

英国における
洋上風力サプライチェーン動向
に関する調査
第2部 新技術・イノベーション

2023年9月

日本貿易振興機構（ジェトロ）

調査部

ロンドン事務所

【免責条項】

本レポートで提供している情報は、ご利用される方のご判断・責任においてご使用下さい。ジェトロでは、できるだけ正確な情報の提供を心掛けておりますが、本レポートで提供した内容に関連して、ご利用される方が不利益等を被る事態が生じたとしても、ジェトロおよび執筆者は一切の責任を負いかねますので、ご了承下さい。

目次

| | | |
|-----|--|----|
| I | 技術的イノベーションの必要性 | 1 |
| 1. | 技術的イノベーションが必要な分野 | 1 |
| (1) | プロジェクト開発 | 4 |
| (2) | タービン | 4 |
| (3) | 基礎構造 | 5 |
| (4) | 電気システム | 6 |
| (5) | 設置および運用保守 (O&M) | 6 |
| II | 革新的な中小企業の事例 | 8 |
| 1. | アポロ — 浮体式基礎のための新しい接続システム | 8 |
| 2. | リースク・マリン — 浮体式洋上風力のための新たなアンカーソリューション | 9 |
| 3. | ACT Blade — 革新的なブレードの開発 | 10 |
| 4. | マグノマティクス — 磁気ギア技術を用いた洋上風力タービン用の発電機の開発 | 10 |
| 5. | CASC — プレアッセンブリの事前整備と先端金属加工 | 12 |
| 6. | エコーボルト — 超音波ボルト点検で大幅なコスト削減を実現 | 12 |
| 7. | コグニティブ — 気象データと船舶データにより船舶からタービンへの移乗の安全性を評価する、AI ツールを開発 | 13 |
| 8. | センネン — 運用データをクラウドで一元管理するシステムを開発 | 14 |
| 9. | ロボコおよびバールスト — 海中作業におけるインテリジェントなロボットの利用を推進 | 16 |
| 10. | VRAI — バーチャルリアリティによる保守業務トレーニング | 17 |
| III | 日本企業の進出可能性 | 18 |
| IV | グリーン水素のサプライチェーンとの関連 | 19 |

はじめに

日本では2019年4月に施行した「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（再エネ海域利用法）」に基づき、洋上風力発電の導入拡大が進められているところである。しかしながら、それに不可欠となるサプライチェーンは、現在のところ、ほとんど形成されていない。

洋上風力市場で世界をリードする英国でもローカルコンテンツを軸としたサプライチェーンの強化は、国内市場拡大を図る上で重要な課題であると同時に、今後急成長が見込まれる世界市場におけるビジネス機会としても認識されており、官民一体となり、必要となる革新技术を提供できる国内サプライヤーの育成に注力している。

本報告書では2部構成により、国内サプライチェーンの強化を進める英国の現状、及びサプライチェーンにおけるテクノロジーギャップを明らかにすることにより、日本企業・日系企業のビジネス機会について洞察を提供するとともに、日本におけるサプライチェーン形成の一助とすることを目的とする。

第2部では、新技術やイノベーションとして、主に浮体式洋上風力における新技術・イノベーションや日本企業の進出可能性などを取り上げる。

本レポート内容は別途表記がない限り、2023年7月時点の情報に基づく。また、掲載した情報・コメントは執筆者およびジェトロの判断によるが、一般的な情報・解釈がこのとおりであることを保証するものではない。

2023年9月
日本貿易振興機構（ジェトロ）
調査部 欧州課

I 技術的イノベーションの必要性

洋上風力発電産業の発展には、更なるコスト低減、海洋作業における安全面の向上が不可欠であり、これらの実現には新技術・イノベーションが必要である。また、タービンの大型化（10MW+級、将来的には15MW+や20MW+級）やより遠洋での発電設備の設置に対応する必要もある。とりわけ浮体式洋上風力発電所の開発は、今後、英国が洋上風力市場を拡大していく上で不可欠であり、更なる遠洋、大深海での設置や浮体動揺に適した発電設備やインフラ、設置技術が必要になる。

1. 技術的イノベーションが必要な分野

ビジネス・エネルギー・産業戦略省（BEIS、現エネルギー安全保障・ネットゼロ省¹）、OREカタパルト（Offshore Renewable Energy Catapult²）、イノベート UK 知識移転ネットワーク（Innovate UK Knowledge Transfer Network : KTN³）が共同運営するオフショア・ウィンド・イノベーション・ハブ（Offshore Wind Innovation Hub : OWIH）は、洋上風力産業で必要とされている技術・イノベーションについてロードマップ作成し、ウェブサイト上で公表している⁴。加えて、浮体式洋上風力発電技術については、カーボントラスト⁵主催の洋上風力共同事業プログラム（Floating Wind Joint Industry Programme）が2016年から浮体式洋上風力の商業化に向けた技術的課題を明確化し対応を検討している⁶。表1はこれらにより特定された、技術的イノベーションのニーズをまとめたものである。

表 1 技術開発が必要な主な分野

| 分野 | イノベーションの内容 | 大きな進展が期待される時期 |
|-------------|--------------------------------------|---------------|
| 開発 | | |
| 共通（浮体式・着床式） | 生態系監視のための遠隔・自律操作システム | ～2024 |
| | 発電所レイアウト自動最適化ツール | ～2025 |
| | プロジェクトの主要参加組織間のライフタイムを通じたシームレスなデータ共有 | ～2025 |

¹ 2023年2月の部分的な省庁再編成によりエネルギー安全保障・ネットゼロ省（Department for Energy Security and Net Zero）となった。参考：英国政府ウェブサイト

<https://www.gov.uk/government/publications/making-government-deliver-for-the-british-people/making-government-deliver-for-the-british-people.html>

² 海洋再生可能エネルギーのための技術革新と研究センター。

³ 革新的なアイデアを投資家や協業者等様々な主体と結び付け社会実装するのを支援する公的機関。

⁴ Offshore Wind Innovation Hub のウェブサイト

<https://offshorewindinnovationhub.com/about-roadmaps/>

⁵ 世界の主要企業、政府および金融機関を協力し、ネットゼロを加速・推進する非営利コンサルティング企業。

⁶ カーボントラストのウェブサイト

<https://www.carbontrust.com/our-work-and-impact/impact-stories/floating-wind-joint-industry-programme-jip>

| 分野 | イノベーションの内容 | 大きな進展が期待される時期 |
|-------------------------|--|------------------------|
| タービン | | |
| 浮体式 | 浮体とタービンの一体的な設計ツールの開発 | (詳細情報なし) |
| | 様々なロータ構造の開発 | ～ 2040 |
| | ピッチ制御システムの設計最適化 | ～ 2023 |
| | ドライブトレインの設計最適化およびタービン制御設計の高度化 | ～ 2028 |
| | 磁気ギアの利用 | ～ 2027 |
| | タワーの最適化 (材料の開発、設計の改善、軽量化) | (詳細情報なし) |
| 共通 | ブレード設計(分割型ブレード、スマートブレード、等) | ～ 2030 |
| | タービン構造 | ～ 2035 |
| | ブレード材料の開発 | |
| | 浸食防止材 | ～ 2026 |
| | 多機能材料 | ～ 2025 |
| | 積層造形法用材料の開発 | ～ 2028 |
| | 熱可塑性樹脂ブレードの開発 | ～ 2025 |
| | 超撥水材料 | ～ 2026 |
| | ブレードの先進製造 | |
| | 複合材料の自動製造 | ～ 2028 |
| | 積層造形法 | ～ 2030 |
| | リサイクル可能な熱可塑性樹脂の加工方法の改善 | ～ 2025 |
| | ブレードのモジュール製造 | ～ 2030 |
| | 次世代コンバータの開発 | ～ 2025 |
| | 次世代発電機の開発 | ～ 2031 |
| | 新しいパワートレインの設計 (設計、洋上風力用ジャーナル軸受の開発、長寿命化のためのシステム設計) | ～ 2035 |
| | 発電所全体を最適に運用するためのウェイク・ステアリング技術の開発 | ～ 2028 |
| タービンの健全性を考慮に入れたタービン制御技術 | ～ 2023 | |
| 基礎 | | |
| 浮体式：浮体 | 浮体の連続生産化 | ～ 2025 |
| | コンセプトの開発・製造 | ～ 2032 |
| 浮体式：係留システム&アンカー | 係留索の脱着のためのコネクタの開発 | ～ 2030 |
| 共通 | 腐食防止技術の最適化 | ～ 2023 |
| 着床式 | モノパイルの大型化 | ～ 2030 |
| | 自動溶接の推進 | ～ 2023 |
| | トランジションピースと基礎を一体化させた設計 | ～ 2025 |
| | 洗掘リスクを低減する基礎設計 | ～ 2025 |
| 電気システム | | |
| 浮体式 | アレイケーブル脱着のためのコネクタの開発 | ～ 2030 |
| | HVAC および HVDC ダイナミックケーブルの改善 | ～ 2035 |
| | 電気部品設計の最適化 | ～ 2029 |
| | 洋上変電所の浮体の設計 | ～ 2030 |
| | 鉛被を用いないダイナミックケーブルの開発 | ～ 2027 |
| 共通 | 電気インフラの状態監視システムと、他のタービン部品の状態監視システムを統合するためのプラットフォームの開発と実証 | ～ 2028 |
| | 洋上電力貯蔵システムの開発 (水素貯蔵を除く) | ～ 2025 |
| | 洋上での水素製造による電力貯蔵 | ～ 2027 |
| | HVDC スーパーグリッドの開発 | ～ 2040 |
| | 低周波 AC 送電技術の開発 | ～ 2030 |
| | スマート電力ネットワークのためのソリューションの開発 | ～ 2025 |
| | DC 集電による陸上グリッドへの直接接続 | ～ 2040 |
| | DC/DC 中圧/高圧コンバータ (タービン搭載用) | 中圧：～ 2025 高圧：～ 2030 |
| | 中圧/高圧 DC 集電関連の開発 | ～ 2035 |
| | 超電導ケーブル | ～ 2040 |
| | HVDC 交直変換所の最適化 | ～ 2030 |

