

CDIT

Coastal Development Institute of Technology

臨時
増刊号

一般財団法人
沿岸技術研究センター
臨時増刊号 2018.12



創立35周年記念講演会
「洋上風力発電の展望」



創立35周年記念講演会

1 創立35周年を迎えて

釜 和明

一般財団法人 沿岸技術研究センター 評議員会会長

2 創立35周年にあたって

下司 弘之

国土交通省 港湾局長

3 講演会主催者挨拶

高橋 重雄

一般財団法人 沿岸技術研究センター 理事長

4 講演会来賓挨拶

浅輪 宇充

国土交通省 大臣官房技術参事官

講演会

洋上風力発電の展望

6 「進展する洋上風力発電」

牛山 泉

足利大学 理事長

20 「洋上風力発電の導入促進に向けた取組」

中崎 剛

国土交通省港湾局 海洋・環境課長

26 「洋上風力発電実証プロジェクト」

伊藤 正治

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
新エネルギー部 統括調査員

32 「風力発電施設の洋上展開技術」

清宮 理

早稲田大学 名誉教授



沿岸技術研究センター 創立35周年を迎えて

釜 和明 一般財団法人 沿岸技術研究センター 評議員会会長

沿岸技術研究センターが創立35周年を迎え、記念の講演会、そして交流会に、多くのみなさまのご参加を頂きましたこと、心より御礼申し上げます。

当センターは1983年（昭和58年）に、沿岸域及び海洋の開発、利用、保全及び防災に関わる技術を推進するとともに、我が国の発展と国民生活の安定・向上を目指して設立されました。

本日の記念講演会のテーマ「洋上風力発電」は、今後の我が国の沿岸海洋の開発・利用に大きく関わり、そして大きく期待される分野です。足利大学の牛山先生をはじめ、国交省港湾局中崎課長様、NEDOの伊藤統括調査員様、早稲田大学名誉教授の清宮様、4人の講師のみなさまからのお話をお聞きし、安全性や信頼性の確立には技術が重要であるということをおぼろげに感じました。

利用という面でも、東京オリンピック・パラリンピックまであと22ヶ月と既に2年を切り、訪日外国人のみなさまへのサービス向上、港を玄関としたクルーズ需要への対応など、やるべきことはまだまだあります。

一方で先の豪雨・台風・地震災害など痛ましいこともありました。被害に遭われた方々には心よりお見舞いと、復旧・復興をお祈りしたいと思います。

自然の力が猛威を振るい、災害が激甚化する中で、防災や保全と言った面で、沿岸技術研究センターが果たすべき役割はますます大きくなっているものと感じております。

「官・学・民」の技術力を結集し、沿岸域の保全及び防災に関する技術開発や技術支援に重点的、積極的に取り組み、全国の港湾、空港関係者のご要望に応じた質の高いサービスを提供し、ひいては、我が国の成長力の強化と国際社会の発展に貢献できるよう努力を重ねて参りたいと考えています。

本日お集まりのみなさまには、交流会におきまして懇親を深めて頂きますとともに、引き続き当センターへの一層のご支援ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます、交流会の挨拶とさせていただきます。

本日はどうもありがとうございました。



沿岸技術研究センター 創立35周年にあたって

下司 弘之 国土交通省 港湾局長

沿岸技術研究センターの創立35周年、誠におめでとうございます。

沿岸センターにおかれましては、35年の長きに亘り、沿岸域の開発や保全、施設の維持管理や防災などに関するさまざまな調査研究、技術の普及啓発に積極的に取り組み、港湾の発展のために、大きな貢献を果たして来られたことに、心より感謝申し上げます。

35年を振り返りますと、港湾施設の技術基準や港湾・空港・海岸に関連する技術マニュアルの策定、港湾施設の性能確認、海洋・港湾構造物の維持管理や設計にかかる技術者の資格認定、民間技術の評価など、港湾・空港等の発展のため、技術面から支えていただいております。

防災面では、東日本大震災をはじめ、大規模な自然災害（地震や津波、高潮・高波）による施設の被災原因の究明や早期復旧・復興のための調査に中心的な役割を果たしていただいております。近い将来、南海トラフ地震

の発生が懸念されるなか、津波防災技術の確立が急務となっており、沿岸センターのご活躍に大変期待しております。

また、最近で言いますと、昨年（平成29年7月）、「洋上風力研究室」を立ち上げられ、洋上風力発電にかかる調査研究体制を強化されました。これまで蓄積された沿岸域の技術を最大限に活かし、我が国における洋上風力発電の導入拡大、実用化に向けた取組を本格的にスタートされております。

沿岸センターにおかれましては、その時代時代の社会のニーズに合わせて、新しい分野の調査研究に積極的に挑戦していただき、我が国の発展に大いに貢献されることを期待しております。

最後になりますが、沿岸技術研究センターの益々のご活躍と、ご臨席の皆様のご健勝・ご多幸を祈念し、挨拶とさせていただきます。

本日は誠におめでとうございます。



沿岸技術研究センター 35周年記念講演会 主催者挨拶

高橋 重雄 一般財団法人 沿岸技術研究センター 理事長

皆さん、こんにちは。沿岸技術研究センター理事長の高橋でございます。

本日は、大変お忙しいところ、沿岸技術研究センターの35周年記念講演会に多数ご出席を賜り、誠に有難うございます。

また、日頃より、皆様方には、沿岸センターの運営にご支援、ご協力を賜っております。この場をお借りしまして、あらためて御礼を申し上げます。

また本日は、ご来賓として、国土交通省の浅輪宇充大臣官房技術参事官に、ご多忙の中ご出席を賜っております。心から御礼を申し上げます。

まず、台風21号をはじめとする自然災害にあわれた方々に、心よりお見舞いを申し上げます。一日も早い復旧・復興をお祈り申し上げます。

沿岸センターは、昭和58年、1983年に創立されました。以来35年にわたり、沿岸域や海洋の開発・利用等に係る調査研究を通じ、港湾や空港などを中心に、数多くの重要なプロジェクトを、主に技術面から支えてきました。

その役割は35年たった今も変わりませんが、近年、自然災害、特に沿岸災害の深刻化に伴い、沿岸防災の面でも、私どもの役割がますます大きくなっていると思っております。

また、一方では、海洋の開発・利用への期待も高まっており、海洋エネルギー、とりわけ洋上

風力発電への取り組みが全国で動き出しております。

海洋の開発・利用、特に海洋エネルギーの利用は、沿岸センターの創立当初からの主要な課題の一つであります。例えば、35年前に沿岸センターが設立された頃、沿岸センターを中心に波力発電の研究を行っており、国が酒田港で実施した波力発電防波堤の実証実験にも参画しております。

洋上風力発電は、日本の将来に不可欠な事業であり、日本でもその実用化に近づいております。海洋や沿岸域に関係する技術者の総力を挙げて取り組まなければならないと考えております。

本日は、35周年の記念行事として、洋上風力発電の講演会を企画しました。足利大学の牛山理事長ほか、我が国の洋上風力発電をリードする先生方をお招きして、実用化に向けて、いろいろお話をお聞きしたいと思っております。大変お忙しい中、ご講演をお引き受けいただきました先生方に、心より感謝を申し上げます。

最後になりましたが、当センターの活動に対しまして、引き続き、皆様のご指導ご支援を賜りますよう、心からお願い申し上げますとともに、皆様の益々のご発展、ご活躍を祈念申し上げます。私の挨拶とさせていただきます。ありがとうございます。



沿岸技術研究センター 35周年記念講演会 来賓挨拶

浅輪 宇充 国土交通省 大臣官房技術参事官

本日は、沿岸技術研究センターの創立 35 周年、誠におめでとうございます。

センターにおかれましては、35 年の長きに亘り、沿岸域の開発や保全、施設の維持管理や防災などに関するさまざまな調査研究、技術の普及啓発に積極的取り組み、我が国のみならず、海外も含めた港湾の発展のために、大きな貢献を果たして来られたことに、深く敬意を表します。

また本日で臨席の皆様におかれましては、日頃より港湾・空港の行政にご協力いただいておりますこと、この場を借りて御礼申し上げたいと思います。

さて、沿岸技術研究センターがこれまでに実施してきました調査研究成果の多くは港湾の技術的な進歩に大変大きな貢献をしてきているところです。

本年 4 月に 11 年ぶりに「港湾の施設の技術上の基準」を大幅に改訂させることができたのも、沿岸センターの調査研究のおかげと思っております。

また、沿岸センターにおかれましては、技術基準の適合性確認の登録確認機関として、これまで数多くの港湾施設の性能確認を行って頂いております。基準改訂後も、引き続き、港湾施設の安全性の向上にご尽力頂きますよう、お願い申し上げます。

さて、本日は、再生可能エネルギーとしてポテンシャルの大きい「洋上風力発電」というテーマで、足利大学の牛山理事長をはじめ、我が国の洋上風力発電をリードする 4 名の方からご講演を頂くと伺っております。洋上風力発電につきましては、私どもといたしましても、一般海域でのルール化に向けて一生懸命取り組んでいるところです。これらの先駆的な取組が、港湾における洋上風力発電の本格的な実用化・導入に向けて飛躍するきっかけとなることを大いに期待しております。

結びになりますが、センターの益々のご活躍ご発展と、ご臨席の皆様のご健勝・ご多幸を祈念し、お祝いの挨拶とさせていただきます。

本日は誠におめでとうございます。



牛山 泉
足利大学 理事長



中崎 剛
国土交通省港湾局 海洋・環境課長



伊藤 正治
国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構
新エネルギー部 統括調査員



清宮 理
早稲田大学 名誉教授

平成30年9月26日(水)
15時開会
於 海運クラブ



進展する洋上風力発電

講演者：足利大学 理事長 牛山 泉氏

皆様、こんにちは。

今日はこうして沿岸技術研究センターの35周年という
ことで、洋上風力発電についての講演がございます。

私の後に3人の方が発表されますけれども、私は、
基調講演といいますけど、皆さん、オードブルだと思っ
ていただいて、世界の動きを、また日本の動きを見て
いただければと、このように思います。

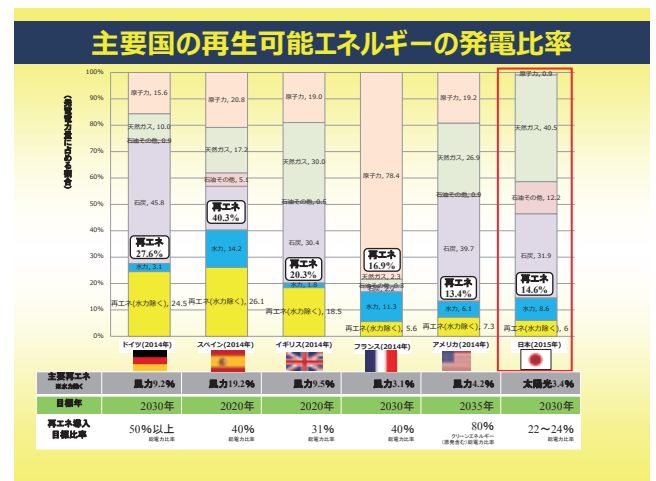
それでは、時間も限られておりますので、早速、本
題に入ってまいりたいと思います。

今日は、「進展する洋上風力発電」ということで、ポ
テンシャル的には世界でも有数という日本ですが、こ
れをどのように生かしていくかという話でございます。

今日は、大きく四つに分けてお話をしたいので
すが、最初に、世界は今、再生可能エネルギーを積極
的に導入しようとしております。最近の日本で、この
夏の鉄板焼きのような猛暑、それが終わったと思ったら
台風が頻発し、自然災害は連日、毎年のように起こっ
ているという状況で、恐らくこれは温暖化の影響では
ないかということでございます。

それに対する一番有力な手段の一つが風力発電。し
かも洋上風力がポテンシャルとしては極めて大きいと
いうことで、そこをお話したいということでござい
ます。

こちらは、主要国の再生可能エネルギーの発電比率
でございます。御覧いただきますと分かりますように、
ドイツ、特にスペインは再エネ比率40%を超えてお
ります。



スペインという国は、かなりヨーロッパでは面積と
しても大きいですし、フランスとの間にピレネーがあ
り、送電線が極めて限られているわけです。ですから、
独立した国と考えてもいいと思うんですが、そこが実
はもう40%もいっている。

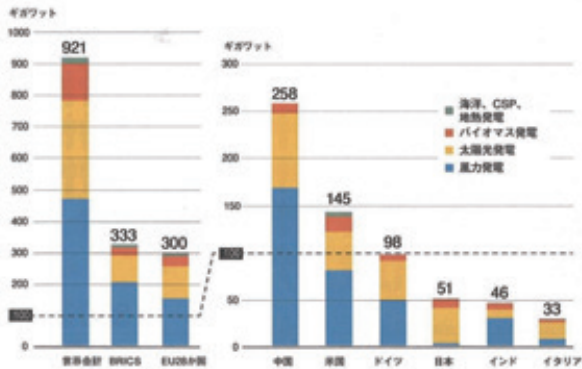
特に水力、それから、いわゆる風力とか再エネとい
うことになります。あとはドイツが目立つと思いま
す。その後がイギリスになり、我が日本とアメリカは
ちょっと少ない。

フランスは原発の国でありますけれども、日本、アメ
リカ以上に再エネを入れているということになります。

ドイツと日本は国土面積的には、日本の方が少し大
きいですが、原発を止めるということがあるもの
です。ですから、こういう状態になっているというこ
とでございます。

そして、世界の再生可能エネルギーによる発電の設
備容量ですが、これはIEAのレポートからの引用です。
世界全体では、もう900GWを超えているというこ
とになります。

世界の再エネ発電設備容量



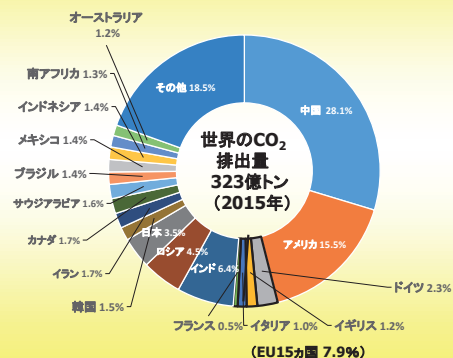
世界全体、それからBRICs、EUとなっており、国ごとに見ると、中国は特にこの風力発電が圧倒的に多いということがわかりただけだと思います。

それからアメリカ、ドイツと来るのですが、再生エネルギーに関しては、実は日本はかなり頑張っている。頑張っているが、他と違うところがあるんです。つまり、日本の風力発電は他の国に比べて極めて少ない。ポテンシャルはあるのに入っていない。これが残念な状況でございます。

いずれにしても、再生可能エネルギーについては、日本は太陽を中心に世界4番目ということになるわけでございます。

そして、今の温暖化の原因は二酸化炭素ということですけども、これが世界の、2015年度の値であります。ワースト1が中国、それからアメリカ、それから、ここはいわゆるEUになるんですけども、EUは国ごとにしますと小さいのですが、EU全体では7.9%ということになります。

世界のエネルギー起源CO₂排出量

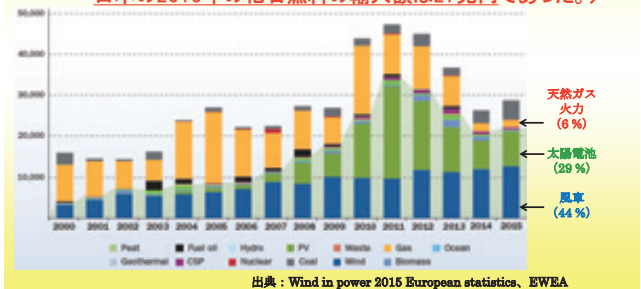


ですから、国ごとにいきますと、中国、アメリカ、インドがワースト3ですね。それからロシア、日本と来まして、ドイツと日本は同じ国土面積でも、日本がワースト5になるということで、その後、それぞれの国に分かれるということになるんですが、いずれにしても日本の場合は国土面積でいうと世界の0.2%です。そして、人口でいきますと73億の中の1億3,000万、つまりほぼ2%。そんな小さな国が、CO₂に関しては世界のワースト5ですから、これはできるだけ、もっともっと減らさなくちゃいけないということでございます。

そしてヨーロッパは最近の、新規の電源の20%が風力発電だということです。ここ10年以上、原子力、石炭火力、石油火力は全く作られておりません。

欧州は新規電源の20%が風力発電

- ・欧州では既に10年以上も、原子力、石炭火力、石油火力の発電所は建設されていない。
- ・天然ガスも、「ロシアから輸入」の安全保障リスクが顕在化。
(エネルギーを輸入に頼る国々は再生可能エネルギーに熱心。
→ 日本の2013年の化石燃料の輸入額は27兆円であった。)




日本は今、43基の石炭火力を新設しようという動きがあるんですけども、この前、フランスで会議があったときに、公式の場ではないですけども、「あなたの国は分からない。パリ会議のメンバーになっているのに、何で火力発電をそんなにたくさん入れるんだ」ということを言われまして、私としても困ったんですけども、そういう状態でございます。

それからヨーロッパでは天然ガスがかなり有力ではあるんですけど、これはみんな、ほとんどロシアから入ってきますから、非常に安全保障上のリスクがあります。ですから、これはもう頼れないということで、基本的にはこのエネルギーを輸入に頼っているヨーロッパの国は、極めて再生可能エネルギーに熱心です。

その風力発電が温暖化防止にどの程度貢献してくれるのかですけれども、2 MW 風車、直径で大体 80m 前後です。これが今、一番ポピュラーで、主力は 2 MW から 3 MW くらいになっていますし、洋上風力に至っては、もう 5 MW とか、最近では 10MW なんというのも出てきております。

2MW級風車の環境貢献度

- 平均風速 7m/s で 707万kWh/台・年、発電する。
→ 13万台で日本の全電力需要をまかなえる。
- 一般家庭の消費電力に換算すると…
約1,400世帯分に相当 
- 石油火力発電所(石油量)に換算すると…
約1,700kL(ドラム缶8,600缶)に相当 
- CO₂削減量に換算すると…
約5,000tonに相当 
- 上記CO₂削減量を吸収するための杉の木に換算すると…
約36万本に相当 

一番普及しているのが 2 MW クラスですが、大体平均風速 7 m としますと、ほぼ年間 1 台で 700 万 kWh くらいの電力が発生します。

そうすると、これは一般家庭の電力に換算しますと、大体 1,400 世帯分ということになります。そして、もしこの電力を石油火力ですと、大体 1,700 キロリットルぐらい、ドラム缶でいくと、これは 200 リットルですから、8,600 缶ということになるんですが、当然、これを使いますと CO₂ が出る。これが大体 5,000 トンでございます。

ですから、1 本 2 MW 風車を運転しますと、年間大体 5,000 トンの CO₂ 削減が可能になるということになります。

環境省がよく言うように樹木で吸収させようと考えますと、何と 36 万本も必要になるといいますから、極めて大型風車の環境貢献が大きいということがわかりいただけると思います。

そして、経済的な面を考えても、これは最近の値ですけれども、世界全体では、バイオ、地熱、太陽、このあたりが多いのは分かると思うのですが、それから風力もそうですね。大体、1,000 万人の雇用が生まれ

ているということでございます。

これは、つい最近の話ですけれども、デンマークの研究者に聞きましたら、デンマークでは、ドイツほどではないんですけど難民がかなり入ってきています。彼らに職を作るために、風車のメンテナンス要員を計画的に育成しているという話をしておりました。

それでは、いよいよ風力に入ってまいりますけれども、「Windpower-Monthly」という、風力関係の月刊誌、商業誌があるんですけども、一番信頼性のあるものでございます。

世界の風力発電の累積容量は2017年10月には500GWを超えた。



WINDPOWER INTELLIGENCE
Connected global capacity tops 500GW, says WPI
28 October 2017 by Staff @WindpowerIntelligence
WORLDWIDE: Global grid-connected wind capacity has passed the 500GW milestone, according to Windpower Intelligence (WPI), the research and data division of Windpower Monthly.

