

太陽電池による日射遮蔽効果に関する実験とそのシミュレーション

堤純一郎^{*1}, 仲松亮^{*2}, Uddin Md. Moin^{*3}^{*1-3} 琉球大学工学部環境建設工学科Field experiment and numerical simulation on solar protection effect
by photovoltaic modulesJ.G.Tsutsumi^{*1}, R.Nakamatsu^{*2}, Md. Moin Uddin^{*3}^{*1} University of the Ryukyus (jzutsumi@tec.u-ryukyu.ac.jp)^{*2} University of the Ryukyus (k967324@tec.u-ryukyu.ac.jp)^{*3} University of the Ryukyus (k977348@tec.u-ryukyu.ac.jp)

ABSTRACT: A photovoltaic system is not only one of the most popular ways of utilization of solar power, but also it has a solar protection effect on a rooftop surface. The purpose of this study is to estimate the effects of the solar protection by photovoltaic modules, and to simulate the effect from meteorological data numerically. A field experiment was done on a flat rooftop of a single unit house in Okinawa. The surface temperature on the rooftop covered by photovoltaic modules is lower than the bare rooftop surface temperature by 5-10 degrees in the daytime, and it is a little higher in the nighttime because of the protection of nocturnal radiation. The numerical simulation on the basis of the field experiment indicates the same tendency as the result of the experiment.

1. はじめに

アモルファスタイプ太陽電池の特性として、太陽電池パネル（以下、PV モジュール）を低い角度で平面的に敷き詰めても発電効率が大きく変化しないことが挙げられる。低緯度の沖縄は太陽高度が高く、陸屋根の RC 造住宅が多いので、このようなアモルファスタイプの PV モジュールの特性が十分に活かされる可能性がある。

同時に、PV モジュールで屋根面が覆われることにより、屋上面の日射が遮蔽され、冷房熱負荷が軽減される可能性も考えられる。今まで太陽光発電の性能として発電能力だけが注目されてきたが、この効果は太陽光発電の持つ付加価値である。

本研究はこの PV モジュールによる屋根面の日射遮蔽効果に注目し、主として屋上表面温度に関する実測を行い、PV モジュールによる日射遮蔽効果について検証するとともに、この日射遮蔽効果を種々の条件下で広く適用できるように、その実験をモデルにした表面温度予測のためのシミュレーションを行ったものである。

2. 実証実験

2.1 実証実験サイト

沖縄県読谷村比謝の鉄筋コンクリート造二階建ての戸建住宅屋上において、PV モジュールの遮熱効果に関する測定を行った。この住宅は築 10 年程度であり、家主家族の実際の生活の場である。PV モジュールは実際に稼働させるために 2003 年 9 月に設置したもので、沖縄電力と系統連係している。アモルファス太陽電池メーカーにご協力いただき、価格交渉を通して家主から実験許可をいただいた。対象建物を北側から見た写真を Figure 1 に示す。

この対象住宅は建築面積約 115 m²、軒高 7.6m のこの地域では比較的大型の戸建住宅である。その周囲は、東側が約 1km 先から低い丘になるが、それ以外はほぼ平坦で、付近に高い山などはない。対象住宅の周囲はほとんど低層の戸建住宅であり、点在する商業建築も含めてほとんど二階以下の低層建築である。対象住宅の屋根面を直接俯瞰する、あるいは対象住宅の PV モジュールに日影を落とすような高い建物は周囲に存在しない。



Figure 1 Northern side view of the 2-story house with RC structure for the field experiment.



Figure 2 Setting of thermo-couples around PV modules on the rooftop of the experimental house.

対象建物屋上には Figure 1 に示すように、北側に給水タンクを設置しているが、それ以外は平らな陸屋根である。この屋根面の北寄りに約 1m 角の PV モジュール 57 枚を傾斜角 5° で敷き詰め、屋根面の約 40% を覆う。屋上における PV モジュール設置状況を Figure 2 に示す。これは後述する測定機器の設置時の状況であり、周囲の低層住宅および給水タンクを設置している塔屋の状況がわかる。屋上周囲のパラペットは無視できる程度の高さである。

さらに、Figure 3 に対象建物屋上における PV モジュールの配置状況を平面図で示す。57 枚の PV モジュールを北側に寄せて設置し、さらに西側に PV モジュールで被覆されない部分を作ったため、やや不整形の配置となっているが、主要部分は 5×9 枚の PV モジュールを長方形に配置したところであり、ここを測定対象とする。

