

# 学習によりデータベース化した目標照度および点灯パターンの 組み合わせを用いて光度制御する知的照明システム

滝野 天嶺

Takamine TAKINO

## 1 はじめに

近年、オフィス環境の改善による執務者の快適性および知的生産性の向上に注目が集まっている。オフィス環境のうち、光環境に着目した研究においては、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の改善に有効であることが明らかとなっている。このような背景から、著者らは、省エネルギー性を保ちながら任意の場所に任意の明るさを提供する知的照明システムを提案している<sup>1)</sup>。我々の研究室では、実オフィスへの本システム導入により実証実験を行っているが、個別分散照度、および省エネルギー性実現の観点から良好な結果が得られている。しかし今後は、知的照明システムの導入規模拡大に伴う、システム構成要素数の増大により、執務者の目標照度実現に遅延が発生することが懸念される。そこで、本研究では目標照度に対する最適な照明点灯パターンの学習により、大規模な環境であっても高速に照明点灯パターンを最適化する手法を提案する。

## 2 知的照明システム

### 2.1 知的照明システムの概要

知的照明システムとは、各照明が自律的に照明の明るさ（光度）を変化させることで、各執務者の目標照度を低消費電力な点灯パターンで実現する照明制御システムである。本システムは、複数の調光可能な照明機器、複数の照度センサ、および電力計をネットワークでひとつに接続することで構成される。各照明にはマイクロプロセッサが搭載されているため、各照明が独立して光度制御を行う自律分散型のシステムとして稼働することができる。マイクロプロセッサは、照度センサから得た照度情報（目標照度、現在照度）および電力計から得た消費電力情報に基づき、自身の動作に対する有効性を検証する。その後、知的照明システム全体で制約条件を満たしながら消費電力の最小化を図る。

### 2.2 制御アルゴリズム

本システムの目的は、最小限の電力消費で執務者の目標照度を実現することである。これら 2 点の条件を満たすために、各マイクロプロセッサは自身の光度を最適化する最適化問題として捉える。この問題を定式化すると、式 (1) のようになる。知的照明システムの制御では、設計変数を光度、目標照度との差と消費電力量の和を目的関数とし制御を行う。

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

$$g_i = \begin{cases} (It_i - Ic_i)^2 & I_* \leq |It_i - Ic_i| \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$P$ : 消費電力,  $w$ : 重み,  $Ic$ : 現在照度,  $It$ : 目標照度

$n$ : ユーザ数,  $I_*$ : 照度差に関する閾値

次に制御の流れについて述べる。制御フローは以下の通りである。

- (1) 照明の光度をランダムに漸減
- (2) 照度情報および消費電力情報を取得
- (3) 現在の目的関数を計算
- (4) 目的関数値が増加すれば、光度を前の状態に復元

## 3 システム導入規模拡大に伴う課題の検証

### 3.1 予備実験の概要

我々は、知的照明システムの有用性検証のため、実用化に向けた実証実験を行っている。実証実験では、目標照度の実現において良好な結果が得られ、約 50% の消費電力が削減でき、省エネルギー性の観点からも良好な結果が得られている<sup>2)</sup>。しかし今後は、規模の大きいオフィスに本システムを導入するにあたって、目的関数の最適解探索に要する照明制御回数が増大するおそれがある。そこで、照明灯数および照度センサ数の増大と目的関数最小化に要する探索回数の増大の関係について検証することを目的に、大規模環境を想定したシミュレーションによる予備実験を行った。

### 3.2 予備実験

予備実験では、照明 12 灯、センサ 3 基の環境（環境 1）および環境 1 を 9 倍に拡張した環境として照明 144 灯、センサ 27 基の環境（環境 2）を構築し、従来手法で照度収束シミュレーションを行った。環境 1 においてセンサ A の照度は目標照度変更後 12 ステップで目標照度に収束しているのに対して、環境 2 ではセンサ M の目標照度変更時点から目標照度に収束するまで 157 ステップを要していることを確認した。2.2 節で述べたように、1 ステップにかかる時間は約 2 秒であるため、環境 2 を実環境におきかえると、目標照度変更時点から照度収束までの時間は約 5 分を要していることになる。知的照明導入の目的である知的生産性および快適性の向上という効果が得られにくくなることから、この問題は解決すべき問題と言える。

## 4 データベースを用いた照明制御手法

本節では、知的照明システムの最適解探索を短縮できる新たな照明制御アルゴリズムを提案する。従来の知的照明システムの照明制御アルゴリズムに以下の制御を加える。

- (1) 執務者が新しい目標照度を設定
- (2) 前回の目標照度/点灯光度パターンをデータベースに保存
- (3) (1) で設定された目標照度パターンに最も類似した取得照度パターンを保有するデータ行を探索
- (4) 探索されたデータセットに紐づいている点灯光度パターンを各照明に反映

