

# 太陽電池の発電効率低下防止策に関する研究

## —セル温度上昇・部分日影への対策の有効性—

### STUDY ON COUNTERMEASURES AGAINST DECREASE IN PHOTOVOLTAIC PERFORMANCE

#### - COUNTERMEASURE EFFECTIVENESS FOR CELL TEMPERATURE RISE AND PARTIAL SHADE ON THE PANEL -

地域環境計画分野 細川佳輝

再生可能エネルギーの一つである太陽光発電は急速に普及が進んでいるが、太陽光発電パネルのセル温度上昇、太陽光発電パネルへの日影の影響により発電出力が左右されることが課題となっている。そこで、本研究では、太陽光発電パネルへの日影を抑制するため、拡散板設置による発電効率低下防止策を検討し、拡散板設置前から拡散板設置後の各セルが受ける日射量の標準偏差の変化が  $100\text{W}/\text{m}^2$  以上の場合において、発電出力を上昇させることができるとわかった。

Solar power has spread rapidly, while the problems are that photovoltaic performance is decreased due to cell temperature rise and partial shade on the panel. In this study, we considered countermeasures against decrease in photovoltaic performance by installing diffused plate to suppress partial shade. As a result, we showed that in the case that the change of standard deviation in solar radiation of each cell from diffused plate before installation to after installation is more than  $100\text{W}/\text{m}^2$ , it is possible to increase power output.

## 1. 研究の背景・目的

### 1.1 研究の背景

再生可能エネルギーの一つである太陽光発電は急速に普及が進んでおり、2012年7月から「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」が導入されるなど、国による様々な支援施策が行われている<sup>1)</sup>。しかし、太陽光発電では、気象条件などの外部要因により発電出力が左右されることが課題となっており、主にセル温度上昇、日影の影響が挙げられる。

### 1.2 研究の目的

本研究前半では、セル温度上昇に関して、パネル冷却による発電効率低下防止策を検討した。太陽光発電パネル裏面へ導水シートを貼付し、その導水・保水効果を利用することにより、セル温度低下による発電効率上昇効果を検討した結果、様々な温湿度条件において、セル温度を  $12.6\text{K}\sim 17.6\text{K}$  低下させ、発電出力を  $7.0\%\sim 8.1\%$  上昇させることができた(図1)。

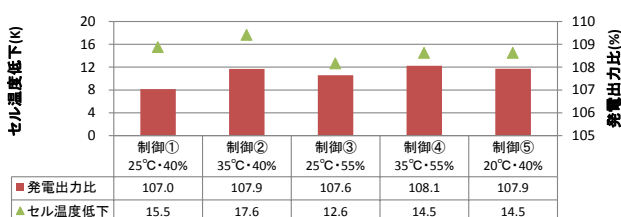


図1 導水シート貼付によるセル温度低下と発電出力比

次に、日影に関して、拡散板設置による発電効率低下防止策を検討する。太陽光発電パネルに電柱が近接している場合において(図2)、晴天日の日射量と発電量の関係を調査した結果、電柱の影が落ちる10時~14時にかけて発電量が大幅に低下しており、日影による発電量低下の影響が大きいことを確認できた(図3)。

また、高橋ら<sup>2)</sup>は、太陽電池上方へ拡散手段を設けることにより、部分日影が落ちた場合の発電量低下を防止するように工夫した太陽電池装置を発明したが、小型の太陽電池であり、限定された条件(日影の範囲・面積・濃さ)の発電量低下防止効果しか検討していない。

そこで、本研究では、太陽光発電パネル拡散板設置実験を行い、部分日影が落ちた場合の発電効率低下防止効果を確認する。次に、発電量シミュレーションを行い、拡散板設置により発電量低下を防止できる条件を整理し、効果を推定する。さらに、ケーススタディを行い、実在環境における拡散板設置効果を確認する。



図2 太陽光発電パネルへの日影

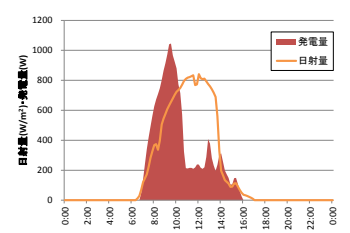


図3 日影による発電量低下(10~14時)

## 2. 太陽光発電パネル拡散板設置実験

本実験では、太陽光発電パネル上方へ拡散板を設置し、その光拡散効果を利用することにより、単系統、あるいは複数系統に部分日影が落ちた場合の発電効率低下防止効果を確認する。

### 2.1 実験期間・場所

2013年2月24日、25日、5月23日、7月12日(晴天日)に、大阪市立大学工学部G棟屋上にて実験を行う。

### 2.2 太陽光発電モジュール

本実験で使用する太陽光発電モジュールは、非結晶シリコンや化合物系と比べ、日影の影響を受けやすい多結晶シリコンセルで構成されており、最大出力は195Wである(表1)。また、縦6枚×横9枚の計54枚のセルが直列に接続されており、上から系統1, 系統2, 系統3の3系統に分かれている(図4左)。1つの系統が発電を停止した場合には、その系統のバイパスダイオードに電流が流れる仕組みになっている(図4右)。

表1 太陽光発電モジュール特性

型式	FMC-195BS
太陽電池セル	多結晶シリコンセル 54 枚
セルサイズ	156mm×156mm
最大出力	195W
最大出力動作電圧	26.5V
最大出力動作電流	7.37A
開放電圧	33.1V
短絡電流	7.90A
モジュールサイズ	1482mm×985mm×35mm

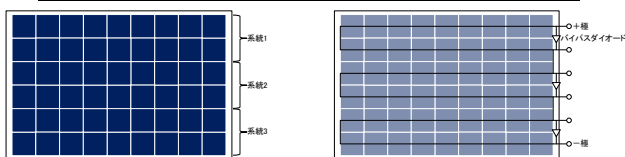


図4 太陽光発電モジュール系統図(左)・回路図(右)

