

工事・工法紹介

福島浮体式洋上風力発電施設建設工事

ジャパンマリンユナイテッド株式会社
三井造船株式会社

要 旨： 経済産業省資源エネルギー庁の委託実証研究事業として福島県沖に浮体式洋上風力発電施設が建設された。第1期工事として、浮体式変電所、2MW 風車浮体、海底ケーブルが建設された。本稿ではその内、浮体式変電所（“ふくしま絆”）と2MW 風車浮体（“ふくしま未来”）の建設工事の概要について紹介する。

キーワード： 浮体式洋上風力発電、浮体式洋上変電所、福島、曳航、作業船、外洋

1. はじめに

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からの委託を受け、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取り組んでいる事業¹⁾である。第1期工事としては、サブステーション（SS）と呼ばれる洋上変電所の建設、2MW 風車浮体の建設、海底ケーブルの建設、陸上施設の建設などがあり、平成25年11月に完成し、運転を開始した。第2期工事としては、さらに7MW クラスの風車浮体を2基建設する予定である。本稿では第1期のSSと2MW 風車浮体の建設工事について紹介する。

設置海域を図-1に示す。福島県沖約20km、水深は約120mの海域である。陸側がサブステーション、沖側が2MW 風車浮体である。日本の太平洋側で風力発電施設として浮体式海洋構造物の係留作業を行った例はこれまでになく、本工事が最初となる。

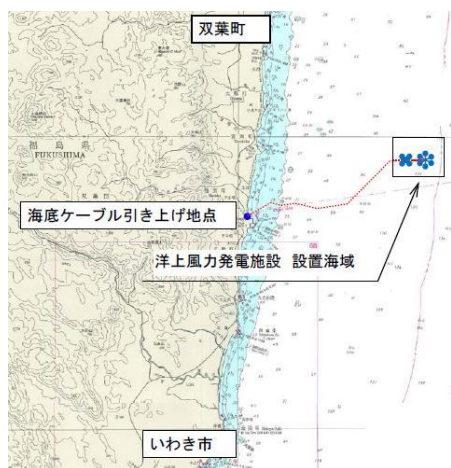


図-1 設置海域

設置工事前に事前調査として、海底土質調査、障害物調査などを実施し、アンカー性能の確認を行った。アンカーは2つの浮体とも高把駐力型のアンカーを用いている。風力発電用海洋構造物の規準としては日本海事協会のガイドライン²⁾に従っている。工事中と浮体曳航中の安全については、コンソーシアムとして「船舶航行安全対策調査委員会」を立ち上げ、学識経験者、船舶運航社、漁業関係者、海上保安庁などの関係者と工事関係者で協議を行い、往来船舶への安全対策を検討し工事に反映した。

2. サブステーション”ふくしま絆”

本設備は、沖合に長期に亘って浮上係留され、洋上で発電された電力を陸上に送電するための世界初の浮体式洋上サブステーション（以下SS）である。対象海域における気象・海象・浮体動揺の観測を行うための設備を搭載し、洋上風力発電に必要なデータを取得する観測所としての機能を併せ持っている。SSは搭載したトランス等変電設備を傾斜や動揺による加速度から保護するため、低動揺アドバンストスパー型浮体を採用した。

