

# 「次世代洋上直流送電システム開発事業」 （事後評価）

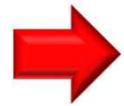
（2015年度～2019年度 5年間）

プロジェクトの概要 **（公開）**

NEDO

スマートコミュニティ部

2020年9月3日



I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

II. 研究開発マネジメント

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

III. 研究開発成果

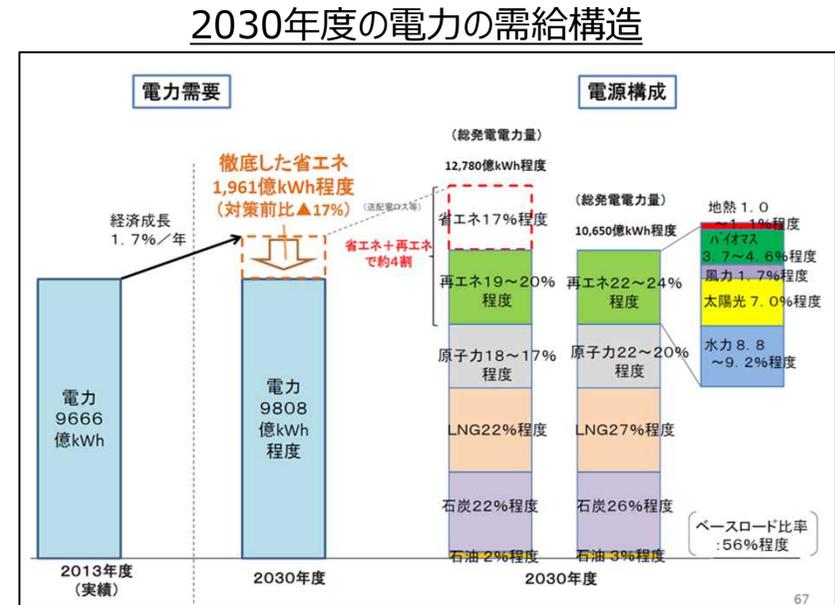
- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の普及
- (3)知的財産権の確保に向けた取組

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (3)成果の実用化・事業化の見通し

# 1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

## ◆事業実施の背景と事業の目的



出典：「長期エネルギー需給見通し」、経済産業省、2015年7月

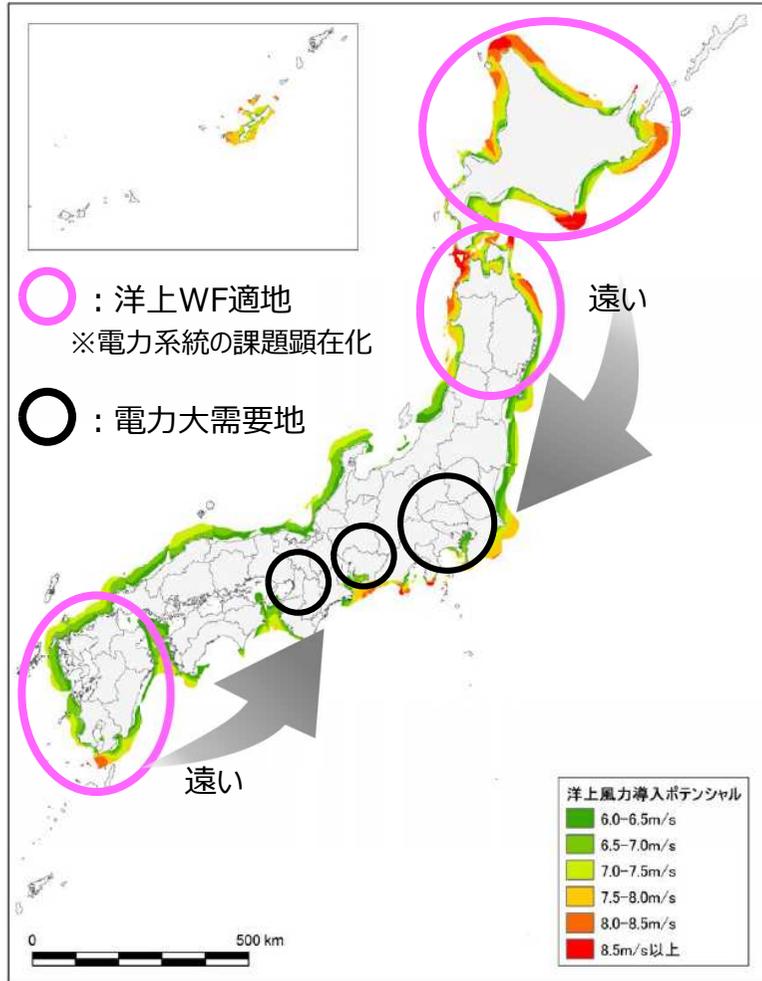
- エネルギーの安定的な確保と温室効果ガス削減に向けて、再生可能エネルギーの導入拡大は重要
- 長期エネルギー需給見通しの早期実現のみならず、2030年以降も再エネを導入し続けることが重要
- 風力発電は大規模に開発できれば経済性を確保できる可能性があるエネルギーであり世界では導入が加速
- 陸上風力の導入可能な適地が限定的な我が国において **洋上風力発電の導入拡大は不可欠**

**洋上風力発電の優良なポテンシャルを有効活用した  
大規模な洋上ウインドファーム (WF) 導入が必要**

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆事業実施の背景と事業の目的

➤ 洋上風力発電の導入ポテンシャル



- 開発不可条件を控除した洋上風力のポテンシャルは約1,380百万kWと推計
- 離岸距離が大きくなると水深が大きくなるため沿岸に帯状に分布
- 電力大需要地から遠方に多くのポテンシャルが存在 (北海道・東北・九州で全体の70%)

ポテンシャル推計における開発不可条件

区分	項目	開発不可条件
自然条件	風速区分	6.5m/s未満
	離岸距離	陸地から30km以上
	水深	200m以上

出典：「平成25年度 再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書」（環境省、2014年8月）にNEDO追記

## 1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

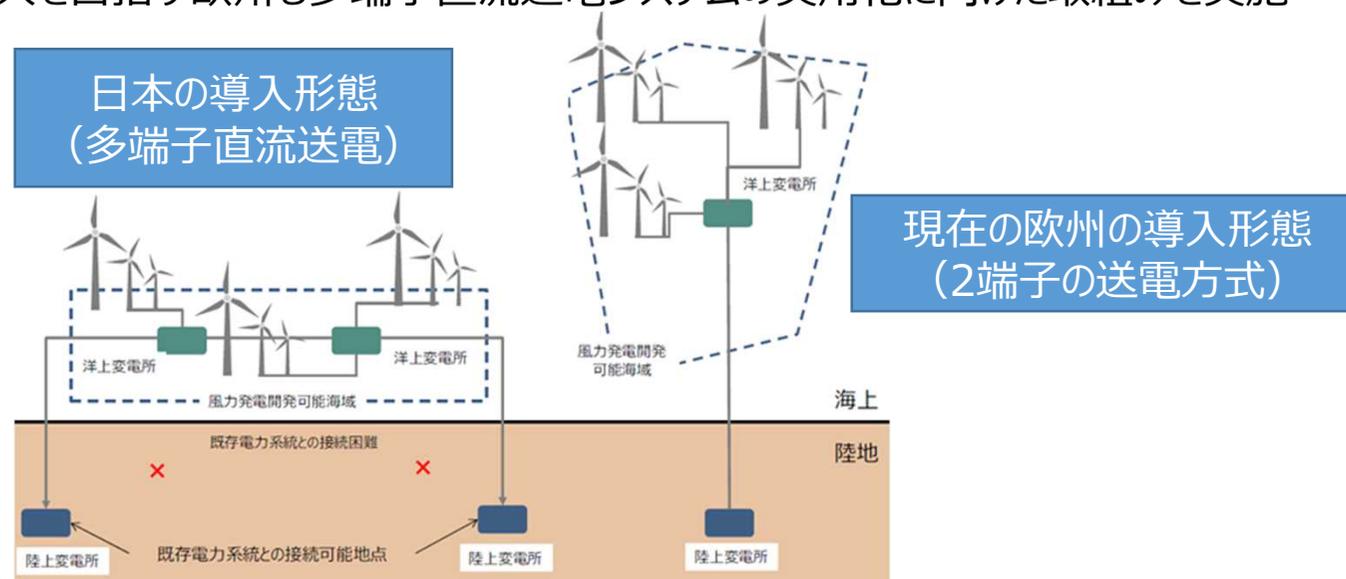
### ◆事業実施の背景と事業の目的

#### ➤ 多端子直流送電システムの必要性

- 北海道、東北、九州において系統の空き容量不足および周波数変動の課題が顕在化し、系統の送電容量の増加、発電事業者側の出力制御や調整力の確保が必要とされる
- 大規模洋上WFを設置する場合、現在の欧州のように遠浅な海域に対し、面的にかつ遠方に拡大する形態ではなく、沿岸に帯状に洋上WFが順次導入されていくと想定



- 複数の洋上WFと既存の比較的大きな電力系統や需要地とを多端子で接続し、効率的に送電することが可能な多端子洋上直流送電システムが大規模洋上WFの導入拡大に必要
- 多端子洋上直流送電システムの導入形態は、順次拡張しながら導入すると想定。従って、複数のメーカーが参入してシステム構築する可能性が高く、マルチベンダ化に向けた取組みが必要
- 洋上風力の導入拡大を目指す欧州も多端子直流送電システムの実用化に向けた取組みを実施



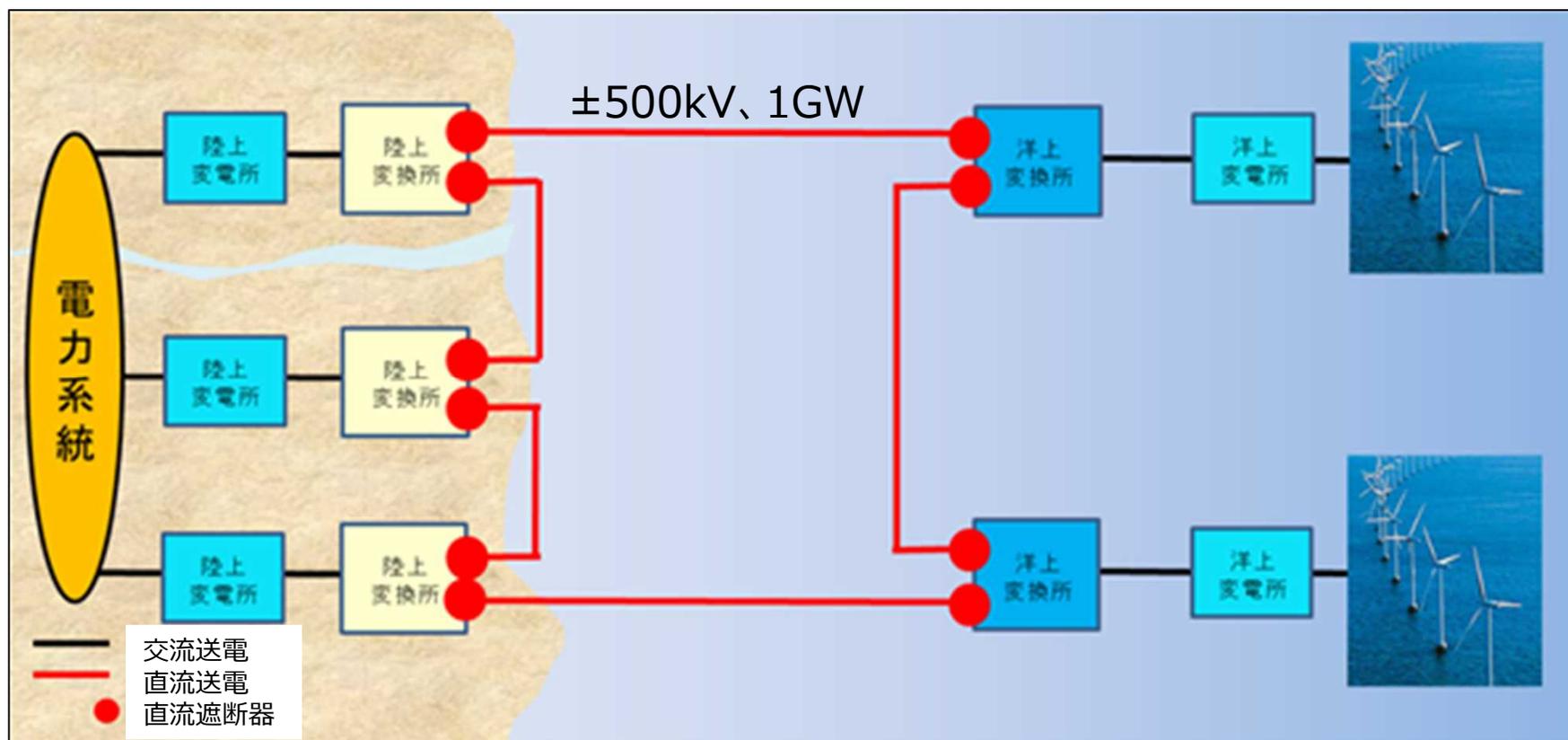
※出典：「再生可能エネルギー導入に係る電力系統対策動向調査報告書」、2015年2月、NEDO（実施者：三菱総合研究所）

## 1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

## ◆ 事業実施の背景と事業の目的

## ➤ 事業の目的

- 高い信頼性を備え、かつ低コストで実現する世界トップクラスの送電容量（電圧 $\pm 500\text{kV}$ 、容量1GW）を有し、**マルチベンダ化にも対応した多端子直流送電システムと必要な要素技術**を開発
- 今後の大規模洋上風力の連系拡大・導入拡大・加速に向けた基盤技術の確立が目的



## 1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

## ◆政策的位置付け

- 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**
- 洋上風力発電の導入拡大に向けての技術開発、インフラ整備などの推進が必要
- 大容量を長距離送電可能な送電システムを開発する本事業の果たす意義大

## エネルギー基本計画(2014年4月)

再生可能エネルギーを受け入れるための地域内送電線や地域間連系線が必要となることから、まず、風力発電事業者からの送電線利用料による地域内送電線整備に係る投資回収を目指す特別目的会社の育成を図っていく。また、出力変動のある再生可能エネルギーの導入拡大に対応するため、電力システム改革において新たに広域的運営推進機関を設置し、周波数変動を広域で調整する仕組みを導入するとともに、同機関が中心となって地域間連系線の整備等に取り組む。

中長期的には、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。

また、浮体式洋上風力についても、世界初の本格的な事業化を目指し、福島沖や長崎沖で実施している実証研究を進め、2018年頃までにできるだけ早く商業化を目指しつつ、技術開発や安全性・信頼性・経済性の評価、環境アセスメント手法の確立を行う。

## 地球温暖化対策計画(2016年5月)

北海道や東北北部の風力適地では、必ずしも十分な系統調整力がないことから、地域間連系線などの系統整備や系統運用の高度化等に向けた技術開発に取り組む。

中長期的には、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り、港湾区域等において着床式洋上風力の導入を促進するとともに、浮体式洋上風力発電についても、世界初の本格的な事業化に向けた実証研究などの取組を進める。

