

新しい太陽光発電システムの現状と今後 (集光型太陽光発電システム)

橋本 潤

独) 産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター
評価・標準チーム 特別研究員
〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第2

1. はじめに

今後のエネルギー政策に注目が集まる中、日本では2012年7月より固定価格買取制度(FIT)が開始され、太陽光発電を含めた再生可能エネルギー導入が進められている。太陽光発電システムの場合、買取価格が42円/kWhに設定されており、10kW以上のシステムであれば20年間価格が固定される。現在の導入費用を鑑みると故障や極端に立地が悪い条件でなければ導入インセンティブの高い魅力的な制度となっている^[1]。固定買取価格は、定期的に見直され導入が進むにつれ下がることが想定されている。そのため早期の導入へのインセンティブが働くとともに導入量増大と技術革新の相乗効果により太陽光発電システム導入コストも下がる。実際にFIT制度を先行導入しているドイツでは人口あたりで日本の7倍普及しており、2012年時点で設備導入費用が平均18万円/kW以下と日本(60万円/kW弱)の1/3になっているとの報告もあり^[2]、市場拡大による経済効果への期待も大きい。さらに温暖化ガス排出量の削減への貢献など環境に関連する太陽光発電への注目度はますます高まっている。このような追い風の中で次世代を担う太陽光発電として新しい技術の開発が進められている。本稿では、世界最高効率を記録している超高効率太陽電池(以下、多接合太陽電池)と呼ばれる次世代太陽電池と、光学レンズやミラーを利用して太陽光を効果的に500倍以上集光する技術を組み合わせた新しい太陽光発電システムについて紹介する(図1、2)。



図1 京山山頂に設置された集光型太陽光発電システム(岡山市 旧京山遊園地)



図2 集光型太陽光発電システムの外観(岡山市内 京山山頂)

2. 新しい太陽光発電システムの現状

独立行政法人 産業技術総合研究所(以下「産総研」)は、2008年度から7年間の計画で、東京大学先端科学技術研究センターと共に、革新型太

太陽電池国際研究拠点の一つとして、変換効率が40%（現在の3~4倍）の高効率、かつ発電コストが7円/kWh（現在の約1/7）の低コスト太陽電池の開発を、国内外の研究機関と連携しながら進めている。現在の太陽電池の種類は、最も普及している結晶シリコン、材料コスト削減や低コスト生産技術を目指した薄膜太陽電池（第2世代）そして新型多接合太陽電池（第3世代）の3つに大別される（図3）。単接合の結晶シリコン系太陽電池や薄膜太陽電池が変換効率の理論値に近づきつつある。一方で飛躍的に発電性能を向上し続けているのが新型多接合太陽電池である（図4）。

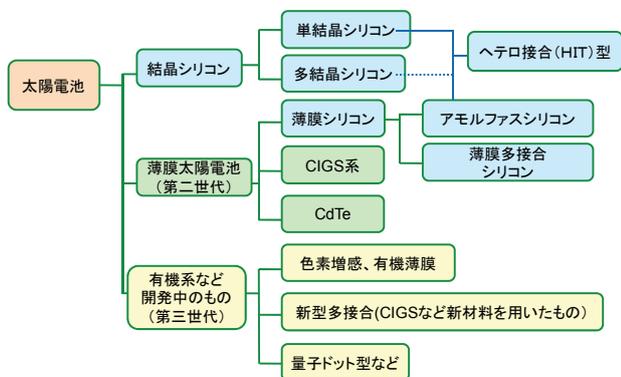
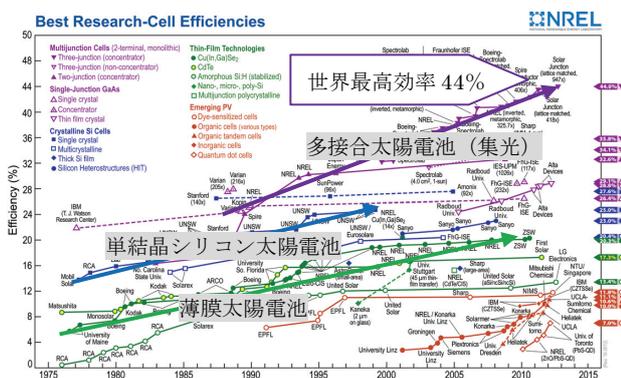


