

令和5年5月

CPC 講演会等年次報告 (令和4年度)

- ・ザ・シンポジウムみなと in 室蘭 (令和4年9月2日)
- ・洋上風力発電技術セミナー
 - 第1回 (令和4年10月24日)
 - 第2回 (令和4年12月6日)
 - 第3回 (令和5年2月16日)

一般社団法人 寒地港湾空港技術研究センター

目 次

1. 令和4年度講演会等概要	1
2. ザ・シンポジウムみなと in 室蘭	
2.1 開会挨拶	3
2.2 開催地代表挨拶	4
2.3 基調講演「室蘭港のめざすべき未来へのアプローチ」	5
2.4 パネルディスカッション「巷からはじまるカーボンニュートラル」	10
付録A ザ・シンポジウムみなと in 室蘭 開催案内	16
付録B ザ・シンポジウムみなと in 室蘭 写真	18
3. 洋上風力発電技術セミナー	
3.1 主催者挨拶	23
3.2 第1回「カーボンニュートラルと洋上風力発電」	24
3.3 第2回「日本および道内における計画」	50
3.4 第3回「モノパイル構造の計画・設計・施工」	75
付録C 洋上風力発電技術セミナー 開催案内	108
付録D 洋上風力発電技術セミナー 写真	111

1. 令和4年度講演会等概要

名 称	プ ロ グ ラ ム	日時、場所	開 催 状 況
ザ・シンポジウムみなと in 室蘭	<ul style="list-style-type: none"> ・開会挨拶 眞田 仁(ザ・シンポジウムみなと実行委員会委員長) ・開催地代表挨拶 青山 剛 氏(室蘭市長) ・基調講演「室蘭港のめざすべき未来へのアプローチ」 京都大学経営管理大学院 特任教授 小林 潔司 氏 ・パネルディスカッション 「巷からはじまるカーボンニュートラル」 コーディネーター フリーアナウンサー 野宮 範子 氏 パネリスト 室蘭市長 青山 剛 氏 パネリスト 合同会社 SUM-i-CA 代表社員 石井 裕子 氏 パネリスト 北海商科大学 教授 田村 亨 氏 パネリスト 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 理事長 小高 咲 氏 パネリスト 京都大学経営管理大学院 特任教授 小林 潔司 氏 	令和4年9月2日 室蘭市市民会館	参加者数 (Web 参加者も含む): 約 500 人
洋上風力発電技術セミナー	<ul style="list-style-type: none"> ・主催者挨拶 CPC 理事長 眞田 仁 ・第1回「カーボンニュートラルと洋上風力発電」 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) ・第2回「日本および道内における計画」 同 上 ・第3回「モノパイル構造の計画・設計・施工」 同 上 	令和4年10月24日 京王プラザホテル札幌 令和4年12月6日 京王プラザホテル札幌 令和5年2月16日 TKP 札幌駅カンファレンスセンター	参加者数：来場 35 名 Web 37 名 参加者数：来場 36 名 Web 53 名 参加者数：来場 17 名 Web 57 名

2. ザ・シンポジウムみなと in 室蘭

2.1 開会挨拶

眞田 仁（ザ・シンポジウムみなと実行委員会委員長）

本シンポジウムは毎年、全道各地にある港湾都市の持ち回りで開催をしております。

本日のテーマは「巷から始まるカーボンニュートラル」です。ここ数年、カーボンニュートラルや脱炭素、水素エネルギーという言葉をよく耳にするようになりました。

室蘭は水素に着目し、さまざまな検討や実践を行ってきた先進的な地域です。世界中で化石燃料由来のエネルギーから再生可能エネルギーへの転換が進められ、水素やアンモニアなどの利活用の議論が盛り上がっています。また、洋上風力発電などの話題も毎日のようにメディアをにぎわしています。こうした中、北海道屈指の産業集積を誇る室蘭で、カーボンニュートラルに関するシンポジウムを行うことは、まさに時宜を得たものではないかと思えます。

本日は京都大学名誉教授の小林潔司先生をお招きし、基調講演をしていただきます。また、室蘭や北海道で活躍されている有識者の方々にはパネルディスカッションを通じて、カーボンニュートラルや脱炭素というテーマで議論を展開していただきます。

ご聴講いただく市民や関係者の皆様には今後、脱炭素時代に向けて港や社会がどう変わっていくのかということを実感していただければ幸いです。そして、自身との関わりや生活の変化などについて、少しでも身近に感じていただく機会になればと思っております。また、今後のカーボンニュートラルの動向に対し、関心や理解が深まる一助となることも期待しています。

短い時間ではございますが、本日はよろしく願いいたします。

2. ザ・シンポジウムみなと in 室蘭

2.2 開催地代表挨拶

室蘭市長 青山 剛 氏

本日は「ザ・シンポジウムみなと in 室蘭」の開催にあたり、このように多くの方々にお集まりをいただき、誠にありがとうございます。

2022年、室蘭市は「開港150年・市制施行100年」という節目の年を迎えました。今年はまだや港を築き上げてこられた先人に感謝しつつ、これからの港・まちづくりをどのように展望していくのかを考える年と位置付けています。

150年前に、噴火湾を挟んで対岸に位置する森町と森蘭航路によりつながって以降、石炭、石油、原子力、再生可能エネルギーなど、本市はエネルギーの変遷と共に発展してきました。近年では洋上風力や水素など、カーボンニュートラルの実現に貢献しようと、市民や企業と共に取り組んでいます。

10年前に本市でこのシンポジウムが開催された時、東京大学名誉教授の中村先生が基調講演の中で、「これからの室蘭港はクルーズと水素」と発言されました。それ以降、クルーズ客船については市民の皆様と共に海外や国内からのお客様をお迎えし、5月には世界最大級とされる22万トン級のクルーズ客船を受け入れ可能となるよう祝津埠頭がリニューアルしました。

また、カーボンニュートラルポートの観点では、本市は以前から水素の研究に取り組んでおり、技術の蓄積があります。

我がまち室蘭の中心は港であり、港と共に発展をしてきました。私は日頃より全国の港湾関係者と「港の元気は日本の元気」を合い言葉に、港湾の活性化に取り組んでいます。

本シンポジウムでは、「港の元気は室蘭の元気、室蘭の元気は北海道や日本の元気」ということをお伝えし、室蘭港のより良い未来について考えていく機会となることを期待しております。

2.3 基調講演「室蘭港のめざすべき未来へのアプローチ」

京都大学経営管理大学院特任教授（京都大学名誉教授）

小林 潔司 氏

室蘭港が開港した 150 年前は、明治政府が本格的に北海道開拓を進め始めた時期でした。当時の札幌はまだ小さな町で、北海道の中心は函館でした。そこで、札幌と函館をつなぐ最短の経路として、明治 5 年（1872 年）に室蘭と対岸の森との間に森蘭航路が開設しました。

明治維新後の日本は輸出するものがほとんどない、極東の小さな国でした。当時の日本を殖産興業や製鉄・炭鉱業などが支え、近代化を牽引していきました。その中で室蘭港も石炭の輸出港として重要な役割を担いました（写真 1）。

第 2 次世界大戦後、敗戦国日本の復興は驚くほど早く、昭和 30 年代には高度経済成長期を迎えます。その原動力は、昭和 20 年代は石炭でしたが、30 年代以降は鉄鋼業になります。鉄鋼業だけで日本の経済成長のほとんどを支えたといっても過言ではありません。鉄のまち室蘭も日本の経済復興を支える一翼を担っていました（写真 2）。

その後、日本は経済大国となりました。経済成長や物質的な豊かさを目指す時代が続きましたが、近年は新たな時代に移りつつあると感じています。次の未来に向かって、どう室蘭や日本が発展していくのか、22 世紀に向かってどういう人づくり、まちづくりをしていけばいいのかが、今問われています。

新型コロナウイルス感染症によって、社会や経済は大きな転換期を迎えています。さらにはロシアによるウクライナ侵攻の問題も起きています。今日は世界が大きく変わろうとする中、カーボンニュートラルについて、どう考えていくべきなのかということをお話しします。

北海道の友人から、道産子気質の特徴の一つが「おおらかさ」と聞きました（図 1）。荒々しい原野を切り開くには、「こだわりや人を押しつける心根を捨て、一致団結しなければならなかった」ということなのでしょう。このお



写真 1

おらかさが、これからのカーボンニュートラルにとって重要な概念になると思います。

土地に根ざして開墾するのが北海道の開拓のあり方だったと思います。カーボンニュートラルも同様に、室蘭という土地、北海道という大地に根ざしていることが大切です。

では、ポストコロナの時代に向けて、私たちは何を指すべきでしょうか。これはなかなか答えを出すことが難しい問題です。ポストコロナにおける持続可能性のある社会実現に向けたキーファクターとして、3つの要素があると思います（図 2）。1つは「低炭素化のためのエネルギーと環境」。続いて「資源と廃棄物のマネジメント」、そして「災害リスクマネジメントとアセットマネジメント」で



写真 2

どさんこ気質

- 「おおらかさ」
厳寒の荒々しい原野を切り開くには、こだわりを捨て、人を押しつける心根を捨て、皆分け隔てなく一致団結することが必要だった。
- 上からの改革
- 地名
- 開拓者精神との対比

図 1

ポストコロナ社会のキーファクター 持続可能性(sustainability)

- 低炭素化のためのエネルギーと環境
- 資源と廃棄物マネジメント
- 災害リスクマネジメントとアセットマネジメント

図 2

す。

未来へ進むならば、私達はこれらを避けて通ることはできません。中でも低炭素化のためのエネルギーと環境の問題は重要です。なぜなら、エネルギーの問題は土地に根ざしていかざるを得ないからです。例えば、水素を発電に使うなら、そのための固定的な装置が必要になります。その装置を設置する土地は、水素や電気の供給に適していなければなりません。つまり、エネルギー問題と土地は切り離すことのできない関係にあるといえます。

今、世界中で脱炭素化の議論が行われています。特にヨーロッパの国々は急進的に脱炭素化へのロードマップを描こうとしています。これは「EU のタクソノミー」という、EU が定めた脱炭素化へのロードマップを示した図です(図3)。今すぐ再生可能エネルギーに変えなさいと迫っており、過激ともいえます。化石燃料を使っている企業への融資を規制するといった原理主義的な動きも見られます。

ヨーロッパ大陸は再生可能エネルギーをつくるのに適した土地です。ヨーロッパ大陸の北に位置する北海は風力に恵まれており、膨大な数の巨大洋上風力発電が建設されています。一方、日本は残念ながら再生可能エネルギーに適した土地はそれほど多くありません。やはり、日本は独自の発展経路を考えていかなければなりません。

脱炭素化に急進的なヨーロッパも、実際はロシアからの天然ガスに依存しています。再生可能エネルギーへの移行



図3



図4

期間は天然ガスでつなぐことを想定していましたが、今のウクライナ情勢を考えると、それも危うくなっています。

ロシア・ウクライナ問題に端を発し、これから世界のエネルギー事情がどう動くかは、なかなか予測ができてなくなっています。とはいえ、地球温暖化の問題を考えると、最終的にはカーボンニュートラルを実現せざるを得ません。日本はいきなり高いハードルを乗り越えるより、なだらかな道筋を通してゴールにたどり着く方法が得策です。

脱炭素化を実現する上で、鉄鋼業の位置付けはとても重要です。日本全体の中でどの部門が二酸化炭素(CO2)を多く排出しているのかを示したグラフをみると、産業部門が全体の3分の1を占め、その中で鉄鋼業が占める割合は40%と高い(図4)。言い換えれば、鉄鋼業がイニシアチブを取らないとカーボンニュートラルの実現は難しいのです。そういう意味で、鉄のまち室蘭は大きな課題を背負っているといえます。

さらに、米IT大手アマゾンなどの多国籍企業は貨物の海上輸送において、2040年までにCO2排出量ゼロの船舶を採用することを表明しています。このように、カーボンニュートラルを進めていくことが、重要な国際戦略にもなっているのです。

しかし、鉄鋼業のカーボンニュートラルには時間がかかります(図5)。現在は技術革新が進み、水素エネルギーを鉄鋼業に使うことも技術的には可能とされています。おそらく2050年には実用化できるともいわれていますが、まだだいぶ先の話です。

経済産業省は今後、鉄鋼業がどのようにカーボンニュートラルを目指し、いつ実現するのかという道筋を描いており、これに沿って鉄鋼業界は必死に努力しています(図6)。

もう1つ大きなポイントがあります。脱炭素化における港湾の位置付けです(図7)。

地域別にCO2の排出量をみると、約6割が港湾地域から排出されています。港湾地域には鉄鋼業のほかさまざまな関連産業が集積し、さらに多くの発電所が立地しています。ですから、日本でカーボンニュートラルを達成しよう

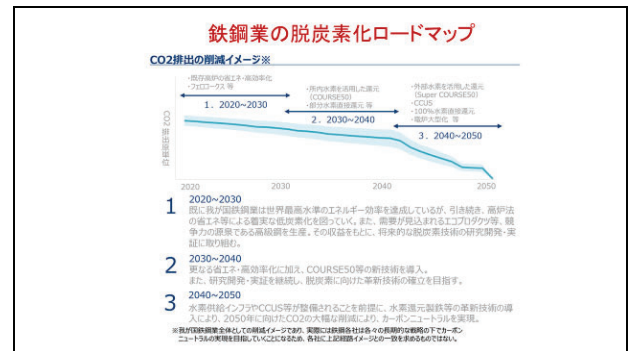


図5

とする場合、港湾地域から排出される CO2 の低減化が大きな課題になります。国土交通省の港湾局では「カーボンニュートラルポート」という政策を推進しており、室蘭もその実現に向かって動き始めています（図8）。

これは日本に限ったことではなく、世界中で港湾地域のカーボンニュートラル化が進められています。例えば、オランダのロッテルダムは洋上風力や水素をつくる過程で出る CO2 を地下に貯蔵する技術などによって、先進的な港湾と位置付けられています。これからは、ロッテルダムのようなカーボンニュートラルに積極的な港湾の需要が高まるはずで

す。室蘭でも、室蘭港のカーボンニュートラル化に向けて、そのプラットフォームとなる「室蘭港カーボンニュートラルポート協議会」が活動を始めています（図9）。脱炭素化を実現するには、港湾地域だけではなく、生成した水素

を利用する市民も一丸となって支えていく必要があります。水素を中心としたどのような社会が描けるのか、どのようなまちづくりをするのか、人々の生活はどのように変わっていくのか、といったイメージを議論し共有することが重要です（図10）。

実は私自身、カーボンニュートラルや水素が重要だと考えるようになったのは2年ほど前から。コロナが蔓延し始めたことで、これは本気でやらないといけない、と考えるようになりました。ですから、水素を使って何ができるのかということに関しては理解していません。それが今の日本の現状でしょう。しかし、あと10年もすれば、水素について当たり前のように話をする時代になると思います。

未来を描くことはとても重要です。室蘭でも低炭素の先進都市がコンセプトの「グリーンエネルギータウン」の実現に向けた議論が行われています。また、室蘭工業大学で

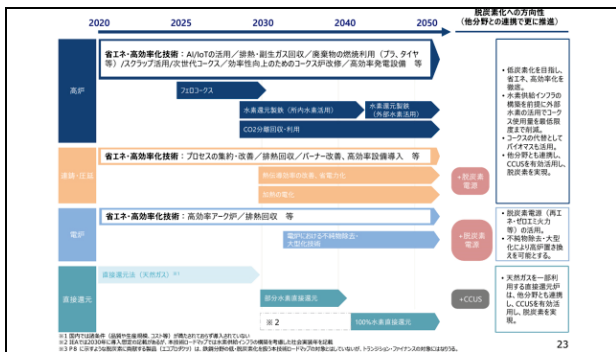


図6



図9

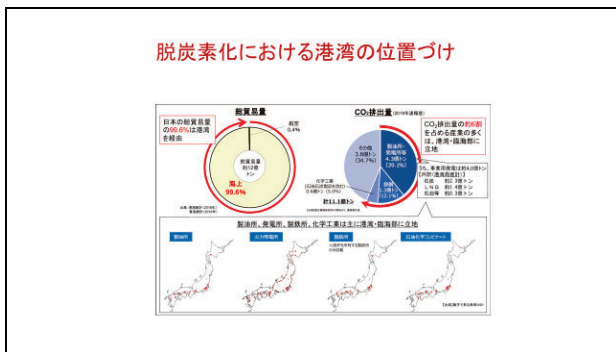


図7

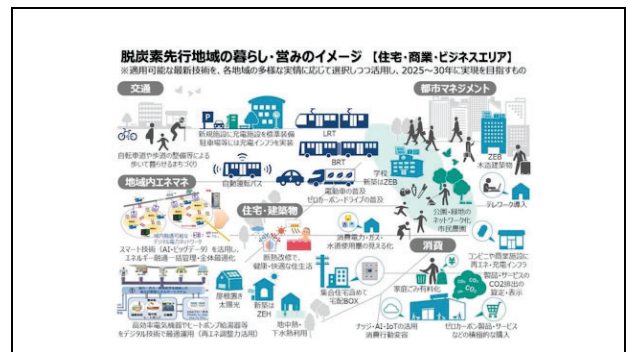


図10



図8

- ### 地域における脱炭素化政策 グリーンファイナンス
- ステップ1 実行可能な核となる技術、システムを選択する
 - ステップ2 プラットフォーム形成のためのエコシステム形成と投資金融の組成
 - ステップ3 プラットフォーム形成、運営のための人材育成

図11

も水素を軸とした技術革新の研究が行われています。

先ほど、技術革新が進んでも、鉄鋼の水素還元の実用化にはあと 30 年近くかかると述べました。その一方で、水素自動車のようにすでに実現化している技術もあります。ただし、自動車への水素の補給方法や、水素ステーションの整備という課題は残されています。

では、どのように地域における脱炭素化政策を考えていくべきか。さまざまな可能性がある中で、課題を克服しつつ地域づくりやまちづくりをどう進めていくのかを考える必要があります。これはインドネシアが提言した脱炭素化政策です（図 11）。

ステップ 1 は、できる分野を探し、実行可能な核となる技術を見つけることから始めるということです。

次のステップ 2 ではプラットフォーム形成のためのエコシステムについて、誰がやるのかを決めます。これは 1 つの事業者だけでできるものではなく、例えば水素エンジンを使ったバスを走らせるのであれば、それに関わる事業者がグループに入る必要があります。また、資金調達も考えなければなりません。今、注目されている ESG 投資やサステナブルファイナンスも選択肢の 1 つです。

ステップ 3 は人材育成です。新しいことに取り組むので、新しい考え方や知識が必要になります。

こうした 3 つのステップを踏んで、実行可能なことに取り組んでいきます。これによって、水素バスの運行や洋上風力の発電を水素に返還して備蓄する産業などが発展し

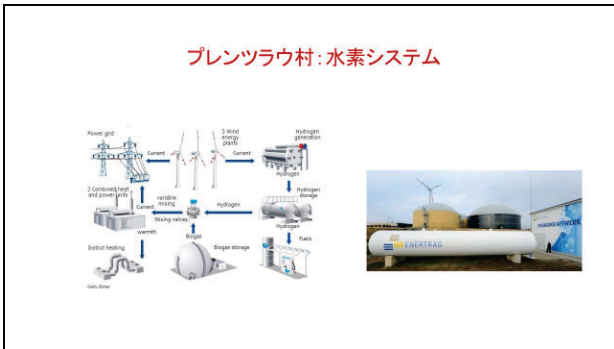


図 12

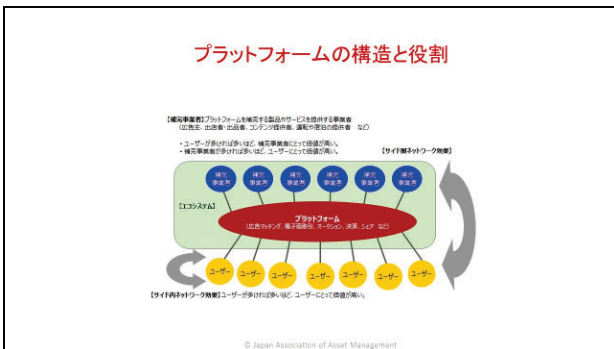


図 13

ていく可能性があります。いろいろな技術のプラットフォームがあり、それらが結び付くことが大切です。

地域における脱炭素化政策の事例に、ドイツのプレントラウという小さな村の取り組みがあります。プレントラウでは陸上の風力発電の余剰電力を使って水素をつくり、備蓄した水素を発電に使うて村の電力をまかなっています（図 12）。

これは室蘭でも実現可能なのではないかと思います。室蘭では室蘭港カーボンニュートラルポータル協議会が活動

を始めましたが、それがプラットフォームになり、人々や事業者などをつなぐコーディネーターの役割を担うことを期待しています（図 13）。

これからは従来の港湾計画や港湾行政の中に、カーボンニュートラルという新しい機能が加わってきます。港湾全体のコーディネートする役割がもっと重要になるでしょう。

私は、港湾地域は「複合的なプラットフォーム」だと考えています（図 14）。

例えばクルーズ船の受け入れは、単独の事業所だけではできません。そう考えるとクルーズも 1 つのプラットフォームであり、もちろんカーボンニュートラルもその 1 つになります。複数のプラットフォームが結び付いた複合的なプラットフォームが港湾の姿だと思います。

世界の多くでは「ポート・オーソリティ」という、一元化された 1 つの運営組織が全体をマネジメントしています。しかし、日本では複数のプラットフォームがそれぞれの特性を生かして協力し合うという、複合的なプラットフォームを実現できると考えています。

小さなプラットフォームの中央にそれらをコーディネートする「プラットフォームのプラットフォーム」が位置するというのが、日本に適した形だと思います。

私のオフィスのデスクの前に「孤掌難鳴（こしょうなんめい）」という書が掛けられています（写真 3）。これは掌（てのひら）1 つでは音が鳴らない、2 つ合わせるから

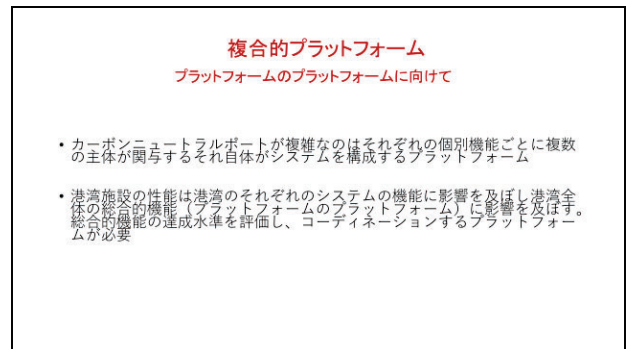


図 14

音が出る、ということわざです。この言葉を大切にしながら日々を送っています。

以上で、私の講演を終わります。ご清聴ありがとうございました。



写真3

2.4 パネルディスカッション「巷からはじまるカーボンニュートラル」

○野宮 ただ今より「巷からはじまるカーボンニュートラル」をテーマにパネルディスカッションを始めます。室蘭港がカーボンニュートラルを実現するために、企業、教育機関、行政、市民が連携し何ができるのかを、それぞれの分野で活躍されている方を招いて議論していきます。

最初に、青山市長から室蘭港の現状とカーボンニュートラルの取り組みや課題についてお話しください。

○青山 室蘭市は早くから水素の可能性に着目し、2001年に「室蘭地域環境産業推進協議会」を設立しました。また、近年は洋上風力産業の基地としての可能性も注目されています。

1998年からは陸上風力発電施設によって白鳥大橋のライトアップや港周辺施設へ電力を供給しています(図1)。また、2016年には北海道初の移動式水素ステーションを導入し、水素自動車を公用車として利用しています。2019年からは「定圧水素配送システム実証事業」が環境省の実証事業に採択され、陸上風車の余剰電力でつくった水素を、日本製鋼所 M&E が開発した水素吸蔵合金タンクに貯蔵し、施設に輸送する事業を行っています。

2020年2月には「室蘭市成長産業振興ビジョン」を策定し、成長が期待できる産業分野の1つに再生可能エネルギーと水素を掲げました。さらに、同年12月には「室蘭港長期構想」を策定し、将来の室蘭港の構想をまとめました。

水素関連の動きとしては、2019年9月にイギリス・スコットランドのアバディーン市と水素エネルギー産業の発展に向けた覚え書きを締結(図2)。アバディーン市はゼロカーボンに向けた先進的な取り組みを行っており、世界中の水素関連の企業や情報が集積しています。また、2021年5月には「室蘭脱炭素社会創造協議会」を設立。現在は43社が参画し、新たな産業やビジネスの創出に向けて活動しています。その一環として、今年3月には北海



図1

道初となる室蘭地域の水素需要の試算を公表しました。

次に洋上風力関係について紹介します(図3)。五洋建設が洋上風力関連部材の工場を室蘭港崎守埠頭に建設し、今年10月から操業を開始します。また、2021年11月には大成建設と洋上風力関連産業の展開について包括連携協定を結びました。

特徴的な動きとしては今年1月、洋上風力関連事業を室蘭に誘致し産業活性化を図る産学官の協議会「MOPA(室蘭洋上風力関連事業推進協議会)」によるフォーラムを開催。MOPAには現在61団体が参画しています。また、風力・太陽光発電事業を展開するユーラスエナジーが室蘭市と伊達市の間に陸上風力発電所を建設し、10月から稼働します。さらに、5月には国土交通省の洋上風力基地港湾への指定希望の意向を表明しました。

今年7月には清水建設と室蘭港の母港利用に関する協定を結びました。清水建設は洋上風力発電施設建設用として、世界最大級の自航式自己昇降式作業船、通称SEP(Self Elevating Platform) 船の建造を進めており、その母港に室蘭港が選定されました。最後に、室蘭のものづくり企業は生産活動の過程において多くのCO2を排出することから、脱炭素化への理解や啓発を促す取り組みの一環として2021年10月に「室蘭市ゼロカーボンシティ宣言」を発表しました(図4)。

○野宮 続いて、パネリストの皆さんにお話しいただきます。最初に市民の立場から、合同会社SUM-i-CAの石井代



図2



図3

表、お願いします。

○石井 今回、このシンポジウムに参加するにあたり、室蘭市のゼロカーボンシティに向けた取り組みを市民はどのように捉えているのかを探るために、2022年8月にアンケート調査を実施しました。

回答者の属性ですが、居住地は室蘭市が86%と大半を占め、職業は会社員が半数、年代は30代と40代で7割近くを占めます。

「昨年、室蘭市がゼロカーボンシティ宣言をしたことを知っているか」という問いには、「内容をよく知っている」と「内容はよく分かっていないが知っている」を合わせた割合は約60%（図5）。また、「その宣言をしたことによって、自分の生活に何か影響があると思うか」という問いには認識の有無にかかわらず、「何かしらの影響がある」と思っている人が約85%を占めました。

「ゼロカーボンシティに向けて、自分にできることが分かれば協力しようと思うか」という問いには、約95%の人が「何らかの形で協力する」と回答しました（図6）。一方、現在、市がゼロカーボンシティに向けて行っている取り組みについて具体例を挙げることができた人は約3割にとどまりました。

室蘭は脱炭素化への土壌がある程度整いつつありますが、今後は具体的な事例を示してもっと周知を図る必要があります。

カーボンニュートラルの実現には市民の行動のきっか



図4

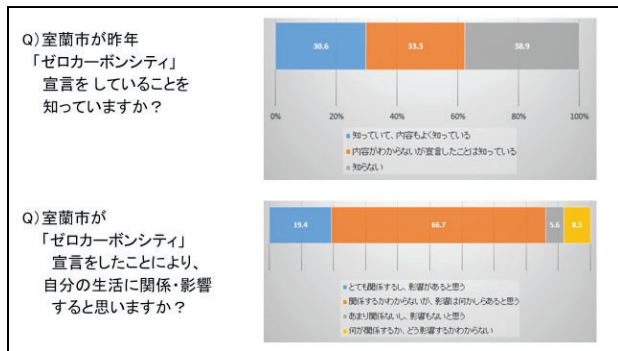


図5

けとなる「起点づくり」と、活動のベースとなる「基点づくり」が必要だと感じています。弊社は2021年から商工会などと連携した活動を展開中で、来週末には祝津地区で水素自動車のMIRAIから充電した電動ゴーカートを走らせるイベントを開催します（図7）。

また、今年4月から道の駅みたらの隣りに、「RVパーク室蘭 ZEKKEI BASE CAMP」を開設しました。車の充電施設が併設されており将来、水素エネルギーからつくった電気で充電できるようになれば幅広く周知できると思います。こうした起点づくりと基点づくりを同時に進めて、全体をコーディネートしていくことが大切だと思います。

○野宮 続きまして教育機関の立場から、北海商科大学の田村教授にお話しいただきます。

○田村 私は2012年まで室蘭工業大学土木工学科の教授をしていました。2008年に洞爺湖サミットがあり、テーマの一つが「環境・気候変動」だったことから、前年の2007年に水素バスを室蘭市内の公道で走らせました。

さらに、工学院大学と北海道大学建築都市コースの学生と共に、まちづくりのデザインコンペを行いました。そのときに、「クリーンネックレス」というアイデアが提案されました（図8）。室蘭の各コミュニティの特色に応じて足湯をつかったり、再生可能エネルギーで飲み屋街に熱供給をしたりして、それを結ぶという内容でした。そして、そのコミュニティを結ぶのが水素バスです（図9）。その頃に思い描いた水素バスの実用化が、いよいよ近づいてき

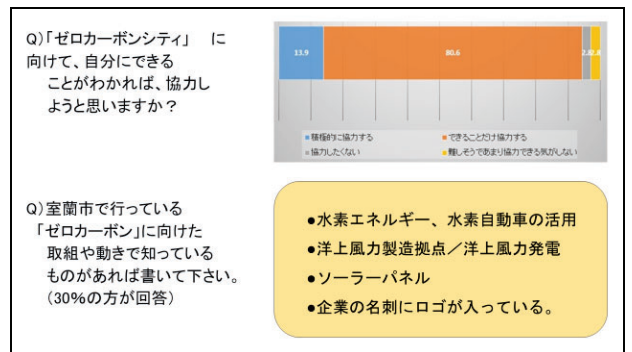


図6



図7

たことを感じています。

私が提案したいのは3つです(図10)。1つ目は、まちづくりと一体になった港湾管理です。北海道の港湾の管理者は市町村なので、室蘭港は室蘭市が管理しています。都市計画も市が管理するので、港湾地域と市民の生活圏との一括管理が可能です。それをうまく活用することです。

2つ目は、室蘭に根ざした21世紀型インフラ産業の担い手をつくることです。

3つ目は、大学の力をもっと活用すること。室蘭工業大学は大きく変わりつつあり、昨年には「室蘭工業大学は汗をかきます」というキャッチコピーを掲げ、地域と積極的に連携していく姿勢を打ち出しました(図11)。せっかく技術に強い大学があるので、積極的に活用すべきです。

○野宮 続きましてビジネスの観点から、北海道立総合研究機構の小高理事長、お願いします。

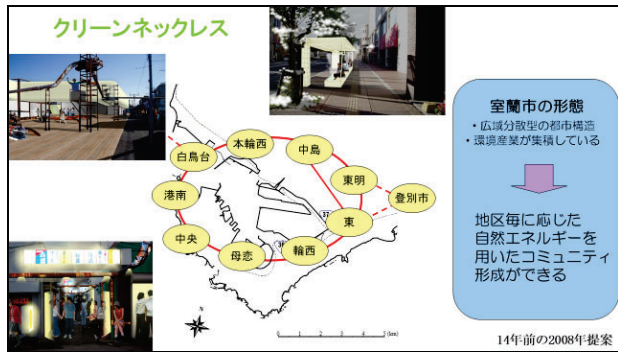


図8

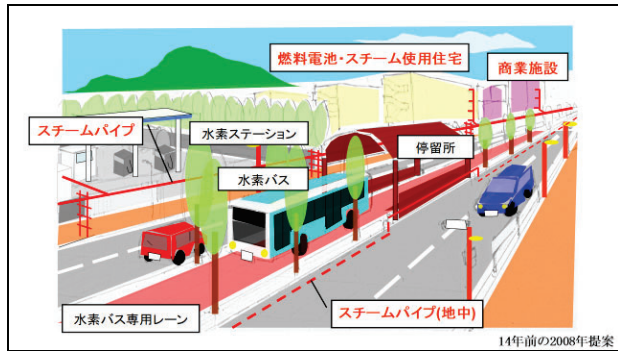


図9

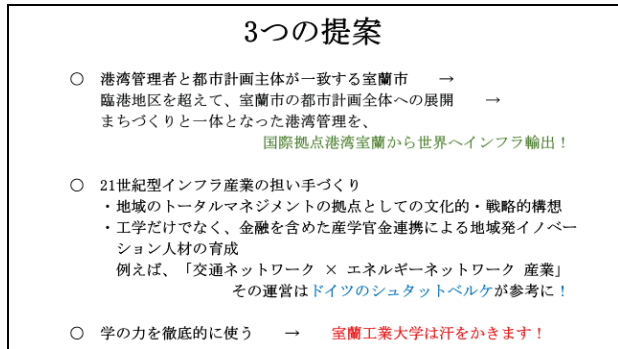


図10

○小高 まず、「グリーン化」、つまり脱炭素化のインパクトについて整理します(図12)。脱炭素化は経済や産業のあり方を変えるといわれています。具体的には脱炭素化の技術開発に成功した企業や、それを実践する企業が主導権を握る世の中になるとされています。

エネルギーに関するデータをいくつかご紹介します。1つ目は1990年以降の日本のCO2排出量の推移と部門別の割合です(図13)。かつてはGDPとCO2排出量は比例していましたが、2012年あたりからはGDPが伸びても、CO2の排出量は減っています。これは、東日本大震災の影響もありますが、省エネの効果の表れなのではないかと思えます。

1965年以降の一次エネルギーの国内供給の推移では、先ほどのCO2排出量と同様に、2012年あたりから国内供給は減っています。しかし、東日本大震災以降も、再生可

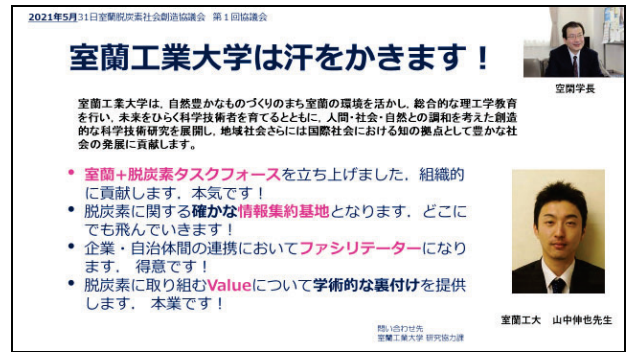


図11

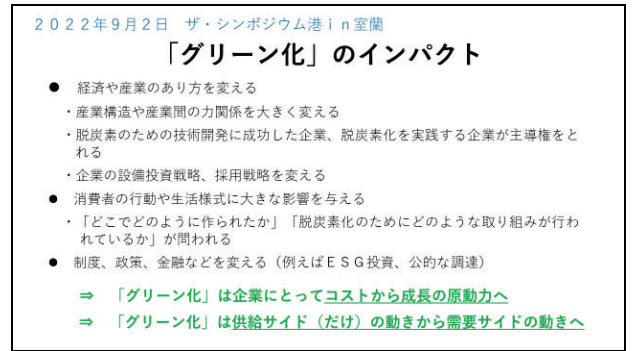


図12

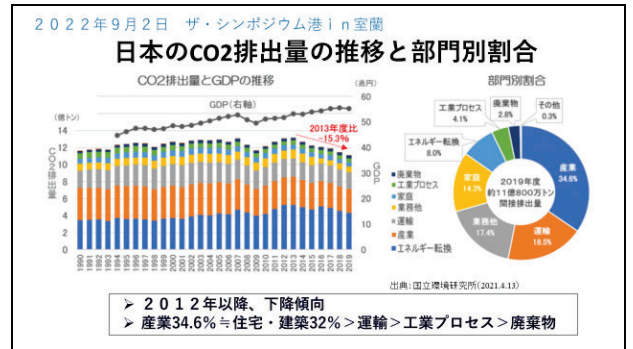


図13

能エネルギーの割合は目立って増えていません。

次に、日本の再生可能エネルギー資源についてです(図14)。左の再生可能導入ポテンシャルを示した地図をみると、北海道は太平洋岸やオホーツク海側を中心にポテンシャルが高くなっています。それに対して、地域内の総生産とエネルギーコストの収支率を示した右の地図では、導入ポテンシャルの高い地域の赤字額が大きくなっています。これは、ポテンシャルが有効に活用されていない、あるいは地域のために使われていないことが考えられます。

北海道のエネルギー消費を示したグラフです(図15)。左はエネルギーの種類別・消費部門別にみたエネルギー消費になります。石油製品では家庭消費が5割近くを占めますが、これは灯油を多く消費していることに起因します。右は家庭側からみたエネルギー消費の内訳です。全国平均では石油製品が3割未満なのに対し、北海道は7割近くに達しています。このことから、冬季の灯油消費の改善がCO2 排出削減のポイントになると考えられます。

脱炭素化には、その地域のエネルギーの消費構造やCO2の排出状況などの特性に応じた対応が必要です。これは全国の地方自治体のエネルギー消費の傾向を、三角形の中で示したものです(図16)。室蘭は右下の星です。室蘭は産業消費が85%を占めることから、CO2の排出削減には産業部門の対応が非常に重要になります。しかし、それにも限界があるため、市単独ではなく近隣地域と一緒に取り組む方が適しているかもしれません。

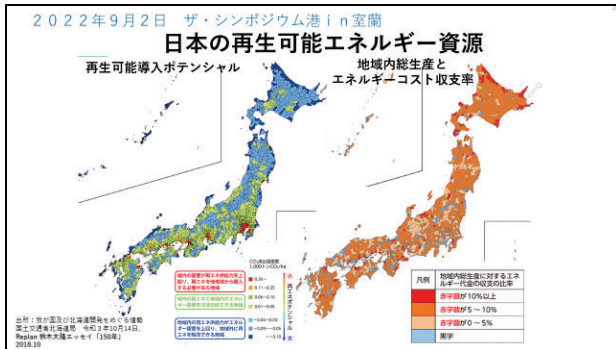


図14

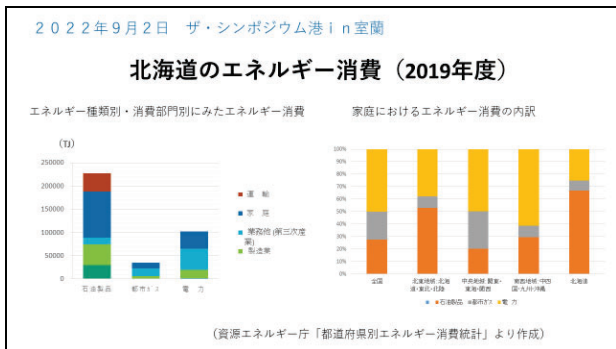


図15

室蘭の脱炭素化は、その地域の特性や持続性を踏まえ、地域に根ざした地産地消からスタートすることが重要だと思います。それによって産業が創出され、雇用が生まれるという好循環につながると考えます。

○野宮 小林先生、皆さんのお話を受けてどう思いましたか。

○小林 洋上風力など再生可能エネルギーをつくるにはコストを要し、化石燃料に比べてかなり割高になります。価格が高いエネルギーで将来の道筋を描けるのか、という疑問もあり、それを戦略的にどうクリアしていくかが課題といえます。

他の地域にも水素を供給する拠点になればスケールメリットが生まれ、コストダウンの可能性が出てきます。

○野宮 それでは、ここからは課題解決に向けてどのように連携を図っていくかについて考えます。田村先生、いかがでしょうか。

○田村 室蘭工業大学では世界最先端の技術者を育てるだけではなく、これからは開発した技術を実社会で活用を図る「横展開」も重視しています。これはすごい変化で、「技術は使われてこそ価値がある」という考え方に変わりつつあるということです。

この横展開の発想は先ほどお話した、室蘭で21世紀型インフラ産業の担い手をつくることにも関係します。新技術の実用化に向けて、室蘭の技術関連企業が連携し消費者のニーズを受け入れながらプロデュースをする、つまり生み出す側の立場になるということです。自らが消費者兼プロデューサーとして地域をつくっていく。室蘭にはそれを可能にするポテンシャルがあります。

○野宮 石井代表はどのような連携があれば、カーボンニュートラルの実現に近づくとおもいますか。

○石井 教育機関や自治体、事業者などが適材適所でそれぞれが持つ強みを掛け合わせる必要があります。そのためには、各々が情報を発信し共有することが重要です。カーボンニュートラルに限ったことではなく、日頃から連携を意識して、いろいろな分野でつながることが大切だと思います。

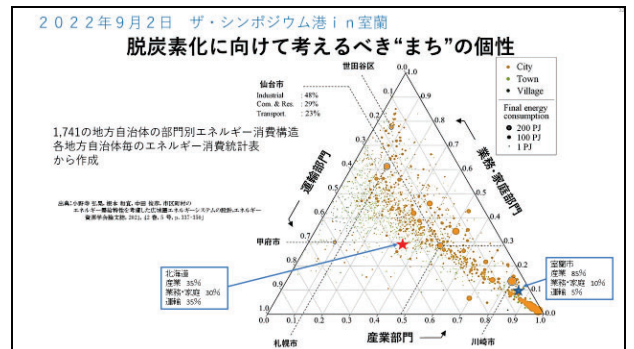


図16

ます。

連携には核になるコーディネーター、調整役が必要ですが、その役割は既存の協議会やタスクフォースなど特定のみに頼るだけではありません。人が代わってもできるように人材育成にも力を入れるべきです。

○野宮 青山市長はいかがでしょう。

○青山 課題解決に向けた取り組みがカーボンゼロにつながる例があります。室蘭市では、免許を返納した高齢者などの移動をサポートするための新しい交通システム「MaaS（マース）」の実証事業を行っています。公共交通機関の利用増に伴い自動車の利用減となるこの試みは結果としてCO2削減にもつながります。

○野宮 小高理事長はどう思いますか。

○小高 世界が脱炭素化に向けて進む中、日本もこの問題に対応する必要があります。しかし、重要なエネルギーの使い手である家庭や個人消費者に負担や努力を強いては、脱炭素化は進みません。小さなことからでも消費者一人ひとりが自分事として脱炭素化を捉えられる動機付けがあれば、生活にメリットがあるものとして脱炭素化を実感できるようになります。

○野宮 石井代表は一消費者として脱炭素化をどう捉えていますか。

○石井 マイボトルを持つなど、個人でもできることに取り組んでいます。それが実際に脱炭素化にどう影響するのかがイメージしにくいと感じています。ただし、取り組みのメリットや目指す方向性が明確に示されれば、市民も協力する意識はあると思います。そうしたビジョンを発信し、多くの市民を巻き込んでいくことが重要だと思います。

○野宮 小林先生は、今の意見を聞いてどう思いますか。

○小林 カーボンニュートラル実現には早くできるものと、時間を要するものがあります。講演でお話しましたが、さまざまな問題を解決するには、道産子気質の「おおらかさ」が必要だと思います。市民と企業がずっと紡いでいけるような、おおらかさのあるプラットフォームが連携の要になると思います。

○野宮 それでは最後に、皆さんが思い描く室蘭港への期待、将来像をお話してください。

○石井 港を含めまち全体をコーディネートできる人材が増えることを期待しています。弊社が展開している事業で、そうした人材を育てまちに貢献していきます。

また、今後もさまざまな機関と情報を共有し、観光と新旧の産業との関係性なども意識しながら、多くの人にとって良い地域となる共生の場を提供していきます。

○田村 室蘭は津波による水没の危険性などさまざまな問題があります。こうした問題がある中で脱炭素化に取り

組む以上、科学的な裏付けをきちんと示して市民合意を形成し、一步一步着実に進めていくことが大切です。

○小高 室蘭の脱炭素化は、土地の特性に根ざしたものであると同時に、他の地域にも横展開できるような取り組みをしていくのが有効です。

また、脱炭素化がどのような将来につながるのかという具体的な情報をもっと発信すれば、誰もが納得して取り組むのではないかと感じました。

○小林 市民社会としてどう水素と付き合うかだと思えます。地域が一体となって学んでいけるような環境につなげていけたら良いのではないのでしょうか。

○野宮 パネリストの皆さんの熱い思いが伝わってきました。最後に青山市長に室蘭港の今後の目標をうかがいます。

○青山 港というのはエネルギーの出し入れの場所です。広域的な視点で、どう地域に貢献するか考える必要があります。いわゆる「意識高い系」の一部の人だけで実行するには限界があります。普段の生活を通じて環境に貢献できる社会にしなければなりません。

○野宮 限られた時間ではありましたが、深い議論ができたのではないかと思います。

では、会場の皆さまから質問をお受けします。

○質問者 室蘭港は重工業の産業集積があり、企業が所有する多くの施設が集まっています。カーボンニュートラルを推進する際、多種多様な関係者間で調整・折衝が生じます。その場合のアドバイスをお願いします。

○小林 直接的なアドバイスではありませんが、国土交通省は委員会を立ち上げ、カーボンニュートラルの認証に向けて国際的な枠組みをつくらうとしています。これは企業単体ではなく、複数の事業者がグループ化することになることが予想されています。まだ結論は出ていませんが、国土交通省のWebサイトに掲載されていますので、参考してみてください。

ここからは私見です。カーボンニュートラルに参画する事業者の対応力は一定ではありません。そこで、技術支援などで底上げを図り、均一化を促すような仕組みが必要だと考えます。

こうした仕組みがあれば、複数の事業者が足並みをそろえて前へ進むことができ、国際競争力において優位に立てるのではないかと思います。これからは、こうした制度設計を考える必要があると思います。

○野宮 ありがとうございます。本日は市民、企業、教育機関、行政、そして港が連携し、カーボンニュートラルを実現していく方法について話し合ってくださいました。

以上をもちまして、パネルディスカッションを終了させ

ていただきます.



