

太陽電池モジュールのI-V特性に及ぼす影の影響

Influence of Shadow on I-V Characteristic of a Photovoltaic Module

河村 一 *1
Hajime KAWAMURA

山中 三四郎 *3
Sanshiro YAMANAKA

河村 英昭 *5
Hideaki KAWAMURA

米倉 典宏 *2
Norihiro YONEKURA

大野 英之 *4
Hideyuki OHNO

内藤 克彦 *4
Katsuhiko NAITO

中 一人 *2
Kazuhito NAKA

Abstract

The authors are studying the diagnostic method for a photovoltaic (PV) power system. To develop the diagnostic method, it is necessary to investigate a loss factor for a PV module. In this paper, we investigated a shape change of I-V characteristics of a PV module, depended on the influence of shadow, and illustrated to simulate I-V characteristics of a PV module. Lastly, we represented of the possibility of the diagnostic from utilizing the shape change of the I-V characteristic.

It became clear that I-V characteristics of a PV module including with shaded PV cells are influenced by the area and quality of a shadow. These I-V characteristics were considered by utilizing the computer simulation. From these results, it was suggested that the shape change of I-V characteristics of a PV module with shaded PV cells might be caused by the shift of the avalanche breakdown voltage of shaded PV cells.

キーワード： 太陽電池モジュール、診断、損失因子、I-V特性、なだれ破壊電圧

Key Words : Photovoltaic Module, Diagnostic, Loss Factor, I-V Characteristic, Avalanche Breakdown Voltage

1. はじめに

現代社会は、膨大なエネルギーの消費により、著しい発展を遂げてきた。しかし、発展と同時に、「エネルギー資源問題」や「地球温暖化問題」など、世界規模の問題を抱え込み、21世紀中の解決に向け、国際的な取り組みがなされている¹⁾。これら問題の解決方法の一つに、二酸化炭素の排出のない、風力発電や太陽光発電などの自然エネルギーの利用が注目されている。特に、太陽光発電は、規模による効率の変動がなく、世界各国で積極的に、その普及が取り組まれている。日本においても、通商産業省（現在、経済産業省）の主導のもと、国情に適した住宅用太陽光発電システム（以下、PVシステム）の導入が進められている。

PVシステムを構成する太陽電池（以下、PV）は、

よく知られているように、天候、自然環境および設置条件など^{2,3)}に大きく左右される発電システムである。一般に、PVの出力低下を引き起こす要因としては、①建造物などの影や落ち葉などの付着による損失^{4~8)}、②PVモジュールの温度上昇による損失^{2,3,7)}、③最大出力追従制御（MPPT）ミスマッチによる損失^{6,7)}および④PVモジュールの剥離や白濁による損失^{8,9)}などが考えられる。もし、PVシステムの出力低下が起きた場合、これらの損失因子の迅速な発見と対応が必要となる。しかし、損失因子は複雑に絡み合い、PVシステムの出力特性に及ぼす影響も複雑である。現在のところ、PVの出力特性を評価する明確な診断技術は確立されておらず、出力低下が起きていても見逃していることが多い。今後、PVシステムが普及していく為には、発電性能低下診断法の確立が必要不可欠である。

*1 会員 名城大学理工学部電気電子工学科 講師 Assistant Prof., Dept. of Electrical and Electronic Eng., Meijo Univ.
(〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口一丁目501番地)

*2 学生員 名城大学大学院理工学研究科 院生 Post Graduate Student, Science and Technology, Meijo Univ.

*3 会員 名城大学理工学部電気電子工学科 助教授 Associate Prof., Dept. of Electrical and Electronic Eng., Meijo Univ.

*4 非会員 名城大学理工学部電気電子工学科 教授 Prof., Dept. of Electrical and Electronic Eng., Meijo Univ.

*5 会員 名城大学理工学部電気電子工学科 教授 Prof., Dept. of Electrical and Electronic Eng., Meijo Univ.

（原稿受付：平成12年12月28日）

筆者らは、PVシステムの損失因子の特定を含めた発電性能低下診断法の開発を検討している¹⁰⁾。これまでの筆者らの研究において、PVモジュールの発電電力が低下している場合のI-V特性の形状は、正常な場合と比較して、変形している場合が多いことを明らかにしている⁵⁾。そこで、筆者らは、I-V特性の形状変化を詳細に解析することで発電性能低下に関する情報の評価が可能であると考え、I-V特性の形状変化から発電性能低下を診断する方法について検討している。しかし、この診断法を構築する為には、様々な損失因子とI-V特性の形状変化の関係を十分に把握しておく必要がある。

本論文では、発電性能低下診断法を構築することを目的とし、まず、最も身近な損失因子である影を例にとり、影の状態とI-V特性の形状変化の関係を実験的に明らかにした。さらに、これらの結果について、なだれ破壊電圧を考慮したPVモジュールのI-V特性のシミュレーションにより検討を行った。最後に、実験および検討結果を踏まえて、I-V特性の形状変化からの発電性能低下診断法の可能性について検討を行った。

2. 実験方法

図1は、名城大学2号館屋上に設置している太陽電池モジュール計測システムの概要である。このシステムでは、PVモジュールのI-V特性をI-Vカーブトレーサー（英弘精機製 MP-123B）を用いて、それぞれ約10分間隔で、午前4時から午後8時まで自動計測を行っている。本研究では、設置方位角；南および設置傾斜角；35°の条件で設置した多結晶シリコン太陽電池モジュール（SOLAREX製 MSX-64 セル；36枚直列

