

# 給電方式の変遷と今後の直流給電の可能性

常務取締役 EHS&S 研究センター上級研究員 兼 エネルギー技術本部長 兼 情報システム技術本部長  
エネルギー技術部

山下 隆司  
村上 直樹

Keyword：給電方式，直流給電，交流給電，直流連系設備，き電，高信頼給電，低炭素電源

## 1. はじめに

直流給電は、通信ビル内における通信装置への給電や、電気鉄道における給電として普及しているが、商用電源のネットワークでは一部連系線を除いて交流給電が一般的である。これに対して近年、太陽光発電や蓄電池が直流で動作することや、通信ビル内での高信頼直流給電を活用できないかという観点で、直流給電が注目を浴び、各所で実証実験も行われている。

本稿では、初期の商用給電に直流が用いられてきたことなど、直流給電のこれまでの歴史と適用分野を調査し、給電系の要求条件に対する直流・交流給電のメリット・デメリットをあらためて確認した上で、今後の直流給電の展開の可能性について考察する。

## 2. 各種給電方式の変遷と特徴

商用給電事業は、初期には直流給電でスタートし、その後給電距離や給電エリアの拡大に伴って交流給電となり、送電電圧の高電圧化が進んできた。一部では直流による連系設備が使用されている。また電気鉄道へ給電する「き電」においても、初期の直流給電から大容量・長距離給電のために交流給電の比率が増加してきたという歴史がある。一方、通信ビル内における給電方式としては、古くから直流給電が用いられてきた。

本章では、これら各種給電方式の変遷について述べると共に、それぞれの給電方式の特徴について比較する。

### 2.1 初期の商用給電方式

発電所で発電して需要家に配電する給電システムは、エジソンが1882年1月にロンドンでの技術実証を経て、1882年9月4日にニューヨークにおいて事業を開始した。ニューヨークではマンハッタンの発電所（Pearl Street Station）において100kWの火力発電機6台で発電し、24kmの地下導体で配線して、0.65km<sup>2</sup>の範囲の85の需要家の400灯の電灯に供給した。給電システム構成を図1に示す。その後1年以内に513の需要家の10,000灯の電灯に供給を拡大した。当初は直流110Vによる2線式で給電した<sup>1~4)</sup>。

その後10年の間に、同様のシステムがニューヨークの他地区、北米、ヨーロッパ、南米、日本へと導入拡大された。システムの中で銅線のコスト比率が高いため、給電電圧は直流120/240Vの3線式、欧州では直流220/440Vの3線式も用いられた。しかし低電圧直流給電システムは、送電損失が大きいことにより給電距離が制限され、導入は比較的狭いエリアで需要家が集中している場所に限られることになった。

1880年代半ばまでには、テスラ（Nicola Tesla）らによる交流給電システムが登場し、変圧器の発明により経済的で効率的に長距離送電できる高電圧交流給電システムが、低電圧直流給電システムの欠点をカバーできることがわかった。そして19世紀末までには、ウェスチングハウス（George Westinghouse）らにより交流給電システムのメリットが明らかとなり、その後直流給電システムは衰退していった。

国内での給電事業は、東京電燈によって1887年11月にスタートした<sup>1,4,5)</sup>。東京市内に5カ所の発電所（電燈局）を設置し、それぞれの発電所には25kWのエジソン直流発電機数台を設置して直流210Vの3線式の架空電線で供給した。電圧が低いため、発電所から半径2km程度の範囲にしか給電できなかった。開設当初は138灯でスタートし、1891年には10,000灯を突破した。

電力需要が増えるに従って発電所の増設や高電圧交流給電化で対処していたが、煤煙や騒音を発生する石炭火力発電所を市内に多数増設できないこと、大容量の交流発電機ができたことから、1897年に2kV、200kW交流発電機4台、3kV、265kW交流発電機6台で構成する浅草発電所の運転を本格的に開始した。これにより従来の発

