

論文

相対分光応答度測定方法の開発

中村 広隆* 岩永 敏秀* 山本 哲雄* 中島 敏晴*

Development of a Relative Spectral Responsivity Measurement Method

Hirotaka Nakamura*, Toshihide Iwanaga*, Tetsuo Yamamoto*, Toshiharu Nakajima*

The development and use of light emitting diodes (LEDs) in illumination have been increasing due to the recent development of solid state lighting, and consequently photometric characterization measurement requests — for example: illuminance, luminous intensity distribution, and total luminous flux — of LED lighting have also increased. For the photometric characterization measurement of light sources such as LEDs, fluorescent lamps, and incandescent lamps, it is important to precisely measure spectral responsivity and to maintain a spectral responsivity measurement system. The spectral responsivity of a photodetector (its sensitivity at each wavelength) is an important characteristic, essential in the accurate measurement of the emission spectrum of light sources. Spectral responsivity measurement techniques are equally useful in photodetector assessment and in the evaluation of newly fabricated photodetectors. We propose a relative spectral responsivity measurement method for the spectral range from 1150 nm to 2500 nm. In this study we report on the evaluation results of photodetectors, a correction method of the spectral responsivity by reflectance on the photodetector surface, and a relative spectral responsivity measurement using an optical power meter or radiometer.

キーワード：分光応答度, 受光器, 標準受光器

Keywords : Spectral responsivity, Photodetector, Standard detector

1. はじめに

近年、新固体光源の開発により LED 照明の開発と利用が活発化しており、それに伴い LED 光源の測光依頼試験も増加している⁽¹⁾。これら LED 光源をはじめ、蛍光灯、電球等の光源の放射特性を正確に測定するために、分光応答度測定システムの整備が課題となっている⁽²⁾。ここで、分光応答度とは受光器の波長毎の感度特性である。青色 LED 等の単色光源の測光において、 $V(\lambda)$ 受光器を用いた測定では大きな誤差が生じやすい。これは、受光器の分光応答度が $V(\lambda)$ には完全には一致していないためである。このような誤差の補正を行うために受光器の分光応答度の校正が重要である。また、紫外、可視、近赤外域での分光応答度測定技術^{(3)~(5)}を確立することで、様々な受光器の評価や新しい受光器製作などへの技術応用が期待できる。今回、1150~2500nm での相対分光応答度測定に使用する標準受光器として、焦電型センサー、サーモパイルの受光器評価、反射率測定による分光応答度補正方法を検討し、さらに 1150nm 以降の相対分光応答度測定方法の開発として放射計、光パワーメータを用いた相対分光応答度測定を行った結果を報告する。

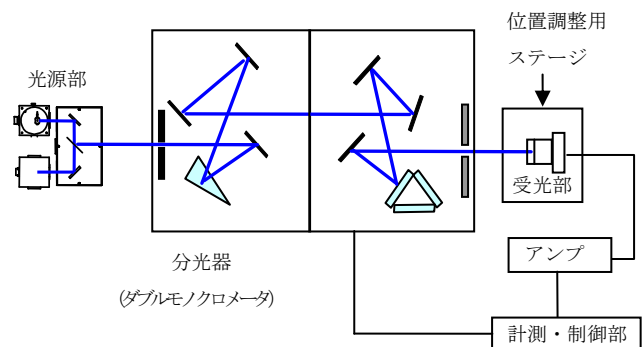


図1. 測定システムの構成

2. 測定システムの概要と測定方法

2.1 測定システムの概要 分光応答度測定システムは大きく分けて、光源部、分光器、受光部、計測・制御部で構成される(図1)。光源にはハロゲンランプ(150W)と重水素ランプ(30W)を使用している。分光器は迷光を非常に小さく抑えることができるダブルモノクロメータ方式を用いている。本測定システムの測定波長範囲は 250nm~2500nm である。

