

GX産業の切り札 「浮体式洋上風力事業」 デジタル技術による収益性強化



佐野則子

CONTENTS

- I 浮体式洋上風力事業の有望性と収益性強化
- II 年間発電電力量の最大化に向けたデジタル技術活用
- III 初期投資の最小化に向けたデジタル技術活用
- IV 運用維持費の最小化に向けたデジタル技術活用
- V 日本企業による浮体式洋上風力事業への挑戦

要約

- 1 日本は2050年までのカーボンニュートラル実現を目指している。2025年、政府は電源構成に占める再生可能エネルギーの割合を最大5割とする目標を掲げ、法律改正により洋上風力の対象海域を排他的経済水域（EEZ）まで拡大した。EEZでは浮体式洋上風力発電が中核を担うが、収益性強化が課題となっている。
- 2 海外では、収益性強化のためにデジタル技術を活用し、発電損失を抑制して年間発電電力量の最大化を図るとともに、初期投資や運用維持費を最小化する取り組みを行っている。
- 3 日本企業は、国内外で限定的であっても洋上風力事業に参入し、経験や技術を蓄積することが中長期的な競争力確保に重要である。特にデジタル技術を活用した収益性強化が成功のカギを握る。

I 浮体式洋上風力事業の 有望性と収益性強化

1 浮体式洋上風力のポテンシャル

(1) 洋上風力事業の有望性

2020年10月、日本政府は2050年までにカーボンニュートラルの実現を目指すことを宣言した。2025年2月に閣議決定された政府の最新のエネルギー政策方針「第7次エネルギー基本計画」では、2040年度の電源構成に占める再生可能エネルギー（再エネ）の割合を4～5割程度とする方針を示している。洋上風力については、計画中・建設中・運転中の案件を合わせた累計で、2030年までに設備容量（発電設備の最大出力）10GW、2040年までに30G～45GWの実現を目指している。45GWとは、容量ベースで見れば原子力発電所約45基（1基＝1GW換算）に相当し、発電量ベースで見れば一般家庭の約4000万世帯の電力消費量に匹敵する³¹。

さらに同年6月には、通称「再エネ海域利用法」の改称・改正が成立し³²、洋上風力事業の対象海域が「領海および内水」から排他的経済水域（EEZ）まで拡大された。これらの動向に見られるように、洋上風力事業の導入拡大に向け、法制度・政策両面での整備

が加速している。

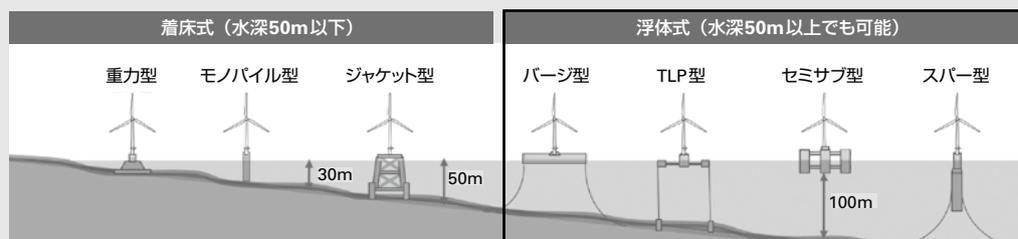
エネルギー基本計画において高い導入目標を掲げた背景には、洋上風力が事業規模の大きさと関連産業の裾野の広さを備え、雇用創出や経済波及効果に寄与するとの期待がある³³。洋上は陸上よりも風況が安定し、昼夜を問わず風が吹く。洋上風力は土地の制約を受けず、日照時間や季節変動の影響を受ける太陽光発電に比べて年間を通じて安定した発電が可能である。さらに、日本は領海とEEZを合わせた面積が世界第6位と広大であり、洋上風力事業の適地拡大という点で一定の地理的優位性を持つと考えられる。企業による浮体式洋上風力事業の成功は、再エネ拡大にとどまらず、化石燃料依存からの転換を進める日本のGX（Green Transformation）産業の成長を支える柱となる。

(2) 浮体式洋上風力への期待

洋上風力には「着床式」と「浮体式」の2つの方式がある（図1）。着床式は、風力発電設備の基礎構造を海底に直接固定し、おおむね水深50m程度までの海域に適している。一方、浮体式は、基礎構造が海面に浮かぶ浮体（フローター）で構成され、浮体をロープやチェーンなどの係留索とアンカーによって

図1 着床式と浮体式

- 着床式の基礎は海底に固定されるが、浮体式の基礎は海に浮かぶ
- 代表的な浮体式基礎の形式には、バージ型、TLP型、セミサブ型、スパー型などがある



出所) 以下よりイラストを抜粋して水深を追記のうえ作成
国土交通省「洋上風力発電を取り巻く近年の動き」(閲覧日2025/8/1)
<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001852683.pdf>

海底に固定する。水深50m以上の海域でも設置できるため、深い海域が多い日本のEEZでは浮体式が有力な選択肢となる。

浮体式には、バージ型、TLP型、セミサブ型、スパー型などの形式があり、海域条件や事業者の技術的・産業的な強みに応じて選択される。たとえば、セミサブ型は石油・ガス分野の洋上プラットフォームで長年活用されてきた浮体構造で、荒天時にも耐波性が高い。実際に、2023年にポルトガル沖で最大風速約139km/hの暴風に耐えた運転実績が報告されている^{注4}。

(3) 浮体式洋上風力の成長地域と主要市場

GWEC（Global Wind Energy Council：世界風力会議）は、80カ国以上、1500を超える企業・団体が加盟する洋上風力の国際的な業界団体である。同団体が発行した「Global Offshore Wind Report 2025」^{注5}によれば、浮体式洋上風力は2020年代初頭に商業化前段階へと移行し、2031年以降には設備容量1GW（1000MW）を超える新設が複数見込まれている。

商業化前段階とは、実証を経て事業の成立可能性が現実的に見え始める段階を指す。1GW超は商業化前段階から商業化段階への移行を示す目安とされる。2025年10月時点で、商業運転中の浮体式洋上風力発電所の中で世界最大規模を誇る「Hywind Tampen」でも設備容量は約100MW弱にとどまっている。2030年代には、より大容量化が進むことが見込まれている。

地域別の展望では、2034年までに欧州が世界全体の57%を占め、アジア太平洋地域が42%、北米は1%にとどまると予測されてい

る。主要市場としてはノルウェー、英国、中国、フランス、ポルトガルが挙げられている。これらの成長市場における先行企業の取り組みは、今後、日本企業にとって有益な示唆となるであろう。

2 浮体式洋上風力の ビジネスモデルと収益性

日本の洋上風力は収益性が脆弱で、産業基盤が成熟していない、環境・規制対応の負担が大きいといった課題を抱えているが、最大のボトルネックが収益性である。

洋上風力のビジネスモデルは、大規模なインフラ投資を前提に、20～30年にわたる売電収入によって回収する長期的な回収型モデルが基本である。収益の柱は、固定価格による買取制度、電力市場での販売、企業との長期売電契約（PPA：Power Purchase Agreement）など、電力販売に基づくものである。近年では、再エネ価値の証券化やクリーン電力を活用した水素製造など、収益源の多様化も進んでいるが、事業の中核を成すのは依然として電力販売である。

電力販売の収益性は、主に売電価格と年間発電電力量（AEP：Annual Energy Production）によって売上高が決まり、そこからコストを差し引くことで決定される。コストは主に2つに大別され、設備導入や建設にかかる初期投資（CAPEX：資本的支出）と、運転・保守にかかる継続的な費用（OPEX：運転維持費）である。したがって、収益性強化のためには、まず売上高に直結する年間発電電力量（AEP）の最大化（維持・拡大）と、コストであるCAPEXおよびOPEXの最小化を実現することが不可欠である。

本稿では、浮体式洋上風力の収益性強化のために、デジタル技術がどのように活用されているかを、先行国の取り組み事例を基に考察する。次節では、収益性にかかわる多様なプレイヤーの役割を整理する。