### 2.3 拡散板・日射遮蔽物

本実験で使用する拡散板は透過率75%の乳白色アクリル板であり、日射遮蔽物は透過率0%の黒色アクリル板である(表2, 表3)。

表2 拡散板特性

素材	アクリル樹脂
色	乳白色
透過率	75%(予備実験)
厚さ	2mm
サイズ	2000mm×1000mm



表3 日射遮蔽物特性

素材	アクリル樹脂
色	黒色
透過率	0%(カタログ値)
サイズ	150mm×150mm



### 2.4 実験方法

太陽光発電モジュール2台(以下、モジュールA, モジュールB)を傾斜角30度, 同方向で2台並べて設置し、モジュールB上方へ拡散板を設置する。日射遮蔽物は、モジュールA, Bに同じ形状の影が落ちるように、モジュールと日射遮蔽物の距離は400mmに固定して設置する。

#### 2.4.1 実験Ⅰ-単系統遮蔽パターン

モジュールA, モジュールB(拡散板設置)を、モジュールと拡散板の距離を50mm, 100mm, 150mm, 200mmに設定し、発電効率の比較を行う。ただし、日射遮蔽物は、影が最下部の横1ライン(横9セル×縦1セル)に落ちるように設置する。(図5)

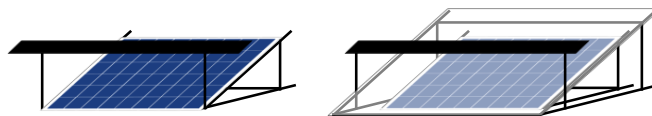


図5 実験Ⅰ設置概要図(左:モジュールA, 右:モジュールB)

#### 2.4.2 実験Ⅱ-複数系統遮蔽パターン

##### 1) 実験Ⅱ-Aモジュールと拡散板の距離による比較

モジュールA, モジュールB(拡散板設置)を、モジュールと拡散板の距離を50mm, 100mm, 150mm, 200mmに設定し、発電効率の比較を行う。ただし、日射遮蔽物は、影が中央部の縦1ライン(横1セル×縦6セル)に落ちるように設置する。(図6)

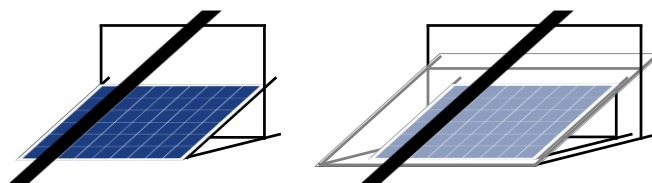


図6 実験Ⅱ-A設置概要図(左:モジュールA, 右:モジュールB)

##### 2) 実験Ⅱ-B日影の範囲・面積による比較

モジュールA, モジュールB(拡散板設置)を、モジュールと拡散板の距離を200mmに固定し、日射遮蔽物は、影が1ライン(横1セル×縦6セル), 2ライン, 3ライン, 4ラインに落ちるように設置し、発電効率の比較を行う。(図7)

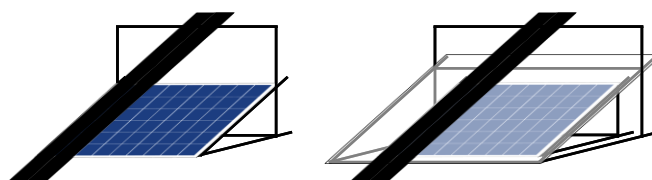


図7 実験Ⅱ-B設置概要図(左:モジュールA, 右:モジュールB)

### 2.5 実験結果

#### 2.5.1 実験Ⅰ-単系統遮蔽パターン

図8に、単系統遮蔽パターンにおける、モジュールAとモジュールB(拡散板設置)の発電効率変化を示す(モジュールと拡散板の距離:50mm, 100mm, 150mm, 200mm)。ただし、発電効率, モジュール入射日射量, 発電効率変化は、式1, 式2, 式3により定義され、3回測定した平均値により算出する。

$$\text{発電効率} [\%] = \frac{\text{発電量} [W]}{\text{モジュール入射日射量} [W]} \times 100 \quad \text{式1}$$

$$\text{モジュール入射日射量} [W] = \text{モジュール面日射量} [W/m^2] \times \text{モジュール面積} [m^2] \quad \text{式2}$$

$$\text{発電効率変化} [p] = \text{モジュールB発電効率} [\%] - \text{モジュールA発電効率} [\%] \quad \text{式3}$$

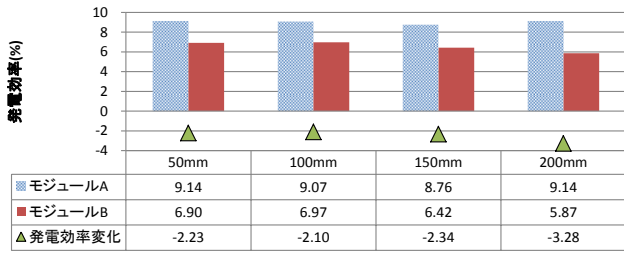


図8 拡散板設置による発電効率変化(単系統遮蔽パターン)  
表4 モジュール入射日射量

	50mm	100mm	150mm	200mm
モジュール A	1299.2W	1390.2W	1357.1W	1261.7W
モジュール B	1299.7W	1398.9W	1356.1W	1261.7W

図8より、拡散板を設置すると発電効率は低下し、拡散板の光拡散効果による発電効率低下防止効果はみられないことを確認できた。この条件では、系統3の抵抗となる面積が大きいいため、拡散板の光拡散効果により影を薄くしても、系統3の抵抗が小さくならず、拡散板設置による日射減衰の影響の方が大きく、発電効率低下を防止できなかった。

