

# 知的照明システムにおける照度/光度影響度係数を用いた色温度推定手法の検証

川島 梨沙

Risa KAWASHIMA

## 1 はじめに

我々は、執務者に個別の照度および色温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>。知的照明システムは既にその有効性が認められ、東京都内の複数のオフィスにおいて実証実験を行っている。しかし、色彩照度計は高価であることから、執務者ごとに色彩照度計を設置することは容易ではない。そのため、実オフィスに導入した知的照明システムでは、照度センサのみを用いて制御を行っており、照度制御においては照度センサから得られる照度を基に制御アルゴリズムを用いる。一方、色温度制御においては、各照明の色温度を執務者が手動設定しており<sup>2)</sup>、これは執務者の負担となっている。

そこで本研究では、色彩照度計を用いず、各執務者に個別の照度および色温度を提供する手法を提案する。色彩照度計を不要とし、かつ各照明の色温度を手動設定する操作も不要とすることで、執務者の負担低減を狙う。

## 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複数の調光可能な照明器具、複数の色彩照度計、制御装置および電力計を 1 つのネットワークに接続することで構成する。各執務者は色彩照度計を 1 つずつ所持し、要求する照度および色温度を各色彩照度計に設定することで、執務者が好む光環境を個別に実現する。

知的照明システムの制御には、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>。知的照明システムの目的は、各執務者の要求する照度・色温度の実現および消費電力の最小化である。そこで、照明制御に用いる目的関数を式 (1) のように定式化する。

$$f = P + \omega_E \times \sum_{j=1}^n g_{ij} + \omega_T \times \sum_{j=1}^n h_{ij} \quad (1)$$

$$g_{ij} = \begin{cases} 0 & (Ec_j - Et_j) \geq 0 \\ R_{ij} \times (Ec_j - Et_j)^2 & (Ec_j - Et_j) < 0 \end{cases}$$

$$h_{ij} = \begin{cases} 0 & (Tc_j - Tt_j) \geq 0 \\ R_{ij} \times (Tc_j - Tt_j)^2 & (Tc_j - Tt_j) < 0 \end{cases}$$

$i$ : 照明番号,  $j$ : 色彩照度計番号,  $P$ : 消費電力 [W]

$\omega_E$ : 重み (照度) [W/lx],  $\omega_T$ : 重み (色温度) [W/K]

$Ec$ : 現在照度 [lx],  $Et$ : 目標照度 [lx]

$Tc$ : 現在色温度 [K],  $Tt$ : 目標色温度 [K]

$R_{ij}$ : 照明  $i$  に対する色彩照度計  $j$  の照度/光度影響度係数

### 2.2 各照明の色温度を個別で指定する照明制御手法

色彩照度計は高価であることから、実オフィスへの導入は容易ではない。そこで、色彩照度計に比べ安価である照度センサのみを用いた知的照明システムを提案し、実オフィスに導入した。導入したシステムの色温度制御においては、照明制御アルゴリズムには組み込まず、各照明の色温度を Web ユーザーインターフェース上で手動設定する方法を用いる。

しかし、照明の色温度を手動設定する方法では、執務者が各照明の色温度を個々に設定する必要があり、この操作は執務者の負担と言える。そこで、執務者が要求する照度および色温度を各照度センサに与えることで、個人が好む光環境を提供する知的照明システムの新たな照明制御手法を提案する。

## 3 照度/光度影響度係数を用いた色温度推定手法

### 3.1 提案手法の概要

色彩照度計を用いず、各執務者が要求した照度および色温度を個別に提供する手法を検討する。本提案手法では、照度センサから得られる照度を基に、照明制御アルゴリズムを用いて照明を制御し、各執務者が要求する照度を個別に実現する。一方、色温度においては、照明の光度情報のみを用いて照度センサ設置位置における色温度を推定し、算出した色温度を基に照明を制御する手法を検討する。

### 3.2 照明複数灯が存在する環境下における色温度推定手法の検証

単一照明の昼白色光源の照度と電球色光源の照度から照度比を算出することで、照明直下地点における色温度を推定できることが分かっている<sup>4)</sup>。そこで、この手法が照明複数灯が存在する環境下でも有用かを調べるため、昼白色光源および電球色光源の照度比と色温度の関係性を検証する実験を行った。

検証実験では、照明 2 台、4 台および 9 台が存在する環境下において、照明直下、2 灯間直下および 4 灯間直下地点に色彩照度計 1 台を設置し計測を行う。下記に実験手順を示す。

1. 照明の昼白色光源の光度をランダムに点灯し、計測地点の照度を計測
2. 照明の電球色光源の光度をランダムに点灯し、計測地点の照度を計測
3. 項目 1 および 2 の光度で照明の昼白色光源および電球色光源の両方を点灯し、計測地点の色温度を計測

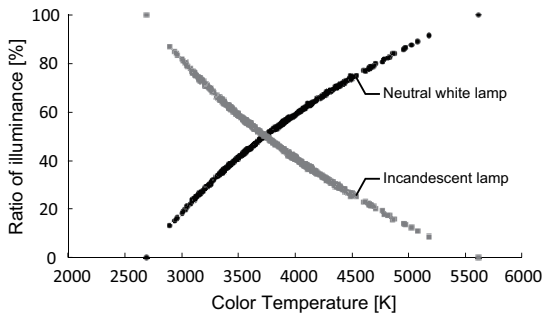


Fig.1 照度比率と色温度の関係

図1に、照明4台が存在する環境下での4灯間直下地点における計測結果を示す。図1において、横軸は色彩照度計から計測した色温度、縦軸は昼白色光源と電球色光源の照度比率を示しており、それぞれの照度比と色温度との間に非線形的な関係性があることが確認できた。また、他の地点においても図1と同様の結果が得られた。

