

〔論 文〕

久留米市における太陽光発電システムの発電効率に関する研究

野々村善民*¹

Research of Power Output Efficiency by Solar Photovoltaics System in Kurume City

Yoshitami NONOMURA*¹

Abstract

The purpose of this study is to clarify the relationship between the output efficiency and solar radiation by solar photovoltaics systems. Three parameters were calculated using the measured values from a solar photovoltaics system situated on the roof of Building No.3 at Kurume Institute of Technology. The three parameters are: output efficiency η , conversion efficiency η_{pcs} , and the rate of fine weather S_{wp} . Findings indicated that even after three years of operation, the solar photovoltaics system's output efficiency η was approximately 0.095, and that the amount of power generated by the solar photovoltaics system was constant.

Key Words : Solar Photovoltaics , Power Output Efficiency, Solar Radiation, Rate of Sun

1. 緒 言

太陽光発電システムは、大規模産業用から住宅用として日照条件の良い地域で広く普及している。特に、住宅に太陽光発電システムが設置される場合、計画時の発電量はカタログに掲載された発電効率を用いて算出している。しかし、日射量と発電量の関係を示す実測結果に関する研究発表は、ほとんど無い状況である。

久留米工業大学では、2001年2月、3号館屋上において太陽光発電システムが設置され、2012年1月から太陽光モジュール面の日射量と各種発電量が計測されている。太陽光発電システムのアレイの設置状況は良く、ここで計測される発電量に関わる各データは久留米市周辺における代表値であるものと考えられる。そこで、本研究は、久留米市において設置後から10年以上経過した太陽光発電システムの発電量と日射量の関係を明らかにすることを目的とする。

2. 記号の説明

以下に、本論文で扱う記号の一覧を示す。

E_h : 1時間あたりの積算日射量, 実測値 [kWh·m⁻²]

E_a : アレイの表面に当たる積算日射量 [kWh] $E_a = E_h \times A_a$

E_y : 積算日射量の実測値 [kWh·m⁻²]

E_x : 可照時間の積算日射量, 計算値 [kWh·m⁻²]

Nd_c : 晴れの日数 [Day] 日照時間が可照時間の40%以上となる日数 $E_y \div E_x \geq 0.4$

Nd_p : 解析対象期間の日数 [Day]

S_{wp} : 晴天率 [%] $S_{wp} = \frac{Nd_c}{Nd_p} \times 100$

A_a : アレイの受光面積 [m²] $A_a = 75 \times A_m$

A_m : 太陽光モジュールの受光面積 [m²]

P_{pv} : モジュールから出力される1時間積算電力量 [kWh]

P_{pcs} : パワーコンディショナーから出力される1時間積算電力量 [kWh]

*¹ 建築・設備工学科
平成26年10月31日受理

η_{PCS} : 変換効率 [-], 直流電流から交流電流に変換する効率. $\eta_{PCS} = \frac{P_{PCS}}{P_{PV}}$
 η : 発電効率 [-], P_{PCS} とアレイに当たる日射量の比率 $\eta = \frac{P_{PCS}}{E_b \times A_a}$

3. 研究方法

3・1 太陽光発電システムの概要

表1に、本研究で扱う太陽光発電システムの構成部品を示す。アレイの設置場所は、久留米工業大学の3号館屋上である。設置場所の緯度は33.3 [deg] であり、経度は130.5 [deg] である。アレイの受照面は概ね南向きであり、アレイの傾斜角度は30 [deg] である。

なお、3号館屋上における日照条件は良く、建物の周囲には、太陽光を遮る地形地物は無い。そのため、晴天時には一日中、太陽光が各モジュールに当たる。

表1 太陽光発電システムの構成部品

No.	部品の名称
1	アレイ (75枚の太陽光モジュール) モジュールのメーカーと型式: KYOCERA SPG145
2	気象測定装置 (精密日射計, 温度計)
3	パワーコンディショナー (写真2を参照)
4	太陽光発電計測監視装置 (KYOCERA KC-ES4-H)