## 1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

## ◆政策的位置付け

## 海洋基本計画(2013年4月)

第2部 海洋に関する施策に関し、政府が総合的かつ計画的に講ずべき施策

## 1 海洋資源の開発及び利用の推進

## (2) 海洋再生可能エネルギーの利用促進

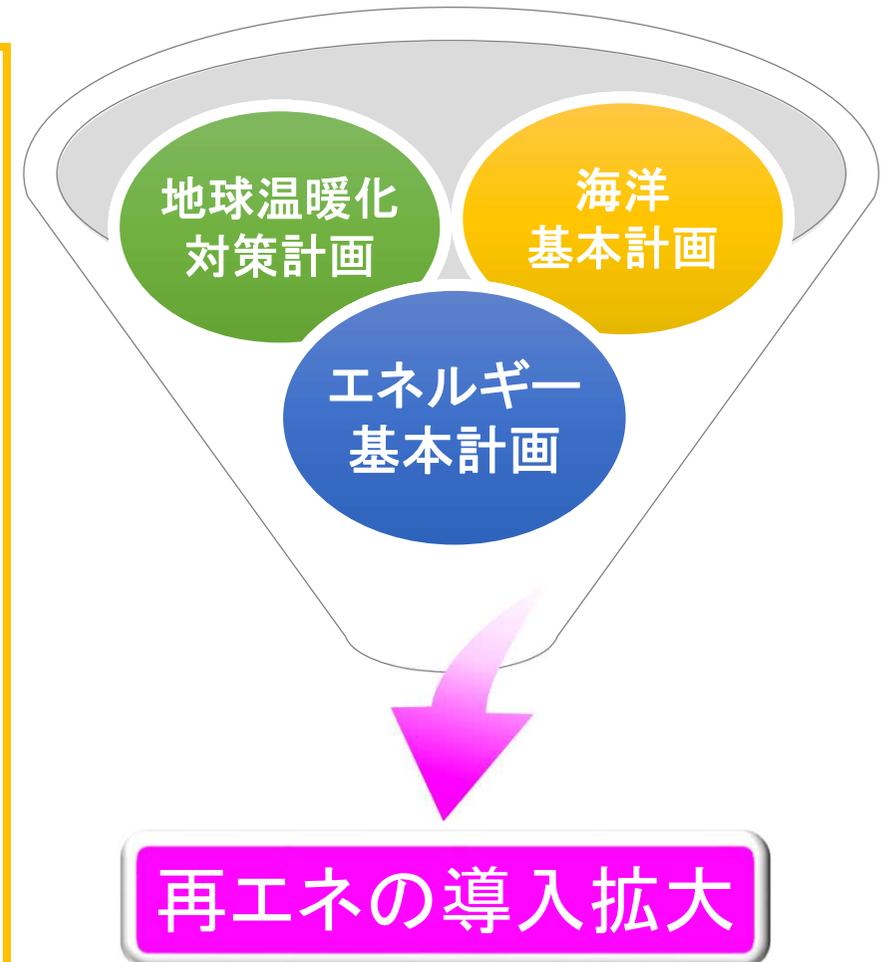
- 銚子沖及び北九州沖で着床式洋上風力発電システムの実証研究を実施
- 長崎県沖で浮体式洋上風力発電システムの実証研究を実施
- 福島県沖で浮体式洋上ウインドファームの実証研究を実施
- 浮体式洋上風力発電施設について、平成25年までに安全ガイドラインを策定するとともに国際標準化策定を主導

## 7 海洋科学技術に関する研究開発の推進等

## (1) 国として取り組むべき重要課題に対する研究開発の推進

## エ 海洋再生可能エネルギーの開発に関する研究開発

洋上風力発電の実用化と導入拡大のため、技術開発及び実証を推進する。また、専用船等のインフラや、基盤情報など、洋上風力発電の普及のための基盤整備を推進する。



エネルギー基本計画を始めとした上位政策の  
目標達成に本事業は大きく寄与

## 1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

## ◆政策的位置付け

**第5次エネルギー基本計画**（'18年7月3日に閣議決定）

- ・2030年度の総発電電力量のうち再生可能エネルギーの割合は22～24%程度、風力発電の導入目標は10GW（うち、洋上風力約1GW）
- ・導入目標である10GWの風力発電量を達成するためには、陸上に加え、制約の多い洋上風力発電の導入拡大は不可欠
- ・欧州の洋上風力発電に関する取組も参考にしつつ、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。

上記、同様の内容が、「再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 中間整理（第3次）（2019年1月）」及び、「第3期海洋基本計画（2018年7月）」にも記載されている。

**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**

（'18年11月に成立 '19年4月施行）

- ・上記基本計画の目標達成のため、利用ルールを整備し、海洋再生可能エネルギーを円滑に導入できる環境を整備することで、再生可能エネルギーの最大限の導入拡大を図る。（再エネ海域利用法）

⇒各地で急速に洋上風力発電の計画が立ち上がることが見込まれる。

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆ 技術戦略上の位置付け

- 洋上風力発電の導入拡大にあたり、効率的に送電できる高圧直流送電（HVDC）が重要である。
- また、経済性及び信頼性を確保する要素技術の開発が必要となる。
- 我が国の周辺環境・電力系統に適した送電システムを開発する必要がある。

<p>NEDO 再生可能エネルギー技術白書（第2版）</p>	<p>2014年 2月</p>	<p>3章 風力発電 3.4.3 洋上風車にかかる技術開発動向 (3)系統連系に係る技術開発動向 洋上風力の系統連系に当たっては、海底ケーブルに加え、洋上変電所や、高圧直流送電（HVDC）の導入が重要となる。 洋上風力のコスト構造の中で、ケーブルおよび敷設に掛かるコストの割合は大きく、量産化による海底ケーブル自体の低コスト化や、低コスト敷設技術が必要とされている。また、洋上ウインドファームの不具合の原因は海底ケーブルの損傷などに起因するものが多いため、海底ケーブルの保護も含め、適切な敷設工事を実施する必要がある。</p>
<p>再生可能エネルギー導入に係る電力系統対策動向調査（NEDO成果報告書 委託先：MRI）</p>	<p>2015年 2月</p>	<p>2.直流送電技術の技術開発動向 2.2技術開発要素の抽出</p> <p>2.1 で整理した技術開発動向から、今後日本における洋上風力発電の導入に際して、今後必要とされる技術開発要素として図に示すような技術開発要素が抽出される。</p> <div data-bbox="1189 916 2007 1493" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>既存系統との接続 - システム化技術開発 -</p> <p>欧州を中心に進められている洋上風力発電用送電技術としての直流送電の各種要素技術が進められているが、これらの技術を日本の電力系統に適用するには以下のような点に留意して、既存電力系統との接続に関わる開発が必要になる</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 洋上風力の適地の選定と、同地から接続可能な既存電力系統に接続に際しての洋上送電系統の設計（Topology）</li> <li>✓ 日本の海洋環境に適した洋上風力発電開発に関するプラットフォーム</li> <li>✓ 異なるメーカー方式による技術の相互連携を可能とする機器・技術間のインターオペラビリティ</li> </ul> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px;"> <p>- 要素技術開発 -</p> <p><b>自励式交直変換装置</b> 自励式変換器のさらなる大容量化と低損失化を行うため、モジュラマルチレベル変換器（MMC, Modular Multilevel Converter）と呼ばれる新たな自励式変換回路が提案され開発が進められている</p> <p><b>直流集電</b> 各発電機の出力を直列接続するなどして高電圧化しながら集約する方式（高圧直流による集電方式）と、各発電機の出力を低電圧で集約してから送電電圧まで昇圧する方式（低圧直流による集電方式）の開発が進められている</p> <p><b>直流遮断器</b> 自励式直流送電において、直流系統の事故は運転の継続が困難になる過酷な事故の1つであり、事故区間を切り離すための要素技術として、直流遮断器の開発が進められている</p> <p><b>多端子送電系統</b> 多地点の洋上風力発電を、電圧形の自励式変換器を用いて連系する場合には、複数の交直変換器を直流側で接続した多端子直流送電系統を構成し、制御するための開発が進められている</p> </div> </div>

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆ 国内外の研究開発の動向と比較

- **大容量（±500kV、1GW）のマルチベンダ・多端子**直流送電システムは国内外で導入例がなく、欧州においても更なる再エネ導入を進めるため、多端子直流送電システムの実用化に向けた研究開発段階である。

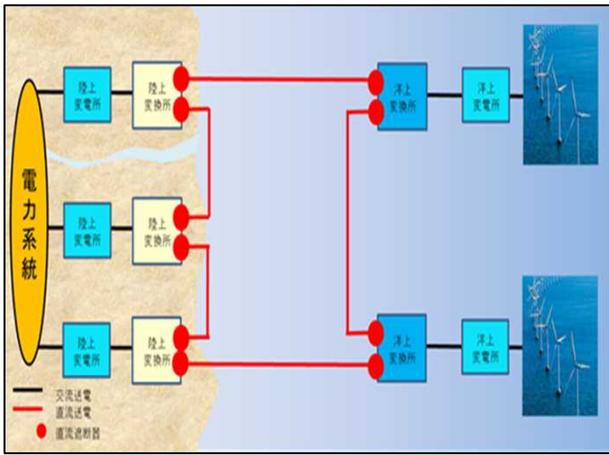
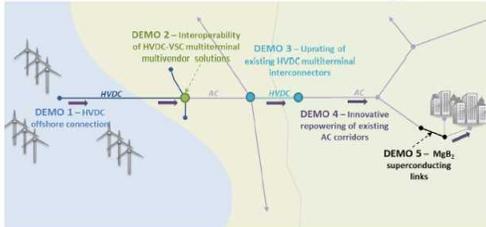
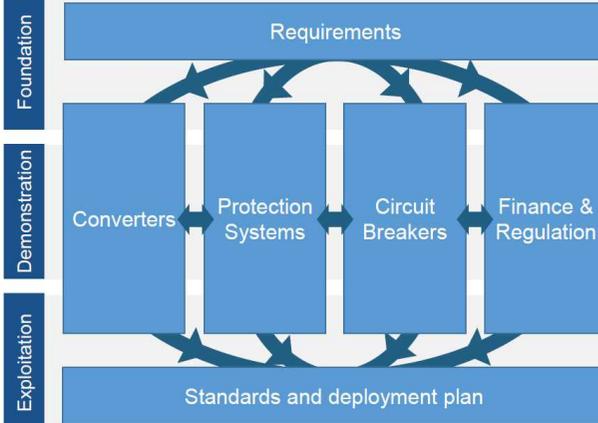
**直流送電技術の国際競争力を確保していくためにも本事業が必要**

	プロジェクト名	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
EU	Best Paths 予算総額： 62.8M€ = 約81億円			→						
EU	PROMOTioN 予算総額： 42M€ = 約55億円				→					
日本	次世代洋上直流送電システム開発事業 予算総額： 約47億円			→						

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆国内外の研究開発の動向と比較 (欧州)

※比較表の赤字は共通項目

次世代洋上直流送電システム開発事業 (多端子洋上直流システムの開発)	Best Paths (洋上風力から陸上への送電システム開発)	PROMOTiON (メッシュ洋上システムのシステム開発)
	<p>LARGE SCALE DEMONSTRATIONS</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>HVDC in offshore wind farms and offshore interconnections</li> <li>HVDC-VSC multivendor interoperability</li> <li>Upgrading multiterminal HVDC links</li> <li>Innovative repowering of AC corridors</li> <li>DC Superconducting cable</li> </ol> 	
<ul style="list-style-type: none"> <li>マルチベンダ化を可能とするシステム制御手法、保護方式の開発、事故検出方法の検討</li> <li>マルチベンダ化に向けた自励式交直変換器のインターフェイスの開発。</li> <li>直流遮断器の開発。</li> <li>DC525kVに対応した海底ケーブルに関する中間ジョイント、異径ジョイント、異社間連系分岐ジョイントの開発</li> <li>海底ケーブル敷設工法の高速度化開発</li> <li>大水深に適用可能な洋上PF基礎（スカートサクシオン工法）の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>洋上WF接続したマルチベンダ、多端子HVDCシステムにおける潮流制御などをHIL用いて検討。</li> <li>マルチベンダHVDC-VSCシステムにおける相互運用に向けた取組。</li> <li>革新的なAC変換技術の開発</li> <li>DC超電導ケーブルの開発。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>メッシュ洋上システムのシステム要求事項の検討</li> <li>直流システムの保護手法の開発（異メーカ連系、直流遮断器含む）</li> <li>直流遮断器、試験方法の開発</li> <li>国際連系、洋上送電系統</li> <li>HVDCシステム、HVDCシステムが接続された洋上風力発電設備の標準化</li> <li>将来の欧州の洋上システムの配備計画の立案</li> </ul>

本事業は、多端子直流送電システムの実用化に必要なシステム開発、要素技術開発のみならず、国内への導入に必要な設備仕様の検討や要素技術開発も行っていること、低コスト化に向けた様々な技術開発を実施している点が強みであり、将来、国内市場への参入を優位に進められると期待。

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆他事業との関係

- NEDOでは、洋上風力発電の実用化に向けた様々な技術開発を行っており、着床式洋上風力発電については実証事業を実施
- 並行して洋上風力の大規模導入に向けた我が国へ適用可能な最適な送電技術を開発することも必要であり本事業がその位置づけ

年度	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
調査	FS調査											
実証研究		洋上風況観測システム実証研究(銚子・北九州)										
		洋上風力発電システム実証研究(銚子・北九州)										
		風車大型化							次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究(～2022年度)			
研究開発			超大型風力発電システム技術研究開発									
								洋上風況観測システム実証研究(洋上風況マップ)				
											洋上風力発電低コスト施工技術開発(～2022年度)	
導入支援			洋上ウインドファームFS				着床式洋上ウインドファーム開発支援事業(～2022年度)					
						地域共存型洋上ウインドファーム基礎調査						
系統技術								次世代洋上直流送電システム開発事業				12

## ◆NEDOが関与する意義

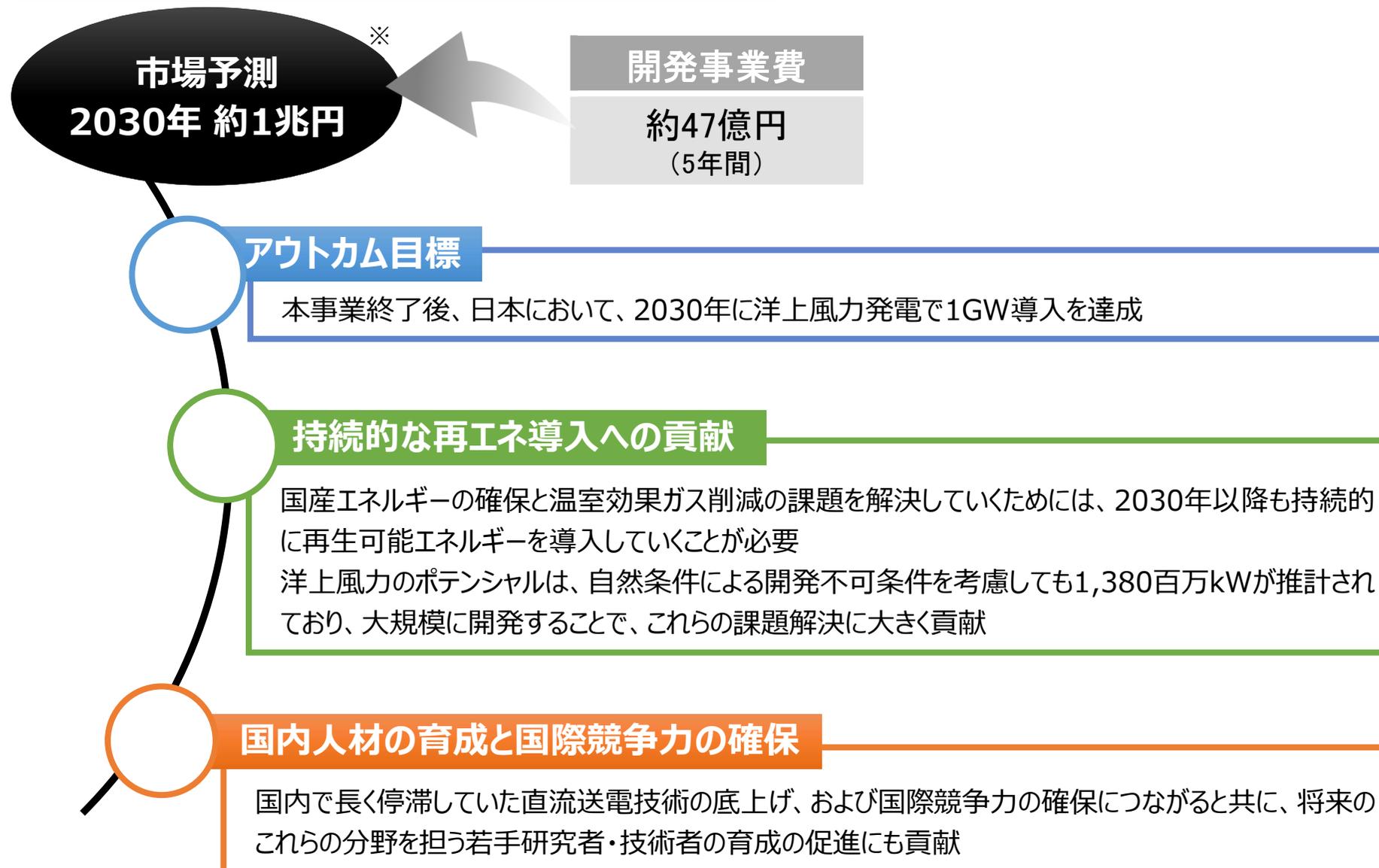


- 世界で実用化されていないトップレベルの送電容量（±500kV、1GW）となる多端子洋上直流送電システムの実用化にはシステム開発と要素技術開発を協調して取り組むことが必要
- マルチベンダ化に向けた取組みには競合企業の参画が必要
- 再生可能エネルギーの持続的な導入推進のためには、国家主導で競合企業も含めた産学連携での開発体制が必要

