



Visionaries 2014

未来からの風が吹く

—福島沖・浮体式洋上ウィンドファーム—

再生可能エネルギーの導入が世界的に進められる中、日本の海上を吹く風力エネルギーが注目されている。しかし、海に浮かぶ風車による発電には、実現するうえでさまざまな技術的な課題があった。日立は、そうした難題に挑む実証研究事業を推進するコンソーシアムに参画し、ダウンウィンド型風車の製造や、世界初となる 66 kV 洋上変電設備の開発を担当した^{※)}。福島県の沖合約 20 km に係留された風車と変電所は、2013 年 11 月、実際に浮体式洋上風力発電を開始している。

洋上に眠る莫大な風力エネルギー

2011年3月に発生した東日本大震災によって多くの発電所が被災し、首都圏を含む広い範囲で電力供給力が大きく低下したことは記憶に新しい。その後、家庭や企業などで節電努力が続けられる一方、太陽光や風力といった再生可能エネルギーの普及・促進に向けた動きが加速している。

山がちで平野部が狭い日本は、好風況地域が少なく、欧州や中国などに比べると風力発

電の普及が遅れているといわれる。また、洋上での風力発電の場合、欧州では海の底に風車を設置する着底式が主に採用されているが、遠浅の海が少ない日本では、それに適した海域も限られている。しかし一方で、日本の洋上には、陸上と比較すると強い風がより安定して吹いていることが知られている。そ

※)ここで取り上げる浮体式洋上風力発電設備は、経済産業省の委託事業である2011年度「福島復興・浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業」の一環である。



写真提供：福島洋上風力コンソーシアム

のため、広大な海を擁する日本には、莫(ばく)大な風力エネルギーが眠っていることになる。つまり、沖合に浮かぶ風車は、日本のような地形にこそ適した発電方式であると言え

るのである。

東京大学大学院の石原孟教授は、早くからその点に着目し、浮体式洋上風力発電に関する研究を進めていた。

福島で始まった壮大なプロジェクト

石原教授の活動に参加していた斎藤互（日立製作所 電力システム社 電機システム事業部 チーフプロジェクトマネージャ）は、このように説明する。

「浮体式に可能性を見出した石原教授は、建設会社などと自主的な取り組みを進めていましたが、具体的な検討が始まったところで東日本大震災が発生しました。それが福島沖の浮体式洋上**ウィンドファーム**^(a)のプロジェクトにつながったわけです。」

震災後の復旧・復興対策事業として予算措置がなされると、このプロジェクトは具体化する。2011年12月に経済産業省資源エネルギー庁から公募が発表され、日立も正式に実証研究事業に参加するようになる。こうして、福島県の沖合数十キロメートルに、世界で初めての洋上ウィンドファームを建設するという壮大な試みが始まった。

この福島復興・浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業は、経済産業省が10社1大学によるコンソーシアムに委託したプロジェクトである。第1期では、2 MWの**ダウンウィンド型**^(b)浮体式洋上風力発電設備1基、世界初となる25 MVA浮体式洋上サブステーション、および海底ケーブルを設置する。また、第2期では、7 MW浮体式洋上風力発電設備2基を新設する。

