

メキシコの乾燥地域における簡易な集光装置による 太陽電池モジュールの発電出力向上の実証実験

Improvement of Power Output of PV Module with Inexpensive Portable Sunlight Concentrator
- Demonstration Experiment in Arid Land in Mexico -

梅 森 隆 文 ^{*1} 西 村 亮 ^{*2} 西 守 克 己 ^{*3} 石 原 永 伯 ^{*4}
Takafumi UMEMORI Ryo NISHIMURA Katsumi NISHIMORI Naganori ISHIHARA

Abstract

PV module is one of stand alone household power sources in the area where power infrastructure is not yet improved such as developing countries. In order to expand use of PV module in such area, the cost for PV power generation should be reduced. In this paper, we improved the power output performances of relatively small commercial PV modules by using a portable sunlight concentrator that can be assembled inexpensively. We report on the PV power generation experiments at arid land in Mexico and show the effectiveness of the proposed concentrator.

キーワード: 太陽光発電, 集光装置, 発電電力, 形状最適化

Key Words : photovoltaic power generation, sunlight concentrator, power output, shape optimization

1. はじめに

太陽エネルギーはエネルギー密度が小さいため、太陽光発電において十分な発電電力を得るためには大面積の太陽電池が必要になる。そのため、現時点では既存の発電方法等に比べ、コストが割高になるなどの問題がある⁽¹⁾。そこで、集光により太陽電池モジュール 1 枚あたりの発電電力を向上させることができれば発電コストの削減につながる。

著者らはこれまで、アウトドア用または災害時などの電力源としての小型太陽電池モジュールに対し、複雑な構造を必要とせず、既製の太陽電池に取り付けることができる集光発電システムを提案し、シミュレーションによってその有効性を示した⁽²⁾。このシミュレーションでは、太陽電池モジュールに当たる光が直達光のみであることを想定している。そこでシミュレーションの条件に近づけるために緯度が低く、直達光の割合が高いと思われる(AM=1.2)メキシコ合衆国南

バハカリフォルニア州ラパス市(北緯24° 10', 西経110° 25')において提案した集光装置を取り付けた太陽電池モジュールの発電特性を測定し、集光装置の有効性を検討した。

2. 井戸型集光装置

本研究では、太陽電池 1 枚あたりの発電電力を増加させる方法として、「井戸型集光装置」を用いた場合の発電電力について検討を行った。

井戸型集光装置は、図 1 のような等脚台形の段ボールにアルミ蒸着テープを接着したもので、これを 4 枚組み合わせた筒状のものである。これは、開口部から入射した太陽光が反射を繰り返して、底面の太陽電池に到達する構造になっている。ここで、集光倍率を開口面積/底面積で定義する。また、開口角度は底面と集光装置側面との角度である。

シミュレーションの結果⁽²⁾より井戸型集光装置が集光倍率 4 倍、開口角度 70° から 80° 傾斜角 25° で 1 日の発電電力量が高いことがわかった。そこで、集光倍率 4 倍、開口角度 75°、傾斜角 25° の場合の 1 日の発電電力を測定する。今回 2 種類の太陽電池単結晶シリコン太陽電池(タイプ A)とアモルファスシリコン太陽電池(タイプ B)に集光装置を取り付け測定する。集光装置に使用する太陽電池モジュールの仕様を表 1、表 2 に示す。図 2(a)にタイプ A、図 2(b)にタイプ B に取り付ける集光装置の概略図を示す。タイプ A は図 2(a)の集光板を 4

*1 鳥取大学大学院工学研究科院生
(〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南4-101)

*2 鳥取大学大学院工学研究科准教授
e-mail : ryo@ele.tottori-u.ac.jp

*3 鳥取大学大学院工学研究科教授

*4 鳥取大学大学院工学研究科技術職員
(原稿受付: 2008年9月2日)

枚組み合わせて制作した。タイプ B の集光装置は太陽電池モジュールが長方形であったため、2種類の集光板を2枚ずつ組み合わせて集光装置を制作した。

Table.1 Standard characteristics of PV module (TypeA)

表1 太陽電池モジュール(タイプA)の仕様

Solar cell element	Single crystal silicone
Rated power output [W]	5.6
Rated open circuit voltage [V]	19.2
Rated open circuit current [A]	0.40
Size of solar cell module [mm]	247×293×14
Weight of PV module [kg]	0.7

