

## 紙への着色を用いた色光制御システム Color-Lighting Control System using Paper Coloration

松井 健人<sup>†</sup>  
Kento Matsui

間 博人\*  
Hiroto Aida

市川 耀<sup>†</sup>  
Hikaru Ichikawa

相馬 啓佑<sup>†</sup>  
Keisuke Soma

三木 光範\*  
Mitsunori Miki

### 1. はじめに

高輝度青色LEDの登場以降のLED照明の急激な進化に伴い、赤、緑、青のような色を持つ光である色光を表現することが可能であるフルカラーLED照明が登場した。それにより、様々な環境において色光制御が必要となることが考えられる。

また、情報工学の発展に伴って、情報端末を用いて実現できることが急増し、機器の操作の難易度が上昇している。そのため、情報端末に不慣れたユーザには情報端末の操作が困難となる。しかし、システムは誰でも利用できるべきであるので、情報機器の操作は直感的である必要がある。そこで、Chandらは紙のUIを用いたシステムであるJadooを提案し、情報技術に縁のないユーザにJadooを体験させる研究を行った<sup>1)</sup>。

本研究では、ビジョンセンサを用いて色光をセンスし、フィードバック制御を行うことでユーザが要求する色光を実現する、紙への着色をUIに用いた色光制御システム (Color-Lighting Control System using Paper Coloration: CLC/PC) を構築する。また、直感的に操作することを可能とするために、紙をUIとしクレヨンや色鉛筆などにより着色することで色光制御を行うシステムを構築し、色光の実現について検証実験を行った。

### 2. 紙への着色を用いた色光制御システム

#### 2.1. システムの概要

CLC/PCは紙への着色を用い、任意の場所に任意の色光を提供するシステムである。直感的に使用できるクレヨンや色鉛筆などの着色画材と紙を用いるため、誰もが使用可能である。

CLC/PCはビジョンセンサ、フルカラーLED照明および、制御用コンピュータを同一ネットワーク上に接続して使用する。また、紙をビジョンセンサの認識範囲内に設置して使用する。CLC/PCの構成図を図1に示す。

#### 2.2. UIとする紙およびセンシング

CLC/PCはUIとして紙を用いる。CLC/PCのUIを図2に示す。UIとする紙には着色部分とマーカーがあり、着色部分にはユーザが要求する色をクレヨンや色鉛筆などで着色する。着色部分内のRGB値をビジョンセンサでセンシングすることによって、ユーザが要求する色を調べることができる。マーカー内のRGB値をビジョンセンサでセンシングすることによって、現在の色光環境を調べることができる。

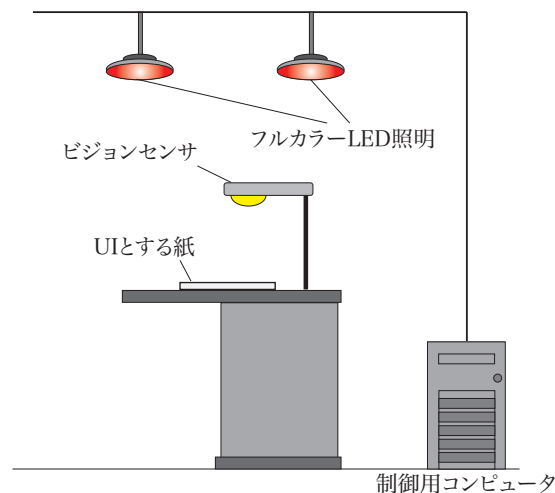


図1 CLC/PCのシステム構成図

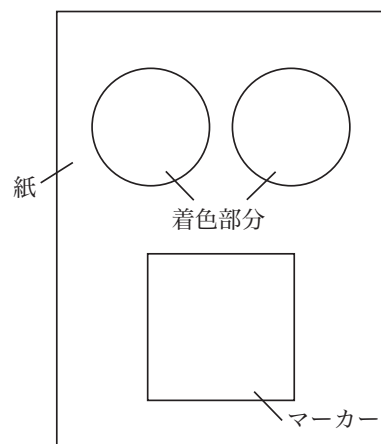


図2 CLC/PCのUI

#### 2.3. 制御アルゴリズム

CLC/PCの制御は、ビジョンセンサを用いてUIである紙をセンシング対象として定期的に制御用コンピュータへと画像を送信し、その送信された画像から色情報を抽出することで、その値を元にフィードバック制御を行う。これを繰り返すことにより目標の色光環境を提供する。CLC/PCで目標の色光探索を行うために用いた目的関数を式1に示す。

\* 同志社大学理工学部

† 同志社大学大学院

$$f_i = \sqrt{(L^* - L'^*) + (a^* - a'^*) + (b^* - b'^*)} \quad (1)$$

$L^*, a^*, b^*$ : 目標の色光の色情報

$L'^*, a'^*, b'^*$ : 現在の色光の色情報

CLC/PC は式 1 で形式化した目的関数を最小化するように制御を行うことで、目標の色光を実現する。CLC/PC の制御の流れを以下に示す。

- (1) ユーザが UI を任意の色で着色し、ビジョンセンサの範囲内に設置
- (2) LED の色光を白色にして点灯
- (3) ビジョンセンサが UI 画像を取得し、目標となる色の RGB 値を取得
- (4)  $\pm 20\%$  の近傍でランダムに高度を変化
- (5) ビジョンセンサが UI 画像を取得し、現在の色環境の RGB 値から目的関数を算出
- (6) 評価値が改善している場合は (4) へ、悪化した場合は前の色光に戻し (4) へ