| 分野 | イノベーションの内容 | | 大きな進展が期待される時期 |
|--|--|------------------------------|---|
| | HVDC 海底変電所 (HVAC 海底変電所) | | ~ 2045 (~ 2035) |
| 設置・O&M | | | |
| 浮体式 | 洋上での組立て時間短縮のための作業改善 | | ~ 2030 |
| | 先進的クレーン | | ~ 2040 |
| 共通 | 船舶やヘリコプターの自動船位保持装置の改良 | | ~ 2025 |
| | BoP* (とりわけ係留索やアレイケーブル) へのセンサなどの状態監視技術を活用した O&M の効率化 | | ~ 2030 |
| アクセス | アクセス計画ツール (気象・海象データベース) | | ~ 2027 |
| | スマートメンテナンス計画策定ツール (技術者確保) | | ~ 2023 |
| 設置および点検・保守 | AI と機械学習を用いた CTV (作業員輸送船) の効率的な利用と次世代 CTV の開発 | | ~ 2025 |
| | ブレード修理時の作業環境確保のためのシステムの開発 | | ~ 2025 |
| (ロボットと自律システムの活用) | ロボットを用いた洋上でのタービンの設置 (将来的にはドローンを用いたブレードの自己設置等) | | ~ 2035 (~ 2040) |
| | 海底ケーブル敷設技術およびプロセスの改善 | | ~ 2030 |
| | 革新的なケーブルトレンチ造成技術 | | ~ 2040 |
| | ブレード点検のための目視見通し内/外(VLOS=目視見通し内、BVLOS=目視見通し外)のドローンの利用 | | 目視見通し内 (VLOS) : ~ 2024 目視見通し外 (BVLOS) : ~ 2031 |
| | 遠隔操作によるブレードの非破壊検査(NDT)技術 (将来的には完全自律型のロボットによる NDT) | | ~ 2026 |
| | 高度なカメラ・センサーシステムを搭載した自律型無人潜水機による基礎の点検 | | ~ 2035 |
| | 定期的保守作業の自動化 | | ~ 2031 |
| | 海底・海中および空中で利用する遠隔操作機器の自律性の強化/高性能化 | | ~ 2040 |
| | 遠隔操作ロボットの利用の促進、および様々なロボットや自律システムを同時に運用する際のシステム間のコミュニケーションの確保 | | ~ 2030 |
| | 拡張現実 (VR) 技術を用いた現場作業員のトレーニング | | ~ 2023 |
| | 気象予報および風力発電所の制御システムを統合した高度な出力モデリングツールの開発 | | ~ 2028 |
| | 運用 | 気象・海象予測の向上と気象・海象測定インフラのコスト削減 | |
| 衛星リモートセンシングを利用した発電所運用および保守活動の最適化 | | ~ 2025 | |
| デジタルツインを活用した設計・運用の最適化 | | ~ 2023 | |
| パワートレインの予知保全のための様々な状態監視システムの開発 | | ~ 2025 | |
| ベアリング用超音波センサの開発 | | ~ 2030 | |
| タービンの状態監視システムが生成するデータから部品の予知保全や自動予後分析を行うための AI・機会学習を用いたツールの開発 | | ~ 2024 | |
| BoP (とりわけ海底ケーブルと基礎構造物) の状態監視システムが生成するデータの高度な分析と現場作業員がもつ情報を組み合わせた予知保全 | | ~ 2025 | |
| 状態監視システムや構造成健全性監視システムのデータを利用した、部品と設備残存寿命の分析のための機会学習ベースのツールの開発 | | ~ 2025 | |
| 現在保守作業員が行っている SCADA (監視制御システム) や状態監視システムのデータの自動処理 | | ~ 2040 | |
| その他 | | ~ 2030 (~ 2025) | |
| 着床式 | 洗掘防止方法の改善 | | ~ 2027 |
| | 基礎設置船の高性能化 | | ~ 2040 |
| | 着床式基礎の設置時の騒音を軽減する技術の開発 | | ~ 2040 |

| 分野 | イノベーションの内容 | 大きな進展が期待される時期 |
|----|------------------------|---------------|
| | 新たなグラウト接続技術あるいは代替技術の開発 | ～2026 |
| | トランジションピースと基礎の一体化 | ～2025 |

注*：BoP=バランス・オブ・パワー。タービンの基礎、海中ケーブル(アレイケーブル、エクスポートケーブル)、洋上変電所等、タービン以外の全コンポーネントを含む。

(1) プロジェクト開発

着床式および浮体式に共通して、生態系監視のための遠隔・自律操作システムや、様々な影響要因の相互作用を考慮した発電所レイアウトの自動最適化ツール、プロジェクトのライフサイクルを通して関係者間のシームレスなデータの流れを可能にするシステムが必要である。機会学習やデジタルツインなどのテクノロジーがこれらの開発をサポートする。

(2) タービン

① タービンおよび下部構造の設計

浮体式タービンは、浮体動揺や設置時の曳航の際の高負荷に耐えられるように、あるいはこれらの負荷を低減するために、ロータ・ナセル・アセンブリ (RNA) を軽量化したり、RNA 部品を再設計したりして、浮体式用に最適化する必要がある。また、タービンおよび浮体のそれぞれの設計ツールを結合させるためのソフトウェアを開発し、発電設備単体の構造の最適化を図る必要がある。長期的には浮体式用の2枚翼タービンやダウンウインド方式、マルチ・ロータ・タービン、風型タービン、垂直軸型タービン等の多様なタービン構造の研究が望まれる。

② ブレード

浮体式タービンのブレードについてはタービンの動揺を考慮に入れたピッチ制御システムが必要になる。また、浮体式に限らず、先進的な空力制御機能をもつスマートブレード（現在、フラップやスラット付きブレード、モーフィング技術等がある）や、輸送の容易な分割型ブレード、リサイクル可能な熱可塑性樹脂ブレード、高高度用ブレード等の技術開発が必要とされている。さらに、ブレードの浸食防止技術に加え、凍結防止、雷保護、電磁波防止を兼ね備えた多機能ブレード保護ソリューションの開発、洋上風力ブレード用の超撥水材料の開発も求められている。ブレード製造工程においては、積層造形法およびそれに適した材料の開発、より効率的な接合材塗布機材の開発、複合材製造の自動化などが望まれる。

③ タワー

タワーの設計は浮体動揺に対応できるように変更しなければならない主要コンポーネントの一つである。ガラス繊維強化プラスチックなど鋼製に代わる新たな材料を用いたタワーの軽量化が必要になる。着床式も同様である。

