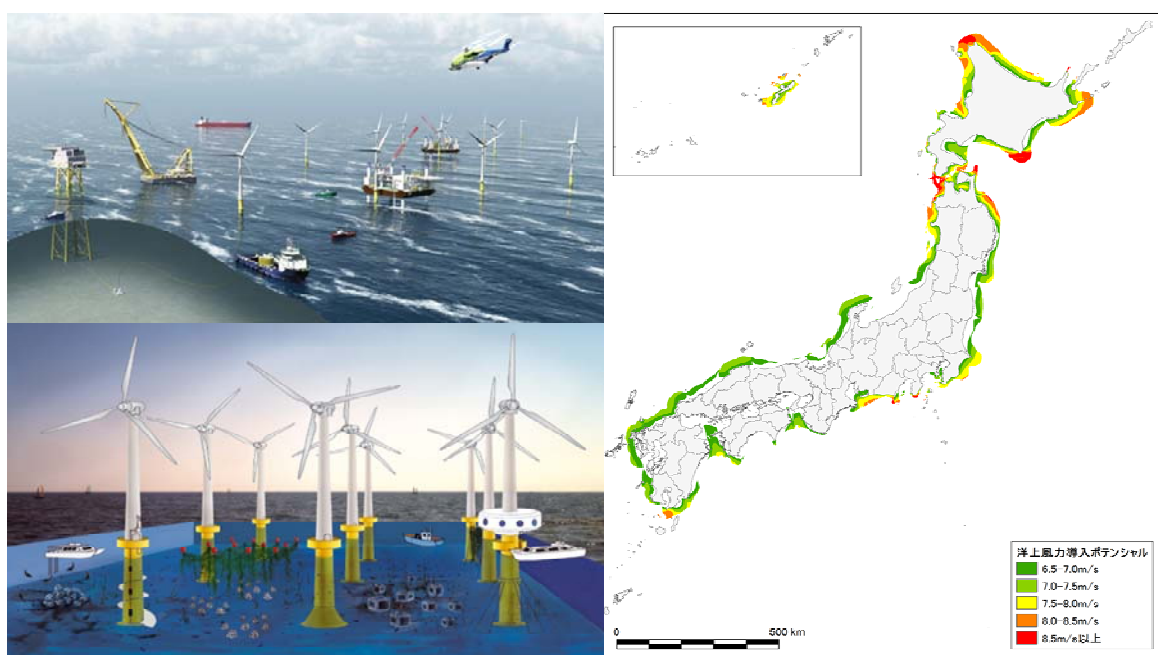


第 26 回地球環境シンポジウム
一般公開シンポジウムその 1

我が国の洋上風力の促進と 長崎の海洋エネルギーの未来



2018 年 9 月

第 26 回地球環境シンポジウム実行委員会
土木学会地球環境委員会政策研究小委員会

第 26 回 地球環境シンポジウム・一般公開シンポジウムその 1
我が国の洋上風力の促進と長崎の海洋エネルギーの未来

■概 要

日 時：2018 年 9 月 5 日 13：30～17：30
場 所：長崎大学 教養教育講義棟 (A) A-21
主 旨：

土木学会地球環境委員会では、地球温暖化問題等の地球環境問題に対して国内外における政策的取組みの重要性が高まっていることを踏まえ、土木関連分野における政策研究の方向性を明確化し、さらに土木業界の貢献の方途について考究することを目的として、2010 年度より政策研究小委員会を立ち上げて、ワークショップやセミナーなどを開催してきました。

東日本大震災やそれに伴う福島第一原子力発電所の事故を一つの契機に、再生可能エネルギーの普及拡大やスマートコミュニティの実証などエネルギー供給および利用側における様々な新しい取り組みが急ピッチで進んでいます。そこで、このような再生可能エネルギーに関する新しい取り組みに土木がどのように関わっているのか、あるいは土木にどのようなことが求められているのかを考えていく機会として、2014 年度より特別セッションを開催しています。昨年度は、再生可能エネルギーや新しいエネルギーシステムに関する最新の研究、事例など計 9 編を発表していただき、その質疑応答と総合討論を行いました。

今年度は、再生可能エネルギーに係る国の政策動向、欧州の洋上風力発電と日本の課題、長崎県五島市の浮体式洋上風力発電に関する話題提供をいただき、その後、長崎の海洋エネルギーの展開と土木の貢献というテーマで討議を行っていただきました。

地球環境委員会政策研究小委員会

■プログラム

(1) 趣旨説明 13:30～13:40 (10分)

地球環境委員会政策研究小委員会 荒巻俊也委員長

(2) 基調講演 13:40～14:40 (60分)

「再エネを主力エネルギーとする脱炭素社会実現に向けて
～最大のポテンシャルを持つ洋上風力を生かして～」

環境省地球環境局地球温暖化対策課 飯野暁 前課長補佐

(3) 講演① 14:40～15:25 (45分)

「拡大する欧州の洋上風力発電と日本の課題

(さらに長崎における養殖と洋上風力発電との共生事業の検討)」

長崎大学海洋未来イノベーション機構 織田洋一コーディネーター

休憩 15:25～15:40 (15分)

(4) 講演② 15:40～16:25 (45分)

「五島そだちの浮体式洋上風力発電」

戸田建設エネルギー事業部 佐藤郁副事業部長

(5) ディスカッション 16:30～17:30 (60分)

「長崎の海洋エネルギーの展開と土木の貢献」

【コーディネーター】

地球環境委員会政策研究小委員会 荒巻俊也委員長

【パネラー】

- ・環境省地球環境局地球温暖化対策課 飯野暁 前課長補佐
- ・長崎大学 海洋未来イノベーション機構 織田洋一コーディネーター
- ・NPO 法人長崎海洋産業クラスター形成推進協議会 坂井俊之理事長
- ・戸田建設エネルギー事業部 佐藤郁副事業部長

◆基調講演：再エネを主力エネルギーとする脱炭素社会実現に向けて
～最大のポテンシャルを持つ洋上風力を生かして～
環境省地球環境局地球温暖化対策課 飯野暁 前課長補佐

今年の3月に、環境省で再エネ加速化・最大化推進プログラムを公表している。本プログラムには、再生可能エネルギーをどのように増やしていくかに関する環境省としてのストーリーと具体的なプロジェクトが計74掲載されている。本プログラムには、キーとなるメッセージがいくつかあり、その中に「消費者・企業・自治体が主役となる」というものがある。再生可能エネルギーというと、大半の方が電力会社及び経済産業省の仕事だと言う。例えば、系統に空きがないことは電力会社と経済産業省の問題なので、「自分たちはそれが解決すれば対応する」、「再生可能エネルギーは高いので安くなれば使う」という声を需要側からよく聞く。そうではなく、消費者・企業・自治体が主役となって再生可能エネルギーを使っていくことでCO2排出削減に繋がり、また、経済社会の強靱化にも繋がっていく。パリ協定を目指すCO2排出ゼロの社会の主役は再生可能エネルギーであり、CO2を排出せず、どの地域にも存在する再生可能エネルギーを使っていくことがパリ協定の目指す社会の実現に必要不可欠である。COP21の際に、オランダ仏大統領は、「テロとの戦いと温暖化との戦いを分けることはできない」と述べている。これは、温暖化も人類の脅威だということである。この言葉が出てきた背景として、COP21の直前にパリのレストランで大規模な襲撃があり、このような時に世界の要人が集まって温暖化の話をしているのか、代理で実施すればよいのではないかという声があった。COP21の議長であるフィゲレス仏外務大臣は、現在でも気候チャンピオンという制度を作って、トップでCOPを仕切った人が気候チャンピオンという形で伝えていく役目を果たしている。パリ協定では、世界共通の長期目標として、産業革命前からの平均気温の上昇を2℃より十分下方に保持するとともに、行動目標として、今世紀後半に温室効果ガス的人為的な排出と吸収のバランスを達成できるよう、排出ピークをできるだけ早期に抑え、最新の科学に従って急激に削減するとしている。トランプ米大統領はパリ協定脱退を宣言しているが、カリフォルニア州ブラウン知事は、「We Are Still In（我々はパリ協定に残る）」という米国の州・都市・企業・大学はパリ協定に基づく対策を継続しようという活動を行っている。そのような話をすると、民主党が強い地域だけ継続しているのではと言われるが、必ずしもそうではない。安倍総理も米国がパリ協定から脱退したことは残念だとし、日本は積極的に引き続き取り組んでいくと明言している。

