

2019年度成果報告書

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

2020年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先 一般社団法人電気設備学会

## まえがき

日本における直流実用化の歴史は古く、電気通信分野では、明治2年(1869)8月9日横浜弁天灯明台局から同港本町通裁判所間に電信線(7町)を架設、ブレーグ指字電信機により官用通信の取扱いを開始(電信のはじめ)して以来、電気通信の主要な機器類(交換機、中継器、電話機等)は直流の電源を適用してきた。その後、電信電話事業や近年のデータセンタに至るまで長きに渡り、直流方式は安定的に事業を支えている。

電気事業においては、1887年の東京電燈の開業当時の直流配電にさかのぼる。同年11月、日本橋茅場町から直流による電力供給が開始され、この年の末には、都内5か所の発電所建設の始まり、都心部への直流電力供給インフラが整備された。

また、電気鉄道分野では、1890年に上野公園で第2回内国勸業博覧会が催されたとき、藤岡市助がアメリカから持ち帰ったスプレーグ・システムによる路面電車2両を、東京電燈が公園内に450mの軌道を敷いて公開運転したのが日本の電車事業のはじめとなった。そしてその5年後の1895年には、京都市において京都電気鉄道が日本初の電車営業運転を開始した。以降、都市部近郊や地下鉄などの電気鉄道の車両用電源は、直流の電力を利用している。

長距離送電が可能で、安定的かつ大容量の電力供給システムとしての利点を有する交流(Alternating Current: AC)は、供給側の電力システムをはじめ、民生・産業・運輸など幅広いセクターにおいて、標準的に使用されているが、近年は交流に加えて直流(Direct Current: DC)電力の利活用がふたたび注目されている。

この理由は、地球環境保護、温暖化防止、排出ガスの抑制等から太陽光、風力、バイオマスなどの再生可能エネルギーによる発電装置が増えていること、それらの間欠的な出力補完、故障や停電等による電源断に備え蓄電池や電気自動車の導入・活用が増えていること、および直流を直接消費する機器やインバータ等直流を利用するための電力変換器を搭載した器具・負荷設備が増えてきたことが背景にある。創エネ、蓄エネ、省エネの3要素がすべて直流の特性を持つため、直流システムとして統合することで、効率的で運用しやすい電気エネルギーの利用が可能になる。

再生可能エネルギーを主力電源化することは、我が国のエネルギー基本計画でも謳われているほか、諸外国も同様の目標を将来に向けて掲げている。これらの目標達成のために、直流を無駄なく合理的かつ安全に利用することは、一つの解決手段となりえる。しかしながら、発電、送配電、需要・マネジメント・交通等各々のフィールド内、もしくはフィールド間を接続するインタフェースとして直流を適用するときの形態が、設備規模、および国やエリアによって異なり、直流の活用方法、役割は様々である。また、システム形態や利活用の領域によって、直流にかかわる技術的な課題も区々である。

直流利用に関しては、効率、信頼性、制御性などの観点でメリットがあると期待されているため、国内外問わず、過去からも多くの実証事業や導入事例が多くある。しかし、過去の実証や導入事例の成果、知見や課題等を体系的に取りまとめた資料や文献は多くなく、再エネを推進するための新たなシステム構築に資する直流技術開発を推進するうえでも、重複や抜けが生じる懸念がある。

本調査は、今後の調査、技術開発、実証事業を効率的に進め、その成果を速やかに社会

実装し、直流システムを普及拡大させるため、国内外の実証事業、導入事例を網羅的、体系的に整理し、技術（システム・要素の両面）を中心にその動向を把握することを目的とする。

# 目次

1	調査の概要	1
1. 1	調査の目的	1
1. 2	調査の概要	1
1. 2. 1	直流利活用に関する技術動向	1
1. 2. 2	直流利活用に関する技術マップ	2
1. 2. 3	直流利活用に関する技術ロードマップ	2
1. 2. 4	スケジュール	2
1. 2. 5	実施体制	3
2	直流利活用に関する技術動向	5
2. 1	アンケート調査	5
2. 2	文献調査等	7
2. 2. 1	文献調査	7
2. 2. 2	特許調査	10
2. 3	直流利活用に関する実用化等事例	17
2. 3. 1	国内事例	17
2. 3. 2	海外事例	33
2. 4	海外調査	38
2. 4. 1	欧州調査	38
2. 4. 2	韓国調査	40
2. 4. 3	米国調査	41
2. 4. 4	世界市場調査	43
2. 5	電気設備等に関する規格・基準等	44
2. 6	技術動向調査のまとめ	70
2. 6. 1	直流の特徴	70
2. 6. 2	直流利活用フィールドの整理	73
2. 6. 3	課題の抽出	76
3	直流利活用に関する技術マップ	78
4	直流利活用に関する技術ロードマップ	86
4. 1	背景（技術開発のための社会情勢やドライバーの整理）と施策	86
4. 2	直流の有効活用のイメージ	87
4. 3	直流適用シナリオの検討	89
4. 4	想定シナリオ	90
4. 5	ロードマップ作成	101
5	まとめと今後の課題・展望	109
5. 1	まとめ	109
5. 2	今後の課題・展望	111

## 用語集

用語	意味
NAS電池	負極（マイナス極）にナトリウム（Na）、正極（プラス極）に硫黄（S）、両電極を隔てる電解質にファインセラミックスを用いて、硫黄とナトリウムイオンの化学反応で充放電を繰り返す蓄電池（二次電池）
アグリゲータ	需要家の需要量を制御し、DRやVPPを行なう事業者
インターオペラビリティ	相互運用性（複数の異なるシステムを組み合わせて、相互に運用できる状態を指す）
エネルギーハーベスティング	周りの環境から微小なエネルギーを収穫して、電力に変換する技術
オフグリッド	電力会社などの送電網につながらない、独立型電力システム
回生電力	機器で生じる余剰なエネルギーを回収し、変換した電力
急速充電器	電気自動車用充電器の高出力のもの
系統計画	電力会社（一般送配電事業者）による電力系統の計画
自立運転	電力系統から切り離された状態での運転のこと
自励式	動作や起動をする際に、外部から電力供給を必要としない方式
シンギュラリティ	人工知能（AI）自身の「自己フィードバックで改良、高度化した技術や知能」が、「人類に代わって文明の進歩の主役」になる時点のこと
他励式	動作や起動する際に、外部から電力供給が必要である方式
電力潮流制御	電力融通や電力回生における電力の流れを制御する技術
同期化力	発電機が系統に連系されている状態で、その同期状態を乱す系統事故などがあった場合、元の同期のとれた運転状態に戻すために発電機間に働く復元力
ブラックスタート	ブラックアウトの状態から、外部電源より発電された電気を受電することなく、停電解消のための発電を行うこと
ブラックアウト	広域停電状態になること
ブロックチェーン	インターネット上の複数のコンピューターで取引の記録を互いに共有し、検証し合いながら正しい記録を鎖(チェーン)のようにつないで蓄積する仕組み
レジリエンス	災害に強い電力の供給体制を構築すること
レドックスフロー電池	フロー電池の一種バナジウムなどのイオンが酸化還元反応を担い、その溶液を循環させることで充電や放電を行う蓄電池

略号	用語	日本語の意味
5G	5th Generation	第5世代移動通信システム通信速度は毎秒10ギガビットを予定しており、「超高速」の通信が可能になる4Gの毎秒1ギガビットという通信速度と比べて、10倍高速化するまた、通信時に発生する遅延を1ミリ秒に抑え、「超低遅延」を実現する予定。無線で機械を操作する際などのタイムラグを無くすることができるこのシステムの後継として6Gというものもある
AC	Alternating Current	交流
AGV	Automated Guided Vehicle	無人搬送車コンピューターの指令のまま工場内などを動く無軌道台車
AI	Artificial Intelligence	人間の行為をコンピュータを活用し、アルゴリズムと蓄積されたデータに基づき、機械的に実行できるシステム(人工知能)
BCP	Business Continuity Planning	事業継続計画のこと。災害や事故などが発生した場合に、企業や行政組織が基幹事業を継続したり、早期に事業を再開するために策定する行動計画。事前に業務の優先度を確定し、バックアップシステムの整備や要員確保などの対応策を立ておくことで、被害やサービスの受け手への影響を最小限にとどめることができる取り組み
BTB	Back to Back	半導体を用いた変換器を背中合わせに接続した設備
CASBEE	Comprehensive Assessment System for Buliding Enviromental Efficiency	建築環境総合性能評価システム。省エネルギーや環境負荷の少ない資機材の使用といった環境配慮、室内の快適性や景観への配慮なども含めた建物の品質を総合的に評価するシステム
CCS	Carbon dioxide Capture and Storage	CO <sub>2</sub> を回収・貯留する技術
CCSU	Carbon dioxide Capture and Storage with Utilization	CO <sub>2</sub> を回収・貯留、そして活用する技術
CIGRE	Conference Internationale des Grands Reseaux Electriques a Haute Tension	国際大電力システム会議
COP	Conference of Parties	国連気候変動枠組条約締結国会議
DC	Direct Current	直流
DC-DC コンバータ	DC-DC Converter	直流を直流に変換する装置
DIN	Deutsches Institut für Normung	ドイツ工業規格
DKE	Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik	ドイツ電気電子情報技術委員会
DR	Demand Response	電力消費のピーク時に電気料金単価が割高になったり、節電努力に応じて何らかの報酬が得られたりすることで、電力消費の総量を抑制する仕組み
DSM	Demand Side Management	電気事業者による電力需要管理システム。省エネルギーや電力消費の偏りを平準化するための施策を、電力会社が行うもの
DSO	Distribution System Operator	配電系統運用者
EL	Electro Luminescence	エレクトロルミネッセンス(電界発光)
EMC	Electromagnetic Compatibility	電磁両立性
EMP	Electromagnetic Pulse	電磁パルス
EMS	Energy Management System	情報通信技術（ICT）を駆使して、家庭、オフィス、工場あるいは地域全体の電力使用量をリアルタイムで把握し、電力需給を最適に制御・管理するシステム。家庭を対象としたHEMS(Home Energy Management System)や、ビルを対象としたBEMS(Building Energy Management System)、工場向けのFEMS(Factory Energy Management System)、地域全体のCEMS(Community Energy Management System)などがある
EV	Erectric Vehicle	電気自動車
FCV	Fuel Cell Vehicle	水素を燃料とする燃料電池自動車
FIT	Feed-in Tariff Program	固定価格買取制度

略号	用語	日本語の意味
FRT	Fault Ride Through	系統擾乱時における分散電源の運転継続性能(事故時運転継続要件)
GREI	Belgian General Regulations for Electrical Installations	ベルギー電気施工規格委員会
HTS	High-Temperature Superconductors	高温超電(伝)導体
HV	Hybrid Vehicle	エンジンと電気モーターの2つの動力源を持つ自動車
HVDC	High Voltage Direct Current	高電圧直流
ICT	Information and Communication Technology	情報通信技術
IEC	International Electrotechnical Commission	国際電気標準会議
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor	絶縁ゲートバイポーラトランジスタ. 主に電力制御の用途で使用
IoT	Internet of Things	様々なものがインターネットに接続され、情報交換することにより相互に制御する仕組み(物のインターネット)
IRENA	International Renewable Energy Agency	国際再生可能エネルギー機関
JIS	Japanese Industrial Standards	日本産業標準調査会(JISC)の答申を受けて、主務大臣が制定する規格(日本産業規格)
LED	Light Emitting Diode	発光ダイオードエネルギー効率に優れ、低消費電力、高速応答などの特徴をもつ
LiB	lithium-ion rechargeable battery	正極と負極の間をリチウムイオンが移動することで、充電や放電を行う二次電池(リチウムイオン電池)
LNG	Liquefied Natural Gas	液化天然ガス
LVDC	Low Voltage Direct Current	低電圧直流
MMC	Modular Multilevel Converter	変換器セルを多段に直列接続した構成の変換器
MOSFET	Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor	金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ
MVDC	Middle Voltage Direct Current	中電圧直流
ODA	Official Development Assistance	政府が開発途上国に行う資金や技術の援助(政府開発援助)
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development	欧州と北米が対等のパートナーとして自由主義経済の発展のために協力を行う機構(経済協力開発機構)
PCS	Power Conditioning System	太陽電池、燃料電池、ガスエンジン等の発電量に応じて出力電力を制御する機能を備えた装置(発電電力の制御、運転制御、系統連系保護機能を有する)
PEST	Politics, Economy, Society Technology	政策、経済、社会、技術
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle	コンセントから差込プラグを用いて直接バッテリーに充電できるハイブリッド車
PHV	Plugin Hybrid Vehicle	
PLC	Power Line Communication	電力線を通信回線として利用する技術
PoE	Power over Ethernet	イーサネットの配線で利用されるカテゴリ5以上のUTPケーブル(より対線)を通じて電力を供給する技術
PV	PhotoVoltaics	太陽光発電
R&D	Research and Development	研究開発
Si	Silicon	半導体で使用される素材(ケイ素)
SiC	Silicon Carbide	シリコン(Si)と炭素(C)で構成される化合物半導体材料高耐圧パワーデバイスとしての特徴を有する素材
SoS	System of Systems	複数のシステムから構成され機能するシステム
SSR	Sub Synchronous Resonance	軸ねじれ共振現象(負荷急変等の外乱により、発電機の回転子と駆動機関との間に発生する)
SST	Solid State Transformer	半導体変圧器
TC	Technical Committee	技術委員会

略号	用語	日本語の意味
TSO	Transmission System Operator	送電系統運用者
UPS	Uninterruptible Power Supply	無停電電源装置
USB	Universal Serial Bus	コンピュータ等の情報機器に周辺機器を接続するためのシリアルバス規格。Type A や Type C等がある
V2X	Vehicle to Everything	電気自動車（EV）・プラグインハイブリッドカー（PHV）・燃料電池車（FCV）などの蓄電池をもつ自動車と、住宅・ビル・電力網の間で電力の相互供給を行う技術やシステムの総称住宅を対象とするV2H、ビルを対象とするV2B、電力網を対象とするV2Gなどがある
VDE	Verband Deutscher Elektrotechniker	ドイツ電気技術者連合が主となって制定した電気製品の安全性に関する規格
VPP	Virtual Power Plant	各地に分散している創エネ・蓄エネ・省エネルギー（太陽光、蓄電池、デマンドレスポンス等）を、IoTを活用して統合制御し、仮想的に、発電所のように機能させる仕組み
VVVF	Variable Voltage Variable Frequency	インバータを用いて任意の周波数と電圧を発生させる制御方式
ZEB	Net Zero Energy Building	構造や設備の省エネルギーを図ったり、再生可能エネルギーを利用したりすることによって、総エネルギー消費量がゼロあるいはゼロに近い数値となる建築物住宅の場合は、ZEH(Net Zero Energy House)ともいう
ZVEI	German Electrical and Electronic Manufacturers' Association	ドイツ電気・電子工業連盟

# 要約

## 目 的

国内外における直流 (Direct Current: DC)に関する技術の動向を把握 (技術動向調査) した上で、直流の普及・推進等の視点から、主として技術的側面からの課題を体系的に整理した技術マップ作成、及び 2050 年までの直流に関する技術ロードマップ作成を実施することを目的として、調査研究を実施した。

## 文献等調査

技術動向調査に関しては、直流に関連する国内外の可能な限り広い分野における文献、資料、実施事例等 (以下、文献等という。) を収集した。

1073 件に及ぶ収集した文献等は、分析評価に用いるためデータベース化した。データベース化に当たっては、文献等のタイトル、発表年や著者名などのほかに、使用されている直流に関するキーワードをピックアップした。収集した論文等のうち、重要と思われる約 150 件についてはアブストラクトを作成し、当該論文等の概要を把握した。

また、海外の動向調査としては、欧州 (ドイツ、ベルギー、オランダ、イギリス) 及び韓国の直流関連機関、企業、大学等を訪問し、直流に関する研究等の実施状況や直流の普及等に係る情報を入手した。その結果、海外においては、直流システムの利活用に向けた調査研究等が、我が国と比較してかなり進んでいる状況にあることがわかった。

## 技術マップ作成

技術マップ作成に関しては、学識経験者等からの意見や文献等調査で得られた知見等に基づき、直流に関するキーワードを分類整理した。

分類整理にあたっては、技術的なキーワードと非技術的なキーワードに分類した。ここで、非技術的なキーワードとは、直流システムに関連する技術の進展、普及等に影響すると思われる政治的、経済的或いは標準化の視点等を包含した。また、技術的キーワードについては、電力供給側と電力需要側に分類し、ブレーンストーミング等を実施した上で、整理した。なお、分類したキーワードに関しては、当該キーワードが直流システムに対してどのような関わりにあるかを「必要性・重要性」としてコメントを付した。

## 技術ロードマップ作成

上記のような調査研究において得られた知見等に基づき、総合的に検討した後、技術ロードマップを作成した。

作成に当たり、直流を利活用し、また展開するフィールドが多岐に亘り、異なるフィールドにおいては、技術ロードマップに大きな差異が生ずることが容易に想定された。

このことから、考えられる 6 つのフィールド (1. 新規開発地域等、2. パーソナル、3. モビリティ、4. ビル・工場、5. 配電系統及び、6. 送電系統) で展開する場合を想定し、2050 年までの 30 年間の技術ロードマップを作成した。

作成にあたっては、各フィールドにおいて展開するシナリオを更に Use Case に分け、技術ロードマップを作成した。また、各シナリオにおいて、課題となる技術テーマをリストアップし、社会実装するまでの道筋についてもロードマップに記した。

## まとめ

今回の調査で直流利活用に関する技術は、国内外の電気事業者や大学、製造者等により

研究が進められ、様々な実証事例を確認することができた。それらの情報から、直流利活用のメリットおよび課題を体系的に整理し、特に課題を技術マップに示した。今後の直流利活用の社会実装に至る道筋をロードマップに描くとともに、さらなる調査研究を継続することが必要であることを明らかにした。

# Abstract

## **Purpose**

After grasping the trends of direct current (DC) technology in Japan and overseas, we organized the issues to address, mainly technological ones, in pursuit of wider adoption of DC technology. Aiming to formulate a DC technology roadmap up to 2050, we conducted research and studies.

## **Literature survey**

For a technological trend survey, we looked into research literature, composed of approximately 1073 documents collected, related to DC in as many fields as possible in Japan and overseas. In addition, as for a survey of overseas trends, visiting Europe and Korea, we learned about research studies taking place there, and obtained their roadmap towards further adoption of DC technology. Our survey has found that research and studies to promote DC system utilization is a lot more advanced in overseas countries than in Japan.

## **Technology map creation**

Regarding the technology map creation, we extracted keywords related to DC technology, and divided them into two groups: technological keywords and non-technological keywords. In addition, we classified the “technological keywords” into two, behind the meter side and front of the meter side. Following the classification of those keywords, we analyzed how much influence each keyword would have on DC systems, and added comments in terms of the “necessity” and the “importance”.

## **Technology roadmap creation**

Based on the findings obtained in the above survey, we created a technology roadmap. Based on the assumption that the fields to be developed through application of DC technology would be diverse, and consequently the technology roadmap for each of the fields would also be greatly different, we selected six fields where the technology would be adopted (1:Vacant lot, 2: Personal use, 3:Electrified mobility, 4:Industrial buildings and Factories, 5:Distribution system, 6:Transmission system) and forecast the technological advancement to design the roadmap for the next 30 years, up to 2050. To create the roadmap, we first classified the development scenarios for each field and then grouped them by Use Case. At the same time, we listed up technological themes that must be addressed in each scenario for the roadmap and specified the course of addressing the challenges in pursuit of social implementation of DC technology.

## **Conclusion**

Through this survey, we have learned that technologies for DC application are being studied by utilities, universities and manufacturers in Japan and overseas, and confirmed various demonstration projects taking place in this field. Based on those findings, we have sorted out advantages and issues of DC application, and developed a technology roadmap, paying special attention to the issues that would need to be addressed. Specifying the course toward social implementation of DC technology in the roadmap, we have come to the conclusion that in addition to above-mentioned players the entire industry need to continue its research and studies.

# 1 調査の概要

## 1. 1 調査の目的

国内外における直流（Direct Current: DC）に関する技術の動向を把握（技術動向調査）した上で、直流利活用の普及等の視点から、主として技術的側面からの課題を整理した技術マップ、及び2050年までの直流に関する技術ロードマップを作成する。

また、調査（特にロードマップ作成）に当たっては、PESTすなわち政策（Politics）、経済（Economy）、社会（Society）、技術（Technology）を見据えながら、総合的な検討を実施するよう考慮する。

## 1. 2 調査の概要

本調査業務においては、先端的で豊富な知見をもつ大学・公的機関の学術有識者や、直流利活用技術を研究開発し豊富な実績を有するメーカーを含めた産業界の有識者等による緊密な産学官の体制を構築して本調査業務を遂行した。

### 1. 2. 1 直流利活用に関する技術動向

#### (1) 文献調査等

直流利活用に関連する国内外の論文、資料、ホームページ情報などを調査し、一覧表に整理した。収集した文献については、キーワードをピックアップするとともに、キーワードの技術分類番号を付番して必要な文献を検索する際の利便性を確保した。

また、技術マップの作成のため、文献収集で整理した一覧表の中から重要と思われる論文等についてピックアップし、要約としてアブストラクト、得られた知見、課題、想定される導入時期について整理した。

特許等に関しては、直流に関する特許、実用新案について特許データベースから検索を行った。

#### (2) 直流利活用に関する実用化等事例について

##### ① 国内事例

収集した文献の中から実証事例の文献を選定して、その概要と得られた知見、課題等についてアブストラクトの形式でまとめた。

##### ② 海外事例

収集した文献の中から実証事例の文献を選定して、その概要と得られた知見、課題等についてアブストラクトの形式でまとめた。

#### (3) 海外調査

国内外の直流利活用の研究開発、実証試験、実用化事例及び運用実績などについて、論文誌や国際会議予稿集による情報収集を行った。また、Webや文献、資料、事例紹介等による調査に加えて、エキスパートへのヒアリングや実践の状況を調査により、情報を補完し、策定する技術マップ及び技術ロードマップの充実を図ることを目的として、海外調査

を実施した。

- ① 欧州動向調査
- ② 韓国動向調査
- ③ 世界の市場動向調査

### 1. 2. 2 直流利活用に関する技術マップ

技術マップの作成に関しては、学識経験者等からの意見や、文献等調査で得られた知見に基づいて、直流利活用に関連するキーワードを分類整理し技術マップを構築した。

分類した技術キーワードに関しては、当該技術が直流に対してどのような関りがあるのかについてのコメントも付記した。

### 1. 2. 3 直流利活用に関する技術ロードマップ

解決すべき課題ごとに、2050年までの30年間を10年間隔程度の時間軸に落とし込んだ技術ロードマップを作成した。

作成に当っては、展開するフィールドが多岐にわたることから、直流の普及に関して考えられる6つのシナリオについて、それぞれの技術ロードマップとして展開した。

### 1. 2. 4 スケジュール

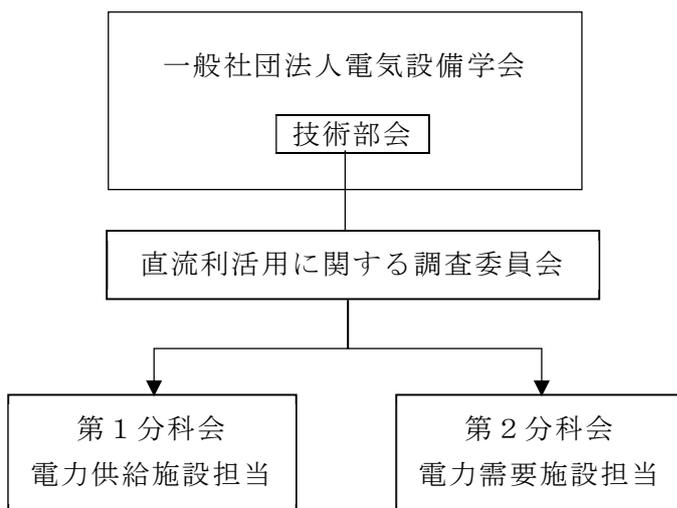
以下のスケジュールにより、調査業務を実施した。

事業項目	2019年度			
	12月	1月	2月	3月
①技術動向調査	論文等文献調査(国内, 海外) →			
	動向等調査(国内, 海外) →			
	特許等調査 →			
	海外調査 →			
②技術マップ作成	→			
③技術ロードマップ作成	→			

### 1. 2. 5 実施体制

調査の実施に当たっては、電気設備学会の技術部会の中に「直流利活用に関する調査委員会」を設け、学識経験者や有識者など、直流利活用に関して知見を有する専門家を幅広い分野から招聘し、委員会を構成した。

さらに、委員会の下部組織として2つの分科会を設置し、それぞれ電力供給施設と電力需要施設の直流利活用に関する調査業務に当たった。



#### 直流利活用に関する調査委員会

委員長	日 高 邦 彦	東京電機大学／東京大学 名誉教授
副委員長	道 下 幸 志	静岡大学
委員	稲 月 勝 巳	電気事業連合会
委員	大 関 崇	(国研)産業技術総合研究所
委員	五 来 高 志	(一社)日本電線工業会
委員	境 武 久	三菱電機(株)
委員	田 中 一 彦	(一社)日本電機工業会
委員	都 筑 秀 明	(一社)日本電気協会
委員	林 屋 均	東日本旅客鉄道(株)
委員	飛 田 恵理子	(特非)東京都地域婦人団体連盟
委員	藤 原 昇	(一社)電気学会
委員	本 山 英 器	(一財)電力中央研究所
委員	森 田 潔	(一社)電気設備学会

#### 第1分科会

主 査	本 山 英 器	(一財)電力中央研究所
委員	安 芸 裕 久	筑波大学
委員	東 竜 也	(株)きんでん
委員	泉 井 良 夫	金沢工業大学

委員	伊東淳一	長岡技術科学大学
委員	小池洋二	(一社)日本電線工業会
委員	小林浩	(株)トーエネック
委員	小林幸信	(一社)日本電気協会
委員	酒井重嘉	(株)関電工
委員	境武久	三菱電機(株)
委員	佐藤栄徳	東日本旅客鉄道(株)
委員	玉越富夫	日本ガイシ(株)
委員	中村敦	東京電力パワーグリッド(株)
委員	野呂康宏	工学院大学
委員	東川甲平	九州大学
委員	北條昌秀	徳島大学
委員	松田章志	関西電力(株)
委員	森田潔	(一社)電気設備学会

第2分科会

主査	道下幸志	静岡大学
委員	門勇一	京都工芸繊維大学
委員	加藤正樹	(一財)電気安全環境研究所
委員	金堀雄介	(一社)電動車両用電源供給システム協議会
委員	神谷岳	(株)村田製作所
委員	小林幸信	(一社)日本電気協会
委員	酒井重嘉	(株)関電工
委員	財津俊行	オムロン(株)
委員	鈴木義夫	(一社)電気設備学会
委員	名取賢二	千葉大学
委員	浜田光真	(一社)日本電線工業会
委員	村文夫	NTTデータ先端技術(株)
委員	山口健二	パナソニック(株)ライフソリューションズ社
委員	雪田和人	愛知工業大学
委員	吉田誠	(一社)CHAdeMO協議会

## 2 直流利活用に関する技術動向

### 2. 1 アンケート調査

委員会・分科会参加メンバー（計29名）に対し、下記の各項目について、アンケート調査を実施した。

（設問1）直流の利活用に関する要素技術、応用に関するキーワードの抽出

（設問2）直流の社会実装に向けた想定シナリオと障壁について

（設問3）PEST面からのメリット、デメリット、課題

（PEST：政策（Politics）、経済（Economy）、社会（Society）、技術（Technology））

（設問4）直流の利活用に関する文献、資料、情報など

#### (1) 技術キーワードの抽出

（設問1）により得られたキーワードを**第2. 1. 1表**のように集計した。

多く出現するキーワードは、関心の深さに関係すると判断し、出現数を纏めた。また、サブ項目に分類したキーワードが、電力供給側及び電力需要側のいずれに属するかもに示した。整理した結果を表1に示す。

**第2. 1. 1表 技術キーワード抽出結果**

技術分類	出現数	供給	需要	技術分類	出現数	供給	需要
1. 直流の安全、保護関連技術				6. 直流運用関連技術			
事故時直流電流遮断技術（遮断器）	23	○	○	マイクログリッド技術（災害時等の電源安定化）	8		○
地絡保護等、保護技術、雷保護、感電保護	14	○	○	多端子運用技術	6	○	
残留電荷、接地、電食防止	3	○	○	DC直結の再エネPCS、蓄電池運用技術	5	○	○
系統停電時の無瞬停切り替え	1	○		エネルギーマネージメントシステム（DC向け）	1	○	○
静磁界の影響リスク	1	○	○	PLC（電力線搬送システム）	1		○
高調波対策	3	○	○	再エネ発電予測	2	○	○
リスク対策（AC-DC併用時の誤使用など）	1		○				
EV等負荷機器接続集中時のリスク対策	1	○	○	7. 直流活用関連技術			
				EV活用技術	3		○
2. 直流送配電関連技術				車両、航空機、船舶の電動化	3		○
直流配電システム	5	○		データセンター等、情報通信分野の電源設備	2		○
直流送配電電圧制御、ネットワーク制御	3	○		無線給電技術	1		○
直流送配電保護協調、絶縁協調	5	○		鉄道電力の利活用	1		○
送電損失低減	2	○					
超電導技術	2	○		8. 直流標準化関連			
洋上風力、海洋エネ発電からの直流システム	1	○		直流家電、直流負荷機器	6		○
				電圧標準化	6	○	○
3. 直流変換器関連技術				直流コンセント、プラグ	3		○
直流変圧器、変換器（DC-DC、AC-DC、DC-AC）	16	○	○	DC関連電力計器	2	○	○
昇圧チョッパ高効率化	1	○		直流規格統一	2	○	○
4. 蓄エネ関連技術				9. 直流化社会への理解			
蓄電、蓄エネ技術（エネルギーストレージ）	11	○	○	直流化に関する社会への理解、周知、啓発	3	○	○
				低コスト化	3	○	○
5. ケーブル関連技術				補助金制度	1	○	○
ケーブル冷却技術	1	○		交流との融合	1	○	○
ケーブルスリム化	1	○	○				
既設ケーブルの利用	1	○	○				
大電流化に伴う熱問題	1	○					

## (2) キーワードの分類

前項において、アンケートおよび特許調査で得られた情報をもとに、キーワードを電力供給・電力利用、直流技術共通、非テクニカルに大別し、そこから更に細分化を図って整理した。この結果を第2.1.2表とする。

第2.1.2表 アンケートと特許調査で得られたキーワードの細分表

大分類	中分類	小分類	キーワード	
電力供給技術	①再生可能エネルギー	太陽光発電 風力発電 その他の再エネ	太陽光発電、宇宙太陽光発電、DC直結PCS、FIT制度 陸上風力発電、洋上風力発電 バイオマス、地熱、水力、海洋エネルギー、人工光合成等	
		②小型分散型電源	燃料電池 エネルギーハーベスト	家庭用、産業用 可視光、力学、熱、電波エネルギー
	③送配電	超高压直流送電 電力変換、周波数変換 ケーブル関連技術 超電導技術 制御	ブラックスタート、多端子送電、広域連系（国内、国家間）、 交流→直流化 自励式、他励式、高効率化、直流変圧器、MMC 冷却技術、スリム化、熱対策、既設利用検討 送電損失低減、常温超電導、高信頼化、低コスト化 電圧制御、ネットワーク制御、直流遮断器	
電力利用技術	④運輸システム	鉄道 電気自動車 飛行機、船舶	高電圧化、架線利用、リニアモーター 自動運転、非接触給電、充電スタンド、蓄電池利活用 EV、HV、PHV、FCV、モビリティグリッド DC飛行機、DC船舶、航空灯火施設、ISSの電気設備	
		⑤産業システム	DC工場 DC屋内農場	スマートインバータ LED照明栽培
		⑥家庭・業務	家電DC化 DCビル	安全対策、既存配線の利用技術 ビル用DC機器、DC事務機器、ZEB、ZEH
	⑦情報通信	データセンター 情報関連システム 通信関連システム	電力量削減、発熱量削減、空調負荷削減 量子コンピュータ、IoT、AI、ブロックチェーン 5G・6G、PLC（電力線搬送システム）、センサネットワーク	
DC技術共通	⑧蓄電・蓄エネルギー	二次電池	リチウムイオン電池、NAS電池、レドックスフロー電池 電気二重層キャパシタ	
		水素貯蔵	水素貯蔵（再エネ由来水素含む）、水素ステーション	
	⑨パワー エレクトロニクス	パワー半導体	高効率化（昇圧チョッパ等） スマートインバータ、DC直結PCS、直流変圧器 AC-DC DC-DC DC-AC変換	
	⑩エネルギー マネジメント	スマートグリッド （電力流通） マイクログリッド	需給調整、アグリゲータ・VPP、系統停電時の無瞬停切替 AC-DC併用時の運用、再エネ発電予測、自立分散制御 EV連携（再エネ負荷接続集中時対応等）、電力融通装置 デマンドレスポンス、エネルギーシェア、確率的最適化制御 エネルギーレジリエンス（災害時電源安定化等）	
	⑪安全、保護技術	直流電流遮断技術 直流保護技術 周辺への影響対策	アーク対策、半導体遮断 短絡、過電流、地絡、雷保護、感電保護、残留電荷、保護協 電食、静磁界（電磁波）影響、高調波、自動事故復旧制御	
	⑫標準化	電圧標準化 電力品質 直流プラグ、コンセント 計測、計量器 規格統一	国際規格  データ（電力量など）、ネットメータ 国際規格、試験方法、認証方法	
非テクニカル	⑬政策（P）	設備更新対応	融資制度、税制優遇、実証検証・社会実装 地産地消	
		新興国支援	未電化地域の電化促進 ODA支援等	
		法令、規格 国際関係	IEC、JIS、技術基準、電気事業法 電気工事士法 エネルギー安全保障、国際規格、地球温暖化対策	
⑭経済、市場（E）	省エネルギー、省資源 低コスト化	化石燃料、銅資源		
⑮社会（S）	教育、啓発 安全	国民の理解、利活用教育、専門家不足、技術継承 安全性の担保、災害対策、AC-DC併用時の誤使用対策		

※○囲み数字は、文献整理時の分類用に使用した。

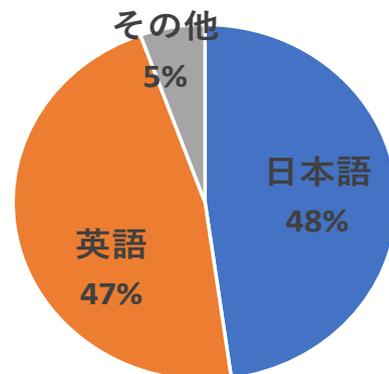
## 2. 2 文献調査等

### 2. 2. 1 文献調査

#### (1) 文献収集

前項に基づき，直流利活用に関連する国内外の論文，資料，ホームページ情報などを調査した．収集した文献については，**第2. 1. 2表**で細分化したキーワードをピックアップするとともに，キーワードの技術中分類番号を付番して必要な文献を検索する際の利便性を確保した（**第2. 2. 1表**参照）．

収集した文献は総数で1073件であり，そのうちの約48%が日本語の文献だった．また，「その他」（59件）のうち，34件が中国語，19件が韓国語となっている．



第 2. 1. 1 図 日本語とその他の言語の比率

第2. 2. 1表 技術分類別文献数

大分類	中分類	文献数
電力供給技術	①再生可能エネルギー	237
	②小型分散型電源	57
	③送配電	185
電力利用技術	④運輸システム	111
	⑤産業システム	24
	⑥家庭・業務	42
	⑦情報通信	50
直流技術共通	⑧蓄電・蓄エネルギー	107
	⑨パワーエレクトロニクス	153
	⑩エネルギーマネジメント	306
	⑪安全，保護技術	105
	⑫標準化	35
非テクニカル	⑬政策（P）	75
	⑭経済，市場（E）	56
	⑮社会（S）	52

※表中の文献数は，1文献について複数の分類カテゴリを選択可としたため，合計数と文献総数は一致しない．

収集した文献を整理してみると、「中分類⑩エネルギーマネジメント」に含まれている，制御，運用に関する文献が最も多い．次いで「中分類①再生可能エネルギー」や「中分類⑧蓄電・蓄エネルギー」との組合せにより，安定した直流の利活用に関する文献が多数見られた．

また，すでに世界各地で実用化されているHVDCの長距離送電に関連したもの（中分類③送配電）や，直流のシステムに欠かすことができない変換装置を構成する半導体技術（中分類⑨パワーエレクトロニクス），電気自動車や電気鉄道の利活用に関する文献（中分類④運輸システム），さらに直流利活用で問題となる安全・保護の課題（中分類⑩安全・保護技術），法律や基準・規格類の整備のような制度上の課題（中分類⑫標準化，中分類⑬政策）に関しても多くの文献の中に確認することができた．

## (2) アブストラクト作成

技術マップの作成のため，文献収集で整理した一覧表の中から重要と思われる論文等についてピックアップし，要約としてアブストラクト，得られた知見，課題，想定される導入時期について整理した（**第2. 2. 2表**参照）．

また，この整理した情報については，技術マップと技術ロードマップの作成に利用した．

なお，電圧区分は統一されたものがないが，アブストラクト作成に当たっては，概ね以下のように区分している．

低圧 (LV)	1.5 kV 以下
中圧 (MV)	30 kV 程度以下
高圧 (HV)	30 kV 程度超過

## 第2. 2. 2表 一例. アブストラクト

文献タイトル	AC給電とDC給電による照明器具の消費電力に関する検討(第2報)			
(和訳)				
著者	愛知工業大学 河原 大地、三好 弘明、雪田 和人、後藤 泰之、一柳 勝弘、依田 正之 株式会社きんでん 森田 祐志			
発表年	2015年			
キーワード	直流給電、交流給電、LED照明、調光センサ			
出典、掲載誌	2015年電気設備学会全国大会 (A-23) 57、58頁			
アブストラクト	<p>1 はじめに 太陽光発電装置など直流系にて発電された電力を交流変換なしで使用できれば、消費電力の効率向上を期待することができる。本論文では、調光センサを導入したLED照明における交流給電と直流給電における消費電力の比較を行ったので報告する。</p> <p>2 モデル系統 本学新2号館では、交流給電用LED照明器具32灯と直流給電用LED照明器具24灯を設置しているが、本論文では、この内の各1灯を用いて検討を行った。 この消費電力を検討するための実験回路を図3と図4に示す。図3に示す点Aは、交流給電システム、直流給電システムにおける消費電力の計測点を示している。図4における点Bは、交流給電システム、直流給電システムの電流値を計測する点を示している。</p> <p>3 実験方法 図3のモデル系統において、直管型LED照明を交流給電(AC100V)と直流給電(DC380V)で給電し、それぞれにおける消費電力の比較・検討を実施した。各LED照明において約30分間点灯し、消費電力が安定した後、5分間の計測を実施した。 この時、LED照明は外部から接続された調光器を用いて、図4のB点における交流システムと直流システムの出力電流値が等しくなるように設定し、交流と直流の照明器具の消費電力の比較を行った。</p>			
電圧区分	HVDC	MVDC	LVDC ●	その他
得られた知見	<ul style="list-style-type: none"> <li>交流システムと直流システムの出力電流値を合わせた際における消費電力について検討した結果、直流給電の消費電力は交流給電と比較して、約25%減少した。</li> <li>以上の結果より、直流給電システムは省エネルギー化が期待できると考えられる。</li> </ul>			
課題 [P]政策 [E]経済 [S]社会 [T]技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>今後は、対人センサや明るさセンサを考慮した検討や、直流システム全体における容量や損失を含め、さまざまな家電機器を用いて、比較・検討を行っていく予定である。(E、T)</li> </ul>			
想定される 導入時期	2020 —— 実証レベル	2030 —— 市場導入	2040	2050

## 2. 2. 2 特許調査

### (1) 目的

直流利活用の実態把握に当り、特許等の動向は、当時において、新たな技術や話題となった技術のトレンドが概観できる可能性があることから、特許及び実用新案（以下、特許等）についてのデータベース検索を行った。

### (2) 検索項目等の選定

#### a. 検索期間

- 1) 大きな流れを把握するため、「直流」のキーワードに関しては、1970年からのデータを対象とした。
- 2) 「直流」のうち、個別のキーワードに関しては、特許等の有効期限等を考慮し、2000年以降とした。

#### b. 検索キーワード

- 1) 検索のキーワードは、既にアンケート調査した結果としての**第2. 1. 2表**を参考にした。
- 2) 同表における非テクニカル分野を除く技術分類の「中分類」ごとに特徴的なキーワードを選定した。

#### c. 検索データベース

- 1) 特許等の検索に当たっては、独立行政法人工業所有権情報研修館の特許プラットフォーム「J-PlatPat」を活用した。URLは以下のとおり。

<https://www.j-platpat.inpit.go.jp/>

### (3) 検索結果

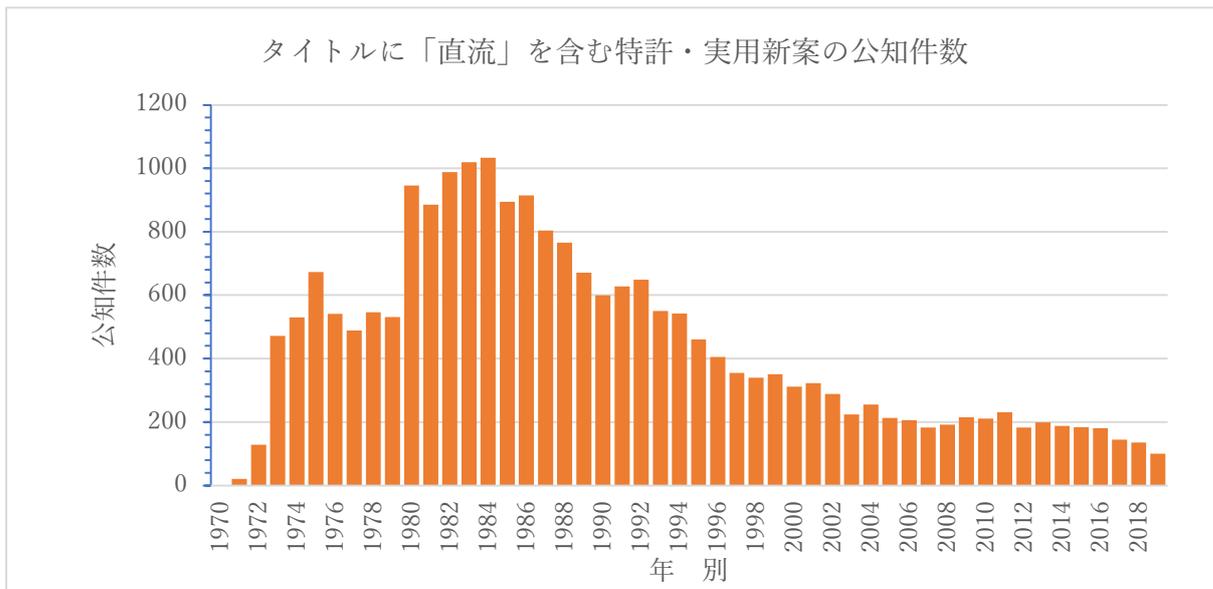
検索した結果を第2. 2. 3表, および第2. 2. 1図, 第2. 2. 2. (a) ~ (m)図に示す.

