

直流給電の歴史と国際標準化の動向

History of DC Power Supply Systems and Trends in International Standardization

廣瀬圭一*

1. はじめに

近年、電気の使われ方において、標準的な交流 (alternating current : AC) に加え、直流 (Direct Current : DC) が注目されている。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や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、および直流を消費する情報通信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家電器具・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(消)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利用が可能になる。

本特集の趣旨を鑑み、理解を深めるためにも、直流の技術や事業に関わる歴史的背景を知ることは重要である。そのため、第2章にて直流に関する歴史を整理した後、第3章で電気電子分野の主要な国際規格である国際電気標準会議 (IEC : International Electrotechnical Commission) の活動経緯と状況を紹介する。

なお、本稿では、対象となる低圧直流「IECで低圧と定義されている DC1500V 以下 (LVDC : Low-Voltage Direct Current)」を中心に述べることとするが、一部の応用や実証については、低圧を超える数 kV 程度の事例 (MVDC : Medium-Voltage Direct Current) もある。

また、洋上風力発電に代表されるような大容量電力を概ね数 100kV 以上の高圧直流 (HVDC : High-Voltage Direct Current) により長距離送電する方式も欧米や中国等で多くの導入実績があり、国内への導入拡大が期待されているが、負荷利用を含めた

システムの運用形態が、LVDC 分野と異なるため、本稿の主題には含めていない。

2. 直流技術の歴史

2.1 エジソンによる直流事業の開始

1882年9月、トーマス・エジソンは、ガス照明ユーティリティと競合する「直流配電 (DC110V) による電灯照明」を設計・導入し、顧客のビジネスや家庭における新たなシステムによる市場を確立し、電気事業を始めたことで広く知られている。エジソンが、発電機や配電システム、ヒューズなどの保護、白熱電灯や家電機器、また直流用の計量器まで、電気事業に必要なシステム全体を開発し、導入したという点を特に注目すべきであろう。現代で言う、創エネ、蓄エネ、省(消)エネの全体統合である。当時から、昼夜の平準化や需給バランス維持、かつ発電機故障時のバックアップ用途も兼ね、蓄電池が発電装置に並列に接続、運用されていた。

直流システムの主要な負荷となった白熱電球には、融点および抵抗率の高い長寿命のフィラメントが必要であり、エジソンもその材料を探していた。1885年、エジソンが友人の William Moore 氏に宛てた手紙に、日本への旅行中、京都の八幡で白熱電球の炭素フィラメント材料に竹が適していることを綴っており、エジソンと日本、そして直流とを結びつける一面は興味深い。

白熱電球以外に、直流モーターも負荷の一つであり、米国サンフランシスコ市内には建物用のエレベータ駆動源として現在も稼働中の設備もある (電気事業者が供給した交流を直流に整流し利用している)⁽¹⁾。

米国ワシントン DC にあるスミソニアン博物館群

* 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) スマートコミュニティ部

の一つである国立アメリカ歴史博物館では、歴史的な産業遺産を展示するコーナーがあり、エジソン時代の直流事業に用いられた設備、機器の実物を見学することが可能である。(図1, 図2参照)

電気事業については、我が国の普及も早く、わずか5年遅れの1887年11月に東京・第二電灯局(南茅場町)で直流(DC210V, + / - 110Vの3線式)による電灯が点灯している。また、北欧でも1970年代後半まで直流配電方式が継続されていた事実がある⁽²⁾。参考のため、関連する技術開発と事業の動向を表1に示す。エジソンによる直流事業自体は世界初ではないが、発電～負荷消費までの全体をシステムとして事業化し、本格的にビジネスを成立させたということには、改めて注目に値する。

なお、エジソンが導入した米国NYの直流供給サービスは1882年の事業開始から125年に渡って継続され、2007年に幕を閉じることになった⁽³⁾。

エジソンの直流システムの主な欠点は、発電から最終需要地まで低圧DC110Vで配電されるため、

比較的短い範囲に供給エリアが限定されてしまうことであった。高価な銅導体のサイズを抑えるために、発電所を中央(需要の集中する都市中心部)に配置する必要があり、発電所から半径1マイル未満の顧客にしか供給できなかった。