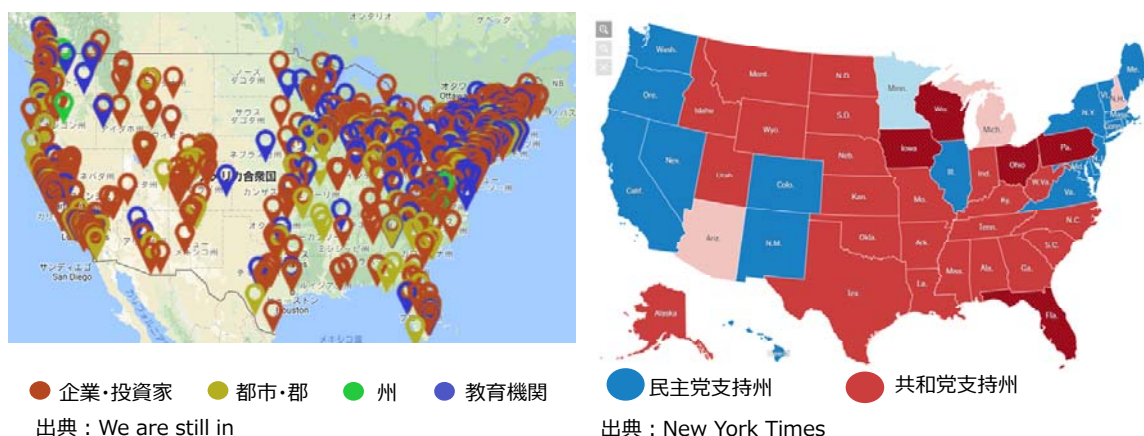


図 「We are still in」署名組織所在地及び2016年選挙における共和党支持州、民主党支持州

2℃平均気温の上昇のために必要な温室効果ガスは約3兆トンと言われているが、数年前の時点で、既に人類は約1.9兆トン排出している。残りの排出可能な量を1.1兆トンとすると、現在の世界の排出量でみると30年分である。化石燃料の可採埋蔵年限よりも、気候リスクの方が明確に迫ってきており、単純燃焼できる量は限られてきている。これまでの話がCO₂に関連した再生可能エネルギーを推し進めていく理由である。再生可能エネルギーは、現在CO₂排出削減のためだけでなく様々な場面で求められるようになってきている。多くの国・地域・企業で再生可能エネルギーの奪い合いをしているのが世界の実態である。当然国によっては再生可能エネルギーが高価なところもあるが、新しい案件に投資し、大量調達を確保することで、コストを下げながら再生可能エネルギーを使用する時代に入ってきている。2010年と2017年の発電コストを比較すると、既に比較的安価な洋上風力発電のコストが下がっている。また、累積導入量は全世界で飛躍的に伸びてきている。世界平均で20セント/kWhだったものが10セント/kWh程度まで下がってきている。IEAの見通しでは、2017年から2040年までの投資額について、再生可能エネルギーへの投資額は火力発電への投資額の3倍の800兆円となっている。なお、火力発電への投資額は発電設備に関する額であり、燃料の掘削を含めた全ての投資額が対象ではないことには留意いただきたい。

発電コストが下がり投資が進むことに寄与すると期待されるのが、需要側の動きである。2018年6月26日現在で、RE100（再生可能エネルギー100%の事業運営）に、製造業、情報通信業、小売業など137社、そのうち日本企業が10社参画している。欧州では、RE100参画企業が集まって再生可能エネルギーの拡大を牽引するような活動をしているところもある。持続可能な開発のための世界経済人会議（World Business Council for Sustainable Development：wbcsg）という持続可能な開発を進めるためのビジネス業界の団体もRE100の支援組織として入り込んできている。Googleは再生可能エネルギー100%を既に達成している（ただし、設備容量ベースでしか発表しておらず、電力消費量は公表していない）。Appleも再生可能エネルギー100%を達成しており、サプライヤーに対しても再生可能エネルギーへの転換を促している。日本でも岐阜県大垣市のイビデンという会社はApple製品用のものを作る場合に再生可能エネルギーを100%使用している状況である。環境省もRE100に参加しており、中川環境大臣が初代Ambassadorに就任している。日本はものづくり大国で中小企業の役割が大きいため、中小企業にRE100に参画してほしいという話が出てきている。

SCIENCE BASED TARGETS（SBT）を、我々環境省では「企業版2℃目標」と意識して呼んでいる。ロゴのカーブはIPCCのオーバーシュートシナリオという2℃目標実現に向けた排出削減カーブで、個別の企業がこのカーブに沿って排出量を減らすという約束事である。2℃目標に沿った削減計画を作る企業（SBT認定取得済企業）は、2018年8月14日現在世界で124社あり、日本は積水ハウスや大和ハウス、戸田建設、ソニー、パナソニック、富士通、等24社ある。2年以内のSBT設定コミットは世界330社で、日本は39社ある。環境省としては、2020年までに日本の数を100社まで上げようとしている。環境省では、企業毎に排出削減の目標を設定する企業を応援しており、算定基準に沿った算定等を委託して支援している。

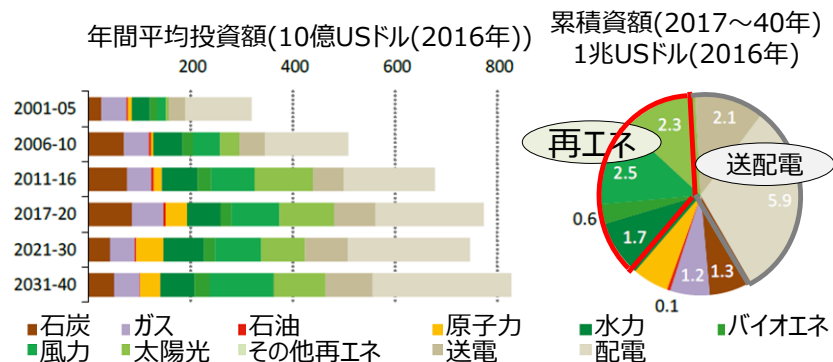


図 発電投資額の推移

出典：IEA，World Energy Outlook 2017，251頁を基に環境省作成

RE100 と SBT は再生可能エネルギーの需要を生み出すベースとなる企業の動きとなっている。RE100 と SBT はどちらもパリ協定の条文には出てこない。今は企業や自治体が率先して動いている時代となっている。このような企業の動きに拍車をかけているのはお金の流れである。Climate Action100+という投資家がエンゲージメントを通じて企業の気候変動対策を強化することを目的とするイニシアティブがある。世界の 280 社の投資家（総資産 30 兆ドル）が企業に対して二酸化炭素排出削減を求めるものであり、これらの投資家がお金を貸している企業のうち、温室効果ガス排出量が多い順に上から 100 社をリストアップしている。100 社のうち、日本企業も 10 社入っている。

ノルウェー政府年金基金は収入の 30%以上を石炭関連の事業から得ている企業からの資金引揚げを行っており、日本の大手電力会社もその対象となっている。引揚げたお金は ESG 投資に使用される。

年金積立金管理運用独立行政法人（Government Pension Investment Fund : GPIF）の総資産額 130 兆円であり、そのうち 30 兆円は国内株である。保有する国内株の 3%相当の 1 兆円について、3つの ESG 指数を選定し、指数が選定した株式を同割合で購入する運用を実施している。この取組が進んでいくと、ESG 評価が低い企業は GPIF からお金を借りられなくなる。

気候関連財務情報開示タスクフォース（Task Force on Climate-related Financial Disclosures : TCFD）は、金融の安定性という文脈から気候変動問題が議論される初めての国際的なイニシアティブであり、G20 財務大臣・中央銀行総裁が気候変動のリスク・チャンスへの対応をまとめるように依頼した。TCFD は全ての企業に対し、①2℃目標等の気候シナリオを用い、②自社の気候関連リスク・機会を評価し、③経営戦略・リスクマネジメントへ反映し、④その財務上の影響を把握、開示することを5年以内に行うことを求めている。

CDP は企業に対して気候変動への対応状況や排出量の開示を求めているプロジェクトである。その結果を評価して A から F までのラベルを付けており、それは投資のインデックスに影響してくる。お金の借り貸しに影響してくることになっている。

以上が企業と金融の動きである。国内外の多くの自治体も再エネ 100%を掲げている。再エネ 100%を掲げる世界の大都市としては、フランクフルト、マンチェスター、パリ、ロンドン、バンクーバー、バーミンガム、等がある。パリ市は、2050 年に再エネ 100%を実現し、うち 20%を地元で発電、その他 80%を他地域からの供給を想定している。日本でも再エネ 100%を掲げる自治体が出てきている。例えば、福島県は 2040 年に再生 100%を掲げており、環境アセスメントを県が行うという政策を打ちだしている。

紹介した企業・金融・自治体の動きは、必ずしも環境という観点で再エネを扱っているわけではなく、経済性や調達リスクの観点から再エネを扱っている。日本では、一定の経済性がある再エネポテンシャルは、電力需要の約 1.8 倍と推計されている。そのうち、約 9 割が風力発電であり、その半分は洋上風力である。IRENA（国際再生可能エネルギー機関）の試算では、2017 年の日本における再エネ関連の雇用は約 30 万人となっている。

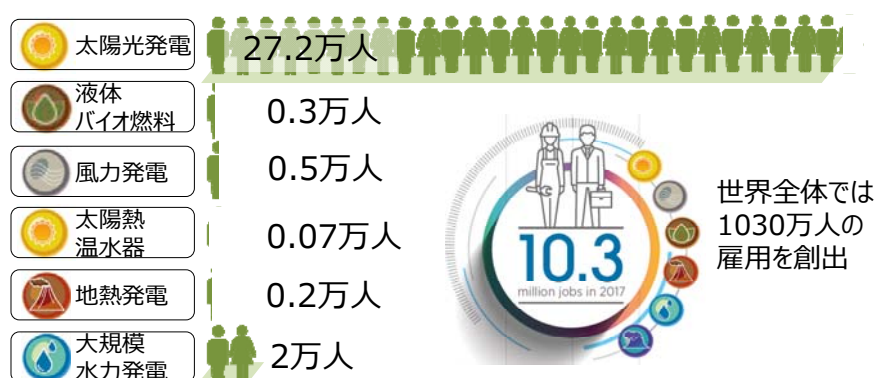


図 2017 年の日本における再エネ関連の雇用数

出典：IRENA（International Renewable Energy Agency, 国際再生可能エネルギー機関）
Renewable Energy and Jobs - Annual Review 2018, 25 ページを基に環境省作成