④ パワートレイン

制御システムは浮体式タービンの動揺を考慮に入れて設計されなければならない。長期的にはタービン単体の制御から、発電所全体の発電量を最大化するための制御システムが開発されることになると見られる。ドライブトレイン⁷の構造も浮体式タービンに適用させる必要がある。大型自動車、海上輸送、航空宇宙および産業機械産業におけるドライブトレインのコンポーネントの開発が浮体式に応用されると考えられる。ギアボックスについては、浮体式タービンの動揺がギアオイルの攪拌を引き起こし、ギアボックスの信頼性を低下させる可能性がある。この対応策としてオイルベースの潤滑材を必要としない磁気ギアの利用が期待されている。

着床式も含めると、炭化ケイ素スイッチや、複数のコンバータモジュールから成るコンバータを採用した次世代コンバータの開発、レアアース磁石に依存しない永久磁石発電機や超電導技術を採用した発電機、また 20MW 級タービン用の発電機といった次世代発電機の開発、新しいパワートレインの設計（スマートモニタリングシステムなどのタービンの長寿命化のためのシステム設計、ベアリングの早期故障対策としての洋上風力用のジャーナル軸受の開発など）、予知保全のための状態監視システムの開発が必要である。また、発電所全体を最適に運用するためのタービン制御技術（ウェイク・ステアリング技術）や、タービンの健全性を考慮に入れたタービン制御技術も必要とされている。

(3) 基礎構造

① 浮体式

浮体の連続生産を可能にする製造機器の開発や、浮体の軽量化や製造工程の効率化に向けた浮体設計の改善、曳航にも適した浮体の設計が必要である。また、現在の浮体コンセプトは鋼製であり連続生産に適していない。コンクリート製の浮体や全く新しい浮体設計など、イノベーションも期待される。

② 係留システムおよびアンカー

係留索については、大型タービンや浮体動揺に耐えられる軸方向に伸縮可能な材料の開発や、設置や修理時に係留索とタービンの接続および切り離しを効率的に行えるコネクタの開発が必要である。アンカーについては浮体式洋上風力専用のアンカーの開発によりコスト削減が可能である。

③ 浮体式および着床式に共通な項目

洋上風力発電の基礎構造物に最適な腐食防止技術が必要である。

④ 着床式

⁷ パワートレインとドライブトレインはほぼ同じ意味であるが、後者は機械的な側面を重視したニュアンスをもつ。参考：OWIH, Disruptive Powertrain Technologies, p. 6.
https://offshorewindinnovationhub.com/wp-content/uploads/2020/06/OWIH-Report-Disruptive_Powertrains.pdf

トランジションピースを基礎に統合することにより部材の製造、輸送および設置にかかるコストを低減することができる。また、洗堀リスクおよびコストを低減するような設計も必要である。タービンの大型化に伴いモノパイルの大型化も必要となる。

(4) 電気システム

① 浮体式

浮体式タービンに内蔵される電気部品（電力変換器、変圧器、サーキットブレーカー等）については、発電所が寿命を迎えるまで、浮体の極端な動揺や疲労に耐えられる設計が必要である。浮体式変電所も同様である。海底送電ケーブルは長距離送電に適した HVDC（高圧直流）送電が必要になる。また、アレイケーブル用の HVAC（高圧交流）ケーブルも含めて、海底ケーブルは、浮遊する浮体に接続するのに適切なダイナミックケーブル技術が必要になる。66kV 以上の超高压ケーブルについては、鉛シースと同レベルの遮水性をもつ、鉛被を用いないダイナミックケーブルの開発が必要とされている。さらに、ダイナミックケーブル用の状態監視システムの開発も浮体式洋上風力の大規模展開前に不可欠である。これらのケーブル関連の開発に加え、浮体とケーブルの脱着を効率的に行うことのできるケーブル・コネクタの開発も重要である。浮体式タービンの修理は浮体およびタービンをケーブルから切り離して岸壁に曳航して行うからである。

② 浮体式と着床式に共通な項目

着床式も含めた共通の開発項目としては、まず、電気システムの部品の状態監視システムとタービンの状態監視システムを統合するプラットフォームの開発が挙げられる。これにより、例えば電気関連のモニタリングから得られるデータをタービン制御システムに組み込むことが可能になる。また、発電所全体の効率的な運用と個々のタービンの出力向上のための制御システム、および電力貯蔵等のアクティブネットワークマネジメントシステムを、グリッドオートメーション（系統制御の自動化）に統合することにより、グリッド安定化サービスの提供を含めた発電所運用の最適化が可能になる。このようなスマート電力ネットワークを洋上風力の電気システムに実装するためのシステムの開発が必要である。他には、越境送電のための HVDC スーパーグリッドの開発、DC 集電による陸上グリッドへの直接接続（関連して、高圧 DC/DC コンバータのタービン内への設置、高圧 DC 集電系統の開発、DC 集電系統の保護システムの開発）、超電導ケーブルの導入推進、タービンレベルおよび発電所レベルでの電力貯蔵システムの開発、自励式無効電力補償装置

(STATCOM)、HVDC 交直変換所の最適化、海底変電所の開発などの技術開発が必要とされている。送電技術については、現在 HVDC 技術に焦点が置かれているが、80-200km の送電距離では、16.7Hz の低周波 AC 送電技術が最適なソリューションとなる可能性がある。

(5) 設置および運用保守 (O&M)

① 浮体式

港に近い穏やかな海域での浮体式基礎とタービンの一体化作業は、作業精度の向上や、自動船位保持装置 (DPS) 搭載船を利用することにより、作業時間の短縮、ひいては O&M

コストの削減につながる。ただし、O&M 支援船（作業員輸送船や大型支援船）やヘリコプターに搭載して遠洋に浮遊するタービンにアクセスする場合は、タービンの動きに対応できるように改良する必要がある。同様に、作業員の浮体式タービンへのアクセスはタービンの動揺を考慮し、安全性を確保するように最適化する必要がある。具体的には、ヘリコプターのホイスト装置や船舶からのウォーク・トゥー・ワーク式（W2W）ギヤングウェイの改善が必要になる。タービンおよび船舶搭載のクレーンも浮体式用に高度化させる必要がある（例えば、3次元動揺解消クレーンやクライミングクレーンの更なる開発）。また、タービンの大型化に伴い高揚高のクレーンが必要になる。これについては着床式についても同じである。

浮体式の下部構造物については保守活動の経験が少ないため、点検・保守に要する時間が長くなる。係留索やアレイケーブル等の重要部分に状態監視システムを取り付けて残存寿命を予測するなどして時間の短縮を図る必要がある。

② 浮体式および着床式に共通な項目

設置および O&M 分野においては、浮体式および着床式に共通する技術開発項目は多い。まず、保守活動のための風力発電所へのアクセスについては、高度な気象・海象予報技術や、技術員の安全確保のためのスマートテクノロジー、作業員輸送船（Crew Transfer Vessel : CTV）の高速化や AI を用いた効率的利用などを通してアクセス機会を増やし、ダウンタイムを短縮させる必要がある。また、ブレードの修理には、作業環境を整えるためのシステムが開発され始めている。

発電設備の設置および点検・修理には、ロボティクスおよび自律システム（Robotics and Automated Systems : RAS）といったテクノロジーの活用が期待がかかる。タービンの設置におけるロボットの活用、さらに将来的にはドローンを用いたブレードの自己設置も期待されている。海底ケーブル敷設作業に関しては、敷設技術およびプロセスの改善や、革新的なケーブルトレンチ造成技術の開発が必要とされている。

点検作業における RAS テクノロジーの活用には、ドローンを用いたブレードの視覚検査、遠隔操作さらには完全自律型ロボットによるブレードの非破壊検査、高度なセンサを有する自律型無人潜水機を使った基礎の点検が含まれる。また、保守活動における定期作業の自動化（ボルトの締め付けや接合材の塗布、潤滑油の補充など）や、海中および空中で作業する遠隔操作機器における自律性の強化も望まれている。さらに、複数のロボットを同時に遠隔操作して点検・保守作業を実施できれば大幅なコスト削減が可能になる。この実現には、ロボット基地が必要になるのに加え、多数のロボットが混乱なく動作するために、それぞれのロボットのソフトウェア間のコミュニケーションが必要になる。しかしながら、今後 10～15 年はロボットや自動化システムの導入は限られたものになるとみられており、現場作業員への支援のための技術開発は引き続き重要である。これに関連して、拡張現実

