

論文

LED 照明器具の光学特性および電気特性に関する考察

岩永 敏秀*¹⁾ 中村 広隆*¹⁾ 小林 丈士*²⁾ 栢 健一*²⁾

Estimation of photometric characteristic and EMC characteristic for LED lighting products

Toshihide Iwanaga*¹⁾, Hiroataka Nakamura*¹⁾, Takeshi Kobayashi*²⁾, Kenichi Haji*²⁾

Photometric characteristics and EMC characteristics were evaluated for various commercial LED lighting products (incandescent type, spot light type and down-light type). In the results, (1) the luminous efficacies evaluated for LED products were almost all under the values for fluorescent lamps. However, the illuminance per Watt of the LED products were almost all above the values for the fluorescent lamps.(2) LED products including blue LED+RG phosphor or blue LED+Yellow phosphor types are suitable for general office lighting regarding matches with luminous efficacy and rendering index.(3) The value of electrical harmonics for the LED products did not meet the limit of JIS61000 .(4) The results for the photobiological safety evaluation for retinal blue light hazard from LED products put them in the Exempt group of CEI/IEC62471 except the down-light type products, which were in the Low risk group. It should be noted that higher luminance products may exceed the hazard exposure limit.

キーワード：光源効率，演色評価数，高調波，光生物学的安全性

Keywords：luminous efficacy, rendering index,harmonics,photobiological safety

1. はじめに

高効率，長寿命などの特長から LED を使った照明器具が注目を集めている。照明器具の目的は，物体を見るために必要な明るさを確保することであるが，省エネルギー，コスト削減という観点から，なるべく少ない投入エネルギーでそれを実現することが求められる。明るさに加えて，照明された空間の雰囲気，物体の色みえ(演色性)などの特性も重要である。これらの特性は，全光束，照度，配光特性，分光分布，相関色温度，演色評価数等の光学特性から，全てではないが判断することができる。また，製品の安全性の点から，電気特性についても十分に考慮する必要がある。さらに LED チップそのものは，非常に高輝度な光源であるため，眼に対する安全性の懸念がある。本研究では，市販されている各種 LED 照明器具の光学特性，電気特性および放射光の安全性評価を行い，LED 照明器具を照明空間に使用する上での適性について考察を行った。

2. 実験方法

2.1 光学特性の測定

評価を行った照明器具は，今回，主に局部照明用に限定し，LED 照明器具 14 製品（電球形，ダウンライト形，スポットライト形），蛍光灯 4 製品（電球形，直管形），白

熱電球 2 製品の計 20 製品とした（図 1）。評価項目は，全光束，照度，配光，分光分布，演色評価数とした。測定には，球形光束計および測光ベンチ⁽¹⁾を用いた。



図 1. 光学特性を評価した照明器具

LED 照明器具は，局部照明用（電球形，ダウンライト形，スポットライト形）とした

2.2 電気特性の測定 本研究では，ノイズ特性を含めた電気特性の測定を行った。測定項目は，消費電力，力率，高調波，突入電流，雑音電力，雑音端子電圧，放射エミッションとした。各測定には，ハーモニックアナライザ，疑似電源回路網，EMI レシーバ，EMI クランプ，電波暗室(3m 法)⁽²⁾を用いた。

2.3 分光放射輝度測定システムの開発 照明用光源からの放射光の生体(特に眼)に対する安全性評価は，CEI/IEC62471⁽³⁾に基づいて行う必要がある。同規格では，生体に対する放射光のリスクとして，紫外放射，近紫外放射，青色光，熱によるリスクが挙げられている。白色LEDは，青

*¹⁾ 光音技術グループ

*²⁾ 電子半導体技術グループ

色光による網膜障害の作用曲線のピーク付近に分光分布のピークを持ち、また、輝度も高いため、特にこのリスクが高いと考えられている。網膜障害のリスクを評価するためには、上記規格に適合した分光放射輝度測定システムにより行わなければならない。同システムは一般的に市販されていないため、今回、同システムの開発を行った。開発したシステムの概要を図2に示す。主に入射光学系、分光器、検出器で構成されている。入射光学系は、規格に適合した開き角および視野角を実現するための絞り、ミラー、測定部分を観察するためのCCDカメラ等で構成されている。分光器は、ダブルモノクロメータ方式を採用し、迷光（帯域外光）を非常に小さくしている。検出器は、光電子増倍管（PMT）、Siフォトダイオード、InGaAsフォトダイオードの切り替え式として、200nm～2500nmまでの広波長帯域での測定を可能としている。当システムは、別途、評価した校正用光源（分光放射照度標準電球+白色拡散板）を使用して分光放射輝度の校正を行っている⁽⁴⁾。白色拡散板が均等拡散面（ランベルトの余弦則に従う面）であるとき、白色拡散板と標準電球を図2のように配置した場合の白色拡散板上の分光放射輝度は次式で表すことができる。

$$L(\lambda) = \rho(\lambda) \cdot E(\lambda) / \pi \quad (1)$$

$L(\lambda)$: 分光放射輝度(W/(m²・sr・nm)), $\rho(\lambda)$: 白色拡散板の分光反射率, $E(\lambda)$: 標準電球の分光放射照度(W/(m²・nm))

