

福岡工業大学 学術機関リポジトリ

Measurement of solar radiation by the combining of photo sensors

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2021-03-01 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 篠田, 鼎, 高橋, 学 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/11478/00001675

光センサの組み合わせによる日射量の測定

Measurement of solar radiation by the
combining of photo sensors篠 田 鼎 (情報工学科)
高 橋 学 (電子工学科)Kanae SHINODA (Department of Communication and Computer Engineering)
Manabu TAKAHASHI (Department of Electronics)

Abstract

Solar energy is clean and inexhaustible. Therefore an increase in solar power system in demand is estimated. To study about the solar power system, an actinometer is used for measuring ray of light incidence. The characteristic of an actinometer is expected that the spectrum is flat in wide range of the wave length of incident light. But it is very expensive.

We want to find more inexpensive measuring method of solar energy to be used for the terrestrial solar power system with the silicon solar cells. By combining two or three photodiodes, which have different characteristics in the spectrum, we measured the solar energy. The short circuit current was measured in the parallel circuits. And the informations were fed to the data-logger. The result of measured value of solar energy by the combining of photodiodes agree with the measured value by ordinary thermal sensor type actinometer.

Keywords : *solar radiation, photo sensor, photodiode, solar cell, photoelectric effect*

1. はじめに

太陽光エネルギーを電気エネルギーに直接変換する太陽電池の普及は急速に進んでいる。個人住宅の屋根に設置された太陽電池で発電された電気エネルギーをその家で消費するだけでなく、電力が余った場合には電力会社に売電することもできるよう1990年の電気事業法の一部改正に続く制度改定が進んでいる。1994年度からは、住宅に太陽光発電システムを設置しようとする人に対してその運転データを提供することを条

件に設置費の助成が行われる「モニター事業」が開始された。

1994年度はそのための予算額が約20億円組まれ、1616戸の申込みがあって、577戸が採用された。1995年度はこの予算額が33億円に拡大されている。個人住宅の屋根に3 [kW] 程度の電力を得るシステムを設置すれば一軒の家での標準的な電化生活ができると考えられている。この程度のシステムが1994年には600万円程度であったのが、1995年には450万円以下になり、今後は加速度的に普及することが期待される。

太陽光発電は、クリーンであること、資源が枯渇しないことなどの点で今後のエネルギー問題の解決のための重要な一翼を担うことは明かである。その太陽エ

エネルギーを効率よく利用するためには、太陽電池を設置するのに適した条件を判断したり、設置後の運転実績の評価をするのに日射計が使われることが望ましい。しかし、研究のために現在広く使われている熱形センサを利用した日射計は、たいへん高価で、一台数十万円から数百万円もする。そのため手軽に日射量を測定できるようにするには、日射計の価格が下げられる必要がある。一般的に広い波長の太陽のエネルギーを測定するのではなく、地上でシリコン太陽電池を使った光発電システムに使用するという条件を満たせば良いという観点で、安価な携帯用の日射計を製作することを目的として、異なるスペクトル特性を持った光センサを組み合わせることでその光電流を測ることによって日射量の測定を試みた。

2. 太陽光のスペクトル分布と太陽電池のスペクトル分布

太陽光発電をするには、太陽光のスペクトル分布と太陽電池のスペクトル分布を考えなくてはならない。大気圏外での太陽光は6000 [K] の黒体放射に近いスペクトル分布をしているが、大気層を透過する間に紫外線は吸収される。地上に到達する太陽光は気候、緯度、季節、時刻、大気の流れ具合や水蒸気量などによって変化し、その変化量が波長によって異なる性質をもっている。したがって、太陽放射の分光特性は絶えず変化しているものとして考えねばならない。地

