

# 洋上風力建設に対する取り組み

白 枝 哲 次・萩 原 政 弘・井 元 康 介

平成 23 年度より開始された経済産業省資源エネルギー庁が推進する浮体式洋上ウインドファーム実証研究事業の第 2 期実証研究の概要を第 1 期施工時からの改善事例を交えて紹介する。また、「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（以下再エネ海域利用法）」の施行により我が国において拡大が期待される着床式洋上風力への取り組みについて紹介する。

キーワード：浮体式洋上風力，ふくしま新風，着床式洋上風力，SEP 台船

## 1. はじめに

洋上風力開発において先行する欧州地域では着床式洋上風力が主流でありながらも、2017 年 10 月にスコットランド沖にて世界最大規模の浮体式洋上風力発電所（ハイウインドスコットランドパーク）が運転開始するなど、次世代の洋上風力開発も進行している。一方で我が国においてはすでに平成 23 年度より経済産業省資源エネルギー庁から民間企業と東京大学で構成する「福島洋上風力コンソーシアム」が浮体式洋上風力発電設備による洋上ウインドファームの研究開発事業を受託し、研究開発を推進している。研究開発事業における実証設備の建設工程としては、第 1 期として 2013 年に浮体サブステーション、2MW 浮体式洋上風車、それらをつなぐ送電ケーブルの施工を実施、第 2 期として 2014 年～2015 年にかけて 7MW 浮体式洋上風車、2016 年には 5MW 浮体式洋上風車、それらをつなぐ送電ケーブルの施工が実施された。現在では洋上ウインドファームとしての実証運転により、各種データ収集を実施するなど浮体式洋上風力の技術開発において欧州地域を先行している。

ここでは、福島洋上風力コンソーシアム構成会社より発注を受けた特定建設共同企業体で実施した 7MW 浮体式洋上風車設置工事の概要を第 1 期工事からの改善内容を交えて説明するとともに、浮体式洋上風力に先行して開発が進められている着床式洋上風力への取り組みを以下に記述する。

## 2. 浮体式洋上ウインドファーム実証研究事業の役割

本事業は経済産業省資源エネルギー庁から平成 23 年度に公募され、平成 24 年 3 月に福島洋上風力コンソーシアムが受託した。福島洋上風力コンソーシアムにおいては福島復興を支援する事業として「福島復興・浮体式洋上ウインドファーム実証研究事業」（平成 23 年度～平成 27 年度）にはじまり平成 28 年度以降は「福島浮体式洋上ウインドファーム実証研究事業」として各浮体式洋上風車の運転実証を実施しており、ウインドファーム実用化に向けた研究開発を加速させ福島県の復興に寄与することで、浮体式洋上風力をはじめとした再生可能エネルギー産業の集積地となることを狙いとしている。

### (1) 実施体制とスケジュール

本事業を受託した福島洋上風力コンソーシアムは、民間企業と東京大学で構成されている。各構成員はそれぞれ表 1 に示す研究開発項目及び本事業を推進するために必要な実施項目を推進する役割を担っている。

本業務は平成 23 年度から始まった第 1 期実証研究、平成 25 年度から始まった第 2 期実証研究に分かれている。表 2 に各ステージにおける実施内容と建設する実証施設の概要を示す。

### (2) 設置する実証施設の概要

本事業では浮体式洋上ウインドファームの実証施設を設置する。実証施設の設置海域は、福島県双葉郡楳葉町（広野火力発電所近傍）の海岸線から沖合約

20 km, 水深約 120 m の海域に設定された。設置海域における各施設の配置を図一 1 に示す。

ウィンドファームの実証施設は、浮体式の洋上サブステーション 1 基、2MW1 基と 5MW1 基、7MW1 基の計 3 基の浮体式洋上風車、合わせて 4 基の浮体で構成される（写真一 1、表一 3）。風車 2 形式と浮体 3 形式の多様な組み合わせにより、我が国の気象・海象や地勢等に対する各形式の適性や課題を確認することを狙っている。

