

1 第4回「ジャケット構造の計画・設計・施工」



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)

会場へお越しの皆様、ならびに WEB で視聴されている全国の皆様、今日また講演をさせていただきます白石と申します。よろしくお願ひします。今回につきましては、前回のモノパイル構造に引き続きまして、ジャケット構造について説明させていただきます(図-1.1)。それでは、着席のうえ説明をさせていただきます。

ここに地球温暖化に関連する様々なキーワードを書かせていただいております。2050年カーボンニュートラルを目標に現在様々な施策が動いております。その中で、発電形式として洋上風力発電についての注目度が益々高まっております(図-1.2)。

再生可能エネルギーへの期待としましては、地球温暖化を抑えるためのCO₂の削減に加えて、我が国は原油やLNG、石炭を大量に輸入しているわけですから、エネルギー自給率が低いことから、再生可能エネルギーを導入拡大することによって、我が国のエネルギー自給率の向

上にも資するものと思っております(図-1.3)。

さて、これは毎回出している資料でございますが、陸上の風車と異なりまして、洋上の風車は海洋基礎が必要です(図-1.4)。今回は、この海洋基礎の構造がジャケット構造のものを中心に説明させていただきます。

こちらでも毎回出している資料でございますが、出力としてはkWという単位、それから発電電力量としてはkWhという単位で説明していきます。説明の中でkW、MW、GWという単位が出てきますが、現状の洋上風車のサイズは、だいたい8~10MWです。最近では大型化しております、15MWぐらいのものも近々現地に建設されていくことになっています。GW

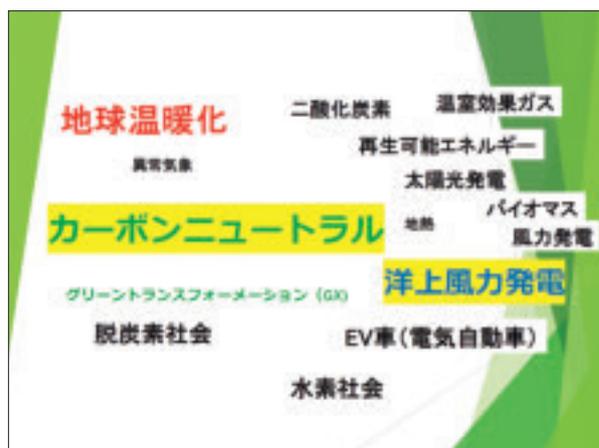


図-1.2

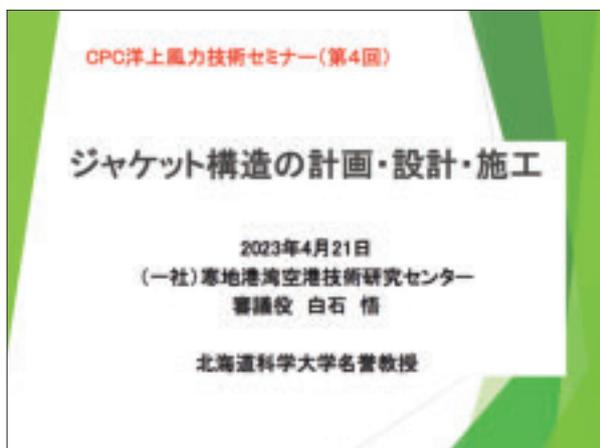


図-1.1

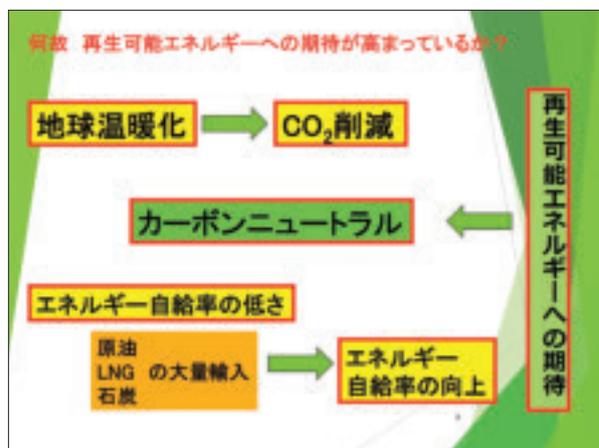


図-1.3

という単位は平均的な火力発電所の規模と考えていただければと思います（図-1.5）。

最近の話題ということで、この2カ月間の変化について少しレビューをさせていただきたいと思います。

最初の話題としましては、石狩湾新港においてこの5月より実際にジャケット方式の洋上風力発電所が建設されますが、その作業員を輸送するためのCTVが建造されて、その船の名前も公表されました。CTVというのはCrew Transfer Vesselの略称で洋上風力発電設備向けの作業員を輸送する船になります（図-1.6）。

それから、この時期は前の年の風力発電の導入量について公表される時期になります。まず2月28日にはWind Europe、これはヨーロッパの再生可能エネルギー、風力エネルギーの機

関ですが、ここが2022年の統計と、それから2023年～2027年への見通しを公表しております（図-1.7）。

ヨーロッパにおける2022年の新規導入量なのですが、ドイツ、スウェーデン、フィンランド、フランスなどが、導入量が多い国です。濃い青と薄い青がありますが、薄い青の部分が洋上風力発電ということで、これで見ますと英国の導入量が多い状況になっているのが分かります。あと風力発電が多いのはドイツですね。これは新規の導入量で薄い青が洋上の新規導入量を示しています（図-1.8）。

また北海道の中でも、北海道水素イノベーション推進協議会あるいは北海道水素地域づくりプラットフォーム勉強会という組織があり、両組織は毎年1回合同会議を行っております

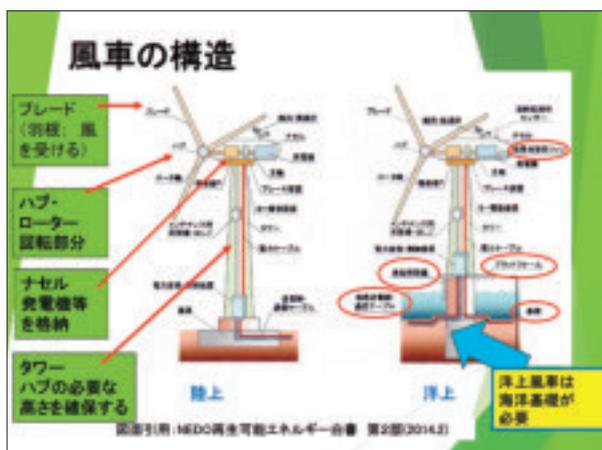


図-1.4



図-1.6

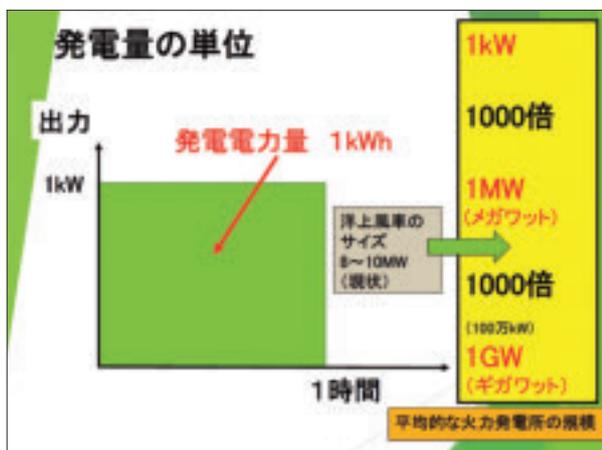


図-1.5



図-1.7

て、今年は去る3月9日に行われております(図-1.9)。

それからIPCCです。第56回総会が3月13日～20日にかけて行われ、我が国からも代表者16名が出席しております(図-1.10)。



図-1.8

IPCCから第6次の報告書が公表されました。ワーキンググループは三つありまして、ワーキンググループ1・2・3の報告書が出るとともに、加えて特別報告書も出されています(図-1.11)。

この中でいろいろな報告書が出ているのですが、これは政策決定者向けの要約文ですが、これは英文を最初に示しておりますが、unequivocalという単語は、「明白な」とか「疑う余地がない」という意味で、人類の影響が地球温暖化に影響しているのは疑う余地がないという表現に今回なっております(図-1.12～図-1.15)。この辺の英文の説明は割愛させていただきますが、和訳文について説明させていただきます。先程申し上げたように、人類の影響が大気、海洋、及び陸域を温暖化させてきたことは疑う余地がな

図-1.9

図-1.11

図-1.10

図-1.12

く、従前のレポート以上に地球温暖化の要因として人類の影響が大きいという表現になっております（図-1.16）。

それから将来起こり得る気候については、向こう数十年の間に温室効果ガスの排出を大幅に

減少させない限り、21世紀末には1.5℃及び2℃の地球温暖化が生ずるということであります。さらにこの影響としては海面水位上昇があり、この間の影響変化が今後数百年から数千年に渡って影響を及ぼすと謳われております（図-1.17）。

これらに対して、いろいろな気候変動があるということで、ここには氷床の崩壊とか急激な海洋循環の変化などが起こると記されております（図-1.18）。

そして将来の気候変動を抑制するためには、CO₂の累積排出量を制限し、少なくとも正味ゼロのCO₂排出を達成する必要があります。他の温室効果ガスもございますから、これらを同時に大幅削減する必要があるということです（図-1.19）。

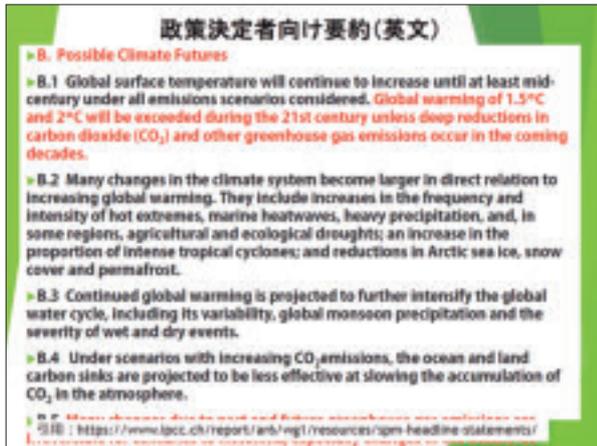


図-1.13



図-1.14

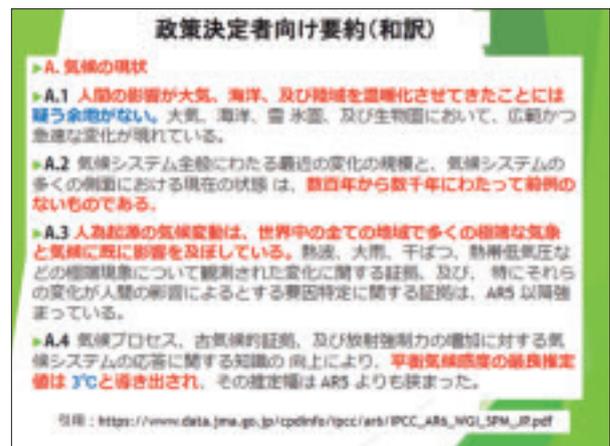


図-1.16



図-1.15

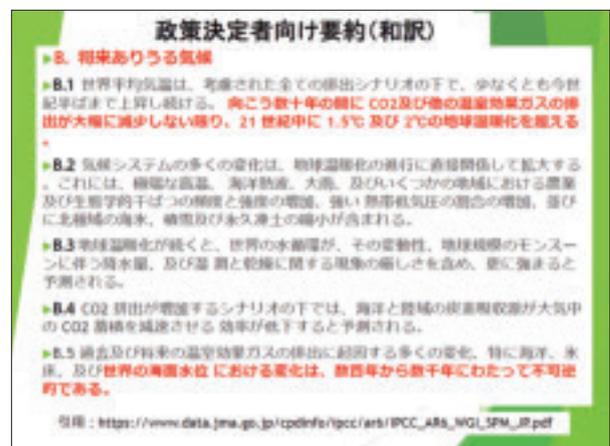


図-1.17

また Global Wind Report が公表されました (図-1.20)。GWEC (Global Wind Energy Council) という機関が 2023 年のレポートを出しております。これは世界的な風力発電の統計を示しており、例えば新規導入量について、洋

上では中国あるいは英国のシェアが大きいということです。累積導入量についても、やはり洋上では中国と英国のシェアが大きいという統計量が公表されております (図-1.21)。

また電力広域的運営推進機関 (OCCTO) が、広域系統連携のマスタープラン、長期方針をこの 3 月 29 日に公表しております (図-1.22)。それによると、全国の電力系統機能を今後どう拡大させていくかが示されていますが、北海道の部分だけ拡大してみますと、北海道から東北・東京に向けて日本海ルートあるいは太平洋ルートで、新たに送電線網を強化するプランが示されております。そういったものを新設するにはだいたい 2.5~3.4 兆円の投資が必要だと示されております (図-1.23、図-1.24)。