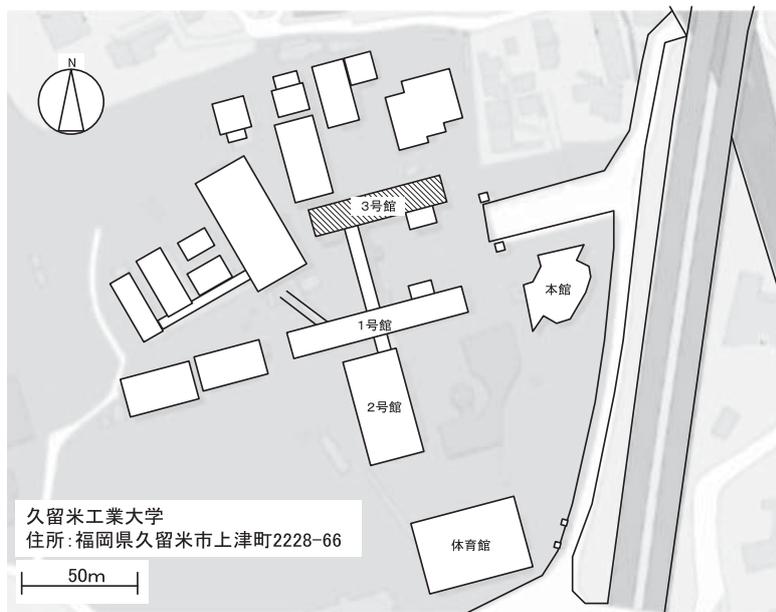


図1 太陽光発電システムの設置場所 (久留米工業大学)



写真1 気象測定装置



写真2 パワーコンディショナー (3号館屋上)

写真1に、気象測定装置の設置状況を示す。日射計の設置角度はモジュール面の角度と同じ、30 [deg] である。温度計は日射遮蔽筒の中に入れ、その設置場所はモジュールの下部である。

3・2 太陽光モジュールの仕様

アレイの設置場所は、久留米工業大学の3号館屋上である。アレイを構成する太陽光モジュールの設置枚数は75枚(= 3×25) である。表2に、モジュールの仕様を示す。モジュールは京セラ社製のSPG145である。モジュール1枚の受光面積 A_m は、1.026m²であり、アレイの受光面積 A_a は76.95m²である。モジュールの製造年月は2000年10月である。このSPG145の太陽電池モジュールの変換効率のカタログ値は、0.145 (14.5%) である。

表2 太陽光モジュールの仕様

型式	SPG145	
製造番号	00XCA0019	
製造年月	2000.10	
公称最大出力	145W	
モジュール変換効率	14.5%	
公称開放電圧	24.9V	
公称短絡電流	7.69A	
公称最大出力動作電圧	19.9V	
公称最大出力動作電流	7.29A	
最大システム電圧	450V	
面積と寸法	1.026m ² =0.945m×1.086m	
公称質量	13.8kg	

場所：久留米工業大学3号館屋上

3・3 太陽光発電計測監視装置について

久留米工業大学の3号館屋上に設置されたアレイから出力される電力に関するデータなどは、気象測定装置で計測された外気温と日射量と共に、太陽光発電計測装置 KC-ES4-H により記録される。

この KC-ES4-H の設置場所は、3号館の地下室である。KC-ES4-H の測定周波数は1 Hz である。なお、本研究では、統計時間を1時間として、各種の発電量を算出した。

3・4 統計データの解析方法

ここでは、KC-ES4-H から出力した統計データの解析方法を以下に示す。太陽光発電システムの設置年月は2012年1月であり、統計データの出力開始年月日は、2012年1月27日である。本研究では、以下のように4つの解析対象期間に区切って統計時間1時間のデータを解析した。なお、原因不明であるが、2001年2月から2012年1月27日まで計測データは KC-ES4-H に未記録である。

- ・ caseA：2012年1月27日～2012年12月31日
- ・ caseB：2013年1月1日～2013年12月31日
- ・ caseC：2014年1月1日～2014年7月11日
- ・ caseD：2012年1月27日～2014年7月11日

