

「多用途多端子直流送電システムの基盤技術開発 (1)(2)(3)」(終了時評価)

2020年度～2023年度 4年間

プロジェクトの説明 (公開版)

2024年12月09日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

再生可能エネルギー部

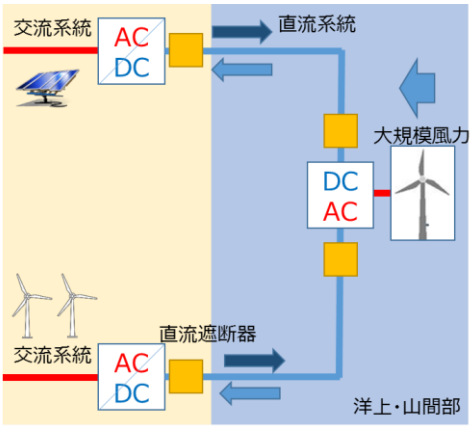
多用途多端子直流送電システムの基盤技術開発

プロジェクトの概要

風力発電の適地と大消費地の距離が離れている我が国では、送電容量に限界があることから、再エネ導入が制限されている。**風況が良く立地制約が比較的少ない洋上や離島を活用した再エネを導入していくことは重要であり、多地点を長距離で送電可能な直流送電システムは極めて有効である。**一方で系統が小さい地域では需給バランスの調整が困難であり、再エネ導入の妨げとなっている。

本事業では**風力の直流送電線を多端子化して適切に保護制御・潮流制御を行うことで、信頼性が高く効率的な風力送電を可能とするHVDC技術を開発**する。また、これらの直流送電線を地域間への電力供給などの用途に利用できる制御技術を開発し、風力の導入普及のみならず、地域の需給バランス維持、再エネ抑制の回避、レジリエンスの強化などに貢献するための技術要件をまとめる。

さらに、北海道等から大需要地までの直流送電システムの整備に向けた検討の加速化に伴い、その整備に必要な技術開発（ケーブル防護管取付工法、敷設船設計）を行う。



想定する出口イメージ等

アウトプット目標	- 上位制御ユニットと変換器制御ユニットと保護装置の実機をデジタルシミュレーション内で構築した多端子高圧直流送電系統に接続し、実機の挙動（通信等）を踏まえたシステムを構築して検証を行う。また、異社間インターフェイスの指針を整理する。 - 実機の挙動（通信等）を踏まえ、モデルケースにおいて適切に異社間で潮流制御が可能となる上位制御の要求仕様をまとめる。 - 実機の挙動（通信等）を踏まえ、モデルケースにおいて必要な時間内（事故電流が直流遮断器の遮断可能電流に収まるような時間内）に遮断できる保護装置を開発し、その要求仕様をまとめる。 - モデルケースにおいて従来の海底ケーブル（水深300m級）とほぼ同じコストで生産及び敷設可能な深海ケーブル（水深500～1500m級）を開発する。 - 岩盤域での海底ケーブル敷設時のケーブル防護について、既存工法より低コスト（20%低減）を可能とする工法を開発する。 - 日本特有の海象・気象や必要となるケーブル敷設（防護、接続、敷設制御等）方法に対応し、複数社のケーブルを取り扱い敷設可能な新型ケーブル敷設船等（艀装設備含む）の基本的な設計を行うとともに、その共通仕様を確立する。
アウトカム目標	2030年度系統増強等を通じた洋上風力発電の導入拡大による、CO ₂ 削減効果2.7百万トン/年。
出口戦略（実用化見込み）	第6次エネルギー基本計画の目標（2030年に洋上風力約6GW（改訂前：約1GW））達成に向けて、「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）」や国内の実プロジェクト等と歩調を合わせ、2027年頃に直流送電システムの建設（ケーブル敷設）を開始できる。 - 国際標準化活動予定：有（情報提供等） - 委託者指定データ：無
グローバルポジション	プロジェクト開始時：DH（Dead Heat） → プロジェクト終了時：LD（Leading） 欧州でも多端子直流送電システムの研究開発が行われており、近年、世界的に直流送配電技術の開発が活発になっている。プロジェクト開始時はDHとしたが、直流送電技術を強化することで、プロジェクト終了時にはLDになる。

注：
灰色枠内の項目（4）ケーブル敷設船等については、今回の終了時評価委員会の対象外であり、評価に含めない。

関連する技術戦略：「超分散エネルギーシステム分野の技術戦略」（直流技術）

既存プロジェクトとの関係

NEDO「次世代洋上直流送電システム開発（2015-2019）」の後継事業である。その成果（デジタルシミュレーションベースのシステム検証）を発展し、実機の挙動（通信等）を考慮した信頼性の高いシステム開発等を実施。
直流送電システムの主構成の一つである海底直流ケーブルの敷設に関する技術開発であり、現プロジェクトの中で研究開発項目を追加して実施する。

事業計画

期間：2020年度～2025年度（6年間）
総事業費（NEDO負担分）：72.7億円（委託）（予定）
2023年度政府予算額：27.0億円（需給）
2023年度公募予定時期：2023年3月

＜研究開発スケジュール・評価時期・想定する予算規模＞

項目	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	計
1. 多用途多端子直流送電システムの開発	8.0	3.9	4.1	7.2	-	-	-	23.2
2. 保護装置の開発	1.0	3.8	4.4	5.2	-	-	-	14.4
3. 深海ケーブルの開発	1.0	2.3	2.2	4.6	-	-	-	10.1
4. ケーブル防護管取付等の工法開発及び新型ケーブル敷設船等の基盤技術開発	-	-	-	10.0	11.0	4.0	-	25.0
評価時期				1.～3. 終了時評価		4. 終了時評価		
予算（億円）	10.0	10.0	10.7	27.0	11.0	4.0	-	72.7

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋



2. 目標及び達成状況



3. マネジメント

※本事業の位置づけ・意義
(1)アウトカム達成までの道筋
(2)知的財産・標準化戦略

- 事業の背景・目的・将来像
- 政策・施策における位置づけ
- 技術戦略上の位置づけ
- 外部環境の状況（技術、市場、制度、政策動向など）
- 他事業との関係
- アウトカム達成までの道筋
- 知的財産・標準化：オープン・クローズ戦略
- 知的財産管理

(1)アウトカム目標及び達成見込み
(2)アウトプット目標及び達成状況

- 実用化・事業化の考え方と
アウトカム目標の設定及び根拠
- アウトカム目標の達成見込み
- ※費用対効果
- 本事業における研究開発項目の位置づけ
- アウトプット目標の設定及び根拠
- アウトプット目標の達成状況
- 特許出願及び論文発表

(1)実施体制
※受益者負担の考え方
(2)研究開発計画

- NEDOが実施する意義
- 実施体制
- 個別事業の採択プロセス
- ※実績額及び受益者負担
- 目標達成に必要な要素技術
- 研究開発のスケジュール
- 進捗管理
- 進捗管理：前身事業評価結果への対応
- 進捗管理：動向・情勢変化への対応
- 進捗管理：成果普及への取り組み

＜評価項目 1＞ 意義・アウトカム（社会実装） 達成までの道筋

- ※ 本事業の位置づけ・意義
- （１）アウトカム達成までの道筋
- （２）知的財産・標準化戦略

事業の背景・目的・将来像

■事業の背景

NEDO「多用途多端子直流送電システムの基盤技術開発」基本計画より抜粋

(1) 国内の状況

- 洋上風力ポテンシャルは約14億kWと推計され、立地制約が比較的少なく風況が良い洋上や離島周辺の活用は、再生可能エネルギー（再エネ）の導入拡大に重要であり、海洋再エネ発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律の施行もあり、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。
- 洋上風力発電の適地は、北海道・東北・九州などで大消費地から距離が離れており、かつ、離岸距離が大きくなると水深が深くなるため、沿岸に帯状に分布している。また、水深が深い海域は送電ケーブルの敷設ルート等に制限がある。
- 陸上における送電容量に限界があることから、再エネ導入量が制限されてしまう。離島に直流送電用変換所を直接建設できれば建設コストを抑えることが出来、メンテナンス面でも有効である。一方で系統が小さい地域では需給バランスの調整が困難である。

(2) 海外の状況：次のように、近年、世界的に直流送配電技術の開発は盛んである。

- 欧州：北海などの洋上風力活用のため、多端子直流送電システムの研究開発、および実用化・国際規格化が進んでいる。
- 中国：内陸の大規模再エネ発電を海岸部の大消費地に送る長距離大容量多端子直流送電を開発、実用化がなされ、その技術は洋上風力発電にも適用・拡大されている。

■事業の目的

我が国の海象・海域の特性/特質を考慮した洋上風力発電と電力系統を効率的に繋ぐ技術開発は重要性が高い。

- 風力発電をはじめとする再エネの導入を最大限加速・推進させる。
- 系統強化、規制の合理化、低コスト化等に資する研究開発を着実に進める、
⇒ 世界中で進展している直流送配電技術について、国内外の技術や政策の動向を踏まえて、速やかに実用化を実現するための課題を整理及び抽出し、多用途多端子直流送電システムの基盤技術を確立し、再エネ導入拡大や系統強化及び産業技術力の向上を図る。

■事業の将来像

- 沿岸に帯状に分布する風力発電の直流送電線を多端子化して適切に保護制御・潮流制御を行うことで、信頼性が高く効率的な風力送電を可能とする高圧直流（HVDC）技術を社会実装
- 直流送電線を地域間への電力供給などの用途にも利用できる制御技術を活用
⇒ 風力発電導入普及のみならず、地域電力需給バランス維持、再エネ出力抑制の回避、レジリエンス強化、電力品質向上等に貢献

政策・施策における位置づけ（1）

第6次エネルギー基本計画（2021年10月22日）

- 再生可能エネルギー

（風力）

洋上風力は、大量導入やコスト低減が可能であるとともに、経済波及効果が大きいことから、再生可能エネルギー主力電源化の切り札として推進していくことが必要である。

- 系統制約の克服に向けた取組

（a）再生可能エネルギー大量導入に向けた系統制約への対応

連系線等の基幹系統の増強に向けては、全国の再生可能エネルギーのポテンシャルを踏まえつつ、電力融通の円滑化によるレジリエンス向上に向けて、全国大での広域連系系統の形成を計画的に進めるためのマスタープランを策定する。その際には、将来の連系を検討している電源も含めて、各電源のポテンシャルの着実な把握を通じて、効率的かつ計画的な系統増強を行う。また、洋上風力を始めとする再生可能エネルギーのポテンシャルの大きい北海道等から、大消費地まで送電するための直流送電システムを計画的・効率的に整備すべく検討を加速する。その際、経済効果の大きさや経済安全保障の視点等も踏まえつつ、国内設備投資の促進策等についても検討していく。

政策・施策における位置づけ（２）

- 「洋上風力産業ビジョン（第１次）」及び「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」
 - ・ 日本における洋上風力の導入拡大と産業競争力強化の好循環を達成するため、「洋上風力産業ビジョン（第１次）」及び「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」において、まずは魅力的な国内市場の創出に政府としてコミットすることで、国内外からの投資の呼び水とし、事業環境整備等を通じて投資を促進することにより、競争力があり強靱な国内サプライチェーンを構築する。
- 再生可能エネルギー海域利用法の改正（EEZ利用のための閣議決定：2024年3月12日）
 - ・ 洋上風力発電の設置場所を現行の領海内から排他的経済水域（EEZ）に拡大する再生可能エネルギー海域利用法の改正案を閣議決定した。
- OCCTOのマスタープラン策定（2023年3月29日）
 - ・ 再エネ適地から大消費地まで、大容量の電力を長距離送電する観点から直流送電の検討も視野に入れており、地域間連系線の増強に向けて、最新の技術動向や経済性などを踏まえながら直流か交流かを選択していく方向性が示されている。
- GX推進法成立（2023年5月）
 - ・ 「我が国のグリーントランスマーシェン実現に向けて（令和５年８月23日）」では、GX推進戦略に定められた取組の中から、民間のみでは投資判断が真に困難な事業であって、排出削減と産業競争力強化・経済成長の実現に貢献する分野への投資に優先順位をつけて、資金使途の対象としていく。
 - ・ 資金使用の例：電力・ガス市場の整備 → 海底直流送電等の整備

技術戦略上の位置づけ（TSC技術戦略）

超分散エネルギーシステム分野（直流技術）の技術戦略策定に向けて（2023年9月）

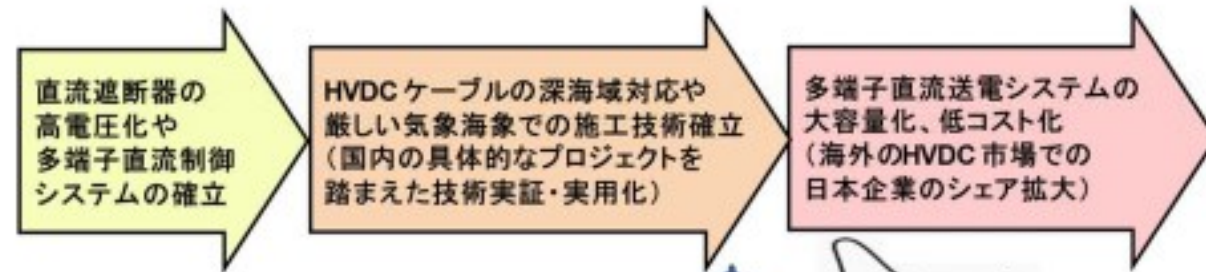
- HVDC 送電システムは、再エネ主力電源化の切り札とされる洋上風力発電の導入拡大を支える重要な解決・実現手段であり、洋上風力発電をより効率的かつ柔軟に送電網に接続することを可能とする多端子直流送電システム技術を確立することにより、我が国における再エネ大量導入を実現するだけでなく、海外市場への展開を通じて世界の再エネ大量導入にも貢献することが可能となる。
- 一方で、このような大規模な社会インフラは技術開発だけではなく、実際に設備を構築するにあたっての利害関係者の理解獲得等の様々な環境整備が必要であり、それに時間を要することも多い。再エネ海域利用法に基づく洋上風力発電の開発が開始され、直流送電を含めた広域連系システムの議論が進んできているが、技術開発の進展と歩調をあわせて社会実装に向けた環境整備が着実に進み、我が国における風力発電の大量導入を支える、HVDC 送電システムが早期に構築されることが期待される。

HVDC 送電システムの将来イメージ

HVDC 送電システムに関する技術開発の方向性

(1)HVDC送電システムの実証を通じた性能検証

→ NEDO事業（2020～2023年度）実施済



(2)HVDC送電システムの日本特有の条件への適用

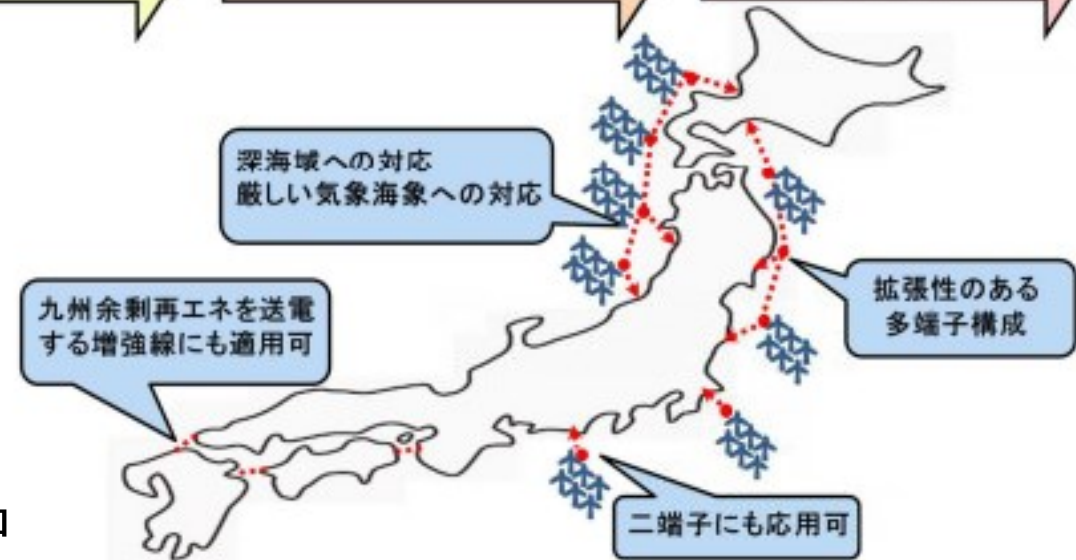
①HVDC深海ケーブルおよび敷設工法の開発

→ NEDO事業（2023～2025年度）で実施中

②社会受容性の向上

→ NEDO事業成果のPR、

→ 人材育成事業（2021～2025年度）等で実施中



外部環境の状況（1）

類似する海外の研究イノベーション プロジェクト・事業化

【欧州】

- ・洋上風力送電や地域間連系に2端子間のHVDCが導入進行中。
- ・洋上風力の更なる拡大に向けて多端子HVDCシステム、マルチベンダーによるインターオペラビリティを研究開発中。

