

大水深向け浮体式洋上風力発電設備の 評価に関する最終報告書



TLB2601 – RP01 – A4

最終報告書

2026 年 6 月

委託元 テクノロジーリーダーシップボード



日本語版

WINC

株式会社ウインドエナジーコンサルティング(WINC)

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 2 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

目 次

1.0 概要	4
2.0 序論	6
2.1 目的	6
2.2 データ収集基準日	6
3.0 方法論	6
3.1 設計基準	6
3.2 順位付けの手順	7
4.0 大水深向け洋上風力発電技術の現状	8
4.1 大水深向け洋上風力発電における TRL 適用の留意事項	9
5.0 調査結果—北海プロジェクト向け浮体式コンセプト	10
5.1 プロジェクトの重み付け係数	10
5.2 北海プロジェクトにおける上位 15 コンセプト	11
5.3 考察	13
6.0 ハイブリッド型コンセプト	13
6.1 コンセプトの現状	13
6.2 主な特徴	15
6.2.1 Articulated Wind Column (AWC) – AWC Tech 社	15
6.2.2 Fully Restrained Platform (FRP) – Entrion Wind 社	17
6.2.3 PelaFlex GS – Marine Power Systems 社 (MPS)	19
6.2.4 FTLF+ – OSI UK 社	21
6.2.5 Trivane Tower – Trivane 社	23
6.2.6 w.BT – Wison New Energies 社	25
6.3 ハイブリッド型コンセプトの技術成熟度についての概要	27
6.4 大水深向けハイブリッド型システムと浮体式洋上風力の強みと課題	27
6.4.1 浮体式 – 一般的なコンクリート製バージ型またはセミサブ型	28
6.4.2 浮体式—一般的な鋼製セミサブ型	29
6.4.3 大水深向けハイブリッド型 – 一般的な支線式タワー/支線式モノパイル	30
6.4.4 CAPEX の比較 – 考察	31
6.4.5 CAPEX の比較 – 結果	34
6.4.6 OPEX の比較	35
7.0 英国拠点大水深向けコンセプト	36
7.1 各コンセプトの現状	36
7.2 主な特徴	37
7.2.1 PelaFlex TS – MPS 社	37
7.2.2 Ocean Breeze – Ocean Resources 社	39
7.2.3 Trivane Trimaran – Trivane 社	40

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 3 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

7.3 英国拠点コンセプトの TRL 概要	41
7.4 考察	41
7.4.1 英国拠点コンセプトの商用化加速のための取り組み	42
8.0 結論	43
9.0 推奨事項	44
10.0 用語	46
11.0 参考文献	47
付録 A – 設計基準	48
付録 B – 順位付けの手法	50
付録 C – TRL の定義	53
付録 D – TRL ロードマップ	55
付録 E – プロジェクトの重み付け係数	57
付録 F – 各ハイブリッド型コンセプトの概要	59
付録 G – 英国拠点の FOW コンセプトの概要	66
付録 H – 風力発電所の設置期間 – FWO の場合	70
付録 I – 風力発電所の設置期間 – ハイブリッド型コンセプトの場合	72

変更履歴		
改訂	変更されたセクション	変更点
A4	図 1.1 そして 8.1	Aker CONFloat Omega の TRL を 0 から 5 に修正しました

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 4 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

1.0 概要

OpenWater Renewables (オープンウォーターリニューアブルズ) 社は 2025 年、英国の Technology Leadership Board (テクノロジーリーダーシップボード、TLB) からの委託を受け、北海海域の環境に最適な浮体式洋上風力発電用浮体基礎 (以下、浮体基礎) のコンセプトに関する調査を実施した。本報告書は、初期調査の結果を受け、前回のデータ収集基準 (2025 年 3 月 31 日) 以降に市場へ投入された新たなコンセプトを含めて再分析を行った結果をまとめたものである。

さらに本報告書では、浮体式の代替としてハイブリッド型システム (大水深適用を想定した着床式の新規コンセプトと定義) のほか、英国を拠点とする大水深域 (本事業では水深 60m 以上と定義) への適用を想定した浮体式とハイブリッド型風力発電コンセプトについて検証した結果も示している。

本報告書に記載された見解と結論は OpenWater Renewables 社によるものであり、その範囲は委託された限定的かつ定性的な業務内容におけるものである。

既存の浮体式とハイブリッド型コンセプトについては、通常、風力発電の開発業者やその他の利害関係者が分析しているが、その結果は一般に公開されていない。TLB が OpenWater Renewables 社に本調査を委託した意図は、大水深向け風力発電設備の基礎選定における重要な要素を広く共有するとともに、一般的な分析を通じて、これらがエンドユーザーのプロジェクトにおける基礎選定にどのように影響を与えるかを提示することにある。

本調査では、スコットランド沖の北海 (水深 100~150m) に位置し、15MW の大型風車を採用した、2030~2035 年までに稼働予定の架空の 750MW 風力発電所を想定した。なお、本調査の知見は、運用条件が類似するケルト海にも適用可能である。

調査したデータは、OpenWater Renewables 社独自の大水深向け洋上風力データベースから取得した。同データベースには、本調査のデータ収集基準日である 2026 年 2 月 28 日時点で、117 件の浮体式コンセプトと、それらとは型式の異なる 6 件のハイブリッド型のコンセプトの詳細が登録されている。登録されている浮体基礎は、主にバージ型、セミサブ型、スパー型、TLP 型であり、鋼鉄、コンクリート、またはその両方の材料で製造されたものである。

最適な基礎の選定には、OpenWater Renewables 社が開発した独自のコンセプト評価ツールを使用した。同ツールは、技術、商業、プロジェクト遂行に関する一連の特性など 39 項目の評価基準に基づいて各コンセプトにスコアを付与する。スコアは、その基準が均等化発電原価 (LCOE) とプロジェクトのリスクプロファイルに与える影響度を反映して重み付けされる。さらに、サイト固有の課題やプロジェクト戦略を考慮するため、特定の評価基準に対して「プロジェクトの重み付け係数」が適用される。今回対象とした北海プロジェクトでは、設置、アクセス性、性能、リスクの重要領域など 15 項目の評価基準に対してプロジェクトの重み付け係数が適用された。これらの係数は、初期の大水深向け風力発電プロジェクトに内在するリスクを反映したものであり、技術上及びプロジェクト遂行上のリスクがより明確となり、リスクが軽減された後年のプロジェクトにおいては、異なる係数が適切となる可能性がある。

分析の結果、15 件の浮体式コンセプト (鋼製 8 件、コンクリート製 6 件、ハイブリッド 1 件) が選定候補として抽出された。現時点で、この候補群に入るほどの高得点を獲得したハイブリッドの浮体式コンセプトは存在しない。

これら 15 件の浮体式システムの一般的な強みと課題 (一部は前回報告書 OpenWater Renewables Ltd (2025). *Assessment of Floating Wind Turbine Foundations for North Sea Conditions*. TLB2501 – RP01–A5 Final Report の分析に基づく) を、一般的な支線式タワー型ハイブリッドコンセプトの分析とともに、以下の図 1-1 に示す。

選定された 15 件のコンセプトのうち、TRL6 (技術成熟度 6、実海域での実証機試験を完了していること) または TRL7 (技術成熟度 7、実証機による、3 年間の順調な運用実績があること) に達しているものは 3 件のみである。一方で、プロジェクトの FID (最終投資決定) 時までに、少なくとも TRL7 に達しているコンセプトを選定することが推奨される。本報告書では、TRL (技術成熟度) を段階的に向上させるためのロードマップを提示するとともに、その方法と限界について解説する。

	CAPEX *	OPEX	LCOE	WTG 設置 の容易さ	設置 の容易さ	O&M の容易さ	信頼性	性能	大規模修 理の容易さ	TRL/リスク	例(TRL)
コンクリート製 バージ型	100%										BW Ideol Damping Pool (7), Aker CONFloat Omega (5), Aker CONFloat 7C (5), Brezo Energy CROWN FW (5), Sevan SWACH Wind (5)
鋼・コンクリート ハイブリッドバ ージ型	110%										Saitec SATH (6)
鋼製セミサブ型	105~ 115%										PPI WindFloat-T (7), Saipem Star-1 (5), Aker YFloat (5), Seatrion FWSS (5), JMU Jade Wind Centre (5), PPI Wind Float FC (5), Gusto TriFloater (5), Odfjell Oceanwind Deepsea Star (5)
コンクリート製 セミサブ型	100%										Bouygues OO-Star (5)
ハイブリッド型 支線式タワー	95~100%										OSI FTLP+ (5), MPS Pelaflex GS (5), Entron FRP (5)
*コンクリート製バージ型浮体のケースとの比較で、プロジェクト全体の CAPEX の概算値											凡例
											良好
											中程度
											低い

図 1-1: 一般的な浮体式コンセプトの強みと課題

大水深向けハイブリッド型システムについては、現在開発が進められている 6 件のコンセプトを抽出し、それぞれについて主な特徴をまとめた。本調査の設計基準条件において、浮体式の代替案としてのハイブリッド型の主な制約は、現状では水深 80m を超える海域への設置が困難な点にある。この制約は、大水深でハイブリッド型への風車設置に対応できる SEP 船 (Self-Elevating Platform、自己昇降式作業台船) が存在しないことに起因する。風車設置が可能な大型半潜水型起重機船も存在するが、実際に運用するにはコストが高すぎ、また北海の気象・海象条件によっては困難となる懸念がある。適切な設置手法が利用可能になれば、どのハイブリッドコンセプトにも大水深で運用できる可能性があり、技術提供企業の中には既にこうした手法の開発に着手しているところもある。しかし、実海域でのプロトタイプ試験が実施されていないため、現時点ではハイブリッド型いずれも TRL5 以下にとどまる。

もう一つ考慮すべき点は、ハイブリッド型の浮体基礎のコストは一般に浮体式コンセプトよりも低くなるものの、設置コストは高くなるということである。本報告書におけるハイブリッド型と浮体式のコストに関する一般的な比較分析では、設置完了までの総合的な総コストは両基本コンセプトで同等であると結論付けている。一部のハイブリッド型コンセプトではコスト削減に向けた着想の開発が進められているが、これらは未だコンセプト段階にあることから、本報告書では一部のみを考慮するととどめている。なお、浮体式とハイブリッド型のどちらについても、将来、設計が洗練され、製造工程の高度化によって CAPEX は低下する可能性が高い。

英国拠点のシステムについては、検証の結果、現在鋭意開発が進められている 4 件のハイブリッド型と 3 件の浮体式コンセプトが抽出された。各システムの TRL は 3 から 5 であり、実海域での実証試験に至ったものはまだ存在しない。

英国国内調達比率 (英国ローカルコンテンツ、UK content) は、英国拠点のコンセプトを採用したり、他国で開発されたものであっても英国国内のサプライチェーンを活用したりすることによって達成可能である。

本報告書では、英国企業の参画を促すため、以下を含むいくつかの提言を行う。

- 英国拠点のコンセプトを同一条件で詳細に比較するため、FEED レベルのデザインコンペティションを実施すること。この際、輸送・設置、英国国内の製造調達比率、及びライフサイクル全体のコスト分析を評価対象に含める。なお、他国で開発されたコンセプトであっても、高い英国国内調達比率を証明できる場合は、FEED レベルのデザインコンペティションの候補となり得る。
- デザインコンペティションの結果に基づき、高い可能性を持つと認められたコンセプトについて、複数の実証機を建造し、試験すること。試験は、専用の実証海域、または商用風力発電所の一部 (もしくはその周辺海域) で実施することが可能である。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 6 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

2.0 序論

2.1 目的

Technology Leadership Board (テクノロジーリーダーシップボード、TLB) は、海洋石油・ガス分野における主導的な役割を担うことを目的として官民共同で設立された北海トランジションフォーラム (North Sea Transition Forum) のタスクフォースの一つである。

TLB には北海におけるエネルギー・トランジションを支える技術要素を専門に扱う作業部会が存在し、本報告書は、現在利用可能な数多くの大水深向け基礎コンセプトのうち、いずれが北海の環境条件に最適であるかを検証する取り組みの一環として作成された。

OpenWater Renewables 社 (OWRL) は、着床式と浮体式構造物、ならびに海洋再生可能エネルギー分野の専門知識を有する英国の独立系コンサルティング企業であり、大水深向け風力発電コンセプトの評価と順位付けを行う独自の手法を確立している。

TLB は過去にも、北海に最適な浮体式洋上風力発電 (FOW) の基礎 (浮体基礎) に関する調査を OpenWater Renewables 社に委託している。この報告書『北海の諸条件における浮体式風車の適用性評価 (Assessment of Floating Wind Turbine Foundations for North Sea Conditions)^[1]』が公開されている。

今回、TLB は OpenWater Renewables 社に対し、前回の調査におけるデータ収集基準日であった 2025 年 3 月 31 日以降に市場へ投入された FOW コンセプトも対象とするため、報告書の更新を委託した。また、本報告書では、ハイブリッド型大水深システム (大水深向け着床式風力コンセプトと定義) と英国拠点のコンセプトについても重点的に検証を行う。

2.2 データ収集基準日

本報告書は、2026 年 2 月 28 日時点で市場において利用可能な大水深向け風力発電コンセプトについて作成されたものであり、同日以降に市場へ投入されたコンセプトは含まれていない。

3.0 方法論

3.1 設計基準

設計基準については、前回調査^[1]との整合性を維持し、北海及びケルト海の双方を対象海域とすることで TLB と合意した。合意の詳細条件は、付録 A のデータシートに記載されている。

本調査は、スコットランド沖の架空の洋上風力発電所をモデルとしており、ScotWind 等のプロジェクトから得られた代表的な情報を使用している。ただし、本調査は ScotWind における特定のプロジェクトを対象としたものではなく、また、直接的な関連を持つものでもない。

本調査で使用した主要なパラメーターは以下の通りである。

- 発電容量 750 MW
- 風車サイズ 15 MW
- 水深 100～150 m
- 離岸距離 80～120 km
- 運転開始予定年 2030 年～2035 年

浮体式またはハイブリッド型基礎を採用したプロジェクトの開発計画は、風力発電機、ケーブル、変電所、浮体基礎、係留システムに関連する様々なサプライチェーンの実情を考慮したうえで、英国国内調達比率目標^[2]を達成できるものでなければならない。

 	文書番号:	TLB2601 - RP01	ページ番号: 7 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

現段階において、弊社独自のヤード調査は実施しておらず、他者による調査結果^[3, 4]に依拠している。なお、現在の投資計画で、要求される期限内に必要な容量は十分に実現されるものと想定している。

3.2 順位付けの手順

大水深向け技術の順位付け手法は、OpenWater Renewables 社が継続的に追跡している 117 の浮体式コンセプトと 6 のハイブリッド型コンセプトのそれぞれの特性を網羅した包括的なデータベースを基にしているものである。これらの特性は、多数の大手技術提供企業によって確認されたものである。このデータを基に、OpenWater Renewables 社独自の評価ツール^[5]を用いて、7 つに分類された評価基準に従って各コンセプトの順位付けを行った。分類に際しては、技術面、商業面、プロジェクトの実行面における詳細な要件を幅広く網羅している。また、プロジェクトのライフサイクル全体を対象とし、大水深向け風力発電業界に特化した重要度評価に基づいて各評価基準に重み付けを適用した。

既定の重み付け係数には、対象海域やプロジェクト固有の要求事項に対応するため、プロジェクト固有の重み付け係数を加味することができる。本報告書の第 5.1 節では、英国北海における今回の調査で採用したプロジェクト固有の重み付け係数について解説する。

評価基準の 7 分類における各コンセプトのスコアの比較には、レーダーチャートと累積ヒストグラムを使用している。全評価基準の総合スコアを基に、各コンセプトの順位付けを行う。

採用した順位付けの手法の概要を、以下の図 3-1 に示す。

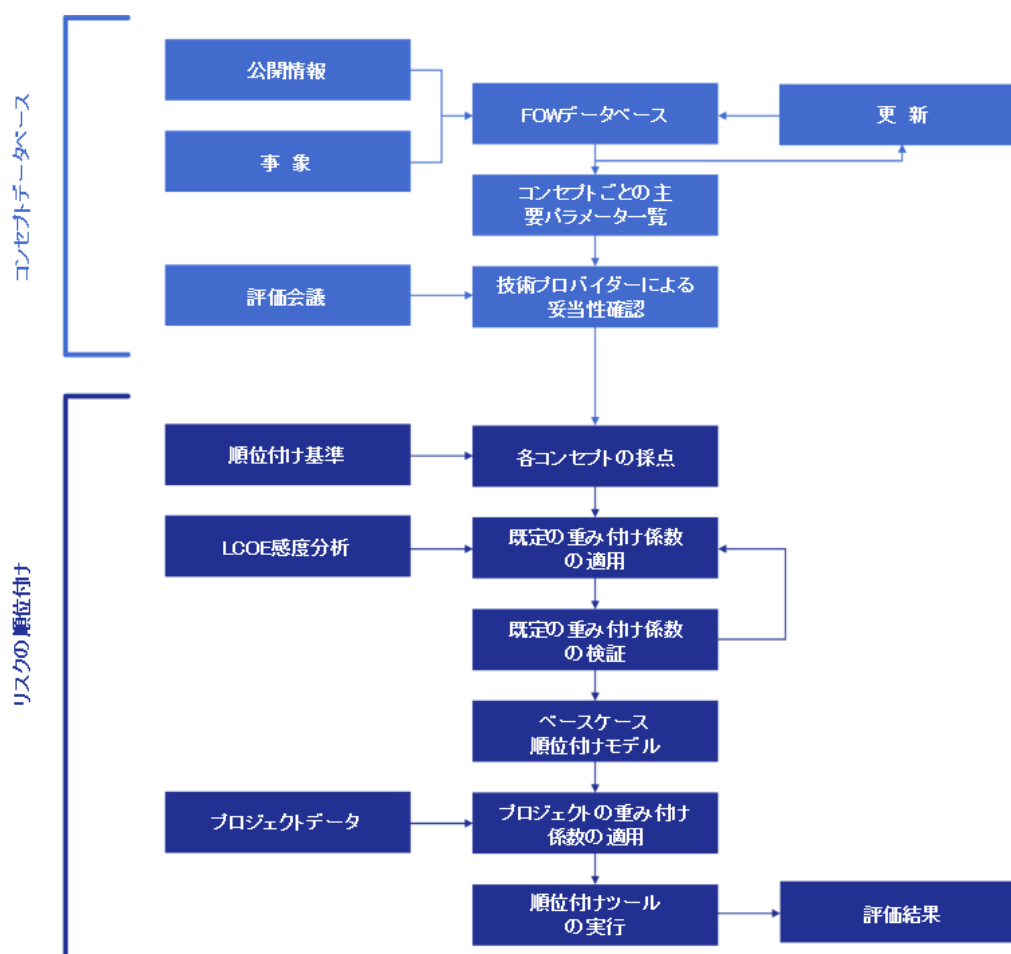


図 3-1 : 大水深向け技術の順位付けの流れ

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 8 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

採用した順位付け手法の更なる詳細については、本報告書の付録 B と 2025 年の OTC (Offshore Technology Conference) 論文^[5]に記載されている。

4.0 大水深向け洋上風力発電技術の現状

OpenWater Renewables 社は現在、プロジェクトの開発業者が利用可能な浮体基礎のコンセプト 109 件、及びハイブリッド型コンセプト 6 件を追跡調査している。これらのうち 8 件は、鋼鉄、コンクリート(または両方)のいずれでも製造可能なため、データ収集基準日時点における OpenWater Renewables 社のデータベースの登録件数は合計 123 件となる。これらのコンセプトのうち、約 60%は現在も活発に開発と市場展開が行われている。一方、残りの 40%については近年、開発がほとんど、あるいは全く進展していない。

これら 123 件のコンセプトのうち、84 件が鋼製浮体基礎を採用しており、その中ではセミサブ型が最も一般的である(58 件)。コンクリート製浮体基礎を採用したコンセプトは 29 件で、この中でも同様にセミサブ型が最も普及している(11 件)。その他、鉄鋼とコンクリートの両方を組み合わせたハイブリッド型が 10 件存在している。