これらに対して費用便益評価も示されてお

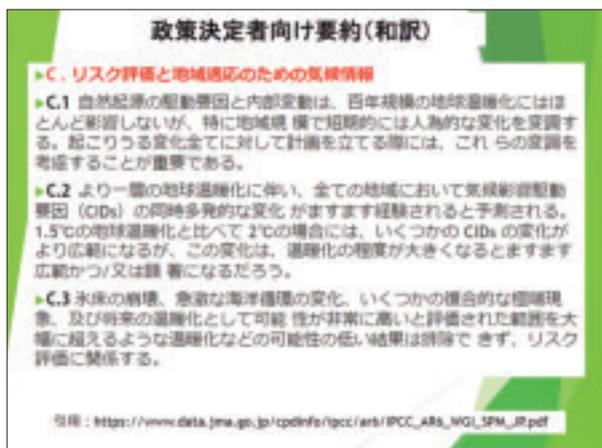


図-1.18

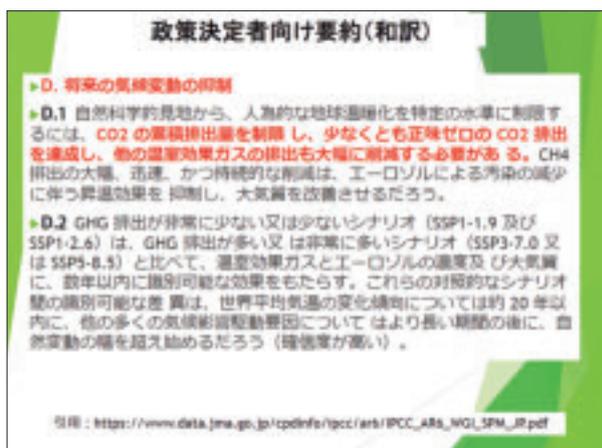


図-1.19



図-1.21



図-1.20



図-1.22

り、ベースシナリオですと、B/Cは0.7~1.5です。この数字が高いか低いかはよくわかりませんが、こういった数値も出ております(図-1.25)。

それからアメリカでは、エネルギー省が洋上

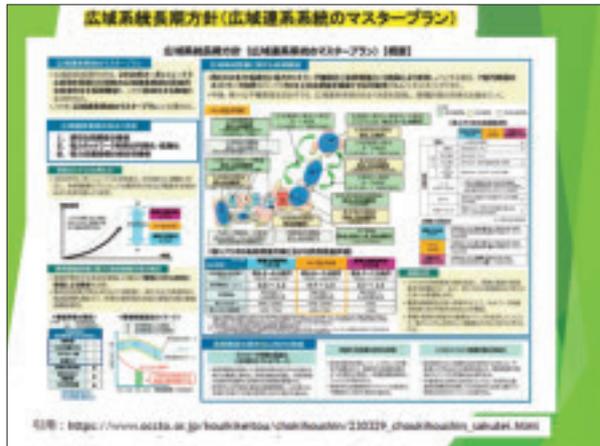


図-1.23

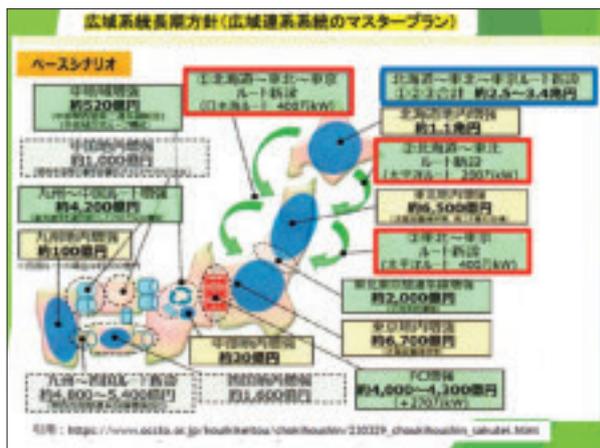


図-1.24

広域系統長期方針(広域連系系統のマスタープラン)

【各シナリオの系統増強方策における費用便益評価】

分析項目	シナリオ	需要立地増強シナリオ	ベースシナリオ	需要立地自然体シナリオ
系統増強の投資額 ⁽¹⁾ (百億円)		約6.0~6.9億円 (90.35~944.97%)	約6.0~7.0億円 (90.35~944.97%)	約6.7~7.9億円 (90.35~944.97%)
費用便益比(B/C)		0.6~1.2	0.7~1.5	0.7~1.5
年間便益		約3,200~ 5,800億円/年	約4,200~ 7,300億円/年	約4,600~ 8,200億円/年
再生比率 ⁽²⁾		49%(50%)	47%(50%)	47%
再生出力削減率 ⁽³⁾		10%(7%)	12%(7%)	13%

注1) 投資額は、系統増強の投資額(送電設備の投資額)と、送電設備の運用・保守費の合計額を示す。送電設備の運用・保守費は、送電設備の投資額の約1%と仮定している。
注2) 再生比率は、系統増強の投資額に対する年間便益の比率を示す。再生比率は、送電設備の運用・保守費を考慮していない。
注3) 再生出力削減率は、系統増強の投資額に対する再生出力削減額の比率を示す。再生出力削減額は、送電設備の運用・保守費を考慮していない。

引用: https://www.ecsfa.or.jp/koukuseisaku/chaikouken/210219_chaikouken_sabutei.html

図-1.25

風力発電の開発目標を公表しております。公表日は今年の3月29日になります(図-1.26)。この中では、いろいろな仕組みを行って洋上風力を拡大していく取り組みを謳っております(図-1.27)。

ではこういった形で洋上に風力発電を展開するのか、まずFixedと書いてあるのが着床式の風力発電を今後建設していこうという海域、それからFloating、浮体式については東海岸・西海岸、それから五大湖の中にそういう海域を設定しているということでございます(図-1.28)。

そして、導入目標値は2030年には30GW、それから2050年には110GWを超える値を目標値として挙げております。日本の洋上風力発電の目標値を比較してみますと、日本の目標値は2030年が10GW、2040年が30~45GWで

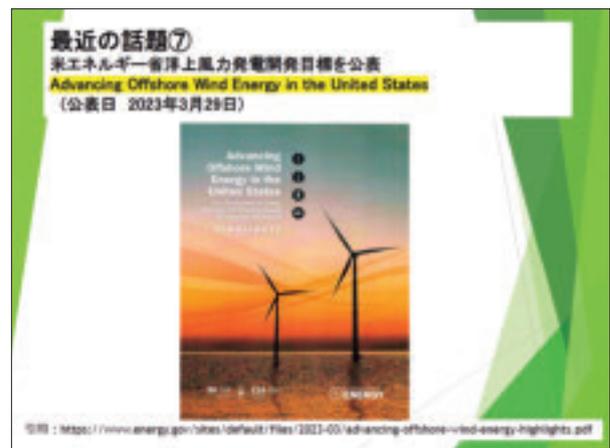


図-1.26



図-1.27

す。アメリカは国土面積が広く、日本の3倍程度の目標値を洋上で掲げていることとなります(図-1.29)。

それから、技術的な観点からいきますと、コンクリート製浮体式洋上風力発電施設の設計施工ガイドライン、これは国土交通省の海事局で策定されました。このようなことが技術的なニュースとして挙げられます。設計施工ガイドラインの内容について詳しい説明は割愛させていただきますが、いろいろなコンクリートの製造要件やコンクリート製支持構造物の設計要件、コンクリート製支持構造物の施工要件などが取りまとめられております(図-1.30、図-1.31)。

それから、水素エネルギーと再生可能エネルギーの普及に向けた関係閣僚会議、これは日本

政府の会議です(図-1.32)。この中で、水素については現状の約6倍に、水素エネルギーの利用拡大を目指していくと謳われております。これが政策の骨格ですが、2030年300万tという先の目標値として2040年には1200万tを目標

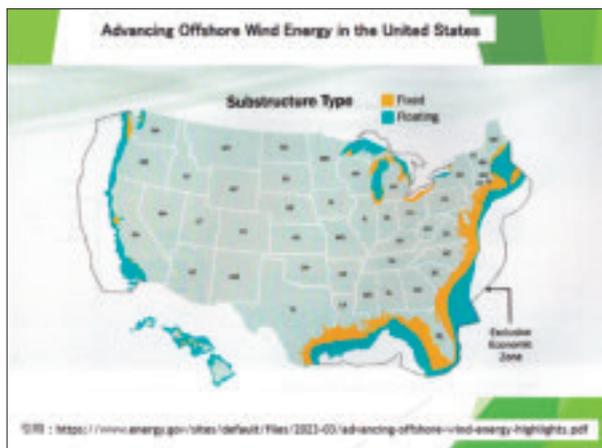


図-1.31



図-1.32

としています。現状のものからすると確か6倍ぐらいだったと思いますが、導入拡大させていこうという大きな目標値を挙げております(図-1.33)。

それから産業戦略としての浮体についてですが、日本の場合は洋上と言っても水深が急に深くなりますから、利用を拡大していくとすれば構造的に浮体式を導入せざるを得ません。利用拡大のためには浮体式を今後導入していこうというプランが出されております(図-1.34)。

それからNEDOという機関、国立研究開発法人新エネルギー産業技術総合開発機構の略称でございますが、ここが洋上風況観測ガイドブックを今年4月6日に公表しています(図-1.35)。これはガイドブックに示されている海洋における観測例です。むつ小川原港の風況観

測の例ですが、防波堤上に観測点を設けて、洋上の風況を調査するものです。こういう洋上風況の観測のためのガイドブックも公表されております(図-1.36)。

さて今日はジャケット構造について説明させていただきますが、本日の内容としては、ジャケット構造はどんなものであるのか。それから、ジャケットの建造はどのように行うのか。そして、ジャケット構造全般の説明を行います。次いで、風車基礎ジャケットの製造についての説明に移ります。それから、ジャケット構造によるウインドファームはどのように形成されるのか。構造設計、現地施工、あるいは洋上風力ジャケットの海外の事例集について説明をさせていただきます。また今年5月より石狩湾新港において洋上風車、ジャケットを基礎とするも



図-1.33



図-1.35



図-1.34

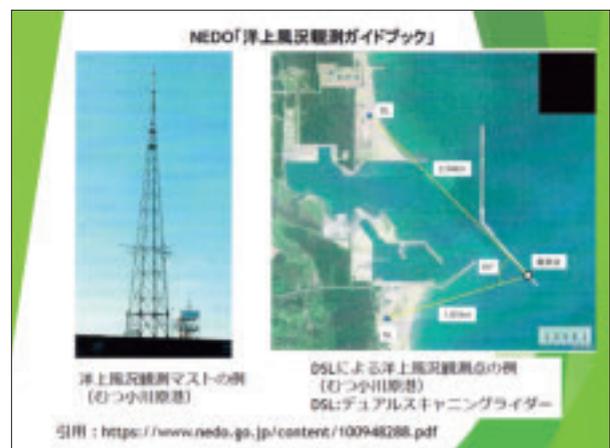


図-1.36

のが建設されますので、最後にその概要を説明させていただきます (図-1.37)。

水深の浅いところでは1本の杭の着床式、モノパイルと言われている構造で建設可能です。少し深くなると、骨組み構造が必要になります。ここで示しているものはトリポットという構造形式でございます。これも一応ジャケットの構造分類の中に入れていただいております。骨組み構造で支持していくものです (図-1.38)。さらに深くなると、浮体式ということで、この浮体式については次回、6月に説明をさせていただきます。

これは大陸棚の定義ですが、EEZ というのは排他的経済水域で、この海域になりますが、欧州の場合は非常に遠浅ですから、この EEZ の中に前回説明したモノパイル構造であるとか、

今回説明いたしますジャケッ構造についても、この EEZ の中に展開していくことになります。日本の場合は水深が急深になりますから、おそらくこの EEZ の中で建設されるのは浮体構造中心にならざるを得ないかと思っております (図-1.39)。

日本の国土の面積は世界第 60 位ですが、領海と EEZ を含めると世界第 6 位という保有面積を持っています。これから大水深への建設技術が進み、洋上風力発電を導入拡大するためには、この EEZ の中に展開するというのが将来的には必要になると思っております (図-1.40)。

