

# 屋外照明における 0～10V制御のエネルギー影響の評価

アナイ・ワエール、シャット・プラトゥームラタナ、マイケル・ポブラウスキ、ジェイソン・タンジー

PNNLの研究者らは、LED照明器具のネットワークに接続された0～10V制御の性能に予想外のばらつきがあり、それによって一貫性した調光が得られず、提案されたエネルギーとコストの削減効果を達成できない可能性があることを発見した。

アナログ0～10V制御が登場したのは、蛍光灯安定器(バラスト)を調光するために開発された1980年代のことだが、今でも北米のLED照明器具や照明制御装置のメーカーによって提供される、最も一般的な制御方法である。より高い機能を備える他の制御方法も存在するが、独占的であったり、設定が複雑であったり、実装にコストがかかったりする場合がある。

LEDとその現代的なネットワークインタフェースや照明器具レベルのセンサーが実現するインテリジェントな機能に対して、0～10V技術を使用することには、重大なトレードオフが伴う可能性がある。特定の制御電圧における照明器具の相対光出力と入力電力は、LEDドライバ設計や負荷に依存するために予測が難しく、実際には照明器具の間で性能の一貫性が得られない可能性がある。

入力制御信号に対する照明器具の応

答が予測不能でばらつきがあり、標準的な方法ではそれを補償するどころか認識もできないことの最終的な結果として、エンドユーザーは、予想外の望ましくない性能を日常的に目にするようになる。その例としては、以下のようなものがある。

- ・明るさを落とした場合に推定されるエネルギーとコストの削減効果が、実際には得られない可能性がある。
- ・隣接する照明器具に異なるLEDドライバが搭載されている場合は、同じ制御信号を与えても異なる光レベルに調光されて、可視性が損なわれたり、見栄えが悪くなったりする可能性がある。
- ・調光曲線のデッドゾーン(制御信号が変化しても光レベルが変化しない部分)により、照明制御システムの1つ以上の部分が意図したとお

りに機能していないとユーザーが感じる可能性がある。

## 屋外照明器具に関する初期調査

米パシフィックノースウェスト国立研究所(Pacific Northwest National Laboratory: PNNL)は、この問題を調査しており、2020年5月号の記事「To dim or not to dim: Why is that still a difficult question?」(調光するか否か: それが無だに難しい質問である理由)で、その予備調査結果を報告している。この初期調査では、商用提供されている街灯の0～10V制御信号に対する応答のばらつきを調べた。研究者らは、23種類のLED屋外コブラ



ヘッド照明器具(ANSI C136.41準拠のレセプタクルを装備し、0~10Vインタフェースを介して調光可能と記載されたもの)を対象に、NEMA ANSI C137.1-2019規格に基づいて、それらの調光に使われる一連の制御に対して生じ得る性能のばらつきを調査した。

われわれの評価により、特定の0~10V制御信号電圧における、照明器具の(定格値を基準とした)相対消費電力に、かなりのばらつきが生じ得ることが明らかになった。ANSI C137.1-2019規格は、市場に提供される製品の間に見られるばらつきをいくらか軽減することを目的としたものだが、その要件を評価対象の街灯に照らし合わせたところ、半数強の街灯しかそれに

適合していなかった。これは、この任意規格への適

合を求める仕様が、この問題に影響を与えているに違いないことを示唆している。しかし、平均相対消費電力は、全製品で約53%だったのが、この規格に適合する製品に絞っても約47%にしか減少しないことが、試験によって明らかになった。つまり総合すると、ANSI C137.1-2019は、市販製品にプラスの影響を与えるかもしれないが、必ずしも均一で予測可能な性能の実現には至っていないということになる。

予測が不可能であることは、深刻な結果につながりかねない。住民の苦情に対応したり、制御戦略を実行したりするために、屋外照明の調光を行っても、所望の照明レベルが得られず、住民の不満を解消できないばかりか、安全性が損なわれる可能性もある。照明の消費エネルギーの予想減少量に応じて電気料金が調整される場合は、過大請求や過小請求が生じる可能性がある。数万基もの街灯が設置された都市では、調光性能のばらつきが、エネルギー消費量とコストの予想値に多大な影響を与える可能性がある。

## エネルギー性能に対する影響をさらに詳しく調査

0~10V制御信号に対する街灯の応答のばらつきは、メーカーやモデルが個々に異なる製品に対するキャリブレーションを行わなければ、照明器具のエネルギー性能とコストに深刻な影響を与える可能性がある。

研究チームは、2万基の街灯が設置された中規模都市を例に、エネルギー分析を行うことにより、この影響を定量化した。光出力と電力を調整する3種類の照明制御戦略について、定格出力の100%で照明を一晩中点灯した場合を基準として、この基準条件に対するエネルギーとコストの削減効果を比較した。照明器具の調光曲線は、0~10V制御信号応答のキャリブレーションを目的に測定されたものではないというのは、実世界では一般的なことであるため、われわれもそのように想定した。このような場合は、制御信号と入力電力の関係は、0V~10Vの間で完璧に線形であるとみなすのが最も一般的である。つまり、例えば、制御信号が10Vと5Vの場合は、相対電力レベルはそれぞれ100%と50%になる。実際の調光レベルは、上述の23種類の街灯から測定された調光曲線の値を使用した。