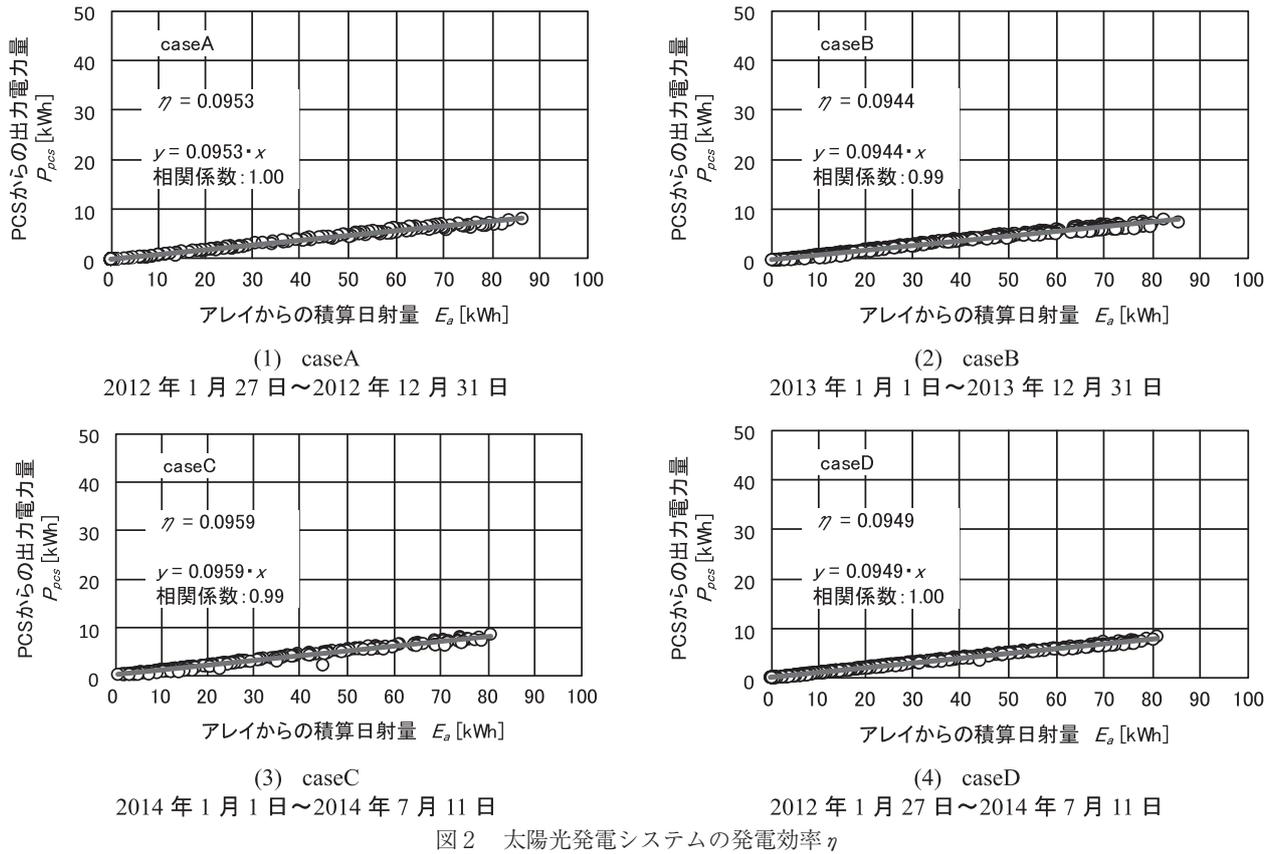
4. 実測結果

4・1 発電効率 η について

3号館屋上に設置された太陽光発電システムの発電量の経年変化を明らかにするために、図2に示すように、各年度の発電効率 η を算出した。発電効率 η は、パワーコンディショナーから出力される積算電力量 P_{pcs} [kWh] とアレイに当たる積算日射量 E_a [kWh] の比率である。 E_a は、精密日射量で測定した日射量 [kWh・m⁻²] とアレイの受光面積 [m²] を乗じたものである。なお、写真2に示すように、パワーコンディショナーはアレイ下部の屋外に設置されている。

