

特集 持ち上げる 先端技術研究 1

海の上で吊り上げる —浮体式洋上ウィンドファームの建設—



ほり 堀 哲郎*1 やました 山下 あつし 篤*2 しろえだ 白枝 哲次*3

はじめに

昨年11月、経済産業省資源エネルギー庁が推進する浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業の一環として、福島沖に設置された浮体式洋上風力発電所の実証施設が運転を開始した。浮体式洋上風力発電設備の実証機は世界でも例が少なく、サブステーションを備えた浮体式ウィンドファームの実証は初めての試みである。

実証施設の建設において、清水建設株式会社と新日鉄住金エンジニアリング株式会社は特定建設共同企業体（清水・新日鉄住金エンジニアJV）を構成し、2 MW級洋上風力発電船の曳航・据付工事（発注者：三井造船株式会社）と送電ケーブルの敷設・埋設工事（発注者：古河電気工業株式会社）を施工した。その概要を「持ち上げる」という動作の切り口を軸に紹介する。

1. 浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業の概要

本事業は福島洋上風力コンソーシアム（表-1）が受託し、平成23年度から平成27年度までに福島県の沖合に実証施設を建設し、浮体式洋上風力発電設備によるウィンドファームの実用化に向けた研究開発を推進するもの

である。

事業は平成23年度から始まった第1期実証研究と平成25年度から始まった第2期実証研究から成り、各々の実施内容は表-2に示すとおりである。

実証施設の設置海域は、楢葉町の海岸線か

表-1 福島洋上風力コンソーシアムの構成員と主な役割

コンソーシアム構成員	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
国立大学法人東京大学 【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）
新日鉄住金株式会社	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

表-2 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～	2 MW級ダウンウィンド型浮体式洋上風力発電設備、浮体式サブステーション、海底ケーブルの設置と実証研究
第2期 実証研究	平成25年度～	7 MW級等浮体式洋上風力発電設備2基等の設置と実証研究

*1 清水建設株式会社 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
*2 新日鉄住金エンジニアリング株式会社 海洋鋼構造事業ユニット プロジェクト部 部長
*3 清水建設株式会社 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 グループ長

ら沖合約18km, 水深約120mの海域に設定され, 浮体式の洋上サブステーション1基, 2 MW級1基と7 MW級等2基の計3基の浮体式洋上風力発電船, 合わせて4基の浮体が設置される(図-1)。

なお, 浮体式洋上風力発電設備は法律上, 船舶として位置づけられ, 浮体式サブステーションは「ふくしま絆」, 2 MW級洋上風力発電船は「ふくしま未来」と命名されている。

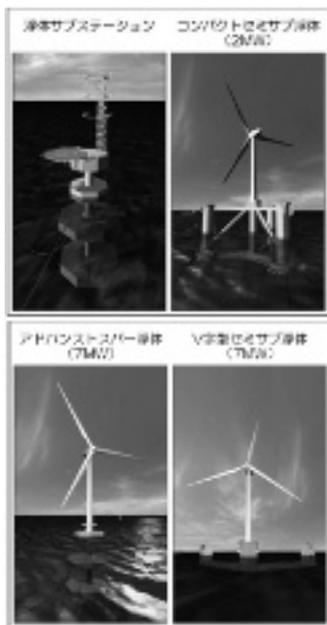


図-1 風車・浮体のイメージ

2. 施工フロー

第1期実証研究における実証施設の施工フローを図-2に示す。浮体式サブステーションと2 MW級洋上風力発電船の曳航・据付は平行して行われ, その工程に合わせて, 海底ケーブル・ライザーケーブルの敷設及び埋設の工程が組み込まれた。

清水・新日鉄住金エンジJVが施工した2 MW級洋上風力発電船の据付及び海底ケーブル・ライザーケーブルの敷設・埋設の各工事における吊り上げ・吊り下しの作業について, 概要を以下に紹介する。