これが、昨年の 11 月、ちょうど 1 年前になりますけれども、世界の風力が 500GW を超えた。文字どおり、昨年は、いわゆるエポックメイキングな年になったということでございます。

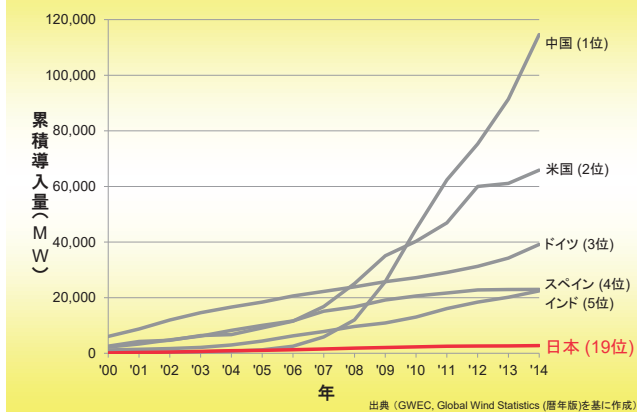
ちなみに、太陽光発電が 330GW くらいじゃないでしょうかね。それから、原発が 390GW くらいだと思います。ですから設備容量としては、原発をはるかに超えてしまっているんです。

ただ、発電量としてはほぼ 3 分の 1 くらいに考えた方がいいと思います。

最近のトレンドを見ますと、文字どおり右肩上がりが増えております。そして世界では、540GW、大体 34 万台の大型風車が回っております。そして、世界の電力は、ほぼ 4 % 強が風力発電で供給されているということになります。

そして、風力発電導入量の推移を見ますと、すごいのは中国ですね。ものすごい勢いで増えております。

各国の風力発電導入量の推移



実は、私が昔書いた本が中国語に翻訳されて、これは小さい風車なんですけど、1980年代の頭くらいから80年代にかけては、中国は全然風車なんか回ってなかったんです。そして私の本が翻訳され、どういった人たちが使ったかという、内蒙古自治区とか、いわゆる超小型の風車を農機具会社が作って、それを遊牧民が使ったりした。

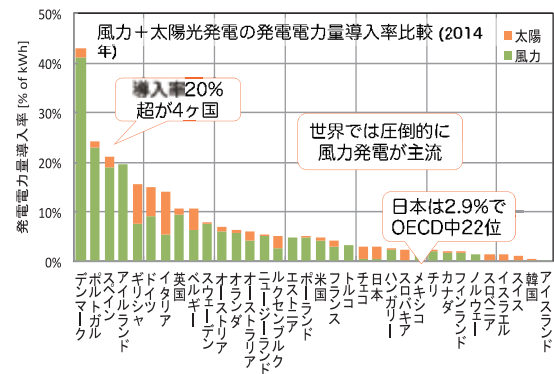
それから、NEDOがそういう遊牧民のためのスタンダードアロンの風力とソーラーのハイブリッドシステムなどの支援もしまして、それも私は見てまいりました。いずれにしても、そういう時代があったんですが、これを御覧いただくと分かりますように、この立ち上がりは本当にすごい。国策でやるとこういうことになるんだということですね。

あとはアメリカ、そしてドイツですね。それからスペイン。それから、インドが5位という、こういう世界でインドが非常に増えているというのも意外でございます。

我が日本は19位ということで、非常に少ないというのが残念な状況でございます。

そして、こちらにも非常に重要な図ですけども、発電の導入率 (Penetration)、その国の電力需要に占める風力発電の割合ということでございます。

各国の風力発電導入率



一番すごいのはデンマークですね。デンマークは非常に小さい国でございますけれども、風力発電を最初に実用化したのもデンマークでありますし、現在、風力発電の世界で一番大きなメーカーの一つ、ヴェスタスが三菱と一緒にやっております三菱ヴェスタスは世界1位ですね。それからシーメンス、これは、元々はドイツですけど、デンマークに会社があるということでございます。

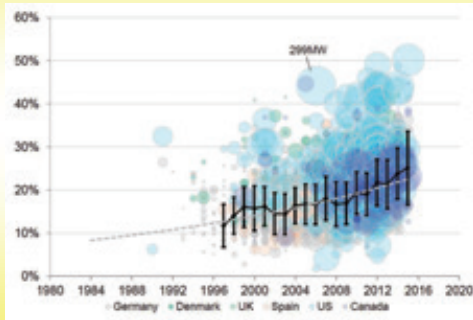
いずれにしても、デンマークの場合はもう40%以上あるんですね。それからあと、これを御覧いただくと分かりますように、導入率20%を超えている国が4カ国あります。

多分、今年中に、もう少し他国が増えると思うんですけども、8位のイギリスの場合は洋上風力がもうものすごく多いです。同じ海洋国ですからイギリスに負けられないようにしたいと思うんですが、残念ながら今、日本はOECD中で22位という状況になっております。

技術的な状況全体を見ますと、色々な経験を踏んで、だんだん設備利用率が高まってきているという。

設備利用率の経年推移(世界全体)

■ 各国とも設備利用率は上昇傾向にあり、発電コストの低減に寄与している。



設備利用率の経年推移(世界全体)

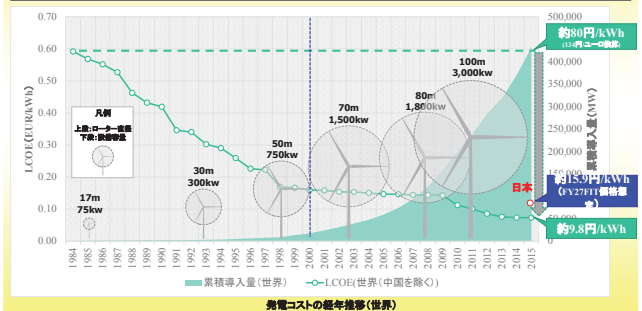
出典: The future cost of onshore wind—an accelerating late of progress (Bloomberg New Energy Finance, 2015)

これは、本当は、私は日本の場合もうちょっと高くなるんじゃないかと思うんです。これは地域性もありまして、例えば、北海道、東北ですと冬の間には設備利用率50%を超えるウインドファームが複数ありますが、残念ながら、日本の場合も、いわゆる自治体をやったりして設備利用率も低いところがありますから、まあまあ大体こんなところなんです。これは世界的なトレンドでありますけれども、いずれにしても、こういう状況で設備利用率が高まっているということですね。これによって発電コストも低減しているということになります。

それから、いわゆる発電コストの推移を見ますと、1980年代から90年代は急速に低下しておりますけれども、階段状、踊り場状態になって、それからまた下がる。これは、いわゆる技術的にはもう著しく進展しました。それから大量生産も行われるということでコストが下がったんですが、この踊り場状態の時期は、中国でいわゆる鋼材が高くなったり、いろんなことがあって足踏みがあったんですが、最近また下がってきているということで、日本では15円、16円ということですが、ヨーロッパの場合はもう10円を切っているという状況になってきています。完全な、いわゆるグリッドパリティといってもよろしいかと思いません。

発電コストの推移(海外)

■ 1980年以降、風力発電機の技術進展(大型化、高効率化等)及び市場の拡大に伴うコスト削減効果(量産効果、サプライチェーンの最適化、事業効率改善等)等により、風力発電の発電コストは1/8(日本円で約10円程度)まで低減。



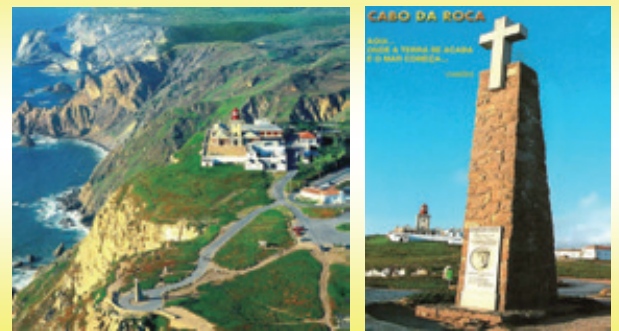
発電コストの経年推移(世界)

出典: The future cost of onshore wind (Bloomberg New Energy Finance, 2015), IEA Wind Task 26 "The Past and Future Cost of Wind Energy (IEA, 2012), 総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会(第28回)(経済産業省、2008年)、FIT年報データを基にNEDO技術戦略部作成

それで、これから洋上風力発電ということになりますが、これは、多分、行かれた方も多いのではないかと思います。ポルトガルの一番西の端、ロカ岬ですね、ヨーロッパ大陸の一番西の端でございます。

ここに碑があります。これは1497年にバスコダガマがインド航路を開いたんですが、その彼の業績を讃えたカモンイスという人の詩の冒頭の部分がここにあるんです。「ここに陸終わり、海始まる」と。つまり、ヨーロッパ大陸はここで終わり、この先は海になるんだということですが、私は、この言葉は大航海時代の始まりを告げる言葉ですけど、風力発電もまさに、今まで陸上でやってきました。これからは洋上だと思っております。

ポルトガル最西端ロカ岬の碑文



そして、これから、いわゆる陸上の風車も、今は増えつつあるんですけれども、2020年くらいにそろそろ頭打ちになって、いい場所がだんだん減ってきているんです。ですから、陸上の風車は少し頭打ちになるだろう。洋上風力の着床式、それから浮体式というよ

うな形で、これからは洋上風力が増えてくる、そういう時代になってきているということでございます。

この洋上風力にとってどうしても必要なのが、こういう SEP 船です。



SEP船による洋上風車設置状況

「Self Elevation Platform」と言いますけど、ヨーロッパには、かつて海底油田のために、こういう特殊船、工作船がたくさんあるんですね。残念ながら、日本は極めて数えるほどしかありませんが、彼らはこういうことに慣れてますから、どんどんこれを造っていくという状況でございます。

そして、洋上風力の方も、値段というか発電コストが下がってきておりまして、昨年、一昨年くらいからずっと下がって、このあたりになりますと、補助金なんか要らない、市場価格でいけるんだと、こういうことを言っております。だから、完全に10円を切っています。6円とか、7円までできています。

洋上風力発電の価格低下

■ 近年、欧州では、洋上風力発電の入札価格が急激に低下している

入札時期	国	サイト名	規模	価格
2015. 2	デンマーク	Horns Reef 3 (Vattenfall)	406 MW	104 EUR/MWh
2016.2	オランダ	Borssele 1+2 (DONG)	350MW × 2	72.7 EUR/MWh
2016.9	デンマーク	Danish Nearshore (Vattenfall)	350MW	63.7 EUR/MWh
2016.11	デンマーク	Kriegers Flak (Vattenfall)	600MW	49.9 EUR/MWh
2016.12	オランダ	Borssele 3+4 (Shell, Van Oord, Eneco, 三菱商事)	350MW × 2	54.5 EUR/MWh
2017.4	ドイツ	Gode Wind III (DONG)	110MW	60.0 EUR/MWh
	ドイツ	Borkum Riffgrund West II + OWP West (DONG)	240MW + 240MW	市場価格 (補助金ゼロ)
	ドイツ	He Dreiht (EnBW)	900MW	市場価格 (補助金ゼロ)

(出典) MHI Vestas社調査

日本もこういうところに参画しておりますので、丸紅さんとか、三菱商事とか、こういう経験を日本にということで考えておりますが、こういう状況になっているということでもあります。このデータは三菱ヴェスタスのものでございます。

そして、世界には今、大規模なウインドファームが続々と造られておりまして、一番大きいのはイギリスの630MW、それから、オランダの600MW、ドイツもほぼ600MWですね。

世界の大規模ウインドファーム・ベスト10

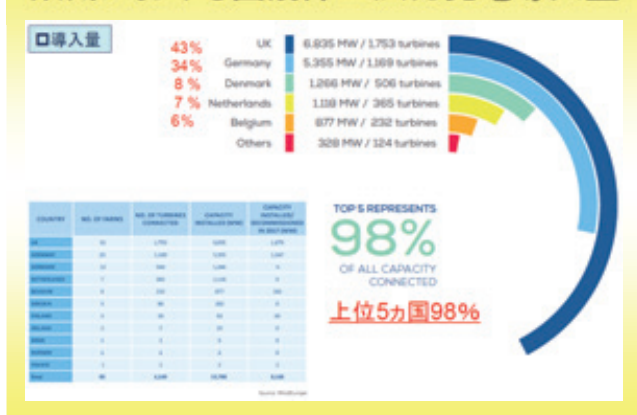
Wind farm	Total (MW)	Location	Turbines & model	Commissioning Date
1. London Array	630	UK	175 × Siemens 3.6MW	2012
2. Gentofte Wind Farm	600	Netherlands	150 × Siemens 4.0MW	2017
3. Gode Wind (phases 1+2)	582	Germany	97 × Siemens 6.0MW	2017
4. Gwynt y Môr	576	UK	160 × Siemens 3.6MW	2015
5. Race Bank	573	UK	91 × Siemens 6.0MW	2018
6. Greater Gabbard	504	UK	140 × Siemens 3.6MW	2012
7. Doggeron	402	UK	67 × Siemens 6.0MW	2017
8. Vøjsø Mate	402	Germany	67 × Siemens 6.0MW	2017
9. Anholt	400	Denmark	111 × Siemens 3.6MW	2013
10. BARD Offshore 1	400	Germany	80 × BARD 5.0MW	2013
Global Tech I	400	Germany	80 × Aereva Multibed 5.0MW	2015
Rampion	400	UK	116 × MHI Vestas 3.45MW	2018

これは御覧いただくと分かりますように、イギリス、イギリス、イギリス、イギリス、それからあとはドイツ、それからデンマーク、ドイツですね。

ヨーロッパの主要国がこういう国だなというのが大体お分かりいただけると思うんですが、巨大な洋上風力発電、これはほとんど、いわゆる中型の火力発電所と同じくらいの容量です。設備利用率も極めて高いです。40%を超えていますから。

そして、こちらがヨーロッパにおける国別の洋上風力の導入量ですけども、こちらがドイツ、デンマーク、オランダ、ベルギー、イギリスです。これはイギリスがNo 1なんですけれども、この上位の5カ国でほぼ98%を占めているという状況でございます。

欧州における国別洋上風力発電導入量



こちらは、いわゆる風車そのものと、それから風車の基礎のメーカーです。風車の場合は、特に着床ですけども、着床風車の場合は基礎工事が非常に重要なんです。そういったコストもかかるということで、御覧いただくと分かりますように、シーメンスとか、ヴェスタス、それからセンビオンというような、このあたりが主要メーカーですね。

欧州における洋上風車と基礎メーカー



エルステッドはデンマークで新しくというか、合併してできた会社ですけども、いずれにしても、こういう形で、こちらも寡占状態で、上位の4社でほぼ96%を占めるということでございます。

実はヴェスタスという会社は風車の業界ではものすごく大きく、私ももう30年以上前に行ったところは、もう35年くらい前でしょうか、東ヨーロッパから安い発電機を持ってきて造る、要するに農機具屋さんからスタートしているんです。

一回、海の上で大失敗をしました。そこでヴェスタスが考えたのは、これは海の経験のあるところとやろうということで、ちょうど三菱がアメリカから撤退するということがあったものですから、三菱と組んでということが、技術的にはそれは非常によかった。

しかも、洋上風力というのは極めてリスクも高いところがありますから、風車業界ではヴェスタスは超一流企業ですけども、会社の規模からいうと三菱とは桁が違います。ですから、三菱と組んだことによって、バックに三菱がいるなら安心して投資しようということで、シーメンスは元々バックが大きい会社ですからいいんですけど、今回の場合の三菱ヴェスタスは、デンマークにとって極めて上手いって、ハッピーマリッジだと思います。

