

これは北海道の2050年までのゼロカーボン北海道の実現を図で示したものです。2030年までに35%削減の目標が当初示されていましたが、これが改定され、48%になっています。徐々にゼロカーボンを進めていく流れの中で、洋上風力発電の重要性が益々高まると考えてい

ます(図-2.117)。

本日の説明は以上になります。どうもご清聴ありがとうございました。拙い説明になりましたが、もし何か質問等ございましたらお受けいたしますので、よろしくお願いいたします。

3 第2回「日本および道内における計画」

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

こんにちは。一般社団法人寒地港湾空港技術研究センターの白石と申します。マイクと椅子の関係で着席して説明させていただきます。

最近の話題ですが、これは10月下旬に国連の関連団体から、COP27に向けてのメッセージということで出されたものです。現状のCO₂削減状態について、今世紀末までに1.5℃以内に気温上昇を抑えるという目標なのですが、それを制限するにはまだまだ不十分であるというメッセージが出されています。現状の削減状態のままでは今世紀末までに2.5℃上昇ということで、目標値の1.5℃を上回る2.5℃まで気温上昇してしまう可能性があるという指摘しております。これはCOP27に向けた強いメッセージが事前に出されたことになると思います(図-

3.1)。

今年の11月にエジプトでCOP27が開催されました(図-3.2)。COPにはいろいろな会議の名称として使われているのですが、ここではCOPというのは地球温暖化防止条約に基づく会議のことを指しています。会議はエジプトのシャルムエルシェイクで開催されました(図-3.3)。



図-3.2



図-3.1



図-3.3

この会議にあたって、議長からメッセージが出ております。今年の会議は、国連の気候変動に対する対策フレームワークを採択してから30周年という記念すべき年に当たるといメッセージが出されております(図-3.4)。この会議でということが最終的に話し合われたかという結果ですが、地球温暖化を緩和するためのプランが採択されました。例えば地球温暖化に対して、低海拔国などは海面上昇によって水没してしまう可能性があります。そういうものに対し、先進国から資金援助を行うフレームワークは決まったのですが、それを具体的にどのようにしていくかは決まっておらず、来年の会議に向けて検討していくことになっております(図-3.5)。

今日の話は、地球温暖化をどうすれば防止

できるかということで、2050年カーボンニュートラルを世界の多くの国が目指しているのですが、その技術の一つとして洋上風力発電を活用することも重要な要素になってくるとい思います(図-3.6)。それからGX(グリーントランスフォーメーション)という言葉が最近のサステナブル社会を形成するための一つのキーワードとなっております(図-3.7)。

地球温暖化を防止するためにCO₂を削減する、そしてカーボンニュートラルを目指すことも1つの大きな目標としてありますが、日本の場合はエネルギー自給率が極めて低いわけです。現状では原油・LNG・石炭といった化石燃料を大量に輸入しております。エネルギー自給率の向上が非常に大きな課題となっております。そういうことで、当然環境的な観点からの地球



図-3.4

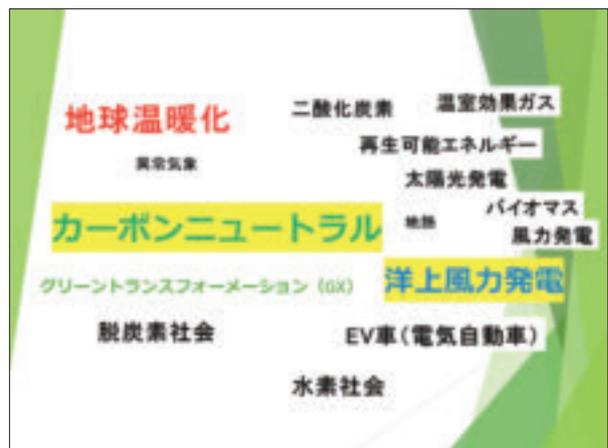


図-3.6

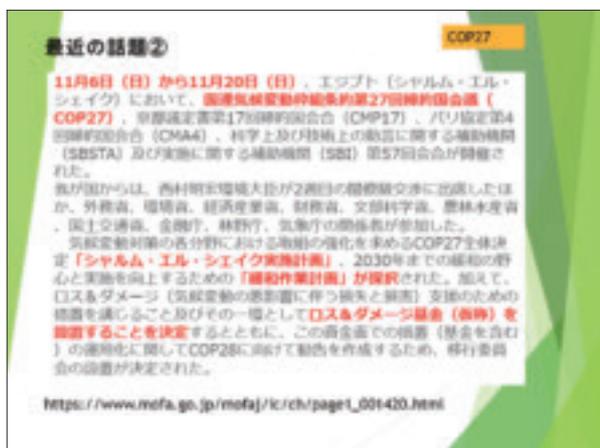


図-3.5

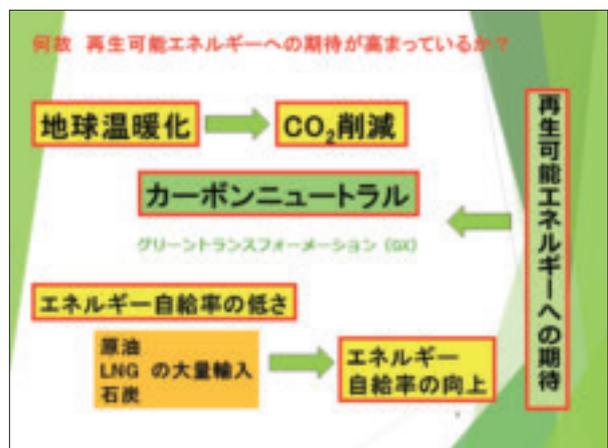


図-3.7

温暖化防止の CO₂ 削減に合わせ、化石燃料に頼り過ぎた社会システムを再生可能エネルギーの活用により、風力発電だけではないのですが、日本のエネルギー自給率を向上させていくことを今後急速にやっていかなければならないと思います。

今日の内容は、まず日本における洋上風力発電開発の歴史を話しまして、それから電力システム改革、風速変動と電力潮流、港湾区域における洋上風力発電、それから港湾区域外の一般海域における洋上風力発電、そして道内における洋上風力発電の計画、今後の課題、こういった内容でお話をさせていただきたいと思っております (図-3.8)。

まず日本における洋上風力発電開発の歴史でござります。風車の構造についてお話をします。風車は陸上風車と洋上風車があり、陸上風車について説明させていただきますと、ブレードで風を受けて、その風の回転力をナセルの中にある発電機に伝えるために、ハブ・ローター・回転部分があります。そしてこのタワーは、ハブが必要な高さを確保するために必要なものになります。これを海の中に造りますから、洋上では海の中に何らかの構造を建てて、それで支えてあげなければいけません。当然、そのための新しい基礎構造物が必要ですし、風車タワーに乗り込むためのプラットホームや、メンテナン

スのために使う着船の施設、それから電力を陸上に送るための海底送電線、風車を制御するための通信ケーブルが必要となります。それから、海の中にありますから、塩害対策も必要になってきます (図-3.9)。

発電量の単位について、確認のため簡単にお話させていただきたいと思っております。1 kW の出力の発電量が1時間発電しますと、それが1 kWh という発電電力量になります。1 kW の1,000 倍が1 MW、さらにその1,000 倍が1 GW です。1 GW がどういう単位かと言うと、平均的な火力発電所や原子力発電所の規模に相当します。洋上の風車サイズは年々大きくなり、現状では8~10 MW の風車が建設されているという最近の状況です (図-3.10)。

