

## 五島育ちの浮体式洋上風力発電と 長崎県の未来



戸田建設株式会社  
価値創造推進室 エネルギーユニット 部長  
佐藤 郁

### はじめに

本年8月8日に経済産業大臣から、「(仮称)五島市沖洋上風力発電事業」の環境影響評価法に基づく方法書の勧告が出されました<sup>1)</sup>。調査内容についても高く評価していただけたことから、五島市沖合に浮体式洋上ウインドファームがまた一步実現に近づきました。

これはひとえに、五島市と長崎県の皆さまによる、平成22年に始まった環境省浮体式洋上風力発電実証事業からの、ご支援のたまものであり、心より感謝申し上げます。

本稿では、平成27年度まで五島市で実施しておりました、環境省による実証事業の内容と、今後の浮体式洋上風力発電事業の計画についてご説明させていただき、今後、長崎県でさらに普及拡大していくための課題と方策についても述べさせていただければと思います。

### 浮体式洋上風力発電について

欧州では洋上風力発電の導入拡大が急速に進んでおり、ドイツではプレミアム(補助金)無しの市場価格にまでコスト低減が進んでいますが、これは着床式と言われる、海底に固定したタイプの洋上風力発電です。

日本は欧州のように、風が強い遠浅の海域が少なく、海底地盤が複雑であり、着床式の場合は地震や台風の影響を考慮しなくてはならないために、多数の海底地盤のボーリング調査を実施しなければならず、量産効果によるコスト低減が難しいと考えられています。

一方、日本は排他的経済水域が世界第6位の海洋大国であり、この広い海を活用したいという考えから、開発が進められているのが、海に浮かぶ浮体式洋上風力発電です。浮体式であれば複雑な海底地盤の影響や水深によって浮体の設計を変えることなく、地震の影響も受けないため、量産による建設費の低減効

果が見込めると考えられています。

環境省の調査<sup>2)</sup>によれば、控えめな想定でも日本の浮体式洋上風力発電の可能性量は日本の総消費電力を超えるとされており、早期の普及拡大が期待されています。戸田建設では平成19年度より九州大学の宇都宮教授と開発を開始、環境省による浮体式洋上風力発電実証事業を経て、平成28年3月末より長崎県五島市で、日本初となる浮体式洋上風力発電の実用化を実現しました。

### 環境省浮体式洋上風力発電実証事業について

環境省では、日本初となる浮体式洋上風力発電の実現と検証に向けて、平成22年度から、浮体式洋上風力発電実証事業を開始しました。環境影響評価方法書、危機管理マニュアルの作成などソフト面に加えて、平成24年6月には長崎県五島市柗島（図1）の約1kmの沖合に、100kW風車を搭載する小規模試験機（図2）を設置し、国内で初めて一般家庭向けの送電に成功しました。同年9月には戦後



図1 位置図

最大級となる台風16号が五島列島付近を通過し、世界で初めて台風の直撃に耐えた浮体式洋上風力発電施設となりました。そして、平成25年10月には日本初となる、2,000kW風車



図2 小規模試験機 (100kW)



図3 実証機 (2,000kW)

を搭載した実証機の設置が完了しました（図3）。2年間の実証運転を経て、福江島沖合約5kmに移動し、平成28年3月末に事業が終了しました。

この間、実証機による電力で生成した水素による貯蔵、運搬、利活用の実証と、燃料電池船を開発実証しています。

### 水素の利活用について

浮体式洋上風力発電施設に隣接する柗島は、住民が約100世帯の島です。送電線は九州本土と海底ケーブルで接続されていますが、柗島の消費電力量が少ないため600kWでの制限運転が実証機の系統連系条件となりました。

現在、九州電力で系統連系するためには、風力発電の無制限無保証の出力抑制受け入れが条件となりますが、これは九州の消費量が小さく、さらに、消費量の大きい本州と九州をつなぐ再生可能エネルギーで利用できる電力ケーブルの容量も小さく送電できないため、柗島の状況は九州の縮図かも知れません。

