

直流配電システムの取組みと今後の展望

Initiatives for DC Power Distribution System and Future Prospects

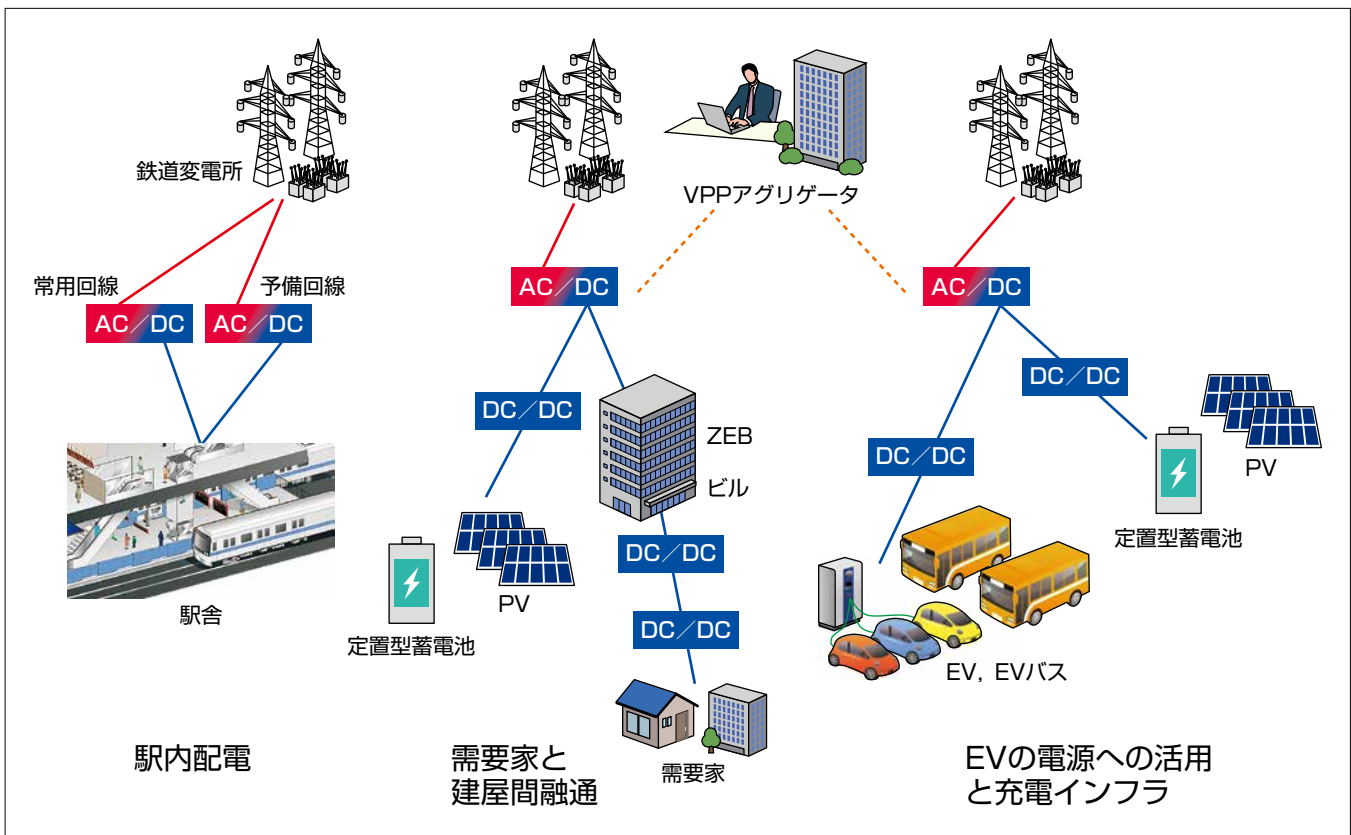
要旨

2020年12月25日に経済産業省は、“2050年カーボンニュートラル”への挑戦を、“経済と環境の好循環”につなげるための産業政策として“2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略”を策定し、成長戦略会議で報告した⁽¹⁾。この報告書に“直流給電等による住宅・建築物間のネットワーク化や水素等を活用した再エネ主力化と整合した柔軟性の確保、電気・熱・モビリティのセクターカップリング等に係る技術の実証・社会実装を図りつつ、普及のための適切な市場の設計によるビジネスモデルが確立される必要がある”という記載があり、政府が直流給電を省エネルギーや脱炭素社会を実現するための重要技術の一つとして期待していることがうかがえる。