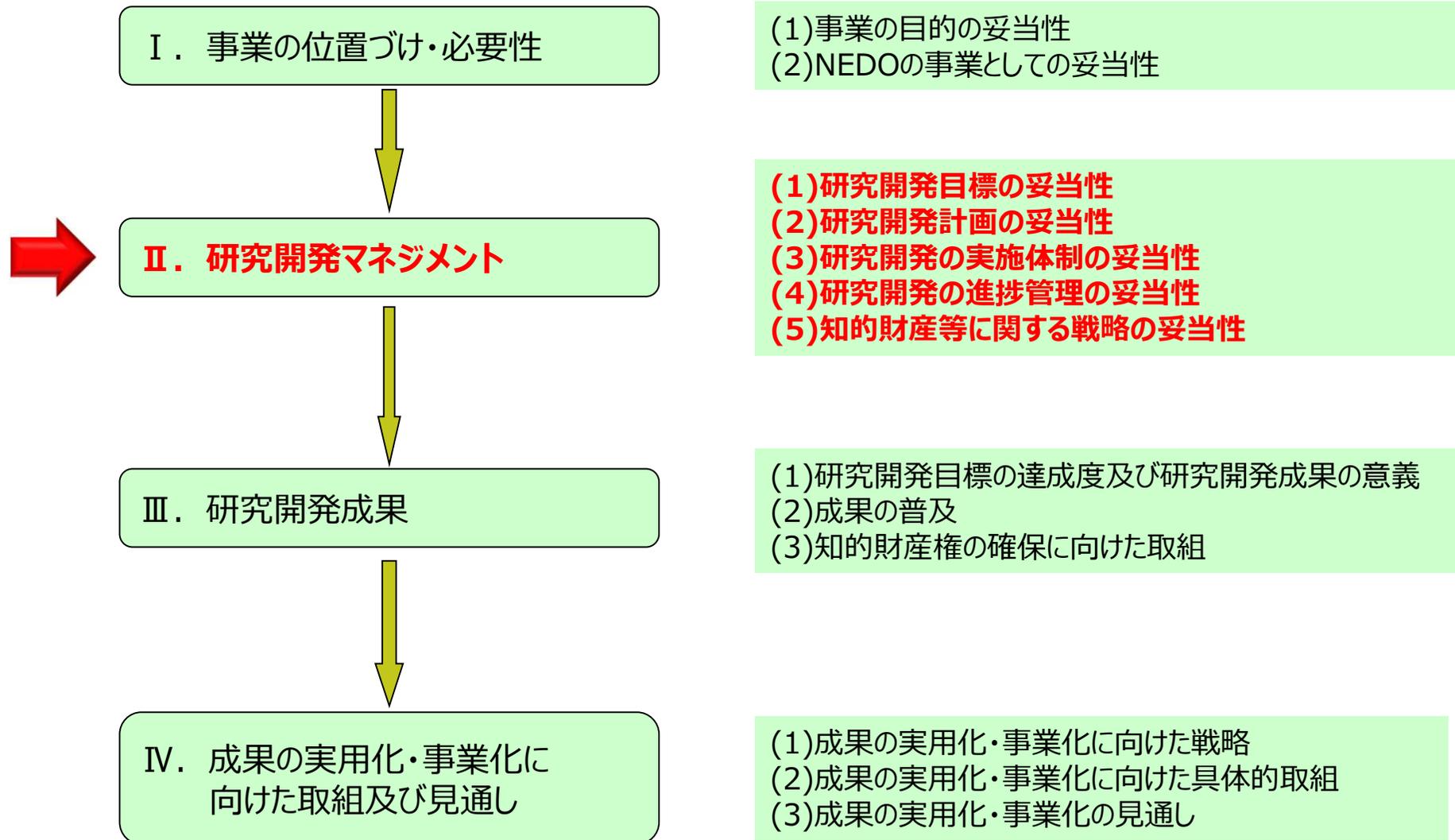
**NEDOが持つマネジメント実績を活かして、産学官体制で推進すべき事業**

## 1. 事業の位置付け・必要性 (2) NEDOの事業としての妥当性

## ◆実施の効果（費用対効果）



※NEDO技術戦略研究センター「超分散エネルギーシステム分野の技術戦略（直流技術）」より



## 2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

### ◆事業の目標

#### 研究開発項目Ⅰ.システム開発

多端子洋上直流送電システムのモデルケースから、導入を想定した1～3ケースを選択・システム設計し、また、要素技術開発されたコンポーネントのプロトタイプにおいて試験された信頼性データと、それらコンポーネントを選択したモデルケース向けに設計した特性を用いて、既存の交流送電システムに対して、平均稼働率（信頼性）等を含めたコスト削減割合20%以上の導入モデルケースを完成する。

#### 研究開発項目Ⅱ.要素技術開発

要素技術開発されたコンポーネントのプロトタイプの信頼性試験を行い、また、選択されたモデルケースに向けた設計と特性検討、あるいは、設計と試作、性能試験を行い、それらコンポーネントの仕様を完成する。あわせて、既存の交流送電システムに対して、そのモデルケースの平均稼働率（信頼性）等を含めたコスト削減割合20%以上へ貢献する。

## 2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

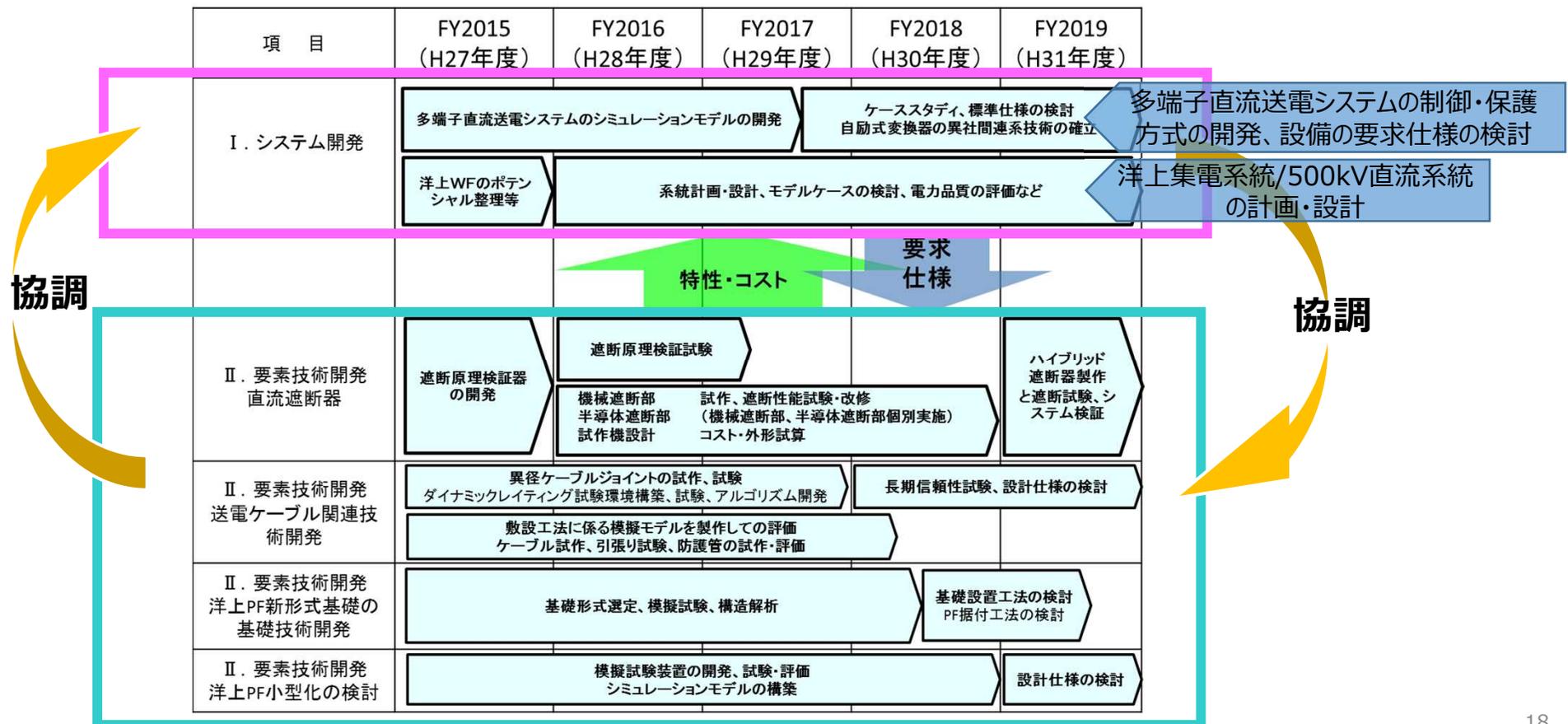
## ◆ 研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標	根拠
I. システム開発	多端子洋上直流送電システムのモデルケースから、導入を想定した1～3ケースを選択・システム設計し、また、要素技術開発されたコンポーネントのプロトタイプにおいて試験された信頼性データと、それらコンポーネントを選択したモデルケース向けに設計した特性を用いて、既存の交流送電システムに対して、平均稼働率（信頼性）等を含めた <b>コスト削減割合20%以上</b> の導入モデルケースを完成する。	日本において、大規模な洋上風力発電が導入された場合、信頼性が高く、安価な多端子洋上直流送電システムが必要である。事前の調査及び有識者へのヒヤリングにより、技術的な観点から直流送電システムは既存の交流送電システムに対して、最大で20%程度のコスト低減の可能性が示されたこと及び経営的な観点から新しいシステムを採用するには、最小で20%程度のコストメリットが必要と示されたことから、左記目標を設定した。
II. 要素技術開発	要素技術開発されたコンポーネントのプロトタイプの信頼性試験を行い、また、選択されたモデルケースに向けた設計と特性検討、あるいは、設計と試作、性能試験を行い、それらコンポーネントの仕様を完成する。あわせて、既存の交流送電システムに対して、そのモデルケースの平均稼働率（信頼性）等を含めた <b>コスト削減割合20%以上</b> へ貢献する。	信頼性が高く、安価な多端子洋上直流送電システムを実現するためには、システムを構成する様々な要素技術を新たに開発する必要がある。 本項目は、非常に高い目標（システムとしてのコスト削減割合20%）を達成するために必要な様々な要素技術について、稼働率（信頼性）等を含めたコスト試算が可能のように、設計、試作、性能試験を行うものである。 直流遮断器、ケーブル、洋上架台等、様々な特性を持つ要素技術を組み合わせてシステムを構築するため、システム開発への貢献に絞り込んで、目標を設定した。

## 2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

### ◆ 研究開発のスケジュール

- システム開発は、4年目までに多端子洋上直流送電システムのモデルケース（プロトタイプ）を構築し、要素技術開発の直流遮断器、ケーブル、洋上PF等のデータを得て改良し、5年目に完成した。また、システム制御・保護技術の確立、システム標準仕様書を作成した。
- 要素技術開発では、直流遮断器、ケーブル、洋上PF等について、3年目までに試作・評価試験を完了した。4年目以降は個別に改良するとともに、それぞれシステム開発にデータを提供し、コスト20%以上低減したモデルケース構築に貢献した。



## 2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

## ◆プロジェクト費用

- 5年間の総予算額は約47億円

## 研究開発項目ごとの費用

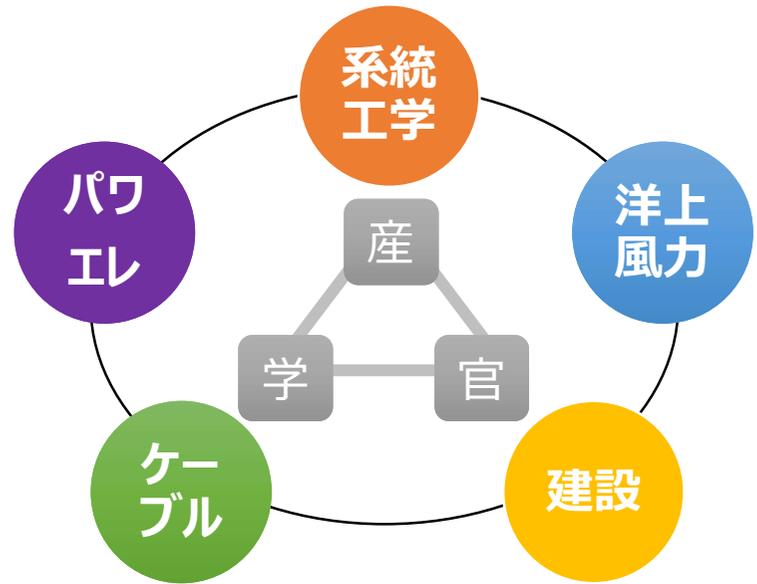
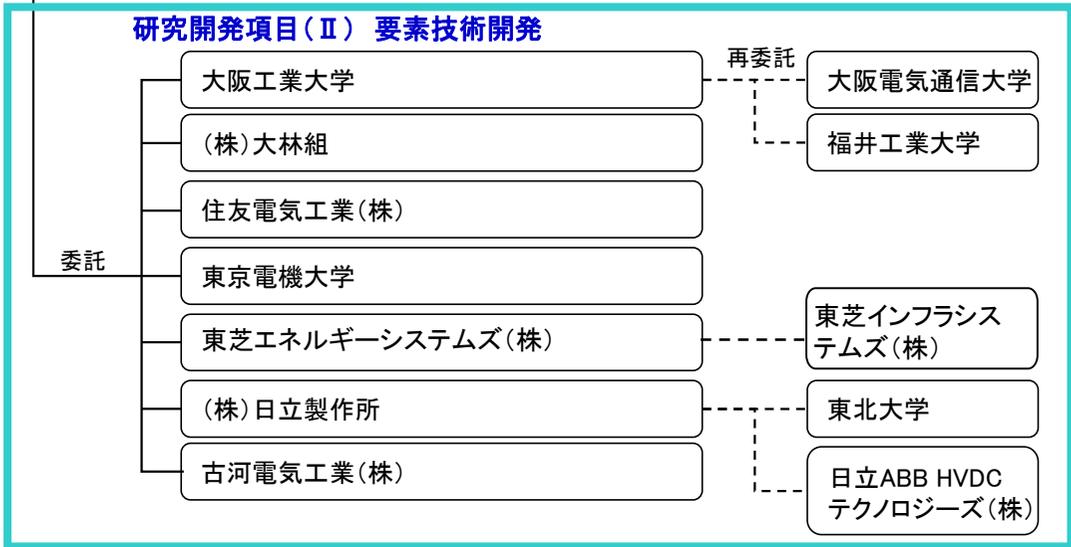
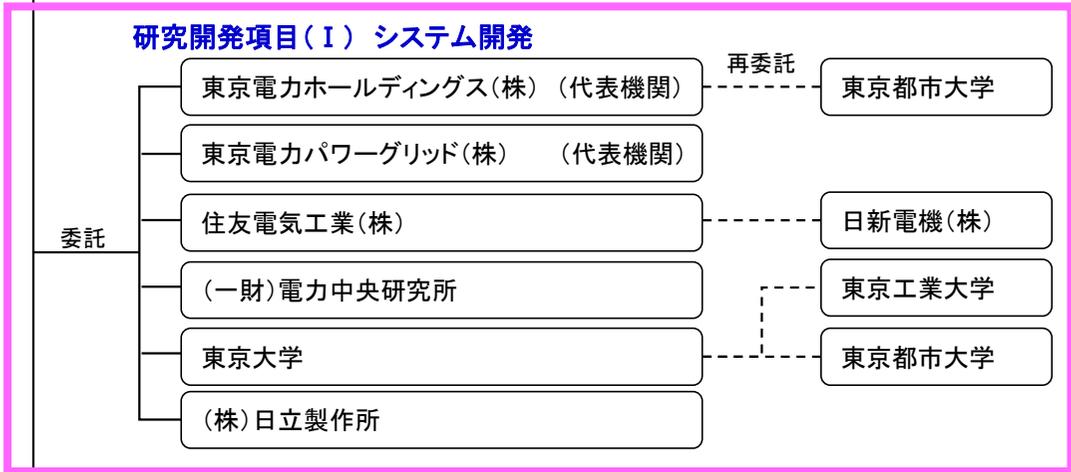
単位：百万円