(Augmented Reality : AR) 技術を用いた現場技術者への支援が、必要となる技術開発項目の一つとして挙げられている。

運用面では、収益最大化のために、高精度の気象・海象予報と発電所の制御システムを統合した先進的なモデリングを開発し、より正確な出力を予測する必要がある。また、デジタルツイン技術や、衛星リモートセンシングを利用した発電所運用および保守活動の最適化も期待されているが、とりわけ後者についてはコスト削減が必要である。状態監視システムが生成するデータは予知保全や残存寿命分析の基礎になる。タービンやバランス・オブ・プラントからのデータを AI や機会学習を用いて分析するツールの開発が必要である。関連して、現在、保守技術者が行っている SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition、監視制御システム) や状態監視システムのデータの自動処理が必要である。

上記の他、設置および運用保守分野では、より効率的な港湾施設利用のためのスマート・ロジスティクス技術やスマートインベントリ管理システムの導入が必要とされている。また、設置船、ケーブル敷設船、CTV、大型支援船などの船舶については高性能・高速化に加え、低エミッション化も重要な課題となっている。

③ 着床式

着床式における主な技術開発項目には、基礎設置時の騒音を軽減する技術の開発や、基礎構造物のグラウト接合技術の改善あるいはそれに代わる接合法、生態系を向上させる洗堀防止方法の開発、設置時間の短縮に向けた基礎とトランジションピースの陸上での一体的な組立てが含まれる。

II 革新的な中小企業の事例

1. アポロ⁸ — 浮体式基礎のための新しい接続システム

アポロ (Apollo) は、スコットランドのアバディーンを拠点に 2010 年に設立した。同社は、石油・ガス、水素、二酸化炭素回収貯留、原子力、および海洋再生可能エネルギー部門にエンジニアリングおよびコンサルティングサービスを提供する。洋上風力分野においては、とりわけ基礎構造物の設計や分析に強みをもつ。同社は着床式洋上風力分野では 10 年以上の実績があったが⁹、近年では浮体式事業に着目している。

浮体式発電設備における係留索およびケーブルの浮体への着脱は、設置時や修理時に必要な作業であるが、その結果生じる発電の中断も含めて、高コストな作業となっている。ア

⁸ アポロのウェブサイト <https://apollo.engineer/>

⁹ Offshore Wind Growth Partnership (OWGP), December 2022, Building the UK's Offshore Wind Supply Chain. Our support programmes and company case studies, p. 14. <https://owgp.org.uk/wp-content/uploads/2022/12/OWGP-brochure-DIGITAL-UPDATED-DEC-2022.pdf>

ポロは、着脱が容易で、且つ信頼性の高い接続装置である、プル・アンド・ロック式クイック接続システム（Pull and Lock Mechanism Quick Connection System : PALM QCS）を開発中である。同システムは、特殊船舶やハンドリング機器、油圧装置、モーション補正を必要とせず、コストを削減や設置作業の効率化につながる¹⁰。同社は既に、様々な浮体に採用できる PALM QCS のプロトタイプを開発しており、英国での浮体式洋上風力発電所の展開に伴い、2025 年までにこれらを商用化するとしている¹¹。

また、2020 年には、ORE カタパルトが実施する洋上風力成長パートナーシップ（OWGP）から資金を調達し、PALM QCS を、デンマークのフローティング・パワー・プラント（Floating Power Plant : FPP）の風力および波力の両方の発電設備に対応できるハイブリッド式セミサブ型浮体に対応させる研究・設計プロジェクトに取り組んでいる。

2. リースク・マリン¹² — 浮体式洋上風力のための新たなアンカーソリューション

リースク・マリン（Leask Marine）は、スコットランド北部のオークニー諸島に本社を置く、1985 年に発足、2005 年に法人化された成長中の中小企業である。多岐にわたる海洋関連産業で事業を展開しているが、海洋再生可能エネルギー分野では、船舶のチャーター、商業潜水、海洋建設・運用コンサルティング、調査、設置、保守、撤去サービスを提供している。とりわけ波力・潮力エネルギー分野では世界的な海洋サービスプロバイダとして確固たる地位を築いているのに加え、洋上風力分野でも存在感を発揮している¹³。これまで欧州全体で 22 以上の洋上風力発電プロジェクトに携わってきた¹⁴。

同社は、浮体式洋上風力分野におけるイノベーションとして、新たなアンカー設置技術を導入している。洋上風力発電用の中型アンカーを設置するための低コストの潜水型掘削装置がないという市場のギャップに目をつけ、既に同社が浮体式波力・潮力エネルギー市場向けに開発していた潜水型掘削装置とロックアンカーの用途を洋上風力部門に拡大した。同部門におけるこの技術の能力および適正の試験・検証は、OWGP から助成金を獲得し実施している。

同社の潜水型掘削装置は、船上あるいはプラットフォーム上に搭載できるコンテナ内に設置された制御室および作業場から遠隔操作でき、最大水深 90m まで運用可能である。ドリルを支える脚部は折りたたむことができ、制御および作業室とともに、世界中に容易に輸送できる¹⁵。この装置により海底岩盤にアンカーを設置する必要がある浮体式洋上風力の均等化発電原価（LCOE）を大幅に削減できるのに加え、これまで海底地盤の状態が不適であ

¹⁰ OWGP, December 2022, Building the UK's Offshore Wind Supply Chain, p. 14.

¹¹ アポロのウェブサイト <https://apollo.engineer/technical-services/palm-quick-connection-system/>

¹² リースク・マリンのウェブサイト <https://www.leaskmarine.com/>

¹³ OWGP, December 2022, Building the UK's Offshore Wind Supply Chain, p. 24.

¹⁴ リースク・マリンのウェブサイト <https://www.leaskmarine.com/marine-renewables/offshore-wind/>

¹⁵ リースク・マリンのウェブサイト <https://www.leaskmarine.com/drilling-operations/raptor-sdr/>

るとして開発が進まなかった海域におけるプロジェクト開発を支えることができると期待されている¹⁶。

3. ACT Blade¹⁷ – 革新的なブレードの開発

ACT ブレード (ACT Blade) は、英国スコットランドのエジンバラに拠点を置く 2015 年に設立された企業である。先端成形研究センター (Advanced Forming Research Center) や、シェフィールド大学およびストラスクライド大学の関連研究施設等からなるコンソーシアムの協力を得て、革新的なブレードを開発した。同社の創設メンバーは、ACT ブレードを設立する前に、船舶 (ヨット) の帆とリグの設計・分析ソフトウェア開発で市場をリードするスマート・アジュール (SMAR Azure) を設立しており、同社の製品は現在、世界約 30 カ国で、2 つの認証機関 (Lloyd's Register と RINA) を含む 200 以上のユーザーによって使用されるまでに成長している。

今日の風車ブレードは、ほとんどがガラス繊維製であることから、製品自体が重く、ブレードの長さを伸ばすことが困難な上、製造コストも高い。さらに、時間の経過とともに侵食するため定期的な交換が必要である。ACT ブレードは、ヨット業界の技術を応用し、ガラス繊維をより軽い、リサイクル炭素繊維に置き換え、帆のようなテキスタイルのシェルに包み込むブレードを開発した¹⁸。開発されたブレードは、軽量なため、従来のものより 10% 長くすることができ、これにより最大 9.3% まで出力を増加させることができる。また、ブレードの表面全体をテキスタイルが覆っているため、塗装の必要がない。さらに、従来のブレードとは異なりモジュール化されているため、既存のサプライチェーンで製造することができ、組み立て工程もシンプルかつ迅速で、分解・分別してリサイクルすることが比較的容易である¹⁹。同社は、開発されたブレードは従来のブレードより製造コストが 30% 低く²⁰、発電コストを 6.7% 削減することが可能であるとしている²¹。

同社は現在、初の商用ブレードである 2MW 級のタービン用の「ACT100」を開発中で、2024 年の市場投入を予定している²²。

4. マグノマティクス²³ – 磁気ギア技術を用いた洋上風力タービン用の発電機の開発

¹⁶ OWGP, December 2022, Building the UK's Offshore Wind Supply Chain, p. 25.

