

# 個別照度を提供する分散制御照明システムにおける照度センサの移動に適応する消灯メカニズム

Lighting Off Mechanism to Adapt to the Movement of Illuminance Sensors in Distributed Control Lighting System to Achieve the Illuminance of the Individual

三木 光範\*<sup>1</sup> 東 陽平\*<sup>2</sup> 小野 景子\*<sup>3</sup> 吉井 拓郎\*<sup>4</sup>  
Mitsunori Miki Yohei Azuma Keiko Ono Takuro Yoshii

\*<sup>1</sup>同志社大学 理工学部

Department of Science and Engineering, Doshisha University

\*<sup>2</sup>同志社大学 大学院 理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University

\*<sup>3</sup>龍谷大学 理工学部

Department of Science and Engineering, Ryukoku University

\*<sup>4</sup>同志社大学 大学院 工学研究科

Graduate School of Engineering, Doshisha University

In distributed control lighting system, because each light has to know the influence between the luminance of each light and illuminance of each sensor by regression analysis, it cannot turn off the lights from the perspective of movement of the sensor. Hence, by performing movement detection of illuminance sensors, the system lets lights turn on and learns position relations again. As described above, we showed energy-saving to turn off lights according to the position of the sensors.

## 1. はじめに

オフィスワークの好む光環境は様々であり光環境を改善することでオフィスワークの生産性が向上すると報告されている[1]。また、オフィスにおける照明の消費電力量は全体のおよそ40%[2]を占めており、照明環境を改善することで省エネルギー性を向上することができる。以上の背景から、著者らはオフィスの光環境に着目し、個々のオフィスワークの要求に応じた明るさ(照度)と省エネルギーを実現する知的照明システム[3]の研究を行なっている。知的照明システムは照明器具、制御装置、照度センサおよび電力センサから構成されており、照度センサおよび電力センサから得た情報を基に最適化手法を用いて制御する。また、さらなる省エネルギー性の向上のため、照度センサに対して影響の小さい照明を消灯する消灯メカニズム[4]を導入している。

しかしながら、従来の消灯メカニズムは照度センサの位置が固定であることが前提である。そこで、本研究では照度センサの移動に適応する消灯メカニズムを提案する。

## 2. 知的照明システム

知的照明システムの制御アルゴリズムはSimulated Annealing (SA)を基盤としている。照度センサに設定された目標照度および現在照度と、電力センサから取得する消費電力量を基に、人に感知できない範囲で各照明の明るさ(光度)を変化させ、最適な光度へと推移する。また、探索効率向上のために、回帰分析を用いて各照度センサに対する各照明の影響度の学習を行う。知的照明システムにおける回帰分析は、探索を進めていく上で各照明の光度変化量および照度センサの照度変化量を蓄積し、説明変数 $x_i$ を各照度の光度変化量、観測値 $y_i$ を各照度センサの照度変化量とし式(1)のように表される。

$$y_j = r_{ij} \times x_i + \beta + \varepsilon_j \quad (1)$$

$y$ :照度変化量 [lx],  $i$ :照明数,  $j$ :センサ数,  $r$ :回帰係数  
 $x$ :光度変化量 [cd],  $\beta$ :定数項,  $\varepsilon$ :誤差

式(1)に示す回帰係数 $r_{ij}$ の大きさにより各照明と各照度センサにおける影響度の数値化が可能である。知的照明システムでは、回帰係数に基づく近傍設計を組み込むことにより目標照度への収束の高速化を図っている。また目的関数は式(2)のように定式化する。

$$f_i = P + \omega \times \sum_{j=1}^n g_{ij} \quad (2)$$

$$g_{ij} = \begin{cases} 0 & (Ic_j - It_j) \geq 0 \\ R_{ij} \times (Ic_j - It_j)^2 & (Ic_j - It_j) < 0 \end{cases}$$

$$R_{ij} = \begin{cases} r_{ij} & r_{ij} \geq T \\ 0 & r_{ij} < T \end{cases}$$

$i$ :照明数,  $j$ :センサ数,  $\omega$ :重み [W/lx]

$P$ :消費電力量 [W],  $Ic$ :現在の照度 [lx]

