

2024年度NEDO再生可能エネルギー部成果報告会 プログラムNo.②ー1

事業紹介① 多用途多端子直流送電システムの基盤技術開発

発表日：2024年12月17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 系統連系ユニット ユニット長 中尾 光洋

問い合わせ先 E-mail: [powergrid\[@\]nedo.go.jp](mailto:powergrid[@]nedo.go.jp) TEL:044-520-5270

- ・プロジェクトの目的：

2030年度、政府目標である再生可能エネルギー36～38%導入に向けて、**再エネ導入拡大及びエネルギーの安定供給を確保できる強靱性（レジリエンス）の向上**のため、**多用途多端子高圧直流（HVDC）技術**を開発する。

- ・実施内容の概略

多用途多端子高圧直流（HVDC）技術開発

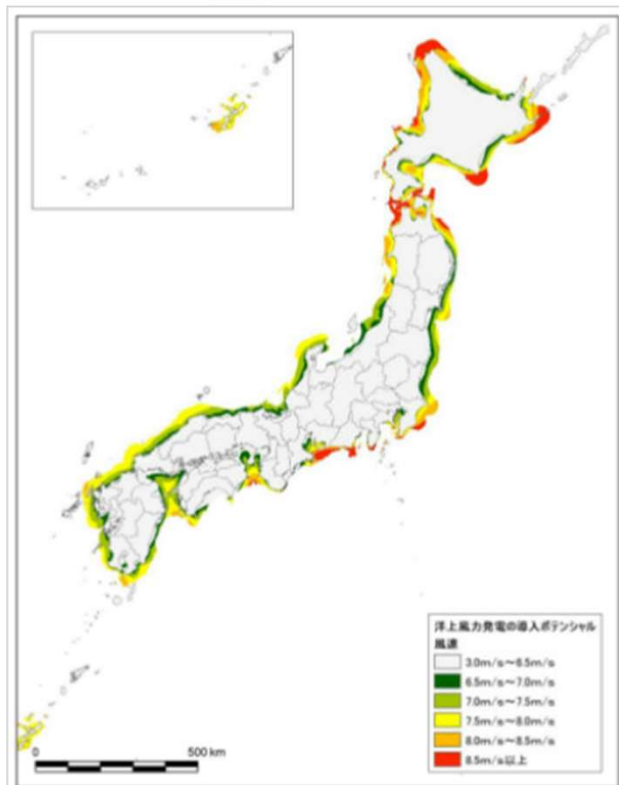
- ①システム開発：「多用途多端子直流送電システム」の開発
- ②要素技術開発：1 「多端子直流送電用保護装置」の開発
- ③要素技術開発：2 「直流深海ケーブル」の開発
- ④ケーブル防護管取付等の工法開発及び新型ケーブル敷設船等の基盤技術開発

- ・実施予定期間： 2020年度から2025年度

浮体式洋上風力発電に適する区域の特徴

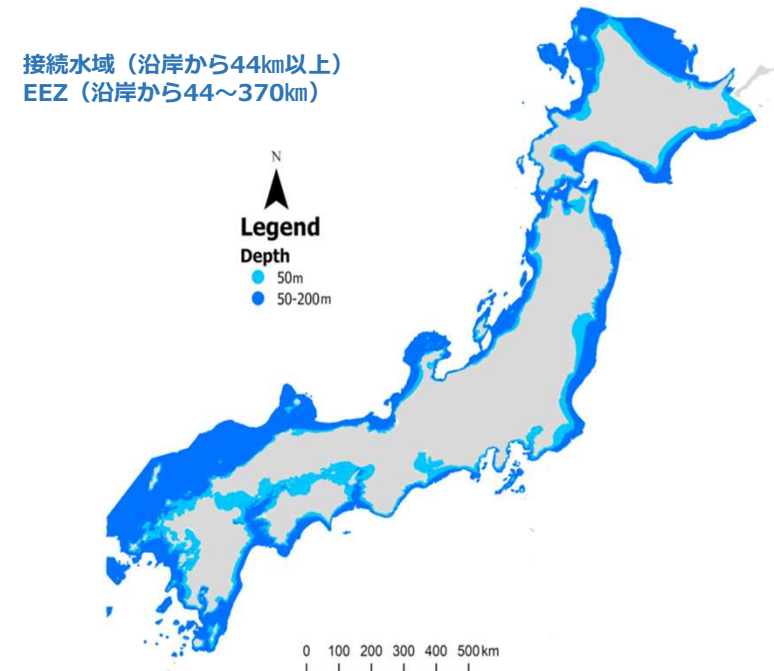
- ・ 接続水域やEEZに多く存在し、沿岸部からは距離があり水深も深い
 - ・ 電力の大消費地からは遠い
- 長距離海底送電が必要となる

