



技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight

2023年 9月

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

Vol. 115

はじめに.....	2
1章 解決すべき社会課題と実現したい将来像.....	4
1-1 社会課題と将来像.....	4
1-2 解決・実現のための方法.....	7
1-3 環境分析とベンチマーキング.....	12
2章 解決・実現手段の候補.....	26
2-1 解決・実現のための課題.....	26
2-2 分析から得られた具体的実現手段の候補.....	31
2-3 技術開発の方向性.....	34
3章 おわりに.....	37

TSCとはTechnology Strategy Center（技術戦略研究センター）の略称です。

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術戦略研究センター（TSC）

はじめに

従来の大規模電力システムでは、大規模集中型電源から需要側に向かって、電力を一方向に供給する形態が通常であったが、分散型電源の普及等により双方向の電力のやりとりが行われるようになってきている。将来的には、電力だけではなくガス、熱等を含む多種多様なエネルギーを複合的に扱う中・小規模のエネルギーシステムが、広域に多数分散配置され、従来の大規模電力システムと共存して、エネルギーやそれに関する情報等の双方向のやりとりがなされる新しいエネルギーシステムに進化していくことが期待されている。このような次世代のエネルギーシステムの概念を、NEDO では「超分散エネルギーシステム」(図 1)と呼んでいる。この超分散エネルギーシステムは、分散型電源などの様々なエネルギー資源を統合・協調させて、太陽光発電(PV:Photovoltaics)や風力発電といった再生可能エネルギー(再エネ)を、S+3E¹を実現しつつ大量導入するために重要な概念である。NEDO はこれまでに、その鍵となる技術の一つとして、各技術の最適な導入計画等を策定するための価値や効果の定量的検討方法である“Integration Study”に着目し、その技術開発の必要性について2017年7月TSC Foresight vol.19『超分散エネルギーシステム(Integration Study)分野の技術戦略策定に向けて』を公表するとともに²、次世代電力ネットワーク安定化技術や分散型エネルギーリソース制御技術など超分散エネルギーシステムを構成する様々な分野において、継続的に技術開発を進めてきた。

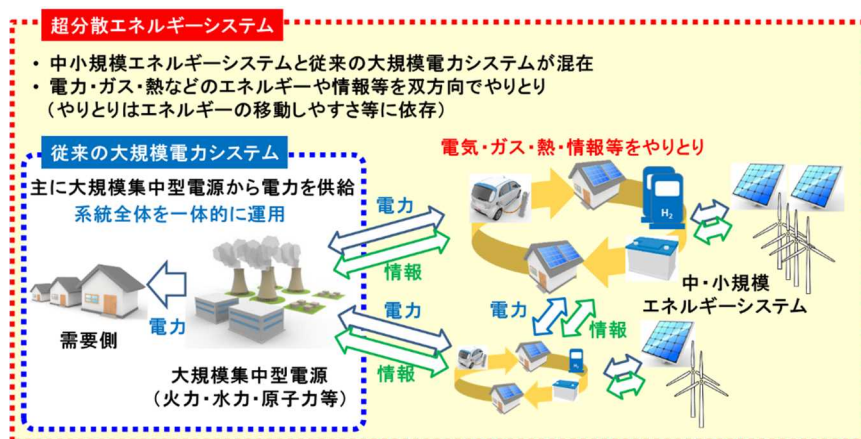


図 1 超分散エネルギーシステムのイメージ

¹ 安全性(Safety)を前提とした上で、エネルギーの安定供給(Energy Security)を第一とし、経済効率性の向上(Economic Efficiency)による低コストでのエネルギー供給を実現し、同時に、環境への適合(Environment)を図る、エネルギー政策を進める上の大原則。

² <https://www.nedo.go.jp/content/100866309.pdf>

我が国では 2011 年 3 月の東日本大震災以降、PV を中心に再エネの導入が本格化し、2018 年 7 月に閣議決定された『第 5 次エネルギー基本計画』において、新たなエネルギー政策の方向性として再エネの主力電源化が掲げられた。その後、カーボンニュートラルに向けた世界的な潮流など、様々な情勢変化を受けて 2021 年 10 月に見直された『第 6 次エネルギー基本計画』³では、2030 年の電源構成における再エネの割合を 36～38%に引き上げる野心的な目標が示された。ここでは PV と並んで風力発電の導入拡大が大きく見込まれている。その中でも洋上風力発電は再エネ主力電源化の切り札と位置付けられ、導入拡大を図ることが示された。

洋上風力発電の導入拡大を図るため、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、海域利用のルール整備がなされた。これに基づく海域の設定や促進区域での事業者選定プロセスがすでに始まっており、導入に弾みがつくことが期待されている。一方、洋上風力発電の適地は既存の送電網から離れた場所に多いため、送電網への接続は長距離送電にならざるを得ず、また送電網側でも大量の電力を受け入れるために大幅な設備の増強が必要となり、技術、コストの両面で課題となる。このため、これらの課題を解決して再エネ大量導入を支える送電技術が今後ますます重要になることが予想される。

加えて、『第 6 次エネルギー基本計画』に示された、再エネ割合の野心的な目標の達成に向けては、再エネ導入拡大だけでなく、徹底した省エネルギー（省エネ）により電力需要が抑制されることが前提となっている。このため、省エネに貢献する技術についてもあわせて重要となる。

本レポートでは、我が国のカーボンニュートラル実現に向けて、再エネ導入拡大や省エネに貢献するものとして、超分散エネルギーシステム分野のうちの直流技術に着目し、国内外の技術動向や NEDO におけるこれまでの技術開発成果等を踏まえつつ、課題やその解決の方向性について示す。

³ https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20211022_01.pdf

1 章 解決すべき社会課題と実現したい将来像

1-1 社会課題と将来像

気候変動に関する政府間パネル（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）の最新報告である『第 6 次評価報告書』⁴では、人為的な温室効果ガス（GHG：Greenhouse Gas）の排出が地球温暖化の要因であることが明確に示された。この報告に至るまでの IPCC や国連気候変動枠組条約締結国会議（COP：Conference of the Parties）等の活動を通して、GHG 排出量削減の必要性についての認識が醸成されてきたことから、世界各国が再エネの導入拡大を打ち出し、これにより、従来の水力発電だけでなく、風力発電や PV 等、幅広い再エネの導入が進んでいる（図 2）。

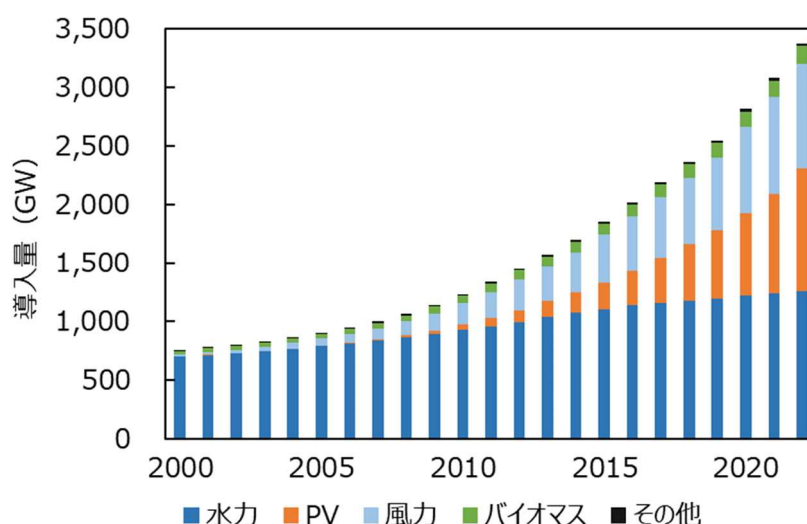


図 2 世界の再生可能エネルギーの導入量

出典：Renewable capacity statistics (IRENA、2023)⁵を基に NEDO 技術戦略研究センター作成

日本では、2011 年 3 月の東日本大震災を契機にエネルギー政策の見直しが行われ、再エネの導入拡大が本格的に開始されることとなった。2012 年 7 月の再エネ固定価格買取制度（FIT：Feed-in Tariff）の開始以降、まず PV の導入が急速に進んだ。その後、2018 年 7 月の『第 5 次エネルギー基本計画』、2021 年 10 月の『第 6 次エネルギー基本計画』と段階的に導入目標を見直した結果、2030 年の電源構成における

⁴ IPCC Sixth Assessment Report Working Group 1: The Physical Science Basis, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

⁵ <https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/Renewable-capacity-statistics-2023>

再エネ割合は、野心的目標として 36～38%とされた。ここでは PV と並んで風力発電の導入拡大が大きく見込まれている(図 3)。その中でも洋上風力発電は再エネ主力電源化の切り札と位置付けられ、2050 年のカーボンニュートラル実現に向けて更なる導入が期待されている。

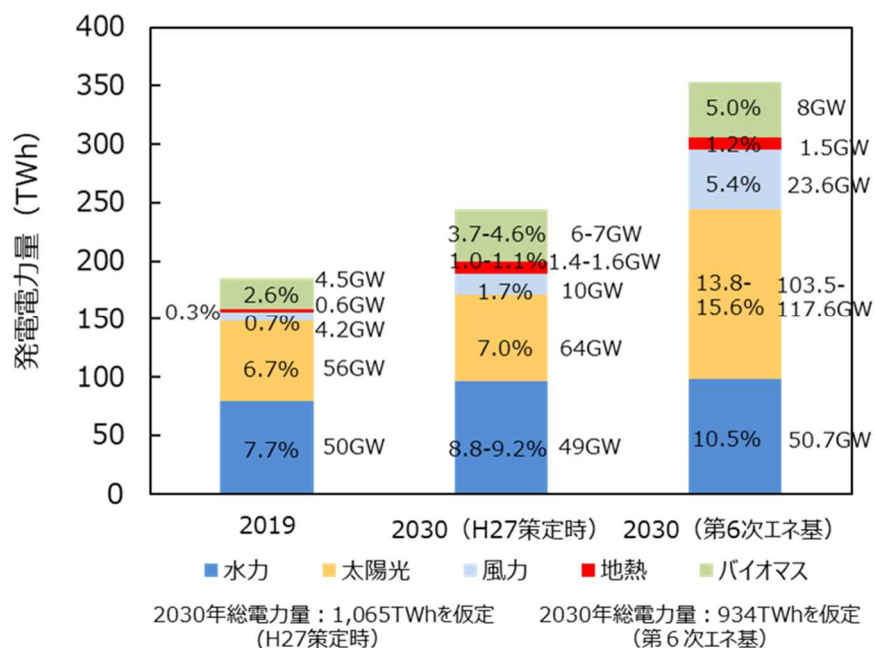


図 3 2030 年の日本における再生可能エネルギーの電源構成

出典：第 6 次エネルギー基本計画の概要(経済産業省、2021)⁶を基に
NEDO 技術戦略研究センター作成

2050 年までの風力発電の導入目標等として、2040 年に洋上風力で 30～45GW の案件形成⁷、2050 年には陸上風力 41GW、洋上風力 45GW、あわせて約 90GW が必要とされた⁸が、洋上風力発電の適地は既存の送電網から離れた場所に多く、送電網に接続するためには長距離送電にならざるを得ない。また、今後の洋上風力開発ではウインドファーム⁹の大規模化が想定されるが、ウインドファームで発電した大量の電力を、既存の送電網の系統上の制約を大きく受けずに大消費地まで送電するためには、送電網を大規模に増強するか、もしくはウインドファームから大消費地近傍まで更に長距離の送電を行うことが必要となる。