3 収益性にかかわる多様なプレイヤー

日本のEEZにおける洋上風力発電の事業フローは、政府が募集区域を指定し、企業がその区域に応募して「仮の地位」（仮許可）を得

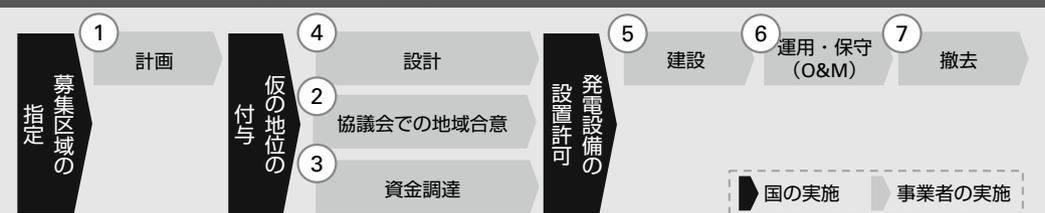
た後、協議会による関係者調整（地域合意）を経て、最終的に「発電設備の設置許可」を得た企業が、建設、運用・保守へと進む^{注6}。

設計から建設、運用に至る過程では、多様なプレイヤーが関与し、収益性に影響を及ぼす（図2）。

(1) 年間発電電力量の最大化にかかわるプレイヤー

AEPの最大化に向けては、設計から運用

図2 日本のEEZにおける浮体式洋上風力の事業フロー



主なプレイヤーとタスク (例)

	1 計画	2 地域合意	3 資金調達	4 設計	5 建設	6 運用・保守
主なプレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> デベロッパー 環境アセスメント事業者 	<ul style="list-style-type: none"> デベロッパー 地域関係者 	<ul style="list-style-type: none"> デベロッパー 資金調達関係者 	<ul style="list-style-type: none"> デベロッパー EPCI事業者 主要機器メーカー 構造設計・解析事業者 	<ul style="list-style-type: none"> デベロッパー EPCI事業者 主要機器メーカー 施工インフラ事業者 	<ul style="list-style-type: none"> デベロッパー 発電事業者 O&M事業者 主要機器メーカー 構造設計・解析事業者 IT・通信企業 施工インフラ事業者
主なタスク	<ul style="list-style-type: none"> 事業計画作成 環境アセスメント 入札対応 	<ul style="list-style-type: none"> 協議会での交渉 漁業共生策 利益還元策・地域雇用 港湾使用調整 環境海洋調査 	<ul style="list-style-type: none"> 資金計画策定 認証技術審査 資金調達 	<ul style="list-style-type: none"> 統合設計（風力タービン、浮体、ケーブル、係留） 製造建造設計 港湾レイアウト設計 	<ul style="list-style-type: none"> 建設準備 港湾活用・ヤード整備 海上施工・試運転 系統接続 	<ul style="list-style-type: none"> 発電・売電管理 監視・点検・修繕 安全管理 物流支援

※デベロッパー：総合商社、エネルギー企業（石油・ガス・電力会社など）、再エネ専業事業者など
 ※地域関係者：漁業関係者、自治体、港湾関係者、地域企業・団体など
 ※資金調達関係者：金融機関、出資者、保険・保証機関など
 ※EPCI（Engineering, Procurement, Construction, Installation）事業者：設計・調達・建設・据付を一括で請け負う事業者
 ※主要機器メーカー：風力タービン、浮体、ケーブルなどを提供する企業
 〈建設〉鉄鋼メーカー（鋼材供給）、造船・重工メーカー（浮体・建設機械など）、重電メーカー（発電・送電機器など）、ケーブルメーカーなど
 〈運用・保守〉：制御・モニタリング・保守関連機器を提供する企業。鉄鋼・素材メーカー（補修部材供給）、重電（電力・制御機器の保守・更新）、ロボティクス企業など
 ※施工インフラ事業者：洋上風力の建設・保守に必要なインフラを提供する企業。造船・海運・建設・海洋施工事業者（浮体輸送・設置・補修など）など
 ※構造設計・解析事業者：浮体・係留・支持構造などの設計・解析を担う企業。設計段階では構造最適化などを、運用段階では構造健全性監視、動揺解析などを行う企業
 出所）公開情報より作成

段階にかけて自らリスクを負って事業を立ち上げるデベロッパーを中心に主要機器メーカー、IT企業、構造設計・解析事業者などが協働し、発電損失の防止や発電効率の向上などに取り組む。

(2) 初期投資の最小化にかかわるプレーヤー

CAPEXの最小化に向けては、設計・建設段階でデベロッパーを中心に、設計・調達・建設・据付を一括で請け負うEPCI (Engineering, Procurement, Construction, Installation) 事業者、構造設計・解析事業者、主要機器メーカー、施工インフラ事業者などと連携し、設計や資材調達の最適化、建設工程の効率化などに取り組む。

(3) 運転維持費の最小化にかかわるプレーヤー

OPEXの最小化に向けては、運用段階でデベロッパーと発電事業者を中心に、構造設計・解析事業者、主要機器メーカー、O&M (運用・保守) 事業者、IT・ロボティクス企業などが協働し、構造物のモニタリングや予知保全を通じて保守効率化と計画外停止の防止を図る。

これらの事業者は、AEP最大化やCAPEXおよびOPEXの最小化といった収益性を低下させる要因への対応を進める中で、次節で詳述する課題に直面している。

4 収益性低下を招く

浮体式洋上風力の課題

浮体式洋上風力は深海域で導入余地が大きい一方、ウェイク、動揺、風力タービンの大

型化が収益性を低下させる要因になっている。以下、この代表的な3つの課題を整理する。

(1) 発電損失を招く「ウェイク」

AEPの最大化を進めるうえで課題となるのが「ウェイク」である。浮体式洋上風力発電所 (ウインドファーム) では、複数の風力タービンが存在する (図3)。ある風力タービンが風を受けて発電すると、風下側の風力タービンにおいて風速低下や乱流が起きる領域 (ウェイク) が生じる。ウェイクに位置する風下側では発電量が減少し、結果として全体の発電量も低下する。洋上は大気が安定しているため、乱流が長く残りやすく、陸上より発電損失が大きくなる傾向がある。

ウェイクによる発電損失をいかに抑えるかという課題に対しては、設計段階でウェイクを考慮した風力タービンの配置計画を立て、運用段階では複数の風力タービンの出力や向きを統合的に最適化することが有効である。

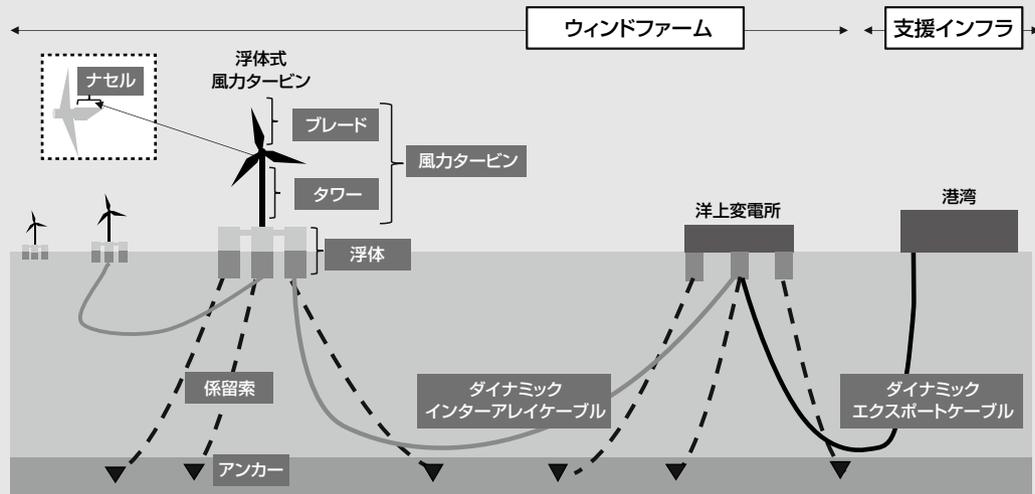
(2) コストを増加させる

「風力タービン大型化」

発電効率を高め、AEPを最大化するために風力タービンの大型化が進んでいる。一方、大型化は製造・輸送・設置コストを押し上げる要因にもなっている。長大なブレード (回転翼) や重量物の輸送・設置・保守には大型専用船が必要となるが、日本ではそのような船舶が接岸できる港湾は限られ、船舶調達コストや天候による待機コストも発生する。さらに、海上での組立作業は複雑化し、人件費の上昇も相まって、建設および運用保守の双方で時間とコストの増大を招いてい

