

「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

スマートコミュニティ・エネルギーシステム部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

①政策的重要性

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。

②我が国の状況

我が国の風力発電のポテンシャルは大きく、2017年(平成29年)に環境省が発行した「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・公開に関する委託業務報告書」において、開発不可条件を控除した我が国の洋上風力のポテンシャルは約14億kWと推計されている。このため、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エネの導入拡大に重要である。しかしながら、その適地は北海道・東北・九州などで、大消費地から距離が離れており、離岸距離が大きくなると水深が深くなるため、沿岸に带状に分布している。加えて、我が国では、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。こうした状況から、我が国へ大規模な洋上ウィンドファーム（WF）を設置する場合には沿岸に沿って洋上WFが順次導入されていくことが想定されており、複数の洋上WFと電力系統や需要地とを多端子で接続し、長距離で送電可能な直流送電システムは洋上風力の導入拡大に極めて有効である。また、直流送電は北本連系線のように、大容量長距離送電の特徴を活かして地域間連系線などにも利用されている。さらに、地域間連系線の増強計画であるマスタープランの策定に向けた検討が進められており、北海道等から大需要地への送電については海底ケーブルを用いた長距離海底直流送電が有望な案として検討されている。しかし、海底ケーブル敷設は岩盤域での敷設も多くなると推定されているため、工期短縮に向けてケーブル防護方法の検討が必要である。離島周辺は風力を中心とした再エネの導入に適した環境も多く、離島に直流送電用変換所を直接建設できれば洋上に変換所を

建設する場合に比べて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り、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。そのため、離島などは外部との電力需給が難しく、調整力確保に内燃力発電を利用する必要があるため、CO₂の削減が難しい状況である。

③世界の取組状況

洋上風力発電の導入が進んでいる欧州では、「PROMOTioN」プロジェクトなど洋上風力のグリッド化のための多端子直流送電システムの研究開発が進んでおり、実用化・国際規格化を目指している。また、中国では南澳(Nanao)や張北(Zhangbei)をはじめとして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開発し、順次実用化している。このように近年、世界的に直流送配電技術の開発は盛んになっており、欧州のTSO(Transmission System Operator:送電系統運用者)のひとつであるTenneTでは北海の浅瀬(ドガーバンク)において人工島を建設し、直流送電のHUBポイントを建設することを提案している。一方で欧州では、高調波共振や振動等の計算機では模擬できない要因による事故が発生しており、技術的な懸念もまだ存在している。

④本事業のねらい

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。

さらに、北海道等から大需要地まで効率的な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を行う。

(2) 研究開発の目標

① アウトプット目標

(研究開発項目1)

- ・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イスの指針を整理する。
- ・実機の挙動(通信等)を踏まえ、具体的なモデルケースを想定し、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。

(研究開発項目2)

- ・実機の挙動（通信等）を踏まえ、具体的なモデルケースを想定し、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に）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。

（研究開発項目 3）

- ・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。

（研究開発項目 4）

- ・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。

② 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、CO₂ 削減効果 2.7 百万トン/年。

※系統増強等を通じた洋上風力発電の 2030 年度導入見込量 60 億 kWh 注 1) を導入した時の CO₂ 排出量削減量は、排出原単位実績 (R2 年度 : 0.000453 t-CO₂/kWh 注 2) より約 2.7 百万 t-CO₂ となる。

注 1) 2030 年度におけるエネルギー需給の見通し（関連資料） -R3.10 経済産業省

注 2) 電気事業者別排出係数（特定排出者の温暖効果ガス排出量算定用）-R2 年度実績 - R4.1.7 環境省・経済産業省公表、R4.2.17 一部修正、R4.7.14 一部追加・更新

③ アウトカム目標達成に向けての取組

「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）」等と歩調を合わせる。再エネ海域利用法に伴う環境アセスメント（4～5 年程度）後の風力設備建設作業に本事業の成果を盛り込むことで、洋上風力導入を促し、第 6 次エネルギー基本計画の目標（2030 年に風力発電 23.6GW、うち、洋上風力 5.7GW）達成を目指す。