## 2.5.2 実験Ⅱ－複数系統遮蔽パターン－

### 1) 実験Ⅱ-A モジュールと拡散板の距離による比較

図9に、複数系統遮蔽パターンにおける、モジュールAとモジュールB(拡散板設置)の発電効率変化を示す(モジュールと拡散板の距離:50mm, 100mm, 150mm, 200mm)。

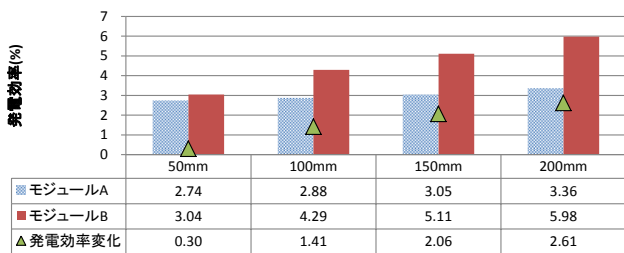


図9 拡散板設置による発電効率変化(距離による比較)  
表5 モジュール入射日射量

	50mm	100mm	150mm	200mm
モジュール A	1519.6W	1519.6W	1541.0W	1469.0W
モジュール B	1520.6W	1528.3W	1549.3W	1469.5W

図9より、拡散板を設置すると発電効率は上昇し、拡散板の光拡散効果による発電効率低下防止効果はみられ、モジュールと拡散板の距離が大きいほど、発電効率上昇は大きくなることを確認できた。この条件では、系統1, 2, 3の抵抗となる面積が小さいため、拡散板の光拡散効果により影を薄くすると、系統1, 2, 3の抵抗が小さくなり、発電効率低下を防止できた。また、モジュールと拡散板の距離が大きいほど、拡散板の光拡散効果が大きくなり、影がより薄くなって、発電効率低下防止につながったと考えられる。

### 2) 実験Ⅱ-B 日影の範囲・面積による比較

図10に、複数系統遮蔽パターンにおける、モジュールAとモジュールB(拡散板設置)の発電効率変化を示す(日影範囲:1ライン, 2ライン, 3ライン, 4ライン)。

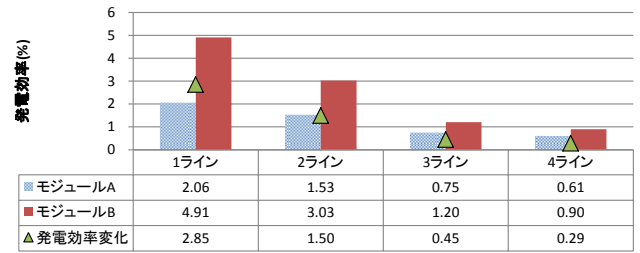


図10 拡散板設置による発電効率変化(日影面積による比較)  
表6 モジュール入射日射量

	1ライン	2ライン	3ライン	4ライン
モジュール A	1439.8W	1437.9W	1439.8W	1460.7W
モジュール B	1446.1W	1471.9W	1435.4W	1455.4W

図10より、拡散板を設置すると発電効率は上昇し、拡散板の光拡散効果による発電効率低下防止効果はみられ、影が細くなるほど、発電効率上昇は大きくなることを確認できた。この条件では、拡散板の光拡散効果により影を薄くすると、影が細いほど、影が落ちる場所に日射が十分に入り込み、影が全体的に薄くなって、発電効率低下防止につながったと考えられる。

## 2.6 拡散板設置条件まとめ

以上より、拡散板設置による発電効率低下防止効果を発揮できる条件は、モジュールと拡散板の距離を十分離す(200mm)こと、複数系統にまたがる細い(1ラインまで)日影であることと考えられる。以下、この条件において、発電量シミュレーションを行う。

## 3. 等価回路による発電量シミュレーション

### 3.1 太陽電池セルの等価回路モデル

太陽電池セルを電流源とダイオードが並列接続された等価回路で表現する手法がある(図11左)。太陽電池セルの等価回路では、光入力を起電力に置き換え、光電流  $I_{ph}$ 、逆方向飽和電流  $I_o$ 、直列抵抗  $R_s$ 、並列抵抗  $R_{sh}$  で表現することができる。太陽電池に負荷が接続された時は、電流はダイオードと負荷を分流し、その割合は負荷抵抗の大きさで決まる(図11右)。

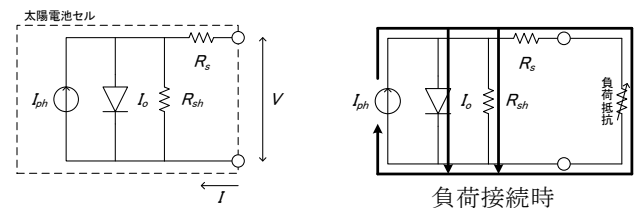


図11 太陽電池セルの等価回路モデル

### 3.2 等価回路モデルの電流・電圧関係式<sup>3)4)</sup>

式4に、等価回路モデルの電流・電圧関係式を示す。

$$I = I_{ph} - I_o \left[ \exp\left(\frac{V + R_s I}{n k T}\right) - 1 \right] - (V + R_s I) / R_{sh} \quad \text{式4}$$

$I$	: 電流	[A]	$R_s$	: 直列抵抗	[ $\Omega$ ]
$V$	: 電圧	[V]	$R_{sh}$	: 並列抵抗	[ $\Omega$ ]
$I_{ph}$	: 光電流	[A]	$T$	: 絶対温度	[K]
$I_o$	: 逆方向飽和電流	[A]	$q$	: 電気素量	[C]
$n$	: ダイオード因子	[-]	$k$	: ボルツマン定数	[J/K]

等価回路モデルを完成させるため、日射量により変動する光電流  $I_{ph}$ 、太陽電池セルの特性である逆方向飽和電流  $I_o$ 、直列抵抗  $R_s$ 、並列抵抗  $R_{sh}$ 、ダイオード因子  $n$  を決定する。