当時は、電圧を変換することが困難だったため、長距離の配電が難しいという欠点があった、そこで登場したのがエジソン電灯で働いていたセルビア人、ニコラ・テスラが発明した、交流配電システムであり、多相交流による回転磁界、誘導電動機の原理や、多相交流による電力系統(発電, 送電, 配電)が考案された。その後、1893年に、シカゴでの世界博覧会でのデモンストレーションが大成功し、ウェスティングハウスとテスラがナイアガラの水力発電所を建設するきっかけになり、交流送配電システムが全世界に普及することになった。

2.2 トランジスタの発明, 直流方式の弱点克服

1947年、米国のベル研究所のバーディーン、ブラッテン、ショックレーにより、トランジスタが発明された。当初は、電話交換機の電磁継電器の代替



図1 国立アメリカ歴史博物館 電気事業の歴史展示 (2018年1月17日 著者撮影)

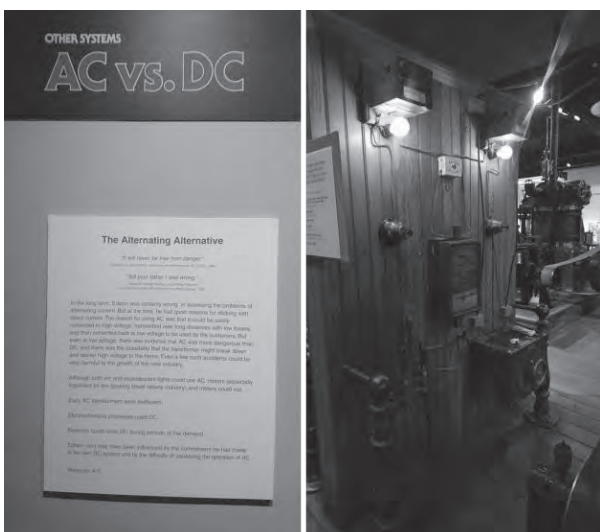


図2 当時の直流配電関連装置・器具の展示物 (2018年1月17日 著者撮影)

表1 電気事業および関連する主な出来事

年	出来事
1879	米国 サンフランシスコ 中央発電方式によるアーク灯への電灯照明事業開始, Charles Francis Brush
1880	米国 NYブロードウェーでも Edison よりも2年前にアーク灯での照明事業を開始
1981	ドイツ ベルリン 初の直流電気トラム(市電)運転
1881	英国 Godaming, 初の公衆向け(街灯, 住宅向け)電気事業開始, 水力発電によるアーク灯供給(AC250Vと40Vの二方式)
1882	ドイツ Miesbach ~ Munich間の57kmで直流2kV(1.4kV)送電実施, Oskar von Miller and Marcel Deprez
1882	英国 London, Holborn Vaiduct 中央発電(蒸気機関)方式による白熱電灯事業(実証3か月)
1882	米国 NY, パールストリート 直流電気事業開始, Edison
1887	11月 東京電灯 直流電力供給の営業開始
2007	11月 米国 NY, 電力会社による直流供給サービスの終了(事業開始から125年後) ⁽³⁾

えとしてトランジスタの開発が進んだが、その後、電気電子、半導体、および制御の技術を統合し、電力システム・機器に利用可能なパワーエレクトロニクス（半導体電力変換技術）として発展し、現代の直流利用拡大の基礎となった。エジソンが米国ニューヨークにて電気事業を開始した直流方式についても、パワーエレクトロニクスは、その弱点を見事に克服した。再生可能エネルギーや蓄電池との統合・連系、また直流負荷を含めたトータルなマネジメントのしやすさなど、直流の有効利用が可能な時代の到来をパワーエレクトロニクスが切り開いた。

