

# Webで学ぶ

## 積分半球を用いた光源の全光束測定

本資料の掲載情報は、著作権により保護されています。本情報を商業利用を目的として、販売、複製または改ざんして利用することはできません。

### 大塚電子株式会社

- 大阪本部
- 東京支店
- 東北営業所
- 東海営業所
- 九州営業所

〒540-0021 大阪市中央区大手通三丁目1番2号 エスリードビル大手通6F  
〒192-0082 八王子市東町1-6 橋完LKビル4F  
〒980-0021 仙台市青葉区中央2-2-10 仙都会館5F  
〒460-0008 名古屋市中区栄3-2-3 名古屋日興証券ビル4F  
〒810-0001 福岡市中央区天神1-9-17 福岡天神フコク生命ビル15F

TEL.(06)6910-6522  
TEL.(042)644-4951  
TEL.(022)208-9645  
TEL.(052)269-8477  
TEL.(092)717-3338

ホームページ <http://www.otsukael.jp>

## 積分半球を用いた光源の全光束測定

### 1. はじめに

ディスプレイなどの光源から出るすべての光束が全光束である。図1にその概念を示す。光源の全光束は、その光源の出力(lm)だけでなく、ランプ効率 (lm/W) を求める上で重要な性能である。この光源の全光束を求める手段として、光源から全空間へ発散する光束を、光源を中心とする空間の球面上のあらゆる位置で測定して積分する方法 (配光法) <sup>1)</sup>が基本であるが、これはかなり大規模な装置とそれを入れる暗室が必要である。

また、全空間を分割して逐次測定するために測定時間が長くなり、この間の光源の安定点灯が要求される。このため、一般には中空の球の内面に硫酸バリウム粉末などの白色拡散性の塗装を施して、中心で光源を点灯するようにした積分球 (球形光束計) <sup>2)</sup>を使用する。

積分球はその内壁面照度が全光束に比例することから、一カ所の壁面照度を測定すればよく、かつ積分球が閉空間をなすため暗室を必要としないという利点があるが、積分球内に光源を点灯する治具などの内部構造物の影が測定誤差要因となる。

図2は、実際の積分球の構造例である。積分球の測定は、全光束の値付けされた全光束標準電球との比較測定で行う。全光束標準電球は、JCSS 認定事業機関により校正されたものを用いる。

全光束: 光源があらゆる方向に放射する光束の総和  
単位はルーメン[lumen](省略記号[lm]) [lm]=[cd·sr]

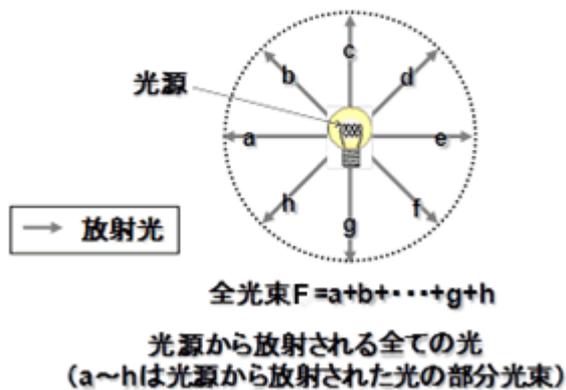


図1 光源の全光束の概念

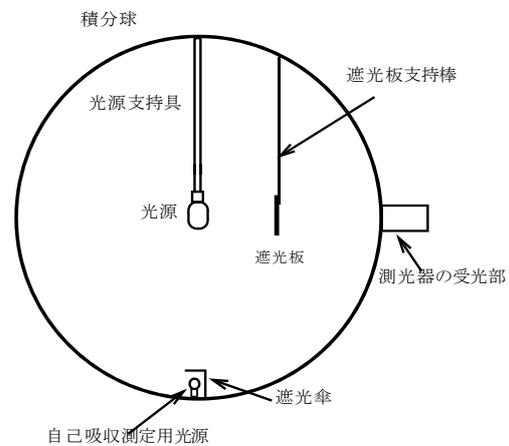


図2 積分球 (球形光束計) の構造例

## 積分半球を用いた光源の全光束測定

### 2. 積分球の構造と原理<sup>2)</sup>

測定する光源の配光分布が、電球のように全方向の空間（ $4\pi$ 空間）に分布する光源は、一般的に積分球の中心に試料光源を点灯して測定する。図3に、その光学モデルを示す。

