

# 光度と色温度を連動制御することで 執務者ごとに個別照度、および色温度環境を実現する照明制御システム

長野 正嗣

Masashi NAGANO

## 1 はじめに

近年、オフィス環境を改善することによって、オフィスワークの知的生産性の向上を求める声が高まっている。

我々は、オフィス環境の中でも、オフィスの光環境に着目し、任意の場所にユーザの要求する明るさ（照度）を提供する知的照明システムを提案している<sup>1)</sup>。

光環境の要素には、照度以外にも輝度や光の色などがあるが、特に光の色（色温度）を改善することで、知的生産性の向上を見込むことができると報告がされている<sup>2)</sup>。色温度の制御に着目した研究では、知的照明システムに色彩照度計を組込むことによって、ユーザに個別の照度、および色温度を提供することが可能であると報告されている<sup>3)</sup>。しかしながら、色彩照度計は高価であり、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、色温度の制御は、ユーザが照明ごとに手で設定を行っている。

そこで、本研究では、色彩照度計を用いず、執務者が快適に感ずる照度および、色温度を提供するシステムを提案する。

## 2 知的照明システム

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から構成される。ユーザは照度センサを机上面に設置し、照度センサに目標照度を設定する。各照明は明るさをランダムに変化させ、それを繰り返すことで最適な点灯パターンを実現する。知的照明システムの制御には山登り法を照明制御に適応したアルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Regression Coefficient : ANA/RC)<sup>4)</sup>を用いる。

## 3 色温度が人に及ぼす影響

照明の色温度を低くすることによって、くつろぎに関して満足度を得ることができる。それに対して照明の色温度を高くすることで、記憶力や集中力の向上から、仕事のパフォーマンスが向上するという効果を得ることができる。また、照明と色温度が室内の雰囲気的好ましさに及ぼす効果について、好ましい光の色温度は照度と関係があるとされている<sup>5)</sup>。Fig. 1は、横軸が色温度、縦軸が照度を示し、2本の曲線で囲まれた領域が快適であ

り、それ以外の領域は、不快であるということを示している。Fig. 1から読み取れるように、低照度では低色温度、高照度では高色温度が好ましいという傾向があると報告されている。

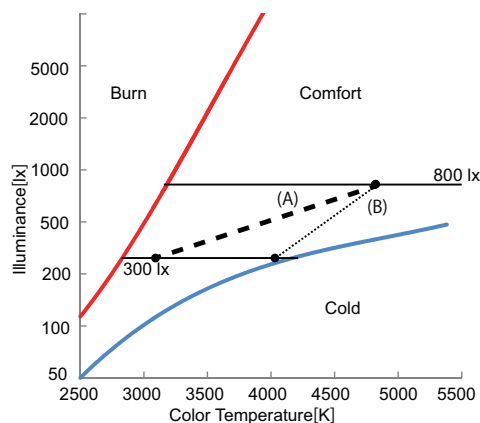


Fig. 1 Comfortable range of illuminance and color temperature

## 4 光度と色温度を連動した照明制御システム

### 4.1 照度に対する色温度の決定

本システムでは、求める照度に対して求める色温度の関係をユーザが入力することで、その関係を満たす照度と色温度を実現する。前提条件として、オフィスにおいて求められる照度は、300 lx～800 lx程度であるため<sup>6)</sup>、300 lx～800 lxを実現可能な照度とする。ユーザは目標照度 300 lxにした場合に求める色温度と、目標照度 800 lxの場合に求める色温度をシステムに入力する。ただし、前章で述べたとおり、低照度では低色温度、高照度では高色温度が好ましいことから、低照度より高照度の方が色温度が高くなるよう設定を行う。この Fig. 1上でユーザが入力したその2点を線で結ぶことで、照度と色温度の関係を決定する。例えば、照度 300 lxの場合に色温度 3100 K、照度 800 lxの場合に色温度 4700 Kで点灯するようにユーザがシステムに入力した場合、破線 (A) のような線上の照度と色温度の関係を実現するよう制御を行う。

## 4.2 光度と色温度の対応付け

光度と色温度の対応付けは、4.1節でユーザが入力した、照度と色温度の関係を用いる。高照度を求める執務者には高色温度、低照度を求める執務者には低色温度となるため、高光度に高色温度、低光度に低色温度を対応付ける。提案手法では、2章で述べた ANA/RC を用いて各照明が目標照度を満たす際の点灯光度に応じて色温度で点灯することで、目標の色温度を実現する。ANA/RC の点灯光度のパターンは、ユーザ数、ユーザの位置および、照明の位置関係によって大きく変わる。本手法ではユーザー一人を想定し、照明1灯の真下にユーザの目標照度を満たす際に必要な光度を用いる。光度と色温度の対応付けには、この環境で、300 lx および 800 lx を満たすために直上の照明1灯が点灯する光度と 300 lx および 800 lx の目標色温度を対応付ける。予備実験により、300 lx および 800 lx を満たすために直上の照明が必要な光度を求めた結果、300 lx では 800 cd、800 lx では 1500 cd となった。そのため、800 cd をユーザが選択した 300 lx の目標色温度、1500 cd をユーザが選択した 800 lx の目標色温度と対応付けを行った。

