

## N/Pシリコン太陽電池日射計

誌名	農業氣象
ISSN	00218588
著者	高田, 吉治 玉木, 研治
巻/号	30巻4号
掲載ページ	p. 167-171
発行年月	1975年3月

## N/Pシリコン太陽電池日射計

高田 吉治・玉木 研治  
(シャープ株式会社産業機器事業本部)  
情報処理事業部第一技術部

Pyranometer using N on P Type Silicon Solar Cell

Yoshiharu TAKATA and Kenji TAMAKI

(SHARP Co. Industrial Instrument Group,  
Engineering Department 1, Information Systems Division 〒639-11)

### 1. まえがき

気象現象をはじめ地球上の諸現象は、太陽からの莫大なエネルギーに依存するところが大きく、特に、農業関係では、収穫の多少、病害虫の発生等、建築関係では、日照条件や建築資材の乾燥、道路交通関係では、冬期の路面凍結や除雪等の雪水対策などが日射量の影響を直接に受ける分野である。これらの分野で現在使用されている日射計は、測定原理から大別すると、熱式、光電式、光化学式の3方式があるが、これらはそれぞれ特徴をもっている。

本日射計は、受光素子として、人工衛星搭載用として開発された信頼性の高いシリコン太陽電池を使用したものである。前記の測定原理に基づく分類では、光電式に属するものであり、従来の光電式日射計において最も問題とされていた受光素子の経年変化による信頼性の低下を衛星搭載用シリコン太陽電池の適用により解決したものである。また、検出可能な波長域が狭い光電素子のな

かでは前記の太陽電池は比較的広い波長域にわたって検出されるので、精度の低下は実用上問題にならない程度である。長所としては、時定数が小さく、使用環境条件の変化に対しても電気的特性が安定しており、機械的にも多対の薄片熱電対を1個の太陽電池におきかえることにより振動に強くなっているという点において、現在多く用いられている熱電対による熱式日射計よりも本日射計の方がすぐれている。従来の日射計と同等の性能を有する実用的な光電式日射計を開発したのでここに報告する。

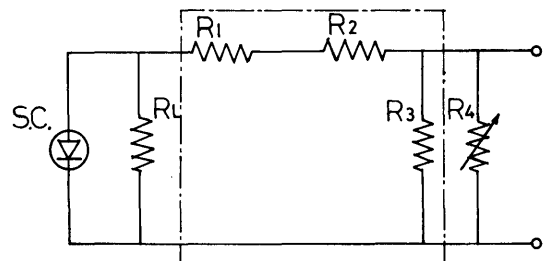
### 2. 本器の構成

本器は図2に示すように、受光素子としてのシリコン太陽電池と、温度補償部からなっており、温度補償部は出力電圧調整用の分圧器の機能も兼ねている。

本器に使用している太陽電池は、測器の受光素子という観点から、長期の使用に耐え得る信頼性及び経時変化特性を重視し、とくに、苛酷な使用条件のもとでの信頼性がすぐれているN/Pシリコン太陽電池を選択し使用した。なお、本器では、太陽電池を熱膨脹係数のほぼ等しいコバール板(Ni, Co, Fe合金)に取付け、昼間の日



Fig. 1. Photograph of a pyranometer using a silicon solar cell.



SC: solar cell  
RL: load resistor  
R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>: temperature compensator  
R<sub>4</sub>: shunt resistor

Fig. 2. Circuit configuration of the pyranometer.

昭和49年4月3日全国大会にて発表  
昭和49年10月1日 受理

射による温度上昇時や、夜間の冷却時における太陽電池素子の内部応力の発生やそれに伴う寿命短縮や特性の変化を防止している。また、温度補償部は図2に示すように、抵抗体のみで構成し、温度変化による太陽電池の出力電圧の変化分を、これらの抵抗の温度係数のちがいに基づく分圧器の分圧比の変化で補償する方法をとっている。このため、長期間にわたる連続使用においても、維持管理が簡単で性能の変化もほとんどないように考慮した。