表一 福島洋上風力コンソーシアムの研究開発項目および実施項目（第 2 期実証研究時）

研究開発項目および実施項目
事前協議・許認可, 維持管理, 漁業との共存
観測予測技術, 航行安全性, 国民との科学・技術対話
系統連系協議, 環境影響評価
V 字型セミサブ浮体及び風車の提供 (7MW)
アドバンストスパー浮体 (5MW), 浮体サブステーション
コンパクトセミサブ浮体 (2MW)
高性能鋼材の開発
洋上変電所の開発, 2MW・5MW 風車の提供
大容量ライザーケーブルの開発
海域調査, 施工技術
浮体式洋上風力発電に関する情報基盤整備

### 3. 施工フロー

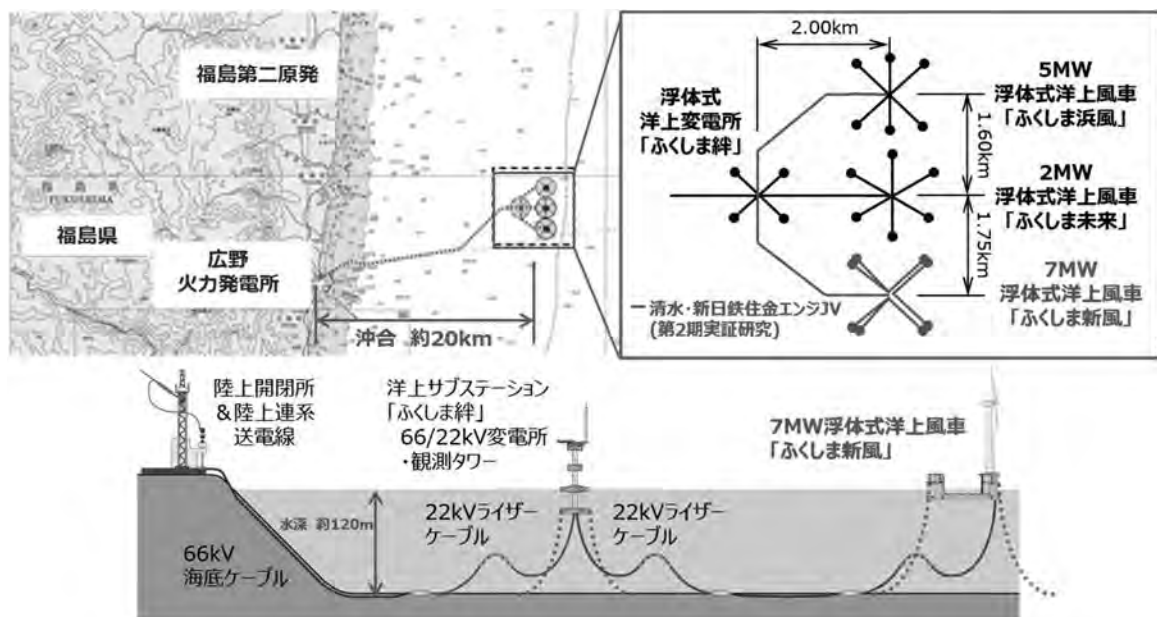
次に 7MW 浮体式洋上風車の施工フローを紹介する。7MW 風車用浮体は福島洋上風力コンソーシアム構成会社の造船所にて浮体の製作を行った後、小名浜に曳航し、小名浜港内にて風車の建方および電気工事を施工した後に設置海域へ曳航した。その後の係留作業においては事前に海底に設置しておいた係留チェーンと接続する施工手順である。本施工フローと 2MW 浮体式洋上風車との主な相違点としては、2MW 浮体式洋上風車が浮体曳航前に風車建方を浮体建造場所で実施したのに対し、7MW 浮体式洋上風車は曳航完了後に風車建方を実施した点が挙げられる。これは 7MW 風車用浮体の建造場所が長崎であり、小名浜港までの曳航距離が 1,500 km と長距離曳航となる条件から安全性に配慮し、設置海域近傍である小名浜港での建方が選定された経緯によるものである。施工フローを図一 2 に示す。

