

外光分布の推定を基に個別照度を提供する照明制御システム

三木 光範^{*1} ○吉井 拓郎^{*2}
吉見 真聡^{*3} 笠原 佳浩^{*2}

キーワード：照明制御 照度 外光分布

1. はじめに

執務に最適な照度を個人ごとに提供することがオフィス環境改善の観点から有効であると報告されている¹⁾。

オフィスにおいて、個人ごとに照度を提供できる照明システムとしてはタスク・アンビエント照明が有効である²⁾。しかしながら、日本では多くのオフィスにおいてタスク・アンビエント照明は用いられていない。その理由は、フロアに均一の明るさを提供する天井照明が一般的に設置されており、またオフィスの多くがタスク・アンビエント照明を追加するコストを嫌うからである。このため、天井照明を用いて、各オフィスワークに最適な明るさを提供する照明制御システムが必要である。

このような背景から、我々は天井照明を用いて照度センサの設置している場所に任意の明るさ（照度）を提供し、かつ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³⁾。これまで知的照明システムは我々の研究室において、その有効性を検証してきた³⁾。現在、著者らは知的照明システムの実用化に向け、東京および博多のオフィスにおいて、実環境における検証実験を進めている⁴⁾。

この検証実験より、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。そこで、本研究では照度センサをパーティションの上など容易に設置できる場所に設置し、ユーザの指定した場所に個別照度を提供する新たな知的照明システムの制御手法を提案する。そして提案手法の動作実験を行い、その有効性を示す。

2. 照度センサの設置場所に関する課題

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。照度センサがパーティション上に置かれている状況を図1に示す。



図1：照度センサが机上面に設置できない状況

知的照明システムでは、照度センサの置かれた場所が要求照度となるように最適制御を行う。このような位置に照度センサを置くと、ユーザの机上面に要求照度を実現することができない。また、机上面に照度センサが置かれていた場合においても、書類などで照度センサの受光部が隠れることで、知的照明システムの制御ができなくなる。

これら問題を解決するため、照度センサを机上面ではなくパーティションの上など容易に設置できる場所に設置する。そして、要求照度を照度センサが設置していない場所で実現する新たな照明制御アルゴリズムを提案する。

3. 外光分布の推定に基づく照明の最適制御

前章で述べたように、実際のオフィスでは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。そこで、照度センサの設置場所はユーザの机上面ではなく設置が容易な場所に設置し、ユーザの指定した場所に要求照度を最小電力で実現する新たな制御アルゴリズムを提案する。

従来の知的照明システムは照度センサの設置場所に要

求照度を実現するシステムである。図2のように照度センサと要求照度設定位置が異なる状況を考える。要求照度設定位置における照度は主に照明による照度（照明照度）と外光による照度（外光照度）である。この要求照度を照明照度と外光照度に分割し、計算によって算出する。照明照度は後述するシミュレーションによって算出できるが、外光照度は計算によって求めることは不可能である。そこで、照度センサをパーティションの上などに設置が容易である場所に設置し、実測照度から照明照度の差をとることにより、外光照度を算出できる。その外光照度と後述する外光分布関数を基に、最小二乗法を用いて任意の位置の外光照度を推定する。

本提案手法は照明と照度センサ、および集中制御器から構成される。提案手法では従来の知的照明システムの目的関数を基にシミュレーション上で最適な点灯パターンを決定し、個々の照明の点灯光度を決定する。

