

# LEDを用いた快適照明空間を実現するための取組み

Approach for Realization of Comfortable Lighting Environment Using LED Luminaires

小谷 朋子 東 洋邦

■ KOTANI Tomoko

■ HIGASHI Hirokuni

白色発光ダイオード(LED)は、その発光効率向上に伴い、部屋全体の主照明や街路灯などの光源として広く利用されるようになりつつある。しかしLEDは、光源を見たときの輝度や発光面積、分光分布など、既存の光源と異なる点がある。このため、既存の光源を単にLEDに置き換えただけでは、色の見え方や健康への影響、グレアの感じ方などが違う場合がある。

東芝ライテック(株)は、LED照明を使った場合に色の見え方や光の非視覚的作用、グレア、目の疲れなどが既存の光源と異なる点に注目し、LEDを用いた快適な照明空間を実現するための研究開発に取り組んでいる。

With the improvement in luminous efficiency of white light-emitting diodes (LEDs), the use of white LEDs as light sources for indoor and outdoor lighting has shown a considerable increase. However, the performance of white LEDs, including their luminance, area of luminous surface, spectral distribution, and so on, differs from that of existing light sources. Therefore, the mere replacement of existing light sources with white LEDs sometimes causes differences in such aspects as color appearance, health effects, and glare.

Toshiba Lighting & Technology Corporation has been engaged in research and development aimed at realizing a comfortable lighting environment using LED luminaires taking differences in the characteristics of LEDs, including color appearance, non-visual effects, glare, eyestrain, and so on, into consideration.

## 1 まえがき

白色LEDは、その発光効率の向上に伴い、部屋全体の主照明や防犯灯などの光源として用途が広がりつつある。LEDの発光効率は今後も向上し<sup>(1)</sup>、蛍光灯を上回る時期も近いと思われる。現在、省エネに対する取組みが世界規模で行われているが、照明でも同様である。照明に使われる電力は、オフィスビルでは全消費電力の21.3%、住宅では16.1%を占めている<sup>(2)</sup>が、発光効率が高いLEDを照明に使うことで省エネが期待される。

しかし、LEDは、白熱電球や、蛍光灯、HID(高輝度放電)ランプなど既存の光源と比べて、発光部が小さく輝度が非常に高い。また、光源の分光分布や配光などが大きく異なる。このため、光源を単にLEDに置き換えただけでは、色の見え方やグレアなどが変わる場合がある。

東芝ライテック(株)は、LEDが既存の光源と異なる点に注目し、LEDを用いた快適な照明空間を実現するための研究開発に取り組んでいる。ここでは、LED照明を使った場合の色の見え方や光の非視覚的作用、グレア、目の疲れに関する研究の概要と、これらの課題について述べる。

## 2 LED照明の分光分布

### 2.1 色の見え方

白色LEDの中で、発光効率が高いという理由から、青色

LEDと黄色蛍光体を組み合わせて白色光を作る方式が現在の主流となっている。しかしこのタイプの白色LEDは、特に赤色の成分が不足している。

光源の分光分布は、光色や照らされた物の色の見え方に影響を及ぼす。当社は、光源の演色性が空間の明るさや目だち感に及ぼす影響を研究し<sup>(3)</sup>、青色LEDと黄色蛍光体を組み合わせた白色LEDにRGB(赤、緑、青)の適切な分光分布を加えることで、快適で明るさ感が高い照明空間を実現できる可能性を見いだしている<sup>(4)</sup>。

なお、演色性に関する国際的な動向として、CIE(国際照明委員会)の技術委員会TC1-69“Colour Rendering of White Light Sources(白色光源の演色特性)”では、演色性を評価する指標を現在のRa(平均演色評価数)から別の指標に置き換えることが検討されており、注目されている。

### 2.2 光の非視覚的作用

光は視覚的な作用だけでなく、目に見えない影響を人体に及ぼすので、光と健康に関する研究が世界各国で進められている<sup>(5)</sup>。

例えば、光はメラトニンというホルモンの分泌に影響を及ぼすと言われている。メラトニンは脳の松果体から分泌され、抗酸化作用や睡眠に関連すると考えられているが、メラトニンの分泌を抑制するアクションスペクトルは460nm付近にピークを持つという研究結果がある<sup>(6)</sup>。青色LEDと黄色蛍光体を組み合わせたタイプの白色LEDはちょうど460nm付近にピークを持つものが多いことから生体への影響が懸念されるが、まだ研究が少なく、これからの課題である。

