

分光全放射束標準光源の校正

後藤 竜也 (日本電気計器検定所 標準部)

1. はじめに

LED 照明などの固体素子照明 (Solid State Lighting 以下、SSL という) の性能評価における重要な指標として、全光束 (lm) や発光効率 (lm/W) あるいは演色性が挙げられる。SSL は、従来のタングステンランプである白熱電球とは異なる分光分布を持つため、その性能評価を正確に行うには、トレーサビリティのとれた分光分布を持ち、かつ、測定に適した構造の標準器があることが望ましい。国内では、国立研究開発法人産業技術総合研究所 (以下、産総研という) において SSL の評価に適した標準光源 (分光全放射束標準光源) の研究¹⁾が行われ、2018 年 12 月には、特定標準器による校正業務が開始されている。

そこで、当所では、産総研で校正を受けトレーサビリティが確保された分光全放射束標準光源を基にして、被校正光源である同型の光源への校正業務を実施するために、不確かさ評価等に取り組んできた。ここでは、その概要を報告する。

2. 分光全放射束のトレーサビリティ

図 1 に分光全放射束のトレーサビリティを示す。

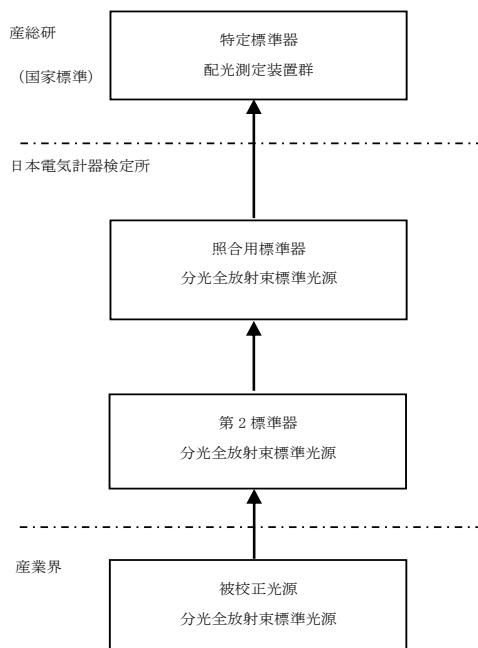


図 1 分光全放射束のトレーサビリティ

3. 装置

3.1 標準器と被校正光源

標準器及び被校正光源ともに、専用の E11/E26 変換ソケットを付属したフェニックス電機株式会社製のハロゲン電球 (JD24V150WE11) に限定している。このソケットは、この光源を積分球に取り付けた際に、フィラメント高さ位置を全光束標準電球 (東芝製 100 V 200 W 型) のフィラメント高さ位置と同じにするためのものである。また、全光束標準電球と同じ大きさの口金に変換されるため、扱いやすい構造となっている。図 2 に、ハロゲン電球を E11/E26 変換ソケットに取り付けた状態を示す。



図 2 光源を E11/E26 変換ソケットに取り付けた状態

3.2 測定装置

測定は、分光式球形光束計 (積分球と分光器の組み合わせ) により行う。当所の分光式球形光束計の測定系の概要を図 3 に、外観を図 4 に示す。積分球の内径は 1.65 m、分光器はモノクロメータを使用している。モノクロメータの検出器は光電子増倍管 (以下、PMT という) である。他には、自己吸収補正係数測定用光源と、電流を通電及び測定するための電気系の装置を使用する。

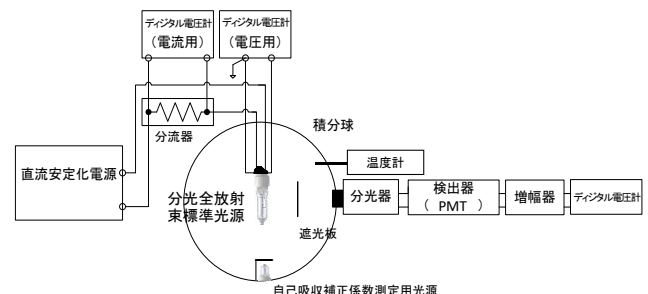


図 3 測定系の概要



図4 測定装置の外観

4. 標準器等の性能評価

標準器となる光源の性能評価は、計量法校正事業者登録制度（以下、JCSS という）の技術的要求事項適用指針（光）^②（以下、適用指針という）における、特定二次標準器及びワーキングスタンダードの具備条件を基に行った。一方、測定装置の性能評価は、JIS Z 8724^③における評価項目に加え、PMT の疲労特性^④の評価を実施した。