図2の(1)に示すように、caseA の発電効率 η は、0.0953 である。この発電効率 η は、 P_{pcs} と E_a から求めた近似直線の傾きである。実測で得られた発電効率 η が約0.095とした場合、メーカーのカタログ値 $\eta=0.145$ に比べて、約34%低くなる。

実測で得られた発電効率 η が、カタログ値に比べて低くなる原因を以下に示す。



- ・本システムのアレイの設置方向が概ね南側であり、受照面の角度が30 [deg] である。そのため、アレイに当たる日射量が太陽光の法線面における場合に比べて小さくなる。
- ・アレイの屋外露出の期間が13年以上である。アレイ設置後から今まで、各モジュール面の清掃は、一度も行っていない状況である。また、各モジュール表面には、ホコリおよび鳥の糞などが付着している。そのため、汚れが付着したセルに当たる日射量は遮られ、システム全体の発電量が低下しているものと思われる。

次に、図2の(2)に示すように、caseBでは $\eta=0.0944$ 、図2の(3)に示すように、caseCでは $\eta=0.0959$ となる。図2の(4)に示すように、caseDでは、 $\eta=0.0949$ となる。以上から、13年以上経過した場合であっても、太陽光発電システムの発電効率 η は約0.095であり、経年変化による出力は概ね一定であることが判った。

4・2 モジュール面の汚れについて

写真1に、久留米工業大学3号館屋上における太陽光モジュール表面の汚れの状況を示す。撮影した年月日は、2014年7月20日である。多くのモジュールの表面には、鳥の糞など汚れが付着していた。このように、モジュール表面には、発電量の低下を招く汚れが常に付着している状態である。つまり、モジュールにホットスポット現象が生じる恐れがあ

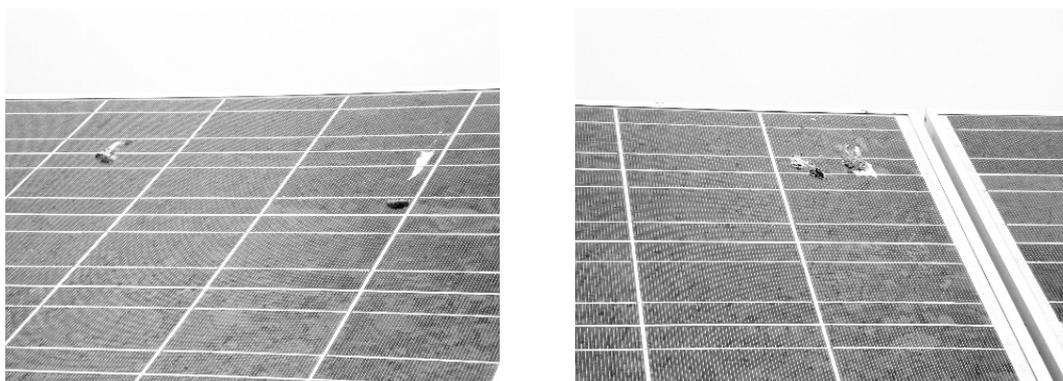


写真1 モジュール表面における汚れの状況 (2014年7月20日に撮影)

ることが判った。

なお、モジュール表面の一部に汚れが付着した箇所は抵抗体となる。この箇所に電流が流れた時に、熱が発生する。ホットスポット現象は、モジュールに電流が流れ、この時、不具合のセルが高温となることである。このホットスポット現象が何度も繰り返されることで、セルの損傷が進行する。

また、太陽光モジュールには、不具合のセルが生じた場合に、モジュール全体の発電量の低下を防ぐために、バイパスダイオードが装着されている。このバイパスダイオードによって、ホットスポット現象の発生を防ぐことができる。

4・3 変換効率 η_{PCS} について

パワーコンディショナーに組み込まれている電気回路に、コンデンサーがある。このコンデンサーの劣化がシステム全体の性能低下となる。そこで、変換効率 η_{PCS} の経年変化を明らかにすることで、パワーコンディショナーの不具合が発見できる。図3に、4つの解析対象期間の変換効率 η_{PCS} を示す。なお、変換効率 η_{PCS} はパワーコンディショナーから出力される積算電力量 η_{PCS} [kWh] とアレイから出力される積算電力量 P_{pv} [kWh] の比率である。