半径  $r$  の積分球の中心に光源があり、その光源から角度  $\alpha$  方向の積分球壁面上の微小面 A に光度  $I_0(\alpha)$  で照明されたとする。このとき、積分球壁面 A の照度  $E_{a0}$  は、次式で表される。

$$E_{a0} = I_0(\alpha)/r^2 \quad \dots (2.1)$$

積分球内壁が反射率  $\rho$ （視感反射率）で均等拡散反射し、壁面上の微小面 A が面積  $dS$  であるとすれば、微小面 A より反射される光束  $\varphi_a$  は次式で表される。

$$\varphi_a = \rho \cdot E_{a0} \cdot dS \quad \dots (2.2)$$

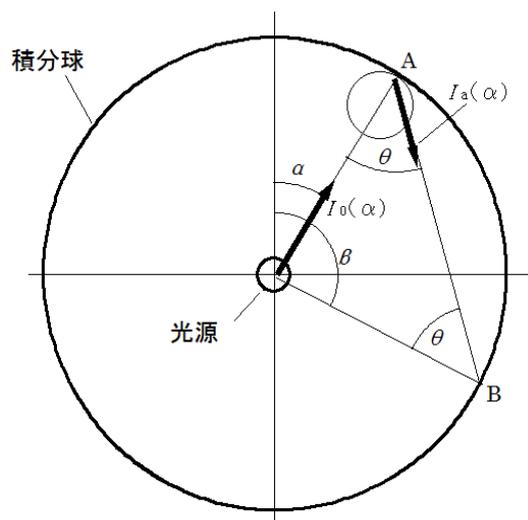


図3 積分球中心に光源を点灯した場合の光学モデル

面 A の法線に対して角度  $\theta$  の方向の積分球壁面上の微小面を B とする。面 A より面 B 方向の光度  $I_a(\theta)$  は面 A が均等拡散反射面とすれば次式で表される。

$$I_a(\theta) = \varphi_a \cdot \cos \theta / \pi \quad \dots (2.3)$$

## 積分半球を用いた光源の全光束測定

面Bは積分球内壁上の面であるから、面Bへの $I_a(\theta)$ の入射角は $\theta$ であり、面Aと面Bとの距離は $2r \cdot \cos \theta$ であるから、面B上の光度 $I_a(\theta)$ による照度 $E_{ab}$ は次式で表される。

$$\begin{aligned} E_{ab} &= I_a(\theta) \cdot \cos \theta / (2r \cdot \cos \theta)^2 \\ &= \varphi_a / (4\pi \cdot r^2) \\ &= \rho \cdot I_0(\alpha) \cdot dS / (4\pi \cdot r^4) \quad \dots (2.4) \end{aligned}$$

式(2.4)より明らかなように、面Aからの反射光は面Aからの出射角 $\theta$ によらず、積分球内壁のどの部分に対しても均一の照度で照明される。積分球壁面を反射した光は積分球壁面間を繰り返し反射し、面Aの照度 $E_a$ は次式で表される。

$$\begin{aligned} E_a &= I_0(\alpha) / r^2 + \rho \cdot \varphi / (4\pi \cdot r^2) \\ &\quad + \rho^2 \cdot \varphi / (4\pi \cdot r^2) \\ &\quad + \rho^3 \cdot \varphi / (4\pi \cdot r^2) \\ &\quad \dots \dots \dots \\ &= I_0(\alpha) / r^2 + \rho \cdot \varphi / \{(1 - \rho) \cdot 4\pi \cdot r^2\} \quad \dots (2.5) \end{aligned}$$