⁶ https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20211022_02.pdf

⁷ 洋上風力産業ビジョン(第 1 次)(洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会、2020)
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/yojo_furyoku/pdf/002_02_02_01.pdf

⁸ 第 43 回総合資源エネルギー調査会基本政策分科会 資料 1(経済産業省、2021)
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/043/

⁹ 風力発電設備を複数基配置した風力発電所。

また、カーボンニュートラル実現に向けては、供給側で再エネによる発電電力量を増やすだけではなく、需要側においても省エネによって電力消費を減らすことで、再エネだけでは充足しない電力需要を補うための化石燃料による発電量を減らす必要がある。図 4 に示すように、第三次産業等の業務部門や家庭部門は電化率が高く最終電力消費量も多いことから、重点的に省エネを進めて電力消費を減らす必要があることが分かる。

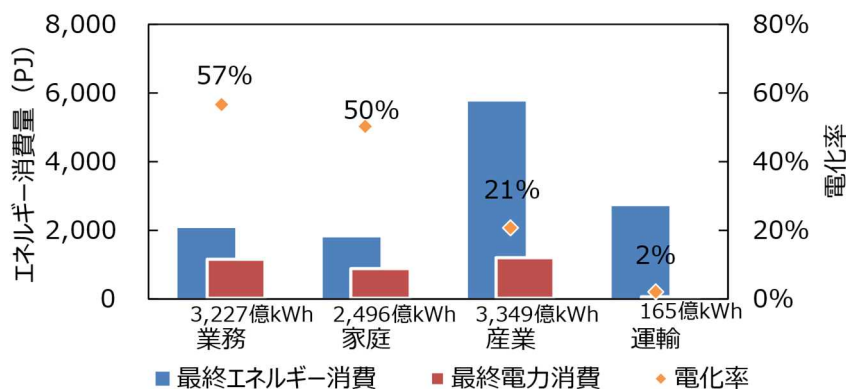


図 4 部門別最終エネルギー消費と最終電力消費(左)、電化率(右)¹⁰

出典:総合エネルギー統計(経済産業省、2022)¹¹を基に NEDO 技術戦略研究センター作成

電化率の高い業務部門や家庭部門においては、高い効果が期待される電力消費機器の省エネ化に加えて、住宅・建築物の省エネ化が進められている。これまで、電力消費機器においてはトップランナー制度¹²の下で効率向上が進むとともに、住宅・建築物においても徐々にではあるが ZEB (net Zero Energy Building: ネット・ゼロ・エネルギー・ビル) や ZEH (net Zero Energy House: ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス) の普及によって、省エネ化が拡大してきた。しかし、カーボンニュートラル実現に向けては、更なる技術開発等により業務部門や家庭部門の省エネを推進することが求められる。

これまで述べてきたように、電力の供給側においては、大規模な洋上風力発電を既存の送電網に単に接続するだけではなく、系統上の制約を大きく受けずに洋上風力で発電した電力の長距離送電を可能とする技術を開発することにより再エネの導入拡大を図ること、そして、需要側においては、電力需要に対する再エネ発電による充足率を高めるために電化の進んでいる業務部門や家庭部門において省エネ技術の更なる普及促進を図ることで、カーボンニュートラル実現に貢献することが将来像である。

¹⁰ 電化率は、部門別の最終エネルギー消費量に対する最終電力消費の割合で算出。なお、総合エネルギー統計では、電力消費について 1kWh=3.6MJ で換算している。

¹¹ https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/results.html

¹² https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/enterprise/equipment/

1-2 解決・実現のための方法

電気には直流と交流があり、現在の一般的な電力システムでは交流が用いられているが、超分散エネルギーシステムの実現に向けては、直流・交流いずれの方法も候補と捉えて検討すべきである。直流と交流のそれぞれの特徴について、技術面から比較すると、表 1 のようになる。

表 1 直流技術と交流技術の比較

項目	直流技術	交流技術	備考
導体数 (電線・ケーブル)	2本(大地を帰線とする場合は本線のみ)	3本(三相)	直流が低コスト(資材費)
長距離送電	適	不適(フェランチ等、系統安定度難)	交流の場合、長距離では調相設備が必要
送電容量	熱制約(導体抵抗ロスのみ)	熱制約とインダクタンス・キャパシタンス制約(無効電力ロス)	同上
絶縁設計	低(公称電圧)	高(最大値は公称電圧のルート2倍)	直流が低コスト(コンパクト化)
エネルギー貯蔵	可(蓄電池)	不可(揚水発電所等が必要)	非常用・移動用電源として直流利用可
電圧変換	複雑	容易(変圧器)	
交直変換設備	要	不要	主系統が交流の場合
連系	単純(電圧を合わせる)	複雑(周波数、電圧、位相などを全て合わせる)	
遮断	難(アーク対策要)	容易(ゼロクロスポイントあり)	

国際電気標準会議(IEC:International Electrotechnical Commission)の定義によれば、交流については基幹送電線や国際連系線等に用いられている 230kV 以上の電圧階級を EHV(Extra-high voltage)、35kV から 230kV の電圧階級を HV(High voltage)とする等、四つに区分されている。一方、直流については、HV を 1.5kV(±750V)以上と定義しており、HV と LV(Low voltage)の 2 区分である(図 5)。また直流について、IEC が送電システムの標準化活動を進めている 100kV 超の電圧階級を HVDC(High voltage direct current)、配電システムでの利用が想定される 1.5kV(±750V)からおおむね 100kV(±50kV)までの電圧を MVDC(Medium voltage direct current)と称することがある。これらのことから、本レポートでは HVDC、MVDC、LVDC(Low voltage direct current)を図 5 のとおりに区分して用いることとする。

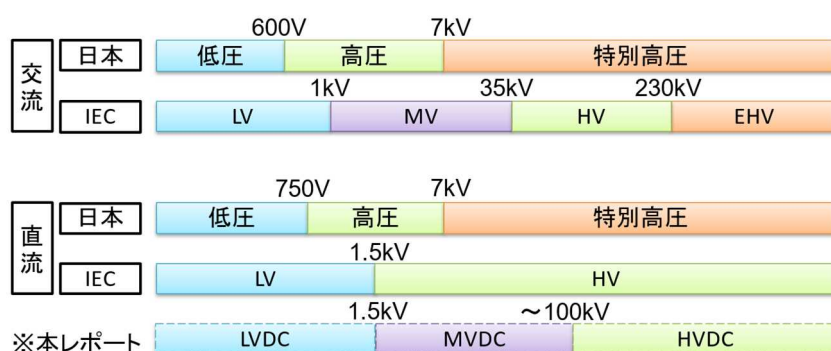


図 5 交流と直流の主な電圧区分

現在、供給側である電力の送電には三相交流方式が採用されている。その理由は、供給側(大量送電のため高電圧)と需要側(安全な利用のため低電圧)の間で必要となる電圧変換が直流よりも交流の方が容易で、交流の中では単相より三相の方が効率的なシステム構成になるからである。しかし、交流送電では長距離送電になると、抵抗損失とは別に無効電力の問題が顕在化し、フェランチ効果と呼ばれる電圧上昇が発生してしまうため、その対策なしには有効電力を送ることができなくなる。これは架空送電線が持つインダクタンス、ケーブルのキャパシタンスによって無効電力がそれぞれ消費、供給されるためであり、長距離送電を行うには無効電力を調整、制御するための機器を設置する等の必要がある。これに対して、直流を用いた場合には無効電力の問題は生じない。加えて、直流送電の場合は 1 回線あたり 2 条の送電線で済むが、三相交流では 3 条必要となる上に、交流の最大電圧は公称電圧のルート 2 倍で、同じ公称電圧の直流よりも絶縁距離を長く取る必要があるため、交流送電の方が送電線の設備規模が大きくなりやすい。このため、一般的に長距離になるほど直流送電がコスト面で有利になる。実際には、送電線を直流にする場合でも接続する送

電網が交流のため、交直変換器等の費用がかかることから短距離では直流送電に比べて交流送電にコストメリットがあるが、長距離になるほど送電線の費用が支配的になり、条件によるが架空送電線では 400～700km 以上、海底ケーブルや地中ケーブルでは 50～100km 以上で、直流送電が有利になるとされている¹³ (図 6)。ただし、直流送電には送電を停止する際の遮断がしにくいといったデメリットもあることから (表 1)、このような技術課題を克服し、長距離送電を可能とする HVDC 送電システム技術を確立することによって再エネの導入拡大を図る方法が考えられる。

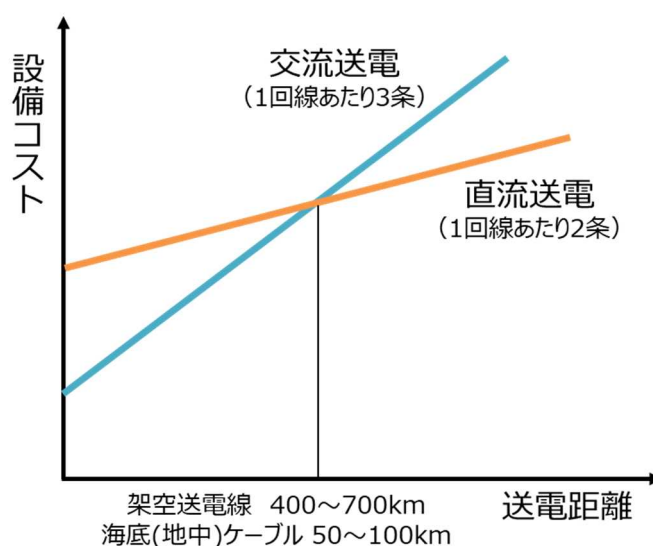


図 6 直流・交流の送電距離と設備コストの概念図

¹³ CIEMADeS IV International Conference、Renewable Energy and Inter-island Power Transmission (Vahan Gevorgian/NREL、2011)など。