これらの内訳を、以下の図 4-1 に要約する。

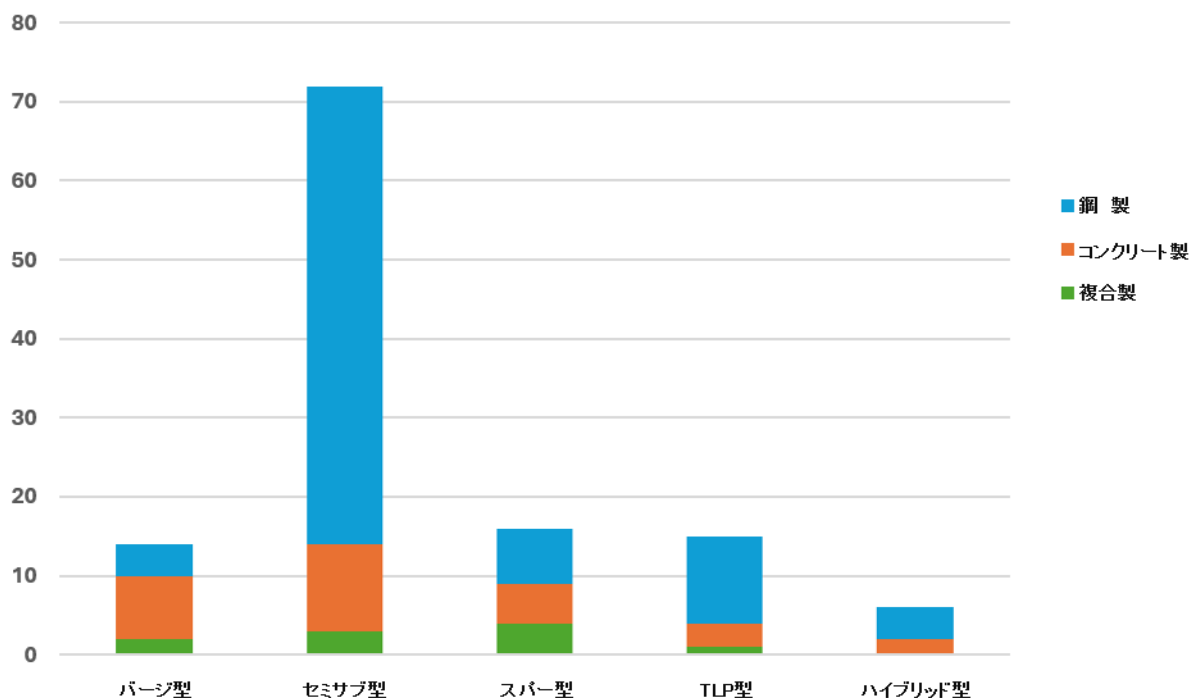


図 4-1: 浮体基礎形式別の使用素材

技術成熟度 (TRL) を評価基準として各コンセプトの成熟度を推定した。先の報告書「北海の諸条件における浮体式風車基礎の適用性評価」^[1]で述べたように、現在、FOW またはハイブリッド型システムにおける TRL の定義には、業界内で広く認められた標準となるようなものは存在しない。そのため、OpenWater Renewables 社は独自の評価基準を策定し(本報告書の付録 C 参照)、これを適用した。これらの評価基準の各プロジェクトへの適用性や、TRL に基づくプロトタイプ機を採用する時の留意点については、以下の第 4.1 節で説明する。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 9 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

OpenWater Renewables 社では、TRL8 と TRL9 を、出力 100MW 以上の商用ウインドファームに対して定義しているが、現時点で TRL8・9 に達した浮体式またはハイブリッド型のユニットは存在しない。図 4-2 に示す通り、達成されている最高の技術成熟度は TRL7 である。一部のプロジェクトにおいては、相当な運転実績を積んでいるものの、それらも過去に一度も問題が生じなかったわけではない。

TRL9 に変わる評価基準として、「100 MW 規模のウインドファームを 3 年間運転している」状態を達成している代わりに、「累積で 300 MW・年の運転実績を達成していれば、複数の小規模なウインドファームや実証プロジェクトによる通算の運転実績をもって TRL9 の要件を満たすと見なす」という考え方も存在する。しかし、OpenWater Renewables 社はこの手法を支持していない。なぜなら、この手法では、同一のユニットを大量に連続製造・設置する際の特有のリスクを評価することができないためである。したがって、リスクを低減するための手法という観点からは、少なくとも単一のウインドファームで 100 MW 以上の規模を持つことを条件とする OpenWater Renewables 社の定義を推奨する。

OpenWater Renewables 社が追跡しているコンセプトの大部分は TRL3 または TRL4 であり、数値シミュレーションやモデル水槽試験を通じて検証済みである。27 件のコンセプトが TRL5 へと進んでいるが、TRL6 以上に到達しているのはわずか 15 件にとどまる。なお、TRL6 の達成には、少なくとも 1 基のプロトタイプ機または実証機が洋上で運転している必要がある（ただし、風力発電機「WTG」の出力が 1 MW 未満のプロトタイプ機ユニットは除外）。これら 15 件の内訳は、セミサブ型が 8 件、スパー型が 4 件、バージ型が 2 件、TLP 型が 1 件である。その他のコンセプトは、洋上において出力 1 MW 以上の実証機またはプロトタイプ機を運転させる段階には達していない。

各コンセプトの TRL の分布を、以下の図 4-2 に要約する。なお、あるコンセプトが鋼鉄とコンクリートのどちらでも製造が可能な場合、本報告書では「1 つのコンセプト」として扱っている。

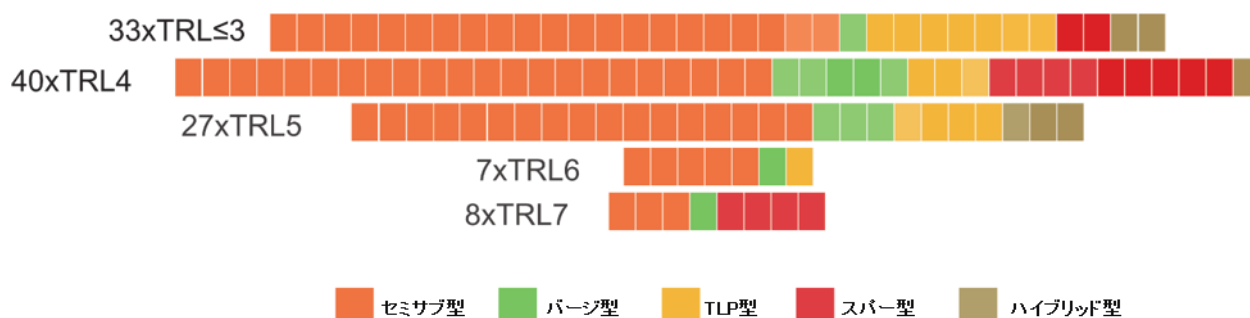


図 4-2: 各浮体基礎型式の TRL

なお、TRL6 または TRL7 ある 15 件のコンセプトのうち、3 件のプロジェクト（「ふくしま未来」実証研究プロジェクトで採用された「JMU 社製アドバンスド・スパー（TRL7）」、「三井造船社製コンパクト・セミサブ（TRL7）」、と「MHI 社製 V 型・セミサブ（TRL6）」については、現時点で撤去済みであり、開発も終了している。

4.1 大水深向け洋上風力発電における TRL 適用の留意事項

TRL という指標は、洋上風力発電技術の成熟度を評価する際の体系的な手法となる。また、TRL は「技術的リスク」の指標にもなり、資金調達、資本コスト、保険加入要件に影響を及ぼす。

OpenWater Renewables 社が採用している TRL の定義を付録 C に、大水深向け洋上風力発電コンセプトの TRL を段階的に向上させるための一般的なロードマップを付録 D に掲載した。本ロードマップには、各 TRL に到達するために達成すべき主要事項の概要を記載している。ただし、このロードマップはあくまで一般的なものであり、従来にないコンセプトの場合、ロードマップに示された事項の対象とはならないことが考えられる。

本ロードマップに準拠すれば、重大なリスクの回避につながるが、実際に適用する際にはいくつかの留意すべき事項が存在する。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 10 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

OpenWater Renewables 社が採用している TRL の定義では、プロトタイプ機を 3 年間順調に運転させて TRL7 に到達する。プロトタイプ機は、通常、将来的に商用化を目指すユニットの縮小版となる。したがって、このプロトタイプ機が「商用機を代表するものである」と認定するに当たっては、以下のような事項を考慮しなければならない。

- **スケーリング係数:** プロトタイプ機と商用機との間における風車出力の比率である。これは、ユニット全体に作用する総荷重だけでなく、風車に加わるスラスト荷重と波荷重の比率にも影響を及ぼす。図 4-2 において TRL6 または TRL7 に分類されている実証機は、いずれも最低 1 MW の風車出力を有しているが、商用機へのスケールアップ倍率が技術的リスクを十分に低減できる範囲に収まっているかを評価する際には、実際の風車出力を慎重に考慮する必要がある。
- **設計要素の一貫性:** プロトタイプ機から商用機への移行に際し、構造上の配置や詳細な設計に重大な変更が加えられた場合、プロトタイプ機で得られたデータの価値が損なわれる可能性がある。例えば、ソフト・スティフ (soft-stiff) 構造の風車タワーをスティフ・スティフ (stiff-stiff) 構造に変更したり、円筒構造からフラットパネル構造に変更したりすると、新たな故障モードを誘発する可能性があり、実証プロジェクトから得られた結果の一部が無効となる場合がある。

TRL7 の定義に関するもう一つの考慮事項は、要求される 3 年間の実証運転期間を満たすことである。これは、海中機器システムの開発に広く用いられてきた API RP 17C と整合している。3 年間とされているのは、当該コンセプトが複数回の季節性の変動に確実に晒されるようにするためであり、仮に 1 年間しか運用しなかった場合に、穏やかな荷重環境しか経験しない可能性があるためである。一方で、OpenWater Renewables 社の TRL7 の定義においては実証運転期間を 3 年間としているものの、業界関係者の中には、より短い期間でも十分と考える者もいる。もし、技術プロバイダーやプロジェクト開発者が短期間での実証を容認するのであれば、OpenWater Renewables 社は、この判断をプロジェクトのリスク評価の一環として検討することを推奨する。その際には、プロトタイプ機が経験した気象・海象条件や、大型化する際に構造設計に加えられた変更点のすべてに対して、特に注意を払う必要がある。

OpenWater Renewables 社の定義では、TRL7 から TRL9 へと移行するためには、少なくとも 100MW の容量を持つ洋上風力発電所が設置され、3 年間順調に運転されている必要がある。この要件は、実規模の商用機の挙動や性能を評価するだけでなく、浮体基礎構造の連続建造、O&M に関連する物流、隣接する風車間のウエイク相互作用を評価することも目的としている。

5.0 調査結果—北海プロジェクト向け浮体式コンセプト

5.1 プロジェクトの重み付け係数

本調査でも、「北海の諸条件における浮体式風車基礎の適用性評価^[1]」の調査において用いられたプロジェクトの重み付け係数 (Project Weighing Factors, PWF) を引き続き適用した。これらの係数は、15MW 級の北海向け FOW ユニットにおける望ましい特性を定義するため、評価ツール「FOW_RANK」の 39 個の基準 (前回の報告書以降、1 項目が追加) を詳細に再検討した結果に基づいている。再検討は、TLB 北海トランジションフォーラムの作業部会のメンバーとのワークショップ形式で実施された。

PWF の要約は、本報告書の付録 E に記載されている。

なお、特定のプロジェクトにおける PWF の選定は、プロジェクトの条件、プロジェクト開発者の経験や嗜好、そして出資者や保険会社の懸念事項に左右される。すなわち、採用される PWF は、個別の大水深向け洋上風力発電所開発に合わせて適宜調整されることになる。

本調査で採用した PWF は、過酷な設置条件や、大水深洋上風力発電所における初期の大規模 EPCI (Engineering, Procurement, Construction, and Installation) 契約に伴う履行リスクなど、初期段階の北海プロジェクトのリスクプロファイルを反映したものである。

 	文書番号:	TLB2601 - RP01	ページ番号: 11 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

また、CAPEX 評価基準における PWF の変動による影響を調べるため、簡易的な感度分析を実施した。これは、CAPEX の重みを高めた場合に上位 15 コンセプトの順位がどのように変動するかを評価することを目的としたものである。感度分析の結果、CAPEX に関連する PWF を高く設定するほど、コンクリート製浮体基礎の順位が上昇することが確認された。

5.2 北海プロジェクトにおける上位 15 コンセプト

北海プロジェクトにおける上位15のコンセプトを、以下の図5-1に示す。正規化スコアの変動幅は100～92の範囲である。これら上位コンセプトのスコア差は比較的小さいため、評価基準やコンセプトの特徴がわずかに変化するだけでも、順位が変動する可能性がある。したがって、本調査で抽出された15のコンセプトは、図5-1と図5-2に示すように、それぞれ異なる評価項目において強みを持つ候補群として位置付けるべきである。

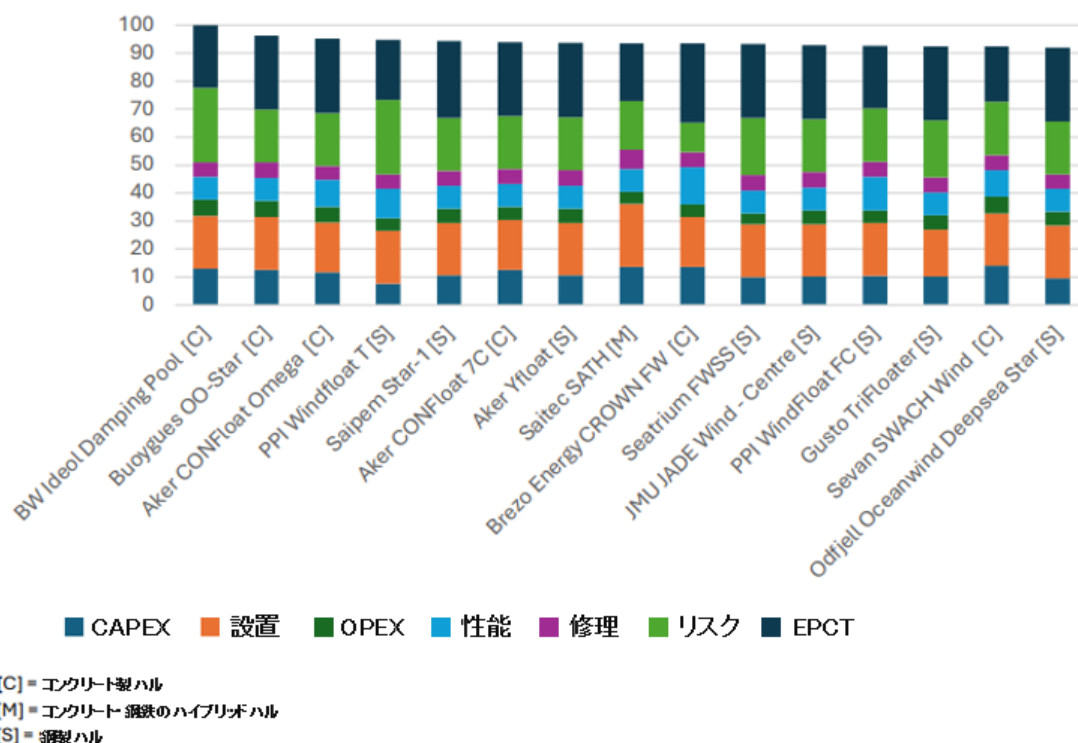


図 5-1: 北海プロジェクトにおける上位 15 コンセプトのスコア評価

上記の候補群のうち、TRL7 に達しているのは BW Ideol 社の Damping Pool Concrete と PPI 社の WindFloat T の 2 コンセプトのみである。Saitec 社の SATH は現在 TRL6 にあり、2026 年中には TRL7 に達する見込みである。TRL5 のコンセプトは 12 あり、これらは設計上の特徴、プロジェクトの実行実績、とコンセプト開発企業の財務基盤が総合的に評価され、北海プロジェクトの上位に位置付けられている。これらのコンセプトのうち、4 件はバージ型 (Aker 社の CONFloat Omega、Aker 社の CONFloat 7C、Brezo Energy 社の CROWN FW、Sevan 社の SWACH Wind) であり、残りの 8 件はセミサブ型である。プロジェクトリスクを軽減するためには、目標とする時期までに商用規模の設計開発を開始できるよう、適切な規模のプロトタイプ機を迅速に配備し、TRL7 に到達させる必要がある。OpenWater Renewables 社は、商用規模の洋上風力発電所へと移行する前に、付録 D に記載された TRL ロードマップに沿ってこの手順を踏むことを強く推奨する。

 	文書番号:	TLB2601 - RP01	ページ番号: 12 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

以下の図 5-2 は、各評価項目におけるこれらのコンセプトの相対的な強みと弱みを示したものである。TRL5 以下のコンセプトは、技術成熟度が比較的低いため、「リスク」の項目において低いスコアとなっている。一方、コンクリート製の Bouygues OO-Star、Sevan SWACH Wind、Aker CONFloat Omega は、「OPEX」など他の項目で強みを示しており、これらはプロジェクト開発企業が実証機の配備を加速させ、当該コンセプトの技術成熟度を高める動機となり得る。

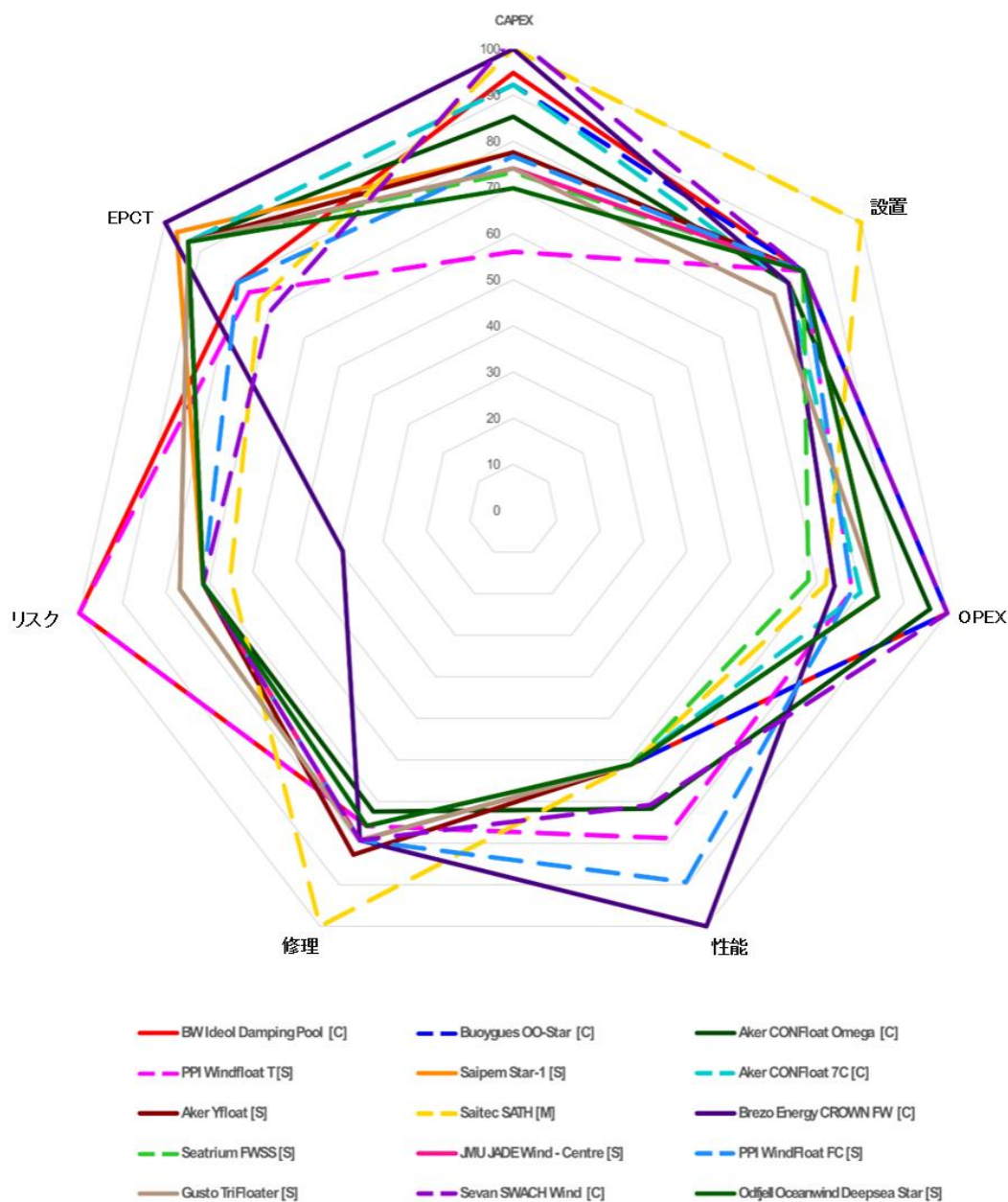


図 5-2 : 北海プロジェクトにおける上位 15 コンセプトの評価項目別相対スコア

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 13 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

5.3 考察

前回の報告書『北海の諸条件における浮体式風車基礎の適用性評価^[1]』の発行以降、大水深洋上風力発電に関する新たなコンセプトがいくつか公表され、OpenWater Renewables 社のデータベースに登録されているコンセプト数は 107 から 123 に増加した。

