

建物条件の不均一が太陽光発電システムの発電特性に及ぼす影響評価

Power Generation Characteristics of a Photovoltaic (PV) System in Inhomogeneous Building Conditions

塩谷 正樹 伊藤 正 松川 洋¹⁾
黒川 浩助²⁾ 杉浦 忠敬³⁾

要 約

縮小モデル実験と「I-Vカーブ重ね合わせ法」を用いたシミュレーションを行い、不均一な建築条件が太陽光発電システムの発電特性に及ぼす影響を評価した。部分日陰が太陽電池アレイに生じる場合、同一ストリングスでは日陰面積に比例して出力が低下するが、複数のストリングスに横断して生じる場合は出力の低下が著しく、太陽電池アレイの結線に際して留意が必要である。また、異傾斜角・異方位角が混在する場合、アレイの結線方法による発電量を、傾斜角・方位角別の設置した単独アレイの発電量合計値と比較した結果、並列接続では、1～3%程度の低減に留まるが、直列接続では大きく発電量が低下する。

目 次

- I. はじめに
- II. 部分日陰が発電特性に及ぼす影響評価
- III. 異方位角・異傾斜角の混在が発電特性に及ぼす影響評価
- IV. おわりに

I. はじめに

近年、太陽光発電システムの建築的利用の多様化に伴い、太陽電池アレイの一部に日陰が生じたり、同一システム内で複数の異なる傾斜角や方位角を持つなど、複雑な形状の太陽光発電システムがたびたび見られるようになった。このようなシステムでは、建築条件により発電特性に不均一が生じ、太陽電池アレイ内の個々のモジュールの出力が異なるため、モジュールの配線方法によっては発電特性が大きく低下する。本報では、実システムと電気的に等価な縮小モデル実験と簡易的な「I-Vカーブの重ね合わせ法」¹⁾を用いたシミュレーションを行い、建築条件の不均一が発電特性に及ぼす影響を評価した結果について報告する。

II. 部分日陰が発電特性に及ぼす影響評価

1. 縮小モデル実験の概要

(1) 実験目的

太陽光発電システムの出力特性を把握するには、実際のシステムを測定するのが最も妥当である。しかし、日陰などの影響による特性の測定、あるいは配線による影響を評価するには、実在するシステムでは困難な点が多く、再現性が乏しい。そこで、本報では、Photo 1に示すように、実際のシステムと電気的に等価な小型モジュール(以下「2分割セルモジュール」)を用いた太陽電池アレイの縮小モデルを作成し実験を行った。

(2) 縮小モデルの基本構成

アレイの基本構成は、モジュール4直列2並列とした。Photo 2に、測定に用いたモジュールの外観を示す。本モジュールは、1枚のセルを2分割し、直列接続した太陽電池である。これは、同一面積で2倍の電圧を得るためである。低電圧の場合、相対的にダイオードの損失が大きくなるため、少しでも高い電圧が必要となる。Table 1に2分割セルモジュールの定格を示す。

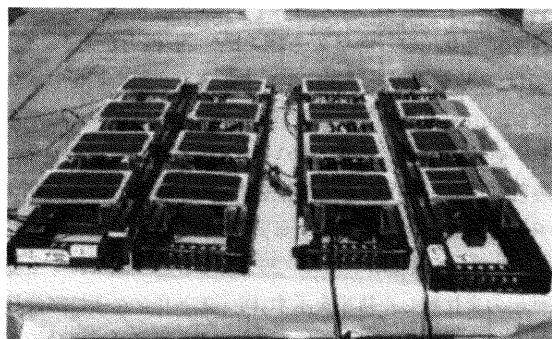


Photo 1 実験装置外観
(Miniature PV Array)

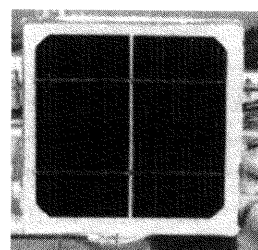


Photo 2 2分割セルモジュール外観
(PV Cell Module Divided into Two)