次に、需要側の業務部門や家庭部門における現状での直流と交流の使い分けについて整理する。業務部門や家庭部門では、交流の配電系統と連系していることから、家電製品等でも 100～240V の単相交流が主に用いられている。これに対して、近年普及している PV や燃料電池(FC:Fuel Cell)などで発電される電力は直流で、非常用電源としても利用できる定置型蓄電池や電気自動車(EV:Electric Vehicle)に搭載されている蓄電池から供給される電力も直流である。今後、PV・EV や定置型の蓄電池・FC が組み込まれた ZEB・ZEH システムの導入が拡大していくと想定されるが、現状では、蓄電池には配電系統の交流を直流に変換して充電され、PV・FC で発電された電力や蓄電池に蓄えられた電力は直流から交流に変換してから家電製品などで利用される、というシステムにならざるを得ない(図 7)。

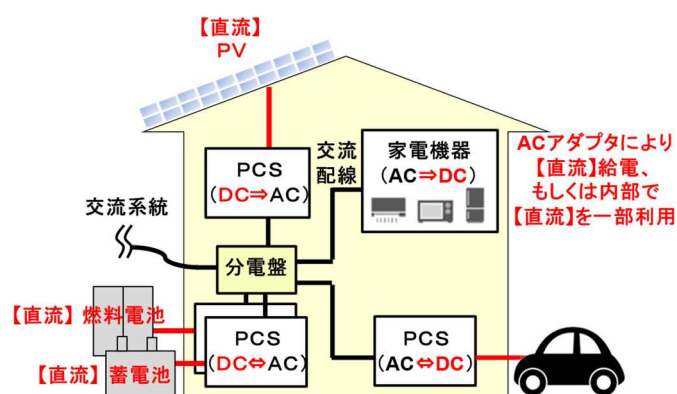


図 7 家庭における直流利用の現状

このシステムでは直流・交流間を変換する多数のパワーコンディショナ(PCS: Power Conditioning System)が必要になる。また、多くの家電製品ではすでに、ACアダプタまたは製品内部で交流から直流に変換されている。このような直流・交流間の変換には必ずエネルギーロスが発生することから、現状で想定されるシステムはエネルギー効率が低くなる。カーボンニュートラルの実現に向けて、業務部門や家庭部門における ZEB・ZEH の導入を通じて省エネを推進するためには、交直変換ロスを低減するべく、PV・FC・蓄電池から供給される直流の電力を交流に変換することなく直流のまま電力消費機器につなぐことで住宅・建築物内に LVDC ネットワークを形成する技術が重要になると考えられる。

以上のことから、我が国のカーボンニュートラル実現に向けて、

- 系統上の制約を回避して大容量かつ長距離送電を可能とする HVDC 送電システムを確立することによって、既存の送電網から遠く離れた大規模洋上風力発電等からの再エネ電力の導入拡大を図ること
- 電化の進んでいる業務部門や家庭部門において、PV や蓄電池、EV 等の直流機器の有効的かつ効率的な活用を可能とする住宅・建築物内、住宅・建築物間での LVDC ネットワーク技術を確立することによって、更なる省エネ技術の普及促進を図ること

が、有力な方法となる。

1-3 環境分析とベンチマーキング

1-3-1 各国の政策動向

HVDC 送電システムについて、欧州では、北海を中心に HVDC の国際連系線が複数存在し、二地点間を結ぶ HVDC 海底ケーブルが主に用いられている(図 8)¹⁴。また、この地域では洋上風力発電が拡大しており、洋上ウインドファームを大陸の送電網に接続する目的にも HVDC 海底ケーブルが用いられている。

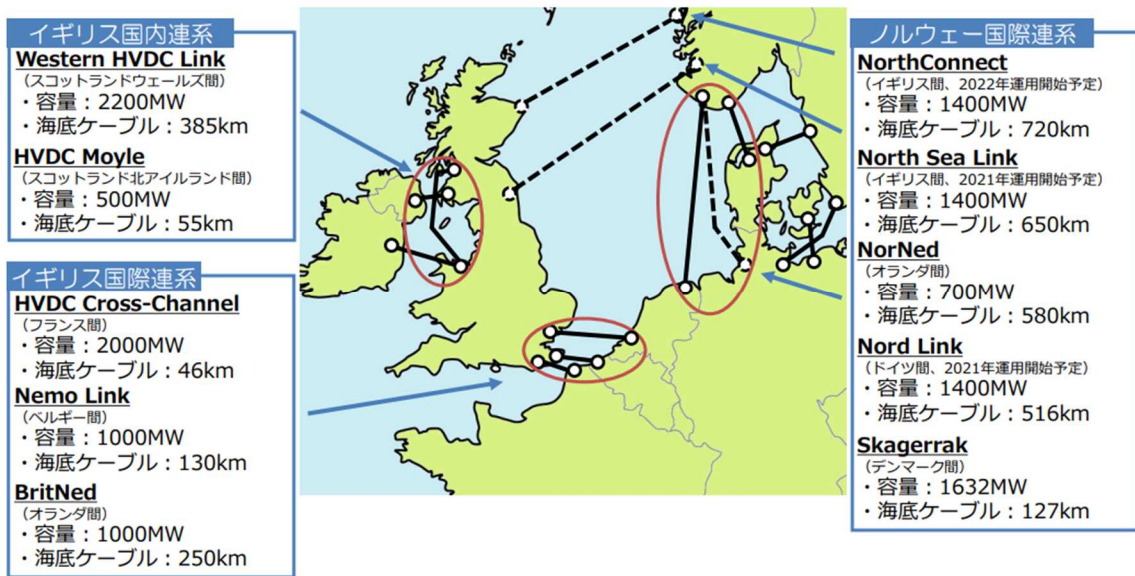


図 8 北海周辺の主な HVDC 国際連系線

出典：第 1 回 長距離海底直流送電の整備に向けた検討会 資料 4(経済産業省、2021)

欧州では、洋上ウインドファームを大陸の送電網と接続する際、複数の洋上ウインドファームを経由して大陸間を接続するメッシュ状の HVDC ネットワークに発展することが想定されている¹⁵。このメッシュ状の HVDC ネットワークを実現するための課題を解決することを目的とし、欧州委員会の研究・イノベーション支援プログラム Horizon2020 で PROMOTioN¹⁶プロジェクトが実施された。様々な要素技術の開発を手

¹⁴ https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/chokyorikaitei/001.html

¹⁵ 例えば、System Operation & Governance (ENTSO-e: 欧州系統運用者ネットワーク、2021) では、洋上について統合型/メッシュ型システムへの段階的な移行を促進することが課題として記載されている。 <https://www.entsoe.eu/2021/07/14/new-entso-e-paper-on-offshore-development-focuses-on-system-operation-governance/>

¹⁶ PROMOTioN -Progress on Meshed HVDC Offshore Transmission Networks。Horizon2020 により 3,448 万ユーロの資金を受け、11 か国から 33 の企業、研究機関等が参加して、2016~2020 年の期間で実施された。

かけたこのプロジェクトを受け、欧州においてはパイロットプロジェクトの実現や標準化に向けた動きが始まっている。

日本では国際連系線は存在しないものの、四つの地域間に直流連系線・設備がある。4 か所で HVDC 送電線が用いられているが、そのうち 2 か所で欧州と同様に HVDC 海底ケーブルが用いられている(図 9)。HVDC 海底ケーブルの採用は比較的早く、北海道と東北をつなぐ北本直流幹線は 1979 年に運用が開始された。

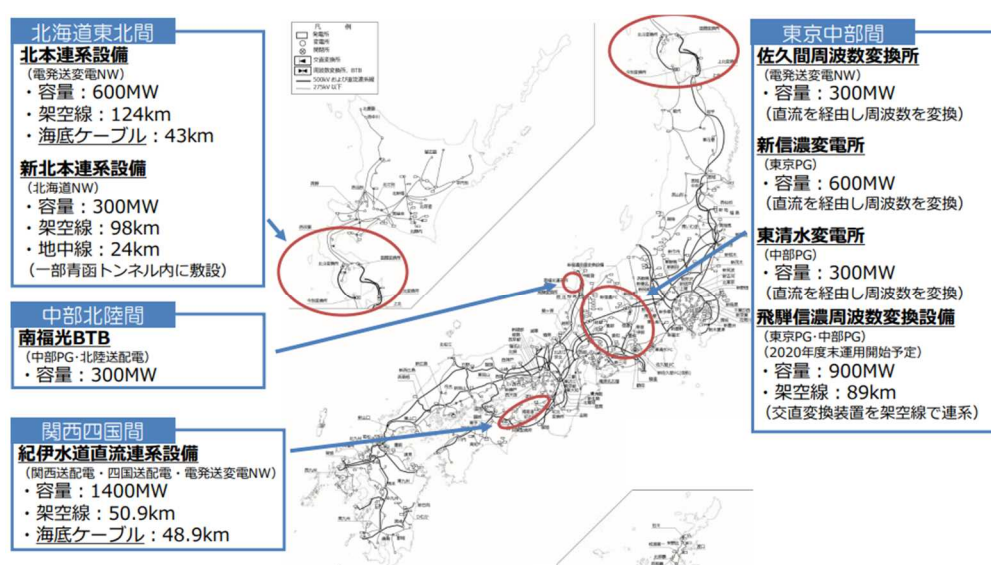


図 9 日本の直流連系線・設備

出典：第 1 回 長距離海底直流送電の整備に向けた検討会 資料 4(経済産業省、2021)

また、電力広域的運営推進機関の広域系統長期方針(広域連系系統のマスタープラン)策定において、今後の洋上風力発電の大量導入を見据えた検討が行われ、北海道・東北から関東を結ぶ HVDC 海底ケーブルの新設等を含む広域連系系統の拡充について、具体化に向けた検討を行っていくことが示された¹⁷。

¹⁷ https://www.occto.or.jp/kouikikeitou/chokihoushin/230329_choukihoushin_sakutei.html
 なお、東地域(北海道～東北～東京)および中西地域(関門連系線、中地域)の地域間連系線については、国の要請に基づく計画策定プロセスが 2022 年 7 月に開始された。

一方、LVDC ネットワーク技術については、各国で資金が投入され、様々なパイロットプロジェクトが行われている(表 2)。欧州だけではなく韓国、中国でも実際の配電システムへの配備を想定した実証研究が行われており、PV や蓄電池等の直流機器の拡大を見据え、インターネット等を介し、デジタル技術を用いて統合的に制御することについても検討されている。

