

# 分光放射照度標準電球（重水素ランプ）の校正

後藤 竜也 （日本電気計器検定所 標準部）

## 1. はじめに

紫外線とは、一般的に波長が1 nm程度から400 nm程度までの範囲の光線（電磁波）のことを指すもので、その殆どの波長は直接目に見ることができない。紫外線は殺菌などに利用されている反面、生体へ悪影響を及ぼすこともあり、生物学的安全性の観点からも、紫外線の定量的な評価は重要となっている。

この紫外線を発する光源は種々あるが、重水素ランプは、200 nm から400nm程度の波長域（以下、紫外域という）において、タングステンランプやハロゲンランプに比べて強い光を発することができるため、紫外域の標準光源としても用いられているものである。これまで、当所では紫外域を含む光源として、分光放射照度標準電球（ハロゲン電球）の校正は行っていたが、紫外域に特化した重水素ランプの校正は行っていなかった。

そこで今回、国立研究開発法人産業総合技術研究所（以下、産総研という）で校正を受けトレーサビリティが確保された重水素ランプを基にして、同型の重水素ランプへの校正業務を実施することとなった。なお、標準器名としては分光放射照度標準電球と称するが、本稿では、重水素ランプと呼ぶこととする。ここでは、その校正方法と不確かさ要因の評価等の概要を報告する。

## 2. トレーサビリティ

図1に重水素ランプのトレーサビリティ体系を示す。

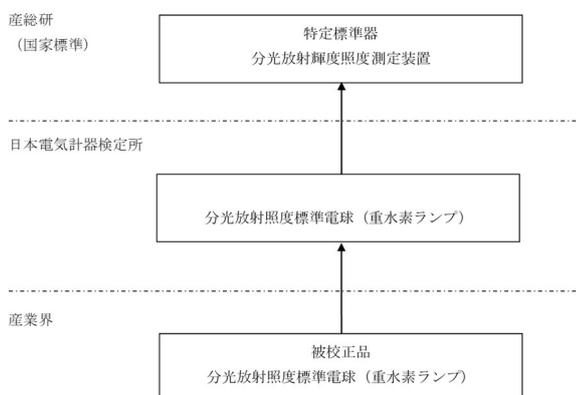


図1 重水素ランプのトレーサビリティ体系

## 3. 装置

### 3.1 標準器と被校正品

現時点では、標準器と被校正品は、常用標準光源として販売されている浜松ホトニクス株式会社製の重水素ランプ（L7820-02形）または相当品に限定している。ランプ本体は、専用のランプハウスに格納され、付属の電源装置により駆動される。図2に重水素ランプの外観を示す。



図2 重水素ランプ（ランプハウスを含む）と駆動電源

### 3.2 校正装置

校正は、分光器をダブルモノクロメータ、検出器を光電子増倍管とした装置で行う。図3に校正装置の外観を示す。

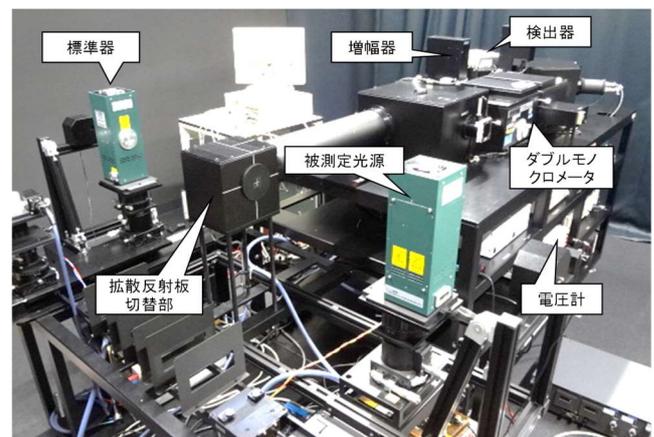


図3 校正装置の外観

## 4. 校正

### 4.1 校正方法

校正は、一つの波長内で標準器と被校正品とを切り替えて光源の放射を測定し、順次波長走査を進めてゆく方式（逐次交互比較走査測定）により行う。光学系としては、正対して置かれた標準器と被校正品との中間にある拡散反射板を切り替えることで、校正装置へ導入する反射対象放射を選択し、それぞれについてダブルモノクロメータにより測定するものである（図 4）。測光距離は、ランプハウス前面から拡散反射板までの距離（50 cm）である。

