

集光式太陽光発電システムのフィールドテスト

見 目 喜 重^{*1}, 榊 原 建 樹^{*2}, 江 上 敏 夫^{*3}

1. はじめに

高効率で経済的な集光式太陽光発電 (PV) システムの開発を目標として、太陽電池、太陽追尾装置、集光レンズなど、システム要素の開発が進められている⁽¹⁾⁽²⁾。豊橋技術科学大学 (以下、豊橋技科大) および大同メタル工業株式会社 (以下、大同メタル) では、それぞれの敷地内に平板型フレネルレンズを用いた集光式PVシステムを設置し、平成14年11月からフィールドテストを実施している。フィールドテストでは、太陽電池モジュールへの入射直達日射強度、モジュール出力、モジュール温度などの基礎的なデータを収集している。また、太陽電池モジュールに数種類ホモジナイザーを装着し、モジュールの変換効率改善へのホモジナイザーの有効性を検討している。

本報告では、フィールドテストにより得られた太陽追尾装置の追尾誤差、集光式PVシステムの出力およびモジュール温度の日変化の計測結果を示すとともに、平均変換効率の比較から、集光式PVモジュールへのホモジナイザー組み込みの有効性を示す。また、集光式PVシステムのモジュール温度の上昇について示す。

2. システム構成

集光式太陽光発電システムは、太陽光を集光して発電する太陽電池モジュール部分と太陽を2軸追尾する制御を行う太陽追尾装置から構成される。図1には集光式PVシステムの外観を示す。このシステムでは、3つの太陽電池モジュールを同時に搭載できる。

太陽追尾装置は、日変動に対応する方位角軸と季節変動に対応する仰角軸との2つの駆動軸からなる。太陽追尾方式には、天球儀方式を採用した⁽³⁾。この方式では、日変動に対応する方位角軸の延長が北極星を指せば定速での追尾駆動が可能で、装置コ

ストも抑制できる。また、同方式では、追尾制御も簡便に行えることから、一定時間間隔での間欠駆動とすることで低消費電力化を図っている。

1つの太陽電池モジュールは、フレネルレンズ、太陽電池 (InGaP/InGaAs/Ge)、ホモジナイザーのセット (140mm × 140mm)、32組により構成されており、その受光面積は0.627m²である。図2に太陽電池モジュール断面の概略図を示す。

ホモジナイザーは万華鏡型の構造をしており、内部で多重反射を行うことで集光した光を太陽電池表面に効率的かつ均一に照射する機能を持つ。また、太陽光追尾制御にズレが生じた場合に、そのズレによる入射光の低下を防ぐ機能も持つ。