表 2 各国の LVDC パイロットプロジェクト事例

プロジェクト	参加機関	主な電圧	プロジェクト概要
英国 LV Engine プロジェクト ¹⁸ (2018-22)	SP Energy Network (配電会社)	AC11kV-DC±475V	固体変圧器 (SST : solid state transformer) による直流電力制御、交流側への無効電力補償等。
オランダ N470 プロジェクト	DC Systems、Dylniq、Super-B、Eaton	DC±750V/±350V	Zuid-Holland 州が管理する高速道路 N470 に沿って 4.7km の DC 配電線を設置し、防音壁上の PV を電源として蓄電池を用いて照明等に電力を供給。
韓国 Gochang Power Test Center	Korea Electric Power (電力会社)	AC22.9kV-DC±750V	6km の架空・地中配電線に風力、PV、蓄電池、負荷等を接続し、系統現象を模擬。
韓国 Seogeocho-do 島	Korea Electric Power (電力会社)	AC6.6kV-DC±750/±190V	既設の 6.6kV 配電線を DC 配電線に置き換え、風力、PV、蓄電池等を接続した設備を構築。
中国 蘇州市同里鎮 AC/DC hybrid プロジェクト (2017-20)	State Grid (国家电网公司)	AC10kV-DC±750/±375V	PV や太陽熱、風力、蓄電池等を接続し、Si/SiC 固体変圧器や故障検出、設置方式等を検証。
ドイツ DC-Schutzorgane プロジェクト (2016-19)	Fraunhofer IISB、電子機器メーカー 5 社	DC±380V	DC 保護装置の開発を目的として、室内に試験用の LVDC ネットワークを設置し、評価を実施。
ドイツ DC-Industry2 プロジェクト ¹⁹ (2019-22)	産業部門 33 企業、6 研究機関、電気電子工業連盟 (ZVEI)	DC650V	モデルプラントや変換所を接続した DC 系統を構築し、PV や蓄電池を含めた工場全体の電力需給バランスを検証。
フィンランド LVDC フィールドテスト環境	Suur-Savon Sahko、Jarvi-Suomen Energia、LUT 大学	AC20kV-DC±750V	1.7km の DC 地中配電線に蓄電池や PV を接続、4 つの AC 負荷にインバータを介して供給。インターネットによる制御設備とあわせて検証。

出典:DC Networks on the distribution level – New trend or Vision? (CIRED、2021)²⁰等を基に
NEDO 技術戦略研究センター作成

¹⁸ https://www.spenergynetworks.co.uk/pages/lv_engine.aspx

¹⁹ <https://dc-industrie.zvei.org/en>

²⁰ https://pure.strath.ac.uk/ws/portalfiles/portal/129409794/Makkieh_etal_CIRED_2021_DC_networks_on_the_distribution_level_new_trend_or_vision.pdf

また欧州では、近年は LVDC より電圧の高い MVDC による直流マイクログリッド²¹の実証研究も積極的に行われている。欧州委員会の Horizon2020 においても、現在の交流電力システムの中に直流マイクログリッドをスムーズに展開していくために必要となる MVDC 技術開発とその実証を行う TIGON²²プロジェクトが実施されている。このプロジェクトでは、直流マイクログリッドが SST を介して既存の電力システムに調整力や無効電力を提供する等により電力システム全体の安定化に貢献することを狙いとしている。

日本でも LVDC に関する実証事業が各地で実施されている。一例として金沢工業大学では、再エネや蓄電池、EV 等を 360V の直流母線で連系した直流マイクログリッドや、キャンパス内に 380V と 1500V の二種類の電圧からなる LVDC ネットワークを構築し、エネルギーバランス確保や再エネの導入拡大、レジリエンス強化を目指す実証研究が行われている(図 10)²³。また、一部のデータセンターでサーバ駆動用電源が直流で給電されるなど、ビル内等で直流マイクログリッドが実際に利用されている例もある。



図 10 LVDC に関する実証の例(380V と 1500V の LVDC ネットワーク)

出典: 金沢工業大学扇が丘キャンパスにおける直流による共同事業の実施について
(金沢工業大学ホームページ、2022)

²¹ マイクログリッドとは、1999 年にアメリカの電力供給信頼性対策連合(CERTS)によって提唱された概念であり、小規模かつ多様な分散型電源を組み合わせ、特定地域のエネルギー需給を司る電源システムである。 https://www.iee.jp/pes/termb_003/

²² Horizon2020 により 696 万ユーロの資金を受け、8 か国から 15 の企業、団体等が参加して、2020～2024 年の期間で実施されている。 <https://tigon-project.eu/showcases/>

²³ https://www.kanazawa-it.ac.jp/kitnews/2022/0204_ntt-ae.html

1-3-2 市場動向

国際エネルギー機関(IEA:International Energy Agency)によれば、2021 年までの10 年間で世界の送配電システムへの投資額は年平均 33 兆円(3,000 億ドル、1ドル=111 円で換算)であったが、公表政策シナリオ(STEPS: Stated Policies Scenario)に従った場合、2030 年までに年 61 兆円(5,500 億ドル)に、表明公約シナリオ(ASP: Announced Pledges Scenario)では 2030 年までに年 70 兆円(6,300 億ドル)と、およそ10 年間で2 倍に増加するとしている²⁴。

このうち直流送配電システムに着目すると、HVDC に関して、世界の HVDC 送電システム市場は、2020 年時点で約 1 兆円(90 億ドル、1ドル=111 円で換算)あり、2025 年には約 1.7 兆円(150 億ドル)になるとされている²⁵。また、LVDC に関して、世界の直流配電設備の市場は 2018 年時点で約 1.1 兆円(100 億ドル、1ドル=111 円で換算)あり、2027 年には約 5.6 兆円(500 億ドル)になるとされている²⁵。それぞれ異なる予測ではあるが、送配電システム全体と比べて直流の伸びの方が大きくなることが期待されている。

また、未電化地域の電化は、直流機器が普及する契機となる。バングラデシュの未電化地域では、PV・蓄電池等を電源とした直流による電化が進展し、400 万世帯以上に普及しているが、自家用小型太陽光発電システム(SHS: Solar home system)を設置した家屋と設置していない家屋とを接続することで直流のミニグリッドを構成し、電力を分かち合うサービスが提供されている例もある(図 11)。このように未電化地域の解消においては、PV・蓄電池・LED 照明などの直流機器が普及し、直流による電化が進展することが考えられる。

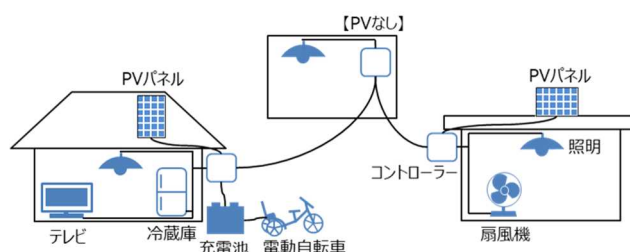


図 11 バングラデシュにおけるミニグリッドの構成イメージ

出典:調査レポート:ME SOLshare Limited(国際協力機構(JICA)、2016)²⁶を基に
NEDO 技術戦略研究センター作成

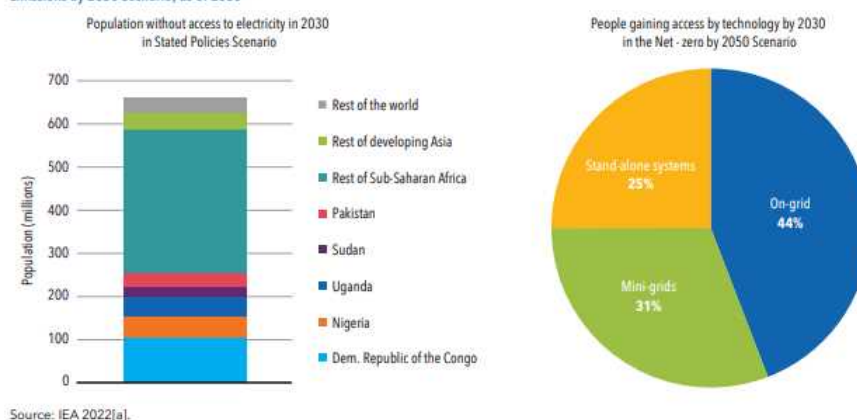
²⁴ World Energy Outlook 2022(IEA、2022) <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>

²⁵ 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報告書(NEDO、2020)

²⁶ <https://www.jica.go.jp/bangladesh/bangland/pdf/report-case18-SOLshare.pdf>

IEAによれば、STEPSに従った場合、2030年時点で未電化人口は6.6億人になるが、その85%はアフリカのサブサハラ地域で占められる。この未電化状態をNZEシナリオ(Net Zero Emissions by 2050 Scenario)に基づいて全て解消する場合、その半数以上はミニグリッドもしくは他の家屋等と接続しないスタンドアローンシステムといったオフグリッドになることが想定されている(図12)²⁷。サブサハラ地域の各国では、2010年頃から欧米のスタートアップ企業がSHSのレンタル事業を開始し、ミニグリッド化された集落も増えてきている。2019年頃からは日本の大手商社が相次いでそれらの企業に出資し、事業規模も徐々に拡大してきており、今後日本企業のビジネスチャンスにつながる可能性もある。

Figure 6.1 • Global population without access to electricity under IEA's Stated Policies Scenario and delivery of electricity connections under IEA's Net Zero Emissions by 2050 Scenario, as of 2030



Source: IEA 2022[a].

図 12 2030年時点の未電化人口と解消手段

出典: Tracking SDG7: The Energy Progress Report 2023 (IEA, 2023)

²⁷ Tracking SDG7: The Energy Progress Report 2023 (IEA, 2023)
<https://www.iea.org/reports/tracking-sdg7-the-energy-progress-report-2023>

一方、日本では、住宅用 PV については、産業用 PV に先立って余剰電力買取制度が開始されていたことから、2019 年 11 月以降、10 年間の FIT 期間を終了するものが順次現れている(図 13)²⁸。今後、リプレース等の機会を捉えて、PV や蓄電池、FC、EV を一体的に活用した自家消費型ライフスタイルへの転換が進む可能性も考えられる。第 6 次エネルギー基本計画では、省エネ社会実現のために実証・社会実装が必要な技術の一つとして直流給電による住宅・建築物間のネットワーク化について言及されており、ZEB や ZEH の普及と相まって、今後需要側においても LVDC ネットワーク技術の重要性が増してくることが予想される。



図 13 FIT 期間を終了する住宅用 PV の推移(年別・累積)

出典: 第 40 回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 資料 1 (経済産業省、2022)

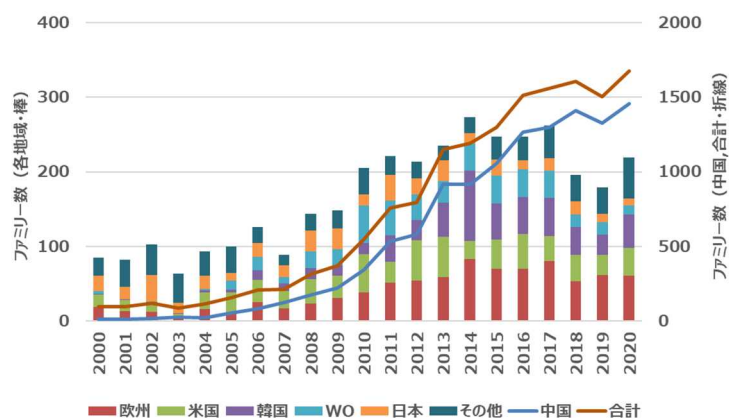
²⁸ https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/040.html

