

部分影による出力低下を抑制する太陽電池モジュールの設計

津吉 彰* 濱本 耕平** 徳田 圭佑*** 土江 竜生***

The Enhanced Design of Solving the Partial Shading Problem in Photovoltaic Modules

Akira TSUYOSHI* Kohei HAMAMOTO** Keisuke TOKUDA*** Tatsuki DOE***

ABSTRACT

The enhanced design of photovoltaic module was investigated so that the partial shading problem in photovoltaic modules could be solved. When a photovoltaic module is partially shaded, its electrical power output decreases more than the ratio of lost solar irradiation. Especially in case of the independent PV system, reliability becomes lower due to power loss by the partial shading. Small system such as a solar light has a few PV modules. Therefore power loss due to partial shading means a fatal accident. In the large scale of PV generation bypass diodes equipped each PV module can compensate power loss caused by partial shading. In this study the enhanced design of the PV module which has blocking diodes in each series and bypass diodes on each cell is proposed and investigated by computer simulation and the experiment of the trial manufactured module. When the number of series connection of PV cells comparably larger, the proposed design is effective in the efficiency.

Keywords : enhanced design, photovoltaic module, partial shading, bypass diode, blocking diode

1. はじめに

近年太陽電池の低価格化に伴い、利用範囲の拡大が進んでおり、たとえばLEDなどによる照明の低価格化とあいまって、街灯などの独立型太陽電池が数多く導入されている⁽¹⁾。そのほかにも防災拠点への導入として、防災型太陽電池が導入されている⁽²⁾。太陽電池は日照が得られない場合、発電しないため独立型システムでは併設した蓄電池によって、電力不足を補償している。したがって、低日照による出力の低下が続くとシステムが停止する。街灯や僻地の防災用のテレメータなどでは、設置場所のメンテナンスが行き届かない恐れがある。特に、太陽電池のパネルが小面積である場合、樹木等による部分的な影（以降 部分影とよぶ）による出力低下が問題となる場合もある。太陽電池パネルの25%の部分陰により、出力が半減するデータも示されている⁽³⁾。また筆者らの予備的計測では、

ある太陽電池ではわずか10%の部分影により出力が50%まで低下する事も確認した。このように部分影による出力低下は、天候による出力不足と輻輳した場合、システムの運用に問題が生じる。しかし、部分影は天候不良による低日照と異なり、日照部分の出力を有効に利用する事により、影響を緩和可能である。そこで本研究室は、バイパスダイオード、逆流防止ダイオードをセルレベルで回路に組み込みモジュールを構成する手法により、部分影による出力低下を軽減する太陽電池モジュールの提案を行い、シミュレーションを行うとともに実験的な評価を行った。

2. 太陽電池のシミュレーション

太陽電池の部分影等による障害時の特性を解明するのが本研究の目的である。今回検討の対象とした太陽電池は、セルレベルで入手が容易であったアモルファス系の太陽電池セルである。その太陽電池のSPICEモデルを株式会社ビーテクノロジーの協力により、作成していただいたものを使用した。使用したアモルファス

* 電気工学科教授

** 専攻科 電気電子工学専攻

*** 電気工学科 5年

太陽電池は三洋電機株式会社製の AM-8801CAR のセル (57.7×55.1×1.1mm) である。

この太陽電池の実測（データシート）と作成した SPICE モデルによるシミュレーションの結果を表 1 に示す。ここで、計算に使用する SPICE として、LTspice (リニアテクノロジー社製)を使用した。

表 1 設計, 検討に使用した太陽電池の特性 (面照度 50kLx 時)

Symbol		Measurement	Simulation	%Error
Pmax	mW	92.56	92.70	0.15
Vpm	V	5.20	5.20	0.00
Ipm	mA	17.80	17.83	0.15
Voc	V	6.80	6.75	-0.67
Isc	mA	20.40	20.30	-0.49

ただし、 Pmax :最大出力
 Vpm :最適動作電圧
 Ipm :最適動作電流
 Voc :開放電圧
 Isc :短絡電流

この表より、今回用いた SPICE モデルは計算誤差は上記計算範囲では十分小さく、今後のモジュール設計に利用できるものと判断した。なお、この太陽電池の最大効率は約 6.17%であるが、今回のシミュレーションでは 50kLx という条件のため最大効率は約 5.84%となっている。

