

絶対放射計測の歴史的推移と精度向上の為の技術課題

武田俊輔 猪狩真一

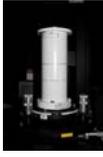
産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 評価・標準チーム

研究の目的

- ・基準太陽電池の校正の不確かさの低減には、照射光であるソーラシミュレータや自然太陽光の放射照度の絶対測定が不可欠である。
- ・産総研における基準太陽電池の校正の不確かさ評価の結果、分光放射計のリニアリティの改善や超高温定点黒体炉の利用技術の実用化により、残る課題は放射照度の絶対放射測定の不確かさの低減であることが明らかとなった。絶対放射計測の歴史的推移と精度向上のための技術課題の抽出が本研究の目的である。



基準太陽電池セル



絶対放射計

内容

- ### 絶対放射計の歴史的推移
- ・年表によるまとめ
 - ・年代毎の絶対放射計の比較検討

- ### 絶対放射計の基本的な計測原理
- ・パッシブ型の絶対放射計測の基本原理
 - ・アクティブ型の絶対放射計測の基本原理

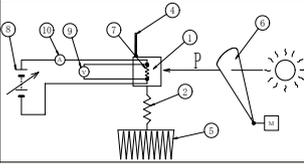
- ### 精度向上の為の技術課題の抽出
- ・絶対放射計の受光センサの構造の検討
 - ・絶対放射計の計測系の検討

結果

絶対放射計の歴史的推移

年代	機種名等	センサ部	方式	その他	文献
1969	PACRAD	白金線を巻き付けた円錐形	A	凹面で受光 デュワー付き	1)
1985	国際照明学会誌	円盤状基板に金属薄膜パターン	A	平面で受光	2)
1986	PMO-6	白金線を巻き付けた円錐形	A	凸面で受光	3)4)
2004	SIARs	円錐形	A	凹面で受光	5)
2014	Digital Absolute Radiometer (DARA)	円錐形	A	凹面で受光 宇宙機搭載用	6)
2016	AHF	円錐形	P	凸面で受光	7)
2016	MAR-1	円錐形	P	凹面で受光	8)

- ・絶対放射計は、放射エネルギーを熱エネルギーとして捉える点ではボロメータと原理的に等しいが、自己校正が可能であることを特長とする。
- ・JPLのPACARD以降、受光効率向上の為、銀箔で作られた円錐に白金線を巻き付け、これに黒色低反射処理を施して円錐の凹面から受光するセンサ構造の機種が多い。
- ・例外的に、エッチングによる平面の受光センサも作られているが、屋外用として採用されていない。
- ・WRRの基準でもあるDAVOS INSTRUMENTSのPMO-6とEPPLEYのAHFは、円錐の凸面から受光している。これも、受光効率の向上を考慮しての構造である。
- ・Zürich大のDARAは、円錐型センサの凹面で受光するが、1個の参照用センサと2個の受光センサの合計3個を持つ。受光センサの追加の1個は、太陽定数を測定するために宇宙機に搭載する上での受光部の劣化を想定した予備的な構造と考えられる。
- ・中国のSIARsの基本的な構造は従来機種とほぼ同じであるが、小型化・軽量化が実現されている。
- ・ロシアのMAR-1は凹面からの受光であり、白金線を4系統具備する複雑な計測系が特徴である。
- *なお、左表中の「方式」「A」はアクティブ型であり受光センサと同等の参照用センサを具備する。「P」はパッシブ型であり、参照用センサを具備しない。



