

# 分散制御照明システムにおける照明光度とセンサ照度に関する 影響度のログデータを用いた推定

Estimate Influence of Luminance and Illuminance using the Log data  
in the Distributed Control Lighting System

三木 光範\*1    榊原 佑樹\*2    善 裕樹\*3    吉田 健太\*2    池上 久典\*2  
Mitsunori Miki    Yuki Sakakibara    Yuki Zen    Kenta Yoshida    Hisanori Ikegami

\*1同志社大学 理工学部

Department of Science and Engineering, Doshisha University

\*2同志社大学 大学院 理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University

\*3同志社大学 大学院 工学研究科

Graduate School of Engineering, Doshisha University

We introduced intelligent lighting system to office. In office, because of environment change such as degradation of lighting fixture or set up partition, influence of luminance and illuminance change. So we need to update influence. For this reason I propose the method that estimate influence using the log data. By using this method, we can accurately estimate influence.

## 1. はじめに

近年、オフィス環境が執務者の生産性に及ぼす影響に関する研究が広く行われており、オフィス環境を改善することにより、執務者の知的生産性、快適性および創造性向上が期待される [1]。また、オフィスビルにおけるエネルギーの消費量は年々増加傾向にあり問題となっている。オフィスにおいて照明による消費電力の割合は、全消費電力の約 40% を占めており [2]、照明の消費電力削減がオフィスの消費電力削減に繋がる。

そこで、我々の研究室では、執務者の知的生産性向上とオフィスの省エネルギー化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・開発を行っている。知的照明システムは実オフィスにおいて実証実験を行っており、知的照明システムを導入した実オフィスでは、照明による消費電力を 50% 削減することが可能となったといった良好な結果が得られている [3]。

知的照明システムを導入した実オフィスでは、固定席が多いため、システム導入時に、照明光度がセンサ照度に及ぼす影響度の実測（以下、影響度実測法）を行い、その値を用いて知的照明システムを制御している。

しかし、影響度は照明の劣化やパーティションの設置等による照明環境の変化により変化する。照明環境に応じた影響度を用いず、知的照明システムを制御すると、照明の点灯パターンが悪化し、執務者に目標照度を提供することが困難となるため、適宜影響度の更新が必要となる。

影響度実測法は、全照打消灯状態から 1 灯ずつ照明を点灯および消灯を繰り返すことで影響度を測定するが、頻繁に影響度実測法を行うことは、現実的ではない。

そこで、稼働ログデータを用いて数理計画法により影響度を更新する手法を提案する。本手法は、実オフィスにおいて影響度実測法を行うことなく、照明環境の変化に応じて影響度の更新が可能となる。

## 2. 知的照明システム

### 2.1 概要

知的照明システムの構成を図 1 に示す。

知的照明システムは任意の場所にユーザが要求する明るさを提供する照明制御システムである。マイクロプロセッサが組み込まれた複数の調光可能な照明器具、複数の照度センサおよび電力センサをネットワークに接続し構成される。各照明機器に搭載された制御装置が各照度センサから得られる照度情報を基に、最適化手法を用いて照明光度を制御することにより、執務者が要求する目標照度を低消費電力で実現する。

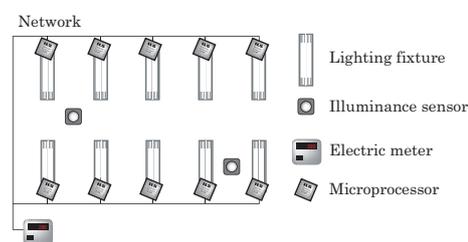


図 1: 知的照明システムの構成

### 2.2 制御アルゴリズム

知的照明システムは、執務者が要求する照度を実現し、かつ執務者のいないスペースの照明に対しては照明を減光することにより、低消費電力で目標照度を実現する。これらの対象問題を実現するために用いる目的関数を式 (1) に示す。

$$f_i = P + w \sum_{i=1}^n g_i \quad (1)$$

$$g_i = \begin{cases} 0 & (Lc_i - Lt_i) \geq 0 \\ R_i(Lc_i - Lt_i)^2 & (Lc_i - Lt_i) < 0 \end{cases}$$

$$R_i = \begin{cases} r_i & r_i \geq T \\ 0 & r_i < T \end{cases}$$

$n$ : 照度センサの数     $w$ : 重み

$P$ : 消費電力量     $Lc$ : 現在照度     $Lt$ : 目標照度

$r_i$ : 回帰係数     $T$ : 閾値

連絡先: 榊原 佑樹, 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, ysakakibara@mikilab.doshisha.ac.jp

