

「洋上風力発電の低コスト化」 プロジェクトの 研究開発・社会実装計画（案）の概要

2021年6月

資源エネルギー庁

1. 本プロジェクトの背景・目的

(1) 洋上風力を取り巻く状況・課題

(2) 課題解決に向けた技術開発の方向性

2. 本プロジェクトの目標

3. 本プロジェクトの研究開発内容と社会実装に向けた支援

4. 本プロジェクトのスケジュール

洋上風力発電導入の意義

- 洋上風力発電は、①大量導入、②コスト低減、③経済波及効果が期待され、欧州を中心に世界で拡大。

①大量導入

- 欧州を中心に世界で導入が拡大
- 四方を海に囲まれた日本でも、今後導入拡大が期待されている。

欧州・日本における導入状況

国名	累積発電容量 (万kW)	発電所数	風車の数
英国	1,043	40	2,294
ドイツ	769	29	1,501
デンマーク	170	14	559
ベルギー	226	11	399
オランダ	261	9	537
日本	1.4	4	5

【出典】 欧州：Offshore Wind in Europe Key trends and statistics 2020より引用
日本の発電所はすべて国内の実証機

②コスト低減

- 先行する欧州では、落札額が10円/kWhを切る事例や市場価格（補助金ゼロ）の事例が生ずる等、風車の大型化等を通じて、コスト低減が進展。

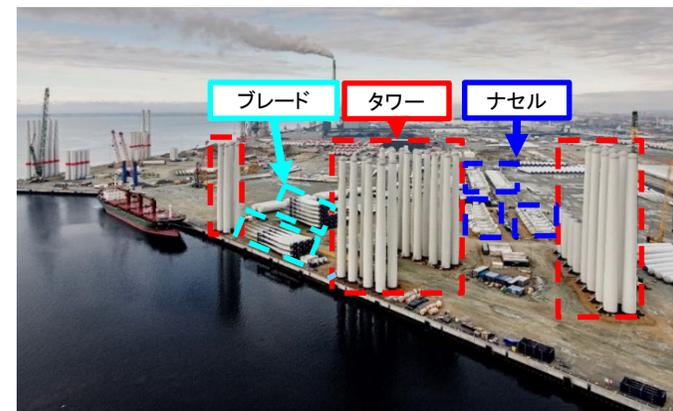
国	プロジェクト名	価格 (€=123.6円) ※2019年平均相場
オランダ	Hollande Kust Zuid 3 & 4	市場価格 (補助金ゼロ)
フランス	Dunkirk	44 EUR/MWh (5.4円/kWh)
イギリス	Sofia	44.99EUR/MWh (5.6円/kWh)
イギリス	Seagreen Phase 1 - Alpha	47.21EUR/MWh (5.8円/kWh)
イギリス	Forthwind	44.99EUR/MWh (5.6円/kWh)
イギリス	Doggerbank Teeside A	47.21EUR/MWh (5.8円/kWh)
イギリス	Doggerbank Creyke Beck A	44.99EUR/MWh (5.6円/kWh)
イギリス	Doggerbank Creyke Beck B	47.21EUR/MWh (5.8円/kWh)

③経済波及効果

- 洋上風力発電設備は、構成機器・部品点数が多く（数万点）、事業規模は数千億円。
- 日本に潜在的サプライヤーは存在するも、現状、関連産業は国外に立地。

欧州における港湾都市の事例（デンマーク・エスビアウ港）

- ・建設・運転・保守等の地域との結びつきの強い産業も多いため、地域活性化に寄与。
- ・エスビアウ市では、企業誘致にも成功し、約8,000人の雇用を創出。



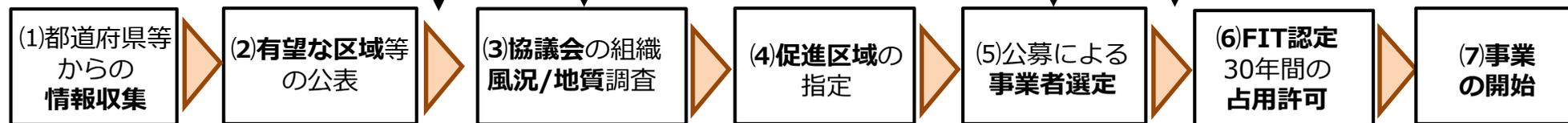
我が国における案件開発の状況

- 我が国においても、再エネ海域利用法に基づき導入が進展。
- **2019年7月に、下図①～④の区域を有望な区域として整理。①は2019年12月に促進区域として指定し、2021年6月に事業者を選定済。②～④は2020年7月に促進区域として指定し、2021年5月の公募終了を経て、現在、審査・評価中。**
- また、**⑤～⑧の各区域は2020年7月に新たな有望な区域として整理。**協議会の設置や国による風況・地質調査の準備に着手。



促進区域
①長崎県五島市沖
②秋田県能代市・三種町・男鹿市沖
③秋田県由利本荘市沖（北側・南側）
④千葉県銚子市沖
有望な区域
⑤青森県沖日本海（北側）
⑥青森県沖日本海（南側）
⑦秋田県八峰町・能代市沖
⑧長崎県西海市江島沖
一定の準備段階に進んでいる他の区域
⑨青森県陸奥湾
⑩秋田県潟上市・秋田市沖
⑪新潟県村上市・胎内市沖
⑫北海道岩宇・南後志地区沖
⑬北海道檜山沖
⑭山形県遊佐町沖

プロセス



【参考】再エネ海域利用法の施行

- 洋上風力発電について、海域利用のルール整備などの必要性が指摘されていたところ。
- これを踏まえ、必要なルール整備を実施するため、「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（以下、再エネ海域利用法）」が2019年4月1日より施行。

2018年7月 エネルギー基本計画（閣議決定）

○陸上風力の導入可能な適地が限定的な我が国において、**洋上風力発電の導入拡大は不可欠**である。（中略）
地域との共生を図る海域利用のルール整備や系統制約、基地港湾への対応、関連手続きの迅速化と価格入札も組み合わせた洋上風力発電の導入促進策を講じていく。

2018年12月 再エネ海域利用法の成立

【洋上風力発電の主な課題】

課題① 海域利用に関する統一的なルールがない

- ・海域利用（占用）の統一ルールなし
（都道府県の許可は通常3～5年と短期）

課題② 先行利用者との調整の枠組が不明確

- ・海運や漁業等の地域の先行利用者との調整に係る枠組が存在しない。

課題③ 高コスト

- ・FIT価格が欧州と比べ**36円/kWhと高額**。
- ・国内に経験ある**事業者が不足**。

【対応】

・国が、洋上風力を実施可能な**促進区域を指定**。公募を行って事業者を選定、**長期占用を可能とする制度**を創設。
→十分な占用期間（30年間）、事業の安定性を確保。

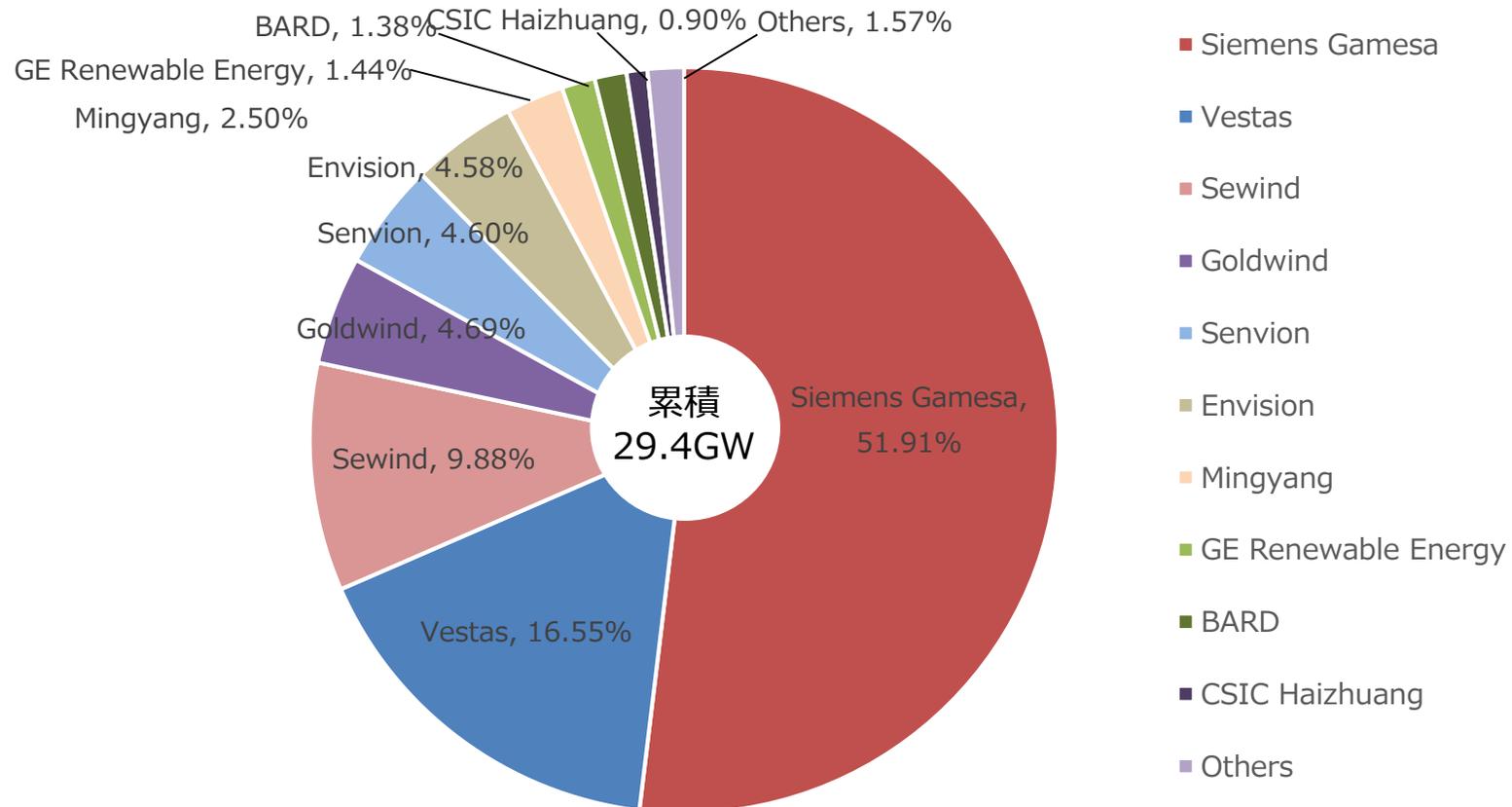
・関係者による協議会を設置。地元調整を円滑化。
・区域指定の際、関係省庁と協議。他の公益との整合性を確認。
→事業者の予見可能性向上、負担軽減。