Table.2 Standard characteristics of PV module (Type B)

表2 太陽電池モジュール(タイプB)の仕様

Solar cell element	Amorphous crystal silicone
Rated power output [W]	10.3
Rated open circuit voltage [V]	23.8
Rated open circuit current [A]	0.78
Size of solar cell module [mm]	491×383×22
Weight of PV module [kg]	1.63

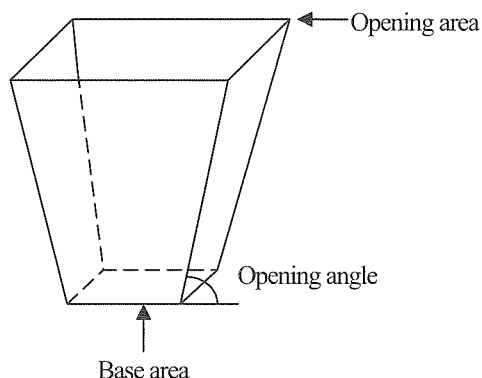


Fig.1 Schematic design of a well-shaped solar concentrator for Type A module

図1 タイプA用集光装置の概略図

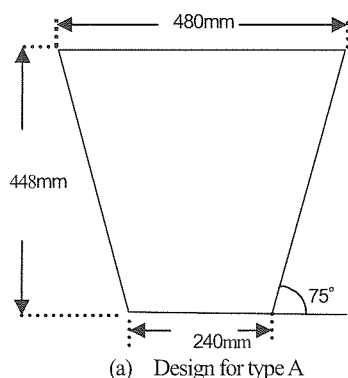


Fig.2(a) Schematic design of a well-shaped solar concentrator

図2(a) 集光装置の概略図(タイプA)

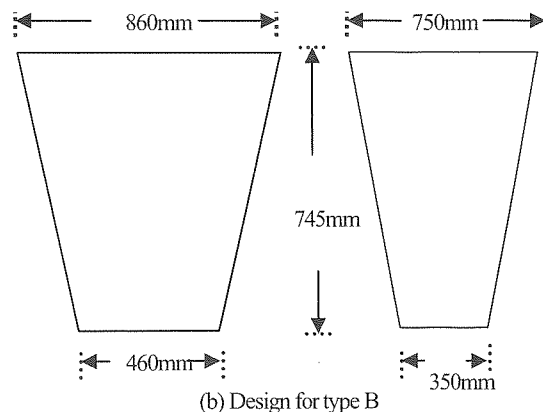


Fig.2(b) Schematic design of a well-shaped solar concentrator

図2(b) 集光装置の概略図(タイプB)

3. 集光実験

集光装置を取り付けた太陽電池モジュールを南向きに固定した場合と1日2回向きを変えた場合での1日の発電電力の測定を行なった。

3.1 1日南向きに固定した場合

2007年10月4日にメキシコ合衆国南バハカリフォルニア州ラパス市にて各太陽電池モジュールに井戸型集光装置を取り付けた場合と集光装置を用いない(非集光)場合の2種類で発電電力を測定した。なお、測定は、日の出から日没まで太陽電池を南向きに固定して行ない20分間隔でデータを収集した。なおグラフの測定時刻は測定日がメキシコ合衆国でサマータイムになっていたため、その時刻で示す。1日の全天日射強度を図3に示す。

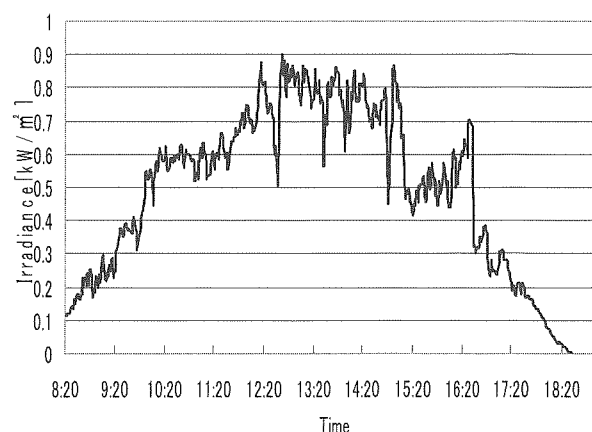


Fig.3 Irradiance of one day (Oct,14,2007)

図3 1日の全天日射強度 (2007年10月14日)