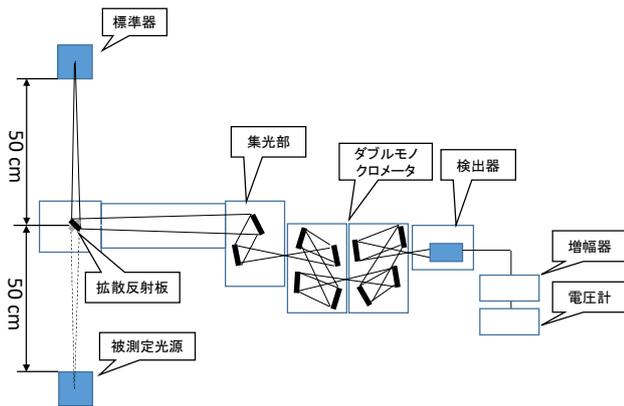


図 4 光学系の概要

### 4.2 校正式

被校正品の分光放射照度  $E_X(\lambda)$  は、標準器と被校正品に対する波長ごとの検出器の応答 ( $I_S(\lambda)$ 、 $I_X(\lambda)$ ) 及び標準器の分光放射照度  $E_S(\lambda)$  から式 (1) により求める。

$$E_X(\lambda) = \frac{I_X(\lambda)}{I_S(\lambda)} E_S(\lambda) \quad (1)$$

## 5. 不確かさ要因の評価

不確かさの要因は、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）<sup>(1)</sup>を参考に抽出し、それぞれの要因について、測定で得られた結果や管理基準の数値などを基に評価している。ここでは、その中で特徴的であると思われる光源の設置ずれによる影響及び経時変化の影響について報告する。

### 5.1 光源の設置ずれによる影響

光源の設置ずれは、測光距離の影響（距離の逆二乗則の適用）、横方向、高さ方向及び水平回転方向の 4 つに分けて評価した。なお、これらの影響は式 (1) に示した、 $I_X(\lambda)$  と  $I_S(\lambda)$  の各々に影響を及ぼすものとして取り扱っている。

#### (1) 測光距離の影響（距離の逆二乗則の適用）

光の逆二乗則とは、式 (2) に示すように、光の強さを  $I$  とする点光源から距離  $d$  だけ離れた点の照度  $E$  の間には、次の関係が成り立つというものである。

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (2)$$

ただし、紫外放射において空気、水蒸気、その他の媒質における吸収や散乱の影響が無視できない場合は、光の逆二乗の法則が単純に適用できないこともあるとされていることから、実機を用いてこの法則が適用できるかを検証した。規定の測光距離に設置したランプの位置を 0.1 % 刻みで、 $\pm 0.3$  % の範囲で変化させたときの検出器の応答の変化を図 5 に示す。結果、実測値は理論値にほぼ一致することから、基準位置（50 cm）の近傍では光の逆二乗則が成立することが確認できた。例えば、測光距離が 0.2 %（1 mm）ずれたときの影響は、光の逆二乗則により 0.4 % と推定される。

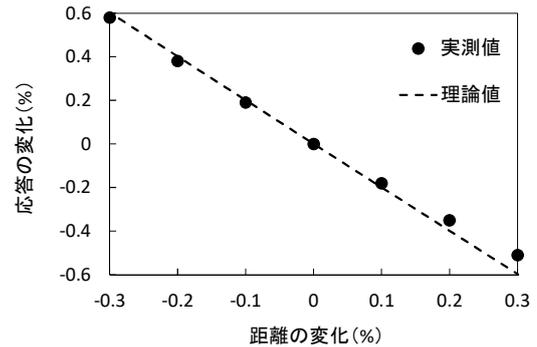


図 5 距離の逆二乗則の確認

#### (2) 横方向の設置ずれによる影響

規定の測光距離に設置したランプの位置を、横方向に 0.5 mm 刻みで  $\pm 1.5$  mm の範囲で化させたときの検出器の応答の変化を図 6 に示す。図中の鎖線は二次関数による近似曲線である。これによれば、1 mm のずれで約 0.2 %、2 mm のずれで約 0.7 % の影響であった。

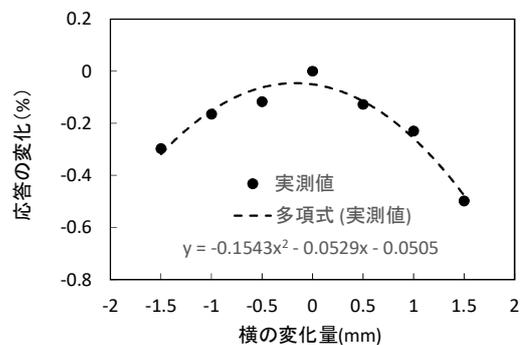


図 6 横方向の影響

#### (3) 高さ方向の設置ずれによる影響

規定の測光距離に設置したランプの位置を、高さ方向に 0.5 mm 刻みで  $\pm 1.5$  mm の範囲で変化させたときの検出器の応答の変化を図 7 に示す。縦軸の符号が正の場合が、光源の中心より上側を観察している状態である。図中の鎖線は近似直線である。規定位置近傍では、応答の変化は直線的であり、その影響は約 0.06 %/mm であった。

