

# 海外での浮体式洋上風力発電の施工事例について

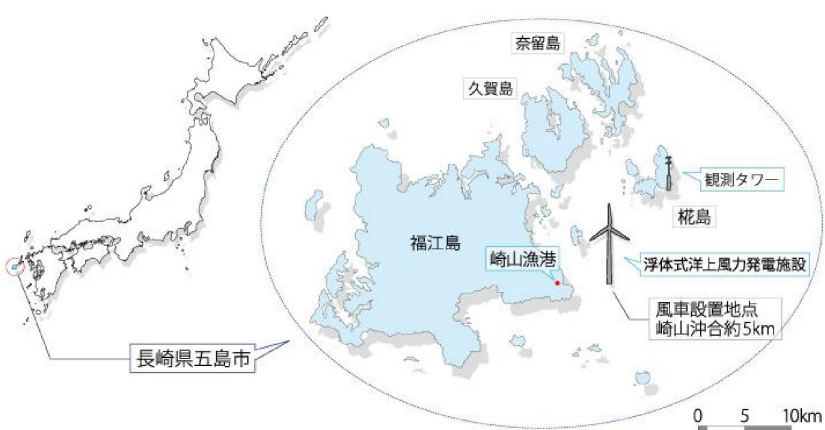
---

令和6年6月

浮体式洋上風力発電の海上施工等に関する  
官民フォーラム事務局

- 長崎県五島市福江島にて実証機「はえんかぜ」が運転中。
- 欧州を中心に8～9MW級の浮体式洋上風力が稼働済み。

我が国の運転中の浮体式洋上風力

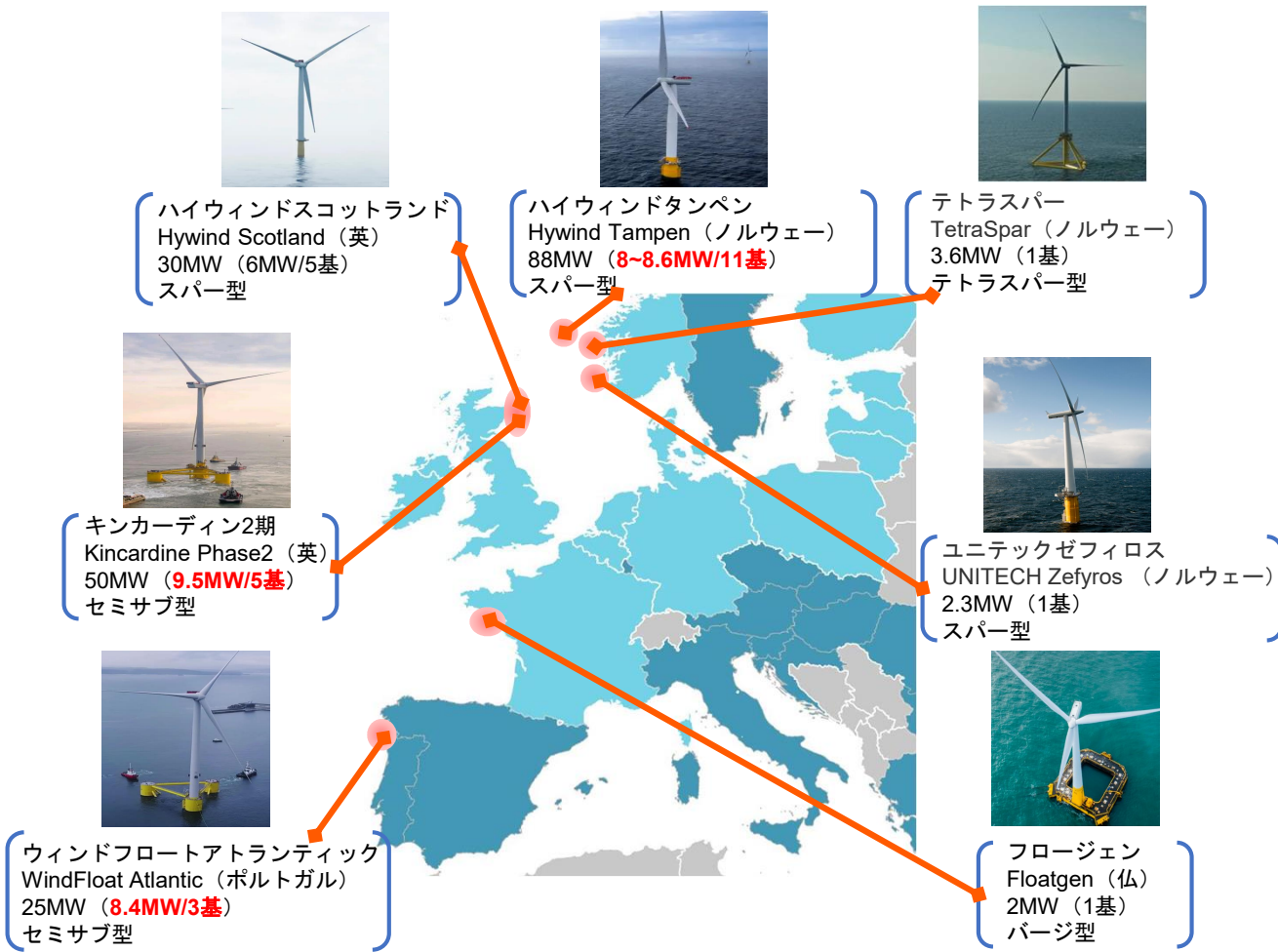


【はえんかぜ運転状況】



| 施設概要  |                                           |
|-------|-------------------------------------------|
| 名称    | はえんかぜ                                     |
| 設置場所  | 長崎県五島市福江島                                 |
| 施設諸元  | 全長172m(海面上96m)<br>浮体直径最大7.8m<br>ローター直径80m |
| 重量    | 約3,400t                                   |
| 最大出力  | 2MW                                       |
| 運転管理者 | 五島フローティングウィンド<br>パワー合同会社                  |