SSの概要を表-1に示す。

表-1 浮体概要

浮体形式	アドバンストスパー型
長さ	33.4m
幅	33.4m
深さ	71.0m
計画喫水	50.0m
船級	日本海事協会

図-2にSSの概要図を示す。

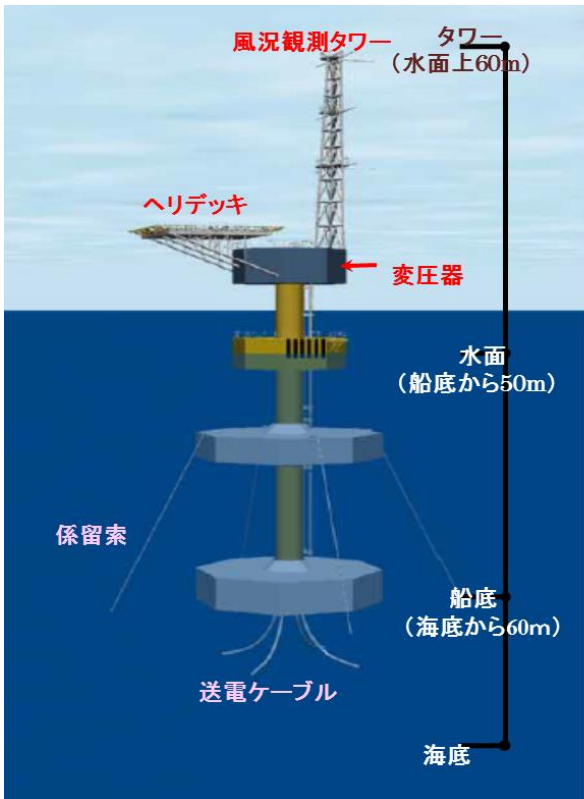


図-2 “ふくしま絆”概要図

表-2 に係留設備を示す。呼び径 132mm のチェーン 4 本を用いて係留している。

表-2 係留設備概要

係留設備形式		多点係留システム/カテナリ係留
構成	係留ライン	チェーン
	海底係留点	アンカー
	その他係留機器	チェーンストッパー クローズドチョック
係留ライン要目	形式	スタッド付チェーン (R3種)
	呼び径	φ 132mm
	係留ライン本数	4本
海底係留点 (アンカー)要目	形式	特殊アンカー
	材質	鋼製
	個数	4個

2.1 建設フロー

図-3 に SS の建設フローを示す。

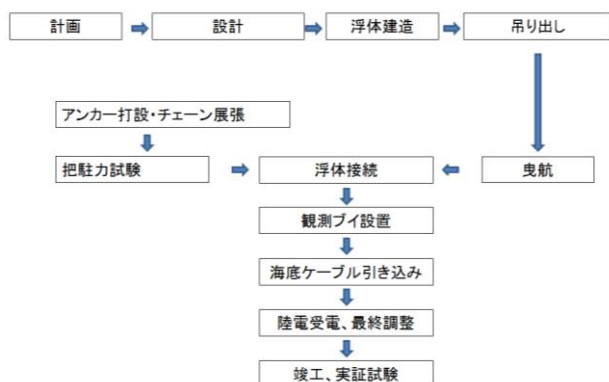


図-3 SS の建設フロー

今回の工事の特徴は、横浜市にある造船所のドック内でサブステーションを建造、現地へ曳航し、現地での組立を行うことなく設置した点である。

2.2 アンカーとチェーンの設置

アンカー及びチェーンは、浮体の曳航に先立ち、次の手順で設置した。

- ① ウィンドラスによりアンカー降下、同時にローラー架台よりワイヤ繰り出し。
- ② ROV によりアンカー向きを調整。
- ③ アンカー着底後、作業台船のアンカリング及び曳船 2 隻で船体を移動、ウィンドラスでチェーンを繰り出し展張。

写真-1 及び 2 に作業風景を示す。



写真-1 アンカー降下



写真-2 チェーン展張

2.3 曳航

表-3 に曳航作業の概要を示す。

表-3 曳航作業概要

作業内容	曳航方式	場所
出渠～仮係留	吊り曳航	東京湾(ドック～HR錨地)
曳航(wet)	喫水-32m曳航	東京湾内(HR錨地～湾外) 湾外～外洋

SS は、起重機船を使用して南本牧沖 HR 錨地まで喫水 6m で吊曳航し、台船に仮係留した状態で重査を行った後、福島沖の実証試験海域まで曳航した。曳航開始前には東京湾内の深浅測量を実施し、曳航海域に十分な水深があることを確認した。図-4 及び 5 に曳航イメージを示す。また写真-3 に起重機船での吊り出し、写真-4 に曳航船団を示す。