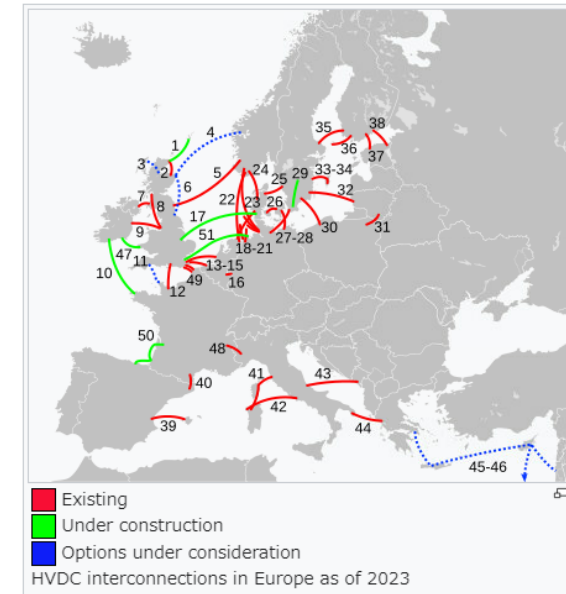
多端子HVDC研究 プロジェクト名			
資金提供	FP7	Horizon 2020	Horizon Europe
予算総額	約35.5M€ ≒ 約56億円	約34.5M€ ≒ 約55億円	約50.7M€ ≒ 約81億円
事業期間	2014.10～2018.9	2016.1～2019.12	2023.1～2027.4

出典：欧州委員会 CORDIS - EU research results WEBサイトを参考にNEDO作成。

- ・直流送電の拠点として北海の浅瀬（ドガーバンク）に人工島建設も提案

出典：BNEF “2018-3-6-North Sea Wind Hubs Would Save \$100B by 2050_ Q&A”

出典：<https://www.tennet.eu/news/detail/three-tsos-sign-agreement-on-north-sea-wind-power-hub/>



https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_HVDC_projects

【中国】

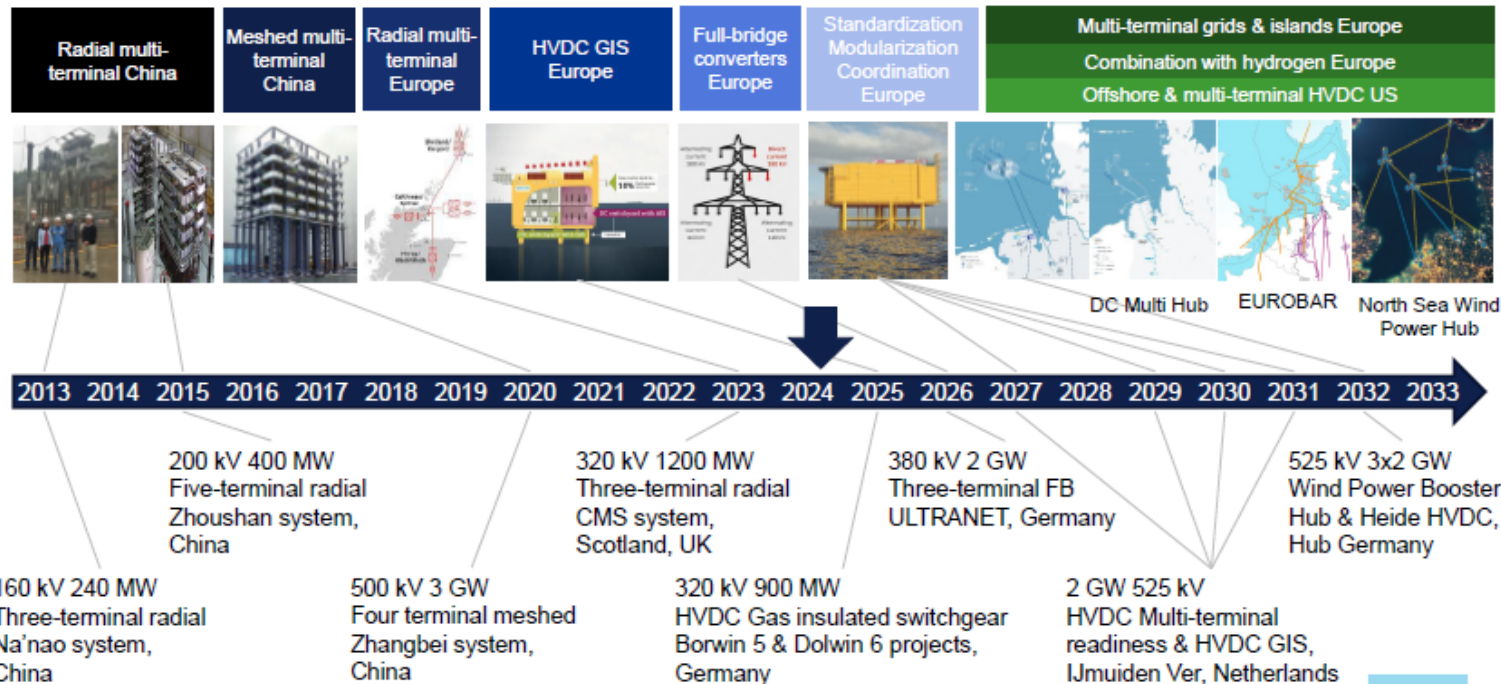
- ・張北など内陸の大規模再エネ発電を海岸部の大消費地に送る長距離大容量多端子直流送電システムを開発、順次実用化。
- ・欧州に続き、中国は、2022年から同国初となる如東洋上風力発電（江蘇省 如東県）公称電圧+/-400kV、容量1.1GW、海底ケーブル長100kmの運用を開始、さらに射陽洋上風力発電（江蘇省 射陽県）公称電圧+/-250 kV、容量1.1GW、海底ケーブル長83 kmを追加するなど、架空直流送電で得た知見を海底ケーブル送電へ展開。 ⇒ 近年、世界的に多端子直流送電技術の開発が活発

外部環境の状況（2）

欧州の事業化動向

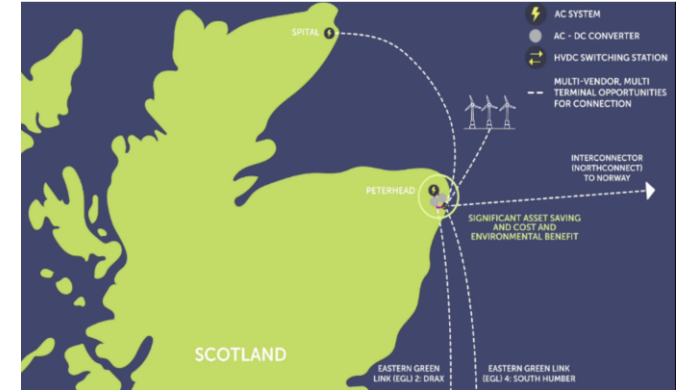
北海の洋上風力発電の導入拡大（例：North Sea Wind Power Hub プロジェクト 2030年 65 GW, 2050年150 GW）、および多国間連系や基幹系統整備のため、2025年以降、欧州を中心に多端子HVDCの導入が増えていく。

Future developments



出典：DNV, "Multi-terminal HVDC Grid: Current status and next steps", 01 May 2024.

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構



Project Aquila

（英国北部・北海におけるHVDC多端子化）

出典：The National HVDC Centre,
<https://www.hvdccentre.com/our-projects/aquila-interoperability-package/>



基幹系統へのHVDC適用

イタリア TSO Terna社系統整備計画

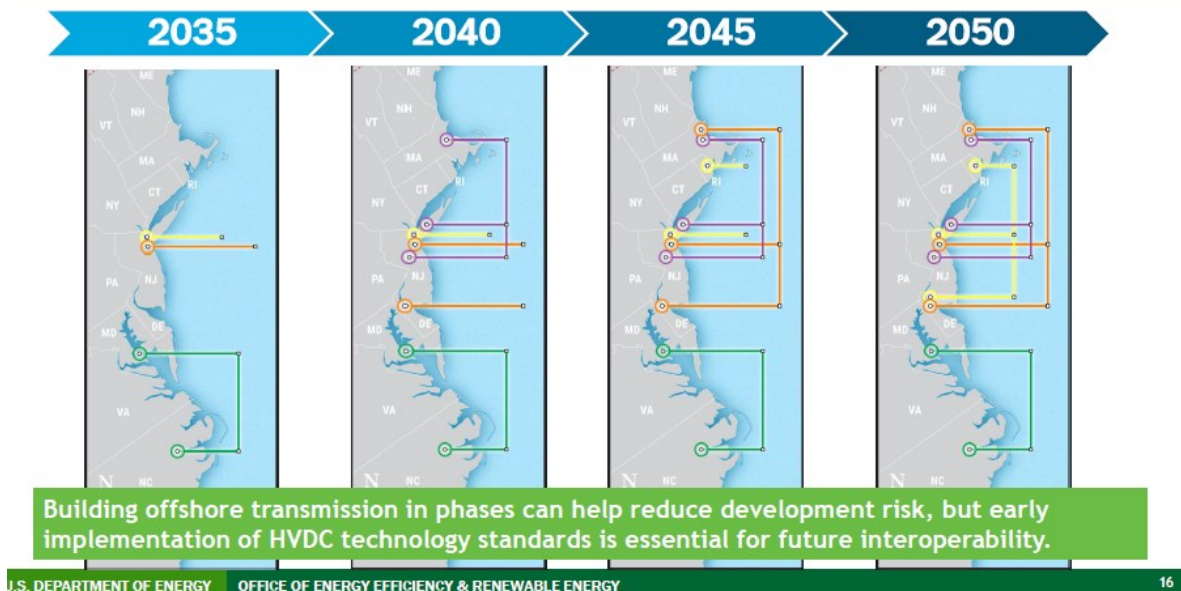
出典：2023 THE HYPERGRID PROJECT AND DEVELOPMENT REQUIREMENTS.

外部環境の状況（3）

米国の事業化動向

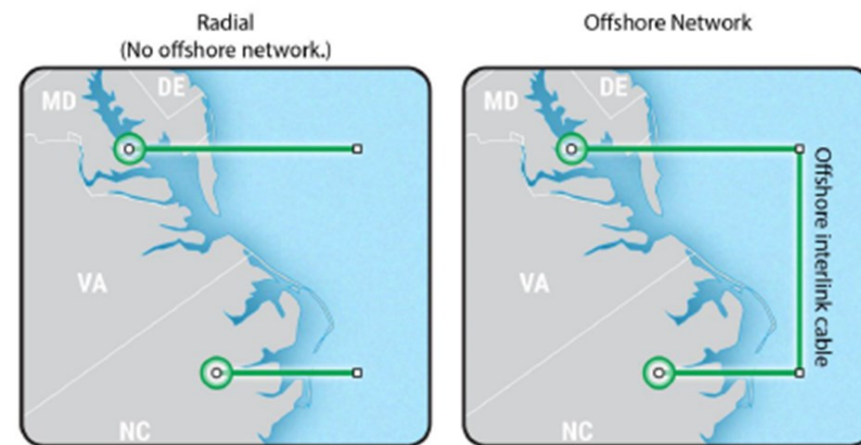
米国においても、例えば、東海岸の洋上風力発電（2030年 30 GW, 2050年110 GW）の送電用として、2050年までに多端子HVDCの導入・拡張が計画されている。

Transition from Radial 2030 to Interregional 2050



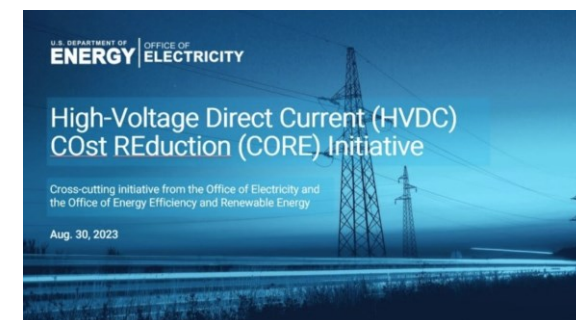
出典：J. Fu, G. Brinkman, Wind Energy Technologies Office, DOE, Atlantic Offshore Wind Transmission Study, May 3, 2024.

洋上風力の発電を放射状（ラジアル：2端子構成）に集電するよりもNW化（＝多端子化）した方が安価となる旨計算されている。試算された費用便益比（Cost-Benefit Ratioは、 $B/C=2.0\sim 3.0$ 程度。



出典：J. Fu, G. Brinkman, Wind Energy Technologies Office, DOE, Atlantic Offshore Wind Transmission Study, May 3, 2024.

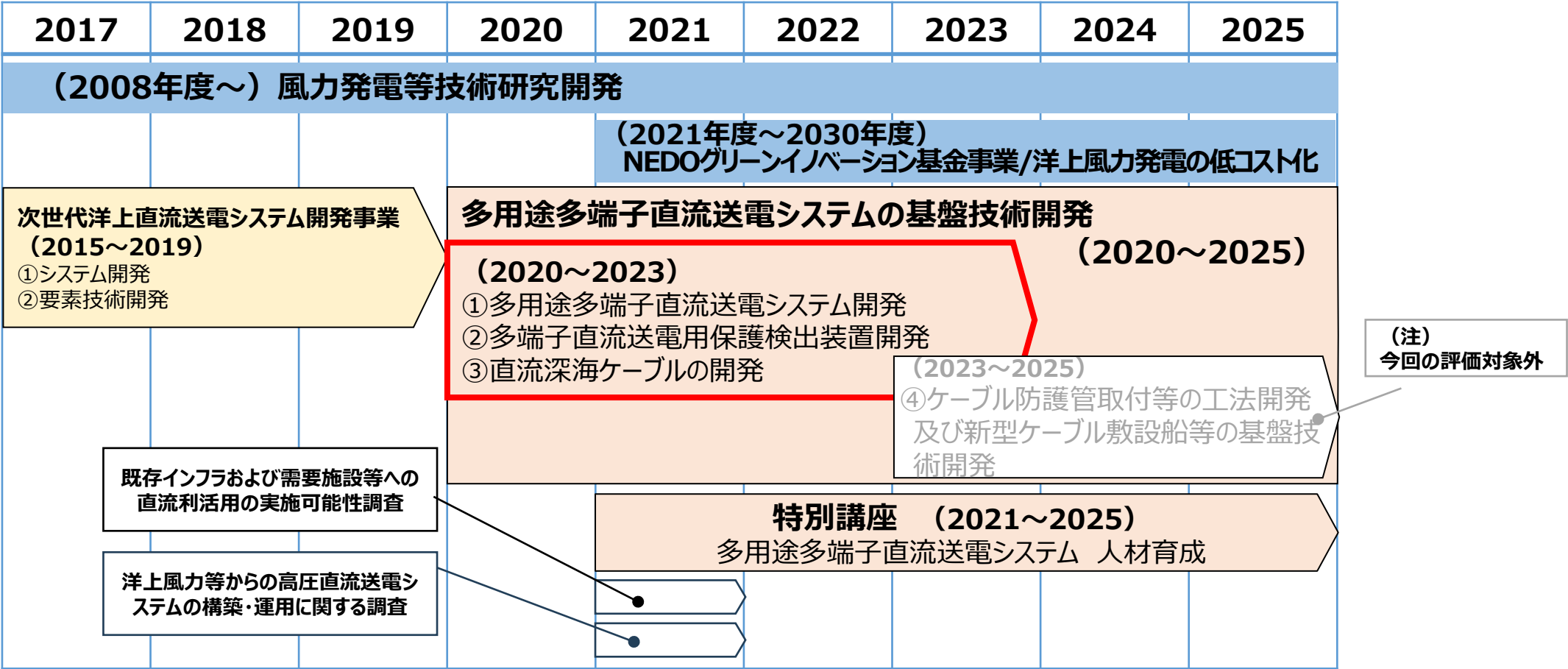
米国エネルギー省（DOE）は2035年までにHVDCシステムに係る費用を35%低減させる事業（High-Voltage Direct Current (HVDC) COSt REduction (CORE) Initiative）を2023年に開始。



