

## 昼光照度の推定を基に個別照度環境を実現する照明システム

### A Lighting System to Realize Individual Lighting Environments Based on Estimated Daylight Illuminance

三木 光範\*  
Mitsunori Miki

吉井 拓郎\*  
Takuro Yoshii

吉見 真聡\*  
Masato Yoshimi

笠原 佳浩\*  
Yoshihiro Kasahara

#### 1. はじめに

我々は任意の場所に任意の明るさ(照度)を提供し、省エネルギーを実現する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照明器具、照明制御装置、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、各ユーザが机上面に設置された自身の照度センサに要求する照度(要求照度)を設定することで、その照度を実現し、かつ電力が最小となる点灯パターンを最適化手法を用いて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[2]、ユーザの机上面には書類が多く、照度センサを設置することが容易ではない状況が存在することがわかった。

ここでは、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. 実オフィスにおける検証実験

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容易ではない状況が存在した。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. 昼光照度の推定に基づく照明の最適制御

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、主に室内照明と昼光である。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、昼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、昼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。

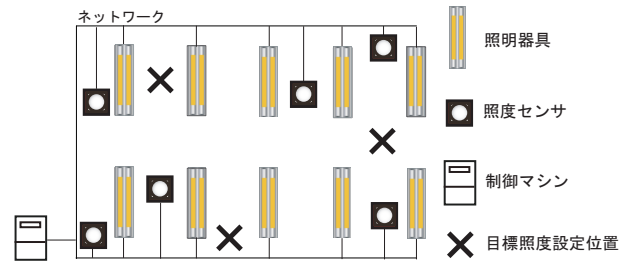


図1: 照度センサおよび目標照度設定位置

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. 昼光による照度を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。これが昼光による照度となる
5. 得られた昼光による照度を基に部屋全体の昼光分布を推定し、目標照度設定位置の昼光を求める
6. 目標照度設定位置における目標照度から、その場所の昼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、昼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、各照明の明るさ(光度)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昼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,  $Le$ : 昼光による照度

\*同志社大学

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のみ次状態に遷移する。これを繰り返すことにより、最適解を得る。

昼光照度を推定する手法はいくつか既に提案されている [3]。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昼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  $(x, y)$ 、その場所での昼光照度を  $z$  としたとき、式 (3) に示すモデルを基に昼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。

$$z = \beta_0 + \beta_1 x^4 y^3 + \beta_2 x^3 y^4 + \beta_3 x^3 y^2 + \beta_4 x^2 y^4 + \beta_5 x y^3 + \beta_6 x y^2 + \beta_7 y \quad (3)$$

#### 4. 動作実験

提案手法の有効性を検証するため、動作実験を行った。実験は2011年の4月6日、晴れの日7時から19時まで合計12時間、オフィスを模擬した実環境にシステムを構築し、動作実験を行う。

実験環境は照度センサ9台、およびユーザ数4名を想定して要求照度地点を図2に示すように配置する。要求照度地点A, B, C, およびDとし、要求照度をAは400 lx, Bは500 lx, Cは600 lx, Dは700 lxとする。そして、照明は最小点灯光度 (401 cd) から最大点灯光度 (1336 cd) の間で調光可能な昼白色蛍光灯を使用する。

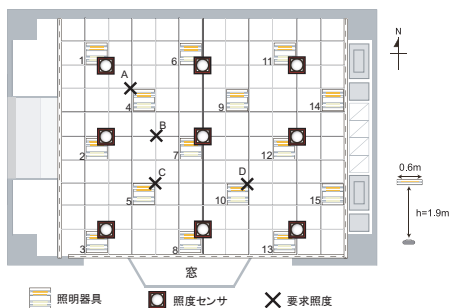


図2: 実験環境

要求照度地点A, B, C, およびDの照度履歴を図3に示し、1分ごとに照明を消灯して実測した昼光履歴を図4に示す。

実験結果により、昼光が変化する状況において、一部の昼光による影響が高い状況を除き、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

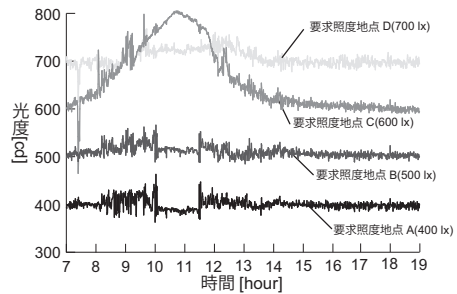


図3: 照度履歴

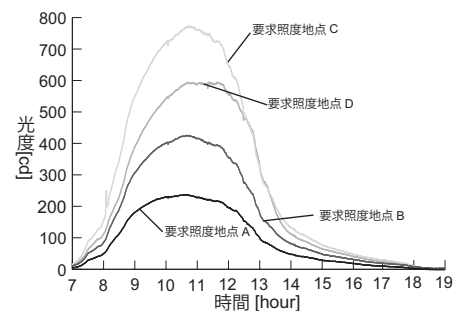


図4: 昼光照度履歴 (実測)

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。

#### 5. まとめ

東京都内のいくつかのオフィスにおいて知的照明システムの実証実験を行った結果、机上面に照度センサを設置することが容易ではない状況が存在した。そこで、照度センサを机上面ではなく容易に設置できる場所に設置し、そこから得られる照度を基に昼光分布の推定を行い、ユーザの指定した場所に要求照度を提供するための新たな制御アルゴリズムを提案した。

提案手法の有効性について検討するため、照度センサ9台、およびユーザ数4名を想定して、実オフィスを模擬した環境で動作実験を行った。この実験により、提案システムの有効性を示し、照度センサを設置する場所とユーザが要求照度を要求する場所が一致していない場合においても、窓からの昼光を推定し、個別照度環境を実現できることが分かった。

#### 参考文献

- [1] M.Miki, Y.Kasahara, T.Hiroyasu, M.Yoshimi: "Construction of Illuminance Distribution Measurement System and Evaluation of Illuminance Convergence in Intelligent Lighting System, IEEE Sensors2010 Acoustic and Optical Sensing Systems, 2010
- [2] 同志社大学, 三菱地所株式会社, 森ビル株式会社  
「丸の内」と「六本木」で「知的照明システム」の実証実験を同時に開始。  
<http://www.mec.co.jp/j/news/pdf/mec100225.pdf>
- [3] 一ノ瀬雅之, 石野久彌, 村上周三, 郡公, 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.