

無線照明制御システム設置時の確認作業時間を短縮する配置推定技術

Technique to Swiftly Obtain Information on Luminaire Locations after Introduction of Wireless Lighting Control Systems

米澤 祐紀 YONEZAWA Yuki 坂本 岳文 SAKAMOTO Takafumi 石田 幸男 ISHIDA Yukio

オフィスや商業施設などでは、数多くの照明器具を必要とするため、利便性向上のために照明器具に無線通信機能を搭載した無線照明制御システムの導入が増えている。一方、無線通信を用いて照明器具を個別に制御するには、照明器具の設置位置と器具ID（識別番号）の組み合わせを把握する必要があるが、組み合わせ情報の作成時間が設置台数に応じて増大するという問題があった。

東芝グループは、照明器具の据え付け後にそれらの設置位置と器具IDを短時間で確認できる配置推定技術を開発した。この技術は、汎用無線機器で測定可能な受信信号強度と設置位置情報を用い、エリアごとに据付照明器具群と照明器具間の隣接関係を推定して作業員へ提示できる。試験とシミュレーションで評価した結果、600台の照明器具から成る無線照明制御システムにおいて、作業時間を約80%削減できることを確認した。

With the increasing number of luminaires installed in office and commercial buildings, there has been growing demand for wireless lighting control systems using luminaires with a wireless communication function in order to enhance usability. In these wireless systems, it is essential to correctly grasp the position and identity of each luminaire in order to control them individually according to the installation conditions. However, the time required to obtain such information on luminaire locations including their positions and identities is a significant issue due to the increase in the number of devices.

To address this issue, the Toshiba Group has developed a technique that makes it possible to swiftly obtain information on luminaire locations after the introduction of a wireless lighting control system. This technique provides workers with the results of an evaluation of groups of luminaires installed in the same wireless area and adjacent luminaires using both the radio signal strength measured by a general-purpose radio system and the luminaire layout. From the results of experiments and simulations, we have confirmed that this technique can reduce the working time by approximately 80% in the case of a wireless lighting control system consisting of 600 luminaires compared with the conventional technique.

1. まえがき

無線モジュールが低コストになり、システムの利便性向上のために無線通信機器を導入する動きが広がっている。

例えば、東芝ライテック(株)では、**図1**に示すように、照明器具の制御線に無線を用いた無線T/Flecs（ティーフレックス）システムを実用化している⁽¹⁾。このシステムは、920 MHz帯無線モジュールを搭載した無線照明器具、920 MHz帯と2.4 GHz帯の二つの無線モジュールを搭載した無線エリアコントローラー、及び2.4 GHz帯無線モジュールを搭載したタブレットから成る無線照明制御システムである。ユーザーは、タブレットを用い、無線エリアコントローラーを通じて個々の無線照明器具を制御できるため、レイアウト変更時などは、照明電源の区画や配線を変更せずに対応できる。

このような無線照明制御システムでは、照明器具の設置

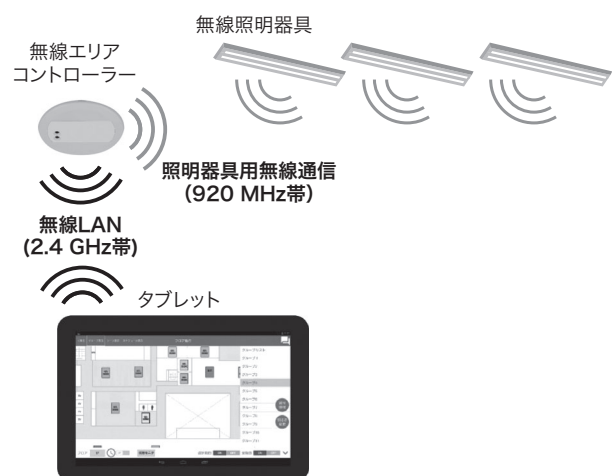


図1. 無線T/Flecsシステムの構成

920 MHz帯無線モジュールを搭載した無線照明器具、920 MHz帯と2.4 GHz帯の二つの無線モジュールを搭載した無線エリアコントローラー、及び2.4 GHz帯無線モジュールを搭載したタブレットで構成されている。

Configuration of T/Flecs wireless lighting control system

位置と器具IDとの組み合わせを把握するための作業コストの削減が課題となる。従来は、同じ制御を行う照明器具群に対して1本の制御線を敷設するため、設置位置と照明器具との組み合わせは制御線敷設時に把握できた。しかし、無線照明制御システムでは、制御線を敷設する作業がないため、個々の照明器具を制御するために個別に割り当てられた器具IDと設置位置との組み合わせが既知ではない。無線T/Flecsシステムでは、照明器具の据え付け後に、設置位置と器具IDの組み合わせ情報を作成する作業（以下、設置位置確認作業と呼ぶ）を別途行う。