3.1.1 タイプAの場合

図4,図5に1日の測定で最適動作点での発電電力が最大となった時刻でのI-V特性、I-P特性を示す。この時刻での日射強度は0.82 kW/m²である。これらの図より最適動作点における

発電電力は2.47倍となり集光による発電電力の増加が確認できた。

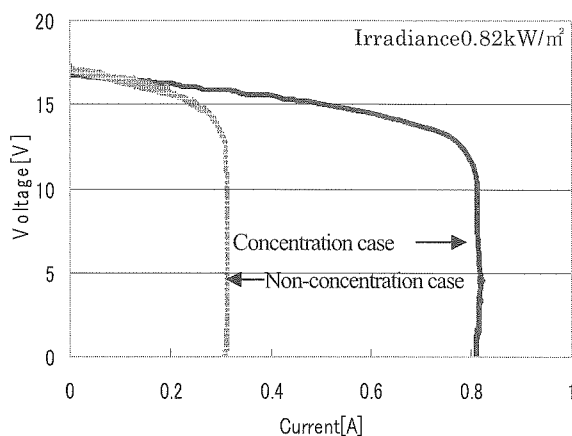


Fig.4 I-V characteristics of PV (Type A) module with well-shaped solar concentrator

図4 集光装置を取り付けた場合のI-V特性(タイプA)

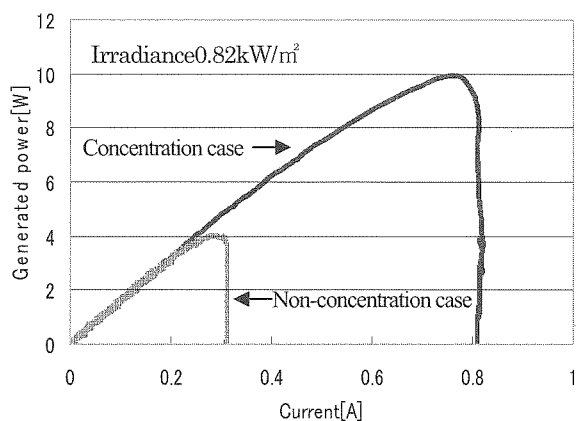


Fig.5 I-P characteristics of PV (Type A) module with well-shaped solar concentrator

図5 集光装置を取り付けた場合のI-P特性(タイプA)

図6にタイプAを南向きに固定した場合の1日の発電電力を示す。測定結果より11時20分から15時20分の間では集光の効果があることが分かる。それ以外の時刻では、非集光の場合が発電電力は大きい。この時間帯では、井戸型集光装置が太陽電池モジュールの影になることで発電電力が低くなってしまうためである。また12時20分から14時40分の間では、集光して発電した場合と集光せずに発電した場合での発電電力量を比較すると2.33倍であった。よって南向きに固定した場合、太陽の方向と集光装置の方向が近い時間帯に集光を行った場合の方が集光の効果が顕著に表れている。また、1日の発電電力量を比較すると非集光の場合の0.87倍となり1日中南向きに固定して発電することは望ましくないといえる。

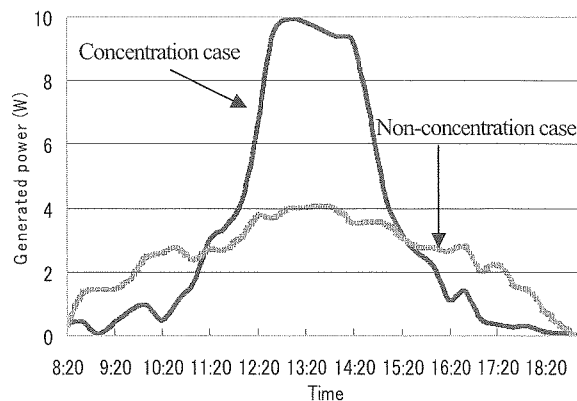


Fig.6 Time variations of the generated power of the fixed PV module (Type A) with well-shaped solar concentrator

図6 南向きに固定した場合の発電出力特性(タイプA)

3.2.2 タイプBの場合

図7, 図8に最適動作点での発電電力が最大となった時刻でのI-V特性, I-P特性を示す。これらの図より最適動作点における発電電力は1.67倍となり集光による発電電力の増加が確認できた。