図3 浮体式洋上風力発電所（ウィンドファーム）の構成要素

- 風力タービンの大型化に伴い、「タワー」は高くなり「ブレード」は長くなる傾向
- 風力タービンや浮体、係留システム（係留索やアンカーなど）、ケーブルは、波・風・潮流による揺れの影響を受ける



※浮体式風力タービン（FWT：Floating Wind Turbine）：風力タービン、浮体、係留システム（係留索、アンカーなど）などで構成される、1基単位の発電設備
 ※ナセル：ブレードの回転で得た風のエネルギーを電気に変換する主要機器（発電機、増速機、制御装置、センサー類など）を格納した装置
 ※ダイナミックインターアレイケーブル：風力タービン間を接続して送電するインターアレイケーブルを、浮体の動揺に追従できる柔軟構造としたもの
 ※ダイナミックエクスポートケーブル：風力タービンから洋上変電所または陸上の送電網へ電力を送るエクスポートケーブルを、浮体の動揺に追従できる柔軟構造としたもの
 ※ウィンドファーム（FOWF：Floating Offshore Wind Farm）：複数の浮体式風力タービン、ダイナミックインターアレイケーブル、洋上変電所などで構成される、浮体式洋上風力発電所
 出所）公開情報より作成

る。このため、CAPEXおよびOPEXの最小化を図るには、発電効率向上とのトレードオフをいかに最適化するかが重要な経営課題となる。

風力タービンの大型化に伴うコスト増加をいかに抑えるかという課題に対しては、建設・運用計画を最適化することで初期投資と運用維持費の双方の削減が可能となる。また、設備配置を適正化して過剰な設備導入を防ぐことも可能である。

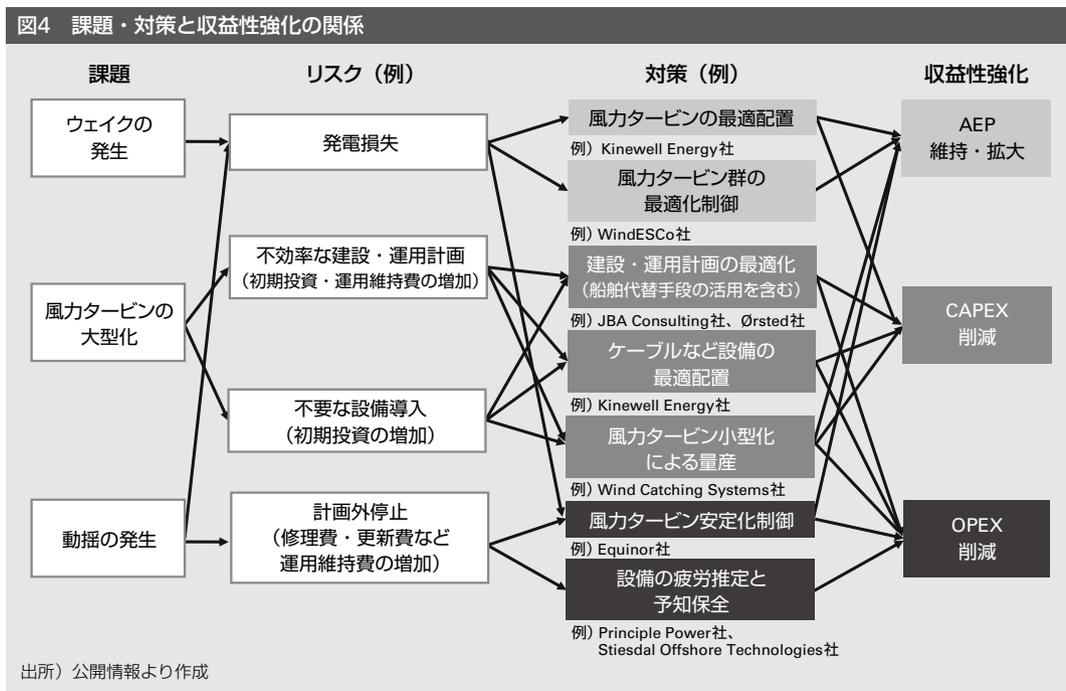
また、別のアプローチとして、実現可能性はまだ十分に検証されていないものの、大型風力タービンへの依存を見直すことも一つの選択肢である。小型風力タービンを一つの浮

体上に複数設置する方式を採用すれば、製造・輸送を地理的に分散して利用可能な港湾の選択肢を拡大するとともに、海上作業の簡素化も期待できる。その結果、CAPEXおよびOPEXの最小化が可能となる。

(3) 発電損失や計画外停止を引き起こす「動揺」

AEPの最大化およびOPEXの最小化を進めるうえで課題となるのが、浮体式風力タービン特有の「動揺」である。浮体式の風力タービンは海面に浮かぶため、波・風・潮流の影響で多方向に揺れる。動揺は、発電損失の原因になるとともに、浮体やタワーの疲労、係

図4 課題・対策と収益性強化の関係



留索やケーブルなどへの負荷が計画外停止の原因になる。

発電損失や計画外停止をいかに防ぐかという課題に対しては、風力タービンを安定化する制御を行って発電損失の防止につなげ、動揺による疲労状態を推定して予知保全につなげることが有効である。これにより、AEP最大化とOPEX最小化が期待できる。

以上の課題を克服することで、AEP最大化、CAPEXおよびOPEXの最小化を実現し、収益性を高めることが可能となる（図4）。こうした課題に対し、欧州では2009年以降、実証と技術進化を重ね、デジタル技術を活用して収益性強化を図る取り組みが進められてきた。第Ⅱ章から第Ⅳ章ではこれらの事例を取り上げ、収益性強化に向けた先行国の取り組みを考察する。

Ⅱ 年間発電電力量の最大化に向けたデジタル技術活用

本章では、収益性を左右する課題のうち、AEPの最大化にかかわる課題に焦点を当てる。主な発電損失の要因はウェイクおよび動揺であり、これらの損失を予防・低減する取り組みを紹介する。設計段階では、ウェイクの影響を抑えるために風力タービンの最適配置を行うKinewell Energy社、運用段階では、複数の風力タービンを最適に制御してウェイク影響を最小化するWindESCo社、さらに、動揺の影響を受ける風力タービンの安定化制御を行うEquinor社の事例を取り上げる。

1 Kinewell Energy社： ウェイクの影響を低減する 風力タービンの最適配置

Kinewell Energy社（英国）は、洋上風力

における設備配置の最適化に強みを持つソフトウェア企業である。2023年に風力タービンの最適配置を設計できる「KWOTA」の提供を開始した。

「KWOTA」は、AIとウェイクモデル（後流解析モデル）、独自の最適化アルゴリズムを組み合わせ、ウェイクの影響を受けた風下タービンの発電損失を最小化し、AEPを最大化する最適配置を算出するものである。これまで計算に長時間を要していたが、高速演算により複数シナリオを短時間で検討でき、設計段階での迅速な意思決定を可能にする^{※7}。さらに、高コストとなる海域での建設回避や過剰配置の防止など、CAPEXおよびOPEXの最小化効果も期待できる。

KWOTAは、設計段階でウェイクによる発電損失を定量的に比較し、最適な配置判断を支援することでAEP最大化に寄与している。

2 WindESCo社： ウェイクの影響を最小化する 風力タービン群の最適制御

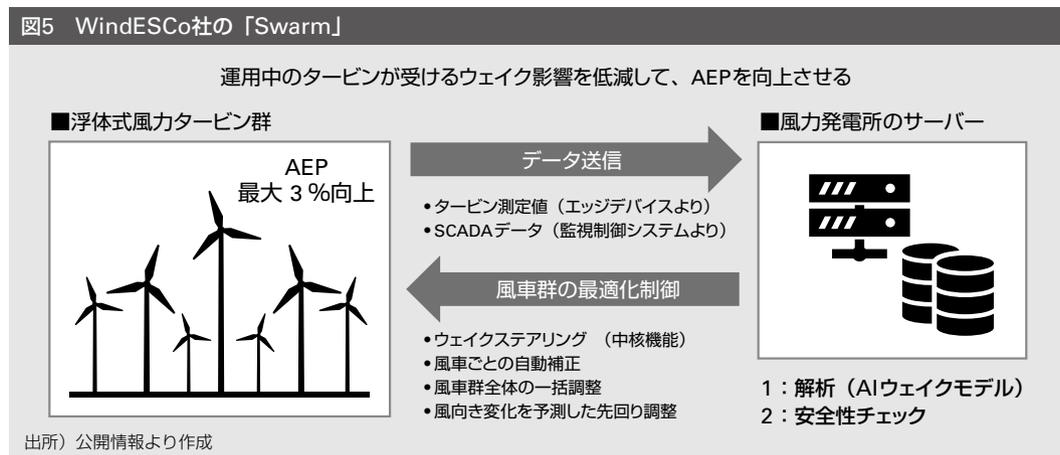
WindESCo社（米国）は、風力タービンの性能最適化に特化したソフトウェア企業である。同社の分析によれば、ウェイクによる発