海洋構造物の分類をここに示させていただきます。まずは浮体によるもの、それから脚があるもので、今回説明するジャケッ式、あるいは重力式です。この中のジャケッ式に注

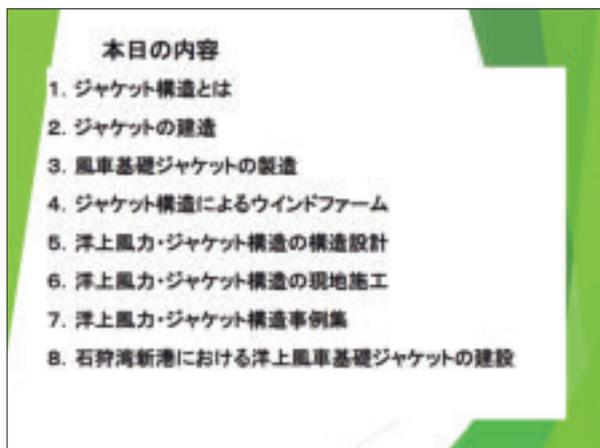


図-1.37

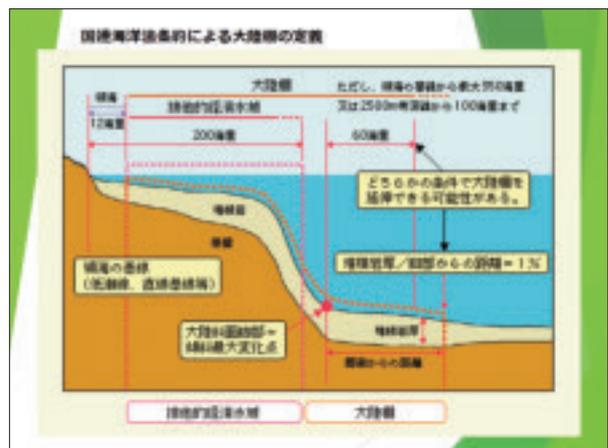


図-1.39

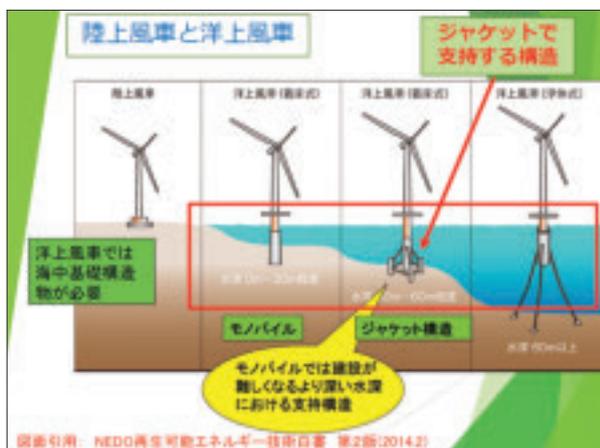


図-1.38

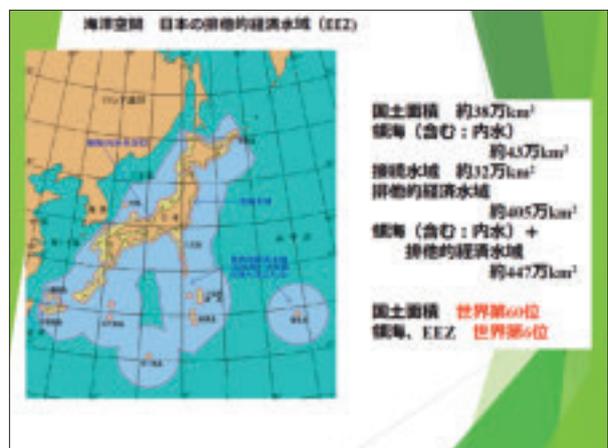


図-1.40

目して本日は説明を進めさせていただきます(図-1.41)。

これは水深によってどういう構造に変わるかということを示したものです。これは北海でコンクリート製のプラットフォーム、石油やガスを掘削し貯蔵するプラットフォームが水深によってどのように構造変化していくかを示したものです。水深が深くなると、重力式では建設が難しくなりますので、浮体式になります。ジャケット式も領域的にはこういう水深が深くなる場所で使われる構造になります(図-1.42)。

これは石油掘削プラットフォームの構造形式でございます。このようにジャケット式や浮体式が使われ、水深により使い分けがなされています(図-1.43)。

北海における石油プラットフォームとして

は、様々な構造が混在して使われております。例えば、ノルウェーとスコットランドの沖合、ここはシェトランド諸島です。その間にプラットフォームが幾つかあるのですが、その水深によって重力式が使われていたり、浮体式の中のテンションレグプラットフォームが使われていたり、ジャケット式が使われている形になっております(図-1.44)。

重力式海洋構造物の特徴としては、現場に構造物を持って行って据え付けることで、現地での施工期間が短いです。建設のために特殊な海域の地形が必要であり、北海地域ではフィヨルド地形が活用されています(図-1.45)。

その例として、Troll A という重力式構造によるプロジェクトがどこで建設され、現地に曳航されたかを示しています。スタバンガーとい

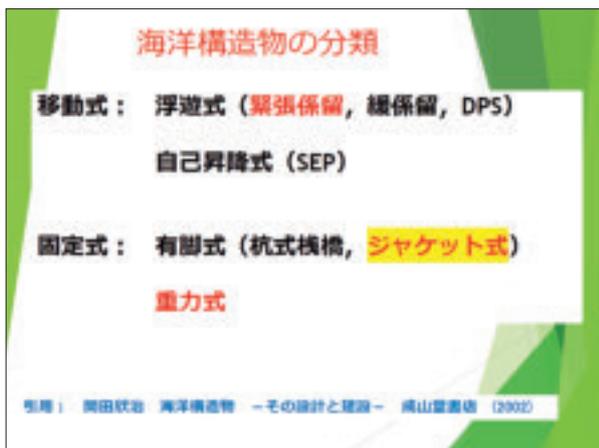


図-1.41



図-1.43



図-1.42

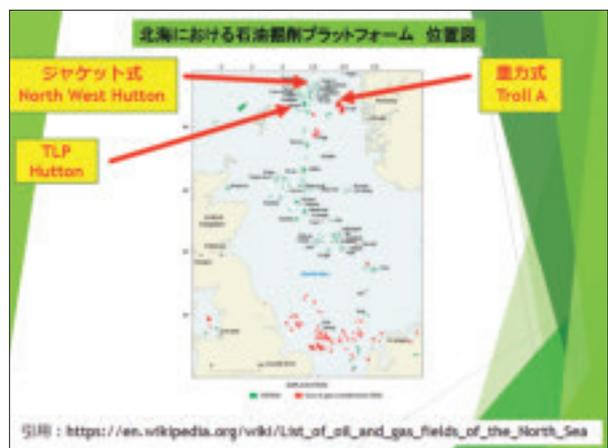


図-1.44

う都市の北の方にあるベーテスという町の海域で建設されて、現地海域に曳航されたという事例でございます（図-1.46）。

施設に対して電源をどう供給するかということですが、これは海底送電線を用いてこのプラットフォームに電源を供給しており、日本企業がここの電源供給に関与しているとのこと（図-1.47）。

重力式海洋構造物の場合、このポンチ絵のような形で建設が進められています。浅い海域で基礎をつくって、それを徐々に深い海域に持って行って建造し、最終的に現地に据える工程で建設されています（図-1.48）。

テンションレグプラットフォーム（TLP）については、浮体構造をテンドンという緊張材で海底地盤に繋げるものです。一つの特徴とし

て、従来の浮体に比べ動揺が少ないことが挙げられます。この張力を保持するために海底の基礎が大きくなります（図-1.49）。セミサブ浮体をテンドンによって緊張係留し、海底地盤に繋ぎとめます（図-1.50）。これは Hutton という



図-1.47



図-1.45

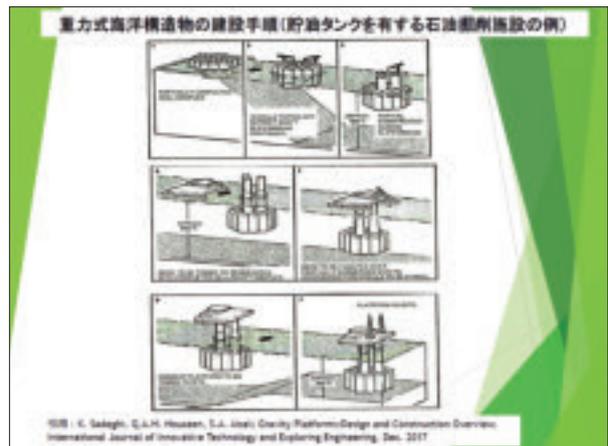


図-1.48



図-1.46

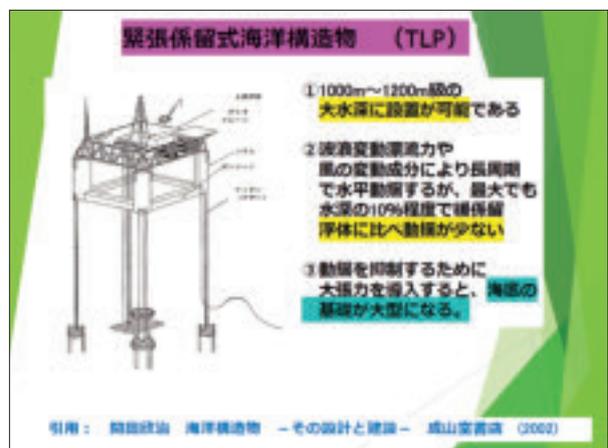


図-1.49

TLP 構造の石油生産基地の例なのですが、図のような構造で実際に建設されました (図-1.51)。1984年に現地に設置され、生産が開始し、2001年に生産が終了しています。現在は廃棄の手続きが進められていると聞いております。他の場所に移設し利用する計画があったのですがプロジェクトが中止になり、いよいよ廃棄になるようです (図-1.52)。

それから浮体式の海底石油・ガス掘削システムとしては、このように船を使った船舶型のものがございます。これは Floating Production, Storage and Offloading system の略として、FPSO と呼ばれるものを示しております (図-1.53)。実際に浮体で建設される例もあり、その例です。これは 2025年に生産開始の予定の Trion という構造のプロジェクト例でございま

す (図-1.54)。

今日説明するジャケッ式海洋構造物ですが、こういう骨組み構造で構成される固定構造なので、浮体と違って波力や流れの影響を受けにくく耐震性にも優れます。北海の場合はあま



図-1.52

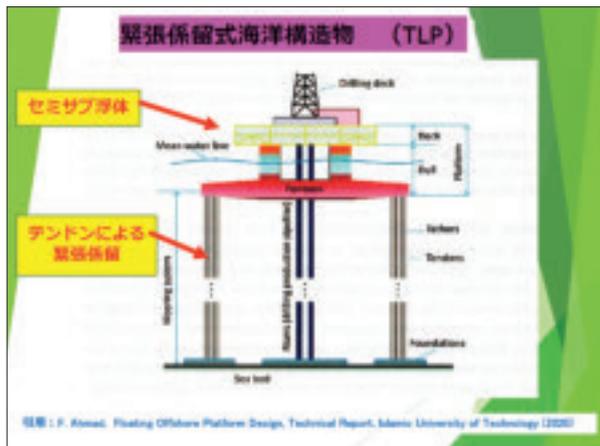


図-1.50



図-1.53

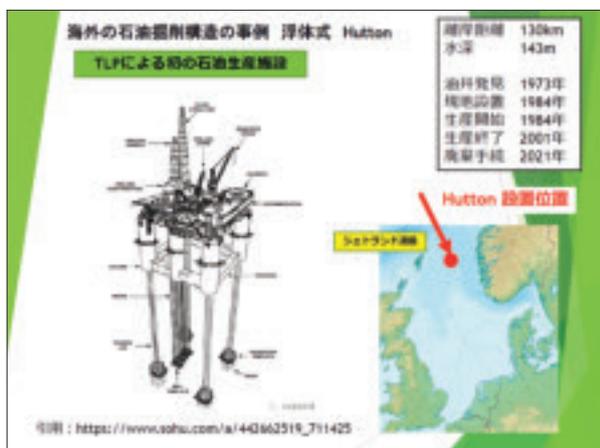


図-1.51



図-1.54

り地震がなく、耐震性は特に問題にならないのですが、この構造はダクティリティが大きい特徴を有しています。それから軟弱地盤など種々の地盤に対応できるということですが、波浪荷重に対する疲労が問題になることが課題として挙げられ、疲労設計が重要になります (図-1.55)。

これは North West Hutton で、ノルウェーとシェトランド島の間にある North West Hutton という地点に建設されたジャケット構造の事例です。1981年に設置され、1983年に生産を開始、2002年に生産が終了、現在廃棄手続き中だと聞いております (図-1.56)。このようなジャケット構造を用いて、石油や天然ガスを採掘するシステムになっております (図-1.57)。こういうジャケット式については、メキシコ湾の石

油開発でたくさん用いられており、ここに示す点が全部ジャケット構造の設置地点ということになります (図-1.58)。

ジャケット構造は、日本で石油掘削プラットフォームとして使われる例はあまり多くありません。日本周辺で石油あるいは天然ガスが見つかることが少なく、そのため事例は少ないです (図-1.59)。事例としては、新潟県の阿賀沖プラットフォームと福島県の磐城沖プラットフォームがあります。阿賀沖石油プラットフォームは、1974年にプラットフォームが設置され、実際に生産した後、1999年に撤去されています (図-1.60)。これが生産当時のプラットフォームの全景写真と構造図です (図-1.61)。それから磐城沖のプラットフォームは1983年に設置され、2010年に撤去が行われました (図-