新国 100年
立憲 100年
日本 100年

ザ・シンポジウム みなと in 室蘭

ちまた

港からはじまる カーボンニュートラル

令和 4年 9月 2日 金 13:30-17:00

会場：室蘭市市民会館 室蘭市船西町2丁目5番1号

📺 ライブ配信を実施します

室蘭港のめざすべき未来へのアプローチ

講師 室蘭大学経営学大学院 特任教授 (京都大学名誉教授) **小林 深司 氏**

テーマ「港からはじまるカーボンニュートラル」

パネリスト	 山手 山 氏	 石井 裕子 氏	 田村 亨 氏
	 小高 秋 氏	 小林 深司 氏	
	 野宮 暢子 氏		



高力発電所からの電力をLEDでイルミネーション



高力発電所からの電力をLEDでイルミネーション



高力発電所からの電力をLEDでイルミネーション



高力発電所からの電力をLEDでイルミネーション



高力発電所からの電力をLEDでイルミネーション



みなとパティシエ

室蘭市 室蘭市市民会館

令和4年度「ザ・シンポジウムみなとin室蘭」

まち 港からはじまる カーボンニュートラル

「ザ・シンポジウムみなと」は、地域の発展の核となる港湾について、様々な立場からみた北海道港湾の研
究の方向性を紹介していただき、道民の方々に重要性や必要性を認識してもらうとともに、広く港
開港150年を迎える室蘭港では、「天然の良港」と製鉄・鉄鋼業等の産業集積を活かした水素や再生可能エ
ネルギーを活用した脱炭素化の実現に向けた取組が進められています。

産業集積の大きな転換期を迎えるなか、カーボンニュートラルという高い目標の実現に向け、室蘭市が有す
る産業・技術と、港湾が有するモノ・ヒトが集う拠点という機能を活かして、脱炭素化の取り組みを帯からま
ち全体に広げていく必要があります。

こうしたことから、令和4年度の「ザ・シンポジウムみなと」は、室蘭港でのカーボンニュートラルポートの
実現に向けた市民・企業・教育機関・行政が協力して取り組みを議論し、港湾の果たす役割や研採像につ
いて考えてまいります。

令和4年9月2日(金) Program


13:30 開会挨拶 司会者 ▶ 野宮 範子 フリーアナウンサー

主権者代表 眞田 仁 「ザ・シンポジウムみなと」実行委員長

開会地代表 青山 剛 室蘭市長

13:45 基調講演

室蘭港のめざすべき未来へのアプローチ



日小林 深司
 (略歴) 京都大学工学部工学研究科修士課程修了
 1978年 京都大学工学部教授
 1991年 京都大学工学部教授
 1996年 京都大学工学部教授
 2006年 京都大学経営管理大学院教授(兼任)
 2010年 京都大学石炭教授(京都市管理大学学務主任教授)
 2019年 土不学会106代会長(2018-2019年)
 現在は、日本学術会議 会員、国土交通省文庫政策推進委員会委員
 会員

14:45 休憩 14:45~15:00

パネルディスカッション 港からはじまるカーボンニュートラル

15:00

フリーアナウンサー
 (略歴) 北海道放送(BBC)アナウンサーとして入局
 1987年 HBCラジオ局、アールエフエ
 1990年 HBC(テレビ北海道)、「HBC」(テレビ北海道)を結成、ドキュメンタリー番組のナ
 レーションや番組収録コンメンターとして2022年度まで活躍中



野宮 範子

パネリスト

(略歴) 京都大学工学部修士課程修了
 2003年 京都府立総合技術センター 技術開発部長
 2011年 京都府立総合技術センター 技術開発部長



青山 剛

パネリスト

(略歴) 京都大学文学部卒業
 2005年 京都府立総合技術センター 技術開発部長
 2019年 京都府立総合技術センター 技術開発部長
 2021年 京都府立総合技術センター 技術開発部長
 現在は、「一社一社」(株)代表取締役(2020年現在専任)



石井 裕子

パネリスト

(略歴) 北海道大学工学部工学研究科修士課程修了
 1983年 北海道大学工学部助教授
 1991年 北海道大学工学部助教授
 2002年 北海道大学工学部助教授
 2012年 北海道大学工学部助教授
 2017年 北海道大学工学部助教授(室蘭工学部工学部教授)



田村 亨

パネリスト

(略歴) 京都大学工学部卒業
 1985年 京都府立総合技術センター 技術開発部長
 2017年 京都府立総合技術センター 技術開発部長
 2020年 (株)室蘭港コンテナターミナル 取締役
 2023年 (株)室蘭港コンテナターミナル 取締役
 2022年 室蘭港コンテナターミナル 取締役



小高 咲

パネリスト

(略歴) 京都大学工学部工学研究科修士課程修了
 1978年 京都大学工学部助教授
 1991年 京都大学工学部助教授
 1995年 京都大学工学部助教授
 2005年 京都大学工学部助教授(兼任)
 2010年 京都大学工学部助教授
 2019年 土不学会106代会長(2018-2019年)
 現在は、日本学術会議 会員、国土交通省文庫政策推進委員会委員



小林 深司

17:00 閉会



開会挨拶

ザ・シンポジウムみなと実行委員会 委員長 きただ ひとし 眞田 仁 氏



開催地代表挨拶

室蘭市長 あおやま たけし 青山 剛 氏



基調講演
京都大学経営管理大学院 特任教授 小林 潔司 氏



会場の様子



コーディネーター
フリーアナウンサー
野宮 範子 氏



パネリスト
室蘭市長
青山 剛 氏



パネリスト
合同会社 SUM-i-CA
代表職員
石井 裕子 氏



パネリスト
北海商科大学 教授
田村 亨 氏



パネリスト
地方独立行政法人
北海道立総合研究機構 理事長
小高 咲 氏



パネリスト
京都大学経営管理大学院
特任教授
小林 潔司 氏



パネルディスカッション



同時開催した「NPO法人 北海道みなとの文化振興機構パネル展」

3. 洋上風力発電技術セミナー

3.1 主催者挨拶

眞田 仁（(一社)寒地港湾空港技術研究センター理事長）

皆様、こんにちは。ただ今ご紹介いただきました、一般社団法人寒地港湾空港技術研究センター理事長の眞田でございます。本日はお忙しいところをお集りいただきまして、またWEB視聴、誠にありがとうございます。

当センターでは講演会を毎年1度開催しておりました。コロナ前ですから、当然会場でのリアル参加でございますが、今回は3年ぶりの講演会の開催ということになります。コロナ禍においてはもう既にデフォルトとなりつつあるハイブリッド形式でお送りしたいと思っております。

本日のテーマはおそらく、皆さんがもっとも関心のあるテーマの一つであろう、洋上風力発電です。この洋上風力発電については、既に石狩湾新港の港湾区域内でも動き出しております。北海道はもとより、全国有数の洋上風力発電の適地と言われておりますが、いよいよ来年、石狩湾新港の港湾区域内において、洋上風力発電の施設が海上から見える、立ち上がる、こういうステージに来ているところでございます。また通称再エネ海域利用法に基づく一般海域のプロジェクトも、石狩湾新港で多くの企業体から提案がなされ、早期の実現が期待されているところでございます。

本日の講師、当センター白石審議役におかれましては、長年この洋上風力の分野で国の研究機関、また大学で多角的な研究調査に従事されてこられた我が国の第一人者の方であります。そういう意味では、この時期に洋上風力発電に関わる連続セミナーを開催するにふさわしい講師であると思います。

本日を含め、計6回の連続セミナーを開催することになってございます。本日が第1回目でございますが、白石講師には多角的・技術的な見地から、皆様に関心を持っているであろうテーマに沿って、わかりやすく解説していただけることになってございますので、是非皆さん期待をしていただきたいと思います。本日は短い時間ではございますが、このセミナーを通して皆様の洋上風力発電にかかる現状・課題、そして今後の展望に関する理解が一層深まることを願ってやみません。短い時間ですが、皆さん、是非期待をしてください。ありがとうございました。よろしくお願いたします。

3.2 第1回「カーボンニュートラルと洋上風力発電」

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

それでは、全6回のCPC洋上風力発電技術セミナーの第1回として、「カーボンニュートラルと洋上風力発電」と題し、さっそく説明に入らせていただきたいと思います。申し訳ございませんが、着席で説明をしたいと思ひます。

現在、地球温暖化の問題が非常に重要な課題になっております。2050年にはカーボンニュートラル達成ということが目標とされています。そのためにはグリーントランスフォーメーションという形で、再生可能エネルギーの利用が促進されているということです。その中で、いろいろな再生可能エネルギーがありますが、洋上風力発電に関する関心が高まっております(図-3.2.1)。

地球温暖化防止のためにCO2を削減すること、もう一つは、我が国はエネルギー自給率が極めて低いことで、LNGや石炭を現在大量に輸入しています。こういった現状から再生可能エネルギーを導入することにより、エネルギーの

自給率の向上が図られる、これも非常に重要な課題となっております(図-3.2.2)。

本日はここに示す、脱炭素時代、カーボンニュートラル、洋上風力発電、風力発電・洋上風力発電に対する市民意識、洋上風力発電のメリット・デメリット、持続ある社会の形成へ向けて、という内容で洋上風力発電の取り組みに向けた基本的な考え方について説明させていただきます(図-3.2.3)。

まず脱炭素時代であります。20世紀は炭素社会ということで、石炭や石油、天然ガスも含め、二酸化炭素を発生するものを使い、産業・経済の成長が進められました(図-3.2.4)。一方、21世紀におきましては、脱炭素社会が求められております。なるべく炭素から脱した再生可能エネルギー社会へと変革が求められています。20世紀では代表的な交通輸送手段としては、自動車や航空機などが利用されておりました。特に自動車については1908年にT型フォードが発表されて、1915年には累積生産台数が100万台になりました。私が以前勤務しておりました北海道科学大学には、今から100年近く前に実際の自動車教習車に

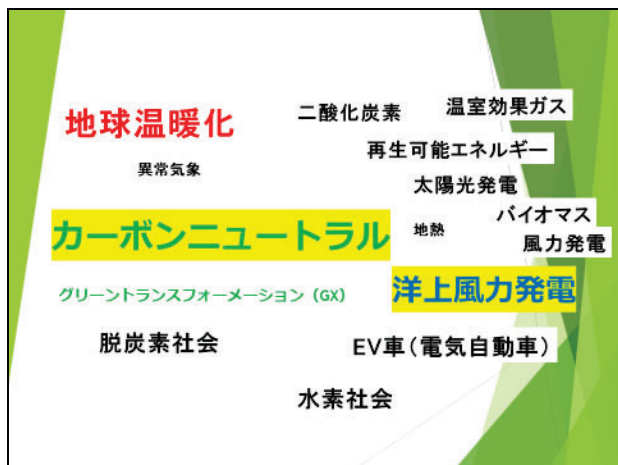


図-3.2.1

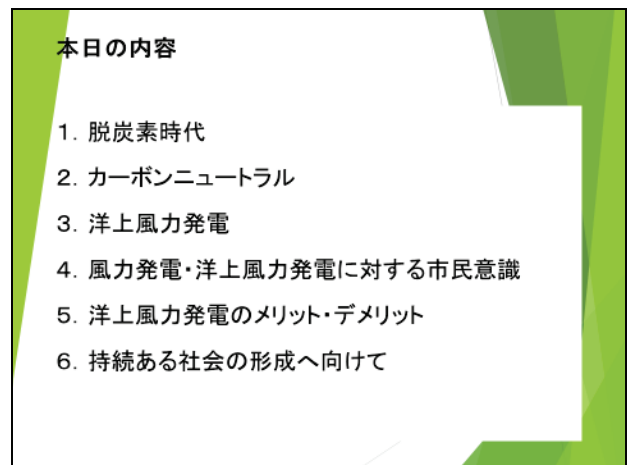


図-3.2.3

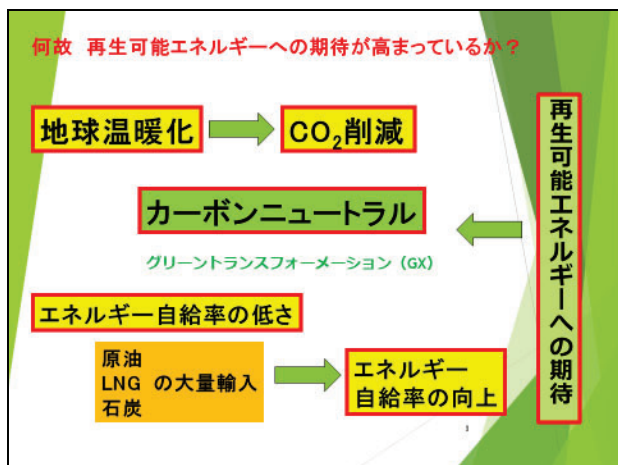


図-3.2.2

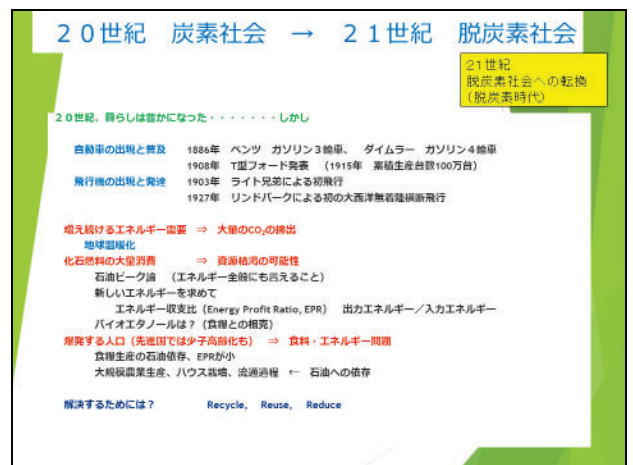


図-3.2.4

使われていたT型フォードやフォードセダンが保管展示されており(図-3.2.5)。

21世紀においては、持続可能で多様性と包括性のある社会の社会的実現(SDGs)のために17の目標が掲げられています。このうち、エネルギーや気候変動の問題に関しては、特に再生可能エネルギーの利用が大きく関わってくるかと思えます(図-3.2.6)。

太陽と地球の運動による、太陽からの日射量の変化がございます。歳差運動の変化、これが1.9万年、2.2万年、2.4万年周期、地軸の傾きの影響が4.1万年周期、離心率の変動ですが、これは地球が太陽を周回する軌道が楕円軌道なのか真円軌道に近づくのかという変化で、9.5万年、12.5万年、40万年の周期変動があり、これらの運動変化が重なった形で太陽からの日射量が変わります。それに伴って地球のCO2濃度も変化しています。最終氷期、最寒冷期は約2.1万年前ですが、その時の海面は現在よりも120m下がっていました。現在はCO2の濃度が、人類が過去に経験したことの無いほど急激に上昇しています。これは二酸化炭素の人為的な排出が大きな原因となっております



図-3.2.5



図-3.2.6

(図-3.2.7)。

こういったことで、気候変動に関する政府間パネルとして、国連のIPCCというのがございます。そこでは第1作業部会(WG1)から第3作業部会(WG3)の報告として、今まで5次のレポートが出ていました。昨年8月WG1から6次のレポートが公表されており(図-3.2.8)。

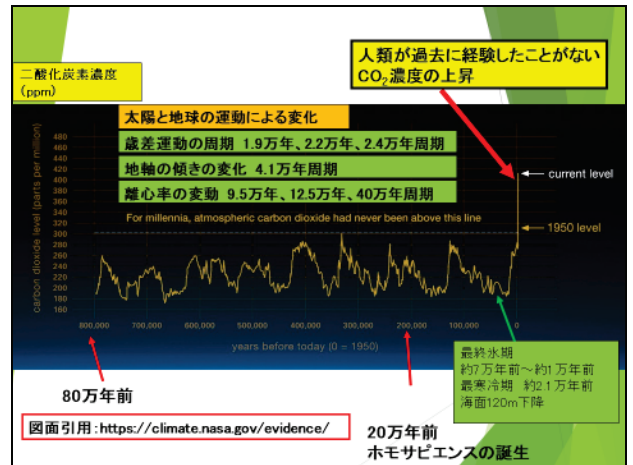


図-3.2.7

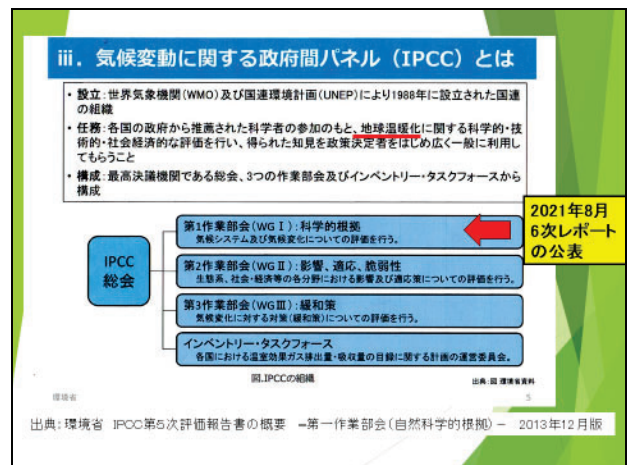


図-3.2.8

iv. これまでの報告について

報告書	公表年	人間活動が及ぼす温暖化への影響についての評価
第1次報告書 First Assessment Report 1990(FAR)	1990年	「気温上昇を生じさせるだろう」 人為起源の温室効果ガスが気候変化を生じさせる恐れがある。
第2次報告書 Second Assessment Report: Climate Change 1995(SAR)	1995年	「影響が地球規模の気候に表れている」 識別可能な人為的影響が地球の気候に表れている。
第3次報告書 Third Assessment Report: Climate Change 2001(TAR)	2001年	「可能性が高い」(66%以上) 過去50年に観測された温暖化の大部分は、温室効果ガスの濃度の増加によるものだった可能性が高い。
第4次報告書 Fourth Assessment Report: Climate Change 2007(AR4)	2007年	「可能性が非常に高い」(90%以上) 温暖化には疑う余地がない。20世紀半ば以降の温暖化のほとんどは、人為起源の温室効果ガス濃度の増加による可能性が非常に高い。
第5次報告書 Fifth Assessment Report: Climate Change 2013(AR5)	2013-14年	「可能性が極めて高い」(95%以上) 温暖化には疑う余地がない。20世紀半ば以降の温暖化の主な原因は、人間の影響の可能性が極めて高い。

出典: 環境省 IPCC第5次評価報告書の概要 -第一作業部会(自然科学的根拠)- 2013年12月版

第6次報告書は 2021~2022年報告予定

図-3.2.9

これまでの5次のレポートでは人間活動が及ぼす温暖化の影響について、1次レポートでは気温上昇を生じさせるだろうという緩やかな表現でした。報告書が重なるごとにその影響がどんどん高まっておりまして、第5次レポートでは可能性が極めて高いという95%以上の確率の表現でした(図-3.2.9)。第6次報告書ではさらに高い可能性の表現となっています。

CO2が増大すると様々な影響がございます。特に海面上昇、台風の規模拡大、環境の変化が、それぞれの面で影響をもたらします(図-3.2.10)。

気候変動への適応の取り組みとしては、緩和という対応と適応という対応があります。緩和というのは、その原因を抑えるということですから、温室効果ガスの問題では二酸化炭素の排出を減らしていくという対応です。適応という対応は、当然、緩和という対応を行っても変化が生じるのは避けられないことから、変化に対してどう適応していくかを考える対応になります(図-3.2.11)。

IPCCではこれまで5次の報告書が報告されております。現在、第6次報告書の作成に取り掛かっており、WG1の報

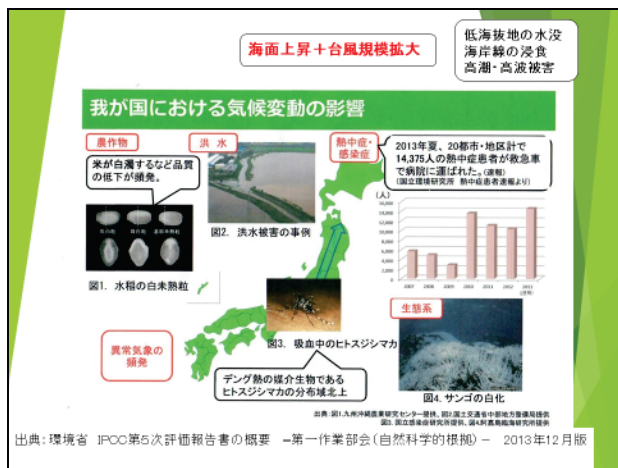


図-3.2.10



図-3.2.11

告書、WG2の報告書、WG3の報告書が承認・採択されて、現在統合報告書を承認・採択するという話になっております。これと併せて国連気候変動枠組み条約の締約国会議がありまして、現在26回まで開催が進んでおります。昨年の英国グラスゴーでの気候合意においては、気候上昇を1.5度に抑える努力を迫り、排出削減対策のない石炭火力発電の削減への努力を加速すること、が合意されております。この合意ですが、なかなか国際間の共通目標とするところで難しい問題があり、「努力」という文言が記述されている、まだそういう段階です。今年第27回の会議COP27が、来月、エジプトのシャルム・エル・シェイクで開催される予定になっております(図-3.2.12)。

気候の現状ではどういう表現があるかと言いますと、第4次報告書では温暖化の可能性が高い(90%以上)、第5次報告書では可能性が極めて高い(95%以上)という確率値の表現でありました。最新の報告書では、人間の影響が大気・海洋及び陸域を温暖化させたことには疑う余地がないという、より高い確率表現になっております。また人為起源の気候変動は世界中の全ての地域で、多くの気象及び気

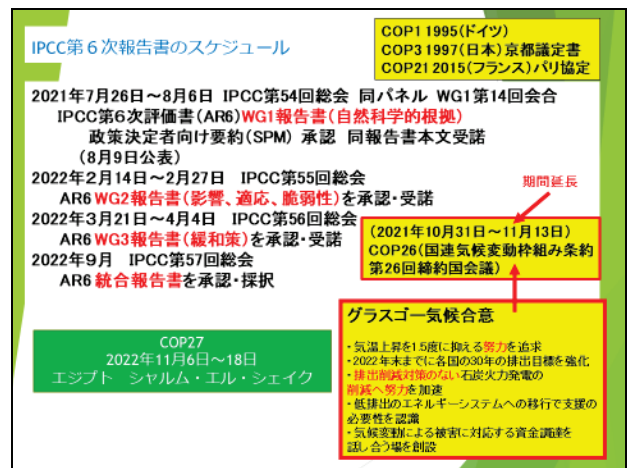


図-3.2.12

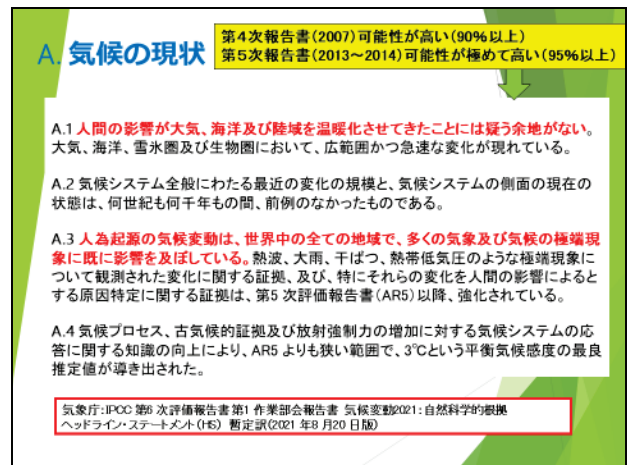


図-3.2.13

候の極端現象について、既に影響を及ぼしているという表現になっております(図-3.2.13)。

また将来の気候変動の抑制については、人為的な地球温暖化を特定の水準に制限するには、CO₂の累積排出量を制限し、少なくともCO₂正味ゼロ排出を達成し、他の温室効果ガスも大幅に削減する必要があります。カーボンニュートラ

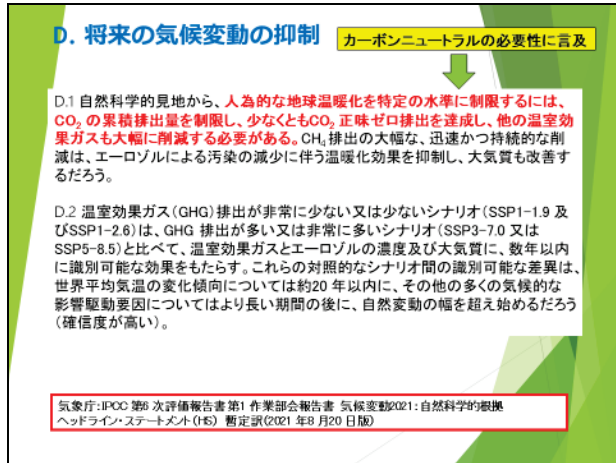


図-3.2.14

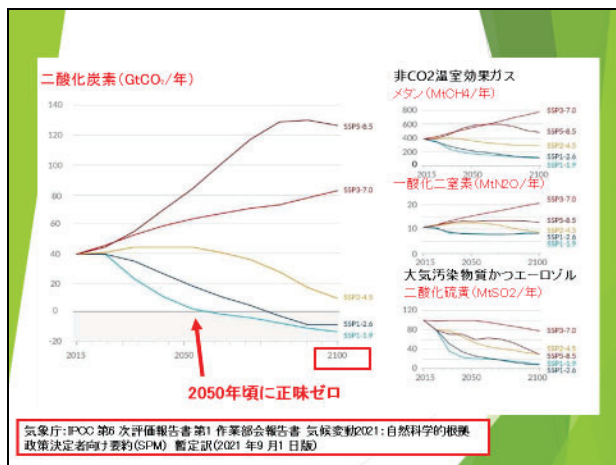


図-3.2.15

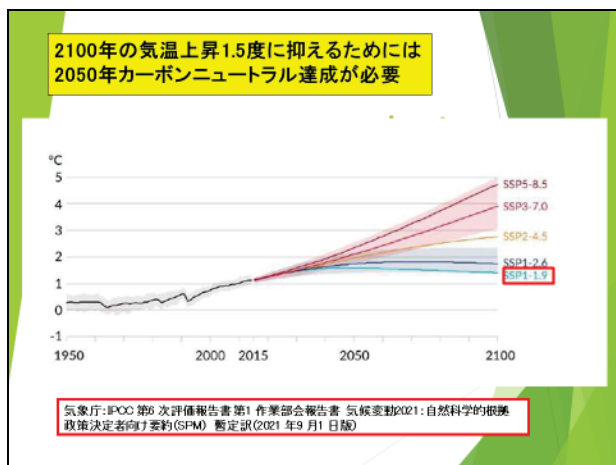


図-3.2.16

ルの必要性について言及しております(図-3.2.14)。

この2050年に正味ゼロというモデルにおいて、他の温室効果ガスがどのように変化するかを図の右側に示しています(図-3.2.15)。そして2050年排出ゼロという状況が達成できると、2100年の段階で気温上昇を目標の1.5度によりやく抑えられる計算結果となっております(図-3.2.16)。一方、脱炭素が求められていますが、現実には化石燃料の消費が増大しています。年々このように増えています(図-3.2.17)。一方で再生可能エネルギーの導入も少しずつ増えています。まだまだこのような状況で、石炭・石油・ガスといった化石燃料の消費減が今後大幅に必要なになります。

化石燃料がどの地域で大幅に排出されているかについては、ここに示しているように、ヨーロッパと北米の消費は、ほぼ一定水準で増加していないという状況です。アジア大洋州での消費の伸びが大きく、先進国と経済成長が著しい地域との協調が今後必要になります(図-3.2.18)。

次に、カーボンニュートラルについてご説明します。いろいろなところで石炭・石油・天然ガスを使うことによ

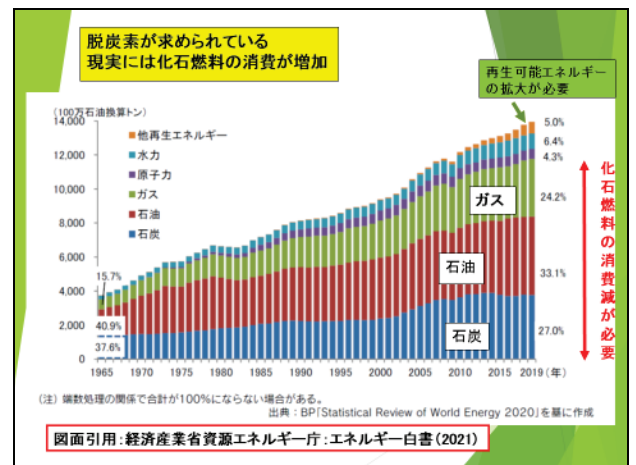


図-3.2.17

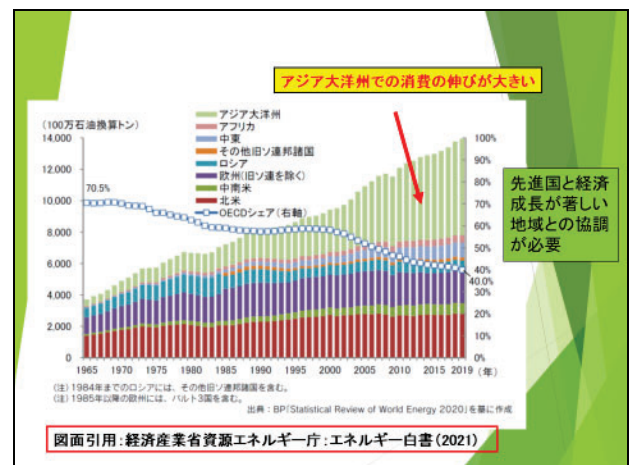


図-3.2.18

てCO2が発生するので、そのCO2のトータル排出量と森林によるCO2吸収量をバランスさせて実質的に排出量をゼロとする、これがカーボンニュートラルということです。CO2は例えば風力発電、電気自動車、あるいは太陽光発電の利用拡大によって、CO2の発生量を大幅に減少させます。一方、再エネの利用拡大により発電時にCO2の排出が減少したとしても、装置を製造する段階でCO2が発生しますので、それとバランスさせた森林による吸収、あるいは海においてCO2を吸収し、実質排出量ゼロとするのがカーボンニュートラルの考え方です(図-3.2.19)。

電源別のライフサイクルCO2排出量を比較します。石炭火力が最もCO2の排出が高く、石油火力、LNG火力がCO2の排出量の順になります(図-3.2.20)。この中で、設備を造る時の排出量があることと、化石燃料を使うものについては発電燃料を燃焼することによるCO2の排出があります。それから再生可能エネルギーは発電過程の中ではCO2は排出しませんが、設備を設置する段階、すなわち設備を造る上での排出量があります。太陽光、風力、地熱、中小火力、これらは発電時にCO2を排出しない発電方法です。

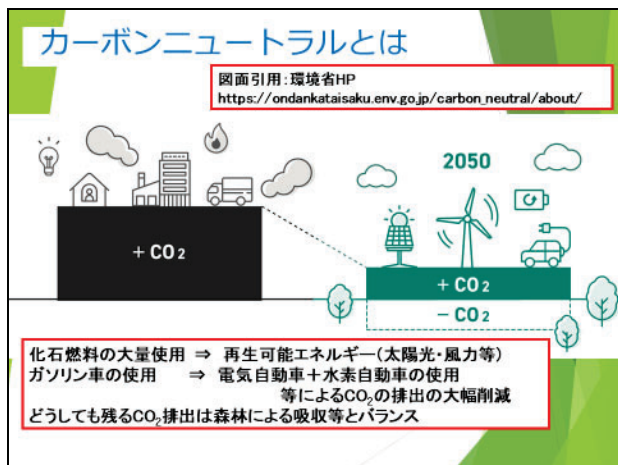


図-3.2.19

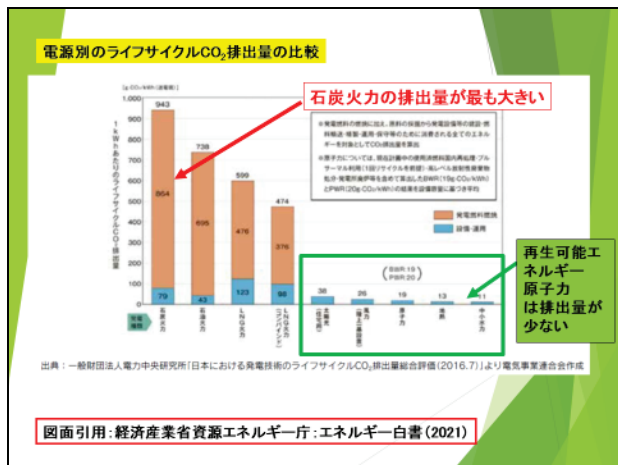


図-3.2.20

カーボンニュートラル宣言は世界的に広がりを見せています。データが古く2020年のものですが、日本では2020年10月26日ようやくカーボンニュートラル宣言が行われました。全世界では120数番目の宣言です。また日本の地域自治体については749自治体がカーボンニュートラル宣言をしており、これは6月30日現在の数字になります。それから昨年の12月31日時点ですが、RE100、再生可能エネルギー100宣言企業については、世界346社中、日本企業は63社がカーボンニュートラル宣言を行っています(図-3.2.21)。

カーボンニュートラルについて、各国は基本的には2050年、中国では2060年が目標年になっております(図-3.2.22)。この図は2050年の二酸化炭素排出実質ゼロ表明の自治体です。字が小さくなっておりませんが、人口としては約1億1,852万人の関連する自治体が二酸化炭素排出実質ゼロを宣言しています(図-3.2.23)。また、脱炭素経営に向けた取り組みが世界で進められており、こういう形で取り組みが進められております。RE100の企業数については、日本がアメリカに次いで2番目の数です(図

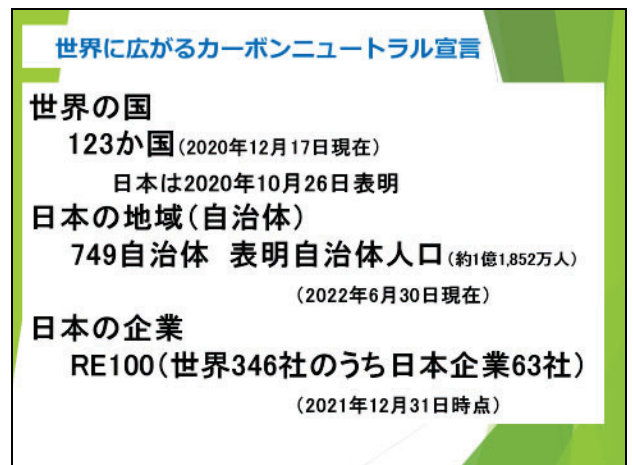


図-3.2.21



図-3.2.22

-3.2.24). それから脱炭素を目指すということで、これはなかなか全国一律には進めることはできません。例えば大都市では脱炭素ゼロを目標としても、実質的になかなか難しいということで、それを達成できる地域から順に脱炭素を達成していくのが脱炭素を成功させる考え方になります。当初の目標としては、目標が達成できる地域をまず指定し、そこから脱炭素を行い、全国でどんどん脱炭素社会を形成していくことで、2050年の目標に向かって脱炭素を図っていく考え方です。

では北海道はどうでしょうか。北海道の二酸化炭素の排出量は、少し古いデータで2016年度のデータですが、全国で一人当たり9.5tのところ、北海道は11.5tです。北海道における二酸化炭素の排出量は全国平均と比べ多いのが現状です。この内訳を見ると、家庭部門の排出量の占める割合が全国平均と比べて多い状況です。これは、北海道は寒冷地であるため暖房用のエネルギー消費が多く、灯油をたくさん使うなど、CO2の発生が多くなってしまっている北海道の状況がごさいます(図-3.2.25)。

北海道は再生可能エネルギーの導入率は、14.6%で都道



図-3.2.23

府県別で35位です。2019年と20年も含めて30数位という状況から脱出することができていません。また再生可能エネルギーの利用率は15%程度で、北海道の食料自給率が205%で200%を上回っているのに対し、エネルギーの自給率は極めて低いというのが現状です。こうしたことから、例えば洋上風力発電の導入を進めていくことは、北海道におけるエネルギー自給率を高めていく手段の一つになるかと思えます(図-3.2.26)。

北海道における脱炭素ですが、発電部門で再生可能エネルギーの導入を促進していくというのが一つの鍵です。これらを支えるために地域内の送電線や地域間連系線の拡大を、今以上に進める必要があります。その他いろいろな製品の製造過程において、例えば製鉄、セメント製造における脱炭素、農業・漁業を含めたいろいろな分野での脱炭素も必要です。それから民生部門では住宅のゼロ・エネルギー・ハウス、ZEHですね。それからオフィス・公共部門ではゼロ・エネルギー・ビルディングということで、ZEBですね。こういったものにより、脱炭素を図っていくことが必要です。それから地域内の熱供給施設ですね。こ

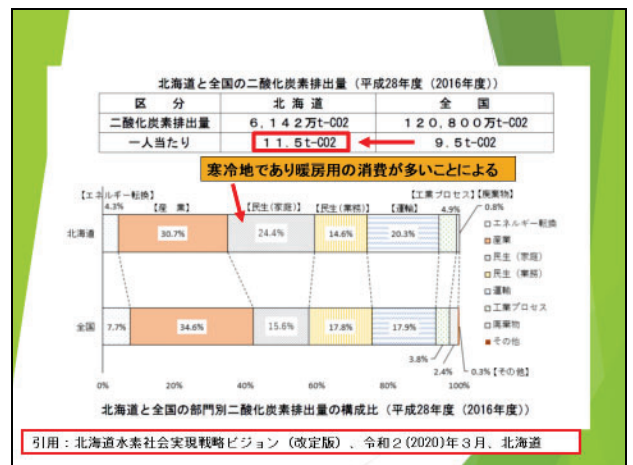


図-3.2.25

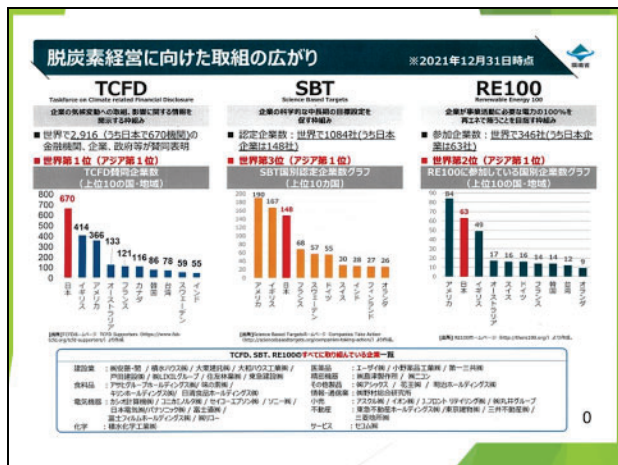


図-3.2.24

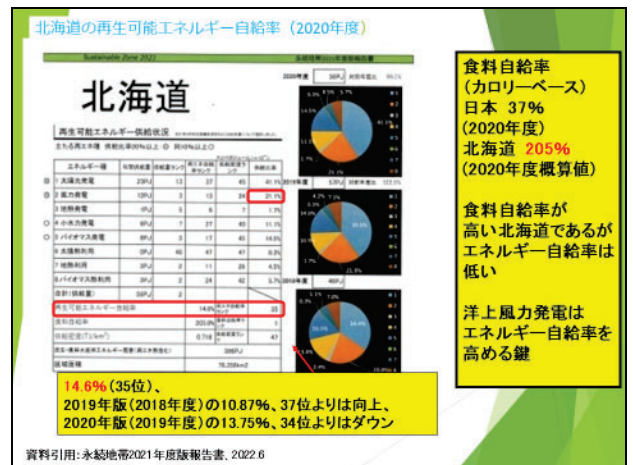


図-3.2.26

これらの導入も必要になります。それから運輸部門について、二酸化炭素を排出する交通機関から二酸化炭素を排出しない交通システムに変えていくということが必要になります。様々な運輸部門において脱炭素を図っていくことが必要になってくると思います(図-3.2.27)。

燃料電池車と電気自動車は、一つはEVというElectric Vehicle、そしてFCVですね。燃料電池自動車の利用が高まってくると思います。電気自動車については短期的な変動の調整に使えらると思えますが、水素FCVを利用することにより、長期的な変動の調整もできるかと思っています。それから将来的には、電気自動車は電力系統と繋げることによって、蓄電池としての機能、現在ではそういう状況になっていませんが、将来的に電力系統と接続した蓄電池としての利用を図っていけば、再生可能エネルギーの利用拡大に繋がると思っています(図-3.2.28)。

カーボンニュートラルのイメージ図ということ、これは北海道のホームページからの引用です(図-3.2.29)。様々な分野で再生可能エネルギーを利用することによる、カーボンニュートラル社会の形成イメージが示されてお

ります。2050年カーボンニュートラル社会に向けた、いろいろな分野での取り組みが必要になると思っています。

その中で港湾は貿易量において重量ベースで99.6%は海上から入っています。CO2の排出も非常に大きくなっています。港湾における脱二酸化炭素が必要になってくると思っています(図-3.2.30)。

こちらは、カーボンニュートラルポートの形成をイメージで示しており、カーボンニュートラルを達成するための様々な輸送システム、あるいは港湾での脱二酸化炭素のシステムの構築が非常に期待されているという絵です(図-3.2.31)。

次に、洋上風力発電について説明させていただきます。これは風車の構造です。陸上と洋上の風車の違いを示しております。風車は風を受けるブレードと、その回転を伝えるハブ、発電機を格納するナセル、それを支えるタワーが必要になります。洋上風力発電については、これに対し海の中に造るために海洋基礎が追加で必要になります。また、海洋環境では塩害対策をするなど特殊な対策が必要に

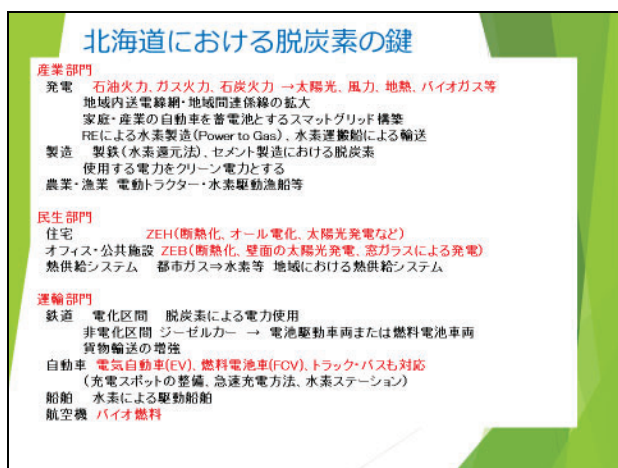


図-3.2.27



図-3.2.29

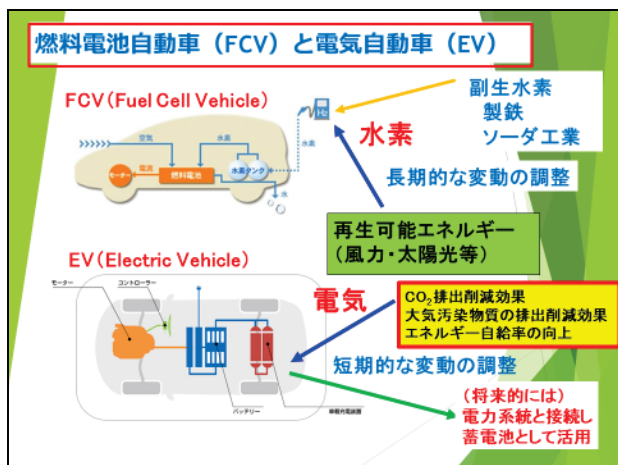


図-3.2.28

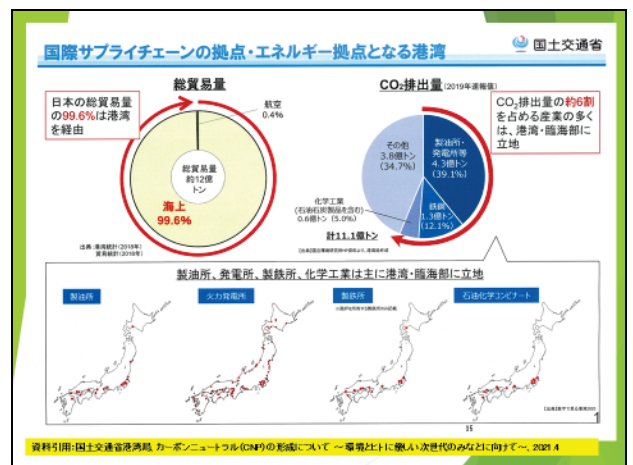


図-3.2.30

なります(図-3.2.32)。

発電量は、1kWが出力単位です。それを時間で積分したものが発電電力となります。1kWの1000倍が1MW、その1000倍が1GWです。1GWは平均的な火力発電所の規模相当になります。また一つの風力発電機が現在、陸上では3~4MWが標準的になっていますが、洋上ではさらに大



図-3.2.31

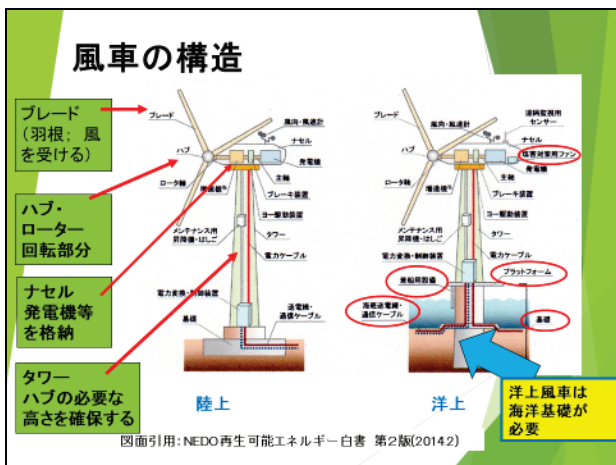


図-3.2.32

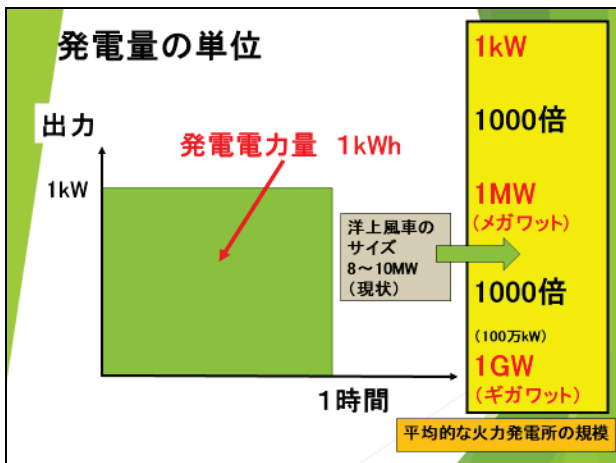


図-3.2.33

きな発電機が使えるということで、8~10MWです。そういった規模が標準となります。ウインドファームは、大型化しておりGWサイズが出現しつつあります(図-3.2.33)。

陸上風車と洋上風車の違いですが、陸上風車に比べて海の中に設置するので、海洋基礎が必要になります。水深の浅いところではモノパイルという1本の杭を建て、その上に風車を建てるものが、水深30mぐらいまでは一般的な構造形式になります。ところが水深30mより深くなると、そういった構造ではなかなか対応できなくなりますので、ジャケット構造が取り入れられます。またさらに深くなると、浮体式構造が必要になってきます(図-3.2.34)。

モノパイル構造の例を示します。Middelgrunden Wind Farmは、デンマークの首都コペンハーゲンの沖合に設置された洋上風力発電所です。風車はカーブ配置構造となっています。こういった配置が景観上の対応として考慮され、曲線状となっております(図-3.2.35)。ジャケット構造の例としては、2007年英国に設置されたBeatrice Offshore Wind Farmを示します。スコットランドの沖合海域に、ジャケット構造の基礎の上に風車が設置されています。こう

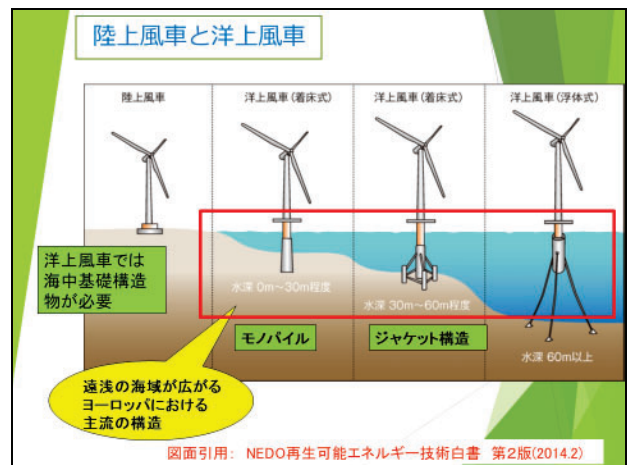


図-3.2.34

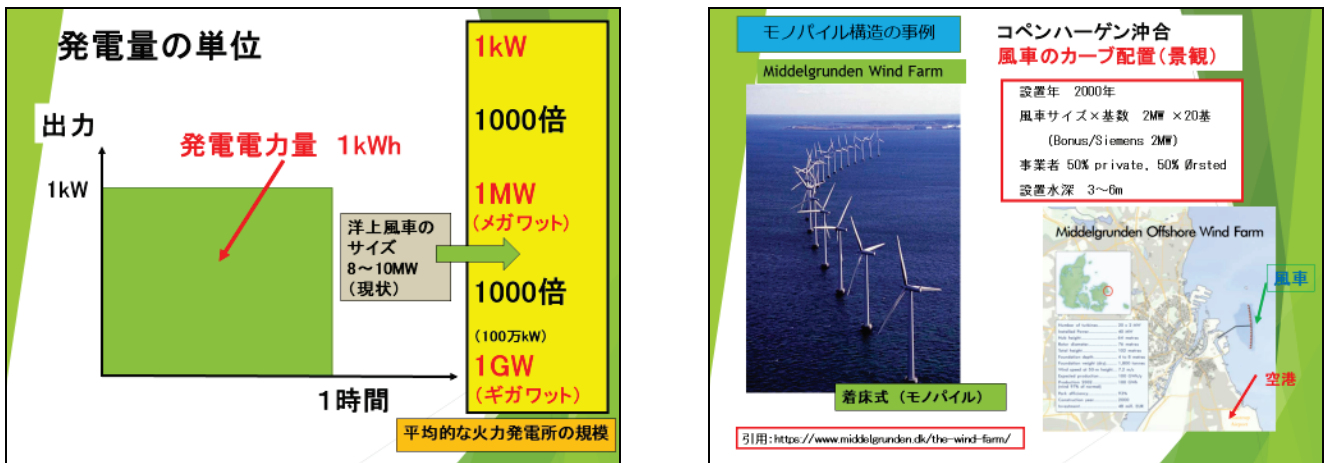


図-3.2.35

いった構造が実証試験として実施され、この海域において適用可能であることが確認されました。7MWの風車84基が建設認証され、2017年から工事が着工されました(図-3.2.36)。それから浮体構造としては、Hywind という実験機について、ノルウェーで研究が進められ、水深220mの海域に2.3MWの試験機が設置されました。2017年には、6MWの5基の風車がスコットランドの沖合に建設されています。この風車を開発した母体は元々Statoil という石油会社でしたが、これは現在社名がEquinorに変更されてヨーロッパでも有力な洋上風力の開発会社になっております(図-3.2.37)。

これがヨーロッパ諸国の初期の洋上風力発電の建設事例です。スウェーデン、デンマーク、オランダの非常に浅い海域で、1MW以下、数百kWクラスの風車として、開発が進んできました。基礎構造はモノパイルやケーソン、杭などで非常に浅い海域に造られました。2000年以降になると、洋上で2MWとか4.5MWという大きな実証プロジェクトの洋上風車が建設されました。先程説明したようにノルウェーではHywindという構造型式で2.3MWの風車が