ここでは、光源の評価結果として再現性と働程特性を、測定装置の評価結果として疲労特性を報告する。

4.1 再現性

適用指針で再現性は、「指定された電流で2回点灯した際に、各々の点灯で得られた分光全放射束値の変化が、400 nm 以下の波長点では1回目の値の1.0%、それ以上の波長点では0.5%を超えないこと」とされている。図5に3つの標準器について行った測定結果を示す。何れの個体でも具備条件を満足することが確認できた。

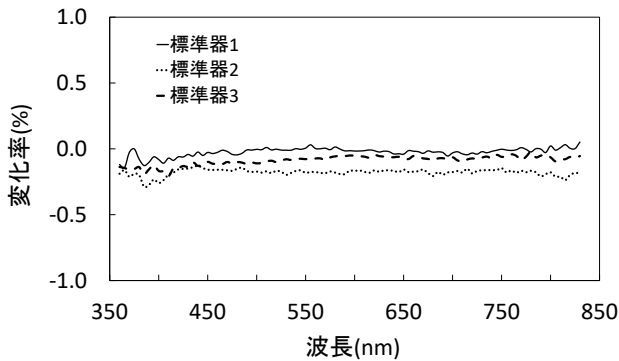


図5 再現性の測定結果

4.2 働程特性

働程特性は、「指定された電流で点灯を行い、点灯時間が

10 時間経過したときの分光全放射束値の変化（事前の値を基準とする）が、400 nm 以下の波長点では1.0%、それ以上の波長点では0.5%を超えないこと」とされている。図6に3つの標準器について行った測定結果を示す。個体差はあるものの、何れの個体でも具備条件を満足することが確認できた。

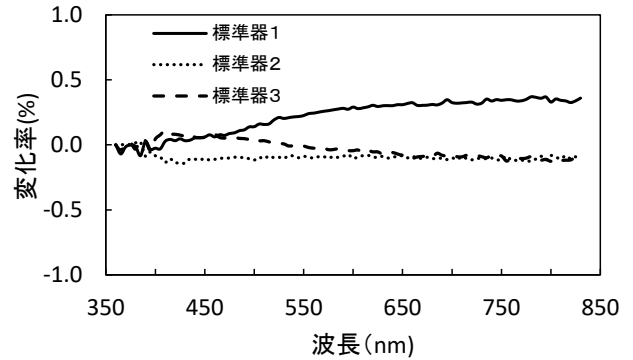
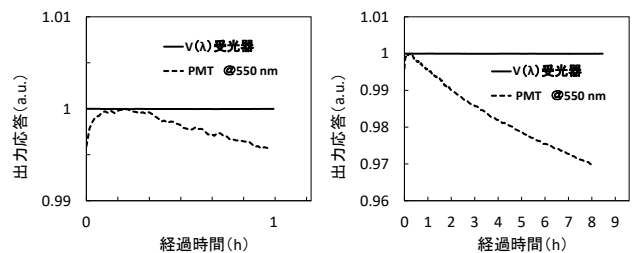


図6 働程特性の測定結果

4.3 疲労特性

疲労特性とは、一定の強さの入射を継続的に検出器に与えたときの、出力の時間的な変化の状態のことであり、疲労は入射を遮断して放置すれば回復する一過性の現象である。なお、これは、恒久的な経時変化とは区別される。この疲労特性の影響を調べるため、点灯した同一光源を、PMT と V (λ) 受光器とにより測定した。両検出器における応答の時間的な変化のようすを図7に示す。

結果は、V (λ) 受光器の応答が長時間一定であるのに対して、PMT の応答は、測定直後に一旦増加した後は減少の一途をたどり、8 時間を経過したのちも出力応答が一定になることはなかった。この結果より、当所の PMT の疲労特性は毎時 0.4% 程度であることを確認した。



a. 測定開始後のようす b. 長時間のようす

図7 継続した入射における測光器応答の時間的な変化

4.4 疲労特性の回復

疲労特性について、どれくらいの回復時間（遮断時間）を設けることが必要かを調べた。図8aは、5分間照射、5分間遮断を繰り返したときの様子で、bは、それぞれを30分としたときのものである。この実験によれば、5分の回復時間では十分に回復しないが、30分では十分な回復が期待できる