出典：米国DOE 電化局 WEBサイト

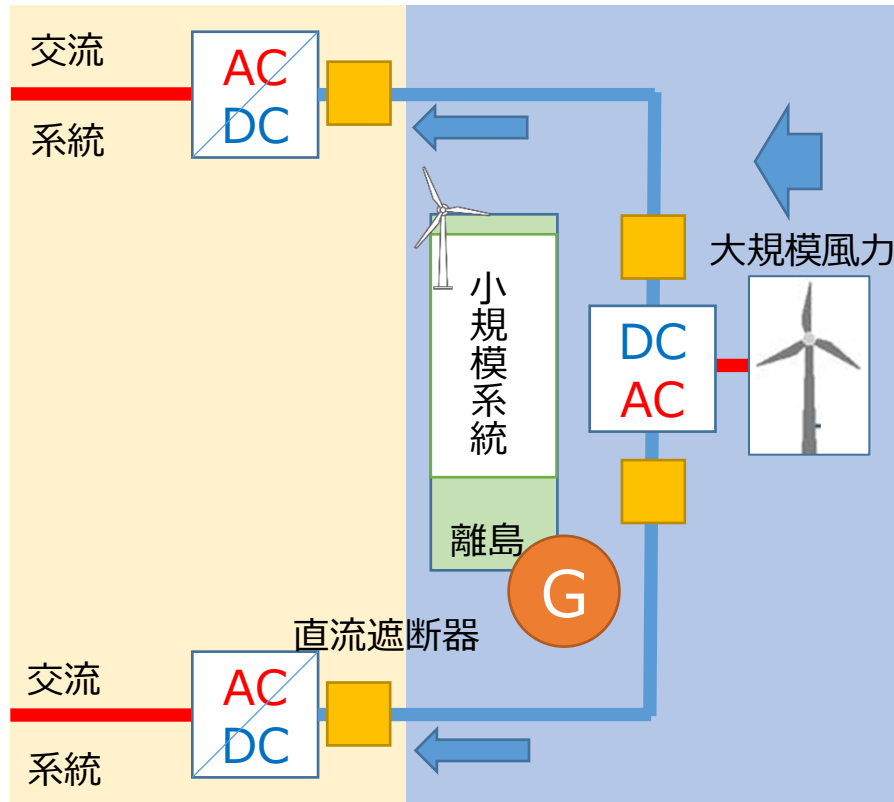
他事業との関係

- 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、浮体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



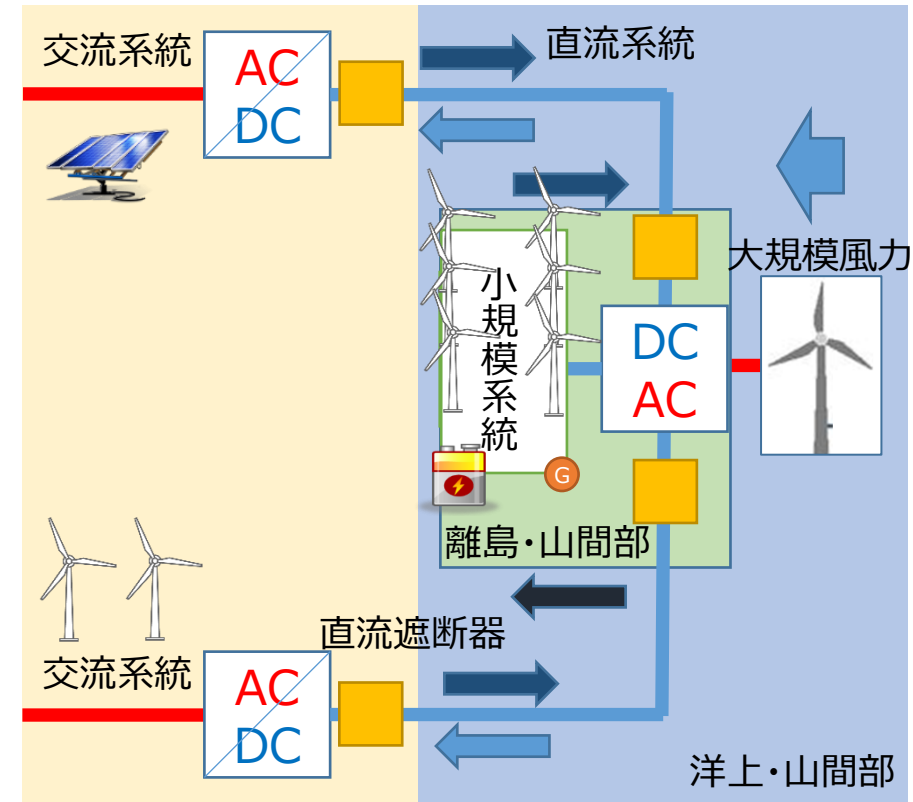
前身事業との関連性

① 前身事業の多端子HVDC



・大規模洋上風力発電のための長距離多端子送電

② 多用途多端子HVDC

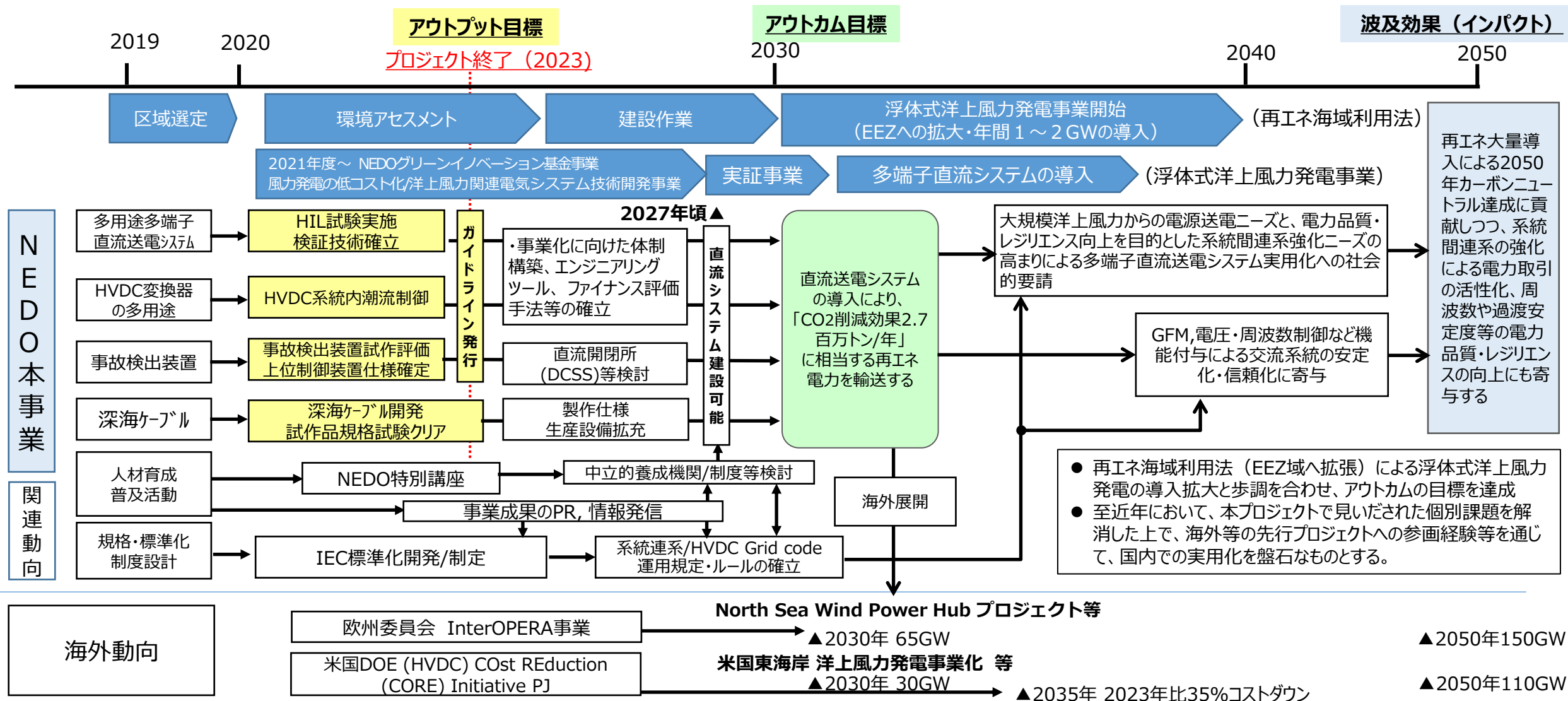


- ・大規模洋上風力発電のための長距離多端子送電
- ・遠隔交流系統の連系
→ 平常時、非常時の電力融通(再エネ増、レジリエンス強化)
- ・小規模系統の連系
→ 再エネ増、系統安定化(レジリエンス強化)

前身事業との差分

	次世代洋上直流送電システム開発事業 (2015～2019)	多用途多端子直流送電システムの 基盤技術開発事業（2020～2023）
開発目的	洋上風力向けの高信頼性、低コストの多端子直流送電システムを開発	洋上風力、地域間連系や離島連系なども含めた多用途多端子直流送電システムを開発
開発内容	システムはデジタルシミュレーション、各要素は実機（試作・ミニモデル）で開発。	- システムについて、HIL試験を実施 （システムとして組み合わせた時の実機の挙動を考慮した開発） 対称単極に加え、双極のシステム構成で検証
想定モデル	洋上風力発電から陸上交流系統への一方向の送電制御がメイン。	風力送電、地域間連系、離島連系も含めた多方向の送配電制御
保護制御	シミュレーションで構築（実機開発せず）	多端子直流送電用保護検出装置の開発、および上位制御装置の製作
ケーブル	500kV用の低コスト化の技術開発、水深200mまでを想定。深海域を迂回し、ケーブル長、コスト、および敷設期間が増加することの回避について検討	直流深海ケーブルの開発 （単芯1500m, 三芯 500m）

アウトカム達成までの道筋



知的財産・標準化：オープン・クローズ戦略

✓ オープン／クローズ戦略の考え方

	非競争域	競争域
公開	・多端子直流送電システムの計画・設計・ガイドライン共通事項・用語、マルチベンダ開示範囲 ・システム要件・、基本構成、運用条件/環境 ・変換器、遮断器 仕様・特性 ・ケーブル試験規格	・直流送電システム（運転制御、事故検出、システム構成、監視・通信 等） ・電力変換器（回路構成、構造 等） ・直流遮断器（構成・構造 等） ・直流ケーブル（絶縁物・高分子組成、ケーブル構造、接続（工法・端末処理）,試験・試験設備等）
非公開		・システム全体制御（シーケンス・プログラム・詳細処理フロー 等） ・電力変換回路・制御 ・直流遮断器機械・半導体回路詳細設計、制御・機構 ・構造設計/解析技術、材料組成構成 ・製造・生産技術、品質管理

→ 積極的に
権利化

→ ノウハウとして
秘匿

→ 標準化を推進

- 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・故障検出、解析手法等）は、競争域として、権利化を進め、多端子・マルチベンダー直流送電システムの権利化を図る。
- 要素技術開発（電力変換器、直流遮断器、直流ケーブル等）についても、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推し進める。

- システム運用・制御、および評価手順に関する詳細な技術、および要素技術・構成装置・設備の設計、製造/生産・品質管理等については、競争力の源泉であり、ノウハウと秘匿。

- IEC国際標準化分野等への積極的な参画・実証成果の規格化提案、およびマルチベンダ化に必要な開示条件の標準化を推進。

・TC115 HVDCシステム
・SC22F 半導体電力変換器
・TC20 電力ケーブル 等

および国内審議団体やJEC（電気学会 電気規格調査会）との協調した活動と連携。

✓ 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

知的財産管理

✓知的財産権の帰属

産業技術力強化法第17条第1項に規定する4項目及びNEDOが実施する知的財産権の状況調査（バイ・ドール調査：日本版バイドール制度）に対する回答を条件として、知的財産権はすべて発明等をなした機関（国プロ参加者）に帰属する

✓知財マネジメント基本方針（「NEDO知財方針」）に関する事項

本事業は、「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する

✓データマネジメントに係る基本方針（NEDOデータ方針）に関する事項

本事業は、「NEDOプロジェクトにおけるデータマネジメントに係る基本方針（委託者指定データを指定しない場合）」を適用する

<評価項目 2> 目標及び達成状況

- (1) アウトカム目標及び達成見込み
- (2) アウトプット目標及び達成状況

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

※本事業の位置づけ・意義
(1)アウトカム達成までの道筋
(2)知的財産・標準化戦略



2. 目標及び達成状況

(1)アウトカム目標及び達成見込み
(2)アウトプット目標及び達成状況

- 実用化・事業化の考え方とアウトカム目標の設定及び根拠
- アウトカム目標の達成見込み
- ※費用対効果
- 本事業における研究開発項目の位置づけ
- アウトプット目標の設定及び根拠
- アウトプット目標の達成状況
- 特許出願及び論文発表



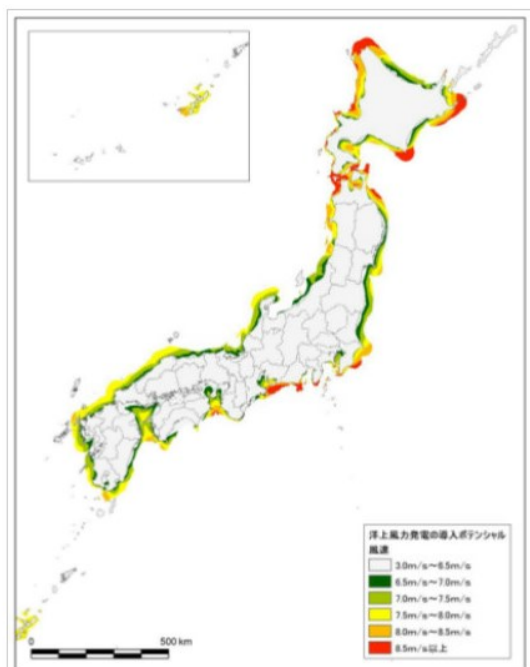
3. マネジメント

(1)実施体制
※受益者負担の考え方
(2)研究開発計画

浮体式洋上風力発電向けのHVDC送電システムの必要性

浮体式洋上風力発電に適する区域は、接続水域やEEZに多く存在し、第6次 エネルギー基本計画の再生可能エネルギー割合2040年36～38%程度の達成（洋上風力45 GW）のためには、ケーブル長（海底＋陸上）が概ね50km以上で直流が有利となる**HVDC送電システムが必要不可欠**である。

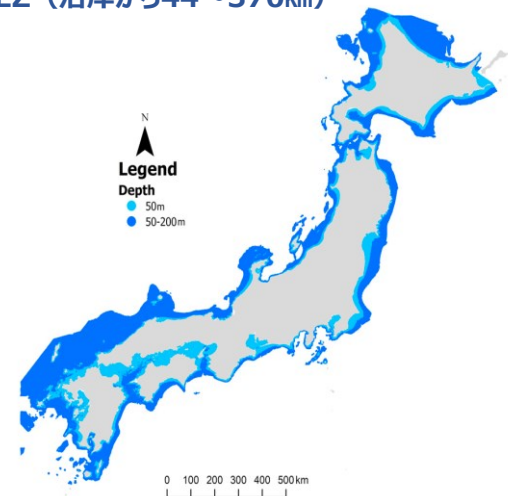
① 洋上風力導入ポテンシャルの分布状況 沿岸から30km以内



出典：環境省 令和元年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報等の整備・公開等に関する委託業務報告書

② 浮体式洋上風力導入ポテンシャルの分布状況 水深50～200m

接続水域（沿岸から44km以上）
EEZ（沿岸から44～370km）



出典：Bardenhagen, Y.; Nakata, T. Regional Spatial Analysis of the Offshore Wind Potential in Japan. *Energies* **2020**, 13, 6303.
<https://doi.org/10.3390/en13236303>