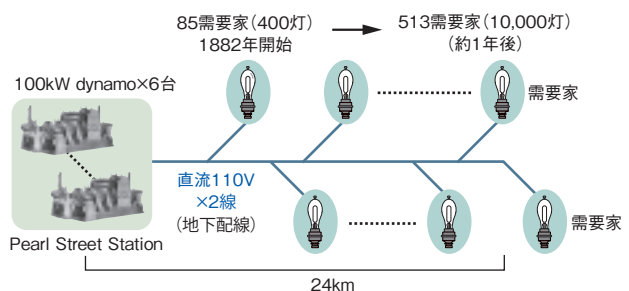


図1 ニューヨークにおける初期の直流給電システム

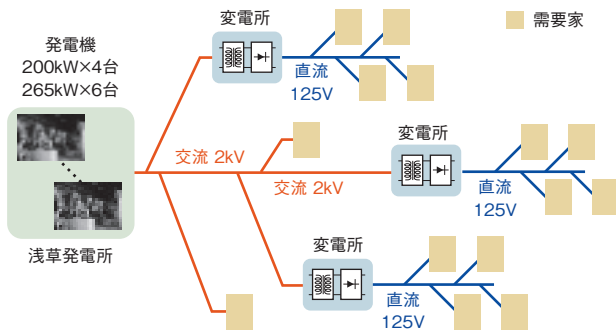


図2 交流給電と直流給電を併用した給電システム

電所（電燈局）を廃止して変電所とし、浅草発電所から各変電所までは交流2kVで給電し、各需要家へは交流2kVによる直接給電、または変電所で直流125Vへ変換後給電する構成とした<sup>1,4,5)</sup>。この給電システムの構成を図2に示す。この新しい給電システムの導入によって、給電事業は初期の局地供給から地域的な広がりを持つ面的な供給を行えるようになった。ただ、当時の発電機は直流式と交流式が混在し、電圧や周波数も異なったため、それぞれ独立の送電線により送電していた。その後直流・交流論争があったが、交流給電システムのメリットが大きかったため、特定の用途以外は交流給電システムに移行していった。また周波数については、東京電燈が50HzのドイツAEG製発電機、大阪電燈が60Hzの米国GE製発電機を採用したことから、東日本は50Hz、西日本は60Hzが標準周波数となった。

## 2.2 交流による商用給電ネットワークの拡大

東京電力管内における給電ネットワークの変遷について述べる。1955年当時、山間部の水力発電所から京浜地区へは154kV送電線、都区内周辺は66kV内輸線で構成されていた。その後1965年頃には、大容量火力発電所や水力発電所の建設により、安定的な電力システムとするため、275kV送電線と275kV外輸線が構築された。1975年以降には、電力需要の増大と発電所の遠隔化・大容量化に対応して、給電電圧の高電圧化（～500kV）、ネットワークの二重化・高密度化が進展した。2014年現在では遠隔地の大容量発電所からの500kV送電システムに加え、需要地の首都圏を囲む形で二重化した500kV外輸系統、より需要家に近いエリアまで275kVに加えて500kVで直接給電する構成となっている<sup>1)</sup>。

現状の発電所から需要家に至る商用給電システムの構成を図3に示す<sup>6)</sup>。発電所では発電機によって数kV～20kV程度の電気を発電し、これを発電所に併設された変電所において、送電に効率のよい275kV～500kVという超高圧に変

換して送電線に送り出す。長距離区間は超高圧のまま送電し、需要地に近くなるほど徐々に電圧を下げていく。各地に設けられた超高圧変電所で154kVまで下げ、その後一次変電所で66kVにまで下げる。

66kV～154kVの電気は、一部が鉄道会社や大規模工場に送られて各企業内の変電設備で必要な電圧に変換される。一次変電所からの残りの66kVの電気は、中間変電所や配電用変電所に送られる。中間変電所では22kVに変換され、大規模ビルや大規模工場に供給される。配電用変電所では、6.6kVに変換されてビルや中規模工場へ送られると共に、街中の配電線にも供給される。6.6kVの電気は電柱の上にある柱上変圧器（トランス）で100Vまたは200Vに変圧され、引込線から各住宅、商店、小規模工場等へと送られる。

## 2.3 連系用の直流給電設備

現状の電力会社の給電ネットワークは、先に述べたように、基本的に超高圧（275kV～500kV）から低電圧（100/200V）に至るまで交流給電であるが、一部で直流を用いた連系設備が用いられている。これらの設備では、交流→直流→交流と変換しているが、その目的は以下のように分類される。

- ①周波数の異なる交流系統を接続する
- ②海底等を経由して長距離区間を低損失で送電する
- ③異なる交流系統の潮流を制御する

現在日本国内で運用されているのは、図4に示すA～Gであり、①の周波数変換が4カ所（A、B、D、G）、②の海底経由の送電が2カ所（C、F）、③の異なる交流系統の潮流制御が1カ所（E）である<sup>7)</sup>。このうち①と③は、異なる交流系統を接続することが主な目的であるが、②は高電圧直流（HVDC）による低損失な送電が目的である。