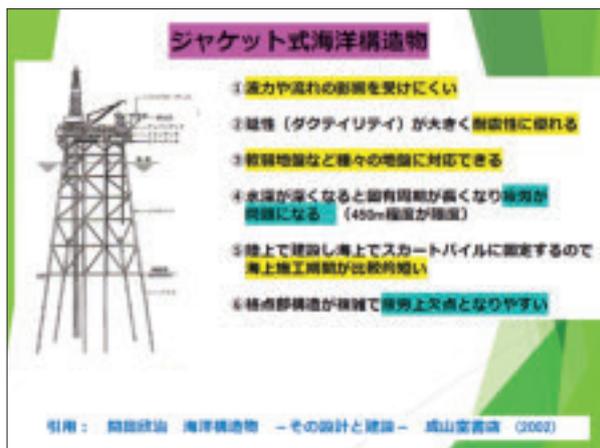


図-1.55

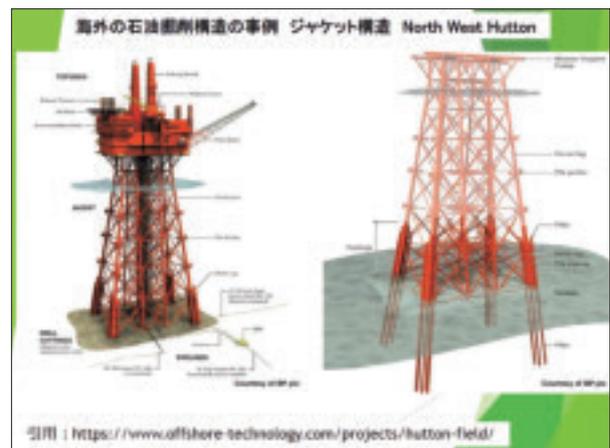


図-1.57

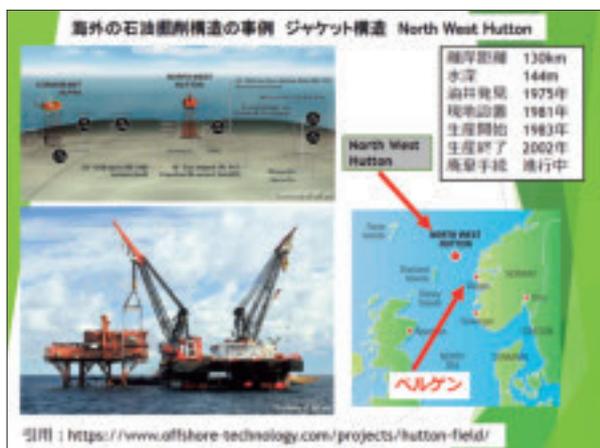


図-1.56

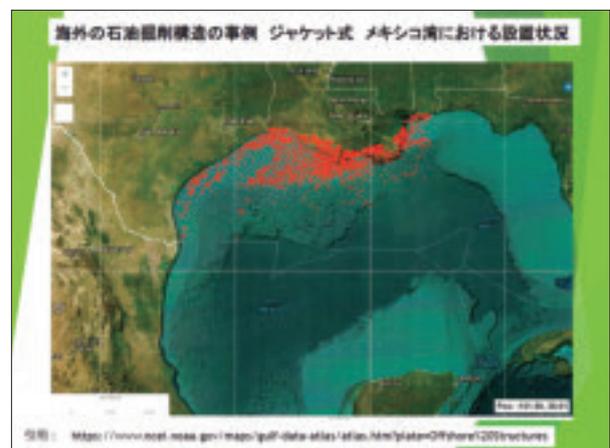


図-1.58

1.62)。これが磐城沖石油プラットフォーム構造で、こちらはジャケットを現地に積み出した時の写真です(図-1.63、図-1.64)。このプラットフォームについては、生産終了に伴い撤去作業を始めることが告知され、そのホームページ

の記事から切り取って来た写真と図面です(図-1.65)。

ジャケット構造は港湾構造物でも使われており、例えば北海道では、釧路港の国際物流ターミナルで採用されています。この栈橋にジャ



図-1.59



図-1.62



図-1.60

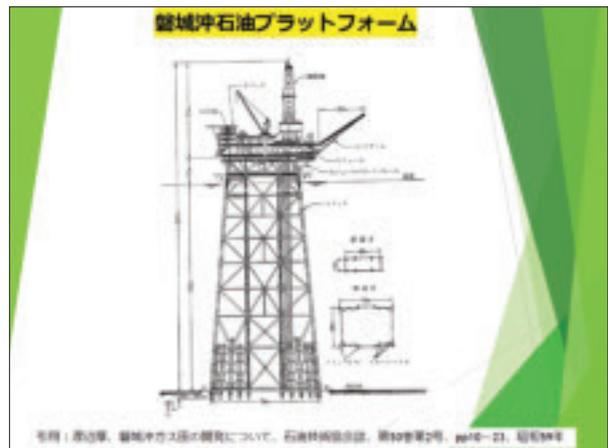


図-1.63



図-1.61



図-1.64

ケット構造が使われています（図-1.66）。この
 栈橋は、北米などからの穀物運搬船を釧路港に
 入れる時の、係留施設の構造としてジャケット
 構造が採用されました（図-1.67）。これは本州
 の製作ヤードで製作されたジャケットを台船に

乗せて北海道まで曳航して運搬し、そして設置
 した事例になります。こちらがその構造断面図
 です（図-1.68、図-1.69）。

さて、ジャケット建造はどのように制作され
 るか簡単に説明させていただきます。ジャケット
 の製造手順としては、ジャケットを造るため
 の材料を受け取り、その材料を切断・圧延・溶
 接し組み立てていきます。そして、そのジャ
 ケットを海上に浮遊させて現地に設置するとい
 うことで、内容的に細かな手順を示しています。
 この手順については、いろいろな数値が入って
 いますが、これはヨーロッパの製造会社のホ
 ムページの数値を日本語に訳し、記載させて
 いただいております。

あと生産にはどのような設備を使っているか
 というと、これが生産設備の概要です。これも



図-1.65



図-1.66



図-1.68



図-1.67



図-1.69

おります（図-1.82）。場所は旧東ドイツの領域の中にあるロストックという港に本社工場があります（図-1.83）。その他、世界的に幾つかの工場を展開しています（図-1.84）。先程は古いデータでしたが、最新のホームページを確認し

ますと、この赤い印がプロダクションとアドミニストレーションを行っている事業所で、アジアでは韓国とあるいはシンガポールに工場があるようです（図-1.85）。実際にモノパイル、トランジションピース、ジャケット、サブステーションを製作しています。このサブステーションというのは海の中に建設される変電所です。変電所の場合、ほとんどジャケット構造で造られます（図-1.86）。

実際に建造実績として、2015年の Wikinger というプロジェクトで、こんな断面構造を海の中に沈めて風車の基礎としています（図-1.87）。この上に風車のタワーを載せて、風車を載せるということで、ここから下が水面下になるわけです。このプロジェクトによる実際のウインドファームの写真です。このような形で建設さ

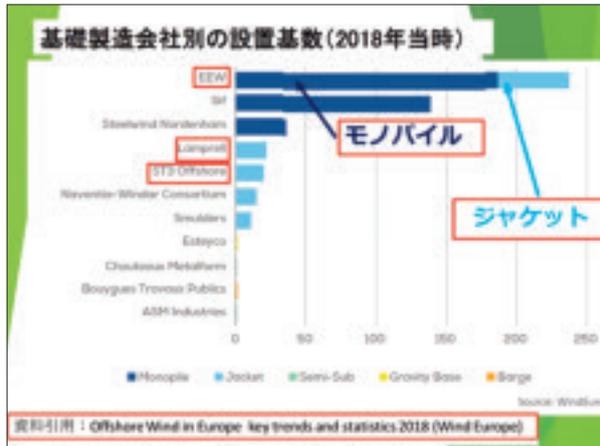


図-1.81



図-1.82



図-1.84



図-1.83



図-1.85

おります。このような SEP 船を使って、現地に設置作業が行われる形になります(図-1.91)。

Lamprell 社が建造予定の大きなプロジェクトとしては、スコットランドの東側の海域における Moray West があります。このプロジェクトは、14.7 MW の洋上風車 60 基を設置する計画になっております。建設承認が 2019 年に取れて、風車の製造契約が 2021 年ですから、現在、風車の製造中だと思います。これから現地に設置されるか、もしくは現在設置中です。運用開始は 2024 年～2025 年になるとのことです。水深がほしい 35～54 m の海域となりまして、モノパイルの設置される海域よりも深くなりますので、ジャケット基礎が採用されています。これは完成予想図なのですが、ジャケット構造なのかどうか、この絵からはよくわかりません

が、基礎をジャケットで作って、沈設させて風車の基礎とする構造で建設が進められているところ(図-1.92)。

それからもう一つ、ST3 Offshore 社、これはポーランドの Szczecin に製作工場があります(図-1.93)。実際に工場の中で製作している様子がこの写真です(図-1.94)。ホームページ等で確認すると、この会社は倒産し、デンマークの Vestas 社が買収交渉を行っているという記事が見受けられました。現状はどうなっているかわかりませんが、今年になってそういう形で買収交渉を行っているという記事がございましたので、そのような形で進んでいるものと思われます。

この ST3 Offshore 社の建造実績ですが、Borkum Riffgrund 2 プロジェクトがあります。



図-1.91



図-1.93



図-1.92



図-1.94

ドイツで8 MW の洋上風車が56 基建設され、設置水深は25~30 m です。モノパイルでも設置可能な水深なのですが、おそらく風車が大きくなることで、重量が大きくなるために、こういうジャケット構造を選定したものだと思います。これが実際にジャケットの構造上に風車を設置している作業の風景です。これはナセルにブレードを設置している状況の写真でございます(図-1.95)。

ジャケット構造によるウインドファームの建設事例について、若干見ていきたいと思えます。これがいろいろな情報から収集した、主要なウインドファームの一例です。J1~J17 はジャケット構造のみのウインドファームで、MJ1 と MJ2 はジャケット構造とモノパイル構造の両方が使われているウインドファームになります。一部数値が確認できなかったものもありますが、ウインドファームとしての設備容量が大きいものから小さいものへ順番に並べています(図-1.96)。

実際にそういう様々のデータから、ジャケット構造についてどういう傾向があるかを見ていきます。稼働開始年が来年ぐらいまでのものを含めておりますが、年々、風車のサイズが大きくなる傾向にあるのが確認できると思えます(図-1.97)。大きなサイズの風車を用いて、たくさんの風エネルギーを得ることによって、建設コ

ストの上昇に対応していく形になっていると思えます。

それからウインドファーム全体としての設備容量もやはり大きくなっています。従来のものと同じぐらいのものもありますが、ウインドファーム全体として容量の大規模化が進んでいます(図-1.98)。

それから最大水深を示します。最近は設置水深の深いものでは、60 m ぐらいのところまでジャケット構造によって建設されている事例がでてきております(図-1.99)。

もう一つは近い海域ではなく、離岸距離が大きな場所、陸側から距離の離れたところに設置される形です。距離としては130 km ぐらい離れたところで建設される事例があります(図-1.100)。日本では130 km も海岸線から離れる

ジャケット構造による主要なウインドファーム

名称	国	稼働開始年	風車数	容量	構造	水深	離岸距離	面積	備考
1	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
2	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
3	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
4	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
5	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
6	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
7	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
8	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
9	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
10	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
11	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
12	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
13	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
14	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
15	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
16	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
17	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
18	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
19	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
20	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
21	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
22	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
23	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
24	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
25	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
26	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
27	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
28	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
29	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
30	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
31	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
32	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
33	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
34	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
35	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
36	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
37	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
38	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
39	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
40	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
41	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
42	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
43	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
44	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
45	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
46	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
47	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
48	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
49	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
50	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
51	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
52	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
53	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
54	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
55	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
56	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
57	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
58	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
59	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	
60	英国	2012	10	100MW	モノパイル	25	22.5km	185km ²	

図-1.96



図-1.95

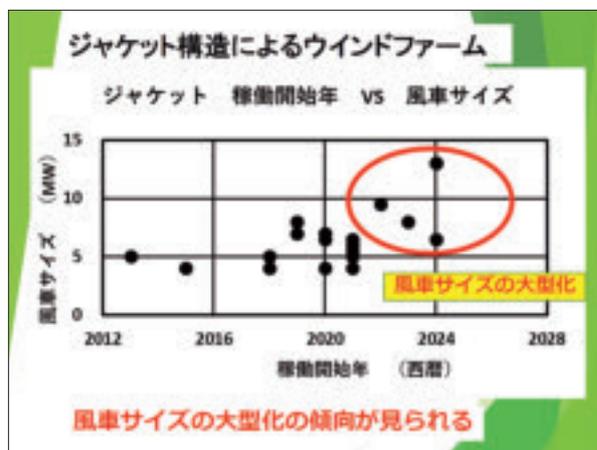


図-1.97

と水深が極めて深くなりますので、こんな離岸距離のところではジャケット構造での建設は不可能です。ヨーロッパの遠浅の地形ではこういう事例もあります。

それからジャケットの最大水深と風車1基の

サイズの関係です。最大水深が深いところでは、風車サイズの大きいものが使われる傾向になっています(図-1.101)。やはり水深が深いと建設費が掛かるので、大型風車を設置して、それによって発電量を多くする意図が働いていると思います。

それから最大水深と洋上ウインドファームとしての設備容量の関係です。これもやはり同じような傾向で、最大水深が深くなると洋上ウインドファームの規模が大きくなっています(図-1.102)。当然深くなると沿岸との距離も離れてきますので、海底送電線の建設コストも上がります。そこで、できるだけ設備容量の大きな洋上ウインドファームを開発する形になっているものと思われます。