図3 太陽電池の分類（世代別）

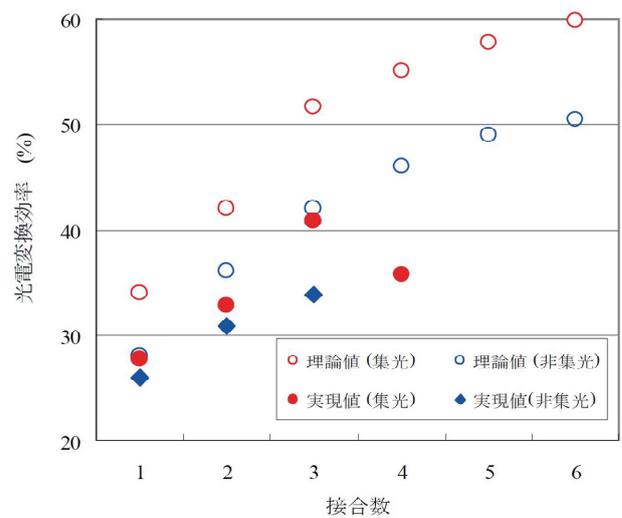


出典：NREL, Best Research-Cell Efficiencies^[3]

図4 各種太陽電池の最高効率記録の推移

多接合太陽電池は、異なる材料の太陽電池を直列に積層（多接合化）することで、幅広い分光感度帯を有し太陽光を無駄なく発電することが可能である。III-V族化合物系の太陽電池は、3接合以上の積層による高効率化に成功している。今後、

多接合化により発電効率50%を超える太陽電池の開発が可能とされている（図5）。この多接合太陽電池は、集光下（通常の約100~1000倍）において高い効率を実現しており、過去10年間で10%近く変換効率が向上している。近況速報値では、世界最高効率44%に到達している（2012年10月時点）^[3]。多接合太陽電池は、これまで主として宇宙（衛星）用として開発が進められ、一般的なシリコン系太陽電池と比較してコストが高く、生産技術を含めた技術開発が重要である。



出典：山口（2009）^[4]

図5 太陽電池の多接合化による高効率化の可能性（理論変換効率と現状での達成効率）

そこで高効率と低コストを実現する新しい太陽光発電システムとして、注目されているのが集光型太陽光発電（Concentrator Photovoltaics; CPV）システムである。CPVシステムは、フレネルレンズや反射型ミラー等の安価な材料を用いた光学集光装置を利用して光を400~1000倍に集光し、小面積の太陽電池で発電する。そのため高価な太陽電池の使用量を大幅に低減することができる（図6）。またCPVシステムに搭載される多接合太陽電池は、集光下において集光倍率の対数に比例して発電効率が向上する特性を有している。そのため特に日射条件の良いサンベルト地域では発電コスト（円/kWh）が低減し有効である。一方

CPV システムは、高倍率で集光するために平行度の高い直達日射が必要である。そのため、高精度な太陽追尾装置が必須であり、太陽追尾装置を含めたコスト低減と駆動部の信頼性確保が重要な課題である。

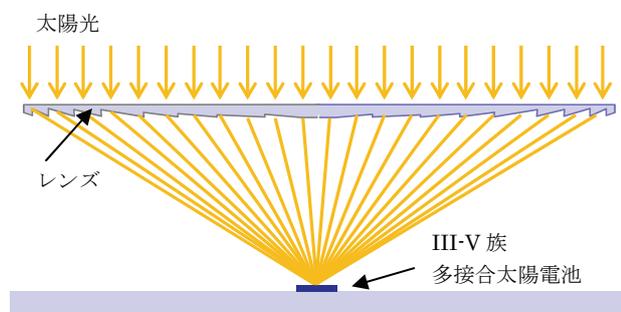


図 6 集光型太陽光発電システムのコンセプト

3. 日米共同実証実験

産総研は、米国立再生可能エネルギー研究所 (NREL) と共同で、日米両国で同一の集光型太陽光発電システムを設置し、発電性能の評価技術に関する実証実験を開始している (2011 年よりデータ取得開始)。多接合太陽電池は、天候や日射スペクトル等の環境が発電性能に与える影響が大きいため、気象条件および周辺環境と発電性能の定量的な把握が重要である。そこで実証データを基に気象条件と発電性能の関係性を明らかにし、発電量を正確に推定する技術を開発している。

