

数理計画法を用いて昼光の影響がないオフィスの個別照度を実現する 照明制御システム-照度センサを用いない知的照明システム-

松下 昌平

Shohei MATSUSHITA

1 はじめに

著者らは、執務者が個別に要求する照度を最小の消費電力で実現する知的照明システムの研究・開発を行っている¹⁾。知的照明システムはその有効性を検証するため、東京都内複数のオフィスにおいて実証実験を行っている。実証実験の結果、実オフィスにおいて必要な場所に必要な照度を提供することに成功し、高い省エネルギー性を実現した。

知的照明システムは様々な光環境の変化に柔軟に対応するため、各執務者の机上面に照度センサを設置している。そして、取得した照度情報を基に照明の明るさ(光度)を最適制御することで、個別照度環境を実現している。しかし、照度センサは高価であり、かつシステム導入時に配線工事を行う必要があるため、その導入コストが知的照明システム普及の課題となっている。

そこで本研究では、照度センサを用いずに個別照度を実現する照明制御手法を提案し、その有効性を検証する。照度センサを用いないため、知的照明システムの導入コストを削減することができ、システムの普及に貢献できると考える。

2 知的照明システム

2.1 知的照明システムの概要

知的照明システムは制御装置、照明器具、照度センサ及び電力計を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。このシステムは執務者の要求する照度(目標照度)を実現し、かつ照明の消費電力が最小になるようにそれぞれの照明の光度を制御する。

2.2 知的照明システムの導入に対する課題

知的照明システムでは、各執務者の机上面に照度センサを設置することで、昼光の影響、オフィス内のレイアウト変更、照度センサの移動及び照明器具の劣化など、様々な光環境の変化に柔軟に対応している。しかし、照度センサは高価であり、かつシステム導入時に配線工事を行う必要があるため、その導入コストが知的照明システム普及の課題となっている。

一方、オフィスには窓のないオフィスや、窓があっても周りのビルの影響で昼光がほとんど入らないオフィス

も数多く存在する。このような環境では昼光の影響を考慮する必要がない。また、知的照明システムの実証実験を行った実オフィスは固定席であることが多く、机上面の照度センサの位置もあらかじめ決まっておき、移動が発生することはなかった。さらに、近年ではLED照明の普及に伴い照明器具の長寿命化が進んでおり、短期的には照明器具の劣化を考慮する必要はないと考えられる。このように昼光の影響がないオフィスにおいて、光環境の変化は頻繁に発生するものではないと考えられる。

光環境に変化がない場合、標準的な知的照明システムのように照明の光度変化を繰り返す、照度センサから取得した値に基づいてフィードバック制御を行う必要はなく、照度シミュレーションに基づく最適化を行うことで目標照度の実現が可能である。この場合、照度情報をフィードバックする必要がないため、照度センサは不要となる。

そこで本研究では、昼光の影響を考慮する必要のないオフィスにおいて、照度センサを用いずに個別照度環境を提供する新たな照明制御手法について考える

3 照度センサを用いずに執務者の個別照度を実現する照明制御システム

3.1 数理計画法を用いた照明制御アルゴリズムの提案

照度センサを用いずに個別照度環境を提供する新たな照明制御手法として、数理計画法を用いた制御アルゴリズムを提案する。提案手法は、知的照明システムの要件を満たす各照明の最適な光度を数理計画法を用いて探索し、探索解を実環境の照明に反映することで、各執務者の目標照度を実現し、かつ消費電力を最小化する。

3.2 目的関数の定式化

知的照明システムの要件に数理計画法を適用する場合、知的照明システムの目的関数が設計変数である照明の光度で表現可能である必要がある。目的関数を設計変数で表現したものを式(1)に示す。

なお、式(1)の照度/光度影響度係数 R は、各照明が照度センサに及ぼす明るさの影響度合いを表している。また、照明環境に変化がない限り式(1)の R は定数とみなすことができる。

$$f = \sum_{i=1}^m (\alpha L_i + \beta) + w \sum_{j=1}^n g_j \quad (1)$$

$$g_j = \begin{cases} 0 & (I_{c_j} - I_{t_j}) \geq 0 \\ (\sum_{i=1}^m R_{ij} L_i - I_{t_j})^2 & (I_{c_j} - I_{t_j}) < 0 \end{cases}$$

i : 照明 ID, m : 照明数, α : 係数 [W/cd], β : 定数

L_i : 照明 i の光度 [cd], w : 重み, j : センサ ID

n : センサ数, I_{c_j} : センサ j 地点の照度 [lx]