三菱電機は、2016年に中低圧直流配電システム実証棟

を当社受配電システム製作所内に建設し、直流配電システムの安全性・信頼性の実証に取り組んできた。2020年には直流系統内の太陽光発電電力や再生電力などの再生可能エネルギーの余剰電力を逆変換して交流系統に融通可能にする双方向型中低圧直流配電ネットワークシステム“D-SMiree Standard(単機100kW)”を開発した。

また、脱炭素社会に向けてバス・トラックなど大型EV(Electric Vehicle)向けの新たな充電インフラをこの直流技術を活用して構築し、大容量EVスマートチャージングシステムの実証に電力会社と共同で取り組んでいる。最適な充電計画に基づく自動制御充電等によって、受電点でのピーク電力の抑制を可能にして、大型EV同時充電時でも配電システムの安定化と充電コストの削減を実現する。



直流配電システムの適用先

適用先として太陽光発電(PV: PhotoVoltaic)等の再生可能エネルギー電源を備えたビルであるZEB(net Zero Energy Building)のほか、近隣の需要家と建屋間で直流電力を融通し合うことが可能なシステム、及び駅内配電システムの直流化によって“電源品質の向上”“設備の簡素化”“省エネルギー化”が期待できる駅舎向けへの適用を目指している。また、EVバスの車載電池のVPP(Virtual Power Plant)電源への活用、配電システムの安定化とシステム最大電力を抑えて充電コストの削減が可能な充電インフラを志向している。

1. ま え が き

直流配電システムは、“省エネルギー”や“電源の高信頼化”といった市場の要求に対応する配電方式として注目されている。直流配電は、従来の交流配電に比べて、電力の変換回数を少なくして変換ロスを抑えることができるため、省エネルギーにつながる。また、直流は周波数、無効電力等を考慮する必要がないため、交流に比べて複雑な制御をせずに、高信頼な無停電電源を供給できる。ただし、小型化・低コスト化や直流で直接動作する負荷側機器の市場拡大が今後の課題である。

本稿では、直流配電システムのメリットや今後の課題に加えて、具体的な適用イメージや実証例を述べるとともに、大容量EVスマートチャージングシステムの構成と実証例について述べる。

2. 直流配電システムのメリット

2.1 電力の変換回数削減による省エネルギー

直流配電システムは、直流／交流の変換回数を抑えることができるため、エネルギー損失を減らすことができる。

電源側のPV、蓄電池は直流電力を供給する。風力発電(Wind Turbine：WT)は交流電力で発電するが、風況によって周波数が安定しないため一旦直流に変換している。交流で配電する場合は、これらの直流電源を直流／交流変換する必要があるが、直流配電ではこの変換が不要である(図1)。

また、負荷側の電気機器の多くは、コンセント等から受電した交流電力を直流電力に変換して動作しており、この変換の際にエネルギーの損失が生じている。直流で配電すれば、この変換が不要になる。

PV、WT等の再生可能エネルギーと、各種負荷を直流配電で接続することで、電力変換回数を削減し、省エネルギーにつなげることができる。

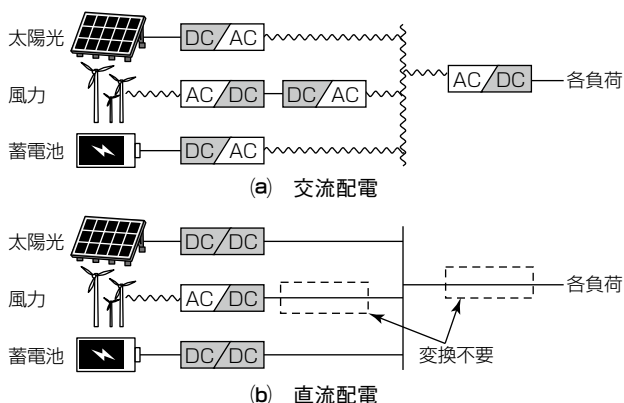


図1. 電力変換回数削減のイメージ

2.2 シンプルな設備構成による高信頼化

直流配電システムは、交流特有の位相や無効電力の考慮が不要であるため、各種電源を連系する際に比較的シンプルな設備構成になる。構成要素が減少することで、設備全体の故障率が下がり、信頼性向上につながる。