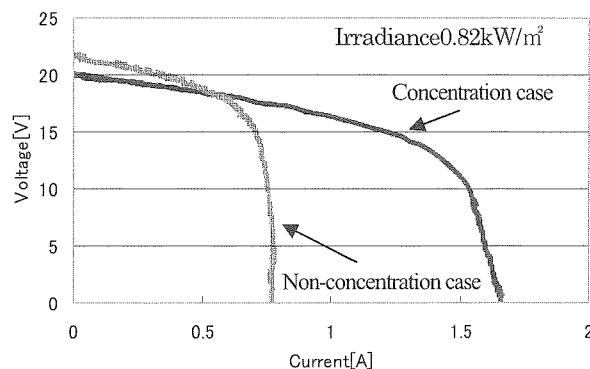


Fig.7 I-V characteristics of PV module (Type B) with well-shaped solar concentrator

図7 集光装置を取り付けた場合のI-V特性(タイプB)

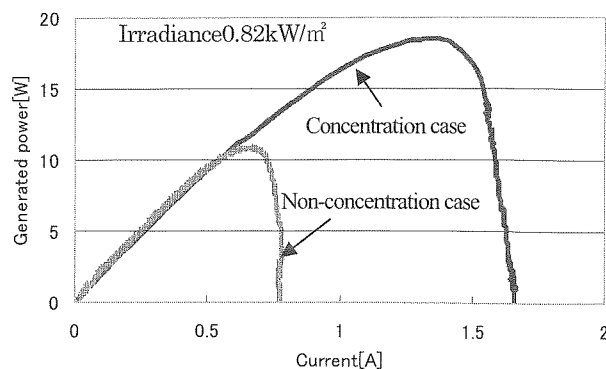


Fig.8 I-P characteristics of PV (Type B) module with well-shaped solar concentrator

図8 集光装置を取り付けた場合のI-P特性(タイプB)

図9にタイプBを南向きに固定した場合の1日の発電電力を示す。11時40分から15時40分の間では集光の効果があることが分かる。特に12時40分から15時00分の間では、集光して発電した場合と集光せずに発電をした場合での発電電力量を比較すると1.61倍であった。よってタイプAと同様、太陽の方向と集光装置の方向に近い時間帯に集光の効果が顕著に表れる。

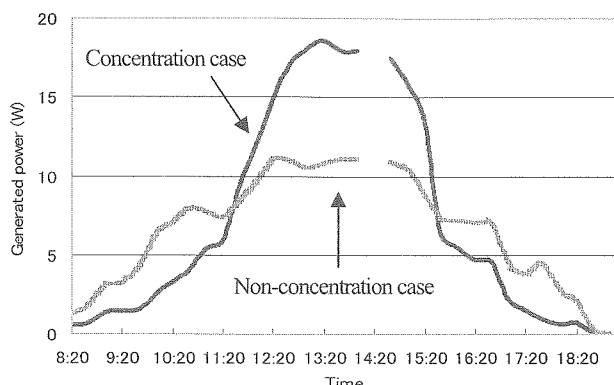


Fig.9 Time variations of the generated power of the fixed PV module (Type B) with well-shaped solar Concentrator.

図9 固定した場合の発電出力特性(タイプB)

また、1日の発電電力量を比較すると非集光の場合の1.07倍となり1日中南向きに固定して発電する場合と非集光の場合では発電電力量はあまり差が見られなかった。

ここで南向きに固定した場合のタイプAを想定したシミュレーションの結果を図10に示す。このシミュレーションは、集光倍率4倍、開口角度75°の集光装置を取り付けた場合と非集光の場合の結果である。直達光のみを考慮し、散乱光は考慮していない。詳しい条件については、参考文献(2)に記述している。シミュレーションの結果とタイプA、タイプBを比較するとグラフの概形が似ていることがいえる。また実験ではシミュレーションと異なり最大電力付近で発電電力が一定ではなく減少している。これは13時から14時30分付近では、太陽電池モジュールの温度がタイプAの場合約50°C、タイプBの場合約80°Cと高い温度になるため発電出力が低下するためだと考えられる。

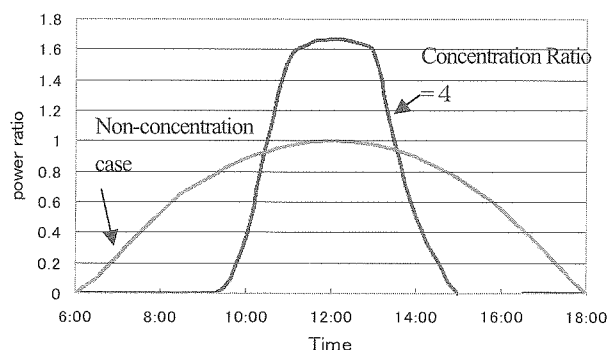


Fig.10 simulation of the generated power of the fixed PV module (Type A) with well-shaped solar concentrator.