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



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>

浮体式洋上風力発電向けのHVDC送電システムの必要性

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**

③直流送電方式のメリット

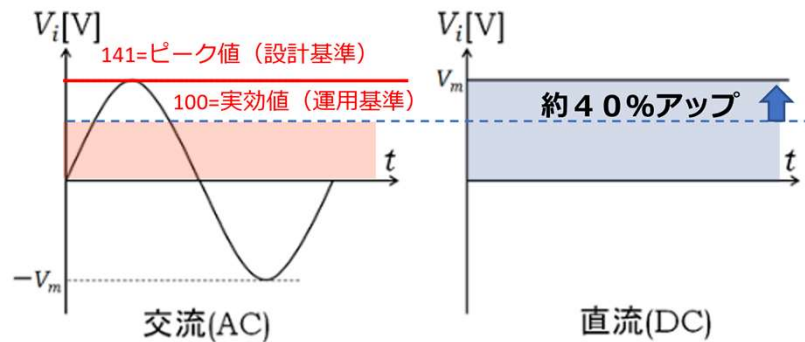
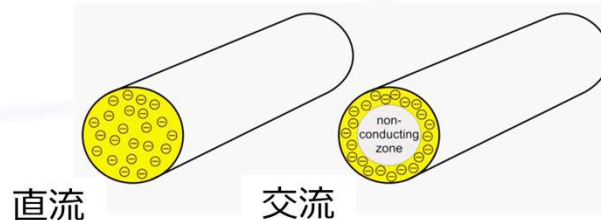
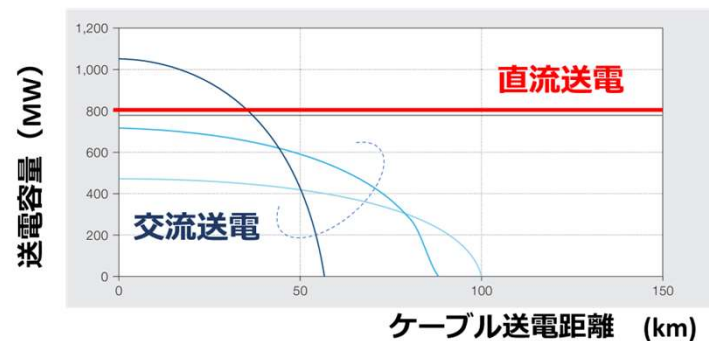
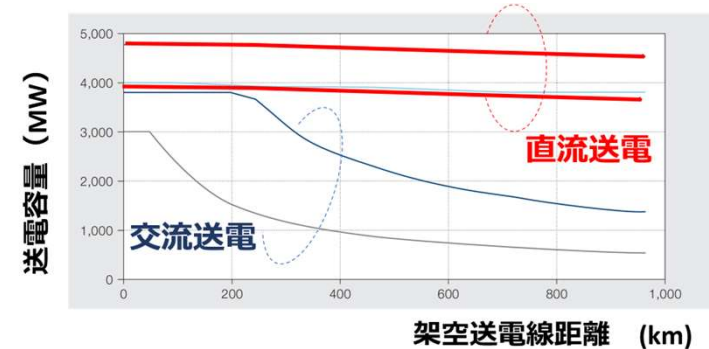


