

大規模オフィス環境における分散制御照明システムの制御に関する検討

三木 光範[†] 吉田 健太^{††} 平野 裕也^{††}[†]同志社大学理工学部 ^{††}同志社大学大学院工学研究科

1 はじめに

我々は、オフィスの照明環境を改善することを目的とした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その有効性の検証のために、東京都内の複数のオフィスおよび福岡市内のオフィスにプロトタイプシステムを導入し、実証実験を行っている。これらの実証実験において、知的照明システムの導入前と照明の消費電力を比較すると 50%程度を削減することを確認した [1]。

今後、知的照明システムはより大規模なオフィスに導入することが想定される。そのため、大規模なオフィスへの導入前に、現状のシステムを適応可能か検証する必要がある。

そこで、本論文では、大規模なオフィス環境を想定したシミュレータを作成し、現状のシステムを大規模オフィス環境に適応した際の有効性を検証する。また、大規模なオフィス環境において、より有効な照明の制御手法を検討する。

2 知的照明システム

知的照明システムは制御装置、照明器具、照度センサ、および電力計を 1 つのネットワークに接続し、最適化アルゴリズムに基づいて各照明の光度を制御するシステムである。このシステムはオフィスワークの要求する照度（目標照度）を実現し、かつ照明の消費電力が小さくなるようにそれぞれの照明の光度を制御する。知的照明システムの制御アルゴリズムには、山登り法を照明制御用に改良した適応的近傍アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Regression Coefficient: ANA/RC) を用いる [2]。

ANA/RC では、照明が照度センサに及ぼす影響度合い（以下、影響度係数）を用いることで効率的に照明の光度を決定している。この影響度係数は式 (1) を利用することで求めることができる。

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

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

この影響度係数は 2 通りの方法で求めることが可能である。1 つ目は、知的照明システムの導入時に、それぞれのオフィスワークの机上に照度センサを設置し、1 灯ずつ照明を点滅させることで得られる照度変化量と光度変化量を用いることで影響度係数を計算する方法である（以下、影響度測定）。この方法で得られる影響度係数を影響度係数（実測値）とする。2 つ目は、知的照明システムの動作中に得られる照度変化量と照明の光度変化量に関する回帰分析により推定する方法である。この回帰分析により得られる回帰係数を影響度係数（推定値）とし、ANA/RC に用いている。

影響度係数（実測値）は正確な影響度係数を用いることができるため、照明の光度制御を効率的に行うことができる。しかし、パーティションの設置や照度センサの移動のように環境に変化が生じた場合に影響度測定を行う必要がある。照明を点滅させると執務時間内はオフィスワークが不快に感じ、執務時間外はセキュリティの問題が生じる。そのため、影響度係数（実測値）は再計測することが困難であり、環境の変化に対応することが難しい。影響度係数（推定値）は知的照明の動作中に推定することができるため、外乱に対応しやすい特徴がある。しかし、照明台数の増加に伴い、照明の光度変化に相関が発生しやすくなり、制御を行うのに十分な精度が得られないことがある。照度センサに近い照明の回帰係数が低くなると照度センサに及ぼす影響が小さいと判断し、照明の光度が小さくなる。一方、遠い照明の回帰係数が高くなると照度センサに及ぼす影響が大きいと判断し、照明の光度が大きくなる。

オフィスにおいて影響度測定を行うことは容易ではないため、本論文では回帰分析によって求める影響度係数（推定値）を利用し、大規模なオフィスにおける知的照明システムの動作を検証する。

3 大規模オフィス環境を想定したシミュレーション

大規模オフィス環境における知的照明システムの動作をシミュレーションによって検証する。実証実験における最大の規模は照明 36 台、照度センサ 25 台である。本論文では大規模オフィスとして照明 100 台、照度センサ 64 台を考える。想定環境の平面図を図 1 に示す。照明は 1.8 m 間隔、照度センサは 1.2 および 1.5 m 間隔で配置し、照明と照度センサ間の高さは 2.0 m

Study on control of distributed control lighting systems in large scale office environment

[†] Mitsunori MIKI

[†] Kenta YOSHIDA (kyoshida@mikilab.doshisha.ac.jp)

[†] Yuya HIRANO

Doshisha University ([†])

とする．また，部屋の中央は通路とする．

この環境下において，それぞれの照度センサに目標照度を設定し，知的照明システムを動作させる．照度センサの目標照度は 300 から 800 lx の間で設定可能とし，収束可能な目標照度を設定する．また，影響度係数は回帰分析によって求め，ANA/RC によって照明を制御する．実験結果を図 2 に示す．なお，図 2 における横軸は探索回数である．縦軸は照度収束台数であり，照度センサの値とその目標照度との差の絶対値が 50，または 100 lx 以内に収まっている照度センサの台数である．