従って図2に示すように積分球内壁に、その照度を測定する受光器を設け、光源と受光器の間に光源からの直接光である $I_0(\alpha)$ を遮断する遮光板を設けることにより、(2.5)式の $I_0(\alpha) / r^2$ の項が消去されて、光源の全光束 $\varphi$ に比例した受光器出力が得られる。

このことから、全光束の値が付けられた全光束標準光源と、試料光源を同一の積分球で比較測定することにより、試料光源の全光束を求めることができる。

実際には、光源やこれを点灯する光源点灯治具、遮光板等が大きさを持つため、積分球には図4に示すような誤差要因が存在する。

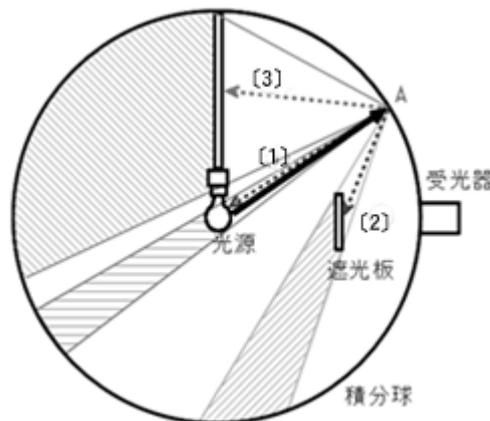


図4 積分球で全光束を測定する場合の誤差要因

## 積分半球を用いた光源の全光束測定

これらの誤差要因のうち、〔1〕は光源自身が影を作る光源の自己吸収で、積分球に付属の補助光源で補正することが可能である<sup>3)</sup>。

〔2〕は遮光板によって生ずる影や反射で、積分球を設計する際、最小化を目指す。

〔3〕は、光源を支持する光源点灯治具の自己吸収や反射で、全光束標準電球と試料光源の配光が異なる場合に大きな測定誤差を生ずる。

この光源点灯治具に起因する誤差を解消する方法として、積分半球<sup>4)</sup>を紹介する。

## 積分半球を用いた光源の全光束測定

### 3. 積分半球の構造と原理<sup>4)</sup>

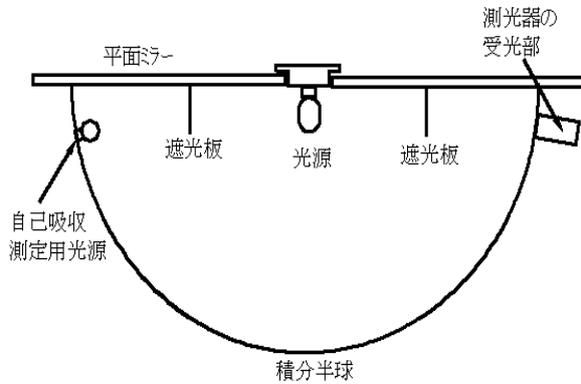


図5 積分半球の構造

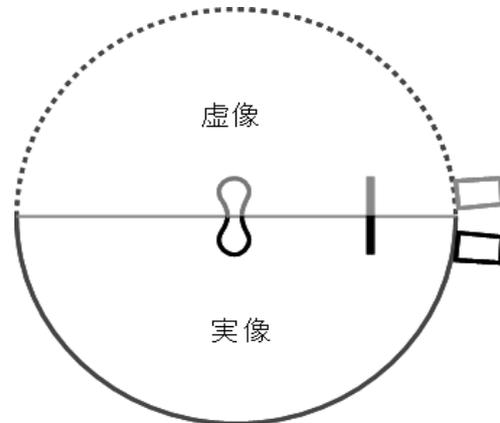


図6 半球と鏡面の虚像により構成された積分球光学モデル

積分半球は、図5に示すように、内面に測定しようとする放射を完全拡散反射する硫酸バリウム等の拡散材料を塗布または加工した積分半球と、平面ミラーで構成された光束計であり、平面ミラー（表面鏡）の面上で、かつ積分半球の曲率中心の位置に、その全光束を測定しようとする光源を装着する。

