

## 上下可動型照明を用いた知的照明システム Intelligent Lighting System using the Height-Adjustable Luminaires

外村 篤紀\*  
Atsuki TONOMURA

三木 光範\*  
Mitsunori MIKI

川田 直毅†  
Naoki KAWATA

間 博人\*  
Hiroto AIDA

### 1. はじめに

著者らはオフィスにいる各執務者が個別に要求する照度を実現する知的照明システムの研究、開発を行っている<sup>1)</sup>。また、知的照明システムの実用化にあたって、実際のオフィスに知的照明システムの導入を行い、知的照明システムの有効性を明らかにした。しかし、現在の知的照明システムでは執務者が望む照度を物理的に実現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、本研究では垂直方向に移動が可能な上下可動型照明を用いて、照明の光度だけでなく照明の高さも最適化することにより各執務者の要求照度を実現する知的照明システムを検証する。

### 2. 知的照明システム

#### 2.1. 概要

知的照明システムは、照明、制御装置、照度センサ、および電力計を一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執務者の要求照度を満たすシステムである。知的照明システムのアルゴリズムには Simulated Annealing (SA) を照明制御用に改良した適応的近傍アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Regression Coefficient: ANA/RC) を用いる<sup>2)</sup>。また、知的照明システムでは、消費電力、および目標照度と現在提供されている照度の差を最小にすることを定式化した目的関数を用いる。知的システムにおける目的関数を式 1 に示す。

$$f = P + \sum_{j=1}^n (I_{c_j} - I_{t_j})^2 \quad (1)$$

$P$ : 消費電力,  $w_j$ : 重み,  $n$ : 照度センサの数

$I_c$ : 現在の照度,  $I_t$ : 目標照度

式 1 の目的関数は消費電力と照度差の合計からなり、 $w_j$  を変化させることで照度の実現もしくは省エネルギーの実現のうちどちらを優先するか決定する。

#### 2.2. 目標照度に収束しない状況

現在の知的照明システムでは、隣接する執務者の要求照度が大きく異なる場合や、一部の執務者が極端に大きい照度を要求した場合に要求照度を実現することが容易ではないことがある。この状況を実環境において確認した実験結果を fig.1 に示す。本実験では、調光可能な照明 9 灯と、照度センサ A, B, および C の 3 台を用いた。また、それぞれの配置は fig.1 のようにした。

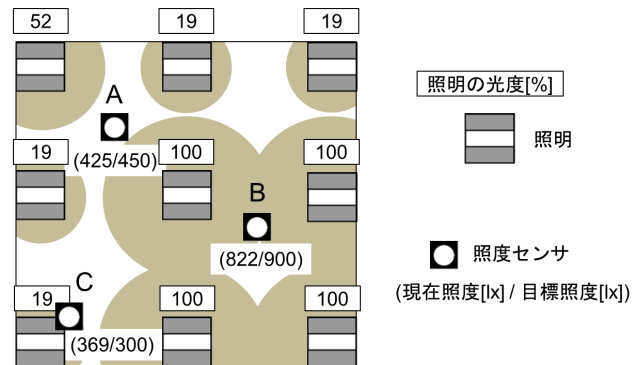


Fig.1 目標照度に収束しない状況

人間は 50 lx 程度の違いを認知できないとされているため、目標照度の収束範囲は目標照度から  $\pm 50$  lx 以内とする。fig.1 の実験結果から、照度センサ B, および C の照度が目標照度に収束していないことがわかる。この原因として、本研究では照射角度の広い照明を用いており、狭い範囲に各執務者の個別照度を提供することが容易ではないことが挙げられる。このような状況に対して要求照度の実現性を向上させるためには、配光角の狭い照明を設置するか、照明を上下に可動させることでその照明の発する光が到達する範囲を狭める必要がある。本研究では後者の手法について述べる。

### 3. 上下可動型照明を用いた知的照明システム

#### 3.1. 制御アルゴリズム

本研究では、上下可動型照明を用いて、照明の高さを最適化することにより、これまで実現が容易ではなかった要求照度を実現する手法を提案する。提案するアルゴリズムでは ANA/DB で目標照度に収束しない場合、高さ変更アルゴリズムに移行する。以下に照明器具の鉛直方向の配置を最適化するための高さ変更アルゴリズムを示す。また、本アルゴリズムで用いる目的関数を式 2 に示す。

1. 式 2 を用いて照明それぞれの目的関数を計算
2. 照明の高さをランダムに変更
3. ANA/DB による照度収束
4. 照度が収束した状態で、再び式 2 を用いて目的関数を計算
5. 1 と 4 の目的関数値を比較して、高さを受理するかどうかを決定
6. 照度が収束するまで 1 から 5 を反復

\* 同志社大学理工学部

† 同志社大学大学院

$$f = P + \alpha_1 \sum_{j=1}^n (I_{c_j} - I_{t_j})^2 + \alpha_2 \sum_{i=1}^m H_i \quad (2)$$

$\alpha_1$ : 照度に対する重み,  $\alpha_2$ : 高さに対する重み  
 $n$ : 照度センサの数,  $m$ : 照明の数  
 $I_c$ : 現在の照度,  $I_t$ : 目標照度  
 $H$ : 天井から照明までの距離,  $P$ : 消費電力

