



LED の光測定について

目次

1. 概要.....	2
2. 光束測定方法.....	2
3. 積分球.....	2
4. 配光測定器.....	5
5. トレーサビリティ.....	10
6. まとめ.....	11

1. 概要

LED は照明器具をはじめ様々な製品で使用されています。各々の製品で求められる明るさや色などの性能を満たすためには適切な設計・評価が必要ですが、性能の確認手段として測定は重要な役割を果たします。測定により性能を数値化することで初めて定量的な評価が可能になるため、測定はものづくりの基本と言えます。しかし、測定により得られる値は測定方法や装置、環境など様々な要因により変動します。精度の高い測定を行うためには、LED の特性とともに測定についても十分に理解しておく必要があります。

本書では、LED で評価されることの多い光束測定の注意点とトレーサビリティについてご紹介します。

2. 光束測定方法

光束を測定する一般的な方法として、積分球を使用する方法と配光測定器を使用する方法があります。表 1 のように各々長所と短所があり、光源の種類や評価内容により使い分ける必要があります。第 3、4 章にて各測定方法における注意点をご紹介します。

表 1. 測定方法の特徴

	積分球	配光測定器
長所	<ul style="list-style-type: none"> 測定時間が短い。 暗室や大掛かりな装置を必要としない。 	<ul style="list-style-type: none"> 配光特性が測定できる。 大きな器具も測定できる。
短所	<ul style="list-style-type: none"> 測定できる光源の大きさが制限される。 光源の自己吸収による誤差が発生。 	<ul style="list-style-type: none"> 測定に時間がかかる。 暗室と大掛かりな装置が必要。

3. 積分球

3.1. 積分球とは

積分球とは名前の通り球形状をした光学測定器です。球の内壁には反射率の高い拡散塗料が塗布されており、球内に入光した光は拡散反射を繰り返し球内の内壁を均一に照らします。この均一化された壁面照度を測定することで、光源の配光特性の影響を受けずに全光束を測定することが可能となります。(図 1 参照)

測定時間が短く、暗室や複雑な装置が不要で導入しやすいという点から、光束測定で最も多く使用されている測定器です。ただし、測定可能な光源の大きさは積分球の直径によって制限されるため、比較的小さな光源の測定に向いていると言えます。

なお、弊社製品仕様書に記載されている代表特性(光束、色度、演色性など)は積分球で取得されます。*1

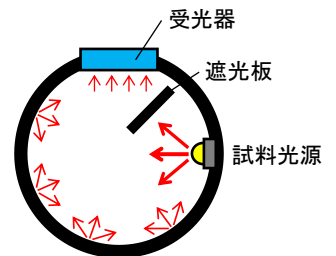


図 1. 積分球のイメージ図

3.2. 測定の注意点

積分球による測定システムの構成例を図 2 に示します。球内で十分に拡散され均一化された光を分光器や照度計などで測定し、値付けされた標準光源の測定値と比較することで光束値を求めることができます。ただし、配光特性の影響を受ける直接光は測定誤差の原因となるため、遮光板を設置して受光できないようにします。他にも様々な要因によって測定誤差や不確かさは大きくなります。

本節では、積分球測定の誤差の要因として考えられる①積分球の種類 ②積分球の大きさ ③自己吸収補正 ④標準光源の種類 ⑤LED の温度特性 についてご紹介します。

*1 量産製品の選別では、社内基準器と相関の取れた積分球以外の測定器を使用する場合があります。

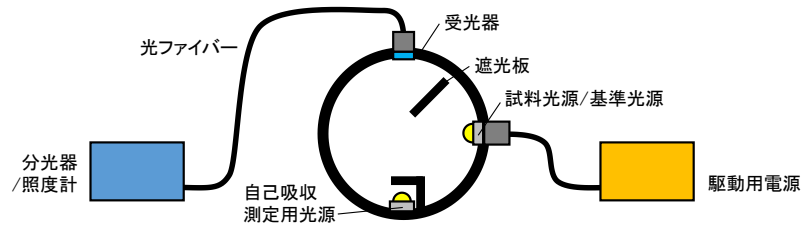


図 2. 積分球測定システムの構成例

①積分球の種類

積分球には 2π 条件用積分球と 4π 条件用積分球があります。 2π 条件用積分球は 2π 空間、すなわち前方 180° 方向のみに光が放射される光源の測定で使用します。一方、 4π 条件用積分球は 4π 空間、すなわち 360° の全方向に放射される光の測定が可能です。 2π 条件は後方光を測定しないため積分球の直径を小さくできますが、測定できる光源は限定されるため、光源の配光に合った積分球を選定する必要があります。