### 3 LED照明のグレア

グレアとは、視野内の輝度の分布や値が不適切であったり、極端なコントラストがあったりすることによって、不快に感じる、あるいは細かい物や対象物を見る能力が低下する視覚の状態を指す。照明空間を設計する際に通常配慮するグレアの種類を表1に示す<sup>(7)</sup>。

グレアへの対応方法は、屋内や屋外などの条件によって異なり、具体的にはJIS(日本工業規格)に規定されている<sup>(8),(9)</sup>。ここでは、屋内照明に焦点を当て、グレアに対するLED照明の課題や現状の対策、今後の対策案について述べる。

グレアの種類	内容
不快グレア	物の見え方は損なわないグレア。不快感を引き起こすが、視覚能力の目立った減退には結び付くとは考えられないグレア。
反射グレア	(光源など、輝度が高い物体の)反射像が、特に視対象と同じ方向であることによって生じるグレア。
減能グレア	物の見え方は損なうが、必ずしも不快感を生じないグレア。結果として視覚能力は減退するが、不快感に結び付くとは限らないグレア。

#### 3.1 課題

- (1) 輝度 光源の配光形状が同じであれば、輝度は光束に比例し、発光面積に反比例する。LEDは発光面積が小さいため、輝度が高くなる。一方、光源の輝度が高いほどグレアを生じやすくなる。したがって、配光制御などをせずにLEDを照明器具に使うと、直接視界に入ると、グレア源になってしまう。また、拡散制御などをせずに照明器具に使うと、光源の正面にある物体への映り込み輝度も高くなるので、間接光もグレア源になってしまう可能性が高い。
- (2) 評価方法 不快グレアの指標であるUGR(統一グレア指標)は式(1)で求められる<sup>(8)</sup>。

$$UGR = 8 \log \left( \frac{0.25}{L_b} \times \sum \frac{L^2 \times \omega}{P^2} \right) \quad (1)$$

- $L_b$ : 背景輝度 (cd/m<sup>2</sup>)
- $L$ : 観測者の目の方向に対する照明器具の発光部の輝度 (cd/m<sup>2</sup>)
- $\omega$ : 観測者の目の方向に対する照明器具の発光部の立体角 (sr:ステラジアン)
- $P$ : 照明器具の視線からの隔たりに関する位置指数 (光源の位置によってまぶしさを感じる度合いが異なる)

