

小規模施設向け無線照明制御システム LinkLED Airの通信方式と制御技術

Communication Method and Control Technology to Improve Reliability and Responsiveness of LinkLED Air
Wireless Lighting Control System for Small-Scale Facilities

小野 智嗣 ONO Tomotsugu 村木 健佑 MURAKI Kensuke 杉田 瑞樹 SUGITA Mizuki

照明の制御による省エネは、ビルなどの大規模施設で導入が進んでいた。近年、小規模の施設でも導入の要望があるが、導入する際の手軽さが求められている。

東芝ライテック(株)は、小規模施設向け無線照明制御システム LinkLED Airを2024年4月より提供している。LinkLED Airは、無線で照明制御することで、照明器具のリニューアル時に配線工事が不要で、容易に導入できる。今回更に、センサーによる自動制御機能を追加するために、データ欠損の確率を下げる通信方式と、設定・操作のタブレットやセンサーの情報などに優先度を設定して、重要なデータを優先的に伝送する制御技術を開発し、信頼性と応答性を向上させた。これにより、多数のセンサーが同時に動作する環境でも、安定した動作を実現した。

Lighting control systems are being installed at more large-scale facilities than ever, including buildings, to improve the energy-saving performance of lighting. This has resulted in increased demand in recent years for lighting control systems that can be easily installed in small-scale facilities.

Toshiba Lighting & Technology Corporation released LinkLED Air, a wireless lighting control system for small-scale facilities, in April 2024, making it easy to introduce energy-saving lighting controls by eliminating the need for wiring when renovating existing lighting fixtures. We have developed the following two key elements to improve the reliability and responsiveness of LinkLED Air for automatically controlling lighting using sensor data: (1) a communication method that reduces data loss, and (2) control technology that prioritizes transmitting important data from a tablet which controls lighting and collects information from sensors, ensuring stable operations even in environments where many sensors operate simultaneously.

1. まえがき

従来、照明制御システムによる省エネ制御は、ビルなどの大規模施設で導入が進んでいたが、近年の省エネ意識の高まりにより小規模の施設でも照明制御システムが導入されている。そのような小規模の施設では、省エネ制御に加え、システムを導入する際の手軽さが求められている。特に既存設備のリニューアルでは、信号線敷設工事が不要となる無線制御システムが、工期短縮や初期コスト削減の観点から注目されている。

東芝ライテック(株)は、無線通信を用いて照明制御することで、既設の照明器具をリニューアルする際に配線工事を不要としたLinkLED Airを開発し、2024年4月より第1弾をリリースしている。2025年秋に第2弾として、センサーによる自動制御機能を追加したシステムに拡張し製品化する。これに向けて、データ欠損の確率を下げる対策を開発し、更に重要なデータを優先的に伝送する優先度制御を開発した。開発した技術により、通信の信頼性と応答性を向上させ、センサーによる自動制御機能の実現を目指す。

ここでは、LinkLED Airの製品概要とシステム構成、採用した無線通信方式の特徴と課題を述べ、センサーをシス

テムへ追加した際の課題と対策について述べる。

2. LinkLED Airの製品概要とシステム構成

LinkLED Airのシステム構成は、図1に示すように、照明器具、タブレット、スケジューラー、壁操作器、“あかり・人感センサー”で構成している。あかり・人感センサーは、

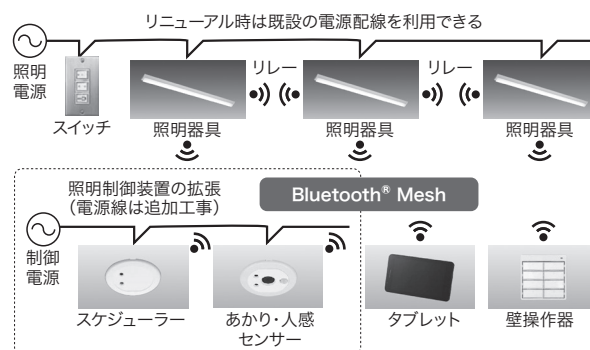


図1. LinkLED Airのシステム構成

照明器具とタブレット、壁操作器は、リニューアル時に既設電源配線を利用可能で、機能拡張としてスケジューラーやあかり・人感センサーを拡張できる。

LinkLED Air system configuration

照度を測定する“あかりセンサー”と人の在／不在を検知する“人感センサー”の二つの機能を一つの機器に内蔵している。基本機能は、設定・操作のタブレットと照明器具による照明のオン／オフや調光制御であるが、あかり・人感センサーを用いて人の在／不在や周囲の明るさなどの外光に応じた調光制御、スケジューラーによる日時を指定した調光制御を行える。これらの機能により、使用環境に応じた照明の省エネ制御ができる。