世界の主な運転中の浮体式洋上風力



出典: 戸田建設公表資料より作成

- ウィンドフロートアトランティックでは、基礎製作拠点、係留索・アンカー設置拠点、アッセンブリを行う基地港湾の3か所の港湾を使い、施工を実施。

## ウィンドフロートアトランティックの施工プロセス



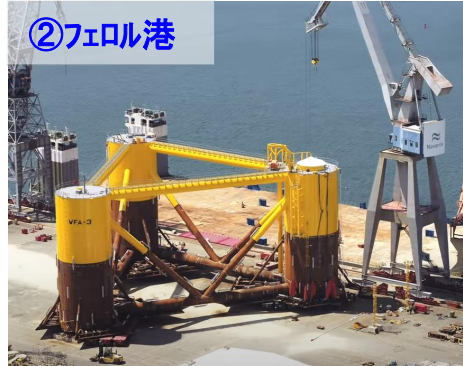
ウィンドフロートアトランティック

- ・水域:ポルトガル沖18km
- ・基礎:セミサブ(鋼製)
- ・風車:185 m
- ・基数:3基(各8.4MW)
- ・運転開始:2020年



①セツバル港

・セツバル港ドックで2基の基礎浮体を製作後、基地港湾であるフェロルへ曳航



②フェロル港

・フェロル港のナバンティア社ヤードで浮体基礎1基を製作



②フェロル港内の移動

・フェロル港のナバンティア社ヤードで製作した浮体基礎はセミサブ船でフェロル港サンシブラオ地区へ移動



②フェロル港サンシブラオ地区

水深-20m

・水深20mの岸壁でアッセンブリをクローラークレーンで実施  
・工事時の浮体基礎の喫水は17-18m程度と想定される。



③レイクス港を拠点とするアンカリング船

・係留索、アンカーを、事前に設置。



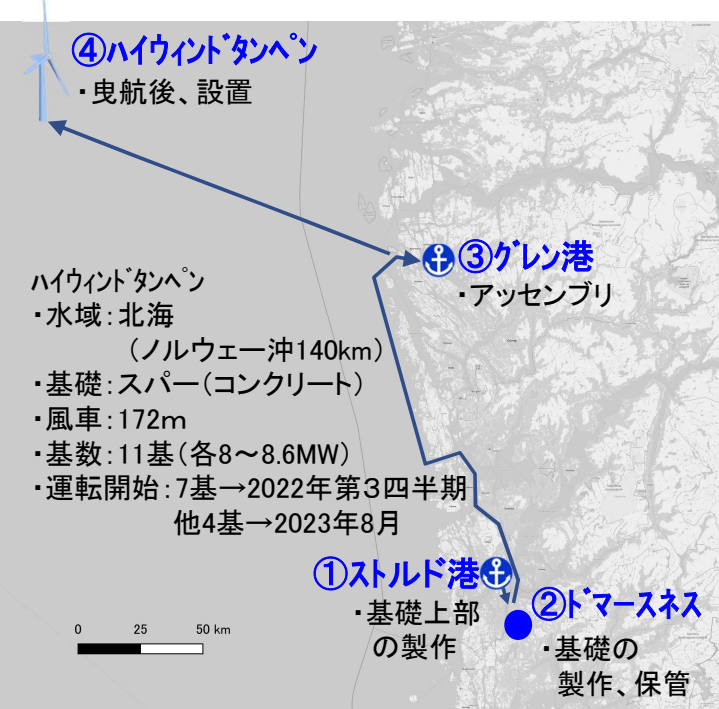
②フェロル港からの曳航

・完成した浮体式洋上風力発電設備を大型タグで曳航し、事前に設置した係留索に固定。  
・設置場所の水深は100m

# コンクリート製スパー基礎洋上風力発電所(ハイウィンドタンペン)の施工事例

- ハイウィンドタンペンでは、水深100m超のフィヨルド内において基礎を製作・曳航し、基地港湾のリンガークレーンでアッセンブリし、サイトへ曳航、設置。