1-3-3 技術動向

直流技術に関する技術動向として、特許の出願状況や論文の発表状況、標準化活動について、HVDC 送電システムと LVDC ネットワーク技術とに分けて調査した。

(1) 特許分析

まず、HVDC²⁹に係る特許出願について国・地域別の推移を見ると、2007 年以降は中国が全体の半数を超えるようになっており、中国の増加に引っ張られる形で全体も増加している。中国以外の国・地域では、2010 年前後で米国が、その後欧州、韓国が増加したものの近年は鈍化している。日本は、中国の出願がほとんど見られない 2000 年代初めでは先行していたことが分かる(図 14)。



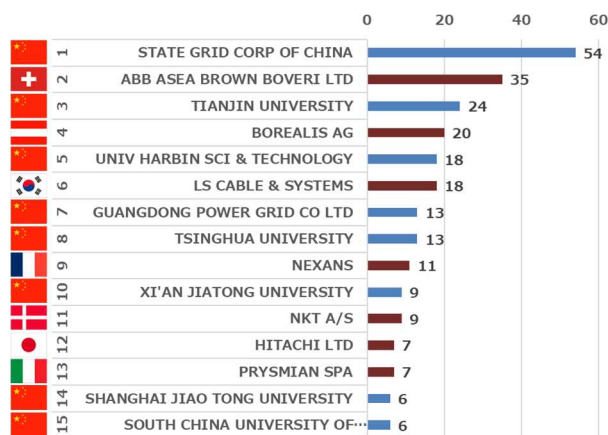
注) 過半を占める中国については合計とともに折線グラフ(右軸)で全体傾向を示し、中国以外について積み上げ棒グラフ(左軸)で細分化を行った。

図 14 HVDC に関する特許出願件数(国・地域別)(2000~2020 年)

出典: Derwent InnovationTMでの検索結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成

²⁹ 特許、論文の検索においては、電圧範囲等による限定はせず、「HVDC」を検索ワードとした。

HVDC 送電システムに不可欠である HVDC ケーブルに係る特許出願件数を代表例として評価した。プレーヤーが限られているため企業別で見ると、中国だけではなく、欧州を中心に中国以外のケーブル・電機メーカーや素材メーカーが上位に入っているが、日本メーカーは少ないことが分かる(図 15)。



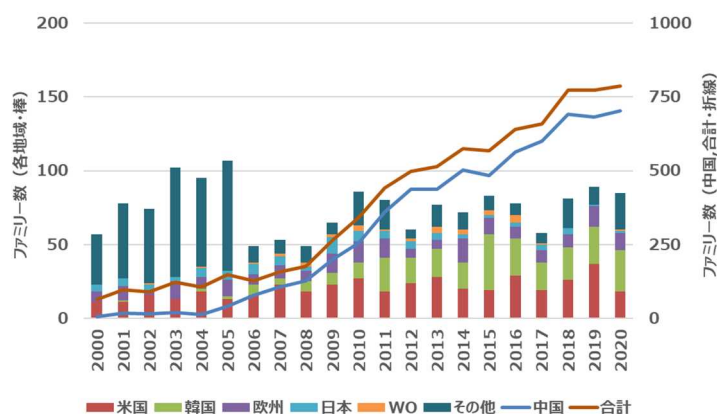
総数 575 件

注) 中国企業(機関)を青、中国以外の企業(機関)を赤で表示した

図 15 HVDC ケーブルに関する企業別特許出願件数(2000~2020 年)

出典: Derwent Innovation™での検索結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成

次に、LVDC に係る特許出願について国・地域別の推移を見ると、2006 年以降は中国が全体の半数を超え、HVDC と同様に中国の増加に引っ張られる形で全体が増加している。中国以外の国・地域では大きな増加傾向はないが、米国、韓国の占める割合が大きく、日本の占める割合が近年は少ないことが分かる(図 16)。

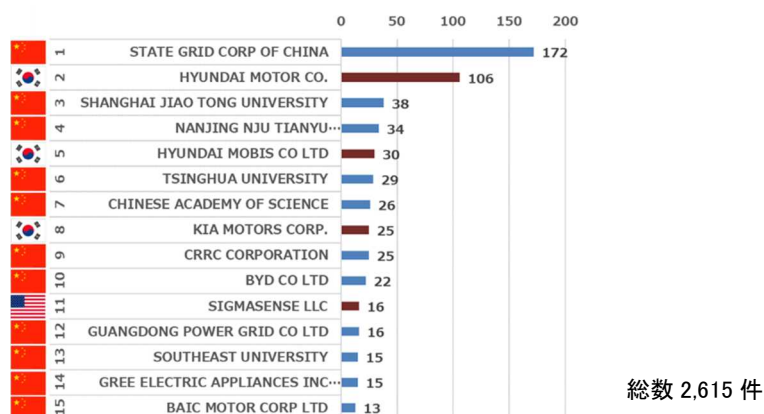


注) 過半を占める中国については合計とともに折線グラフ(右軸)で全体傾向を示し、中国以外について積み上げ棒グラフ(左軸)で細分化を行った。

図 16 LVDC に関する特許出願件数(国・地域別)(2000~2020 年)

出典: Derwent Innovation™での検索結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成

LVDC ネットワーク技術の代表例として、住宅用 PV に不可欠な PCS に係る特許出願件数について評価した(図 17)。PCS に関しては多くは中国だが韓国の自動車メーカーが上位に入っており、欧州や日本のメーカーは上位には見られないことが分かる。



注) 中国企業(機関)を青、中国以外の企業(機関)を赤で表示した。

図 17 PCS に関する企業別特許出願件数(2000~2020 年)

出典: Derwent Innovation™での検索結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成

(2) 論文分析

HVDC、LVDC ともに論文数は近年増加傾向にあり、特に HVDC に関しては活発に論文発表が行われている(図 18)。国別では中国が最も多く、日本は 13 位(全体の約 2%)と少ない。LVDC に関しては論文数自体がまだ少ないが、国別では韓国、中国が多く、日本の論文数は少ないことが分かる(図 19)。

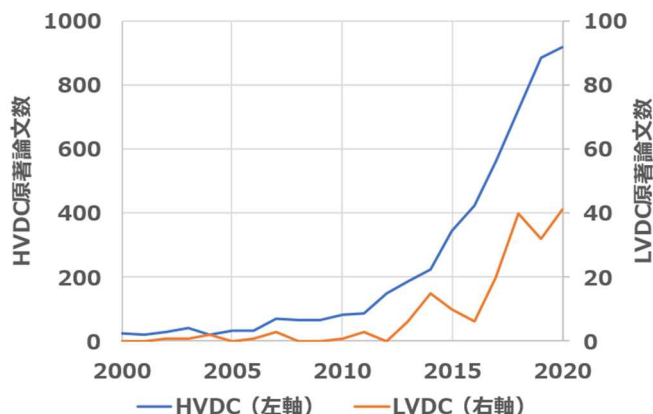
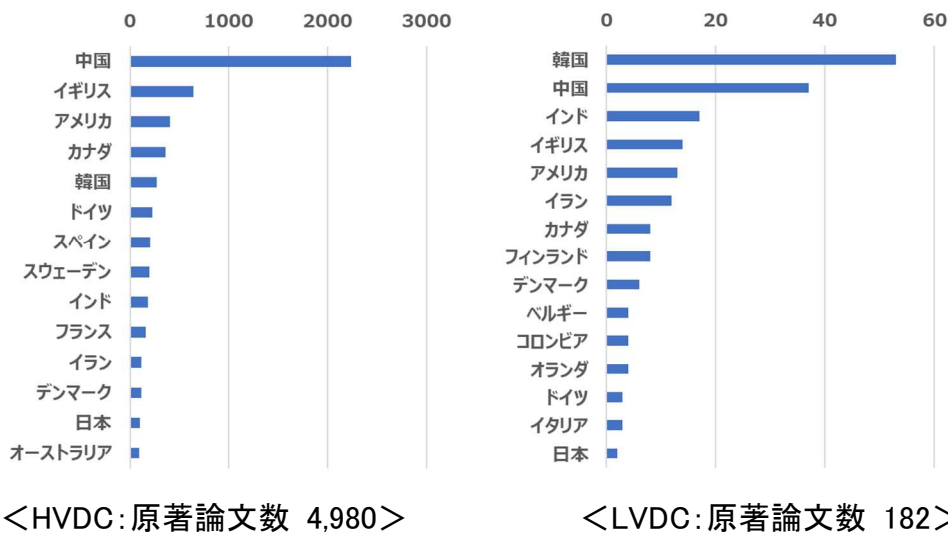


図 18 直流技術 (HVDC、LVDC) に係る論文数推移 (2000~2020 年)

出典: Web of Science™での検索結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成



<HVDC: 原著論文数 4,980>

<LVDC: 原著論文数 182>

図 19 直流技術 (HVDC、LVDC) に係る国別論文数 (2000~2020 年)

出典: Web of Science™での検索結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成

(3) 標準化動向

まず、HVDCに関する標準化活動であるが、主にIECのSC22F(送配電システム用パワーエレクトロニクス)、TC115(100kV超の高圧直流送電システム)で標準化活動が行われている³⁰。現在作業中のプロジェクトでは、主に欧州・中国がコンビナー³¹を務めている。日本は電気学会が国内審議団体となり、WG9のコンビナーを務めているほか、WG等にメンバーとして参加している(図20)。