図 交流と直流の波形
同じ絶縁耐圧で40%容量をアップ可能



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



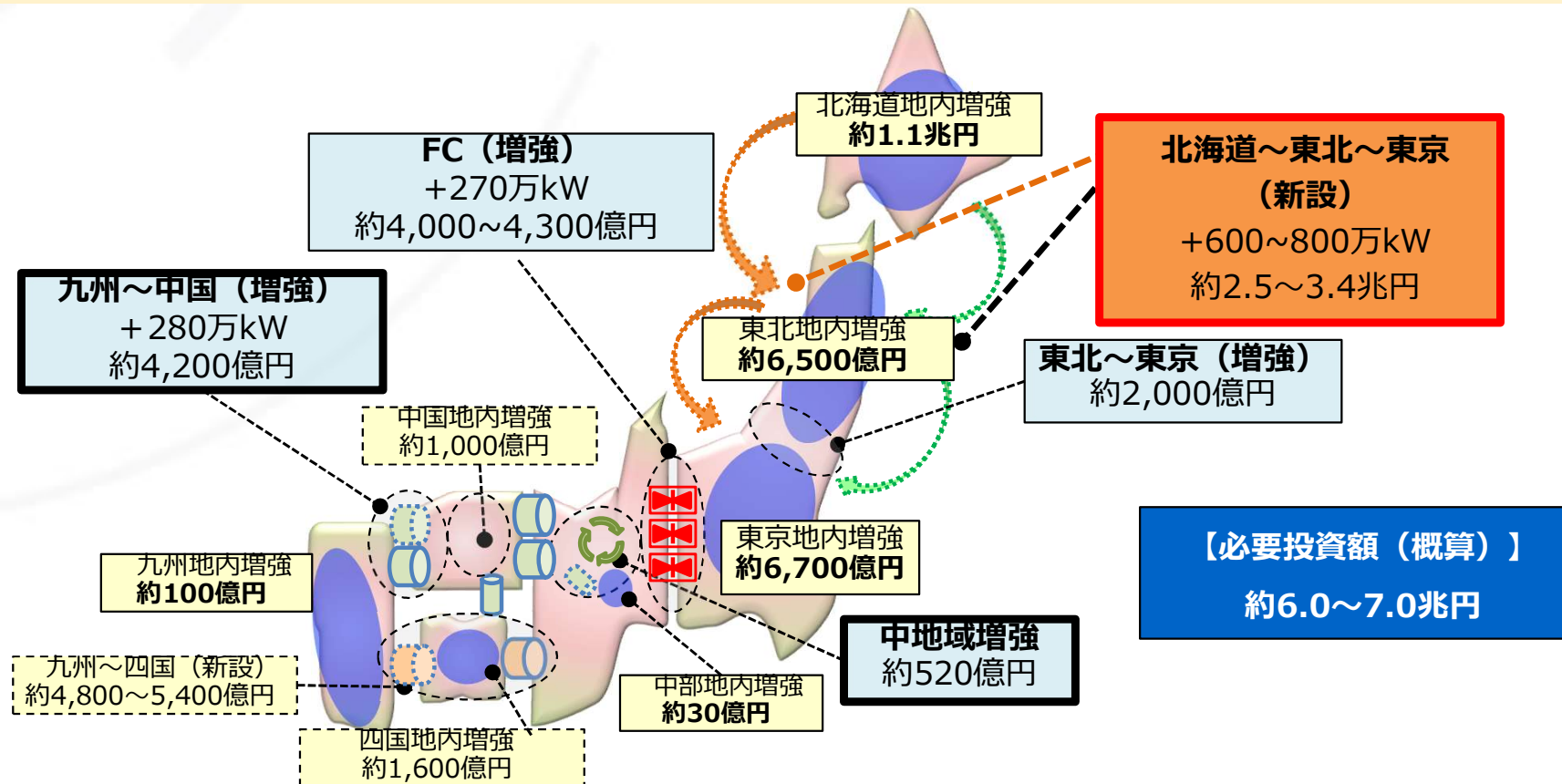
- 交流：架空ではインダクタンス（インピーダンス）により距離に反比例して送電容量が低下。ケーブルではキャパシタンスのため送電長の限界有。
- 直流：架空、ケーブルとも抵抗分の電圧降下（ジュール損）のみ。

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

地域間連系線の整備：「マスタープラン」の概要

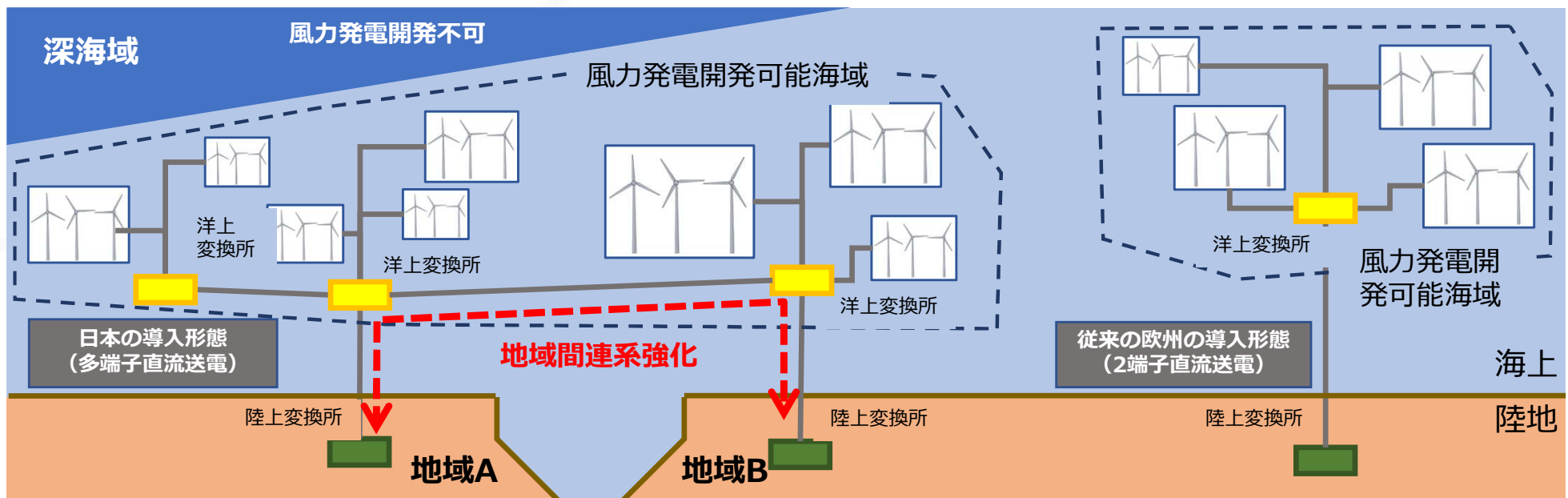


再エネ大量導入とレジリエンス強化のため、電力広域的運営推進機関において、
2050年カーボンニュートラルも見据えた、広域連系系統のマスタープランを
2023年3月29日に策定・公表