なお実用的なシリコン太陽電池セルも1954年ベル研究所のピアソン、フラー、シャピンによって発明された。ベル研究所は、電信電話事業の実用化向けの研究開発組織であったが、必要は発明の母といわれるとおり、当時の事業の背景や課題から、研究開発のための明確なニーズがあったこともあり、今日の我々の生活や事業に役立つ様々な発明や成果を生み出し、世の中に多大なる貢献をしている⁽⁴⁾。

3. 直流に関する国際標準化活動の状況

世の中の標準化については、実質的に業界標準となっているデファクト標準と、標準化団体などが策定したデジュール標準の2つがある。本章は電気・電子分野の国際標準化団体であるIECの低圧直流(LVDC)分野の標準化の活動経緯や内容を中心に解説する。

3.1 直流方式普及のための国際標準化

情報通信技術 (ICT) 分野のエネルギー、特に電力消費量は年々拡大しており、2015年時点で全電力消費の4%、CO₂排出量の2%に相当すると推定されている⁽⁵⁾。更に今後も電力消費量は、便利なPCやスマートホン等の端末機器の拡大やIoT時代のデジタルデータの伸びに比例し、増加すると予測されている。

2000年、スウェーデンの電気技師であるJ. Akerlundは、半導体電力変換回路により構成されたICT機器や一般家庭用電気機器の内部に注目し、交流から直流へ整流するためのダイオードブリッジを介した電源部にそのまま直流(350 Vdc)が適用でき、既存機器を無改造、若しくは最小の改造で交流直流併用を可とするユニバーサルな運用を提案した⁽⁶⁾。2005年頃から本格的に議論が始まった直流電圧の国際標準化にも影響を与えた基本的な考えであり、その後スウェーデン国内の報告書⁽⁷⁾や通信

ビル内の通信装置入力に適用する整流した直流、交流電源若しくは直流電源に関する規格であるETSI (European Telecommunications Standards Institute) EN 300 132-3⁽⁸⁾の発行の基礎となった。

ICT業界以外でも、米国においては、省エネを促進し脱炭素社会の実現や環境問題への対処、また、負荷機器がデジタル化された未来に向けた提言の必要性などの背景により、直流方式推進の機運が2000年以降高まっていた。

米国電力研究所 (EPRI: Electric Power Research Institute) らが主催し、2006年6月ワシントンDCにて初回となるDC Power Production, Delivery and Use Workshop⁽⁹⁾が開催され、欧米及び日本の参加者により直流方式の検討状況が共有された。直流が適用されるべき分野・応用については

表3 EPRI DC Power Workshop 参加者が選んだ優先課題
2006年6月1日～2日、米国ワシントンDC

優先分野	内容
1 規格・標準化	グローバルな電圧規定 (公称, 階級他)
2 保護・安全	DC400V用ブレーカ
3 コネクタ	直流用コンセント・コネクタ
4 経験, 実績	運用実績, ノウハウ蓄積, 直流対応家電
5 経済性	コスト分析, 費用対効果, 投資回収年数など
その他	回路構成の検討, 規格推進・PR活動

表4 電気学会調査専門委員会メンバーによる優先課題の抽出
平成20年11月27日電設健保会館

優先分野	内容
1 規格・標準化	統一規格, 電圧標準化, 制度設計, 配電電圧確定
2 保護・安全	直流開閉/遮断器, 遮断素子, 絶縁対策, 保護協調, 系統連系
3 経験, 実績	負荷機器の直流対応, 応用機器の普及, 直流家電の充実
4 経済性	コストメリット, 新設の時便益性
その他	コンバータ, SiC素子, 貯蔵システム, 普及・啓蒙活動,

ICT 以外にも多岐に渡るが、参加者全員の「取り組むべき課題に関する議論」の総意は、早期の直流電圧に関する国際標準の確立であった。（表3参照）

その2年後、日本国内においても同様の議論が行われた。電気学会 次世代電力システムにおける直流給配電調査専門委員会メンバーによる議論が平成20年11月27日に実施された。EPRIと電気学会での議論の結果を表3および表4に示す。日米の専門家による議論の結果は類似しており、直流利用の普及拡大のためには、国際標準や規格類を開発し、早期に発効することの優先順位の高さが確認された。