対策として、柗島と隣接する奈留島とをつなぐ送電線の増強がありますが、海底ケーブ

ル等の整備には地権者等との協議など数年が必要で、事業期間内での実施は困難でした。

そこで、海底ケーブルの増強が不要で既存の交通インフラを活用した、再生可能エネルギーの貯蔵・運搬・利活用について実証しました。

エネルギーの貯蔵・運搬方法にはさまざまな方法がありますが、比較検討の結果、利活用の実証が進んでいる水素を採用しました。

日本は幸い淡水が豊富にありますので、電気さえあれば簡単に水素の製造が可能です。水素にすれば、既に燃料電池自動車やバス、トラックなどの用途があり、利用先を開拓する必要もなく、最小限の投資で良いというメリットがあります。

しかし、柗島からの水素の運搬は海上輸送となるため、船舶による危険物の運送基準等を定める告示に従う必要があり、一般的な旅客船や貨物船では運搬できず、液化天然ガス（LNG）のように特殊な積み出し設備や船を建造する必要がありました。

そこで、水素をトルエンと反応させ、500気圧の圧縮水素と同量の水素を、常温常圧の液体であるMCH（メチル・シクロ・ヘキサン）

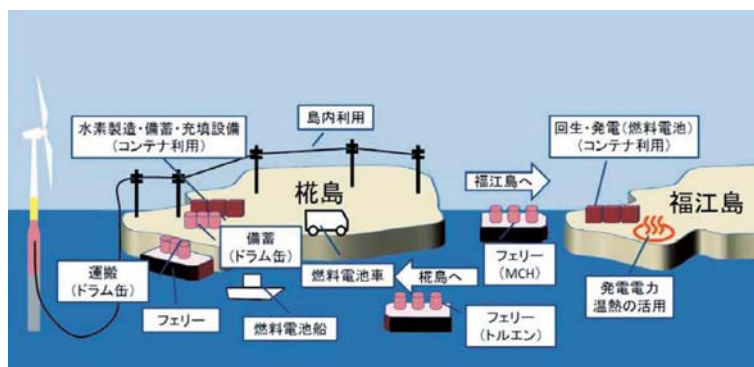


図4 水素の利活用モデル



図5 水素設備全景

に変換する手法を採用しました。MCHは開放空間であればほぼ無制限に一般的な船舶で運搬可能です。陸上ではガソリンと同様に危険物第4類第1石油類に分類されるため、高圧ガス保安法の適用も受けず、既存のガソリン関連の資格で取り扱いが可能な物質です。実証では栴島の定期船で福江港まで運搬しています。

さらに、利活用の方法としては、圧縮水素として燃料電池自動車と別途開発を行っていた燃料電池船に利用するとともに、定期旅客船で福江島に運搬したMCHから水素を回生させ、発電と給湯を実施しました。

水素の利活用実証モデルを図4に、設備全景を図5に示します。

## 水素利活用の成果について

水素の製造、運搬は高圧ガス保安法、消防法、船舶安全法などさまざまな法律がかかわるため、海上保安庁、長崎県、五島市のご担当の方にご指導いただき、現行法の範囲で実証を完了できました。

水素は東北の震災以来、「水素爆発」という言葉が定着してしまい、とても危険な物質というイメージがあります。しかし、工学的な観点からすれば、濃度にかかわらず爆発しやすいため十分な注意が必要ですが、最も軽い物質なので扱いは容易で、空气中に漏れ出しても有毒ではなく、検知器も整備されているので、ガソリンと比べても安全性の高い物質とも考えられます。

しかし、「絶対に爆発しないのか」と問われれば、エンジニアとしては「絶対に」とは言えず、ガソリンや他のガス燃料との相対的な比較で表現する他なく、その内容は科学的になり、わかりやすい説明が難しくなりますので、地域の理解を得ることはとても困難な課題です。

実際、栴島と崎山地区の住民の皆さまからも心配の声をいただきましたが、実際に水素を燃焼させた実験を行い、水素やMCHの危険性について説明させていただき、ご了解をいただきました。