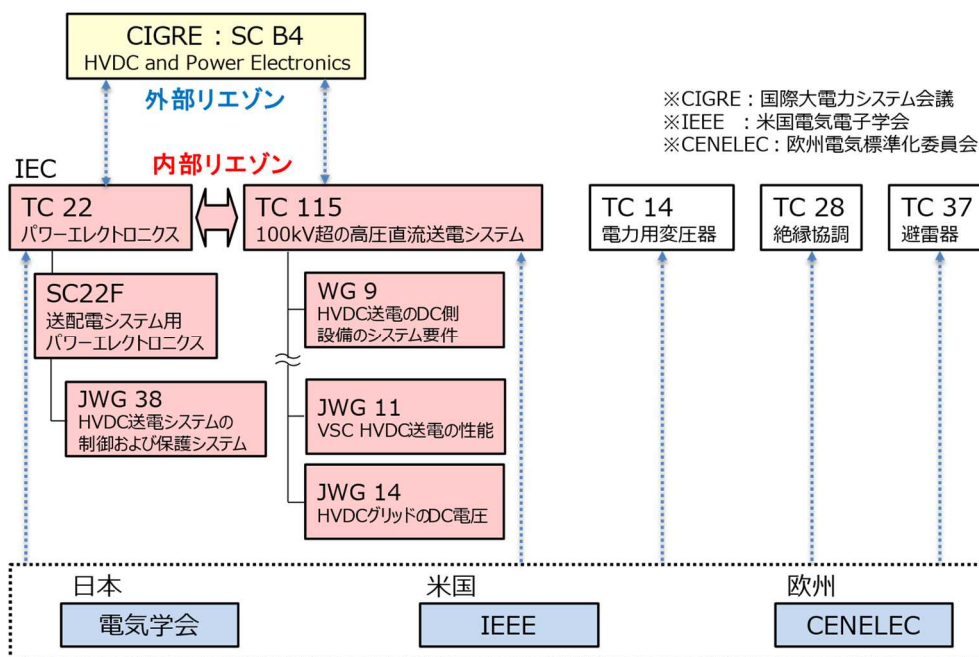


図 20 HVDCに関する標準化活動

³⁰ 技術分野毎に TC(Technical Committee: 専門委員会) や SC(Subcommittee: 分科委員会) が設置され、各国から選ばれた代表者が議論して IEC 国際規格をとりまとめる。

³¹ WG(Working Group: 作業グループ) や AhG(Ad hoc Group: アドホックグループ、特別な問題を解決するために設置される) を取り仕切り、会議の招集や規格原案のとりまとめを行う役割。

次に、LVDCに関する標準化活動を示す。IECのSyC LVDC³²が2017年5月に発足し、現在作業中のプロジェクトでは、主に欧州・インドがコンビナーを務めている。日本は電気設備学会が国内審議団体となり、AhG 2のコンビナーを務めているほか、WG等にメンバーとして参加している(図 21)。

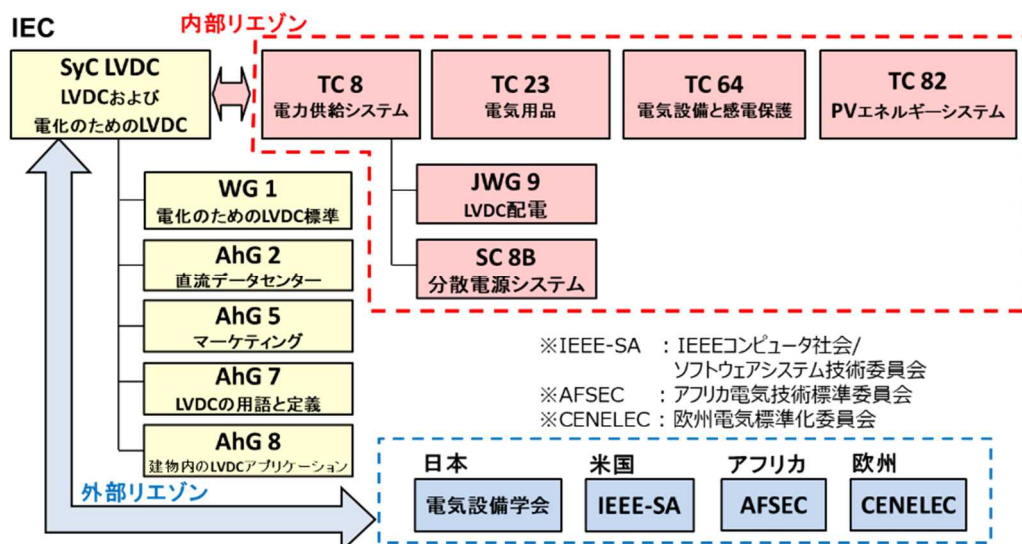


図 21 LVDCに関する標準化活動

³² SyC LVDC (Systems Committee Low Voltage Direct Current and Low Voltage Direct Current for Electricity Access: 低圧直流および電化のための低圧直流システム委員会)

1-3-4 ベンチマーキングのまとめ

HVDC 送電システム分野については、欧州では、更なる洋上風力発電の導入拡大に伴って、洋上ウインドファームを経由して大陸間を連系するメッシュ状の HVDC ネットワークに発展することが想定され、それを可能とする HVDC 送電システム技術の確立を目指して技術開発が進められている。日本においても広域連系システムの拡充が検討されており、北海道・東北から関東を結ぶ HVDC 海底ケーブルの新設等を進めていく必要がある。日本は HVDC 送電システム技術を早くから採用し、特許出願件数の面でも先行してきたものの、近年は HVDC 送電システムを積極的に採用する欧州、米国だけではなく中国が急速に台頭しており、競争環境は一変した。一方で、例えば HVDC 送電システムに不可欠な HVDC ケーブルについては、件数は少ないながらも欧州や韓国、日本等の中国以外のメーカーが企業別特許出願件数の上位層に踏みとどまっている。日本の置かれた状況は厳しいものの、ここで開発を一段と強化して、メッシュ状のネットワークにも拡張可能な HVDC 送電システム技術を早期に確立することが重要である。日本で確立した HVDC 送電システム技術を基に、標準化についても積極的にリードすること等により、日本企業が海外でも重要なポジションを得ることができる可能性もある。

次に LVDC ネットワーク分野では、韓国、中国等が実際の配電系統への配備を想定した実証研究で先行している。これらの国では直流機器の拡大を見据え、デジタル技術を用いてこれらを統合的に制御することを含めて検討されており、LVDC の電圧範囲に留まらず、MVDC の範囲まで含めての技術開発が行われている。日本では、更なる省エネ化を実現するための住宅・建築物内、住宅・建築物間での LVDC ネットワーク技術の確立が主眼になるが、各国が開発を進める技術が先行して実用化された場合、それが世界の標準に適用されることになり、日本の市場にも大きな影響を及ぼす可能性がある。そのため、各国の標準化の動きに注意しつつ、日本においても先を見据えた技術開発を進めることが重要である。

これらの直流技術の開発が電力の需要側と供給側の両面で大きな役割を果たし、電力需要に対する再エネの充足率を高めることにより、カーボンニュートラル実現につながることを期待される。

2 章 解決・実現手段の候補

2-1 解決・実現のための課題

2-1-1 HVDC 送電システムに関する課題

1 章で述べたとおり、今後、メッシュ状のネットワークにも拡張可能な HVDC 送電システム技術を早期に確立することが重要である。日本の洋上風力発電の段階的な導入においては、洋上ウインドファームを経由して複数の地点で陸上の交流系統に接続し、送電方向に柔軟性を持たせることで洋上風力発電の利用率を向上する、あるいは複数の洋上ウインドファームを洋上の直流系統内で接続することで陸上との接続設備をスリム化するという用途を実現する HVDC 送電システム、すなわち、多端子直流送電システムが必要になる(図 22)。ここでは直流ケーブルの両端にある直流遮断器が鍵となっている。例として、図 22 のような四端子系統を、交流遮断器を用いた従来の HVDC 送電システム技術で構成する場合を考えると、各直流ケーブルの両端に交直変換器と交流遮断器をセットで設置し、交流側で分岐を行うことから、3 方向の直流ケーブルの末端が集まる洋上変換所 A は交直変換器が 3 組に増える。これに対して直流遮断器を用いた多端子直流送電システムでは交直変換器を最小限にでき、交直変換損失の低減にも寄与する。

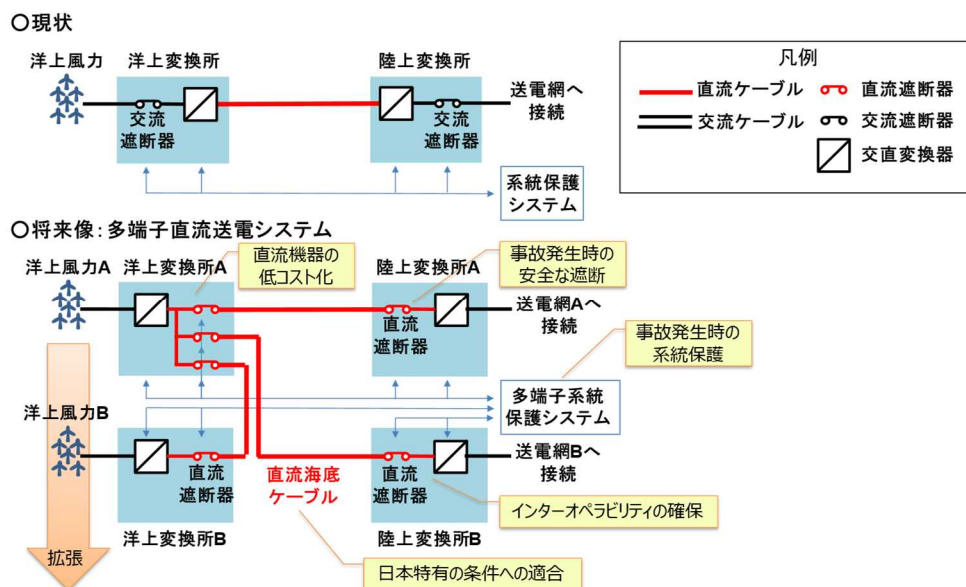


図 22 再エネ大量導入に向けた HVDC 送電システムの将来像と課題

このような HVDC 送電システム技術を確立するためには、直流系統における事故発生時の安全な遮断の課題や、HVDC 送電システムの大規模化・複雑化に伴う課題を解決する必要がある。また、洋上風力発電を想定した場合、導入が先行する欧州と日本では海底地形や気象条件等の違いがあることから、HVDC 送電システムの日本特有の条件への適合といった課題がある。

(1) 事故発生時の安全な遮断

交流と比較した場合の直流の課題は、表 1 直流技術と交流技術の比較表 1 に示したとおり遮断にある。直流・交流に関わらず送電システムの運用において、落雷や設備外傷、故障等の発生による絶縁破壊事故時には、大きな事故電流が流れ、機器の許容量を超える過電流となる可能性があるため、速やかに系統から当該送電線を電流遮断器によって切り離し、系統全体に事故が波及して大停電につながらないようにする必要がある。交流送電においては、通常 50/60Hz で周期的に訪れる電流の零点、すなわちゼロクロスポイントの瞬間に電路を機械的に切り離し、アーク放電の発生を抑えて遮断を行う。一方、直流送電においては、交直変換器の前後で交流・直流系統が分離されているため、波及事故につながりにくいといった側面があるものの、直流にはゼロクロスポイントがなく、アーク放電のため容易に遮断ができないといった問題がある。アーク放電が継続すればアークエネルギーによって遮断器内部の接点の溶損、さらには過電流による機器本体の損壊に至る恐れがある。機器の損壊等を防止するためには、事故電流を 10ms 以内といった極めて短い時間で除去する必要がある。このように HVDC 送電システムでは、事故発生時に迅速かつ確実に大電流を遮断しなければならないという厳しい性能が要求される。