・価格等により事業者を公募・選定。
→ 競争を促してコストを低減。

風車産業の現状

- タービンメーカーは、欧州のシーメンスガメサやベスタスが大きなシェアを占める。日本国内には製造拠点は不在。
- 一方で、我が国においても、発電機、増速機、ベアリング、ブレード用炭素繊維素材、永久磁石等では、技術力を有する部品メーカーの潜在力や国内ものづくり基盤がある。

洋上風力発電タービンメーカーシェア



出典 : GWEC Intelligence 「Global Wind Market Development Supply Side Data 2019」

「洋上風力産業ビジョン（第1次）」の策定（2020年12月策定）

洋上風力発電の意義と課題

- 欧州を中心に全世界で導入が拡大。近年では、中国・台湾・韓国を中心にアジア市場の急成長が見込まれる。
(全世界の導入量は、2018年23GW→2040年562GW（24倍）となる見込み)
- 現状、洋上風力産業の多くは国外に立地しているが、日本にも潜在力のあるサプライヤーは存在。

洋上風力の産業競争力強化に向けた基本戦略

1. 魅力的な国内市場の創出

2. 投資促進・サプライチェーン形成

3. アジア展開も見据えた次世代技術開発、国際連携

官民の目標設定

(1) 政府による導入目標の明示

- ・2030年までに1,000万kW、2040年までに3,000万kW～4,500万kWの案件を形成する。

(2) 案件形成の加速化

- ・政府主導のプッシュ型案件形成スキーム（日本版セントラル方式）の導入

(3) インフラの計画的整備

- ・系統マスタープラン一次案の具体化
- ・直流送電の具体的検討
- ・港湾の計画的整備

(1) 産業界による目標設定

- ・国内調達比率を2040年までに60%にする。
- ・着床式発電コストを2030～2035年までに、8～9円/kWhにする。

(2) サプライヤーの競争力強化

- ・公募で安定供給等に資する取組を評価
- ・補助金、税制等による設備投資支援（調整中）
- ・国内外企業のマッチング促進（JETRO等）等

(3) 事業環境整備（規制・規格の総点検）

(4) 洋上風力人材育成プログラム

(1) 浮体式等の次世代技術開発

- ・「技術開発ロードマップ」の策定
- ・基金も活用した技術開発支援

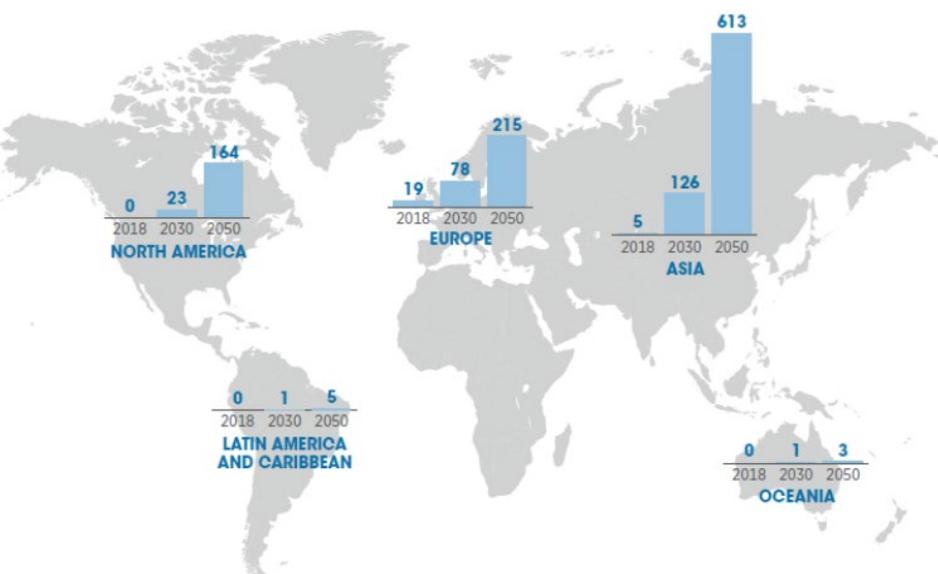
(2) 国際標準化・政府間対話等

- ・国際標準化
- ・将来市場を念頭に置いた二国間対話等
- ・公的金融支援

今後急拡大が見込まれるアジア市場

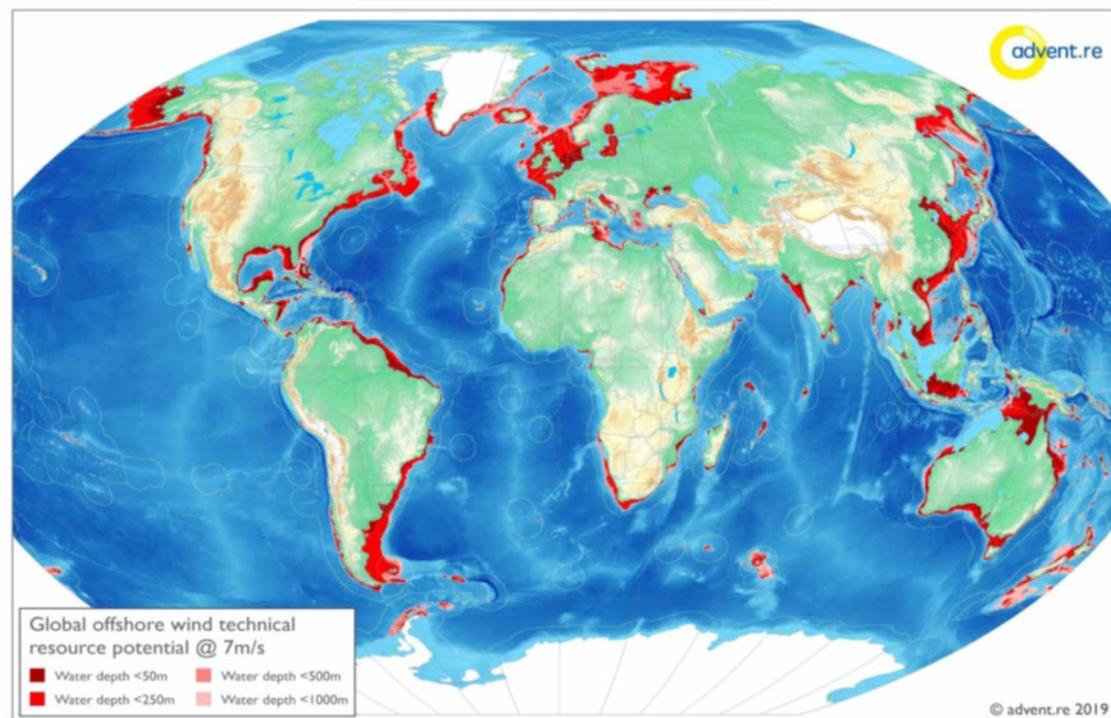
- 欧州を中心に洋上風力が拡大してきたが、2050年にかけてはアジア市場の急成長が見込まれる。
- ①海の形状（急に深くなる）、②気象条件（低風速・台風・落雷等）、③海象条件等が欧州とアジアでは異なることから、こうした違いを踏まえた最適化が今後の競争力の鍵となる。

IRENAの市場予測 (単位:GW)



出典：IRENA “Future of Wind” (2019年10月)

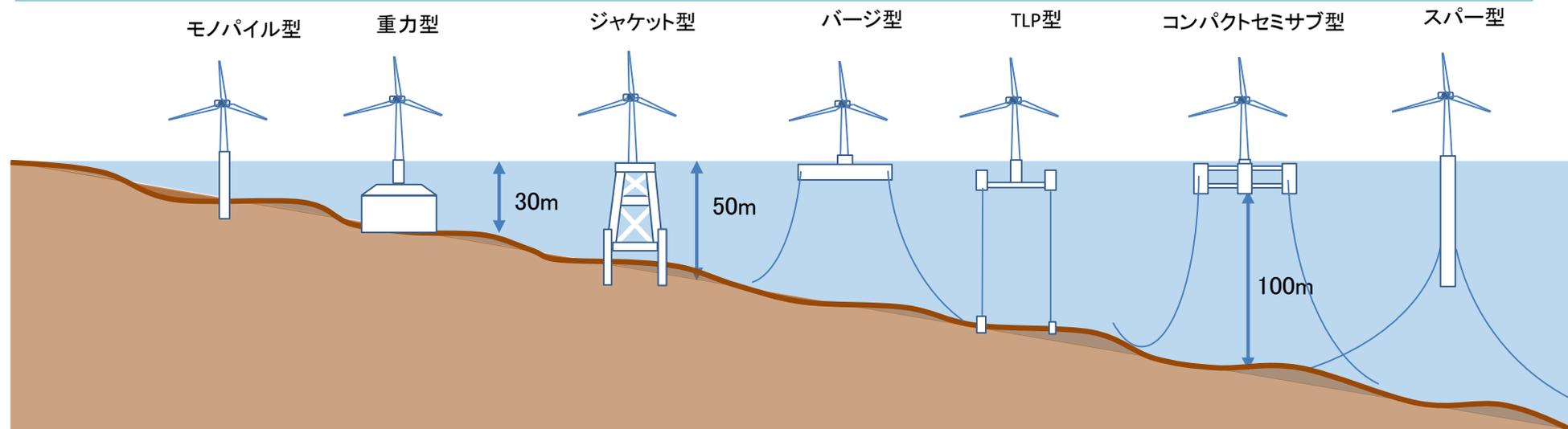
洋上風力の適地の分布



出典：GWEC “Taking offshore wind global” (2020年3月)

