

■特集

福島沖浮体式洋上ウィンドファーム実証研究

東京大学大学院教授 石原 孟

1. はじめに

環境省の平成 22 年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査¹⁾によると、わが国における洋上風力の導入可能量は 16 億 kW であり、太陽光の 10 倍、地熱と中小水力の 100 倍となっており、圧倒的なポテンシャルを誇る。2009 年度の全国 10 電力会社の総電力設備容量が 2 億 397 万 kW であることを考えると、洋上風力のポテンシャルがいかに高いかが分かる。我が国の再生可能エネルギーの導入拡大を考える上では、洋上風力発電をどこまで活用出来るかが成功のカギとなる。

一方、東日本大震災および原発事故の被害を受けた福島県の復興のために、政府は 2011 年度 3 次補正予算で 125 億円を計上し、福島県沖合の海域に世界初の浮体式洋上ウィンドファームを建設する実証研究を開始させた。洋上は障害物がなく、7m/s 以上の風が吹いており、騒音や景観などの環境問題も少ないという利点がある一方、陸上に比べ、建設、送電、メンテナンス等の点でコストが高いという指摘がある。

本稿では福島県沖合の実証研究の意義および洋上風力発電の可能性を紹介すると共に、わが国における洋上風力発電導入拡大に必要な政策について述べる。

2. 本実証研究の概要

浮体式洋上風力発電は、数年前からノルウェーやポルトガルで実証研究が始まったばかりである。ノルウェーの「Hywind」プロジェクトでは Siemens 社の 2300kW 風車搭載のスパーク型浮体式洋上風力発電設備を用い、一方、ポルトガルの「WindFloat」プロジェクトでは Vestas 社の 2000kW 風車搭載のセミサブ型の浮体式洋上風力発電設備を用いている。いずれの実証研究でも浮体式洋上風力発電設備 1 基のみを建設し、将来大規模浮体式洋上ウィンドファームを実現するためにはいくつかの技術的な課題が残されている。

今回の福島県沖合の実証研究では、世界最大

級の 7000 kW 風車を用いることにより、浮体式洋上風力発電の事業性の検証を可能にする。共に、世界初の浮体式洋上変電設備および 66kV の大容量ライザーケーブルを開発することにより、浮体式洋上ウィンドファームの建設を可能にする。また本実証研究では世界初の浮体式洋上観測システムを構築し、浮体の動揺を考慮した気象・海象の観測手法を確立すると共に、浮体式洋上風力発電の性能評価を可能にする。さらに複数タイプの風車と浮体を用いることにより、各種浮体式洋上風力発電システムの特徴および制御効果を明らかにすると共に、腐食および疲労に強い高性能鋼材の開発も行う。本実証研究を通じて、我が国の自然環境条件に適合し、安全性、信頼性、経済性の高い浮体式洋上風力発電技術を確立すると共に、福島県が風力発電関連産業の一大集積地となることを目指している。

現在、丸紅、東京大学、三菱商事、三菱重工業、アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド、三井造船、新日本製鐵、日立製作所、古河電気工業、清水建設およびみずほ情報総研の 11 社からなるコンソーシアムは、経済産業省から委託を受け、福島県ならびに周辺海域の漁業関係者と共に、オールジャパンの体制で実証研究を進めている。