次に、太陽電池モジュールのシミュレーション用回路の一例を図 1 に示す。図 1 は 12 個の太陽電池三洋電機株式会社製 AM-8801CAR を 3 並列、4 直列で接続した回路である。

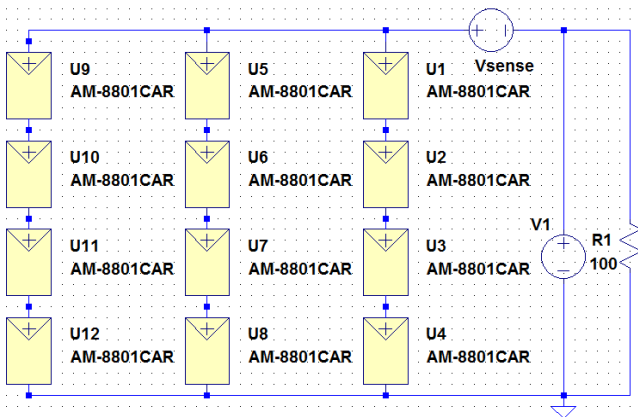


図 1 太陽電池シミュレーション回路図の一例

図において、R1 は任意抵抗、V1 は出力特性シミュレーションの DC スイープ用電源、Vsense は電流検出用の電圧源、U1~U12 は太陽電池の SPICE モデルで AM-8801CAR という型番を附している。今回のシミュレーションでは周りの天気や気温といった環境の変化には着目せず、面照度を 50kLx に固定した発電状況の太陽光パネルの特性とする。具体的な計算方法は図 1 に示す DC スイープ用電源 V1 の電圧を 0V から 0.1V の間隔で上げていき、その時の電流を計算している。

2.1 部分影の無い無障害時の特性 まず、太陽電池に部分影が無い場合の特性を計算した。12 個のセルを 2 直列 6 並列、3 直列 4 並列、4 直列 3 並列、6 直列 2 並列に接続した際の結果をそれぞれ図 2 から図 5 に示す。

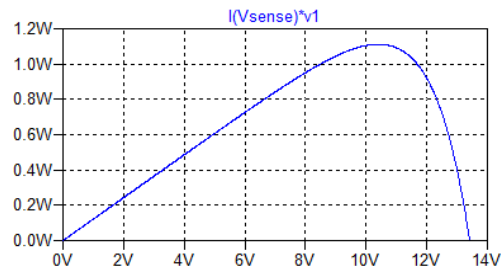
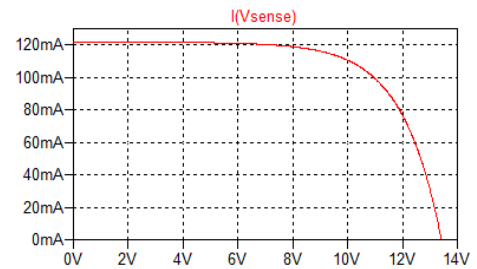


図 2 無障害時 V-I 特性,P-V 特性(2 直列 2 並列)

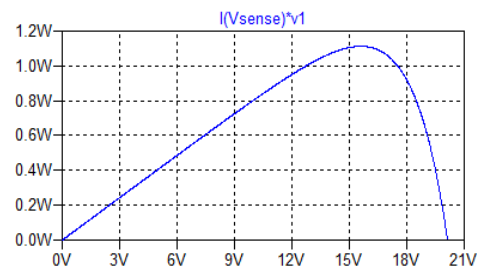
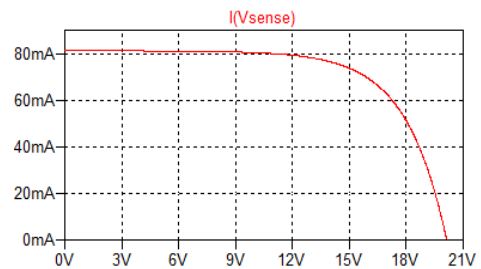


図 3 無障害時 V-I 特性,P-V 特性(3 直列 4 並列)