環境省では様々な背景に基づいて、再エネ導入を加速化していきたいと考えており、再エネ加速化・最大化促進プログラムを発表している。日本の再エネの課題として価格の高さの他、自然変動に対する調整力をどのように確保するか、系統の容量、自然環境への負荷、地元との不調和、等の課題がある。そのため、方向性として、地域主導の再エネを中心にするという大きな方向性を打ち出している。したがってまずは、住まい、オフィス等のエネルギーを使う場所で再生エネを利用し、次に地域単位での再エネ利用、その次に供給力の大きな風力発電を行うという3つに分けてプログラムの整理をしている。本日は洋上風力をどのように増やすかについての環境省の政策を紹介する。

地域が中心になって再生エネを開発して活用していくアプローチ、これは将来的にどのようなイメージか3つ掲げている。太陽光と比較した際の風力の最大のメリットは量であり、旺盛な電力需要に対して安定供給ができること。また、産業を地域に根付かせることができるとともに、グローバル企業やサプライヤーを呼び込むことができる。長崎県五島市の野口市長は「五島の海に油田が見つかった」とおっしゃったと伺ったが、素晴らしい発想だと思う。日本は資源に乏しいとよく言われるがそのようなことはない。

再エネの開発事業者にとっては、大きなビジネスチャンスになる。地元の住民にとっては、雇用創出の他、市民ファンドを通じて係るというチャンスもある。地元の金融機関においては、特に東北地方において風力発電に出資が盛んである。日本のエネルギーミックスの2030年目標値は1,000万kWであり、そのうち洋上風力が82万kWである。一方、秋田県の2020年の風力発電導入目標は620万kW、2025年の風力発電導入目標は815万kWとなっており、非常に高い。秋田県で目標値を達成するためには莫大な資金と系統の確保が必要である。系統確保のために経済産業省と電力会社の取組は重要である。一方で、系統に空きができてから風力発電の導入量の目標値を立てようと考えても、地元から系統連系可能量の拡大に関するニーズは出ていないことから拡大は行われないうことになってしまう。地球温暖化対策法の20条に、地方公共団体は、再生可能エネルギーの導入政策を定めなくてはならないという条文がある。長崎県も計画をたてられているので、ぜひそれを梃子にして長崎県を風力立国にして欲しいと考えている。

アセス進行中の洋上風力の案件総計は約440万kWある。そのうち22万kWは五島の案件である。洋上風力の環境アセスメントの基本的考え方の検討を平成27年度から実施しており、平成29年度末に結果を公表している。沖合と沿岸の洋上風力に分けて、合理的なアセスメントを行う必要があるため、環境影響評価の項目を全て列挙して4段階に分けて評価をしている。また、ゾーニングのモデル事業も昨年度までに10カ所で実施しており、今年からのフェーズは、ゾーニングを行った場合に、その後のアセス手続きをどのように合理化・簡素化するかが最大のテーマになってくるので、どれぐらい簡素化できるかの実験を今年度から実施している。岩手県久慈市、秋田県にかほ市の2カ所が決まっており、追加募集中である。ゾーニングそのもののモデル事業は昨年度まで西海市と五島で実施していたが、これからは制度にどのように繋げていくかが課題となっている。また、アセスメントをできる限り合理的に行うために洋上風力の環境情報を整備している。洋上風力のアセスメントに必要な海鳥の生息分布や、藻場の分布等の情報を整備している。

※2018年3月までに環境省において準備審査を完了した案件を計上

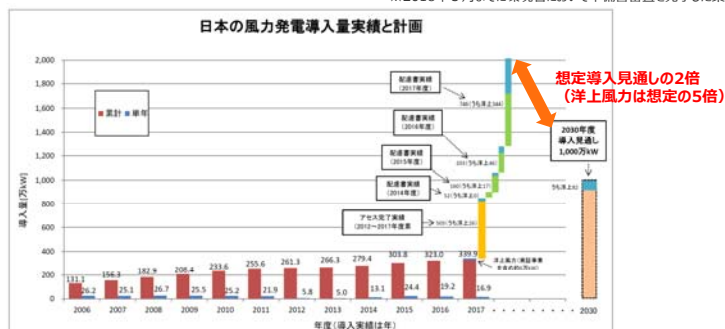


図 日本の風力発電導入実績と計画

出典：導入実績については一般社団法人日本風力発電協会 HP（速報値）※アセス実績については環境省集計

洋上風力に係る新法が施行されて風力発電の導入を促進していくと、生物多様性の確保に必要な海鳥や藻場は本当に避けるべき場所はどこなのかを調べていくことになる。資金に関しては、ESG 金融の促進による民間資金を呼び込もうとしている。再エネなどの環境投資の資金調達のために発行する債券であるグリーンボンドは、環境に良いことをしたか貸した側がチェックしなければならない。環境省ではグリーンボンド発行のプラットフォームを作成している。グリーンボンドは金融機関だけでなく、戸田建設のような資金を使う企業が自ら資金調達する手法であることに新味がある。興味のある方はプラットフォームに参加いただきグリーンボンドを発行いただきたい。

最後に、洋上風力を引き上げるためのさらなる対応の可能性として、洋上ウィンドファームが広まっていくことが理想である。現在行っているアセスメントの合理化や個別の技術のコスト減少、グリーンボンドの発行といったことの一步先に、例えば需要側が洋上風力のポテンシャルがあるところに企業を立地させるといったこともいずれアプローチとしてはでてくるのではないかな。

また、洋上風力立地には莫大な資金が必要であるため、大都市から地域に向かうお金の流れを作るために ESG 金融は重要である。地域、金融、需要側の企業の再生エネへの投資を引き出すことを念頭においていただけると、土木の技術と金融・経営が組み合わさって洋上風力立国に繋がるということを念頭においていただけると大変ありがたい。

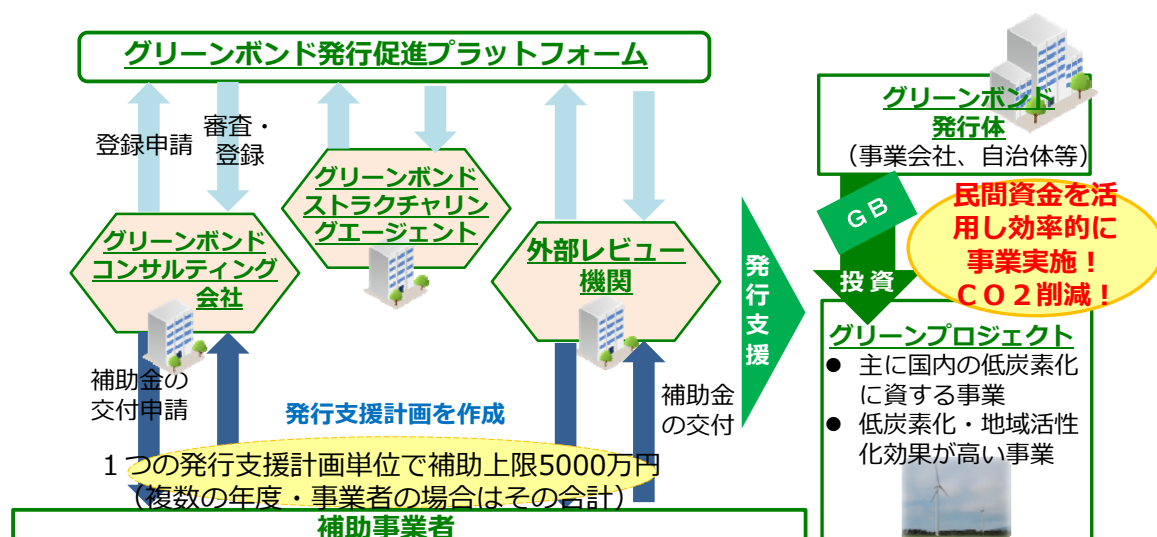


図 グリーンボンド支援体制

◆講演①：拡大する欧州の洋上風力発電と日本の課題

（さらに長崎における養殖と洋上風力発電との共生事業の検討）

長崎大学海洋未来イノベーション機構 織田洋一コーディネーター

日本で洋上風力が発展していくはどうしたらよいかという観点でお話したいと思う。欧州では、洋上風力発電が大きな産業に成長しており、今後も市場拡大と発電コストの低減が期待できる。欧州の洋上風力発電は、新たな海洋産業の創出・発展の成功モデルとして捉えることができるが、実は欧州でも初めからうまくいったわけではなく、大変苦労しながらここまでできている。日本には様々なボトルネックがあるが、これからスタートラインを切る日本にとって欧州の経験は大変参考になると思う。日本でも洋上風力発電を大規模展開し、新たな産業として発展させながら発電コストを低減させるためにはどうしたらよいかという観点で話をしたいと思う。

まず初めに EU28 カ国の電源構成の変化を見て戴きたい。2000 年から 2017 年までの 18 年間を見てみると、様々な電源の中で風力発電の拡大幅が最大である。この 18 年間で風力の発電能力増加量は 158GW（1 億 5800 万キロワット）で、大型原発 158 基分に相当する。また太陽光発電は 107GW 増加、天然ガス発電は 96GW 増加している。一方、石炭火力発電は 41GW 減少、石油火力発電は 40GW 減少、原子力発電は 17GW 減少している。欧州各国は CO₂ 削減政策を強く推進しており、それに産業界がついてきているというのが EU の姿である。