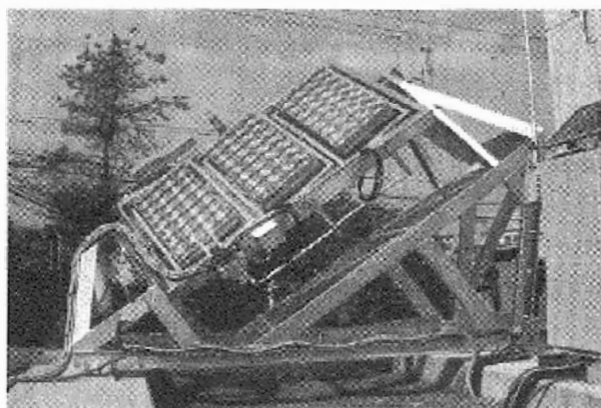


図1 集光式太陽光発電システムの外観

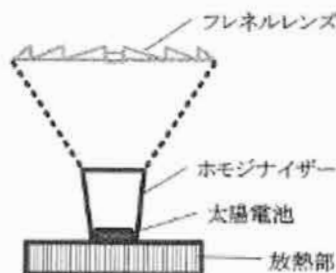


図2 太陽電池モジュール断面の概略図

^{*1} 豊橋創造大学経営情報学部 講師

^{*2} 豊橋技術科学大学電気・電子工学系 教授

^{*3} 大同メタル工業株式会社中央研究所 商品開発室長

今回のフィールドテストでは、表1に示すようにガラスならびに金属性ホモジナイザーを用いた3タイプのモジュールと、ホモジナイザーを用いないモジュールとをテストした。

表1 テストした集光式モジュールの種類

タイプ	ホモジナイザー		熱遮蔽板
	ガラス	金属	
A			
B	○		○
C		○	○
D		○	

3. フィールドテストの概要

フィールドテストは、豊橋技科大（愛知県豊橋市）および大同メタル（愛知県犬山市）にて行った。

モジュールAおよびCは大同メタルに、モジュールDは豊橋技科大にそれぞれ設置してフィールドテストを行った。モジュールBは、11月の上旬および3月は豊橋技科大に、それ以外の期間は大同メタルに設置してテストした。

図3には計測システムの概要を示す。モジュールへの直達日射はモジュールに固定した直達日射計で測定した。最適動作点におけるモジュール出力・最適動作電圧はIVチェッカーにより計測した。また、モジュールの底板および下敷き部分に熱電対を貼り付け、データロガーを通してモジュール温度を計測し、パソコンに記録した。また、基本的な気象要素である風向風速、温度・湿度、直達日射強度も計測した。計測は、60秒間隔で行った。

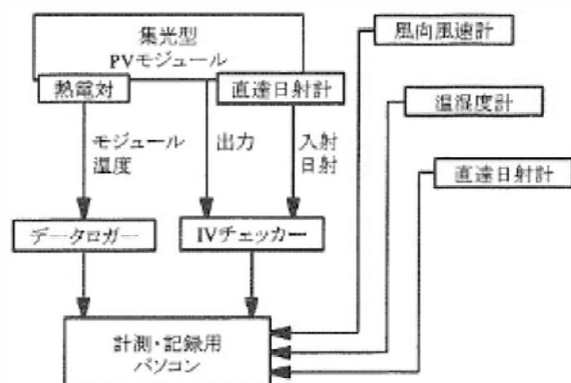


図3 計測システムの概要

4. フィールドテストの結果

4.1 太陽追尾精度

集光式発電では、太陽をいかに精度よく追尾して

集光できるかがその発電効率に大きな影響を与えるため、太陽追尾装置は非常に重要な要素技術である。さらに、太陽追尾装置にはPVモジュールの重量を保持し、風などによるブレをできる限り抑制することが求められる。フィールドテストでは、太陽追尾装置の追尾性能を、基準器との直達日射強度の比較、パルス数計測による追尾軸回転角度の精度およびモジュール搭載面での入射光の位置検出により評価した。

図4には、パルス数計測による追尾軸回転角度の追尾誤差の日変化を示す。方位角軸の追尾誤差は $-0.10 \sim 0.10^\circ$ の範囲内に、また仰角軸の追尾誤差は $-0.10 \sim 0.0^\circ$ の範囲内に抑制されている。

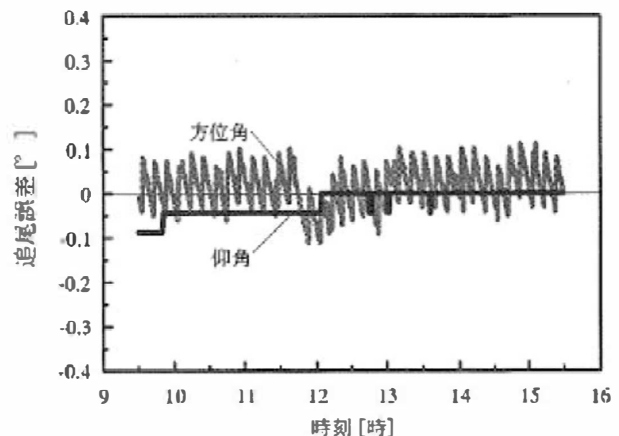
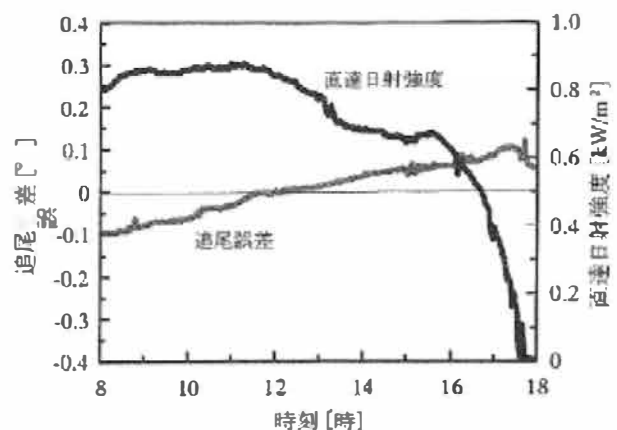
図4 追尾軸回転角度の追尾誤差の日変化
(平成15年3月20日：大同メタル)

