

屋外メッシュネットワークで実現する、歩道照明のスマート戦略

クロード・ジュー

歩行者や自動車以外の移動手段を支える屋外エリア照明に、メッシュネットワークを応用したケーススタディにおいて、安全性と効率の目標を、制御がどのように支えるかについて解説する。

車道照明や屋外エリア照明では、効率の高いLEDに置き換えるだけで、消費エネルギーを最大50%削減することができる。しかし、LEDへのアップグレードに伴う制御の価値は、まだ最大限には生かされていない。

LED技術の成熟と、通信やビッグデータとの統合に伴って、現代照明は、インテリジェントな運用に向けて大きく前進し続けており、この状態は今後も続く。世界中の都市で、モノのインターネット (Internet of Things : IoT)

を基盤としたスマートグリッドの構築が進められている。道路照明は今後ますます、IoTに統合されていく。照明用ポールは、至る所に立つ確立されたインフラであるため、必然的にIoTネットワークのバックボーンとなり、市域を網羅する信頼性の高い信号カバレッジと接続を実現する。

ニュージーランドのオークランドトランスポート (Auckland Transport) の調査では、スマート照明ネットワークにLEDを統合することによって、

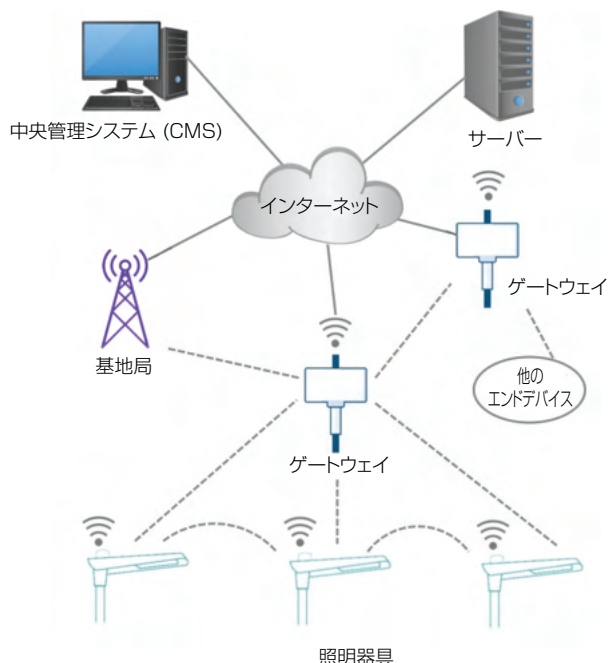
さらに15%のエネルギー削減が可能になると推定されている。スコットランドでは、スマート照明の複数のビジネスケースにおいて、公共安全を維持しつつ、自治体の照明のエネルギー消費をより適切に管理するために、午後11時から午前6時までの間に50%の調光を行うことが提案されている。アイルランドのさらに別の調査では、都市規模の中央管理システム (Central Management System : CMS) によって、非定期的保守コストを15%削減できることが証明されている。非定期的の保守には、悪天候や器物破損で壊れた照明や、予期せず故障した照明の交換などが含まれる⁽¹⁾。

IoTデバイスで構成される他のシステムと同様に、スマートシティ実装を成功させるには、照明と制御をネットワークアーキテクチャに組み込んで設計する必要がある。本稿では、市域にスマート機能のメリットをもたらすことを目的に、ネットワークを介して動作及び通信するコネクテッド屋外照明の例として、ニュージーランドのクライストチャーチ市向けに開発された地域インフラプロジェクトを紹介する。

ネイバーフッドエリアネットワークのトポロジ

ネイバーフッドエリアネットワーク (Neighborhood Area Network :

図1 メッシュネットワークアーキテクチャは、CMSを使用して、ゲートウェイを介して照明器具やその他のエンドデバイスの通信と制御を行う、スマート屋外歩道照明を支えるために利用されている (画像はすべてクロード・ジュー氏提供)。