それから、海の占有面積と洋上風力発電によ

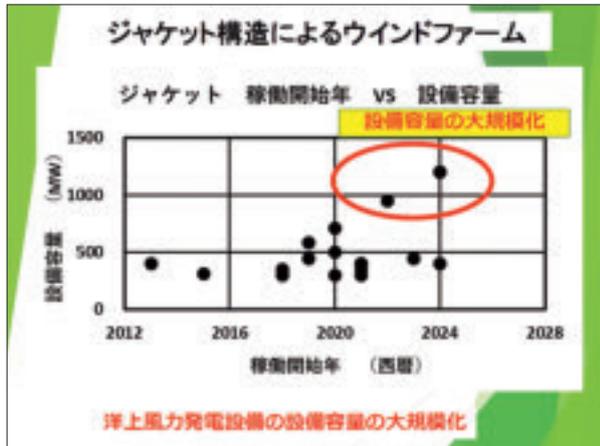


図-1.98

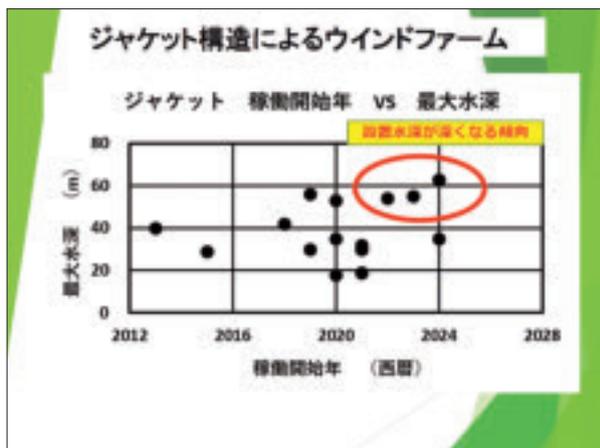


図-1.99

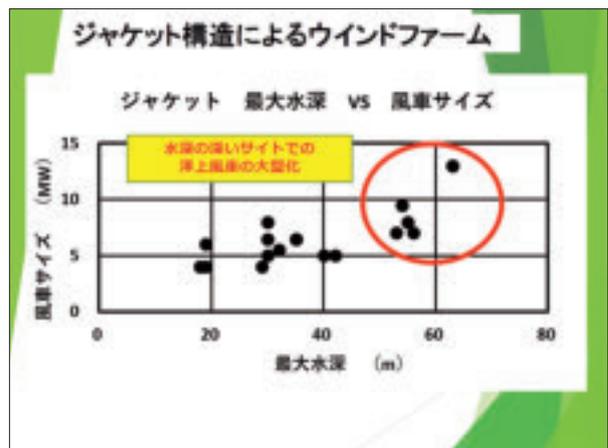


図-1.101

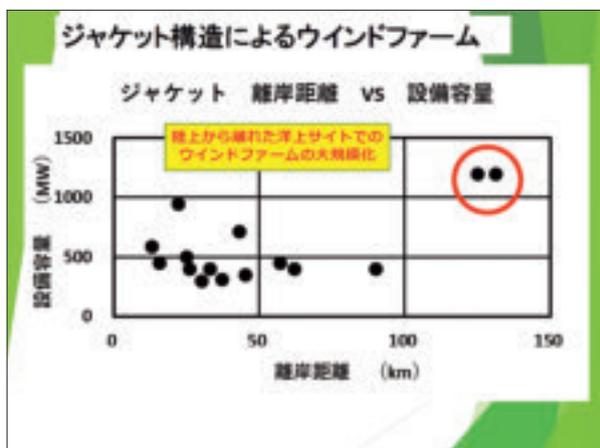


図-1.100

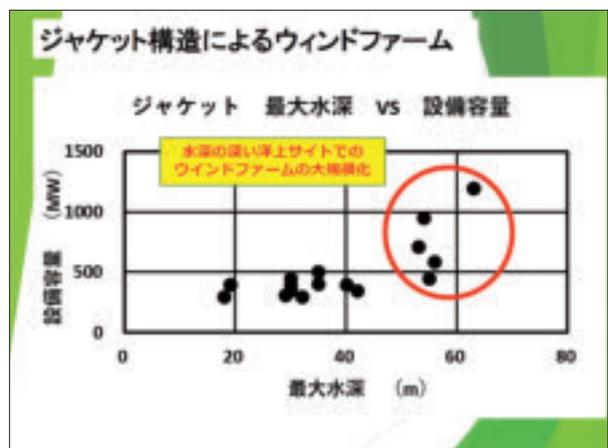


図-1.102

るウインドファームの設備容量の関係です。これは当然、占めるエリアが大きくなると、当然それだけ規模の大きな洋上ウインドファームになりますから、海域の占有面積と設備容量の関係は、今後も比例関係にあると言えます（図-1.103）。

次は、モノパイルと比較してジャケットはどのようなかということで、構造別に比較した図になります。これは、モノパイルの場合もジャケットの場合も、海域占有面積が大きなものには設備容量が大きい傾向になっているかと思えます。ジャケットについてはどんどん新しい事例が出てくるので、この傾向がモノパイルよりも海域占有面積が大きくて設備容量も大きい傾向が今後出てくるものと思われる（図-1.104）。

それから最大水深と設備容量の関係を示しま

す（図-1.105）。やはりモノパイル構造では設置水深に限界がありますので、やはり水深の深いところではモノパイル構造ではなくてジャケット構造が採用される傾向になります。

それから離岸距離との関係です。ジャケットもモノパイルも、ヨーロッパのような遠浅の海域が続く環境では、離岸距離が100 kmを超えるものまで含めて建設されている例があります（図-1.106）。

それから最大水深と風車サイズの関係です。これもやはり水深が深くなるとモノパイルではなくて、ジャケットが選ばれる傾向になっています（図-1.107）。

あとは稼働開始年との関係です。

風車サイズの関係でいっても、年を追うごとに新しいものは風車サイズが大きくなっていま

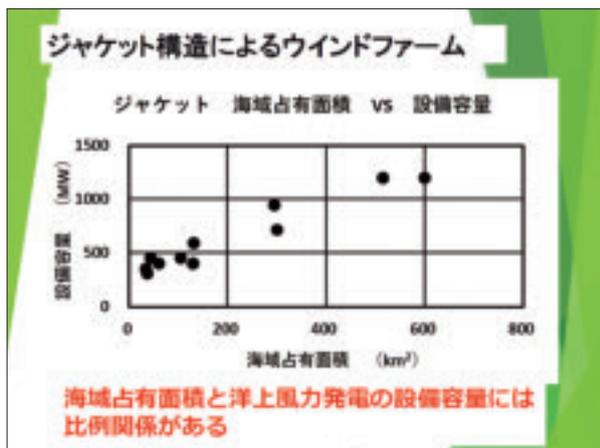


図-1.103

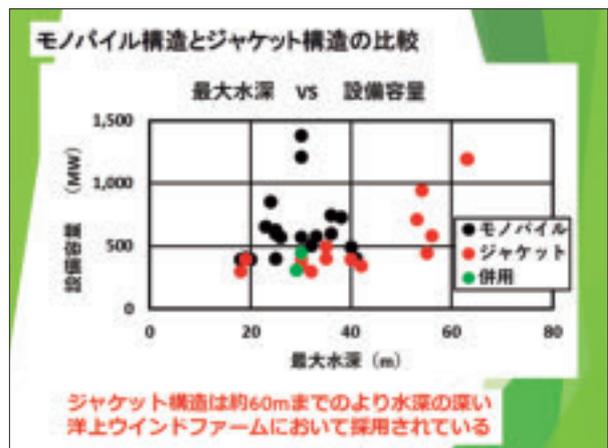


図-1.105

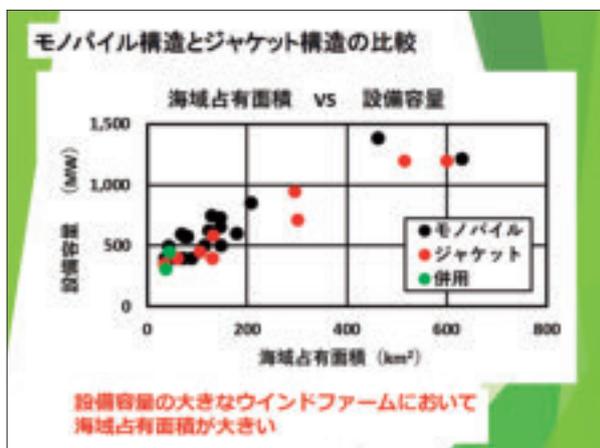


図-1.104

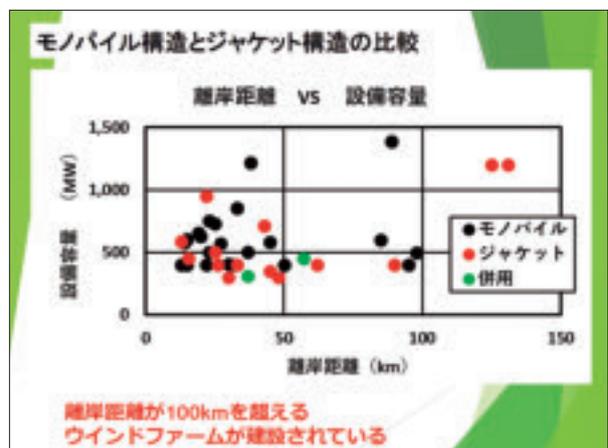


図-1.106

す (図-1.108)。これはモノパイルとジャケットト、いずれについても言えることです。最近では、ジャケット構造で風車サイズの大きなものが注目されていると思います。

それから洋上ウインドファームとしての規模です。規模については、相変わらず規模の小さいものについても建設されているのですが、規模の大きなものについては、2020年以降のものが多いという傾向が見られます (図-1.109)。これも時代とともに洋上ウインドファームの設備容量が大規模化している傾向がこの図からも見て取れると思います。

次にモノパイル構造とジャケット構造の比較について、最大水深という観点で見えています。これは横軸が稼働開始年ですが、やはり最近は、より水深の深いところでジャケット構造物が選

定される傾向になっております (図-1.110)。

新規風車の将来動向ということで、2020～2026年の将来動向がどうなるかということです。これは、ヨーロッパの Wind Europe という機関が出している 2021年の統計と 2022～2026年の見通しの資料からの引用でございます (図-1.111)。陸上風車も伸びていますが、洋上もこのような形で導入が進んでいます。陸上と洋上を足した数字について今度どう変化していくかですが、1年間に建設される量は増えていくのではないかと見通しがなされております。

それから、陸上と洋上の導入量の予測の数値でございます。実績と将来予測です。濃い青が陸上の新規になり、薄い水色が洋上の新規になります (図-1.112)。依然として陸上の方が多

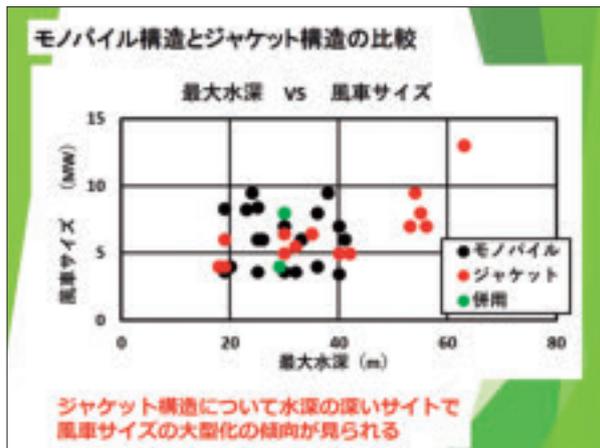


図-1.107

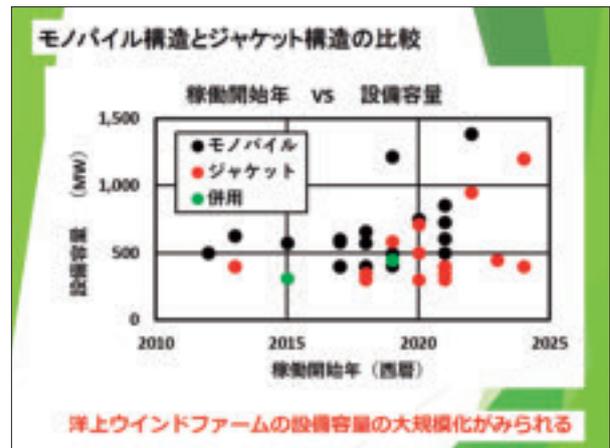


図-1.109

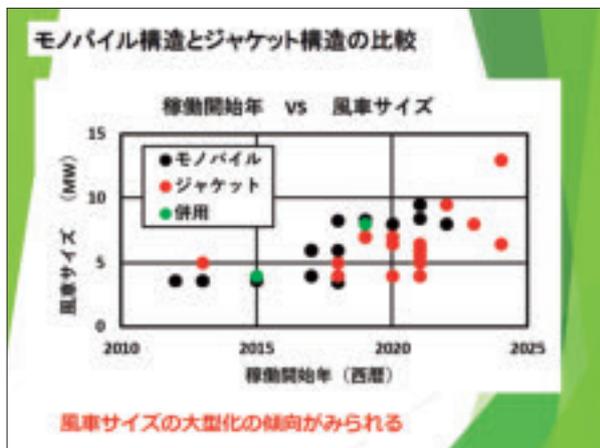


図-1.108

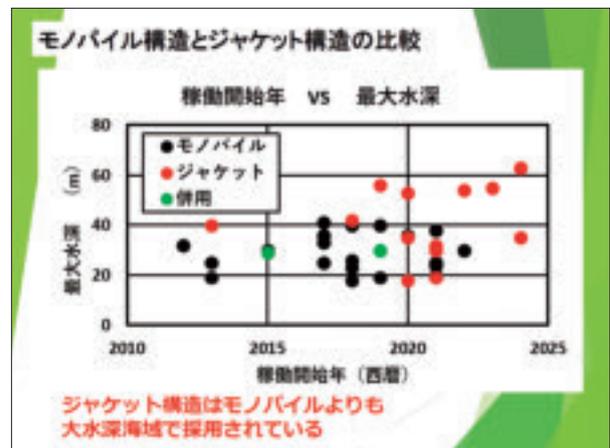


図-1.110

いのですが、洋上もその比率を徐々に高めている、というのが将来予測になっています。

国別の導入予測量ということで、これは建設実績と将来の国別の予測値を示しています。やはりドイツ、英国での新規導入が多いだろうと予測されています(図-1.113)。国別の導入量は、こちらが陸上の新規、こちらが洋上の新規、こちらが累積値、そして過去に建設されたものも含めて導入量がどのぐらいになっていくのかという予測値になります。新規を見ますと、Onshore(陸上)はドイツが多くなっています。これに対してOffshore(洋上)は英国が他の国を抜いて多く、英国の場合は陸上が4.4GWに対し洋上が10.8GW、洋上における開発が主になる状況にあります(図-1.114)。一方、ドイツでは洋上もこれから建設されていくのですが、

