

論文

分光応答度測定システムの開発(I)

中村 広隆* 岩永 敏秀* 山本 哲雄* 中島 敏晴*

Development of a relative spectral responsivity mesurment system (I)

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

The spectral responsivity of a photodetector, that is, its sensitivity at each wavelength, is an important characteristic, essential in the accurate measurement of the emission spectrum of light sources. The precise measurement of the spectral responsivity and the maintenance of a spectral responsivity measurement system are important for the photometric characterization of light sources such as fluorescent lamps, incandescent lamps, LED's, and EL's. The spectral responsivity measurement techniques are equally useful in the photodetector assessment and in the evaluation of newly fabricated photodetectors. We propose a relative spectral responsivity measurement system for the spectral range from 250 nm to 2500 nm. In this study we report on the construction and the evaluation results of such a system working in the spectral range from 250 to 1150 nm.

キーワード：分光応答度，受光器，標準受光器

Keywords：spectral responsivity, photodetector, satandard detector

1. はじめに

分光応答度とは，受光器の波長毎の感度特性を表し，光源の放射特性を正確に測定するために必要な受光器の特性である。LED，EL，蛍光灯，電球などの測光において正確な測定を行うために，分光応答度測定システムの整備が重要となっている。特に，近年の新光源開発による青色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おらず， $V(\lambda)$ からのずれがあるためである。そのため，比較的ずれが大きい波長帯域での測定では大きな誤差が生じる。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，分光応答度測定技術⁽¹⁾⁻⁽³⁾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。本研究では，250～2500nmの相対分光応答度測定システムの開発を目的としている。今回，分光応答度測定システムの構築と250～1150nmでのSiフォトダイオードによるシステム評価および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，焦電型センサーによる適合性評価の基礎検討を行った。また，サーモパイル，焦電型センサーによる900～2500nmでの応答出力測定を行い，1150～2500nmにおける相対分光応答度測定方法の基礎検討を行った結果について報告する。

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の構成を図1に示す。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。分光応答度測定システムは，既設の分光測定システムに新たに分光応答度測定機能を追加する形で構築をした。本システムの測定波長範囲は250nm～2500nmである。

光源にはハロゲンランプ(150W，測定波長範囲：250～2500nm)と重水素ランプ(30W，測定波長範囲：200～400nm)を使用している。光源からの光は分光器(ダブルモノクロメータ)により各波長の単色光に分光されて受光器へ射出される。受光器に入射した各波長の放射エネルギーが電気信号として出力される。ダブルモノクロメータ方式にすることで迷光を非常に小さく抑えることができる。測定システムの仕様を表1に示す。

表1. 測定システムの仕様

分光器	プリズム-回折格子ダブルモノクロメータ
測定波長範囲	200～2500nm
波長分解能	0.2～24nm
波長精度	±0.2nm
迷光	0.01%以下(633nm)

