

指定した場所に異なる色温度を実現するフルカラーLED照明システム

Full-color LED lighting system providing different color temperatures to specified locations

三木 光範*¹ 十場 嵩*² 小野 景子*³
Mitsunori Miki Takashi Juba Keiko Ono

*¹同志社大学 理工学部

Department of Science and Engineering, Doshisha University

*²同志社大学 大学院 理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University

*³龍谷大学 理工学部

Department of Science and Engineering, Ryukoku University

We propose a method to provide required illuminance and color temperature to locations of sensors by using full-color LED lightings. This system detects the positions of sensors by using influence rate calculated dynamically from luminance of lightings and illuminance obtained by sensors and control lightings in optimum luminosity and color temperature based on detected positions. As results of verification experiment, we could provide target illuminance and color temperature.

1. はじめに

近年、オフィスにおけるオフィスワークの快適性および知的生産性の向上について注目されており、光環境が人体に与える影響についての研究が行われている [1]。また光環境において光の特性である照度や光色などが、光源下にいる人体に対して生理的、心理的な影響を与えることがわかっている [2]。しかし、一般的なオフィスにおいては均一な光環境を実現する照明設計がなされている場合が多く、照明が人に与える影響、個人の好みや執務内容を考慮した光環境の提供がなされていない。そのため、我々の研究室ではオフィスワークの知的生産性の向上を目的とし、各個人に適した個別の照明環境を提供できる自律分散型照明制御システム (以下、知的照明システム) を提案している [3]。

本研究では光の特性の中で照度と光色に注目し、個別に照度および光色を実現する方法について検討する。光色の指標には、XYZ 表色系、uv 表色系または色温度などが用いられるが、本研究では色温度を用い、指定した場所に、指定した照度および色温度を実現する手法について提案を行う。

2. 色温度

色温度とは光源光の色の数値的な尺度である。完全黒体*¹の加熱によって放射する光の光色をその温度と対応させたものであり、単位を K(ケルビン) で表す。色温度が低いと光色は暖色、高いと寒色に近い色となる。また色温度には、異なる色温度の光を混色した場合、光の色温度は 2 色の中間の値をとり、その値は光度値が大きい色温度の光に強く影響されるという性質がある。一般的に利用されている蛍光灯や照明の光色の多くはこの色温度によって定義されており、その照明の種類によって色温度は異なる。現在オフィスや執務環境において多くの場合、自然光に近い 5000 K 前後の照明が用いられており、照明設計に色温度が考慮されている場合は少ない。

連絡先: 十場 嵩, 同志社大学 大学院工学研究科 情報工学専攻, 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3, 0774-65-6924, tjuba@mikilab.doshisha.ac.jp

*¹ あらゆる電磁波を完全に吸収し、また放出できる理想的物体

光源の色温度の違いは、人体に対して影響を与えることがわかっている。例えば色温度が低い照明下では副交感神経の働きが強くなり心身がリラックスし、覚醒度が減少する。一方色温度が高い照明下では交感神経の働きが強くなることから、心身が活動的になり覚醒度の上昇や緊張感の増大等の効果がある [4]。また人の生体リズムは日光の色温度の変化によって調整されており、早朝では高色温度の光により覚醒度が上昇、夜間には低色温度の光によって体がリラックスし快適な睡眠を促すようになっている。以上のことから、各個人の状態によって色温度を変えることで、オフィスワークの知的生産性の向上および健康維持などが期待出来る。

3. 知的照明システム

知的照明システムとは、各ユーザが要求する場所に要求する照度を実現する照明システムである [3]。制御装置が組み込まれた照明と照度センサ、制御用 PC および電力計を一つのネットワークに接続することで構成され、照度センサと電力計の取得値を基に照明を制御することで、各ユーザの目的照度を省電力で実現する。

本研究で行う任意の場所に任意の照度および色温度を提供するシステムの先行研究として「ユーザの要求する照度および色温度を実現する知的照明システム」がある [5]。この研究では照明色温度の変化を色温度の異なる 2 種類の蛍光灯の点灯比率の変更により実現する。しかしこの場合、色温度の実現可能範囲は 2 種の蛍光灯間の色温度に限定される。そのため本研究ではより広範囲の色温度を実現するため、実現可能色温度範囲が広いフルカラー LED 照明を用いる。