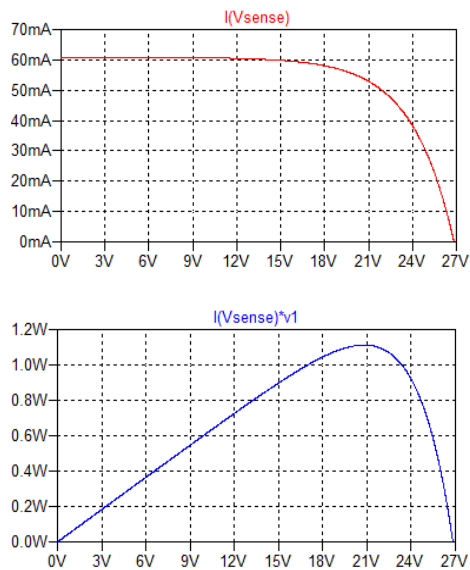


図4 無障害時 V-I 特性,P-V 特性(4 直列 3 並列)

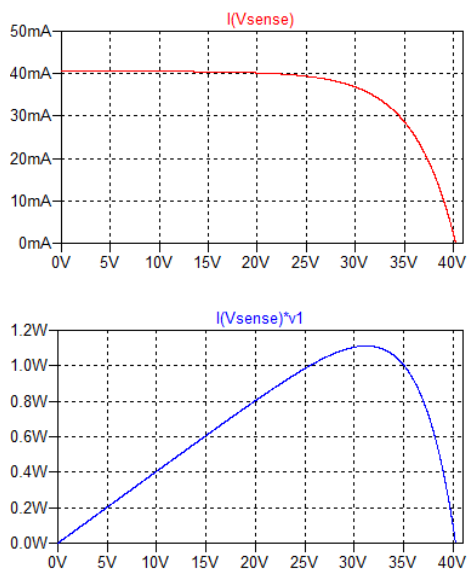


図5 無障害時 V-I 特性,P-V 特性(6 直列 2 並列)

当然の事ながら、部分影の無い無障害時ではいずれの接続法においても、最大出力はセル 12 個分の $12 \times 92.56 = 1110\text{mW}$ を示している。開放電圧は直列数に比例し、短絡電流は並列数に比例するという、いずれも理論通りの結果を示している。

2.2 部分影時の特性 続いて、図 1 の回路において U12 セルが陰のため、光起電力をゼロとして計算する事により、部分影時の特性を求めた。12 個のセルを 2 直列-6 並列、3 直列-4 並列、4 直列-3 並列、6 直列-2 並列に接続した際の結果をそれぞれ図 6 から図 9 に示す。部分影により日射量は (11/12) 倍になるため、理想的な最大出力は 1018W であるが、いずれもその出力を下回り、直列数が多いほど出力が低下している。6 直列 2 並列では理想出力の約 60% の出力となっており、モジュール内の部分影による効率低下が確認された。

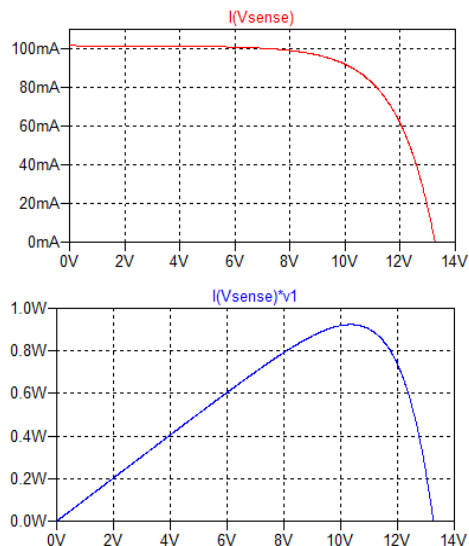


図6 部分影時 V-I 特性,P-V 特性(2 直列 6 並列)

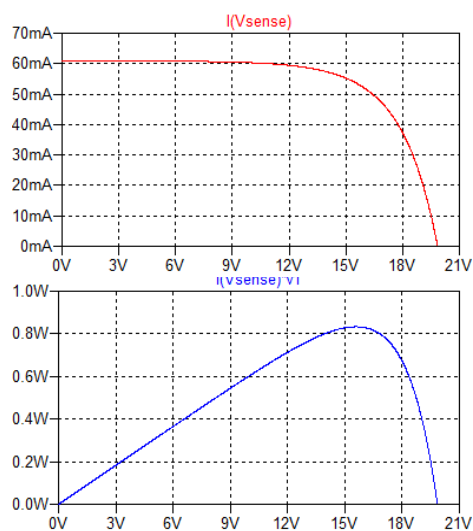


図7 部分影時 V-I 特性,P-V 特性(3 直列 4 並列)