設計変数を照明の光度とし、目的関数の最小化を行う。目的関数  $f_i$  は、消費電力  $P$  および照度に関する制約を表現するペナルティ関数項  $g_i$  から成り、照明ごとに計算する。ペナルティ項の重みの値を変更することで、目標照度への収束精度向上または消費電力の削減を優先するかを決定することが可能である。

著者らは、上記の目的関数を用いて知的照明システムの制御を行っている。以下に、知的照明システムの制御フローを示す。

- (1) 各照明が初期光度で点灯
- (2) 現在光度における照度情報（目標照度，現在照度）および消費電力を取得
- (3) 現在光度における目的関数値を計算
- (4) 次光度を生成し，点灯
- (5) 次光度における照度情報および消費電力を取得
- (6) 各照度センサは照度情報を，電力計は消費電力を，各照明は光度情報をネットワークに送信
- (7) 各照明は項目 (6) の情報を取得し，次光度における目的関数値を評価
- (8) 目的関数の評価値が改良された場合は次光度を受理し，そうでなければ元の光度に戻す
- (9) 項目 (2) に戻る

項目 (2) から項目 (10) を探索の 1 ステップ (2 秒) とし，この処理を繰り返すことで，低消費電力で執務者が要求する目標照度を実現することが可能である。

### 2.3 実オフィスに導入した際の課題

現在，知的照明システムは，実オフィスにおいて実証実験を行っている。知的照明システムが導入されている実オフィスでは，固定席が多いため影響度実測法により，算出した影響度を用いて照明の制御を行っている [4]。しかし，実オフィスにおいて照明と照度センサの関係は照明環境の変化する。

照明環境の変化には，以下のような要因が考えられる。

- パーティションの設置
- 机上面における照度センサの移動
- 壁面反射率の変化

実オフィスで上記の照明環境の変化が生じた際，再度影響度実測法を行うことで，影響度を適宜更新することが望ましい。しかし，実オフィスにおいて頻繁に影響度の実測を行うことは，現実的ではない。

そこで，新たに知的照明システムの稼働ログデータを用いた数理計画法による影響度推定手法を提案する。使用する稼働ログデータは，取得日時（年，月，日，時，分），点灯光度 [cd] × 照明数，検知照度 [lx] × 照度センサ数，目標照度 [lx] × 照度センサ数から成り，その中の各照明の点灯光度値と各照度センサの実測照度値を推定に用いる。

## 3. 数理計画法を用いた影響度推定

### 3.1 影響度推定の概要

影響度実測法による物理的な初期作業を行うことなく，精度の高い影響度を推定する手法として数理計画法を用いた影響度推定手法を提案する。本手法は，知的照明システムの稼働ログデータを用いて影響度を推定することで，照明の劣化やパーティションの設置等による照明環境の変化に応じて影響度係数の更新が可能である。

### 3.2 最適化問題としての定式化

数理計画法による影響度推定手法の対象問題を影響度係数と点灯光度の乗算により表される推定照度およびログデータ中の実測照度の差とし，ログデータのデータ系列分の総和を目的関数とする。対象問題の目的関数を式 (2) に示す。設計変数を影響度係数とし，目的関数を最小化する影響度係数の探索を行う。

$$\min : \sum_{i=1}^d f_i(R) \quad (2)$$

$$f_i = \sum_{j=1}^n (E_{i,j} - I_{i,j})^2$$

$$E_{i,j} = \sum_{k=1}^m R_{k,j} I_{i,k}$$

$i$  : データ系列,  $m$  : 照明台数,  $n$  : センサ数,  
 $L$  : 光度 [cd],  $I$  : 実測照度 [lx],  
 $R_{j,k}$  : センサ  $j$  に対する照明  $k$  の影響度係数

