

フルカラー照明実験室における照度および色度の制御方法の提案

竹中 智哉

Tomoya TAKENAKA

1 はじめに

近年、室内における照明による光環境が人体に与える影響についての研究が広く行われている。これまでの光色の心理的影響では、快適性、室内雰囲気、作業行為、疲労感、食欲¹⁾などの研究が行われている。様々な光色に照らされた食品に対する食欲の研究では、照度および色度を同時に制御できる実験室があることで、より多彩な実験データの取得が可能であると述べているが、照度および色度を同時に制御できる実験室が少ないことが課題として挙げられている。また、照度および色度を同時に制御する実験設備が整った場合であっても、任意の照度および色度環境を実現する時間を要すると、任意の照度および色度が人に与える生理的・心理的影響を調査する実験を効率的に行うことができないので、任意の照度および色度環境を高速に実現する照明制御手法が必要となる。本研究では、R(赤)G(緑)B(青)Y(黄)各色を1001段階のデジタル信号値で調光可能な照明(以後、フルカラーLED照明)を29灯設置することで照度および色度を同時に制御できる実験室を構築し、任意の照度および色度を高速に実現する手法を提案する。提案手法を用いることにより、任意の照度および色度が人に与える生理的・心理的影響を調査する実験の効率化を図る。

2 目標の照度および色度を実現する信号値の算出方法

2.1 概要

各色 RGBY 信号値の XYZ 三刺激値を用いて目標の照度および色度を実現する信号値を決定する手法を提案する。提案手法を用いることで膨大な量の情報を取得する必要がなくなり、目標の照度および色度環境を高速に構築することが可能となる。

フルカラー LED 照明は4色(赤緑青黄)のLED光源を混色し、様々な光色を実現する。混色には、加法混色・減俸混色の2つが存在するが、照明関連では加法混色を用いる²⁾。加法混色は各色の XYZ 三刺激値を足し合わせることで混色後の色度を計算することが可能であることから、RGBY それぞれの XYZ 三刺激値を取得し、それを元に任意の照度および色度を実現する信号値を決定する手法を検討する。

2.2 XYZ 三刺激値取得実験

XYZ 三刺激値は、各波長が与える色覚の強さである等色関数と照明の分光分布より得られる、色度を表す3値(X,Y,Z)である。Y値が明るさ、X値とZ値が色味の変化を表す。

本実験では、XYZ 三刺激値を取得可能な色彩照度計を用いて、信号値をつけて行う際に必要な RGBY 信号値それぞれ 0-1000 の XYZ 三刺激値取得実験を行った。取得した結果から得られた XYZ 三刺激値の導出式を式(1)-(3)に示す。

$$X = 1.48 * R + 0.33 * G + 1.64 * B + 1.90 * Y + 18.98 \quad (1)$$

$$Y = 0.63 * R + 1.43 * G + 0.40 * B + 2.28 * Y + 8.98 \quad (2)$$

$$Z = R + 0.33G + 9.59 * B + 0.26 * Y + 196.60 \quad (3)$$

2.3 精度検証実験

XYZ 三刺激値を基に算出した照度値および色度値と、色彩照度計から取得した照度値および色度値を比較することで精度の検証を行った。RGBY 信号値をそれぞれ100ずつ変化させた総数11⁴通りのデータ数で比較を行った。本検証実験を行うに当たって、照度誤差が目標照度の±7%の場合は誤差なしとし、色度については計算値と測定値の色差が0.02以内の場合は誤差なしと判定する。実験結果を Table1 に示す。

実現精度	
照度	87.4%
色度	90.4%

精度検証の結果、照度については87.4%、色度については90.8%の精度で実現可能であることがわかった。誤差の要因として、実験室内の気温および湿度、フルカラーLED照明の温まり具合、照明器具の経年劣化などが考えられるので、誤差を考慮して推定値を目標値に近づけることは容易ではない。そこで、誤差を容認し、推定した信号値を実環境に反映させた後、信号値をリアルタイムに制御することで目標の照度および色度環境を実現させる。信号値の制御方法において、確率的山登り法を用いて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信号値探索を行う。

2.4 目的関数の定式化

任意の XYZ 三刺激値満たすような RGBY 信号値を式 (1)-(3) を用いて連立方程式を立式し、連立方程式を解くのではなく、誤差を最小化する最適化問題を解くことで RGBY 信号値を算出する。