この CPV システムは、フレネルレンズを用いて太陽光を集光倍率約 550 倍 (幾何学倍率) の光強度に集め、多接合型太陽電池によって発電する効率のよい発電方式である。今回の実証実験では、快晴率が高く乾燥した米国サイト (コロラド州オーロラ市) と温暖湿潤な日本サイト (岡山市京山) に CPV システムを設置して (図 7)、気候の違いが発電性能に及ぼす影響を比較している。



図 7 日米共同実証実験 (日本サイト：岡山市、米国サイト：オーロラ市)

また、日米独 3 カ国で製造された性能の異なる多接合太陽電池を搭載し比較検証することにより、集光条件下の多接合太陽電池の屋外評価技術や CPV システムの発電量を正確に予測する評価方式を開発し、国際的整合性のある測定技術を確立・標準化すること、さらに CPV システムおよび多接合太陽電池の普及拡大を目指している。

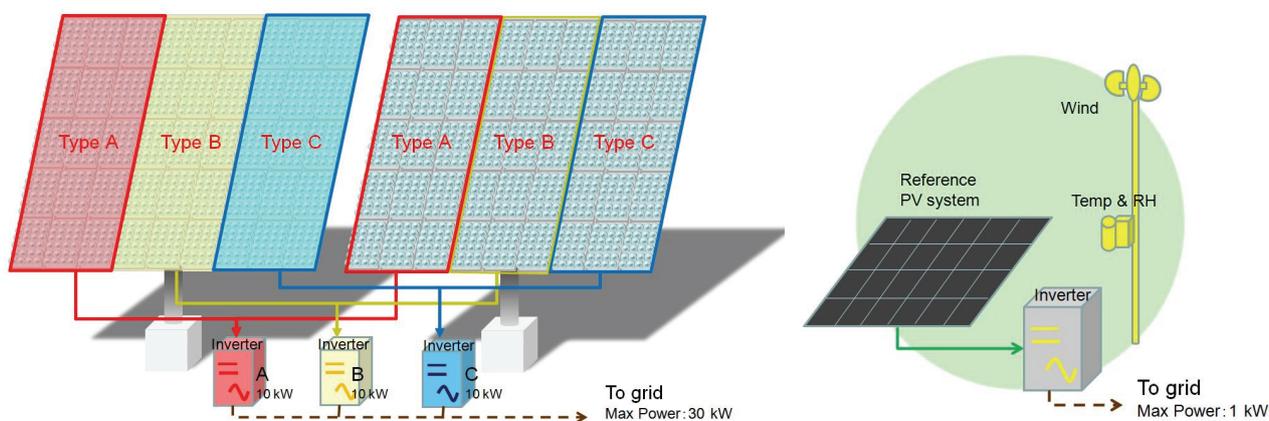


図 8 集光型太陽光発電 (CPV) システムとレファレンス (FPV) システムの概要

左：3 カ国の多接合太陽電池 (III-V 族) を採用した CPV システム

右：一般的な単結晶シリコン (c-Si) を採用したレファレンス (FPV) システム

両サイトに設置した CPV システムは、公称出力 30kW AC、レファレンスとして従来型の非集光型太陽光発電システム（以下、「FPV システム」）を 1kW 併設している。2011 年 1 月より発電量、気候データ、その他性能評価データ等の取得を順次開始している。CPV システムは、2 基のポールマウント型トラッカーから構成されており、それぞれ 3 種類の多接合太陽電池が搭載されている。図 8 の Type A、B、C は、異なる 3 カ国の多接合太陽電池を示している。太陽電池以外の 1 次レンズ、2 次レンズ、フレーム等はすべて統一することで、3 カ国の超高効率太陽電池を同一集光条件下で比較している。

