

# 促進耐候(光)性試験の歴史と発展(35) 前号より続く(最終号)

## 8.1 LED光源の耐光性試験機

LEDは新しい照明光として開発され、省エネを最大の利点とし、表68のように他の照明と比較して優れた点が多い。特に小型、長寿命で廃棄物の削減などによる環境への負荷が少ない、RoHS規制※有害物を含まず、蛍光灯のように水銀を含んでいない新しい照明光源としてLEDは今後さらに多く使用される時代になってきている。この流れの中で、LED光源による色の見え方や使用方法、また促進耐光性試験も重要になってきた。ISO18937 Imaging materials – Methods for measuring indoor light stability of photographic prints では、Part3:LED Illumination でLEDに対する促進耐光性を検討している。このISO化の動きの中で、(公財)スガウエザンング技術振興財団ではLED耐候劣化分科会を設け、LED光源の基礎データの収集や写真画像出力紙を中心に各種LED

光源による耐光性試験を実施している。今後LED光源が多く使用されるにつれて、LED光源に対する促進耐光性試験は、写真画像はもとより、衣服を初めとする日常品についても極めて重要である。また美術品等の照明に対しても、見え方を含めLED光源の影響を検討する必要がある。

※RoHS規制: **Restriction of Hazardous Substances**(危険物質に関する制限)電子・電気機器における特定有害物質の使用制限についての欧州連合による指令。日本語では、「電気・電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限に関する欧州議会及び理事会指令。2019年RoHS2に改定されている。規制物質は1.鉛、2.水銀、3.六価クロム、4.カドミウム、5.ポリ臭化ジフェニール(PBB)、6.ポリ臭化ジフェニルエーテル(PBDE)、7.フタル酸ジ-2-エチルヘキシル(DEHP)、8.フタル酸ブチルベンジル(BBP)、9.フタル酸ジ-n-ブチル(DBP)、10.フタル酸ジイソブチルの10品種。

表68 各種光源の比較

項目	LED	蛍光灯	白熱電球	HID
形状	点光源 コンパクト	線光源・点光源に近いもの 大きい・コンパクト	点光源で光の制御が容易 コンパクト	線光源・点光源に近いもの 大きい・コンパクト
RoHS規制 (安全性・衝撃性)	適合 (ガラス・水銀を使用しないため)	破損の可能性あり(水銀使用)	破損の可能性あり	破損の可能性あり(水銀使用)
光色	多種	多種	少種(温かみがある色)	少種
演色性	一般に低い	高く、色を重視する場所に適する	高く、色を重視する場所に適する	一般に低い
応答性	すぐつく	すぐつくものが多い	すぐつく	光が安定するまで時間がかかる
点灯回数	点滅に強く、on/offが頻繁な場所に適する	点滅に弱く、on/offが頻繁な場所には適さない	点滅に強く、on/offが頻繁な場所に適する	点滅に弱く、on/offが頻繁な場所には適さない
周囲低温時点灯・再点灯	低温時でも瞬時点灯する	低温時には、明るくなるまで時間がかかる	低温時でも瞬時点灯する	始動、再点灯に時間がかかる
発熱	少ない(赤外線線や紫外線をはほとんど含まない)	少ない	多い	多い
調光	可能	可能	可能	可能
ちらつき	ない	あり	ちらつきがない	ちらつき可能性がある
寿命	非常に長い(20,000~80,000時間)	長い(12,000時間)	短い(1,000時間)	長い(12,000時間)
発光効率	高い(110lm/W)	高い(77.5lm/W)	低い(13.3lm/W)	高い(100lm/W)
電気代	低い	低い	高い	高い
価格	高い	低い	低い	高い
光源の特徴	点光源に近く、つやや立体感の表現に優れている	拡散光で陰ができてにくい	点光源に近く、つやや立体感の表現に優れている	光源が大きく高効率である
	白熱電球に近いイメージ、リードフレームの形状により、方向により明るさが変わる	全体に明るくなり、光の制御もできる。まぶしさは少なく、やわらかな光	陰影がつき、立体感が強調され、つやも適度につく	全体に明るくなり、光の制御もできる。
	広範囲を照らすためには、大量のLEDが必要	光源の輝度が低い	大容量のものがなく、広範囲や遠方を照らすには不向き	大容量化が可能で、広範囲や遠方を照らす場所に向く。非住宅、屋外に適する