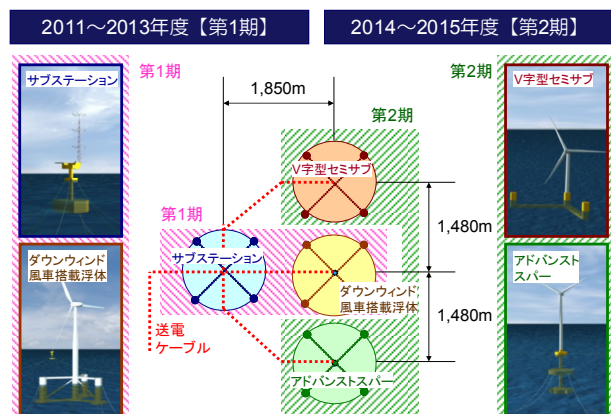


図1 世界初の浮体式洋上ウィンドファーム実証研究の計画

図1には本実証研究の計画を示す。第1期の実証研究では、2013年度までに25MVAの変電設備を搭載する世界初となる浮体式洋上サブステーションおよび2000kWダウンウィンド型風車搭載の浮体式洋上風力発電設備1基を建設し、様々な要素技術の開発を行うと共に、浮体式洋上風力発電設備設計に必要な気象・海象・浮体動揺等の基礎データを取得する。第2期実証研究では、今後の事業化を見据えて、2015年度までに世界最大級の7000kW風車搭載の浮体式洋上風力発電設備2基を建設すると共に、建設単価は第1期の半分に低減させ、大型風車搭載の浮体式洋上風力発電設備による大規模ウィンドファームの事業性を検証する。

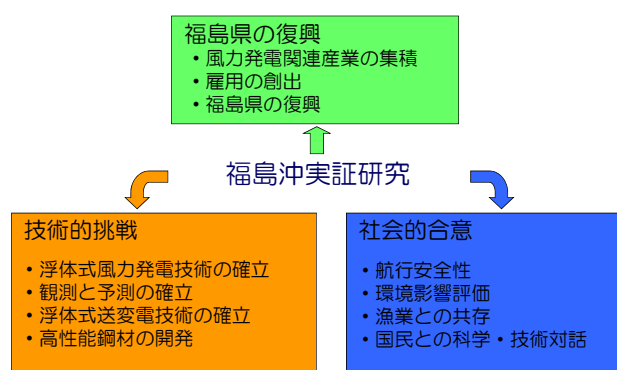


図2 福島県沖合浮体式洋上ウィンドファーム実証研究の目的

図2には福島県沖合浮体式洋上ウィンドファーム実証研究の目的を示している。浮体式洋上風力発電技術、送電技術、観測と予測技術、高性能鋼材の開発に関する様々な技術課題に挑戦すると共に、将来大規模な洋上風力発電を実現するために欠かせない航行安全性、環境影響評価、漁業との共存等の社会的合意にかかわる課題を解決する。また本実証研究から得られた成果を広く社会や国民に対して分かりやすく説明するために、国民との科学・技術対話等にも積極的に取り組む予定である。

今回の実証研究の目的の一つは福島県の復興のための風力発電関連産業の集積である。陸上の風力発電設備の部品点数は、約2万点と言われ、ガソリン自動車の約3万点に匹敵する。1MWの風車を生産すると、15人の雇用が生まれると言われている。一方、洋上風力発電の場合には、支持構造物、送電ケーブル、海上工事、メンテナンス等にさらに雇用が増え、22人となる。各国政府が洋上風力発電に力を入れるのは、洋上風力発電による雇用創出への期待とともに

に、部品や素材などの裾野に幅広い産業を生み出すことを期待している。福島県の製造品出荷額は東北随一である。飛行機や自動車など機械産業の他、電池やモーターの工場も多い。風車は組み立て産業であり、福島県の企業との親和性が高い。今回の実証研究を通じて、福島県が風力発電関連産業の一大集積地となることを目指す。世界で初めての浮体式洋上ウィンドファームのノウハウを蓄積し、将来海外プロジェクトに展開することによって、日本の輸出産業の一つとして育成していきたい。

3. 本実証研究の研究課題

表1には本実証研究における主な研究課題を示す。

表1 本実証研究における研究課題

項目	研究課題
1	浮体式洋上風力発電所の事前調査
2	対象海域での気象・海象・浮体動揺の観測と予測技術の開発
3	我が国の洋上環境に適した浮体式洋上風力発電システムの開発
4	浮体式洋上風力発電所のための送電システムの開発
5	浮体式洋上風力発電所の維持管理手法の確立
6	環境影響と航行安全性の評価および漁業との共存
7	浮体式洋上風力発電の共通基盤の整備とマニュアルの作成
8	国民との科学・技術対話

