

風力発電等技術研究開発/
洋上風力発電等技術研究開発/
次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究/
(浮体式洋上風力発電低コスト化技術開発) /
浮体式洋上風力発電低コスト化技術開発
に関する調査

(株) ClassNKコンサルティングサービス
(国) 東京大学

問い合わせ先
(株) ClassNKコンサルティングサービス
TEL:03-5226-2290
E-mail:f-hioki@classnk.or.jp

事業概要

1. 期間

開始 : 2020年9月

終了（予定） : 2022年3月

2. 最終目標

- (1) 洋上風力発電システムの低コスト化技術開発ロードマップの策定：洋上風力発電の低コスト化に資する技術課題および有望技術の抽出・整理を行い、それらの課題を解決するための、技術開発ロードマップを作成する。
- (2) Joint Industry Project（JIP）方式※による技術開発：浮体式洋上風力発電に対して、マーケットプル型の低コスト化技術開発に関する調査を行う。

3. 成果・進捗概要

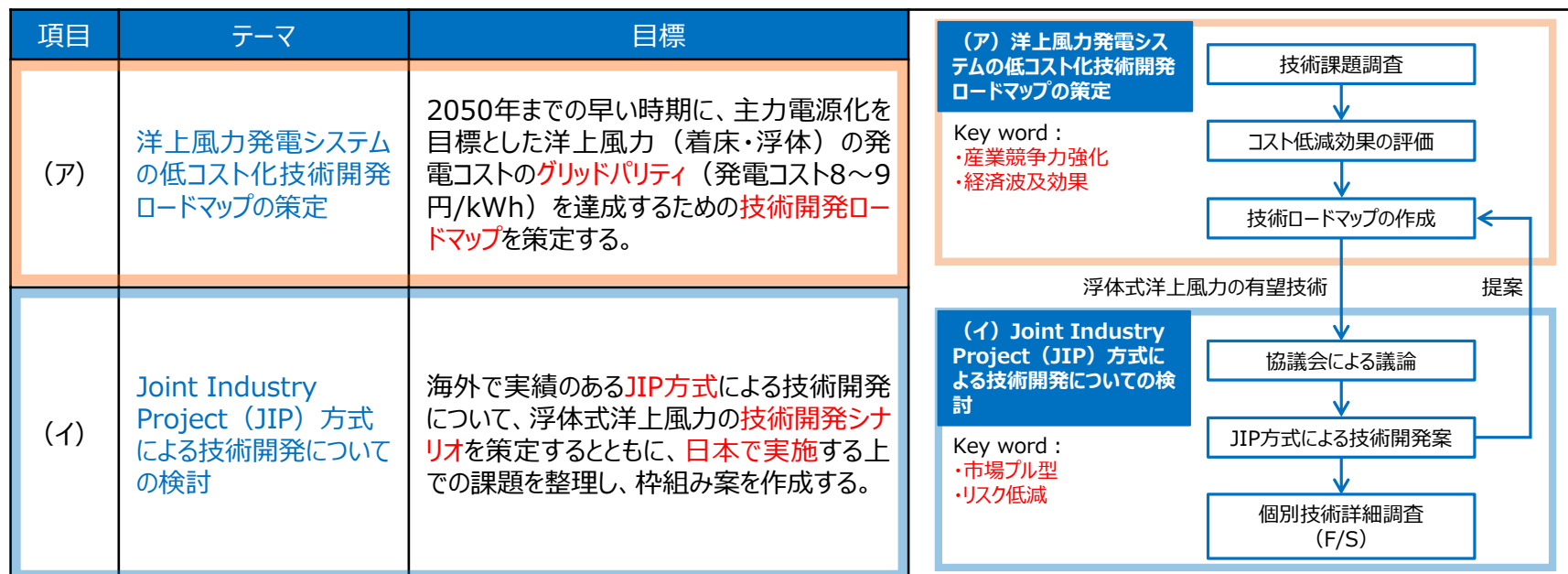
- (1) 洋上風力の技術開発ロードマップ案を作成した。
- (2) 浮体式洋上風力発電のJIP方式による技術開発について、事業者ニーズを検討し、個別技術の詳細調査を開始した。

※ Joint Industry Project（JIP）方式とは、発電事業者を主体とした協議会を組成し、複数の民間事業者から開発資金を拠出する方式の市場プル型の技術開発事業のことを意味します。

◆ 事業内容

- 我が国の厳しい気象・海象条件の中で、洋上風力発電の導入拡大を実現するには、浮体式洋上風力発電の導入が必須であり、そのためには一層の発電コストの低減が求められています。
- 本事業では、浮体式洋上風力発電の低コスト化技術開発に関する検討を行います。また、**洋上風力発電の低コスト化技術開発のロードマップを作成**するとともに、**欧州で行われているJoint Industry Project (JIP) 方式による技術開発について検討**します。

調査テーマ、目標および実施内容



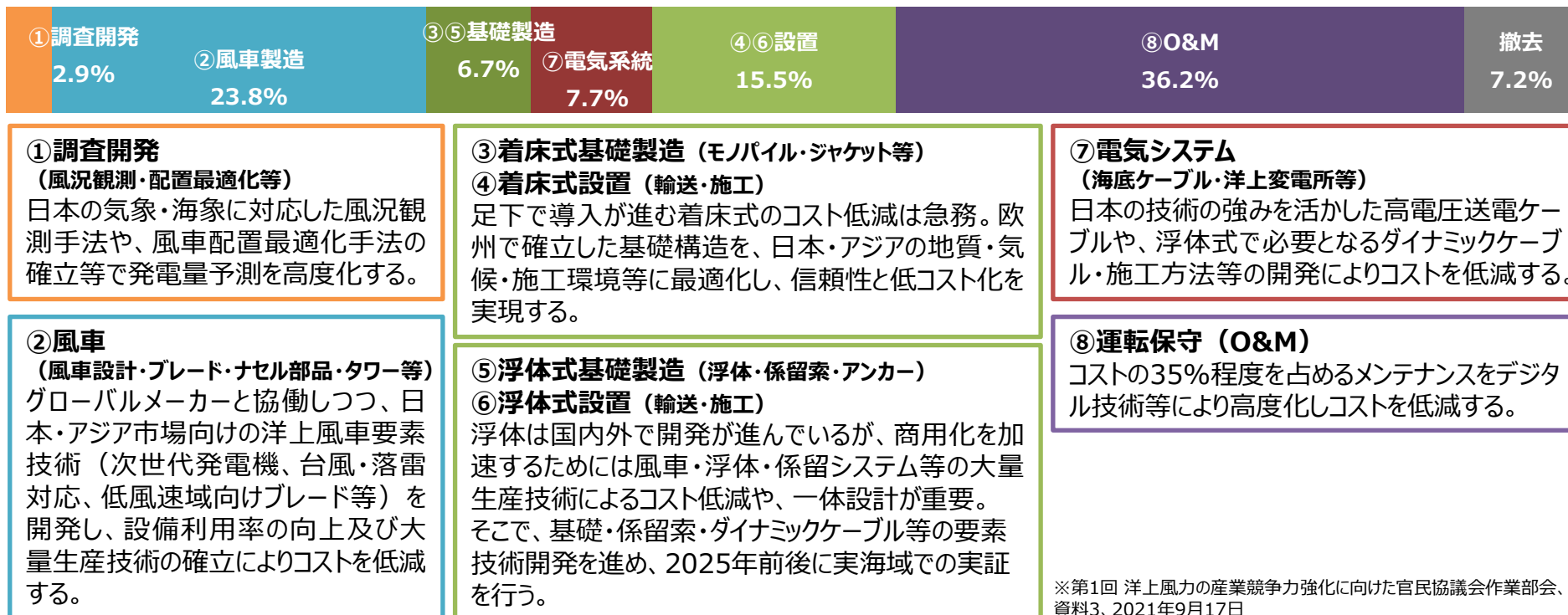
※ 「次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究（浮体式洋上風力発電低コスト化技術開発）」に係る実施体制の決定についてhttps://www.nedo.go.jp/koubo/FF3_100286.html