参考例を図 3 に示します。前方にのみ光が放射される一般的な表面実装タイプ LED (図 3-(a)) は 2π 条件で測定できますが、白熱電球や蛍光灯などの従来の照明器具 (図 3-(b)) や広配光タイプの LED、LED 照明器具 (図 3-(c)) では前方だけでなく後方にも光が放射されるため 4π 条件での測定が必要になります。

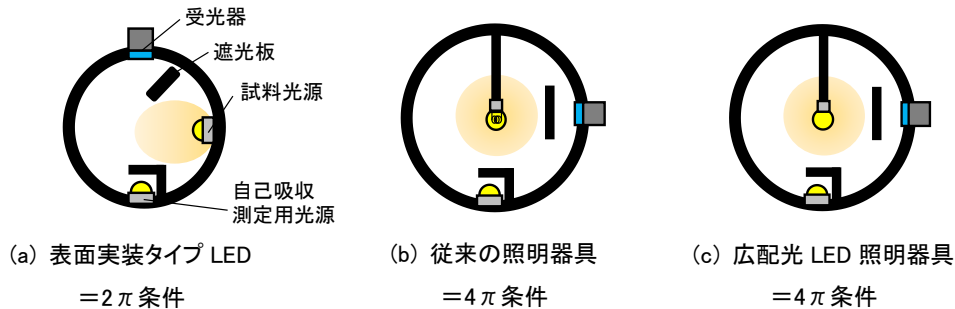


図 3. 積分球の種類イメージ図

②積分球の大きさ

測定したい光源の大きさによって最適な大きさの積分球を選定する必要があります。目安として、大きさが数 mm 程度の LED を測定する場合は直径が数 cm～数十 cm の積分球を使用し、大型の照明器具や長さが 1m 以上の直管ランプなどを測定する場合は直径が 2～3m の積分球を使用します。

積分球の大きさに対して光源が大きすぎる場合、壁面での反射回数が減り壁面照度の均一性(測定精度)が低下する場合があります。また、光源表面で吸収される光が増えることで測定精度は低下します。(③自己吸収補正を参照) よって、IESNA LM79 では 4π 条件において光源の大きさは積分球の表面積の 2% 以下、細長い光源では長さが積分球の直径の $2/3$ 以下を推奨しています。

また、光源の消費電力が大きい場合は発熱による影響も考慮する必要があります。積分球内壁の温度上昇は測定誤差につながるため、十分な大きさを確保し温度上昇を抑える必要があります。IESNA LM79 では、目安として 500W の消費電力の光源に対して積分球の直径は 2m 以上を推奨しています。

③自己吸収補正

光源の発光面や筐体表面で光が吸収(自己吸収)されることで発生する光束低下を考慮する必要があります。特に表面積が大きい場合や黒などの光を吸収し易い筐体色では光束低下が大きくなります。この自己吸収による影響を小さくするため、自己吸収補正を行う必要があります。

自己吸収補正係数は、標準光源とは別に設置された自己吸収測定用光源(図 2 参照)を用いて式 1 によって求められます。試料光源の測定で得られた値にこの係数を乗じることで、自己吸収による光束低下を補正することができます。

$$\text{自己吸収補正係数 } \alpha = \frac{i_{s,1} / i_{s,0}}{i_{t,1} / i_{t,0}} \quad \dots \text{(式 1)}$$

各パラメータの意味を以下に示します。

- α : 自己吸収補正係数
- $i_{s,0}$: 標準光源と同じ相対分光分布の自己吸収測定用光源を点灯して、標準光源を積分球に設置しない場合の受光器出力
- $i_{s,1}$: 標準光源と同じ相対分光分布の自己吸収測定用光源を点灯して、標準光源を積分球に設置した場合の受光器出力
- $i_{t,0}$: 試料光源と同じ相対分光分布の自己吸収測定用光源を点灯して、試料光源を積分球に設置しない場合の受光器出力
- $i_{t,1}$: 試料光源と同じ相対分光分布の自己吸収測定用光源を点灯して、試料光源を積分球に設置した場合の受光器出力