(2) HVDC 送電システムの大規模化・複雑化に伴う課題

① 大規模化に伴う直流機器の低コスト化

高電圧になると、直流遮断器や交直変換器等では構成部品を多段に接続するため、機器が大型化する傾向にある。洋上風力発電での HVDC 送電システムの利用を考えると、機器の大型化に伴って洋上変換所の規模が大型化する等、全体コストの大幅な増加につながる可能性がある。

② 複雑化に伴うインターオペラビリティ³³の確保

これまでの HVDC 送電システムは二端子が中心であることと、一つのプロジェクト内で完成することが多く、異なるメーカー間でも機器の設定調整が入念に行われることから、機器間の相互干渉が後々大きなトラブルの発生につながることは少なかったと考えられる。しかし今後は、次の設備投資の時期に合わせて三端子、その次は四端子、といった具合に順次拡張していくことが想定され、規模も大きくなることから、複数のメーカーによる機器の組み合わせになりやすい。そのため、異なるメーカーの機器間でのインターオペラビリティをどのように確保するかという点に課題がある。

③ 複雑化に対応する事故発生時の系統保護

多端子直流送電システムでは、従来の二端子に比べて想定される機器故障や事故、運用のパターンが複雑化し、事故発生時に遮断等による適切な事故区間の切り離しが難しくなって、結果として需要側における大規模停電などの深刻な波及事故につながる懸念される。したがって、様々なパターンに応じて迅速かつ確実に事故区間を切り離すための系統保護が課題となる。

(3) 日本特有の条件への適合

現在検討されている北海道・東北から関東を結ぶ HVDC 送電システムには海底ケーブルの使用が想定されているが、遠浅な海域が少ない日本では、一般的に採用されている海底ケーブルや敷設工法がそのままでは適用できず、深海域に対応するためにケーブルの構造や工法を特別な仕様に変更する必要があり、その結果高コストになるおそれがある。加えて、深海域にケーブルを敷設した場合、運用中に発生したケーブル故障時の故障点探査技術や復旧工法にも新たな課題が生じる可能性がある。

なお、海底ケーブルは騒音や振動、景観等の問題にはなりにくいものの、海域を先行利用している漁業の操業や水産資源への影響等が問題とされる可能性があり、HVDC 送電システムの事業に対する社会受容性の向上も一つの課題となりうる。

³³ Interoperability、相互運用性

2-1-2 LVDC ネットワークに関する課題

日本では、成熟した既存の交流系統に、住宅用 PV がすでに多く接続しており、これに続いて今後 EV、蓄電池等が普及していく。こうした状況において、LVDC ネットワーク技術の確立により住宅・地域等の省エネ化を実現するためには、既存の交流系統への接続を前提として、まず住宅・地域内における小規模な LVDC ネットワークを分散的に形成し、それを住宅・地域間に拡大していくことが現実的である。そのためには、LVDC ネットワークの拡大に対応する技術開発と標準化を行うことにより、LVDC ネットワークの利用基盤を整備する必要がある。

(1) 住宅・地域内の LVDC ネットワーク形成における課題

① 直流電力の品質の安定化

住宅や離島・小地域などに LVDC ネットワークが採用される場合、放射状もしくはループ状の直流系統に複数の直流機器が接続された直流マイクログリッドになる。一つの住宅であっても、PV や蓄電池等の直流電源とそれらを制御する PCS や蓄電池監視装置(BMU: Battery Management Unit)、複数の電力消費側の直流機器が接続されたマイクログリッドの形態となることが想定される。しかし現状では、これらが新設される場合だけでなく、増設・改修する際にも、既設機器と同じメーカー製でなければ制御シーケンスや時定数等の相違による制御機器間での相互干渉が起りかねない³⁴。異なるメーカーの機器の相互干渉をシステム全体としてうまく制御できない場合、直流マイクログリッド全体が不安定となって停電の発生や機器の損傷を引き起こしかねない。したがって、住宅・地域内の直流マイクログリッドの構築においては、異なるメーカーの機器の相互干渉を防ぐとともに、干渉を制御して直流電力の品質を安定化させることが課題となる。

② 直流事故の迅速な検出と遮断

直流は常に一定方向の電圧がかかり、遮断時に発生するアーク放電が継続しやすいため、LVDC であっても事故の検出が遅れたり遮断に失敗したりすると、火災や感電につながる恐れがある。LVDC ネットワークの安全性を更に向上していくためには、短絡・地絡等の直流事故を迅速に検出して遮断することが課題となる。

³⁴ PCS に関する複数メーカーへのヒアリング結果による

③ 需要側設備の交直両用化

現在の住宅内の交流システムでは家電機器や AC アダプタ等の需要側設備が 50/60Hz および 100～240V 仕様で普及していることにより便利に家電機器を使うことができる。その利便性を確保しつつ、直流システムへの移行を円滑に進めるためには、需要側設備の交直両用化が課題となる。

(2) 住宅・地域間への LVDC ネットワークの拡大に向けた課題

より柔軟かつ効率的な運用やレジリエンスの観点から、住宅・地域内で閉じたマイクログリッド間を直流で連系し、LVDC ネットワークを拡大することが選択肢として考えられる。ただし、複数のマイクログリッド間の連系に伴って、システム全体の構成が非常に複雑となるため、システム全体の運用技術の高度化やそれに必要となる要素技術の開発が課題となる。

2-2 分析から得られた具体的実現手段の候補

2-2-1 HVDC に関する具体的実現手段の候補

(1) 直流遮断器の高電圧化と制御方法の確立

事故発生時に遮断器において迅速かつ確実に大電流を遮断するべく、近年では半導体遮断部と機械遮断部を並列接続したハイブリッド直流遮断器の検討が進められており、NEDO 事業でもハイブリッド方式により 40kV モデルの開発を行った。しかし、将来の多端子直流送電システムは数百 kV の超々高圧レベルが求められることから、直流遮断器は数百 kV レベルまでの高電圧化が必要となる。そのためには、直流遮断器の中核部品であるパワー半導体の素子そのものの高電圧化だけでなく、多段接続した半導体素子やモジュールに局所的な負荷がかからないようにする制御方法についても十分な検討が必要となる。

(2) HVDC 送電システムの大規模化・複雑化への対応

① 直流機器の小型化

大規模化に伴う低コスト化に向けては、直流機器内部の部品を小型化するとともに、機器内の部品構成を最適化する等、各機器を小型化するための技術開発にも取り組む必要がある。直流機器では共通的な部品もあることから、直流遮断器用部品の小型化技術は、他の機器にも展開できる可能性がある。

② HVDC 送電システムの制御・保護に関する標準仕様書の作成

異なるメーカーの機器間のインターオペラビリティを確保するため、NEDO 事業では、主要装置となる自励式交直変換器の相互連携を可能とする制御・保護に関する標準仕様や、多端子直流送電システムに適した制御・保護方式を検討し、標準仕様書にまとめた。今後、後述する多端子系統保護システムの実証等を通じて得られた知見を標準仕様書に反映するなど、インターオペラビリティの確保に向け、更に検討を続けていく必要がある。

③ 多端子系統保護システムの確立

多端子直流送電システムにおいて、事故発生時の当該区間の遮断とそれに伴う潮流の変化を適切に制御して系統を保護するためには、事故の発生点を正確かつ高速に検知する機器や、遮断制御する機器を開発するとともに、これらを組み合わせた多端子系統保護システムを確立する必要がある。このシステムは、様々なメーカーの機器で構成されることが想定されるため、標準化を図る必要がある。

2-2-2 LVDC に関する具体的実現手段の候補

住宅・地域等の直流システムへの移行を円滑に進めるための、LVDC ネットワーク要素技術を図 23 に示す。

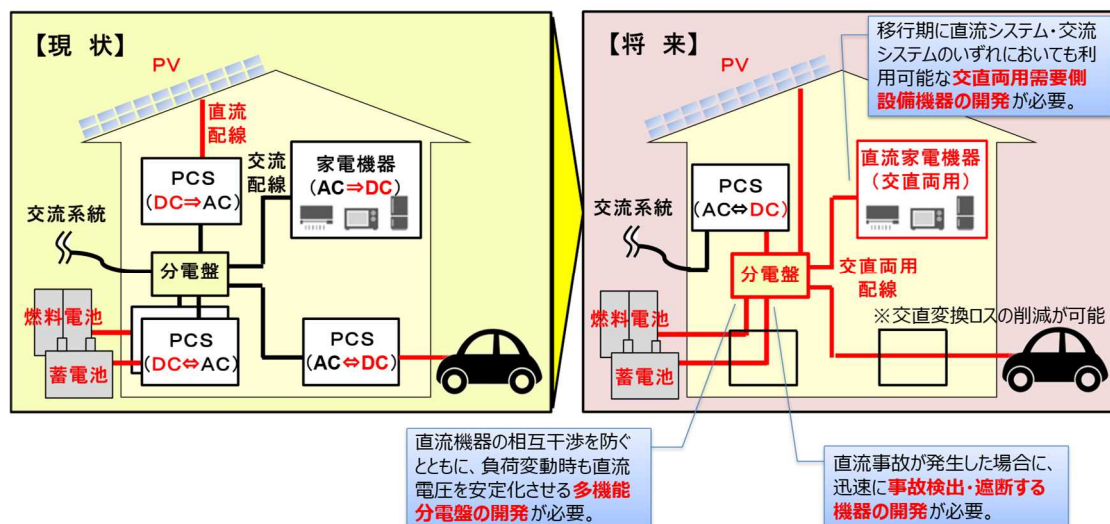


図 23 住宅の直流システムへの移行に関する LVDC ネットワーク要素技術

① 直流配電用の多機能分電盤の開発

家庭に普及しつつある PV・蓄電池等の直流機器において、それらを制御する PCS や BMU が複数接続した場合でも相互干渉を防いで直流電圧を安定化させるためには、LVDC ネットワークシステム全体を制御する機能を持つ多機能分電盤を開発する必要がある。同時に、異メーカー間のインターオペラビリティを確保するため、機器の技術要件を策定する必要がある。

② 事故検出・遮断機器の開発

短絡・地絡等の直流事故が発生した場合にも、直流マイクログリッドの安全性を確保するためには、迅速に事故を検出する機器と遮断する機器を開発するとともに、標準化を図ることが必要となる。

③ 交直両用需要側設備の開発

LVDC ネットワークへの移行期においては、直流システムと交流システムのいずれにおいても利用可能な交直両用の需要側設備が必要となる。具体的には、電圧・熱・機械劣化特性等の安全面でも交流システムに劣らない屋内配線・プラグ等の交直両用需要側設備を開発し標準化を図ることや、直流システムで従来