図5には入射光の位置検出に基づく追尾誤差の日変化を示す。追尾誤差は朝方から正午にかけては減少し、その後夕方にかけて上昇する傾向にあるものの、誤差の範囲は $-0.10^\circ \sim 0.10^\circ$ の範囲内に抑制されている。

図5 入射光の位置検出に基づく追尾誤差の日変化
(平成15年3月20日：大同メタル)

以上の結果から、今回製作した太陽追尾装置では、高い精度で太陽追尾制御が行われていることが分かる。

4.2 PVモジュール出力の日変化

入射直達日射の日変動に伴うPVモジュールの出力の日変化を図6および図7に示す。図6はモジュールBの出力の日変化（設置場所：豊橋技科大）である。午前6時から8時までの間に入射直達日射が急激に変動する箇所が見られるが、これは手すりによる影がモジュール表面に生じているためである。8時から14時までは入射日射が安定しており、モジュール出力も100Wを超えた値で安定している。この時間帯は変換効率も21～22%に達している。14時以降、入射日射強度の低下に伴い、出力および変換効率は低下している。なお、最適動作電圧は、日射の急変時および日の出・日没時を除き、86V付近で安定している。

図7はモジュールDの出力の日変化（設置場所：豊橋技科大）である。10時から14時まではモジュール出力は60W付近で安定している。しかしながら、モジュールDでは日射の良好な時間帯においても変換効率は約11%と、モジュールBの半分程度にとどまっている。