図10 固定した場合の発電電力シミュレーション

図11にタイプAのモジュール温度25°Cを基準として温度補正したグラフを示す。なお、温度補正はモジュール温度が1度上昇することに発電効率が0.5%低下することより算出した。この結果より11時20分から13時20分の間でほぼ一定の発電電力を得られることがいしシミュレーションと同様な結果となった。図12にタイプBモジュール温度25度を基準として温度補正したグラフを示す。なお、温度補正はモジュール温度が1度上昇することに発電効率が0.3%低下することより算出した。この結果より12時40分から14時40分の間でほぼ一定の発電電力を得られることがいしシミュレーションと同様な結果になった。

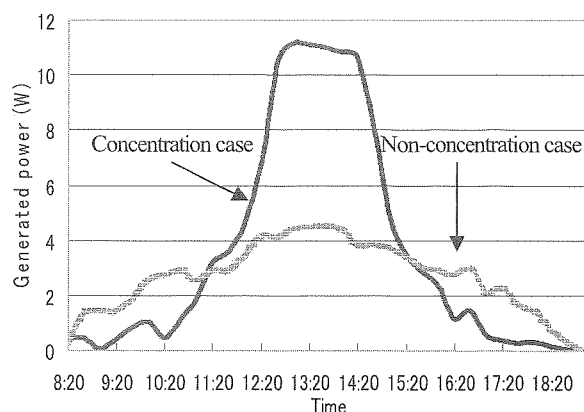


Fig.11 Time variations of the generated power (with temperature correction at 25°C) of the fixed PV module (Type A) with well-shaped solar concentrator.

図11 温度補正(25°C)を行なった場合の発電出力特(タイプA)

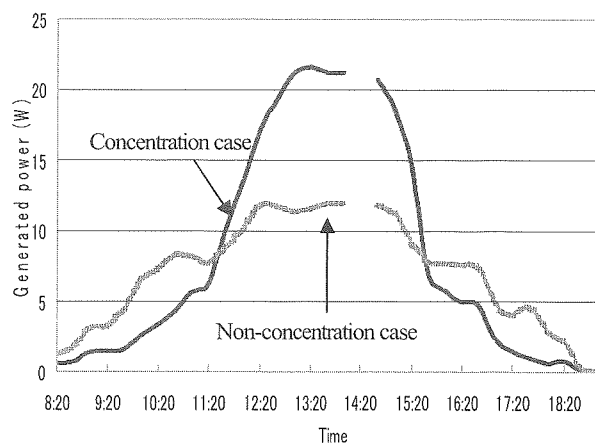


Fig.12 Time variations of the generated power (with temperature correction at 25°C) of the fixed PV module (Type B) with well-shaped solar concentrator.

図12 温度補正(25°C)を行なった場合の発電出力特性(タイプB)

3.2 1日2回向きを変えた場合

現地(メキシコ)の方の意見で追尾システムが付くことで値段が上がるより、手動でも安価の方がよいという意見が出ていたため手動で2回向きを変えた場合の測定を行った。2007年10月9日に1日2回向きを変えて各モジュールの発電電力の測定を行なった。測定間隔は20分である。傾斜角は簡便性を考慮して 25° とした。

集光装置の向きを変えるということは集光装置の方位角を変えることになる。方位角とは南を 0° として、時計回りに定義し、西が 90° 北が 180° 東が 270° となる。シミュレーションより、図13の方位角(Direction angle)の南向きを 0° 、東向きを -90° 、西向きを 90° として実測を行なった。方位角を変化させた時刻は、現地での日射の状況やサマータイムを考慮して12時と16時で向きを変えた。方位角 $0^\circ, \pm 60^\circ$ の場合12時までが -60° 、16時までが 0° 、16時以降は 60° である。1日の全天日射強度を図14に示す。