2つの基準条件について考察した。1つ目は、照明器具は「無制御」で動作し、「最大定格電力」を消費すると想





PNNLの研究者らは、屋外LED照明器具に接続された0~10V制御を評価した。さまざまな調光戦略を調査し、照明器具が無制御で最大定格電力で動作する場合と、0~10V制御信号による調光が行われる場合を基準として、それらの基準に照らし合わせて性能を分析した(画像提供:PNNL)

定するもので、2つ目は、照明器具は「10V制御信号」を受けて、その制御電圧において特性評価時に観測される電力を消費すると想定するものである。これら2つの基準は、等価であるように思われるかもしれないが、われわれの特性評価では、10V制御信号に対する照明器具の応答にばらつきがあるため、両者は等価ではないことが判明している。

研究チームが考察した1つ目の照明制御戦略は、シンプルな部分夜間調光(Part-Night Dimming:PND)戦略で、11時間の稼働時間のうちの4時間は、最大定格電力の50%に照明器具を調光すると想定するものである。これに加えて、2種類の一定光出力(Constant Light-Output:CLO)戦略(L90で20年間とL80で16年間)も調査した。寿命終了時に最小必要光レベルを提供するように照明器具の仕様を定義するのが一般的な設計方法だが、CLO戦略は、経時に伴って予測可能な形で初期値から低下していく出力に対して、それを補うように作用することにより、正常動作中はこの最小レベルを上回る出力

を提供するものである。

例えば、L90で20年間の照明器具の光出力は、20年間に100%から90%に徐々に低下していくと予想される。CLO戦略では、最初は目標光出力に合わせて照明器具の出力を落とすが、経時に伴って予想される出力の低下に対抗する形で、徐々に出力を増加させていく。実際にはこのようなCLO戦略が、屋外照明の制御に最も一般的に採用されている。

PND戦略では、エネルギーとコストの年間削減効果は18%になるはずである。しかし、「予想される」削減効果を、実測定の各調光曲線によって実現される実際の削減効果と比較した分析結果によると、0~10VのLEDドライバを搭載する照明器具の削減効果は、平均で12%または13%となる(基準条件によって異なる)。

L90で20年間のCLO戦略では、エネルギーとコストの戦略期間終了時の累積削減効果は5%になるはずである。しかし、予想値と実際値を比較する同様の分析結果では、0~10VのLEDドライバを搭載する照明器具の戦略期

間終了時の累積エネルギー消費量は、平均で2%増加するか、または1%減少することになる(基準条件によって異なる)。

L80で16年間のCLO戦略では、エネルギーとコストの戦略期間終了時の累積削減効果は10%になるはずである。しかし、予想値と実際値を比較する同様の分析結果では、0~10VのLEDドライバを搭載する照明器具の戦略期間終了時の累積削減効果は、平均で0%または3%となる(基準条件によって異なる)。

15ページの図は、この調査で特性評価したすべての調光曲線について、これら3つの戦略によって得られるエネルギーとコストの累積削減効果を示したものである。この分析と結果の詳細については、米エネルギー省(DOE)のウェブサイトにて2023年秋に掲載される新しい報告書を参照してほしい。

