

## PS-4 浮体式洋上風力発電の係留システムに関する 洋上施工時間推計モデルの定式化と解析

海洋先端技術系 \*蓮見 知弘、羽田 絢、中條 俊樹  
DPシステム運用・安全情報室 横井 威  
研究統括監 藤原 敏文

### 1. はじめに

浮体式洋上風力発電は、複数基の風車を設置、運用しながら、技術の確立と発電コストの低減に向けた取組が進んでいる。資本費の約30%を占める洋上施工費の低減は、発電コストの低減に向けて重要である<sup>1)</sup>。洋上施工費は、備船料と作業時間の積と考えられる。一方、日本の場合は、作業船の種類と隻数が少ないため、欧州の洋上施工費推計モデルを日本に適用することはできない。洋上施工費を精度よく計算するためには、洋上施工を構成する主要作業を特定し、各作業の効率を定め、全体の作業時間を推計することが重要であるが、そのような類似研究は見あたらない。そこで本研究では、浮体式洋上風力発電特有の「係留系」の洋上施工時間推計モデルを提案し、日本と欧州のデータより、各工程の作業効率を評価し、日本の将来の目指すべき水準を提案した。<sup>2)</sup>

### 2. 浮体式洋上風力発電の洋上施工時間推計モデル

本研究対象の洋上施工の概念図を図-1に示す。

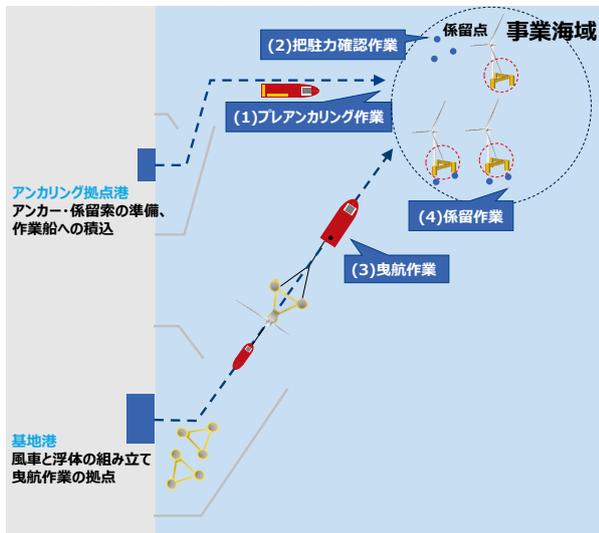


図-1 浮体式洋上風力発電の洋上施工の概念図

洋上施工では、アンカーと係留索の一時的な保管と作業船への積込を行うアンカリング拠点港と、浮体に風車を搭載し、曳航作業の拠点となる基地港の2つに分かれることを想定した。そして、主要作業として、アンカリング拠点港を使用する(1)プレアンカリング作業と(2)把駐力確認作業、基地港を使用する(3)曳航作業と(4)係留作業を位置付けた。

(1) プレアンカリング作業:チェーンとアンカーを事前に事

業海域に設置する作業であり、積込作業、輸送作業、設置作業の3つのサブ作業から構成される。一連の作業をチェーンとアンカーの輸送回数だけ繰り返す。

- (2) 把駐力確認作業:アンカーに作用する把駐力を確認する作業であり、輸送作業と把駐力計測作業の2つのサブ作業から構成される。事業海域内のすべてのアンカーの把駐力の確認をまとめて1回で行う。
- (3) 曳航作業:風車の搭載が完了したFOWT(Floating Offshore Wind Turbine)を基地港から事業海域まで曳航する作業。本作業終了後は、(4)係留作業となる。
- (4) 係留作業:チェーンを浮体に接続して係留する作業であり、係留接続作業と輸送作業の2つのサブ作業から構成される。(3)、(4)をFOWTの設置基数だけ繰り返す。

係留システムは、鋼製のみで構成されたカタナリー係留方式を想定した。以上より、アンカリング拠点港の作業時間 $T_{port,a}$ と基地港の作業時間 $T_{port,b}$ を次式のように定義する。

$$T_{port,a} = t_{load}N_{ml}N_{wt} + \frac{2d_{port,a}}{v_t}(N_t + 1) + (t_{anchor} + t_{hold})N_{ml}N_{wt} \quad (2.1)$$

$$T_{port,b} = \left( \frac{d_{port,b}}{v_{tow}} + t_{connect}N_{ml} + \frac{d_{port,b}}{v_t} \right) N_{wt} \quad (2.2)$$

ここで、

$t_{load}$ : 係留1本あたりの積込時間 [日/本]

$N_{ml}$ : FOWT1基あたりの係留本数 [本/基]

$N_{wt}$ : FOWTの設置基数 [基]

$d_{port,a}$ : アンカリング拠点港と事業海域間の距離 [km]

$v_t$ : 作業船の速度 [km/日]

$N_t$ : チェーンとアンカーの輸送回数 [回]

$t_{anchor}$ : 係留1本あたりの設置時間 [日/本]

$t_{hold}$ : 係留1本あたりの把駐力計測時間 [日/本]

$d_{port,b}$ : 基地港と事業海域間の距離 [km]

$v_{tow}$ : FOWTの曳航速度 [km/日]

$t_{connect}$ : 係留1本あたりの係留接続時間 [日/本]

(2.1)、(2.2)式において洋上施工の作業効率のモデルパラメータは、 $t_{anchor}$ 、 $t_{hold}$ 、 $t_{connect}$ の3つである。