陸上風車と洋上風車の違いですが、陸上風車

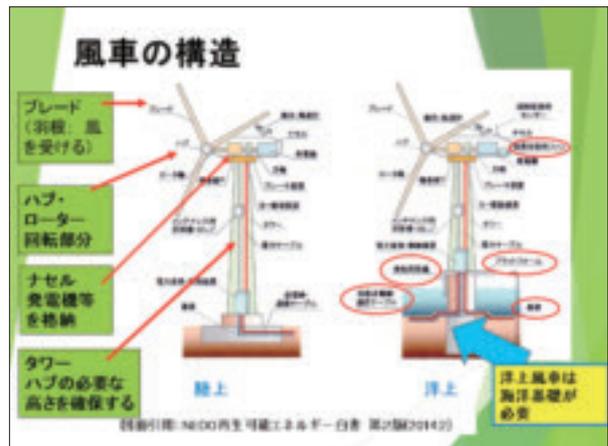


図-3.9

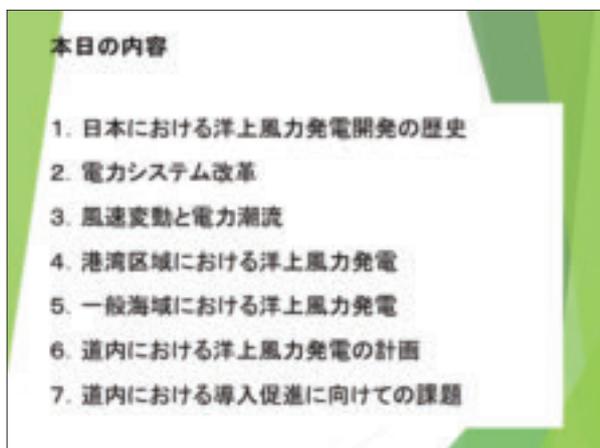


図-3.8

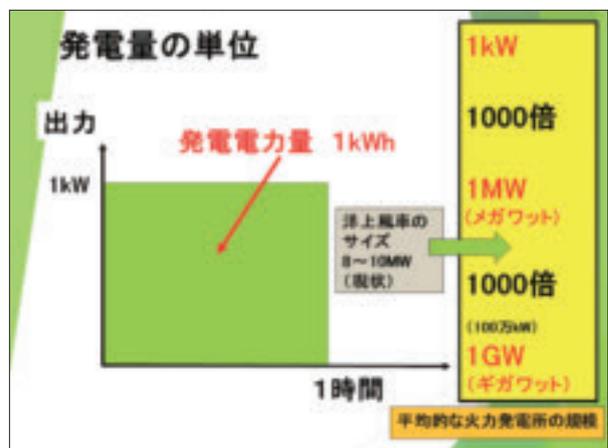


図-3.10

は陸上にタワーを建て、その上に風車を載せればよろしいわけですが、海の中につくる風車については水深によっていろいろな基礎構造形式をとることになります。ヨーロッパで一番普及しているのはモノパイルという構造です。モノというのは1でパイルは杭ですから、1本の杭で風車を支えるという構造です。ヨーロッパでは遠浅の海域が広がっていますから、主たる構造となっております。さらにもう少し水深が深くなると、1本の杭だけでは支えられませんが、ジャケット方式の構造をとるようになります。さらに水深が深くなると、ジャケット構造でも支えるのは困難となってきますので、浮体式で建設することになります(図-3.11)。

国内の洋上風力発電として初期に建設されたものは、瀬棚港・酒田港・鹿島港、この三つがあります。北海道瀬棚港の洋上風車は、2002年～2003年にかけて建設され、2005年4月から運用を開始しています。瀬棚港の防波堤の背後の港内側に600kWの風車が2基建設されています。酒田港は洋上と言っても水路に設置されているため、純粋な洋上ではありません。海面にあるので、一応洋上風力発電という定義に入るかと思います。ここは2,000kWの風車が8基建っており、そのうちこの写真に見られる5本が海面に建っているということです。瀬棚港、酒田港の建設後、数年経ってから、茨城県

神栖市の鹿島港に2,000kWの風車が7基建設されています。この施工自体は、洋上から施工したのではなく陸上からクレーンで施設の設置を行っている形になります。これらが国内の洋上風力発電施設初期の建設事例になります(図-3.12)。

その後、日本では様々な洋上風力発電の研究・開発がなされました。固定式・着床式では、北九州沖と銚子沖、浮体式では五島列島と福島沖、それから北九州沖等で研究・開発がなされました。研究の場合、風速を観測するタワーを建てて、風況状況と風車の発電状況を比較する研究がなされています。それらの例について、いくつか示していきます(図-3.13)。

これは銚子市沖で研究された例で、NEDOと東京電力ほかの共同研究です。これが風車で、



図-3.12

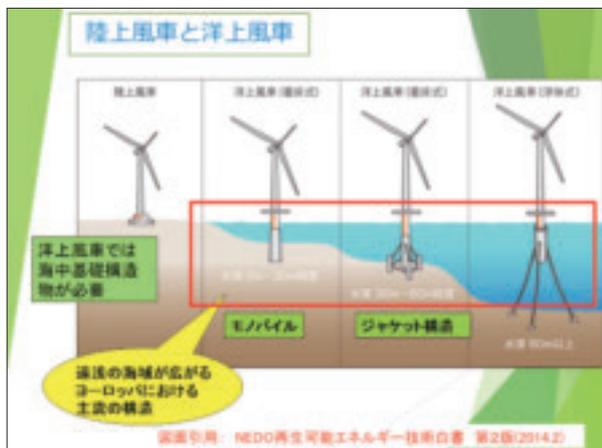


図-3.11



図-3.13

重力式の基礎構造の上に風車を建てています。これが風況観測タワーになります。千葉県銚子市の沖合に設置し調査がなされました。研究は2010年頃から始まって2015年までの間に建設がなされました（図-3.14）。

もう1カ所は北九州市の沖合です。ここは構造形式がジャケット構造の上に風車を建てる形で、2MWの風車を建てています。同時に風況を調査するための観測タワーを建て、波も測っている状況です（図-3.15）。

それから浮体式ですが、これは主に環境省が調査に絡んでおり、最初に100kWの小さな浮体を2012年に建設し、その後2MWの風車を2013年11月に建設しています。構造形式としては、スパー型という支持浮体の上に風車を建てる方式でした（図-3.16）。それから、洋上風

力発電の研究としては、東日本大震災後、2012～2015年にかけて、経済産業省が浮体式洋上ウインドファーム実証研究事業を行いました。これは大学・民間を含めて、多くの機関が参画して行ったものです。風車としては2MWの風車、5MWの風車、7MWの風車を建設し研究を行っています（図-3.17）。また、洋上には陸上に電力を送るため電圧を変えるサブステーションという洋上変電所が必要になるので、変電所設置の研究も同時に行いました。

それからもう一つ、北九州の沖合でバージ形の浮体の上に風車を建てて発電するという研究も行われております。この風車の場合、羽根が2枚で構成されており、実証運転については2021年度まで行っています（図-3.18）。

電力のことを話す流れの中で、この数年間で



図-3.14



図-3.16



図-3.15



図-3.17

実際困難ですから、地域独占だった北電の伝統あるシステムを使い、それを消費者に売る時に、いろいろな売電会社が電気を売るということで、いろいろな事業者が新しく参入してきております。

電力広域的運用推進機関（OCCTO）という組織が、2015年4月に設立されました。全国的な電力の広域需要がどうなっているのか、今後の送電線網の計画を管理し、需給情報を広域的に調整することが、この電力広域的運用推進機関に求められております（図-3.22）。

発電量は時間的に、一日の中でも変動します。これはスペインの系統運用会社のシステムを示していますが、このように需要が変動していきます。そうすると、この電力の需要と供給の中で調整が求められてくるので、再エネによる発

電量を予測しながら電力出力を調整していくことが、系統運用機関に求められております。日本のOCCTOのシステムもこれに準じて、そのような調整をし、電力会社と連携して電力の需給の調整をしていくことになると思います（図-3.23）。

次に風速変動と電力潮流を見ていきます。北海道にはまだ瀬棚港の洋上風力発電施設しかありませんが、陸上の大きいものをいくつか挙げますと、まず稚内にユーラス宗谷岬ウインドファームがあります。これは当時まだ1,000kWの風車ということで、そんなに大きな風車規模ではありません。それから苫前ウィンピラ発電所があります。それから道南の上ノ国にも比較的大きな規模の陸上風力発電所があります（図-3.24）。これらと近隣のアメダスの風速に



図-3.22



図-3.24

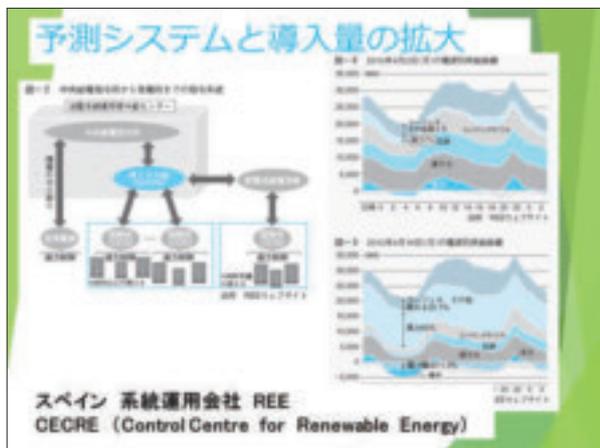


図-3.23



図-3.25

ついて、これから少し考察をしていきます。

これがユーラス宗谷岬ウインドファームです。1,000 kW の風車が 57 基で、57,000 kW の設備容量の施設です (図-3.25)。それから苫前ウインピラ発電所は総容量が 30,600 kW (図-3.26)、上ノ国ウインドファームが 28,000 kW (図-3.27) です。この3カ所の発電例とアメダスの風速データの関係を見ていきたいと思いません。これは2015年8月の風速変化と8月10日の風速変化を表しています (図-3.28)。

この時の北海道本州間の電力の流れと東北東京間の相馬双葉幹線の電力の流れを見ていきますと、東北と北海道の間の電力潮流はほとんどない状態でした。東北から東京へは、東北から東京へ電力が流れているという状態でした (図-3.29)。翌年の2月24日のアメダスによる風速

の時間的変動です。この時は冬で、北海道では電力をたくさん使いますから、東北から北海道への電力潮流がありました。一方、電力をたくさん発電している東北から東京への電力潮流もあるという状態です (図-3.30、図-3.31)。2月

