

# 照度分布を基に個別照度環境を実現する知的照明システム An Intelligent Lighting System to realize Individual Lighting Environment using the Distribution of Illuminance

三木 光範\* 廣安 知之‡ 吉見 真聡\* 吉井 拓郎§ 田中 慎吾† 秋田 雅俊† 米本 洋幸†  
Mitsunori Miki Tomoyuki Hiroyasu Masato Yoshimi Takuro Yoshii Shingo Tanaka Masatoshi Akita Hiroyuki Yonemoto

## 1. はじめに

近年、オフィスにおいて、オフィスワーカーの知的生産性、創造性、および快適性の向上に注目が集まっている。オフィス環境を改善することにより、知的生産性が向上すると報告されている [1]。我々はオフィスの光環境に着目し、個々のワーカーの要求に応じた明るさを提供する知的照明システムの研究を行っている [2]。知的照明システムは、照明、制御装置、照度センサ、および電力計から構成されている。ユーザは照度センサに目標の明るさ(照度)を設定し、机の上に照度センサを設置するだけでその照度を実現することができる。実際のオフィスに知的照明システムを導入したところ、照度センサが作業面に設置できない状況が存在した。本研究では、机上面に照度センサを設置せずに個別照度環境を実現する新たな知的照明システムの制御手法を提案する。そして、提案手法の検証を行い、有効性を示す。

## 2. オフィスにおける知的照明システムの検証結果

知的照明システムは、照度センサの設置している場所に要求照度を実現するシステムである。実際のオフィスに知的照明システムを導入したところ、オフィスでは書類が多く、ユーザの机上面に照度センサを設置することが困難な状況が存在した。このような状況においては、照度センサは書類の影で隠れていたり、またパーティションの隅や上などに設置されており、ユーザの要求照度と机上面の照度が異なっていた。

知的照明システムは作業面に照度センサを設置する必要があるため、このような状況においてはユーザの要求した照度をユーザの作業面に提供できない。

## 3. 照度分布を基に個別照度環境を実現する知的照明システム

前述したようにユーザの作業面に照度センサの設置が困難なため、照度を要求する場所が照度センサを設置する場所と異なる知的照明システムの新たな制御手法を提案する。提案手法では照度センサを設置していない場所において希望照度を実現するために、シミュレーションによって作業面の照度を推定する。作業面の照度に影響を与えている光源は、主に室内照明と外光である。室内照明からの照度は、照明と作業面の位置がわかっている場合には照度の計算手法を用いることで推定することが可能である。しかし、外光をシミュレーションによって算出することは容易ではない。そこで、外光からの照度

については、照度センサを設置可能な場所に設置し、実測した照度分布を基に推定する。

図 1 は、目標照度を設定する場所と、照度センサを設置する場所が異なる場合の例を示す。この図 1 は部屋に照明の位置を追加した平面図である。

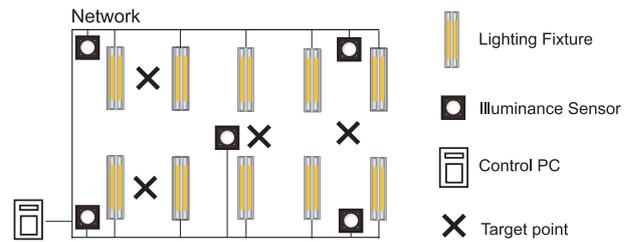


図 1: 照度センサおよび目標照度設定位置

提案手法では、部屋内の照度センサから得た照度分布を基に、制御装置が最適な点灯パターンをシミュレーション上で決定する。提案手法の制御の流れを以下に示す。なお、照度センサの設置位置および目標照度設定位置は初期条件として与えておく。

1. 外光による照度を 0 とする (初期条件)
2. 目標照度設定位置に目標照度を実現し、かつ消費電力が最小となる各照明の最適光度を照度計算を基に求め、その光度で各照明を点灯する
3. 照度センサから照度データを取得する
4. 照度計算により求めた照度センサ設置場所における照度値と計測された照度値の差を求める。これが外光による照度となる
5. 得られた外光による照度を基に部屋全体の外光分布を推定し、目標照度設定位置の外光を求める
6. 目標照度設定位置における目標照度から、その場所の外光による照度を差し引いた照度が照明による照度に一致するように照明の光度を最適化する
7. 上記 2 から 6 を繰り返す

提案手法の目的は照度センサが設置されていない各ユーザの要求照度を実現し、外光の変化に対応しつつ消費電力を最小にすることである。このため、各照明の光度(明るさ)を設計変数とし、ユーザの要求照度という制約条件の下、消費電力を最小化する最適化問題を解く。そのための目的関数を式 (1) のように設定する。なお、照度  $L_c$  は照明による照度と外光による照度の和である。

$$f = P + \sum_{j=1}^n (Lc_j - Lt_j)^2 \quad (1)$$

$P$ : 消費電力,  $n$ : ユーザの数,  $Lc$ : 照度,  $Lt$ : 目標照度

$$Lc = La + Le \quad (2)$$

$La$ : 照明による照度,  $Le$ : 外光による照度

\*同志社大学理工学部

†同志社大学大学院

‡同志社大学生命医科学部

§同志社大学工学部

目的関数は消費電力量  $P$  と照度差の二乗のセンサ数の合計からなる。式 (2) の  $L_a$  は照度計算により求められる。また、消費電力は簡単のため、照明の光度の和と考える。