(出所) 広域系統長期方針 (広域連系系統のマスタープラン) (電力広域的運営推進機関2023年3月29日策定) のうちベースシナリオより作成
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

- 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【多端子化】
- 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、さらには離島供給のニーズもある【多用途化】
- 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



参考 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】

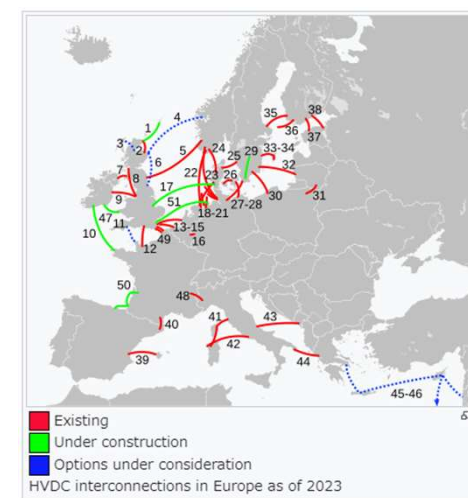
- ・ 洋上風力送電や地域間連系に2端子間のHVDCが導入進行中。
- ・ 洋上風力の更なる拡大に向けて多端子HVDCシステム、マルチベンダーによるインターオペラビリティを研究開発中。

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。

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-tso-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

参考 外部環境の状況（2）

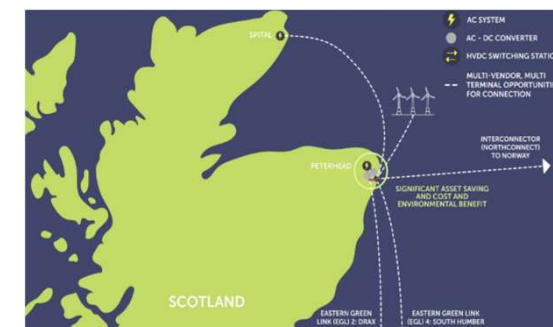
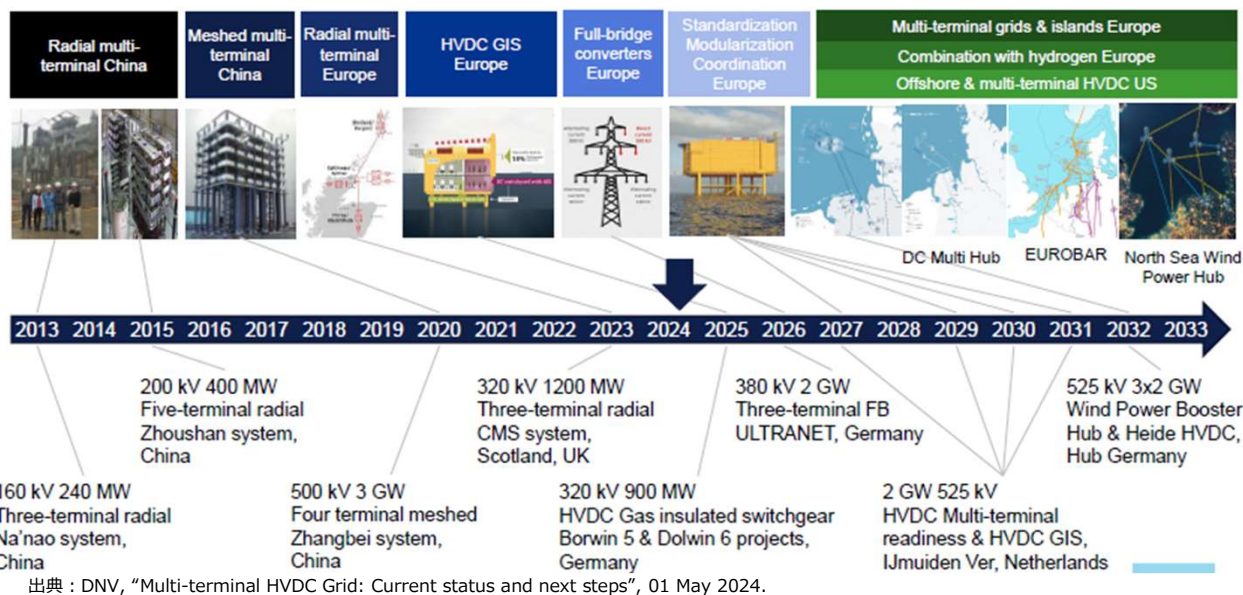


類似する海外の研究イノベーション プロジェクト・事業化

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



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/>



イタリア TSO Terna社系統整備計画

出典：2023 THE HYPERGRID PROJECT AND DEVELOPMENT REQUIREMENTS.