## ハイウィンドタンペン(8MW機×11基、2022年7基・2023年4基運転開始)の施工プロセス



・ストルド港で、浮体基礎下部20mを製作



・浮体基礎上部をドマースネスへ曳航



・ドマースネスにてコンクリートスリップフォーム工法にて完成(長さ107m)



・ドマースネスからグレン港まで浮体基礎を曳航し、リンガークレーンを使いSGRE社※がスパー基礎上でアッセンブリ



・アッセンブリ後、グレン港から沖合140kmのハイウィンドタンペンサイトまで曳航、設置  
・設置場所の水深は260~300m

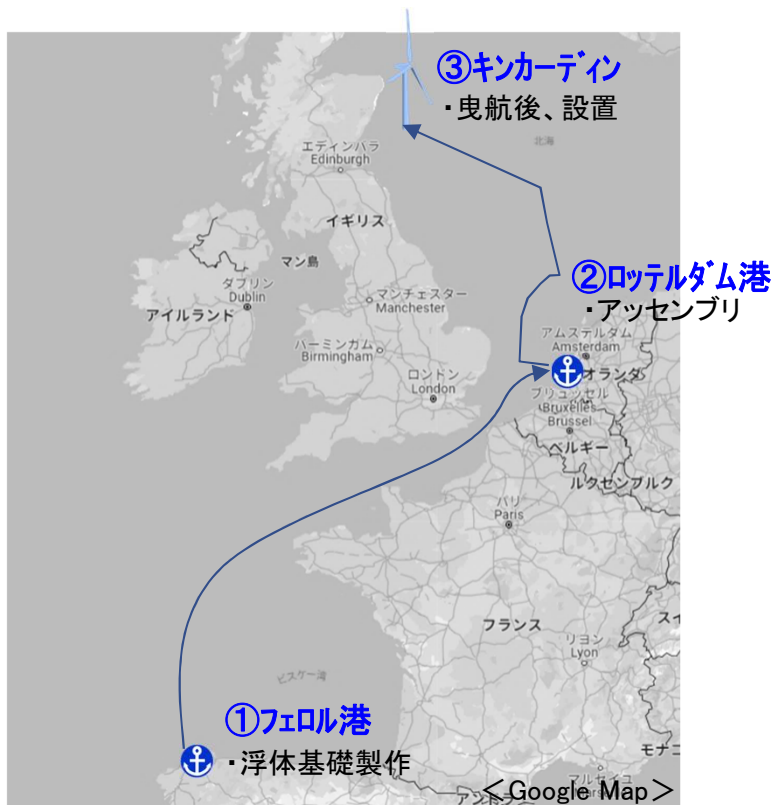


※Siemens Gamesa Renewable Energy(シーメンス・ガメサ): Siemensの風車製造部門とGamesaが合併してできた会社。

# セミサブ基礎洋上風力発電所(キンカーディン2期)の施工事例

- キンカーディン2期では、浮体基礎の製作、アッセンブリを行う基地港湾の2か所の港湾を使い、施工を実施。

## キンカーディン2期(9.5MW機×5基、2021年運転開始)の施工プロセス



・フェロル港からロッテルダム港まで浮体基礎を曳航



・ロッテルダム港でアッセンブリ



・アバディーン沖15kmの海域まで曳航



・現地サイト設置後の様子  
・設置場所の水深は60～80m

- キンカーディン2期
- ・水域: 北海(アバディーン沖15km)
  - ・基礎: セミサブ
  - ・風車: 190m
  - ・基数: 5基(各9.5MW)
  - ・運転開始: 2021年