このプロジェクトの地に福島が選ばれたこ



斎藤互

(a) ウィンドファーム

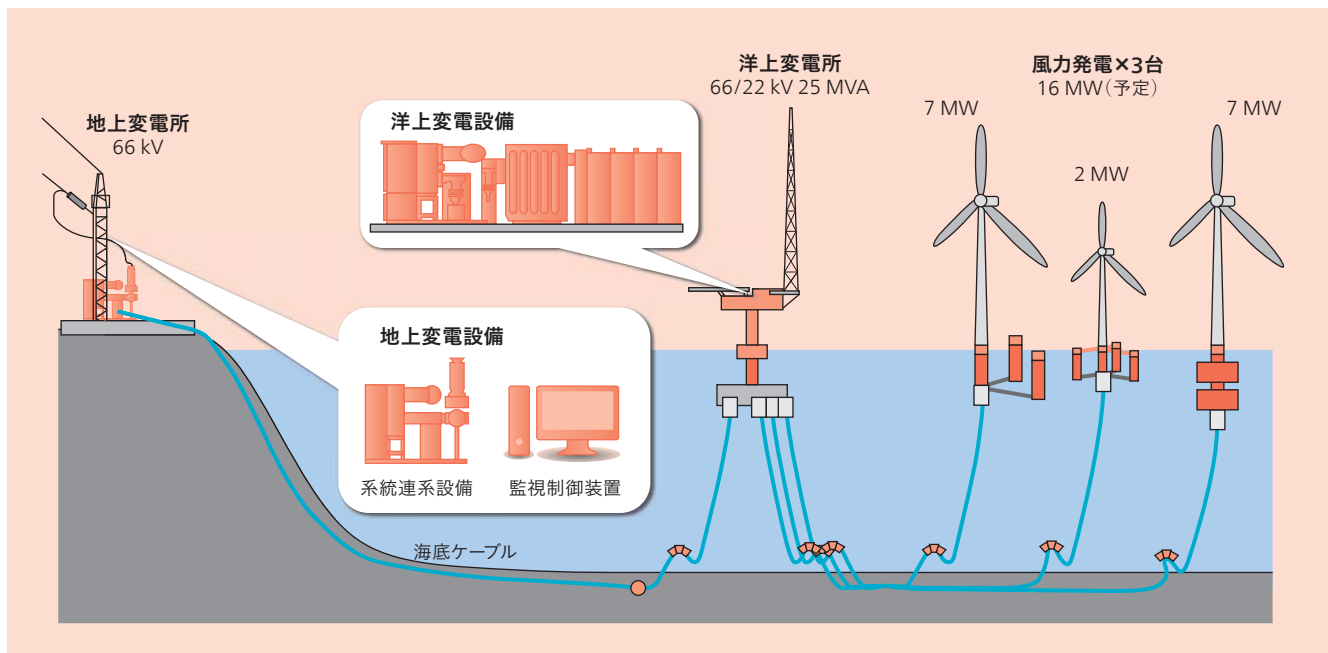
ウィンドパーク、集合型風力発電所などともいう。風車を数基から数十基集合設置することにより、出力当たりの建設費や運転経費を削減することができる。

(b) ダウンウィンド型

ロータがタワーよりも風下に設置されている風車。自然と風下にロータを向ける制御方法により、突風が吹いたときの主要構造部分の負担が軽減される。複雑地形など厳しい環境に適しているとされる。

コンソーシアムメンバー	主な役割
丸紅株式会社(プロジェクトインテグレーター)	事前協議・許認可、維持管理、漁業との共存
東京大学(テクニカルアドバイザー)	観測予測技術、航行安全性、国民との科学・技術対話
三菱商事株式会社	系統連系協議、環境影響評価
三菱重工業株式会社	V字型セミサブ浮体(7 MW)
ジャパン マリンユナイテッド株式会社	アドバンストスパー浮体、浮体サブステーション
三井造船株式会社	コンパクトセミサブ浮体(2 MW)
新日鐵住金株式会社	高性能鋼材の開発
株式会社日立製作所	洋上変電所の開発
古河電気工業株式会社	大容量ライザーケーブルの開発
清水建設株式会社	海域調査、施工技術
みずほ情報総研株式会社	浮体式洋上風力発電に関する情報基盤整備

コンソーシアムを構成するメンバーと役割。それぞれが持つ知見や技術を結集してプロジェクトが進められている。



実証研究の概要。風車で発電された電力は、66 kVに昇圧されてから陸上に送られる。そのための66 kV浮体式洋上変電設備は、世界で初めての例となる。



佐伯満

とにも相応の意義がある。当時、復興関連の事業に携わっていた佐伯満（日立製作所 電力システム社 シニアプロジェクトマネージャー）は、次のように述懐する。

「福島県としては、再生可能エネルギーを積極的に推進していきたいということでした。このプロジェクトが直ちに復興につながるかどうかはともかく、そうした思いに応えなければと気が引き締められました。」

「浮いている」場所に設置する

このプロジェクトで日立が担当したのは、2 MW 洋上ダウンウィンド風車、世界初となる66 kV 浮体式洋上変電設備、およびその監視装置である。

風力発電の風車は、アップウィンド型と呼ばれるものが主流であり、ロータがタワーよりも風上に設置されている。しかし、今回ダウンウィンド型が採用されたことには、海に



写真提供：福島洋上風力コンソーシアム

変電設備は、サブステーションと呼ばれるこの浮体の上部に設置されている。

浮いている風車ならではの理由があった。

「浮体で傾く状況で使われる風車としては、ダウンウィンド型のほうが発電効率などの点で有利であるとされています。また、風が横から吹くと、風の向きに追従する自然な動きとなることから、浮体にマッチした風車といえます。」(佐伯)

