示しております。アルコナ洋上ウインドファームの設置事業者であるE-on社は、2018年設置分のヨーロッパにおけるシェアでは約11%、累積設備容量では約8%を占めています。事業者別ではトップのエルステッドに次いで、欧州では第2のシェアを占めています(図-3.96)。

この図は、2006年当時の資料から引用した図です。ドイツでは、EEZにおける洋上風力発電は連邦海洋基本法ならびに海洋設置法令に基づいて連邦海洋水理庁(BSH)から認可を受けます。2006年時点では、北海では13箇所、バルト海では2箇所が認可されておりました。アルコナウインドファームについては、事業者は2006年に海域の一次認可を受けており、洋上風

況などの調査に着手しております(図-3.97)。

アルコナウインドファームは離岸距離35kmの水深23~37mの海域において、専有面積39km²を有するウインドファームです。建設までの経緯を表に示しております。2006年にBSHより一次認可を受け、観測塔を設置し、洋上風況などの観測を開始しております。また2015年には、3次元音波探査により地盤調査を開始するとともに、このウインドファームにおける系統容量を確保しております。2016年にこのウインドファームにも正式な投資の決定がなされ、コーン貫入試験(CPT)による地盤調査が実施されました。ウインドファームの建設は2017年と2018年の2カ年で行われ、完成後の2019年にO & Mが開始されました(図-3.98)。私がこのウインドファームを訪問したのは、



図-3.94

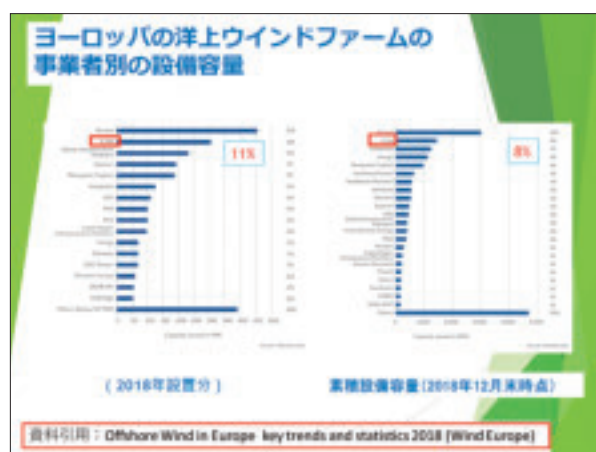


図-3.96



図-3.95

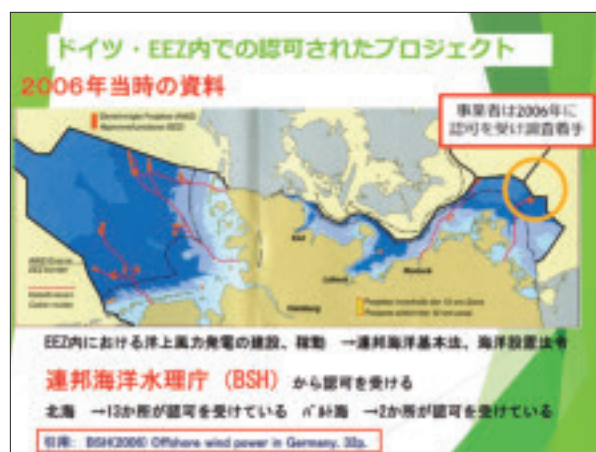


図-3.97

2019 年の 9 月ですから、運用開始後、間もない時期に現地を訪問したことになります。

この図は、アルコナウインドファームの洋上風車の諸元を示しております。設置されている風車はローター径 154 m の 6 MW 風車です。ウインドファームにおける風車の設置基数は 60 基です。風車部重量は 412.3 t で、内訳はナセルとハブが 334 t、ローターとブレードが 78.3 t です。風車のタワーは 443 t、トランジションピースが 270 t です。タワーとトランジションピースの総重量は 713 t となります。設置されているモノパイルは 800~1200 t で、水深や地盤条件によって重量が異なります（図-3.99）。

左上の写真は O & M の事務所です。事務所内には左下のように風速・波浪の予測結果を表

示するモニターがあり、現地におけるメンテナンス作業の可否は風速・波浪予測の結果に基づいて判断されます。右下の写真は O & M 用の資材置き場を示しています（図-3.100）。

この写真はアルコナウインドファームを見学したときに船上から撮影したものです。右下はトランジットピース部を示しています。メンテナンスに際しては、CTV を接舷させ、このはしごを登り、トランジションピースの踊り場に上がり、ハッチから風車タワー内に入り、必要なメンテナンス作業を行うこととなります（図-3.101）。