年度	2015 (H27)	2016 (H28)	2017 (H29)	2018 (H30)	2019 (H31)
研究開発項目 (I) システム開発	449	253	102	158	109
研究開発項目 (II) 要素技術開発	592	1,229	847 (309)	655	304
※ ( ) はうち、開発促進財 源 (加速予算)					
合計	1,041	1,482	949	813	413

## 2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

### ◆ 研究開発の実施体制

#### NEDO



- 関連分野に精通した、競合企業を含む事業者が参加し、システム開発 と 要素技術開発 が協調して開発を推進
- 多端子洋上直流送電システムのユーザ目線での開発を重視するために東京電力を代表機関に選任

## 2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

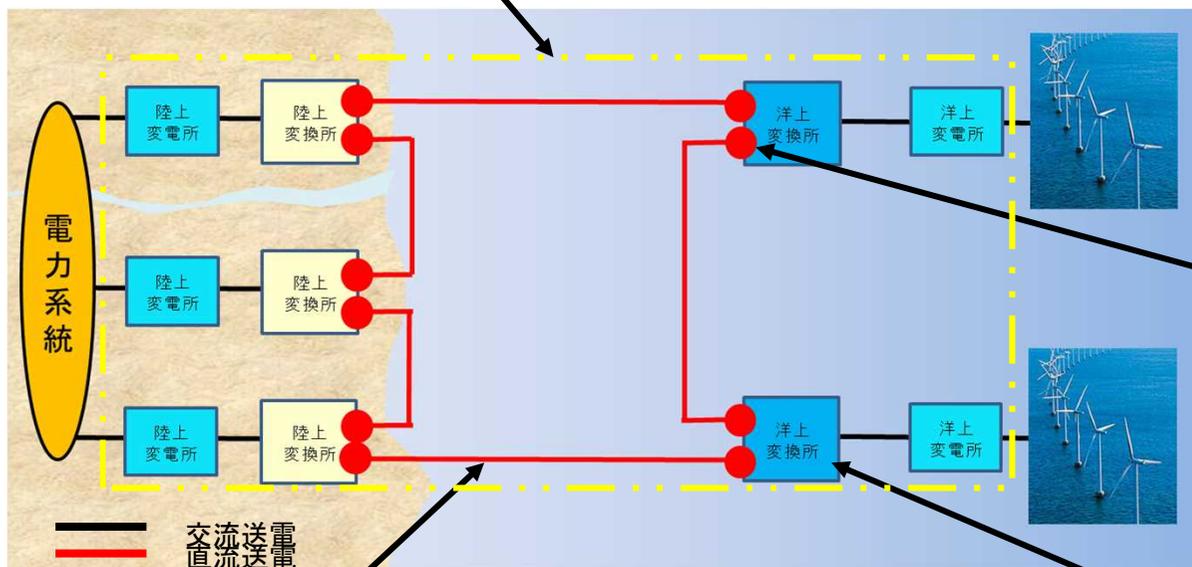
### ◆事業概要

#### 研究開発項目Ⅰ システム開発

- 東京電力、東京大学（モデルケース策定、系統計画・設計）
- 電力中央研究所（直流送電システム設備仕様検討）
- 日立製作所、東芝エネルギーシステムズ（異メーカ連系に対応した多端子直流送電システムの運転方式、保護協調方式、標準仕様の開発）
- 住友電気工業（系統最適化手法の開発）

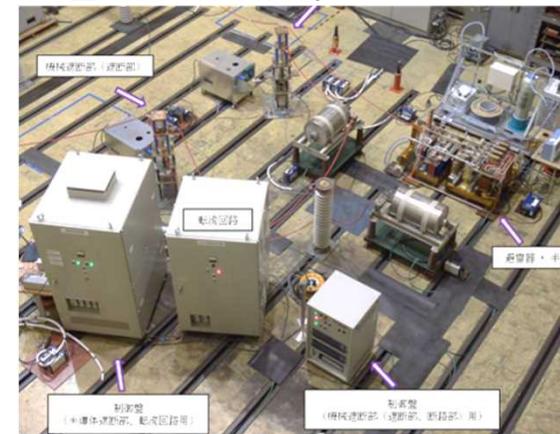
#### 研究開発項目Ⅱ 要素技術開発

- 大阪工業大学（洋上P Fパワエレ機器の小型化等検討）
- 東京電機大学（風力発電の直列接続方式検討）



#### 研究開発項目Ⅱ 要素技術開発

- 東芝エネルギーシステムズ（直流遮断器の開発）



#### 研究開発項目Ⅱ 要素技術開発

- 住友電気工業（ケーブル布設工法）
- 古河電気工業（ケーブルジョイント、ダイナミックレイティングシステム開発）



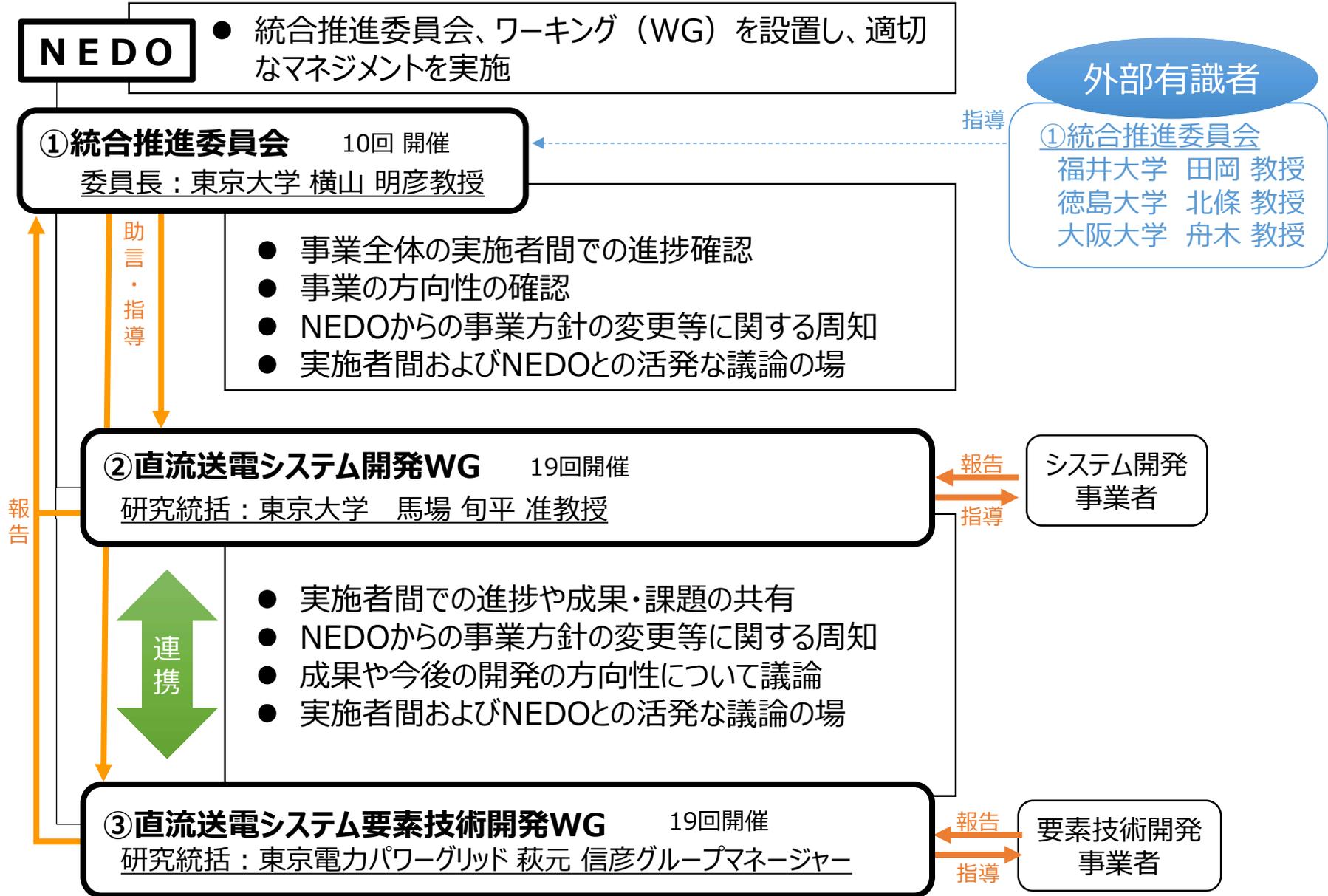
#### 研究開発項目Ⅱ 要素技術開発

- 大林組（洋上プラットフォーム新形式基礎の基盤技術開発）



## 2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

### ◆ 研究開発の進捗管理



## 2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

## ◆ 動向・情勢の把握と対応

情勢	対応
欧州の情勢把握	<ul style="list-style-type: none"> <li>・競合プロジェクト（Best Paths及びPROMOTioN）と意見交換し、情報収集。</li> <li>・Best Pathsで3社（ABB、GE、Siemens）のマルチベンダの取組に苦労しているとの情報を得て、本事業のマネジメントを強化。</li> <li>・欧州電気標準化委員会（CENELEC）関係者と意見交換し、欧州からのIEC提案の概要を調査。</li> <li>・本事業成果の国際標準化に向けて、NEDOが主導し、事業者とIEC TC115国内委員会委員長との会合を設置。</li> <li>・NEDOがIEC TC115国内委員会にオブザーバ参加し、標準化に関する最新動向を事業者にフィードバック。</li> </ul>
中国及び米国の情勢把握	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「あまり公開されていないが、中国でHVDCの開発が進んでいるようだ」との情報をキャッチし、NEDO北京事務所を通じて情報収集。</li> <li>・米国の最新情報についても、NEDOワシントン事務所を通じて情報収集。</li> <li>・得られた情報を本事業のWGで、NEDOから情報提供。</li> </ul>
2019年4月海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律（再エネ海域利用法）の施行	<ul style="list-style-type: none"> <li>・制度を踏まえ、標準的な洋上ウインドファーム構築のスケジュールを確認した上で、本事業の成果が社会実装するまでの行程を具体化し、事業内で共有。</li> </ul>
2018年9月北海道ブラックアウトに伴うレジリエンスとしての検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地域間連系線としてのHVDCシステムの利用の可能性（ブラックスタート可能な自励式変換器（VSC）によるHVDCシステム）を分析し、後継プロジェクト「多用途多端子直流送電システムの基盤技術開発」の検討を開始。</li> </ul>

## 2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

## ◆ 開発促進財源投入実績

件名	年度 (年度)	金額 (百万円)	目的	成果
ハイブリッド直流遮断器（半導体遮断部及び機械遮断部）40kVスケールモデル試作及び評価	2016～ 2017	309	2015年度までに、世界に先駆けて、半導体を用いた高速遮断と通電時の低損失性を実現する原理検証に成功した。本技術は、海外勢と比較してより低損失かつ高速遮断が可能なDCCBの実現につながる成果である。基礎技術の部分で先行したものの、海外の追い上げも激しいことから、スケールモデルの開発を行い、早期実用化を目指す。	本追加予算により実機に近い40kVスケールモデルの試作及び評価を実施できた。スケールモデルを開発したことにより、シミュレーションでは確認できないメカニカルな高速動作やハイブリッド直流遮断器としての大電流遮断の評価を行い、早期実用化の目処を立てることができた。

## 2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

## ◆ 中間評価結果への対応 1 / 2

指摘	対応
<p>多端子直流送電システムの導入に向けて、具体的な市場展開を考慮した有効な戦略を検討する必要がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 国内において、ユーザとなりうる電力会社等に対して事業中から積極的に成果を発信した。</li> <li>● 国際的には、本事業の事業者が海外市場に参入できるように、標準仕様書についてIECと調整を開始した。</li> <li>● 要素技術については、各事業者の事業戦略に合わせて、積極的に海外展開し実績を得るように方向性を提示した。</li> </ul>
<p>実用化・事業化に向けては、性能面・コスト面・競合技術に関して完全に見通しが立っている状況ではないので、システム開発と要素技術開発との情報交換を密にし、課題を早期に解決することが望まれる。</p> <p>システム開発と要素技術開発の連携が現時点では弱いと感じられるため、より緊密な連携や相互の成果のフィードバックを望む</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● システム開発が海外企業の知見を活用して、洋上PFの大きさ・重量等を要素技術開発に提供し、要素技術開発が洋上PF基礎コストを試算した。</li> <li>● 要素技術開発が本事業で得られた知見（DCCBコスト、ケーブルダイナミックレイティング・異径ジョイント技術におけるコスト削減効果等）をシステム開発に提供した。</li> <li>● システム開発が情報を取りまとめて、コスト評価に反映したことで最終的に29%のコスト削減を達成した。</li> </ul>
<p>システム開発での経済性評価については、直流連系より交流連系が経済的に優位といった結果となっており、コスト高の要因分析やコスト計算データの見直しを含めた再検討が必要である。</p> <p>直流送電システム導入モデルのコスト面に関しては、交流送電システムに対する優位性を見通しを早期に立てることが重要である。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 中間評価時点では、日本のモデルケースを構築し、既存の文献等から単価を引用して一次試算したところ、特に洋上設備のコストが高かったことから、直流連系より交流連系の方が経済的に優位になった。そのため、洋上設備の仕様についてシステム開発が海外企業の知見と要素技術開発の協力を得ながら再検討し、コストを見直した。</li> </ul>

## 2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

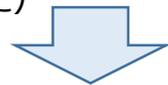
## ◆ 中間評価結果への対応 2 / 2

指摘	対応
<p>要素技術開発の達成度にばらつきが見られるので、最終目標達成に向けて、進捗の度合いにより研究開発を加速させるなど戦略的に推進することを望む。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 特に、開発の難易度が高く、実用化まで時間を要するDCCBの研究開発を加速するため、NEDOで予算を確保し、3.09億円を追加することで、40kV級のスケールモデルを構築し、事業期間中に大きな成果を挙げる事ができた。</li> </ul>
<p>世界市場をにらんだ仕様標準化への取組や成果を広く社会に周知する積極的な情報発信などを今後も推進することを期待する。</p> <p>現時点から海外ベンダとの関係構築を検討し、国際標準化を意識したマネジメントを期待する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 欧州調査において、IECやCENELECと多端子HVDCの制御保護方式の標準化について情報交換。また、競合プロジェクト（Best Paths及びPROMOTioN）、ユーティリティ（RTE等）、ベンダー（Siemens, ABB等）等と意見交換を実施し、本事業の取組を積極的にインプット。</li> <li>● 国際学会（Cigreパリ大会のB4 &amp; 欧州電気標準化委員会のセッション及びCigre-IEC 合同セッション等）において標準化動向を調査。</li> </ul>
<p>欧州で先行するユーティリティ及びベンダの知見を早期に取り入れるなど、本事業の開発進捗を更に加速することが望まれる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 欧州で洋上設備の設計の実績を有する企業の知見を取り込み、本事業のプラットフォーム設計に活用したところ、プラットフォームを小型化が可能となったことが明らかとなり、大幅にコスト削減できた。</li> </ul>

2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

◆ (参考) NEDOのマネジメント事例

- NEDO欧州調査のフィードバック
- 中間評価後、NEDO事業により欧州先行事例 (Best Paths, PROMOTioN)の調査を実施  
⇒調査の中で、Best Pathsでは、マルチベンダーによる多端子直流送電システムの開発において“ABB、Siemens、GE”の3社での研究開発を開始したが、途中から実質的に“ABB”1社となったことが分かった。(技術情報の一部を他社に開示する必要のあるマルチベンダーの研究開発は難しいとのマネジメント上の知見を得た)



- NEDOから、事業者に本事業におけるマルチベンダー化による重要性を再度説明するとともに、東京電力ホールディングスを中心に、東芝エネルギーシステムズ・日立製作所間の連携を意識した定期的な打合せを実施し、必要に応じてNEDOも参加した。