これらの新しいコンセプトのうち、以下の 5 件が北海プロジェクトの上位 15 位にランクインしている。

- Aker CONFloat Omega
- Aker CONFloat 7C
- Aker Yfloat
- Seatrium FWSS
- JMU JADE Wind – Centre

Aker CONFloat Omega と Aker CONFloat 7C はコンクリート製であり、残りの 3 件は鋼製である。これらのコンセプトは、量産化製造体制、豊富な EPCI 実績、そして技術プロバイダーの強固な財務基盤の項目において、いずれも高いスコアを獲得しており、リスクの軽減に寄与している。

また、Brezo Energy 社の CROWN FW コンクリート製バージも、特に商用化に向けた継続的な開発が進められた結果、新たに上位 15 のコンセプトに加わった。

今回の分析における、前回の分析^[1]からのもう一つの変更点は、評価ツール「FOW_RANK」に 39 番目の評価基準が追加されたことである。この追加基準は、コンセプトの水域保管への適性を評価するものだが、全体の順位付けに大きな影響を与えるものではなかった。

前回の報告書^[1]における分析結果とは異なり、今回は上位 15 のコンセプトに TLP が一つも含まれていない。TLP は現在、最高位でも 24 位であり、前回の報告書発行以降に OpenWater Renewables 社のデータベースに追加された、新しいセミサブ型やバージ型のコンセプトによって上位 15 位から押し出された形となった。

また、上位 15 位の中にハイブリッド型のコンセプトが含まれていないことも注目に値する。これは主に、現時点で同コンセプトを配備できる水深に制約があることや、大規模な修理の際に港へ曳航できないこと、また洋上修理を行うための適切な作業船が不足していることなどにより、O&M のスコアが比較的低いことに起因している。

大水深洋上風力発電における IP (知的財産) 動向の調査は、本調査の対象外である。しかし、多くのコンセプトの間に類似性が見られることを踏まえると、プロジェクト開発企業はコンセプトを選定する前に、制約事項の有無を確認するとともに、事業実施の自由を検証する必要がある。

6.0 ハイブリッド型コンセプト

第 3.2 節で述べたように、大水深洋上風力発電の開発手法は主に浮体式基礎のコンセプトに焦点を当ててきたが、少数ながらハイブリッド型のコンセプトも開発が進められている。これらのコンセプトはいずれも、モノパイル型と同様に風車の支持構造物の最下部が海底に固定されている。一方で、より大きな水深において要求される強度と水平方向の安定性を確保するため、補強用の構造要素を追加している。

6.1 コンセプトの現状

OpenWater Renewables 社は調査の結果、以下の表 6-1 に示す 6 件のハイブリッド型コンセプトを特定している。各コンセプトの詳細については後述する。これらのコンセプトの適応水深の上限は、通常 120m～130m、場合によっては最大 200m に達する。ただし、120m であれば依然として英国水域の 77%におけるプロジェクトに対応可能である^[6]。

しかし現時点では、ハイブリッド型が主に検討されているのは水深 80m までの海域である。これは、水深 80m を超える海域で WTG を設置できる自己昇降式の WTIV (Wind Turbine Installation Vessel、洋上風車施工船) が存在しないためである。80m より深い、120m～130m の限界水深に至る海域では、WTG の組立てには次世代の超大水深対応自己昇降式

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 14 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

WTIV、または大型で高額な半潜水型作業船(気象条件によるダウンタイムが長くなるリスクがある)を用いる必要がある。なお、複数のハイブリッド型コンセプト開発企業が、自社の特定コンセプト向けに、水深 80m を超える海域での設置手法の開発を進めているが、これらはいずれもコンセプト設計段階にある。また、これらの作業船は英国外で製造される可能性が高いものの、仮に超大水深対応 WTIV が実現した場合、その船団の拠点を英国に置き、運航することは可能である。

技術プロバイダー名	所在地	コンセプト名	開発状況
AWC Tech Ltd	イングランド(英国)	AWC	開発中
Entrion Wind Inc.	米国	FRP	開発中
Marine Power Systems Ltd	ウェールズ(英国)	PelaFlex GS	開発中
OSI UK	スコットランド(英国)	FTLP	開発中
Trivane Ltd	イングランド(英国)	Trivane Tower	開発中
Wison New Energy Co Ltd	中国	w.BT	開発中

表 6-1: ハイブリッド型コンセプトの開発状況

ハイブリッド型の技術案は、程度の差はあるものの、英国水域で既に採用されている着床式プロジェクトにおける製造・設置の経験を活かすことを目指している。これにより、コスト削減やリスク低減が期待される一方で、大型構造物に対応可能な設置船の確保や、大水深の洋上における風車の設置手段の検討といった新たな課題も生じる。

北海に配備する場合、浮体式の技術案と比較したハイブリッド型構造物の利点としては以下が考えられる。

- 支持構造物重量を削減できること。
- 浮体基礎にかかる CAPEX を削減できること。
- 既存の港湾施設が利用できること(要求喫水を低減できること)
- 水域保管の必要がなくなること。
- 風車の動揺を低減できること。
- 海底の占有面積を縮小できること。
- インターアレイケーブルの要件が着床式プロジェクトと同様であること。

一方で、以下のような課題も挙げられる。

- 設置・試運転のコストが増加すること(基礎の設置作業と洋上での WTG の組立作業の両方において)。
- 大水深対応の風車設置手段が不足しているため、現時点での作業可能水深が最大 80m までに制約されること(大型半潜水型起重機船を使用する場合を除く)。
- 大規模修理・保守時に基地港へ曳航できず、WTIV による洋上現場作業が必要であること。

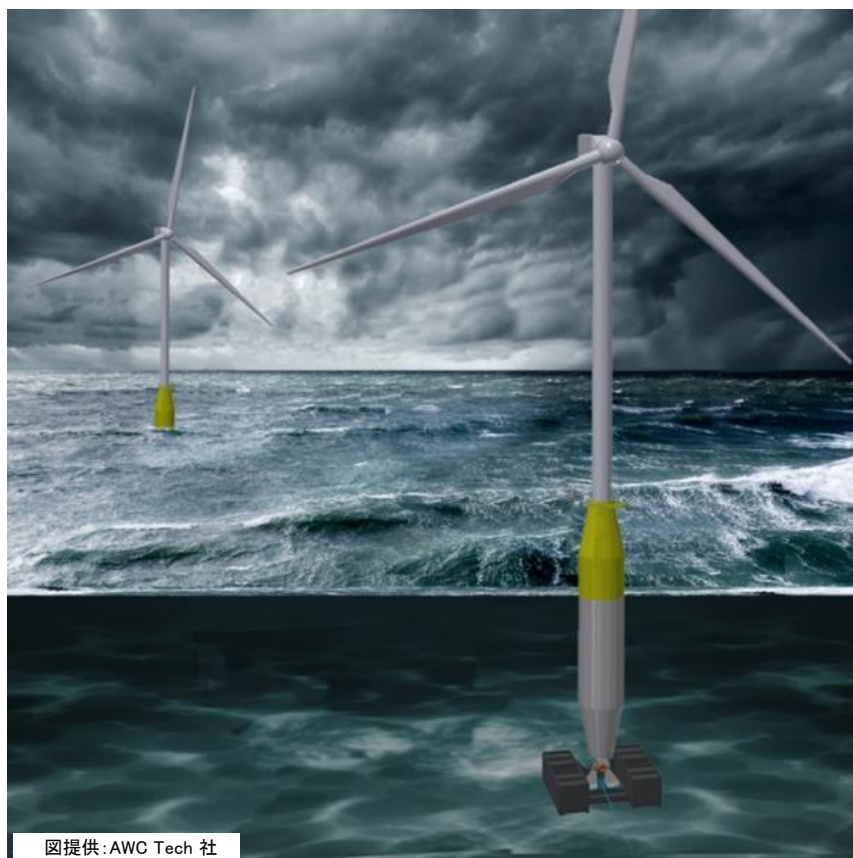
 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 15 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

6.2 主な特徴

以下の節では、抽出された 6 件のハイブリッド型コンセプトについてそれぞれ概要を述べるとともに、本調査の対象である北海の気象・海象条件における運用面での強みと課題を整理する。また、付録 F には各コンセプトの主要な特徴をまとめた一覧表を掲載している。

第 6.3 節ではこれら 6 件のコンセプトの TRL の現状について概説し、第 6.4 節では北海条件におけるハイブリッド型システムと浮体式コンセプトの強みと課題を比較する。

6.2.1 Articulated Wind Column (AWC) – AWC Tech 社



図提供: AWC Tech 社

AWC は、鋼製のカルダンジョイント(ユニバーサルジョイント)によってコンクリート製の重力式基礎に接続された、浮力を持つコンクリート製のカラムである。カラム構造は垂直方向の分割セクションごとにスリップフォーム工法で製作され、これらを直立させた後、現場打ちコンクリートによって接合される。最終的に組み立てられたカラムには、ポストテンションが施される。

海面上約 10m から海面下約 15m にかけて、放射状の隔壁を備えた同心円状の減衰タンクを設けることが可能である。このタンクは船舶の衝突に対する保護機能を有するほか、放射状隔壁に設けられた開口部が水が所定の速度で通過することで、AWC カラムの動揺を減衰させる役割を果たす。

重力式基礎は上部が開放されたセル構造となっており、設置後にバラストを投入できるようになっている。

カルダンジョイントは、ポリエステル製の軸受とスラストワッシャーを組み込んだ大型の鋼製アセンブリである。このジョイントはカラムと重力式基礎を接続し、カラムの挙動を許容することで、曲げモーメントが基礎へ伝達されるのを防ぐ役割を果たす。

洋上現場への輸送に際しては、あらかじめカルダンジョイントを取り付けた重力式基礎を台船に積載し、そこに水平に浮いた状態のカラムをジョイントに接続する。このシステムは曳舟または AHV(アンカーハンドリング船)によって洋上へと曳航され、現場の設置海域に到着後、台船が離脱する。すると、重力式基礎の自重によって浮いているカラムが垂直姿勢へと引き起こされる。その後、重力式基礎の上部開放セルに、砕石、砂、または鉄鉱石がバラストとして投入される。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 16 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

電力ケーブルは、カルダンジョイントの軸心を通過するフレキシブル導管内を経由して、カラムの内部または外部に設置された J チューブへと配索される。

AWC Tech AWC	強 み	課 題
CAPEX	- 浮体の輸送が不要で、現地製造が可能であること。 - 係留ラインを必要としないこと。	- 重量構造物であるため、岸壁の要求耐荷重に影響すること。 - カルダンジョイントの製造元が国内に1社しか存在しないこと。 - 陸上に保管場所を必要とすること。
T&I	- 水深の浅い岸壁での作業に適していること。 - AHV2隻と台船1隻で設置が可能であること。 - 重力式基礎であるため、パイルの打設を必要としないこと。 - 係留ラインの施工を必要としないこと。 - 水域保管を必要としないこと。	洋上での WTG の組立てに自己昇降式起重機船(現時点では最大水深80mまで対応可能)または大型半潜水型起重機船を必要とすること。
性能	- 動揺が小さく、AEPに好影響を与えること。 - 動揺を抑制するダンピングブールを備えていること。	
リスク	北海での実績を有する石油積出タワーと SALM 技術を基礎としていること。	実績のない、カルダンジョイントを経由する電力ケーブルを敷設する必要があること。
O&M / OPEX	- 標準的な SOV によるアクセスが可能であること。 - カラムと基礎が省保守性の高いコンクリート製であること。また、疲労特性と耐食性に優れ、表面塗装の保守を必要としないこと。 - 動揺が小さく、WTG の信頼性に好影響を与えること。 - ヨー剛性が高いことにより、風車のヨーベアリングに生じる荷重が軽減されること。	- カルダンジョイントのブッシュとスラストベアリングの定期点検が必要なこと。 - 保守・修理時に使用可能なデッキスペースが限られていること。 - 浮体基礎上にヘリデッキを設ける空間的な余地がないこと。

表 6-2: AWC の強みと課題

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 17 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

6.2.2 Fully Restrained Platform (FRP) – Entrion Wind 社



図: Entrion Wind 社

FRP は、大径モノパイルを基礎とした円筒状の中央コラムとトランジションピースで構成されており、これに 3 対のテンドン（支線）を追加することで、水平方向の運動を拘束し、コラム基部に生じるモーメントを低減する仕組みとなっている。

テンドンはワイヤーロープと上部の鎖部分で構成され、上部係留アセンブリ(TMA)に接続される。TMA には関節式チェーンコネクタが組み込まれており、標準的なトランジションピースに取り付けられる。

各チェーンコネクタにあらかじめ取り付けられた専用の緊張装置を用いて、テンドンにはあらかじめ張力(プリテンション)が付加される。この緊張装置は、張力調整の完了後

に取り外して後続の FRP の設置に再利用することが可能であり、運用期間中に再び張力調整が必要となった場合には、再度取り付けることができる。

3 対のテンドンを配置することで冗長性が確保されており、万が一 1 本のテンドンが破断した場合でも、構造物全体の健全性が維持される設計となっている。

中央コラムはモノパイル式と同様の手順で設置される。その後、トランジションピースが設置され、グラウト材またはボルトでコラムに接合される。次いで、事前に敷設されていたテンドンを回収し、接続して緊張作業を行う。

水深 80m までの海域における WTG の設置は、最新世代の大水深対応自己昇降式 WTIV によって実施可能である。水深 80m から 120m の海域では、次世代の超大水深対応 WTIV が必要となるか、または、大型の半潜水型起重機船を使用することも可能である。ただし、後者は高額な選択肢であり、気象条件による作業遅延(ダウンタイム)のリスクが高くなる可能性がある。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 18 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

Entrion Wind FRP	強 み	課 題
CAPEX	モノパイルの製造技術を活用した、単純・軽量のカラム構造であること（15MW の風車に対して 2,500 トン未満）。	係留テンドンに冗長性が必要となり、アンカー点が複数必要となること。
T&I	- 浅水深の岸壁での作業に適していること。また船舶でサイトまで輸送可能であること。 - アンカー点とワイヤーロープ式テンドンを事前に設置できる。 - 従来の着底式洋上風力向けの工具・技術を用いて、カラムとトランジションピースの設置が可能であること。 - テンドンの緊張に用いる工具を取り外し、別の風車の設置時に再利用できること。 - 水域保管を必要としないこと。	洋上での WTG の組立てに自己昇降式起重機船（現時点では最大水深 80m まで対応可能）を必要とすること。
性能	動揺が極めて小さく、AEP に好影響を与えること。	
リスク	- 従来のモノパイル技術と洋上係留技術を適用していること。 - 従来のスタティック電力ケーブルを使用可能であること。	
O&M / OPEX	- 標準的な SOV によるアクセスが可能であること。 - 動揺が極めて小さく、WTG の信頼性に好影響を与えること。	- 大規模修理時に、R2P（切り離して曳航し、基地港へ戻す方式）を採用できないこと。 - 鋼製構造物であるため、表面塗装の劣化、腐食と疲労損傷の懸念があること。 - 保守・修理時に使用可能なデッキスペースが限られていること。 - 浮体基礎上にヘリデッキを設ける空間的な余地がないこと。

表 6-3: FRP の強みと課題

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 19 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

6.2.3 PelaFlex GS – Marine Power Systems 社 (MPS)



図提供: MPS 社

PelaFlex GS は、WTG を支持する鋼製トラスの中央カラムと、横方向の移動を抑制してカラム基部のモーメントを低減する 3 組のテンドン(支線)で構成されている。また、カラム基部にはモーメントを低減するためのフレックスジョイントが組み込まれている。テンドンは関節式コネクタによって中央カラムに接続されており、MPS 社独自の装置を用いてプリテンションが施されている。この装置は WTG の組立て前に取り外され、運転期間中に再度緊張が必要となった際には、別の装置が用いられる。

テンドンの配置によって横方向の拘束力が付与されるほか、システムのヨ一剛性を大幅に向上し、WTG 制御装置による補正の必要性が低減される。また、テンドンを対で配置することで冗長性が確保され、万一テンドン 1 本が破損した場合でも構造の健全性が維持される。

中央カラムは MPS 社が自社製造しており、洋上への輸送・設置に向けて、マーシャリングヤードへ完成品として納品される。カラムの立て起こしと設置には、モノパイルの施工に使用さ

れる最新世代の大型起重機船 (HLV) が使用され、その後、あらかじめブイで係留されていたテンドンを回収、カラムに接続され、プリテンションが施される。

テンドンにプリテンションを施した後、緊張装置は取り外され、WTG がカラム上に設置される。今後、より大水深の海域に対応可能な WTG の施工手段が実用化されれば、PelaFlex GS は水深 120~130m までの海域に展開できる可能性がある。

特に PelaFlex GS については、設計自体はすでに自動製造に適したものとなっているが、製造設備はまだコンセプト段階にある。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 20 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

MPS PelaFlex GS	強 み	課 題
CAPEX	- 軽量の鋼製トラス構造であること。 - 自動製造に適していること(ただし製造施設の整備が必要)。	- 係留テンドンに冗長性が必要となり、アンカー一点が複数必要となること。 - 陸上に保管場所を必要とすること。
T&I	- 浅水深の岸壁での作業に適していること。また船舶でサイトまで輸送可能であること。 - 水域保管を必要としないこと。	洋上での WTG の組立てに自己昇降式起重機船(現時点では最大水深 80m まで対応可能)を必要とすること。
性能	動揺が極めて小さく、AEP(年間発電量)に好影響を与えること。	
リスク	従来のスタティック電力ケーブルを使用可能であること。	設計に従来にない要素が含まれていること。
O&M / OPEX	- 標準的な SOV によるアクセスが可能であること。 - 動揺が極めて小さく、WTG の信頼性に好影響を与えること。 - ヨー剛性が高いことにより、風車のヨーベアリングに生じる荷重が軽減されること。	- 大規模修理時に、R2P 方式を採用できないこと。 - 鋼製構造物であるため、表面塗装の劣化、腐食と疲労損傷の懸念があること。 - 保守・修理時に使用可能なデッキスペースが限られていること。 - 浮体基礎上にヘリデッキを設ける空間的な余地がないこと。

表 6-4: PelaFlex GS の強みと課題

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 21 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

6.2.4 FTLP+ – OSI UK 社



図提供: OSI UK 社

FTLP+は従来の FTLP を発展させたものであり、WTG を支持する中央の鋼製トラスカラムと、横方向の移動を抑制してカラム基部に作用するモーメントを低減する 3 対の鋼管製テンドン(支線)で構成されている。

カラムセクションとテンドンセクションの結合には、OSI 社独自の Merlin コネクタが使用される。カラムとテンドンの各セクションは陸路によるマーシャリングヤードへ搬入される。カラムセクションはヤードで完全に組み立てられるが、テンドンセクションは洋上で組み立てることも可能である。今後、岸壁に自動製造設備が整備されれば、完成品状態の中央カラムをマーシャリングヤードへ直接搬入できるようになる可能性がある。

テンドンにはアンカー点との接続部にフレックスジョイントが組み込まれており、基部に加わるモーメントを回避している。カラムの基部は杭打ちされたベースプレートに剛結合されているが、基部に作用するモーメントを最小限に抑えるため、テンドンによる横方向の拘束で支持される。

設置に際しては、輸送船のクレーンを用いてカラムを立て起して設置し、その後テンドンを設置、接続してプリテンションを施す。プリテンションは、独自の油圧緊張装置によって行われ、この装置は後続ユニットでも利用できるよう取り外すことができる。運転期間中に再緊張が必要となった場合は、この装置を再装着して対応することができる。鋼管テンドンを採用しているため、再緊張が必要になる可能性は大幅に低減されている。

テンドンにプリテンションを施した後、WTG がカラム上に設置される。今後、より大水深の海域に対応可能な WTG の設置手段が実用化されれば、FTLP+は水深 150m までの海域に展開できる可能性がある。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 22 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

OSI UK FTLP+	強 み	課 題
CAPEX	- 軽量の鋼製トラス構造であること。 - セクションに分割にした状態で、組立てまで陸路での輸送が可能であること。	- 係留テンドンに冗長性が必要となり、アンカー点が複数必要となること。 - 各テンドンに多数の OSI Merlin コネクタを必要とすること。 - 陸上に保管場所を必要とすること。
T&I	- 浅水深の岸壁から輸送船への積出しが可能なこと。 - 船舶でサイトまで輸送し、サイトで設置に向けた荷下ろしが可能であること。 - 独自の OSI Merlin コネクタを用いることで、洋上での迅速なテンドンの組立てが可能であること。 - 水域保管を必要としないこと。	洋上での WTG の組立てに自己昇降式起重機船(現時点では最大水深 80m まで対応可能)を必要とすること。
性能	動揺が極めて小さく、AEP(に好影響を与えること。	
リスク	従来のスタティック電力ケーブルを使用可能であること。	設計に従来にない要素が含まれていること。
O&M / OPEX	- 標準的な SOV によるアクセスが可能であること。 - 動揺が極めて小さく、WTG の信頼性に好影響を与えること。	- 大規模修理時に、R2P 方式を採用できないこと。 - 鋼製構造物であるため、表面塗装の劣化、腐食と疲労損傷の懸念があること。 - 保守・修理時に使用可能なデッキスペースが限られていること。 - 浮体基礎上にヘリデッキを設ける空間的な余地がないこと。