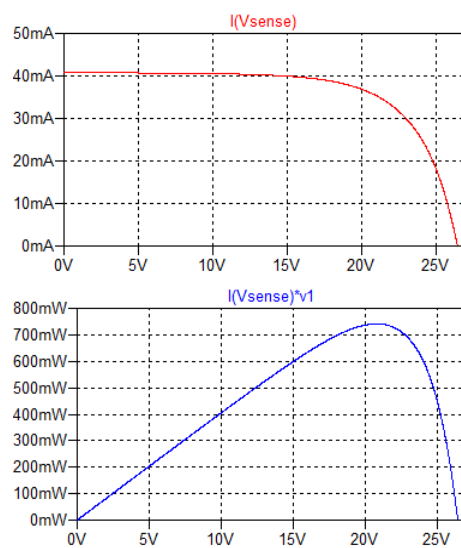


図8 部分影時 P-V 特性(4 直列 3 並列)

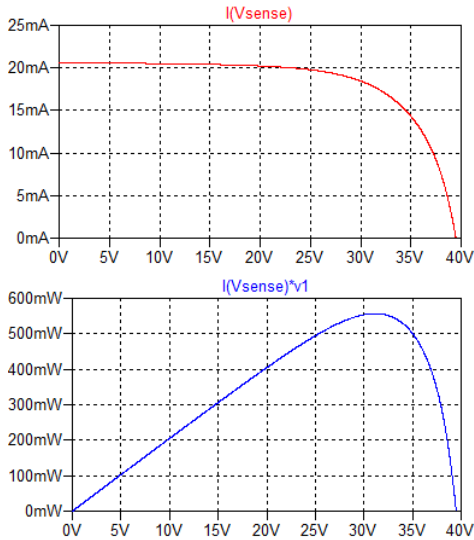


図9 部分影時 V-I 特性,P-V 特性(6 直列 2 並列)

3. 部分影による出力低下を抑制する回路設計

現状の市販モジュールはモジュール単位でバイパスダイオード、逆流防止ダイオードといった出力不平衡時の損失を防止する回路を備えている。本研究で提案するモジュールはセル単位で対策を施す事により、1モジュール内の出力不平衡も補償可能である。近年順方向電圧降下の小さい性能の優れたショットキーダイオードが開発されたため、セル単位でダイオードを設置する場合でも、平常時の損失を小さくすることができる。ここでは、図10のようにダイオードを接続した際の特性について検証した。

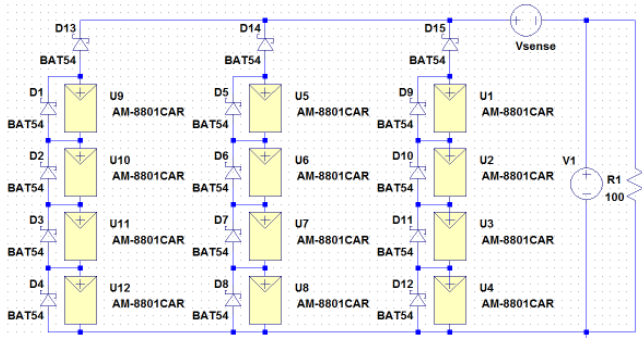


図10 ダイオード組込時のシミュレーション回路図

シミュレーションの結果の一例を図11から図15に示す。無障害時の電力については図11と図4を比較して分かるように供給電力にはほとんど差が無く、ダイオードによる正常時の損失はセル1110mWを出力する合計12枚に対し、10mW程度とかなり低いことが確認された。また、部分影に対する損失抑制効果については、例えば6直列2並列のモジュール構成の場合、図9と図15を比較すると無対策の場合の出力550mWに対し、950mWと73%も大きな出力が得られる事が確認された。

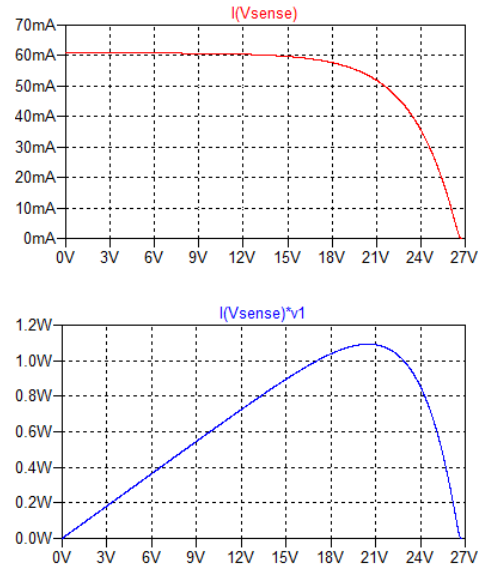


図11 正常時 V-I 特性,P-V 特性(4 直列 3 並列)

