

技術資料



Technical Data

集光型太陽電池

荒木建次*

Concentrator Photovoltaic

Kenji Araki

Synopsis

The motivation for developing high-efficiency concentrator photovoltaic (CPV) systems is to generate the maximum electrical power with the minimum of panel area and to lower the cost of photovoltaic power generation. The concept of CPV is to use a lens to focus the sunlight onto small, but highly efficient, III-V solar cells. In this way, sunlight can be collected from a large area using inexpensive materials, such as plastic, but the power conversion is performed by a specialized high-performance solar cell. This paper describes the up-to-date concentrator photovoltaic system technologies developed under a NEDO and METI projects and being demonstrated in Aichi prefecture.

1. はじめに

太陽光発電は大きな転機を迎えている。かつては日本が市場を牽引していたが、昨年 2008 年では日本での設置量は約 250 MW とスペインの 1/10 以下にとどまっている (Fig.1 参照)¹⁾。上位を占めているスペイン、ドイツ、イタリア、韓国の牽引車となっているのは電力買い上げ制度 (Feed-in Tariff) を利用した発電プラントである。この制度においては太陽光発電で得られた電力を長期にわたり高く買いとってもらえるため、設置者はできるだけ多くの発電量が得られるようなシステムを選好する。その結果、設置形態としては屋根設置よりも地上設置、傾斜面に固定するよりも追尾といった住宅屋根中心の日本とは全く異なる市場となる。なお、Fig.2 に大型太陽光発電プラント (規模順に上位 150 位まで) における追尾の採用率を、Fig.3 に追尾を利用した太陽光発電プラントの写真を示す。

集光型太陽電池は太陽を追尾し、レンズで高性能発電素子 (集光セル) へ集光することにより動作する太陽電池である。日本国内でよく見かける住宅屋根の上のソーラーパネルとは全く異なり、むしろ、Fig.3 に示した地上設置の追尾型太陽電池に近い。本解説でも、半導体素子およびそのパネル化といった人口に膾炙した切り口で

はなく、あくまで発電プラントに適した発電システムといった観点で論ずる。

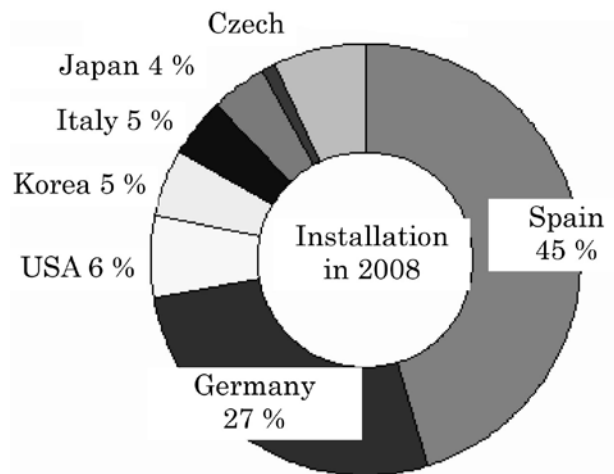


Fig.1. Installation of photovoltaic system in 2008.

2. 集光型太陽電池の基本構造

Fig.4 に集光型太陽電池の基本構造を示す。

追尾架台はモジュール (住宅用太陽光発電システムのソーラーパネルに相当) を太陽に正対させる機能を

2009年8月11日受付

*大同特殊鋼(株)新分野事業部ソーラー部、工博 (Dr., Eng., Photovoltaic Dept., New Business Development Div., Daido Steel Co., Ltd.)

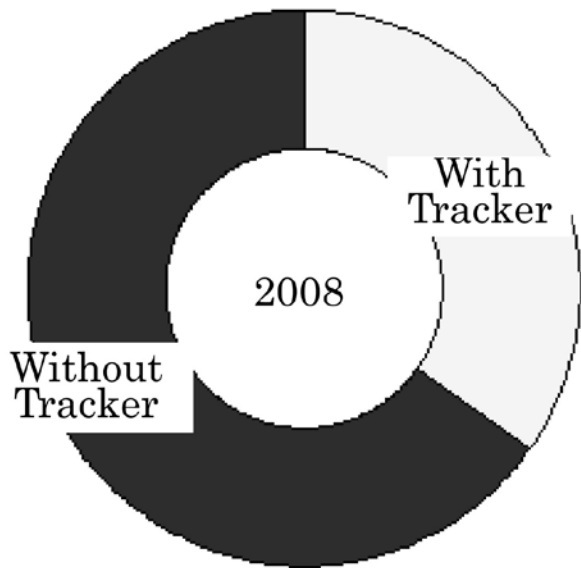


Fig.2. Ratio of tracking system in big photovoltaic power plant in the world.

