

# 上下可動型照明を用いた知的照明システム

川田 直毅  
Naoki Kawata

## 1 はじめに

近年、オフィス環境における執務者の知的生産性、創造性、および快適性の向上に注目が集まっている<sup>1)</sup>。我々は各執務者に個別の照度を提供できる知的照明システムの研究を行っている<sup>2)</sup>。

現在、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っている。その結果、知的照明システムの有効性が明らかになったが、隣接する執務者同士が大きく異なる照度を要求した際、執務者の要求する照度を満たすことができない状況が存在することが分かった。そのため、本研究では、実現が容易でなかった各執務者の要求する照度を実現する手法を提案する。提案する手法では、上下可動型照明を導入し、照明光度だけでなく、高さも最適化対象とすることで、目標照度実現性を向上する。

## 2 知的照明システム

### 2.1 知的照明システムの概要

知的照明システムは、執務者に個別の照度を提供し、照明の消費電力を削減して省エネルギーを実現するシステムである。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繋ぐことで構成する。執務者は照度センサを机上面に設置し、目標照度を設定することで、各照明が人に感知されない範囲で明るさ（光度）を繰り返し変化させ、最適な点灯パターンを実現する。知的照明システムの照度収束アルゴリズムには、山登り法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>3)</sup>。

ANA/RC は各照明が各照度センサに及ぼす影響度に応じて光度を変化させることで、より少ない探索回数で最適な光度へ変化させることができる。照度センサに及ぼす照明の影響は式 (1) の関係式で表すことができる。また、照明環境が変化しない限り R は定数とみなすことができる。以後、この定数 R を影響度係数と呼ぶ。

$$E = RI \tag{1}$$

E: 照度 [lx], I: 光度 [cd], R: 影響度係数 [lx/cd]

知的照明システムでは、照度情報と消費電力情報を用い、定式化した目的関数を最小化する照明の点灯パターンを探索する。つまり、知的照明システムは目標照度を実現しながら、消費電力を最小化するという目的を定式化している。この定式化した式の解を見つけることを最適化問題として捉え、最適解の探索を行う。知的照明シ

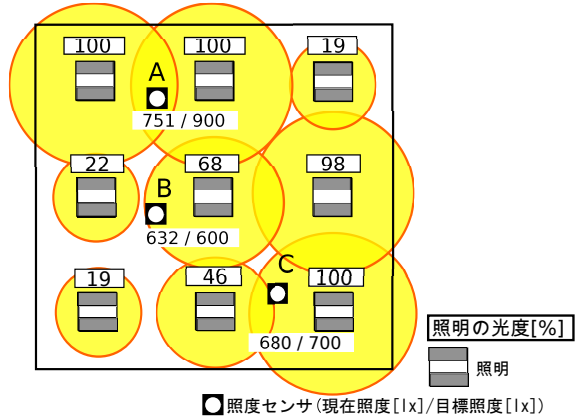


Fig.1 従来の手法の光度分布図

Table1 目標照度値と現在照度値の比較

|       | 目標照度値 | 現在照度値 |
|-------|-------|-------|
| センサ A | 900   | 751   |
| センサ B | 600   | 632   |
| センサ C | 700   | 680   |

ステムの目的関数を式 (2) に示す。

$$f = P + w \sum_{i=1}^n (Lt_i - Lc_i)^2 \tag{2}$$

P: 消費電力, w: 重み,

n: 照度センサの数, Lt: 目標照度, Lc: 現在照度

式 (2) の目的関数は消費電力 P と照度差の合計からなり、重み  $w$  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かを優先するか決定する。目的関数値  $f$  を最小にすることで、執務者の要求する照度を満たし、かつ省エネルギーを実現できる最適な照明器具の配置を求めることができる。

### 2.2 知的照明システムのシミュレーションの結果

知的照明システムでは、隣接する執務者同士が大きく異なる照度を要求した際、執務者の要求照度の実現が容易ではない。調光可能な照明 9 灯とそれぞれ 900, 600, 700 lx の目標照度を設定した照度センサ A, B, および C の 3 台を用いた、この状態の光度分布図を図 1 に示す。目標照度値と現在照度値の比較を表 1 に示す。この状態ではセンサ B の要求照度を満たすことができない。隣接する執務者同士が大きく異なる照度を要求した際、単一の執務者に対してならば実現できるはずの照度が実現できない場合がある。隣接する執務者同士が大きく異なる

照度を要求した際、実現が容易ではない要求照度を満たすためには、隣接する執務者同士が互いに影響し合わない方法として、配光角の狭い照明を多数設置するか、照明を上下に可動させることで、配光角を実質的に狭める必要がある。本研究では後者の方法を考える。