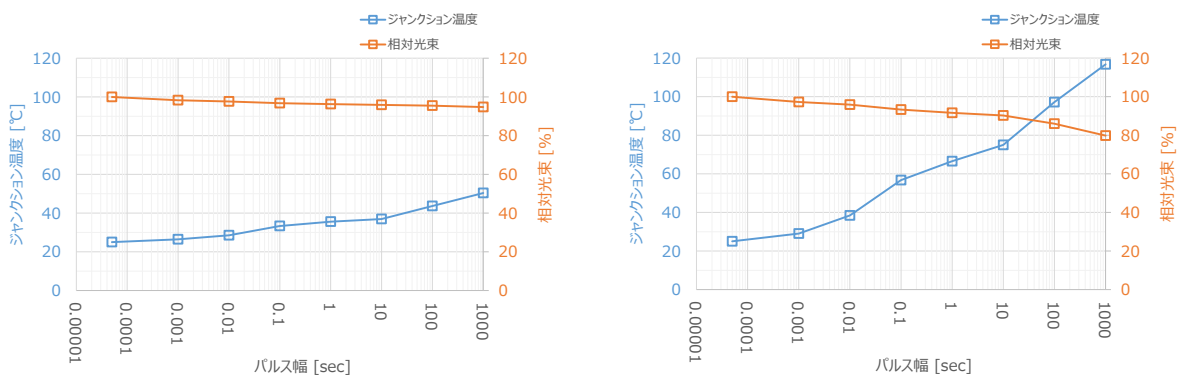
④標準光源の種類

標準器により値付けされた標準光源との比較測定を行うため、標準光源は試料光源に近い仕様ものを選び、同じ位置に同じ放射方向で取り付ける必要があります。取り付け方法が異なる、また配光特性や分光分布特性が大きく異なる場合は測定誤差が大きくなる傾向にあります。

⑤LEDの温度特性

LEDは点灯時に熱を発生します。この熱によりLEDのジャンクション温度が上昇すると、LEDの温度特性により光学特性が変化します。ただしジャンクション温度は実装基板や測定環境などの外的要因によって変動するため、LED本来の性能を測定するにはジャンクション温度の上昇を抑える必要があります。

ジャンクション温度の上昇を抑えるには測定時の点灯時間を短くすることが有効です。図4にて点灯時間(パルス幅)に対するジャンクション温度および光束値の関係を示します。この結果より、測定時の点灯時間が短いほどジャンクション温度の上昇および光束低下が小さいことがわかります。ただし1msecの非常に短い点灯時間でもわずかながら光束低下が発生しているため注意が必要です。また高電流駆動では発熱量が増えるため同じ点灯時間でもジャンクション温度は高くなります。



(a) 低電流駆動

(b) 高電流駆動

図 4. 点灯時間(パルス幅)によるジャンクション温度、光束変動例 (型番 NCSW170F/Ta=25°C)

弊社ではジャンクション温度の上昇を抑えるため図 5 に示すパルス電流で測定を行っています※2。パルス幅は 0.05msec と非常に短く、またデューティー比も 1%となっているのでジャンクション温度の上昇は極めて小さくなります。

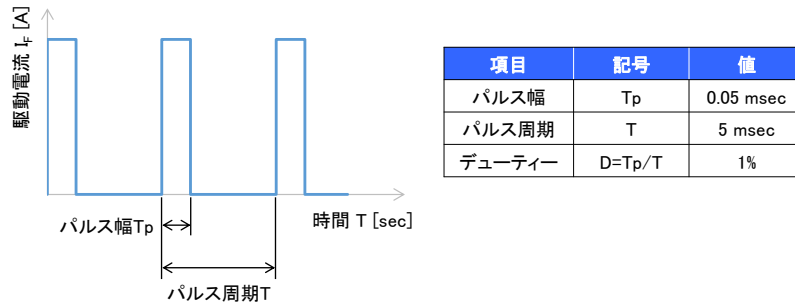


図 5. 弊社測定条件

なおジャンクション温度の上昇を考慮した測定を行いたい場合は、測定用のパルス電流ではなく器具に組み込まれた専用電源を使用します。器具の状態や設置方向など実使用に近い条件で長時間点灯させ、LED のジャンクション温度および光出力が十分に安定していることを確認してから測定を行います。

4. 配光測定器

4.1. 配光測定器とは

配光測定器とは、光源もしくは受光部が回転することで光源から任意の方向に放射される光強度を測定することができる測定器です。主に配光特性の測定で使用されますが、光度を全立体角で積分することで全光束を求めることもできます。