* 光音グループ

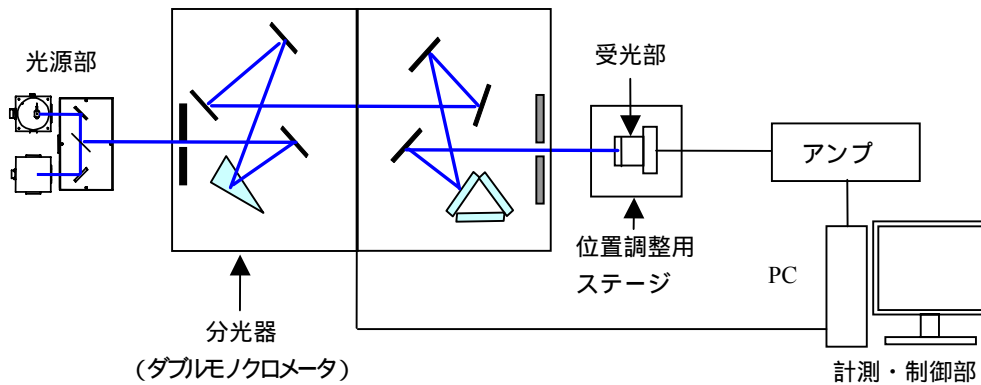


図1 測定システムの構成

2.2 相対分光応答度測定方法

構築した分光応答度測定システムの評価として、250～1150nmでのSiフォトダイオードおよび焦電型センサーの相対分光応答度測定を行った。測定に用いたSiフォトダイオードは浜松ホトニクス社製(S1337-1010BR, S1337-1010BQ, S2281, S2281-10), 焦電型センサーはInfraTec社製(LIE-329)を使用した。測定方法として、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う。次にサンプル受光器の測定を行い、値付けされた受光器との比較測定により次式から各受光器の相対分光応答度を算出した。

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

ここで、 $S_{\text{samp}}(\lambda)$ はサンプルの相対分光応答度、 $S_{\text{ref}}(\lambda)$ は標準受光器の分光応答度、 $D_{\text{samp}}(\lambda)$ はサンプルの波長ごとの出力、 $D_{\text{sref}}(\lambda)$ は標準の波長ごとの出力である。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)として測定を行った。

2.3 1150～2500nmにおける相対分光応答度測定方法の基礎検討

1150nm～2500nm における相対分光応答度測定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またはサーモパイルの使用を考えている。そこで、この2種類のセンサーを用いて1150nm～2500nmでの各波長におけるセンサーの応答出力の測定を行い、1150nm～2500nm における本測定システムの動作確認を行った。サーモパイルはタツモ株式会社(現在:SSC株式会社)MIR-1002S, 焦電型センサーはInfraTec社製(LIE-329)を使用した。

3. 結果および考察

3.1 Siフォトダイオードの相対分光応答度測定結果

測定システムの測定値の妥当性と計測信号安定性の評価のためにS1337とS2281タイプのSiフォトダイオードを使用



図2. Siフォトダイオード

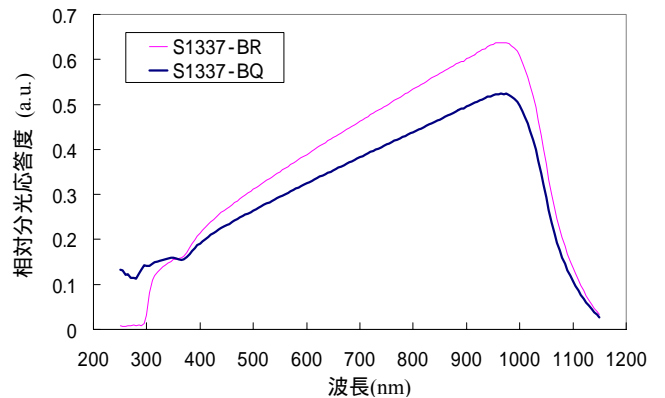


図3. Siフォトダイオード(S1337)の分光応答度

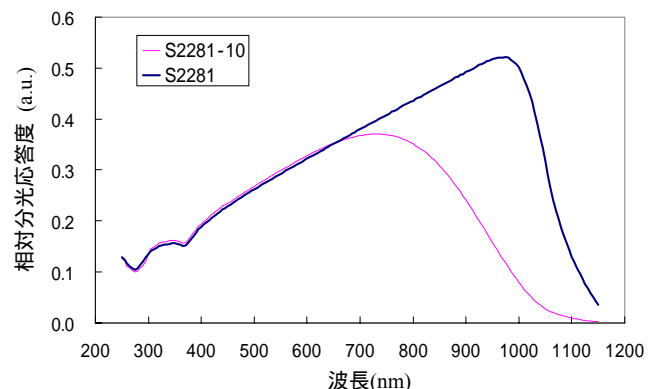


図4. Siフォトダイオード(S2281)の分光応答度

した。Si フォトダイオードの受光面の形状は各タイプで異なり，S1337では長方形(10mm×10mm)，S2281では円形(φ11.3mm)である(図2参照)

図3は S1337-1010BR，S1337-1010BQ，図4は S2281，S2281-10の相対分光応答度の測定結果を示す。本測定システムによる S1337-1010BQの分光応答度測定結果とS1337-1010BQの値付けされた分光応答度を比較した結果ほぼ一致していることが確認できた。