- 結果として、マルチベンダーに対応した多端子直流送電システムの標準仕様書を作成し、目標以上の成果である、IEC TC115との調整を開始。また、東芝ESS・日立製作所連名での学会発表等も実施した。

	NEDO 次世代洋上直流送電システムの開発事業	欧州 Best Paths
事業当初		
2018年6月調査		
2018年6月以降		

2. 研究開発マネジメント (5) 知的財産権等に関する戦略の妥当性

◆ 知的財産権等に関する戦略、知的財産管理

✓ オープン/クローズ戦略の考え方

	非競争域	競争域
公開	<ul style="list-style-type: none"> <li>多端子直流送電システムの計画・設計</li> <li>システム制御技術などの設計・解析手法</li> <li>洋上PF基礎の選定・評価手法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>直流遮断器技術</li> <li>海底ケーブル技術</li> </ul>
非公開		<ul style="list-style-type: none"> <li>直流遮断器機械・半導体回路詳細設計</li> <li>海底ケーブル材料・構造技術</li> </ul>

↓ 標準化を推進

積極的に  
権利化

ノウハウとして  
秘匿

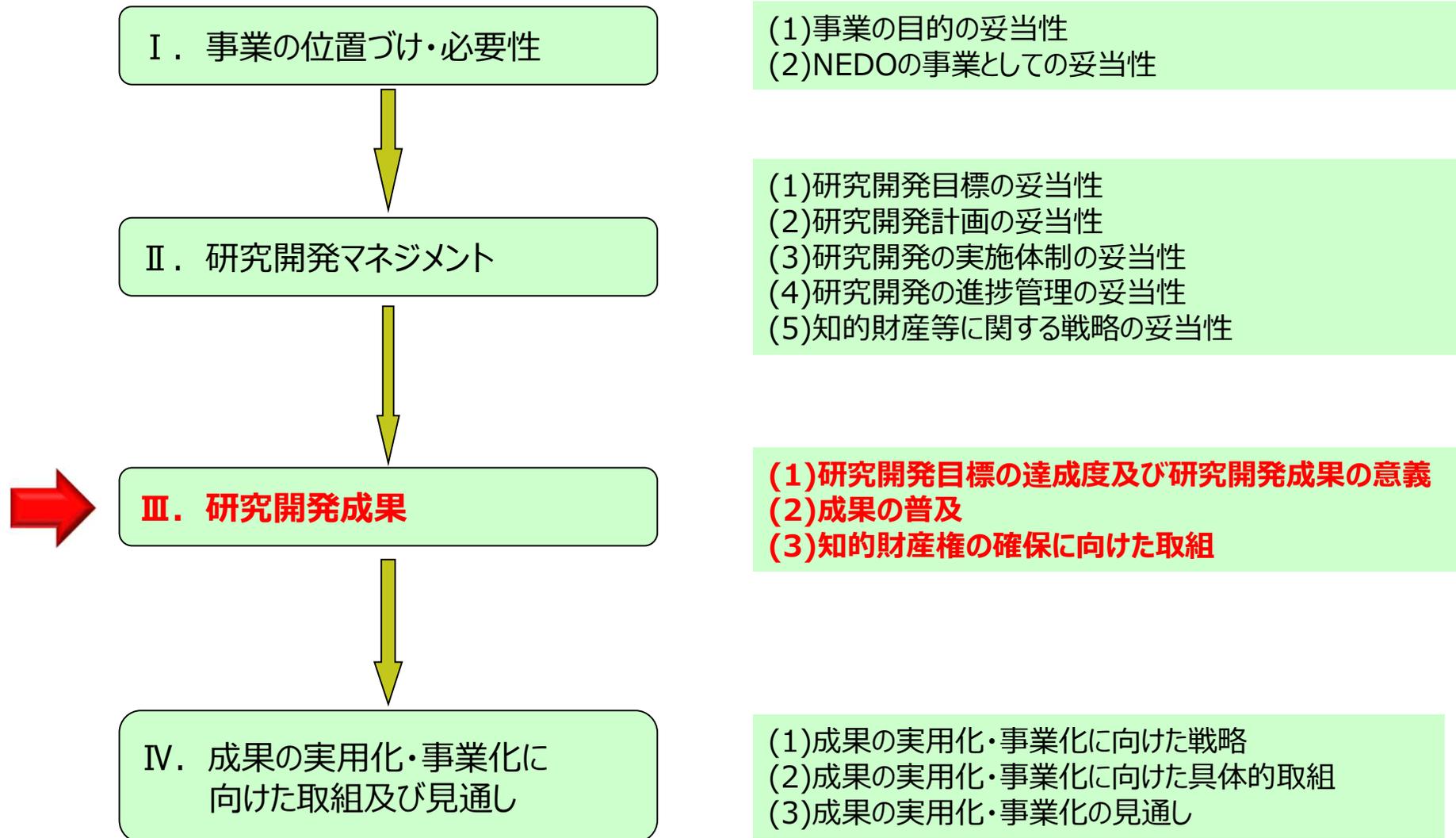
- システム開発（多端子直流送電システムの設計やシステム制御技術・解析手法等）は、非競争域として、標準化を進め、直流送電システムの導入を押し進める。
- 要素技術開発（直流遮断器、海底ケーブル等）は、競争域として、各回路の詳細設計など各社ノウハウになる部分は秘匿し、公開できる技術は積極的に特許化を押し進める。

✓ 知的財産管理

「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に基づき

- 知財合意書を再委託先を含む全事業者間にて取り交わし、特許を受ける権利の帰属、大学等と企業の共有特許、事業内での実施許諾、等を規定
- 知財運営委員会を組織し、特許申請について審議・認定を実施

市場でのシェア獲得に向けて、特許とすべきものは特許化し、特許化が得策ではないものはノウハウとする等、戦略的に出願するよう、各社の事業化に向けた戦略を尊重しつつ、指導を実施



3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

開発成果と達成度			
主な内容	最終目標	成果	達成度
システム開発	多端子洋上直流送電システムのモデルケースから、導入を想定した1～3ケースを選択・システム設計し、また、要素技術開発されたコンポーネントのプロトタイプにおいて試験された信頼性データと、それらコンポーネントを選択したモデルケース向けに設計した特性を用いて、既存の交流送電システムに対して、平均稼働率（信頼性）等を含めたコスト削減割合20%以上の導入モデルケースを完成する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 日本海域の洋上風力適地から大規模洋上ウインドファームの想定地を選定。交流設備での設計に比べて、目標を大幅に上回る29%のコスト減となる洋上ウインドファームの集電系統と送電系統モデルを構築した。</li> <li>➤ 異メーカー同士での自励式多端子直流送電システムの制御・保護方式などの確立に向けたモデル解析を実施し、標準仕様書を作成するとともに、2019年度中にNEDOウェブサイトで公開した。</li> <li>➤ 標準仕様書案の英訳を作成し、IEC TC115と調整を開始した。</li> </ul>	◎
要素技術開発	要素技術開発されたコンポーネントのプロトタイプの信頼性試験を行い、また、選択されたモデルケースに向けた設計と特性検討、あるいは、設計と試作、性能試験を行い、それらコンポーネントの仕様を完成する。あわせて、既存の交流送電システムに対して、そのモデルケースの平均稼働率（信頼性）等を含めたコスト削減割合20%以上へ貢献する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ ①ハイブリッド型直流遮断器の試作、②ケーブルの異径ジョイント・ダイナミックレイティング技術、③バンドル敷設工法、④サクシオンスカートによる洋上プラットフォーム基礎設計などの低コスト・高信頼に資する新技術を開発した。</li> <li>➤ 特に、①ハイブリッド型直流遮断器及び④洋上プラットフォーム基礎設計は目標を大幅に上回る成果を達成。</li> </ul>	◎

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部達成、× 未達

### 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

#### ◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

##### ・既存の交流送電システムに対してコスト削減割合20%以上を実現

想定されたモデル系統下における設備年間経費、発電機会損失、送変電損失等を考慮した比較を行ったところ、既存の交流システムに対して、目標値20%を大幅に上回る29%以上のコスト削減可能な直流送電システムの開発を達成した。目標値との差の9%は、モデルケースにおける建設費約1000億円以上に相当し、本事業の総額約47億円の20倍以上である。

また、当初からの目標に加えて、標準仕様書案が作成できたことから、国際標準化を念頭に英訳し、IECとの調整を開始した。

このコストメリット及び現在取り組んでいる国際標準化は国内のみならず海外市場での市場獲得においてアドバンテージとなりその意義は大きい。

##### ・要素技術開発を行い、コスト削減割合20%以上へ貢献

低コスト・高信頼の多端子直流送電システムに必要な不可欠な直流遮断器、海底ケーブル、洋上プラットフォーム等の技術を開発した。特に、直流遮断器は、目標値（遮断電流8kA以上-裁断時間5ms以下）を大幅に上回る遮断時間（遮断電流14.9kA-裁断時間2.9ms）を達成するとともに、回路構成を工夫することで世界最高の効率（通電損失がほぼゼロ）を実現している。

また、洋上プラットフォームの開発では、日本周辺海域に建設する際に必要となる地震や台風等への対応として、スカート内にサクシオンが発生することによる抵抗力を従来設計法より5割増できることを確認した。

これらについても国内のみならず海外市場での市場獲得においてアドバンテージとなりその意義は大きい。

### 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

#### 3. 1 洋上集電系統/洋上送電系統の計画・設計 (東京電力パワーグリッド、東京大学) (1) 洋上送電系統の計画と設計

開発成果と達成度			
主な内容	最終目標	成果	達成度
1. 信頼度と経済性の評価に基づく洋上送電系統の計画と設計 2. 本事業で開発を行う洋上送電システムの主要構成要素に関わるコスト試算を行うために必要となる各種前提条件や、先行事例におけるコスト試算の方法論について調査検討	多端子直流送電システムのモデル系統が既存の交流連系システムと比較して、経済性が20%以上優位となる条件を整理する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>先行事例調査を通じ、コスト要因を把握するとともに、陸上交流系統の状況を鑑み、陸上連系エリアを具体化し、モデル系統を設計した。</li> <li>設備の建設に係る費用のみの評価ではなく、設備の運転・維持ならび損失に係る費用を考慮した経済性評価手法を提示した。</li> <li>既存の交流送電システムと比較して29%コスト削減可能な直流送電システムを設計した。</li> <li>令和2年電気学会全国大会にてコスト試算手法とその評価について報告した。</li> </ul>	◎

#### (2) 国内導入における社会受容性・制度・ルールの検討

主な内容	最終目標	成果	達成度
①社会受容性 洋上風力発電を含む洋上送電システムが確保しておくべき社会受容性に関して、先行事例調査などを通じて多面的に検証し、洋上送電設備が獲得すべき社会受容性を整理する  ②制度・ルール検討 我が国において整備しておく必要のある制度・ルールのあり方に関わる参考とするために、先行して洋上風力発電の開発が進む欧米諸国における、洋上送電設備に関連する制度・ルールの先行事例調査	①社会受容性 洋上送電システムの社会受容性に関わる検討フレームワークを構築するために必要となる先行して洋上送電システムが設置される国における環境アセスメント等のフレームワークを整理する	①社会受容性 先行して洋上送電システムの開発が進む欧州（主にイギリス及びドイツ）における社会受容性を評価するフレームワークについてその内容を明らかにするとともに、わが国における現状との差異についても検討を行った	○
	②制度・ルール検討 先行して洋上送電システムの開発が進む欧米諸国における制度・ルールの調査を通じて得られた知見に基づき、日本国内における洋上送電システムの整備・運用に関わる、制度・ルールのあり方や策定のための基礎情報収集する	②制度・ルール検討 先行して洋上送電システムの開発が進む欧州（主にイギリス及びドイツ）における洋上送電に関わる制度・ルール（投資回収の方法論を含む）について整理を行った	○

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部達成、× 未達

### 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

#### 3. 1 洋上集電系統/洋上送電系統の計画・設計

##### (3) 系統最適化手法の開発 (住友電気工業)

開発成果と達成度			
主な内容	最終目標	成果	達成度
海底ケーブル布設ルート最適設計手法の開発	海底線建設コストを最小化する海底ルートを定量的に評価設計するツールを開発する	地図上の任意の2地点を連系する海底ケーブル布設ルートについて、海洋環境情報を基に海底線建設コスト最小化するルートを数秒で設計する手法を開発した	○

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部達成、× 未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

具体的な実施状況 (洋上集電系統/500kV直流系統の計画と設計)

- ✓ 洋上のモデル系統設計における基本的な考え方
  - 系統構成や設備容量を選定する基本的な考え方を整理
- ✓ 洋上系統の具体化 (図3-1、3-2)
- ✓ 経済性評価のための指標選定
  - 設備経費、送変電損失、発電機会損失を合計した年間経費を指標に選定



図3-1 洋上系統の概念図

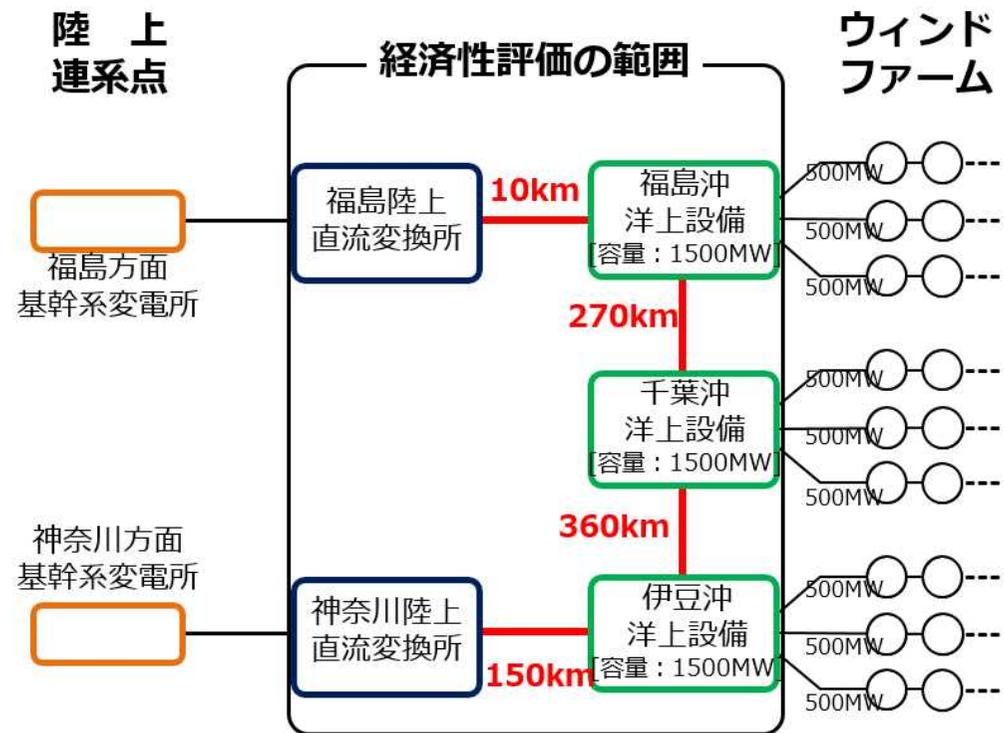


図3-2 経済性評価の範囲 (直流連系)

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

具体的な実施状況 (洋上集電系統/500kV直流系統の計画と設計)

- ✓ モデル系統の設計
  - 以下、CASE 1 および 2 について、直流連系・交流連系のモデル系統を各々設計した。(計4種)
  - CASE 1 : 単一設備故障時の発電抑制を許容する場合
  - CASE 2 : 単一設備故障時に全量送電可能な場合
- ✓ モデル系統の経済性を評価 (図3-3,図3-4)
- ✓ 直流連系が交流連系に比べ20%以上 (CASE 2 では29%) のコスト削減を達成