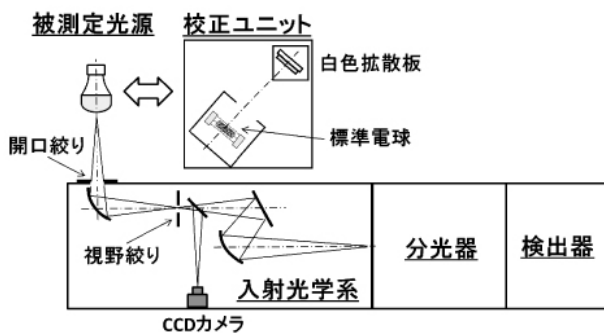


図2. 分光放射輝度測定システムの概要

3. 実験結果及び考察

3.1 光学特性の測定 光源効率(lm/W)と単位消費電力当たりの直下照度(lx/W)の関係を図3に示す。また、照明器具の配光特性の測定結果を図4に示す。図3に示すように、LED照明器具は、光源効率(lm/W)の点で、電球形蛍光ランプ(70 lm/W程度)に及ばないものが多いが、単位消費電力当たりの直下照度(lx/W)では、電球、蛍光ランプを上回っている。図4に示すように、ダウンライト形はもちろんであるが、電球形LEDについても電球や電球形蛍光ランプに比べて、指向性が強い。そのため、直下照度が大きくなっているといえる。このようにLED照明器具（電球形、ダウンライト形、スポットライト形）は、光源効率(lm/W)について蛍

光ランプに及ばないものが多いが、直下照度が高く、スポット照明的な用途に特に適していると考えられる。また、LEDチップおよびLED照明器具の効率向上が著しく、本論文の作成段階では、電球形LEDランプについて、カタログ値で電球形蛍光ランプの光源効率を超えているものが見られる。

照明器具の相対分光分布を図5に示す。また、光源効率(lm/W)と平均演色評価数の関係を図6に示す。図5に示すよ

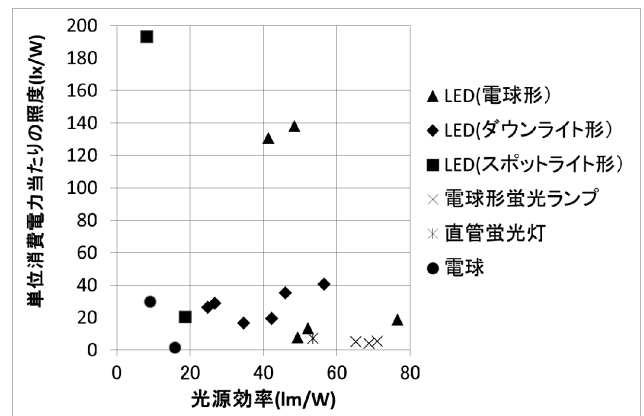


図3. 光源効率と照度の測定結果
照度は、光源の1m直下の測定値を示す

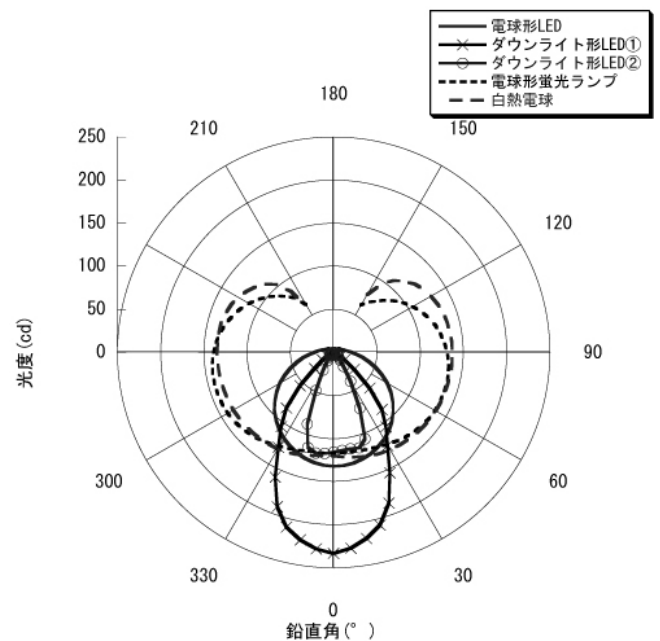


図4. 配光特性の測定結果

うに、市販されているLED照明器具は、主に3種類の発光方式に区分することができ、それぞれ異なる分光分布を有している。図6から、LEDの発光方式別に見ると、紫外LED+RGB蛍光体のタイプ(Ra=98)、青色LED+RG蛍光体のタイプ(Ra=79~94)、青色LED+黄色蛍光体のタイプ(Ra=65~85)の順で平均演色評価数が高い。また、平均演色評価数が高いものほど、光源効率が低くなる傾向を示している。このように演色評価数と光源効率は、概ねトレードオフの

