

福島沖浮体式洋上ウインドファームの実証研究

東京大学大学院 教授 石原孟

1. はじめに

福島復興のために、丸紅株式会社（プロジェクトインテグレータ）、東京大学（テクニカルアドバイザー）を中心とした11社からなるコンソーシアムが経済産業省の委託を受け、福島復興・浮体式洋上ウインドファーム実証研究事業に取り組んでいる。第1期工事では、世界初の浮体式洋上変電所、2MW 浮体式洋上風車、海底ケーブル等を設置し、第2期工事では、さらに世界最大級の7MWの浮体式洋上風車を2基建設する予定である。

本稿では世界初の浮体式洋上ウインドファームの実証研究の概要およびその第1期実証研究の設置工事について紹介する。

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。また国内においては五島列島沖浮体式洋上風力発電の実証研究が開始している。しかし、これらのいずれの実証研究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インドファームを実現するにはいくつかの技術的な課題が残されている。

福島県沖合の実証研究では、世界最大級の7MW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と共に、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、浮体式洋上ウインドファームの建設を可能にする。また本実証研究では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長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。

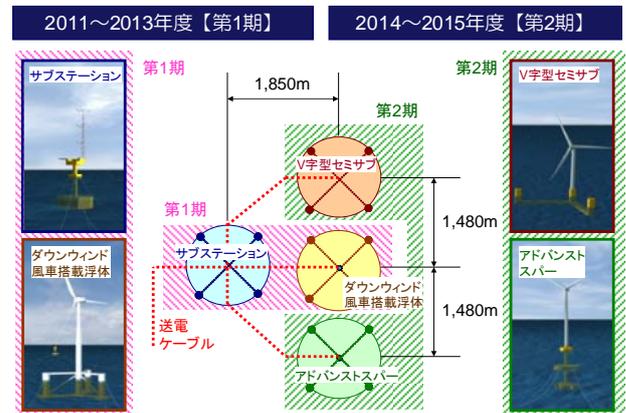


図1 浮体式洋上ウインドファームの計画

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2MWダウンウイ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7MW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、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インドファームの事業性を検証する。

3. 本実証研究の課題

表1には本実証研究における主な研究課題を示す。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。2012年に第1期の実証研究の事前調査を行い、2013年に第2期の実証研究の事前調査を行った。

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変電システムの開発
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



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には浮体式洋上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。7MW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、実証試験を通じてその効果を確認する。

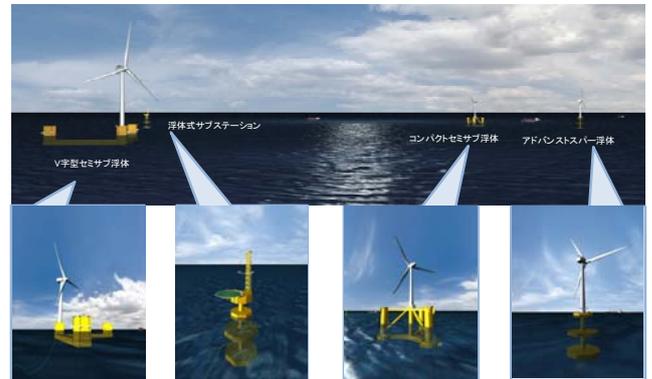


図4 浮体式洋上ウィンドファームの完成予想図

図5に送変電システムの概要を示す。風車で発電された電力は洋上変電所で22kVから66kVに昇圧され、地上変電所を経由して電力系統に接続される。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。

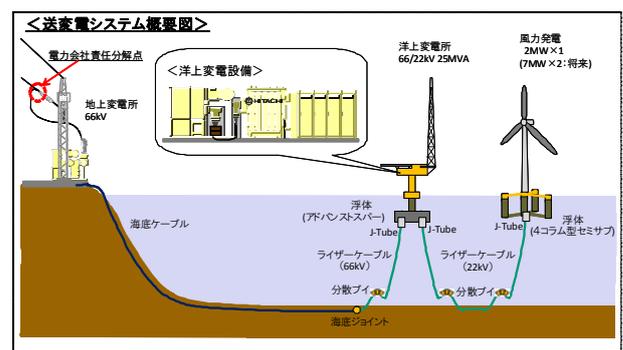


図5 送変電システムの概要

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。

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行う。また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。さらに環境影響評価では、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。

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、本実証研究への地理解と支援を得る。

4. 浮体式洋上風車の施工

2013年4月1日から世界初の浮体式洋上ウィンドファームの建設を1年にわたる漁業関係者との協議を経て開始した。以下、浮体式洋上風車の設置工事について紹介する。

「ふくしま未来」と名付けられた2MWダウンウインド型浮体式洋上風力発電設備は三井造船の千葉事業所で製造し、2013年6月25日に完成した。風車ローターの直径は80m、海面からハブまでの高さは66m、海面からブレード先端までの高さは106mに達する。一方、浮体に関しては幅64m、深さ32m、計画喫水16mである。実証研究では浮体式に合わせて設計された最適制御の実証を行うと共に、浮体の動揺と傾斜考慮した変圧器やスイッチギヤの性能検証も実施する。「ふくしま未来」は6月28日三井造船の千葉事業所から東京湾を出発し、7月1日に福島県いわき市の小名浜港に到着した。