【参考】洋上風力の種類（着床式と浮体式）

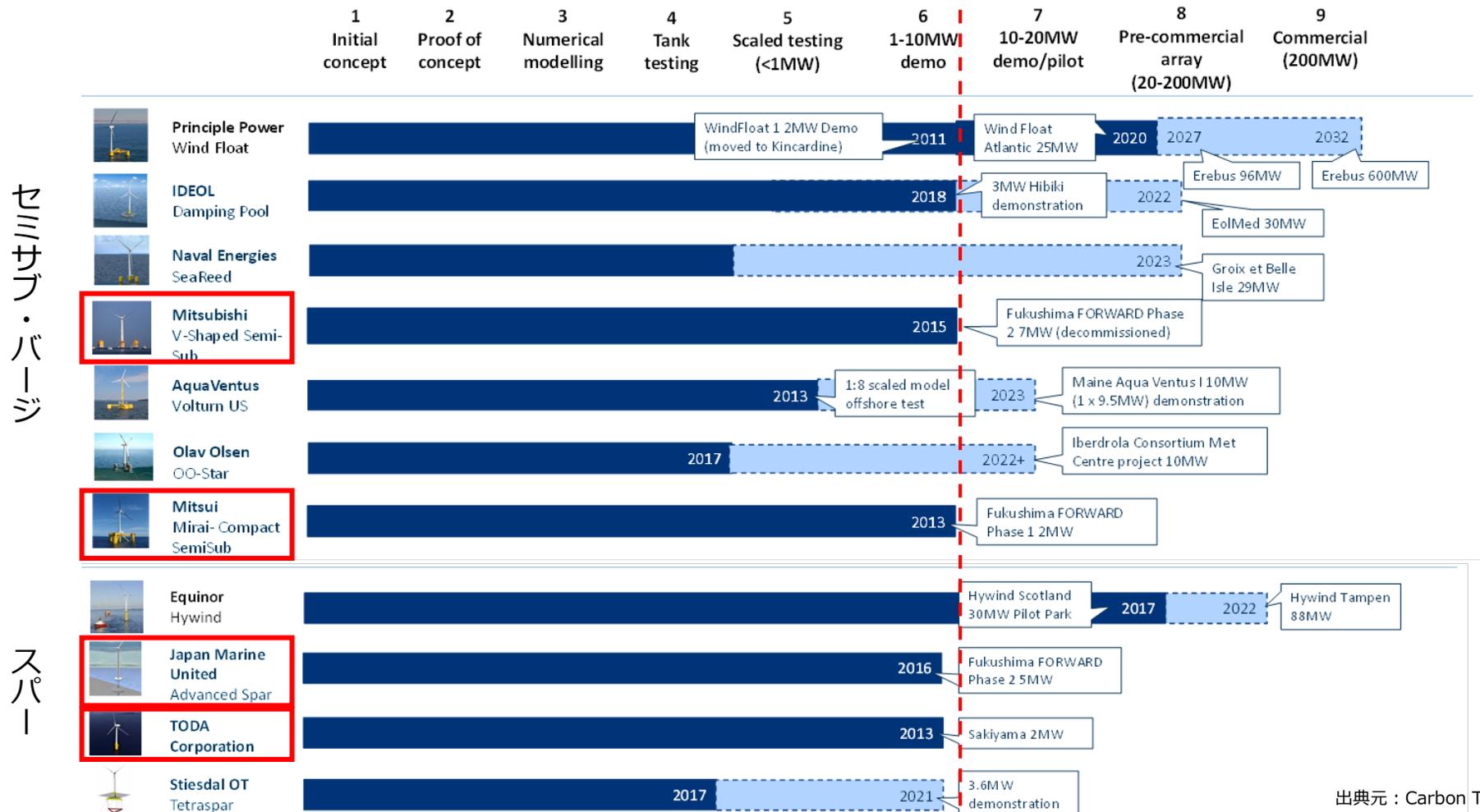
- 水深の深いエリアでは浮体式技術が必要。



	着床式			浮体式			
	モノパイル型	重力型	ジャケット型	バージ型	TLP型	コンパクトセミサブ型	スパー型
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・施工が低コスト ・海底の整備が原則不要 	<ul style="list-style-type: none"> ・保守点検作業が少ない 	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的深い水深に対応可 ・設置時の打設不要 	<ul style="list-style-type: none"> ・構造が単純で低コスト化可 ・設置時の施工が容易 	<ul style="list-style-type: none"> ・係留による占用面積が小さい ・浮体の上下方向の揺れが抑制される 	<ul style="list-style-type: none"> ・港湾施設内で組立が可能 ・浮体動揺が小さい 	<ul style="list-style-type: none"> ・構造が単純で製造容易 ・構造上、低コスト化が見込まれる
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤の厚みが必要 ・設置時に汚濁が発生 	<ul style="list-style-type: none"> ・海底整備が必要 ・施工難易度が高い 	<ul style="list-style-type: none"> ・構造が複雑で高コスト ・軟弱地盤に対応不可 	<ul style="list-style-type: none"> ・暴風時の浮体動揺が大。安全性等の検証が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・係留システムのコストが高い 	<ul style="list-style-type: none"> ・構造が複雑で高コスト ・施工効率、コストの観点からコンパクト化が課題 	<ul style="list-style-type: none"> ・浅水域では導入不可 ・施工に水深を要し設置難
備考	-	銚子沖実証事業（東京電力HD他）	北九州沖実証事業（電源開発 他）	北九州沖実証事業（日立造船 他）	-	福島沖実証事業（三井E&Sエンジニアリング 他）	福島沖実証事業（ジャパンマリンユナイテッド 他） 五島市沖実証事業（戸田建設 他）

浮体式技術の開発競争

- 足下では水深の浅い海域で、欧州で技術が確立した着床式の導入が進むが、浮体式は、欧州においてもまだ開発途上。造船業を含む新たなプレーヤーの参入余地も期待される。
- 欧州では、複数のプロジェクトが同時並行して進展。1基での実証の後、複数機による実証でプロジェクトを洗練させ、商用に至る計画が一般的。



※赤枠は日本企業

※日本企業の浮体で大型風車を複数機用いた実績はない。

出典元：Carbon Trust分析

【参考】グリーン成長戦略 ①洋上風力・太陽光・地熱産業（洋上風力）

- ◆魅力的な国内市場を創出することにより国内外の投資を呼び込み、競争力があり強靱なサプライチェーンを構築。
更に、アジア展開も見据えた次世代技術開発、国際連携に取り組み、国際競争に勝ち抜く次世代産業を創造していく。

	現状と課題	今後の取組
国内市場の創出	<p>洋上風力市場の拡大、アジア拠点誘致競争の激化</p> <ul style="list-style-type: none"> 洋上風力は、2040年には全世界で562GW(現在の24倍)の導入量が見込まれる(120兆円超の産業に)。 欧州では、需要地に近い工場立地により輸送コストを抑えつつ、大規模化技術の開発と量産投資により、コスト低減が進展。(落札額10円/kWh以下、補助金ゼロの案件も) アジア市場は急速に成長。2030年世界シェア41%(96GW)がアジアとの予測も。欧米風車メーカー(シーメンスガメサ、ヴェスタス、GE)のアジア進出が本格化。アジア各国においても誘致競争が始まっている。 	<p>魅力的な国内市場の創出</p> <ol style="list-style-type: none"> ①政府による導入目標の明示 <ul style="list-style-type: none"> ・国は導入目標にコミット 導入目標：2030年10GW、2040年30~45GWの案件形成 ②案件形成の加速化 <ul style="list-style-type: none"> ・海域占用ルールの整備：国が促進区域を指定し、30年間占有可能(再エネ海域利用法) →4ヶ所(長崎、千葉、秋田×2)を指定し公募を実施済み、今後も毎年1GW程度の新区域を指定 ・初期段階から政府や地方自治体が関与し、プッシュ型で案件形成を行うことにより、迅速・効率的に風況等の調査や系統確保を行う仕組み(日本版セントラル方式)の確立(実証事業・系統確保スキーム等) ③インフラの計画的整備 <ul style="list-style-type: none"> ・より多くの再エネを送電網に接続する仕組みのローカル系統等への全国展開に向けた技術開発や、再エネが優先して利用される系統利用ルールの適用開始に向けた検討を加速化 ・系統整備のマスタープランの策定(2021年5月中間整理、2022年度中に完成を目指す) ・風力発電適地と電力需要地を結び長距離の海底直流送電の整備案の具体化 ・大型風車の設置・維持管理に必要な基地港湾の着実な整備とともに、基地港湾の在り方を検討開始
国内サプライチェーン形成	<p>国内に風車製造拠点は不在</p> <ul style="list-style-type: none"> 国内に風車製造拠点は不在。欧米風車メーカー3社は欧州に立地。 国内市場の創出を呼び水とし、サプライチェーンを形成することが、電力安定供給や経済波及効果の観点から重要。 風車は部品点数が数万点と多く、関連産業への波及効果大。国内の部品サプライヤー(発電機、増速機、ベアリング、ブレード用炭素繊維、永久磁石等)は、潜在的競争力があるが、国内ものづくり基盤を十分に活用できていない。 	<p>投資促進、競争力があり強靱なサプライチェーンの形成</p> <ol style="list-style-type: none"> ①産業界による国内調達比率・コスト低減目標の設定 <ul style="list-style-type: none"> ・産業界は、国内調達比率・コスト低減目標にコミット 国内調達率目標：2040年60% コスト低減目標：2030~2035年8~9円/kWh ②サプライヤーの競争力強化 <ul style="list-style-type: none"> ・公募において、安定供給に資する取組に加点 ・サプライチェーンの構築に対する設備投資の促進 ・海外企業と日本企業の協業の促進(J-Bridge等) ③事業環境整備：産業界から要望のあった各種規制(残置規制の明確化、航空障害灯の設置基準緩和、安全審査合理化等)の総点検を実施済、各規制の担当省庁において検討を加速化 ④洋上風力人材育成プログラム
次世代技術(浮体式)の開発、マーケット獲得	<p>世界横一線の浮体式技術、欧州と環境異なるアジア</p> <ul style="list-style-type: none"> 将来的に、気象・海象が似ており、市場拡大が見込まれるアジア展開を見据えることが重要。 浮体式の技術は世界横一線であり、造船業を含む新たなプレーヤーの参入余地も。商用化を見据えながら、技術開発を加速化。同時に、官民が連携して海外展開の下地づくりを進める。 	<p>アジア展開も見据えた次世代技術開発、国際連携</p> <ol style="list-style-type: none"> ①アジア展開も見据えた次世代技術開発 <ul style="list-style-type: none"> ・「技術開発ロードマップ」(2021年4月策定)に基づき、要素技術開発を加速化 ・実海域での実証も見据えつつ、グリーンイノベーション基金の活用も検討した浮体式等の技術開発 ②国際標準化・政府間対話等 <ul style="list-style-type: none"> ・国際標準化(浮体式の安全評価手法) ・将来市場を念頭に置いた二国間政策対話・国際実証(日EUエネルギー政策対話等)