¹⁷ ACT ブレードのウェブサイト <https://actblade.com/>

¹⁸ National Manufacturing Institute (NMIS) のウェブサイト <https://www.nmis.scot/what-we-do/case-studies/actblade>

¹⁹ NMIS のウェブサイト

²⁰ NMIS のウェブサイト

²¹ ACT ブレードのウェブサイト

²² ORE カタパルトのウェブサイト <https://ore.catapult.org.uk/stories/act-blade/>

²³ マグノマティクスのウェブサイト <https://www.magnomatics.com/>

マグノマティクス (Magnomatics) は、2006年に英国シェフィールド大学からスピンアウトして設立されたハイテク企業であり、新興企業でありながらも独自技術である高効率磁気ギア技術をベースに、風力発電用発電機のみならず、航空宇宙用超軽量モーターや船舶用スラスタ等、新しい製品を市場に導入している²⁴。同社は、これまで石油・ガスに関連した製品開発に特化してきたが、現在は様々な分野における革新的な電化技術開発の機会を探っており、特に洋上風力発電市場関連でのビジネス機会を積極的に探っている²⁵。

同社は2018年に「コンパクトな高効率発電機 (Compact High-Efficiency Generator : CHEG) プロジェクト」を発足させ、同社の革新的な磁気ギア技術をベースにした500kWの疑似ダイレクトドライブ (PDD) 発電機を開発した。このPDD発電機を洋上風力発電設備用に大型化できれば、タービンに搭載されている発電機とギアボックスを、磁気ギア付きの永久磁石発電機1台に置き換えることができる。ギアボックスは洋上風力発電において最も一般的な故障原因の一つであり、このPDD発電機に置き換えることにより、タービンの信頼性の向上とメンテナンスコストの大幅削減が期待される²⁶。

同社は、現在、UK リサーチ・イノベーション (UK Research and Innovation) から助成金を獲得し、2024年までの予定で、この500kWのPDD小型高効率発電機の洋上風力業界での実用化に向けたプロジェクト (ウインド・エレクトリック・レボリューション (WIND Electric Revolution : WINDER) を実施している。プロジェクトでは、この発電機のさらなる試験と、タービン用に大型化するためのより効率的なコンセプトの開発、そしてフルスケールの発電機の長期的な国内サプライチェーン構築の可能性を探っている²⁷。

また、マグノマティクスは、シェフィールド大学の先進製造研究センター (AMRC) と協力してROBOMAGプロジェクトを実施し、ロボット技術によってPDD発電機を搭載したタービンの製造工程を最適化する方法も模索している。これにより安全性と生産性の大幅な向上が期待できる。同プロジェクトでは、AMRCのロボット技術によって、磁石1個を取り付けるための時間が1時間からわずか55秒に短縮された²⁸。マグノマティクスは現在、業界大手とパートナーシップ契約を結び、同社の発電機技術の商業化への道りを加速させている²⁹。

他にも同社は、2021年から、ソイル・マシン・ダイナミクス (Soil Machine Dynamics) と共同で、海底での電気駆動の遠隔操作装置 (Remote Operating Vehicles : ROV) を開発した。将来的に、タービンの設置やケーブル修理などに活用することが期待されている³⁰。

²⁴ <https://www.magnomatics.com/about-us>

²⁵ OWGP, December 2022, Building the UK's Offshore Wind Supply Chain, p. 36.

²⁶ <https://ore.catapult.org.uk/stories/magnomatics-2/>

²⁷ <https://ore.catapult.org.uk/stories/magnomatics-2/>

²⁸ OWGP, December 2022, Building the UK's Offshore Wind Supply Chain, p.36

²⁹ OWGP, December 2022, Building the UK's Offshore Wind Supply Chain, p.36.

³⁰ <https://www.magnomatics.com/post/manage-your-blog-from-your-live-site>

5. CASC³¹ – プレアッセンブリの事前整備と先端金属加工

CASC は、ベルファストを拠点に、主に英国および欧州で事業を展開する家族経営のエンジニアリング会社である。金属製品の設計、加工および設置から、現場の工事事前準備、建設工事に係わるサプライチェーン管理などのコンサルティングサービス、高所作業のための安全管理まで、事業内容は多岐にわたる。洋上風力分野は同社の主要部門の一つで、主にタービンのプレアッセンブリのための現場の事前準備サービス（風力タービンの組立てに用いる大型構造物の建設など）を提供するが、金属部品の設計および製造も行う³²。最近では英国領北海中央部に立地する世界最大級のホーンシー1および2洋上風力発電プロジェクトで、シーメンス・ガメサのタービン組立のための現場の事前整備を行った³³。

CASC は 2021 年に OWGP から助成金を獲得し、同社のエンジニアリング能力を拡大するために重要であった製造装置 2 台（チューブレーザーとフラットベッドレーザー）を購入した。チューブレーザーは、CASC が立体形状の金属材から階段やプラットフォームなどの構造物を製造することを可能にし、フラットベッドレーザーは、同社がサイトオペレーション用のコンポーネントを製造する能力をさらに向上させた³⁴。チューブレーザーは従来の製造方法と比較して、製造時間を最大 83%短縮することができる³⁵。

CASC はすでに、新装置で製造した部品を世界中の洋上風力発電の顧客に納入している³⁶。フリクションドリリング、タッピング、溶接前ベベルカットなどの完全自動化された CNC 加工（Computerized Numerical Control: コンピュータにより数値制御された加工技術）は、均一性と精度を確保するための二次的な手作業の必要性を無くしており、世界の洋上風力発電のニーズに応える他の追随を許さない技術を有している³⁷。

6. エコーボルト³⁸ – 超音波ボルト点検で大幅なコスト削減を実現

エコーボルト（EchoBolt）は、アルセスター（Alcester）に本社を置く、洋上風力発電業界のスタートアップ企業である。事業の中核は超音波を使ったタービンのボルトの緩み点検と、そのデータをベースにした洋上風力発電所のオペレータ向けのアセットの健全性分析ソフトウェア「ボルトウォッチ（BoltWatch）」である。後者はクラウドを介してアクセスできるデジタル分析プラットフォームで、オペレータは迅速にタービン資産の状態を確認できる。

³¹ CASC のウェブサイト <https://www.casconline.co.uk/>

³² CASC のウェブサイト <https://www.casconline.co.uk/about/>

³³ CASC のウェブサイト <https://www.casconline.co.uk/hornsea-2-contractor/>

³⁴ OWGP, December 2022, Building the UK's Offshore Wind Supply Chain, p. 10-11.

³⁵ OWGP, December 2022, Building the UK's Offshore Wind Supply Chain, p. 10-11.

³⁶ OWGP, December 2022, Building the UK's Offshore Wind Supply Chain, p. 10-11.

³⁷ CASC のウェブサイト <https://www.casconline.co.uk/tube-laser-profiling/>

³⁸ エコーボルトのウェブサイト <https://www.echobolt.co.uk/>

タービンのボルト締めは、洋上風力発電事業において、時間とコストのかかる最大の定期保守作業であり、計画的なダウンタイムの主要因でもある³⁹。エコーボルトの超音波ボルト点検技術は $\pm 5\%$ 以下の不確実性でボルトの予圧を計算することが可能である。さらに、1回の測定に必要な時間はボルト1本あたり10秒以下であるため、作業員1人で1日に数千本のボルトを検査することができる。常設のハードウェアを必要とせず、ファスナーを緩めたり締め直したりする必要がないため、ボルト接合部の状態評価を高い信頼性とコスト効率で実施できる⁴⁰。同社は、この点検技術の導入により保守コストを80%以上削減することが可能であるとしている⁴¹。

発電所オペレータ用のソフトウェアツールであるボルトウォッチはOWGPの支援を受け、RWEやSSEリニューアブルスなどの主要企業と協力して開発し、洋上風力発電市場のニーズに合わせた製品設計となっている⁴²。

エコーボルトは2022年2月に、世界的大手エンジニアリング会社であるウォーリー(Worley)とパートナーシップを締結、ウォーリーが行うタービン点検およびアセット管理サービスにエコーボルトの超音波ボルト点検技術が採用されることになった⁴³。

エコーボルトは2022年に英国の洋上風力発電容量の20%以上をカバーする契約を獲得すると見込んでおり、(2022年12月に発行されたOWGPのレポートによると)今後12カ月の売上高が30%増加すると予想している⁴⁴。

7. コグニティブ⁴⁵ – 気象データと船舶データにより船舶からタービンへの移乗の安全性を評価する、AIツールを開発

コグニティブ(Cognitive)はロンドンに拠点を置く創業初期のスタートアップ企業で、センシングとAI/機械学習技術を駆使して、洋上風力事業における運用・保守活動をより安全で効率的かつ信頼性のあるものにするためのソフトウェアソリューションを提供している⁴⁶。

同社の主力製品であるWAVESは、AIを活用し、気象データと船舶の位置や速度等のデータを組み合わせることで、船舶からタービンへの移乗の安全条件を海域ごとに正確に評価することを可能としている。発電所運用者はこのツールを用いることで、作業員が船舶からタービンへ移動する際の安全性を高めるとともに、保守作業の計画を立てるのに役立つ。

³⁹ エコーボルトのウェブサイト

⁴⁰ エコーボルトのウェブサイト <https://www.echobolt.co.uk/copy-of-solutions>

⁴¹ OWGP, December 2022, Building the UK's Offshore Wind Supply Chain, p. 21.