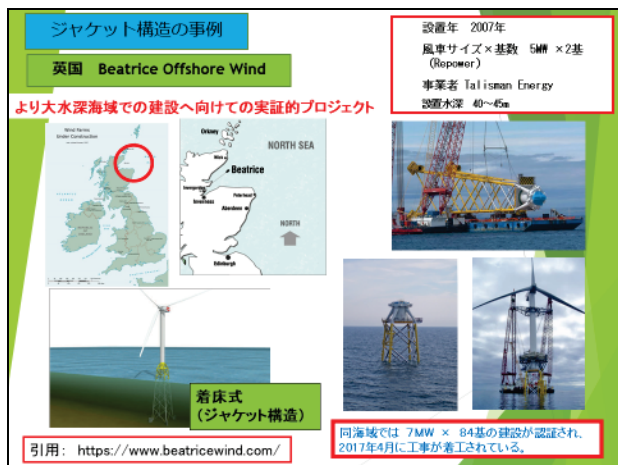


図-3.2.36

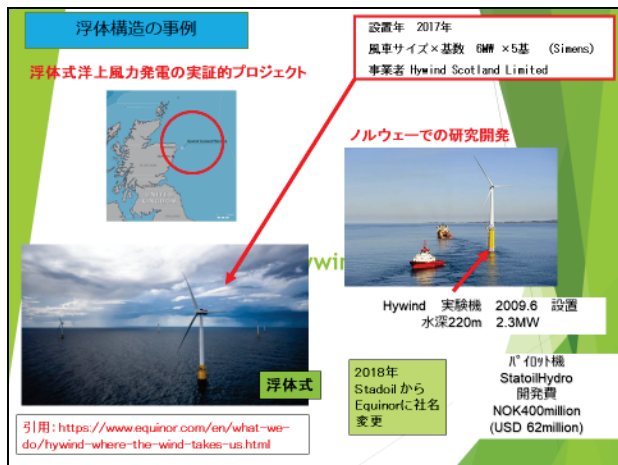


図-3.2.37

浮体式で試験研究されることになり、洋上風車の実用化に向けた取り組みが進められております(図-3.2.38)。

現在の世界の風力発電の導入実績を示します。これは陸上と洋上の新規ですが、そのうち洋上の新規はこのように伸びており、特に2021年については世界の新しいプロジェクトの約1/4は洋上に建設されている状況となっています。累積の中ではまだまだ少ないですが、徐々に洋上の実績の比率が高まっています(図-3.2.39)。

これが国別の新規と累積の陸上と洋上の割合です。例えば新設では、陸上は中国と米国が非常に多いです。また洋上は中国と英国が多くて、特に2021年は、中国での導入量が非常に大きくなっています。また累積では中国、英国、ドイツの順で、中国がそれまで首位だった英国を超えて導入量が増えているというのが現状です(図-3.2.40)。

米国は図で見ると、洋上はまだまだシェアとして小さいわけですが、ここで示すように2020年、2022年、2023年、2024年、と順次新しいプロジェクトが完成していくことが想定されています。アメリカの洋上風力発電もこれから増えていきます(図-3.2.41)。



図-3.2.38

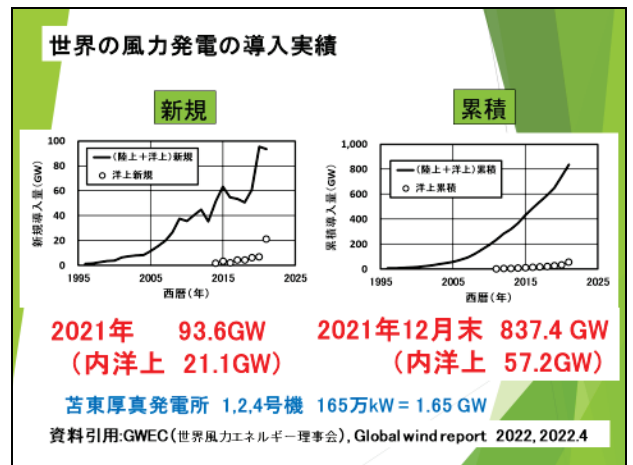


図-3.2.39

それから洋上風車の規模ですが、10年前は4MWが主流でした。現在は8~10MWが主流になり、例えば国内で検討されているものは、当初の計画では4MWという小さなものでした。現在では8MWや10MW風車が、大規模プロジェクトで採用されており、ヨーロッパの風力発電においては洋上風車の大型化が顕著になっていることが背景にあ

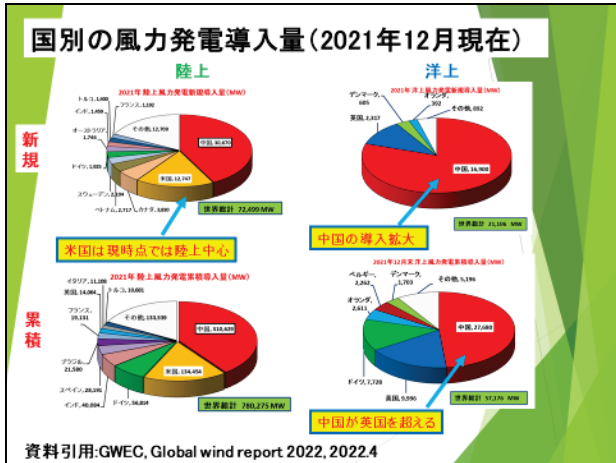


図-3.2.40



図-3.2.41

ります(図-3.2.42)。

これは洋上風力発電機の供給サイズの変遷です。特にヨーロッパ、アメリカのメーカーの状況はどんどん大型化が進み、10MWを超える風車が提案されているのが現状です(図-3.2.43)。この図はGWECという機関で出されているGlobal Offshore Wind Reportから引用させていただきました。

洋上風力発電の供給状況をメーカー別に示しております。風車メーカーはSIEMENS Gamesa, Vestas, それからアメリカのGEです。2024年頃、各社とも14MW, 15MW, 14MWと非常に大きなサイズの風車の供給が開始される予定になっております。14~15MWは風車規模としては非常に大きいです。現在日本で進められている石狩湾新港ではSIEMENSの8MW風車、それから北九州港ではVestasの9.5MW風車が予定されております。秋田港のプロジェクトは、計画が古かったということで4.2MWと規模は小さいですが、今後2022年以降に設置されるものについては大型の風車が導入されます。風車の大型化に向けた港の整備や施工体制の充実が必要になってきます(図-3.2.44)。

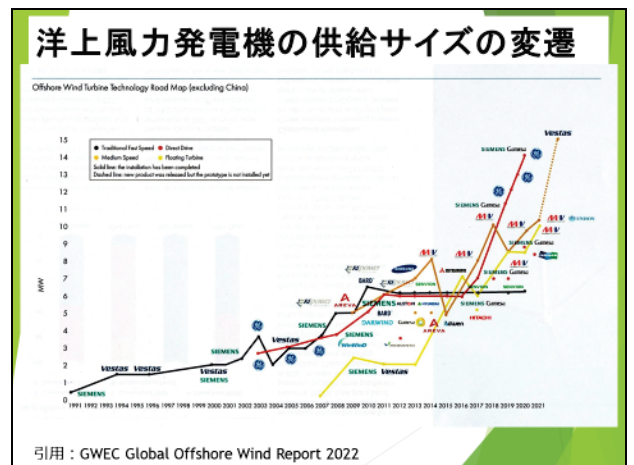


図-3.2.43

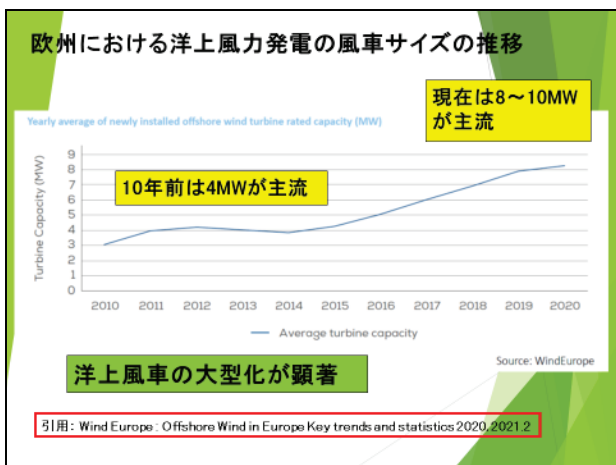


図-3.2.42

図-3.2.44 洋上風車の供給状況

現在、日本において進められているプロジェクト(港湾区域内)

風車メーカー	型式名	定格出力 (MW)	ローター径 (m)	供給年
SIEMENS Gamesa	SG14-222DD	14	222	2024
	SG11.0-200DD	11	200	2022
	SG8.0-167DD	8	167	2019
	SWT-7.0-154	7	154	2017
	SWT-6.0-154	6	154	2014
Vestas	V236-15.0MW	15	236	2024
	V164-10.0MW	10	164	2021
	V174-9.5MW	9.5	174	2022
	V164-9.5MW	9.5	164	2019
GE	V117-4.2MW	4.2	117	2010
	Haliade-X14MW	14	220	2025
	Haliade-X13MW	13	220	2023
	Haliade-X12MW	12	220	2021
	Haliade 150-6MW	6	150	2016

2024年には15MWの洋上風車が供給される見込み
風車の大型化に向けた港の整備、施工体制(SEP船)の準備が必要となる。

石狩湾新港 (2023設置)
北九州港
秋田港-高代港 (2022設置)

図-3.2.44

これは世界の主要な洋上ウインドファームの規模を示したものです。1000MW (1GW) を超える洋上ウインドファームが現実として出現しています。建設コストの縮減のためにウインドファームの大規模化が顕著になっています。ウインドファーム 1カ所当たりの規模が非常に大きくなっているということです(図-3.2.45, 図-3.2.46)。

洋上風力発電施設の建設コストですが、これは GWEC の Global Offshore Wind Report に示されているものです。発電機のコストが約 1/3, それから建設費, タワーと基礎あるいは電気設備, 組み立てと設置, これらが 30~40% で発電の建設コストになります。もちろんこういったものは規模によります。ここでの算定は 8MW の風車が 75 基, 600MW のウインドファームを 25 年稼働する前提で建設コストを試算したものです(図-3.2.47)。

世界の大きなプロジェクトをいくつか紹介させていただきます。今年の前半、一応上半期までに建設されたものの中で最も大きいものは、Hornsea Project Two です。8MW 風車が 165 基ということで、全体としては 1.386GW になります。火力発電所や原子力発電所 1カ所当たりの設備

容量に匹敵するものが洋上風力発電所として建設されていることとなります(図-3.2.48)。

これは Hornsea Project One の方ですが、1218MW (1.22GW) ということで、7MW の風車が 174 基設置されています。洋上風力発電の変電所が海域の中に設置され、ここで変圧されて陸上まで海底送電線で送電するという形になります(図-3.2.49)。

スコットランドの Moray East Offshore Wind Farm は、ジャケット構造を基礎に据えて、その上に風車を設置するという建設事例です(図-3.2.50)。9.5MW の風車 100 基からなる 0.95GW のウインドファームです。ここでは設置水深が 33~55m とやや深くなっています。

私は、新型コロナが流行する前の 2019 年 9 月にヨーロッパの建設状況を視察させていただきました(図-3.2.51)。洋上風力発電もいろいろな構造型式があり、これらについては順次報告させていただきたいと思っております。

アルコナ・ウインドファーム、これは 2019 年 9 月に視察させていただきました。離岸距離 35km, 水深 23~37m のところに建設されたウインドファームです。2006 年 BSH

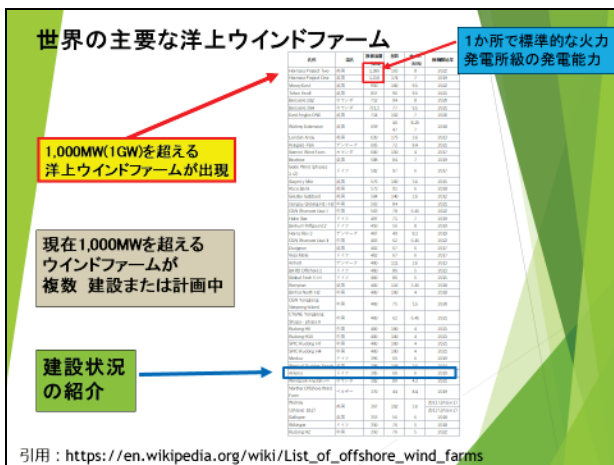


図-3.2.45

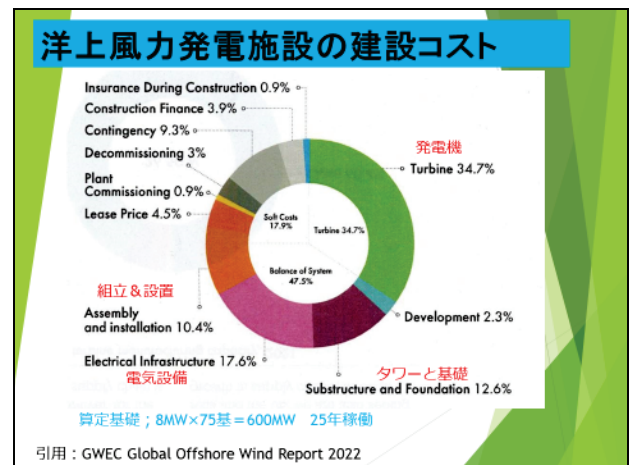


図-3.2.47

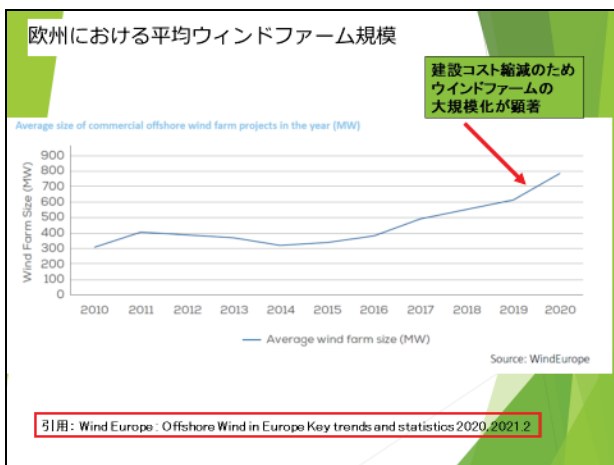


図-3.2.46



図-3.2.48

というドイツの機関から認証され、そこからいろいろな調査を進めることにより、10年ぐらいかけてFIDという形で投資が決定され、そこから先2年ぐらいで建設されました。投資の決定後は、建設されるまでの期間は非常に短いのですが、投資が決まるまでは時間が非常に長く掛かっているのが現状です(図-3.2.52)。風車は6MW風車で、重

量としては1基あたりの風車の部分が412t、それから基礎が800~1200t、1基あたり非常に重量が大きいということです(図-3.2.53)。風車規模としては6MWで、最近計画されているものと比較するとそんなに大きなものではありません。さらに大きな風車が欧州において計画・建設されているのが現状です。



図-3.2.49

これは現地海域の状況です。風車のタワーを建てるためのトランジションピース(TP)がこの写真になります。モノパイルの基礎の上にTPが着けられ、その上に風車のタワーが建設され、このような状況の風車になります(図-3.2.54)。

こちらはサブステーションです。33,000Vの5系列の送電ケーブルを風車群の中に敷設し、洋上変電所(サブステーション)において220,000Vに昇圧し地上変電所に送電しています(図-3.2.55)。このサブステーションは非常に重量の大きなもので、4000tぐらいあり、ジャケット基礎はそれを支えるための1000tという重量で、スカートパイプも212tが4本という非常に大きな構造になります(図-3.2.56)。

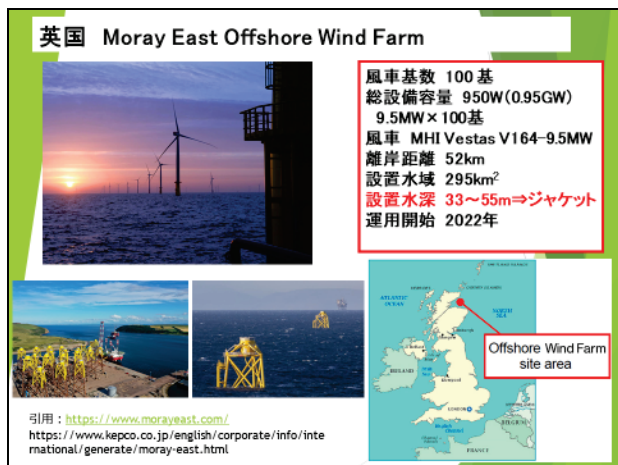


図-3.2.50

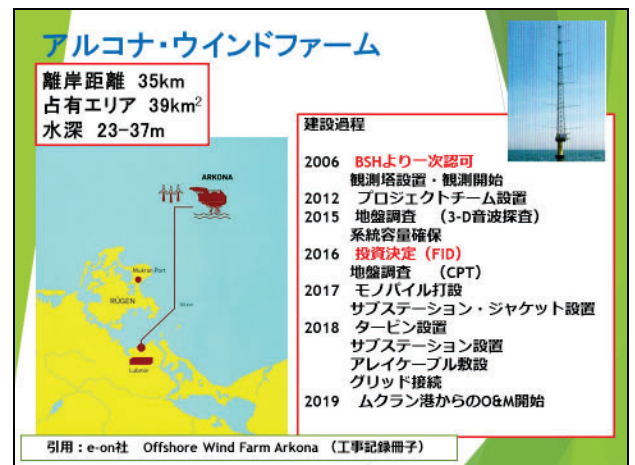


図-3.2.52



図-3.2.51

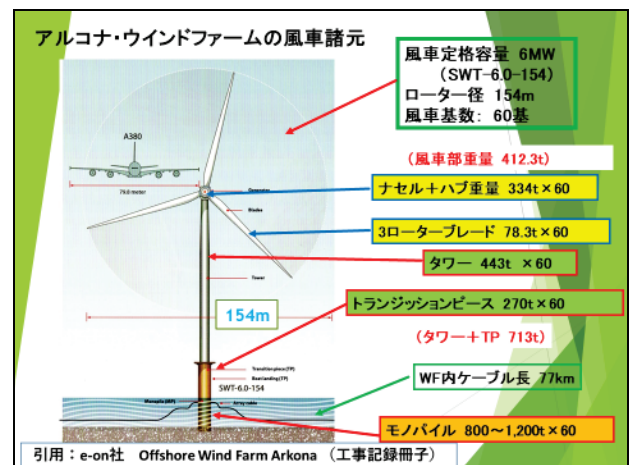


図-3.2.53

ヨーロッパにおいて洋上風力発電が伸びた理由は、再生可能エネルギー導入拡大の国家目標があったこと、国が洋上風力発電の開発区域を指定したこと、それから北海の石油開発の経験があり洋上工事の既存インフラ・技術の蓄積がそれまでであったこと、が主な理由になります(図-3.2.57)。英国のクラウンエステートは2001年と2003年、

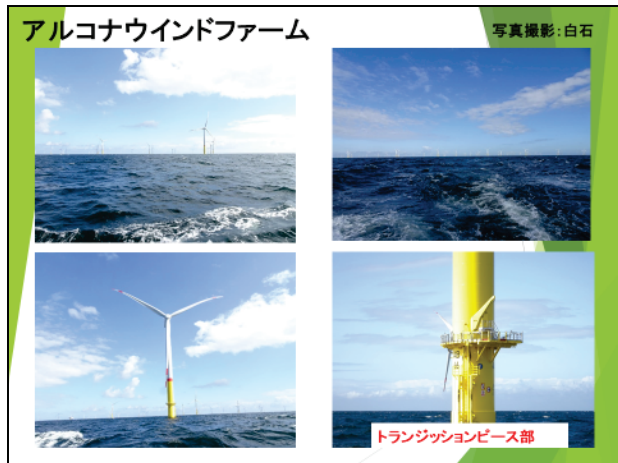


図-3.2.54

それから 2010 年に認可海域を決定しています(図-3.2.58)。Round4 として 2022 年に向けて新しい沖合の海域指定が進められています。こういった海域指定が英国での洋上風力発電の伸びに繋がっております(図-3.2.59)。

それからドイツです。ドイツでは連邦海洋水理庁 (BSH) が一元的に管理をしており、EEZ 内における洋上風力発電

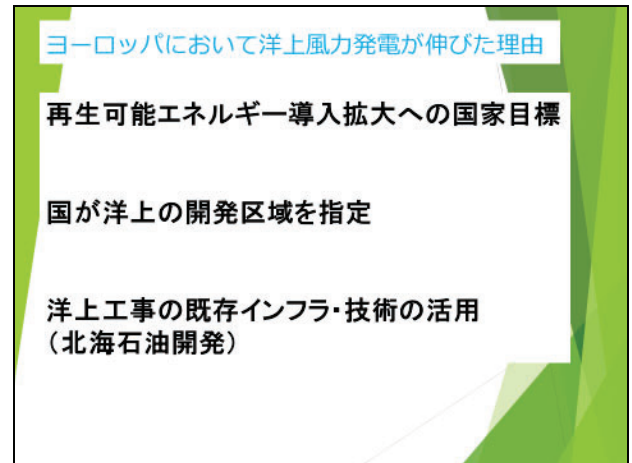


図-3.2.57



図-3.2.55

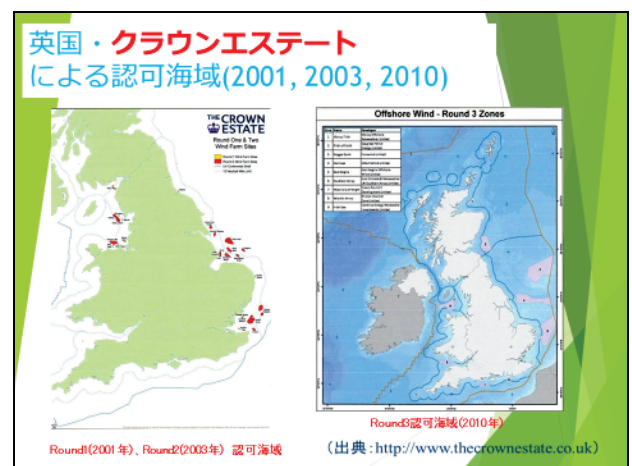


図-3.2.58



図-3.2.56



図-3.2.59

の建設、稼働、これに向けて法律法令を定めています。2006年の段階で北海では13カ所が、バルト海では2カ所が認可を受けています。先程説明したアルコナ・ウインドファームについても、バルト海の中の2カ所の認可海域の一つでした。このような形で非常に時間を掛けて計画が遂行されること、開発海域が指定されること、が非常に重要な条件になります(図-3.2.60)。

オランダでは毎年700MWの、一定の計画を認可しています。工事量を平準化することにより、一定の工事が国内で計画的に実施することが可能となります。建設において非常に重要な方針として定められています。すなわち、次の計画では0.7GWの認可が決まり、さらに次は、と計画的に進められているのが、オランダの洋上風力発電の計画の特徴です(図-3.2.61、図-3.2.62)。

日本において洋上風力発電の導入が遅れた理由ですが、日本は海面の管理制度の未整理により海域の占用許可ができませんでした。都道府県の条例に基づき海域占用許可を出すことができましたが、許可の占用期間が非常に短かったことから洋上風力発電の開発に繋がらなかったとい

うのが現状です。2016年に港湾法の改正によって、公募による占用許可手続きが創設されました。港湾区域に限られますが、港湾区域の中で長期の占用許可の手続きが現実的にできるようになりました。それから2019年になって、ようやく再生可能エネルギー法という法律により、一般海域まで拡大されました。ようやく日本でも洋上風力発電が実現できるルールができたということです。それから国の施策として、再生可能エネルギー導入の位置付けが弱かったのですが、2011年FIT制度が導入されました。施行が2012年です。これはドイツや英国から非常に大きく遅れました。これも洋上風力発電の導入が大きく遅れた原因でもありますし、海域指定がさらに遅れました。日本ではFITが導入されても、洋上風力発電の導入が進まず太陽光発電が中心となっております。2020年にカーボンニュートラル宣言、これによって順次高い目標値が定められるようになり、今後は洋上風力発電も導入が進むことが期待されます(図-3.2.63)。

国内の洋上風力発電施設の設置状況です(図-3.2.64)。瀬棚、酒田、鹿島、これが日本の洋上風力発電の引き金と

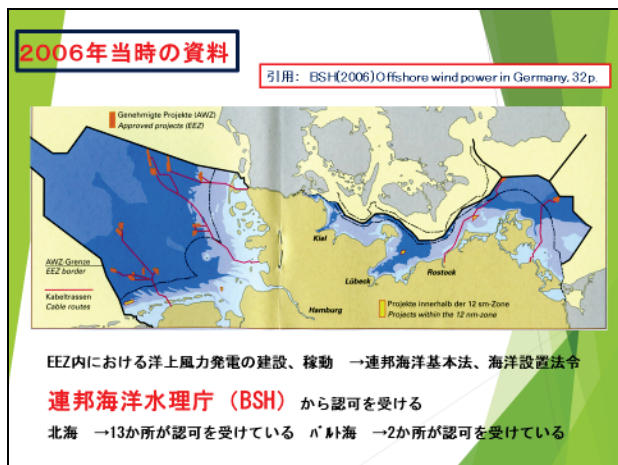


図-3.2.60

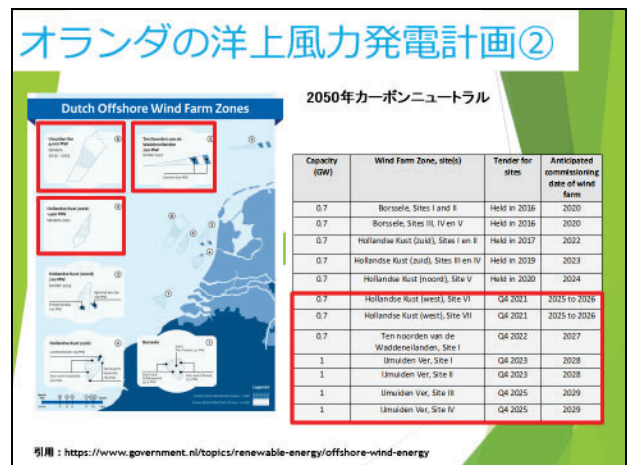


図-3.2.62

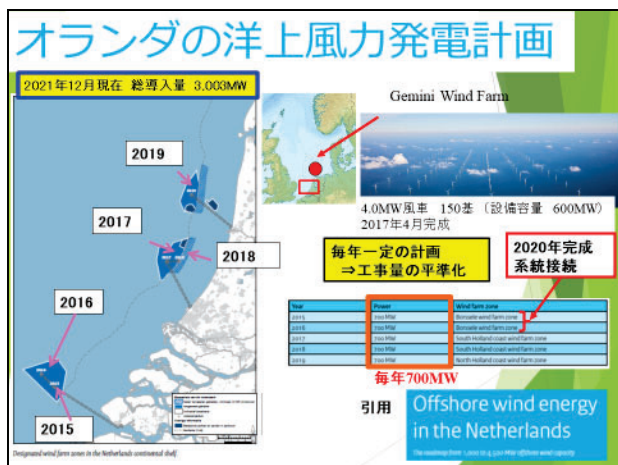


図-3.2.61

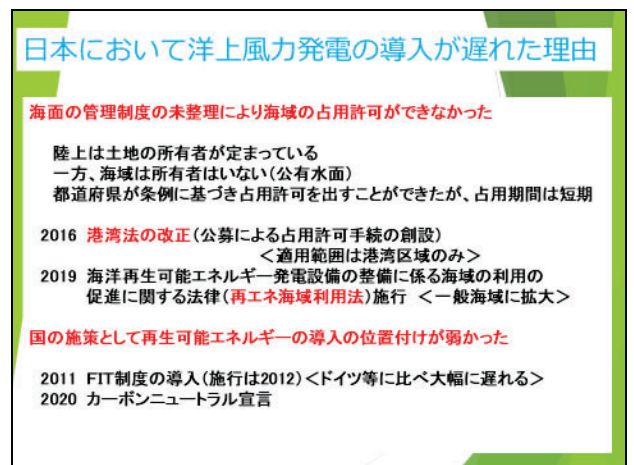


図-3.2.63

なった、フロンティア事業であります。これらはいずれも海岸線付近ということで、本格的な洋上風力発電ではありません。そのため、日本では様々なところで洋上風力発電の研究開発が進められました。固定式では北九州と銚子、浮体式では福島と五島列島と北九州で、幾つかの洋上風力発電の研究開発が進められました(図-3.2.65)。それから、港湾のマニュアルで港湾区域内の洋上風力発電を進めるということが先行的に行われました。北海道の石狩湾新港、秋田の能代港、北九州港、むつ小川原港、鹿島港において港湾区域の中で先行的に検討が進められました。それらについて紹介します(図-3.2.66)。

次に再エネ海域利用法、これが2018年12月に公布、2019年に施行され、この法律により、ここで示す手順で検討が進められております(図-3.2.67)。この図に示した海域が促進区域として指定されている海域です。今年の5月に新たに新潟県村上市、それから長崎県西海市、秋田県男鹿・胎内市、これらの海域が新しく促進地域に追加されました(図-3.2.68)。

事業者の指定状況ですが、最初に指定された五島、秋田

能代と由利本荘、千葉県銚子は去年の12月に事業者が選定公表されました。秋田県八峰町と能代市沖が今後、選定結果が公表される予定です(図-3.2.69)。それから今年新たに促進区域に新規指定された海域において新たに公募の取り組みが進められています。促進区域に指定されると指定海域の緯度・経度が告知されて、こういった形で具体



図-3.2.64



図-3.2.66



図-3.2.67



図-3.2.65



図-3.2.68

的に場所が指定されます。だいたい促進区域に指定されて6カ月ぐらいで公募されます。公募期間が6カ月、審査期間が6カ月、それらの手続きによって事業者が告知されます。こういう流れが一般的です(図-3.2.70, 図-3.2.71)。

それから有望な区域として指定されている区域がここに示した区域です。有望な区域に指定されると、地元協

促進区域における事業者の公募・選定状況

選定結果の公表済み

海域	促進区域の指定	海域面積	公募期間	選定	事業計画
長崎県五島市沖	2019年12月27日	2,726.5ha	2020年6月24日～12月24日	2021年6月11日	16,800W (2.1MW×8基)
秋田県鹿代市・三種町及び男鹿市沖	2020年7月21日	6,268.8ha	2020年11月27日～2021年5月27日	2021年12月24日	(415MW)
秋田県由利本荘市沖(北側・高館)	2020年7月21日	13,040.4ha	2020年11月27日～2021年5月27日	2021年12月24日	(北側 373MW) (南側 357MW)
千葉県鉾田市沖	2020年7月21日	3,948.7ha	2020年11月27日～2021年5月27日	2021年12月24日	(370MW)
秋田県八峰町・鹿代市沖	2021年9月13日	3,239.4ha	2022年12月10日～2022年6月10日	2022年12月頃	(300MW)
長崎県西海市江島沖	2022年9月30日	3,983.8ha			(200MW)
新潟県村上市及び胎内市沖	2022年9月30日	9,350ha			(700MW)
秋田県男鹿市・梁上市及び秋田市沖	2022年9月30日	5,569ha			(400MW)

選定結果の公表予定

促進区域新規指定

図-3.2.69

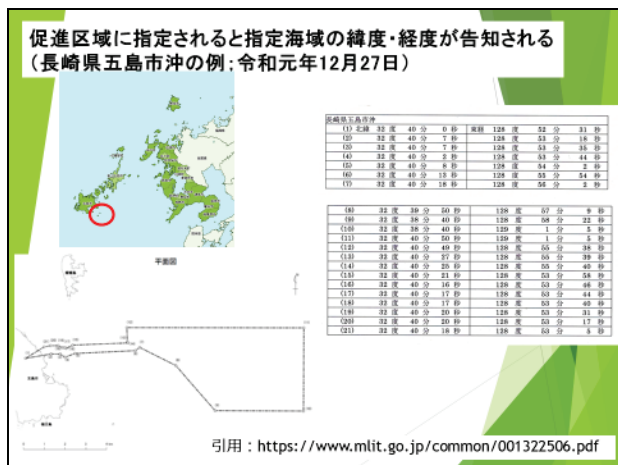


図-3.2.70

事業者の公募と選定(長崎県五島市沖の事例)

促進区域の指定 2020年12月27日

公募占用指針と公募占用計画の受付の告知(2021年6月24日) 促進区域の指定から公募まで約6か月

経済産業省と国土交通省による同時発表

受付の開始: 2020年6月24日(水曜日) 公募期間 約6か月

受付締め切り: 2020年12月24日(木曜日) 17時00分

引用: https://www.eneco.meti.go.jp/category/saving_and_new/sakana/yojo_fuyoku/dl/sortai/nagasaki_goto_koubou.pdf

審査期間 約6か月

選定結果の告知(2021年6月11日) 経済産業省と国土交通省による同時発表

1. 選定事業者(コンソーシアム)
(仮)ごとう市沖洋上風力発電同業協会
構成員
戸田建設株式会社、ENEOS株式会社、大阪瓦斯株式会社、関西電力株式会社、株式会社INPEX、中部電力株式会社

事業計画概要
発電設備: 浮体式洋上風力発電
発電設備出力: 1.68万kW (0.21万kW×8基)

引用: <https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210611004/20210611004.html>

図-3.2.71

議会が開催され、国や自治体、海域先行利用者である漁協や海運、さらに学識経験者を加えて協議が始まり、その結果を受けて促進地域に指定されます。だいたい協議会が2~3回、もう少し多い場合もありますが、回数を経て促進区域に指定されます(図-3.2.72)。それに至る前の状態としては、一定の準備段階に進んでいる区域が指定されており、これは現在ここに示す区域が一定の準備段階にあるということで、今後地元と調整をし、有望な区域として指定されるに先立ち協議会を開催していきます。有望な区域から促進区域に指定されるまでは、幾つかのプロセスがありますが、このような流れで検討が進められます。中には今年9月に新しく指定された海域もあります(図-3.2.73)。

次に風力発電・洋上風力発電に関する市民のアンケート調査結果ということで、認知度について示します。これは学生と市民に対してアンケートを北海道科学大学で行ったものですが、この結果を説明させていただきます(図-3.2.74)。

風力発電の認知度ですが、いずれの属性においても非常に認知している人が多いという状況でした(図-3.2.75)。



図-3.2.72



図-3.2.73

陸上風力発電に対してはプラス面のイメージとして CO2 の削減とか新エネルギーとしての期待が高いことが挙げられています。一方マイナス面のイメージとしては、供給が不安定、高発電コスト、バードストライクが項目として挙げられています(図-3.2.76)。一方洋上風力発電の認知度は非常に低い状況であり、「よく知っている」と「だいたい知っている」を含めても 20~30%でした。その中でも女性では 10%前後で、非常に認知度が低い状況です(図-3.2.77)。これは洋上風力発電というのが現実には日本ではほとんど存在していないため、見る機会もないことにより。また洋上風力発電に対しては、騒音の影響が少ない、建設コストがかかるというイメージが陸上風力発電に比べて同意の回答が多かった。洋上風力発電を認知している人が少ないにもかかわらず、洋上にあることで陸上よりも騒音の影響が少ないだろうというイメージは持たれていました(図-3.2.78)。

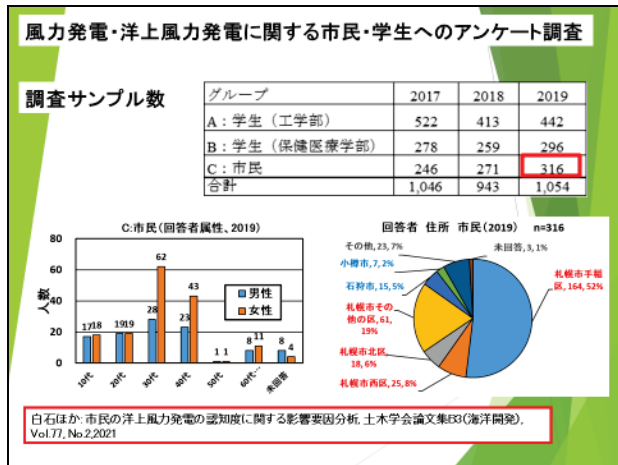


図-3.2.74

エネルギーに対する考え方として、省エネ対策やエネルギー利用でどのように考えているかを示します。エネルギーの節約について、市民の関心が高い状況です(図-3.2.79)。

今後必要と思う発電方式ですが、再エネ全般が今後必要と思う方式で上位でした。洋上風力発電は認知度が低かったために、他の再エネに比べてまだランクの低い状況に留まっています(図-3.2.80)。

認知度を高めるためには、例えば洋上風力発電所を開設

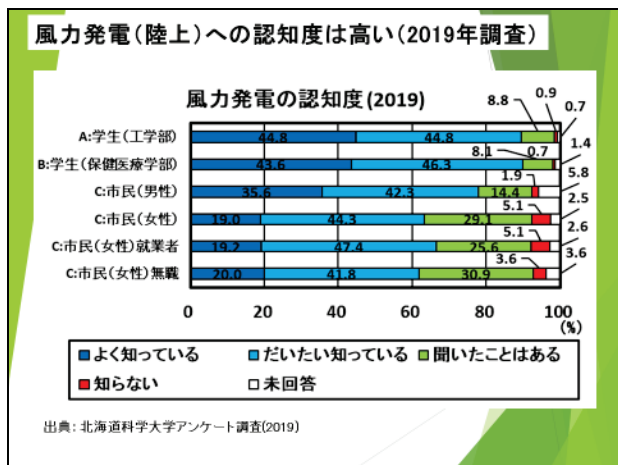


図-3.2.75

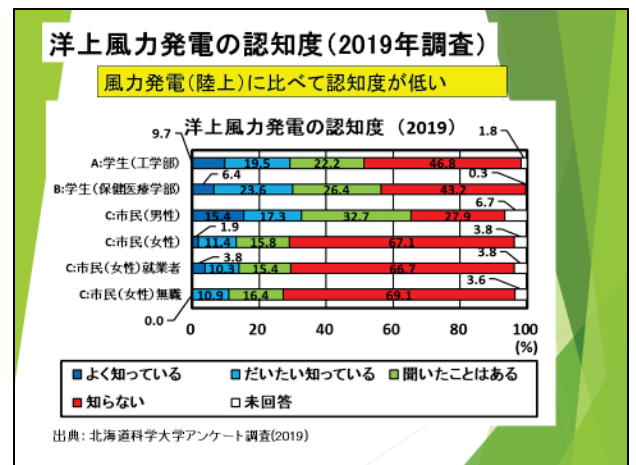


図-3.2.77

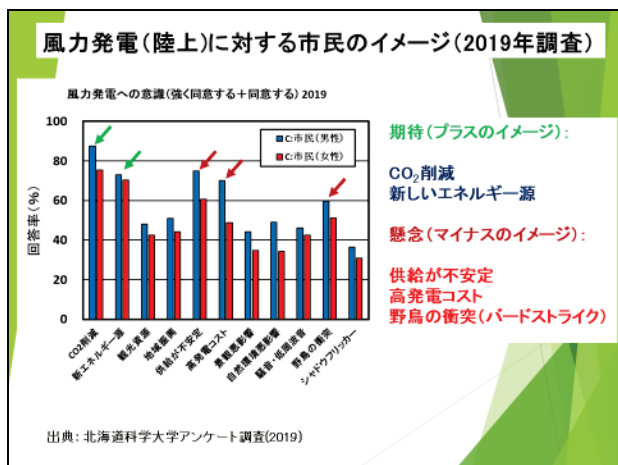


図-3.2.76

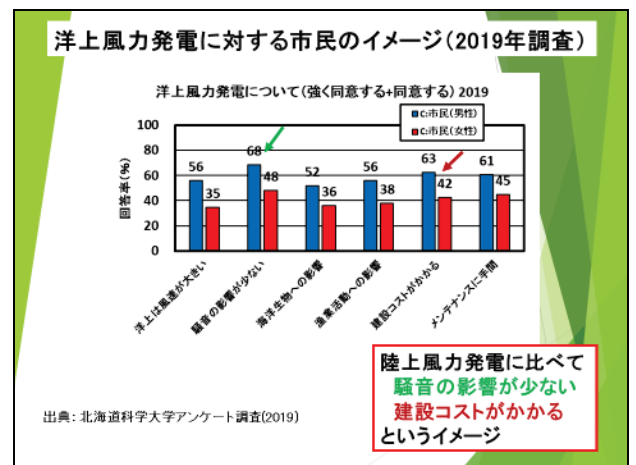


図-3.2.78

れから建設コストなどといった問題があります。デメリットは事業を行う方が、丁寧に地元へ説明していただくということが、重要だと考えます(図-3.2.84)。

これは先程と重複しますが、比較して優位な点、それから少し配慮した方が良いという点、それを私なりに評価したものです(図-3.2.85)。

洋上風力発電のデメリットとして考えられるもの

- 水産業への影響(設置海域での操業の制約)**
→ 一定置網等の区域を除外しての計画が必要、漁獲効果等の漁業振興策
- 航行船舶への影響**
→ 航行船舶のルート調査、安全対策(航路標識の設置)
- 騒音・超低周波音に対する懸念**
(陸上風力発電よりは影響が少ない)
- 景観への影響の懸念**
→ 国立公園・国定公園等の景勝スポットへの配慮、CG等による住民の意見聴取
- 海生生物・生態系への影響**
→ 海生生物調査と配慮
- 鳥類への影響**
→ 渡り鳥のルートの事前調査と配慮
- 建設時の環境影響**
→ 環境影響を少なくする工事
- 陸上に比べ、建設コストの増加(電気代上昇への懸念)**
→ 事業規模拡大によるコスト縮減への期待(欧州の事例)

**事業者による
丁寧な地元説明が必要**

図-3.2.84

洋上風力発電と陸上風力発電の比較

項目	洋上	陸上
風速・風の乱れ	風速が大きく乱れが少ない(発電に有利)	地形の影響を受け、乱れが大きい
建設上の制約	作業船により輸送・建設ができるので大型が可能	山間部など輸送上の制約がある
騒音・景観	居住地から離れるので影響が少ない	建設場所によっては地上での制約を受ける
バードストライク	渡り鳥等への配慮が必要であるが影響は少ない	希少種の生息地等の制約を受ける
動植物・環境	鳥類・海生生物への影響について配慮が必要	陸上の動植物等への配慮が必要
事業調整	海域の先行利用者(漁業・海運)との調整 国からの海域の占用許可が必要	土地の所有者との協議が必要
送電線	海底送電線が必要である (コストの増大のため事業規模を大きくする必要)	電力需要が少ない地域では、新たな送電線の建設が必要
建設コスト	海中基礎が必要で、コストアップ(大規模化でコスト低減を図る必要がある)	基礎の建設費は洋上より少ない
設置コスト	海底地盤の調査が必要で陸上よりもコスト増	地盤調査は洋上より容易
メンテナンス	船でのアクセスが必要で冬季の風浪の影響を受ける	制約が少ない
計画から建設までの期間	一般に長期化する	洋上よりも期間が短い

図-3.2.85

実際にプロジェクトを進める上で、環境影響評価を行う必要が行あります。配慮書、方法書、準備書、評価書、報告書という段階で、これらを作成し様々な方の意見を取り入れながら行って合意を図っていくというプロセスがあります。これを着実に実施することが非常に重要なこととなります(図-3.2.86)。

メリットとしては、洋上風力発電は大型の作業船で施工ができる点があげられます。風車の大型化が可能で陸上より高い出力の発電ができることに繋がります(図-3.2.87)。港湾で風車の基礎を積み出し、海上でSEP船等を使って施工することで大型の風車が建設できるという大きなメリットがあります(図-3.2.88)。それから洋上では住宅地から離れて立地することにより、陸上風力発電に比べて騒音影響が大幅に減少します(図-3.2.89)。

騒音の発生部位としては、ブレードの風切り音とナセル部分の機械音があります。ブレードの風切り音は、風がブレードという風車の羽根に当たり、そこから剥離流ができることにより音が発生します(図-3.2.90)。ナセルの部分からはギア音が、発電機からはモーター音が騒音として発

洋上風力発電のメリット

**洋上風力発電
大型の作業船による施工による大型化が可能
⇒陸上よりも高い発電能力**

図-3.2.87

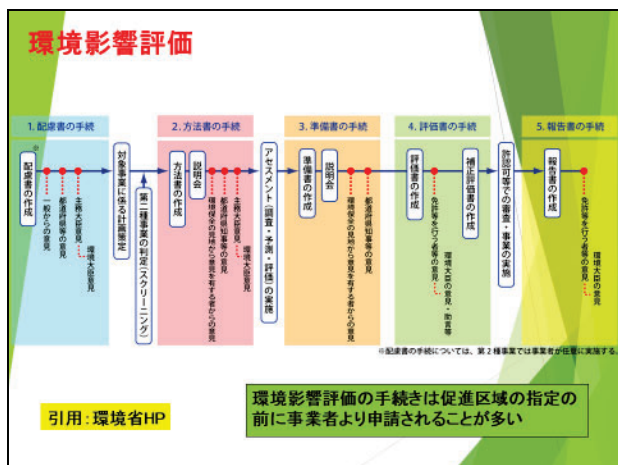


図-3.2.86

洋上は陸上に比べ作業船が使えるため大型の風車が建設できる

事例紹介: オランダ Gemini Wind Farm
港湾における積み込み・SEPによる施工

写真引用 http://geminiwindfarm.com/e_home.html

図-3.2.88

生じます(図-3.2.91)。

騒音に関する指針については、平成29年に環境省から、風力発電施設から発生する騒音に関する指針が出ております(図-3.2.92、図-3.2.93)。

騒音レベルというのは、例えば自動車が通過した時に一時的に大きくなるのですが、そうではない時の騒音を残留

洋上風力発電のメリット

洋上風力発電
住宅地から離れて立地
⇒陸上風力発電に比べて騒音影響が大幅に減少

図-3.2.89

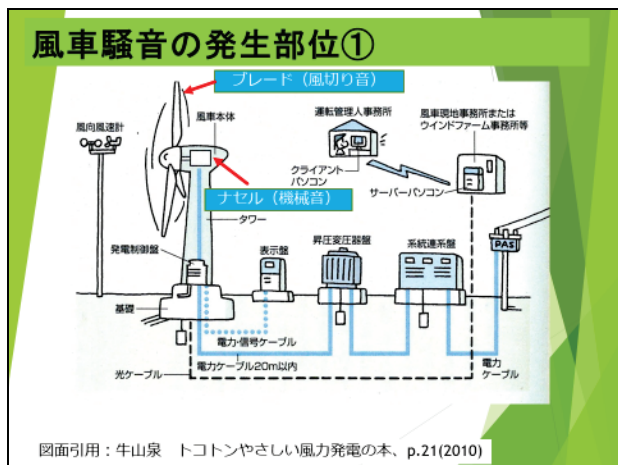


図-3.2.90

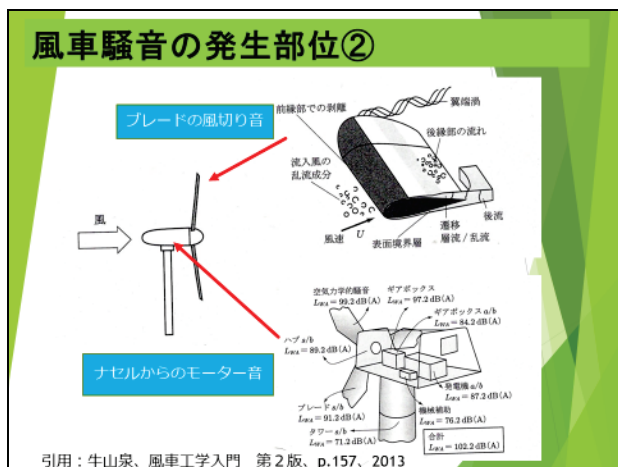


図-3.2.91

騒音と言います。5 dB以内のところになんとか収めようというのが評価手法の考え方になります。人がどのぐらいの周波数の範囲が聞こえるかということですが、100Hz以下が低周波、20Hz以下が超低周波、そういう分け方になります。この残留騒音と5 dBの評価位置、これを下限として設定するということになります。これは各国の基準値の規格を示しています。地域によって違いますが、配慮を要する地域では35 dB前後、それ以外の地域では40 dBが一般的で、国によって若干違いますが、これらが騒音レベルの設定値になります(図-3.2.94、図-3.2.95、図-3.2.96)。

風車から離れると当然、騒音が分散され小さくなります。これは陸上の例ですが、南あわじ CEF ウインドファーム、これは2.5MW風車15基で構成されています。このウインドファームから距離が離れたところ所でどれぐらい騒音レベルの差があるかを示しています。どの測定値を見ても、だいたい1000mくらい離れると騒音レベルが基準以下になっています。距離減衰は風車を設置する時の一つの大きな指標となります(図-3.2.97)。