表 69 国際単位系の基本単位

基本量 名称 単位	詳細
長さ メートル(m)	1秒の299792458分の1の時間に光が真空中を伝わる工程の長さ
質量 キログラム(kg)	光に関する物理定数「プランク定数」を基準 (従来は、国際キログラム原器)
時間 秒(s)	セシウム133の原子の基底状態の2つの超微細構造準位の間の遷移に対応する放射の周期の 9192631770倍の継続時間
電流 アンペア(A)	電子が運ぶ電気の量「電気素量」を基準 (従来は、真空中に1mの間隔で平行に配置された無限に小さい円形断面積を有する無限に長い2本の直線状導体の それぞれを流れ、これらの導体の長さ1mにつき、 $2 \times 10^{-7}$ ニュートンの力を及ぼし合う一定の電流)
熱力学温度 ケルビン(K)	温度とエネルギーに関する物理定数「ボルツマン定数」を基準 (従来は、水の3重点の熱力学の1/273.16)
物質質量 モル(mol)	物質を構成する原子や分子の個数に関する「アボガドロ定数」を基準 (従来は、0.012キログラムの炭素12の中に存在する原子の数に等しい数の数要素粒子を含む系の物質質量)
光 カンデラ(cd)	周波数540[THz]の単色放射を放出し、所定の方向におけるその放射強度が 1/683 [W/sr]である光源のその方向における光度

### 9. 放射照度と照度

放射照度と照度は、同じような言葉でありながら混同されがちな用語である。これらの用語は、国際単位系から導かれる。国際単位系(International System of Units)には7つの基本単位が定められている。これらの基本量・名称・単位・詳細を表69に示す。

「放射照度(放射量)」とは、光エネルギーに対して、上記基本単位の内、長さ・質量・時間の単位を組み合わせた量で、JIS Z 8113(照明用語)では「放射を受ける面の単位面積当たりに入射する放射束(irradiance)」で、量記号:  $E_e$ 、 $E$  と表し、その単位は  $W \cdot m^{-2}$  である。問題とする点を含む微小面の面積を  $dA$ 、この微小面に入射する放射束を  $d\Phi_e$  とするとき、 $E_e = d\Phi_e/dA$  で与えられる。また、問題とする点の放射輝度との関係は次式で与えられる。

$$E_e = \int_{2\pi sr} L_e(\theta, \varphi) \cdot \cos\theta \cdot d\Omega$$

※ここで  $L_e(\theta, \varphi)$ : 天頂角  $\theta$ 、方位角  $\varphi$  の方向からその点に入射する放射輝度、 $d\Omega$  は立体角要素

「照度(測光量)」は上記基本単位の内、光の単位から導かれる量で、人間の視覚に対して与える影響を波長に対する重みづけ(分光視感効率)として加えたもので、JIS Z 8113 照明用語では「放射を受ける単位面積当たりに入射する光束

(illuminance)』で量記号  $E_v$ 、 $E$  と表し、その単位は  $lx(lm \cdot m^{-2})$  である。同様に、

$$E_v = d\Phi_v/dA = \int_{2\pi sr} L_v(\theta, \varphi) \cdot \cos\theta \cdot d\Omega \quad \text{となる。}$$

※ここで  $L_v(\theta, \varphi)$ : 天頂角  $\theta$ 、方位角  $\varphi$  の方向からその点に入射する輝度、 $d\Omega$  は立体角要素

図160に放射照度・照度の概念図を、図161に分光視感効率のグラフを示す。

測光量は、放射量に対して光放射(可視領域の放射)が人間の視覚に与える影響を重みづけした量として表されるものであり、放射量の分光密度(微小波長幅に含まれる放射量をその波長幅で割ったもの)に分光視感効率:  $V(\lambda)$  をかけて、可視領域(360nm~830nm)の波長範囲について積分したものである。分光視感効率:  $V(\lambda)$  は、可視放射が人間の目に入ったときに感じる明るさの知覚の度合いを示す尺度で、CIE(Commission Internationale de l'Éclairage: 国際照明委員会)によって1924年に採用され1972年国際度量衡総会において勧告されたものである。555nmの単色放射に対して感じる明るさを1として正規化した時の、その他の波長で感じる同じ放射強度の明るさの比、という形で表されている。光放射に対する人間の感じる「明るさ」を与えるための分光視感