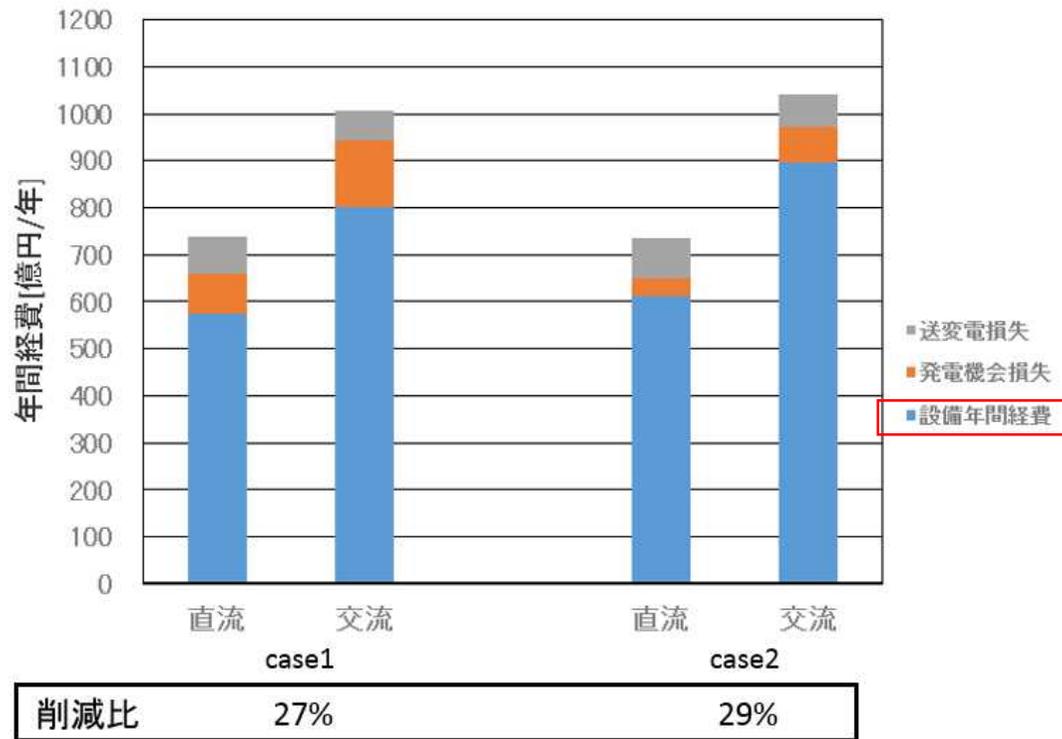


図3-3 年間経費の比較

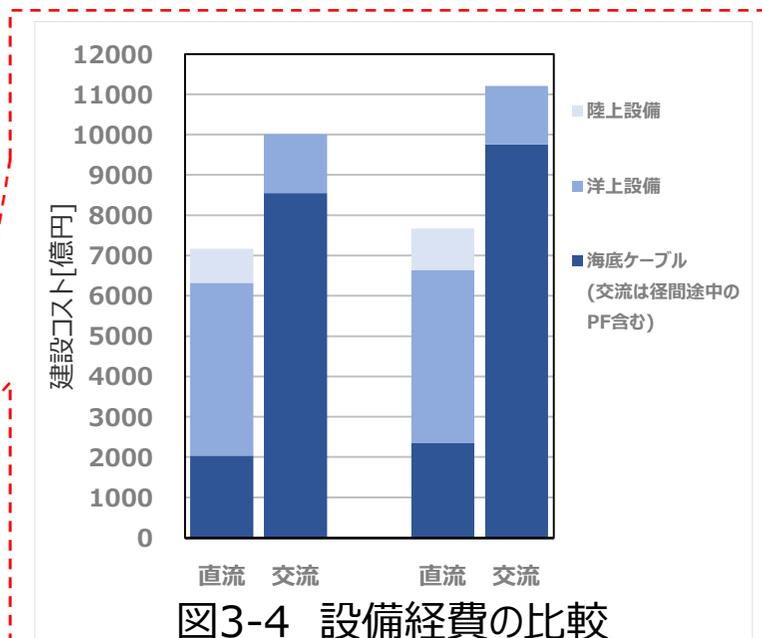


図3-4 設備経費の比較

- ✓ 海底ケーブルコストが約4分の1であり、大幅に低い
- ✓ 洋上設備コストが約3倍高い
- ✓ 陸上設備が全体コストの約10%を占める

### 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

#### 3. 2 多端子直流送電システムの制御・保護方式の開発、設備の要求仕様の検討

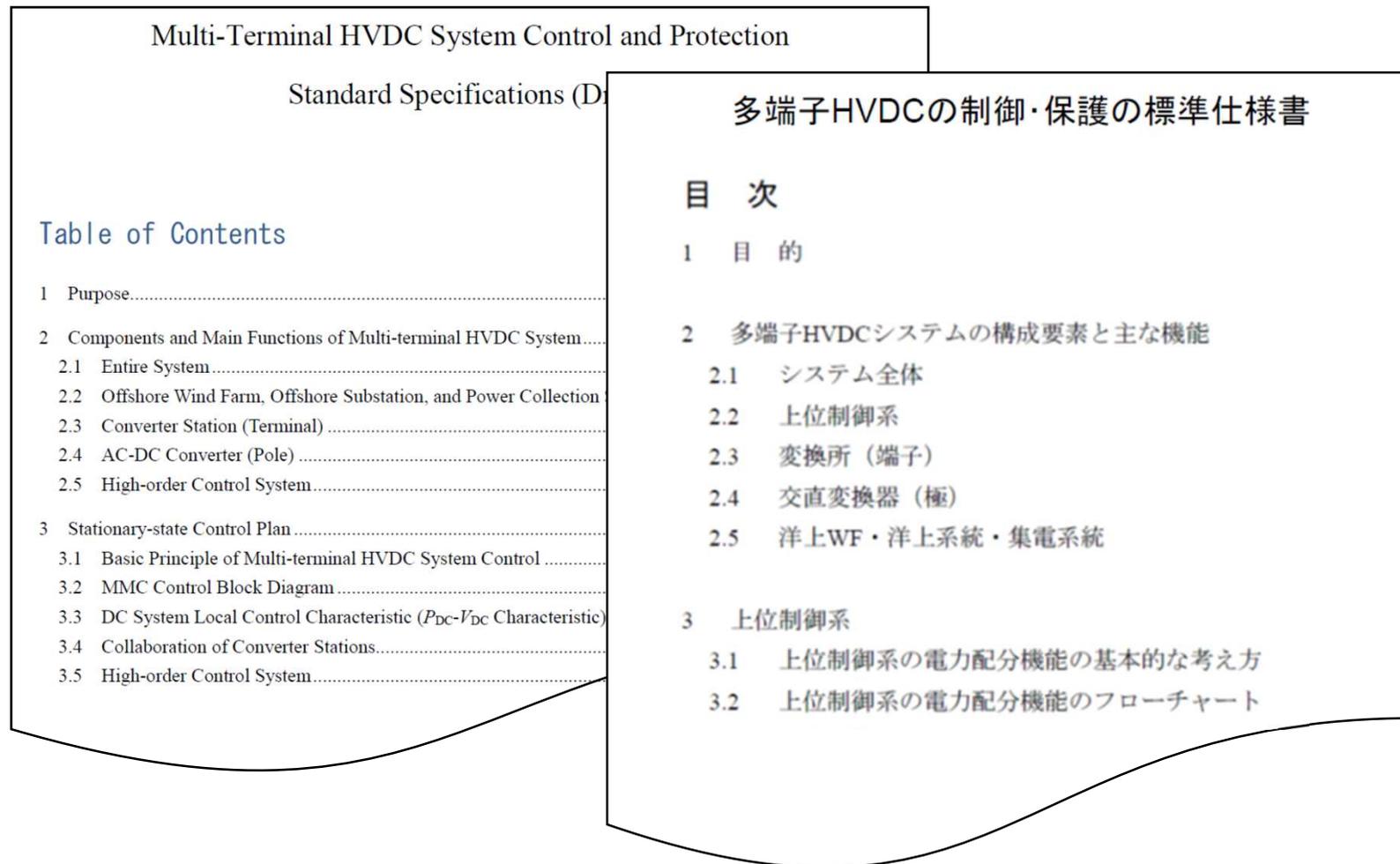
(1) 自励式交直変換器の制御・保護方式への要求仕様の作成 (東京電力ホールディングス、東芝、日立製作所)

開発成果と達成度			
主な内容	最終目標	成果	達成度
異社間接続可能な洋上多端子直流送電システムの標準仕様書の作成	異社間接続可能な5端子(洋上3端子、陸上2端子)直流送電システムにおける標準仕様書を作成する。	○標準仕様書を作成し、2019年度中にNEDOウェブサイトで公開するとともに、標準仕様書の案の英訳を作成し、IEC TC115と調整を開始する等、目標を大幅に達成した。	◎
PSCADによる3端子(洋上1端子、陸上2端子)異社間接続検証	・PSCADシミュレーションにより、異社間接続した3端子直流送電システムの潮流制御・保護制御の機能を確認する。	○PSCADシミュレーションにより、異社接続による3端子直流送電システムの定常状態(保護連動なし)及び事故時(保護連動あり)における潮流制御及び保護制御の機能を確認した。	○
RTDSによる5端子(洋上3端子、陸上2端子)異社間接続検証	・RTDSシミュレーションにより、異社間接続した5端子直流送電システムの潮流制御・保護制御の機能を確認する。	○RTDSシミュレーションにより、異社接続による5端子直流送電システムの定常状態(保護連動なし)及び事故時(保護連動あり)における潮流制御及び保護制御の機能を確認した。	○

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部達成、× 未達

### 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- 異メーカー間接続が可能な洋上多端子直流送電の開発・検証を念頭に置き、「多端子標準仕様書」としてまとめた。
- さらに、当初の目的ではないが、国際標準化を念頭に、「多端子標準仕様書（案）」を英訳し、IEC TC115と調整を開始した。この時、NEDOのアレンジによりIEC TC115の国内委員長との面談を実施し、詳細情報をインプットできたことにより、速やかに標準仕様書案をIECの議論に組み込むことができた。



### 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

## 研究開発項目Ⅱ 要素技術開発

### 3.3 直流遮断器の開発 (東芝エネルギーシステムズ)

#### (1) 機械部/半導体部の開発

開発成果と達成度			
主な内容	最終目標	成果	達成度
機械部 (遮断部・断路部) の開発	高速・高応答に開極可能な操作機構の開発と高速電流遮断および遮断後の耐電圧性能の達成	電磁反発機構、高耐久ベローズ、動作部の軽量化、電界設計とガス吹付による絶縁回復特性の向上を図った。 遮断部：指令から遮断部の電流零まで2ms以下、遮断電流8kA以上、極間耐圧DC20kV以上を達成した。 断路部：指令から過渡回復電圧まで3ms以下、断路電流8kA以上、絶縁回復時間0.5ms以内、絶縁回復電圧120kV以上を達成した。	◎
半導体部 (遮断部・転流回路部) の開発	半導体部における8kA以上の大電流遮断の達成	遮断部、転流回路部に要求される性能は、半導体素子の定格 (4.5kV-2.1kA) を上回る事故電流遮断と、遮断時に発生する過渡電圧抑制である。本開発ではスナバ回路を適用し、半導体遮断部回路、転流回路とも半導体素子の定格電圧以下の過渡電圧で、8kA以上の大電流遮断を達成した。	○

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部達成、× 未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

3.3 直流遮断器の開発

(3) 遮断試験方法・ハイブリッド遮断器の開発

開発成果と達成度			
主な内容	最終目標	成果	達成度
遮断試験方法の開発	合成遮断試験方法の確立	交流発電機と電圧源コンデンサとを組み合わせた合成遮断試験方法を確立した。交流用の遮断試験設備と同等規模の設備で、直流系統における事故電流遮断性能と遮断後の耐電圧性能が確認可能となった。	○
ハイブリッド直流遮断器の遮断検証	機械部と半導体部で構成するハイブリッド遮断器システムのスケールモデルを製作し遮断性能(遮断電流8kA以上-裁断時間5ms以下)を達成する。	制御アルゴリズムを開発し、10kV原理検証モデルにより動作を確認した。スケールモデルとして40kVハイブリッド直流遮断器を製作し、弊社浜川崎工場の大電力試験設備を用い、開発した直流遮断器試験方法で検証を行った。検証試験の結果、初期の目標の遮断電流14.9kA以上、裁断時間2.9msを達成した。	◎

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部達成、× 未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

具体的な実施状況

【ハイブリッド直流遮断器】

- ✓ NEDO加速予算により40kVスケールモデル（図3-5,図3-6）を製作し、開発した直流遮断器試験方法で検証を行った。
  - 目標の遮断電流8 k Aを上回る電流値14.9kAを、裁断時間5ms以下の2.9msで裁断し、当初の目標を達成（図3-7）。



図3-5 ハイブリッド直流遮断器40kVスケールモデル

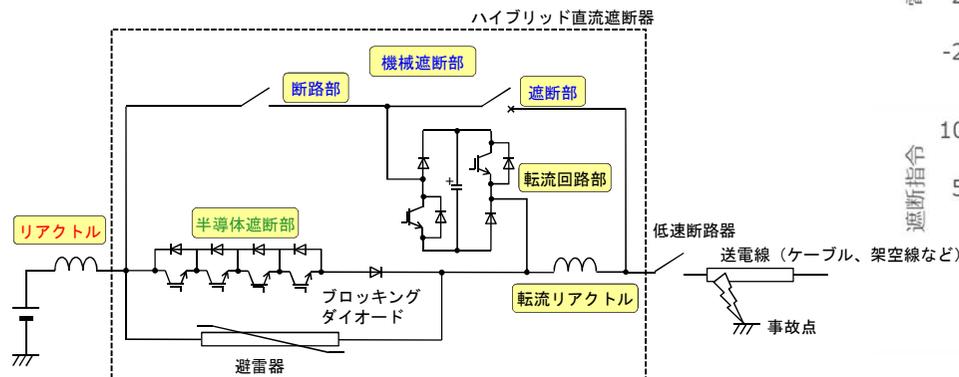


図3-6 ハイブリッド直流遮断器の構成

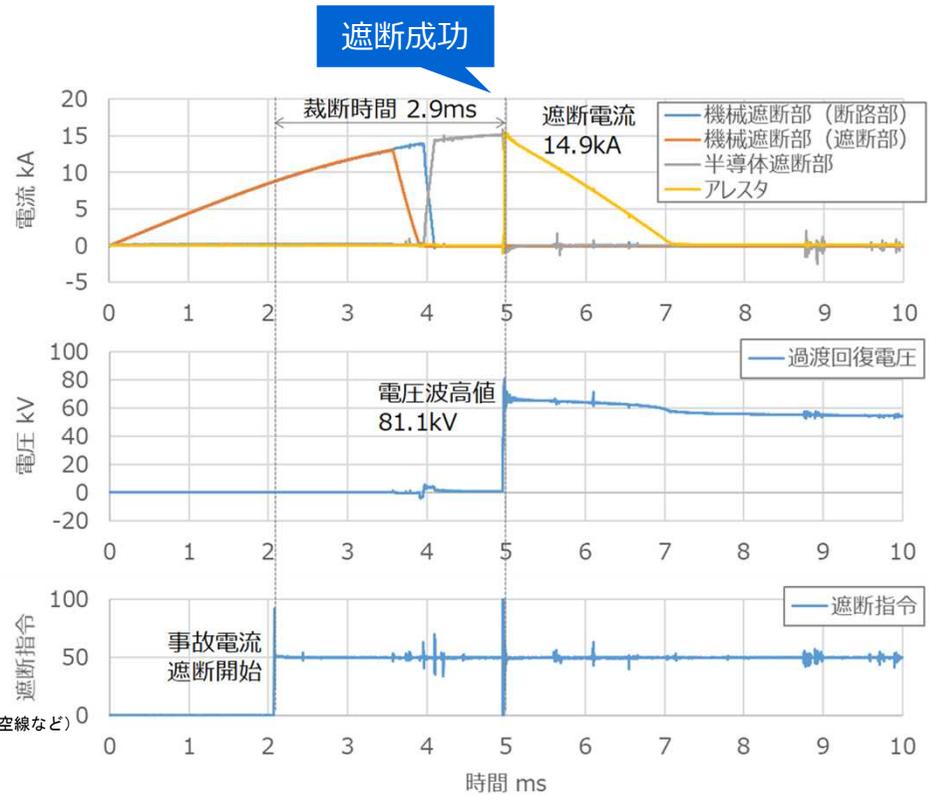


図3-7 遮断試験結果波形

### 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

#### 3.4 海底ケーブル関連技術開発 (住友電気工業、古河電気工業)

##### (1) ダイナミックレイティング技術を用いた海底ケーブル最適化設計技術の開発 (古河電気工業)

開発成果と達成度			
主な内容	最終目標	成果	達成度
ダイナミックレイティングアルゴリズム開発と検証	ケーブルコスト削減20%を実験的に示す (異径ケーブル接続を含む)	・ダイナミックレイティングの導入により、ケーブルの導体断面積を削減し、そのコストを20%削減できることを示した。 新しいアルゴリズムでダイナミックレイティングを構築・実現した。	○