表 6-5: FTLP+ の強みと課題

 	文書番号:	TLB2601 - RP01	ページ番号: 23 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

6.2.5 Trivane Tower – Trivane 社



写真提供: Trivane 社



Trivane Tower は、O&G(石油・ガス)産業、または限定的ではあるが着床式洋上風力発電プロジェクトで使用されている重力式基礎(GBS)を基礎として開発されたものである。コンセプトとしては着床式のタワーであるが、FOW よりもハイブリッド設計との共通点が多いことから、本報告書ではハイブリッド型に分類している。

補強基礎構造が、スリップフォーム工法で構築されるタワーの土台となり、そのタワーが WTG を支持する。

タワー下部は、陸上または注水可能なドック内でスリップフォーム工法により構築される。その後、深海域まで曳航されてバラストの注入により沈設され、仮係留される。タワー上部については、ドック内でスリップフォーム施工を完了させず、この仮係留状態で同工法により構築することも可能である。成功完了後に WTG が設置されるが、その具体的な方法については現時点では公開されていない。

必要な浮力を得るようバラストを調整した後、ユニットは風力発電所の設置海域まで曳航され、海水をバラストとして海底に沈設される。基盤下部には横ずれ抵抗を高めるための鋼製スカートが設けられている。これらのスカートは当初、基礎の底板の下に水を閉じ込めるが、設置された配管ネットワークを用いてこの水を排水すること、コンクリート基礎の底板を海底に密着させる。

Trivane Tower の場合、大規模修理が必要となった際には、大水深での作業に対応した自己昇降式船を動員する代わりに、バラストを排出して再浮上させ、港湾や、港湾施設に隣接する大水深錨地へと回航する方法を採ることもできる。

設置時にスカート内の排水に使用した配管ネットワークは、必要に応じて底板下へ送水し、サクシオンを解除する際にも使用できる。

Trivane Trivane Tower	強 み	課 題
CAPEX	- 輸送を伴わない現地製造が可能なこと。 - 係留ラインを必要としないこと。	- 重量構造物であること。 - 基地港付近に大水深の錨泊地が必要となること。
T&I	- 浮体構造物であるため、WTG を組み立てた状態でサイトまで曳航できること。 - バラスト水を注入することで、海底に着底させて保管できること。 - スカートセル内の水を排出することで、スカートを海底に貫入させられること。	風車の組立て方法が開発中であり、まだ一般公開されていないこと。
性能	動揺が極めて小さく、AEP に好影響を与えること。	
リスク	- 実績のある重力式基礎 (GBS) 技術を基礎としていること。 - 従来のスタティック電力ケーブルを使用可能であること。	風車の組立て方法が開発中であること。
O&M / OPEX	- 標準的な SOV によるアクセスが可能であること。 - 動揺が極めて小さく、WTG の信頼性に好影響を与えること。 - 大規模修理時には、再浮揚させたいうで曳航して基地港 (大水深の錨泊地) に戻すことができること。 - 省保守性の高いコンクリート製浮体基礎であること。	- 保守・修理時に使用可能なデッキスペースが限られていること。 - 浮体基礎上にヘリデッキを設ける空間的な余地がないこと。

表 6-6: Trivane Tower の強みと課題

 	文書番号:	TLB2601 - RP01	ページ番号: 25 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

6.2.6 w.BT – Wison New Energies 社



図提供: Wison New Energies 社

w.BT は柔軟性を特徴とするコンプライアントタワーであり、上部に復原力を付与し、動揺を低減するための浮力タンクが追加されている。

カラムは円筒形で、上部ハードタンク（バラストタンク）、可変浮力タンク、トラス構造セグメント、下部ソフトタンク、及び一体型サクシオン基礎（SCF）で構成されている。WTG タワーは、縮めた状態でカラム内部に格納し、中央浮力カラムを形成する。

中央浮力カラムは、設置作業中は下部がバラストタンクとして、上部が電気システムを収納する水密区画として機能する。

本システムは自律設置型であり、設置手順については複数案が検討されている。以下にその一例を示す。

- w.BT の支持構造物を現場へ曳航する。
- ソフトタンクと中央カラム下部に海水を注水し、w.BT 支持構造物を立て起こす。
- ソフトタンクに高密度バラスト材を、可変浮力タンクに海水を注入し、SCF を海底に貫入させる（必要に応じてサクシオンを適用）。
- 静水面付近で起重機船を用いてナセルとブレードを設置し、可変バラストタンクから排水する。
- 中央浮力カラムから排水して風車タワーを上昇させ、油圧システムで固定する。

w.BT は、水深最大 200m を対象に開発が進められている。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 26 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

Wison New Energies w.BT		強 み	課 題
CAPEX		軽量の鋼構造であること。	陸上に保管場所を必要とすること。
T&I		- 浮体構造物(本体、可変バラストタンク、トラス部分、下部タンク、サクション基礎、及び風車タワーの中央浮力カラムで構成)であるため、サイトまで曳航できること。 - カラムと基礎を自律的に設置できること。 - タワーを事前に設置、締め付けたうえで、ナセルを据え付けられること。 - 中央浮力カラムのデバラストにより風車タワーを上昇させ、油圧システムで固定できること。	一連の手順が未検証であること。
性能		動揺が小さく、AEP に好影響を与えること。	
リスク		- 実績のあるコンプライアントタワー技術を基礎としていること。 - タワーの設置手順の妥当性が、2012 年にペルーで BPZ Energy 社向けに設置された「CX-15 浮体式タワー型プラットフォーム」により検証済みであること。	- WTG の組立て手法に従来にない要素が含まれていること。 - TRL2 であること。
O&M / OPEX		- 標準的な SOV によるアクセスが可能であること。 - 動揺が小さく、WTG の信頼性に好影響を与えること。	- 大規模修理時に、R2P 方式を採用できないこと。 - 鋼製構造物であるため、表面塗装の劣化、腐食と疲労損傷の懸念があること。 - 保守・修理時に使用可能なデッキスペースが限られていること。 - 浮体基礎上にヘリデッキを設ける空間的な余地がないこと。 - SCF 基礎周辺で洗掘が発生する恐れがあること。

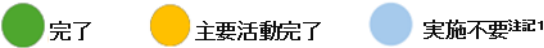
表 6-7: w.BT の強みと課題

6.3 ハイブリッド型コンセプトの技術成熟度についての概要

各ハイブリッド型システムについて、実施済みの活動内容を付録 D に示すロードマップと照合して評価した。その結果得られた各システムの技術成熟度 (TRL) を表 6-8 に示す。

技術プロバイダー名	所在地	コンセプト名	TRL					
			2	3	4	5	6	
AWC Tech	イングランド (英国)	AWC	●	●	●			
Entrion Wind	米国	FRP	●	●	●	●		
Marine Power Systems (MPS)	ウェールズ (英国)	PelaFlex GS	●	●	●	●		
OSI UK	スコットランド (英国)	FTLP+	●	●	●	●		
Trivane	イングランド (英国)	Trivane Tower	●	●	●			
Wison New Energies	中国	w.BT	●	●				

表 6-8 各ハイブリッド型コンセプトの TRL



注記 1: Trivane タワーは、既往の GBS 設計手法に準拠する。WTG からの荷重経路は、単純な高剛性の片持ち梁構造であり、風と波の相互作用はシミュレーションによって評価できるため、モデル水槽試験は必須とは見なされない。

6.4 大水深向けハイブリッド型システムと浮体式洋上風力の強みと課題

抽出された各ハイブリッド型システムは、一般的な FOW のコンセプトとは異なる、固有の強みと課題を有している。両者の違いを考察するため、以下では、大水深向け風力発電基礎の代表的な 3 形式について、その強みと課題を整理する。

- 浮体式 一般的なコンクリート製バージ型またはセミサブ型
- 浮体式 一般的な鋼製セミサブ型
- ハイブリッド型 一般的な支線付きタワーまたは支線付きモノパイル

各システムについては、設計基準に適合する海域を想定した定性的な分析に基づき、CAPEX、OPEX、T&I (輸送・設置)、性能及びリスクに関連する評価項目を考慮した。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 28 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

6.4.1 浮体式 – 一般的なコンクリート製バージ型またはセミサブ型

	強 み	課 題
CAPEX	国内産業を活用できる体制は既に整いつつあり、一部の英国造船所では必要な設備改修に着手している。 鋼製浮体基礎と比較して、製造に必要とされる人員の熟練度が低いため、労働力の確保がし易いと考えられる。 厳格な検査計画を策定し、船級協会の承認を得ることができれば、係留チェーンの冗長性を省略できる可能性がある。 必要とされるコンクリート施工量は、英国が現在保有する年間約 9,000 万トンの供給能力の範囲内に十分収まる^[12]。	15MW の WTG を支える浮体基礎は、1 基当たりの重量が約 2 万トンと非常に大重量である。そのため、1GW 当たり約 100 万トンものコンクリートが必要となる。 コンクリートの硬化時間を考慮しなければならず、これが製造ヤード内の保管場所や製造作業スケジュールに影響する。 製造後の浮体を一時的に係留しておく水域保管区画の確保が必要となり、その分のコストに加えて、運用面・規制面での課題が増える。 浮体と WTG を一体化するためには、大型の岸壁リングクレーン（またはフローティングクレーンなどの代替手段）を整備する必要がある。 浮体基礎を海面へ進水させる際の荷重に耐えられるよう、ヤード側の岸壁を補強しなければならない可能性がある。 コンクリート製浮体は質量が大きく、係留負荷も高いため、形式によってはより重量のある係留システムが必要となる。 アンカー配置の制約により、ダイナミック電力ケーブルを使用する必要があり、さらにケーブル長も長くなるため、ハイブリッド型と比較してアレイケーブル全体のコストが高くなる。 ダイナミック電力ケーブルに起因するリスクにより、保険費用が増加する。 浮体基礎の応答振幅関数 (RAO) が大きくなるため、大型風車ではスティフ・スティフ型の WTG タワーが必要となる。
OPEX	コンクリート製浮体基礎は腐食や疲労損傷が少ないため、O&M コストを低く抑えられる。 大規模修理は、現場での実施に加えて、港湾へ曳航して行うことも可能である。 一般的に、WTG 補修作業用のデッキを浮体基礎上に確保することができる。 一般的に、悪天候時のアクセスを確保するため、浮体基礎上にヘリコプター用ホイスト区画が確保されている。	係留システムに冗長性がない場合、設計段階からモニタリング機器の導入を含む、リスクベースの包括的な「係留システム健全性管理 (MIM)」戦略が求められる可能性が高い^[4]。 ダイナミック電力ケーブルのモニタリングシステムが必要となる。
T&I	2 隻のタグボートと 1 隻のアンカーハンドリング船 (AHV) だけで容易に洋上での接続作業ができる。 必要となるアンカー点（またはパイル）の数を少なくできる。 洋上設置作業における気象制約が緩和され、ダウンタイムの短縮につながる。	WTG 本体の組立てに、岸壁に約 10 メートルの喫水が必要となる。 浮体基礎の質量が大きいため、曳航速度が低下し、より高馬力のタグボートが必要となるなど、曳航コストが増加する。
動揺特性		浮体基礎と WTG の大きな動的動揺及び静的リスト（左右どちらかに傾いている状態）が発生しやすい。 動的トリム（前後方向の傾き）による制御が可能なのは、1 つのコンセプトに限られる。
リスク	各コンセプトの TRL は 5 から 7 の段階にある。	ダイナミック電力ケーブルの破損リスクがある。 浮体基礎動揺の増大に伴い、WTG の信頼性低下のリスクが生じる。 係留システムの占有面積が広いため、漁業への影響が大きくなるほか、特に合成繊維索を使用する場合には損傷のリスクが高まる。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 29 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

6.4.2 浮体式—一般的な鋼製セミサブ型

	強 み	課 題
CAPEX	15MW 当たり約 4,500 トンと、コンクリート製と比較して浮体基礎が軽量である。 厳格な検査計画を策定し、船級協会の承認を得ることができれば、係留チェーンの冗長性を省略できる可能性がある。	1GW 当たり約 30 万トンの鋼構造物の製造が必要となるが、これは現在の英国の供給能力を大きく上回る。そのため、施工計画は英国国外で製造された部材を輸入し、国内では組み立てのみを行うプレハブ方式となる可能性が高い。 製造後の浮体を一時的に係留しておく水域保管区画の確保が必要となり、その分のコストに加えて、運用面・規制面での課題が増える。 浮体と WTG を一体化するためには、大型の岸壁リングクレーン（またはフローティングクレーンなどの代替手段）を整備する必要がある。 アンカー配置の制約により、ダイナミック電力ケーブルを使用する必要があり、さらにケーブル長も長くなるため、ハイブリッド型と比較してアレイケーブル全体のコストが高くなる。 ダイナミック電力ケーブルに起因するリスクにより、保険費用が増加する。 浮体基礎の RAO が大きくなるため、大型風車ではスティフ・スティフ型の WTG タワーが必要となる。
OPEX	大規模修理は、現場での実施に加えて、港湾へ曳航して行うことも可能である。 一般的に、WTG 補修作業用のデッキを浮体基礎上に確保することができる。 一般的に、悪天候時のアクセスを確保するため、浮体基礎上にヘリコプター用ホスト区画が確保されている。	鋼製浮体基礎はコンクリート製と比べて、運転期間全体を通じてより高度な保守や検査が必要となる。 係留システムに冗長性がない場合、設計段階からモニタリング機器の導入を含む、リスクベースの包括的な「係留システム健全性管理 (MIM)」戦略が求められる可能性が高い。^[4] ダイナミック電力ケーブルのモニタリングシステムが必要となる。
T&I	2 隻のタグボートと 1 隻の AHV だけで容易に洋上での接続作業ができる。 必要となるアンカー点数を少なくできる。 洋上設置作業における気象制約が緩和され、ダウンタイムの短縮につながる。	WTG 本体の組立てに、岸壁に約 8 メートルの喫水が必要となる。
動揺特性	動的トリム制御が可能なコンセプトが複数存在する。	浮体基礎と WTG の動的動揺が大きく、静的リストが発生しやすい。
リスク	各コンセプトの TRL は 5 から 7 の段階にある。	ダイナミック電力ケーブルの破損リスクがある。 浮体基礎動揺の増大に伴い、WTG の信頼性低下のリスクが生じる。 係留システムの占有面積が広いいため、漁業への影響が大きくなるほか、特に合成繊維索を使用する場合には損傷のリスクが高まる。

 	文書番号:	TLB2601 - RP01	ページ番号: 30 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

6.4.3 大水深向けハイブリッド型 – 一般的な支線式タワー/支線式モノパイル

	強 み	課 題
CAPEX	基礎構造が軽量であり(水深 100m、15MW で約 2,500 トン)、基礎材料コストを低減できる。 係留ラインやテンドンが短く、係留半径が小さい。 アンカー配置がコンパクトであるため、アレイケーブルも短くて済む。 スタティック電力ケーブルで十分対応可能なため、ダイナミックアレイケーブルは不要である。 国内産業を活用するさらなる施策も計画されているが、一部については新規の自動化工場への事前投資が前提となる。 スティフ・スティフ型の WTG タワーを必要としない。	基礎の設置や洋上での WTG の組立てには高額な作業船が必要であり、またその可用性が極めて低いことから、洋上設置コストが高くなる。 構造の健全性を確保するためには、支線やテンダンの冗長性が不可欠である。 トラス型カラムを採用する場合、1GW あたり 15 万トン以上の管状鋼材の製造が必要となる。しかし、これに対応する自動化工場は現時点で存在せず、計画段階にあるものの、実現には資金 調達が前提となる。 モノパイルの製造能力について、現在の英国国内では大型品で年間約 100 基程度に制約されている。 TRL が低く、新規性が高いため、保険費用が上昇する可能性がある。
T&I	洋上で WTG を組み立てるため、岸壁での作業は不要である。 吃水の浅い港湾でも対応可能である。 タワーは進水前には製造ヤード内に保管できるため(分割保管の場合もある)、水域保管区画を確保する必要がない。	基礎構造物を立て起こして設置するためには、大型のモノパイル設置船が必要となる。 その後、風車タワー、ナセル、とブレードを設置するために大型の WTIV が必要となる。しかし、水深 80 メートル超に対応できる大水深向け自己昇降式起重機船は現時点では存在しないか、開発段階にあり、その可用性とコストが重大なリスクとなっている(一部の技術プロバイダーによって専用設置船の建造が検討されているものの、いずれもコンセプト段階にあり、先行投資が前提となる)。 支線やテンドンに張力をかけるため、船上に仮設のウィンチや油圧緊張システムを配備する必要がある。 複数の杭式アンカー一点が必要となる。
動揺特性	動揺が小さいため、AEP(年間発電量)が向上し、風車の信頼性が高まる可能性がある。 ヨー剛性の高いコンセプトが複数存在する。	
リスク		各コンセプトの TRL は現時点で 4 から 5 に留まっており、いずれもプロトタイプ機の政策には至っていない。また、他の FOW プロジェクトと比較して洋上での T&I 作業対象が多いため、悪天候による作業遅延リスクが高くなる(上記参照)。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 31 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

OPEX	係留の占有範囲が縮小したことで、漁船や作業船による損傷のリスクが低減する。また、動揺が小さいため、標準的な SOV によるアクセスが容易になる。	tendon にはクリープにより初期張力が低下する可能性があり、要求される初期張力を長期にわたって維持するため、定期的なリテンションングが必要となるリスクがある。 鋼製タワー（特にトラス型）は、コンクリート製浮体基礎と比較して、寿命期間中の点検・保守の頻度が高くなる。 WTG の主要コンポーネントを修理する際、場合によっては WTIV を再度手配する必要がある。 保守・修理作業に使用できるデッキスペースが限られている。
------	---	--

6.4.4 CAPEX の比較 – 考察

浮体式とハイブリッド型の相違点のうち、CAPEX に影響する主なものとしては以下が挙げられる。

- 浮体基礎の重量
- 浮体基礎の製造コスト
- 水域保管の要否
- 基礎の輸送・設置
- WTG の組立て・試運転
- アレイケーブル

浮体基礎重量: 15MW の WTG を搭載する場合、鋼製の浮体基礎は約 4,000～5,000 トンであるのに対し、コンクリート製浮体基礎はその約 4 倍に達する。

鋼製ハイブリッド型コンセプトでは、いずれも浮体基礎重量は鋼製セミサブ型の約半分とされている。そのため、材料コストの低減が期待される。ただし、この CAPEX の削減効果は、必要とされる鋼材のグレード、形状（管状部材と平鋼板か）及び鋼材の調達先によって、一部が相殺される可能性がある。総じて、ハイブリッド型コンセプトでは、鋼材の調達コストの大幅な削減が見込まれる。

AWC のコンクリート製ハイブリッド型も、コンクリート製セミサブ型やバージ型の約半分の浮体基礎重量であるとされており、同様に材料費を大幅に削減できるはずである。

浮体基礎製造: 浮体基礎の場合、コンクリート製浮体基礎は鋼製より重量が大きいものの、英国国内の製造能力に適していることから、CAPEX を低減するとともに、英国国内調達比率の向上にも大きく貢献すると考えられる。一方で、英国国内の鋼製浮体基礎製造能力には制約があり、そのコストも比較的高いため、海外で製造した浮体基礎モジュールを輸入し、英国で組み立てるという方式が採用される可能性が高い。

トラス構造を採用したハイブリッド型コンセプトについては、将来的に完全自動化された工場を構築することで、製造コストを抑えることを目指している。しかし、こうした工場は現時点では存在しておらず、実現には巨額の投資が必要となる。また、その建設も、複数のプロジェクトを通じてコストを回収することを前提する、いわばリスクを伴う投機的な先行投資とならざるを得ない可能性がある。計画はいずれもまだコンセプト段階にあり、将来的には実現の可能性もある製造コスト削減による恩恵を、最初のプロジェクトが享受できる可能性は低い。