### 3.3 照度/光度影響係数を用いた色温度推定手法

各照明の光度情報を基に、照度センサ設置地点における昼白色光源および電球色光源の照度をそれぞれ算出することで、それらの照度比から照度センサ地点の色温度を推定できると考える。そこで、提案手法では光度および照度の関係式を用いる。各照明の光度と照度センサから得られる照度は比例関係にあり、式(2)のように表すことができる。また、照明環境に変化がない限り式(2)の $R$ は定数として見なすことが可能である。以後、この $R$ は照度/光度影響係数と呼ぶ。

$$I_j = \sum_{i=1}^N (R_{ij} \times L_i) \quad (2)$$

$i$ : 照明番号,  $j$ : 照度センサ番号,  $N$ : 照明台数

$I_j$ : 照度センサ  $j$  地点の照度 [lx],  $L_i$ : 照明  $i$  の光度 [cd]

$R$ : 照度/光度影響係数 [lx/cd]

本提案手法では、任意の場所に照度センサを配置し、照明を1灯ずつ点灯・消灯することで、照度センサから得られる照度変化量と照明の光度変化量を基に、照度/光度影響係数を実測する。

## 4 検証実験

本提案手法の有用性を示すため、検証実験を行った。実験では、外光の入らない室内において照明器具9台および色彩照度計3台を配置し、照明には2700 K~5400 Kまで調光可能なSHARP社製LED照明を用いた。また、壁面からの反射光による外光を避けるため壁面に暗幕を設けた。なお、色彩照度計から得られる色温度情報は、色温度の実現性を確認するためのみに用いる。センサA, BおよびCの目標照度・目標色温度はそれぞれ、600 lxおよび5000 K, 400 lxおよび3000 K, 500 lxおよび4000 Kと設定する。色温度履歴を図2に、約800秒経過時の提案手法における点灯パターンを図3に示す。

図2において、照明制御が安定する600秒から1000秒までの間、目標色温度と実測色温度の平均誤差はセン

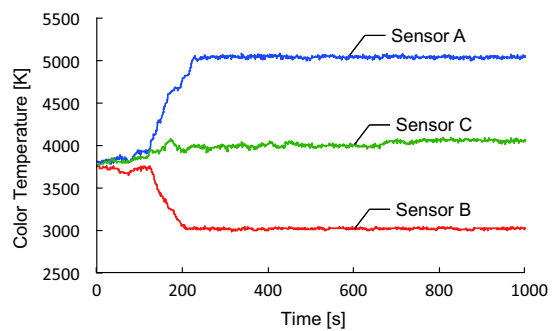


Fig.2 色温度履歴

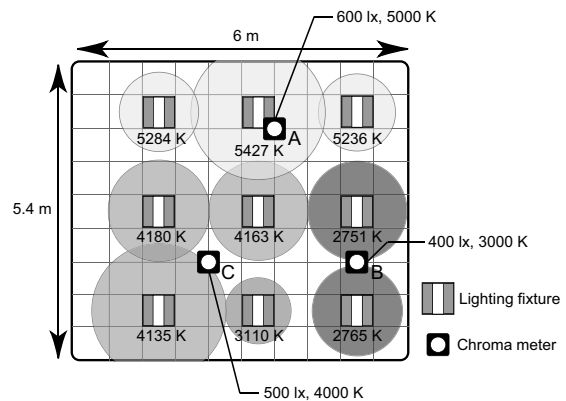


Fig.3 点灯パターン (800秒経過時)

サA, BおよびC, それぞれ35 K, 16 Kおよび45 Kであった。色温度誤差において、色温度は人間の目が認識する色と比例関係にないため、色温度の逆数である逆色温度を用いて考察する。なお、逆色温度は色温度の逆数を $10^6$ 倍した値であり、単位はミレッド ( $K^{-1}$ ) で表す。5.5 ミレッド程度の色温度差であれば人の目では認識されることが分かっており<sup>5)</sup>、ミレッド誤差がセンサAは138 K, センサBは50 K, そしてセンサCは88 K以内であれば、その誤差は十分に小さいと考える。全センサの実測色温度は、この条件を満たす結果となった。

図3より、各センサの目標色温度を満たすため、各照明の色温度が一灯一灯ごとに異なるのが分かる。また、センサ付近の照明がその目標色温度と類似した色温度で点灯しているのも確認できた。

## 参考文献

- 1) 芦辺麻衣子, 三木光範, 廣安知之. 知的照明システムにおける照度と色温度の個別分散制御. 情報処理学会研究報告. BIO, バイオ情報学, Vol. 2008, No. 126, pp. 69-72, 2008.
- 2) 小野景子, 三木光範, 吉見真聡, 西本龍生, 近江徹夜, 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. 電気学会論文誌. A, 基礎・材料・共通部門誌, Vol. 131, No. 5, pp. 321-327, 2011.
- 3) 小野景子, 三木光範, 米澤基. 知的照明システムのための自律分散最適化アルゴリズム. 電気学会論文誌. C, 電子・情報・システム部門誌, Vol. 130, No. 5, pp. 750-757, 2010.
- 4) 三木光範, 富島千歳, 廣安知之. 照度と光色の制御が可能な照明システム. 2009年度人工知能学会(第23回)論文集, pp. 1G1-2, May. 2009.
- 5) 大田登. 色彩工学. 東京電機大学出版局, 第2版, 2001.