第2. 2. 3表 特許, 実用新案の公知件数

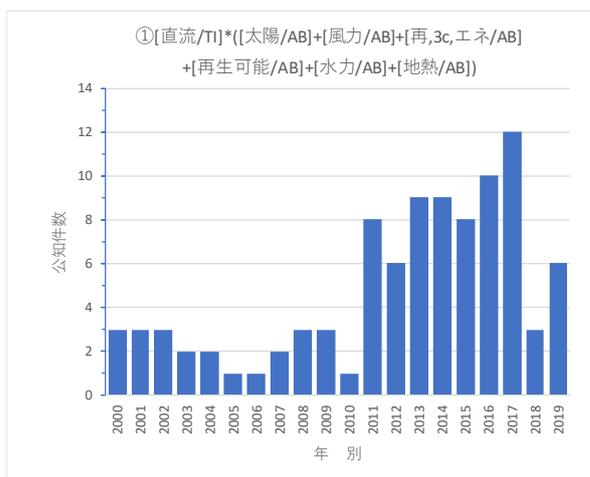
分類 番号	キーワード (TI: 特許タイトル, AB: アブストラクト, *: and, +: or)	年代別公知件数					
		1970 ~1979	1980 ~1989	1990 ~1999	2000 ~2009	2010 ~2019	計
	[直流/TI]	3,930	8,918	4,878	2,410	1,756	21,892
①	[直流/TI]*([太陽/AB]+[風力/AB]+[再,3c,エネ/AB]+[再生可能/AB]+[水力/AB]+[地熱/AB])	6	20	22	23	72	143
②	[直流/TI]*([燃料電池/AB]+[分散電源/AB]+[分散,2c,電源/AB])	2	3	19	30	15	69
③	[直流/TI]*([送電/AB]+[多端子/AB]+[超高压/AB]+[自励/AB]+[他励/AB]+[超,1c,導/AB])	135	340	131	51	93	750
④	[直流/TI]*([電気自動車/AB]+[車両/AB]+[車輛/AB]+[船舶/AB]+[飛行機/AB]+[回生/AB])	135	249	101	82	66	633
⑤	[直流/TI]*([給電/AB]+[配電/AB])	119	418	225	183	221	1,166
⑤	[直流/TI]*([インバータ/AB]+[コンバータ/AB]+[工場/AB])	116	438	445	240	204	1,443
⑥	[直流/TI]*([家電/AB]+[家庭/AB]+[コンセント/AB]+[器具/AB]+[プラグ/AB]+[差込/AB]+[USB/AB]+[LED/AB])	15	55	59	52	110	291
⑦	[直流/TI]*([データセンタ/AB]+[IoT/AB]+[AI/AB]+[ブロックチェーン/AB]+[PLC/AB]+[電力線搬送/AB]+[センサ/AB]+[通信/AB])	41	202	223	115	117	698
⑧	[直流/TI]*([蓄電/AB]+[電力貯蔵/AB]+[蓄エネ/AB]+[水素/AB]+[キャパシタ/AB]+[NAS/AB]+[レドックス/AB])	38	174	94	70	118	494
⑨	[直流/TI]*([変圧器/AB]+[半導体/AB]+[電力変換/AB]+[パワーエレ/AB]+[チョップパ/AB]+[変換器/AB])	480	1,236	624	310	355	3,005
⑩	[直流/TI]*([グリッド/AB]+[電力網/AB]+[電力融通/AB]+[分散/AB]+[制御/AB]+[マネジメント/AB]+[系統/AB]+[VPP/AB]+[レジリエンス/AB]+[災害/AB])	1,331	3,073	1,731	899	756	7,790
⑪	[直流/TI]*([安全/AB]+[保護/AB]+[感電/AB]+[アーク/AB]+[短絡/AB]+[地絡/AB]+[雷/AB]+[高調波/AB]+[遮断/AB]+[電食/AB])	641	1,641	1,070	495	510	4,357
⑫	[直流/TI]*([標準/AB]+[規格/AB]+[品質/AB]+[基準/AB]+[指針/AB]+[国際/AB]+[法令/AB]+[計量/AB]+[計測/AB])	219	895	521	207	139	1,981
	1 ~ 12 合計	3,278	8,744	5,265	2,757	2,776	22,820

注1 ○囲み数字は, 第2. 1. 2表の「中分類」の項目番号と符合する.

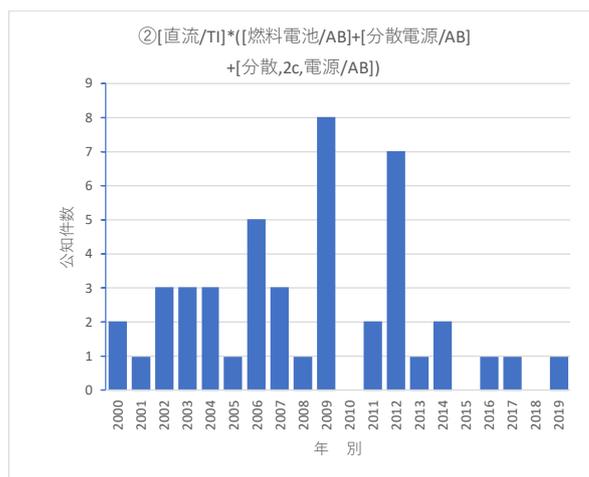
注2 同一の特許等に複数の検索キーワードが含まれていることがあるため, 「1 ~ 12 合計」には重複した件数も加算されている.



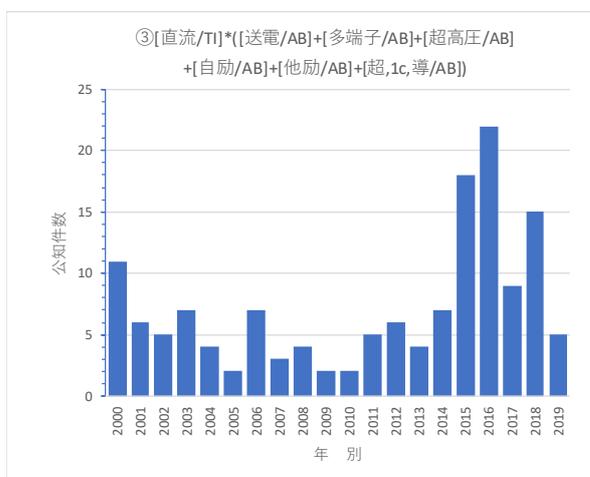
第2. 2. 1図



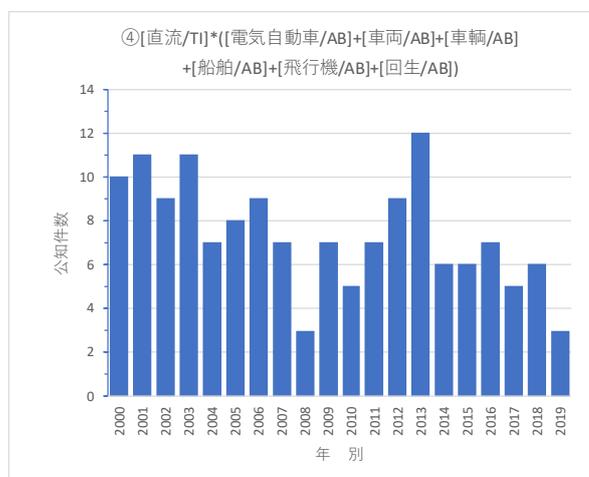
第2. 2. 2. (a)図



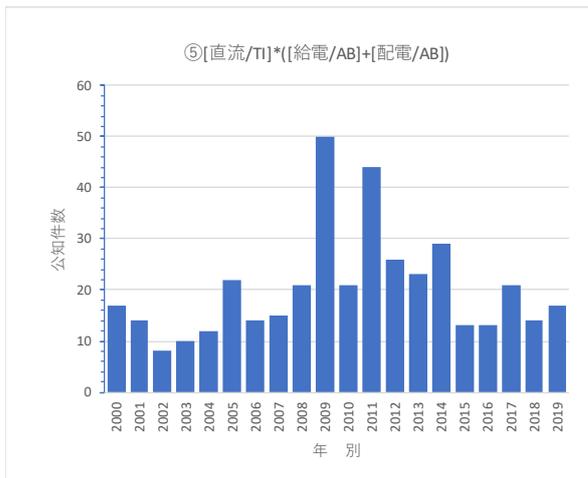
第2. 2. 2. (b)図



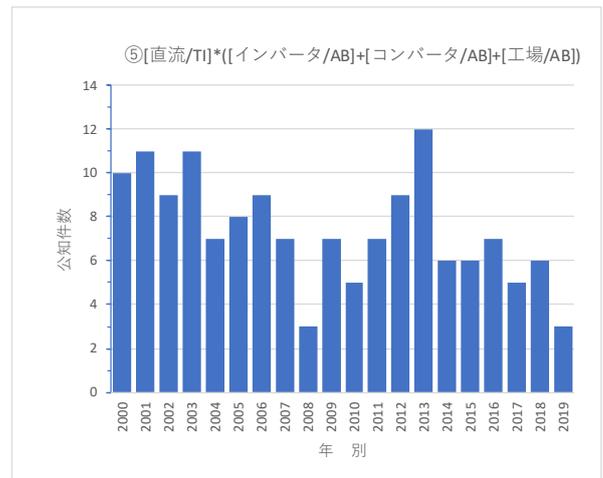
第2. 2. 2. (c)図



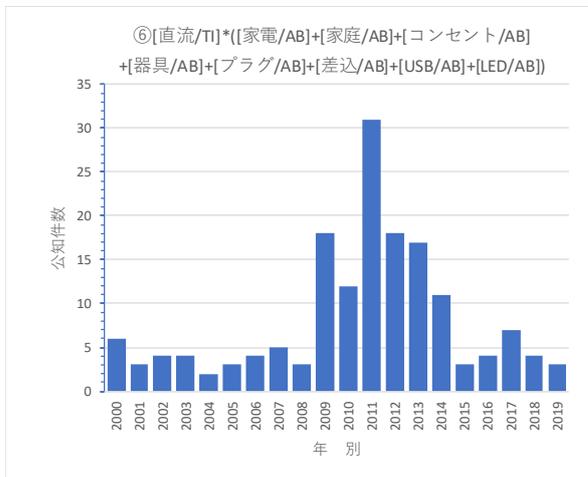
第2. 2. 2. (d)図



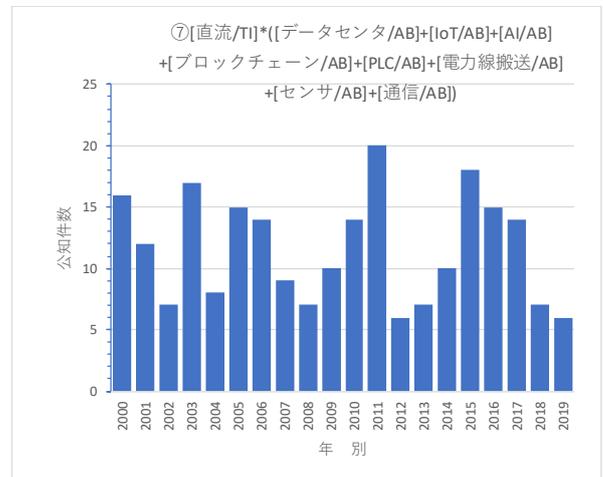
第2. 2. 2. (e-1)図



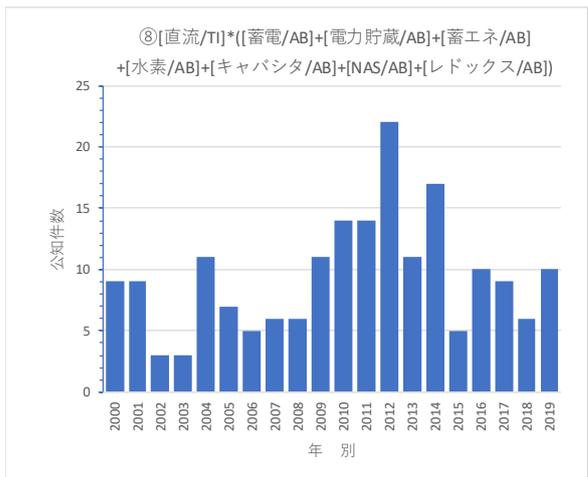
第2. 2. 2. (e-2)図



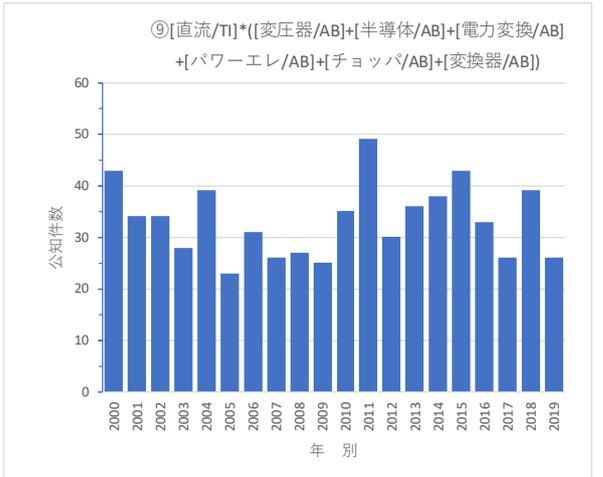
第2. 2. 2. (f)図



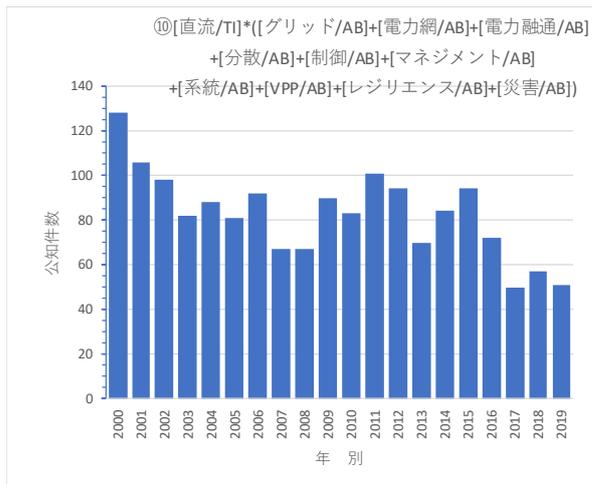
第2. 2. 2. (g)図



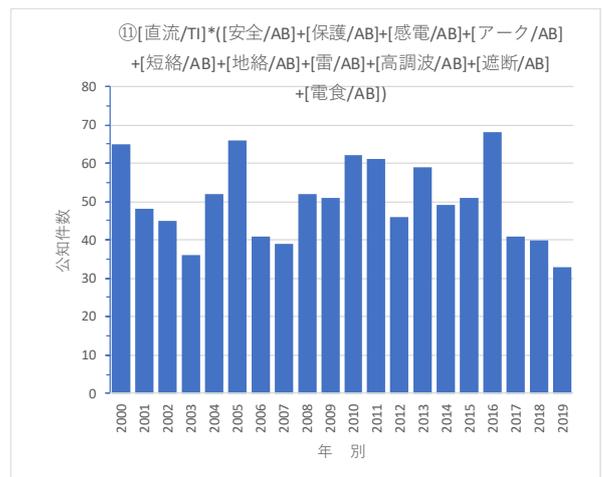
第2. 2. 2. (h)図



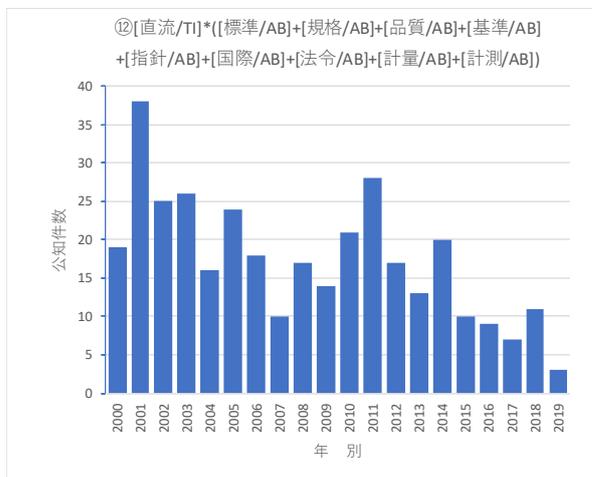
第2. 2. 2. (i)図



第2. 2. 2. (j) 図



第2. 2. 2. (k) 図



第2. 2. 2. (l) 図

#### (4) 考察

直流に関する特許等は、1970年頃より出願され始めてから1990年ごろにかけて盛んに出願があったが、以降は減少傾向となっている。これは、直流のメリットを活かした海外での直流送電設備が1970年代頃から導入が検討され始めたことと関連している（第2. 2. 1 図参照）。

近年の出願件数は「直流」全体としては減少傾向ではあるが、内容によっては増加傾向にあるものもあり、キーワード別の特徴は以下のとおりである。

##### a. 再生可能エネルギー関連（第2. 2. 2. (a) 図参照）

- 1) 直流と親和性が高い太陽光等の再生可能エネルギーを利用した発電電力を、直流グリッドに接続する技術の特許等が目立っており、特に2010年代以降で出願件数が増えている。
- 2) 大規模な太陽光発電設備や風力発電設備が電力消費地から離れていることから、これらの電力を輸送する手段として直流を活用するについても検討されている。

- b. 燃料電池・分散電源関連（**第2. 2. 2. (b) 図**参照）
- 1) 燃料電池等の分散電源を直流配電システムに接続する際の電圧制御技術や、燃料電池の自動車への応用に関する技術が多くみられる。
  - 2) 電機メーカー、自動車メーカーのほか、建設会社が出願するケースも見られる。
- c. 送電関連（**第2. 2. 2. (c) 図**参照）
- 1) 2010年代に入り送電用の変換器、遮断器等に関する技術や、多端子送電システム等の制御に関する特許等の出願が多くみられる。
  - 2) 韓国のメーカーによる出願が目立っていることが特徴として挙げられる（2015年以降で21件）。
- d. モビリティ関連（**第2. 2. 2. (d) 図**参照）
- 1) この分野の特許等は、電気自動車や燃料電池車に用いられる直流駆動装置に関するものが圧倒的に多いが、電気鉄道の制御や回生電力の利用に関する技術についても確認することができる。
- e. 産業システム関連（**第2. 2. 2. (e)-1 図**及び**第2. 2. 2. (e)-2**参照）
- 1) 給電や配電をキーワードにした特許等は各年代においてコンスタントにみられる。特に、電力利用サイドの分電盤や配線、配線器具等に関するものが多くなっている。
  - 2) インバータ、コンバータ、工場等、産業分野に関連する特許についても各年代で出願されている。
- f. 家電、コンセント関連（**第2. 2. 2. (f) 図**参照）
- 1) 安全性を高めた直流用コンセントやアーク対策を施した直流用の接続装置などの特許出願が目立っているが、出願の時期は2010年前後が多くなっており、開発がかなり進んでいることが窺える。
- g. 情報通信関連（**第2. 2. 2. (g) 図**参照）
- 1) 直流システムを運用するためには、システムの状況を常時監視して最適な状態を維持するとともに、異常が生じたときには直ちに警報を発して必要な安全措置を講じる必要がある。これらの運用の各段階において必要となるのが的確な監視を行うセンサ技術と、それを必要な個所に情報伝達する通信技術である。したがって、この分野の技術に関する特許等は、各年代を通して出願されている。
- h. 蓄電池・電力貯蔵関連（**第2. 2. 2. (h) 図**参照）
- 1) この分野は、太陽光発電等と組み合わせることで安定した直流システムを構築できることから、2010年頃からの出願件数が多くなっている。
- i. 変圧器、半導体関連（**第2. 2. 2. (i) 図**参照）
- 1) 直流システムを構築する上で、変圧器と半導体は主要な構成要素となる。したが

って、特許等の件数も2000年以降の各年代において大きくなっている。

- 2) 特に半導体に関しては、いわゆるパワエレの技術が急速に進化して、電力の変換器や遮断器の開発に欠かせないものとなっている。

j. 直流グリッド，制御関連（第2. 2. 2. (j) 図参照）

- 1) グリッド，制御等に関する特許等の出願はコンスタントにみられるが，その中で直流スマートグリッド，マイクログリッドに関する特許等については，出願数は多くないながら近年になってみられるようになってきており，それらは米国，中国などの外資系企業からの出願が目立っている。

k. 安全，保護関連（第2. 2. 2. (k) 図参照）

- 1) 交流においても同様であるが，直流を利用するにあたっての安全と保護技術は最重要課題の一つである。そのため，遮断技術はもとより，直流システムの各段階における安全装置や保護装置に関する技術が開発されている。

l. 標準，規格関連（第2. 2. 2. (l) 図参照）

- 1) 直流の利活用を普及させるためには，設備や機器等ハードウェアの標準化や規格化が欠かせない要素である。2000年以降では，直流で使用するコンセントの規格に関する特許の出願が目立っている。

## 2. 3 直流利活用に関する実用化等事例

### 2. 3. 1 国内事例

まとめたアブストラクトの中から特に注目すべき国内事例について、以下に紹介する。

#### (1) 事例 1 オフィスビルの事例（大阪 栗原工業ビル）

##### 第2. 3. 1表(1) 栗原工業ビル

文献タイトル	中小規模オフィスビルにおけるBCP対応と照明直流給電を組み合わせたエネルギーマネジメントシステムの導入事例			
(和訳)				
著者	株式会社竹中工務店 松倉 想馬、篠島 隆司、岡野 健二 栗原工業株式会社 橋本 昌典 パナソニック株式会社 山城 治彦			
発表年	2019年			
キーワード	直流給電、BCP、省エネルギー、デマンドコントロール、デマンドレスポンス、VPP			
出典、掲載誌	2019年電気設備学会全国大会 (G-4) 395、396頁			
アブストラクト	<p>1 はじめに</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・中小規模オフィスビルを対象に、分散電源を直流電力のまま取り込み可能なエネルギーマネジメントシステムと、直流電源対応の照明器具を組み合わせることで、直流電力を直流のまま給電し、変換ロスを低減し、再生可能エネルギーの利用効率の向上を図った。</li> <li>・非常用発電機とも連携し、BCP対応と直流給電を組み合わせた次世代給電システムの実現を目指した「栗原工業ビル」における実例を元に報告する。</li> </ul> <p>2 建築計画</p> <p>表1に建築概要を示す。栗原工業(株)の新本社ビルで、事業の継続性と省エネルギー性の両立を主軸とし、免震構造の採用と72時間のBCP性能を確保している。</p> <p>3 エネルギーマネジメントシステム</p> <p>① 電力需給システム：多種電源を組み合わせたスマートエネルギーマネジメントシステムを採用した。図2に概念図を示す。</p> <p>② 多種電源の構成：分散電源の機器構成を表2に、直流給電システム図を図3に示す。</p> <p>③ 照明計画：全館LED照明とし、3階を災害時拠点階と位置づけ、当該執務室はベースライト全数を新規開発の直流電源対応器具とした。また、直流給電による変換ロスの低減効果を、太陽光発電から直接照明器具へ給電する場合を想定し試算した結果、交流給電の場合と比較して約10%と想定した。</p> <p>④ BCP計画：災害時インフラの復興基地としての機能維持のための免震構造とし、電源・給水の72時間のBCP対応を行う計画としている。商用電力停電時は、ディーゼル非常用発電機300kVA、さらに、一部の負荷には直流給電システムからの自立運転供給が可能とした。図5に停電時の給電フロー図を示す。</p>			
電圧区分	HVDC	MVDC	LVDC ●	その他
得られた知見	・中小規模オフィスビルに、BCPや省エネルギーと組み合わせ、かつ、直流給電システムを採用した最新のエネルギーマネジメントシステムの導入事例である。			

## 第2. 3. 1表(2) 栗原工業ビル

<p>課題</p> <p>[P]政策</p> <p>[E]経済</p> <p>[S]社会</p> <p>[T]技術</p>	<p>・今後は、建物の使用開始にともない、システムの運用状況をみながら、分散電源の最適な運用パターン の確立や、直流給電の効率検証を行っていく予定である。(E、T)</p>																																								
<p>想定される 導入時期</p>	<p>2020</p> <p>-----</p> <p>市場導入</p>	<p>2030</p> <p>-----</p>	<p>2040</p> <p>-----</p>	<p>2050</p> <p>-----</p>																																					
<p>建築概要等</p>	<p>表1 建築概要</p> <table border="1"> <tr><td>建物名称</td><td>栗原工業ビル</td></tr> <tr><td>建築主</td><td>栗原工業(株)</td></tr> <tr><td>主用途</td><td>事務所</td></tr> <tr><td>計画地</td><td>大阪市北区</td></tr> <tr><td>設計施工</td><td>(株)竹中工務店</td></tr> <tr><td>規模・構造</td><td>S造 F8・P1 ※執務室3~7階</td></tr> <tr><td>建築面積</td><td>821 m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>延床面積</td><td>6546 m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>竣工年月</td><td>2019年3月</td></tr> </table>		建物名称	栗原工業ビル	建築主	栗原工業(株)	主用途	事務所	計画地	大阪市北区	設計施工	(株)竹中工務店	規模・構造	S造 F8・P1 ※執務室3~7階	建築面積	821 m <sup>2</sup>	延床面積	6546 m <sup>2</sup>	竣工年月	2019年3月	<p>表2 分散電源リスト</p> <table border="1"> <tr><td rowspan="5">PCS盤</td><td>DC/AC変換器</td><td>50kVA</td></tr> <tr><td>PV用DC/DC変換器</td><td>10kW</td></tr> <tr><td>蓄電池用DC/DC変換器</td><td>50kW</td></tr> <tr><td>EV用DC/DC変換器</td><td>10kW×2</td></tr> <tr><td>直流分電盤用DC/DC変換器</td><td>10kW</td></tr> <tr><td rowspan="2">蓄電池盤</td><td>リチウムイオン蓄電池 (リユースバッテリー)</td><td>72kWh (18kWh×4)</td></tr> <tr><td>EV充電器盤</td><td>屋外自立型 CHAdeMO準拠 10kW×2</td></tr> <tr><td>太陽光発電</td><td>多結晶シリコン</td><td>10kW</td></tr> </table>		PCS盤	DC/AC変換器	50kVA	PV用DC/DC変換器	10kW	蓄電池用DC/DC変換器	50kW	EV用DC/DC変換器	10kW×2	直流分電盤用DC/DC変換器	10kW	蓄電池盤	リチウムイオン蓄電池 (リユースバッテリー)	72kWh (18kWh×4)	EV充電器盤	屋外自立型 CHAdeMO準拠 10kW×2	太陽光発電	多結晶シリコン	10kW
建物名称	栗原工業ビル																																								
建築主	栗原工業(株)																																								
主用途	事務所																																								
計画地	大阪市北区																																								
設計施工	(株)竹中工務店																																								
規模・構造	S造 F8・P1 ※執務室3~7階																																								
建築面積	821 m <sup>2</sup>																																								
延床面積	6546 m <sup>2</sup>																																								
竣工年月	2019年3月																																								
PCS盤	DC/AC変換器	50kVA																																							
	PV用DC/DC変換器	10kW																																							
	蓄電池用DC/DC変換器	50kW																																							
	EV用DC/DC変換器	10kW×2																																							
	直流分電盤用DC/DC変換器	10kW																																							
蓄電池盤	リチウムイオン蓄電池 (リユースバッテリー)	72kWh (18kWh×4)																																							
	EV充電器盤	屋外自立型 CHAdeMO準拠 10kW×2																																							
太陽光発電	多結晶シリコン	10kW																																							
<p>直流給電システム概要</p>	<p>図3 直流給電システム</p>																																								
<p>エネルギーマネジメントシステム等</p>	<p>図2 スマートエネルギーマネジメントシステム</p> <p>■主な機能</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①BEMS機能による、エネルギーマネジメントと見える化</li> <li>②将来的な電気料金メニュー多様化等への対応 (VPP対応)</li> <li>③蓄電池等によるデマンド制御</li> <li>④停電時における分散電源の電力最適利用 (BCP対応)</li> </ol> <p>図5 停電時の給電フロー: A floor plan diagram showing the power flow during a power outage. It details the distribution of power from solar, batteries, and generators to various rooms (conference room, executive office, etc.) and EV charging stations across different floors (7F, 8F, 3F, 2F, 1F).</p> <p>図5 停電時の給電フロー</p>																																								

(2) 事例 2 電力・水素複合エネルギー貯蔵システムの事例（仙台市茂庭浄水場）

第2. 3. 2表(1) 仙台市茂庭浄水場

文献タイトル	非常用電源機能を有する再生可能 エネルギー出力変動補償用電力・水素複合エネルギー貯蔵システム			
(和訳)				
著者	東北大学／津田理、宮城大輔			
発表年	2017年11月			
キーワード	再生可能エネルギー、電力、水素、非常用電源			
出典、掲載誌	電気設備学会誌 2017年11月, Vol. 37, No.11, pp.781-784			
アブストラクト	<p>2011年3月の東北地方太平洋沖地震では、停電が約4日間継続し、宮城県内の石油備蓄基地の被害や物流の遮断により燃料確保が困難となり、仙台市の主要な浄水場では機能維持に大きな労力を費やしました。これらの浄水場では、非常用電源として、主に軽油や灯油を用いた自家発電機を使用していますが、大規模自然災害発生時は、輸送を伴う燃料確保が困難となるため、大容量のエネルギーを確保するには、あらかじめ大容量の燃料タンクに燃料を備蓄しておく必要があります。しかし、非常用電源用の自家発電機は、通常時には使用しないため、タンク内の燃料が経年変化し、非常時の動作不良につながりやすくなります。このため、定期的に燃料を交換する必要がありますが、燃料タンクが大容量になると、燃料入れ替え時期の判断、燃料入れ替えのための燃料消費、燃料の再充填などが課題になります。また、今後の化石燃料の高騰や枯渇、CO<sub>2</sub>排出量削減を考えると、化石燃料に依存しない大容量非常用電源を早期に確立する必要があります。</p> <p>一方、非常時だけでなく、通常時でも化石燃料に替えて再生可能エネルギーを有効活用できるようにするには、刻々と変化する発電出力や負荷消費電力を正確に把握・制御する必要があり、これには、即応性、大容量性、耐久性を兼ね備えたエネルギー貯蔵装置が不可欠となります。しかし、これらすべての要求に応えられる単一のエネルギー貯蔵装置は存在しないため、上記すべてを満たすには、複数のエネルギー貯蔵装置を組み合わせる必要があります。</p> <p>このような背景のもと、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の事業において、国立大学法人東北大学と株式会社前川製作所は、共同実施先である日本ケミコン株式会社、株式会社神鋼環境ソリューション、北芝電機株式会社とともに電力貯蔵システムと水素貯蔵システムを組み合わせ、通常時の再生可能エネルギーの有効利用と非常用電源としての機能を併せ持つ「電力・水素複合エネルギー貯蔵システム」を考案・開発しました。そして、大規模自然災害発生時の長期停電に対する高品質・高安定な電力供給を可能にする大容量非常用電源であることや、非常時や通常時の高精度な変動補償による再生可能エネルギーの活用にも有効であることを実証するために、仙台市茂庭浄水場に20kWの実証システムを構築し、2017年8月より大規模自然災害による長期停電を想定した連続運転を実施してきました。</p> <p>今般、実証の結果、大規模自然災害による長期停電を想定した72時間（3日間）連続運転に成功し、太陽光発電出力や負荷消費電力の不規則な変動に対しても、高品質な電力を長時間安定供給できることを実証しました。</p>			
電圧区分	HVDC	MVDC	LVDC ●(DC380V)	その他
得られた知見	<p>・2017年8月より、仙台市茂庭浄水場の実証システムを用いた実証試験を開始し、各種機器の最適制御運転およびトータルシステムとしての最適化を実施して、大規模自然災害による長期停電を想定した72時間（3日間）連続運転（10月4日～10月6日）に初めて成功しました。具体的には、逐次変動する太陽光発電出力や負荷消費電力に対して、電気二重層キャパシタ（電力貯蔵装置）と水素貯蔵システムの入出力制御により、効果的で完全な補償が可能であることを確認した。</p> <p>・「電力・水素複合エネルギー貯蔵システム」が、化石燃料使用量やCO<sub>2</sub>排出量の削減に有効な大容量非常用電源としてだけでなく、再生可能エネルギー出力や負荷消費電力の変動を高精度に補償でき、再生可能エネルギーをリアルタイムで活用できる高品質・高安定電源としても有効であることを確認した。</p> <p>・本成果は、「電力・水素複合エネルギー貯蔵システム」が実用化可能な技術レベルにあることを示すものである。</p>			

## 第2. 3. 2表(2) 仙台市茂庭浄水場

<p>課題</p> <p>[P]政策</p> <p>[E]経済</p> <p>[S]社会</p> <p>[T]技術</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・浄水場をはじめ、大規模自然災害発生時の避難所として指定されている学校、下水処理場、病院、ビル（官庁・金融・放送）などへの適用が期待される。(P,S)</li> <li>・本成果により、エネルギー応用に向けた燃料電池や水電解装置、水素吸蔵合金などの開発が一層進むとともに、今後の再生可能エネルギー分野における水素エネルギーの普及、利用促進につながると考えらる。(成果PRによる啓蒙促進) (S)</li> <li>・実証システムの信頼性の向上および早期実用化に向けて、システム試験を継続して行い、関連データの蓄積を進めるとともに、さまざまな天候や運転条件において長時間連続運転を実施する予定 (T)</li> <li>・装置やシステムのコストダウン (E)</li> <li>・地方におけるFCVとの連携や、マイクログリッド化による地産地消としての検証 (S, T)</li> </ul>			
<p>想定される導入時期</p>	2020	2030	2040	2050
<p>システム構成</p>				
<p>備考</p>	<p>水素製造ならびに燃料電池は、いまだコスト高のため、市場導入はやや時間を要すると推定される。ただし、同様種類の装置として、東芝製のH2ONEは製品化、市場投入されている。</p>			

(3) 事例 3 清掃センターの事例（帯広市清掃センター）

第2. 3. 3表(1) 帯広市清掃センター

文献タイトル	オフィス向け直流マイクログリッドの実証研究			
(和訳)				
著者	株式会社NTTファシリティーズ 則竹 政俊、湯淺 一史、星 秀和、武田 隆、廣瀬 圭一			
発表年	2014年			
キーワード	直流、マイクログリッド、再生可能エネルギー			
出典、掲載誌	2014年電気設備学会全国大会 (A-12) 23、24頁			
アブストラクト	<p>1 はじめに</p> <p>本実証研究は、環境省による「地球温暖化対策技術開発・実証研究事業」として実施している。実証研究期間は、平成24～26年度の3カ年である。</p> <p>本稿では、本実証研究のシステム構成を説明すると共に、予備実験により得られた結果を報告する。</p> <p>2 本実証研究の目的</p> <p>共同事業者である北海道帯広市の協力のもと、既存の施設(帯広市清掃センター)に再生可能エネルギーの有効活用を目的としたマイクログリッド試験環境を構築し、実証研究を行っている。</p> <p>本実証研究の目標を以下に示す。</p> <p>(1) 同等のシステム構成(PV、蓄電池、UPS)の交流給電に対して、CO<sub>2</sub>排出量を10%削減</p> <p>(2) 現状の帯広サイトにて、CO<sub>2</sub>排出量を50%削減(前提条件：停電時もPV利用可)</p> <p>図1に、目標達成のイメージを示す。PVによる発電、機器の直流化及びEMSによるCO<sub>2</sub>削減効果を組み合わせ、既存の設備のCO<sub>2</sub>排出量を最終的に50%削減することを目標としている。</p> <p>3 システム構成</p> <p>図2に、実証研究のシステム構成図を示す。電力源は商用電力とPVによる発電電力で、直流バスラインの電圧は360VDC～400VDCと設定。この電圧範囲内にて各機器は動作するように開発した。本実証研究は商用電力の低減が目的であり、蓄電池の充放電を最適制御することにより達成する。機器の動作制御は、天気予報から得られる発電予測技術を用い、EMSにて実施される。</p> <p>4 予備実験結果</p> <p>表1に、開発した機器と、同等の機能を有する既存の交流機器との効率を示す。機器の直流化により3～5%程度の効率向上が確認された。清掃センターの消費電力の実測データで直流化による省エネ効果を試算した結果を図3に示す。今回の試算では、蓄電池の充放電による損失は考慮していない。直流化により、PVの発電量が3.2%向上し、商用電力の買電量が4.2%削減することが確認された。</p>			
電圧区分	HVDC	MVDC	LVDC ●	その他
得られた知見	・今回の試算では、直流化により、PVの発電量が3.2%向上し、商用電力の買電量が4.2%削減することが確認された。			
課題 [P]政策 [E]経済 [S]社会 [T]技術	・今後は、個々に進めてきた電力機器等のハード開発とEMSを実証フィールドで連携させ、システムの有効性を検証する予定である。(E、T)			

第 2. 3. 3 表(2) 帯広市清掃センター

<p>想定される 導入時期</p>	<p>2020</p> <hr/> <p>実証レベル</p>	<p>2030</p> <hr/> <p>市場導入</p>	<p>2040</p>	<p>2050</p>												
<p>目標達成のイメージ</p>	<p>図 1 CO<sub>2</sub>削減効果の目標</p>															
<p>システム構成図</p>	<p>図 2 実証研究のシステム構成図</p>															
<p>直流化による効率比較、試算結果</p>	<table border="1" data-bbox="384 1556 901 1702"> <caption>表 1 各装置の直流化による効率比較</caption> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>AC 100 V</th> <th>DC 380 V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PCS (絶縁型)</td> <td>93.0%</td> <td>96.5%</td> </tr> <tr> <td>PC 用アダプタ</td> <td>87.9%</td> <td>94.4%</td> </tr> <tr> <td>LED 照明</td> <td>89.4%</td> <td>93.3%</td> </tr> </tbody> </table> <p>(kWh/Day) * 買電力合計 * 売電量合計(kW)</p> <p>図 3 直流化による省エネ効果試算結果</p>				機器名称	AC 100 V	DC 380 V	PCS (絶縁型)	93.0%	96.5%	PC 用アダプタ	87.9%	94.4%	LED 照明	89.4%	93.3%
機器名称	AC 100 V	DC 380 V														
PCS (絶縁型)	93.0%	96.5%														
PC 用アダプタ	87.9%	94.4%														
LED 照明	89.4%	93.3%														