支線式モノパイルについては、英国国内に新設されたモノパイル製造施設を活用できる可能性がある。しかし、その製造能力には制約があり、英国国内調達比率を維持しながらマルチ GW 規模の風力発電を展開するには、大幅な製造能力の拡張が必要となる。また、大水深プロジェクトと、XXL モノパイルを採用した他の着床式プロジェクトとの間で、製造枠を巡る競争が生じる可能性がある。ただし、小規模のプロジェクトであれば、既存施設による恩恵が受けられる可能性がある。

浮体式・ハイブリッド型基礎のいずれについても、設計の最適化や製造工程の高度化を通じて、将来的には製造コストは低下していくと予想される。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 32 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

機械系コンポーネント: 浮体式風力発電のコンセプトでは、通常、チェーンコネクタのみを使用し、係留ラインの張力調整（必要に応じてリテンショニングも）を AHV から外部作業として実施する。これらはいずれも石油・ガス業界で実証済みの技術である。

支線式タワーでは通常、洋上での設置時にテンドンへ初期張力を付与するため、仮設の張力調整装置を取り付ける必要がある。運用期間中に再緊張が必要となった場合には、この装置を再度現場に搬入し、再装着して使用することになる。

ハイブリッド型コンセプトの多くは、レックスジョイント、機械式コネクタ、ユニバーサルジョイントなど、何らかの機械系コンポーネントに依存している。これらも大半は石油・ガス業界で実証済みの技術だが、CAPEX の増加要因となり（特に複数のコンポーネントを使用するコンセプトの場合）、設置時と O&M 期間中の海中点検の頻度の増加にもつながる。

アンカー: 浮体基礎は、土壌条件に応じて、ドラッグアンカー、サクショナパイル、打込みパイルなど、さまざまなアンカー形式を採用することができる。一方、TLP は、引抜き荷重が作用するため、使用可能なパイルは打込み式に限定される。

ハイブリッド型の支線式 WTG では、引抜き荷重に対応するテンドン用パイルに加え、支持構造物と WTG の荷重を受け止める中央カラム用として、複数のパイルが必要となるのが一般的である。

AWC 及び Trivane Tower のコンクリート製ハイブリッド型は、重力式基礎を使用することでこうした課題を克服しているが、Trivane Tower では鋼製スカートも併用されている。

水域保管: WTG の組立て後、浮体式プラットフォームは、設置海域へと曳航されるまでの間、洋上での保管が必要になる場合がある。この水域保管には、専用の、許可を受けた施設において、係留ラインや電源ケーブルを事前に仮設しておく必要があるが、作業は複雑でコストもかかる。また、こうした保管施設には、複数のプロジェクトを通じてコストを回収することを前提とする、投機的な先行投資が求められることもある。

ハイブリッド型の場合、水域保管は不要である。タワーやモノパイルを製造ヤード内で保管し、設置時に大型起重機船（HLV）へ直接積載できるためである。これは重要な利点であり、浮体式風力発電に伴う複雑な問題を解消する。ただし、WTG の組立ては洋上で実施する必要がある。

基礎の設置: FOW ユニットの曳航・設置には、標準的なタグボートと AHV が使用される。これらは大幅にコストが低く、特に QCDC システムを活用すれば、天候悪化によるダウンタイムの影響を抑えることができる。

対照的に大水深向けハイブリッド型構造物では、中央タワーを輸送・起立・設置するために、最新世代の HLV やモノパイル設置船が必要となる。支線式モノパイルの場合、これらの船舶はパイルの打設やトランジションピースの設置にも使用される。支線式タワーによっては、支線やテンドンを設置して初期張力をかける間、船舶がタワーを所定の位置に保持し続けなければならない。

設置船も最大級のものとなる場合、利用可能な隻数が限られ、傭船料も高額である。また、作業が複雑な場合、天候上の制約が厳しくなり、多額のダウンタイムコストが発生することもある。これらの点は、Scott Marine Consultants 社が独自に開発したシミュレーションソフト「CICADA Express」による解析で考慮されている（詳細は付録 H 及び I を参照）。

WTG の組立てと試運転(I&C): 浮体式ユニットの場合、WTG の I&C は、ユニットが洋上へ曳航されるか水域保管に回される前に、組立ヤード内で行われる。この際、岸壁にある高額な使用料のリングクレーンか、またはそれに代わる適切な起重機船の使用が必須となる。ヤード内での組立作業中に発生する天候によるダウンタイムは、水域保管によって軽減できる。水域保管しておけば、天候上の制約がないときにいつでも設置できるよう、事前に完成ユニットを確保しておくことができる（上記参照）。

ハイブリッド型ユニットの場合、WTG の I&C は、着床式風力発電所の工法に倣い、専用の WTIV を用いて洋上で実施される。しかし、現在稼働中の自己昇降式 WTIV は、最大級のものであっても運用水深は 75m～80m（気象条件による）である。これを超える大水深向けには、超大水深向け自己昇降式掘削装置が存在するものの、これらは高額である上、WTIV として機能させるには大規模な改造が必要となる。したがって、水深 80m を超える海域での WTG の I&C の手段は主に以下の 3 つとなる。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 33 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

- a) 適切な次世代型自己昇降式 WTIV が発注、建造され、傭船可能になるのを待つ。
- b) Heerema Thialf などの半潜水型 WTIV を使用する。ただし、こうした大型船は動員・運航に多額の費用を要するだけでなく、過去の複数の着床式プロジェクトでの経験に基づくと、北海での作業における天候によるダウンタイムが長期化する可能性が高い。
- c) 北海やケルト海でのハイブリッド構造物の I&C 作業専用の WTIV を建造する。こうした船舶については、コンセプト段階の計画は存在するが、設計が実証された後は、複数のプロジェクトを通じてコストを回収することを前提とした、投機的な先行投資が必要となる。そのため、長期的にはこのような船舶が利用可能になる可能性があるものの、短期的または中期的に選択可能な手段となることは考えにくい。

アレイケーブルの敷設: 浮体式のセミサブ型やバージ型のユニットは、通常、カテナリー係留ラインによって係留され、海底に長いチェーンが横たわる形になる。係留の敷設範囲の半径が大きいため、アレイケーブルは蛇行する迂回的な経路にならざるを得ず、その分必要なケーブル長が増加する。また、浮体式ユニットにはダイナミックアレイケーブルが必要となり、主要コンポーネントの修理時に WTG を曳航して港へ戻る手段を採用する場合に、高電圧ウェットメイトコネクタが必要となることがある。

一方で、ハイブリッド型ユニットは係留ラインの敷設範囲の半径が小さいため、アレイケーブルを短縮でき、スタティックまたはセミスタティックアレイケーブルの使用が可能になる。これにより、コストの削減と故障頻度の低減が期待できる。また、ダイナミック電力ケーブルが不要となることで、保険の面でも有利になることが考えられる。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 34 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

6.4.5 CAPEX の比較 – 結果

架空の海域を想定し、前述の全要素を考慮して算定した CAPEX の比較結果の一例を図 6.1 に示す。分析に当たっては、以下の前提条件を設定した。

- 発電所の設備容量は、BoD (Basis of Design、設計基準) に従い、15MW 風車を搭載した 750MW とする
- 水深は 80m から 100m とする。
- 係留については、ハイブリッド型では、ラインが 1 本破断した場合でも構造の健全性を維持するため係留ラインの冗長性を確保する。一方、浮体式では係留ラインは位置保持のみを目的とするため、冗長性は不要である。
- ハイブリッド型、浮体式のいずれも、浮体基礎は英国で製造されるものとする。
- トラス構造については、自動溶接によるコスト削減効果を部分的に考慮する。
- ハイブリッド型については、大水深対応 WTIV が利用可能であり、その傭船料は現在の着床式向けの市場価格と同等とする。
- ハイブリッド型・浮体式のいずれについても、天候によるダウンタイムは、Scott Marine Consultants 社が独自ソフトウェア「CICADA Express」を用い、ScotWind の代表的サイトを想定して実施した設置作業手順シミュレーションの結果に基づいている(付録 H と I 参照)。このシミュレーション結果を基に、各作業段階で必要となる船舶の予想作業期間を設定している。解析の結果、段階によって P10、P50、P90 期間にばらつきが見られた。なお、本 CAPEX 分析では、設置コストの算定に P90 の期間を使用する。

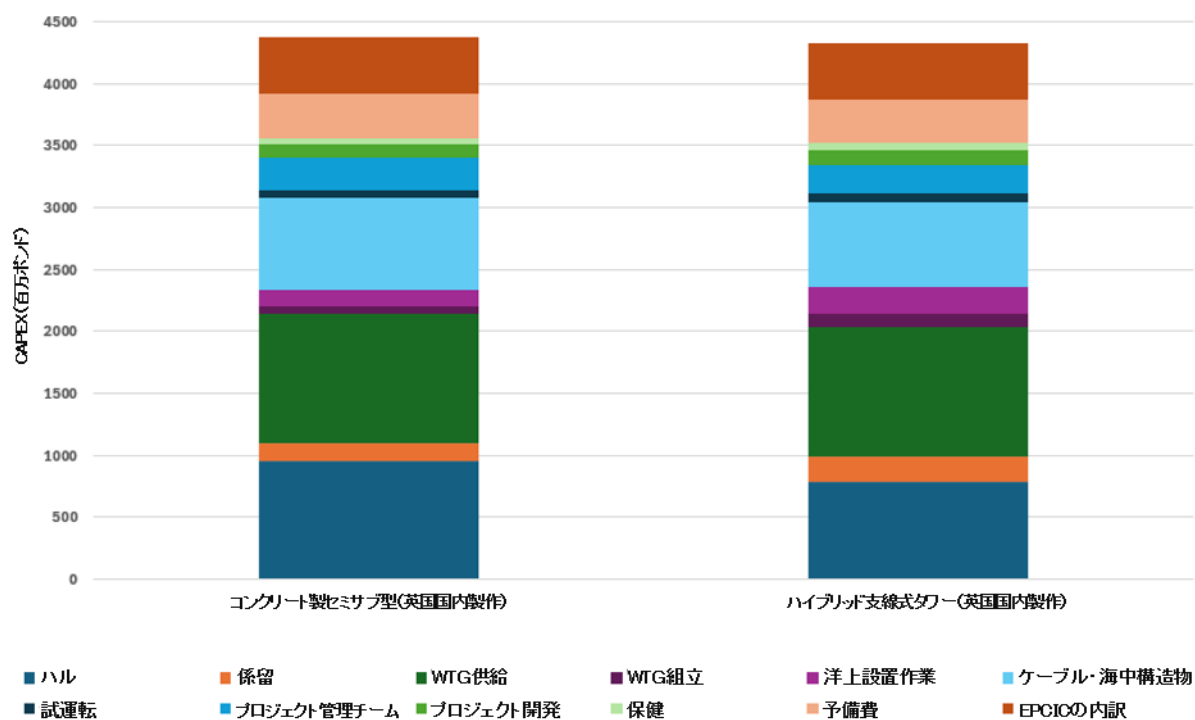


図 6.1 CAPEX の比較結果 (750 MW)

本事例の分析の結果、ハイブリッド型支線式タワー・モノパイルは浮体基礎とケーブルに関する CAPEX が低いことが示されている。対照的に、コンクリート製セミサブ型は、係留、WTG の組立て、洋上設置に関連する CAPEX が低いことが明らかになった。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 35 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

これらのコスト削減効果は両方式間で相殺され、上記の前提条件に基づく本比較において、ハイブリッド型コンセプトの CAPEX 上の全体的な優位性は約 1%にとどまり、この値は計算上の誤差範囲内であると判断される。

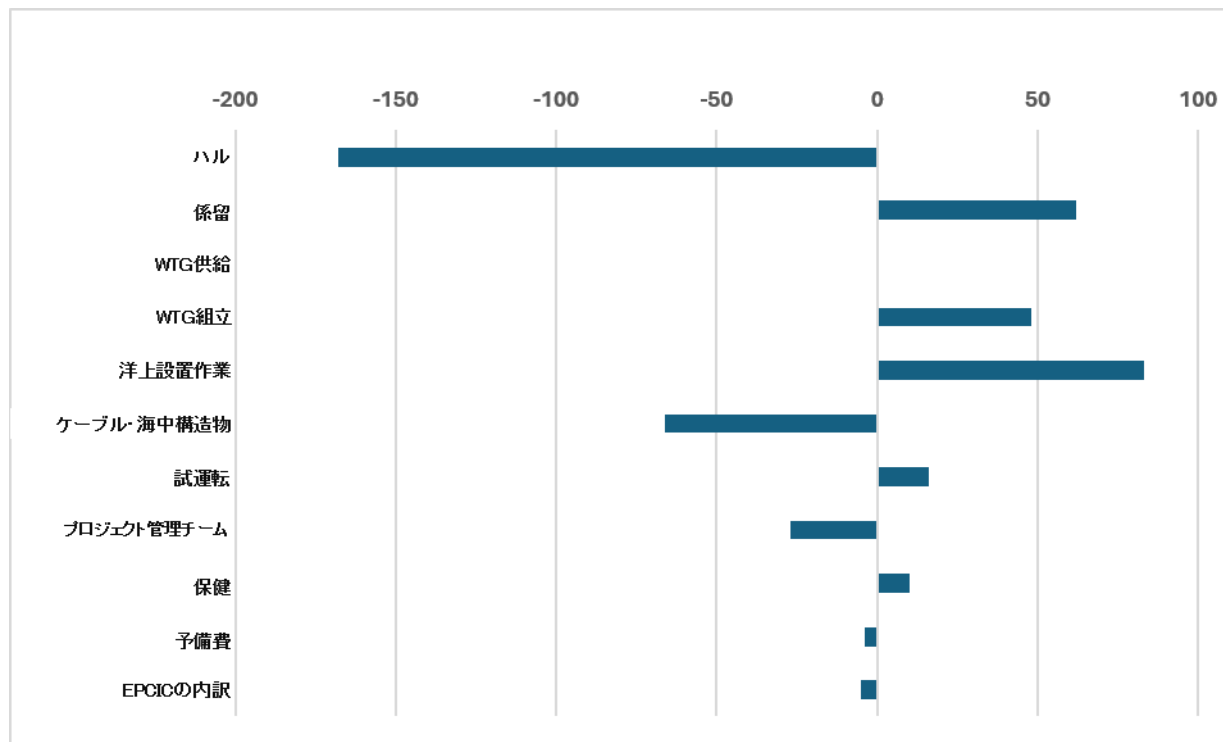


図 6.2 CAPEX 比較差 – FOW に対するハイブリッド型の比較結果(単位: 百万ポンド、750MW)

なお、本事例では除外しているが、FOW の係留ラインに冗長性を追加した場合、FOW のコストは約 2 億ポンド増加する可能性がある。この場合、コスト差は 1%から約 6%に拡大し、ハイブリッド型コンセプトの優位性がさらに高まるが、それでも計算上の誤差範囲内にとどまる。

また、一部のハイブリッド型コンセプトのサプライヤーは、さらなるコスト削減が可能であり、FOW との差はいっそう拡大すると主張している。しかし、これらの低コストを実現するには、自動溶接設備や専用の WTIV への巨額のリスクを伴う投機的な先行投資が前提となるものの、現時点では確定した投資計画も資金調達も存在していない。したがって、これらの主張はサプライヤーによる長期的な目標として扱うべきである。

ハイブリッド型ユニットの洋上設置コストが高額となるという試算は、北海の気象・海象条件に基づいている。ケルト海の一部のサイトでは北海よりも波周期が長いため、これが重要な設置作業や組立作業におけるダウンタイムの増加につながる可能性がある。その結果、これらの海域ではハイブリッド型コンセプトの CAPEX はさらに増加する。

6.4.6 OPEX の比較

FOW コンセプトには、OPEX の点で 2 つの優位性がある。

- 長いプロジェクト寿命の間には、主要コンポーネント交換 (MCR) が必要となる可能性が高いと見られているが、FOW ユニットの、現地で修理するか、またはいったん切り離して曳航し、基地港へ戻す (R2P) かのどちらかを選択できる柔軟性を備えている。この柔軟性は、ユニットのダウンタイム短縮に寄与する。一方、ハイブリッド型ユニットで MCR が必要になった場合には、修理を実施するために、適切な WTIV の手配と、適切なウェザーウィンドウが出現するのを待つ必要がある。なお、現在提案されているハイブリッド型ユニットのコンセプトでは、ナセル基部に仮設されたアップタワークレーン (ナセル搭載クレーン) を用いて現場で MCR を実施するのに十分な仮置場が設けられていない。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 36 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

- b) コンクリート製の浮体基礎は鋼製浮体基礎に比べて必要な点検や修理作業が少ない。大半のハイブリッド型ユニット資材 (AWC を除く) は鋼製のトラス構造であり、ROV による定期的な水中点検が必要となるため、その分の OPEX コストが発生する。浮体基礎の修理が必要になった場合、浮体式ユニットであれば曳航して港へ戻す (R2P) 方式を採用できる一方、ハイブリッド型ユニットを洋上で修理するのははるかに困難である。

対照的に、ハイブリッド型コンセプトの中には、WTG の動的動揺の点で FOW に対し大きな優位性を持つものもある。支線式タワーは実質的に固定されているのと変わらないため、動揺を着床式構造物と同等の水準まで抑制できる。この特性は、AEP の向上や、WTG の信頼性改善につながる可能性がある。

しかし現段階では、大水深プロジェクトにおける WTG の信頼性データ (MTBF: 平均故障間隔、と MTTR: 平均修復時間) が不足しているため、両方式間の OPEX の差を定量化することはできない。この分野については、今後の詳細な検討が必要である。

7.0 英国拠点大水深向けコンセプト

英国政府の「2050 年ビジョン^[9]」のミッション 5 では、「2027 年までに英国拠点の優れた基礎設計を発掘し、実証すること」を目標に掲げている。本節では、英国拠点の各コンセプトの現状を整理し、現在活発に開発が進められているコンセプトの概要を示すとともに、各 TRL に到達するために完了すべき主要な活動を明示した開発ロードマップについて概説する。

7.1 各コンセプトの現状

表 7-1 に、英国拠点の大水深向けコンセプトと、その開発状況を示す。表には、各コンセプトの開発が現在活発に進められているか、休眠状態にあるか、あるいは停止されているかを記載している。

技術プロバイダー名	所在地	コンセプト名	型 式	開発状況
AWC Technology	イングランド	AWC	ハイブリッド型	開発中
Floating Energy Systems	イングランド	Stinger Keel	浮体式	休眠状態
Floating Wind Turbines	スコットランド	DTI-F	浮体式	休眠状態
Marine Power Systems (MPS)	ウェールズ	PelaFlex TS	浮体式	開発中
Marine Power Systems (MPS)	ウェールズ	PelaFlex GS	ハイブリッド型	開発中
Ocean Resources	ウェールズ	Ocean Breeze	浮体式	開発中
OSI	スコットランド	FTLP+	ハイブリッド型	開発中
Trivane	イングランド	Trivane Trimaran	浮体式	開発中
Trivane	イングランド	Trivane Tower	ハイブリッド型	開発中
TetraFloat	イングランド	TetraFloat	浮体式	休眠状態

表 7-1: 英国拠点コンセプトの開発状況

表 7-1 に記載した 10 件のコンセプトに加えて、休止中の浮体式コンセプトが 1 件確認されたが、技術プロバイダーの要望により本報告書への掲載は控えた。

現在開発が進められている英国拠点のコンセプトのうち、3 件は浮体式であり (PelaFlex TS、Ocean Breeze、Trivane Trimaran)、残りの 4 件はハイブリッド型である (AWC、PelaFlex GS、FTLP+、Trivane Tower)。なお、Trivane Tower は着床式であるが、本調査ではハイブリッド型として分類している。

 	文書番号:	TLB2601 - RP01	ページ番号: 37 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

これら 4 件のハイブリッド型システムについては第 6 章で既に検討しているため、本章では現在開発中の 3 件の浮体式コンセプトのみを取り上げる。なお、浮体式とハイブリッド型の双方を含む英国拠点コンセプト全体の TRL の現状については、第 7.3 節でその概要を示す。

7.2 主な特徴

本節では、英国拠点コンセプトのうち現在 TRL3～5 にある 3 件について、その概要を述べるとともに、本調査で想定している北海の気象・海象条件での運用に関する強みと課題を整理する。また、各コンセプトの主な特徴については、付録 G に概要を示している。

7.2.1 PelaFlex TS - MPS 社



図提供: MPS 社

PelaFlex TS は、中央に位置する単一の浮力室と、係留テンドンに接続するための 3 本の水平鋼製トラス構造のアウトリガー（張り出し構造）で構成される TLP である。中央浮力室が、水面を貫通する鋼製トラス構造を支持し、トラス構造が WTG を支持する。トラス構造を開放型とすることで、ユニットに作用する波荷重を最小限に抑えている。