参考 外部環境の状況（3）

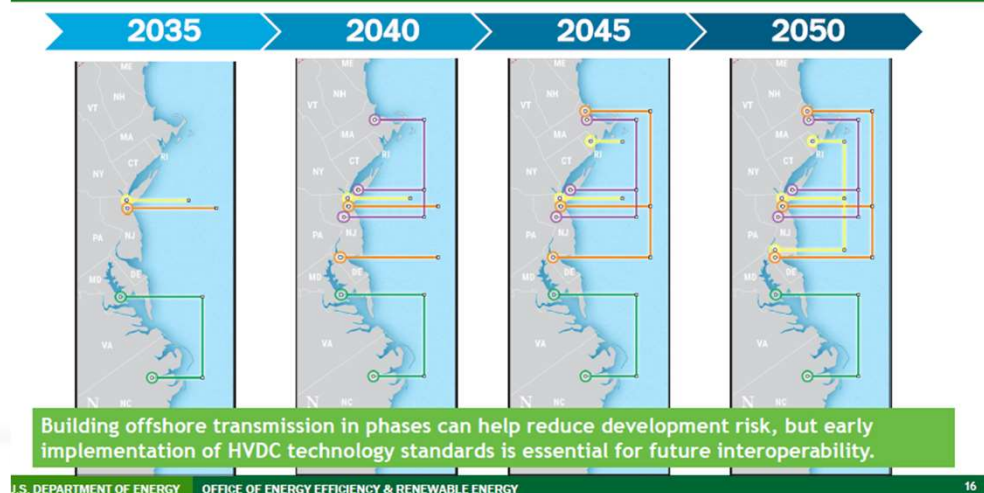


類似する海外の研究イノベーションプロジェクト・事業化

米国の事業化動向

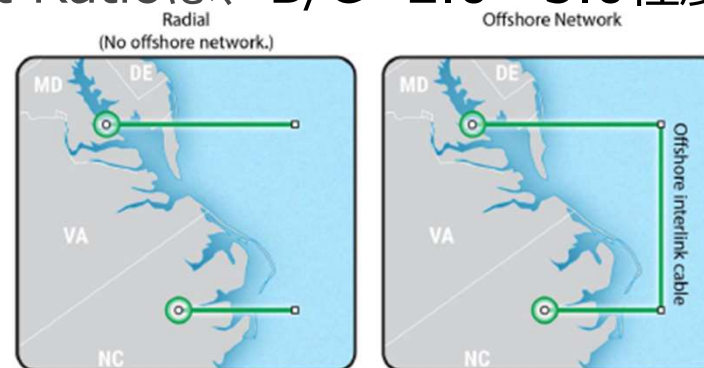
米国においても、例えば、東海岸の洋上風力発電（2030年 30 GW, 2050年110 GW）の送電用として、2050年までに多端子HVDCの導入・拡張が計画されている。

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.

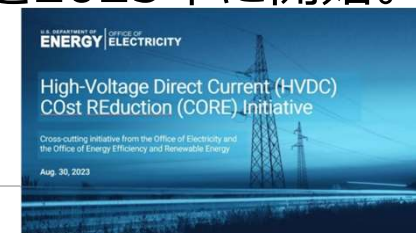
洋上風力の発電を放射状（ラジアル：2端子構成）に集電するよりもNW化（＝多端子化）した方が安価となる旨計算されている。試算された費用便益比（Cost-Benefit Ratioは、 $B/C=2.0\sim3.0$ 程度。



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



以下の体制で研究開発を実施

NEDO

委託

研究開発項目Ⅰ：多用途多端子直流送電システムの開発

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
株式会社三菱電機
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
東京都市大学
日立エナジージャパン株式会社

研究開発項目Ⅱ：多端子直流送電用保護装置の開発

東京電力ホールディングス株式会社
株式会社三菱電機
株式会社日立製作所
東京都市大学

研究開発項目Ⅲ：直流深海ケーブルの開発(単芯水深1500m級)

古河電気工業株式会社

研究開発項目Ⅲ：直流深海ケーブルの開発(三芯水深500m級)