4. 目標の照度・色温度を実現する手法

本研究で提案する手法では、照明の光度および色温度を制御することでセンサ設置位置に対して目標とする照度および色温度の実現を行う。フルカラー LED 照明は、照度と色温度が取得可能な色彩照度計と制御用 PC に一つのネットワークで接続され、色彩照度計の取得値とユーザの設定した目標値を基に、照明の点灯パターンを決定し制御を行う。

本手法において目標色温度の実現は複数の色温度を持つ色

光を組み合わせることで行う．そのため使用する光源光の色は完全黒体輻射の色軌跡上を辿るように限定する．完全黒体輻射の色軌跡とは，完全黒体が各温度で発している光の色を色度図上で示したものであり，色度図上において色温度を表す曲線である．uv 色度図上における完全黒体輻射の色軌跡上を図 1 に示す．

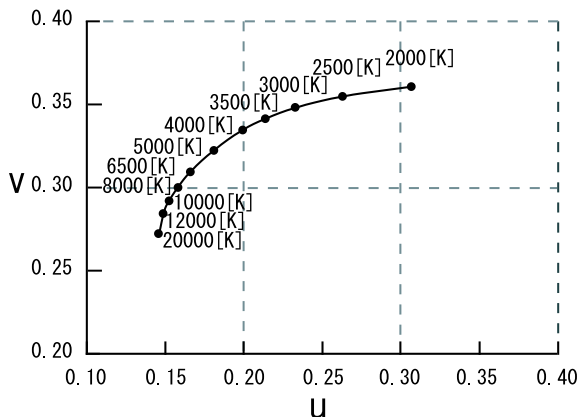


図 1: uv 色度図上の黒体輻射

本手法では，回帰係数を用いた適応的近傍アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Regression Coefficient: ANA/RC) [6] を基に，評価対象にセンサの取得色温度を加え，色温度の制御を行えるように変更を加えたアルゴリズムを用いる．制御の動作手順は，以下の通りである．

- (1) 目標となる照度および色温度を設定
- (2) 照明を初期設定光度および初期設定色温度で点灯
- (3) 照明の光度変化量とセンサの取得照度変化量より回帰係数を算出．回帰係数をセンサへの影響度としてこれよりセンサ位置を推定．
- (4) 照度および色温度の取得値と目標値の差と算出した回帰係数より近傍を設定し，確率的に照明の光度および色温度を決定．
- (5) 決定した光度および色温度に対応した信号値を照明に転送．
- (6) 照度および色温度を測定し，目的関数が改善されたか判定し，(3)～(5)を繰り返す．

本手法で用いた目的関数を式 (1) に示す．各照明は各々が持つ目的関数の値を最小化するため，自律分散的に制御を行う．また影響度係数は照明の光度変化に対する各センサへの影響度を元に決定する．影響度係数をセンサの目標値と取得値の誤差に乗算することで影響度が低いセンサによる目的関数への干渉を抑え，照明に近いセンサ取得値の改善を高く評価することができる．

$$f_k = \sum_{i=1}^n R_i \{ |L_t i - L_c i| + w |T_t - T_c| \} \quad (1)$$

$$R_i = \begin{cases} r_i & (r_i \geq \text{Threshold}) \\ 0 & (r_i < \text{Threshold}) \end{cases} \quad (2)$$

n : 照度センサの数 r_i : 影響度係数 w : 重み

L_c : 現在照度 L_t : 目標照度

T_c : 現在色温度 T_t : 目標色温度

5. 検証実験

本実験ではフルカラー LED 照明 29 台，色彩照度計を 3 台用いる．照明にはシャープ製グリッド天井用フルカラー LED 照明を用いる．フルカラー LED 照明は赤，緑，青および黄色の 4 色から構成され，各色 0～1000 のデジタル信号値を入力することで調光が可能である．表 1 に各色の LED の uv 色度，図 2 に色度実現可能範囲を示す．また，図 3 に各色の分光分布を示す．