$It$ :目標照度 [lx],  $L$ :光度 [cd],  $T$ :閾値

$r_{ij}$ :照明 $i$ に対する照度センサ $j$ の回帰係数

式(2)に示す目的関数は各照明毎に計算する。各照明の目的関数 $f_i$ は、消費電力量 $P$ と各照度センサの目標照度を制約条件としたペナルティ $g_{ij}$ の総和から成る。ペナルティ $g_{ij}$ は回帰係数 $r_{ij}$ に比例するため、照度センサに対する影響の大きい照明ほどペナルティを増加させないように動作する。また、回帰係数 $r_{ij}$ に閾値 $T$ を設けることで照度センサに対して影響の大きい照明のみが照度センサの設置点に対して強く点灯する。すなわち、照度センサから距離が離れている照明は消費電力量の最小化のみを目的として動作する。また、重み $\omega$ の設定によって、目標照度を満足することを優先するか、消費電力量の最小化を優先するか決定することができる。

連絡先: 東 陽平, 同志社大学 大学院理工学研究科 情報工学専攻, 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3, 0774-65-6924, yazuma@mikilab.doshisha.ac.jp

### 3. センサの移動に適応する消灯メカニズム

#### 3.1 従来の消灯メカニズム

知的照明システムでは、オフィスワークの目標照度を実現すると共に、消費電力量を最小限に抑えるよう各照明の光度の最適化を行なっている。また、さらに省エネルギー性を向上するために、照度センサに対して影響の小さい照明を消灯する消灯メカニズムを導入している。

一般的なオフィスにおいてオフィスワークの座る席は固定であるため、照度センサの位置を固定する事が多い。そのため、各照度センサに対する各照明の影響度を動的に把握する必要がない。従って、各照度センサに対して影響の大きい照明をあらかじめ紐付けておき、紐付けされていない照明は各照度センサに対して影響が小さいとして消灯する。これにより、オフィスワークが離席状態から在席状態に切り替わる際に、照明が消灯していても紐付けされた照明を再び点灯させることができる。

一方で、近年ではフリーアドレスオフィスのように照度センサが移動し得る環境も増加しており、これらの環境下では照度センサの位置が固定であることを前提とする従来の消灯メカニズムでは対応できない。この問題を解決するため、照度センサの移動に適応する消灯メカニズムを提案する。なお、提案する消灯メカニズムは消灯制御と照度センサの移動検知から構成される。

#### 3.2 照明の消灯制御

消灯の判断には、照明と照度センサ間の影響度の把握に用いた回帰係数を利用する。しかしながら、照明間の光度変化量に相関関係がある場合、照明と照度センサの距離が遠くても回帰係数が大きく導出される場合がある。また、照度センサから遠い照明の回帰係数は照度センサに近い照明の光度変化が雑音となるため安定するまでに多くのサンプル数を要する。以上に示す理由から、単純に回帰係数の値により消灯の判断をすることができない。そこで、各照明の保有する回帰係数、およびその他の情報を基に照度センサに対して影響のある照明を抽出する。

以下で照度センサに対して影響のある照明の抽出手法について説明する。なお、知的照明システムでは照明の配置図を必要としなかったが、提案手法では初期条件として各照明は自身に近い照明を把握しているものとし、自身を含めて近傍照明と称す。例えば、図1のような照明配置に対して、近傍照明は表1のように照明IDの集合によって設計する。

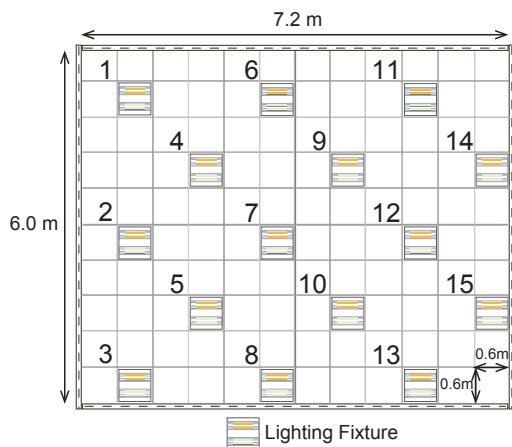


図 1: 照明配置例 (平面図)

表 1: 近傍照明の設計例

ID	近傍照明	ID	近傍照明	ID	近傍照明
1	1,2,4,6	6	1,4,6,9,11	11	6,9,11,12,14
2	1,2,3,4,5	7	4,5,7,9,11	12	9,10,12,14,15
3	2,3,5,8	8	3,5,8,10,13	13	8,10,12,13,15
4	1,2,4,6,7	9	6,7,9,11,12	14	9,11,12,14,15
5	2,3,5,7,8	10	7,8,10,12,13	15	10,12,13,14,15