担う。一般に2軸の回転軸があれば空間上の任意の方向を指すことは可能であるが、主に構造上のメリットにより、Fig.4に示すように第1軸を旋回方向、第2軸を傾動方向にとるのが一般的である。

モジュールは集光機能と発電半導体素子（集光セル）を保護する機能を有する。集光はレンズを使う方式と反

射鏡を使う方式とに分類されるが、塵埃や汚れに強い、耐久性に優れる、放熱が容易などの理由により、レンズ方式が主流になっている。また、2次光学系としてガラスロッドからなるホモジナイザーを使う場合が多い。このホモジナイザーは一種の万華鏡であり、ガラスの内面反射により入射した集光光を閉じこめ、集光セルに均質化した光を照射する機能を担っている。放熱についてはケースからの自然空冷のみであり、ヒートシンクや放熱フィンなどの放熱部材は用いないものが多い。

3. 集光型太陽電池の発電特性

本章ではあいち臨空新エネルギー実証研究エリアに設置された30 kW システムを例にとり、発電特性を解説する (Fig.5)。

このシステムは国内初の本格的な集光型太陽光発電システムと位置づけられる。これより以前に設置されたシステムで実際に電力をとりだし系統と連系したものとしては、大同特殊鋼(株)研究開発本部本館前システム、豊橋創造大学システム、北杜市に設置されたシステムがある。このうち、北杜市システムについては性能や発電実績について未公表であり技術史としての位置づけはしたが、前2者については発電性能や技術課題も報告されており^{2),3)}、このあいち臨空実証研究エリア30 kW システムはこれらの知見を活かし技術改良を加えた本格的な発電システムといえるであろう。これまでのシステム

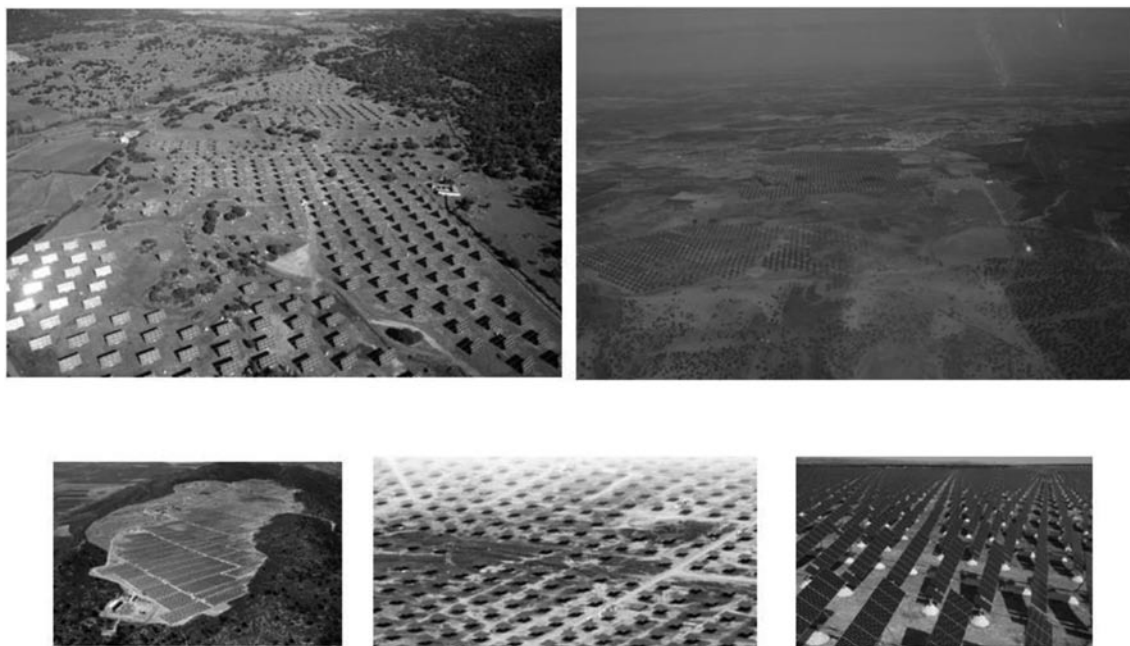


Fig.3. Photovoltaic power plants using trackers.