陸上風車と洋上風車を比べると、洋上風車は風の乱れが

騒音に関する指針の公表までの動向

- 環境省戦略指定研究領域 研究課題 風力発電等による人への影響評価に関する研究 (平成22~24年度)
- 環境影響評価法施行令の一部を改正する政令 (平成24年10月施行)
- 風力発電施設が環境影響評価法の対象事業に追加 (平成24年10月施行)
- 平成24年度風力発電施設の騒音・低周波音に関する検討調査業務 報告書 (平成25年3月)
- 風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会 (平成25年5月~平成28年11月)
- 風力発電施設から発生する騒音等への対応について (平成28年11月)
- 風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル (平成29年5月)
- 風力発電施設から発生する騒音に関する指針(環境省水・大気環境局長) (平成29年5月26日)

図-3.2.92

風力発電施設から発生する騒音に関する指針

風力発電施設騒音の評価の考え方①

- 風力発電施設の設置又は発電設備の新設を伴う変更が行われる場合が対象
- 屋内の生活環境保全を考慮し、屋外で昼夜毎に評価
- 「残留騒音」(一過性の特定できる騒音を除いた騒音)からの増加量が5dBに収まるように設定する

引用：風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会 報告書概要

図-3.2.93

小さいのと陸上からの距離が大きいということで、騒音影響が小さい。陸上風車は地形影響による乱れが大きい、そして距離が小さいことから、住宅地での騒音影響も大きくなります。洋上風車の場合は騒音の影響が陸上風車に比べて相対的に小さくなると言えます(図-3.2.98)。

それから超低周波音への見解ですけれども、これは風力

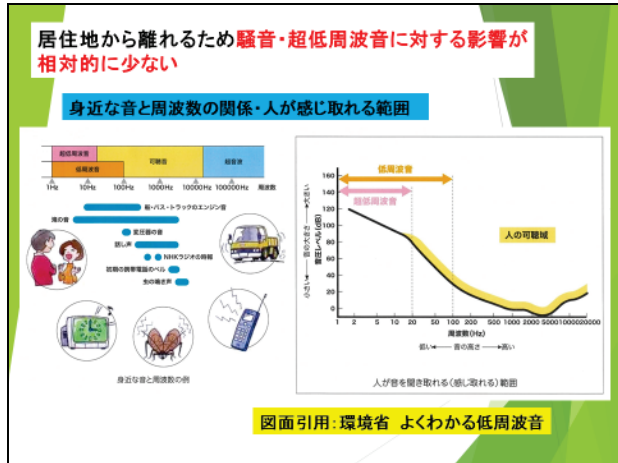


図-3.2.94

発電から発生する騒音に関する指針の中では、人間の知覚閾値を下回ることと、健康影響との明らかな関連を示す知見は確認されなかったというのが、環境省の見解であります。またこれに対しては騒音の影響があると述べている人達も結構いますので、現実には即して影響がないということを確認していく必要があります(図-3.2.99)。

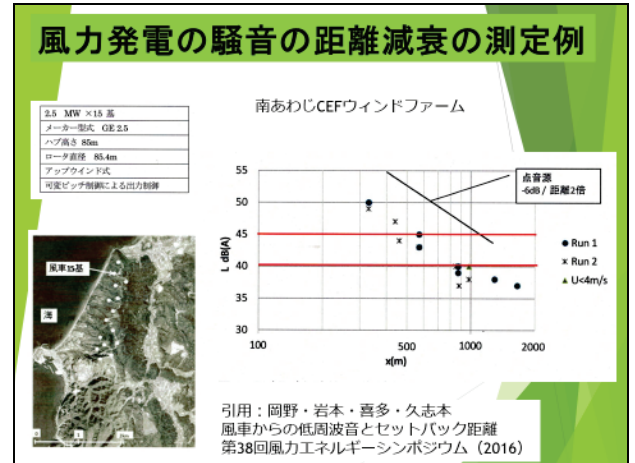


図-3.2.97

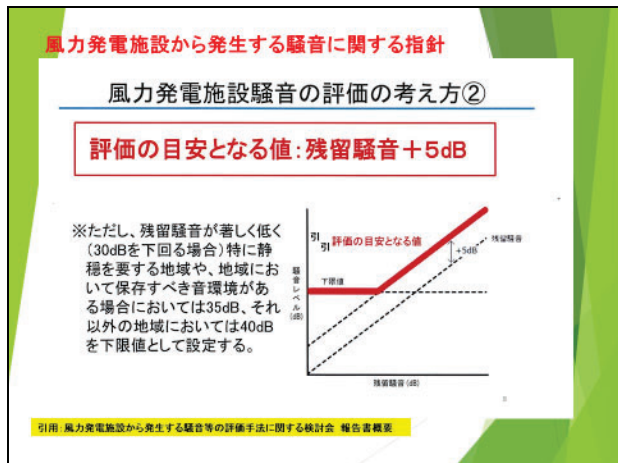


図-3.2.95

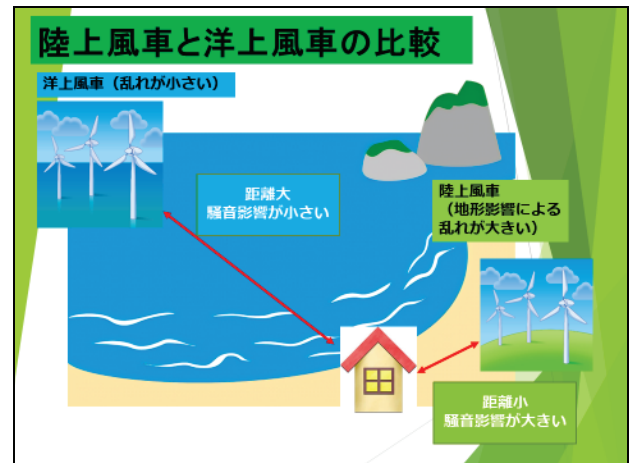


図-3.2.98

(参考) 風車騒音に関する諸外国の基準等

国/地方	騒音指標	地域の類型			
		田舎地域	住宅地域	工業地域に近い	その他の地域
Denmark	L_{Aeq} (6 m/s) L_{Aeq} (8 m/s)	42 dB (6 m/s) 44 dB (8 m/s)	37 dB (6 m/s) 39 dB (8 m/s)	-	-
Sweden	L_{Aeq} (8.5 m/s)	35 dB	40 dB	-	-
Belgium/ Wallonia	L_{Aeq}	-	45 dB	-	-
France	L_{Aeq}	昼(07:00-22:00): 騒音レベル+5 dB 夜(22:00-07:00): 騒音レベル+3 dB (風車稼働時の騒音が35dBを超える場合)			
Germany	L_{Aeq}	昼: 60 dB 夜: 45 dB	昼: 50-55 dB 夜: 35-40 dB	昼: 45 dB 夜: 45 dB	昼: 45-70 dB 夜: 35-70 dB
The Netherlands	L_{Aeq}	-	L_{Aeq} : 41 dB	-	-
United Kingdom	L_{Aeq} (10 m/s)	昼: 残留騒音レベル+5 dB(昼最低35 dBまたは40 dB) 夜: 残留騒音レベル+5 dB(最低41 dB)			
New Zealand	L_{Aeq} (10 m/s)	35 dBまたは残留騒音+5 dBの低い方の値	静穏を要する地域: 40 dBまたは残留騒音+5 dBの低い方の値	-	-
Australia/ Victoria	L_{Aeq} (10 m/s)	35 dBまたは残留騒音+5 dBの低い方の値	静穏を要する地域: 40 dBまたは残留騒音+5 dBの低い方の値	-	-
Canada/ Manitoba	L_{Aeq}	40 dB (風速4 m/s)か53 dB (11 m/s)まで段階的に設定			
USA/ Maine	L_{Aeq}	静穏を要する地域: 昼: 55 dB, 夜: 45 dB 風力発電施設の敷地境界線と: 昼: 75 dB			

世界各国における風車騒音の基準・ガイドラインの比較 (一部抜粋改変)

引用: 風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会 報告書概要

図-3.2.96

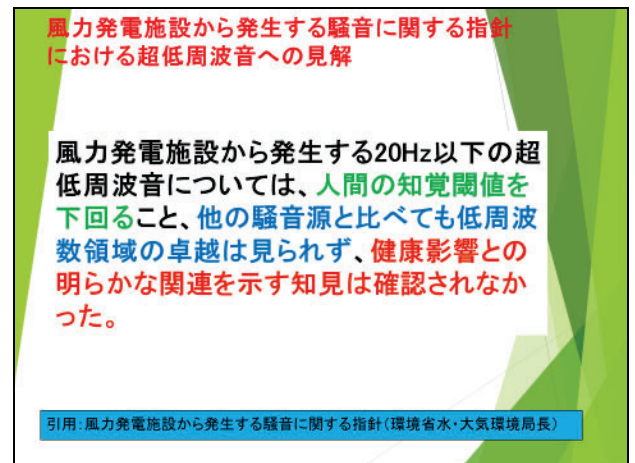


図-3.2.99

洋上風力電力のメリットとしましては、漁礁効果を考え
ています。洋上風力発電施設の基礎を使い、様々な漁礁対
策ができると思います(図-3.2.100)。現実はどう造れるか
は、これから工夫が必要だと思います。

実際の漁礁効果の例として、この図は 2002 年に設置さ
れ、2003 年に基礎が、2004 年に風車が建てられた瀬棚港

洋上風力発電のメリット

洋上風力発電

漁礁効果

⇒基礎構造物での海生生物の生育

図-3.2.100

で調査したものです(図-3.2.101)。基礎のパイルには、い
ろいろな生物が付着します(図-3.2.102)。このようにウニ
が付いています。これも風車の基礎部分の写真です。こ
うした基礎への生物付着に伴って、杭基礎周辺で建設直後に
魚が確認されました。建設して1年後には、先程示したよ
うに杭に海藻やウニが着いていました。少なくとも風車が

Depth	1-2m
class	Sea hare アメフラシ

魚礁効果確認調査 (st.4:北側基部)

図-3.2.103

洋上風車周辺における漁礁効果が期待できる

協調策③：養殖施設の併設

- ・ホタテの養殖が行なわれている区画漁業権区域では、ジャケット式洋上風力発電を設置することで下記効果が期待できる。
- ・基礎部を用いたワカメ等藻類の養殖
- ・暴風時に養殖施設が流されないようにするためのアンカーの役割
- ・魚礁効果

引用：北海道岩内町 岩内町風力発電ゾーニング結果
<https://www.town.iwanai.hokkaido.jp/administration/zoningkekka.pdf>

図-3.2.101

Depth	5-6m
class	Sea-urchin ウニ

魚礁効果確認調査 (st.4:北側基部)

図-3.2.104

洋上風力発電による漁礁効果

調査地点；北海道瀬棚港

水生生物調査の観測地点

図-3.2.102

Depth	10-11m
class	Sea-urchin ウニ

魚礁効果確認調査 (st.1:南側基部)

図-3.2.105

稼働したから魚が減っているという事例はありませんでした(図-3.2.103, 図-3.2.104, 図-3.2.105)。ただ、この調査は港湾内の防波堤背後の風車ということで、そういう限られた条件ではありますが、魚やウニへの影響はあまりなかったと考えております(図-3.2.106)。

それから洋上風力発電のメリットとして、地域への経済

調査結果 (水生生物調査) 瀬棚港における調査結果

●風車稼働前(平成15年度)と風車稼働後(平成16年度)と比較すると、風車基礎部近傍の魚類の生息状況に変化はみられず、魚類の生息への悪影響は確認されなかった。

稼働前と稼働後の風車基礎部の魚類確認状況

種名	H15年8月		H16年8月	
	南側基部	北側基部	南側基部	北側基部
アイメ	5	2	8	4
イシダイ				8
ウスハル			40	
ウミタナゴ			30	10
カンカ科	2		3	
カレイ科	1	2	1	
クロガシラカレイ		1		
カワハギ			1	1

資料提供: 沿岸技術研究センター

図-3.2.106

洋上風力発電のメリット

洋上風力発電

⇒地域への経済波及効果

図-3.2.107



図-3.2.108

波及効果があります(図-3.2.107)。これは2019年のベルギーのオーステンデのターミナルですが、この海域で風車を建設して基地港湾として機能しています。こちらの部分がO&M基地です。風車が完成した後にオペレーションやメンテナンスをする基地です(図-3.2.108)。このようにオペレーションやメンテナンスをすることは、風車の建設後の長期に渡って経済波及効果があります。風車の稼働中は、実際そこにメンテナンスの基地があることで、地域への経済波及効果があるという事例です。

ドイツのムクラン港、これは先程紹介したアルコナ・ウインドファームの現地サポート基地になっています。これはO&Mの事務所です。洋上ウインドファームでは、数十kmはなれたところまで出かけて、メンテナンスしないといけません。実際に船が現地海域まで行けるかどうかという判断が非常に重要です。メンテナンス基地では波と風の予測モニターがあって、それを見ながら行けるか行けないという判断をします。私が訪問した時もなんとかギリギリ行ける範囲の波浪条件だったので、現地まで視察に行きました。メンテナンス基地では、メンテナンス用の部品が保管されていて、必要なものを現地へ持って行きメンテナンスをするという形になります(図-3.2.109)。通常のメンテナンス体制は20人程度です。夏場に行く大規模メンテナンスの時はさらに動員されて40~50人ぐらいが、メンテナンス要員として従事していると聞きました。

持続ある社会の形成に向けてということで、北海道とデンマークを比較してみました。だいたい北海道とデンマーク、面積は北海道の方が倍ぐらい大きいです。ただ北海道は内陸に山岳地帯があります。デンマークは平坦で最高標高が確か173mぐらいです。人口はだいたい500万を少し超えています。デンマークは年ごとに人口が増えています。北海道は年ごとに減少しています。陸上風車の規模、これは古いデータですが、導入量に10倍ぐらい差があり



図-3.2.109

ます。洋上については極めて大きな差があります。電力需要は人口がだいたい同じことから、5000MW ぐらいが電力需要の最大値です。これはだいたい類似しています。ただ域外系統容量は6倍ぐらい違っており、デンマークの場合はデンマーク国外との系統容量が非常に大きいということです。それに伴いエネルギー自給率は、この比較データでは、北海道は10%、デンマークは90%ということで大きな違いがあります(図-3.2.110)。

デンマークでは、なぜこんなに再生可能エネルギーが伸びたかと言うと、1973年のオイルショックで石油を節約しなければいけないということになりました。今後の電力をどうしようかということで、再生可能エネルギー導入か原子力導入かということで議論になりました。最終的にはデンマーク国会が1985年に原子力は使わないという決定をし、再生可能エネルギーの利用に大きくシフトしました。そしてVestas社、当時は主に農業機械を中心とする機械メーカーでしたが、1978年に風車の試作を始めます。1980年には試作機40kWという小さな風車しか造れないメーカーでしたが、2024年には15000kWの洋上風車を供給する

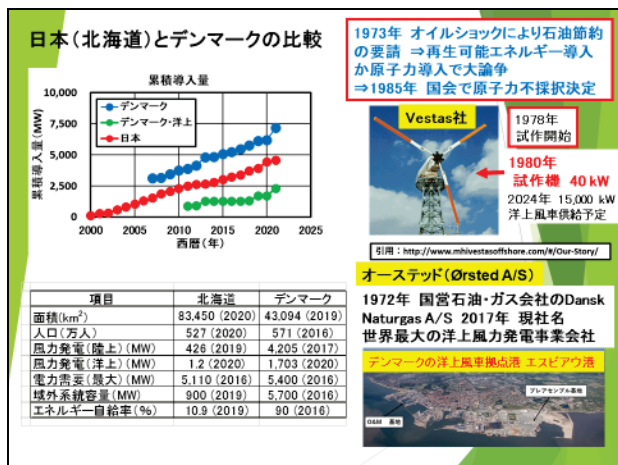


図-3.2.110

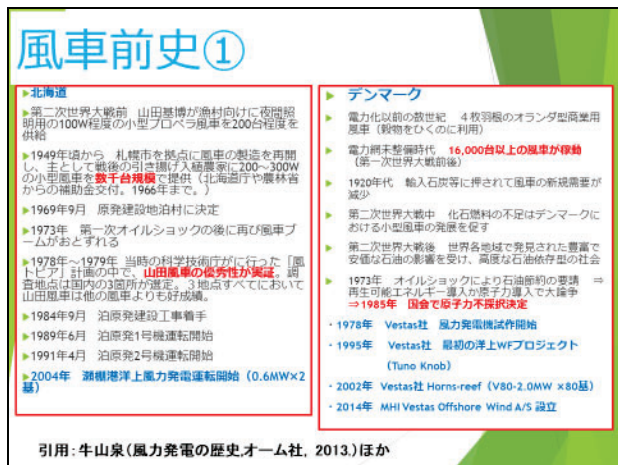


図-3.2.111

予定の会社に大きく成長しました。デンマークでは国家目標が再生可能エネルギーの導入に大きくシフトしたことで、その国のメーカーも成長していったということです。それからオーステッドという会社です。これは1972年に国営石油・ガス会社の Dansk Naturgas A/S で発足しました。A/S というのはデンマーク語で株式会社を意味する aktieselskap の略になります(図-3.2.111)。2017年にオーステッドという名前に変わりましたが、世界最大の洋上風力発電事業会社ということで大きく成長しています。

それからデンマークの洋上風力発電の拠点港としてエスピアウ港、ここでは大きな風車のプレアセンブル基地やO&M基地があって、非常に産業が栄えています。もともと漁業と造船業の街だったのですが、そういった産業が衰退していききましたが、一方こういった新しい産業で港や街が発展している状況です。

風車の前史ということで、古い資料になりますが、北海道には山田風車という有名な風車がありました。小さなプロペラ風車ですが、数千台規模で、北海道の特に電気の供給が乏しい遠隔地に風車を提供していました。この山田風車というのは非常に発電性能の良い風車でした。しかし、実際は大きく成長することはありませんでした。その間に何があったかと言うと、日本では新たな電気の供給源を原子力発電に頼っていったということになります。

一方デンマークでは、昔から4枚羽根の風車が穀物をひくのに利用されていました。風の力を使った風車が多数あり、電力網が未整備の時代には16000台以上の風車が稼働し、農家に対して電力を供給していました。一方、石炭等が輸入されるようになると一時的に風車は減少しました。第二次世界大戦中に小型風車が発展し、そしてオイルショックの後、原子力の不採択を決定し、Vestas社が風力発電の機械試作を開始し、現在では非常に大きな風力発電産業に繋がっているという状況です。



図-3.2.112

この図の左側、これが山田風車で、北海道の農村部にたくさん導入されていました。右側はVestas社で、1978年に事業に風力発電を加え、40kWの小型風車から研究開発をスタートさせました(図-3.2.112)。

日本の洋上風力発電のポテンシャルをみますと、北海道・東北・九州が、非常にポテンシャルが高い。一方、電

力をたくさん使う首都圏や関西圏はポテンシャルが小さい(図-3.2.113)。大消費地へ電気を送るためには送電線網が非常に不足しています。今考えられているのは、広域連系システムの形成で、北海道の豊富な電力を首都圏に海底直流送電線で送る構想です。これが再生可能エネルギーの利用、風力発電の導入、洋上風力発電の導入のために、必要な大きな鍵になるわけです(図-3.2.114)。

海底直流送電計画、現在の予定では200万kWの送電容量のものを2030年代半ばまでに実現することで検討が進められております。この送電容量については十分なのかということですが、200万kWでは北海道・東北の発電容量を十分にカバーできないと考えます。もう少し大きな送電容量が必要ではないかということ、これとは別に再生可能エネルギー由来の電力を用いて別の形でエネルギーとして利用することです。例えば水素なら保管できるし、エネルギーに変えて活用することもできるので、こういった形の利用も必要と考えます(図-3.2.115)。ただ、これについてはコスト的な問題もありますので、今後のコスト削減ということが必要になります。発電、あるいは長期的なエネルギー源として水素がある、こういったことが北海道や東北の洋上風力エネルギーを発展させる大きな道に繋がるのではないかと考えております。

このスライドは2015年10月頃から使っているのですが、現状では海外からエネルギーを輸入しています。石油・石炭・LNGを北海道でも非常に大量に入れていますが(図-3.2.116)。北海道のエネルギー自給率はかなり低いのが現状です。系統連系の問題、送電線、需給ギャップというもの解消して、風力エネルギーの変動性を解消するためには、再生可能エネルギー、特に洋上風力発電でできた電気、水素等に変化したもの、これらを首都圏へ送るシステムを作っていくことが必要です。海外からのエネルギー輸入に頼らない、新しい国産エネルギー源を創出すること

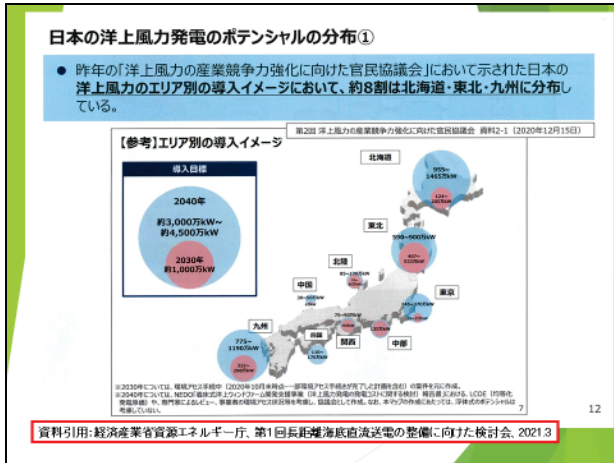


図-3.2.113

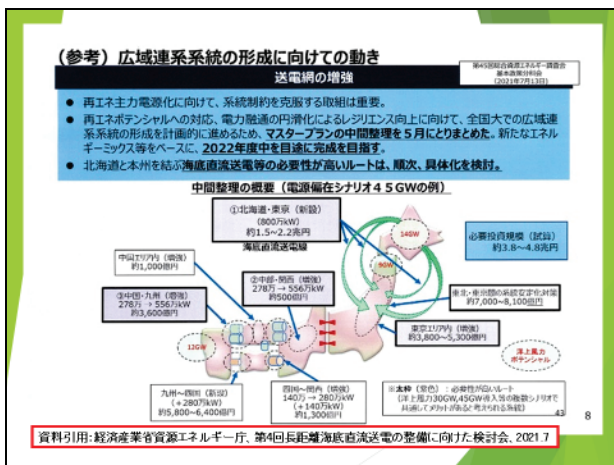


図-3.2.114



図-3.2.115

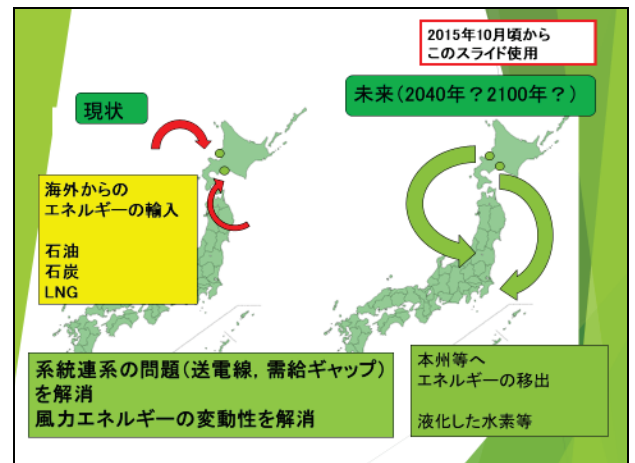


図-3.2.116

が重要かと思えます。

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-3.2.117)。

本日の説明は以上になります。どうぞ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。



図-3.2.117

3.3 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-3.3.1)。

今年の11月にエジプトでCOP27が開催されました(図-3.3.2)。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-3.3.3)。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



図-3.3.3

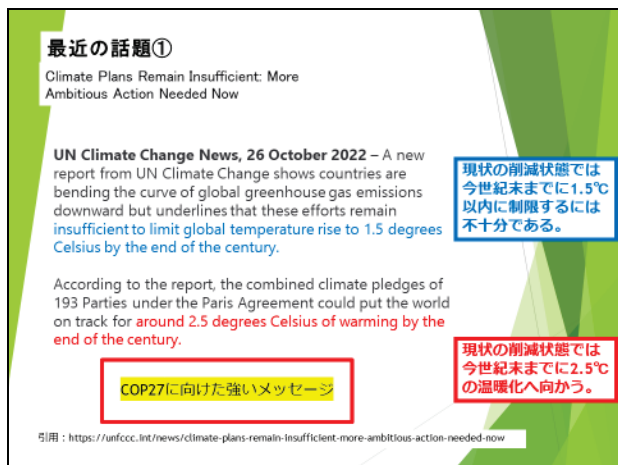


図-3.3.1

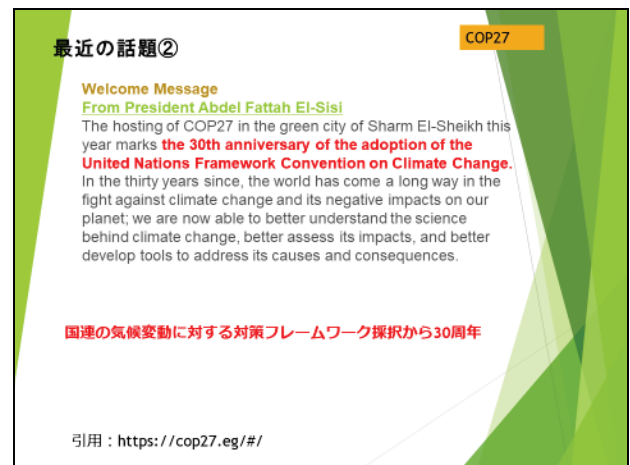


図-3.3.4



図-3.3.2

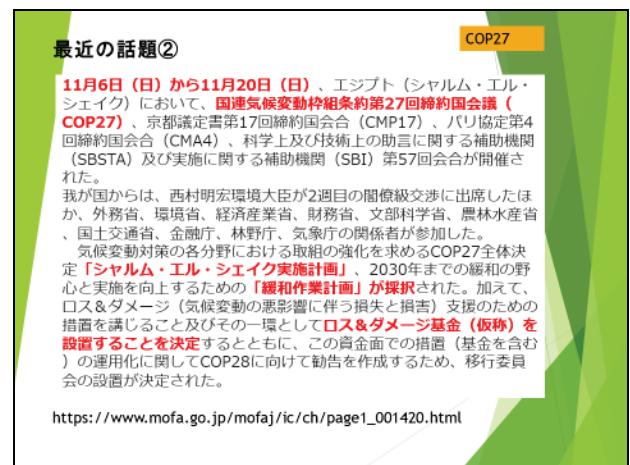


図-3.3.5

うメッセージが出されております(図-3.3.4)。この会議で
 どのような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-3.3.5)。

今日の話題は、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思
 います(図-3.3.6)。それからGX(グリーントランスフォー
 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
 -3.3.7)。

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

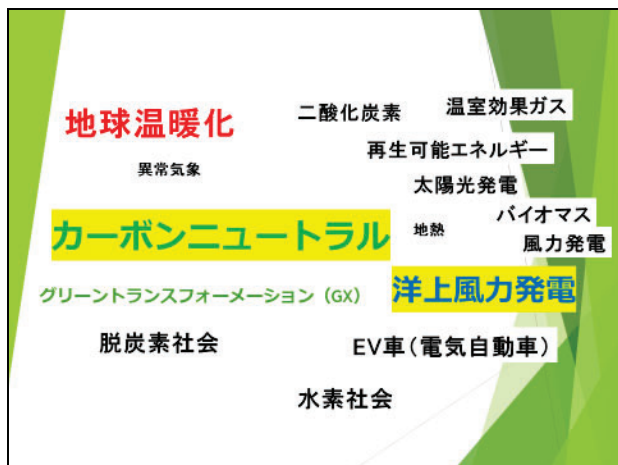


図-3.3.6

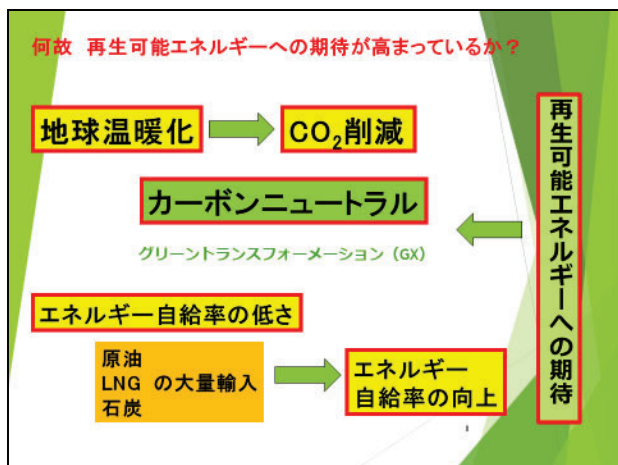


図-3.3.7

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
 っていかね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-3.3.8)。

まず日本における洋上風力発電開発の歴史でございま
 す。風車の構造についてお話しします。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
 -3.3.9)。

発電量の単位について、確認のため簡単にお話させてい
 たいと思います。1kWの出力の発電量が1時間発電

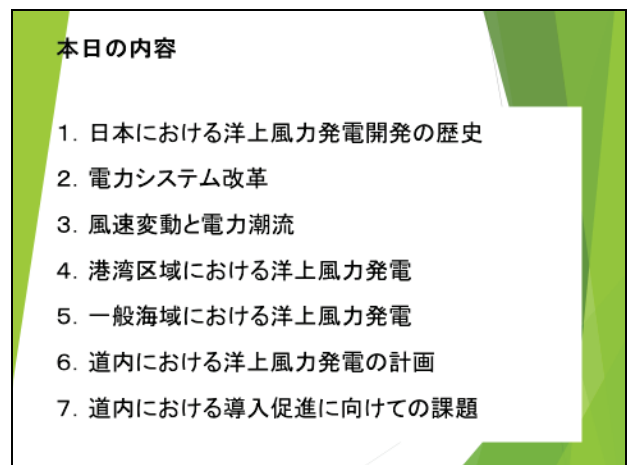


図-3.3.8

しますと、それが1kWhという発電電力量になります。1kWの1000倍が1MW、さらにその1000倍が1GWです。1GW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8~10MWの風車が建設されているという最近の状況です(図-3.3.10)。

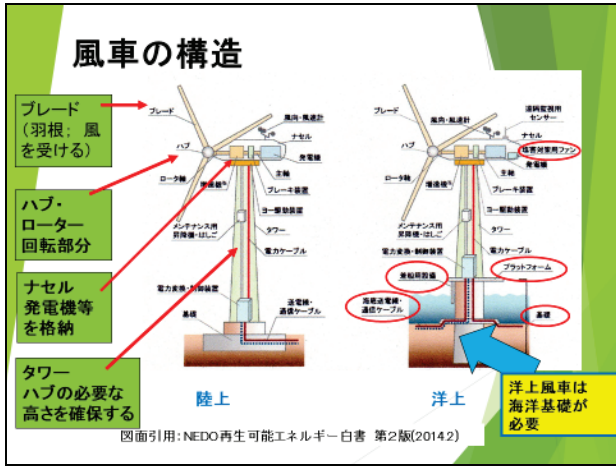


図-3.3.9

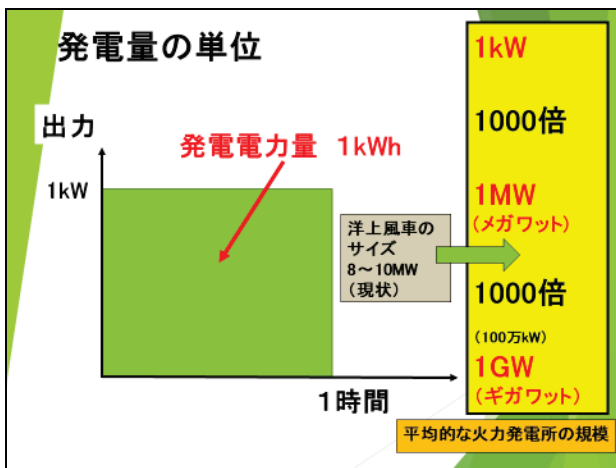


図-3.3.10

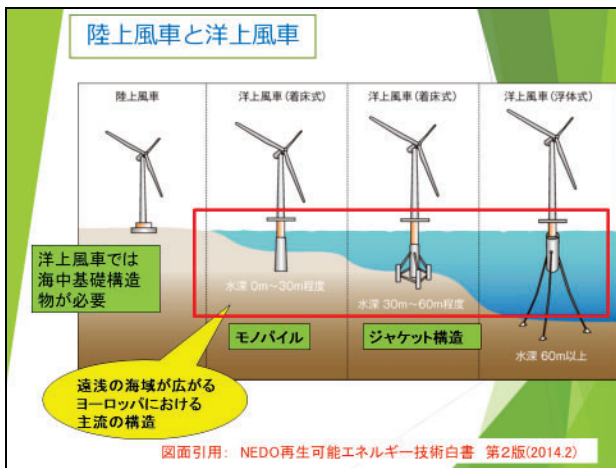


図-3.3.11

陸上風車と洋上風車の違いですが、陸上風車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-3.3.11)。

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が。ここは2,000kWの風車が8基建てられており、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-3.3.12)。

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

鹿島港	酒田港	瀬棚港
【場所】 鹿島港南浜地区 (茨城県神栖市) 【設置者】 ウィンド・パワー・いはらき 【規模】 2,000kW×7基 (5基が洋上、うち1基が防波堤区域域内) 【用途】 売電 【導入補助制度】 経済産業省「新エネルギー等事業者支援対策事業」 【運用開始】 平成22(2010)年6月 <small>※ 鹿島港の防波堤から50mほど離れた洋上に約2kmにわたり設置。現在は計29基(洋上16基に拡大)</small>	【場所】 酒田港北浜地区 (山形県酒田市) 【設置者】 サミットウインド / パワー酒田 【規模】 2,000kW×8基 (5基が洋上、うち3基が防波堤区域域内) 【用途】 売電 【導入補助制度】 経済産業省「新エネルギー等事業者支援対策事業」 【運用開始】 平成16(2004)年1月 <small>※ 1基は防波堤内側のための、港湾管理者(港)が港域内占用・海岸保全区域の占用許可を、その他の機は県の海岸管理者が海岸保全区域の占用許可。</small>	【場所】 瀬棚港湾内区域 (北海道せたな町) 【設置者】 瀬棚町 (現: せたな町) 【規模】 600kW×2基 【用途】 売電 【導入補助制度】 新エネルギー一般競争入札制度(NEED) (地域新エネルギー導入促進事業) 【運用開始】 平成16(2004)年4月 <small>※ 防波堤内側の洋上に設置。 ・風車の基礎を巡って海中柱や魚礁がロックを誘導するなど、漁業との共生に取り組む。 ・防波堤における防波堤の改良にも関係。 要件: 風車島(かきみどり)</small>

図-3.3.12

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-3.3.13)。

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、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-3.3.14)。

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-3.3.15)。

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-3.3.16)。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ィ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-3.3.17)。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



図-3.3.15



図-3.3.13



図-3.3.16



図-3.3.14



図-3.3.17

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-3.3.18)。

電力のことを話す流れの中で、この数年間で電力システム改革が大きく進みましたので、それについて振り返ってみたいと思います。2012年、経産省の中で「電力システム改革専門委員会」が設置されました。翌年、電力システム改革専門委員会の報告書が出ました。その中で、電力システム改革を三段階で行うことが提言されました(図-3.3.19)。第一段階は、電力広域的運営推進機関、英語で略すとOCCTOという組織を設置するという事です。第二段階は、電力の小売を自由化する目標が掲げられました。そして第三段階としては、送配電部門の中立化、自由化です。北海道の例では北電の一家独占体制だったものを送電部門と配電部門に法的分離していくことを目標とすることが、この中で謳われました(図-3.3.20)。

そして実際どのように進められたかと言うと、第一段階

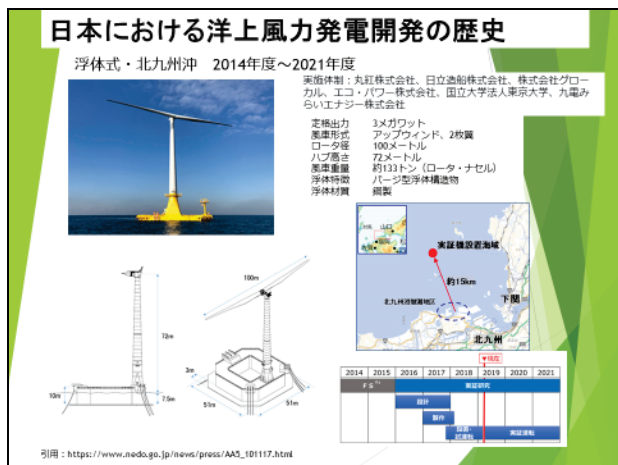


図-3.3.18

の広域系統運用機関については、2015年4月1日に、電力広域的運用推進機関(OCCTO)が設置されました。第二段階は、電気の小売業への参入自由化ということで、2016年になされました。第三段階は、法的分離による送配電部門中立性の一層の確保ということで、2020年に送電部門と配電部門の法的分離が実施されました。

つまり、従来は発電、送電、売電の三者一体のシステムによって消費者に電力を売る地域別的一家独占体制だったものが、電力システム改革後はいろいろな発電単位があって、それが分社化され、それぞれ新しい会社が参入しました(図-3.3.21)。ヨーロッパの場合は複数の送電会社があるわけですが、日本の場合、例えば北海道の中で複数の送電網を短期間でつくることは実際困難ですから、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

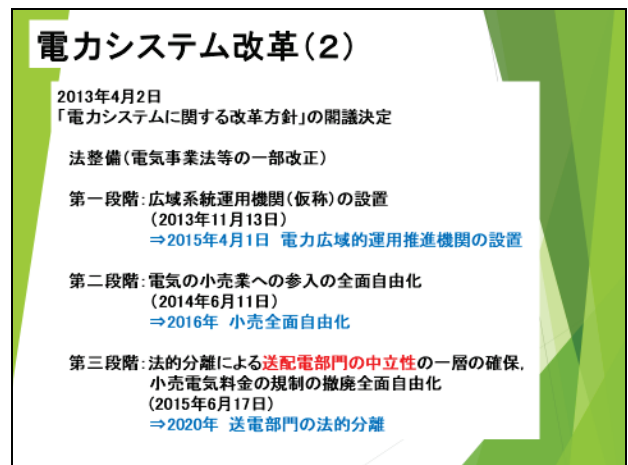


図-3.3.20

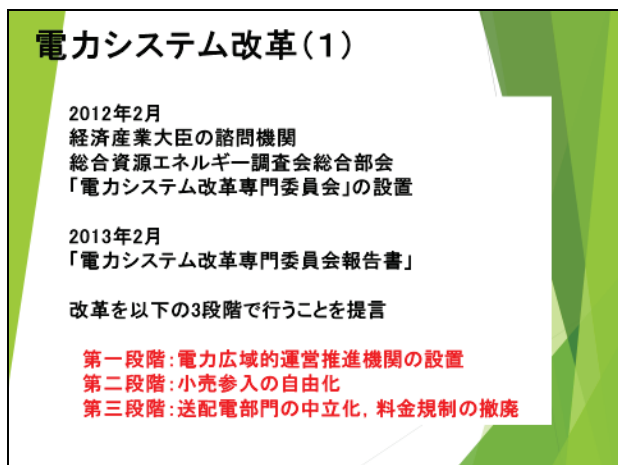


図-3.3.19

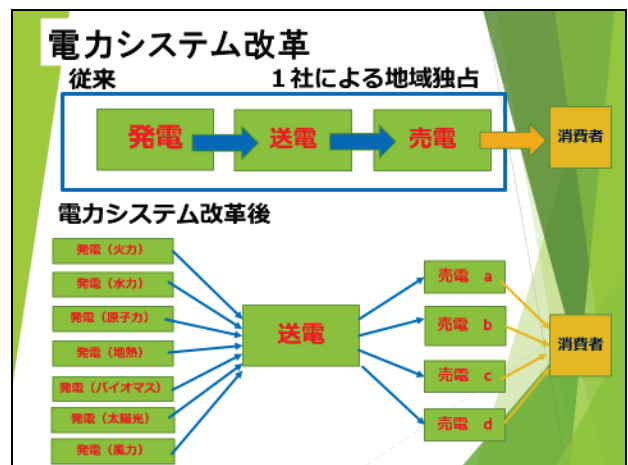


図-3.3.21

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-3.3.22)。

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-3.3.23)。

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-3.3.24)。これらと近隣のアメダスの風速

について、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。1,000kWの風車が57基で、57,000kWの設備容量の施設です(図-3.3.25)。それから苫前ウィンピラ発電所は総容量が30,600kW(図-3.3.26)、上ノ国ウインドファームが28,000kW(図-3.3.27)です。この3カ所の発電例とアメダ



図-3.3.22



図-3.3.24

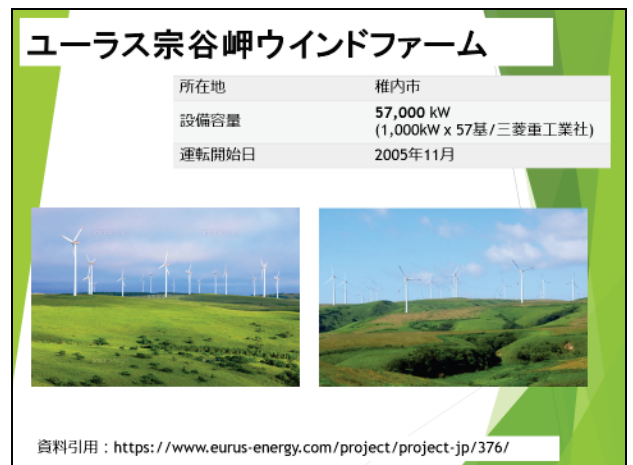


図-3.3.25

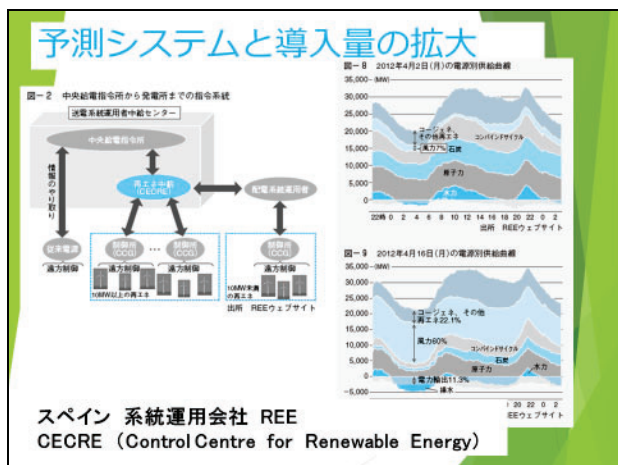


図-3.3.23



図-3.3.26

スの風速データの関係を見ていきたいと思います。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-3.3.28)。

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、東北と北海道間の電力潮流はほとんどない状態でした。東北から東京



図-3.3.27

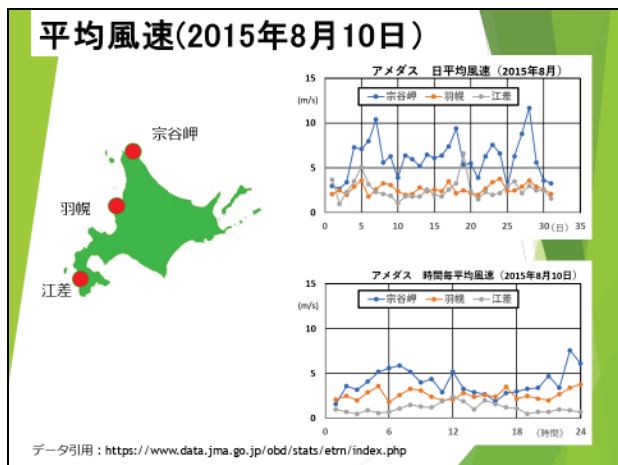


図-3.3.28

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-3.3.29)。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-3.3.30, 図-3.3.31)。2月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-3.3.32, 図-3.3.33, 図-3.3.34)。夏の例ですと、日中には、太陽光による発電が増えて、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

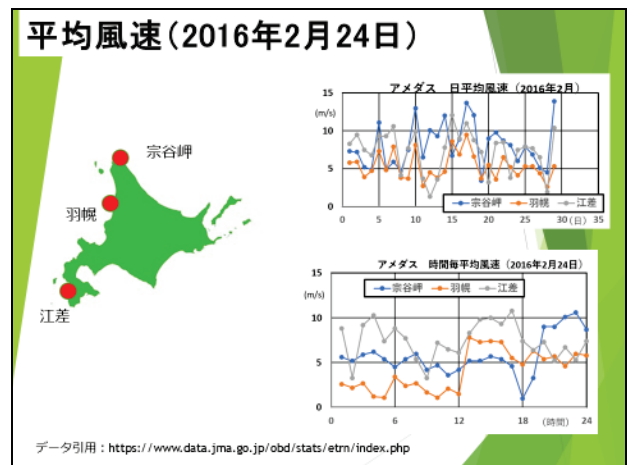


図-3.3.30

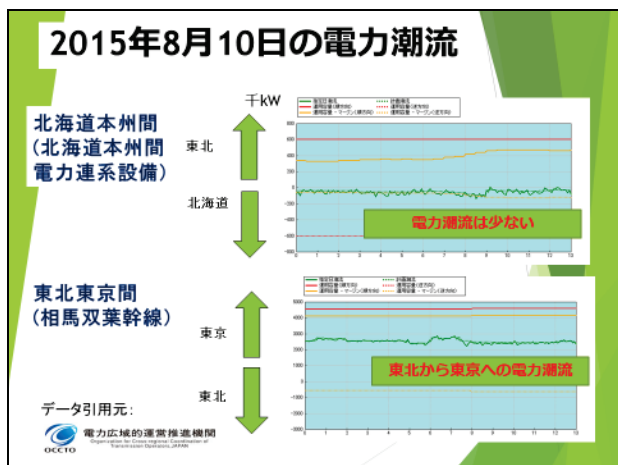


図-3.3.29

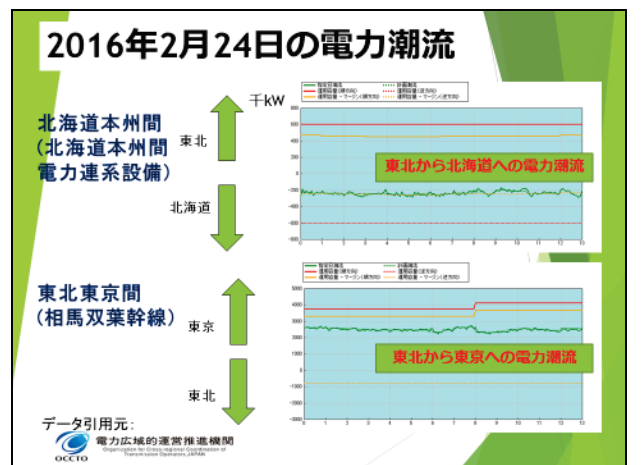


図-3.3.31

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-3.3.35、図

-3.3.36、図-3.3.37)。

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

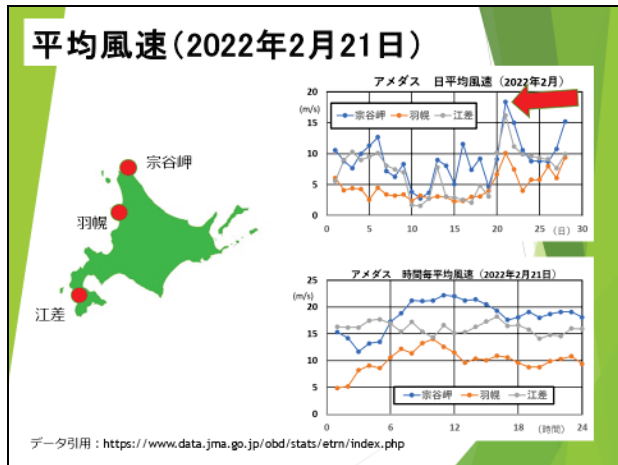


図-3.3.32

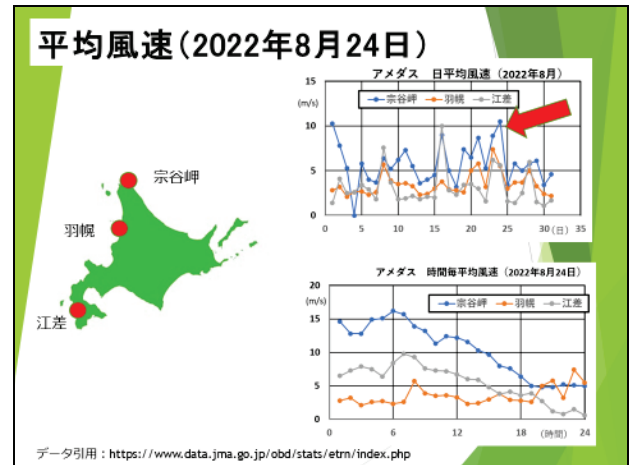


図-3.3.35

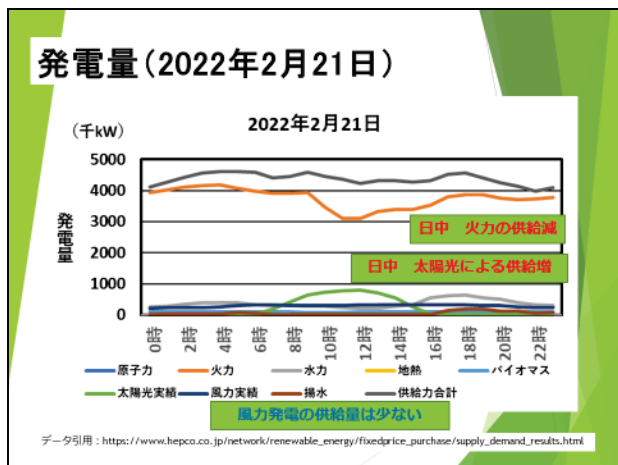


図-3.3.33

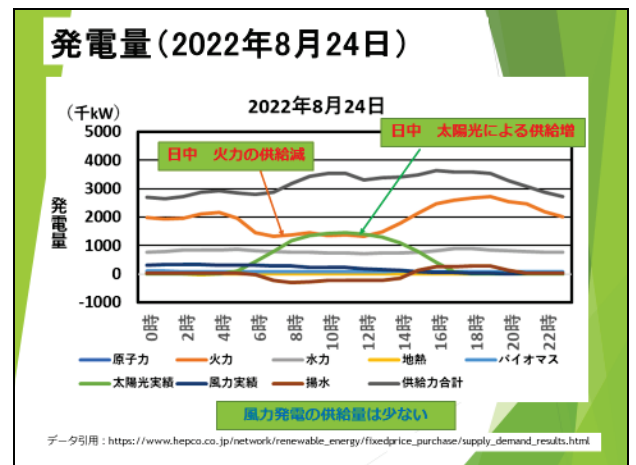


図-3.3.36

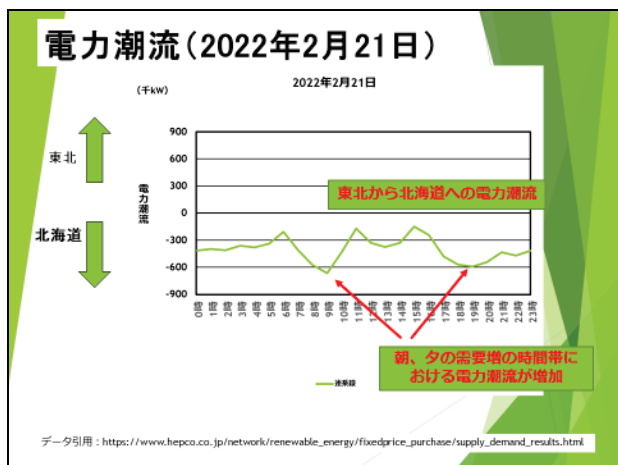


図-3.3.34

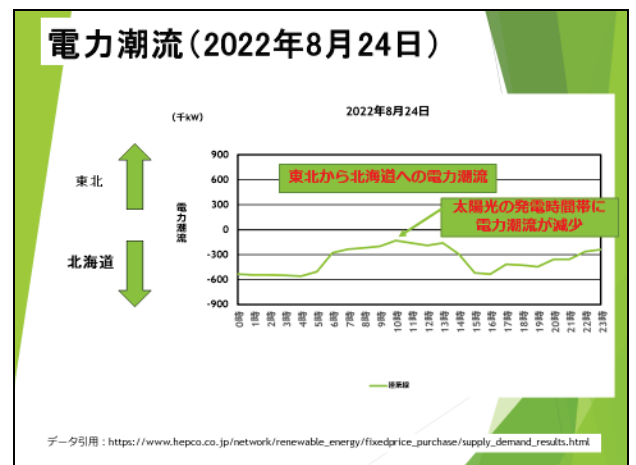


図-3.3.37

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-3.3.44)。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-3.3.45)。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-3.3.46)。それからナセル・ブレードを搬入している写真です(図-3.3.47)。そして風車の羽根、