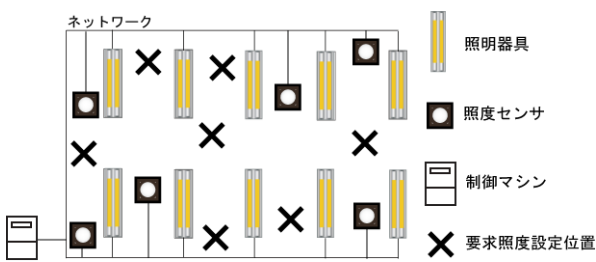


図2：照度センサと要求照度設定位置が異なる状況

本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要求照度設定位置は初期値として与える。

- ① 照度センサから照度データを取得する
- ② 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と計測された照度の差を求める。これが外光による照度となる
- ③ 得られた外光による照度を基に部屋の外光分布を推定し、要求照度設定位置の外光による照度を求める
- ④ 要求照度設定位置における要求照度から、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できるだけ一致するように、照明の光度を最適化する
- ⑤ 項目①から項目④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、目的関数を式(1)のように設定する。ただし、照度センサは机上面に設置しないため、照度 L_c は式(2)のように照明照度と外光照度の和である。

$$f = P + w \sum_{i=1}^n (L_{t_i} - L_{c_i})^2 \quad (1)$$

P : 消費電力量, w : 重み, n : 照度センサの数,

L_t : 目標照度, L_c : 現在照度

$$L_c = L_a + L_e \quad (2)$$

L_a : 照明照度, L_e : 外光照度

式(2)の L_a は各照明がある点灯光度で点灯した際に特定の場所に及ぼす照度を実測し、その場所に及ぼす照明の影響度をデータベースに記録する。この値から各照明の任意の点灯状況における特定の場所の照明照度を算出する。

照度センサを設置した場所では、実測照度から照明照度の差をとることにより、外光を算出できる。この算出された外光を基に部屋全体の外光照度分布を最小二乗法を用いて任意の場所の外光 L_e を推定する。そこで、モデル式を導出するため、図3のように実験環境に39台の照度センサを設置し、室内の外光分布を計測する。

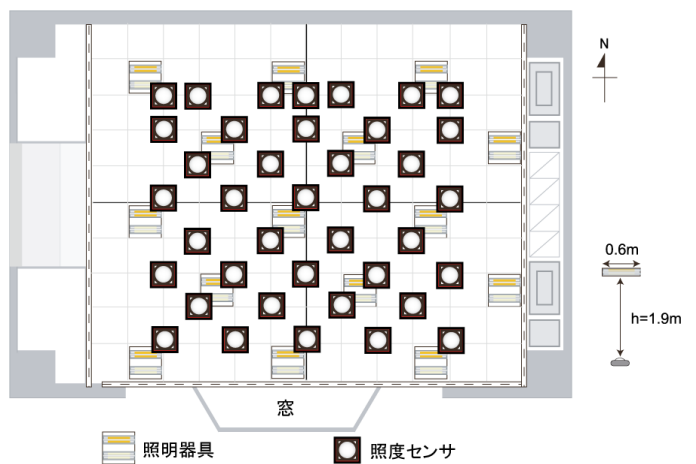


図3：外光分布計測システム

図3のように実験環境に39台の照度センサを設置し、外光を計測する。9月から1月までの様々な天候の外光計測データを基に、モデル式の導出を行う。多くのモデル式を試行錯誤し、室内の外光分布に最もよくあてはまるモデル式を導出した。導出したモデル式を式(3)に示す。

本提案手法では、位置座標を(x, y), 任意の場所での外光をzとしたときモデル式を基に任意の位置の外光照度を推定する。

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

4. 実験結果とその考察

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10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験環境に実験システムを構築し、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5名を想定して要求照度地点を図4に示すように配置する。要求照度地点A, B, C, DおよびEとし、要求照度をAは400lx, Bは550lx, Cは650lx, Dは450lx, Eは600lxとする。

そして、照明は最小点灯光度(401cd)から最大点灯光度(1336cd)の間で調光可能な昼白色蛍光灯を使用する。本実験では最小知覚変動比⁹⁾を基に、照度値が要求照度の+6%から-8%の範囲である際に、要求照度を実現できていると定義する。