① 洋上風力・太陽光・地熱産業

●導入フェーズ： 1. 開発フェーズ 2. 実証フェーズ 3. 導入拡大・コスト低減フェーズ 4. 自立商用フェーズ

(洋上風力) の成長戦略「工程表」 ●具体化するべき政策手法： ①目標、②法制度（規制改革等）、③標準、④税、⑤予算、⑥金融、⑦公共調達等

	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	～2050年
魅力的な国内市場創出	官民協議会を通じた、官民一体となった需要の創出（国は導入目標にコミット、民間は国内調達率・コスト低減目標にコミット）							
【国の目標】	再エネ海域利用法に基づく公募（導入見通し1GW/年、2030年10GW）					(2040年30～45GW) ※浮体式含む		
●導入目標 2030年 10GW	国主導による社会実証 (風況・地質等の事前調査)		プッシュ型の案件形成（日本版セントラル方式の確立）					
2040年 30～45GW	第一次マスタープラン策定、 直流送電の 具体的検討	風力発電適地と電力需要地を結ぶ系統整備						
	基地港湾の着実な整備							
投資促進、 サプライ チェーン 形成	競争力があり強靱な国内サプライチェーン形成(産業界の目標設定と着実な実行)					2030～2035年 発電コスト8～9円/kWh	2040年 国内調達比率60%	
【民間の目標】	サプライヤーの競争力強化							
●国内調達比率 2040年60%	公募で安定調達に資する国内調達に加点、JETROを通じた海外企業と日本企業の協業の促進等							
●コスト目標 2030～2035年 8～9円	サプライチェーンの構築に対する設備投資の促進							
	規制の総点検 (安全審査合理化、 残置規制等)	規制改革の更なる推進						
	人材育成 プログラム策定		人材育成の推進					
アジア展開 も踏まえた 次世代技術開発、 国際連携	技術開発 ロードマップ策定	浮体式等の次世代技術開発・実証（基金の活用も検討）					浮体式の商用化・導入拡大	
	海外展開を見据えた二国間対話や共同研究開発・国際実証の推進					海外展開に向けたファイナンス支援（NEXI/JBICの支援）		
	浮体の安全評価手法等の国際標準化							

1. 本プロジェクトの背景・目的

(1) 洋上風力を取り巻く状況・課題

(2) 課題解決に向けた技術開発の方向性

2. 本プロジェクトの目標

3. 本プロジェクトの研究開発内容と社会実装に向けた支援

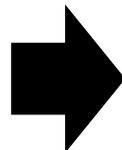
4. 本プロジェクトのスケジュール

「技術開発ロードマップ」による要素技術の特定

- 「洋上風力産業ビジョン」で示したとおり、アジアの需要を取り込むためには、サプライチェーン形成を進めつつ、将来の市場獲得に向けた次世代技術開発を戦略的に進めていくことが重要。
- ただし、我が国の競争力の現状を踏まえると、限られたリソースを集中させた戦略的な研究開発の推進が不可欠。
- そのため、官民協議会及びNEDOにおいて、候補となる技術群をロングリストで抽出し、8分野に整理。その上で、分野毎に、
 - ① 日本の特性や強み、アジア市場への最適化に有用な技術であるか。
 - ② 社会実装を見据え、ユーザーである発電事業者のニーズを踏まえたものであるか。といった観点から、有識者や産業界の意見を踏まえ、開発すべき要素技術の絞り込みを行い、「技術開発ロードマップ」として本年4月にとりまとめた。

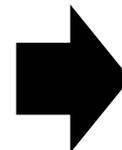
＜技術開発ロードマップの策定プロセス＞

文献調査、事業者
ニーズ等から候補となる
技術のロングリスト
の作成



8つの分野に整理

- | | |
|----------|----------|
| ①調査開発 | ⑤浮体式基礎製造 |
| ②風車 | ⑥浮体式設置 |
| ③着床式基礎製造 | ⑦電気システム |
| ④着床式設置 | ⑧運転保守 |



分野別に
1)世界の動向
2)日本の特性
3)日本の強み
の観点から開発すべき要素
技術を絞り込み

「技術開発ロードマップ」における作業例（風車のケース）

「洋上風力の産業競争力強化に向けた技術開発ロードマップ」
(2021年4月1日) 抜粋

分野②：風車（風車設計・ブレード・ナセル部品・タワー等）

- 世界の動向：欧州において、**大型化による稼働率向上・コスト低減**が進んでいる。風車は**2030年までに定格出力が15MW超～20MWクラスまで大型化し、ロータの直径は最大250mになると予測**されている。
- 日本の特性：**日本・アジアの自然条件（台風、地震、落雷、低風速等）**に鑑みると、現在欧州で使用されている風車設計のまま単にサイズを大きくするだけでは、日本にとって最適な設計にはならない可能性がある。**台風や地震への対応は、クラスT風車が台湾に導入され実績ができつつあるが、日本は欧州や台湾より年平均風速が低く、冬季雷落雷等への対応が必要**。また、**発電機等を軽量化**することで地震荷重等が低減するため、風車・基礎等のコストを低減する効果がある。開発にあたってはグローバルメーカーとの協働も必要。
- 日本の強み：発電機、増速機、ベアリング、ブレード用炭素繊維素材、永久磁石等の**陸上風力の経験等から技術力を有する部品メーカーの潜在力や国内ものづくり基盤**がある。また、日本は**生産技術・品質管理や、工場の自動化等のロボティクス**にも強みがあり、風車全体のバリューチェーンの効率化・最適化を確立する下地がある。

日本の特性や強みを分析

日本の自然条件の特性を踏まえた絞り込み

項目	技術開発の例
風車仕様の最適化	グローバルメーカーと協働し、日本の自然条件である台風、地震、落雷、低風速等に対応した風車仕様の最適化。
風車の高品質大量生産技術	日本の生産技術やロボティクス技術を活かし、グローバルメーカーにより設計された大型風車の国内における高効率生産を実現。
浮体搭載風車の最適設計	風車・浮体・係留・制御の一体設計を行うことにより、浮体動揺を考慮した風車発電量を最適化。
次世代風車要素技術開発	発電機、電力変換装置、増速器及び周辺機器等のナセル部品の高性能、高信頼性、低コスト化技術開発。
低風速域向けブレード	長尺化等のブレード開発により、日本・アジアの年間平均風速の低い地域における設備利用率の向上。
洋上風車の長寿命化技術	洋上風力発電システム（基礎を含む）の長期運用を可能とする技術開発及び設計方法の確立。
大型風車の開発	部品、試験装置、輸送・設置、インフラ等への影響を考慮した風車の大型化による風力発電コストの低減を実現。
ブレード侵食防止技術	塩分の高い洋上環境におけるブレードの侵食の防止や、交換頻度の予測を行う技術開発。
ブレードリサイクル技術	風車ブレードのリサイクルの実証、ブレード材料の再利用の実証。
タワーの高高度化と低コスト化	ラスタタワー・コンクリートタワーの開発による風車タワーの高高度化と低コスト化を実現。

日本の強みを踏まえた絞り込み

欧州等との比較優位が保てない技術は優先順位を下げる。

本プロジェクトで対象とすべき分野について

- 本基金事業は「グリーン成長戦略において実行計画を策定している重点分野であり、政策効果が大きく、社会実装までを見据えて長期間の継続支援が必要な領域に重点化」することとされている。
- サプライチェーン8分野のうち、技術成熟度が比較的低く、長期の支援が必要となる分野として、②風車、⑤浮体式基礎製造、⑥浮体式設置、⑦電気システム、⑧運転保守の5分野を本プロジェクトの対象として重点化。

区分	分野	TRL 1	2	3	4	5	6	7	8	9	
共通	①調査開発 (風況観測・配置最適化等)										<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
	②風車 (風車設計・ブレード・ナセル部品・タワー等)										<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 浮体搭載風車の最適設計 次世代風車要素技術開発 低風速域向けブレード
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
	④着床式設置 (輸送・施工等)										<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
浮体	⑤浮体式基礎製造 (浮体・係留索・アンカー等)										<ul style="list-style-type: none"> 一体設計 浮体基礎の最適化 浮体の量産化
	⑥浮体式設置 (輸送・施工等)										<ul style="list-style-type: none"> 係留システムの最適化 ハイブリッド係留システム 低コスト施工技術の開発
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
	⑧運転保守 (O&M)										<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 監視及び点検技術の高度化 落雷故障自動判別システムの開発