### 3.2.1 光電流 $I_{ph}$ の算出

太陽電池モジュールに日影がかかっている場合、光電流  $I_{ph}$  のみ変動する。そこで、日射量と光電流の比例関係を用いて、セルが受ける日射量を求めることにより、セルの光電流  $I_{ph}$  を算出する。式5～式7に、日射遮蔽物、拡散板を設置した場合の各セルが受ける日射量の算出式を示す。

1) 日射遮蔽物設置、日影なしのセル日射量

$$I_{\theta\_s} = I_{D0} + I_{SH} \times (1 - F_{\text{セル} \rightarrow \text{地平} \cdot \text{日射遮蔽物}} / 100) \quad \text{式 5}$$

$I_{\theta\_s}$  : 傾斜面日射量(日射遮蔽物設置、日影なし) [W/m<sup>2</sup>]  
 $I_{D0}$  : 傾斜面直達日射量 [W/m<sup>2</sup>]  
 $I_{SH}$  : 水平面天空日射量 [W/m<sup>2</sup>]  
 $F_{\text{セル} \rightarrow \text{地平} \cdot \text{遮蔽物}}$  : セルの地平面・遮蔽物に対する形態係数 [%]

2) 日射遮蔽物設置、日影ありのセル日射量

$$I_{\theta\_s} = I_{SH} \times (1 - F_{\text{セル} \rightarrow \text{地平} \cdot \text{日射遮蔽物}} / 100) \quad \text{式 6}$$

$I_{\theta\_s}$  : 傾斜面日射量(日射遮蔽物設置、日影あり) [W/m<sup>2</sup>]

3) 日射遮蔽物設置、拡散板設置のセル日射量

$$I_{\theta\_d(s)} = \left\{ I_{D0} + I_{SH} \times (1 - F_{\text{拡散板} \rightarrow \text{地平} \cdot \text{日射遮蔽物}} / 100) \right\} \times T / 100 + \sum_{k=1}^{13} F_{\text{セル} \rightarrow \text{拡散板}} / 100 + I_{SH} \times (1 - F_{\text{セル} \rightarrow \text{地平} \cdot \text{拡散板}} / 100) \quad \text{式 7}$$

$I_{\theta\_d(s)}$  : 傾斜面拡散板通過日射量(日射遮蔽物設置) [W/m<sup>2</sup>]  
 $T$  : 拡散板透過率 [%]  
 $F_{\text{拡散板} \rightarrow \text{地平} \cdot \text{遮蔽物}}$  : 拡散板の地平面・遮蔽物に対する形態係数 [%]  
 $F_{\text{セル} \rightarrow \text{拡散板}}$  : セルの拡散板に対する形態係数 [%]  
 $F_{\text{セル} \rightarrow \text{地平} \cdot \text{拡散板}}$  : セルの地平面・拡散板に対する形態係数 [%]

### 3.2.2 逆方向飽和電流 $I_o$ ・直列抵抗 $R_s$

・並列抵抗  $R_{sh}$ ・ダイオード因子  $n$  の決定

太陽電池モジュールの実験結果より算出した、短絡電流  $I_{sc}$ 、開放電圧  $V_{oc}$ 、電流比  $\alpha$ 、電圧比  $\beta$ (表7)より、モジュール  $A_{\text{cell}1 \sim 54}$ 、モジュール  $B_{\text{cell}1 \sim 54}$  の逆方向飽和電流  $I_o$ (式8)、直列抵抗  $R_s$ (式9)、並列抵抗  $R_{sh}$ (式10)、ダイオード因子  $n$ (式11)を決定する。

$$I_o = I_{sc} \exp(-qV_{oc}/nkT) \quad \text{式 8}$$

$$R_s = 1/qI_{sc} \left[ (nkT/q) \ln \left\{ (1-\alpha) - I_o/I_o \right\} - \beta V_{oc} \right] \quad \text{式 9}$$

$$R_{sh} = \beta V_{oc} \left[ I_{sc} - \alpha I_{sc} + I_o \exp(q\beta V_{oc}/nkT) \right] \quad \text{式 10}$$

$$n = V_{oc} q / kT \ln \left\{ I_{sc} / I_o + 1 \right\} \quad \text{式 11}$$

$$\alpha = I_{max} / I_{sc} \quad \text{式 12}$$

$$\beta = V_{max} / V_{oc} \quad \text{式 13}$$

$I_{sc}$  : 短絡電流 [A]       $\alpha$  : 電流比 [-]  
 $V_{oc}$  : 開放電圧 [V]       $\beta$  : 電圧比 [-]  
 $I_{max}$  : 最大出力動作電流 [A]       $V_{max}$  : 最大出力動作電圧 [V]

表7  $I_o$ 、 $R_s$ 、 $R_{sh}$ 、 $n$  決定時の値

	モジュール $A_{\text{cell}1 \sim 54}$	モジュール $B_{\text{cell}1 \sim 54}$
短絡電流 $I_{sc}$ [A]	8.59	8.16
電気素量 $q$ [C]	$1.60 \times 10^{-19}$	
開放電圧 $V_{oc}$ [V]	0.56	0.55
ボルツマン定数 $k$ [J/K]	$1.38 \times 10^{-23}$	
絶対温度 $T$ [K]	325.65	
電流比 $\alpha$ [-]	0.81	0.92
電圧比 $\beta$ [-]	0.74	0.76

表8に、モジュール  $A_{\text{cell}1 \sim 54}$ 、モジュール  $B_{\text{cell}1 \sim 54}$  の逆方向飽和電流  $I_o$ 、直列抵抗  $R_s$ 、並列抵抗  $R_{sh}$ 、ダイオード因子  $n$  の最適解を示す。