積分球とは異なり自己吸収による測定誤差は発生せず、光源から発せられた熱が測定器に影響を与えることもないので、大型で高出力な器具の測定に向いています。

ただし、測定には多大な時間を要し、暗室など測定環境を整える必要があります。よって、光束だけを評価する場合には瞬時に測定が可能な積分球が選ばれることが多いです。

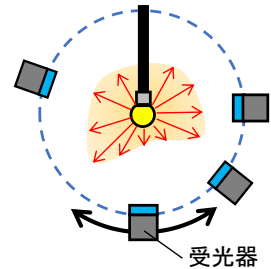


図 6. 配光測定器のイメージ

4.2. 配光特性の種類について

配光特性には、ファーフィールド特性とニアフィールド特性があります。測定方法や得られるデータの性質が異なるため、光源の種類や目的に応じて選択する必要があります。

①ファーフィールド特性

ファーフィールド特性は光源を遠距離からみた場合の配光特性です。十分な測定距離を確保するため光源は点光源とみなされます。LED などの小さな光源から照明器具や自動車のヘッドライトモジュールなど様々な光源の評価で使用され、一般的に配光特性といえばこのファーフィールド特性を指すことが多いです。

弊社製品仕様書に記載されている配光特性もこのファーフィールド特性となります。(図 7 参照)

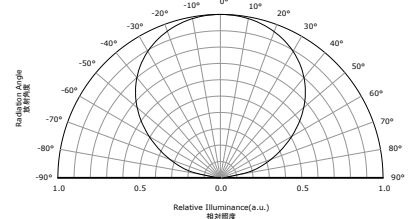


図 7. LED の配光強度特性例

※2 パルス幅や周期、デューティーは製品によって異なる場合があります。

②ニアフィールド特性

ニアフィールド特性では光源は大きさや形を持った面光源とみなされます。光源の向きを変えながら撮像素子で発光面内の輝度分布を測定します。光源のどの部分からどの向きに光が放射されているかがわかるため、主にLEDなどの発光素子において、光学設計シミュレーション用の光線データを作成するために測定されます。(図8参照)

弊社では各種光学シミュレータ向けに光線データを提供しています。対応するデータ形式など詳細は弊社営業担当までお問い合わせください。

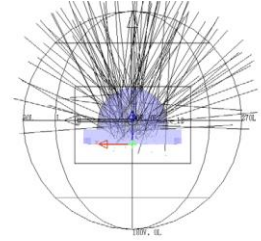


図 8. LED の光線データ例

4.3. 測定座標系について

配光測定で使用される座標系を図9に示します。主にこの3種類の中から評価したい光源の種類や目的に応じて座標系を選択します。ただし、測定器によっては測定可能な座標系が決まっているため、選定に際し注意が必要です。(測定器の種類については4.4. 配光測定器の種類と特徴を参照)

図9-(a)の θ ϕ 座標系は光源の発光面に対して垂直方向が極軸(回転軸)となり、極軸に対する傾斜角を θ 、極軸を回転軸とする回転角を ϕ で表します。この座標系はCIE121のC-Planeに相当し、配光測定では一般的に使用される座標系です。配光測定器もこの座標系に対応したものが多く存在します。

他にも光源の発光面に対して水平方向を極軸とした座標系として xy 座標系や $\alpha\beta$ 座標系があり、 xy 座標系はA-Plane、 $\alpha\beta$ 座標系はB-Planeに相当します。