式 (2) により定式化した最適化問題は非線形であるため，数理計画法の手法として非線形問題である最急降下法を用いる。

## 4. 提案手法の精度検証

### 4.1 実験概要

本章では，提案手法の精度検証を行うため，以下の実験を行った。

- 提案手法により，影響度の推定精度検証（実験 1）
- 影響度更新により点灯パターン改善の検証（実験 2）

本実験は，図 2 に示す実オフィスを模擬した実験室で行う。実験 1 では，提案手法により影響度の推定が可能か検証を行う。実験 2 では，実オフィスにおける照明環境の変化を模擬するために，知的照明システムの稼働中に図 2 に示す位置にパーティションを設置する。パーティションを設置することにより，照明と照度センサの影響度が変化するため，照明の点灯パターンは悪化することが考えられる。そこで，パーティション設置後のログデータを用いて影響度を更新することにより，点灯パターンの改善が可能であるか検証も行う。また，本実験は，実環境での影響度の推定を模擬するため目標照度を 300 ステップ毎に変更した 2000 ステップのログデータを推定に用いた。

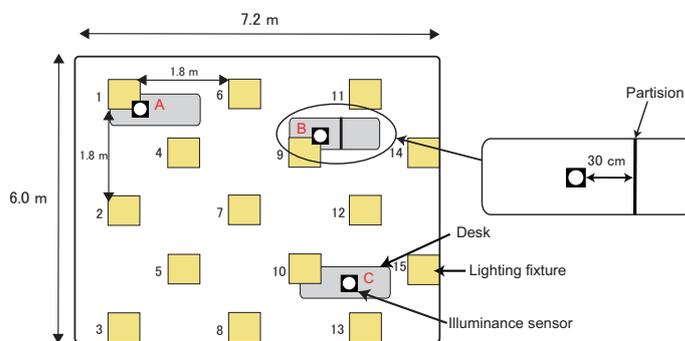


図 2: 実験環境

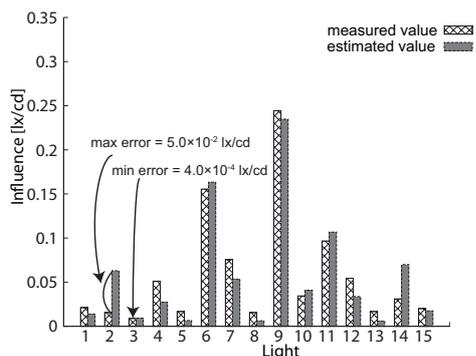


図 3: 影響度推定結果 (照度センサ B)

### 4.2 実験結果と考察

提案手法により適切に影響度の推定が可能であるかの検証を行うために、実測の影響度 (真値) と提案手法により推定した影響度 (推定値) の比較を行った。

図 3 に影響度の推定結果を示す。

この実験結果を基に、真値に光度値をかけた実測照度と推定値に光度値をかけた推定照度との誤差を計算し (光度値はランダムに用意した  $1 \times 10^4$  系列), ヒストグラムを作成することで、提案手法の精度検証を行った。

ここで、従来研究から人間は  $\pm 50$  lx 未満の照度変化は執務者が感じにくいことがわかっているため [5], これを許容誤差とする。図 4 に算出した照度誤差を示す。

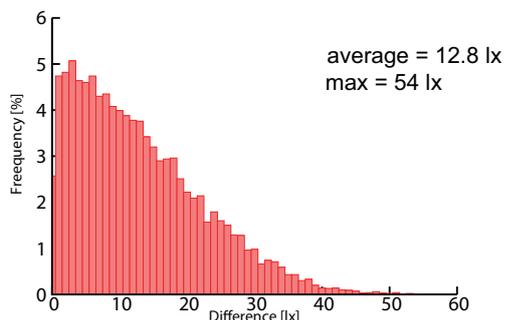


図 4: 照度誤差 (照度センサ B)

上記の結果により、照度誤差の平均値が 12.8 lx となっており、許容誤差を大幅に下回っていることから、良好な結果が得られていることがわかる。しかし、最大照度誤差が許容誤差を超えている。このことは、影響度の推定に用いるログデータ内に類似したデータ系列が存在することで、一定の点灯パターンに重み付けされることにより誤差が生じたと考えられる。