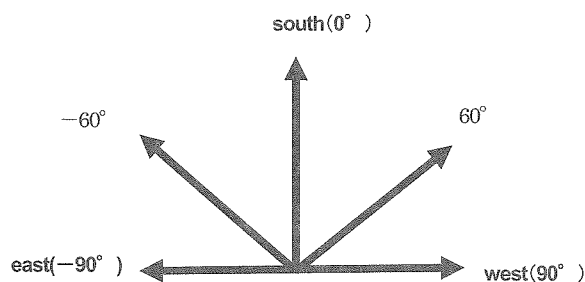


Fig.13 Definition of direction angle

図13 方位角の定義

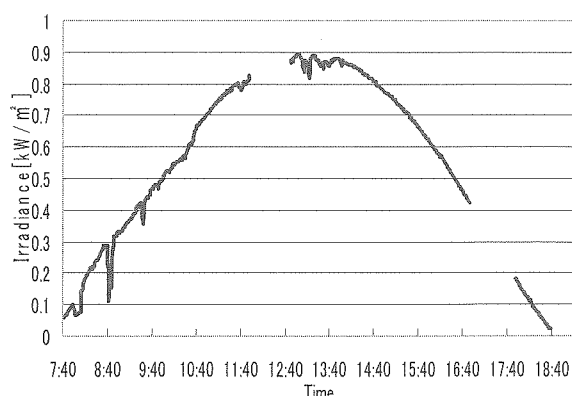


Fig.14 Irradiance of one day (Oct, 14, 2007)

図14 1日の全天日射強度 (2007年10月14日)

図15にタイプAで行なった場合の1日2回向きを変えた場合の発電出力特性を示す。なおグラフの○で示した時刻が向きを変えた時刻である。1日の発電電力量を非集光の場合と比較すると1.32倍となった。よって向きを変えることの効果が有効であることがいえる。また、グラフより集光装置の向きを変えた16時での発電電力が集光していない場合よりも発電電力が低いことが分かる。この結果より集光装置の向きを変える時刻が遅かったのではないかと考えられる。

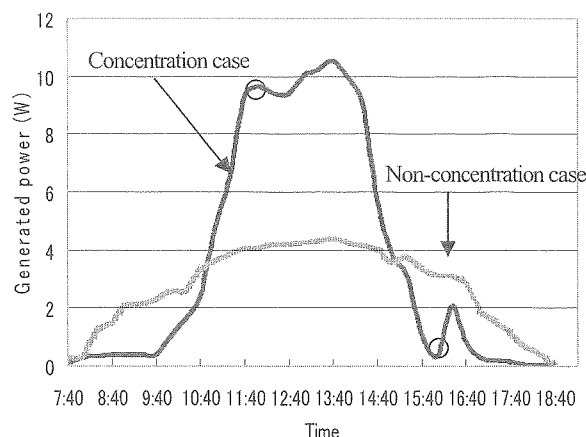


Fig.15 Time variations of the generated power of the Changing-direction PV module (Type A) with well-shaped solar concentrator.

図15 向きを変えた場合の発電出力特性(タイプA)

図16にタイプBで行なった場合の1日2回向きを変えた場合の発電出力特性を示す。なおグラフの○で示した時刻が向きを変えた時刻である。1日の発電電力量を集光しない場合と比較すると1.46倍となった。よって向きを変えることが有効であることがいえる。また、グラフより16時での発電電力が集光していない場合よりも発電電力が低いことがいえる。17時の発電電力を比較すると集光している場合の方が非集光の場合よりも発電電力が高いことから16時よりも早い時刻に向きを変えておく必要があったと考えられる。

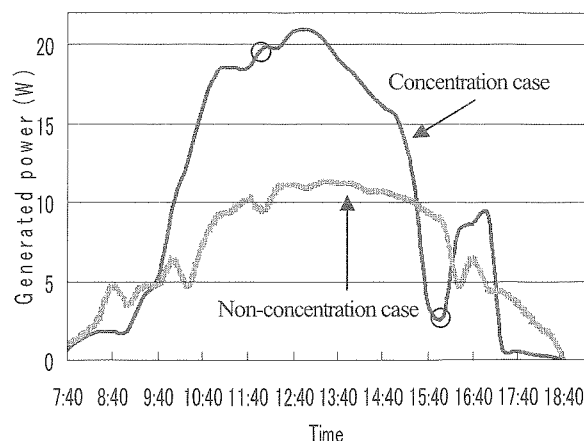


Fig.16 Time variations of the generated power of the term PV module with well-shaped solar concentrator (Type B).