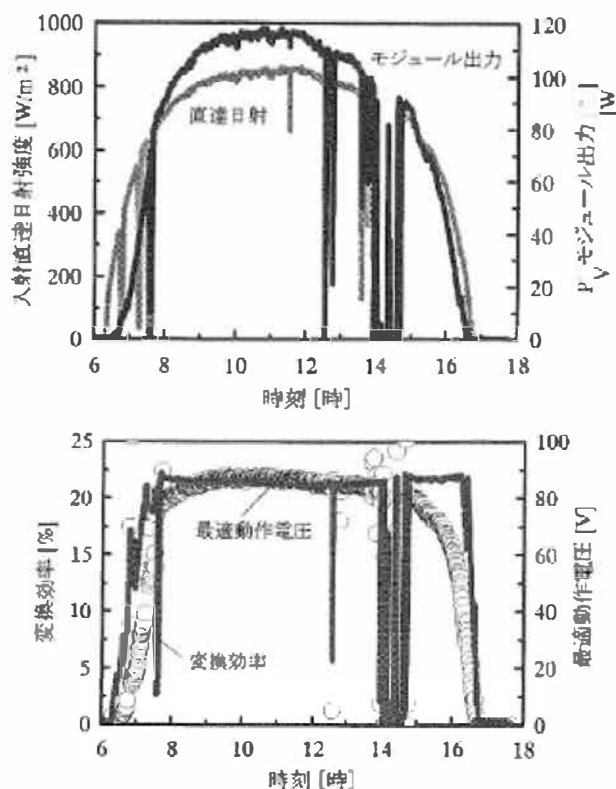


図6 PVモジュール出力の日変化（モジュールB）
（平成14年11月6日：豊橋技科大）

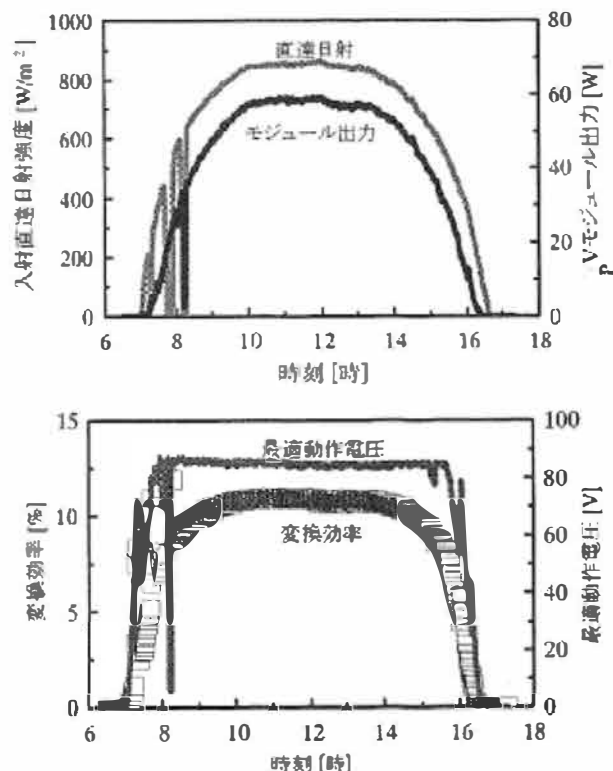


図7 PVモジュール出力の日変化（モジュールD）
（平成14年12月30日：豊橋技科大）

モジュールの種類による出力の日変化の差異を比較するため、図8には3種類のモジュール出力を同時に計測した結果を示す。出力はモジュールBが最も大きく、次いでモジュールA、モジュールCとなっている。

4.3 集光式および平板型システムの出力の日変化

集光式PVシステムの出力の日変化の特性をより明確にするために、豊橋技科大に設置されている平

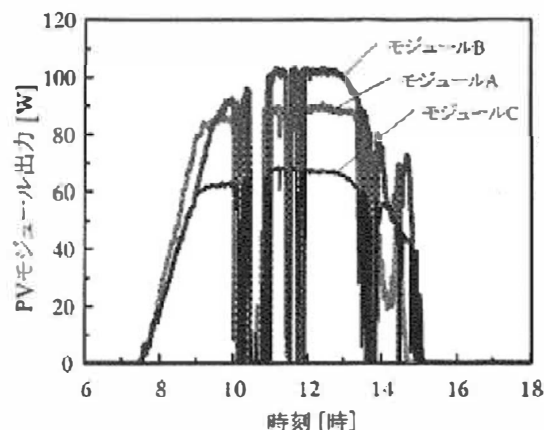


図8 3種類のPVモジュール出力の日変化の比較
（モジュールA, B, C）
（平成14年11月26日：大同メタル工業）

板型PVシステム（多結晶シリコン型、4.86kWp）とモジュールDの出力の日変化とを比較した。図9は晴天日の比較結果である。日射が安定している晴天日には、平板型よりも集光式のほうがピーク付近での発電時間は長くなる。一方、図10に示すように曇天日には、平板型・集光式ともに出力は大幅に変動するが、とりわけ集光式では平板型よりも出力が0まで落ちる頻度が多くなる。