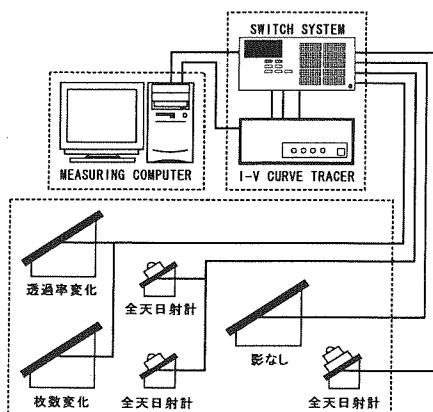
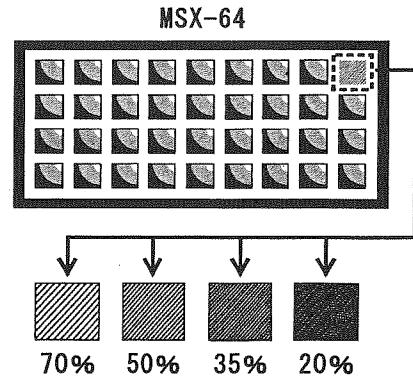


図1 太陽電池モジュール計測システム

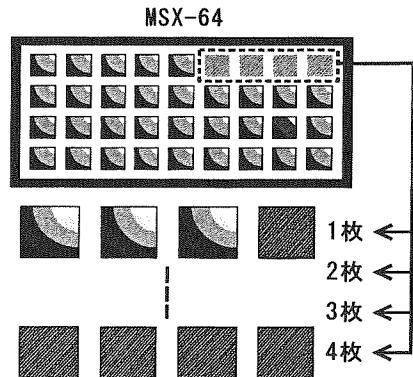
接続）の計測を行っている。また、日射強度は、PVモジュールと同条件で設置した全天日射計（英弘精機製 MS-801, MS-101）を用いて、それぞれI-V特性と同時に計測を行っている。

図2は、影の覆い方の概要である。図2(a)はPVモジュール（セル；36枚）内の1枚のセルに透過率；70, 50, 35および20%の4通りの遮光フィルムを貼り付けた場合、図2(b)は透過率；35%の遮光フィルムをPVモジュール内の1~4枚のセル全体に貼り付けた場合である。ここで、影がない場合、すなわち、通常のPVモジュールのI-V特性は、透過率；100%，また、枚数；0とし、基礎データとして比較の為に示している。また、セルの大きさに切断したアルミ板をセル全體に貼り付け、完全に遮光した場合を透過率；0%として示している。

なお、本論文における発電電力とは、I-V特性から



(a) 1枚のセルを透過率の異なる影で覆う場合



(b) 複数枚のセルを影（透過率；35%）で覆う場合

図2 影の覆い方

算出した最大出力のことを意味する。

3. 実験結果

PVモジュールの発電電力は、その一部分でも影で覆われると著しく低下することは明らかである。しかし、一概に影と云っても、太陽光を完全に遮光するものから透過率の高いものまで、さらには、セルの一部分を覆うものから複数枚のセルを覆うものまで、千差万別である。本節では、様々なパターンの影を模擬することことで、PVモジュールのI-V特性に及ぼす影の影響を明らかにする。

3.1 太陽電池モジュールのI-V特性に及ぼす日射強度の影響

図3は、影がない場合、すなわち、通常のPVモジュールの日射強度に対するI-V特性である。図から明らかなように、日射強度の低下に伴い、短絡電流は低下するが、開放電圧はほぼ一定である。さらに、I-V特性の形状は、日射強度の変化に対して、電流方向にほぼ平行移動した形状となっている。

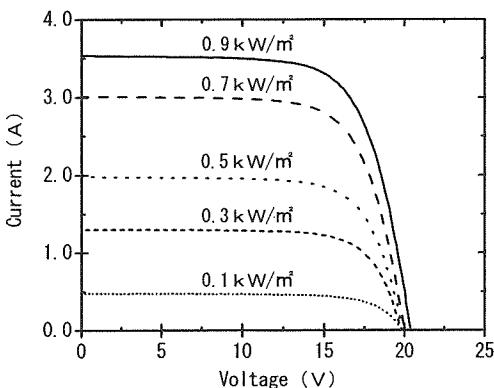


図3 影がない場合の日射強度がI-V特性に及ぼす影響

3.2 1枚のセルが影で覆われた場合の影の透過率がI-V特性に及ぼす影響

図4は、PVモジュール内の1枚のセル全体を透過率の異なる影で覆うことで得られたI-V特性である。図中のI-V特性は、日射強度；0.7 kW/m²のものである。図から明らかなように、透過率；0%の完全遮光する影で覆われても、短絡電流には15%程度の低下しか見られず、透過率の変化に対する短絡電流の低下は少ない。しかし、透過率が低い場合においては、短絡電流付近における電圧に対する電流の低下割合が著しく大きくなる。