浮体式洋上風力発電所の事前調査では実証研究実施に先立ち、実施海域を設定し、事前協議並びに基本設計を行い、事業性を評価するとともに、実証研究の実施計画書を作成する。

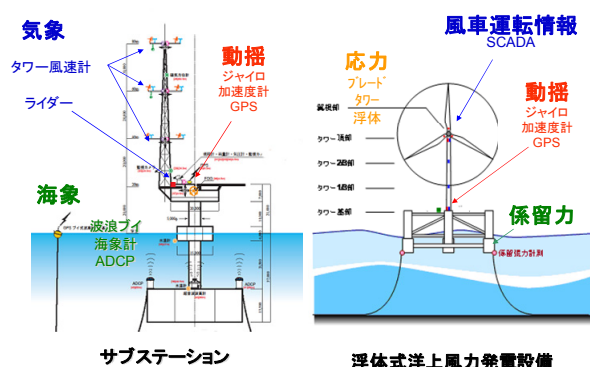


図3 気象・海象・浮体動揺の観測システム

図3には気象・海象・浮体動揺の観測システムの概要を示す。浮体動揺の影響に対する補正技術を開発し、浮体式洋上風力発電システムの

設計に必要な気象、海象の観測を行うとともに、浮体式洋上風力発電設備において浮体動揺、応力・係留力に関する計測を行い、本実施研究で開発された設計手法および動解析モデルの検証を行う。

図4には本実証研究の完成予想図を示す。本実証研究では、3つのタイプの浮体式洋上風力発電システムを開発し、実証研究を通じて、それぞれの浮体形式の安全性、信頼性、経済性を検証すると共に、世界初の商業用浮体式洋上風力発電システムを実現する。

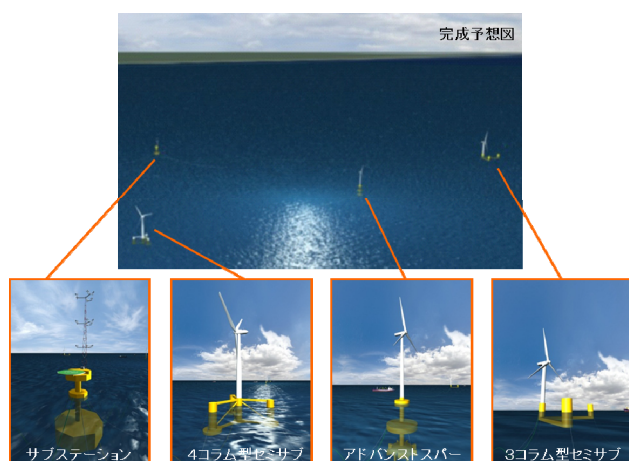


図4 本実証研究の完成予想図
(出典：福島洋上風力コンソーシアム)

7000kW風車を搭載する浮体は3万トンのタンカーと同規模の5000トンの鋼材が使用される。本実証研究では日本独自のハイテン鋼TMCPを適用することにより、溶接時間や建設時間の短縮および建設コストの削減を実現する。また溶接部の超音波衝撃処理を実施することにより、疲労強度を向上させると共に、実証試験を通じてその効果を確認する。

図5に送変電システムの概要を示す。本実証研究では浮体式風力発電から洋上変電所、陸上変電所に至る送変電システムを開発すると共に、動揺の小さい浮体および動揺に強い変電設備、大容量ライザーケーブルを開発する。また実際に設置した浮体式洋上変電所を運用し、計測した気象・海象・動揺データ並びに送変電設備の振動と応力データを用いて、浮体式洋上送変電設備の性能評価を行う。

陸上風力発電所と異なり、発電所へのアクセスは格段に難しくなるため、浮体式洋上風力発電所の維持管理手法の確立は重要である。遠隔監視システム等を開発することにより、設備稼働率を向上させるとともに、浮体式洋上風力発

