LED照明用のPoE技術がもたらす、効率以外のメリット

アレク・マクデシアン、ソン・フイン

固体照明（SSL：Solid State Lighting）のエネルギー効率は文書化されているが、照明に電力を供給するための最も効率的な方法については、熱心に議論が繰り広げられている。本稿では、PoE（Power over Ethernet）技術がLED照明システムにもたらす、AC主電源では得られないネットワークと制御のメリットについて解説する。

LEDを採用するSSLは今や、主流の技術として商業、工業、家庭用の白熱灯、ハロゲン、小型蛍光灯（CFL：Compact Fluorescent Light）を置き換えている。LEDのメリットは十分に実証されており、動作寿命が長いこと、エネルギー効率が高いこと、サイズが小さく小型の照明器具に適していることなどが挙げられる。例えば、LEDランプの動作寿命は5万時間で、一般的な白熱ランプの1000～2000時間、CFLの5000～1万時間と比べるとかなり長い。LEDは動作寿命が長いことから、届きにくい場所に設置されたランプを交換する際のアクセスや安全性のリスクと、高い人件費が軽減される。またLEDは、運用コストがかなり低く、10WのLEDランプが放射する光の輝度は、60Wの白熱電球にほぼ相当する[1]。

LED照明を採用することのメリットは現在、十分に理解されているが、それに効率的に電力を供給するための最良の方法についてはまだ議論の余地がある。本稿では、新しいPoE技術を利用してLEDにDC電力を供給する方法について解説する。照明に対して、PoE技術を従来のAC主電源と比較すると、システム効率は同等である。しかし、イーサネットLAN（Local Area Network）によって照明がネットワーク接続されることと、LED保守コストが低いという高度なメリットを加味すると、PoE技術が勝る。

PoE技術を用いたDC電源

LEDは本質的に、低電圧のDCデバイスである。従来のAC電源との互換性を確保するために、照明用のほとんどのLEDドライバで、AC-DCコンバータを使用して、AC主電源をそれよりも低いDC電圧に変換することが行われる。この変換処理によってシステム効率が低下するため、設計者らからはDCベースの電源システムが提案されている。いくつかの研究において、一般

