

# 分光放射輝度の校正技術の開発

高輝度光源の普及に伴い、照明光などの生体（眼や皮膚）に対する安全性が懸念されています。安全性評価のためには、分光放射輝度測定が必要となります。分光放射輝度の校正技術について解説します。

## 光の安全性と分光放射輝度

私たちの生活には、照明光、パソコンや携帯電話のバックライト、各種インジケータなど様々な人工光が満ちあふれています。使用される光源も電球、蛍光灯や水銀灯などの放電ランプ、次世代照明として期待されているLED、有機ELなど様々です。これらの人工光は、生活に欠かせないものではありませんが、一方で眼や皮膚など生体に対する安全性が懸念されているものもあります。例えば、紫外光による白内障や角膜/結膜炎などのほか、青色光による網膜傷害などのリスク（危険性）が指摘されています（図1参照）。

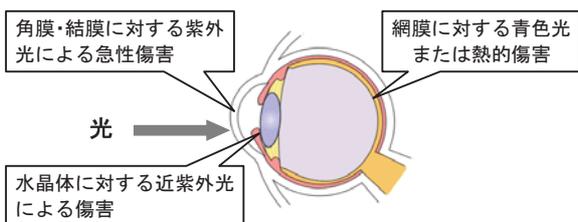


図1 眼に対する様々な光のリスク

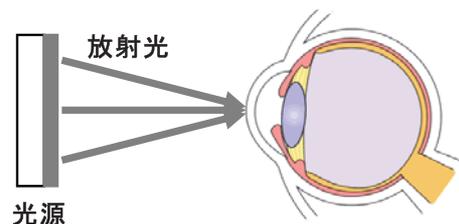
紫外光、青色光、熱的傷害などのリスクが指摘されています

近年、これらのリスクを評価するための規格が制定されています<sup>\*1,2</sup>。この規格によると、光源からの放射光の「分光放射照度」と「分光放射輝度」を測定し、各リスクの作用関数で重み付けすることにより、放射光の露光限界（眼や皮膚に有害な作用が生じる可能性がある照射量）を算出します。図2に示すように生体（眼や皮膚）の部位によって「分光放射照度」または「分光放射輝度」で評価する必要があります。「分光放射照度」と「分光放射輝度」の測定には、それぞれ値付けされた標準光源を必要とします。このうち、「分光放射照度」の標準電球

は、国内でのトレーサビリティが確立されていて、実用的な標準光源が供給されています。一方、「分光放射輝度」は、国内でのトレーサビリティが確立していません。

今回の研究では、上記規格に基づいた光源からの放射光についての生体安全性評価技術の確立を目指し、ハロゲン電球と拡散反射板を使った実用的分光放射輝度校正技術の提案を行いました。

分光放射照度（単位面積あたりに入射する分光エネルギー）



分光放射輝度（単位面積、単位立体角あたりから放射される分光エネルギー）

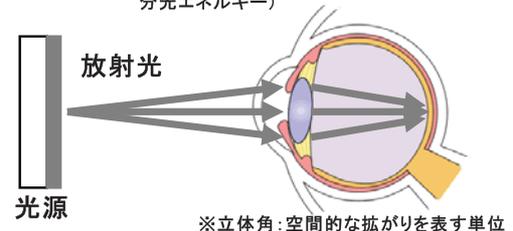


図2 分光放射照度と分光放射輝度

眼の角膜や水晶体、皮膚に対するリスクは分光放射照度で評価します。一方、眼の網膜に対するリスクは、分光放射輝度で評価する必要があります

## 分光放射輝度の校正方法

図3に示すように「分光放射照度」 $E(\lambda)$ の値付けをした光源と「分光反射率」 $\rho(\lambda)$ の値付けをした拡散反射板を配置すると、拡散反射板の「分光放射輝度」 $L(\lambda)$ は、式(1)で表すことができます。

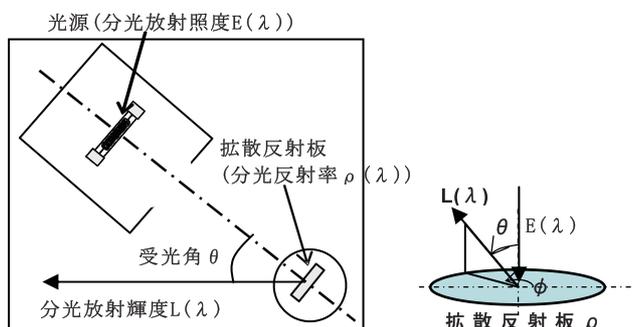


図3 分光放射輝度を校正するための配置

光源と拡散反射板を図のように配置することで「分光放射輝度」の校正を行うことが可能です

$$L(\lambda) = \frac{\rho(\lambda)}{\pi} E(\lambda) \quad (1)$$

この式は、均等拡散面（どの方向から見ても輝度が同じ面）について成立するので、拡散反射板の特性がどの程度、均等拡散面に近似しているかを検討する必要があります。また、拡散反射板上の光源による分光放射照度のむらも評価する必要がありますので、これらの要素について検討を行いました。