図3の(1)~(4)に示すように、4つの case の変換効率 η_{PCS} は、約0.93である。以上から、3号館屋上の太陽光発電システムの性能は、2012年1月27日以降から概ね同じであることがわかる。

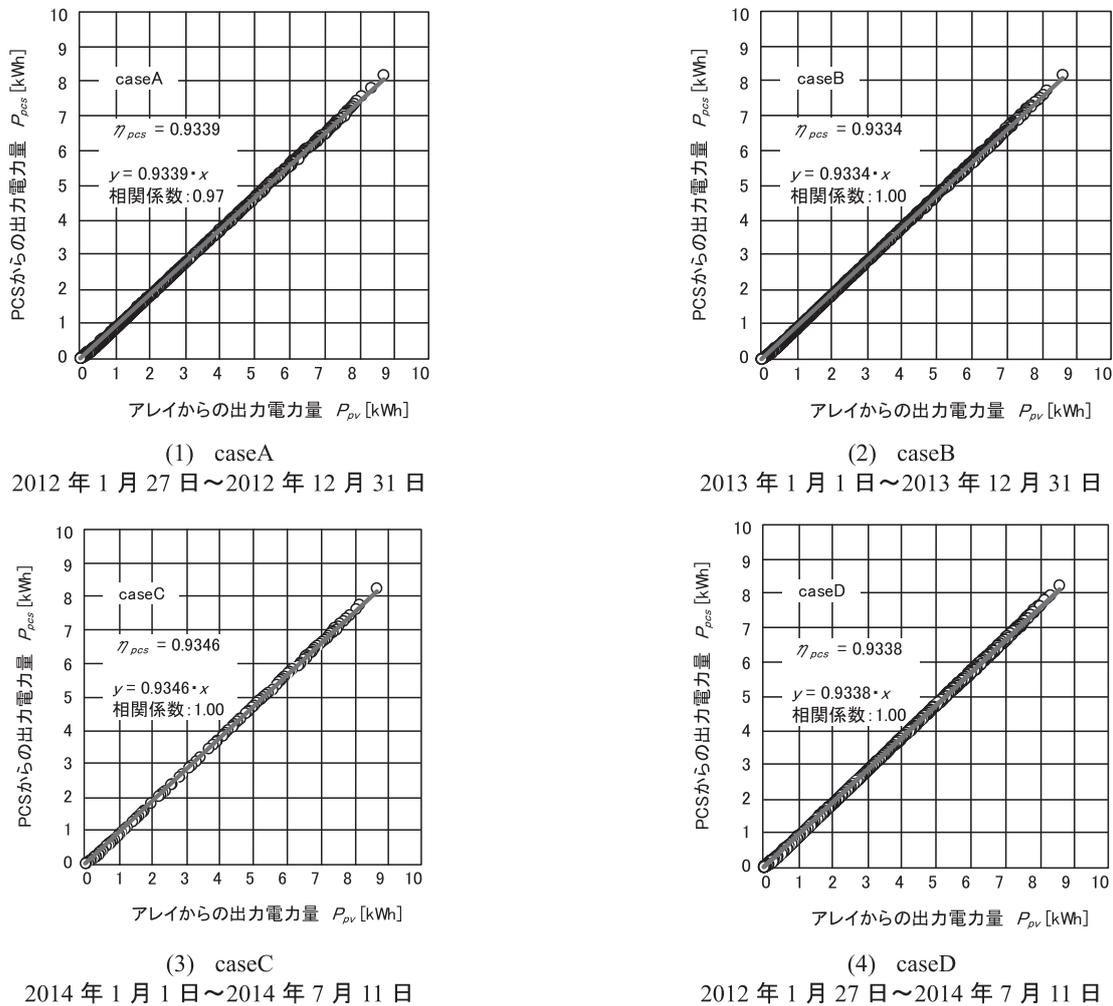


図3 変換効率 η の経年変化

4・4 久留米市における晴天率 S_{wp} について

本論文で用いた太陽光発電計測装置 KC-ES4-H は、アレイ面における積算日射量 E_a を計測している。本論文の解析対象期間の違いによる天候を明らかにするために、晴天率 S_{wp} を算出した。 S_{wp} は、晴れの日数 N_d と解析対象期間の日数 N_d の比率である。 N_d は、一日当たりの積算日射量の実測値 E_y と可照時間の積算日射量 E_x の比率が0.4以上となる日である。