3.2 IEC による活動の始動

LVDC をより汎用的に活用しようという流れは、過去に多数あったが、近年具体化・具現化・活発化してきたのは、前述した通り IT ブーム、情報通信関連の消費電力増大に伴い必要とされた省エネや効率向上のニーズがトリガになった。

日本、米国、および欧州ではほぼ同時期に直流化の検討が進んだが、特に積極的であり、実質リーダーとして標準化を牽引していたのがスウェーデンである。国際会議を通して、スウェーデンの直流分野の国際標準化を含めた諸活動の先進性をキャッチしていた為、著者は LVDC 分野の国際標準化の調査のため、2006年10月 SEK（スウェーデン電気規格協会）へ訪問ヒアリングを実施している。

このヒアリングでは、

- ・2006年11月 DC コンセントのドラフトを CELENEC に送付、2007年より欧州エリアにて審議を開始、その後 IEC へ展開を予定
- ・DC コンセントの他、直流電源装置、施工方法、保護方法など、直流給電システムに必要な全体を包括した各種規格の制定も視野に入れ、活動を計画
- ・最終的に必要とされる規格が整うまで5～6年ほどの期間を必要とすると想定
- ・フランス、ドイツ、イタリア、英国、スペインなど主要国の合意を得られる公算が大と見込んでいる
- ・日本、JIS など関係団体との連携を歓迎する等

を確認している。

また、その翌年となる2007年2月に、NEDO「次世代高効率エネルギー利用型住宅システム技術開発・実証事業」における、将来の省エネルギー効果の可能性に関する調査⁽¹⁰⁾のため、SEKに再度訪問

している。このときは、前回の訪問以降の国際標準化の活動状況の他、DC 関連規格の国際標準化が、約15年間、検討が止まっていることの懸念も示された。その原因は、安全面での要求と AC が普及した既存の市場とのコンフリクトが考えられること、DC 関連規格の国際標準化のためには、経済政策などの推進が必要との情報・意見を頂いた。

また、スウェーデン以外にも、ニュージーランドや南アフリカが DC 関連規格の標準化に取り組んでいるとの情報や、本分野の CELENEC（欧州電気標準化会議）内の反響についての感触についての情報共有を得ている。

このように、かなり先進的であり欧州をリードしていた SENC（スウェーデン国家委員会）から2009年に IEC に対して LVDC を議論するための SG（Strategic Group）⁴ の設立提案がなされた。以下は、SENC による初回会議の案内文書の一部である。

“In accordance with SMB* Decision 135/15, the SMB established a new SG 4 on LVDC Distribution Systems up to 1500 V DC in relation to energy efficiency under the convenorship of Sweden. The objective is to have a global systematic approach and to align and coordinate activities in many areas where LVDC is used such as green data centers, commercial buildings, electricity storage for all mobile products (with batteries), EVs etc.”

*：SMB（Standardization Management Board）、標準管理評議会

上記文書では、幅広い市場分野を対象とするようにも思えるが、SENC が最優先課題とした範囲は、前述のとおりデータセンターや ICT 分野の直流国際標準である。

上記の提案が IEC 内で承認され、2009年12月にスウェーデンの SEK にて初回となる SG4 会議が開催された。SG4 の活動は、初回会議から、1回のワークショップ開催（2012年9月ドイツ・ドレスデン）を含め、2014年4月のミラノでの会議まで合計11回の会議、イベントを設けた。しかしながら、各国委員の参加者毎にバックグラウンドや本分野への思いが異なり、温度差があることや、SENC が示唆したデータセンター分野であるが、その分野を専門とする委員が限られており情報が少なかったこともあり、議論の進展は芳しくなかった。