発電能力の推移を電源別に見ると、圧倒的に伸びているのが風力発電であり、2007 年から 2016 年までの 10 年間で 4 つの電源を抜いてトップを狙えるポジションに浮上している。風力発電は、2007 年に石油火力発電を抜き 5 位に浮上、2013 年に原子力を抜いて 4 位に浮上している。2015 年には水力を抜いて 3 位に浮上し、2016 年は石炭火力を抜いて 2 位になっている。トップの天然ガス火力発電はほぼ横ばいで推移しているので、このまま行けばもう少しでトップの座を狙えるところに来ている。風力発電は、2017 年には EU28 カ国の電力総需要の 11.6% を供給している。その内訳を国別に見ると、デンマークが 44.4%、ドイツが 20.8%、イギリスが 13.5% となっている。年間の新設電源全体に占める再生可能エネルギー発電の比率は 2007 年に 50% を突破して、2016 年以降は 80% を超えている。太陽光、天然ガスは一時伸びていたが、ピークアウトし始めている。尚、Nordstream2（バルト海経由露独天然ガスパイプライン事業計画）がこれからできてくると思われるので、天然ガスが増える可能性はある。

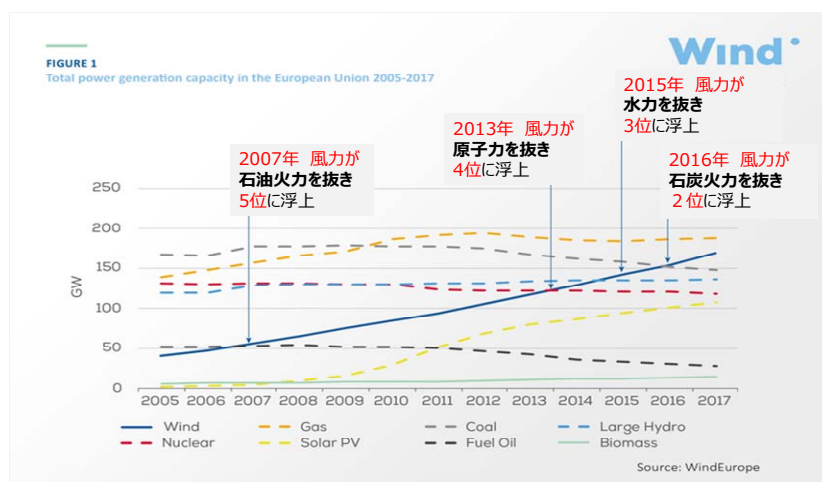


図 欧州（EU）における電源別発電能力の推移

2017 年の欧州における再生可能エネルギー発電への投資額を見ると、風力発電が全体の 52%を占めており、そのうち陸上風力が約 2 兆円、洋上風力が約 1 兆円という規模になっている。年間の新設発電能力では、2015～2017 年において洋上風力は風力発電全体の 2 割前後で推移しているが、投資額で見ると洋上風力は風力発電全体の 5 割前後で推移している。

洋上風力発電は若い産業であるが、欧州では 2002 年頃から立ち上がって 2009 年以降に急速に伸びてきており、昨年末時点で欧州の洋上風力発電能力は 16GW まで上がってきている。欧州における 2015 年の洋上風力への年間投資額は約 2 兆 3,400 億円で、内訳を見ると、発電設備で約 1 兆 7,200 億円、送変電設備で 2,300 億円、リファイナンスで 3,900 億円となっている。洋上風力発電はこの先も順調に伸びると予想されており、2030 年の市場規模は 2017 年比で 4～5 倍に拡大して、年間 10 兆円市場に成長する見通しである。

英国の洋上風力発電ラウンド 3 計画では、9 海域が洋上風力発電用にゾーニングされており、これから建設が開始される。英国政府は中長期的な政策を取っており、ラウンド 1 の海面リース契約を実施したのが 2001 年である。事業海面は沿岸に近いところにゾーニングしている。ラウンド 2 は 2003 年に海面リース契約を実施したもので、ラウンド 1 と比較して沖に進出して領海（沿岸基線から約 22 km 沖）の前後に事業海面が位置している。現在建設が真っ盛りなのはラウンド 2 である。ラウンド 3 は沿岸から 100 km を超える沖合にまで事業海面がゾーニングされており、隣国との EEZ 境界にまでゾーニングされている。ラウンド 3 の洋上風力発電計画だけで 32GW の発電能力があり、16 兆円規模の大きな投資になってくる。

欧州の各国政府はステークホルダーとの利害調整をしながら洋上風力の海面ゾーニングを実施している。出力あたりのコスト（CAPEX）を見ていくと、初期段階で市場規模が小さい間はコストが上昇を続けていた。初期は SEP（Self Elevating Platform）などの建設用特殊船も少なく、サプライチェーンや港湾インフラも十分に整っていなかった。この間に政府は FIT（全量固定買取制度）等の優遇売電コストの設定のみならず、優先接続規定や優先給電規定などの様々な促進政策を実施して洋上風力発電の導入を図ってきた。その後 2008～2010 年頃になって、累計導入量が 1～2GW に達した頃から市場競争が始まり、出力あたりのコストが下がり始めた。このため英国政府は従来の FIT に似た補助金政策（ROC：Renewable Obligation Certificate）を、全電力の平均卸売価格が反映される仕組み（CfD：Contract for Difference）に変更して売電価格の引下げを図ってきたが、更に昨年、2017 年からドイツと英国で洋上風力発電事業のオークションが始まった。昨年 4 月のドイツの落札結果は、落札した 4 事業のうち 3 事業は補助金不要という事業計画であった。即ち欧州の洋上風力発電は、数年後に建設されるプロジェクトから補助金不要の一般電源になる段階に入ってきている。発電コストは、2030 年までに 8.5 円/kWh 以下になると予想されている。風況の良い海域では 7 円/kWh を実現できる見通しである。このような動向を受けて、何故洋上風力より発電コストが高い原発（解体コスト込み）を新設する必要があるのかという議論が英国で起こっている。

日本は欧州程風が強くないと言う人がいるが、欧州の洋上風力発電コストが順調に下がっているのは、その間に風が強くなったからではない。日本でも工夫次第で発電コストは下げられる。

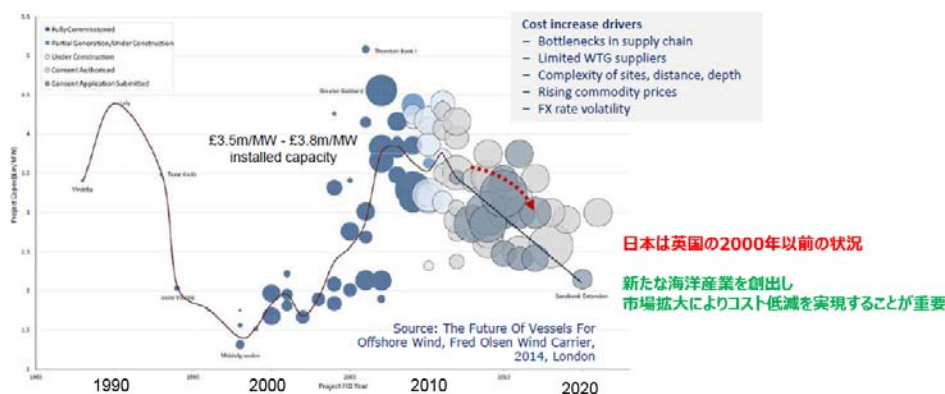


図 欧州の洋上風力発電の出力あたりの CAPEX の推移（1990-2020）

出典：The Carbon Trust

欧州では、各国の強みを活かしたグローバルサプライチェーンが形成されて来た。ウィンドファームの規模は大きくなってきており、現在は発電出力 0.5GW 程度、2,000 億円規模の洋上風力発電所が多い。洋上風車も大型化が進んでいる。陸上風車は道路輸送の限界で一定以上大きくできないが、洋上風車は船で運ぶので大型化でき、約 5 年毎により大きな風車が開発されている。4~5 年前までは出力 3.6MW クラスの洋上風車が主流であったが、現在建設が真っ盛りなのは 6MW クラスである。今後は 8MW クラスが主流となっていく、9.5MW クラスもこれから量産が開始される。ラウンド 3 では 10MW 以上のクラスが主流になってくると思う。発電量はローターの直径の二乗に比例する。直径 100m 強の出力 3.6MW 風車は、既に直径 150m 強の出力 6MW 風車に世代交代している。数年後には直径 200m 前後の出力 10MW クラスが出現する。40 階建ての高層ビルの高さと同じ程度の直径の風車が沖の洋上で回転している様な光景となる。海底の基礎は現在までは着床式が主流であり、海底基礎の大半がモノパイルである。2MW の風車を 240 本建てるよりも 8MW の風車を 60 本建てる方が出力あたりの建設費は圧倒的に安くなる。また、傭船料が高く、SEP 船は一日 1,500 万円程度傭船料を支払わなくてはならないため、1 本あたりの傭船費単価を抑えるためには、プロジェクト規模を大きくして冬のように波の荒れない春から秋までの間に 100 本程度を一気に建てた方がよい。

