デモクラティックモジュール光発電システムによる フィールドテスト (FT) 実証評価†

高倉 秀行* 藤井 剛** 濱川 圭弘*

Evaluation of Electric Energy Output by Democratic Module PV System Field Test

by

Hideyuki TAKAKURA,* Takeshi FUJII** and Yoshihiro HAMAKAWA*

A systematic investigation has been made on generated electric energy from different photovoltaic (PV) solar arrays consisting of three kinds of silicon based solar cells. Clarification of seasonal output power variations with temperature in c-Si and a-Si cells might be important issue for the operations of PV system. It has been shown from the results that output power from a-Si array is 20% larger than that from c-Si in summer. On the other hand, in winter, this scene should be reverted. However output power from c-Si array is only 5% larger than that from a-Si. The analyzed data also show that annually accumulated electric energy generated from a-Si array corresponds to 90% of its nominal efficiency in the year. While in case of c-Si array, this ratio is about 84%.

Key words: NEDO Field Test, Amorphous Si solar cell, Accumulated electric energy, Temperature dependence of solar cell efficiency

1 緒 言

太陽光発電は、21 世紀の人類文明の維持と発展を進めるクリーンエネルギーのチャンピオンとして注目を浴びており、その普及並びに産業育成に向け、素子の高性能化からシステム運転データ蓄積、建材一体型モジュール開発等様々な分野での努力が払われている。ところで、太陽電池の性能は、これに使われるシリコンの素材によって大きく異なる。例えば、単結晶シリコンモジュールの性能は一番優れており、次いで多結晶シリコンそしてアモルファスシリコンとされている。こうしたカタログ仕様は、太陽電池を人体にたとえると、身体検査の結果であり、風雨に曝されて発電する太陽電池の出力電力は、気温や日照条件などによって様々に変わり、これを発電設備として使う場合、はたしてカタログ通りの電力を出すのかどうかははっきりわかっていない。

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) と立命館大学との共同研究として実施されている本フィールドテスト (デモクラティックフィールドテスト) は、日射条件、傾斜角など、設置条件をまったく同一条件にして、単結晶シリコン、多結晶シリコン、アモルファスシリコンの 3 種類の太陽電池モジュールを、長期にわたって連続動作させ、年間を通じて実際に出す電力量を比較してみようという試みである。言い換えれば、この研究は各種太陽電池モジュールの体力テストをやってみようという、新しい試みである。

太陽光発電設備は、平成 9 年度にシステムの設計、施

行、調整試験を実施して平成 10 年 2 月に竣工し、平成 10 年 3 月よりデータ計測を開始した。本報告では、平成 11 年に実施した、1 年間の動作特性計測の結果について報告するものである。

2 システムの概要と特長

太陽光発電設備のブロック図を Fig. 1 に、概要を Table I に示す。各種太陽電池アレイの定格容量はそれぞれ、単結晶 Si 太陽電池アレイ (c-Si) 5kW, 多結晶 Si 太陽電池アレイ (poly-Si) 5kW, アモルファス Si においては、単接合型 (a-Si (single)) 3kW と 3 スタック型 (a-Si

Fig. 1. Schematic diagram of democratic PV power generation system.

† 原稿受理 平成 12 年 7 月 12 日 Received July 12, 2000

* 正 会 員 立命館大学理工学部光工学科 〒525-8577 草津市野路東, Dept. of Photonics, Fac. Sci. & Eng., Ritsumeikan Univ., Nojihigashi, Kusatsu, 525-8577

** 立命館大学理工学部光工学科 〒525-8577 草津市野路東, Dept. of Photonics, Fac. Sci. & Eng., Ritsumeikan Univ., Nojihigashi, Kusatsu, 525-8577

Table 1. Installation conditions.

Latitude	North 34° 58'
Longitude	East 135° 57'
Tilt angle	15.3°
Azimuth	Due South
Load	Lighting and air conditioner

(stack) 2kW の 2 種類の太陽電池で構成しており、合計 15kW の PV システムである。また、太陽電池アレイの設置角度は、耐風圧特性を改善するためならびに景観上の配慮から 15.3 度と設置地点の緯度よりもかなり小さな値となっている。この設置角度では、夏至の頃に太陽光線が垂直入射し、傾斜面日射量が最大となる。つまり、夏期に最も発電量が多くなる設計となっていることも本システムの特長の 1 つである。

本システムは産官学連携による研究交流拠点である立命館大学テクノコンプレクス・ハイテクリサーチセンター屋上に設置されており、立命館大学びわこ・くさつキャンパスの位置する琵琶湖南地域は、年間日射量が本州のその平均値に相当することから、わが国の地勢的標準データ収集が行えるものと期待される。

3 データ解析結果

立命館大学テクノコンプレクス屋上の一部を利用した出力 15kW の太陽光発電システムは、平成 10 年 3 月完成の後試験運転を経て、平成 10 年 4 月より正式運転を行っている。概ね順調に発電を続けており、NEDO 仕様による自動計測も問題無く行われている。立命館大学の研究グループでは、より詳細な運転データを取得する目的から、NEDO 仕様による自動計測装置とは別に計測装置を設計製作し、平成 10 年 6 月末日より計測を開始した。また、別途英弘精機製のカーブトレサを用いて、不定期ではあるが各太陽電池モジュールの I-V 特性の計測も行った。平成 10 年度実証運転として、システムの適用性や安定性に関する実証データを取得するとともに、動作に関する実証データの収集を行った。なお、平成 10 年 3 月より運転を開始しているが、本報告では、解析のための計測データは平成 11 年 1 月から平成 11 年 12 月までの 1 年間のものを使用した。