電設備の維持管理手法を確立する。

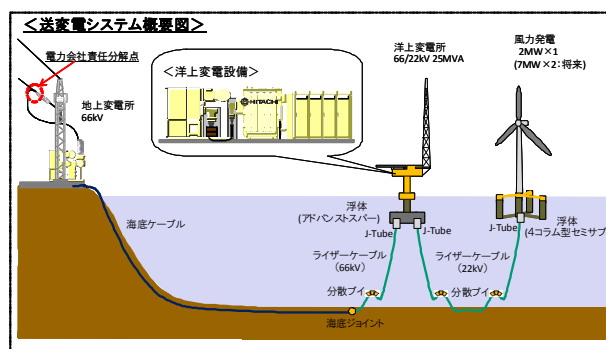


図5 送変電システムの概要
(出典：福島洋上風力コンソーシアム)

社会的合意は洋上風力発電を行う上で極めて重要である。本実証研究では、漁業等との共存方法を具体的に検討し、周辺海域の調査、漁獲試験の実施、漁船の安全操業、集魚効果の把握、新たな漁法の検討等を地元漁業関係者と一緒にを行うと共に、漁船の備船、計測作業、海上移動および試験操業等にも参画して頂く。このような調査や漁獲試験等の経験を生かし、将来の大規模事業化海域で最大限の漁獲量を安全に確保できる方法を地元漁業関係者と協同で確立する。海から魚を獲りながら、エネルギーも作り、本実証研究が目指しているのは海の高度利用である。洋上ウィンドファームは石油のような狩猟型ではなく、農耕型のエネルギーである。将来事業化された場合に、海域を提供してくれた漁業関係者に、発電事業の収益を分配する仕組みを考え、ウィンウィンの関係を構築する。

航行安全性の評価では航行シミュレーション等の予測技術を開発すると共に、対象海域の航行船舶の調査を実施することにより、衝突リスクを定量的に評価し、低減対策を提示する。特に小型船舶の航行を調査するためにレーダーにより観測を実施し、小型船舶の衝突リスクを定量的に把握すると共に、漂流リスクを評価するためのシミュレーション法を開発する。

環境影響評価では、海鳥、海洋哺乳類、魚などについて調査すると共に、風車の設置および海底ケーブル敷設に関連する環境影響評価を行う。表2には本実証研究における環境影響評価の項目を示す。

国民との科学・技術対話では本実証研究の成果をホームページ、ワークショップ、シンポジウムなどを通じて、国内外に情報発信すると共に、地方自治体とも連携して、定期的に見学会

や説明会を開催し、本実証研究への地元理解と支援を得る。

表 2 環境影響評価の項目

評価	調査	調査内容	主な調査海域	
			風車 周辺	ケーブル 経路
海鳥	海鳥	採餌・移動に利用する鳥類の生息状況、渡り鳥の利用状況等	●	
哺乳類	海産哺乳類	クジラ・イルカ類等の生息状況等	●	
	水中騒音	静穏時の水中における背景雑音、その水平分布状況	●	
漁業	漁業生物	魚類、エビ・カニ類、イカ・タコ類等の遊泳動物の生息状況	●	●
	魚卵・稚仔	魚卵及び稚仔魚の分布及び生息状況	●	●
	動・植物プランクトン	動物・植物プランクトン等の分布及び生息状況	●	●
	潮間帯生物	海岸及び水深3m程度までの付着生物及び底生生物の生息状況		●
	海藻・草類	藻場を構成するホンダワラ、アラメ等大型褐藻類の生育状況		●
	マollusks	多毛類、二枚貝類、巻貝類、甲殻類等の内生性底生動物の生息状況		●
	岩礁付着生物 Marine invertebrates	岩礁・岩等の付着生物及びウニ・ナマコ・ヒトデ等の表生性底生動物の生息状況等		●
	その他	海水、水底の土砂や堆積物の性状把握		●