（3）研究開発の内容 研究開発項目（詳細を別紙 1、2 に記載）、実施形態

多用途多端子高圧直流 (HVDC) 技術は、一部実機を用いた手法による「研究開発項目 1 : 多用途多端子直流送電システムの開発」、「研究開発項目 2 : 多端子直流送電用保護装置の開発」、「研究開発項目 3 : 直流深海ケーブルの開発」及び「研究開発項目 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」を行う。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制 研究開発体制、研究開発場所の構想

プロジェクトマネージャーに NEDO スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 主任研究員 西林秀修を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。なお、各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDO は研究開発責任者（プロジェクトリーダー）として、東京都市大学 教授 中島達人氏を選定し、各実施者はプロジェクトリーダーの下で研究開発を実施する。また、専門的見地からプロジェクトリーダーを補佐するサブプロジェクトリーダーとして、関西電力送配電株式会社 電力システム技術センター 副所長 曾我学氏を選定する。

NEDO は公募により研究開発実施者を選定する。

研究開発実施者は、企業や大学等の研究機関等（以下、「団体」という。）のうち、原則として日本国内に研究開発拠点を有するものを対象とし、単独又は複数で研究開発に参加するものとする。ただし、国外の団体の特別の研究開発能力や研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から必要な場合は、当該の研究開発等に限り国外の団体と連携して実施することができるものとする。

(2) 研究開発の運営管理 運営管理の方針、方法

NEDO は、研究開発全体の管理、執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

① 研究開発の進捗把握・管理

NEDO は、主としてプロジェクトリーダーをとおして研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、必要に応じて外部有識者で構成する技術委員会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

② 技術分野における動向の把握・分析

NEDO は、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について必要に応じて調査し、技術の普及方策を分析、検討する。なお、調査等を効率的に実施する観点から委託事業として実施する。

3. 研究開発の実施期間

2020 年度から 2025 年度までの 6 年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDO は技術評価実施規程に基づき、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標

達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、プロジェクト評価を実施する。

評価の時期は、「研究開発項目1：多用途多端子直流送電システムの開発」、「研究開発項目2：多端子直流送電用保護装置の開発」及び「研究開発項目3：直流深海ケーブルの開発」の事後評価を2024年度、また「研究開発項目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」の事後評価を2026年度とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。また、必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

5. その他重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

① 成果の普及

研究開発実施者は、研究開発成果を広範に普及するよう努めるものとする。NEDOは研究開発実施者による研究開発成果の広範の普及を促進する。

② 知的基盤整備事業又は標準化等との連携

次世代洋上直流送電システム開発の成果を含めて、本事業の目的である多端子直流送電技術の実用化に合致する国際標準化活動を行う。

③ 知的財産権の帰属、管理等取扱いについての方針

研究開発成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。なお、開発段階から、事業化を見据えた知財戦略を構築し、適切な知財管理を実施する。

④ 知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「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。

⑤ データマネジメントに関わる運用

本プロジェクトは、「NEDOプロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針」を適用する。

(2) 基本計画の変更 基本計画の変更についての方針

NEDOは、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、プロジェクト内外の情勢変化を総合的に

勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、プロジェクト基本計画を見直す等の対応を行う。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第1号イ及び第9号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

2020年2月 策定

2023年3月 改定（研究開発項目追加と実施期間延長による）

(別紙1) 研究開発計画

【多用途多端子高圧直流 (HVDC) 技術】

1. 研究開発の必要性

我が国の風力発電のポテンシャルは大きく、特に立地制約が比較的少ない風況が良い洋上や離島周辺の活用は再エネの導入拡大に重要である。しかしながら、その適地は北海道・東北・九州などで、大消費地から距離が離れており、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。加えて、我が国では、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。こうした状況から、我が国へ大規模な洋上ウィンドファーム (WF) を設置する場合には沿岸に沿って洋上 WF が順次導入されていくことが想定されており、複数の洋上 WF と電力系統や需要地とを多端子で接続し、長距離で送電可能な直流送電システムは洋上風力の導入拡大に極めて有効である。また、直流送電は北本連系線のように、大容量長距離送電の特徴を活かして地域間連系線などにも利用されている。離島周辺は風力を中心とした再エネの導入に適した環境も多く、離島に直流送電用変換所を直接建設できれば洋上に変換所を建設する場合に比べて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り、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。そのため、離島などは外部との電力需給が難しく、調整力確保に内燃力発電を利用する必要が生じるため、CO₂の削減が難しい状況である。