次に洋上風力発電施設の撤去について説明いたします（図-3.102）。

この図は、洋上風車の計画、建設、運用、廃棄までの一連の流れを示しております。洋上風



図-3.98



図-3.100

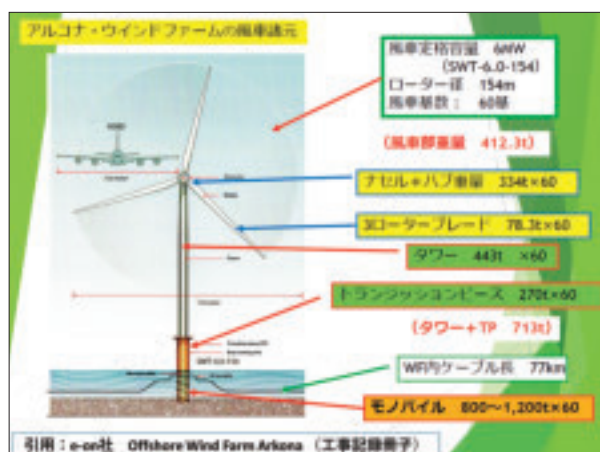


図-3.99



図-3.101

車の最後の段階が廃止・撤去ということになります（図-3.103）。

陸上風車は廃掃法により廃棄処分されます。廃掃法というのは昭和45年法律第137号廃棄物の処理及び清掃に関する法律を指します。陸上風車の基礎の撤去に関する解説の中で、洋上風車基礎の廃棄に関するコメントを記載している部分があります。洋上風車の撤去については、「洋上風力発電施設の廃棄許可に係る考え方」、令和4年（2022年）9月を参照することが記載されております（図-3.104）。

これは着床式洋上風力発電施設の廃棄許可に係る考え方を示しているもので、ここでは環境省より令和3年9月に公表されたものを示しております（図-3.105）。

この図は、海洋施設の廃棄許可に係る手続き

の流れを示しております。許可申請から審査・許可、廃棄・監視までの流れを示しております。審査・許可の流れの中において、海洋汚染等防止法第43条の3に許可の基準として三つの項目が示されております。一つ目が廃棄海域及び廃棄方法が環境省令で定める基準に適合することであること。二つ目が当該廃棄海域の海洋環境の保全に著しい障害を及ぼすおそれがないものであること。三つ目として海洋に捨てる方法以外に適切な処分の方法がないもの。これら3項目について示しております（図-3.106）。

この図は、海洋施設・廃棄許可申請の手続きフローを示しています。申請の流れの中で申請者（風力発電事業者）、環境省、公衆（市民）の関係が示されております（図-3.107）。

これは、海洋汚染防止法第43条で定める海

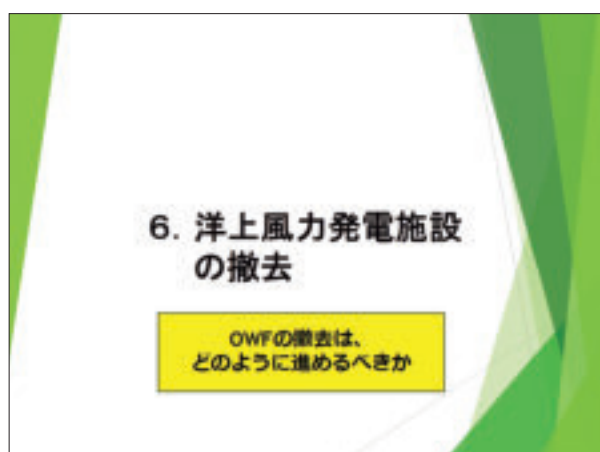


図-3.102

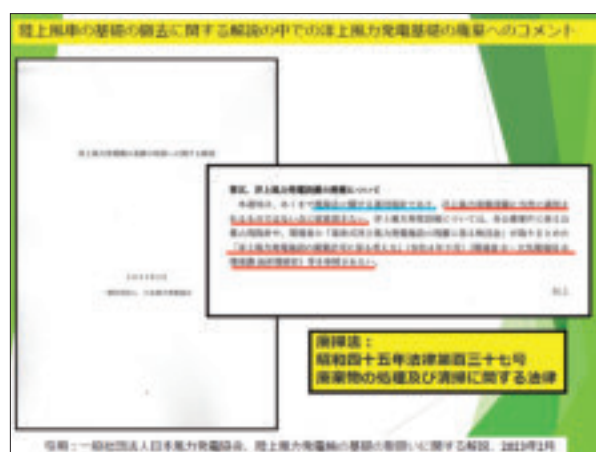


図-3.104



図-3.103



図-3.105

洋施設の廃棄の規則を示しています。基本的には「海洋に捨ててはならない」と規定されており、捨てる場合で認められるのは、第43条の3にあるように、「海洋に捨てる方法以外に適切な処分の方法がないもの」となります（図-3.108）。

この図は、一般的な着床式の「洋上風力発電施設等」の構成要素を示しております。図に示すように左側の「海底ケーブル」から右側の「洋上風力発電設備」が構成要素となります（図-3.109）。