ヨーロッパの場合、着床式は水深ほぼ50mくらいが限度ですが、ヨーロッパは北海で遠浅の部分が非常に続いているものですから、着床式、洋上風力が非常に造りやすいということかと思えます。

それから風車のサイズも大きくなっている。一つ一つのウインドファンの規模が大きくなっていて、先ほどの600MWのウインドファームとか、そういう状況になっているわけです。

そこで今、日本はどういう状況になっているかということですが、これはNEDOでやっているものですけども、要するに着床式ウインドファンの開発支援とか、それから地域共存型、これは非常に重要なことなんです。

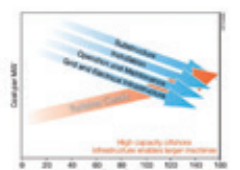
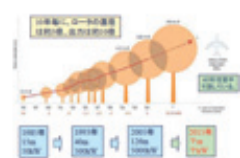
洋上風力発電における技術開発の動向

洋上風力発電技術開発の必要性

わが国の気象・海象条件は欧州と異なることから、欧州での事例をそのまま適用することはリスクが大きい。また、外洋での風車設置とメンテナンスの経験がなく、洋上風力発電設備の安全性、信頼性、経済性に関する課題がある。

洋上風力発電技術開発の計画

年度	研究開発テーマ
2008	洋上風力発電実証研究F1/評価
2009	洋上風力観測システム実証研究
2010	洋上風力発電システム実証研究
2011	超大型風力発電システム技術研究開発
2011	洋上ウインドファーム・フィードバックスタディー
2013	地域共存型洋上ウインドファーム基礎調査
2013	着床式洋上ウインドファーム開発支援事業
2013	洋上風力観測技術研究開発
2014	次世代浮体式洋上風力発電システムの検証
2015	洋上風況マップ
2016	日本型洋上風車の台湾における実証試験事業
2017	低コスト施工技術調査研究



そういう基礎調査をしたりとか、それから次世代浮体式洋上風力発電システム、これもFSはもう終わりました、これから実証に入ろうということでございます。そんな検討とか、あるいは低コストの施工技術をどうしていこうかというような、幾つかの提案も出たりしております、いよいよ日本も本格化ということでございます。

また風車も、これはヨーロッパも日本も同じですけども、規模がだんだん大きくなってきておりまして、それに伴ってコストも下がっているというのが、海外も日本も同じ状況ですよということになります。

こちらは、いわゆる風車、洋上風力発電の基地ですが、ドイツのブレーマーハーフェン。「ハーフェン」というのはドイツ語の港という意味ですし、コペンハーゲンって、デンマークの首都がありますが、あのハーゲンもデンマークの港でございます。コペンハーゲンは商人の港ということですね。

独・ブレーマーハーフェンの洋上風力発電機基地



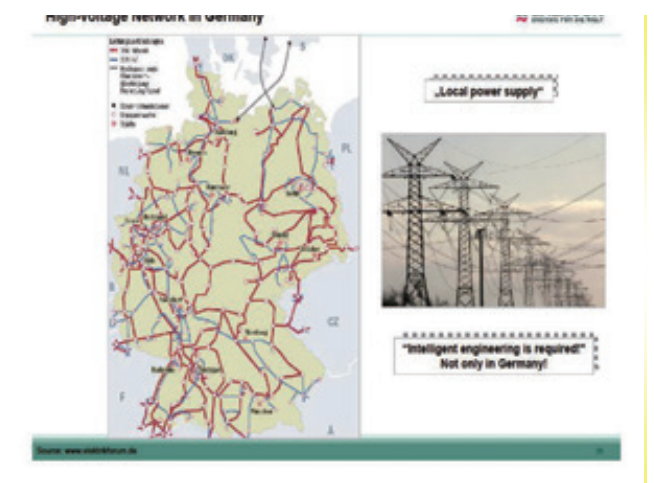
このブレーマーハーフェンというのは、ブレーメンの近くにある港ということですが、これは、かつての軍港です。ですから地耐力はもの凄く強いですし、戦車だとか、そういうものは幾らでも置けた場所ですので、色々な意味でいい場所というふうに言えると思います。日本もこれに近いようなものを北九州の方でやろうと動いております。

さて、実は今、ヨーロッパは順調に進んでいるんですが、問題も一つあります。ドイツの場合は、ここが陸地で、ここがドイツの使える海域ということになります。こちらはデンマークになります。



日本の場合、排他的経済水域が世界の第6位という、非常に広く、周りは全部使えます。ドイツの場合は非常に限られて、ここしか使えないんです。

ところが、ドイツの場合の電力需要は南の方にあります。例えば南の、こちらにBMWはミュンヘンのバイエルン州です。それから、一番工業地帯があるのは、ここにシュツットガルトだとかバーデン・ヴュルテンベルク、それから、もう一つがこちらになりますけれども、ノルトラインヴェストファーレンという、特にこのバイエルンとバーデン・ヴュルテンベルク、ここに一番需要があるわけです。



ですから、ここから高圧線で引いてこないと、この電力需要を賄うことができない。メルケルさんは、福島事故のすぐあと、原発停止を言ったんです。そのためには、一番期待しているのが洋上風力ですけども、それをここまで持ってくるのに高圧線が必要になるんですね。

ところが、総論として原発は嫌だ、だから風力発電は非常に結構だ。でも、高圧線なんかつくられたら困る。電力アウトバーン計画というのですけれども、トータルで3,600キロくらい必要になりますが、現時点では20%弱しか進んでいないという状況です。

ドイツは2020年までに原発を止めると言っているんですけど、恐らく無理だろうと思います。

いずれにしても、日本の場合も送電線の問題が困るんですけども、ドイツがもっと困っているのは、ドイツと日本は国土面積がほぼ同じですけれども、連邦国家というか、極めて地方自治の強い国ですから、それぞれのところに発電所の小さいのがあって、それを今まとめてトータルで四つを二つにしたかと思いますが、いずれにしても、それぞれの国のところに配電会社がたくさんあるんです。

配電会社は900以上あります。そういう小さい配電網がたくさんあるんですけども、こういうものは国がやらないと、とてもそんな小さい配電会社がやることはできませんから、その辺が大きな問題ということかと思えます。

こちらは、先ほどのブレイマーハーフェンと同じように、デンマークで一番大きいエスビヤというところですけども、ここから、こういうSEP船を使って運び出すということです。こんなのが状況でございます。

洋上風力発電設備の積出港・DKエスビヤの例



それから、最近の動きとしては、これはJUV、ジャッキアップベッセルですね。その使用期間をできるだけ短縮したい。

今までは、建設サイトの一番近い港に主要機器を置いて、そして、それを積んで行ったり来たり頻繁に往復するというようなことをやったんですが、これをとにかく使用期間をなるべく短くしなきゃいけない。というのは、最近はこちらを一体化して、そして製造拠点から建設サイトに大型のJUVで大量に輸送することで、背後に製造拠点のある港湾が非常に有利になるということで、これはカーボン・トラスト社が言っております。

ジャッキアップベッセルは、建設のときだけじゃなくて、O&Mも頻繁ではないんですけど、ある程度やらなきゃいけません。それにも必要になるわけですね。

そして、クレーンの性能は小さいので50トンから、大きいのは1,500トンくらいまで、こういう非常に大きなものを使うということになります。

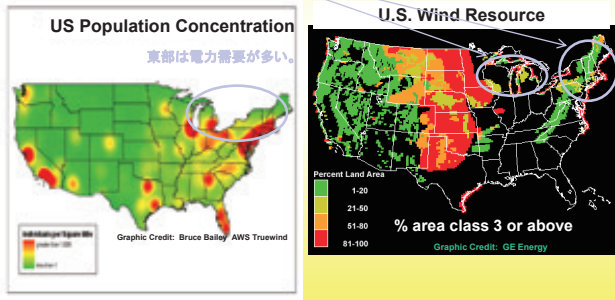
そうすると、クレーンの仕様とか、水深、海底の状況などによっていろいろ変わってくるんですけども、いずれにしても、できるだけ稼働率を上げなくてはいけませんし、そうしないと建設費用もすごく、20億から大きいものになると300億近くかかってしまう。

もしそれをチャーターしようとなると、一日で1,500~3,000万円くらい使うということですから、これをどうするかというのは非常に大きな問題で、日本の場合は、これから本格化してくると、このJUV、あるいはSEP船ですね、これが非常に重要になってくるかなと思います。

ヨーロッパだけではなくて、アメリカでも、海の上だけではなくて、五大湖とか、特に大きいのはシカゴがありますけど、シカゴはウインディシティと言われるほど非常に風の強いところです。ですから、五大湖に洋上風力をとという話がありますし、それから東海岸もかなり動き始めております。

米国の洋上風力計画

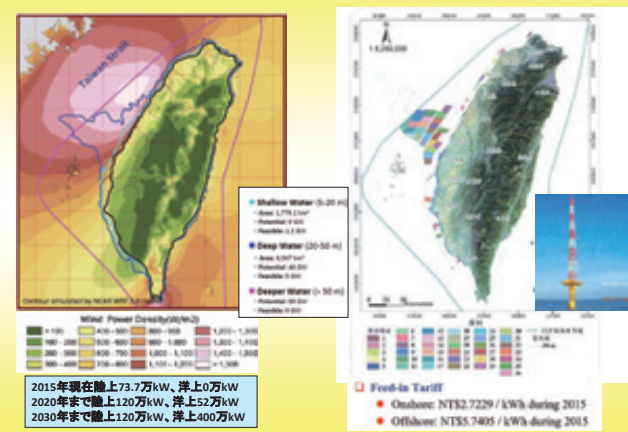
- ・陸上の風車適地(ロッキー山麓)は電力需要地から遠い。
- ・人口が多く電力需要のある東部地域では、洋上風力が有効。五大湖と東海岸が候補地。



特に、いわゆる陸上からのものだと、電力需要の多い東部ではとても運べない。じゃあ、電力需要の多いところの近くの洋上風力でここを賄おうじゃないかということが動いているわけでございます。

それから、日本から近いところでは台湾ですけども、台湾の特に金門海峡のところですね、私も澎湖島^{ほうこ}というところに知り合いの先生がいて、行ったことがありますが、年間平均風速が9%といますから、すごいんです。ですから、風車の設備利用率が40～50%ということをおっしゃっていました。

台湾における洋上風力開発の目標



ただ、そこでつくっても、台北までが大体50キロくらいかかりますから、海底ケーブルが問題ということで、ここより多分先に、台北から北の海域でという動きが出ております。これは日本もかなり協力することになるかと思えます。

世界的にヨーロッパ中心だったのですが、これが世界に広がっているという状況でございます。

そこで日本ですけども、日本は、現時点では、これはまだ陸上がほとんどですけども2,245基、このくらいの風車で、いわゆるウインドファーム的にやっているのも含めて453という発電所があるということです。規模は3GWちょっとですから、他の国に比べると寂しいという状況です。

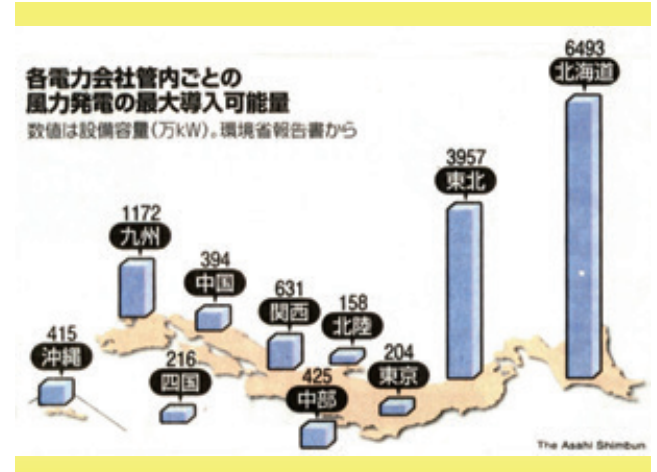
国内の風力発電導入実績

- 2017年度末 推定累積導入量
- 3,399MW 2,245基 453発電所



ただ、日本の場合は、これはいわゆる各電力会社の管内にどのぐらい風が吹いていますかという風力のポテンシャルになります。北海道はこの間の地震もあって大変だったんですが、北海道電力の設備容量は泊の原発を入れてほぼ600万KWですね。

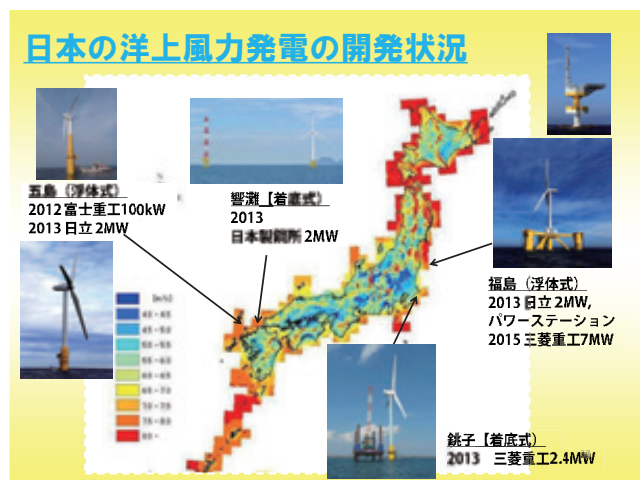
北電管内の風力ポテンシャルはほぼ6,500万KW、つまり風力だけで、北電の設備容量の10倍を超えてしまう。社会的な条件とか色々入れるとももちろん減ってくるんですけど、ポテンシャル的には非常に大きいということですね。



それから、東北電力管内には大体 4,000 万 KW の風力のポテンシャルがあります。東北電力の設備容量が 1,600 万 KW くらいですから、風力だけで大体 2.5 倍くらいです。

この二つの電力会社の管内は極めて風力ポテンシャルが大きく、その次は九州になるわけです。ということで、非常に大きな希望がある場所と言えらると思います。これは陸上だけですけれども、洋上を入れるともっともっと増えます。

最近、日本でも洋上風力発電の着床式、これは「着底」と書いてありますが、着床、あるいは着底式、それから浮体式が、これは環境省の助成ですけど、五島列島でやっておりますし、それから「ふくしま未来」ですね、福島で浮体式があります。



これが発電機だけでなく、変電所も浮体式の、これは多分、世界最初の例ですけれども、浮体式変電所ということで、これも非常に上手くいきました。

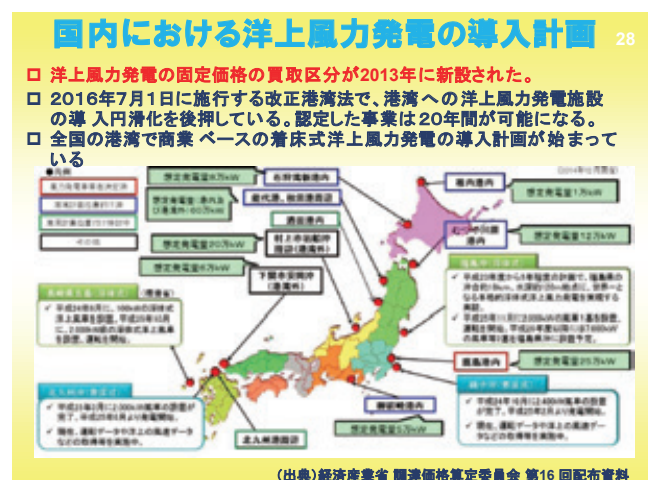
これが現時点のものですが、これは日立ですね、5 MW の風車があります。これはグッドデザイン賞を得ております。



それから、1基目がこの2MWです。それから、この向こうにある7MWですが、いわゆる増速機がどうしても完全に上手くいきませんで、それがきちんとできたら世界に誇る技術になるんですが、残念ながら、現時点では上手くいっていないのが正直なところでございます。

いずれにしても、2MWは非常に上手くいっていますが、ただ2MWは、洋上でやるには小さ過ぎますので、実証としてはよかったですけれども、最低でも5MW、さらに今は8MWとか10MWの時代になってきております。

これは、まさに今日の港湾局のお力でもあるんですけども、国内における洋上風力発電の導入計画で、これはアセスメントが非常に重要ですので、いろんな取り組みがあちこちでなされています。



(出典) 経済産業省 調達価格算定委員会 第16 回配布資料

一番に動き出したのが、この鹿島でしょうか。それから石狩の新港だとか、色々なところで動いていきますので、近々、もしこれが全部実現したら、国の2030年の導入目標を上回ってしまうくらいになります。

その一つで、非常に強気に動いているのが北九州ですね。グリーンエネルギーポートひびきということで、これは港湾を核とした新たなまちづくりをしようということなんです。



私も、この秋に新エネルギー財団の見学会があるので、ぜひ、参加しようと思っているんですけども、風もあります、それから先ほど言ったように、電力需要がすぐ近くの後背地にある、これが非常にいいことです。これは多分、モデル事業になると思います。

私の夢としては、先ほどの台湾の例があります。ですから、SEP 船とか、ああいう特殊船の稼働率を高めるためには、日本と台湾で協力してやればいけないか、それにはここが基地になるんじゃないかと、そのように考えております。

こちらは鹿島港における洋上風力発電で、これは陸から20mぐらいしか離れてないですけど、東日本大震災のとき津波も来ましたし、地震もあったんですが、ノートラブルで三日後にはまた運転を開始しました。



止まったわけではなくて、そのときは原発が止まったために電力を流せなかったんですね。ですから、全く心配なかった。

ちなみに、東日本大震災のときには、陸上の風車が200本ぐらい、あのエリアにあったんですけど、1本だけが地盤が液状化で少し傾いたためにトラブルが起きましたけれども、ほとんど心配なかったということでございます。

最近の台風でトラブルが起きたりしましたけれども、あれも実は、止まっていてコントロールが効かなかったものと、それから写真というか映像を見て思ったんですが、これは手抜きとは言いませんけど、きちんとした基準に基づいた基礎工事がなされていなかったなというような印象を受けました。