表 1: 各色 LED の uv 色度

	u	v
R	0.537	0.346
G	0.058	0.379
B	0.182	0.064
Y	0.206	0.371

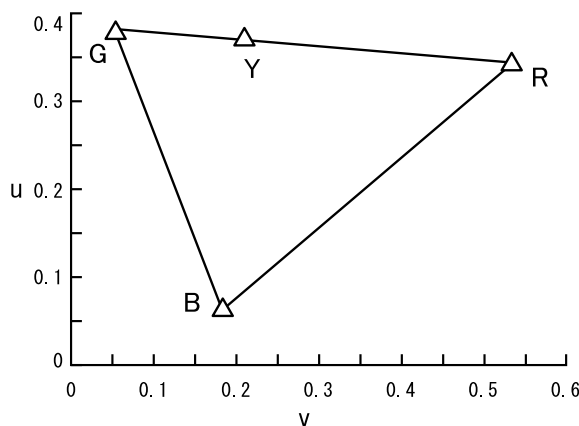


図 2: 色度実現可能範囲

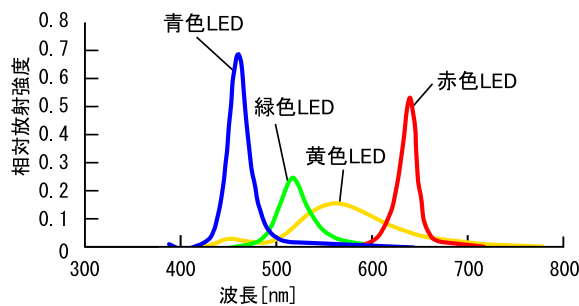


図 3: 各色 LED の分光分布

光色の制御は特定の色に対応した信号値を入力することで実現可能であり，本実験では光色を色温度に限定するため，必要な光度と色温度に対応した信号値のデータベースを作成し，これを用いる．データベースの作成はフルカラー LED 照明の分光分布より色度を算出することで行った．なお照明の実現可能な色温度の範囲は 2000～20000 K である．

目標照度 400～600 lx，目標色温度 4000～6000 K の範囲で複数の目標値設定し検証を行う．図 4 に実験環境を示す．SensorA, B および C の目標照度を 600, 500 および 400 lx，目標色温度を 6000, 5000 および 4000 K と設定した．

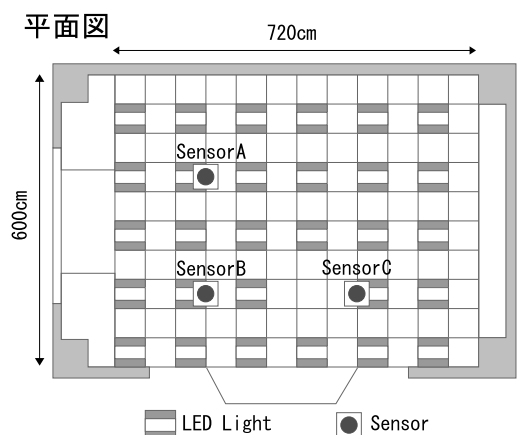


図 4: センサ配置図

表 2: 照度, 色温度収束結果

	目標照度 [lx]	実測値 [lx]	誤差 [lx]
SensorA	600	597	3
SensorB	500	503	3
SensorC	400	391	9
	目標色温度 [K]	実測値 [K]	誤差 [K]
SensorA	6000	5982	18
SensorB	5000	5015	15
SensorC	4000	3971	29
	目標ミレッド [MK ⁻¹]	実測値 [MK ⁻¹]	誤差 [MK ⁻¹]
SensorA	166.67	167.19	0.52
SensorB	200.00	199.40	0.60
SensorC	250.00	251.83	1.83