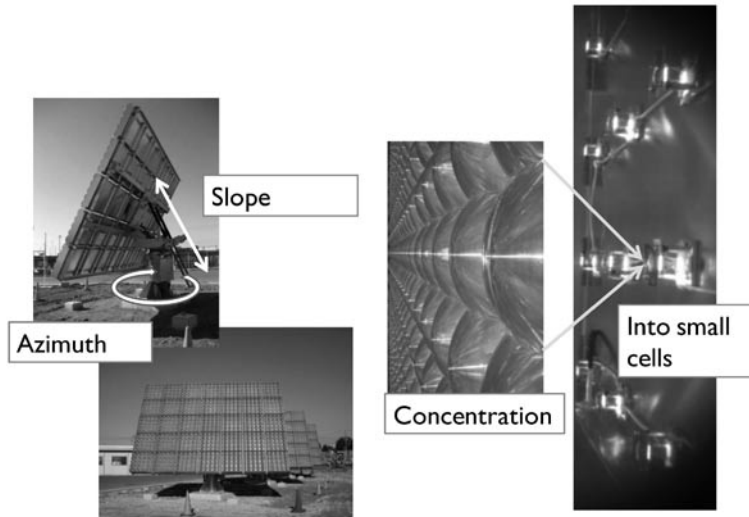


Fig.4. Configuration of concentrator photovoltaic.



Fig.5. 30 kW concentrator photovoltaic system.

がどちらかといえば研究目的の実験システムであったのに対し、このシステムは独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO 技術開発機構）との実証目的の共同研究として建設され、愛知県からの用地とインフラの提供を受け、近隣の常滑浄化センターへ電力供給の役割も担っている。

本システムは 5 kW 定格の発電能力を有する追尾架台 6 基から構成される。各々の追尾架台はモジュール 35

基を搭載し、各モジュールは 5 個直列のストリングを 7 並列した構成となっている。それぞれのモジュールは集光セル・レンズ対を 25 個格納し、内部で直列接続されている。Fig.6 に実際に発電システムに搭載されたモジュールから無作為抽出したものの電流 - 電圧特性を示す。モジュール効率は 26 % を上回る。Fig.7 には 5 kW アレイでの電流 - 電圧特性を示す。注目していただきたい点は 5 kW といった大きなアレイ単位でありながら、

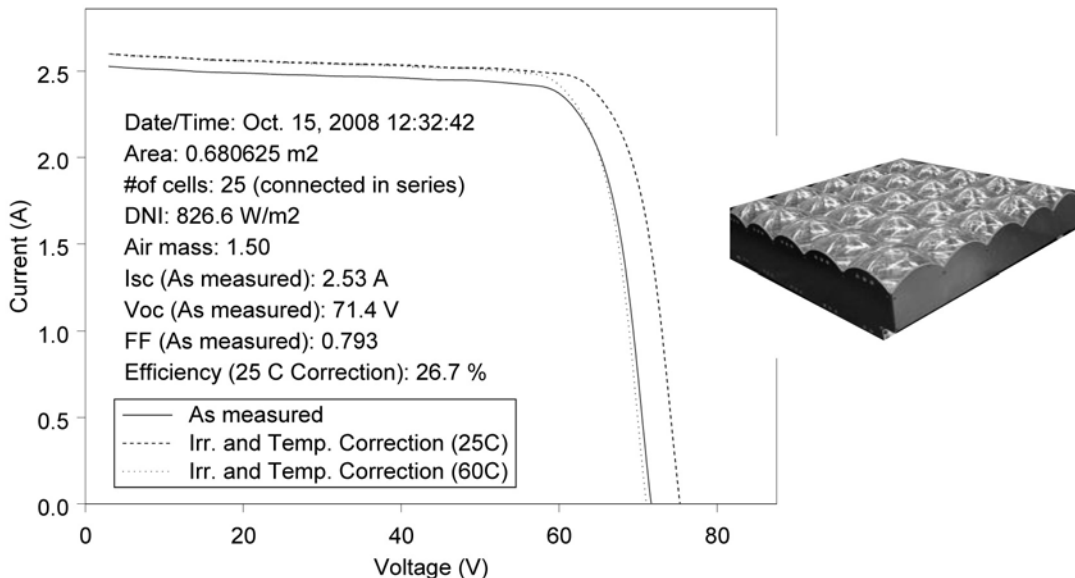


Fig.6. I-V curve of concentrator module.