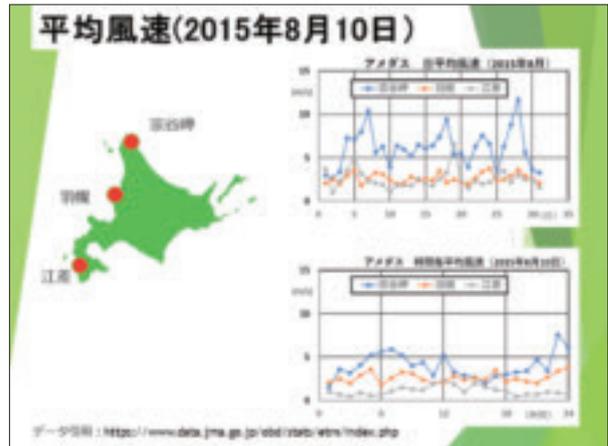


図-3.28



図-3.26

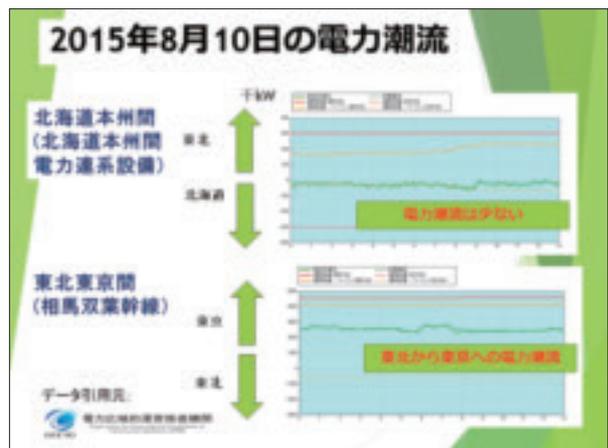


図-3.29



図-3.27

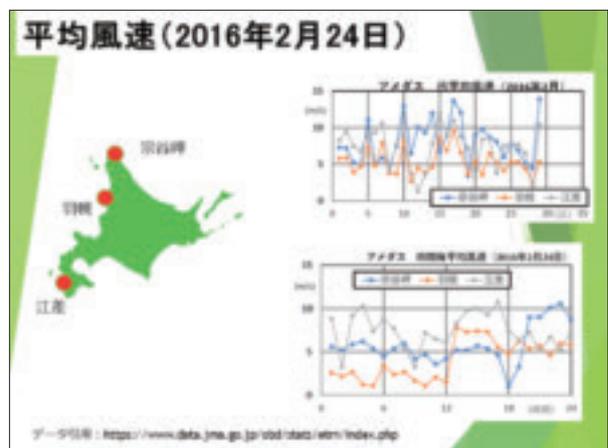


図-3.30

21日の電流潮流、実際にこれを見ますと、電力の発電量は日中には太陽光による発電が増えてくるので、火力の出力を減らしています。この段階では風力発電による発電電力は小さく、あまり大きな影響を示していないという状況です。東北から北海道への電力潮流を見ますと、東北から北海道に電気が流れております。やはり朝と夕の需要が増える時間帯で、東北から北海道に電気が流れているという状況であります(図-3.32、図-3.33、図-3.34)。夏の例ですと、日中には、太陽光による発電量が増えて、一方その時間帯は火力で需給調整しているという電力の調整状態になります。一方風力は、ほとんどゼロのところを変動しており、風力発電は供給量全体としては、北海道の電力の中に占める割合は小さいと言えるかと思います。実際に8

月24日の例です。これが東北から北海道への電力潮流です。下側に向かって流れているのは北海道に電気が流れていることを表しています。昼間の時間帯は太陽光発電による発電時間帯で太陽光により発電するので、電力潮流は減少していることがわかります。夜間については東北から北海道に流れている状況が出現しております(図-3.35、図-3.36、図-3.37)。

次に、港湾区域における洋上風力発電についてです。港湾区域ではどのようにして風力発電を設置するかということで、国土交通省港湾局では2012年にマニュアルを作りました。港湾における風力発電の導入について、「港湾における管理運営との共生のためのマニュアル Ver.1」をまとめました。それから「港湾における洋上風力発電施設等のガイドライン」を作



図-3.31

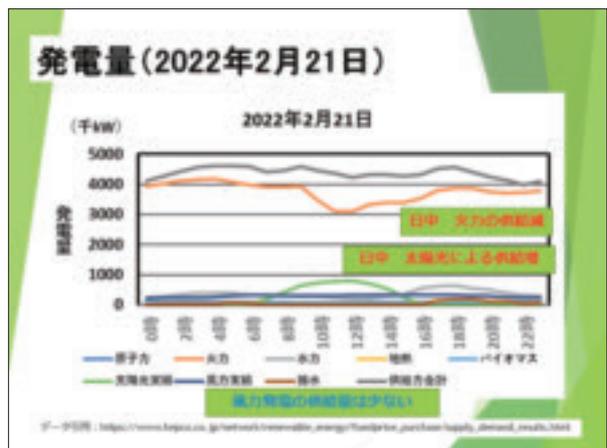


図-3.33

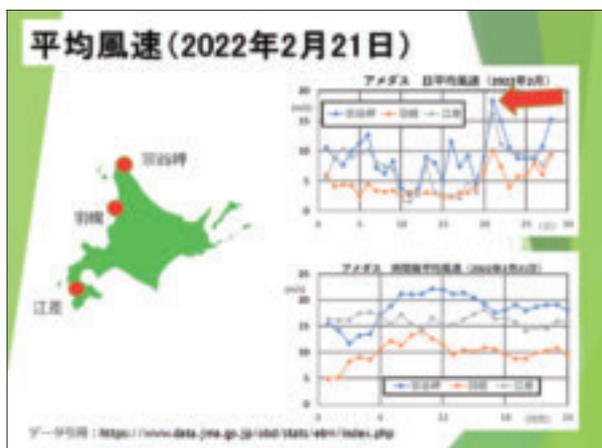


図-3.32

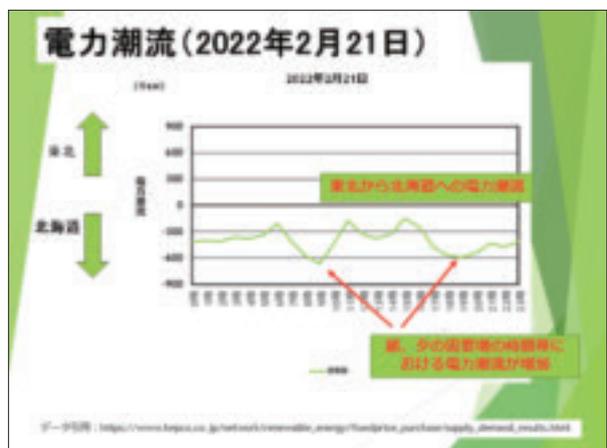


図-3.34

りました。これに基づき、港湾区域内における洋上風力発電の計画がなされておりました。さらに、2016年5月に公募による占用許可手続きが創設され、港湾法の一部を改正する法律で法的根拠が明確になりました。この法律ができた

ことにより、それを運用するための指針として2016年7月に、「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」が出されました。これで初めて港湾区域内の洋上風力発電の設置根拠が法的に明確化されました(図-3.38)。

マニュアルの時代は、マニュアルに示されたフローで事業者の選定基準を設け、それを港湾計画の中に位置付けて、事業者を公募し選定します。そして、事業者が決まり計画が決まると、占用許可を与えるという流れで行って行っていました(図-3.39)。法律の創設後は、先程のマニュアルの時代とそんなに大きくは変わってはいませんが、風力発電を行うところでは公募占用指針を作ります。次に事業者が公募占用計画を出し、それを審査した上で占用予定者を決めて行くことで、占用制度における公募から認定まで

