

DC 配電が建物にもたらすメリット

エリン・ケリー

DC電力を使用する機器が、ビルシステムにおいて増加している現状を踏まえて、さまざまな環境におけるDC配電の潜在的メリット、使用事例、投資回収期間を評価したいと思う。

多くの建物が、交流（AC）から直流（DC）配電へと移行している。しかし、DC配電は、すべての商業、工業、集合住宅プロジェクトに適しているのだろうか。どの程度の設備投資と投資回収期間（100%を投資回収率[ROI]で割った年数）が予想されるのだろうか。

2018年のある調査⁽¹⁾によると、DC配電の3大メリットは、ACからDCへの電力変換が不要になるためにエネルギー消費量と運用コストが低下すること、LED照明、HVAC（空調設備）、コ

ンピュータやスマート電化製品といったデジタル機器など、DC電力を使用するシステムの信頼性が高まること、そして、DC電力を使用するバッテリーの蓄電効率が高まることだという。

この調査報告書の著者らは、建物におけるDC配電への適応とその標準化には時間がかかるだろうと指摘している。著者らは、移行に時間がかかる理由の1つとして、業界の専門家（エンジニア、電気技師、検査官、規制当局）がDC配電とそのメリット、実装方法、関連規

格に不慣れであることを挙げている。

DC配電の歴史的背景

米国では、ジョージ・ウェスティングハウス（George Westinghouse）とニコラ・テスラ（Nikola Tesla）が1800年代終盤の電流戦争（War of the Currents）で勝利して以来、ほとんどの送電網でAC電力が伝送されている。

現代社会に供給する電力としてAC電力が選ばれた最大の理由は、そのインフラの費用対効果がDC電力よりも



図1 電気自動車用の充電ステーションにより、建物のDC電力需要は増加することになる

高かったことである⁽²⁾。電圧は簡単に降圧することが可能で、当時は多くの機器がAC電力を使用していた。

今日、状況は変化している。実際、EMerge Allianceのブライアン・パターソン会長(Brian Patterson)は、世界で生成されるAC電力の70%以上を、電子機器やシステムで使用する前にDC電力に変換する必要があると記している⁽³⁾。この非効率な電力変換において、大量の電力が無駄になっている。

送電線の状態

ほとんどの送電線で高圧AC電力が伝送されているが、技術的進歩に支えられて、今では世界中で数百もの送電システムが、高圧DC電力(HVDC)を伝送している⁽⁴⁾。これらの送電線は、電力損失が低い。AC送電線の電力損失が10%であるのに対し、HVDC送電線の電力損失は2~3%である⁽⁵⁾。それでも、HVDC送電システムには改善の余地がある。建物に電力を供給するために、整流器ステーションにおいてDCからACへの電力変換が必要だからである。つまり、建物内の配電がDC電力で行われていない場合は、長距離にわたって伝送されてきたDC電力をわざわざAC電力に変換してから、DC電力を使用する機器に供給する必要がある。

建物全体にわたるローカルな配電をDC電力で行うための方法は、複数存在する。PoE(Power over Ethernet)は、その1つである。別の方法として、建物の分電盤にAC/DCコンバータを1つ中央管理的に配置して、負荷(機器)レベルで個々に変換する必要性をなくすというものがある。著者が所属する加アルジェンタム・エレクトロニクス社(Argentum Electronics)が開発したDC配電システム「Spacr」は、後者の

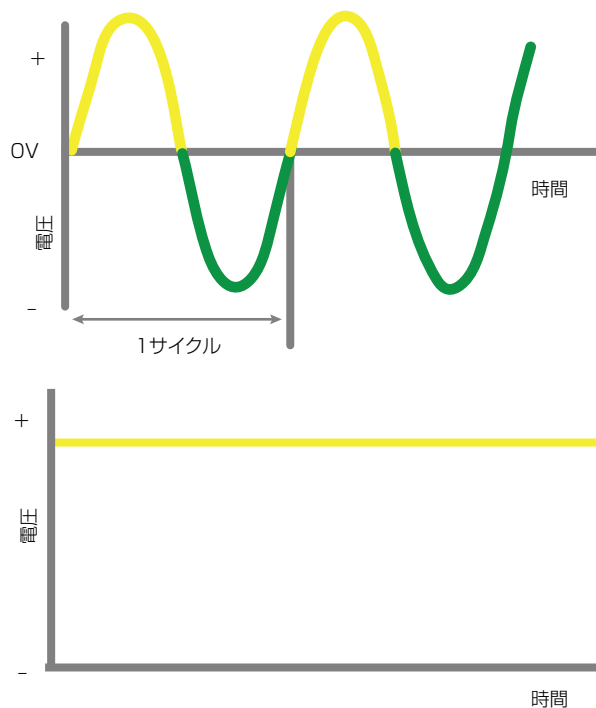


図2 AC(上)とDC(下)の電力アーキテクチャの電圧と時間の関係(図提供:アルジェンタム・エレクトロニクス社)