### 3 個別照度実現のための照明器具の鉛直移動

#### 3.1 制御アルゴリズム

本研究では、鉛直に移動可能な照明器具を用い、その配置を最適化することで、隣接する執務者同士が大きく異なる照度を要求した際、これまで実現が容易でなかった要求照度を実現する手法を提案する。

以下に照明器具を鉛直方向の配置を最適化を行うための制御アルゴリズムを示す。本アルゴリズムで用いる目的関数を式 (3) に示す。

1. それ以上照度を収束できない状態まで照度収束アルゴリズムによって照度を収束させる。
2. 式 (3) を用いて目的関数値を求める。
3. 全ての照明器具の高さをランダムに変更する。
4. 照明の光度の最適化を行う。
5. 再び目的関数値を求め、値が改良した場合はその照明器具の高さへ移動する。改悪した場合は 1step 前の照明器具の高さに戻す。
6. 2~5 を繰り返し、全ての執務者の要求照度を実現する。

$$f = P + w_1 \sum_{i=1}^n (Lt_i - Lc_i)^2 + w_2 \sum_{j=1}^m |Hb - Hc_j| \quad (3)$$

$P$ : 消費電力,  $w_1, w_2$ : 重み,

$n$ : 照度センサの数,  $m$ : 照明の数,

$Hc$ : 現在の照明の高さ,  $Hb$ : 天井の高さ,

$Lt$ : 目標照度,  $Lc$ : 現在照度

目的関数は消費電力量  $P$  と目標照度と現在照度の差、および天井の高さと照明器具の高さの差からなる。目的関数に天井の高さと照明器具の高さの差を入れることで、照明器具が天井から離れるほど、高さ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、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  $w$  を調整することで、消費電力量の削減と照度の実現のうち、あるいは照明の天井からの高さの変化量のうち、どの要素を優先的に実現するかを決定する。

#### 3.2 提案手法の評価実験

提案したアルゴリズムの有効性を検証するために、照度シミュレーションを用いて評価実験を行う。2.2 節で従来の知的照明システムでは実現が容易でなかった状態と同様に、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。部屋の高さは 280 cm で、照明は最大 100 cm 降下する、つまり照明は床面から 180 cm 地点まで降りることが可能。この状態から、照明器具の鉛直方向への移動による最適化を行った状態で照度収束し

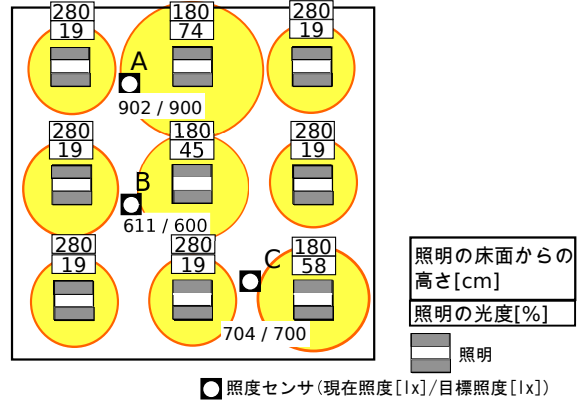


Fig.2 照明の鉛直移動による光度分布図

Table2 目標照度値と現在照度値の比較

|       | 目標照度値 | 現在照度値 |
|-------|-------|-------|
| センサ A | 900   | 902   |
| センサ B | 600   | 601   |
| センサ C | 700   | 704   |

た光度分布図を図 2 に示す。目標照度値と現在照度値の比較を表 2 に示す。

照明器具の鉛直方向への移動による最適化を行った結果、照明器具が図 2 のような照明の高さの配置に移動することで、要求を満たせていなかったセンサ B の 600 lx という目標照度を満たすことができ、全執務者の目標照度を満たすことができた。その際、高い照度を求めた執務者付近の照明の高さが低くなったことが確認できる。他にも照度センサの近くの照明が下がることによって、消費電力の削減を行う。このように、照明器具の高さを下げることで、これまで実現が容易でなかった、大きな照度差の実現と実現可能な最大照度値を大きくすることができた。この結果から、照明器具の鉛直移動による最適化は、図 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ことが分かった。

#### 参考文献

- 1) 大林史明, オフィスワークのプロダクティビティ改善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, ヒューマンインタフェースシンポジウム, 2006.
- 2) 三木光範, 知的照明システムと知的オフィス環境コンソシアム. 人工知能学会誌, 2007.
- 3) 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.