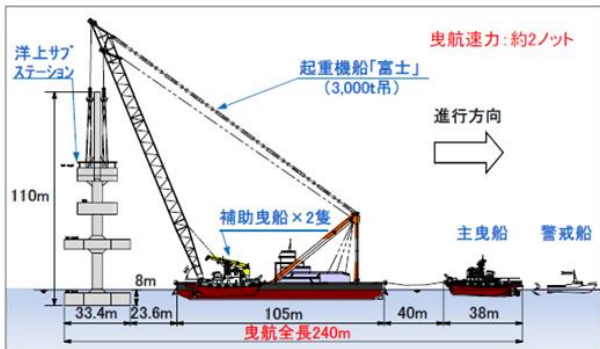


図-4 曳航イメージ (HR 錨地まで)

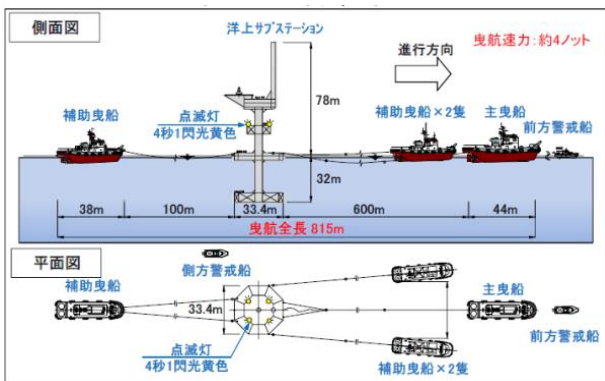


図-5 曳航イメージ (HR 錨地より実証海域まで)



写真-3 起重機船による吊り出し



写真-4 曳航船団

2.4 浮体の係留

SS は福島沖で曳航船団から引き渡された後、作業台船のローラー架台及びウィンチにて引き上げられたチェーンと接続された。チェーンは、アンカー設置時に確定したアンカー位置に基づき、必要長さを算出して接続した。また、張力については、基準の長さで接続したチェーンにおける計測値で確認した。写真-5 及び 6 に浮体係留作業の様子を示す。



写真-5 浮体係留 (1)



写真-6 浮体係留 (2)

係留作業を完了した SS は、陸上からの遠隔発停を確認、外回りをライトアップした後、曳航喫水から稼働喫水に沈降し、2013 年 11 月に通電を開始した。

写真-7 に沈降の様子を、写真 8 に稼働中の SS の全景を示す。



写真-7 沈降する SS



写真-8 稼働中の SS 全景

3. 2 MW 風車浮体”ふくしま未来”

2 MW 風車浮体の概要を表-4 に示す。図-6 に風車浮体の外形図を示す。波浪中での動揺を小さくするように半潜水式（セミサブマージブル）浮体とし、中央の円柱（カラム）の上に風車を搭載している。海面からナセルまでの高さは約 66m ある。

表-4 浮体概要

浮体形式	半潜水型
長さ	57.5m
幅	64.2m
深さ	32.0m
計画喫水	16.0m
船級	日本海事協会

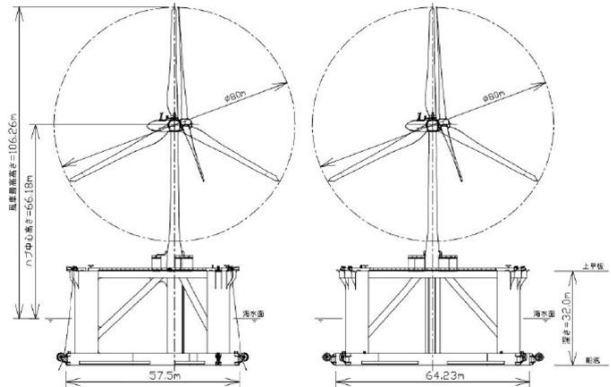


図-6 “ふくしま未来”外形図

表-5 係留設備概要

係留設備形式		多点係留システム/カテナリ係留
構成	係留ライン	チェーン
	海底係留点	アンカー
	その他係留機器	チェーンストッパー フェアリーダー
係留ライン要目	形式	スタッド付チェーン(R3S種)
	呼び径	φ132mm
	係留ライン本数	6本
海底係留点 (アンカー)要目	形式	特殊アンカー
	材質	鋼製
	個数	6個