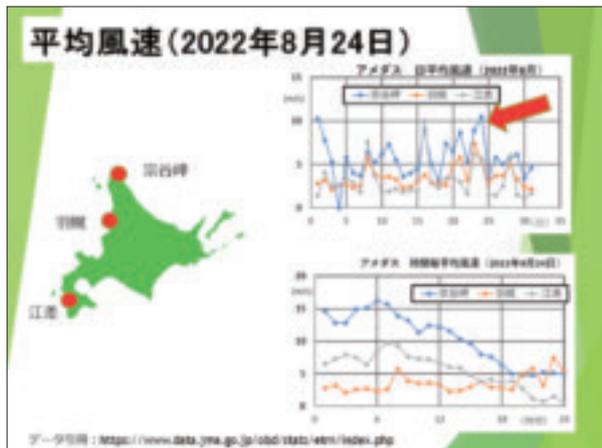


図-3.35

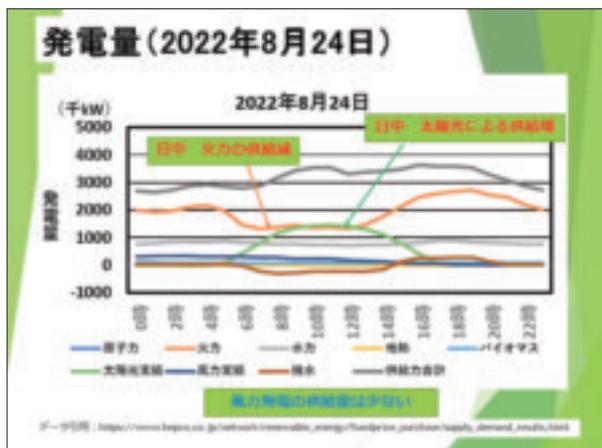


図-3.36

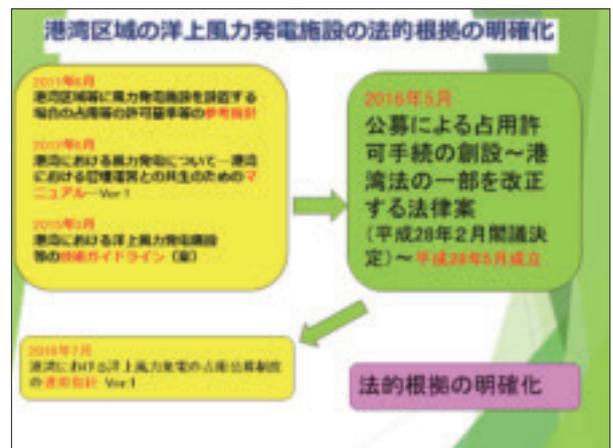


図-3.38

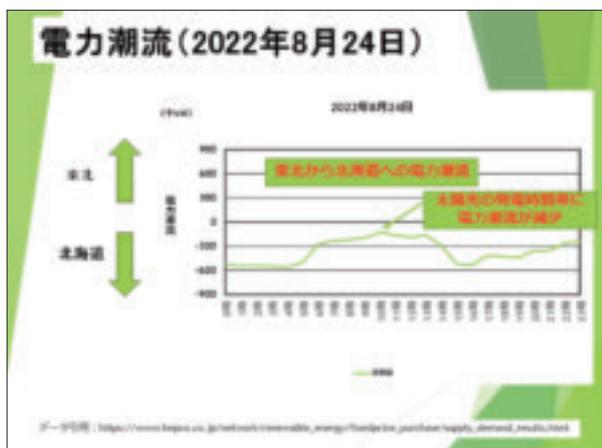


図-3.37

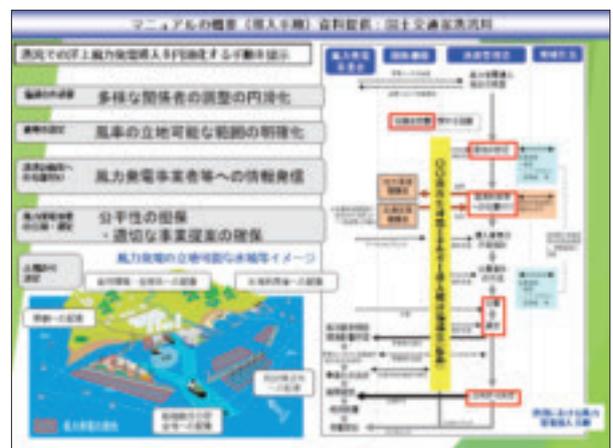


図-3.39

の手続きの流れが法律に基づいて明確化されたという形になります (図-3.40)。

この図は、港湾区域の中で進められている洋上風力発電計画を示します。北海道では石狩湾新港です。それから秋田港・能代港です。秋田港・能代港については、洋上基礎工事が2021年に行われ、今年の夏に風車が設置されました。現状、秋田港の沖合と能代港の沖合の港湾区域の中に洋上風車が建設されております。北海道の石狩湾新港については、ちょうど1年遅れとなり、今年、洋上の基礎工事が行われ、来年の夏に風車が設置されることになっています。その他、むつ小川原港、北九州港、鹿島港などで手続きが行われております。港湾法が改正されたからの手続きとしては、北九州港と鹿島港の事例が挙げられます。むつ小川原港については

事業予定者が決まっていますが、その後進展しておりません。これらの事例について詳しく説明していきます (図-3.41)。

秋田港・能代港です (図-3.42)。秋田港と能代港はこのような形の計画です (図-3.43)。こちらが秋田港で、こちらが能代港を示します。港湾区域の中に、洋上風車が建設されています。去年基礎工事が行われ、今年の春から夏にかけて風車が設置されました。実際に2021年に洋上工事が行われており、これが完成した後に商業運転が開始される予定になっております。建設に向けて実際にいろいろな資材が海外から搬入されています (図-3.44)。まだ国内では、風車の基礎の杭 (モノパイル) を製造する設備がありませんので、オランダのロッテルダム港や中国から輸入しています。また風車について

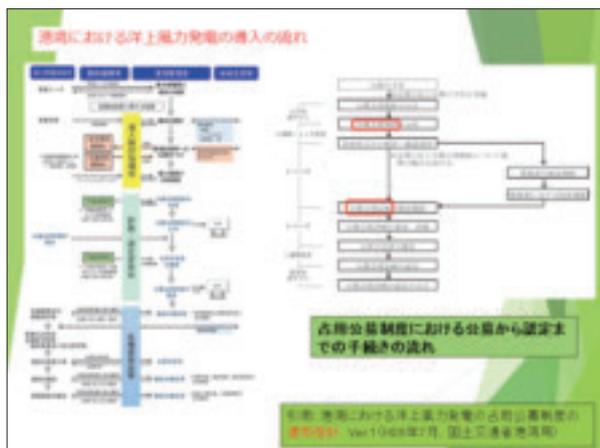


図-3.40



図-3.42



図-3.41



図-3.43

は、デンマークに洋上風力発電機の製造会社があり、そこから輸入してきております(図-3.45)。これは実際にモノパイルを輸入してきている写真です(図-3.46)。それからナセル・ブレードを搬入している写真です(図-3.47)。

そして風車の羽根、ブレードを搬入している写真になります(図-3.48)。秋田港・能代港では、去年から今年にかけて洋上風車の建設が進んでおります。これは風車のタワーの搬入の写真です(図-3.49)。実際に、港湾区域の中にモノパ



図-3.44



図-3.47

搬入品	搬入先	業者
2020年1月12日 (木)	オランダ・ロッテダム港	モノパイル業者
2020年2月22日 (水)	オランダ・ロッテダム港	モノパイル業者
2020年3月5日 (木)	オランダ・ロッテダム港	モノパイル業者、オランダ・ロッテダム港
2020年3月18日 (水)	オランダ・ロッテダム港	モノパイル業者、オランダ・ロッテダム港
2020年4月10日 (土)	オランダ・ロッテダム港	モノパイル業者、オランダ・ロッテダム港
2020年12月11日 (日)	中国・天津港	タワー業者
2020年12月18日 (日)	ドイツ・エルベ川	ブレード業者
2020年1月18日 (日)	中国・天津港	タワー業者
2020年1月29日 (水)	ドイツ・エルベ川	ブレード業者
2020年2月6日 (水)	ドイツ・エルベ川	ブレード業者
2020年2月10日 (水)	中国・天津港	タワー業者

図-3.45



図-3.48



図-3.46



図-3.49

イル方式の洋上風車が建設されました (図-3.50)。

次に、石狩湾新港です (図-3.51)。ここは港湾区域の中に再生可能エネルギーを活用する区域が500 ha、港湾計画内に位置づけられました (図-3.52)。これは防波堤外側の港湾区域の中の海域になります。当初計画では4 MW の風車 26 基を建設予定でした。ところが、4 MW はドイツのシーメンスの風車を購入する予定だったのですが、洋上用に4 MW サイズの風車自体が供給できないということで、この4 MW が8 MW に計画変更されています (図-3.53)。4 MW で検討されていた時代に港湾計画が改定され、協議会が設けられました。協議会ではどのように事業者を公募するのか議論を重ね、公募指針を定めて、公募要件を示し事業者の公募

がなされました。審査委員会の審査の結果、2015年8月に事業予定者を決定いたしました。この時は2社の応募があり、その中から1社を評価して選んだということになります (図-3.54)。選定された事業者は、グリーンパワー

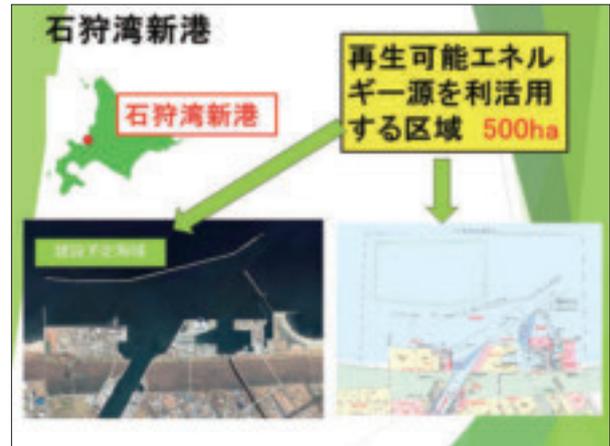


図-3.52



図-3.50



図-3.53



図-3.51



図-3.54

インベストメントという会社です。

その後、種々の海域の調査が実施されました。土質や海底、水深、地盤構成の調査を順次進めているところですので(図-3.55)。2017年頃から洋上で地盤調査を行っております。右側が標準貫入試験で、これは港湾工事でも使われる通常のボーリング方法であり海中に櫓を建てて調査しています(図-3.56)。洋上風力発電を行うには、それぞれの風車の設置位置で地盤を調べなければいけません。標準貫入試験をそれぞれの風車設置地点で行うのは、調査コストとしては非常に難しい状況です。ヨーロッパではコーン貫入試験という試験方法で地盤を調査するのが一般的です。我が国においてもこれらを併用して、地盤条件を調査している状況になっております。

洋上風車の大型化の影響により、当初は4 MW 風車 26基という計画だったのですが、ここに示すように風車の規模を倍にして基数を大幅に減らすということで、8 MW 風車 14基に計画変更になって、来年の夏に設置工事が行われることになっております(図-3.57)。

これが8 MW 風車 14基に変更した後のコンピュータグラフィックによる完成予想図です。石狩湾新港の防波堤の沖合海域の港湾区域内に8 MW 風車 14基が来年の夏施工されます(図-3.58)。発電電力を電力系統に入れるためには蓄電池を用いて出力調整して、その調整後に系統網に入れるということで、併せて陸上に蓄電池の計画が予定されています(図-3.59)。