表8  $I_o$ 、 $R_s$ 、 $R_{sh}$ 、 $n$  の最適解

	モジュール $A_{\text{cell}1 \sim 54}$	モジュール $B_{\text{cell}1 \sim 54}$
逆方向飽和電流 $I_o$ [A]	3.18E-05	3.65E-06
直列抵抗 $R_s$ [ $\Omega$ ]	0.010	0.005
並列抵抗 $R_{sh}$ [ $\Omega$ ]	0.31	1.09
ダイオード因子 $n$ [-]	1.59	1.35

### 3.3 等価回路による発電量シミュレーション

#### 3.3.1 太陽電池モジュール等価回路の設計

太陽電池セル等価回路を54枚直列に接続し、正極、負極には可変抵抗器  $R_{variable}$  を接続し、太陽電池モジュール等価回路を設計する(図12)。可変抵抗器  $R_{variable}$  を  $0.001 \Omega \sim 1000 \Omega$  で変化させることで、その両端の I-V カーブを出力することができる。なお、太陽電池セル等価回路のパラメータには、モジュール A の実験値より同定した  $I_o$ 、 $R_s$ 、 $R_{sh}$ 、 $n$  を使用し、並列抵抗  $R_{sh} = 15.5 \Omega$  (50倍)に設定することで、実験値とシミュレーション値の傾向が一致することを確認した。

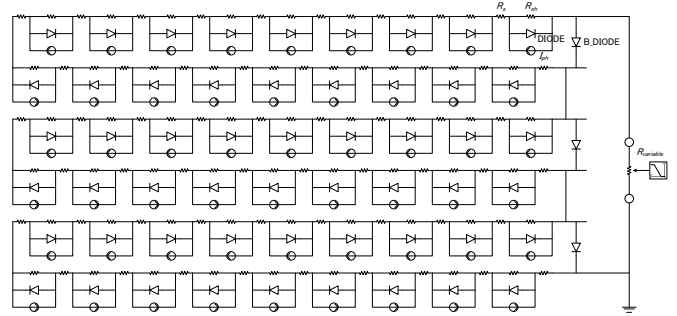


図12 太陽電池モジュール等価回路(模式図)

#### 3.3.2 日影の面積・直散比率と拡散板設置条件

等価回路による発電量シミュレーションを行い、日影の面積、直散比率を変更することにより、拡散板設置により発電量低下を防止できる条件を整理する。ただし、拡散板は完全拡散、透過率90%とし、セル温度は晴天時52.5℃、曇天時42.5℃とする。

1) 横1セル×縦6セル(晴天)

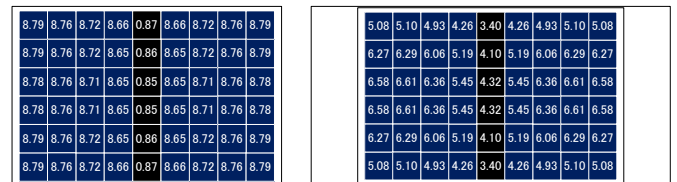


図13 モジュール  $\text{cell}1 \sim 54$  光電流

30° 面日射量: 986.3W/m<sup>2</sup>(直達日射: 88.0%, 天空日射: 12.0%)

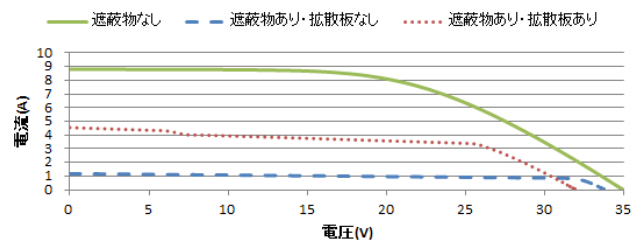


図14 I-V カーブの比較

表9 短絡電流・発電量の比較

	遮蔽物なし	遮蔽物あり 拡散板なし	遮蔽物あり 拡散板あり
短絡電流 [A]	8.80	1.18	4.55
発電量 [W]	166.36	26.20	85.64

図14、表9より、1)横1セル×縦6セル(晴天)では、拡散板なしでは発電量は26.20Wであるのに対し、拡散板ありでは発電量は85.64Wであり、拡散板設置により発電量は59.4W上昇することを確認できる。

## 2) 横 0.5 セル×縦 6 セル(晴天)

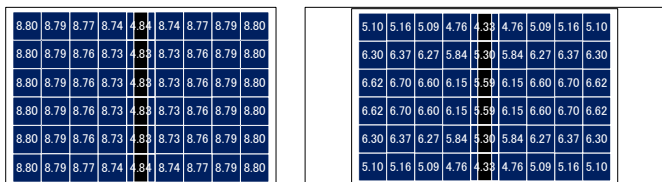


図 15 モジュール  $cell_{11} \sim 54$  光電流  
30° 面日射量: 986.3W/m<sup>2</sup>(直達日射: 88.0%, 天空日射: 12.0%)

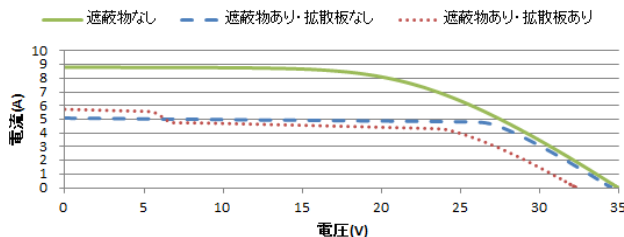


図 16 I-V カーブの比較  
表 10 短絡電流・発電量の比較

	遮蔽物なし	遮蔽物あり 拡散板なし	遮蔽物あり 拡散板あり
短絡電流 [A]	8.80	5.09	5.74
発電量 [W]	166.36	125.96	102.35