(4) 事例 4 オフィスビルの事例（大成建設技術センター）

第2. 3. 4表(1) 大成建設技術センター

文献タイトル	蓄熱・蓄電を考慮したスマート化実証 その7 直流配電オフィスの実証			
(和訳)				
著者	大成建設株式会社 遠藤 哲夫 株式会社東芝 小野田 修二、小林 伸郷、遠藤 晃、小倉 靖弘 飯野 穰			
発表年	2015年			
キーワード	直流配電、蓄電池、太陽光発電			
出典、掲載誌	2015年電気設備学会全国大会 (A-4) 7、8頁			
アブストラクト	<p>1 はじめに</p> <p>太陽光発電の発電電力や蓄電池電力は、直流電力である。発電・蓄電した電力を直流で消費できれば給電効率が大幅に向上すると考え、本実証では、執務室の一部に直流電源によって動作する電気機器を設置することで、蓄電システムから直流配電可能な「直流配電(DC)オフィス」を構築し、省エネルギー効果に関わる検証を行った。</p> <p>2 DCオフィスの構成</p> <p>図2に、DCオフィスの電源系統図を示す。蓄電システムは、実証施設の動力系統に接続されており、内部の絶縁トランス(210/210V 75kVA)を介して、AC/DC変換器(50kW)によって直流変換される。蓄電システム内部のDC/DC変換器は、AC/DC変換器のDC入出力、リチウムイオン蓄電池33kWh、太陽光発電パネル23.5kW、DCオフィスのDC分電盤16kWと高圧直流系統(HDVC)で接続されている。</p> <p>3 構成システムのエネルギー変換効率</p> <p>DCオフィスを構成する各システムの直交エネルギー変換効率を測定した。図2にDCオフィス電源系統図、表1に測定結果を示す。</p> <p>各システムの変換効率は90%以上の高効率であるが、負荷率(=負荷容量/定格容量%)によって大きく変動する傾向となった。</p> <p>4 DCオフィスの構成とエネルギー変換効率</p> <p>太陽光発電の発電電力、蓄電池の電力及び商用系統の電力を、オフィスでDC配電とAC配電で利用した場合の給電効率を比較した。</p> <p>(配電モデル1) 太陽光による発電電力をLED照明に給電するモデル：給電効率を図3に示す。DC配電はAC配電に比べて、概ね10%程度効率が高いことが明らかになった。</p> <p>(配電モデル2) 太陽光発電による電力を一度蓄電して、蓄電池からLED照明に給電するモデル：給電効率を図4に示す。DC配電はAC配電に比べて、更に高い効率であることが分かった。</p>			
電圧区分	HVDC	MVDC	LVDC ●	その他
得られた知見	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ DC配電は、太陽光発電や蓄電池の直流電力を利用する場合、DC/DC変換器で整流するだけでLED照明に給電可能なため、負荷率が低い場合でも高い給電効率を示した。</li> <li>・ 一方、AC配電は、AC/DC変換器及びLED照明内部で直交エネルギー変換するため、DC配電に比べて10%程度給電効率が低下し、特に負荷率が低い場合に顕著であった。</li> </ul>			
課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 直流配電の進展と共に、直流電源で動作する身近な電気機器の開発・普及が望まれる。(E、S、T)</li> </ul>			
[P]政策				
[E]経済				
[S]社会				
[T]技術				

第2. 3. 4表(2) 大成建設技術センター

<p>想定される 導入時期</p>	<p>2020 実証レベル</p>	<p>2030 市場導入</p>	<p>2040</p>	<p>2050</p>																		
<p>電源系統図</p>	<p>図-2 DC オフィス電源系統図</p>																					
<p>エネルギー変換 効率</p>	<p>表-1 DC オフィス構成システムの直交エネルギー変換効率</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>装置</th> <th>変換効率</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">蓄電システム</td> <td>絶縁トランス</td> <td>95%以上 負荷率20%以上</td> </tr> <tr> <td>AC/DC 変換器</td> <td>90%以上 負荷率70%以上</td> </tr> <tr> <td>DC/DC 変換器</td> <td>95%以上 負荷率30%以上</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">LED 照明</td> <td>AC 給電タイプ</td> <td>90.9%以上</td> </tr> <tr> <td>DC 給電タイプ</td> <td>93.4%以上</td> </tr> <tr> <td>太陽光発電</td> <td>PCS</td> <td>90%以上 負荷率30%以上</td> </tr> </tbody> </table>				装置	変換効率	備考	蓄電システム	絶縁トランス	95%以上 負荷率20%以上	AC/DC 変換器	90%以上 負荷率70%以上	DC/DC 変換器	95%以上 負荷率30%以上	LED 照明	AC 給電タイプ	90.9%以上	DC 給電タイプ	93.4%以上	太陽光発電	PCS	90%以上 負荷率30%以上
装置	変換効率	備考																				
蓄電システム	絶縁トランス	95%以上 負荷率20%以上																				
	AC/DC 変換器	90%以上 負荷率70%以上																				
	DC/DC 変換器	95%以上 負荷率30%以上																				
LED 照明	AC 給電タイプ	90.9%以上																				
	DC 給電タイプ	93.4%以上																				
太陽光発電	PCS	90%以上 負荷率30%以上																				
<p>給電効率比較</p>	<p>図-3 配電モデル1の給電効率比較</p> <p>図-4 配電モデル2の給電効率比較</p>																					

(5) 事例 5 照明設備の事例（愛知工業大学）

第2. 3. 5表(1) 愛知工業大学

文献タイトル	AC給電とDC給電による照明器具の消費電力に関する検討(第2報)			
(和訳)				
著者	愛知工業大学 河原 大地、三好 弘明、雪田 和人、後藤 泰之、一柳 勝弘、依田 正之 株式会社きんでん 森田 祐志			
発表年	2015年			
キーワード	直流給電、交流給電、LED照明、調光センサ			
出典、掲載誌	2015年電気設備学会全国大会 (A-23) 57、58頁			
アブストラクト	<p>1 はじめに 太陽光発電装置など直流系にて発電された電力を交流変換なしで使用できれば、消費電力の効率向上を期待することができる。本論文では、調光センサを導入したLED照明における交流給電と直流給電における消費電力の比較を行ったので報告する。</p> <p>2 モデル系統 本学新2号館では、交流給電用LED照明器具32灯と直流給電用LED照明器具24灯を設置しているが、本論文では、この内の各1灯を用いて検討を行った。 この消費電力を検討するための実験回路を図3と図4に示す。図3に示す点Aは、交流給電システム、直流給電システムにおける消費電力の計測点を示している。図4における点Bは、交流給電システム、直流給電システムの電流値を計測する点を示している。</p> <p>3 実験方法 図3のモデル系統において、直管型LED照明を交流給電(AC100V)と直流給電(DC380V)で給電し、それぞれにおける消費電力の比較・検討を実施した。各LED照明において約30分間点灯し、消費電力が安定した後、5分間の計測を実施した。 この時、LED照明は外部から接続された調光器を用いて、図4のB点における交流システムと直流システムの出力電流値が等しくなるように設定し、交流と直流の照明器具の消費電力の比較を行った。</p> <p>4 実験結果 図5に、消費電力特性を示す。交流用のLED照明器具が平均30Wに対し、直流用LED照明器具が平均22.5Wであり、消費電力が7.5W低くなっていることが分かる。これは、交流給電と比較して、直流給電では消費電力を約25%削減していることが分かる。</p>			
電圧区分	HVDC	MVDC	LVDC ●	その他
得られた知見	<ul style="list-style-type: none"> <li>交流システムと直流システムの出力電流値を合わせた際における消費電力について検討した結果、直流給電の消費電力は交流給電と比較して、約25%減少した。</li> <li>以上の結果より、直流給電システムは省エネルギー化が期待できると考えられる。</li> </ul>			

第2. 3. 5表(2) 愛知工業大学

<p>課題 [P]政策 [E]経済 [S]社会 [T]技術</p>	<p>・ 今後は、対人センサや明るさセンサを考慮した検討や、直流システム全体における容量や損失を含め、さまざまな家電機器を用いて、比較・検討を行っていく予定である。(E、T)</p>			
<p>想定される 導入時期</p>	<p>2020 実証レベル</p>	<p>2030 市場導入</p>	<p>2040</p>	<p>2050</p>
<p>システムモデル</p>	<p>Fig.3 System Model 1</p> <p>Fig.4 System Model 2</p>			
<p>消費電力特性</p>	<p>Fig.5 Electric power characteristics</p>			

(6) 事例 6 研究所の事例（清水建設技術研究所）

第2. 3. 6表(1) 清水建設技術研究所

文献タイトル	建築設備への「直流給電システム」の適用 —太陽光発電の創エネ量向上に関する評価—			
(和訳)				
著者	清水建設株式会社 杉本 貴之、竹田 好宏、吉田 正明			
発表年	2018年			
キーワード	直流給電、太陽光発電、分散型電源、ZEB			
出典、掲載誌	2018年電気設備学会全国大会 (A-14) 31、32頁			
アブストラクト	<p>1 はじめに</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・多くの電子機器を扱うデータセンターでは「直流給電システム」の実用化が既に始まっている。</li> <li>・オフィスビルにおいても、ZEBを目指した建築設備への適用が期待されている。</li> <li>・既報(建築設備への「直流給電システム」の適用—省エネ性能と安全性の評価—2017年電気設備学会全国大会)では、清水建設技術研究所内に構築した実証施設の直流給電システムと交流給電システムを対象に、直流給電システムの省エネ性能について報告した。</li> <li>・本報では、両システムの太陽光発電量を比較し、直流給電システムの創エネ量を評価した結果を報告する。</li> </ul> <p>2 システムの構成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・直流ルームと交流ルームと称する実証施設のシステム構成と設備仕様を図1と表1に示す。</li> <li>・直流ルームでは、太陽光発電からの直流電力を優先的に負荷設備に供給している。</li> <li>・一方、交流ルームでは、太陽光発電からの直流電力を電力変換装置により交流に変換して、直流ルームと同仕様の負荷設備に供給している。なお、電力変換装置に実装されている太陽光発電の最大電力点追従制御は、今回使用した直流電源装置には未実装である。</li> </ul> <p>3 太陽光発電の創エネ量の評価</p> <p>① 電力変換装置の有無による太陽光発電の創エネ量への影響を確認するため、図1のA点、B点の電力、電力量を比較した結果を図2に示す。又、同日における電力変換装置の変換効率を図3に示す。全時間帯において直流電源装置の直流電力の方が大きく、創エネ量は実質11%程度増加することが推定された。</p> <p>② 最大電力点追従制御の有無による影響を確認するため、図1のA点、C点の電力、電力量を比較した。結果を図4に示す。直流電源装置に最大電力点追従制御を実装した場合、直流給電システムにおける創エネ量は、前項で推定された11%から18%程度まで増加することが期待できる。</p>			
電圧区分	HVDC	MVDC	LVDC ●	その他
得られた知見	<ul style="list-style-type: none"> <li>・直流給電システムにおける太陽光発電の創エネ量が、交流給電システムにおける創エネ量よりも大きいことを確認した。</li> <li>・今回使用した直流電源装置に太陽光発電の最大電力点追従制御を実装することで、さらなる高効率化が見込め、施設における再生可能エネルギーの有効利用が図れる。</li> </ul>			
課題 [P]政策 [E]経済 [S]社会 [T]技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・直流電源装置に太陽光発電の最大電力点追従制御を実装することで更なる高効率化が見込める。(T、E)</li> <li>・太陽光発電パネル、電力変換装置等の更なる効率向上が望まれる。(T、E)</li> </ul>			

第2. 3. 6表(2) 清水建設技術研究所

想定される 導入時期	2020	2030	2040	2050

実証施設

図1 実証施設のシステム構成

表1 実証施設の設備仕様

	直流ルーム	交流ルーム
床面積	11m <sup>2</sup>	
電気方式	直流2線式 250V	交流単相3線 100V 交流三相3線 200V
電源設備	太陽光発電 (パネル2kW)	
負荷設備	LED照明 (交流単相 100~240V仕様) パッケージエアコン (交流三相 200V仕様)	

計測結果

図2 晴天日における1日の創エネ量の比較

図4 同日における直流電力量同士の比較

図3 同日における電力変換装置の変換効率

図5 同日における直流電圧と直流電流



## 第2. 3. 7表(2) 航空灯火システム

### b.航空灯火の種類

主な航空灯火は次のとおり。これら灯火の光源は主にハロゲンランプが使用されている。

航空灯火名	区分	光源	消費電力 (W)	備考	
進入灯センターライン及びクロスバー	地上型	ハロゲン	200		
	埋込型		315		
進入灯サイドパレット	地上型		200		
	埋込型		315		
滑走路末端灯(進入端)	地上型		200		
	埋込型		210		
滑走路末端灯(終 端)	地上型		100		
	埋込型		105		
滑走路末端補助灯	地上型		200		
	埋込型		315		
滑走路灯	地上型		150		
	埋込型		210		
滑走路中心線灯	埋込型		100		
滑走路接地帯灯	埋込型			50	
誘導路中心線灯(低視程直線)	埋込型		ハロゲン	60	
		LED	13	*	
誘導路中心線灯(低視程曲線)	埋込型	ハロゲン	60		
		LED	13	*	
誘導路中心線灯(直線)	埋込型	ハロゲン	45		
		LED	13	*	
誘導路中心線灯(曲線)	埋込型	ハロゲン	65		
		LED	13	*	
誘導路灯	地上型	ハロゲン	30		
		LED	6		
誘導案内灯	地上型	蛍光灯			
		LED			
エプロン投光器	地上型	HID(高圧ナトリウム)	660		
		HID(高圧ナトリウム)	800		
		HID(メタルハライド)	1000		

\* : 1プラグ仕様 (= 1 回路 2 方向)

### c.航空灯火の回路構成比較

航空灯火回路はACの直列回路が使用されている。これをDCにした場合の比較検討を行った。経済性、変更の対応性等の視点から、交流回路方法が適当と判断した。

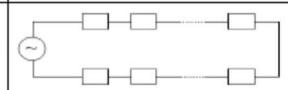
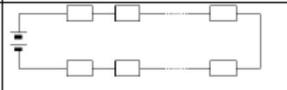
	交流	直流
共通	メリット ・負荷個々の電圧・電流が容易。 ・交流のため保護機能・遮断機能が容易。	メリット ・負荷回路のL・Cによるロスがない。
	デメリット ・負荷回路のL・Cによるロスがある。 ・LED灯火の発光は、ランプの発光に比べ電圧-電圧変化の影響を敏感に受け、個々のLEDの光度を一気に失うことが懸念のため、電圧の出力が著しく変化する条件下であっても、出力を一定に保つ増設回路が必要となる。	デメリット ・負荷個々の電圧・電流が困難。 ・交流のため保護機能・遮断機能が困難。 ・地中線路においては電圧変動が必要。 ・LED灯火の発光は、ランプの発光に比べ電圧-電圧変化の影響を敏感に受け、個々のLEDの光度を一気に失うことが懸念のため、電圧の出力が著しく変化する条件下であっても、出力を一定に保つ増設回路が必要となる。
直列構成		
	メリット ・電圧回路となるため初期と終端負荷電流は同じであり、変流器を介して個々の灯火に均一な電流による電力を供給できる。 ・変流器を介して分断されるため、ランプ式・LED式を問わず個別灯火負荷の故障が全体に影響しない。	メリット ・電圧回路となるため初期と終端負荷電流は同じであり、ループ上にある個々の灯火に均一な電流による電力を供給できる。
並列	デメリット ・灯火の断電・断線が全灯火の消灯になるため、バイパスが必要。 ・負荷容量が大きいと、出力電圧が低下となり、電圧変動が高圧仕様となる。	デメリット ・灯火の断電・断線が全灯火の消灯になるため、バイパスが必要。 ・負荷容量が大きいと、出力電圧が低下となり、電圧変動が高圧仕様となる。 ・変流器を介して分断出来ないため、ランプ式・LED式を問わず個別灯火負荷の故障が全体に影響する。 ・高電圧になる懸、電圧変動が困難になる。

表 第2. 3. 7表(3) 航空灯火システム

	<p>d.LED型航空灯火システム・機器の仕様 LED型航空灯火用の最適なシステム・機器・器材の実用化に向け、仕様書(案)の作成、プロトタイプ機器、器材の試作・評価及びコスト調査・評価を行った。その結果、直列灯火回路の回路電流は、ACの場合、最大6.6Aであったが、5.0Aに変更しても問題なかった。</p> <p>e.LED型航空灯火システムの移行手順の検討 実際国内の既存空港に対してLED型航空灯火システムを導入するに際してはLED型航空灯火システムの構成案により作業時間的やコスト等に差があったり、既存空港規模及び運用条件等を明確にした上で選択する必要があることが解った。</p>			
電圧区分	HVDC	MVDC	LVDC ●	その他
得られた知見	<ul style="list-style-type: none"> <li>・飛行場の航空灯火施設のLED化に当たっては、既設設備の活用、従来方法等からの切替等を考慮すると交流の直列点灯回路が適当。</li> <li>・LED化による経済性は、灯器のコストと電力料金とに関連する。</li> </ul>			
課題 [P]政策 [E]経済 [S]社会 [T]技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・P：全空港への適用目標を2030年に国レベルで設定している。</li> <li>・S：世界的には、我国が先行している状況。</li> </ul>			
想定される導入時期				

## (8) 国内事例調査のまとめ

国内事例調査では、以下のようなことが確認できた（カッコ内は、この報告書に掲載した代表例を示す）。

- ① 電力を変換する段数が減ることで、電力利用効率が上昇すること（事例3, 4, 5, 6）。
- ② 直流負荷の普及拡大が進めば、さらなる効率化、システム効率の向上が図れること（事例4）。
- ③ 蓄電池との併用により供給信頼度の向上と、レジリエンス性が高まり災害時に強いシステムが構築できること（事例2）。
- ④ 直流は再生可能エネルギーとの親和性が高いことから、再エネの導入接続が容易に行うことができること（事例2, 3）。
- ⑤ エネルギーの地産地消、電力融通がやり易いこと（事例2）。
- ⑥ 標準化やシステム設計の工夫により、施工費の削減が可能であること（事例7）。

また、課題としては以下のことが挙げられる。

- ① 直流の利活用に関する基準が定められておらず、使用電圧もまちまちなことから、規格の統一が必要となること。
- ② 安全に関する基準が明確になっていないこと。
- ③ 普及促進のためには、低コストで導入できることが求められる。（既設ケーブルの利用可否の検討、政策としての利用促進）。

## 2. 3. 2 海外事例

### (1) 事例 1 離島型スマートグリッドの実証事例

第2. 3. 9表 スマートグリッド実証

文献タイトル	国際エネルギー消費効率化等技術・システム実証事業 ハワイにおける日米共同世界最先端の離島型スマートグリッド実証事業			
(和訳)				
著者	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構スマートコミュニティ部			
発表年	2017			
キーワード	スマートグリッド実証実験、離島、VPP、V2G、再生可能エネルギー			
出典、掲載誌	NEDO 研究評価委員会資料			
アブストラクト	地球温暖化防止や脱化石燃料化等、低炭素化が全世界の共通課題となっている。ハワイ州では、2045年までに再生可能エネルギー100%達成を掲げている。ハワイではクリーンエネルギーの積極的導入やEVの普及促進政策が行われており、今後も更に再生可能エネルギーの導入が進んでいくため、喫緊の解決が必要となっている。同様の問題を抱える島国の日本が、ハワイでのスマートグリッド実証事業を通じて日本が保有する先進的なエネルギー管理・系統運用の技術を導入し、ハワイの先進的なエネルギー政策の達成に貢献し、日本の技術がパッケージとして普及することを目指している。			
電圧区分	HVDC	MVDC	LVDC ●	その他 ●
得られた知見	<p>マウイ島における実証実験で下記の知見が得られた</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●事業で設置したEV急速充電器により、年間約300トンのCO<sub>2</sub>排出を抑制</li> <li>●EV充電制御によりEVの充電ピークをシフトさせて電力系統運用に貢献可能</li> <li>●EV急速充電器は電力系統の日中の需要を創出効果があることを確認</li> <li>●EV充放電器を活用することにより、VPPとしてより効果のあることを確認</li> <li>●マウイ島において、ここ数年の増加率で今後もEVが増加すれば2045年までにはEVは島の乗用車の30%を超える。この数量のEVを活用できれば、マウイ電力が2045年再エネ100%に向け電力系統安定化のために住宅から確保しようとしているエネルギーリソースの量の1/3程度をEVで賄える。EVの貢献は大きく、これらの要因において類似の条件にあてはまる地域への展開が可能と考えられる。</li> </ul>			
課題 [P]政策 [E]経済 [S]社会 [T]技術	<p>[P]制度や料金体系の制度設計</p> <p>[T]技術的な課題はやるべきこと・やらなければならないことはすべて解決</p>			
想定される 導入時期	未記載 2020	2030	2040	2050

(2) 事例 2 米国におけるデータセンターに関するHVDC給電システム等実証事業事例  
 第2.3.10表 米国におけるデータセンター

文献タイトル	米国におけるデータセンターに関するHVDC（高電圧直流）給電システム等実証事業			
(和訳)				
著者	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (委託先)株式会社NTTファシリティーズ			
発表年	2018			
キーワード	データセンター、HVDC、UPS、			
出典、掲載誌	NEDO成果報告書			
アブストラクト	<p>データセンターでは、停電時のバックアップ電源として無停電交流電源装置（以下、UPS）等の交流給電システムが用いられており、電力損失の削減に向けて効率化が進められている。一般的にサーバー等のICT機器の電源部（以下、PSU〔Power Supply Unit〕）は交流給電システムから供給された電力を直流に変換してマザーボード等に電力供給される。そのため、ICT機器に対して直流で給電することで、交流-直流の変換段数を削減することができ、電力損失の削減が期待できる。</p> <p>これまで、NTTファシリティーズでは、ICT機器に直接直流で供給できる高電圧直流（以下、HVDC）給電システムを開発し、日本国内において実証試験を実施している。これまでの実証試験を通し、蓄電池や燃料電池等との組み合わせにより東日本大震災時でも継続して給電継続できるという高い信頼性が期待できることを実証している。</p> <p>HVDC給電システムの事業展開に向けて、既存の交流給電システムに対する省エネルギー性能の実証とともに認知度の向上が必要であることから、世界のデータセンター市場の40%以上を占める北米においてHVDC給電システムを導入し、電力損失削減効果を検証した。</p>			
電圧区分	HVDC	MVDC	LVDC●	その他
得られた知見	<p>実証試験の結果、同信頼度を有する交流給電システムと比較して、約17%の商用電力削減効果が得られ、実証試験期間を通じてCO2の削減効果として75tを達成した。</p> <p>また、データセンターの効率についてもDPPE※2（Data center Performance Per Energy）を指標として評価を行った。その結果、DPPEの一つの指標であるPUE（Power Usage Effectiveness）が交流給電システムと比較して改善が見られた。</p>			
課題 [P]政策 [E]経済 [S]社会 [T]技術	<p>現状において通信事業者やCATV事業者は48V 直流システムを利用          データセンター事業者は一般的には交流システムを使用          認知度を上げることや米国の協業可能な企業とマーケットを作り上げることが重要</p>			
想定される 導入時期	2020	2030	2040	2050

(3) 事例 3 様々なレベルのDCアプリケーション事例

第2. 3. 11表 世界最大のスーパーグリッド計画

文献タイトル	China's Ambitious Plan to Build the World's Biggest Supergrid			
(和訳)	世界最大のスーパーグリッドを構築するための中国の野心的な計画			
著者	Peter Fairley			
発表年	2019			
キーワード	超高電圧送電線・グリッド・中国			
出展, 掲載誌	IEEE Spectrum			
アブストラクト	<p>中国西部地域で発電される電力（風力タービン, ソーラーファーム, 石炭火力発電所）を2,300 km離れた東部地域まで800 kVでDC送電する設備が2017年に完成し, これまでに24 TWhの送電した。</p> <p>中国ではこのほかに22の超高圧メガプロジェクトが稼働しており, 電圧を1,100 kVに引上げる計画である。</p> <p>さらに, 6つのグリッドを相互接続し, 電力生成地域である北・西部から電力消費地の東部に送電し地理的ミスマッチを解消する狙いがある。</p> <p>大容量送電が可能であるが, 電力の安定性を考慮し送電量を意図的に制限しており, 結果として風力発電や太陽光発電のポテンシャルを使い切れていない。</p> <p>中国は, 2004年頃からDC送電に本格的に取り組んでおり多くのノウハウを蓄積しており, そのノウハウを海外に輸出しようとしている。国際標準の策定でも主導権を握りつつある。</p>			
電圧区分	HVDC ●	MVDC	LVDC	その他
得られた知見	<ul style="list-style-type: none"> <li>中国のHVDCへの取組は国家が主導することもあり, 世界的にみても進んでいる。</li> <li>今後, ヨーロッパ等, 西側への進出も目論んでおり, 今後の動きを注視する必要がある。</li> <li>ほとんどの設備を国内で生産しているとしているが, ABBやシーメンスからの技術協力によるところが大きいようである。</li> </ul>			
課題 [P]政策 [E]経済 [S]社会 [T]技術	<p>予期せぬ停電等への対応[T]</p> <p>石炭火力発電依存からの脱却[T][E]</p> <p>DC技術者の育成[P]</p>			
想定される導入時期	2020 ——— 市場導入	2030 ..... 市場拡大	2040	2050

(4) 事例 4 直流送電システム向け自励式変換器の実証事例

第2. 3. 12表 直流送電システム向け自励式変換器の実証事業（イタリア）

文献タイトル	直流送電システム向け自励式変換器の実証事業（イタリア）			
（和訳）				
著者	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (委託先)株式会社東芝社会インフラシステム社			
発表年	2015			
キーワード	HVDC、自励式、変換器、MMC			
出典、掲載誌	NEDO成果報告書			
アブストラクト	<p>イタリアはエネルギー資源に恵まれない国であり、電力安定化、系統強化のための国際連系、国際送電を目的とした HVDC の導入を進めていることが確認できた。</p> <p>また欧州地域では、今後大量の洋上風力発電の導入が計画されており、これらの陸上までの送電には自励式変換器による直流送電システムが広く適用されており、今後特に欧州地域での市場拡大が見込まれる。自励式変換器は、MMC と呼ばれる変換器方式を適用し、セル（変換器の最小単位）を多段化することにより高電圧・大容量化が可能である。従来の自励式変換器では課題であった高電圧化が、今回の MMC 技術を適用した自励式変換器により容易に実現でき、電力損失を抑えられることができる。今回の自励式変換器は、従来の自励式変換器に比べて 40%まで送電線におけるエネルギー消費量、二酸化炭素排出量を抑えることができることを試算した。</p>			
電圧区分	HVDC●	MVDC	LVDC	その他
得られた知見	<p>従来の自励式変換器では課題であった高電圧化が、今回の MMC 技術を適用した自励式変換器により容易に実現でき、電力損失を抑えられることができる。今回の自励式変換器は、従来の自励式変換器に比べて 40%まで送電線におけるエネルギー消費量、二酸化炭素排出量を抑えることができることを試算した。</p>			
課題 [P]政策 [E]経済 [S]社会 [T]技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実証事業をスケジュールに合わせて円滑に進める為には、輸送ルート、輸送期間、輸送上の懸案事項</li> <li>・イタリアにおける輸入通関手続き</li> </ul>			
想定される 導入時期	2020	2030	2040	2050

## (5) 海外事例調査のまとめ

海外の事例調査では多くの事例において、国内調査全体で確認することができた知見や成果、普及に向けた課題や開発テーマ等が国内事例と同様に海外事例でもを見ることができた。

ただし、我が国ではあまり見られない直流の事例として、以下のような実証事例が確認できた。

### ① 未電化地域の直流電源の導入事例

インドの農村部や西アジア、中東、アフリカ諸国の未電化、無電化地域における電化の実証事例が多く報告されている。それらは、再生可能エネルギーと蓄電池を主体とした独立電源で運営されており、そのシステムで用いる直流家電の開発が進んでいることが把握できた。

### ② 配電系統（MVDC）の実証事例

日本では事例の少ない配電系統（MVDC）の実証事例として、アーヘン工科大学構内での実証事例や英国ANGLE-DCのMVDCプロジェクト、さらには韓国電力公社による既設配電線の直流利用の実証など、複数の事例があった。

### ③ 送電系統の実証事例

我が国のHVDC送電線は、北海道本州直流連系設備（2系統）と紀伊水道直流連系設備の3例のみであるが、広大な国土を持つ北米、ヨーロッパ、中国を中心に長距離送電設備として広く直流が活用されている。そのような状況の中で、今後必要性が高まると考えられる洋上発電設備からの送電技術や多端子システム、海底ケーブルによる送電システム等の研究が活発であり、この分野では中国の積極的な取組みが目立っている。

さらに、送電設備の老朽化が進む米国を中心として、既設送電線（交流）の直流への置換えについても実証試験の段階に入っていることが確認できた。

### ④ 船舶における実証事例

海外事例では船舶への適用例が比較的多く見られ、特に北欧諸国と中国において実証が盛んに行われている。船舶の電化では、ディーゼル原動機や燃料電池等と蓄電池を組合わせたハイブリッド船と、停泊時等に外部から充電した蓄電池の電源のみで電動機を駆動させる完全バッテリー船に大別できるが、将来的には中小型の船舶を中心に完全バッテリー化が進展することが予想される。

## 2. 4 海外調査

国内外の直流利活用の研究開発，実証試験，実用化事例及び運用実績などについて，Webや文献，資料，事例紹介等による調査に加えて，実践の状況を実際に現地を訪れて調査することにより調査内容を補完することとした。

現地調査に当たっては，文献等では真の実態がつかみにくい，海外の状況について現地でのヒアリング調査を実施することとした。

調査対象国は，文献等から，直流の利活用が進んでいると思われるヨーロッパ諸国，商用利用に向けて政策や法令などが整いつつあると見られる米国，アジア圏では，直流高電圧大容量送電網を急ピッチで構築している中国及び直流グリッドなどの実証試験を積極的に推進している韓国を候補地として選定し，特に，ヨーロッパについては2020年1月にオランダで開催されるDCサミット2020での情報収集及び意見交換への参加を含め，国がかかわる直流利活用の実証及び商用化の実態を調査することとした。

ヨーロッパ及びアジアについては訪問形式による情報収集を行ったが，米国については，電子メール及び在米の関係者を經由した情報の収集を行った。

### 2. 4. 1 欧州調査

#### (1) 調査日，実施場所

- 1/13 ドイツ アーヘン工科大学
- 1/14 ベルギー Energy Ville
- 1/15, 16 オランダ DC Summit2020 (Delft工科大学)
- 1/17 オランダ IEC LVDC Forum (Delft工科大学)
- 1/17 オランダ デルフト工科大学
- 1/17 オランダ アムステルダム市街の直流実証施設
- 1/20 英国 カーディフ大学

#### (2) 調査全体の概括

##### a. DC利活用の概要

##### 1) ロードマップ

ヨーロッパでは，欧州委員会が，2030年までに，1990年に比べて40%少ない温室効果ガスの排出，総エネルギーミックスの32%の再生可能エネルギー利用，32.5%のエネルギー効率の向上を目指し，2050年には脱炭素化の達成及び温室効果ガス排出量の80%以上の削減をロードマップとして掲げている。

この大きな目標を達成するため，ヨーロッパ各国では独自もしくは国内外の機関と連携して，エネルギー効率向上の研究，再生可能エネルギーの発電効率の向上・利用拡大などを図っている。

##### 2) 発電方式

発電方式は，これまで火力，原子力など大型の回転機による交流発電が主流であったが，再生可能エネルギーである太陽光発電や燃料電池発電は直流発電設備であり，風力発電も発生した電力を一旦直流に変換して利用しているなど，交流発電だけでなく，直流発電も活用されている。また，ヨーロッパは特に風況がよく，風力発電設備が多く稼働している

ことから発電電力量と需要電力量をコントロールする制御技術の研究が行われている。

### 3) 需要設備

需要設備では、照明器具、テレビ等の映像・音声機器、サーバやパーソナルコンピュータ等の情報通信機器など直流で駆動するものが多くなり、小型家電やインバータを使用した電動応用機器においても交流電流を一旦直流電流に変換して利用している。

### 4) 電力貯蔵

電力貯蔵設備は、原子力発電設備が多く稼働していた時期は、夜間の余剰電力を利用した揚水発電所が活用されてきたが、近年は分散して設置される再生可能エネルギーによる余剰電力を蓄えるために、蓄電池の活用が増えている。

## b. 調査研究状況

### 1) 検討項目

ヨーロッパでは、上述のような状況から下記項目ごとに課題を抽出し、整理を行ったうえで、研究開発を行っている。

- ① 再生可能エネルギーによる発電
- ② 送電・配電等電力流通時の効率向上
- ③ 電力の効率的需給制御
- ④ 電力貯蔵技術
- ⑤ 負荷設備機器の高効率化

### 2) 検討等の体制

これらをいかに効率的かつ低コストで実現するかについて、各国がそれぞれ研究開発を行い、かつ、大学がリードする形で産・学・官による連系によって教育と研究を一体化させている事例が幾つかある。

産学による研究・実証例としては、

#### ① ドイツでの実証事例

ドイツ連邦政府及び州が助成を行っているドイツアーヘン工科大学キャンパスでのMVDC配電実証がある。MVDC実証設備は、11 kVACで3箇所と既存交流系統に連系して受電し、AC/DC変換後、キャンパス内に5 kVDCで配電している。MVDC配電はキャンパス内の5か所の施設間をMVDCにてループ状に接続して、直流電力供給し、最も遠い場所までは約1 kmである。実証は研究所、事務所、電算センター、病院の用途の異なる需要施設を選定し多くのパートナー企業と連携して実証を進めている。

#### ② イギリスでの実証事例

イギリスの電気事業者であるSP Energyが手掛ける国のプロジェクト（OFGEMのR&D予算）であるAngle-DCプロジェクトがある。

Angle-DCプロジェクトは、イギリスカーディフ大学とSP Energyによる既存のパワエレ技術を採用した中電圧直流（MVDC）による連系線を構築するものであり、MVDC送電系統の2点（アングルシー島と英国本土ノースウェールズ）間に制御可能な双方向直流（DC）リンクを、既存の33 kV交流（AC）電路インフラを直流に変換することで、送電容量増強のために必要となる工事費の抑制や、施工期間、諸制約を緩和させることを狙ったプロジェクトである。

### ③ ベルギーでの調査・研究事例

ベルギーでは、国立研究所（VITO）、KUルーベン大学、企業などの参画により「都市における持続可能なエネルギーシステムの研究機関」としてEnergy Villeを設立して電力・熱供給制御、PVの高効率化、住宅用電気機器の直流化など直流利活用の調査・研究を行っている。

最近の研究テーマは、LVDCナノグリッド、電力変換器、DCバイポーラナノグリッド変換、直流遮断用Emulatorの開発などである。

### ④ オランダでの実証事例

オランダでは、2020年に同国経済省の支援を受け、直流利用の実証と商用導入を開始しており、直流利用施設は商用ビル、トンネル照明、サッカースタジアム等多岐に渡る。

2017年には建物の一部を直流配電化したオフィス施設がオープンし、直流350V配電に加え、100WのUSB-Cコンセントを提供している。

また、オランダのデルフト工科大学では、同大学が描く直流化技術ロードマップの作製、交直複合ケーブルによる街路灯直流給電実証などを大学キャンパス内に実証ビレッジを設け、産学共同で進めている。

### ⑤ DCサミット2020

2020年1月15、16日にオランダのデルフト工科大学で開催された、DCサミット2020に参加し、聴講及び発表者、参加者との意見交換を行った。発表内容は、主にヨーロッパ各国で行われている直流グリッドの技術的研究、実証・商用化事例、標準化及び基準づくりなど直流に関する様々な発表が行われた。

### ⑥ IEC LVDC Forum

2020年1月17日にオランダのデルフト工科大学で開催された、IEC LVDC Forumに参加し、聴講及び発表者、参加者との意見交換を行った。発表内容は、インドの未電化地域でのオフグリッド用独立電源、オランダの商用事例及び標準化、ドイツの工場用直流配電網の活用事例、IEC TC 64における直流についての活動状況などであった。

## 2. 4. 2 韓国調査

### (1) 調査日、実施場所

2/5	ソウル市	LS産電
2/5	安養市	大韓電気協会
2/6	太田広域市	KEPRI（韓国電力公社研究所）
2/6	公州市	公州大学校（KEMA 朴氏同席）
2/7	龍仁市	現代電子

### (2) 調査全体の統括

韓国における直流技術開発および事業拡大のための取組みについて、産学官が一体となって進めていることについては、関連する情報が日本国内で報告・共有されることが少なく、その実態は明らかでなかった。

今回の訪問調査を行い、直流技術に関する専門家らと意見交換し、また、関連文書・資料などを通して、2000年台後半からの韓国の直流技術に関する戦略と計画、体制、予算な

どの取組みが整備されていることを把握することができた。

OECD加盟のメンバーであり先進国の一員ともいえる韓国における直流技術開発の方向性と取組みはHV-MV-LVDCが連携した新しい電力網の建設と運営技術の確保を目指しており、国内外市場（輸出偏重）の比率や地政学等の背景に違いはあるものの、エネルギーインフラのイノベーションや利活用の観点では、我が国の直流分野のR&Dの在り方については、大いに参考になるものである。

従来、日本国内で韓国の直流（HVDC, MVDC, LVDC）の取組みについて、報告されることが少なかったが、今回の調査でその実態について俯瞰できる情報を入手することができた。既存の交流システムのみこだわるのではなく、再エネ時代の創エネ、蓄エネ、省エネの在り方・特徴を見据え、それらを統合制御、活用、また流通網の整備も含めて戦略的・体系的に取り組んでいる。大企業、中小企業、及び大学関係者も方向感が合っており、産学の強い結びつきがあり、再エネの活用が進展する中での差別化技術として直流に関するシステム・機器などの開発に真摯に取り組んでいる。輸出が国の経済を支えている韓国にとって、スマートフォンや半導体がそうであったように、直流の分野においても世界の市場シェアで優位に立ち、最大の課題といえるコスト（低価格化）を実現するという長期戦略がある。

### 2. 4. 3 米国調査

直流利活用調査事業の一部として、欧州（主に技術動向）、アジア（韓国、規格法令動向）へは訪問の形式により情報収集をしてきたが、電子メール形式、および在米の関係者を経由したヒアリング形態により、世界最大の経済市場である米国における直流利活用に関する市場動や政策動向等の最新動向についても情報を収集した。

法令（州法）、規格制度（電気工事規定：NEC）の整備が進む米国では、カリフォルニア州で多発するPSPS（Public Safety Power Shutdown）への対策としての追い風もあり、着実に直流市場（含むマイクログリッド）の拡大が期待できる。市場（利用者）のマインドもここ2年で大きく変わり、理解者が増え、直流市場の障害が少なくなりつつある。具体的には、以下(1)~(3)のとおりである。

#### (1) 米国における直流市場について

日本国内にて得られる情報が限定されていたため、直流関連の事業が市場で展開されていることを示す事例を聞くことが少なかったが、中小企業によるDC機器システムの導入展開が確実に進んでいる（大手小売りチェーンスーパーへの建物内直流配電システム等）ことが確認できた。既存の交流製品群の市場と比べるとニッチであり、小さく比較にならないレベルであるが、確実に導入事例や採用事例が年々増えている。また、近年は、RE100の動向や防災面での必要性も合わせ、ユーザサードにて「直流利活用」に関する理解度が飛躍的に高まっていることが挙げられる。過去からの継続した活動や推進が徐々に実を結んでいる。

直流化の範囲も従来のデータセンターやビル内配電のような“Behind the meter”から、配電そのものになる“Front of the meter”にその対象が拡大しつつある。その場合、信頼性が重要となるが、デジタル機器（半導体電力変換装置など）が主体となるインフラにおいては、

サイバーテロや EMP などの攻撃に耐えうる必要が生じるが、その実証が既に着手されている。

直流利活用においては、Behind the meter BTM（需要家側）での展開が主であったが、今後は、各種実証や研究開発により Front of the meter FTM（配電系統）での導入の可能性がある。マイクログリッドや VPP の動向と合わせて、これらの活動についても注視していく必要がある。

分散型電源が大量導入される場合の規定については、系統連系規定などが整備されているが、再エネ導入のみならず、レジリエンスの強化のために、マイクログリッドへの期待度は大きい。この分野でも、技術的課題でなく、社会性やコストが最大の懸念事項となっている。マイクログリッドに関しては、様々なビジネスモデルが提唱されている状況にあるが、マイクログリッド資産の保有者・運用者の経済的負担を減らしこの分野の事業を拡大させるべく、様々な動きがある。

例えば、CA 州で、マイクログリッド賦課金の在り方について、SB1339 法案が成立したことがある。ただし、電気事業者との系統連系協議について、直流利用に関するルールは明確でない。過去に CA 州で構築された米国 HONDA の倉庫における DC 配電マイクログリッドについても、サザンカリフォルニア電力（SCE）との協議が 2 年以上もかかってしまい、電気設備のシステムインテグレーターである企業がこの分野から撤退した理由にもなった。前述した SB1339 法でも 2020 年 12 月末までに、直流マイクログリッドに関する規定を作ることになっており、CA 州では制約が緩和される見込みである。

## (2) 法令の動向について

これらの直流利活用の適用分野の進展を支えるものとして、規格や標準化、及び法令や制度・施策が必要となる。規格については米国各州で必須として参照される米国電気工事規定が 2017 年に改定され、DC マイクログリッドの項目が新たに追加された。マイクログリッドのみならず、建物内直流配電の規定も含むため、これにより市場での直流利活用の促進を強く後押ししている。また、カリフォルニア州における山火事防止や自然災害発生による停電が増えており、レジリエンスのためにマイクログリッド（DC を含む）の法令整備が複数の州で進呈している。インセンティブとしてのマイクログリッド賦課金法案 SB1339（2018 年成立）や自治体に再エネ・レジリエンス強化を義務付ける SB1215（202X 年議会にて審議中）より、マイクログリッドや直流技術の導入に関するビジネスが拡大するものと思われる。

## (3) 関係者の意見について

米国において、一部の電気事業者に関しては、直流利用に関して慎重である。ただし、直流の利点については、理解しており、電気事業者側としてのメリットを享受できる事例や実例を増やすことが、直流利活用・また推進のために重要であることが、複数の関係者から共通認識として示された。「交流から直流へ」の単なる置き換えでは困難であり、進化させることが重要である。直流利活用に関しても、経済面での優位性確保や交流・直流が混在する場合の運用面のデメリットの克服以外に、プラスアルファの付加価値が必要であり、例えば、デジタルトランスフォーメーションなどのコンセプトに代表されるような、

データ利用の付加などが必須である。これに関しては、欧州・オランダ勢が主張している直流化のための必要条件としての論調と同様であることが確認できる。また、直流利活用の更なる展開のためには、全てのステークスホルダーへの理解を促すための啓発活動が必要であり、多くの人々にその利便性やメリット、またそれらの現実性（リアリティ）を訴求するためのショーケース、すなわち実証が必要であると考えられる。

