

# 積分球光源法の高度化による分光放射計用各種ディテクタの応答直線性評価

渡邊 良一、猪狩 真一、周 泓  
産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 評価・標準チーム

## 研究背景・目的

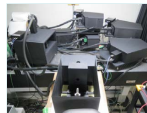
- 装置性能の改善と校正手順の高度化により、基準太陽電池デバイス校正の支配的不確かさ要因をスペクトルミスマッチ補正係数(MMF)に落とし込めた。
- MMFの不確かさは、分光放射計校正光源の不確かさと、校正光源とソーラシミュレータの強度差による分光放射計の応答非直線性が主要因である。
- 本研究の目的は、高速型グレーティング分光放射計の内蔵する各種ディテクタの応答直線性を積分球光源法で評価し、それらの適合性を確認することである。

## 分光器の分担保長

- ① UV分光器: 250 nm~390 nm
- ② UV-VIS分光器: 391 nm~570 nm
- ③ VIS分光器: 571 nm~750 nm
- ④ NIR分光器: 751 nm~960 nm
- ⑤ IR1分光器: 961 nm~1580 nm
- ⑥ IR2分光器: 1581 nm~2500 nm

## ディテクタ

- 光電子増倍管 (PMT)
- Siフォトダイオード A型
- Siフォトダイオード B型
- Siフォトダイオード B型
- InGaAs PINフォトダイオード A型
- InGaAs PINフォトダイオード B型



## リニアリティ比 $r^{(n)}$ の算出による応答直線性の評価

- 積分球にLEDの発光を入射し、その光量を制御してディテクタの出力を計測する。

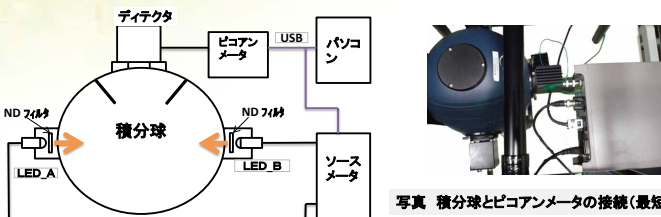


写真 積分球とピコアンメータの接続(最短)

先行研究  
Dong-Joo Shin, Seongchong Park, Ki-Lyong Jeong, Seung-Nam Park and Dong-Hoon Lee,  
"High-accuracy measurement of linearity of optical detectors based on flux addition of LEDs in an integrating sphere"  
Metrologia, Volume 51, Number 1, pp. 25-32, (2014).

- 積分球光源法と重畳法の併用で、均一光照射による安定な評価が可能である。
- リニアリティ比  $r^{(n)}$  は 重畳法(重ね合わせ法)を応用した評価指標である。LED AとLED Bのそれぞれ光出力を等しく設定すると、両方がONの場合の光出力は、一方がONの場合の2倍になる。
- つまり、LED A、LED Bを点灯した時のディテクタ電流を  $I_A, I_B$ 、LED AとLED Bの両方を点灯した時のディテクタ電流を  $I_{AB}$  としてリニアリティ比  $r_{AB}$  を算出する。
- 理想的なリニアリティ比は1であり、1から外れた領域が応答非直線領域である。
- LEDの中心波長を変えることで、リニアリティ比の波長依存性が評価できる。

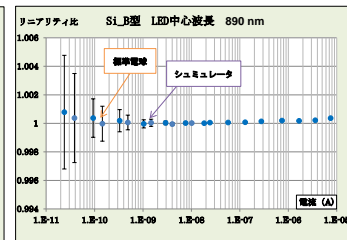
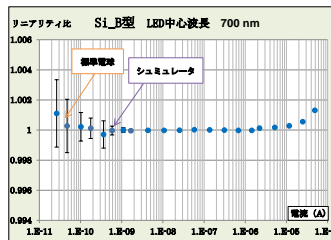
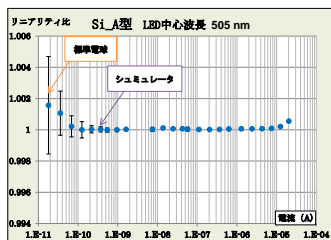
$$r_{AB} = \frac{I_{AB}}{I_A + I_B}$$