このとき半球と表面鏡による半球の虚像により、図6に示すような光学的に積分球が構成される。図7は実際の積分半球（直径1m）の外観である。

図8はミラー中央に装着した光源の写真である。同図では、光源の下に光源の虚像が写っており、測定時には光源と光源の虚像が、積分空間に支持物なしで浮いているのと同じ状態となり、光源点灯治具は積分空間に存在せず、したがって、それによる誤差要因も排除できる。

また、LED光源のように点灯回路や冷却用のヒートシンクが発光部のすぐそばに設置する必要がある場合も、ミラーの外側にこれらの物を設置することで、積分空間の外側に排除でき、測定に影響を与えない。また、ディスプレイ等の平面光源のように、その配光が片側の $2\pi$ 空間しかない光源でも、ミラーによる光源の虚像の配光との合成により $4\pi$ 空間の配光を持つため、積分球全体を使った測定となり、誤差が少ない。

## 積分半球を用いた光源の全光束測定

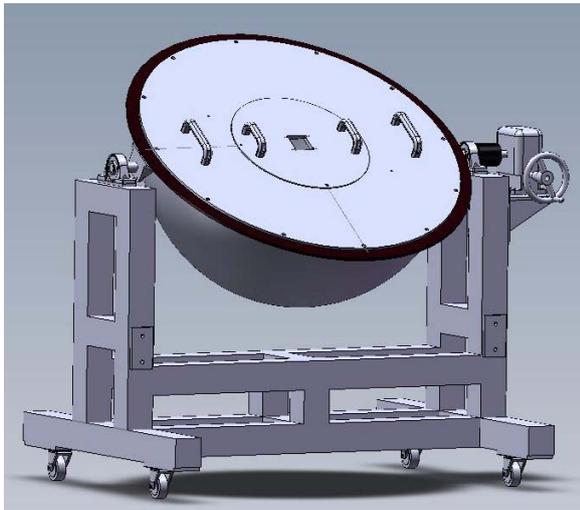


図7 直径1mの積分半球の外観



図8 積分半球のミラー側から見た光源

この積分半球の原理を図9説明する。光源から光束 $\phi$ で積分球内壁面Sへ照明した光が、積分球内壁面Aを照明する場合、面Sから直接面Aを照明する場合と、面Sから虚像の面A'に向かい、ミラーで反射して面Aを照明する場合の二通りがある。