また、水素施設の管理運営には地元の方に危険物取り扱い等の講習を受けていただき、ご協力いただけたことに感謝しております。

さらに、水素ステーションの管理には「圧縮水素の製造に関し6カ月以上の経験」が必要で、この事業によって五島市での有資格者が育成でき、五島市内に水素ステーションの設置が可能になりました。ささやかですが、これも事業の成果の一つではないかと思えます。

## 燃料電池船の実証について

地元の漁協さんに困っていることをお伺いしたところ、まず始めに「燃油代」とのことでした。円安などで燃料代が上がっても魚価は上がらないので商売が成り立たなくなること、将来のためにも「電動船を作れないか」とのことでした。

気候変動対策の観点からも有効であるとの考えから、有志による電動船の勉強会を行っ

ていたのですが、電気自動車と同様の蓄電池では十分な航行時間と距離が確保できないことがわかり、当時乗用車で実証が進んでいた燃料電池が有効であることがわかりました。

しかし、日本の小型船舶の市場は漁業者数の減少により縮小を続けており、大手の小型船舶メーカーもエンジンを海外から調達している状況で、開発コストの負担が課題でした。

そこで、環境省の技術開発事業に勉強会のメンバーで応募し、採択いただき、開発を進めました。

小型船舶の低炭素化の手法としては、充電式のリチウムイオン電池船の実証が行われていますが、電池は重量が大きく搭載量が限られるため、湖沼や運河、湾内などの平水域での低速利用に限定されていました。このため、燃料電池の活用により、高速での長時間航行を可能とした外洋での利用が期待されています。

一方、洋上風力発電に代表される海洋再生可能エネルギー普及のためには、発電した電力を余らせないことが重要で、その対策として余剰電力から水素を生成・貯蔵し、化石燃料の代替として地域で利用する方法が有効な手段の一つと考えられています。

化石燃料を大量に消費する船舶の燃料が、再生可能エネルギー由来の水素に転換可能になれば、CO<sub>2</sub>排出量の削減はもちろん、海洋再生可能エネルギー導入の社会受容性向上など、さまざまな効果が期待できるため、航行距離が長く、漁業に利用可能な燃料電池船の開発および実用化のための安全性や耐久性等の検証が求められていました。

そこで、浮体式洋上風力発電実証事業と連携し、余剰電力により生成した水素を活用する方法の実証事例として、小型船舶をモデルに、燃料電池を利用した低炭素型小型船舶の製作と実証により、小型船舶の低炭素化の促進と、海洋再生可能エネルギーの普及促進への貢献を目的として、環境省による燃料電池船事業が実施されました。

開発にあたり、以下の5点を基本方針としました。

- 浮体式洋上風力発電との連携
- 沿岸漁業で利用される10 t未満の小型船舶を対象
- 外洋対応(湖や湾内などの平水域ではない)
- 最大速度20ノット(約40km/h)
- 安全性の確保(小型船舶検査機構(JCI)による許可取得)

燃料電池船のしくみは、船舶のエンジンをモータに、燃料タンクをリチウムイオン電池、燃料電池、水素タンクに置き換えたものですが、浮体式洋上風力発電実証事業による水素供給時期から、事業期間が2年と短期間であること、普及拡大のためには、既存船の転換が重要となることから、市販の漁船タイプの小型船舶をベースに開発しました。

開発は、船舶への燃料として水素を供給する国内唯一の設備が、浮体式洋上風力発電実証事業で整備された杵島の水素ステーションであったため、システム開発拠点のある神奈川県で水素の運転以外の部分を完成させたあとに、五島市で燃料電池船として完成させることとなりました。平成26年度に船体建造と

資機材調達、制御システムの開発を実施し、平成27年度に完成した船体に機器を組み込み、横浜のベイサイドマリーナにおいてリチウムイオン電池船としてJCIの検査を受検、合格しました。その後、五島市に船を運搬し水素を供給、燃料電池船としてのJCIの検査を受検し合格しました。平成27年8月5日に完成式典（図6）を執り行い、長吉丸（Ever Fortune）と命名されました。浮体式洋上風力発電実証事業による水素供給が終了する平成27年12月末まで航行試験を実施しました。