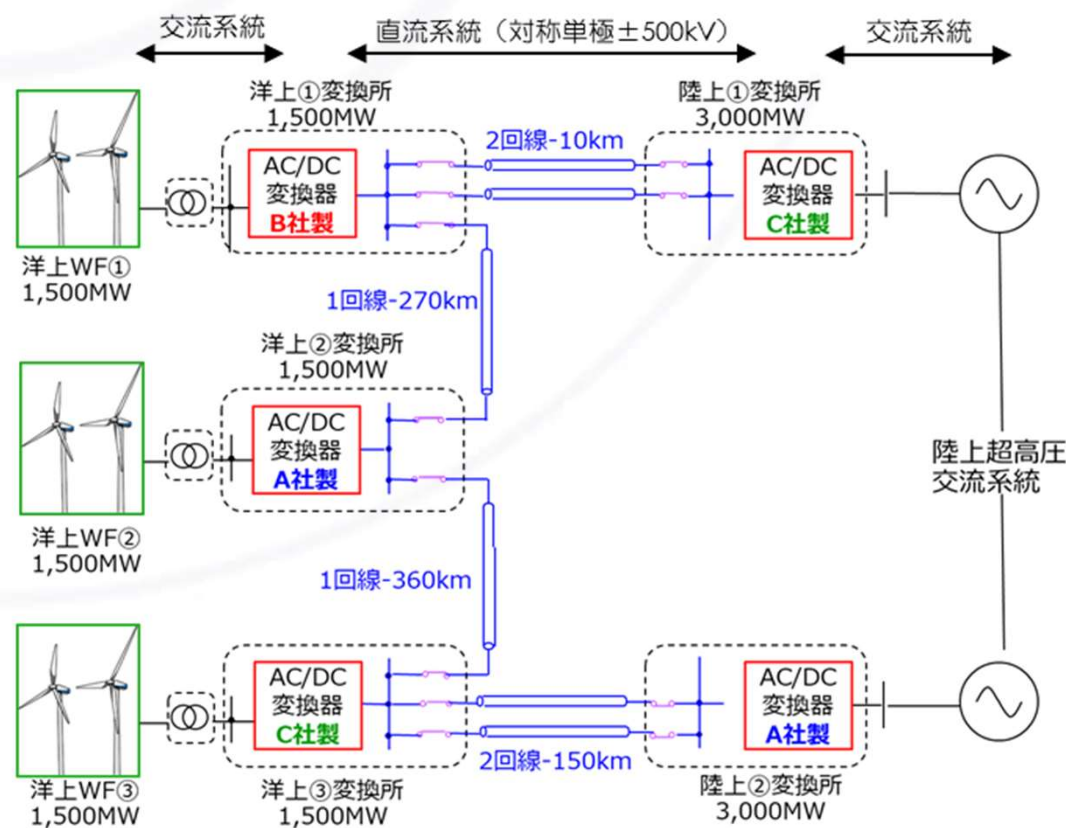
住友電気工業株式会社

研究開発項目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

住友電気工業株式会社
古河電気工業株式会社
日本郵船株式会社
株式会社商船三井

多用途多端子直流送電システム及び多端子直流送電用保護装置の開発の成果

実機を含めた多端子直流送電システムの系統モデルを構築し、HIL（Hardware In the Loop）試験により機能を確認

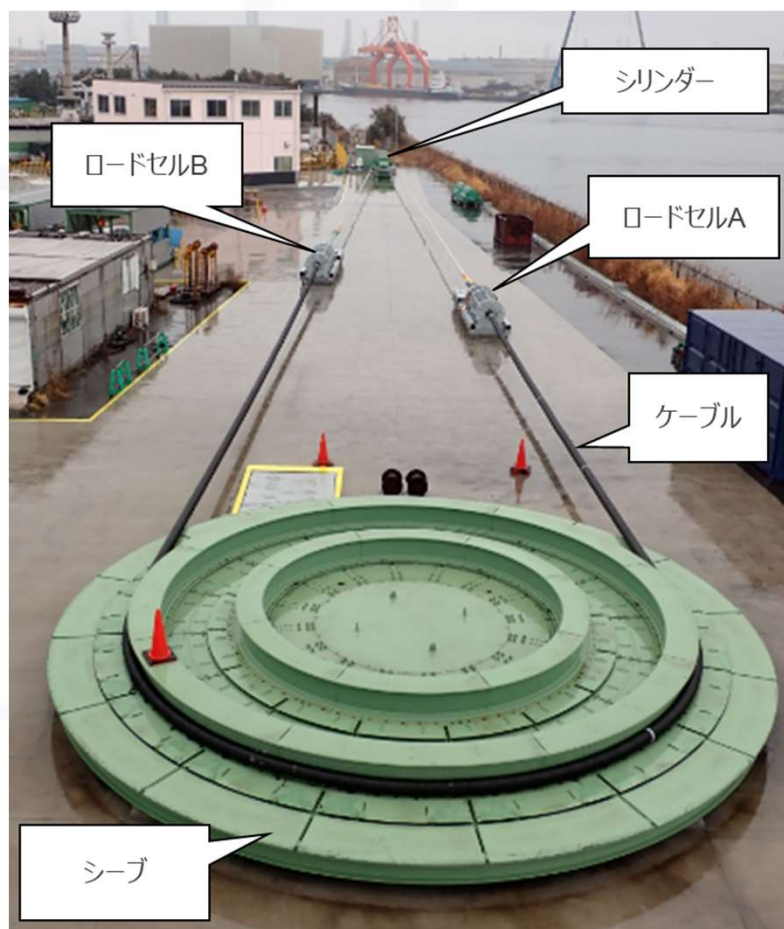


- 制御保護、保護検出装置の開発
- シミュレーション検証
 - ・ 異社間接続での制御保護