#### 2. 4. 4 世界市場調査

調査会社の資料を元に、世界の直流市場について調査分析を行った。

世界の直流配電設備の市場（主にLVDC）は、今後急速に成長することを予測しており、設備容量ベースで、2018年の約14GWから2027年には120GWに急成長すると予想している。金額ベースでも2018年の約100億ドルから2027年500億ドルへと、大きな成長を予測している。

米国の電力配電インフラは老朽化していて、その設備更改には5兆ドルという巨額の資金が必要とされており、地域や用途は限定されながらもそれらを直流配電設備に置き換えることで、投資を抑制できることが期待される。

直流配電設備市場を地域別に総括すると、この分野全体として中国、インドを中心としたアジア太平洋地域が際立って大きく占めており、部門別では、携帯電話基地局の直流配電設備市場や未電化地域における一般需要家の直流配電設備市場では、中東・アフリカ地域が大きく成長し、商業ビルではヨーロッパ地域が大きな直流配電設備市場となることが予想される。

この分野における市場動向は、この10年間はいずれの分野、地域においても右肩上がり成長が見込まれており、社会への認知度も増していくものと思われ、それらが相乗効果を現わせれば、想定以上に成長する可能性もある。

また、世界のHVDC送電システム市場は、金額ベースで2020年の90億ドルから2025年には150億ドルと、高い成長率を予測している。施設別では、海底ケーブルHVDC送電、架空HVDC送電、地中HVDC送電の順で投資額が大きく、それぞれ堅調に伸びていくと予想している。

国際再生可能エネルギー機関（IRENA: International Renewable Energy Agency）によれば、2050年に再生可能エネルギー（太陽光、風力、水力）による発電量は、全発電電力の80%に達するとしており、需要地から離れた大発電地域から大都市へのエネルギー輸送にはHVDCによる送電が有力な手段であり、ますますその重要度が増していくことが予想される。

## 2. 5 電気設備等に関する規格・基準等

### (1) 国内における規格・基準等

#### a. 電気設備等に関する主要法令の概要

##### 1) 電気事業法

###### ① 目的

「電気事業法」は第1条にあるように、電気事業の運営を適正かつ合理的ならしめることにより、電気使用者の利益保護及び電気事業の健全な発達を図るとともに、電気工作物の工事、維持及び運用の規制により、公共の安全確保及び環境保全を図ることを目的としている。

###### ② 電気設備に関する技術基準を定める省令

「電気事業法」第39条第1項及び第56条第1項の規定に基づき、「電気設備に関する技術基準を定める省令」（以下、電技）が次の事項について定められている。

i) 人体への危害及び電気工作物の損傷防止。

ii) 他の電気設備その他の物件の機能への電氣的・磁氣的な障害防止。

iii) 電気工作物の損壊による著しい電気供給支障の防止。

###### ③ 電気設備の技術基準の解釈

電技は性能規程であり、「電気設備の技術基準の解釈」（以下、電技解釈）により省令で定められた技術的要件を満たす具体的な技術内容の例を示している。

また、国の審査、検査等において、電技に適合しているかどうかの判断基準ともなっている。

##### 2) 電気用品安全法

「電気用品安全法」は、電気用品による危険及び障害の発生の防止を目的としており、一般用電気工作物の部分、またはこれに接続して使用される機械、器具、材料を対象としている。

適用される範囲は、100V（携帯用発電機は30V）以上300V以下（ただし、電線は600V以下）で、一部を除き交流の電路に使用するものに限るとされている。交流の電路に限定されない電気用品としては、①電線、②電線管及び付属品並びにケーブル配線用スイッチボックス、③携帯用発電機、がある。

##### 3) 電気工事士法

「電気工事士法」は、電気工事作業従事者の資格及び義務を定めると共に、電気工事の欠陥による災害防止を目的としており、電技解釈などでの施工方法規定を明示している。課題はない。

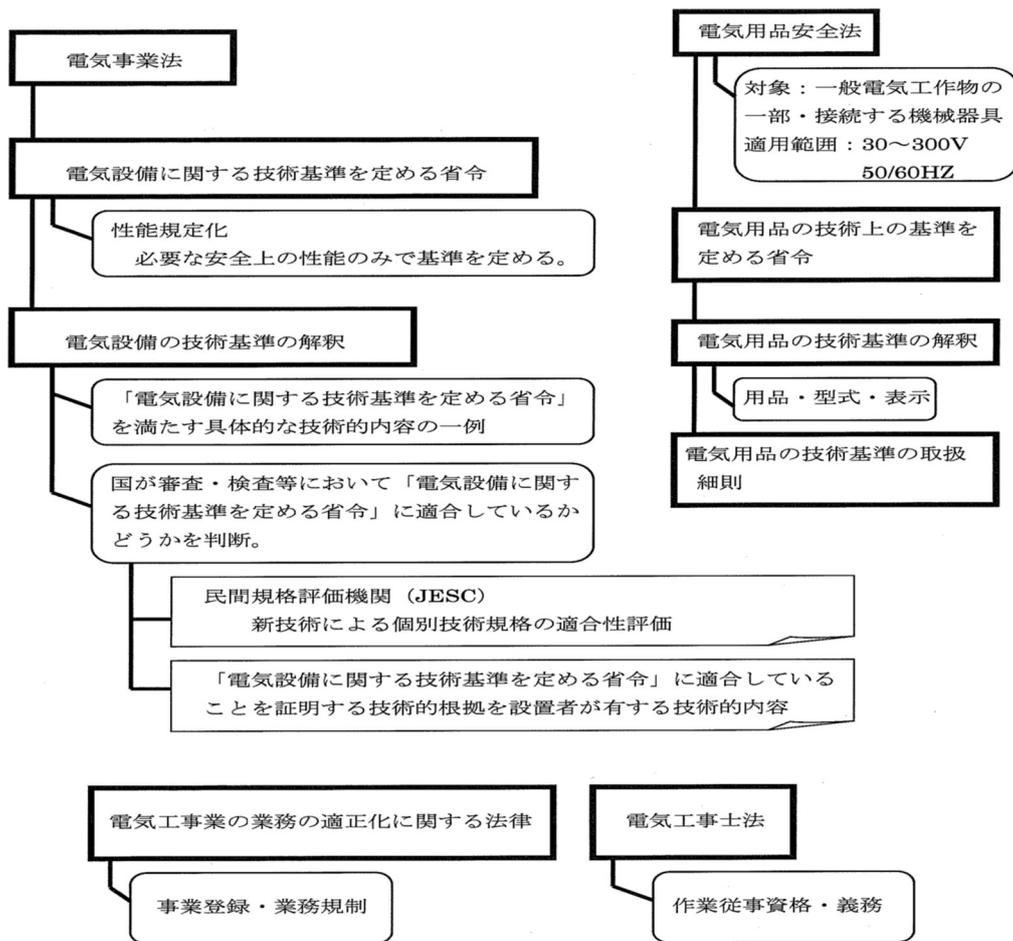
##### 4) 電気工事業法

「電気工事業の業務の適正化に関する法律」は、電気工事事業者の登録及び業務の規制などを定めると共に、業務の適正実施の確保と電気工作物の保安確保を目的としており、特段の課題はない。

#### b. 安全保護に係る主要法令の関連

電気工作物の保安を確保するために定められた主な法律には、次の四法がある（**第2.**

**5. 1** 図参照）。



## 第 2. 5. 1 図 電気工作物の安全確保に関連する法規

### c. 電気設備技術基準等における直流等関連事項

#### 1) 直流に関する電技解釈の最近の改正動向

##### ① 2012年6月改正

##### i) 太陽電池発電設備の施設に係る規定の改正

直流電路用ケーブルに係る規定の追加 (第10条, 第46条)

太陽電池発電所等の施設方法に係る規定の改正 (第46条, 第200条)

##### ii) 電気自動車等の供給設備等の施設方法に係る規定の追加 (第199条の2)

##### ② 2013年3月改正

太陽電池モジュール及びそれに接続する逆変換装置 (パワーコンディショナー) の絶縁性能確認とその方法の追加 (第16条)

##### ③ 2013年10月改正

太陽電池発電設備の直流電路用ケーブルの導体断面積の60mm<sup>2</sup>までの拡大の追加 (第46条)

##### ④ 2015年12月改正

常時監視しないことができる固体酸化物形燃料電池(SOFC)発電所の圧力要件の

改正（第47条）

⑤ 2016年9月改正

太陽電池モジュールの支持物の強度の建築基準法施行令の改正に伴う改正（第46条）

⑥ 2017年8月改正

燃料電池発電設備や蓄電池に関する対地電圧の接地工事内容の変更（第143条）  
太陽電池発電設備の標準化の明確化（第46条）

2) 直流の視点からの電技解釈の課題

電技解釈を直流給配電システムに適用する場合の課題について、次のような事項が提案されている。

**第2. 5. 1表 電技解釈を直流給配電システムに適用する場合の課題**

条文		要検討事項等
第1条	用語の定義	直流用配線として、追加するものはあるか。
第9条	低圧ケーブル	直流の試験電圧や低圧絶縁電線の絶縁性能の見直しは必要か。
第13条	電路の絶縁	直流の場合の再検討。
第14条	低圧電路の絶縁性能	電路の絶縁抵抗試験の判定基準が電圧階級により異なっている。
第16条	機械器具等の電路の絶縁性能	整流器の絶縁耐力試験条件に直流電圧（整流器出力電圧）が関係している。
第17条	接地工事の種類及び施設方法	漏電遮断器による接地抵抗値の緩和。
第19条	保安上又は機能上必要な場合における電路の接地	特別高圧の電路や燃料電池と電路の接地
第23条	アークを生じる器具の施設	低圧の直流配電においてアークを発生させる装置の隔離距離。
第29条	機械器具の金属製外箱等の接地	接地工事の種類による電圧区分。
第33条	低圧電路に施設する過電流遮断器の性能等	直流用の遮断器の特性（電気用品安全法の対象外）検討。
第36条	地絡遮断装置の施設	直流用の遮断器の特性（電気用品安全法の対象外）。
第47条	常時監視をしない発電所の施設	多様化する発電源の種類とその出力(kW)を規程する必要がある。
第51条	電波障害の防止	直流線路の場合の見直し。
第55条	架空電線路の防護具	直流電圧印加の試験の追加が必要と思われる。
第65条	低高圧架空電線路に使用する電線	

第 66 条	低高圧架空電線の引張強さに対する安全率	使用電圧が 300V 以下と、超過で、電線の引張強さの条件の差が大きい。直流の場合は何 V を基準にすべきか、検討が必要。
第 79 条	低高圧架空電線と植物との接近	直流での耐電圧試験の明確化が必要。
第 82 条	農事用低圧架空電線路の施設	直流電圧でも同一の電圧区分でよいのか？
第 110 条	低圧屋側電線路の施設	
第 143 条	電路の対地電圧の制限	直流電路の対地電圧の制限と緩和条件の見直し。
第 144 条	裸電線の使用制限	各種工事における使用電圧制限等の見直し。

## (2) 国際関連規格

- a. 主な国際規格としてはIEC規格、ISO規格、ITU規格があるがここでは電気電子システムに関するIEC規格を**第2. 5. 2表**に示す。

**第2. 5. 2表 主な国際規格の適用範囲等**

国際規格	適用範囲等
IEC規格	IECは、「International Electrotechnical Commission」の頭文字。「国際電気標準会議」と訳されている。電気・電子技術分野の国際規格の策定を行っている国際標準化機関。平成30年1月現在、7,500以上の規格を管理している。
ISO規格	ISOは、「International Organization for Standardization」の頭文字。「国際標準化機構」と訳されている。ISOは、電気を除く工業規格を策定する民間の非政府組織で、世界最大の国際標準化組織。工業製品の標準化を行っている。現在は、162カ国（平成30年12月現在）が参加し、22,000以上の規格を管理している。
ITU規格	ITUとは、「International Telecommunication Union」の頭文字。国際電気通信連合と訳されている。情報通信に関する国際標準の策定などを行う国際機関。主に有線の電気通信技術の標準化を行う電気通信標準化部門（Telecommunication Standardization Sector:ITU-TまたはITU-TS）と、主に無線通信技術の標準化や電波周波数の割り当てなどを行う無線通信部門（Radiocommunication Sector:ITU-R）などの部局がある。

- b. IECにおける電気システムに関するTC(技術委員会)等TC等と主な検討担当規格を**第2. 5. 3表**に示す。

第2. 5. 3表 TC(技術委員会)等TC等と主な検討担当規格

TC等	主な作成担当規格
TC18 船舶並びに移動及び固定式海洋構造物の電気設備	IEC 60092シリーズ 船の電気設備 IEC 60533 船の電気・電子設備 IEC 61363 船並びに岸の移動又は固定ユニットの電気設備 IEC PAS 63108 直流配電による船の電気設備 など
TC64 電気設備及び感電保護	IEC 60364シリーズ 低圧電気設備 IEC 60479シリーズ 人又は家畜の通過電気の影響 IEC 61140 感電保護に関する設備及び機器の共通事項 IEC TS 61200シリーズ 電気設備ガイド など
TC79 警報及び電子セキュリティシステム	IEC 60839シリーズ アラーム及び電子防災システム IEC 62676シリーズ 保安用途で使用するためのビデオ監視システム など
TC97 空港の照明及びビーコンの電気設備	IEC 61820 空港照明の電気設備 など
TC99 交流1kV超過・直流1.5kV超過の電力設備のシステム	IEC 61936シリーズ AC1000V超過の電力設備 など
TC115 100kVを超える高圧直流送電システム	IES TS 61973 高圧直流 (HVDC) 変電所の騒音 IEC TS 62344 高圧直流 (HVDC) リンクの接地設計 IEC TS 63014シリーズ HVDCの電力変換 など
SyC LVDC 低圧直流給電システム	IEC TS 63255-2 システム参考規範図書-電氣的互換性予測 (検討開始)

c. TC等における直流に関連する動向

1) IEC TC18

- ① IEC 60092シリーズに直流1500V以下の規格が追加された。
- ② 2017年IEC PAS S 63018 (直流配電による船の電気設備) が制定された。

2) IEC TC64

- ① IEC 60364シリーズにおける感電保護の体系
  - i) 感電保護の原則
    - 故障時の接触電圧を 50V 以下に制限する。

なお、接触電圧（touch Voltage）とは、IEC 60050-826（International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Part 826: Electrical installations）において、「人又は家畜が同時に触れたとき、導電性部分間の電圧」と定義されており、具体的な設計においては、故障時に電気機器の金属製外箱などの露出導電性部分に発生する対地電圧を用いている。

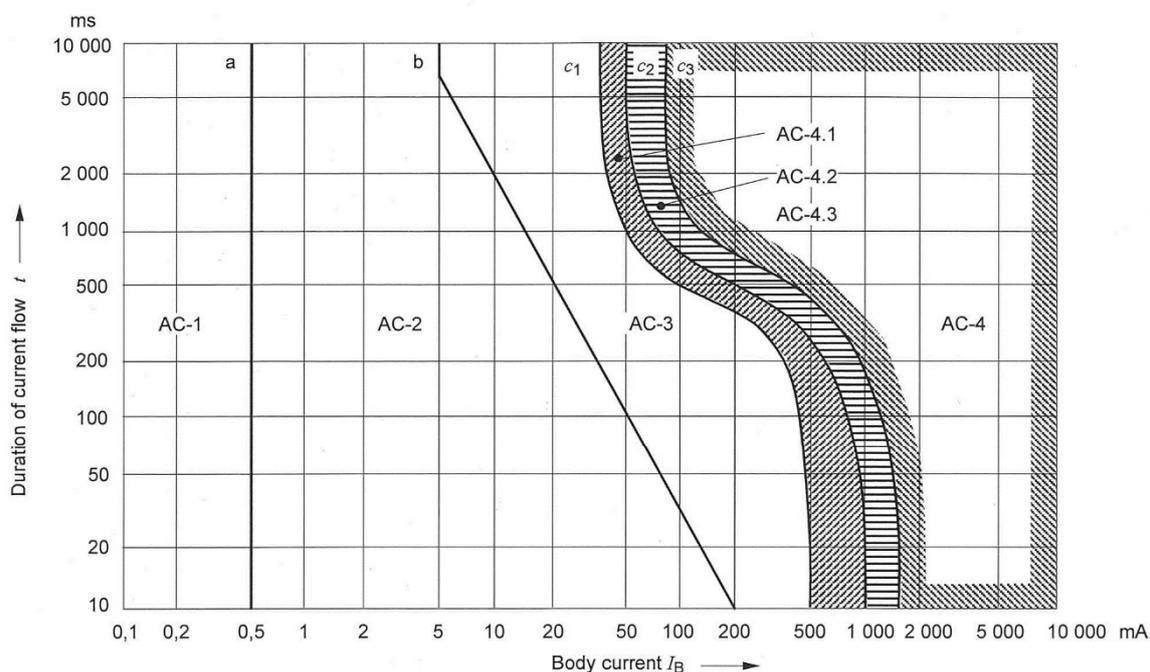
保護方法の具体的な適用方法は、接地系統により異なる。

人体通過電流の影響は、交流と直流では異なる。

**第 2. 5. 2 図**及び**第 2. 5. 3 図**に、交流の場合と直流の場合の人体通過電流／継続時間特性曲線を示す。また、二つの図を合成し、簡略的に表しているのが**第 2. 5. 4 図**である。

**第 2. 5. 4 図**に示すように、人体に影響を及ぼす電流値は、直流の特性曲線のほうが交流と比較して右（電流値が大きい側）にあり、より安全の側にあることがわかる。

電気設備の感電保護の設計においては、人体通過電流を想定するよりも人体接触電圧を想定する方が容易であることから、**第 2. 5. 2 図**と印加電圧に応じた人体インピーダンスのデータから、電圧と時間の関係を明確にし、故障時における接触電圧を想定できるよう、設計基準(IEC 60364)が整備されている。なお、接触電圧の安全の限界値は、交流の場合が 50V、直流の場合は 120V となっている。

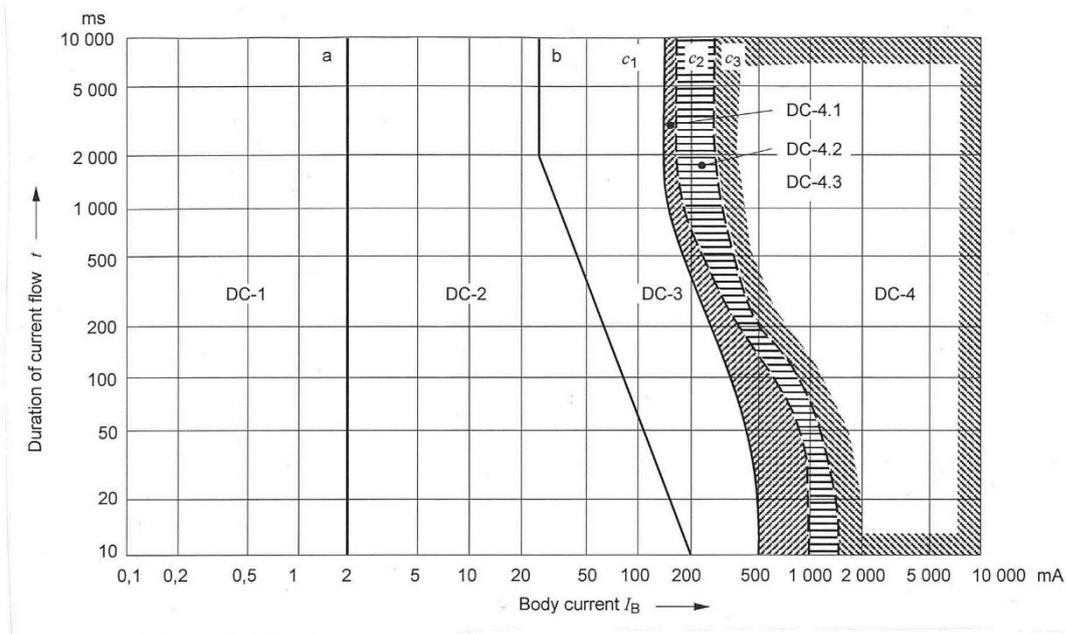


Zones	Boundaries	Physiological effects
AC-1	Up to 0,5 mA curve a	Perception possible but usually no 'startled' reaction
AC-2	0,5 mA up to curve b	Perception and involuntary muscular contractions likely but usually no harmful electrical physiological effects
AC-3	Curve b and above	Strong involuntary muscular contractions. Difficulty in breathing. Reversible disturbances of heart function. Immobilization may occur. Effects increasing with current magnitude. Usually no organic damage to be expected
AC-4 <sup>1)</sup>	Above curve $c_1$  $c_1$ - $c_2$ $c_2$ - $c_3$ Beyond curve $c_3$	Patho-physiological effects may occur such as cardiac arrest, breathing arrest, and burns or other cellular damage. Probability of ventricular fibrillation increasing with current magnitude and time  AC-4.1 Probability of ventricular fibrillation increasing up to about 5 % AC-4.2 Probability of ventricular fibrillation up to about 50 % AC-4.3 Probability of ventricular fibrillation above 50 %
<p><sup>1)</sup> For durations of current flow below 200 ms, ventricular fibrillation is only initiated within the vulnerable period if the relevant thresholds are surpassed. As regards ventricular fibrillation, this figure relates to the effects of current which flows in the path left hand to feet. For other current paths, the heart current factor has to be considered.</p>		

出典 IEC TS 60479-1:2016 Ed.4.1 Effects of current on human beings and livestock -

Part 1: General aspects

第 2. 5. 2 図 人体通過電流／継続時間特性曲線（交流）



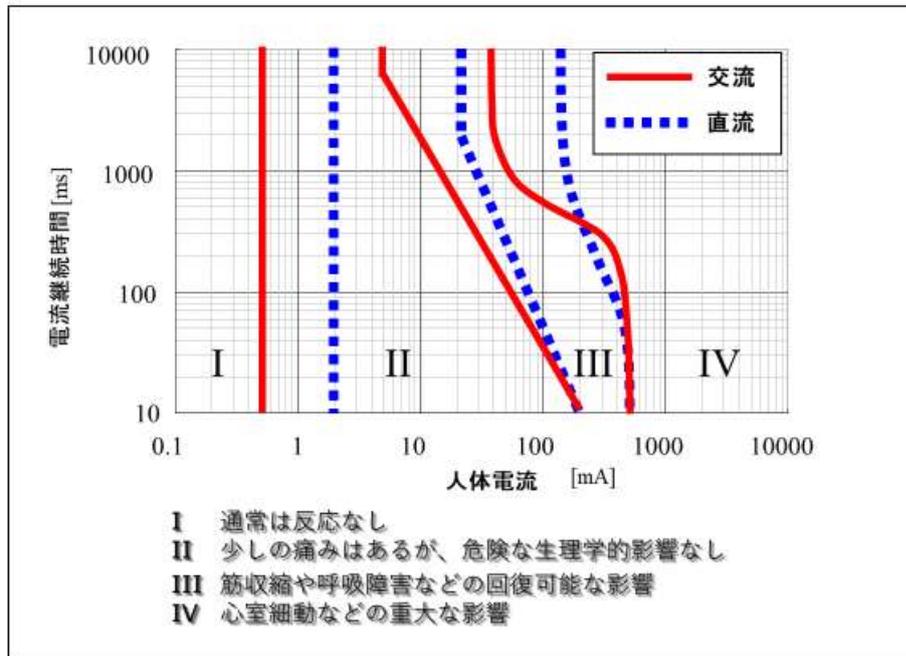
Zones	Boundaries	Physiological effects
DC-1	Up to 2 mA curve a	Slight pricking sensation possible when making, breaking or rapidly altering current flow
DC-2	2 mA up to curve b	Involuntary muscular contractions likely especially when making, breaking or rapidly altering current flow but usually no harmful electrical physiological effects
DC-3	Curve b and above	Strong involuntary muscular reactions and reversible disturbances of formation and conduction of impulses in the heart may occur, increasing with current magnitude and time. Usually no organic damage to be expected
DC-4 <sup>1)</sup>	Above curve $c_1$  $c_1$ - $c_2$ $c_2$ - $c_3$ Beyond curve $c_3$	Patho-physiological effects may occur such as cardiac arrest, breathing arrest, and burns or other cellular damage. Probability of ventricular fibrillation increasing with current magnitude and time  DC-4.1 Probability of ventricular fibrillation increasing up to about 5 % DC-4.2 Probability of ventricular fibrillation up to about 50 % DC-4.3 Probability of ventricular fibrillation above 50 %

<sup>1)</sup> For durations of current flow below 200 ms, ventricular fibrillation is only initiated within the vulnerable period if the relevant thresholds are surpassed. As regards ventricular fibrillation this figure relates to the effects of current which flows in the path left hand to feet and for upward current. For other current paths the heart current factor has to be considered.

出典 IEC TS 60479-1:2016 Ed.4.1 Effects of current on human beings and livestock -

Part 1: General aspects

第 2. 5. 3 図 人体通過電流／継続時間特性曲線（直流）



第 2. 5. 4 図 交流と直流の人体通過電流/継続時間特性曲線比較

ii) 接地系統の分類

接地系統の分類とその概要を第2.5.4表に示す。

第2.5.4表 接地系統の分類

接地系統		備 考				
分類	概念図					
TN系統	<p>系統接地</p> <p>露出導電性部分</p>	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>中性線 (N)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>保護導体 (PE)</td> </tr> </table> <p>TN, TT, ITの意味</p> <p>1) 一番目の文字：電源と大地の関係  T：大地へ1点で直接接続  (仏語 Terreの頭文字 意味は大地)</p> <p>I：電源と大地が絶縁  (Insulation 絶縁の頭文字)</p> <p>2) 二番目の文字：露出導電性部分と大地との関係  T：系統接地と独立して大地と直接接続  N：系統接地と露出導電性部を直接接続  (Neutral 中性点の頭文字)</p> <p>3) TN系統の三番目以降の文字：中性線と保護導体配列  S：中性線と保護導体が分離  (Separated 分離の頭文字)  C：中性線と保護導体が単一導体  (Combined 結合の頭文字)</p>		中性線 (N)		保護導体 (PE)
	中性線 (N)					
	保護導体 (PE)					
TT系統	<p>系統接地</p> <p>露出導電性部分</p>					
IT系統	<p>系統接地</p> <p>露出導電性部分</p> <p>※ インピーダンス</p> <p>※ 系統は大地と絶縁する場合がある。中性線を設ける場合と設けない場合がある。</p>					

出典 第一種電気工事士定期講習テキスト(平成30年度版),  
一般財団法人電気工事技術講習センター

iii) 保護手段の種類

一般的に適用できる保護手段の種類は、次のとおり。

- ・ 電源の自動遮断
- ・ 二重絶縁又は強化絶縁
- ・ 一つの電気使用機器への電力供給のための電氣的分離
- ・ 特別低電圧 (SELV 及び PELV)

iv) 電圧バンド

設備の公称電圧に応じた交流電圧バンド及び直流電圧バンドを第2.5.5表及び第2.5.6表に示す。

第 2. 5. 5 表 交流電圧バンド

バンド	接地系統		非接地又は非有効接地系統*
	対地間	線間	線間
I	$U \leq 50$	$U \leq 50$	$U \leq 50$
II	$50 < U \leq 600$	$50 < U \leq 1\,000$	$50 < U \leq 1\,000$

$U$ ：設備の公称電圧(V)  
 \* 中性線がある場合、1相と中性線間から供給される電気機器は、その絶縁が線間電圧に相当するものを選定すること。

出典 JIS C 0366 建築電気設備の電圧バンド

第 2. 5. 6 表 直流電圧バンド

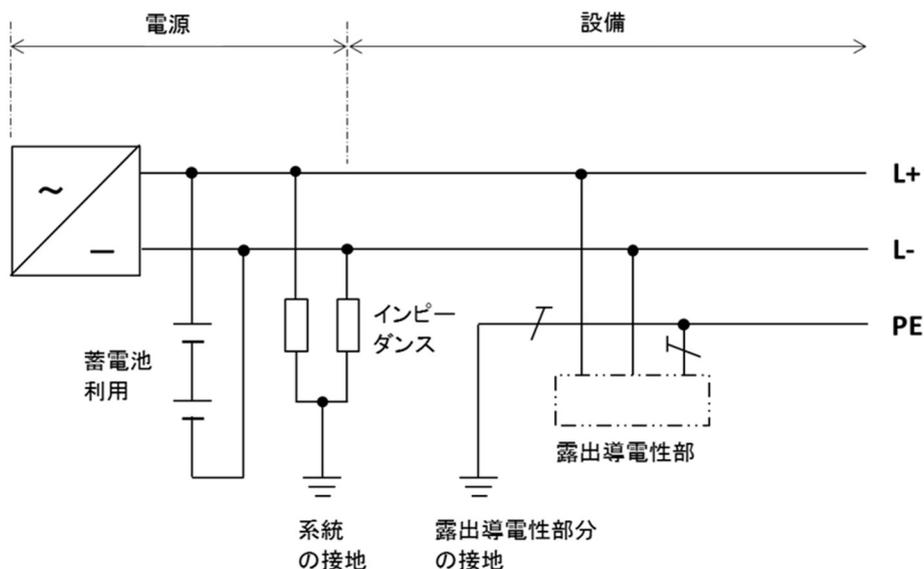
バンド	接地系統		非接地又は非有効接地系統*
	極対地間	極間	極間
I	$U \leq 120$	$U \leq 120$	$U \leq 120$
II	$120 < U \leq 900$	$120 < U \leq 1\,500$	$120 < U \leq 1\,500$

$U$ ：設備の公称電圧(V)  
 \* 中性線がある場合、1極と中間線から供給される電気機器は、その絶縁が極間電圧に相当するものを選定すること。

出典 JIS C 0366 建築電気設備の電圧バンド

②IEC60364シリーズでは、直流を活用する施設への規定として、データセンタやマイクログリッドに関する規格の制定・改正が、検討されている。具体的な事例は次のとおり。

i) IEC60364-7-720 (データセンタの電気設備) の制定検討が進められている。同規格における対象システムとして、IT系統の場合を**第2. 5. 5図**に示す。なお、本規格は我が国が提案したものである。



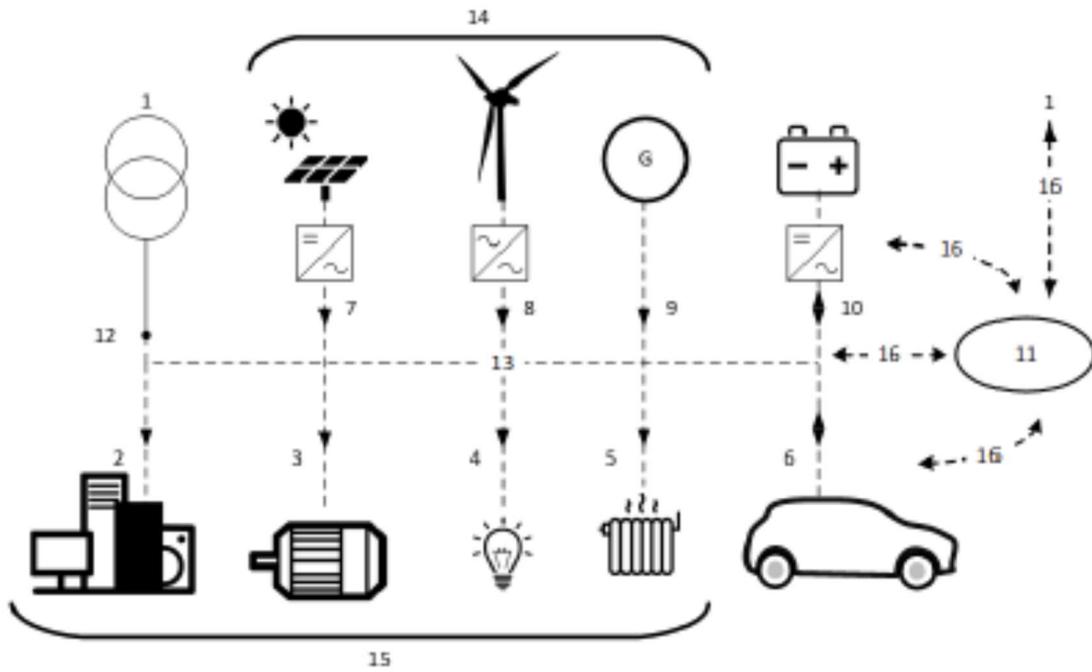
出典 IEC 60364-7-720 ED1 Part 7-720: Requirements for special installations or locations  
 -DC power supply system in the data centre ドラフト

**第2. 5. 5図 ITシステムによるデータセンタにおける運用事例**

ii) IEC60364-8-2 【プロシューマ (Prosumer) の低圧電気設備】が2018年に制定された。

対象システムは**第2. 5. 6図**のとおりである。

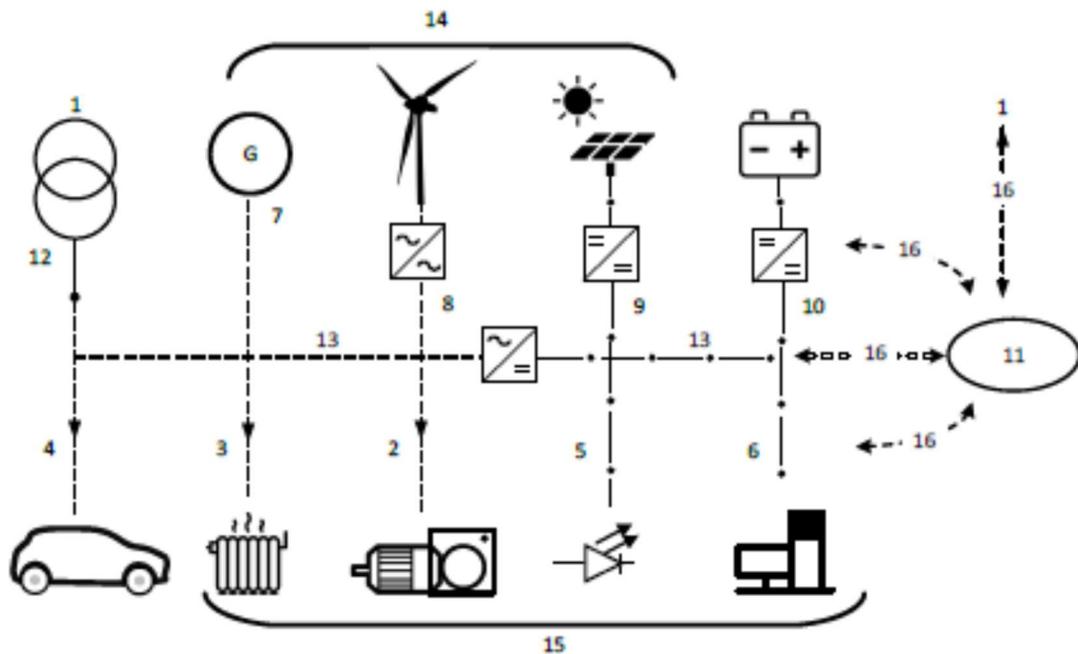
同規格は、2022年を目標にEd.2の検討が進められている。現状の案では、直流母線も持つシステム（**第2. 5. 7図**参照）についても追加検討されている。



- |               |                         |
|---------------|-------------------------|
| 1 流通ネットワーク    | 9 その他の発電機               |
| 2 家電製品および電子機器 | 10 蓄電                   |
| 3 モーター        | 11 EEMS                 |
| 6 照明          | 12 POC                  |
| 5 ヒーター        | 13 プロシューマ電気設備           |
| 6 電気自動車       | 14 ローカル世代               |
| 7 ソーラーインバータ   | 15 現地消費                 |
| 8 風インバータ      | 16 管理信号 (1,11,14,15 の間) |

出典 IEC 60364-8-2:2018 Ed.1.0 Low-voltage electrical installations -  
Part 8-2: Prosumer's low-voltage electrical installations

**第2. 5. 6図 PEI内にAC配電があるプロシューマの低電圧電気設備の例**



- |                                     |                         |
|-------------------------------------|-------------------------|
| 1 流通ネットワーク                          | 9 PVコントローラ              |
| 2 モーター,AC 負荷 (照明,家電製品)              | 10 バッテリー充電コントローラ        |
| 3 ヒーター (シェッド可能負荷)                   | 11 EEMS                 |
| 4 電気自動車 (開閉可能な負荷)                   | 12 POC                  |
| 5 照明 (LED)                          | 13 プロシューマ電気設備           |
| 6 DC 負荷 (単独運転可能な PEI の場合はおそらく敏感な負荷) | 14 ローカル世代               |
| 7 発生器                               | 15 現地消費                 |
| 8 風インバータ                            | 16 管理信号 (1,11,14,15 の間) |

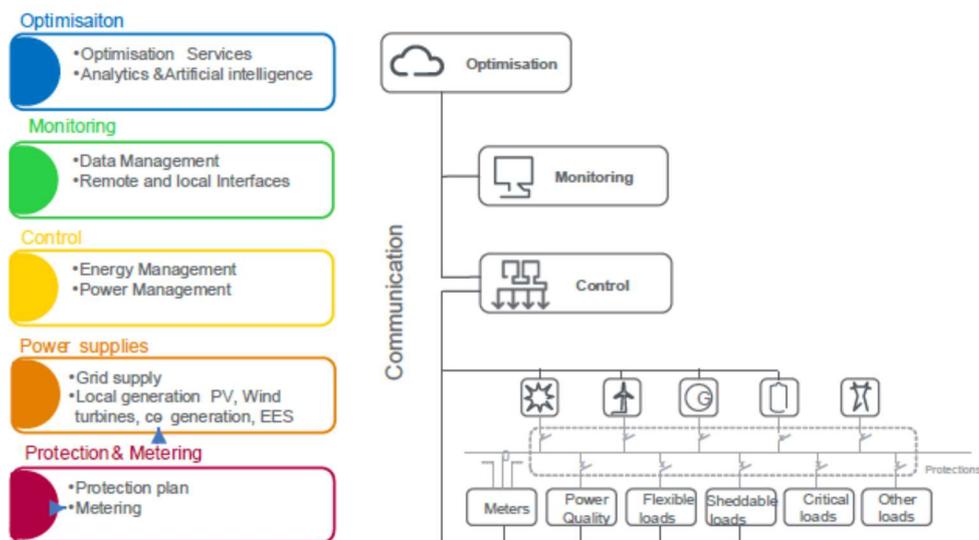
注 PEIのAC部分とPEIの直流部分の間のコンバータは、絶縁することも絶縁しないこともできる。

出典 IEC 60364-8-2 ED2 Low-voltage electrical installations -

Part 8-2: Prosumer's low-voltage electrical installations ドラフト

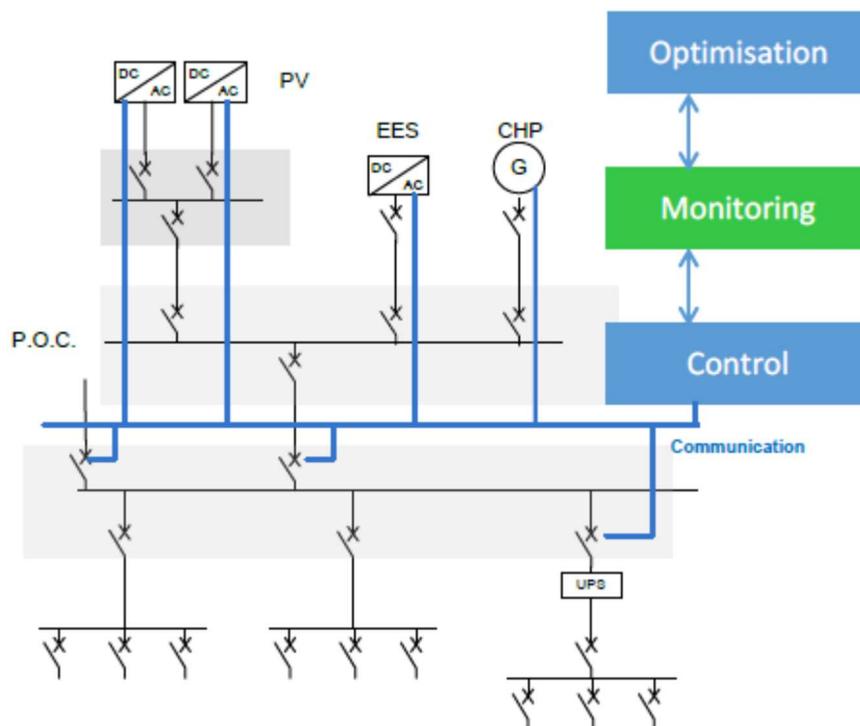
## 第2. 5. 7図 PEI内の交流及び直流配電を使用したプロシューマの低電圧電気設備の例

iii) 2020年内の制定を目標にIEC TS 60364-8-3 (プロシューマの電気設備の運用)の検討が進められている。これは、IEC 60364-8-2に規定する設備の運用について定めようとするものである。システムのイメージを第2. 5. 8図、第2. 5. 9図に示す。



出典 IEC TS 60364-8-3 ED1 Low-voltage electrical installations -  
Part 8-3 : Operation of prosumer's electrical installations ドラフト