- 浮体式洋上風力発電の設置・組立を行う港湾には、①浮体基礎の組立、②係留拠点、③水域保管、④プレアッセンブリ・搭載の4つの機能が求められる。

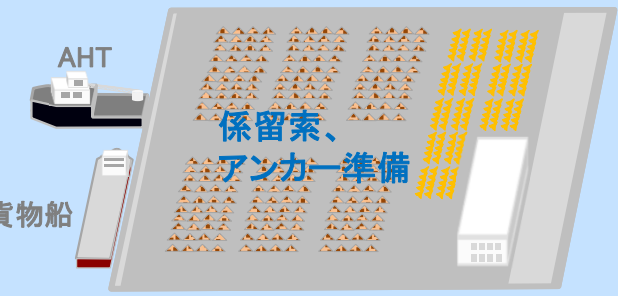
## 浮体式洋上風力発電の設置・組立を行う港湾に求められる機能と代表的な港湾の例

### □係留拠点機能

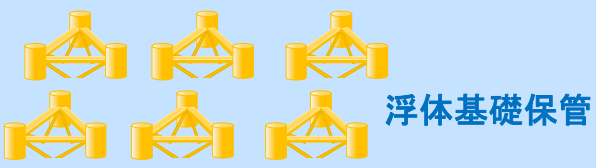
・グレン港(ノルウェー)



(出所) Acteon社HP



### □水域保管機能



・水域保管拠点: 事例無し

### □浮体基礎組立機能

・グレナ港(デンマーク)

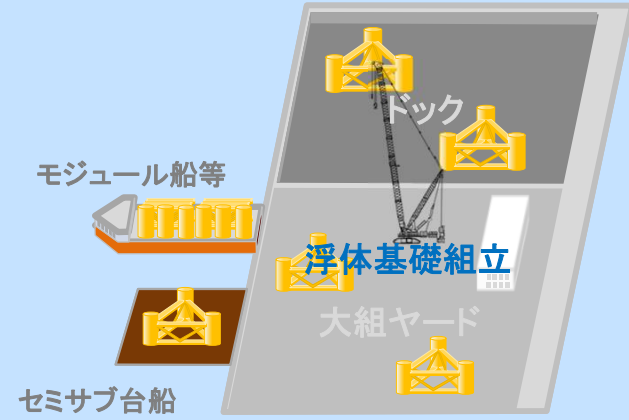


(出所) Stiesdal社HP

・フェロル港(スペイン)



(出所) Flotation Energy社提供



### □プレアッセンブリ・搭載機能

・グレン港(ノルウェー)



(出所) Wergeland社HP

・フェロル港(スペイン)



(出所) Principle Power社youtube



# 海外において整理された施工上の課題

## 【ポイント】

- 浮体式の大量導入やプロジェクトの同時開発が課題として挙げられている。
- また、現場（設備設置海域）での最終組立、修理期間のダウンタイムの最小化を図ることなども挙げられている。