表-5 に係留設備を示す。呼び径 132mm のチェーン 6 本を用いて係留している。

3.1 建設フロー

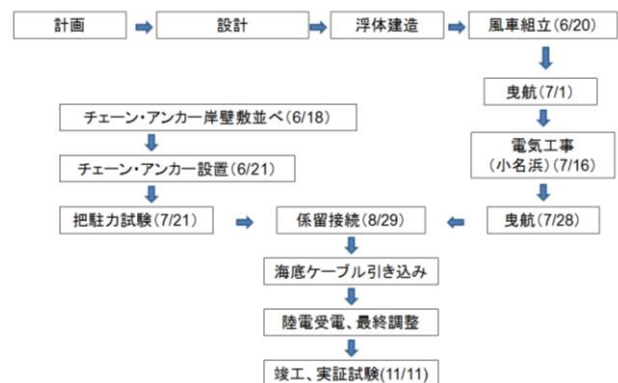


図-7 “ふくしま未来”建設フロー

図-7に建設フローを示す。浮体の建造は千葉県市原市にある造船所のドックで行った。浮体完成後にドック内で風車の組み立てを行い、ドックから風車浮体を引き出し、小名浜港へ曳航した。小名浜港の岸壁で風車の最終調整を行い、設置海域へ再び曳航し、チェーンと接続、係留した。

3.2 アンカーとチェーンの設置

アンカーとチェーンは小名浜港岸壁にて、台船上に搭載し、現地海域で所定位置に設置した。設置後に図-8に示す要領で把駐力試験を実施した。この試験では、設置したアンカーを設計最大力で引張り、アンカーを安定位置に固定する。アンカーはドラッグ式高把駐力型で、張力をかけると海底に食い込んで行く。6本のチェーン/アンカーの相対する2組のチェーン端部を図-8に示すように台船上に上げ1方を台船に固定、他方を油圧機器に固定し、油圧で張力をかけるようにした。

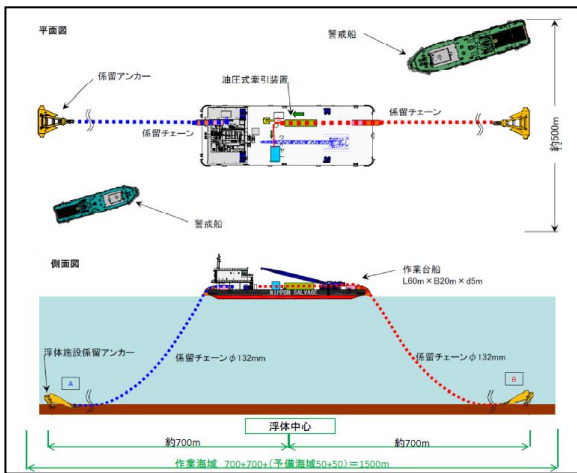


図-8 把駐力試験

3.3 曳航

曳航は市原～小名浜と小名浜～設置海域の2回ある。図-9に市原～小名浜の航路を示す。曳航船団は航路の安全を確認しながら曳航作業を行った。(図-10と写真-9) 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。