### 4. 7MW 風車用浮体「ふくしま新風」の曳航・据付工事の概要

特定建設共同企業体が施工した 7MW 浮体式洋上浮

表二 実証研究のスケジュールと実施内容

ステージ	時期	内容
第 1 期実証研究	平成 23 年度～	2MW ダウンウィンド型浮体式洋上風力発電設備, 浮体サブステーション, 送電ケーブルの設置と実証研究
第 2 期実証研究	平成 25 年度～	7MW 油圧式ドライブ型浮体式洋上風力発電設備 1 基, 5MW ダウンウィンド型浮体式洋上風力発電設備 1 基, それらをつなぐ送電ケーブルの設置と実証研究



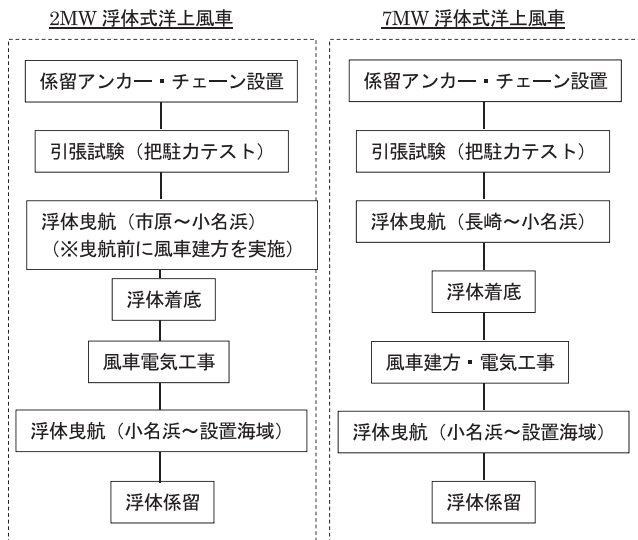
図一 浮体式洋上ウィンドファーム実証施設の設置海域と浮体の配置図



写真—1 風車・浮体

表—3 風車・浮体の仕様

設備名称	規模	風車型式	浮体形式	設置時期
浮体サブステーション	25MVA 66kV	—	アドバンストスパー	第1期
コンパクトセミサブ浮体	2MW	ダウンウインド型	4コラム型セミサブ	第1期
V字型セミサブ浮体	7MW	油圧式ドライブ型	3コラム型セミサブ	第2期
アドバンストスパー浮体	5MW	ダウンウインド型	アドバンストスパー	第2期



図—2 2MW・7MW 浮体式洋上風車の施工フロー比較

体式洋上風車「ふくしま新風」の各施工プロセスについて概説する。なお第1期実証研究の内容については当該バックナンバー (Vol.66 No.6 June 2014) をご参照頂きたい。

福島沖に設置するこの浮体式洋上風車は水面からのハブ高さ105m、浮体の幅は150m、長さ85mであり、世界最大級の浮体式洋上風力である。係留アンカーは高把駐力アンカーと呼ばれる形式で、係留チェーンに

張力を作用させるとアンカー自体が地中に潜り込み、周囲の地盤の耐力によりアンカーが地盤をつかむ力、把駐力を確保する。今回の係留には、高把駐力型の特殊アンカーを用いた。係留チェーンは国内で製造されている中で最大の断面径φ132mmのチェーンを使用し、本設チェーンの長さは最大で約840mに及ぶ。

(1) 係留アンカー・チェーン設置

7MW 浮体式洋上風車は設置海域において、8条のチェーンで係留される。浮体が現地の設置海域に到達する前に、これらの8条の係留アンカー・チェーンを設置海域の海底に設置した。

係留アンカー・チェーンは小名浜港の3号ふ頭に水切りされた。係留チェーンは3号ふ頭の敷鉄板を敷き詰めたエプロン上において展張し、設置時にねじれが残らないよう整理して並べた。整理したチェーンは、専用の釣り天秤を使用して500t吊クレーン台船「第50幸神丸」により吊り上げ、係留アンカー・チェーンの敷設船「新潮丸」に積み込んだ(写真—2)。なお、2MW 浮体式洋上風車施工時と比較して本設置工事で使用する係留チェーンの長さが約100m延長されたことから、敷設船のデッキの一部に中二階(メザンデッキ)を艀装し、延長分の係留チェーンを搭載した。