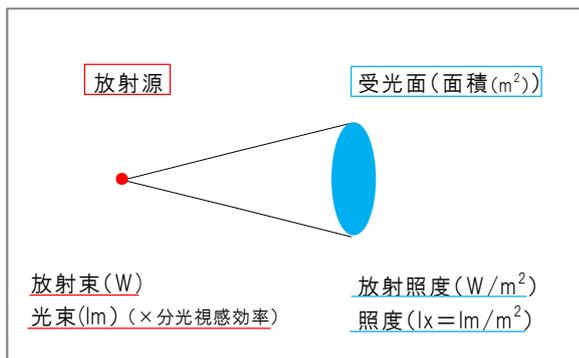


図 160 放射照度・照度の概念図

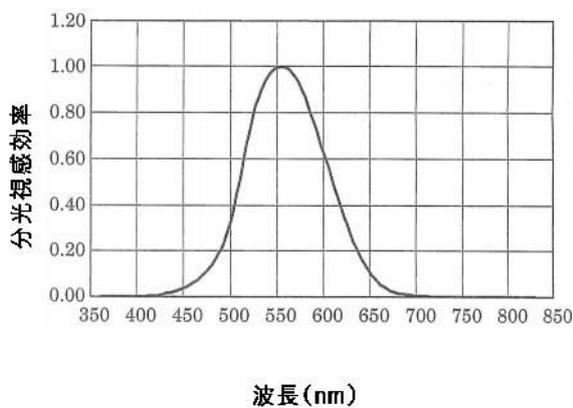


図 161 分光視感効率

効率:  $V(\lambda)$  に基づいた測定を総称して「測光(photometry)」という。

光放射エネルギーに対して時間的・空間的な量を組み合わせることにより構築される量を「放射量」といい、光放射に関する諸量(放射量)について、物理的に放射を測ることを、総称して「放射測定(radiometry)」という。光放射が人間の視覚に対して与える影響を波長に対する重みづけ(分光視感効率)として加えたものを「測光量」という。

照度の単位の「lx」はすべての方向に対して、1cd の光度を持つ点光源が 1sr の立体角内に放出する光束が 1m<sup>2</sup> の面を照らすときの照度であり、1 カンデラはラテン語でろうそくを意味する言葉で、一般的なるろうそく 1 本の明るさとほぼ同じである。カンデラの定義は 1979 年に改訂され、「1 カンデラ(cd)」は、周波数 540×10<sup>12</sup>Hz(波長 555nm)の単色放射を放出し、所定の方向におけるその放射照度が 1/ 683W/ sr である光源の、その方向における光度である。一般的には、ある放射量:  $X_e$  の分光密度を  $X_{e\lambda}$  としたとき、対応する測光量:  $X_v$  は

$$X_v = K_m \cdot \int_{360}^{830} X_{e\lambda}(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad \text{で表される。}$$

ここに、比例定数:  $K_m$  は最大視感効果度と呼ばれる量で、 $V(\lambda) = 1$  となる波長( $\lambda = 555\text{nm}$ )において測光量と放射量を関係づける値であり、 $K_m = 683 \text{ [lm/W]}$  と規定されている。従来の JIS C 1609(照度計)は計量法の見直しに伴い、照度計が視覚的な光出力(明るさ)の定量評価をするための唯一の JIS 制定計測器であるため、ますます多様化する一般照明光源への測定精度を確保するように、第 1 部: 一般計量器及び第 2 部: 特定計量器として 2006 年に制定された。

自然環境での照度は、晴天の日向で約 100,000lx、日陰で 10,000lx、屋内の北窓の元で 1,000~2,000lx、満月の夜で 0.24lx といわれているが、促進耐候試験機の照度は、どれ位であろうか？

