



集光型太陽光発電システムの開発

齊藤 健司*・安彦 義哉・鳥谷 和正
森 宏治・古結 靖和・岩崎 孝

Development of Concentrator Photovoltaic System — by Kenji Saito, Yoshiya Abiko, Kazumasa Toya, Kouji Mori, Yoshikazu Kogetsu and Takashi Iwasaki — Sumitomo Electric's concentrator photovoltaic (CPV) system was developed under the design concepts of light weight, small size, good heat dissipation and use as a display. At its Yokohama Works, a megawatt-class generation and storage system was deployed for demonstration and has been in operation since July 2012. The performance of the CPV modules in this system was evaluated. The module recorded a conversion efficiency of approximately 30% both in sunlight and using a solar simulator. The power generation comparison between the most commonly used polycrystalline silicon module and the CPV module was also conducted. These modules were set to track sunlight, and the total amount of power generated for one day was measured. The results showed that our CPV module's power generation per unit area was approximately 2.0 times as much, and the power generated per unit weight was approximately 1.7 times as much as that of the poly-Si module.

Keywords: concentrator photovoltaic (CPV), high concentrating photovoltaic (HCPV), direct normal irradiance (DNI)

1. 緒 言

再生可能エネルギーを活用した分散型電力システムへの期待が高まっていることを受け、当社グループでは、各種電力変換・制御技術、発電・蓄電技術の研究開発を鋭意進めている⁽¹⁾。今般、世界最大規模であるメガワット級のレドックスフロー（RF）電池⁽²⁾と国内最大規模の集光型太陽光発電（CPV）設備、およびこれらを制御するエネルギーマネジメントシステム（EMS）から構成される大規模需要家向けの安定した電力システムを当社横浜製作所に構築し、2012年7月から実証運転を開始した。図1にそのシステムの構成図を示し、写真1にCPVシステムの全体を示す。本論文では、我々が開発を進めたCPVモジュールの特長及び発電性能について説明する。

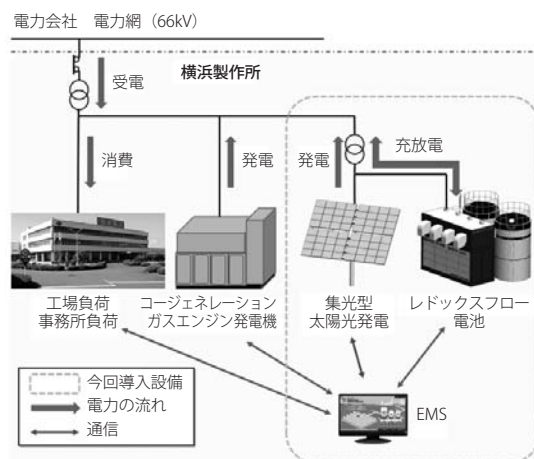


図1 メガワット級大規模蓄発電システム構成



写真1 横浜製作所CPVシステム

2. CPVの特徴

CPVは、発電素子にレンズ等で集光させた高密度の太陽光を入射させることによって、小面積の発電素子でエネルギー変換をする太陽光発電装置である⁽³⁾。発電素子には、異なるバンドギャップエネルギーの化合物半導体材料をトンネル接合によって積層し、波長感度帯域を拡張させた高効率化合物太陽電池セルが用いられる。これらの多接合化合物太陽電池セルは、Solar Junction社によって、2012年10月15日現在、947Suns (1Sun (1kW/m²)) において44%の世界最高効率⁽⁴⁾が記録されており、今後も多接合化により、変換効率50%以上の超高効率化が近い将来に期待できるものである⁽⁵⁾。

集光方式には、平板フレネルレンズ、ドーム型フレネルレンズ、鏡面反射型等が開発されている。集光系としては、セル受光感度帯域での高透過率化と集光した光の色収差の低減および集光強度分布の均一化が光学的に高いモジュール変換効率の実現には重要となる⁽³⁾。

CPVシステムは、太陽光を集光させた光が太陽電池セルに垂直に入射されるようにモジュールを追尾させる二軸追尾架台システムを用いる。追尾方式には、太陽光を感知する太陽追尾センサーを用いるセンサー追尾方式と、設置位置の緯度、経度と時間によって太陽の軌跡を追尾する時間追尾方式、また、その両方を兼ね備えた方式があり、各社、追尾精度とコストに応じて使い分けている。

