Color Science Association of Japan

対応色を用いたLED光源の演色性評価

Color rendering evaluation of LED light sources using corresponding color

田川　暖	Dan Tagawa	千葉大学	Chiba University
矢口博久	Hirohisa Yaguchi	千葉大学	Chiba University
溝上陽子	Yoko Mizokami	千葉大学	Chiba University
小松原仁	Hitoshi Komatsubara	日本色彩研究所	Japan Color Research Institute
小林信治	Shinji Kobayashi	日本色彩研究所	Japan Color Research Institute
那須野信行	Nobuyuki Nasuno	日本色彩研究所	Japan Color Research Institute

Keywords: 色知覚，照明，LED光源，演色性，対応色．

1．はじめに

近年 LED 光源の普及が急速に進んでいる．演色性は物体色の見えに及ぼす光源の特性であるが，LED 光源についても演色性を把握する必要がある．演色性評価は色空間を使用するため，人の色知覚に近い色空間を選択することが重要である．

戸部ら[1]は色空間 CIELAB，CAM02-UCS を色相角の点で評価したが．色相角以外の点や他の色空間の有用性について検討する必要がある．また，戸部らは相関色温度が揃った従来の光源と LED 光源間に生じる色の見えの違いも評価したが，電球色相当の光源では個人差が大きく，色相に関して色の見えの変化が確認されなかった．

本研究では新たに色空間として CIECAM02 を追加し，明度，彩度，色相角の 3 点から色空間を評価した．また，実験条件を一部変更し，電球色での従来の光源と LED 光源間での変化を取り出すことができるかどうか検証した．

2．実験

実験は図 1 に示すブースを用い両眼隔壁法により行った．

試験光源下に呈示する試験色として，表 1 に示すマンセル値の色票 10 枚を用いた．サイズは約 4×4 cm で無彩色 N7 の台紙に貼り呈示した．

評価光源として，表 2 に示す 6 種類の光源を使用した．評価面照度は全ての光源下において約 1000 lx（誤差±10%）とした．

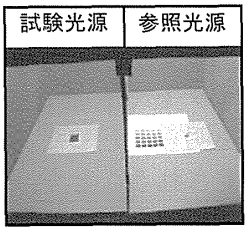


図 1　実験環境

表 1　試験色色票

R	5.1 R	4 /	13.8
YR	5.2 YR	6 /	14
Y	5 Y	8 /	12
GY	5.5 GY	6 /	9.6
G	5.3 G	5 /	10.1
BG	5 BG	4 /	8
B	5 B	4 /	8
PB	5.2 PB	4.1 /	10
P	5 P	4.1 /	9.8
RP	5.2 RP	4.1 /	11.9

表 2　光源

	昼光色相当	昼白色相当	電球色相当
LED光源	昼光色LED	昼白色LED	電球色LED
相関色温度(K)	6577	4834	3073
従来光源(K)	D65近似蛍光灯	昼白色蛍光灯	白熱電球
相関色温度	6064	5029	2837

下記の手順で実験を行った．被験者が 3 分間暗順応を行った後，試験光源，参照光源を点灯し，両眼隔壁法によって左右の眼を各光源に 3 分間順応させた．順応後，試験光源下に試験色色票を，基準光源下に JIS 標準色票を呈示した．被験者は左眼で試験色色票を，右眼で標準色票を観察し，試験色と見えが一致する色（対応色）を標準色票の中から選択した．選択の際には無彩色 N7 のマスク（開口 1.5×2 cm）を通して標準色票を観察した．その後，対応色の色相 H，明度 V，彩度 C を応答した．応答は内挿，外挿共に 0.5 刻みで可能とした．