本設計では、アウトリガーを折り畳んで TLP の中央構造に沿わせることができるため、洋上への輸送時には複数のユニットを船舶の甲板上に水平に積載することができる。

洋上サイト到着後、作業船のクレーンによりユニットを立て起こして進水させてバラスト水を注入し、事前に設置したテンドンに接続し、バラスト水を排出してテンドンに張力を付与する。

続いて、自己昇降式 WTIV または半潜水型クレーン付き台船を用いて WTG を設置する。現在、適切な自己昇降式 WTIV が利用可能な最大水深は 80m であり、それを超える大水深での PelaFlex TS の設置の可否は、適切な設置手法の開発状況に依存する。

PelaFlex TS の設計は自動製造に適している点が注目されるが、そのための製造施設はまだコンセプト段階にある。

なお、TLP の場合、コンセプトにかかわらずアンカー一点に引抜き荷重が作用するため、対象海域の地盤条件に応じて適用可能なアンカー形式は制約される。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 38 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

MPS PelaFlex TS	強 み	課 題
CAPEX	軽量な構造であること。自動製造に適していること(ただし製造施設の開発が必要)。	- 冗長性を持たせた係留テンドンと、それに伴うアンカー点が複数必要となること。 - 陸上に保管場所を必要とすること。
T&I	- 船舶でサイトまで輸送し、サイトで設置に向けた荷下ろしが可能であること。 - 水域保管を必要としないこと。	- テンダンの接続時にバラスト調整が必要であること。 - 洋上での WTG の組立てに自己昇降式起重機船(現時点では最大水深 80m まで対応可能)を必要とすること。
性能	動揺が小さく、AEP に好影響を与えること。	
リスク	- O&G 分野の TLP 技術を基礎としていること。 - 海底の占有面積が小さいこと。	- テンドン用合成繊維ロープに十分な剛性を確保する必要があること。 - ダイナミック電力ケーブルを使用する必要があること。
O&M / OPEX	- 標準的な SOV によるアクセスが可能であること。 - 動揺が小さく、WTG の信頼性に好影響を与えること。	- テンドン張力が、海洋生物の付着による浮力低下の影響を受けやすいこと。 - 鋼製構造物であるため、表面塗装の劣化、腐食と疲労損傷の懸念があること。 - 保守・修理時に使用可能なデッキスペースが限られていること。 - 浮体基礎上にヘリデッキを設ける空間的な余地がないこと。

表 7-2:PelaFlex TS の強みと課題

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 39 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

7.2.2 Ocean Breeze – Ocean Resources 社



Ocean Breeze は TLP の一形態であり、5 基の円筒形鋼製浮力室が鋼管フレームによって連結され、WTG を支持する小径の中央カラムの周囲に配置される構造となっている。浮力室と鋼管フレームは海面下に位置し、水面を貫通して波荷重を受けるのは中央カラムのみである。

係留システムは、各浮力室に 1 本ずつ接続された計 5 本のテンドンで構成されており、冗長性を備えているため、万が一テンドン 1 本が喪失した場合でも浮体システムの安定性が確保される。また、プロジェクトの BOD に応じて、最大 10 本までテンドンを増やすことが可能である。

本システムも TLP であることから、アンカー一点に引抜き荷重が作用し、対象海域の地盤条件によって適用可能なアンカー形式が制約される点は他の形態の TLP と同様である。

Ocean Resources Ocean Breeze	強 み	課 題
CAPEX	- 浮力缶を 5 個連結した単純な形状であること。 - 安定性の確保のためにテンドンに冗長性を付与する必要がないこと。	5 箇所のアンカー一点が必要となること。
T&I	WTG の組立を岸壁または陸上で実施でき、洋上での組立作業を必要としないこと。	- 曳航、設置、及び R2P 時に、一時的な浮力体を必要とすること。 - 設置スケジュールを遵守するため、水域保管が必要となる場合があること。
性能	動揺が小さく、AEP に好影響を与えること。	
リスク	- Ocean Resources 社のテンションレグブイ技術、O&G 分野の TLP 技術を基礎としていること。 - 海底の占有面積が小さいこと。	ダイナミック電カケーブルを使用する必要があること。
O&M / OPEX	- 標準的な SOV によるアクセスが可能であること。 - 動揺が小さく、WTG の信頼性に好影響を与えること。	- テンドン張力が海洋生物の付着による浮力低下の影響を受けやすいこと。 - 鋼製構造物であるため、表面塗装の劣化、腐食と疲労損傷の懸念があること。 - 保守・修理時に使用可能なデッキスペースが限られていること。 - 浮体基礎上にヘリデッキを設ける空間的な余地がないこと。

表 7-3: Ocean Breeze の強みと課題

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 40 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

7.2.3 Trivane Trimaran – Trivane 社



図提供: Trivane 社

Trivane Trimaran は、コンクリート製ポンツーンと 3 基の鋼製浮体から構成される、セミサブ型台船式コンセプトであり、鋼製浮体によってカラム安定式の挙動を示す。

本コンセプトはタレットによる 1 点係留方式を採用しており、システム全体が風見鶏のように回頭して、卓越する気象・海象条件に対して最も抵抗の少ない位置をとることで、係留荷重を低減できる。タレットは電力ケーブルの引き込みルートとなるほか、回頭部と静止部の間で電力を伝送するための電気スィベルを支持している。

浮体基礎前方部にバラスト水を注入することで、風車に作用する推力によって生じる負のトリムを軽減できる。Carbon Trust は、動的な動揺よりも静的な傾斜の方が発電性能に与える影響が大きいことを指摘するとともに^[4]、静的ピッチ角が AEP に及ぼす影響について広範な研究を実施している^[10]。

Trivane Trivane Trimaran	強 み	課 題
CAPEX	- 軽量の係留システム(風見鶏型浮体基礎)であること。 - 単純なコンクリート製ポンツーン形状、及び単純な平板形状の浮体であること。 - 単純で低コストのタレット設計であること。	- 高圧(HV)電気スィベルを必要とすること。 - タレット及びベアリングシステムを必要とすること。 - WTG がダウンウィンド型であること。
T&I	- WTG の組立を岸壁または陸上で実施でき、洋上での組立作業を必要としないこと。 - 曳航中の安定性に優れ、かつ抵抗が小さいこと。 - AHV を用いた従来方式による係留レグの接続が可能なこと。	設置スケジュールを遵守するため、水域保管が必要となる場合があること。
性能	前方バラストにより、風荷重による負のトリムを低減していること。	ハイブリッド型システムや TLP よりも動揺が大きいこと。
リスク	O&G 分野のセミサブ技術(カラム安定化技術)を基礎としていること。	ダイナミック電力ケーブルの採用により、ハイブリッド型システムや TLP よりもオフセットが大きくなること。
O&M / OPEX	ポンツーンがコンクリート製であることから、保守頻度が低く、疲労性能と耐食性に優れ、表面塗装の保守を必要としないこと。	- 鋼製タレットであることから、ベアリング及びスィベルに点検要件が生じること。 - 保守・修理時に使用可能なデッキスペースは提供可能とされるが、詳細は未定であること。

表 7-4: Trivane Trimaran の強みと課題

7.3 英国拠点コンセプトの TRL 概要

英国拠点の各コンセプトについて、TRL の現状を表 7-5 に示す。各コンセプトの TRL は、開発に関連して既に完了した活動を付録 D のロードマップと照合して評価した結果である。

技術プロバイダー名	所在地	コンセプト名	型 式	TRL				
				2	3	4	5	6
AWC Tech	イングランド	AWC	ハイブリッド型	●	●	●		
Marine Power Systems	ウェールズ	PelaFlex TS	浮体式	●	●	●	●	
Marine Power Systems	ウェールズ	PelaFlex GS	ハイブリッド型	●	●	●	●	
Ocean Resource	ウェールズ	Ocean Breeze	浮体式	●	●			
OSI	スコットランド	FTLP+	ハイブリッド型	●	●	●	●	
Trivane	イングランド	Trivane Trimaran	浮体式	●	●	●	●	
Trivane	イングランド	Trivane Tower	ハイブリッド型	●	●	●		

表 7-5: 英国拠点コンセプトの TRL の現状

● 完了 ● 主要活動完了 ● 実施不要^{注記1}

注記 1: Trivaneのタワーは、従来のGBSの設計手法に準拠する。WTGからの荷重経路は単純な高剛性の片持ち梁構造であり、風と波の相互作用はシミュレーションによって評価できるため、モデル水槽試験は必須とは見なされない。

7.4 考察

英国拠点コンセプト 7 件の内訳は、ハイブリッド型 4 件と浮体式 3 件であり、コンクリート製 3 件、鋼製 4 件と、そのシステム構成は多岐にわたる。いずれも、興味深く革新的な特徴を備えているものの、北海海域条件における総合評価で上位 15 コンセプトに入るものはなかった。低評価の理由はコンセプトごとに異なるが、設置要件の複雑さ、TRL の低さ、EPCI 実績の不足、OPEX の高さなどが挙げられる。仮にこれらのうちの 1 件または数件について、開発加速のための資金が確保されれば、FEED レベルの設計コンペティションを通じて、各コンセプトを共通の基準で詳細に評価することが可能となる。

4 件のハイブリッド型コンセプトは、水深 80m を超える海域で WTG を設置するための手段が存在しないことにより制約を受けている。現在、複数の技術プロバイダーがこの制約を克服するための開発に取り組んでおり、今後、実績があり費用対効果の高い設置手段が利用可能になれば、これら 4 件のうちの一部が上位 15 位に入る可能性はある。

浮体式コンセプトのうち、PelaFlex TS にはハイブリッド型と同様、設置上の制約がある。水深 80m を超える海域に設置するには、適切な設置手段の開発、または傭船料が高額な半潜水型クレーン付き台船の使用に依存することになる。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 42 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

残る 2 件の FOW コンセプトである Ocean Breeze と Trivane Trimaran は、いずれも原理的には北海の気象・海象条件に適用可能である。しかし、Ocean Breeze が TRL3 に留まっているのに対し、Trivane は TRL5 に到達しており、T&I の点でも優位にある。なわち、Trivane は曳航中も安定性を保つため、カタナリー係留への一般的な接続が可能であるのに対し、Ocean Breeze は曳航中の安定性確保に一時的に浮力体を必要とし、さらに、TLP 設計特有の複雑な接続作業を伴う。こうした T&I に関する課題が、北海海域条件において TLP 型が上位 15 コンセプトに一つも入らなかった要因の一つとなっている。

なお、Trivane Trimaran のように、カタナリー係留またはセミトート係留を採用する浮体式システムは、原則として、浮体本体の設計に最小限の変更を加えるだけで QCDC (Quick Connect/Disconnect Couplings) 方式にも適応可能である点も注目に値する。QCDC 方式は、R2P 時の接続・切り離し時間を短縮するだけでなく、電力ケーブルの接続・切り離しにも適用可能である。

さらに複数の FOW コンセプトとの一体化が可能な汎用型 QCDC システムが開発されれば、プロジェクトのコスト低減に寄与するとともに、英国における新たなエンジニアリング・製造の商機創出にもつながる可能性がある。

7.4.1 英国拠点コンセプトの商用化加速のための取り組み

OpenWater Renewables 社は、商用風力発電所の開発に際しては、TRL7 に達したコンセプトを採用することを強く推奨する。これは、TRL7 に達していなければ、技術的リスクが十分に低減されておらず、また過去の知見が商用規模のユニットに反映されていない可能性があるためである。しかし現時点では、英国拠点コンセプトは TRL3～5 の範囲にとどまっており、このうち、TRL5 に到達するまでに求められる主要活動を完了しているのは PelaFlex TS、PelaFlex GS、FTLP+、と Trivane Trimaran の 4 件のみである。

英国拠点コンセプトが商用風力発電所に採用されるためには、TRL7 に到達するよう開発を加速させることが不可欠である。付録 D に示すロードマップに基づき OpenWater Renewables 社が試算したところ、必要なリソースと実証試験海域が確保されている場合、TRL5 から TRL7 (実証機が 3 年間順調に運転されていること) へ進展するには 60～72 か月を要する。

英国拠点コンセプトの開発企業は、TRL5 に達した設計案を有していても、EPCI の経験値が企業ごとに大きく異なる。そのため、実証プロジェクトの遂行計画を策定する際に外部の支援を受けることが、目標期間内に TRL7 を確実に達成する可能性を高める。

ロードマップに従って開発を進めた場合、TRL7 を達成した後、TRL9 (商用風力発電所が 3 年間順調に運転されていること) へ進展するには、さらに 72～84 か月を要する。100 MW 規模の商用発電所の開発には、技術開発企業の経営資源を超える規模の資金と EPCI 実績が必要になるが、これらは風力発電所のプロジェクト開発企業によって補完されると想定される。

商用化を目指して TRL5 から TRL9 へ進展させるために必要な期間は、11 年から 13 年と試算される。ただしこれは、開発が段階的に進められ、TRL7 の期間が終了する前に TRL8 の準備 (設計、契約、許認可、各種手続きなど) が完了し、TRL7 の達成後直ちに TRL8 の諸活動が開始されることが前提となる。

前節で提案した FEED レベルの設計コンペティションを実施すれば、各コンセプトの開発に必要な期間をより正確に評価できるとともに、技術開発企業が少なくとも TRL7 を達成するために必要となる支援を明確化できる。支援策としては、資金援助、ロードマップ内の諸活動を完了するための技術的・プロジェクト遂行上の情報提供、実証試験海域の提供、許認可、各種手続きにおける支援などが挙げられる。

ハイブリッド型コンセプトと PelaFlex TS については、洋上で WTG を設置するための手段が開発されない限り、水深 80m を超える海域で TRL6 以上に到達することはできない。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 43 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

8.0 結論

本調査から得られた主な結論は以下の通りである。

本研究のデータ収集基準日である 2026 年 2 月 28 日の時点で、OpenWater Renewables 社のデータベースには 117 件の FOW コンセプトと 6 件のハイブリッド型コンセプトの詳細が登録されていた。すなわち、2025 年の調査以降、16 件のコンセプトが新たに登録されたことになる。^[1]

2025 年の調査で使用された、OpenWater Renewables 社が提案した TRL マトリクスが今回も再び用いられ、ロードマップ(付録 D 参照)とともにさらに拡充された。新たに登録されたコンセプトの TRL は TRL4~5 の範囲にあり、商用規模の発電所に関連する TRL8 または 9 と評価されたコンセプトは依然として存在しない。

架空の北海海域を対象とした順位付けを再度実施した結果、FOW の上位 15 位が更新された。内訳は、鋼製 8 件、コンクリート製 6 件、そしてコンクリート製浮体基礎と鋼製タレット係留システムを組み合わせたハイブリッド型 1 件である。

今回の評価により、2025 年時点の上位群から 6 件が入れ替わった。新たにコンクリート製バージ型が 3 件加わり、そのうち 2 件は新発表のコンセプト、1 件は追加開発によって評価を向上したものである。同様に、鋼製セミサブ型も新たに 3 件が上位 15 位に入ったが、これらはいずれも新発表のコンセプトものである。

TLP は、北海海域条件における設置手順が複雑であることから、上位には含まれていない。また、大吃水スパー型についても、英国国内に大水深に対応した建設港湾が存在しないため、今回も最終候補から除外された。

ハイブリッド型の大水深向けコンセプトについては、6 件が現在活発に開発を進めていると評価された。このうち 4 件は鋼製であり、支線式タワーが 2 件、支線式モノパイルが 1 件、浮力タワーが 1 件である。残る 2 件はコンクリート製であり、関節式カラムが 1 件、自沈設置式 GBS が 1 件である。これらハイブリッド型コンセプトの大半は、本調査の BOD が規定する水深 150m 以上の海域では適用不能という水深制約を有している。

さらに、いずれのコンセプトについても、水深 80m を超える海域で運用可能な超大水深対応自己昇降式 WTIV が現時点では存在しないため、同水深を超える海域での WTG を設置することができない。非常に大型の半潜水型起重機船は利用可能であるものの、傭船料が極めて高額になることが予想されるうえ、北海海域では繊細な WTG 設置作業中に気象に起因する長期のダウンタイムが発生するリスクがある。

また、ハイブリッド型コンセプトが有するとされる CAPEX 上の優位性についても、その一部は、自動製造設備や大水深設置船の実現に向けた、リスクを伴う将来投資の有無に依存している。ハイブリッド型はいずれも依然としてコンセプト段階にあるため、コスト削減効果については限定的な評価にとどめている。さらに、一部の FOW コンセプトについては、将来的な設計の洗練や製造工程の高度化によってコストが低下する可能性が高い。

以上の理由から、前述の 6 件のハイブリッド型コンセプトはいずれも上位 15 位に含まれていない。ただし、中水深海域 (60m~80m) を対象として評価した場合には、これらの一部が高い評価を得る可能性はある。

FOW システムとハイブリッド型システムの一般的な強みと課題を、以下の図 8.1 に示す。

	CAPEX *	OPEX	LCOE	WTG 設置 の容易さ	設置 の容易さ	O&M の容易さ	信頼性	性能	大規模修 理の容易さ	TRL/リスク	例(TRL)
コンクリート製 バージ型	100%										BW Ideol Damping Pool (7), Aker CONFloat Omega (5), Aker CONFloat 7C (5), Brezo Energy CROWN FW (5), Sevan SWACH Wind (5)
鋼・コンクリート ハイブリッドバ ージ型	110%										Saitec SATH (6)
鋼製セミサブ型	105~ 115%										PPI WindFloat-T (7), Saipem Star-1 (5), Aker YFloat (5), Seatrrium FWSS (5), JMU Jade Wind Centre (5), PPI Wind Float FC (5), Gusto TriFloater (5), Odjell Oceanwind Deepsea Star (5)
コンクリート製 セミサブ型	100%										Bouygues OO-Star (5)
ハイブリッド型 支線式タワー	95~100%										OSI FTLP+ (5), MPS Pelaflex GS (5), Entron FRP (5)
*コンクリート製バージ型浮体のケースとの比較で、プロジェクト全体の CAPEX の概算値											凡 例
											良 好
											中 程 度
											低 い

図 8-1: 浮体式コンセプトの一般的な強みと課題

本調査では英国拠点システムを 10 件認定しており、そのうち 7 件は現在、活発に活動が進められている(ハイブリッド型 4 件、FOW 式 3 件)。これには、上述のハイブリッド型コンセプト 4 件(支線式タワー 2 件、関節式コラム 1 件、自沈設置式 GBS1 件)、と FOW コンセプト 3 件(鋼製 TLP 型 2 件、ハイブリッドセミサブ型 1 件)が含まれる。これらのコンセプトの現時点の TRL は 3~5 の範囲であるが、その評価をさらに向上させるための推奨事項を以下に示す。

9.0 推奨事項

9.1 英国拠点のコンセプトを同一条件で詳細に比較するため、T&I、英国国内調達比率、ライフサイクルコスト分析を含む FEED レベルの設計コンペティションを実施すること。コンペティションへの参加候補として以下のコンセプトが想定される。

- AWC Tech AWC
- OSI FTLP+
- Ocean Resources Ocean Breeze
- MPS PelaFlex GS
- MPS PelaFlex TS
- Trivane Trimaran
- Trivane Tower

9.2 まだプロトタイプ機や実証機の段階に達していないものの、有望と考えられる FOW コンセプトについては、その TRL 向上を加速させること。これらのコンセプトの英国国内調達比率が高いことを証明できれば、上記の設計コンペティションの候補として検討され得る。候補としては以下の 12 のコンセプトが想定され、いずれも架空の北海海域プロジェクトにおける候補群に含まれている。

- Bouygues OO-Star
- Aker CONFloat Omega
- Saipem Star-1
- Aker CONFloat 7C
- Aker Yfloat
- Brezo Energy CROWN FW
- Seatrrium FWSS
- JMU JADE Wind - Centre
- PPI WindFloat FC
- Gusto TriFloater
- Sevan SWACH Wind

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 45 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

▪ Odfjell Oceanwind Deepsea Star

9.3 上記の設計コンペティションの結果、将来の実用化に最も近いと判断されたコンセプトについて、複数の実証機を製造し、試験を実施すること。試験は、専用の試験・実証海域、または商用風力発電所の一部（もしくはその周辺海域）で実施することが可能である。

9.4 先端製造技術の開発によって改善が見込まれる、大水深向け洋上風力発電設備に共通する詳細仕様と建設手法について検証すること。また、業界の意思決定を支援するため、得られた結論は公開されることが望ましい。

9.5 鋼製とコンクリート製の大水深向けユニットについて、英国の製造能力について調査し、阻害要因とサプライチェーンにおいて技能人材の開発を加速すべき領域を明確にすること。また、業界の意思決定を支援するため、得られた結論は公開されることが望ましい。

