

ノート

色みえを改善した LED 照明器具の試作

岩永 敏秀*¹⁾ 中村 広隆*¹⁾ 市原 茂*²⁾ 山下 利之*²⁾ 石原 正規*²⁾

Developing a new LED luminaire for improved color appearance

Toshihide Iwanaga*¹⁾, Hiroataka Nakamura*¹⁾, Shigeru Ichihara*²⁾, Toshiyuki Yamashita*²⁾, Masami Ishihara*²⁾

キーワード : LED 照明器具, 演色性, CIECAM02-UCS

Keywords : LED lighting, color rendering, CIECAM02-UCS

1. はじめに

近年, 高効率, 長寿命などの特長を持つ LED 照明器具が注目を集めている。LED を照明器具として用いる際には, 従来光源と同様に, 演色性など照らされた物体の色みえの再現性や良さが求められる。当グループでは首都大学東京との共同研究により, LED 照明器具の色みえに関する視感評価実験を行った⁽¹⁾⁽²⁾。この結果を受け, 色みえの改善を行った LED の分光分布を導出し, 照明器具の試作を行ったので報告する。

2. 実験方法

視感評価実験は, 試験光源と基準光源との一対比較により行った。評価用ブース(間口0.5m, 奥行き0.5m, 高さ1.2m, 内面をマンセル記号N5で塗装)を10個用意し, 2個を一組とし, 左側に試験光源を, 右側に基準光源を設置した。図1に実験ブースの外観を示す。試験光源は, LED光源A(青色LED+黄色蛍光体, Ra=68), LED光源B(青色LED+RG蛍光体, Ra=94), LED光源C(紫外LED+RGB蛍光体, Ra=98), 電球形蛍光ランプ(3波長形, Ra=83), 白熱電球(Ra=100)の5種類とし, 市販されている製品の中から選択した。試験光源の相関色温度は, 白熱電球を除き, ほぼ5000Kとした。基準光源として, D65蛍光ランプを用いた。各ブース底面中央部の照度を500lxになるように光源の上下位置を調節した。一組のブース底面中央部に同じ色票(演色評価数R1~R15を評価するための色票, 4cm×4cm)を一つずつ配置し, 実験参加者(大学生45名)には, その色票の見えを比較して評価することを求めた。相対的な見えの印象の程度を20個の形容詞に関して, 「全くそう思わない(1)」~「非常にそう思う(7)」の7段階で答えさせた。基準光源との色みえの違いを評価するために, 「(基準光源と比較して)違って見える」という評価用語を用いた。

3. 結果・考察

CIECAM02-UCSによる色差は, 各光源の相対分光分布, 各色票の分光放射輝度率, 周囲の観測条件により計算することができる⁽³⁾⁽⁴⁾。この計算値と視感評価実験による結果(質問「違って見える」に対する評定値の平均)の一部を図2に示す。また, 両者の相関係数は, LED光源A:0.70, LED光源B:0.87, LED光源C:0.83, 蛍光ランプ:0.38, 白熱電球:0.76であった。相関係数の結果から, 蛍光ランプについて, やや相関が悪かったが, その他の光源については, CIECAM02-UCSによる色差の計算値が視感評価実験の結果を十分予測していることを示している。



図1. 実験に用いたブースの外観

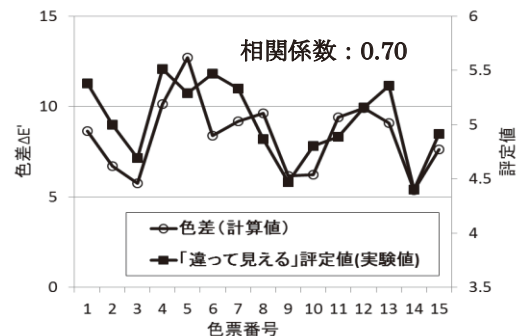


図2. CIECAM02による色差と実験値の比較(LED A)

事業名 平成22年度, 23年度, 24年度 都市課題解決のための共同研究

*¹⁾ 光音技術グループ

*²⁾ 首都大学東京

4. 分光分布の設計と試作

上記の結果を受け、CIECAM02-UCSを用いた分光分布設計を行った。分光分布は、次のような手順で算出した。白色LEDと青色、青緑色、緑色、赤色の単色LEDを用い、加法混色して目的に適した白色光を合成する。このとき、次式で目的とする白色光の分光分布 $P(\lambda)$ を表すことができる。

$$P(\lambda) = P_w(\lambda) + k1 * P_b(\lambda) + k2 * P_{bg}(\lambda) + k3 * P_g(\lambda) + k4 * P_r(\lambda) \quad (1)$$

上式において、

- $P(\lambda)$: 求めたい白色光の分光分布
- $P_w(\lambda)$: 白色LEDの分光分布
- $P_b(\lambda)$: 青色LEDの分光分布
- $P_{bg}(\lambda)$: 青緑色LEDの分光分布
- $P_g(\lambda)$: 緑色LEDの分光分布
- $P_r(\lambda)$: 赤色LEDの分光分布
- λ : 波長380 nm ~ 780 nm
- $k1 \sim k4$: 各LEDの混色比