Table 1 2分割セルモジュールの定格
(Rated Values of PV Module)

短絡電流	1.2[V]
開放電圧	1.95[V]
最大電力	1.65[W]
最適動作電圧	0.95[V]
最適動作電流	1.75[A]
直列抵抗	0.08[Ω]
曲線補正因子	0.001[Ω/°C]
電流の温度係数	0.001[A/°C]
電圧の温度係数	-0.004[V/°C]

- 1) 東京農工大学工学研究科博士前期課程
- 2) 東京農工大学工学部電気電子工学科 教授・工博
- 3) 財団法人日本品質保証機構ソーラテクノセンター

キーワード：太陽光発電， 発電特性， 縮小モデル，
I-Vカーブ重ね合わせ法， 部分日陰， 異傾斜角，
異傾斜角

(3) 計測システム

各モジュールには熱電対が装着されており、マルチレコーダで全ての2分割モジュールの温度及び外気温度を測定することが可能である。また、セル測定用の電子負荷式I-Vカーブトレーサを用い、各アレイの出力特性を測定できる。日射強度は、サーモパイル型日射計(EKO MS-801)で計測した。I-Vカーブトレーサの制御はパソコンにより行っている。さらに、配線の変更やバイパスダイオード及びブロッキングダイオードの挿入も容易にできる構造になっている。Fig.1に実験装置を示す。Photo 1のようにアルミカバーでセルを覆うことで、数々の日陰パターンを模擬している。

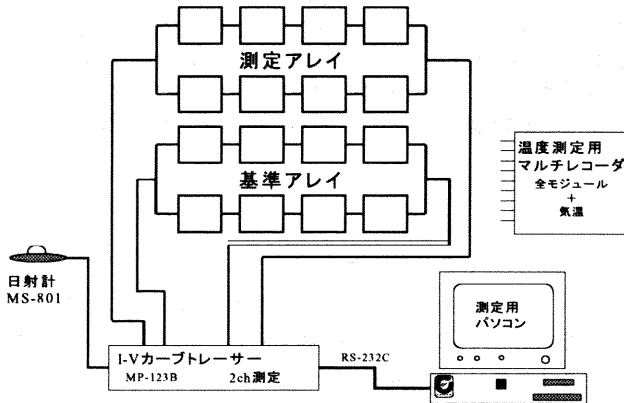


Fig.1 計測システム
(Measuring System)

2. 実験結果

太陽電池はアレイの日陰パターンによって、出力が大きく変わる。本実験では、2分割セルモジュールをアルミカバーで被覆し、全影と見なして、Table 1に示す15種類の日陰パターンについて測定を行った。アレイ面積に対するアルミカバーの面積の割合を「被覆率」と定義し、被覆率とアレイ出力比の関係を表した結果をFig.3に示す。図中の対角線を大きく下回った場合は、被覆率に対して出力が小さい事を示す。Fig.4に、被覆率が同一(25%)で日陰位置の異なる場合の太陽電池出力を比較した結果を示す。同ースtringsに部分日陰が生じた場合は、日陰面積に比例して出力が低下するが、複数のstringに横断して生じる場合は出力の低下が著しく、太陽電池アレイの結線に際して留意が必要である。

3. シミュレーション

(1) 手法の概要

本稿では、太陽電池モジュールの電流電圧特性(I-V特性)を簡易的に求めることができる「I-Vカーブの重ね合わせ法」を用いた。本手法は、東京農工大黒川らが開発した手法で¹⁾、モジュールの標準状態(日射強度1kW/m²、モジュール温度25℃)のI-Vカーブを、日射強度、モジュール温度で補正して算出する。各モジュール毎に得られるI-Vカーブを、太陽電池モジュールの直並列に従って合成していく。また、電圧の不均一による破損から太陽電池を保護するために挿入されるバイパスダイオードや逆流防止ダイオード特性も考慮することが可能である。この手法は、回路構成に従ったI-Vカーブの重ね合わせを行うだけなので、比較的簡便かつ高速に計算できる。