ことが確認できた。つまり、適切に回復させたのちは、同じタイミングで測定すれば、安定した測定値が得られるということである。

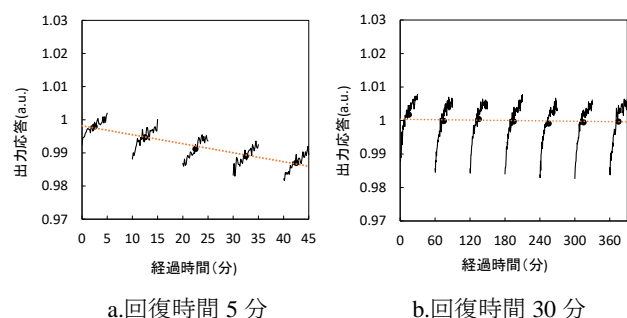


図8 PMT 疲労回復の時間依存性

5. 校正

5.1 校正方法

校正方法は、標準器と被校正光源との比較校正であり、光源の点灯は、電球の定格値（6.25 A）で行う。本校正では、被校正光源に対して、通常 2 本の標準器を使用し、光源を取り替えながら往復測定を行う。また、自己吸収補正係数の算出のための測定も往復測定で行う。往復測定は、測定装置のドリフトの影響を相殺させることを主な目的としたものであるとともに、電球の飛び（光の強さや通電電流が突然遷移すること）が生じていないことの確認にも役立つものである。一方、この測定方法においては、検出器（PMT）の疲労特性が測定結果に影響を与える恐れがあるため、疲労回復の時間を適切に取ったうえで、各電球の点灯、測定を同様な時間間隔で行うこととしている。

5.1 校正の不確かさ要因

不確かさの要因は、適用指針を参考に 15 項目を抽出し、それぞれの要因について、実験で得られた結果や管理基準の数値などを基に評価した。この中で最も不確かさが大きな要因は、標準器の不確かさであり、全体の約 8 割を占める。2 番目に大きい要因は電球の経年変化で、標準器の不確かさの半分程度、さらにその半分程度の大きさで、点灯の繰返し性となっている。これら 3 つが支配的な要因となっている。

5.2 校正範囲と校正の不確かさ

校正範囲は、参照標準と同一波長の 360 nm から 830 nm における 5 nm ごと 95 点の分光全放射束である。分光全放射束の単位は、 $W\ nm^{-1}$ である。校正の不確かさは、厳密には波長ごとに異なるが、報告する不確かさは、参照標準の不確かさの区分と同じ、波長 360 nm-400 nm、405 nm-450 nm、455 nm-600 nm、605 nm-830 nm の 4 区分にて報告する。表 1 に、校正範囲と校正測定能力を示す。

表 1 校正範囲と校正測定能力

種類	校正範囲	拡張不確かさ (信頼の水準約 95%)
分光全放射束 標準光源	360 nm -400 nm	7.1 %
	405 nm -450 nm	5.7 %
	455 nm -600 nm	5.0 %
	605 nm -830 nm	5.1 %

6. まとめ

分光全放射束標準光源の測定では、今回検討を行った疲労特性のように、測光器固有の特性にも十分に注意を払う必要があることが分かった。これらを踏まえて、2021 年 4 月より、分光全放射束標準光源の一般校正を開始した。SSL の性能評価の標準の一つとして利用いただけるものと考えている。なお、今後は JCSS 認定の取得を目指している。

参考文献

- (1) 中澤由莉：“分光放射測定に基づく配光特性評価による、全光束および分光全放射束標準の確立と供給に関する調査研究,計測と制御 第 55 巻 第 9 号 pp.822-829 (2016-9)
- (2) 独立行政法人製品評価技術基盤機構：“技術的要求事項適用指針”, JCT21400(第 11 版)
- (3) 日本産業規格：“JIS Z 8724 : 2015 色の測定方法-光源色”
- (4) 社団法人照明学会：“光の計測マニュアル”, pp.42 (2003)

(2021 年 6 月 17 日受付)