洋上風力発電の技術開発ロードマップ

◆「技術開発ロードマップ」の位置づけと考え方

- 「洋上風力産業ビジョン（第1次）」において、政府は導入目標、産業界は国内調達・コスト削減目標を掲げ、再エネの導入拡大と産業競争力強化の好循環を目指すこととした。
- 特に、**サプライチェーンの形成等を通じて競争力を高めつつ、今後のアジア展開を見据えて、浮体式の商用化を含め、技術開発を加速化し、世界で戦える競争力を**培っていく必要がある。そこで、「**洋上風力産業の競争力強化に向けて必要となる要素技術を特定・整理し、「洋上風力技術開発ロードマップ」を今年度内に策定する**」こととした。
- そこで、**サプライチェーン全体を8つの分野に区分**した上で、各分野の諸外国の動向と日本の特性に鑑み、**産業競争力強化と低コスト化の観点から特定された要素技術開発を進める**。更に、技術成熟度を加味し、中・長期的に拡大の見込まれる浮体式について、風車・浮体・ケーブル等の一体設計を行い、2025年前後に実海域での実証に繋げる。

洋上風力サプライチェーンのコスト構造（欧州の着床式の例(※)）



※第1回 洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会作業部会、資料3、2021年9月17日

「技術開発ロードマップ」の策定プロセス

◆ 技術開発項目のロングリストを作成

- 欧米における技術開発項目（欧米のロードマップ、Carbon Trustによる分析等）を抽出。
- 日本の自然条件（台風、地震、落雷、低風速、急深な地形、複雑な地質）、施工環境、国内サプライチェーンの状況等を加味し、日本（アジア市場）への最適化が必要な項目を抽出。
- 欧米で先行して開発されている技術を日本に導入する際にカスタマイズ、実証が必要な技術要素を含む。

◆ 日本における重点技術開発テーマの絞り込み

- 有識者へのヒアリング、産業界（官民協議会作業部会・技術開発サブWGの参加企業）へのアンケート等を実施し、現時点のニーズを踏まえ、「世界の動向」「日本の特性」「日本の強み」を踏まえ、重点技術開発テーマを絞り込み。

◆ 技術成熟度に基づき、技術開発ロードマップとする

- 技術成熟度(TRL)に基づく整理を行い、低コスト化のマイルストーンである2030年頃までに実施する技術開発ロードマップを作成。

(参考) 欧州及び米国における浮体の技術開発項目

● 実施項目および実施時期

技術開発項目	内容	Floating JIP				EU ETIP Wind			US				
		Phase I	Phase II	Phase III	Phase IV	短期	中期	長期	Pillar 1		Pillar 2		Pillar 3
									着床	浮体	着床・浮体 共通	風資源及び サイト条件	施工、O&M、 サプライチェーン
統合設計	風車、浮体、係留システム及びダイナミックケーブルの動的挙動及び性能を一体連成解析するツールの開発		●		●	●							
風車の最適化	浮体によるピッチ動揺及び加速度に対して、風車の発電量の最大化や変動の最小化及び構造の運動を抑制するコントロールシステムの高度化。		●		●		●						
超大型風車の開発	15MW級風車								●				
性能試験	大規模コンポーネントに対応した試験装置、施設												●
暴風対応発電システム	ハリケーン対応										●		
氷対応	五大湖の実証対応										●		
浮体の最適化	コストを低減するために、鋼材、コンクリートを減らすことで、シリアル製造に適した浮体の設計方法の開発。		●							●			
基礎構造の低コスト化									●				
係留システム	大規模浮体式洋上ウインドファームは、100～200本の係留索及びアンカーで構成されるため、コスト及びリスクを低減する最適な係留索設置方法の開発が必要となる。	●		●			●			●			
ダイナミックケーブル及び接続	浮体式洋上ウインドファームは、ダイナミックアレイケーブル及び送電ケーブルが必要である。ケーブル損傷を防ぐために疲労を低減する必要がある。浮体をケーブルから脱着するケーブルコネクタは、浮体をサイトから港へ輸送する際に必要となる。	●	●				●						
量産化	浮体、係留索、送電ケーブルの量産化					●							
浮体式洋上変電所	大水深におけるプロジェクトには浮体式洋上変電所が必要となる。電気機器やケーブルの疲労を抑制するために、浮体動揺による加速度等を抑制する浮体の設計が必要となる。	●											
系統・電力システム	系統の混乱の最小化 系統接続、信頼性、広域化、送電容量拡張要件										●		●
エネルギー貯蔵											●		
ロジスティクス	浮体式洋上ウインドファームの製作、組立、施工及び管理は着床式洋上ウインドファームと比べて新しい開発要素がある。大規模な浮体式洋上ウインドファームは、プロジェクトを計画通り進めるためのシリアル製造技術の開発が必要である。	●	●				●						●
維持管理及び修理	リモートによる監視及び管理が望ましいが、サイトにおける維持管理及び修理は生じるため、特にサイトから港に曳航して大規模修理する場合の技術開発が必要である。 ・先進的解析によるデジタル化。 ・高波高条件における作業員輸送。 ・O&M戦略とツールの開発		●	●	●								●
監視及び点検	かなりの数の部品点数で構成される大規模浮体式洋上ウインドファームは、それらの健全性を確保するために、プロジェクトライフサイクルにおいて監視及び点検が必要であり、低コストの監視及び点検技術が必要である。		●										
気象条件												●	
系統的な気象条件計測												●	
気象モデルサイトの開発												●	
地盤条件データベースの開発	基礎構造の一次評価に必要な地盤情報の整備											●	
ウェイク及び乱流	大規模洋上ウインドファームにおける発電量及びウェイク乱流を評価するために、より高度なウェイク影響評価モデルを開発し、風車レイアウトの最適化が必要である。				●			●	●	●			
環境及び社会的影響	浮体式洋上風車は、施工時に洋上におけるパイル打設などの作業がないため、環境に対する影響が小さい。しかし、浮体式洋上風車のウインドファームの環境影響を定量的に評価し、他の海面利用者との競合を軽減する必要がある。			●									●
コスト評価			●										
ガイドライン及び標準化				●									
サプライチェーンの促進・強化	技術革新の増加 トレーニングセンターの開設			●									
港湾の詳細調査													
規制、許認可、レーダー干渉													●

