

フルカラー LED 照明を用いた目標の照度および色度の実現

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おり、それらに影響を与える要因として物理環境が挙げられる。物理環境の中でも、光環境が人体に与える影響についての数多く研究が行われており、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⁾。またその一方で、フルカラー LED 照明の発達により、今後オフィスや一般家庭において、従来の白色照明だけでなく、有彩色点灯可能な照明を導入することが容易となっており、個人の執務や好みに応じた色光環境の導入が進むと考えられる。

これらの背景から、本研究では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、光の特性である照度と光色に注目し、フルカラー LED 照明を用いて目的とする照度および色光環境を提供する照明制御手法について検討する。

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 XYZ 表色系と L*a*b*表色系を用いる。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 3 値 (X, Y, Z) を得ることができる。XYZ 色度の計算式を (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 色度では、Y が明るさ、X と Z が色味の変化を表す。XYZ 値は数値と色彩の関連がわかりづらく、また数値の変化量と知覚の変化量が比例しない。このため、色差を定量的に表現出来ない。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。L*a*b*表色系では、中心座標となる基準色を基に算出するが、本稿では基準色として標準光源 D65 を用いる。L*a*b*表色系では、空間内の色の変化が一様にな

るように対応しており、2 点の色のユークリッド距離を取ることで色差 E を表すことができる。

3 色度・照度シミュレータの作成

照明の色は、照明光の分光分布より算出することができる。しかし照明光の光は、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、照明の分光分布のみからでは点灯時の机上面の色度を予測することが出来ない。本研究では照射面の色度を予測するため、物体や壁面からの反射光による分光分布の変化を想定し、照明からセンサに届く光の分光分布を予測するシミュレータの設計を行う。

センサへの到達する光は、照明からの直接光と物体や壁面から反射光に分けられる。ここで直接光の到達量を w_s とし、各波長の反射光の到達量を i とすると、全体の到達量は $w_s + i$ とできる。この $w_s + i$ を重みとして学習することで、センサ位置における照明光の各波長のエネルギー到達量を予測できる。これにより、入力を分光分布、出力を色度とする単純パーセプトロンで色度シミュレータを表現可能となる。図 1 にシミュレータの模式図を示す。

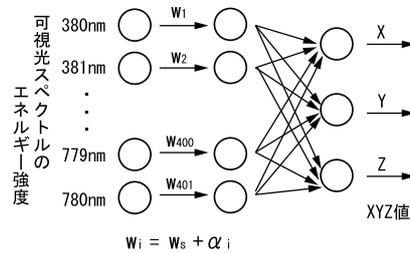


Fig.1 シミュレータ模式図

重みの学習は、センサで得られる XYZ 値とシミュレータ上で得られる XYZ 値との誤差より行う。誤差を最小化するため、最小二乗法を用いると、重みの学習は (4) 式で表すことができる。

$$w_i(t+1) = w_i(t) + e(t)w_i(t)C_i x_i(t) \quad (4)$$

i : 波長 ρ : 学習率 C_i : 等色関数
 $e(t)$: 色度誤差 $x_i(t)$: 波長のエネルギー量

色度センサで得られる XYZ 値と、シミュレータ上で得られる XYZ 値は縮尺が異なるため、誤差の算出の際には Y 値を基準に両値の正規化を行う。この重みの学習を繰り返すことで、シミュレータの精度が向上し、実測値と予測値の誤差を低減することが可能であると考えられる。

また照度は照明の点灯光度と照明とセンサ位置までの距離より計算する。照明の点灯光度を $x(t)$ とおくと、照

度は (5) 式で表すことが出来る．ここで， $x(t)$ の係数を重み w として，(6) 式に変換すると，色度と同様に，重み w を点灯光度と照度誤差より学習することで，照明の点灯光度より照度の予測を行うことができる．

$$y(t) = 1/m^2 x(t) \quad (5)$$

$$= wx(t) \quad (6)$$

m : 照明と測定点の距離 $x(t)$: 照明光度 w : 重み

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を入力することで，センサのフィードバックを基に照明の点灯光度を変化させ，目標を達成するまで照明を制御する．制御においては，色度・照度シミュレータを用い，そのシミュレータ上で目標に対して最適な点灯を行えるデジタル制御信号を算出する．なお，照度とは照射面の明るさを示しており単位を lx (ルクス) で表わし，色度はシミュレータの学習は XYZ 表色系，色差の評価は $L^*a^*b^*$ 表色系をそれぞれ用いる．

