

集光型太陽電池評価技術

橋本潤・薛雁群・大谷謙仁・西大輔・上田孝・菱川善博
産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター

研究の目的

集光型太陽光発電(CPV)システムは、集光下で**40%を超える(世界最高効率率は、44%※)**超高効率多接合太陽電池(以下、集光型セル)と数百倍以上に光強度を高める光学系装置の組み合わせにより**高いシステム発電効率**を達成している。集光セルは、近年飛躍的にその性能を高めており、理論効率では50%を超えることも可能といわれている。集光セルおよび光学効率の向上により、ワットあたりの単価での競争力が優位となる地域は広がっていきとされている。さらに量子ドットなど次世代太陽電池の開発が進められており、集光下で高効率を実現する将来性の高い集光セルのアプリケーションとしてCPVシステムの今後にかかる期待度は大きい。

CPVシステムの発電出力[kW]評価は、従来の非集光型(平板型)太陽電池モジュールと標準条件が異なるため定格出力での評価が難しい。また、ユーザが真に必要なとする発電量[kWh]の推定は、気象条件による影響が非集光型よりも大きく、発電性能を決定付ける要因を実証的に明らかにする必要がある。

本研究では、米国再生可能エネルギー研究所(NREL)と連携し、CPVシステムの**発電量を評価**するために必要な幅広い条件下におけるデータを分析し、高精度に発電量を推定する技術を開発し、**国際標準化**することを目指している。

※2012年10月時点

実証試験の概要

産総研は、2010年より米国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。CPVシステムは、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。



図1) 導入されたCPVシステム一例 (米国コロラド州オーロラ市)

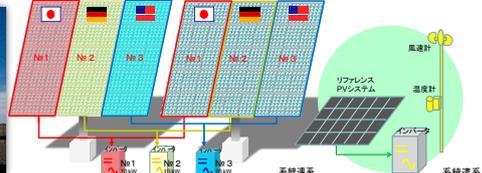


図2) 実証実験システムの構成 概要図

結果

1. CPVとFPVの等価稼働時間

日米両サイトにおけるCPVおよび非集光PV(FPV)の月間等価稼働時間(DC)を比較した(図3)。月間等価稼働時間とは、1ヶ月あたり公称出力換算で稼働した時間を表す。岡山サイトは、年間を通じてFPVがCPVを上回る。一方、オーロラサイトでは、冬期を除きCPVがFPV(最適角ではない)を上回る。年積算等価稼働時間からオーロラサイトのCPVシステムは、岡山サイトの約2倍発電する(図4)。ただし、2011年~2012年の岡山は日照時間が平年よりも17%低く、直達日射量が平年より低い可能性がある。

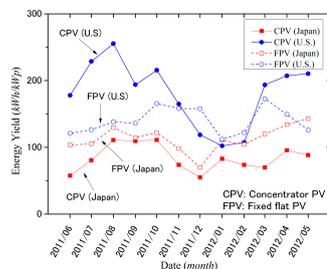


図3) CPVとFPVの等価稼働時間比較

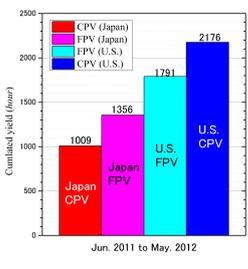


図4) 年積算等価稼働時間

2. パフォーマンスレシオ(PR)

CPVとFPVのPR(DC側)を比較した結果を図5に示す。FPVのPRは温度の影響により夏期に低下するがCPVは低下しない。一方、CPVのPRは冬期に低下する。日米両サイトでCPVのPRを比較した結果からも同様な傾向が確認されている(図6)。CPVは、高温時の性能低下が小さいことが従来のシリコン系と比べて優位な点とされている。CPVの発電性能は、温度による影響が限定的であり、その他のスペクトル等による影響が支配的であることを示唆している。温度とスペクトル効果の定量的な評価を次に示す。

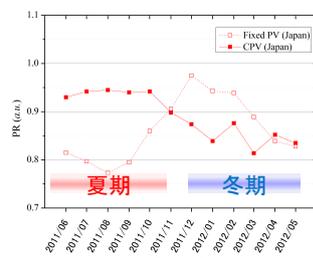


図5) CPVとFPVのPR比較(岡山サイト)

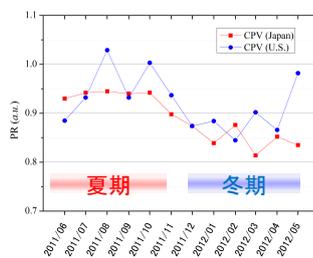


図6) CPVシステムの日米PR比較

3. スペクトルおよび温度の影響

CPVシステムの性能評価について、スペクトルおよび温度が発電性能に与える影響についてSV法を改良したCPV評価技術を開発し、解析を行った。冬期のスペクトルは、太陽高度とエアロゾルの影響により短波長が強く散乱し、Red richなスペクトルにシフトする(図7)。このスペクトルの影響により、Top層の電流律速が顕著となる。**スペクトル効果は、冬期に最大11%損失**となり支配的である(図8)。一方温度の影響は限定的である。