設置位置確認作業は、据付台数が少ない場合は容易だが、オフィスや商業施設などでは据付台数が数百台や数千台規模となり、その作業時間がシステム施工期間に与える影響が大きくなる。施工は、限られた期間で作業を終えなければならないため、その省力化が求められる。

そこで、無線照明制御システムの導入時に実施される、設置位置確認作業の時間を削減する配置推定技術を開発した。ここでは、この配置推定技術について述べる。

2. 設置位置確認作業の課題

無線照明制御システムの設置位置確認作業では、無線エリアコントローラーが、無線通信を介して、周囲に据え付けられた無線照明器具の器具IDを収集する。

器具IDの収集後は、図2に示すように、五つのステップで設置位置の確認作業を行う。まず作業員は、無線エリアコントローラーが収集した器具IDから、確認する器具IDを一つ指定して、無線照明器具を点灯させる。次に作業員は、点灯した無線照明器具を探索し、探索完了後、設置位置を確認するため、点灯した無線照明器具付近まで移動

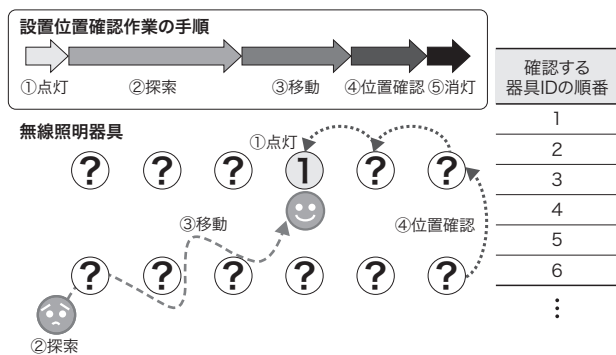


図2. 従来の設置位置確認作業の様子

無線エリアコントローラーが収集した器具IDのリストを利用して、五つのステップで無線照明器具の設置位置と器具IDとの組み合わせ情報を作成する。

Conventional workflow to confirm position and identity of each luminaire

する。そして、点灯した無線照明器具の位置を図面と照らし合わせ、設置位置と器具IDの組み合わせを無線照明制御システムへ入力する。最後に、点灯している無線照明器具を消灯させ、次の照明器具の確認作業を始める。

オフィスビルなどの施工では、広いエリアに多数の照明器具を据え付けるため、点灯する無線照明器具の位置が容易に分からない場合がある。例えば、点灯させた無線照明器具が、柱の陰に隠れている場合や作業員からの距離が遠い場合などには、照明器具の探索に膨大な時間を要していた。また、無線エリアコントローラーは、設置位置確認作業を行うエリアの外に据え付けられた無線照明器具の器具IDも、無線通信ができれば区別なく収集する。そのため、作業対象エリア外の照明器具に対しても、点灯の確認（厳密には点灯している無線照明器具がエリア内に存在しないことの確認）を行う必要があった。

そこで東芝グループは、各照明器具間の無線の受信信号強度を利用し、照明器具間の隣接関係を推定する配置推定技術を開発した。これにより、作業員が直前に確認した照明器具に隣接する照明器具を、次に点灯すべき照明器具として作業員へ提示でき、設置位置確認作業を省力化できる。

3. 配置推定技術

配置推定技術を用いたシステム動作の概要を、図3に示す。図で示すように、このシステムは、図面（設計情報）（図3(a)）から得られる設置位置と、全照明器具間で測定した受信信号強度（図3(b)）を入力とし、確認すべき器具IDの順番を作業員に提示する。提示された器具IDの順番に沿って確認作業を進めることで、作業員は、直前に確認した照明器具に隣接する照明器具を次々に確認できることが期待される。

配置推定技術は、次の二つの推定方法から成る。一つ目は、エリアごとに据え付けられた器具ID群を推定する照明器具群分割推定である。照明器具群分割推定は、測定された受信信号強度とエリアごとの据付台数を用いて、無線エリアコントローラーが収集した器具IDのリストをエリアごとに分割する技術である。

照明器具群分割推定は、次の手順で実施する。まず、ある器具IDとほかの複数の器具IDを結ぶ線に、受信信号強度から求めた重みを持たせたグラフを作成する（図3(c)）。そして、重みが小さく、かつ入力されたエリアごとの据付台数を維持するように、グラフを分割する。これにより、確認対象のエリアに存在する照明器具群を推定する。