##### (2) 異径ケーブル接続部の開発 (古河電気工業)

開発成果と達成度			
主な内容	最終目標	成果	達成度
導体断面積の異なるケーブルの接続技術の確立	ケーブルコスト削減20%を実験的に示す (ダイナミックレイティング技術を含む)	・ケーブルを構成する各材料の接続方法を決定し、要素技術を確立した ・DC525kVでの長期信頼性試験後もケーブルに損傷はなく、有効な違径ケーブルの接続を実現した。	○

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部達成、× 未達

### 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

#### 3. 4 海底ケーブル関連技術開発 (住友電気工業、古河電気工業)

##### (3) 最適工法およびコスト削減を目指したケーブルジョイントと工法の開発 (住友電気工業)

開発成果と達成度			
主な内容	最終目標	成果	達成度
異社間分岐ジョイントの開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・直流525kV級EB-Gの試作、並びに性能評価を行う</li> <li>・従来技術に対するコスト削減効果を評価する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・直流525kV級EB-Gを試作し、CIGRE TB 496に準拠した型式試験を実施した。その結果、十分な基本性能を有していることを確認した</li> <li>・従来工法に対する、コスト削減効果を試算評価した</li> </ul>	○
525kV海底ケーブル向け工場ジョイント工法(テープ巻モールド方式)の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・直流525kV級工場ジョイントの試作、性能評価を行う</li> <li>・従来技術に対するコスト削減効果を評価する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・直流525kV級工場ジョイント(テープ巻モールド方式)の試作を完了した。その後、基本性能評価を実施しその性能を確認した</li> <li>・従来工法に対するコスト削減効果を試算した</li> </ul>	○

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部達成、× 未達

### 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

#### 3.4 海底ケーブル関連技術開発 (住友電気工業、古河電気工業) (4) 洋上風力用に最適化された工事工法と設備の開発 (住友電気工業)

開発成果と達成度			
主な内容	最終目標	成果	達成度
洋上風車向けケーブル引き込み工法の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ダイバーレス工法を可能とするケーブル防護材の検討と施工性を確認する</li> <li>・従来技術に対するコスト削減効果を評価する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ダイバーレス工法を可能とするケーブル防護材(CPS)を調査・選定した。また、実際のCPSを入手しその施工性を確認した結果、風車引込作業に問題はないことを確認した</li> <li>・コストを試算した結果、従来工法よりコスト削減できた</li> </ul>	○
バンドル敷設工法の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バンドル敷設工法の敷設船艙装要領の提案、並びに技術課題を検討する</li> <li>・従来技術に対するコスト削減効果を評価する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・敷設船上で海底ケーブル2~3条をバンドルし同時敷設する工法について検討し、敷設船艙装要領を提案した。また、敷設時に海底ケーブル加わる側圧が技術課題であることを示した</li> <li>・側圧試験を実施し、本工法適用の場合のケーブルへの影響評価を行い、結果を反映したケーブル設計仕様を完成した</li> <li>・従来工法に対するコスト削減効果を試算した</li> </ul>	○
防護管の自動取付工法の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・船上防護管取付工法の検討、並びに実機防護管の設計・試作を行う</li> <li>・従来技術に対するコスト削減効果を評価する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・船上での高速防護管取付を可能とする船上設備について1/10モデル(3Dプリンタ模型)を作製し自動供給性などを確認した。また、実機防護管を設計・試作した</li> <li>・防護管の性能評価試験を行い、その結果を防護管の設計仕様および工法へ反映した</li> <li>・従来工法に対するコスト削減効果を試算した</li> </ul>	○

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部達成、× 未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

3. 5 洋上プラットフォーム新形式基礎の基盤技術開発 (大林組)

開発成果と達成度			
主な内容	最終目標	成果	達成度
海外事例調査と国内海域の特性調査を踏まえた新基礎形式の検討	我が国の海底地質、地形などに最適でかつコストダウン可能な基礎形式を調査する。	日本沿岸域では、砂地盤が主体であること、地震による水平荷重が卓越することより、サクシオン基礎が従来基礎形式に比べコストダウンの可能性があると分かった。	○
新形式基礎の性能評価	サクシオン基礎の水平支持性能において、受働サクシオン効果の影響を把握する。	実験の結果、地震や波浪など載荷速度が速い荷重が作用した場合に、スカート内にサクシオンが発生することによる抵抗力増加を定量的に評価 (従来設計法より2~5割増) できた。	◎
新形式基礎の繰返し波浪や地震力に対する長期安定性の評価	繰返し波浪や地震力に対する安定性を模型実験および再現解析により検証する。	繰返し波浪に対する実験、地震時液状化実験およびその再現解析により、サクシオン基礎の残留変形は十分小さいことがあきらかになった。	○
洋上PF架台基礎のコスト比較	想定される洋上PF架台基礎の設計および施工法検討を行いコスト比較する	着床式架台 (水深50m) ではサクシオン基礎はジャケット基礎の27%コスト減、浮体式架台 (200m) では新形式 (サクシオンアンカー) は従来形式 (重力式アンカー) の10%コスト減となった。	○

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部達成、× 未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

具体的な実施状況

- ✓ 遠心力模型実験による水平載荷実験
- 実験目的：水平支持力性能におけるサクシヨンの影響評価
- 実験パラメータ：スカート構造（単独型/分離型）、載荷速度
- 実験結果：載荷速度が速いほど大きなサクシヨンの発生。  
地震や波浪など速い外力では静的抵抗に比べ**2～5割増**。

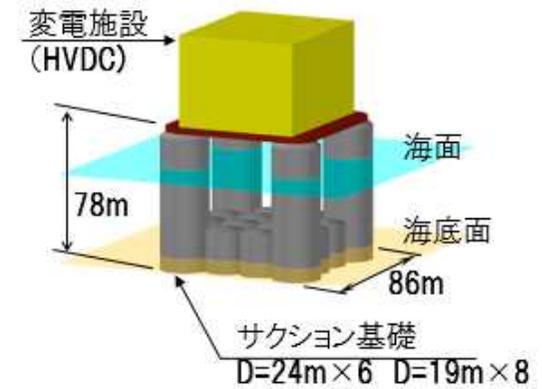
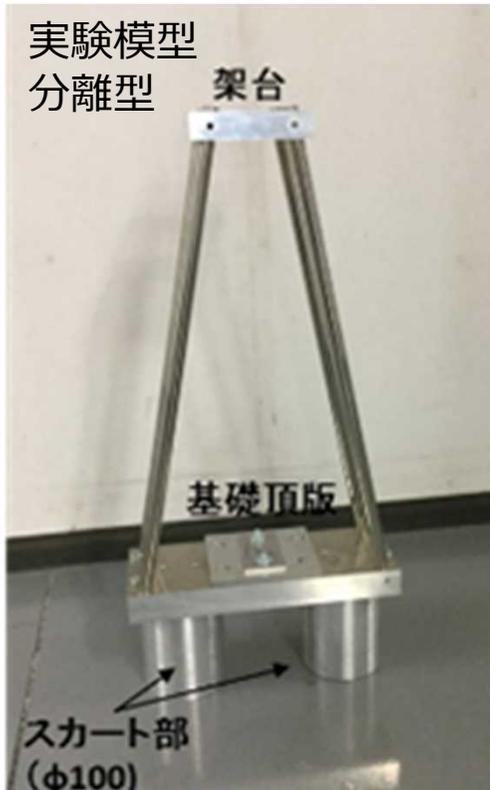
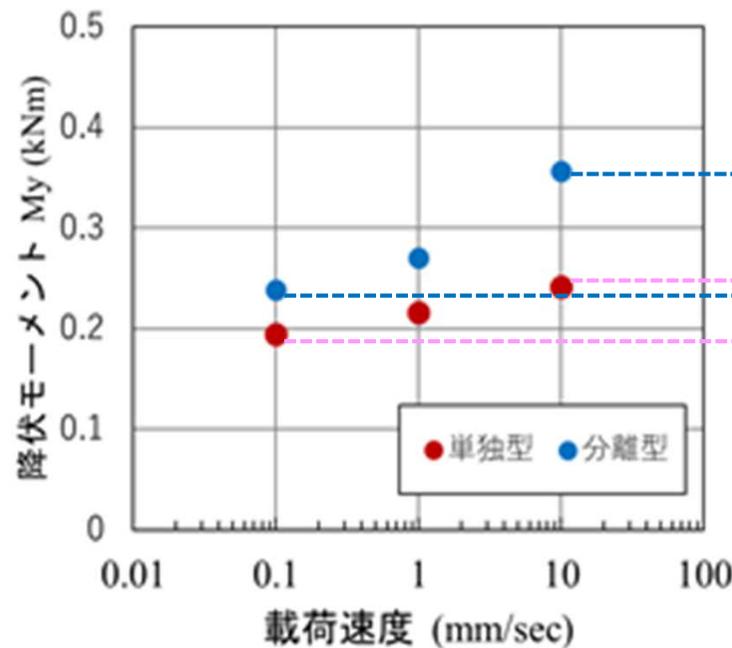


図3-9 概略設計例



載荷速度と抵抗モーメント



分離型 5割増

単独型 2割増

地震や波浪など載荷速度が大きい場合にサクシヨンを効果的に発揮させられる分離型の適用が有効

※単独型とは、左記模型にてスカート部が1か所 (φ200) のモデル

図3-8 遠心力模型実験結果

## 3. 研究開発成果 (2) 成果の普及

## ◆ 成果の普及

学会発表等については、特許の想定や機密性の高い情報の取り扱い等を考慮しつつ、成果普及の観点から情報発信を実施。

	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	計
学会発表、論文 (査読付)	1 (1)	14 (3)	17 (3)	20 (0)	31 (3)	83 (10)
講演、その他	5	1	2	5	5	18

※2020年7月30日現在

### 3. 研究開発成果 (2) 成果の普及

#### ◆ 成果の普及

##### ✓ 受賞実績

- 古河電気工業 幸山 和晃、住友電気工業 真山 修二、NEDO 加藤 寛、小沼 貴紀 “Total System Development on Innovative and Large Scaled HVDC Cable System towards Expanded Installation of Large Offshore Wind Farms” 2020-2021年CIGRE パリ大会の優秀日本論文において、最優秀論文を受賞
- 大阪工業大学 木村紀之 森實俊充 “Solid State Transformer Investigation for HVDC Transmission from Offshore Windfarm” 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA) 2017においてBest Paper Awardを受賞
- 日立製作所 吉原徹 木村守 “洋上風力連系直流送電システムの系統事故時運転の基礎検討” 平成29年電気学会全国大会(2017)において平成29年電気学会優秀論文発表賞を受賞
- 東芝インフラシステムズ 児山裕史 “半導体部品を削減した多端子直流送電グリッド向けハイブリッド直流電流遮断器” 平成30年電気学会全国大会(2018)において平成30年電気学会全国大会優秀論文発表賞を受賞

##### ✓ 新聞・雑誌への掲載

- 2017年11月 電気学会誌の特集記事に本事業の成果を掲載 次世代型高圧直流送電システムの展望～大規模洋上風力の導入および広域系統最適化への貢献～
- 2017年2月 西方正司 「風力発電の現状と洋上への展開」 オーム,104巻,12号,64-69ページ
- 2019年5月 西方正司 「出力力率を任意に制御できる発電システム」 クリーンエネルギー,28巻,5号,16-21ページ
- 2016年7月24日 大阪工業大学 木村教授 「電流戦争 直流リベンジ？ 再生エネの送電、高い効率」 日本経済新聞 朝刊に掲載

## 3. 研究開発成果 (3) 知的財産権等の確保に向けた取組

## ◆ 知的財産権の確保に向けた取組

## 戦略に沿った具体的取組

特許出願については、実用化・事業化を想定し、戦略的に特許化が必要と判断したものは出願するとともに、国内出願、海外出願についても、市場動向や費用対効果等を踏まえつつ選択。

	2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	計
特許出願（うち外国出願）	—	9 (2)	8 (2)	8 (2)	19 (10)	44 (16)

※2020年7月30日現在

I. 事業の位置づけ・必要性

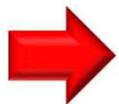
- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

II. 研究開発マネジメント

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

III. 研究開発成果

- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の普及
- (3)知的財産権の確保に向けた取組



**IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し**

- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略**
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組**
- (3)成果の実用化・事業化の見通し**

## 4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し

## ◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

## ➤ (I) システム開発

## ◆実用化・事業化の定義

本事業で開発された、多端子直流送電システムの計画・設計、システム制御技術などの設計・解析手法の一般化を行い、広く利用可能な技術として確立させること。

## ➤ (II) 要素技術開発

## ◆実用化・事業化の定義

本事業で開発された多端子直流送電システムの実現に必要な新規コンポーネントが、関連する業界や企業等で活用可能、または企業活動（売上等）に貢献可能であること。

## ➤ 設定理由

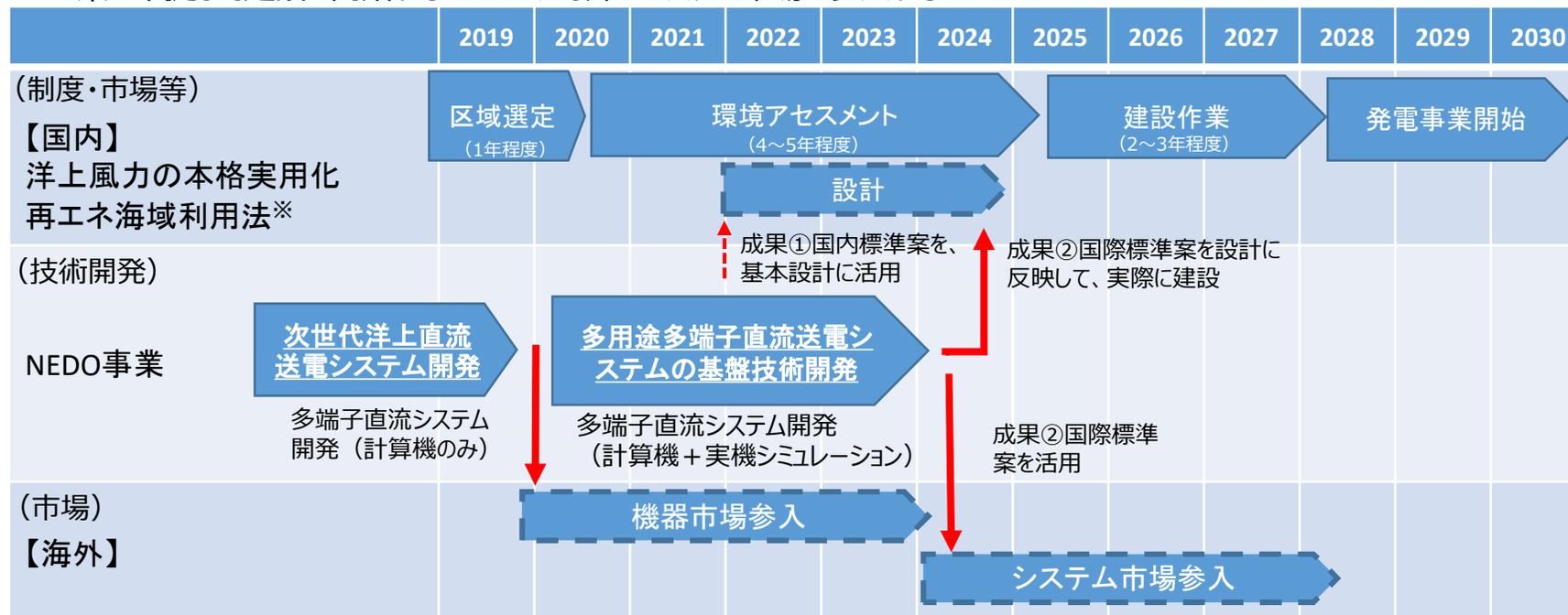
システム開発では、成果を広く発信し、我が国での実案件化へ繋がることが重要との考えから、研究開発成果は広く公表されるべきとの考えに基づき、ユーザーとして想定される一般電気事業者や、シンポジウムなどを活用した積極的な情報発信を実施していくことを念頭に置いて定義した。