9.6 水深 80m を超える海域に対応可能で、かつ提案されているハイブリッド型コンセプトのすべて、または大部分に適した設置手法について検証すること。その際、複数のハイブリッド型コンセプトの WTG 設置に適用可能な十分な汎用性を持つ手法を開発することを目標とすることが望ましい。

9.7 英国の国内調達比率やサプライチェーン活用の向上を前提とし、水深 80m を超える海域でのハイブリッド型構造物の設置に使用可能な船団のコンセプトを開発すること。

9.8 ケルト海における発電設備設置に関して、ハイブリッド型システムと FOW システムの T&I に要する時間とコストの比較調査を実施すること。

9.9 大水深向け構造物の経年に伴う OPEX の長期的な上昇傾向について調査するとともに、コンクリート製構造物と鋼鉄構造物の OPEX の差を明確化すること。さらに、設計変更により O&M 作業を削減することで得られると想定される利点についても検証することが望ましい。

9.10 浮体の動揺が WTG の信頼性に与える影響について、追加調査を実施すること。

9.11 浮体設計の変更を最小限に抑えつつ、FOW ユニットに装備可能な係留ラインとアレイケーブル用の QCDC システムの開発を加速させること。

9.12 大水深向け洋上風力発電プロジェクトに関し、TRL の業界標準を定義するとともに、その実現に向けたロードマップを策定すること。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 46 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

10.0 用語

AEP	Annual Energy Production	年間発電電力量
AHV	Anchor Handling Vessel	アンカーハンドリング船
BOD	Basis of Design	設計基準
BT	Buoyant Tower	浮体式タワー
CAPEX	Capital Expenditure	資本費
CFD	Contract for Difference	差金決済契約
CRL	Commercial Readiness Level	商業的成熟度(定義は付録 C を参照)
CTV	Crew Transfer Vessel	作業員輸送船
EPCI	Engineering, Procurement, Construction, and Installation	設計・調達・建設・据付
FID	Final Investment Decision	最終投資決定
FOW	Floating Offshore Wind	浮体式洋上風力発電
GBS	Gravity-Based System	重力式基礎構造物
HLV	Heavy Lift (Crane) Vessel	大型起重機船
Hs	Significant Wave Height	有義波高
I&C	Integration and Commissioning	組立てと試運転
IRM	Inspection, Repair and Maintenance	点検・修理・保守
LCOE	Levelised Cost of Energy	均等化発電原価
MCR	Major Component Replacement	主要コンポーネント交換
MRL	Manufacturing Readiness Level	製造成熟度
MTBF	Mean Time Between Failures	平均故障間隔
MTTR	Mean Time to Repair	平均修復時間
OEM	Original Equipment Manufacturer	風車メーカー
OPEX	Operational Expenditure	運転保守費
OWRL	OpenWater Renewables Ltd	OpenWater Renewables 社(企業名)
O&G	Oil and Gas	石油・ガス分野
PEP	Project Execution Plan	プロジェクト遂行計画
PWF	Project Weighting Factors	プロジェクトの重み付け係数
QCDC	Quick Connect and Disconnect	急速着脱
RAO	Response Amplitude Operator	応答振幅関数
R2P	Return to Port repair strategy	港湾帰還式修理戦略
SCF	Suction Caisson Foundation	サクシオンケーソン基礎
SOV	Service Operations Vessel	風車建設・メンテナンス専用船
SPAR	Single Point Anchor Reservoir	スパー型
SPM	Single Point Mooring	一点係留
TLB	Technology Leadership Board	テクノロジーリーダーシップボード
TLP	Tension Leg Platform	テンションレグプラットフォーム
TRL	Technology Readiness Level	技術成熟度(定義は付録 C を参照)
T&I	Transportation and Installation	輸送・据付
W2W	Walk to Work	ウォーク・トゥ・ワーク
WTG	Wind Turbine Generator	風力発電機
WTIV	Wind Turbine Installation Vessel	洋上風車施工船
WOW	Waiting on Weather	天候待ち

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 47 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

11.0 参考文献

- [1] Assessment of Floating Wind Turbine Foundations for North Sea Conditions, <https://www.the-tlb.com/tlb-news/concrete-comes-out-on-top-in-floating-wind-turbine-foundations-study>
- [2] Department for Business, Energy & Industrial Strategy, OGUK, North Sea Transition Deal, March 2021.
- [3] RenewableUK, Floating Offshore Wind Taskforce: Industry Roadmap 2040, Building UK Port Infrastructure to Unlock the Floating Wind Opportunity, Renewables UK, March 2023
- [4] Carbon Trust Floating Wind JIP, Phase V Summary Report, March 2024
- [5] OTC-35779-MS, A Method for Comparing and Ranking Floating Offshore Wind Foundation Concepts, M. Wyllie and A. Newport OpenWater Renewables Ltd, OTC Conference 2025
- [6] <https://ore.catapult.org.uk/resource-hub/blog/at-a-crosswind-could-hybrid-substructures-redefine-floating-offshore-wind-in-the-uk>
- [7] <https://www.saipem.com/en/saipem-worldwide-projects/fecamp-offshore-wind-farm>
- [8] https://gropedia.com/page/vindeby_offshore_wind_farm
- [9] Floating Wind: Anchoring the next generation offshore, October 2024, UK FLOW Task Force
- [10] Carbon Trust Floating Wind JIP, Large Static Pitch Angles (LPSA), March 2025
- [11] <https://www.bouygues-construction.com/en/activities/energy/offshore-wind-farms/fecamp-offshore-wind-farm>
- [12] https://thisisukconcrete.co.uk/TIC/media/root/Resources/MPA-UKC-Roadmap-to-Beyond-Net-Zero_October-2020.pdf

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 48 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

付録 A – 設計基準

 	文書番号:	TLB2601 - RP01	ページ番号: 49 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev:A4
			2026 年 6 月 10 日

		TLB2601 - FOW 順位付報告書 データシート	
データシート DS01		審査用: 第1版	担当者名: 1/1 枚
表題: 評価前提条件			
	評 価 項 目	単 位	デ ー タ
1	FOW 設置海域		北海またはケルト海
2	容量	MW	750
3	風車出力	MW	15
4	風車基数		50
5			
6	水深	m	100~150
7	海底地盤条件		ドラッグアンカーまたはサクシオンアンカーに適する
8			
9	離岸距離	km	80~120
10	基地港からの距離	km	125
11	O&M 港からの距離	km	125
12	港湾水深	m	最低 12m(低潮時)
13			
14	運転開始日		2030 年~2035 年
15	施工スケジュール		1 または 2 シーズンの夏季期間中に設置
16	運転寿命	年	25~30
17	基礎素材		未定(コンクリート、鋼、またはハイブリッド)
18	防食塗装		設計寿命期間中の再塗装の必要がないことが確実なもの
19			
20	係留の冗長性		なし(安定性のために必要な場合を除く)
21	アクセス性		CTV、SOV からの W2W と、最低限ナセルへのヘリコプター降下
22	資材仮置場		SOV からコンテナを少なくとも 1 個積載可能な空間
23			
24	契約形態		EPCI
25	現地調達比率要件	%	ライフサイクル全体で最低 50%の英国内支出(CAPEX + 6 年分の OPEX)
26	モジュール製造ヤード		特定せず(25 の現地調達比率要件を満たすことが条件)
27	組立・試運転ヤード		英国の港湾
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 50 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

付録 B – 順位付けの手法

 	文書番号:	TLB2601 - RP01	ページ番号: 51 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

コンセプトの順位付けは、以下の図 B-1 に示す手順に従って行った。

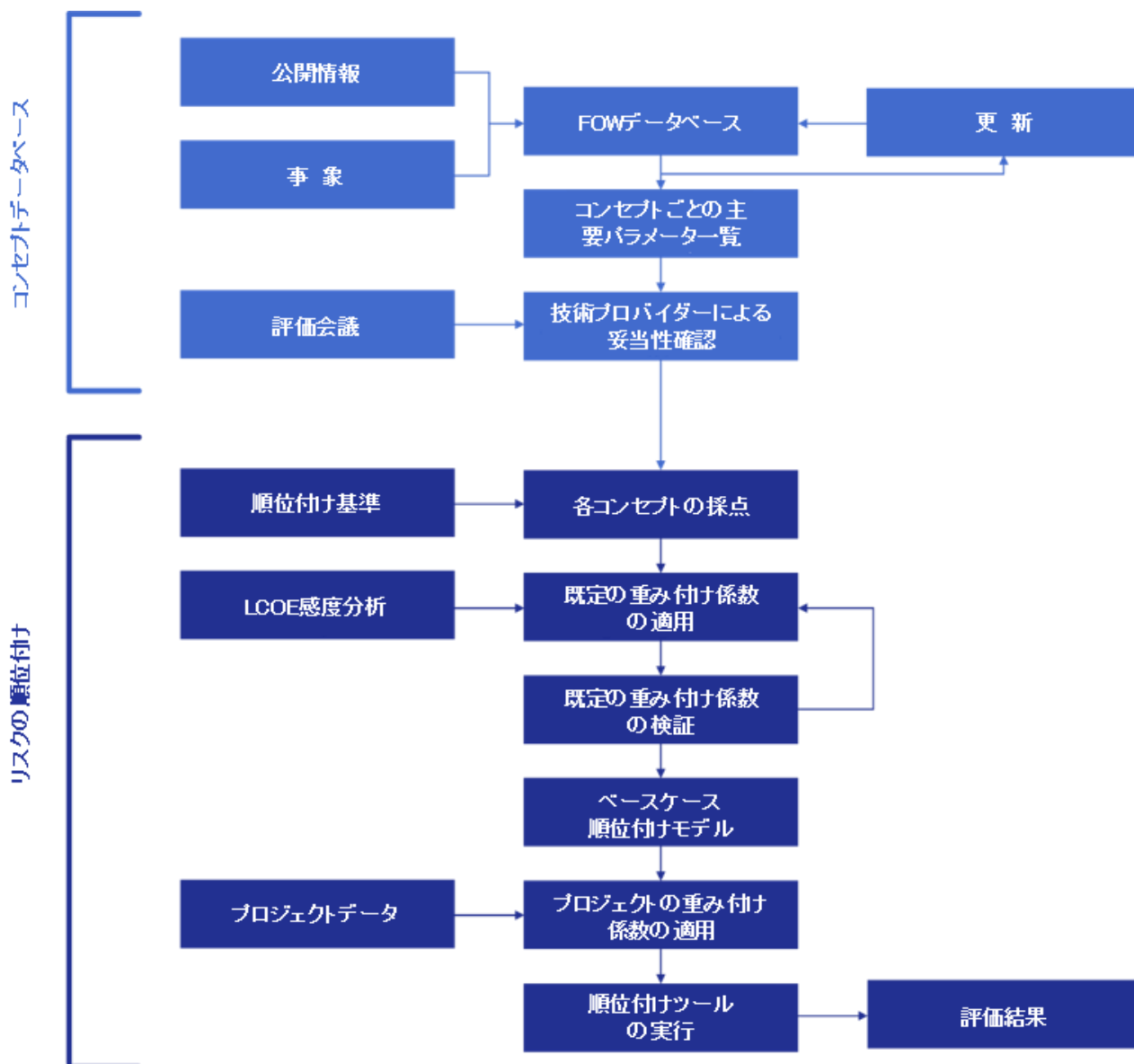


図 B-1: FOW コンセプト評価の流れ

FOW データベースに収録された各コンセプトのデータを基に、評価ツール「FOW_RANK」を用いて各コンセプトの特徴をまとめた評価プロファイルを作成した。評価プロファイルの作成のために、39 の基準に従って各コンセプトを体系的に評価した。これらの基準は、設計、建設、設置、O&M、プロジェクト管理及びリスクの分野において豊富な経験を有するチームの主導により開催したワークショップを通じて策定されたものである。

基準は、以下の 7 項目に分類される。

- CAPEX (建設資材、製造の容易さ、輸送、組立ての容易さ、係留システムの構成、国内調達機会など)
- OPEX (パラストシステムの必要性、大型機械系コンポーネントへの依存度、表面塗装、点検・保守チームのアクセス性など)
- 設置の容易さ (曳航要件、仮設設備の必要性、洋上重量物揚重作業の要件など)
- 大規模補修の容易さ (切り離し、再接続、安定性付与及び曳航要件など)
- 性能 (ナセル動揺の程度、トリム・ヨー制御の可否など)
- リスク (TRL、CRL、技術プロバイダーの財務基盤など)

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 52 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

- EPCI(技術プロバイダーの施工実績と強み、製造ヤードとの既存の提携関係、工程上の制約など)

各評価基準がプロジェクトの LCOE やリスクプロファイルに与える影響の程度は、それぞれ異なる。これを反映するため、各コンセプトの総合点を算出するに当たっては、個別の評点に対して重み付け係数を適用し、その上で合算する。FOW_RANK では、「既定の重み付け係数」及び「プロジェクトの重み付け係数(PWF)」の 2 種類を使用しており、その詳細は以下のとおりである。

既定の重み付け係数

既定の重み付け係数は、各基準が LCOE とリスクプロファイルに与える影響について実施した感度分析の結果を主な根拠として、各基準に適用される。さらに、評価項目間の相対的な影響度が過度に偏らないよう、評価項目ごとの重み付け係数が調整されている。既定の重み付け係数は、OpenWater Renewables 社が実施するすべての順位付け調査において一定である。

プロジェクトの重み付け係数(PWF)

既定の重み付け係数は、サイト固有の課題やプロジェクト開発業者が抱える特定の懸念事項を反映した「プロジェクトの重み付け係数(PWF)」によって補完される場合がある。北海に関する調査においては、PWF は OpenWater Renewables 社と TLB NST 作業部会が共同で開催したワークショップを通じて決定されており、その経緯及び詳細は本報告書の第 5.1 節に記述されている。また、FOW_RANK に関する詳細な情報は、2025 年の海洋開発技術会議・展示会(OTC)で発表された論文 [5] に掲載されている。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 53 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

付録 C – TRL の定義

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 54 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev:A4
			2026 年 6 月 10 日

TRL	欧州連合による評価基準 (Horizon 2020)	NASA による現行 評価基準	DNV による FOW 向け評価基準	Carbon Trust に よる FOW 向け評 価基準	OWRL による FOW 向け評 価基準
9	実際のシステムが実用環境で実証済みである（主要な基盤技術の場合は、競争的な製造環境、または宇宙空間で実証）。	実際のシステムが、実ミッション飛行の成功を通じて「飛行実証済み」である。	浮体式風車が、大規模な製造・設置に対応可能な状態にある。	商用プロジェクト(50 MW 超)が進行中である。	最小出力 100 MW の風車を備えた商用機が、洋上での 3 年間の運転を問題なく完了している。
8	システムが完成し、適合性認証を取得している。	実際のシステムが完成し、試験と実証を通じて「飛行適合性」を取得している。	浮体設計などのコンポーネントが、浮体式風車との一体化可能な状態にある。風車設計が適合性認証を取得している。	パイロットアレイ(20 ~50 MW)が運転中である。	最小出力 100 MW の風車を備えた商用機が、洋上に設置され、運転中である。
7	プロトタイプ機が実運用環境において実証されている。	システム実証機が宇宙環境において実証されている。	風車または風力発電設備のプロトタイプ機が洋上の現場に設置され、運転中である。	5 MW 超の実証機が運転中である。	最小出力 1 MW の風車を備えた実証機が、洋上での 3 年間の運転を問題なく完了している。
6	技術が関連する環境で実証されている（主要な基盤技術の場合は、産業上関連する環境における実証）。	システムまたはサブシステムのモデルやプロトタイプ機が、実運用環境で実証されている。	特定の用途向けに設計された試作風車である。	1~5 MW の実証機が運転中である。	最小出力 1 MW の風車を備えた実証機が、洋上に設置され、運転中である。
5	技術の妥当性が関連する環境で確認されている（主要な基盤技術の場合、産業上関連する環境での妥当性確認）。	コンポーネントやレッドボードの妥当性が、関連環境で確認されている。	コンポーネントや風車の設計が検証されている。	縮尺モデル試験(1 MW 未満)が完了している。	対象洋上環境向けの実証機の詳細設計が完了している（風車出力は最小で 1MW）。
4	技術の妥当性が研究室環境で確認されている。	コンポーネントやレッドボードの妥当性が、研究室環境で確認されている。	コンセプト設計が研究室試験により確認されている。	水槽試験が完了している。	水槽試験が正常に完了している。
3	コンセプトが実験的に実証されている。	重要な機能・特性に、分析と実験によりコンセプト実証されている。	コンセプトが実現可能である。	数値モデル化が完了している。	CFD、空力流体力連成解析、FEA などの解析的検討を通じて、コンセプトの検証が完了している。
2	技術コンセプトが明確化されている。	技術コンセプトやその用途が明確化されている。	未定義	コンセプト実証が完了している。	プラットフォーム構成のコンセプト設計図が作成され、基本計算により妥当性が確認されている。
1	基本原理が確認されている。	基本原理が確認され、報告されている。	未定義	初期コンセプトが示されている。	安定性、位置保持、主要システムに関する基本的なコンセプトが明確化されている。

表 C-1: 各評価主体による FOW の TRL の定義

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 55 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

付録 D – TRL ロードマップ



 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 57 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

付録 E – プロジェクトの重み付け係数

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 58 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

評価基準群	評価基準項目	PWF
CAPEX	風車組立後喫水	2
	現地調達の可能性	2
設置	設置の容易性	4
	仮設浮力体の使用の有無	4
	仮設ウインチの使用の有無	4
	必要となる洋上作業船の要件	4
	曳航コスト	4
	アクセス性	2
OPEX	アクセス性	2
性能	ナセルの動揺特性	2
修理	切り離しの容易性	3
	資材仮置場の確保	2
リスク	TRL	3
	企業の財務基盤	3
EPCI	エンジニアリング力	3
	プロジェクト遂行能力	3

表 E-1: 北海調査におけるプロジェクトの重み付け係数

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 59 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

付録 F – 各ハイブリッド型コンセプトの概要

 	文書番号:	TLB2601 - RP01	ページ番号: 60 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

Articulated Wind Column (AWC)



技術開発企業名 本部所在地 形式

AWC Tech 社
コバム、英国
ハイブリッド型 - 関節式浮力カラム型

構造材

- コンクリート製カラム
- 鋳造製関節部 (カルダンジョイント)
- コンクリート製重力式基礎 (砂、碎石、または鉄鉱石 パラスト)

採用技術

北海油田原油積み出しタワー、一点係留方式 (SALMs)

主要特性

- ポリマーベアリングを備えた鋼製関節部 (カルダンジョイント) により、浮力カラムと重力式基礎を接続
- 基部の関節構造によりカラムに追従性を付与
- カラムはスリップフォーム工法により5分割して製作。組立て後にポストテンションを施す。

製造工程

- 鉄筋コンクリート製重力式基礎は、パラスト材投入用の中空構造として製作する。
- 水平状態の浮力カラムと台船上に支持された重力式基礎を結合する。

岸壁係留時喫水 適応水深限界

非該当 (基礎は台船に積載/浮力カラムは水平浮遊状態)

TRL

90 - 200m

英国国内調達項目

4

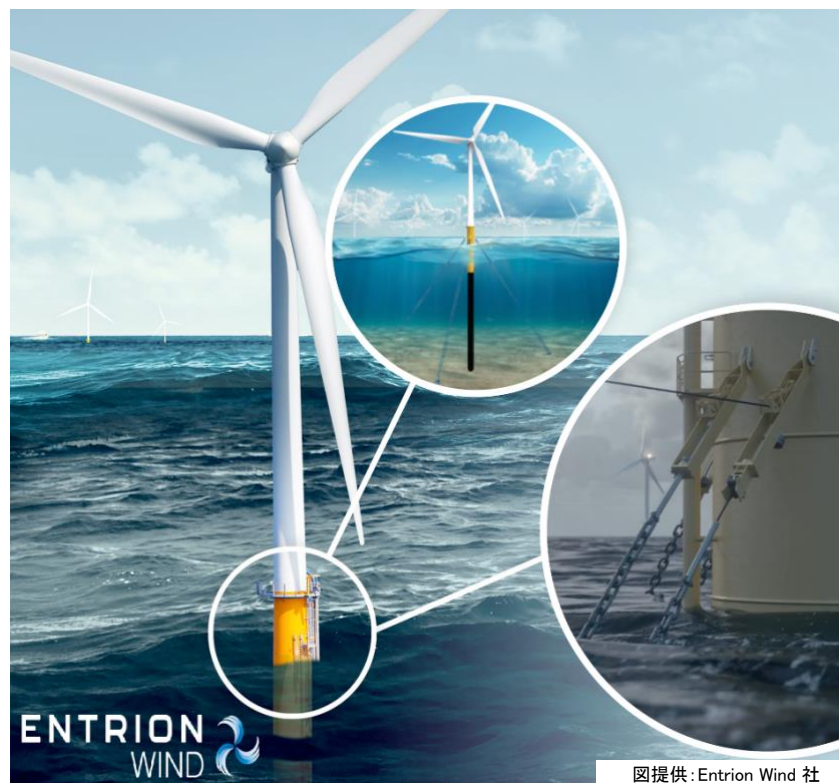
すべて国内調達可能、ただし、鋳造製関節部のサプライヤーは1社のみ

設置工程

- ユニット全体 (カラム、関節部、重力式基礎) を、カラムを水平浮遊させた状態で、AHV2 隻によりサイトへ曳航する。
- 重力式基礎のセルに海水を注入し、カラムを鉛直に起立させた後、基礎にパラスト材を投入する。
- 自己昇降式起重機船を用いて洋上で風車を組み立てる。

