集光式太陽光発電システムのレンズ面に生じる 水膜・水滴が発電量に及ぼす影響の検討

研究代表者 津山工業高等専門学校電子制御工学科 桶 真一郎

1. はじめに

太陽光発電の低コスト化が求められる中,太陽電池の使用量を大幅に削減できる集光式 太陽光発電システムが注目されている。代表研究者らは 2002 年から,500 倍の集光倍率を 有するフレネルレンズで太陽光を集光する集光式太陽光発電システムの開発およびそのフ ィールド試験を実施してきた⁽¹⁻⁴⁾。その結果,日射条件が良好な愛知県豊橋市における年間 平均発電効率は 30~40%に達することがわかった。また,集光式太陽光発電システムの発 電効率は,従来の平板式太陽光発電システムに比べ,季節,時間帯,および気象条件によ って変化する日射スペクトルの影響を強く受けることを,日射スペクトルの同時観測によ り示してきた。

本研究では、定格出力 300 W の集光式太陽光発電システムのフィールド試験を岡山県津 山市にある津山工業高等専門学校(津山高専)において実施した。津山市は岡山県北部の 盆地に位置し、中心部には大きな川が流れているため、秋から春にかけての時期にはよく 霧が発生する。また、冬季にはレンズの表面に霜が発生しやすい。集光式太陽光発電シス テムに使われている集光用レンズの表面に、霧による水膜・水滴や霜が付着すると、見か けの透過率が低下し、発電電力が大幅に低下する恐れがある。また、それらの付着位置や その分布によっては、各レンズの集光状況が不揃いになり、発電電力の低下や、過電流・ 過熱による故障を引き起こす恐れがある。本研究では、霧や霜が発生したときの発電量、 発電効率、および電流ー電圧特性を実測し、それらが集光式太陽光発電システムの発電特 性に及ぼす影響を評価・検討した。なお、津山市のような気象条件は集光式太陽光発電システムの 普及を想定した検討のためには、日射条件が良好な地域以外でのデータ収集ならびに分析 が重要である。

2. 集光式太陽光発電システム

図1に、フィールド試験を実施した集光式 PV システムの外観を示す。同システムは、レ ンズ、二次光学系(ホモジナイザー)、および太陽電池を組み合わせた PV モジュールと太 陽光を追尾する太陽追尾装置からなる。本研究で使用している PV モジュールは、日本で本 格的に集光式 PV システムの研究開発が始まった 2003 年に製作されたもので、500 倍の集 光倍率を有するドーム型フレネルレンズを搭載している。また、この PV モジュールに使用 される太陽電池は InGaP/InGaAs/Ge からなる三接合型化合物系太陽電池で、その受光面積は 0.545 m²、定格出力は 150 W である。太陽追尾装置は、方位角軸および仰角軸からなる 2 軸 追尾で,追尾の制御方式は,季節や時刻によってあらかじめ決められた方位角・仰角に合わせるプログラム式である。また,時刻の計測には電波時計を使用しており,30 秒ごとに追尾を実施している。本システムは 2004 年~2009 年の間は愛知県豊橋市で,2010 年 8 月 以降は岡山県津山市の津山高専でフィールド試験が実施された。当地では,直達日射強度, 水平面ならびに傾斜面全天日射強度,温湿度,風向風速,気圧,視程(visibility),および 全天日射スペクトル分布を同時に観測した。また,太陽電池を日射センサとする太陽電池 アレイ型日射計^(5,6)を設置し,水平面全天日射と太陽電池裏面温度を計測した。



図1 集光式太陽光発電システムの外観

3. 霜の影響

津山市は岡山県北部の盆地に位置し、秋季から冬季にかけての朝方には霧が発生しやす く、昼ごろまで霧が晴れない日もある。津山市での霧の発生の有無は津山特別地域気象観 測所で観測されており、その観測データは気象庁の web サイトで公開されている (http://www.jma.go.jp/jma/index.html)。それによると、津山市における霧の観測日数は 2010 年:60日、2011年:72日、2012年:56日であった。

図 2 に、霧の発生日および無発生日の直達日射強度と霧発生日の視程の推移を示す。同 図から、霧無日には、直達日射強度は滑らかな釣鐘形を描いて変化したことがわかる。こ の日の最大直達日射強度は 0.908 kW/m², 6~18 時の積算直達日射量は 6.63 kWh/m²であっ



図2 霧発生日および霧無日における直達日射強度

た。一方,霧発生日においては、7~10時の視程が 0.5km と小さいことから、その時間帯 に霧が発生していたことがわかる。同時間帯の直達日射強度はほぼゼロであったが、視程 の回復とほぼ同時に直達日射強度は急激に上昇した。その後、直達日射強度は同時期の晴 天日と同等の水準に達し、それ以降は滑らかに変化した。この日の最大直達日射強度は 0.882 kW/m²、6~18時の積算直達日射量は 4.50 kWh/m²であった。