### 3. 動作原理及び特性

#### 3.1 太陽電池の動作

太陽電池の電圧電流特性は次のように表わすことができる。

$$I = I_L - I_0 \{ \exp(qV/KT) - 1 \} \quad (1)$$

$$I_L = I_{sc} = \beta q N \quad (2)$$

$I_0$  : 光を照射しないときのPN接合部の逆飽和電流

$I_L$  : 定電流発生源の電流

$q$  : 電子の電荷

$K$  : ボルツマン定数

$T$  : 絶対温度

$I_{sc}$  : 短絡電流

$\beta$  : 収集効率

$N$  : 単位時間に吸収されるフォトンの数

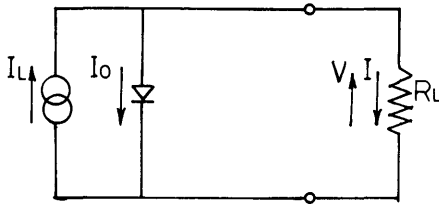


Fig. 3. Equivalent circuit of solar cell.

定電流領域で動作させる場合 ( $R_L$  が小さい場合) (1) 式の右辺第2項は無視できるから  $I \approx I_L$  となり、これと (2) 式より

$$I \propto N \quad (3)$$

すなわち、太陽電池の負荷抵抗  $R_L$  に流れる電流  $I$  は、太陽放射のエネルギーに比例する。

以上が太陽電池の一般的な動作説明であるが、次に、本器に使用している太陽電池の特性について説明する。

#### 3.2 太陽電池の特性

##### (1) 電圧 - 電流特性

本器に使用している太陽電池の電圧 - 電流特性を図4に示す。

前に述べたように、太陽電池日射計は、太陽電池の定

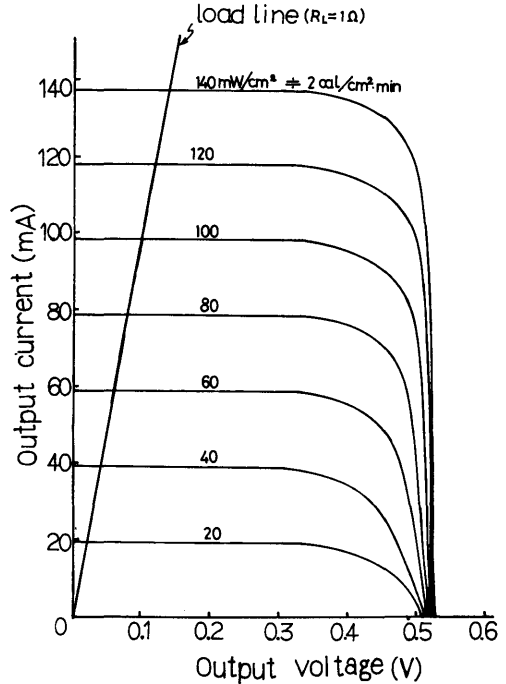


Fig. 4. Typical voltage-current characteristics of solar cell. (cell temp. = 28 °C).

電流領域における電流が入射光のエネルギーに比例するが、本器では、この比例領域を広くするために、負荷抵抗を  $1\Omega$  とし、入射光強度  $140\text{ mW/cm}^2$  (太陽定数  $2\text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$  とほぼ等しい値) まで、入射光強度と出力電圧との間の直線性を保っている (図4参照)。

##### (2) 温度特性

図5に太陽電池の短絡電流  $I_{sh}$  及び開放電圧  $V_{op}$  の温度

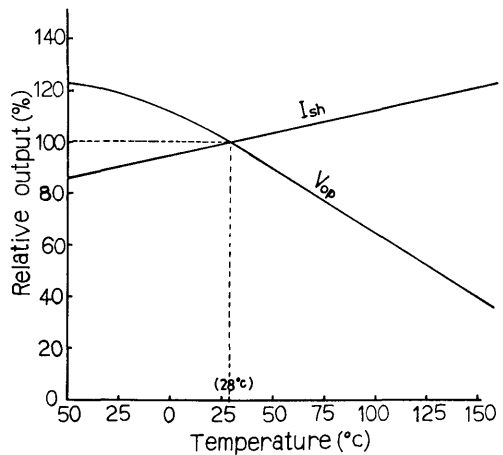


Fig. 5. Variation of open voltage and short circuit current of solar cell with the change of temperature.