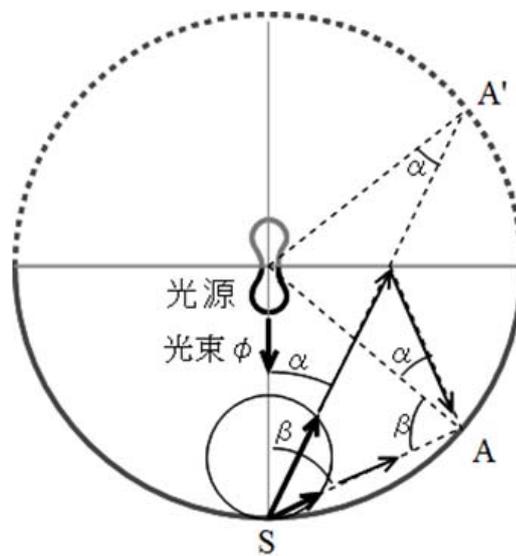


図9 積分半球の平面モデル

## 積分半球を用いた光源の全光束測定

面 S から直接、面 A を照明した場合の面 A の照度  $E_{a1}$  は次式で表される。

$$E_{a1} = \varphi \rho / 4 \pi r^2 \quad \dots (3.1)$$

ここで  $r$  は積分半球の半径、 $\rho$  は積分球内壁の拡散反射率である。

次に、面 S から虚像の面 A' に向かい、ミラーで反射して面 A を照明した場合の照度  $E_{a2}$  は次式で表される。

$\rho_M$  はミラーの反射率である。

$$E_{a2} = \varphi \cdot \rho \cdot \rho_M / 4 \pi r^2 \quad \dots (3.2)$$

従って、面 S からの光に対する面 A の照度  $E_a$  は次式で示される。

$$E_a = E_{a1} + E_{a2} \quad \dots (3.3)$$

積分球内壁の繰り返し反射による面 A の照度  $E_{ad}$  は次式で示される。

$$\begin{aligned} E_{ad} &= \frac{\varphi}{2\pi r^2} \cdot \frac{(\rho + \rho \cdot \rho_M)}{2 - (\rho + \rho \cdot \rho_M)} \\ &\cong \frac{2\varphi}{4\pi r^2} \cdot \frac{\rho}{1 - \rho} \\ &\dots (3.4) \end{aligned}$$

照度  $E_{ad}$  は、 $\rho \cong \rho_M$  の場合、同じ半径の積分球の倍の明るさであることがわかる。

#### 4. 積分半球に使用するミラー

積分半球に用いる平面ミラーの一例として、アルミニウムの基材表面に高純度アルミニウムの真空蒸着を施し、さらに透明な酸化膜を蒸着して可視波長域で増反射処理を行った高反射処理アルミを紹介する。

図 10 にその分光反射率を示す。測定は落射光学系を持つ大塚電子製「反射分光膜厚計 FE-3000」による 0° 入射、0° 出射の値である。

比較のために光学用のアルミ蒸着ミラー（保護膜なし）を測定した。この結果、アルミ蒸着ミラーの反射率は 90 % 未満であるのに対して、高反射処理アルミは、420 nm 以下で反射率が 90 % 以下となるものの、それ以上の可視波長域では 95 % 程度と高い値を示す。

拡散反射コーティングは硫酸バリウムを主材料とする Labsphere 社製「Spectrafect-coating」を用いた。図 11 に、半球内壁の拡散反射コーティングの分光反射率を示す。

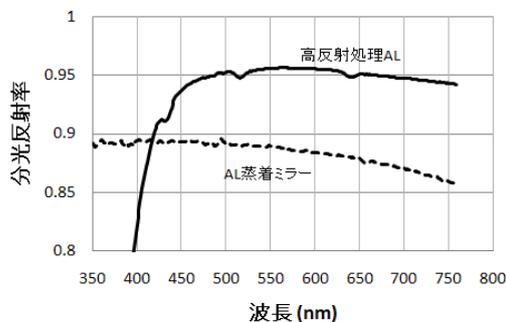


図 10 積分半球に使用するミラーの分光反射率

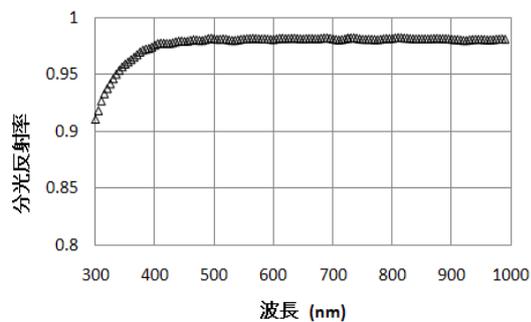


図 11 積分半球に使用する拡散反射コーティングの分光反射率

### 5. 積分半球の光源点灯治具に起因する誤差を解消

積分半球の光源点灯治具に起因する誤差解消を確認するため、直径 2m の積分球 (LMS-760) と直径 1m の積分球 (LMS-400) との測定値比較を直径 1m の積分半球 (HM-400) に対して行った。

光源は配光が全光束標準電球に近い LED 電球 A と、配光が標準電球と大きく異なり、 $2\pi$  空間に集中した配光を持つ LED 電球 B を用いた。結果を図 12 に示す。