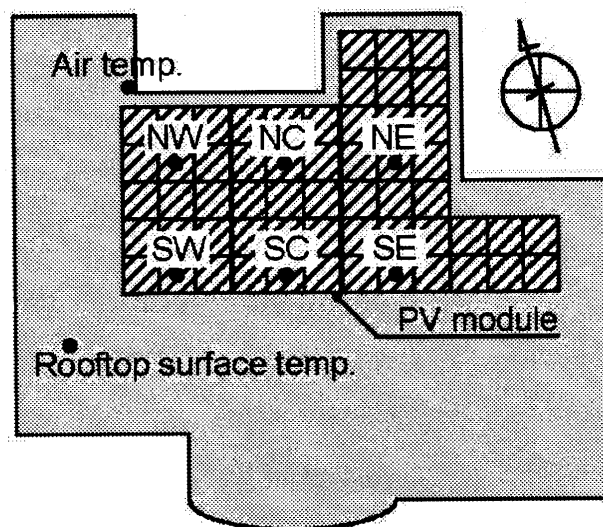


Figure 3 Arrangement of PV modules on the rooftop and the measurement points and their names.

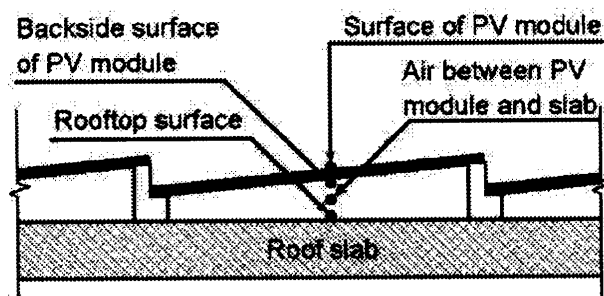


Figure 4 Section of the PV modules and the roof slab with measurement points.

2.2 測定点の設置

この実験は PV モジュール等の温度測定を行うことが主体である。PV モジュールの配列を全般的に捉えられるように、Figure 3 に示すように平面的に温度測定点を 6 ケ所設定する。さらに、基準となる屋上の気温と PV モジュールのない屋根面の温度も測定している。基準空気温度は屋上面からの高さ約 1.5m に設定している。

PV モジュール付近の各温度測定点においては、Figure 4 に示すように PV モジュール下の屋根表面、PV モジュールと屋根表面の間の空気、PV モジュール裏面及び PV モジュール上表面の温度を測定している。ただし、PV モジュールの表面は南側の SE, SC, SW の 3 点だけ測定している

2.3 温度測定方法

温度測定のためのセンサーは T 型熱電対である。PV モジュール表面温度については、感熱部の先端を直接、接着剤で固定し、表面に現れた線はアルミ

テープを貼って固定している。屋根表面温度もほぼ同様に設定している。PV モジュール裏面は感熱部の先端を直接、粘着テープで貼付けている。中間空気層は PV モジュール裏面から熱電対を垂らしているだけで、日射遮蔽は特に行っていない。

測定の開始は 2003 年 9 月 27 日で現在も測定は継続中している。測定開始当初は測定時間間隔を 15 分にしていたが、データロガーの関係で約 1 ヶ月経過してから 10 分間に変更している。データ回収時の便宜のため、データロガーは地上に設置しているが、対象住宅から一般電源を借用しているため、生活状態により電源を切られることが時々あり、連続したデータとならない期間もある。

3. 実験結果

3.1 解析対象日の選択

最初に実験結果の代表的な例を示す意味で、典型的な晴天日である 2003 年 10 月 29 日と、典型的な雨天ではない曇天日である 2003 年 11 月 12 日の比較を行う。これらのデータは、沖縄においても日射遮蔽効果をあまり期待しない、やや涼しい季節に測定したものであるが、両日の気温変動が近い値を示していることと、比較的低い気温状況の方が、日射による熱的な効果が現れやすい、と考えられるところから選択したものである。

3.2 表面温度の平面分布

まず、PV モジュール上の平面的な温度分布について検討する。代表的な測定項目である PV モジュール表面温度と PV モジュールに覆われた屋根表面温度について、各測定点の生データとそれらの平均値の変動を Figure 5 及び Figure 6 に示す。