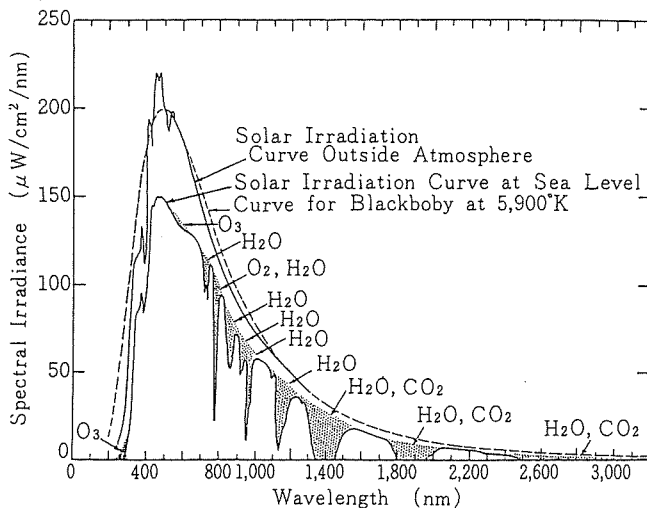


図1 地上における太陽光のスペクトル分布。

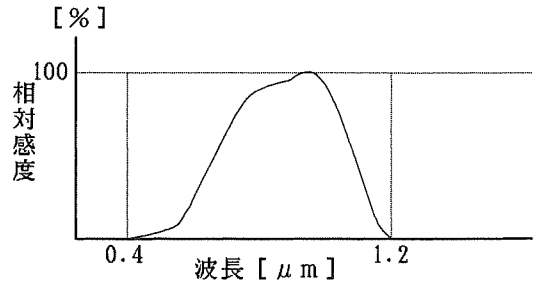


図2 太陽電池のスペクトル特性。

上における太陽光スペクトル分布¹⁾の例を図1に示す。このように地上での太陽光発電では、0.4 μm 以下の短波長成分は地表面まで到達しないので考慮しないことにする。

実験に使った太陽電池のスペクトル特性を図2に示す。シリコンの基礎吸収端波長は1.2 μm であり、これより長波長成分は光発電には寄与しないので、考慮しないことにする。入射光のうち発電に寄与しない成分は熱エネルギーになり、太陽電池パネルの温度上昇を起こし、発電効率を低下させるので、厳密に考えれば赤外領域の成分も考慮する必要があるが、ここでは簡単のために考慮しないことにする。

以上の地上における太陽光のスペクトル分布とシリコン太陽電池のスペクトル分布から、目的の日射量測定のため異なるスペクトル特性を持った光センサとして一般に使われているフォトダイオードを組み合わせることでその光電流を測る。ここでは、0.4~1.2 μm の波長範囲を考えることにする。

3. 一般的な日射計と地上用太陽光発電のために使う日射計

一般的な日射計として、ロビッチ日射計や、エブリ日射計などがある。これらの日射計は入射エネルギーを全て熱エネルギーとして吸収しており、0.3~2.8 μm ²⁾で波長依存性がなく太陽光のエネルギーを測定できるようになっている。

シリコンP/N太陽電池一個では、図2のようなスペクトル特性を持っているので、このような素子だけでは、波長領域0.4~1.2 μm 間の日射量を測定することはできないが、図3のように、異なるスペクトル特性を持つ二つ以上の光センサを組

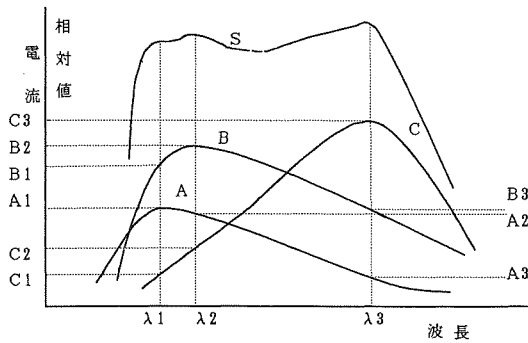


図3 異なる分光特性を持つ3個のフォトダイオードの特性と $\lambda_1 \sim \lambda_3$ より広い波長範囲でフラットな特性を持たせる為の組み合わせの模式図。
A, B, Cはフォトダイオード。Sは組み合わせ特性。