図-3.3.42

秋田港・能代港搬入資材一覧

搬入日	搬出港	内訳
2021年1月12日(火)	オランダ・ロッテルダム港	モノパイル9本
2021年2月22日(月)	オランダ・ロッテルダム港	モノパイル14本
2021年3月5日(金)	オランダ・ロッテルダム港	モノパイル3本、トランジションピース11本
2021年3月16日(火)	オランダ・ロッテルダム港	モノパイル4本、トランジションピース11本
2021年4月2日(金)	オランダ・ロッテルダム港	モノパイル3本、トランジションピース11本
2021年12月12日(日)	中国・太倉港	タワー11本
2021年12月24日(金)	デンマーク・エスピアウ港	ナセル17基、ブレード30本
2022年1月16日(日)	中国・太倉港	タワー11本
2022年1月23日(日)	デンマーク・エスピアウ港	ナセル16基、ブレード49本
2022年2月8日(火)	デンマーク・エスピアウ港	ブレード21本
2022年2月10日(木)	中国・太倉港	タワー11本

資料引用：<https://aow.co.jp/jp/>

図-3.3.45



図-3.3.43



図-3.3.46

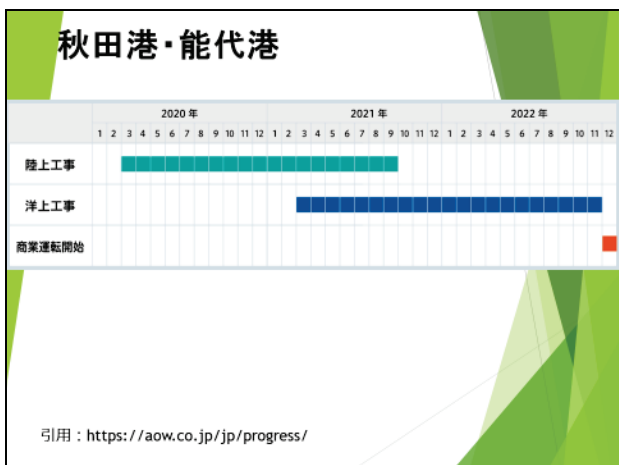


図-3.3.44



図-3.3.47

ブレードを搬入している写真になります(図-3.3.48)。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-3.3.49)。実際に、港湾区域の中にモノパイル方式の洋上風車が建設されました(図-3.3.50)。

次に、石狩湾新港です(図-3.3.51)。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500ha、港湾計画内に位置づけられました(図-3.3.52)。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4MWの風車26基を建設予定でした。ところが、4MW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4MWサイズの風車自体が供給できないということで、こ



図-3.3.48



図-3.3.51



図-3.3.49

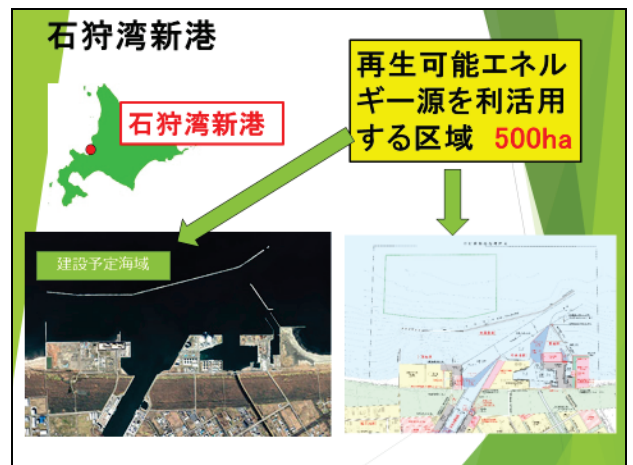


図-3.3.52



図-3.3.50



図-3.3.53

の 4MW が 8MW に計画変更されています(図-3.3.53)。4MW 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-3.3.54)。選定された事業者は、グリーンパワー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(図-3.3.55)。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-3.3.56)。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



図-3.3.54

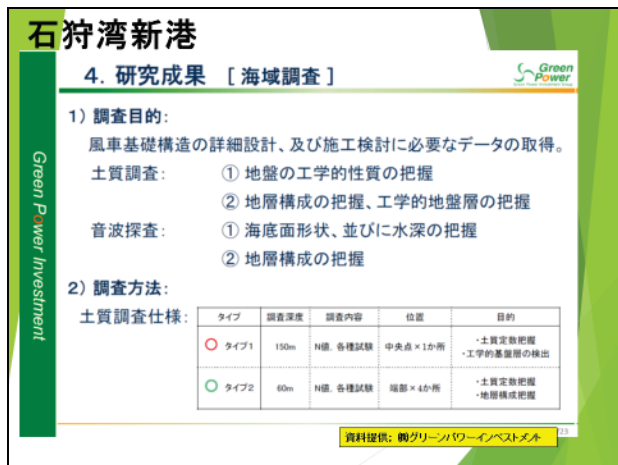


図-3.3.55

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4MW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、8MW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-3.3.57)。

これが8MW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8MW風車14基が来年の夏施工されます(図-3.3.58)。発電電力を電力システム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-3.3.59)。

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-3.3.60)。石狩湾沖合の海域の地盤条件を考えますと、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



図-3.3.56

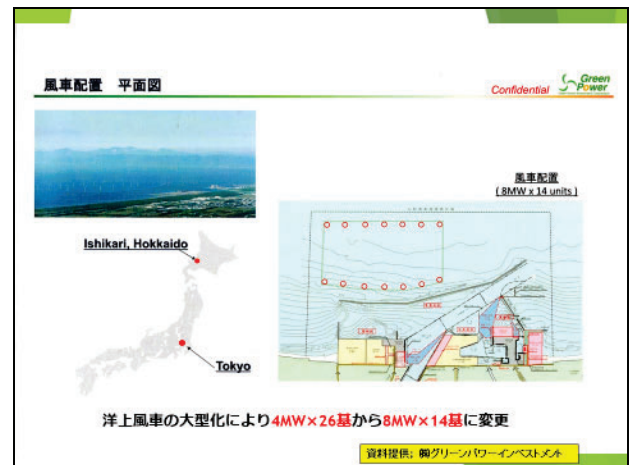


図-3.3.57

って、海底面の状況等を調べている写真です(図-3.3.61)。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-3.3.62)。

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-3.3.63)。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-3.3.64)。



図-3.3.58



図-3.3.61



図-3.3.59



図-3.3.62

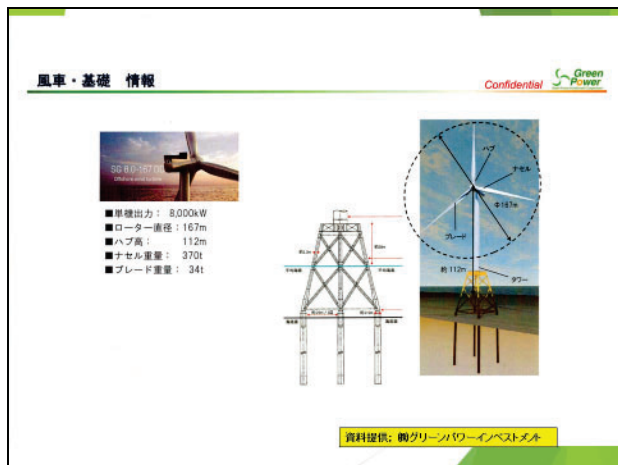


図-3.3.60



図-3.3.63

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おります。

次に北九州港です(図-3.3.65)。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-3.3.66)。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

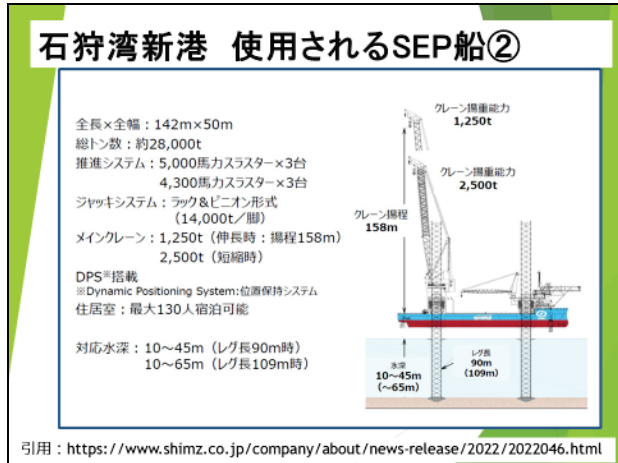


図-3.3.64



図-3.3.65



図-3.3.66

海域を合わせると 2,687ha です(図-3.3.67)。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「ひびきウインドエナジー」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-3.3.68)。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-3.3.69)。進行状況が予定通りなのかどうかは確認していませんが、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タートしていくことになっています(図-3.3.70)。

次に鹿島港です(図-3.3.71)。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-3.3.72)。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



図-3.3.67

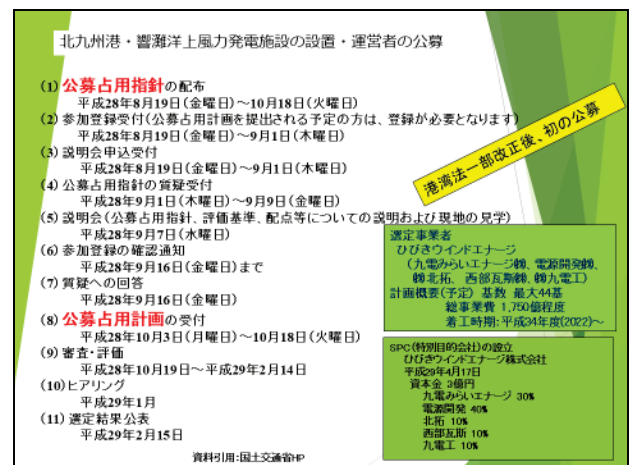


図-3.3.68

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-3.3.73)。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-3.3.74)。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



図-3.3.69



図-3.3.72

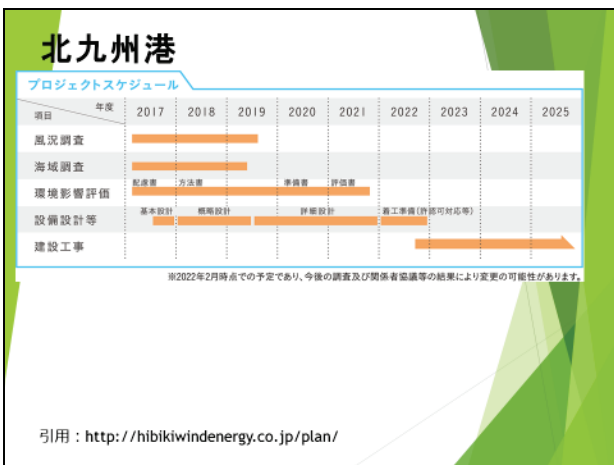


図-3.3.70

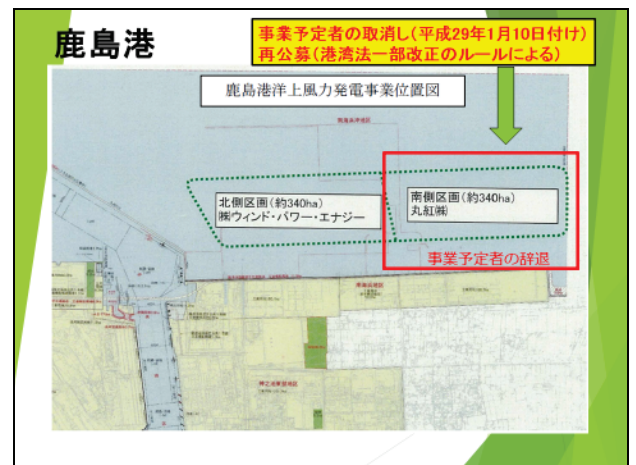


図-3.3.73



図-3.3.71



図-3.3.74

る状況のようです(図-3.3.75)。

むつ小川原港です(図-3.3.76)。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-3.3.77)。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-3.3.78、図-3.3.79)。

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-3.3.80)。

現在進められている一般海域の促進区域を示します。北

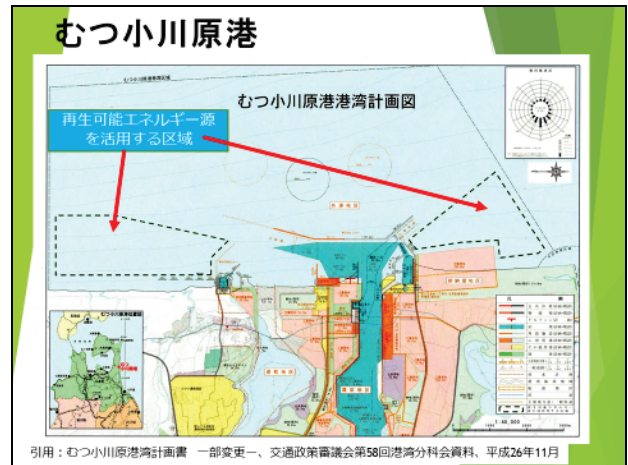


図-3.3.77



図-3.3.75



図-3.3.78

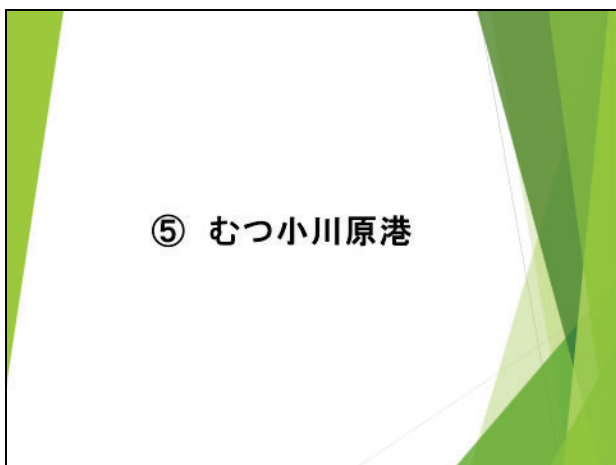


図-3.3.76

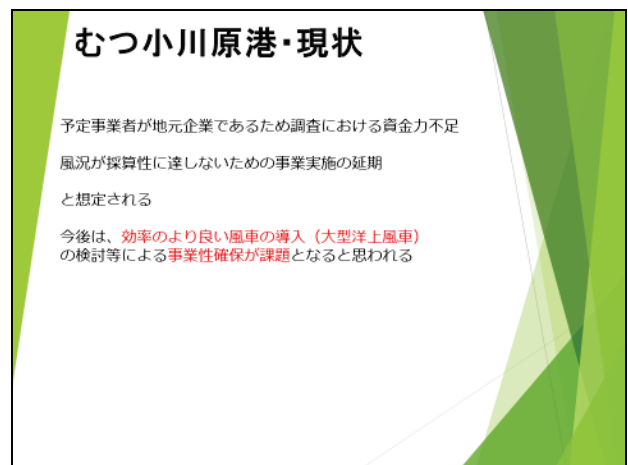


図-3.3.79

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。この海域の場合ちょうど1年前に事業者が決まったところです(図-3.3.86)。具体的には、事業者はコンソーシアム型をとり、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

事業者の公募と選定(長崎県五島市沖)
促進区域の指定 2019年12月27日
 公募占用指針と公募占用計画の受付の告知(2021年6月24日)
 経済産業省と国土交通省による同時発表

受付の開始: 2020年6月24日(水曜日)
 受付締め切り: 2020年12月24日(木曜日) 17時00分

促進区域の指定から公募まで約6か月

公募期間 約6か月

引用: https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saikyo/yojo_furyoku/dl/sentel/nagasaki_goto_koubo.pdf

審査期間 約6か月

選定結果の告知(2021年6月11日) 経済産業省と国土交通省による同時発表

1. 選定事業者(コンソーシアム)
 (仮)ごとう市沖洋上風力発電合同会社
 構成員
 戸田建設株式会社、ENEOS株式会社、大飯瓦斯株式会社、関西電力株式会社、株式会社INPEX、中部電力株式会社
 事業計画概要
 発電設備: 浮体式洋上風力発電
 発電設備出力: 1.68万kW (0.21万kW×8基)

引用: <https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210611004/20210611004.html>

図-3.3.85

秋田県能代市・三種町及び男鹿市沖

第1回協議会 2019年10月8日(火)
 第2回協議会 2019年12月26日(木)
 第3回協議会 2020年3月30日(月)
 促進区域の指定 2020年7月21日(火)
 事業者公募 2020年11月27日(金)
 ~2021年5月27日(木)
 事業者選定公表 2021年12月24日(金)

図-3.3.86

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ては、促進区域の指定から公募まで4か月、公募が6か月、事業者の選定が7か月という期間をかけて事業予定者が決まりました(図-3.3.87)。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-3.3.88)。これが、この公募海域になります(図-3.3.89)。

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-3.3.90)。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。ここも事業開始時期が

(1) 秋田県能代市・三種町及び男鹿市沖の評価結果

事業者名	評価点合計 (20点満点)	価格点 (20点満点)	事業実現性に関する得点 (100点満点)
選定事業者 秋田能代・三種・男鹿オフショアウィンド	208	120 (13.26円/kWh)	88
公募参加事業者 1	160.52	87.52	73
公募参加事業者 2	157.77	93.77	64
公募参加事業者 3	149.35	71.35	78
公募参加事業者 4	127.04	59.04	68

価格点で大差

引用: https://www.mlit.go.jp/report/press/port06_hh_000242.html

図-3.3.88

事業者の公募と選定(秋田県能代市・三種町及び男鹿市沖)
促進区域の指定 2020年7月21日
 公募占用指針と公募占用計画の受付の告知(2020年11月27日)
 経済産業省と国土交通省による同時発表

受付の開始: 2020年11月27日(水曜日)
 受付締め切り: 2021年5月27日(木曜日) 17時00分

促進区域の指定から公募まで約4か月

公募期間 約6か月

引用: https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saikyo/yojo_furyoku/dl/sentel/nagasaki_goto_koubo.pdf

審査期間 約7か月

選定結果の告知(2021年12月24日) 経済産業省と国土交通省による同時発表

① 事業者名(コンソーシアム): 秋田能代・三種・男鹿オフショアウィンド
 同時発表: 経済産業省
 ② 構成員: 三菱商事エナジーソリューションズ株式会社、三菱商事株式会社、株式会社シーテック
 ③ 事業計画概要
 発電設備: 着床式洋上風力発電
 発電設備出力: 47.88万kW (1.26万kW×38基、GE製)
 運転開始予定時期: 2028年12月 ← 事業開始時期の先送り

https://www.mlit.go.jp/report/press/port06_hh_000242.html

図-3.3.87

秋田県能代市・三種町及び男鹿市沖

【秋田県能代市、三種町及び男鹿市沖に係る海洋利用可能区域(オムダ)第一種発電事業適用地域】

海洋利用可能区域番号	経度	緯度
(1)	140° 10' 30" E	39° 50' 00" N
(2)	140° 10' 30" E	39° 50' 00" N
(3)	140° 10' 30" E	39° 50' 00" N
(4)	140° 10' 30" E	39° 50' 00" N
(5)	140° 10' 30" E	39° 50' 00" N
(6)	140° 10' 30" E	39° 50' 00" N
(7)	140° 10' 30" E	39° 50' 00" N
(8)	140° 10' 30" E	39° 50' 00" N
(9)	140° 10' 30" E	39° 50' 00" N
(10)	140° 10' 30" E	39° 50' 00" N
(11)	140° 10' 30" E	39° 50' 00" N
(12)	140° 10' 30" E	39° 50' 00" N
(13)	140° 10' 30" E	39° 50' 00" N
(14)	140° 10' 30" E	39° 50' 00" N
(15)	140° 10' 30" E	39° 50' 00" N
(16)	140° 10' 30" E	39° 50' 00" N
(17)	140° 10' 30" E	39° 50' 00" N
(18)	140° 10' 30" E	39° 50' 00" N
(19)	140° 10' 30" E	39° 50' 00" N
(20)	140° 10' 30" E	39° 50' 00" N

図-3.3.89

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-3.3.91)。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-3.3.92)。実際の海域を

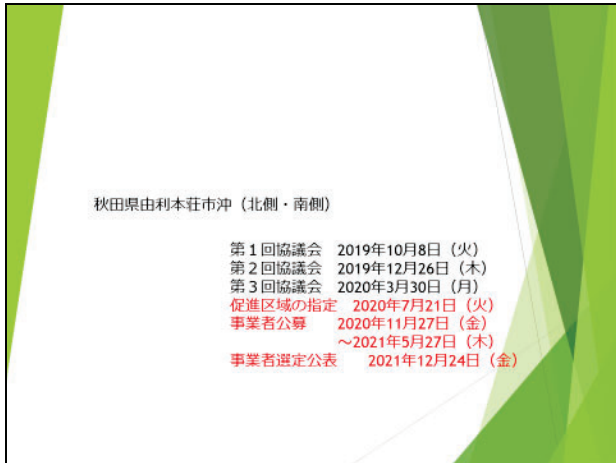


図-3.3.90

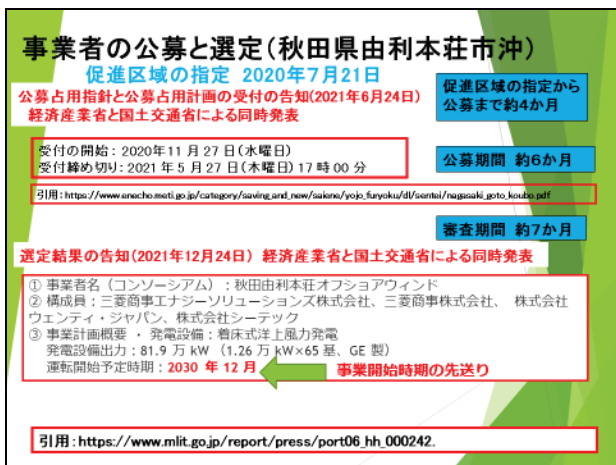


図-3.3.91

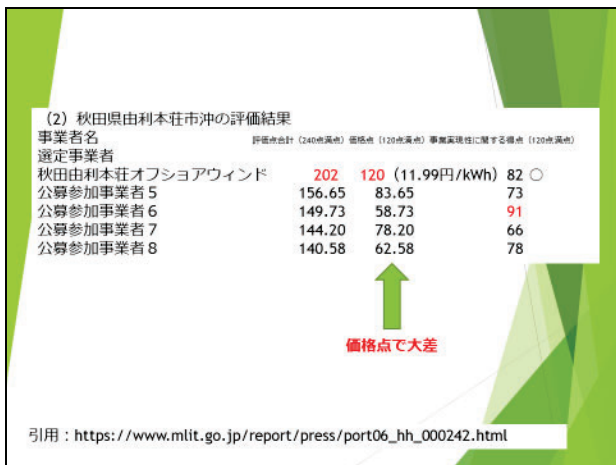


図-3.3.92

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-3.3.93)。

次は千葉県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-3.3.94)。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-3.3.95)。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ィンドに決まりました。構成としては三菱商事系の会社を中心とする組織体が選定された形になります(図-3.3.96)。この図に示す海域が指定されています(図-3.3.97)。

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-3.3.98)。海域としては、秋田県の北側海域になります(図-3.3.99)。

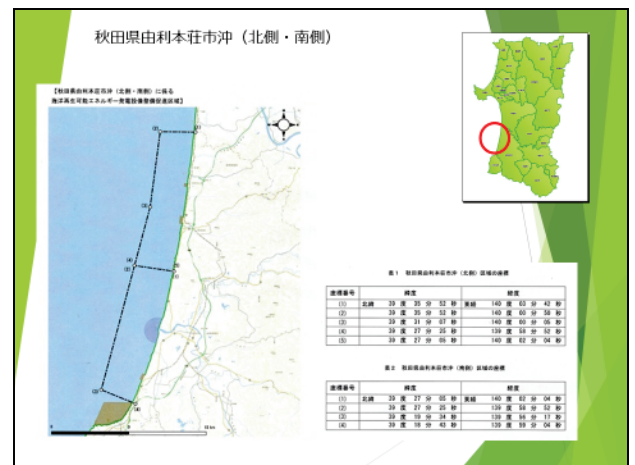


図-3.3.93

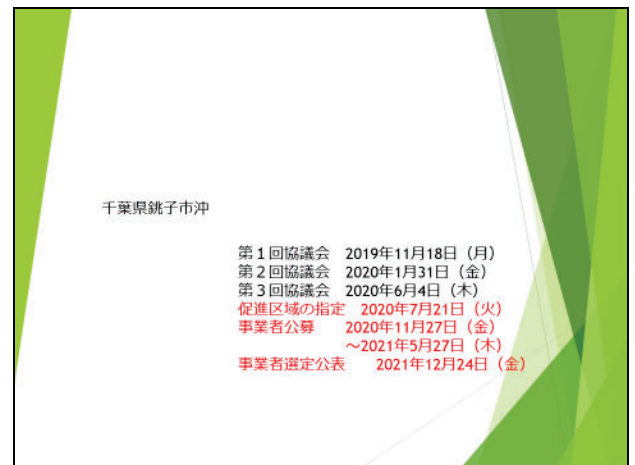


図-3.3.94

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おり、協議会の進行状況をまとめています(図-3.3.100)。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-3.3.101)。

事業者の公募と選定(千葉県銚子市沖)

促進区域の指定 2020年7月21日
公募占用指針と公募占用計画の受付の告知(2020年11月27日)
経済産業省と国土交通省による同時発表

促進区域の指定から公募まで約4か月

受付の開始: 2020年11月27日(水曜日)
 受付締め切り: 2021年5月27日(木曜日) 17時00分

公募期間 約6か月

引用: https://www.eneco.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiken/yojo_furyoku/dl/centel/nagasaki_goto_koubo.pdf

審査期間 約7か月

選定結果の告知(2021年12月24日) 経済産業省と国土交通省による同時発表

① 事業者名(コンソーシアム): 千葉銚子オフショアウィンド
 ② 構成員: 三菱商事エナジーソリューションズ株式会社、三菱商事株式会社、株式会社シーテック
 ③ 事業計画概要:
 発電設備: 着床式洋上風力発電
 発電設備出力: 39.06万kW(1.26万kW×31基、GE製)
 運転開始予定時期: 2028年9月 ← 事業開始時期の先送り

引用: https://www.mlit.go.jp/report/press/port06_hh_000242

図-3.3.95

秋田県八峰町及び能代市沖

第1回協議会 2020年11月17日(火)
 第2回協議会 2021年1月29日(金)
 第3回協議会 2021年6月29日(火)
促進区域の指定 2021年9月13日(月)
 第1回実務者会議 2021年9月17日(金)
 第2回実務者会議 2021年10月29日(金)
事業者公募 2021年12月10日(金)
 ~2022年6月10日(金)
 第4回協議会 2022年6月24日(金)
事業者選定公表 2022年12月頃

図-3.3.98

(3) 千葉県銚子市沖の評価結果

事業者名 評価点合計(240点満点) 価格点(120点満点) 事業実施性に関する観点(120点満点)

選定事業者 千葉銚子オフショアウィンド 211 120 (16.49円/kWh) 91

公募参加事業者9 185.6 87.60 98

↑
価格点で大差

引用: https://www.mlit.go.jp/report/press/port06_hh_000242.html

図-3.3.96

秋田県八峰町及び能代市沖

【秋田県八峰町及び能代市沖に係る海洋再生可能エネルギー開発調整整備推進区域】

経緯番号	緯度	経度
(1)	北緯 40 度 17 分 50 秒	東経 140 度 01 分 22 秒
(2)	40 度 17 分 51 秒	140 度 00 分 22 秒
(3)	40 度 18 分 25 秒	139 度 59 分 07 秒
(4)	40 度 18 分 59 秒	139 度 58 分 39 秒
(5)	40 度 19 分 51 秒	139 度 58 分 09 秒
(6)	40 度 12 分 12 秒	139 度 56 分 53 秒
(7)	40 度 11 分 44 秒	139 度 58 分 55 秒

図-3.3.99

千葉県銚子市沖

【千葉県銚子市沖に係る海洋再生可能エネルギー開発調整整備推進区域】

経緯番号	緯度	経度
(1)	北緯 35 度 42 分 39 秒	東経 140 度 50 分 19 秒
(2)	35 度 41 分 13 秒	140 度 46 分 13 秒
(3)	35 度 39 分 41 秒	140 度 47 分 36 秒
(4)	35 度 39 分 20 秒	140 度 46 分 26 秒
(5)	35 度 38 分 43 秒	140 度 47 分 43 秒
(6)	35 度 38 分 11 秒	140 度 50 分 19 秒

図-3.3.97

現在進められている洋上風力発電(一般海域・有望な区域)

青森県沖日本海(南側) 第1回:2020年12月25日 第2回:2021年12月22日

青森県沖日本海(北側)

秋田県西市・雄上市・能代市沖 第1回:2022年1月25日 (第1回実務者会議) 2022年4月26日 第2回:2022年5月5日 (第2回実務者会議) 2022年6月6日 第3回:2022年6月24日 第4回:2022年8月2日

山形県酒田沖 第1回:2022年1月24日 第2回:2022年8月2日

新潟県村上市・野村市沖 第1回:2022年1月19日 第2回:2022年3月24日 第3回:2022年6月20日

千葉県いすみ市沖 第1回:2022年2月1日

長崎県西海市江島沖 第1回:2021年4月20日 第2回:2021年8月30日 第3回:2022年5月19日

協議会の開催は2~3回程度

有望な区域に指定されると地元で協議会が開催される。協議会メンバー(経済産業省、国土交通省、農林水産省等)自治体(都道府県、地元市町村)海域先行利用者(漁協、海運)学識経験者

協議がまとまると促進区域の指定へ

図-3.3.100

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-3.3.102)。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、具体的にどういう海域で環境影響評価を行っているかを示しています。こ



図-3.3.101



図-3.3.102

のような形で環境影響評価が併せて進められます(図-3.3.103)。実際の環境影響評価では、ここで示す項目について、検討を行う形になります(図-3.3.104)。

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-3.3.105)。

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で理解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件数で調べてみます。こ

環境影響評価の事例

「(仮称)島牧村沖洋上風力発電事業に係る計画段階環境配慮書」の公表・縦覧について
2022.03.16

北海道洋上風力開発合同会社は、「(仮称)島牧村沖洋上風力発電事業に係る計画段階環境配慮書」(以下「配慮書」)及び配慮書を要約した書類(以下「要約書」)について、環境影響評価法に基づき以下のとおり公表いたします。
インターネットによる公表

配慮書
表紙・目次
第1章 第一種事業を実施しようとする者の名称、代表者の氏名及び主たる事務所の所在地
第2章 第一種事業の目的及び内容
第3章 事業実施想定区域及びその周囲の概況(自然的状況)
第4章 事業実施想定区域及びその周囲の概況(社会的状況)
第5章 第一種事業に係る計画段階環境配慮事項に関する調査、予測及び評価の結果
第6章 計画段階環境配慮書を委託した事業者の名称、代表者の氏名及び主たる事務所の所在地
資料編
要約書

配慮書及び要約書は、令和4年3月16日(水)から令和4年4月15日(金)まで閲覧できます。
なお、印刷及びダウンロードは出来かねますので、ご了承ください。


資料引用:  北海道洋上風力開発合同会社
HOKKAIDO OFFSHORE WIND DEVELOPMENT GK

図-3.3.104

環境影響評価の事例

- 2022.03.16 環境影響評価
「(仮称)島牧村沖洋上風力発電事業に係る計画段階環境配慮書」の公表・縦覧について
- 2020.07.06 環境影響評価
「(仮称)石狩湾洋上風力発電事業に係る計画段階環境配慮書」縦覧のお知らせ


資料引用:  北海道洋上風力開発合同会社
HOKKAIDO OFFSHORE WIND DEVELOPMENT GK

図-3.3.103

島牧村沖 洋上風力発電の概要

事業の概要
北海道島牧郡島牧村沖の海域において、最大で出力585,000kWの風力発電所を設置する事業。

- 事業者 北海道洋上風力開発合同会社
- 事業位置 北海道島牧郡島牧村沖の海域(事業実施想定区域面積約 16,815ha)
- 出力 最大 585,000kW(単機出力9,500~15,000kW×最大56基(9,500kWの場合))

資料引用: <https://www.env.go.jp/press/111087.html>

図-3.3.105

れは風力発電の記事件数を示しています。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」の記事件数ですが、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-3.3.106)。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件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-3.3.107)。

実際に長周期の出力変動の対策としては、例えば出力緩

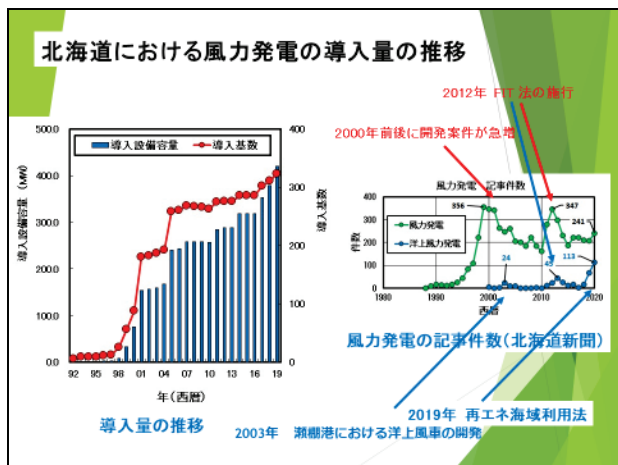


図-3.3.106

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-3.3.108)。

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2,000kW(2MW)の陸上風車でした。その後風車規模がやや大きくなって3MW、さらに新しい計画では4MWや5MW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-3.3.109)。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の脆弱性の問題がありますから、送電線を整備しなければいけない。そして、本州と

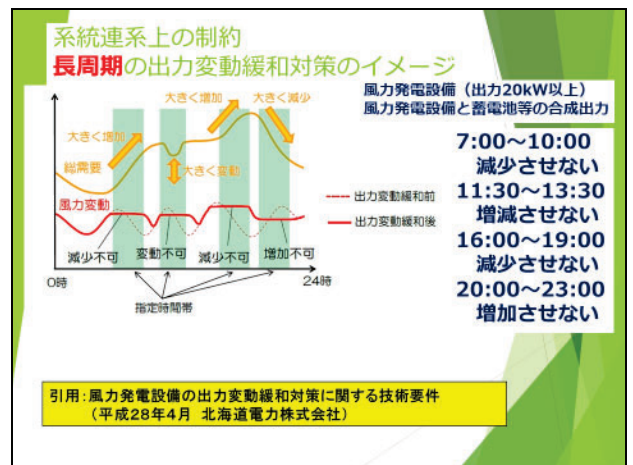


図-3.3.108

電力系統連系上の制約
指定電気事業者制度

発電種別	区分/発電容量(kW)	2019年(平成31年)以前	2020年(令和2年)～2021年(令和3年)	2022年(令和4年)～
太陽光	発電出力500kW以上 ¹⁾	出力制限なし	出力制限あり	出力制限あり
	発電出力100kW以上500kW未満	出力制限あり	出力制限あり	出力制限あり
	発電出力100kW未満	出力制限あり	出力制限あり	出力制限あり
風力	発電出力500kW以上 ²⁾	出力制限あり	出力制限あり	出力制限あり
	発電出力100kW以上500kW未満 ²⁾	出力制限あり	出力制限あり	出力制限あり
	発電出力100kW未満	出力制限あり	出力制限あり	出力制限あり
バイオマス	①地域資源バイオマス発電 ³⁾	出力制限あり	出力制限あり	出力制限あり
	②バイオマス発電 ³⁾	出力制限あり	出力制限あり	出力制限あり
	③バイオマス発電 ³⁾	出力制限あり	出力制限あり	出力制限あり

注1. 出力が100kW以上の発電のうち、風量変動量の総額が100kWを超える発電所については、出力変動緩和措置を講じた上で出力制限を設ける必要がある。注2. 風量変動量の総額が100kWを超える発電所については、出力変動緩和措置を講じた上で出力制限を設ける必要がある。注3. ①バイオマス発電、②バイオマス発電、③バイオマス発電、④バイオマス発電、⑤バイオマス発電、⑥バイオマス発電、⑦バイオマス発電、⑧バイオマス発電、⑨バイオマス発電、⑩バイオマス発電、⑪バイオマス発電、⑫バイオマス発電、⑬バイオマス発電、⑭バイオマス発電、⑮バイオマス発電、⑯バイオマス発電、⑰バイオマス発電、⑱バイオマス発電、⑲バイオマス発電、⑳バイオマス発電、㉑バイオマス発電、㉒バイオマス発電、㉓バイオマス発電、㉔バイオマス発電、㉕バイオマス発電、㉖バイオマス発電、㉗バイオマス発電、㉘バイオマス発電、㉙バイオマス発電、㉚バイオマス発電、㉛バイオマス発電、㉜バイオマス発電、㉝バイオマス発電、㉞バイオマス発電、㉟バイオマス発電、㊱バイオマス発電、㊲バイオマス発電、㊳バイオマス発電、㊴バイオマス発電、㊵バイオマス発電、㊶バイオマス発電、㊷バイオマス発電、㊸バイオマス発電、㊹バイオマス発電、㊺バイオマス発電、㊻バイオマス発電、㊼バイオマス発電、㊽バイオマス発電、㊾バイオマス発電、㊿バイオマス発電

図-3.3.107

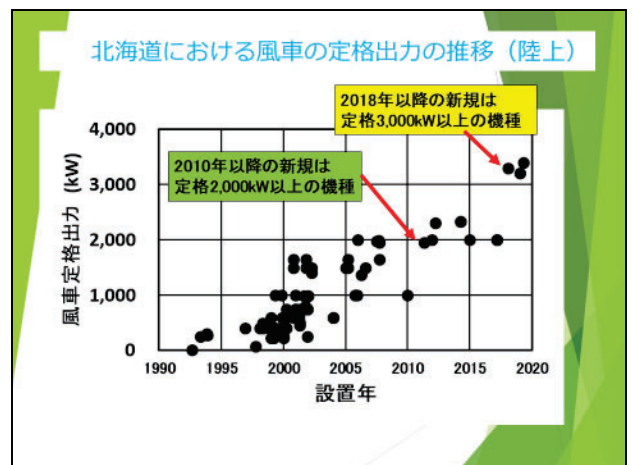


図-3.3.109

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-3.3.110)。

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(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-3.3.111)。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

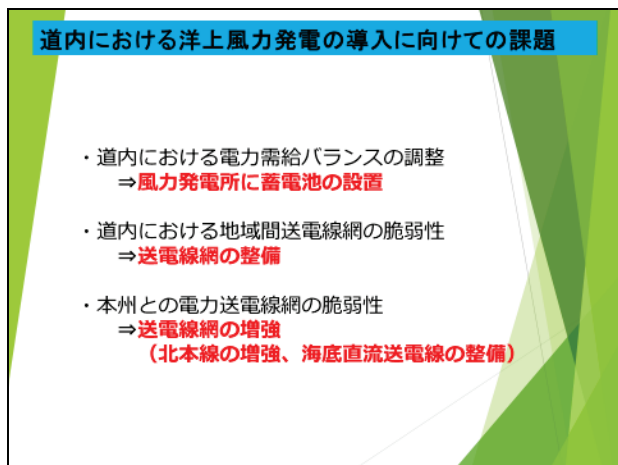


図-3.3.110

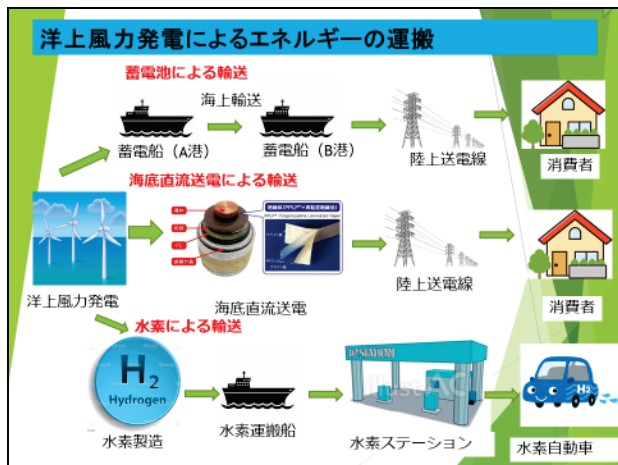


図-3.3.111

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います。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-3.3.112)。

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はありますが、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たくさん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-3.3.113)。

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形状であるため

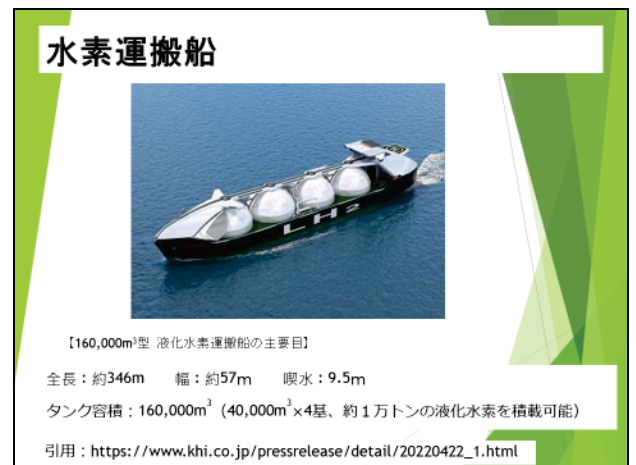


図-3.3.112



図-3.3.113

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-3.3.114)。

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、

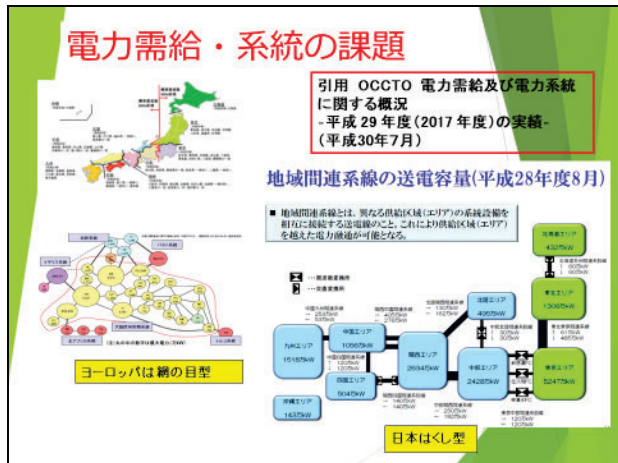


図-3.3.114

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-3.3.115)。

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-3.3.116)。そのために蓄電池の整備、送電線の建設が行なわれています(図-3.3.117)。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-3.3.118)。

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-3.3.119)。ただ、これだけでは北海道の風力発電、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-3.3.120)。具体的には200万kWの海底直流送電線の 신설です。これについては経済産

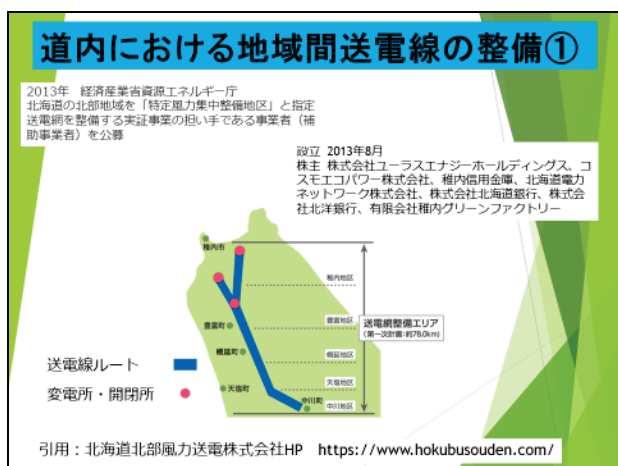


図-3.3.115



図-3.3.117

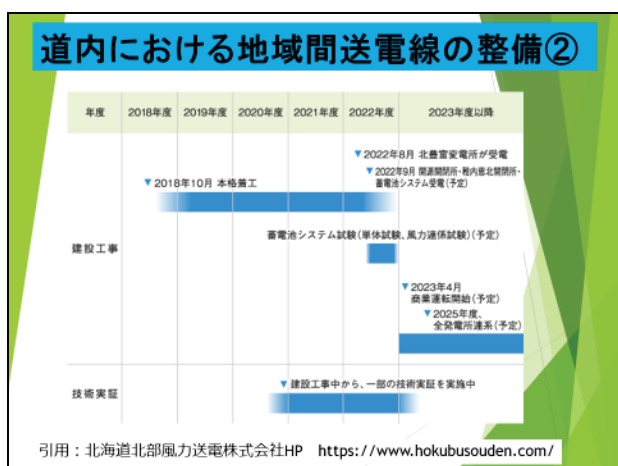


図-3.3.116



図-3.3.118

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-3.3.121）。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のかについては、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。