③ 直流送電方式のメリット

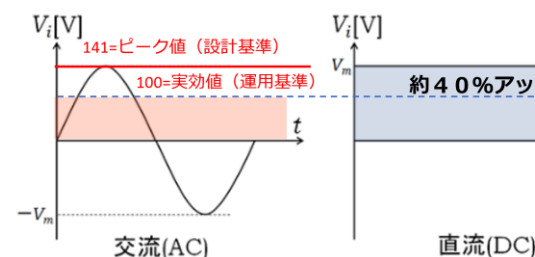
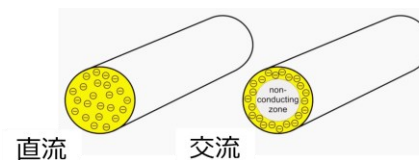
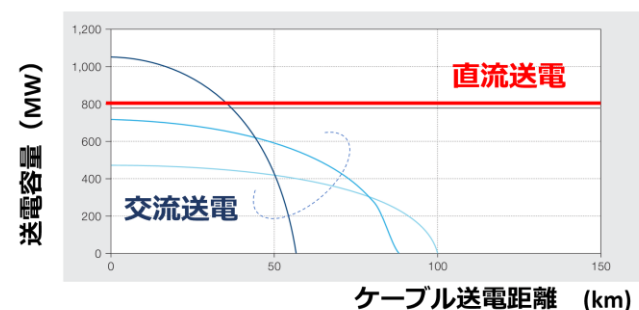
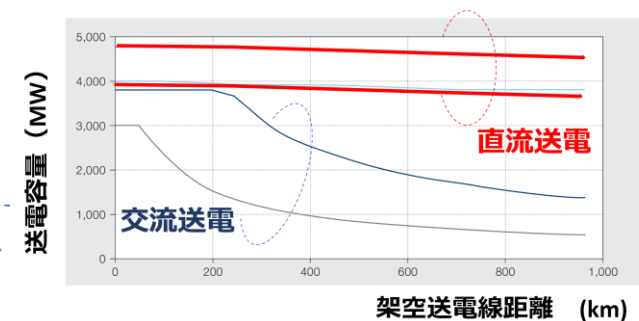


図 交流と直流の波形
同じ絶縁耐圧で40%容量をアップ可能



表皮効果により、交流ケーブル導体の直径は制限される。細いケーブルは太いケーブルよりも抵抗値が高くなり、その結果、表皮効果が電力輸送効率に悪影響を及ぼす。直流ケーブルは表皮効果の影響を受けない。

図 表皮効果

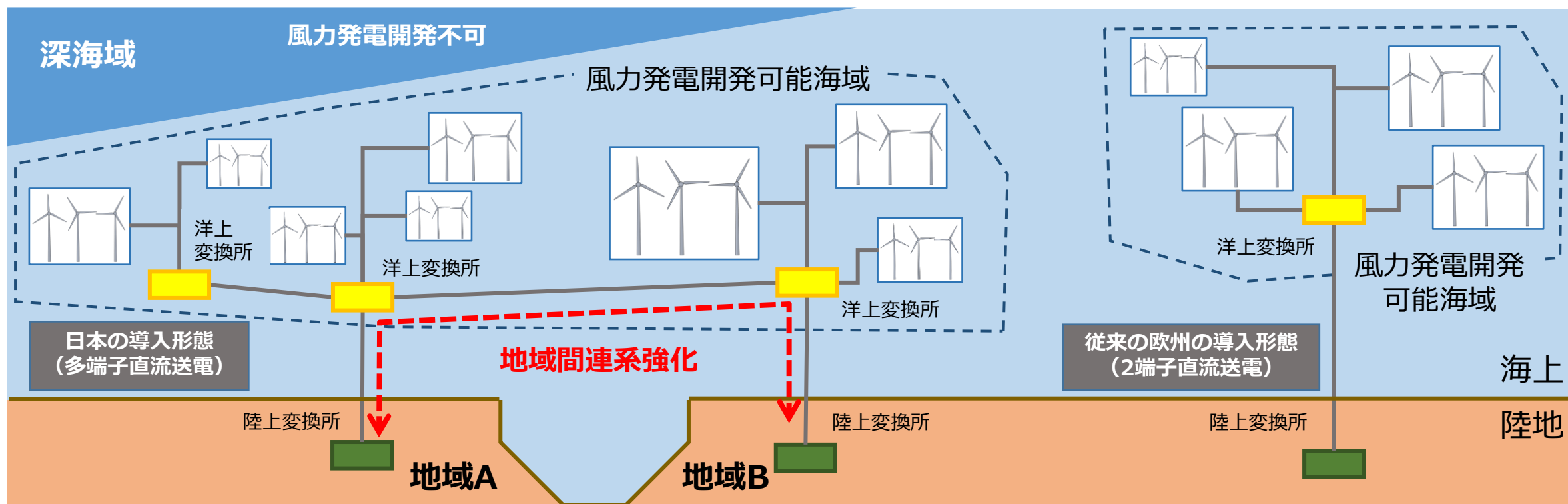


- 交流：架空ではインダクタンス（インピーダンス）により距離に反比例して送電容量が低下。ケーブルではキャパシタンスのため送電長の限界有。
- 直流：架空、ケーブルとも抵抗分の電圧降下（ジュール損）のみ。

出典：ABB Review, Special Report 60 years of HVDC, July 2014. ISSN: 1013-3119

多用途多端子HVDC送電システムの導入形態例

- 日本の周辺海域は海岸から離れると水深が急に深くなる地形が多いことから**沿岸に帯状に洋上WFが順次導入されていくと想定**
- 電力広域的運営推進機関（OCCTO）マスタープラン等踏まえれば、**沿岸部においては地域間連系強化のニーズもある**
- 欧州においては電源送電と地域間連系強化を両立する多端子直流送電システムへの期待も高まっており、**国内においてその技術開発・実証を先行することは、国内のカーボンニュートラル達成だけでなく国際的な競争力確保においても極めて重要**



実用化・事業化の考え方とアウトカム目標の設定及び根拠

■ 本研究開発事業における「実用化・事業化」の考え方

- **システム開発**：多用途多端子直流送電システムの計画・設計・運用等の検討に必要となる項目/条件、標準仕様、システム制御、およびその解析手法等について一般化を行い、「ガイドライン」としてまとめ、発行することで、広く利用可能な汎用的な技術として確立させること。また、出口戦略として2027年頃に直流システムの建設が可能となるよう、本事業終了後も体制整備や必要となる検討や整理を進める。
- **要素技術**：多用途多端子直流送電システムを構成する装置・設備（上位制御装置、直流送電用保護装置、深海ケーブル等）等が、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。

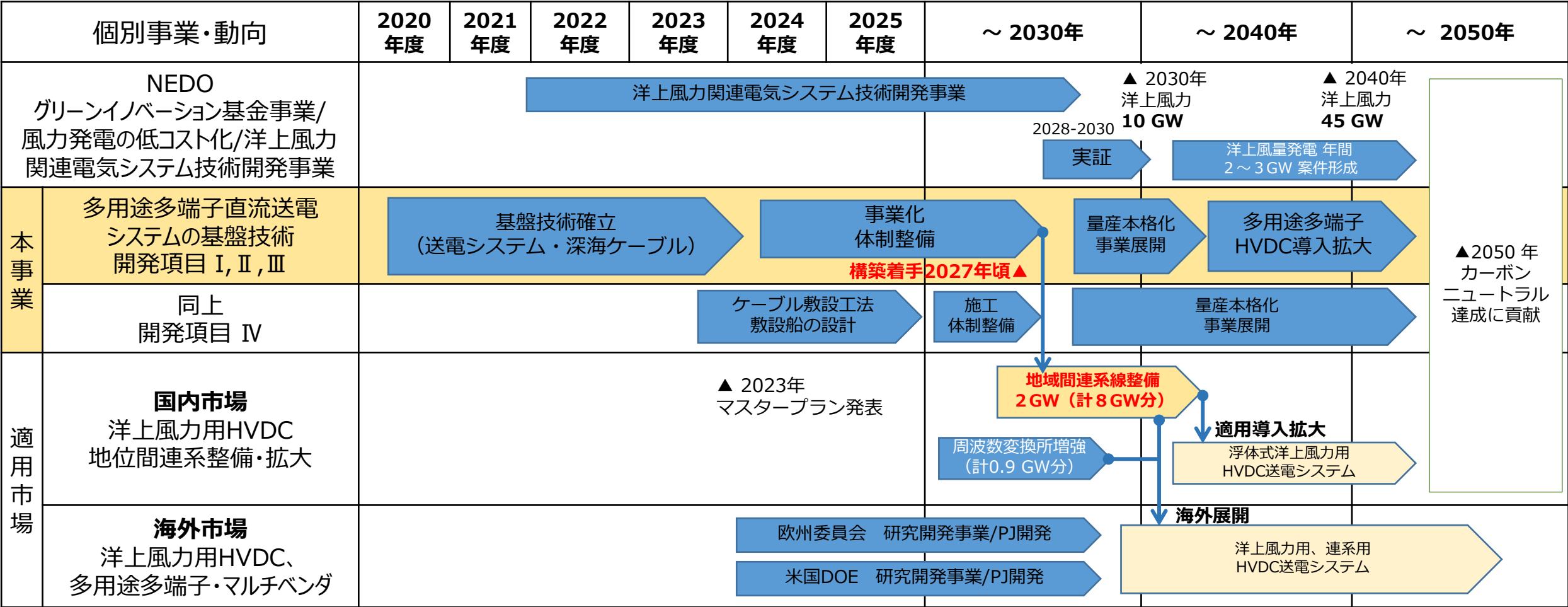
システム開発では、成果を広く発信し、我が国での実案件化へ繋がることが重要との考えから、研究開発成果は広く公表されるべきとの考えに基づき、ユーザーとして想定される一般電気事業者や、学会・シンポジウムなどの集会や専門誌への寄稿を活用した積極的な情報発信を実施していくことを念頭に置き、本事業を推進した。一方、要素技術開発では、開発したコンポーネント類は、実用化すれば既存技術と組合せて、海外含めたプロジェクトへ早期に参入することが可能となることから、開発成果が企業の売上・収益化、およびシェア拡大へ貢献することを念頭に置き、情報収集と成果のPRに努めた。

■ アウトカム目標の設定及び根拠

- **アウトカム目標**：2021年10月の「第6次エネルギー基本計画」における2030年の系統増強等を通じた**洋上風力発電の導入目標である電力量60億kWhに相当するCO₂排出量270万トン/年**は、排出原単位0.453kg-CO₂/kWh、および洋上風力発電の設備利用率35%で**換算すると設備容量2GWに相当する**。
- **アウトカム目標の根拠**：
 - ・ 北海道～本州間直流送電システム（後志・秋田・新潟エリアに設置する自励式HVDC変換設備）の導入
システム定格 2 GW （総容量 8 GW）
 - ・ 同上 海底直流ケーブルの敷設 定格 2 GW （ケーブル長 約700 km）

アウトカム目標の達成見込み

アウトカム目標である、2030年の系統増強等を通じた洋上風力発電電力量60億kWhに相当するシステム定格 2 GWの直流送電システム、および海底直流ケーブルは、北海道本州間連系設備（日本海ルート）により導入の計画があり、以降、国内の浮体式洋上風力送電用途、および海外の洋上風力や連系用途等へ展開・拡大図る。



費用対効果

■効果の考え方

NEDO研究開発事業の成果をもとに、2030年頃までに多用途多端子HVDC送電システムの事業化、設備・機器の製造/販売体制を確立させ、

- ・ (国内市場) 2030年～以降 : 0.5 GW/年
- ・ (海外市場) 2040年～以降 : 0.4 GW/年

の受注を獲得し、自励式HVDCシステム (洋上風力、多用途多端子送電用途) の国内外市場で年間当たり 0.9 GW程度の導入を目指す。

■効果 (市場規模) : 3340～5040億円 (2040年度頃までの10年間)

- ・ HVDC変換器* : 234～324億円/年
- ・ 直流ケーブル* : 100～180億円/年

●国内市場

- ・ 洋上風力案件形成 2～3 GW/年とし、50%が浮体式洋上風力であれば、導入量 1.5 GW/年
- ・ 浮体式洋上風力の1/3が、直流送電を適用と仮定し、
 $1.5 \text{ GW/年} \times \frac{1}{3} = 0.5 \text{ GW/年}$ の直流送電システムが導入できると想定

●海外市場

- ・ 2030年以降の10年間で130 GW相当の自励式HVDCが導入**され、3%のシェアを獲得できると仮定
- ・ $13 \text{ GW/年} \times 3\% = 0.4 \text{ GW/年}$ の直流送電システムが導入できると想定

●直流ケーブル

- ・ 洋上風力発電や地域間連系に新規導入されるHVDCシステム用のケーブルとして国内外で100km/年 と想定

■投入額相当 (プロジェクト費用総額) : 30億円

*: 適用単価

出典: 広域連系長期方針 (広域連系マスタープラン)

2023年3月、OCCTO

HVDC変換器: 2.6～3.6万円/kW・両端

ケーブル (XLPE): 1.0～1.8億円/km・条

** : 資料“THE OPERATIONAL AND MARKET BENEFITS OF HVDC TO SYSTEM OPERATORS, Brattle DNV September 2023”を参考に、NEDOにて洋上風力および多用途多端子送電用の自励式HVDC変換装置の導入量を試算。

本事業における研究開発項目の位置づけ

【国内の風力発電・送電の状況】

- ・風力適地と消費地が離れている
- ・風力適地が沿岸に帯状に分布
- ・沿岸から近い海域に深海域が存在
- ・陸上送電容量に制約
- ・陸上の新規送電ルート確保困難
- ・出力が不安定な再生エネルギーのため信頼性維持や潮流制御が困難

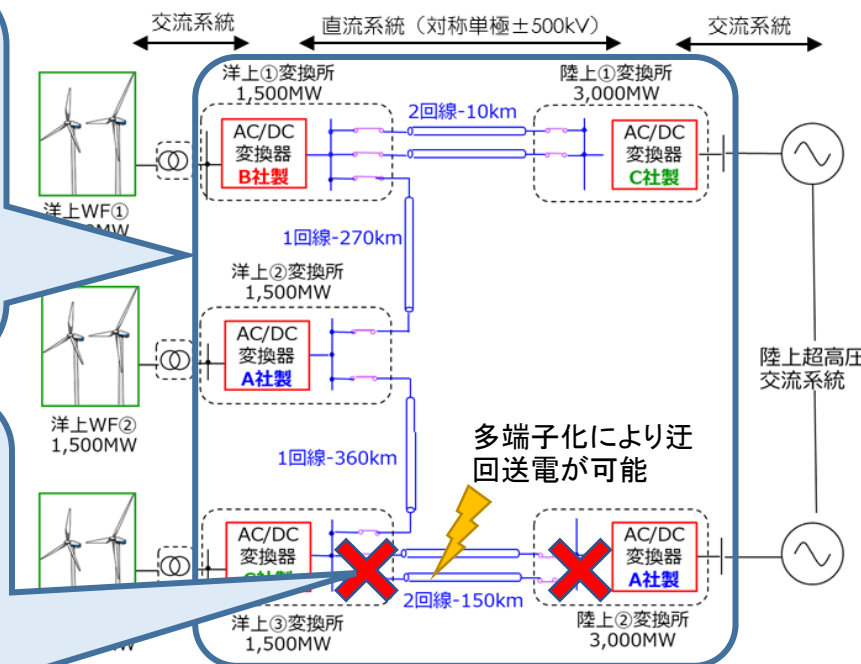
- ①大容量長距離送電に直流送電は効率的、多地点を接続する多端子化技術は需給バランス維持や柔軟な電力潮流制御を容易とし、かつ多用途機能は系統安定化や電力品質向上に寄与
- ②故障・事故時でも、多端子化構成により迂回送電ができれば、高信頼なシステム運用が可能
- ③日本沿岸部の深海域に敷設可能なケーブルにより、建設コスト低減および工期の短縮が可能

研究開発項目 I 多用途多端子直流送電システムの開発

実機の挙動を踏まえた多端子高圧直流システムの要求仕様作成、異社間インターフェイスの指針作成、上位制御を含めたHIL/シミュレーション評価技術の確立

研究開発項目 II 多端子直流送電用保護検出装置の開発

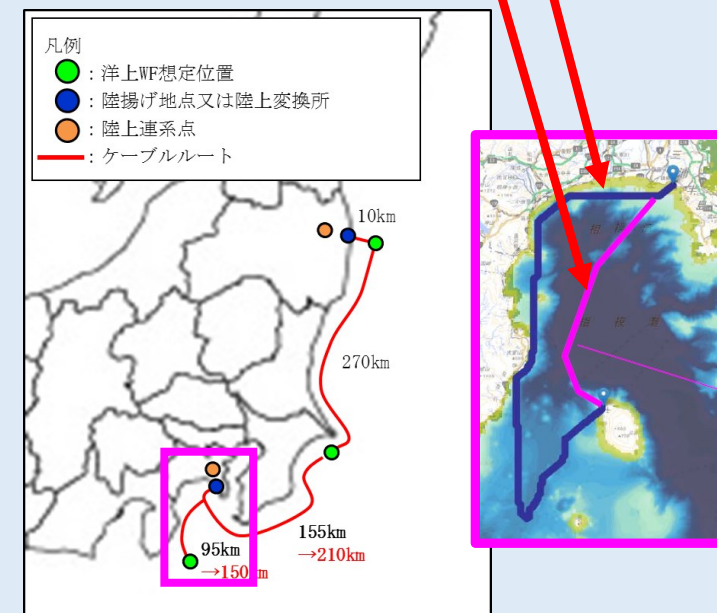
多端子直流送電用事故検出装置を試作、直流ケーブルの事故電流が10 pu (15 kA)以内に直流遮断器を動作させるシステム保護技術の確立