第2. 5. 8図 PEIアーキテクチャ：機能層



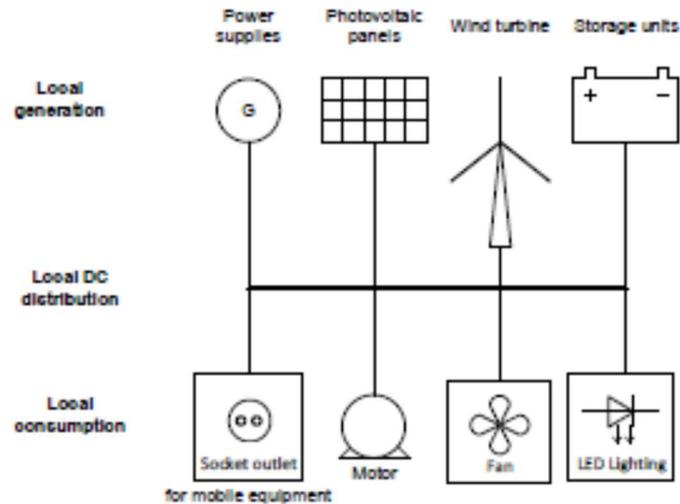
出典 IEC TS 60364-8-3 ED1 Low-voltage electrical installations -  
Part 8-3 : Operation of prosumer's electrical installations ドラフト

第2. 5. 9図 PEIアーキテクチャ：物理レイアウトの例

③IEC TS 61200シリーズのうち、2018年にIEC TS 61200-101（公共配電網に接続を意図しないELVの直流電気設備の適用ガイド）が制定された。

同規格はELV（特別低電圧）の直流スマートグリッドに関するもの。本規格は自立運転を意図した設備である。ただし、公共配電網への接続を不可とするものではない。対象システムは**第2. 5. 10図**のとおり。

なお、2020年内の制定を目標として、IEC TS 61200-102の検討が進められている。同規格は、低圧直流の公共配電網に接続をすることも意図したシステムを対象としている。対象は、前途のIEC TS 64200-101と同一のシステムとしている。

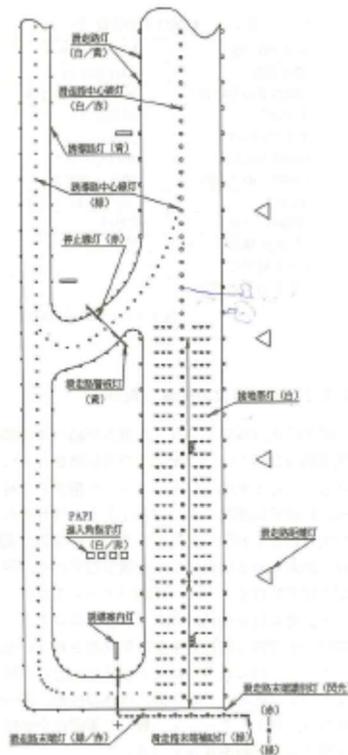


出典 IEC TS 61200-101:2018 Ed.1.0 Electrical installation guide - Part 101: Application guidelines on extra-low-voltage direct current electrical installations not intended to be connected to a public distribution network

### 第2. 5. 10図 DC低電圧電気設備のコンセプト

#### 3) IEC TC97

IEC 61821（飛行場における地上設置の灯火の電気設備）においては、飛行場の滑走路、誘導灯等に設置する航空灯火の電気設備について規定している。本TCにおいては、IEC 61820-1の他に、航空灯火回路（直列回路）に使用する電源（定電流装置）、電線灯器などについての規格を有しているが、これら規格をIEC 61820シリーズに一本化するリストラを考えている。その一環として、LED照明の使用実態等を踏まえ、改正検討が行われている。本規格の対象とする灯火等は**第2. 5. 11図**のとおり。



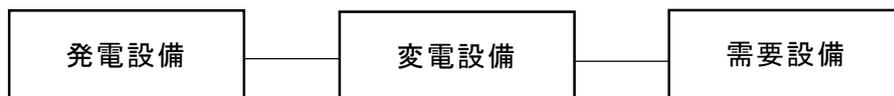
出典 視覚ガイダンスシステム1999, 財団法人航空振興財団

第2. 5. 11図 滑走路周辺の灯火図

4) TC99

IEC 61936シリーズのうち、IEC 61936-2は、直流1500V超過の電力設備について規定している。同規格は、発電、変電、需要設備が対象で、送電線、配電線などを含んでいない（第2. 5. 12図参照）。

なお、同規格は2021年の改正を目標として審議が進められている。



第2. 5. 12図 IEC 61936シリーズの適用範囲

5) TC115

- ① 直流設備が増加する中、交流設備と同様な規格化の必要性が提案され、TC115が2008年に設立された。
- ② TC115では主にHVDCシステム全体を取り扱うことから、HVDCシステムの計画、変換所や接地電極の設計、運用、設備管理、直流機器の基本仕様、環境に関する事項等について、規格文書を制定してきた。
- ③ 発足時期から、運用実績が豊富で、長期間に至る関連情報も豊富な他励式HVDCを対象に規格化を行ってきたが、1990年後半から適用され、その後再エネ電源の送電用に広く適用されている自励式HVDCの規格化が始まっている。
- ④ 今後のTC115の規格化の対象として、直流多端子に関する規格や、直流システムに

使用される機器の規格対象範囲を拡大していくこととなる。このため、関連する多くのIECのTC/SCとの情報交換やジョイント作業、共同作業などを行うこととなる。

⑤ HVDCに関する規格化に関しては、更なる技術開発に伴う新技術を導入することが予想されるため、この分野の調査を行っているCIGRE SCB4の活動成果を活用して、規格化の範囲を拡大していくことになると思われる。

#### 6) SyC LVDC

- ① 2017年2月SMB決議により発足したSyC LVDCは、1500V以下の低圧直流分野の国際標準化の検討・議論を進めていたSG 4、SEG 4の流れを継承しつつ、2017年5月に1回目の会議をケニア・ナイロビで開催した。従来のデータセンタや先進国向けの直流応用に加え、発展途上国の電化促進のための直流利用を新たなスコープとして見据え、標準化の対象範囲を拡大し活発に活動している。2020年1月時点で、新たにロシアNCが加わり、28か国（Pメンバ21、Oメンバ8）からの参加がある。
- ② SyC LVDCは、標準化のための会議開催のみならず、LVDC市場の拡大・促進、ニーズの把握の目的から、ワークショップを併設することが多いため、開催地を北中南米、アジア、欧州/アフリカの3つのエリアに分け年3回のペースで議論を進めている。初回以降は、2017年9月アムステルダム（オランダ）、2018年1月ワシントンDC（アメリカ）、2018年5月杭州（中国）、2018年9月アビジャン（コートジボワール）、2019年1月ホルゲン（スイス）、2019年5月サンパウロ（ブラジル）、2019年9月（ジャカルタ）、2020年1月デルフト（オランダ）と議論を重ねている。
- ③ 2020年1月のデルフト会議では、IEC内の各TC/SCとの連携強化を図るためLVDC Forumが催され、SyC LVDCに関する具体的な活動内容と標準化発行に向けたアプリケーション毎の課題が共有された。
- ④ 時代背景、市場動向にマッチさせるべく、SyC LVDC配下に未電化地域の電化促進（WG1）、郊外電灯等の直流配電網（WG2）、保護と安全にかかわるパラメータ（WG3）の作業会を置き、またCAGの配下には、直流データセンタ及び工業用製造ライン向け直流配電（ahG2）、及び直流配電のロードマップ提案（ahG3）、アンケートと分析（ahG4）、及び市場性（ahG5）の各グループを組織化し、新たな国際標準化の必要性や既存規格類との整合などを検討している。また、TC 8から提案された直流の電圧規定や電力品質の規格を審議すべくJWGを承認し、国際標準発行のため具体的な活動も進展させている。
- ⑤ 2022を目標に、SyC LVDCでは初の規格となる、IEC TS 63255-2（システム参考規範図書-電氣的互換性予測）の検討が開始された。

### (3) 国外における規格・基準等

#### a. 海外規格・基準等の名称等

IEC 60364シリーズに対応する各国の規格の番号及びその名称の一例を第2.5.7表に示す。

第2.5.7表 IEC 60364シリーズに対応する各国の規格

国名	規格等番号	規格名称
アメリカ	NFPA-70(2020)	Nations Electrical Code(NEC)
イギリス	BS7671Ed. 18(2018)	Requirements for Electrical Installations
ドイツ	DIN/VDE 0100	Safety of Electrical Installations up to 1000V Electrical Installation of Buildings
フランス	NF C 15-100Ed. 5(2015)	Low Voltage Electrical Installations
オランダ	NEN 1010(2015)	
オーストラリア	AS/NZS 3000	Wiring Rules
ニュージーランド		

#### b. 海外規格・基準等の概要

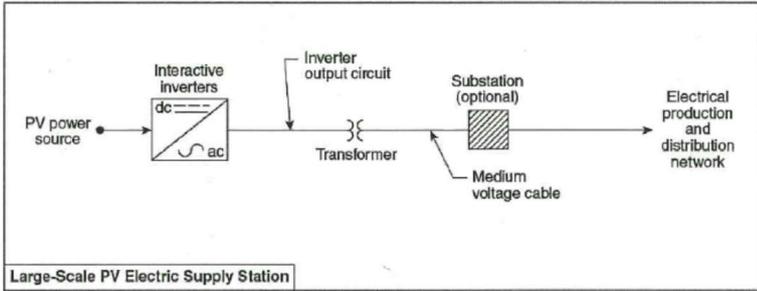
IEC 60364シリーズに対応する各国の規格に関し、ヨーロッパ（イギリス、ドイツ、フランス及びオランダ）並びにオーストラリア及びニュージーランドの規格に関しては、基本的にIEC 60364シリーズに準拠している。以下に、アメリカのNFPA-70 (NEC)及びそれ以外の国において他の規格等の動向を示す。

##### 1) NFPA-70 (NEC) 米国電気設備規程

2017年の改正において追加された項目とその内容（概要）を次表に示す。

なお、内容（概要）は、2020年版による。

第2.5.8表 2017年の改正において追加された項目とその内容（概要）

条文	内容（概要）
第691条 大容量PV施設	<p>5MW以上の太陽光発電（PV）ステーションの設置に関する事項</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ステーションの構成</li> </ul> <p>情報メモ図 691.1 大規模 PV 電気供給ステーションコンポーネントの概要</p>  <p>Large-Scale PV Electric Supply Station</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>手続きとの解列手段</li> </ul>

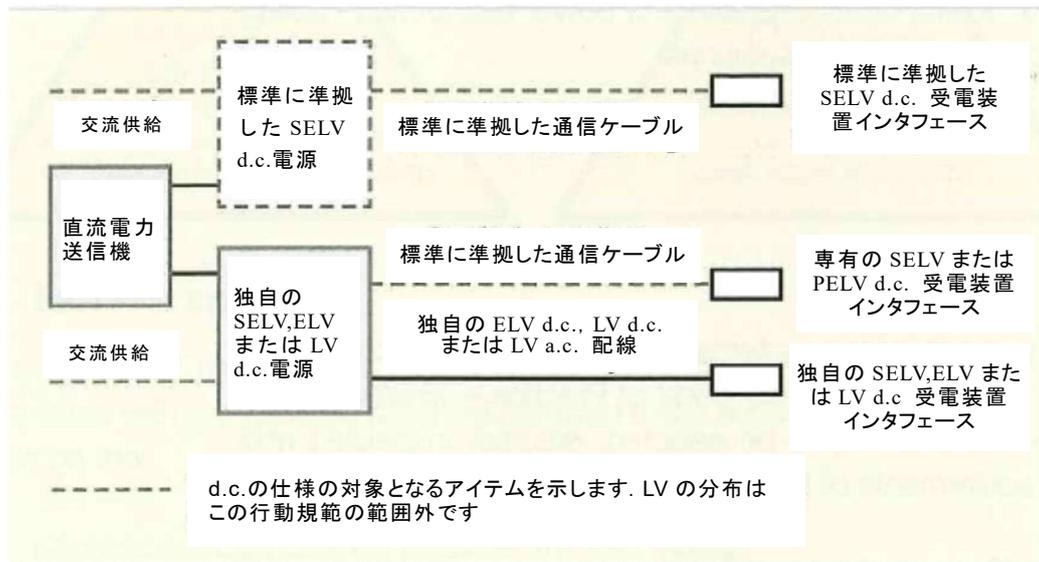
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アーク障害の緩和やフェンスの接地方法</li> </ul>
<p>第706条 エネルギー貯蔵システム</p>	<p>設置，停止，切り離し安全ラベルの貼付けなどの電気</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 3.6 MJ (1kWh) 超過のエネルギー貯蔵システム (ESS) を対象</li> <li>・ クロー電池 ESS の場合の電解質等の要件</li> <li>・ その他の ESS の場合の過電流保護，充電制御に関する要件</li> <li>・ 最大定格電流に応じた導体とその接続方法</li> <li>・ 住宅使用での対地電圧直流 100V 以下などの設置要件</li> <li>・ 系統からの解列手段</li> <li>・ 保護管理方法等</li> </ul>
<p>第710条 自立分散型電源</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 配電ネットワークに接続しないシステムを対象</li> <li>・ システムにおいて使用する電源電圧</li> <li>・ 電線の電圧及び周波数の制御</li> </ul>
<p>第712条 直流マイクログリッド</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 相互接続された複数の直流電源で構成されるシステム</li> <li>・ インバータを介して交流接続の場合もある</li> <li>・ 回路要件 (導体識別，システム電圧の選定など)</li> <li>・ 直流電源の解列手段</li> <li>・ 安全保護 (地絡保護，アーク障害保護，過電流保護方法)</li> <li>・ 導体間電圧1000V超過の場合の準拠ルール</li> </ul>

## 2) IET Standard Code of Practice for Low and Extra Low Voltage Direct Current Power Distribution in Buildings

イギリスにおいては，BS7671の他にIET (The Institute of Engineering Technology) から「建物等における低圧及び特別低電圧の直流電力配電のガイド」が出されている。

本ガイドは，LV又はELVの直流電線及び配線設備を対象としている。本ガイドの対象範囲などを**第2. 5. 13図**に示す。ただし，同設備における機械等の選定，施工，検証はBS7671によることとしている。

なお，IETは，IEE (Institute of Electrical Engineers) とIET (The Institute of Engineering Technology) が統合して2006年に発足したものである。



出典 IET Standard Code of Practice for Low and Extra Low Voltage Direct Current Power Distribution in Buildings

## 第2. 5. 13図 本ガイドの適用範囲の概要

### 3) VDE/DKE Low Voltage Direct Current Power Road Map

ドイツにおいては、DIN/VDE 0100の他に「低電圧直流に関する標準化のロードマップ」が出されている。

同ロードマップには、DKEドイツ国内委員会における直流システムに関する検討結果を示したものである。

内容的には、LVDC分野へ展開することのメリット等について概説、標準化の意義と必要性が述べられている。また、経済や法的な枠組みの考え方について言及している。さらに、感電保護、過電流保護、過渡過電圧保護などの安全保護についても触れている。

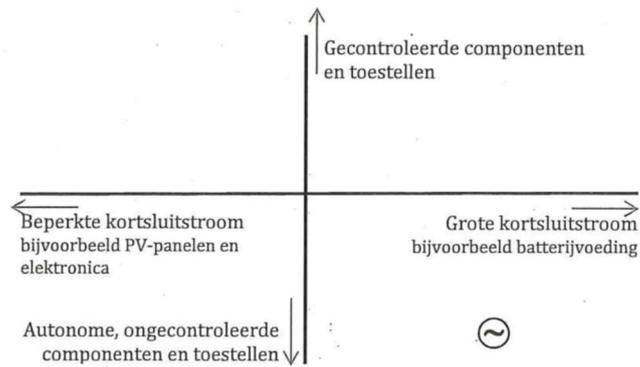
なお、安全保護等、設備のハードに関しては、IEC60364シリーズやIEC62305（雷保護）シリーズなどの内容が引用されている。

### 4) NPR 9090 DC installations for low voltage

オランダにおいては、NEN (Netherlands Standards Institution) が、低電圧直流設備の規格を、NPR 9090 (2018) を発行している。

同規格は、電源、負荷などにおいて、直流の機器等が増加してくることにより、AC-DC変換を不要にするシステムの必要性を反映したもの。なお、同指針には、設備の安全原則に関しては、IEC 60364シリーズに対応するNEN 1010(2015)が、また、並びにIEC 61200-101及び102の内容が引用されている。

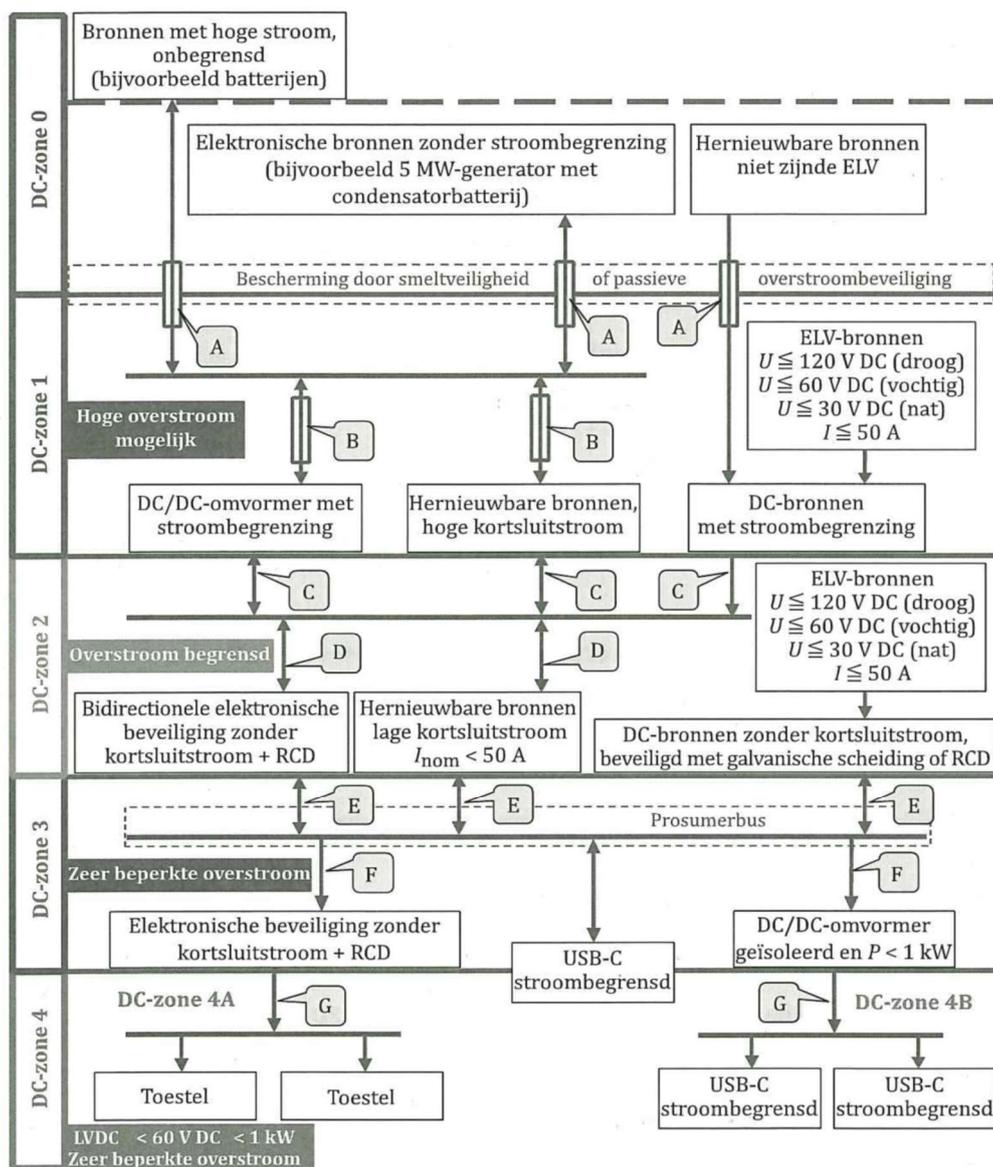
同規格では、直流設備における短絡電流の設計に関して、横軸を短絡電流の大きさ、縦軸をシステム機器等における制御の程度とする考え方が示されている（**第2. 5. 14 図**参照）。



出典 NPR 9090 DC-installaties voor laagspanning

**第2. 5. 14図 短絡電流の検討ステージ**

また，適用する電源により直流ゾーンを5つに分類（0:保護されていない，1:大短絡電流の保護，2:低短絡電流の保護，3:電子機器用，4:単一電子機器）し，そのゾーンのリスクに応じた対応方法が示されている（**第2. 5. 15図**参照）。



出典 NPR 9090 DC-installaties voor laagspanning

第2. 5. 15図 存在するリスクに応じた直流設備内の直流ゾーン分割

#### (4) 電圧階級の分類

a. 各国等における電圧階級の分類

電圧分類は、国、地域等によって異なる。各国、地域等における電圧階級分類を第2.

5. 16図に示す。

		600V	750V	1.5kV	7kV	20kV	100kV	
日本 電技 省令第2条	交流	600V		7kV	特別高圧			
	直流	750V		7kV	特別高圧			
韓国	交流	現行600V 引上げ		2021年より1000V	7kV	特別高圧		
	直流	現行750V 引上げ		2021年より1500V	7kV	MVDC制定議論中 (35kV)	特別高圧	
IEC	交流	25V SELV	50V ELV	LV	1000V	MV	35kV HV, 230kV EHV	
	直流	SELV	60V ELV	100V	LV	1500V	HV	
IEEE	交流	LV			635V	MV	22.5kV HV, 242kV EHV	
	直流	[Shaded area]						
NEC米国	交流	LV			1000V	HV		
	直流	[Shaded area]						
中国	交流	[北京の事例] LV		400V	MV	10kV HV	110kV EHV	
	直流	[中国電力会社の事例] LV			1500V	MV	50kV HV	
欧州EN規格	交流	[Shaded area]						
	直流	LV			1500V	HV		

第2. 5. 16図 電圧分類のレビュー（国別）

b. 我国における電圧階級の分類の変遷

1) 交流

低圧は、150V、250V、300Vから、昭和40年に600Vに変更された。これは、当時、ビルや工場などで機器の容量の大型化に伴い、欧米で使用されている400Vの電圧が使用され始めていることに対応したものである。

高圧は、昭和24年までは、300Vを超え3500V以下であった。電力需要の増加と共に、配電線の6600Vへの昇圧が始まり、これに伴い高圧の上限が7000Vに引き上げられた。

なお、特別高圧については、高圧を超える区部としている。

2) 直流

昭和24年までは、直流と交流の関係は2対1の比率で規定されていた。一般に絶縁物の耐電圧については、直流は交流に比べてかなり高い値を示すものであり、人体に対する影響も、直流は交流に比べ危険度は低いとされている<sup>1</sup>。しかし、直流については営業用の電気鉄道の電圧に600V、750V、1500Vがあるが、750Vまで路面電車の電圧として使用されていることから、昭和24年の改正で750Vを低圧の上限とした。

<sup>1</sup> 日本電気技術者協会誌 平成20年4月号「電気設備技術基準における電圧の区分と施設規制」、公益社団法人 日本電気技術者協会

		600V	750V	1.5kV	7kV	20kV	100kV
明治制定当時	交流	150V					
	直流	300V					
1896(明治29年)	交流	250V					
	直流	500V					
1897(明治30年)	交流	300V					
	直流	600V					
1919(大正8年)	交流	300V		3500V			
	直流	600V		3500V			
1949(昭和24年)	交流	300V		7000V			特別高圧
	直流	750V		7000V			特別高圧
1965(昭和40年)	交流	600V		7000V			特別高圧
	直流	750V		7000V			特別高圧

第2. 5. 17図 日本の電圧階級変遷(交流, 直流)

### (5) 国内基準等と国際規格との整合化の動向

#### a. 電気事業法に基づく電気設備技術基準（省令）

1) 低圧の電気設備を施設する場合は、次の条件によりIEC60364シリーズにより、施設することができる。なお、低圧とは電技で定義する交流600V、直流750V以下をいう。

① 一般送配電事業者及び特定送配電事業者の電気設備と直接に接続する場合は、これらの事業者の低圧の電気の供給に係る設備の接地工事の施設と整合がとれていること。

② 同一の電気使用場所においては、前項の規定（以下「IEC関連規定」という）と第3条から第217条までの規定とを不測として混用して低圧の電気設備を施設しないこと。

2) 高圧及び特別高圧の電気設備を施設する場合は、次の条件によりIEC61936-1により設置することができる。なお、ここでいう高圧とは、電技で定義する交流600V超過及び直流750V超過を、特別高圧とは直流及び交流7000V超過いう。

① IEC61936-1規格の規定と第3条のから第217条までの規定とを混用して施設しないこと。ただし、別に指定した条文についてはこの限りではない。

② 高圧又は特別高圧設備の事故時に発生する過電圧により、低圧の電気設備において危険のおそれがないよう施設すること。

#### b. 電気用品安全法に基づく電気用品技術基準（省令）

##### 1) 技術基準への適合義務

電気用品の技術基準は、“電気用品の技術上の基準を定める省令”として規定されており、特定の用途に使用される場合で経済産業大臣の承認を受けたとき、試験的に製造又は輸入するときなどの例外を除いて、これに適合することが義務づけられている。

##### 2) 技術基準への適合性

省令として定める技術基準は、安全を確保する上で満たすべき性能要求のみであ

り、具体的な仕様規定は技術基準の解釈として位置づけられ、別表第一から別表第十二までの解釈が示されているほか、これらの解釈基準によらなくても、省令に照らして十分な保安水準の確保が達成できる技術的根拠があれば、省令に適合するものと判断できることとしている。

現在多くのIEC規格に対応する内容が、技術基準に取り入れられている。

#### **(6) まとめ（直流の利活用から見た考察）**

- ・再生エネルギー等の活用との視点から、太陽光発電設備の普及等とあいまって、電気設備技術基準の解釈など国内基準においてそれらに対応するように、関連事項の改正等が実施されている。
- ・国際規格又は海外規格の制改正の動向として、直流に関連する事項が多い。
- ・これらの事から、直流に対する関心は、世界的な流れの一つと思われる。

## 2. 6 技術動向調査のまとめ

### 2. 6. 1 直流の特徴

直流利活用に際しては、エネルギーの一つの形態である直流の電気（電力）の特徴を捉え、システムとして効率的、かつ全体最適化を満たす必要がある。低炭素を前提とした持続可能な社会を実現するためには、そのエネルギー源は、再生可能エネルギーが主体となり、発生、輸送、変換、蓄積、そして消費に至るまでの単独もしくはシステムとしての組み合わせでの直流の特徴について、本調査においては文献やヒアリングにより調査し、それらの結果を以下のとおり整理した。直流の利用形態について大分すると、HVDC に代表される電力輸送用途、および MVDC、LVDC レベルでの直流電力の消費を前提とした給配電用途の二つに分類できる。

上記、2 分野について、交流と比較したときの直流の特徴をまとめると、以下のとおりとなる。

#### (1)HVDC送電システムにおける特徴

文中の●は原理的な特徴を、○は送電システムで用いる場合の特徴を示す。

##### 【長所】

- 同実効電圧の交流よりも、最高電圧が小さく、絶縁が容易である。逆に言えば、同じ耐電圧の設備でもより大容量の電力を送ることができる。  
(導体への潜在的なストレスは、直流の方が小さいため、必要な絶縁が少なくなる)
- 交流の電力系統を周波数的・電圧的に分離できる。周波数動揺などの影響を遮断できて潮流調整が容易である。
- 直流送電には安定性と同期の問題が無い。
- 直流では無効電流（L，C 分）がないので、交流送電のように充電系統の補償が不要である。特にケーブルの場合、誘電損失が無く、海底ケーブルなど長距離の電力ケーブルの使用に向いている。
- 電線路のリアクタンスによる電圧降下や、静電容量によるフェランチ効果（電圧上昇）が無い。
- 直流送電の方が、電圧調整が容易である。インダクタンスがないため、直流系の電圧降下は交流系の電圧降下よりも比較的小さくなる。
- 長距離、大電力送電時の容量性リアクタンス（C）の影響がないので、電線の許容電流の限度まで送電できる。
- 2 条の導体で送電できる（大地を帰路とした場合は 1 条でも可能であるが、電食や通信への影響が大きいためその対策が必要）。
- 帰路の線路を設けた場合、交流に比較して電波障害が小さい。
- コロナ効果と通信回路との干渉は、直流ではより少なくなる。

##### 【課題】

- 大容量の直流遮断は難しい。交流は電流零点を有するため、この点で電流を遮断する事が可能である。

一方、直流は零点がないため、大容量の遮断器では零点を作るなどの方式の検討が必要である。また、高電圧、大電流の直流遮断は困難が伴うため、系統構成における自由度が低くなる。

- 直流電圧は、高電圧送電向けに簡単に昇降圧することができない。一方、交流システムでは、トランスを使用して簡単に行うことができる。結果として、交流送電に比べて変圧設備が高価となり、また、過負荷容量も制約される。また、転流問題のため、高電圧の直流を生成することは難しくなる（電圧が高くなるほど、半導体素子（モジュール）の直列段数が多くなり、設計が難しくなる）。
- 短距離の送電では、同距離の交流送電に比べて、変圧設備でのロスが大きくなる。
- 交直変換の際の高調波に対する対策が必要である。高調波が系統に与える影響を抑えるために変換所には高調波フィルタを設置する必要がある。
- 大地帰路方式の場合、漏れ電流などによる地中埋設物に対する電食問題が生じる。
- 交流送電に比べて（直流-交流変換の設備が必要な分だけ）初期投資が高価である。送受電端に交流-直流変換装置が必要となる。
- 電力変換器が他励式の場合、受電端に負荷（交流）の無効電力を供給するための調相機（同期機）、電力コンデンサなどの無効電力源が必要となる。

## (2) MVDC, LVDC給配電システムにおける特徴

近年、給配電システムの直流利活用においては、推進背景と必要性が以下のようにある。

- ・直流負荷・機器の普及拡大（LED、PCやスマートフォンなどの端末機器、EV等）
- ・防災対応、レジリエンシー強化の必要性
- ・直流利活用への国際的な関心の高まり

（例）欧州、韓国などの動向。また、米国でもMIT（マサチューセッツ工科大学）が10大革新技术の一つに直流技術を選定するなど、直流利活用に関する関心が高まっている。

上記の様な背景を踏まえ、以下に示す①、②、③の要素を組み合わせることで電力給配電システムを構成する場合、直流方式にメリットが生ずる。

- ①創エネ：太陽光パネル、燃料電池などの直流を出力する電源
- ②蓄エネ：2次電池（蓄電池）やEVに代表される蓄エネ設備
- ③消費機器：LED照明器具、PC・スマートフォン・デジタル機器やインバータ回路を含む負荷機器・設備

### 【長所】

- ①電力変換（AC/DC若しくはDC/AC）の段数が少なくなり、損失が削減でき、効率が高くなる（省エネ性向上）
- ②電力変換段数が少なくなると回路・部品点数が少なくなり、故障頻度が減り、信頼性が上がる。特に、鉛蓄電池など電源（整流器）と並列に浮動方式で用いる場合、交流側の停電や電源故障があっても、負荷への無瞬断供給が可能となる。交流側の復電時も同様であり断切替（瞬断を伴わない）がないシームレスな連系・移行が実現できる。
- ③電力変換段数が少なることで、機器・装置が小型軽量化となる。（例：ACアダプタが不要となるなど、コスト削減の直接の要因になりうる。

- ④直流で連系・接続する場合、電圧のみの制御となり、シンプルである。一方、交流で連系する場合は、電圧、波形、位相、相回転方向をすべて一致させる必要があり複雑である。（回生電力の回収が容易とする理由にもなる。）
- ⑤直流は、三相交流のような相バランスを管理することが不要となる。また、有効電力のみであり、交流で必要とされる無効電力・力率の管理も必要となる。
- ⑥電磁干渉が少なく、電磁誘導への対策が軽減できる。
- ⑦高調波やフリッカなどの問題が軽減され、電力品質が上がる。負荷機器によっては、使用時の品質が上がる。照明器具、周波数によるちらつきがなくなる。直流モータは制御が容易であり、回転ムラが少なく、スムーズ、静かになる（代表例：扇風機）。
- ⑧USB や PoE などを用いて給電を行う場合、同時にデータ伝送・制御も可能となる。

【課題】 ⇒交流市場に比べて実績が十分でないことに起因するものが大半である。

- ①市場が小さく、機器設備の価格が、既存の交流仕様に比べて高くなる。
- ②専門家が少なく、技術や知見が浸透していない。（市場が小さく、導入事例が少ないことに起因している）
- ③法規体系も交流方式の使用を前提としており、直流利活用にあたっては、整備が必要。
- ④上記と同様に、標準・規格が少なく、制改定される必要がある。

直流電流の遮断方式に関しては、用いるシステムの容量や回路構成により、ケースバイケースとなる。

送電への直流利用に際しては、大容量のため、直流遮断は難しいが、給配電利用においては、システムや電源自体の容量が小さくなり、既存の遮断器やヒューズで対応できる場合が多い。また、半導体を用いた遮断器や電源での過電流抑制などのシステムとしての保護も実績がある。電源容量が小さい場合、負荷変動に際して、直流電圧の維持が困難になる場合、課題の一つになりうる。

### (3) 直流利活用の現状

送電分野においては、長距離の電力輸送に適しており、再エネの発電地と大都市等の需要地間の距離が離れている場面で、HVDC システムの導入が増えつつある。また、より大容量の電力を輸送するため、直流電圧も 50 万 V、80 万 V、100 万 V から 120 万 V へと技術開発とともに高くなっている。また、既存交流系統と非同期で連系可能な特徴を生かし、BTB 方式による異周波数間の連系や、適度に系統を分割し、大規模故障の影響を避け供給信頼度を高めようとする動きもある。HVDC 送電用等においては、送受が一对の 2 端子構成であったが、発電地や需要地への電力輸送経路をより柔軟にしつつ、信頼性を高める運用を行うため、他端子 HVDC 送電の構想と研究開発が欧米、中国（一部実用化）、日本でも活発化している。

MV・LVDC 給配電用途については、需要地に近いエリアに、創エネ設備を設置し、出力変動抑制や停電・事故時のバックアップのための蓄エネ設備、及び直流電力を消費する需要家設備・機器を含めた受給システム分野がある。今日においても、太陽光パネルの直

流出力を PCS (DC/AC 電力変換) を介して交流系統側に供給するケース、および整流器 (AC/DC 電力変換) を介して交流系統から受電、負荷消費するケースが多数ある。交流系統を接続のインタフェースとしてみた場合、各々、系統連系ガイドライン、高調波抑制ガイドラインが定められている。PCS については、直流成分の流出は絶縁トランスや検出保護方式の具備、整流器に関しては、交流⇒直流への単一方向の潮流であることがら、直流利活用に起因した交流電力系統への悪影響については、本調査時点 (2020 年 3 月) では、報告されていない。

より需要家に近い範囲・エリアにて、創エネ+蓄エネ+消費を組合せ、自立運転中心、若しくは既存電力系統への依存度をなるべく少なくするような方式の検討が世界各国で進んでいる。我が国においても、2019 年 11 月から、総合資源エネルギー調査会基本政策分科会持続可能な電力システム構築小委員会にて、自然災害を原因として長時間停電が多発している現状を受け、遠隔地のエネルギー供給の在り方のひとつとして配電網の新規事業者 (免許制) とマイクログリッド有り方について、議論されるようになった。これらの背景もあり、直流利活用技術はその特徴を發揮できる可能性が高い。

## 2. 6. 2 直流利活用フィールドの整理

### (1) 検討ステージの設定

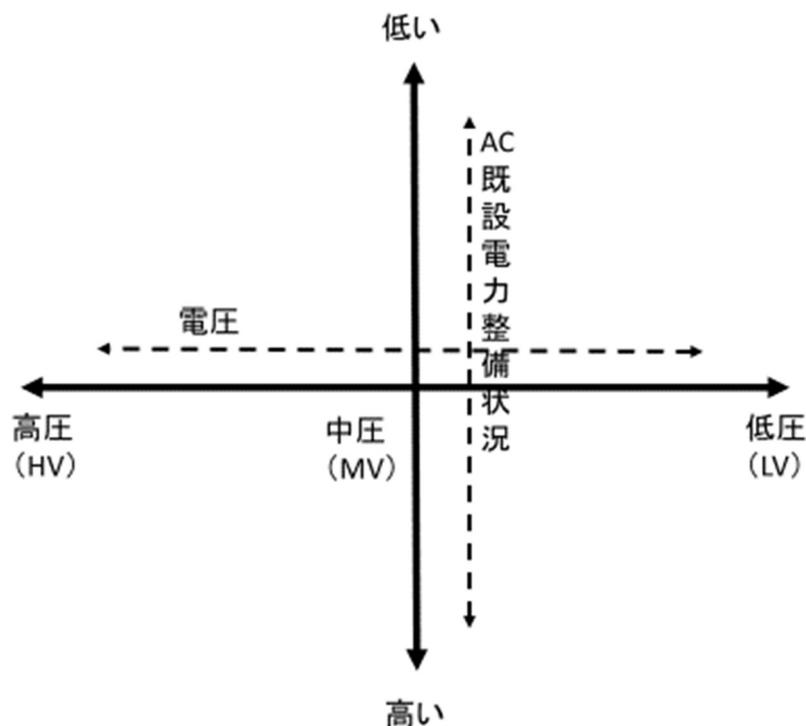
前述のように、直流の利活用におけるメリット・デメリット等の特徴は、利活用する状況や条件等の要素によって差異がある。文献調査等からは、大きな二つの要素が考えられる。

その一つは、展開する場所が、既に電力インフラとして、交流電力設備が整備されている場所か、または、そのような電力インフラが行き届いていない場所か。

もう一つは、直流設備・機器等で使用する電圧が、低圧、中圧、高圧など、どのレベルで適用されるか。

そこで、直流利活用の検討の有効性或いは理解の容易性等の観点から、検討ステージを設定することとし、前者を「交流既設電力整備状況」として縦軸に、また後者を「適用する電圧」として横軸とした二次元平面 (ポートフォリオ) を設定した(第 2. 6. 1 図参照)。

なお、直流電圧に関しては、2. 2. 1(2)項で示したように、低圧 (LV) : 1.5kV 以下、中圧 (MV) : 30kV 程度以下及び高圧 (HV) : 30kV 程度超過に分類することとした。



第 2. 6. 1 図 直流利活用の検討ステージ

## (2) 施設事例からの直流利活用分野の検討

各種技術動向調査で得られた内容をまとめると、既に交流電力送配電網が整備されているエリアと、交流電化網が整備されていないなど地域や島嶼などでは取り組みに違いがみられる。どちらも直流の利活用について研究開発及び実証試験を進めているが、背景には電力を取り巻く以下のような情勢の変化が存在する。

これまでは、火力・原子力など大型の回転機による交流発電が主流であったが、脱炭素を目指し、偏在する再生可能エネルギーを利用すると直流発電出力を電力変換する形態が増え、需要設備では、照明器具、映像・音声機器、サーバやPC等の情報通信機器など直流で駆動するものが多くなっている。

このような状況から各国では下記項目ごとに研究開発を行っており、日本においても事例に掲げたように、個別での実証などが行われている。

- ① 再生可能エネルギーによる発電
- ② 送電・配電等電力流通時の効率向上
- ③ 電力の効率的需給制御
- ④ 電力貯蔵技術
- ⑤ 負荷設備機器の高効率化

直流の利活用は、発電、蓄電、需要が進む中で直流グリッドの実証試験や実用化が進められてきているが、標準電圧、コンセントの標準化などが整備が進めば、交直変換ロスや送配電ロスが交流システムより少ない直流システムの導入が急速に進むものと思われる。

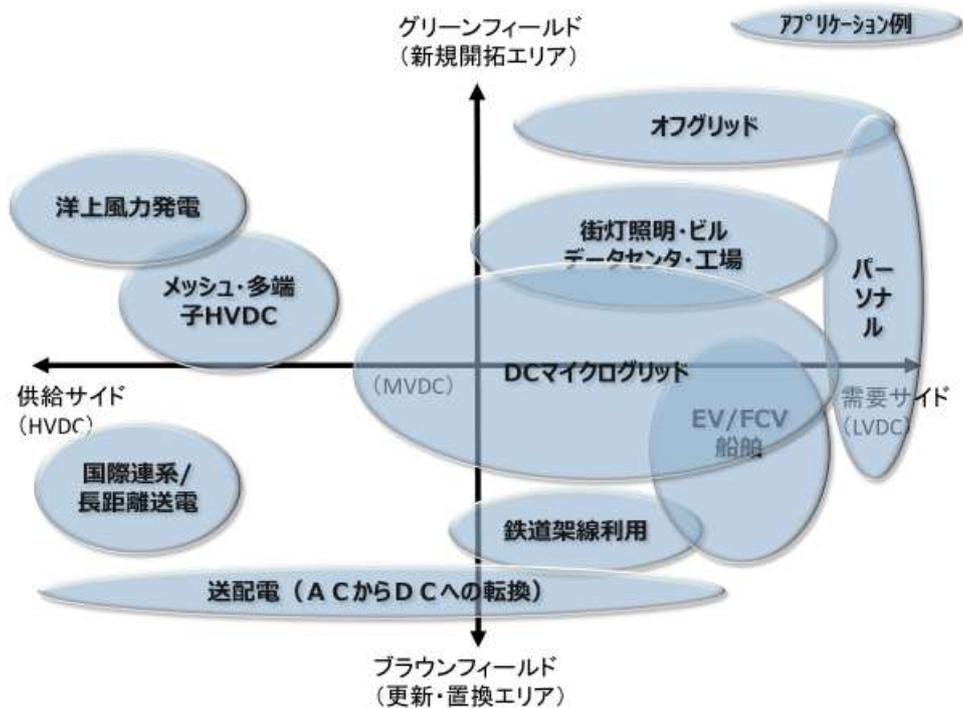
文献やヒアリング等により調査した国内外の検討・実証事例等を類似のアプリケーション

ン毎に整理すると、下表のようになる。

**第2. 6. 1表 実証事例等の分類**

実証事例等 (○国内, ●海外)	アプリケーション
●直流独立電源 (インド等)	オフグリッド
○ZEHなど ●直流住宅 (オランダ)	パーソナル
○さくらインターネット ○休山トンネル ●ABN Amro銀行 (オランダ) ●DC Industrie(ドイツ)	街灯照明・データセンタ・工場
○金沢工業大学白山麓キャンパス ○沼島プロジェクト ●DC island (韓国) ●アーヘン工大FEN (ドイツ)	DCマイクログリッド
○浦和美園駅 ●Light RailからのEV充電検討 (英)	鉄道架線利用, 運輸
○バッテリー推進船「e-Oshima」 ●軍艦内配電 (中国等)	EV/FCV, 船舶
●Angle-DC (英国) ●韓国電力公社	交流送配電線の直流への置換
○北海道本州間連系 ●Super Grid (EU)	国際連系/洋上風力/長距離送電
○NEDO次世代洋上直流送電システム開発事業 ●PROMOTioN (EU) ●河北省張北 (中国)	メッシュ・多端子HVDC

これらの得られた情報を整理すると、直流技術の主なアプリケーションの要素は、需要・供給軸と開発フィールドの軸からなる4象限に当てはめると、下図のようになると考えられる。



第2. 6. 2図 アプリケーション要素毎のポジショニング

### 2. 6. 3 課題の抽出

また、前項までの技術動向調査より、技術的な課題となりうる項目及び技術以外の課題・項目を主に以下の通り整理した。

#### (1) 技術的課題

##### ①安全保護，信頼性の確立に関する技術

- ・遮断：遮断（消弧）技術，遮断器構成（機械型，半導体型，ハイブリッド型，その他，変換器が遮断器を兼ねる考えもあり），試験方法の確立
- ・絶縁保護，絶縁協調，接地方式
- ・安全性：雷・過電圧，過電流，加熱，アーク，感電・漏電，電食等の対策（検出，保護），誤操作防止（識別等）
- ・信頼性・安定性・慣性力：（回転機⇔静止器，静止器⇔静止器）の確立技術
- ・Sub Synchronous Resonance（SSR）対策：発生検出と制御方法

##### ②運用に関する技術

- ・電圧管理手法：正常時，過渡期の電圧維持手法，また双極の場合は正負極のバランス管理，回生電力吸収技術，残留電圧管理（遮断後等）
- ・トポロジー毎の制御ポリシー確立：メッシュ，多端子等電圧階級を問わない制御（原理）
- ・既存交流系統との協調・貢献：連系点への有効／無効電力の授受
- ・直流系統どうしの協調：電力融通手法，電圧維持
- ・直流系統の自立・自律手法：マイクログリッド運用，ブラックスタート手法

- ・ 直流系統版 母線異常時の耐量 (FRT) 基準・ガイドラインの策定
- ・ 拡張性・インターオペラビリティ (互換) : 設備・負荷の増/減設対応, 異メーカーの混在時の動作保証, 自励式・他励式の変換器混在
- ・ モニタリング, 商用計量 : 承認済みの計量メカニズムや認証基準の確立
- ・ エネルギーマネジメントシステム : EMS, DSM, DR など
- ・ 故障や寿命の診断と保全技術の確立

### ③設計技術, 及び共通事項

- ・ 直流電圧標準 : インタフェース条件の確立と国際標準化の発行, インタフェース接続技術 (コンセント, コネクタ等), 直流電力品質, 静磁界, EMC, 高調波 (IEC, CIGRE で検討中)
- ・ 機器・設備の効率化 : 電力変換技術, ワイドバンドギャップ素子適用など損失低減, 回路, フィルタなどの見直し
- ・ 小型軽量化, 省資源化, リサイクル化 : 低価格化につながる
- ・ 電力輸送技術 : 超電導, 無線給電
- ・ 微弱電力の集電技術 : エナジーハーベスティング
- ・ システム設計手法の確立 : モデル化, 評価ツール

### (2) 技術以外の課題

- ・ 直流の安全運用に対する信頼を構築するには, さらなる学習 (ノウハウ蓄積), 標準, 技術仕様が必要. 教育・育成の仕組みや啓発活動. (例 : 電工研修, 資格化, 交流との混在, 誤操作防止等)
- ・ 法規制, 制度設計 : 既存の多くが, 交流要件のみに対応しているため, 直流を適用するための電気規制の枠組みが必要 (改正, 新設), 条件によってはインセンティブも有り
- ・ 低コスト化, 市場拡大 : 鶏と卵の関係 (市場が無いから, 製品が無い (高い) ⇔安価な製品がないから, 市場ができない) / (市場が無いから, 標準がない⇔標準がないから, 市場ができない)

以上を踏まえて, 技術マップならびに技術ロードマップにてシナリオに合わせて整理することとした.