この図は、「残置」と「捨てる」の違いを定義したものです。「捨てる」とは、「既存の場所から撤去して、海洋の別の場所に廃棄すること」と定義されております。また、「残置する」とは、「既存の場所から撤去せずに廃棄すること」と定義されております（図-3.110）。

とをいう」と定義されております（図-3.110）。また、廃棄される海洋施設の最小化努力について示されており、施設の廃棄時には陸上処分量と有効利用の量をできるだけ多くすることにより、廃棄される海洋施設の量をできるだけ少



図-3.108

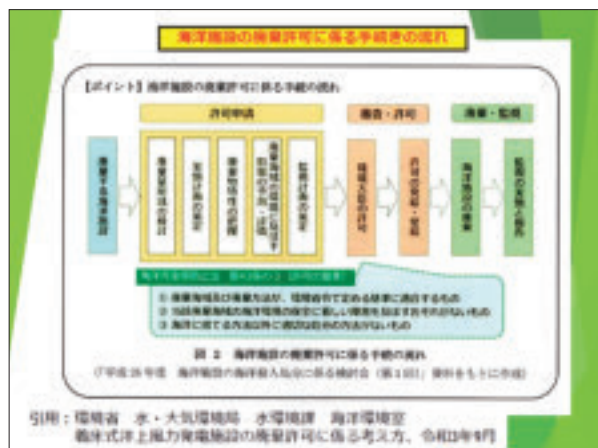


図-3.106

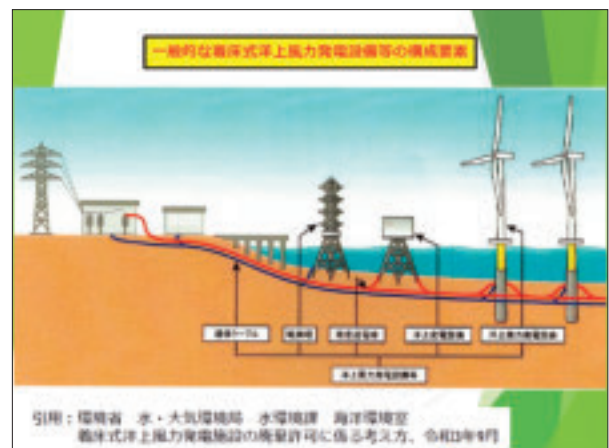


図-3.109



図-3.107

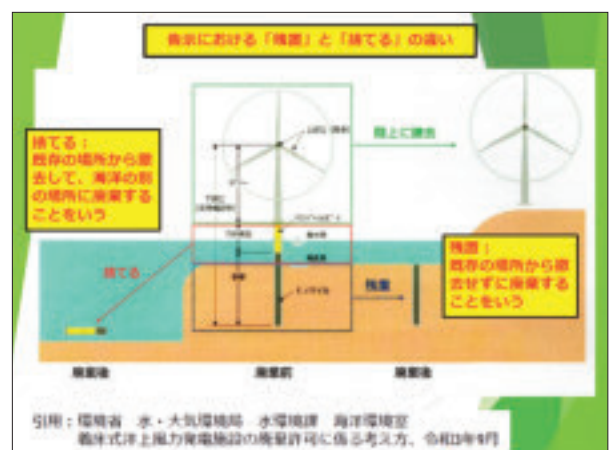


図-3.110

なくすることが求められております（図-3.111）。

この例は、全撤去し原状回復する場合について示しております（図-3.112）。風車の基礎杭を含めて、すべてを撤去し原状回復するものです。次に、海底面化で一部残置する例です。海底面下、適切な位置で切断して、風車及び支持構造物の上部を撤去するものです。撤去後には海底の土中に杭の一部が残置されます（図-3.113）。その次の例は、海底面上で切断し、風車及び支持構造物の上部を撤去するものです。この場合は、海底面下の基礎杭が残置されることになります（図-3.114）。