写真一2 500t吊クレーン台船による敷設船への係留チェーン積込状況 (点線枠内はメザニンデッキ部)



写真一3 係留アンカーの積み込み状況



写真一4 係留アンカー・チェーン設置状況 (ROVにより確認)

同敷設船に積み込んだ係留アンカーを写真一3に示す。

係留アンカー・チェーン設置時は敷設船とともに支援船「新日丸」も設置海域へ回航し、アンカーの端部に支援船から下ろしたワイヤーを接続してアンカーの姿勢を調整しながら係留アンカーを設置した。続けて、敷設船に艀装したウィンドラス（チェーン専用の巻き上げ機械）によりチェーンを船上から送り出し、海底に設置した。なお、後工程の浮体係留作業のため各チェーン端部をブイアップさせた。係留アンカー設置状況を写真一4に示す。設置後の係留アンカー・チェーンの状況は、支援船に搭載したROV（Remotely Operated Vehicle：水中ロボット）により確認した。

## (2) 引張試験（把駐力テスト）

引張試験（把駐力テスト）とは係留アンカーの効き具合を確認する試験のことで、日本海事協会が策定している「浮体式洋上風力発電設備に関するガイドライン」に基準が示されている。それによれば、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こととされている。本試験については2MW浮体式洋上風車と同様に日本海事協会が要求する試験荷重を考慮し、国内最大の600tプラーユニット（引張試験装置）を作業台船「海島」上に艀装した。試験手順としては向かい合う1対の係留チェーン末端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。引張試験のイメージ（図一3）、引張試験状況を写真一5に示す。また本試験においては、2MW浮体式洋上風車設置時に同試験を実施の際、作業台船端部に設置されたチェーンシューター部（チェーンの送出し兼引き込み部）に大きな摩擦力が発生したことから、チェーンシューター部を流線形にし、摩擦の低減を図った（写真一6）。

引張試験の結果、8箇所すべてのアンカー移動量はいずれも計画値内であった。

## (3) 浮体着底用マウンドの造成

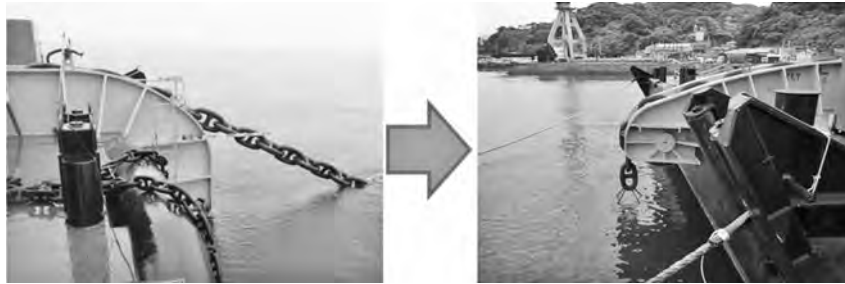
「3. 施工フロー」にて記述した通り、本施工においては浮体曳航作業が完了次第、小名浜港内で風車建方を実施する工程となっている。2MW浮体式洋上風車施工時においても、小名浜港にて浮体着底用の簡易マ



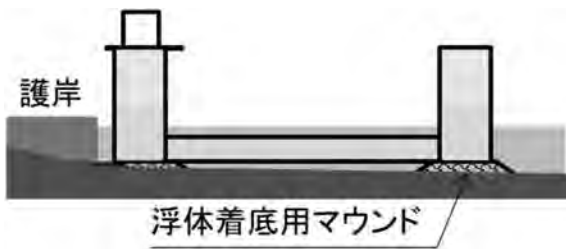
図一3 引張試験のイメージ



写真一五 引張試験の状況 (荷重 500t × 15分)



写真一六 改良されたチェーンシューター (左: 改良前, 右: 改良後)



図一四 浮体着底用マウンドのイメージ図



図一五 曳航ルート (長崎～小名浜)