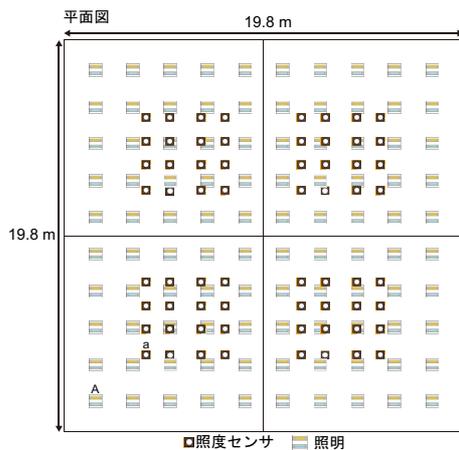


図 1: 想定環境 (平面図)

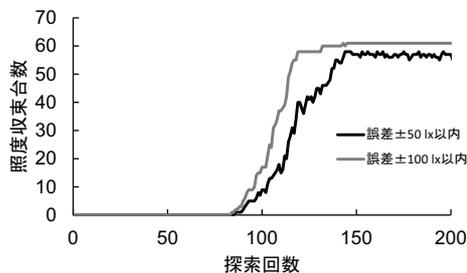


図 2: シミュレーションにおける照度収束状況

図 2 に示すように，照度センサの値と目標照度の誤差の絶対値が 50 lx 以内の照度センサは 57 台程度であることが確認できる．誤差の絶対値が 100 lx 以内の照度センサは 64 台であることから，従来の手法でも，大部分が目標照度に収束することが確認できる．しかし，知的照明システムは，動作を開始してから 100 から 200 ステップで目標照度に収束することが望ましい．

そこで，オフィスエリアを分割し，照明が制御対象とする照度センサの台数を減らすことで，より効率的に光度を制御することを考える．

4 エリア分割方式を組み込んだ知的照明システム

シミュレーション上でエリア分割方式を組み込んだ知的照明システムを動作させ，その有効性を検証する．実験環境は図 1 と同様である．部屋の中央でエリア分

けを行い，4つのエリアとする．このエリア分けを行った際と従来手法における照度収束結果を図 3 に示す．

また，エリア分けを行った場合と行っていない場合において，図 1 に示す照明 A と照度センサ a における影響度係数を比較する．図 4 に影響度係数の履歴を示す．なお，図 4 における影響度係数 (実測値) は照明 A を点滅させて計測した影響度係数である．

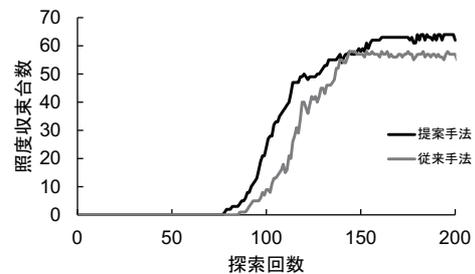


図 3: エリア分割における照度収束状況

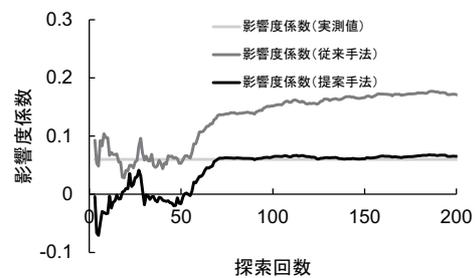


図 4: 影響度係数の履歴

図 3 の結果から，エリア分けを行うことでより少ない探索回数で目標照度に収束する照度センサの台数が増加していることがわかる．また，図 4 に示す結果より，エリア分けを行うことにより，影響度係数 (推定値) が実測値に近くなっている．このように，影響度係数 (推定値) の精度が向上することにより，照明の光度制御を効率的に行うことができ，より少ない探索回数で照度収束が可能になったと考えられる．以上の結果から，エリア分割方式を組み込んだ知的照明システムの有効性が確認できる．

本論文では，想定したオフィス環境として，図 1 のような簡単にエリア分けができるような環境を対象とした．しかし，実オフィスには様々な形状があり，エリア分けをどのように行うのが重要であると考えられる．そのため，今後は様々な形状のオフィスで照度収束実験を行い，どのようなエリア分けを行えば効率的に照明を制御できるのかを検証する必要がある．

参考文献

- [1] M.Miki, T.Hiroyasu, and K.Imazato. Proposal for an intelligent lighting system, and verification of control method effectiveness. *Proc IEEE CIS*, pp. 520–525, 2004.
- [2] 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.