

目標の照度および色度を高速に実現するフルカラー LED 照明制御手法の提案

竹中 智哉, 上南 遼平, 中原 蒼太
Tomoya TAKENAKA, Ryohei JONAN, Sota NAKAHARA

1 はじめに

近年, オフィスにおけるオフィスワーカ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研究が行われている。また光環境において光の特性である照度や光色が, 緊張感や興奮を誘発させる効果があることが報告されており, 様々な色光が人に与える生理的・心理的影響に注目が集まっている¹⁾。これらの背景から様々な色光が人に与える生理的・心理的影響を調査するために, 任意の照度および色度環境の構築が求められると考えられる。そこで著者は任意の照度および色度環境を構築するためのフルカラー LED 照明制御手法を提案したが, 目標の照度および色度実現に要する時間が数分かかってしまった²⁾。任意の照度および色度環境を構築する時間がかかると, 色光が人に与える影響の実験データ取得数が少なくなる。そのため任意の照度および色度環境を素早く構築することが求められる。

本研究では, 指定した照度および色度を従来の手法に比べてより高速に実現する新たな照明制御手法を提案する。これにより特定の照度および色度が人に与える生理的・心理的影響に関する実験の効率化に寄与する。

2 色度とは

色度とは, 物体色や光色に用いられる色の尺度である。色度には複数の表現方法があるが, 本実験においては CIE 標準表色系として用いられている XYZ 表色系と色差を定量的に表現できる $u'v'$ 色度図を用いる。XYZ 表色系は, 各波長が与える色覚の強さである等色関数と分光分布より, 色度を表す三刺激値 (X, Y, Z) を得ることができる。XYZ 三刺激値の計算式を (1)~(3) 式に示す。

$$X = \sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) \quad (1)$$

$$Y = \sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) \quad (2)$$

$$Z = \sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) \quad (3)$$

λ : 波長 [nm] $S(\lambda)$: 照明光の分光分布
 $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$: 等色関数

XYZ 表色系では, Y が明るさ, X と Z が色味の変化を表す。XYZ 三刺激値は数値と色彩の関連がわかりづらく, 色差を定量的に表現することができない。色差を直感的に理解するためには, 色差が座標上の距離に比例す

るような色度図が便利である。このような色度図を均等色度図と呼び, CIE が定めた均等色度図として $u'v'$ 色度図がある。 $u'v'$ 色度は XYZ 三刺激値を用いて変換することができる。XYZ 三刺激値を $u'v'$ に変換する計算式を式 (4), (5) に示す。

$$u' = 4X/(X + 15Y + 3Z) \quad (4)$$

$$v' = 9Y/(X + 15Y + 3Z) \quad (5)$$

X, Y, Z : XYZ 三刺激値

$u'v'$ 色度図では, 色度図内の色の変化が一様になるように対応しており, 2 点間のユークリッド距離をとることで色差 E を表すことができる。

3 目標の照度および色度を実現する照明制御

3.1 従来の照明制御手法

従来手法では, 照度・色度シミュレータと確率的山登り法を用いて照明制御を行っている。照度・色度シミュレータでは, 照明の分光分布や点灯光度を用いてセンサが計測する照度および色度を予測している。また確率的山登り法は, 現在の解から近傍の範囲内で近傍解を生成し, 目的関数の改善が見られれば近傍解と現在の解を入れ替える最適化手法である。設計変数をフルカラー LED 照明の信号値とし, 探索毎にフルカラー LED 照明の信号値を変化させることで最適な点灯パターンの探索を行う。

3.2 従来手法における課題

従来手法では初期信号値をランダムで設定しているため, 目標の照度および色度が初期信号値から離れている場合には目標達成までに数分時間がかかってしまう。そこで, 目標達成にかかる時間を従来よりも素早くするために, 初期信号値を目標の照度および色度に近づける手法を提案する。これにより, 目標の照度および色度を実現する最適な信号値探索の時間を短くする。

4 データベースを用いた初期信号値の決定

本手法では初期信号値を目標値に近づけるために, データベースを用いて初期信号値を決定する。目標照度および色度の XYZ 三刺激値を計算により算出し, データベースに保存している情報で目標値に一番近い信号値で点灯する。これにより, 最適な信号値を探索する回数が減り, 少ない照明制御かつ短時間で目標の照度および色度の環境構築を実現可能にする。

また, データベースに保存している情報は, 各 RGBY 信号値に対する XYZ 三刺激値, 照度および $u'v'$ 色度である。本研究で使用するフルカラー LED 照明は RGBY の 4 色からなり, 各色デジタル制御で 0~1000 の 1001

段階で調光が可能である。しかし、全ての組み合わせの情報を保存すると膨大な量になる。したがって、保存量を減らすために信号値を等分割する方法を検討する。各色デジタル制御 0~1000 を 100 ずつ変化させる 11 段階、14641 通りの色度を取得した。取得した色度の分布図を Fig. 1 に示す。

