

デュアルセンサ型日射計の開発

井上 佳則^{*}, 黒川 浩助 (東京農工大学)
三宅 行美, 中村 幸三, 加藤 正(英弘精機株式会社)

Development of a dual sensor type pyranometer
Yoshinori Inoue, Kosuke Kurokawa (Tokyo University of Agriculture and Technology)
Yukiharu Miyake, Kouzou Nakamura, Tadashi Kato (EKO Instruments Trading Co., Ltd.)

1. 背景・目的

太陽光発電(PV)システムの発電量推定や評価などを正確に行うためには、日射量データは非常に重要な要素の一つである。日射量を厳密に測定するには、一般に普及している熱電対型の精密日射計を用いることが考えられる。しかしながら、高価であることや、屋外暴露による感度劣化の問題などから、長期計測や大量設置には不向きであると考えられる。今後、PVシステムの大量導入と共に、多傾斜・他方位など多様化が進むことが予想され、そのシステム個別に、必要数の精密日射計を設置するのが極めて困難である。その代替方法として、安価でかつ安定した感度を持つ、シリコン(Si)センサを用いた簡易型日射計(以後、Si日射計)を用いる方法が考えられる。しかし、センサ部のSiの分光感度には、波長選択性があるため、精密日射計のような、正確な日射量が把握出来るとは言えない。

このような現状から、本研究では安価で安定な感度を持ち、かつ高精度の新型日射計を開発することを目的としている。本研究室では、安価で長期暴露にも安定した出力の得られる、Siセンサなどの半導体素子を用いて、その弱点である分光感度の波長選択性を複数の異なる感度帯を持つ素子を用いることにより、より高精度に計測する方法を提案してきた。これまでに、Siセンサに感度の異なるカットオフ・フィルタを用いた二素子式の日射計を提案してきた。本研究では、短波長域に分光感度のあるSiセンサと、比較的長波長域に分光感度のピークがあるインジウム・ガリウム・ヒ素(InGaAs)を用いた、二種類のデバイスとしたデュアルセンサ型日射計の開発を目的としている。本報告では、シリコンセンサの問題点をもとにデュアルセンサ型日射計(以後、Dual日射計)の精度検証を行った。

2. Si日射計とDual日射計

市販されているSi日射計は、その感度定数を決定する際には、精密日射計など基準となる日射計とSi日射計の出力電圧を比較して、線形での回帰式を用いて感度を決定する。しかし、Si日射計は、センサの感度が300nmから1100nmまでの波長選択性があり、快晴日や曇天日の異なる分光放射照度に対して、出力特性が異なる。全ての天候に当てはまるような、線形での回帰を用いる限り、常にある程度の誤差が含まれてしまうため、Si日射計では正しく日射を測定できていないとはいえないことを明らかにした⁽¹⁾。しかしながら、天候・季節・地域別に感度を設定することは、実用上汎用的とはいえず、一つのセンサに一つの感度が決定されることが望ましい。

そこで、Si日射計でカバーできない感度帯をもつセンサを用いて、相互の出力の関係から精密に日射量を測定でき

ることが期待される。提案するDual日射計では、長波長域に分光感度を持つInGaAsを選定した。図1はDual日射計に搭載されている二つのセンサの相対分光感度と晴天日・曇天日の分光放射照度分布を示している。InGaAsセンサは980nmから1800nmまでと比較的長波長に感度が存在している。

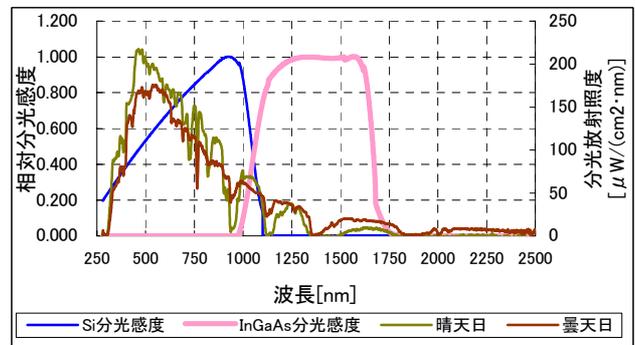


図1 相対分光感度と分光放射照度

3. Dual日射計の感度定数決定方法

Siセンサ、InGaAsセンサが各々の感度を分担していると想定して、それぞれの出力の値を用いた2変数の最小二乗法により、精密日射計との値付けを行った。計測データは、本学校舎屋上に設置されているDual日射計に搭載されているSiセンサ、InGaAsセンサで測定した実測値、および精密日射計(MS-801)を用いた。

Si、InGaAsそれぞれの感度定数を K_{Si} 、 K_{InGaAs} とし、回帰式には、(1)、(2)を用いた式(3)~(5)参照。この時、陰の影響がないように太陽高度 10° 以上のデータを対象とし、測定データに欠測がある日についても除外した。

また、比較するSi日射計についても最適な感度に補正するために感度定数を式(6)(7)により再定義した。

$$G_{dual} = K_{Si} \times E_{Si} + K_{InGaAs} \times E_{InGaAs} \quad \dots(1)$$

$$G_{Si} = \alpha \times E \quad \dots(2)$$

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^n [G_i - \{K_{Si} \times E_{Si,i} + K_{InGaAs} \times E_{InGaAs,i}\}]^2 \quad \dots(3)$$