二つ目は、照明器具群分割推定の結果を利用して、特

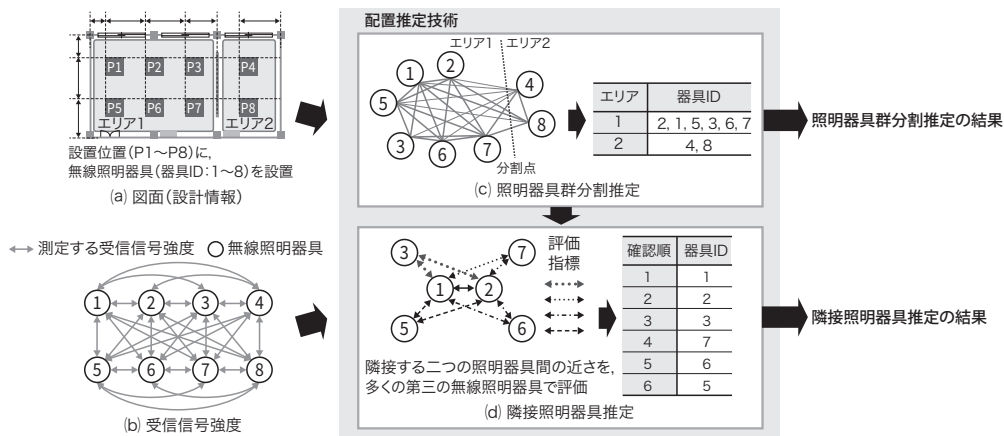


図3. 配置推定技術の概要

配置推定システムは、図面から得られる設置位置と、照明器具間の受信信号強度から、作業員に対し、確認する照明器具の順番を提示する。

Overview of newly developed method using technique to estimate luminaire locations

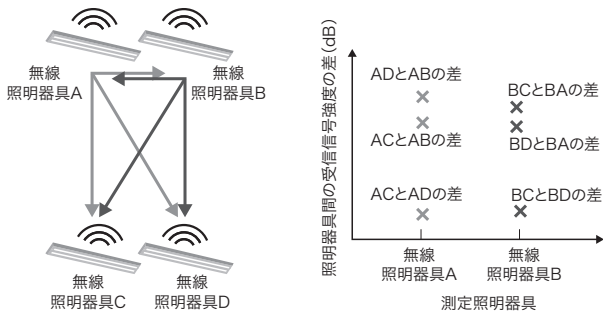


図4. 隣接照明器具推定の概要

隣接した二つの照明器具は、電波伝搬環境が似ているため、測定される受信信号強度の差が小さくなる傾向にある。

Outline of estimation of adjacent luminaires

定の照明器具に隣接する照明器具を推定する隣接照明器具推定である (図3(d))。隣接する照明器具とは、確認作業において、直前に確認した照明器具に近い照明器具であり、この照明器具を推定することで、照明器具の探索や、作業員の移動、位置確認などを省力化できる。隣接照明器具推定では、隣接する二つの照明器具で、電波伝搬環境が似ている性質を利用する。具体的には、ある測定点から、二つの照明器具間で測定される受信信号強度の差に注目する。受信信号強度は、距離との相関があるため、隣接した二つの照明器具から測定される受信信号強度の差は小さくなる。

隣接照明器具推定の具体例を、図4に示す。この図では、照明器具AとB、照明器具CとDがそれぞれ隣接している。このとき、照明器具Aから照明器具B、C、D間の受信信号強度を測定した場合、隣接するCとDとで測定さ

れた受信信号強度であるACとADの差は、ACとABやADとABで測定された受信信号強度の差よりも小さくなる。ただし、受信信号強度は、様々な要因で変動するため、こうした傾向が現れない場合もある。これに対し、隣接照明器具推定では、測定点や測定回数を増やすことで、変動要因の影響を小さく抑えている。

4. 評価

隣接照明器具推定を利用した、設置位置確認作業での作業時間削減効果を評価した。70台の無線照明器具から成る無線照明制御システムを利用した実地試験と、設置台数を変えたシミュレーションにおいて、従来作業と隣接照明器具推定を利用した作業とを比較した。従来作業は、ランダムな位置を順に確認する設置位置確認作業であり、シミュレーションは、100回実施した平均値を利用した。

実地試験では、70台の無線照明器具の無線照明制御システムで測定された受信信号強度を用いた。従来作業と隣接照明器具推定を利用した確認作業における、それぞれでの作業員の確認経路を図5に示す。従来作業では、どの位置にどの器具IDが据え付けられているかが分からないので、直前に確認した照明器具から遠くに据え付けられた照明器具を確認することになり、作業員の移動距離が増加する。図中に示すように、従来作業では、設置位置の端から端までの移動が生じる。一方、隣接照明器具推定を用いた場合は、隣接する照明器具を順次確認できるため、作業員の移動距離が低減できている。今回の実地試験では、作業員が確認作業のために歩く距離を45%程度削減できることを確認した。