一つのLEDの光束は少ないので、一般にLED照明器具では複数のLEDを組み合わせて光束を多くしている。

表2. UGRとグレアの程度との関係

Relationship between unified glare rating (UGR) and glare discomfort level

UGR	グレアの程度
28	ひど過ぎると感じ始める
25	不快である
22	不快であると感じ始める
19	気になる
16	気になり始める
13	感じられる

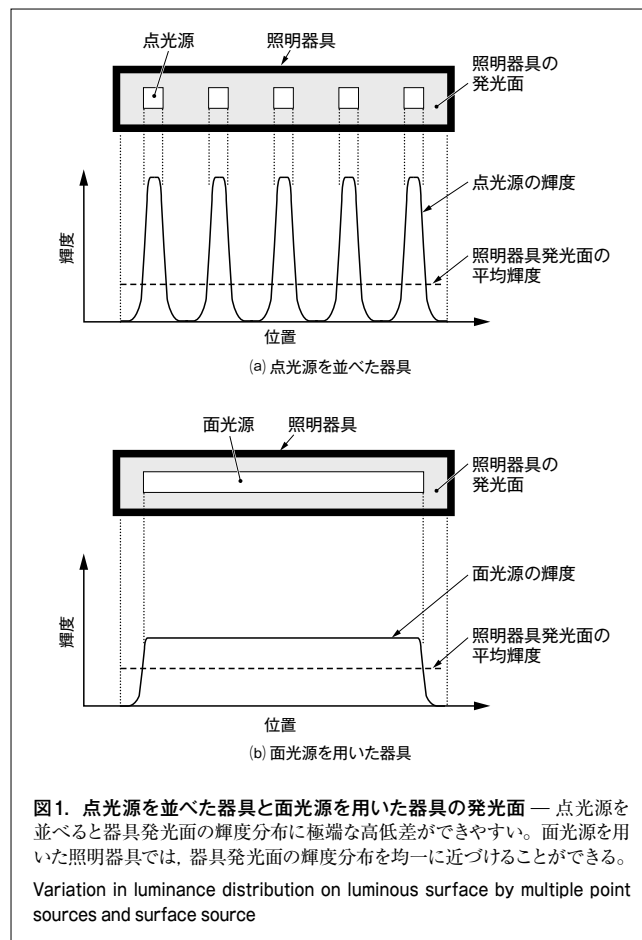


図1. 点光源を並べた器具と面光源を用いた器具の発光面 — 点光源を並べると器具発光面の輝度分布に極端な高低差ができてしまう。面光源を用いた照明器具では、器具発光面の輝度分布を均一に近づけることができる。  
Variation in luminance distribution on luminous surface by multiple point sources and surface source

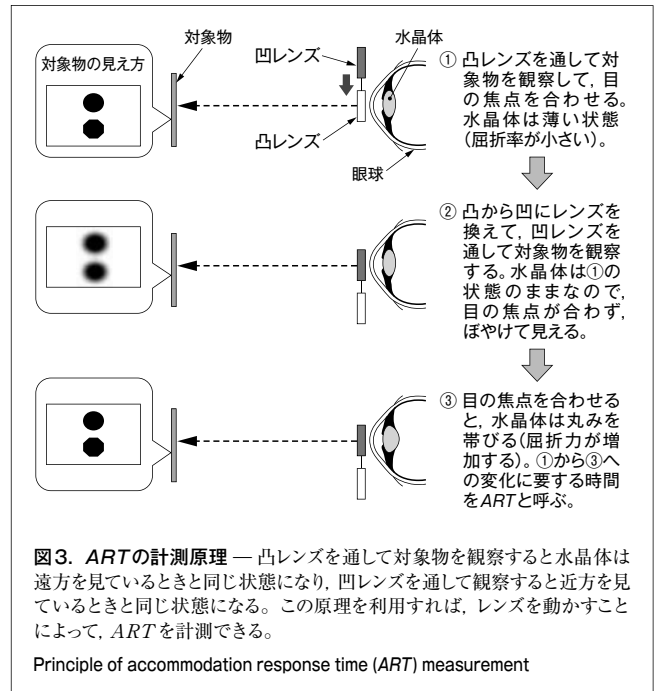
そのため、拡散制御などをせずに単にLEDを並べると、面光源を用いた場合と異なり、器具発光面の輝度分布に極端な高低差ができてしまう(図1)。

器具発光面の輝度には、通常は発光面の平均値を使う。このため、器具発光面に配置されるLEDの配光や間隔などによっては、計算したUGRから予測される不快グレアの程度(表2)<sup>(8)</sup>と実際に感じる不快グレアの程度に乖離(かいり)が生じてしまう可能性がある。

#### 3.2 現在の対策と今後の対策案

前節で述べた課題に対する現在の対策と今後の対策案を次に示す。

- (1) 輝度 現在製品化されているLED照明器具は、配光制御や拡散技術などを適用して、グレアが生じにくくなるように設計されている。今後、LEDは、今よりも発光効率が高まり、高輝度になると予測される。高輝度化したLEDを用いてもグレアが生じにくい照明空間にするには、現状の対策技術のブラッシュアップのほか、作業者の視線に考慮した配光技術や、点光源を面光源に効率良く変換する拡散技術などの開発が求められる。
- (2) 評価方法 LED照明の不快グレアは既存の指標で評価しているのが現状である。現在のところ、器具発光面の輝度分布に高低差があるLED照明器具を評価する場合、既存の指標で評価してもよいか、補正すべきか、新規指標を開発すべきか、明確な結論はまだ出ていない。また、間接光によるグレアや反射グレアに対しても適切に評価できる指標の開発が必要になると考えられる。

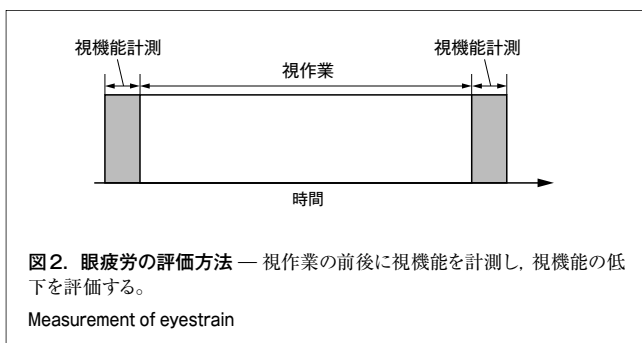


## 4 LED照明の眼疲労

厚生労働省が2008年に実施した“技術革新と労働に関する実態調査”によると、業務としてのVDT (Visual Display Terminal) 作業でもっとも疲れる身体の部位は目となっている<sup>10)</sup>。この原因がすべて照明にあるわけではないが、作業にとってより良い環境を設計するためには、目の疲れと照明の関係を明らかにすることが重要になる。ここでは、立命館大学 篠田研究室と共同で行っている照明と眼疲労<sup>(注1) 11)</sup>に関する研究の一部を紹介し、LED照明に対する眼疲労研究の現状と課題について述べる。

