

任意の環境下で目標の照度および色度を実現する LED 照明制御手法の検討

十場 嵩

Takashi JUBA

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注目が集まっている。知的生産性の向上を図る研究は数多く行われており、その中で光環境が知的生産性に影響を与えることが分かってきている¹⁾。また、先行研究より照度や光色などが、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おり²⁾。これらの背景から、各個人の状況に適した照明環境を提供することで知的生産性が向上すると考えられる。

本研究では知的生産性の向上を目的として、執務者の作業や好みに応じた任意の照明環境を実現するための照明制御手法を検討する。照明環境においては、光の特性の中でも照度と光色に注目する。本研究で提案する手法では、フルカラー LED 照明を用いることで幅広い色光を実現し、照明光の壁面や物体反射の影響による光色の変化を推定することで、目標照度および色度の実現する。

2 色度

色度とは、物体色や光色に用いられる色の尺度である。本実験では XYZ 表色系と L*a*b*表色系を用いる。

XYZ 表色系は、CIE で定義される表色系の基準であり、色を感じる器官である錐体に対して、可視光線が与える色覚の強さを数値化することで、感性的な量である色を定量化する。この可視光線が与える波長毎の色覚の強さを数値化したものを等色関数と呼び、この等色関数と光の分光分布より、色度を表す XYZ 値を得ることができる。

XYZ 色度では、Y が明るさ、X と Z が色味の変化を表す。しかしこの XYZ 値は数値と色彩の関連がわかりづらく、数値の変化量と知覚の変化量が比例しない。そのため、その数値からは異なる色の違いの程度（色差）を定量的に表現することが出来ない。そこで色差が必要な場合には L*a*b*表色系が用いられる。

L*a*b*表色系は、XYZ 値の変換により得られる色度である。それぞれ L*が明るさ、a*が赤から緑、b*が黄から青の色味の変化に対応している。L*a*b*表色系は空間内の色の変化が近似的に一様になるように対応付けられており、空間内の 2 点の色のユークリッド距離を取ることによって色差を表すことができる。本実験では、この色

差 ΔE の値より、目標の色度空間を実現できたかを判断する。JIS では、工業利用における色差の許容範囲を段階的に定めているが、目視において判別可能な色差が色差が 6.5 以上とされているため、本実験では色差 6.5 以内を色度の収束範囲とする。

3 色度推定手法の概要

照明の光色は、分光分布より算出することができる。しかし照明光は、周囲の物体や壁面の反射の過程において、分光分布が変化する。そのため、周囲に物体や壁の影響により照明の分光分布のみからでは点灯時の色度を正確に推定することが出来ない。そこで本研究では、照明光の物体や壁面からの反射による変化を推定することで、照明からセンサに届く色度を推定する。

本手法ではセンサ位置への入射光の分光分布の変化を、波長毎の重み w_λ として学習することで推定する。重みの学習においては、色彩照度センサより得られる XYZ 色度を基に学習し、センサ取得値とシミュレータの推定値が近似するように各スペクトルに対して重み付けを行う。式 (1)、式 (2)、式 (3) に色度推定式を示す。

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

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

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

λ : 波長 [nm] $I(\lambda)$: スペクトル強度

$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$: 等色関数 $w(\lambda)$: 重み

重みの学習は、センサで得られる XYZ 値と色度推定により得られる XYZ 値とそれぞれ 3 値の誤差より行う。学習方法としては最小二乗誤差学習を用い、最急降下法により重みの更新を式 (4) により行う。

$$w_\lambda(t+1) = w_\lambda(t) + \rho C_e(t) \bar{c}_\lambda(t) I_\lambda(t) \quad (4)$$

λ : 波長 ρ : 学習率 $C_e(t)$: 色度誤差

$\bar{c}(\lambda)$: 等色関数 $I_\lambda(t)$: スペクトル強度 $w_\lambda(t)$: 重み

色度 X 値, Y 値, Z 値それぞれの誤差より重みの更新を繰り返すことで, 色度推定の精度が向上し, 実測値と推定値の誤差を低減する.