特性を示す。

この図に示すように、太陽電池の短絡電流は温度依存性が大きく、本器に使用している太陽電池の場合1℃当り約0.15%変動する。太陽電池を日射計の受光部として使用する場合には、季節、昼夜等により大きな温度サイクルを受けるが、この温度変動幅を、たとえば50℃とすると、出力変動が7.5%にもなり、測器の精度として問題がある。本器では、本体に内蔵した温度補償部により出力電圧の温度変動を実用上問題のない範囲に補償している。

(3) 分光感度特性

図6に本器に使用した太陽電池の分光感度特性を示す。この太陽電池では、入射光の波長0.4~1.1μの範囲で感度があり、0.8μ付近で感度が最大となる。

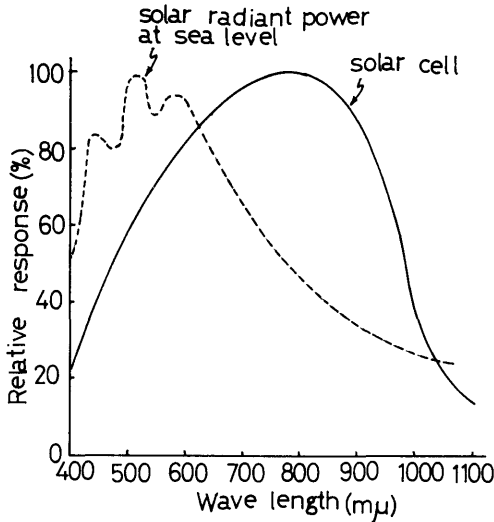


Fig. 6. Typical spectral response of solar cell.

このように、太陽電池は黒体塗料を塗布した熱電対のように、感度が入射光の波長に対して一定ではなく、依存性が大きいという点で熱式日射計と異なり、この現象が、光電式日射計に特有の問題である。すなわち、受光素子の分光感度特性がフラットでない場合は、地上に到達する太陽光のスペクトルが大気質量(エアーマス)、雲の状況などによって変化すると、感度が変化することになる。本器では、このような欠点を、比較的広い波長範囲にわたって感度をもつ太陽電池を使用することによって補っており、この原因による日射量測定誤差は、日積算量として最大4%の範囲であった。

3.3 温度補償部の動作

温度補償部は図2に示すように、抵抗の組合せで構成しているが、その動作は次のとおりである。

太陽電池の出力の温度依存性を $\alpha/^\circ\text{C}$ 、抵抗 $R_1$ の温度

係数を $a/^\circ\text{C}$ 、抵抗 $R_L, R_2, R_3$ (ここでは便宜上抵抗 $R_3$ と $R_4$ を並列接続した合成抵抗を $R_3'$ とする。の温度係数を $b/^\circ\text{C}$ とすると、出力 $V_0$ は次式で表わされる。

$$V_0(t) = \frac{\{1 + \alpha(t - t_1)\} I_{sh} \cdot R_L \{1 + b(t - t_1)\} R_3' \{1 + b(t - t_1)\}}{\{R_1 \{1 + a(t - t_1)\} + R_2 \{1 + b(t - t_1)\} + R_3' \{1 + b(t - t_1)\}\}} \quad (4)$$

一方、(4)式より、設計基準温度( $t = t_1$ )における出力 $V_0(t_1)$ は、

$$V_0(t_1) = I_{sh} \cdot R_L \cdot R_3 / (R_1 + R_2 + R_3) \quad (5)$$

であるから、対象とする温度範囲にわたって、 $V_0(t) - V_0(t_1)$ の値が最も小さくなるように抵抗の材質(温度係数) $a, b$ 、及び抵抗値 $R_1, R_2, R_3$ を選定することにより、温度補償を行なっている。なお、温度補償部については、急激な周囲の温度変化にも短時間に応答できるように、太陽電池と温度補償用抵抗体はできる限り同一温度になるように配置するとともに、かつ、その間の材質も熱伝導が良好なものを使用するなどの配慮もしている。