Si フォトダイオードの測定結果により，S1337-1010BQの測定値の安定性は250nm～300nm：標準偏差1.5%以内，300nm～1150nm：標準偏差1.0%以内，S2281-10の測定値の安定性は250nm～350nm：標準偏差2.0%以内，350nm～1150nm：標準偏差1.0%以内の結果が得られた。S1337-1010BQ，S2281-10共に，250nm～300nmにおける測定値の安定性が300nm～1150nmより低い要因として，受光面に入射するビームスポット位置の僅かな位置ずれなどが考えられる。より安定した測定値が得るために，光学系の調整，受光器固定治具の改良を検討している。

3.2 焦電型センサーの分光応答度測定結果

本研究では，250～2500nmの相対分光応答度測定システムの開発を目的としており，250～1150nmでの分光応答度測定では校正されたSi フォトダイオードを標準受光器として使用する。しかし，1150～2500nmにおいて，校正された標準受光器の供給がなされていない。そこで，1150～2500nmにおける標準受光器として，各種受光器の適合性を評価して選定する必要がある。現在，1150～2500nmの標準受光器の特性として波長依存性が少ない受光器として，焦電型センサーとサーモパイルに着目し，標準受光器として適合性があるか評価を行っている。波長依存性がない(フラットな分光応答度特性)ことを利用した相対分光応答度の測定を考えている。

今回，本測定システムを使用し，焦電センサーの450～1150nmでの分光応答度測定を行った。測定では，窓材がある場合と窓材なしの場合の2種類の焦電センサーにおいて測定を行った。焦電センサー(窓材あり)の外観図を図5に示し，窓材はCaF₂を用いている。

図6に焦電型センサーの測定結果を示す。焦電型センサーの窓材ありと窓材なしでは特性はほぼ同じことが確認できた。これは，窓材の透過率が250～1150nmにおいて波長依存性が少ない(フラットな波長特性)ためと考えられる。焦電型センサーの分光応答度のわずかな波長依存性はセンサー表面の反射率に波長依存性があるためと考えられる。今後は，センサー表面の分光反射率測定を行い，分光応答度の補正を行う。

3.3 1150～2500nmにおける相対分光応答度測定方法の基礎検討

分光応答度の波長依存性が少ないサーモパイルと焦電型センサーを用いた1150～2500nmにおける相対分光応答度

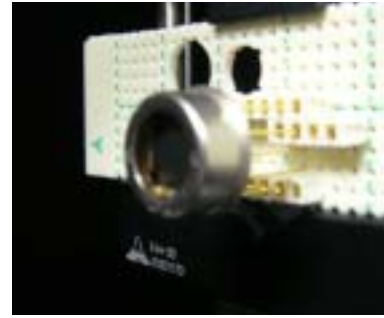


図5. 焦電センサー(窓材:CaF₂)