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

1. 本プロジェクトの背景・目的

2. 本プロジェクトの目標

3. 本プロジェクトの研究開発内容と社会実装に向けた支援

4. 本プロジェクトのスケジュール

研究開発の目標と目標設定の考え方（1）

- 欧州を中心として、技術の確立した着床式洋上風力発電の導入が進み、発電コスト（LCOE）の平均は8.6円/kWhとなっている。
- 日本では、再エネ海域利用法に基づく初めての公募が2020年から開始されたが、入札上限価格は、着床式が29円/kWh、浮体式が36円/kWhと、諸外国と比較してコストが高い。
- 洋上風力産業を国際競争力のある産業とするためには、低コスト化に向けた技術を社会実装するため、以下の野心的な目標を設定。

本プロジェクトの目標

2030年までに、一定条件下（風況等）で、

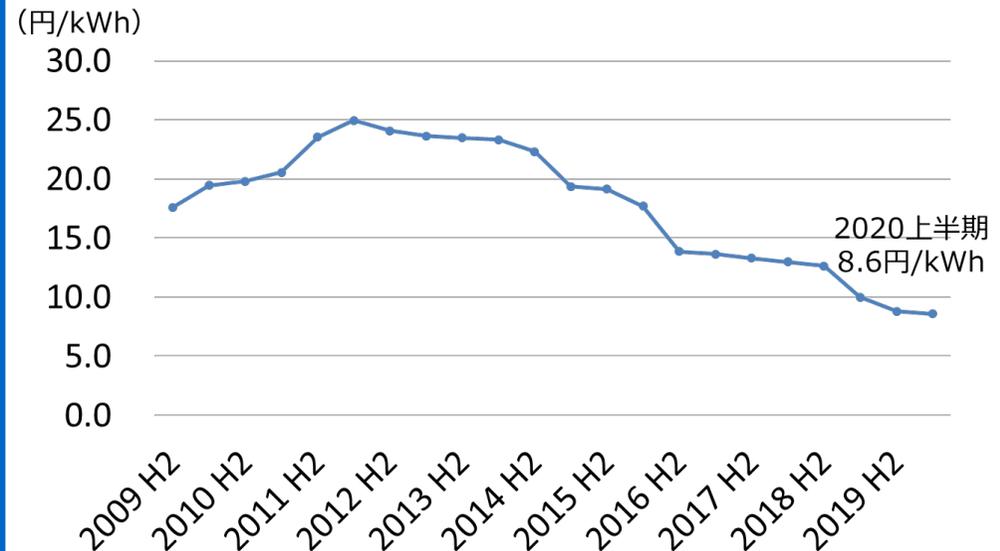
- **着床式洋上風力発電の発電コストが8～9円/kWhを見通せる技術を確立する。**

※「洋上風力産業ビジョン」において産業界は2030～2035年に8～9円/kWhにするとの目標を掲げており、2030年に達成することは野心的。

- **浮体式洋上風力発電を国際競争力のあるコスト水準で商用化する技術を確立する。**

※欧州Wind Europeの試算では、欧州の浮体式のLCOEは2030年までに5～8円/kWh（40-60ユーロ/MWh）に達するという見通しもあるが、内外価格差や風況等も踏まえつつ国際競争力あるコスト水準を達成できているか評価（実証の開始段階で目標値を設定）。

世界における洋上風力発電のLCOEの推移



（出所）第64回調達価格等算定委員会 資料1

研究開発の目標と目標設定の考え方（2）

- **CO₂削減効果（国内）**は、洋上風力により発電された電力が、火力発電の電力を代替すると仮定して試算。**日本国内の2030年と2050年の導入見込み**が現在行われている公募の上限価格設定の想定値である**33.2%の設備利用率で稼働したと仮定**すると、**2030年に約300～700万トン／年、2050年に約0.9億トン／年**となる。
- 国際再生可能エネルギー機関（IRENA）の試算に基づけば、洋上風力の**世界におけるプロジェクト全体の投資額**は、下記のとおり。
 - 2030年に導入量228GW（うちアジア126GW）で61億ドル（約6.6兆円）／年
 - 2050年に導入量1000GW（うちアジア613GW）で100億ドル（約11兆円）／年
- **経済波及効果**として、日本市場全体とアジアでシェア25%を獲得すると仮定した場合、**2030年に約1兆円、2050年に2兆円**となる。

CO₂削減効果

【洋上風力発電による国内のCO₂削減効果】

- ・2030年 約300～700万トン/年
- ・2050年 約0.9億トン/年

経済波及効果

【洋上風力発電の世界市場規模】

- ・2030年 約6.6兆円／年
- ・2050年 約11兆円／年
（うち）

【アジアシェア25%と仮定した経済波及効果】

- ・2030年 約1兆円／年
- ・2050年 約2兆円／年

1. 本プロジェクトの背景・目的

2. 本プロジェクトの目標

3. 本プロジェクトの研究開発内容と社会実装に向けた支援

(1) 研究開発内容

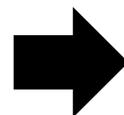
(2) 社会実装に向けた支援

4. 本プロジェクトのスケジュール

洋上風力発電の低コスト化プロジェクト（全体像）

- 今後急拡大が見込まれるアジアの市場を獲得するためには、これまでの浮体の開発・実証成果も踏まえながら、風車の大型化に対応して設備利用率を向上し、コストを低減させることが不可欠。
- そのため、
 - ① 台風、落雷等の気象条件やうねり等の海象条件等のアジア市場に適合し、また日本の強みを活かせる要素技術の開発を進めつつ（フェーズ1）、
 - ② こうした要素技術も活用しつつシステム全体として関連技術を統合した実証を行う（フェーズ2）。

フェーズ1：要素技術開発



フェーズ2：浮体式実証

テーマ①：次世代風車技術開発事業(補助、5年程度)

- 風車仕様の日本の自然条件への最適化、日本の生産技術やロボティクス技術を活かした大型風車の高品質大量生産技術、次世代風車要素技術開発等

テーマ②：浮体式基礎製造・設置低コスト化技術開発事業(補助、3年程度)

- 浮体の大量生産、合成繊維と鉄のハイブリッド係留システム、共有アンカーや海中専有面積の小さいTLP係留等

テーマ③：洋上風力関連電気システム技術開発事業(補助、3年程度)

- 高電圧ダイナミックケーブル、浮体式洋上変電所等

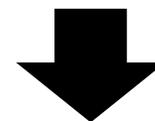
テーマ④：洋上風力運転保守高度化事業(補助、3年程度)

- 洋上環境に適した修理や塗装技術、高稼働率の作業船の開発、デジタル技術による予防保全・メンテナンス高度化、ドローン等を用いた点検技術の高度化等

フェーズ1の成果（先端技術）を活用した案件は、高い補助率を適用

フェーズ2：浮体式洋上風力実証事業(補助、最大8年)

風車・浮体・ケーブル・係留等の一体設計を行い、最速2023年から実証を実施

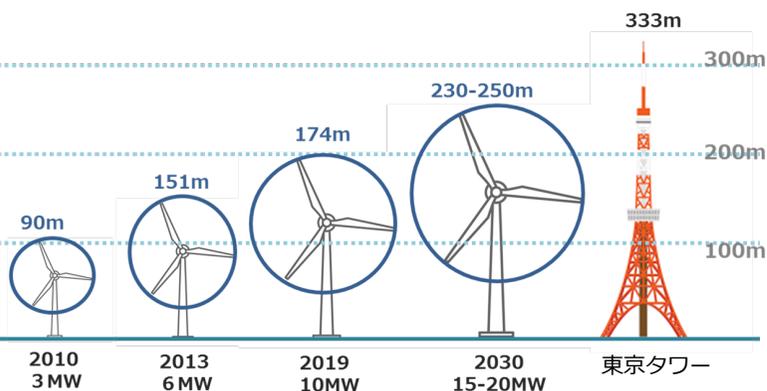


商用化・社会実装

フェーズ1 – ①：次世代風車技術開発事業

- 世界の動向：欧州では**2030年までに風車の定格出力が15MW超～20MWクラス、ロータの直径は最大250mまで大型化し、稼働率向上・コスト低減が進むと予測**されている。
- 日本の特性：**日本・アジアの自然条件（台風、地震、落雷、低風速等）**に鑑みると、欧州の風車設計のまま単にサイズを大きくするだけでは、アジアでは最適設計とならない可能性。また、**発電機等を軽量化**することで地震荷重等が低減するため、風車・基礎等のコストを低減する効果がある。
- 日本の強み：陸上風力で培った、**発電機、増速機、ベアリング、ブレード用炭素繊維素材、永久磁石等の部品メーカーの技術力**や**国内ものづくり基盤**や**生産技術・品質管理**や、**工場の自動化等のロボティクス**に強み。

<洋上風車の大型化>



項目	技術開発の例
風車仕様の最適化	グローバルメーカーと協働し、日本の自然条件である台風、地震、落雷、低風速等に対応した風車仕様の最適化。
風車の高品質大量生産技術	日本の生産技術やロボティクス技術を活かし、グローバルメーカーにより設計された大型風車の国内における高効率生産を実現。
浮体搭載風車の最適設計	風車・浮体・係留・制御の一体設計を行うことにより、浮体動揺を考慮した風車発電量を最適化。
次世代風車要素技術開発	発電機、電力変換装置、増速器及び周辺機器等のナセル部品の高性能、高信頼性、低コスト化技術開発。
低風速域向けブレード	長尺化等のブレード開発により、日本・アジアの年間平均風速の低い地域における設備利用率の向上。

フェーズ1 – ②：浮体式基礎製造・設置低コスト化技術開発事業

- 世界の動向：世界各国でバージ、セミサブ、スパー、TLP等の多様な浮体形式を様々なメーカーが開発。各種技術間で競争してる状況。
- 日本の特性：水深、海底地形、海象などが多様であり、一つの浮体形式に絞り込まず、複数方式間での競争を喚起することが重要。（例：太平洋側は大きなうねりがあり、日本海側は波傾斜が大きくなる傾向）
- 日本の強み：日本には造船技術の基盤あり。その技術基盤やドッグ等のインフラを活用しながら、浮体の大量生産技術を世界に先駆けて確立する。