次に、実オフィスにおける照明環境の変化に応じて影響度の更新が可能であるか検証を行う。擬似的に照明環境を変化させるため、パーティションを設置する。

図 5 に、システム導入時に実測する影響度を用いて、目標照度を実現する点灯パターンを示す。

照明環境の変化前の影響度を用いて照明を制御しているため、図 5 から、パーティションの設置により、遮光されているのにも関わらず、強く点灯していることがわかる。

このことは、省エネルギー性の悪化を招く要因となるため適切な点灯パターンであるとは言えない。

そこで、提案手法によりパーティション設置後のログデータを用いて影響度の更新を行う。更新した影響度を用いて目標照

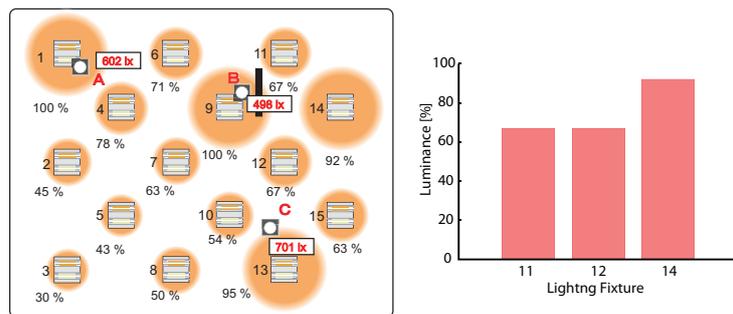


図 5: 点灯光度パターン (影響度更新前)

度を実現する点灯パターンを図 6 に示す。

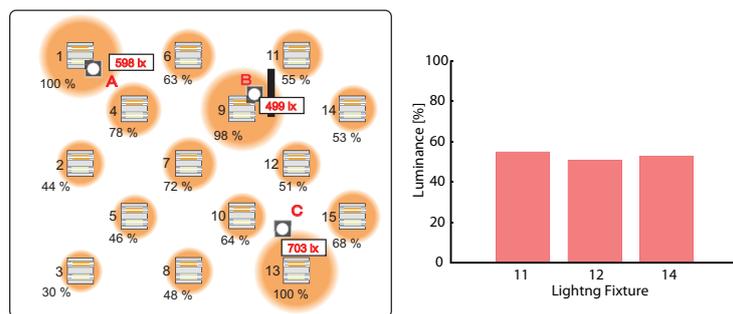


図 6: 点灯光度パターン (影響度更新後)

照明環境の変化に応じて影響度を更新することにより、大幅な点灯パターンの改善を可能とした。

## 5. まとめと今後の展望

上記の実験結果により、照明環境の変化に応じて影響度を更新することで、照明の点灯パターン改善が可能となったことから、知的照明システムにおいて提案手法は有用であると言える。今後、実オフィスに提案手法を導入することで、執務者に最適な点灯パターンで目標照度を実現することが可能となり、執務者の快適性向上を図れるのではないかと考えられる。

## 参考文献

- [1] 西原直枝, 田辺新一. 中程度の高温環境下における知的生産性に関する被験者実験. 日本建築学会環境系論集, pp. pp.33-39, 2003.
- [2] 財団法人省エネルギーセンター, <http://www.meti.go.jp/setsuden/20110513taisaku/07.pdf>.
- [3] M. Miki, F. Kaku, T. Hiroyasu, M. Yoshimi, S. Tanaka, J. Tanisawa, and T. Nishimoto. Construction of intelligent lighting system providing desired illuminance distributions in actual office environment. *Journal of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers of Japan*, Vol. Vol.J94-D, pp. 637-645, 2011.
- [4] 三木光範, 米本洋幸, 廣安知之, 吉見真聡. 照明と照度センサ間の影響度をデータベース化する個別分散最適制御照明システム. 情報処理学会第 73 回全国大会講演論文集, pp. 121-124, 2006.
- [5] 鹿倉智明, 森川宏之, 中村芳樹. オフィス照明環境における明るさの変動知覚に関する研究. 照明学会誌, pp. 346-351, 2001.