図 16, 表 10 より, 2)横 0.5 セル×縦 6 セル(晴天)では, 拡散板なしでは発電量は 125.96W であるのに対し, 拡散板ありでは発電量は 102.35W であり, 拡散板設置により発電量は 23.6W 低下することを確認できる。

## 3) 横 1 セル×縦 6 セル(曇天)

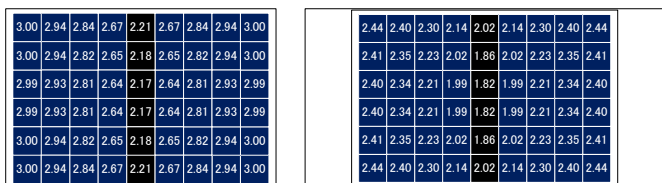


図 17 モジュール  $cell_{11} \sim 54$  光電流  
30° 面日射量: 343.3W/m<sup>2</sup>(直達日射: 12.0%, 天空日射: 88.0%)

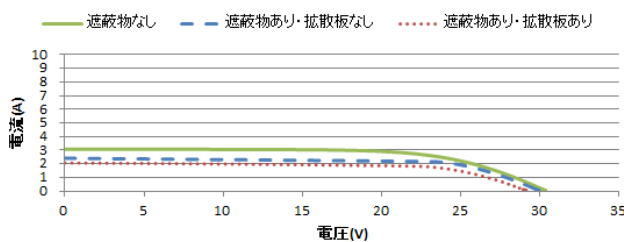


図 18 I-V カーブの比較  
表 11 短絡電流・発電量の比較

	遮蔽物なし	遮蔽物あり 拡散板なし	遮蔽物あり 拡散板あり
短絡電流 [A]	3.07	2.40	2.06
発電量 [W]	60.44	50.37	40.86

図 18, 表 11 より, 3)横 1 セル×縦 6 セル(曇天)では, 拡散板なしでは発電量は 50.37W であるのに対し, 拡散板ありでは発電量は 40.86W であり, 拡散板設置により発電量は 9.5W 低下することを確認できる。

以上より, 拡散板設置により発電量低下を防止できる条件は, 1 セルをすべて覆う日影が落ちること, 直達日射が大きく, 日影ありのセル光電流が日影なしのセルに比べて十分に低下することであると考えられる。

## 3.3.3 拡散板設置効果まとめ

拡散板設置による発電量低下防止効果を推定するため, 日影の面積・直散比率をセル 54 枚が受ける日射量の標準偏差(ばらつき)で表現する。図 19 に, 日影の面積・天候が①~⑥横 4~0.25セル×縦 6セル(晴天), ⑦, ⑧横 1セル×縦 3, 1セル(晴天), ⑨横 1セル×縦 6セル(曇天)における, 拡散板設置前から拡散板設置後の日射量の標準偏差の変化(拡散板設置による日射量のばらつきの変化)と発電出力比の関係を示す。

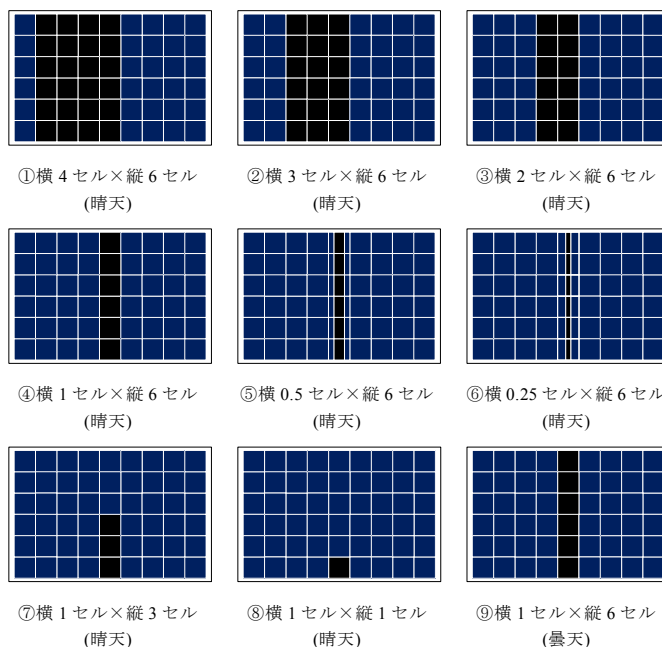
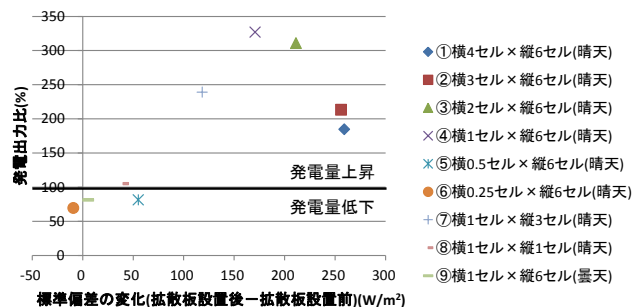


図 19 セル 54 枚が受ける日射量の標準偏差の変化と発電出力比

図 19 より, 複数系統にまたがる 1 セルをすべて覆う日影が落ちる①~④横 4~1セル×縦 6セル(晴天)では, 拡散板設置により日射量のばらつきが抑えられ, 発電出力は上昇したのに対し, 1 セルをすべて覆う日影が落ちない⑤, ⑥横 0.5, 0.25セル×縦 6セル(晴天)では, 拡散板設置による日射量のばらつきの変化が小さく, 発電出力は低下したことを確認できる。また, 直達日射の割合が小さい⑨横 1セル×縦 6セル(曇天)においても, 拡散板設置による日射量のばらつきの変化が小さく, 発電出力は低下したことを確認できる。

以上より, 拡散板設置による発電量低下防止効果について, 拡散板設置前から拡散板設置後の各セルが受ける日射量の標準偏差の変化が 100W/m<sup>2</sup> 以上の場合において, 発電出力を上昇させることができると考えられる。