## Guide to a Floating Offshore Wind Farm※で記載されている課題①

| 項目            |                   | 課題                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 着床式と浮体式       | 浮体式洋上風力発電の成長を阻む障壁 | 【サプライチェーン】<br>・現在、英国では、ギガワット規模の浮体式洋上風力発電プロジェクトの同時開発に必要な岸壁長、水深、スペースを備えた港が不足。<br>・英国のサプライチェーンが大規模プロジェクトを支える能力を確保するには、浮体式基礎の大量生産のための製造施設の確立が必要。<br>・大幅にコストを削減し、浮体式洋上風力発電の経済的利益を十分に享受するためには、競争力と能力のあるサプライチェーンが不可欠。                                                                                |
|               |                   | 【技術的課題領域】<br>・現在、最大の浮体式洋上風力発電プロジェクト（Hywind Tampen）はタービン11基に対して、設置に2シーズンが必要。1シーズンでタービン60基を設置することは、大きな課題。この課題には、浮体式基礎の保管と、浮体式洋上風力タービンを所定の位置に曳航するための適切な好天時期を確保することが含まれます。<br>・浮体式洋上風力発電設備の保守方法を確立することは不可欠。浮体式洋上風力発電設備を修理するために揚陸することは望ましくないため、問題が発生したときのダウンタイムを最小限にし、洋上で問題を解決するためには、新しいツールと技術が必要。 |
| 重量物の持ち上げおよび移動 |                   | ・タービン部品を浮体式基礎に吊り上げる主な方法は、陸上リングクレーンまたは船舶搭載クレーン（SEP船）の使用。<br>ナセルを浮体式基礎のタワーに吊り上げるには、高さとリーチが重要であり、移動式クレーンの吊り上げ能力の限界になる。<br>15MW規模の風車のナセルをセミサブ型基礎に吊り上げるには、最低で800tのクレーン能力、フックの高さ約160m、岸壁から30mのリーチが必要。                                                                                               |
|               |                   | ・浮体式洋上風力発電設備の基地港のほとんどでは、港内でタービン部品の重量物の吊り上げ作業を行うために、風力タービン設置用のSEP船が使用されると予想されます。十分なリーチとクレーン能力があれば、古いSEP船やはしけを使用することもできる。<br>岸壁の深さに対するSEP船の脚長に応じ、追加の高さが提供される場合がある。岸壁の海底が平坦になっていることや、SEP船の脚に十分な耐荷重能力が必要。<br>・一部の港では、陸上クレーンに投資するケースがある。陸上クレーンは、半永久的なリングクレーンまたはクローラークレーンのいずれかになる。                  |

Guide to a Floating Offshore Wind Farm※で記載されている課題②

| 項目 | 課題                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 港湾 | <p>450 MW プロジェクトの基地港湾の要件は以下のとおりです。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・タービンの設置と事前組み立てに適した15～20ヘクタールの土地</li><li>・最終組み立て前の浮体式基礎の保管、および曳航前の組み立て済み浮体式洋上風力タービンの保管のための10～12ヘクタールの水域保管施設</li><li>・岸壁の長さは約500m、耐荷重は40～100t/m2で、隣接する岸壁との連続性が必要</li><li>・浮体式基礎および半潜水型輸送船の喫水に対応できるよう、岸壁の水深は12～20メートル。</li><li>・浮体式基礎およびタービン部品の運搬船が航行するための水域施設。長さ160m、幅45m、喫水6mまで、潮汐やその他のアクセス制限はなし。</li><li>・航行に高さ制限がなく、高さ約250メートルの浮体式洋上風力タービンの曳航が可能。</li><li>・設置場所に可能な限り近づくことで、曳航時間と天候の影響を最小限に抑えることができるが、その適正距離は、設置場所に対する港の位置、港への追加投資費用(必要な場合)、燃料費などの、多くの要因によって異なる。</li></ul> |
|    | <p>タービンを地面に保管するためには広い土地が必要。<br/>天候による制約が大きい現場や、より大規模な建設プロジェクトの場合は、最大 30 ヘクタールの追加エリアが必要になる場合がある。<br/>基地港に運ばれた浮体式基礎を、岸壁でタービンと組み立てる前に一時的に保管するため、水域保管施設が必要。この保管施設は、組み立て後の浮体式洋上風力タービンを曳航する前にも使用可能。<br/>浮体式洋上風力タービン、係留システム、ケーブルシステムの基地港湾としての機能を果たすために、別々の港が使用される場合がある。<br/><b>現場で係留された浮体式基礎に直接タービンを組み立てる方法であれば、浮体式基礎と風力タービンを別々にサイトに運搬することになるため、異なる港湾が使用される可能性がある。</b>現場の水深はSEP船に適していないため、タービンを設置するには半潜水型または重量物運搬船が必要。<br/>タービンと浮体式基礎を岸壁で組立てることの代替案としてはドライドックで組み立てる方法があるが、一般的な セミサブ型基礎に適した幅を持つドライドックはほとんどない。</p>                                                 |