本実証研究では、世界各国における浮体式洋上風力発電に関する最新情報の収集と分析を行うとともに、性能評価・信頼性評価・コスト評価の共通基盤を整備する。また専門家からなる委員会を組織し、実証研究の進め方について助言を得るとともに、浮体式洋上風力発電マニュアルを作成する。

4. 洋上風力発電の可能性

洋上の風は強勢で乱れが小さいことから、風力発電に適している。東京のような大都市では風が弱い、近隣する洋上の風は強く、膨大な風力エネルギー賦存量がある²⁾。また陸上に比べ、洋上では景観や騒音等の環境問題が少ないことや大電力消費地に近い電力系統が強く大規模洋上風力発電所の系統連系が容易であるという利点がある。その一方、陸上に比べ、建設、送電、メンテナンス等の点でコストが高いという指摘がある。

この問題を解決するために、風車の大型化が進んでいる。過去 20 年間に風車ローターの直径は約 10 倍、定格出力は 100 倍に増えている。今回福島県沖の実証研究で使用する風車の定格出力は世界最大級の 7000kW、風車ローターの直径は 165m に達する。風車の翼端までの高さは 200m を超え、新宿の超高層ビルの高さにもなる (図 6)。風車の大型化によるコストの削減は期待できないが、風車を支える支持構造物のコスト、建設費、送電ケーブルコスト、メンテナンス費用は風車の大型化によって大きく

低減することにより、発電単価を低減させることができる。また洋上敷地の制限や道路等の制約も少なく、大型風車の採用と大規模ウィンドファームの建設によるコスト低減が可能である。



図 6 7000kW 浮体式洋上風力発電設備の完成予想図 (出典：福島洋上風力コンソーシアム)

これらのことから、欧州においては 20 年前から洋上風力発電の研究開発が行われてきた。2011 年末に欧州における洋上風力発電の設備容量は 400 万 kW に達した。欧州における大規模ウィンドファームの設備容量は年々大きくなっている。今年中に完成予定の世界最大級の洋上風力発電所 ロンドン・アレイ (London Array) の設備容量は原子力発電所 1 基分の 100 万 kW に達する。

現在欧州の洋上風力発電を牽引するイギリスでは 3300 万 kW の洋上風力を開発するという政府目標を掲げている。事業規模は約 13 兆円、送電網の整備だけでも 2 兆円に達する。この計画では 2020 年までに 7000 基以上の洋上風車を設置し、イギリスの全消費電力の 3 分の 1 を賄う。一方、アメリカでは 2011 年 2 月 7 日に内務省とエネルギー省が共同で「洋上風力促進計画」と「国家洋上風力戦略」を発表し、2030 年までに 5400 万 kW の洋上風力発電を導入し、1520 万世帯に電力を供給する。この計画の中では中部大西洋の沖合にある 4 つの風力エネルギー開発海域を指定し、アメリカにおける洋上風力産業の育成と洋上風力発電の開発を促進するための具体策を示している。洋上風力発電の可能性に注目しているのは欧米だけではなく、中国は 2020 年に 3000 万 kW の導入目標を掲げている。

一方、我が国の洋上風力導入可能性¹⁾は 16 億 kW であり、太陽光の 1 億 5000 万 kW、地熱と

中小水力の 1400 万 kW に比べ、圧倒的なポテンシャルを誇る。我が国の再生可能エネルギーの導入拡大を考える上では、洋上風力発電をどこまで活用出来るかが成功のカギとなり、またそのための技術開発および政策立案が不可欠であり、欧州の洋上風力発電先進国の経験が参考になる。

5. 洋上風力発電導入拡大に必要な政策

わが国における洋上風力発電は、設置可能海域内の 1%を利用した場合に 1600 万 kW、3%の場合に 4800 万 kW の設備容量を確保できる。しかし、欧州と異なり、わが国における洋上風力の導入可能量の 80%が水深 50m-200m の海域にあり、このような深い水深の海域にも建設可能な浮体式支持構造を用いる必要がある。