本論文では、可照時間の積算日射量 E_x は、水平面を対象として、汎用の流体数値シミュレーションソフトの

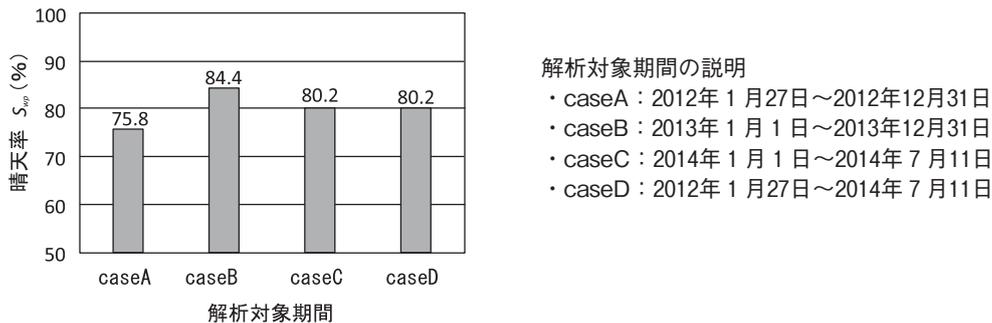


図4 久留米市内における晴天率の経年変化

FlowDesigner を用いて算出した。

図4に4つの解析対象期間の晴天率 S_{wp} を示す。caseA, caseB と caseC の S_{wp} は、約75 [%] ～約84 [%] であり、各年で大きく変動することがわかった。2012年1月以降、caseD の晴天率 S_{wp} は、約80 [%] である。

以上から、各 case の晴天率 E_x は約75 [%] ～約84 [%] に変動した場合であっても、太陽光発電システムの発電効率 η は約0.095の一定値であることがわかった。

5. 結 語

本研究の目的は、太陽光発電システムの発電量と日射量の間関係を明らかにすることである。そこで本研究は、久留米工業大学の3号館屋上にある太陽光発電システムの実測値を用いて、発電効率 η 、変換効率 η_{pcs} 、および晴天率 S_{wp} を算出した。以下に得られた知見を記す。

- ① 太陽光発電システムが設置運用を開始して、2012年1月27日以降から、太陽光発電システムの発電効率 η は約0.095であり、経年変化による出力は概ね一定であることが判った。
- ② アレイの設置後からモジュール表面の清掃は一度も行っていない状況である。そのため、発電量の低下を招く汚れが常に付着している状態であることが判った。
- ③ パワーコンディショナーによる電力の変換効率 η_{pcs} は、約0.93であり、2012年1月27日以降から概ね同じであることが判った。
- ④ 4つの解析対象期間の晴天率 S_{wp} は、約75 [%] ～約84 [%] であり、解析対象期間の違いにより、 S_{wp} は変動することが判った。なお、2012年1月以降の S_{wp} は、約80 [%] である。

今後、モジュール面におけるホットスポット現象の有無について、調査する予定である。また、モジュール面の清掃を行い、発電効率 η の変化について確認する予定である。

謝 辞

本論文の作成に当たって、久留米工業大学工学部 建築・設備工学科の学部生の井上尚弥君、杠 和洋君、柴山和幹君、財満祐吾君に多大な協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

文 献

- (1) 京セラ株式会社, <http://www.kyocera.co.jp/solar/es/prdct/module/detail.html>, 2014年10月30日, 京セラ株式会社の太陽電池モジュールのHP
- (2) 資源エネルギー庁, http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/ohisama_power/tv/#vol1-2, 2014年10月30日, ホットスポット
- (3) 気象庁, <http://econeco.sakura.ne.jp/kurashitokisyo/yougo/2010/12/post-100.html>, 2014年10月30日, 気象庁の気象・天気用語