 	文書番号:	TLB2601 - RP01	ページ番号: 61 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

Fully Restrained Platform (FRP)



図提供: Entrion Wind 社

技術開発企業名	Entrion Wind 社
本部所在地	テキサス州ヒューストン(米国)
形式	ハイブリッド型 - 支線式タワー
構造材	- 円筒形鋼製カラム - 鋼製ロープテンドン(頂部にチェーン部を配置)
採用技術	O&G 分野の係留システム
主要特性	- 中央カラム部材による風車支持(モノパイル相当) - テンドンによる水平方向の安定性確保 - 上部係留アセンブリの、標準的なトランジションピースへの接合 - 油圧システムによるテンドンへの初期張力付与
製造工程	カラムとトランジションピースを事前製作し、マーシャリングヤードへ輸送する。
岸壁係留時喫水	非該当(基礎は台船に積載)
適応水深限界	60 - 120m
TRL	5
英国国内調達項目	すべて国内調達可能、ただし、モノパイル製造能力に依存
設置工程	- 着床式洋上風力発電設備と同様の船舶を用いて設置する。 - 自己昇降式起重機船を用いて洋上で風車を組み立てる。

 	文書番号:	TLB2601 - RP01	ページ番号: 62 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev:A4
			2026 年 6 月 10 日

PelaFlex GS



図提供:MPS 社

Technology Developer	Marine Power Systems 社
本部所在地	スウォンジー(英国)
形式	ハイブリッド型 - 支線式タワー
構造材	- 鋼製トラスカラム - ワイヤーロープ製テンドン - カラム基部フレキシブルジョイント
採用技術	O&G 分野の係留システム
主要特性	- 中央カラム部材による風車支持 - テンドンによる水平方向の安定性確保 - テンドンへの初期張力付与用独自緊張装置
製造工程	工場で完成させた鋼製カラムを、基地港へ輸送する。
岸壁係留時喫水	非該当(基礎は台船に積載)
適応水深限界	60 - 130m
TRL	5
英国国内調達項目	すべて国内調達可能
設置工程	- カラム、テンドン基部及びパイルを事前に設置する。 - カラム脚部とテンドンを、基部アンカー一点に接続する。 - 専用の緊張装置を用いてテンドンに初期張力を付与する。 - 自己昇降式起重機船を用いて洋上で風車を組み立てる。

 	文書番号:	TLB2601 - RP01	ページ番号: 63 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

FTLP+



技術開発企業名	Oil States Industries (UK) 社
本部所在地	アバディーン(英国)
形式	ハイブリッド型 - 支線式タワー
構造材	- 鋼製スペースフレームカラム - 鋼管テンドン
採用技術	テンションレグプラットフォーム
主要特性	- 中央カラム材による風車支持 - テンドンによる水平方向の安定性確保 - 油圧式プリテンションシステムによるテンドンへの水平張力付与 - テンドン基部への OSI 製フレックスジョイントの配置による屈曲の許容
製造工程	- OSI UK または下請業者が鋼製カラムを製造する。 - カラムを陸上輸送により組立ヤードへ搬入する。 - テンドンセクションを OSI Merlin コネクタで接合する。
岸壁係留時喫水(風車搭載時)	非該当(基礎は台船に積載)
適応水深限界	80 - 150m
TRL	5
英国国内調達項目	すべて国内調達可能
設置工程	- カラム、テンドン基部、及びパイルを事前に設置する。 - ラッチを用いて4本のカラム脚部とテンドンを基部アンカー一点に接続する。 - 油圧式システムによりテンドンに初期張力を付与する(WTG を未搭載の状態でも、単独のカラムとして安全に人員がアクセス可能)。 - 自己昇降式起重機船を用いて洋上で風車を組み立てる。

 	文書番号:	TLB2601 - RP01	ページ番号: 64 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

Trivane Tower



図提供: Trivane 社

技術開発企業名	Trivane 社
本部所在地	ニューキー(英国)
形式	重力式コンクリート製タワー
構造材	▪ コンクリート製基部とタワー ▪ 基部底面のスカート
採用技術	O&G 重力式基礎 (GBS)
主要特性	▪ 鋼製スカートを備えたコンクリート製基礎(底盤)上にプレストレスコンクリート製タワーを構築
製造工程	▪ コンクリート製基礎を製造する。 ▪ 完成した基礎上で下部タワーをスリップフォーム施工する。 ▪ 深海域へ浮上移送し、仮係留地点でバラストにより沈設する。 ▪ 下部タワーのスリップフォーム施工を完了する。 ▪ WTG を設置 する(方法は開発中)。
岸壁係留時喫水(風車搭載時)	7m
適応水深限界	未定
TRL	3
英国国内調達項目	すべて国内調達可能
設置工程	アンカーライン及び係留ラインを事前に設置する。

 	文書番号:	TLB2601 - RP01	ページ番号: 65 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

w.BT



図提供: Wison New Energies 社

技術開発企業名	Wison New Energies 社
本部所在地	上海(中国)
形式	ハイブリッド型 - ハイブリッド スパー
構造材	- 鋼製カラム - 鋼製浮力室
採用技術	O&G 分野のコプライアントタワー
主要特性	- カラム上部に浮力室を備えたコンプライアントタワー - 基部にサクシヨンケーソンを一体化 - コラムとケーソンを剛結合
製造工程	鋼製コラムとサクシヨンケーソンを Wison New Energies 社のヤードで製作する。
岸壁係留時喫水	非該当(水平姿勢で曳航)
適応水深限界	80 - 200m
TRL	2
英国国内調達項目	製造は中国国内で実施
設置工程	- カラム構造物を水平姿勢で曳航する。 - ソフトタンクと中央浮力カラム下部に海水を注入し、構造物を立て起こす。 - ソフトタンクに高密度バラスト材を投入し、可変浮力タンクに海水を注入して SCF(サクシヨンケーソン基礎)を海底に貫入させる(必要に応じてサクシヨンを適用)。 - 静水面付近で起重機船を用いてナセルとブレードを設置し、状況に応じて可変バラストタンクをデバラストする。 - 中央浮力カラムをデバラストして風車タワーを引き上げ、油圧システムで所定位置に固定する。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 66 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

付録 G – 英国拠点の FOW コンセプトの概要

 	文書番号:	TLB2601 - RP01	ページ番号: 67 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

PelaFlex TS



技術開発企業名	Marine Power Systems 社
本部所在地	スウォンジー (英国)
形式	浮体式 - テンションレグプラットフォーム (TLP)
構造材	- 鋼製構造 - 鋼製ワイヤーロープテンドン
採用技術	O&G 分野の TLP 技術
主要特性	- 上部に鋼製トラスカラム - トラス直下に鋼製浮力室 - テンドン接続用の鋼製アウトリガー - テンドンの鉛直からのわずかな傾斜
製造工程	- プレファブリケーション方式により製作し、基地港に搬入する。 - 製造自動化の可能性あり。
岸壁係留時喫水 (風車搭載時)	非該当 (基礎は台船に積載)
適応水深限界	90 - 500m
TRL	5
英国国内調達項目	すべて国内調達可能
設置工程	- テンドンのアンカー点を事前に設置する。 - 台船で浮体基礎をサイトへ輸送する。 - 浮体基礎を立て起こして台船から降ろし、バラストにより沈設する。 - テンドンを接続する。 - 浮体全体をデバラストして、テンドンに所要の張力を付与する。

 	文書番号:	TLB2601 - RP01	ページ番号: 68 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

Ocean Breeze



技術開発企業名	Ocean Energy and Resources 社 (Ocean Resources 社)
本部所在地	ポーツキューイト (英国)
形式	浮体式 - テンションレグプラットフォーム (TLP)
構造材	- 鋼管フレームと浮力缶 - ワイヤーロープとチェーンテンドン
採用技術	Ocean Resources 社の独自テンションレグブイ技術、O&G 分野の TLP 技術
主要特性	- 中央浮力缶の周囲に 5 基の浮力缶を配置 - テンドン 5 本による冗長性確保 (4 本による安定性確保)
製造工程	- 陸上でモジュールを組み立てる。 - 岸壁で風車を組み立てる。
岸壁係留時喫水 (風車搭載時)	10m 未満
適応水深限界	未定
TRL	3
英国国内調達項目	すべて国内調達可能。
設置工程	- サクシオンパイルまたは重力式基礎を事前に設置する。 - 風車搭載状態で曳航する際の安定性確保のため、一時的に浮力を付与する。 - テンドン装置を用いて浮力缶を沈設し、テンドン接続が可能な状態にする。

 	文書番号:	TLB2601 - RP01	ページ番号: 69 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

Trivane Trimaran



図提供: Trivane 社

技術開発企業名	Trivane 社
本部所在地	ニューキー(英国)
形式	セミサブ型
構造材	■ コンクリート製ポンツーンとトランジションピース ■ コンクリートまたは鋼製後方浮体 ■ 鋼製前方浮体 ■ 鋼製タレット
採用技術	O&G 分野のセミサブ構造、FPU 用タレット
主要特性	■ タレット係留方式を採用した三胴船型セミサブ構造 ■ 係留ラインと送電ケーブルをタレットに集約する。浮体はタレットを中心に風見鶏のように回頭し、卓越する気象・海象条件に向きを合わせて保持する。
製造工程	■ 角形断面のプレストレス鉄筋コンクリート製ポンツーンを製作する。 ■ 円筒形状のタレット部を除き、鋼製セクションは補強平板で製作する。
岸壁係留時喫水(風車搭載時)	4m(基礎は台船に積載)
適応水深限界	未定
TRL	5
英国国内調達項目	すべて国内調達可能(スイベルは 米国 Moog 社製)
設置工程	アンカーライン及び係留ラインを事前に設置する。 AHV を用いて係留ラインを接続する。

 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 70 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

付録 H – 風力発電所の設置期間 – FWO の場合

 	文書番号:	TLB2601 - RP01	ページ番号: 71 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日



以下は、2026 年 2 月 25 日付で Scott Marine Consultants 社から OpenWater Renewables 社に提出された、参照 J2606 の報告書の抜粋である。本調査では、同社のソフトウェア「Cicada Express」を使用した。Cicada Express の詳細については、以下を参照されたい。

<https://www.scott-mc.com/operational-simulation>

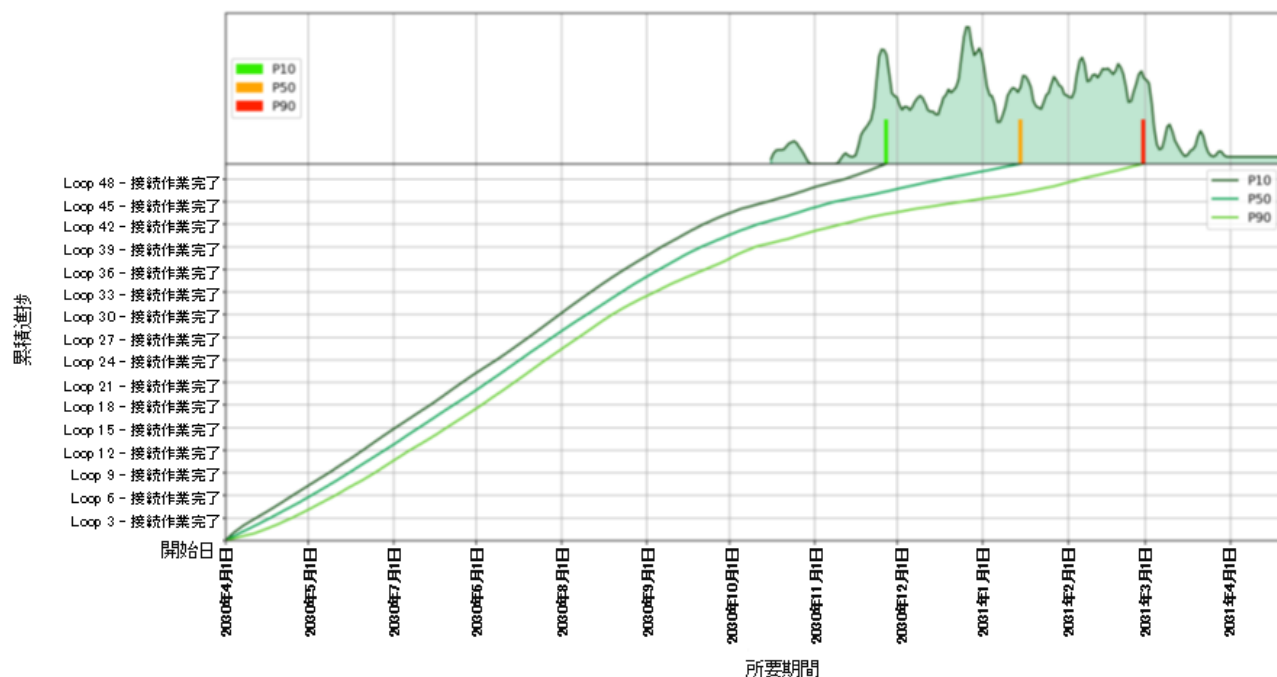
ケース 1 – 一般的なコンクリート製 FOW の設置

以下に主な調査結果の概要を示す。これらの結果は、報告書に概説されている手順に基づいて導き出されたものである。特に明記されていない限り、ここに引用されているすべての結果は以下に基づいている。

- 1979 年 1 月 1 日 00:00:00 から 2023 年 4 月 6 日 00:00:00 の間に開始されたシミュレーション用の過去のハインドキャストデータ
- シミュレーション回数: 64,665 回
- 作業開始日: 2030 年 4 月 1 日

2030 年 4 月 1 日 ± 14 日を開始日とした、気象影響を考慮に入れたプログラムの所要期間を、図 5 の S 曲線及び表 3 に、P10、P50、及び P90 のシナリオごとに示す。なお、明確化のため、S 曲線には依頼者が指定した作業のみが対象として示されている。

S 曲線の上側に示されているのはシミュレーションの実行分布であり、シミュレーション全体における完了日の出現頻度が示されている。密度の高い領域は、その日に完了したシミュレーションの回数が多いことを、密度の低い領域は完了した回数が少ないことをそれぞれ表している。表 3 に示された結果については、第 4.2 節に記載されているとおり、本シミュレーションの実行分布と併せて解釈することを推奨する。



 	文書番号:	TLB2601 – RP01	ページ番号: 72 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日

付録 I – 風力発電所の設置期間 – ハイブリッド型コンセプトの場合

 	文書番号:	TLB2601 - RP01	ページ番号: 73 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日



以下は、2026 年 2 月 25 日付で Scott Marine Consultants 社から OpenWater Renewables 社に提出された、参照 J2606 の報告書の抜粋である。本調査では、同社のソフトウェア「Cicada Express」を使用した。Cicada Express の詳細については、以下を参照されたい。

<https://www.scott-mc.com/operational-simulation>

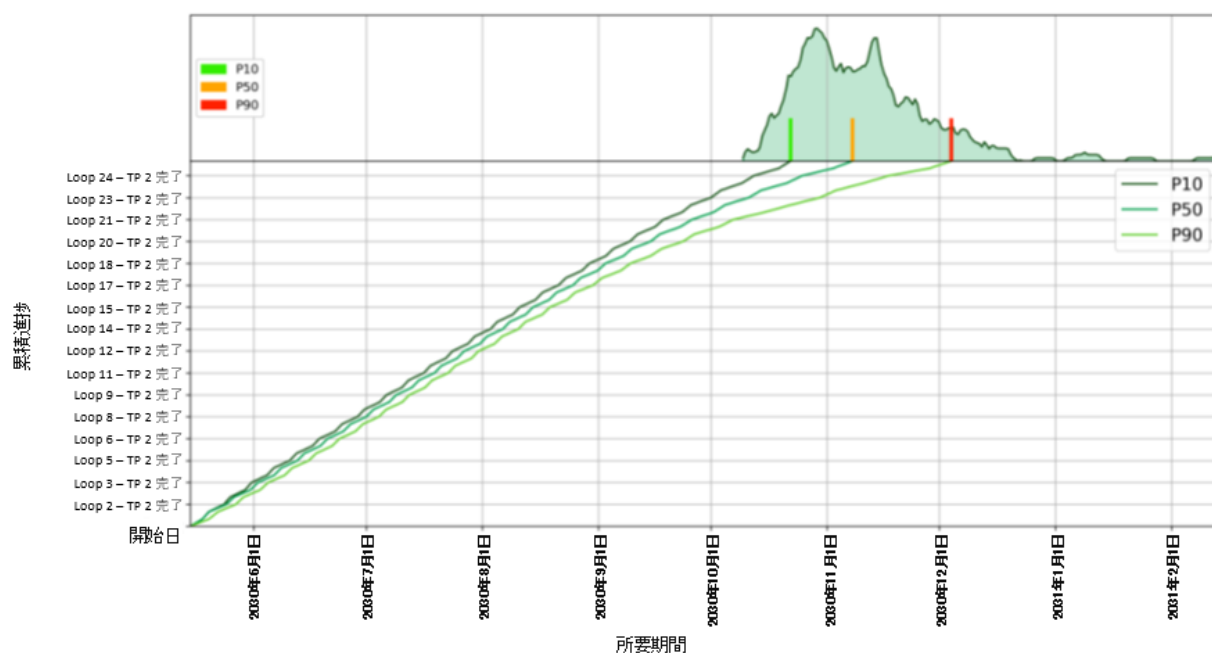
ケース 2a – 一般的な支線式タワーの基礎の設置

以下に主な調査結果の概要を示す。これらの結果は、報告書に概説されている手順に基づいて導き出されたものである。特に明記されていない限り、ここに引用されているすべての結果は以下に基づいている。

- 1979 年 1 月 1 日 00:00:00 から 2023 年 6 月 6 日 18:00:00 の間に開始されたシミュレーション用の過去のハインドキャストデータ
- シミュレーション回数: 64,912 回
- 作業開始日: 2030 年 5 月 15 日

2030 年 5 月 15 日 ± 14 日を開始日とした、気象影響を考慮に入れたプログラムの所要期間を、図 5 の S 曲線及び表 5 に、P10、P50、及び P90 のシナリオごとに示す。なお、明確化のため、S 曲線には依頼者が指定した作業のみが対象として示されている。

S 曲線の上側に示されているのはシミュレーションの実行分布であり、シミュレーション全体における完了日の出現頻度が示されている。密度の高い領域は、その日に完了したシミュレーションの回数が多いことを、密度の低い領域は完了した回数が少ないことをそれぞれ表している。表 5 に示された結果については、第 4.2 節に記載されているとおり、本シミュレーションの実行分布と併せて解釈することを推奨する。



 	文書番号:	TLB2601 - RP01	ページ番号: 74 / 74
	表題:	大水深向け洋上風力発電設備の評価	Rev: A4
			2026 年 6 月 10 日



ケース 2b – 一般的な支線式タワーの WTG の設置

以下に主な調査結果の概要を示す。これらの結果は、報告書に概説されている手順に基づいて導き出されたものである。特に明記されていない限り、ここに引用されているすべての結果は以下に基づいている。

- 1979 年 1 月 1 日 00:00:00 から 2023 年 7 月 9 日 18:00:00 の間に開始されたシミュレーション用の過去のハインドキャストデータ
- シミュレーション回数: 65,044 回
- 作業開始日: 2030 年 6 月 15 日

2030 年 6 月 15 日 ± 14 日を開始日とした、気象影響を考慮に入れたプログラムの所要期間を、図 5 の S 曲線及び表 4 に、P10、P50、及び P90 のシナリオごとに示す。なお、明確化のため、S 曲線には依頼者が指定した作業のみが対象として示されている。

S 曲線の上側に示されているのはシミュレーションの実行分布であり、シミュレーション全体における完了日の出現頻度が示されている。密度の高い領域は、その日に完了したシミュレーションの回数が多いことを、密度の低い領域は完了した回数が少ないことをそれぞれ表している。表 4 に示された結果については、第 4.2 節に記載されているとおり、本シミュレーションの実行分布と併せて解釈することを推奨する。