⁴² OWGP, December 2022, Building the UK's Offshore Wind Supply Chain, p. 21.

⁴³ ウォーリーのウェブサイト

<https://www.worley.com/news-and-media/2022/safety-and-life-extension-for-offshore-wind-assets>

⁴⁴ OWGP, December 2022, Building the UK's Offshore Wind Supply Chain, p. 20.

⁴⁵ コグニティブのウェブサイト <https://cognitive.business/about/>

⁴⁶ OREカタパルトのウェブサイト <https://ore.catapult.org.uk/stories/cognitive-business/>

同社は、このシステムを導入すれば洋上でのオペレーションの最も危険な側面を適切に管理できるようになり、毎年 1GW あたり最大 100 万ポンドのコスト削減が可能であるとしている⁴⁷。WAVES の他にも同社は、タービンの性能低下を検出・追跡する WindAI という製品も提供している。これは、10kW 以下の精度で、発電性能の劣化を検知することができ、その誤差は 1%未満である。このシステムにより風力発電所のオーナー／オペレータはリアルタイムで高精度の発電機の性能劣化を把握することができ、運用・保守活動の最適化を図ることができる⁴⁸。

現在、コグニティブは RWE との契約の下、WAVES 技術をさらに発展させており、前出の OWGP のレポートによると、同技術は英国の洋上風力発電容量の 6%をサポートしている⁴⁹。

8. センネン⁵⁰ – 運用データをクラウドで一元管理するシステムを開発

センネン (Sennen) は、2017 年に創業した英国ブリストルにオフィスを構える再生可能エネルギー業界のソフトウェアデベロッパーである。主力製品である洋上風力オペレータ向けのシステムは、保守活動における安全性を確保しつつ、作業員と船舶を最適に配備/利用することを目的とするものである。また、タービンのダウンタイムの分析（原因やそれによる損失等）を行うソフトウェアも提供する。洋上風力部門以外にも、再生可能エネルギーファンドや電力貯蔵ファンド等のインフラファンド向けにデータ管理およびコンプライアンスレポートを作成するソフトウェアを開発している⁵¹。センネンの開発するソフトウェアは、関連する様々なデータを AWS クラウド上で一元管理するシステムである⁵²。

洋上風力用のソフトウェアについては、運用保守活動の最適化に係わる 6 つのソフトウェアモジュールを提供しており、顧客はこれらから必要なモジュールを選び、単一のプラットフォーム上で統合し、さらに自社の既存のシステムとシームレスに統合させることができる。これら 6 つのソフトウェアモジュールは、①作業員および作業状況の管理、②リアルタイムの海洋情報管理（船舶および作業員の位置情報など）、③気象・海象のリアルタイムデータおよび予測、④安全衛生面に係わるアクシデントの管理、⑤人材育成のためのコースの作成、および、⑥ハイリスク作業における業務許可の管理、である。

センネンは、これらのソフトウェアモジュールがもたらす主な便益を以下のように特定している。

⁴⁷ コグニティブのウェブサイト <https://cognitive.business/products/waves/>

⁴⁸ ORE カタパルトのウェブサイト

⁴⁹ OWGP, December 2022, Building the UK's Offshore Wind Supply Chain, p. 8.

⁵⁰ センネンのウェブサイト <https://www.sennen.tech/>

⁵¹ センネンのウェブサイト <https://www.sennen.tech/infrastructure-funds/>

⁵² OWGP, December 2022, Building the UK's Offshore Wind Supply Chain, p. 6.

- 外的要因で既存の保守計画を変更せざるを得ない場合の再計画やリソースの再分配を容易にする。
- すべての技術者が適切な資格と経験を持って配備されていることを確認することを可能にする。
- 現場の状況、発電所全体の出力状況、作業員の作業状況に関するリアルタイムのデータにアクセスすることで効率的な意思決定の変更を可能とする。
- KPI を設定して、作業状況の可視化と作業成果のモニタリングを行うことができる。
- AIS（船舶自動識別装置）、SCADA、GIS（地理情報システム）などのデータソースと電子航法図を組み合わせたライブサイトビューにより、全ての船舶と人員の位置をリアルタイムに把握できる。
- 企業レベルでの統合されたリスク管理が可能になる。
- 気象・海象予報と実測値を視覚的にリアルタイムで確認でき、正確な作業環境の予測を可能にする⁵³。

洋上風力発電所のオペレータは、資産管理の効率化による投資収益率（ROI）の向上や、不必要なダウンタイムを無くすことによる収益の向上に加え、技術者の安全管理とハザード管理を自動化することによるコンプライアンス遵守なども可能となる⁵⁴。

センネンは創業した 2017 年に、当時世界最大であった、テムズ川の沖合 20km に位置する 630MW のロンドンアレイ洋上風力発電所（London Array）に同社初となるサービスの提供を行った。発電所を運営するロンドンアレイ⁵⁵は、当時、潮汐情報、水深、船舶（船舶の位置、速度、航路の追跡）に関するデータを運用プロセスに統合することに苦慮しており、解決策を求めて、センネンの共同創業者兼 CTO であるポール・グリムショー氏（Paul Grimshaw）を指名した。センネンは、潮汐情報、水深、船舶データを統合し、風力発電所の保守計画策定者が、船舶をどこに送るべきかを決定するのに役立つシステムを開発し、風力発電所の保守計画担当者の生産性向上に大きく貢献することを証明した⁵⁶。

2021 年には、EDF リニューアブル（EDF Renewable）に世界の洋上風力ポートフォリオ向けの運用ソフトウェアを提供する 5 年契約を競争入札で獲得している。EDF リニューアブルは、現在、Sennen のシステムを用いて、特にフランスと英国のポートフォリオ全体の運用を管理している⁵⁷。

⁵³ センネンのウェブサイト <https://www.sennen.tech/offshore-wind/product/>

⁵⁴ センネンのウェブサイト

⁵⁵ RWE、ケベック州貯蓄投資公庫（Caisse de dépôt et placement du Québec）、オーステッド（Ørsted）、マサダル（Masdar）による合弁会社。参考：ロンドンアレイのウェブサイト <https://londonarray.com/>

⁵⁶ センネンのウェブサイト <https://www.sennen.tech/about-us/our-story/>

⁵⁷ センネンのウェブサイト

<https://www.sennen.tech/news/sennen-wins-major-contract-with-edf-renewables/>

9. ロブコ⁵⁸およびバールスト⁵⁹ – 海中作業におけるインテリジェントなロボットの利用を推進

ロブコ (Rovco) は、ブリストルに本社を置く 2015 年に設立されたハイテク海中作業機器企業である。リアルタイムの三次元ビジョンと AI 技術を用いて、ROV (遠隔操作型無人潜水機) や AUV (自律型無人潜水機) による海中作業支援、海中構造物の点検・保守、および水路測量などの海底地盤調査を行う。2023 年から 2027 年にかけて 3 億 9,000 万ポンドの累計輸出収入を見込む急成長企業で、2021 年には同社の技術部門の拡大を目指し、同部門をバールスト (Vaarst) として立ち上げた⁶⁰。バールストは、ROV などの機器に搭載できる高性能の 3D ライブイメージング・デバイスと機会学習によるデータ分析システムを提供することにより、顧客の機器/ロボットのインテリジェント化、自律化を推進する。また、個々のロボットだけではなく、複数の自律型ロボットが協働作業を遂行できるシステムも提供する。海洋業界のみならず、将来的には鉱業、建設、農業、土地調査などの業界も視野に入れた、高性能自律型ロボット利用の拡大を目指している。

ロブコは 2019 年 1 月に、英国に本社を置く、オフショアエンジニアリング市場をリードするグローバル・マリン・グループ (Global Marine Group : GMG) に株式の 13.8% を売却、同時にパートナーシップ協定を締結した。GMG 傘下の CTV 運用会社のシーウインド (CWind)、海底ケーブル設置・保守のグローバルオフショア (Global Offshore)、および海底光ファイバーケーブルの設置・保守のグローバルマリン (Global Marine) は、それぞれの事業活動にロブコのテクノロジーを導入し、洋上風力市場に革新的なソリューションを提供している⁶¹。2022 年 11 月には三井物産と北拓の合弁会社であるホライズン・オーシャン・マネジメントと協業の覚書を締結、日本の洋上風力発電分野での水中点検・調査業務にも着手する⁶²。