次に、「着床式洋上風力発電施設の廃棄許可に関する考え方」の目次を示します。第1部として廃棄の許可申請に係る手続きが示されてい

ます。風力発電施設の廃棄許可の申請書類について具体的に示されております（図-3.115）。

次に、第2部と第3部の目次を示しています。第2部では廃棄許可に係る考え方が示されています。第3部は参考資料集です（図-3.116）。

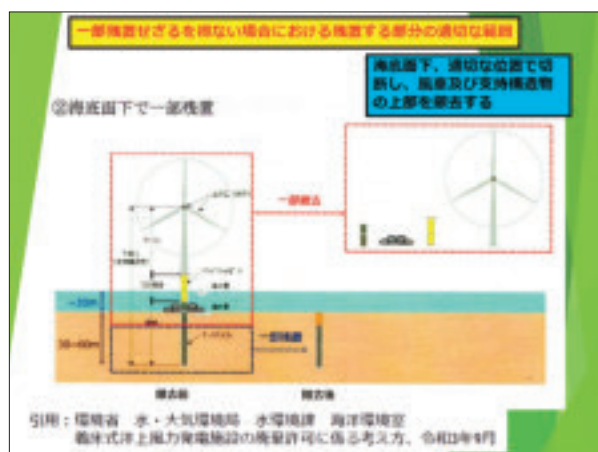


図-3.113

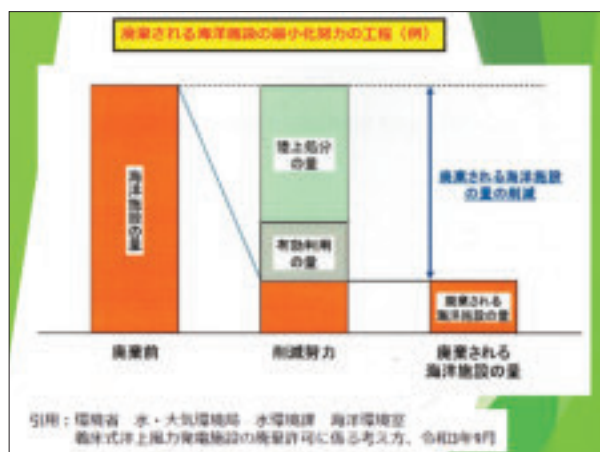


図-3.111

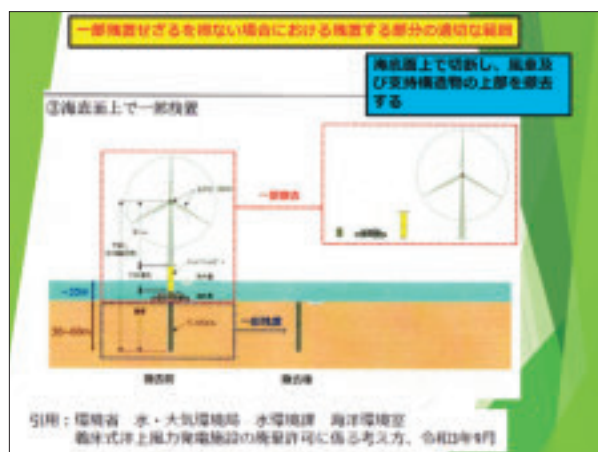


図-3.114

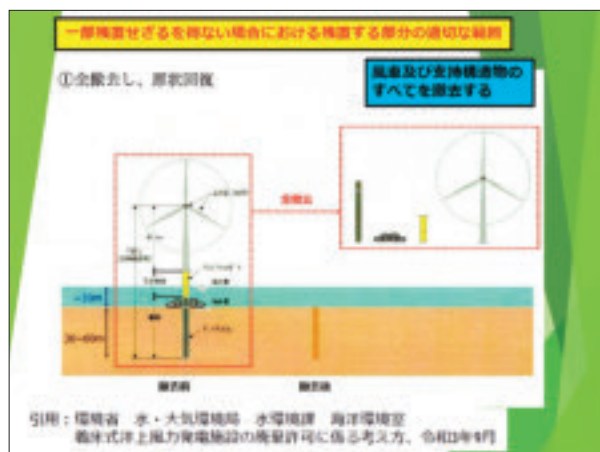


図-3.112

着床式洋上風力発電施設の廃棄許可に関する考え方	
目次	1
第1部 廃棄の許可申請に係る手続き	4
1.1 申請の受付フローと本資料で扱う範囲	4
1.2 関係機関一覧	6
第2部 廃棄の許可申請に関する考え方	8
2.1 海洋施設廃棄の許可申請書	11
2.1.1 申請書作成	13
2.1.2 廃棄に付する洋上風力発電施設の概要	14
2.1.3 廃棄施設の廃棄に関する事業計画に係る事項	16
2.1.4 海洋施設の廃棄現場の内部状況の監視に関する計画に係る事項	21
2.1.5 海洋に投棄する部分の適切な処分方法がないものであることを説明する書類	27
2.2 廃棄される海洋施設の量の算出と算出方法	29
2.3 廃棄される海洋施設の量の算出方法	32
2.3.1 海洋施設を海洋に投棄することと海洋環境に及ぼす影響についての調査の結果に基づく事前評価に関する事項を記載した書類（事前評価書）	33
2.3.2 海洋施設のうち廃棄上に残す部分の設備等（以下「上部設備等」という。）の廃棄及び処分計画をまとめる書類（以下「処分計画」という）又は大部分を廃上に撤去し、一部等の廃棄及びパイプライン等を廃棄する書類	35
2.3.3 海洋施設のうち上部設備等の一部を廃上に撤去し、大部分の廃棄及びパイプライン等の全部又は大部分を廃棄せずに海洋に投棄する場合	40
2.3.4 海洋施設のうち上部設備等の全部又は一部を海洋に投棄する場合	50

図-3.115

次に、廃棄に関するロンドン条約 1996 年議定書です。ここでも「陸上起源の廃棄物その他の物の海洋（海底下を含む）投棄及び洋上焼却を原則禁止」と記載されています。これもロ