<ハイブリッド係留システム>



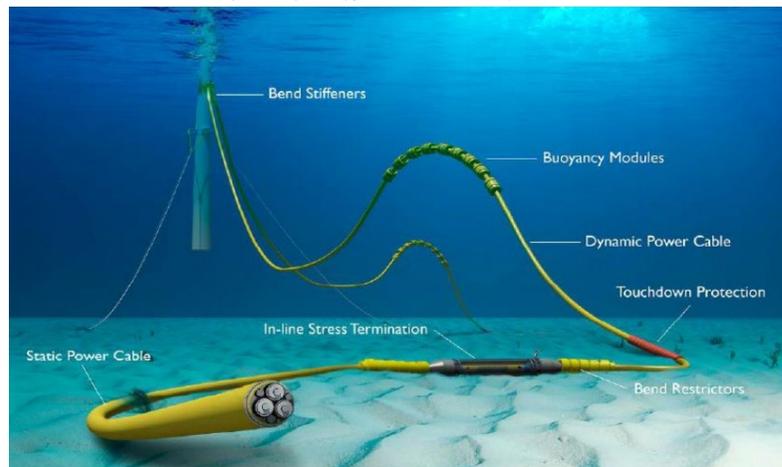
係留システムの一部をチェーンから合成繊維に置き換えることで、施工性が向上し、係留コストの低減が可能となる。複雑な地質の日本周辺海域の実情に適した合成繊維索からなる係留システムを開発する必要がある。

項目	技術開発の例
浮体基礎の最適化	風車の大型化および日本固有の気象・海象条件に対応した浮体基礎の最適化および材料削減によるコスト低減。
浮体の量産化	連続製造に適した浮体を設計し、浮体製造のパネル化やブロック化、分割施工、ドックに依存しない浮体の大量製造等の技術を確立。
係留システムの最適化	共有アンカー、衝撃荷重、マリングロス等を考慮した係留システムの最適化、大水深又は浅海域における係留システムの低コスト化技術の提案、並びに漁業協調に貢献する海中占有面積の小さいTLP係留システムの開発。
ハイブリッド係留システム	軽量化可能な合成繊維係留索の特性を生かし、合成繊維係留索と鋼製係留索からなるハイブリッド係留システムの設計・製造技術を開発し、係留システムの低コスト化。
低コスト施工技術の開発	浮体製作場所に対応した浮体基礎の浜出し・曳航方法、クレーン付き台船やジャッキアップ型作業構台を活用した大型風車の据え付け方法、ハイブリッド係留システムおよび共用アンカーの施工技術の開発による低コスト化。

フェーズ1 – ③ : 洋上風力関連電気システム技術開発事業

- 世界の動向：浮体の挙動に合わせて浮遊するダイナミックケーブルに関し、ウインドファームの大規模化により**66kVを超える高電圧化**や高耐久性・低コスト化の技術開発ニーズが高まっている。また、**遠浅の欧州では着床式の洋上変換所は導入されている**が、浮体式洋上変換所の技術は未確立。
- 日本の特性：**台風等の厳しい気象条件やうねり等の海象**がある中で、浮体の挙動によるケーブルの曲げや捻れに耐える強度や、浮体式変換設備の揺れに対する制御技術の開発ニーズが高い。
- 日本の強み：**国内ケーブルメーカーは世界シェアが高く、英国における技術開発コンペに参画**するなど、グローバルな競争優位を確保。

<ダイナミックケーブル>



出典：NREL

通常、海底ケーブルは海底に固定されるが、浮体式洋上風力発電向けには、浮体の挙動に追随するよう、海中浮遊部を設けて敷設する。繰り返し加わる海流や浮体挙動による曲げや捻れに対し、それに耐える強度を持つ設計とした高電圧のダイナミック送電ケーブルが必要となる。

項目	技術開発の例
高電圧ダイナミックケーブル	風車の大型化に対応できる66kV超えの高圧アレイと送電用のダイナミックケーブルを開発し、洋上送電を低コスト化。
浮体式洋上変電所	大規模浮体式洋上ウインドファームに向けた高効率・高密度な電力変換技術並びに電気機器やケーブルの疲労荷重を抑制した浮体式洋上変電所の開発。

フェーズ1 - ④ : 洋上風力運転保守高度化事業

- 世界の動向：コストの35%程度を占めるメンテナンスの高度化は世界的な課題。洋上風力発電所の運転中に得られたデータを分析・管理するためのプラットフォームや、厳しい海況下での人員輸送ソリューションの開発などが世界共通の課題。
- 日本の特性：台風、落雷、うねりなどアジア市場特有の事象に対応した運転保守技術の開発へのニーズ。アジア各国に先行して開発を進めることでデータの集積を進めることが可能。
- 日本の強み：陸上風力においてスマートメンテナンス技術、特に落雷対策技術に関する開発・活用が継続的に行われている。また、他産業で開発されているデジタル技術の導入も期待できる。

<デジタルツイン>



出典：GE社ウェブサイト

デジタルツインとは、物理的なアセットをデジタルで複製したもので、リアルタイムのセンサーデータを使用して、風車の現在のパフォーマンスを監視・評価し、将来の挙動を予測する。

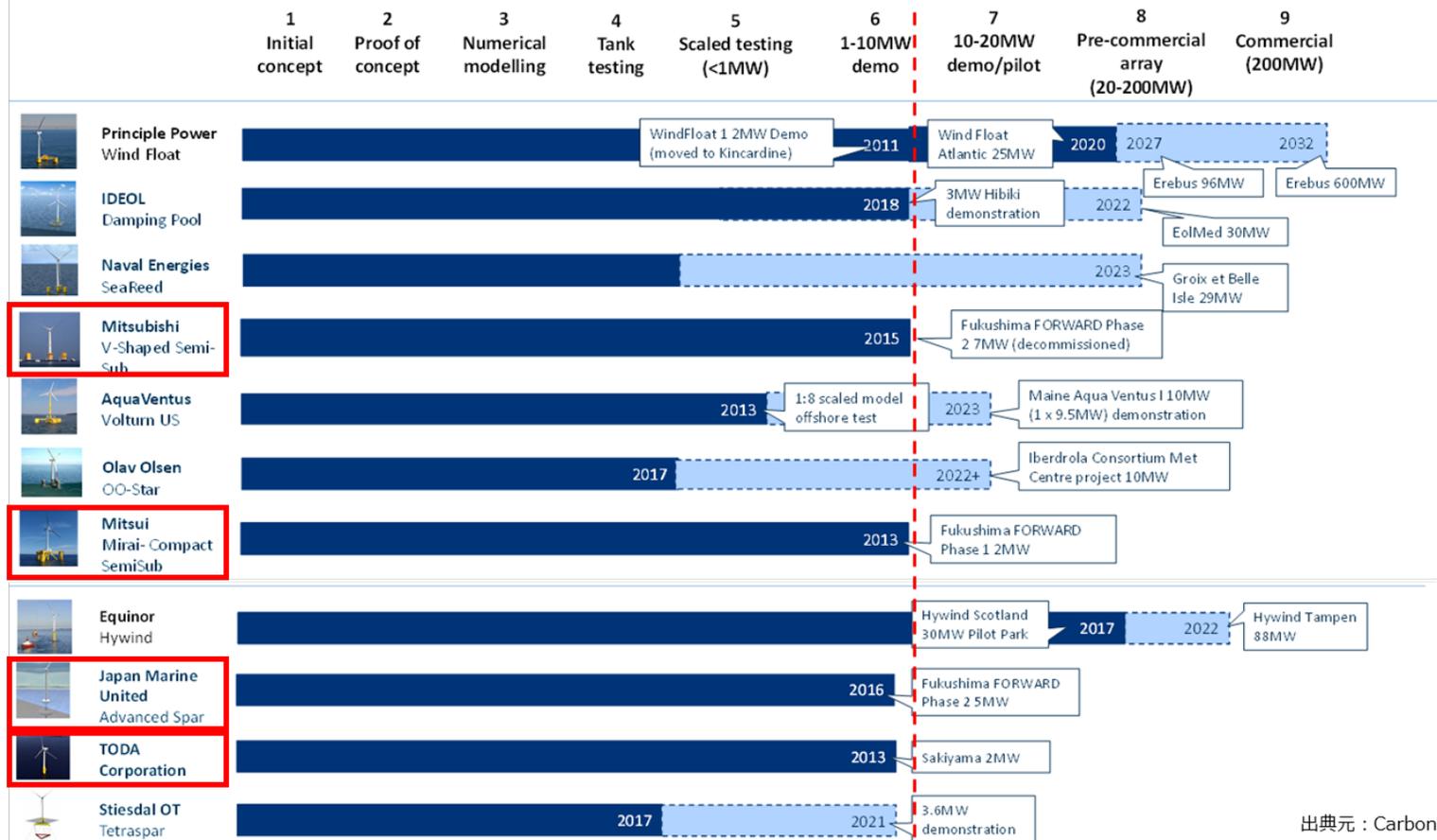
項目	技術開発の例
運転保守及び修理技術の開発	洋上環境に適した修理技術や塗装管理技術の開発、浮体式風車を曳航せず現地で大規模修理を行う技術の開発、係留索の張力調整技術、ダイナミックケーブルの脱着技術、高稼働率の作業船や作業員輸送船の開発。
デジタル技術による予防保全・メンテナンス高度化	風車運転保守データおよびCMSデータ収集システムの高度化、デジタルツインによる予防保全技術、AI技術を活用した部品寿命予測の高精度化。
監視及び点検技術の高度化	低コストの監視及び点検技術（遠隔モニタリングと状態監視メンテナンスのための新たなセンサーとアルゴリズム、空中・水中ドローン、点検ロボット、通信技術等）の開発。
落雷故障自動判別システムの開発	センサー・CMS・運転データを利用した雷による損傷を自動的に判別するシステムの確立。