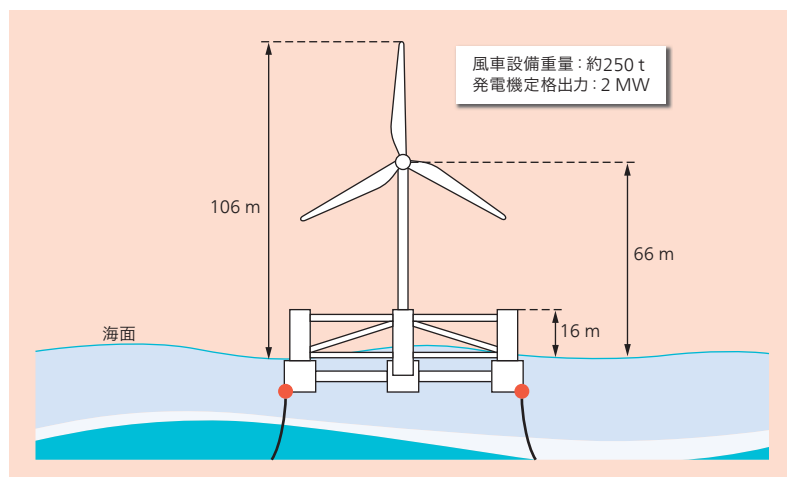
ダウンウィンド型は、もともと平地が少ない日本の環境に適した風車として開発されたものである。今回は、変圧器やPCS(直流交流交換装置)など浮体の揺れを考慮した電気品が用いられたほか、ブレード(羽根)のピッチを制御することで洋上での揺れを抑え、安定運転を行う仕組みも盛り込まれている。

今回のプロジェクトのもう1つのポイントは、世界初となる洋上に浮かぶ変電所をつくることであった。一般に、電気は送られる距離が長いほど、その間のロスが大きくなる。沖合の風車から陸上まで約20 kmという長距離の送電に際しては、ロスを抑えるため、洋上の変電設備で22 kVから66 kVに昇圧することが当初より計画されていたのである。

その重責を担った高田俊幸(日立製作所 電力システム社 電機システム事業部 風力発電推進部 部長)が、次のように話す。



洋上変電所に設置された66 kVガス絶縁開閉装置(上)と22 kV真空絶縁開閉装置(下)。万一の際、安全に電流を遮断する。



2 MW洋上ダウンウィンド風車の主な仕様。浮体式を考慮して設計され、動揺対策をしたうえで製作されている。

「経済産業省への提案書を2か月という短期間でまとめるのには不安がありましたが、工場に詰めて変圧器の設計部門などと議論していくうちに、方向性が決まっていきました。」

しかし、変電設備は本来、安定した場所に設置することが前提とされている。傾く場所では変圧器のコイルや鉄心が中を満たす絶縁油から露出し、最も重要な絶縁が保てなくなって故障につながるためである。したがって、太平洋の荒波による揺れや傾きへの対応が最大の課題となった。

変電機器の試験などを担当した朝香太(日立製作所 電力システム社 電機エンジニアリング部 技師)は、その様子をこう説明する。

「66 kVのような高圧の変電設備で、しかも揺れる環境下で使用するものを製作した経験がなく、どのように試験をすればよいのか



高田俊幸



朝香太



変圧器の傾き試験の様子。浮体の上に設置するため、揺れへの十分な対策が求められた。



横山和孝

(c) ドライドック

船舶の建造や修理に用いられる施設。地面を深く掘った溝状で、給排水ができるようになっている。内部が空になった状態で作業し、船を海に出す際は、ポンプで海水を入れてドック内の海水面と海面を合わせる仕組み。

も手探りでした。最終的には、変圧器（25 MVA）を35度まで傾ける試験を実施し、浮体揺動に対応するための検証をすることになりました。」

これに対し、揺れに対する技術開発の経験を持つ横山和孝（日立製作所 電力システム社 電力流通事業部 電源システム部 主任技師）が次のように補足する。

「海外への長距離輸送に耐える大型変圧器の製作や昨今の耐震性を考慮した設計など、さまざまな変圧器をつくってきた日立には、今回の課題に対するノウハウがありました。そうした実績があったからこそ、66 kV浮体式洋上変電設備も実現することができたのだと思います。」

今回は、油を入れるタンクの高さを上げるとともに、絶縁油の量を増やしたほか、揺れ

によって鉄心とコイルがずれることがないように複数のボルトで固定するなど、さまざまな工夫を凝らした。そして、傾きや振動に対する試験を入念に繰り返していった。

コンソーシアム構成企業の連携

このプロジェクトでは、風車・変電設備と浮体をドッキングさせたいえ、福島沖約20 kmの地点まで曳航して据付けた後、予定どおりに稼働させるという難題も残されていた。

製作した風車は、タワーやナセルを分割し、ブレードはそのままトラックに載せ、三井造船株式会社千葉事業所の**ドライドック**^(c)まで陸送された。

風車担当として、三井造船との技術的なやり取りの窓口となった三村英之（日立製作所 電力システム社 電機システム事業部 風力

五島列島で進む浮体式洋上風力発電の実証

現在、福島沖の浮体式洋上ウィンドファームの実証プロジェクトが着々と進む一方、長崎県の実証プロジェクトが始まっている。2012年6月、五島市杵島沖1 kmの海上に小規模試験機（100 kW）が立てられ、その後、規模を拡大した実証機が設置されている。