(3)式をそれぞれ感度定数 K_{Si} 、 K_{InGaAs} について偏微分し、これが0となるように解く。

$$K_{Si} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n G_i E_{Si} \times \sum_{i=1}^n E_{InGaAs}^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n G_i E_{InGaAs} \times \sum_{i=1}^n E_{Si} E_{InGaAs} \right)}{\left(\sum_{i=1}^n E_{Si}^2 \times \sum_{i=1}^n E_{InGaAs}^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n E_{Si} E_{InGaAs} \right)^2} \quad \dots (4)$$

$$K_{InGaAs} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n G_i E_{Si} \times \sum_{i=1}^n E_{Si} E_{InGaAs} \right) - \left(\sum_{i=1}^n G_i E_{InGaAs} \times \sum_{i=1}^n E_{Si}^2 \right)}{\left(\sum_{i=1}^n E_{Si} E_{InGaAs} \right)^2 - \left(\sum_{i=1}^n E_{Si}^2 \times \sum_{i=1}^n E_{InGaAs}^2 \right)} \quad \dots (5)$$

同様に Si 日射計の感度定数も求めた (式(6), (7) 参照)。

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^n (G_i - \alpha E)^2 \quad \dots (6)$$

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n G_i E}{\sum_{i=1}^n E^2} \quad \dots (7)$$

G_{dual} : Dual 日射計で測定した全天日射強度[kW/m²]
 E_{Si} , E_{InGaAs} : センサ出力[mV]
 G_{Si} : Si 日射計からの全天日射強度[kW/m²]
 E : Si 日射計出力[mV]

3. 結果と考察

2003 年 1 月から 11 月までの測定データを用いて行った Dual 日射計, Si 日射計の実測値と, 式(4), (5), (7)から算出した感度定数の結果を表 1 に示す。

表 1 各日射計の感度定数

Dual 日射計	K_{Si}	1.3448
	K_{InGaAs}	22.9885
Si 日射計		6.826

単位は全て[(kW/m²)/mV]

これらの感度定数を回帰式(1), (2)に代入して算出した全天日射強度 G_{dual} , G_{Si} と精密日射計で測定した全天日射強度 G との相対誤差を式(8)から求め, Dual 日射計と Si 日射計の精度検証を行った。さらに, Dual 日射計に搭載されている Si センサのみでの場合の精度も同様に算出した。

図 2 に相対誤差の月平均値および, 表 2 に年間の相対誤差を示す。

$$\text{相対誤差 [\%]} = \frac{|\text{算出値} - G|}{G} \times 100 \quad \dots (8)$$

図 2 より, Dual 日射計を用いることで Si 日射計よりも精度が向上しており, 最大で Si 日射計のもつ誤差を約 50% 軽減している。さらに, 表 2 より年平均では, Si 日射計の誤差を約 35% 軽減している。1 日ごとにデータを検証すると曇天日, つまり晴天指数の低い日に Dual 日射計の誤差

が大きくなっている。これは, Dual 日射計の感度定数を算出する際にはこの条件に加え, 晴天指数の高いデータを抽出するようにしたためであると考えられる。

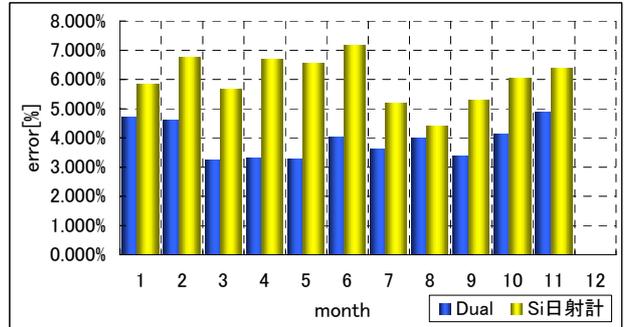


図 2 月平均相対誤差

表 2 各日射計の相対誤差(年平均)

Dual 日射計	Si 日射計
3.6095%	5.5086%

4. まとめ

本稿では, シリコンセンサの問題点をもとに, 日射スペクトルのうち短波長域に分光感度のあるシリコンセンサと長波長域にピークのあるインジウム・ガリウム・ヒ素センサを持つ, デュアルセンサ型日射計の精度検証を行った。二つのセンサ出力から 2 変数の最小二乗法を用い, 精密日射計との値付けを行った。さらに簡易型日射計についても最適な感度に補正するために感度定数を再定義した。これらの感度定数を用いて, デュアルセンサ型日射計・簡易型日射計と精密日射計との相対誤差を算出した。その結果, 月平均での精密日射計との相対誤差は, 簡易型日射計に比べ最大で 50% 程度改善する事が出来た。今後は, 日単位での検証を進め, さらに精度の向上を図る。

文献

- (1) 井上, 黒川, 三宅, 中村, 加藤: 「デュアルセンサ型日射計の開発」平成 15 年電気学会電力・エネルギー部門大会論文集 p.567 ~ 568