ロブコはこれまで、住友商事が参画するギャロパー洋上風力発電所 (Gallop Offshore Wind Farm) や⁶³、イーストアングリア 1 (East Anglia 1) の海底インフラの点検⁶⁴を実施している。

⁵⁸ ロブコのウェブサイト <https://www.rovco.com/>

⁵⁹ バールストのウェブサイト <https://vaarst.com/>

⁶⁰ バールストのウェブサイト

<https://vaarst.com/media/vaarst-launches-to-drive-the-future-of-marine-robotics-through-data-focus/>
<https://vaarst.com/media/rovco-announces-shift-in-executive-team/>

⁶¹ ロブコのウェブサイト <https://www.rovco.com/services/gmg/>

⁶² ロブコのウェブサイト

<https://www.rovco.com/2022/11/09/rovco-enters-partnership-for-japanese-offshore-wind-market/>

⁶³ ロブコのウェブサイト

<https://www.rovco.com/2019/11/20/rovco-completes-rov-inspection-and-3d-modelling-project-at-gallop-offshore-wind-farm/>

⁶⁴ ロブコのウェブサイト

<https://www.rovco.com/2020/11/04/cwind-and-rovco-complete-rov-project-at-east-anglia-one-offshore-windfarm/>

10. VRAI⁶⁵ – バーチャルリアリティによる保守業務トレーニング

VRAI は、2016 年にアイルランドのダブリンで設立された企業である。2020 年にイングランド北東部へ進出、ゲーツヘッドにも本社を置き⁶⁶、英国企業として OWGP に支援されている⁶⁷。同社はバーチャルリアリティ (VR) テクノロジーとデータキャプチャおよび AI による分析を組み合わせ、洋上などの危険度の高い環境での作業のための VR シミュレーショントレーニングシステムと、個人個人のトレーニングの成果の分析や組織全体 (例えば洋上風力保守チーム) の進捗状況を監視できるデジタルツールを提供している。VRAI はすでに防衛分野で高い評価を得ており、最近では英国の多国籍兵器・防衛請負会社である BAE システムズと VR による軍事訓練の提供契約を締結した⁶⁸。

VRAI の洋上風力産業への進出は、2020 年に OWGP が実施した洋上風力サプライチェーン企業支援のための助成金配賦プログラム⁶⁹によるところが大きい。同社はこのプログラムで、洋上風力産業におけるトレーニングのニーズを分析し、まず VR 火災認識トレーニングモジュールのプロトタイプを開発した。このプロトタイプの開発は新たな協業や投資を呼び込み、トレーニング内容の拡充に繋げることができた。現在、洋上風力分野は VRAI の主要分野となっている⁷⁰。

洋上風力市場の拡大に対応するために、2025 年までに世界で 17 万 2,000 人以上が GWO (Global Wind Organisation) トレーニング基準⁷¹に沿った訓練を受ける必要があると言われている⁷²。VRAI の VR トレーニングは、洋上での作業を正確に再現する没入型のトレーニング環境を作り出す。作業員は、現実世界での作業を体験する前に、管理された、しかし現実的な環境で、安全性と技術的スキルを学び、テストすることができる。VRAI のトレーニングは、携帯用ヘッドセットを使ってほぼどこでも行うことができるため、世界標準に基づいたトレーニングを展開するのに適している⁷³。

⁶⁵ VRAI のウェブサイト <https://vraisimulation.com/>

⁶⁶ ダラム大学のウェブサイト

<https://www.durham.ac.uk/research/institutes-and-centres/durham-energy-institute/about-us/news/news-vrai-virtual-reality-training-for-offshore-wind/>

⁶⁷ 洋上風力成長パートナーシップ (OWGP) のウェブサイト

<https://owgp.org.uk/twelve-uk-companies-to-benefit-from-1-3m-funding-and-business-growth-support-from-the-offshore-wind-growth-partnership/>

⁶⁸ BAE システムズのウェブサイト

<https://www.baesystems.com/en/article/harnessing-virtual-reality-for-next-generation-military-training>

⁶⁹ OWGP, December 2022, Building the UK's Offshore Wind Supply Chain, p. 26.

⁷⁰ OWGP, December 2022, Building the UK's Offshore Wind Supply Chain, p. 26-27.

⁷¹ GWO は風力発電産業の安全性を確保するために設立された非営利団体で、世界中の風力発電産業のための標準的なトレーニング要件を開発している。

⁷² Global Wind Organization and Global Wind Energy Council, June 2021, Global Wind Work Force Outlook 2021-2025.

<https://gwec.net/wp-content/uploads/2021/06/Global-Wind-Workforce-Outlook-2021-2025.pdf>

⁷³ OWGP, December 2022, Building the UK's Offshore Wind Supply Chain, pp. 26-27.

III 日本企業の進出可能性

英国のビジネス・通商省（Department for Business and Trade⁷⁴）は、国内の洋上風力産業への直接投資機会および部品製造の重要項目として以下を挙げている⁷⁵。

- 地球物理学調査および地盤工学調査サービス
- 自律型船舶/海洋機器の設計、開発、試験、製造（例えば、海洋環境調査等を目的とする船舶や潜水機）
- タービンブレード用の炭素繊維
- ナセルおよびハブ
- タワー
- 浮体式基礎（浮体、係留システムおよびアンカー）（とりわけシリアル製造）
- モノパイルおよびトランジションピース
- ダイナミックケーブル
- 作業員輸送（CTV）
- 点検・保守サービス

これらに加え、上記 I で見た英国が必要とする技術的イノベーション分野に、日本企業の進出可能性があると言えるが、短中期的にはこれら 2 つが重複する分野がとりわけ有望であると考えられる。

具体的には以下の分野になる。

- 自律型海上および海中監視機器（自律型潜水機など）
- ブレード材料
- ナセルおよびハブ：ピッチ制御システム、タービン制御システム、磁気ギア、コンバータ、発電機、ウェイク・ステアリング技術
- 浮体式用タワー
- 浮体式基礎：浮体の連続生産化、浮体式用係留索着脱のためのコネクタ、腐食防止技術
- モノパイル：大型モノパイルの製造、自動溶接、トランジションピースとの一体化設計、洗堀防止技術、など
- ダイナミックケーブル
- CTV の効率的な利用のためのツールと高性能 CTV

⁷⁴ 2023 年 2 月の省庁再編により国際通商省（Department for International Trade）からビジネス・通商省になった。

⁷⁵ 英国ビジネス・通商省のウェブサイト

<https://www.great.gov.uk/international/content/investment/sectors/offshore-wind/>;

<https://www.great.gov.uk/international/investment/opportunities/>

- 点検・保守サービス：デジタルツールを用いた保守業務計画最適化、タービンへの安全なアクセスのための機材、先進的クレーン、遠隔操作または自律型ロボットによる点検システム、定期保守作業の自動化、など

ティア 1 サプライチェーン企業として英国の洋上風力市場に参入している日本企業に、HVDC 技術で世界をリードする日立エナジー⁷⁶がある。同社は、世界最大規模の英領北海中央部のドガーバンクプロジェクト（2026 年フル稼働予定）に自励式 HVDC システムを搭載した洋上 HVDC 変換所を提供する契約を勝ち取った⁷⁷。英国で初めて HVDC 技術を活用する洋上風力発電所になる。HVDC 技術の導入は、英国で必要とされている技術的イノベーションの一つである（表 1 参照）。

IV グリーン水素のサプライチェーンとの関連

洋上風力発電の更なる拡大に向けて今後必要となる技術革新の一つにグリーン水素生産がある。グリーン水素は、洋上風力発電の余剰電力の長期貯蔵媒体として必要とされている一方で、英国政府が掲げる 2030 年までに 5GW 容量のグリーン水素生産設備（電解槽容量）を設置するという目標⁷⁸を達成するためには（今日の低炭素水素の生産量はごく僅かである）、英国が誇る豊富な洋上風力資源を柱とした再生可能エネルギー電力の拡大が不可欠となっている⁷⁹。

洋上風力発電による電力を用いたグリーン水素の生産は、洋上での水素製造に注目が集まる。洋上で水素を製造し陸上にパイプライン輸送すれば、電力系統の輻輳を緩和することができる。また、とりわけ遠洋の洋上風力発電所については、海底ケーブルを通して送電して陸上で水素を製造するより、洋上で水素を製造しパイプラインで陸上に輸送する方が、コスト効果が高いと言われている⁸⁰。洋上での水素製造は、洋上プラットフォームに水素製造装置（電解槽および脱塩装置）を設置する方法もあるが、個々の風力タービンにプラットフォームを取り付けたうえで、水素製造設備を設置する方法もある。後者についてはバテンフォール（Vattenfall）が、政府の支援を受け、スコットランドのアバディーン沖で世界初の水素生産タービン（着床式）を 2025 年に稼働させることを目指している（ハイド

⁷⁶ 日立エナジーはスイスに本社を置く日立のグループ会社である。2020 年半ばに日立と ABB は後者のパワーグリッド事業部門を 2 社のジョイントベンチャー（日立 ABB パワーグリッド）として独立させ、2021 年 10 月に日立エナジーに社名を変更、2022 年 9 月に日立が日立エナジーの株式を全て買収している。

⁷⁷ 日立のウェブサイト <https://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2021/02/0218a.html>

⁷⁸ 英国政府、British Energy Security Strategy.