電損失は陸上で5～15%程度だが、洋上では大気が安定しているため20～30%を超える場合もある^{※8}。また、同社の運用データ分析によると、建設前に推定されたウェイクによる発電損失は実際よりも小さく見積もられる傾向が確認されている。

ウェイクの影響を抑え、発電効率を高めるため、同社は既存の発電所に後付導入が可能な風力タービン群の最適制御システム「Swarm」を開発した。Swarmの中核は「ウェイクステアリング」である。これは、発電所の上流側にある風力タービンのナセル（風の力を電気に変える装置）の向きを制御し、風下側にできる乱流の影響を軽減する技術である。具体的には、AIとウェイクモデルによる解析を経て最適なナセル角度を算出し、分単位でデバイスへ指示を送る。その結果、下流側の風力タービンにも適度でかつ十分な風が当たり、発電量の低下を防ぐことができる。

さらに、複数の最適化機能を自動でリアルタイムに並列実行することが可能である。これらの機能には、通常運転時にナセルの向きを微調整する機能、風向きデータに基づいて全ナセルの向きを最適化する機能、全風力タービンのデータから風向き変化を予測して全

図5 WindESCo社の「Swarm」



ナセルの向きを先回り調整する機能などが含まれる（図5）⁹。

同社によれば、Swarmの導入でAEPは最大3%向上した。また、浮体構造物や風力発電設備の認証に加え、技術支援やリスク評価も行う国際的な民間の第三者機関DNV（ノルウェー）の検証では、米国の陸上風力（10基）の案件においてAEPが2.2%改善した。さらに、通常運転時に風向きに合わせてナセルの向きを微調整する制御を追加することで、合計2.7%の向上が確認されている¹⁰。

なお、Swarmは風力タービンに設置するデバイスとファイアウォール内のサーバーで構成され、発電量や設備状態を遠隔監視するSCADAデータ（商用タービンではほぼ標準装備）とデバイス計測値を統合して解析するものであり、高コストなLiDARには依存しないことが特徴である。

風力タービンのメーカーに依存しない拡張性と第三者評価を受けた事例という強みを持ち、類似製品を上回る効果を示している。Swarmは、ウェイクによる発電損失を抑制し、AEP最大化に寄与している。

3 Equinor社： 動揺に対する風力タービンの 安定化制御

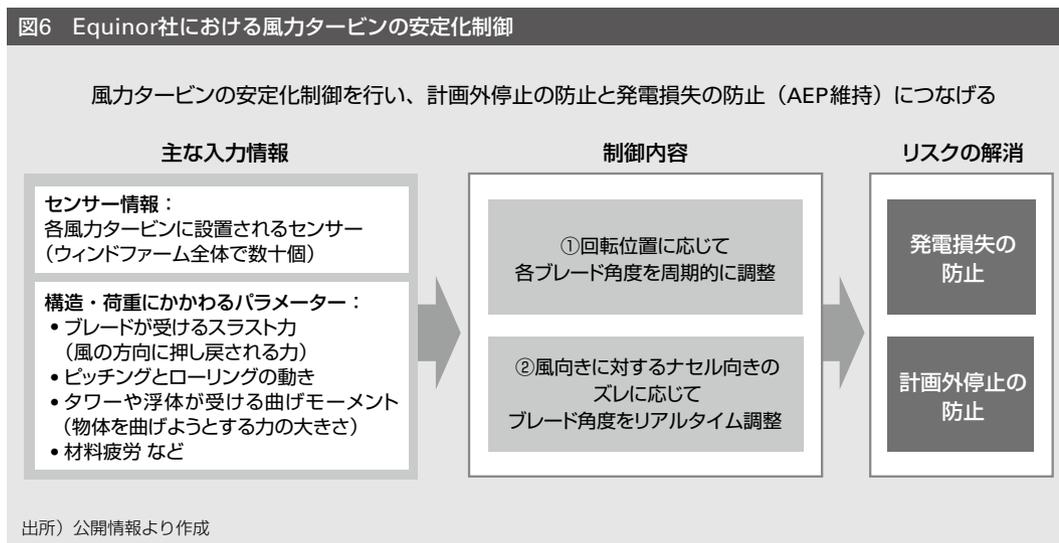
Equinor社（ノルウェー）は、石油・ガス開発を中核に発展した国営石油会社を母体とし、現在は洋上風力を重点分野とするエネルギー大手へと転換を進めている総合エネルギー企業である。

浮体式洋上風力プロジェクト「Hywind」シリーズは世界的に注目され、世界初の「Hywind Scotland」や、「Hywind Tampen」を運営している。

同社は、動揺の影響を受ける風力タービンを安定化させる制御を行っている。従来の風力タービン制御ソフトウェアは浮体特有の動揺を誤って解釈し、かえって揺れを増幅させるため、浮体式風力タービンには対応できなかった。そこで同社は、Hywind Scotlandプロジェクトにおいて、既存の風力タービンに後付導入ができる「アクティブモーションコントロール」という動揺制御システムを開発・導入した（図6）。

同システムは、各風力タービンに設置されたセンサーデータや、構造・荷重にかかわる

図6 Equinor社における風力タービンの安定化制御



多くのパラメーターといった入力データを基に、制御アルゴリズムが風力タービンの姿勢を安定化させるものである。ブレード角度やナセルの向きをリアルタイムで最適化することで風力タービンの揺れを抑え、浮体を海底につなぎとめる係留索にかかる力を軽減している^{注11}。

Hywind Scotlandプロジェクトは、執筆時点で故障や保守による停止を除いた利用率（発電可能な時間の比率：Availability）を公開していない。一方、操業5年間で最大発電能力に対する実際の発電量の比率である設備利用率（Capacity Factor：容量係数）は54%を達成している^{注12}。一般的な新規洋上風力の設備利用率は40～50%程度^{注13}であることを踏まえると高水準である。

同社は、風向きに対して最適な姿勢を維持する風力タービンの安定化制御により、発電損失の低減によるAEP最大化に加え、計画外停止の防止にも寄与させている。

以上に見たように、ウェイクや動揺による発電損失への対策を行うことで、AEP最大化につなげることができる。

Ⅲ 初期投資の最小化に向けた デジタル技術活用

第I章で整理した収益性低下を招く課題のうち、本章ではCAPEXの最小化にかかわる課題に焦点を当てる。それには、計画段階における投資の最適化が不可欠である。CAPEXを増大させる主な要因の一つが、風力タービンの大型化である。

大型化を踏まえ、ケーブルなどの設備を最

適配置する設計を支援するKinewell Energy社、プロジェクト初期段階で建設・運用計画の最適化を支援するJBA Consulting社、さらに風力タービンの小型化を図るWind Catching Systems社の事例を紹介する。これらはいずれもCAPEX最小化に直結するとともに、後述するOPEX最小化にもつながっている。

1 Kinewell Energy社：

ケーブルなど設備配置の最適化

第II章で紹介したKinewell Energy社は、インターアレイケーブル（風力タービン間や風力タービンから洋上変電所を結ぶ送電ケーブル）の配置設計ツール「KLOC」が代表製品である。AIと数理最適化アルゴリズムを活用したソフトウェアで、2015年の提供開始以来、Equinor社など世界の大手エネルギー企業に導入されている。

同社によれば、インターアレイケーブルの配置最適化はCAPEX最小化に直結する。設備容量1GW規模の発電所では、インターアレイケーブルの購入・敷設費用は約3.6億ドルに達し、ケーブルCAPEXは総CAPEXの約11%を占めると試算されている。KLOCを活用すれば、ケーブル長や経路、ケーブル接続装置の配置を最適化でき、ケーブルCAPEXを約20%削減できると考えられている。たとえば、総CAPEXを1000億円と仮定し、同社の試算値（11%）を参考にケーブルCAPEX比率を10～15%程度と仮定して計算すると、ケーブルCAPEXは100億～150億円程度となる。その20%削減により、20億～30億円を削減できる計算になる。