ここで、近傍照明は照明IDの集合であるため、ある2灯の照明  $i, j$  の近傍照明において式(3)のように積集合を行うことで、照明  $i, j$  それぞれに対して距離が近い照明のみを抽出することができる。この際、要素数が少ないと、照明  $i, j$  間の距離が遠いと判断できる。

$$I_{ij} = L_i \cap L_j \tag{3}$$

$I$ : 2 灯に近い照明群,  $i, j$ : 照明 ID,  $L$ : 近傍照明

照度センサに近い照明は影響が大きいため回帰係数も大きくなり、かつ比較的少ないサンプル数でも高精度で導出できる。そのため、回帰係数をソートした結果、上位の照明に対して式(3)の処理を行うことで、2灯の照明が近距離にあるか検証することができる。また、回帰係数が小さいものの2灯の照明の近距離にある照明を回帰係数の値に影響されずに抽出することができる。照度センサに対して影響のある照明は最大4灯程度であるため、複数の回帰係数の高い照明間で式(3)の処理を行うことで互いに近い照明を抽出することができる。しかし、多くの照明間で行なうと照度センサに対して影響が小さい冗長な照明も抽出されてしまう。そのため、回帰係数の高い照明3灯のみに対象を絞り式(3)の処理を行う。式(3)はある2灯に近い照明の集合であるため、これらの和集合を式(4)により導出し、それらを照度センサに対して影響のある照明とする。

$$S_{ijk} = I_{ij} \cup I_{ik} \cup I_{jk} \tag{4}$$

$S$ : 3 灯に近い照明群,  $I$ : 2 灯に近い照明群  
 $i, j, k$ : 照明 ID,  $L$ : 近傍照明

よって、消灯すべき照明は  $S_{ijk}^c$  となる。なお、式(3)で導出された集合の要素数が2未満のときは回帰係数を改めて導出し上記の処理を行う。

#### 3.3 センサの移動検知

照度センサの移動時に一部の照明が消灯していると、光度変化が生じないため回帰係数を正確に導出できない。つまり、照明の消灯制御と照度センサの移動を両立することができないので、照度センサの移動を検知し再度影響度の推定ができるよう消灯している照明を点灯する必要がある。

知的照明システムでは、人の目には感知できない程度の範囲で照明の光度を変化させているため、照度が急激に変化することはない。しかしながら、照度センサの設置位置に書類や人影が被さるか、照度センサを移動させると急激な照度低下が生じる。よって移動検知には、照度センサの照度変化量を用いる。図2に移動検知の流れを示し、以下で移動検知について説明する。急激な照度低下が一定期間継続すると、書類や人影が被さったか、あるいは照度センサの移動を疑う。照度情報のみでは、照度低下の要因が書類や人影によるのか、移動によるのか

判断できない。そのため、照明が消灯しているエリアに照度センサを移動させる可能性があることから、消灯中の照明を全て点灯する。照度が安定すると人影による影響が無くなった、あるいは移動が完了したと判断する。この時、書類が被さっていると照度に変化が生じないため、照度が一定であれば書類が被さっていると判断する。照度に変化がある場合は、その時の照度を基に照度低下が人影によるのか、移動によるのか判断する。移動検知後は、移動した照度センサに対する各照明の影響度を改めて学習し消灯制御を行なう。

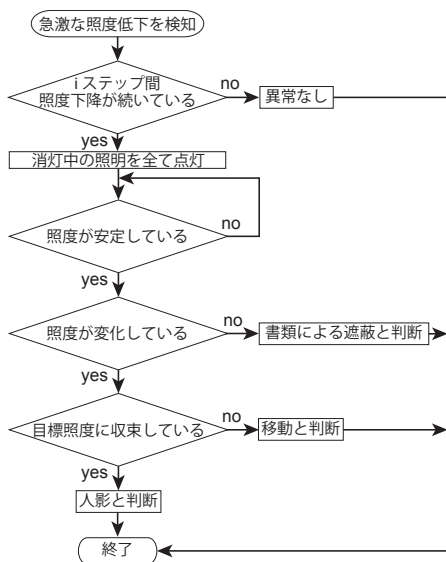


図 2: 移動検知のフローチャート

## 4. 検証実験

### 4.1 実験環境

提案した消灯メカニズムを導入した知的照明システムにおいて、動作検証のための実験を行った。実験環境の平面図を図 3 に示す。実験室は 7.2 m × 6.0 m × 1.9 m の空間で、調光可能な白色蛍光灯 15 灯と移動可能なワイヤレス照度センサを 2 台および照度センサの親機を 1 台設置した。