図6 燃料電池船の完成式典

## 環境省実証事業後について

環境省による実証事業は平成27年度に計画通りに終了となりました。実証事業終了後の設備については、地元から存続への強いご要望をいただき、その可能性について検討しました。

まず、浮体式洋上風力発電施設については、前述のとおり、椛島では九州電力より600kWの制限運転を求められていたことから、事業性を確保するためには十分な余力のある系統への接続が必要でした。

五島市最大の島である福江島であれば系統接続が可能であることがわかり、なるべく椛島に近く、十分な水深があり、必要な年平均風速が見込める場所を探したところ、崎山沖合であれば、事業採算性も見込めることがわかりました。

しかし、福江島からの離岸距離が約5kmであり、共同漁業権の範囲外で船舶も頻繁に航行する場所であることから、関係者も多く、移動への理解が得られるかが課題となりました。

そこで、各方面のご協力と、水産、商工関係者のご理解とご支援をいただき、関係者の皆さまに移動へのご理解をいただくことができ、無事に移動を完了しました。（図7）

水素関連施設と燃料電池船については長崎県により、現在、五島市での視察などに活用されています。



図7 移動後の実証機（撮影：西山芳一）

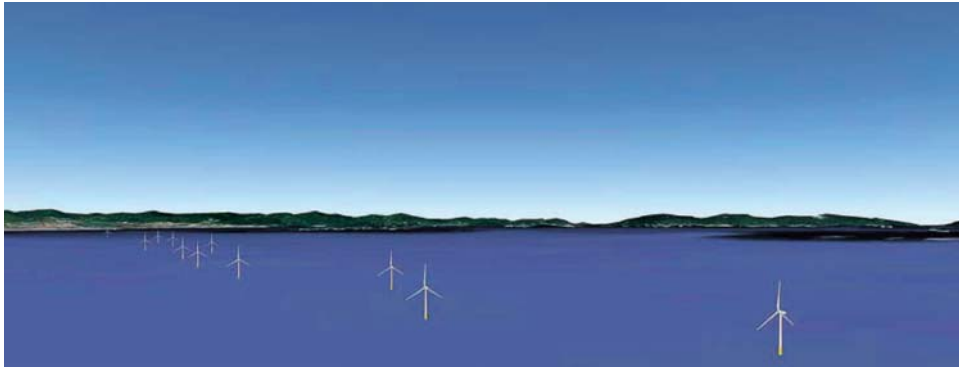


図8 パイロットファーム（配置や基数はイメージで決定したものではありません）

## （仮称）五島市沖洋上風力発電事業について

（仮称）五島市沖洋上風力発電事業（以下パイロットファーム事業）は、移動した実証機のさらに沖合に最大22MWの風力発電所を新設しようというものです。

平成28年9月28日に環境影響評価法に基づく計画段階環境配慮書を提出し、平成28年12月9日に環境大臣意見、平成28年12月15日に経済産業大臣意見を受理しました。

環境大臣意見には「本事業は、再生可能エネルギーの導入・普及に資するものであり、地球温暖化対策の観点からは望ましいものである。」と記されており、日本の再生可能エネルギーの将来を占う試金石としての重責を担うことになったことを、改めて実感した次第です。

計画段階環境配慮書の手続きが完了したことで、事業実施について生活環境や自然環境の観点から確認いただけたため、平成29年2月20日に環境影響評価方法書を提出し、平成29年6月30日に長崎県知事意見を、平成29年8月8日に経済産業大臣勧告を受理しました。

これで環境影響評価をどのような方法で実施するかという内容について認めていただけましたので、今後は調査結果およびその評価を行っていくことになります。

環境影響評価の方法が決定したことで、環境影響評価の手続き期間と費用が確定できますので、事業化の判断がなされれば、それから数年後には、五島市沖合に浮体式の洋上ウインドファームの一端が姿を現していることになるでしょう（図8）。