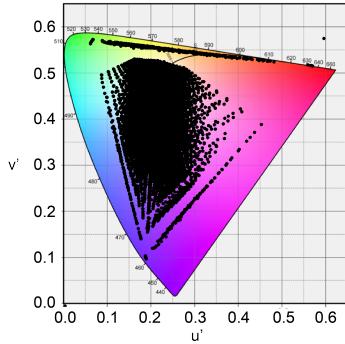


Fig.1 信号値を 11 段階に分割した色度分布図

取得した結果、 $0 < u' < 0.3$ および $0.2 < v' < 0.5$ に偏った分布が見られた。原因としては、光の三原色の内、青色と緑色の光が赤色の光に比べて波長が短く強いエネルギーを持っていることが考えられる。実現可能範囲の任意の色度を実現するために分布が偏っていては初期信号値を目標の照度および色度に近づけることができないので、青色、緑色の信号値をさらに細かく調光し、色度図上に均一に分布するような情報をデータベースに保存した。取得した色度の分布図を Fig. 2 に示す。

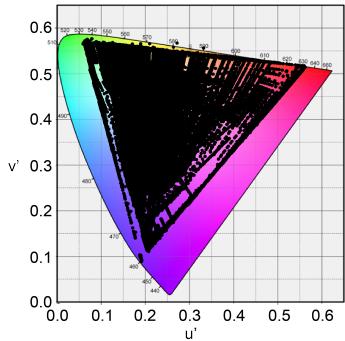


Fig.2 データベースに保存している色度の分布図

5 提案手法の有効性検証実験

提案手法の有効性を示すため検証実験を行った。検証実験では、天井照明としてフルカラー LED29 灯と、色度の測定に色彩照度センサを用いた。実験環境を Fig. 3 に示す。目標照度を 800 lx、目標色度 (u' , v') を (0.2, 0.47) と定めて、照度および色度が目標値の範囲内に収束するように制御を行った。また、収束条件として照度は目標照度の ± 50 lx 以内³⁾、色度には Lab 表色系における色差 3.2 以内とした。各手法の照度誤差履歴および色差履歴を比較することで提案手法の有効性を示す。従来手法の照度誤差履歴、色差履歴を Fig. 4 に、提案手法の照度誤差履歴、色差履歴を Fig. 5 に示す。

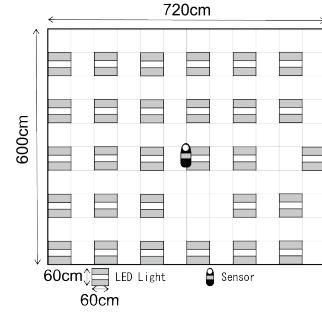


Fig.3 実験環境 (平面図)

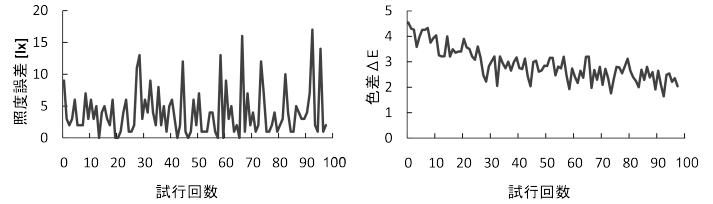


Fig.4 従来手法の照度誤差・色差履歴

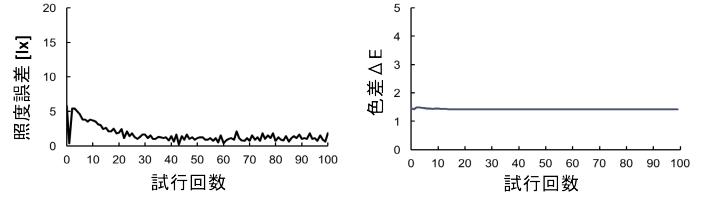


Fig.5 提案手法の照度誤差・色差履歴

Fig. 4 より、従来手法において、照度は初期信号値で収束範囲である 50 lx 以内を実現しているが、色差については目標値達成までに 1 分程度時間がかかっている。それに対して、Fig. 5 より、提案手法は初期信号値で照度、色差共に目標値を達成していることがわかる。さらに従来手法に比べて照度、色度共により再現性の高い結果が得られた。以上の結果から、提案手法を用いることで、任意の照度および色度の環境構築を高速に実現できることを示した。

参考文献

- 1) 岩切一幸, 縊貫茂喜, 安河内郎, 栄原裕. 光源色がその曝露中と曝露後に CNV の早期成分に及ぼす影響. 日本生理人類学会誌 = Japanese journal of physiological anthropology, Vol.2, No.3, pp. 31-37, 19970800.
- 2) 十場崇、三木光範、藤本祥平、フルカラー LED 照明による目標の照度および色度の実現方法. 第 75 回全国大会公演論文集, 2013(1), 337-338, 2013-03-06
- 3) 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