研究開発項目 III 直流深海ケーブルの開発

日本沿岸の深海に適用可能な水深500m、1500mに対応する海底ケーブルを開発し、従来品（水深300m級）とほぼ同じコストで生産及び敷設を可能とする

- 現行（水深300m）：約150km(2018)
- 深海ルート（水深1500m）：約80km（現行比 最大40%の費用削減を見込）



アウトプット目標の設定及び根拠

研究開発要素	目標	根拠
Ⅰ 多用途多端子直流送電システム	上位制御ユニットと変換器制御ユニットと保護装置の実機をデジタルシミュレーション内で構築した多端子高圧直流送電システムに接続し、実機の挙動（通信等）を踏まえたシステムを構築して検証を行う。また、異社間インターフェースの指針を整理する。	前身事業では、ソフトウェア（オフライン、リアルタイム）による評価にとどまっていた。システムの挙動は、実機の制御部の処理や通信に影響を受けるため、より精度の高い評価のためにはHardware In the Loop（HIL）による検証が必要であり、その検証のための設備構築と被制御対象となる機器間のインターフェース条件の策定が必要不可欠となる。
	実機の挙動（通信等）を踏まえ、モデルケースにおいて適切に異社間で潮流制御が可能となる上位制御の要求仕様をまとめる。	電力変換装置をマルチベンダー化することにより、設備構築時や拡張時における設計自由度やシステムの信頼性や運用性を高めるための仕様が必須である。
Ⅱ 多端子直流送電用保護装置（事故検出装置）	実機の挙動（通信等）を踏まえ、モデルケースにおいて必要な時間内（事故電流が直流遮断器の遮断可能電流に収まるような時間内）に遮断できる保護装置を開発し、その要求仕様をまとめる。	多端子直流送電システムは、事故が生じる地点や事故モードにより、事故電流の発生の挙動が異なり、事故状況に応じた複数の直流遮断器、および電力変換装置の適切な挙動動作は、システム信頼性維持のため重要であり、試験検証に基づく要求仕様が必須である。
Ⅲ 直流深海ケーブル	モデルケースにおいて従来の海底ケーブル（水深300m級）とほぼ同じコストで生産及び敷設可能な深海ケーブル（水深500～1500m級）を開発する。	日本沿岸の広域の海底線直流連系を想定した場合、水深が深くなることが多く、大水深へ敷設可能なケーブル開発により、ルートショートカット、送電ロスの低減や工期短縮を図ることができる。

アウトプット目標の達成状況 開発項目 I

研究開発要素	項目	目標	成果	達成度合	達成の根拠
I 多用途多端子直流送電システム	1-1 多用途多端子直流送電システムの異社間接続による制御保護のシミュレーション検証	- 国内外の直流送電システムの調査 - RTDSによるシミュレーション実施 - 一部実機を用いたHIL試験実施 - 標準仕様書（ガイドライン）作成	本システムは洋上WFの電力送電だけではなく、陸上端子間の電力融通も可能な異メーカ接続による対称単極方式 5 端子と双極方式 3 端子直流送電システムを開発した。	◎	事業開始時の対称単極（5端子）に加え双極（3端子）を追加検証
	1-2多用途多端子直流送電システムのシミュレーションおよび実機検証の環境構築	- シミュレーション（ソフトウェア）環境整備 - HIL試験設備の構築	デジタルシミュレーション・HIL試験の洋上WFの出力急変試験を含めた定時の各ケースにおいて、潮流制御が機能して、設定したシーケンスどおりに運転できたことを確認した。	○	目標通り達成のため
	1-3島嶼ユースケースでの多用途多端子直流送電システムのシミュレーション検証	- ユースケース（本土～島嶼部間）の策定 - 設備設計・現場調査と取りまとめ - シミュレーション実施と評価の実施	- WF(2箇所)から本土までの間に島嶼(5島)を経由する直流多端子（6 端子）システムを策定 - 定常・事故時及び、島嶼発電機を停止したケースでも直流送電システムの制御により島嶼系統が安定的に運転できることを確認した。	○	目標通り達成のため
	1-4 多用途多端子直流送電システムの制御保護の開発（三菱電機）	- ソフトウェアに適用する実機装置のモデル作成 - 変換器制御装置・上位制御装置の製作 - RTDSと実機によるHIL試験実施	洋上WFの送電と陸上端子間の電力融通を可能とする潮流制御に対応した上位制御装置と変換器制御装置の制御・機器の設計・実機製作した。	○	目標通り達成のため
	1-5 多用途多端子直流送電システムの制御保護の開発（東芝ESS）	- 直流保護制御システム検証 - HVDCシステムと洋上システム（WF）との協調検証 - 上記のHIL試験評価	洋上システムのモデル構築、および直流送電システムとの協調制御保護方法を開発し、協調シーケンスにより適切に送電・保護ができることを確認した。	○	目標通り達成のため
	1-6多用途多端子直流送電システムの制御保護の開発（日立製作所）	- 上位制御装置の計算アルゴリズム検討 - オフライン解析による直流送電用保護装置仕様検討 - RTDSモデルによりシミュレーション検討	本システムは洋上WFの電力送電だけではなく、陸上端子間の電力融通も可能な異メーカ接続による対称単極方式 5 端子と双極方式 3 端子直流送電システムを開発した。	○	目標通り達成のため

アウトプット目標達成状況 開発項目Ⅱ

研究開発要素	項目	目標	成果	達成度合	達成の根拠
Ⅱ 多端子直流送電用保護装置（事故検出装置）	2-1 多用途多端子直流送電システムの異社間接続による保護装置シミュレーション検証	- RTDSと実機を用いたHIL試験実施 - 標準仕様書（ガイドライン）の作成	HIL試験の直流ケーブル事故の各ケースにおいて、保護検出装置が機能して、直流ケーブルのいずれの事故も当初設定した事故電流が10pu(15kA)以内に収まるまでに直流遮断器が動作し、当初設定時間内に保護でき、本装置の保護制御機能が十分であることを確認した。 上位制御装置、変換器制御装置、保護検出装置の設計、製作及びデジタルシミュレーション、HIL試験結果から得られた知見をガイドラインに反映させた。更に、対称単極と双極方式毎の各項目ごとに記載するとともに、将来のマルチベンダー化へ向けてのシミュレーションの前提条件・準備を追記した。	○	目標通り達成のため
	2-2 多端子直流送電用保護検出装置の開発（三菱電機株）	- 保護検出装置の検討、RTDS用モデル作成 - 保護検出装置の実機製作 - RTDSと実機を用いたHIL試験実施	直流ケーブルの保護範囲と事故を検出する直流電流・電圧を設定し、これらの情報から事故を判別する保護制御を設計し、実際のハードウェアを適用した保護検出装置を設計・実機製作した。	○	目標通り達成のため
	2-3 多端子直流送電用保護検出装置の開発（日立製作所）	- 直流送電用保護装置の設計・製作 - RTDSと実機を用いたHIL試験実施	直流ケーブルの自端電流・電圧を基にケーブル事故を検出する保護検出装置を設計・実機製作した。	○	目標通り達成のため

アウトプット目標の達成状況 開発項目Ⅲ-1

研究開発要素	項目	目標	成果	達成度合	達成の根拠
Ⅲ 直流深海ケーブル (単芯水深1500m級)	①動向調査	達成根拠：下記の調査完了 ・直流単芯ケーブル（欧州件名）調査 ・海外有識者インタビュー ・敷設機材（艀装）調査	・ 深海へ敷設した、直流単芯ケーブルの欧州件名を調査。他、海外有識者に深海ケーブルに関する技術動向等をヒアリング・整理。	○	目標通り達成のため
	②導体構造および材料の検討	達成根拠：以下の評価完了 ・導体材料検討（アルミ、銅） ・導体構造検討（キーストーン）	・ 導体材料、構造を比較した結果、低敷設張力となる“アルミキーストーン導体”を試作ケーブルに適用	○	目標通り達成のため
	③がい装構造および材料の検討	達成根拠：以下の検討完了 ・がい装材料 ・がい装構造	・ 試作ケーブル導体は軟アルミを採用した場合のがい装条件を変えて検討。CIGRE TB623より、各がい装構造における敷設張力を推定。 ・ 硬アルミの許容張力を検討し、引張試験より十分な安全率があることを確認した。	○	目標通り達成のため
	④ケーブル特性の検証	達成根拠：以下の実施 ・ケーブル試作 ・機械試験 ・電気試験	・ アルミキーストーン導体1x1200sq、DC500kV二重鉄線がい層ケーブルを試作 ・ 大水深用途で確認すべき機械性能（張力・側圧・外水圧・引張曲げ）、電気性能（長期課通電・耐Imp）評価を実施 ・ ケーブル構造解析を行い、試験結果との整合性を確認	○	目標通り達成のため
	⑤布設検討	達成根拠：以下の実施 ・敷設解析 ・コスト評価	・ 敷設時の海象条件とケーブル張力について解析実施し、試作ケーブルの仕様で問題ないことを確認。 ・ コスト評価について、大水深部はアルミ導体2重鉄線仕様、非大水深部はアルミ導体1重鉄線仕様の組合せの敷設条件にて、従来の海底ケーブル（深海部を迂回・回避）と同等のコストとなることを確認。	○	目標通り達成のため

アウトプット目標の達成状況 開発項目Ⅲ-2

研究開発要素	項目	目標	成果	達成度合	達成の根拠
直流深海ケーブル（三芯水深500m級）	I. 深海ケーブルの要素技術開発と試作	水深500m 級の深海域対応の三芯直流海底ケーブルについて、試作ケーブルの仕様を決定、設計・試作を行う。	一重鉄線鎧装のケーブル設計、試作完了のため達成と評価。コンパクト(軽量)化を図った三芯直流海底ケーブルを設計、試作した。	○	目標通り達成のため
	II. 深海ケーブル試験装置導入と性能実証試験	水深500m に海底ケーブルを敷設する際にかかる張力を模擬するため、最大張力100 t の引張曲げ試験装置の設計、導入を行う。また、試作したケーブルの機械・電気試験を行う。	水深500mに適用可能なケーブル試作品を評価。導入した試験装置により、機械試験（CIGRE TB623）、および電気試験（CIGRE TB496 for VSC）をクリアした。	○	目標通り達成のため
	III. 深海ケーブル関連技術開発	関連技術開発として、敷設設計ソフト導入検討、および敷設船/ブレーキ装置概略検討を実施する。	ケーブル敷設ルート設計ソフトへ海洋情報を追加。海底地形や地質等の海洋情報を基に最短敷設ルートを設計可能とした。 敷設船の敷設設備の最適配置検討に加え、全体のシステム設計、船形の検討を行い、設計仕様を満足することを確認。	○	目標通り達成のため

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

特許出願及び論文発表

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。

	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度 以降（参考）	計
学会発表、 論文（査読付）			1	5	8	14
寄稿・特集記事		1	1		2	4
講演、その他		1	3	5	2	11
ニュースリリース 新聞・メディア記事	4	1	1	5	1	12

■ 主な論文・講演等

- ・Standard Specifications and Simulation Analysis on Control and Protection Scheme for Multivendor Offshore Multi-Terminal HVDC System, 2022年CIGREパリ大会 SC-B4 東京電力ホールディングス株式会社他5組織
- ・多用途多端子直流送電システムの基盤技術開発, APET第37回イブニングセミナー『洋上風力の周辺技術』, 東京電力ホールディングス株式会社
- ・直流送電に関するNEDO事業の概要について 第23回 若手教員／研究者支援活動（Power Academy）, 東京電力ホールディングス株式会社

＜評価項目 3＞ マネジメント

(1) 実施体制

※ 受益者負担の考え方

(2) 研究開発計画

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

※本事業の位置づけ・意義
(1)アウトカム達成までの道筋
(2)知的財産・標準化戦略



2. 目標及び達成状況

(1)アウトカム目標及び達成見込み
(2)アウトプット目標及び達成状況



3. マネジメント

(1)実施体制
※受益者負担の考え方
(2)研究開発計画

- NEDOが実施する意義
- 実施体制
- 個別事業の採択プロセス
- ※実績額及び受益者負担
- 目標達成に必要な要素技術
- 研究開発のスケジュール
- 進捗管理
- 進捗管理：前身事業評価結果への対応
- 進捗管理：動向・情勢変化への対応
- 進捗管理：成果普及への取り組み

NEDOが実施する意義

- ・ NEDOが国費で実施する明確な必要性があり、NEDOの関与が十分に効果的であるか



- ・ 第6次エネルギー基本計画の目標達成には、**浮体式洋上風力普及は不可欠で多端子直流送電は重要。**
- ・ 2端子直流送電システムはコストが高い
(数千億円規模なので **1社でのシステム全体の構成はリスクが高い。**)



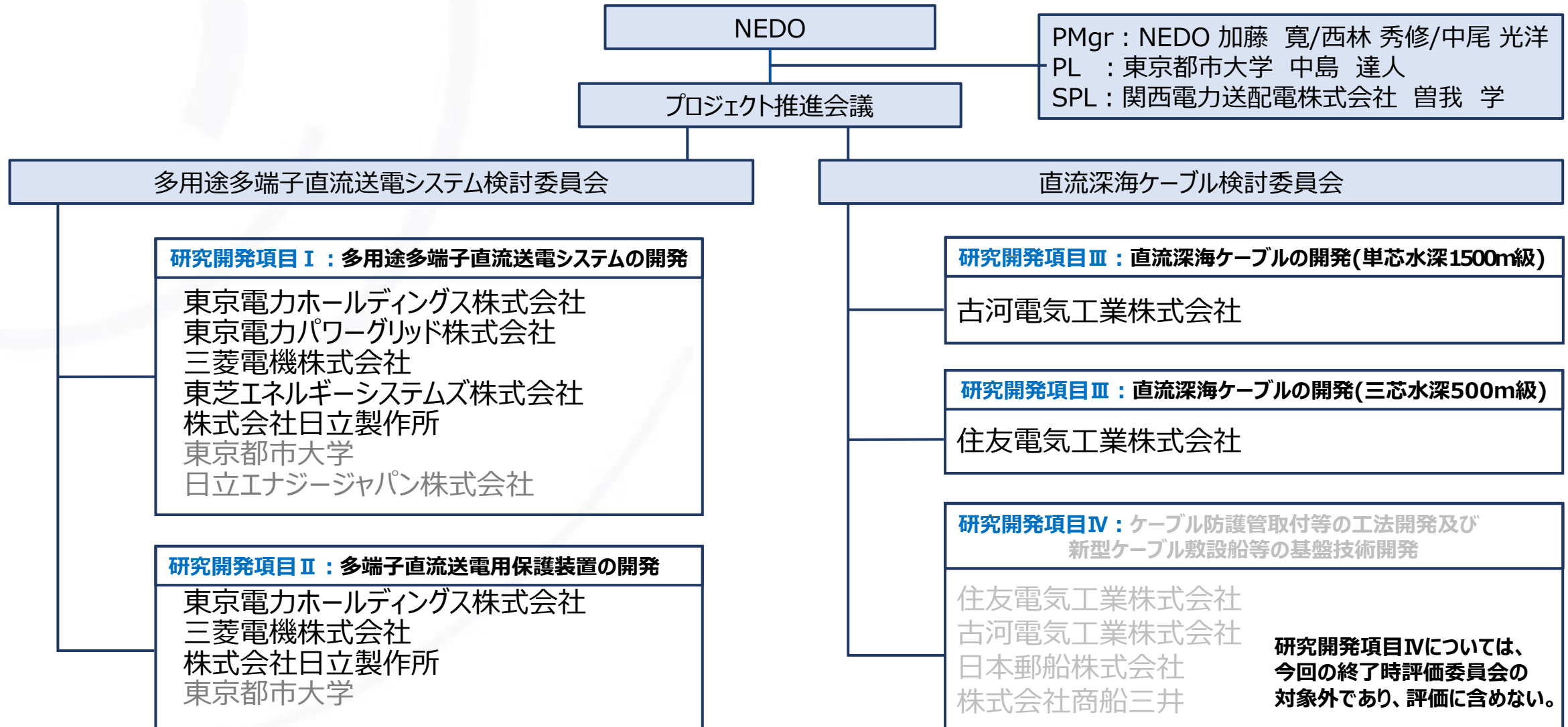
多端子化することで、複数社が分担してシステム全体を構築

(利点) : リスク分散、競争入札による低コスト化、複数社で同時製造に伴う工期短縮等

(欠点) : 各企業間では、通信方式、制御ロジック、必要な入出力内容等が異なる。

⇒異社間で必要なインターフェイスの調整や規格化が困難であり、**競合企業を取りまとめるには、国やNEDO等の中立的な機関が主体となった開発体制が必要**

実施体制



個別事業の採択プロセス

【パブリックコメント】

多用途多端子直流送電システムの基盤技術開発 基本計画（案）

募集期間 2019年12月27日～2020年1月10日 → 意見無し

【公募】

公募予告（2020年2月）⇒ 公募2020年3月26日 ⇒ 公募〆切（4月30日）

⇒ 公募〆切延長（2020年5月11日）

【採択】

採択審査委員会（2020年6月12日（金））

採択条件：採択審査委員会では、以下を採択審査基準として実施した。

- ①【提案内容の妥当性】提案内容が目的、目標に合致していること。
- ②【新規性】提案内容が技術的に優れていること。
- ③【実現可能性】提案内容、計画は実現可能であること（技術的可能性、計画、目標、予算規模の妥当性等）。
- ④【実施体制】事業を遂行するための高い能力を有すること、共同提案の場合、各共同提案者が相互補完的であること。
- ⑤【成果の事業化】事業を行うことにより、成果の実用化・事業化により、国民生活や経済社会への波及効果が見込まれること。