提案手法では最適な点灯パターンを算出する手法として従来の知的照明システムの手法と同じ確率的山登り法を用いる。確率的山登り法は最適化手法の一つで、現在の解の近傍にランダムに次状態を生成し、目的関数値が改良した場合にのみ次状態に遷移する。これを繰り返すことにより、(局所)最適解を得る。確率的山登り法は目的関数が多峰性の場合には局所最適解に陥りやすいが、これまでの研究により確率的山登り法を用いた場合においても、次の解を生成する範囲である近傍を適切な値に調節することにより、良好な解が得られることがわかっている [3]。

外光照度を推定する手法はいくつか既に提案されている [4]。この手法は窓の透過率、保守率、太陽の方向など多くのパラメータを必要とし、さらに空の雲量やブラインドの角度などを検知する必要があり、推定は容易ではない。そこで、提案手法では室内の設置可能な場所に照度センサを設置し、それらの照度分布を基に部屋全体の外光照度分布を最小二乗法を用いて推定する。

提案手法では、位置座標を  $(x, y)$ 、その場所での外光照度を  $z$  としたとき、式 (3) に示すモデルを基に外光照度分布関数を求める。なお、式 (3) に示すモデルは実験的に求めたものである。

$$z = \beta_0 + \beta_1 x^4 y + \beta_2 x^3 + \beta_3 x^2 + \beta_4 y^2 + \beta_5 y + \beta_6 xy + \epsilon \quad (3)$$

#### 4. 動作実験

提案手法の有効性を検証するため、実験を行った。実験では、照明 15 台、照度センサ 9 台および目標照度設定位置 3 箇所を図 2 に示すように配置する。目標照度設定位置 A、B および C における目標照度をそれぞれ 500、700 および 900 lx とする。実験は晴れ時々曇りの日の 14 時から 14 時 30 分まで 30 分間行った。照度のデータは毎秒取得する。また、正確な外光照度を計測するため 1 分ごとに照明を消灯する。ただし、この消灯は提案手法により推定する外光による照度分布と、実際の外光による照度分布との比較を行うためのものであり、提案手法によって知的照明システムを稼働させる場合には、消灯は行わない。

外光照度の計測のために消灯した際の照度データを取り除いた照度履歴を図 3 に、消灯を行い計測した実際の外光照度履歴を図 4 に示す。縦軸を照度値、横軸を時間とする。また、本実験では照度が目標照度の  $\pm 50$  lx の範囲である際に目標照度を実現できていると定義し、図 3 の色のついた範囲は目標照度の  $\pm 50$  lx の範囲を示している。

実験結果により、外光が変化する状況において、目標照度の  $\pm 50$  lx の範囲で収束することを確認した。この提案手法により、照度センサを設置する場所とユーザが目標照度を希望する場所が一致しない場合においても、要求照度を満たすことができる。

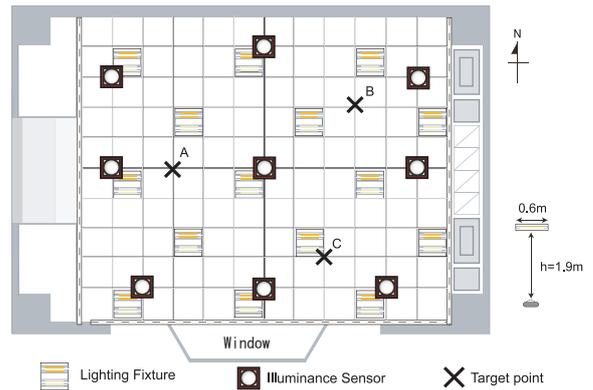


図 2: 実験環境

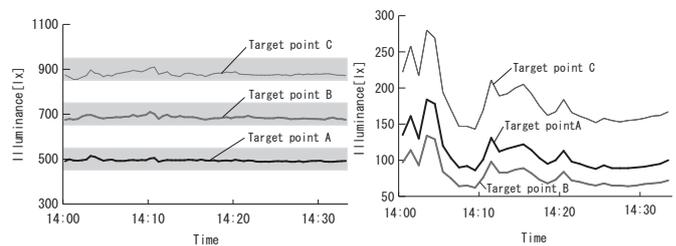


図 3: 照度履歴

図 4: 外光照度履歴 (実測)

#### 5. まとめ

実際のオフィスに知的照明システムを導入したところ、オフィスでは机上面に書類が多く、作業面に照度センサを設置することが困難な状況が存在した。また照度センサが書類の影で隠れる場合や、パーティションの隅や上などに設置されており、ユーザの要求照度と作業面の照度が異なっていた。この提案手法により、ユーザの作業面に照度センサを設置せず、ユーザの要求した照度を作業面に満たすことが可能となった。

#### 参考文献

- [1] 大林史明, 富田和宏, 服部瑠子, 河内美佐, 下田宏, 石井裕剛, 寺野真明, 吉川榮和. オフィスワークの生産性改善のための環境制御法の研究 - 照明制御法の開発と実験的評価. ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006, 2006.
- [2] 三木光範: 知的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, Vol22, No.3(2007), pp.399-410, 2007
- [3] 小野景子, 三木光範, 米澤 基. 知的照明システムのための自律分散最適化アルゴリズム. 電気学会論文誌. MAY 2010 Volume 130-C Number 5. pp.750-757, 2010
- [4] 一ノ瀬雅之, 石野久彌, 村上周, 郡公子, 井上隆, 木下泰斗, 外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「best」の開発 (その 25) 昼光利用照明計算について. 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, pp.1101-1104, 2008.