技術開発項目のロングリスト

- ◆ 欧米の技術開発項目や日本の環境等を踏まえ、技術開発項目を、ある程度グループにまとめてリスト化。
- ◆ この中の重点開発テーマを抽出する。

区分	分野	技術開発項目案	
共通	①調査開発	<ul style="list-style-type: none"> ●風況観測（各種ライダーや低コスト風況観測タワー等） ●ウェイク及び発電量予測モデルの高度化 	<ul style="list-style-type: none"> ●洋上風力用の気象海象計測データ整備 ●地盤条件データベースの開発
	②風車	<ul style="list-style-type: none"> ●風車仕様の最適化 ●風車の高品質大量生産技術 ●浮体風車の最適設計 ●ナセル内部品の高効率化 ●低風速域向けブレード 	<ul style="list-style-type: none"> ●大型風車の開発 ●ブレード侵食防止技術 ●ブレードリサイクル技術 ●タワーの高高度化と低コスト化
着床	③着床式基礎製造（モノパイル・ジャケット等）	<ul style="list-style-type: none"> ●複雑な地質・厳しい気象海象条件に対応した基礎構造 ●タワー・基礎接合技術の高度化 ●基礎構造用鋼材の高強度化・低コスト化 	<ul style="list-style-type: none"> ●基礎溶接技術の高度化 ●基礎構造の低コスト化
	④着床式設置（輸送・施工）	<ul style="list-style-type: none"> ●低コスト施工技術の開発 ●洗掘防止工の高度化 	<ul style="list-style-type: none"> ●ロジスティクスの高度化 ●撤去
浮体	⑤浮体式基礎製造（浮体・係留索・アンカー）	<ul style="list-style-type: none"> ●一体設計 ●浮体基礎の最適化 ●係留システムの最適化 ●浮体の量産化 	<ul style="list-style-type: none"> ●ハイブリッド係留システム ●メンテナンスフリー技術 ●浮体システムの計測技術
	⑥浮体式設置（輸送・施工）	<ul style="list-style-type: none"> ●低コストの施工技術の開発 ●作業船と輸送システム 	<ul style="list-style-type: none"> ●大規模修繕技術 ●撤去・リサイクル
共通	⑦電気システム（海底ケーブル・洋上変電所等）	<ul style="list-style-type: none"> ●高電圧ダイナミックケーブル ●浮体式洋上変電所 ●次世代洋上直流送電技術 	<ul style="list-style-type: none"> ●洋上送電ケーブル敷設の高効率化 ●発電需給の統合予測 ●水素変換とエネルギー貯蔵
	⑧運転保守	<ul style="list-style-type: none"> ●運転保守及び修理技術の開発 ●デジタル技術による予防保全・メンテナンス高度化 ●リモートセンシングと予報技術による発電効率向上 	<ul style="list-style-type: none"> ●落雷故障自動判別システムの開発 ●洋上風車の寿命延長とリパワリング ●監視及び点検技術の高度化
その他	技術開発以外	<ul style="list-style-type: none"> ●ステークホルダーの合意 ●人材育成 	<ul style="list-style-type: none"> ●ガイドライン・標準化 ●サプライチェーン

日本の技術開発に関するアンケート

◆ 回答数

- 30社

◆ 整理方法

- 着床式及び浮体式をマージ
- コスト低減、商用化可能性、技術開発レベル及び必要性を平均、参入可能性は最大値として整理（表1に評価基準の定義）
- 評価項目の各項目を10点満点に換算して合計（50点満点）
- 順位付け
 - ①合計点数の大きい順(方法1)、又は②必要性トップ10の順で並び替え(方法2)……………【ニーズの反映】
 - ②において各順位の中で、参入可能性の高い順(各項目の最大値)で並び替え……………【プレイヤーの反映】
- 閾値
 - TRL4（表2）以上……………【技術的成熟度の高い項目の抽出】
 - 商用化可能性スコア2以上……………【商用化の可能性の高い項目の抽出】
 - コスト低減スコア2以上……………【コスト低減化の可能性の高い項目の抽出】

表1 評価基準の定義

評価項目	程度	点数	基準	備考
コスト低減	コスト低減効果が高い	3	10～20%低減できる	各コスト項目に対して
	コスト低減効果が中程度	2	5～10%低減できる	各コスト項目に対して
	コスト低減効果が低い	1	0～5%程度低減できる	各コスト項目に対して
商用化可能性	可能性が高い	3	商用化までの期間が短いと見込まれるもの	
	可能性が中程度	2	商用化までにある程度の期間を要すると思われるもの	
	可能性が低い	1	プレイヤーは存在するが、開発リスクが高いもの	
	既に商用化されている	0	商用化されている技術が含まれているもの	
技術開発レベル	TRL	1～9	技術的成熟度（TRL）の定義参照（表3）	
御社の参入可能性	参入したい	3	技術開発に参加の可能性がある	自社のみ、又は共同開発者との参加を含む
	検討する	2	現時点では未定だが、参加の可能性を検討する	
	参入しない	1	参加の可能性は低い	
必要性トップ10	10段階	1～10	着床・浮体全体を通して、御社が考える重要項目の順位	

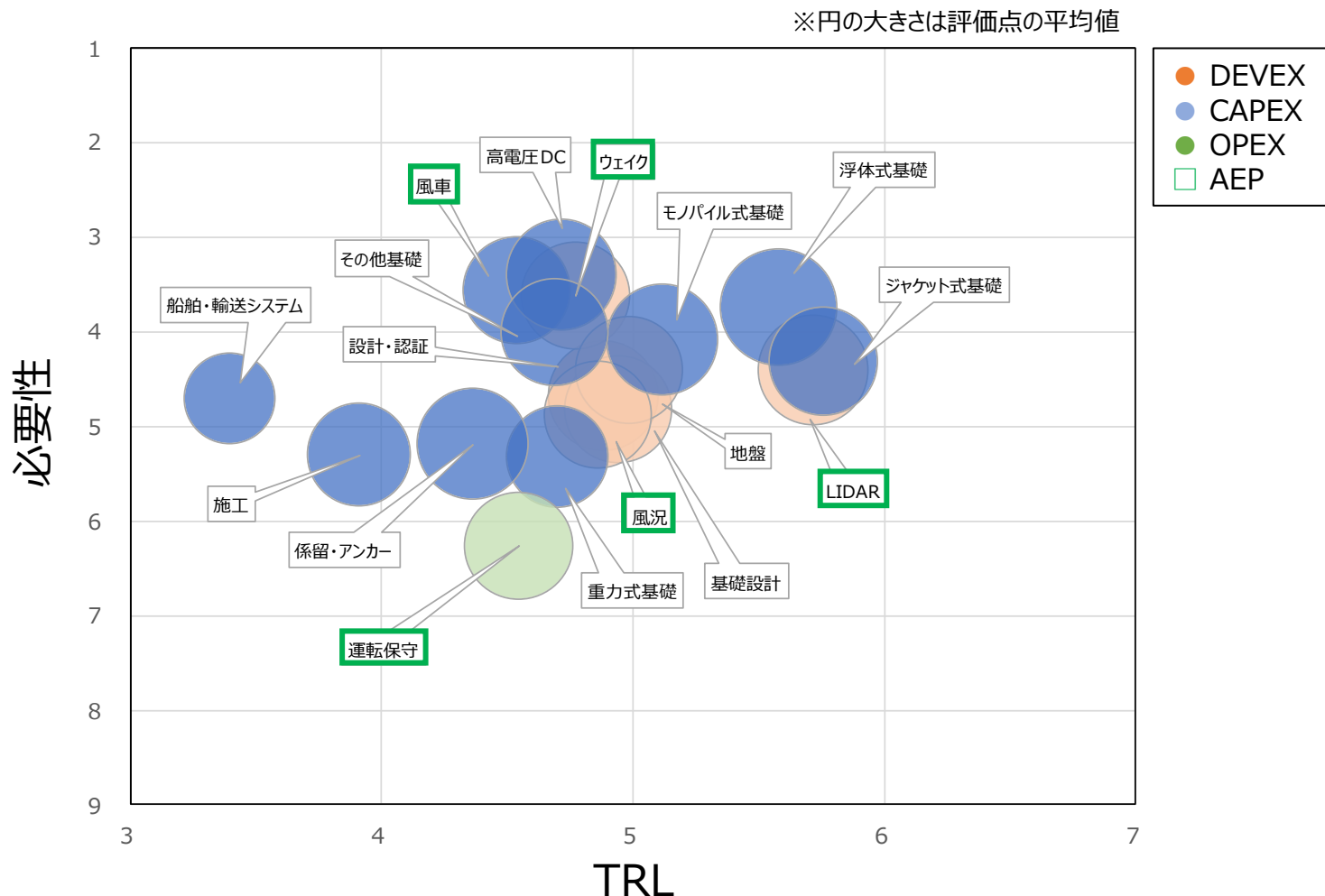
表2 技術的成熟度（TRL）の定義

レベル	定義
1	基本原理を確認しているレベル
2	技術概念・その適用性を確認しているレベル
3	解析や実験によって、概念の重要な機能・特性を証明しているレベル
4	実験室環境で、機器・サブシステムを検証しているレベル
5	実験室規模で、同様なシステムを、現実的な環境において検証しているレベル
6	工学規模で、同様な（原型的な）システムを現実的な環境において検証しているレベル
7	フルスケールで、同様な（原型的な）システムを現実的な環境において実証しているレベル
8	試験と実証を通じて完成し性能確認された実システム
9	想定される全ての条件で運転された実システム