基礎構造はジャケット方式で、ジャケット式基礎の上に風車を建てることになっています



図-3.55



図-3.57



図-3.56



図-3.58

(図-3.60)。石狩湾沖合の海域の地盤条件を考えると、ヨーロッパのモノパイルでは安定性を確保することが難しく、最終的にはこういうジャケット方式になっております。海域の音波探査を行って、海底面の状況等を調べている写真です(図-3.61)。それから、地盤調査も行っておりこれは海中に櫓を建てて海域の地盤調査している状況です。こちらは先程も申したコーン貫入試験(CPT)で海底地盤の状況をコーンで調べている図です(図-3.62)。

来年、石狩湾新港で施工が行われますが、施工の際に風車を設置するためには、大型のSEP船が必要になります(図-3.63)。このSEP船につきましては、今年、清水建設が「BLUE WIND」というSEP船を造りました。SEP船の係留母港は室蘭港になりますが、母港から出

て行って、来年の夏に石狩湾新港の風車建設に利用される予定になっております。これがSEP船の諸元になります(図-3.64)。SEP船のクレーンを用いて風車を据え付ける作業を、来年の夏に石狩湾新港海域で行うことになって



図-3.61



図-3.59



図-3.62



図-3.60



図-3.63

おります。

次に北九州港です（図-3.65）。北九州港は2016年6月に港湾計画を改定して、港湾区域を変更し風車の設置海域を定めた形になっています（図-3.66）。こういう形で、A・B・C・Dと

いう海域に風車を設置することで、面積は4海域を合わせると2,687haです（図-3.67）。石狩湾新港が500haですから、約5倍の海域を風車の設置海域として活用するという計画になります。北九州港の場合は港湾法の一部改正で、公募方式というのが法的に創設されたので、平成28年8月から公募指針が配布され、最終的には平成29年2月15日に事業者を選定しています。選定された事業者は「ひびきウインドエネルギー」という組織体です。各企業がここに示す資本提携割合で特別目的会社を設立しています（図-3.68）。実際に、先程示した区域で風車を建てる計画が進められております（図-3.69）。進行状況が予定通りなのかどうかは確認していないのですが、ウインドファーム認証が全て終われば、来年あたりから建設工事をス

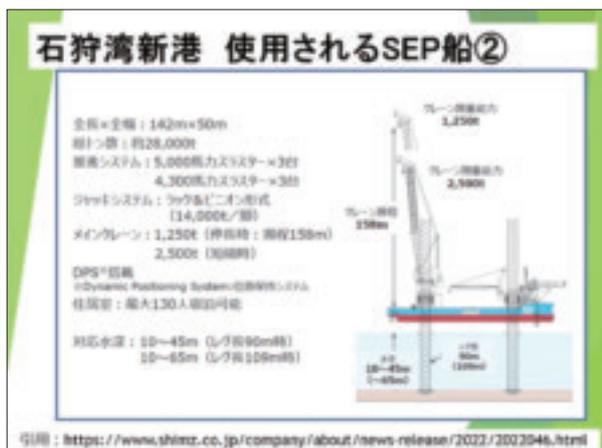


図-3.64



図-3.65



図-3.67



図-3.66



図-3.68

スタートしていくことになっています(図-3.70)。

次に鹿島港です(図-3.71)。鹿島港では、ここに示す洋上風車の建設事例がありました。いずれの風車も洋上、海の中にありますが護岸の直ぐ近くということで、基本的に施工は陸上からクレーンを使って行う工事がメインに行われたという風車です(図-3.72)。それぞれ稼働開始が平成22年と平成24年であり、我が国の中でも割と初期に洋上風車が建設された場所になります。もともとは港湾のマニュアルに基づき事業者を決めていたのですが、右側の海域で予定された事業者が辞退し、再度、港湾法が改正された後の法律に基づいて事業者が公募された形です(図-3.73)。公募については、平成29年に占用指針が出されて、そこから約半年間をかけて公募占用計画の認定と告示というところま

で辿り着きました。結果的には、株式会社ウィンド・パワー・エナジーという事業者に決まりました(図-3.74)。その中の構成企業であった、日立ウィンドパワー株式会社が風車の生産から撤退し、事業の見直しが必要となりました。現



図-3.71



図-3.69



図-3.72



図-3.70



図-3.73

在では、東京ガスと日本風力エネルギーという企業が参加して、新しい形で計画を進めている状況のようです(図-3.75)。

むつ小川原港です(図-3.76)。むつ小川原港の再生可能エネルギーを活用する区域が、交通



図-3.74



図-3.75

政策審議会の港湾分科会の中で計画が議論され、区域が認定されました(図-3.77)。ところが、洋上風車の環境影響評価を行ったり、現地調査・風況調査を行っているのですが、風の状況が当初の想定に比べて思わしくなく、また、予定事業者が地元企業の比較的資金力が小さな会社であるために、現状では事業費を確保するための資金が足りなくて、計画はもう少し先になる状況だと聞いています(図-3.78、図-3.79)。

次に、一般海域における洋上風力発電です。2018年11月30日に「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律」、この長い名前の法律名を省略し、「再エネ海域利用法」と呼ばれている法律が成立しました。先程紹介したものは港湾区域の計画については、港湾区域の中での計画でしたが、こ

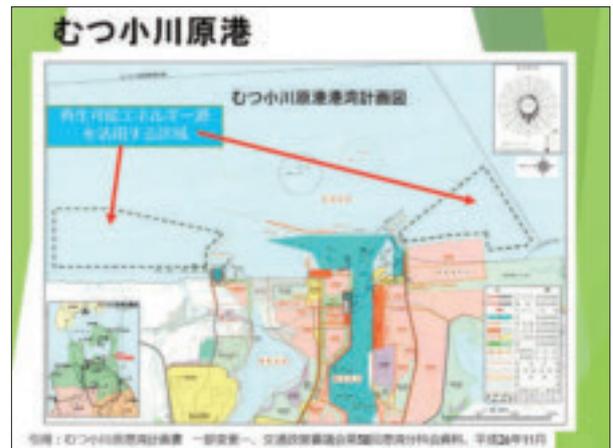


図-3.77



図-3.76



図-3.78

これは港湾区域の外側の一般海域における計画です。これらは再エネを利用するための法律に基づいて事業が検討されています。この法律に基づき、促進区域が指定されると具体的に事業が進んでいくわけですが、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。その過程でいろいろな意見を聞いた上で促進区域として指定されると、占用許可が与えられて、最大30年の期間その海域を使って良いという仕組みになっています（図-3.80）。

現在進められている一般海域の促進区域を示します。北海道ではまだ促進区域に指定された海域はないのですが、主に秋田県、山形県の沖合、それから千葉県、長崎県で指定されています。最初に指定された促進区域は長崎県の五島市沖です。その後、去年の9月と今年の

9月にも赤字で示す場所が新たに促進区域として指定されております。促進区域に指定されると、公募が行われます。最初の4件については、昨年の6月と12月に事業予定者の選定が行われました。その後指定された海域について説明します。今年になって3海域が新しく促進区域として指定されたので、これから公募が始まり、事業予定の会社が決まってくると思います（図-3.81、図-3.82）。

これまでに事業者が決まったところの流れを見ます。これは長崎県五島市沖の例ですが、協議会が設置されて、促進区域が指定されました。そして事業者が公募されました。次いで事業者が選定されました。事業実施の段階においても協議会や実務者会議が再び開催されているということです（図-3.83）。これは長崎県五島市沖

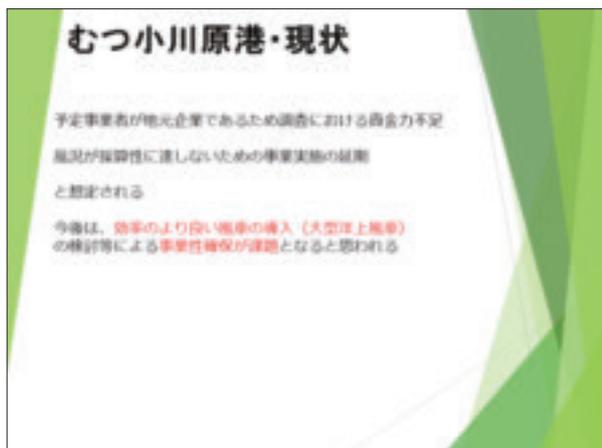


図-3.79



図-3.81



図-3.80



図-3.82

の例ですが、促進区域が指定されると、その区域の緯度・経度、すなわち海域において緯度・経度が具体的に指定され、告知されます（図-3.84）。実際の流れとしては、長崎県五島市沖の場合は、促進区域の指定から公募までが約半

年、公募期間が半年、審査期間が半年、そのような流れで選定事業者が決まります（図-3.85）。

次に秋田県能代市・三種町及び男鹿市沖の例です。ここに示したスケジュールで協議会が開催され、促進区域が指定され、事業者が公募されます。だいたい半年から1年かけに審査され事業者が選定されます。ここの海域の場合はちょうど1年前に事業者が決まったところ（図-3.86）。具体的には、事業者はコンソーシアム型式をとっており、構成企業は三菱商事系の会社を主体とするものとなっております。この中に示しているように運転開始予定はかなり先になっており、公募したものの、なかなか早期には実現しない結果になっております。このことから選定システムの見直しも議論され、少し修正が加わっています。おおまかな流れとし