### 4.1 眼疲労の評価方法

眼疲労は読みなどの視作業によって起こる。眼疲労として低下する視機能は多数あるが、この研究では、目の焦点の調節に要する時間であるART (Accommodation Response Time) を指標としている。ARTは眼疲労が起ると増加するので、視作業の前後のARTを計測して比較することで眼疲労を評価する実験を行った(図2)。実験では、照明条件の影響だけ



(注1) 休息によって回復する視機能の低下。

を評価するため、視作業対象物の照明条件だけを変えた。

焦点は、眼球内の水晶体の屈折力の変化によって調節される。水晶体の屈折力は、遠方の対象物に焦点を合わせるときは減少し、近方に焦点を合わせるときは増加する。ARTは、遠方から近方、又は近方から遠方に焦点を変えるのに必要な時間なので、ここでは凹凸レンズを用いて水晶体の屈折力を変化させて計測した。計測の原理を図3に示す。凸レンズを通して対象物を観察すると水晶体の屈折力は遠方に焦点を合わせたときと同じ状態になる。一方、凹レンズを通して観察すると水晶体の屈折力は近方に焦点を合わせたときと同じ状態になる。実験ではこの原理を利用し、凹から凸、又は凸から凹にレンズを換え、近方から遠方、遠方から近方に焦点を移動させたときの時間を計測する。焦点が合ったかどうかの判断は被験者が行う。ここでは、遠方から近方に焦点を合わせる時間を近方ART、近方から遠方に焦点を合わせる時間を遠方ARTと呼ぶ。

### 4.2 点灯方式と相関色温度が眼疲労に与える影響

前節で述べた方法を用いて、光源の点灯方式と相関色温度が眼疲労に与える影響について評価した<sup>12)</sup>。実験条件を表3に、結果を図4に示す。

図4の縦軸 $\Delta$ ARTは、視作業後の近方ARTから視作業前の近方ARTを引いた値である。疲労の程度には個人差があるが、直流点灯(2)よりも商用周波数点灯(1)のほうが、相関色温度3,000 K(3)よりも5,000 K(4)のほうがARTの増加量が大きい傾向にある。また、点灯方式と相関色温度が近い条件である直流点灯の白熱電球(2)と高周波点灯の3,000 Kの蛍光灯(3)を比較すると、白熱電球に比べ蛍

表3. 実験条件

Lighting conditions of experiments

項目	内容			
条件番号	①	②	③	④
種類	白熱電球 3波長型蛍光ランプ			
点灯方式	商用周波数	直流	高周波	
相関色温度 (K)	2,800		3,000	5,000
Ra	100		84	
光源				
分光特性 (イメージ)				
作業条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>視作業対象物は白黒の印刷物</li> <li>目と印刷物までの距離は400 mm</li> <li>視作業面照度は100 lx</li> <li>印刷物からの反射グレアなし</li> <li>光源は被験者から見えない位置に配置</li> <li>視作業時間は15 min</li> <li>被験者は、A (30歳), B (22歳), C (21歳), D (27歳) の4名</li> </ul>			
ART計測	<ul style="list-style-type: none"> <li>近方ARTと遠方ARTを各15回ずつ計測し、分析には近方ARTの平均値を用いる</li> <li>計測は右目で行う</li> </ul>			
実験回数	3回			