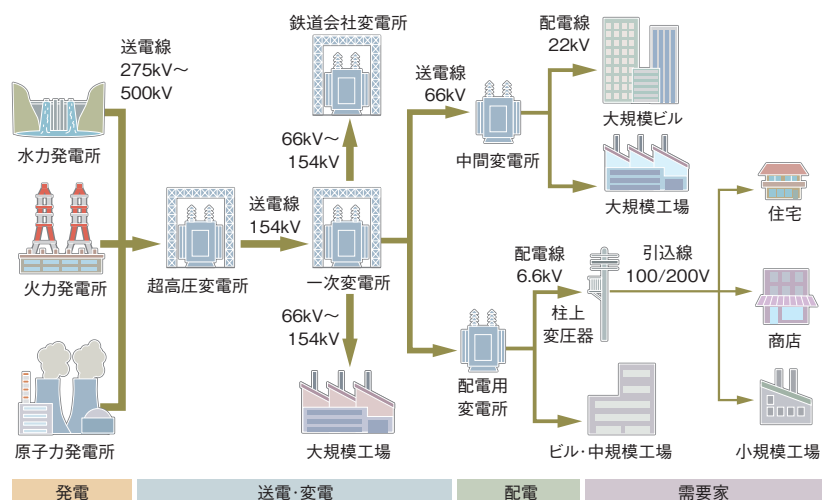
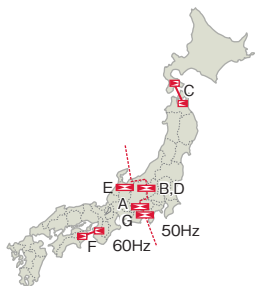


図3 現状の商用給電システムの構成



場所	名称	容量(MW)	運転開始
A	佐久間周波数変換所	300	1965年
B	新信濃1号周波数変換所	300	1977年
C	北海道・本州間直流連系設備	600	1979年
D	新信濃2号周波数変換所	300	1992年
E	南福光連系所	300	1999年
F	紀伊水道直流連系設備	1,400	2000年
G	東清水周波数変換所	300	2006年

図4 日本の給電ネットワークにおける直流設備

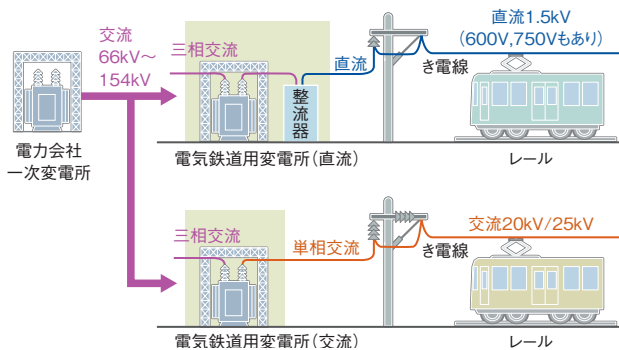


図5 変電所から電気車までの電気の流れ

## 2.4 電気鉄道における給電方式

電気車（電気機関車、電車）への給電方式には、直流き電方式と交流き電方式がある。変電所から電気車までの電気の流れを図5に示す<sup>8)</sup>。電力会社の一次変電所から交流66kV～154kVの電圧を電気鉄道用変電所で受電する。電気鉄道用変電所からは、直流き電方式では一般に直流1.5kV（路面電車や一部の地下鉄では600V、750Vもある）の電圧で、交流き電方式では商用周波数（50Hzまたは60Hz）の単相交流20kVまたは25kVの電圧で電気車まで給電される。電気車内では、直流1.5kVの場合は直接、交流20kV/25kVの場合は変圧器と整流回路を経由して直流に変換して電動機を駆動する。

直流き電方式は、始動トルクが大きく可変速制御が容易な直流直巻電動機を直接駆動できる利点がある<sup>9)</sup>が、1列車当たりの電流が2kA～3kAになり、変電所を5km～10km間隔で設置する必要があること、低圧大電流出力のため変電所の容量が2MW～12MWに制限される<sup>10)</sup>ことなどから、大都市を中心に使用されている。比較的送電距離が短く運転頻度の高い電車では、き電線の電圧が低いことによる電圧降下のデメリットが相対的に小さく、き電線の電圧を直接使用でき電気車コストが低減できる直流方式にメリットがある。また地下鉄のように絶縁隔離が取りづらい場合にも、電圧の低い直流方式は有効である。

交流き電方式は、高電圧化が容易であるため、電車的高速化等により駆動電力が増大した場合や、き電線への給電間隔を長くしたい場合に有利であるが、交流を直流1.5kV程度に降圧・整流するための車載用電力変換装置（変圧器、整流回路）が必要である。近年のパワーエレ