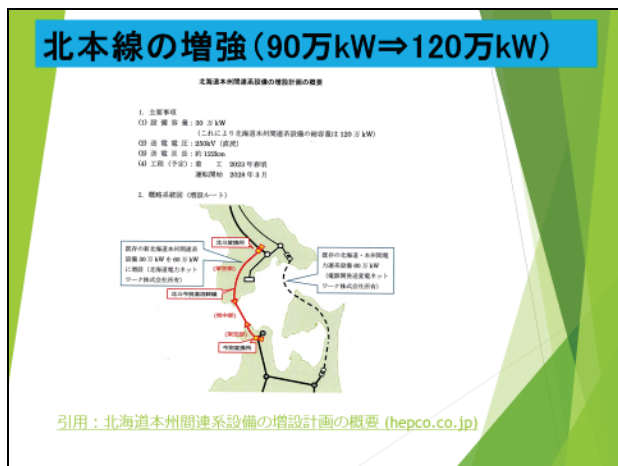


図-3.3.119

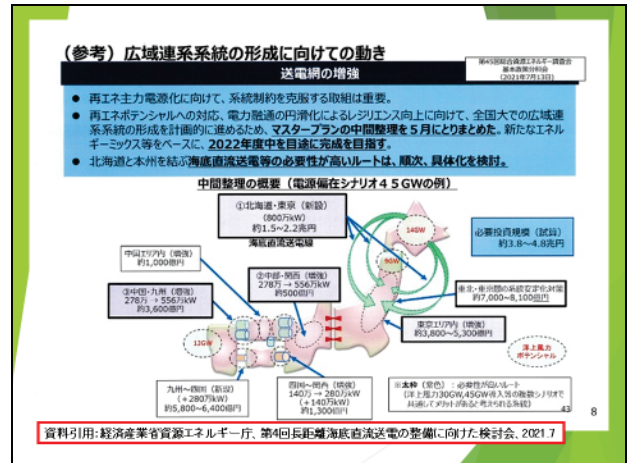


図-3.3.120



図-3.3.121

3.4 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っております。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おります。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-3.4.1)。

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ございますが、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、

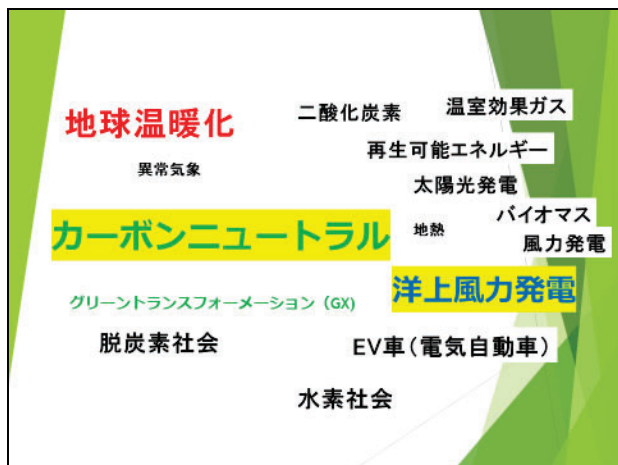


図-3.4.1

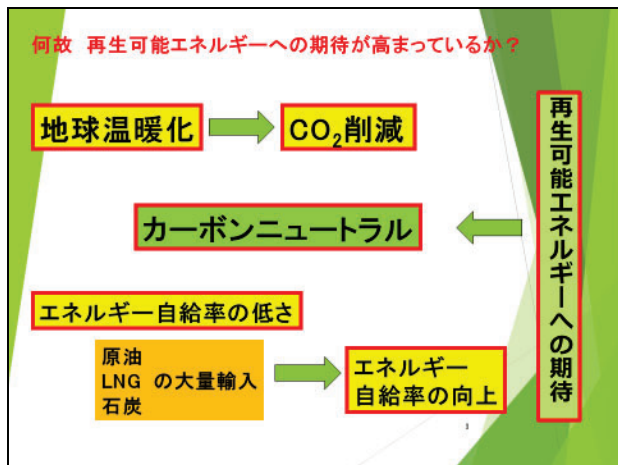


図-3.4.2

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思っています(図-3.4.2)。

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回が昨年の10月6日に開催され、これまでに5回開催され最終的な報告書がまとめられております(図-3.4.3、図-3.4.4)。

我が国の場合、洋上風力発電が設置される海域は、欧州に比べて水深が急に深くなるということで、EEZに建設される事例は今後浮体構造が主になることがまとめられています。

それから昨年の12月22日に港湾区域の洋上風力でありましたが、秋田港・能代港で商業運転が開始されました。我が国においても本格的に洋上風力発電が実用化の段階に進む状況にあります(図-3.4.5)。

これも昨年末ですが、再エネ海域利用法に基づく洋上風

最近の話題①
排他的経済水域(EEZ)における洋上風力発電の実施に係る国際法上の諸課題に関する検討会(2022年10月6日報道)

趣旨
1.再生可能エネルギーの主力電力化に向けた切り札である洋上風力発電は、我が国の2050年カーボンニュートラル実現にとって重要です。これまで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(平成30年法律第89号)等に基づき、我が国領海内での導入拡大の取組を行ってきましたが、近年、洋上風力の排他的経済水域(EEZ)への展開を可能とするための環境整備に対するニーズが高まっています。
2.このため、EEZにおける洋上風力発電の実施に関して、国連海洋法条約との整合性を中心に、国際法上の諸課題に関する検討会を開催します。
3.検討結果については、令和5年1月頃に一定の取りまとめを行う予定です。

第1回	2022年10月6日
第2回	2022年11月8日
第3回	2022年12月13日
第4回	2022年12月26日
第5回	2023年1月17日
最終報告日	2023年1月31日

引用：https://www8.cao.go.jp/ocean/policies/energy/yojo_kentoukai.html

図-3.4.3

最近の話題①
排他的経済水域(EEZ)

各種海域の概念図

※1 海洋の排他的権利は、沿岸国が沿岸に設置されている海洋の排他的権利とされ、その特定の条件を満たす場合に沿岸国は、他の国に優先的に権利を行使することができる。
※2 接続水域は、排他的経済水域(EEZ)の範囲は、国中に沿った船舶を航行し、航行の自由を保障する。
※3 国連海洋法条約第7条(公海)の規定はすべて、実質的に適用される。また、航行の自由を行使し得る一定の取組については、沿岸国に適用される。
※4 大規模な風力発電は、排他的経済水域の外縁から200海里を超えて設置されている場合には、延長することができる。ただし、基線から350海里あるいは2500メートル未満から100海里を超えてはならない。水深が200海里を超える浅層海域は、国連海洋法条約に基づき設置されている「大規模の取組に関する委員会」の許可に基づき設置される。関係者は、大規模の取組の取組およびその下である。

引用：<https://www8.cao.go.jp/ocean/policies/energy/pdf/sankou.pdf>

図-3.4.4

力発電事業者の公募が開始されました。募集された地域はここに示す4カ所です。去年の12月28日～今年の6月30日まで公募占用計画が受付されるスケジュールで進んでいます。昨年度指定された海域に加えて新たな海域への展開が始まっています(図-3.4.6)。

それから洋上風力発電に関しては、国が主体的に事前の調査区域を選定して調査を行う取り組みも始まりました。これはセントラル方式と呼ばれる方式として一般的に知られております。その中で北海道では、ここに示す3海域が調査海域として選定され、将来の事業化に向けて国費を使った調査が進められています(図-3.4.7)。

先程も申し上げました排他的経済水域(EEZ)における国際法上の諸課題に関する検討会の取りまとめが出て参りました。EEZにおける洋上風力発電にどのような課題があるかですが、ここに示しますように、重大な環境リスクを伴う活動に該当するような場合には、国際法上の義務が生じる可能性があるということです。具体的にどのようなことが関係するかというと、考えられるのは例えば浮体式のチェーンが切れて流失して第三国に影響を与えることが



図-3.4.5

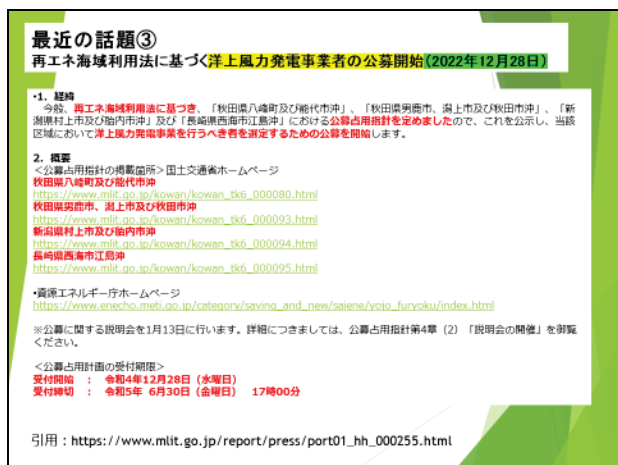


図-3.4.6

これに該当するものではないかと思えます。具体的にはこのように EEZ における開発に対する考え方も示されつつあります(図-3.4.8)。

今日はモノパイル構造に特化して洋上風力発電の説明をしていきたいと思えます(図-3.4.9)。

これは風車の構造ですが、風車は風を受けるブレード、

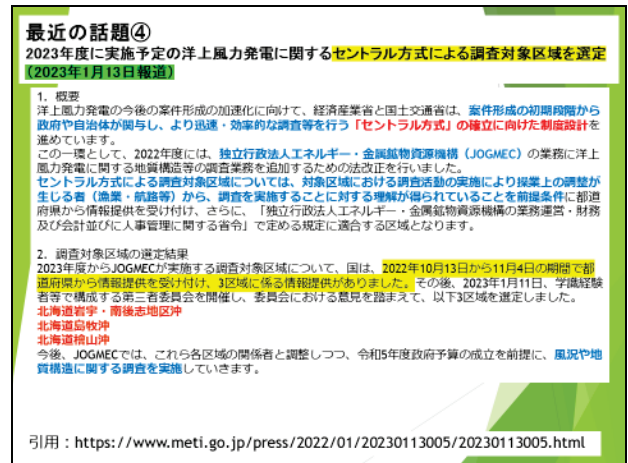


図-3.4.7

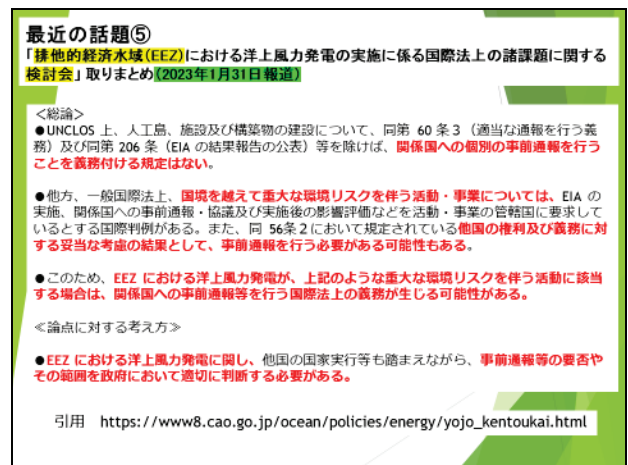


図-3.4.8

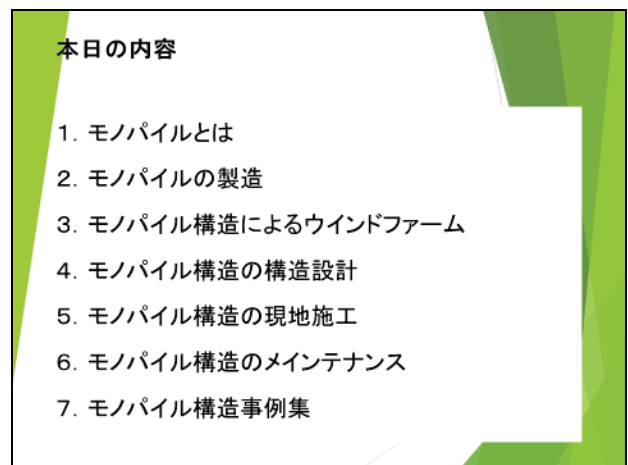


図-3.4.9

そして回転の中心となるハブ、そして発電機を格納しているナセル、そしてタワーによって構成されております(図-3.4.10)。洋上風力発電については、海洋基礎が必要だということで、海の中に造るためにタワーと発電機を支える海洋基礎が構造としては必要になるのが特徴的です。今日お話しする中でいろいろと出力の単位が出て参りますが、1kWの1000倍が1MW,その1000倍が1GWです(図-3.4.11)。この出力量に時間を掛けたものがkWhという単位で、発電電力量になります。現在、建設されている洋上風車は8~10MW ぐらいが中心のサイズになります。今年5月より石狩湾新港の港湾区域の中で建設される洋上風車も8MWです。ウインドファームにおける発電出力は大きな規模になります。これは100万kWで、平均的な火力発電所・原子力発電所の規模に相当します。今、欧州で開発されている大規模な洋上風力発電所は、一つのウインドファームでGWという単位の発電をしています。このような設備容量を持つものが建設されています。

モノパイルについて説明させていただきます。これは風車の構造を示しています。陸上の場合には地面に直接タワー

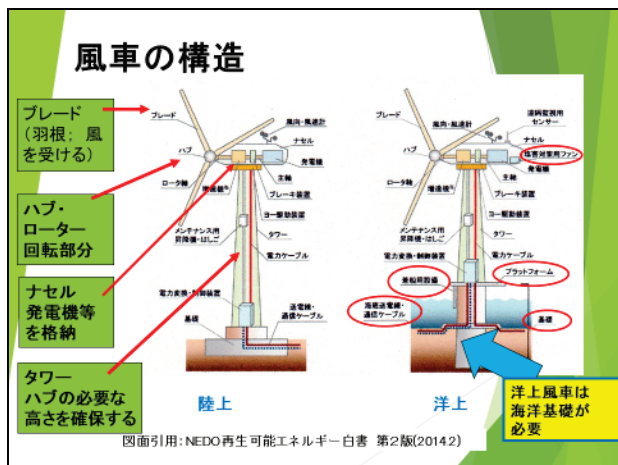


図-3.4.10

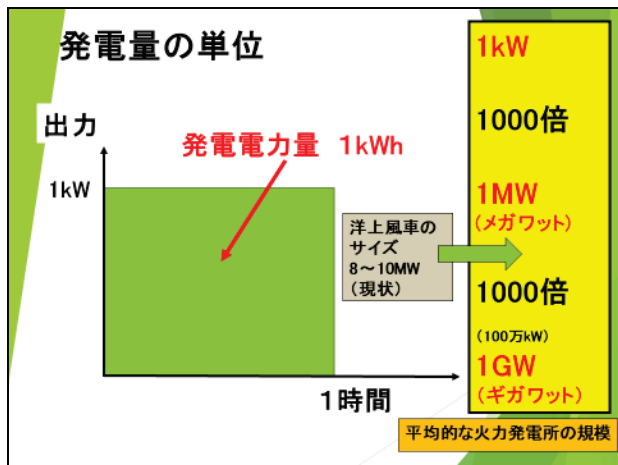


図-3.4.11

を建てれば良いわけですが、洋上の場合には水深に応じて様々な構造により海中で支える構造物が必要になってきます。今日お話をするのはこのモノパイルという構造です。これは1本の杭で支持する構造で、特にヨーロッパにおいては遠浅の海域が広がっておりますから、これまで建設された洋上風力発電はこのモノパイル構造が主流になっております(図-3.4.12)。水深が深くなると、ジャケット構造であるとか、浮体式構造になると思います。

これはモノパイル基礎の模型です。これは私が2019年9月に、ヨーロッパの洋上風車の基礎メーカーであるEEW社の事務所の玄関にあったものを写してきたものです(図-3.4.13)。風車の基礎以下の構造がどうなっているかを見やすく示しているもので、紹介させていただきました。この部分が海底面です。この杭がモノパイルという基礎杭になっています。この上にタワーと風車が載るわけですが、それを繋ぐ部分というのがトランジションピースという構造になります。これを図面で示したものがこちらの図になります(図-3.4.14)。海底面に設置されるモノパイル、風車を支えるタワーの上に風車が載ります。その間に

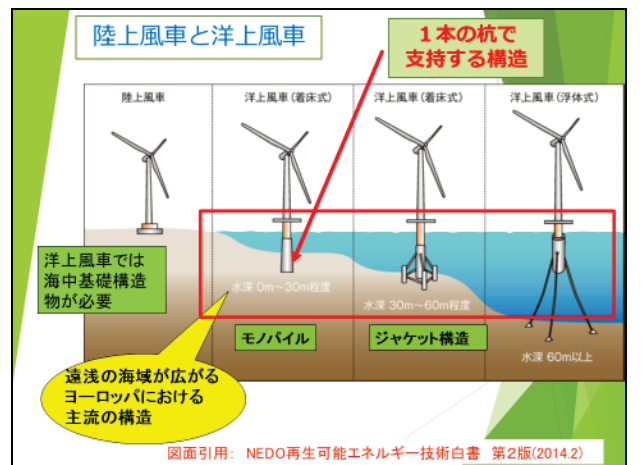


図-3.4.12

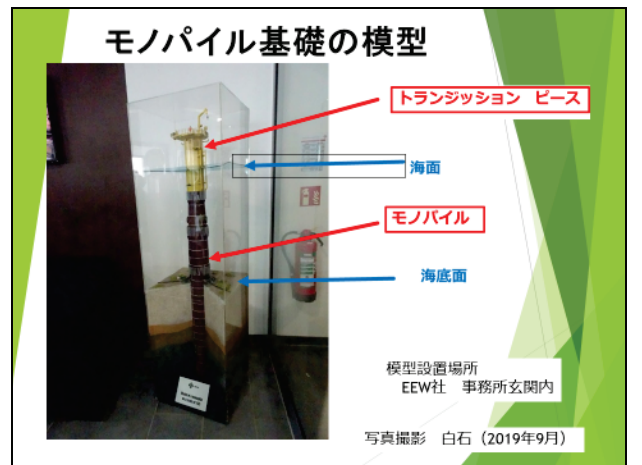


図-3.4.13

介在するのがトランジションピースで、ここの部分で海底のモノパイルとタワー以上の構造物を繋げる形になります。

モノパイルの製造について説明をさせていただきます。これは私が訪問した EEW 社という事務所のゲート前のモニュメントでありまして、これはモノパイルの部分セクシ

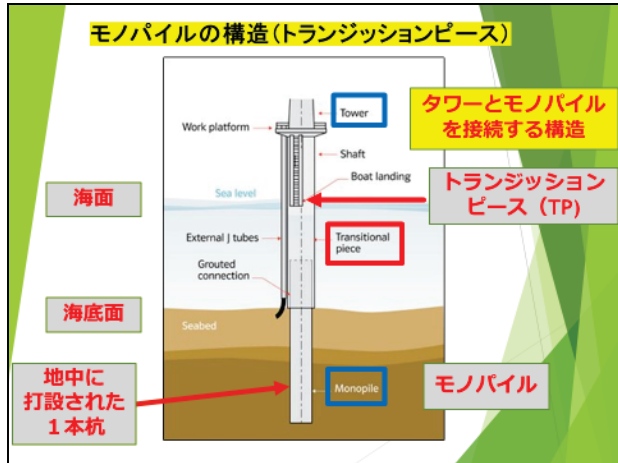


図-3. 4. 14



図-3. 4. 15

ョンですが、このような非常に大口径の杭を海中に打ち込んで風車の基礎とするのが、モノパイル構造になります(図-3. 4. 15).

私が訪問した EEW という会社の工場は、旧東ドイツの領域になりますロストック港にありました。そこで実際の製造工場を見学させていただきました。これは訪問した EEW 社の 2018 年当時の写真です(図-3. 4. 16)。訪問したのは 2019 年ですから、その前年のデータということで、データとしては古いのですが、この会社ではモノパイル構造とジャケット構造を製造しております。欧州では、実際にどのぐらいの構造種別ごとのシェアがあるかという、モノパイルがだいたい全体の 80% で、ジャケットが約 10% ぐらいです。モノパイルは 2018 年当時において主流の構造形式であると言えます(図-3. 4. 17, 図-3. 4. 18)。

EEW 社ですが、創業が 1936 年で訪問した当時の従業員は約 2000 人、工場が世界で 9 カ所あって、年間の鋼材生産量が約 80 万 t でモノパイルやジャケットを製造している状況でした(図-3. 4. 19)。実際に世界のいろいろな場所に工場を展開していますが、訪問したのは、ロストック工

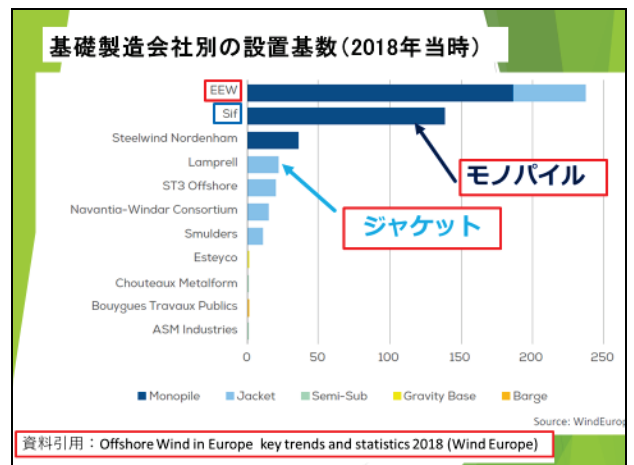


図-3. 4. 17

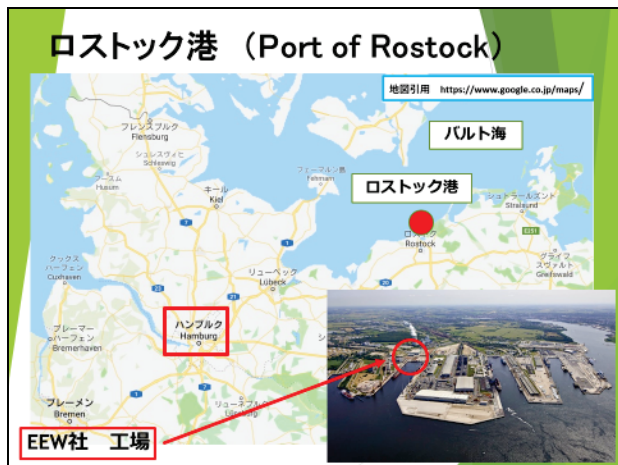


図-3. 4. 16

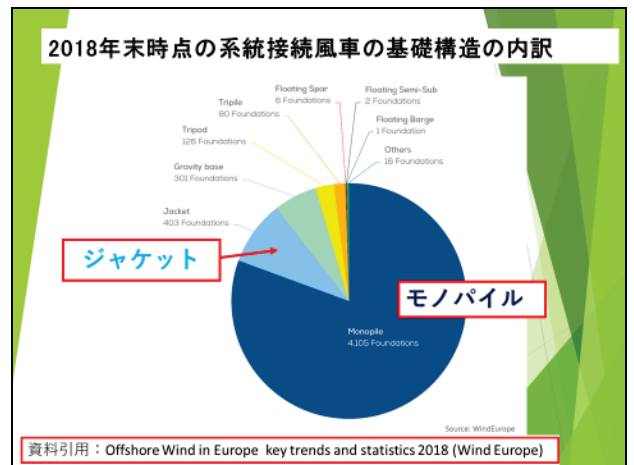


図-3. 4. 18

場です(図-3.4.20)。当時、この会社でどのようなものを作っていたかという、モノパイル、トランジションピース、それからジャケットです。このジャケット構造については次回説明させていただきます。それからサブステーションといって洋上風力発電の変電所、これは主にジャケット構造で造られます。このように洋上風力発電に必要な設



図-3.4.19

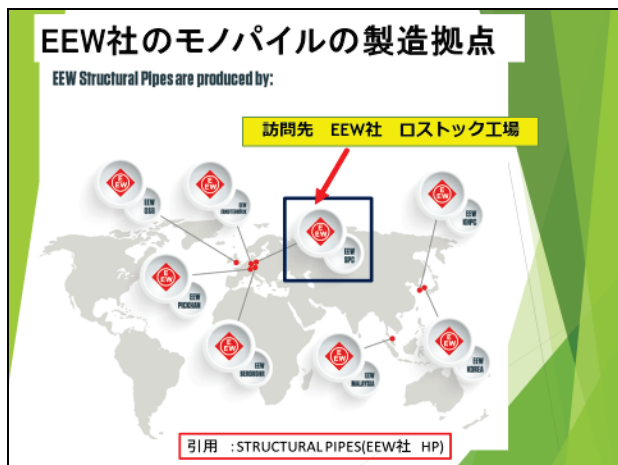


図-3.4.20

EEW社製造実績(2019年訪問時)
引用 : STRUCTURAL PIPES(EEW社 HP)

Year	Project	Customer	Country	Tonnage
2019/2020	Honnasa Project Two	Orsted	UK	~188,000 t
2018	Formosa 1 Phase 2	Jen de Nul	Taiwan	17,000 t
2017/2018	Honnasa Project One	DOONG Energy	UK	91,800 t
2016/2017	Arkona Becken Südost	Bladt Industries	Germany	64,950 t
2010/2011 & 2016/2017	Walney 1-V	DOONG Energy	UK	161,000 t
2015/2016	Veja Mate	Volker Stevin	Germany	97,610 t
2015	Sandbank	Vattenfall	Germany	78,000 t
2014/2015	Gemin	Van Oord	Germany	57,300 t
2014/2015	Gode Wind 1 & 6	Bladt Industries	Germany	77,500 t
2010 & 2013/2014	EndW Baltic 1 & 2	EndW/JarGe Baltic 2 Foundations	Germany	41,800 t
2013	Baldedak	Balded Nordam	Germany	73,000 t
2012/2013	Gwyn y Mor	RWE	UK	110,020 t
2010/2011	London Array	Aurora/Hillfinger Berger JV	UK	69,840 t
2014/2017	Aberdeen	Smulders	UK	4,600 t
2016/2017	Beatrice	BIFAB, Bladt Industries, SHL, Smulders	UK	77,000 t
2015	Wilkinge	Bladt Industries, Naventia	Germany	24,600 t
2013	EndW Baltic II	EndW	Germany	42,090 t
2011/2012	Nordsee Ost	Aker Solutions	Germany	34,600 t
2010-2012	Thornton Bank	Smulders	Belgium	22,720 t
2017/2018	Borealis Alpha & Beta	ESM Offshore	Netherlands	4,000 t
2017	Chudtke Bucht	Imabari	Germany	2,000 t
2015	Sandbank Jacket	Bladt Industries	Germany	2,430 t
2012	SpW Alpha Platform	Nordic Yards	Germany	4,540 t

図-3.4.21

備全般を製造しています(図-3.4.21)。

この会社の製造実績ですが、これはドイツ沖合海域に建設されている Baltic I & II という洋上風力発電所の事例です(図-3.4.22)。次が Beatrice で、これはイギリスの沖合洋上に設置されています(図-3.4.23)。スコットランドの北側海域にある Offshore Wind Farm で、ジャケット構造です(図-3.4.24)。それからもう一つの事例が英国の Gwyn y Mor という洋上風力発電所です(図-3.4.25)。こちらは Sandbank 洋上風力発電所で、これはデンマークの西側に位置しています(図-3.4.26)。これは確か北ドイツ沖合だとは思いますが、Veja Mate という洋上風力発電所です(図-3.4.27)。次は Walney I-IV 発電所で、これはイギリスの西海岸だとは思いますが(図-3.4.28)。この設備容量は 1,026MW で、だいたい 1GW です。180 基の洋上風車が並んでいますが、ここ 1 カ所で火力発電所 1 カ所あるいは原子力発電所 1 カ所ぐらいの設備容量を持つウインドファームです。ヨーロッパでは近年 GW 規模のウインドファームが建設されている状況になっています。

それからジャケットによる建造実績もありまして、これ

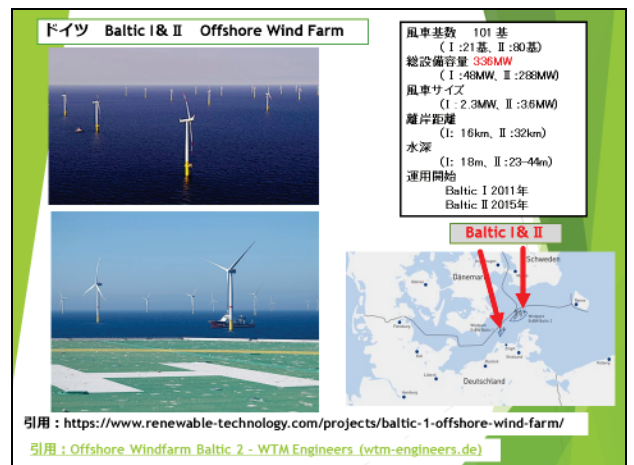


図-3.4.22



図-3.4.23

は Wikinger というジャケット構造の洋上風力発電所になります(図-3.4.29)。

次に紹介するのは Sif 社です。これはオランダに本社があるメーカーです。ここは 1948 年に創業して、先程の EEW 社よりも規模は小さく、約 600 人の従業員でオランダに 2 カ所の製造工場があります。Sif 社の年間鋼材生産量は 33

万 t で、先程の EEW 社に比べると約半分以下になります(図-3.4.30)。ここでもいろいろなモノパイルの構造が製造されており、これは比較的沿岸域に近いところに建設されている事例です(図-3.4.31)。この図はオランダの西海岸の開発状況を示していますが、GW には達していないのですが、それに近いクラスのウインドファームが建設

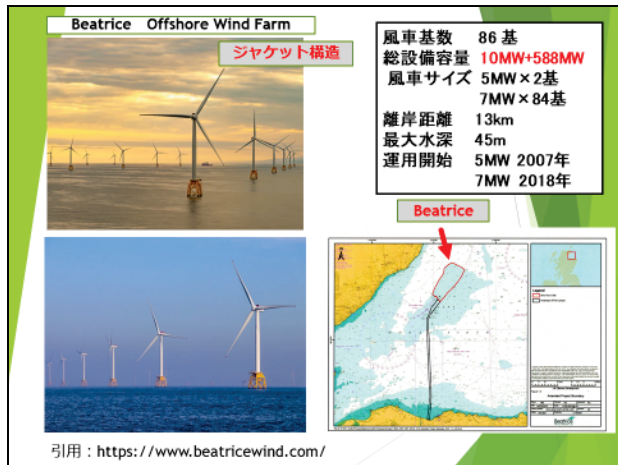


図-3.4.24

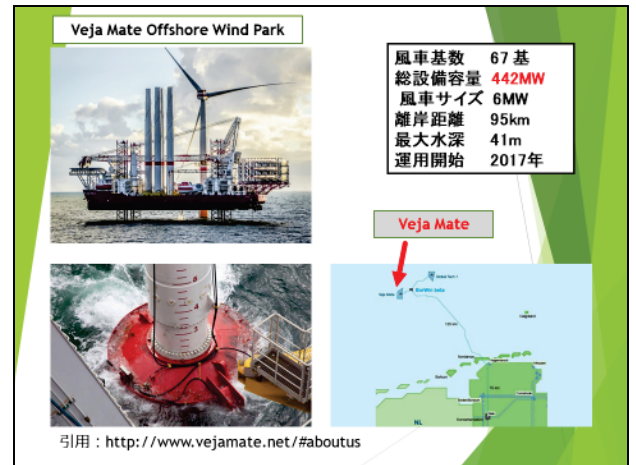


図-3.4.27



図-3.4.25

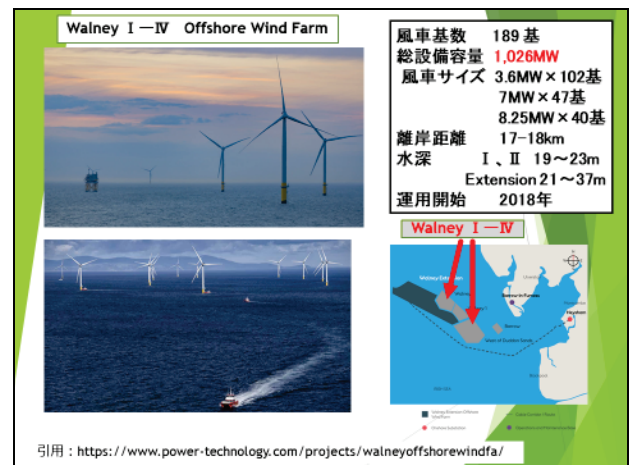


図-3.4.28

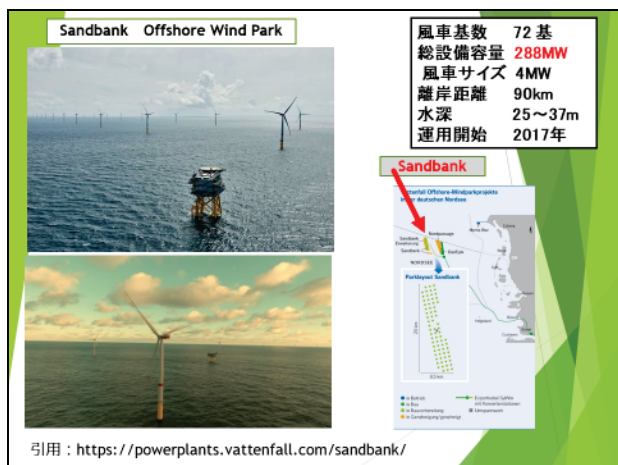


図-3.4.26

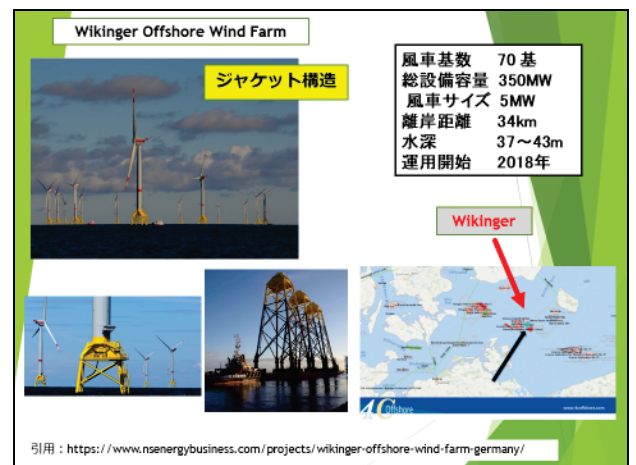


図-3.4.29

されており、今年運用が開始されます(図-3.4.32)。

それから英国の Dogger Bank C です(図-3.4.33)。これも 1,200MW (1.2GW) です。これは少し先の計画になっていまして、建設開始が 2025 年、運用開始が 2026 年です。先行する Dogger Bank A, Dogger Bank B を加えると全体で 3.6GW で、世界最大規模のウインドファームです。さら



図-3.4.30



図-3.4.31

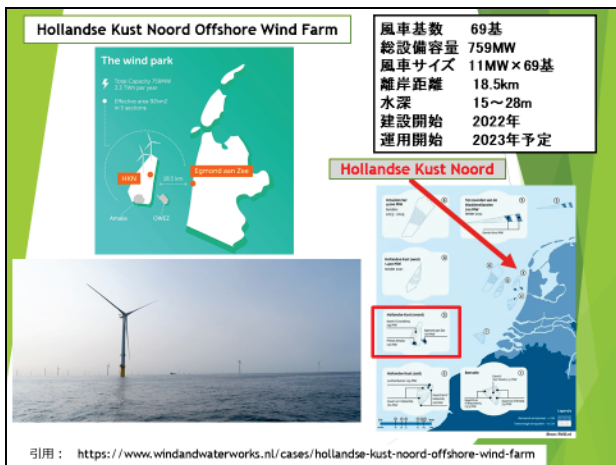


図-3.4.32

に Dogger Bank D 計画もあり、この地帯でかなりの規模のウインドファームが形成されます。

それからもう一つの例として、Hollandse Kust Zuid を紹介します。これはオランダの沖合の海域に建設され、全体として 1.5GW 規模で、11MW の洋上風車 140 基で構成されます(図-3.4.34)。ここでは風車サイズも 11MW とかなり大型化しています。

モノパイルの製造について概要を示します。直径が大きなものから小さなものまで造れます。これは訪問した当時の EEW 社のパンフレットからの引用ですが、406 mm~10m までとかなり広範囲の直径で最大重量も 1,500 t ぐらいまで製造可能です。実績値では 1,302.5 t が最大重量です(図-3.4.35)。

モノパイルをどうやって製造するかというと、肉厚の板を円筒加工して、それを溶接接合して必要長まで拡張します。実際に製造している工場では、平板から円筒の構造体にまず加工します。そしてその丸く加工した接合部を溶接していきます。溶接して円筒状の 1m ないし 2m ぐらいのパイルを造っていきます。それを溶接で繋げていきます。



図-3.4.33

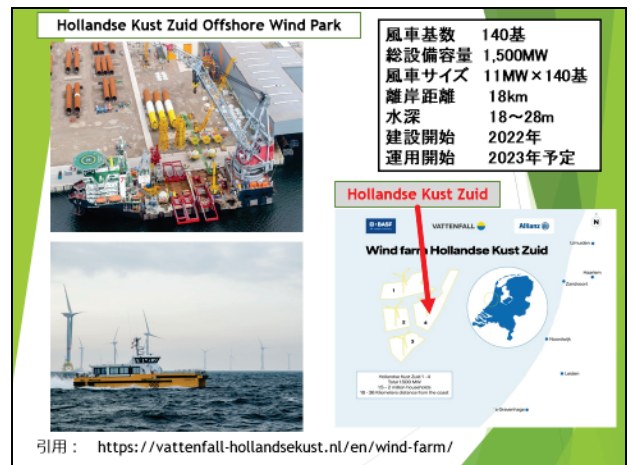


図-3.4.34

これは連結前の部材が並んでいるところを示していますが、こういういった形でモノパイルを製造していきます(図-3.4.36)。

これは2019年9月に訪問した工場の写真です。まず厚板を丸く加工していきます(図-3.4.37)。丸く加工し、それを連結して繋げていきます。こういうところに繋ぎ目らしきものが見えると思います。このように円筒形に加工したものを繋げて連結していきます。次に丸く加工した断面を溶接する工程に入り、このようにして接合していきます(図-3.4.38, 図-3.4.39, 図-3.4.40)。

世界最大のモノパイル構造は、ホームページの情報によると、今年の4月から施工が始まり、来年に運用開始予定のBaltic Eagle Offshore Wind Farmです。9.5MWの洋上風車が50基建設されます。モノパイルの直径が約9m、長さが90m、重量が1,421tで、これまで計画されているモノパイル構造の中では最大重量です(図-3.4.41)。これが建設基地となる港湾で、これが実際の施工海域です。この写真は実際にヤードの中で部材が並べられている様子を示しており、これが完成予想図になります(図-3.4.42)。

非常に水深も深くなって、設置海域の水深は40~45mです。モノパイル構造としてはかなり大水深の構造になります。水深40~45mになると、どちらかと言うとジャケット構造が選ばれるのですが、モノパイル構造による大規模なものを打設して建設するという事例も出てきております。それによってモノパイルの需要が非常に大きなものに

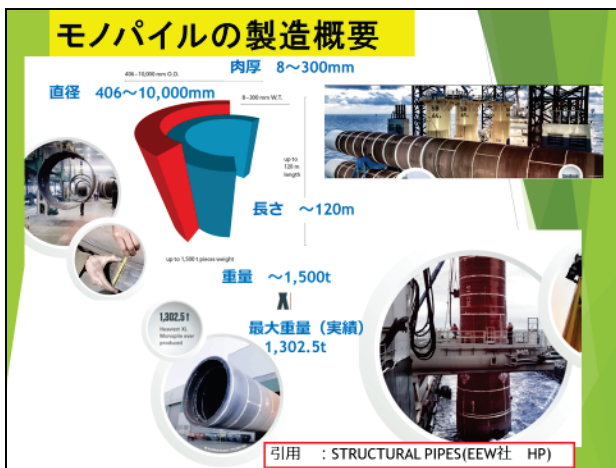


図-3.4.35



図-3.4.37



図-3.4.38

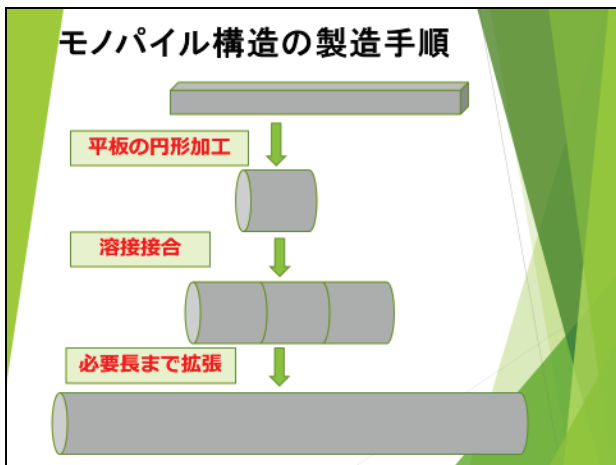


図-3.4.36



図-3.4.39

繋がってくると思います。

モノパイル構造によるウインドファームについて、若干幾つかの事例を紹介させていただきます。事例は1番から22番までであるのですが、設備容量の大きな順番に並べております(図-3.4.43)。昨年までに稼働が開始された最大規模のウインドファームは1,386MWのHornsea Project



図-3.4.40

世界最大のモノパイル構造 Baltic Eagle Offshore Wind Farm

風車基数 50基
 総設備容量 476MW
 風車サイズ 9.5MW×50基
 離岸距離 30km
 最大水深 40~45m
 施工開始 2023年4月予定
 運用開始 2024年
 モノパイル直径 8.75~9.0m
 モノパイル長さ 75~90m
 最大重量 1,421t

製造工場: EEW
 引用: <https://crane1000.com/1421-ton-monopile-scheduled-to-be-cast-from-april-2023/>

図-3.4.41

世界最大のモノパイル構造 Baltic Eagle Offshore Wind Farm

風車基数 50基
 総設備容量 476MW
 風車サイズ 9.5MW×50基
 離岸距離 30km
 最大水深 40~45m
 施工開始 2023年4月予定
 運用開始 2024年
 モノパイル直径 8.75~9.0m
 モノパイル長さ 75~90m
 最大重量 1,421t

引用: <https://balticeagle.de/en/project/>

図-3.4.42

Two というイギリスのプロジェクトです。水深が25~30m、離岸距離が89km、最大水深が30m、こういう海域に設置されています。以下、設備容量の大きい順番に並べるとこの表になります。

海域の占有面積と設備容量の関係を示します。当然ながら設備容量が大きければ風車がたくさん並ぶわけですから、海域の占有面積も大きくなります。大きなものになると600km²です。このぐらいの海域を一つのウインドファームで要している状況です(図-3.4.44)。

それから水深ですが、モノパイルでも最近では40mが最大水深です。従来だとジャケット構造になっていた水深ですが、40mというかなり深い水深にもモノパイル構造で建設される事例があります(図-3.4.45)。

次は離岸距離と設備容量の関係を示します。最近の事例では、設備容量が大きく離岸距離が非常に大きいものが造られています。大規模なウインドファームを造ろうと思うと、ある程度距離が離れたところに建設する傾向があります(図-3.4.46)。

次に最大水深と風車サイズの関係について示します。こ

モノパイル構造による主要なウインドファーム

名称	国名	設備容量 (MW)	基数	サイズ (MW)	稼働開始年	構造形式	設置水深	離岸距離 (km)	占有面積 (km ²)	最大水深 (m)
1 Hornsea Project Two	英国	1,386	165	8	2022	モノパイル	25-30	89	462	30
2 Hornsea Project One	英国	1,218	174	7	2019	モノパイル	25-30	38	629.6	30
3 Trillick Knoll	英国	857	90	9.5	2021	モノパイル	18-24	33	206.9	24
4 Borssele 1 & 2	オランダ	752	94	8	2020	モノパイル	14-36	23	128.3	36
5 Borssele 3 & 4	オランダ	731.5	77	9.5	2021	モノパイル	14-38	25	146	38
6 Walney Extension	英国	659	47	7	2018	モノパイル	19-23	19	145	23
7 London Array	英国	630	175	3.6	2013	モノパイル	-25	20	122	25
8 Kriegers Flak	デンマーク	605	72	8.4	2021	モノパイル	16-25	15	179	25
9 Gemini Wind Farm	オランダ	600	150	4	2017	モノパイル	28-36	85	68	36
10 Gode Wind (phases 1 & 2)	ドイツ	582	97	6	2017	モノパイル	33	45	79	33
11 Gwynt y Môr	英国	576	160	3.6	2015	モノパイル	15-30	14	79	30
12 Race Bank	英国	573	91	6	2018	モノパイル	6-26	27	75	26
13 Greater Gabbard	英国	504	140	3.6	2012	モノパイル	20-32	23	147	32
14 Hengou Qidong H1-H2	中国	503	84	6	2021	モノパイル		37	114.5	
15 Hohe See	ドイツ	497	71	7	2019	モノパイル	-40	98	42	40
16 Horns Rev 3	デンマーク	407	49	8.3	2019	モノパイル	11-19	30	55	19
17 Dudgeon	英国	402	67	6	2017	モノパイル	18-25	32	35	25
18 Vaja Mate	ドイツ	402	67	6	2017	モノパイル	39-41	95	51	41
19 Ashell	デンマーク	400	111	3.6	2013	モノパイル	15-19	15	88	19
20 Ramstad	英国	400	116	3.45	2018	モノパイル	19-40	13	72	40
21 Shihai North H2	中国	400	100	4	2018	モノパイル	14-18	22	118	18
22 Rudong H6	中国	400	100	4	2021	モノパイル	9-20	50	66	20

図-3.4.43

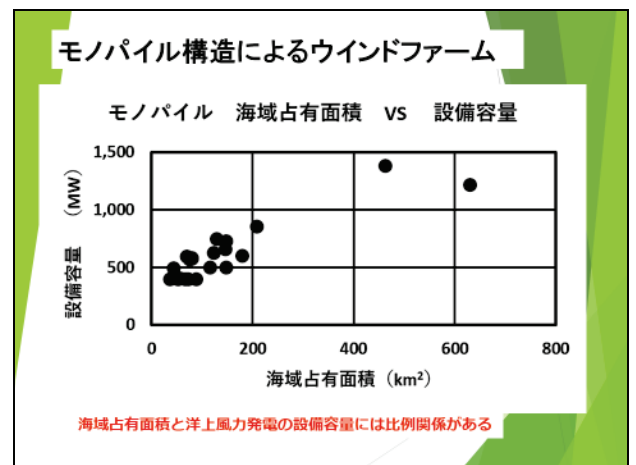


図-3.4.44

これはあまりはっきりした関係はないのですが、最近建設されたものについては、風車サイズは小さなものから大きなものへと移っていく傾向です(図-3.4.47)。これは稼働開始年と風車のサイズの関係です(図-3.4.48)。この関係を見ると、だいたい右肩上がりに風車のサイズが大きくなっている傾向が見られます。近年建設されている風車は、

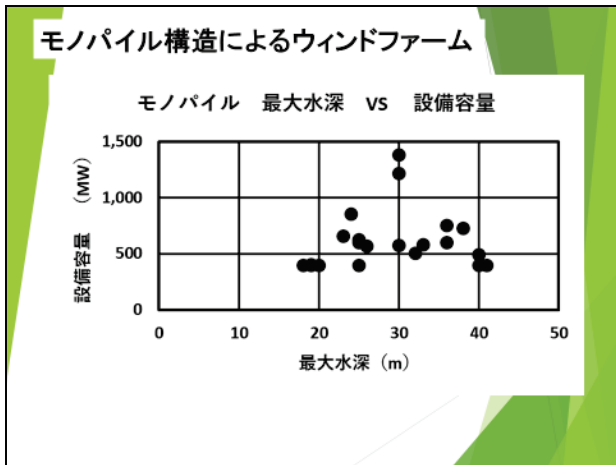


図-3.4.45

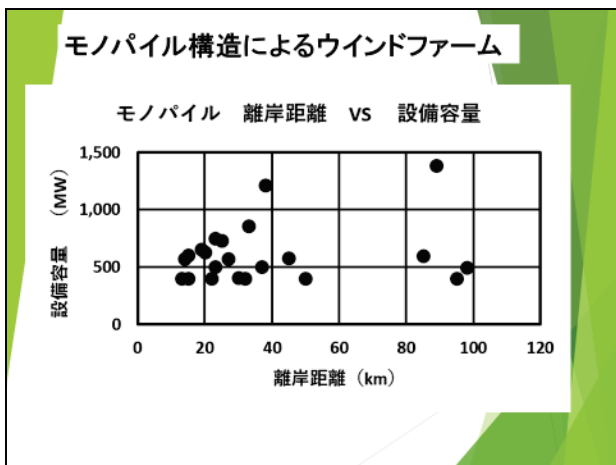


図-3.4.46

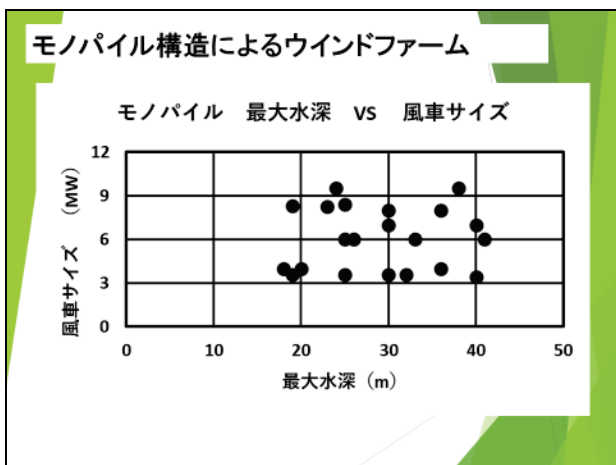


図-3.4.47

9MWとか10MWなどの8MW以上で、風車サイズも大型化が進んでいることがこの図からわかるかと思えます。

それから設備容量です。1カ所当たりの風車のウインドファームの容量も非常に大きなものになっています(図-3.4.49)。図よりはっきりした傾向は見えないのですが、近年設備容量の大きなものが建設される傾向にあります。