図-3.83



図-3.84



図-3.86

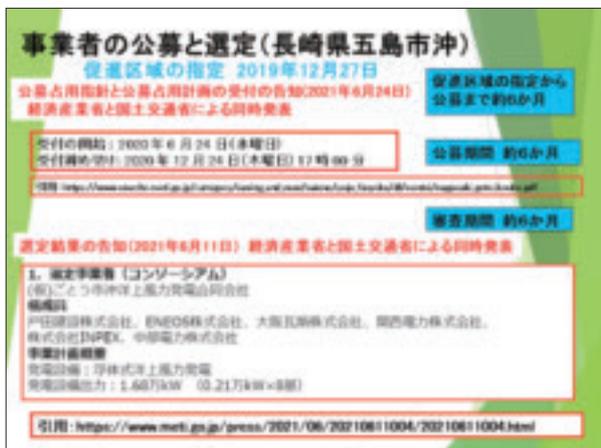


図-3.85

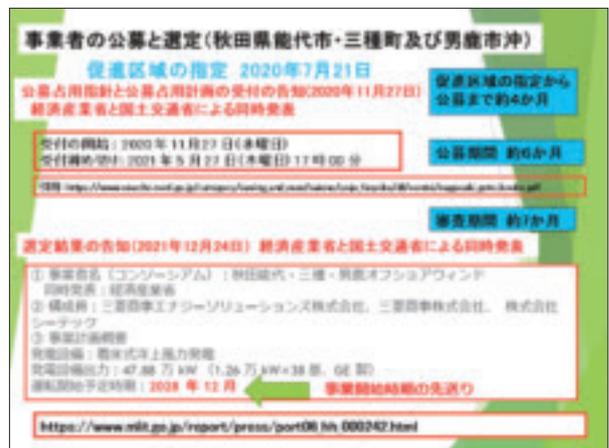


図-3.87

ては、促進区域の指定から公募まで4カ月、公募が6カ月、事業者の選定が7カ月という期間をかけて事業予定者が決まりました(図-3.87)。実際にここに示す応募がありました。これが価格点ですが、価格点と事業実現性による得点が事業予定者の選定において評価されています。事業予定者として選定された会社は、事業実現性に対する評価が一番だったのですが、価格点でも圧倒的に高く、評価点(総合点)はこの得点になり、事業予定者として決まりました(図-3.88)。これが、この公募海域になります(図-3.89)。

次に秋田県由利本荘市沖の北側・南側について説明します。ここでは2019年～2020年にかけて協議会が開催され促進区域が指定されました。事業予定者が約半年かけて公募され、その

後半年かけて審査され、事業予定者が公表されました(図-3.90)。ここでも三菱商事系の会社が主たる構成企業として選定されました。これも事業開始時期が相当先の計画になっています。先程示した事例と同じような形で、ここで示している期間をかけて選定が行われている状況です(図-3.91)。この場合は、やはり事業実現性に関する評価が一番高いところが選定されましたが、価格点でも大差がついたために、先程の事例と同じ会社が事業予定者として確定しました(図-3.92)。実際の海域を示します。秋田県南部の海岸の沖合が海域として指定されたということになります(図-3.93)。

次は千葉県の銚子市沖の事例です。ここも2019年～2020年にかけて協議会が開催され、促進区域が指定されました。2020年11月～翌

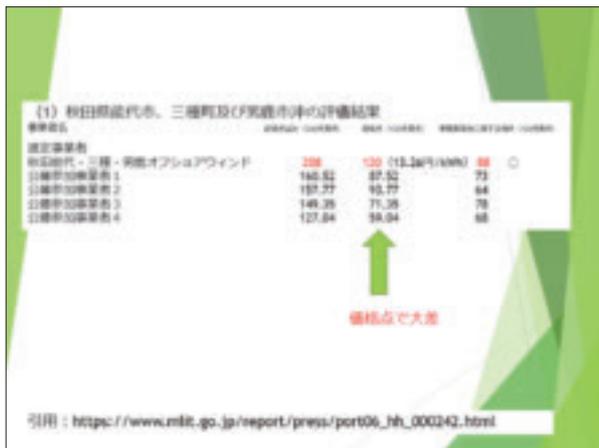


図-3.88



図-3.90

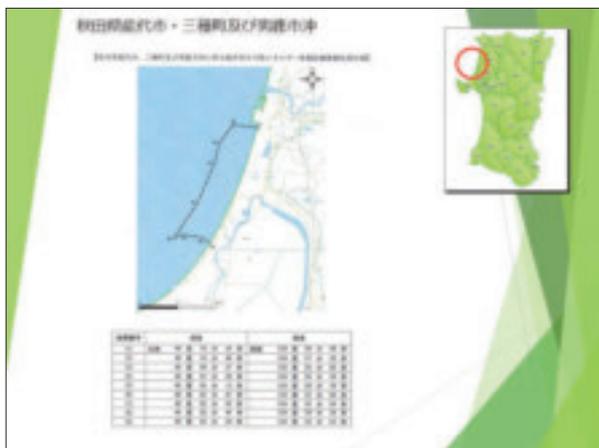


図-3.89

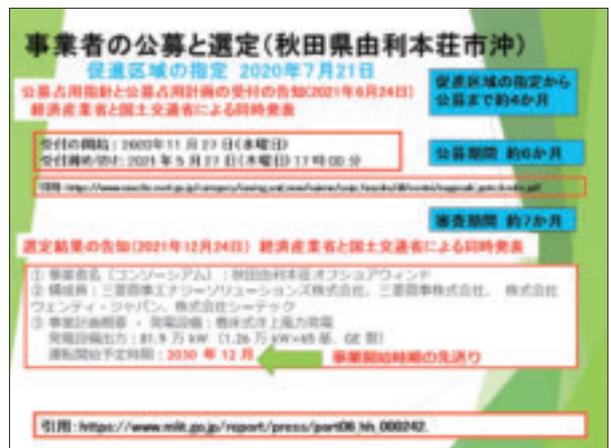


図-3.91

年の5月にかけての約半年の期間で事業者を公募し、さらに半年をかけて審査して、事業予定者を選定しました(図-3.94)。やはり、ここも三菱商事系が取っていますが、事業開始時期が2028年9月ということで、結構先になっていま

す(図-3.95)。この場合は2社の事業の申請があって、もう1社が事業実現性による得点は高かったのですが、価格点で差が出てしまい、選定予定者は千葉銚子オフショアウインドに決まりました。構成としては三菱商事系の会社が中心となる組織体を選定された形になります(図-3.96)。この図に示す海域が指定されています(図-3.97)。

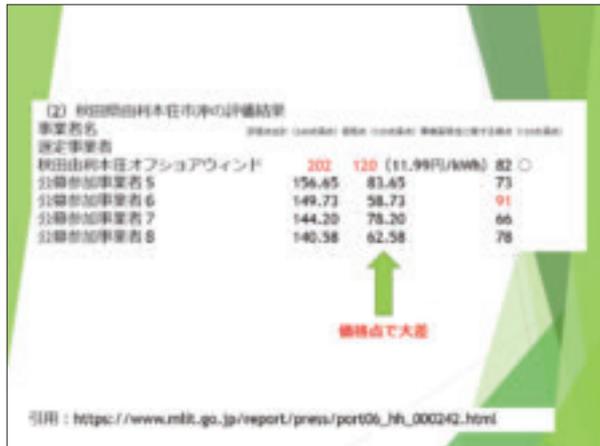


図-3.92

次に秋田県八峰町及び能代市沖について示します。今後、ここで示すプロセスで事業予定者が決まることになっており、選定はこれからという形になります(図-3.98)。海域としては、秋田県の北側海域になります(図-3.99)。この図は現在進められている洋上風力発電の計画を示しています。これは一般海域において、まだ促進区域になる前の有望な区域について示して



図-3.93

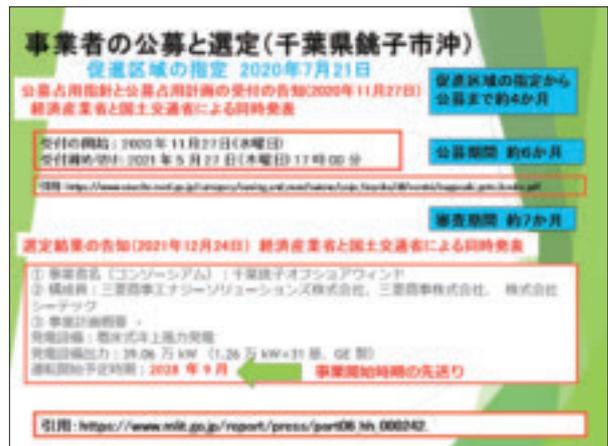


図-3.95



図-3.94



図-3.96

おり、協議会の進行状況をまとめています(図-3.100)。有望な区域に指定されると、地元で協議会が開催されます。協議会のメンバーとして、国と地元自治体それから海域の先行利用者、学識経験者などが参加しています。協議会が始まると促進区域の指定の方に動いていくので、2回～4回ぐらいの協議会を経て、促進区域が指定される形になります。