み合わせて、目的の波長範囲で波長-感度特性が一定になるような回路を構成することによって日射量の測定ができる。

フォトダイオードA, B及びCのスペクトルが図3で表される場合を考える。フォトダイオードA, B及びCのピークはそれぞれ波長が λ_1 , λ_2 及び λ_3 の所に有とする。フォトダイオードAの λ_1 , λ_2 及び λ_3 における短絡電流の値を A_1 , A_2 及び A_3 とし、フォトダイオードBの λ_1 , λ_2 及び λ_3 における短絡電流の値を B_1 , B_2 及び B_3 とし、さらにフォトダイオードCの λ_1 , λ_2 及び λ_3 における短絡電流の値を C_1 , C_2 及び C_3 とする。各フォトダイオードの出力電流に係数 a , b 及び c を乗じて λ_1 , λ_2 及び λ_3 における3素子による出力の和が相対値で100%になるようにすると

$$a A_1 + b B_1 + c C_1 = 100\% \quad (1)$$

$$a A_2 + b B_2 + c C_2 = 100\% \quad (2)$$

$$a A_3 + b B_3 + c C_3 = 100\% \quad (3)$$

となる。各ピーク間の値もなだらかに変化するが、A, B及びCに適切な特性の素子を選べば、目的の波長領域である程度平坦な特性を持たせることができる。

4. 異なるスペクトル特性を持った光電素子を組み合わせた日射量の測定方法

4-1. シリコンP/N素子とセレン光電池の組み合わせによる日射量の測定方法

図4に示す回路で、分光器によって分光された光を

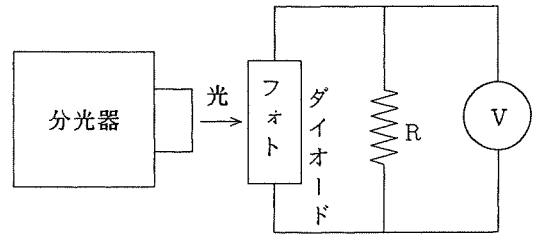


図4 分光特性測定回路。

フォトダイオードに当て、各波長に対する短絡電流を測定した。フォトダイオードとしては多結晶シリコンP/N素子(京セラKS B1725-081)、セレン光電池(カホPACC37-05)及び浜松フォトリクスシリコンフォトダイオード(S1133, S1133-14及びS1133-01型)を使った。図4のVはデジタルマルチメーター(ADVANTEST DIGITAL MULTIMETER-TR6848), Rは標準標準抵抗器(1 [Ω])であり、分光

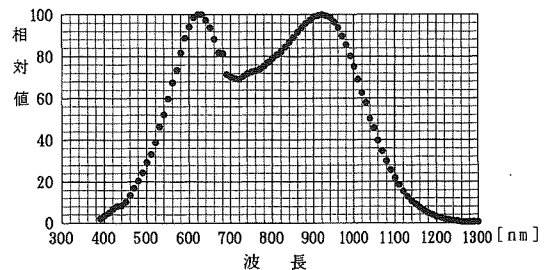
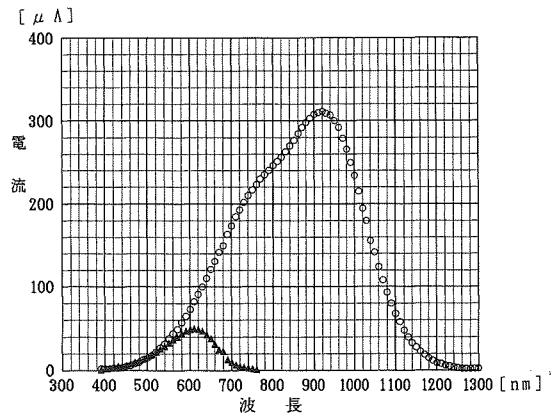


図5 シリコンP/N素子、セレン光電池のスペクトル特性とその組み合わせの特性。
○はシリコンP/N素子、▲はセレン光電池、●は2個のフォトダイオードの組み合わせの特性。