Table 2 太陽電池アレイの日陰パターン
(Partial Shadowing Patterns)

No.	アレイ被覆率 [%]	セル被覆パターン	string被覆パターン	逆流防止ダイオード
1	12.5	C1	S1	有
2	25	C1	S1	有
3	37.5	C1	S2	有
4	50	C1	S2	有
5	25	C1	S2	有
6	25	C2	S1	有
7	75	C2	S2	有
8	50	C2	S2	有
9	50	C2	S2	無
10	25	C2	S1	無
11	75	C2	S2	無
12	37.5	C1	S2	無
13	25	C1	S1	無
14	25	C1	S2	無
15	12.5	C1	S1	無

セル被覆パターン

C1: セルの左半分を被覆



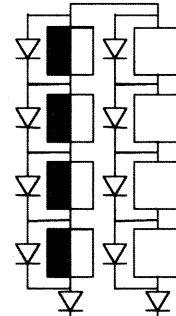
C2: セル全面を被覆



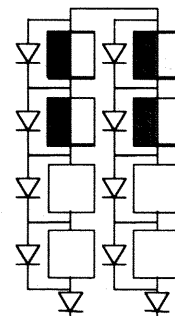
string被覆パターン

S1: 同ースtringsを被覆

S2: 2つのstringを被覆

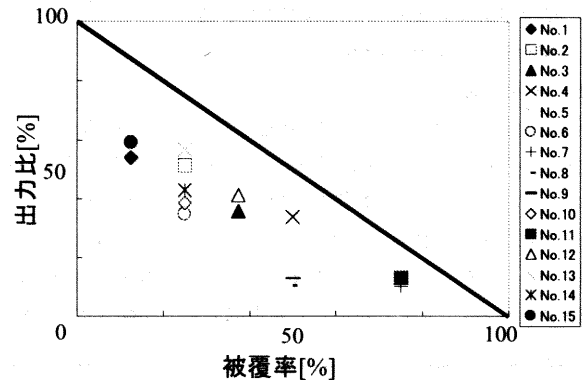


[CASE2]



[CASE5]

Fig.2 代表的な実験ケースのアレイ日陰パターン
(Partial Shadowing Patterns of Typical Experimental Cases)



ここで、出力比=各パターンの P_{max} /基準とした状態の P_{max}

Fig.3 日陰パターンと太陽電池アレイ出力の関係
(Relationship between Partial Shadow Patterns and PV Power)

(2) 実測値による精度検証

Fig.5に実測値とシミュレーションの比較及び測定回路を示す。測定回路は、2分割セルモジュールのうち2枚をそれぞれ半分陰としたものである。なお、影は全影で2分割セルモジュール内にある2枚のセルを横断する形でかけたものである。グラフからも分かるが、最大電力点における誤差率が0.3%程度であり、精度の高いシミュレーションであると言える。

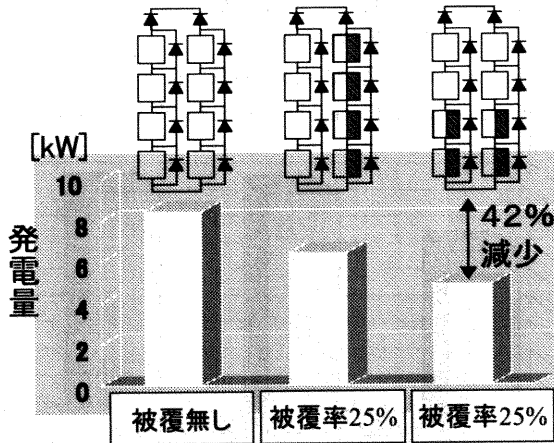


Fig.4 日陰位置による出力比較 *被覆率 25%
(Comparison of PV power Outputs among 3 Shadow Patterns)