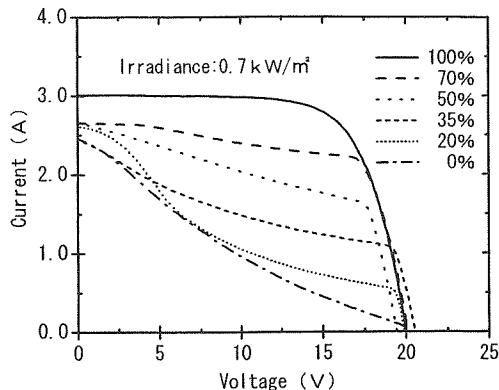


図4 セルを覆う影の透過率がI-V特性に及ぼす影響

なっている。特に、透過率；0%のI-V特性に至っては、短絡電流から開放電圧（電流；0A）まで、ほぼ直線的に電流が低下している。一方、開放電圧はほぼ一定であり、影の影響をほとんど受けていない。

3.3 複数枚のセルが影で覆われた場合の影の枚数がI-V特性に及ぼす影響

図5は、PVモジュール内の複数枚のセル全体を透過率；35%の影で覆うことで得られたI-V特性である。図中のI-V特性は、日射強度；0.7 kW/m²のものである。図から明らかなように、影で覆われるセルの枚数が増加するに伴い、短絡電流は著しく低下する。しかし、3枚以上のセルが影で覆われた場合、影で覆われたセルの枚数に関わらず、短絡電流はほぼ一定となる。さらに、I-V特性の形状もほぼ一定の形状に落ち着く。一方、開放電圧は、図4と同様、影の影響をほとんど受

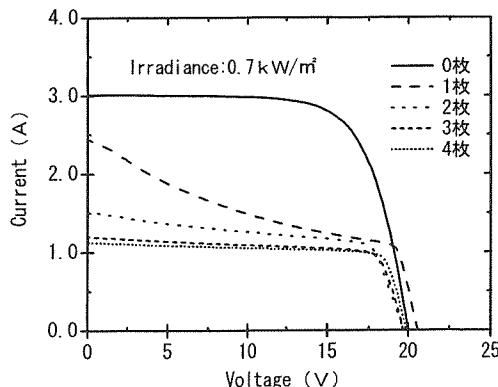


図5 影（透過率；35%）で覆われたセルの枚数がI-V特性に及ぼす影響

けていない。

3.4 部分的な影を含む太陽電池モジュールの I-V 特性に及ぼす日射強度の影響

図 6 は、PV モジュール内の影で覆われるセルの枚数が異なる場合の日射強度に対する I-V 特性である。図 6 (a) は PV モジュール内の 1 枚のセル全体を透過率 ; 35% の影で覆った場合、図 6 (b) は PV モジュール内の 3 枚のセル全体を前者と同様の影で覆った場合に得られた I-V 特性である。図 6 (a) において、日射強度が高い場合には、短絡電流付近での電圧に対する電流の低下割合が大きい。しかし、日射強度が低くなるに伴い、短絡電流付近における電圧に対する電流の低下は見られなくなり、通常の PV モジュールの I-V 特性を電流方向に平行移動した形状に近づく。これに

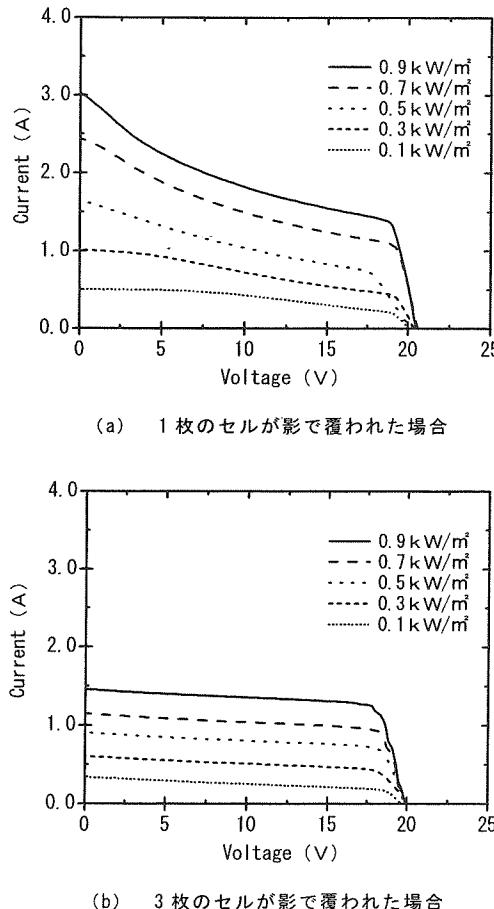


図 6 部分的な影（透過率 ; 35%）を含む場合の日射強度が I-V 特性に及ぼす影響

対して、3 枚のセルを影で覆った場合の図 6 (b) では、前者と異なり、日射強度に関わらず I-V 特性が電流方向にほぼ平行移動した形状となっている。しかし、両者ともに、短絡電流は、日射強度の低下に伴い低下している。一方、開放電圧は、図 4 と同様、影の影響をほとんど受けていない。

4. 検討および考察

4.1 部分的な影を含んだ太陽電池モジュールの I-V 特性のシミュレーション

前章において、影がない場合の PV モジュールの I-V 特性が、日射強度の変化に対して、電流方向にほぼ平行移動した形状を示すこと、また、部分的な影を含んだ場合の PV モジュールの I-V 特性が、影の状態によって、その形状が著しく変化することを明らかにした。そこで、本節では、影の影響による PV モジュールの I-V 特性の形状変化をシミュレーションによって検討する。