表1 日本国内と海外で導入されている主な電化方式

き電方式	電圧	比率	
		海外	日本国内
直流 (海外は都市交通を含まず)	600V	1.4%(1,500V未満の合算)	2.8%
	750V		1.7%
	1,500V	4.1%	60.0%
	3,000V	25.8%	0.0%
単相交流 (商用周波数方式)	20kV	0.0%	21.0%
	25kV	55.5%	14.3%
単相交流 (低周波方式)	15kV	13.2%	0.0%
三相交流	600V	0.0%	0.3%

クトロニクス進展により大容量で小形の変換装置の車載が可能となり、新幹線や地方の都市間輸送に採用されるようになった。

日本国内と海外で導入されている主な電化方式の採用状況を表1に示す<sup>11)</sup>。国内では新幹線のように長距離・大電力（1列車当たりの消費電力が新幹線以外で最大4MW程度に対して、新幹線では7.5MW～25MW<sup>10)</sup>）が必要な場合は交流き電方式を採用しているが、海外と比較して直流き電の比率が高い。これは直流き電方式のメリットが大きい、運転頻度の高い電車や地下鉄などの運行比率が海外に比べて高いためと考えられる。

## 2.5 通信用直流給電システム

通信ビル内においては、各種通信装置に主に直流48Vを用いて給電しており、そのシステム構成を図6に示す。電力会社から受電した商用交流電源（高圧6.6kVまたは特別高圧22kV、66kV）を変圧器で200Vに変圧し、整流装置で直流48Vに変換して分電盤経由で各通信装置ラックに給電している。整流装置から分電盤までの距離は最大20m程度、分電盤から通信装置ラックの電源入力端子までの距離は最大30m程度である。

商用交流電源が停電した場合は、整流装置出力側に接続された蓄電池で瞬断なく電力を供給し続ける。停電時間が長い場合は非常用発電機が起動して、商用交流電源に代わって整流装置に交流電源を供給し、蓄電池を充電すると共に通信装置に給電し続ける。整流装置は整流器ユニットによる冗長構成によって、一部のユニットが故障した場合でも給電を継続でき、ユニット出力側をダイオード経由で並列接続しているため、故障ユニットの切り離しに特段の制御が必要ない。また万一、整流装置が全停止して蓄電池からの電力供給に切り換わる場合も特

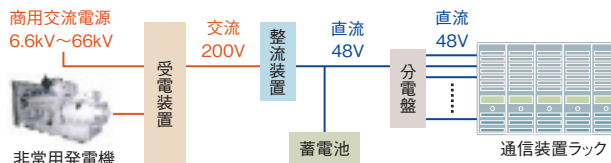


図6 通信用給電システムの構成



段の制御が必要ないため、電源断の確率を非常に小さくできる給電方式である。

直流48Vを用いた給電方式は通信事業開始当初から用いられてきたが、近年通信装置の消費電力が増大傾向にあることから、48V給電線のケーブルの太径化や多条化、ケーブルでの電力損失が問題となり、それを解消するために直流400V系を使用する動きがある。給電電圧を上げて給電ケーブルに流れる電流を小さくすることで上記の問題を解決でき、直流による高信頼給電も維持できるが、通信装置側の電源仕様変更が浸透するかどうか課題である。

## 2.6 各給電方式の特徴比較

商用交流給電、直流連系設備、き電構成および通信用直流給電について、特徴を比較したものを表2に示す。

商用給電は、給電する需要家のエリアを面的にカバーする必要がある。そのため、遠距離は大電力を長距離にわたって低損失で給電する超高圧で送電し、広域エリアの大電力は特別高圧、中域エリアの中電力は高圧、小域エリアでは低圧小電力とツリー状に組み合わせて給電している。それぞれのエリアの接続点には変電所があり、電圧変換機能と遮断機能を有している。この電圧変換機能（交流ではトランス）と遮断機能がいずれも交流の方が容易に実現でき、コストも安いことから、交流給電が採用されていると考えられる。

それに対して直流給電は、超高圧の領域において交流に比べて絶縁が比較的容易で、大電力を低損失で送電できるという特長がある一方、変換装置が複雑で高価であることや、遮断が困難であるという難点がある。そのため北海道・本州間のように海底ケーブルで大電力を供給

する場合（損失が小さく有利）や、東西の異なる周波数の電力系統間の電力融通をする場合など、1対1で接続して直流ならではの有利点がある分野に限って採用されている。

き電については、元々直流電動機を駆動する電圧が直流1.5kVであったため、その電圧を直接供給する直流き電からスタートした。現在も短距離エリアや電車が集中運行されている場合、編成数が少ない電車向けには適用されており、長距離エリアへの給電や、編成数が大きく高速化した電車向けには、大電力を低損失に給電し、車内で電圧が容易に下げられる高電圧の交流給電が一般的である。