その他、前段階の検討を行っているところとして、一定の準備段階に進んでいる指定海域があり、この中には北海道の海域もあります(図-3.101)。

次に、道内における洋上風力発電の計画について説明します。先程の一定準備段階に進んでいる区域で、この5海域が候補海域になっています(図-3.102)。それらの海域の中には、環境

影響評価を実施しているものがあります。これはある会社の環境影響評価の事例で、具体的にどのような海域で環境影響評価を行っているかを示しています。このような形で環境影響評価が併せて進められます(図-3.103)。実際の環境



図-3.99



図-3.97



図-3.100



図-3.98



図-3.101

影響評価では、ここで示す項目について、検討を行う形になります（図-3.104）。

北海道島牧村沖の洋上風力発電計画について、環境影響評価の事例を紹介します。これはまだ事業予定者が当該海域において公募される前段階ですから、環境影響評価を行うこと自体が先行投資的な活動になると思います。そういうことが実際に行われているという状況です（図-3.105）。

次に道内において、今後どのように洋上風力発電の導入をしていくか、その課題について少しお話をしたいと思います。実際に北海道における風力発電導入、その中でも洋上風力発電は瀬棚の風車の2基だけです。これは陸上風車の導入上での課題を含めてということと理解していただきたいと思います。陸上風車につい

ても、2000年頃には基数も大きく伸びているのですが、近年では、設備容量は風車の大型化によって少し進んでいます、基数の伸びは大きくありません。

実際の動きを北海道新聞の記事数で調べてみます。これは風力発電の記事数を示しています。全道版と地方版の両方の数のトータルです。記事データベースにおいて「風力発電」と検索し、キーワードを含む記事がヒットした数です。次は「洋上風力発電」の記事数ですが、2003年に瀬棚港で洋上風車を開発した時期に小さなピークがあります。次のピークは2012年、東日本大震災の翌年にFIT法が施行され、いろいろな検討が開始されてきたことで少し増えました（図-3.106）。そして、2019年の再エネ海域利用法の施行後に洋上風力発電の記事数



図-3.102



図-3.104



図-3.103

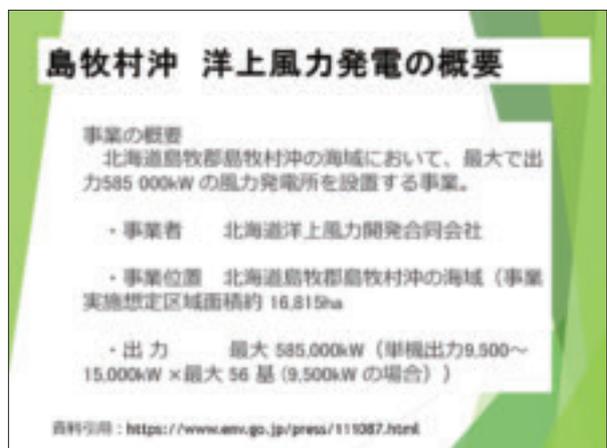


図-3.105

数が増加しています。法律や制度の変更に伴い、洋上風力発電の具体化に向けた準備活動が進展してきているという状況を表しています。

ただ、北海道の場合は電力系統連系上の制約があって、風力発電の導入がなかなか厳しい状況にあったということも事実です。これは、電力会社に対しての系統接続条件を設定している状況を示しています。この表は非常に細かくて、詳しく説明できないのですが、系統接続に制約がかかるという状況が続いておりました(図-3.107)。

実際に長周期の出力変動の対策としては、例えば出力緩和条件が電力会社から規定され、ここに示す規制条件が定められておりました。こういった規制は緩和される方向にありますが、このような規制があったため、再エネの導入が

なかなか進まなかったことも事実です(図-3.108)。

次に、風車の定格出力の推移を説明します。これは陸上風車の定格出力で、2005年以降はだいたい2,000 kW (2 MW) の陸上風車でした。その後風車規模がやや大きくなって3 MW、さらに新しい計画では4 MW や5 MW のより大型のものが陸上風車として導入されています(図-3.109)。山岳部にそれだけ大きな風車を設置しようとする、新しく道路を造らなければいけないとか、風車の羽根をどうやって運ぶのか、という大きな課題があります。このことから北海道の中でも陸上風車の大型化は、海沿いとか輸送が容易な極めて限られた地域に限定されると思います。

道内における洋上風力発電の導入に向けての

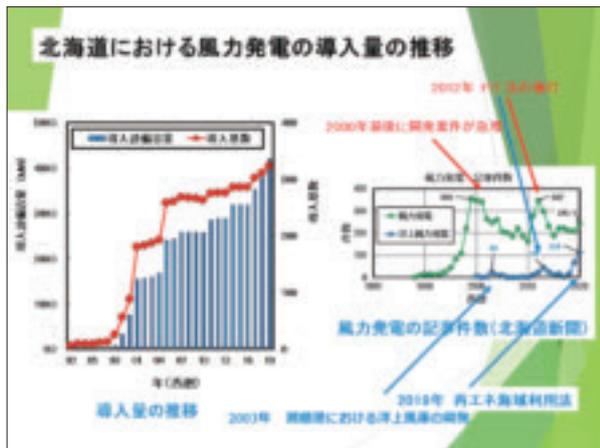


図-3.106

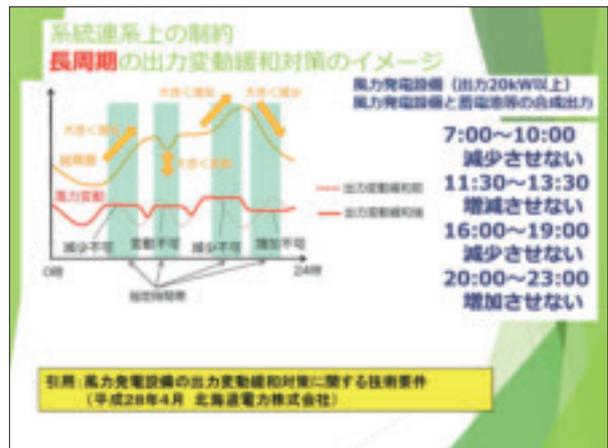


図-3.108

図-3.107



図-3.109

課題ですが、電力の需給バランスを考えると、風力発電所に蓄電池を設置しなければいけない問題があります。それから、道内における地域間送電線網の脆弱性の問題がありますから、送電線網を整備しなければいけない。そして、本州との電力送電線網の脆弱性もあります。送電線網を増強しなければいけないということで、北本線、すなわち北海道と本州間の送電本線を増強していくことが必要になります。新たに洋上風車が建設されますと、その電気を送るための海底直流送電線が必要となるので、整備を考えていかなければならないということです(図-3.110)。

洋上風力発電によるエネルギーをどうやって運搬するか、いろいろ考えてみました。ここでは蓄電船という言い方をしていますが、蓄電器

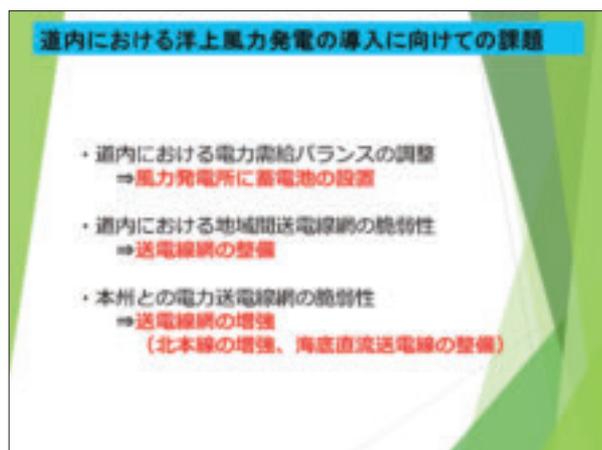


図-3.110

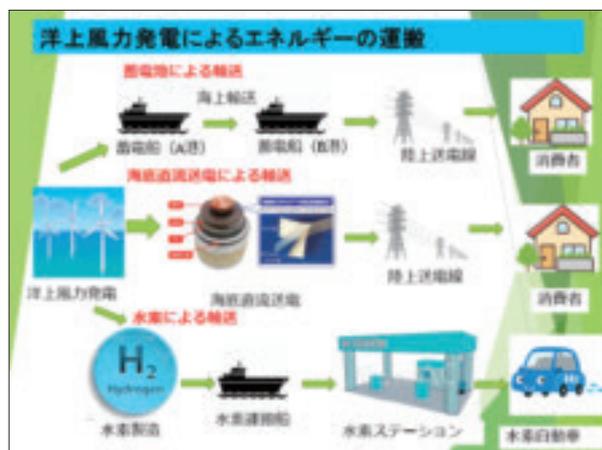


図-3.111

(バッテリー)をたくさん積んだ船に充電させて、それを消費地の港に持って行って、そこから陸上の送電線に繋げて消費者に届ける、そのような蓄電池による輸送も1つのアイデアとしてあると思います。もう一つは海底直流送電線による輸送ということで、これも北海道の中で今後の計画として検討されています。海底直流送電線で電力を運んで消費地の方で陸上送電線に繋いで消費者に供給する形になります(図-3.111)。あるいは電気の形とか蓄電池の形をとるのではなくて、水素を製造する考えもあります。そして水素運搬船で運んで、水素ステーション等から実際のいろいろな設備にエネルギーとして供給していくというような考え方もあるかと思えます。実際に水素運搬船の計画がありまして、例えばここに示す船の計画が現実に行進している状況です(図-3.112)。