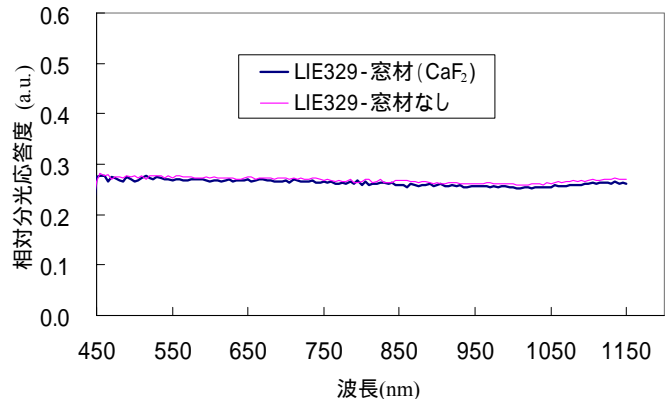


図6. 焦電センサーの分光応答度



図7. サーモパイル

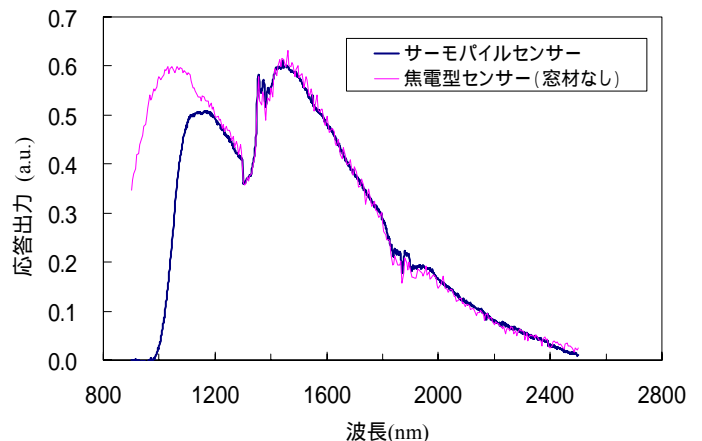


図8. サーモパイルの出力(光源:ハロゲンランプ)

測定の基礎検討として、光源にハロゲンランプを使用し、900～2500nm における各波長の応答出力の測定を行い、本測定システムの動作確認を行った。サーモパイルを用いた測定では、センサーからの出力はプリアンプを通した後、DC(直流)検出を行った。測定に使用したサーモパイル(窓材あり)の外観図を図7に示す。焦電型センサー(窓材なし)は相対分光応答度測定(3.2)に用いたセンサーを使用した(図5参照)。

各センサーの応答出力の測定結果を図8に示す。本データはシステムからの生信号であるため、光源のハロゲンランプの分光分布、分光器、サーモパイルの分光応答度の波長特性が含まれている。図8から、サーモパイルの応答出力が1000nm付近から立上っているのは窓材の透過率の波長特性である。サーモパイルに使用している窓材の透過帯域は1～18 μ mである。また、2つのセンサーの応答出力の波長特性は1200nm付近からほぼ一致している。これは、1200nm～2500nmでの両センサーの分光応答度の波長特性がほぼ等しいことを示している。

1150～2500nmにおける標準受光器としての適性として、受光器の検出能力や出力の安定性を評価する必要がある。一般に熱形検出器は検出能力が低いので、十分な応答出力が得られるかを確認する必要がある。今回の結果は、各センサー共に1150～2500nmの波長範囲における分光応答度測定に十分対応できる応答出力があることを示している。

今後は、サーモパイルを用いた相対分光応答度測定において、より出力の安定性を高めるために低周波チョッパを導入し測定システムの改善を行う。また、サーモパイルについても、焦電型センサー同様、250～1150nmにおける、窓材ありと窓材なしのサーモパイルの相対分光応答度測定を行い、波長特性、出力の安定性等の受光器評価を行う。

4. まとめ

分光応答度測定システムの構築とSiフォトダイオードおよび焦電型センサーの分光応答度測定、サーモパイルの応答出力の測定を行った。

Siフォトダイオードの測定では、250～1150nmでの測定値の安定性評価を行い、S1337-1010BQとS2281-10の測定結果を合わせた本測定システムの測定値の安定性は、250nm～350nm:標準偏差2.0%以内、450nm～1150nm:標準偏差1.0%以内の結果が得られた。

焦電型センサーの測定では、450～1150nmにおいて波長依存性が少ないことが確認できた。また、1150～2500nmでの分光応答度測定が可能な応答出力が得られ、1150～2500nmにおける標準受光器として期待できる有用な結果が得られた。

サーモパイルの測定では、1150～2500nmにおける相対分光応答度測定の基礎検討として、900～2500nmにおけるサーモパイルの応答出力による本測定システムの動作確認

を行い、分光応答度測定に十分な応答出力が得られた。

今後は、サーモパイル、焦電型センサー等の受光器の感度むら、窓材等の特性評価を行い、標準受光器としての適合性を評価し、1150nm～2500nmの波長範囲での分光応答度測定技術の確立を行う。

(平成19年6月29日受付,平成19年8月29日再受付)

文 献

- (1) 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)
- (2) “Determination of the spectral responsivity of optical radiation detectors”, CIE Pub., No.64 (1984)
- (3) 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)