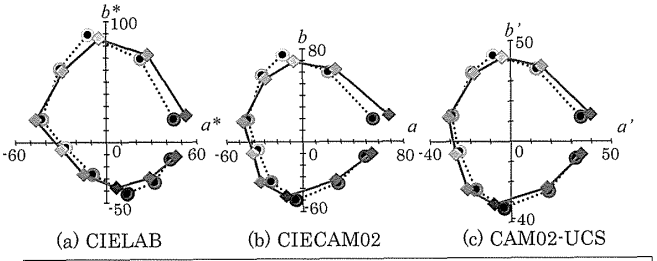
色空間評価を行う際には，戸部らの研究[1]と同様に，参照光源を D65 近似蛍光灯，試験光源を全 6 光源とした．従来光源と LED 光源の比較を行う際には，先行研究[1]と同様に参照光源を D65 近似蛍光灯，試験光源を白熱電球，電球色 LED とする条件に加え，電球色光源間の変化を取り出すため参照光源を白熱電球，試験光源を白熱電球と電球色 LED とする条件でも実験を行った．

3．色空間評価

3．1　実験結果

観察条件下での試験色と対応色の測色値を各色空間に変換した値を比較する．試験色と対応色の差が小さいほど人の色知覚に近い色空間となる．

昼光色 LED 光源下での結果を図 2 に示す．これは戸部らの研究[1]7 名と本研究 3 名，計 10 名の被験者の平均である．CAM02-UCS では CIELAB・CIECAM02 よりも試験色と対応色の差が小さかった．他の光源下でも同様の傾向が見られた．



(a) CIELAB　(b) CIECAM02　(c) CAM02-UCS

図 2　各色空間における試験色と対応色（昼光色光源下）

NII-Electronic Library Service

Color Science Association of Japan

3．2　解析

試験色と対応色の相違の程度を評価するため，*PF/3*（Performance Factor）を使用した．*PF/3*は対応する2つのデータ群の相違の割合を示す値である[2]．*PF/3*の値は2つのデータ群が完全に一致する場合は0となり，データ群の差があるほど大きくなる．

LED光源における*PF/3*を明度，彩度，色相角毎に図3に示す．明度，彩度，色相角全てにおいてCAM02-UCSの*PF/3*が最も小さくなった．従来光源においても同様の傾向が見られた．

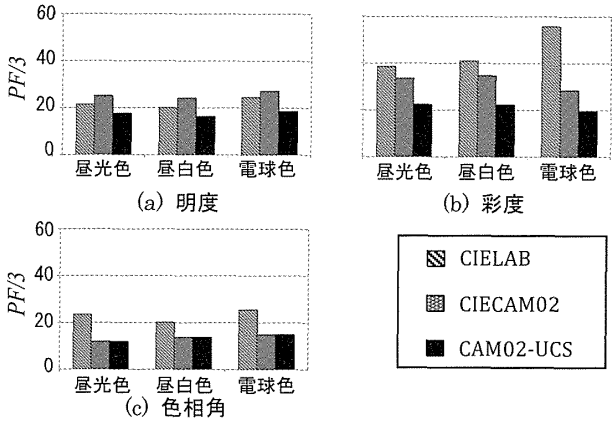


図3　各色空間における試験色と対応色間の*PF/3*

4．従来光源とLED光源の比較

4．1　実験結果

参照光源をD65近似蛍光灯とし，白熱電球・電球色LEDの対応色を求めた．被験者6名（先行研究[1]3名，本研究3名）の対応色の平均値（マンセル値）を図4(a)に示す．円の中心からの距離が彩度Cを，円の中心からの方向が色相Hを表す．また，参照光源を白熱電球に変更し，同様の手法で白熱電球・電球色LEDの対応色を求めた．被験者6名（本研究で先の実験を行った3名と，新たに加わった3名）の対応色の平均値を図4(b)に示す．

参照光源を変えたことで，G，RPなどの色の見えに変化が見られた．白熱電球・電球色LED間での対応色の色相におけるずれは，参照光源によらず概ね同様の方向に生じている．