### 拡散反射板の特性評価

拡散反射面として利用されている各種拡散反射板について、均等拡散面への一致度を測定しました。図4に測定結果を示します。均等拡散面では、反射特性が図中の $\cos \theta$ の曲線に一致するので、 $\cos \theta$ の値に近いほど、均等拡散面に一致する面といえます。セラミクスやオパールガラスは、ある角度で $\cos \theta$ の曲線から大きく外れています。評価した中で最も $\cos \theta$ の曲線への一致度が良かったのは、BaSO<sub>4</sub>（硫酸バリウム）とPTFE（テフロン）の焼結面）でした。このため、この2種類の反射板が校正のための反射板として適していることが分かりました。

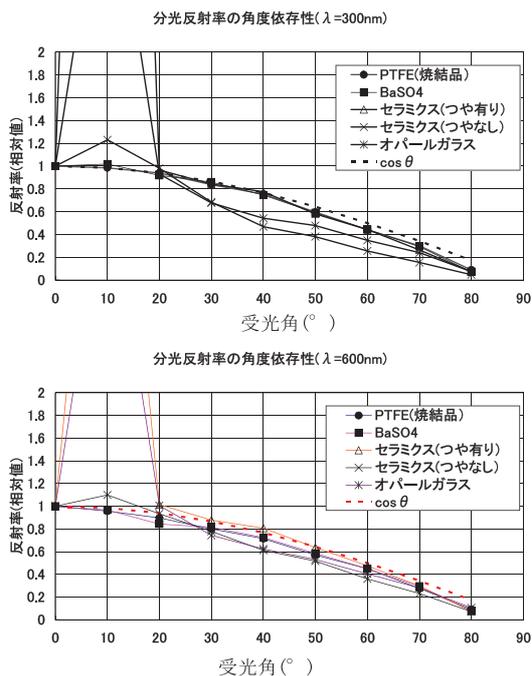


図4 各種拡散反射板の反射特性

曲線が $\cos \theta$ に近いほど均等拡散面に近い面になります。評価した材料の中では、PTFE（焼結品）とBaSO<sub>4</sub>が最も均等拡散面に近似しています

### ハロゲン電球の特性評価

校正に用いる光源としては、「分光放射照度」の標準電球（500Wハロゲン電球）のほか、光学用及び特殊照明用1000Wハロゲン電球を評価しました。照度センサーの受光位置を少しずつ移動させることにより、拡散反射板上の分光放射照度のむら（今回は、照度で評価）を測定しました。図5に測定結果の一部を示します。照度むらを等照度線で表します。この照度むらによる不確かさへの寄与は0.1~0.2%程度であり、十分小さいことが分かりました。

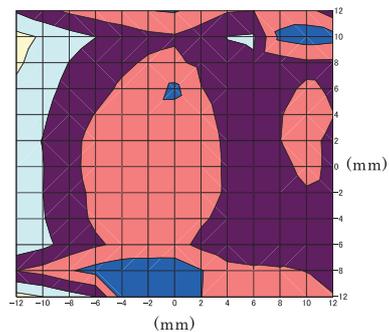


図5 ハロゲン電球(500W)の照度むらの評価  
等高線(等照度線)は、0.2%の照度変化を示します。照度むらによる校正に与える不確かさは、十分小さいと評価できました

### 校正不確かさの評価

上記の検討結果を踏まえ、本校正技術による不確かさの算出を行いました。その結果、「分光放射照度」の校正值や「拡散反射板」の分光反射率の経時変化などが大きな不確かさ要因となることが分かりました。合成した校正の不確かさは、 $\sigma=3.9\sim7.4\%$ ( $k=2$ )と算出されました。電球や拡散反射板の適正な校正が重要となりますが、十分実用的な範囲で分光放射輝度の校正技術として利用できることが確かめられました。

### 今後の展開

今回の研究結果を受けて、分光放射輝度測定システムの構築を行う予定です。システム構築後は、照明用光源や光学機器用光源などのCIE/IEC規格に沿った安全性評価を行う予定です。皆様のご相談をお待ちしております。

※1 CIE S009/IEC62471: "Photobiological safety of lamps and lamp systems" (2006)

※2 TS C0038: "ランプ及びランプシステムの光生物学的安全性" (2004)

開発本部開発第一部 光音グループ <西が丘本部>  
岩永 敏秀 TEL 03-3909-2151 内線 461  
E-mail: iwanaga.toshihide@iri-tokyo.jp