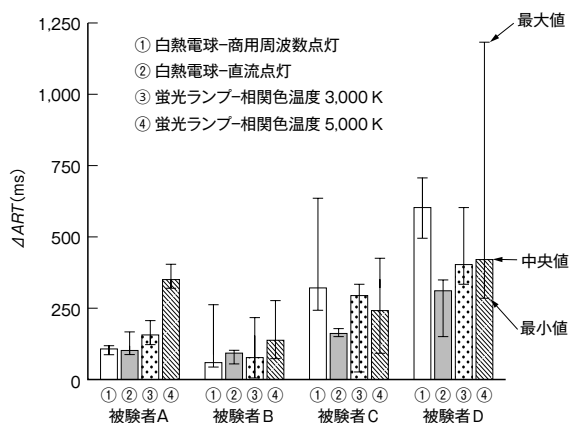


図4. 光源の点灯方式と相関色温度が眼疲労に与える影響 — 眼疲労は、照明の点灯方式や光源の分光分布に影響を受ける。

Effects of lighting methods and correlated color temperatures on eyestrain

光ランプのほうが眼疲労がわずかに大きい傾向にある。この実験から、眼疲労は、点灯方式や分光特性に影響を受けると考えられる。

### 4.3 今後の課題

今後、LED照明が主流になれば、点光源を用いた照明器具が多くなり、白色光の分光分布が変わるので、作業者は今までとは違う空間で視作業を行うことになる。前節で述べたように光源の特性によって眼疲労の度合いが異なることから、眼疲労に影響を与えるLED照明特有の要素を明らかにすることが必要になる。そして、その知見をLED照明の製品や設計指針

にフィードバックすることが重要になる。

また、グレアや、視対象物が見えにくいなどの印象は、その環境にいれば比較的すぐ感じることができる。しかし、眼疲労は感じるまでに比較的時間がかかる。そのため、眼疲労に影響を与える照明の要素を瞬時に判断するのは難しい。今後は、短時間で眼疲労を計測する方法の開発が必要になる<sup>(13), (14)</sup>。

## 5 あとがき

ここでは、LEDと既存の光源の相違点に注目し、国際的な研究動向、及び当社の取組みを述べた。当社は、視覚や光環境の研究から得られた知見を照明器具や空間の照明設計に生かし、LED照明を用いた快適な空間を実現していく。

## 文献

- LED推進協議会. LEADS Technical Report Vol.2. 東京, LED推進協議会, 2008, 9p.
- 日本照明器具工業会. 照明器具リニューアルのすすめ. 東京, 日本照明器具工業会, 2009, 16p.
- 淵田隆義. ほか. 3波長帯形けい光ランプの照明効果. 照明学会誌. 65, 10, 1981, p.526 - 533.
- 小谷朋子. 色の見え方を考慮したLED照明の分光分布. 東芝レビュー. 65, 4, 2010, p.68 - 71.
- CIE. OCULAR LIGHTING EFFECTS ON HUMAN PHYSIOLOGY AND BEHAVIOUR. Austria, CIE. Pub.158:2009 including Erratum 1. 2009, 56p.
- Brainard, G. C., et al. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor. Journal of Neuroscience. 21, 16, 2001, p.6405 - 6412.
- JIS Z 8113:1998. 照明用語.
- JIS Z 9125:2007. 屋内作業場の照明基準.
- JIS Z 9126:2010. 屋外作業場の照明基準.
- 厚生労働省. 報道発表資料 “平成20年技術革新と労働に関する実態調査結果の概況—結果の概要”. 厚生労働省ホームページ. <<http://www.mhlw.go.jp/toukei/itiran/roudou/saigai/anzen/08/02.html#2>>, (参照2010-03-08).
- 照明学会. 光放射の人間に対する生理的影響の評価に関する研究委員会報告書. 東京, 照明学会, 2002, 88p.
- 東 洋邦, ほか. “眼疲労と光源の種類との関係 (1)”. 平成20年度照明学会全国大会論文集. 東京, 2008-08, 照明学会. p.165.
- 東 洋邦, ほか. “短時間で眼疲労を評価する方法の検討”. 平成21年度照明学会全国大会論文集. 札幌, 2009-08, 照明学会. p.164.
- 山口秀樹, ほか. 照明光源の違いが眼疲労に与える影響—負荷時間と焦点調節応答時間の関係—. VISION. 22, 1, 2010, p.96.



小谷 朋子 KOTANI Tomoko

東芝ライテック(株) 技術本部 研究開発センター主務。  
光環境の設計・評価技術の研究に従事。照明学会専門会員,  
日本照明委員会理事。  
Toshiba Lighting & Technology Corp.



東 洋邦 HIGASHI Hirokuni

東芝ライテック(株) 技術本部 研究開発センター。  
光環境の設計・評価技術の研究に従事。照明学会会員。  
Toshiba Lighting & Technology Corp.