アンケート整理結果(方法1)

◆ 各項目のTRL及び必要性の平均値

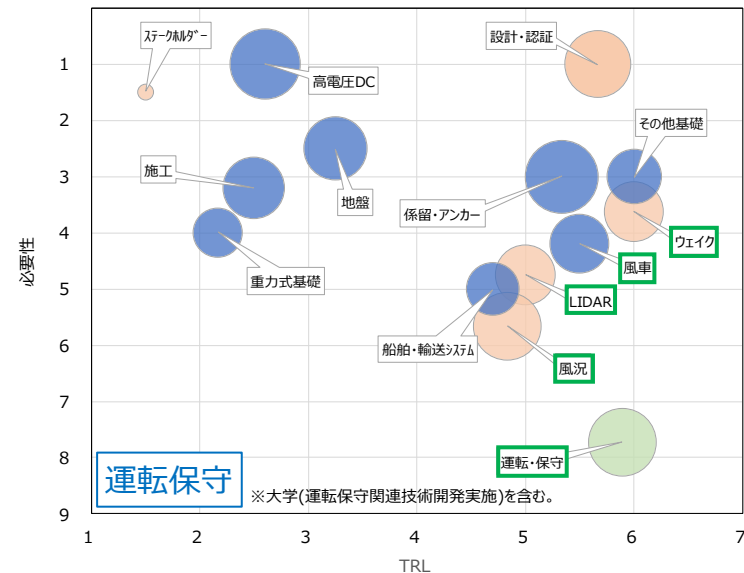
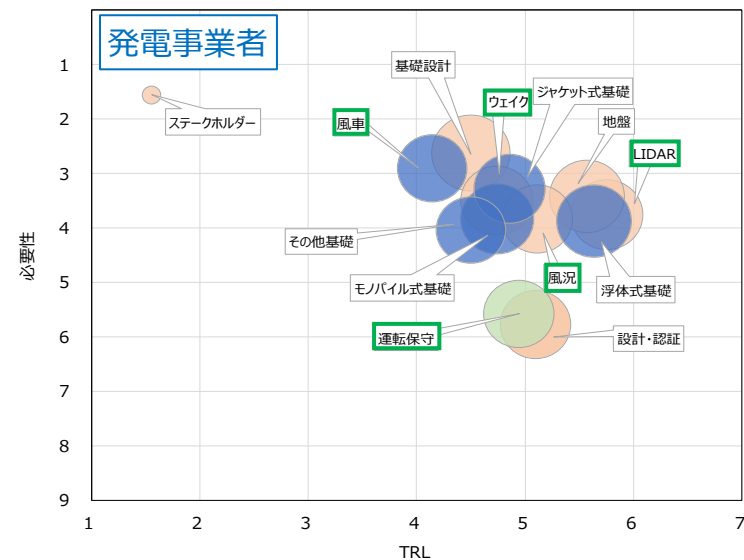
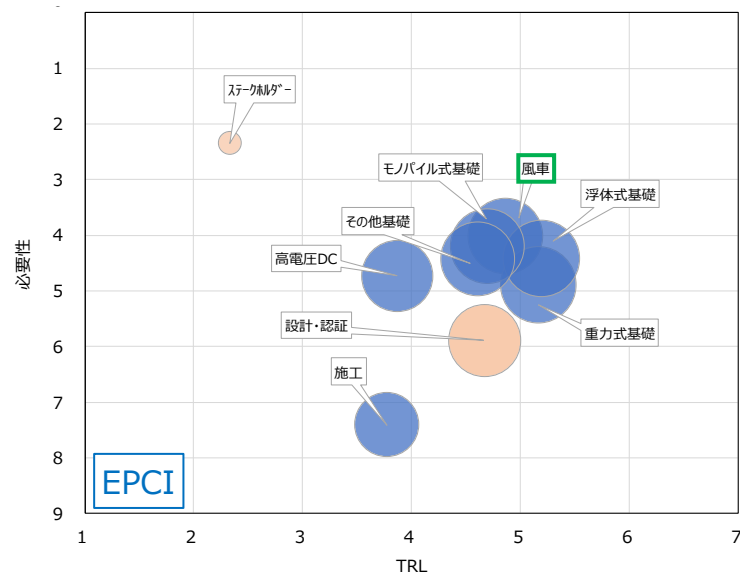
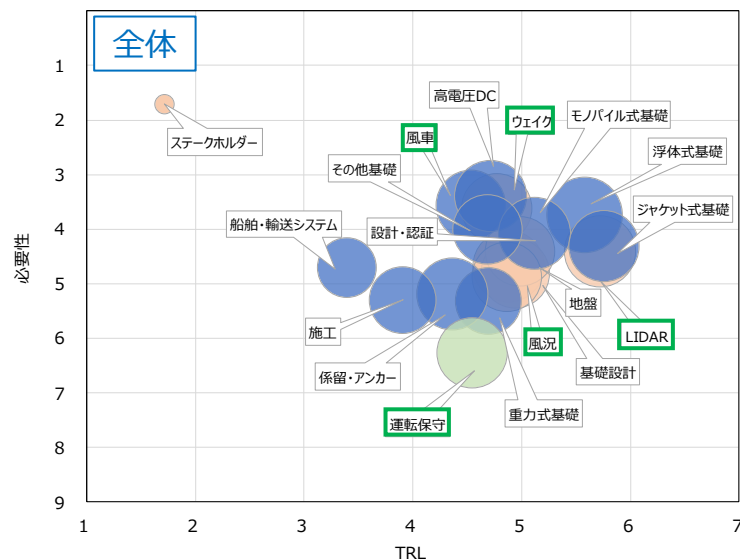
- TRL4以上、商用化可能性2以上、コスト低減スコア2以上
- TRLはアンケート回答者の意見をベースにしている。
 - 開発内容に対する評価のため、例えば浮体式基礎、モノパイル式とジャケット式でTRLが逆転している。
- AEPは、計画及び運用時に年間発電量を増加に寄与する項目



アンケート整理結果(回答分野別,抽出条件なし)