実験結果として照度, 色温度およびミレッド^{*2}の収束結果を表 2, 照度収束推移を図 5, 色温度収束推移を図 6 に示す。

表 2 に示す通り, センサ 3 台共に照度誤差 ± 50 lx 以内, 色温度誤差 ± 5.5 ミレッド以内での収束が確認できた。人が感じない照度変化は ± 50 lx とされており [7], 人が認知できる色温度変化量は ± 5.5 ミレッドとされている [8]。このため目標照度および色温度を実現できていると考えられる。これらの結果より, 本研究で提案したシステムによって, 任意の場所に任意の照度および色温度を提供できることが確認できた。

センサ A や B と比較し, センサ C の色温度の収束が遅れているのは, 目標色温度および照度が低いためである。図 1 より, 低色温度と高色温度において, 異なる色温度における色度間の距離が異なることがわかる。低色温度時は色温度の変化に対して色度の変化が大きいが, 高色温度時には色度の変化が小さい。そのため, 色温度を下げる場合, 光の色度を大きく変化させる必要がある。また色温度の特性上, 異なる色温度の光を混色した場合, 光度が高い光に影響される。目標照度が低いセンサ C が, 光度が高く色温度の高い照明の影響を強く受けていることも, 色温度の収束が遅れる原因だと考えられる。上記のように目標照度が異なるセンサに比べて低い場合は, 色温度が収束が遅れる場合や, 収束しない場合があると考えられる。

*2 ミレッドとは色温度の逆数値。色度変化量が数値と比例するため, 色温度間の色差を比較できる

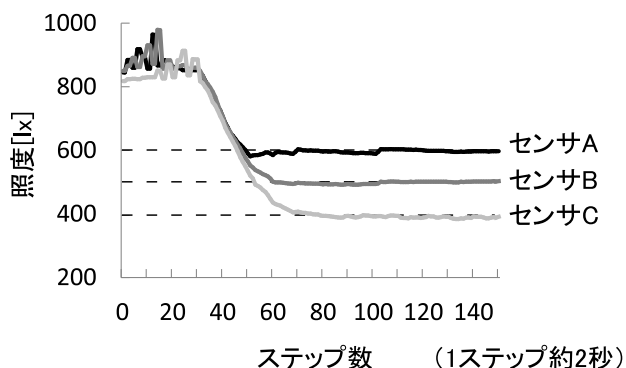


図 5: 照度収束推移

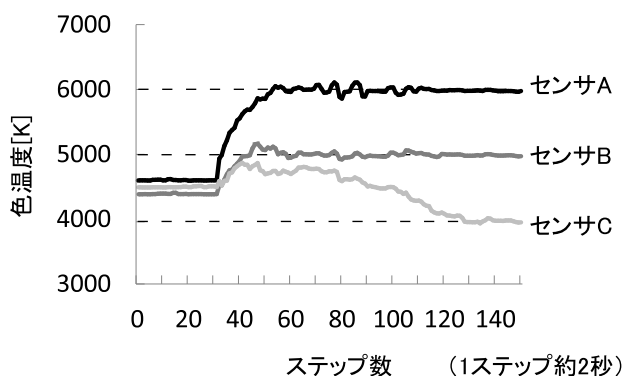


図 6: 色温度収束推移

参考文献

- [1] 大林史明, 富田和宏, 服部瑤子, 河内美佐, 下田宏, 石井裕剛, 寺野真明, 吉川榮和: 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 -, ヒューマンインターフェース, 2004
- [2] 高橋 洵子: 色温度と照度が与える生理・心理機能への影響
- [3] 三木光範: 知的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(2007), pp.399-410, 2007
- [4] 道盛 章弘, 荒木 和典, 井邊 浩行, 萩原 啓, 阪口 敏彦: 色温度が覚醒度に与える影響, 照明学会全国大会講演論文集 31, 220, 1998-07-22
- [5] 三木 光範, 加來 史也, 廣安 知之, 吉見 真聡: ユーザの要求する照度および色温度を実現する知的照明システム, 情報科学技術フォーラム講演論文集 8(1), 239-240, 2009-08-20
- [6] 池田聡, 三木光範, 廣安知之: 知的照明システムを用いた実執務環境における最適な照度, 第 16 回インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集, pp.121-124(2006)
- [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, 2001-05-01.
- [8] 太田登: 色彩工学, 東京電機大学出版局, 第 2 版版, 2001