器は、HITACHI PHOTO-ELECTRIC SPECTROMETER EPU-2 A型を使用した。図5に今回測定したシリコンP/N素子とセレン光電池のスペクトル特性とその組み合わせの特性を示す。この図で、シリコンP/N素子のピーク値は311 [μ A]、セレン光電池のピーク値は50 [μ A]であった。両者の組み合わせによる値を100 [%]に揃えるには、フォトダイオードの個数が2個なので3. の(1), (2)式だけでよく、しかもそれぞれの第3項は無くなり係数a, bを求めればよい。ここでの2個の組み合わせではa=1.44, b=0.23となった。それぞれの素子の出力にこれらの係数を乗じ両者の和をとる。当初の目的である波長領域0.4~1.2 [μ m]間でシリコンP/N素子だけの場合よりフラットに近い相対感度が得られる。

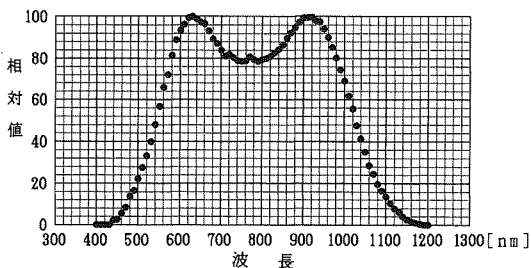
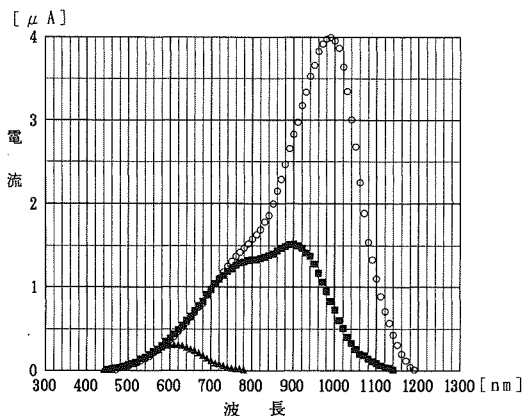


図6 3個のフォトダイオードのスペクトル特性とその組み合わせの特性
 ▲は試料A (S1133) ■は試料B (S1133-14) ○は試料C (S1133-01)でいずれも浜松フォトニクス製のダイオード、●はこれらの組み合わせの特性。

4-2. シリコンフォトダイオードの組み合わせによる日射量の測定方法

実験に使用した3個のシリコンフォトダイオードのスペクトル特性を図6に示す。試料Aのピーク値は0.31 [μ A]、試料Bのピーク値は1.52 [μ A]、試料Cのピーク値は4.00 [μ A]であった。この3個のフォトダイオードを組み合わせ、そのピークを相対感度100 [%]に揃えるとき3. の(1), (2), (3)式の係数a, b, cの値はそれぞれ、a=229, b=50, c=8となる。試料A, B, Cの出力にこの係数を乗じその和をとれば図6の●で示すように2素子の組み合わせの場合よりフラットな特性に近づけられる。

5. 日射量測定結果

福岡工業大学五号館屋上の太陽光下で日射量の測定をした。4. で記した方法で異なるスペクトル分布を持つフォトダイオードの組み合わせとして、シリコンP/N素子とセレン光電池を、日射計のセンサとして用い、その出力に適当な係数を乗じて得られた値から日射量を求めた。比較のために、ロビッチ日射計をこれらのセンサと並べて設置した。

図7の回路において、フォトダイオードの短絡電流を5分間隔で連続測定した。この図で、Rは1 [Ω]の準標準抵抗器、多チャンネル電圧記録計はTAKEDARIKEN TR-2721型 MULTICHANNEL DIGITAL RECORDER 及びロビッチ日射計はOTA KEIKI SEISAKUSHO ACTINOGRAPH 0.351型である。