の交流機器が使えるようにするための直交変換アダプタを開発すること等により、
直流システムへの円滑な移行のための基盤を整えていく必要がある。

2-3 技術開発の方向性

2-3-1 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

大規模かつ複雑な HVDC 送電システムを実装するためには、2-2-1 で述べた技術開発を進めたうえで、実証試験を通じた性能検証を行うことが重要になる。NEDO では 2020～25 年の計画で「多用途多端子直流送電システムの基盤技術開発」事業を実施しており、この中で多端子直流送電用保護装置の一部実機を用いた系統保護・制御技術の実証等を行っている。系統保護・制御技術の実証は、異なるメーカーの直流機器を接続した場合のインターオペラビリティが確保されることを検証するものであり、これらの技術開発が多端子系統保護システムの確立につながる。

(2) HVDC 送電システムの日本特有の条件への適用

① HVDC 深海ケーブルおよび敷設工法の開発

HVDC 送電システムの実装に向けては、長距離海底直流送電線が必要になる。遠浅で砂地の海域が多い欧州においてケーブルおよび敷設工法の開発が先行しているが、条件が異なる日本近海には適用が難しい。そのため、日本の条件に適合する深海ケーブルの開発、より有利な敷設ルートを選定、埋設の代替として必要となる防護管の取付工法の開発等により、HVDC 送電システム全体の低コスト化につなげる必要がある。前述の NEDO 事業において、HVDC 深海ケーブルの開発やケーブル敷設工法の開発についてもあわせて実施されている。

なお、長距離になることにより、ケーブル故障時の故障点の特定がこれまで以上に困難化するだけでなく、深海ケーブルでは復旧の際の取替範囲の特定や取替方法にも新たな技術が必要となることが想定される。このことから、建設後の課題となる深海ケーブル故障時の故障点探査技術や復旧工法の開発等にも今後取り組んでいく必要がある。

② 社会受容性の向上

HVDC 送電システムのような新たな大規模システムを導入する際には、導入対象地域の理解を得ることが不可欠である。将来の具体的なプロジェクト実施を見据えて、今後の技術開発における実証事業等を通じて、先行利用者を含む様々な利害関係者の理解を得るプロセスを確立し、必要なデータを開示することで、社会受容性の向上を図ることが重要である。

(3)HVDC 送電システムの将来イメージ

これまで述べたような技術開発により、多端子直流送電システム技術を確立し、国内の長距離海底直流送電線建設プロジェクトにおいて実用化を早期に実現することを目指す。さらに、大容量化・低コスト化を図ることができれば、日本の多端子直流送電システム技術が海外の HVDC 市場でも競争力を持つようになり、日本企業のシェア拡大につながることを期待される(図 24)。

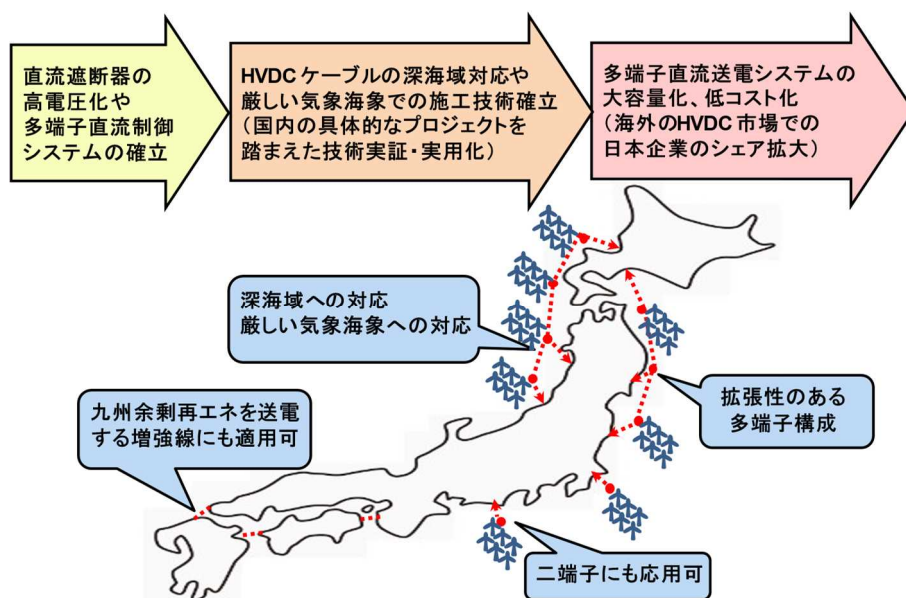


図 24 HVDC 送電システムの将来イメージ

2-3-2 LVDC ネットワークに関する技術開発の方向性

(1)LVDC ネットワークの拡大に向けて

需要側での省エネに向けては、個別の ZEB 化、ZEH 化を積み上げるよりも、ZEB や ZEH の LVDC ネットワークを拡大することで地域直流マイクログリッドを構築して、地域単位での省エネ化を図る方が効率的になる可能性がある。また、交流系統との連系だけではなくマイクログリッド間でも連系することは、非常時のバックアップのためのレジリエンス強化の面でも役立つものと考えられる。

LVDC ネットワークの拡大においては、マイクログリッド内での発電と蓄電、負荷のバランスを取るエネルギーマネジメント技術が重要となる。また、複数のマイクログリッド間を連系する場合には、グリッド内だけの運用に比べて運用パターンが更に複雑になることから、エネルギーマネジメント技術の更なる高度化が必要となる。

(2) LVDC ネットワークの将来イメージ

LVDC ネットワークが普及していった将来、地域によってはこれらの複数のマイクログリッドを結ぶ交流系統の一部を MVDC を含めた直流配電に変更することにより、交直変換器の数を減らすことができるだけでなく、各マイクログリッドが保有する電源や電力消費機器の一体的な運用を進め、PV や蓄電池等の利用効率を向上させることで更なる省エネ化につながる可能性もある。この MVDC 利用技術には、より電圧の高い HVDC 分野で開発された要素技術の展開がおおむね可能で、比較的容易に実用化が期待される。交流設備の利用効率が高い地域では交流配電を維持しつつ、直流配電が有利な地域・場面では選択的に LVDC や MVDC を活用することで、柔軟かつ効率的でレジリエンスを強化した、インテリジェントな配電システムを構築できると考えられる(図 25)。

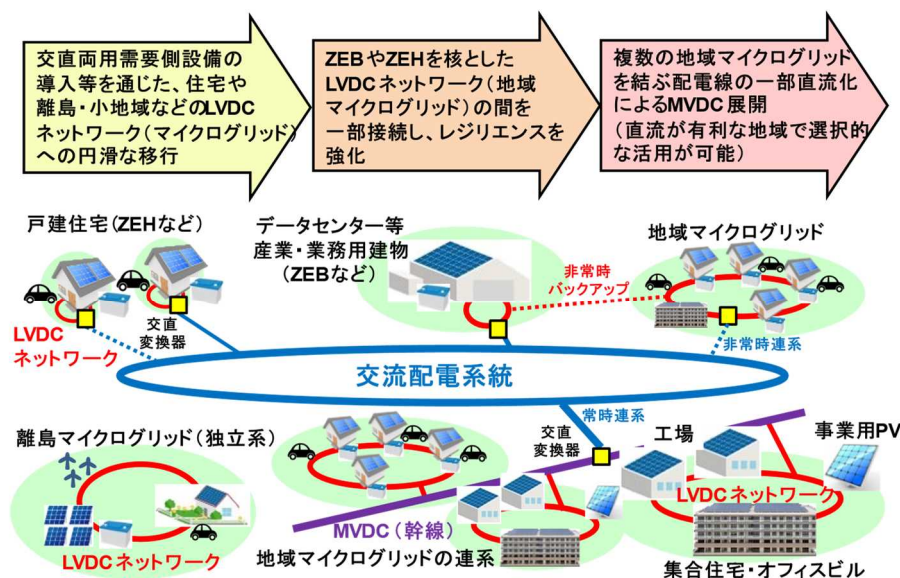


図 25 様々な LVDC ネットワークの将来イメージ

3章 おわりに

カーボンニュートラル実現に向けて、再エネの導入拡大と省エネの推進は日本だけでなく世界的に重要な課題となっている。本レポートでは、この二つの課題の解決に貢献するものとして超分散エネルギーシステムの中でも直流技術に着目して、課題解決の方向性について検討した。その結果、既存の送電網から遠く離れた大規模洋上風力発電等からの再エネ電力の導入拡大を図るために HVDC 送電システム技術確立すること、および、電化率の高い第三次産業等の業務部門や家庭部門において、更なる省エネの促進を図るために住宅・建築物内、住宅・建築物間での LVDC ネットワーク技術確立することが、我が国のカーボンニュートラル実現にとって重要であることを示した。

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。

また、LVDC ネットワーク技術は、電化率が高く、省エネが進んだ業務部門や家庭部門において、更なる省エネを追求する有力な解決・実現手段であり、LVDC ネットワークを採用することで住宅・建築物単位等の狭い範囲での省エネだけではなく、再エネや蓄電池の導入拡大と相まって地域等の広い範囲での効率的かつ柔軟なエネルギー利活用に貢献できる可能性がある。一方で、足下では直流機器普及に向けた一歩が進んでいないことから、LVDC ネットワークがなかなか普及しないといったギャップが存在する。本レポートでも述べたとおり、技術課題は複数存在するが、重要な要因の一つとして標準化が挙げられる。標準化によって、先行して直流機器を導入する利用者の非効率な投資を防ぐことや、それに基づいたコスト競争力のある製品やシステムの開発が積極的に行われることになり、その結果、直流機器および LVDC ネットワークの普及が進むことが期待できる。

なお、長距離送電を可能とする HVDC 送電システム技術については、これまでも NEDO 事業として取り組みを進めてきている。本レポートでは、その技術開発の成果も踏まえつつ、今後、取り組むべき課題について改めて整理を行った。

技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight Vol.115

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4日発行

TSC Foresight Vol.115 超分散エネルギーシステム分野（直流技術） 作成メンバー

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術戦略研究センター(TSC)

- センター長 岸本 喜久雄
- センター次長 植木 健司
- サステナブルエネルギーユニット
 - ・ユニット長 仁木 栄
 - ・フェロー 矢部 彰
 - ・主任研究員 家村 正三 (2021年6月まで)
 - 松田 好司
 - ・研究員 山下 尚人 (2021年3月まで)
 - ・フェロー 太田 健一郎 国立大学法人横浜国立大学 名誉教授
 - 安井 至 一般財団法人持続性推進機構 理事長（非常勤）
- 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
 - ・主査 廣瀬 圭一
 - ・主任 小笠原 有香

- 本書に関する問い合わせ先
電話 044-520-5150（技術戦略研究センター）

- 本書は以下 URL よりダウンロードできます。
<https://www.nedo.go.jp/library/foresight.html>

本資料は技術戦略研究センターの解釈によるものです。
掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。
引用を行う際は、必ず出典を明記願います。