3・1 発電特性の季節変化

Fig. 2 に 4 種類の太陽電池アレイからの発生電力量を示す。各々の発電容量が異なることから、1 ヶ月間の発電電力量の積算値を、定格発電容量で除した値で表わした。参考のため、該当する月の傾斜面日射量の積算値 (P_{in}) も並べて示した。この結果より、まず低傾斜角であることから当初予想したとおり、夏期に高出力が得られていることがわかる。さらに、太陽電池の種類毎に比較して見ると a-Si 系太陽電池アレイからの出力が夏期に結晶シリコン太陽電池よりもかなり高いこと、冬季には逆転するもののその差はあまり大きくないことがわかる。

Fig. 3 は、変換効率と平均気温の推移を示したものである。なお、ここで示した変換効率は、各アレイからの月間発電電力量を入射日射量の月間積算値で割ることに

Fig. 2. Monthly accumulated electric energy normalized to 1kWp from different arrays and monthly accumulated solar radiation.

Fig. 3. Monthly averaged watt-hour conversion efficiency of each arrays with average ambient temperature for each month.

より求めたものである。また、標準状態でのモジュール変換効率はそれぞれ、c-Si : 13.4%, poly-Si : 13.0%, a-Si (single) : 7.1%, a-Si (stack) : 8.1% (cell area) である。これより、結晶シリコン系太陽電池では気温が低くなる冬季に効率は上昇するが、アモルファスシリコン系では、10 月から 2 月にかけて徐々に減少し 3 月以降にやや回復が見られ、結晶系とは明かに異なる振る舞いを示すことがわかる。また、単接合のアモルファスシリコン太陽電池モジュールの変換効率は、夏季における実測の変換効率とほぼ等しいことに注意されたい。これについては 3・2 節で詳細に述べる。結晶系の推移は、動作状態での素子温度が、気温に日射量に比例した上昇分が加わることでほぼ説明出来るが、アモルファスシリコンの振る舞いは、光による特性劣化（いわゆる光劣化）と熱アニールによる特性回復が複雑に関係しているものと理解される。AM の変化の影響も無視できないと思われるが、定量的な度合は不明である。

平均気温と単結晶シリコン (c-Si) アレイならびに単接合アモルファスシリコン (a-Si) アレイの変換効率の関係をプロットした結果を Fig. 4 に示す。両者の傾向は明かに逆であり、特にアモルファスシリコン系太陽電池アレイからの出力電力量を予想する場合、温度係数の取扱には十分な注意が必要であることがわかる。¹⁾

Fig. 4. Correlation between conversion efficiencies for c-Si and a-Si (single) PV arrays and daily average ambient temperature.

3・2 年間発電量

Fig. 5 に、年間発電電力量の比較を、傾斜面日射量の積算値と共に示す。²⁾ 計測した期間内の太陽電池モジュールを設置した傾斜面に入射した積算日射量は、1396kWh/m²であった。仮に、太陽電池が日射強度や素子温度に依らず定格通りの効率で発電したとすると、各アレイからの定格 1kWp 当りの積算電力量は全てこの値と等しいはずであるが、実際にはこの図より明らかなようにそのようにはならない。結晶シリコン系太陽電池では、その出力は 80～85% であった。結晶シリコン系太陽電池の変換効率の温度係数は約 -0.5%/°C であり、年間の平均素子動作温度が 55°C であると仮定すると、温度上昇による出力低下は 15% となり、定量的にも温度上昇で説明することが出来る。一方、アモルファスシリコン系太陽電池の出力は、日射量の 87～90% と結晶シリコンを上回ることが明らかとなった。この原因は、変換効率の温度係数が結晶系に比べて小さいことに加えて、Fig. 4 に示したように見かけ上の温度係数が光劣化・回復現象のため正となっているためである。いずれにしても、年間発

Fig. 5. Annually accumulated electric energy per 1kWp from four arrays. Annual accumulated solar radiation (P_{in}) is also indicated.

生電力は定格出力、温度係数のほかに、季節変動要因を加味して予測することが必要であることが、とくにアモルファスシリコン系太陽電池の場合重要であることが今回の測定の結果から明らかとなった。加えて、アモルファスシリコン系太陽電池では、初期劣化があるため定格出力を測定・表示する場合に注意が必要で、十分初期劣化させた後の定格出力は、夏季における動作状態でもほぼ実現されていることが明らかとなった。

本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構が推進している太陽光発電 FT 事業の一環として、立命館大学との共同研究として平成 9 年度より実施されている研究成果を用いたものである。関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 高橋英紀, 宮川智子, 高倉秀行, 濱川圭弘, 第 46 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 993 (1999).
- 2) M. Itoh, H. Takahashi, T. Fujii, H. Takakura and Y. Hamakawa, Tech. Digest of 11th Intern. PVSEC, 994 (1999).