本プロジェクトの評価実証試験のポイントは以下の 3 つである。

- ・日米異なる気候での CPV システムの比較
- ・日米独製の 3 つの異なる多接合太陽電池の比較
- ・非集光型（従来型）と集光型システムの比較

実証試験成果の一例として CPV システムと FPV システムの等価システム稼働時間について比較を行った結果を図 9 に示す。期間は、2011 年 6 月 1 日から 2012 年 5 月 31 日までの 1 年間の実測データ（試験の実施、故障やメンテナンスの期間が含まれている）である。ここで等価システム稼働時間とは、積算発電量[kWh]を定格出力[kWp]で割った値で単位システムあたりの定格発電時間を表す。両システムの等価システム稼働時間は、1 年間で 1,009 [kWh/kWp]（日本、岡山市）および 2,176 [kWh/kWp]（米国、オーロラ市）。米国のオーロラ市では、同一の集光型太陽光発電システムで日本の 2 倍以上発電している。主因は、入力エネルギーである直達日射量の違いである。日射スペクトル等の詳細な性能分析については今後明らかになっていく予定である。日本における従来型の非集光 PV の平均は年間 1000[kWh/kWp]程度とされ、それ以上の場合は、太陽電池の効率が良い、もしくは日射条件等が優れているとされる。

したがって岡山では及第点ではあるが、コスト面を勘案するとより一層の技術革新が必要である。システムの発電性能は、様々な損失要因が影響しており、特に CPV システムの場合、従来にない損失要因が課題として実証的に明らかになってきている。これは高効率を実現している多接合太陽電池をシステム化した際にいかに効率損失（ロス）を軽減するかについて改善余地が大きい結果である。

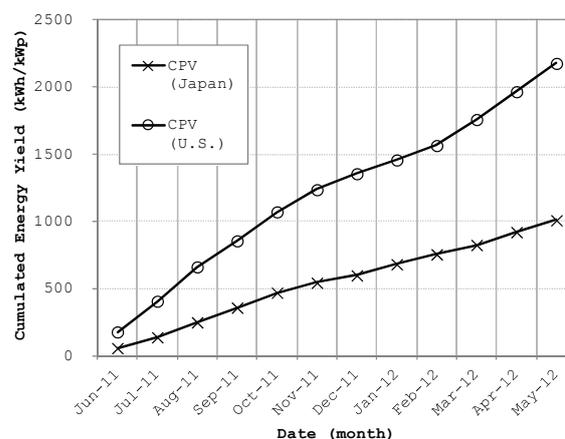


図 9 CPV システムの等価稼働時間比較（Japan : 岡山市、U.S. : オーロラ市）

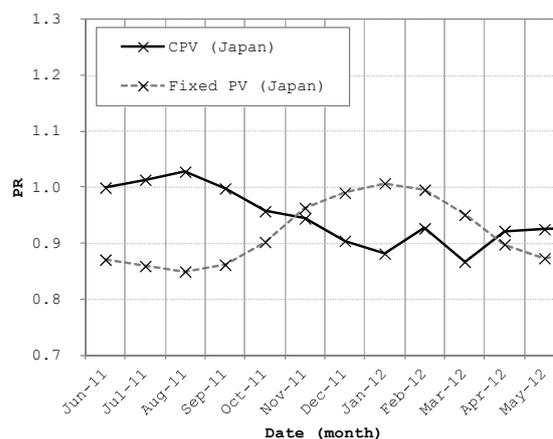


図 10 CPV と FPV の出力係数 (PR) 比較、日本サイト（岡山市）

図 10 は、発電性能の期待値に対する実績を確認するため出力係数 (PR) の比較を示している。PR は、1 に近いほど期待どおりの性能を発揮して

いることを示し、1 以上が期待以上、1 未満が期待未満であることを示している。夏季の高温時に非集光型の PR が低下するのに対して、集光型の PR は上昇する。集光用の多接合太陽電池は、シリコン系の太陽電池と比較して温度特性が優れ、高温下でも出力が低下し難い。さらに夏季は、太陽高度の関係上、基準太陽光スペクトル（ASTM 規格）に近い条件が整いやすく、理想的なスペクトル条件が揃いやすい。集光型はサンベルト地域等の高日射・高温条件下において非集光型と比較して優位である可能性がある。