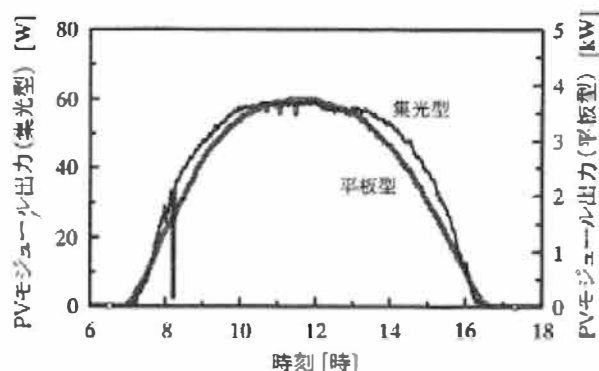


図9 晴天日における集光式および平板型PVモジュール出力の日変化（集光式：モジュールD）
（平成14年12月30日：豊橋技科大）

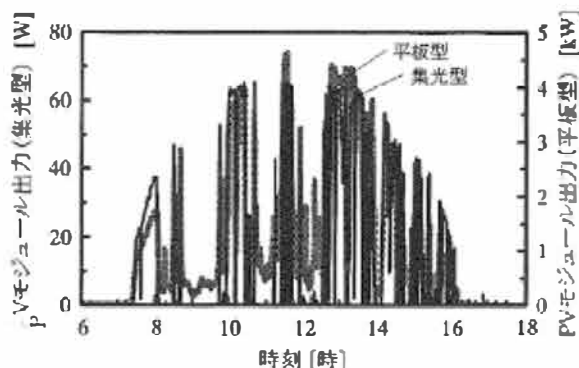


図10 曇天日における集光式および平板型PVモジュール出力の日変化（集光式：モジュールD）
（平成14年12月10日：豊橋技科大）

4.4 PVモジュールの日積算発電量

豊橋技科大に設置した集光式および平板型PVシステムの日積算発電量の変動を比較した結果を図11に示す。また、図12には同期間の直達、傾斜面および全天日射の日積算日射量の変化を示す。

図11において、6日の集光式システムの日積算発電量が0 Whとなっているが、これは同日はシステムの運転を停止したためである。平板型の日積算発電量が5 kWhから23 kWhの範囲内で変動しているのに対し、集光式のそれは10 Whから430 Whとより広い範囲で変動していることが分かる。これは、

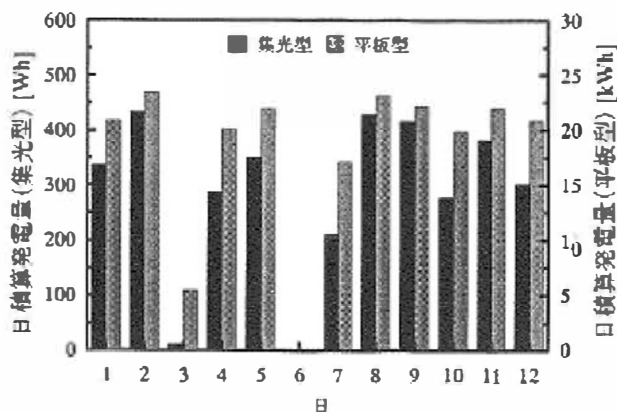


図11 平板型および集光式PVモジュール（モジュールD）の日積算発電量の変化（平成15年1月：豊橋技科大）

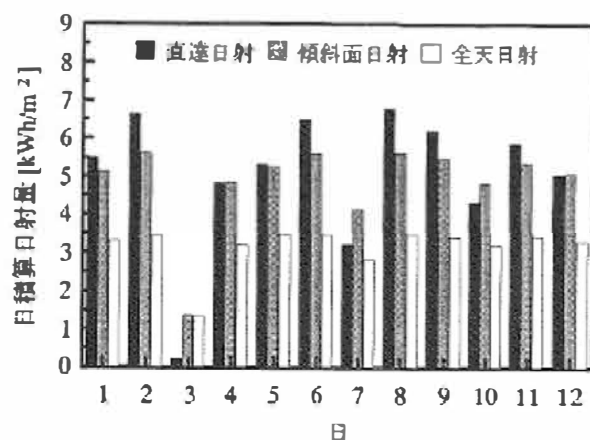


図12 各日射の日積算日射量の変化
（平成15年1月：豊橋技科大）

直達日射は天候による影響を全天・傾斜面日射以上に受け、図12に示すように、直達日射量の変動が傾斜面・全天日射量のそれよりも非常に大きいことに起因する。

このように、平板型PVシステム以上に天候による出力変動が大きい。

4.5 モジュールの平均変換効率

図13には、各月ならびに期間中の積算発電電力量と積算日射量とから求めた平均変換効率を示す。図中の数値は、計測期間全体での平均変換効率の値である。なお、モジュールBについては、大同メタルに設置した期間と豊橋技科大に設置した期間とを分け、それぞれの平均変換効率を計算した。