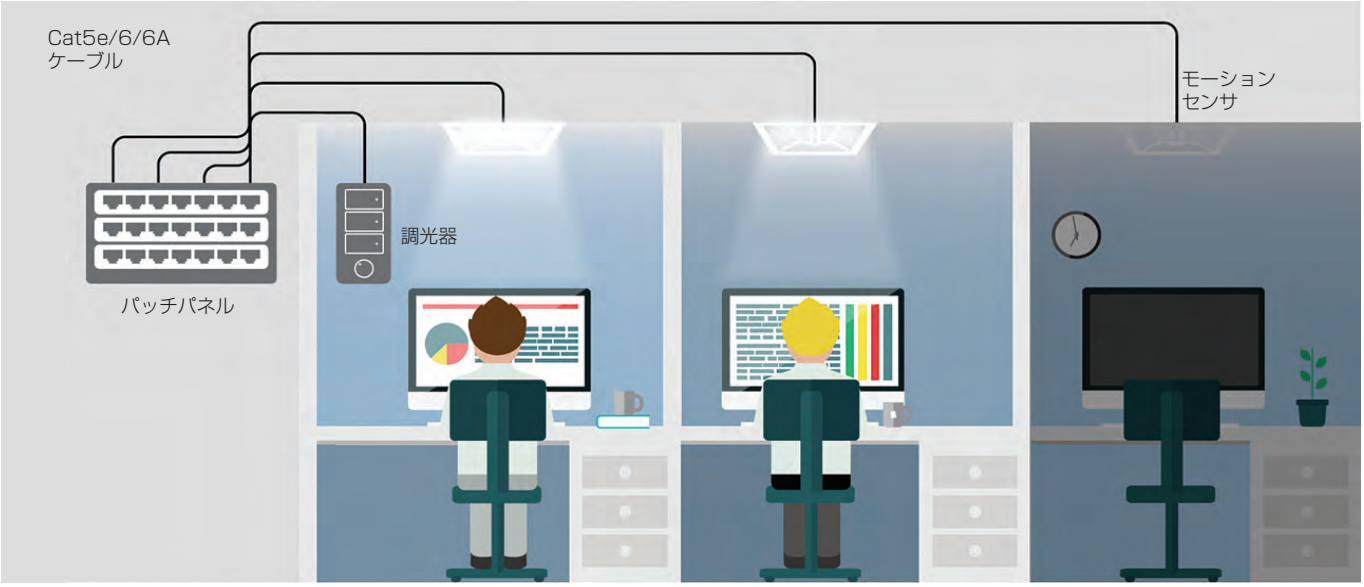

図1　ネットワーク接続された照明およびセンサハブは、照明が使用されるすべての場所に新しい機能を提供し、照明が不要になれば消灯することができる。

的なACシステムとDC電源システムのコスト比較が行われている。米カーネギーメロン大（Carnegie Mellon University）によるある研究[2]によると、「ACの代わりにDCを使用することで年間2000ドルが節減されるという結果が得られた。送電網で拡張された太陽光発電システムによってLEDに給電すれば、ACの代わりにDCを使用することによる節減効果は年間5000ドルと、さらに高くなる可能性がある」という[3]。

現在、PoE技術によってDC電力をLEDランプに供給することができる。2003年に最初に発行され2009年に改定されたIEEE 802.3規格によって、これが規定されている[4]。この規格は、電力と通信のデータを単一の標準ネットワークケーブル（Cat5）を介して直接接続機器に供給することを定めている。電力は、スイッチ／ハブに位置する給電側機器（PSE：Power Sourcing Equipment）を介して供給される。電力を受信する接続機器（本稿の例ではLEDランプ）は受電側機器（PD：Powered Device）と呼ばれる。

ネットワークケーブルにおける最悪の場合の電力損失を考慮して、PSEはPDの出力上限よりも高い電力を供給する。元のPoE規格（IEEE802.3af）ではPSE供給電力を、Cat3またはそれ以上のケーブルを使用して44～57VDCの電圧範囲に対して最大15.4Wと定めていた。この場合、PDは37VDC～57VDCの電圧範囲で13Wまでに制限される。その後、IEEE802.3at規格では、Cat5またはそれ以上のケーブルを使用して50～57VDCの電圧範囲に対して30W（PSE）にまで電力能力が拡張された。この場合のPDは、50～57VDCの電圧範囲で最大供給電力25.5Wまでに制限される。まもなく承認される予定のIEEE 802.3bt規格ではPoEの電力能力がさらに拡張され、PSE出力が90Wに達するレベルにまで最小電力が引き上げられる予定である。

PoEによって給電される各LED照明器具は、個別に参照可能な独自のIPアドレスを持ち、標準のRJ-45コネクタを使用するプラグアンドプレイ機器とすることができる。また、センサを追加することにより、LED照明器具はただの照明からスマートなLEDハブへと変換される。この構成において、インテリジェントな各LEDハブは、周囲照明、温度、湿度、匿名の室内占有データといった情報を収集することができる。その情報はコントローラへと送信される。例えば占有センサによって、誰かが室内に入ると照明を点灯し、室内が無人になると消灯することができる（**図1**）。周囲照明センサは、昼光採取[5]を可能とし、日光が当たらない場合に一定の照明を維持するようにLED照明を調整することができる。PoEは、LANによるスマートLEDハブの給電、接続、制御に最適である。このようにしてLED照明システムは、ITネットワークの一部となる。その対象範囲は、すぐ近くにいるユーザーだけでなく、ネットワークに接続された任意の機器（スマートフォン、タブレット、PCなど）を介して別のビルサービスにまで拡大される。そのため、ユーザーはシステムの近接センサを利用して、最も近い空き会議室を見つけることができる。さらに大きなメリットとして、施設の所有者や管理者は、施設のエネルギー使用量を総合的に確認できるようになる。ネットワークのすべてのノード（暖房や換気を含む）をリアルタイムに測定、監視、制御することによって、管理者はエネルギー消費と運用効率を改善する機会を特定することができる。この情報を活用することにより、ユーザーの行動履歴データに基づいて、温度、照明、清掃スケジュールを調節することができる。