次に稼働開始年と最大水深の関係を示します。これもあまり明確な傾向はないのですが、10年ぐらい前に比べると、最近では水深が40mの海域にも建設されており、40mぐらいにジャケット構造とするかモノパイル構造とするのか、構造選定の境界ラインがこの辺りにあるかと思えます。実際には30m~40mが両構造形式の境界ラインであるかと思えます(図-3.4.50)。

新規風車の将来動向について説明します。2020年~2026年にヨーロッパではどのような将来動向があるか予測的なことの説明をさせていただきます。

Wind Europe というヨーロッパの風力発電組織の中でレポートが出ています。この図は2021年までの統計と2022~2026年の予想です。濃い青が陸上風車で、水色が洋上

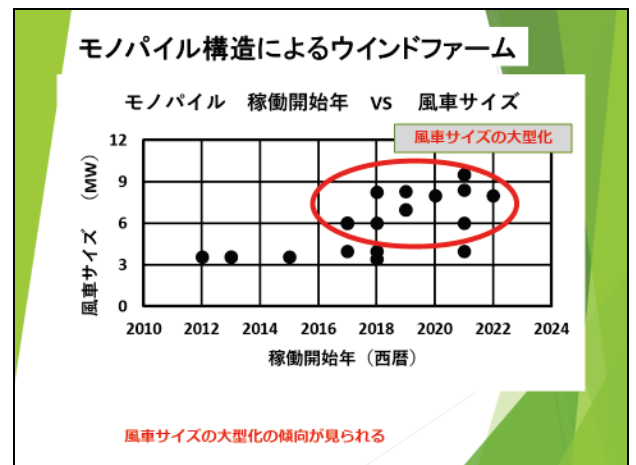


図-3.4.48

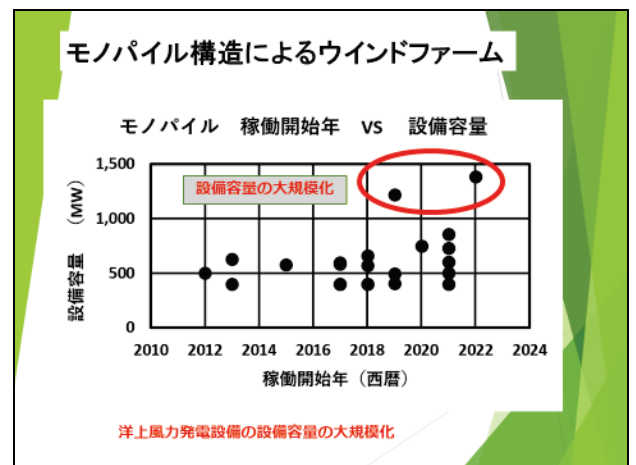


図-3.4.49

風車です。このラインはこのように将来的に伸びて行くだろうという一般的な予想になります。別のラインは低く見積もったらこうなるだろうという予想です。いずれにしても3~4年の間に風車の総量は増えて行くだろうと推定されています(図-3.4.51)。陸上風車と洋上風車でどのようになっていくかという、濃い青が陸上の新規の建設で、水色が洋上の新規の建設を示しています。今後についても陸上風車の新規容量の方が多いのですが、イギリスで見ると洋上も陸上と肩を並べるぐらいに増えるのではないかと予測が出ております(図-3.4.52)。

新規に建設予定されている量を、国ごとに示したものがこの図です。図からわかりにくいところがあるかと思いますが、特徴的にはドイツと英国の2カ国が、特に2026年を見ると導入量が大きくなること示されています。この2カ国で今後導入が大きく進んでいくと予測されております(図-3.4.53)。

これは国ごとの導入量の予測で、2022年~2026年まで陸上と洋上でどのぐらいの容量が新しく建設されるかを

示しています。陸上の新規についてはドイツが圧倒的に多い予測です。それから洋上新規では英国が10.8GWで最大です。英国はドイツを引き離して洋上の方が多く予測になっています。累積導入量になると、陸上風力ではドイツが群を抜いて多いのですが、洋上では英国が他の国を圧倒する形となっています。英国の洋上風力発電は今後の累積容

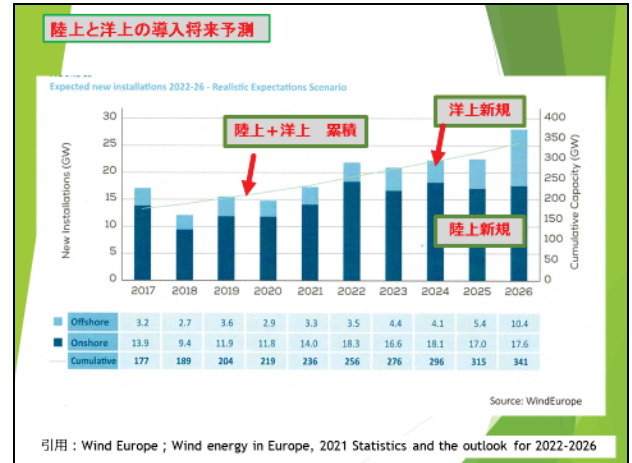


図-3.4.52

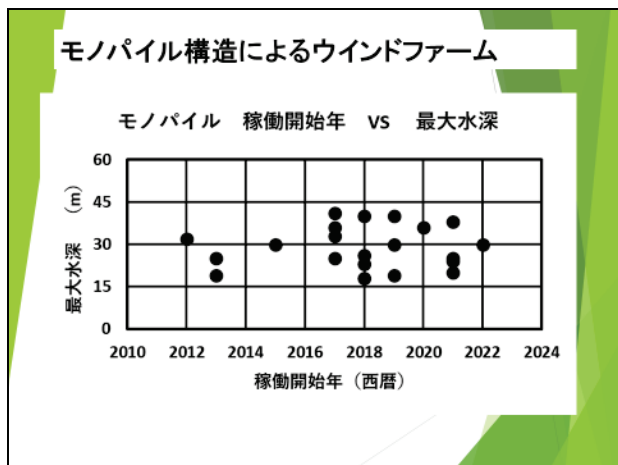


図-3.4.50

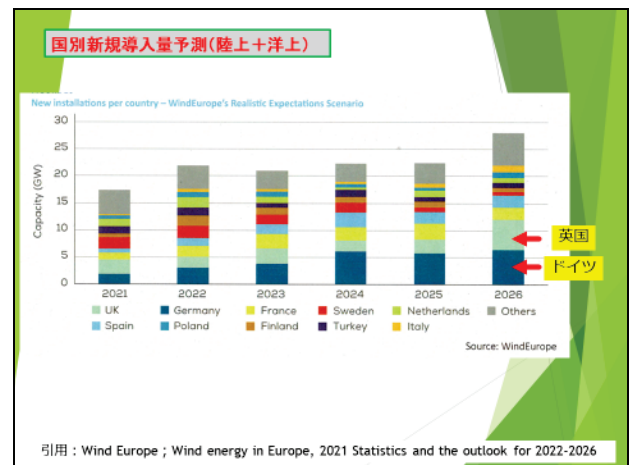


図-3.4.53

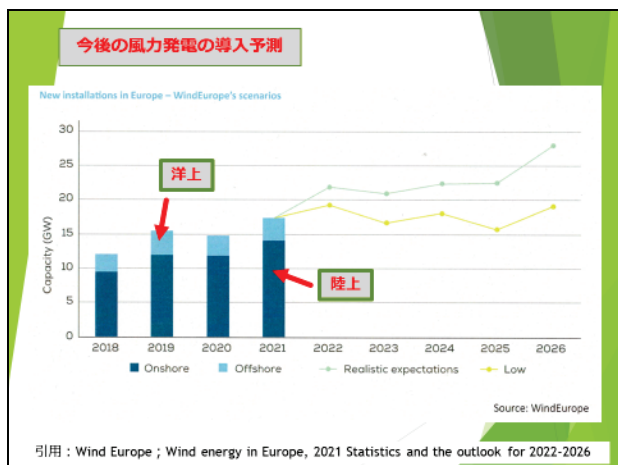


図-3.4.51

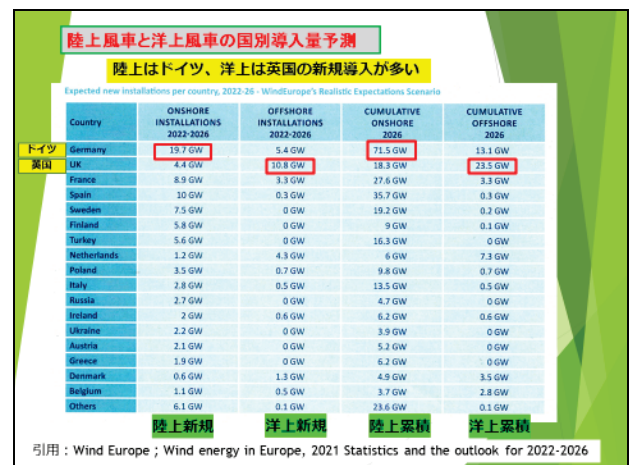


図-3.4.54

例です。一般海域でも、洋上風力発電設備に関する技術基準の統一解説を使って設計することになります。再エネ海域利用法に基づき、技術基準の統一な評価によって設計されたものが審査を受けて新設されていく形になっています(図-3.4.59)。

港湾における洋上風力発電施設等のガイドライン(案)が平成27年3月に国土交通省の港湾局で案が作成されました。港湾区域に加えて一般海域への適用を加えた統一化が図られ、さらに浮体式洋上風力発電設備への適用も含める形で、令和2年3月に洋上風力発電施設に関する技術基準の統一解説が出ました。いわゆる電気事業法によるものと港湾法によるもの、こういったものが技術基準について統一な解説が出され、併せて浮体構造も加わった体系になっております(図-3.4.60)。

それではそういった体系がどのようなものをベースに基準化されているかを説明します。電気的なものについては電気事業法に基づくもので、省令やその解釈、さらに逐条解説があつて、これらが体系に取り込まれています。港湾法では港湾の技術基準を定める省令、基準・同解説があ

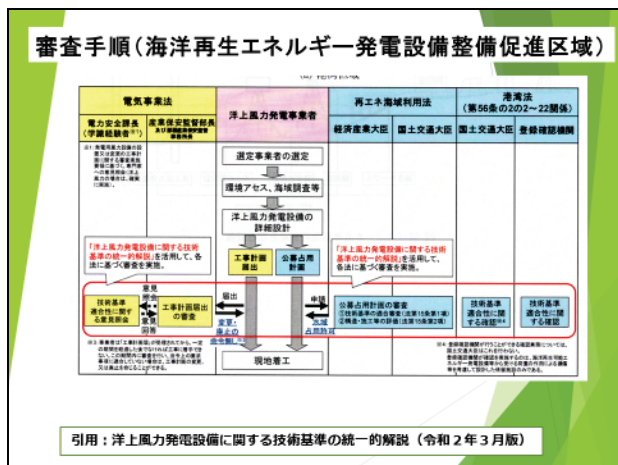


図-3.4.59

って、さらにそれに基づいて港湾における洋上風力発電等の技術ガイドライン(案)があつて、こういったものが統一な解説に反映されています。浮体の場合は船舶安全法に基づいて、浮体式洋上風力発電施設の技術基準があつて、これをベースに浮体式洋上風力発電施設設計技術安全ガイドライン、それらがこの洋上風力発電施設に対する技術基準の統一な解説の中に取り込まれています。このベースになる風車自体の基準、これはIECの基準、それから日本のJISです。これはIEC等にも関連しているのですが、関連するJISの基準類、こういった基準類による設計手法をベースに、技術基準類に基づき法律的に担保ができるということです。それらを支えるものとしては、ISOやAPIとかいろいろな基準類が引用され、いわゆる要素として入つて、このような技術体系・基準体系が構築されています(図-3.4.61)。

実際に洋上風車も陸上風車も含めてなのですが、これら設計する時に、非常にたくさんのイベントを考慮する必要があります。これら荷重について組み合わせるとものすごく膨大な荷重ケースになります。発電中のイベント、この中でもイベントが細かく分かれております。それから発電中の故障に対する荷重、発電開始時、発電の停止時、緊急停止、停止時、故障の時、輸送・設置・メンテナンス・修理時、さらに海氷作用時などです。この様に非常にたくさんの荷重の組み合わせに対して、設計しなければならないことが、風車の設計で大きな課題になっております。これら全部の事例を確認しなければいけないので、膨大な検討ケースが実際に必要となっているのが現状です。設計上ではこれらの支配的な項目に対してまず設計して、それが他の条件に対してパスしているかどうかという繋がり確認していくことになります。いずれにしても非常に多くの検討ケースを検討していかなければいけない現状にあります(図-3.4.62)。

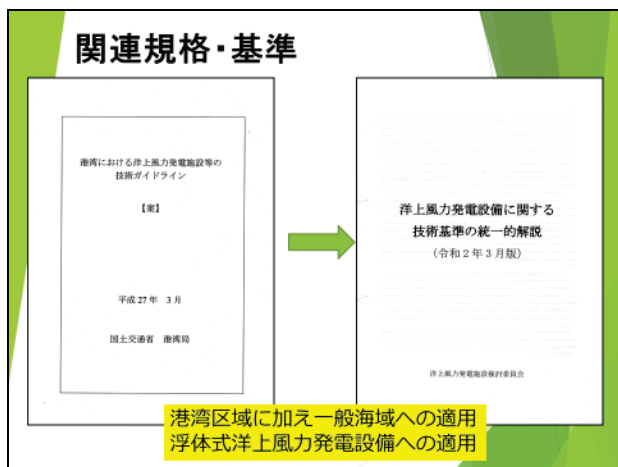


図-3.4.60

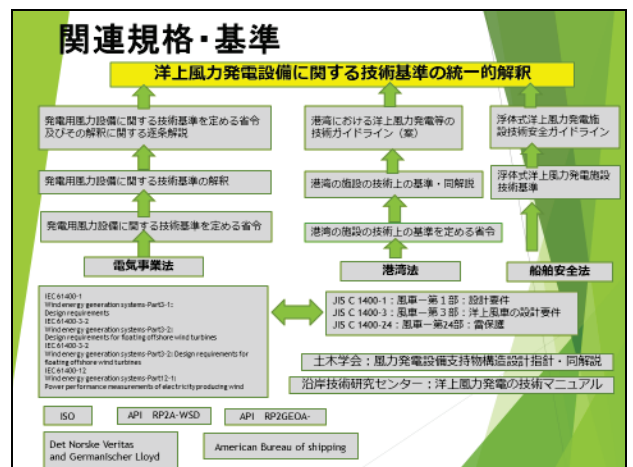


図-3.4.61

それから、地震の扱いです。この地震の扱いについては、建築基準法に由来する地震動ということで、稀に発生する地震動、極めて稀に発生する地震動（極稀地震動）を検討することが必要です。港湾の基準では、港湾レベル1地震動、港湾レベル2地震動です。ただし港湾レベル2地震動については、風車が港湾の耐震強化岸壁の利用に支障を及ぼす恐れがある場合についてのみ設計するというので、通常の場合は設計しなくていいということです。いずれにしろ建築基準法に由来するものと港湾法に由来するものの両方を検討しなければいけないことになっています。併せて設計津波作用時の検討も必要です(図-3.4.63)。

荷重効果の計算方法ですが、荷重の特性値をどう評価していくか方法が二つ、統一的解説の中に示されています。方法1は風車のタワーを含めて全体で構造解析するという考え方です。風車やタワー部に風荷重を受ける場合、風車全体を解析して荷重効果を求めて風車基礎構造を設計するという考え方が方法1であります(図-3.4.64, 図-3.4.65)。

それからもう一つは方法2です。方法2については、風

短期荷重及び疲労荷重に関する荷重組み合わせ (IEC 61400-3-1に準拠)						
発電中	DLC 1.1	DLC 1.2	DLC 1.3	DLC 1.4	DLC 1.5	DLC 1.6
<small>(イベント例; DLC 1.1 発電時にあたる通常の欠風の乱れた状態)</small>						
発電中の故障	DLC 2.1	DLC 2.2	DLC 2.3	DLC 2.4	DLC 2.5	
<small>(イベント例; DLC 2.1 制御システムの過剰故障、電気系統の過失又は葉片駆動の制御機能の故障が生じた状況)</small>						
発電開始時	DLC 3.1	DLC 3.2	DLC 3.3			
<small>(イベント例; DLC 3.1 海上風力発電設備の起動に伴って生じる疲労損傷度を評価するためのもの)</small>						
通常発電停止	DLC 4.1	DLC 4.2				
<small>(イベント例; DLC 4.1 海上風力発電設備の通常停止に伴って生じる疲労損傷度を評価するためのもの)</small>						
緊急停止	DLC 5.1					
<small>(イベント例; DLC 5.1 海上風力発電設備が発電している状況から、手動操作などによって緊急停止する状況へ移行することを想定したものである)</small>						
停止時	DLC 6.1	DLC 6.2	DLC 6.3	DLC 6.4		
<small>(イベント例; DLC 6.1 再稼働前6年の稼働速度及び稼働設備が作用し、かつローシステムが正常に機能している状況)</small>						
停止時+故障	DLC 7.1	DLC 7.2				
<small>(イベント例; DLC 7.1 これらの故障時に再稼働前1年の極稀風速及び稼働速度が生じる状況)</small>						
輸送・設置・メンテナンス・修理時	DLC 8.1	DLC 8.2	DLC 8.3	DLC 8.4		
<small>(イベント例; DLC 8.1 海上風力発電設備の製作、施工段階において必要な設計条件を規定したものであり、製作・施工計画を踏まえて設計者が選定する必要がある)</small>						
海氷発生時	DLC D.1	DLC D.2	DLC D.3	DLC D.4	DLC D.5	DLC D.6
		DLC D.7	DLC D.8			
<small>(イベント例; DLC D.1 温度変動によって発生する氷圧力が支持構造物に作用することを想定したものである)</small>						

引用：洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説（令和2年3月版）

図-3.4.62

長期荷重、地震荷重、津波荷重の作用時の荷重組み合わせの概要 (本基準解説で独自に設定)
長期荷重
稀に発生する地震動の作用時
極めて稀に発生する地震動の作用時
港湾レベル1地震動の作用時
港湾レベル2地震動の作用時 <small>(被災により、港湾に存在する耐震強化施設の利用等に支障を及ぼすおそれのある洋上風力発電設備を設計する際のみ用いるものとする)</small>
設計津波作用時

図-3.4.63

車のタワーより下の部分、モノパイルの部分とトランジションピースの上側のつなぎ目のところ、ちょうどトランジションピースと風車のタワーのつなぎ目の基部のところに、上からの荷重を荷重とモーメント荷重として求めて、モーメント、せん断力、軸力に荷重係数を掛け算するような形で荷重作用を求めて、その荷重作用に対して下の部分を構造解析モデルで構造解析を行います。こういう方法2の考え方もあります(図-3.4.66, 図-3.4.67)。

それから波ですが、波はいろいろな海象条件があります。例えばESSという極値海況やSSSという高波浪時海況などの波浪条件を組み合わせて、荷重作用を計算します。ESS, SSSの波を算定する手法も具体的な方法として提案されています(図-3.4.68)。それから、NSSという通常波浪海況です。こういったものも計算する方法が提案されています(図-3.4.69)。荷重作用に対して、それぞれ要求性能を定めて、安全性を照査します。要求性能に対して、短期荷重であるとか疲労荷重とかの条件が設定されて、これらの荷重条件に対して要求性能を満足するかどうかの検討が必要です。具体的にはこのような照査項目を設定していま

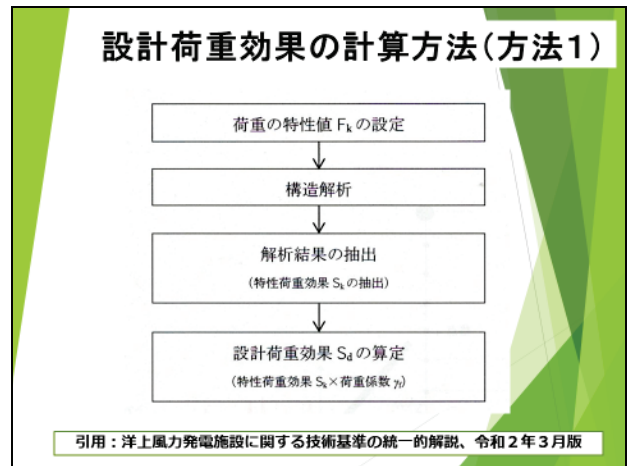


図-3.4.64

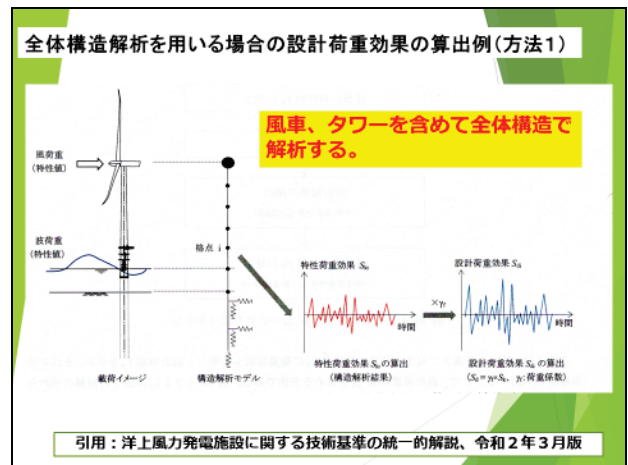


図-3.4.65

す(図-3.4.70)。この手順は複雑で、計算ケース数としては結構な数になります。

それから長期荷重については、破損せず、発電施設として機能を満足するという要求性能に対して、具体的に示されている照査項目に対して照査していくことになります。統一解説では、こういったものを参考にしながら設計を

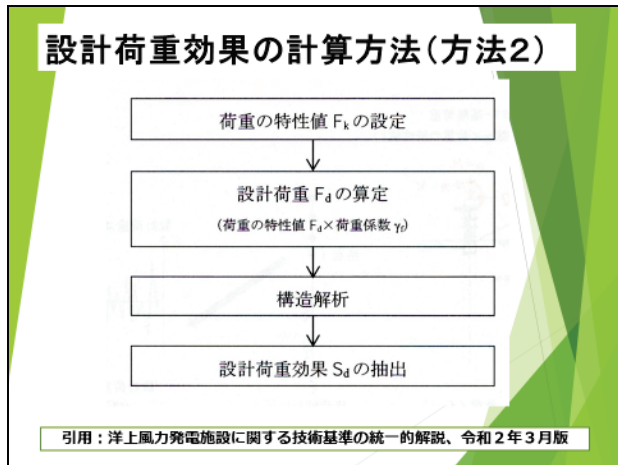


図-3.4.66

進めていく手順が示されております(図-3.4.71)。

それから稀に発生する地震動です。これはいわゆる建築基準法に基づく地震動であります。それに対して適応基準はこういったものを参考にして施設が損傷しないことを確認する手順で、照査項目はここで示したものが対象となります(図-3.4.72)。それから港湾のレベル1地震動につ

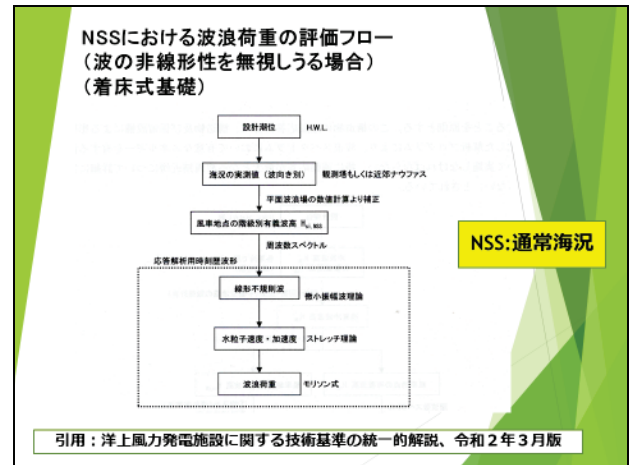


図-3.4.69

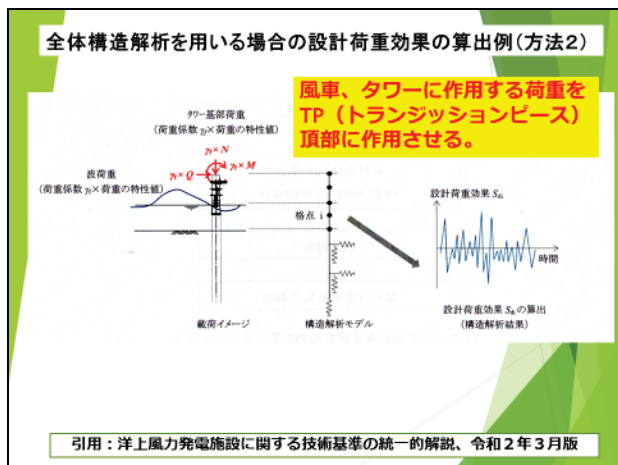


図-3.4.67

荷重組み合わせ、適用基準、要求性能、照査項目の組み合わせ

荷重組み合わせ (短期荷重及び疲労荷重)		照査対象	適用基準	要求性能	照査項目
短期荷重及び疲労荷重 (JIS C 1400-3 ⁴⁾ に準拠)	塔	塔	JIS C 1400-1 ⁴⁾	損傷せず、発電施設としての機能を満足する ²⁾²⁾	構造の安全性 1) 部材応力度 2) 疲労損傷度
	下部構造	下部構造	JIS C 1400-3 ⁴⁾ (信頼における国際・国内指針 ²⁾²⁾)	損傷せず、発電施設としての機能を満足する ²⁾²⁾	構造の安全性 1) 部材応力度 2) 疲労損傷度 構造の安定性 1) 支持力 2) 滑動 3) 転倒
基礎	基礎	基礎	国際・国内指針 ²⁾²⁾)	損傷せず、発電施設としての機能を満足する ²⁾²⁾	1) 支持力 2) 滑動 3) 転倒

引用：洋上風力発電施設に関する技術基準の統一解説、令和2年3月版

図-3.4.70

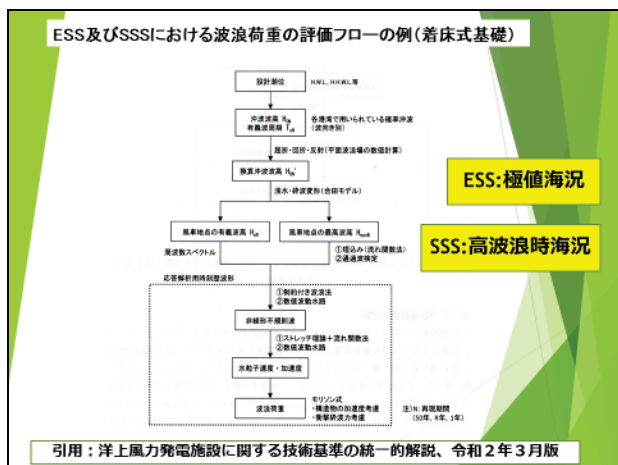


図-3.4.68

荷重組み合わせ、適用基準、要求性能、照査項目の組み合わせ (長期荷重)

荷重組み合わせ (本基準解説で独自に設定)	照査対象	適用基準	要求性能	照査項目
長期荷重	塔	風力発電設備支持物構造設計指針・同解説 ²⁾		構造の安全性 1) 部材応力度
	下部構造	風力発電設備支持物構造設計指針・同解説 ²⁾ または 港湾の施設の技術上の基準・同解説 ²⁾	損傷せず、発電施設としての機能を満足する ²⁾¹⁾	構造の安全性 1) 部材応力度 構造の安定性 1) 支持力 2) 滑動 3) 転倒
基礎	基礎	港湾の施設の技術上の基準・同解説 ²⁾		

引用：洋上風力発電施設に関する技術基準の統一解説、令和2年3月版

図-3.4.71

いても、必要に応じてチェックしておくことが必要です(図-3.4.73)。この極稀地震動は、建設基準法に基づきます(図-3.4.74)。津波についても津波が作用した時に、倒壊・崩壊しないことが要求されています(図-3.4.75)。

それからレベル2の地震動については、これは先程も述べたように、港湾区域の中でその風車が倒れることによ

荷重組み合わせ、適用基準、要求性能、照査項目の組み合わせ

(稀に発生する地震動)

荷重組み合わせ (本基準解説で独自に設定)	照査対象	適用基準	要求性能	照査項目
稀に発生する地震動	タワー	風力発電設備 支持物構造設計 指針・同解説 ²⁾	損傷せず、発電 施設としての機 能を満足する ^{※1)}	構造の安全性 1) 部材応力度
	下部構造			構造の安定性 ^{※2)} 1) 支持力 2) 滑動 3) 転倒
	基礎			

引用：洋上風力発電施設に関する技術基準の統一解説、令和2年3月版

図-3.4.72

荷重組み合わせ、適用基準、要求性能、照査項目の組み合わせ

(港湾レベル1地震動)

荷重組み合わせ (本基準解説で独自に設定)	照査対象	適用基準	要求性能	照査項目
港湾レベル1地震動	タワー	港湾の施設の技術上 の基準・同解説 ²⁾	損傷せず、発電 施設としての機 能を満足する ^{※1)}	構造の安全性 1) 部材応力度
	下部構造			構造の安定性 ^{※2)} 1) 支持力 2) 滑動 3) 転倒
	基礎			

引用：洋上風力発電施設に関する技術基準の統一解説、令和2年3月版

図-3.4.73

荷重組み合わせ、適用基準、要求性能、照査項目の組み合わせ

(極めて稀に発生する地震動)

荷重組み合わせ (本基準解説で独自に設定)	照査対象	適用基準	要求性能	照査項目
極めて稀に発生する地震動	タワー	風力発電設備 支持物構造設計 指針・同解説 ²⁾	倒壊崩壊 しない ^{※1)}	構造の安全性 1) 部材応力度 または タワーの 性能照査
	下部構造			構造の安定性 ^{※2)} 1) 支持力 2) 滑動 3) 転倒 または 下部構造と 基礎の 性能照査
	基礎			

引用：洋上風力発電施設に関する技術基準の統一解説、令和2年3月版

図-3.4.74

て、港湾の耐震強化施設に影響がある場合に検討する必要があります。海洋再生エネルギー発電設備の一般海域の場合には、港湾レベル2地震動の照査は必要ないということです(図-3.4.76)。

具体的にはそういった要求性能を満足するかを確認する流れの中で実際に設計していきます。実際に荷重を定めて、構造解析をやって、モノパイルの時はどうするか、ジャケットの時はどうするか、重力式の時はどうするか、支持構造物別の設計手順が示されています(図-3.4.77)。

また、設計に際して注意しなければいけないのは、モノパイルの場合は洗堀の影響です。洗堀によりどのような問題があるかと言うと、まず風車基礎周辺の海底面が洗堀されることによって、風車自体が傾斜してしまう可能性があります(図-3.4.78)。それから洗堀されると、支持構造を支える有効な根入長が短くなるので、強度、いわゆる杭の耐力が落ちてしまうことが考えられます。このようにモノパイル構造では洗堀対策が重要になります(図-3.4.79)。

洗堀すると深掘れして杭根入長が短くなるので、それを抑えるために、根固めの材料を風車の基礎のモノパイルの

荷重組み合わせ、適用基準、要求性能、照査項目の組み合わせ

(設計津波)

荷重組み合わせ (本基準解説で独自に設定)	照査対象	適用基準	要求性能	照査項目
設計津波	タワー	港湾の施設の 技術上の基準 ・同解説 ²⁾	倒壊崩壊 しない ^{※1)}	構造の安全性 1) 部材応力度
	下部構造			構造の安定性 ^{※2)} 1) 支持力 2) 滑動 3) 転倒 または 地盤と 支持構造物の 性能照査
	基礎			

引用：洋上風力発電施設に関する技術基準の統一解説、令和2年3月版

図-3.4.75

荷重組み合わせ、適用基準、要求性能、照査項目の組み合わせ

(港湾レベル2地震動)

荷重組み合わせ (本基準解説で独自に設定)	照査対象	適用基準	要求性能	照査項目
港湾レベル2地震動	タワー	港湾の施設の技術上 の基準・同解説 ²⁾	倒壊崩壊しない ^{※1)}	構造の安全性 1) 部材応力度
	下部構造			構造の安定性 ^{※2)} 1) 支持力 2) 滑動 3) 転倒 または 地盤と 支持構造物の 性能照査
	基礎			

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が適用される一般海域内の洋上風力発電設備については照査の必要はない

引用：洋上風力発電施設に関する技術基準の統一解説、令和2年3月版

図-3.4.76

周辺に洗掘防止工として設置することが考えられます。これは実際に対策工について、実験でその効果を確かめている事例です。こういうふうにはモノパイルの洗掘についても条件に応じて考えていく必要があります(図-3.4.80)。

次にモノパイルの現地施工について説明します。

基本的には風車のタワーを港湾岸壁に設置しておいて、

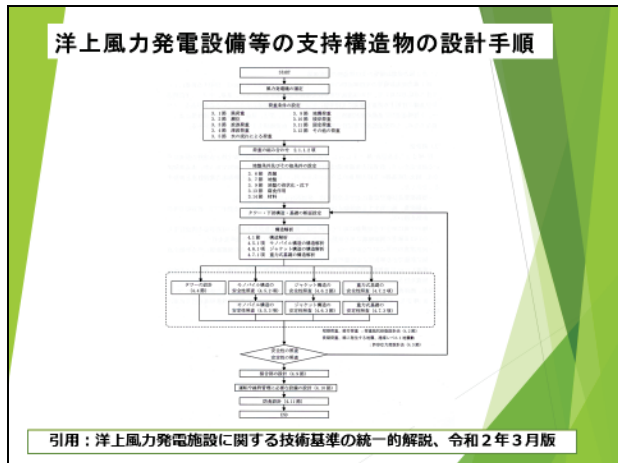


図-3.4.77

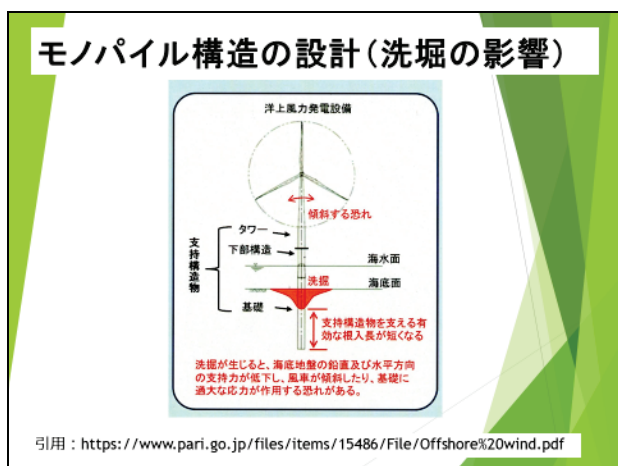


図-3.4.78

クレーンを用いて SEP 船に載せ、港湾から搬出する形をとります。設置海域では、まずモノパイル基礎を海中に打ち込み、その後風車タワーを設置し、風車本体のナセルやブレードを付けて、建設していく形になります(図-3.4.81)。実際にどのように施工しているかについて、私が2019年に訪問したエスビアウ港の例で説明します(図-3.4.82)。これがデンマークのユトランド半島で、こちらがドイツです。これはデンマークの首都コペンハーゲンのある島です。ユトランド半島にはエスビアウ港があって、洋上風車の積み出し基地となっています。私が訪問した時には SIMENS Gamesa 社と MHI Vestas 社の製作ヤードがありました。MHI Vestas 社については、その後 MHI 社が風車の製造から外れて、現在は Vestas 社になっています。エスビアウ港には二社のプレアッセンブル工場が進出しているということで、その状況を説明します。

作業ヤードで使用されていたクレーンは1,350 t 吊りのクレーンで風車のタワー部分を吊り上げて繋げて行きます(図-3.4.83)。ブレードは羽根状のもので、保管架台を設けてブレードを保管しています。この写真は風車

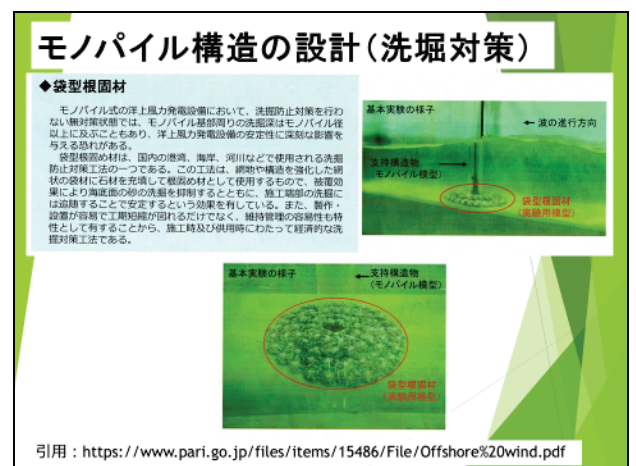


図-3.4.80

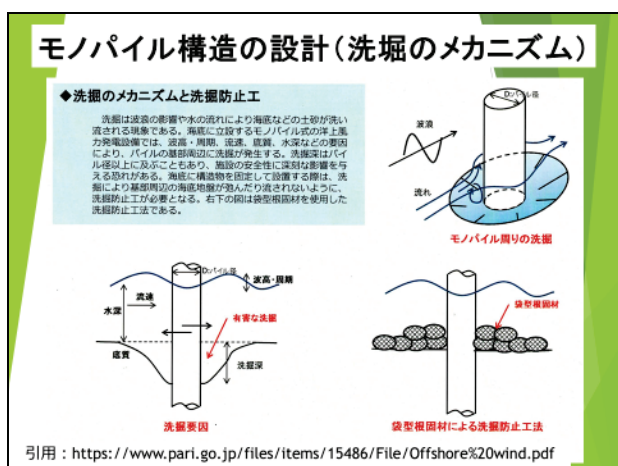


図-3.4.79



図-3.4.81

のブレードを保管している状況です(図-3.4.84)。次の写真はタワーの基部です。数段連結(この場合は3段組)の風車タワーの一番下の部分です。ここにはPCM(Pulse Code Modulation)という装置が組み込まれます。風車の電気信号(風車の発電機の部分で発電された信号)は、パルス状の信号であることから、この装置で電流信号に変換してい

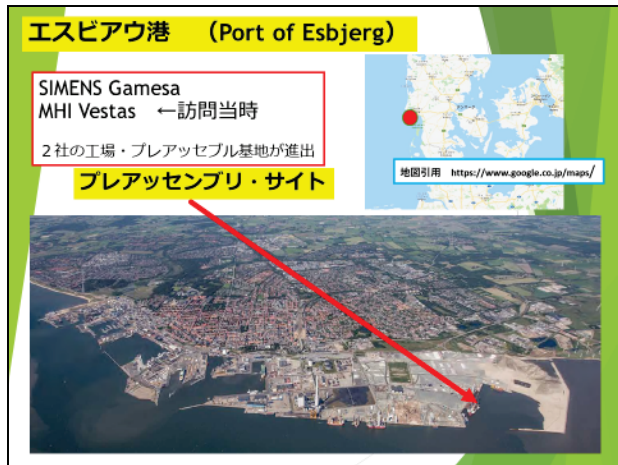


図-3.4.82



図-3.4.83



図-3.4.84

ます。この装置はタワーの一番下の部分に格納されます(図-3.4.85)。

タワー基部は岸壁前面で固定します。その上にタワーを繋いでいきます。工場の中は基本的には砕石敷きで舗装がされていません。使用中にはこういう穴が出きますから、ヤード内には表面補修に使用する砂や砂利が置かれておりました(図-3.4.86)。これはドーリーといって、タワーを立ち上げて行く時に使う装置です。タワーは鉛直に立てていかなければならないので、この装置とクレーンを使って風車タワーを縦に立ち上げて繋いでいく作業に使います。また、ドーリーは工場内でのタワーの輸送にも使われています(図-3.4.87)。

風車のプレアッセンブルの港として、オランダのフリッシンゲン港について説明します。風車を組み立てヤードは、この港のちょっと奥まった部分です(図-3.4.88)。これはタワーの仮置き状況です(図-3.4.89)。先程説明したドーリーでこの位置まで持って来て、クレーンを用いてタワーを吊り上げて立てて行く形で、さらに2段、3段と繋いでいきます。8MW サイズ風車では3段組でタワーを繋げる作



図-3.4.85



図-3.4.86

業をしていました(図-3.4.90)。

標準的な作業のスケジュールとしては、タワーの組み立てに約1日を要します。このように最初の段から2段、3段と繋いでいきます。これはちょうど3段目を繋いでいるところです(図-3.4.91)。この繋ぐ作業は約1日ででき、ボルトで連結部を締めていきます。内部に12本のケーブル

ルが設置され、4本束のケーブルがタワー中に設置されます。ケーブル束は風車タワー内の3カ所に分けて設置されます。ケーブルの整線には約3日掛かるということです。この一番下タワーには先程説明したPCMというモジュレーターが収納されます(図-3.4.92)。

このように、タワーは3段重ねで据え付けて積み上げて行って、岸壁に立ち上げて行くという形になります。この写真はタワーを支える基礎部分で、治具を用いて転倒しないように支えています(図-3.4.93)。

このタワー基部周辺をどのように保護しているかについて説明します。この場合は木材を並べて、周辺を保護しています。16cmの角材6本をボルトで繋いで接合し、角材で面を造って、その上に風車のタワー部分を載せていくことを行っています(図-3.4.94)。

ナセルの保管状況を説明します。これは風車のナセルの部分です。この部分も舗装はされていない、砂利敷きのヤード上に架台を置き、その上にナセルを載せます。ブレードも同じように治具を置いて、ブレードが変形しない形をとって保管しています(図-3.4.95)。



図-3.4.87



図-3.4.88



図-3.4.90



図-3.4.89



図-3.4.91

次にモノパイルの施工について具体的に説明します(図-3.4.96)。この図はモノパイルの施工の手順を示しています。モノパイルを海底に打ちこみ、その上に風車を立てて、送電ケーブルを繋げます。また、プラットフォーム構造で、洋上変電所が建設されます。このようにしてウインドファームを建設し、海底送電線を陸上の変電所に繋げて行きま



図-3.4.92



図-3.4.93



図-3.4.94

す(図-3.4.97)。

モノパイルの施工・打設について説明します。これはモンマーでモノパイルを打ち込んでいる状況です。モノパイルを打設している時の写真です。SEP船を使って直立させるためにガイドで保持しながらモノパイルを打ち込んでいきます(図-3.4.98)。この写真は実際に打設ハンマーで海



図-3.4.95

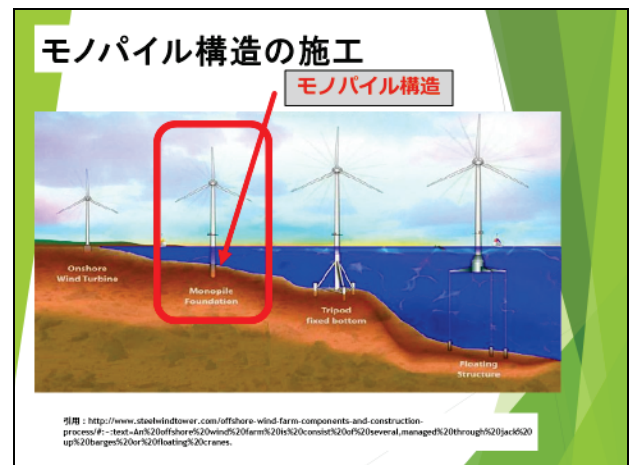


図-3.4.96

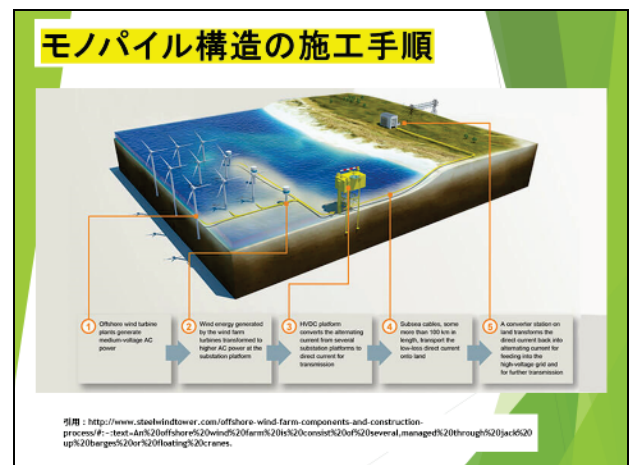


図-3.4.97

中にモノパイルを打ち込んでいる状況です(図-3.4.99)。
モノパイルをこのようにどんどん打設していくと、水中の衝撃波によってこのような海面の状況になります(図-3.4.100)。

次にモノパイルの打設後、その上にトランジションピース (TP) を設置します。TP を設置した上に SEP 船に載せたタワーを繋いでいきます。この事例では、写真の奥の方から順番に SEP 船が移動しながら洋上風車を設置しています(図-3.4.101)。その後設置されたタワーの上にナセルやブレードを据え付ける作業順序になっています。これはタワーの上にナセルを付けて、ローターとブレードをナセルに取り付ける状況の写真です(図-3.4.102)。タワーの内部については、岸壁の前面において内部配線を行っています。電力や通信ケーブルについては、岸壁にタワーを設置した段階で内部にあらかじめ配線していく形になります(図-3.4.103)。

モノパイル構造のメンテナンスについて説明します。O&M の基地港湾ということで、私が 2019 年 9 月、新型コロナの感染拡大が始まる前年の視察の状況です(図

-3.4.104)。

ドイツのムクラン港の状況をお話します。このムクラン港の沖にはアルコナウインドファームという洋上風力発電所があります。この地域は旧東ドイツ領になります。ここが O&M の基地です。ウインドファームまでだいたい 20km ぐらい離れていますが、このムクラン港が O&M の基



図-3.4.100



図-3.4.98



図-3.4.101



図-3.4.99



図-3.4.102

地になります。風車を建設する時もここが基地港湾として機能していました(図-3.4.105)。

その時に訪れたのが e-on 社という風力発電事業者が管理している事務所です。この e-on 社がどのぐらいのシェアを示しているかという点と、2018 年の新規設置分と累積設置量では、ヨーロッパの洋上風力発電事業者の中では 2 番目です(図-3.4.106)。

アルコナウインドファームは 2018 年に建設され、2019 年から稼働開始しています。どの時期から計画があったかについて説明します。これは 2006 年当時の資料です。私が 2006 年にインドで開催された世界風力発電会議に出席した時に、ドイツの人とお話をして、その後を送付していただいた資料のコピーです。2006 年当時の資料ですが、その中に既にアルコナウインドファームが記載されておりました。その当時の資料では、連邦海洋水理庁 (BSH) という組織がドイツの中では洋上風力発電の建設稼働に対する認可の省庁ということで、2006 年当時、北海海域では 13 海域、それからバルト海海域では 2 海域が認可を受けております。2006 年にこのアルコナウインドファーム

ムについても認可を受けていたということです(図-3.4.107)。

どのような経緯をへてアルコナウインドファームが建設されたかを説明します。2006 年に先程説明した BSH という組織より一次認可が下りて、観測塔を設置して洋上風速の観測を開始しました。ここからいろいろな事前調査が