Figure 5 に示す PV モジュール表面温度の変動は激しいものの、平均値から大きく離れることはない。平均値をもって代表できると考えられる。Figure 6 に示す屋上表面温度については、全体の変動が緩やかなため、広範囲に分布しているように見えるが、実際には平均値を挟んで上下に振動しているだけであり、時間平均化すれば平均値の変動に近い形となるはずである。これらの考察より、平面的な温度分布は見られるが、それらの平均値をもって代表させることとする。

3.2 PV モジュールによる日射遮蔽効果

上記の晴天日 (10/29) と曇天日 (11/12) における PV モジュール表面温度の平均値、PV モジュール下の屋根表面温度の平均値、基準屋根表面温度及び基準気温の変動を Figure 7 及び Figure 8 に示す。

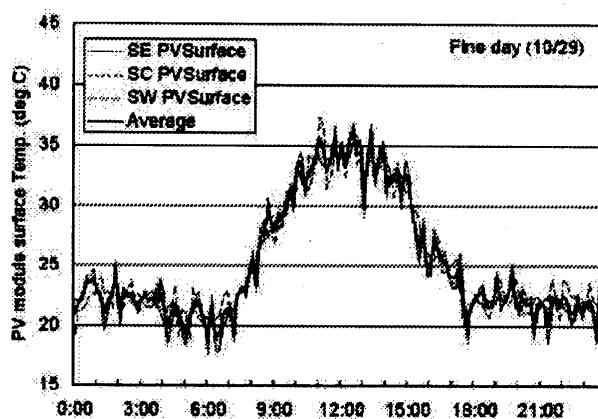


Figure 5 Surface temperature on PV modules.

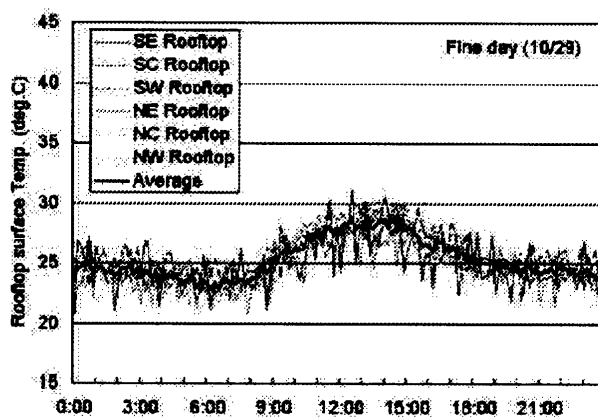


Figure 6 Rooftop surface temp. under PV.

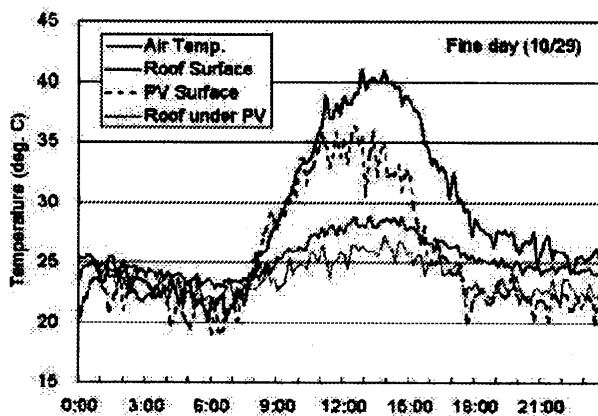


Figure 7 Temperature on a Fine day (10/29).

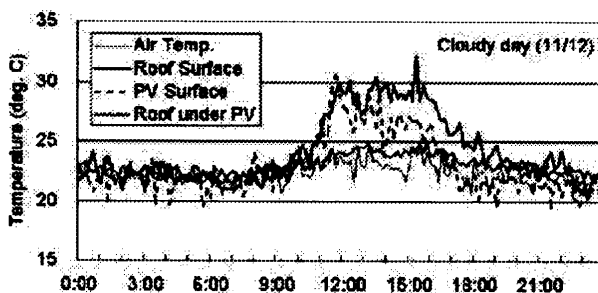


Figure 8 Temperature on a cloudy day (11/12).