方法を採用している。

DC配電システムのメリットとROI

建物全体にわたるローカルな配電をDC電力で行うことには、4つの主なメリットがある。つまり、エネルギー消費量が低下して機器の信頼性が高まること、将来性が保証されること、運用コストが低下すること、安全性が高まることである。

エネルギー消費量が低下して機器の信頼性が高まる。前述のとおり、世界で生成されるAC電力の約70%がDC電力に変換されている。この変換は機器のドライバによって行われ、ドライバは個々の電気負荷(LED照明など)に接続されている。カリフォルニア州エネルギー委員会(California Energy Commission)は、負荷容量45W以上のAC/DC変換電源の効率率は85%以上でなければならないという要件を定めている⁽⁶⁾。しかし、負荷容量45W未

満のAC/DC変換電源は、この要件の適用対象外で、変換時に消費エネルギーの平均20%が無駄になっている⁽⁷⁾。DC負荷にDC電力を供給すれば、この損失がなくなり、建物全体のエネルギー消費量は、約5%~20%低下する可能性がある⁽⁸⁾。

非効率なドライバは、機器の信頼性にも影響を与える。無駄なエネルギーは熱として放出され、それがドライバの摩耗や動作寿命の短縮につながる恐れがあるためである。実際、ACからDCへの電力変換を行うLED照明の耐用期間は、約1万~2万5000時間だが、ACドライバをDCドライバに置き換えてDC電力を供給すれば、その耐用期間は約4倍に延長する⁽⁹⁾。

DC配電システムを採用すると建物の将来性が保証される。電気自動車(EV)充電器は、建物においてますます大きな電力負荷となっている。レベル1または2のEV充電器は、AC電力を供給する。しかし、EVバッテリーに

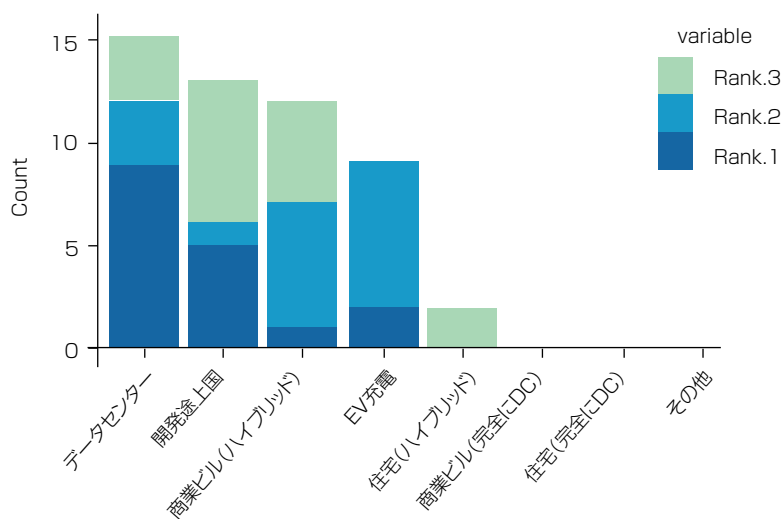


図3 DC配電システムを採用する可能性が高いアプリケーションとして各調査参加者が挙げた上位3件の集計結果

必要なのはDC電力であるため、EVにDC電力を供給する充電器の市場は急速に拡大しており、2022年から2050年のCAGR(年平均成長率)は29%と推定されている⁽¹⁰⁾。EV用のDC充電器は、効率が高いだけでなく、AC充電器よりも安全で高速である⁽¹¹⁾。

米マッキンゼー・アンド・カンパニー(McKinsey and Co.)の2021年の報告書によると、2030年までに世界中の路上を走行するEVは1300万台に達する見込みで、「消費者需要に対応するために、オンサイトの商用充電を今後10年間で建物の標準設備にする必要がある」⁽¹²⁾という。