上記 (4)-(6) の動作を 1 ステップとし、LED 照明における各色の要素に対して制御を行う。1 ステップにかかる時間は 2 秒である。これを繰り返し制御することで、ユーザの要求する色光環境を実現する。

### 3. 評価

#### 3.1. 実験概要

CLC/PC を用いた場合における目標の色光環境の実現について検証する。検証実験は、CLC/PC を用いて目標の色光へと制御を行い、色度を評価値に用いて目標の色光環境を実現可能か評価する。

#### 3.2. 実験環境

検証実験は制御する照明以外を全て消灯した暗室で行う。使用機器は、赤・青・緑の 3 色の光源を調光可能な Phillips 製フルカラー LED 照明 Hue1 台、ビジョンセンサ 1 台および制御用コンピュータ 1 台を用いて行う。UI を着色する色 (R, G, B) は色 1(225, 58, 249)、色 2(255, 250, 53)、色 3(93, 250, 253) の 3 色とし、色 1 と色 2 の 2 色を入力するパターン A、色 2 と色 3 の 2 色を入力するパターン B、色 1 と色 3 の 2 色を入力するパターン C の 3 つの UI を作成して使用する。

#### 3.3. 実験結果

CLC/PC を用いた場合における目標の色光への実現できるかどうかの検証実験を行った。3 パターンの UI に入力した 2 色の色と、その 2 色に対して減法混色を行った結果を図 3 に示す。

また、3 パターンの UI で目標の色光を決定し、CLC/PC を制御した場合における色差の履歴を図 4 に示す。色差の履歴は縦軸が色差を表し、横軸がステップ数を表している。JIS によると、工業利用において色差が 25.0 を超えると別の色と認識するとされている<sup>2)</sup>。図 4 において色差 25.0 を破線で示す。

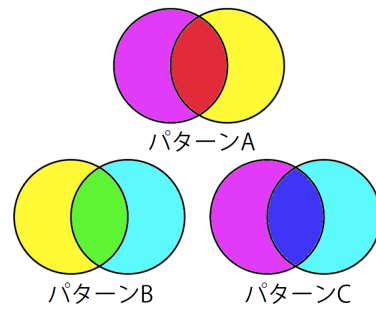


図 3 入力する 2 色の色とそれらを混色した結果

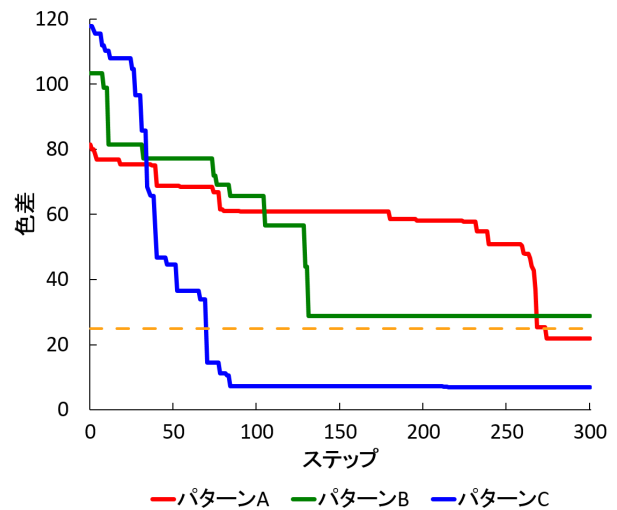


図 4 色差の履歴

図 4 より、どのパターンの UI を使用した場合でも目標の色光へと近づいたことが確認できる。

パターン A の UI を使用した場合、300 ステップ時の色度と目標の色度とは 21.9 の色差があり、パターン B の UI を使用した場合は 28.7 の色差があり、パターン C の UI を使用した場合は 6.8 の色差があった。

### 4. 検証実験

上記の結果から CLC/PC を用いて、目標の色光へと近付けることが可能なことがわかった。しかし、CLC/PC は目標の色光を探索できる場合とできない場合があり、CLC/PC を使用する環境にあわせて明度変化の有無や光度変更幅を適切に変更することで、要求された色光環境をより正確に提供できるようになる。

また、最適解を探索する速度を高速化する必要もある。今回は白色光から少しずつ目標の色光環境に近づけているが、1 ステップ目で目標の色光に近い色光に制御し、2 ステップ目からフィードバック制御で色差を小さくしていくと高速化が実現できると考える。

#### 参考文献

- 1) Dey K. A. Chand A. Jadoo: A paper user interface for users unfamiliar with computers. *Proc. CHI 2006*, pp. 1625-1630, 2006.
- 2) JIS. JISZ8721:色の表示方法-三属性による表示. 1993.