4.1.1 シミュレーション方法

なだれ破壊電圧を考慮した PV モジュールの I-V 特性は、 R_s ; 内部直列抵抗 = 0 [Ω] と仮定すると、下記の回路方程式によって示される¹¹⁾。

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V)}{nkT} \right) - 1 \right] \dots \dots (1)$$

$$- \frac{V}{R_{sh}} - a \frac{V}{m} \left(1 - \frac{V}{V_{br}} \right)^{-nn}$$

ここで、 I ; 電流[A], I_{ph} ; 光電流[A] (= 4.00), I_0 ; 暗電流[A] (= 2.00×10^{-5}), q ; 素電荷量[C] (= 1.60×10^{-19}), V ; 電圧[V], m ; セルの枚数[枚] (= 36), n ; ダイオード因子 = 1.97, k ; ボルツマン定数 [J/K] (= 1.38×10^{-23}), T ; 絶対温度[K] (= 25+273 = 298), R_{sh} ; シヤント抵抗[Ω] (= 32.9), a ; 定数 (= 2.1×10^{-3}), V_{br} ; セルの破壊電圧[V] (= -26.5) および nn ; 定数 (= 2) である。また、今回のシミュレーションには、() 内の数値を用いた^{12,13)}。

一般に、(1) 式中の I_{ph} は、日射強度と比例関係にある。また、PV モジュール全体が影で覆われた場合、PV モジュールに到達する日射強度が低下したものと

して考えることができる。したがって、影で覆われた場合や日射強度が低下した場合の I_{ph} は、下記の方程式によって示される¹⁴⁾。

$$I_{ph} = I_{ph(=1000)} \times \frac{Irr}{1000} \times \frac{\beta}{100} \dots \dots \dots (2)$$

ただし、 $I_{ph(=1000)}$ ；標準状態の光電流[A]、 I_{rr} ；日射強度[W/m²]および β ；遮光フィルムの透過率[%]である。

また、部分的に影で覆われた PV モジュールの等価回路は、影で覆われたセルと残りの影のないセルの直列接続として考えることができる（セルが直列接続の場合）^{12,15)}。したがって、(1) 式の回路方程式は、下記の 4 式によって示される。

$$V = V_1 + V_2 \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (4)$$

$$I_1 = I_{ph1} - I_0 \left[\exp\left\{q\frac{\left(\frac{V_1}{m_1}\right)}{nkT}\right\} - 1 \right] \cdot \cdot \cdot (5)$$

$$-\frac{\frac{V_1}{m_1}}{R_{sh}} - a \frac{V_1}{m_1} \left(1 - \frac{\frac{V_1}{m_1}}{V_{br}}\right)^{-nn}$$

$$I_2 = I_{ph2} - I_0 \left[\exp \left\{ q \left(\frac{\frac{V_2}{m_2}}{nkT} \right) \right\} - 1 \right] \dots \quad (6)$$

$$-\frac{\frac{V_2}{m_2}}{R_{sh}} - a \frac{V_2}{m_2} \left(1 - \frac{m_2}{V_{br}} \right)^{-nn}$$

ここで、 I_1 ；影のないセルの電流[A]、 I_{ph1} ；影のないセルの光電流[A]、 V_1 ；影のないセルの電圧[V]、 m_1 ；影のないセルの枚数[枚]、 I_2 ；影で覆われたセルの電流[A]、 I_{ph2} ；影で覆われたセルの光電流[A]、 V_2 ；影で覆われたセルの電圧[V]および m_2 ；影で覆われたセルの枚数[枚]（＝ $36 - m_1$ ）である。

したがって、部分的に影で覆われた PV モジュールの I-V 特性は、上記の 4 式を解くことで求まる。しか

し、上記の方程式は、解析的に解くことができないので、Newton-Raphson 法によって求める必要がある。以下に、部分的に影で覆われた PV モジュールの I-V 特性について解析を行う。

4.1.2 太陽電池モジュール内の1枚のセル全体が影で覆われた場合のI-V特性の形状変化

図7は、36枚のセル内の1枚のみが透過率の異なる影で覆われた場合のI-V特性をシミュレーションしたものである。図7(a)は透過率が高い場合、図7(b)は透過率が低い場合のI-V特性である。図中のシミュレーションは、日射強度: 1.0 kW/m^2 のものである。図から明らかのように、影がないセルのI-V特性(図中の一点鎖線)には、第二象限において、なだれ破壊電圧に起因する電流急増領域(太陽電池の逆電圧特性⁴⁾)