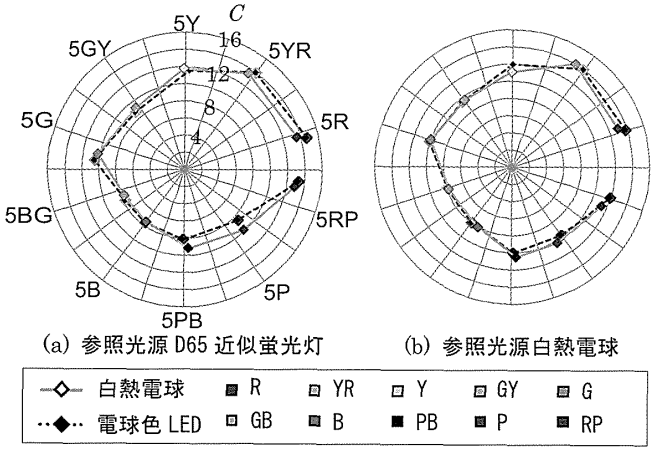


図4　白熱電球と電球色LEDの対応色

4．2　解析

白熱電球・電球色LED間に生じる色の見えの変化を調べるため，各対応色を比較する．対応色をCAM02-UCSを用いて変換し，電球色LEDにおける変換値と白熱電球における変換値の差を評価する．白熱電球・LED間で色の見えに変化が無い場合，差は0となる．図5(a)に参照光源D65近似蛍光灯条件，図5(b)に参照光源白熱電球条件での電球色LEDと白熱電球の色相角の差Δh（deg）を示す．共に被験者各6名の平均値である．エラーバーは標準偏差を示す．

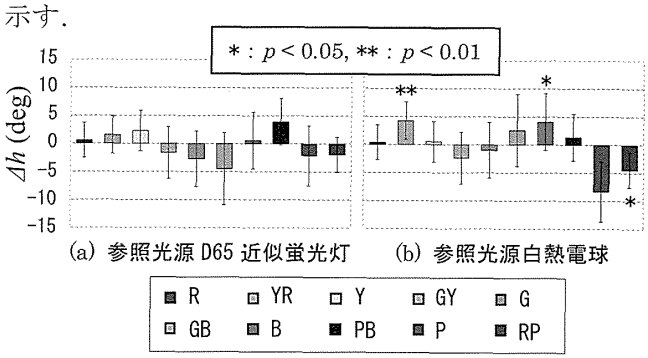


図5　電球色LEDと白熱電球における対応色の差（電球色LED-白熱電球，色相角）

電球色LEDと白熱電球における対応色の差が統計的に有意であるかを調べるため，有意水準$\alpha = 0.05$とし，t検定を行った．参照光源がD65近似蛍光灯の場合，先行研究[1]と同様に，色相角においては電球色LED・白熱電球間に有意なシフトは見られなかった．しかし，参照光源を白熱電球に変更すると，YRはY方向へ，B，RPはPB，P方向への有意なシフトが得られた．

5．結論

色空間CIELAB，CIECAM02，CAM02-UCSを明度，彩度，色相角の3点から評価した結果，CAM02-UCSが最も人の色知覚に近く，演色性評価に適していると考えられる．

また，参照光源を変更することにより白熱電球と電球色LED光源間での色相の変化を取り出すことができた．このことから，対応色を求める際，参照光源と試験光源の組み合わせが昼光色・電球色の様に色温度に大きな差があることで，個人間のばらつきが大きくなる可能性が示唆される．

本研究の成果は，独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務により得られた．

参考文献

1）戸部和希，溝上陽子，矢口博久，小松原仁，小林信治，那須野信行:白色LED光源を用いた対応色の測定，平成23年照明学会第44回全国大会，講演論文集（2011），231.

2) S. Guan and M. Ronnier Luo: Investigation of Parametric Effects Using Small Colour Differences, Color Res. Appl. 24 (1999) 331-343

NII-Electronic Library Service