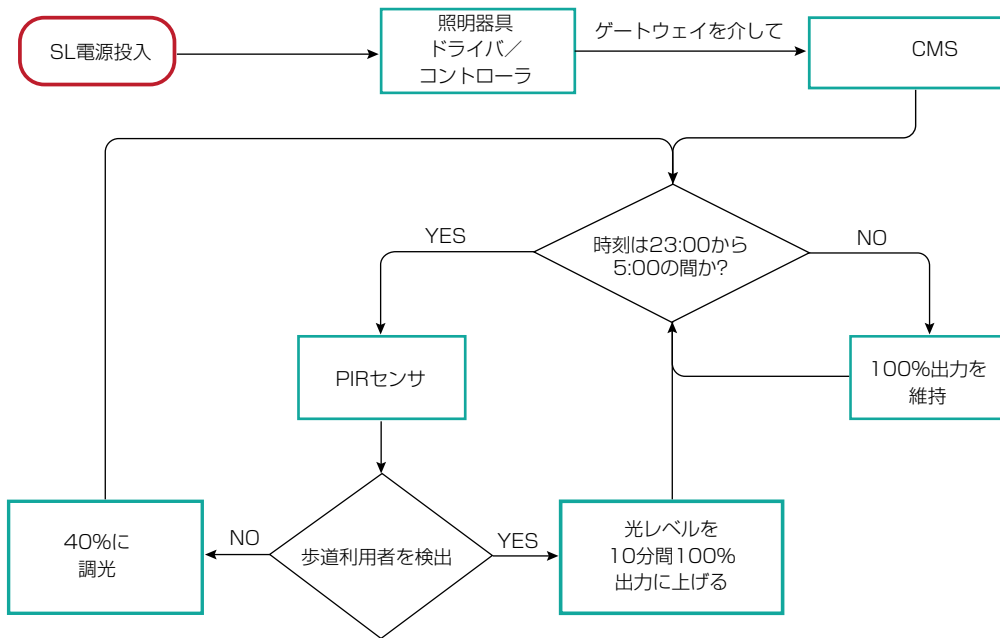


図2 CMS内にプログラムされた調光プロファイル。歩道利用者を検出するために設置されたPIRセンサから送られたデータに基づいて、照明器具の動作を設定する。1日のうちの時間を考慮に入れて、照明出力レベルが定められている。

NAN)は通常、コーディネータ、ルーター、エンドデバイスという3つの要素で構成される。

コーディネータは、ネットワークの根幹を形成する、最も高機能で高価なデバイスである⁽²⁾。他のデバイスへのメッセージの保存/受信/転送を行うことにより、サブネット内の他のノードをCMSに接続する。ルーターは中継装置のような役割を担い、デバイス間のデータを転送し、ネットワーク範囲を拡張する。エンドデバイスは、親ノードに対するリッスンと応答を行うが、一般的には他のデバイスにデータを中継することはない⁽²⁾。

NANはプロジェクトのニーズと用途に応じて、ツリー型、スター型、メッシュ型など、複数のトポロジで構築することができる。トポロジの簡単な定義については、電気通信標準化連合

(Alliance for Telecommunications Industry Solutions : ATIS)の用語集 (<https://bit.ly/3Ab1qxG>)を参照してほしい。

ツリー型やスター型のトポロジと比べて、メッシュネットワークにはいくつかのメリットがある。まず、分散構造によってシステム障害や故障のリスクが抑えられるために、信頼性と堅牢性が高い。また、データトラフィックが1つのコーディネータや経路に過度に集中することが回避される。さらに、メッシュネットワークは「自己修復」が可能である。つまり、コーディネータやルーターに障害が発生すると、他のノードを無効にすることなく、代替ルートが自動的に確立される。最後に、メッシュネットワークは、現行ユーザーの業務の中断や、確立されたインフラへのアップグレードを必要とするこ

となく、簡単に拡張可能である。

メッシュネットワークのアーキテクチャ

クライストチャーチ市は、IoT機構の構築にメッシュネットワークを採用した。IPv6ワイヤレス技術を利用し、917MHzの無線周波数(RF)で通信を行う。RF層は、Wi-SUNアライアンスが推進するIEEE 802.15.4g規格に基づいている(これを含む屋外照明/スマートシティ規格については、<https://bit.ly/2VJpMj2>を参照のこと)。将来のプロジェクト要件に応じて、有線の電力線通信(Power Line Communication : PLC)、Wi-Fi、Zigbee、セルラーなど、他のプロトコルや媒体も利用される可能性がある。図1は、クライストチャーチ市の最新の歩道照明プロジェクトで活用されて

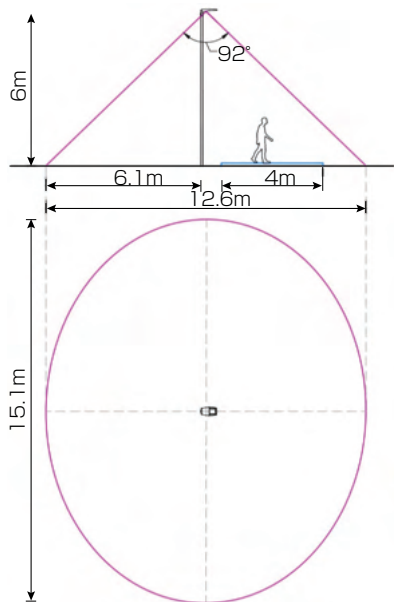


図3 歩道センサの検出円の最大直径は約12mで、正しく動作するには、環境や地形に伴う障害物を避けて、歩道に沿って設置する必要がある。

いる、メッシュネットワークのアーキテクチャを示したものである。

クライストチャーチ市のネットワークでは、特別に開発されたCMSソフトウェア及びサービスパッケージによって、データ収集と設備管理のすべての処理が効率的に実行される。また、システムの運用/安全条件とエネルギー消費データを、連続的に監視・解析するためのプラットフォームが提供される。