洋上風力発電導入拡大を考える場合には、我が国の自然環境条件が欧州と大きく異なる点についても注意する必要がある。そのために新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下 NEDO という）は 2006 年から洋上風力発電等技術研究開発を開始させた。2009 年から我が国の外洋における初めての洋上風況観測システムおよび洋上風力発電システム実証研究を開始し、今年度中には北九州市および銚子市の沖合に風況観測タワーおよび洋上風車の実証設備の建設が完成する。この研究では、わが国の外洋における気象・海象などの自然環境条件を解明し、暴風・波浪・地震等の外力を受ける時の洋上風力発電システムの挙動を明らかにすると共に、我が国の自然環境条件に適した大型洋上風車、支持構造物および施工方法を確立することを目指している。

洋上風力発電を普及させるためには、固定価格買取制度、高い政府目標、研究開発の他、電力系統の広域運用も重要である。スペインの電力需要は日本の約 1/3 であるが、風力発電の設備容量は日本の約 9 倍であり、それを可能にしたのは風力発電出力の予測技術と電力系統の制御技術である³⁾。今後日本においても同様な技術を導入する必要がある。

もう 1 つ重要な政策は海洋利用に関する法整備である。洋上風力発電の場合には、国からの開発海域の指定が必要であり、イギリス、ドイツなどのヨーロッパの国だけではなく、アメリカも同様な政策を掲げ、洋上風力発電の導入拡大を進めている。今後日本においても同様な法整備が必要である。

6. まとめ

2012 年 6 月 12 日に国連環境計画とブルームバーグ・ニューエナジーファイナンス社が発行した Global Trends in Renewable Energy Investment 2012⁴⁾によると、2011 年の再生可能エネルギーへの投資額は 2570 億ドル（80 円/ドル換算で約 20.6 兆円）に達した。昨年設置された新規発電設備に占める再生可能エネルギーの割合は 44%、中でも風力発電への新規投資は 840 億ドル（80 円/ドル換算で約 6.7 兆円）に達した。2011 年末に世界の風力発電設備容量は 2 億 3767 万 kW に達した⁵⁾。これは日本の 10 電力会社が所有する電力設備容量の 2 億 396 万 kW（2009 年度）を超えている。米国のパイクリサーチ社の調査によると、2011 年末に世界の洋上風力発電は 400 万 kW 程度であるが、2017 年には 7100 万 kW、約 17 倍に増加すると予測している⁶⁾。

浮体式洋上風力発電は、世界でもまだ新しい技術であるが、重電、海洋、造船、素材等、これまでの日本の誇る技術を強みとして、世界で優位に立っていく可能性がある。洋上風力発電分野でいち早く世界トップレベルの技術を確立できれば、今後成長が予想される世界の洋上風力発電市場でも活躍でき、また裾野の広い風力発電設備の導入拡大は国内産業への波及効果も大きい。世界の風力開発では、土地の制約が少なく、大型化と大規模化の容易な洋上風力発電に大きく舵を切っており、今後その市場規模はさらに拡大していく。そのニーズに日本が浮体式洋上風力発電技術で応えることができれば、産業的に大きな成長を期待できると考えている。

参考文献

- 1) 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（2011）
- 2) 石原孟、急拡大する洋上風力発電の現状と将来展望、風力エネルギー、98, pp. 4-8（2011）
- 3) 石原孟、「風力発電大国」の実像 ～その背景に電力系統制御への挑戦～、日経エレクトロニクス（2011）
- 4) UNEP and Bloomberg new energy finance : Global Trends in Renewable Energy Investment 2012, 2012.
- 5) GWEC : <http://www.gwec.net/>
- 6) Pike Research, Offshore Wind Power: Market Opportunities and Challenges, Technology Issues, Key Industry Players, and Global Capacity and Production Revenue Forecasts（2011）