RCPV Research Center for Photovoltaics

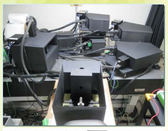
6分岐ファイバ型絶対分光放射計の応答非直線性評価

渡邉 良一、猪狩 真一、小久保 順一、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

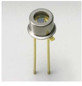
・基準太陽電池の一次校正の不確かさ要因として支配的なスペクトルミスマッチ補正係数の不確かさを抑制する絶対分光放射計を開発。
・光強度に対する応答非直線性を評価して改善度を明らかにする。



6分岐ファイバ型絶対分光放射計

① UV分光器：250–390 nm 光電子増倍管

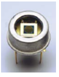
② UV-VIS分光器：390–570 nm SiフォトダイオードA



③ VIS分光器：570–750 nm SiフォトダイオードB

④ NIR分光器：750–960 nm SiフォトダイオードB

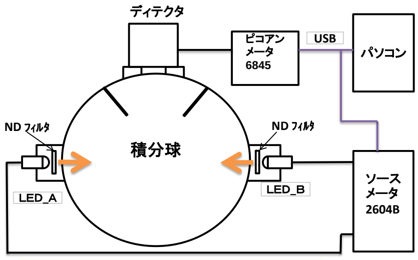
⑤ IR1分光器：960–1580 nm InGaAs PINフォトダイオードA



⑥ IR2分光器：1580–2500 nm InGaAs PINフォトダイオードB

積分球とLEDの組合せによる重畳法式ディテクタ・リニアリティ評価装置

- 積分球にLED発光を入射させ、その光量を制御してディテクタの出力を計測する。
- 先行研究ではLEDの電流を制御しているが、安定駆動の上、NDフィルタで光量制御しないと十分なデータの再現性が得られない。



ディテクタ リニアリティ評価装置の基本構成

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).

リニアリティ比 $r^{(n)}$ の算出による対光応答非直線性の評価

- 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。LED電流とディテクタ電流の関係比から光強度に対する応答非直線性を求める。

先ず、ディテクタ電流 $I^{(0)}{}_A = I^{(0)}{}_B$

となるように初期のLED_A電流a¹とLED_B電流b¹を設定し、

$I^{(n)}{}_A = I^{(n)}{}_B = I^{(n-1)}{}_{AB}$ の関係式が成立するように

LED電流をa^1, a^2, a^3, a^4 ------ a^n b^1, b^2, b^3, b^4 ------ b^n と増加させ、それぞれのLED電流に対する ディテクタ電流を測定してリニアリティ比 $r^{(n)}AB$を算出する。

$$r^{(n)}AB = \frac{I^{(n)}{}_{AB}}{I^{(n)}{}_A + I^{(n)}{}_B}$$

- LED点灯シーケンス変更によるリニアリティ比 $r^{(n)}AB$, $r^{(n)}BA$ の算出
LEDの点灯シーケンスを変えてディテクタ電流を測定する。

LED_A点灯→LED_B点灯→LED_A消灯

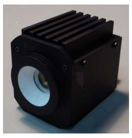
$$r^{(n)}AB = \frac{I^{(n)}{}_{AB}}{I^{(n)}{}_A + I^{(n)}{}_B}$$

LED_B点灯→LED_A点灯→LED_B消灯

$$r^{(n)}BA = \frac{I^{(n)}{}_{BA}}{I^{(n)}{}_B + I^{(n)}{}_A}$$

$$r^{(n)} = \sqrt{r^{(n)}AB \cdot r^{(n)}BA}$$

$$I^{(n)} = \sqrt{I^{(n)}AB \cdot I^{(n)}BA}$$

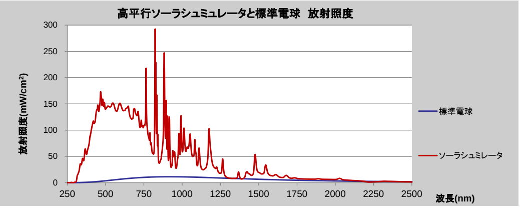


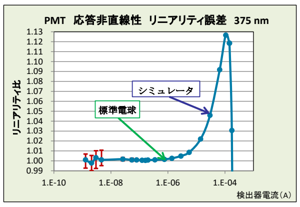
- $r^{(n)}AB$, $r^{(n)}BA$ と$I^{(n)}AB$, $I^{(n)}BA$から上式により検出器電流 $I^{(n)}$ とリニアリティ比$r^{(n)}$を求め、両者の関係をプロットする。
- 理想的なリニアリティ比は1である。1から外れた領域が応答非直線性領域である。

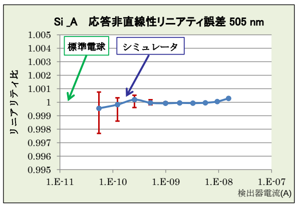
高平行シミュレータ・標準電球500 W測定時 検出器電流

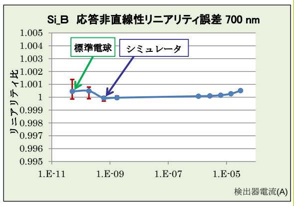
- ディテクタの受光ピーク波長と発光ピーク波長が近いLEDを評価用光源として選定。

中心波長	標準電球 500 W	高平行シミュレータ	検出器	波長範囲
375 nm	1.12 (uA)	48.4 (uA)	PMT	250-390 nm
505 nm	18.859（pA)	749.948（pA)	Si_A	390-570 nm
700 nm	51.549（pA)	670.349（pA)	Si_B	570-750 nm
890 nm	149.902（pA)	1075.49（pA)	Si_B	750-960 nm
1300 nm	1361.418（pA)	1490.11（pA)	InGaAs_A	960-1580 nm
2300 nm	1693.311（pA)	1810.95（pA)	InGaAs_B	1580-2500 nm



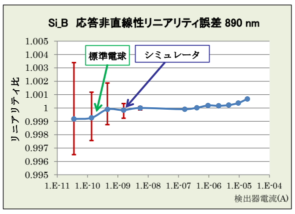


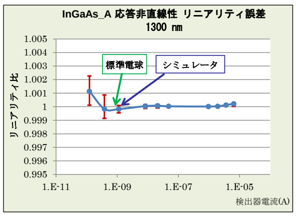


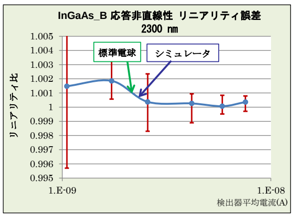


標準電球とシュミュレータの間で+5%程の応答非直線性が生じている。

標準電球が測定限界を超えているため現在、対策中。







結論

①LEDを安定電流で駆動し、光量の減衰をNDフィルタで行うことで、ディテクタ電流値の小さい領域（0.1 uA以下）での再現性 を大幅に改善した。
②より透過率の低いNDフィルタを利用し、絶対分光放射計内でのディテクタ電流がより小さい（0.1 nA以下）領域での評価を完了させる。
③基本的に、殆どの波長域で、非応答直線性については無視できるディテクタが選択されていることが実証できた。
④分光器1（250 nm～390 nm）で使用しているPMTでは+5%程度の対光応答非直線性が生じており、250 nm～390 nmの間に感度を有する太陽電池の出力を若干、過小評価することに繋がるため，解決方法を早急に検討する。

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。