図16 向きを変えた場合の発電出力特性(タイプB)

図17に1日2回向きを変えた場合のタイプAを想定した発電出力シミュレーションを示す。向きを変えた時刻は10時と14時である。シミュレーションと測定の結果を比較するとシミュレーションと異なり、2回目の向きを変えたときの発電電力が低いことがいえる。このことから向きを変える時刻が遅かったことがいえる。しかし、今回のように向きを変える

時刻が遅くても1日の発電電力量は非集光の場合よりも多かったことから井戸型集光装置を太陽電池モジュールに取り付け向きを変えて発電を行なうことは有効であることがいえる。

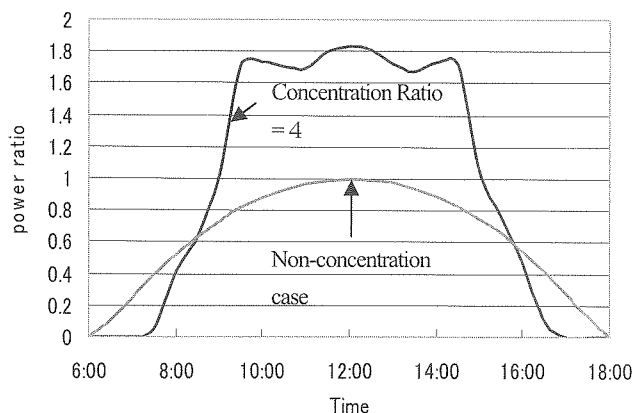


Fig.17 Simulation of the generated power of the Changing-direction PV module with well-shaped solar concentrator

図17 向きを変えた場合の発電電力シミュレーション

またタイプAとタイプBにおいて、非集光時よりも発電電力が上回っている時間はタイプBの方が長いことが分かる。これは、太陽電池モジュールの大きさがタイプAよりも大きく、それに伴い井戸型集光装置の集光板の大きさが大きくなり、タイプAの集光板では反射できない太陽光も反射できるため発電電力が増加するためではないかと考えられる。

図18にタイプAのモジュール温度25℃を基準として温度補正したグラフを示す。非集光の場合と発電電力量を比較すると1.49倍となる。図19にタイプBのモジュール温度25℃を基準として温度補正したグラフを示す。非集光の場合と発電電力量を比較すると1.57倍となる。以上のことより太陽電池モジュールにおいて温度上昇による発電出力の低下が大きいことがいえる太陽電池を冷却しながら発電を行なうとさらに高い発電電力が得られると思われる。

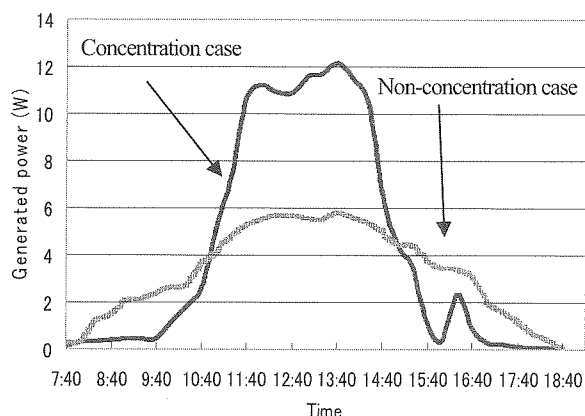


Fig.18 Time variations of the generated power (with temperature correction at 25°C) of the tem PV module (Type A) with well-shaped solar concentrator.

図18 温度補正(25℃)を行なった場合の発電出力特性 (タイプA)

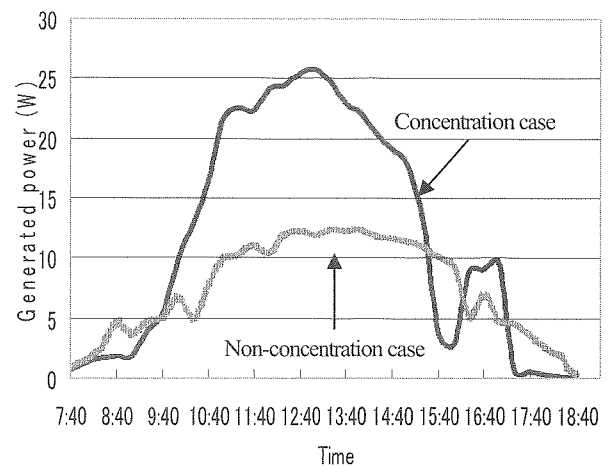


Fig.19 Time variations of the generated power (with temperature correction at 25°C) of the tem PV module (Type B) with well-shaped solar concentrator.