これから、ここには大きな風車が回り出します、日立グループですね。

それから、もう一つが、これは秋田の秋田港と、それから能代港です。そこに新しく洋上風力の動きが出てきておまして、これは丸紅だったと思いますけれども、最大で170MWということございまして、こういう動きがあちこちで出てきているということでございます。

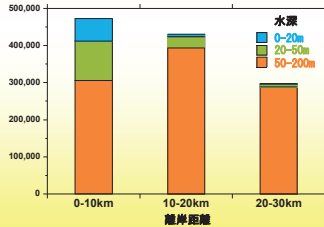
わが国における洋上風力賦存量

■NEDOによる洋上風力賦存量評価

- 風速7m/s以上、離岸距離30km、水深200mまでの洋上風力発電賦存量は、約12億kW
- 水深50-200mの範囲の賦存量は水深50mまでの賦存量の4倍以上

■洋上風力発電の開発可能性

- 着床式**洋上風力発電の適応限界水深と考えられる50mまでの賦存量は約2億1000万kW、設置可能海域内の5%が利用可能とした場合、**1,000万kW**の設備容量
- 浮体式**洋上風力発電が実用化されれば、水深200mまで設置可能海域の賦存量は約12億kWとなり、利用可能率を4%とした場合、**4,800万kW**の設備容量



わが国は、先ほど陸上の話をしましたけれども、洋上の場合、着床式、つまり50mより浅い領域ですね、そこで、大体ポテンシャルはこのぐらいですけれども、実際には、多分1,000万kWくらいの設備容量が可能だろうと言われていました。浮体になりまして、もう少し50mより先に行って、深くなった領域、水深200mくらいまでのところだと4,800万kWくらいが可能になるでしょうということでございまして、これが離岸距離とポテンシャルを表した図ということになります。日本は極めて有望であるということがお分かりいただけると幸いです。

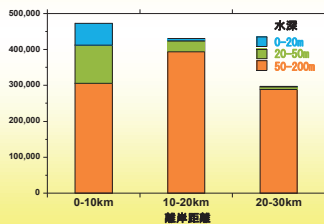
わが国における洋上風力賦存量

■NEDOによる洋上風力賦存量評価

- 風速7m/s以上、離岸距離30km、水深200mまでの洋上風力発電賦存量は、約12億kW
- 水深50-200mの範囲の賦存量は水深50mまでの賦存量の4倍以上

■洋上風力発電の開発可能性

- 着床式**洋上風力発電の適応限界水深と考えられる50mまでの賦存量は約2億1000万kW、設置可能海域内の5%が利用可能とした場合、**1,000万kW**の設備容量
- 浮体式**洋上風力発電が実用化されれば、水深200mまで設置可能海域の賦存量は約12億kWとなり、利用可能率を4%とした場合、**4,800万kW**の設備容量



将来展望ですけど、風車がどんどん大きくなっておりまして、現時点では、一番大きいのが7MWの風車で直径が165mとなっていて、これのさらに大きいものが出てきているということでございます。

こちらが、この春にGEが発表したHaliadeというのですが、12MWということになります。



洋上風力発電用
巨大風車
GE Haliade-X
12MW

直径が、詳しいことは出ていなかったですが、多分200mを超えていると思います。

そして三菱ヴェスタスが、つい最近発表したのが10MWとっていますから、いずれも直径が200m、一つの羽がほぼ100mを超えるくらいのもが出てくるという、そういう時代になりました。

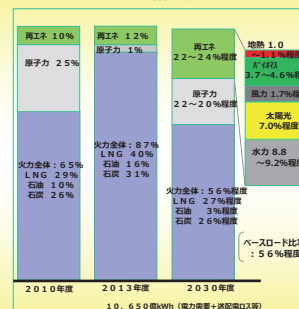
我が国の2030年のエネルギーミックスでありますけれども、再エネ全体で22~24%程度。その中で、実は、残念ながら風力はわずか1.7%ですね。

新エネルギー課長さんに、あれは一桁間違えたんですよと言いましたら苦笑いしていましたけれども、ポテンシャル的には十分あるんですよ。だって、デンマークの場合は40%もっているわけですから。

風力は現時点でこれだけですから、これは目標値ですけれども、ほぼ今の3.2倍ぐらい必要だということですが、多分、先ほどの港湾でいろいろやって、今、アセスをやっているのを全部やったら、十分これは達成可能であるということでもあります。

「エネルギーミックス」実現への道のり

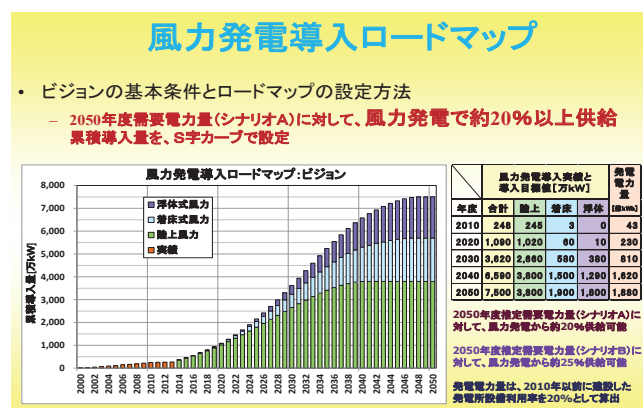
<電源構成>



	現在の水準 [A] (2016年10月:推計値)	ミックスの水準 [B] (2030年度)	B/A (倍大)
太陽光	3668万kW	6400万kW	約1.7倍
風力	319万kW	1000万kW	約3.2倍
地熱	51万kW	140~155万kW	約2.9倍
水力	4811万kW	4847~4931万kW	約1.0倍
バイオマス	305万kW	602~728万kW	約2.4倍

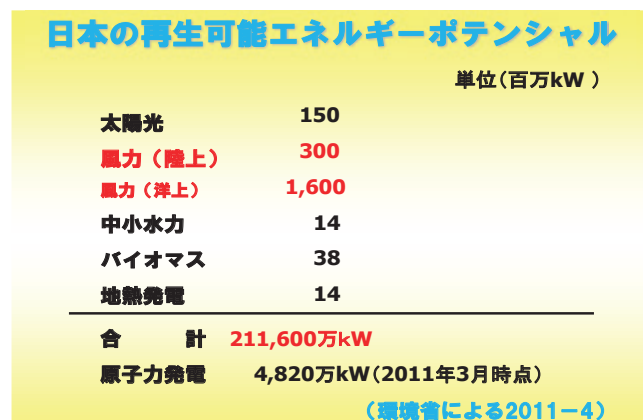
こちらは日本風力発電協会のつくったロードマップですけれども、今がここですね。陸上はヨーロッパもそうですけど、そろそろ頭打ちになる。その先は着床、それから浮体式ということで、これから洋上風力が増えてくるでしょう。

そして、これは2050年に日本の電力の大体20%を供給しようということですが、ほかの国では10%を超えるところが結構出ていますから、十分可能であるというふうに思います。



まとめということですが、実は環境省が、例の東日本の原発事故の1カ月後に日本の再生可能エネルギーのポテンシャルを発表しております。太陽、風力、中小水力、バイオマス、地熱とありますが、その中でも圧倒的に多いのが洋上風力でございます。

当時は原発が54基ありまして、トータルの設備容量が4,820万KWですが、日本の再エネポテンシャルをカウントしますと、全体で4,820万KWの大体44倍くらいになります。ですから、再生可能エネルギーをもっともっとやれる可能性もあるし、やらなくちゃいけないと思いますね。



そして、これを総括しますと、ヨーロッパでは2030年までに6,650万KWという目標を立ててるわけです。EU全体の電力需要7.7%を供給するんだという野心的な目標ということですが、これは技術開発と導入の拡大によってコスト削減がもう十分実現して、10円を切る時代になってきておりますから、十分可能かと思います。

それから日本場合は、特に石油、石炭の依存度が高いわけですけれども、これを何とかして、貫入率あるいは導入率と言っているんですが、日本場合は5~10%くらいまでは支障がないと、これは電力会社の研究所でも言っておりますから、十分いけるだろうということですね。

それから、2013年の洋上風力の固定価格買取制度が設定されました。それから、これは国交省の関係の御尽力なんですけど、2016年に港湾法が改正され、それから2018年中に海洋再生可能エネルギーに関する法律案が決定されるということで、文字どおり、国交省と経産省がタッグを組んで洋上風力も大きく進みつつある、非常に機運が高まっているという状況でございます。

ですから、今後は、技術開発と地域における洋上風力発電の導入拡大によって発電コストをさらに低減させ、それから地域振興を実現していくということです。

今度の北海道のような、ああいう巨大な発電所からというのはなかなか難しくなるとお思いますので、いわゆるコミュニティパワーとしても洋上風力は非常に重要だと思っております。

ということで、私からのオードブルの話は終わりにしたいと思います。

どうもありがとうございました。

○プロフィール

- ・1942年長野県出身、上智大学大学院理工学研究科博士課程修了
- ・1985年より足利工業大学機械工学科教授
- ・1998年足利工業大学総合研究センター センター長
- ・2008年足利工業大学学長
- ・2016年足利工業大学理事長(2018年足利大学に名称変更)
- ・日本における風力発電研究の第一人者



洋上風力発電の導入促進に向けた取組

講演者：国土交通省 港湾局 海洋・環境課長 中崎 剛氏

1. 洋上風力発電に関する政府方針、業界団体の提言等

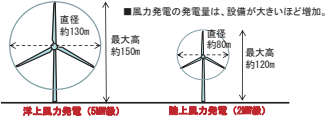
本年5月に閣議決定がされて新しくなった海洋基本計画において、海域の長期にわたる占用を可能とする制度の必要性が記載されています。

また、本年7月に更新されたエネルギー基本計画においても、「導入不可欠」というだけではなく、「主力電源化」という記載もされています。その他の各種計画においても、「ルールの整備を進める」、「主力電源化」という言葉が並ぶようになってきております。

洋上風力発電に関する政府方針等

- 政府の計画における洋上風力発電の位置づけ**
- 海洋基本計画 (H30.5.15閣議決定)**
 - 一般海域において洋上風力発電の整備に係る海域の利用の促進を図るため、関係者との調整の枠組を定めつつ、事業者の予見可能性の向上により事業リスクを低減させる等の観点から、海域の長期にわたる占用等を可能とする制度整備を行い、円滑な制度の運用に努める。
 - 我が国の洋上風力発電の導入拡大、発電コストの低減を図るため、一般海域や大規模な港湾区域で洋上ウインドファームの開発を行う事業者に対し、風況調査や設計等の支援を行い、発電コストに係るデータを取りまとめる。
- エネルギー基本計画 (H30.5.16現在)**
 - 陸上風力の導入可能な適地が限定的な我が国において、洋上風力発電の導入拡大は不可欠である。
- 長期エネルギー供給見直し (H27.7 経済産業省決定)**
 - 自然条件によって出力が大きく変動する太陽光や風力についてはコスト低減を図りつつ、国民負担の抑制の観点も踏まえ、大規模風力の活用等により最大限の導入拡大を図る。
 - ※ 2030年度の電源構成：再生可能エネルギーは22～24%、そのうち風力発電は1.7%
- 未来投資戦略2018 (H30.6.15閣議決定)**
 - 風力・太陽光の導入促進のため、(中略)一般海域利用ルールの整備を進める。
- 経済財政運営と改革の基本方針2017 (H28.8.9閣議決定)**
 - 再生可能エネルギーについて、最大限の導入拡大と国民負担抑制を両立させるため、コスト低減や事業環境整備、系統制約克服、調整力確保に取り組み、主力電源化を目指す。

(参考) 風力発電設備の規模・特徴



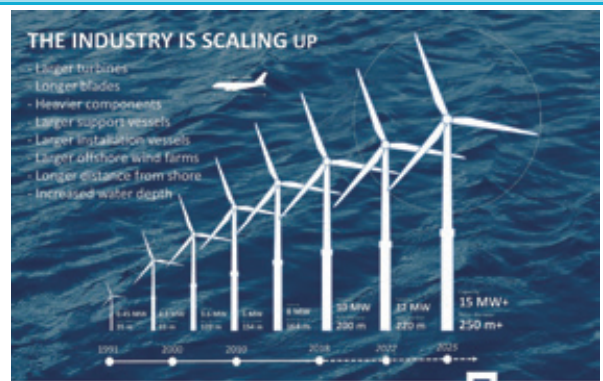
	洋上風力発電	陸上風力発電
風況	○ 一般的に陸上より良い	△ 一般的に海上に劣る
設備の規模 (設備1基あたりの発電量の規模 ^(注)))	○ 5MW級程度 (年間約4,200世帯の消費電力分)	△ 2MW級程度 (年間約1,400世帯の消費電力分)
部材の輸送制約	○ 制約小 (船舶輸送のため)	△ 制約大 (道路輸送のため)

※風況と設備の規模により決まってくるもの。

そもそも洋上風力発電は、陸上よりも風況がよくて、設備も大型化しやすく、部材の輸送の制約が少ないという特徴があります。先日、デンマークのエスビアウ港を訪れる機会を得まして、そこで入手した資料によると、現在は10MWクラス、7年先には15MWクラスの風車が主流になるだろうとのことでした。

かつてはエアバスのA380の全長が直径ぐらいと言っていたんですが、今は半径ぐらいの大きさになってきています。

風車サイズの動向



出典：エスビアウ港資料

洋上風力の導入目標としましては、日本風力発電協会の資料によると、2030年時点で、着床式洋上風力発電が主体となって10GWという数値目標が掲げられています。

10GWというのは、大体、原子力発電所10個分ぐらいに相当します。

さらに、全国的なポテンシャルという視点では、風速7m以上で水深が40mぐらいまでという条件で全国の沿岸を見ていきますと、91GWという数値が挙げられており、さらに10倍程のポテンシャルがあります。

洋上風力の導入目標

I-1. 意欲的で明確な導入目標(Target)の設定

- 国として中長期的な洋上風力の導入量为目标 (Target)として設定
 - 2030年時点 10 GW (着床式主体)
 - 2050年時点 37 GW (着床式・浮体式の合計)
- JNFA「中長期導入目標V4.3」における洋上風力の導入目標と同レベル
- 日本の一般海域における洋上風力発電のポテンシャルは、着床式だけでも全国合計91GW程度
- 洋上風力は大規模発電設備(500MWクラス)の建設が可能(欧州では900MWクラスが入札)
- 建設準備中、環境アセスメント手続き中の案件は、2017年12月末時点で約4GW、国による計画的な導入推進(60GW以上)により、2030年時点で100GWの導入は可能と想定
- 浮体式の本格導入は2030年以降と想定され、先行する着床式とは別に所要のコスト精査の上で適切なFIT買取価格を設定することが適切

出典：(一社)日本風力発電協会資料 (http://jepa.jp/page_259_jepa/detail.html)



出典：（一社）日本風力発電協会資料（http://jwpa.jp/page_259_wpa/detail.html）

洋上風力発電の導入推進による効果を見ていきますと、「長期エネルギー需給見通し」の中で、風力のシェアは1.7%のみですが、先程の10GWの数値目標が2030年まで達成できた場合には、4.3%まで上積みされることになります。



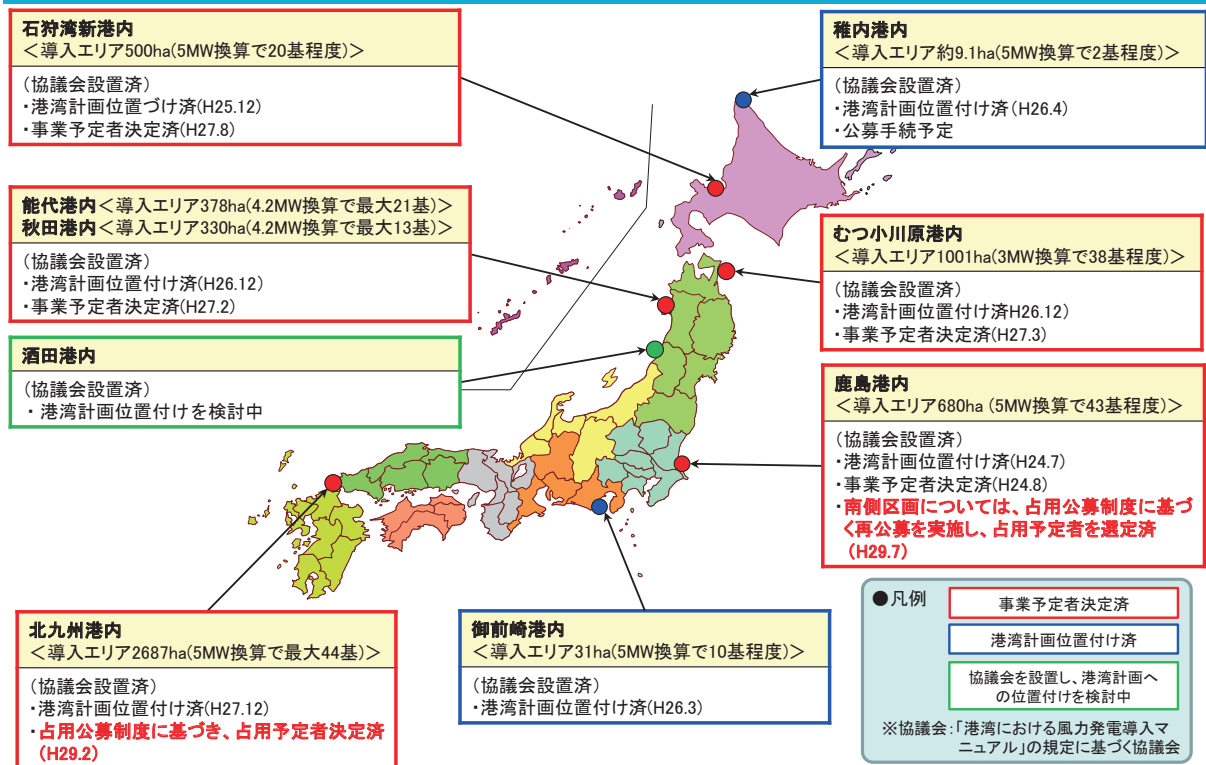
出典：（一社）日本風力発電協会資料（http://jwpa.jp/page_259_wpa/detail.html）