フェーズ2：浮体式洋上風力実証事業

- 浮体式洋上風力発電を社会実装するためには、風車、浮体、係留システム、ケーブルの挙動・性能・施工性・コストを考慮した一体設計により、信頼性の向上と低コスト化が必要。
- そこで、ユーザー（発電事業者）を巻き込んでプロジェクト全体の発電コスト低減にコミットする形で、システム全体として関連技術を統合した実証を行う。
- なお、フェーズ1の成果を活用した案件は補助率を引き上げることにより実施者間の連携を促す。

セミサブ・バージ

スパーク



出典元：Carbon Trust分析

※赤枠は日本企業

※日本企業の浮体で大型風車を複数機用いた実績はない。

1. 本プロジェクトの背景・目的

2. 本プロジェクトの目標

3. 本プロジェクトの研究開発内容と社会実装に向けた支援

(1) 研究開発内容

(2) 社会実装に向けた支援

4. 本プロジェクトのスケジュール

「洋上風力産業ビジョン（第1次）」（再掲）

洋上風力発電の意義と課題

- 洋上風力発電は、①**大量導入**、②**コスト低減**、③**経済波及効果**が期待され、再生可能エネルギーの主力電源化に向けた切り札。
- **欧州を中心に全世界で導入が拡大**。近年では、中国・台湾・韓国を中心に**アジア市場の急成長**が見込まれる。
（**全世界の導入量は、2018年23GW→2040年562GW（24倍）**となる見込み）
- 現状、**洋上風力産業の多くは国外に立地しているが、日本にも潜在力のあるサプライヤーは存在**。

洋上風力の産業競争力強化に向けた基本戦略

1. 魅力的な国内市場の創出

2. 投資促進・サプライチェーン形成

3. アジア展開も見据えた次世代技術開発、国際連携

官民の目標設定

(1) 政府による導入目標の明示

- ・2030年までに1,000万kW、2040年までに3,000万kW～4,500万kWの案件を形成する。

(2) 案件形成の加速化

- ・政府主導のプッシュ型案件形成スキーム（日本版セントラル方式）の導入

(3) インフラの計画的整備

- ・系統マスタープラン一次案の具体化
- ・直流送電の具体的検討
- ・港湾の計画的整備

(1) 産業界による目標設定

- ・国内調達比率を2040年までに60%にする。
- ・着床式発電コストを2030～2035年までに、8～9円/kWhにする。

(2) サプライヤーの競争力強化

- ・公募で安定供給等に資する取組を評価
- ・補助金、税制等による設備投資支援（調整中）
- ・国内外企業のマッチング促進（JETRO等）等

(3) 事業環境整備（規制・規格の総点検）

(4) 洋上風力人材育成プログラム

(1) 浮体式等の次世代技術開発

- ・「技術開発ロードマップ」の策定
- ・基金も活用した技術開発支援

(2) 国際標準化・政府間対話等

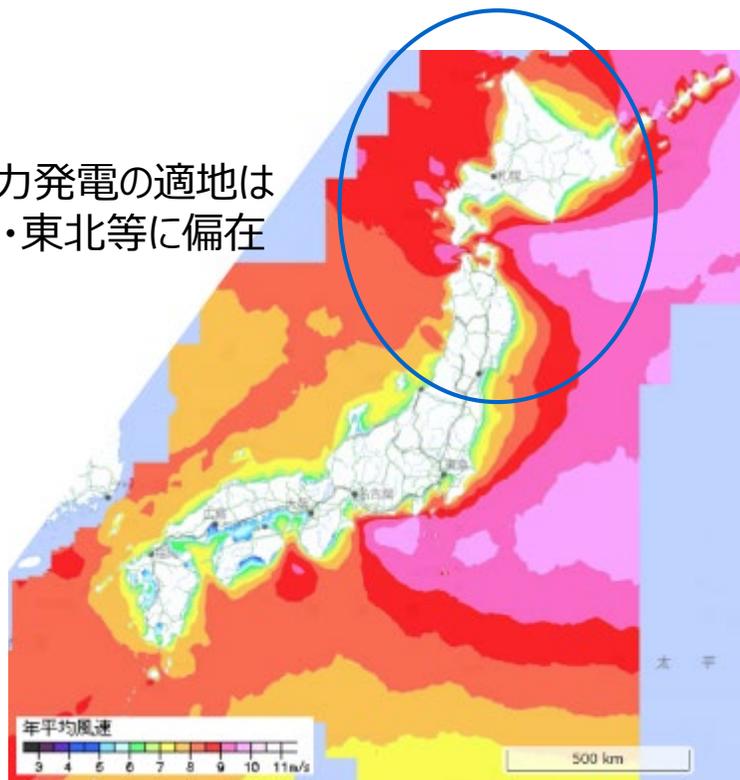
- ・国際標準化
- ・将来市場を念頭に置いた二国間対話等
- ・公的金融支援

【参考】系統等のインフラの整備

- 導入目標の実現に貢献する系統整備のマスタープランについて、本年5月に中間整理。**2022年度中に完成を目指す。**
- また、洋上風力のポテンシャルを生かすためには、適地から大需要地に運んでくる大送電網が重要。**直流送電について、技術的課題やコストを含め、導入に向けた具体的検討を開始した。**

洋上風力発電の適地（風況マップ）

洋上風力発電の適地は
北海道・東北等に偏在



直流送電の検討の進め方

意義

・洋上風力の適地と大需要地は離れており、長距離を効率的に送電する上では、交流送電と比べて安価な直流送電が望ましい。

課題

ルートを検討するにあたって、英国・ドイツ等の事例も踏まえ、以下の課題を整理する。

① 経済効率的な導入の在り方

- ・ルートの検討にあたっての考慮事項の整理
- ・敷設にあたっての費用の検討 等

② 直流送電の技術課題の克服

- ・洋上に点在する**多数の洋上変電所を直流送電により繋ぐ技術**
- ・**水深が深い場所でも活用可能な海底ケーブルの開発** 等

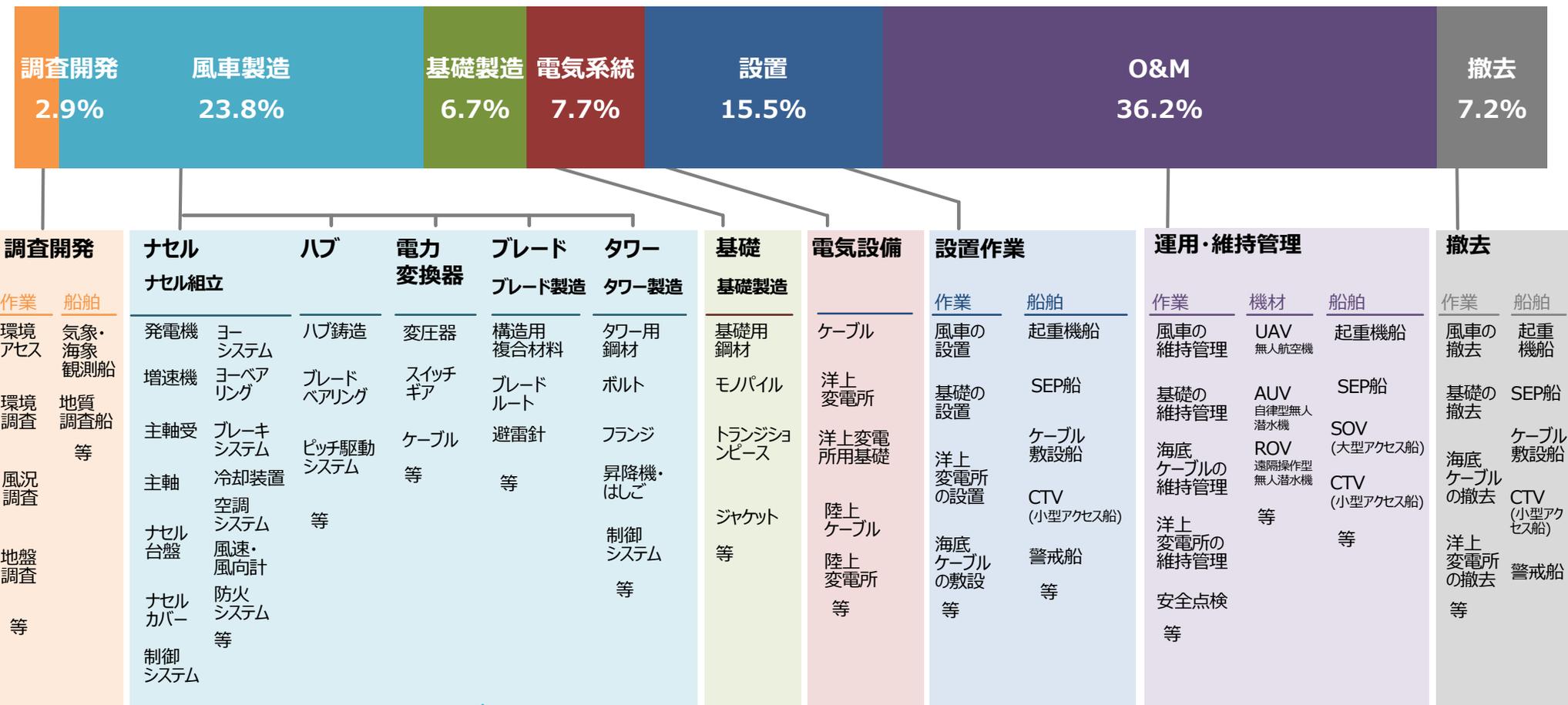
進め方

直流送電の課題を集中的に議論する場を新たに設けるとともに、議論の成果をマスタープランの策定に活用する。

【参考】サプライチェーン形成に向けた設備投資支援

- 洋上風力発電設備は、構成機器・部品点数が多く(数万点)、サプライチェーンの裾野が広い。
- サプライチェーン形成への投資を促進するため、政府としてもサプライチェーン対策のための国内投資促進事業費補助金・カーボンニュートラルに向けた投資促進税制等による設備投資支援を措置している他、JETRO等による国内外の企業のマッチング促進を実施。

洋上風力サプライチェーンの全体像（着床式の例）



※数字 (%) は「Guide to an offshore wind farm」(BVG associates, 2019) より三菱総研が算出したLCOEに占める割合。