サンシャインウェザーメーターの試験片面で約 35,000lx、紫外線フェードメーターの試験片面で約 27,600lx といわれている。キセノンウェザーメーターの試験片面の照度は、用いているインナーフィルタ・アウターフィルタ及びキセノンランプの放電電力によっても異なるが、フィルタ条件: 石英/ #275 スーパーキセノンウェザーメーターの場合、紫外部の放射照度が 60W/m<sup>2</sup> で約 100,000lx、180W/m<sup>2</sup> で約 300,000lx である。キセノンウェザーメーターの場合、放電電力により放射照度分布が変化しないので、放射照度(W/m<sup>2</sup>)と照度(lx)は比例している。図 162 にスーパーキセノンウェザーメーターの照度と紫外部放射照度の相関図を示す。

製品・材料の品質の向上に伴い、促進耐候性試験機の試料面の放射照度を大きくして促進効率を上げ、試験時間の短縮を図ることは以前から行われてきた。最も簡単な方法は、光源と試験片との距離を短くすることである。サンシャインウェザーメーターでは、光源—試料面間の距離を 324mm にして、試料面放射照度を約 2 倍にした強エネルギーサンシャインウェザーメーターが用いられた。時代の流れとともに、促進耐候性試験機の光源に放電ランプを使用する傾向に世界的に進んだが、光源にキセノンアークランプを用いた試験機においては、日中の太陽光と同程度の 100,000lx に相当する紫外部の放射照度 60W/m<sup>2</sup> の試験では、試験時間がかかりすぎる

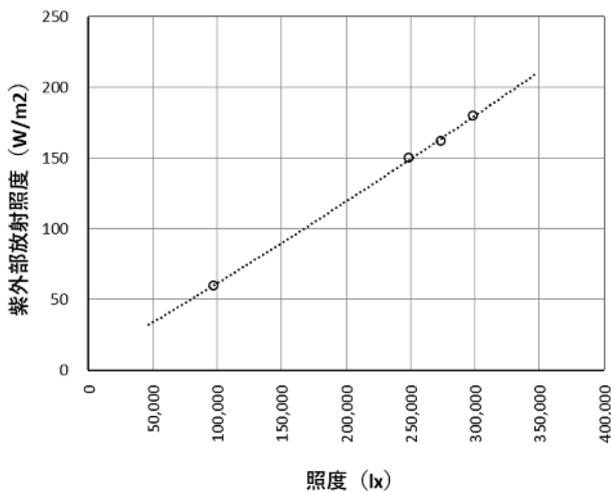


図 162 照度と紫外外部放射照度の相関  
(スーパーキセノンウェザーメーター)

点が問題であった。このため、キセノンアークランプを用いて太陽光の3倍まで放射照度を上げ、試料面紫外外部放射照度を180W/m<sup>2</sup>で行う促進耐候性試験機が開発され、自動車業界や自動車技術会の規格委員会が中心になって試験法が考案され、様々な試験を行った。

他の光源では、放電電力を変えると分光放射照度分布が変化してしまうが、キセノンアークランプ光源の分光放射照度分布は、本講座(17)でも記載したように、放電電力を変えても変化しないため、放射照度を自由に変えることが可能である点が大きな長所であった。各種の試験片を用いた結果は、他の促進耐候性試験機の光源に比して遜色ない結果が得られ、試験時間の短縮に大いに貢献できることが証明された。

## 10. おわりに

本連載ではこれまで35回にわたって促進耐候(光)性試験の歴史とその発展について解説してきた。研究開発の更なるスピードアップが求められる昨今、促進耐候(光)性試験の分野においては、何時間の試験が屋外何年相当、あるいは促進倍率の高い試験とは何か、といった見方が優先されがちであるが、現状の試験がどのような要因を基に作られ、懸念され、どのようにして出来上がったかなどを理解している技術者は多くない。本連載により、促進耐候(光)性試験への理解を深めることと共に、試験に対する考え方や研究開発を考えるきっかけとなれば幸いである。

### 【参考文献】

- (1) JIS C 1609-1 第1部: 一般計量器(照度計)
- (2) JIS C 1609-2 第2部: 特定計量器(照度計)
- (3) 測光量(cd)及び測光・測光標準について 座間達也  
産業技術総合研究所
- (4) 国際単位系 産業技術総合研究所
- (5) ISO 18937 Imaging materials — Photographic reflection prints — Methods for measuring indoor light stability
- (6) 照明ハンドブック 照明学会編
- (7) RoHS 規制(電気・電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限に関する欧州議会及び理事会指令)