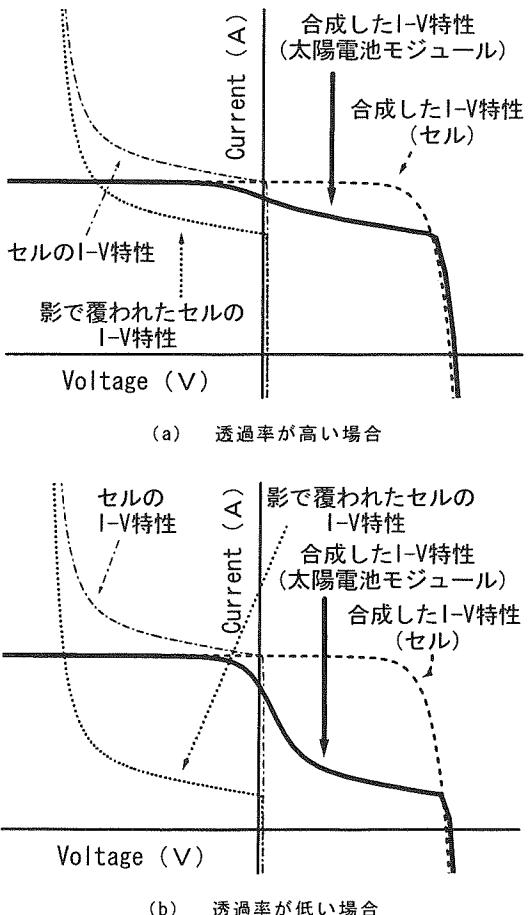


図 7 影で覆われた 1 枚のセルを含む太陽電池モジュールの I-V 特性のシミュレーション

が存在する。ここで、影がない 35 枚のセルについて合成した I-V 特性（図中の破線）は、そのセルの枚数分、なだれ破壊電圧も大きくなる為、この図中には現れてこない。一方、1 枚のセルが影で覆われた場合の I-V 特性（図中の点線）は、そのセルに到達する日射強度が低下するものとして考えることができる為、図 3 の実験結果のように、I-V 特性を電流方向に平行移動した形状となる。したがって、部分的に影で覆われた PV モジュールの I-V 特性（図中の実線）は、影で覆われた 1 枚のセルの I-V 特性と残りの影のない 35 枚のセルの I-V 特性を電圧方向に合成することで求まる（セルが直列接続の場合）^{12,15)}。したがって、図 4 の実験結果で見られた短絡電流付近の電圧に対する電流の低下領域は、影で覆われたセルのなだれ破壊電圧の影響であることが示唆される。

4.1.3 太陽電池モジュール内の複数枚のセル全体が影で覆われた場合の I-V 特性の形状変化

図 8 は、36 枚のセル内の 3 枚が影で覆われた場合の I-V 特性をシミュレーションしたものである。図中のシミュレーションは、日射強度；1.0 k W/m² のものである。図から明らかなように、3 枚のセルが影で覆われた PV モジュールの I-V 特性（図中の実線）は、図 7 に見られたように、短絡電流付近での電圧に対する電流の低下領域が第一象限には存在せず、その低下領域が第二象限の負の電圧方向に移動した形状を示している。これは、影で覆われたセルの枚数の増加分、合成した I-V 特性（図中の点線）のなだれ破壊電圧が大きくなる為である。したがって、PV モジュールの電流急増領域は、影で覆われたセル分のなだれ破壊電圧； V_{br} と PV モジュールの開放電圧； V_{oc} の絶対値の大小

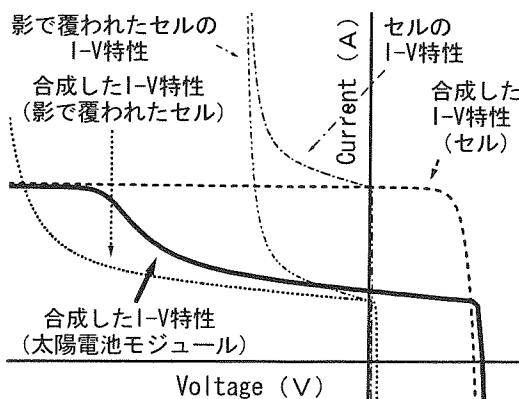
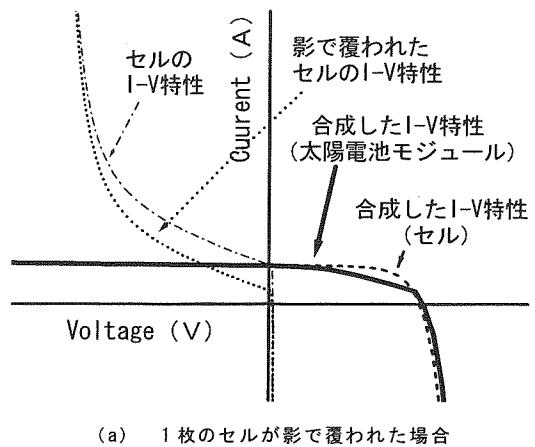


図 8 影で覆われた 3 枚のセルを含む太陽電池モジュールの I-V 特性のシミュレーション

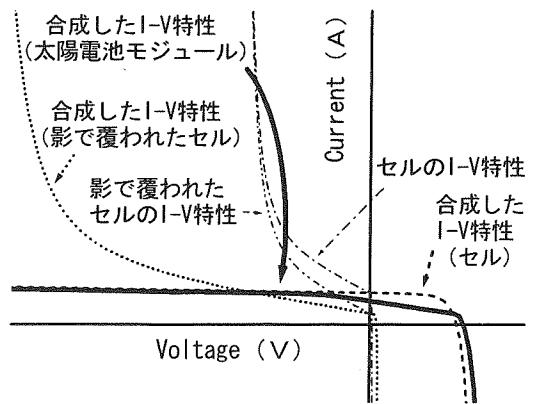
関係で決定されることになる。図 5 の実験結果において、影で覆われたセルが 1 枚の場合には、 V_{br} (=|-26.5| V) と V_{oc} (=|20.0| V) が近い値である為、短絡電流付近に電圧に対する電流の低下領域が第一象限に存在していることを示唆している。一方、影で覆われたセルが 2 枚以上の場合は、 V_{br} (=|-26.5| × 2 = |-53.0| V) が V_{oc} (=|20.0| V) より大きい値である為、電流の低下領域は第二象限に移行することが示唆される。