位相については、例えば、不足周波数継電器、過周波数継電器等の継電器があり、交流配電特有の保護が必要である。また、交流系統にPV電力等の再生可能エネルギーを接続する場合は、商用電源の周波数と同期させる仕組みが必要である。

誘導電動機等を接続する場合、交流配電では、無効電力対策が必要である。そのため、進相コンデンサ等を設置して、力率改善を行っている。直流配電では、このような交流特有の対策が不要になり、機器数を減らすことができるため、電源の高信頼化や保守性改善等が期待されている。

3. 直流配電システムの課題

今後、直流配電システムが普及していくに当たって、配電機器の小型化・低コスト化、負荷側機器の直流対応等の課題がある。

3.1 配電機器の小型化・低コスト化

直流配電システムが交流配電から置き換わるためには、構築する機器の小型化・低コスト化が必要である。例えば照明等の入切を行うスイッチは、直流配電ではアーク放電の影響が大きく、その対策のため、装置が大きくなる。また、それを収納する筐体(きょうたい)も大きくなり、コストも高くなる。今後、このような課題を解決し、交流配電と同等の機器サイズ・コストにすることが求められる。

3.2 負荷側機器の直流対応

直流配電システムの普及には、“直流入力可能な負荷側機器の充実”“電圧階級の統一”も必要である。この課題が解決されないと、直流配電システム導入による省エネルギー効果を最大限発揮できない。例えば、交流100V入力にしか対応していない機器は、直流配電システムと接続する際に、直流／交流の変換が必要になり、エネルギーロスが発生する。また、電圧階級が統一されていなければ、負荷側機器に合わせた電圧変換を行わなければならない、ここでもエネルギーロスが発生する。これらの課題を解決するため、直流配電の早期規格化と同時に、直流対応機器の開発が求められている。なお、現在IEC(International Electrotechnical Commission)で、直流給配電のガイドライン及び直流電力の品質の規格化が進められている。

4. 直流配電システムの実証(2)

当社では、“ビル丸ごと直流化”をコンセプトに、中低圧直流配電システム実証棟を建設し、直流配電の安全性・信頼性検証を行っている(図2, 図3)。この実証で構築した直流配電システムは、三菱スマート中低圧直流配電ネットワークシステム“D-SMiree”として製品化、商用変換器の容量によって“Standard(100~700kW)”, “Mini(3.5~10.5kW)”の2種類のラインアップを持っている。

また、直流配電システムで供給している電圧に対応していない負荷に合わせて直流電圧の変換を行う電圧変換装置(マイグレーション装置)を持っている。

4.1 D-SMireeの導入事例(3)

D-SMireeに関してこれまで社内外含めて複数の導入事例があるが、ここでは社内導入事例について述べる。

これまでのD-SMiree Standard(単機100kW)の片方向(順変換だけ)のシステムに対する機能拡張として、交流系



図2. 中低圧直流配電システム実証棟 (香川県丸亀市, 2016年7月稼働開始)