システムの具体的な動作手順は，以下の通りである．

- (1) 目標となる照度と色度を設定する
- (2) 最適な点灯光度をシミュレータを用いて算出する
- (3) 照明の点灯およびセンサ値の取得する
- (4) シミュレータの学習を行う
- (5) センサ取得値より目標照度，色度に収束しない場合，(2)~(4) を繰り返す．

4.2 点灯パターンの決定

フルカラー LED 照明では，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る．そのため，LED の点灯パターンの組み合わせが多くなると，制御範囲は広くなり，最適な制御パターンをを割り出すのに，総当たりで探索した場合では時間がかかる．そのため，本実験では LED の点灯信号値は，山登り方を用いて決定する．

山登り法では，現在の解より評価が良い近傍へ遷移するという動作を繰り返すことで，より良い解を得る．本手法においては，シミュレータ上で現在値から各 LED の光度を増減し，色度や照度の計算を行う．この計算結果が変化前より評価が高ければ，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．また，評価関数としては目標色度誤差及び光度誤差を用いる．

5 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 29 灯と，色度の測定に色彩照度センサを用いた．実験環境は図 2 に示す．また目標照度を 800 lx，目標色度 (a^* ， b^*) を (0,0) 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．実験の結果として，試行回数毎の目標照度と実測照度の誤差の変化のグラフおよび目標色度と実測色度の色差の変化のグラフを図 3 に示す．

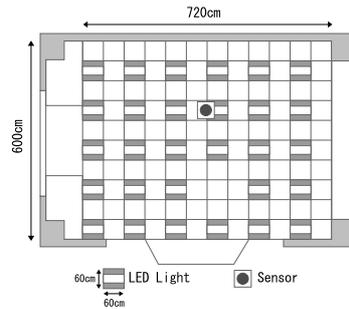


Fig.2 実験環境 (平面図)

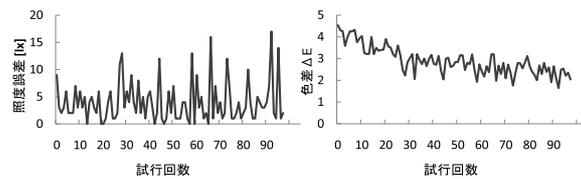


Fig.3 照度・色度誤差変化グラフ

100 回試行を繰り返した時点での，照度誤差は 2 lx，色度誤差は 2.04 となった．人の認識できる照度の変化は ± 50 lx であり²⁾，JIS では目視での判別可能な色差を 3.2 以上としているため，照度，色度ともに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．

6 まとめ

本研究では，目標の照度および色度を実現するフルカラー LED 照明の制御方法の検証を行った．照明の制御では，色彩照度計より得られる色度値より照明光の分光分布の変化を予測することで，目標値を実現する照明の点灯パターンを算出し，照明を点灯する．実験の結果，照度と色度ともに目標値に収束し，本手法が有効であることが分かった．

また今後の展望として，本実験では壁面色の色を白色としたが，壁面色が異なる場合での実験を行い，目標値の実現可能性やシミュレータの重みの学習結果の検証を行う必要があると考えられる．

参考文献

- 1) 照明学会，照明ハンドブック第 2 版，オーム社，2003
- 2) 照明学会，ライティングハンドブック，オーム社，1987
- 3) LED 照明 - Wikipedia(2011/4/15 現在)
[http://ja.wikipedia.org/wiki/LED 照明](http://ja.wikipedia.org/wiki/LED_照明)