圧倒的に陸上の開発が多いという状況になっています。

新規の洋上風車の国別導入量の予測値ですが、やはり英国が多く、その次にドイツ、それからオランダという順番になっています(図-1.115)。年別の洋上風車の建設動向ですが、英国がやはり多く、その次にドイツが続く予測になっております。2025年の導入量予測で、この濃い青が2021年時点の数値でございます。これが2026年になるとどれだけ変化するかを示しています(図-1.116)。これは陸上と洋上の両方を足した数字になりますが、ドイツが一番多く、次が英国、その次がスペインという順番になるという予測になっております(図-1.117)。

それから、ジャケット構造の計画動向について



図-1.111

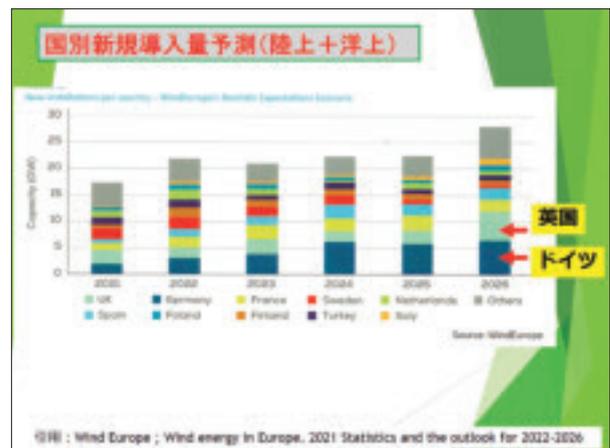


図-1.113



図-1.112



図-1.114

で説明いたします。ジャケットについてはこのように年によって変動はしますが、ある程度の割合で建設されていきます。モノパイルは水深の浅い建設適地がだんだん少なくなってくることで、減少傾向です(図-1.118)。ただ、こ

れはまだわからない、未定だというところが将来計画では結構あります。現在検討しているものについては、最終的にジャケットにするのか、モノパイルにするのか、あるいは浮体にするのか、このグレーの部分が決まってくるということです。このグラフの将来部分については、実際は少しずつ変わっていくものと思われます。

次に洋上風力のジャケットの構造設計について簡単に説明します。

まずこれは洋上風力発電設備に関する技術基準の統一の解説の中で、港湾区域に建設される場合は港湾法の適用によっていろいろ手続きが進められる流れになります(図-1.119)。一方、一般海域の海洋再生エネルギー発電設備整備促進区域、実際には一般海域の中で整備が促進す

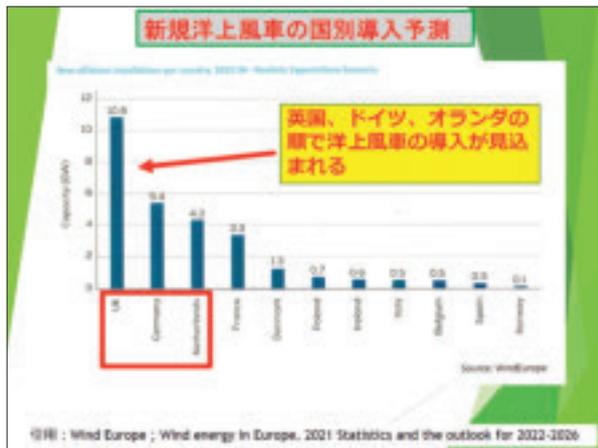


図-1.115

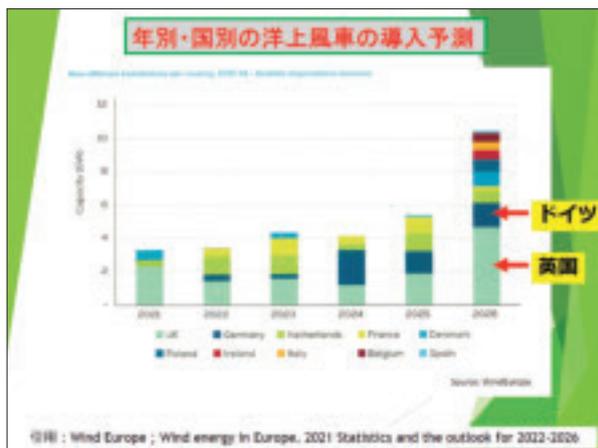


図-1.116

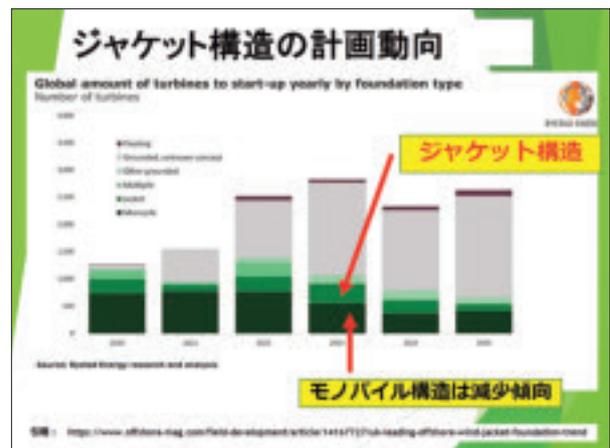


図-1.118



図-1.117

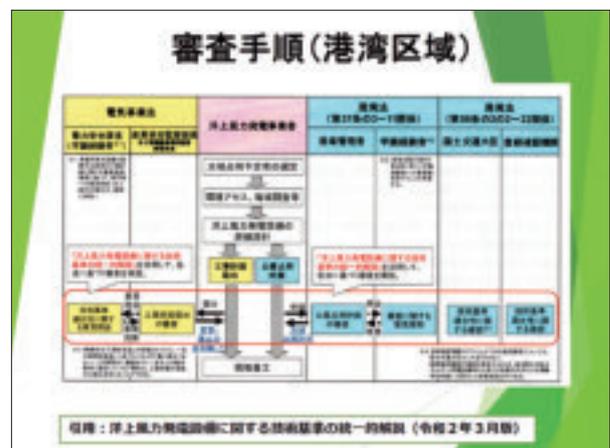


図-1.119

る区域が指定されて、その中で建設が進められます。すなわち、再エネ海域利用法が適用され、その中で工事審査が進められていく形になっております（図-1.120）。

関連する基準については、平成 27 年に国土交通省港湾局でまとめた、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）というものがありません。港湾区域に加えて一般海域への適用であるとか、浮体式洋上風力発電設備への適用等も踏まえ、洋上風力発電設備に関する技術基準の統一解説という形で、新しい統一の基準ができました。今後はこれに従って設計されるという形になります（図-1.121）。ただ、これだけで細部までの設計ができるわけではなくて、いろいろな風車の基準を参考にしながら、最終的には洋上風力発電設備に関する

技術基準の統一解説に従って行います。実際には、電気事業法や港湾法による規程、あるいは浮体の場合は船舶安全法による規程、それらを踏まえ設計していくこととなります。あとは風車に関する IEC の基準、JIS の基準、こういったものを使いながら設計していく形になります（図-1.122）。

次に、設計の際にどのようなイベントに対して設計していくか、荷重を組み合わせるかということで、風車の場合は非常にたくさんのイベントを考えなければいけません。発電中の状況であるとか、発電中に故障が起きた時にどうなるか、それから発電の開始の時にいわゆる風車の起動に伴ってどうなるかとか、風車の停止に伴ってどうなるかとか、このように様々な条件に対して設計をします（図-1.123）。設計の

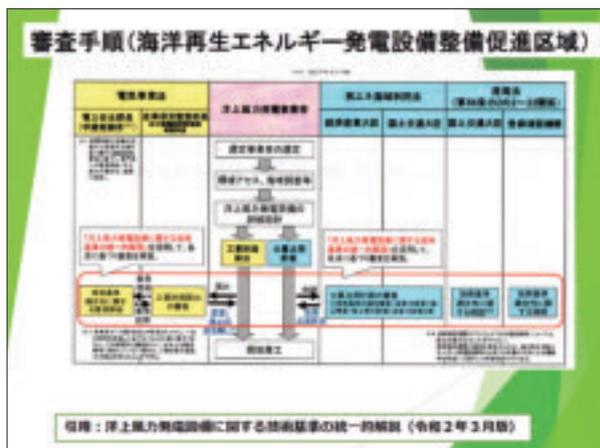


図-1.120



図-1.122

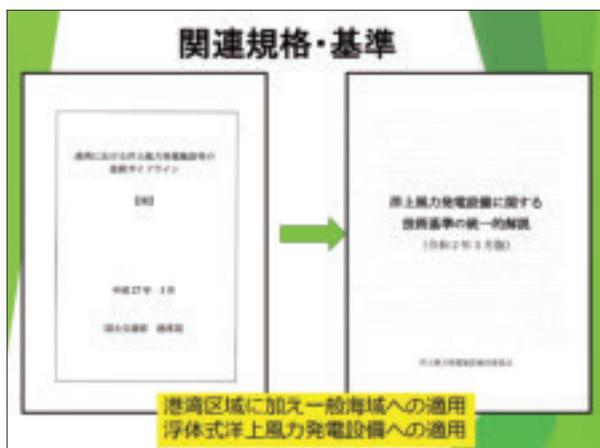


図-1.121



図-1.123

中で、チェックしなければいけないケース数というのが非常に多くなってしまふことが挙げられます。そういう意味で、設計は大変煩雑であると言えます。

それから長期荷重、地震などについては、電気事業法いわゆる建築基準法に規定される、稀に発生する地震動とか、極稀と言われている極めて稀に発生する地震動とか、あと港湾法の港湾レベル1とか港湾レベル2の地震動の作用時に対し検討するという事です。港湾法に対する検討では、通常、港湾レベル2は、これは耐震強化施設の利用に影響がある場合にのみチェックするので、基本的には、港湾レベル1の地震動についてのみ検討することになります (図-1.124)。

これは、洋上風力発電施設に関する技術基準

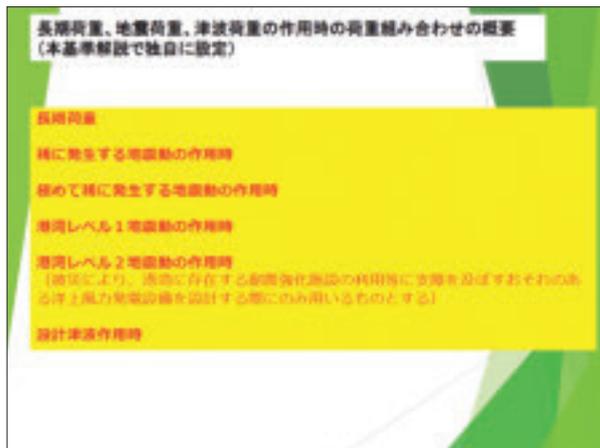


図-1.124

の統一的解説の中に示されている設計フローチャートでございます。ここでジャケット構造に関する安全性の照査という項目がありますから、全体的な共通項目の中でこの部分でジャケットに対して構造設計をしていく、という考え方が示されております (図-1.125)。

ジャケット構造の基礎の場合には、基本的に3次元の骨組解析を行う、あるいはトラス構造モデルを作って、3次元骨組解析を行っていく設計になります (図-1.126)。そして、安全性の検討においては、荷重の組み合わせで、押し込み・引き抜き、そういう支持力の検討といわゆる地震動に対する検討を行うという事です。それから部材応力度の照査、これも併せて行わなければいけないという形になります (図-1.127)。

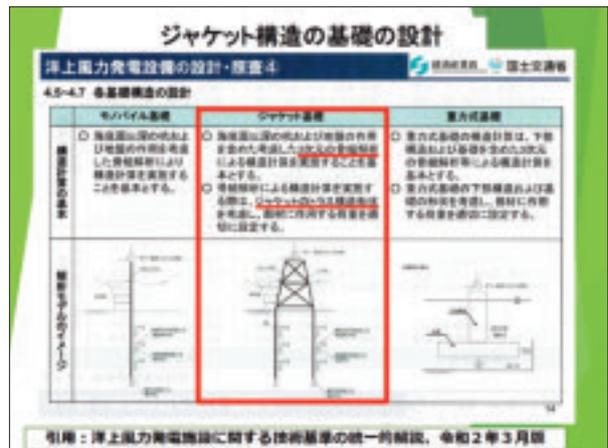


図-1.126



図-1.125



図-1.127

実際の作業の流れを少し準備させていただきました。まずジャケットを設置するために、ジャケットを着座させて、スカートパイルという杭に対してジャケットを差し込んでいきます(図-1.133)。まずスカートパイルを海底地盤に打ち込んでおく、この作業が最初に必要になります。海底地盤上にスカートパイルが埋め込まれておりますから、そこに向けてジャケットを沈設していきます。これは、こういうジャケットを吊り下げて、所定の海域に沈設させようという段階の写真です(図-1.134)。このようにジャケットが建設されて、この上に風車のタワーあるいは風車が載るわけです。あとジャケットとジャケットの間に海底ケーブルを敷設していかなければいけませんから、海底ケーブルの敷設作業というのが行われます(図-