まず、撤去された洋上風車の事例について示しております。この表は撤去された洋上風車の例について、設備や水深、離岸距離などの条件を示しております（図-3.122）。

第2部 養牛式簿上及び電磁的記録の帳簿等に関する考案方	
第2部 養牛式簿上及び電磁的記録の帳簿等に関する考案方	61
2.1 海洋環境の健全に資する調査及びそのための調査方法の考案方	61
2.1.1 一般調査せるを要しない場合における調査する部分の選択の装置	62
2.1.2 調査に係る工事が海洋環境に与える影響	64
2.1.3 調査する陸域の両側連続、両側連続等が海洋環境に与える影響	64
2.2 海洋に於ける方法以外の調査可能な方法の考案方	65
2.2.1 資源利用の可能性	65
2.2.2 調査する海域の	66
2.3 調査後の監視報告のあり方の考案方	66
2.3.1 現状調査の開始の開始点	66
2.3.2 調査後の監視を行うべき適切な時期	66
第3部 参考資料	67
3.1 国内の事例	67
3.2 海外の事例	78
3.3 国際会議 A.673 (16)	89
3.4 ILO/FAO/WHO 1996 年議定書	90

IMO 決議 A.672 (16)
海洋法に関する国際連合条約（国連海洋法条約）
（United Nations Convention on the Law of the Sea : UNCLOS)

第 40 条第 3 項では、排他的経済水域の利用されなくなった施設を航行安全の確保のために除去する際には、環境とある程度無関係な方法に照して定められており、かつ一般民に受け入れられている国際的慣習を考慮することとなっている。

これを背景に、
国際海事機関（International Maritime Organization : IMO）
は、1989 年に総合決議 a. 672 (16)
Guidelines and Standards for the Removal of Offshore Installations and Structures on the Continental Shelf and to the Exclusive Economic Zone
（大陸棚及び排他的経済水域における海上施設及び構造物の撤去のためのガイドライン及び基準）を採択した。

UNCLOS 第 40 条第 3 項 撤去
「……人工島嶼、施設又は構造物は、撤去するに当たっては、適当な通知を行われなければならない。その存在に於いて重大な環境影響を及ぼすもの、地理的に重要な施設を維持しなければならない。撤去され又は利用されなくなった施設又は構造物は、航行安全の確保とある程度無関係な方法に照して定められる一時的に受け入れられるという国際的慣習を考慮して、撤去の安全を確保するために撤去する。その撤去に当たっては、漁業、海洋環境の保護、並びに他の船舶及び構造物に対するも害及を考慮し、完全に除去されなくなった施設又は構造物の廃棄、位置及び撤去に於いては、通知に示される。」

IMO 総合決議 a. 672 (16) は、IMO の総会に対して、大陸棚及び排他的経済水域から撤去され又は利用されなくなった施設又は構造物について、廃棄方法を導くこととした。重要点又は一部事項 撤去を導く場合に国際慣習が参考にするべきガイドライン・基準を示したものである。

採択： 国連海洋法条約内閣閣議決定の閣議許可に基き考案、令和 3 年 9 月、
環境省・水・大気環境部・水環境課 海洋環境課

[illegible]

ロンドン条約 1996 年議定書

ロンドン条約 1996 年議定書は、正式には「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の 1996 年の議定書」(1996 Protocol to the Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, 1972) であり、2006 年に発効した。「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) による海洋汚染の防止措置を更に強化するための採択された。

海上投棄の廃棄物その他の物の海洋（海底下も含む）投棄及び浮上投棄を原則禁止とし、海洋資源を採択することができる廃棄物その他のものを限定的に例外するとともに、海洋投棄する場合には、当該廃棄物その他の物の海洋投棄が海洋環境にもたらす影響を予測・評価し、その上で継続利用が許容可能であることを確認している。

引用：環境省 水・大気環境局 水環境課 海洋環境室
 着床式浮上風力発電施設の廃棄許可に係る考え方、令和3年9月

— 114 —

まず、最初にオランダの Lely Wind Farm について紹介します。この風車は淡水湖に建設された 0.5 MW 風車 4 基から構成されています。1992 年に建設され、1994 年から運用されていた風車で、運用開始から 20 年後の 2014 年に撤

去されました (図-3.123)。これは Lely Wind Farm の撤去の状況を示しております。まず、風車のブレード、ナセルが撤去されます。風車の基礎杭は図に示すように作業台船に搭載されたクレーンを用いて引き抜かれています (図-3.124)。このように完全撤去が可能であったのは、水深 4 m の浅い海域に設置された 0.5 MW の小規模の風車基礎であったためです。