このようにして随時、新しい目標照度パターンに対する最適な点灯光度パターンをシステムが学習する。

## 5 類似度最大となる取得照度パターンの探索

本節では、取得照度パターンを探索する際の類似度について述べる。算出方法を以下に示す。

$$\text{sim}(Lt_i, Ld_i) = \sum_{i=1}^n (|Lt_i - Ld_i|) \quad (3)$$

$$\text{sim}(Lt_i, Lc_i) = \sum_{i=1}^n (|Lt_i - Lc_i|) \quad (4)$$

$i$ :照度センサ ID,  $Lc$ :現在照度,

$Lt$ :執務者の目標照度,  $Ld$ :データベース内の取得照度

まず、各センサの現在照度  $Lc$  と目標照度  $Lt$  の差  $\text{sim}(Lt_i, Ld_i)$  およびデータベース内の取得照度  $Ld$  と目標照度  $Lt$  の差  $\text{sim}(Lt_i, Lc_i)$  を算出する。 $\text{sim}(Lt_i, Ld_i) < \text{sim}(Lt_i, Lc_i)$  ならばデータベース内の取得照度を採択し、データセットに紐づいた点灯光度パターンを反映する。

## 6 実環境における検証

### 6.1 実験概要

提案手法の有効性を示すため、検証実験を行う。提案手法と従来手法を用いて照度収束実験を行ない、照明制御回数の比較を行なう。

実験環境は同志社大学香知館 KC111 実験室を使用し、三菱電機社製グリッド天井用照明 (EL-G6004MM) 12 灯およびコニカミノルタ社製デジタル照度センサ 3 台を設置する。なお、四辺は外光が入らないように白色のパーションで仕切っている。

### 6.2 実験結果および考察

実験結果から目標照度変更前後の照度履歴を抜粋して従来手法および提案手法の比較をおこなう。ここでは、センサ A の目標照度を 400 lx から、200 ステップ後に 300 lx に変更した際の結果を示す。従来手法を用いた場合および提案手法を用いた場合の照度履歴を図 1 に示す。図 1 より、提案手法は 1 ステップで最適化を完了し、目

標照度を実現しており、提案手法は従来手法と比して点灯パターン最適化までの照明制御回数を大幅に削減している。

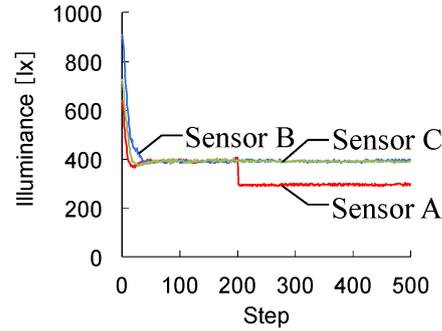


Fig.1 照度履歴 (提案手法)

## 7 大規模環境を想定したシミュレーション

### 7.1 実験概要

大規模環境における提案手法の有効性を示すため、前節でおこなった検証実験の環境を拡張し、シミュレーションによる検証実験を行う。実験では、提案手法と従来手法を用いて照度収束実験を行ない、照明制御回数の比較を行なう。なお、実験は節で述べた環境 2 と同じく照明 108 灯、照度センサ 18 基という想定で行った。

### 7.2 実験結果および考察

実験結果から目標照度変更前後の照度履歴を抜粋して従来手法および提案手法の比較をおこなう。ここでは、センサ M の目標照度を 400 lx から、200 ステップ後に 300 lx に変更した際の結果を示す。従来手法を用いた場合および提案手法を用いた場合の照度履歴を図 2 に示す。図 2 より、提案手法は 1 ステップで最適化を完了し、目標照度を実現しており、従来手法と比して点灯パターン最適化までの照明制御回数を大幅に削減していることが分かる。以上より、提案手法の有効性を確認した。

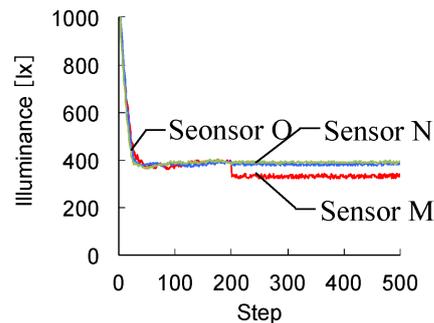


Fig.2 照度履歴 (大規模環境 - 提案手法)

## 参考文献

- 1) T. Hiroyasu, M. Miki and K. Imazato. Proposal for an intelligent lighting system, and verification of control method effectiveness. 2004.
- 2) 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システムの実オフィスへの導入. 2010.