さらなるメリットは、PoE LEDネットワークが将来に対応しているという点である。LED照明器具（と関連するスマートセンサハブ）の設置が必要な場所では、電力とデータが最も便利な場所に既に配線された状態にある。そのため、新しいセンサや、分散型短距離無線アクセスポイントなどの通信モジュールを、低い追加コストで比較的軽い労力で追加することができる（**図2**）。

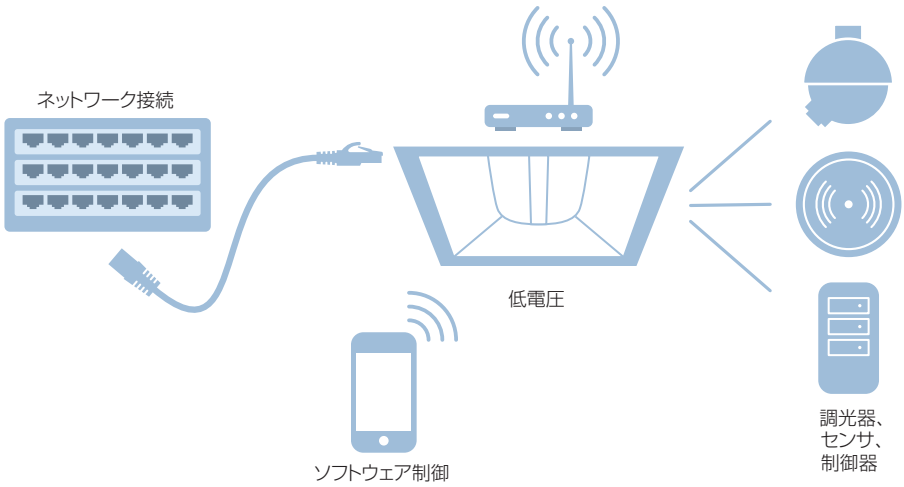

図2　センサ搭載のLED照明を使用するネットワーク接続のスマートハブは、エネルギー消費と運用効率を改善するための有用なデータを提供する。

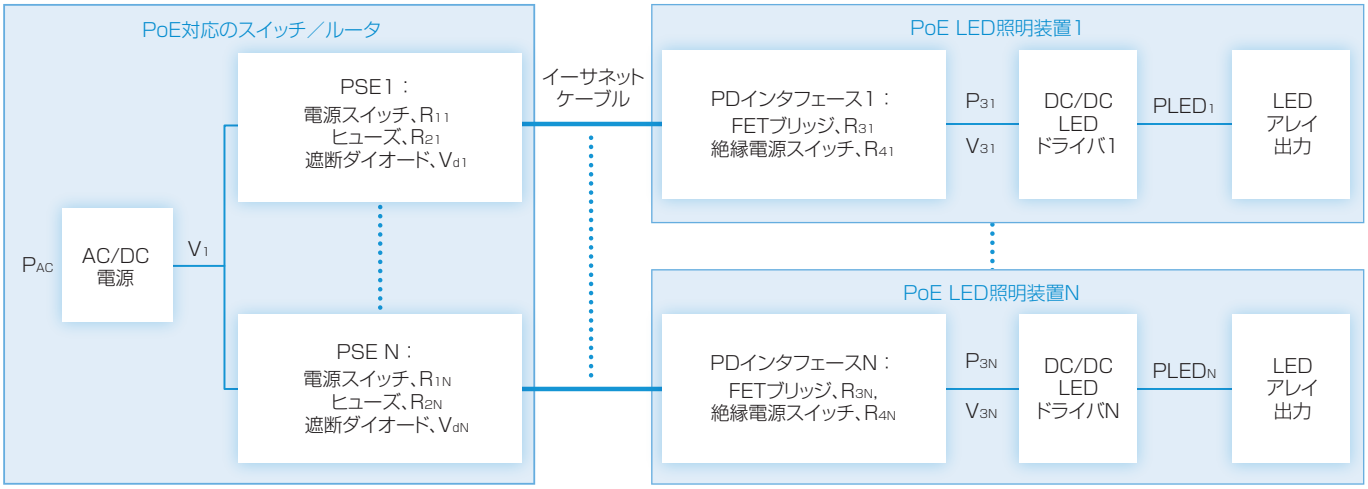

図3　PoE対応のスイッチ／ルータによって複数の照明装置を制御する様子を示す、一般的なPoE照明設定

それによって何が得られるのだろうか。PoEを使用すると、センサやLEDランプといったIP対応機器の導入と設置のコストが低くなるのは明らかである。データと電力で同じケーブルを共有するため、配線コストは低くなる。設置コストが低くなるのは、ネットワークケーブルを敷設するための電気主任技術者（資格を持つ電気技術者）が不要だからである。またPoE DC電圧は、110 VAC（または220VAC）ほど危険ではないので、設置作業もより安全なものになる。PoEネットワークにより、全般的なネットワーク電力管理が改善される。接続機器の電力が個別に制御可能であるほか、停電時にはバックアップ電源を供給することができる。PoE技術の付加価値を示す一例が、Super Bowl XLVIIでの出来事だった。停電により、照明とエレベータが35分間にわたって停止した[6]。その間、スタジアムのWi-Fiネットワークには影響はなかった。バッテリバックアップを備えるPoEによって、給電されていたためである。

PoEで接続された照明システムのこのようなメリットのすべてによって、AC電源かDC電源かという議論が再燃している。「Cat5（またはそれ以上）に起因する抵抗損失はどうするのか」という疑問や、「AC主電源システムで現在必須のAC-DC変換を行う追加部分を取り除いた場合に、かなりの効率改善が得られるほどその損失は小さいのか」という疑問を抱く人もいるだろう。