## 0~10Vに関する推奨事項

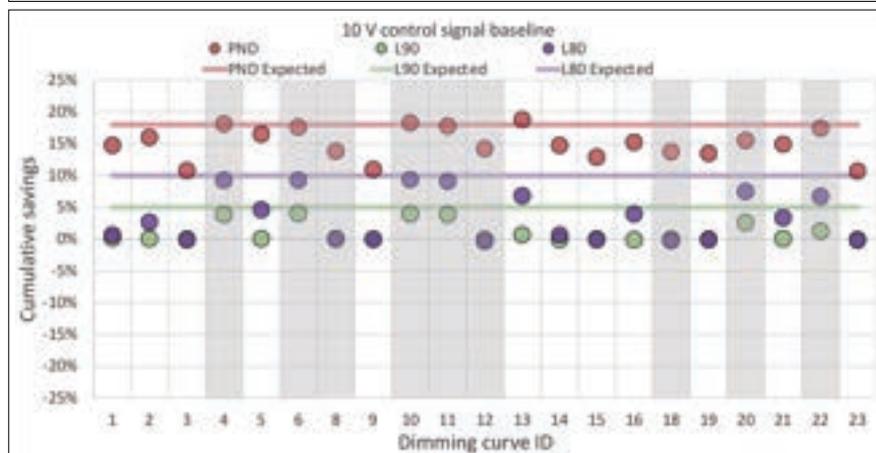
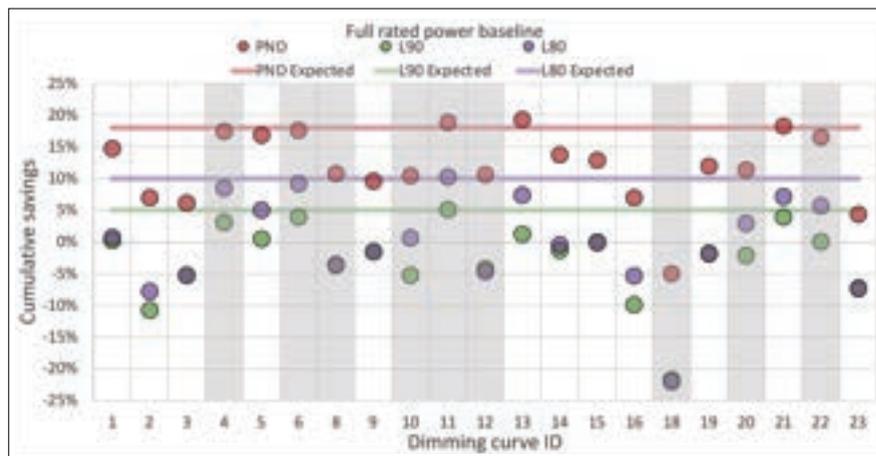
われわれの調査結果が照明業界と規格策定団体にとって、0~10V製品の欠点をより深く理解しておそらくは解消し、業界にとって何が最善かを検討するための一助となることを願っている。つまり、照明システム内のすべての照明器具に対して、予測可能で一貫性のある調光性能を提供し、それによって、予想どおりの光レベルとエネルギー消費量を保証するための何らかの手段が必要である。例えば、ドライバメーカーがANSI C137.1-2019に準拠する製品を設計すれば、この目的はある程度達成される可能性がある。照明業界がこの規格をさらに改良して、その要件を厳しくすれば、さらに高い成果が得られる可能性がある。ドライバメーカーと照明器具メーカーはどちらも、0~10V製品の調光曲線を基本的

な製品説明書に掲載することによって予測可能性を高めるか、0~10V制御のように性能やばらつきが予測不可能ではない、標準化されたデジタル制御方法(DALI D4iやANSI C137.4-2021など)に移行することができる。

コネクテッド照明システムの開発者は、中央管理および照明制御ソフトウェアによって、システムに採用されている、メーカーやモデルの異なる各照明器具に、特性評価済みの0~10Vの調光曲線を割り当てて、照明器具に送信される0~10V制御信号の「キャリブレーション」を可能にすることで、照明器具が確実に所望の相対電力を消費し、それに対応する相対光レベルを提供するようにすることができる。また、照明器具または照明器具制御装置に入力電圧を監視する機能が備わっているならば、開発者は、制御信号入力を掃引して、それに伴う照明器具の入力電力を測定することによって、照明器具の調光曲線を体系的に取得するメカニズムを、ソフトウェアに実装することができる。

規格策定団体は、ANSI C137.1を変更して、0~10Vの高制御電圧を8Vまたは9Vのいずれか1つに定めて、その単一の0~10V高制御電圧と、規定された0~10V低制御電圧における、ドライバの相対出力要件または範囲を定義することができる。(例えば、前者は最大出力の100%、後者は最大出力の8%~12%など)。

照明の設計者と仕様定義者にできることは、採用するすべての照明器具について調光曲線を取り寄せることと、同一の制御信号に接続された照明器具の動作が一貫しているか、あるいは、予想の範囲内にあることを確認することである。設計者と仕様定義者は、システム内のすべての照明器具にわたっ



この調査で特性評価したすべての照明器具の調光曲線に対して、1つのPND戦略(赤色)と2つのCLO戦略(L90で20年間[緑色]とL80で16年間[紫色])を適用した場合に得られる、エネルギーとコストの累積削減効果。上のグラフは、最大定格電力を基準とするもので、下のグラフは、10V制御信号を基準とするものである。灰色の影が付いた部分は、ANSI C137.1-2019非準拠の製品を表す(画像提供:PNNL)

て正確で一貫した調光性能を達成し、予想されるエネルギーとコストの削減効果を保証するために、DALI D4iやANSI C137.4:2021に準拠するドライバを選択することを検討することもできる。

すべての関係者が協力することで、照明システム内のすべての照明器具にわたって、より正確で一貫した調光性能を達成することができる。ここで、われわれの調査はLED街灯を対象としたものだが、根本的な現象は照明用途に依存するものではないため、他の照明器具でも同様の結果が予想されることを注記しておく。

さらに詳しい試験方法とデータ分析を含む、本稿の取り組みに関するより包括的な報告書が、DOEのコネクテッド照明システムに関するウェブサイトに掲載されている。

#### 著者紹介

アナイ・ワール(ANAY WAGHALE)、シャット・プラトゥームラタナ(SHAT PRATOOMRATANA)、マイケル・ポプラウスキ(MICHAEL POPLAWSKI)、ジェイソン・タンジー(JASON TUENGE)は、米パシフィックノースウェスト国立研究所(Pacific Northwest National Laboratory: PNNL)に所属し、米エネルギー省(Department Of Energy: DOE)の建築技術局(Building Technologies Office: BTO)を主にサポートする研究に取り組んでいる。