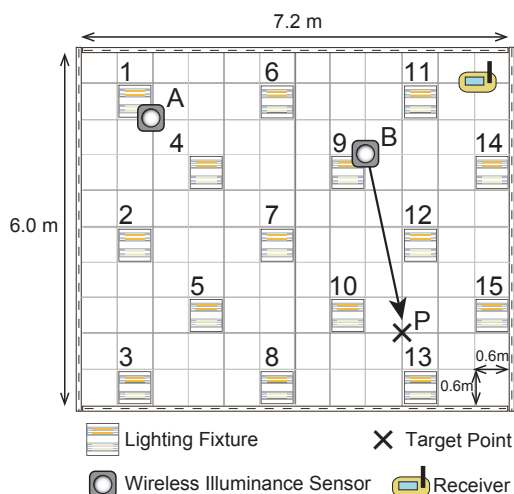


図 3: 実験環境の平面図

### 4.2 提案した消灯メカニズムの検証

提案手法の有効性を確認するため、各照度センサが目標照度に収束するか検証を行った。各照明の初期状態を 100%点灯とし、照度センサ A および B に目標照度を 400 lx および 600 lx と設定する。さらに、300 ステップ後に照度センサ B を図 3 に示す地点 P に移動し、照度センサの移動に適応できるかどうか検証を行った。また、提案する消灯メカニズムの有無による消費電力量の比較を行った。なお、1 ステップに要する時間はおよそ 2 秒である。

各照度センサの照度履歴を図 4、消費電力量の履歴を図 5 に示す。なお、図 4 における縦軸は照度 [lx]、横軸は繰り返しステップ数を示しており、図 5 における縦軸は消費電力量 [W]、横軸は繰り返しステップ数を示している。図 4 より、各照度センサが目標照度に収束したことを確認した。また、一部の照明が消灯している状態でも照度センサの移動に適応し目標照度を実現できることを確認できた。なお、照度センサの移動前に消灯していた照明は図 3 に示す 3, 5, 7, 8, 10, 13 および 15 番の照明であり、移動後は 3, 5, 7, 9, 11 および 14 番の照明が消灯した。また、図 5 から本実験環境において、初期状態の消費電力量を 100%とし消灯を行わない場合と比較するとおよそ 15%程度の消費電力量を削減できることが確認できた。

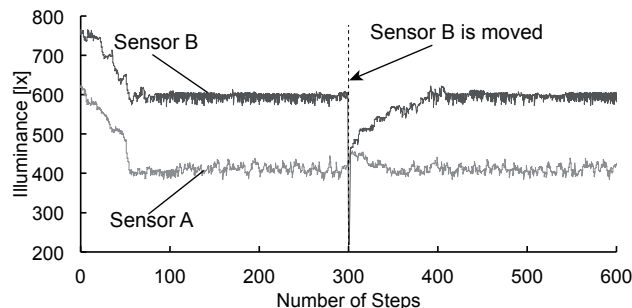


図 4: 各照度センサの取得照度の履歴

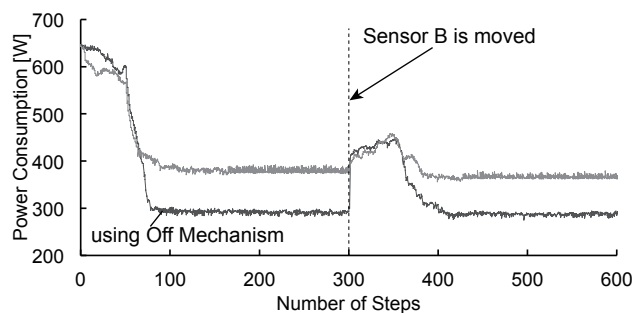


図 5: 消費電力量の履歴

## 参考文献

- [1] 下田宏, 大林士明, オフィスビルの省エネルギーとプロダクティビティ照明, 電気学会論文誌 C, Vol.128, No.1, 2008.
- [2] (財) 省エネルギーセンター, オフィスビルにおける照明の消費エネルギー比率, [http://www.eccj.or.jp/office\\_bldg/index.html](http://www.eccj.or.jp/office_bldg/index.html), 2008
- [3] 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.
- [4] 三木 光範, 廣安 知之, 吉見 真聡, 田中 慎吾, 加来 史也, 米本洋幸, 消灯メカニズムを組み込んだ知的照明システム, FIT2009, 第一分冊, pp.241-242.