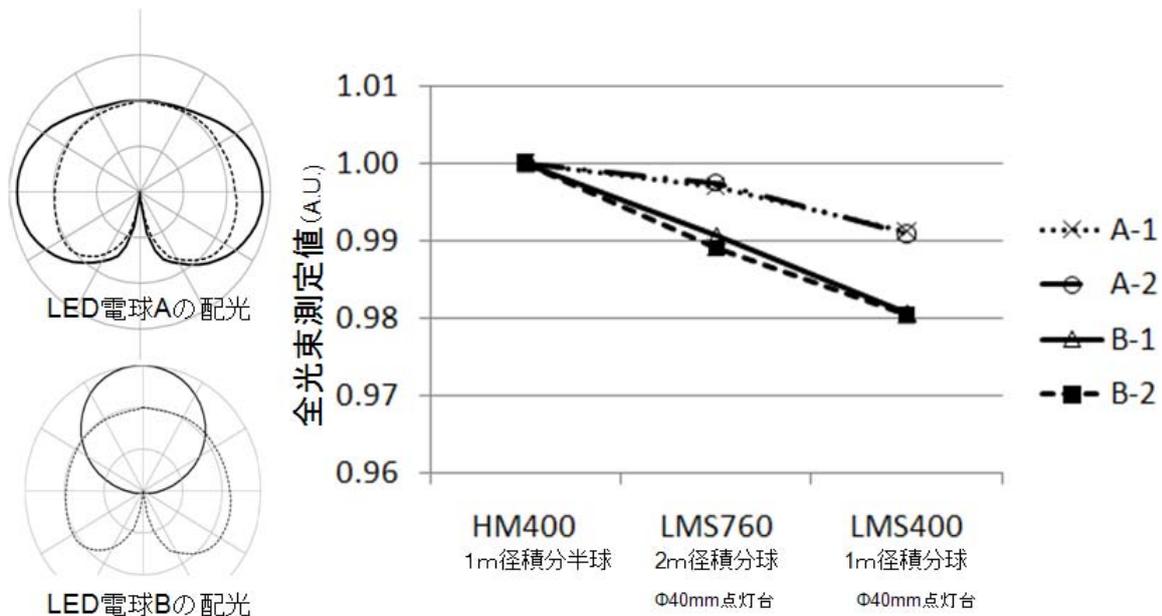


図 12 積分半球と積分球の全光束測定値比較

「LMS-760」と「LMS-400」は同じ 40mmφ の支柱を持つ光源点灯台を持つため、点灯台の表面積に対して内壁面積が 4 倍の「LMS-760」は、点灯台の影響が小さい。このため「LMS-400」との測定値に差が生じている。これは、配光が全光束標準電球と大きく異なる LED 電球 B の測定値に顕著に表れていることから、光源点灯台に起因するものと考えられる。

これに対して光源点灯台を持たない積分半球 (HM-400) は「LMS-760」と同等の精度が得られ、1m の積分半球でも、全光束標準電球と異なる配光の光源の測定に対して十分な精度が期待できる。

### 6. まとめ

ディスプレイやそのバックライト等の面光源の全光束を測定する場合、従来は積分球の壁面点灯による測定が理想<sup>3)</sup>とされていたが、壁面点灯用の全光束標準光源の整備が遅れ、精度が得られる測定が難しかった。今回紹介した積分半球は、 $4\pi$ 空間に配光を持つ従来の全光束標準電球を使用して、 $2\pi$ 配光の面光源を測定できる利点もあり、ディスプレイ関連光源の評価に適するものと考えられる。

### 文献

- 1) 薮 洋司・斉藤 一郎：「配光測定に基づく全光束絶対校正装置の開発」、光アライアンス、15-3、pp.1-7 (2004)
- 2) 大久保 和明：「積分球を用いた光測定方法」、照明学会誌、94-2、p.141-148 (2010)
- 3) IESNA 規格 LM-79-2008 (Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products)
- 4) 大久保・三島・大嶋：「積分半球を用いた光源の全光束測定」、照明学会誌、94-8A、p.1-7 (2010)

(「月刊ディスプレイ」'11 12月号掲載 2012/2)