図3に,霧の発生日および無発生日における集光式PVシステムの発電電力の推移を示す。 発電電力は図2に示す直達日射強度と同様に推移した。霧発生日における発電電力は,霧 が発生していた7~10時の間はほぼゼロであったが,霧が晴れると同時に急激に上昇し, 同時期の晴天日と同等の水準に達した。霧無日における最大発電電力は0.156 kW/m²,6~ 18時の積算発電量は1.01 kWh/m²であった。また,霧発生日における最大発電電力は 0.144 kW/m²,6~18時の積算発電量は0.708 kWh/m²であった。このことから,霧発生日の 日積算発電量は霧無日(晴天)に比べて約30%小さかったことがわかる。



図3 霧発生日および霧無日における発電電力

図 4 に、霧無日および霧発生日における発電効率を示す。同図から、一日を通して安定 した発電電力が得られた霧無日の発電効率は、14~16%であったことがわかる。この日の日 平均発電効率は 15.2%であった。一方、霧発生日の発電効率は、霧が発生していた 10 時頃 までの間は安定しなかったが、霧が晴れた後の日中には 14~15%で推移した。この日の日 平均発電効率は 15.7%であった。したがって、霧の有無は発電効率には影響を及ぼさない。

図5に、一ヶ月間(11月)の直達日射量および発電量の日積算値を示す。なお、同図に示す霧発生日は、総合気象観測システムで計測している視程のデータに基づいている。霧が発生しなかった日のうち直達日射量および発電量が極端に低い日は、曇天日あるいは雨天日であった。同図から、日積算直達日射量は霧発生日である11月14日において2.51 kWh/m²であったのに対し、霧無日である11月15日および20日において2.33 kWh/m²および2.22 kWh/m²であったことがわかる。同様に日積算発電量は、霧発生日である11月14日において0.30 kWh/m²であったのに対し、霧無日である11月15日および20日において0.33 kWh/m²および0.28 kWh/m²であったことがわかる。このように、霧発生日における



図4 霧発生日および霧無日における発電効率



直達日射量および発電量は必ず霧無日のそれよりも小さいとは限らないことがわかった。 また一ヶ月~一年の期間で考えると,霧が発生した日数は発生しなかった日に比べて少な いため,霧以外の影響の方が強く影響することは明らかである。このことは,霧の発生が 津山市と同程度かそれ以下の地域では,集光式太陽光発電システムにおいて霧の影響を考 慮する必要はないことを示唆している。

4. 霜の影響

冬季の寒い朝には、集光レンズの表面に霜が発生することがある。霜が発生する時間帯 はその日の気温や湿度により異なる。霜は霧とは異なり、気象庁の web サイトからその発 生の情報を得ることができない。本研究では、集光式 PV システムの近傍に設置した太陽電 池の裏面温度が、氷点下かつ露点温度を下回った場合に霜が発生したと判断することとし た。図6に、霜無日(12月8日)および霜発生日(2月3日)における気温、露点温度、 太陽電池アレイ型日射計の太陽電池裏面温度を示す。ここで、露点温度は気温と相対湿度 から求めた。同図(a)から、霜無日において太陽電池裏面温度が常に露点温度を上回って



図6 霜発生日および霜無日における気温,露点温度,太陽電池裏面温度

いることがわかる。一方,霜発生日の場合は同図(b)に示すように,8 時頃までは太陽電 池裏面温度が露点温度を下回っており,かつ気温は氷点下であったことがわかる。このと き,集光式 PV システムのレンズ表面に霜が発生しているのを目視で確認した。以上のこと から,本研究では同様の条件が成り立つ場合に,太陽電池アレイ型日射計およびその近く に設置した集光式 PV システムのレンズ表面には霜が発生したと推定した。

図 7 に霜の発生日および無発生日における直達日射強度の推移を示す。同図から,直達 日射強度は両日ともに 7 時頃の日の出とともに上昇し始めたことがわかる。次に、図 8 に 霜発生日および霜無日における発電電力の推移を示す。霜発生日の太陽電池の裏面温度お よび露点温度から,霜は 7 時 40~50 分頃まで発生していたと判断した。同図から,霜発生 日においては、直達日射強度が日の出とほぼ同時に 7 時頃から上昇し始めたのに対し,発 電電力はそれより遅れて 7 時 40 分頃から上昇し始めたことがわかる。これは,集光レンズ 表面に霜が発生している間は PV セルへの入射日射が遮られていたからである。また,集光 レンズ表面の霜の融け方は一様でないため,発電電力はゆっくりと上昇した。霜が完全に 解消した日中の発電電力は,霜無日と同様に直達日射強度に伴い変化した。

