

# 分散制御照明システムにおける照度センサ位置の推定精度向上 および照度センサの移動に関する検討

## Improvement in the Presumed Accuracy of Illuminance Sensors Position and Study of Illuminance Sensors' Movement for Distributed Lighting Control System

三木 光範\*  
Mitsunori Miki

吉田 健太†  
Kenta Yoshida

吉見 真聡\*  
Masato Yoshimi

平野 裕也†  
Yuya Hirano

### 1. はじめに

我々はオフィスにおける照明環境の改善と消費電力を削減するために分散制御照明システム（以下、知的照明システム）の研究を行っている [1]。知的照明システムは制御装置が搭載された照明器具、照度センサ、および電力計から構成される。知的照明システムでは各オフィスワーカーが要求する照度を満たし、かつ電力が最小となる点灯パターンを実現する。

知的照明システムでは消費電力が小さくなる点灯パターンを実現するために照度センサに及ぼす照明の影響を推定する。その推定結果を基に各照明の光度を制御しており、照度センサの位置情報を用いない。しかし、照明の台数が増えると、照度センサに及ぼす照明の影響を正しく推定することができない場合がある。その場合、目標照度に関する制約は満たすことができても、点灯パターンとして大域的最適解でない場合もある。

そこで、照明の光度と照度センサで測定される照度を用いて照度センサ位置を推定し、照度センサ位置を照明の光度制御に用いることで効率的に照明の光度が制御可能となる [2]。本論文では、照度センサ位置の推定精度の向上および照度センサの移動に関する検討を行う。

### 2. 知的照明システム

知的照明システムとは任意の場所にオフィスワーカーの要求する照度を実現するシステムである。知的照明システムは照明の制御に適応的の近傍アルゴリズム (ANA/RC) を用いる [3]。ANA/RC は各照明が各照度センサに及ぼす影響度に応じて光度を変化させることで、より少ない探索回数で最適な光度へ変化させることができる。照度センサに及ぼす照明の影響は式 (1) の関係式で表すことができる。また、照明環境が変化しない限り  $R$  は定数とみなすことができる。以後、この定数  $R$  を影響度係数と呼ぶ。

$$E = RI \quad (1)$$

$E$ : 照度 [lx],  $I$ : 光度 [cd],  $R$ : 影響度係数 [lx/cd]

ANA/RC は各照明の光度変化量と各照度センサで計測される照度変化量に関する回帰分析により影響度係数  $R$  を求める。しかし、複数の照明がランダムに光度を変化すると、照明の増加に応じて影響度係数は他の照明における光度変化の影響を大きく受けることとなる。本論文

では照明の光度をランダムに変更し、その際の光度変化量と照度変化量から求める影響度係数を影響度係数（推定値）とする。照明を 1 灯ずつ点滅させて、その際の照明の光度変化量と照度センサで計測される照度変化量から影響度係数を計測することで、他の照明の光度変化の影響を受けない影響度係数を求めることができる。本論文では、単一照明の点灯によって求める影響度係数を真値とし、影響度係数（実測値）とする。

影響度係数（推定値）と影響度係数（実測値）を図 1 に示す。図 1 は影響度係数（推定値）を縦軸、影響度係数（実測値）を横軸に示す。また、影響度係数の測定環境の平面図を図 2 に示す。

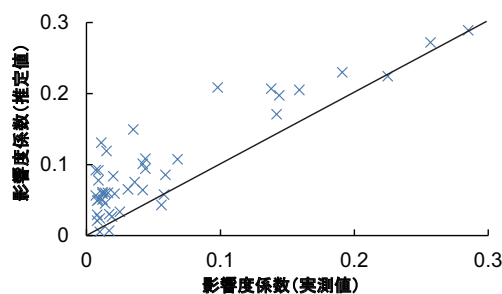


図 1 影響度係数

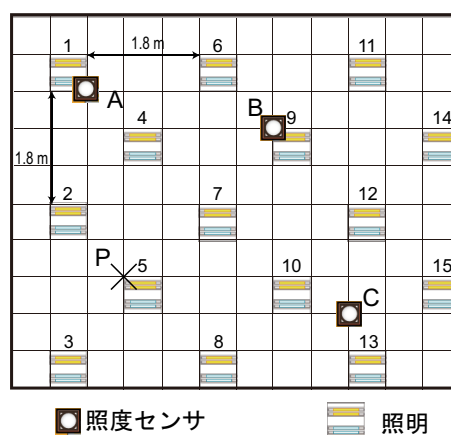


図 2 実験環境（平面図）

図 1 に示すように、影響度係数（実測値）の値が大きい場合は影響度係数（推定値）もほぼ同じ値となっているが、影響度係数（実測値）の値が小さい場合は影響度係数（推定値）の誤差が大きくなっている。図 1 から、影響度係数（推定値）において、値の大きいほど信頼性が高いと考えられる。そこで、値の大きい影響度係数（推定値）を用いて照度センサ位置を推定する。

\* 同志社大学理工学部

† 同志社大学大学院

### 3. 照度センサ位置の推定

影響度係数(推定値)の値が大きい,すなわち信頼性の高い情報を用いて照度センサ位置を推定する.照度センサ位置は,照明と照度センサ間の距離がわかれば一意に求めることができる.式(2)を用いることにより,照明の光度変化量と照度センサで計測される照度変化量から求める影響度係数から照明と照度センサ間の距離を求めることができる.

$$m = \sqrt{\cos\theta/R} \quad (2)$$

$m$ : 照明と照度センサ間の推定距離 [m]

$\theta$ : 光源と被照面との仰角 [rad],  $R$ : 影響度係数(推定値) [lx/cd]