1994年11月30日の測定結果を図8に示す。この図より、シリコンP/N素子だけの出力を日射計の指示値と比べると12時に一致するようにしたら11時から13

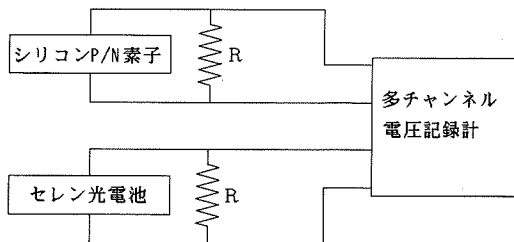


図7 シリコンP/N素子とセレン光電池の組み合わせによる日射量測定回路。

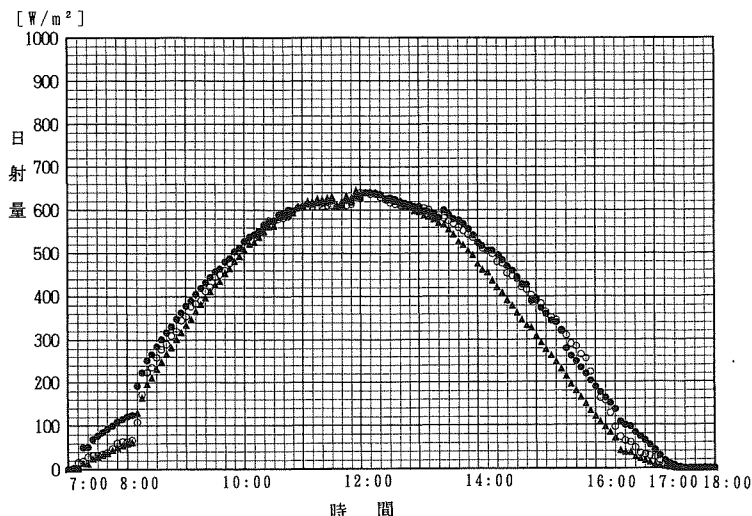


図8 シリコンP/N素子とセレン光電池の組み合わせによる日射量の測定結果。
○は日射計の指示値、▲はシリコンP/N素子のみによる測定値、●は2個のフォトダイオードの組み合わせによる測定値。

時の出力は一致するが、14時から17時の間では、日射計の指示値より下まわっている。ここで、異なるスペクトル特性をもつセレン光電池の出力もあわせて $a = 1.44$, $b = 0.23$ を乗じた値をとると瞬時値、積算値共にロピッチ日射計の指示値と殆ど一致した。このことからシリコンP/N素子とセレン光電池を組み合わせれば日射計のセンサとして使えることが確かめられた。

次に、よりフラットな分光感度を得るため、ピーク波長の異なる3つのシリコンフォトダイオードを用いて連続測定した。各ダイオードの出力に前述の係数 a ,

b , c を乗じ、得られた値を読み込んだ。比較のため3個のフォトダイオードと並べて設置した熱形センサを利用した日射センサの出力も同時にデータロガーに読み込んだ。この時の回路を図9に示す。シリコンフォトダイオードの短絡電流及び日射センサの出力をそれぞれ、5分間隔で連続測定した。図で、フォトダイオードである試料A、B及びCはそれぞれS1133, S1133-14及びS1133-01型のシリコンフォトダイオードである。日射計はブリードPCM-03型、データロガーは白山工業のDATAMARK LS3000PtV型を

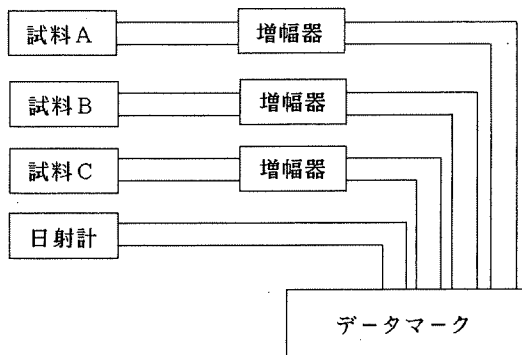


図9 3個のフォトダイオードの組み合わせによる日射量測定回路。
試料A, B, CはそれぞれS1133, S1133-14及びS1133-01型のフォトダイオード。