◆ 回答分野別・抽出条件なしで整理

- 評価した項目数が分野毎に異なる。



洋上風力技術開発項目TRLの整理

◆ 技術的成熟度（TRL）の整理

- 専門家やアンケート結果を踏まえて、分野毎に絞り込んだ重点技術開発項目をTRLで整理
- TRLに応じて開発スケジュールを設定し、技術開発ロードマップとした。

区分	分野	TRL 1	2	3	4	5	6	7	8	9																						
共通	①調査開発	<div>● 風況観測（各種ライダーや低コスト風況観測タワー等）</div> <div>● ウェイク及び発電量予測モデルの高度化</div>																														
	②風車	<div>● 風車仕様の最適化</div> <div>● 風車の高品質大量生産技術</div> <div>● 浮体風車の最適設計</div> <div>● ナセル内部品の高度化</div> <div>● 低風速域向けブレード</div>																														
着床	③着床式基礎製造 （モノパイル・ジャ ケット等）	<div>● 複雑な地質・厳しい気象海象条件に対応した基礎構造</div> <div>● タワー・基礎接合技術の高度化</div> <div>● 基礎構造物用鋼材の高強度化・低コスト化</div>																														
	④着床式設置 （輸送・施工）	<div>● 低コスト施工技術の開発</div> <div>● 洗掘防止工の高度化</div>																														
浮体	⑤浮体式基礎製造 （浮体・係留索・ア ンカー）	<div>● 一体設計</div> <div>● 浮体基礎の最適化</div> <div>● 浮体の量産化</div> <div>● 係留システムの最適化</div> <div>● ハイブリッド係留システム</div>																														
	⑥浮体式設置 （輸送・施工）	<div>● 低コストの施工技術の開発</div>																														
共通	⑦電気システム （海底ケーブル・ 洋上変電所等）	<div>● 高電圧ダイナミックケーブル</div> <div>● 浮体式洋上変電所</div> <div>● 次世代洋上直流送電技術</div>																														
	⑧運転保守	<div>● 運転保守及び修理技術の開発</div> <div>● デジタル技術による予防保全・メン テナンス高度化</div> <div>● リモートセンシングと予報技術による 発電効率向上</div> <div>● 落雷故障自動判別システムの開発</div>																														
		<table><tr><th colspan="2">技術成熟度（TRL）の定義</th></tr><tr><th>レベル</th><th>定義</th></tr><tr><td>1</td><td>基本原理を確認しているレベル</td></tr><tr><td>2</td><td>技術概念・その適用性を確認しているレベル</td></tr><tr><td>3</td><td>解析や実験によって、概念の重要な機能・特性を証明しているレベル</td></tr><tr><td>4</td><td>実験室環境で、機器・サブシステムを検証しているレベル</td></tr><tr><td>5</td><td>実験室規模で、同様なシステムを、現実的な環境において検証しているレベル</td></tr><tr><td>6</td><td>工学規模で、同様な（原型的な）システムを現実的な環境において検証し ているレベル</td></tr><tr><td>7</td><td>フルスケールで、同様な（原型的な）システムを現実的な環境において実証 しているレベル</td></tr><tr><td>8</td><td>試験と実証を通じて完成し性能確認された実システム</td></tr><tr><td>9</td><td>想定される全ての条件で運転された実システム</td></tr></table>									技術成熟度（TRL）の定義		レベル	定義	1	基本原理を確認しているレベル	2	技術概念・その適用性を確認しているレベル	3	解析や実験によって、概念の重要な機能・特性を証明しているレベル	4	実験室環境で、機器・サブシステムを検証しているレベル	5	実験室規模で、同様なシステムを、現実的な環境において検証しているレベル	6	工学規模で、同様な（原型的な）システムを現実的な環境において検証し ているレベル	7	フルスケールで、同様な（原型的な）システムを現実的な環境において実証 しているレベル	8	試験と実証を通じて完成し性能確認された実システム	9	想定される全ての条件で運転された実システム
技術成熟度（TRL）の定義																																
レベル	定義																															
1	基本原理を確認しているレベル																															
2	技術概念・その適用性を確認しているレベル																															
3	解析や実験によって、概念の重要な機能・特性を証明しているレベル																															
4	実験室環境で、機器・サブシステムを検証しているレベル																															
5	実験室規模で、同様なシステムを、現実的な環境において検証しているレベル																															
6	工学規模で、同様な（原型的な）システムを現実的な環境において検証し ているレベル																															
7	フルスケールで、同様な（原型的な）システムを現実的な環境において実証 しているレベル																															
8	試験と実証を通じて完成し性能確認された実システム																															
9	想定される全ての条件で運転された実システム																															

洋上風力技術開発ロードマップ（～2030年）

◆ 洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会案（2021年4月1日）の作成

- 技術成熟度が比較的高い調査開発・着床式基礎製造・設置（①③④）の技術開発は短期集中的に支援し、早期の低コスト化を目指す。
- 技術成熟度が比較的低いが、サプライチェーン構築に不可欠な風車や、中・長期的に拡大の見込まれる浮体式等についての要素技術開発を加速化。風車・浮体・ケーブル等の一体設計を行った実海域での実証を2025年前後に行うことにより、商用化に繋げる。

区分	分野	短期	中・長期
共通	①調査開発	日本の気象・海象に対応した 風況観測手法 や ウェイク及び発電量予測モデルの高度化 、等で発電量予測を高度化する。	
	②風車	グローバルメーカーと協働しつつ、日本・アジア市場向けの洋上風車要素技術（ 風車仕様の最適化、浮体風車の最適設計、ナセル内部品の高効率化、低風速域向けブレード 、等）を開発し、設備利用率の向上及び 風車の高品質大量生産技術 の確立によりコストを低減する。	
着床	③着床式基礎製造（モノパイル・ジャケット等）	欧州で確立した基礎構造を、日本・アジアの地質・気候・施工環境等に最適化し、信頼性と低コスト化を実現する。 （複雑な地質・厳しい気象海象条件に対応した 基礎構造、タワー・基礎接合技術の高度化、基礎構造物用鋼材の高強度化・低コスト化、低コスト施工技術の開発、洗掘防止工の高度化 、等）	
	④着床式設置（輸送・施工）		
浮体	⑤浮体式基礎製造（浮体・係留索・アンカー）	浮体基礎の最適化、係留システムの最適化、浮体の量産化、ハイブリッド係留システム、等の要素技術開発を進め、風車・ケーブル等との 一体設計 を行う。 設置についても 低コストの施工技術の開発 、等により低コスト化を図る。	
	⑥浮体式設置（輸送・施工）		
共通	⑦電気システム（海底ケーブル、洋上変電所等）	日本の技術の強みを活かした高電圧送電ケーブルや、浮体式で必要となる 高電圧ダイナミックケーブル、浮体式洋上変電所、次世代洋上直流送電技術 、等の開発によりコストを低減する。	
	⑧運転保守	コストの35%程度を占めるメンテナンスを 運転保守及び修理技術、デジタル技術による予防保全・メンテナンス高度化、リモートセンシングと予報技術による発電効率向上、落雷故障自動判別システムの開発 、等によりコストを低減する。	

Joint Industry Project (JIP) 方式による技術開発についての検討

◆ 技術課題の優先順位付け

本事業の実施項目（ア）※で策定するロードマップで抽出された有望技術等を基にし、受託者らにより構成するマネジメントチーム（PMO）が発電事業者からなる浮体式洋上風力発電推進協議会（以下、協議会）からのニーズを整理し、我が国固有の課題を解決する、浮体式洋上風力発電の低コスト化に資する市場プル型の技術開発項目の優先順位を決める。

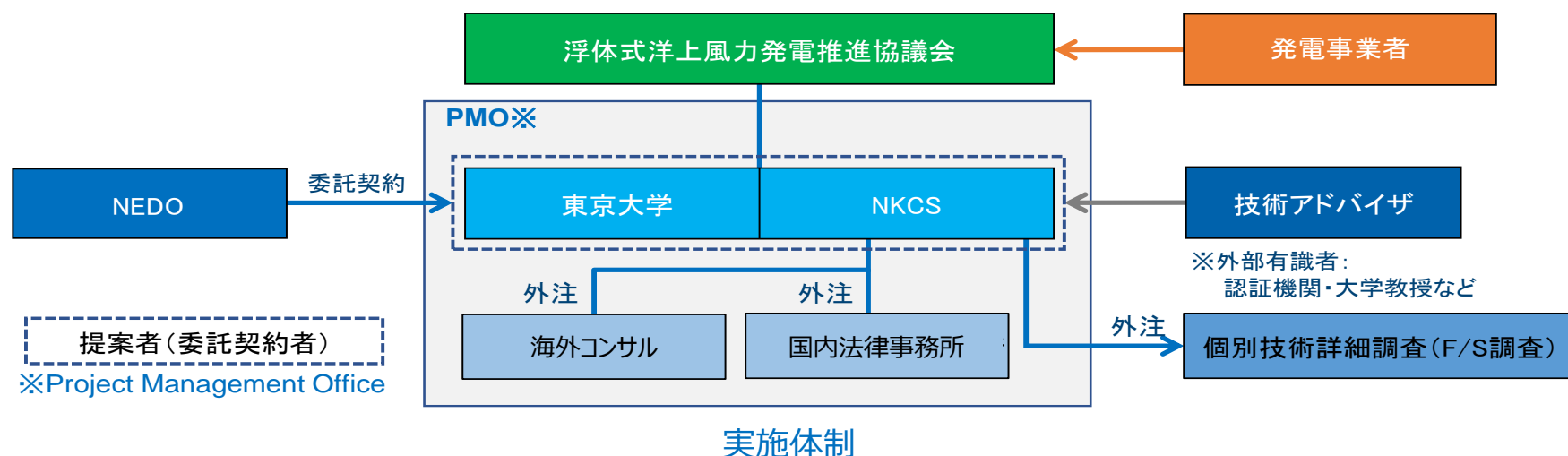
※スライド3を参照

◆ 個別技術の詳細調査

優先技術に関する個別技術詳細調査（F/S調査）は、PMOの作成し、協議会が承認した仕様書に基づき外注する。F/S調査の外注先選定は入札により決定する。入札の手続きはPMOが行う。