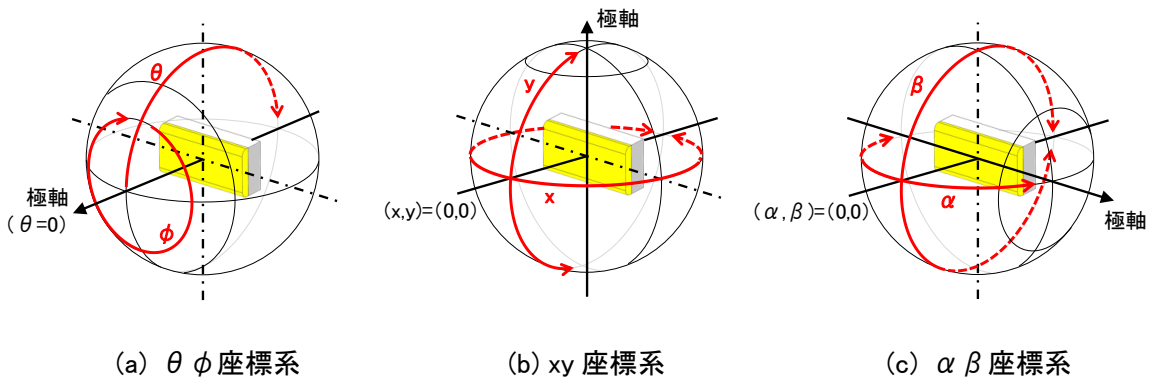


図 9. 配光測定の座標系

4.4. 配光測定器の種類と特徴

配光測定器は、光源や受光器を回転させるためのゴニオメータと照度計や分光器などの受光器から構成されます。このゴニオメータの構造や回転方法により様々な種類に分類されます。その中でも代表的なものとして図 10 に示す①光源回転タイプ②受光器回転タイプ③ミラータイプの特徴について説明します。

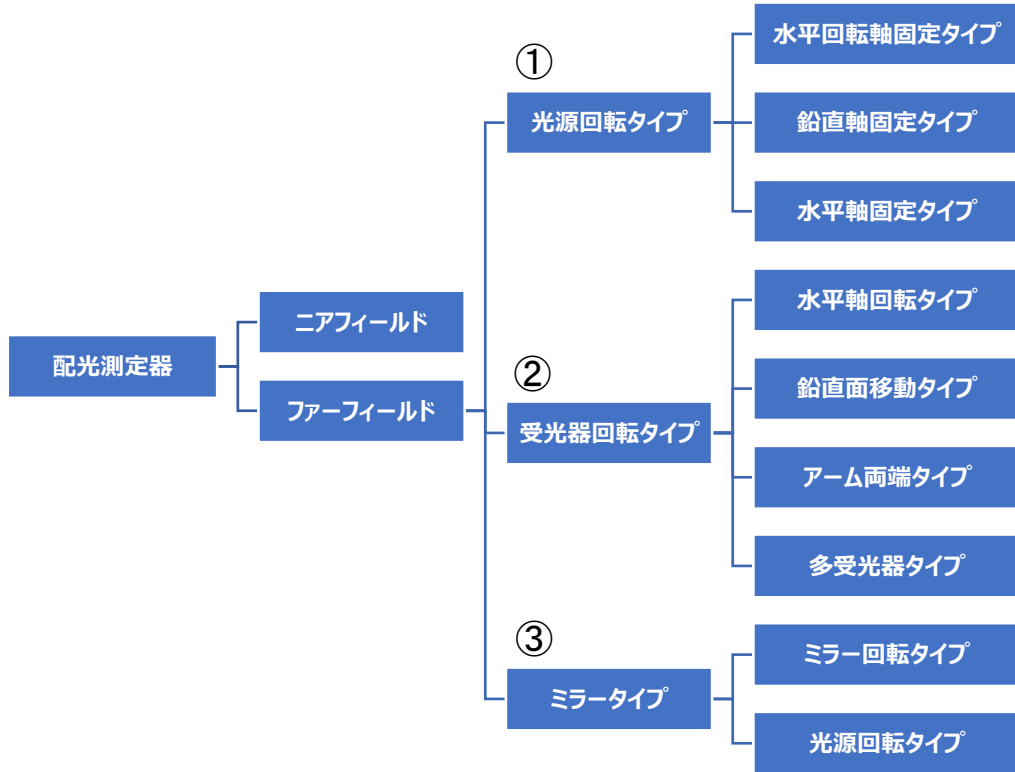


図 10. 配光測定器(ゴニオメータ)の代表的な種類

①光源回転タイプ

受光器は固定で、光源のみを回転させて配光特性を測定します。光源の回転方向により水平回転軸固定タイプと鉛直軸固定タイプ、水平軸固定タイプがあります。図 11-(a)の水平回転軸固定タイプの場合、光源と受光器を結ぶ水平回転軸上で光源は固定され、鉛直軸および水平回転軸で回転するため θ ϕ 座標系に対応します。図 11-(b)の鉛直軸固定タイプの場合、光源は鉛直軸上で固定され水平、鉛直回転するため xy 座標系と α β 座標系に対応します。水平軸固定タイプも同様に水平軸固定で xy 座標系と α β 座標系の回転に対応します。