次の例はデンマークの Vindeby ウインドファームです。この風車は 0.45 MW の規模で、水深 4 m の海域に 11 基設置されていました。運用開始は 1991 年で、運用開始から 26 年後の 2017 年に撤去されました (図-3.125)。この写真は撤去の状況を示しているものです。撤去は風車の設置の時とは逆の手順で行われます。写真は、風車のブレードとナセルを一括し

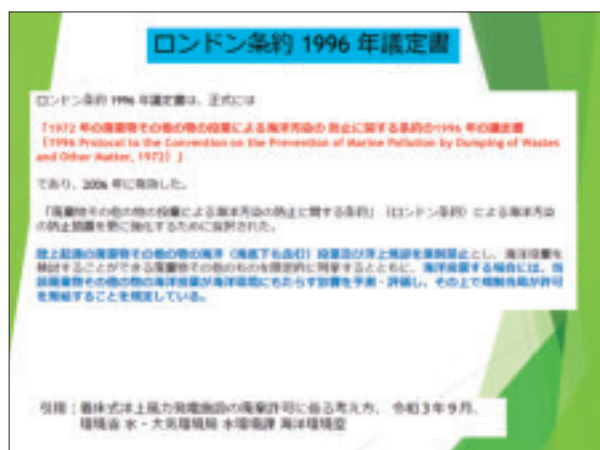


図-3.120

撤去された洋上風車の例

名称	国名	容量 (MW)	機数	撤去開始年	撤去完了年	水深 (m)	機体重量 (t)	機体長さ (m)	機体幅 (m)	機体高さ (m)	機体重量 (t)	機体長さ (m)	機体幅 (m)	機体高さ (m)
Onne	オランダ	0.45	11	2017	2017	4	10	10	10	10	10	10	10	10
Lely	オランダ	0.5	4	2014	2014	4	10	10	10	10	10	10	10	10
Blyth	英国	2.0	2	2010	2010	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Stanger	オランダ	1.0	2	2010	2010	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Stanger	オランダ	1.0	2	2010	2010	10	10	10	10	10	10	10	10	10

更新された洋上風車の例

名称	国名	容量 (MW)	機数	撤去開始年	撤去完了年	水深 (m)	機体重量 (t)	機体長さ (m)	機体幅 (m)	機体高さ (m)	機体重量 (t)	機体長さ (m)	機体幅 (m)	機体高さ (m)
Stanger	オランダ	1.0	2	2010	2010	10	10	10	10	10	10	10	10	10

図-3.121

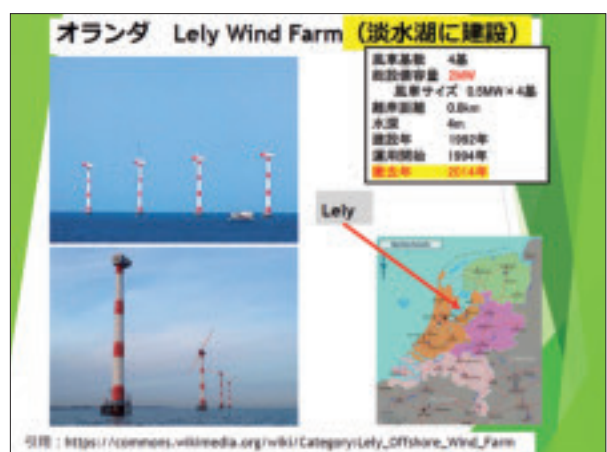


図-3.123

撤去された洋上風車の例

海外における最近式洋上風力発電機の廃止事例の一部 (1/1)

名称	国名	容量 (MW)	機数	撤去開始年	撤去完了年	水深 (m)	機体重量 (t)	機体長さ (m)	機体幅 (m)	機体高さ (m)	機体重量 (t)	機体長さ (m)	機体幅 (m)	機体高さ (m)
Onne	オランダ	0.45	11	2017	2017	4	10	10	10	10	10	10	10	10
Lely	オランダ	0.5	4	2014	2014	4	10	10	10	10	10	10	10	10
Blyth	英国	2.0	2	2010	2010	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Stanger	オランダ	1.0	2	2010	2010	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Stanger	オランダ	1.0	2	2010	2010	10	10	10	10	10	10	10	10	10

更新された洋上風車の例

名称	国名	容量 (MW)	機数	撤去開始年	撤去完了年	水深 (m)	機体重量 (t)	機体長さ (m)	機体幅 (m)	機体高さ (m)	機体重量 (t)	機体長さ (m)	機体幅 (m)	機体高さ (m)
Stanger	オランダ	1.0	2	2010	2010	10	10	10	10	10	10	10	10	10

引用：環境省 水・大気環境局 水環境課 海洋環境室
風力発電機設置の廃止許可に係る考え方、令和3年9月

図-3.122



図-3.124

て撤去している状況を示しております（図-3.126）。

次に紹介するのは英国の Blyth ウインドファームです。2 MW の洋上風車が 2 基設置されておりました。洋上風車の運用開始は 2000 年で、運用開始から 19 年後の 2019 年に撤去されました（図-3.127）。