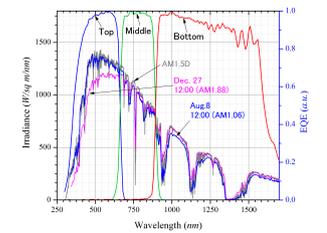


図7) 夏期および冬期の直達スペクトルと集光セル(GaInP/GaAs(Ge))のEQE一例

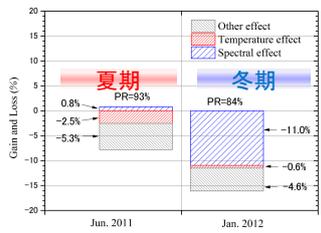


図8) 夏期および冬期のスペクトル効果および温度効果(その他の影響は、PRより算出)

4. アライメントおよび追尾誤差の影響

CPVシステムは、スペクトルや温度以外(図8のother effect)からの影響が~5%程度と無視することができない。特にアライメント(モジュール組立精度やモジュール設置精度)と追尾誤差による影響は、CPV特有の要因である。追尾誤差を定量的な評価法を開発し、その結果の一例が図9である。またシステム全体のアライメント精度を示す指標としてシステム角度特性(図10)を新たに提案する。システム角度特性によると**追尾誤差により発電電力(W)が6~10%低下**する。年換算をすると追尾誤差およびアライメントによる効果がスペクトル効果に匹敵する重要なファクターである。

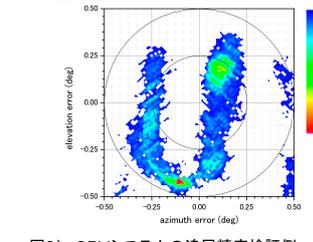


図9) CPVシステムの追尾精度検証例

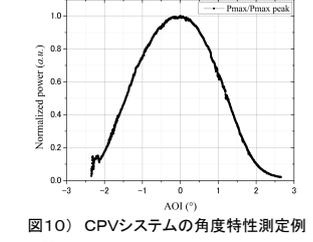


図10) CPVシステムの角度特性測定例
AOI: Angle of incident

結論

集光型(CPV)システムと非集光型(FPV)システムについて異なる気象条件が与える影響についてSV法を改良したCPV評価法を開発し、分析を行った。

- CPVのパフォーマンスレシオ(PR)は、FPVに比べて夏期に優れている。その主因はモジュール温度によるCPVの発電性能に与える影響は小さく限定的なためである
- CPVのPRが冬期に低下する主因は、スペクトル効果であり、その損失は最も影響の大きい1月で11%に達する
- スペクトルや温度以外(追尾誤差や汚れ等)の影響が~5%程度と無視できない
- 追尾誤差を定量的に評価する手法を開発するとともに、アライメント(モジュール組立精度やモジュール設置精度)効果を含めたCPVシステム角度特性の重要性を提起した
- 本評価法によりCPVシステムは、追尾誤差により発電電力が6~10%低下することが明らかとなった。アライメントと追尾誤差による影響は、発電性能を左右する支配的な要因であり、検査手法(Acceptance Test)等の国際規格として重要性を提起するとともに評価法を提案していく

参考文献

1. R. R. King, et al., "Solar cell generations over 40% efficiency", 2012
2. P. Faine, et al., "The influence of spectral solar irradiance variations on the performance of selected single-junction and multi-junction solar cells", 1991
3. S. Kurtz, "A comparison of theoretical and experimental efficiencies of concentrator solar cells", 2009
4. G. Peharz, et al., "A simple method for quantifying spectral impacts on multi-junction solar cells", 2009
5. M. Meusel, et al., "Spectral Mismatch Correction and spectrometric Characterization of Monolithic III-V Multi-junction Solar Cells", 2001
6. J. Hashimoto, et al., "Performance of CPV system using three types of III-V multi-junction solar cells", 2011
7. A. Gombert, et al., "PERFORMANCE OF CONCENTRIX CPV SYSTEM IN DIFFERENT CLIMATES", 2011
8. K. Araki, "Performance of the 30 KW CPV System Installed in Coastal Area in Japan", 2010
9. IEC 62670-1 (Draft) "Concentrator Photovoltaic (CPV) Performance Testing"
10. T. Ishii et al., "Solar spectral influence on the performance of photovoltaic", 2011

本研究は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の『太陽エネルギー技術研究開発/太陽光発電システム次世代高性能技術の開発/発電量評価技術等の開発・信頼性及び寿命評価技術の開発』においてなされました。関係各位に心よりお礼申し上げます。