関係となっている。JIS⁽⁵⁾では、照明される場所（作業）毎に演色評価数の推奨基準が決められていて、その場所に適した演色評価数の光源を用いることが求められる。例えば、一般のオフィス照明では、平均演色評価数を80以上とすることが推奨されている。その基準を満たし、かつ光源効率50(lm/W)以上に限定すると、青色LED+黄色蛍光体、青色LED+RG 蛍光体のタイプの発光方式が一般のオフィス照明用としては望ましい。

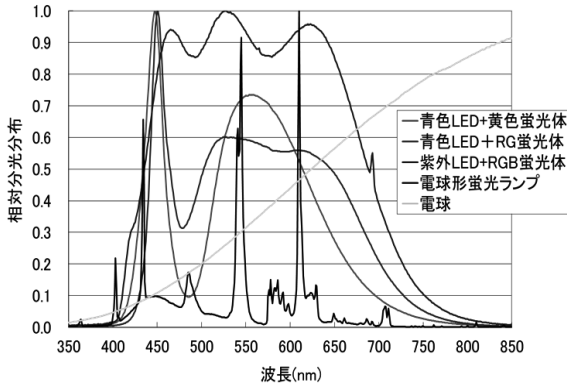


図5. 分光分布の測定結果

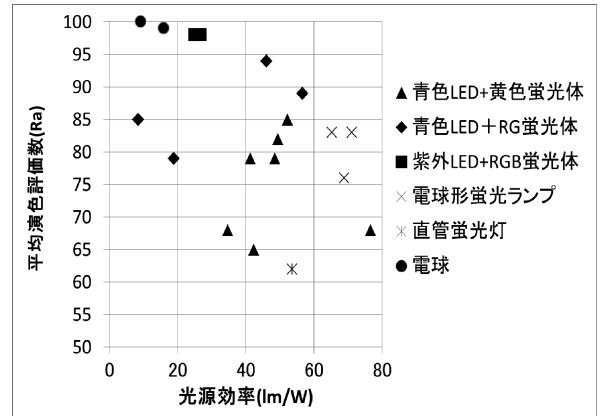


図6. 平均演色評価数の測定結果

3.2 電気特性の測定 電気特性の測定結果を表1に示す。表中の記号（○×等）については、規格等があるものはその規制値以内であるかどうかを示し、特にないものは一定の目安を示している。LED照明器具のうち、高調波の規制値を上回るものが14製品中12製品と多かった。これは、力率が低く、電圧波形に歪みがあるためと考えられ、力率

表1. 電気特性の測定結果

No.	種類	消費電力(W)	力率*1		高調波	突入電流*2		雑音電力*3	雑音端子電圧*4	放射*5
					JIS C61000 ⁽⁶⁾			電安法	電安法, CISPR15 ⁽⁷⁾	CISPR15
1	LED 照明器具	7.15	0.58	△	×	6.8	△			
2		7.06	0.58	△	×	6.7	△	◎	△	○
3		8.47	0.87	◎	○	1.3	◎	◎	○	△
4		16	0.5	△	×	3.3	○	◎	○	○
5		16.36	0.51	△	×	3.3	○			
6		9	0.53	△	×	20.6	×	◎	◎	○
7		8.74	0.52	△	×	20.4	×			
8		1.38	0.9	◎	○	0.6	◎	◎	◎	○
9		5.53	0.52	△	×	5.3	○			
10		5.55	0.52	△	×	5.3	○	◎	◎	○
11		4.47	0.42	×	×	5.5	○			
12		4.46	0.42	×	×	5.4	○	◎	◎	×
13		4.06	0.68	○	×	1.3	◎			
14		3.9	0.68	○	×	1.3	◎	◎	×	○
15	蛍光ランプ	21.91	0.62	○	○	19.3	×			
16		22.96	0.62	○	○	20.7	×	◎	△	○
17	白熱電球	91.11	1	◎	○	15.3	×			
18		73.71	1	◎	○	11.8	×	◎	◎	○
		*1 力率		*2 突入電流		*3 雑音電力				
		85%以上	◎	2A以下	◎	最大値が規格値を超えない		◎		
		60%以上	○	6A以下	○	それ以外		×		
		50%以上	△	10A以下	△					
		50%未満	×	10A以上	×					
		*4 雑音端子電圧		*5 放射						
		最大値が規格値を超えない		◎		最大値が規格値を超えない		○		
		国内，国際規格OK		○		規格をクリア		△		
		国内規格のみOK		△		規格をクリアしない		×		
		規格をクリアしない		×						