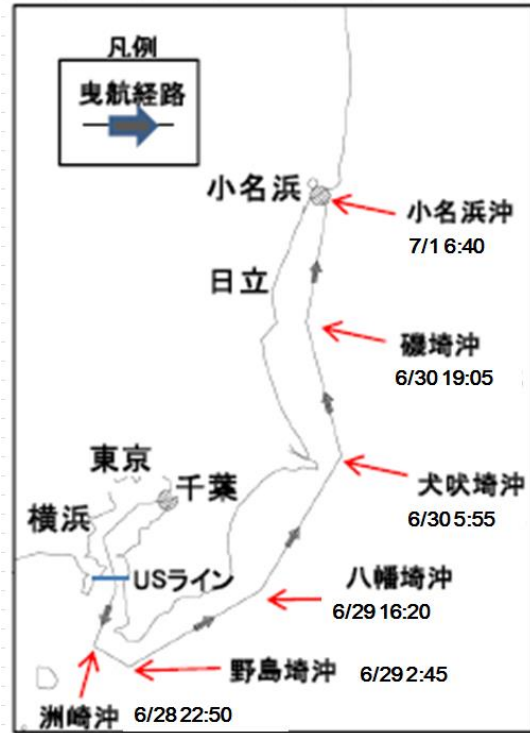


図-9 曳航航路

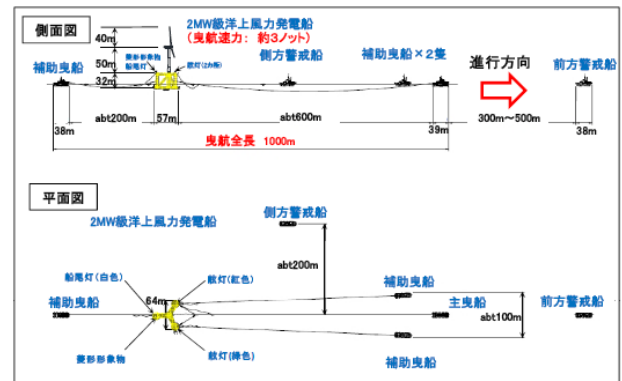


図-10 曳航船団配置



写真-9 曳航中の”ふくしま未来”

3.4 小名浜岸壁での調整工事

小名浜岸壁では風車の最終調整を実施したが、その期間中に暴風に遭遇することが想定される。対策として係留索を岸壁と周辺から取ることを計画した

が、周辺に停泊、入出港する船舶への影響、岸壁強度などを考慮し、岸壁隣接海底に浮体を着底させることにした。写真-10 に示すフィルターユニットを海底に沈め、その上にゴムタイヤを配置して、浮体を沈めた。浮体にはポンプが搭載されており、海水を注排水して浮体の喫水を調整できるようになっている。曳航時、着底時などに作業の効率、安全などを考慮して適切な喫水調整を行った。



写真-10 着底用フィルターユニット



写真-11 フィルターユニット設置作業

3.5 浮体の係留

浮体の係留は500トンクレーン付台船を用いて実施した。あらかじめ浮体の係留装置にメッセージャーを仕込み、メッセージャーと把駐力試験が終了したチェーンの端部を接続、クレーンにて引き上げた。

係留接続完了後に送電線を浮体上のウィンチを用いて引込み、風車設備と接続した。その後、陸上からの送電を受けて、風車の最終調整を行った。



写真-12 係留作業



写真-13 完成した”ふくしま未来”

4. おわりに

以上の通り、第1期工事は完了し、現在、2MW風車とSSが稼働中である。

今後の第2期工事では、7MWクラスの風車を搭載したセミサブ型及びアドバンストスパー型の浮体を建造、設置する予定である。

本工事を実施するにあたり、国土交通省、海上保安庁、漁業関係者、船舶航行安全対策調査委員会の委員の方々、地元自治体関係者、小名浜港関係者など多くの方々にご協力をいただきました。ここに深く謝意を表します。

(文責： 三井造船㈱ 今北明彦
ジャパソナリティッド(株) 北小路結花)

参考資料

1) 福島洋上風力コンソーシアムホームページ
<http://www.fukushima-forward.jp/index.html>

2) 日本海事協会、「浮体式洋上風力発電設備に関するガイドライン」、2012年7月