図6には曳航中のふくしま未来を示す。曳航船団は6000馬力クラスの主曳船、4000馬力クラスの補助曳船2隻を前方に配置、4000馬力クラス曳船を後方に配置した。その他、側方警戒船、前方警戒船、さらに前に高速船を配置し、航路の安全を確認しな

がら曳航作業を行った。曳航作業中は、浮体の挙動をリアルタイムに観察し、風車に対して過剰な加速度、傾斜が生じないように曳航速度を調整した。また、航路内にある漁業場の漁業時間帯を避ける目的でも速度調整を行った²⁾。



図6 曳航中のふくしま未来

2MW級洋上風力発電船「ふくしま未来」の係留には自重35tの特殊アンカーと国内最大断面径132mmのチェーンを使用した。本設チェーンは6条を用いた。係留チェーンは施工時及び完成後にキック等が生じないようにする必要がある。チェーン敷設船に係留チェーンを積み込むまでの作業プロセスの中に、ねじれを解消するプロセスを組み込む必要がある。作業性を考え、ふ頭上で塊状のチェーンを展開し、ねじれを解きながらすだれ状に並べ、そのままの形でアンカー・チェーン敷設船に積み込む施工方法を採用した。



図7 敷設船への係留チェーン積込状況

図7には吊り天秤を用いた敷設船への係留チェーン積込状況を示す³⁾。整理したチェーンをそのままの状態に吊り上げるため、専用の吊り天秤を製作した。この吊り天秤を使用することにより、500t吊クレーン台船が吊り上げられる最長の330m分のチェーンを一機に吊り上げることができる。この

吊り作業を2回繰り返すことで、係留アンカー・チェーンの敷設船に所定の長さ 660m 分のチェーンを1日で積み込むことができた。

係留アンカーの効き具合を確認するため、係留アンカー・チェーンに作用する最大設計張力を作用させ、15分間その状態を維持することを確認する引張試験(把駐力テスト)が必要である。試験荷重を作用させるためには、係留チェーンを海面位置において600tの力で引っ張ったり、引き上げたりする施工機械が必要であった。ウィンチは150tの巻上げ能力が最大であり、常時、波浪がある現地海域では、クレーン台船の使用は重い吊りフックが大きく動揺するため危険である。そこで、油圧により作動するプラーユニットを採用した。

600tに対応できる仕様は存在しなかったため、今回新規に設計・製作し、作業台船上に艀装した。向かい合う1対の係留チェーン端末を作業台船上に引き上げ、片側をチェーンストッパーに固定し、他方をプラーユニットにセットして牽引した。図8には600tプラーユニットを示す³⁾。



図8 600tプラーユニット

洋上風力発電船の曳航・設置工事においては、最も難易度が高い作業は浮体係留である。浮体デッキ上のチェーンストッパーに、事前に海底に仮置きした係留チェーンを取り付けるため、洋上でクレーン作業を行う必要がある。波浪の中で浮体は動揺し、クレーン台船も揺れるためにクレーンフックが振れる。浮体もクレーンフックも異なる揺れ方をする中での揚重作業である。洋上風力発電船を曳航船2隻で保持しながら、500t吊クレーン台船を洋上風力発電船の近傍に配置し、チェーンストッパー上側のチェーンを引き上げ、クレーン揚程分毎にチェーンを切断しながらチェーンに設計の張力が作用す

るまでこの作業を繰り返した。図9には完成した2MW浮体式洋上風車を示す³⁾。

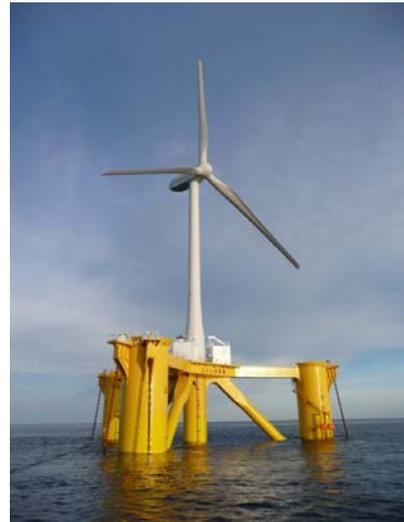


図9 完成した2MW浮体式洋上風車

このように、様々な困難を克服し、本実証研究は2013年10月に第1期の2MW浮体式洋上風車と世界初の浮体式変電所の建設が完成した。今年から、第2期工事が開始し、世界最大級7MWの風車を搭載した浮体の建造、設置工事を開始した。本実証研究の進捗状況の詳細については福島洋上風力コンソーシアムホームページ⁴⁾から知ることができる。

5. まとめ

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、日本の輸出産業になることを期待する。

参考文献

- 1) 石原孟：浮体式と着床式洋上風力発電の現状と将来展望 ～世界で優位に立つため政府目標の設定と特区創設を～，ビジネスアイ エネコ，No.7，pp.16-19，2013。
- 2) 今北明彦，北小路結花：福島浮体式洋上風力発電施設建設工事，作業船，No. 315，4月号，2014。
- 3) 堀哲郎，山下篤，白枝哲次：海の上で吊り上げるー浮体式洋上ウィンドファームの建設ー，土木技術，8月号，2014。
- 4) 福島洋上風力コンソーシアムホームページ：<http://www.fukushima-forward.jp/>