*光音グループ

2. 2 相対分光応答度測定方法 標準受光器 (Si フォトダイオード) を用いた相対分光応答度測定は、まず値付けされた受光器をリファレンスとして測定を行い、次にサンプル受光器の測定を行う。この値付けされた受光器とサンプル受光器の比較測定から各受光器の相対分光応答度を次式により算出した。

$$S_{smp}(\lambda) = S_{ref}(\lambda) \frac{D_{smp}(\lambda)}{D_{sref}(\lambda)} \quad (1)$$

ここで、 $S_{smp}(\lambda)$ はサンプル受光器の相対分光応答度、 $S_{ref}(\lambda)$ は標準受光器の分光応答度、 $D_{smp}(\lambda)$ はサンプル受光器の波長ごとの出力、 $D_{sref}(\lambda)$ は標準受光器の波長ごとの出力である。

3. 受光器の応答出力と相対分光応答度

3. 1 250-2500nm でのサーモパイル、焦電型センサーの応答出力 1150~2500nm での相対分光応答度測定に使用する標準受光器の評価として、標準受光器として着目している焦電型センサーとサーモパイルを用いて 250nm~2500nm での各波長におけるセンサーの応答出力の測定を行った。測定に使用したサーモパイル (Dexter 社製)、焦電型センサー (InfraTec 社製) の外観図を図 2 に示す。

3. 2 450-1150nm でのサーモパイル、焦電型センサーの相対分光応答度測定 本研究では、250nm~2500nm での相対分光応答度測定技術の開発として、250~1150nm での相対分光応答度測定では、250~1150nm において校正された Si フォトダイオードを標準受光器として使用する。校正された標準受光器の供給がなされていない 1150~2500nm では、フラットな分光応答度特性 (波長依存性がない) を利用した相対分光応答度の測定を考えている。現在、1150~2500nm での標準受光器として波長依存性が少ない焦電型センサーとサーモパイルに着目しているが、実際にセンサーの分光応答度を測定し、標準受光器としての適合性を評価してから選定する必要がある。そこで、この 2 種類の受光器に対して、校正された Si フォトダイオードの標準受光器を用いて 450-1150nm における相対分光応答度の測定を行った。また、各測定は、入射スリット幅:2mm, 出射スリット幅:1mm(可視域で約 6nm 相当の半値全幅)として測定を行った。

4. 分光応答度補正方法の検討

焦電型センサーの 450nm~1150nm での相対分光応答度はわずかな波長依存性がある (3.2 の測定結果)。これはセンサー表面の反射率などに波長依存性があるためと考えられる。この波長依存性を補正するために、センサー表面の分光反射率を測定した。今回の実験では、センサー表面は拡散性が強いと考えられ、拡散反射に対しての補正を行った。拡散反射率の測定では、45 度方向の拡散反射率と拡散受光の拡散反射率を求め、各々の結果からの分光応答度補正を行った。各反射率測定における入射光、測定した反射

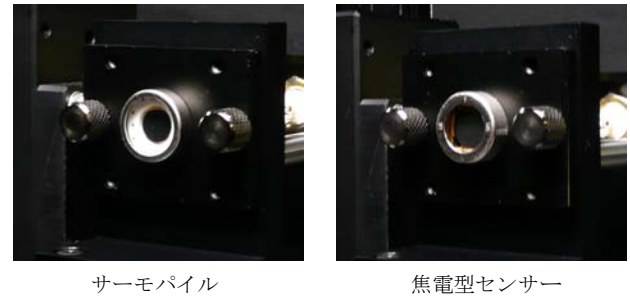
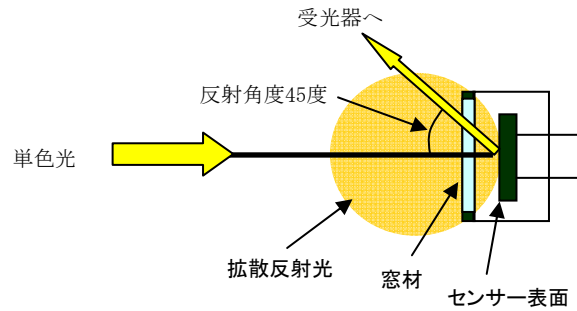
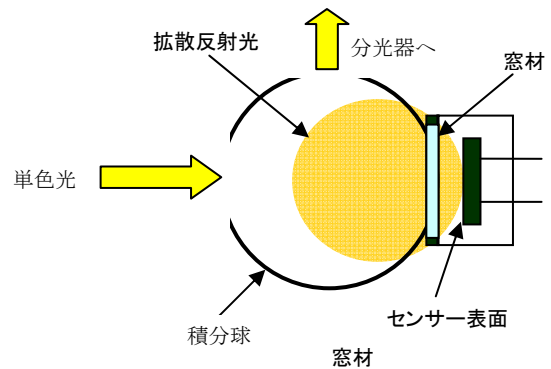