2. 港湾における洋上風力発電の円滑な導入に向けたこれまでの取組

平成28年に港湾法が改正され、港湾区域内に洋上風力発電を設置できるエリアを定められるようになりました。

北九州と鹿島においては、この改正の後、港湾区域の改定があって、既に事業者が決まっています。また、港湾法改正の前から、陸奥、石狩湾、能代、秋田など、港湾法改正に準ずる手続で港湾計画に位置付けがされていました。

港湾における洋上風力発電の主な導入計画等（平成30年1月現在）



占用公募制度の概要としましては、公物管理をしている港湾管理者の管理のもとに事業者が立地していただくという視点から、公募により、長期間にわたり公共の財産である水域を占有する方を決めていこうという基本コンセプトを掲げています。最も適切な計画を出した方を公募の中で選んで、その方に20年間の占有する権利を与えようという内容となっています。

占用公募制度(改正港湾法:H28.7施行)の概要

背景・必要性

●港湾における洋上風力発電施設等の導入の円滑化

＜港湾への洋上風力発電施設の導入背景＞
 ・広大な空間と安定的な風力エネルギーの存在
 ・海上輸送による部材等の運搬が容易
 ・背後地に近接し、電力系統への接続が容易

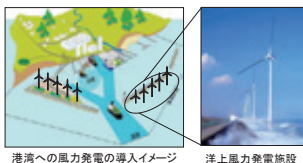
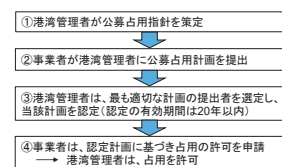


長期間にわたる占有の許可について、施設の維持管理等にも配慮しつつ、占有者を適切に選定する基準及びその手続の明確化を図る必要。

法律の概要

●公募による占有許可手続の創設

・長期間にわたり港湾区域内の水域等を占有する施設(洋上風力発電施設等)の設置に関する手続を創設。



港湾への風力発電の導入イメージ 洋上風力発電施設

北九州を例に見ますと、港湾区域を拡張し2,600ヘクタールの水域を確保して、船舶の航行と上手く共存させるようなエリア取りをしています。このエリアを対象に公募を行い、「ひびきウィンドエネルギー」というコンソーシアムが選定されています。選定された際のポイントとしましては、グリーンエネルギーポートというコンセプトに従っていること、産業集積をすることが挙げられると思います。港湾法の精神から言っても、このような地域への貢献を重視した案件が選定されたと言えます。

北九州港における洋上風力発電の導入に向けた取組

- 北九州市は、平成28年7月施行の改正港湾法により創設された**占用公募制度を国内で初めて適用**し、北九州港の洋上風力発電事業者(占用予定者)の公募を、平成28年8月に開始。
- 北九州市は、外部有識者が構成される「響灘洋上風力発電施設の設置・運営事業に係る事業者評価・選定委員会」を設置し、同委員会での審査・評価結果を参考に、平成29年2月、**ひびきウィンドエネルギー**を占用予定者に選定。

1. 選定グループ

コンソーシアム名 ひびきウィンドエナジー
 <構成員>
 代表企業：九電みらいエナジー 株式会社
 構成企業：電源開発株式会社、株式会社北拓 西部瓦斯株式会社、株式会社九電工

2. 選定グループによる計画概要(予定)

- ・風車基数：最大44基
- ・総事業費：1,750億円程度
- ・スケジュール：平成34年度～着工、順次運転開始

(参考)公募の経過

- ・港湾計画への位置づけ：平成27年12月
- ・港湾区域の拡張：平成28年8月
- ・公募占用指針の配布：平成28年8月19日～10月18日
- ・公募説明会：平成28年9月7日
- ・公募占用計画の受付：平成28年10月3日～10月18日
- ・審査・評価・選定：平成28年10月19日～29年2月14日
- ・選定結果公表：平成29年2月15日



公募対象水域 (2,687 ha)

北九州港における洋上風力発電の導入に向けた取組②

1. 選定グループ

コンソーシアム名 ひびきウィンドエナジー
 <構成員>
 代表企業：九電みらいエナジー 株式会社
 構成企業：電源開発株式会社、株式会社北拓 西部瓦斯株式会社、株式会社九電工

2. 選定グループによる計画概要(予定)

- ・風車基数：最大44基
- ・総事業費：1,750億円程度
- ・スケジュール：平成34年度～着工、順次運転開始

3. 選定グループによる事業実施方針

- ・風力発電事業や海洋工事等の各分野で豊富な知見を持ち、北九州市において地域密着の事業を展開する地元連合でコンソーシアムを構成。
- ・事業期間を通じて地域の方々のご理解を得るとともに、地域経済の発展に貢献するよう努め、北九州市の事業である「グリーンエネルギーポート(ひびき)」の実現を目指す。
- ・公募水域の全域を対象に風車の離隔距離、水深や漁場等を考慮して風車の配置計画を策定。

4. 選定グループによる計画のポイント

風車積出拠点の形成	欧州先進港をモデルとしたプレアセンブル(仮組立)及びプロモーション(事前点検)拠点の設置とヤードオペレーターの事業創出。
輸出入/移出入拠点の形成	主要部品の輸入/移入、風車製造及び部品調達に際し地元企業の採用を通じての輸出入/移出入拠点の形成。
産業集積	構北拓によるO&M(運転管理・保守点検)拠点の設置や新日鉄住金エンジニアリング㈱でのジャケット基礎製作の拠点化。増進機製造拠点の設置の検討。
地元企業への貢献	建設～設置の各段階で地元企業を積極的に活用。地元部材採用に向けた働きかけや地元企業の競争力強化に資する支援の場を提供。
その他	非常時電力の供給策の検討、風車基礎部分の漁獲化や調査データの提供などの漁業貢献、観光需要の創出、市民環境学習への貢献、市民の事業参加の仕組みの検討。

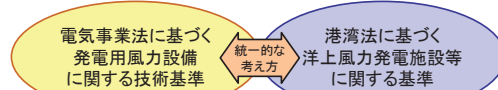
3. 洋上風力発電施設の審査基準の策定に向けた取組

基準を考える際には、港湾法と並び、経済産業省所管の電気事業法との統合的な考え方が必要になります。

港湾区域、あるいは一般海域で事業者の方々が洋上風力発電設備を設置するとき、この両法律に合致するような設計をし、施工をしていただくという考えのもと、昨年度、設計の基準と施工の基準をまとめました。今年度は、維持管理の基準の整備を行っています。

洋上風力発電施設の審査に係る基準の必要性

- 港湾に設置する洋上風力発電施設は、**電気事業法及び港湾法の各法に基づく基準に適合**する必要がある。
- 港湾法に基づく港湾区域の占有手続と電気事業法の工事計画届出の審査について、国土交通省と経済産業省は、2017年度に統一した考え方による洋上風力発電施設の構造審査基準および工事実施の方法の審査指針を策定し、それぞれの法令に基づく**審査手続の合理化、事業者の負担軽減**を図った。
- 2018年度中に統一した考え方による洋上風力発電施設の維持管理の方法の審査基準を策定する。



【基準策定に係る工程表】

2016年度	2017年度	2018年度
港湾法の改正	洋上風力発電施設の構造審査基準の策定 工事実施の方法の審査指針の策定	維持管理の方法の審査基準の策定

基準の整備に当たっては、ほぼ全ての省庁がメンバーとなっている関係閣僚会議が開催され、設計施工、維持管理に関するアクションプランが策定され、国を挙げて基準づくりが行われています。

再生可能エネルギー関係府省庁連携アクションプラン

再生可能エネルギー・水素等関係部会会議 (H29.4.11開催)

目的： 責任あるエネルギー政策の構築を図るため、特に、再生可能エネルギーの導入拡大、水素社会の実現等の推進に関する事項に関し、関係府省機関の緊密な連携の下、これを総合的に検討する

構成員： 総務大臣、外務大臣、文部科学大臣、農林水産大臣、経済産業大臣、国土交通大臣、環境大臣、経済再生担当大臣、内閣府特命担当大臣（経済財政政策）、内閣府特命担当大臣（科学技術政策）、内閣府特命担当大臣（海洋政策）、内閣官房長官

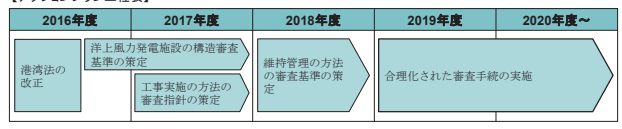
再生可能エネルギー導入拡大に向けた関係府省庁連携アクションプラン (H29.4.11)

5. 洋上風力発電の導入促進に向けた制度環境の整備

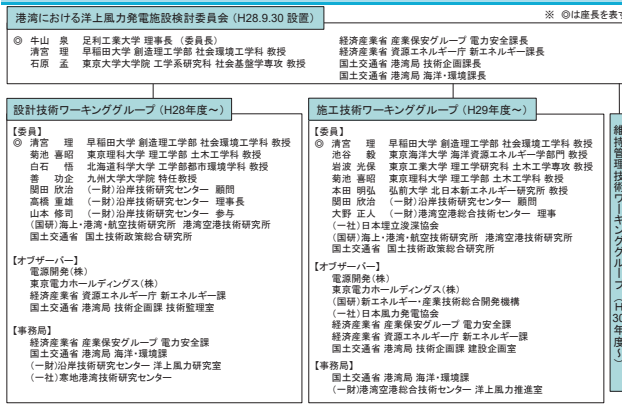
一 港湾における洋上風力発電の導入促進 【国土交通省、経済産業省】

洋上風力発電の導入適地として港湾が有望視されるなか、2016年5月に港湾法が改正され、港湾区域等の占用予定者を公衆により決定する制度が創設された。改正港湾法に基づく港湾区域の占用手続と電気事業法の工事計画届出の審査について、**国土交通省と経済産業省は、2017年度中に統一した考え方による洋上風力発電施設の構造の審査基準を策定し、それぞれの法令に基づく審査手続の合理化、事業者の負担軽減を図る。**

また、**国土交通省は、経済産業省と連携して、2017年度中に工事実施の方法の審査指針を、2018年度中に維持管理の方法の審査指針を策定する。**



洋上風力発電設備に関する審査基準類の検討体制



この技術基準の統一解説の中では、陸上では想定されていない港湾としての機能が求められています。例えば、周辺海域の利用に影響を与えない設備を設置しなければいけないとか、船舶との関係も考慮しなくてはなりません。さらには、腐食や洗掘にも配慮が必要になります。

洋上風力発電設備に関する技術基準の統一解説 (平成30年3月版)

- 技術基準の統一解説は、総則、要求性能、作用する自然条件、設計、付属書で構成。
- 第2章では、電気事業法と港湾法のそれぞれの基準で定められる要求性能について規定。
- 第3章では、上記の要求性能を満たす設計を行うための自然条件等の作用の設定方法について規定。
- 第4章では、洋上風力発電設備等の設計方法について解説。

「洋上風力発電設備に関する技術基準の統一解説(平成30年3月版)」の構成

第1章 総則	第3章 洋上風力発電設備等に作用する自然条件等
第2章 洋上風力発電設備等の要求性能	3.1 風荷重 3.8 地震荷重
2.1 外力に対して安全な構造	3.2 潮位 3.9 地盤の液状化・沈下
2.2 風車の構造	3.3 波浪荷重 3.10 接岸荷重
2.3 風車の安全な状態の確保	3.4 津波荷重 3.11 固定荷重
2.4 取扱者以外の者に対する危険防止措置	3.5 水の流れによる荷重 3.12 その他の荷重
2.5 圧油装置及び圧縮空気装置の危険の防止	3.6 洗掘 3.13 腐食作用
2.6 公害等の防止	3.7 地盤 3.14 材料
2.7 港湾機能及び周辺海域の利用に影響を与えない洋上風力発電設備等の設置	第4章 洋上風力発電設備等の設計
2.8 航行船舶からの視認性の向上	4.1 構造解析 4.7 重力式基礎
2.9 船舶等との接触の防止	4.2 荷重抵抗係数法 4.8 接合部
2.10 腐食・洗掘等の防止	4.3 許容応力度法 4.9 運転・維持管理に必要設備
2.11 施工及び維持管理等への対応	4.4 タワー 4.5 モノパイル構造 4.10 防食設計
2.12 送電線の敷設	4.6 ジャケット構造
	付属書

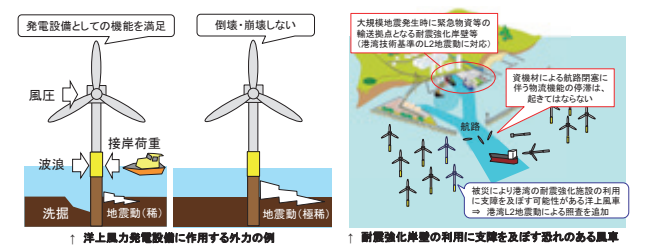
特に沿岸域ですので、地盤の液状化、沈下についても明記をしています。

要求される性能について詳しく見てみますと、例えば地震については、通常はレベル1地震動に対しては発電を引き続き続けられることが求められます。言い換えると風があっても、波浪があっても、地震があっても発電は続けられることが求められます。また、極めて稀に起こる地震でも倒壊はしないということが求められています。

一方、港湾区域の中の場合、大規模地震のときにも確保しないといけないような航路が存在する場合に限りレベル2地震動への対応が求められています。

洋上風力発電設備等の要求性能【外力に対して安全な構造】

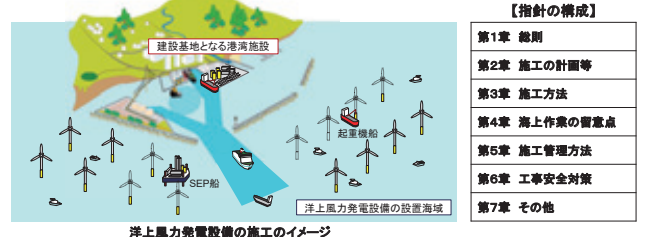
- 洋上風力発電設備は、自重、積載荷重、風圧、水圧、積雪、水圧、変動波浪、稀に発生する地震動、港湾施設の設計に用いるレベル1地震動等の作用により損傷せず、発電設備としての機能を満足するものとする。
- 極めて稀に発生する地震動等の作用により、倒壊、崩壊しないものとする。
- 上記に加え、被災により、港湾に存する耐震強化施設の利用等に支障を及ぼすおそれのある洋上風力発電設備については、港湾の耐震強化施設の設計に用いるレベル2地震動(以下、港湾L2地震動とする。)の作用によっても倒壊、崩壊しないことを確認するものとする。



施工に関する指針につきましては、SEP 船、維持管理の船、起重機船などが、安全に建設の施工をし、航路との共存を図っていけることが内容となっています。また、洗掘や風、波浪の影響を受けても安全に施工ができることなどを内容としています。

港湾における洋上風力発電設備の施工に関する審査の指針 (平成30年3月版)

- 港湾区域に洋上風力発電設備を設置する場合、港湾法に基づく水域占用手続に際して、洋上風力発電設備の施工に関する港湾管理者による審査が必要とされている。
- 洋上風力発電設備の工事は民間事業であるが、公有水面であり、船舶航行などの利用がなされる海域等における工事であるため、**当該工事が安全・円滑・確実に実施されるとともに、海域・港湾利用が阻害されないこと、水域等を管理する港湾管理者により確認する必要がある。**
- 港湾法に基づく洋上風力発電設備の施工に関する審査の観点から、**「洋上風力発電設備の施工に関する審査の指針」(以下、施工審査指針とする。)**を策定し、**平成30年3月に公表する。**
- 検討にあたっては、欧州における洋上風力発電設備の施工に関する規格を参考として、指針を策定した。



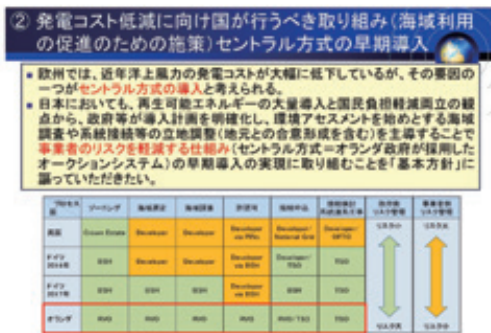
4. 我が国の洋上風力発電プロジェクトの支援に向けた今後の取組

今後、特に一般海域に向けて支援を拡大する際の参考として、海外での動向をご紹介します。

イギリスにおいては、海域の選定から調査、系統への接続申し込み等について、事業者が責任を負っています。

一方、いわゆるセントラル方式を採用しているオランダでは、ゾーニングから系統工事までほぼ全て政府が責任を負っています。一般海域の場合、オランダの例のようなセントラル方式が求められることとなりますので、これを踏まえて一般海域のルールづくりにこれまで取り組んできており、政府内で合意に至っています。

業界団体からの要望（1）



出典：(一社)日本風力発電協会資料 (http://jwpa.jp/page_261_jwpa_detail.html)

ルールづくりと合わせ、拠点港という概念が日本風力発電協会から提案されています。

拠点港と言うと、日本の中では幾つかしかなくようなイメージもありますが、提案の中身を見ると、建設に必要な港と保守運転の管理のために必要な港の二種類が記載されていますので、必ずしも港の数を絞ったイメージでもないのかなと思います。

業界団体からの要望（2）



出典：(一社)日本風力発電協会資料 (http://jwpa.jp/page_261_jwpa_detail.html)