4.1.4 部分的な影を含んだ太陽電池モジュールの日射強度に対する I-V 特性の形状変化

図 9 は、部分的な影（透過率；35%）を含む PV モジュールの日射強度が低い場合の I-V 特性をシミュレーションしたものである。図中のシミュレーションは、日射強度；0.1 k W/m² のものである。図 9 (a) は 36 枚



(a) 1 枚のセルが影で覆われた場合



(b) 3 枚のセルが影で覆われた場合

図 9 部分的な影を含む太陽電池モジュールの日射強度が低い場合の I-V 特性のシミュレーション

のセル内の1枚のみが影で覆われた場合、図9(b)は36枚のセル内の3枚が影で覆われた場合のI-V特性である。セルに到達する日射強度が低い為、1枚のセルのI-V特性は、影の存在に関わらず、光电流が低下し、電流方向にほぼ平行移動した形状となる。また、影のない1枚のセルと影で覆われた1枚のセルでの光电流の差は、図7(b)と比較すると、明らかに小さい。したがって、PVモジュールのI-V特性の合成は、なだれ破壊電圧に起因する電流急増領域の増加の少ない部分で行われることになる。この結果、日射強度が低い場合のI-V特性は、影の状態や覆われるセルの枚数に関係なく、なだれ破壊電圧の影響が小さく、電流方向に平行移動した形状となる。これらの結果より、図6の日射強度が低い場合(日射強度: 0.1 kW/m²)の実験結果の説明が可能である。

4.2 I-V特性の形状変化からの発電性能低下診断法と 太陽電池モジュール内の影の推定

前節において、部分的な影を含むPVモジュールのI-V特性の形状変化と影の状態との関係を実験的に明らかにし、さらに、それら部分的な影を含んだPVモジュールのI-V特性をシミュレーションすることにより検討を行った。本節では、I-V特性の形状変化から発電性能低下診断法について検討を行う。

図10は、図4の1枚のセルが影(透過率: 35%)で覆われた場合のI-V特性を抽出したものである。図から明らかなように、I-V特性の形状には、開放電圧付近に折れ曲がり点が存在している。この折れ曲がり点の電流; I_{SC2} は、図7から明らかなように、影で覆われたセルの短絡電流にほぼ相当している⁸⁾。また、PVモジュールの短絡電流は、日射強度とほぼ比例関係にある⁹⁾。したがって、影のないPVモジュールの短絡

電流; I_{SC1} と前者の折れ曲がり点の電流; I_{SC2} との電流比; I_{SC2}/I_{SC1} から影で覆われたセルに到達する日射強度の割合、すなわち、透過率が推定できる。ここで、影がないPVモジュールの短絡電流; I_{SC1} は、日射強度とPVの裏面温度より容易に推定が可能であり、次式によって示される。

$$I_{SC1} = I_{SC} I_{rr} + \alpha T \dots \dots \dots \quad (7)$$

ここで、 I_{SC1} ; 推定した短絡電流[A], I_{SC} ; 基準状態の短絡電流[A](=4.00), I_{rr} ; 日射強度[kW/m²], α ; 温度係数[A/°C](=0.003)およびT; PVの裏面温度[°C]である。また、今回の計算には、()内の数值を用いた¹³⁾。

図11は、図4, 5の実験結果について、 I_{SC1} と I_{SC2} を求め、PVモジュール内の影の状態と I_{SC2}/I_{SC1} の関係について解析した結果である。ここで、どちらの図中の破線も、透過率と電流比の理論的相関性、すなわち、電流比; I_{SC2}/I_{SC1} が影で覆われたセルに到達する日射強度の割合(透過率)に相当することから、透過率と電流比の同じ値を直線で結んだものである。図11(a)は図4のセルを覆う影の透過率が変化した場合について影の透過率と電流比の関係、図11(b)は図5の影(透過率: 35%)で覆うセルの枚数を変化した場合について影で覆われるセルの枚数と電流比の関係を示したものである。図11(a)から明らかなように、透過率と電流比の関係は理論値とほぼ等しく、電流比が透過率の増加とともに比例して大きくなることを示している。一方、図11(b)から明らかなように、影で覆われるセルの枚数に関わらず、電流比がほぼ一定の値を示している。したがって、この電流比; I_{SC2}/I_{SC1} は、PVモジュール内の影の透過率を推定する指標となりうることを示唆している。

しかし、実際の設置条件を考えた場合、PVモジュール内の1枚のセルのみが影で覆われるのはごく稀である。PVモジュール内の複数枚のセルが影で覆われ、しかも、セルに到達する日射強度に分布がある場合が一般的であると考えられる。図12は、PVモジュール内の2枚のセルが透過率の異なる影で覆われた場合のI-V特性をシミュレーションしたものである。この場合、I-V特性の形状には、2箇所に折れ曲がり点が存在する。したがって、折れ曲がり点の電流をそれぞれ I_{SC2} と I_{SC3} とし、それぞれの電流比; I_{SC2}/I_{SC1} と I_{SC3}/I_{SC1} を評価することで、図10と同様の方法で、セルに到達している日射強度の推定、すなわち、影の透過率を推定することが可能となる。