3.4 温度補償部の特性

入射光のエネルギーを一定にし、周囲温度を変化させた場合の出力電圧の変化状況を図7に示す。

この図に示すように、出力電圧の温度による変動は、周囲温度35℃~75℃程度の変化に対して、±0.2%程度になっており、太陽電池の出力電圧の温度変化(1℃当り約0.15%)は、日射計の受光部として充分実用に耐える範囲にまで補償されている。なお、図7に示すデータは、日射計外部から熱風により強制的に加熱、冷却を行なって測定したもので、温度変化が急速であるために、太陽電池の温度変化に、温度補償部の温度変化が追従できずに、加熱開始後5分程度のところで、出力電圧の誤

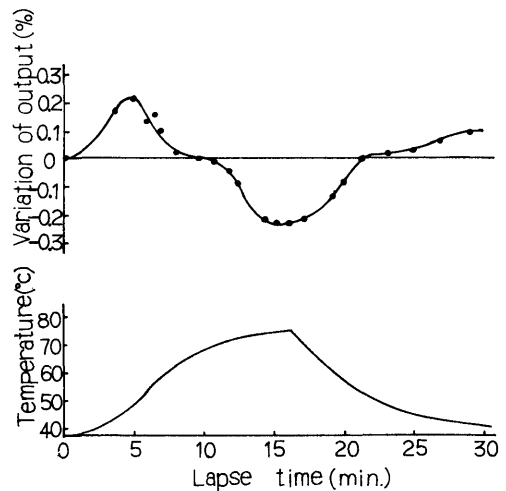


Fig. 7. Variation of output voltage with the change of ambient temperature.

差が一時的に+側に0.2%程度まで増加しているが、これは日射計として屋外に設置して使用する場合には、温度変化がもっとゆるやかであるから、なくなると考えられる。

#### 4. 日射計としての特性

ここでは、試作器を使用して測定した屋外テスト結果を中心に説明する。

図8は、熱電対式日射計（英弘精機産業K.K.製差温日射計、気象庁検定付）を標準器として、屋外にて比較

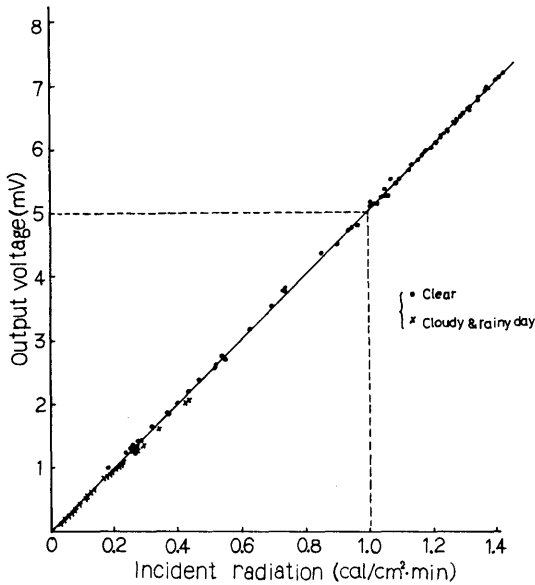


Fig. 8. Calibration line of the pyranometer.

検定を行なった結果であり、図の横軸は、熱電対式日射計の出力から換算した日射量である。図からわかるように、両日射計の出力は、天候、観測日時等のちがいに関係なく（すなわち、太陽及び天空からの放射のスペクトル及び入射角、周囲温度等のちがいに関係なく）良い相関を示している。

図9は、現在熱式日射計を対象として行なわれている気象庁検定と同方法で、気象庁で検定を行なった結果で、検定定数のばらつきは、平均値を中心として±2.5%以内に全データの96% (74/77)が入っており、気象庁の検定合格基準を満たしている。なお、図9に示すデータは、感度の平均値が $4.71 \text{ mV/cal}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{min}^{-1}$ になっているが、本器の感度は、本体に内蔵した可変抵抗  $R_4$  (図2参照)の調整により、 $3\sim 5 \text{ mV/cal}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{min}^{-1}$ の範囲で自由に設定することができる(図10)。