図 2. サーモパイルと焦電型センサー



(1) 拡散反射率 (45 度受光)



(2) 拡散反射率 (拡散受光)

図 3. 拡散反射率測定

光、センサーの配置などの幾何学的条件を図 3 に示す。そして、分光応答度の補正は次式により行った。

$$S_{corrected}(\lambda) = \frac{S_{smp}(\lambda)}{1 - R_{sensor}(\lambda)} \quad (2)$$

ここで、 $S_{corrected}(\lambda)$ は補正後の相対分光応答度、 $S_{smp}(\lambda)$ は補正前のサンプルの分光応答度、 $R_{sensor}(\lambda)$ は受光器表面の波長ごとの反射率である。

5. 1150nm 以上での相対分光応答度測定方法の検討

焦電型センサー、サーモパイルを標準受光器として使用する場合、各センサーが 1150nm 以降の波長において波長依存性がないことを実測定により確認する必要がある。そこで、1150nm 以降における相対分光応答度の実測定方法の検討として、光パワーメータと放射計を用いた相対分光応答度測定方法の検討を行った。測定方法としては、図 1 に示

す測定システムにおいて、受光部に光パワーメータまたは放射計を設置して、分光器から射出される各波長の光の放射照度を実測することで、焦電型センサーの相対分光応答度の測定を行った。

6. 結果および考察

6.1 サーマピイルおよび焦電型センサーの応答出力の測定結果

受光器評価として、各センサーの応答出力の測定結果を図4に示す。光源に重水素ランプとハロゲンランプを使用し、250~2500nm においての各波長の応答出力の測定を行った結果である。サーモピイルの応答出力は、DC (直流) 検出により測定した結果である。また、サーモピイルは窓材あり (サファイア)、焦電型センサーは窓材なしのものを使用した。本データは、光源の分光分布、分光器の回折格子、各センサーの分光応答度の波長特性が含まれており、大きな波長依存性がある。サーモピイルに使用している窓材の透過帯域は0.1~7 μm である。図4は2つのセンサーの分光応答度の波長特性がほぼ等しい特性であることを示している。熱形検出器は一般的に検出能力が低いですが、測定結果は、各センサー共に、1150~2500nm においての分光応答度測定に十分対応できる応答出力が得られることを示している。

6.2 サーマピイルおよび焦電型センサーの相対分光応答度の測定結果

サーモピイル (窓材: サファイア) および焦電型センサー (窓材: CaF_2) を用いて 450~1150nm での分光応答度測定を行った。焦電型センサーに使用している窓材の透過帯域は UV~7 μm である。図5に測定結果を示す。サーモピイルは波長依存性が大きいですが、この要因の一つとして、サーモピイルの周囲温度変化の影響が考えられる。また、サーモピイルの測定では、4Hz の周波数 (装置の可変最低周波数域) でチョッピングを行ったが、センサーの特性からより低い周波数の方が良いと考えられる。