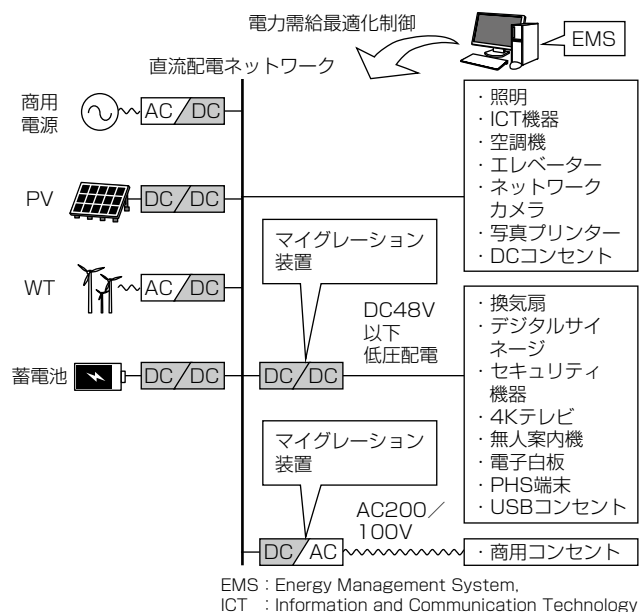


図3. 中低圧直流配電システム実証棟の構成

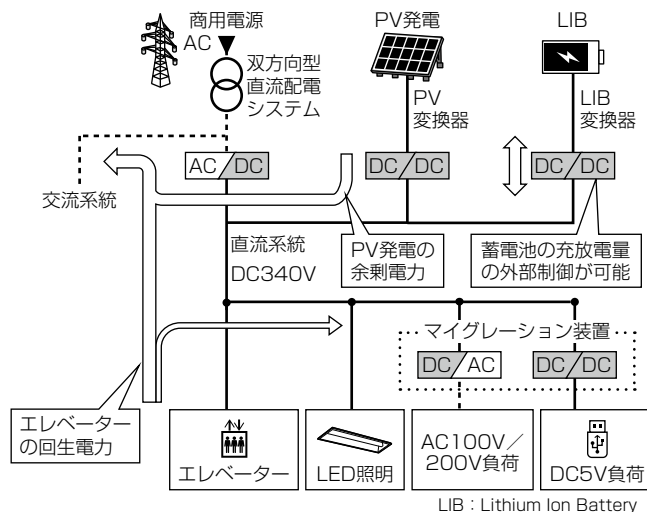


図4. 当社ZEB関連技術実証棟SUSTIEへの導入例

統と直流系統間を双方向に電力融通できるようにした。特長は次のとおりである。

(1) 交直共存環境で直流系統での余剰電力を交流電力に変換して使用する電力融通や仮想発電所(VPP)への対応が可能

①直流母線電圧の上昇を双方向AC/DC変換器で検出し、自律的に交流系統へPVなどの余剰電力を供給する。

②蓄電池の充放電量を外部制御することによって交流系統と直流系統間の電力融通量を制御可能である。

(2) システムの故障率が極めて少なくなる冗長化に対応

AC/DC変換器を二重化し、故障時に主従を自動切替え可能である。

(3) 商用電源停電時に負荷への給電が可能

商用電源停電時でもPV発電及び蓄電池から直流系統内の負荷へ無停電での給電が可能である。

このシステムを当社情報技術総合研究所内のZEB関連技術実証棟“SUSTIE”に導入し、2020年10月から稼働を開始している(図4)。

5. 大容量EVスマートチャージングシステムの実証

世界的に“脱エンジン車”の方向で進んでおり、日本でも2035年までに乗用車新車販売で電動車100%を実現する方向であり(4)、今後は大型車両でもEV化が急速に進展すると予測されている。中でもEVバス、EVトラックは、車載電池の容量が乗用車EVの数倍と大きいことから、VPPの電源としての活用を期待されている。その一方、大型EVの運用に欠かせない急速充電インフラの大量導入には、電力事業者の配電系統が不安定になったり、バス事業者の充電コストが増加したりするなど、新たな課題が想定され、対策が求められている。当社では、これらの課題を解決するために大容量スマートチャージングシステムを構築し、