SG4 での議論と平行して、SENC は CELENEC

へも提案し、欧州内の活動をスタートさせている。この活動を IEC へ拡大することが承認され、IEC TC23（電気用品）でも直流用コンセント標準化開発のため WG8 の活動が 2009 年 2 月にフランスのパリを初回とする会議によりスタートした。SENC は、当初から LVDC 関連の国際標準発行のため、電気システム全体の体系的な規格化の概念を持っており、TC23 以外の電気製品や器具に関連する TC/SC、および電気安全や施工に重要な TC64（電気設備及び感電保護）など、複数の活動開始を推進しようとしていた。これらの推進活動から TC64 でもアドホックグループ設立の了承が得られ、TC23 に続けて、LVDC 分野の IEC 標準化開発の作業が始まった。

その後、SG 4 メンバー内における議論を受け、新たに SEG (Standardization Evaluation Groups) の設置が要望され、同時に、ドイツ国家委員会から Direct Current Applications に関する SEG 設置提案も提出された。その後 IEC 内部で検討され、SEG 4 (Low Voltage Direct Current Applications, Distribution and Safety for use in Developed and Developing Economies) が 2014 年 11 月 SMB 決議により設立された。

SG4 の活動を継続発展させ、SEG4 は 2015 年 1 月～2017 年 5 月まで合計 8 回の会合を持ち、直流分野の標準化の実態や必要性の議論により市場に関する IEC 白書を発行した。また、恒久組織としての SyC (System Committee) 設立を SMB へ答申した。SG4 から SEG4 へ移行した際のポイントは以下の 2 点である。

- ・LVDC に消極的であった欧州勢のうち、ドイツが積極側に回り、ICT やデータセンターに特化せず産業・商用全般に対象を拡張すべく、直流市場の拡大のため、標準化推進側に対応を変えたこと。
- ・インドやアフリカ諸国等の発展途上国が参画し、従来の先進国向けアプリケーション以外に、未電化地域の直流利用という新たなスコープが提案され、議長もインド出身者が就任したこと。

SEG4 での議論を経て、LVDC に関する 3 つ目のグループとなる SyC (SyC Low Voltage Direct Current and Low Voltage Direct Current for Electricity Access) の設置が承認された (2017 年 2 月 SMB 決議)。2017 年 5 月、SEG4 を発展的解消させ、同時に SyC LVDC の初回となる会議が、ケニア・ナイロビにて開かれた。

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 SG4、SEG4 の流れを継承しつつ、2017 年 5 月に第 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ー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。SyC LVDC は、国際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 つのエリアに分けて年 3 回のペースで議論を進めている。

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 (AhG1)、直流データセンターと工業用製造ライン向け直流配電 (AhG2)、および直流配電の基本事項 (AhG3) 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 (2019 年 5 月時点)。

また、TC 8 (電力供給に関わるシステムアスペクト) 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 (合同ワーキンググループ) を承認し、LVDC 分野の IEC 標準発行のため具体的な活動も進展させている。

国内審議団体は一般社団法人電気設備学会が務めており、IEC SyC LVDC の設立に合わせ、国内委員会を立上げ、SyC LVDC のミラー委員会として、国内業界・学会の意見を適切に反映させるべく、活動を精力的に推進している。

3.3 IEC による直流分野の具体的な活動事例

IEC における低圧直流 (LVDC) の標準化対象範囲を図 3 に示す。図 3 のように、「①電源をつくり送る側、②消費する側、③保護する側」というように、大きく 3 つに分け、整理して議論が行われている。以下、具体的な活動事例を紹介する。

3.3.1 SC22E(安定化電源)における標準化活動

安定化電源に関する国際標準化活動の動向としては SC22H WG6 (Test and performance for DC UPS) において 2014 年 1 月より DC output UPS の国際標準化作業を開始し、2016 年 10 月に IEC 62040-5-3 (Performance and test requirements) が新たに制定されている。

また、SC22H WG7 (Safety requirements for DC UPS) が新たに発足し、2017 年 5 月に第 1 回会議の東京開催を皮切りに、2017 年 10 月に第 2 回会議