### 3 直流利活用に関する技術マップ

第2章の技術動向調査を踏まえて、技術ロードマップ作成過程から技術マップに反映する技術課題について以下の7プロセスで進めた。このとき、技術ロードマップの作成と技術マップを相互に補完しながらまとめることとした。

(第2章)

- ① アンケート結果から得られた課題（技術キーワード）
- ② 文献調査により得られた課題（アブストラクトより）
- ③ 国内事例調査より得られた課題
- ④ 海外事例調査より得られた課題
- ⑤ 海外調査（欧州，韓国）より得られた課題
- ⑥ 市場調査より得られた課題

(第4章)

- ⑦ 技術ロードマップ作成過程で取上げられた課題

技術マップは技術の体系図として、検討結果を**第3. 1. 1表**及び**第3. 1. 2表**に示す。

なお、同表において、「内容等」の欄は、左欄の「技術課題キーワード」が、今後の直流の利活用の推進に関し、どのような関わりをもつかを示したものである。

**第3. 1. 1表 テクニカル分野の技術マップ**

大分類	要素技術	技術課題キーワード	内容等
安全保護・信頼性技術	遮断，消弧技術	高電圧，大電流，高速性	過電流保護を確実にするために大電流を高速での遮断を可能にするための技術  高電圧時における高耐圧遮断技術，さらに大電流時の電弧消弧問題，高速遮断時における電流，電圧のスパイク抑制技術
		機械式／半導体／ハイブリッド	遮断動作の信頼性，安全性を確保する技術  遮断，消弧において，電弧（アーク）問題を解決するための技術，さらに，アーク発生にともなう接点の耐久性についても確保する技術
	保護	故障検出の高速化，必要な検出要素	故障時におけるシステムの早期の切り離し，再立ち上げに必要な技術  直流系統におけるシステムの故障検出およびシステム故障時から再起動に至るまでの必要な技術，さらに，バックアップシステムへの動作遷移技術
		短絡，過電流，地絡・漏電	直流系統における短絡，過電流の地絡，漏電検出方法とその遮断技術およびこれら各保護装置との協調問題  安全保護(過電流保護，感電保護)を確保するための技術，保護協調を含む

		自動事故復旧	事故による停電等の時間を減少し供給信頼性向上をサポートする技術  システムの故障および事故時から自動的に故障および事故除去を判断して復旧するシステム
		絶縁協調	過電圧に対する保護協調および機器やケーブル耐圧設計
		雷（直流 SPD）	直流システムの保護に応じた雷過電圧保護を確実にするための技術
		過熱（許容電流の定量化）	大容量サイズの電線における直流許容電流の解析技術
		アーク（検出アルゴリズム）	直流システムにおける直列アーク・並列アークの検出およびその消弧技術
		感電（メカニズム、生体现象の正しい理解）	確実かつ有効な感電保護のために必要となる直流の人体通過電流の安全限界に関する基本情報
	接地	電食（特に大地帰路利用時）	大地帰路利用及び漏電に際しての電気設備及びそれ以外の施設への影響防止および腐食対策技術
		非接地	直流の基本電路技術 （地絡における継続電力供給確保技術）  直流システムが、接地抵抗なしに運転している状態を示す。特に、人工衛星や航空機などの移動システムや交流系統と直流系統のハイブリッド式での採用が多い。
		中性点接地時の接地方式（直接、抵抗、リアクトル、半導体）	直流システムの保護方式の一つであり、対地電圧低減対策と地絡・漏電検出に関連する保護および遮断に関する技術
	慣性力	回転機⇔静止器	需給バランスの急変に対する周波数安定化技術  特に、システムが動作しているときの慣性問題、回転機そのものの慣性力から、システムが連携して動作しているときの慣性力などの技術問題
		静止器⇔静止器	変換器と変換器との関係における協調および制御・運用問題が必要である  需給バランスの急変に対する電圧安定化技術
	予防保全	センサー、計測技術	運用時の信頼性維持向上に必要な技術 （システムの不具合を未然に防止する技術）
		劣化診断、劣化予測	直流システムの各種計測センサーと計測技術、これら計測結果からシステムの劣化診断と劣化予測技術
運用技術 （システム全般）	再エネ連系技術	FRT 運転継続要件の整備	系統攪乱時の直流連系継続技術  各種直流系統に連系運転する装置の故障時における運転継続要件の整備の確立、直流バスの電圧変動も含む
	蓄エネ連系技術	EV（急速充電施設等）	スマートグリッドにおける需給バランスの確保技術

(モビリティ)		急速充電設備の導入および周辺技術ならびに蓄電装置との協調運用技術
	E バイク (着脱式バッテリー等)	スマートグリッドにおける需給バランスの確保における重要因子・容量と量(台数)の把握が必須  各種バイクで使用している着脱式バッテリーの容量や充電方法技術の規格化等
	鉄道 (架線の有効利用等)	直流システムを用いた鉄道, 地下鉄, 路面電車などにおける電車の利活用方法の技術 海外では, 電車を中心に直流給電システムの提案もなされている. 国内では, 直流システムを中心とした駅舎も提案されている
	船舶 (港湾施設関連を含む)	船舶の大型蓄電池活用技術 (効率的かつ既存システムへの影響の少ない充電方法など)  船舶の大型蓄電池活用および電気船舶, 船舶から陸上への送電技術など Ship-to-Gird の技術問題
	航空機 (空港施設等を含む)	航空機への直流利用技術, 航空灯火や関連車両等を含む空港施設への直流利用・統合技術
DC-AC 連系時 自立運転	系統連系, 切離し技術	系統連系の継続と単独運転防止の必須技術  系統連系時における連系規定と自立運転時における各種制御・運用技術および保護技術
	マイクログリッド連系, 自立運転	系統連系の継続と単独運転防止の必須技術  系統連系時における系統連系規定の確立と, 自立運転時における複数台の装置の運転技術問題
	ブラックスタート	大規模停電等における無電源システム再立ち上げの要素技術  商用系統電源喪失時におけるシステムの自立起動に関する要素技術
DC-AC 連系時 系統制御, 運用	保護・制御協調	システムの各種保護装置と各変換器の制御技術の協調問題  システムの安全かつ有効な運用に不可欠な要素技術
	需給バランス調整技術	システムのより精緻運用を達成する要素技術  電力の発電と需要における電力需給の調整に関しての問題等
	系統安定化技術	システムの安全かつ有効な運用に不可欠な要素技術  システムの不安定状況に陥らないようにするための解析および制御技術
	電力品質維持技術 (系統への貢献)	負荷の要求に応じた電力品質把握と対応技術

		直流系統に応じた電圧、電流の規定された範囲の変動を維持するための技術
	時間同期技術	システムのより精緻運用を達成する必須技術 システム運用時における時刻を同期する技術
DC-DC 連系時	電力融通技術（グリッド内、グリッド間）	余剰電力活用のための監視制御技術 限定された電力システムでの電力の送電技術と電力融通のための通信・制御・計測技術．例えば P2P など
	最適電力潮流制御技術	システムの最適運用のための制御技術 電力品質、電力損失などの評価項目をもっともよくした電力融通の制御技術
	余剰電力活用技術	負荷のリアルタイム状況把握の監視・運用技術 システム内での消費できなかった電力の消費・貯蔵技術
	電圧維持技術（インラッシュ、アウトラッシュ）	接続・解放時における電圧変動抑制技術 電圧の瞬時低下、上昇などの電圧品質の維持技術．機器の連系および解列や起動、停止などや故障時において発生
	多端子化技術（自励式、他励式の協調技術）	洋上風力等における広域送電の効率化等の必須技術 直流システムにおける電圧が異なる複数接続における技術
	BTB 接続技術	システム相互間の干渉等防止に必要な技術 直流送電線路を持たない変換器だけの接続技術．ループシステムにおける電力潮流の制御に利活用される
	システム制御（EMS）	複数エネの統合（P2X）
最適電力潮流		システムの最適運用のための制御技術（平準化、DR、VPP、回生、ピークカット等）
自律分散制御		マイクログリッド間相互の連系等における必要技術（オフグリッドでの安定運用技術） 複数の機器が各々自立してシステム制御を実施する技術
確率的最適化制御		確率的に幅を持たせたシステムの最適運用のための制御技術
AI 応用学習型制御		AI によるシステムの最適運用のための制御技術

			人工知能が学習しながら制御を実施するシステム
		標準モデルのオフラインシミュレーション	システムをモデル化し、シミュレーションする技術
	互換性	異メーカー動作	各種ことなる機種が接続されても、統合的に動作させる技術
		標準化	
システム設計技術	シミュレーション	オンラインシミュレーションの高速化	実時間でのシミュレーションを実施するための技術
		超並列シミュレーション	シミュレーション時間の高速化に関する技術
		モデル化技術	シミュレーションを実施するためや機器設計をするためのモデル化技術
		HIL	実システムとシミュレーション技術との融合するための技術
	ネットワーク設計	系統計画, 需給予測	システムを運用するための電力需給予測技術
		信頼度設計	システムの信頼度を向上させるための設計技術
		設備更新方針	システムの設備更新をするための方針
機器設計技術	直流遮断器	事故区間切離し, 事故電流遮断	システム休止時間の縮小と被害拡大の防止技術
		高速化, 大容量化, 低コスト化	大型システムへの展開に求められる要素技術
	電力変換器	大容量化, 高効率化, 低コスト化, 低ノイズ, 高調波抑制	既設送電網への展開に重要な技術
		パワエレ素子性能の向上	ネットワークの大型化・高信頼化への展開に必須の技術
		過負荷耐量への対応	常時許容変動幅の拡大による運用の容易化関連技術
	接続器	家電, 機器接続時のコンセント, プラグ等の規格化	電力供給および品質を維持するための規格化技術
	電力搬送	直流ケーブルの高電圧化	大容量送電に必須の技術 洋上ウインドファームなどの海底ケーブルや長距離直流送電や系統連系技術などに必要とされる技術. さらにケーブル自体の絶縁技術も必要
		高圧ケーブルの深海敷設技術	洋上風力等の集電に必要な施工技術 洋上ウインドファームなどの施工において, 電力送電ケーブルの浮体挙動, 捻じれなど機械的損傷を防ぐ技術等
		ケーブル評価方法確立 (極性反転時の劣化評価等)	システムの予防保全への活用が期待される技術 ケーブルの劣化, 絶縁, 腐食, 損傷を評価する技術
		異メーカーケーブルの接続技術	システムの連系等による広域化の展開に不可欠な技術 ケーブルのインピーダンス値など異なることが無いように接続する技術. 共通した接続コネクタなどの開発が要求される
		既設交流線の直流転用技術	既設送配電網への展開に重要な技術

			既設の交流系統に使用していた送電線や配電線を直流系統でも使用できるための転用技術
		超電導ケーブルの実用化	大容量送電で期待される技術 超電導を用いることで、ケーブルの抵抗値などを低減する技術。特に直流超電導では、ケーブルの抵抗値を大きく低減できる可能性に期待
		無線電力搬送（マイクロ波）	電力搬送インフラの簡略化に期待の技術
ICT 活用技術	電力取引	デマンドレスポンス技術の活用	デマンドサイドマネジメントの必須技術 供給側が料金設定やインセンティブなどの条件を掲げて需要側に電力消費の抑制を促し、電力消費を制御する技術
		ブロックチェーンの活用	電力取引におけるセキュリティ技術 分散しネットワークを構成する複数のコンピュータに、取引情報などのデータを同期して記録する技術に、ネットワークに接続する機器の制御・運用情報、電圧、電流情報の導入も期待される
		P2P	需要家間の電力取引 電力取引において、対等な立場で情報共有して取引を行う方式
	需要計測	センサネットワーク技術	需要家の電力消費量を計測している装置や、気温、湿度、人数などの各種計測センサーの協調技術
	需要予測	AI 技術の活用	需要家の電力消費量を予測に関して、AI を用いて実施する技術
	再エネ発電予測	AI 技術の活用	供給サイドの情報把握技術 電力の供給側の発電量の推定や予測などを主体に、AI を用いて実施する技術。入力情報は様々なものが用いられる

表3. 1. 2 非テクニカル分野の課題整理

大分類	中分類	具体的項目	必要要件，課題など
法令 規程 基準	政策	エネルギー基本計画	温暖化ガスの削減，発電電力の高効率化，消費電力の低減化，需要家の各種機器の高効率化，再生可能エネルギー発電の指標，蓄電装置の導入などとともに，非常時や災害時におけるエネルギー供給技術
	法令	電気事業法	直流設備の保安要件とともに，交流系統と直流系統との協調問題，電力品質技術など電圧階級の問題など
		電気設備技術基準	直流設備の保安技術，保護技術，電圧範囲の国際整合検討と電力品質に関する規定など
		電気工事士法	直流設備やシステム施工時の安全確保要件や交流系統との協調，分離問題や電食問題

	基準	直流グリッド技術基準	直流系統で構成された配電網における安全確保や設計・制御・運用における技術の基準要件	
	規程	高圧受電設備規程	自家用電気工作物に施設される高圧受電設備が原因となる電気事故や波及事故を防止するための施設基準，機器材料の選定及び保守点検方法，保護協調・絶縁協調の確保や，国のガイドライン・電技省令及び解釈の遵守に係わる高調波対策及び系統連系に関する技術的要件 ただし，直流系統については，不十分	
		内線規程	電気事業法に基づく経済産業省省令「電気設備に関する技術基準を定める省令」を基本とし具体的な指標を示した工事方法，維持，実務などについて規程している ただし，直流系統においては不十分	
		電力貯蔵用電池規程	電力貯蔵用電池設備の安全確保要件や設計上考慮すべき事項，運転，保守上必要な事項などを定めている民間の自主規程 今後，次世代電池の規定が弱い	
		配電規程	直流配電システム設計・施工時の安全確保要件  電気工作物の自主的な保安体制を確保のための民間規程。「電気設備技術基準」に基づき，低圧及び高圧の電線路等の電気工作物の設計上考慮すべき事項，建設，保守上必要な事項を定めたもの。ただし，直流分野に関しては不十分である	
		系統連系規程	分散型電源を電力系統に連系する場合の技術要件などを規定している。ただし，直流—直流連系や交流—直流連系など，直流系統への連系規定については不十分である	
	ガイドライン	系統連系ガイドライン	分散型電源を電力系統に連系する場合の技術要件などを規定している。ただし，直流—直流連系や交流—直流連系など，直流系統への連系規定については不十分である	
		直流バス接続要件	直流バスに連系する分散型電源，蓄電装置，負荷装置などの接続規程や連系，解列，連系などの要件	
	標準化，規格化	標準電圧	系統電圧，使用電圧	システムの標準電圧や基準電圧，システムが使用する電圧や電力品質，高調波の規定特に，直流システムについては，前述の電圧，品質，ノイズなどの詳細な規定は確立されていない。また，低圧，高圧などの電圧階級はあるものの，海外と比較すると，中圧階級がない
		電力品質	電圧変動，ノイズ	
計測，計量		直流計測器，直流計量器，直流ネットメータ	直流電力量の取引運用の必須要件  直流系統に関しての計測器，計量器，ネットメータについては，規定などが定められていない 特に，直流電力計や直流スマートメータについては標準規格が十分でない	
保護		保護規定の標準化	直流システムを安全に運用するための安全に関する保護の規定（感電，過電流，過電圧，漏電検出等）の国際標準化	
規格		IEC，JIS 等	直流給配電システムにおける各技術要素における規格および標準化	

			現在、直流システムにおいて各種要件が規格化されつつある
制度設計	運用体制	電力事業者，需要家の連携	多様化する電力需給形態に応じた運用体制の整備と，事業者と需要家の相互理解，協力を促進する制度設計
	電力融通	電力融通時の接続要件，課金取決め	スケールメリット，蓄電装置 災害等における電力インフラ確保の体制整備，鉄道とバス間の電力融通
	ビジネスモデル	直流ビジネスモデルの拡充	
導入支援	導入助成等	助成制度，融資制度，税制優遇，パイロット事業，地産地消	直流システムの普及促進の環境整備
	新興国支援	未電化地域の電化促進，ODA支援等	未電化フィールドにおける我が国の有意性の確保
	国際関係・国際連系	エネルギー安全保障，国際規格，地球温暖化対策	直流フィールドにおける我が国のステータスの維持，向上
経済，市場	省エネルギー，省資源	化石燃料，銅資源	我が国のエネルギー政策決定の重要要件
	低コスト化	発電，蓄電・充電設備コスト低減，	
社会	教育，啓発	システム技術者，施工技術者，保守技術者の養成，国民の理解，利活用教育	直流システムに関する技術者（設計，施工，保守）及び利用に対する使用者の理解と安全・安心の確保 直流と交流の利点や欠点
	安全	安全性の担保，災害対策，AC-DC 併用時の誤使用対策	

## 4 直流利活用に関する技術ロードマップ

### 4. 1 背景（技術開発のための社会情勢やドライバーの整理）と施策

#### (1) 再生可能エネルギーの主力電源化の背景

- 1) 人類が豊かに生存し続けるための基盤となる地球環境は、限界に達しているとの国際社会の強い危機感があり、2015年9月、国連持続可能な開発サミットで「持続可能な開発目標（SDGs）」が採択された。
- 2) また、脱炭素化が世界的な潮流となり、2015年12月、パリ協定（COP21）が発行され、すべての国が参加する公平な合意形成がなされた。これら国際的に共通な背景もあり、持続可能な社会を目指す動きが加速している。
- 3) 日本でもこのパリ協定を踏まえ、2018年に策定された第5次「エネルギー基本計画」では、エネルギーのより効率的な運用に加え、総力を挙げてエネルギー転換や脱炭素化に取り組むことを謳っている。

主な施策として以下を掲げている。

#### (2) 脱炭素化やエネルギー転換等の施策

我が国における、脱炭素化、エネルギー転換、およびエネルギー利用効率の向上に関する主な施策として、以下を掲げている。また、近年、大規模な自然災害が多発しており、強靱なエネルギーインフラを構築・運用し、信頼性の高いサービスを提供することについても、安全安心の観点から強く求められている。

##### a. 再生可能エネルギーの主力電源化

再生可能エネルギー発電は重要な低炭素の国産エネルギーであり、再生可能エネルギーによる発電比率を2030年に22～24%とするよう、主力電源化を目指す。

##### b. 電化の普及（化石燃料からの脱却）

現状、熱システム、輸送システムとも、化石燃料に大きく依存しているが、電化・水素化等への転換を可能とする技術革新が進みつつあり、その可能性を追求する。

##### c. 省エネルギーの推進

各部門における省エネルギーを強化し、2030年までに原油換算0.5億トン減（13.9%削減）の3.1億トンとする。

特に、照明はLED、有機ELについて2020年までに新設適用100%、2030年までに既設適用100%を目指す。

##### d. 防災などの強靱化

自立・分散形のエネルギーシステムの構築は、地域の経済活性化、防災などの強靱化（レジリエンス）につながることから、重要な視点とすべきである。

## 4. 2 直流の有効活用のイメージ

### (1) 電気設備の直流との関り

#### a. 直流活用の可能性

持続可能な社会の実現のためには、再生可能エネルギーの主力電源化、電化の普及、またそれに伴う省エネルギー化に向けた取組が重要となってくる。太陽光や燃料電池、輸送システムの電動化（EV など）、そして電力変換の効率化等は全て直流が関連してくる。すなわち、直流技術はこれら創エネ、蓄エネ、省エネおよびそれらを統合的に運用する技術として貢献できる。

#### b. 発送電への利活用

1) 従来の電気エネルギーの発電、送配電、需要の流れは、火力、原子力、水力などの大規模な主要発電所で作られた電気を、超高圧長距離送電線によって需要地近傍まで送電、高圧配電網によって需要場所に配電している。

2) 近年では、これまでの火力・原子力、水力などの回転機による交流発電に加え、太陽光発電や燃料電池発電など直流出力特性を有する発電設備が増えている。また、風力発電でも、発生した電力は、交流系統に安定して同期連系するため、インバータによる電力変換を介して利用している。

3) 蓄電池は、V2H、V2G のように EV をモビリティの機能だけでなく、蓄電設備として、電力融通やレジリエンス強化対応などへの活用が期待されている。

#### c. 需要設備への利活用

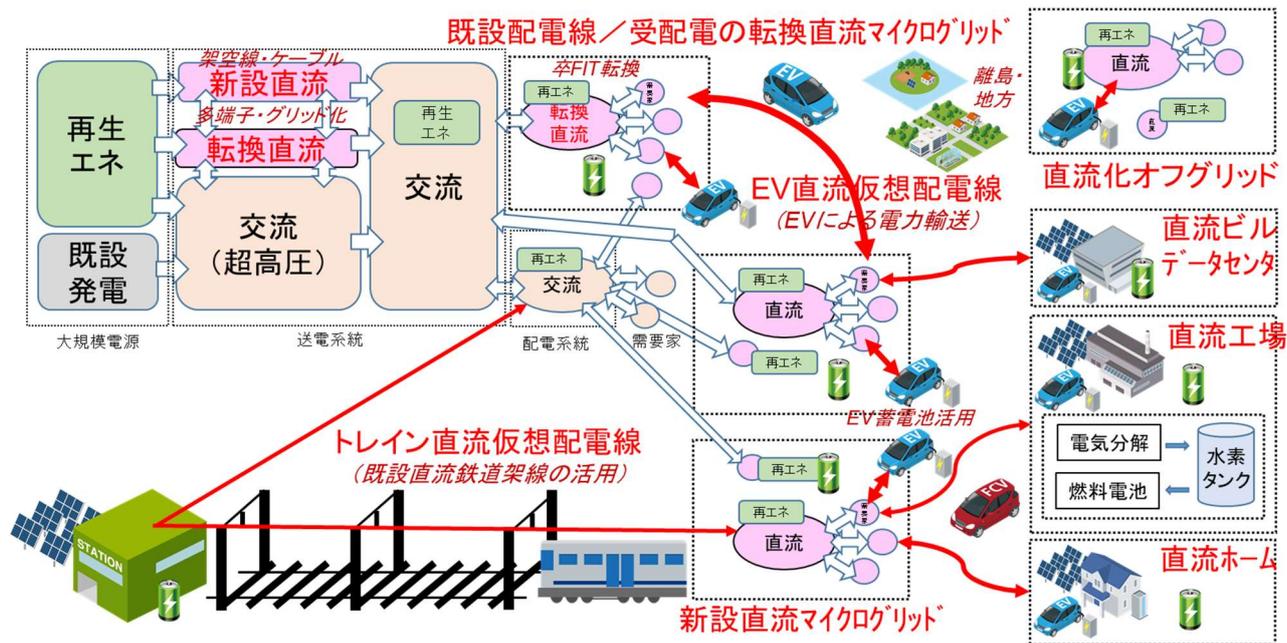
1) 需要設備では、照明器具、映像・音声機器、サーバや PC 等の情報通信機器など直流で駆動するものが多くなり、小型家電やインバータを使用した電動応用機器においても交流を一旦直流に変換して利用している。

2) それらを統括的に運用する直流データセンタは実用化されており、加えて住宅・商用ビル・工場などでも検討されている。

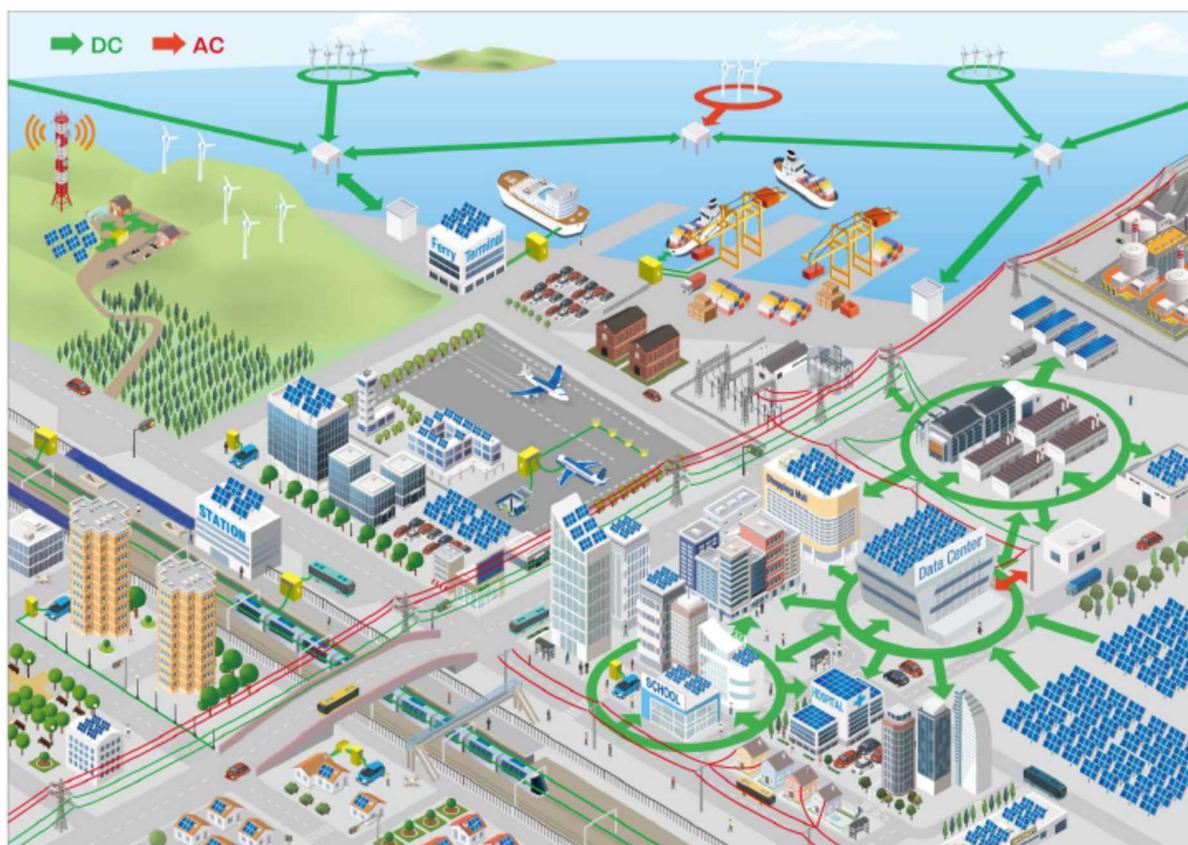
### (2) 直流利活用のイメージ

上述のように、発電設備、蓄電設備及び需要家設備機器の多くで直流が使われるような変化が現実的にある。電気を利用する様々な場面において、交流だけの形態から、直流も利活用する形態へと徐々に加わり始めている。

このような背景もあり、更に直流を有効に活用するための場面を想定し、持続的な社会の実現に向けた状況をイメージ（第 4. 2. 1 図参照）し、具体的な展開への第一歩とした。



第 4. 2. 1 図 直流利活用の例



第 4. 2. 2 図 直流利活用の 2050 年のイメージ例

#### 4. 3 直流適用シナリオの検討

直流の更なる利活用の動向をイメージするにあたり，第2章において想定した検討フィールド（電圧階級と活用フィールド）上に，様相が異なると思われる，以下の6つのシナリオを作成した。

これらの6つのシナリオの検討フィールド上のポジショニング（ポートフォリオ）を第4.3.1図に示した。

シナリオ1：新規開発地域等での直流利用

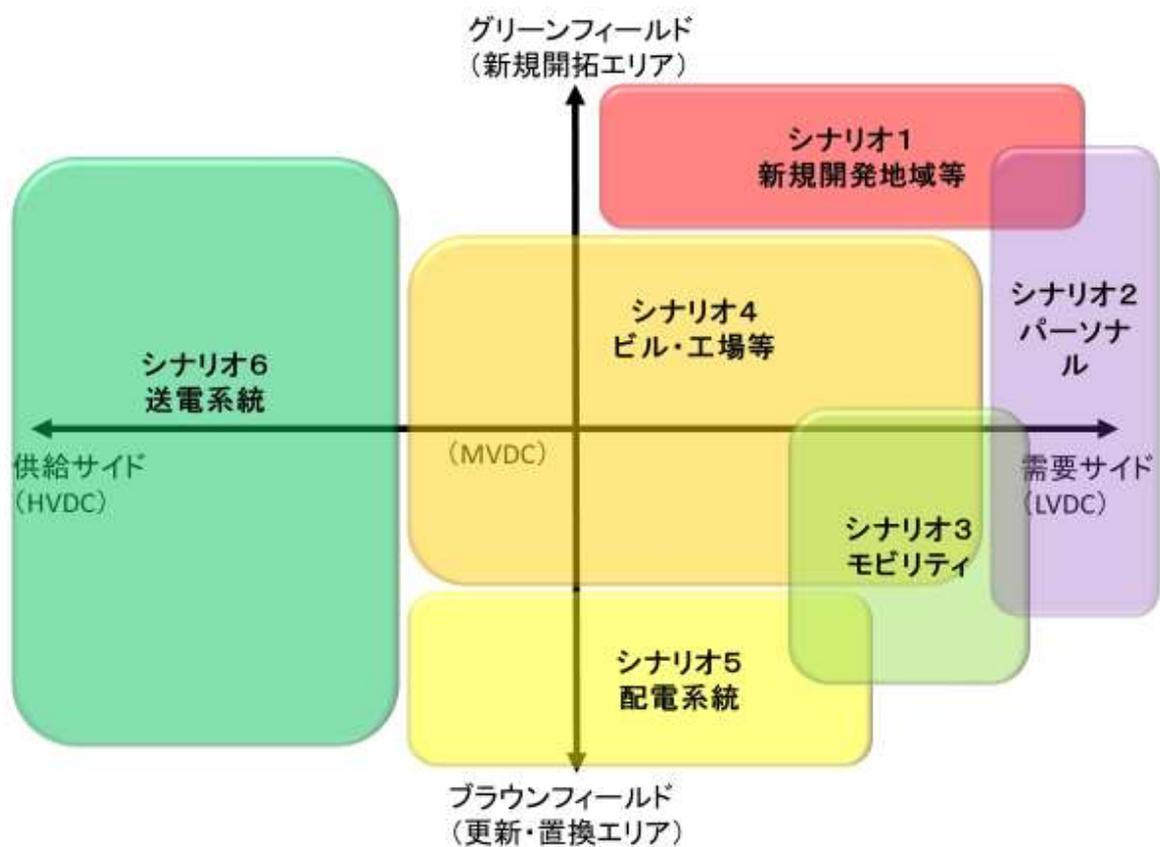
シナリオ2：パーソナルでの直流利用

シナリオ3：モビリティでの直流適用

シナリオ4：ビル・工場等での直流適用

シナリオ5：配電系統への直流適用

シナリオ6：送電系統への直流適用



第4.3.1図 直流利活用の想定シナリオ相関図

## 4. 4 想定シナリオ

### (1) 【シナリオ 1】新規開発地域での直流利用

#### a. 想定背景

送配電系統が形成されていない地域に、新たに電力を供給する場合、これまでは電気事業者が持つ大規模発電所や送配電系統を拡張させ、交流電力の供給を行うことが一般的であった。比較的小規模の需要であれば自立・分散グリッドを形成して電力を利用する方が安価に電力設備を構築できるケースが近年増えている。

このことから、新規開発地域での直流のオフグリッドを形成するというシナリオを想定した。

#### b. 直流のシステム構成と展開

- 1) 新規に住宅 1 軒レベルで電化をする場合、数キロワット程度の太陽光発電 (PV) と蓄電池を組み合わせることで、発生した直流電力を直流の LED 照明、テレビ、携帯機器や冷蔵庫、空調機、調理器具などの家電に供給し、利用する自家消費型直流オフグリッドが形成される。
- 2) 次の段階として、これらの家々を連系させ、電力融通可能な太陽光発電と蓄電池による近隣住宅との小規模の直流グリッドを形成し、住宅間の電力融通を行うようになる。
- 3) 風力発電設備や中規模太陽光発電設備を設置して地域グリッドに電力を供給する地域電気事業者が現れ、電力の売買やグリッドの運用など、事業化がなされる。

#### c. 直流利活用展開の想定

- 1) これら地域での再生可能エネルギーの利用は、石油など化石燃料の消費を減らすことになるため、普及が容易に進むものと思われる。
- 2) 電化されている国における新規開発地域など、新たに電力供給が必要な場合に、これまでは一般電気事業者の送配電線から電力の供給を受けてきたが、オンサイトでの発電設備によって電力を供給するほうが有利な場合も考えられ、再生可能エネルギーである太陽光発電 (直流) と蓄電池 (直流) を組み合わせた電源に直流機器をつなぐ直流グリッドが、コスト面から選択されることが想定される。
- 3) エネルギー転換の施策として水素の利用が進められることが予想されるが、電気による水素生成、水素からの発電による電気と水素の連携が想定される。

#### 【ロードマップ参考資料】

インドの電力問題を解決する	Innovative Direct-Current Microgrids to Solve India's Power Woes
革新的な直流マイクログリッド	By Ashok Jhunjhunwala, IEEE Spectrum, 31 Jan 2017
直流標準化の概要	DIRECT CURRENT STANDARDISATION OVERVIEW Serge Noels, Business Development, May, 2018
直流の未来, オフグリッド用の 電気システム環境	The future of direct current electrical systems for the off-grid environment Grant Kopec, Michael Price, John Holmes Smart Villages, Technical report 8, December 2016
テクノロジーレポート LVDC:21 世紀の電気	Technology Report LVDC: electricity for the 21st century International Electrotechnical Commission

LVDC 再定義電気-低電圧直 流に関する最初の国際会議	LVDC-Redefining Electricity, First International Conference on Low Voltage Direct Current, New Delhi, India, 26 & 27 October 2015
オフグリッド・ソリューション	途上国の無電化地域を変える（かもしれない）オフグリッド・ソリューション, 村口和人, ファイナンス 2019 Jan.
太陽エネルギー, DC 分布, マ イクログリッド	Solar Energy, dc Distribution, and Microgrids, Ensuring quality power in rural India. By Ashok Jhunjhunwala and Prabhjot Kaur, IEEE Electrification Magazine / DECEMBER 2018
電気へのアクセス約束以上の もの:LVDC	Electricity access More than a promise: LVDC, By International Electrotechnical Commission (IEC)
オランダ デルフト工科大学直 流ロードマップ	From DC building to a DC distribution and transmission: ‘How direct will the future electricity be?’ prof.dr.ir. P.Bauer, tu_delft
世界人口推計	世界人口推計 2019 年版, 国際連合広報センター

## (2) 【シナリオ 2】 パーソナルでの直流利用

### a. 想定背景

暮らしの中で利用される電気機器は、家庭用電気機器と携帯端末機器に大別され、携帯端末機器の充電には AC アダプタで直流変換した電気を使用し、家庭用電気機器は内部で直流に変換、或いは AC アダプタで直流に変換して使用するものが多くなるなど、負荷での直流の活用が目覚ましい。

このことから、家庭、人、暮らしなど個人生活で直流を活用した場合のシナリオを想定した。

### b. 直流のシステム構成と展開

- 1) 家庭用電気機器としては、LED・有機 EL 照明、テレビ、扇風機、空調機（内部で一旦直流変換した後に可変電圧可変周波数でモータに供給）、電熱機器（直流でも使用可能）、携帯端末機器の充電器、コードレス掃除機・アイロン・電動工具・電動自転車・EV、PHEV など内部で直流を利用する機器。
- 2) 家庭内の電気機器は無線給電によりコードが不要になることが想定されるが、無線給電では直流電力を電力伝送用高周波に変換している。
- 3) 携帯端末機器は、スマートホンや PC など直流利用機器が使われている。

### c. 直流利活用展開の想定

- 1) 新築住宅は、電力の自家生産、自家消費が行われ、蓄電池の充放電による自家内需給調整や電力系統連系による電力の授受でゼロエネルギーハウス（ZEH）の実現が想定される。
- 2) 直流コンセントがあれば AC アダプタを使用せずに使用（充電）できることから、コンセント周りの空間・スペースが整頓される他、AC/DC 変換器の電力損失分だけ効率が上がり、製造時の省資源、コスト低減、廃棄物の低減といった効果も期待できる。
- 3) スマートフォンや PC などの情報通信機器は、通信速度、通信容量が格段に向上する

とともに、量子コンピュータなどによりクラウド上での演算処理能力も飛躍的に向上することで、より活発な利用が想定される。

- 4) 介護現場等では、介助のためのパワーアシスト製品が、小型、軽量、高機能になり、介助者が使用する機器のみでなく介助される方が直接装着するパワーアシスト製品開発も ICT の進展により促進されることが想定される。