次は、スウェーデンの Utgrunden ウインドファームです。洋上風車は 1.5 MW で 7 基が設置されております。この洋上風車はスウェーデン本土とエーランド島の間のカルマル海峡の浅瀬部に建設されておりました。この風車の運用開始は 2000 年です（図-3.128）。私は 2003 年 6 月にこの風車を洋上から実際に見学したことがあります。風車の運用開始から 18 年後の 2018 年に撤去されております。この写真は撤

去状況を示しています。風車は SEP を用いてブレードを撤去し、次いでナセル、タワーの順に撤去されます。中央下の写真はタワーを撤去した後にトランジションピースと基礎杭が残っている段階の写真です（図-3.129）。



図-3.127



図-3.125

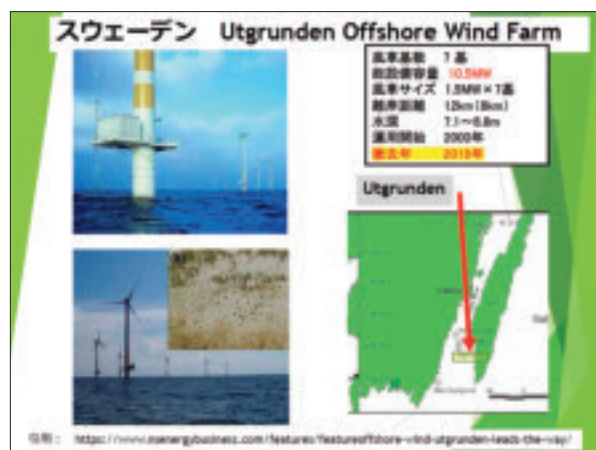


図-3.128



図-3.126

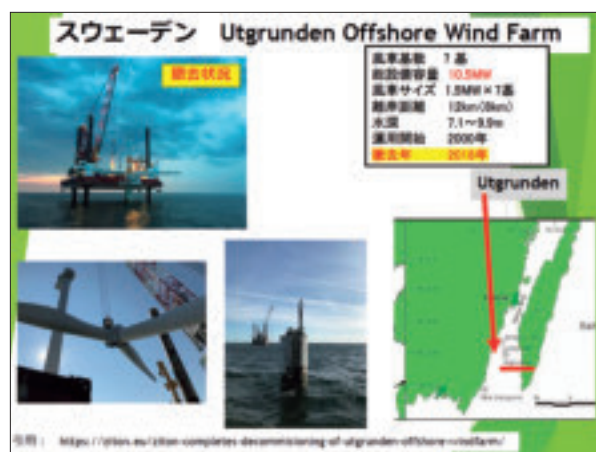


図-3.129

次にスウェーデンの Yutre Stengurund 洋上ウインドファームの撤去について説明します。この風車のサイズは2 MW で、5 基が建設されていきました。運用開始は2001年、運用開始から14年後の2015年に撤去されております(図-3.130)。これは Yutre Stengurund 洋上ウインドファームの撤去状況を示しています。これまで説明してきたように、風車の撤去は設置の場合と逆の手順で行われるので、撤去はまず風車ブレードからこのように開始されていきます(図-3.131)。

次に、既設の洋上風車が撤去された後に、新しい洋上風車が設置された事例について示します。

これは、スウェーデンの Bockstigen 洋上風力発電所です。0.55 MW の洋上風車が5基設

置されており、1998年から運用されておりました。このウインドファームは2018年に5 MW の洋上風車10基に更新されました。更新により、この海域のウインドファームの設備容量は当初の2.75 MW (0.55 MW × 5 基) から50 MW (5 MW × 10 基) に増大しました(図-3.132、図-3.133)。

今回で、全6回の洋上風力発電技術セミナーを終えることになりました(図-3.134)。全体をとりまとめ、今後の洋上風力発電設備についての展望について、ひとこと述べたいと思います。

これは全6回の講演タイトルと内容を示しております。1回目と2回目は、2050年カーボンニュートラル実現のために必要な技術である洋上風力発電の国内外の動向について示しまし



図-3.130

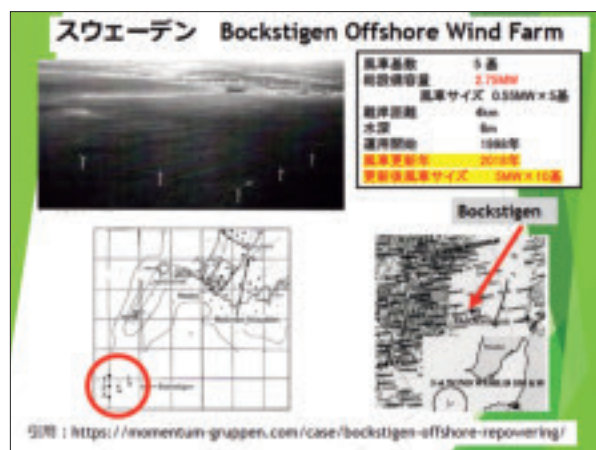


図-3.132



図-3.131



図-3.133

た。第3回から第5回は、モノパイル、ジャケット構造、浮体構造について、構造型式別の技術の現状や国内外の建設事例を紹介しました。そして、今回は実際の洋上風力発電設備のオペレーション、維持管理、施設の廃棄について紹介しました（図-3.135）。