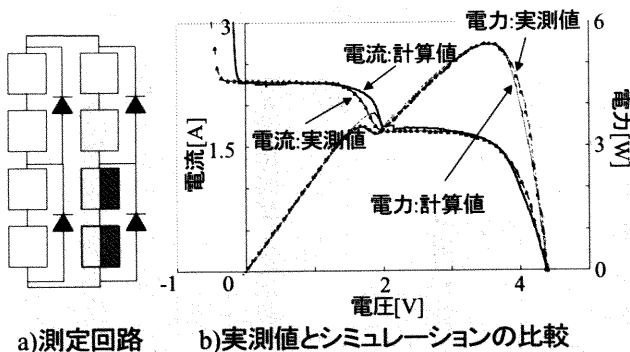


Fig.5 実測値とシミュレーション結果の比較
(Comparison between Measured and Simulated values)

Ⅲ. 異方位角・異傾斜角の混在が発電特性に及ぼす影響

1. 実験概要

(1) 実験装置概要

本実験では、前述の2分割セルモジュールを用いた太陽電池アレイの縮小モデルを利用し実験を行った。Photo 3に実験装置の外観を示す。本装置は、太陽電池アレイの結線による発電量への影響を評価するため、直列アレイ（モジュール8直列）と傾斜角・方位角別に設置した単独アレイ（モジュール4直列）から構成されている。計測システムは前述のものを利用したが、日射強度は、傾斜角・方位角別に測定した。

(2) 実験ケース

異傾斜角の混在実験では、傾斜角90°（方位角0°）の正南面垂直アレイ（以下、基準アレイ）を基準とし、これに傾斜角度を4種類設定した傾斜面アレイを直列接続した。また、異方位角の混在実験で

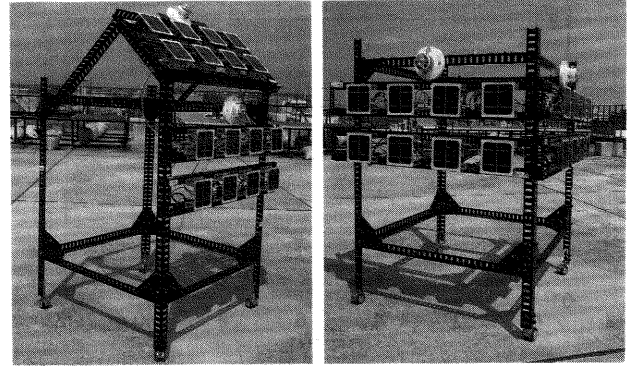


Photo 3 異傾斜角・異方位角実験装置外観
(Miniature Model with Differently Inclined and Oriented PV Arrays)

Table 3 実験ケース

(Experimental Cases)

CASE A: 異傾斜角アレイの混在 *方位角=0°		
	[アレイ1]	[アレイ2]
A-1	傾斜角 90° (垂直)	傾斜角 0° (水平)
A-2	同	傾斜角 30°
A-3	同	傾斜角 60°
A-4	同	傾斜角 90° (垂直)
CASE B: 異方位角アレイの混在 *傾斜角=90°		
	[アレイ1]	[アレイ2]
B-1	方位角 = 0° (真南)	方位角 = 90° (真東)
B-2	同	方位角 = -90° (真西)

は、基準アレイに真東面及び真西面アレイをそれぞれ直列接続した。Table 3に実験ケースを示す。

2. 実験結果

Fig.6,7にそれぞれ2つの異傾斜角アレイ及び異方位角アレイを直列接続（8直列）した場合の代表的な電流-電圧特性（以下、「I-Vカーブ特性」）を示す。両ケースとも、2つのアレイの発電特性が異なるため、直列接続するとI-Vカーブに段差が生じ、最大出力の損失が生じる。このような場合は、発電特性の低いアレイの影響を受け、アレイ全体として発電量が低下する。