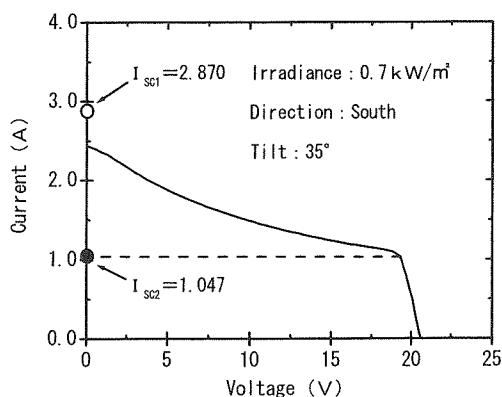
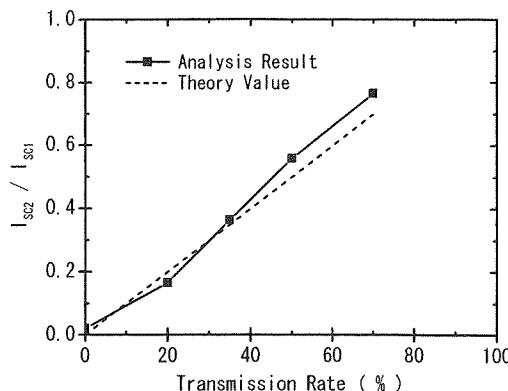
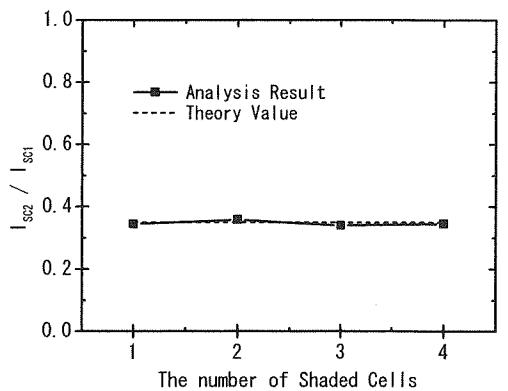


図10 I-V特性の形状変化からの影の解析方法



(a) セルを覆う影の透過率を変化



(b) 影（透過率；35%）で覆うセルの枚数を変化

図 11 I-V 特性の形状変化からの影の解析結果

実際の PV システムは、複数枚の PV モジュールを直並列接続した PV アレイで構成されている。したがって、先の解析方法を実際の PV システムに適用する為には、PV アレイの I-V 特性の形状変化について検討する必要がある。図 13 は、バイパスダイオードが並列接続された PV モジュールを 2 直列接続した PV サブアレイの I-V 特性である。ただし、一方の PV モジュールは、影（透過率；35%）で覆われた 1 枚のセルを含んでいる。図から明らかなように、PV サブアレイの I-V 特性は、電圧；15V 付近に電流急減領域が存在している。また、電圧；15V 以上の領域に生じている I-V 特性の形状変化は、図 4 の部分的な影を含んだ PV モジュールの I-V 特性と類似した形状を示している。これは、PV サブアレイの I-V 特性が、バイパスダイオード単位、すなわち、クラスター単位の I-V 特性の合

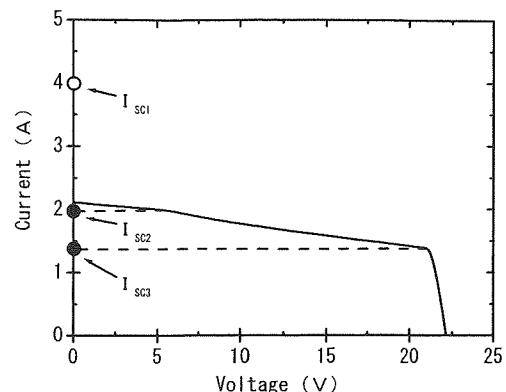


図 12 複数個の折れ曲り点が存在する場合の I-V 特性のシミュレーションと影の解析方法

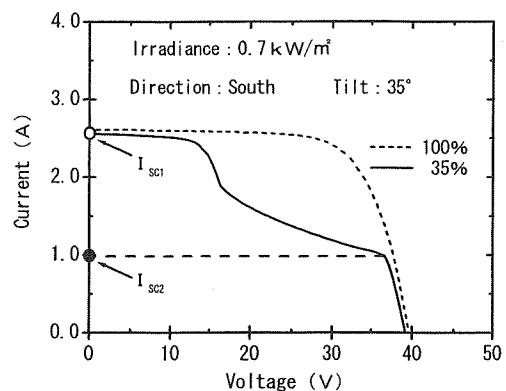


図 13 部分的に影（透過率；35%）を含んだ 2 直列の太陽電池サブアレイの I-V 特性

成であることを示している¹⁶⁾。したがって、図 10 と同様の方法で、電流比； I_{SC2}/I_{SC1} を評価することで、セルに到達している日射強度の推定、すなわち、影の透過率の推定が可能であると考えられる。

以上の結果より、I-V 特性の形状変化の特徴をつかみ定量化することで、セルに到達する日射強度の割合（透過率）の推定が可能である。

5.まとめ

本研究は、I-V 特性の形状変化から発電性能低下診断法を構築することを目的とし、最も身近な損失因子である影を例にとり、PV モジュールに部分的な影を模擬して I-V 特性の形状変化を実験的に明らかにした。以下に、これらの結果を要約する。

- ① 部分的に影で覆われた PV モジュールの I-V 特性は、その影の状態（影の透過率や大きさなど）に応じて、著しく変化することが明らかとなった。
- ② 部分的に影で覆われた PV モジュールの I-V 特性は、影で覆われたセルの枚数によって、形状変化が異なることが明らかとなった。