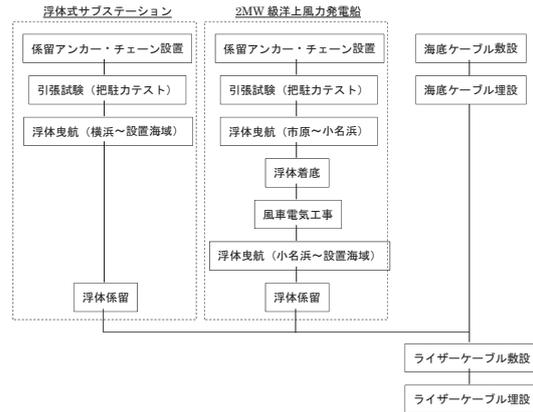


図-2 施工フロー

3. 2 MW 級洋上風力発電船の曳航・据付工事における揚重, 吊り上げ・吊り下し作業の概要

2 MW 級洋上風力発電船「ふくしま未来」の水面からの高さは106m, 浮体の幅は66mである。係留には自重35tの特殊アンカーと, 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た。チェーンは6条で, その長さは750mに及ぶ。

(1) 係留アンカー・チェーン設置における揚重作業

係留チェーンは施工時及び完成後にキンク等が生じないようにする必要がある。キンクが生じると, チェーンウインチ等の施工機械に引っかかったり, 完成後には係留チェーンに想定されていない荷重が作用し, 強度に影響が生じたりするためである。

係留チェーンは塊状で運搬船により小名浜港に搬入された。チェーンはねじれが入らないよう工場から出荷されているが, 部分的にねじれが入っていることがあるので, 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った。今回は作業性を考え, ふ頭上で塊状のチェーンを展張し, 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

施工方法を採用している。

整理したチェーンをそのままの状態ですり上げるため、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(写真-1)。係留アンカー(写真-2)は係留チェーンの積み込み後に敷設船の船尾に搭載した。



写真-1 吊り天秤を用いた敷設船への係留チェーン積み込み状況



写真-2 係留アンカー



写真-3 係留アンカー・チェーン設置状況

係留アンカー・チェーンは敷設船に搭載したウインドラス(チェーン専用の巻上げ機械)を使用して海底に吊り下した。係留アンカーは爪が下向きになるよう姿勢を調整する必要があるため、係留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、アンカーの姿勢を調整しながら吊り下した(写真-3)。

(2) 引張試験(把駐力テスト)における揚重作業

引張試験(把駐力テスト)とは係留アンカーの効き具合など、係留アンカー及び係留チェーンの健全性を確認する試験のことで、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。

要求され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500tの力でけん引する施工機械が必要であった。国内のウインチは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、クレーン台船を使用すると吊りフックが揺れるために施工効率が低くなる。そこで、油圧により作動するプラーユニットを採用した。500tに対応できる機種は存在しなかったため、今回、新規に600tまで対応できる機種を設計・製作し、作業台船上に艀装した(写真-4)。

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(写真-5)。



写真-4 600t プラーユニット



写真-5 引張試験の状況

(3) 浮体係留

洋上風力発電船の据付工事において、最も難易度が高いと想定された作業が浮体係留である。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った。波浪の中で浮体は動揺し、クレーン台船も動揺す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（写真-6）。

現地海域の海象は厳しく、福島県沖の海域の特徴である濃霧に悩まされる場面もあり、



写真-6 500t吊クレーン台船による係留チェーン引上げ作業の状況



写真-7 設置完了後の2 MW級洋上風力発電船の状況

洋上において待機を余儀なくされることもあったが、台風が襲来するシーズンを迎える前に全6条の係留チェーン接続を終えることができた（写真-7）。

4. 送電ケーブルの敷設・埋設工事の概要

海底ケーブルやライザーケーブルの敷設作業においても、ケーブルの形状に応じた吊り上げ・吊り下しを行っている。なお、ライザーケーブルとは、海底から浮体までの水中に立ち上がったケーブルのことである。今回のライザーケーブルは遮水性を高めた特殊なケーブルの一部に浮力体を取り付けてS字型の形状に設置するもので、浮体の移動に合わせてS字型のケーブル形状が変形するように設計されている（図-3）。