6.3 焦電型センサーによる反射率補正方法の検討

拡散受光 (広域角) と 45 度受光の拡散反射率の測定結果を図6に示す。この結果から、拡散受光の拡散反射率は波長の増加と共に徐々に増加しているが、45 度方向の拡散反射率はある程度フラットな特性が見られる。図7は相対分光応答度補正結果を示しており、補正前と補正後を比較すると、拡散受光での拡散反射率からの補正後の方がよりフラットに補正されている。拡散受光での補正の方が実際の表面率に近い反射率を表しているためと考えられる。拡散反射率による補正後も、分光応答度はわずかな波長依存性がある。この波長依存性はセンサー表面の吸収率、正反射成分、窓材の影響などが考えられる。

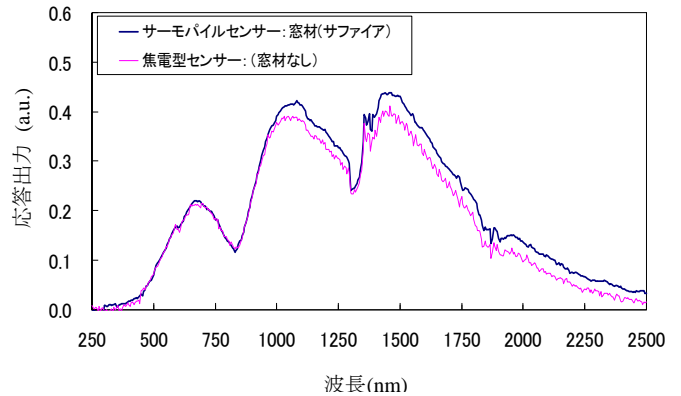


図4. 焦電型センサー、サーモピイルの出力

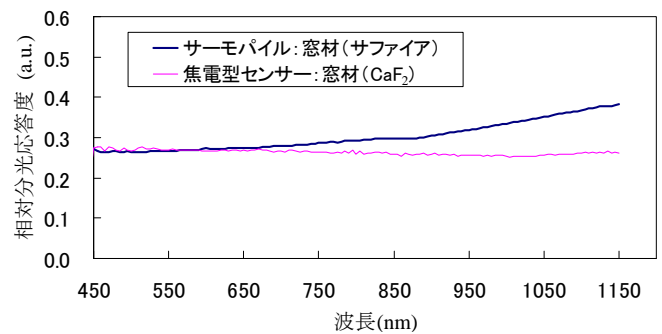


図5. サーマピイルと焦電型センサーの分光応答度

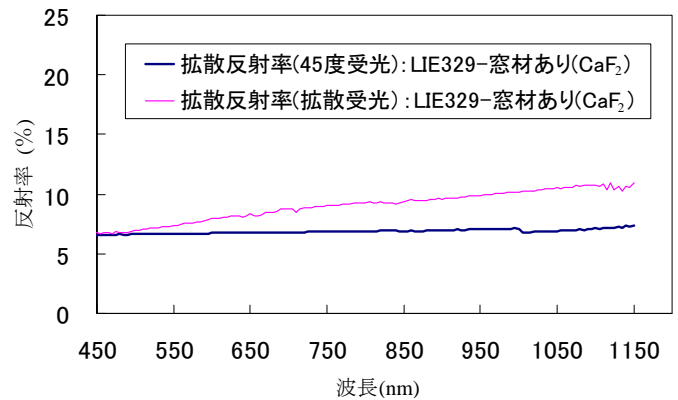


図6. 拡散反射率

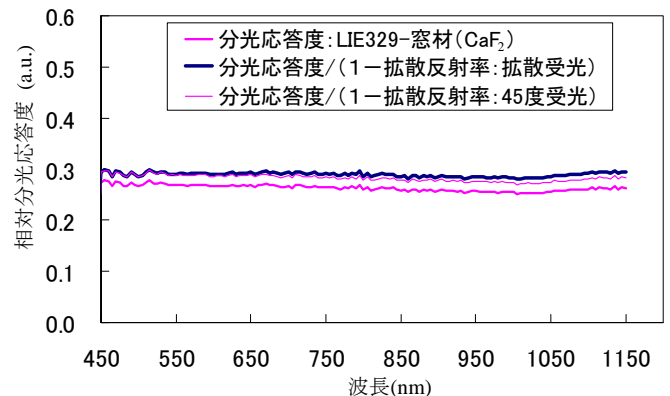


図7. 焦電型センサーの分光応答度

6. 4 1150nm 以上での相対分光応答度測定方法の検討

放射計および光パワーメータを用いて、1150nm 以降における焦電型センサーの相対分光応答の実測定を行った結果を図 8 に示す。この結果から、焦電型センサーにおいて 1150~2200nm での分光応答度のフラット性が確認できた。この方法により近赤外での相対分光応答度の実測定が可能であると確認できる。しかし、波長依存性が見られる。これは、測定誤差による要因が大きいと考えられ、温度変化などの外的影響による測定誤差などを抑制する方法の検討が必要である。

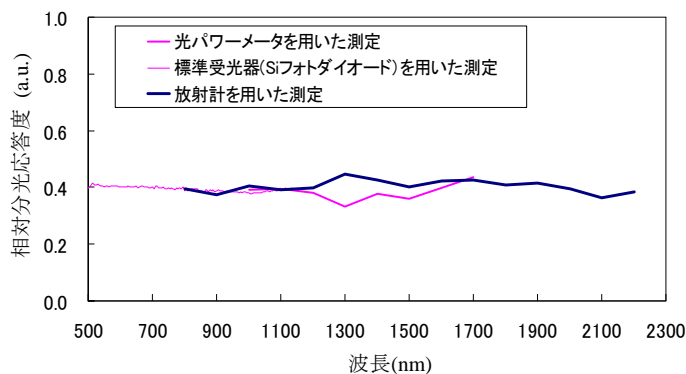


図 8. 放射計、光パワーメータによる相対分光応答度

7. まとめ

相対分光応答度測定方法の検討と受光器評価として焦電型センサーおよびサーモパイルの相対分光応答度と応答出力の測定を行った。