無線通信には、Bluetooth® Meshを採用した。Bluetooth Meshは、Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG)により標準化された通信プロトコルであり、照明器具など比較的近接に設置される多数の機器同士が相互に通信できる。データを受信した機器が再度送信（以降、リレーと呼ぶ）することでデータをメッシュ状に伝達できる。メッシュ状に伝達することにより、ある電波の伝送経路上に障害物があった場合でも、障害物のないほかの経路からデータを届けられる。設定や操作は、Bluetooth Low Energyを搭載したタブレットで行え、専用ハードウェアでの設定・操作が不要である。Bluetoothの信号をビーコンとして利用した位置サービスなど、照明制御とは異なるサービスへの展開が可能であり、照明制御の無線方式として採用が増えている。

3. Bluetooth® Meshの特徴と課題

Bluetooth Meshは、タブレットなどのBluetooth Low Energyを搭載した機器と通信する機能や、データをより遠方へ伝送するための中継機能、セキュリティ機能、センサー制御機能、調色機能など照明制御を行うための様々な機能が定義されている⁽¹⁾。ここでは、データの中継機能について説明する。

図2に照明器具、あかり・人感センサーを使ったシステムの構成例を示す。照明器具は、あかり・人感センサーから

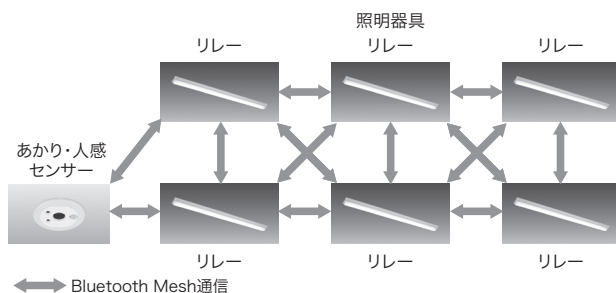


図2. Bluetooth Meshのネットワークアーキテクチャー

あかり・人感センサーのデータを照明器具が受信し、照明器具がデータをリレーして全照明器具へ伝送する。

Bluetooth mesh network architecture

の受信データを、バケツリレー方式で中継し、他の機器へ伝送する。このような通信を、ここではメッシュ通信と呼ぶ。

3.1 メッシュ通信の特徴と問題

メッシュ通信では、送信元からメッセージをブロードキャストで送信し、無線の到達範囲にある複数のリレー機能を持つ機器が受信データを中継して、その中継したデータをまた複数のリレー機能を持つ機器が受信して中継する。このように、全ての機器にメッセージを送信する通信方式であり、一般的にフラッディング方式のメッシュ通信と呼ばれる。そのため、送信頻度や送信する機器の数が増えると、メッシュネットワーク内のデータは増大する。

そこで、Bluetooth Meshでは、表1に示すように、リレー回数を制御するTTL (Time To Live) や、同じデータを繰り返し送信しないメッセージキャッシュ機能などの通信の増大を制御する仕組み⁽²⁾がある。

Bluetooth SIGでは、この方式をマネージドフラッディング (Managed Flooding) と呼んでいる。マネージドフラッディングでは、部屋の広さや機器の電波到達距離など使用環境に合わせてTTLなどの設定値を適切に設定することで、通信機器が増えても通信量を抑えられる。一方、使用環境に合わせて設定するには、専門的な知識と現場での確認作業が必要である。情報を発信するあかり・人感センサーを多数使用する場合や、部屋の端に設置したあかり・人感センサーで対極の照明器具を点灯する場合は、TTLでリレー回数を十分に減らせず、データが何度もリレーされ、データ量を十分に抑制できない問題がある。

3.2 LinkLED Air導入時の運用方法と課題

LinkLED Airは、小規模の施設へ導入する際に特別な知識を持った人でなくても設定できることを目指しており、現場の環境に合わせた無線特性の設定をなくす必要があった。

そこで、最大の機器台数である25台とした場合に、実使用環境で考えられる最も広い部屋の条件で、端から端まで通信できる無線特性の設定値を求めて固定値とした。固定値にした弊害として、多数の人感センサーが同時に人を検

表1. マネージドフラッディングの機能

Managed flooding functions

機 能	内 容
TTL	メッセージがネットワーク内で何回転送されるかを制限し、リレー回数を制御することで、無駄な伝播を防ぐ
メッセージキャッシュ	機器側で受信済みメッセージを記録し、重複メッセージの再送を防止する
再送回数制限	リレーする機器がメッセージを再送する回数を制限し、トラフィックの増加を抑える
リレー機器選定	リレーする機器を選定し、通信の効率を向上する