これまでに10個のゲートウェイデバイス(アクセスポイント[AP]とも呼ばれる)が、クライストチャーチ市内に設置されている。これらのゲートウェイはコーディネータとして機能する。ゲートウェイは、エンドデバイスをユーティリティバックオフィスシステムに接続して、エンドデバイスとの間の通信を司る。また、複数のルーターを介した情報転送を行う。ゲートウェイは、カメラ、センサ、メーターなど、通信範囲内にあるエンドデバイスと直

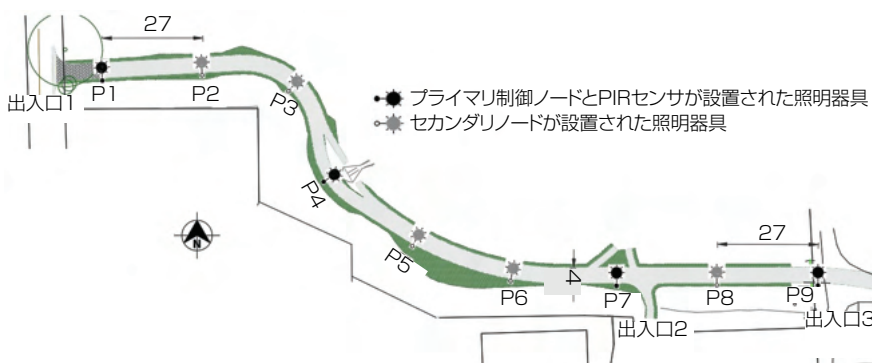


図4 主要ポイントにセンサを設置するレイアウト。プライマリ制御ノードとPIRセンサを、歩道の出入口にある特定の照明器具(照明器具コントローラ)のみに設置する。

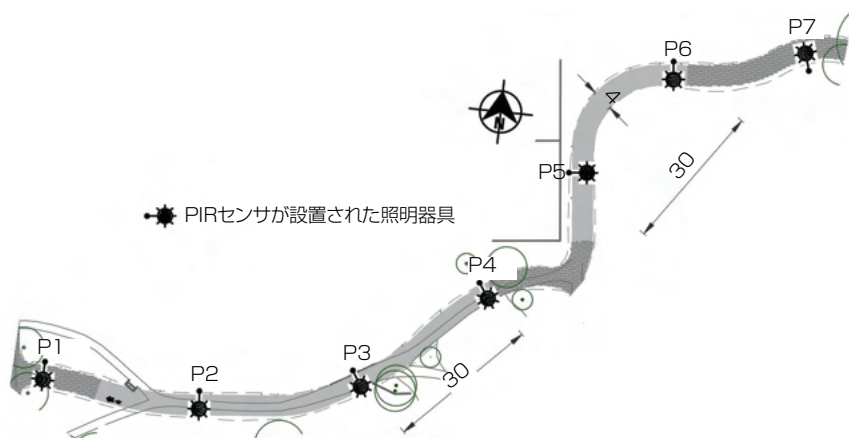


図5 歩道全体に沿ってセンサを設置するレイアウト。歩道沿いのすべての照明器具にPIRセンサを設置し、近づく利用者を検出する。一般的な歩行速度/時間パラメータの範囲内の照明の点灯/消灯を行って、歩道の安全を確保する。

接通信することができる。通信範囲外のデバイスに対しては、1つ以上のルーターを介して、間接的に通信することが可能である⁽³⁾。

照明コントローラ(Luminaire Controller:LC)は、それに関連する照明器具やデバイスに対するルーターとして機能するとともに、ネットワーク範囲を拡張する役割を担う。RF信号の強度は、枝葉、ビル、地形などの干渉や障害物によって、送信側と受信側の間で低下する可能性がある。LCは、他のネットワークデバイスから信号を受信

し、その強度を高めて再送信する。

歩道照明の運用例

リップリレーやフォトセルを介して道路照明に電力が投入されると、LCはゲートウェイを介してCMSと通信する。事前設定された時刻判定条件の確認が行われる。図2は、クライストチャーチ市の専用歩道に適用されている、標準的な照明調光プロファイルである。時刻が23時から5時の間であれば、調光が行われ、それ以外の時刻であれば、歩道照明はフル出力のまま