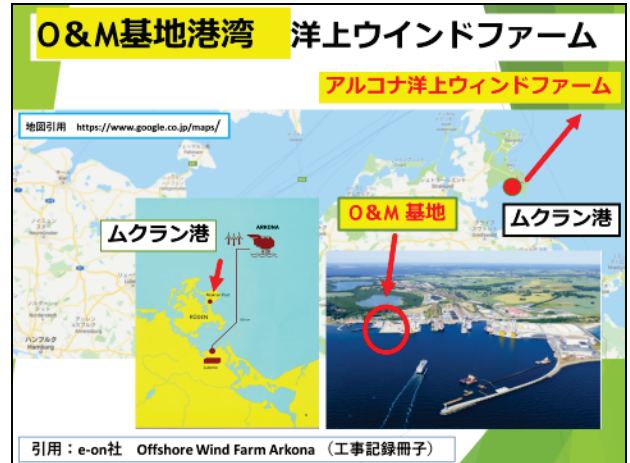


図-3.4.105



図-3.4.103

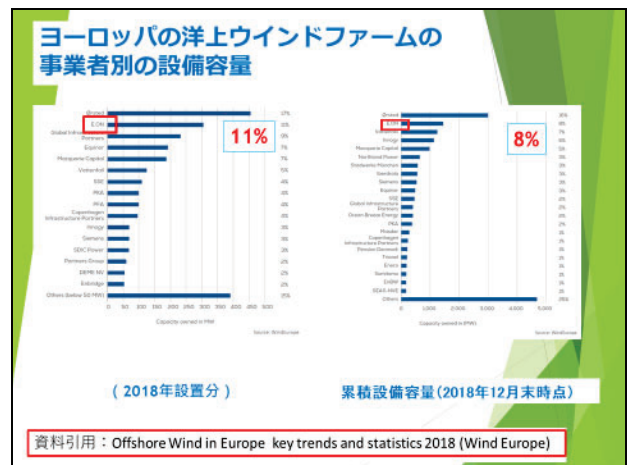


図-3.4.106



図-3.4.104



図-3.4.107

あり、時間がかかっています。2015 年になり、ようやく地盤調査、三次元の音波調査が実施されて、系統容量が確保されました。2016 年になって事業への投資が決まったので、そこから Cone Penetration Test (CPT) という調査方法で海底地盤の調査が開始されました。海底地盤にコーンを刺し込んでそれで地盤の強度を調べるという方法です。そこから先は建設が一気に進んでいき、モノパイル打設、サブステーション・ジャケット設置という形で基礎工事が進み、2018 年には風車上物や海底送電ケーブルが設置されました。同ウインドファームは 2019 年に O&M が開始されました。私が訪問したのは 2019 年 9 月で、O&M が開始された直後の時期でした(図-3.4.108)。この洋上風車の規模は 6MW です。現状では 6MW は決して大きな風車ではないのですが、計画段階から時間をかけて建設が進んだこともあるので、6MW というのは当時建設された中ではちょっと小ぶりではありますが、一般的な風車規模になります。建設にはここで示す重量の構造物が使われています。×60 というのは 60 基あることを示しています。モノパイルは 800~1,200 t の範囲です。水深や地盤条件により風

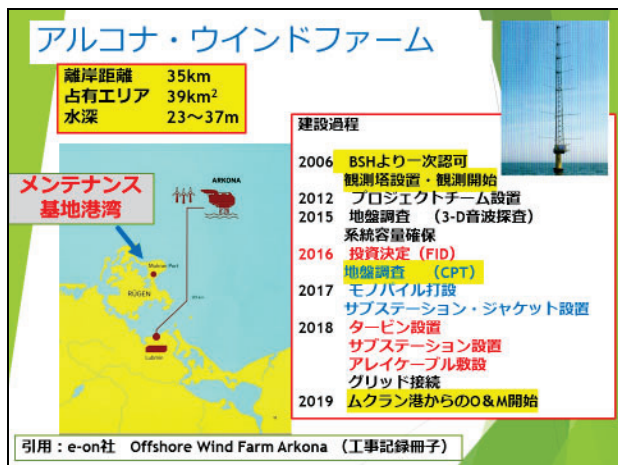


図-3.4.108

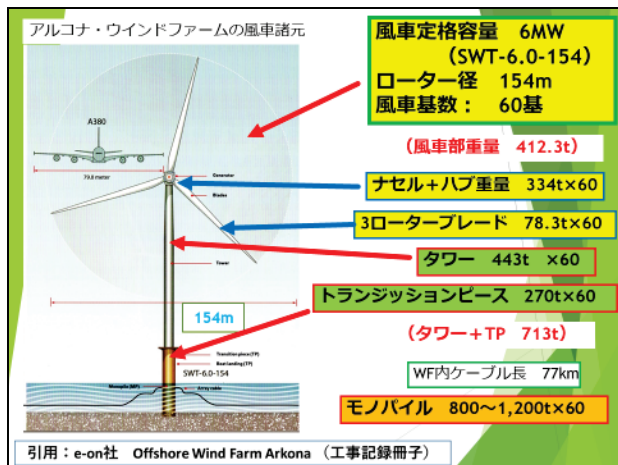


図-3.4.109

車ごとに異なっています。風車のサイズがどのくらいかと言うと、飛行機の A380 と並べるとこんな感じのサイズ比較になります(図-3.4.109)。

実際のメンテナンス作業では沖合の海域に行く必要があります。風が強い時や波が高い時は現場まで行けないので、作業可否を判断するために予測が行われ、風速・波浪の予測値がメンテナンス基地のモニターに表示されています。私が行った時はギリギリ現地に行ける状況だったので、船で現地を見学することができました。O&M 基地の保管庫にはメンテナンスのためのいろいろな資機材が置かれていました(図-3.4.110)。

実際に海域まで船で行った状況を説明します。メンテナンス作業では、洋上風車に近づき、トランジションピースの部分の着床施設に船を着け、梯子を上って、タワー基部のハッチから風車内部に入って保守点検する構造になっています(図-3.4.111)。このウインドファームでは 60 本の風車が並んでいるのですが、そこを縫うように海底送電ケーブルが敷設されています。まず風車と風車の間は 33,000 ボルトの海底送電ケーブルで繋がっています。そ



図-3.4.110

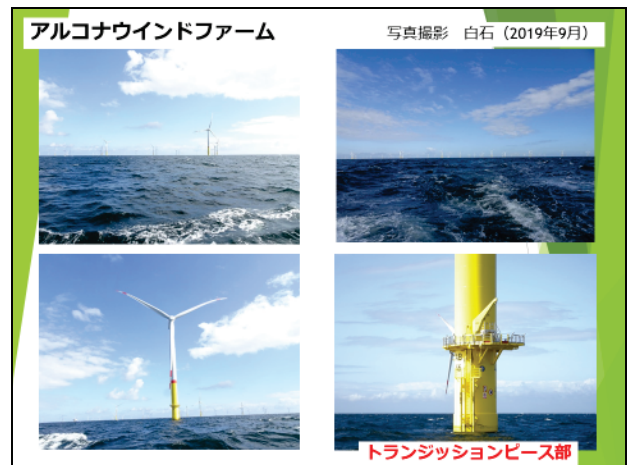


図-3.4.111

これをサブステーション（洋上変電所）の中で 22 万ボルトに昇圧して、陸上に図に示す形で電気を送っています。ウインドファームの真ん中辺りに、洋上変電所が設置されているということです(図-3.4.112)。

洋上変電所については重量構造物になります。サブステーションは約 4,000 t になるので、ここの支えはモノパイルでは無理なので、通常はジャケット基礎が使われております。この 4,000 t の施設を支えるためには、約 1,000 t のジャケット基礎になります。そしてこのジャケットの 4 本の脚を留めるためにスカートパイルが海底地盤に打ち込まれております(図-3.4.113)。

ここからは残りの時間になりますので、モノパイルの建設事例を紹介します。

最初に建設されたスウェーデンの洋上風車というのは、0.22MW (220kW) の風車で、組杭で支持された風車です。既に撤去されてありません。こういう小さな風車で試験的に開始されました。

デンマークでは 1991 年に 11 基の洋上風車が建設されました。これも 0.45MW ということで、1MW もない小さな風

車です。

オランダでは 0.5MW が 4 基建設されました。これは 1994 年にオランダの淡水湖に建設された、この国の最初の事例です。

スウェーデンでは Bockstigen というところに、0.55MW 風車が 5 基建設されました。2018 年に更新されて 5MW が 10 基という新しい風車に変わっています。このように当初は 1MW 未満という小さな風車で洋上風車の開発が進められてきました。

2000 年には英国で 2MW の風車 2 基の研究開発が始まりました(図-3.4.114)。

その後、どんどん風車のサイズが大きくなり、最初は 2MW ぐらいの風車で、ウインドファームが建設されるようになりました。有名なものはデンマークの Middelgrunden-Offshore Wind Farm です。ここではモノパイルではなくて水深が浅いことから、重力式の構造をとっています。円弧状に風車が 20 基配置されています。今から 20 年前にいろいろな方がヨーロッパの風車事情を説明する時にスライドでよく使われていたのが、この Middelgrunden-

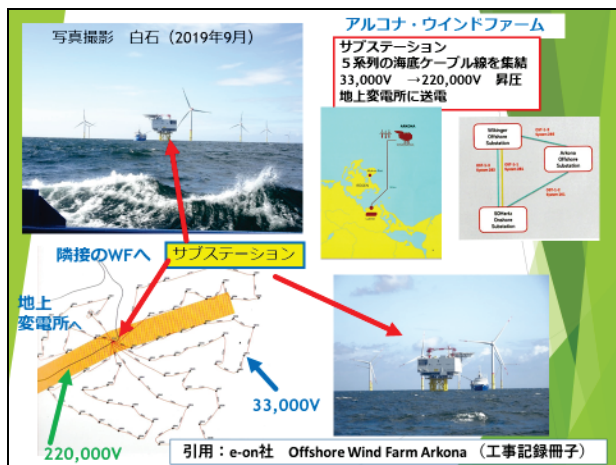


図-3.4.112

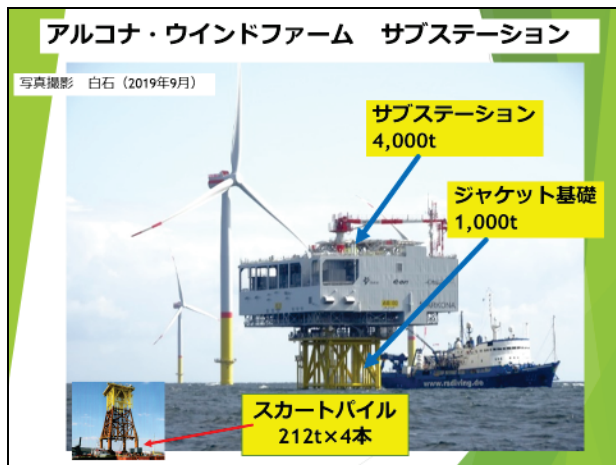


図-3.4.113

初期のモノパイル構造事例① (モノパイル以外の構造形式も併記)		
スウェーデン	Svante 1 Offshore Wind Farm (Nogersund)	(組杭式) 運用開始 1990年 0.22MW (0.22MW×1基) 2004年撤去
デンマーク	Vindeby Offshore Wind Farm	(モノパイル) 運用開始 1991年 4.95MW (0.45MW×11基) 2017年撤去
オランダ	Lely Wind Farm (淡水湖に建設)	(組杭式) 運用開始 1994年 2MW (0.5MW×4基) 2014年撤去
スウェーデン	Bockstigen Offshore Wind Farm	(組杭式) 運用開始 1998年 2.75MW (0.55MW×5基) 撤去済 (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) 運用開始 2000年 4MW (2MW×2基) 2019年撤去

図-3.4.114

初期のモノパイル構造事例② (モノパイル以外の構造形式も併記)		
スウェーデン	Utgrunden Offshore Wind Farm	(モノパイル) 運用開始 2000年 11MW (1.5MW×7基) 2018年撤去
スウェーデン	Yttre Stengrund Offshore Wind Farm	(モノパイル) 運用開始 2001年 10MW (2MW×5基) 2015年撤去
デンマーク	Middelgrunden Offshore Wind Farm	(重力式) 運用開始 2001年 40MW (2MW×20基)
デンマーク	Horns REV Offshore Wind Farm	(モノパイル) 運用開始 2002年 160MW (2MW×80基)
デンマーク	Nysted Offshore Wind Farm	(モノパイル) 運用開始 2003年 383MW (2.3MW×162基)
ドイツ	Dollant Emden Offshore Wind Farm	(モノパイル) 運用開始 2004年 4.5MW (4.5MW×1基) パイロット試験
英国	Barrow Offshore Wind Farm	(モノパイル) 運用開始 2006年 90MW (3MW×30基)

図-3.4.115

Offshore Wind Farm です。

そして2002年・2003年になると、デンマークで、80基あるいは160基のかなり大規模・本格的なウインドファームが建設されるようになりました。今から20年前のことです(図-3.4.115)。

ドイツでもパイロット試験で大きな風車が建設され、英国でも、2MWとか3MWの風車が建設されるようになって、洋上風車の大型化が進んできたということです。さらに水深が深い場所では、ジャケット構造のものがパイロット試験で実施されるようになりました。また、ノルウェーでは世界で初めての浮体式の洋上風車の試験研究が行われました。

その後、年を経るに従って、5MW、6MWという大型の風車が建設されるようになりました(図-3.4.116)。

浮体式についてはHywind Scotlandにおいて、6MW風車5基の商用運転が開始されるようになりました。それから2018年にはジャケット式でもかなり大型なプロジェクトが進み7MW風車84基が商用運転され、洋上風車の大型化が進んでいきました(図-3.4.117)。

初期のモノパイル構造事例③ (モノパイル以外の構造形式も併記)			
英国	Beatrice Offshore Wind Farm	(ジャケット式) 運用開始 10MW (5MW×2基) パイロット試験	2007年
ノルウェー	Hywind Offshore Wind Farm	(浮体式) 運用開始 2.3MW (2.3MW×1基) パイロット試験	2009年
デンマーク	Horns REV2 Offshore Wind Farm	(モノパイル) 運用開始 209MW (2.3MW×91基)	2009年
ベルギー	Thorntonbank Offshore Wind Farm (Phase-1)	(モノパイル) 運用開始 30MW (5MW×6基)	2009年
ベルギー	Thorntonbank Offshore Wind Farm (Phase-2)	(モノパイル) 運用開始 184MW (6.15MW×30基)	2012年
ベルギー	Thorntonbank Offshore Wind Farm (Phase-3)	(モノパイル) 運用開始 110MW (6.15MW×18基)	2013年

図-3.4.116

初期のモノパイル構造事例④ (モノパイル以外の構造形式も併記)			
英国	Hywind Scotland Offshore Wind Farm	(浮体式) 運用開始 30MW (6MW×5基) 商用運転	2017年
英国	Beatrice Offshore Wind Farm	(ジャケット式) 運用開始 588MW (7MW×84基) 商用運転	2018年

図-3.4.117

これから、初期の事例を含めて若干紹介させていただきます。

これはスウェーデンの初期のもので、トリポットという形式で3本の足を岩盤の上につけ、水深もまだ浅く規模も小さい0.22MWの風車が造られました。(図-3.4.118)。

それからオランダの淡水湖に建設された風車です。これも0.45MWが4基ということで、淡水湖の中に風車が建てられました。これは2014年に撤去されました(図-3.4.119)。洋上風車の撤去については講演会の第6回でもう少し詳しく説明します。初期のものについては、このように撤去される事例も出てきています(図-3.4.120)。


それからデンマークのVindebyという地点の風車、これもまだ小さく0.45MWの風車です。1991年に建設されて、2017年に撤去されています(図-3.4.121)。撤去の内容については第6回で説明させていただきます(図-3.4.122)。

次はスウェーデンのBockstigenです。1998年に建設された当時は0.55MWが5基ということで、初期としては比較的大きかったのですが、最近5MWの大きな風車に更新されています(図-3.4.123、図-3.4.124)。

スウェーデン Svante 1 Offshore Wind Farm (Nogersund)

パイロット試験機

トリポット構造 (岩盤上)





風車基数	1基
総設備容量	0.22MW
風車サイズ	0.22MW×1基
離岸距離	1.5km
水深	7m
建設年	1990年
運用開始	1991年
撤去年	2004年

引用: https://www.researchgate.net/figure/The-first-offshore-wind-turbine-at-Nogersund-Sweden_fig1_237525287

図-3.4.118

オランダ Lely Wind Farm (淡水湖に建設)

風車基数	4基
総設備容量	2MW
風車サイズ	0.5MW×4基
離岸距離	0.8km
水深	4m
建設年	1992年
運用開始	1994年
撤去年	2014年

引用: https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Lely_Offshore_Wind_Farm

図-3.4.119

これは英国で比較的初期の段階の風車です。これも水深がまだ6m~11mと浅く、2MWが2基ということで、パイロット試験的な開発になります(図-3.4.125)。

それから Utgrunden Offshore Wind Farm です。これは少し大型化してきました。2000年運用開始ということで1.5MW風車が7基というものです。これも2018年に撤去

されています(図-3.4.126, 図-3.4.127)。

Yttre Stengrund Offshore Wind Farm これも初期の洋上風車の中では大きくて2MWが5基です。これも撤去されています。撤去についてはまた8月頃に第6回で詳しく説明させていただきます(図-3.4.128, 図-3.4.129)。

これは Middelgrunden Offshore Wind Farm で、この風

オランダ Lely Wind Farm (淡水湖に建設)

撤去状況

風車基数	4基
総設備容量	2MW
風車サイズ	0.5MW×4基
離岸距離	0.8km
水深	4m
建設年	1992年
運用開始	1994年
撤去年	2014年

撤去については、第6回講演(2023年8月予定)で詳しく説明します。

引用: <https://www.diesekogroup.com/project/decommissioning-lely-offshore-wind-farm/>

図-3.4.120

スウェーデン Bockstigen Offshore Wind Farm

風車基数	5基
総設備容量	2.75MW
風車サイズ	0.55MW×5基
離岸距離	4km
水深	6m
運用開始	1998年
風車更新年	2018年
更新後風車サイズ	5MW×10基

引用: <https://momentum-gruppen.com/case/bockstigen-offshore-repowering/>

図-3.4.123

デンマーク Vindeby Offshore Wind Farm

風車基数	11基
総設備容量	4.95MW
風車サイズ	0.45MW×11基
離岸距離	2km
水深	4m
運用開始	1991年
撤去年	2017年

引用: <https://www.pmi.org/learning/library/top-50-projects-vindeby-offshore-wind-farm-11722>

図-3.4.121

スウェーデン Bockstigen Offshore Wind Farm

風車基数	5基
総設備容量	2.75MW
風車サイズ	0.55MW×5基
離岸距離	4km
水深	6m
運用開始	1998年
風車更新年	2018年
更新後風車サイズ	5MW×10基

引用: <https://momentum-gruppen.com/case/bockstigen-offshore-repowering/>

図-3.4.124

デンマーク Vindeby Offshore Wind Farm

撤去状況

風車基数	11基
総設備容量	4.95MW
風車サイズ	0.45MW×11基
離岸距離	2km
水深	4m
運用開始	1991年
撤去年	2017年

撤去については、第6回講演(2023年8月予定)で詳しく説明します。

引用: <https://www.pmi.org/learning/library/top-50-projects-vindeby-offshore-wind-farm-11722>

図-3.4.122

英国 Blyth Offshore Wind Farm

風車基数	2基
総設備容量	4MW
風車サイズ	2MW×2基
離岸距離	1.6km
水深	6~11m
運用開始	2000年
撤去年	2019年

引用: <https://www.edf-re.uk/our-sites/blyth/>

図-3.4.125

車はコペンハーゲン空港の沖合に建設されています。この辺に空港があるはずですが、陸上からも見ることができるのですが、風車は円弧状に並んでいます。先程も申し上げましたように、今から20年ぐらい前の欧州の風車の運用状況を紹介するスライドの中には必ず登場していた風車で、現在も運用されています(図-3.4.130)。

洋上ウインドファームの大型化が進んだのは、Horns REV Offshore Wind Farmで、2002年に2MWの風車80基が並びました。Horns REV2では2009年に2.3MW風車91基が建設されました。この2つのプロジェクトの間では風車はあまり大型化していません。最近建設されたHorns REV3は風車のサイズが8.3MWです。風車が2.3MWの配置と8.3MW

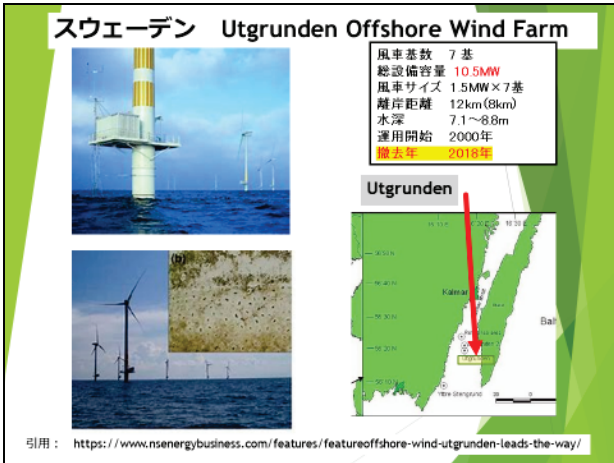


図-3.4.126



図-3.4.129



図-3.4.127

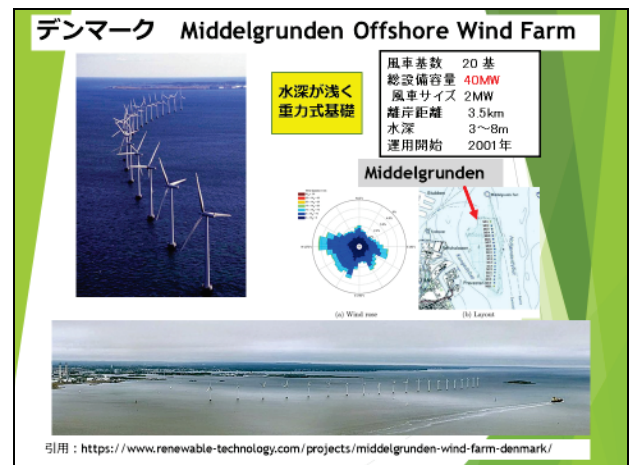


図-3.4.130

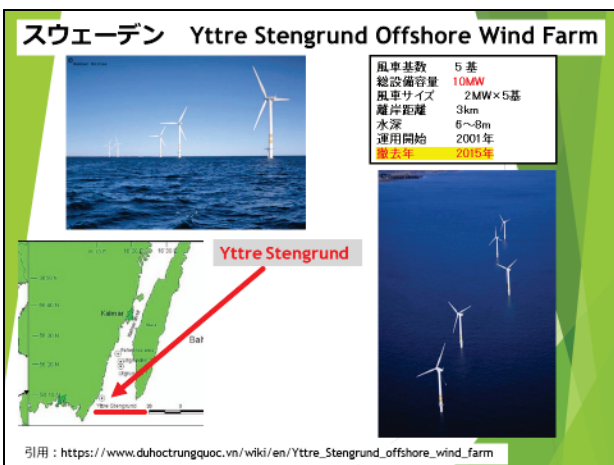


図-3.4.128

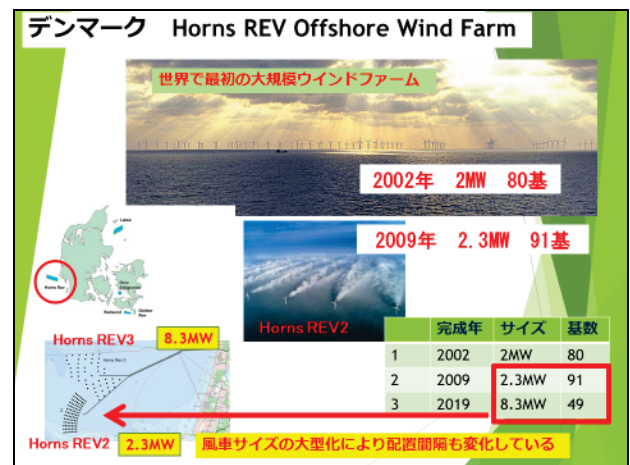


図-3.4.131

の配置を比較すると、8.3MW では、風車間隔が非常にまばらになってきています。風車の大型化によって配置間隔も大きくなっています(図-3.4.131)。これは、Horns REV の写真です(図-3.4.132)。

同じ時期の 2003 年に運用開始された、デンマークの Nysted Offshore Wind Farm です(図-3.4.133)。この辺りになると現在のものに比べると風車サイズは小さいのですが基数が多いウインドファームが本格的に建設されるようになりました。今から 20 年ぐらい前の状況です。

これはドイツのパイロット試験機です(図-3.4.134)。

次はイギリスのウインドファームです。2006 年ぐらいになると 3MW サイズとなりました。2001 年・2002 年では 2MW だったものが 3MW に大きくなっています(図-3.4.135)。

Horns REV2 です。運用開始は 2009 年ですが、風車サイズはそんなに大きくなっていないのですが、基数が多くなって、2.3MW 風車が 91 基です(図-3.4.136)。さらに 2010 年以降になると、5MW・6MW が出て来て、洋上風車の大型化が進んでいます。

この表には代表的な洋上ウインドファームを示してい

ます。設備容量の大きなものから小さなものへ順番に並べています(図-3.4.137)。残り時間でこれらについて少しだけ紹介させていただきます。これは去年までの時点で稼働している風車の中で一番大きなものです。8MW 風車が 165 基、1,386MW (約 1.4GW) というので、この 1 カ所のウインドファームだけで火力発電所 1 カ所あるいは原子力



図-3.4.134

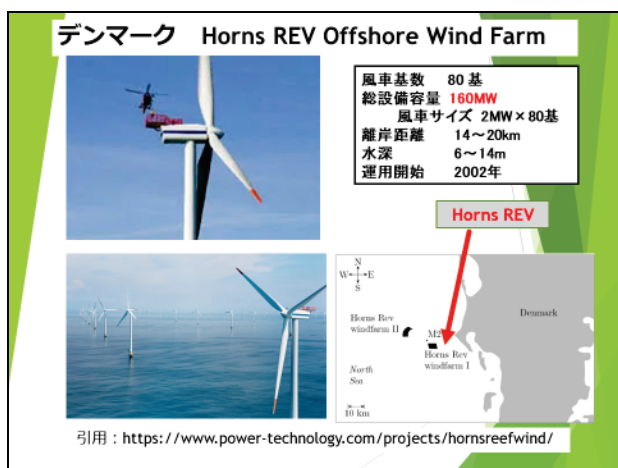


図-3.4.132

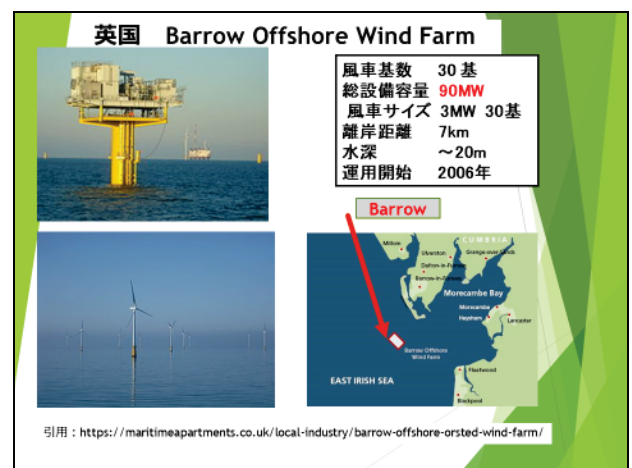


図-3.4.135

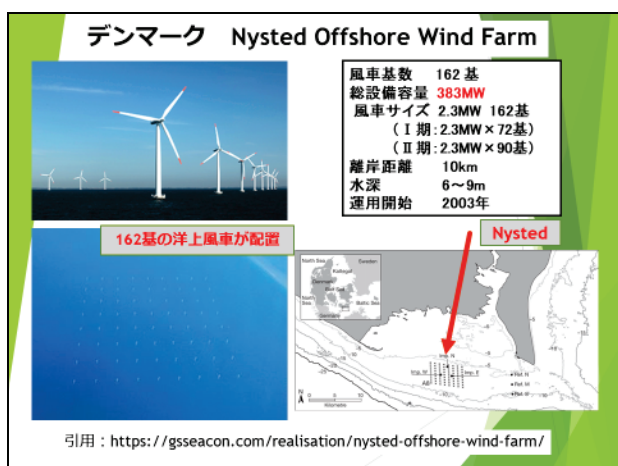


図-3.4.133

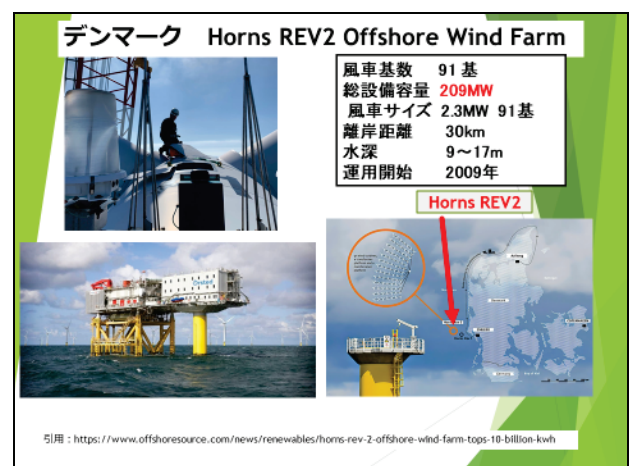



図-3.4.136

発電所 1カ所に匹敵するぐらいの設備容量があります(図-3.4.138)。それから Hornsea Project One, これは 7MW 風車が 174 基, これも運用開始は 2019 年からです(図-3.4.139)。それから Triton Knoll, これは 9.5MW 風車が 90 基です。2021 年になると 9.5MW の洋上風車が建設され, 10MW に近い大型洋上風車が実用化されてきました(図-

名称	国名	設備容量 (MW)	基数	サイズ (MW)	稼働開始年	構造形式	設置水深 (m)	沖距離 (km)	沖延距離 (km)	占有面積 (km ²)	最大水深 (m)
1 Hornsea Project Two	英国	1,386	165	8	2022	モノパイル	25-30	89	89	462	30
2 Hornsea Project One	英国	1,218	174	7	2019	モノパイル	25-30	38	38	629.6	30
3 Triton Knoll	英国	857	90	9.5	2021	モノパイル	18-24	33	33	206.9	24
4 Borssele 1&2	オランダ	752	94	8	2020	モノパイル	14-36	23	23	128.3	36
5 Borssele 3&4	オランダ	731.5	77	9.5	2021	モノパイル	14-38	25	25	146	38
6 Walney Extension	英国	659	40	8.25	2018	モノパイル	19-23	19	19	145	23
7 London Array	英国	630	175	3.6	2013	モノパイル	25	20	20	122	25
8 Riggens Flak	デンマーク	605	72	8.4	2021	モノパイル	16-25	15	15	179	25
9 Gemini Wind Farm	オランダ	600	150	4	2018	モノパイル	28-36	28	28	85	36
10 Gode Wind (phases 1,2)	ドイツ	582	97	6	2017	モノパイル	33	45	45	79	33
11 Owynt y Mdr	英国	576	160	3.6	2015	モノパイル	15-30	14	14	79	30
12 Pasa Basi	英国	573	91	6	2018	モノパイル	6-26	27	27	75	26
13 Greater Gabbard	英国	504	140	3.6	2012	モノパイル	20-32	23	23	147	32
14 Jiangsu Qidong H1-H2	中国	503	84	6	2021	モノパイル		37	37	114.5	
15 Hsueh Sea	ドイツ	497	71	7	2019	モノパイル	-40	98	98	42	40
16 Horns Rev 3	デンマーク	407	49	8.3	2019	モノパイル	11-19	30	30	55	19
17 Ouessant	英国	402	67	6	2017	モノパイル	18-25	32	32	35	25
18 Vella Mada	ドイツ	402	67	6	2017	モノパイル	39-41	95	95	51	41
19 Anholt	デンマーク	400	111	3.6	2013	モノパイル	15-19	15	15	88	19
20 Rampton	英国	400	116	3.45	2018	モノパイル	19-40	13	13	72	40
21 Binhai North H2	中国	400	100	4	2018	モノパイル	14-18	22	22		18
22 Hudong H6	中国	400	100	4	2021	モノパイル	9-20	50	50	66	20


図-3.4.137

① 英国 Hornsea Project Two Offshore Wind Farm



風車基数 165 基
 総設備容量 1,386MW
 8MW × 165基
 離岸距離 89km
 水深 25~30m
 運用開始 2022年


Hornsea Project Two



引用 <https://hornsaprojects.co.uk/hornsea-project-two#:~:text=Hornsea%20Two%20Offshore%20Wind%20Farm%20is%20located%20approximately,project%20with%20power%20of%20over%201.3%20million%20homes.>


図-3.4.138

② 英国 Hornsea Project One Offshore Wind Farm



風車基数 174 基
 総設備容量 1,218MW
 7MW × 174基
 離岸距離 38km
 水深 25~30m
 運用開始 2019年

Hornsea Project One



引用 <https://orsted.co.uk/energy-solutions/offshore-wind/our-wind-farms/hornsea1>


図-3.4.139

-3.4.140)。次はオランダの事例で, ここは 8MW 風車が 94 基ということで, これも運用開始が 2020 年です(図-3.4.141)。先程の Triton Knoll も運用開始が 2021 年ということで, 最近できた大型ウインドファームです。2020 年ぐらいになると 8・9・10MW の洋上風車がヨーロッパの中では数多く建設される状況になっています。この表は設備容量の大きな順番に並べています。少し年代が戻ってしまいましたが, 2013 年には 3.6MW で最近のものよりは風車サイズが小さいのですが, 台数で稼いでいる London Array という有名なウインドファームが, ロンドンの沖合に建設されています(図-3.4.142)。その他, いろいろな風車を紹介しております。表はウインドファームの規模順に並べておりますので, お手元の資料で詳しく見ていただければと思います(図-3.4.143~図-3.4.159)。

以上説明したように世界の洋上風車の大規模化が進んでいます。日本では規模の大きなウインドファームを直ぐに実現するのは難しい状況ですが, ヨーロッパでは遠浅の海域という特徴を生かして, 規模の大きいものが建設されています。日本の場合は遠浅の海域がないので, 同じような規模感の洋上風車やウインドファームを建設するのは難しい状況になっています。それでも昨年は港湾区域の中で能代港・秋田港, 今年は同じく港湾区域で石狩湾新港, こういったところで洋上風車が建設され, 今後は一般海域にも建設されていきます。ヨーロッパの規模感とは少し違うかもしれませんが, ここ数年の間に, 我が国の洋上風車も新たな展開を見せてくれるのではないかと思います。


だいたい予定の時間となりましたので, これで説明を終わらせていただきます。ご清聴, ありがとうございます。

③ 英国 Triton Knoll Offshore Wind Farm



風車基数 90基
 総設備容量 857MW
 9.5MW × 90基
 離岸距離 33km
 水深 18~24m
 運用開始 2021年


Triton Knoll



<https://www.tritonknoll.co.uk/>

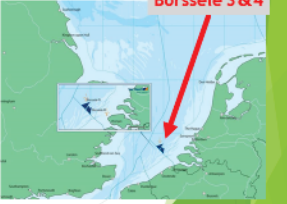
図-3.4.140

⑤ オランダ Borssele 3&4 Offshore Wind Farm



風車基数 77基
 総設備容量 731.5MW
 9.5MW × 77基
 離岸距離 25km
 水深 14~38m
 運用開始 2021年


Borssele 3&4



引用 <https://www.power-technology.com/projects/borssele-iii-iv-offshore-wind-farm/>


図-3.4.143

④ オランダ Borssele 1&2 Offshore Wind Farm



風車基数 94基
 総設備容量 752MW
 8MW × 94基
 離岸距離 23km
 水深 14~36m
 運用開始 2020年

Borssele 1&2



引用 <https://www.power-technology.com/projects/borssele-windfarms-1-2/>

図-3.4.141



⑥ 英国 Walney Extension Offshore Wind Farm

事業主体: Orsted (50%), PFA (25%), PKA (25%)
 設備容量: 659MW
 風車台数: 87基

40x MHI-Vestas 8.25 MW
 47x Siemens Gamesa 7 MW
 590,000世帯の電力に相当

離岸距離 19km
 水深 18~23m
 2010年01月 クラウンエステートより海域承認
 2015年08月 陸上工事開始
 2017年02月 海上工事開始
 2017年05月 発電開始
 2018年01月 海上工事完了


Walney Extension

引用 <https://orsted.com/en/Media/Newsroom/News/2018/09/05/17/28/The-worlds-largest-offshore-wind-farm-opens-today>


図-3.4.144

⑦ 英国 London Array Offshore Wind Farm



風車基数 175基
 総設備容量 630MW
 3.6MW × 175基
 離岸距離 20km
 水深 ~25m
 運用開始 2013年


London Array



引用 <https://londonarray.com/>

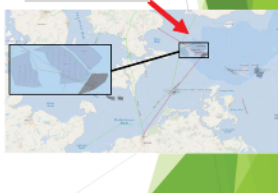
図-3.4.142

⑧ デンマーク Kriegers Flak Offshore Wind Farm



風車基数 72基
 総設備容量 605MW
 8.4MW × 72基
 離岸距離 15km
 水深 16~25m
 運用開始 2021年

Kriegers Flak



引用 <https://www.nenergybusiness.com/projects/kriegers-flak-offshore-wind-farm/>

図-3.4.145

⑨ オランダ Gemini Offshore Wind Farm



風車基数	150基
総設備容量	600MW
	4MW × 150基
離岸距離	85km
水深	28~36m
運用開始	2017年

Gemini



引用：<https://geminwindfarm.com/>

図-3.4.146

⑫ 英国 Race Bank Offshore Wind Farm



風車基数	91基
総設備容量	573MW
	6MW × 91基
離岸距離	27km
水深	6~26m
運用開始	2018年


Race Bank



引用：<https://www.power-technology.com/projects/race-bank-wind-farm/>

図-3.4.149

⑩ ドイツ Gode Offshore Wind Farm



風車基数	97基
総設備容量	582MW
	Gode Wind 1 332MW (6MW × 55基)
	Gode Wind 2 252MW (6MW × 42基)
離岸距離	40km
水深	33m
運用開始	2017年

Gode



Gode Wind3 (316MW) 開発中

引用：以下ほか <https://orsted.com/en/Media/Newsroom/News/2016/05/Last-wind-turbine-completed-at-the-Gode-Wind-Offshore-Wind-Farm>

図-3.4.147

⑬ 英国 Greater Gabbard Offshore Wind Farm



風車基数	140基
総設備容量	504MW
	3.6MW × 140基
離岸距離	23km
水深	20~32m
運用開始	2012年

Greater Gabbard



引用：<https://www.power-technology.com/projects/gretergabbardoffsho/>

図-3.4.150

⑪ 英国 Gwynt V Mor Offshore Wind Farm



風車基数	160基
総設備容量	576MW
	3.6MW × 160基
離岸距離	14km
水深	15~30m
運用開始	2015年

Gwynt V Mor



引用：<https://www.power-technology.com/projects/gwynt-y-mor-offshore-wind-farm-north-wales/>

図-3.4.148

⑭ 中国 Jiangsu Qidong H1+H2 Offshore Wind Farm



風車基数	84基
総設備容量	503MW
	6MW × 84基
	H1 6MW × 42基
	H2 6MW × 42基
離岸距離	37km
水深	10m
運用開始	2021年

Jiangsu Qidong H1+H2



引用：<https://www.offshorewind.biz/2021/12/27/largest-offshore-wind-farm-in-china-fully-grid-connected/>

図-3.4.151

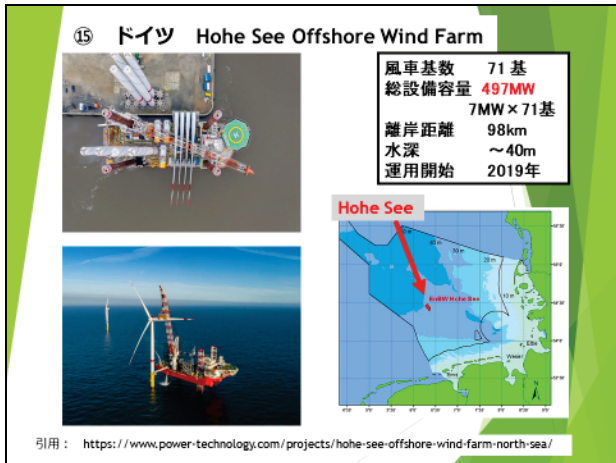


図-3.4.152

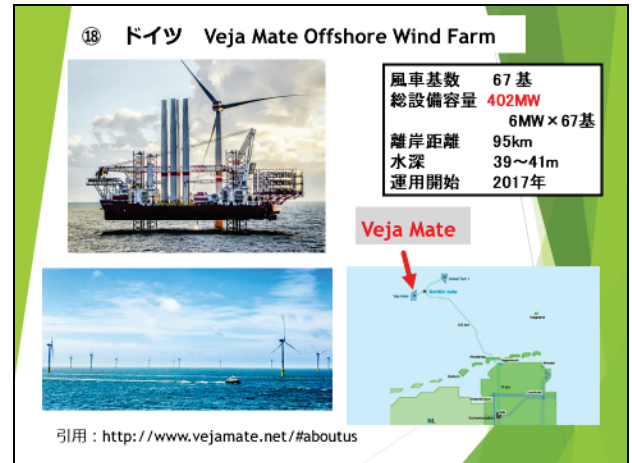


図-3.4.155



図-3.4.153

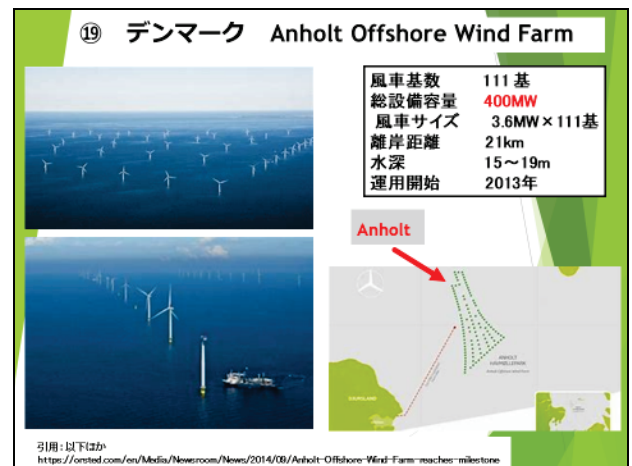


図-3.4.156



図-3.4.154

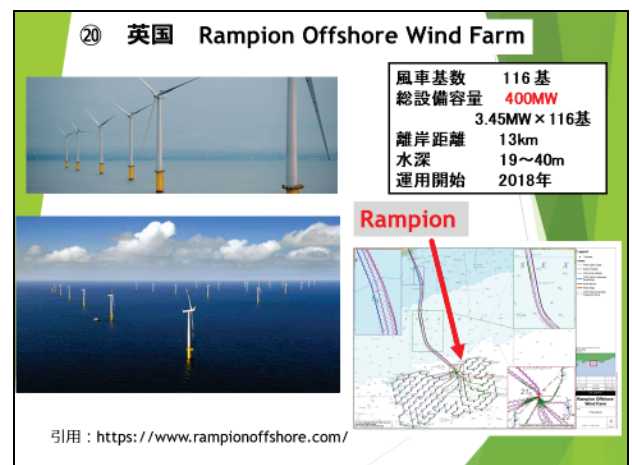




図-3.4.157


21 中国 Binhai North H2 Offshore Wind Farm



風車基数	100 基
總設備容量	400MW
	4MW × 100基
離岸距離	22km
水深	14~18m
運用開始	2018年



Binhai North H2



中国沿海
China Coastal

The distribution of offshore wind along China's coast

Beijing 120 km
Tianjin 117 km
Shanghai 411 km
Qingdao 208 km
Fujian 650 km
Guangdong 650 km


Identified offshore wind capacity, end 2019

0-1000 MW
1000-2000 MW
2000-3000 MW
3000-4000 MW
4000-5000 MW

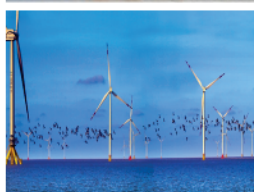
引用：<https://ramboll.com/projects/re/danish-engineers-enter-the-chinese-market-for-offshore-wind>

图-3.4.158


22 中国 Rudong H6 Offshore Wind Farm



風車基数	100 基
總設備容量	400MW
	4MW × 100基
離岸距離	50km
水深	9~20m
運用開始	2021年



Rudong H6



引用：<https://www.nenergybusiness.com/projects/jiangsu-rudong-h6-h10-offshore-wind-power-project/>

图-3.4.159

付録C 洋上風力発電技術セミナー 開催案内

「洋上風力発電技術セミナー（第1回）」 開催案内

1 趣旨

再生可能エネルギーとして注目されている洋上風力発電について、カーボンニュートラルとの関係、世界や国内・道内における状況、施設の計画・設計・施工及び維持管理まで、幅広い内容を分かりやすく解説するセミナーを企画いたしました。

長年にわたり洋上風力関係の研究に携わってこられた、北海道科学大学名誉教授の白石悟氏（現在、一般社団法人 寒地港湾空港技術研究センター審議役）を講師として、全6回（別紙）にわたっての連続セミナーを開催いたします。皆様には広くお声掛けもしていただき、多数ご参加下さいますようお願い申し上げます。

2 セミナー

日時： 令和4年10月24日（月） 15:30～17:00

場所： 京王プラザホテル札幌 3階 扇の間

定員： 会場参加（定員75名）、オンライン（ライブ）参加（定員100名）

※QC会員の皆様には、後日HPからも録画視聴も可能となります。

3 次第

(1) 開会

(2) 主催者挨拶

・ 一般社団法人 寒地港湾空港技術研究センター 理事長 眞田 仁 氏

(3) 講演

『カーボンニュートラルと洋上風力発電』

北海道科学大学 名誉教授 白石 悟 氏

(4) 質疑応答

(5) 閉会

4 その他

・ 公益社団法人土木学会の継続教育（CPD）認定プログラム（1.5単位）

・ 参加申込みは下記のホームページから、10月14日（金）17時締切です。

5. 参加申込： <https://www.kanchi.or.jp/>

（一社）寒地港湾空港技術研究センター（担当：杉山） 011-747-1688

「洋上風力発電技術セミナー（第2回）」 開催について

1 趣旨

再生可能エネルギーとして注目されている洋上風力発電について、カーボンニュートラルとの関係、世界や国内・道内における状況、施設の計画・設計・施工及び維持管理まで、幅広い内容を分かりやすく解説するセミナーを企画いたしました。

長年にわたり洋上風力関係の研究に携わってこられた、北海道科学大学名誉教授の白石悟氏（現在、一般社団法人 寒地港湾空港技術研究センター審議役）を講師として、全6回（別紙）にわたっての連続セミナーを開催いたします。皆様には広くお声掛けもしていただき、多数ご参加下さいますようお願い申し上げます。

2 セミナー（第2回）

日時： 令和4年12月6日（火） 15:30～17:00

場所： 京王プラザホテル札幌 3階 扇の間

定員： 会場参加（定員75名）、オンライン（ライブ）参加（定員100名）

※CPC会員の皆様には、後日HPからも録画視聴も可能となります。

3 次第

(1) 開会

(2) 主催者挨拶

一般社団法人 寒地港湾空港技術研究センター 理事長 眞田 仁 氏

(3) 講演

『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

(4) 質疑応答

(5) 閉会

4 その他

- ・公益社団法人土木学会の継続教育（CPD）認定プログラム（単位は未定）
- ・参加申込みは11月上旬に下記のホームページから開始、11月下旬締切予定です。

5. 参加申込： <https://www.kanchi.or.jp/>

(一社)寒地港湾空港技術研究センター (担当：杉山) 011-747-1688

「洋上風力発電技術セミナー（第3回）」 開催について

1 趣旨

再生可能エネルギーとして注目されている洋上風力発電について、カーボンニュートラルとの関係、世界や国内・道内における状況、施設の計画・設計・施工及び維持管理まで、幅広い内容を分かりやすく解説するセミナーを企画いたしました。

長年にわたり洋上風力関係の研究に携わってこられた、北海道科学大学名誉教授の白石悟氏（現在、一般社団法人 寒地港湾空港技術研究センター審議役）を講師として、全6回（別紙）にわたっての連続セミナーを開催いたします。皆様には広くお声掛けもしていただき、多数ご参加下さいますようお願い申し上げます。

2 セミナー（第3回）

日時： 令和5年2月16日（木） 15:00～16:30

場所： **TEP札幌駅カンファレンスセンター ホール3B**

〒060-0807 札幌市北区北7条西2-9 ベルヴェオオフィス札幌 3階

定員： 会場参加（定員50名）、オンライン（ライブ）参加（定員100名）

※CPC会員の皆様限定で、後日HPから録画視聴が可能です。

注意： 会場及び開始時間は、第1回・第2回から変わっておりますのでご注意ください。

3 次第

(1) 開会

(2) 講演

『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

(3) 質疑応答

(4) 閉会

4 その他

・公益社団法人土木学会の継続教育（CPD）認定プログラム（1.5単位）

・参加申込みは、令和5年1月13日（金）下記ホームページから開始、2月3日（金）締切予定です。

5. 参加申込： <https://www.kanchi.or.jp/>

6. 問い合わせ：（一社）寒地港湾空港技術研究センター（担当：杉山）

電話 011-747-1688 メール m_sugiyama@kanchi.or.jp

付録D 洋上風力発電技術セミナー 写真



主催者挨拶

(一社)寒地港湾空港技術研究センター 理事長 きなた ひとし 眞田 仁 氏



講師

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



会場の様子①



会場の様子②