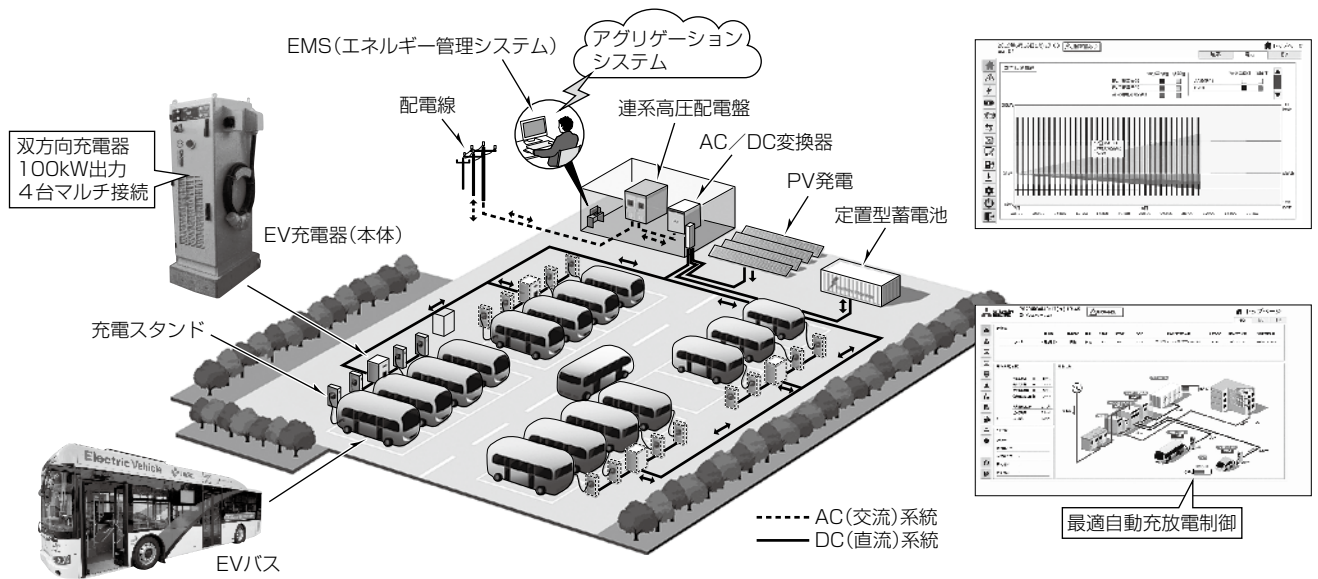


図5. 大容量EVスマートチャージングシステムのイメージ

表1. 大容量EVスマートチャージングシステムの構成

連系系統電圧	3相交流 6,600V	
基本構成	構成	AC/DC変換器(出力: 250kW): 1台 EV充電器(出力: 100kW): 4台(蓄電池がない場合は3台) 蓄電池用変換器(出力: 最大100kW): 1台 太陽光発電用変換器(出力: 最大100kW): 1台
	EV接続数	同時で最大16台(蓄電池がない場合は最大12台) 1台のEV充電器で4台のバスに接続

電力会社と共同で2020年12月からEVバス用充放電器システムの実証に取り組んでいる(図5, 表1)。

製品化の際に目指している特長は次のとおりである。

(1) 充電計画の自動作成

①大型EVの電池残量や翌日の走行スケジュールからシステムが自動で策定した最適な充電計画に基づいて、EVへの充電を制御することで、受電点でのピーク電力を抑制可能である。配電システムの安定化や充電コスト削減に貢献する。

②PVで発電した電力を併設する定置型蓄電池に充電し、その電力を大型EVへの同時充電時に活用することで、配電システムへの更なる負荷抑制が可能である。

(2) 再生可能エネルギー機器との直流通系を実現

PVや定置型蓄電池と直流通系することで電力の変換損失を低減し、システム全体での低消費電力化を実現する。

(3) 大容量蓄電池として利活用

大型EVからの高出力放電にも対応させることで、VPP用電源として活用可能である。また、電力停電時にもシステム内に電力を供給することが可能でありBCP(Business Continuity Plan)対策に有効である。

(4) マルチEV充電への対応

1台の充電器で4台の大型EVを充電できる充電器を採用し、システムの低コスト化や省スペース化を実現する。

(5) 他社製充電器への対応

当社製充電器だけでなく、一般に普及している他社製の充電器とも連携し、トータルでの最適充電制御を可能にすることで、システムの柔軟性を向上させる。

6. むすび

省エネルギーの実現、再生可能エネルギーの活用などのため、直流配電が注目されており、当社を含む多数の企業や大学での省エネルギー効果検証が活発に行われている。このような流れを受けて、直流配電システムの普及は今後加速していくと考えられる。一方、直流配電システムが普及し、省エネルギー社会を実現していくためには、負荷側機器の直流化も求められている。

今後は、小型化・低コスト化や安全性・信頼性向上の取り組みを継続するとともに、負荷側機器の直流化に関する標準化への取り組みも強化し、より広範囲での省エネルギー実現に貢献していく。また、EVスマートチャージングシステムによって、拡大が見込まれるEVを単に燃料が化石燃料から電気に変わることによる脱炭素社会への貢献だけでなく、蓄電池(直流電源)と捉えて、再生可能エネルギー電源の出力抑制時やデマンドレスポンス時の調整力としても活用が期待できる。

参考文献

(1) 経済産業省: 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 (2020)
<https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012-2.pdf>

(2) 竹内勇人: データセンター・ビル施設向け中低圧直流配電ネットワークシステム, 三菱電機技報, 91, No.9, 500~503 (2017)

(3) 双方向型直流配電システム“D-SMiree Standard”, 三菱電機技報, 95, No.1, 57 (2021)

(4) 経済産業省: 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 (2021)
<https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005-4.pdf>