◆ JIP方式による技術開発案の作成

日本におけるJIP方式による技術開発方法や実施体制を検討し、日本版JIPの実施体制や方法、および技術開発実施内容案を作成する。



市場プル型の技術開発方法の検討方法

◆ 個別技術詳細調査（F/S調査）

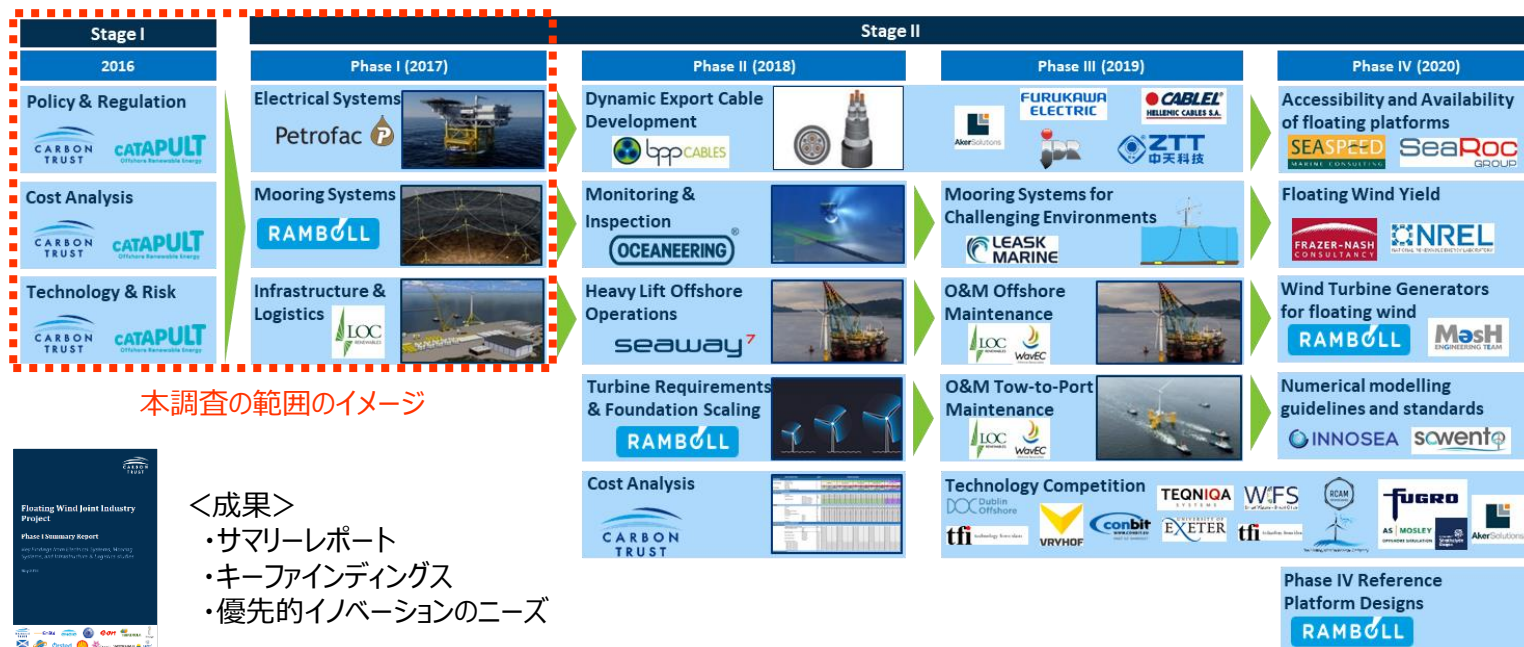
- 協議会により決定した優先技術（例えば、右表）に関する個別技術詳細調査（F/S調査）は、PMOの作成した仕様書を協議会が承認し、外注する。
- 業者の選定は入札により決定する。

◆ JIP方式による技術開発案の作成

- 個別技術詳細調査の結果に基づき、本事業終了後の、追加の調査研究や商用化のためのJIP方式による技術実証プロジェクトの案を検討する。

日本固有の技術課題の例

費用	課題
調査費	ウェイクモデル、設計方法（浮体、制御）、リソースアセスメント（風況観測方法）
資本費	サプライチェーン、ロジスティクス、海域特性（日本海側/太平洋側）、地震特性、送電インフラ、ダイナミック送電線、施工船、組立場所、係留、洋上変電所
運転維持費	修理方法、監視方法、専用船
撤去費	係留システムの撤去



日本におけるCRD（FS調査）の案

◆ CRD（Common Research & Development）の内容

- 市場調査・分析
- 技術調査・分析
- コスト評価
- コンペティション（詳細調査の委託）

◆ 技術開発内容の検討状況

- 「日本の浮体式洋上風力技術開発ロードマップ策定のための検討資料」を作成。



- **現状の課題**
 - 日本の市場における洋上浮体式洋上風力開発の特定の分野の背景情報を提供する。
- **世界における技術開発動向**
 - 世界の他の地域で進行中の技術開発プロジェクト、特にCarbon Trustが関与している技術開発プロジェクトに関する情報を示す。
- **技術研究開発案**
 - 特定された課題を克服するために活用できる具体的な技術研究開発案を提案する。

段階	項目	世界における技術開発動向	技術研究開発案
開発	ステークホルダーの合意	● Carbon Trust が運営する英国の ORJIP (Offshore Renewables Joint Industry Programme) では、例えば、多くの野生生物の観察研究を実施し、ステークホルダーの合意の決定に直接影響を与えている。	● 漁業活動に与える影響に関する研究 ● 係留形式の違いによる海底への影響（洗掘など）の検討 ● 日本の沿岸海域における主な海洋活動マップの策定と浮体係留の影響を受ける可能性の高い活動の特定 ● 地域又は地域のステークホルダー参加のための方法論（例：水産業に限定されないなど）
	風力資源と洋上風況観測	● 洋上風況観測は世界中で行われているが、日本のサイトでも多数実施する必要がある。	● 海生生物のデータ収集などと組み合わせ、沿岸から離れた地域での洋上風況観測（及び海洋観測）を実施。
	浮体式 LIDAR の検証	● Carbon Trust の浮体式 LIDAR ロードマップと浮体式 LIDAR の実証試験	● 日本の条件下で信頼性の高い浮体式 LIDAR システムの開発と実証 ● 日本海域におけるスキャニング LIDAR の風力賦存量・ウェイクモデル検証のための有効性と有用性の検討
	浮体式洋上風車のウェイクモデル	● 研究機関：ノルウェー科学技術大学、トロンハイム大学、オルデンブルグ大学、DTU など、浮体式洋上風車に関するウェイクモデルの最適化に関する研究を行っている学術機関は数多くある。 ● Carbon Trust Floating Wind JIP: Floating Wind Yield Scoping Study (ITT 段階)：ウェイク効果を含む浮体式洋上風車の発電電力量の理解を深め、発電電力量予測ソフトウェアを改良して精度を向上させるための研究。	● 日本向け浮体式洋上風車のアレイのウェイク効果モデルの開発 ● 日本水域における台風の風車への影響に関する調査 ● 風車配列最適化モデル開発 ● 運転中の風力発電所でのウェイクモデル検証試験
	海底調査方法、物理・地盤データベース		● 低コストで海底の状態を調査する方法の研究／物理学的・地盤工学的調査に専用船以外の船舶を使用する可能性の研究。 ● リスクを低く抑えながらコストを最小限に抑えるために、浮体式洋上風車