 - ・ 異社間接続での保護装置
 - ・ 島嶼ユースケース
- 前事業の標準仕様書を更新したガイドライン作成

5 端子系統モデルの主回路構成

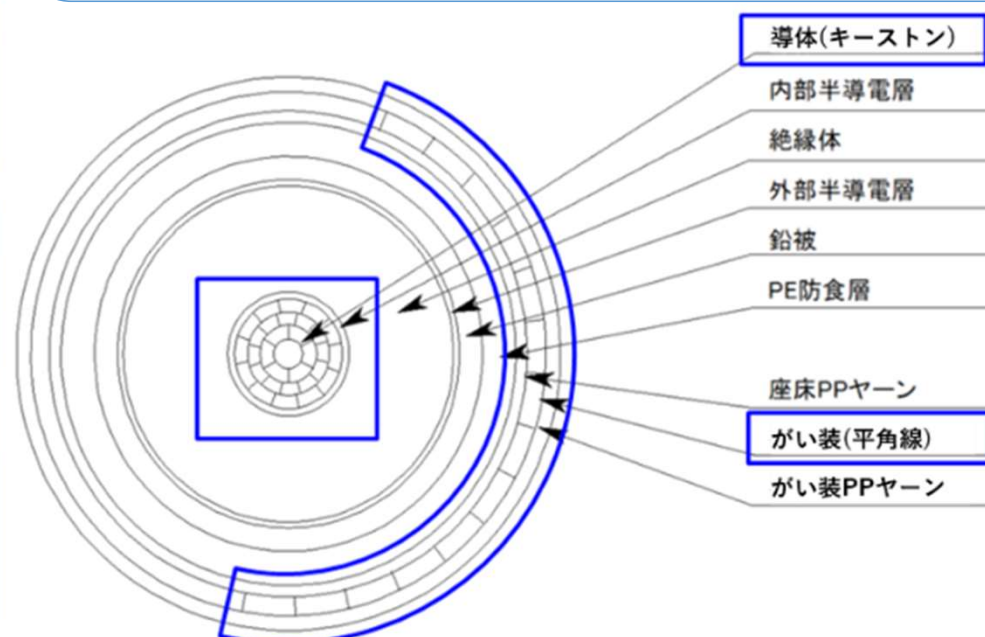
直流深海ケーブルの開発（単芯水深1500m級）の成果

開発した直流深海ケーブル適用により従来ケーブル、ルートと比較し建設費を抑制



引張試験の様子（古河電気工業様）

- 占積率の向上による導体の細径化
- アルミ適用による軽量化
- 敷設解析、構造解析によるがい装最適化



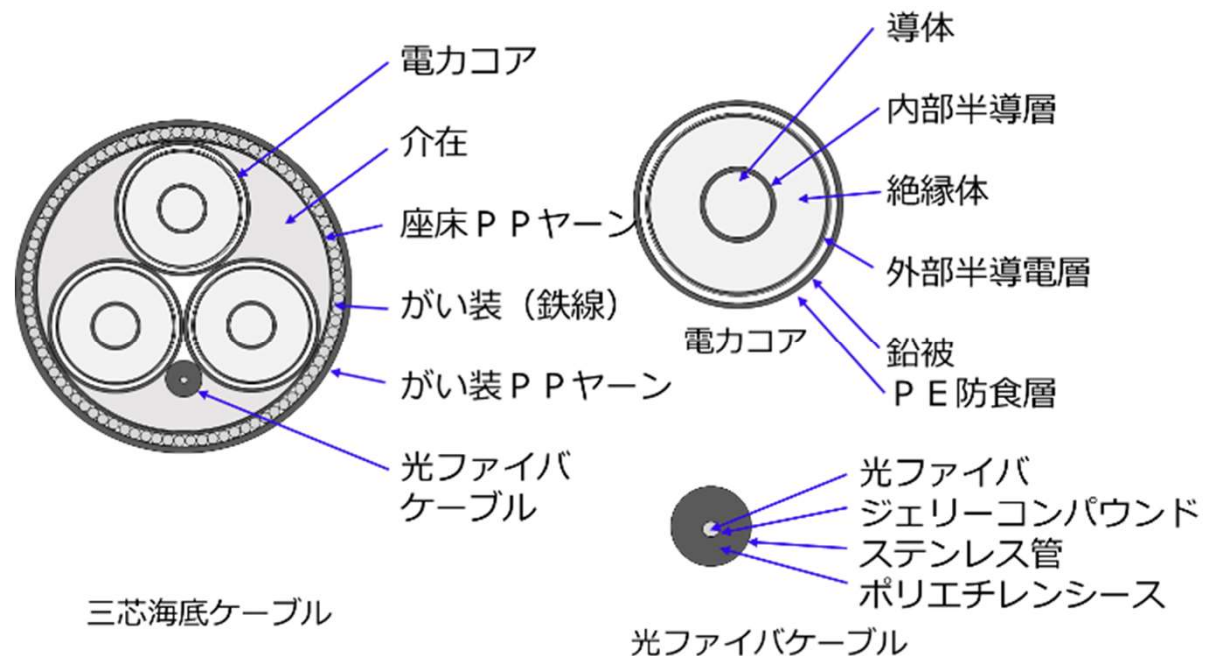
525kV,1GW級単芯ケーブル構造
(キーストン構造素線)