【参考】洋上風力に関する各種規制・規格の総点検

- 産業界からの規制見直し要望に対し、各省庁と連携した規制・規格の総点検を実施。

産業界からの主な要望内容

	関係法令	見直しの要望内容	所管省庁
調査・ 開発	電気事業法	第三者認証機関の認証と、経済産業省の工事計画届出の <u>審査項目が重複</u> 。二重審査により <u>審査期間が長期化</u> するため、 <u>工事計画届出を審査する専門家会議の省略</u> を要望	経済産業省
	電気事業法/港湾法 /船舶安全法	運転開始まで、電気事業法、港湾法、船舶安全法に基づく <u>複雑な書類の提出・審査が複数回必要だったところ</u> 、 <u>審査の一本化</u> を要望	経済産業省 国土交通省
	環境影響評価法	環境アセスメントの <u>手続迅速化</u> と対象事業規模要件の見直し	環境省 経済産業省
	建築基準法	風況観測調査のための <u>一時設置の観測タワー</u> に係る手続きの迅速化	国土交通省
製造	航空法	風車のタワー中間部、港湾での仮組立時の風車などに設置する <u>航空障害灯の設置条件の緩和</u> と <u>風力発電機群の定義の見直し</u>	国土交通省
	JIS規格	洋上風車向けのモノパイル鋼材やタワーボルト等の <u>JIS規格の整備が必要な部材を特定</u> した上で、 <u>国内規格を整備し欧州規格等と相互認証</u>	経済産業省
設置	船舶法	工事作業・輸送用船舶の不足に対応するため、 <u>カボタージュ規制（外国籍船の寄港制限）</u> に関する特許要件の明確化	国土交通省
	労働安全衛生法	洋上風力クレーン作業における <u>強風時の作業中止の判断基準</u> の明確化、移動式クレーンの <u>吊荷走行禁止条件の緩和</u>	厚生労働省
撤去	海防法	着床式については、 <u>風車撤去時に原則として原状回復</u> が求められるところ、 <u>残置許可基準の明確化</u>	環境省

【参考】国際連携の推進・国際標準化等

- 政府は、将来的な海外展開を見据え、二国間エネルギー政策対話や国際実証等を行うことにより、政府間の協力関係の構築と、国内外の企業の連携を促す。
- また、浮体の安全評価手法の国際標準化等を通じて、浮体式等の海外展開に向けた下地づくりを行う。

国際連携の推進

二国間エネルギー政策対話

- ◆ 各国政府との政策対話を通じ、相手国の状況・ニーズを踏まえながら、海外展開、国際連携強化を推進

◆ 海外展開に向けた二国間エネルギー政策対話

相手国のエネルギー政策上の課題・ニーズを踏まえて、Win-Winとなる取組（人材育成、制度整備等）を提案・実施

◆ 国際連携強化に向けた二国間エネルギー政策対話

お互いの強みを生かした具体的な協力（知見共有、共同研究開発、第三国協力等）を実施

NEDO国際実証

- ◆ 国内部材メーカーが取り組んできた国内での技術開発・実証成果を生かし、欧米風車メーカーとの大型風車開発等の共同開発及び洋上風力発電の海外実証の実施を目指し、国外のサプライチェーンへの参画につなげる。

国際標準化

浮体の安全評価手法

国内での安全評価手法の確立

浮体構造の簡素化のための要件（浮体構造・方法等）に係る評価手法の確立

確立済 .. 損傷時復原性
検討中 .. コンクリート製浮体
合成繊維係留索



国際標準化の取組

確立した評価手法について、IEC国際標準化に向けて働きかけ（損傷時復原性について準備中）

1. 本プロジェクトの背景・目的

2. 本プロジェクトの目標

3. 本プロジェクトの研究開発内容と社会実装に向けた支援

4. 本プロジェクトのスケジュール

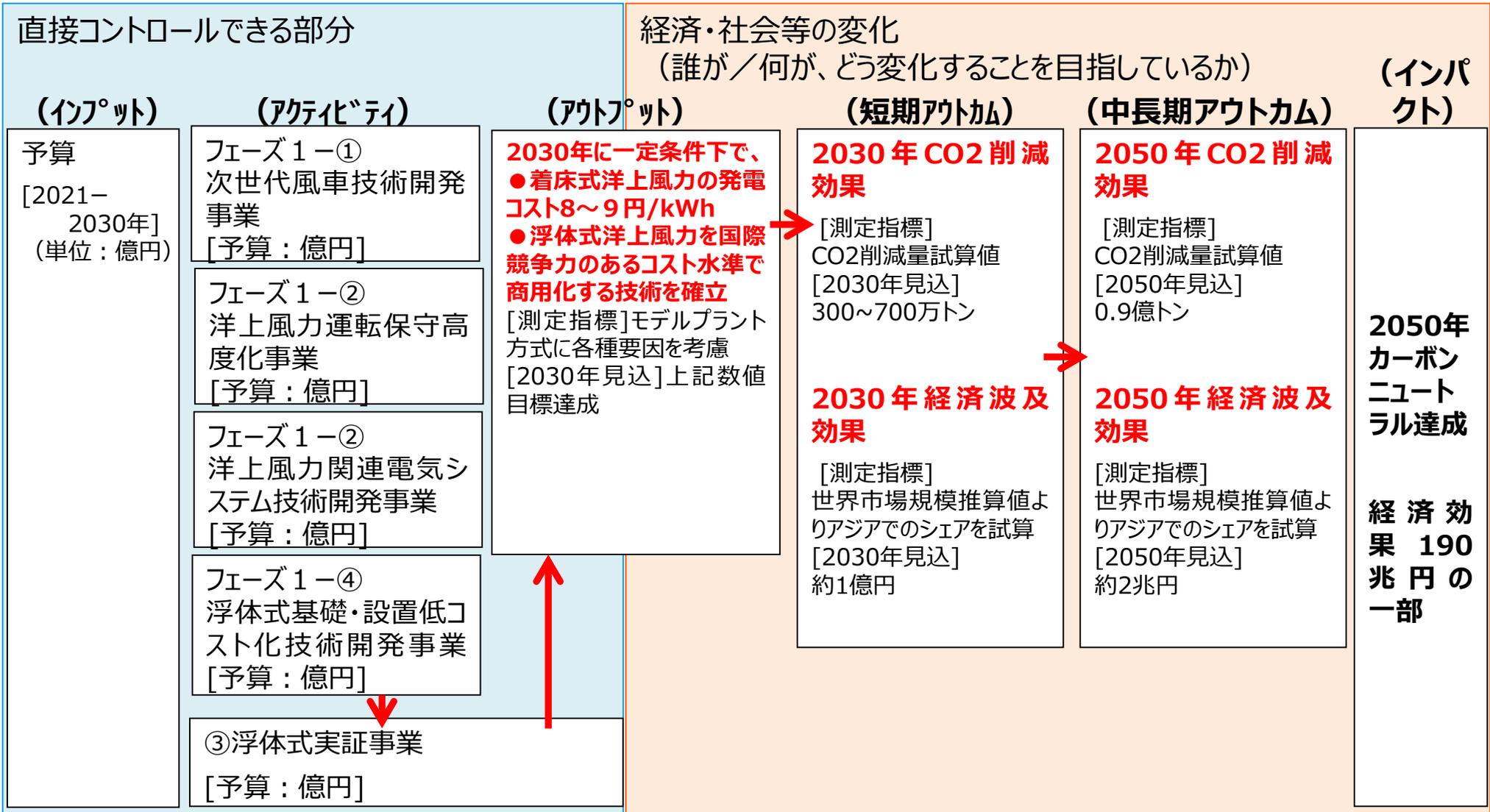
実施スケジュールのイメージ

- **具体的なスケジュールは提案者の創意工夫に委ねる**ことを原則とするが、想定される実施スケジュールは以下のとおり。また、ステージゲートを設定し、事業進捗を見て、継続可否を判断。
- フェーズ1は、**①風車、②浮体製造・設置、③電気システム、④メンテナンスについて、要素技術開発を加速化**する。
- フェーズ2は、**風車、浮体、電気システム、係留等の挙動・性能・施工性・コストを考慮した一体設計技術を確立**し、浮体式洋上風力発電を国際競争力がある価格での商用化に繋げる。なお、フェーズ2では、**発電事業者主導でコンソーシアム**を組成する。開始時期は**最速2023年度**とし、フェーズ1の成果を活用できる段階において開始する。

	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度
【フェーズ1-①】 次世代風車技術開発事業			1) 風車仕様の最適化 2) 風車の高品質大量生産技術 3) 浮体搭載風車の最適設計 3) 次世代風車要素技術開発 4) 低風速域向けブレード							
【フェーズ1-②】 浮体式基礎製造・設置 低コスト化技術開発事業			1) 浮体基礎の最適化 2) 浮体の量産化 3) 係留システムの最適化 4) ハイブリッド係留システム 5) 低コスト施工技術の開発							
【フェーズ1-③】 洋上風力関連電気システム技術開発事業			1) 高電圧ダイナミックケーブル 2) 浮体式洋上変電所							
【フェーズ1-④】 洋上風力運転保守高度化事業			1) 運転保守及び終戦技術の開発 2) デジタル技術による予防保全・メンテナンス高度化 3) 監視及び点検技術の高度化 4) 落雷故障自動判別システムの開発							
【フェーズ2】 浮体式洋上風力実証事業										

【実証フェーズ】
浮体、風車、係留システム、ケーブル等の一体設計

洋上風力発電の低コスト化プロジェクト



アウトプットの達成が、アウトカムの発現につながることを示すエビデンス

※レポートベースでのエビデンスを提示。FSを行った場合には結果に即した記載をする。

① 第5次エネルギー基本計画において、「浮体式洋上発電を除く風力発電のコスト水準が、2030年までに8~9円/kWhとなることを目指す」としており、「洋上風力産業ビジョン(第1次)」において産業界は2030~2035年に8~9円/kWhにするとの目標を掲げた。