## 5 検証実験

### 5.1 システムの構築

4章で述べた光度と色温度を連動した照明制御システムを同志社大学内の実験スペースに構築した。本システムの領域は、5.4 m × 6.0 m を占め、壁面には暗幕を設けた。また、3100 K~4700 K、56 cd~1530 cd まで調光可能な LED 照明を 9 灯、色彩照度センサ 3 台を設置した。構築した環境の平面図を Fig. 2 に示す。

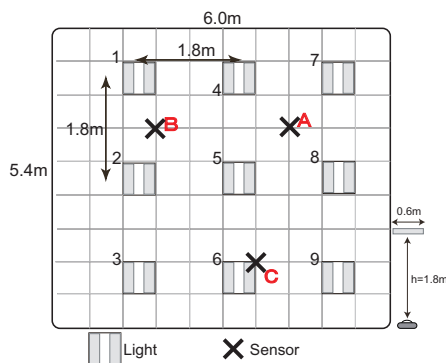


Fig. 2 Experiment Environment

### 5.2 照度と色温度の関係を破線 (A) にした場合の検証

異なる領域に異なる目標照度を設定した際の、照度の収束状況、および色温度の収束状況の検証を行う。目標とする照度と色温度の関係は Fig. 1 の破線 (A) とする。それぞれの照度センサの目標照度は、センサ A を 650 lx、センサ B を 500 lx および、センサ C を 350 lx に設定した。この環境で、初期点灯光度を、最大点灯光度の 90 % とし実験を行った。

照明制御システムを 150 ステップ試行した後の、それぞれのセンサの計測照度、目標照度、色温度、および目標色温度を Table 1 に示す。

Table 1 experimental results(A)

Sensor	A	B	C
Illuminance[lx]	635	527	355
Target illuminance[lx]	650	500	350
Color temperature[K]	4208	3963	3440
Target Color temperature[K]	4300	3900	3400

実験結果より、照度に関して、人の認識できる照度の変化は ± 50 lx であるため<sup>7)</sup>、全ての目標照度を満たせていることがわかる。

色温度に関して、人の目によって色温度の変化を感じるのは 5.5 ミレッドとされている<sup>8)</sup>。ミレッドとは色温度の逆数を表した値で、色温度において色の違いを求めるために使われる尺度である。実験結果より、全てのセンサの色温度が目標色温度と 5.5 ミレッド以内の差に収まり、目標色温度を実現できていることがわかった。

### 5.3 照度と色温度の関係を破線 (B) にした場合の検証

目標とする照度と色温度の関係が Fig. 1 の破線 (B) とした場合に、同様に目標照度および目標色温度を満たすことができるか検証実験を行った。結果を Table 2 に示す。

Table 2 experimental results(B)

Sensor	A	B	C
Illuminance[lx]	641	512	327
Target illuminance[lx]	650	500	350
Color temperature[K]	4511	4315	4263
Target Color temperature[K]	4500	4400	4200

実験結果より、全ての目標照度および目標色温度を実現できていることがわかった。これにより、実オフィスに低コストで色温度制御可能な知的照明システムを導入することが可能となった。

## 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, Vol.22, No.3, pp.399-410, 2007
- 2) 大林史明ら, オフィスワークの生産性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, ヒューマンインターフェースシンポジウム 2006, Vol.1, No.1322, pp.151-156, 2006
- 3) 三木 光範, 谷口 由佳ら, 照度・色温度可変型照明システムの構築と執務における最適な照度および色温度, 情報科学技術フォーラム講演論文集 9(3), 523-524, 2010-08-20
- 4) 後藤和宏, 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
- 5) A.A.Kruithof, Tubular Luminescence Lamps for General Illumination, Philips Technical Review 6, pp.65-96, 1941
- 6) JIS. JISZ9110:照明基準総則, 2011.
- 7) 鹿倉智明, 森川宏之, 中村芳樹, オフィス照明環境における明るさの変動知覚に関する研究, 照明学会誌, Vol.85 No.5, pp.346-351, 2001
- 8) 太田登, 色彩工学, 東京電機大学出版局, 第 2 版, 2001