優先順位付け

- ◆ Carbon Trustがデベロッパー・プラットフォームメーカー等にRFIを出して、コスト削減の可能性緊急度とIP 感度それぞれの観点から優先度H/M/L(3/2/1)を設定。
 - **コスト削減可能性**：当時のパイロット案件と商用規模発電所のコスト内訳を比較し、一番差分が大きく予想される要素に関してはコスト削減可能性が「高い」とする。
 - **緊急性**：技術或いはインフラなどの開発が早く進まなければ商用規模の浮体式洋上風力発電事業が実行できない項目に関しては緊急度が「高い」とする。
 - **IP感度**：プラットフォームメーカーなどの秘密データを入手できない限り解決が困難である項目に関してはIP感度が「高い」とする。

技術的な課題	コスト削減可能性	緊急性	IP感度
プラットフォームのサイズと重量			
設置手順			
港湾岸壁での修理・メンテナンス（大規模修繕）			
浮体式変電所・変圧器モジュール			
浮体式風車のための先進的な制御システム			
係留設計と設置			
アンカー設計と施工	※アウトプットイメージ		
先進的な水槽実験設備			
風力発電所の運用（ウエーク効果、収益率、年間発電量）			
高度なモデリングツール			
高電圧ダイナミックケーブル			
浮体式洋上風力の適切な規準			
環境への影響			

◆ 浮体式洋上風力発電低コスト化技術開発に関する調査

● 調査目的

- 本調査では、浮体式洋上風力発電コスト（LCOE）の目標を8～9円/kWhとし、その達成に寄与する技術を確立するためのFSを行います。このFSにおいて、我が国の気象・海象条件の特性等を踏まえた浮体式洋上風力発電の低コスト化技術開発の検討及びその実現可能性を調査します。

● 調査内容①：浮体基本設計

- 浮体式洋上風力発電の低コスト化浮体形式のFSを行います。
- 発注者が指定する参照15MW風車、気象・海象条件を元に、大量生産が可能な浮体形式、係留形式、ダイナミックケーブルの基本設計を行い、資本費（CAPEX）、運営費（OPEX）を算出し、浮体低コスト化の実現可能性を評価します。

● 調査内容②：大量生産

- 浮体式洋上風力発電の低コスト化浮体大量生産のFSを行います。
- 発注者が指定する参照15MW風車、浮体形式、主要目、係留形式、組み立て拠点を元に、浮体の大量生産が可能な工場設備の要件、候補地、サプライチェーン、生産工程・工期の検討を行うと共に、大量生産によるコスト削減の実現可能性を評価します。

● 調査内容③：設置方法

- 浮体式洋上風力発電の低コスト化浮体設置のFSを行います。
- 発注者が指定する参照15MW風車、浮体形式、係留形式、ベースラインウィンドファーム（建造拠点、拠点港からの距離、風車基数等）を元に、設置コストの低減を目的として、風車、浮体、係留システム、ダイナミックケーブルの設置に必要な作業船、設置手順、設置工程を検討し、設置コストを算出し、低コスト設置の実現可能性を評価します。なお、海象・気象条件は拠点港の条件を反映させることとします。

(参考) 英国のFloating Wind JIPにおける検討内容

● 風車の最適化

浮体によるピッチ動揺及び加速度に対して、風車の発電量の最大化や変動の最小化及び構造の運動を抑制するコントロールシステムの高度化。

● 一体設計

風車、浮体、係留システム及びダイナミックケーブルの動的挙動及び性能を一体連成解析するツールの開発

● 浮体の最適化

コストを低減するために、鋼材、コンクリートを減らすことで、シリアル製造に適した浮体の設計方法の開発。

● 環境及び社会的影響

浮体式洋上風車は、施工時に洋上におけるパイル打設などの作業がないため、環境に対する影響が少ない。しかし、浮体式洋上風車のウインドファームの環境影響を定量的に評価し、他の海面利用者との競合を軽減する必要がある。

● ウェイク及び乱流

大規模浮体式洋上ウインドファームにおける浮体の運動による発電量及びウェイク乱流を評価するために、より高度なウェイク影響評価モデルを開発し、風車レイアウトの最適化が必要である。

● ロジスティクス

浮体式洋上ウインドファームの製作、組立、施工及び管理は着床式洋上ウインドファームと比べて新しい開発要素がある。大規模な浮体式洋上ウインドファームは、プロジェクトを計画通り進めるためのシリアル製造技術の開発が必要である。

● ダイナミックケーブル及び接続

浮体式洋上ウインドファームは、ダイナミックアレイケーブル及び送電ケーブルが必要である。ケーブル損傷を防ぐために疲労を低減する必要がある。浮体をケーブルから脱着するケーブルコネクタは、浮体をサイトから港へ輸送する際に必要となる。

● 係留システム

大規模浮体式洋上ウインドファームは、100～200本の係留索及びアンカーで構成されるため、コスト及びリスクを低減する最適な係留索設置方法の開発が必要となる。

● 浮体式洋上変電所

大水深におけるプロジェクトには浮体式洋上変電所が必要となる。電気機器やケーブルの疲労を抑制するために、浮体動揺による加速度等を抑制する浮体の設計が必要となる。

● 監視及び点検

かなりの数の部品点数で構成される大規模浮体式洋上ウインドファームは、それらの健全性を確保するために、プロジェクトライフサイクルにおいて監視及び点検が必要であり、低コストの監視及び点検技術が必要である。

● 維持管理及び修理

リモートによる監視及び管理が望ましいが、サイトにおける維持管理及び修理は生じるため、特にサイトから港に曳航して大規模修理する場合の技術開発が必要である。

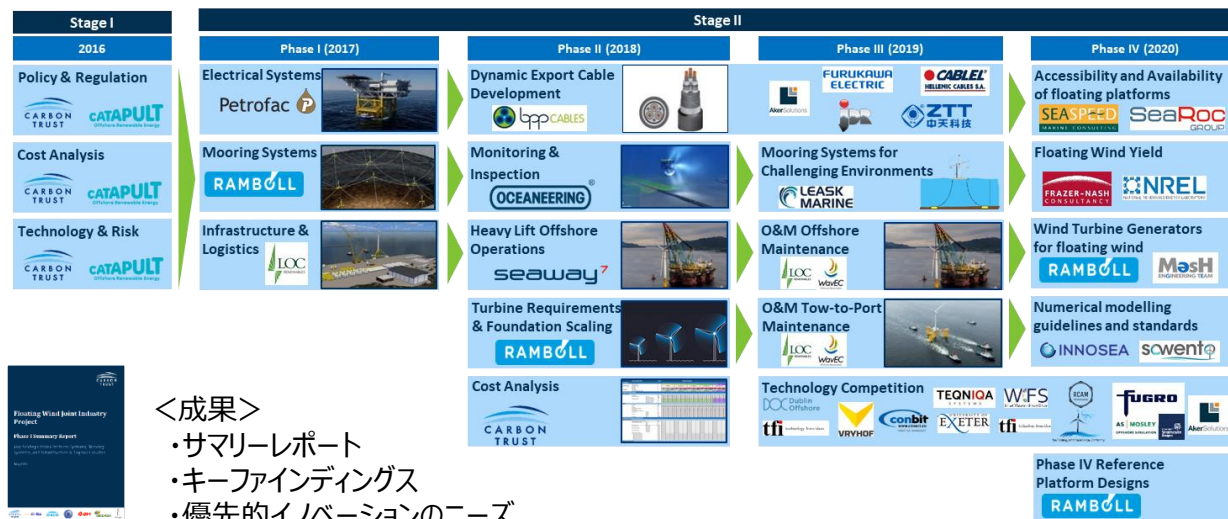


出典：Carbon Trust

(参考) 欧州のFloating Wind JIPプログラム

◆ Floating Wind JIP※1

- JIP方式※2による大規模商用浮体式洋上ウインドファームの課題と機会を調査することを目的とした共同研究開発プログラム（スコットランド政府が支援、事務局：Carbon Trust）。
 - 日本からは東京電力と九電みらいエナジーが参加中、また、ダイナミック送電ケーブル調査には古河電工が参加
- Stage 1の結果に基づいて三つのエリアが特定し、Stage 2・Phase 1でこの三つエリアに関する調査を実施
 - 電気系統：商業規模の浮体式洋上風力発電施設の電気システム特有の課題の調査
 - 設置及び維持管理のLogistics：係留アンカーシステムにおける最適化のための課題と可能性の調査
 - 係留：浮体式洋上風力発電施設の建設・メンテナンスに関するインフラ要件と物流上の課題
- Stage 2・Phase 2以降で更に個別技術の詳細調査を実施中