このため、風力の直流送電線を水深に依らず多端子で接続して適切な保護制御・潮流制御を行うことで、安全かつ効率的な風力送電を可能とする HVDC 技術は再エネ導入拡大に重要である。また、風力発電用の直流送電を既存の系統間に連系し地域間や小規模系統の電力供給など多用途で利用する技術は、再生可能エネルギーの利用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) の向上に貢献できるため、本研究開発は必要となる。

また、2021年10月に策定された「第6次エネルギー基本計画」において、S+3Eを大前提に再エネ最優先の原則で取り組む方針が示され、その実現には、洋上風力の推進と電力系統の制約解消の加速化が重要であり、特に北海道等から大需要地まで効率的に送電するための直流送電システムの整備が期待されている。しかし、これまでの調査等によって、北海道等から大需要地のルートについては岩盤域を回避できない海域があることが示されており、また岩盤部でのケーブル防護は手動による防護管取付けが中心であることから、これが工期の長期化と敷設費用増大の原因になっている。これらの課題を解決し、世界的に類例の乏しい大規模な直流送電システムを計画的・効率的に整備するため、ケーブル敷設方法の技術開発を行い、国内事業の円滑な整備、海外の整備事業への進出に貢献する。なお、長距離海底ケーブルの保守・管理手法についても新たな技術が期待されている。

2. 具体的研究内容

多用途多端子高圧直流 (HVDC) 技術は、一部実機を用いた手法による「研究開発項目1:

多用途多端子直流送電システムの開発」を行う。多端子化した直流線を用いた、風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。

また、システム実現のための要素技術として、「研究開発項目 2：多端子直流送電用保護装置の開発」及び「研究開発項目 3：直流深海ケーブルの開発」を行う。多端子直流送電用保護装置の開発は、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。また直流深海ケーブルでは水深が深い地域を安価で安全に敷設することが出来る深海ケーブル及びその敷設工法等を開発する。

さらに、「研究開発項目 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」を行う。特に、岩盤部で課題となっているケーブル防護について、より低コストを可能とする防護管取付等の工法を開発する。また、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可能な新型ケーブル敷設船等（艀装設備含む）について、基本的な設計を通じて取り込むべき技術を洗い出した上で、その仕様を確立する。

3. 達成目標

【最終目標】

（研究開発項目 1）

- ・多端子高圧直流システムの開発：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。
- ・多端子高圧直流システムの開発：実機の挙動（通信等）を踏まえ、具体的なモデルケースを想定し、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。

（研究開発項目 2）

- ・多端子直流送電用保護装置の開発：実機の挙動（通信等）を踏まえ、具体的なモデルケースを想定し、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。

（研究開発項目 3）

- ・直流深海ケーブルの開発：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。

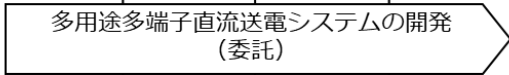
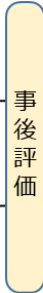
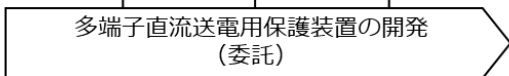
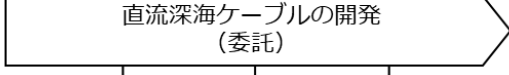
（研究開発項目 4）

- ・防護管取付等の工法開発：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。

- 新型ケーブル敷設船等の基盤技術開発：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。

(別紙2) 研究開発スケジュール

研究開発項目	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度
1 多用途多端子直流送電システムの開発							
2 多端子直流送電用保護装置の開発							
3 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				