最も変換効率が高いのはモジュールB（ガラスホモジナイザーあり）であり、特に豊橋技科大に設置した際の平均変換効率は17.6%と、平板型の約1.6倍である。また、ホモジナイザーを組み込まないモジュールAでも、平均変換効率は平板型の1.2倍と

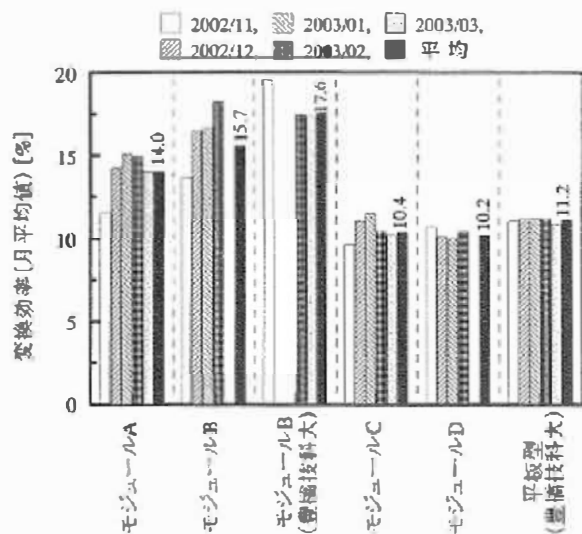


図13 PVモジュールの月平均変換効率
(平成14年11月～平成15年2月)
(大同メタル, 豊橋技科大)

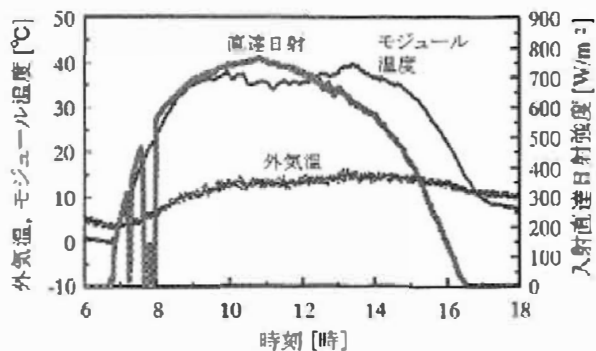
なっている。なお、モジュールCの平均変換効率は10.4%と平板型のそれを下回っており、金属製ホモジナイザーに関しては、その有効性が見られない。

4.5 モジュール温度の日変化

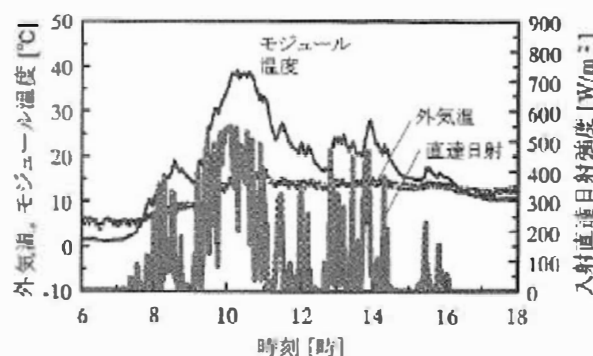
太陽電池は温度上昇に伴い変換効率が低下する。集光式PVシステムでは、集光による温度上昇が平板型PVシステム以上に危惧されている。

図14には、集光式PVモジュールのモジュール温度の日変化を示す。図(a)は晴天日、図(b)は曇天日の計測結果である。図(a)に示すように、晴天日には、日射強度の上昇に伴いモジュール温度は上昇するが、10時以降は外気温よりも26℃高い40℃付近で推移している。一方、日射が激しく変動する曇天日(同図(b))では、日射強度が急激に増大した際にはモジュール温度も40℃付近まで急激に上昇するが、日射の減少に伴ってモジュール温度は急激に低下する。