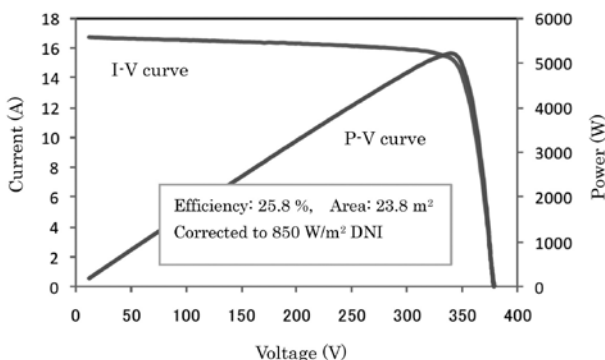


Fig.7. I-V curve of concentrator array.

26%近い高い効率を出している点である。一般に太陽電池は小面積での効率は比較的に出やすいが、面積が大きくなるにつれ発電効率は下がってゆく。どうしても発電特性にばらつきがあり面性やアレイ単位が大きくなるにつれ特性が悪い部分が回路に入り込む割合が高まるためであり、この特性が悪い部分がボトルネックとなって合成回路の出力電力が低下するためである。ちなみに、結晶シリコン型太陽電池では小面積セルでは24%近い変換効率が記録されているものの、実用サイズとなるモジュール(100W前後)での主力製品は12~13%の効率にとどまっていることを考慮していただくと集光型太陽電池が大きなサイズでも高い性能を出すことができるかご理解いただけたらと思う。さらに、30kW単位、および系統連系での電力出力をFig.8に示す。季節や天候にもよるが、晴天日では早朝から発電出力が立ち上がり、

日没近くまで高い発電量が維持される。

もちろん、メリットばかりではない。変換効率が高い一方、天候の影響を受けやすいといった欠点がある。Fig.9に30kWシステムにおける3月~6月の発電量とピーク効率(1分間平均)の推移を示す。まず、集光型太陽電池は直射日光を集光して半導体発電素子に照射するという動作原理から、厚い雲に覆われた日など直射日光成分がない日はほとんど全く発電しない。逆に快晴日は日の出から日没まで常時太陽を正面にとらえて高効率にエネルギー変換するので発電量は急激に高まる。いわば、相対的に従来型太陽電池と比べ発電量の変動幅が大きい。また、直射日光のスペクトルも大気の影響による散乱度合い、水蒸気などによる吸収度合いが常に変動するため、ピーク効率も日によって大きく変動する。特に、雲が多い日は最適動作条件からのずれも大きく、総日射量も大幅に下がる一方、ピーク効率の低下も著しい。しかしながら、長期的にみれば30kW単位で24%程度の効率をキープしており、ほぼ結晶シリコン系太陽電池の2倍の性能である。3~5月は花粉や黄砂など塵埃堆積などによるレンズ汚れが著しい季節であるが、雨による自然洗浄で完全に性能は回復する(Fig.10)。このあたりは、レンズをドーム形状にして雨水の流出路を確保し雨洗効果を高めた設計が効いている。

雨天日には発電しない特性であるため、追尾に消費するモーター電力の省電力化は特に重要である。Fig.11に30kWを動かすのに消費されるモーター電力が南中

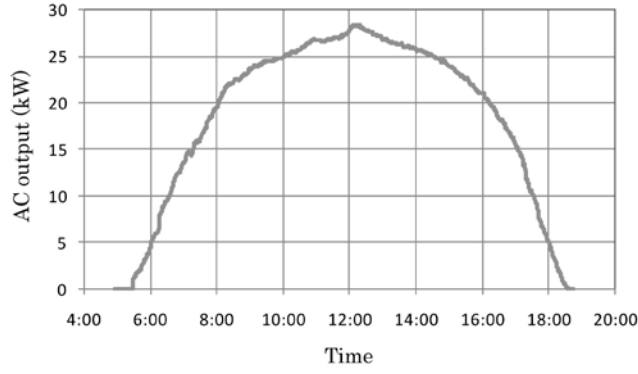


Fig.8. AC power output of concentrator photovoltaic system.