構造は単純ですが、回転時の振動を抑えるために大きく重いゴニオステージが必要です。また、測定中は光源の向きが大きく変わるため、光源の出力が重力の影響を受ける場合は、実際に光源が設置される向きと各測定角における出力差を補正する必要があります。

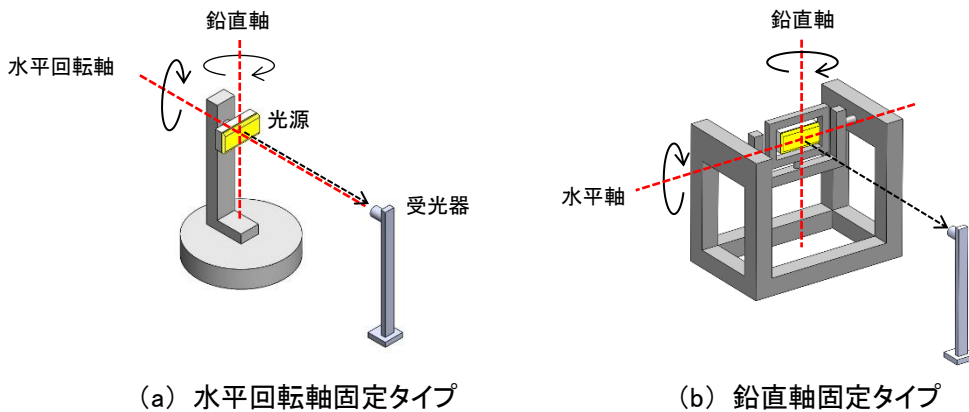


図 11. 光源回転タイプの構成例

②受光器回転タイプ

光源と受光器両方を回転させて配光特性を測定します。受光器の回転方法により水平軸回転タイプ、鉛直面移動タイプ、アーム両端タイプ、多受光器タイプがあります。例として図 12-(a)に示す水平軸回転タイプでは、受光器は水平軸を中心に回転し光源は鉛直軸を中心に回転します。図 12-(b)に示す多受光器タイプは、光源を中心とした回転軌道に複数の受光器を配置することで受光器の回転動作を省き、測定時間を短縮することができます。

構造上、光源と受光器の距離が近い場合 LED などの小型光源の測定に限られますが、受光器一体型でコンパクトな測定システムは設置性に優れます。

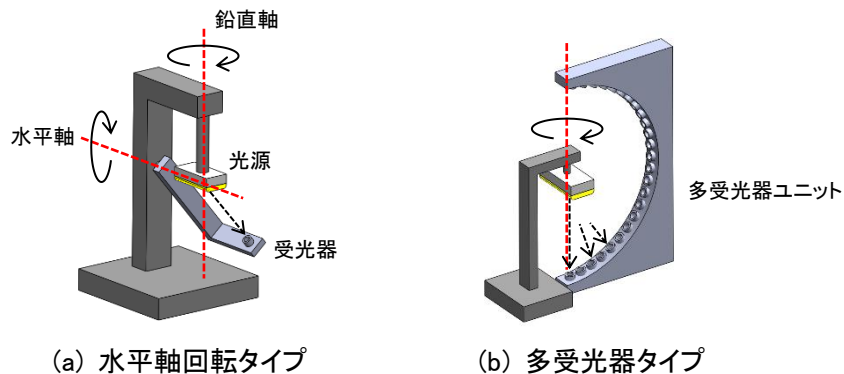


図 12. 受光器回転タイプの構成例

③ミラータイプ

ミラーで反射された光を測定します。光源を中心としてミラーを回転させるタイプと、ミラーを中心(固定)として光源を回転させるタイプがありますが、いずれもミラーを介することで光学距離を稼ぐことができるため、光源と受光器の距離を短くすることができます。例として図 13 に示すミラー回転タイプでは光源は鉛直軸で回転し、その周りをミラーが回転することになります。その際、直接光が受光器に入射してしまうと測定誤差の原因となるため直接光は遮光板を設置して遮光する必要があります。

大きなミラーを使用するためメンテナンスが煩雑でミラーのほこりや汚れが測定誤差につながる場合があります。また、ミラーによる偏光への影響があるため光源によっては測定できない場合があります。