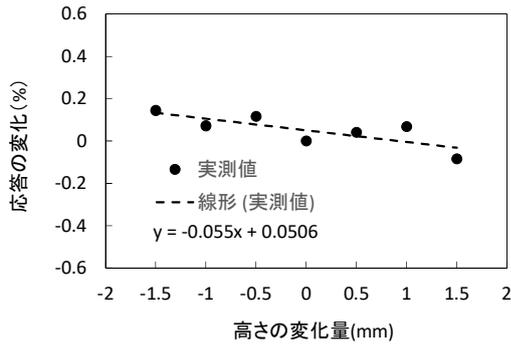


図7 高さ方向の影響

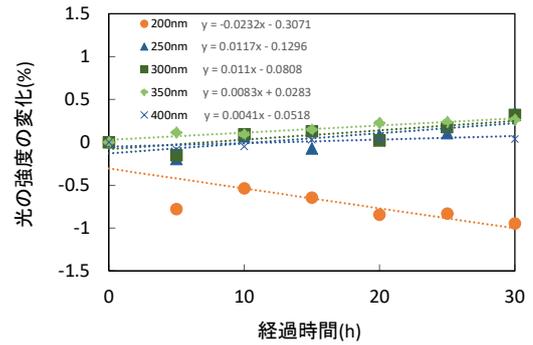


図9 経時変化

(4) 水平回転方向の設置ずれによる影響

校正光源は、ランプハウスの軸（以下、装置軸という）により設置するが、必ずしも内蔵されているランプ自体の光の強度が最大となる軸（以下、光軸という）と合致するとは限らない。図8は、ランプ自体の角度特性が光軸に対して二次関数的に変化していること及び装置軸と光軸との角度の差（以下、角度差という）が約5°であったことを示した実例である。装置軸における光の強度の変化率（接線の傾き）は、角度差0°のときに最も小さく、角度差が大きくなるほど、変化率（接線の傾き）が大きくなる。ここでは、光源の個体差を考慮し、実機の2倍である10°を想定して、水平回転方向の影響量を推定した。接線の傾きから求めた水平回転方向の設置ずれの影響は約1%/°であった。

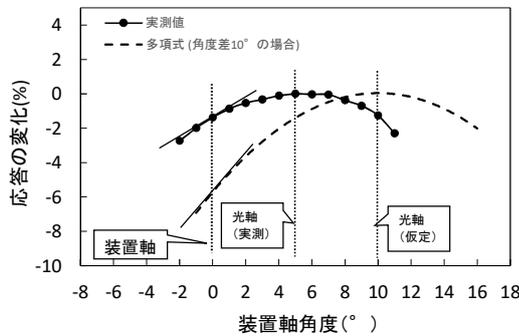


図8 回転方向の影響

5.2 経時変化

光源の経時変化は、点灯から5時間ごとに30時間まで光の強度を測定することで確認した。測定結果を図9に示す。経時変化が直線的に生じると仮定した場合、250 nm以上の波長でその変化量は0.012 %/h以下程度であったが、波長200 nmでは変化の方向が異なり-0.023 %/h程度となった。短波長の変化が大きい理由は、ランプ自体の変化よりも窓材（ガラス）の影響が大きいとの報告<sup>(2)</sup>がある。なお、通常であれば、ここで得られた影響量を基に不確かさの評価を行うところであるが、経時変化は個体に依存するところが大きく、今回の結果の10倍程度の変化量を持つ器物もあることが報告<sup>(3)</sup>されている。したがって、不確かさの評価には本結果の約10倍程度の大きさを仮定することとした。

6. 校正測定能力

校正範囲は、200 nm から 400 nm における 10 nm ごと 21 点の分光放射照度である。分光放射照度のレベルを考慮した単位記号は  $\mu\text{W cm}^{-2} \text{nm}^{-1}$  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、産総研から提供される不確かさの区分と同じとし、波長 200 nm-220 nm、230 nm-360 nm、370 nm-400 nm の 3 区分にて報告する。表1に、校正測定能力を示す。

表1 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%)
分光放射照度標 準電球（重水素 ランプ）	200 nm -220 nm	17 %
	230 nm -360 nm	7.8 %
	370 nm -400 nm	8.1 %

7. まとめ

今回、殺菌や光生物学的安全性評価のための標準としても利用される重水素ランプの校正を可能としたことで、産業界へ貢献できるものと考えている。

なお、本稿で示した経時変化の実測値は、新規購入品のときのものであることから、今後、点灯時間が増えたときの影響も観察の必要があると考えている。

今後は、JCSS の校正業務開始に向け書類の整備等を行う予定である。

参考文献

- (1) 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)
- (2) 座間達也、小貫英雄：“重水素ランプの経時変化”，分光研究 第47巻 第3号 pp.129-135 (1988)
- (3) Tobias Schneider et al. : CIE P0104 AGEING PROPERTIES OF DEUTERIUM LAMPS USED IN CALIBRATIONS OF UV SPECTRORADIOMETER(2019)

(2022年8月31日受付)