通信用に用いられている直流給電は、フロア内程度の短い給電距離であり、蓄電池との親和性が高く高信頼という特長があることが採用理由である。

## 3. 給電系への要求条件に対する直流・交流適用時の考察

各種給電系の調査や特徴比較で示したように、給電系を設計する上では、給電距離や給電電力、給電エリア、給電信頼性などの要求条件がある。これらの要求条件に対して、交流と直流を適用した場合の考察を以下に述べる。

### 3.1 給電距離/給電電力

ケーブルの電力損失は、基本的には流れる電流（I）とケーブルの抵抗（r）による銅損（ $I^2 \cdot r$ ）である。従って、ケーブルの電力損失を一定値以下に抑えて給電先への送電電力を確保するためには、同一（導体断面積）のケーブルを前提にすると、給電電力が小さい場合は長距離を送電しても問題ないが、給電電力が大きくなると

表2 各給電方式の特徴比較

		電圧・電流・給電系構成	特徴
商用送配電	超高圧（交流、直流）	・AC275kV～500kV、～300km（発電所～超高圧変電所） ・DC±250kV、60万kW～140万kW、100km～167km(連系線)	・長距離における大電力・低損失給電 ・直流は特に長距離での1対1の大電力・低損失給電に適性 ・交流は面的（エリア）給電に適性
	特別高圧（交流）	・AC154kV、～50km（超高圧変電所～一次変電所）	
	特別高圧（交流）	・AC66kV、AC22kV ・約5km～20km	・大電力（2,000kW～）・高信頼給電（2系統給電） ・広域エリアの給電
	高圧（交流）	・AC6.6kV ・約0.1km～5km	・大電力（50kW～2,000kW）給電 ・中域エリアの給電
	低圧（交流）	・AC400V、AC200V、AC100V ・約10m～100m	・一般（～50kW） ・小域エリアの給電
き電	新幹線（交流）	・AC25kV、300A～1,000A/列車 ・変電所間隔：20km～60km ・変電所容量：30MVA～200MVA	・さらなる高電圧化により、電車の消費電力増大（約5倍）へ対応し、長い変電所間隔（20km～60km）も実現 ・電車内では変圧器経由で降圧し整流後（直流1.5kV）、直流電動機またはVVVFインバータ経由で誘導電動機を駆動
	在来線（交流）	・AC20kV、50A～200A/列車 ・変電所間隔：20km～100km ・変電所容量：10MVA～20MVA	・高電圧化により変電所間隔を20km～100kmと長くできる ・電車内では変圧器経由で降圧し整流後（直流1.5kV）、直流電動機またはVVVFインバータ経由で誘導電動機を駆動
	在来線（直流）	・DC1.5kV、2,000A～3,000A/列車 ・変電所間隔：5km～10km ・変電所容量：2MW～12MW	・電車内で使用するDC1.5kVを直接給電 ・電車内は直流電動機またはVVVFインバータ経由で誘導電動機を駆動 ・電流が大きいため変電所間隔が5km～10kmと短い
通信	通信用給電系（直流）	・DC48V、DC380V ・2m～30m	・高信頼給電（冗長構成が容易、蓄電池による直接バックアップ） ・比較的低電圧のため、給電可能距離は短い

給電距離を短くせざるを得ない。大電力を長距離送電する場合には、流れる電流値を抑えるため給電電圧を高くすることになる。商用給電系で、電柱から家庭までのような近距離で数kW程度の送電には100Vや200Vという低電圧が用いられるが、工場やオフィスビルのように使用電力が増大すると、6.6kV、22kV、66kVのような高圧・特別高圧で供給し、さらに発電所から需要家エリアまでのように大電力を数100km以上という長距離送電する場合は、275kV～500kVという超高圧が使用される。

直流と交流の違いについて考察すると、比較的低電圧で近距離を送電する場合はほとんど差がないが、長距離、大電力（＝電流が多い）、高電圧の場合は違いが発生する。まず長距離になるとケーブルのインダクタンス成分が大きくなると共に、複数のケーブル間・ケーブルと大地間のキャパシタンス成分が大きくなる。これらは直流の場合はほとんど影響しないが、交流の場合は有効送電電力が距離と共に減少するという影響がある。送電電流が大きくなるほどこの影響は大きくなる。電圧については、実効値が同じ場合、交流電圧は正弦波状のため最大電圧が直流に比べて高くなる。これは絶縁やケーブルの耐電圧に影響があり、交流に比べて直流が有利である。