これらの基本構成において、大同特殊鋼からは、愛知県でCPVシステムの屋外実証実験を実施した。その結果、非集光平板型太陽光発電システムと比較して、単位面積あたり1.6倍もの高い年間発電量と約2倍ものモジュール変換効率を実現し、CPVシステムは従来の太陽光発電システムより高い発電量が得られることを明らかにした⁽⁶⁾。また、CPVシステムは、太陽光を追尾するため朝方や夕方の発電量も高く、夕方の電力需要ピーク時にも安定した電力が得られるという特徴もある。さらにモジュールを地面から高い位置に設置する構造であり、モジュール下のスペースを駐車場、農地、公園などに有効活用でき、次世代太陽光発電システムとして期待されている。

3. CPVモジュールの開発

我々は、大きく3つの設計コンセプトに基づき、CPVの開発を実施した。

【設計コンセプト】

- ①一人で持てる、組立等の施工が容易なモジュールサイズ、軽量化
- ②優れた放熱設計
- ③意匠性、広告性の具備

このCPVモジュールは、40インチテレビ程度のサイズであり、重量は約8kgになる。これは、ひとりでも軽々と持てるサイズと重量になり、組立作業、施工のコスト抑制

が可能である。また、軽量化することによって、追尾架台に対する負荷を軽減でき、追尾架台の駆動トルクや材料強度などの強靱化を抑え、架台コストを軽減がすることが可能である。

放熱は、以下の2つの観点から非常に重要になる。一点目は、温度上昇に伴い出力が減少するという太陽電池セルの温度特性がある。一般的に化合物太陽電池セルは、結晶シリコン系太陽電池セルより約5~7倍温度特性⁽⁷⁾が良く温度に対する変化が小さい。しかしながら、レンズによって、集光されることで、数百~数千倍のエネルギーがセルに加わるため、温度上昇に伴う電力損失を最小限に抑制する必要がある。二点目は、長期信頼性の観点である。セル動作温度が高ければ、回路基板や周辺部材に熱的ストレスが大きく加わり、寿命が短くなることが予想される。また、長寿命化を狙うために耐候性に優れた部材を選定することでコストが膨らむ懸念がある。我々は、セルや周辺部材の高温化を抑制するために集光エネルギーを分散させる構造として、50mm×50mmの小さなフレネルレンズを192個備えた小型フレネルレンズアレイを設計した。また、放熱機能を保持したアルミニウム筐体に化合物太陽電池セルを配置することで、低い動作温度を実現している。

更に今回開発したCPVでは、上記内容に加えて発電量を落とすことなく企業名やロゴなどを表現することを可能としており、太陽電池でありながら広告看板としての利用価値を付加している。一例として、当社横浜製作所に設置したCPVの写真を図2に示す。レンズ内側に配置した太陽電池セル以外の場所に、意匠性のある色付保護板を設置することでこのように文字を表現することが可能である。また、色付保護板の配色を工夫することで、同じCPVシステムにおいて、見る角度を変える事で表示内容を変更することも可能である。

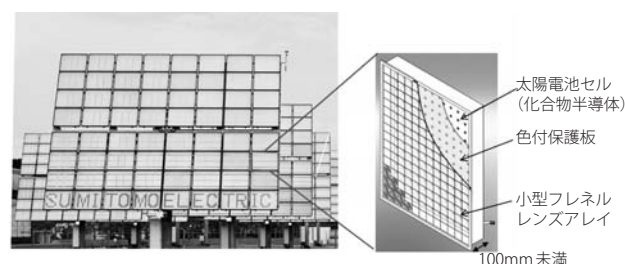


図2 CPV構造と意匠性

4. CPVモジュールの発電性能

太陽光によって屋外で測定したCPVモジュールの太陽電池特性を図3に示す。モジュール裏面温度46.7℃、直達日射強度 (DNI) が699W/m²、のとき、変換効率 $\eta=30.1\%$