知した場合には、無線信号の衝突や、リレー処理の能力不足で送信できず、データの欠損が発生してしまう可能性がある。これにより、タブレットからの設定や、壁操作器・スケジューラーからの照明操作ができない問題が発生してしまうため、データ欠損の低減が課題であった。

4. データ欠損の対策

データが欠損する確率を下げる対策として、あかり・人感センサーが発信する情報量の削減方法を検討した。更に、壁操作器・スケジューラーからの設定や照明操作ができない対策として、データの重要度に応じた優先度制御によるリレー処理方式を検討した。

4.1 あかり・人感センサーが発信する情報量の削減

このシステムでは、あかり・人感センサー以外の機器は特定日時や人の操作で情報を送信するが、あかり・人感センサーは25台と数も多く、送信条件を検討する余地があった。そこで、あかり・人感センサーの送信頻度を最小限に抑えることを目的とし、照明制御において送信が必要となる条件を、人感と明るさの二つの制御に分類して検討した。

4.1.1 人感制御の送信条件

人感センサーによる人感制御は、人を検知すると点灯し、人がいなくなった後に一定時間待った後に消灯する。点灯後に一定時間待つ時間を保持時間と呼ぶ。この特徴から、照明は不在情報ではなく、在情報を元に制御し、人感センサーは不在から在、又は在から不在へと状態が変化する際に、在情報だけを送信することが最適である。このようにすることで、不在状態が継続する場合には情報を送信しないため、通信量が削減できる。図3に示すように在状態が継続している場合には、定期的に在情報を送信するようにした。

送信間隔は、システムで設定できる保持時間の最小値に

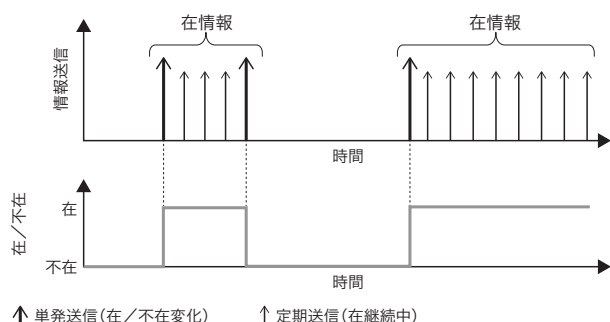


図3. 人感制御におけるセンサー情報の送信

不在情報を使わずに在情報だけを使うことで情報の送信頻度を下げられる。

Sensor information transmission when sensing human presence

対し半分以下の値とし、一時的な無線環境の悪化により、通信データを取りこぼした際にも、次のデータを受信することで点灯状態を維持できる工夫をした。

4.1.2 明るさ制御の送信条件

あかりセンサーによる明るさ制御は、あらかじめ設定された目標照度と、あかりセンサーで測定した照度情報を比較して、目標照度に近づくようにフィードバック制御を行う。従来は、あかりセンサーの測定周期に合わせて定期的に照度情報を送信していたが、太陽光などの外光に変化がないときは、送信する必要がない。

そこで、外光による照度変化の判定基準を定めるために、実機を外光の影響がない環境下へ設置し、あかりセンサーが測定する照度情報の揺らぎを確認した。その結果、外光の影響がなくても最大で30 lx幅の揺らぎを持つことを確認した。これを踏まえ、開発したシステムでは30 lxをしきい値として設定し、しきい値を超える照度変化が検出された場合に、外光の変化があったと判断し、照度情報を送信する設計とした。図4に概要を示す。外光の変化が少ない場合や、目標照度に到達している場合にデータ送信が減り通信量を削減できた。

4.2 リレー処理方式によるデータの優先度制御

システムで要求される優先度に合わせてリレー処理を行うため、情報を表2に示すように3種類に分類した。

機器ごとの優先度はシステムの要求により決まるが、あかり・人感センサーは、照度情報と人感情報があり、それぞれ異なったタイミングで発信されるため優先順位を検討した。

人感センサーの在情報が欠落した場合は、人がいても照明が点灯しないことや、遅れて点灯して不快感を与えること、暗闇の中での転倒のリスクが発生することなど、安全性

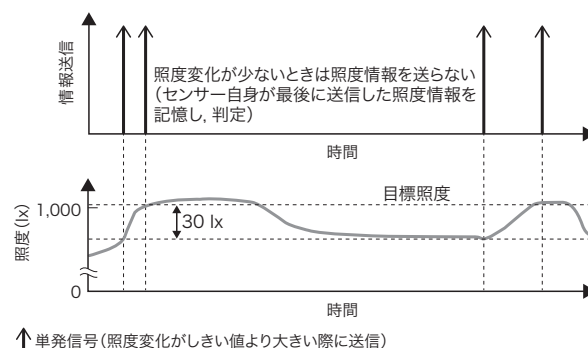


図4. 明るさ制御におけるセンサー情報の送信

照度変化がしきい値より小さい場合には情報を送信せず、変化が大きいい場合にだけ情報を送信する。

Sensor information transmission during significant illuminance changes

に影響を与える。再度情報を受信するには、人が再び検知される必要がある。

一方、照度情報は、目標照度に向けたフィードバック制御に使用されており、情報が一時的に欠損した際には、照度情報が更新されないままフィードバック制御が行われる動作となる。実際よりも目標照度から離れた判定となるため、強いフィードバック制御が行われるが、前述した 30 lx 幅より大きな照度変化で照度情報が送信され、フィードバック制御が行われる。この特徴と安全性も考慮し、照度情報より在情報を高優先度でリレー処理するようにした。

