

ディテクタの応答非直線性とピコアンメータの非直線領域

渡邊 良一、猪狩 真一、周 泓、武田 俊輔
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

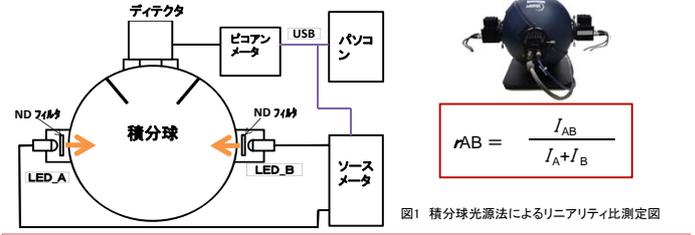
研究背景・目的

- 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な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。

分光器の分担波長	ディテクタ
① UV分光器: 250 nm~390 nm	光電子増倍管 (PMT)
② UV-VIS分光器: 391 nm~570 nm	Siフォトダイオード A型
③ VIS分光器: 571 nm~750 nm	Siフォトダイオード B型
④ NIR分光器: 751 nm~960 nm	Siフォトダイオード B型
⑤ IR1分光器: 961 nm~1580 nm	InGaAs PINフォトダイオード A型
⑥ IR2分光器: 1581 nm~2500 nm	InGaAs PINフォトダイオード B型

リニアリティ比 $r^{(n)}$ の算出による応答非直線性の評価

- 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。



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を併用し、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、重畳法を応用したリニアリティ評価指標である。
- 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。

Siフォトダイオードの非直線性の評価

NIR分光器 ディテクタSi_B型 リニアリティ比 LED中心波長890 nm

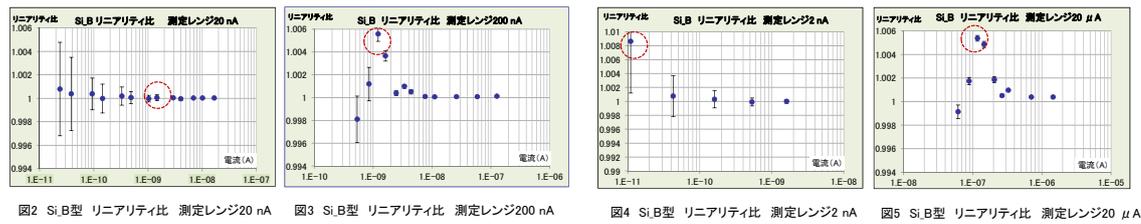


表2 標準電球及びソーラシミュレータ
測定時のディテクタ電流 LED中心波長890 nm

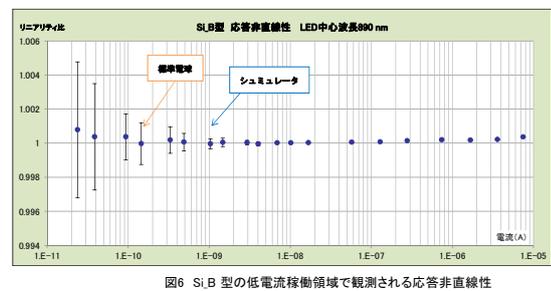
標準電球 500 W 149.90 (pA)	ソーラシミュレータ 1075.49 (pA)
------------------------------	---------------------------

ディテクタ電流1.2 nAのリニアリティ比が測定レンジ20 nAと200 nAで異なる。測定レンジ2 nA、200 nA、20 μAで、リニアリティ比の増加・減少する特異点(応答非直線領域)が存在する。

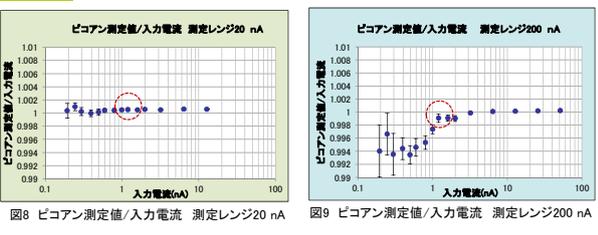
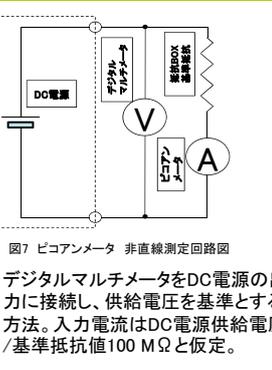
表1 Si_B型のリニアリティ比が増加・減少する特異点

ゲイン切換	測定レンジ(A)	リニアリティ比の特異点(A)	特異点/測定レンジ
ゲイン1	2 n	12 p (1.2E-11)	6.0E-03
	20 n	12 p (1.2E-11)	6.0E-04
ゲイン2	200 n	1.2 n (1.2E-09)	6.0E-03
	2 μ	1.2 n (1.2E-09)	6.0E-04
ゲイン3	20 μ	0.12 μ (1.2E-07)	6.0E-03

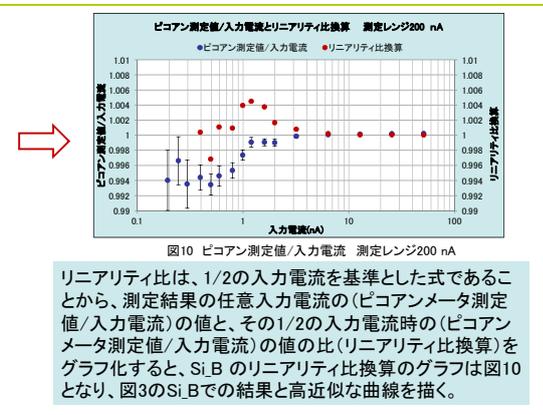
ピコアンメータは 2 nAと20 nA、200 nAと2 μA、20 μAと200 μAと二レンジごとにゲインを切り換える。リニアリティ比の特異点と各測定レンジの比を取ると、2 nA、200 nA、20 μAレンジでは6.0E-03、20 nA、2 μAレンジでは6.0E-04と、規則性がある。このことから、ピコアンメータ自身のゲインの入出力特性に非直線領域が存在する可能性を見出した。



ピコアンメータの非直線領域の測定



測定レンジ200 nAレンジでは、0.2 nA~1.2 nAの範囲で(ピコアンメータの測定値/入力電流)が1以下に減少していく。この点が、Si_Bのリニアリティ比 $r^{(n)}$ の測定で示した表1のリニアリティ比の特異点1.2 nAと一致する。



リニアリティ比は、1/2の入力電流を基準とした式であることから、測定結果の任意入力電流の(ピコアンメータ測定値/入力電流)の値と、その1/2の入力電流時の(ピコアンメータ測定値/入力電流)の値の比(リニアリティ比換算)をグラフ化すると、Si_Bのリニアリティ比換算のグラフは図10となり、図3のSi_Bでの結果と高近似な曲線を描く。

結論

- ① ピコアンメータの非直線領域の存在を確定できSiフォトダイオードで観測された応答非直線性がデバイスの特性ではなく、ピコアンメータの特性によるものであることを明らかにできた。
- ② ピコアンメータの非直線領域は、0.1 nA以下の電流領域にあるため、この問題を解決する測定にはフェムトピコアンメータの適用が必要である。
- ③ ピコアンメータとフェムトピコアンメータによる測定結果の比較により、評価結果の最終的な妥当性検証を行う予定である。

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。