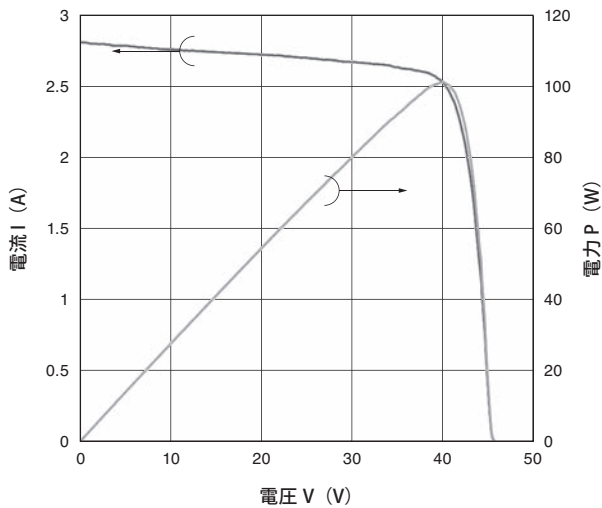


図3 CPVの屋外測定による太陽電池特性

(受光面積：0.48m²)を記録した。

また、スペインの第三者機関である Instituto De Energía Solar - Universidad Politécnica de Madrid (IES-UPM) において、同タイプモジュールをソーラーシミュレータで測定し、モジュール温度：25℃、DNI=1000W/m²における結果を図4に示す。η=29.5%であり、屋外測定および屋内測定において、約30%の変換効率を記録した。

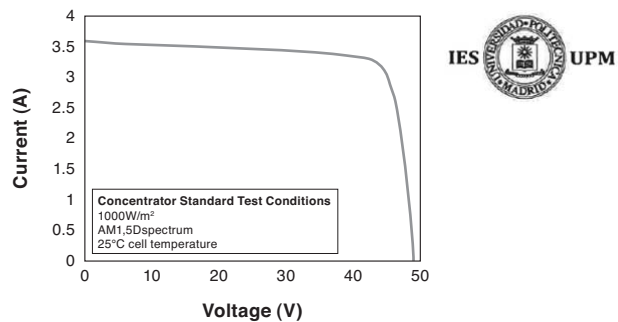


図4 第三者機関によるCPVの太陽電池特性結果

5. CPVと結晶シリコンモジュール (SiPV) の発電比較

CPVモジュールとSiPVを図5に示すように当社大阪製作所にある追尾架台システムに設置し、一日の太陽電池特性を同時測定した。また、日射強度は、直達日射計、全天日射計および追尾全天日射計にて計測し、それぞれのモジュールの裏面温度を熱電対によって測定した。SiPVには、多結晶シリコンタイプを用いた。図6にCPVとSiPVのモジュール変換効率の一日の推移を示す。尚、図中の温度はモジュール裏面温度を示す。