プロジェクト費用及び受益者負担

プロジェクト費用（単位：百万円）

研究開発項目		2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	合計
研究開発項目Ⅰ：多用途多端子直流送電システムの開発 研究開発項目Ⅱ：多端子直流送電用保護装置の開発	委託*	398.9	375.7	831.6	259.1	1865.3
研究開発項目Ⅲ：直流深海ケーブルの開発	委託*	169.8	595.7	337.7	24.1	1127.4
合計		568.7	971.4	1169.3	283.2	2992.7

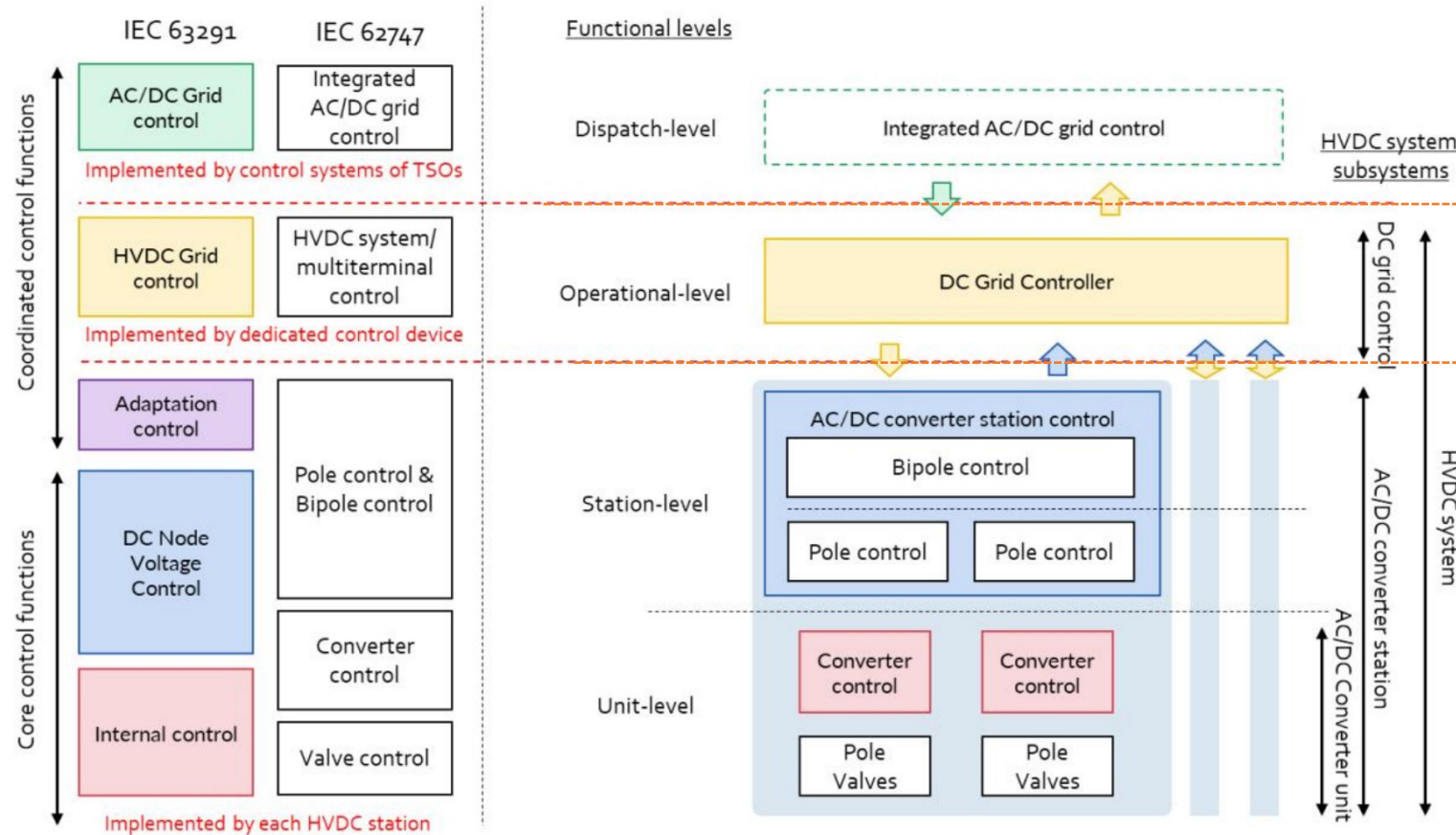
*:事業化のために長期間(研究開発事業の開始から事業化まで10年以上)を要し、かつ開発成果の収益性が予測不可能であり事業性が予測できないことから委託事業とする。

目標達成に必要な要素技術

区分	技術分野	技術の概要	NEDO研究開発項目			記事
			項目Ⅰ	項目Ⅱ	項目Ⅲ	
システム技術	モデリング	多用途多端子HVDCシステムの構成要素（設備・機能）について、シミュレーション用に要件整理し、モデル化する。	○	○		
	オフライン/リアルタイムシミュレーション評価	個社毎の構成要素モデルを用いた多用途多端子HVDCシステムについて、異社間の協調や安定性等も含め計算機にてシミュレーション（オフラインおよびリアルタイム）評価する。	○	○		
	HIL（Hardware In the Loop）評価	システム構成要素の一部（個社別の設備機器の制御部）実機を用い、計算機シミュレーションモデルと結合し、定常時、過渡・異常時の特性を評価する。	○	○		
	① 系統協調/給電指令応答制御	多用途多端子HVDCシステムと既存系統、ウインドファーム（WF）との協調、給電指令および連系する系統に最適となる電力潮流・運用を行う。	○			
	システム設計/エンジニアリング	実事業を想定したユースケースにより多用途多端子HVDCシステムの運用シミュレーション評価、設備構築の基本建設（現場調査含む）を行う。	○			
要素技術	② 上位制御装置	多用途多端子HVDCシステムの直流系統内、また交流系統やWFからの状態信号を受け、正常時、および過渡・事故時を想定した適切な運用のための制御・処理・指令を実施する。	○	○		
	③ 電力変換所（含む変換器制御）	交流⇄直流の電力変換を行い、上位制御装置の指令により最適な電力潮流用の電源として運用するとともに、自励式のSTATCOM機能を用い、交流系統の安定化・品質向上させる。	○			
	保護・検出装置	事故・異常が発生した場合の電圧・電流を検知し、上位制御装置にその状態を転送する。		○		
	遮断器（直流系統用）	短絡や過電流が発生した場合、所要時間内に電路を開放する。				※前身事業にて開発
	電力ケーブル	深海へ敷設可能な直流送電用ケーブルの構造・材料を設計し、試作品の機械・電気試験により評価する。			○	

目標達成に必要な要素技術（システム制御に関する補足）

多端子HVDC送電システム全体の制御構成



NEDO研究開発事業 制御階層の概念

① 系統協調/給電
指令応答制御

② 上位制御装置

③ 電力変換所
(含む変換器制御)

出典：Horizon Europe InterOPERA, DELIVERABLE 2.1 functional-requirements-for-HVDC-grid-systems-and-subsystems, JUNE 2024.

研究開発のスケジュール (I)

研究開発要素	項目	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
多用途多端子 直流送電システム	1-1 多用途多端子直流送電システムの異社間接続による制御保護のシミュレーション検証	システムに関する調査 システム要件検討	PSCAD, RTDSによる検証	標準仕様書の作成	HIL試験 評価
	1-2 多用途多端子直流送電システムのシミュレーションおよび実機検証の環境構築	RTDS導入		HIL試験環境整備	
	1-3 島嶼ユースケースでの多用途多端子直流送電システムのシミュレーション検証	ユースケース策定 設備設計 現地調査	シミュレーション実施		評価
	1-4 多用途多端子直流送電システムの制御保護の開発（三菱電機）	モデル作成	実機設計	実機製造	HIL試験
	1-5 多用途多端子直流送電システムの制御保護の開発（東芝ESS）	仕様検討	対象モデル構築	シミュレーション評価	HIL試験
	1-6 多用途多端子直流送電システムの制御保護の開発（日立製作所）	上位制御装置アルゴリズム検討	上位制御装置のRTDSEモデル シミュレーション検討	双極検討	

研究開発のスケジュール（Ⅱ）

研究開発要素	項目	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
多端子直流送電用 保護装置 (事故検出装置)	2-1 多用途多端子直流 送電システムの異社間接続 による保護装置シミュレーション 検証		標準仕様書の作成		HIL試験
	2-2 多端子直流送電用 保護検出装置の開発 (三菱電機)	保護検出装置の検討		保護検出装置製作	HIL試験
	2-3 多端子直流送電用 保護検出装置の開発 (日立製作所)		直流送電用保護装置の設計・製作		実機試験
			標準仕様書の作成		

研究開発のスケジュール (Ⅲ-1)

研究開発要素	項目	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
直流深海ケーブル (単芯水深1500m級)	①動向調査		動向調査		
	②導体構造および材料の検討	円圧導体検討			
		キーストン導体検討			
			導体試作	△ 導体決定	
	③がい装構造および材料の検討		材料検討		
			分担効力、構造解析		
	④ケーブル特性の検証			試作評価	
		試験設備検討			試験設備構築 (電気試験)
			試験設備構築 (機械試験)	試験評価	試験評価
	⑤布設検討		布設シミュレーション	コスト評価	
			艀装検討		

研究開発のスケジュール (Ⅲ-2)

研究開発要素	項目	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
直流深海ケーブル (三芯水深500m級)	① 深海ケーブルの要素技術開発と試作	動向調査 動向調査 動向調査			
	② 深海ケーブル試験装置導入と性能実証試験		試験装置導入 機械試験	電気試験	
	③ 深海ケーブル関連技術開発	敷設設計ソフト導入検討		敷設船/ブレーキ装置健津	

進捗管理

【プロジェクト推進会議 実施目的】

- “多用途多端子直流送電システムの基盤術開発”のプロジェクトに関わる、PM,PL,SPL,実施者他、関係者を一堂に会し、事業進捗・情報共有の場とする。
- プロジェクト終了後の実用化を見据え、研究開発段階より、システム・保護装置開発と深海ケーブル開発の各々課題点や要求仕様等を共有・議論し、プロジェクト全体として研究開発の方向性を共有認識とする。

【多用途多端子直流送電システム検討委員会 実施目的】

- 開発項目ⅠおよびⅡに関する事業進捗・情報共有の場とする。

【直流深海ケーブル検討委員会 実施目的】

- 開発項目Ⅲに関する事業進捗・情報共有の場とする。

技術委員会 等	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	合計 回数
プロジェクト 推進会議		1	1	1	3
多用途多端子直流送電 システム検討委員会	2	3	3	3	11
直流深海ケーブル 検討委員会			2	2	4

進捗管理：前身事業評価結果への対応

前身事業の事後評価委員会における留意事項

・前身事業 2020年「次世代洋上直流送電システム開発事業」の事後評価委員会（2020年9月3日）において、以下のような意見・指摘があった。これらの意見を整理し、次項に示す通り、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」の事業に反映した。

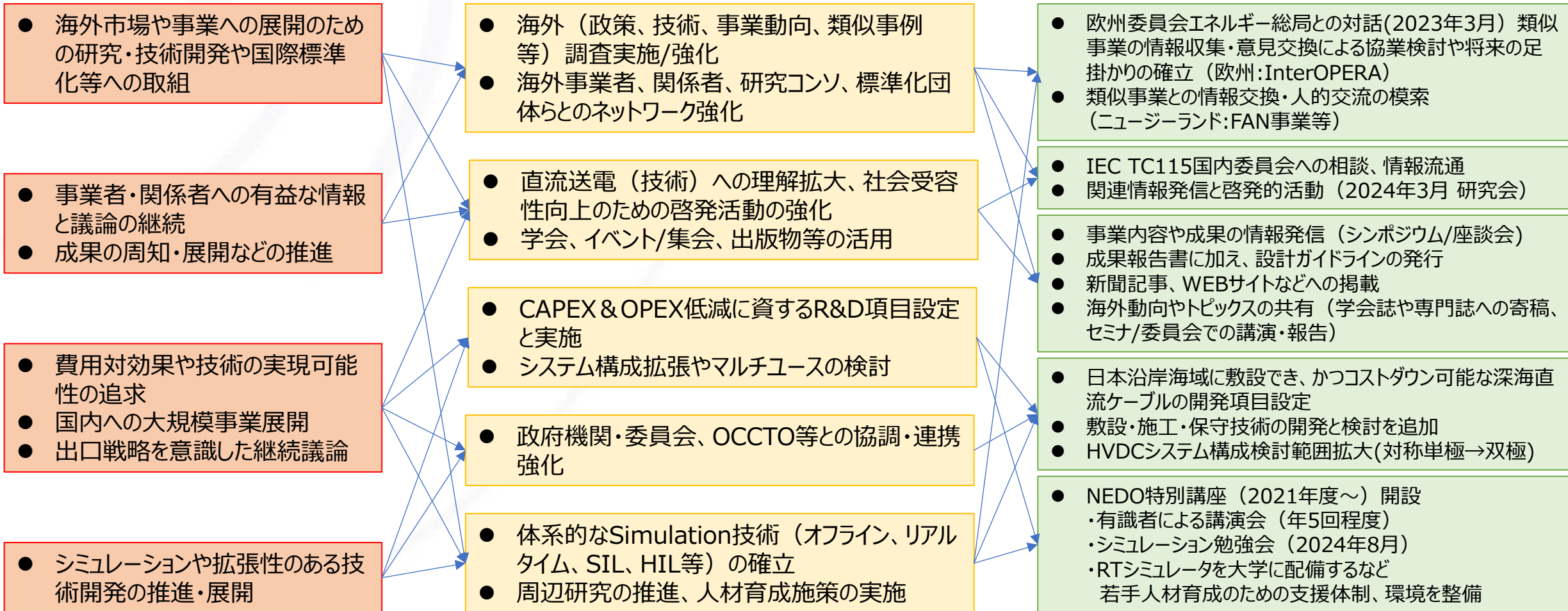
- 今後は、時間の経過とともに技術動向や欧州等の取り組み動向も変化することが想定されるため、変化を確認しつつ、国際競争力を確保する研究開発や知財開発を更に強化していくこと、また、実際の発電事業を推進する事業者からの意見も取り入れることができるような実施体制の構築についても検討いただきたい。
- 現実的かつ具体的なルートを想定した費用対効果や技術の実現可能性など、出口戦略を意識した継続した議論も期待したい。
- 今回の成果は、限定されたシステム構成での検討に限られていることから、今後は、将来の拡張にも対応が可能となるシステム開発、要素技術開発を目指すとともに、複数のモデルケースでの検討を期待したい。
- 成果の普及に関しても、これまで以上に幅広い事業者に向けた情報発信を積極的、継続的に行うことによって普及拡大を効率的に進める活動をお願いしたい。
- 本事業で研究開発を行うHVDCはそれ単体で使用するものではないため、陸上AC系統と海洋DC系統の協調安定性を事前検討されることを期待する。
- 本事業の成果は、大規模化された場合に特に効果を持つと予想されるため、海外での事業展開とともに、国内での事業展開が大規模に図れるように、国や自治体、ユーザーに対してさらにスピード感を持って積極的に働きかける戦略を練っていくことが望まれる。
- 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情報発信などを積極的に推進することが期待され、海外で事業を獲得するためにも、本事業の研究開発成果を実用化・事業化する取組をさらに加速することが望まれる。
- 技術的な信頼性を高めていくためには、まだ検討の余地がある部分も洗い出されてきており、各項目で信頼性を裏付けるデータの取得が求められる。後継事業の場において実機シミュレーションを通して、さらに拡張性のある技術開発を進めていただきたい。