#### 4. 実在環境における拡散板設置効果

##### 4.1 ケーススタディ条件

建物に設置された太陽光発電パネル(12枚直列接続、南向き、傾斜角 $30^\circ$ )に3本の電柱が近接している実在環境において(図20)、太陽光発電パネル上方へ拡散板を設置し、拡散板設置による発電量低下防止効果を確認する。ただし、拡散板は完全拡散、透過率90%とする。まず、年間各月代表日(1月1日~12月1日)5時~19時の日影シミュレーションを行い(図21)、太陽光発電パネルに落ちる電柱の影を確認した結果、1月1日において、太陽光発電パネルに電柱の影が落ちる時間帯が10時~15時と最も長く(図22)、電柱の影による発電量低下の影響が最も大きいと考えられた。

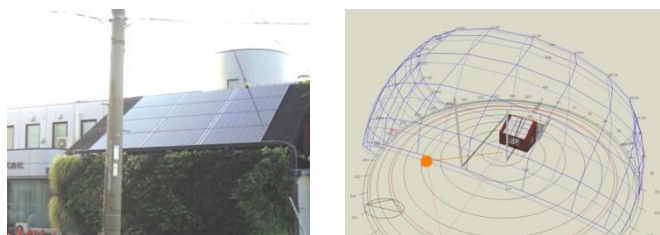


図20 太陽光発電パネルと電柱 図21 日影シミュレーション概要

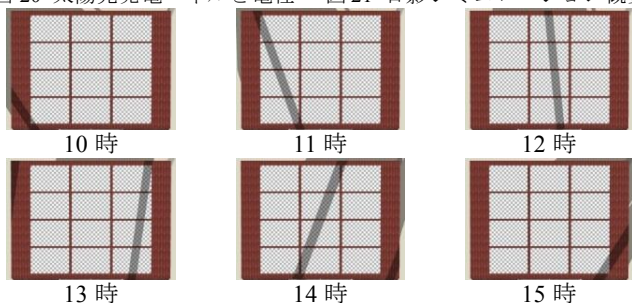


図22 太陽光発電パネルへの日影(1月1日10時~15時)

次に、1月1日10時~15時において、セル温度(気温・水平面日射量より推定)、 $30^\circ$ 面全天日射量(大気透過率0.77より算出)を求めた(表12)。

表12 セル温度・ $30^\circ$ 面全天日射量

	セル温度[K]	$30^\circ$ 面全天日射量[W/m <sup>2</sup> ]
10時	8.3	684.2(直達:83.4%)
11時	10.3	858.7(直達:82.9%)
12時	10.3	925.9(直達:83.0%)
13時	10.7	879.1(直達:83.4%)
14時	11.0	720.2(直達:84.2%)
15時	9.2	459.8(直達:86.0%)

##### 4.2 実在環境における拡散板設置効果

図23に、電柱の影が落ちる1月1日10時~15時における、太陽光発電パネル12枚合計の拡散板なし、拡散板ありの発電量を示す。

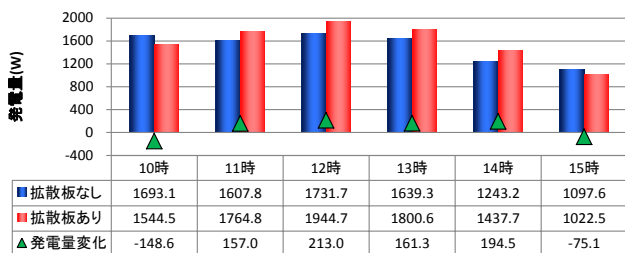


図23 拡散板設置による発電量低下防止効果(1月1日10時~15時)

図23より、10時、15時では電柱の影が落ちる太陽光発電パネルの枚数は1枚であることから、拡散板設置による日射減衰の影響の方が大きく、拡散板設置による発電量低下防止効果はみられない一方、11時、12時、13時、14時では電柱の影が落ちる太陽光発電パネルの枚数は4~6枚であることから、拡散板設置による光拡散効果の影響の方が大きく、拡散板設置による発電量低下防止効果はみられることを確認できる。以上より、建物に設置された太陽光発電パネル12枚に3本の電柱が近接している実在環境では、電柱の影が落ちる太陽光発電パネルの枚数が多い場合、拡散板設置による発電量低下防止効果があることを確認できた。

#### 5. まとめ

- (1)太陽光発電パネル拡散板設置実験を行い、部分日影が落ちた場合の発電効率低下防止効果を確認した結果、拡散板設置による発電効率低下防止効果を発揮できる条件は、モジュールと拡散板の距離を十分離す(200mm)こと、複数系統にまたがる細い(1ラインまで)日影であることとわかった。
- (2)等価回路による発電量シミュレーションを行い、拡散板設置により発電量低下を防止できる条件は、1セルをすべて覆う日影が落ちること、直達日射の割合が大きいことであるとわかった。また、日影の面積・直散比率をセル54枚が受ける日射量の標準偏差(ばらつき)で表現し、拡散板設置による発電量低下防止効果について、拡散板設置前から拡散板設置後の各セルが受ける日射量の標準偏差の変化が $100\text{W/m}^2$ 以上の場合において、発電出力を上昇させることができるとわかった。
- (3)建物に設置された太陽光発電パネル12枚に3本の電柱が近接している実在環境において、太陽光発電パネル上方へ拡散板を設置し、電柱の影が落ちる太陽光発電パネルの枚数が多い場合、拡散板設置による発電量低下防止効果があることがわかった。

#### 【参考文献】

- 1)経済産業省資源エネルギー庁 HP「なっとく！再生可能エネルギー」  
URL : <http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/index.html>  
(閲覧日:2014/1/13).
- 2)高橋一夫・小林清人・山田和三「太陽電池装置」特開平10-32346, 1998年.
- 3)田島大輔ほか「太陽電池の等価回路パラメータ推定法」『太陽エネルギー』第33巻, 45-50頁, 2007年.
- 4)渥美裕貴ほか「シミュレーションモデル構築による太陽電池システムの性能評価と不具合検証」『筑波大学大学院博士課程システム情報工学研究科修士論文』57-61頁, 2009年.
- 5)梶原篤「ダイオードと直流電流源を用いたPVエミュレーターの提案」『群馬県立産業技術センター研究報告』31-33頁, 2009年.
- 6)清水敏久「太陽電池発電システムの発電動作点制御回路」『FBテクニカルニュース』第56巻, 22-27頁, 2000年.