となる。

調光モードにおいて、パッシブ赤外線 (passive infrared : PIR) モーションセンサによって歩行者や自転車の存在が検出されない場合、光レベルは設計出力の40%に設定される(クライストチャーチ市の歩道の大多数は、PP3照明規格に準拠して設計されている。PP3とPP4のレベルについては、屋外照明の推奨レベルを定義するオーストラリアのAS1158.3.1規格に概要が定められている。40%の調光により、光レベルは次の準拠レベルであるPP4に低下することが、計算によって示されている)。歩道の利用者が検出されると、照明は、一定時間(例えば10分間)だけフル出力になる。また、「フェードイン」と「フェードアウト」のパターンを適用することにより、急に明るさが変わって近隣住民に迷惑がかからないようになっている。

近い将来、この道路照明電力ネットワークは、24時間年中無休体制に移行する予定である。そのときには、照明の点灯/消灯はCMSによって制御されるようになる。LCはスタンバイ状態で、定期的にCMSを「リッスン」して命令を実行することになる。命令は調光に限らず、周辺温度、環境騒音、大気汚染、障害ステータスなどのデータ送信も含まれる。

歩道照明のためのセンサ配置

クライストチャーチ市の共有歩道は一般的に幅4mで、照明用ポールの高さは5~7mである⁽⁴⁾。モーションセンサは、歩道とその周辺エリアを効果的にカバーする検出範囲を備えつつ、隣接する私有地内の動きを検知しないものが選択されている。

図3は、センサの検出範囲を示したものである。選択されたセンサは、92°×

102°の範囲をカバーする円錐形の検出フィールドを備え、検出円の直径は最大12mである。歩道の位置や地形などの物理的特徴は、場所によって大きく異なるため、検出の「死角」が生じないように、センサの位置、間隔、制御機構を、その場にあわせて調査する必要がある。

図4は、アクセス制限のある歩道で、歩行者や自転車は特定の箇所からしか、歩道に入ることができない。この場合は、主要な入口と出口のみにセンサを設置して、歩道利用者の存在を検出することができる。

いずれかの出入口で利用者が検出されると、LCはゲートウェイを介してCMSにメッセージを送信する。CMSは命令を発行して、定められた時間だけ、歩道全体の照明をフル出力にして、利用者が歩道を通り抜けられるようにする。通り抜けに要する時間は、歩道の長さを一般的な歩行速度で除算することによって、算出できる。オーストラリアで行われた調査に基づき、一般的に1.2m/sという歩行速度が、歩行者の歩行時間と歩行者がいなくなるま

での時間の算出に使われている。歩行速度の遅い歩行者が多い地域では、1.0m/sという歩行速度を適用するのも適切である⁽⁵⁾。

図5は、利用者がどこからでも侵入可能な、完全にオープンな歩道である。このレイアウトに対する最良のソリューションは、すべてのポールまたは照明器具にセンサを設置することである。各センサは対応する照明器具だけをフル出力にする。安全が懸念される場所では、歩道に沿った動きをセンサが検出するにつれて、移動方向の2つ先の照明までをCMSによって点灯するという、高度な機構を適用することができる。

結論

IoTの成長に伴って、スマート歩道照明の応用が具現化されつつある。照明制御は、ヒューマンセントリックな屋外照明設計の必須要素である。スマート技術実装の可能性とメリットを現代的な照明設計に活用して、より安全かつ便利でエネルギー効率の高い夜間環境の構築に役立てるべきである。

謝辞

メッシュネットワークのセクションに貴重な助言をいただいたクライストチャーチ市議会のジェフ・イングリッシュ氏(Geoff English)と、本研究に親切にご協力いただいたPowerplant Project Services(メルボルン)とConnetics Ltd.(クライストチャーチ)の照明チームに深い感謝の意を表す。

参考文献

- (1) R. Chau and M. Punn et al., "Smart lighting feasibility study," Public Lighting Group, Arup Australia (2017; <https://bit.ly/3hEaOT0>).
- (2) S. Shams, "Mesh networks for lighting control applications," Lighting Art & Sci., 32-36 (June/July 2016; <https://bit.ly/3lm1QuQ>).
- (3) Silver Spring Networks, Solution and Product Overview, 42?43 (2015; <https://on.ny.gov/3kc2oUz>).
- (4) Y. Zhu, "The 'blind spot' in pathway lighting mounting height selection," Lighting Art & Sci., 22-25 (February/March 2021).
- (5) L. Truong et al., "Walking speeds for timing of pedestrian walk and clearance intervals," 40th Australasian Transport Research Forum (ATRF 2018; <https://bit.ly/3nBkRfn>).

著者紹介

ユンユ(クロード)・ジュー(YUNYU (CLAUDE) ZHU)は、豪パワープラント・プロジェクト・サービス社(Powerplant Project Services)のシニア照明エンジニア。道路、自転車用道路、駐車場、投光照明を特に専門としている。