スマートシティの概念がますます実現可能になるにつれて、日常的な電化製品や負荷はデジタル化が進み、コンピュータが搭載されるようになる。これらのデジタル機器には半導体が使われており、DC電力が必要である。

DC配電によって運用コストが低下する。多くの電気業界専門家が、DC配電は、特にデータセンターや商業ビルにおいて効果的で、エネルギーの削

減につながると考えている⁽¹⁾。

データセンターでは、AC配電トポロジに絶縁変圧器(安全のために電圧レベルを変換して電力を絶縁する機器)が必要であるため、DC配電システムにすれば、エネルギーコストは約6.1%低下する⁽¹³⁾。商業ビルにおいてもコスト削減効果は高く、アルジェンタム・エレクトロニクス社のコスト削減試算によると、DC配電に移行することで、年間電気料金は1平方フィートあたり約1.10ドル低下する。この運用コストの削減が加味されて、実装後の投資回収期間は2~5年になると推定される。

DC電力はAC電力よりも安全である。ACでもDCでも高圧電力に直接触れるのは危険だが、より危険なのはAC電力である。皮膚を貫通した電流は、神経系に作用する可能性があり、電気ショックで痛みを感じるのはそのためである。人間の皮膚は、DC電流に対するインピーダンスと抵抗のほうが高い。AC電流は毎秒50~60回の周期で向きが変化するため、皮膚のよ

うな絶縁体を貫通できる電磁界が、DC電流よりも生成されやすい。DC電流は一定で電磁界を変化させることはないため、皮膚を貫通して神経系に損傷を与える可能性は低い。

米国電気工事規程(National Electrical Code: NEC)⁽¹⁴⁾は、約450VDCまでの電力を分配し、触れても安全な電力システムを対象とした、新しい電気クラスを提案している。このクラスでは、コンピュータが回路をモニタリングして、人間の皮膚との接触などの障害を検出する。コンピュータによって何らかの障害が検出された場合は、直ちに給電が停止する。NECのその他の基準に加えてこの要件を満たすDC配電システムは、クラス4の電力システムに分類される⁽¹⁵⁾。

コストに関する考察

商業ビル用のDC配電システムの設備投資は、システムによって異なる。市場には現在、わずかに数種類の選択肢しか存在しない。PoEシステムには、配線、イーサネットスイッチ、インジェクタが必要である。代替策としては、PoEケーブルの代わりにワイヤレスメッシュネットワークによってデータ転送を行い、分電盤にAC/DCコンバータを1つ配置して中央管理的に電力変換を行い、PoE対応機器は不要とすることが考えられる。

グラスゴは2018年の調査⁽¹⁾で、次の3つの異なるシナリオで、標準的な商業オフィスビルに設備を実装するコストの見積もりを、業界専門家らに依頼した。

- ・シナリオA: 現在の市場条件下で、建物の配電を完全にDCにする場合
- ・シナリオB: 現在の市場条件下で、照明とコンピュータワークステーションのみにDC電力を供給するハイ