1.135)。そして、このジャケットの構造に洋上変電所が載っています。洋上変電所は当然重量が大きいですから、風車を載せるジャケットよりも規模の大きなジャケット構造が使われます(図-1.136)。これはモノパイル構造で風車が建

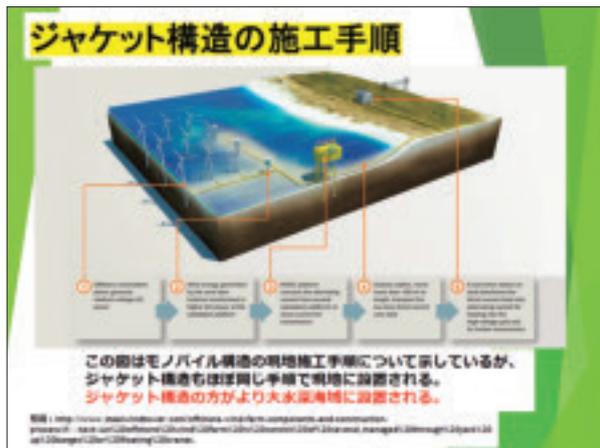


図-1.132



図-1.134



図-1.135



図-1.133



図-1.136

設される場合も洋上風力発電所については、ジャケット構造で建設されるというのが一般的になります。次に、このジャケットの構造の上に風車を載せていきます。この写真は、左側にジャケット構造がありまして、上に風車のナセルの一部が見えていると思います。先端のローターのところに風車のブレードを設置していくということで、洋上風車の設置を行っているという、作業の流れの写真になっています（図-1.137）。このようにして洋上風車の設置が完了すると、洋上のウインドファームが完成していくという形になります。これは英国 Beatrice Wind Farm の例ですが、こういう形でジャケット構造物の基礎の上に洋上風車が並んでいるというような状況の写真になります（図-1.138）。

それでは、風力発電設備の施工はどういう規

格で行うかと言うと、例えば海外の施工規格の中では DNVGL というのがあります。これは Marine operations and marine warranty というものです。それから N002 が Site specific assessment of mobile offshore units for marine warranty、このような施工規格があります。日本の場合は洋上風力発電設備の施工に関する審査の指針というのがあります（図-1.139）。基本的にはこういったものがどのような配慮事項で審査していくかということになりますが、施工についてはこういう海外の基準等を参考にし、施工計画を立てて行くということが必要になります。

次に、洋上風力のジャケット構造の事例について、いくつか説明をさせていただきます。これは初期の段階からどういうふうに洋上風力発電が進展したかということを示したものです。初期には例えばスウェーデンで 1990 年に組杭式のウインドファーム、モノパイルではなくて普通の杭の上に風車を建てたという事例です。0.22 MW ですから、220 kW の非常に小さな風車 1 基が試験的に建設されて、これは 2004 年に撤去されています。その次にデンマークで Vindeby Offshore Wind Farm というのがあって、これは 1991 年に 0.45 MW ですから 450 kW の風車 11 基が建設されました。これも



図-1.137



図-1.138



図-1.139

2017年に撤去されています。それからオランダで Lely Wind Farm、これは海ではなくて淡水湖に建設されています。これも 0.5 MW が 4 基ということで、これも 2014 年に撤去されています。こういう初期の洋上風車というのは、この時期に海外でも初めて建設されたということです。Bockstigen Offshore Wind Farm という、これはスウェーデンの例ですが、1998年に 0.55 MW ですから 550 kW の風車 5 基が建設されています。ここについては 2018 年に風車が更新されて、5 MW の風車 10 基がその場所に新たに建設されています。こういうリプレイスされた例もあります。2000 年に入ると、2 MW の風車が 2 基、これはモノパイルで建設されています。2000 年を超えてから割と大型の洋上風車が建設されてきたということになります (図-1.140)。

実際にはウインドファームとして設置された風車の数が多いものでは、デンマークの Middelgrunden Offshore Wind Farm というのが 2001 年に運用が開始されました。これが 2 MW × 20 基ということで、これは水深が浅いところなので重力式基礎で建設されました。これがウインドファームとしては世界的に初めてのものかなと思います。さらに 2002 年、2003 年には 2 MW × 80 基とか、2.3 MW × 162 基という、本格的なウインドファームが建設され

ています。ただこの当時はまだモノパイル構造です (図-1.141)。

こういったものがさらにどんどん規模を大きくして建設が進められました。2007 年に初めて、イギリスの Beatrice Offshore Wind Farm がジャケット式で建設されました。これは 5 MW のジャケット基礎が 2 基ということで、10 MW になります。この時点で初めてジャケット方式がパイロット試験として建設されました。浮体については 2009 年に 2.3 MW が 1 基ということで、これもやはりパイロット試験として行われているということです (図-1.142)。

このようにジャケットや浮体の構造が出てきたのですが、やはり初期の段階、2010 年前後はほとんどモノパイルの構造が実際には採用されていたということで、ジャケットの本格的な事

国	風車名	構造形式	運用開始	撤去
スウェーデン	Ugrunden Offshore Wind Farm	モノパイル	2000年	2018年撤去
		11MW (1.5MW×7基)		
スウェーデン	Yttre Stengrund Offshore Wind Farm	モノパイル	2001年	2013年撤去
		10MW (2MW×5基)		
デンマーク	Middelgrunden Offshore Wind Farm	重力式	2001年	
		40MW (2MW×20基)		
デンマーク	Horns REY Offshore Wind Farm	モノパイル	2001年	
		160MW (2MW×80基)		
デンマーク	Nysted Offshore Wind Farm	モノパイル	2001年	
		383MW (2.3MW×162基)		
ドイツ	Doelant Eenden Offshore Wind Farm	モノパイル	2004年	
		4.8MW (4.8MW×1基)		パイロット試験
英国	Barnow Offshore Wind Farm	モノパイル	2006年	
		90MW (3MW×30基)		

図-1.141

国	風車名	構造形式	運用開始	撤去
スウェーデン	Svanne 1 Offshore Wind Farm (Nigersand)	重力式	1990年	2004年撤去
		6.22MW (0.22MW×11基)		
デンマーク	Vindeby Offshore Wind Farm	モノパイル	1991年	2017年撤去
		4.95MW (0.45MW×11基)		
オランダ	Lely Wind Farm (淡水湖に建設)	重力式	1994年	2014年撤去
		2MW (0.5MW×4基)		
スウェーデン	Bockstigen Offshore Wind Farm	重力式	1998年	
		2.75MW (0.55MW×5基)		
		更新済		
		モノパイル	2018年風車更新	
		50MW (5MW×10基)		
英国	Blyth Offshore Wind Farm	モノパイル	2000年	2019年撤去
		4MW (2MW×2基)		

図-1.140

国	風車名	構造形式	運用開始	パイロット試験
英国	Beatrice Offshore Wind Farm	ジャケット式	2007年	パイロット試験
		10MW (5MW×2基)		
ノルウェー	Hylwind Offshore Wind Farm	浮体式	2009年	パイロット試験
		2.3MW (2.3MW×1基)		
デンマーク	Horns REY2 Offshore Wind Farm	モノパイル	2009年	
		209MW (2.3MW×91基)		
ヘルギー	Thorstenbank Offshore Wind Farm (Phase-1)	モノパイル	2009年	
		30MW (3MW×6基)		
ヘルギー	Thorstenbank Offshore Wind Farm (Phase-2)	モノパイル	2012年	
		184MW (6.15MW×30基)		
ヘルギー	Thorstenbank Offshore Wind Farm (Phase-3)	モノパイル	2013年	
		110MW (6.15MW×18基)		

図-1.142

例は、2018年に運用開始された Beatrice Offshore Wind Farm です。先程説明したパイロット試験を行った海域の隣接したところに7 MWの洋上風車を84基、トータル588 MWということで、これが世界的には初めて商用運転されたジャケット構造式の洋上風力発電ということになると思います（図-1.143）。このようにジャケットの構造形式というのは、モノパイルの構造に比べて、大きなものについては、ようやく近年になって建設事例が出てきたという形になると思います。

このリストを再度掲載させていただきますが、これから主要な洋上ウインドファームについて若干の説明をさせていただきます（図-1.144）。

これはイギリスの北海沿岸、Dogeer Bank A

というプロジェクトです。これは去年、2022年に建設が始まって、来年運用されるということです。13 MWの洋上風車95基が建設される予定で、総設備容量は1,200 MWですから1.2 GWになります。この1カ所で少し大きな規模の火力発電所1カ所分という大規模のウインドファームになると思います（図-1.145）。

それから同じく Dogeer Bank の B 区域、これも13 MWが95基という計画です。これもAと同じようなプロジェクトの進行状況になります（図-1.146）。

それからイギリスの Moray East Offshore Wind Farm です。これは9.5 MWが100基ですから950 MWということで、これは2018年に建設が始まり、2022年に運用が始まっております（図-1.147）。

前期のジャケット構造事例（ジャケット以外の構造形式も併記）

国名	風力発電場名	（浮体式）	稼働開始	2017年
英国	Hywind Scotland Offshore Wind Farm	30MW (6MW×5基)	商用運転	
英国	Beatrice Offshore Wind Farm	（ジャケット式）	稼働開始	2018年
		528MW (7MW×84基)	商用運転	

図-1.143

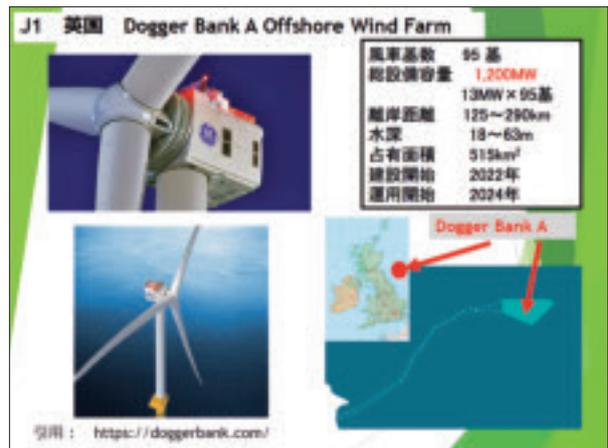


図-1.145

ジャケット構造による主要なウインドファーム

風力発電場名	国名	風車基数	総設備容量	稼働開始	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年
Dogeer Bank A	英国	95	1,200	2022								
Dogeer Bank B	英国	95	1,200	2022								
Hywind Scotland	英国	5	30	2017								
Beatrice	英国	84	528	2018								
...

図-1.144

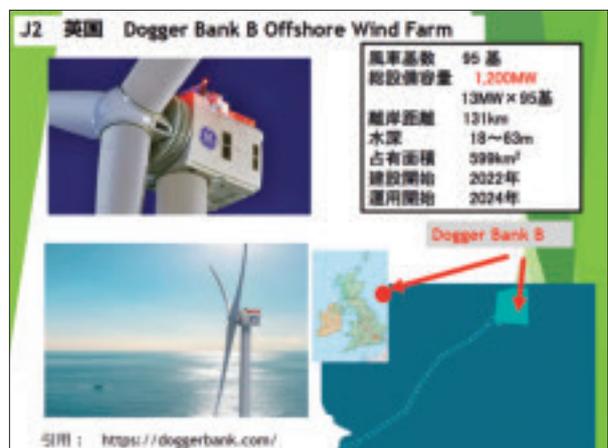


図-1.146

それから、その次の規模ものものが714 MWということで、7MW 風車 102 基という East Anglia ONE Offshore Wind Farm です。これはイギリスの北海東側の海域に建設されています。全体の地図を載せていないので位置がわかりにくいのですが、北海海域に建設されたということで、こういうジャケット基礎の上に風車が載っているという写真です (図-1.148)。これは別の写真で、ここにサブステーション、洋上変電所があります (図-1.149)。

それから Beatrice Offshore Wind Farm、先程 2007 年にパイロット試験が行われたということの説明させていただきましたが、実際に 2018 年に本格的なプロジェクトで建設が進められて、2019 年からオペレーション、発電が行われているという形になります (図-1.150)。

それからこれは中国の例でございしますが、中国の海岸線の南の方になります。CGN Shanwei Jiazi I、6.45 MW が 78 基ということで、508 MW のウインドファームということになります (図-1.151)。実際にこの海域にはた



図-1.149



図-1.147



図-1.150



図-1.148



図-1.151

くさんのプロジェクトがあって、この CGN Shanwei Jiazi I というのは、ここの部分になります。将来的にはこういうふうに、その沖合に洋上ウインドファームの建設が続いていくものと思われま (図-1.152)。