## 実証事業とパイロットファーム事業の違いについて

実証事業とパイロットファーム事業ではいくつかの違いがあります。

まず、計画・設計では、実証事業は「日本初」の実証でしたので、一つ一つの工程にいくつもの可能性を考慮した対策を講じなければなりませんでした。パイロットファーム事業ではいわば「経験済み」ですので、全ての工程を見直すとともに、さまざまな改善を実施しています。

次に建造ですが、実証事業では1基だけの

建造なので、既存の施設や設備を日本中からかき集めなくてはなりませんでしたが、パイロットファーム事業では複数基を同じ設備で建造するため、1基あたりの設備単価が下がり、新規に専用設備の調達が可能になります。これにより、パイロットファーム事業では鋼製部は長崎県内の鉄工所で、コンクリート部は五島市内の岸壁でと、全て長崎県内での建造が可能になりました。

海上施工については、実証事業で海底ケーブル敷設や係留チェーンの敷設など、工事ごとに専用の船団が必要となっていたものを、パイロットファーム事業では1隻の台船を複合的に利用した効率的な運用を図るように改善していきます。さらに、実証事業で活躍した大型起重機船も、パイロットファーム事業では施工方法を改善し、長崎県内の港湾工事などで一般的に利用されている400tクラスの起重機船で、全ての作業が可能になります。

維持管理にも違いがあります。実証事業の小規模試験機では浮体への乗り移り設備が1カ所でしたが、波向きによって乗り移りが困難な場合があったため、実証機では2カ所に変更しました。パイロットファーム事業ではさらに改善し、全周から乗り移りが可能なように、より安全で確実な維持管理が可能になります。

最後に、一番大きな違いは地域の皆さまの応援です。実証事業の時には騒音や魚の生態への影響など、生活や漁業への影響に対する不安の声をいただきました。パイロットファーム事業でも近隣の漁業者さんから不安の声を

いただきましたが、パイロットファーム事業による魚集効果に期待しているとの声もいただきました。さらに、商工会議所からも応援をいただき、直接的な経済効果だけでなく、視察や観光にも役立てたいとお言葉もいただきました。

### 普及拡大と長崎県の実現のために

2015年のパリ協定で日本は2050年に温暖化ガスの80%削減を約束しました。これは、2050年には日本で化石燃料が利用できなくなるということを意味しています。これを実現するための方法は、世界的に「省エネ」「再エネ」「電化」の3本柱であると考えられていて、例えばガソリン車は電気自動車になっていきます。現在、ヨーロッパで起こってい