<https://www.gov.uk/government/publications/british-energy-security-strategy/british-energy-security-strategy#hydrogen>

⁷⁹ グリーン水素は水を電気分解することにより生成するので、大量の電力が必要になる。

⁸⁰ .Roland Berger. June 2021, Innovate and Industrialize: Offshore Wind Energy.

<https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/Innovate-and-industrialize-Offshore-wind-energy.html>

ロジェン・タービン1・パイロットプロジェクト⁸¹)。また、エンバイロメンタル・リソース・マネジメント (Environmental Resources Management : ERM) は、セミサブ型浮体式タービンの浮体上に水素製造設備を設置し水素を製造する商業規模の実証プロジェクト (ERM Dolphyn⁸²) を、2025 年末までに開発することを目指している。

英国内の水素サプライチェーンの強化および構築は、水素市場確立における主要課題と認識されているが⁸³、洋上でのグリーン水素生産については、石油・ガス開発や洋上風力産業など複数の業界が、既に移行可能なサプライチェーン能力を有している。スコットランド政府は 2020 年 12 月に、同地域における洋上グリーン水素生産の可能性を評価した報告書⁸⁴を公表し、この中で、これらの関連業界のサプライチェーンと水素サプライチェーンがどのように関連しているかを示した。表 2 は、(洋上での)グリーン水素生産プロジェクトのライフサイクルにおいて、洋上風力サプライチェーンから移行可能なコンポーネントを赤字で示したものである。同表が示すように、電解槽を中心とした水素製造関連機器や、水素輸送分野を除き、洋上風力サプライチェーンとの重複は水素プロジェクトのライフサイクルを通して多数ある。また、比較的重複が少ない水素生産機器関連においても、コンプレッサやバルブなどの部品、電気システムにおける制御・監視システムおよびスイッチギア、精密加工、安全保護装置など、洋上風力サプライチェーンが提供できるコンポーネントは少なからずある。

表 2 グリーン水素サプライチェーンにおける洋上風力サプライチェーンの移行可能分野

| サプライチェーン分野 | サプライチェーンのコンポーネント |
|----------------|--|
| グリーン水素プロジェクト開発 | <ul style="list-style-type: none"> ● コンセプト・エンジニアリングとコンサルティング (フィージビリティ・スタディ、環境調査) ● EPC (着床式および浮体式構造物、パイプライン、処理プラント設計、陸上建設物) ● 水素輸送船の設計 ● 機材設計の海洋適合化 ● コンポーネントの詳細設計 (電解槽設計、後処理設備設計、貯蔵設備設計、海底・陸上パイプライン設計、電気システム設計とモデリング、制御と安全システムの設計、計測器設計) |
| 製造 | <ul style="list-style-type: none"> ● 海洋での運用に適した機器 ● 電解槽 (電解槽、フロープレート、膜電極アセンブリ、ガスケット、ハウジング、バルブ、指示器、センサ、制御システムおよびモニタリング、マニホールド、冷却水システム、プレート式熱交換器、排気装置、水処理 (脱塩) システム、水素純化システム) ● 脱塩装置 (脱塩装置、逆浸透膜、圧力容器、ブラインシール、バルブ、フィルター、ハウジング) ● コンプレッサ (コンプレッサ、鋼製本体、バルブ、ギアボックス等、ゴーク・センサ指示器、モーター、エレクトロニクスおよび制御盤、ガスケットおよび固定具、 |

⁸¹ バッテンフォールのウェブサイト

<https://group.vattenfall.com/uk/newsroom/pressreleases/2022/aberdeen-hydrogen>

⁸² ドルフィン・ハイドロジェンのウェブサイト <https://www.dolphynhydrogen.com/>

⁸³ HM Government, July 2022, Hydrogen Sector Development Action Plan, Chapter 2.

https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1092353/hydrogen-sector-development-action-plan.pdf

⁸⁴ Scottish Government, December 2020, Offshore Wind to Green Hydrogen: Opportunity Assessment, p. 80-84.

<https://www.gov.scot/publications/scottish-offshore-wind-green-hydrogen-opportunity-assessment/>

| サプライチェーン分野 | サプライチェーンのコンポーネント |
|---------------|---|
| | バッファータンクおよび接続配管、鋼製フレーム) <ul style="list-style-type: none"> ● 液化機および後処理機 (冷却システム、フィルター、熱交換器、コンデンサ、エバポレータ、セパレータ、サーキュレータ、エキスパンダー/コンパンダー、ブロー、吸蔵・吸着装置、後処理機材のための部品) ● チューブトレーラーおよび貯蔵タンク (タンク、バルブ、充填・抽出機器、水素量センサ、サスペンション、熱交換器および加熱装置) ● 洋上構造物 (ジャケット、上部構造、ライザー、パイル) ● パイプライン (コーティング、アノード、フランジボルトとガスケット、バルブ、センサ (流量・圧力・温度センサ)) ● 電気システム (HVAC、スイッチギア、海底ケーブル、センサおよびメータ、制御・監視システム、通信システム) ● 安全保護装置および通信網 (火災およびガス、緊急遮断システムおよび制御システム、IT ネットワーク、オフショア通信) ● 受注設計生産 (精密加工、3D プリンティング) |
| 設置およびコミッショニング | <ul style="list-style-type: none"> ● 水素生産プラント (設置およびコミッショニング) ● 洋上構造物設置 (ジャケット、上部構造、パイル、アンカー、サイト調査、パイプライン敷設、パイプラインのトレンチング/バックフィリング) ● 海底ケーブル設置 ● パイプライン設置 (陸揚げ、ライザー、ROV/ダイバー、パイプラインハンドリング機材、気圧テスト、コミッショニング) ● 港湾設備の整備 (設置のためのインフラ、揚重設備) ● 陸上作業 (土木、ロジスティクス) |
| 運用保守および撤去 | <ul style="list-style-type: none"> ● トレーニング ● 港湾の運用 (O&M 港湾インフラ、水素取扱港湾サービス) ● 陸上ロジスティクス (O&M の調整、水路の陸上輸送) ● 洋上ロジスティクス (海底パイプライン輸送および船舶輸送による輸出、CTV) ● 作業員の安全衛生管理 ● 水素プラント点検・保守 (電解槽、後処理プラント、貯蔵および輸送設備) ● バランス・オブ・プラントの点検・保守 (脱塩装置、洋上設備の下部構造、パイプライン、電気機器、バルブ、工具および消耗品) ● 運用保守支援と IT サポート (ソフトウェア関連) ● 洋上構造物撤去サービス ● 陸上構造物撤去サービス |
| 水素輸送 | <ul style="list-style-type: none"> ● 陸上輸送 (トラック、鉄道) ● 船舶輸送 (タンカー、その他船舶) |
| 事業サポート | <ul style="list-style-type: none"> ● 専門家サービス (コンサルティング、業界団体、安全衛生専門家) ● R&D および教育 (研究機関、大学・高等教育機関) |

出所：Scottish Government, December 2020, Offshore Wind to Green Hydrogen: Opportunity Assessment, p. 80-84.

<https://www.gov.scot/publications/scottish-offshore-wind-green-hydrogen-opportunity-assessment/>

レポートをご覧いただいた後、アンケート（所要時間：約1分）にご協力ください。

<https://www.jetro.go.jp/form5/pub/ora2/20230016>



本レポートに関するお問い合わせ先：
日本貿易振興機構（ジェトロ）
調査部 欧州課
〒107-6006 東京都港区赤坂 1-12-32
TEL：03-3582-5569
E-mail：ORD@jetro.go.jp