基地港湾に求められる機能のイメージ

- 洋上風力発電プロジェクトを支援する基地港湾には、以下のような機能が求められる
- 重量物である資機材を取り扱う岸壁の地耐力
 - 長大物である資機材を保管するヤード
 - 資機材を円滑に搬入するための荷役機械 等

【ブレーマーハーフェン港(ドイツ)の例】



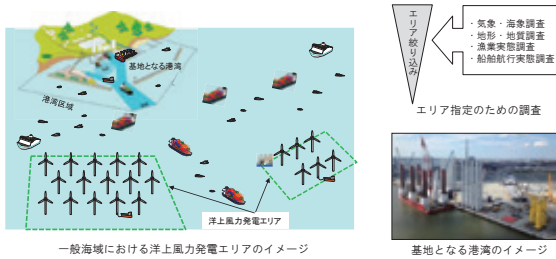
出典: Offshore Wind Port Bremerhaven

来年度の予算要求の一つとして、区域の指定にかかわる調査費要求をしています。

港湾区域の外、つまり一般海域においてどこを洋上風力を促進するエリアにするかということを決めることは、かなり調整にも時間がかかります。まず、気象、海象、漁業実態、航行実態などについて調査が必要となりますので、経済産業省と協力しつつ、これらの調査を行い、エリアを決め、その後港湾法における手続きと似たような、公募の手続に入るというイメージを持っています。

洋上風力発電の推進に向けて

洋上風力発電を促進するため、一般海域における洋上風力発電のエリアの指定や海域の利用調整に関する調査を行うとともに、洋上風力発電の建設及び維持管理の基地となる港湾の機能を強化する。



最後に諸外国の事例を紹介しますと、北海の例として、ドイツ、オランダ、デンマーク、イギリスが共同で6.5キロ平米ある人工島をつかって、滑走路も港も整備し、この周りに大量の風車を置くという計画があるそうです。

その発電容量が50GW以上となるよう計画されているそうです。

欧州 北海の動向



デンマークのエスビアウ港においては、8 MW級のブレードや、タワーが効率的に並べて置かれており、SEP船にすぐ積めるように、ここで事前組み立てとテストまでをやって、そこから効率的にSEP船に乗せて運搬するという機能を担っているそうです。

エスビアウ港は沖側に拡張するという計画があるそうです。背後には製造拠点がありますが、製造ベースの港であっても拡張が必要であるということがデンマークの事例で分かりました。このような動きを踏まえて、日本でも基地港の整備と一般海域のルールづくりを遅滞なくやっていきたいと考えています。引き続きの御指導、御鞭撻、それから御協力をいただけるようにこの場をお借りしてお願いをさせていただきます。

デンマーク エスビアウ港の動向



○プロフィール

- ・1990年運輸省入省
- ・2016年中部地方整備局港湾空港部長
- ・2017年国土交通省港湾局海洋・環境課長



洋上風力発電実証プロジェクト

講演者：国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
新エネルギー部 統括調査員 伊藤 正治氏

1. NEDOについて

NEDOは、エネルギー・地球環境問題の解決、産業技術力の強化と、その実現に向けた技術開発の推進を通じて経済産業行政の一翼を担う研究開発法人です。

NEDOは自ら研究者を有してなく、日本国内の産学官を連携してプロジェクトの企画、立案、実際の公募を通じたプロジェクトの運営を行い、研究開発成果の最大化を図っております。

NEDOの2018年度の予算は、約1,600億円です。そのうちエネルギーシステム分野が約530億円、省エネ分野が約450億円、産業技術分野が約490億円です。

風力関係は、再生可能エネルギー分野に属しており、予算は約70億円です。

NEDOについて



NEDOの役割

NEDOの技術開発マネジメントでは、プロジェクトの企画・立案から、実施者の公募等により産学官の協力を結集した体制構築を行い、プロジェクトの運営にあたっては適宜、開発目標を見直しつつ、研究開発成果の最大化を図ります。

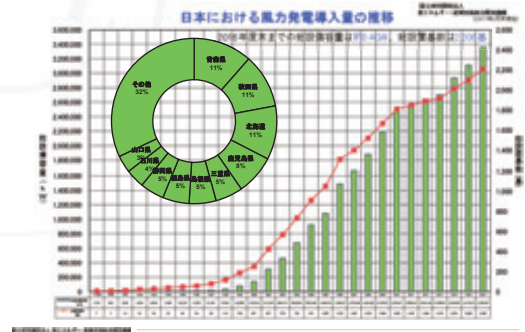


2. 日本における洋上風力発電のポテンシャル

世界の風力発電量が540GWに対して、日本の風力発電導入量は、昨年末で約3.4GWです。

日本の陸上の場合、一般的に北海道、東北において風況がよく、陸上風車の導入割合も北海道、東北方面に集中しています。

日本の風力発電導入量



日本は洋上風力のポテンシャルを有していますが、欧州のように遠浅の海域は多くありません。例えば、年平均風速が7m以上、風車を5MWとして、離岸距離30km未満での洋上風力発電のポテンシャルを計算したところ、着床式は約200GW、浮体式は約1,000GWと算定されました。

着床式と浮体式の適用水深を水深50mというところで区切っていますが、これが日本の洋上風力発電のポテンシャルの目安だと思っています。浮体式のポテンシャルが着床式の約5倍あることになります。

浮体式の可能性について少しお話ししたいと思います。

NEDOは、これまで着床式は銚子沖と北九州沖で実証研究を実施しています。浮体式は、経済産業省の福島、環境省の長崎での実証研究がありますが、現在、NEDOが進めている浮体式の実証研究はこれらの海域よりも浅い、水深50m～100mにフォーカスしています。これによって着床式、浮体式実証の間隔の水深をカバーしたことになります。欧州では、着床式の導入が進んでいますが、2030年あたりには設置可能な海域が飽和状態になると言われています。そのため、浮体式の研究開発が盛んになり、4～5年前まで

は日本がトップランナーでしたが、今は海外勢が追い上げてきている状況です。

欧州では着床式から浮体式が変わっていくところで着床式と同程度のコストを狙って開発を実施しています。

浮体式のコスト削減のために、浮体の上に搭載する風車を大きくしていこうとしています。具体的には10MWとか、12MWといった風車を搭載するのが浮体式の低コスト化へのひとつの道です。

着床式のモノパイルでは物理的に搭載できない大型風車であっても、浮体式であれば適用出来るといった考え方、ある意味でトレードオフの関係ではありますが、これに関連した風車メーカーの動きにも注視しておく必要があります。

現時点で実用化に近い、コスト的に有利な浮体式はスパー型と考えております。欧州のエクイノール（旧スタットオイル）がスコットランドの沖合で半商用として稼働しているものがスパーです。日本国内では環境省が長崎の五島沖で実証研究したのが唯一スパー型でした。

また、エクイノールのスパー浮体に搭載されている風車はシーメンスの6MWです。洋上風車のシェアNo.1のシーメンスの風車を浮体に搭載するということは、そのスパー型浮体がいかに信頼性を得ているかということだと思えます。

のポテンシャルと洋上のポテンシャルというのは必ずしも一致していないということかと思えます。

日本の洋上で環境アセスの手続きを行っている案件は港湾区域が728MWで、一般海域で4,317MWありますが、最初は制度が整っている港湾区域で進んでいくものと思われます。

日本における洋上風力発電のポテンシャル



3. N E D O の洋上風力発電実証プロジェクト

N E D O は 2008 年から、銚子と北九州で着床式の実証研究を進めてきました。現在は、浮体式バージ型の実証研究を進めております。

実証研究というのは、成果として、技術の検証やコストの評価、あるいはガイドブックの作成があると思いますが、私はトレーニングの意味もあると思っています。

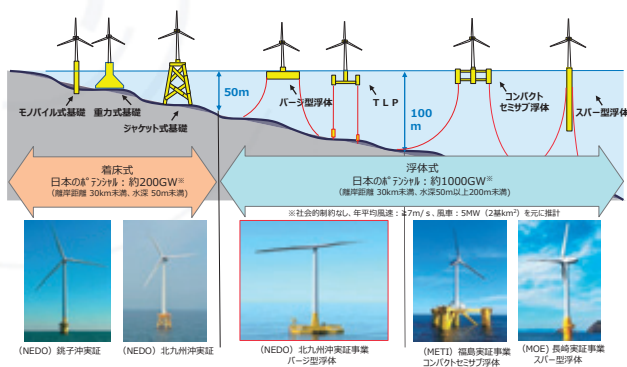
例えば委託先の東京電力、電源開発だけではなく、実際に工事をした会社や作業員のトレーニングにもなります。一方で、許認可権者、実際に審査する方も体験を通してトレーニングになると思い、実証研究を非常に大事なものと捉えて、実行しています。

その他の研究開発としまして、超大型風車の研究開発、次世代浮体技術の開発、あるいは着床式の低コスト化の施工技術開発も実施しております。

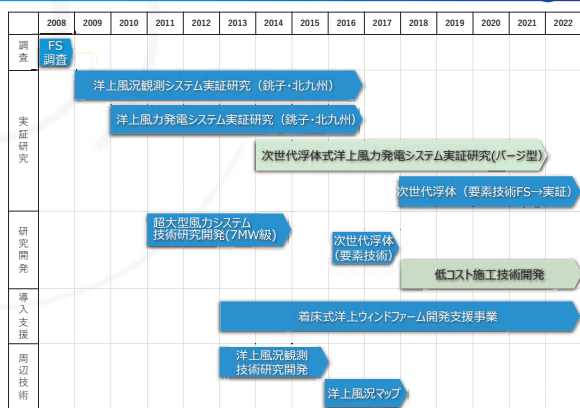
また、導入支援として、日本で着床式の計画を検討している会社に対して、建設までに必要な調査設計に対する支援を行っています。さらに、支援した会社からの色々なコストデータを受領し、今後のFITの改定等に役立てていくことを考えております。

また、周辺技術として、洋上風況観測の研究開発、洋上風況マップを実施しております

日本における洋上風力発電のポテンシャル



洋上風況マップをN E D O のホームページ上で公開していますが、それを見ると、例えばハブ高さが80m、年平均風速が8.5m/sといった好風況の海域は、北海道、東北に多く見られます。ただし、太平洋側や九州の洋上でも非常に風のいいところがあって、陸上



バージ型浮体式洋上風力発電実証研究につきまして、8月に福岡県北九州市で完成し、プレスリリースを行いました。

実証研究の目的は、日本の近海で、比較的浅い海域の水深50～100mに適した浮体の開発を行うということで、事業期間は2016年から2021年です。

場所は北九州沖の一般海域で水深約53m、離岸距離約15kmです。バージ型の浮体に2枚羽根の3MWのアップウインド風車を搭載しております。

NEDOの洋上風力発電実証プロジェクト
(次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究 (バージ型))



概要

1. 目的
日本近海の気象・海象条件に即した低コスト次世代浮体式風力発電設備および施工方法の開発・検証と共に、比較的浅い海域（50m～100m）に適した係留システムの検討を行う。
2. 事業期間
2016～2021年度

浮体式洋上風力発電設備の設置場所

北九州市沖【一般海域】
水深約53m
離岸距離約15km



浮体式洋上風力発電設備の概要

3MWアップウインド風車（2枚翼）
バージ型浮体（鋼製）



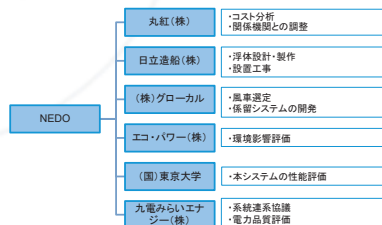
実施体制は、丸紅を筆頭にコンソーシアムを形成しております。各社の分担は、浮体の設計、製作、設置工事は日立造船、風車の調達はグローバル、環境影響評価はエコ・パワー、性能評価は東京大学、系統連携の協議と電力品質の評価は九電みらいエナジーという分担です。

NEDOの洋上風力発電実証プロジェクト
(次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究 (バージ型))



ポイント

- ①日本の気象・海象条件に対応した低コストな浮体式洋上風力発電システム
- ②水深50m程度の海域に設置可能
- ③大型風車(>5MW)を搭載することで更なる低コスト化が可能



この浮体は材質が鋼製で長さ約50m×幅約50m、高さが10m、喫水が約7.5mです。コンパクトなサイズですので、浅い海域にも設置が可能と考えております。

また、喫水が浅いことから港湾内を浮上したまま曳航することが可能ですので、港湾を選ばず輸送面でもメリットがあると考えております。

この浮体はカテナリー方式という緩い係留方法を採用しており、全部で9本のアンカー・チェーンで固定しています。チェーン1本の長さが約500mで、全体で約5kmとなりますが、後程お話ししますが、この設置作業が大変な作業でした。

NEDOの洋上風力発電実証プロジェクト
(次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究 (バージ型))



1.名称	バージ型浮体式構造物
2.船名	ひびき
3.仕様	形状 長さ51m×幅51m×高さ10m（スカート幅6mを含む） 喫水 約7.5m 材質 鋼製 重量 3,100トン（風車、バラスト水を除く）
4.製造	日立造船株式会社 堺工場

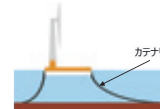
【バージ型浮体の特徴】

- 福島沖実証のセミサブ浮体と比べて、喫水（海に沈んでいる部分）が浅い（約7.5m）
- 喫水が浅いため、浮かべたまま港湾内を曳航することが可能
- 日本の気象・海象条件を考慮した、水深50m程度の海域に設置可能な設計
- 浮体を固定させる係留について、福島沖実証等と同じながらも浅水域でも活用可能な安全性・経済性を考慮したカテナリー係留を使用



<アンカーとチェーンの設置図>

- 係留数：3点×3ライン＝計9本
- チェーン：1ライン当たりの重量 193t×9本＝1,737t
1ライン当たりの長さ 555m×9本＝約5km



<カテナリー係留のイメージ>

搭載する風車は、日本の風車ではなくて、「エアロダイン」という、風車設計で実績のあるドイツの風車メーカーを採用しています。

日立やシーメンスやヴェスタスの風車を搭載しないことが不思議に思えるかもしれませんが、実証研究と

いうタイトなスケジュールの中、有名な風車メーカーといえども、ピンポイントのタイミングで風車を提供するの難しいというのが現状です。

この風車は非常にコンパクトにできています。ナセルは三分割した構造で一番後ろの部分には潤滑系やヨー制御のシステム、真ん中の部分には発電機とドライブトレインがあり、一番前の部分がハブになっています。ハブにブレードが取り付けられ、ナセルの後部でタワーに接続するという、片持ち梁で全体を支えているような感じになります。

NEDOの洋上風力発電実証プロジェクト
(次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究 (バージ型))



3MWアップウインド風車の概要について



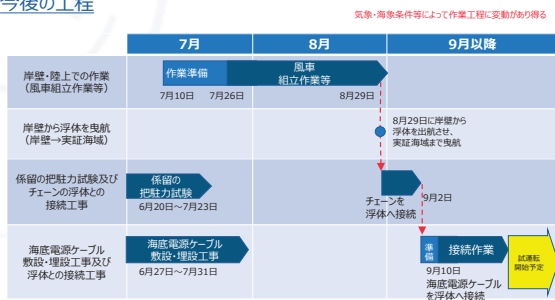
ヘッドキャリア (潤滑システム、ヨー制御機構等)	発電機とドライブトレイン (増速機、主軸等の動力伝達部)	ハブ (翼の取付け部)
制作者	エアロダイナ (aerodyn engineering gmbh) (ドイツのベンチャー企業)	
定格出力	3,000kW	
ローター径	100m	
ハブ高さ	72m (海面から)	
翼枚数	2枚翼	
重量	約134t (ブレードを含む)	
風車の特徴	2枚翼及びナセルがスーパーコンパクトドライブという設計方式であり、「設置時間の短縮」「ローター・ナセル軽量化」等が可能になる仕組みを採用	

実証機の組み立て工程では、7月10日に日立造船の堺工場から北九州港の岸壁にバージを曳航し、風車の組み立てを行いました。その後、8月29日に実証機を設置海域へ曳航し、チェーンを浮体に係留して、最後に海底電源ケーブルを接続して通電し、試運転開始になります。

NEDOの洋上風力発電実証プロジェクト
(次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究 (バージ型))



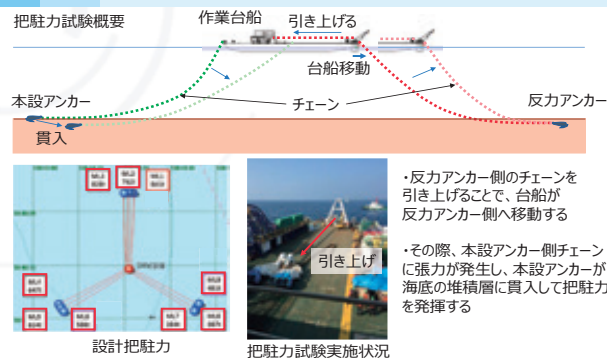
今後の工程



把駐力試験の方法について簡単に説明します。把駐力試験とは、9本のアンカー・チェーンの張力(把駐力)が設計どおりに出ているかを実際に計測して確認する試験です。

図のように、片側に本設のチェーンとアンカーがあり、反対側に台船を介して、チェーンと反力アンカーを配置します。反力アンカーは本設アンカーよりも把駐力が大きくなるように、より大きなアンカー、場合によっては2本のアンカーで押さえて、反力側のチェーンを引き上げることで、この本設アンカーを海底面に貫入させていきます。

NEDOの洋上風力発電実証プロジェクト
(次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究 (バージ型))



このときの張力(把駐力)が設計値を上回っているかどうかを確認します。当初計画の20トンのアンカーでは設計把駐力が出ずに、40トンに設計変更したという場合もありました。北側のアンカーの場合、この海域では北からの風、波が強いので、当然、東側、西側に比べて、必要な把駐力は北側のアンカーが大きくなります。そのために、東側、西側で使っているアンカーの倍のアンカーを使ってどうにかクリアできました。