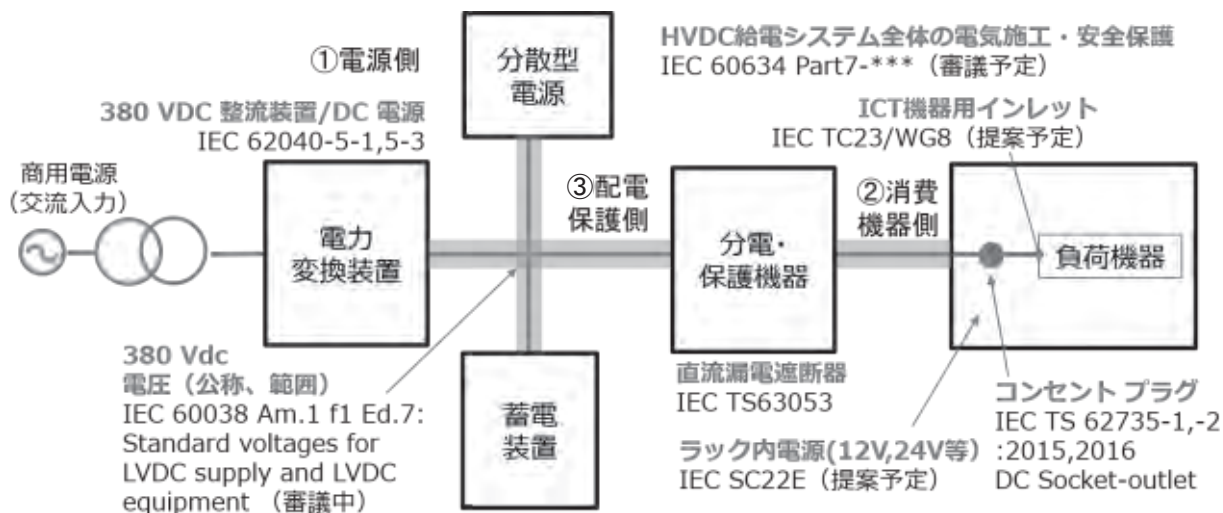


図3 IECにおける直流方式の標準化対象範囲

を西安（中国）、2018年3月に第3回会議をCleveland（米国）で開催、標準発行に向けた作業が進行中である。

一方、SC22Eにおける標準化活動状況は、太陽光発電や蓄電システム、燃料電池等の分散電源の普及により、交流システムへの連系だけではなく、直流システムへ接続し負荷へ供給するシステムの普及が予想される。

3.3.2 TC23（電気用品）における標準化活動

前述したSENCからの提案を受けたCENLEC内での活動を経て、2009年2月、パリにて第1回のWG8（Working Group 8）の会議から、TC23として本格的な直流用電気用品の標準化の議論が始まり、2018年4月のカナダ・トロント会議まで19回の議論がなされた。当初は直流化そのものの有用性の議論が主で電気用品の標準化の議論が進まなかったが、直流データセンター等の実証や商用導入が広がる中、2016年によく直流用プラグおよびソケットのTS 62735-2（TS：Technical Specification）が発行された。ベースの提案はCENELECであったが、安全性を考慮した上位の機種を日本からWG8に提案し、議論の結果、日本からのNP提案となり、TS 62735-2の発行（図4）となった。

3.3.3 TC64（電気安全と感電保護）における標準化活動

TC64における標準化活動として、データセンター配線構成された低圧電気設備のうち、直流にて配線される枠内におけるシステム（整流器、分電盤等の個別機器に関する部分を除く）の電気設備の保護、感電保護を主眼とした新たな規格作成を行い、2017年、新作業項目NP（New Work Item Proposal）の



IEC TS 62735-1:2015
Direct current (DC) plugs and socket-outlets for information and communication technology (ICT) equipment installed in data centres and telecom central offices - Part 1: Plug and socket-outlet system for 2,6 kW equipment

IEC TS 62735-2:2016
Direct current (DC) plugs and socket-outlets for information and communication technology (ICT) equipment installed in data centres and telecom central offices - Part 2: Plug and socket-outlet system for 5,2 kW