3. シミュレーション

(1) 異傾斜角の混在が発電量に及ぼす影響

Fig.8に、垂直面アレイに接続するアレイの傾斜角度を、Table 2に示した4通りに変化した場合の発電量（時間平均値）を、アレイの結線方法で比較した結果を示す。並列接続（4直列）した場合、太陽電池アレイの傾斜角度の影響は小さく、傾斜角度別に設置した2枚の単独アレイの発電量の合計値と比較して、1～3%程度の低減にとどまっている。一方、直列接続（8直列）の場合、並列接続の場合よりも発電量の低下は大きい。結線しない単独アレイの発電量の合計値と比較すると、傾斜角90°、0°、60°、30°の順に、それぞれ0.4%、5%、9%、11%程度低減する。これは、この順に垂直面アレイの発電特性との差異が大きい事を示している。なお、今回シミュレーションは、計測日の特定の時刻における発電特性を比較評価したもので、今後、年間発電シミュレーションによる評価が必要である。

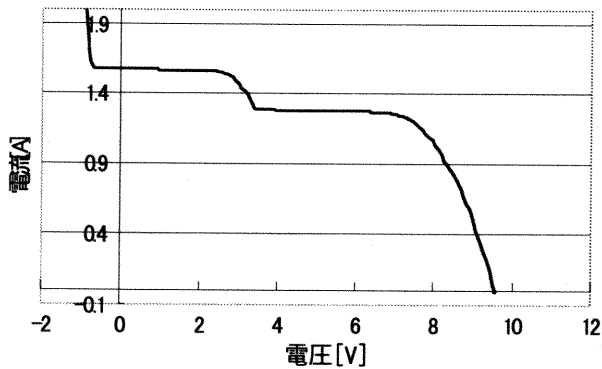


Fig. 6 異傾斜角の混在する太陽電池アレイの発電特性

*CASE A-1: 測定時刻 2000 年 3 月 12:44 傾斜面日射強度 0.912kW、
モジュール温度 24.5℃

(Power Generation Characteristics of Differently Inclined PV)

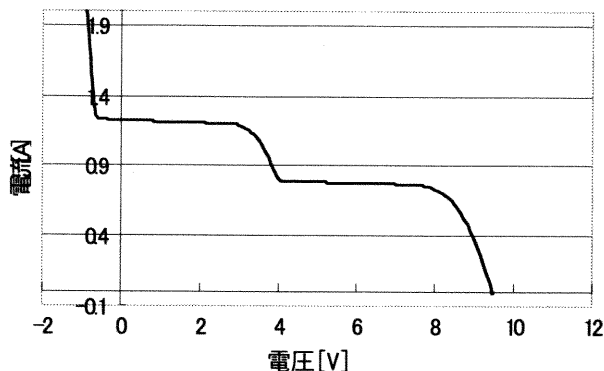


Fig. 7 異方位角の混在する太陽電池アレイの発電特性

(CASE B-2: 測定時刻 2000 年 3 月 13:59

南面垂直面日射強度 0.673kW、モジュール温度 23.9℃)

(Power Generation Characteristics of Differently Inclined PV)

(2) 異方位角の混在が発電量に及ぼす影響

Fig. 9 及び Fig. 10 に、それぞれ異方位角アレイを直列接続した場合、並列接続した場合の発電量（時間積算値）と方位角別に設置した単独アレイの合計値を比較した結果を示す。並列接続の場合、発電量の低減は、南面-東面、南面-西面の両ケース共、1%程度と僅かである。一方、直列接続した場合は、南面-東面のケースでは約 24%と低減が大きい。これは、南中時以降は南面アレイの陰が東面アレイ面に生じ、東面アレイの発電特性が大幅に低下して直列アレイの発電特性が不均一となり、アレイ全体の発電量が低減するためである。南面-西面の場合は、日陰の影響が小さく、10%程度の低減であった。

以上の結果から、通常太陽電池アレイは、インバータの最適動作電圧確保の点から直列接続される事例が多いが、建築的条件により発電特性が大きく異なる太陽電池アレイを結線する場合、並列接続とする事が望ましい。