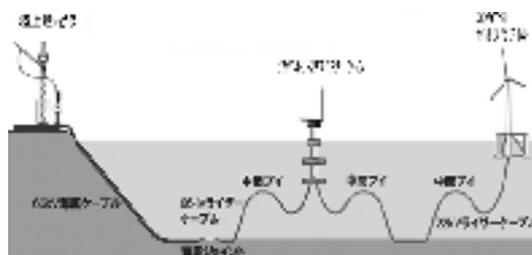


図-3 海底ケーブル及びライザーケーブルのイメージ

(1) ライザーケーブル敷設

ライザーケーブルの端末は浮体の下部にあるベルマウスに呼び込まれ、そこから続く

ケーブル引き込み管の中に引き込まれる。これらの作業を行うために、ライザーケーブルにはネット状のケーブル把持具を端末や各所に取り付けた。吊り上げると、ネットが絞れてケーブルをグリップする仕組みである。各浮体のケーブル引き込み管には予めメッセンジャーワイヤーを仕込んであり、ライザーケーブル端末の把持具と接続した後にワイヤーを巻き上げてライザーケーブルを浮体内に引き込んだ。

海底ケーブルとライザーケーブルの接続は、各ケーブルの端末を敷設台船上に引き上げ、株式会社ビスキャスと富士古河E&C株式会社がジョイントボックスという接続用材料に各端末を組み込むことにより行われ、ジョイントボックスは組み立て後に海底に吊り下ろした。ジョイントボックスを吊り下ろす際は、ケーブルが許容の曲率以下に曲がる事が無いようにする必要があるので、ジョイントボックスの形状を保ちながら吊り下ろすことができるよう、ここでも吊り天秤を用いた作業を行った（写真-8）。



写真-8 ジョイントボックスの設置状況

おわりに

ここまで、浮体式洋上風車の据付に係る様々な吊り上げ・吊り下しの作業を紹介した。チェーンやケーブルなど、長尺物を取り扱うことが一つの特徴で、各々に要求される条件に合わせた作業方法の検討が大切である。

洋上での吊り上げ・吊り下しの施工性を左右する要素として最も影響が大きいのは海象

である。作業に使用される主要な船舶の多くにDPS（Dynamic Positioning System）またはこれに準じたシステムが搭載され、厳しい海象条件においても高い精度で位置の保持が可能であり、吊りものが揺れる中で精度良く施工を進めることに有効であった。今後、浮体式洋上風車を始め洋上構造物の建設が本格化するためには、工事において不可欠な吊り上げ・吊り下しに適切な施工機械を十分に確保できるよう整備する必要があると考える。また、もう一つの方向性として、揺れの影響を受けにくい吊り上げ・吊り下しの方法を検討する必要がある。ウィンチ等の巻上げ機械を浮体そのものに設置することが一つの解であると思われるが、浮体の設計と施工方法の一体的な検討を一層発展させ、より合理的な設計・施工の全体計画づくりを進めることが重要と考えられる。

今、浮体の下やケーブルの周りには様々な魚類が集まっている（写真-9）。浮体式洋上風力発電の技術的成果とともに、今後の福島の復興において本事業が多面的に貢献することを大いに期待したい。

工事の施工においては、発注者、地元の漁業者や小名浜港利用業者を始め、船舶関連の全国団体、関連諸官庁・自治体など、様々な立場の方々からご支援をいただき、工事の進捗に大変なお力添えをいただいた。この場を借りて、皆様に感謝の意を申し上げたい。



写真-9 浮体の下に集まった魚類

参考文献

- 1) 福島洋上風力コンソーシアム ウェブページ