さらに設計段階でのケーブル配置最適化は、OPEX最小化にも直結する。浮体式洋上風力

では、風・波・潮流による動揺でケーブル形状や長さが変動し、係留索やアンカーなどとの干渉リスクが生じやすい。KLOCはこうした動的挙動をモデル化し、干渉を回避する設計を支援することで、送電損失の低減と故障リスクの抑制を実現する。また、次節で紹介するJBA Consulting社の「ForeCoast Marine」と統合することで、設置計画とコストシミュレーションを一体的に実行できる。JBA Consulting社は、この統合により、建設段階で運用維持費の約3分の1を削減できると試算している^{注14}。

Kinewell Energy社は、送電システム全体の配置設計を行う「KDOTS」も展開している。送電ルートや接続点の最適化により、送電損失や設備コストを削減する。これらのソリューション群により、同社はCAPEX最小化を支援している。

2 JBA Consulting社： 建設・運用計画の最適化

JBA Consulting社（英国）は、環境・リ

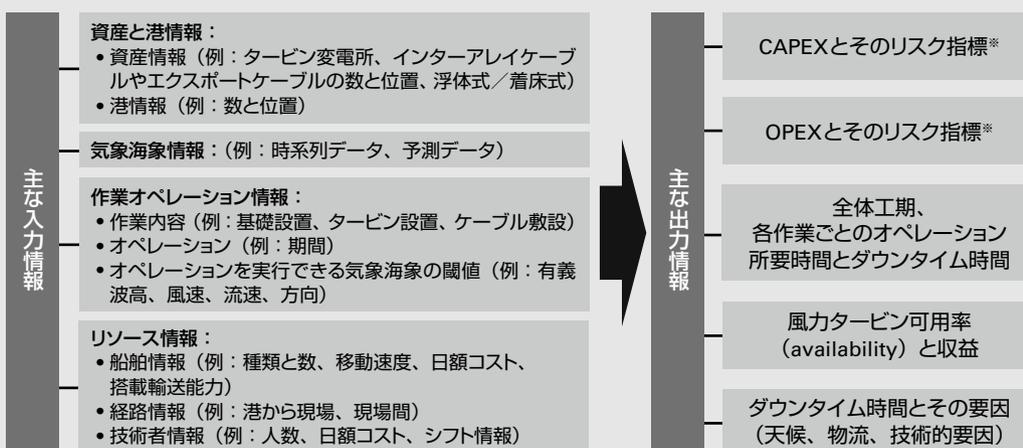
スク管理を専門とするコンサルティング企業である。洋上風力発電の建設・運用計画を最適化するツール「ForeCoast Marine」を提供している。搭載機能の「Design desk」は、建設・運用計画における複数のシナリオをシミュレーションし、待機・やり直しの削減、船舶稼働の平準化、工期短縮を支援する。その結果、最も収益性の高い建設・運用計画を選択できる^{注15}。

シミュレーションの入力情報には、風力タービンやケーブルの配置計画、港湾情報、気象・海象データ、作業の中断基準、作業船の能力とコスト、技術者の配置とシフト情報などが含まれる（図7-1）。さらに、世界中の沖合最大約444kmまでの1時間単位の気象・海象データを無料で取り込むことができる^{注16}。この範囲は、沖合200海里（約370km）までのEEZをほぼカバーする。

シミュレーションによって、財務・工期など多面的な評価が可能になる。出力結果には、CAPEX・OPEX推定、財務リスク評価、全体工期予測、風力タービンの可用率（Avail-

図7-1 JBA Consulting社の「ForeCoast Marine」（「Design desk」機能）

- プロジェクト設計段階で、洋上風力や気象海象情報から建設運用戦略を比較検討し、CAPEXやOPEXなどをシミュレーションできる
- シミュレーションは、「キャンペーン」（プロジェクト全体）や、「作業別」「オペレーション別」にも実行可能である



※ CAPEXやOPEXのリスク指標は、中央値、下位10%点（特に低い場合の値）、上位10%点（特に高い場合の値）が分かる出所）公開情報より作成

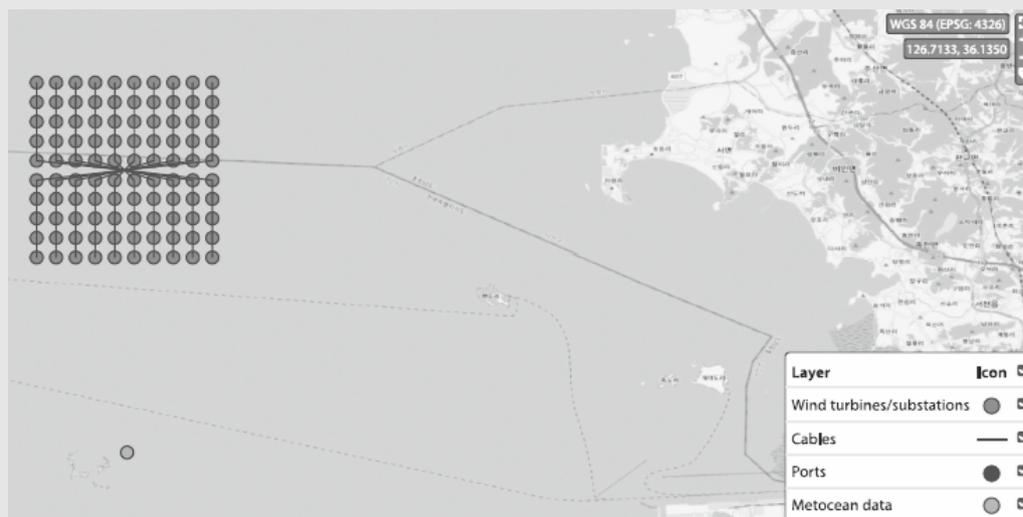
図7-2 JBA Consulting社「Design desk」のシミュレーション例

- 候補となる事業区域や資産船舶などの情報を入力し、複数のシミュレーションを高速比較できる
- シミュレーションの実行時間は標準5～10分程度、複数シミュレーションの同時実行可能
- シミュレーションのテンプレートを複製し、入力内容（船舶の種類、港の位置など）を微修正

〈例：建設シナリオのシミュレーション〉

事前組立：港湾における、資産の準備や接続

設置後：現場における、資産の完成シミュレーション（例：基礎の事前組立、設置、試運転）



出所) JBA Consulting社資料より作成

https://www.jbaconsulting.com/wp-content/uploads/2024/09/ForeCoast_Marine_Info_Pack-Short-Print-nocrops.pdf

ability) 予測、収益予測、ダウンタイム要因分析などが含まれ、財務・物流リスクを定量的に評価できる。

たとえば複数船舶を使用する場合、日当や船舶費用を基に建設期間中のコスト・作業期間・ダウンタイム要因を分析し、建設開始時期によるコスト差や船舶の費用対効果を比較できる。さらに、港湾での部品準備・事前組立、現場での試運転やケーブル埋設といった最終施工プロセスもシミュレーションし、建設工程全体を高精度に最適化できる（図7-2）。

「ForeCoast Marine」は、英国の浮体式洋上風力においてその有用性を示している。近年、英国では浮体式洋上風力用のゼロカーボ

ン作業船の開発が進んでおり、大量の係留装置や浮体を連続設置できる費用対効果の高い作業船が求められている。こうした作業船の運用計画にも同ソフトウェアが活用されている注17。