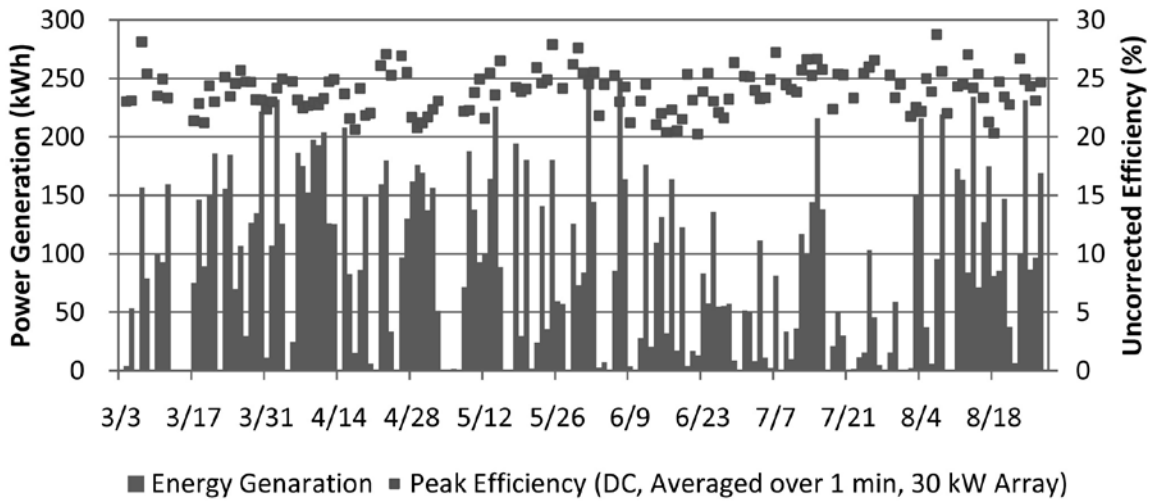


Fig.9. Energy generation and peak efficiency from March to August.

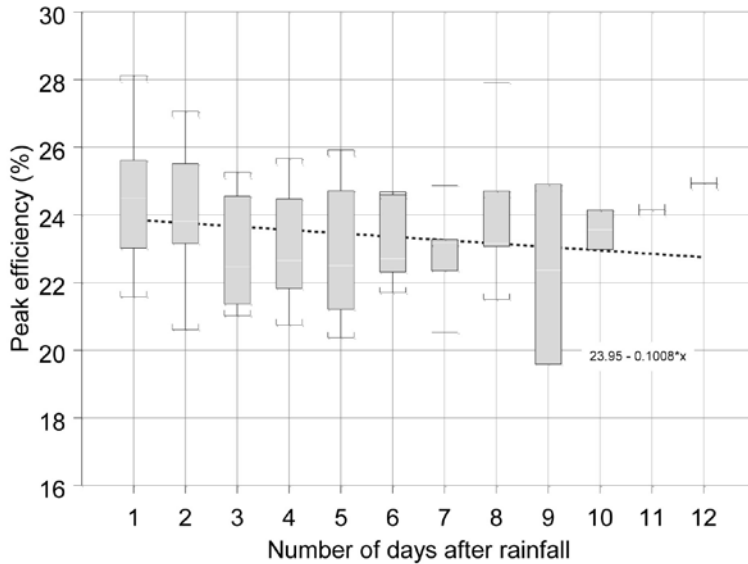


Fig.10. Efficiency vs. Number of days after rainfall (March to May).