2017 年 10 月に操業を開始した英国の Dudgeon Offshore Wind Farm は、6MW 洋上風車を 67 本建てた出力 402MW の洋上発電ファームであるが、沿岸から 40~50km 離れた沖に風車を建てている。現場との往復の時間を短縮するために、SOV (Service Operation Vessel) という大型船を使用して船員や風車メンテナンス要員全員がその船に寝泊まりし、洋上で 2 週間働いたら約 80 km 離れた沿岸のオペレーションセンターに戻ってきて交代するという方式を取っている。このファームは領海を越えた海域にあるので、働く人は全員パスポートを携帯する必要がある。洋上風車に登る際は、従来の様に小さな船で接岸して梯子で登るのではなく、この船に備えられた Walk in Bridge を利用して、船から水平な橋で安全に洋上風車のタワーに渡り、タワーの扉を開けて、内部のエレベータで上部のナセル（発電ルーム）に登る様になっている。

Dudgeon Offshore Wind Farm の昇圧方法であるが、Inter-Array Cable で 33kV を洋上変電所で 132kV HVAC に昇圧し、陸上で更に 400kVAC に昇圧してナショナルグリッドに連系している。4 ヶ月間の発電累計実績で見ると、ほぼ計画通りに発電できている。設備稼働率は約 48% であり、約 10 年前の着床式の設定稼働率約 30% と比較して相当上がってきている。より風速が速く風況が安定している沖の海域に建設することが年間設備稼働率の向上に大きく寄与している。

発電量は風速の 3 乗に比例し、年間発電量は年間設備稼働率に比例する。投資検討にあたっては 20 年間の風を読みきらなくてはならない。日本の現状として、文科系の人にはコストが読め、技術系の人にはパワーカーブを理解できると言うが、この先 20 年間の風を読める人はまだ少ない。欧州は経験・実績が豊富な上、コストも風も読める専門家が多い。大手 Developer 内にも専門人材が充実している。経営陣、保険、財務セクターにもプロの知見と実績が提供されており、投資判断が確実に実施できるような仕組みができている。

サイト選定、風車選定、風車配置（ファームデザイン）が売上を大きく左右する。正確な資源量評価はエネルギー開発の基本であるが、風力発電においても同様である。英国等の欧州各国では事業用海域のゾーニングを政府が行っている。資源は国の宝であるので、風力資源についても国家が資源量予測（風況予測）を先に行っている。利害調整を行わないと洋上風力用の事業海面をゾーニングできないので、まずは国が大まかな利害調整と風力資源評価を実施してゾーニングをしている。その上で民間事業者を募り、民間事業者は個別事業を対象に再度洋上風況観測等を行い、環境影響評価（EIA: Environmental Impact Assessment）を行う。洋上風力発電は国と民間の両方で責任を持って実施していく必要がある。資源量評価・発電量予測については、技術も進んできており、欧州では従来の風況観測塔（固定式 MET マスト）ではなく、浮体式ライダー（Floating LiDAR）が普及しつつある。コストは安いがかなり揺れるので、実際の風況と較正できる様になるまで相当年月をかけて苦労したが、現在は実測と合うようになってきており、保険も掛けることができる。浮体式ライダーにより実測コストが約 10 分の 1 に低減され、それらの風況実測 Data 等に基づく事業計画でプロジェクトファイナンスが組める段階に入ってきている。

海底地質がプロジェクトの資本費（CAPEX: Capital Expenditure）を左右する。まず、海底の一次地質調査を実施し、それに基づき事業採算性を試算する（DG1:Decision Gate 1）。そこで問題なければ二次地質調査を行い、ここでファームの設計コンセプトと概念設計を決定して、事業採算性を確認する（DG2:Decision Gate 2）。この段階で基本設計が固まる（freeze）ので投資コスト（CAPEX）のベースが固まる。あとはそれらに基づき詳細設計基礎設計と技術仕様書を完成させる（FEED : Front End Engineering Design）ので、DG2 までの海底地質調査でほとんどのコスト（CAPEX）のベースが固まってくる。したがって土木が担う役割は非常に大きい。

Dudgeon Offshore Wind Farm の事例では、海洋石油・ガスの資源探査と共通技術である人工地震波を利用した広域音響調査技術を用いて 3 次元物理探査を行っている。この技術はノルウェー（PGS : Petroleum Geo-Service 社等）が強い技術を有している。その次に Mapping 調査を実施した。電磁探査で 4 万 3 千個の金属反応が出て、それをデータ処理し、対象を 1,100 個に絞込み、更に 208 個所の海底撮影を ROV などを用いて実施し、最終的に 20 発の不発弾を特定して爆破処理等を実施した。建設予定地はナチスが空爆をした海域にあり、不発弾がかなりあった。その後ボーリング調査（CPT 等）を行い、どこに基礎を建てるかを決めて行った。

Project development - Surveys

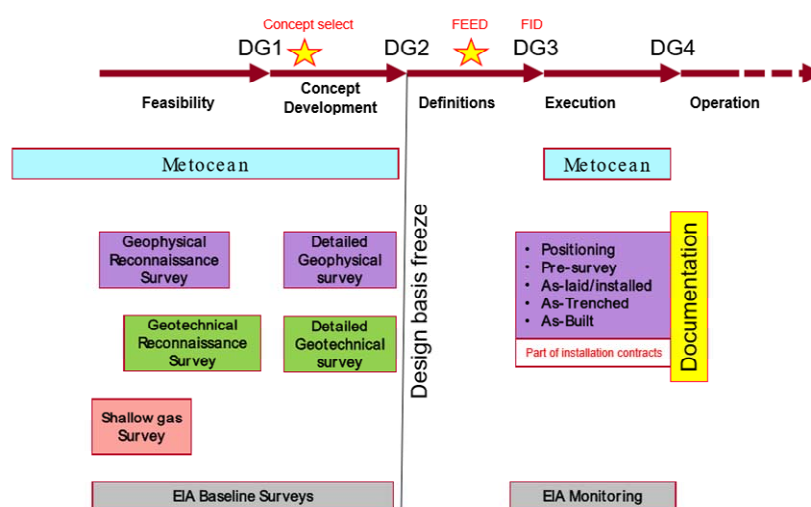


図 洋上風力発電の開発調査の流れ

海底地質調査の目的は、洋上風車建設サイトの地盤リスクの把握及び洋上風車基礎設計の最適化である。洋上風力開発サイトの地盤調査の流れとしては、予定地を選定し、机上検討（地盤モデル作成）した後に予備調査を実施して、その後に概念設計と最終投資決定まで持っていく。それから詳細設計を実施して、地盤モデル更新と工学的解析を行って、詳細設計・最適化に持っていく流れになる。海底面及び浅部海底地盤調査で実施される一般的な物理探査の調査方法としては、シングルビームエコーサウンダー（SBES）、マルチビームエコーサウンダー（MBES）、サイドスキャンソナー（SSS）、磁気探査、サブボトムプロファイラー（SBP）といったものがある。

基礎を建てる際にはコーン貫入試験（CPT：Cone Penetration Testing）が非常に重要になる。CPT で取得するデータとしては、先端抵抗、周面摩擦、間隙水圧である。CPT のメリットとしては、調査に掛かる時間が短く開発コスト削減に繋がること、連続的で精度の高いデータが取得できること、リアルタイムで地盤データが取得できること等が挙げられる。着床式ではほとんどこれが使われている。CPT の実施方式としては2つあるが、主には深い地盤の調査が可能なダウンホール CPT が採用されている。その他、比較的に浅い地盤の調査用のシーベッド CPT がある。着床式も浮体式も海底地質調査が非常に重要である。

日本の現状として、一部建造されたものもあるが、風車建設用の特殊船舶が殆どない。海洋建設用の港湾インフラが非常に乏しい。北九州市では洋上風力用の港湾インフラ増強を検討中である。また、民間市場がほとんどないため、現状では欧州に比べて洋上建設費用が高額である。今後どうやって市場を広げていってこれらのコストを下げていくかが重要になる。アジアは台湾市場が先行しており、Asian Global Market が形成されつつある。日本の場合、カボタージュ規制があるので、海外の建設用特殊船を容易に導入できるわけではないが、工夫次第で導入可能である。

着床式は 1991 年からデンマーク沖で建設・操業が開始されており、英国の他、数か国が建設を開始して順調に市場が拡大している。浮体式は 2009 年に世界で始めてフルスケール発電実証が開始され、昨年ようやく世界初の商業発電が英国沖で始まったところである。欧州では、いかに浮体式を安くするか企業と政府との検討が始まっており、2025 年には着床式洋上風力の発電コストと並ぶか、又は追い越すというコスト低減の検討が開始されており、実証試験が検討されつつある。

日本は 2010 年頃から経済産業省、環境省主導で洋上風力発電の実証事業が行われてきた。最近では民間企業による事業計画が立ち上がってきており、まだ FID(最終投資判断：Final investment Decision)まで到達したプロジェクトは殆どないが、環境アセスメント手続き中の案件は、2017 年末時点で約 430 万キロワット(4.3GW)ある。

将来、日本の領海面積の 1～2%または EEZ の 0.1～0.2%をゾーニングできれば、20GW の洋上風力発電所が建設可能で、大規模な市場創出と大幅なコストダウンが期待できる。最新の大型風車を導入すれば領海面積の 0.7%程度でも 20GW の洋上風力発電所が建設可能である。経済波及効果は約 26-30 億円、雇用規模は約 16～18 万人となる。年間新設規模 1GW が実現できれば、船舶や港湾等のインフラやサプライチェーンが整ってくるので、大幅なコストダウンが期待できる。