【ロードマップ参考資料】

パリ協定、日本の対応	「パリ協定」のもとで進む、世界の温室効果ガス削減の取り組み① 各国の進捗は、今どうなっているの？ 2019-05-14 資源エネルギー庁 HP
日本の人口の推移	総務省 HP, <a href="https://www.soumu.go.jp/main_content/000273900.pdf">https://www.soumu.go.jp/main_content/000273900.pdf</a>
日本の都市化率	国土交通白書 <a href="https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h16/hakusho/h17/html/g1023200.html">https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h16/hakusho/h17/html/g1023200.html</a>
水素・燃料電池ロードマップ	経産省ニュースリリース <a href="https://www.meti.go.jp/press/2018/03/20190312001/20190312001-2.pdf">https://www.meti.go.jp/press/2018/03/20190312001/20190312001-2.pdf</a>
第 5 次エネルギー基本計画	資源エネルギー庁 <a href="https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/180703.pdf">https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/180703.pdf</a>
照明ロードマップ	照明成長戦略 2020~あかり文化の向上と地球環境への貢献 日本照明工業会
内閣府科学技術・イノベーション、戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)	戦略的イノベーション創造プログラム (SIP : エスアイピー) SIP ワークショップ 2019, 内閣府
資源エネルギー庁 ZEH ロードマップ	ZEH (ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス) に関する情報公開について 資源エネルギー庁
NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013	NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013 平成 25 年 8 月, 新エネルギー・産業技術総合開発機構



第 4. 3. 2 図 住宅における直流利用の例

### (3) 【シナリオ 3】モビリティでの直流適用

#### a. 想定背景

- 1) 家庭用電力需給調整用蓄電池は、PV と組み合わせて使用している。  
また、電気自動車 (EV) や燃料電池自動車 (FCV) は大容量の蓄電池を搭載している。
- 2) 鉄道分野においては、鉄道の架線で直流電力を電車に供給しており、これは電力輸送インフラとして、既存電力系統に次ぐ規模である。
- 3) 海運では、脱化石由来燃料利用を目指し、電気推進船 (電気のみ、あるいは電気と内燃機関のハイブリッド) が普及するとともに、港湾のグリーン化も推進されている。
- 4) 航空部門においては、航空機の電動化が進められ、また、再生可能エネルギーや蓄電池、および空港内施設や関連車両を統合する形態で、直流技術が活用されるようになる。

#### b. 直流利活用展開の想定

- 1) 電気自動車 (EV) や燃料電池自動車 (FCV) は EV 用充電器を双方向潮流に対応させることで自動車としての機能に加え、需要家用の主力蓄電池の役割も兼ねたものにする。電力融通対応やレジリエンス・防災対応が可能となることが想定される。  
(EV や FCV は直流であるため、需要家側が直流であれば変換効率が向上する)。
- 2) 電力の貯蔵には蓄電池のほか、水素をエネルギー貯蔵装置としての利用が想定される。  
(水素と電気の連携による脱炭素社会への貢献)。
- 3) 鉄道の電車線には電車による回生電力が発生するが、電車線の電力を直流のトロリー

バスや電動バスの充電用に用いることで回生エネルギーを有効に利用することが想定される（設備利用率が高まり、社会資本のコストを下げる事が期待できる）。

- 4) 海運では、電気推進船の普及が見込まれ、当面は内燃力機関と電気推進のハイブリッドも一部利用されるほか、完全電気推進船も内航航路などで実現するとともに、港湾施設においても大容量充電設備など直流利用が進むことが想定される。
- 5) 航空部門では、航空機においては小出力近距離の小型機の電動化が図られ、次第に大型の旅客機電動化が、バイオ燃料や水素とのハイブリッドも含めて利用されることが想定される。また、電導ドローンが荷物の配達や監視・警備などで利用される。
- 6) そのほか、電動バイクや軽車両などモビリティ部門における利用拡大が想定される。

【ロードマップ参考資料】

さいたま市における電動バスの実証運行	<a href="https://www.city.saitama.jp/006/014/008/003/006/006/p055717.html">https://www.city.saitama.jp/006/014/008/003/006/006/p055717.html</a>
JR 難波駅「エコステーション」	<a href="https://www.westjr.co.jp/press/article/2020/01/page_15549.html">https://www.westjr.co.jp/press/article/2020/01/page_15549.html</a>
小規模駅向け「駅舎補助電源装置 (S-EIV®) 蓄電タイプ」を製品化	<a href="https://safe.menlosecurity.com/docview/viewer/docN031B108A5B4Cab1663143dc9c7b9ab1adf245349a6d1c91ff1f87762b666597f4af5e7b438a4">https://safe.menlosecurity.com/docview/viewer/docN031B108A5B4Cab1663143dc9c7b9ab1adf245349a6d1c91ff1f87762b666597f4af5e7b438a4</a>
自動車電源 DC48V のインパクト -DC42V との比較と DC60V 以下の将来展望-	電気学会論文誌 D, Vol. 135, No. 9, pp. 892-897, 2015
48V ハイブリッドシステムのメリット	<a href="https://xtech.nikkei.com/dm/atcl/feature/15/032200080/032200005/">https://xtech.nikkei.com/dm/atcl/feature/15/032200080/032200005/</a>
欧州における電池推進船の動向調査	一般社団法人日本船用工業会，一般社団法人日本船舶技術研究協会
船舶用電動力応用システムの技術動向	木船弘康，山下幸生，新政憲，加納善明，阿部貴志 平成 29 年電気学会産業応用部門大会，4-S10-4，2017



第 4. 3. 3 図 モビリティにおける直流利用の例

#### (4) 【シナリオ 4】ビル・工場等での直流適用

##### a. 想定背景

- 1) 世界的な温暖化対策の試みから、再生可能エネルギーの活用ならびに省エネによる CO<sub>2</sub> 削減の取組は、国際企業連合 RE100 に参画する企業・団体が増加している。
- 2) これを受けて交直変換ロスを減らした省エネ化が進められている。
- 3) データセンターではサーバや各種 ICT 機器、LED 照明、UPS 内蓄電池、が直流駆動であり、太陽光発電も直流であることから、一部で直流給電が実用化されている。
- 4) オフィスビルでは、照明器具の LED 化が急速に進んでいる。
- 5) 太陽光発電は変動電源のため、変動を補う蓄電池の運用が必要である。どちらの電源も出力が直流となるため、それらを効率的に取り扱う技術が必要となる。
- 6) 新規の建物（設備）の直流化が進んでいくと、需要家側の直流化、蓄電池技術と性能の向上、信頼性の向上や損失低減の観点から、建物・施設内配電系を交流から直流へ置き換えて利用するメリットが出てくることも考えられる。
- 7) 直流化した建物が増加してくるとレジリエンス強化や効率化の観点から、隣接した建物と電力融通が可能な直流グリッドが既存配電系統と併用して徐々に形成され、街単位直流グリッドなど広域へ発展することが考えられる。

##### b. 直流利活用展開の想定

- 1) 新築の建物や特定の設備機器（ICT 機器、LED 照明、空調等）を中心として、直流機

- 器の多いビル、工場、データセンタなどから屋内給電の直流化の普及が想定される。
- 2) データセンタではサーバ、LED 照明、UPS 内蓄電池が直流駆動であり、太陽光発電も直流であることから、早い段階で直流化が進むものと想定される。
  - 3) オフィスビルにおいては照明器具への直流給電、多くの電子機器給電用の直流コンセント（USB コンセントを含む）と AC 給電とのハイブリッド利用が想定される。
  - 4) 工場では大型の電気機械が稼働しており、これらが早期に直流化することは考えにくいですが、高天井照明用の直流給電や工場内搬送機器用の直流化は早い時期に導入が進むことが想定される。
  - 5) 直流給電に対する安全性が確保され、基準・規格が整ってくると、分散型電源の普及が促進され、レジリエンスの観点から家庭内での自家電力生産、自家消費型の電力運用形態や小規模の直流グリッドの増加が想定される。
  - 6) 省エネ化を進める中で、交直変換を少なくするように利用場所の多い末端側から順次直流化が導入されていき、それと合わせて分散電源と蓄電池（EV 含む）を合わせて自家消費を目指した電力運用形態の普及が徐々に拡大していくことが想定される。
  - 7) 新規の建物（設備）の直流化が進んでいくと、需要家側の直流化、蓄電池技術と性能の向上、信頼性の向上や損失低減の観点から、建物・施設内配電系を交流から直流へ置き換えて利用するメリットが出てくることも考えられるため、既存の建物の直流化（置換）も進むことが想定される。
  - 8) 直流化した建物が増加してくるとレジリエンス強化や効率化の観点から、隣接した建物と電力融通が可能な直流グリッドが既存配電系統と併用して徐々に形成され、街単位直流グリッドなど広域へ発展することが想定される。
  - 9) 事業モデルによっては、まとまった直流グリッドの発電・蓄電設備を用いて VPP 事業が発達することが想定される。

#### 【ロードマップ参考資料】

	超個別型データセンターを目指す当研究所のビジョン
データセンター	さくらインターネット研究所 <a href="https://research.sakura.ad.jp/2019/02/22/concept-vision-2019/">https://research.sakura.ad.jp/2019/02/22/concept-vision-2019/</a>
データトラフィック・ストレージ	平成 29 年度我が国におけるデータ駆動型社会に係る基盤整備 (経済産業省)
コネクティッドデバイス・マシン/ 人が使用するデータ	2019 年 7 月セミコンウエスト資料 アプライドマテリアル
データセンター電力	Livedoor news 2019 年 5 月 30 日
工場直流化	[1] 石橋, 藤川, 松崎”DC マルチリンクドライブの自走倉庫への適用”, 技報 安川電機 第 78 巻 第 4 号, 通巻 第 305 号, pp. 161-165, 2014 年
直流給電システム	[2] 竹内 「直流給電システムの現状と今後の展望」電気設備学会誌, 38 巻 7 号, pp. 365-368, 2018 年 [3] "Direct Current, Industrial production, motor, DC bus, breaking energy, Smart grid, PV, Storage", white paper, DC-INDUSTRIE home page

直流, 工業生産, モーター, 直  
流バス, 破壊エネルギー, スマ  
ートグリッド, PV, ストレージ

<https://www.zvei.org/en/press-media/publications/research-project-dc-industrie-dc-networks-in-industrial-production/>

ZEB ロードマップフォロー委員  
会(平成 30 年度)取りまとめ  
(案)

経済産業省 資源エネルギー庁資料

Study on Power Feeding  
System for 5G Network

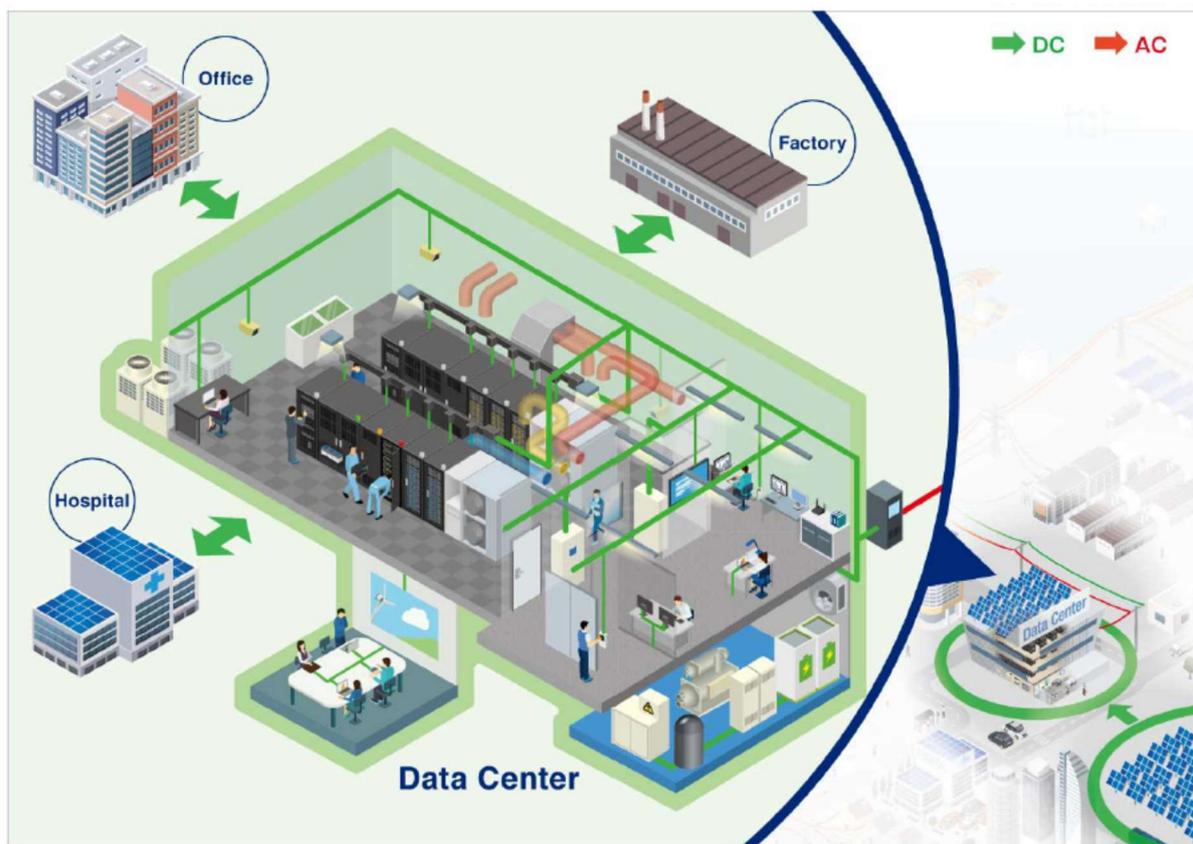
CAICT (中国信息通信研究院)

THE NATIONAL  
BLOCKCHAIN ROADMAP

INDUSTRY. GOV. AU/BLOCKCHAIN



第 4. 3. 4 図 ビル・工場における直流利用の例



第 4. 3. 5 図 データセンターにおける直流利用の例

#### (5) 【シナリオ 5】配電システムへの直流適用

##### a. 想定背景

- 1) 交流による配電システムは無数に配電線が分岐されており、これらを必要に応じて切り替えて経路を変えて運用しているため、その制御（遮断・潮流など）が複雑である。
- 2) 日本のように交流での電力運用形態が成熟している配電システムでは交直変換が生じる部分が少なく、総じて直流にするメリットが少なく、暫くは交流での設備形成が引き続き主体となる。
- 3) 再生可能エネルギーの導入が増えていくと、既存の交流システムでは送配電容量が足りなくなることが予想されるが、直流は交流よりもピーク値が低いため、直流を利用することで送配電量を増やすことが可能である。
- 4) 日本は人口減少と過疎化が進行し、配電システムの維持費に見合わない地域が増えていく。直流はこのような配電距離が長く分岐の少ない散村地域のような一部に、再エネ電源や蓄電池を取り込むための手段として、限定して利用される可能性がある。

##### b. 直流利活用展開の想定

- 1) 配電距離が長く分岐の少ない散村地域のような一部に、再エネ電源や蓄電池を取り込み、電力の地産地消の手段として、直流利用が想定される。
- 2) これらの地域は経済性とレジリエンスの観点から災害時の配電線破損に伴う電力供給をカバーするため、マイクログリッド技術などとの融合が想定される。
- 3) 一部の送電区間や都市部配電においては、送配電容量の増強の必要性が生じる場合に

既存設備を利活用し、輸送容量をあげる目的で、また、異なる配電線を非同期にて連系する必要がある場合、一部交流から直流への置き換えが想定される。

電力需要密度が高くなる都市部においては、故障時のり障範囲を限定させるためにも、適度に BTB または直流配電が利用される可能性も想定される。

- 4) 直流配電の可能性として、既存の直流鉄道架線や公衆電話回線の一部を利用した直流低圧配電線の活用が想定される。

#### 【ロードマップ参考資料】

パリ協定、日本の対応	「パリ協定」のもとで進む、世界の温室効果ガス削減の取り組み① 各国の進捗は、今どうなっているの？ 2019-05-14 資源エネルギー庁 HP
令和元年版高齢化白書	令和元年版高齢社会白書（全体版） 内閣府
日本の都市化率	国土交通白書 <a href="https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h16/hakusho/h17/html/g1023200.html">https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h16/hakusho/h17/html/g1023200.html</a>
電力化率	総合エネルギー統計 資源エネルギー庁 <a href="https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/results.html#headline7">https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/results.html#headline7</a>
台風の発生回数	台風の発生数(2019年までの確定値と2020年の速報値)、気象庁 HP <a href="https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/statistics/generation/generation.html">https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/statistics/generation/generation.html</a>
停電時間	エネ Wiki* HP <a href="https://wikiwiki.jp/powerline/停電時間">https://wikiwiki.jp/powerline/停電時間</a> 電気事業制度について 資源エネルギー庁 HP
電力システム改革	<a href="https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/system_reform.html">https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/system_reform.html</a>
配電ビジネスのライセンス化	電力システムのレジリエンス強化に向けた論点 令和元年11月20日 資源エネルギー庁
FIT制度の抜本定位置直し	FIT制度の抜本見直しと再生可能エネルギー政策の再構 2019年4月22日資源エネルギー庁 産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 電力安全小委員会 合同電力
電力レジリエンスワーキンググループ	電力レジリエンスワーキンググループ資料 経済産業省 <a href="https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/resilience_wg/pdf/20191106_report.pdf">https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/resilience_wg/pdf/20191106_report.pdf</a>
水素・燃料電池ロードマップ	経済産業省ニュースリリース <a href="https://www.meti.go.jp/press/2018/03/20190312001/20190312001-2.pdf">https://www.meti.go.jp/press/2018/03/20190312001/20190312001-2.pdf</a>
EVの普及予測（富士経済）	2021年にEVがHVの販売台数を上回る、電動車市場は4000万台に 2019年08月21日, MONOist <a href="https://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1908/21/news044.html">https://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1908/21/news044.html</a>

## (6) 【シナリオ6】送電系統への直流適用

### a. 想定背景

- 1) メガソーラーや大型風力発電など大規模な再生可能エネルギーによる発電設備は立地制約が大きく、発電地域と消費地域まで距離が大きくなりやすく送電ロスが懸念さ

れる。

- 2) わが国では、北海道と本州をつなぐ2系統の高電圧大容量直流送電線、紀伊水道連系直流送電線が実用化されている。
- 3) 欧州では北海を中心とした沖合の風力発電を陸地に送る長距離送電に直流を利用している例があり、中国においても内地の太陽光や風力発電を沿岸部の消費地に届ける長距離送電に直流を利用している。
- 4) 現在、世界的には2端子で形成した送電線を更に繋ぎ合わせて多端子化、グリッド化して、供給安定性の向上を目指す研究開発が進められており、中国では一部実用化が始まっている。

#### b. 直流利活用展開の想定

- 1) 秋田沖などを中心として計画が行われている洋上風力発電所からの送電に大容量長距離直流送電を利用することが想定される。
- 2) 海底ケーブルなどケーブルでの送電では充電電流の影響のない直流送電の利用が想定される。
- 3) 直流送電での供給安定性の向上に向け、送電線を更に繋ぎ合わせて多端子化、グリッド化することが想定される。
- 4) 国際連系線や大砂漠地帯からの大容量送電システムでは、直流での長距離送電が想定される。

#### 【ロードマップ参考資料】

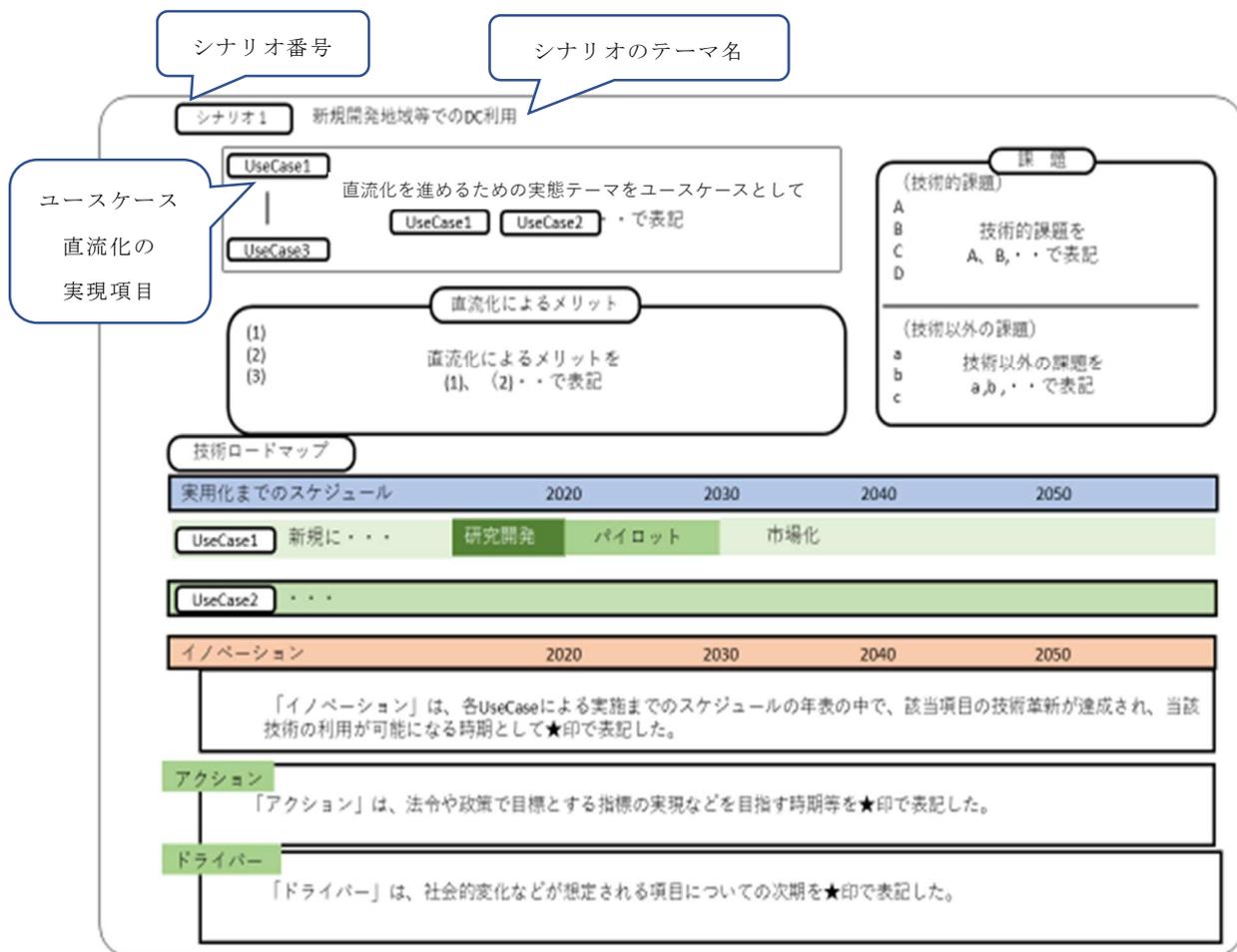
- (1) B4 International Colloquium 2019 Johannesburg, South Africa, B4 – 02,  
“Real-time Modelling and Simulation of a Multi-terminal Hybrid UHVDC Transmission System”, Electric Power Research Institute, CSG State Key Laboratory of HVDC Guangzhou, China
- (2) CLC/TS 50654-1, “HVDC Grid Systems and connected Converter Stations - Guideline and Parameter Lists for Functional Specifications Part1 Guidelines”
- (3) K. Higashikawa, J. Arai, K. Harada, T. Koshizuka, J. Matsushima, H. Ikeda, N. Harid, and A. Al-Durra, “Dynamic Performance Analysis of Long-distance Power Transmission System with Superconducting Cable from Large Photovoltaic Generation”, 2018 Applied Superconductivity Conference, 2LPo1C-01 [L21]
- (4) “Ten Year Network Development plan (TYNDP) 2018”, ENTSO-E Report  
<https://tyndp.entsoe.eu/tyndp2018/>
- (5) “Global Energy Interconnection Technology & Equipment Innovation Outline 2018 - 2025”, Global Energy Interconnection Development and Coordination Organization, March 2018
- (6) 「洋上風力発電対応の多端子直流送電システムを開発」, NEDO ホームページ  
[https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_100406.html](https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100406.html)
- (7) 「東京中部間連系設備に係る広域系統整備計画」, 電力広域的運営推進機関, 2016年6月
- (8) 「北海道本州間連系設備に係る計画策定プロセスについて」, 広域系統整備委員会事務局, 2019年12月

## 4. 5 ロードマップ作成

4. 4 項で検討した 6 つのシナリオについてロードマップを作成した。

ロードマップの作成にあたり、第 2 章の調査及び第 3 章の技術マップを踏まえて、委員の協力をいただきながら、直流化の実施項目をユースケースとして設定し、直流化のメリット、課題（技術及び技術以外）、社会実装に至るまでの課題、実用化迄のスケジュール（2050 年まで）及びイノベーション（技術革新要素）を整理した。加えて必要となるアクション（政策・制度など）や、ドライバー（社会的変革）も併記した。その結果を 103 ページからのシナリオ 1～シナリオ 6 に示す。

ロードマップの書式は以下のとおりである。



第 4. 5. 1 図 ロードマップの書式

- ・シナリオ番号欄は直流の利活用シナリオ 1 から 6 で設定した。
- ・シナリオテーマ名称欄はシナリオの名称を記述した。
- ・各シナリオに展開するステージを Use Case としてして記述した。
- ・直流化によるメリット欄は、直流化によるメリットなど特長を(1), (2)・・・で表記した。
- ・課題のうち、技術的課題は、直流化するにあたり解決しなければならない技術的課題を A, B, ... として表記し、技術以外の課題を a, b, ... として表記した。
- ・実用化までのスケジュールは、各 Use Case のバーを作成し、「研究開発」の段階、「パイ

ロット実証」の段階、「市場化」の段階を示した。◇は特に記述が必要な実施内容について示した。

- イノベーションは、当該項目の技術的課題が達成され、利用が可能な時期を★印として表記した。イノベーションの項目は課題 A, B, を表記した。なお、技術的課題に個々の課題がある場合は◆として表記した。
- アクションは、政策や制度で目標とする指標の実現を目指す時期を★印として表記した。
- ドライバーは、社会的変化が想定される項目について、その時期を★印として表記した。

# シナリオ1 新規開発地域等での直流利用

- Use Case 1** 新規に、住宅1軒レベルで電化をする場合、数百ワットから数キロワット程度の太陽光発電（PV）と蓄電池利用で住宅用直流オフグリッド利用（PV+蓄電池→直流家電）
- Use Case 2** 再生可能エネルギー発電（PV、風力等）及び蓄電池による近隣住宅との連系による小規模直流グリッドを形成し、住宅間の電力融通（大容量家電の使用）
- Use Case 3** 電気事業者などによる中規模集中再生可能エネルギー発電（PV、風力等）及び蓄電池による中規模直流グリッドを形成し、住宅、ビル、工場などに電力供給（EVの利用も考慮）
- Use Case 4** グリッド同士の連系に加え、上位系統（既存交流配電や直流配電）との連系や水素連携等によるエネルギー融通

## 直流化によるメリット

- 新規に1軒の住宅で直流でのオフグリッドを形成、直流家電を利用すれば直流発電、直流蓄電、直流負荷となり直流が高効率（Use Case 1）
- 小規模グリッドの構成により、(1)と同様に直流が有利、近隣住宅との連系により蓄電池も共有され、供給信頼性向上（Use Case 2）
- 再生可能エネルギー発電（PV、風力等）及び蓄電池による中規模直流グリッドで、住宅、ビル、工場などに電力供給する場合、発電・蓄電が直流であり、需要設備も直流が多いことから直流給電が高効率（Use Case 3）
- グリッド間連系、上位系統連系、水素・熱エネルギー融通により、高信頼性、エネルギーの効率的利用の際DC/DCが効率的（Use Case 4）
- 小・中規模直流グリッドへの発電設備の連系は交流に比べて容易（需給制御が容易）
- USBコンセントは、100Wまで利用でき、情報伝送も可能
- インバータ機器である家電は、直流へ給電すると交流入力の家電より消費電力が小さく省エネルギー

## 課題

### （技術的課題）

- A 安全保護・信頼性技術（遮断、保護協調、絶縁協調、接地方式、計測技術、感電保護）
- B 直流家電、コンセント・プラグの開発
- C 直流グリッド用EMSの開発（需給制御）
- D 運用技術（自立運転、電力融通、モビリティ連携、余剰電力対策、蓄電方式）
- E ICT活用技術（電力取引、需要計測&需要予測）

### （技術以外の課題）

- a 法規制（系統連系の必要性が生じた場合、連系ガイドライン、直流バスの接続要件など）
- b 標準化（電圧標準、コンセント仕様標準化、電力品質基準、保護方式ほか）
- c 制度設計（運用体制、電力融通、計測要件、課金制度）
- d 導入支援（低コスト化、パイロットプロジェクト）
- e 施工、保守の充実、エンジニアの養成

## 技術ロードマップ

実用化迄のスケジュール	2020	2030	2040	2050
<b>Use Case 1</b> 新規に、住宅1軒レベルで電化をする場合、数キロワット程度までのPV発電と蓄電池利用で住宅用オフグリッド	研究開発	パイロット ◇実証実験	市場化 ◇導入	
<b>Use Case 2</b> 再生可能発電（PV、風力等）+蓄電池による近隣住宅との連携（小規模直流グリッド）で住宅間の電力融通	研究開発	パイロット ◇実証実験	市場化 ◇導入	
<b>Use Case 3</b> 電気事業者などによる中・大規模集中再生可能エネルギー発電（PV、風力等）及び蓄電池による中規模直流グリッド（EVの利用）	研究開発	パイロット ◇実証実験	市場化 ◇導入	
<b>Use Case 4</b> グリッド間連系、上位系統連系、水素等エネルギー融通により、高信頼性、エネルギーの効率的利用が実現	研究開発	上位連系 ◇導入	水素融通 ◇導入	

	2020	2030	2040	2050
<b>イノベーション</b> (技術革新要素)	<ul style="list-style-type: none"> <li>A 安全保護・信頼性技術</li> <li>B 直流家電</li> <li>C 直流グリッド用EMSの開発</li> <li>D 運用技術</li> <li>E ICT活用技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★遮断・保護協調</li> <li>★直流家電の充実・小型化・効率化</li> <li>★DC/DC変換</li> <li>★EMS開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★系統連系</li> <li>★コンセント標準化</li> <li>★EMS需給制御</li> <li>★電力融通</li> <li>★EVの最適運用</li> <li>★計量器で分散制御</li> <li>★直流計量・課金</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★最適電力潮流</li> <li>★大容量家電対応</li> <li>★EMS気象予測連動</li> <li>★デマンドレスポンス</li> <li>★水素製造、貯蔵技術</li> <li>★グリッド安定化</li> <li>★コスト配分</li> </ul>
<b>アクション</b> (政策・制度など)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■低炭素・脱炭素</li> <li>■エネルギー基本計画</li> <li>■電力システム改革（電気事業法改正）</li> <li>■FIT制度</li> <li>■レジリエンス</li> <li>■水素・燃料電池ロードマップ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★パリ協定（2015合意、協定期間2020～）</li> <li>★第5次（2018）</li> <li>★新設で100%LED化</li> <li>★発電電分離（2020年）</li> <li>★FIT制度の抜本的見直し（2020）</li> <li>★レジリエンス</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★温室効果ガス26%削減（2030日本）</li> <li>★再エネの主力電源化（22%～24%）</li> <li>★既設で100%LED化</li> <li>★グリゲータ&amp;配電ビジネスのライセンス化（2025年頃？）</li> <li>★世界最高水準の再エネ水素技術の確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★温室効果ガス80%削減</li> <li>★脱炭素化</li> </ul>
<b>ドライバー</b> (社会的変革)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■電力化率（日本）</li> <li>■人口減少（日本）</li> <li>■人口増加（世界）</li> <li>■都市化率（日本）</li> <li>■EV登録台数（日本）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★25%（2015年）</li> <li>★77億人（2019年）</li> <li>★68%（2015年）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→電気への依存度が増大し電化率向上の可能性</li> <li>★人口11,913万人（2004年ピークの90%、高齢化率31%）</li> <li>★85億人（2030年）</li> <li>★73%（2030年）</li> <li>★1,450万台（2030年）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★人口10,192万人（ピークの80%、高齢化率38%）</li> <li>★81%（2050年）</li> <li>★2,200万台（2035年）</li> </ul>

## シナリオ2 パーソナルでの直流利用

- Use Case 1** 家庭での太陽光発電及び蓄電池（DC）の普及が進む
- Use Case 2** ゼロエネルギーハウス（ZEH）では高効率な電気機器の使用、太陽光発電、蓄電池、HEMSなどが使われる⇒直流グリッドへの転換
- Use Case 3** 既築住宅の直流配電化が進む
- Use Case 4** 個人が移動中に利用する直流機器の増加⇒ウェアラブル発電・蓄電の普及が進む
- Use Case 5** 介護現場などでは電動車いすやパワーアシストスーツなどがICTにより進化する
- Use Case 6** EV、FCVが増加し、X2V、V2Xが普及するとともに、水素貯蔵・利用が可能となる

### 直流化によるメリット

- (1) 現在は直流発電を交流に変換しているが直流でのオフグリッドにより直流負荷に供給すれば、変換段数の削減で高効率となる。(Use Case 1)
- (2) 直流グリッドによるZEHにより住宅のトータルエネルギー消費がゼロになる。発電、蓄電及び使用機器内部が直流であり、グリッドが直流であればDC/DCでの利用により変換効率が向上する。(Use Case 2)
- (3) PV、蓄電池、LED照明など電気使用機械器具の直流化により既築住宅でも直流配線とすることで、個々のAC/DCコンバータが不要になり効率が向上する。(Use Case 3)
- (4) ウェアラブル太陽光発電+小型軽量蓄電池によりパーソナル内グリッドで自立運転が可能となり、消費エネルギーゼロで快適な生活が可能となる。(Use Case 4)
- (5) 電動車いすや介護用パワーアシストスーツなど直流駆動機器への充電を直流にすれば変換効率が向上する。(Use Case 5)
- (6) EV、FCV連携により住宅の蓄電容量が増加、余剰電力による水素製造・貯蔵により供給信頼性が増す。
- (7) 直流電気機器はACアダプタが付属しているが直流給電で電圧標準電流標準が決まればアダプタ不要となり、省資源、省エネ、省廃棄物となる。
- (8) 大電流ワイヤレス給電の実現によりコンセントが不要となる。(電源が交流、直流共用可)

### 課題

#### (技術的課題)

- A 直流家電の開発、交流との混在によるコスト増加の抑制
- B システム制御（高機能直流用HEMSの開発促進）
- C ICT活用（5G、6G、ICT、ビッグデータ、量子コンピュータによる高速通信、高速処理の開発促進）
- D 高効率機器の開発促進
- E 汎用新規格直流コンセントの開発及びUSBコンセントの利用
- F ワイヤレス給電の実用化（コンセントが不要になる）
- G 安全保護（遮断・保護協調・絶縁協調）
- H 既築の住宅での直流配電の適用
- I モビリティ、水素との連携

#### (技術以外の課題)

- a 法規制 電気事業法（工作物、保安規制）、直流グリッド技術基準
- b 標準化 電圧標準・保護・コンセントなどの標準化
- c 制度設計 運用体制、配電システムの直流化検討
- d 宅内での交流家電⇒直流家電への移行

## 技術ロードマップ

実用化迄のスケジュール	2020	2030	2040	2050
<b>UseCase1</b> 家庭での太陽光発電、蓄電池の普及が進む	市場化 ◇導入	◇導入拡大	◇拡大継続	
<b>UseCase2</b> ZEHは2030年に新築住宅の平均で普及	研究開発	パイロット ◇実証実験	市場化 ◇段階的導入	◇平均新築住宅のZEH化 ◇低コストZEHの継続推進
<b>UseCase3</b> 既築住宅の直流配電化	研究開発	パイロット ◇実証実験	市場化 ◇ワイヤレス給電	
<b>UseCase4</b> ウェアラブル発電・蓄電の普及が進む	研究開発		市場化	
<b>UseCase5</b> 介護ロボット、パワーアシストスーツなど介護支援、掃除ロボットなど生活支援ロボットの普及	研究開発 ◇実証実験	◇実証試験	◇段階的導入	◇さらに進化が続く
<b>UseCase6</b> EV、FCVとの連携による供給力増強、供給信頼性の向上	研究開発	市場化		◇さらに進化が続く

	2020	2030	2040	2050
<b>イノベーション</b> (技術革新要素)	<ul style="list-style-type: none"> <li>A 直流家電の開発 ★直流家電の開発</li> <li>B システム制御 ★直流用 HEMS 開発</li> <li>C ICT 活用 ★シートディスプレイ</li> <li>D 高効率機器の開発促進 ★高効率機器開発 ★高効率機器低コスト化</li> <li>F ワイヤレス給電の実用化 ★ワイヤレス給電</li> <li>G 安全保護 ★遮断・保護協調</li> <li>I モビリティ連携</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★直流家電低コスト化</li> <li>★AC/DC 協調制御</li> <li>★ICT 応用</li> <li>★立体映像</li> <li>★普及に向け更なる低コスト化を期待</li> <li>★モビリティシステム連携</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★HEMS 普及（ZEH は自立運転可能）</li> <li>★量子コンピュータで超高速処理</li> <li>★再エネ・水素システム連携</li> <li>★再エネ・水素システム連携</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★AI 応用学習型制御</li> <li>★更なる高効率化</li> <li>★再エネ・水素システム連携</li> </ul>
<b>アクション</b> (政策・制度など)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■低炭素・脱炭素 ★パリ協定（2015 合意、協定期間 2020～）</li> <li>■エネルギー基本計画 ★第 5 次（2018）</li> <li>■電力システム改革（電気事業法改正） ★新設で 100%LED 化</li> <li>■FIT 制度 住宅用 PV 卒 FIT 始まり（2019）★ FIT 制度の抜本的見直し（2020）</li> <li>■レジリエンス 停電時間★21 分（2015 年）→大規模自然災害頻発で停電時間増加の可能性</li> <li>■水素・燃料電池ロードマップ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★温室効果ガス 26% 削減（2030 日本）</li> <li>★再エネの主力電源化（22%～24%）</li> <li>★既設で 100%LED 化</li> <li>★グリゲータ&amp;配電ビジネスのライセンス化（2025 年頃？）</li> <li>★世界最高水準の再エネ水素技術の確立</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>★温室効果ガス 80% 削減</li> <li>★脱炭素化</li> </ul>
<b>ドライバー</b> (社会的変革)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■電力化率（日本） ★25%（2015 年）</li> <li>■人口減少（日本）</li> <li>■都市化率（日本） ★68%（2015 年）</li> <li>■EV登録台数（日本）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→電気への依存度が増大し電化率向上の可能性</li> <li>★人口 11,913 万人（2004 年ピークの 90%、高齢化率 31%）</li> <li>★73%（2030 年）</li> <li>★780 万台（2025 年）</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>★人口 10,192 万人（ピークの 80%、高齢化率 38%）</li> <li>★81%（2050 年）</li> <li>★1,450 万台（2030 年）★2,200 万台（2035 年）</li> </ul>

# シナリオ3 モビリティでの直流適用

- Use Case 1** EVの蓄電池を電力需給バランス調整（ダックカーブ対策、夜間電力利用など）。電力融通やレジリエンス向上（災害時停電先でのEV電力利用）
- Use Case 2** PV（太陽光発電）余剰電力を充電（蓄電池、EV）し、夜間に放電して利用。停電時にEVより電力供給でき、レジリエンス向上
- Use Case 3** 電車の回生電力を活用した電動バスの充電や、電車の回生電力を駅へ融通する変換装置の普及が進む
- Use Case 4** 電車の回生電力（直流）を蓄電池により回収し、パンタグラフ接触式充電器により電動バスへ急速充電。また、電車で消費しきれない回生電力を直流から交流に変換して駅で活用。小規模駅では余剰電力を蓄電池に充電して利用
- Use Case 5** 電気推進船の普及、船舶内直流電化、船舶内EV充電器が普及（移動中の有効活用や移動先での電力利活用）
- Use Case 6** 電動ドローン（宅配、高所点検、農業散布など）、電動バイク（近隣配達など）の利用拡大
- Use Case 7** 余剰電力で水素を製造して貯蔵、発電又は運輸等他に利用し脱炭素に貢献

## 直流化によるメリット

- (1) **自動車（需要家内直流化）（Use Case 1）**
  - 需要家直流化によりEVとの電力融通において変換損失と変換器コストを低減できる。
  - 低速時などにもみ電気で駆動補助するマイルドハイブリッドでは12V→48V化により電流を低減し、配線容量（コスト）を削減できる（60V以下のため、高度な安全機能不要、欧州中心に48V化進展）。
- (2) **鉄道（電車の回生電力を活用した電動バスや駅への電力融通）（Use Case 3、4）**
  - 電車の回生電力を蓄電池により回収し電動バスへ充電することで、電車の回生失効低減によるエネルギー削減が可能となる。
  - 電車で消費しきれない回生電力を直流から交流に変換して駅で活用することで、電車の回生失効低減によるエネルギー削減が可能となる（小規模な駅では余剰電力を蓄電池に充電して利用）。
- (3) **船舶（船舶の直流化）（Use Case 5）**
  - 輸送中でのEV充電が可能となる。
  - 環境負荷低減、港湾内での騒音・排出の減少が期待できる。
  - 主機と蓄電池との組み合わせにより電力供給と推進力供給が柔軟になり、効率化が期待できる。
  - 電動推進で応答性が向上 それにより安全性なども向上
  - 燃料電池推進船も期待できる。
  - 災害時での非常用電源として、船舶を利用（陸路分断でも海上・沿岸から給電可）
- (4) **再エネ発電の余剰電力で水素を製造し、貯蔵。FCVなどでの水素利用により脱炭素に貢献（Use Case 7）**

