ノート

LED 光源の演色性評価

阿部 淑人* 星野 公明* 須田 孝義* 橋詰 史則* 石井 啓貴*

An Evaluation of Color Rendering Property of Light Emitting Diode Base Illuminations

ABE Yoshito*, HOSHINO Kimiaki*, SUDA Takayoshi*, HASHIZUME Fuminori* and ISHII Hirotaka*

1. 緒　　言

環境保護への意識が高まり，また電力供給の不安定が心配される中，LED 照明が本格的に普及するようになってきた。電力効率の点では 1W あたり 60lm（ルーメン）から 150lm 程度と高効率であることや長寿命であることから，置き換え需要を狙って大手電機メーカーの他に異業種も参入して極めて多種の照明器具が発売されている。しかしながら，従来の白熱灯や蛍光灯と比べて発光スペクトルが異なるため，色合いが違って見えるという現象が発生する。どれくらい色合いを忠実に再現できるかの指標を演色性と呼び, JIS Z8726 に測定方法が示されている。下越技術支援センターでは近年，照明器具の照度や発光スペクトルの測定などの技術支援が増えているため，LED 光源を始めとした複数の光源についての演色性の評価を実施した。その概要を報告する。

以降の章では，ヒトの色覚および演色性評価の規格といくつかの照明具の演色性評価結果について述べる。

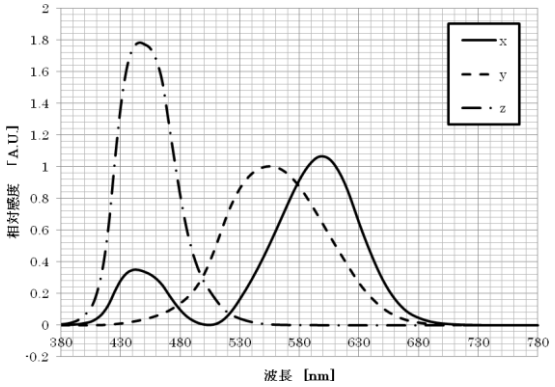

図 1 等色関数

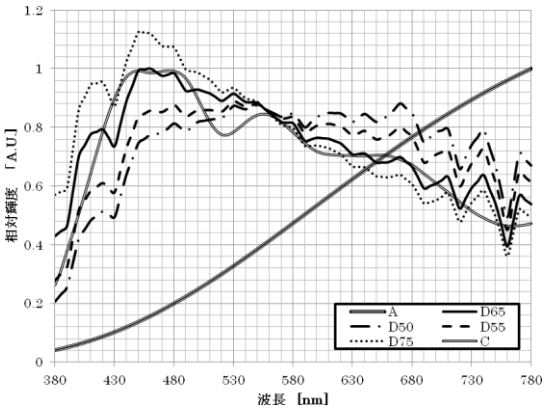

図 2 標準光源の発光スペクトル

2. 演色性評価について

2.1 ヒトの色覚

演色性は，光源スペクトルが物体の色の見え方に及ぼす影響の尺度である。物体の色は光源スペクトルと物体の反射・透過スペクトルとヒトの視覚の分光感度（等色関数）をかけ合わせた結果として認識される。ヒトの錐体細胞が LMS の 3 種あり，それぞれが異なる波長域で高い感度を有している。図 1 には 2° 視野の等色関数を示す。長波長側(600nm)付近に高い感度を有する x，中波長域(550nm)付近に高い感度を有する y，短波長側(450nm)付近に高い感度をもつ z の 3 値の特性からなっている。

* 下越技術支援センター

2.2　演色性評価の規格

JIS Z8720[1)]には「測色用標準イルミナント（標準の光）及び標準光源」として標準光源 A，標準光源 D65，補助光源 D50，補助光源 D55，補助光源 D75，補助光源 C の相対分光分布が示されている。この発光スペクトルを図 2 に示す。また，JIS Z8724[2)]には「色の測定方法 ― 光源色」として光源色の測定方法が示され，JIS Z8725[3)]には「光源の分布温度及び色温度・相関色温度の測定方法」として光源の相関色温度測定方法が示されている。そして，JIS Z8726[4)]には「光源の演色性評価方法」として本研究で評価する色再現の鮮やかさの測定方法が示されている。本研究ではこれらの規格に基づいて照明具に用いられる複数光源の演色性を評価した。

光源の演色性評価の手順は，所定の反射率特性を有する試験色 （図 3 に試験色№1～№8 および№9～№15 の外観を示す）を試験光源と，比較対照の基準光源でそれぞれ測色した場合に色差がどうなるかを数値計算して算出すると定められている。そのため必要な測定は光源の相対分光分布であり，そこから相関色温度を求め，その後に対応する色温度の基準光源スペクトルを算出する。最終的に，同じ試験色を 2 つの光源を用いてそれぞれ測色した場合の色差を算出することで演色性が評価される。以下順を追って説明する。

(1) JIS Z8724 に従い，モノクロメータ式かポリクロメータ式の分光光度計/分光輝度計を用いて試料光源の測光を行う。演色性の評価のためには，380nm から 780nm まで 5nm 間隔の相対分光分布が必要である。