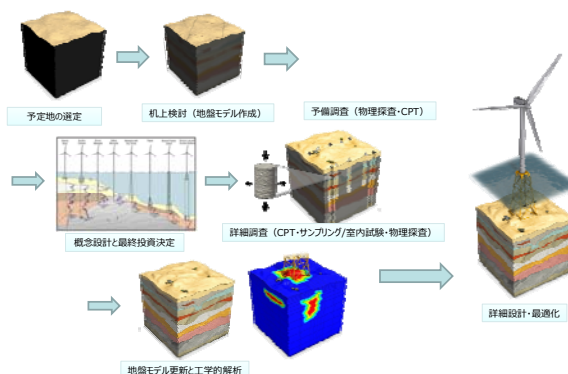


図 洋上風力開発サイトの地盤調査の流れ

出典：Fugro Japan

洋上風力は、日本でも沖に出れば非常に安定した強い風が吹いているが、現状では沖に出ると多くの漁業者が存在しているので、漁業者全員の特定と同意取得が困難だと思われる。

長崎県は島の数が 971 と日本一である。本土からみると沖合だが、島から見ると沿岸である海域に洋上風力発電と養殖に適した海面が存在する。洋上風力発電と沖合養殖は親和性が高く、共生できればシナジーやコストダウンが期待できる。沖合養殖との共生に成功し、漁業者の同意が得られれば、日本の洋上風力発電の普及に大きな扉を開くのみならず、次世代による水産業の再生に繋ぐことができる。長崎県は漁業生産量と生産額が日本2位の水産県であり、日本一の数の島があるので、長崎から成功事例を創出することにチャレンジしたい。

長崎大学では、革新的インテリジェント養殖システムによる海外戦略養殖拠点形成を進めている。日本の養殖は、零細事業者が小さな網を用いて湾内で行うことが多いが、世界の主流や今後の成長産業を考えると、沖合で魚の成育環境の良いところで IoT 技術(Internet of Things)を活用して大規模に行うのが良いと考えられる。長崎大学でも先進的な取り組みを開始しており、今年の7月に総務省による助成が決定した「五島・マグロ養殖基地化を実現するIoTシステムの実証事業」を実施している。内容としては、長崎大学が開発したドローン型飛行ロボット「AKABOT」により、多地点採水、ディープラーニングを用いた画像解析による有害プランクトン判別、空中からの赤潮分布状況の把握、クラウド経由での漁業者への赤潮状況の早期通知を行う。コンソーシアムメンバーとして、長崎大学に加え、地元漁協、KDDI、ソフトウェアハウス、佐世保高専、公財ながさき地域政策研究所、五島市、長崎県が参加している。五島では、近大マグロの完全養殖を行う豊田通商のツナドリーム事業を始め、6つのマグロ養殖事業が開始されている。技術開発を成功させて、養殖輸出産業化をさらに促進させていきたい。



図 長崎における連携体制

日本の人口は頭打ちなので、これからの養殖産業は海外への輸出がポイントとなる。世界一安全・安心・美味しい魚を育てていくことと洋上風力と養殖の共生を目指して取り組んでいく。長崎大学は、2017 年 4 月に海洋未来イノベーション機構を設置し、産学官連携や海外との協力により、海洋再生エネルギーと漁業・養殖等との共生に関する研究を強力に推進している。長崎県では産学官の連携体制ができており、そこを活用しながら長崎から成功事例を作っていきたい。

長崎の強みのひとつは、国指定の海洋実証フィールドが 3 つあることが挙げられる。潮流発電については環境省事業に採択されており、我が国初の大型潮流タービンの実証事業がこれから始まる。ふたつ目の強みは、北海道に次ぎ、全国 2 位の水産県であることが挙げられる。その中でも長崎県は養殖と輸出に強く、長崎県から世界に既に魚が輸出されている。上海市場に鮮魚を出せるのは日本でも長崎だけという歴史もある。トラフグの養殖量は長崎が日本一である。中国の富裕層向けに事業を拡大している。マグロの完全養殖は長崎でも複数の事業者により行われており、中国人の好む高級魚のアカハタの養殖を戦略的に拡大している。長崎は戦略的ターゲットとして輸出拡大の方向に向いているので、それに向けて強力な水産研究体制が整っており、国、県、大学の水産研究施設が一堂に会している。世界の主流は養殖業であり、完全養殖が安全の証という認識で、輸出証明書に必須な条件になっている。魚の養殖は世界の成長産業であり、年間生産量は 4 千万トン（2004 年）から 8 千万トン（2016 年）に拡大しており今後もますます伸びていく。Feed Conversion Ratio も非常に低い。日本でも水産政策改革が昨年農水省が着手しており、日本の水産業の若返り等を進めることになっており、70 年振りの漁業法の改正が本年中に国会で審議される予定である。

洋上風力を大規模展開するための課題の一つとして海洋政策が挙げられる。一般海域の事業利用に関する法制整備が必要である。このため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案が本年中に国会で審議される予定である。離島振興法は既に制定・改正されている。その他の課題として、電力・エネルギー政策に関して、送電線利用率の向上、系統強化が挙げられる。東北電力が、従来の系統運用ルールを変更して、今年から Connect & Manage を開始した。洋上風力発電と漁業との共生については水産業の再生とあわせて長崎から成功事例を作ってリアリティーを高めて行き、洋上風力発電の沖合大規模展開を目指していきたい。これらの成功事例が、政府による洋上風力発電に関する 20GW 程度の大規模な目標設定と海面ゾーニングに繋がることを期待している。

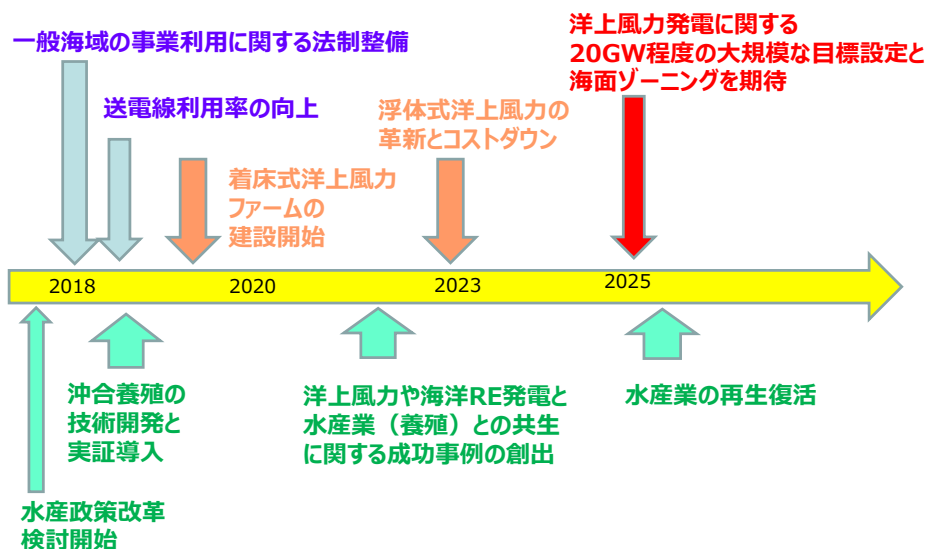


図 洋上風力と養殖に関するマイルストーン

◆講演②：五島そだちの浮体式洋上風力発電
戸田建設エネルギー事業部 佐藤郁副事業部長

何もしないと世界の平均気温が 4.8℃上昇し、頑張れば 2℃以内に抑えられるという話があるが、実は 2050 年時点では頑張っても頑張らなくてもほとんど気温は変わらない。この 5 年間に起こった災害は、今年一段階激しいものとなっており、おそらくこの傾向は今後も続く。そのような状況で、我々がこれからどうするかというのが一つの課題かと思う。気象災害の原因は気候変動であり、気候変動は温室効果ガスの影響で起きている。温室効果ガスは、化石燃料の燃焼により生じており、脱炭素に取り組み化石燃料を使わなければ、温室効果ガスの発生量が減り、地球の温暖化が止まり、気象災害がこれ以上酷いものとならなくなる。

パリ協定では、2050 年に 80%削減するということを決めた。それは 32 年後の将来の話であり、今の学生の方ぐらいの年代が頑張っていく必要がある。2050 年の社会について、環境省中央環境審議会地球環境部会で想定している。消費エネルギーにおける電気の割合が 75～85%でほぼゼロエミッションを達成している等、現在使用している化石燃料が使えない時代となり、燃料という言葉が死語になる。今後再生可能エネルギーを増やしていく必要がある。

土木エンジニアは英語では、Civil Engineering（市民工学）であり、Military Engineering（軍事工学）の対義語で他国の攻撃から市民を守るのが軍事だとすれば、それ以外から市民を守るのが土木である。土木学会では土木を「市民の文明的な暮らしのために人間らしい環境を整えていく仕事」と定義しているが、簡単に言うと、人々の暮らしの安全・安心を社会資本で支えるエンジニア集団が土木エンジニアである。現在、我々が暮らしている社会は、何百年もかけて我々の先輩の土木エンジニアが作ってきた社会資本の上で成り立っている。それがいとも簡単に豪雨災害で、一瞬のうちに叩き壊されている。それを今から増強しようとするとなれば何百年以上かかり、気候変動には間に合わない。

私の五島での 5 年間の取組を環境省が 10 分程度に纏めていただいた映像があり、youtube で検索すると出てくるのでぜひ参照してほしい。浮体式洋上風力を取り扱っているが、様々な形式があり、一番初めに日本で行われたのはボンツーン型というものである。これは鉄道総研と国立環境研究所が取り組んでいたが、構造的に難しい。石油掘削技術を活用した TLP もあるが、日本は地盤が弱いこと等からなくなってきた。今世界では、セミサブ型とスパー型に集約されてきている。海面付近が黄色に塗られているが、海面から 15m は黄色で塗るように国際ルールがある。