図4 IEC規格を取得したDC400V用コンセント

日本提案を行った。

NP提案は、Pメンバー35ヶ国のうち26ヶ国が賛成であり、Pメンバーで投票を実施した国28ヶ国の2/3を超える賛成（棄権8ヶ国は除外）を得ることができた。また、エキスパート登録が日本を含めて8ヶ国であり、5ヶ国以上（Pメンバー17ヶ国以上）の登録を得ることができ、以上のことからNP提案が承認され、2018年度からIEC規格発行のための活動をスタートさせている。

4. まとめ

太陽光や風力等の再生可能エネルギーの導入をさらに拡大させるためにも、発電側のみならず、消費側また蓄電も含めて、システム全体を最適化させるための検討が必要である。その意味では、前半で紹介したエジソンのシステム全体の直流方式の開発と事業化の偉業を振り返ってみることも必要であろう。当時の弱点であった、電圧変換もパワーエレクトロニクスにより克服され、むしろ用途や目的によっては、小型軽量、効率化が狙える等、利点にもなりうる。

様々な便益をもたらす直流技術を市場に反映させるためには、国際標準化が必要である。製造者・利用者など全ての利害関係者が、経済的、合理的、かつ安全に扱うためにも、直流分野の国際標準の発行が望まれている。

現在、直流技術は、紹介した給配電分野だけでなく、送配電の分野や直流電力の品質においても、多面的な検討がなされつつある。さらに、IECのみならず CIGRE の各分野でも議論が始まっており、世界における我が国の優位性を維持・発揮するためにも、このような活動への積極的参加が今後も必要不可欠であると言える。

2000年以降、国際標準化のための諸活動に献身的に貢献してきたのが北欧・スウェーデンの技術者であり、彼らのたゆまない努力が今日の直流分野の標準化活動のベースとなったことも、多くの関係者に知っていただければ幸いである。

参考文献

- 1) IEEE Spectrum, San Francisco's Secret DC Grid, (Aug. 2019), <http://spectrum.ieee.org/tech-history/dawn-of-electronics/san-franciscos-secret-dc-grid>
- 2) 廣瀬圭一, 欧州における直流給電システム調査訪問記, The Journal of fuel cell technology, 7 (1), 134-140, 2007/夏.
- 3) Robert W. Lobenstein and Carl Sulzberger, eyewitness to dc history the first and last days of dc service in New York City, IEEE power &

energy magazine, May/June 2008.

- 4) ジョン・ガートナー (著), 土方奈美 (翻訳), 世界の技術を支配する ベル研究所の興亡, 文藝春秋 (2013/6/28), 東京.
- 5) Global e-Sustainability Initiative (GeSI), #SMARTer2030 ICT Solutions for 21st Century Challenges, Brussels, June 2015.
- 6) J. Akerlund, DC powering of Internet certifies for telephony, Proc. 3rd Int. Telecommunications Energy Special Conf. (May 2000), 39-45, Dresden, Germany.
- 7) J. Akerlund, Prestudy of the technical prerequisites for a 300 VDC power supply system for telephone exchanges by an assignment from Telia Skanova networks, SKA 19149-02, (Sept. 2002), Stockholm, Sweden.
- 8) ETSI EN 300 132-3 V1.2.1, Environmental Engineering (EE) ; power supply interface at the input to telecommunications equipment; Part 3 : operated by rectified current source, alternating current source or direct current source up to 400 V, European Telecommunications Standards Institute, (Aug. 2003), Sophia Antipolis.
- 9) EPRI White Paper, DC Power Production, Delivery and Utilization, Electric Power Research Institute, (June 2006), Palo Alto, USA.
- 10) NEDO, 燃料電池のための家庭用直流電力供給に関する調査報告書, 2007

著者略歴



廣瀬圭一 (ヒロセケイイチ)

1992年3月新潟大大学院修士課程了。同年4月NTT入社。2011年名古屋大大学院博士課程修了博士(工学)。NTTファシリティーズ勤務を経て、2018年7月より、現職。IEC SyC LVDC 国内委員長。2009年電気学会論文賞, 2013年電気設備学会論文賞, エネルギー・資源学会賞, 2014年電気設備学会星野賞, 第59回澁澤賞 他受賞。