改善など回路設計への配慮が必要である。また、突入電流、雑音端子電圧、放射ノイズについて、基準を超えてしまう、または大きな値を示す製品が見られた。これらの項目は、配電系統や周辺の電気電子機器への影響が大きいため、十分な設計段階での配慮が必要である。

3.3 眼に対する安全性評価 青色光による網膜傷害のリスクについて、分光放射輝度測定システムによる測定結果及びCEI/IEC62471に基づくリスク評価結果を表2に示す。CEI/IEC62471によると、光源は、有効放射輝度により、表3に示すリスクグループに区分される。

表2. 照明器具からの放射光の眼に対する安全性評価結果

試料	有効放射輝度 (W/m ² /sr)	リスクグループ
電球形LED	37.5	免除 (<100)
ダウンライト形LED①	181	低危険度(≥100)
ダウンライト形LED②	36.2	免除
電球形蛍光灯	37.8	免除
白熱電球	9.03	免除

表3. 生体に対する放射光のリスクグループの区分

リスクグループ	原則的な考え方
リスク免除	光生物学的リスク（生体に傷害を与える可能性）を引き起こさない
リスクグループ1 (低危険度)	通常の行動への制約が必要となるようなリスクを引き起こさない
リスクグループ2 (中危険度)	非常にまぶしい光源に対する嫌悪反応または熱的な不快感により、リスクを引き起こさない
リスクグループ3 (高危険度)	一時的又は短時間の露光によってもリスクを引き起こす

評価した光源では、ダウンライト形LED①が「低危険度」に区分された以外は、全て「リスク免除」のリスクグループであった。放射光の眼に対する安全性評価について、LED照明器具は、その分光分布の特徴から青色光網膜障害のリスクが他の光源より高くなる恐れがある。今回の評価結果では、一般照明用として問題となる製品は見られなかった。もっとも有効放射輝度が高かったダウンライト形LED①では、指向性が強く、発光面積が小さいため、放射輝度が大きくなった。今後、さらに輝度の高い照明器具が開発された場合、眼に対するリスクが増すと考えられるため、発光

効率や指向性を損なわずに発光面積を広げ、放射輝度を抑える設計が必要とされる。

4. まとめ

様々なLED照明器具（局部照明用）の光学特性、電気特性、放射光の安全性の評価をおこない、次のことを明らかにした。

①光源効率(lm/W)の点では蛍光灯に及ばないものが多いが、単位消費電力当たりの直下照度(lx/W)では、電球、蛍光灯を大きく超えている。このため、LED照明器具はスポット照明的な用途に特に適している。また、電球や蛍光灯とは配光特性が大きく異なるため、設置に当たってはこのことに十分配慮する必要がある。

②演色評価数が高くなるほど、光源効率は低くなる。本研究で評価した紫外LED+RGB蛍光体による発光方式の製品について、演色評価数は非常に高いが光源効率が低い。演色評価数と光源効率のバランスから、青色LED+黄色蛍光体または、青色LED+RG蛍光体の製品が一般オフィスの照明用として適している。

③電気特性（ノイズ特性）では、高調波の規制値を超える製品が多かった。力率を改善し、高調波の抑制を考慮した回路設計が求められているといえる。

④眼に対する安全性評価の結果、評価した製品には、一般照明用として問題となるものはなかったが、ややリスクの高い製品も見られるため、より高出力の光源やレンズ等により指向性を高めた光源では放射輝度の軽減対策が必要になると考えられる。

(平成23年5月20日受付、平成23年8月3日再受付)

文 献

- (1) 岩永敏秀, 山本哲雄, 中村広隆:「照明用LEDモジュールの光学特性測定システムの開発」, 東京都立産業技術研究センター研究報告, No. 2, pp. 34-37 (2007)
- (2) 柗健一, 小宮一毅, 小林丈士, 宮島良一, 三上和正:「LED応用製品のEMC評価に関する一考察」, 電子情報通信学会技術報告, pp.57-60(2010)
- (3) CEI/IEC62471, "Photobiological safety of lamps and lamp systems" (2006)
- (4) 岩永敏秀, 中村広隆, 海老澤瑞枝, 山本哲雄:「分光放射輝度実用校正技術の開発」, 東京都立産業技術研究センター研究報告, No. 5, pp. 34-37 (2010)
- (5) JIS Z9125, "屋内作業場の照明基準" (2007)
- (6) JIS C61000-3-2, "電磁両立性-第3-2部: 限度値-高調波電流発生限度値" (2011)
- (7) CISPR15, "電気照明及び類似機器の無線妨害特性の限度値及び測定方法" 国際電気標準会議, 第7版(2005)