Floating Wind JIP参加企業

Floating Wind JIP のスケジュール

※1 <https://www.carbontrust.com/our-projects/floating-wind-joint-industry-project>

※2 JIP は、発電事業者が主体となる協議会からなり、協議会が低コスト化のために必要な技術をメーカーや EPC が開発する方式

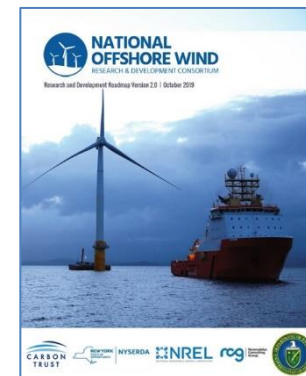
(参考) 米国のNOWRDCのR&Dロードマップ

◆ 研究開発ロードマップ

- 米国における革新的な洋上風力技術開発のための長期的なビジョンを提供するために策定。
- 2018年10月発行、2019年10月更新
 - ロードマップで特定された優先事項は、今後4年間の一連の競争入札を通じて資金を分配するための基盤として使用される。
 - ロードマップでは三つの「柱(Pillar)」を特定。



ロードマップ2018年版



ロードマップ2019年版

NOWRDCのロードマップにおける研究開発項目 (2019年版)

	Pillar 1 : 洋上風力プラント技術高度化	Pillar 2 : 洋上風力電力リソースと物理的サイト特性評価	Pillar 3 : 設置、運転保守、サプライチェーン
ロードマップ (2019)	1.1 着床式風力技術 <ul style="list-style-type: none"> ● 米国市場に適した低コスト風車支持構造 ● 大型風車の実現 ● ウィンドファームの性能と制御の最適化 1.2 浮体式風力技術 <ul style="list-style-type: none"> ● 浮体式基礎用の係留コンセプト ● 浅い海域での係留コンセプト ● 深い海域での係留コンセプト ● 浮体式基礎のスケールアップ ● 大規模浮体式洋上ウィンドファームの制御 1.3 着床式及び浮体式風力共通技術 <ul style="list-style-type: none"> ● ハリケーンに強い風力発電システム ● 五大湖における浮体式及び着床式ウィンドファーム ● 電力システム設計及び革新 ● エネルギー貯蔵 	2.1 気象海象研究 <ul style="list-style-type: none"> ● 総合的な風力資源アセスメント ● 体系的な気象海象計測 ● 気象・海象リファレンスサイトの開発 2.2 サイト特性の物理的評価 <ul style="list-style-type: none"> ● 海底調査方法、地盤データベース 	3.1 設置 <ul style="list-style-type: none"> ● サイト開発の競合解消のための技術 ● 大型風車設置戦略 3.2 運転保守 <ul style="list-style-type: none"> ● 高度な分析による洋上風力のデジタル化 ● 試験方法及び設備 ● 厳しい海況下での人員輸送ソリューション ● 運転保守戦略及びツール 3.3 サプライチェーン <ul style="list-style-type: none"> ● 米国サプライチェーン構築促進のための技術ソリューション ● 系統接続、信頼性、拡張及び送電システムの更新 ● 港湾の詳細検討 ● 許認可 - レーダー干渉

注) 赤字 : 2020年公募のテーマ、緑字 : 2021年公募のテーマ

(参考) 米国のNOWRDCプログラム

◆ National Offshore Wind Research & Development Consortium※1

- 主要な洋上風力産業のステークホルダーが主導する、全米を対象とした独立した非営利のコンソーシアム。洋上風力のLCOEを削減し、米国の経済的利益を最大化することを目的として、業界に焦点を当てた研究開発を管理することを目的に設立された。
- 予算:4,100万ドル (NYSERDA※2 : 2,050万ドル+DOE ※3 : 2,050万ドル) +メンバー拠出金
- 期間 : 現在の政府助成期間は4年間で、これを超えて研究パートナーからの助成を受けて自立することを目標としている。



コンソーシアム構成

コンソーシアム

公的スポンサー



民間スポンサー



独立メンバー



R&D委員会



アドバイザー

アドバイザーグループ

研究開発アドバイザリグループ

アカデミア、国立研究所、研究機関など

製造、サプライチェーン(設定予定)

一次 (Tier1) メーカー、技術コンサルタント、サービスプロバイダー、サプライチェーンメンバー

戦略アドバイザリネットワーク (設置予定)

国または州政府機関、コンソーシアムボードに参加していないOSW開発者、米国の業界団体、非営利団体

Tech to Marketグループ (設定予定)

ベンチャーキャピタル、銀行、起業家、慈善団体、テクノロジーインキュベータ

プログラムの価値: \$41M
期間 7年

※1 <https://nationaloffshorewind.org/>

※2 NYSEDA (New York State Energy Research and Development Authority) : 1975年に設立され、あるニューヨーク州公益法人で、再エネに関する資金を提供している。 <https://www.nyserda.ny.gov/>

※3 DOE (U.S. Department Of Energy) : 米国エネルギー省

(参考) 最近10年の洋上風力コスト低減要因分析 (英国)

◆ 洋上風力リーディングカンパニー及び政府関係者へのインタビューによる分析

- Kavlak et al (2018)によるコスト低減要因のフレームワークに基づいて、インタビューを実施。
- 洋上風力のコスト低減の寄与度が最も大きかったのは、**風車サイズの大型化**であるとの結論。
- 風車サイズの大型化は、「**研究開発**」、「**学習効果**」及び「**規模の経済**」により実現。
- 結果として、確実に、次世代風車開発が継続的に実現され、「**ファイナンスコスト**」が低減した。

2010年から2019年の洋上風力コスト低減要因分析

コスト低減方法		コスト低減割合		備考	技術開発/その他の割合
技術プッシュ	技術開発（公的）	12.5%	12.5%	<ul style="list-style-type: none">● 近年は、民間の研究開発の重要性が増している。● 初期の頃は、公的研究開発との連携による民間研究開発も重要。例えば、シーメンスの8MWダイレクトドライブ風車の商用化はシェフィールド大学との連携によってサポートされている。● カーボントラストによる官民連携の市場プル型の研究開発は商業化の可能性の向上に寄与している。	35.5%
市場プル	技術開発（民間）	23.0%	80.5%		
	学習効果	16.3%			
	規模の経済	23.0%			
	ファイナンスコスト	18.2%			
				<ul style="list-style-type: none">1. 次世代風車開発（洋上風車設計・製作・設置実績）2. 予備費の低減3. 設置作業の効率化 <ul style="list-style-type: none">● BOP費とO&M費を低減。● 8MW機から12MW機により更なる低減を期待。● Round4からはSPARTA（性能・信頼性トレンド分析）システムへの情報提供を義務付け。これにより投資のリスク低減に貢献。 ※ SPARTA：風車の運用性能向上を目的とした英国の洋上風力発電性能データベンチマークプラットフォーム <ul style="list-style-type: none">● WACCが10%から7%以下に● 株式リターンに対するリスクプレミアムが5%から1%に（2010年以前のリスクプレミアムは15%）● 2015年の平均金利2%から、2019年では1.5%以下に	64.5%
政策外	材料費・為替レート	3.9%	7.0%		
	その他	3.1%			

出典: UCL and Carbon Trust, "Policy, innovation and cost reduction in UK offshore", 2020年7月。