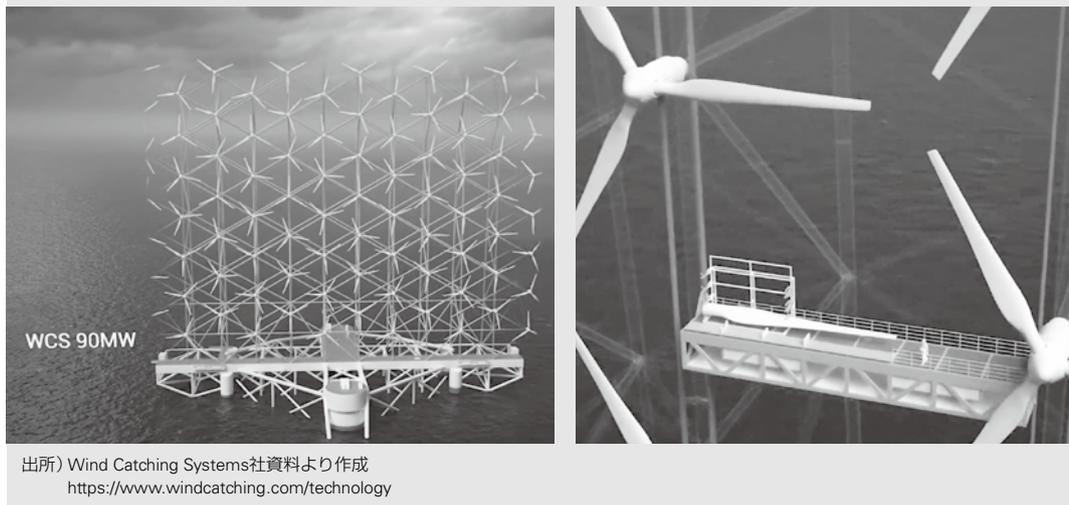
3 Wind Catching Systems社： 風力タービン小型化

Wind Catching Systems社（ノルウェー）は、風力タービンの大型化から脱却する革新的なアプローチを採用する技術開発企業である。

同社が開発しているのは、巨大風力タービンを単独で設置する従来方式ではなく、設備容量1 MWの小型風力タービンを一つの浮体

図8 Wind Catching Systems社の風力タービン小型化

浮体に複数の小型タービンを搭載することで、標準化、出力容量の拡大とコスト削減を図る



上に格子状に複数設置する発電設備である(図8)。まだ商用化前の技術ではあるが、大規模な建設ヤードや十分な水深を有する岸壁、大型クレーン設備が整っていない港湾でも導入が容易であり、建設コストの低減と供給網の多様化に寄与する。

この方式は、建設コスト抑制において優位性を有する。小型風力タービンはコンテナ輸送を前提に設計され、大量生産が可能で、世界各地での製造・輸送に対応できる。また、必要な海域面積も従来の約20%に抑えられ、海上作業の回数やケーブル・係留装置を減らすことでCAPEX最小化につながる。

さらに、小型化は結果としてAEP最大化やOPEX最小化にも寄与する可能性がある。風力タービンの数を追加すれば一つの浮体当たり最大126MWまで拡張することができ、AEPの向上につながる。

運用・保守の面でも利点がある。設備の耐用年数は約50年とされ、長期運用が可能である。複数の小型風力タービンで構成されるた

め、一部が停止しても全体の発電量への影響は限定的である。大型風力タービンの交換にはクレーン船が必要で作業も困難だが、小型風力タービンは軽量で、エレベーターでアクセスし小型船で陸上に運んで修理・交換できる。そのため、海上作業を最小限に抑えられ、安全性と運用効率の両面で優位性を発揮する。

一方で、技術的な課題も残されている。たとえば、複数の風力タービンを格子状に配置すると振動(がたつき)が生じやすいことが指摘されている。この点に対し、同社はブレードとタワー間の距離を確保する設計で影響を低減しようとしている。協業するARUP社がさまざまな運転条件下で荷重や性能を検証するシミュレーションモデルを開発中である。

こうした技術は、商業化に向けて着実に前進している。2024年、設備容量40MWのシステム設計が、前述した国際的な第三者機関であるDNVから「原則承認」^{注18}を取得した。これは設計がDNV規定に適合し、重大な欠陥や規則違反がないと第三者が確認したもの

である。

以上に見たように、風力タービン大型化を踏まえた建設・運用計画の最適化やケーブルなど設備の最適配置、風力タービン小型化によって、CAPEX最小化を実現し、OPEX最小化にも寄与できる可能性がある。

IV 運用維持費の最小化に向けたデジタル技術活用

第I章で整理した収益性低下を招く課題のうち、本章ではOPEXの最小化にかかわる課題に焦点を当てる。

OPEXを増大させる主な要因は、故障などの計画外停止に伴う修繕・設備更新費に加え、保守作業に必要な船舶の利用費とそれに伴う海上作業員・技術者の人件費である。

計画外停止を防止する対応では、近年、ドローンやAIによるブレード点検やSCADAデータを活用した遠隔監視が普及している。しかし、浮体式洋上風力では、動揺による構造疲労の把握が依然として課題となっている。この課題に対して有効なのがデジタルツイン技術である。デジタルツインを利用すれば、センサーなどから得られる実測データとシミュレーションモデルを組み合わせることで仮想空間上で解析し、構造物の疲労状態を高頻度に再現・更新できる。モデルを継続的に更新できるため、追加センサーを設置せずとも精度を維持でき、低コストで長期的な健全性評価と予知保全を可能にする。これにより、OPEX最小化に直結する効果が期待される。

また、高額な船舶利用をいかに減らすかという課題に対しては、第III章で見た運用計画

の最適化に加え、ドローンなどの代替手段の活用が有効である。

本章では、動揺に伴う浮体の疲労推定を行うPrinciple Power社、タワーの疲労解析・評価を行うStiesdal Offshore Technologies社、重量物輸送ドローンによる保守物資輸送を実証したØrsted社の事例を紹介する。

1 Principle Power社：浮体の疲労推定

Principle Power社（米国）は、浮体式洋上風力の設計・エンジニアリングや技術ライセンスを提供する国際的な企業である。同社の「WindFloat」技術を用いた浮体基礎は、世界各地の商用および商用化前プロジェクトで導入されており、2030年までに約300基の展開を目指している。

同社はデジタルツインを活用した浮体の疲労推定にも取り組んでいる。2019年には米国エネルギー省（DOE）の助成を受け、浮体式洋上風力向けのデジタルツイン「DigiFloat」の開発・実証に着手し、2023年に報告書を公開した。その目的は、浮体の構造健全性を高精度に常時監視し、予知保全に活用することである。

実証では、ポルトガル沖の「WindFloat Atlantic」プロジェクト（2020年商業運転開始）の1基から得られる運用データを活用してデジタルツインを構築した。構造のひずみ、振動・動揺、波高・波向・表層流速などのデータをセンサーや海象ブイで取得し、リアルタイムでモデルに反映して構造物への影響を評価している^{注19}。さらに3Dモデルにより、浮体部材の厚み変化や亀裂・損傷を長期的に追跡できるようにした^{注20}。

構造解析には、Akselos社のシミュレーションソフトを採用している。同一構造物を異なる条件で繰り返し解析する際に特に有効なため、従来手法と比べて最大1000倍の高速化を実現しつつ、精度も保証されている^{注21}。

このようなデジタルツインは、浮体の構造疲労を高頻度で推定し、点検・交換時期を適切にするなど、保守・運用計画を最適化することができる。初期投資が通常より高くなる場合もあるが、長期監視が求められる場合には解析高速化によるOPEX最小化が期待できる。

2 Stiesdal Offshore Technologies社： タワー疲労の解析・評価

タワーの疲労解析と評価に取り組むのが、再エネ技術を手がけるStiesdal社の子会社Stiesdal Offshore Technologies社（デンマーク）である。

同社は、ノルウェー沖の「TetraSpar」実証プロジェクト（2021年運転開始）で、浮体実証機の設計・開発を主導した。さらに、米国国立再生可能エネルギー研究所（NREL）と共同でタワー部分のデジタルツインを構築し、動揺の影響を受けるタワーの疲労解析の有用性を検証している。

タワーは浮体上部に設置され、ナセルやブレードを支える支持構造であり、その挙動や荷重は浮体に大きな影響を与える。このため、風・波・潮流による動的荷重を考慮した疲労解析は、長期運転の信頼性確保に不可欠である。

研究では、従来の風力タービンで標準的に取得されるデータに加え、浮体基礎で活用が想定されるセンサーデータを用いてデジタル

ツインを構築した^{注22}。タワーを高さ方向に複数の断面に分割し、断面ごとに荷重を算出して疲労状態を解析した。この手法は、追加センサーを新設せず、標準センサーのデータで解析精度を確保している点に特徴がある。

タワー疲労の解析結果と実測値を比較したところ、誤差は10～15%に収まり、実用的な有用性が確認された。今後、さらなる精度向上を目指しており、浮体式洋上風力の長期的な予知保全と計画外停止の防止によるOPEX最小化が期待される。