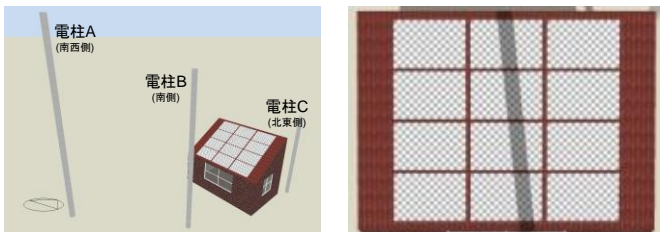
## 討議

### 討議[瀧澤重志准教授]

拡散板設置により発電量低下を防止できる条件は、よく見られる条件なのか。

#### 回答

住宅地では電柱などの影の影響により、複数系統にまたがる細い(1セル幅~2セル幅)日影、1セル幅をすべて覆う日影は落ちる場合がある。例えば、建物に設置された太陽光発電パネル(12枚直列接続、南向き、傾斜角 30°)に3本の電柱が近接している実環境において、上記の条件を満たすことを確認できる。



### 討議[瀧澤重志准教授]

太陽光発電パネルと拡散板を 200mm 離すと、製品化する場合どのような問題が生じると考えられるか。

#### 回答

太陽光発電パネルへ拡散板を常時設置すると、汚れやほこりなどの影響により発電量低下を招く恐れがある。このため、拡散板を定期的に取り外し、洗浄する必要がある。また、日影が落ちている時間帯が短い場合、拡散板設置による発電量低下防止効果が小さいと考えられる。このため、日影が落ちている時間帯が短い月では、拡散板の取り外しが効くよう、拡散板設置方法を考える必要がある。

### 討議[西岡真稔准教授]

拡散板設置により発電量低下を防止できる条件、防止できない条件、どちらで整理した方が良いのか。

#### 回答

まず、拡散板設置により発電量低下を防止できる条件は、実験より、モジュールと拡散板の距離を十分離す(200mm)こと、複数系統にまたがる細い(1セル幅~2セル幅)日影であること、シミュレーションより、1セル幅をすべて覆う日影が落ちること、直達日射の割合が大きいこととわかった。一方、拡散板設置により発電量低下を防止できない条件は、単系統に落ちる日影であること、1セル幅をすべて覆わない日影が落ちること、天空日射の割合が大きいこととあり、そのまま裏返しのため、直接的に理解できる、拡散板設置により発電量低下を防止できる条件で整理した方が良いと考えられる。

### 討議[西岡真稔准教授]

等価回路による発電量シミュレーションを行わなくても、発電量を推定することはできるのか。

#### 回答

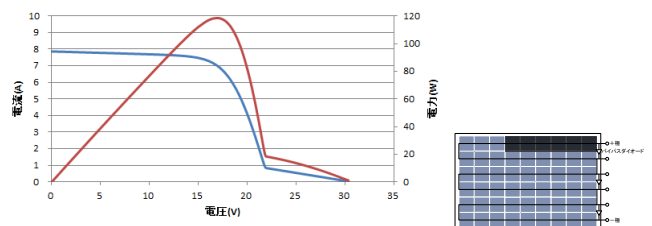
等価回路による発電量シミュレーションを行わなくても、発電量を推定することができるが、あくまでも目安として考えられる。なぜなら、太陽電池モジュール等価回路のどの部分に日影が落ちるかで、I-V カーブの挙動が変わってくる場合があるからである。

### 討議[瀧澤重志准教授]

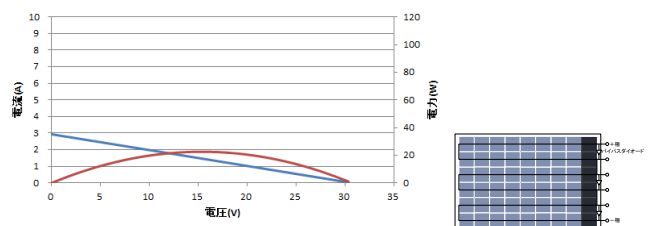
太陽電池モジュール等価回路のどの部分に日影が落ちると、発電量が最も低下するのか。

#### 回答

先ほどの回答の続きで、太陽電池モジュール等価回路のどの部分に日影が落ちるかで、I-V カーブの挙動が変わってくる場合があるため、①横遮蔽(6セル)、②縦遮蔽(6セル)において、I-V カーブ、P-V カーブの比較を行った。①では、電流は低電圧領域では高いままであるが、高電圧領域では低くなり、発電量は 118.59W である。②では、電流は電圧が上がるにつれて比例的に低くなり、発電量は 22.55W である。つまり、太陽電池モジュール等価回路の複数系統にまたがって日影が落ちると、発電量低下は大きいと考えられる。



①横遮蔽(6セル)



②縦遮蔽(6セル)

### 討議[小林知広講師]

等価回路の複数系統にまたがって日影が落ちると発電量低下が大きいことは一般的な知見なのか、新しい知見なのか。

#### 回答

既往研究では、単系統、複数系統の議論はあまりされていないため、等価回路の複数系統にまたがって日影が落ちると発電量低下が大きいことは新しい知見であると考えられる。