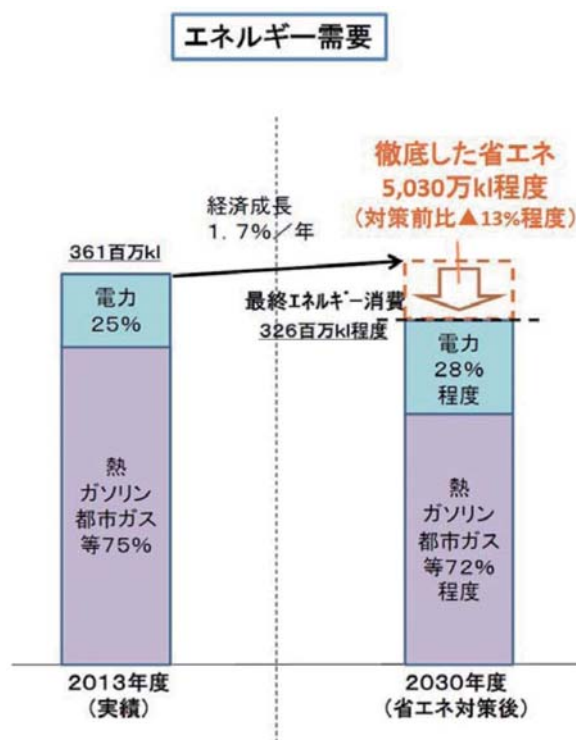


図9 2030年のエネルギー需要予測<sup>3)</sup>



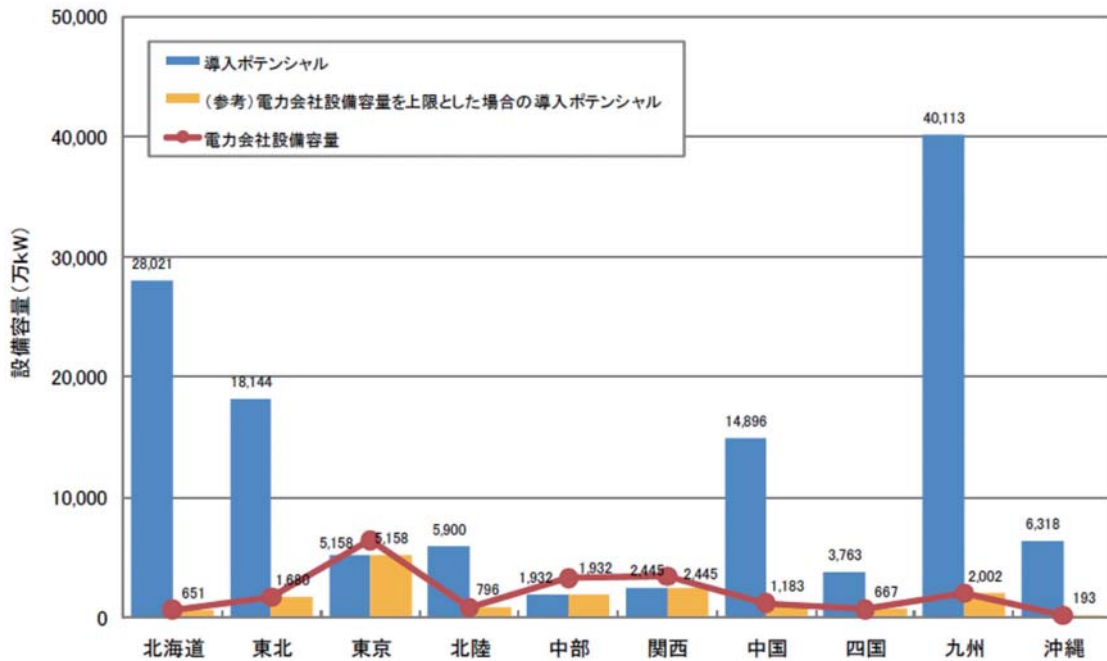


図10 電力供給エリア別の風力発電の導入ポテンシャル (全体量) (洋上・浮体式)<sup>2)</sup>

る電気自動車への転換の背景はこの考え方によるものと考えられます。

再生可能エネルギーの導入量の想定は長期エネルギー需給見通し<sup>3)</sup>の2030年22~24%が前提となっていますが、徹底した省エネの推進や人口減少で消費電力の増加は2013年度並とされています(図9)。

しかし、2050年を想定して単純に全ての化石燃料を電力に転換したと仮定すると、必要な電力は3.5倍になります。つまり、年間3.5兆kWhの電力を再生可能エネルギーと原子力でまかなわなければなりません。幸い、日本の再生可能エネルギーの可能性量は、環境省による調査<sup>2)</sup>によると、浮体式洋上風力発電で年平均風速が6.5m/sec以上の場所だけを選んでも、3.4兆kWhありますのでなんとかなりそうです。そのうち設備容量で約1/3は九州に立地し(図10)、その多くが長崎県に存在し