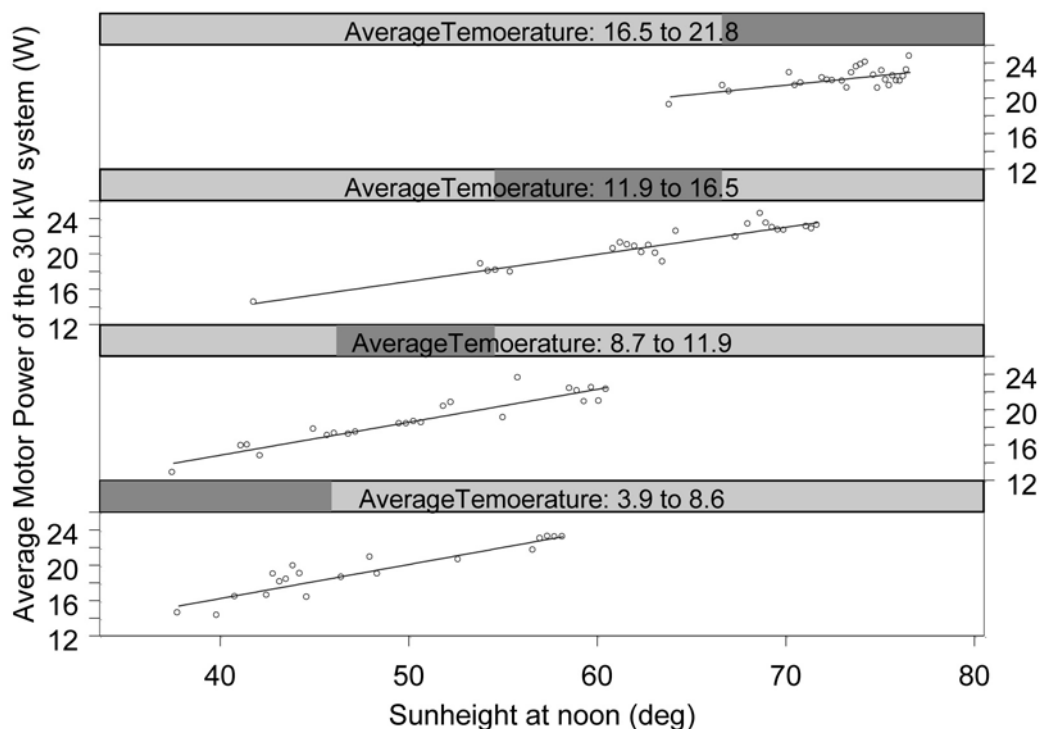


Fig.11. Total power consumption of tracking motors of 30 kW system.

時の太陽高度と平均気温でどう変化するかを調べた結果を示す。太陽高度が高くなるとモーターの駆動量も大きくなるため消費電力は増大し、平均気温が低くなると潤滑油の粘性が高まるので同じく消費電力が増大する。年間平均気温と平均太陽高度で見た場合、消費電力は平均16 Wと算定され、発電定格の0.05%にすぎない。いい換えれば、60 W白熱電球1灯の夜間点灯消費電力で10軒分の屋根に載せられたソーラーパネルを動かしている計算になる。

年間発電量については、周辺構造物の陰の影響やアレイの規模、電力系統の状況などさまざまな要因に影響されるので一般的な指標はなかなかたてにくい。豊橋技科大学で隣接した多結晶シリコン太陽電池と比較した結果によると、発電効率としては約2倍、利用可能な日射リソース（多結晶シリコン太陽電池では傾斜面全天日射、集光型では法線面直達日射）としては0.8倍であり、年間発電量として $2 \times 0.8 = 1.6$ 倍といった結果が得られている。

謝 辞

集光型太陽電池の基礎技術研究の一部は経済産業省のもと、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO技術開発機構）から委託され、実施し、同じ

く実用化技術開発の一部は経済産業省から委託された地域新生コンソーシアム事業で実施し、Fig.5に示したあいち臨空新エネルギー実証研究エリアに設置した30 kW実証発電試験プラントは独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO技術開発機構）との共同研究により建設し愛知県より土地とインフラの提供を受けたもので、関係各位に感謝する。

（文 献）

- 1) Global market outlook for photovoltaic until 2013, EPIA (2009), 4.
- 2) Kenji Araki, Keith Emery and Masafumi Yamaguchi: Proc. RE2006 (2006), 224.
- 3) Y. Kemmoku, K. Araki, Y. Miyazaki and M. Hiramatsu: Tech. Digest, 17th PVSEC (2007), 93.