表1　設定の構成要素

AC/DC電源	CUI INC PSE-1000、54V、1000W、230 VAC：標準効率90%
Cat6	23AWG、ストランドあたり67Ω/1 km（0.067 Ω/m）
PSE MAX5980	R_{SENSE}0.25Ω スイッチ FDMC3612 R_{DSON}0.1Ω
PD MAX5982	絶縁スイッチ、標準0.1Ω、最大0.25Ω
MAX16832	LEDドライバ（効率95%以上）

表2　PoE給電の照明に対するシステム効率計算結果

AC/DC電源（1000W）			PSE			イーサネットケーブル（23AWG Cat6）		PD		
入力電力	効率（%）	出力電圧	スイッチ	ヒューズ	ダイオード	ケーブル長（m）	R	FETブリッジ（各FET）	絶縁スイッチ	
P_{AC}		V1	R1	R1b	Vd1		R2	R3	R4	
11.92	90	54	0.5	0.1	0.5	25	1.68	0.1	0.1	
24.08	90	54	0.5	0.1	0.5	25	1.68	0.1	0.1	
12.00	90	54	0.5	0.1	0.5	50	3.35	0.1	0.1	
24.40	90	54	0.5	0.1	0.5	50	3.35	0.1	0.1	
12.16	90	54	0.5	0.1	0.5	100	6.70	0.1	0.1	
25.10	90	54	0.5	0.1	0.5	100	6.70	0.1	0.1	

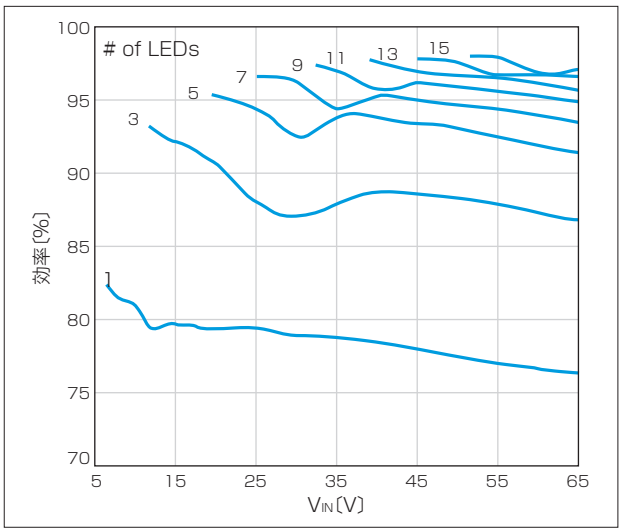

図4 MAX16832 LEDドライバの効率曲線

この議論を検討するために、10Wと20WのLEDランプに給電するための3つのシナリオについて考察する。2つはPoEを使用するケースで、それぞれ元のIEEE802.3af（15.4W PSEと13.0W PD）とその拡張版のIEEE802.3at（30Wと25.5W）の各規格に基づいて給電を行う。もう1つはACを使用するケースで、230VACの標準的な主電源を使用する。