ています(図11)。長崎県内の発電量を年間5,000億kWhと仮定すれば、売電価格を控えめに10円/kWhとしても売電金額は年間5兆

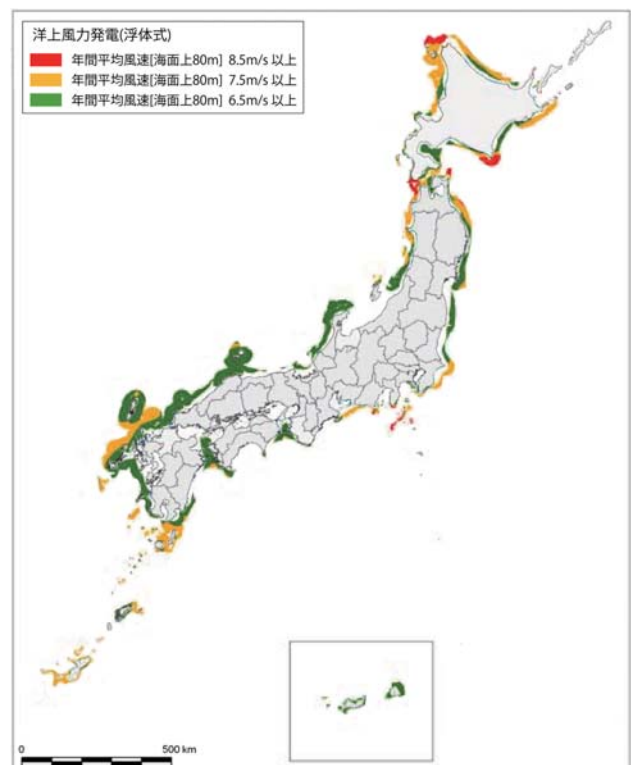


図11 風力発電の導入ポテンシャル分布図 (洋上・浮体式)<sup>2)</sup>

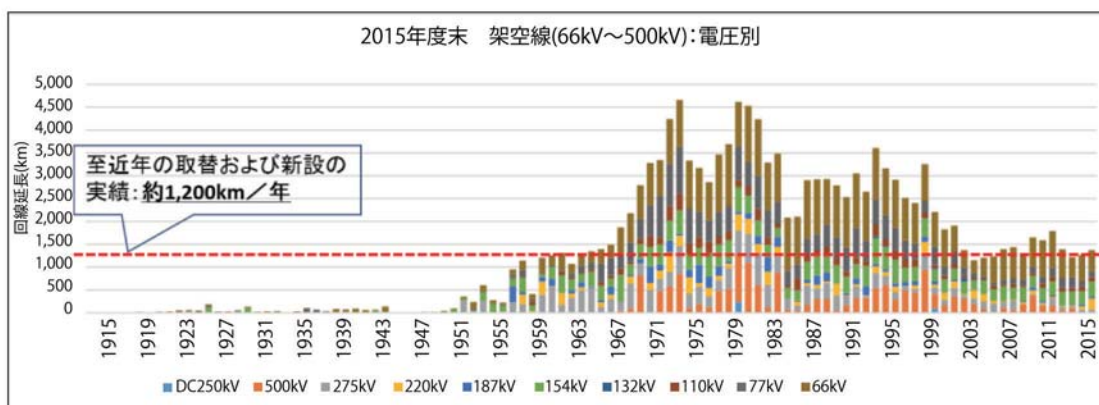
円になり、長崎県内への設備投資は売電金額の1/2とすれば年間2.5兆円に達します。定期的な更新を考慮すれば将来にわたって投資が継続するでしょう。

夢のような話かもしれませんが、2050年の脱炭素社会を迎えた日本を考えると大きなビジネスチャンスとも考えられます。ただし、大きな課題があります。前述のように、九州は樺島と同様に大量消費地とをつなぐ送電線が十分ではありません。関門海峡は電源開発が保有する送電線1本で、長崎県から延びる太い電線も電源開発が保有する松島発電所からのものです。さらに深刻なのは、現在利用

している送電線は60年を超えるものが少なくありません(図12)。送電線の更新には時間がかかり、電力広域的運営推進機関の試算によれば<sup>4)</sup>、現在の更新ペースでは架空線で120年、鉄塔で250年かかるとされ、鉄塔は高所の特殊作業になるため、更新のための担い手不足も指摘されています。