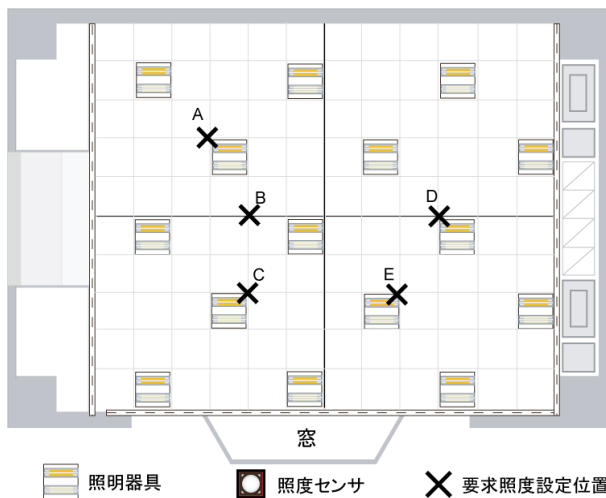


図4: 実験環境

要求照度地点A, B, C, DおよびEの照度履歴を図4に示し、1分ごとに照明を消灯して実測した外光履歴を図5に示す。

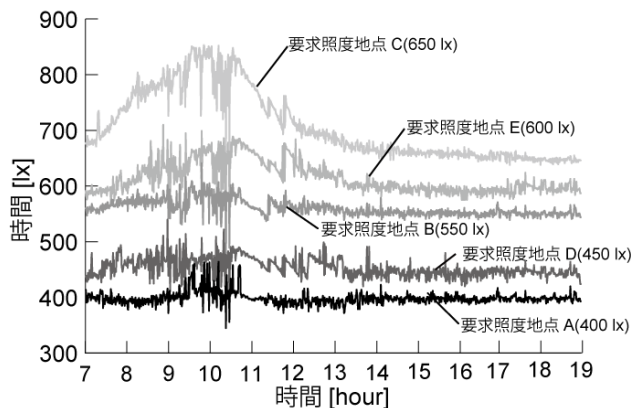


図5: 照度履歴

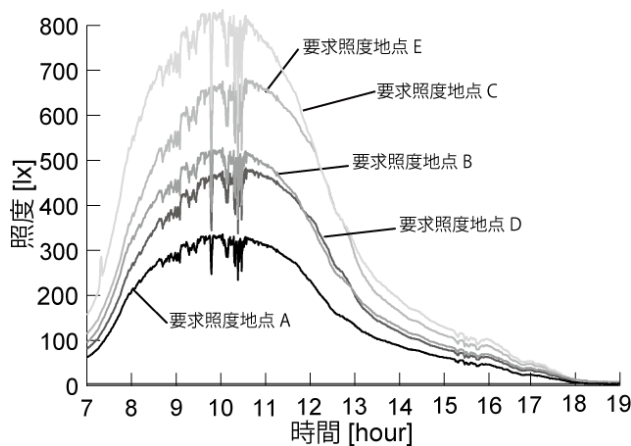


図6: 外光照度履歴（実測）

図5より、C地点の9時から11時までの時間帯を除き、各要求照度地点は1日を通して要求照度を実現できている。そこで、C地点の要求照度が満たせていない時間帯において、実現照度が要求照度よりも100lx以上高くなっている原因を図6の外光履歴より考察する。

図6の9時頃から11時頃をみると、外光による照度が各要求照度地点において高かったことがわかる。特に要求照度650lxであるC地点において、9時頃から11時頃には外光のみで750lxを超える照度となっており、要求照度を100lx以上超える外光であった。

これらの結果から、C地点では外光による照度が高い時間帯において、物理的に要求照度が実現不可能であったことがわかる。

次に各照明の光度情報を基に、省エネルギー性について考察を行う。外光がほとんどない19時頃の各照明の点灯状況を図7に示す。また、外光が入りつつ、かつ物理的に目標照度が実現できる13時頃の各照明明点灯状況を図8に示す。