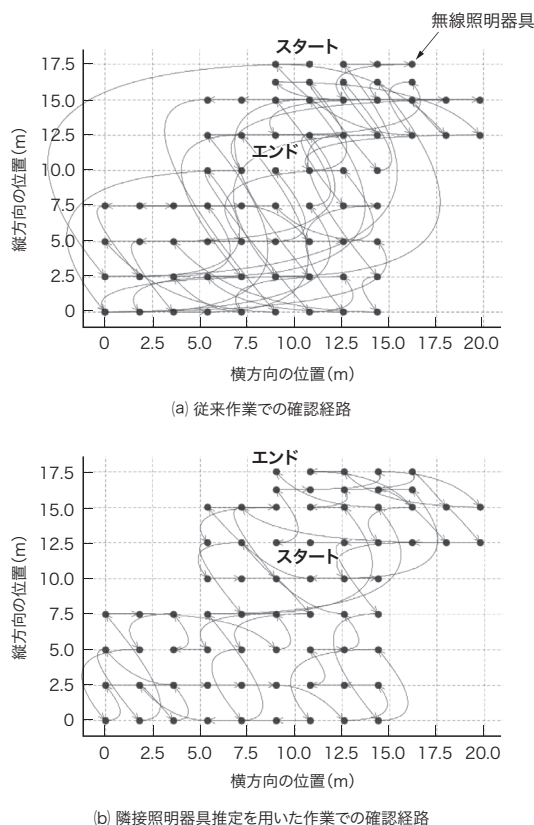


図5. 設置位置確認作業の確認経路の比較

従来作業では、ランダムな設置位置の確認なので、設置位置の端から端までの移動が生じるが、隣接照明器具推定を利用した作業では、直前に確認した照明器具に近い照明器具を次々に確認できる。

Comparison of confirmation routes of workers using conventional and newly developed methods

次に、設置位置確認作業をモデル化し、設置台数を変えたシミュレーションを行った。シミュレーションでは、無線照明器具を1.8m間隔のグリッド状に据え付けた環境を想定した。また、隣接照明器具推定に用いる受信信号強度は、実地試験で得られた距離と、受信信号強度から導出した減衰係数のばらつきから求めた。そして、設置位置とシミュレーションした受信信号強度とを用いて得られる器具IDの順位に従って確認した場合の作業時間を推算した。

設置台数に応じた確認作業時間のシミュレーション結果を図6に示す。シミュレーションごとに、従来作業の経路や利用する照明器具間の受信信号強度が異なるため、設置位置確認作業時間は、100回のシミュレーションの平均値である。シミュレーションで推算した従来作業における設置位置確認作業時間は、実際の作業時間とほぼ一致することを確認した。作業時間の削減効果は、図中に示すように、100台では40%程度であるが、300台以降では70%程度、600台では80%程度になり、省力化できることを確認した。

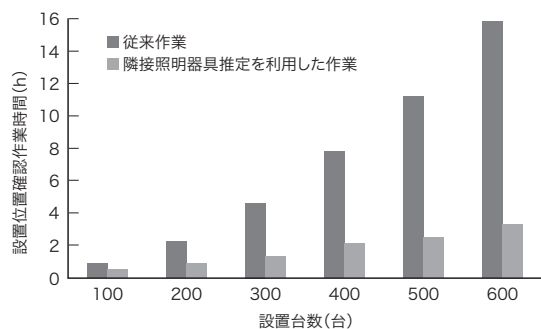


図6. 設置台数に応じた設置位置の確認作業に要する時間のシミュレーション結果

1.8m間隔のグリッド状に据え付けられた無線照明器具を想定した設置位置確認作業のシミュレーションでは、設置台数600台で80%の省力化が確認できた。

Results of simulations of time required to confirm positions and identities according to number of luminaires

5. あとがき

無線照明制御システム導入時の課題と、その課題を解決するために開発した配置推定技術及びその効果について述べた。

配置推定技術を利用して、無線照明制御システムの動作に必須な、無線照明器具の設置位置と器具IDとの組み合わせ情報を効率良く作成することで、600台規模の無線照明制御システムにおいて、設置位置確認作業を従来よりも80%程度省力化できることを確認した。

今後は、無線照明制御システムだけでなく、多様な無線通信機器における、導入作業の省力化を検討していく。

文献

- (1) 西垣英則, 小谷朋子. オフィスビルの照明制御システムの最新技術. 東芝レビュー, 2015, 70, 11, p.11-14.



米澤 祐紀 YONEZAWA Yuki
研究開発本部 研究開発センター
ワイヤレスシステムラボラトリー
Wireless System Lab.



坂本 岳文 SAKAMOTO Takafumi
研究開発本部 研究開発センター
ワイヤレスシステムラボラトリー
電子情報通信学会会員
Wireless System Lab.



石田 幸男 ISHIDA Yukio
東芝ライテック (株)
照明電材事業部 エレクトロニクス技術部
Toshiba Lighting & Technology Corp.