※英国に本社を置くBVG Associates が作成した浮体式洋上風力発電所ガイド  
当該ガイドをもとに港湾局作成

# 海外において整理された施工上の課題

## Floating Wind Joint Industry Program (JIP)※による検討結果

| 項目           |                   | 検証結果                                                                                                                                                                                                                      | 明らかとなった課題                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 係留システム       | 施工・敷設             | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>施工工程のコストインパクトが特に大きい</u></li> <li>・ <u>トップコネクタ（浮体と係留を接続する基礎側の箇所）とアンカーが、敷設作業に影響を及ぼす</u></li> </ul>                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>アンカリング及び係留作業をシンプルにする新技術が必要</b></li> </ul>                                                                                                                                                                    |
| インフラ・ロジスティクス | 港湾インフラ            | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>低コストなジャッキアップ船を浮体式用に転用することで、港湾部のクレーン能力の制約を緩和できる可能性がある</u></li> </ul>                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>浮体式の建設に必要な要件（港湾喫水、岸壁エリア、陸上保管エリア、静穏水域、クレーン吊荷能力）を充足する港湾は限定的</b></li> </ul>                                                                                                                                     |
|              | 基礎製造・組立・積出        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>浮体基礎の製造は建設フェーズにおける所要時間を決める重要な工程であり、浮体基礎の設計と港湾インフラの双方が、量産化に適している必要がある</u></li> </ul>                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ドライドックでの浮体基礎組立では経済性を確立することが難しく、岸壁での量産方法の確立が必要</b></li> </ul>                                                                                                                                                 |
|              | 曳航・設置             | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>組立港湾からサイトまでの離岸距離が長距離となる場合、複雑、長時間かつコストのかかる曳航作業が必要</u></li> <li>・ <u>気象予測期間（72時間、最大580km）を超える曳航が必要な場合、曳航に影響を及ぼす</u></li> </ul>                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>アンカリング及び係留作業をシンプルにする新技術が必要</b></li> </ul>                                                                                                                                                                    |
|              | O&M               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>ヘビーリフトによる洋上での運転保守は、いくつかの浮体形式にとっては必須要件</u></li> </ul>                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>港湾まで曳航する保守方法は、浮体式風力設備と係留・海底ケーブルの取り外し作業の複雑さと港湾インフラが主な課題</b></li> </ul>                                                                                                                                        |
| 洋上におけるクレーン作業 | ヘビーリフト船舶・その他の代替技術 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>浮体式の設置に利用可能な船舶の選択肢及び経験が限定的</u></li> <li>・ <u>大型風車の設置に利用可能な船舶が限られている。特に今後の洋上風力施工船においてクレーン吊り高さが重要。</u></li> <li>・ <u>船体動揺抑制装置が開発されているが、浮体式洋上風力特有の要件に焦点を当てた開発ではない</u></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>着床式、浮体式用の次世代施行船には、クレーン吊荷能力に加え、十分な吊り荷高さとリーチを備えたクレーン及び優れた船体動揺抑制装置を備えることが要件となる</b></li> <li>・ <b>3D Motion compensationやクライミングクレーンなど有望な代替技術の開発とスケールアップが必要</b></li> </ul>                                        |
| 港湾への曳航による保守  | 港湾への曳航による運転保守     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>TLP、スパー型に関する課題に取り組んだ技術はほぼ存在しない</u></li> <li>・ <u>港湾インフラと陸上クレーンの吊り高さが、港湾への曳航による商業ベースでの保守の成功要否の決定要因になり得る</u></li> </ul>                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>アレイケーブルの導通を維持するために用いられるケーブルジョイントへの設置時間が、風車の曳航に要する時間よりも長期間に及ぶ</b></li> <li>・ <b>海洋条件もしくは部品交換を実施する月の選択が稼働停止に伴う発電損失に大きな影響を及ぼす</b></li> <li>・ <b>最新技術を用いた場合でも、3～10月中に50基の風車の保守作業を完了するために、複数の船舶が必要</b></li> </ul> |

※英国政府が設立した低炭素ビジネスを支援するカーボントラストと17の洋上風力関連事業者による共同研究開発イニシアチブ

※三菱総研の調査報告書『令和3年度エネルギー需給構造高度化対策に関する調査等事業（洋上風力に係る官民連携の在り方の検討（洋上風力の導入拡大と産業競争力強化の好循環の実現に向けた検討等）のための調査）』をもとに港湾局作成

○海外の課題や資料2で示したご意見をもとに、『海上施工の実施』に着目して議論を加速すべき課題を性質別にカテゴライズ  
○このうち、1. と2. を今後議論を加速させる対象として、次頁に解決すべき課題や論点を整理した