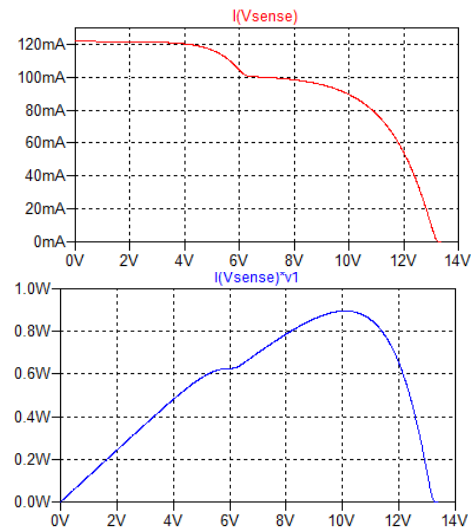


図12 部分影時 V-I 特性,P-V 特性(2 直列 6 並列)



図13 部分影時 V-I 特性,P-V 特性(3 直列 4 並列)



図 14 部分影時 V-I 特性,P-V 特性(4 直列 3 並列)

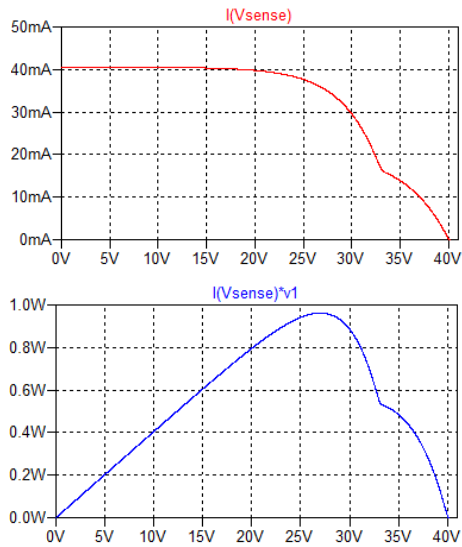


図 15 部分影時 V-I 特性,P-V 特性(6 直列 2 並列)

以上の結果をまとめ、表 2 に示す。それぞれの計算方法は下記の通りである。

$$\text{効率} = \frac{\text{最大出力 (Pmax)}}{\text{太陽光エネルギー (Ps)}} \times 100[\%] \quad (1)$$

無障害時

$$Ps = \frac{500W}{m^2} (50kLx \text{ 相当}) \times \text{パネル面積}(m^2) \times \text{総パネル数} \quad (2)$$

部分影時

$$Ps = \text{無障害時 } Ps - \frac{500W}{m^2} (50kLx \text{ 相当}) \times \text{部分影面積}(m^2) \quad (3)$$

$$\text{利用率} = \frac{\text{効率 (無障害)}}{\text{効率 (それぞれの条件の効率)}} \times 100 \quad (4)$$

表を見てわかるように、直列接続数が増えるにつれて全てのパネルの効率・利用率が低下していることが分

かる。これは直列中に一つでも障害が出た場合その列全てに影響が出るため、このような結果になったと考えられる。ダイオードを接続した場合を未接続の場合と比較すると、4 直列以上の場合に出力が向上した。直列接続数が多い時ほどダイオードの効果がある事が確認できた。

表 2 シミュレーションまとめ

		ダイオードなし			ダイオードあり		
		最大出力(w)	効率(%)	利用率(%)	最大出力(w)	効率(%)	利用率(%)
	無障害時	1.112	5.82	100	1.093	5.72	98.29
障害発生時	2直列 6並列	0.923	5.28	90.55	0.896	5.12	87.9
	3直列 4並列	0.832	4.76	81.62	0.821	4.7	80.54
	4直列 3並列	0.741	4.24	72.67	0.9	5.14	88.29
	6直列 2並列	0.556	3.18	54.57	0.962	5.5	94.38