以上のように、給電距離と給電電力の観点では短距離・小電力の場合は直流と交流の差はないが、長距離・大電力の場合は給電電圧が高くなることも含めて、直流の方が有利になるといえる。

### 3.2 給電エリア

給電エリアの拡大は、給電対象の需要家数が増加し、給電距離も増加するということを意味する。給電距離が増加するため、供給側に近いところはある程度高い電圧とし、需要家に対しては需要家の必要とする低い電圧となる。このような構成を前提とすると、電圧を変換するポイントが多数必要となり、また短絡等の事故発生の可能性が高まるため、給電系の遮断機能も各所に必要となる。これらの機能を果たすのが変電所である。

電圧を変換する装置は、交流の場合は変圧器であり、直流の場合はDC-DCコンバータとなる。DC-DCコンバータは、直流をIGBT等の半導体スイッチング素子で高周波交流に変換して高周波トランスで電圧変換し、ダイオードで整流して直流を発生させる。構成部品が数10～数100個の装置であるため、交流の場合の変圧器に比べて一般的にはコストが高い。

遮断機能については、大電力の場合は機械的に回路を開閉する電磁遮断器が用いられる。交流の場合は電流が正弦波状のためゼロ電圧となる瞬間があり、比較的容易に遮断できるが、直流の場合は電流が継続して流れているため、その電流を強制的に遮断しようとするときアークが発生して簡単には遮断できない。遮断するためには、

遮断器の接点距離を大きくとる、接点の引き離し力を大きくする、発生するアークを消去する機能を設けるなど、いずれにしても遮断器が大きく高価になる。

以上のように給電エリアの観点では、需要家数が増加し給電距離が増加するというように、給電エリアが拡大するほど直流に比べて交流が有利である。ただし比較的大きな需要家が点在し、給電電圧を高電圧のまま変換することなく需要家へ届けられる場合は、給電エリアが拡大したとしても直流に対する交流の優位性は少なくなる。

### 3.3 給電信頼性（停電バックアップの難易度）

停電発生時に需要家側で電源をバックアップする場合、一般的には発電機と蓄電池、蓄電池等を含む無停電電源装置（UPS）を用いる。交流の場合、短時間はUPSでバックアップし、長時間は発電機を用いることになるが、瞬断を許容しない前提では、UPSによって給電系からの交流電圧とバックアップ側の交流電圧の同期をとって切り換える必要がある。UPSは半導体スイッチング素子を用いたAC-DC変換器（整流器）、DC-AC変換器（インバータ）と蓄電池で構成されており、部品数が多く構成も複雑なため、変換器部分をモジュール化して冗長構成とすることで信頼性を向上させている。しかし通常動作時にモジュールを並列運転し、モジュール故障時には商用バイパス回路へ切り換えるために、常に正弦波状の電圧を同期させておく必要があり、そのために必要な共通回路部分の存在が信頼度を低下させている。

直流の場合は、電圧が一致していれば蓄電池のみで直接バックアップでき、電圧が一致しない場合は蓄電池とDC-DCコンバータを組み合わせてバックアップする。DC-DCコンバータは、UPSと同様に半導体スイッチング素子等の多くの部品を用いた複雑な構成であるが、複数のユニットを用いて出力をダイオード接続したユニット冗長構成とすれば、交流のように電圧を同期させる必要はなく、自然に切り換えることができる。

蓄電池のバックアップ時間にもよるが、一般的に交流無停電電源で交流給電する場合と比較して、直流給電システムの給電信頼度は一桁高い（故障率が1/10以下）とされており、給電信頼性の観点では直流で給電する方が交流に比べて有利であるといえる。

### 3.4 発電設備・需要家設備との整合性

電力会社が保有する大電力の発電設備は、原子力発電、火力発電、水力発電等であり、いずれも回転式の発電機による交流出力である。その他、風力発電やバイオマス発電についても同様である。一方太陽光発電については、元々は太陽電池による直流出力であるが、交流給電システムに連系するため、PCS（パワーコンディショニングシステム）によって交流に変換して出力している。

需要家側の設備としては、現状では電力会社から交流で給電されているためほぼすべてが交流入力装置であるが、テレビやパソコン等の電子機器だけでなく、冷蔵庫や洗濯機、エアコン等のモータを使用した機器、さらに照明装置に至るまで、交流で受けた後、まずは整流して直流に変換し、その後DC-DCコンバータで電圧変換するか、あるいはインバータでモータを制御して動作させているのが実態である。