また照度は色度 Y 値と同値であるため, 色度 Y 値の推定により照度の推定を行うことができる.

本手法におけるの重みの学習手順は下記の通りである.

1. 照明を初期点灯し重みの初期値を決定
2. フルカラー LED 照明を単色点灯し色度を測定
3. 測定色度と色度推定式を用いた推定色度より重みを更新
4. 点灯する LED の色を変更

(2)~(4) を一定回数, 繰り返し行うことで重みの学習を行う.

4 目標の照度および色度を実現する照明制御

4.1 本手法の概要

本手法では, 目標の照度及び色度の入力に対し, 事前に重みの学習を行った色度推定式を用い, 目標の照度及び色度を実現する照明の制御パターンを算出を行う. フルカラー LED 照明の制御は, 複数の色の LED を組み合わせて点灯することで, 光色を変化させている. 本実験で用いるフルカラー LED 照明では 4 色, 0~1000 の信号値で制御可能であり, 実現可能な色度および光度は 1000⁴ 通りとなる. 本手法ではこれら各色 LED の組み合わせの中から目標値を実現する照明の制御パターンを, 山登り方を用いて決定する. 山登り方では, システム上で現在の信号値から各 LED の光度を増減し, 色度や照度の目標値に近いか評価を行う. この評価結果が変化前より良ければ, その信号値に遷移し, 予測光度および色度が目標値範囲内に達するまでこの動作を繰り返す. 目標色度誤差及び光度誤差を評価関数として, 本手法では, 評価関数を式 (5) とした.

$$f = w * \Delta I + \Delta E \quad (5)$$

w : 重み ΔI : 照度差 ΔE : 色差

4.2 照明制御実験

上記のアルゴリズムを用いて, 目標照度および色度を実現可能か検証実験を行った. 実験では, 天井照明としてフルカラー LED 照明 9 灯と, 色度の測定に色彩照度センサを用いた. 実験環境は Fig. 1 に示す. また目標照度を 600 lx, 目標色度 (a^* , b^*) を (-30~30, -30~30) の範囲で 17 点定めて, 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. なお, $L^*a^*b^*$ 表色系のホワイトポイントとして標準光源 D65 を用いているため, 色度 (0,0) は D65 と同色の光となる.

実験の結果を Fig. 2, Fig. 3 に示す.

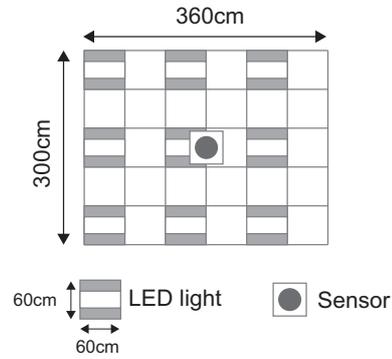


Fig. 1 実験環境

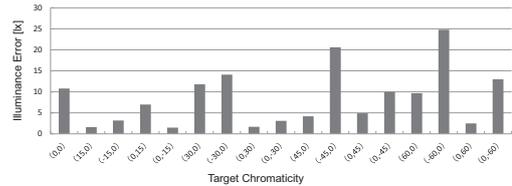


Fig. 2 照度誤差

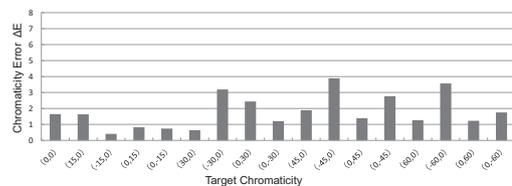


Fig. 3 色度誤差

人の認識できる照度の変化は± 50 lx である³⁾. 実験結果より, 全ての目標色度において照度差 50lx 以下の為, 目標値に収束したと言える. また 2 章において前述した通り, $L^*a^*b^*$ 表色系において色差 ΔE が 6.5 以下の場合には人が感知するのが難しいとされている. 実験により得られた色度はどの目標色度に対しても色差は 6.5 以下の為, 色度においても目標値に収束したと言える. 以上の結果から, 本手法を用いることで, 任意の色度および照度の色光環境を実現出来ると考えられる.

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, 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) 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