3 Ørsted社： 重量物輸送ドローンの活用

次に、構造監視ではなく、保守作業における船舶コストの削減に焦点を当てた事例を示す。

高額な船舶コスト削減の観点から注目されるのが、Ørsted社（デンマーク）によるドローン輸送である。同社は洋上風力で30年以上の実績を有し、世界シェア約25%を占める大手事業者である^{注23}。

同社は2020年、オランダの大規模洋上風力「Borssele」において重量物輸送用ドローン（HLCD：Heavy Lift Cargo Drone）を導入し、全94基の風力タービンへの貨物輸送に成功した。

従来、ドローンは主に点検・監視に利用され、重量物輸送には不向きとされてきた。理由は、重量物や長距離、垂直移動が伴う輸送ではバッテリー消費が大きいためである。しかし、同社は各風力タービンに設置する避難・安全装置（重量最大100kg／個）を対象にドローン輸送を実用化した。

その成果は顕著である。洋上の船舶から風

力タービンまでの輸送時間は、1基当たり約6時間から約4分に短縮された。風力タービン間の船舶移動や、装置類が入った箱を風力タービン上部まで吊り上げるクレーン作業が不要になった。その結果、同社は、輸送作業全体を従来比10～15倍の速さで完了できたと評価している^{注24}。この事例は着床式洋上風力で実証されたが、浮体式においても輸送コスト削減と作業リスク低減に直結する技術として適用可能である。

以上から、予知保全に活かすために動揺に

よる設備の疲労把握を行うこと、船舶の代替手段を活用することは、OPEX最小化に直結する可能性がある。

V 日本企業による 浮体式洋上風力事業への挑戦

1 浮体式洋上風力事業に活用される デジタル技術

浮体式洋上風力事業の収益性を低下させる主要因として、ウェイク、風力タービンの大型化、動揺という3つの課題とその解決

表1 収益性向上に向けたデジタル技術の活用（例）

狙い	課題	対策	海外事例	活用されるデジタル技術（公開情報）
AEP 拡大	ウェイク	ウェイク影響を低減する風力タービンの最適配置	Kinewell Energy社の「KWOTA」	AI、ウェイクモデル（後流解析モデル）、高度な数学（数理最適化アルゴリズムを含む）、独自アルゴリズム
	ウェイク	ウェイク影響を低減する風力タービン群の最適化制御	WindESCo社の「Swarm」	AI、ウェイクモデル、風車群の最適化アルゴリズム
	動揺	風力タービンの安定化制御	Equinor社の「Active Motion Control」	モーションセンサー、動揺制御アルゴリズム（Active Motion Control / AYIC）
CAPEX 削減	大型化	建設計画の最適化	JBA Consulting社の「ForeCoast Marine」	建設計画のシミュレーションモデル
	大型化	インターアレイケーブルの配置最適化	Kinewell Energy社の「KLOC」	AI、進化的アルゴリズム：Evolutionary Algorithm（数理最適化アルゴリズムの一種）
	大型化	送電システムの配置最適化	Kinewell Energy社の「KDOTS」	AI、高度な数学
	大型化	風力タービン小型化による量産	Wind Catching Systems社	浮体荷重と性能評価のシミュレーションモデル
OPEX 削減	大型化	運用計画の最適化	JBA Consulting社の「ForeCoast Marine」	運用計画のシミュレーションモデル
	大型化	重量物輸送用ドローンによる船舶の代替輸送	Ørsted社	重量物輸送用ドローン（HLCD：Heavy Lift Cargo Drone）
	動揺	係留とケーブルの干渉回避	Kinewell Energy社の「KLOC」	係留干渉のシミュレーションモデル
	動揺	浮体の疲労推定	Principle Power社	計測センサー（ひずみ計加速度計など）、海象計測ブイ、デジタルツイン、RB-FEAモデル、物理ベースのシミュレーションモデル
	動揺	タワーの疲労解析評価	Stiesdal Offshore Technologies社×NREL	計測センサー（傾斜センサーやGPSセンサーなど）、デジタルツイン、数値シミュレーションモデル（OpenFASTなど）

出所）公開情報より作成

手法について検討してきた。さらに、デジタル技術を活用して課題解決に取り組む先行事例を紹介した。

それぞれの事例による実績や実証結果からも、デジタル技術の活用は、浮体式洋上風力事業の収益性向上に有効なアプローチであることを確認できる（表1）。

2 日本企業の挑戦：

早期参入と収益性強化

(1) 浮体式の商業化を見据えた取り組み

日本の洋上風力（着床式・浮体式合計）の設備容量は、2024年末時点でわずか253.4MWにとどまっている^{注25}。

このように導入が限定的な状況の下で、2020年代に入り、国土交通省や経済産業省などを中心に設置された複数の審議会で、有識者や関係団体を交えて浮体式洋上風力の商業化に向けた議論が進んでいる。その内容は、海上施工や港湾インフラのあり方、技術検証を行うための海上実証サイトの整備、海域占用期間を現行の30年から延長すること、産業競争力強化に向けた取り組みなど、多岐にわたる。

一方、産業界でも動きが加速している。2024年3月には、電力会社や商社などが参画

する浮体式洋上風力技術研究組合（FLOW-RA）が設立された。コスト削減や商業化加速を目指し、欧米の研究開発・認証機関とも技術協力の覚書を締結した^{注26}。さらに2025年1月には、海上工事や海洋鋼構造物に強みを持つ企業が参画する浮体式洋上風力建設システム技術研究組合（FLOWCON）が設立され、浮体式洋上風力の大量導入を見据えた建設システムの確立を目指している。

これらの民間主導の動きを踏まえ、2025年8月には、国と産業界の合意に基づく「洋上風力産業ビジョン（第2次）」が公表された。2040年までに15GW以上の浮体式洋上風力案件の形成を目標とし、造船、素材、製造、海洋土木、維持管理など日本の技術的強みを再確認している。インフレなどの事業環境を踏まえ、コスト低減と技術開発の方向性を示した官民連携の指針となっている。

加えて、商業案件も具体化しつつある。2025年4月には、民間企業が開発を進めた響灘沖（1基3MW、バージ型）で、実証を経た発電設備が商業運転を開始した。続いて2026年1月には、民間企業が開発を進める長崎県五島市沖（8基16.8MW、スパーク型）のウィンドファームが商業運転を開始する予定である（図9）。

(2) 中長期的な日本企業の競争力確保に向けて

浮体式洋上風力は、着床式では設置が困難な海域での導入を可能にし、将来的な拡大余地が大きい。この分野では、欧州を中心に洋上風力（浮体式を含む）向けのサプライチェーン強化や港湾インフラの整備が進みつつある。日本企業が後発となれば、事業参入コス

図9 建設ヤードに横たわる五島市沖用の浮体



出所) NRI (2025/3/1 時点撮影)

トの増大や技術獲得の機会を逸するリスクが高い。

したがって、日本企業は事業基盤が十分に整っていない現段階でも、浮体式洋上風力事業に積極的に参入することが求められる。まずは、発電量の最大化とコスト最小化（AEP最大化／CAPEX・OPEX最小化）に向けた要素技術の開発に注力する必要がある。

要素技術の開発に当たっては、自社の強みが発揮できる領域を選択的に深化させることが重要である。たとえば、海外事例で見たように、AEP最大化に向けた浮体の動揺制御やウェイクによる発電損失の低減、CAPEXおよびOPEXの最小化に向けた建設・運用計画や設備配置の最適化、設備の疲労推定などが挙げられる。これらの技術を組み合わせ、設計から運用までを支えるデジタルソリューションとして体系化し、事業に組み込むことで、収益性を持続的に高めることが可能となる。

また、2030年代の市場拡大を見据え、国内外での実証や小規模案件に早期に参入し、設計から保守までの経験を蓄積することも重要である。これにより、将来の大型案件における設計力・交渉力・投資判断力を高めることができる。さらに、海外との共同実証や人材・サプライチェーン連携を通じて国際的知見を取り込み、自国市場の発展に活かすことが重要である。

欧州の北海地域にある先行諸国では、石油・ガス開発を通じて浮体や係留技術を発展させてきた。一方で、日本は造船、海洋土木、電力インフラなど既存産業との親和性を活かし、浮体基礎、係留、送電分野で競争力を発揮することが可能である。風力タービン

分野は海外メーカーが主導しているが、サイバー侵入やデータ流出といったリスクも考えられる。日本企業は協業や独自開発を通じて設計・制御技術の知見を深め、制御・データ管理の信頼性を高めることが求められる。