## 課題

### （技術的課題）

- A 安全保護（直流遮断、保護協調）
- B 電力変換効率向上・高電力密度化
- C モビリティ・グリッド協調
- D 充放電増加による蓄電池劣化
- E 鉄道とバス間電力融通：充電コスト、充電時間や航続距離
- F 船舶内EV充電：船舶電源出力とのマッチング、アース、遠隔監視など
- G 水素製造コストの低減
- H ICT活用技術開発

### （技術以外の課題）

- a コスト（共通）
- b 直流配電向けの法制度の整備（共通）
- c EV用双方向充電器設置コスト（DC充放電器）
- d 直流鉄道とバス間電力融通：充電設備のコストが高い
- e 一部の設備のみを直流化する場合の維持管理の複雑さ
- f 水素ステーション普及、水素製造・改質・輸送コスト低減

## 技術ロードマップ

実用化迄のスケジュール	2020	2030	2040	2050
<b>Use Case 1、2</b> EV（電力需給バランス調整、レジリエンス向上） PV電力利用、レジリエンス向上 EV利用により電力需給バランス調整	市場化	◇大出力化、マイクログリッド化		
<b>Use Case 3、4</b> 鉄道（電動バス、駅への電力融通）	パイロット ◇実証実験	市場化 ◇大出力化		
<b>Use Case 5</b> 船舶（電気推進船普及、船舶内直流電化）	研究開発 ◇机上検討	パイロット ◇隣接駅舎間 ◇駅近隣地域	市場化 ◇システム活用の一般開放	
<b>Use Case 6</b> 電動ドローン（宅配、高所点検、農業散布など）、電動バイク（近隣配達など）の利用拡大	市場化 ◇机上検討	◇実系統での検証		◇実機実証をそのまま実活用
<b>Use Case 7</b> 余剰電力で水素を製造して貯蔵、水素エネルギー融通により、高信頼性、エネルギーの効率的利用が実現	研究開発 ◇導入	パイロット ◇導入拡大	市場化	◇水素連携

	2020	2030	2040	2050
<b>イノベーション</b> (技術革新要素)	A 安全保護 B 電力変換効率向上・高電力密度化 C モビリティ・グリッド協調	★直流遮断 ★保護協調 ★新材料応用・新制御方式 ★モビリティ・グリッド連系、V2G/V2H	★集積化電力変換システム ★モビリティ・グリッドネットワーク ★モビリティシステム連携	★集積化超高効率電力変換
	D 蓄電池システム E 鉄道とバス間電力融通 G 水素製造コストの低減		★蓄電池価格の低下★船舶充放電システム開発 ★鉄道⇄バス電力融通 ★水素製造 ★水素システム連携 ★水素製造・改質・輸送コスト低減	
	H ICT活用技術開発	★ワイヤレス給電（モビリティ向け） ★クラウド活用 ★6G モビリティ応用（2030年見通し）、ワイヤレス給電（モビリティ向け）	★ブロックチェーンモビリティ応用、自動運転、センサネットワーク	
<b>アクション</b> (政策・制度など)	■低炭素・脱炭素 ■エネルギー基本計画	★パリ協定（2015合意、協定期間2020～） ★第5次（2018） ★新設で100%LED化 ★発電電分離（2020年）★アグリゲータ&配電ビジネスのライセンス化（2025年頃？）	★温室効果ガス26%削減（2030日本） ★再エネの主力電源化（22%～24%） ★既設で100%LED化	★温室効果ガス80%削減 ★脱炭素化
	■電力システム改革（電気事業法改正） ■FIT制度 ■レジリエンス ■水素・燃料電池ロードマップ	住宅用PV 卒FIT 始まり（2019）★ ★FIT制度の抜本的見直し（2020） 停電時間★21分（2015年）→大規模自然災害頻発で停電時間増加の可能性	★世界最高水準の再エネ水素技術の確立	
<b>ドライバー</b> (社会的変革)	■電力化率（日本） ■人口減少（日本） ■都市化率（日本） ■EV登録台数（日本）	★25%（2015年） →電気への依存度が増大し電化率向上の可能性 ★68%（2015年）	★人口11,913万人（2004年ピークの90%、高齢化率31%） ★73%（2030年） ★780万台（2025年）★1,450万台（2030年）★2,200万台（2035年）	★人口10,192万人（ピークの80%、高齢化率38%） ★81%（2050年）

# シナリオ4 ビル・工場での直流適用

**Use Case 1** データセンタ・通信ビルの直流化

**Use Case 2** 商用ビルの直流化

**Use Case 3** 工場の直流化

**Use Case 4** 地域間（隣接ビルや施設）連系を介した電力融通、マイクログリッドDC化、または、オフグリッド化

**Use Case 5** 直流マイクログリッドでの蓄電池利用

## 直流化によるメリット

- (1) AC/DC変換、DC/AC変換段数の削減による省エネ性向上・信頼性向上。(Use Case 1、2、3、4)  
PV発電、蓄電池、UPS、サーバ、LED照明は直流駆動、インバータ（内部で直流変換）
- (2) 直流バスを使用した系統簡素化によるイニシャルコスト削減、保守コスト削減 (Use Case 1、2、3、4)  
配電、配線に直流バスを使用して(1)に掲げる各機器に直接直流給電することで、初期・保守コスト削減、冷却負荷の削減・信頼性向上
- (3) 災害対策として、電力系統停電時の直流オフグリッド運転によるBCP機能・レジリエンス向上が容易 (Use Case 4、5)
- (4) データセンタをエネルギー核としたマイクログリッドが地域に貢献。(余剰電力の有効活用、非常時の電力供給) (Use Case 1、4、5)
- (5) 100%再生可能エネルギーデータセンタによる地域グリッドへの電力供給 (Use Case 1、2、3、4、5)
- (6) 直流オフグリッド運転によりデータセンタの信頼性が向上し、社会通信インフラの安定によりレジリエンスが向上 (Use Case 1)
- (7) 水素の再生可能エネルギーによる生成、水素のFC利用や他部門での利用により脱炭素に貢献 (Use Case 4)
- (8) 直流駆動負荷機器のAC/DC変換削減による高効率化・信頼性向上・コストダウン (Use Case 1、2、3、4)
- (9) 再生電力の有効利用。(Use Case 3)  
現在の工業用モータは、再生エネルギーを抵抗によって消費するケースが多いが直流バスでは再生電力の回収による省エネルギーが期待できる。
- (10) ワイヤレス給電の高効率化 (Use Case 3)  
工場内AGV、ロボットは移動型となり、ワイヤレス給電が可能となる。ロボットも電池も直流で相性が良い。  
ワイヤレス給電は、交流バスではAC-DC-高周波送信⇒高周波受信-DCであるが直流バスではDC-高周波送信⇒高周波受信-DCとなり変換段数削減  
蓄電コストの低減 (Use Case 4、5)  
直流グリッドでの余剰電力で水素を生成、FCによる発電やFCVなどへの供給により蓄電コストが低減。水素の他部門への利用により脱炭素社会に貢献

# 課題

## (技術的課題)

- A 安全保護（遮断・保護協調・絶縁協調）
- B 信頼性向上技術（ノイズ低減技術、高調波低減技術）
- C 運用技術（自立運転、電力融通、モビリティ連携、事故復旧、VPP/DR、電熱連携、再エネ水素連携）
- D システム設計技術（モデリング&シミュレーション、標準モデル）
- E 低コスト化・汎用化技術（直流機器全般、普及のステップとして交流とのハイブリッドを考慮した場合、インバータの低価格化）
- F 再生エネルギー活用技術
- G ICT活用技術（電力取引、需要計測&需要予測、PV発電量予測、設備診断）
- H ピークシェーピング技術

## (技術以外の課題)

- a 法規制等（系統連系ガイドライン、高圧受電設備規程、内線規程等、技術仕様）
- b 標準化（電圧標準・保護・直流各電圧のコンセント・プラグ規格・直流負荷機器電圧・JIS化・遮断器・配線・接地方法・試験方法・カラーコード等）
- c 制度設計（運用体制、電力融通、ZEB、CASBEE等への反映等）
- d 導入支援（低コスト化・電池の低価格化、パイロットプロジェクト、普及のための政府補助金、補助金制度等）
- e ビジネスモデルの拡充

# 技術ロードマップ

実用化迄のスケジュール	2020	2030	2040	2050
<b>Use Case 1</b> データセンタ・通信ビルの直流化	一部市場化	市場化	本格普及	
<b>Use Case 2-1</b> 商用ビルの直流化（新築ビルの直流化）	研究開発	パイロット ◇一部直流化	市場化	本格普及
<b>Use Case 2-2</b> 商用ビルの直流化（既存ビルの直流化）	研究開発	パイロット ◇一部直流化	市場化	
<b>Use Case 3</b> 工場の直流化	研究開発	パイロット ◇一部直流化	市場化	
<b>Use Case 4</b> 地域間（隣接ビルや施設）連系を介した電力融通、直流マイクログリッド化、または、オフグリッド化	研究開発	パイロット1 ◇実証実験	パイロット2 ◇適用エリア・規模の拡大	市場化 本格普及
<b>Use Case 5</b> 直流グリッドでの蓄電池利用	研究開発	パイロット ◇一部導入	一部市場化	本格普及

	2020	2030	2040	2050
<b>イノベーション</b> (技術革新要素)	A 安全・保護 C 運用技術	★保護協調 ★絶縁協調、地絡保護（地絡継電器） ★マイクログリッド連携★マイクログリッドパッケージ化 ★自律分散型制御 ★モータ協調制御による再生有効利用	★確率的最適化制御	★AI応用学習型制御
D システム設計	★電熱システム連携	★AC/DC協調制御 ★モビリティロボティクス連携	★自動車事故復旧制御 ★再エネ水素システム連携	★AI応用事故復旧制御
E 低コスト化・汎用化技術	★直流電気機器、コンセント、プラグの商品化	★直流電気機器、給電機器の低コスト化 ★Open Compute Project (OCP) による直流IT機器ラインナップとテレコムとの融合 (2023)	★超並列シミュレーション設計	★AI応用自動設計
E 低コスト蓄電技術	★高耐圧電解液・高容量正極・Si負極等		★金属-空気電池・金属負極等	
G ICT活用	★クラウド活用	★ブロックチェーン電力応用		★シンギュラリティ
H ピークシェーピング		★5G電力応用 (2025年) ★6G電力応用 (2030年見通し)		

<b>アクション</b> (政策・制度など)	■低炭素・脱炭素 ■エネルギー基本計画	★パリ協定 (2015合意、協定期間2020～) ★第5次 (2018) ★新設で100%LED化 ★100%再生可能エネルギーデータセンタ (2019年～:世界、2022年～:日本)	★温室効果ガス26%削減 (2030日本) ★再エネの主力電源化 (22%～24%) ★既設で100%LED化	★温室効果ガス80%削減 ★脱炭素化
■電力システム改革 (電気事業法改正)		★発電分離 (2020年) ★アグリゲータ&配電ビジネスのライセンス化 (2025年頃?)		
■FIT制度	住宅用PV卒FIT始まり (2019) ★	★FIT制度の抜本的見直し (2020)		
■レジリエンス	停電時間★21分 (2015年) →大規模自然災害頻発で停電時間増加の可能性			
■水素・燃料電池ロードマップ		★世界最高水準の再エネ水素技術の確立		
■省エネ法・ZEB推進		★延べ面積10,000m <sup>2</sup> 以上の建物のZEB化の実現・普及 (エネルギー基本計画で制定) ★省エネ手法として直流化技術を採用		

<b>ドライバー</b> (社会的変革)	■電力化率 (日本) ■人口減少 (日本)	★25% (2015年) →電気への依存度が増大し電化率向上の可能性	★人口11,913万人 (2004年ピークの90%、高齢化率31%)	★人口10,192万人 (ピークの80%、★81% (2050年) 高齢化率38%)
■データトラフィック (世界)	★2,000EB/年 (2015年)	★200EB/年 (2020年)	★160,000EB/年 (2030年)	
■ストレージ量 (世界)		★200EB/年 (2020年)	★20,000EB/年 (2030年)	
■コネクティッドデバイス (世界)		★200EB/年 (2020年)	★500億ユニット～1兆ユニット (2030年)	
■人が使用するデータ (世界)	★1GB/日 (2018年)	2023年まで毎年5%増加		
■マシンが使用するデータ (世界)	★4,000GB/日 (2018年)	2023年まで毎年70%増加		
■データ量 (世界)	★2ZB (2010年)	★175ZB (2025年)		
■データセンタ電力 (世界)	★600TWh (2018年)	★1,200TWh (2028年)		
■ブロックチェーン (オーストラリア)	★金融サービス 節約 (~2022年)	★商品とサービスの世界的な動きと追跡サポート (~2023年)		
	150～200億米ドル/年	2兆米ドル ★市場規模1,750億米ドル/年以上 (~2025年) ★市場規模3兆米ドル/年以上 (~2030年)		

# シナリオ5 配電系統への直流適用

**Use Case 1** 既設交流配電系統/受配電系統の一部直流マイクログリッド化、または、直流オフグリッド化

**Use Case 2** 既設交流送配電系統の直流送配電系統への転換

**Use Case 3** 既設直流鉄道架線の直流配電線活用

## 直流化によるメリット

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 遠隔地立地の再エネから長距離送電する場合、系統安定度の制約なく効率的に大容量送電可能 (Use Case 1、2)</li> <li>(2) 余剰の再エネ電力が出力抑制等で捨てられることなく有効に活用できる (安定度など交流の制約を直流で回避) (Use Case 1、2)</li> <li>(3) 原価償却完了後の再エネ (太陽光発電) を直流リフォーメーションし地産地消等で活用可能になる (Use Case 1、2)</li> <li>(4) 需要側レジリエンス性の向上 (直流マイクログリッド化により、停電時の自立運転が可能になる。(Use Case 1) 交流でも自立運転は可能だが、直流は運転マージンが大きいため停電しにくく、かつ、無瞬停で自立・連系の切替可能)</li> <li>(5) 電力網の設備保守費等の低減 (過疎地域などの直流オフグリッド化により、長大な配電網が不要になる。(Use Case 1) 交流のオフグリッド化</li> </ul> | <p>も可能だが、再エネ電源や蓄電池/EVの活用が想定され、直流の方が親和性が高くロスも少ない)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(6) 都市部集中にともなう更なる電力需要増大への対応として、既存の電力輸送設備を活用して輸送容量を増強 (直流化、流用等) (Use Case 2、3)</li> <li>(7) 交流を直流転用することで輸送電力量を大きくできる。さらに、既存設備の転用なので、新設するよりコスト抑制が可能 (Use Case 2) (ピーク電力が等しい場合、三相交流に比べて、直流は約15%電力が多く輸送できる)</li> <li>(8) BTBなどの直流機器の適用で系統電力の安定性を向上できる (短絡電流抑制、高速潮流制御、等。交流にも直流にも適用可能) (Use Case 2)</li> <li>(9) 駅舎等での再エネ導入と電力融通の拡大 (再エネ/蓄電池/EVとの親和性の高い直流の既存設備活用) (Use Case 3)</li> </ul> |
|---|---|

## 課題

### (技術的課題)

- A システム制御技術 (自律分散型制御、確率型最適化制御、AI応用学習型制御、AC/DC連携制御、自動事故復旧制御、AI応用事故復旧制御等)
- B システム設計技術 (モデリング&シミュレーション、標準モデル、AI応用自動設計等)
- C System of Systems技術 (電熱システム連携、モビリティシステム連携、再エネ水素システム連携等)
- D 安全保護・信頼性技術 (遮断器、保護協調・絶縁協調・地絡保護システム等)
- E DC家電、DC工業製品の開発 (DC機器全般の低コスト化・汎用化技術等)
- F 固体半導体変圧器の開発 (小量プロトシステム、大容量実用化システム、SiC適用システム等)
- G 異メーカーの変換器のインターオペラビリティ (互換性標準化、互換性確認装置等)
- H 時間同期機能 (交流系統で使われている「時間同期」機能の直流での検討、時刻同期精度の検証等)
- I ICT活用 (クラウドEMS、ブロックチェーン電力応用等)
- J 無線活用 (5G、6G電力応用、ワイヤレス給電等)

### (技術以外の課題)

- a 法規制 (系統連系規定、配電規定、電力貯蔵用電池規定など、技術仕様)
- b 標準化 (電圧標準・保護その他)
- c 制度設計 (運用体制、電力融通)
- d 導入支援 (低コスト化、パイロットプロジェクト、普及のための政府補助金)
- e 啓発活動 (直流システム全般)

## 技術ロードマップ

実用化迄のスケジュール	2020	2030	2040	2050
<b>Use Case 1</b> 既設交流配電系統/受配電系統の一部直流マイクログリッド化、または、直流オフグリッド化	研究開発 ◇実証実験	パイロット1 ◇マイクログリッド間連系	パイロット2 ◇パッケージ化	市場化 ◇低コスト化の継続推進
<b>Use Case 2</b> 既設交流送配電系統の直流送配電系統への転換	研究開発 ◇机上検討	パイロット1 ◇試験場での検証 (模擬系統)	パイロット2 ◇実系統での検証	市場化 ◇実機実証をそのまま実活用
<b>Use Case 3</b> 既設直流鉄道架線の直流配電線活用	研究開発 ◇机上検討	パイロット1 ◇隣接駅舎間	パイロット2 ◇駅近隣地域	市場化 ◇システム活用の一般開放

	2020	2030	2040	2050
<b>イノベーション</b> (技術革新要素)	A システム制御技術 ★自律分散型制御	★確率的最適化制御	★AI応用学習型制御	★AI応用事故復旧制御
B システム設計技術	★AI応用予測モデル	★AC/DC協調制御	★自動事故復旧制御	★AI応用自動設計
C System of Systems技術	★電熱システム連携	★超並列シミュレーション設計	★再エネ水素システム連携	
D 安全保護・信頼性技術	★遮断器	★モビリティシステム連携	★再エネ水素システム連携	
E 直流家電、直流工業製品の開発		★保護協調	★絶縁協調、地絡保護 (地絡継電器)	
F 固体半導体変圧器の開発		★低コスト化	★汎用化	
G 異メーカーの変換器のインターオペラビリティ		★小容量プロトシステム	★大容量実機システム	★SiC適用システム
H 時間同期機能	★時刻精度の検証	★互換性標準仕様	★互換性確認装置	
I ICT活用	★クラウド活用 (クラウドEMS)	★ブロックチェーン電力応用 (DC内小規模電力取引)		(★シンギュラリティ (社会変化))
J 無線活用		★5G電力応用 (2005年) (オフグリッド電力計測や、時刻同期)		
		★6G電力応用 (2030年見通し)、ワイヤレス給電 (モビリティ向け)		

<b>アクション</b> (政策・制度など)	■低炭素・脱炭素 ■エネルギー基本計画	★パリ協定 (2015合意、協定期間2020~) ★第5次 (2018)	★温室効果ガス26%削減 (2030日本) ★再エネの主力電源化 (22%~24%) ★既設で100%LED化	★温室効果ガス80%削減 ★脱炭素化
	■電力システム改革 (電気事業法改正)	★新設で100%LED化 ★発電電分離 (2020年)	★アグリゲータ&配電ビジネスのライセンス化 (2025年見通し)	
	■FIT制度	★FIT制度の抜本的見直し (2020)		
	■レジリエンス	住宅用PV卒FIT始まり (2019)★ 停電時間★21分 (2015年)→大規模自然災害頻発で停電時間増加の可能性		
	■水素・燃料電池ロードマップ		★世界最高水準の再エネ水素技術の確立	

<b>ドライバー</b> (社会的変革)	■電力化率 (日本)	★25% (2015年)	→電気への依存度が増大し電力化率向上の可能性	★温室効果ガス80%削減 (2050日本)
	■人口減少 (日本)		★人口11,913万人 (2004年ピークの90%、高齢化率31%)	★人口10,192万人 (ピークの80%、 高齢化率38%)
	■都市化率 (日本)	★68% (2015年)	★73% (2030年)	★81% (2050年)

# シナリオ6 送電系統への直流適用

地球温暖化対策の観点から再生可能エネルギーの導入拡大が進むが、適地が遠隔化したり、洋上であるなどの理由で直流送電の活用が必要。

- Use Case 1** 既存の交流系統と組み合わせ、少ない費用で送電能力・融通能力を向上させる他励式直流送電システム
- Use Case 2** 複数の洋上風力発電所からの多端子送電や、洋上風力と陸上の太陽光発電所から多端子で遠距離の直流送電を行う自励式直流送電システム
- Use Case 3** 国際連系や大砂漠地帯からの大容量送電システムの輸出を視野に入れた超大容量の直流送電システム
- Use Case 4** 連系系統の特性や要求事項と協調をとった他励式と自励式変換所の組合せのハイブリッド直流送電システムの適用
- Use Case 5** 既設交流送電線を直流送電に転換し、環境インパクトを抑えつつ送電容量の増大を実現
- Use Case 6** 送電損失の低減を実現する超電導ケーブルによる直流送電システム

## 直流化によるメリット

- (1) 遠距離送電では限界送電容量が大きく、送電ロスが低減できる (Use Case 1、5)
- (2) 特にケーブル系統では充電電流の影響がなくなるので数十km以上で効果大
- (3) 遠距離送電では導体数が少ない直流送電が経済面でも環境面でも有利 (Use Case 1、5)
- (4) 交流のような系統安定度の制約がなく、長距離大容量送電が可能
- (5) 連系する交流系統の短絡容量を増やさない
- (6) 50/60Hz間の周波数変換や、非同期連系が実現できる  
→広域連系により市場を活性化できる。緊急融通量が増え、レジリエンス向上に貢献できる
- (7) 自励式変換器の適用により、同期発電機のない自立系統での運転が可能 (Use Case 2)  
→洋上風力発電所や遠隔地立地の太陽光発電所からの送電に適する
- (8) 世界的規模での連系により、供給力や需要ピークの時差などを準準化可能 (Use Case 3)  
→再生エネルギーの導入を促進できる
- (9) 強力な制御機能を系統の安定度向上、信頼度向上、電力品質向上に活用可  
・高速な潮流制御が可能で、AFCなどの系統安定化機能を付加しやすい  
・国際連系、系統連系間の融通電力の制御が極めて容易  
・周波数低下時などの緊急電力応援、災害時の系統相互融通など実装  
・自励式変換器の適用で、系統電圧の制御が可能 (再生エネルギー対策)
- (10) 交流2回線のうち1回線を直流化することで、建設コストを抑えて送電容量の増加が可能 (Use Case 5)

## 技術ロードマップ

実用化迄のスケジュール	2020	2030	2040	2050
<b>Use Case 1</b> 他励式直流送電 (3GW、500kV級)	市場化			
<b>Use Case 2-1</b> 自励式直流送電 (洋上WF、PV)	研究開発	パイロット ◇実証実験	市場化	導入拡大
<b>Use Case 2-2</b> 自励式直流送電 (多端子)	研究開発	パイロット ◇実証実験	市場化 ◇一部導入	導入拡大
<b>Use Case 3</b> 自励式直流送電 (6GW、1,000kV級)	研究開発	パイロット ◇実証実験	市場化 ◇一部導入	導入拡大
<b>Use Case 4</b> ハイブリッド直流送電システム	パイロット (中国プラント)	市場化 ◇一部導入		
<b>Use Case 5</b> 交流送電から直流送電への転換	研究開発	パイロット ◇実証実験	市場化 ◇一部導入	導入拡大

	2020	2030	2040	2050
<b>イノベーション</b> (技術革新要素)	<b>A 交直変換器、変電機器</b> ◆高耐圧低損失素子 (SiC など) ◆変換器制御 (再生エネルギー向け、運転継続) ◆大容量 MMC (500kV 級) <b>B 制御保護・系統運用</b> ◆多端子適用制御保護システム ◆直流・交流系統強調制御等 ◆需給調整、安定化 ◆制御・保護システム <b>C 直流遮断器</b> ◆遮断器 (250kV 級) ◆遮断器 (500kV 級) <b>D ケーブル、架空線</b> ◆ケーブル高電圧化 <b>E 超電導</b> ◆超電導ケーブル応用 (100MW 級、1GW 級、10GW 級) <b>F 系統計画・その他</b> ◆システム構築	★再生エネルギー向け、運転継続 ★初号器 (≦3GW) ★開発・試験 ★再エネルギー導入の拡大に応じた、需給バランス・安定化制御 ★ハイブリッド送電制御、事故時の切替方法 ★交流/直流並列送電制御、事故時の切替方法 ★開発・製品化 ★開発・製品化 ★ケーブル評価方法の検討 (~800kV) ★大規模太陽光+HVDC (100MW 級) ★経済的なシステム構築手法の確立	★フルブリッジ方式の実用化、SiC 素子の実用化 ★開発・プロトタイプ ★多端子 (3~4 端子) ★試験運用 ★小規模多端子 ★高速制御保護技術開発 (3~4 端子) (高速事故判定、端子間協調、系統協調) ★再エネルギー導入の拡大に応じた、需給バランス・安定化制御 ★試験運用 ★試験運用 ★大規模再生エネルギー+HVDC (1GW 級)	★実設備適用 (小容量⇒大容量) (★6 端子程度) (★直流メッシュ状グリッド) ★実設備適用 (大規模設備 > 3GW) ★中規模⇒大規模多端子適用 ★端子数増加に伴い、処理量やデータ量の増加に対応 (制御保護階層システム、制御保護装置のコンポーネント及び高速通信システムも要開発) ★同期化力低下問題対策 ★送電損失最小化や事故時の信頼度向上 ★実設備適用 ★実設備適用 ★国際連系 (10GW 級)

<b>アクション</b> (政策・制度など)	2020	2030	2040	2050
■低炭素・脱炭素 ■エネルギー基本計画 ■電力システム改革 (電気事業法改正) ■FIT 制度 ■レジリエンス ■水素・燃料電池ロードマップ	★パリ協定 (2015 合意、協定期間 2020~) ★第5次 (2018) ★新設で 100%LED 化 ★発送電分離 (2020 年)★アグリゲータ&配電ビジネスのライセンス化 (2025 年頃見通し) 住宅用 PV 卒 FIT 始まり (2019)★ 停電時間★21 分 (2015 年)→大規模自然災害頻発で停電時間増加の可能性	★温室効果ガス 26% 削減 (2030 日本) ★再生エネルギーの主力電源化 (22%~24%) ★既設で 100%LED 化 ★世界最高水準の再生エネルギー技術の確立	★温室効果ガス 80% 削減 ★脱炭素化	

<b>ドライバー</b> (社会的変革)	2020	2030	2040	2050
■人口減少 (日本) ■洋上風力の普及拡大 ■系統のレジリエンス強化 ■基幹系統の広域的運用拡大 ■エネルギー貯蔵の普及 ■ICT 応用 (DR、VPP) ■再生エネルギー+HVDC 普及政策 ■交直一体の基幹系統運用ルール ■海洋利用のさらなる促進策	★北本: 90 万 kW ★FC: 210 万 kW ★海峽横断、周波数変換所への直流適用 ★再生エネルギー変動抑制 ★VPP 実証 ★改正 FIT 法、卒 FIT、新: 系統利用ルール ★直流適用箇所の個別対応 ★海洋再生エネルギー促進法案	★二端子連系 ★120 万 kW ★300 万 kW ★電源地域⇒需要中心への直流適用拡大 ★需給調整 (従) ★容量市場: 需給調整市場での活用→利用拡大 ★改正 FIT 法、卒 FIT、新: 系統利用ルール ★広域連系系統での適用に伴う運用ルール	★人口 11,522 万人 (2004 年ピークの 90%、高齢化率 32%) ★多端子直流による連系 ★既設 (北本、FC、阿南紀北) リプレイスにあわせた自励式化 ★需給調整 (主) ★多端子ネットワーク化に伴う運用ルール	★9,515 万人 ★電源地域の直流ネットワーク化 ★多端子連系化

## 課題

### (技術的課題)

- A 交直変換器、変電機器**
  - ・交直変換器をはじめ構成要素の大容量化、低コスト化、低損失化
  - ・上記+多端子化のための素子性能向上、回路構成の革新  
例: 大容量 SiC 素子などの実用化、大容量 MMC 変換器の実用化  
フルブリッジや混合ブリッジによる事故電流遮断機能
  - ・半導体は交流機器に比べて熱時定数が小さく過負荷耐量が小さい  
このため、運用にはシステム各コンポーネントの耐量の協調が不可欠となる
- B 制御保護・系統運用**
  - ・交流系統と直流系統との保護・制御協調
  - ・交流系事故時の運転継続機能確立と要求事項のルール作り
  - ・多端子構成のための超高速保護システムの実用化
  - ・多端子の安定運転のための電圧制御、端子間協調制御
- C 直流遮断器**
  - ・多端子実現のためには事故区間切り離しのため直流遮断器の実用化が必須
  - ・自励式変換器による架空送電では、事故電流の遮断 (直流 CB 他) が必要
- D ケーブル、架空線**
  - ・高圧直流ケーブルの評価方法確立 (極性反転時の劣

- 化評価など、800kV 化)
- ・異メーカーケーブルの接続技術確立 (特に洋上 WF の PF 用分岐ジョイント)
- ・架空送電線建設時の用地確保困難に対する既設交流送電線の直流転用
- ・変動電源向けダイナミックレギュレーションの適用によるケーブルの大幅なコストダウン
- E 超電導・その他**
  - ・低損失送電のための超電導ケーブルや、大容量エネルギー貯蔵の実用化
  - ・太陽光発電所などから、交流への変換なしで直接直流で昇圧し大電流で送電するシステムのシステム技術および制御保護技術
- F 系統計画・その他**
  - ・系統計画における直流適用の考え方 (再生エネルギーの地域偏在化への対応)
  - ・直流設備の高経年化に伴う設備更新 (高効率化・自励式化)

### (技術以外の課題)

- a** 再生エネルギーと直流の推進は、経済原理だけでは難しいという  
えに、直流送電は人的資源や工場の生産・試験設備もある程度必要。(他の用途と共用が難しい) 政策的に長期的な導入目標を示し、担保することが必要
- b** 国際連系・多国内連系時のルートなどの合意が必要

## 5 まとめと今後の課題・展望

### 5.1 まとめ

脱炭素により地球温暖化を防止し、持続可能な社会を実現するためには、偏在する地域資源を最大限活用しながら自立・分散型の社会を形成しつつ、それぞれの地域の特性に応じて、再生可能エネルギーを最大限・効率的に活用することが求められている。持続可能な社会を実現するため、大きな役割が期待されている電気の利用に際しては、エネルギーの発生、輸送、利用の各段階で、交流および直流という2つの形態が存在している。その中で、直流は電気エネルギーを貯えられる蓄電池との親和性が高く、また長距離の電力輸送において交流に比べ効率が高等の特長を持っている。こうした特長を交流システムの補完という役割に留まらず、更に積極的な利活用をしたいという強い社会的要請が出始めている。この社会的要請に応えるべく、広範な産業分野を対象とし、かつグローバルな視点で、文献調査や現地調査を実施し、直流の利活用の現状把握と分析を行い、それらをベースに、利活用促進に向けて必要となる技術の体系化マップ（技術マップ）、および時系列でその展開を具体的に提示する技術ロードマップを取り纏めたものが本報告書である。以下に各項目の総括を示し、最後に今後の課題および展望を記述している。

#### (1) 文献等調査

本調査研究では、学識経験者等からの意見や文献等調査で得られた知見等に基づき、直流に関するキーワードを抽出し、それらのキーワードをもとに直流に関連する国内外の可能な限り広い分野における文献や資料等、1095件を収集・データベース化し、技術動向を整理した。直流システムの実施事例等については、重要と思われる事例を中心にレビューし、かつ、ヨーロッパ、韓国及び米国においてヒアリング等調査を実施し、最新の技術や政策の動向を補完することで分析の精度を高めた。

その結果、近年、世界各国で、太陽光発電や風力発電などのエネルギー（創エネ）を直流のまま、無駄なく、効率的に活用する事例が増えていることが分かった。特に、風力発電に適した風況の良い立地は、負荷需要の多い都市部から遠く離れた洋上や平原・丘陵地帯にあることが多く、風力発電の出力を非同期となる直流にて集約・集電し、長距離の電力輸送を直流送電で行う事例が増えている。

負荷消費においては、P型とN型の2種類の半導体を接合したLED（Light Emitting Diode）照明が直流利用の代表例であり、その省エネ性能ゆえに、建物等におけるLED照明の導入が、近年、飛躍的に増加している。直流電流の通電により直接光に変化させるという発光原理により、電気が効率的に光へ変わるため、LEDは従来の照明器具よりも、消費電力を大幅に削減している。LED照明のみならず、ICT機器、AV機器、また多くの家庭用電気製品等においても機器内部の半導体変換により直流を利用、もしくは直流を消費しているものが、多数となりつつある。

また、これらに加えて、太陽光発電や風力発電などの出力変動抑制と自然災害に起因する停電等事故のバックアップ・レジリエンス性向上の目的で、蓄電池の導入や電気自動車などの蓄エネ設備の利活用事例が増えている。

このように、創エネ～蓄エネ～負荷消費に至るまで、あらゆる場面で、直流の利活用が

進み、住宅・商用ビル・工場等のみならず、自動車、鉄道、航空機、船舶など交通・輸送機分野を巻き込み、世界各国で更なるエネルギーシステムの効率向上に資する導入事例が年々拡大していることが分かった。これらの利活用事例を元にシステムで大別した直流の主な特徴は以下のとおりである。

1. 送電システム (HVDC) では、交流よりもピーク値電圧が低いことから絶縁が容易であり、また、誘電損失が発生しないため、長距離送電（特に海底ケーブル）などでは直流送電が選択されている。
2. 配電・給電システム (MVDC, LVDC) では、分散型電源である再生可能エネルギー発電の主力電源化、直流負荷・機器の普及拡大 (LED, スマートホン, PC, EV等), 防災対応, レジリエンス強化の必要性, 直流利活用の国際的な関心の高まりなどが背景としてあり、これらを組み合わせて使用する場合にトータルでの効率が交流給電より高くなり、直流給電方式の長所が活かされる領域となりうる。

## (2) 技術マップ（直流利活用に必要となる技術の体系図）

上述の文献等調査と後述の技術ロードマップ作成の過程から直流利活用に必要となる技術の体系図を整理し、表形式でまとめた。

直流の利活用から見た技術的課題は、安全性と信頼性の維持のための直流大電流の高速遮断技術、地絡の検出方式、感電や電食防止対策、また、システム設計や運用に係る交流・直流の連系技術や制御手法類、及び、システムや設備の運用・管理に際しての更なる高度化・効率化のためのICT活用など、多岐に渡る。

また、技術以外の課題として、法規で規定された直流電圧区分の国際規格との整合や、使用電圧・電流・施工方法・教育・啓発に至るまでの要因を抽出しこれら課題の解決が見込まれる。

前項の調査によって明らかなように、直流の利活用に関する検討は、エネルギーを必要とする、あらゆる分野において進められている。

これらを踏まえ、技術開発に必要なイノベーションや関連する政策・制度などのアクションとも連動させ、各分野における直流利活用の市場導入時期を想定したロードマップ作成に反映させることとした。

## (3) 技術ロードマップ

直流の持つメリットは、直流を展開する分野において、それらが受益されるまでの過程や時期に差異が出る。このことから、直流利活用を整理する検討ステージを設定して利活用のアプリケーションをステージ上で整理した後、それらを包括するような6つのシナリオを想定した。そして、各々のシナリオ毎に具体的事例 (Use Case) を示しながら2050年までのロードマップを作成した。その際、技術的な進展を配慮しつつ、直流のメリットや上述の技術課題や社会的動向や政策など必要とされるアクションも含めて整理した。

各シナリオとロードマップから想定される直流の利活用は以下の通りとなった。

### ● シナリオ1：新規開発地域（未電化含む）

送配電系統が未整備（もしくは脆弱）で新しく安定した電力供給が必要な場合、住宅は太陽光発電と蓄電池を組み合わせたシステムを基本的な構成とし、負荷として直流家電

を利用する直流グリッドを形成することで、発電から消費を家単位まとめるような自家消費型の運用が考えられる。そして、近隣と徐々に繋がりながら少しずつ直流グリッドの規模は拡大していくであろう。

● シナリオ2：住宅等

エネルギー消費ゼロの住宅（ZEH）の実現に向けた取組の一環としての直流利活用が考えられる。創エネとしての太陽光発電、蓄エネとしての蓄電池やEVなど、負荷機器としてのモバイルバッテリー機器やテレビなどの直流利用に適した住宅用家庭電気の導入・普及により、省エネ化が進むだろう。また、直流機器とICTを組合せた利活用により、暮らしが豊かになっていくと思われる。

● シナリオ3：EV等モビリティ

EVやFCVの充電器を双方向潮流に対応させることで、電力融通対応やレジリエンス・防災対応が可能となるだろう。また、鉄道施設では直流化により回生エネルギーの有効利用による設備コスト低減も考えられ、船舶及び航空機などでも電動化が進められるだろう。

また、FCVなどの普及に伴い水素と電気の連携によるエネルギーの有効利用も見込める。

● シナリオ4：商用/ビル/工場等

RE100に参画する企業・団体が増える中で、商用ビルや工場は直流機器が多いことにより、省エネ化を見込んだ直流化へ進むことが考えられる。また、直流化した建物が増加してくるとレジリエンス強化や効率化の観点から、隣接した建物と電力融通が可能な直流グリッドが既存配電系統と併用して徐々に形成され、街単位直流グリッドなど広域へ発展する可能性がある。

● シナリオ5：配電系統

人口減少と過疎化が進行すると、配電距離が長く分岐の少ない散村地域にて直流利用が考慮される。また、送配電容量の増強において新規建設が困難な場合などで既存設備を利活用し、一部を交流から直流への置き換えた増強方法も考えられる。

● シナリオ6：送電系統

再生可能エネルギーの利用拡大に伴い、長距離かつ大電力の送電方法として低損失な直流送電は活用機会が更に増えるだろう。また、それらを多端子化、グリッド化することで電力潮流制御をより柔軟に行い、供給安定性や信頼性の向上を目指すことも考えられる。

これらの基本的なベースとなるのは、やはり脱炭素化社会の実現に向けた取組である。太陽光、風力などの再エネや省エネなどに対する国内外の動向により、このロードマップの実用化スケジュールが大きく変わることが考えられることから、定期的な見直しを図るべきである。

## 5. 2 今後の課題・展望

### (1) 文献等の継続的な収集解析

直流関連技術に関する国内外の多くの文献や事例を調べた結果、電気事業者による

LVDC 配電の検討事例や MVDC 送電の直流置換への実証、また、大学キャンパスを用いた多端子直流配電実証など、国外が先行している事例が幾つか確認できた。今回の調査結果から、この分野における技術等の進歩は日進月歩であり、特に海外においては、その傾向が著しいことから、タイムリーな状況把握のために、調査研究を継続させることが必要である。

## **(2) 技術ロードマップの定期的な見直し**

直流の利活用に関する技術ロードマップは、30年後の2050年を見据えて作成したが、近年の技術進歩は目覚ましいものがあり、国内はもとより、国外のエネルギー事情、或いは社会情勢等の変化の大きな変化にも影響される。

したがって、今回提案した技術ロードマップについては、取巻く環境の変化等を反映するため、定期的な見直しが必要となる。

## **(3) 既存交流施設を直流施設へ変換するに際しての評価**

既存交流施設を直流施設に変換する場合においては、直流施設及び既存交流施設の双方について比較評価することが重要である。

なお、評価に当たっては、交流施設及び直流施設の双方のライフサイクルに亘る評価を行い、変換の手順や範囲の最適化を図る必要がある。

## **(4) 我が国の取り組みの提案**

1. 海外では、直流の利活用に関する研究開発を進めており、近々に直流の標準電圧やコンセント・プラグ、電線等の住宅、商用ビル、産業用途等に至るまで、適用する基準・規格作りが世界レベルで進められている。日本もこれに乗り遅れることなく、国内で培った知見やノウハウをベースに、IEC へ積極的に参加して主導する等、国家的なステージでの活動を進めていく必要がある。
2. 上記の一環として、この分野における国際規格を積極的かつ主体的に提案していくことは国際戦略的に必要不可欠である。ただし、応用範囲や状況を見据え、適宜、二国間、若しくは、多国間連携するような柔軟性も必要である。
3. 標準化提案等に当たっては、適当な規模の直流設備を設定し、国内の産学官が協力して、研究開発および実証事業等を行う必要がある。今後の市場創造のため、本分野の取組が一層重要となる。研究開発や実証事業に際しては、システムやハードウェアにとどまらず、事業のプロセスを見据え、設計や維持管理、保全、また設備更改やリサイクルに至るまで、必要とされる業務支援ツールやアプリケーションについての開発が望まれる。また、本分野を世界的に牽引するエキスパートの人材育成についても急務である。
4. 上記のような調査、および研究開発などの活動については、維持・継続させ、情報や知見・ノウハウを集約・蓄積するための組織（活動母体）、もしくはコア拠点の設立が必要である。

#### **(5) 国内での直流利活用に関する周知・啓発**

国内では、一部の施設における直流の利活用が進んでいるが、「エネルギー基本計画」においても直流の利活用による電力の効率的利用が掲げられていないなど、直流の利用によるメリットが国民の間に共有されていない状況であることから、直流の利活用のメリットを広く周知することも大切である。

契約管理番号：19102261-0