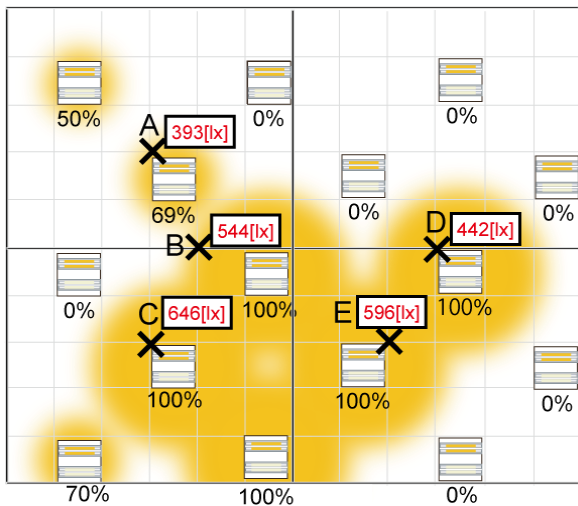


図7：19時頃における各照明の点灯状況

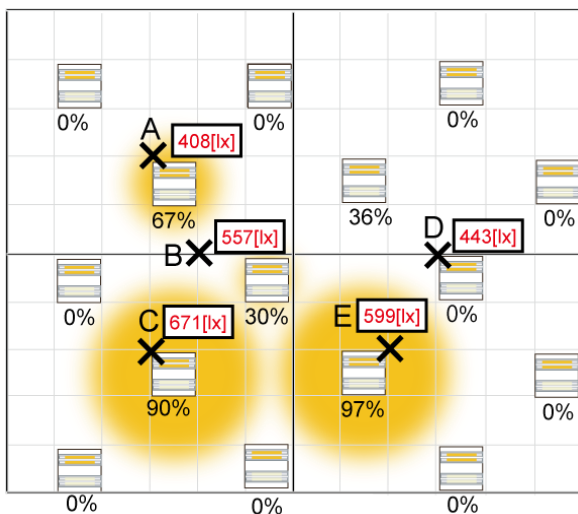


図8：13時頃における各照明の点灯状況

図7よりほとんど外光の無い時間帯において、省エネルギーな点灯状況であることがわかる。また、図8の外光がある時間帯には要求照度地点における外光を推定し、かつ省エネルギーな点灯によって目標照度を実現できていることがわかった。

以上の結果から、照度センサを設置する場所とユーザが要求照度を希望する場所が一致しない場合においても、要求照度を省エネルギーな点灯パターンで実現できた。

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外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5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、窓からの外光を推定し、個別照度を提供できることがわかった。

[参考文献]

- 1) 大林史明ら、オフィスワークの生産性向上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、ヒューマンインターフェースシンポジウム2006, Vol.1, No.1322, pp.151-156, 2006
- 2) 稲沼 實, 渡部 耕次, 坪田 裕二, 坂田 克彦, オフィスにおけるタスク・アンビエント照明方式の適応性に関する実証的研究, オフィスにおけるタスク・アンビエント照明方式の適応性に関する実証的研究, 日本建築学会計画系論文集(548), pp. 9-15, 2001
- 3) Miki, M., Y. Kasahara, T. Hiroyasu, M. Yoshimi, and H. Ito, "Evaluation of Illuminance Provided by the Intelligent Lighting System in Actual Office", ICAI'11 (The 2011 International Conference on Artificial Intelligence) , July, 2011
- 4) 小野景子, 三木光範, 吉見真聡, 西本龍生, 近江哲也, 足立宏, 秋田雅俊, 笠原佳浩, LED照明を用いた知的照明の実オフィスへの導入, Vol.131 No.5 , pp.321-327, 2011
- 5) 鹿倉智明ら, オフィス照明環境における明るさ変動近くに関する研究, 情報処理学会研究報告, p.49-52, 2005

*1 同志社大学理工学部 教授 工博

*2 同志社大学 大学院生

*3 同志社大学理工学部 助教 工博