直流深海ケーブルの開発（三芯水深500m級）の成果

三芯ケーブルによりケーブル1本分の深海敷設で送電線1回線の建設が可能



コILING試験の様子（住友電気工業様）



400kV, 600MW級三芯ケーブルの構造

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の概要

事業の目的・概要

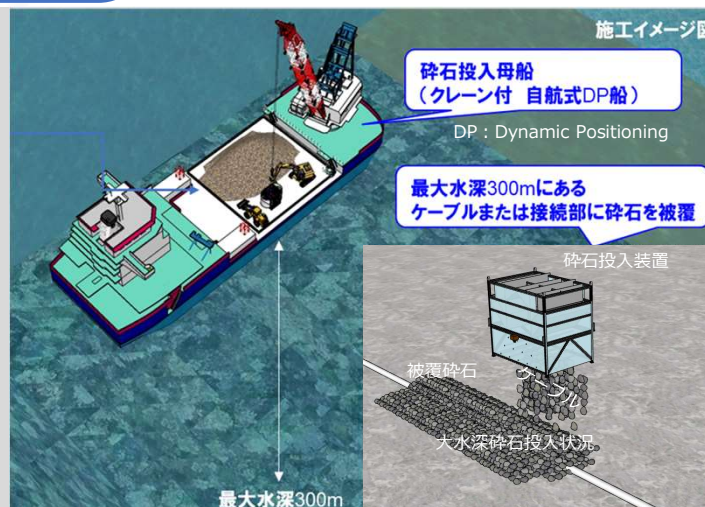
- 本事業では、洋上や離島を活用した風力発電の導入拡大に向けて、多端子直流送電システムの開発に取り組んでいる。
- 海底直流送電のケーブル敷設について、その防護工法や敷設船などの技術開発を実施し、系統増強にかかる工期短縮やコスト低減を目指す。

事業テーマ・体制

テーマ			担当
1. ケーブル 防護管取付等 工法開発	① 防護 工法開発	防護管工法の開発	住友電工
		大水深砕石投入装置開発	古河電工
	② 長距離ケーブル監視技術開発		住友電工
2. ケーブル 敷設船等の 基盤技術開発	③ 海洋技術検証		住友電工、古河電工
	① 敷設船開発		日本郵船、住友電工
3. 共通基盤 技術調査等	② 接続船/埋設船開発		商船三井、古河電工
	① 試験方法検討		古河電工、住友電工
	② 海外調査		住友電工



1.①従来の敷設船上でのケーブル防護管取付例
(本事業で自動化・高速化の開発を予定)



1.①大水深砕石投入のイメージ
(本事業で洋上接続部などへの防護工法を開発予定)



2.①新型ケーブル敷設船のイメージ図

出典：住友電気工業株式会社、古河電気工業株式会社

国内外への展開、今後の導入に向けた取り組み



現在、東地域及び中西地域の広域連系系統に係る計画策定プロセスが進行中。今後、洋上風力発電の普及拡大や、マスタープランに基づく系統増強の実現において、効率的な設備形成の手段として多端子直流送電システムの採用が期待されている

洋上風力の連系線や島嶼地域での再エネ連系線等において、効率的な設備形成として多端子直流送電が将来的に採用されるよう、関係各所への本事業成果の説明・PRを実施していく

NEDOでは、2050年のカーボンニュートラル実現に向けた洋上風力発電の拡大に貢献すべく、多端子直流送電システムの社会実装に向けて取り組んでいく