送電線の問題は、もはや電力会社の採算性だけの問題ではなく、道路や水道と同様に、人々の生命と財産はもちろん、地域経済を支える重大な課題と言えます。

■ 架線回線延長 (500kV~66kV) : 約142,000km



■ 鉄塔基数 (500kV~66kV) : 約248,000基

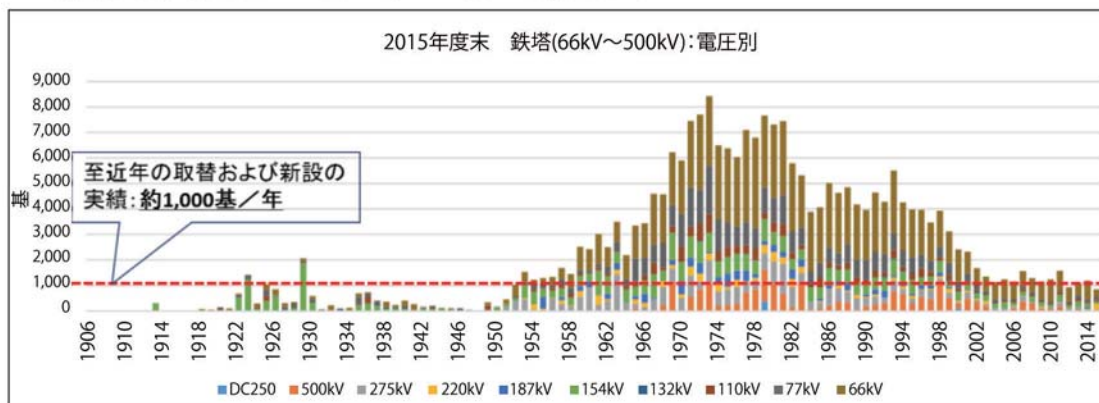


図12 架空線と鉄塔の物量分布<sup>4)</sup>

## 次世代の飛躍のために

長崎県には膨大な再生可能エネルギーの資源が眠っていて、それを活用するための技術は五島の美しい海で育てていただいた浮体式洋上風力発電があり、それを支える建設産業と海洋産業があります。あとは一般海域の全国的な利用ルールの整備と送電インフラ、そして地域の応援があれば、再生可能エネルギーと豊かな海産物の生産拠点として、2050年には食とエネルギーで日本を支えていることでしょう。

## おわりに

私は土木エンジニアとして、自然災害から市民を守り、便利で快適な国土の基盤作りを仕事としています。今、温室効果ガスによる気候変動が、先輩の土木エンジニアが残してくれたダムや堤防に、想定を超えた異常な豪雨として襲いかかり、大規模な土砂災害や洪水によって多くの生命と財産が失われています。守りではなく、攻めの気候変動対策を加速していかないと、私たちの子供や孫の豊かな生活を守れなくなるとの考えから、再生可能エネルギーの普及のために日々奮闘しています。10年前に1mの小さな模型から始まった研究が、杵島の方々の英断で、環境省による実証事業が始まり、1基の小規模試験機から実証機へと1歩ずつ大きくなって、今度は地域の皆さまの応援でウインドファーム事業が実現に近づいてきました。

従来は迷惑施設と考えられていた風力発電所を受け入れ、応援までしていただけることに感涙を禁じ得ません。

私たちはこれからも、浮体式洋上風力発電所を作るだけでなく、発電所の役目をおわり、元の自然に戻すまでを考え、地域と連携しながら事業を進めていきたいと考えています。また、五島で育てていただいたこの技術をさらに発展させ、より良いものにしていくべく継続して努力していく所存です。今後もご支援のほどよろしく願いいたします。

## 参考資料

- 1) (仮称) 五島市洋上風力発電事業, 経済産業省発電所環境アセスメント情報サービス, (平成29年9月12日現在)
- 2) 平成21年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書, 環境省, 平成22年3月
- 3) 長期エネルギー需給見通し, 経済産業省, 平成27年7月
- 4) 広域系統長期方針, 電力広域的運営推進機関, 平成29年3月