図19 温度補正(25℃)を行なった場合の発電出力特性 (タイプB)

以上の結果より晴天時、集光倍率4倍、開口角度75°傾斜角25°において、1日2回向きを変えて発電を行なうことが有効であるといえる。現在、電力インフラが整備されていない発展途上国では、1枚の小型の太陽電池で家庭内の電気をまかなっている場合がある。本研究は、小型の太陽電池モジュールに段ボールとアルミ蒸着テープで作成した安価な集光装置を取り付けるだけで、発電電力を増加させることができ、そのような地域への太陽光発電の普及に貢献できると思われる。例えばメキシコ合衆国南バハカリフォルニア州では、電力インフラが整備されていない農家に対し、かんがい用ポンプ等の電源として太陽電池の導入の助成を行なっている。図20は実際に現地の農場に導入された600Wの太陽電池モジュールであり、これにモーターを直結してかんがい用ポンプを駆動している。しかし、希望する農家全てに対し助成を行えないのが現状である。簡易(安価)な集光装置により、太陽光発電のコストを実質的に下げることができれば太陽電池の普及につながると考えられる。また、今回実験を行なったメキシコ合衆国南バハカリフォルニア州ラパス市は、晴天日が年間約300日あり、ハリケーンの時期以外は強い風がほとんど吹かないようである。そのような地域には本研究で用いた「井戸型」簡易集光装置は有効であると考えられる。

4. まとめ

本研究では、アウトドア用または災害時などの電力源としての小型太陽電池モジュールに対し、集光により太陽電池モジュール1枚あたりの発電電力を向上させる井戸型集光装置について検討を行なった。メキシコ合衆国において測定を行い以下の知見を得た。



Fig.20 PV module installed in farm in Mexico

図20 メキシコの農場に導入された太陽電池モジュール

・集光倍率4倍、開口角度75°で南向きに固定して発電を行うと太陽の方向と集光装置の方向が近い時間帯には集光を行う場合の方が非集光時より発電電力が高くなり、集光することが有効であることがいえる。

・1日2回向きを変えて発電を行なうと、1日の発電電力量はタイプAの場合1.32倍、タイプBの場合1.46倍となり、向きを変えて発電を行なうことが有効であることがいえる。しかし、2回目に向きを変えた場合の結果より発電電力が非集光時よりも低かったため、向きを変える時間が遅かったと考えられこの時刻よりも早い時刻で向きを変えるとさらに発電電力量が増加すると期待できる。

・常時の太陽追尾を行わなくても1日2回向きを変えて発電を行なうことで容易に発電電力を向上させることができる。

・小型の太陽電池モジュールに段ボールとアルミ蒸着テープで作成した安価な集光装置を取り付けるだけで、発電電力を増加させることができる。集光装置の耐久性については材料の関係上議論が難しい。

・発電電力量が1.5倍になることで小型の太陽電池ならば集光した場合との太陽電池の価格が1万円ほどの差ができる。このようなことから発展途上国などに普及するには集光を行うことがよいと考えられる。

・集光により太陽電池モジュールの温度が上昇し、発電出力が低下する。太陽電池モジュールを冷却するシステムを検討することにより発電電力の増加が期待できる。

謝辞

鳥取大学の「持続性ある生存環境に向けての国際人養成・砂漠化防止実践教育カリキュラム」が文部科学省の大学教育国際化推進プログラム(戦略的国際連携支援)として平成17年度に採択されている。本研究はこのプロジェクトの平成19年

度実施分のカリキュラムの一部である「エネルギー・自然環境調査実習」で測定したデータをまとめたものである。本プロジェクトの代表者である岩崎正美鳥取大学副学長(研究・国際交流担当理事)、本名俊正鳥取大学副学長(教育・環境担当理事)、ならびにプロジェクト担当職員の皆様、共にデータ収集を行なったプロジェクト参加学生の皆様に感謝いたします。

参考文献

- (1) 新太陽エネルギー利用ハンドブック委員会, 新太陽エネルギー利用ハンドブック(2001), 164, 日本太陽エネルギー学会, 東京
- (2) 梅森, 西村, 西守, 石原, 簡易な集光装置を取り付けた太陽電池モジュールの発電出力シミュレーション, 太陽エネルギー, 34-2(2003), 55-60