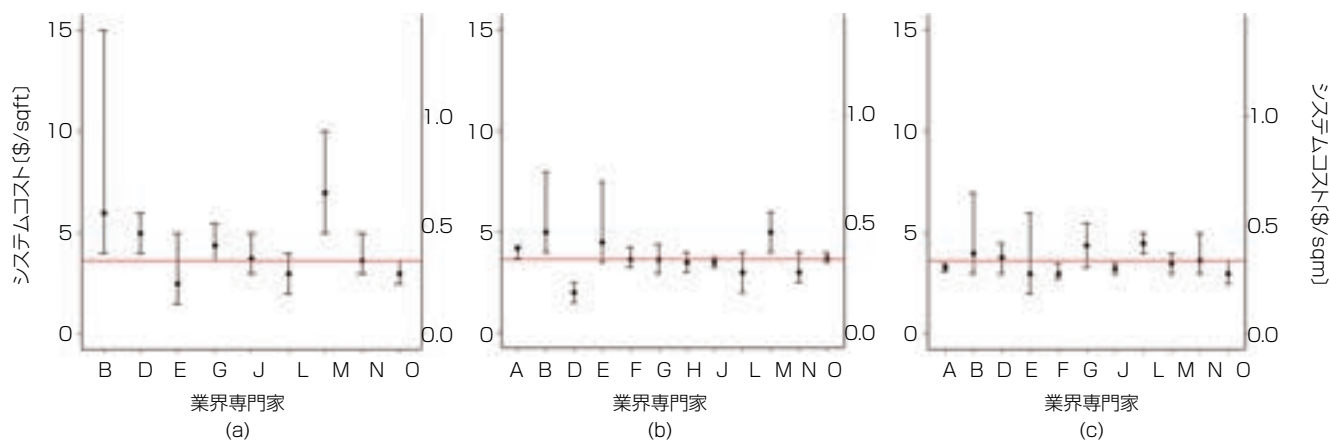


図4 グラスゴらは2018年の調査⁽¹⁾で、次の3つの異なる条件下で、DC配電設備を建物に実装するコストの見積もりを、参加者らに依頼した。(a)は、現在の市場条件下で建物の配電を完全にDCにする場合、(b)は、現在の市場条件下で照明とコンピュータワークステーションのみにDC電力を供給するハイブリッドシステムを実装する場合、(c)は、10年後に建物の配電を完全にDCにする場合

ブリッドシステムを実装する場合
 ・シナリオC：10年後に建物の配電を完全にDCにする場合

図4において、赤いラインは、同等のACシステムを実装する場合のコストである。調査者らはこのコストを、フロア面積1平方フィートあたり3.66ドルとしている⁽¹⁾。

シナリオBとシナリオCについて、調査参加者らは全般的に、DC配電システムを実装するコストは、AC配電の場合と同等としている。一方、シナリオAについては、DC配電システムを建物全体に実装するコストは、ACシステムよりも高くなると見積もった。ここで、建物レベルの電力変換及び制御設備に関連するコストを入れると、回答のばらつきが大きくなりすぎると調査者らは考えて、除外するよう参加者らに求めた。

この調査結果は正確なのだろうか。時間が経たなければ、その答えはわからない。現時点で建物所有者は、さまざまな種類のDC配電システムの実装コストを、個々のケースに当てはめて比較する必要がある。著者は近々、

PoEを含む具体的なDCシステムのコスト考察を評価する予定である。

DC電力の実装を阻む障害

すべてのビルシステムがDC配電に適合しているわけではない。このセクションでは、DC配電システムを調査及び選択する際の検討項目について説明する。

AC配電が建物の標準になった約100年前は、白熱灯、トースター、冷蔵庫など、ほとんどの負荷にAC電力が必要だった。しかし、LED照明、可変速度のHVACモーター、EVバッテリー、多様なデジタル機器の登場に伴い、今日の多くの負荷がDC電力へと移行している。実際、EV充電器や、DCモーター搭載のHVAC設備を考えると、建物内の負荷の最大74%がDC電力を必要とする可能性がある⁽¹⁶⁾。つまり、私たちが使う機器の大多数がDC電力に適合していることになる。しかし、DC電力に適合しているからといって、DC配電システムに適合していることにはならない。

建物がDC配電システムに適合して

いるかどうかは、実装されているシステムの種類と、そのシステムに対する個々の負荷の適合性に依存する。例えば、照明システムが適合している場合は、照明システムのみを対象にDC配電を実装することが可能である。

一部のDC配電システムは、標準的な分電盤に直接接続して、配電前にAC電力を変換し、DC電力を建物全体に配電することができる。これによって変換回数は1回に減少する。この場合、建物所有者は、AC/DC変換を行う各機器のドライバが取り外し可能かどうかを確認する必要がある。そのドライバをインテリジェントなDC/DCドライバに交換することにより、正しい電圧を確実に供給することができる。

PoEは、低圧のDC電力を使用するため、安全で設置が容易な選択肢である。電力要件が高くない場合は、電力とデータが1種類のケーブルで伝送されるため、配線量を減らすことが可能である。ただし、いくつかの適合性確認が必要である。PoEは、PoEシステムとして指定されているビルシステムと機器しか接続できない。

PoEは現在、ケーブルあたり90Wまでに制約されている。各機器に適切な電力を供給するには、複数のケーブルを束にすることが通常は必要で、それによって資本コストが増加する可能性がある。例えば、2万5000平方フィートの商業オフィスの照明システムには、約4000Wが必要で、つまり、45本のPoEケーブルを束ねなければならない可能性がある。PoEケーブルにも制約がある。最大伝送距離は100mで、データと電力の伝送距離を延長するには、機器の追加が必要である。