ケーブル長が効率に与える影響

図3は、一般的なPoE照明設定を示したブロック図である。230VACの主電源がCUI INC PSE-1000に供給されている。CUI INC PSE-1000は、標準効率90%の1000W電源である。このPSEを制御するのは40WのMAX5984 PSEコントローラで、PDは70WのMAX5982コントローラを使用する。配線は、ストランドあたり67Ω/1km（0.067Ω/m）のCat6 23AWGケーブルで行われている。図3と**表1**に、詳細な前提条件を示す。

設定効率はCat6ケーブルの長さによって影響されるため、10Wと20Wの各ランプに対して、25m、50m、そして最大許容ケーブル長である100mという3つの平均的なケーブル長で実験を行った。**表2**は、それぞれの場合のシステム効率を示したものである。

LEDドライバについては、効率を95%として計算した。**図4**に示すように、実際

	LEDドライバ		LED	計算		結果
	入力電力	効率（%）	出力（W）	イーサネットケーブル電流	LEDドライバ入力時の電圧	システム効率（%）
	P3		PLED	I2	V3	
	10.53	95	10	0.199	52.99	83.9
	21.05	95	20	0.401	52.46	83.1
	10.53	95	10	0.200	52.65	83.4
	21.05	95	20	0.407	51.77	82.0
	10.53	95	10	0.203	51.96	82.3
	21.05	95	20	0.418	50.32	79.7

LEDs MAGAZINE JAPAN

無料購読
お申込み方法

LEDs Magazine JapanはLEDや照明などLED応用製品の利用やその開発、製造、マーケティングなどに携わっている方にお届けするデジタル版雑誌です。
無料購読いただけますので、ご希望の方はオンラインよりご登録ください。ご登録内容を確認させていただいたうえで読者として正式登録させていただきます。

読者登録URL
http://ex-press.jp/ledj/

ご登録の流れ

お申し込み

登録審査
ご登録内容から、お申し込みの方が無料購読対象の方かどうか確認させていただきます。

登録完了/購読開始
登録完了後、約1～2ヶ月後の発行号から無料購読を開始いたします。

ご購読の更新
約1年毎に購読継続の確認をさせていただきます。
＊更新の段階で有料購読に切り替わることはありません。

お問い合わせ：株式会社イーエクス プレス
Tel: 03-6721-9890
email: ledj@led-japan.jp

の効率はそれよりも高い可能性がある。図4は、MAX16832 LEDドライバの効率曲線を示したものである。48Vでは、さらに高い効率が得られる可能性がある。

表2をもう一度参照すると、システム効率は79.7～83.9%で、ケーブル長や、もちろん照明器具の出力によっても異なる。高出力のLED照明器具ほど、効率は大きく低下する可能性がある。したがって効率の面では、ポートあたりの電力を低く抑える方が良い。そうすることで、よりきめ細かい制御も可能になる。とはいえ、20W（1800ルーメン）のLEDランプで、200Wのハロゲン電球にほぼ相当するので、作業照明としてはまったく申し分ない。

AC電力変換が効率に与える影響

ACを使用するケースでは、**図5**に示すようにAC電力がLED照明器具に直接供給され、AC-DC変換が必要である。

このACのケースでは、配線による電力損失は最小限に抑えられる。効率の損失は主に、個々の照明器具で必要なAC-DC変換で生じる。MAX16841はオフラインLEDドライバで、導通モードで動作することによって、ACラインのHighとLowの両方で変換効率を最大化する、定周波数制御方式が採用されている。このモードは、導通損失とスイッチング損失の合計を最小化する。MAX 16841EVKITのデータシート（http://bit.ly/1DG zlQ6）によると、8シリーズLEDの効率は、調光機能使用時は82.9%、不使用時は84.8%で、出力電力は10Wとなっている。