進捗管理：前身事業評価委員会の指摘事項等の反映内容

評価・指摘内容

対処方針

具体的な内容・活動例



進捗管理：動向・情勢変化への対応

●政策動向への対応

資源エネルギー庁により開催された「長距離海底直流送電の整備案に向けた検討会（2021年3月15日 第1回 ～ 2022年4月22日 第6回）」での検討内容を受け、以下のような開発項目を実証期間中に追加した。

- ・ 多端子HVDCシステムを構築する場合、対称単極に加えて双極システムの検討
- ・ 敷設船や製造能力の早期確保、先行利用者との調整
- ・ 日本の海底地質を踏まえたケーブルの防護方法に関する検討
- ・ 大水深への敷設を行う場合、アルミケーブル等の開発に加え、洋上接続や防護方法などの技術開発



開発項目Ⅰ 多用途多端子直流送電システムの開発にて、「**双極システム**」のシミュレーションを追加検討

開発項目Ⅳ ケーブル防護管取付等の**工法開発及び新型ケーブル敷設船等の基盤技術開発（2023～2025年度）**を新規公募により追加

●関連情報収集、外部動向との整合

- ・ 国際会議 ACDC2023（2023年3月）：**欧州を中心としたHVDCシステムの計画、導入、技術動向、また政府やTSOの事業展望等を調査**。学会・セミナー等で国内関係者へ情報共有。
- ・ 欧州委員会 エネルギー総局へのヒアリング（2023年3月）：欧州の研究・イノベーション事業における直流分野の最新動向、実施事業についての情報収集、わが国との類似事業についての意見交換を実施 → Horizon Europe InterOPERAへの参画（2024年3月～2027年末）し、**NEDO事業成果と欧州事業との整合化を図るべく、議論に参加**。また、最新情報については、国内関係者へ共有。

進捗管理：動向・情勢変化への対応

海外（政策、技術、事業動向、類似事例等）調査実施/強化

■ 欧州委員会 エネルギー総局と直流技術に関連する研究開発(イノベーション) 事業や政策の位置づけ等の意見交換を実施（2023年3月@ブリュッセル）。

NEDO「多用途多端子直流送電システムの基盤技術開発」とテーマ・実施内容が類似している Horizon Europe InterOPERA事業へ、2024年3月以降、Stakeholder Committee Memberとして、多端子・マルチベンダーHVDCシステムの今後の規格統一や国際標準発行を見据えた活動のため、NEDOも参画。



InterOPERA projects (*) Hitachi ABB, CH, is partner
(**) Hitachi Energy, SE, is partner

et	Type	Projects
1 pj)	CSA	READY4DC Getting ready for multi-vendor and multi-terminal DC technology Apr 2022 – Sep 2023
15 M€ (2 pj of 7-8 M€)	RIA	NEWGEN 7.6M€, Oct22-Sep26 New generation of HVDC insulation materials, cables and systems HVDC-WISE 6.6M€, Oct22-Mar26, HVDC-based grid architectures for reliable and resilient WideSprEad hybrid AC/DC transmission systems
10 M€ (2 pj of 5 M€)	IA	ADVANCE Advances in Cost-Effective HV SIC Power Devices for Europe's MV grids, 3.2M€, Jan23-Dec25 SIC4GRID (*) Next Gen Modular SIC-based Advanced Power Electronics Converters 3.8M€, Oct22-Mar26 FORZENSICS (*) Future Oriented Renewable and Reliable Energy SIC Solutions, 4.4M€, Oct22-Sep26
50 M€ (3pj of 16 M€)	IA	BLOW Black sea Floating Offshore Wind, 15.5M€, Jan23-Dec27 WHEEL Wind Hybrid Evolution for Low-Carbon Solutions, 16.7M€, Jan23-Dec27 INFINITE Innovative offshore wind technologies in deep waters, 15.5M€, Nov22-Oct26 NEXTFLOAT Next Generation Integrated Floating Wind Optimized for Deep Waters, 16M€, Nov22-Apr27
55 M€ (topic)	IA	InterOPERA (**) Enabling interoperability of multi-vendor HVDC grids, 50.7M€, Jan 2023 – Apr 2027



InterOPERA WEBサイト



InterOPERA selected the Stakeholder Committee!

24. NEDO

JP National R&D agency – Ministry of Economy, Trade and Industry

JPN

<https://interopera.eu/news/interopera-selected-the-stakeholder-committee/>

InterOPERA→

進捗管理：動向・情勢変化への対応

欧州域外の団体関係者を含めたマルチベンダー・多端子化の標準・規格のすり合わせ会議体への参画 (2024年3月～開始)

■ InterOPERA 事業

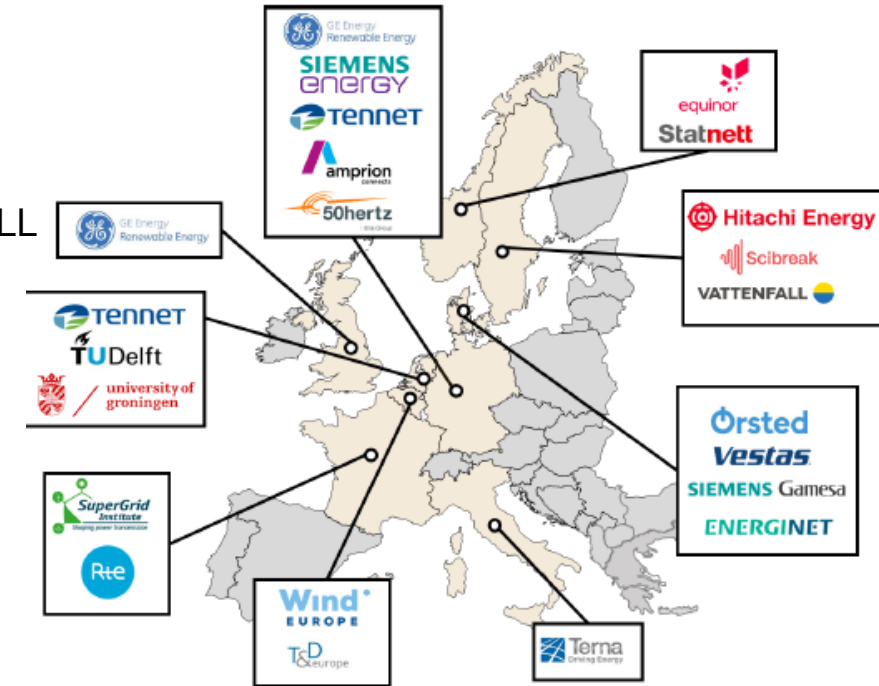
- フランスのSupergrid institute (研究機関) を主管した欧州域20の機関 (TSO, メーカー、大学・研究所等) によるHVDCシステムの多用途・多端子・マルチベンダー化を目指す研究イノベーション事業。

■ InterOPERA 参加者 (計22団体)

- TSO: RTE, TENNET, AMPRION, STATNETT, ENERGINET, 50HERTZ, VATTENFALL, VINDKRAFT, TERN
- メーカー: SIEMENS, HITACHI ENERGY, GE, ORSTED WIND POWER, VESTAS, SIEMENS GAMESA, SCIBREAK, EQUINOR WIND,
- 大学: TU DELFT, RIJKSUNIVERSITEIT GRONINGEN (フローニンゲン大学 法学部)

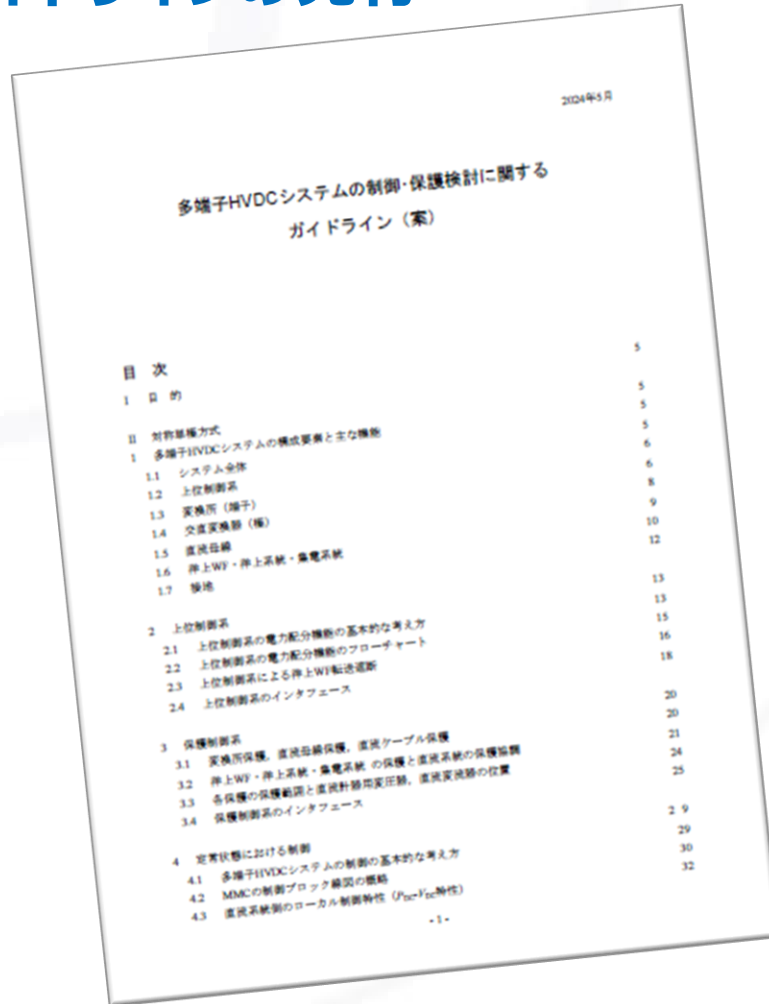
■ Stakes holder committee (計26団体) 欧州域以外の関係者を含む会議体 (2024年3月～活動開始)

- TSO / 電気事業者 National grid (英国) EnBW AG (ドイツ) 、KEPCO (韓国) 、TSO LITGRID (リトアニア)
- 大学 UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro (ブラジル) 、Technical University of Catalonia (UPC : スペイン) KU Leuven & EnergyVille (ベルギー) 、DTU (デンマーク)
- 政府・研究 National HVDC centre (英国) 、**NEDO (日本)** 、DOE Office of Energy、Oak Ridge National Laboratory (米国)
- 企業 RTDS Technologies Inc.、Tajfun HIL d.o.o. (European subsidiary of Typhoon HIL Inc) 、EMTP (カナダ) 、三菱電機 (日本) 、Hyosung (韓国) 、Statkraft、ENERGIA-Jarás、Fichtner、Minesto



進捗管理：成果普及への取り組み

ガイドラインの発行



- 成果報告書に加え、異メーカー間接続が可能な多用途多端子直流送電システムの開発・検証を念頭に置き、「ガイドライン」としてまとめた。
- 多用途多端子直流送電システムの上位制御系（各端子の電力配分の考え方、インターフェイス、保護制御系（事故検出～直流遮断器動作、インターフェイス等）、常時・事故時の各機器の応動やシーケンスなどを検討・実証し、その結果をベースに整理した。
- 加えて、オフライン、リアルタイム、HIL試験によるシミュレーション評価の概要、手順を解説している。

■多端子HVDCシステムの制御・保護検討に関するガイドラインの目次

- ・ 目的
- ・ 対称単極方式、および双極方式
 - 1 多端子HVDCシステムの構成要素と主な機能
 - 2 上位制御系
 - 3 保護制御系
 - 4 定常状態における制御
 - 5 多端子HVDCシステムの運転状態とシーケンス
 - 6 多端子HVDCシステムにおける想定事故と構成機器の事故時応動
 - 7 上位制御系による電力配分の検討事例
 - 8 縮退運転状態の具体例
 - 9 陸上変換器によるSTATCOM運転
- ・ シミュレーションの目的と概要

進捗管理：成果普及への取り組み

国際標準化の情報提供と業界関係者への啓発活動

日本国内で研究開発された技術を国際標準化として発行するためには、長い活動期間と十分な要員リソースが必要となる。現状と課題などの情報を提供しつつ、国際標準化の重要性、必要性について啓発し、関係者の理解を促すことが、先ずは重要である。

■ 発表：直流分野の国際標準化動向と展望、2024年3月7日（木）～8日（金）、電気学会 電力技術/電力系統技術/半導体電力変換 合同研究会。

HVDC関連IEC制定による主要な規格文書類

規格類文書(IEC#)	タイトル(スコープ)	適用範囲	分類
IEC TR 62672	HVDC の Reliability & Availability	LCC & VSC	設備性能
IEC TS 61973	変換所の騒音対策	LCC & VSC	環境対策
IEC TR 62681	HVDC 架空送電線の EMC	LCC & VSC	送電線の品質
IEC TS 62344	HVDC 接地電極設計ガイド	LCC & VSC	設備設計
IEC TR 62978	変換所の Asset Management	LCC	変換所運営
IEC TR 63127	変換所の System Design	LCC	設備設計
IEC TR 63065	変換所の運転・保守	LCC	設備運用
IEC TS 63014-1,2	直流機器の System Requirements	LCC & VSC	要求仕様
IEC TR 63179-1	HVDC System の Planning	LCC & VSC	計画
IEC TR 63363	HVDC System の Operational Performance	VSC	運転性能条件
IEC TS 63336	HVDC System の系統試験法	VSC	設備試験
IEC TS 63291	HVDC Grid の基本設計ガイドライン	VSC、多端子	設備設計
IEC TS 63471	HVDC Grid の標準電圧	VSC、多端子	直流系統計画
IEC 60071-11	HVDC システムの絶縁協調	LCC & VSC	絶縁設計

- IEC 60633 (用語集)
- IEC 60700-1 (サイリスタバルブ)
- IEC 62747 (VSC用語)
- IEC 60700-1 (保全)
- IEC 61869-14, 15(DCCT)

高木喜久雄. "国際標準化活動に関する有識者座談会."
電気学会誌 143.8 (2023): .512-516.

江藤学. "大学における標準化教育拡大の壁を破るために"標準化と品質管理, 2023年冬号, 2023-12-01, 74-78.