PoEには、イーサネット(CATシリース)ケーブルが必要で、これは一般的な電気ケーブルよりも高額である場合が多い。また、イーサネットスイッチまたはインジェクタも必要である⁽¹⁷⁾。そのすべてによって、PoEシステムの複雑さとコストが増す。

個々の負荷がDCと適合していることも必要である。例えば、HVACシステムがDC配電のメリットを享受できるのは、DCモーターを搭載している場合のみである。多くのHVACシステムにACモーターが搭載されているが、DCモーターを搭載するHVACシステムに対する市場需要は高まっている。ACモーターを搭載するものよりも効率が約50%高いことが、その主な理由である。

結論

DC配電は、経済的なメリット以外にも、AC配電よりも安全であることや、デジタル機器、LED照明、DCモーターを搭載するHVACシステムに直接適合する電力を供給することによって、建物の将来性を保証するというメリットがある。DC配電システムは、現在市場に存在する数は限られているものの、アルジェンタム・エレクトロニ

クス社、加アルダ・パワー社(ARDA Power)、米ボルトサーバー社(VoltServer)といった複数のブランドから提供されている。DC配電システムを選択する際には、米シスコ社(Cisco)、米イゴール社(Igor)、米フォーカル・ポイント・ライツ社(Focal Point Lights)などのベンダーが提供するPoEベースのソリューションも選択することができる。

DC配電システムは、非効率なAC/DC変換を不要にして、DC電力を使

用する機器の動作寿命を延長することにより、エネルギー消費量と運用コストの削減を、建物の所有者と管理者にもたらす可能性がある。新規または改修工事で実装されるDC配電システムの種類によって、投資回収期間は2～5年になる可能性がある。

アルジェンタム・エレクトロニクス社は、本稿で説明したようなDC配電ソリューションを提供している。本稿著者の見解と結論は、必ずしも本誌と一致するものではない。

参考文献

- (1) B. Glasgo et al., "Expert assessments on the future of direct current in buildings," *Environ Res Lett*, 13, 074004 (2018).
- (2) E. Kelly, "Why AC power REALLY won the Current Wars," *Argentum Electronics blog* (April 14, 2022).
- (3) B.T. Patterson, "DC: The Power to change buildings," *Construction Canada* (Mar. 25, 2014).
- (4) List of HVDC projects via Wikipedia (updated July 14, 2022).
- (5) A. Berthou, "The benefits of high-voltage direct current (HVDC) power," *EE Power* (Oct. 19, 2020).
- (6) D. Gunderson, "Stop the waste in your battery-charger conversion," *Electron Des* (Mar. 12, 2008).
- (7) E. Kelly, "5 Reasons DC electricity should replace AC electricity in buildings," *Argentum Electronics blog* (Mar. 3, 2022).
- (8) R. Price and M. Scerbo, "Direct current power systems can save energy, so building developers are getting a new incentive to incorporate them," *Alliance to Save Energy blog* (Feb. 26, 2019).
- (9) E. Kelly, "Was the 100,000 hour LED light bulb false advertising?" *Argentum Electronics blog* (Sept. 10, 2021).
- (10) Report ID AA0421078, "Global electric vehicle charging station market," *Astute Analytica* (May 6, 2022).
- (11) Electric Insights YouTube channel video, "What makes level 3/DC charging SO fast?" *Argentum Electronics* (July 7, 2022).
- (12) Z. Hoover et al., "How charging in buildings can power up the electric-vehicle industry," *McKinsey & Company* (Jan. 5, 2021).
- (13) A.J. George and G. Ferrand, "Cost study of AC vs. DC data center power topologies based on system efficiency," *Eltek Power, Data Center Solutions white paper*.
- (14) NFPA 70 National Electrical Code, National Fire Protection Association, current edition 2020.
- (15) E. Kelly, "Electricity You Can Safely Touch!? - Introducing Class 4 (CL4) Power Systems," *Argentum Electronics blog* (April 26, 2022).
- (16) R. Price and M. Scerbo, "New LEED pilot credit encourages energy savings with DC power systems," *U.S. Green Building Council* (Feb. 28, 2019).
- (17) "PoE Switch vs. PoE Injector: Which One to Choose?" *Fiber Optical Networking* (Nov. 21, 2017).

著者紹介

エリン・ケリー(ERIN KELLY)は、トロントを拠点にDC配電システムを開発する加アルジェンタム・エレクトロニクス社(Argentum Electronics)のクリエイティブディレクター兼デジタルコンテンツ研究者。