パッシブ型絶対放射計の計測原理

- P放射束
 ①熱容量既知のサーマルマス ②支持材 ④温度センサ
 ⑤ヒートシンク ⑥シャッター ⑦ヒータ ⑧直流電源
 ⑨電圧計 ⑩電流計

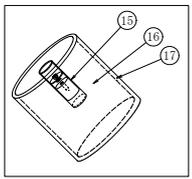
アクティブ型絶対放射計の計測原理

受光用と同等の参照用センサも具備し、バックグラウンドを除去する。パッシブ型に比べて計測時間が長い、ノイズ耐性が強い。

⑥が閉じられ①の温度が元の温度に戻った時点で、それに組み込まれた⑦に⑧により電流が通じられる。その時のヒータの両端の電圧は⑨で、電流は⑩で記録され、④の示す温度が放射束Pの入力された時と同じになった時点までの、⑨、⑩の値から計算されるエネルギーは放射束Pと同じエネルギーである。

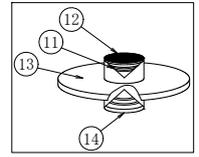
技術的課題

- ・既存の受光部が主に円錐形である理由は、黒色塗料の反射率が低いことを前提としたものである。構造が複雑であるため再生産性に難があり、絶対放射計測における機差の原因でもある。
- ・従来の絶対放射計の殆どでは、外部との熱の出入が遮断されていない。アクティブ型では受光センサと参照用センサで差分をとり、外部からの熱の出入を計算上は相殺できるが、パッシブ型では無視できない。
- ・絶対放射計でも、外部からの熱によるノイズを除去する為に内部にデュワー（真空魔法瓶）を内蔵して、外部との熱の出入を遮断する機種（JPLのPACARD）もあるが、デュワー内部にヒートシンク（放熱器）を設ける必要がある点で構造的な矛盾がある。



内部にデュワーを持つ絶対放射計

既存の絶対放射計のセンサ部は複雑



絶対放射計のセンサ例

- ⑬ 絶対放射計主要部
- ⑭ ヒートシンク
- ⑯ デュワー（真空層）
- ⑫ 銀箔を円錐形に加工し、白金線の抵抗体を巻き付けている。
- ⑬ 低反射率の黒色処理
- ⑭ 外部と熱の出入のあるヒートシンク
- ⑮ 参照用のセンサ

結論

- ・既存の円錐形の受光センサは構造上、再生産性に難がある。
- ・近年の飛躍的に向上した黒色低反射処理を適用する事で、受光センサ構造の単純化を図ることが必要である。
- ・外部との熱の出入を遮断することが不確かさ低減の上で必要である。ボロメータの受光部構造の適用可能性について引き続き検討を行う。

参考文献

- 1) JPL Technical Report 32-1396, Primary Absolute Cavity Radiometer, J. M. Kendall, Sr. (1969).
- 2) Electrically Calibrated Thermal Detectors of Optical Radiation (Absolute Radiometers), Publication CIE, No. 65 (1985).
- 3) Absolute radiometers (PM06) and their experimental characterization, Robert W. Brusa and Claus Frohlich, Applied Optics / Vol. 25, No. 22, p. 4173 / 15 November 1986.
- 4) Calibration of a Solar Absolute Cavity Radiometer with Traceability to the World Radiometric Reference, Ibrahim Reda, January 1996, NREL/TP-463-20619.
- 5) YU Bing-xi, FANG Wei, and WANG Yu-peng, Optics and Precision Engineering, Vol. 12, No. 4, p. 353, August 2004.
- 6) Advances in Solar Radiometry, Markus Suter, 2014, University of Zurich, Faculty of Science.
- 7) Optical reflectance of pyrheliometer absorption cavities: Progress toward SI-traceable measurements of solar irradiance, H. J. Patrick, T. A. Germer, C. J. Zarobila, C. C. Cooksey, and H. W. Yoon, Applied Optics / Vol. 55, No. 23, p. 6346 / 10 August 2016.
- 8) International comparisons of the absolute radiometer MAR-1 with the world radiation standard, M. N. Pavlovich, S. P. Morozova, V. I. Sapritskii, A. A. Stakharnyi, and B. E. Lisyanski, Measurement Techniques / Vol. 58, No. 11, p. 1280 / February 2016.

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。