この手法の実現にあたっては、リレーバッファの空き容量に基づいて情報の格納可否を判断する方式を採用した。バッファの空き容量に余裕がある場合は低優先度の情報も格納されるが、容量が少なくなると高優先度の情報だけを格納する。この制御方式の概要を図5に示す。この優先度制御により、センサーの機能を損なわずに検知データがリレーバッファを占有することを防ぐことで、設定や照明操作要求時のデータ欠損を回避でき、通信の信頼性と応答性が向上した。

4.3 通信データ量の削減及び優先度制御の効果

対策前は不在情報や照度情報を定期的に送信していたため、リレー用のバッファが照度情報や在／不在情報で一

杯になり、設定や照明操作ができない問題が発生していた。

対策により、システムの上限である25台を使い、100人以上の人が出入りする環境で、人や日時による照明制御が確実に行え、人を検知した際の点灯に遅れもなく、外光の変化に応じた自動制御でも支障のないシステムを構築できた。

5. あとがき

無線照明制御システム LinkLED Airの構成と、採用した無線通信方式の特性、並びに通信時のデータ欠損を回避する手段、すなわちあかり・人感センサーの情報量削減方法とデータの重要度に応じた優先度制御について述べた。これらにより、通信の信頼性と応答性を向上でき、多数のセンサーが同時に動作する環境でも、安定した照明制御を実現した。

今後は、更なるあかり・人感センサー機能の高度化や、AIによる照明制御の最適化、他システムとの連携によるスマートビルディングへの対応など、照明制御システムの進化が期待される。LinkLED Airはその基盤技術として、持続可能な社会の実現に貢献していく。

文 献

- (1) Bluetooth SIG. Mesh Profile Bluetooth Specification. v1.0.1, 2019, 333p. <https://www.bluetooth.org/docman/handlers/downloaddoc.ashx?doc_id=457092>, (accessed 2025-08-05).
- (2) Martin Woolley. Bluetooth Mesh Networking An Introduction for Developers. 1.0.1, Bluetooth SIG, 2020, 27p. <<https://www.bluetooth.com/wp-content/uploads/2019/03/Mesh-Technology-Overview.pdf>>, (accessed 2025-08-05).

・Bluetoothは、Bluetooth SIG, Inc.の登録商標。

表2. リレー処理時における情報の優先度
Information priorities during relay processing

機 器	情 報	優先度
タブレット	設定・操作情報	高
スケジューラー・壁操作器	照明変更指示情報	中
あかり・人感センサー	照度情報、在情報	低、低*

*優先度が“低”の照度情報と在情報では、在情報の方が優先度が高い

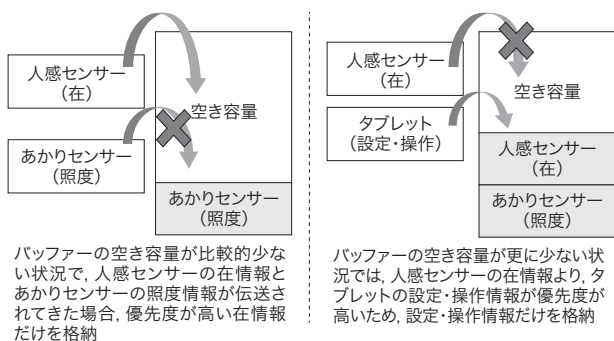


図5. リレー処理時における情報の優先度制御

バッファの空き容量が少ない場合に、優先度の高い情報だけが格納される。

Priority control of information during relay processing

小野 智嗣 ONO Tomotsugu
東芝ライテック(株)
照明・配線器具事業部 制御技術部
照明学会会員
Toshiba Lighting & Technology Corporation

村木 健佑 MURAKI Kensuke
東芝ライテック(株)
照明・配線器具事業部 制御技術部
照明学会会員
Toshiba Lighting & Technology Corporation

杉田 瑞樹 SUGITA Mizuki
東芝ライテック(株)
照明・配線器具事業部 制御技術部
照明学会会員
Toshiba Lighting & Technology Corporation