一方、要素技術開発では、開発したコンポーネントは実用化すれば既存技術と組合せて、海外含めたプロジェクトへ参入することが可能となることから、開発成果が企業の収益化へ貢献することを念頭に置いて定義した。

## 4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し (1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

### ◆ 実用化・事業化に向けたシナリオ

- 洋上直流送電の実用化に向けて、2019年4月に「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律（再エネ海域利用法）」が施行される等、制度面の整備が進んでいる。具体的には、環境アセスメント（4～5年）及び建設作業（2～3年）を経て発電事業を開始するため、2020年に促進区域を選定した場合、発電開始は2028年頃になる。
- 2019年度に終了したNEDO「次世代洋上直流送電システム開発事業」により、機器開発は完了し、順次海外の機器市場に参入していく。
- 2020年度開始のNEDO「多用途多端子直流送電システムの基盤技術開発」において、実機の挙動（応答遅れ、高調波、ノイズ、振動等）を踏まえた多端子システムの開発を行う。
- これらのNEDO事業の成果を基に、2021年までに国内標準案（成果①）を適宜IECとの調整の結果を含めて更新するとともに、国内の基本設計に活用する。また、2023年までに国際標準化案（成果②）を作成し、国内では国際標準案に準拠して建設を開始するとともに、海外のシステム市場に参入する。



\*「総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 洋上風力促進ワーキンググループ」「交通政策審議会 港湾分科会環境部会 洋上風力促進小委員会」合同会議 中間整理より

## 4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し (1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

## ◆ 実用化・事業化に向けた戦略

## ➤ (I) システム開発

- 成果：多端子HVDCの制御・保護の標準仕様書を作成  
⇒シミュレーションにて、制御・保護に必要な要件を確認済み。  
実機での検証ができていないため、ノイズなどの実機を用いないと再現できない挙動については検証不足である。  
後継事業である、「多用途多端子直流送電システムの基盤技術開発（2020-2023年）」にて、実機を含め、実用に近い状態での検証を行う。

多端子HVDCの制御・保護の標準仕様書（案）

目次	
1 目的	3
2 多端子HVDCシステムの構成要素と主な機能	3
2.1 システム全体	3
2.2 上位制御系	4
2.3 変換所（端子）	4
2.4 伝送線路（線路）	4

成果：標準仕様書  
(公開)

海外の競争力強化のため、  
国際標準化についても働きかける。

- 標準仕様書・成果をもとに、  
洋上WFの設置・系統増強を事業化
- ・東京電力ホールディングス株式会社
- ・東京電力パワーグリッド株式会社
- ・
- ・
- ・
- 各社一般送配電事業者・洋上風力の発電業者など

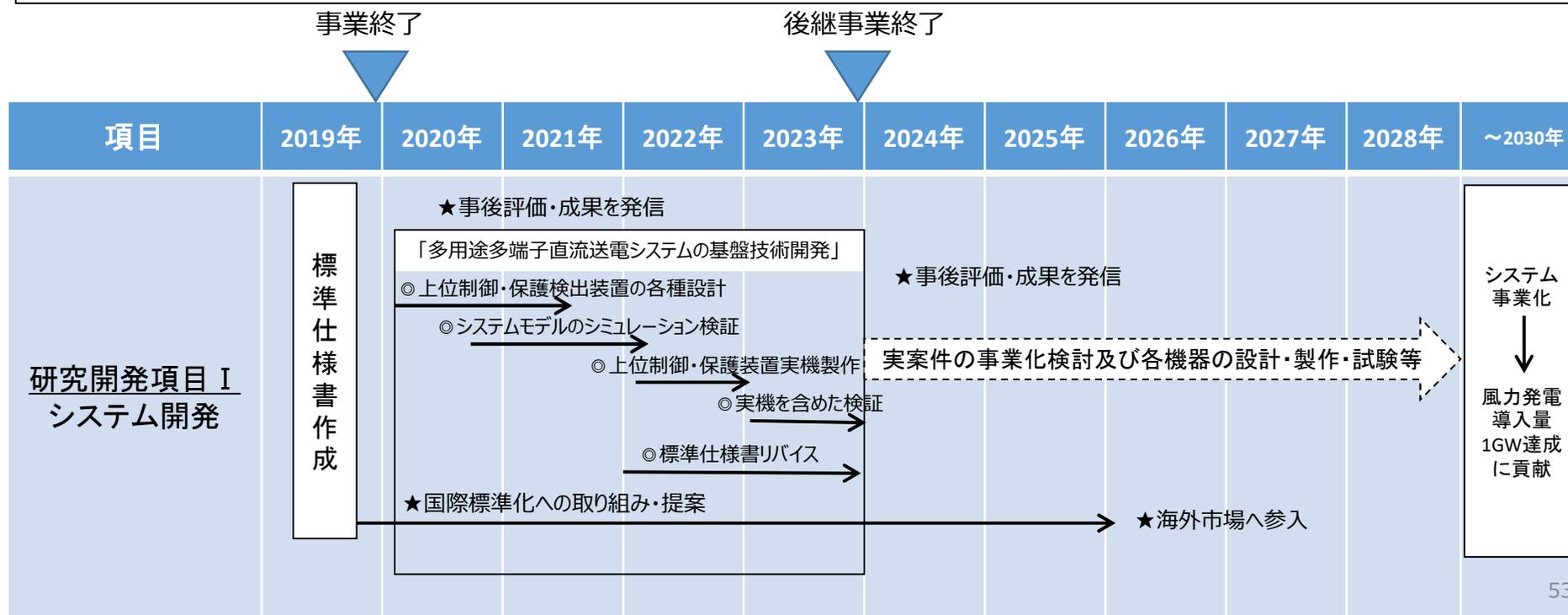
後継事業  
「多用途多端子直流送電システムの基盤技術開発」  
にて、実機を用いてより実用に近い状態での検証を実施  
リバイスした標準仕様書（公開）を作成。

4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し (2) 実用化・事業化に向けた具体的取組

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取組

➤ (I) システム開発

- 本事業の成果が、大規模洋上WFの計画に活用されるためには、日本において、大規模洋上WFが複数計画されることが必要
- 案件化に向けて広域連系系統の長期方針などに携わる広域機関などに対して再エネ導入拡大における多端子直流送電システムの重要性・有効性を認知させるため広く成果を発信
- ユーザーとなりうる電力会社（送配電事業者）に対しても広く成果を発信、再エネ導入拡大のための多端子直流送電システム導入の案件化に向けた働きかけを実施



## 4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し (1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

## ◆ 実用化・事業化に向けた戦略

## ➤ (II) 要素技術開発

- 高電圧直流遮断器（東芝エネルギーシステムズ）  
成果：40kVスケールモデル直流遮断器にて遮断電流8kA, 裁断時間5ms以下を達成。  
課題：実用化には高電圧化(320kV・500kV)に対する検証試験が必要。
- 洋上P F基礎（大林組）  
成果：日本沿岸海域に合わせ、コストを考慮した洋上P F基礎の構造・施工方法の選択が可能。  
今後想定される、洋上風力等の建設にて採用できる。  
課題：詳細な施工検討（SEP船、基地港など）や実大規模での長期挙動の性能確認が競争力強化には必要。
- 直流ケーブル技術・工法（住友電気工業）  
成果：異社間の分岐ジョイント技術や、ケーブル敷設の工法・設備を開発し、深度等にも合わせた、ケーブル最適設計が可能となった。  
更にシステム開発において「海底ケーブル布設ルート最適設計手法の開発」を完了した。  
本開発にて、525kV長距離直流海底送電ケーブルシステムを実現する事が可能となり、最終目標を達成した。  
(深海除く)  
課題：各種技術・工法はすでに長期間性能確認等の性能確認まで完了しており、十分に実用化にたる技術である。  
また深い海に囲まれた我が国での更なる洋上風力や直流海底の促進を図るためには、「深海ケーブル」の技術開発も必要である。
- 直流ケーブル技術・工法（古河電気工業）  
成果：ダイナミックレイティング技術および異径ケーブル接続技術の開発目標達成により、直流500kV級(525kV)のケーブルコストを20%削減した。  
課題：異形ケーブルの接続技術は信頼性試験まで終えているため、そのまま市場適用可能。  
ダイナミックレイティング技術は実フィールドの長距離での適用を課題とするが、直流での適用を待たず、要求のある案件から適用を開始する。

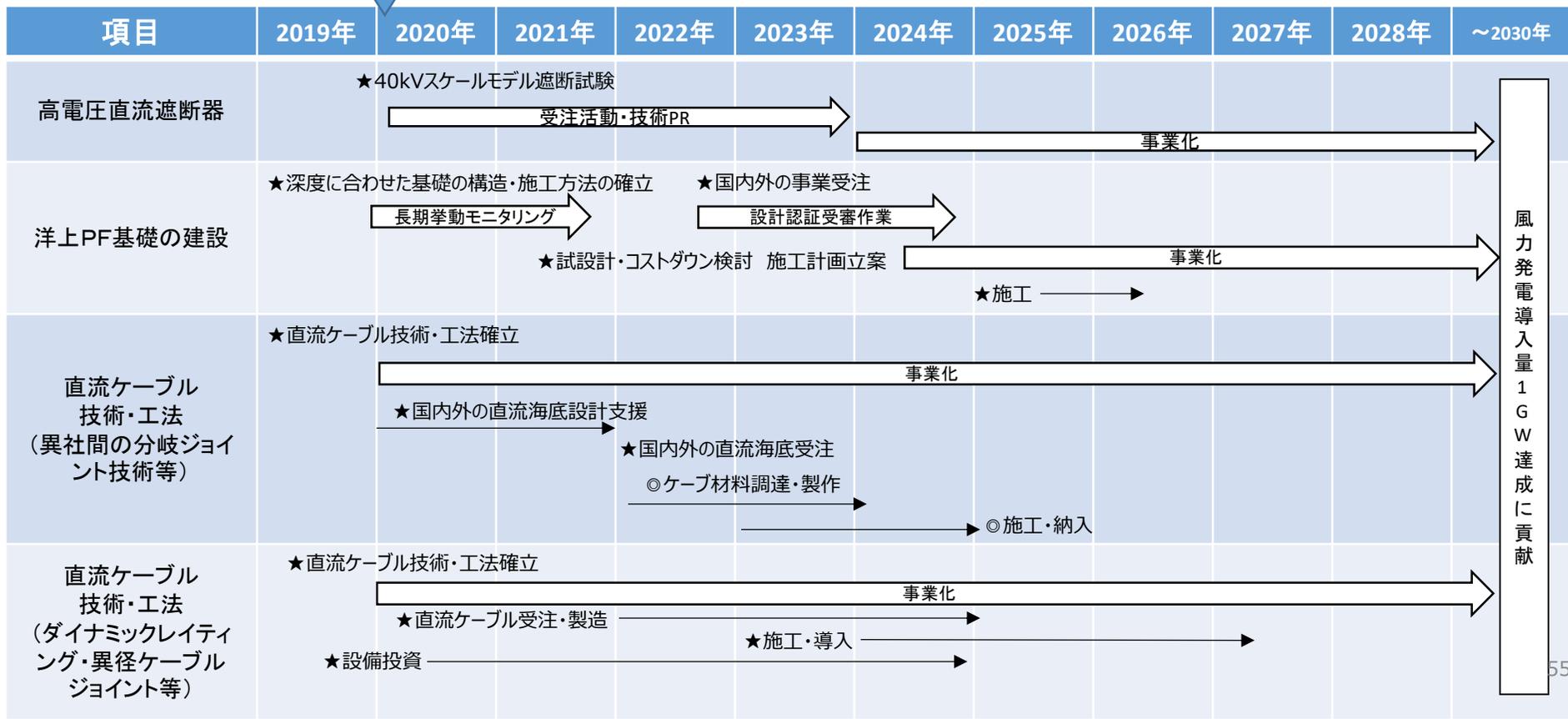
4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し (2) 実用化・事業化に向けた具体的取組

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取組

➤ (II) 要素技術開発

- 要素技術開発により事業化計画は異なるが、製品化に向けた作りこみを継続して実施し、必要な設備投資をしたうえで海外案件への参入を含めた活動を開始する計画
- 要素技術開発毎に市場があるため、早期の参入により知見・経験を積み、実際に我が国の案件が生じた場合でも海外企業に対してより競争力を発揮

事業終了



## ◆成果の実用化・事業化の見通し

### ➤ (I) システム開発

- 政策的な支援もあり、今後、洋上風力の導入拡大が見込まれ、送電システム技術のニーズは益々高まっている。本事業で開発した直流送電システムは、既存交流送電システムと比較し、**コスト面で大きな優位性**を示したことから、最も有力なシステムと考えられる。(想定モデル上で**29%のコスト削減**を達成)
- 本事業で策定した標準仕様書を含めて、IECで議論を開始しており、**国際標準化**することで、日本国内のみならず世界市場を獲得していく。

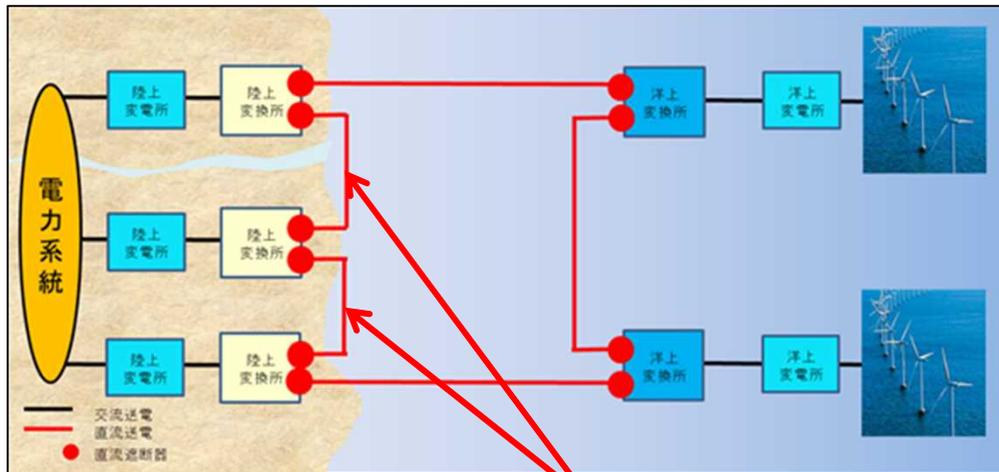
### ➤ (II) 要素技術開発

- 開発したハイブリット直流遮断器は、世界最高性能を有するだけでなく、複数回線ある場合には半導体遮断部を各回線で共通化できるため、既存のハイブリット直流遮断器と比べ、**コスト削減が可能**である。
- 開発したケーブル敷設工法は、**ケーブル敷設の工期短縮とコスト削減**が見込まれ、洋上風力導入が拡大している**欧州等でもニーズ**がある。
- 直流ケーブルの異社間の分岐ジョイント技術は、WF増設対応時にマルチベンダー化が可能となる。よって、ケーブル会社間の競争の場とすることができ、**コスト面・工期面で有益となる**ように、WFを建設できる。次々と増設される洋上風力発電のWFに対して、ニーズのある技術である。
- 開発したサクシオン基礎は、洋上変電施設だけでなく、着床式洋上風車基礎、浮体式洋上風車基礎等、幅広く海洋構造物の基礎として適用可能である。

## 4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し (3) 成果の実用化・事業化の見通し

## ◆波及効果

- 直流送電システムは、洋上風力による直流送電に加えて、地域間連系線や離島連系にも応用できる。
- 再生可能エネルギーの導入が進む中、直流の利用が再度注目されている。開発した直流送電に係るシステムと要素技術はHVDCのみならず、電圧階級を落としたMVDCやLVDCなど配電や消費用途にも応用できる。(NEDOでは、直流利活用の可能性を検討すべく、2019年度及び2020年度に技術ロードマップ策定調査を実施)
- 開発した直流ケーブル技術(ダイナミックレイティング技術、ケーブル敷設工法等)は交流ケーブルにも適用可能であり、既存ケーブルの低コスト化が期待できる。



地域間連系線・離島連系として応用



2019年度NEDO調査「直流利活用に関する技術マップ及び技術ロードマップ策定に関する調査」成果報告書より  
“直流利活用の2050年のイメージ例”