以上のように、発電設備は太陽光発電以外は交流で出力しており、需要家側設備は現状は交流入力ながら、ほぼ直流のインタフェース点を持っているといえる。

## 4. 今後の直流給電の可能性

3章における直流給電と交流給電の考察に基づき、直流給電の適用が有利な条件をまとめると以下ようになる。

- ①面的に給電する用途ではなく、1対1の給電であること
- ②需要家側および供給側が直流を使用していること。具体的には、需要家側では供給される電圧と異なったとしても直流として使用していること、供給側では太陽光発電・蓄電池など直流を基本としたリソースを多数使用していること
- ③高信頼給電、再エネ電源（再エネの主流である太陽光発電は直流）など直流ならではのメリットを活かせること

以上の条件に合致した給電システムとして、直流の高信頼性を活かした給電システムと、太陽光発電や蓄電池との親和性が高いシステムとして、以下のようなものが考えられる。

### 4.1 ビル間高信頼給電システム

構成イメージを図7に示す。具体的には以下のとおりである。

- 給電側のビルに無停電機能（蓄電池、場合によっては非常用発電機）を設置する
- 給電電圧は、給電距離や損失を考慮して6.6kV（商用交流の高圧レベル）程度以上。給電電力は負荷の容量に合わせて設定する
- 給電は専用地下管路を使ったケーブル給電など、給電ルートで給電断となるリスク（落雷、人為的遮断）を

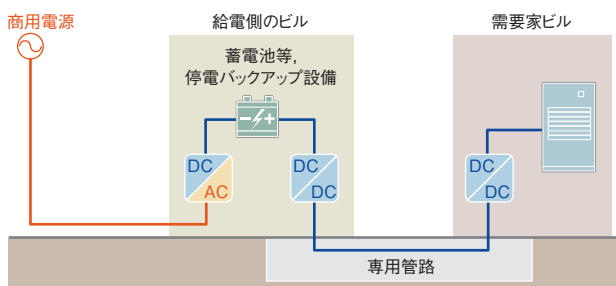


図7 ビル間高信頼給電システムの構成イメージ

排除する

- 需要家側では直流で使用する（電圧変換しても、DC-DCコンバータの場合は蓄電池を有する交流のUPS以上に信頼度を上げられる）

本構成のメリットは、UPSや蓄電池を需要家側に設置せずに高信頼な電力が得られることである。事業性のポイントは、需要家側が無停電という付加価値に支払う電気料金上乗せ分と、本システムを構成して給電する給電コストとのトレードオフである。

適用領域としては、大電力・無停電の電力が供給できるビルと、高信頼給電に価値を求める需要家が存在することから、都市部における比較的狭いエリアに限られると考えられる。

### 4.2 低炭素電源供給システム

構成イメージを図8に示す。具体的には以下のとおりである。

- 給電側は太陽光発電や蓄電池などで構成し、再生可能エネルギー100%の電気を発生する
- 給電電圧や容量は検討が必要であるが、再エネ電源の面積当たりの発電密度が小さいため、前節「ビル間高信頼給電システム」より、給電電圧や容量が共に小さくなる可能性が高い
- 需要家側では直流のまま使用することがベストだが、再エネ価値を特に重視するならこだわらない場合もあり得る

本構成のメリットは、低炭素電源を低コストで供給できることである。事業性のポイントは、需要家側が再エネ価値に支払う電気料金上乗せ分（市場の再エネ電源の電力料金、電力証書のコストも比較対象となる）と本システム構成による給電コストとのトレードオフである。

適用領域としては、太陽光発電と組み合わせる必要があることから、設置スペースが確保できるルーラルエリアで、発電電力密度が低いことから給電対象の需要家の電力容量が比較的小さい領域になる。

## 5. まとめ

各種給電方式の変遷と特徴の分析、給電系への要求条件に対する直流給電・交流給電適用時の考察を行い、直

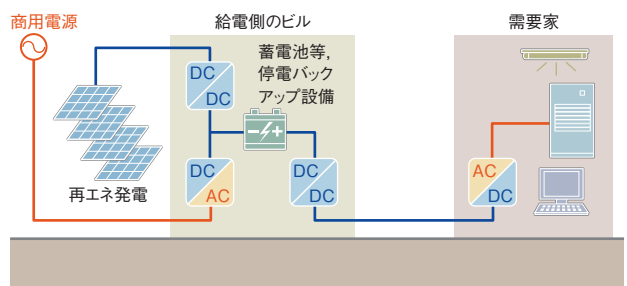


図8 低炭素電源供給システムの構成イメージ



流のメリットを活かした直流給電事例を示した。

直流給電は初期の送配電事業やき電で使用されたが、現在では送電エリアの広域化や送電容量の大容量化に伴って、特に送配電事業では交流給電が一般的となっている。一方直流給電は、商用レベルで定着しているものとしては、高信頼性を活かした通信ビル内の給電や、大容量・長距離での低損失性を活かした海底連系線・周波数変換連系、地下鉄や近距離電車向けのき電などの限られた範囲での使用となっている。