ACとPoE：究極の比較

調光可能なLED照明器具に対し、ACシステムの効率（82.9%）は、ケーブル長が最大の100mの場合の10WのPoE LED照明器具（82.3%）よりも少しだけ高い。25mのCat5の場合は、AC効率の方が1%低くなる（82.9%に対してPoE LEDランプは83.9%）。個々の照明器具の出力が高くなると、PoEシステムの効率は低下し、ACシステムよりも低くなる。

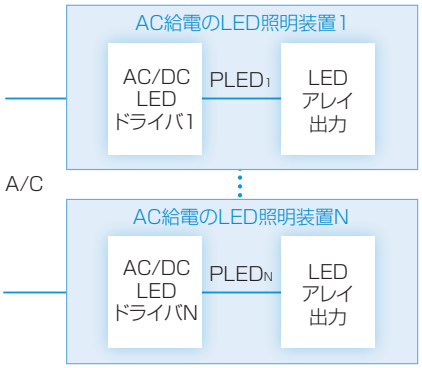

図5 AC電源を使用するLED照明器具は、ケーブルによる電力損失は最小になるが、AC-DC変換のために効率損失はPoEの場合よりも大きくなる。

究極的には、PoEシステムとACシステムの効率比較は、特定用途の照明ニーズに依存する。PoE電力効率は、個々の出力電力が低く抑えられ、Cat5またはCat6のケーブル長が短い場合は、必ずACシステムを上回る。したがって実際には、照明の構成が細かいほど、PoE給電のLEDの効率は、AC電源を使用する場合を上回るようになる。

1つ補足事項がある。今回の分析では、23AWG Cat6のケーブル抵抗を想定した。22AWG Cat6を使用すれば、PoE照明の効率をさらに高めることができる。22AWG Cat6は現時点ではそれほど一般的ではないが、PoE照明がさらに普及すれば広く利用されるようになる可能性がある。

まとめ

今回の分析では、システム効率のみを検討した。実際のコストについては考慮していない。ランプやシステムの設置に必要な電気主任技術者や許可取得の費用は、地域の規則や規制によって異なる。そのため、ACとPoE給電の照明のコストの違いを正確に比較するには、そのような人件費も考慮に入れる必要がある。

コストと効率を検討する以外にも、PoEで給電されるLED照明器具は、センサ、無線通信モジュール、スマートハブに組み込まれたプロセッサと、そのまま連携可能であることを忘れてはならない。スマートLED照明／センサハブをLANに接続すれば、貴重な将来保証が得られる。設置済みのLEDハブを利用することにより、コストのかかる照明交換を追加で行うことなく、モノのインターネット（IoT：Internet of Things）といった新しい技術を簡単にサポートして活用することができる。

参考文献

(1) A. Makdessian, “The Bright New Outlook for LEDs: New Drivers, New Possibilities,” Maxim Integrated White Paper（http://bit.ly/1h0dits）.

(2) B.A. Thomas, I.L. Azevedo, and G. Morgan, “Edison Revisited: Should we use DC circuits for lighting in commercial buildings?” Elsevier Journal, February 2012（http://bit.ly/1Mmq5U4）; also Energy Policy, March 2012（http://bit.ly/1Kg4zKr）.

(3) Press Release, “Carnegie Mellon Researchers Examine Economic Feasibility Of Using Direct Current Circuits To Power Lights in Commercial Buildings,” Carnegie Mellon University, Apr. 25, 2012（http://bit.ly/1N15AvW）.

(4) Wikipedia, general background on the IEEE standard, PoE, and references（http://bit.ly/1L368yl）.

(5) Wikipedia, general discussion of daylight harvesting and additional references（http://bit.ly/1ElvtyF）.

(6) “Superdome power outage delays Super Bowl XLVII,” Associated Press, Feb. 3, 2013（Source: National Football League; http://bit.ly/1JSOyhL）.

LEDJ