マウンド (フィルターユニット (割栗石を詰めた袋), 古タイヤで造成) を要したが, 着底後の作業としては電気工事を主としていたため, 着底の安定性に高度な要求がなかった。しかしながら本工事においては, 風車建方を実施するとともに, 翌年まで仮置き状態が続くとの条件から十分な安定性確保が必要なため浮体曳航作業の前作業として, 小名浜港内護岸の前面海域に浮体着底用マウンドの造成を行った (図一四)。  
 ※浮体着底用マウンドについては浮体式洋上風車の出航後, 撤去を実施した。

(4) 浮体曳航

係留アンカー・チェーン設置, 引張試験, 浮体着底用マウンド造成の完了に合わせて, 7MW 風車用浮体の曳航を計画した。曳航ルートを図一五に示す。

7MW 風車用浮体風車の浮体部は福島洋上風力コンソーシアム構成会社の造船所において製作され, 平成26年10月30日に洋上風車は出航した。7MW 風車用浮体の曳航船団は7,500PS 級, 6,000PS 級, 5,000PS 級の曳航船各1隻, 補助曳船として4,000PS 級の曳航



写真一七 7MW 風車用浮体の曳航状況

船2隻, 4,000PS 級の警戒船2隻の計7隻で構成されている (写真一七)。7MW 風車用浮体風車は当初, 曳航ルートを順調に進んでいたが, 台風20号 (2014年) の日本列島接近による影響を最小限にするため, 避難港湾として予め設定した「駿河湾」に入域し, 台風の通過を待つ形となった。安全が確認された後, 曳航を

再開させ、平成26年11月10日に予定通り小名浜港に到着した。小名浜港到着後は前工程にて施工した浮体着底用マウンドまで誘導し、バラスタタンクに注水を行って着底させた。

**(5) 浮体係留**

7MW 風車用浮体を着底させた状態で福島洋上風力コンソーシアム構成会社が風車建方工事および電気工事を実施、特定建設共同企業体は浮体係留の準備作業を行った。これらの作業を終え、平成27年7月28日に洋上風車を再び浮上させ、設置海域へ曳航した。

7MW 浮体式洋上風車が設置海域に到着後、曳航船により位置を保持しながら作業台船を7MW 浮体式洋上風車の近傍に配置するとともに海底から係留チェーンを引き上げ、浮体に固定する作業を行った。

この作業については第1期工事において浮体甲板にあるチェーンの固定部まで係留チェーンを引き上げる作業が沖合でのクレーン作業となり、波浪による台船の動揺に伴いクレーンフックが振れる影響で洋上待機を余儀なくされた経験があった。本工事ではそれらの経験を踏まえ、港内にて予め浮体側にチェーンウインチを艀装する方法を採用した。この工法改善により海底から引き上げてきた係留チェーンとチェーンウインチ側に予め仕込まれた仮設チェーンを作業台船上で接続した後に、チェーンウインチを稼働させ浮体側に引き込むことで、チェーン固定部での作業を円滑に完了させた(図-6)。沖合での連続的な洋上作業を限られた期間で実行する点で難易度の高い作業であったが、台風が襲来するシーズンを迎える前に全8条の係留チェーン接続を終えることができた(写真-8)。



写真-8 設置完了後の7MW 浮体式洋上風車の状況

**5. 着床式洋上風力への取り組み**

東日本大震災に起因する福島第一原子力発電所の事故をきっかけに、日本のエネルギー開発は転換点を迎え、従来の発電システムの見直しとともに再生可能エネルギーに注目が集まっている。その一つである「風力発電」は、山間部を中心に国内各地で建設が進められているが、設置環境により風の乱れが大きいことや土地、道路の規制、景観、騒音への影響が大きい等により陸上風力における適地が急速に減少しているのが現状である。そのような風車建設・稼働環境をふまえ、我が国においては欧州にて実績のある「着床式洋上風力」を導入し、それらの問題を改善するとともに、新たなエネルギー開発を推進するため、本年4月に再エネ海域利用法が施行された。この施行をきっかけに洋上風力発電市場は急速な拡大が見込まれており、EPC