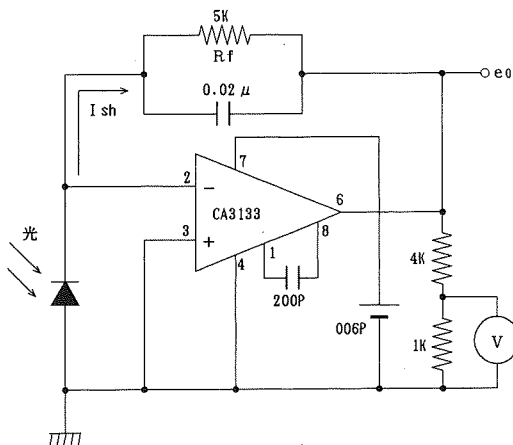


図10 増幅回路

用いた。増幅器は図10に示すような回路を使った。
この図で、フォトダイオードの短絡電流を I_{sh} 、出力電圧を e_o とすると、 $e_o = -I_{sh} \cdot R_f$ という関係式が成り立つので、 R_f を選んで増幅度を定める事ができる。測

定時に出力電圧がデータマークの入力許容値を越えないようにセンサの出力を1/5に分圧して読み込んだ。

図9の回路を使って、太陽光下で各素子の出力電流を測定した。1995年2月14日(晴)、3月3日(雨)、

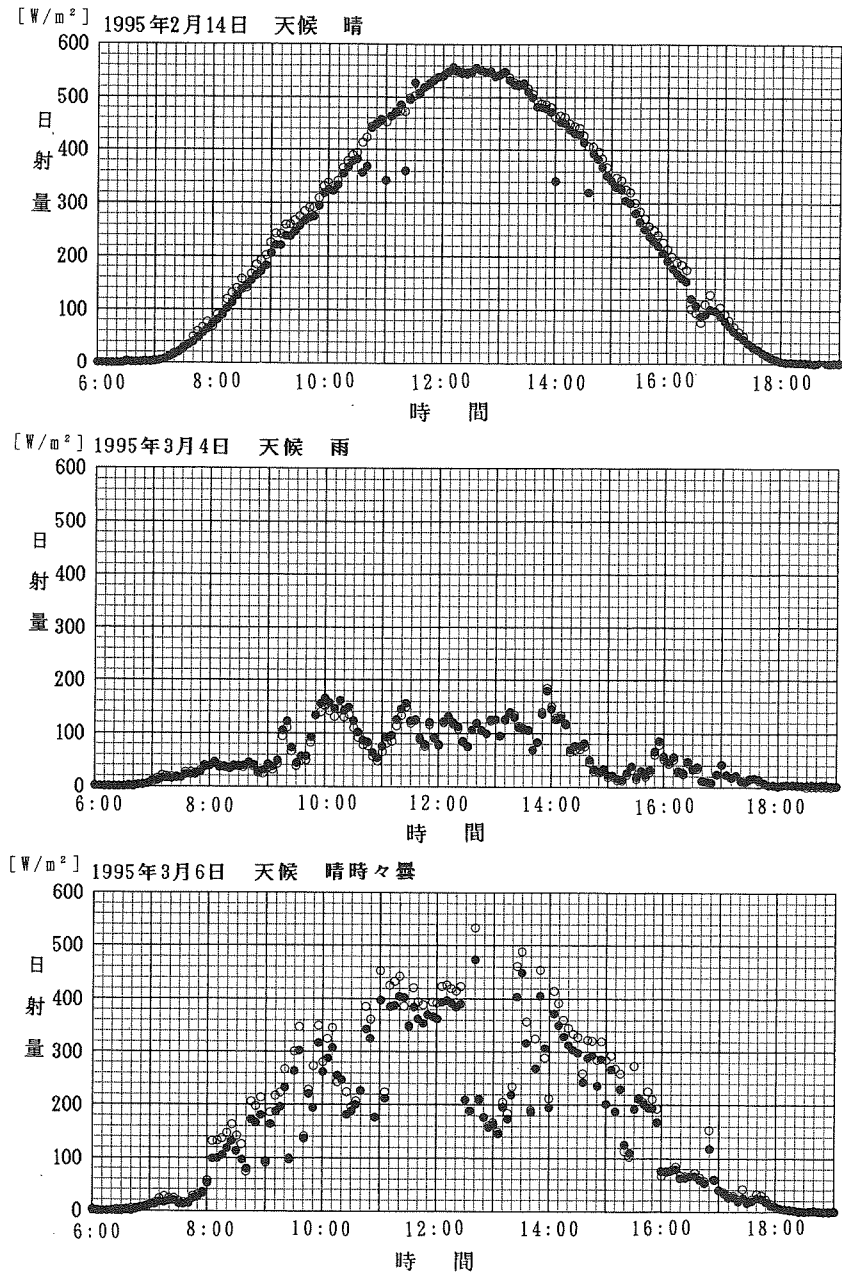


図11 3個のフォトダイオードの組み合わせによる日射量の測定結果。
○は日射計の指示値。●は3個のフォトダイオードの組み合わせによる測定値。

3月6日（晴時々曇）の測定結果を図11に示す。この図において○は5分間隔で測定した日射計の指示値であり、●はフォトダイオードの組み合わせによる出力に適切な係数を乗じて求めた値である。

この図で従来の日射計の指示値と3個のフォトダイオードの組み合わせによる日射量の測定値は殆ど一致している。晴天の日でも、瞬間的に雲や鳥などが太陽光を遮った場合、フォトダイオードの方が熱型センサの日射計より応答が速いので、一部で日射計の指示値よりフォトダイオードの組み合わせによる値の方が低く現れているが、積算値で比べると両者の値は殆ど一致している。

データ読み込み間隔を5分として実験した結果は、晴れの日や雨の日のように日射量が緩やかに変化している場合は、なだらかな曲線で見やすいが、晴時々曇の日のように日射量の変動の激しい場合は、1～2分間隔でデータを読み込んだ方がよさそうである。