進捗管理：成果普及への取り組み：NEDO特別講座

「NEDOプロジェクトを核とした人材育成，産学連携等の総合的展開 (NEDO特別講座) / 多用途多端子直流送電システム」

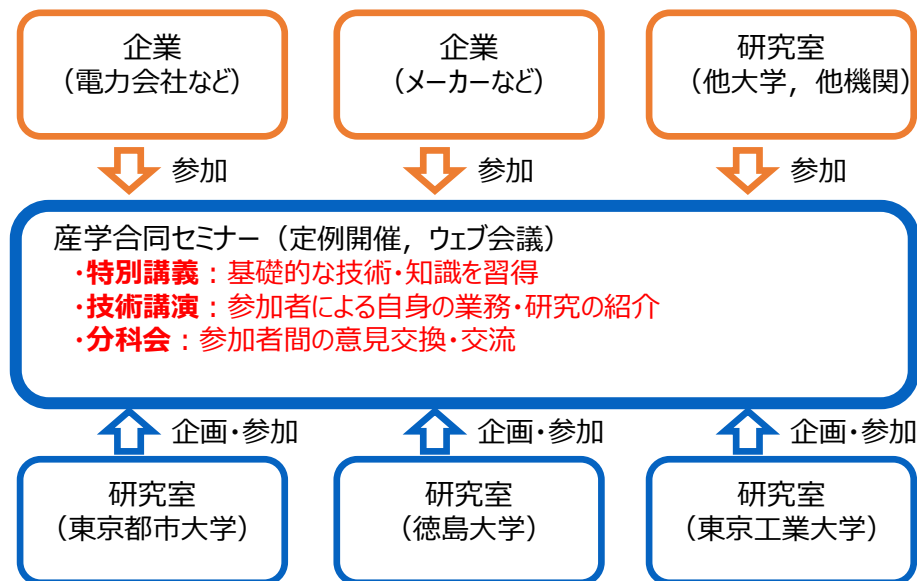
目的：

産学間，研究室間で組織を横断して，直流送電技術や電力系統用パワエレ技術の研究教育拠点形成をめざす

実施項目：

- ・ 産学間，研究室間での合同セミナーによる人材育成
- ・ 分科会（専門知識勉強会，企業との座談会）による人的交流
- ・ 直流送電，電力系統パワエレ関連の研究の実施と情報交換
- ・ 研究室の相互訪問や設備見学会によるふれあいづくり

ねらい：組織間で連携して人材育成・交流促進



進捗管理：成果普及への取り組み NEDO特別講座



NEDO特別講座 具体的な活動事例



YouTube JP 検索

J-HVDC
@J-HVDC・チャンネル登録者数 164人・7本の動画
このチャンネルでは直流送電技術や電力系統用パワーエレクトロニクス (パワエ) ...さらに表示
チャンネル登録

ホーム 動画 再生リスト

アップロード動画

動画タイトル	再生数	投稿日時
【NEDO特別講座】多端子直流送電用電力変換器の電力...	942 回視聴	1 か月前
【NEDO特別講座】直流送電 (HVDC) に用いる変換器...	603 回視聴	5 か月前
【NEDO特別講座】エネルギーを取り巻く世界の情勢、...	1834 回視聴	7 か月前
【NEDO特別講座】直流送電の制御システムについて解...	500 回視聴	9 か月前
【NEDO特別講座】直流送電に用いられる変換器の動作...	658 回視聴	11 か月前

LinkedIn

記事 ユーザー ラーニング 求人 ゲーム ダウンロード メンバー登録



NEDOプロジェクトを核とした人材育成、
産学連携等の総合的展開 (NEDO特別講座) /
多用途多端子直流送電システム



NEWS → 申し込みはこちら

次回産学合同セミナーは10月30日 (水) 開催予定。
詳細は決定次第掲載いたします。

J-HVDCさんの投稿

J-HVDC
52人のフォロー
9ヶ月前

前回の産学合同セミナーの特別講座の動画を公式YouTubeチャンネルにアップロードしました。
また、次回のセミナー(12/21開催)の参加登録も随時受け付けておりますので ...さらに表示

直流送電の制御システム

自動式 他励式 周波数...
電圧制御 電流制御 余裕角制御
GFM GFL etc...

詳しく解説します!

見る YouTube

52人のフォロー
プロフィールを表示する
+ フォローする

概 要

		最終更新日	2024 年 11 月 11 日
プロジェクト名	NEDO プロジェクト名 多用途多端子直流送電システムの基盤技術開発 METI 予算要求名称 再生可能エネルギーの大量導入に向けた次世代型の電力 制御技術開発事業	プロジェクト番号	P20001
担当推進部/ PMgr または担当者 及び METI 担当課	(担当推進部) 2020 年 6 月～2024 年 3 月 : スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 2024 年 7 月～現在 : 再生可能エネルギー部 (プロジェクトマネージャー : PMgr) 加藤 寛 (2020 年 6 月～2022 年 6 月) 西林 秀修 (2022 年 7 月～2024 年 7 月) 中尾 光洋 (2024 年 7 月～現在) (担当者) 前野 武史 (サブ PMgr、2020 年 6 月～2023 年 3 月) 廣瀬 圭一 (サブ PMgr、2023 年 4 月～現在) 飯原 瑛梨 (2020 年 6 月～2023 年 3 月) 下里 明日香 (2023 年 4 月～現在) 今野 直喜 (2022 年 3 月～現在) 小河原 竜一 (2023 年 4 月～2024 年 7 月) 藤田 悟 (2023 年 4 月～2024 年 9 月) 小笠原 有香 (2024 年 3 月～2024 年 3 月) 山本 航介 (2023 年 4 月～2024 年 3 月) 村上 真一 (2024 年 4 月～現在) (METI 担当課) 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギーシステム課		
0. 事業の概要	今後のエネルギー政策として、2018 年 7 月に閣議決定された「第 5 次エネルギー基本計画」には、風力発電をはじめとする再生可能エネルギー（再エネ）については導入を最大限加速・推進していくとともに、系統強化、規制の合理化、低コスト化等の研究開発を着実に進めることが記載されている。更に 2019 年 4 月の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）の施行にともない、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。こうした中、僻地にあることが多い洋上風力発電と電力系統を効率的に繋ぐ技術開発は重要性が高い。さらに、2021 年 10 月の「第 6 次エネルギー基本計画」において、2030 年の再エネ電源構成比率が 36～38%程度に引き上げられ、この実現に向けた取組みが急務となっている。 本事業では風力の直流送電線を多端子化して適切に保護制御・潮流制御を行うことで、信頼性が高く効率的な風力送電を可能とする高圧直流（HVDC）技術を開発する。また、これらの直流送電線を地域間への電力供給などの用途に利用できる制御技術を開発し、風力の導入普及のみならず、地域の需給バランス維持、再エネ抑制の回避、レジリエンスの強化などに貢献するための技術要件をまとめる。併せて、世界中で進展している直流送配電技術について、国内外の技術や政策の動向を踏まえて、速やかに実用化を実現するための課題の整理及び抽出を行う。		

	研究開発項目 1：多用途多端子直流送電システムの開発 多端子化した直流線を用いた、風力発電による電力を効果的に分配送電する潮流制御技術、ある交流系統から別の交流系統へ直流線を介して送電する潮流制御技術、一部の直流線に事故が生じた際に影響を最小限にするように適切な区間で電流遮断する保護制御技術を開発する。また、これらの制御を実現するための上位制御ユニットを開発する。なお、この開発には、シミュレーションだけでなく一部実機を用いることでシミュレーションだけでは再現できない挙動なども検証する。 研究開発項目 2：多端子直流送電用保護装置の開発 多用途多端子直流送電システム実現のための要素技術として、多端子直流送電用保護装置について、高速に遮断できる仕様をシミュレーションなどで整理した上で実機の開発を行う。 研究開発項目 3：直流深海ケーブルの開発 多用途多端子直流送電システム実現のための要素技術として、水深が深い地域を安価で安全に敷設することが出来る直流深海ケーブル及びその敷設工法等の開発を行う。
1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋	
1.1 本事業の位置付け・意義	本事業では洋上風力発電の連系線に、適切に保護・潮流制御を行うことができる高圧直流（HVDC）技術を活用することにより、信頼性が高く効率的な風力送電を可能とする。また、洋上風力発電の導入普及のみならず、地域の需給バランス維持、再エネ出力制御の回避、レジリエンスの強化などに貢献する。 2021 年 10 月の「第 6 次エネルギー基本計画」における 2030 年の系統増強等を通じた洋上風力発電の導入目標 60 億 kWh の実現に向けて、本事業で開発した基盤技術等を活用し、再生可能エネルギーの拡大に貢献していく。その場合、CO₂ 削減効果は約 270 万トン/年（排出原単位 0.453kg-CO₂/kWh で算出）となる。
1.2 アウトカム達成までの道筋	本事業の成果を洋上風力発電に活用していくには、国内において、大規模洋上風力発電が多数計画されることが必要なため、洋上風力発電の案件化に向けて、広域連系系統の長期方針や整備計画の策定などに携わる広域機関等に対して広く成果を発信し、再生可能エネルギー導入拡大における多端子直流送電システムの重要性・有効性の認知へつなげる。さらに、ユーザーとなりうる一般送配電事業者や発電事業者に対しても広く成果を発信することで、再生可能エネルギーの導入拡大のための多端子直流送電システムによる設備形成の利点等について説明し、案件化に向けた働きかけを行う。 本事業の成果として、マルチベンダによる多端子 HVDC の制御・保護のガイドライン（仮称）を作成したので、このガイドラインに基づき、実案件でのシステム構築を実施できるよう、ガイドラインを公開し、多端子 HVDC の構築にて活用されるように取り組んでいく。また、本事業の成果を海外での HVDC 案件へ適用することを目指し、具体的な案件の検討やさらなる技術向上に取り組んでいく。
1.3 知的財産・標準化戦略	本事業の目的は政府の方針である再生可能エネルギーの導入拡大に対する基盤技術の普及であり、成果に関しては公開を基本とする。その中で、事業者は NEDO と協力し積極的に“成果の普及”や“標準化施策等”を進める。研究開発項目 1 においては、多端子 HVDC の制御・保護のガイドライン（仮称）を作成し、公開する。 また、公開領域においても利権化を進めるために、可能なものは特許取得する。本事業で得た知見の一部は、メーカのコア技術や取引に係る競争領域のため、内部で蓄積し、国内外の市場獲得時に優位性を発揮するためのノウハウとして活用する。

2. 目標及び達成状況	
2.1 アウトカム目標 及び達成見込み	多端子 HVDC 送電システムの主な電源として期待されている浮体式洋上風力発電は、NEDO グリーンイノベーション事業にて研究開発、および実証が予定されている。実機相当による実証は 2027～2030 年頃での検証が予定されており、実証を経て事業化が進むと期待されている。2030 年頃には着床式、浮体式を含め 10GW 相当の風力発電設備の導入が計画されており、これらの電力輸送用の一部に、多端子 HVDC 送電システムが適用され、風力発電の設備利用率が 35%とした場合、設備容量 2.0 GW 相当の風力発電にて年間 60 億 kWh の再生可能エネルギーを輸送することができる。年間 60 億 kWh の再生可能エネルギーの CO₂ 削減効果は、約 270 万トン/年（排出原単位 0.453kg-CO₂/kWh で算出）となり、アウトカム目標となる。 2030 年以降は、電力広域的運営推進機関（OCCTO）が計画している北海道～本州間直流送電システムに設置が予定されている定格 2 GW の自励式 HVDC 変換設備、および海底直流ケーブルの敷設 定格 2 GW（ケーブル長 約 700 km）の導入も見込める。 さらに、国内においても洋上風力発電の立地が、従来の海域から接続水域、また一部 E E Z のエリアへ拡大することで、水深 50～200m の海域における浮体式洋上風力発電の利用が拡大し、その容量は年間 1～2 GW 程度と計画されている。浮体式洋上風力発電は、沿岸からの距離が長く、海底ケーブルに加え、陸上の変換所まで陸上ケーブルを含めると 50km 以上となり、直流送電が有利な条件となる。2030～2040 年まで平均して 1.5GW の洋上風力が導入される場合、合計 15GW の設備容量分が追加導入となる見込みであり、そのうち約 30%に多端子 HVDC 送電システムが採用される場合、4.5GW 相当のアウトカムが見込める。 さらに、2030 年以降は、欧米において本格的な浮体式洋上風力発電の導入が進むと予測されており、2040 年には、300GW 相当の事業化が見込める。国内における実績を踏まえ、かつ国内企業の海外工場新增設、企業提携などにもより、グローバル市場の 10%程度のシェア獲得を目指す。
2.2 アウトプット目標 及び達成状況	研究開発項目 1：多用途多端子直流送電システムの開発 目標：上位制御を含めた HIL/ミニモデルシステムの開発・検証を行い、実機の挙動を踏まえた多端子高圧直流システムの要求仕様および異社間インターフェイスの指針を作成する。 達成状況：洋上 WF の電力送電だけではなく、陸上端子間の電力融通も可能な異メーカ接続による対称単極方式 5 端子と双極方式 3 端子直流送電システムを開発し、シミュレーション（オフライン、リアルタイム、HIL）によりシステムの実運用に問題がないことを確認した。マルチベンダ化に向けた異社間インターフェイスの指針などは、評価結果、知見を整理し、標準仕様書（ガイドライン）を作成した。 研究開発項目 2：多端子直流送電用保護装置の開発 目標：多端子直流送電用事故検出装置の試作し、直流ケーブルの事故電流が 10pu（15kA）以内に直流遮断器が動作することを確認する。 達成状況：HIL 試験にて直流ケーブル事故の各ケースにおいて、保護検出装置が機能して、直流ケーブルのいずれの事故も当初設定した事故電流が 10pu（15kA）以内に収まるまでに直流遮断器が動作し、当初設定時間内に保護でき、本装置の保護制御機能が十分であることを確認した。 研究開発項目 3：直流深海ケーブルの開発 目標①：大容量深海ケーブルを試作し、水深 1500m 級に対応し、従来の海底ケーブル（水深 300m 級）とほぼ同じコストで生産及び敷設が可能を示す。 達成状況①：単芯 電圧 500 kV、1 GW 級のケーブルを設計、試作、評価し水深 1500m 級に耐えうることを確認した。コスト評価について、大水深部はアルミ導体 2 重鉄線仕様、非大水深部はアルミ導体 1 重鉄線仕様の組合せの敷設条件にて、従来の海底ケーブル（深海部を迂回・回避）と同等のコストとなることを確認した。 目標②：水深 500m 級の深海域対応の三芯直流海底ケーブルについて、試作ケーブルの仕様を決定、設計・試作を行う、

	達成状況②：日本沿岸の広域の海底線直流連系を想定した場合、水深 5 00mに敷設可能な三芯ケーブルを開発・評価し、機械・電気試験を満足した。また、三芯ケーブルの導入により敷設コスト低減や工期短縮を図ることができることを確認した。					
3. マネジメント						
3.1 実施体制	経産省担当原課	経済産業省資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギーシステム課				
	プロジェクトリーダー	・プロジェクトリーダー： 中島 達人 東京都市大学 理工学部 電気電子通信工学科 教授 ・サブプロジェクトリーダー： 曾我 学 株式会社ニュージェック 電力部門 送配電グループ 統括				
	プロジェクトマネージャー	再生可能エネルギー部 ユニット長 中尾 光洋				
	委託先	研究開発項目 1 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、三菱電機株式会社、東芝エネルギーシステムズ株式会社、株式会社日立製作所 研究開発項目 2 東京電力ホールディングス株式会社、三菱電機株式会社、株式会社日立製作所 研究開発項目 3 古河電気工業株式会社、住友電気工業株式会社				
3.2 受益者負担の考え方	端子直流送電システムはコストが高く、数千億規模であるため、1 社でのシステム全体の構成はリスクが高い。また、各社間で通信方式、制御ロジック、必要な入出力内容等が異なり、民間が自主的にインターフェイスの調整や規格化が困難であり、国や NEDO 等の中立的な機関が主体となった研究開発体制が必要である。					
	主な実施事項	2020fy	2021fy	2022fy	2023fy	
	研究開発項目 1	委託	委託	委託	委託	
	研究開発項目 2	委託	委託	委託	委託	
	研究開発項目 3	委託	委託	委託	委託	
3.3 研究開発計画						
事業費推移	主な実施事項	2020fy	2021fy	2022fy	2023fy	総額

	[単位:百万円]	研究開発項目 1	398.9	375.7	831.6	259.1	1865.3	
		研究開発項目 2						
		研究開発項目 3	169.8	595.7	337.7	24.1	1127.4	
		会計（特別）	567.8	971.4	1169.3	283.2	2992.7	
			総 NEDO 負担額	567.8	971.4	1169.3	283.2	2992.7
	情勢変化への対応	資源エネルギー庁により開催された「長距離海底直流送電の整備案に向けた検討会（2021 年 3 月 15 日 第 1 回 ～ 2022 年 4 月 22 日 第 6 回）」での検討内容を受け、開発項目を実証期間中に追加した。 ・ 多端子 HVDC システムを構築する場合、対称単極に加えて双極システムの検討 ・ 敷設船や製造能力の早期確保、先行利用者との調整 ・ 日本の海底地質を踏まえたケーブルの防護方法に関する検討 ・ 大水深への敷設を行う場合、アルミケーブル等の開発に加え、洋上接続や防護方法などの技術開発						
		中間評価結果への対応	—					
		評価に関する事項	事前評価	2019 年度実施 担当部 スマートコミュニティ・エネルギーシステム部				
			中間評価	—				
			終了時評価	2024 年度実施 担当部 再生可能エネルギー部				
別添								
	研究発表、公園、論文	「査読付き」1 件、「その他」3 件						
	その他外部発表（プレス発表など）	「学会発表・講演」25 件、「新聞・雑誌等への掲載」6 件、その他 10 件						
	基本計画に関する事項	作成時期	2020 年 2 月 策定					
変更履歴		2023 年 3 月 改訂（研究開発項目追加と実施期間延長による）						