以上、屋外における実測結果をもとに、太陽電池を受光素子とする場合にとくに問題になると考えられる検定

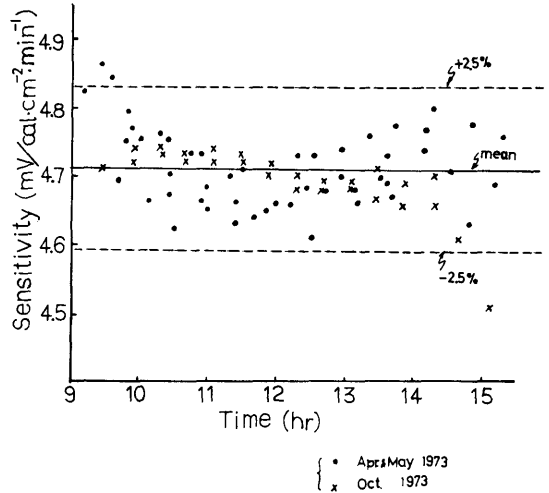


Fig. 9. Sensitivity of the pyranometer measured at Japan Meteorological Agency.

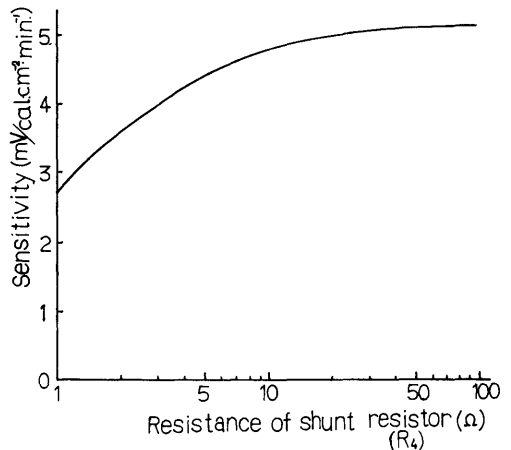


Fig. 10. Relation between resistance of shunt resistor and sensitivity.

定数の安定性、および、入射光の条件のちがいによる直線性を中心として、熱電対式日射計と性能比較を行なったが、いずれも、従来の熱式日射計と同等の性能を示している。

次に、ここではとりあげなかったが、応答性および0点の安定性については、熱式に比較して光電式がすぐれていることは言うまでもない。また、感度の経年変化特性については、1971年より実施し現在も観測を続行中であるが、検定定数及び太陽電池素子の外観とも変化はほとんど認められていない。

#### 5. ま と め

人工衛星搭載用として開発した高信頼度N/Pシリコ

ン太陽電池を受光素子とする実用的な水平面日射計を開発した。光電式日射計の欠点とされていた感度の温度依存性が大きい点や、経年変化が大きい点を、太陽電池素子自体の改良と、補償回路によって解決し、従来から使用されている熱式日射計と同等の性能を得ることができた。

本器では、感度の温度変化は $\pm 0.01\%/^{\circ}\text{C}$ 以内に補償されており、また、総合精度は、1年間の気象庁での検定の結果、 $\pm 2.5\%$ 程度であることが確かめられた。

## 引用文献

- 1) D. J. Norris and E. S. Trickett, (1968): A simple low cost pyranometer. *Solar Energy*, (12), 251-253.
- 2) 藤本文彦(1963): 日射計, 気象研究ノート, (14), 185-191.
- 3) 志村英洋, 鈴木宣直(1973): 全天日射計検査装置, 測候時報, (40), 146-153.
- 4) 高田吉治, 高倉直(1966): シリコン太陽電池日射計, 太陽エネルギー, (1), 12-22.
- 5) 高田吉治, 玉木研治(1974): N/Pシリコン太陽電池日射計, シャープ技報, 35-38.

## Summary

The effective utilization of solar energy has been urgently required in the fields of agriculture and industry from the view point of energy saving. In order to fulfill this purpose, it would be essential to develop economical and highly reliable pyranometer to measure intensity of solar energy.

Pyranometer of this type using N on P type silicon solar cell used for artificial satellites has been developed.

As a result of three year running test with a thermopile type pyranometer, it was found that this new type has the output of smaller zero drift, quicker response and better stability. In addition to these, error caused by temperature dependence peculiar to semiconductors has been minimized by adopting temperature compensator.

Japan Meteorological Agency has examined this type for one year and admitted the accuracy of within  $\pm 2.5\%$  error.