である。

(1)式の分光分布のうち、相関色温度を一定値(今回は、5000K)及び色相差 Δh を一定値以下にする制約条件の下、CIECAM02-UCSの色差 $\Delta E'$ を最小にするように係数 $k1 \sim k4$ の最適化計算を行った。設計した分光分布の例を図3に示す。図4は、市販の高効率LEDに比べて、自然光(D50)との色差が小さく抑えられている(自然光の色みえに近い)ことを示している。

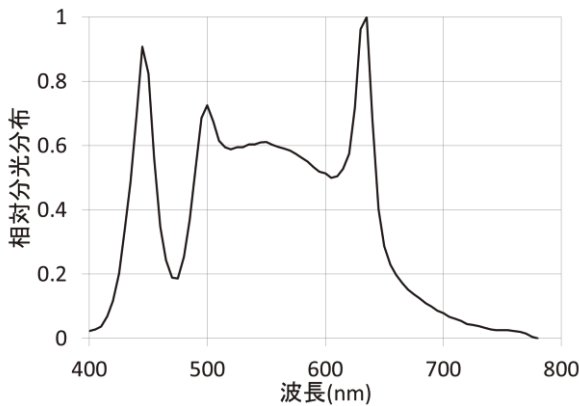


図3. 色みえを改善した分光分布の例

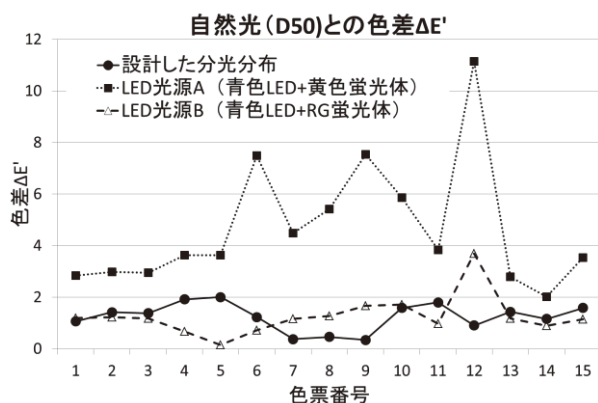


図4. 設計した分光分布の色差

図3に示す分光分布を持つLED照明器具を試作した。試作したLED照明器具は、ダウンライト形LED照明器具(相関色温度: 5000K)とし、用いたLEDは①白色LED(黄色+YAG蛍光体)+赤, 緑, 青色LEDと②白色LED(黄色+YAG蛍光体)+赤, 青緑LEDの組み合わせとした。図5に試作した照明器具の外観を示す。

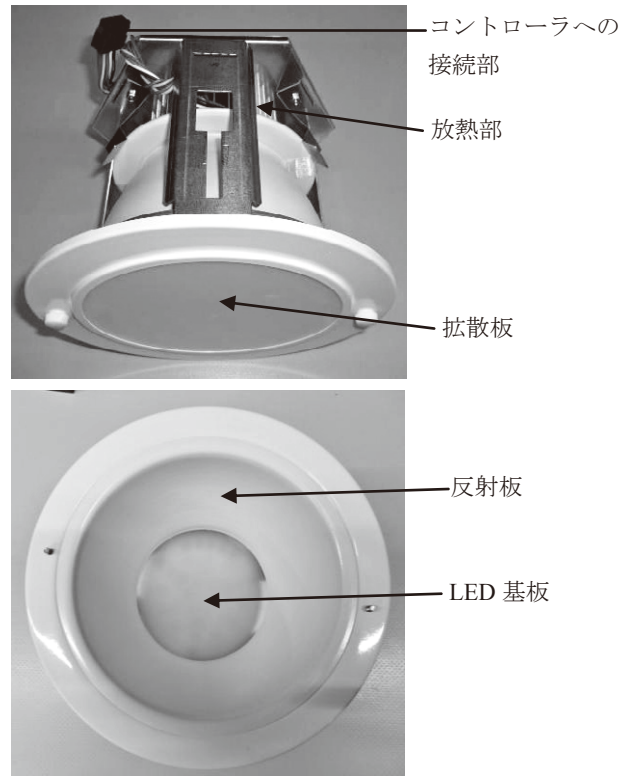


図5. 試作したLED照明器具

5. 結論

今後、試作した照明器具の光学特性評価及び視感評価実験による色みえ評価を行い、照明器具としての適性を検討する⁽⁵⁾。

(平成24年5月25日受付, 平成24年7月5日再受付)

文 献

- (1)市原茂 他:「LED照明下での色彩評価」, 日本官能評価学会誌, Vol.15 No.1, p. 49 (2011)
- (2)岩永敏秀, 中村広隆, 市原茂, 山下利之, 石原正規:「光源の色みえの違いに関する視感評価実験」, 照明学会全国大会講演論文集, No. 44, p. 177 (2011)
- (3)A Colour Appearance Model for Colour Management Systems : CIECAM02, CIE Publication 159(2004).
- (4)M.R.Luo, G.Cui and C.Li: Uniform Colour Spaces Based on CIECAM02 Colour Appearance Model, Color Res. Appl. 31-4, pp320-330(2006).
- (5)岩永敏秀, 中村広隆, 市原茂, 山下利之, 下川昭夫, 石原正規: 「LED照明の分光分布設計方法」, 特願 2012-125985 号