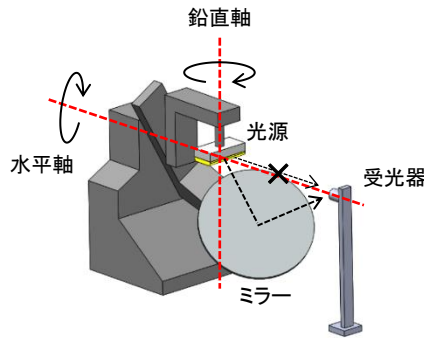


図 13. ミラー回転タイプの構成例

4.5. 測定時の注意点

配光測定による測定システムの構成例を図 14 に示します。光源中心から受光器に向かって直進する光のみを分光器や照度計で測定します。このとき、ゴニオメータで光源または受光器を回転させることで任意の角度の測定を行うことができます。ただし、細かく測定角度を変えながら膨大な数の測定を行う必要があるため、測定には多大な時間を要します。

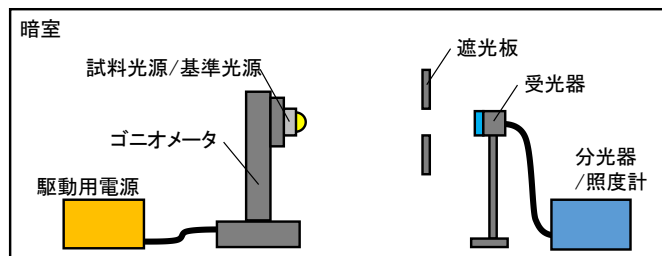


図 14. 配光測定システムの構成例

本節では、配光測定の誤差の要因として考えられる①測定角度 ②測定距離 ③標準光源の種類 ④LEDの温度特性による光束低下 についてご紹介します。

①測定角度

測定角度が少ないと正確な配光特性および光束値を得ることができません。測定間隔を狭くしてデータ数を増やすことで精度を上げることができますが、測定数が2倍になれば単純に測定にかかる時間も2倍になるため、むやみに測定数を増やすことは得策ではありません。効率的な測定を行うには、明るさの変化の小さい部分は測定間隔を広げるなどして、器具の配光に応じた測定角度の設定を行う必要があります。

②測定距離

ファーフールド測定を行う際は光源と受光器の間に十分な測定距離を確保する必要があります。ファーフールド特性として器具を点光源とみなすためには、少なくとも発光面の大きさ(長手方向の長さ)の5倍以上の距離を確保する必要があります。

③標準光源の種類

積分球測定と同様に(3.2. ④標準光源の種類 参照)値付けされた標準光源との比較測定を行うため、試料光源に近い仕様の標準光源を使用する必要があります。

④LEDの温度特性

積分球測定と同様に(3.2 ⑤LEDの温度特性 参照)LEDの温度特性を考慮する必要があります。熱による影響が少ないパルス電流で駆動するか、十分に熱飽和させて測定中に明るさが変動しないようにする必要があります。また、配光特性の測定には時間がかかるため、時間経過によって周辺温度が変動しないように暗室内の室温は常に一定になるよう制御する必要があります。

熱飽和させた状態で測定を行う場合、光源回転タイプ(4.4 ①光源回転タイプ 参照)では測定中に器具の向きが変わるため、本来の放熱性能を発揮できない可能性があります。この場合は光源の向きと各測定角における出力差を補正する必要があります。

5. トレーサビリティ

5.1. トレーサビリティ、不確かさとは

正確な測定を行うには測定器の校正が不可欠となります。測定器の校正は基準となる標準器を用いて行われますが、この標準器はさらに正確に管理された上位の標準器によって校正されます。このように段階的な校正を経て、最終的には国家標準器(または国際標準器)に関係付けられます。この校正の連鎖体系のことをトレーサビリティといいます。

トレーサビリティはJIS Z 8103より「個々の構成が不確かさに寄与する、切れ目なく連鎖した文書化された校正を通して、測定結果を参照基準に関係付けることができる測定結果の性質」と定義されています。よって、トレーサビリティの確立された校正とは「階層ごとの不確かさの明確化」、「国家標準器まで切れ目のない連鎖」、「校正手順や結果の文書化」などが条件として満たされている必要があります。

なお、不確かさはJIS Z 8103より「測定値に付随する、合理的に測定対象量に結び付けられ得る値の広がりの特徴づけるパラメータ」と定義されており、測定により得られた測定値が真値からどの程度の範囲(ばらつき)で存在しているかを示す指標となります。光束測定における不確かさの要因としては、測定器の個体差や測定ノイズ、測定環境(温度、湿度)などが考えられます。