給電距離や給電電力、給電エリア、給電信頼性、発電設備・需要家設備との整合性など、給電系に対する要求条件について考察した結果、交流給電と比較して直流給電が適している領域は、大電力・長距離の給電、面的ではなく1対1の給電、高信頼性を活かした給電、太陽光・蓄電池を多数接続する給電であるといえる。

上記の直流給電の特徴を活かした給電システムとして、ビル間高信頼給電システムと低炭素電源の供給システムという2つの事例を示した。これらの実現性については、給電対象や給電エリアなどについて個別で具体的な検討を掘り下げる必要がある。特に、直流のメリットを活かした給電によって、需要家（顧客）がどのようなメリットを具体的に享受できるかがポイントであり、それによって提供する給電システムの対価が得られるが、そのためには適用対象となる需要家の協力も含めた詳細な検討が必要である。

#### 【参考文献】

- 1) 岡本浩（東京電力）：電気を送る～電気の品質と送る技術～、電気学会公開シンポジウム、2014.2.3
- 2) Milestones : Pearl Street Station, 1882, [https://ethw.org/Milestones:Pearl\\_Street\\_Station,\\_1882](https://ethw.org/Milestones:Pearl_Street_Station,_1882), 2019.5.10

- 3) Carl Sulzberger : Thomas Edison's 1882 Pearl Street Generating Station, [https://ethw.org/w/images/a/ae/Edison\\_and\\_Pearl\\_Street%2C\\_Text%2C\\_031410.pdf](https://ethw.org/w/images/a/ae/Edison_and_Pearl_Street%2C_Text%2C_031410.pdf), 2019.5.10
- 4) 原口芳徳（東京電力）：電気事業の始まりと電化の歴史、2006.10.5
- 5) 荻本和男：明治期よちよち歩きの電気技術、電気学会誌、114巻、12号、1994
- 6) 電気事業連合会：電気が伝わる経路、<http://www.fepc.or.jp/enterprise/souden/keiro/>, 2019.5.10
- 7) 牧野芳徳：直流送電の動向、OHM、2018.2
- 8) 奥井明伸：鉄道における電気の流れ、鉄道総合技術研究所、RRR、Vol.66、No.10、2009.10
- 9) 古谷勇真：電車の制御方式、鉄道総合技術研究所、RRR、Vol.74、No.4、2017.4
- 10) 赤木雅陽：変電所から車両までの電気の流れ、鉄道総合技術研究所、RRR、Vol.66、No.10、2009.10
- 11) 佐藤大記：車両への電気の流れをみる、鉄道総合技術研究所、RRR、Vol.75、No.2、2018.2



やました たかし  
山下 隆司

常務取締役 EHS&S研究センター上級研究員 兼 エネルギー技術本部長 兼 情報システム技術本部長  
高信頼電源システム、電力変換装置、クリーンエネルギーシステム等のコンサルティングおよびマネジメントに従事  
電気学会フェロー  
電子情報通信学会、IEEE会員



むらかみ なおき  
村上 直樹

エネルギー技術部  
電力供給システム、電力変換装置のコンサルティング、技術評価に従事  
技術士（電気電子部門）  
電子情報通信学会、電気学会、IEEE会員

## Synopsis

### Historical Changes in Power Supply Systems and the Future Possibility of DC Power Supply

Takashi YAMASHITA

Naoki MURAKAMI

Although DC power supply is used for purposes such as supplying power to communication equipment in telecommunications buildings and to electric railways, in commercial power supply networks, AC power supply is the norm with the exception of some interconnection lines. In recent years, DC power supply has attracted attention for its potential as a means of solar power generation and storage battery operation and utilization as a highly-reliable power supply in telecommunications buildings. In considering the potential of DC power supply, this paper examines such power supply system requirements as the supply distance, supplied power, the power supply area, power supply reliability and power generation and customer equipment. The results show that power supplies in areas where DC power supply is better suited than AC power supply comprise high-power, long-distance power supply, one-to-one rather than area-wide power supply, power supply taking advantage of the high reliability of DC power and power supply with large numbers of photovoltaic and storage batteries connected. In addition, the paper presents two examples of power supply systems that make use of the features of the above DC power supplies: an inter-building high-reliability power supply system and a low-carbon power generation power supply system.