我が国における風力発電の導入目標は、2030年までに10GW、2040年までに30GW～45GWとされております。それを実現していくた

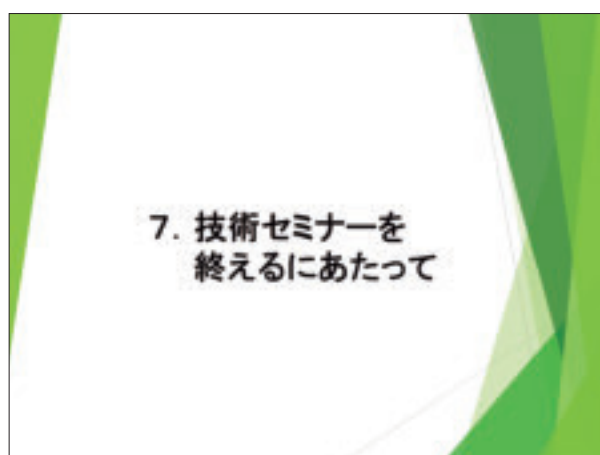


図-3.134

めにはさまざまな課題があり、着実に技術開発を進めていく必要があります。ここには、計画・調査、国内生産体制、基地港湾の整備、建設コスト、技術者の五つのカテゴリーについて課題となる項目を列挙しています（図-3.136）。これらは、単独に解決すれば良いものではなく、相互に関連して解決していかなければなりません。目標年次に実現すべき姿から時間を逆算して、今、何を進めていくか、どのように先行投資していくのか、風車のライフタイムにおけるコスト削減をどう図って行くのか、これらの課題を解決していくための残された時間はそう多くはないと思います。化石燃料によるエネルギー利用から再生可能エネルギーの利用への大転換は急がれます。この夏の猛暑、あるいは地球規模で生じている環境変化から残された時間は、そう多くないと私自身も感じております。

それでは全6回に渡り、長らくのご清聴ありがとうございました。

洋上風力発電技術セミナー			
回	タイトル	内容	会場
第1回 8/4, 10, 14 (四)	カーボンニュートラルと洋上風力発電	・地球温暖化対策 ・カーボンニュートラル ・洋上風力発電の現状と展望 ・世界における導入状況	東京プラザホテル札幌 （第1館） 15:30～17:00
第2回 8/4, 12, 5 (水)	日本および海外における計画	・日本における研究開発 ・海外における開発 ・一部海外における開発	東京プラザホテル札幌 （第1館） 15:30～17:00
第3回 8/5, 2, 16 (水)	モノパイル構造の計画・設計・施工	・モノパイル構造 ・開発の歴史 ・世界における建設状況 ・設計・施工	TKA札幌野カンファレンス センター（第1ホール） 15:00～16:30
第4回 8/4, 21 (金)	ジャケット構造の計画・設計・施工	・ジャケット構造 ・開発の歴史 ・世界における建設状況 ・設計・施工	TKAホールディングス 札幌駅前（ホール30） 15:00～16:30
第5回 8/5, 6, 13 (金)	浮体構造の計画・設計・施工	・浮体構造 ・開発の歴史 ・世界における建設状況 ・設計・施工	TKA札幌野カンファレンス センター（第1ホール） 15:00～16:30
第6回 8/5, 8, 13 (金)	オペレーション・維持管理・施設の廃棄	・風力発電施設のオペレーション ・維持管理 ・施設の廃棄	TKA札幌野カンファレンス センター（第1ホール） 15:00～16:30

図-3.135

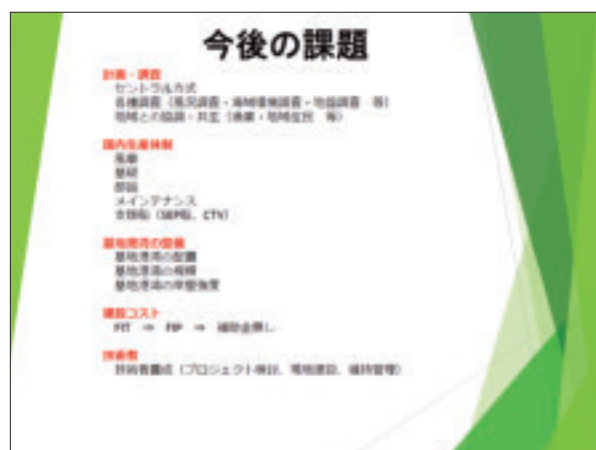


図-3.136