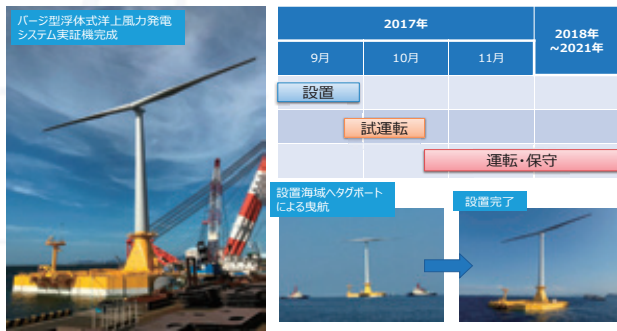
把駐力試験は、反力アンカーの設置で一日、本設アンカーの引っ張りで一日、スムーズに進むと約二、三週間で済みますが、一度失敗すると本設アンカー、仮設アンカーともに動いているので、アンカーの設置から全てやり直しになるため時間がかかります。

浮体の施工に関しては、工期的にもコスト的にも把駐力試験というのが一つのポイントになるだろうと思います。

音波探査で広範囲の調査を行い、アンカーの設計をしていましたが、アンカー設置個所の海底の土を採取してみると土の物性が三箇所でも微妙に異なるなど、把駐力試験の難しさを知りました。

9月に設置し、10月に試運転して、11月から運転開始して、保守を始めていくという予定にしています。

NEDOの洋上風力発電実証プロジェクト (次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究 (バージ型))



NEDOのホームページに特設サイトを設け、静止画、動画を情報として、出すようにしております。

事業紹介ホームページとPR動画のご紹介



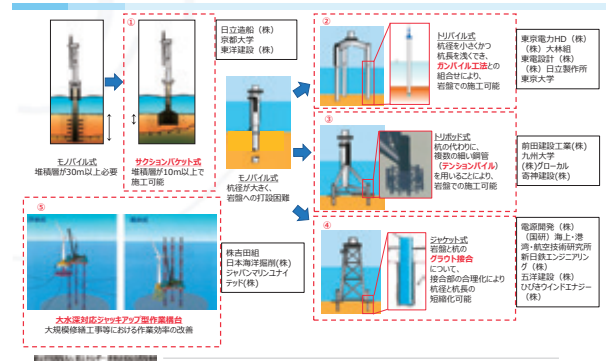
最後に、着床式の低コスト施工技術開発についてご説明します。

昨年度に洋上風力発電低コスト施工技術調査研究を実施しました。日本の場合は、遠浅が少ないことに加えて、表層の砂質土等が薄く、岩盤が浅いという状況が見られ、欧州のようにモノパイルを適用出来ないところが多くあります。そういった地盤で基礎構造の低コスト化を図れないかという調査研究を行っています。

また、大水深にも対応するジャッキアップ船を活用することにより、作業効率の改善も検討しています。

この調査研究から、日本において基礎構造物の低コスト化が可能であることが判りましたので、今年度から新たに洋上風力発電低コスト施工技術開発を開始したところです。

NEDOの洋上風力発電実証プロジェクト (洋上風力発電低コスト施工技術調査研究) [2017年度]

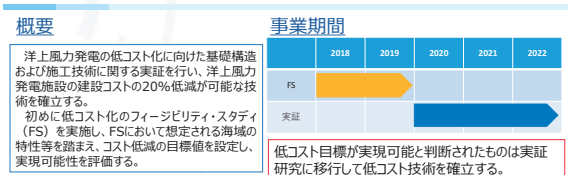


このような低コスト化は、国内全ての洋上風力建設に資するものですから、オールジャパンでやりたいと考えています。関係するサプライチェーンの知財、アイデアを集めて技術的課題を解決する、ジョイント・インダストリー・プログラム (JIP) 方式を進めて行きたいと考えています。

これは欧州で実際に低コスト化を実現したプログラムで、複数の風力発電事業者が一堂に集まり協議会を設置して、基礎構造やアクセス船と言ったテーマごとに仕様やコスト目標を提示し、それに対する提案を募って、問題を解決できると思われる者に資金を拠出する方法です。

これに近い方式をNEDOではやっていきたいと考えていますが、皆さんの御協力が必要です。日本全体でいかにコストを下げていくかを考えていきたいと思います。

NEDOの洋上風力発電実証プロジェクト (洋上風力発電低コスト施工技術開発)



例にあるように重力式やジャケット式の代わりにサクシオンバケット式が実現すれば、コスト削減が図れる可能性が高いと思います。

また、着床式洋上風車の施工に必要な SEP 船については、新造すると 100 億円を超えと言われていたのですが、これを世界で使われていない石油掘削リグを日本国籍に変えて、クレーンを搭載するなどして改造した場合、低コスト化が可能になると考えられます。

最後に、NEDO で実施しているバージ型の動画を再生します。

この浮体式洋上風力発電システムの名前は「ひびき」と言います。

実際に浮体をつくったのは日立造船、風車を設置する作業は日立造船のもとで、吉田組などに協力いただきました。

特に風車を搭載するところでは、日本のオペレーターが作業をしていますが、最初は戸惑うものの、2 回目からは非常に作業が早くなりました。やはり日本のオペレーターの質は非常に高いと思います。

一般的な洋上風力発電の建設も確かに最初は時間がかかるとは思いますが、日本も経験を積んでいけばコスト低減への道というのが拓けると考えております。

日本の技術を結集して洋上風力発電の課題に取り組んでまいりたいと思います。

引き続き、皆様方の御協力をお願いしたいと思います。
ご清聴、ありがとうございました。



○プロフィール

- ・2006年 NEDO 新エネルギー技術開発部
- ・2017年 NEDO 新エネルギー部統括調査員
- ・洋上風力発電実証研究、次世代風力発電技術研究開発、海洋エネルギー技術研究開発などのナショナルプロジェクトの立ち上げ、マネジメントに携わる。
- ・また、NEDO 再生可能エネルギー技術白書（初版、第2版）風力パートの監修を行う。



風力発電施設の洋上展開技術

講演者：早稲田大学 名誉教授 清宮 理氏

今の洋上風力発電の設計基準は、IEC (International Electrotechnical Commission) の基準に従って、設計することが原則になっております。日本でも風力発電の基準が JIS の C1400-1,3 風車にあります。現在、この IEC と JIS の基準を基に、設計されております。

洋上に関しては、国土交通省で 2017 年に港湾法が改正され、その後、港湾における洋上風力発電施設の技術ガイドラインを現在整備しております。

洋上風力発電の認証審査に関しては、今は DNV の審査が中心になっていますが、国内では日本海事協会が洋上風力発電の審査をしていて、これからは沿岸技術研究センターと港湾空港総合技術センターの 3 者で審査する予定になっています。

洋上風力発電の設計施工基準

- (1) International Electrotechnical Commission, IEC 61400-3: Wind turbines Part3: Design requirements for offshore wind turbines, 2009
- (2) 日本規格協会, JIS C1400-1,3, 風車-第1,3部: 設計要件, 2017
- (3) 国土交通省: 港湾法の改正 2016, 港湾における洋上風力発電施設等の技術ガイドライン, 経産省: 発電用風力設備に関する技術基準を定める省令など

洋上風力発電施設の認証・審査

国際的には、(プロジェクトファイナンス、保険を受けるため) GL: Germanischer Lloyd (DNV GL, DNVGL-ST0126, 2016) の審査

海事協会、沿岸技術研究センター、港湾空港総合技術センターなどの審査指針
洋上風力発電導入推進事業海域占用許可に係る審査委員会(各地方自治体)

日本における洋上風力発電施設での設計施工上の課題は (1) 台風 (波・風)、地震、落雷、地盤・地形などの自然条件、(2) 漁業権などの社会環境、(3) 作業船の不足、作業基地の未整備などがあります。

ヨーロッパなどの海外とは自然条件が異なるため、海外の基準をそのまま導入するわけにはいかず、日本の条件、社会条件、自然条件に合わせて、設計施工法

を構築するというのが、まず第一であると思います。ただし、海外の技術を導入して、一からのスタートにしないということが大事ではないかと思えます。

日本における洋上風力発電施設での設計施工上の課題: ヨーロッパと異なる条件

- (1) 台風 (波・風)、地震、落雷、地盤・地形などの自然条件
- (2) 漁業権などの社会環境
- (3) 作業船の不足、作業基地の未整備など

→ 日本の条件に合わせて 設計施工法を構築できる 海外の技術導入

風力発電施設はヨーロッパから導入しましたが、ヨーロッパと日本では風の自然条件が異なるので、台風によりブレードが壊れたり、ナセルが破断したり、タワーが倒壊したりなどがありました。

台風による被害



タワーの転倒(2018 淡路島)

原因: 台風時の強風を考慮していない(風速と乱れ)
一部施工法が不十分(コンクリート基礎)



ナセルの破断



ブレードの破損



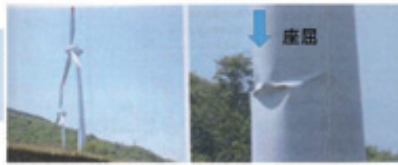
タワーの倒壊

宮古島

2003. Umax=80m/s

また、ヨーロッパにはない地震の被害で、2016 年の熊本の地震では風力発電施設が被害を受けました。タワーが座屈したり、基礎のフーチングのコンクリート頭部で傷んでいたなどがありました。要因としては、予想以上の地震動、不十分なコンクリート基礎などでした。

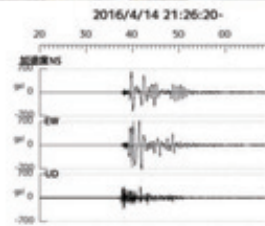
地震被害



熊本地震2016

杭基礎の被害
フーチング付け根2-3mmのひび割れ
コンクリート杭頭部付近に2, 3か所ひび割れ確認

要因: 予想以上の地震動
不十分なコンクリート基礎構造など



現在の日本の洋上風力発電は日本海側で進められていますが、日本海側は非常に落雷が多く、事故が多発しています。大型風車の出現で、逆な意味で落雷を受けやすく、受電部電線は落ちた雷を下に逃がすような対策をとっています。ただし、雷が落ちたときの検査、あるいは被害を受けたときの補修交換が容易ではないことが大きな問題になっています。そのため、わずかな損傷や本当に小さい傷を平気だろうと思って回しているうちにブレードが破損した事例もあります。落雷に関する検査、補修、ブレードの交換等で作業船が必要になり、非常に大きな費用がかかる問題があります。

洋上での落雷



日本海側で多発
HEC TR6149-24で落雷対策・設計

大型風車の出現で落雷受けやすい
ブレードの換装のみニズム(受電部、雷線を設置しても)不十分
被害を受けた時の検査、補修・交換容易でない:
わずかの損傷で翌年以降ブレードが破損する事例ある

現在の洋上風力発電の設計上の課題は、(1) 波浪、地震、風、雷の沖合の海域での情報が不十分、(2) 広域での海底の地盤・地形条件の把握の方法、(3) 設計計算モデル(複雑かつ長時間)の妥当性の検証が不十分、(4) 建築基準法(高層建築準拠の耐震設計など)の洋上への適用性、(5) 大型の基礎構造・接合部など構造の詳細の妥当性・検証が不十分などです。

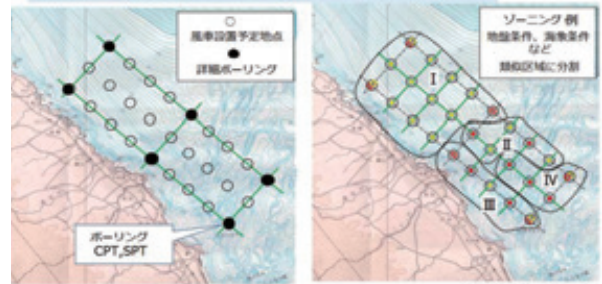
現在の洋上風力発電の設計上の課題

- (1) 波浪、地震、風、雷の沖合の海域での情報が不十分
- (2) 広域での海底の地盤・地形条件の把握の方法
- (3) 設計計算モデル(複雑かつ長時間)の妥当性の検証が不十分
- (4) 建築基準法(高層建築準拠の耐震設計など)海洋への適用性
- (5) 基礎構造・接合部など構造の詳細の妥当性・検証が不十分など

広域な地盤調査として、能代沖では指定された区域の面積が 34km²です。秋田沖では 59km²、由利本荘沖では 190km²です。何十本という洋上風力発電を作りますが、準備段階からこれを1本ずつ従来の探査の方法でやると膨大なコストと時間がかかってしまいます。

広域な地盤調査とゾーニング

能代沖34km²、秋田沖 59km²、由利本荘 190km²

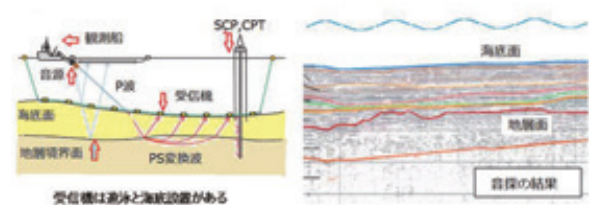


日経地質ホームページ参考

それで、広域の地盤の方法としては、音波探査で地層の構成、工学的基盤面、支持基盤面等の基本情報を提供できないかということを考えています。

広域での地盤調査の方法：音波探査

地層構成、断面、工学的基盤、支持基盤など全体の把握



そして、広域の中のある地点で、SCP か CPT で、それぞれの地層の情報を調べて提供できないかとのこと

で、ゾーニングという手法があります。ゾーニングというのは基盤調査だけでなく、海象条件なども含めたゾーニングで代表させて、設計を1本ずつやらず、まとめて幾つかに分割して行います。ただし、この手法は、どうやったら妥当か明確になっていなく現在試行錯誤の段階です。

地層の調査法としては、ヨーロッパではコーン貫入試験（CPT）、日本では標準貫入試験（SPT）ということをやっています。

CPTは、作業船あるいは櫓を組んで、貫入装置を海底面に置いて、連続的に探査していきます。水深20m、30mになると、従来の櫓を組んでのSPTは非常に高額であり、時間がかかるし精度の上でも問題があるということで、CPTとSPTをどういうふうに使いつけていくかというのが課題の一つになっています。現在は、CPTとSPTがどういうふうに関連があるかということで、色々な調査会社が検討しています。

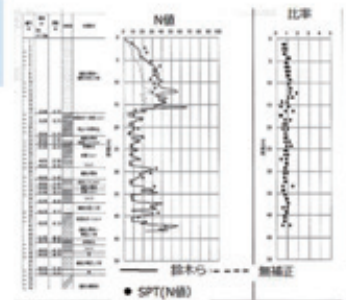
CPT（コーン貫入試験）が有利：
従来のSPTは高額、時間がかかる



日本の場合は地盤に関してN値で設計していますが、CPTの結果を使って設計するのか、あるいはそれをN値に変換するのか問題があります。CPTを採用すると今度は国内基準とは整合しないし、N値を使うと今度は海外の方とは合わないという、ちょっとしたジレンマになっております。地盤強度、液状化判定などは、それぞれによって微妙に違いますので、CPTをどう国内の設計に使用するのかというのが、現在課題になっています。

CPTをどう国内の設計に使用するのか

N値は日本のみ使用
...変換して使用するか
CPTの結果を採用するか
国内基準と整合しない
設計強度、液状化判定など

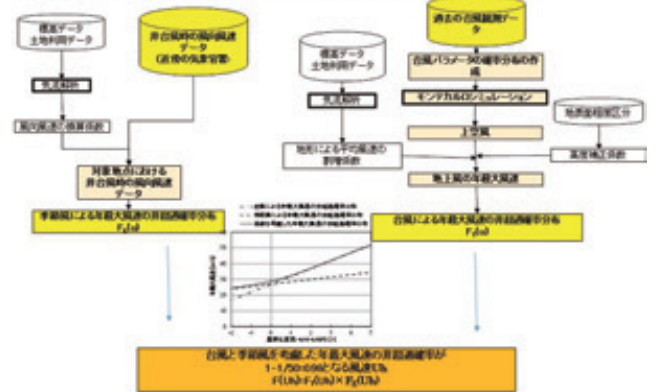


日本での風の状況は、日本海側と太平洋側では異なっています。日本海側が洋上風力の中心になっていますが、そこでは非台風時ということで、季節風を使って色々な風のデータを持ってきます。

日本の場合は、過去の台風、低気圧のデータを基にして台風パラメータの確率分布を作成して、シミュレーション計算で風を決めていきます。

日本では台風と季節風を区別

(海上風、風速大きく乱れ少ない) (地域ごとに日本風況異なる)

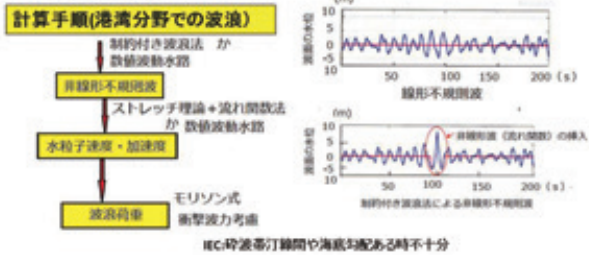


それから波に関しては、ヨーロッパの方は色々な波のスペクトルがあり、そこから不規則波を出してきますが、非常に波高が高くなったときには砕波をするような条件になります。

今、ヨーロッパでは制約付き波浪法、ストレッチ法、流れ関数法というのを使っていますが、非線形波をある波高以上になったときに線形不規則波に埋め込んで、それで計算します。