式 (1)-(3) を用いた目的関数を最小化することで、目標の照度および色度を実現する信号値の推定を行う。目的関数を式 (4) に示す。

$$F = |Y_1 - Y_2| + M \sqrt{(u'_1 - u'_2)^2 + (v'_1 - v'_2)^2} \quad (4)$$

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} \quad v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z}$$

$$X = 1.48 * R + 0.33 * G + 1.64 * B + 1.90 * Y + 18.98$$

$$Y = 0.63 * R + 1.43 * G + 0.40 * B + 2.28 * Y + 8.98$$

$$Z = R + 0.33G + 9.59 * B + 0.26 * Y + 196.60$$

式 (6) で示した RGBY 信号値算出の最適化問題は非線形であるため、数理計画法の手法としてここでは、最急降下法を用いる。最急降下法は比較の実装が容易であり、また単峰性な目的関数および制約条件に対して大域的収束性が保障されている手法である。

制御装置上で最急降下法を用いて式 (4) に示す目的関数を解き、導出した信号値で各照明を一律点灯することで、従来より短時間で目標照度と目標色度を実現する。

3 数理計画法を用いた手法の有効性検証実験

3.1 実験概要

数理計画法を持ちた手法 m の有効性を示すために実験を行う。本検証実験は Fig.1 に示したフルカラー LED 照明 29 灯と色彩照度計 1 台を用いて構築した実験環境にて行った。目標照度は 700 lx、目標色度は $(u', v') = (0.1, 0.5)$ とした。従来手法の色度履歴と提案手法の色度履歴を比較することで提案手法の有効性を検証する。

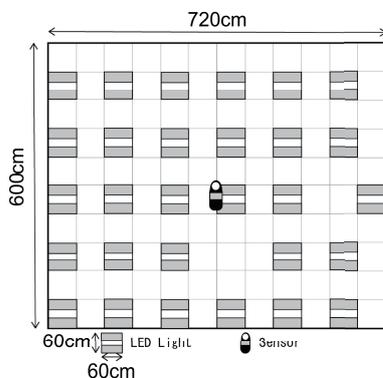


Fig. 1 実験環境平面図

3.2 実験結果

従来手法の色度履歴を Fig.2 に、提案手法の色度履歴を Fig.3 に示す。Fig.2 において照明制御が安定する 2000 秒から 2500 秒間での目標色度との平均色差は 0.013 であり、Fig.3 において 0.004 であった。一般的に色差が 0.02 以下の場合人は色の变化を認知することができないため³⁾、両手法における色彩照度計の計測色度は、この条件を満たす結果となった。さらに従来手法では目標色度実現に約 1500 秒の時間を要しているのに対して、提案手法では約 10 秒で目標色度を実現していることがわかる。照度についても同様の結果が得られた。よって提案手法を用いることで目標の照度および色度環境を高速に実現することが可能であり、任意の照度および色度環境が人に与える生理的・心理的影響を調査する実験の効率化に貢献できたと考える。

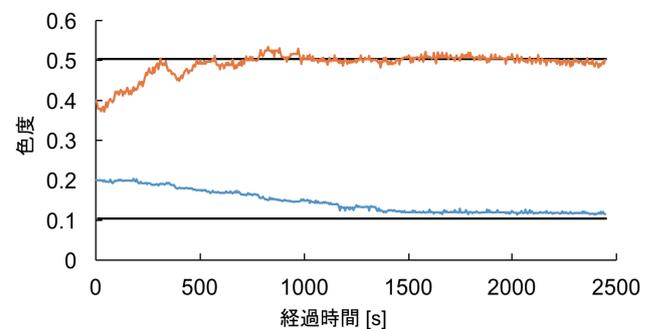


Fig. 2 従来手法の色度履歴

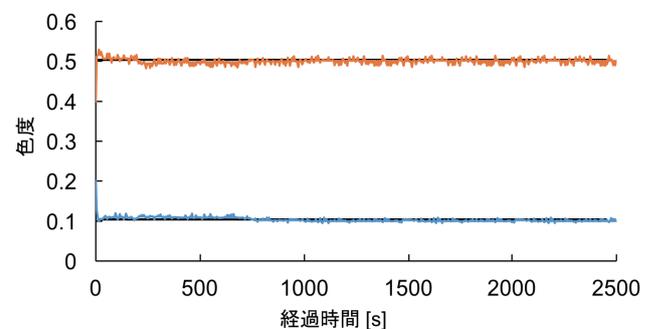


Fig. 3 提案手法の色度履歴

参考文献

- 1) 小林 茂雄：鮮やかな光色で照明された食品に対する食欲，日本建築学会環境系論文集，第 74 巻，第 637 号 p271-276，2009.3
- 2) 光武智子，合原勝之，吉澤陽介：RGB 加法混色による色彩構成実習の研究，日本色彩学会誌，vol.37，p.342-343，2013.05.01
- 3) JIS C 8155:2010 LED modules for general lighting service-Performance requirements