IV. おわりに

本研究により、種々の建築条件下で生じる発電特性の不均一を考慮した太陽電池アレイの結線方法に関し基礎的な知見が得られた。今後、年間シミュレーションによる発電特性の評価を行ってみたい。

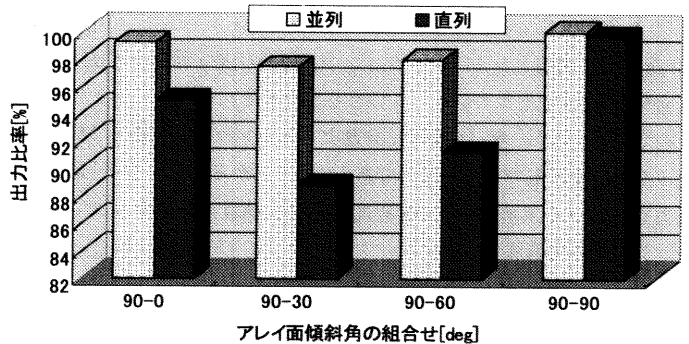


Fig. 8 異傾斜角の混在が発電量に及ぼす影響
(Influence of Differently Inclined PV Coupling)

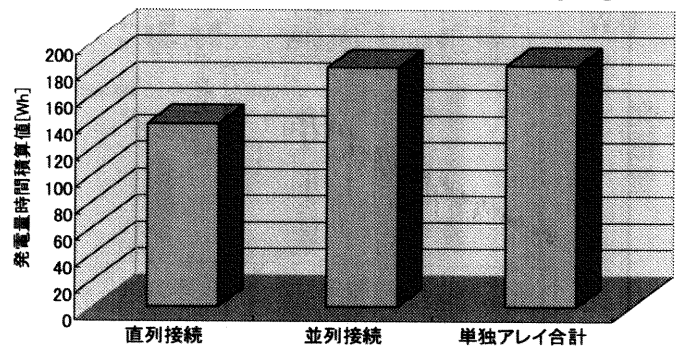


Fig. 9 異方位角の混在が発電量に及ぼす影響

* 正南面+真東面: 2000 年 3 月 18 日 10:41 ~ 12:16

(Influence of Differently Oriented PV Coupling)

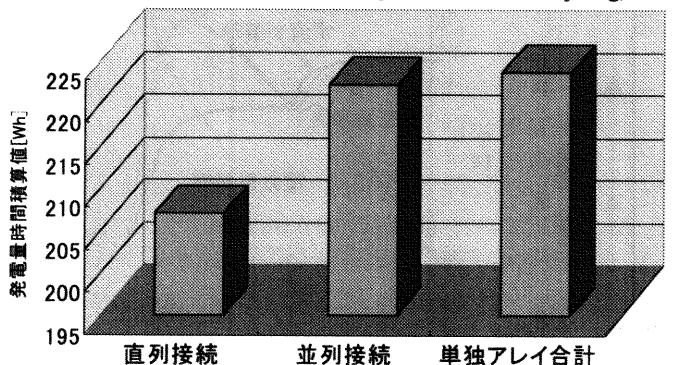


Fig. 10 異方位角の混在が発電量に及ぼす影響

* 正南面+真西面: 2000 年 3 月 18 日 13:07 ~ 15:08

(Influence of Differently Oriented PV Coupling)

参考文献

- 1) 松川, 杉浦他; 太陽電池を複数の方位角および傾斜角に設置した場合の太陽光発電アレイのシミュレーション, 太陽/風力エネルギー学会講演論文集(1998), PP. 29-32.
- 2) Hermann Laukamp, Edo Wiemken; MISMATCH EFFECTS AND INVERTER SIZING IN PV GENERATORS WITH DIFFERENTLY ORIENTED SECTIONS, 14TH EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE(1997), PP. 1101-1105.