- 先行研究ではディテクタ電流が大きい領域の評価を行っているが、本研究では分光放射計の実用領域であるディテクタ電流 1 nA 以下の領域で評価している。
- ディテクタ電流を 1 nA 以下にする上で、LEDの駆動電流を変えて光量を減衰制御する方法ではLEDの発光が著しく不安定化して良好なデータが得られない。
- LEDを定電流駆動し、透過率の異なるNDフィルタを挿入して光量減衰制御した。

## 標準電球及びソーラシミュレータ測定時のディテクタ電流

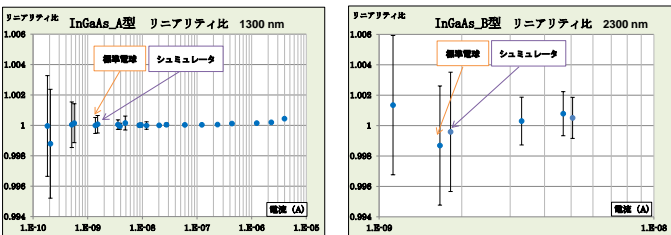
- ディテクタの感度ピーク波長と発光ピーク波長に近いLEDを評価用光源として選定。

LEDの中心波長	標準電球	ソーラシミュレータ	ディテクタ
373 nm	1.12 (uA)	48.4 (uA)	PMT
505 nm	18.86 (pA)	749.95 (pA)	Si A型
700 nm	51.55 (pA)	670.35 (pA)	Si B型
890 nm	149.90 (pA)	1075.49 (pA)	Si B型
1300 nm	1361.42 (pA)	1490.11 (pA)	InGaAs A型
2300 nm	1693.31 (pA)	1810.95 (pA)	InGaAs B型

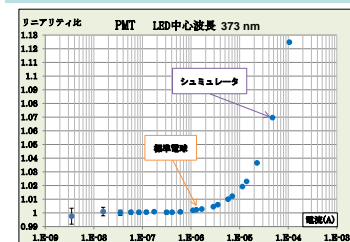


- Siフォトダイオード A型、B型ともに使用領域におけるリニアリティ比は、ほぼ1。
- ディテクタ電流0.1 nA 以下の領域ではリニアリティ比のバラツキと平均値が増加傾向となる。
- 前者は測定分解能の限界に係るが、後者はピコアンメータ自体の非直線応答の可能性がある。

## InGaAsのリニアリティ比はA型、B型ともにほぼ1。



## PMT ソーラシミュレータ測定時の応答非直線性が高い

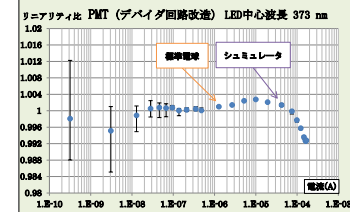


ソーラシミュレータ測定時の光電子増倍管(250 nm~390 nm)の検出電流値の応答非直線誤差は+7%に達する。



抵抗型デバイダ回路をアクティブ型に改造して再評価した結果、応答非直線誤差は+0.2%まで抑制できた。PMTの応答非直線性は解消できる。

分光放射計に実装して評価する。



## 結論

- ① 定電流駆動LEDのNDフィルタによる光量減衰制御と低ノイズ型ピコアンメータ導入の結果、小電流値領域での測定再現性を大幅に改善できた。
- ② 各種ディテクタのリニアリティ比の評価結果から、光電子増倍管を除き、実用領域における応答直線性は十分であることが判った。
- ③ デバイダ回路をパッシブ型からアクティブ型に改造することで、実用領域における光電子増倍管の応答非直線性を解消できることが判った。
- ④ Siフォトダイオード電流(0.1 nA 以下)のリニアリティ比の上昇とピコアンメータの応答非直線性の関係の再検証が課題である。
- ⑤ 超高温度点黒体炉の光量領域でディテクタの応答直線性を評価するため、より高分解能のフェムト・ピコアンメータを導入して高信頼化する。

## 謝辞

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から受託して実施したものであり、関係各位に感謝する。