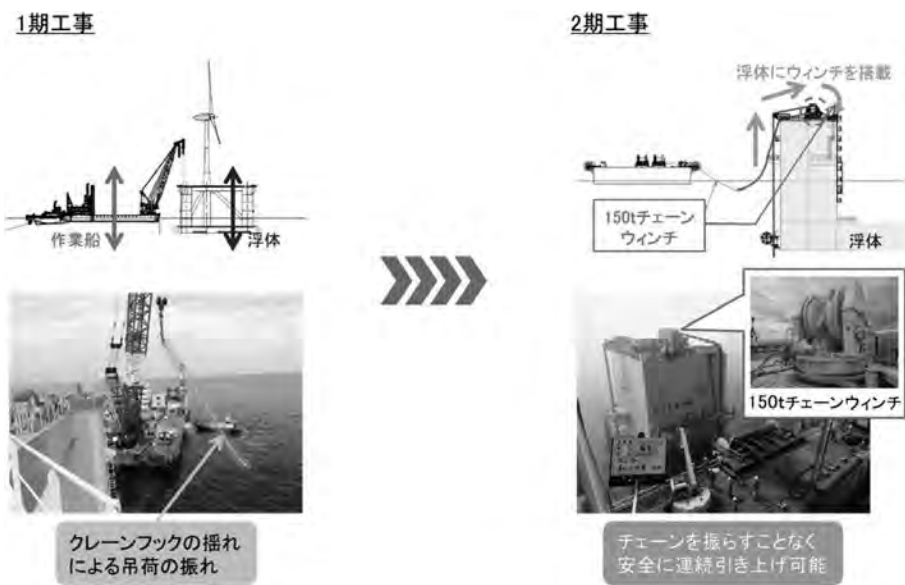


図-6 チェーン固定作業





写真—9 世界最大級の搭載能力およびクレーン能力を備えた自航式 SEP 船

契約（風車本体の調達から設置工事までを含む施設建設工事の契約）の市場規模は5兆円超との試算結果もでていいる。そのような市場環境の中で建設大手各社は SEP（Self-Elevating Platform：自己昇降式作業船（以下 SEP 台船））の建造に着手しており、昨今の報道においては世界最大級の搭載能力およびクレーン能力を備えた自航式 SEP 船の建造を発表し、先行する欧州での固定価格買取制度（FIT）に依存しない形での事業性確保に伴う風車大型化（9～12MW）等の海外での動向も含めた将来需要にも対応できる技術開発を進めている（写真—9、世界最大級の搭載能力およびクレーン能力を持つ SEP 台船（全幅 50 m、全長 142 m、総トン数 28,000 t、クレーンの最大揚重能力は 2,500 t、最高揚重高さは 158 m））。

## 6. おわりに

本稿で取り扱った内容は経済産業省資源エネルギー庁が推進する浮体式洋上ウインドファーム実証研究事業に伴う実証設備の第2期工事であり、その前年に経験した第1期工事（特定建設共同企業体にて施工）における経験・ノウハウを可能な限り活かすことで、作業効率化を目指した成果である。工事内容においては時間的、施工的、海象等の制約により改善が至らない点が多くあったことも事実である。浮体式洋上風力の施工技術においては係留システム（係留索を含めた）の簡略化、係留条数の最小化、引張試験の効率化や撤去時を考慮した浮体本体の最適化等で、多くの課題がある。しかしながら、今後の更なる事業化に伴う技術開発により、日本の地理的条件に適合した施工の安全性・経済性を高めることで再生可能エネルギーの一つとして、社会に貢献することが期待される。

JCM/A

### 《参考文献》

・福島洋上風力コンソーシアム ウェブページ

### 【筆者紹介】



白枝 哲次（しろえだ てつじ）  
清水建設㈱  
エンジニアリング事業本部  
新エネルギーエンジニアリング事業部  
事業部長



萩原 政弘（はぎわら まさひろ）  
日鉄エンジニアリング㈱  
海洋事業部 国内海洋営業室  
室長



井元 康介（いもと こうすけ）  
清水建設㈱  
エンジニアリング事業本部  
新エネルギーエンジニアリング事業部  
係員