### 3. 商用ウィンドファーム実現のための作業効率の推計

#### 3.1 商用ウィンドファームの前提

本研究では、10MW 風車を 48 基、合計 480MW のウィンドファームを想定する。解析の前提条件を以下に示す。

- 海象条件から、年間の施工期間の上限を春夏の 183 日とし、年間で 24 基の FOWT を設置する。各港湾の占有期間は 2 年間とする。
- $d_{port\_a}$ ,  $d_{port\_b}$  は、変数として扱う。日本の実績から最大値を 300km とする。
- $N_{ml}$  は、日本と欧州の発電事業の実績から 3, 4, 6, 9 [本/基] の 4 つのパターンを想定する。
- $t_{load}$  は、現在欧州で導入されている専用船 (AHTS: Anchor Handling Tug Supply Vessel) を想定して、1 回の輸送でチェーンとアンカー 9 セットを 1 日で搭載するとして、0.1 日/本とする。
- 1 年間に 24 基設置するための  $N_t$  は、 $N_{ml} = 3, 4, 6, 9$  の 4 つのパターンでそれぞれ、8, 11, 16, 24 [回] となる。

#### 3.2 アンカリング拠点港の作業効率の目標値の推計

(2.1) 式の  $T_{port\_a}$  の上限値を 183 日として、 $N_{ml}$  を変化させたときの  $(t_{anchor} + t_{hold})$  と  $d_{port\_a}$  の関係を 4 種の線に、日本と欧州の先行事業の実績を点で重ねたものを図-2 に示す。図-2 の ( ) は、先行事業における  $N_{ml}$  を意味している。

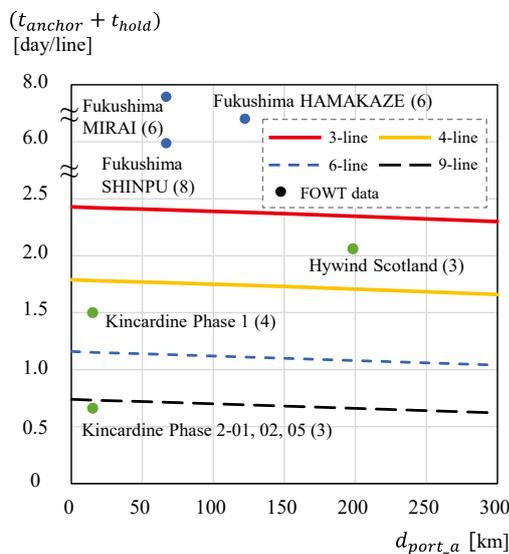


図-2 アンカリング拠点港の作業効率の目標値と実績

図-2 のとおり、Hywind Scotland, Kincardine Phase 1, Kincardine Phase 2-01, 02, 05 は、アンカリング拠点港での作業を計画どおりに終わるための作業効率 ( $t_{anchor} + t_{hold}$ ) を既に達成していることがわかる。一方、日本では、2016 年に施工したふくしま浜風でも現状の ( $t_{anchor} + t_{hold}$ ) である 7.0 日/本から目標値の約 1.1 日/本まで、割合にすると 84% 短縮し、欧州の実績水準まで到達する必要がある。

#### 3.3 基地港の作業効率の目標値の推計

(2.2) 式の  $T_{port\_b}$  の上限値を 183 日として、 $N_{ml}$  を変化させたときの  $t_{connect}$  と  $d_{port\_b}$  の関係を 4 種の線に、日本と欧州の先行事業の実績を点で重ねたものを図-3 に示す。図-3 の ( ) は、先行事業における  $N_{ml}$  を意味している。

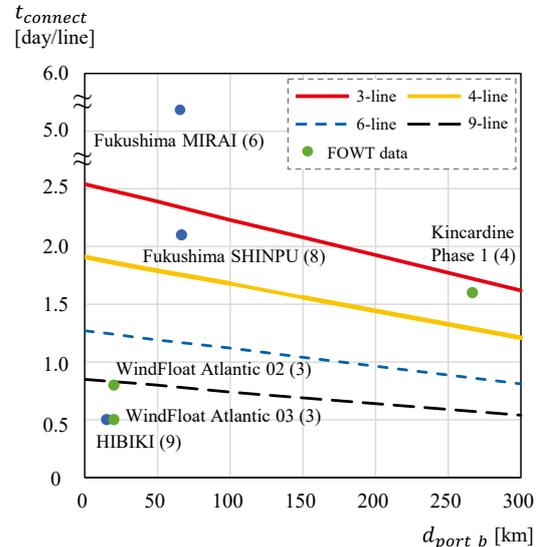


図-3 基地港の作業効率の目標値と実績

図-3 のとおり、欧州の WindFloat Atlantic 02, 03 と日本のひびきの  $t_{connect}$  は、基地港での作業を計画どおりに終わる水準に到達している。

### 4. まとめ

本研究では、浮体式洋上風力発電の特有の「係留系」に関する洋上施工の実態を明らかにするために、洋上施工作業時間推計モデルを提案した。日本と欧州の施工データより、各作業の効率を評価した。また、商用ウィンドファームを想定して、1 週間に 1 基の FOWT の施工を実現するための日本の目標とするべき (1) プレアンカリング作業と (2) 駐艇力確認作業の作業効率は、欧州と同水準、現在から 84% 短縮する必要があることを示した。

### 謝辞

本研究は、経済産業省資源エネルギー庁にて実施した福島沖での浮体式洋上風力発電システムの実証研究事業にて得られたデータを利用しました。関係者の方々に深く感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 蓮見知弘ら：浮体式洋上風力発電の洋上施工時間推計モデル定式化と解析，日本船舶海洋工学会論文集，第 37 号，pp. 69-80，2023。
- 2) 福島洋上風力コンソーシアム：福島沖での浮体式洋上風力発電システム実証研究事業 総括委員会最終報告書 2022。