図9に、霜の発生日および霜無日における FF を示す。同図から、霜無日の FF は一日を





図8 霜発生日および霜無日における発電電力

通して 0.75~0.78 付近を推移したことがわかる。一方, 霜発生日の FF は, 霜が融け始めた 8 時 30 分まで 0.40~0.50 と低い値を示した。しかし霜の融解とともに FF は上昇し, 11 時 には霜無日と同等の水準に達した。図 10 に, 霜の発生日における時間帯の異なる I-V カー ブを示す。この日の 9 時においては, 集光レンズ表面に霜が発生していたため, FF は 0.510 と低く, I-V カーブには多くの段差が生じていた。その後霜がなくなった 13 時には, FF が 0.767 に上昇し, I-V カーブは比較的滑らかな形状をしていた。集光レンズ表面に霜が発生 したときに I-V カーブに段差が生じ, それによって FF が小さくなるのは, 霜の融解は一様 でないため, PV モジュールを構成する複数の太陽電池への集光にムラが生じ, それぞれの 光電流に違いが生じるからである。

図11に、一ヶ月間(12月)の日積算直達日射量および発電量を示す。なお、直達日射量 および発電量が極端に低い日は曇天日あるいは雨天日であった。同図から、日積算直達日 射量は霜発生日である12月18日において4.00 kWh/m²であったのに対し、霜無日である 12月16日において3.90 kWh/m²であることがわかった。同様に日積算発電量は、霜発生日 である12月18日において0.49 kWh/m²であったのに対し、霜無日である12月16日におい て0.58 kWh/m²であることがわかった。このように、霜発生日における直達日射量および発



図 9 霜発生日および霜無日における FF





電量は必ず霜無日のそれよりも小さいとは限らないといえる。また一ヶ月~一年の期間で 考えると、霜が発生した日数は発生しなかった日に比べて少ないため、霜以外の影響の方 が強く影響することは明らかである。このことは、霧の場合と同様に、霜の発生が津山市 と同程度かそれ以下の地域では、集光式太陽光発電システムにおいて霜の影響を考慮する 必要はないことを示唆している。

5. まとめ

岡山県津山市で実施しているフィールド試験に基づき,集光式 PV システムの発電量に及 ぼす霧および霜の影響を検討した。霧発生日においては,霧により直達日射が遮られるた め,日積算発電量は霧のない晴天日より約 30%小さかった。霜発生日においては,集光レ ンズ表面に付着した霜により直達日射が遮られるため,発電電力はその影響を受けた。し かしながら,霧や霜の影響は晴天や曇天などの影響に比べて十分に小さいため,長期間の 積算発電量に対しては,霧および霜の影響はあまり大きくないことがわかった。このこと から,霧や霜の発生が津山市と同程度かそれ以下の地域では,集光式太陽光発電システム においてそれらの影響を考慮する必要はないことが示唆された。

謝辞

本研究の実施にあたり、公益財団法人 JFE21 世紀財団大学研究助成金の支援を受けた。

参考文献

- (1) S. Oke, H. Motoda, K. Yamane, Y. Kemmoku, K. Araki, "Decrease of efficiency and FF of an early-type concentrator PV module in long-term field test", 5-P-5, PVSEC-22 (2012)
- (2) Y. Kemmoku, S. Oke, K. Araki, Long-term performance estimation of a 500X concentrator photovoltaic system, ISES2011 (2011)
- (3) 元田大貴,山根啓司,桶真一郎,見目喜重,荒木建次:「初期型集光式 PV モジュール の長期フィールド試験に伴う I-V カーブの変化の検討」,平成 24 年電気学会電力・エ ネルギー部門大会講演論文集,P5 (2012)(CD-ROM)
- (4) 山根啓司, 桶真一郎, 見目喜重, 荒木建次:「初期型集光式 PV モジュールの長期フィ ールド試験に伴う発電特性の変化」, 平成 24 年電気学会全国大会講演論文集, 7-051 (2012) (CD-ROM)
- (5) S. Satomi, A. Farizul, H. Tanoue, Y. Suda, H. Takikawa, S. Oke, K. Kawashima: "Development of simple pyranometer using PV-cell array", 17th Asian Symposium on Ecotechnology, p.92 (2010)
- (6) 杉山智美, Mohd Arif Faizul, 田上英人, 須田善行, 滝川浩史, 桶真一郎, 川嶋和子:
 「温室内向け 4 センサ太陽電池アレイ日射計の試作と温度補正の検討」, 太陽エネル ギー, Vol.37, No.3, pp.55-61 (2011)