(2) JIS Z8725 に従い，試料光源の相関色温度を求める。

(3) JIS Z8720 に基づいて，基準光源の相対分光分布を求める。

(4) 光源の分光分布と等色関数の積和から，光源色の 3 値刺激値 XYZ と CIE1960UCS 色度 u,v を求める。

(5) 試験色の分光分布と光源の分光分布，等色関数の分光分布から 3 値刺激値 XYZ と CIE1960UCS 色度 u,v を求める。

(6) 試料光源の色度座標と試験色の色度座標に対応する色順応の補正を行う。

(7) CIE1960UCS 色度 u,v から CIE1964WUV 表色系に色変換する。

(8) 試験色毎に，WUV 空間上のユークリッド距離となる色差 ΔEi を算出する。

(9) 各試験色に対する特殊演色評価数 Ri を Ri=100-ΔEi として求める。

(10) 平均演色評価数を特殊演色評価数 R1～R8 の算術平均で Ra=1/8　ΣRi として求める。

2.3　演色性評価結果

ここでは，(a)RGB 三波長形 LED，(b)黄色蛍光 LED，(c)高演色性蛍光灯，(d)寒白色蛍光灯，(e)白熱灯を比較評価した。図 4 に各照明灯の発光スペクトルを示す。三波長形の LED 電球は 450nm,520nm,630nm がピーク波長であった。黄色蛍光 LED は 445nm の青色発光ダイオードに 520nm～550nm 付近の黄色蛍光体を組み合わせたものである。この他に比較として高演色性と寒白色の蛍光灯，更に白熱灯を比較対象とした。

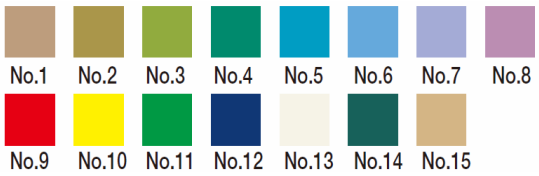

図 3　試験色の外観

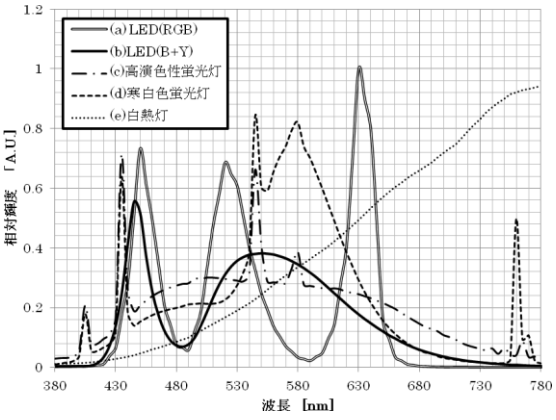

図 4　試験光源の発光スペクトル

このスペクトルから前述の手順に従って色度，相関色温度を算出した後に，対照の基準光源を決定して各試験色の色差を評価した結果を表 1 に示す。なお，発光スペクトルの測定にはポリクロメータ式の発光分光輝度計（大塚電子製 MCPD100）を使用した。

色度：x, y
相関色温度：CCT
基準光源(STD)：CIE Daylight(DXX) or
Plank Radiation(PXX)
平均演色評価数：Ra
特殊演色評価数：R1 ～R15

表 1　演色性評価結果

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
x	0.303	0.332	0.329	0.406	0.495
y	0.331	0.367	0.365	0.425	0.422
CCT	7030	5560	5650	3740	2360
STD	D70	D56	D57	P37	P24
Ra	49.9	68.0	86.5	56.0	97.4
R1	42.1	63.2	82.5	44.6	97.1
R2	90.1	71.6	88.4	70.1	97.5
R3	53.6	79.1	92.6	90.8	98.3
R4	32.1	68.8	85.4	45.8	97.0
R5	56.6	65.0	83.8	46.4	96.5
R6	84.9	62.6	84.9	57.2	96.3
R7	51.0	80.2	93.9	72.6	99.0
R8	-10.9	53.9	80.8	20.2	97.6
R9	-166.3	-48.4	40.1	-116.7	93.9
R10	81.5	34.1	72.7	32.2	94.7
R11	18.6	64.8	81.4	31.0	96.0
R12	81.6	36.0	78.9	32.4	92.2
R13	55.5	64.0	83.7	49.6	96.8
R14	70.8	88.3	95.7	94.0	99.0
R15	24.2	54.9	78.9	32.9	96.8

三波長形 LED 光源はスペクトルが輝線に近いため平均演色評価数が 49.9 と低い値に過ぎず，黄色蛍光 LED も 68.0 に留まった。一般に， Ra が 80 未満のランプは，仕事や長期間の滞在には不適切とされているため使用が限定的になると想定される。演色性を改善した物も出回っているため，LED 光源を導入する際には全光束(lm)や効率(lm/W)の他に演色評価数(Ra)にも注意して Ra の高いものを導入する必要がある。

蛍光灯については，高演色性型と寒白色の二種類で評価数に大きな差が見られた。LED でも同様であるが平均評価数の低い照明では，特に R8 と R9 の評価数が悪い傾向にある。R8 はマンセル表色系で 10P6/8 と表される紫色で，R9 は 4.5R4/13 と表される彩度の高い赤色である。

白熱灯は理想的なプランク放射と近いスペクトルになるため，極めて高い演色性評価数を示した。

この評価方法の特徴として，試験光源の相関色温度により対応する基準光源の色温度を合わせて評価を行うことから，色温度の異なるもの同士で演色性を比較する場合には判断に注意が必要である。

3. 結　　言

(1) 近年普及が始まった LED 光源について演色性の評価を行った。
(2) 試験に用いた LED 光源は，比較した蛍光灯や白熱灯に比べて演色性が劣ることが分かった。今後は演色性の優れた製品の開発が期待される。

参考文献

1) JIS Z 8720:2000 測色用標準イルミナント（標準の光）及び標準光源
2) JIS Z 8724:1997 色の測定方法 ― 光源色
3) JIS Z 8725:1999 光源の分布温度及び色温度・相関色温度の測定方法
4) JIS Z 8726:1990 光源の演色性評価方法