式(2)を用いることで照明と照度センサ間の距離を求めることができる.照度センサの位置座標を推定するために,各照度センサに関して定式化した式(3)を最小化する最適化問題を考える.式(3)は  $s_{xj}, s_{yj}$  を設計変数とする.そして,照明  $i$  と照度センサ  $j$  間の推定距離  $m_{ij}$  との差がもっとも少なくなるように各変数を決定する.

$$f_j = \sum_{i=0}^n w_{ij} \{(s_{xj} - l_{xi})^2 + (s_{yj} - l_{yi})^2 - m_{ij}^2\}^2 \quad (3)$$

$l_{xi}$ : 照明  $i$  の  $x$  座標,  $l_{yi}$ : 照明  $i$  の  $y$  座標

$s_{xj}$ : 照度センサ  $j$  の  $x$  座標,  $s_{yj}$ : 照度センサ  $j$  の  $y$  座標

$m_{ij}$ : 照明  $i$  と照度センサ  $j$  間の推定距離 [m]

$n$ : 照明の数,  $j$ : 照度センサ番号,  $w_{ij}$ : 重み

式(3)を用いることで照度センサ位置を求めることができる.照明  $i$  と照度センサ  $j$  間の推定距離は影響度係数の値を用いて推定しており,影響度係数は照度変化量と光度変化量の回帰分析によって得られる値であり,照度変化量と光度変化量の情報データ数が多い方が正確に影響度係数を推定することが可能となると考えられる.しかし,情報データ数を多くするには多くの時間が必要となる.

そこで,照度変化量と光度変化量の情報データ数によって照度センサ位置の推定精度がどのように変化するか実験により検証する.実験環境は図2と同様である.実験結果を図3に示す.横軸は照度変化量と光度変化量の情報データ数,縦軸は各照度センサの推定位置の誤差である.

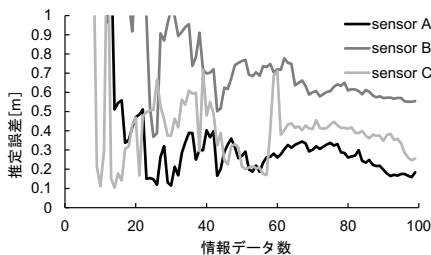


図3 情報データ数の違いによる照度センサ位置の推定精度

図3の結果より,情報データ数が増えるほど推定精度が向上することが確認できる.さらに,情報データ数が50より多くなっても,推定精度に大きな違いは無いことが確認できる.そのため,照度センサの位置推定を行う

には少なくとも情報データ数を50組用いる必要があると考えられる.また,照度センサが移動した際には影響度係数を初期化する必要がある.次章で照度センサの移動に関する検討を行う.

### 4. 照度センサの移動に関する検討

照度センサが移動した際には影響度係数を初期化し,影響度係数を再計算を行う必要がある.そこで,消灯メカニズムを組み込んだ知的照明システムの稼働時に照度センサを移動させた場合に照度センサ位置を推定できるか実験により検証する.照度センサを移動させた際にスイッチを押すことで,システムは照度センサの移動を検知し,影響度係数を初期化する.

実験環境は図2と同様である.実験には白色蛍光灯15灯,照度センサ3台を用いる.照度センサA,B,およびCの目標照度はそれぞれ500,600および700lxとする.250ステップ経過した時点で照度センサAを図2のP地点に移動する.照度センサの位置推定は照度変化量と光度変化量の情報データ数が50組集まった際に行う.

照度履歴を図4に示す.この結果より照度センサが移動した際にも照度が収束していることが確認できた.

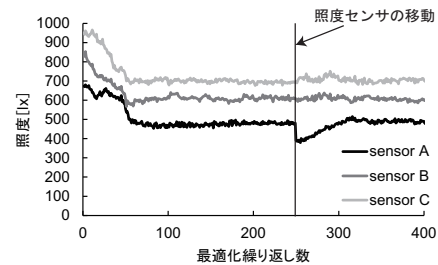


図4 照度収束履歴

また,図5に本検証実験と同様の条件で実験を行った結果の光度分布を示す.図6に光度分布を示す.照明の周りの円の大きさは照明の点灯光度を表す.図5および図6より照度センサ位置を推定することで各照度センサに与える影響が小さい照明の点灯光度が小さくなっていることが確認できた.

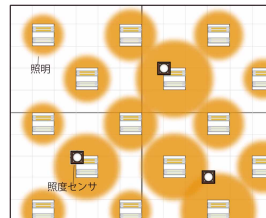


図5 従来手法による光度分布図(平面図)

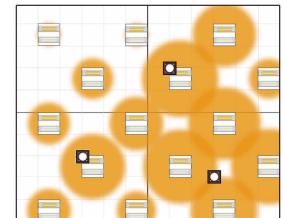


図6 提案手法による光度分布図(平面図)

以上の結果より,照度センサが移動した場合でも照度センサ位置が推定できることが確認できた.

### 参考文献

- [1] 三木光範, 知的照明システムと知的オフィス環境コンソーシアム, 人工知能学会誌, Vol.22, No.3 (2007), pp.399-410.
- [2] 吉田健太, 三木光範, 吉見真聡, 笠原佳浩. 分散制御照明システムにおける有線および無線照度センサの推定と学習. 情報処理学会第74回全国大会講演論文集, Vol. 2, pp. 305-306, 2012.
- [3] 後藤和宏, 三木光範, 廣安知之. 知的照明システムのための回帰係数を用いた自律分散最適化アルゴリズム. 照明学会全国大会講演論文集, Vol. 40, pp. 123-124, 2007.