5.2. 弊社のトレーサビリティ体系

弊社におけるトレーサビリティ体系を図 15 に示します。最終的に弊社から出荷される製品に含まれる不確かさは、国家標準から弊社量産選別器までの間に存在する全ての不確かさを含みます。^{※3} ただし、この不確かさは国家標準器に対しての相関を示すものであり、弊社トレーサビリティに含まれない他の測定機関による測定結果との差を示すことはできないためご注意ください。

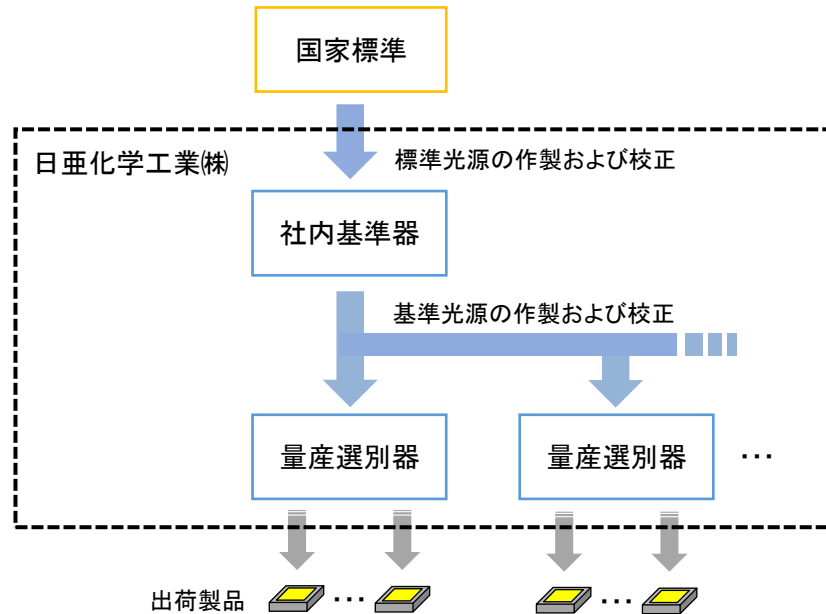


図 15. 弊社のトレーサビリティ体系

6. まとめ

本書では積分球および配光測定器による光束の測定方法をご紹介しました。いずれも長所・短所があるため、評価したい光源の性質や評価の目的により使い分ける必要があります。また測定誤差は様々な要因によって発生します。誤差が小さくなるような測定環境や測定手順を整えるとともに、器具設計においても目標性能に対し十分余裕を持った設計を行うことをお勧めします。

参考文献

- ・IESNA LM79 IESNA Approved Method for the Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products
- ・CIE 121 The Photometry and goniophotometry of luminaires
- ・JIS C 8105-5 照明器具-第 5 部: 配光測定方法
- ・JIS C 8152 照明用白色発光ダイオード(LED)の測光方法
- ・JIS Z 8103 計測用語

^{※3} 弊社製品仕様書に記載されている公差は、弊社トレーサビリティにおける不確かさをもとに決定されています。

<免責事項>

本書は、弊社が管理し提供している参考技術文書です。
本書を利用される場合は、以下の注意点をお読みいただき、ご了承いただいたうえでご利用ください。

- ・ 本書は弊社が参考のために作成したものであり、弊社は、本書により何らの保証をも提供するものではありません。
- ・ 本書に記載されている情報は、製品の代表的動作および応用例を示したものであり、その使用に関して、弊社および第三者の知的財産権その他の権利の保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- ・ 本書に記載されている情報については正確を期すべく注意を払っておりますが、弊社は当該情報の完全性、正確性および有用性を一切保証するものではありません。また、当該情報を利用、使用、ダウンロードする等の行為に関連して生じたいかなる損害についても、弊社は一切の責任を負いません。
- ・ 弊社は、本書の内容を事前あるいは事後の通知なく変更する場合がありますのでご了承ください。
- ・ 本書に記載されている情報等に関する著作権およびその他の権利は、弊社または弊社に利用を許諾した権利者に帰属します。弊社から事前の書面による承諾を得ることなく、本書の一部または全部をそのままあるいは改変して転載、複製等することはできません。

日亜化学工業株式会社

<http://www.nichia.co.jp>

774-8601 徳島県阿南市上中町岡491番地

Phone: 0884-22-2311 Fax: 0884-21-0148