実験により得られた部分的に影で覆われた PV モジュールの I-V 特性の形状変化をシミュレーションにより定性的に説明した。以下に、これらの結果を要約する。

- ① PV モジュールの I-V 特性の形状変化は、影で覆われたセルのなだれ破壊電圧に起因する電流急増領域の影響であることが明らかとなった。
- ② 影で覆われたセルの枚数分のなだれ破壊電圧と PV モジュールの開放電圧の大小関係により、影の影響の現れる場所が異なることが明らかとなった。

I-V 特性の形状変化は、その損失因子の数だけ千差万別に存在する。そこで、発電性能低下診断法を構築する為に、I-V 特性の形状変化を定量化する指標について検討を行った。その結果、影のない場合の短絡電流と影で覆われたセルの短絡電流の電流比に注目し、その値がセルに到達する日射強度の割合（透過率）に対応していることから、発電性能低下を引き起こす損失因子を特定する指標となりうることが示唆された。

今後、様々な損失因子に基づく I-V 特性の形状変化を検討し、I-V 特性を合理的に定量化する指標を検討するとともに、損失因子の特定を含めた発電性能低下診断法の構築を進める予定である。

謝辞

この研究の一部は、名城大学学術研究助成によって行われたことを付記し、関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) [特集] 地球温暖化問題と京都メカニズム、エネルギー・資源、VOL.21-NO.2, pp.18-62 (2000-3).
- 2) 山下裕介・谷辰夫、日本各地における環境因子を考慮した太陽光発電システム出力、電気学会論文誌 B 電力・エネルギー部門誌、Vol.199-5, pp.550-557 (1999-5).
- 3) 中村洋之・杉浦忠敏・山田隆夫・作田宏一・黒川浩助、多姿勢設置された太陽電池モジュールの発電特性評価、太陽/風力エネルギー講演論文集、17, pp.61-64 (1999-11).
- 4) 渡辺尚央・平形政樹・亀澤友哉・清水敏久・木村軍司、部分的な陰を含んだ太陽電池の発電特性に関する検討、平成九年電気学会全国大会講演論文集、4-910, pp.203-204 (1997-3).
- 5) 米倉典宏・小島厚・浅野克憲・山中三四郎・河村一・大野英之・河村英昭・内藤克彦、太陽電池モジュールの発電電力に及ぼす影の影響、太陽/風力エネルギー講演論文集、6, pp.21-24 (1999-11).
- 6) 大谷謙仁・作田宏一・加藤和彦・杉浦忠敏・内田奈輔・山口智彦・黒川浩助、住宅用太陽光発電システムの運転特性評価、電気学会研究会資料新エネルギー・環境研究会、FTE-00-5, pp.27-35 (2000-3).
- 7) 杉山尚・内田奈輔・大谷謙仁・津田泉・作田宏一・坂本清・大城壽光・黒川浩助、フィールドテストデータからの地域発電特性の解析方法、太陽/風力エネルギー講演論文集、4, pp.13-16 (1997-11).
- 8) 守田賢吾・菱川善博・阪本貞夫・大城壽光、結晶系太陽電池モジュールの屋外暴露による外観変化と出力低下の関係、太陽/風力エネルギー講演論文集、76, pp.287-290 (2000-11).
- 9) 阪本貞夫・守田賢吾・菱川善博・大城壽光、結晶系太陽電池モジュール長期屋外暴露試験における経年変化現象の解析、平成 13 年度電気学会全国大会講演論文集、7-157, pp.3050-3051 (2001-3).
- 10) 河村一・山中三四郎・浅野克憲・小島厚・大野英之・河村英昭・内藤克彦、太陽電池の影による発電能力低下診断に関する研究、電気学会論文誌 B 電力・エネルギー部門誌、Vol.120-10, pp.1323-1329 (2000-10).
- 11) VOLKER QUASCHNING and ROLF HANITSCH, NUMERICAL SIMULATION OF CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS WITH SHADED SOLAR CELLS, SOLAR ENERGY, VOLUME 56-NUMBER 6, pp.513-520 (JUNE 1996).
- 12) 中一人・米倉典宏・河村一・山中三四郎・大野英之・河村英昭・内藤克彦、影をつけた太陽電池モジュールの日射強度-曲線因子シミュレーション、平成 13 年度電気学会全国大会講演論文集、7-148, p.3037 (2001-3).
- 13) 黒川浩助・若松清司 共編、太陽光発電システム設計ガイドブック、p.197、オーム社、東京 (1994).
- 14) 山下裕介・谷辰夫、環境因子を考慮した太陽電池モジュールの出力計算法、太陽エネルギー、Vol.23-No.3, pp.54-61 (1997-5).
- 15) 松川洋・塩谷正樹・山田隆夫・杉浦忠敏・黒川浩助、建設設計のための太陽電池アレイシミュレーション手法に関する検討～I-V カーブ合成法の検討と単セルモジュールを用いたアレイ実験による日陰損失の分析～、太陽/風力エネルギー講演論文集、16, pp.57-60 (1999-11).
- 16) 米倉典宏・中一人・河村一・山中三四郎・大野英之・河村英昭・内藤克彦、部分的に影で覆われた太陽電池サブアレイの I-V 特性、平成 13 年度電気学会全国大会講演論文集、7-147, p.3036 (2001-3).