4. 岡山大学との取り組み

産総研と岡山大学は、瀬戸内気候特有の温暖な気象条件等、より詳細な気象条件が CPV システムの発電性能に与える影響について解明し、CPV システムの発電量を正確に予測する技術を開発するため共同研究を進めている（図 11）。この共同研究では、大陸から浮遊する黄砂や海塩等の微粒子（エアロゾル）、水蒸気などの大気成分に起因する多接合太陽電池の発電特性変化を定量的に把握するため、岡山大学に高度気象観測システムを設置した。高度気象観測システムは、直達および散乱の分光放射測定装置（スカイラジオメータ）と上空観測カメラ（スカイビュー）から構成されている。この高度気象観測システムから得られたエアロゾル等、光学的特性から大気成分データを詳細分析し、前述の集光型太陽光発電システムの発電性能との関係性を評価する。ここで得られる知見を基に、集光型太陽光システムの発電量を正確に推定可能な技術を開発している。また米国サイトに NREL の協力のもと同様の高度気象観測システムを導入しており（図 13）、日米両サイトの実証データの検証も予定している。まもなく 1 年間のデータが集積され、今後の成果が期待されている。



共同研究 



図 11 岡山大学と産総研の共同研究概略図

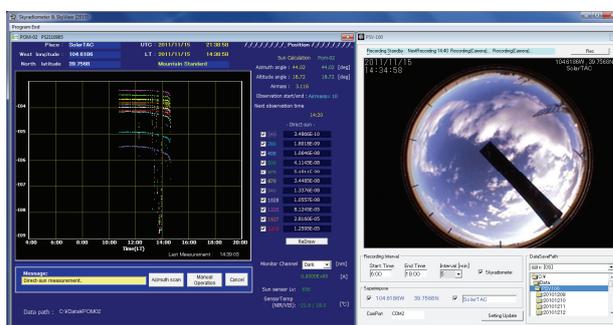


図 12 高度気象観測システムのデータ取得例（岡山大学）



図 13 高度気象観測システム（米国サイトの例）

5. 今後の取り組み

変換効率 40%を超える超高効率多接合太陽電池を用いた集光型太陽光発電（CPV）システムはすでに量産化が進められ、習熟曲線とともに低コスト化が図られる。一方で単結晶シリコン系や薄膜太陽電池は、それ以上の驚異的なスピードで低コスト化が進んでいる。多接合太陽電池が他の技術に対して競争力を持つには更なる高効率化と低コスト化が不可欠である。CPV システムは、コロラド州などアメリカ南部の恵まれた直達日射条件により、優れた発電性能を示すことが実証的に明らかになった。さらに条件の優れたサンベルト地域（日平均直達日射量 6kWh/day 以上）と呼ばれる高温高照度エリアにおいては、CPV システムが優位であり、期待が持てる。現時点の技術力において、日本では一般的なシリコン系太陽電池に比べてかならずしも優位であるとは言えない。国際的な市場を踏まえ、輸出を念頭に技術開発を進めなければならない。ただし今後 50%以上の変換効率を達成する可能性がある多接合太陽電池の将来性を鑑みると技術革新による向上余地は大きく、新しい太陽光発電システムにかかる期待度は大きい。

謝辞

本研究は、新エネルギー・産業技術総合研究開発機構（NEDO）から委託され実施されたものであり、関係各位に感謝する。共同研究の円滑な推進に尽力頂いた塚本修教授（岡山大学）ならびに岡山大学関係各位に感謝する。

参考文献

- [1] 経済産業省,(2012), “再生可能エネルギーの固定価格買取制度について調達価格及び賦課金単価を含む制度の詳細が決定しました” ニュースリリース（平成 24 年 6 月 18 日）
- [2] 櫻井 敬一郎, (2012), “太陽光発電の動向と普及への課題“, 電気評論, 10 月号
- [3] NREL, Best Research-Cell Efficiencies,

http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg

- [4] 山口真史, (2009), “総論－高効率太陽電池への期待－”, OPTRONICS No.6
- [5] 永松 慎平, 塚本 修, 橋本 潤, 薛 雁群, (2012), “スカイラジオメーターを用いた岡山上空におけるエアロゾルの光学的特性の研究” 気象学会関西支部 2012 年度 第 3 回例会 (preprint)