それからこれはイギリスの沖合の北海に面する Neart na Gaoithe Offshore Wind Farm です。8 MW の洋上風車 54 基ということで、450 MW の風力発電所です。建設は 2020 年に始まりまして、今年運用が開始される予定になっています。ここもこのようなジャケット構造の上に洋上風車が載るといようなプロジェクトになります (図-1.153)。

それからこれはもう既に運用が始まっているもので、ドイツの Borkum Riffgrund 2 Offshore Wind Farm です。8 MW の洋上風車が 56 基と

いうことで、こういう基礎の上に風車が建設されているということになります。ここはモノパイル基礎も一部あって、ジャケット基礎もあるということで、56 基中 36 基がモノパイル構造で造られています (図-1.154)。それから 56 基中の 20 基がサクシオンバケット付きのジャケット構造です。海底地盤に設置する時に、サクシオン力を使って海底地盤に固着させる形式のジャケット構造です。これがジャケット構造の建設例ですが、この海域ではモノパイル構造とジャケット構造が併用されているといような形になります (図-1.155)。

それからこれが中国の CGN Shanwei Jiazi II というプロジェクトです。これは 6.4 MW の洋上風車 62 基ということで、総設備容量が 403 MW です。離岸距離とか占有面積は不明です

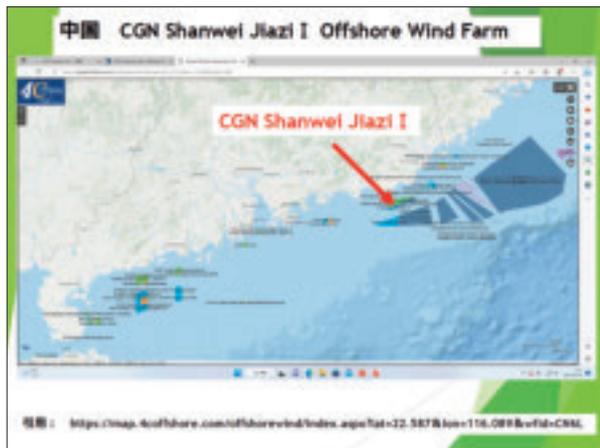


図-1.152



図-1.154

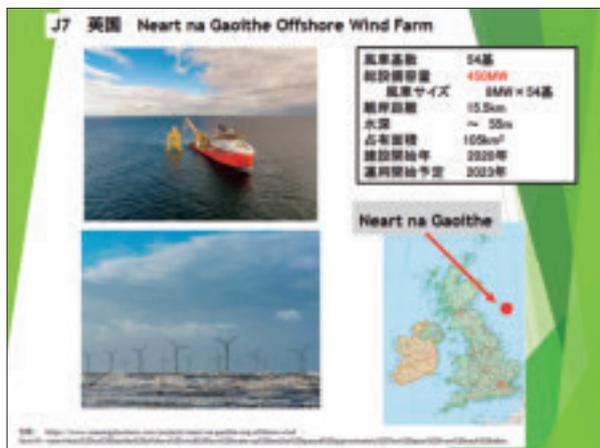


図-1.153

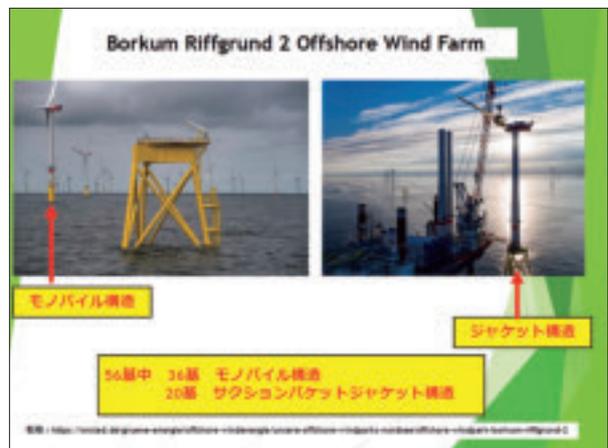


図-1.155

が、2020年に建設が始まり、来年2024年に発電運用が始まるという予定のものでございます(図-1.156)。これがその海域ということで、先程、CGN Shanwei Jiazi Iの説明をしましたが、その隣接する海域ということです。先程説明したように、沖合にはさらに大型のウィンドファームプロジェクトが構想されているというような形になります(図-1.157)。

それからこれはドイツのBARD Offshore 1というプロジェクトでございます。これは5MWの洋上風車80基ということで、比較的建設年が古いものです。2010年が建設開始で2013年が運用開始です(図-1.158)。これはジャケットというより、三本足のトリポットという形の構造形式になります。ジャケットというよりは、3本足の杭で組み立てられた基礎構造とい

う形になります。洋上変電所は同じようにジャケット構造で造られています(図-1.159)。

次に中国の例で、Yangjiang Shapa Phase II Offshore Wind Farmということで、これも中国の南部に建設されているもので、6.4MWの洋上風車62基という形で、総設備容量は400MWということです。2020年に建設が始まり、2021年から運用開始しています。これもジャケットの基礎はこういうサクシヨン基礎で、3本足のジャケット構造で海底面に設置する時にはサクシヨン基礎が用いられているという例でございます(図-1.160)。海域としては、この図に示している海域です。さらに沖合の海域において、新たなプロジェクトも計画されている場所です(図-1.161)。

それから次にSPIC Rudong H7 Offshore



図-1.156



図-1.158



図-1.157



図-1.159

Wind Farm、これは図に丸を付け忘れていますが、この辺りの海域です。4 MW の洋上風車が 100 基ということで、これは 2020 年に建設されて、2021 年に運用が開始されています。普通のジャケットとは少し基礎の形が違っていているよう

ですが、構造の詳細はわかりません(図-1.162)。この図が SPIC Rudong H7 の海域でございます(図-1.163)。

それから Rudong H4、これも 4 MW の洋上風車が 100 基ということで、先程の H7 と隣接する海域に建設されているということです(図-1.164)。これが H4 の設置海域です。この海域にはいろいろなウィンドファームプロジェクトがたくさんある中の一でございます(図-1.165)。

それからドイツの Wiking Offshore Wind Farm です。5 MW の 70 基の洋上風車から構成され、総設備容量が 350 MW ということになります。2018 年にこのような形で運用が始まっています、こういうジャケット構造の上に洋上風車を載せているというような形です



図-1.160



図-1.161



図-1.163



図-1.162



図-1.164

(図-1.166)。基礎の形がよくわからないので、サクションを使っているのかどうかはわかりませんが、そのようなジャケット構造の風車基礎になります。実際にこういうふう建設されておりまして、これが洋上変電所の写真です(図-1.167)。

次は、中国の Rudong H2 という洋上風力発電所です。建設場所は、中国のちょうど真ん中辺りです。5 MW の洋上風車が 70 基ということで、2021 年に建設されて、その年にオペレーションも始まったということです。このような基礎の構造の上に洋上風車を建てているという形です。水面下の構造の図がわからないので示しておりませんが、このようなジャケット構造に分類される構造形式の一つになります(図-1.168)。設置海域はこちらの海域です。この海

域は先程の Rudong H7 というものもありまして、幾つかのウィンドファームプロジェクトが並行して進められている海域でございます(図-1.169)。

それからドイツの Borkum Riffgrund 1、先程



図-1.167

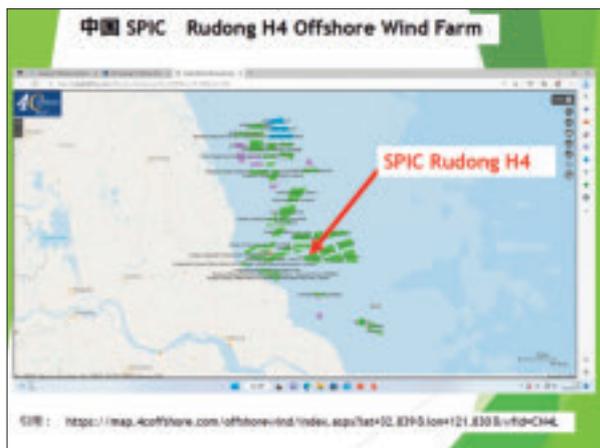


図-1.165



図-1.168



図-1.166



図-1.169

は Borkum Riffgrund 2 の説明をさせていただきましたが、近接した地点 Borkum Riffgrund 1 というので建設されています。ここは普通のモノパイルの基礎もあるのですが、こういうジャケットの基礎も併設して設置されたということで、どちらかと言うとモノパイルが主体で、このジャケット構造は、いわゆる試験的に設置した場所になっています (図-1.170)。2013 年に建設が開始され、2015 年に運用が始まっているということで、これはおそらくジャケットの実証試験も兼ねて設置したものではないかと思われま。ここに説明してあるようにサブステーション、洋上変電所はジャケット構造です。そして風車基礎のほとんどがモノパイルなのですが、その中の基礎の一部にジャケット構造を採用しているという事例になります (図-

1.171)。

それから中国の Yangjiang Nanpeng Island Offshore Wind Farm、これは 5.5 MW の洋上風車が 55 基ということで、2019 年に建設が始まり、2021 年に運用が開始されました。このようにジャケット構造の基礎が並んでいて、その上に風車を建てているということで、これも比較的、中国の中では南の方に位置します (図-1.172)。実際の海域はこちらです。先程、説明した H4 と H7 のウインドファームのプロジェクトの海域がこちらですから、それよりもさらに南側の海域に建設されています (図-1.173)。

それから Jiangsu Longyuan Chiang Sand Offshore Wind Farm です。これは 4 MW の洋上風車が 75 基で構成されています。ちょっと数値がわからない部分が結構あって空白が並ん



図-1.170



図-1.172



図-1.171



図-1.173

ですが、2018年に運用が開始されています。構造的には丸い形の筒の下に何か構造物があるのですが、ジャケットの構造の詳細はわかりません(図-1.174)。海域としてはこのような海域で、周辺にはたくさんのウィンドファームプロジェクトが並んでいるというような海域です(図-1.175)。

それから Rudong H5 Offshore Wind Farm というので、4 MW の洋上風車が 75 基からなるウィンドファームが 2020 年に建設されている、中国の比較的南側の海域に建設されているということです(図-1.176)。先程から説明している、たくさんのウィンドファームプロジェクトがある海域の一部ということになります(図-1.177)。

最後になりますが、石狩湾新港における洋上

風車基礎ジャケットの建設について説明させていただきます。これはグリーンパワーインベストメント(GPI)が今年の5月から現地の海域に建設するプロジェクトです。洋上風車の大型化ということで、当初は4 MW の風車を 26 基で建設される予定でしたが、供給される洋上風車の大型化に伴って 8 MW で 14 基の計画に変更になったということです。これが 14 基の洋上風車の配置図になります。防波堤に近い側のラインと防波堤から離れた側のラインに風車が並ぶ配置になっています(図-1.178)。

実際に石狩湾の防波堤の外側の港湾区域の中にこのように洋上風車を 14 基建設するという計画でございます(図-1.179)。風車の基礎はこのような形のジャケット構造を採用し、その上に風車を載せるというような形になります



図-1.174



図-1.176



図-1.175



図-1.177

(図-1.180)。実際の風車の設置にあたっては、SEP 船が用いられます。予定では清水建設の BLUE WIND という船が風車の設置に使われるというように聞いております (図-1.181)。実際に風車を設置するクレーン船の詳細な緒言

になります (図-1.182)。

予定の時間を 5 分程超過しましたが、以上でジャケット構造に関する洋上風力発電施設の説明について終了させていただきます。ご清聴、ありがとうございました。

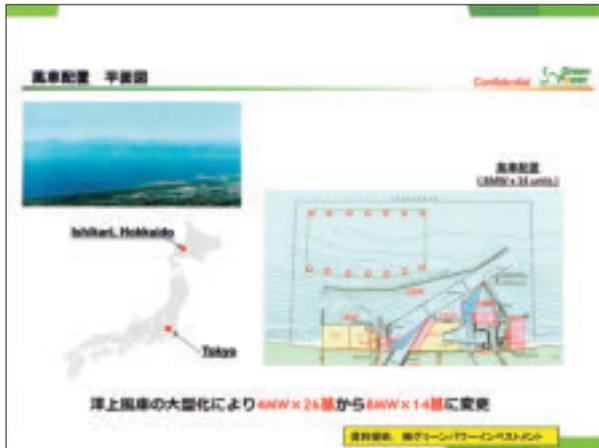


図-1.178



図-1.181



図-1.179

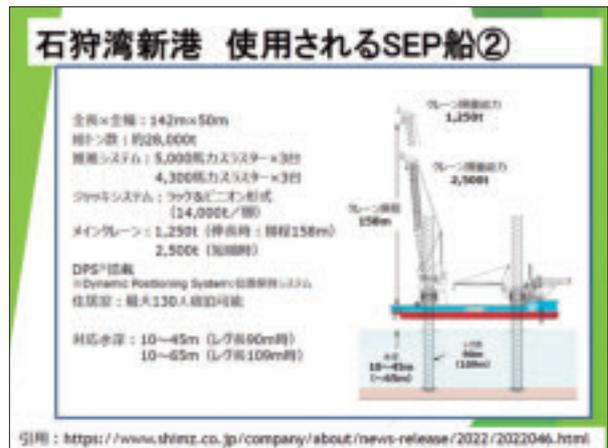


図-1.182



図-1.180