使用した測定回路では記録インターバルを10秒、15秒・・・、1分、2分、3分、5分・・・24時間、というような18段階の内から適当な値を選べるようになっている。記録インターバルが短くなる程、雲の動きなどによる変動を正確に読み取れるが、その分だけメモリー消費量が増えるので、瞬時値をあまり重視しないでも良い場合は5分間隔の測定が良い。

雨天、晴天、曇天いずれの場合も一日の日射量の積算値と比較すると、日射計での測定値と光センサの組み合わせによる測定値との対応はよかった。一般の日射計とは区別して、第1の条件：シリコン太陽電池を

使ったシステムでの測定に使用する。第2の条件：大気圏外ではなく地上での光発電システムでの測定に使用する、という2つの条件下で使うとすると2～3個のフォトダイオードを組み合わせたものは日射計用センサとして使用できると言える。

6. おわりに

異なるスペクトル特性を持つフォトダイオードを組み合わせる事により、従来の日射計よりも、手軽で安価で使いやすい日射計が製作できる見通しが立った。

今後の課題として、これらのフォトダイオードは温度による影響を受けやすいので温度特性を考慮に入れる必要がある。センサ部にカバーを取りつけ、雨天時の測定も可能にして、四季を通じての連続測定ができるようにすれば、目的とするシリコン太陽電池を使った地上用太陽光発電システムの設計や運転評価に使うための安価で手軽な日射計として使うことができる。

参 考 文 献

- 1) R. Matson, R. Bird and K. Emery: Terrestrial Solar Spectra, Solar Simulation, and Solar Cell Efficiency Measurement, SERI / TR-612-964 (1980) P.8.
- 2) 波長別全天分光日射計MS-131WP取扱説明書（英弘精機株式会社、(1991年)