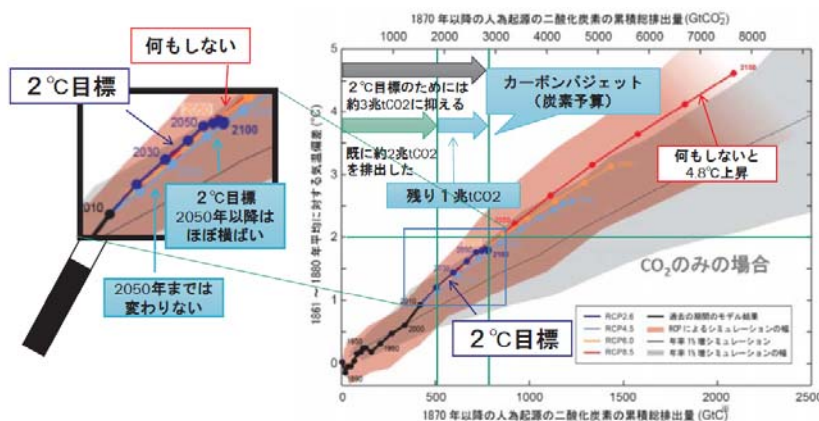


図 世界全体の CO₂ の累積総排出量の関数として示した様々な一連の証拠による世界平均地上気温の上昇量

出典：IPCC 第 5 次評価報告書の概要第 1 次作業部会（自然科学的根拠）より戸田建設作成

現在計画中のものは、鋼製部分は長崎県内で製作する。下のコンクリート部分は、実証事業の時は北九州で作ったが、今回は五島市内で五島の建設会社に作ってもらう。着床式は風を受けると地盤が反力になって倒れないようになっているが浮体式の場合は何もないので倒れてしまう。ハイブリッドスパー型は、その対策として重りを付けることによって、おきあがりこぼしのように傾いても元に戻る。重りが鋼だと高価なためその代替としてコンクリートを使用したものがハイブリッドスパー型である。ダウンウィンド型というのは、ブレードの反対側から風を受ける形である。ブレード側から風を受けると傾くにつれ受風面積が減っていき外力が減って振動を発生させてしまう。反対側から風を受けて傾くと受風面積が増え、風揚げのように安定する。ダウンウィンド型の大型風車を作っているのが、世界でも日立製作所しかなく、共同で事業を進めている。浮体式洋上風力の実証は一般にノルウェーにおいて世界で始めて行われたとされているが、実はその2ヶ月前に佐世保港で 1/10 モデルで実証しており、地域版の新聞に掲載された。

杣島で実証事業を行いたいと思い、当時の市長の協力を得て環境省事業に応募、採択された。その後東北の震災があり、事業続行は困難と思われたが、環境省と相談の結果、継続することとなった。震災直後で資機材調達が大変だったが、何とか作り上げ建てることができた。今は環境省事業を無事に終えて実用化している。浮体式で台風が直撃したのは五島の風車が世界初である。通常は 50 年確率の台風に耐えられるように設計する。今回 100 年確率の台風がきたが、風車自体は問題なかった。海面から 30m のところにある陸上の変電施設が波で破損し、その復旧に時間がかかった。北海道、東北地方、九州地方では風況が良いことはわかっている。北海道だと 5 億 kW、九州地方だと 4.7 億 kW のポテンシャルがあり、九州地方だけで日本の電力需要を全て賄って余りが出る程のポテンシャルがある。

環境省事業なので環境に係るあらゆる調査を行った。結果として不要と考えられる項目を除き、現在影響があるのは、海生哺乳類、鳥、景観と言われている。景観はなるべく陸地から離すしかない。浮体式は最低でも岸から 5km 離れるので音はほとんど届かない。浮体式洋上風力周辺には魚の生息場所にもなる。エンジニアとしては、海に悪影響がないということは言えると思う。我々は海を長い期間貸してもらうので、元の海に戻す、もしくはより生物が棲みやすい環境を作り出すことが土木エンジニアやらなければいけないことだと思う。

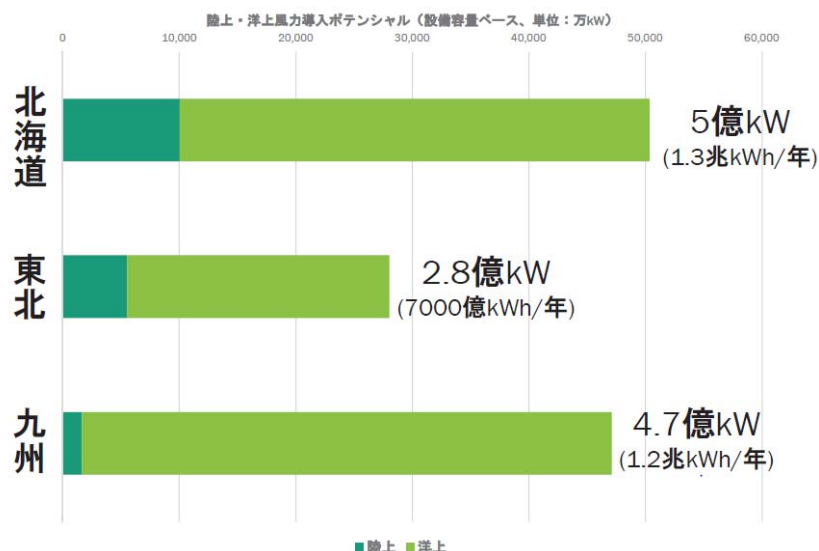


図 陸上・洋上風力導入ポテンシャル

出典：環境省「平成 22 年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書」より戸田建設作成

現在、建造時のコスト削減に取り組んでいる。コスト的には、先ほどの実証事業の半分程度には削減できそうであり、さらにその半分を目指している。土木では、基本的に同じものを2つ作らないが、風力発電は違う。本格普及期に向けて、五島で風力発電事業を計画している。順調にいけば世界初の2MWのウィンドファームができる。なお、5MWのウィンドファームは既にある。なぜ2MWのウィンドファームに価値があるかというと、2MWの方が、単価が高いからである。今回のアセスは風力発電で最短記録の3年であった。その理由としては、試験的なゾーニングの段階でほとんど調査を終わらせたからである。足りない部分、行政ではどうしても費用が出せない部分は独自に調査した。さらにこの期間を縮めていかないと2050年に間に合わない。発電所は20年稼動しないと元が取れない。そのためには地元の方々の理解と協力が得られなければならない。他の発電でも同様である。そのために我々が何をするかというと、都会に電力を買ってもらい地域にお金を回すことである。私たちが気をつけなければならないことは、再エネをバブルに終わらせないということである。太陽光もバブルといわれている。去年九州の倒産件数No.1は太陽光の設置業者であった。これではいけない。基幹エネルギーとして、ずっと続けるために我々エンジニアは、その技術を継承し、よりブラッシュアップし、作り上げて、メンテナンスしていく必要がある。コストを下げてエネルギーにしていかななくてはならない。地域の発展と時代が変わっても元の海の戻せるようにするというのを念頭に取り組んでいる。

浮体式洋上風力発電の開発スケジュール



図 浮体式洋上風力発電の開発スケジュール

■質疑応答

- Q 日本はものづくり大国で中小企業や地方の企業が RE100 に加盟していくことが重要という話があったが、現状どの程度そのような企業は RE100 に加盟しているのか。
- A 年間 1 億 kWh の電力重要があることが RE100 に加盟するための条件であるため、現状中小企業は加盟できる状態になっていない。中川環境大臣は RE100 の代表者に会った際に、中小企業にも広めていきたいので要件を撤廃してもらえないか打診を行った。しかし、RE100 には特に未達成時の罰則はなく、誰でも参加できるようにすると、例えば売名行為のために加盟する企業も現れるといったリスクも考えられるため、要件は撤廃しないが、環境省で RE100 日本版中小企業コースのようなものを実施するのがよいのではないかとこのため、環境省は中小企業が RE100 を宣伝するモデル事業を始めている。モデル事業には全国で 5 社参加している。中小企業で RE100 を実施する手法が確立したら、日本中に広げていき、その結果、中小企業が戸田建設のグリーンボンドを引き受ける等、繋がっていけばよいと個人的に考えている。（飯野氏）
- Q 環境省と外務省が再エネに対して前向きな姿勢を示しているが、エネルギー基本計画では、ポジティブな目標が掲げられなかったと認識している。洋上風力を導入拡大していくためには、国として大きなターゲットが必要になると思う。早いかもかもしれないが、3 年後のエネルギー基本計画の改正に向けて、国がどのように取り組んでいくのか話していくような状況というのが出てくるのかお聞きしたい。
- A 2030 年の定量的な目標自体は 2015 年に公表されたエネルギー長期需給見通しで設定されており、エネルギーミックスの見直しは、今回のエネルギー基本計画の策定から 3 年後ということではない。前回と同様であればエネルギー長期需給見通し小委員会で議論することになる。例えば、日本風力発電協会も目標を上げるべきだとの提言を常々しており、今年の春も目標引き上げをすべきと強く提言している。なお、経済産業省も、エネルギーミックスの数字は、目標値ではなく目安であり、国民負担が抑制される範囲であれば、目標値よりも多く導入できることはむしろ望ましいということは明確に言っている。実態としてはかなり進んでいるということをご理解いただきたい。（飯野氏）
- Q プレートの移動のある部分が南海トラフや東北の太平洋側はあるが、そういった場所に着床式洋上風力が何十年先までリライアブルと考えているのか。私は地元企業で表面損傷、表面腐食の研究を長年行っており、着床式という固定型を海の上に設置して持つのか、プレートが動いているところでも大丈夫なのか、そのあたりを疑問に思っていた。浮体式の場合は可動部分があり、その表面損傷や腐食が発生すると思うが、5 年程度ではほとんどわからないのではないと思う。
- A 欧州では、洋上風力に関して保守的である。風車は大型化によりコストは下がるが、実績がないものは導入されない。それが、風車が一気に大きくならない理由である。そうでなければ投資家も投資せず、デベロッパーも投資決定に入らない。メーカーは、少しずつ大きくしながら徹底的にデータを集めている。日本においても、どの程度大型化していくのかについて産業界と政府で詰めていかないといけないが、欧州の実績のうち使える部分は利用すべきである。欧州では着床式は 20 年以上、浮体式はノルウェー沖でフルスケールの実証試験を 2009 年に開始して今でも継続運転している Hywind Demo は約 9 年の実績がある。地震に対する課題については、日本で十分に検討する必要があるが、着床式については、建築基準法の改定後にも検討されている。また浮体式については、欧米で長年の安全性が実証されている海底のアンカリング技術は地震にも強いという専門家が今のところ多い。（織田氏）
- A 日本では深い海での海洋構造物の実績はないが、世界的には海上の石油掘削が何十年も行われており、その知見が様々な基準となって積み重なっている。現在は、その基準をクリアする形を取っているが、コスト面から見て過剰だと思う部分もある。ご指摘のとおり、5 年間で磨耗の検出はほぼゼロである。毎年点検は行っているが、今後 10 年の間に何か起こる可能性はある。それに向けた研究は既に始めており、チェーンの耐久性評価は世界に