I_{t_j} : センサ j の目標照度 [lx], R_{ij} : 影響度係数 [lx/cd]

このように、目的関数を照明の光度で定式化したことにより、知的照明システムの要件に数理計画法を適用することが可能となった。

3.3 数理計画法を用いた制御アルゴリズム

設計変数で表現した目的関数である式 (1) は、設計変数に関する非線形二次関数であることから、提案手法では勾配法の一つである最急降下法を用いて最適化を行う。以下に提案手法の制御の流れを示す。

1. 各照明を初期点灯光度で点灯
2. 各執務者の目標照度を設定
3. 最急降下法により各執務者の目標照度を実現する最適な点灯パターンを算出
4. 算出した点灯パターンを照明に反映
5. 執務者の目標照度の変更された場合、項目 2) へ戻る

以上の制御により、各執務者の目標照度を実現する。

4 検証実験

4.1 実験概要及び実験環境

提案手法の有効性を検証するため、提案手法及び実オフィスに導入している知的照明システム (以下、標準的手法) の制御手法を用いて、検証実験を行った。実験環境を Fig.1 に示す。

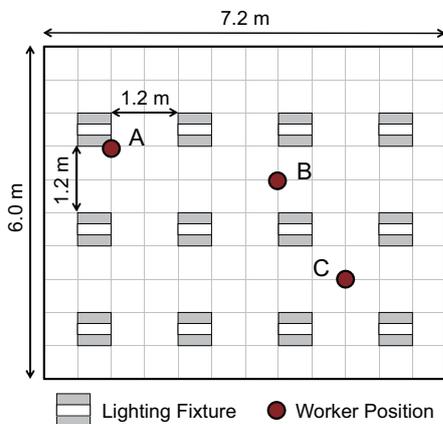


Fig. 1 実験環境

実験は、白色 LED 照明 12 灯を設置した、窓のない 7.2 m × 6.0 m の室内で行い、執務者は 3 名を想定した。また制御には不要であるが、目標照度実現性の確認のため、執務者の位置に照度センサ 3 台を設置し照度を計測した。なお、各執務者の目標照度は照度センサ A, B 及び C の位置にそれぞれ 300, 500 及び 700 lx を設定した。

4.2 実験結果及び考察

提案手法及び標準的手法を用いた検証実験における照度履歴を Fig.2 及び 3 に示す。横軸は時間、縦軸は照度を表している。

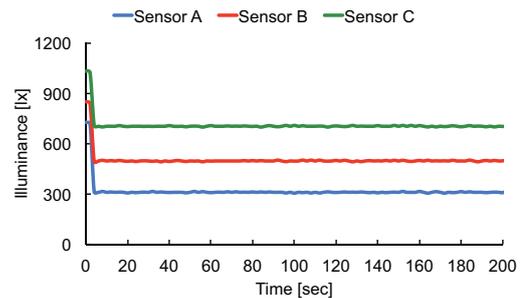


Fig. 2 提案手法における照度履歴

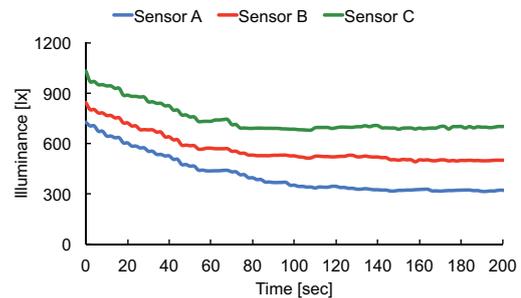


Fig. 3 提案手法における照度履歴

知的照明システムでは、目標照度の±約7%以内であれば目標照度を実現したと考えている。Fig.2 及び 3 から、標準的手法が照明の光度変化を繰り返す、120 sec 程度で各執務者の目標照度を実現しているのに対し、提案手法は1回の照明制御で瞬時に目標照度を実現していることがわかる。この結果から、提案手法は照度センサを用いることなく目標照度を実現できることを確認できた。また、標準的手法よりも短時間で各執務者の目標照度を提供できることを確認できた。

以上より、光環境の変化が頻繁に発生しない環境における提案手法の有効性を示すことができた。

参考文献

- 1) 三木光範, 知的照明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, Vol.22, No.3 (2007), pp.399-410.