晴天日の日中は気温が 27℃程度、基準屋根表面は最高約 41℃で、その差は 14℃である。PV モジュール表面は 36℃程度で、日射の反射率の違いにより基準屋根表面より低い。実際の遮熱効果を表す PV モジュール下の屋根表面温度は最高でも 29℃以下と気温の変動に近い値を示す。PV モジュール下の屋根表面と基準屋根表面の温度差は最大 12℃程度に及び、明確な日射遮蔽効果を表している。

基準屋根表面温度や PV モジュール表面温度は日没とともに急激に低下するが、PV モジュール下の屋根表面温度の低下は緩やかで、深夜 1 時頃から日の出前までは、基準屋根表面温度より高い。これは PV モジュールの設置により夜間の放射が減少したことを示している。その差は小さく基準屋根表面との差は 2℃程度である。

一方、曇りの日には大きな温度差はできないが、日中、気温が 24℃程度の時、基準屋根表面の温度は 30℃を超えることがあるが、PV モジュールで覆われた屋根表面温度は 25℃以下に保たれている。その差は最大 6℃程度であり、晴天日のおよそ半分の温度差になっている。曇りの日にもある程度 PV モジュールによる遮熱効果が表れる。

これらの結果は必ずしも日射遮蔽することが好ましい季節ではないが、沖縄では 12 月においても日射が強い日には、室内の温度が上昇し、冷房を必要とする場合もあることを考慮すると、PV モジュールによる日射遮蔽効果は十分に実用的であると考えられる。

4. シミュレーション

4.1 シミュレーションの基礎条件

前節で述べた各表面温度を、実験ではなく数値的にシミュレーション等を行うことにより求めることができれば、適用する場所や気象の条件により、適切な日射遮蔽効果を予測評価することができる。この数値シミュレーションは目的は、一般的な与条件となる場所、周辺地形、気象データなどから、曝露状態の屋根表面温度と PV モジュールで被覆された屋根表面温度を求め、それによって得られる室内の空調熱負荷の軽減効果を評価することである。

ここで行った数値シミュレーションはその第一段階であり、上述した実験における熱物性値などを簡略化して用いて、気象データから各表面温度を求めるものである。鉄筋コンクリートスラブは 20cm 厚の単板を仮定し、PV モジュールは最も厚い構成材料であるガラス板を仮定して、熱伝導率、熱容量な

どの熱物性値を求めている。PV モジュールは非常に薄いとは仮定し、表裏を考慮しない。また、室内への伝導熱の計算のため、室温は 28℃一定に仮定している。与える気象データは、前述の代表的晴天日である 10 月 29 日における沖縄気象台の日射量、湿度、雲量及び現地で測定した気温の毎時値である。湿度と雲量は大気放射の計算に用いる。対流熱伝達率は屋外、室内ともそれぞれ一定の値を仮定して、風速による変動は今回、考慮していない。

4.2 シミュレーション結果

数値シミュレーションの結果として得られた基準屋上表面温度と PV モジュールで遮蔽された屋上表面温度を比較して Figure 9 に示す。シミュレーションに入力した日射量などが現地と異なるため、必ずしも満足な結果とは言えないが、日中の温度上昇時には、シミュレーション結果が実測値に近い値を示している。PV モジュール下の屋根表面温度も同様の傾向が見られる。ただし、夜間は両者とも実測値よりはかなり低くなり、夜間の放射冷却を過剰に見積っている可能性が示唆される。基本的な計算条件にやや簡略化し過ぎたところがあるが、全体の傾向は十分に実測結果を再現できそうである。

5. まとめ

太陽電池による発電以外の副次的な効果と考えられる、日射遮蔽による冷房熱負荷の軽減効果について、実大実験を行って検証するとともに、その実験に基づいて数値シミュレーションを行い、今後の汎用化を検討した。実験結果として表面温度の低下が明確に示された。数値シミュレーションはまだ緒についた段階であり、改良の余地が大きいことから、今後の検討課題としたい。

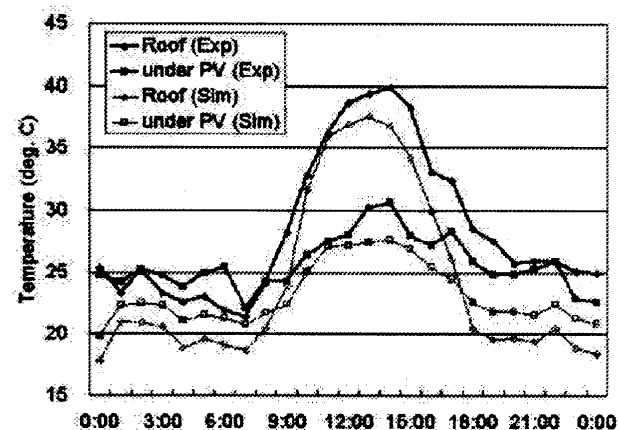


Figure 9 Comparison between the experiment and the numerical simulation results.