基準はなく、今九州大学と一緒に環境省の補助をいただきながら取り組んでいる。(佐藤氏)

Q 浮体式洋上風力発電の短所はあるか。

A コスト以外のところを考えたときに、底引き網の問題がある。海底に張っているチェーンが邪魔になるようである。長崎県ではほとんど底引き網での漁は行われていないので、長崎県の場合はあまり影響ないかと思う。底引き網を使う漁にも影響の少ない浮体式にできないかと考えて研究している。(佐藤氏)

Q 底引き網の問題は着床式にも当てはまることか。

A 着床式の場合も海底ケーブルが邪魔だと言われたことはある。着床している場合はそこを避けて通ればよい。風車はブレード直径の 10 倍程度の間隔で設置しなければならないので、2MW だったら直径 80m なので 800m 離さないといけない。底引きといっても小型船が多く、それほど大きな範囲で底引きを行うわけではないので、間は十分に通れる。逆に風車が設置されていると潮が乱されて魚が棲みやすい環境となる。(佐藤氏)

Q 2MW の浮体式洋上風力が実用化されるということであるが、世界では 5MW、10MW 規模がある中で、何が 2MW に制約しているのか。実績が足りないということであれば、今後、日本での 5MW、10MW 規模も作れるようになるのか。日本特有の制約があるのか。

A 日本は陸上も含めて風力発電に対する経験知が少ない。特に一番影響が大きいのは台風である。世界の風力発電が普及しているところで、台風がくるところは一つもない。構造物を作る際の制約条件として地震があり、着床式は地震の影響を受けるが、浮体式は受けない。その点で見ると、5MW や 10MW も取り組もうと思えばできる。ただし、金融の問題があり、実績のない事業者に 100～200 億円を貸すところはない。5MW の場合、一基あたり 40～50 億程度であり、100 基作るとなると 5,000 億円かかる。現在、ようやく 5MW が普及に差し掛かった段階であり、実際の稼動は 3～5 年度になる。淡路島の風車が先日台風で倒れたが、そうならないために努力していく必要があり、そのためには一足飛びに 5MW ではなく、実績のあるものを積み重ねていくことが重要である。一番問題なのはメンテナンスのコストであり、作るところはうまくいっているのに、量産化の取組を行っている。また、維持管理のコスト低減にも取り組んでいる。今度のウィンドファームで知見を積み重ねていきたい。(佐藤氏)

Q 浮体式は割と自由に置き場所が選べるということで、海に文字を書くように並べるとグーグルアースで長崎等書けるのではないかと思う。

A 飛行機に乗って五島の風車を見ても見つからないし、絵が書けるほど密集して建てられない。ぐるぐる回ると文字が出るものを風車でできないか考えたことはあるが、ブレードアンバランスが生じてベアリングの磨耗が激しくなるので挫折した経緯がある。(佐藤氏)

◆ディスカッション

テーマ：「量産化」及び「地域が中心となる」のキーワードを絡めた今後重要となる取組

■長崎大学海洋未来イノベーション機構 織田洋一コーディネーター

ローカルコンテンツを高めて同一の地域で全てのものを独占して製造したいということは、必ずしもコストダウンや電力コストの低減には繋がらない。例えば、世界一の洋上風力発電導入量を誇る英国には洋上風車メーカーが存在しない。デンマークやドイツで作った洋上風車を持ってきている。風車製造は自動車産業に似ており、2～3万点の部品の集積なので、1ヶ所で量産しないとコストは下がらない。世界で一番安くて信頼性のあるパーツを集めてこないと発電コストは下がらない。例えば、世界初の浮体式の商業発電を開始した英国で浮体のスパーを作ろうとしたが、英国ではコストが高くて割に合わないのでスペインで製造した。

一方、洋上風力発電所は、建設されるとその地域に雇用が生まれ、約20年間に亘り操業とメンテナンスの仕事が継続する。従って、建設と操業を区別して、全体最適となる組合せを考えていく必要がある。アジアで洋上風力発電所を建設する場合は、日本だけでなく、中国や台湾、韓国もあるので、何をどこで作ってどのように組合せたらよいのかを検討して全体の最適解を求めていくことが重要になる。

■NPO 法人長崎海洋産業クラスター形成推進協議会 坂井俊之理事長

協議会が第一に考えているのは、いかに地元でどれだけの仕事をこなすかということであり、一つの姿として、デバイスを作る会社が地域にきてくれればありがたい。元々協議会を作る際に、三菱重工業が取り組んでいたもので、できれば三菱重工業がピラミッドの頭になってそれからサプライチェーンで地元の企業がそれぞれの分野で作り上げていくことが理想と考えていた。ただし、それはコスト競争力がなければ成り立たないので、そのあたりの選択が次のステップで出てくると思うが、まずは地元ですべてのものをこなすという形にチャレンジしたいと考えている。アンカー企業があれば全体構想が成り立つが、今のところ見出せていない。我々が自らアンカー企業になるにしては、モノが大きすぎる。今は地域アンカー企業として、4つの分野（調査関係、ものづくり関係、海洋土木関係、メンテナンス関係）に分けて、分野別の専門の会社を作ろうとしている。市場が長崎になることは見えているので、これを上手く活用して、地元で作った方がコスト低減に繋がる分野を見出していきたい。

■環境省地球環境局地球温暖化対策課 飯野暁 前課長補佐

一般海域の利用ルールの新法ができる。政府が単独で指定するわけではなく、政府の検討と地元の自治体及び漁業関係者が協議会で決めていくことになるので、そのプロセスをどのように使うかが非常に大きな論点になるのではないかなと思う。

また、RE100に参画する企業が増えていくと、再生可能エネルギーの必要性が高まり、この議論をどのように地域性と連動させていけるかが大きな課題になる。RE100に参画している大手企業が、その工場や事業所の再エネ電源を調達するために、長崎における洋上風力導入促進に参加するという形で入ってきてくれると非常によい方向にいくと思う。

■長崎大学海洋未来イノベーション機構 織田洋一コーディネーター

洋上風力発電の導入段階では、調査業務に専門人材や専門技術が必要であり、建設段階ではマリコンと一緒に協力していく地元企業が必要になる。操業段階では約20年間続く仕事として運転業務やメンテナンス業務がある。オペレーションとモニタリング等についても地元で長期間継続する業務が多数発生するため、その能力を身に付けることが重要になる。また、沖合の場合、海上交通業務が必要となり地元での対応を検討していく必要がある。また地元の利害調整等に関して、長崎における漁業者との関係や具体的なコミュニケーションを長崎で取っていくことも重要だと思う。

■戸田建設エネルギー事業部 佐藤郁副事業部長

スコットランド政府は自国で風車を作りたいと考えている。建設の技術と造船の技術はスコットランドにあるから是非来てくれと依頼され、一ヶ月間調査に行ってきた。メンテナンスについては、日立製作所に 20 年間ノーメンテナンスの風車を作るべきと提言している。今、風車は手作りに近い状態である。メンテナンス需要は過渡的な話だと思う。風車の耐容年数は 20 年間であるため、リプレイスして、作り続ける、使い続ける、維持するということが重要と思う。

■長崎大学海洋未来イノベーション機構 織田洋一コーディネーター

昨年秋に英国スコットランドの Peter Head 沖で浮体式洋上風力発電の商業事業が開始された。地元スコットランドの優良企業がこの事業に使われる浮体部分であるスパー製造の受注を目指したが、スコットランドでは人件費が高いため、入札ではスペイン企業に勝てず敗退した。何でも輸入すればよいとは考えていないが、どんなに頑張っても厳しいところは厳しいのが現実だ。