450~1150nm における相対分光応答度測定では、焦電型センサーはサーモパイルよりも波長依存性が少ないことを確認できた。また、応答出力の測定では、焦電型センサーとサーモパイルと共に 1150~2500nm での分光応答度測定に必要な応答出力が得られた。焦電型センサーの方がサーモパイル 1150~2500nm における標準受光器として期待できる。

相対分光応答度補正の検討では、拡散反射率測定による補正方法により、補正後の相対分光応答度は補正前よりもフラットな分光応答度になるという結果が得られた。

しかし、補正後も若干の波長依存性が残っている。今回、センサー表面の反射率測定はセンサーの外殻を取り付けた状態で行ったが、より正確な反射率測定を行うために、外殻を取り外し、センサー表面を露出した状態で行う必要がある。また、窓材の波長依存性についても測定を行い、補正精度を向上させる必要がある。

相対分光応答度測定方法の検討では、放射計と光パワーメータを用いて、相対分光応答度の測定が可能であることを確認した。しかし、Si フォトダイオードを用いた測定よりも波長依存性が高いという結果が得られた。これは、周囲温度変化などによる測定誤差が考えられる。

今後は、より測定誤差が低い新たな相対分光応答度測定

方法の検討を行い、1150nm 以降の汎用的な相対分光応答度測定方法の確立を行う。

(平成 20 年 7 月 4 日受付, 平成 20 年 8 月 4 日再受付)

文 献

- (1) 岩永敏秀、山本哲雄、中村広隆：「照明用 LED モジュールの光学特性測定システムの開発」, 東京都立産業技術研究センター研究報告, No.2, pp.34-37 (2008)
- (2) 中村広隆、岩永敏秀、山本哲雄、中島敏晴：「分光応答度測定システムの開発(I)」, 東京都立産業技術研究センター研究報告, No.2, pp.42-46 (2008)
- (3) 照明学会：受光器分光応答度測定方法に関する調査研究委員会報告書「光電素子の相対分光応答度測定方法」, JIES-007 (1997)
- (4) “Determination of the spectral responsivity of optical radiation detectors”, CIE Pub., No.64 (1984)
- (5) 照明学会：短波長紫外線の測定法に関する研究調査委員会報告書, JIER-066 (2000)