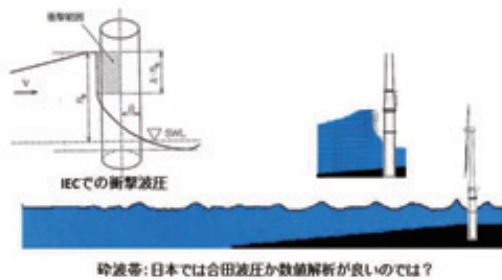
これが衝撃波圧の条件になったら、衝撃波圧をここに入れて計算する。最終的にはモリソン式を使うことになります。IECのやり方というのは、砕波帯と汀線間、砕けたときの状況を必ずしも再現できていません。

砕波帯を含め広域での波浪情報、建設地点までの波の伝達と波荷重の算定



海底勾配があるときは十分ではないので、今の段階では港空研と相談していますが、数値波動水路を使い、衝撃波力を算定するというのを考えております。日本では合田波圧が衝撃波圧として良いのではないかと考えております。

数値波動水路での衝撃波圧と設計値

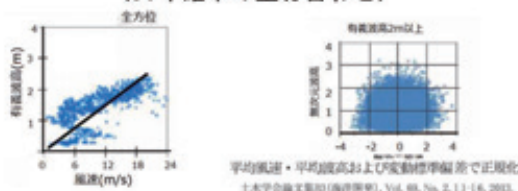


波と風の同時性ですが、これも日本とヨーロッパとは非常に違っており、季節風の場合は波と風の同時性というのはかなり相関性が高いのですが、台風になると必ずしも最大風速の時に最大の波高になりませんし、最大波高の時に最大風速にはなりません。有義波高と風速との相関をとってみると、余り相関がよくないというのは日本の風と波の性質になっています。

波と風の同時性・相関性

最大風速と最大波高の重ね合わせ (日本、地域的特性)

- (1) 風設計値 + 0.7波設計値 (3) 時系列解析
 - (2) 風設計値 + 波設計値
- (50年確率の重ね合わせ)



計算モデルですが、ヨーロッパでは多数の風車に関する計算モデルが提案されています。

ただ、日本の状況に合った耐震設計をしよう、あるいは日本の状況に合った波、風を入力しよう、あるいは重ね合わせをどうするかといったときに、容易に入力できるようになっていません。国内に設計できるソフトがなく、海外のものを利用せざるを得ないのですが、そこで日本の条件が満足できるのかというのが課題になっております。

構造設計計算のモデル:

国内には設計できるソフトなし・海外のを将来にわたり使用? 多数提案されておりどれを使用するか

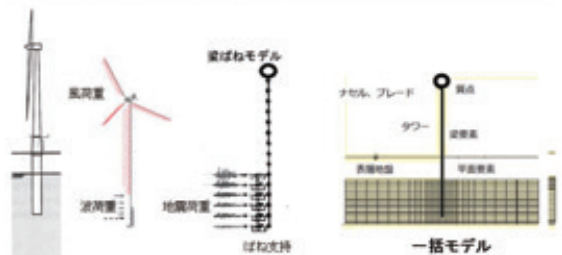
使用する解析プログラム				
プログラム	Ver	発行	備考	
PLEX3	—	—	風車の構造解析 風車基礎の静的・動的解析 ・時刻歴解析の作成	
SISAM	Ver.7.2-07	DNV GL	風車基礎と塔筒による時刻歴解析 ・ULSとFLSの耐材解析 ・疲労解析 ・SLSの固有振動数の算定	
LS-DYNA	Rel.8.0.0	Opys Ltd	塔筒および基礎の三次元FEM解析 ・地震要素の算定 ・SLSの耐材解析	

計算モデルとしては、モノパイルということを見ると、風荷重、波荷重、それぞれ時系列で全方向入ることができます。風荷重の方は、このブレードが回転するような条件で風荷重を算定できます。

ヨーロッパのプログラムでは、こういった形でタワーの方を質点にして、梁部材、これで基礎をばね要素にして、地震を入れたり、波を入れたりということです。一括モデルというのは、基礎を全部平面要素に切り、梁要素、風荷重を入力します。

計算モデルの作成方法:

風・波と地震では作用時間からモデルを変える必要: 上部部分は線形計算、下部は非線形計算が主



耐震設計では、現在は建築基準法に準拠した方法をやっています。これで洋上に出ると、今度は港湾の基準のチェックを受け、ちょうど今は二重状態になっています。検定用地震動を設定し、地盤モデルを設定し、一次元地震応答計算を行い、工学基盤面での地震動を入れ、液状化判定します。港湾はレベル1、レベル2、建築は稀、極稀という違った地震波形を入れます。

地盤の地震応答計算は、SHAKE というプログラムを使っています。港湾は液状化を判定するために、FLIP というプログラムを使用しています。そこに風と波を合わせて部材照査をするという手順になっております。



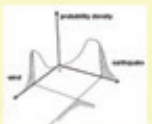
耐震設計法
 現況は建築基準法に準拠 (SHAKE 対 FLIP)
 洋上は新たに耐震設計法を提示する必要性
 レベル2の耐震性能
 液状化に対する検討

耐震・台風設計での課題は、(1) 一番大きいのはヨーロッパは地震・台風の経験がなく耐震・台風設計法は不十分、(2) レベル1、レベル2での洋上風力発電の施設の耐震・台風性能の考え方、(3) 地震と風・波との遭遇確率をどう考えるか、(4) 風力発電施設の要求性能は高層ビル、原子炉施設と同レベルか、使用期間 20 年程度の産業施設では経済的・合理的な施設の建設を目指すべきではと考えています。

それから、洋上になった時に、風と波が非常に多数繰返すので、20 年間使用して、疲労の問題は無視できません。

耐震・台風設計での課題

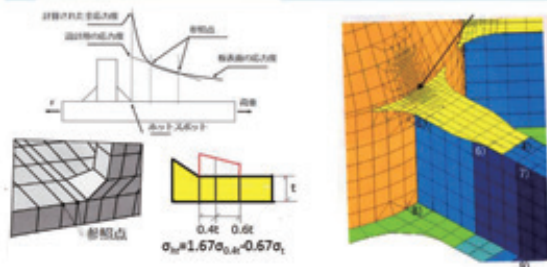
- (1) ヨーロッパは地震・台風の経験がなく耐震・台風設計法が不十分
- (2) レベル1、レベル2での洋上風力発電の施設の耐震・台風性能の考え方。レベル2でも弾性設計か？倒壊しなければ港湾区域では良い？
- (3) 地震と風・波との遭遇確率をどう考えるか
 レベル2地震+1年確率波(風・波浪)
 レベル1地震+定格風速など
- (4) 風力発電施設の要求性能は高層ビル、原子炉施設と同レベルか？
 使用期間20年程度の産業施設では
 経済的・合理的な施設の建設を目指す



洋上風力の場合、ヨーロッパの事例、あるいは日本での実証実験の事例を見ますと、結構厳しく応力照査しなければいけないという条件になっております。

やり方としては、有限要素法による構造設計を、ズームング法といってどんどん細かくして行って、部材の細かいところまで照査してきて、最終的にはホットスポットの応力度で疲労の計算をします。

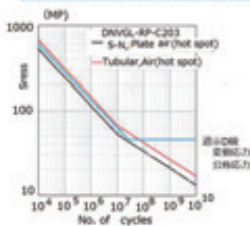
疲労設計の部材応力 (ホットスポット応力度) 有限要素法とズームング法で σ_{hot} を計算



それで、疲労の検討としては、要するに波、風による応力振幅が非常に多く、小さい振幅でも多数の波があります。風も波も一方向ではないので、その組み合わせをつくってくと計算事例は非常に膨大になってきます。

疲労の検討

(疲労による損傷が報告されている)

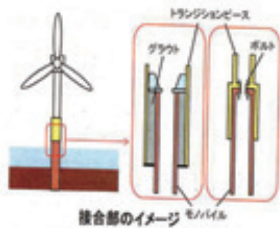


- (1) 波・風による応力振幅と波数 (小さい応力振幅で多数の波数)
- (2) S-N曲線の選択 (応力度の打ち切りなし)
- (3) 応力度の算定 (ホットスポット応力度あるいは公称応力度)

それからトランジションピースという接合部ですが、基礎と上部工を重ねるところがあります。

一般の海洋構造物のジャケットでも、トランジションピースというのがありますが、洋上風力発電の場合は、ここで非常に断面力が大きくなります。このトランジションピースではタワーを基礎杭に差し込んで、ここにずれどめを 1/3 ぐらいの範囲で設置してグラウトを注入しますがヨーロッパではここにひび割れなどトラブルが起きています。

トランジションピース



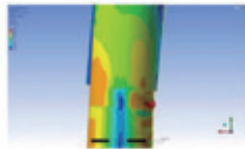
最近はココニカル(円錐)やボルト接合の方向



トランジションピースの問題点は、(1) 疲労により充填モルタルの損傷事例が多発、(2) 高強度の材料の開発、定着機構の解明、疲労設計の高度化、(3) 実験や数値解析により確認、(4) 円錐形、ボルト接合など新機構の提案などがあります。

トランジションピースでの問題点

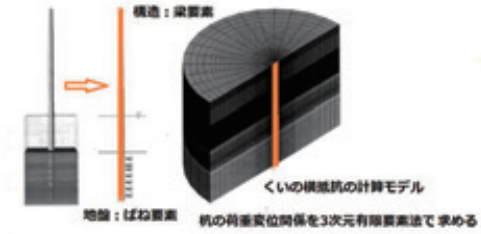
- (1) 疲労により充填モルタルの損傷事例が多発
- (2) 高強度の材料の開発、定着機構の解明、疲労設計の高度化
- (3) 実験や数値解析により設計式が提案
- (4) 円錐形、ボルト接合など新機構の提案



それから、モノパイルでもジャケットでも、基礎が非常に重要になります。5 MW、7 MW、8 MW のような大きな洋上風力発電になりますと、基礎の杭の直径が 5 MW で大体数 m になります。7 MW にすると 8 m とか 9 m ぐらいになります。

従来の港湾構造物、一種の海洋構造物は、せいぜい 1.5m ~ 2 m ぐらいの杭を対象にして設計をしていましたが、これが本当の杭にばねをつけた定数がきちんと再現できるかどうかというのは非常に問題になっています。

杭基礎の設計：従来の規模を超え直径数m



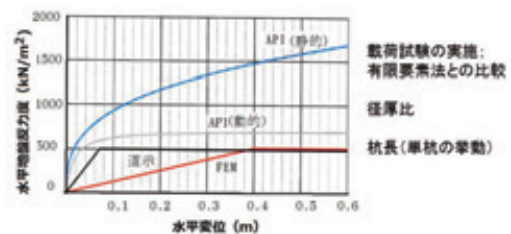
モノパイル直径数メートル 重力式は重量から施工の制約がある

杭の横抵抗は、現在、広く行われているのが有限要素法を使って地盤をモデル化して、杭を入れて、強制変位を与えてばね定数を求めることをやっています。それで、ばね定数は実は非常に大変であり、大口径の杭の水平のばね定数の情報は極めて少なく、ヨーロッパでは、直径 2 m ぐらいまでの杭の载荷試験をやればばね定数を求めています。実際数 m の杭の試験をやっているとは聞いていません。それから、先端支持力に関する知見も、数 m の杭に関しては知見が非常に少ない状況です。

それから、岩に打ち込む場合本当に洋上で可能かどうか、そして、岩の支持力、あるいは杭の中を掘った跡の処理の仕方というのはどういうふうにしたらいいか、非常に難しいことになります。

道路橋示方書、API の動的・静的のばねの値のどれを使ったらいいか非常に悩ましいところですが、現在は有限要素法を使って計算しています。

大口径の杭の水平方向ばね定数の設定は未定 先端支持力に関しても知見少ない、岩地盤も詳細不明



使用期間後の施設の撤去が、ヨーロッパでも問題になっており、これは、投資する時の大きな問題になっています。20年後、30年後に洋上風力発電は撤去が原則と法律ではなっております。

それで、杭基礎では、地中部の撤去は非常に高額になって、技術的にも困難です。

対応策としては、将来の話になる可能性があります。地中部の杭を残置する方法です。海底上に一部出たとしても、魚礁として再利用できる方策が何かないかとの考え方もあります。

欧米では、杭を撤去する技術は色々な方法があり、ワイヤーソー、ガス切断、ディスクで切断するという方法などがあります。

それから、日本の法律に従って撤去できる工法の開発として、サクシオン基礎、テーパー杭などがあります。サクシオン基礎は、海底地盤中に入れることもできるし、中に空気を押し込めば、また浮いてきます。テーパー杭は、杭の形状を色々工夫し、撤去しやすいように事前に杭先端を細くする方法です。撤去のことも今後は考慮することになりますが、撤去費が設置費と同程度になってしまうことになると、投資意欲を減ずることになります。

使用期間後の施設の撤去

(ヨーロッパでも問題)

(1) 20-30年後洋上風力施設は撤去が原則

(2) 杭基礎では地中部の撤去が困難・高額となる
対応策



(1) 地中部を残置、漁礁として再利用

Wire sawing、ガス、ディスク等で杭外側、内側から切断撤去

(2) 撤去できる工法の開発: テーパー杭、周辺地盤液状化工法
サクシオン基礎など



洋上風力発電施設の設計法に関する現況のまとめとして、技術課題としては次のようなものがあります。

(1) 構造設計法を IEC の基準をそのまま適用するのではなく日本版にということ。(2) 耐波設計、耐震設計等の手法を日本に合わせたものに明確にすること。(3) 地盤調査の方法を再整理し、基礎の設計法を提示するということ。(4) 日本で可能な施工法、維持補修法を構築するということ。(5) 港湾での設計施工法、審査基準を明確にすることなどがあります。以上で発表を終了させていただきます。

洋上風力発電施設の設計法に関する現況のまとめ

(1) 構造設計法 IEC の基準をそのまま適用するのではなく日本版に

(2) 耐波設計、耐震設計法等の手法を明確に

(3) 地盤調査法を再整備し、基礎の設計法を提示

(4) 日本で可能な施工法、維持補修法を構築

(5) 港湾での設計施工法: 審査基準を明確に

○プロフィール

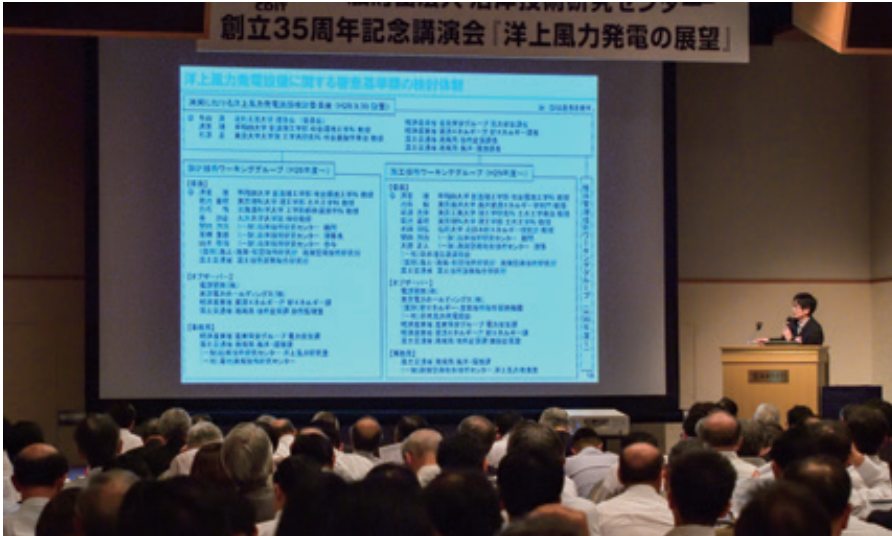
- ・1973年東京工業大学土木工学専攻修士課程修了
- ・1973年運輸省入省
- ・1988年港湾技術研究所構造強度研究室長
- ・1997年早稲田大学理工学部土木工学科教授
- ・2018年早稲田大学名誉教授、一般財団法人沿岸技術研究センター参与
- ・「港湾における洋上風力発電施設検討委員会」等洋上風力の各種委員に参加



高橋 重雄 理事長



浅輪 宇充 大臣官房技術参事官



春日井 康夫 専務理事



釜 和明 評議員会長



土田 肇 顧問

編 集 後 記

当センターが昭和 58 年 9 月 27 日に設立されてから 35 年。平成時代の節目の年に設立記念の講演会を開催できたことは感慨深いものでした。洋上風力というテーマも時宜を得て、定員 200 名を想定して募集を開始したところ、あれよと言う間に定員超え。キャンセル待ちが増えすぎたので、多少窮屈でも応募の皆様が全員参加できるようにと座席を工夫して 300 人もの参加をいただき盛り立てていただきました。紙面をお借りして御礼申し上げます。洋上風力発電を一般海域にも促進するための法律が平成 30 年 12 月に新しく公布され、さらなる進展が期待されます。今後も関心の高いテーマで、皆様のご参加を戴けるイベントを企画していきたいと思えます。

■ 設立趣旨

関係する技術分野の
第一線の研究者、技術者が
それぞれの最先端技術を
持ち寄って、学際的かつ
創造的な技術開発に
専念できる環境を整備
すること

沿岸域及び海洋の開発・
利用・保全並びに沿岸防災に
かかる分野における我が国の
全体の技術力を高めること

■ 沿革

昭和58年(1983年) 9月
運輸省(現・国土交通省)
所轄の財団法人として設立

平成16年(2004年) 6月
国際沿岸技術研究所を創設

平成17年(2005年) 12月
沿岸防災技術研究所を創設

平成19年(2007年) 8月
確認審査所を創設

平成24年(2012年) 4月
一般財団法人に移行

平成29年(2017年) 7月
洋上風力研究室を設置

CDIT

Coastal Development Institute of Technology

発行 一般財団法人 沿岸技術研究センター
〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2 新橋エス・ワイビル 5F
TEL. 03-6257-3702 FAX: 03-6257-3707
URL: <http://www.cdit.or.jp/>
2018年12月発行