海外の課題 & 主なご意見

【海外の主な課題】

- 大量導入・プロジェクトの同時開発
- 現場(設備設置海域)での最終組立
- 修理期間のダウンタイムの最小化

【資料2の主なご意見】

- I 横断的課題
- II 風力発電施設の構成要素の製造、組立てに関する課題
- III 風力発電施設の構成要素の保管、運搬に関する課題
- IV 風力発電施設の設置に関する課題
- V 基地港湾の機能強化に関する課題
- VI 関係船舶の整備、運用に関する課題
- VII 運転保守(O&M)、撤去に関する課題
- VIII 設置水域の調査、試験等に関する課題
- IX その他の課題

課題の性質整理

1. 海上施工の最適化に向けた核となる優先的な課題

【例】

- ・洋上風力発電事業の安定・成長を支える技術、資格、体制に関する法令、ガイドラインの制度化
- ・基地港湾等港湾ごとの役割分担、最適な場所等港湾整備のあり方の検討、海上作業基地(プラットフォーム)の開発、整備
- ・海上施工全体の安全確保

2. 優先的な課題の解決に向けて必要な課題

【例】

- ・船舶・施設間の移乗、作業の安全確保
- ・AUV／ROV、AI、IoT、遠隔監視方法等の活用、それによる要員の削減、負担軽減
- ・傷病者の搬送その他緊急時対応計画の必要性

3. 関係機関、組織との連携が不可欠な課題

【例】

- ・日本の環境等に合うタイプ(セミサブ、スパー等)の検討
- ・人材(作業員、運航要員等)の育成、確保、そのための魅力ある市場づくり
- ・洋上変電所、海底直流電送の整備、洋上での系統連結

# 解決すべき課題と今後の論点

○海上施工の実施を最適化するにあたって、以下の点について今後議論していく必要があると考えられるのではないかな。

| 解決すべき主な課題                                         | 論点                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ①<br>浮体式の大量導入、<br>複数プロジェクトの実施に<br>必要なインフラ・資機材等の確保 | (1) 前提条件をどのように整理すべきか(例:浮体式発電設備の大きさや数など)                                                                                                                                                                                                            |
|                                                   | (2) 既存ストックで対応が可能か                                                                                                                                                                                                                                  |
|                                                   | (3) 対応不可の場合、どのような港湾機能や船舶等が必要か                                                                                                                                                                                                                      |
|                                                   | (4) それらの機能等を活用してどのような施工手順、船舶利用が考えられるか                                                                                                                                                                                                              |
| ②<br>現場(設備設置海域)での<br>設置作業効率化等の<br>海上施工全体の最適化      | (1) いかにして海上作業拠点化や施工システムの技術を確立していくか                                                                                                                                                                                                                 |
|                                                   | (2) 厳しい自然環境のなかで海上作業の施工性や安全性をどのように確保すべきか                                                                                                                                                                                                            |
|                                                   | (3) 技術基準、据え付け方法等について標準化は必要か                                                                                                                                                                                                                        |
|                                                   | (4) 沖合の海象をどのように把握するか                                                                                                                                                                                                                               |
|                                                   | (5) 施工時等において、周辺を航行する船舶との調和をどのように図るべきか                                                                                                                                                                                                              |
|                                                   | (6) 運用・メンテナンスの安定性や効率性をどのように確保すべきか                                                                                                                                                                                                                  |
| ③<br>官民の役割分担、<br>協調領域・競争領域の考え方                    | (1) 様々な浮体基礎形状があるなかで、最低限必要なインフラをどのように決めるか                                                                                                                                                                                                           |
|                                                   | (2) 港湾インフラについて、民間によるアップグレードはどうすべきか                                                                                                                                                                                                                 |
|                                                   | ○協調領域・競争領域の考え方は以下でよいかな<br><div> <div>■協調領域: ✓ 基地港湾、海上プラットフォーム等の整備・確保 ✓ 需要予測 ✓ 安全確保<br/> ✓ 各船舶航行の関係整理 ✓ 産業・人材育成 ✓ 技術等に関する制度構築<br/> ✓ コスト低減等に資する技術開発 ✓ 知見等の共有 ✓ 標準化</div> <div>■競争領域: ✓ 基礎の製造方法等 ✓ 部材・船舶の確保等 ✓ 係留方式・施工方法 ✓ プロジェクトマネジメント</div> </div> |