浮体式洋上風力は、日本の脱炭素化、経済成長、エネルギーの安定供給を同時に実現し得る分野である。政府としても「経済成長戦略」の中核として位置づけ、港湾・施工インフラ整備と並行して、発電量の最大化とコスト最小化に資するデジタル技術の実証や人材育成を推進することで、産業競争力の強化を図ることが重要である。

注

- 1 設備利用率（Capacity Factor：容量係数）を40%で試算した
・設備容量（45GW）の年間発電量：
設備容量×年間稼働時間×設備利用率
=45,000,000kW×8,760時間×0.4
=157,680,000,000kWh
・発電量ベースの供給可能世帯数（世帯換算）：
年間発電÷世帯当たりの年間電力消費量
=157,680,000,000kWh÷3,911kWh≒約4032万世帯
※3,911kWは以下を使用。環境省「令和5年度家庭部門のCO₂排出実態統計調査結果について（確報値）」（2025/6）
<https://www.env.go.jp/content/000323408.pdf>
- 2 「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」が改正され、「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に関する法律」に改称された。この改正により、EEZでの洋上風力発電設備の設置が可能になった
- 3 国土交通省「浮体式洋上風力発電を巡る最近の動向について」（2025/3/7）
<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001869863.pdf>

- 4 Ocean Winds “WindFloat Atlantic” (2025/5)
<https://oceanwinds.com/wp-content/uploads/2025/05/Cinco-Anos-WindFloat-Atlantic-EN.pdf>
- 5 GWEC “Global Offshore Wind Report 2025” (2025/6/25)
<https://www.gwec.net/gwec-news/offshore-wind-installed-capacity-reaches-83-gw-as-new-report-finds-2024-a-record-year-for-construction-and-auctions>
- 6 経済産業省・内閣府・国土交通省・環境省「『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の一部を改正する法律案』が閣議決定されました」(2025/3/26)
<https://www.meti.go.jp/press/2024/03/20250307001/20250307001.html>
 「募集区域の指定」は経済産業大臣、「仮の地位の付与」および「発電設備の設置許可」は経済産業大臣・国土交通大臣の共同所管
- 7 Kinewell Energy, Ltd Press Release (2023/10/12)
<https://kinewell.co.uk/british-cleantech-goes-big-in-japan/>
- 8 WindESCo, Inc. “Swarm™ for Wake Mitigation” (閲覧日2025/9/30)
<https://www.windesco.com/swarm-tm>
- 9 WindESCo, Inc. “Controls and Sensors – WindESCo Swarm” (2022/10)
<https://www.sandia.gov/app/uploads/sites/273/2022/11/WindESCo-Sandia-Blade-Conference-2022-10.pdf>
- 10 WindESCo, Inc. “WindESCo’s Swarm™ Wake Steering Validated by DNV : Delivers a 2.2 % AEP Increase” (2025/4/29)
<https://www.windesco.com/news/windescos-swarm-wake-steering-validated-by-dnv-delivers-a-2.2-aep-increase>
 エッジデバイス「Swarm Edge」は、ユーザーが変更できるプログラムで機械の動作制御ができるPLC（プログラマブルロジックコントローラ）を内蔵している
- 11 Equinor ASA “Is this the smartest wind turbine yet? Meet the brains behind the brain of Hywind.” (2024/10/14)
<https://www.equinor.com/magazine/meet-the-brains-behind-the-brain-of-hywind>
 具体的には、第一に、ブレード位置に応じて各々のブレード角度を調整し、「風の力を弱める・強める」動きを順番に繰り返す。たとえば、ブレードが3枚ある場合、上側を通過するブレードは風の力を弱め、下側を通過するブレードは風の力を強める角度にし、回転の中央付近では、風を最も効率よく受ける角度を保つ。さらに、風向きに対するナセル向きのズレを計測し、各ブレードの角度をリアルタイムに個別調整する
- 12 Equinor ASA “Equinor marks 5 years of operations at world’s first floating wind farm” (2022/12/29)
<https://www.equinor.com/news/hywind-5-years-world-first-floating-wind-farm>
- 13 International Energy Agency “Offshore Wind Outlook 2019” (2019/11/14)
<https://www.iea.org/reports/offshore-wind-outlook-2019>
- 14 JBA Consulting “JBA Consulting and Kinewell Energy strengthen partnership to enhance offshore wind inter-array-cable solutions” (閲覧日2025/9/30)
<https://www.jbaconsulting.com/2024/01/25/enhancing-offshore-wind-inter-array-cable-solution/>
- 15 JBA Consulting “Design desk” (閲覧日2025/9/30)
https://www.jbaconsulting.com/wp-content/uploads/2024/09/ForeCoast_Marine_Info_Pack-Short-Print-nocrops.pdf
 プロジェクト設計段階での計画最適化 (Design desk) と、日々の運用管理・進捗把握 (Control desk) を支援する2つの主要モジュールを備えている
- 16 無料のデータベースは気候データ分析で利用されるERA5データ。欧州中期予報センター (ECMWF) が提供する。世界の海岸線から緯度または経度で最大4度離れた範囲まで (1度は

- 約111kmのため最大約444km沖合まで) をカバーし、約30kmメッシュでデータを提供する。「Design desk」は、それ以外にもユーザーの観測データ、市販の流体海洋データセットもアップロード可能
- 17 ゼロカーボン船舶の開発プロジェクトは、英国運輸省が実施する「Clean Maritime Demonstration Competition (CMDC)」から支援を受けている。CMDCは海運分野における脱炭素化技術の開発や実証を推進するための助成制度
- 18 DNVの原則承認 (AiP : Approval in Principle) は、プロジェクトの進行における重要なステップであり、特に新しい技術が商業化される前の重要な段階として機能している
- 19 ひずみ計による構造ひずみデータ、加速度計による振動・動揺データ、海象ブイによる波高・波向・表層流速データ
- 20 Principle Power, Inc. “Final Scientific/Technical Report: DigiFloat”
<https://www.osti.gov/servlets/purl/2480916>
 3Dモデルは、国際的な船級協会ABS (American Bureau of Shipping) のHM3D (Hull Manager 3D)
- 21 Akselos SA “Digital Twins: A Comprehensive Guide” (閲覧日2025/ 8 / 1)
<https://akselos.com/digital-twins-a-comprehensive-guide/>
 Akselos社は浮体のデジタルツインを提供している。従来方法は「有限要素解析 (FEA)」、Akselos技術は「低次元基底有限要素解析 (RB-FEA)」を使用。同社は世界経済フォーラムでテクノロジー・パイオニアに選出された実績を持つ
- 22 Emmanuel Branlard, Jason Jonkman, Cameron Brown, Jiatian Zhang “A digital twin solution for floating offshore wind turbines validated using a full-scale prototype” (2024/ 1 / 8)
<https://docs.nrel.gov/docs/fy24osti/89003.pdf>
 デジタルツインのインプットデータは、従来タービンで標準的に取得されるデータ (出力電力、ピッチ角、回転速度、タワー加速度など) と、浮体式で活用が想定されるセンサーデータ (傾斜センサーやGPSセンサーのデータなど) とする
- 23 DNV AS “Deep decarbonization: Ørsted” (閲覧日2025/ 5 / 22)
<https://www.dnv.com/cases/deep-decarbonization-orsted-209175/>
- 24 Ørsted A/S “Ørsted launches world’s first heavy-lift cargo drone operations at Borssele 1&2 Offshore Wind Farm” (2024/ 7 / 8)
<https://orsted.com/en/media/news/2024/08/orsted-launches-worlds-first-heavy-lift-cargo-dron-13977050>
- 25 IEA Wind TCP “Annual Report 2024 Japan” (閲覧日2025/ 9 / 30)
<https://usercontent.one/wp/iea-wind.org/wp-content/uploads/2025/09/Japan.Annual.Report.2024.Publish.pdf>
- 26 ORE Catapult (英国)、Innovation Norway (ノルウェー)、DI Energy (デンマーク)、ABS (米国)、DNV (ノルウェー) など

著者

佐野則子 (さのりこ)

野村総合研究所 (NRI) システムコンサルティング
 事業開発室 エキスパートコンサルタント

専門は、GXを中心とするデジタルを活用した社会課題解決の調査研究・提言など