この実証プロジェクトは、環境省が主導するもので、戸田建設株式会社のほか、日立や芙蓉海洋開発株式会社、京都大学、独立行政法人海上技術安全研究所のグループが推進している。2012年に立てた100 kWの試験機は、もともと沖縄県伊是名島に10年前に設置されていたものだが、2013年には日立製ダウンウィンド型風車の2 MW実証機を設置し、ロータの直径も22 mから80 mの大きさになった。2013年10月に商用規模の浮体式洋上風力発電の運転を開始している。2014年以降は、洋上

でのデータを取得していく計画であるという。

五島列島の杵島付近は風が強く、洋上風力発電には適した環境とされていたが、100 kW試験機は自然の厳しさにもさらされた。2012年度に、50年に1度といわれる過去最大級の台風に遭遇したのである。風車自体は台風能耐えたものの、これによって最高波高が変更されたほか、ロータの傾き角や振動などの点を見直したうえで、2 MW実証機は製作された。

このプロジェクトでは、台風が多いこうした海域でどのような風力発電が適しているかなどについて、有益なデータを集めることができる。五島列島で集積・解析されるデータも、洋上風力発電の普及につながる貴重な情報になると考えられる。



五島列島(長崎県)



洋上風力発電の普及をめざし、長崎県でも実証プロジェクトが進められている。

環境省 浮体式洋上風力発電実証事業協同実施者提供



写真提供：福島洋上風力コンソーシアム

風車と浮体をドッキングする作業の様子（三井造船千葉事業所にて撮影）。限られた期間の中、急ピッチで進められた。

発電推進部 主任技師）はこう話す。

「ドックは安定していて風車を置くには適した場所でした。ただ、天候に左右される環境の中、短い工期で組み立てるスケジュールの作成には、さまざまな調整が必要でした。」

一方、変電設備の組み立ては、ジャパンマリンユナイテッド株式会社横浜事業所磯子工場で行われた。

組み立てられた風車、および変電設備を載せたサブステーションをそれぞれ福島沖まで輸送するには、また別の調整が必要となった。特にサブステーションは、曳航時の喫水の深さが32 mに達するため、浅い海域では底部がつかえて動けなくなる危険性があった。

「洋上で電源ケーブルが接続されるまでの期間の航空識別の対応については、三井造船とともに関係機関・省庁と協議を重ねました。」（三村）

無事に福島沖まで曳航された風車とサブステーションは、両者の間に約2 kmの距離を置いて予定海域に係留された。そして、海底ケーブルで接続し、試運転を開始するという段階まで来ていた。ところが、付近を通過する台風が多発し、設備の調整を予定どおりに行えないという事態に見舞われる。

そうした状況に対処したコンソーシアムを構成する企業どうしの連携について、鴨志田純（日立製作所 電力システム社 日立事業所 国分生産本部 受変制御部）が次のように話す。

「実際に浮体に渡ることができて作業が可能だった日数は1割ほどだったと思います。私は設備全体の統合監視装置とネットワークインフラの設計を担当したのですが、各社のさまざまな機器が組み合わされることもあり、うまく機能しないということがありました。このときは、海底光ケーブルの古河電気



写真提供：福島洋上風力コンソーシアム

変電設備を載せたサブステーション（写真手前）と風車（写真中央）は、約2 km離れて係留されている。

工業株式会社や株式会社日立システムズの協力を得ながら、高速でセキュリティの高いネットワークを構築することができました。」

こうしたいくつかの問題を解決しながら、サブステーションと風力発電設備は陸上からの受電に成功した。

復興とその先にある未来のシンボルに

2013年11月、福島沖・浮体式洋上ウィンドファームは運転を開始した。

その式典に出席した佐藤雄平福島県知事は、「未来の1つのシンボル、これが浮体式洋上風力だろうと思っている」とコメントしている。プロジェクトは、実証研究にとどまらず、再生可能エネルギーを中心とした新たな産業の集積や雇用の創出により、福島の復興につなげることをめざすものでもある。そのためには、発電容量の増大や規模拡大が不可欠である。

「今回の実証研究で私たちが一定の成果を収められたのは、コンソーシアム構成企業をはじめとする関係者の皆様のおかげです。心から御礼申し上げたいと思います。」（佐伯）

サブステーションには「ふくしま絆」、ダウンウィンド風車の浮体には「ふくしま未来」という文字が記されている。今、福島沖で巨大なブレードを回転させている風は、人々が思い描く未来から吹いているのかもしれない。



三村英之



鴨志田純