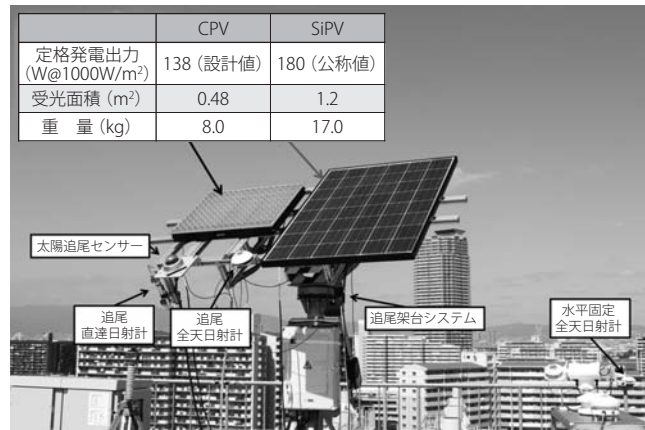


図5 CPVとSiPVの屋外測定

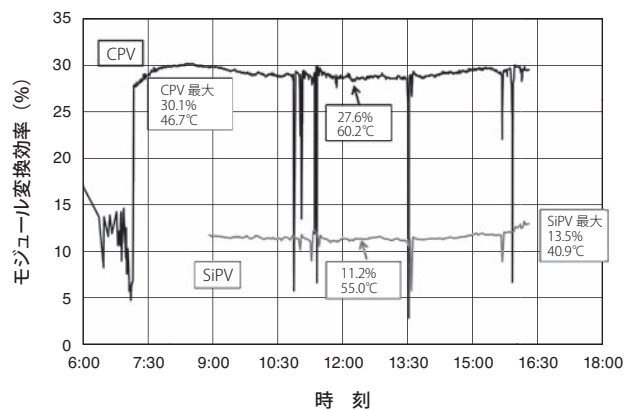


図6 CPVとSiPVの変換効率一日の推移

CPVは、8時～9時頃にη=30.1%を記録し、一日を通して27.5～30%の変換効率であった。SiPVは、η=11%程度で一日を推移し、夕方になりモジュール温度が低下したときに13.5%を記録した。計測途中に変換効率が著しく低下する箇所があるのは、雲が太陽を塞いだためである。尚、この日のDNIは、最高で836W/m²であり、9時から15時の間、雲で陰るとき以外は常に700W/m²以上を観測していた。

図7にCPVとSiPVの単位面積あたりの出力 (W/m²) の一日の推移を示す。一日を通して、CPVの単位面積あたりの出力はSiPVより高く、9時から15時の間の累積発電量 (Wh/m²) は、CPVはSiPVに比べて、約2.0倍であった。本CPVモジュールでは、約半分の面積で同出力が得られることになり、省スペースの面から優位であると言える。

また、単位重量あたりの累積発電量 (Wh/kg) は、約1.7倍CPVの方がSiPVより優れていた。追尾式SiPVとの比較においては、より多くのモジュールを追尾架台に搭載できることになり、単位架台台数あたりの発電量を多くできることから、本CPVモジュールの方が優位であると言える。

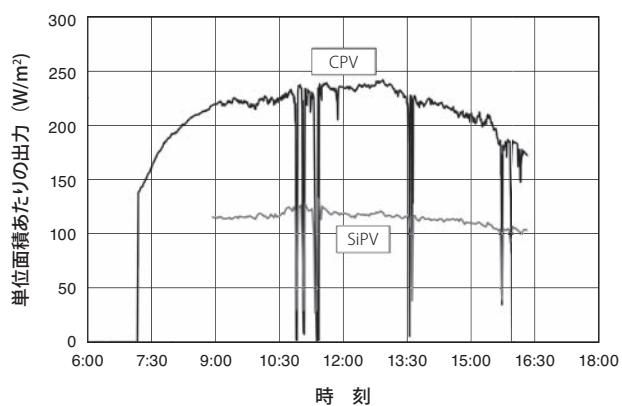


図7 CPVとSiPVの単位面積当たりの出力の一日の推移

る。サンベルトなどのDNIが高い地域では、その優位性は更に高まると予想される。

6. 結 言

我々は、軽量、省サイズ、優れた放熱性、意匠性をコンセプトに集光型太陽光発電システム（CPV）を開発した。CPVモジュールは、実環境およびソーラーシミュレータにおいても30%程度の変換効率を記録した。追尾式SiPVとの発電量比較においては、単位面積当たりの累積発電量では約2.0倍、単位重量当たりの累積発電量では約1.7倍、CPVの特性の方が良いことを明らかにした。今後数年以内の事業化を目指して鋭意開発を進めている。

参 考 文 献

- (1) 綾井直樹、「直流マイクログリッドシステム」、SEIテクニカルレビュー第181号、P.124 (2012)
- (2) 重松敏夫、「電力貯蔵用レドックスフロー電池」、SEIテクニカルレビュー第179号、P.7 (2011)
- (3) 山口真史、「超高効率化合物太陽電池—材料・技術動向と課題」、工業材料、Vol.58、No.4、pp49-53、2010年4月号
- (4) URL http://www.excite.co.jp/News/release/20121015/Kyodo_prw_201210157628.html
- (5) K. Kurokawa, Proceedings of the 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (2009)
- (6) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、太陽光発電技術研究開発 事後評価報告書、pp31-33 (平成19年2月)
- (7) 浜川圭弘、桑野幸徳、「太陽エネルギー工学 太陽電池」、pp219-237、(株)培風館 (1998)

執 筆 者

斉藤 健司*：パワーシステム研究所



安彦 義哉：パワーシステム研究所 主査
 鳥谷 和正：パワーシステム研究所
 森 宏治：パワーシステム研究所 主査
 古結 靖和：パワーシステム研究所 主幹
 岩崎 孝：スペシャリスト
 パワーシステム研究所 グループ長

*主執筆者