照明位置が低くなりすぎることは、オフィス内の景観を阻害し、執務者のストレスに生じさせる可能性を発生させるため、好ましくない。そこで、照明の高さ変更を使用する目的関数は、式1に天井から照明までの距離を加算した式とする。これにより、照明器具が天井から離れるほど照明降下によるペナルティが加算される。よって、提案手法では実現が容易でなかった照度を満たすために照明器具の高さを変化させるが、照明器具が天井から離れるのを抑える。また、重み  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  を調整することで、消費電力量の削減、目標照度の実現、あるいは照明の降下分低減のうち、どの要素を優先的に実現するかを決定する。

### 3.2. シミュレーションにおける提案手法の検証

3.1節で述べた提案手法を用いてシミュレーションを作成し、提案するアルゴリズムの有効性を検証する。シミュレーションにおいて、照明、照度センサ、およびそれぞれの目標照度を Fig.1 の実験環境と同じにし、照明を鉛直移動させることにより照度が目標照度に収束するかどうかを検証する。シミュレーション結果を Fig.2 に示す。ただし、本シミュレーションにおいては、部屋の高さは 2.8 m で、照明の降下は最大 0.8 m とする。つまり照明は床面から 2 m 地点まで降下することが可能である。また、照明は 0.1 m ごとに高さ調節可能とする。

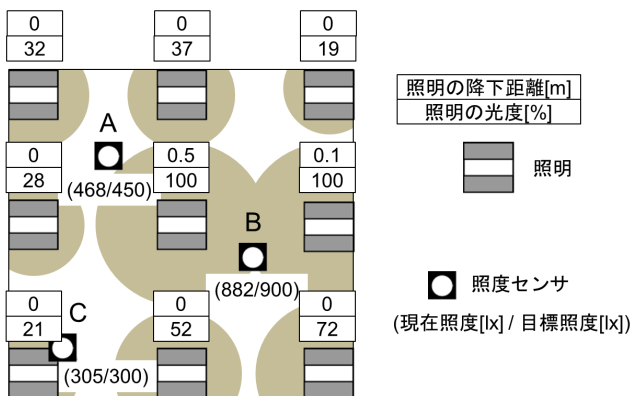


Fig.2 提案手法のシミュレーション結果

Fig.2 に示した結果から、図中央とその右の照明がそれぞれ 0.5 m, 0.1 m 降下することで要求照度をすべて満たしていることがわかる。この結果から、高い照度を要求した執務者付近の照明を降下させることで、実現が容易ではなかった照度差を実現できると考えられる。また、照明器具の鉛直移動による最適化は、Fig.2 のように一部

の執務者が高い照度を要求した場合に有効であると考えられる。

### 3.3. 実環境における提案手法の検証

提案手法の動作実験を行う。調光可能で、かつ高さ調節可能な照明 9 灯と照度センサ 3 灯を用いて、上下可動型照明を用いた知的照明システムを構築した。また、この環境を用いてシミュレーションによる実験結果を検証することで提案手法の有効性を検証する。Fig.2 のシミュレーション結果を、本システムで検証した結果を Fig.3 に示す。また、実験環境を Fig.4 に示す。

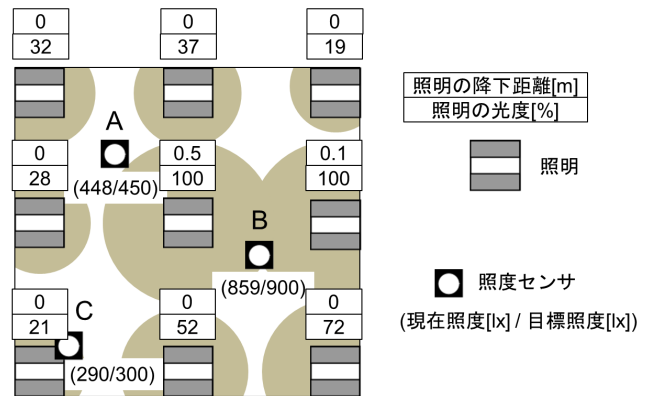


Fig.3 実環境での検証結果

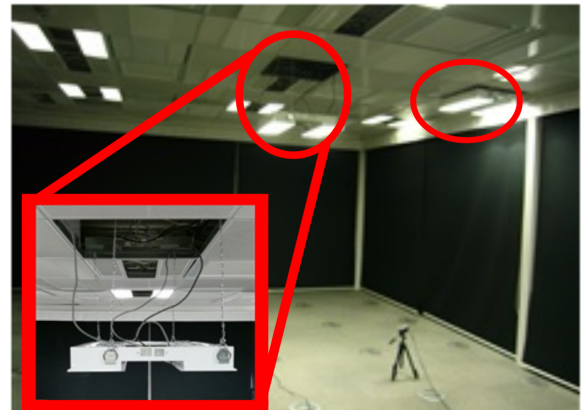


Fig.4 実験環境

Fig.3 の実験結果から、照明を降下させることにより実環境においても目標照度を満たすことができ、現在の知的照明システムでは目標照度を達成することが容易ではない状況に対して有効であることがわかった。

### 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, 2007.
- 2) 後藤和宏, 三木光範, 廣安知之. 知的照明システムのための回帰係数を用いた自律分散最適化アルゴリズム. 照明学会全国大会講演論文集, Vol. 40, pp. 123-124, 2007.