図15にはモジュールの最高温度と最高外気温の関係を示す。同じ最高外気温に対してモジュールの最高温度が幅広く分散しているが、これは天候(日射量)の影響である。冬季においては、モジュールの最高温度は、日射の多い日でも50℃以下と、最高外気温よりも30℃高い温度以下の範囲に抑制されている。これは平板型システムにおける温度上昇と同程度である⁽⁴⁾。



(a) 平成14年11月29日



(b) 平成14年11月30日

図14 PVモジュール温度の日変化
(モジュールD, 豊橋技科大)

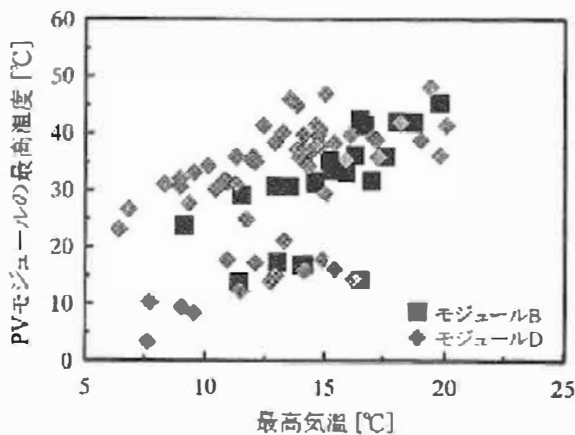


図15 PVモジュールの日最高温度と日最高外気温
(モジュールD, 豊橋技科大)

5. まとめ

これまでのフィールドテストの結果から、製作した集光式PVシステムでは、天球儀方式により追尾誤差 $\pm 0.1^\circ$ の範囲内で太陽追尾制御が行われていることを確認した。また、集光式PVシステムの特徴として、晴天日には平板型PVシステムよりも最大出力を呈する発電時間が長くなり、最適動作電圧もほぼ一定の値で継続することを確認した。さらに、集光式PVシステムの変換効率はガラス製ホモジ

イザーを用いることで改善され、その最高変換効率
は22%, 平均変換効率は17.6%に達した。

集光式PVシステムでは、集光によるモジュール
温度の上昇が危惧されたが、今回使用したシステム
では、モジュール温度と外気温との温度差は30℃
以下に抑制された。

一方で、集光式PVシステムは、平板型PVシス
テムよりも天候による影響を受けやすく、時間単
位・日単位の出力変動が激しかった、システムの導
入に当たっては、そうした欠点を考慮したシステム
の構築・運用が重要となる。

謝 辞

本フィールドテストは、新エネルギー・産業技術
総合開発機構（NEDO）の超高効率結晶化合物系
太陽電池モジュール製造技術開発のもとに行われた
ものであり、関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- (1) K. Araki, M. Yamaguchi, Influences of spectrum
change to 3-junction concentrator cells, Solar
Energy Materials & Solar cells, Vol.75, pp.707-
714, 2003
- (2) K. Araki, et al., A simple passive cooling
structure and its heat analysis for 500 X con-
centrator PV module, Proceedings of 29th
IEEE PVSC, pp.1568-1571, 2002
- (3) 藤井石根, 太陽熱の動力化概論, 株式会社アイ
ピーシー, 1989
- (4) 酒井 他, 九州地域の気候特性と住宅用太陽光
発電システムの運用実績に関する調査研究, 太
陽/風力エネルギー講演論文集 (2000), pp.113-
116, 2000

筆者紹介

見目 喜重 (けんもく よししげ)

平成7年3月豊橋技術科学大学
大学院工学研究科博士後期課程
修了。同年4月同大学電気・電
子工学系助手。平成14年4月か
ら豊橋創造大学経営情報学部講
師、現在に至る。



榎原 建樹 (さかきばら たてき)

昭和47年3月名古屋大学大学
院工学研究科電気工学専攻博士
後期課程修了。同年4月同大学
電気工学科助手。昭和53年4月
豊橋技術科学大学電気・電子工
学系講師。昭和55年4月同助教
授。昭和61年8月同教授、現在
に至る。



江上 敏夫 (えがみ としお)

昭和45年3月愛知工業大学機械
工学科修了。昭和45年4月大同
メタル工業(株)入社、現在、
中央研究所商品開発室室長。