系統の連系上の制約が課題としてあります。これは、北海道の中でどういう課題があるかを箇条書きで示しています。こういった対策も当然必要であります。さらにいろいろなアイデアを使いながら、系統の中にできるだけ多くの電力を投入できるようなシステムを開発していくことが必要になってきます(図-3.113)。

電力需給・系統の課題ですが、日本の場合は地域ごとに送電線網があるのですが、日本列島



図-3.112

は長いために電力会社相互の連系が極めて脆弱です。電力系統は串型、串団子状ですので、串団子の中でしか相互に送れない状況です。一方ヨーロッパは、国同士で網目状の送電線網が整備されており、国同士で送電線がネットワーク化されています。新たに北海に海底送電線を敷設する計画も活発に議論されています。このように国同士での電力の融通が図られています。日本の場合は地域間の電力系統が串型状であるため地域間での電力の融通に制約があるという大きな課題があります (図-3.114)。

道内に限って見ますと、地域間送電線の整備が必要です。これは陸上風力発電の話になりますが、稚内の周辺は風のエネルギーのポテンシャルが高いところですから、これを電気で送るためには送電線の増強が必要だということ

で、北海道北部風力送電株式会社が、送電線の増強事業を進めています (図-3.115)。

計画に基づき、実際に建設工事が進められており、2023年～2025年にかけて新しい送電線が運用される形になります (図-3.116)。そのために蓄電池の整備、送電線の建設が行われています (図-3.117)。それから蓄電池を用いて北海道内の電力の調整が図られています。これは南早来変電所の大型蓄電池棟ですが、こういう蓄電池システムを系統の中に設置しておくことで、電力網強化対策も進められております (図-3.118)。

それから北本線の増強ということで、現在、90万kWの送電容量ですが、将来的には120万kWに、わずかですが増強されます (図-3.119)。ただ、これだけでは北海道の風力発電、



図-3.113

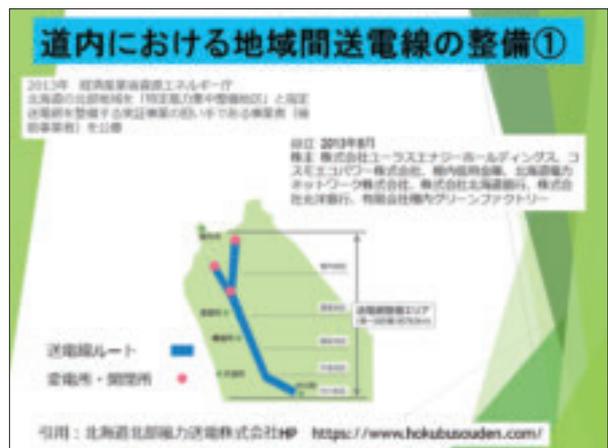


図-3.115

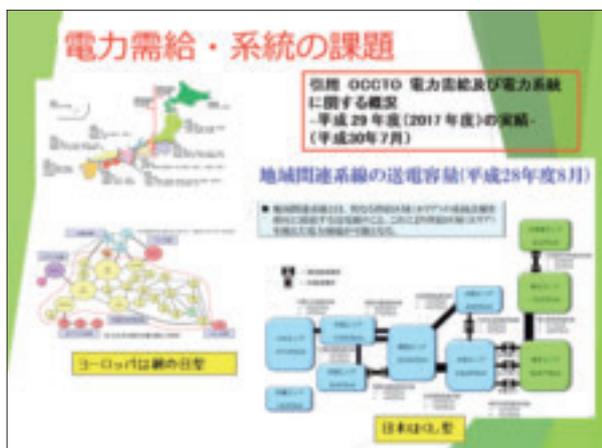


図-3.114

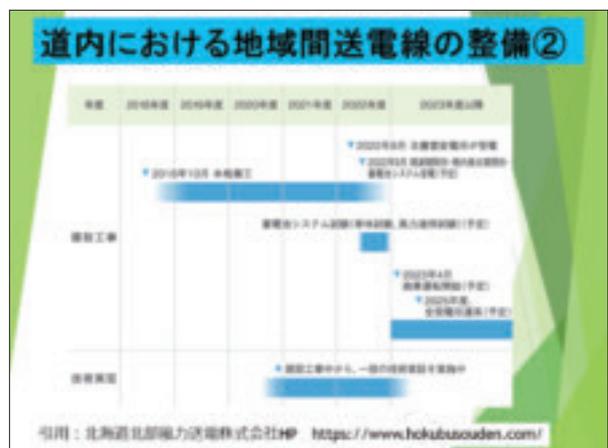


図-3.116

特に洋上風力発電のポテンシャルを本州に普及させるためには十分ではありません。そこで、広域系統形成に向けての動きの中で、北海道の風力発電による電気を本州に送る、そのための方策として海底直流送電線の計画も検討されて

おります（図-3.120）。具体的には200万kWの海底直流送電線の新設です。これについては経済産業省が先程説明した電力広域的運営推進機関（OCCTO）に整備計画を作成することを要請しています。2030年代の前半から半ばに掛けて建設される予定であって、その計画が今、検討されています（図-3.121）。実際に提案されている送電容量については、必ずしも北海道の洋上風力発電のポテンシャルを考えれば十分なものではないのですが、200万kWという容量が第一弾の計画として検討が進められています。北本線が90万kWから120万kWへの増強ですから、それをはるかに上回る送電容量の送電線が新規に計画されている状況にあります。

電気をどうやって消費地へ送るかについて



図-3.117



図-3.118



図-3.120



図-3.119



図-3.121

は、これから具体的にいろいろなことを考えて議論を進めていかなければいけない問題であります。あとは洋上風のエネルギーを、洋上風力発電により電気を使うのか、電気以外に実際に産業等を含めていろいろな形のエネルギーが使われていることから、電気以外の形で使うのかの検討が必要です。化石燃料が将来使えなくなると、電気以外の動力源も新しい再エネで作っ

ていかなければいけません。それを実現するためのシステム、どうやってエネルギーを製造し輸送するかについて、洋上風力発電の活用を含めて、今後検討を進めていかなければいけないと思います。今後の課題としては、いろいろなことが考えられると思います。

これで私からの発表を終わりにしたいと思います。ご清聴、ありがとうございました。

4 第3回「モノパイル構造の計画・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)

本日は会場ならびに WEB でご参加いただきまして、ありがとうございます。白石です。これより着席して説明させていただきます。

前2回は洋上風力発電を取り巻く背景的なお話をさせていただきましたが、今回より洋上風力発電の各構造形式について具体的な事例紹介、設計の考え方、施工の考え方等について説明をさせていただきたいと思います。早速ですが、進めさせていただきます。

これは前回も示したスライドですが、今、カーボンニュートラルということで、脱炭素のために様々な再生可能エネルギーが注目されています。とりわけ洋上風力発電について注目が高

まっております (図-4.1)。

再生可能エネルギーの導入につきましては、もちろん地球温暖化防止のための CO₂ 削減という効果もごさいますが、我が国においてはエネルギー自給率が低いという現状で、原油や LNG や石炭という二酸化炭素を排出するエネルギー資源を大量に輸入しています。こういったものの消費を削減することにより、エネルギー自給率の向上にも繋がります。再生可能エネルギーの導入拡大は我が国にとって今後益々重要な位置付けになると考えています (図-4.2)。

最近の話題について、前2回会以降のお話をさせていただきます。まず排他的経済水域 (EEZ) における国際法上の諸課題に関する検討会の第1回が今年の10月6日に開催され、

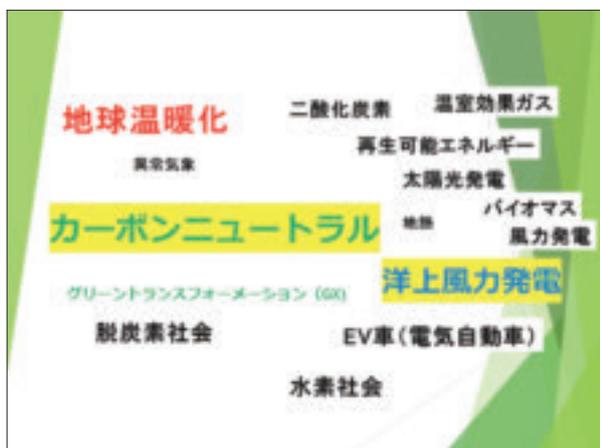


図-4.1

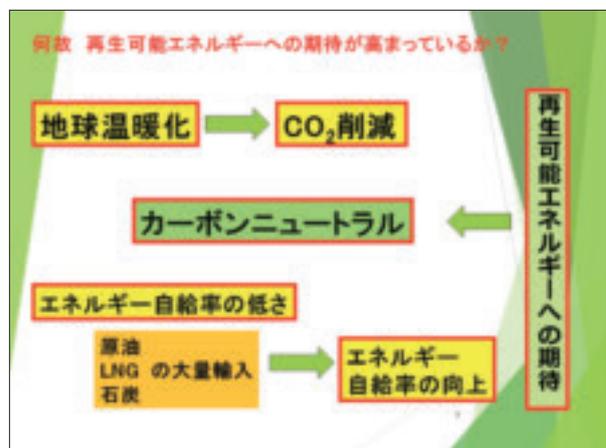


図-4.2