4.提案回路の試作による検討

シミュレーションを行ったモジュール構成でモジュールを試作した。図 16 に回路図、図 17 に外観を示す。

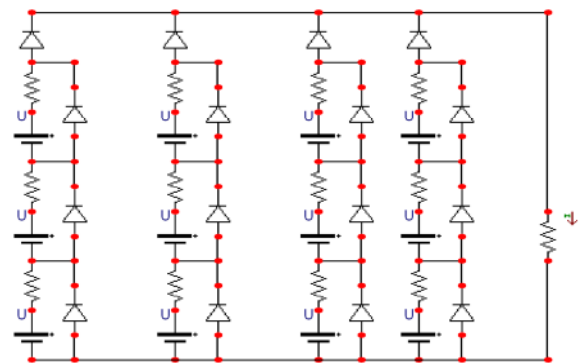


図 16 試作モジュールの回路図

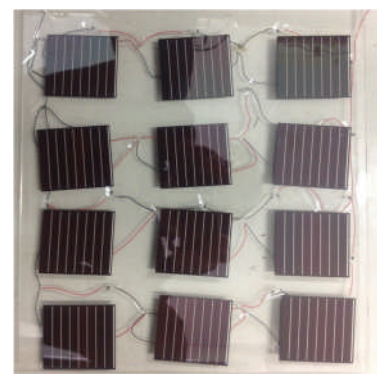


図 17 試作モジュールの外観

ここでは太陽電池を定電源圧源として図示している。ダイ

オードとしては、バイパスダイオード、逆流防止(ブロッキング)ダイオードともにパナソニック社製ショットキーダイオード DB3X315E0L を使用した。試作したモジュールは通常ソーラーシミュレータにより試験されるが、校内に適当な設備が無いため、試験的に天候の安定した日に屋外で実験を行った。本実験は出力の絶対的な大きさは評価対象で無く、部分影の影響と、ダイオードによる改善効果の確認が主目的であり、本論文では問題としない。結果を図 18~20 に示す。

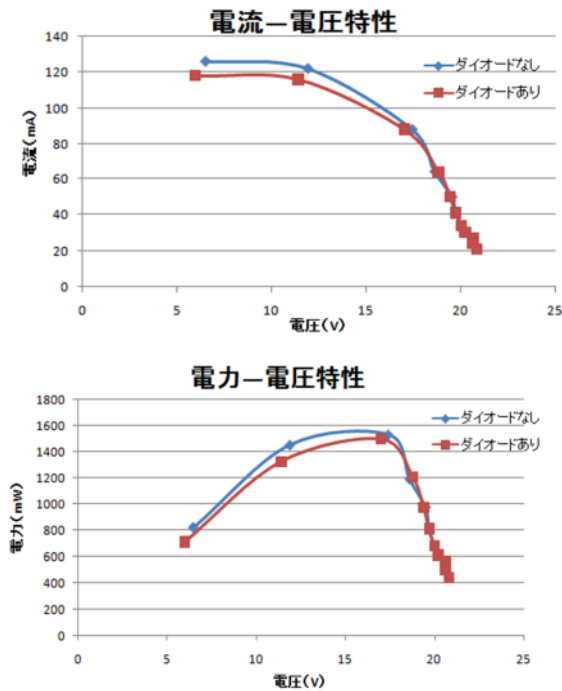


図 18 試作モジュールの特性(影なし)

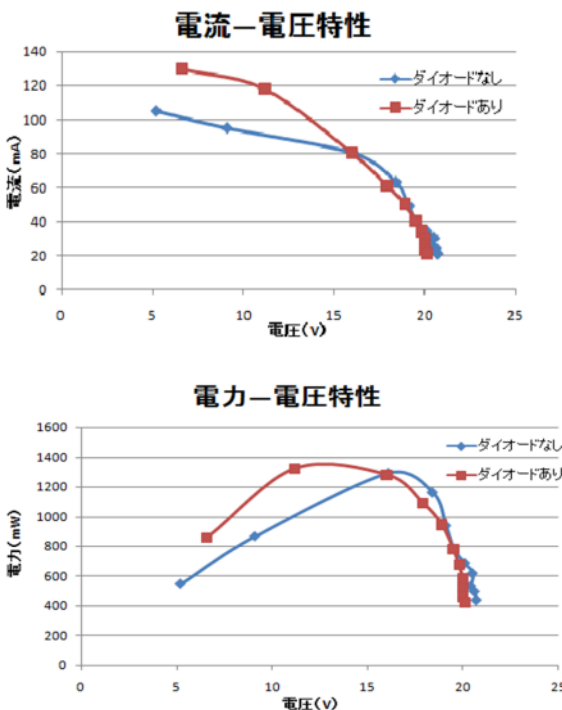


図 19 試作モジュールの特性(影 1 セル分)

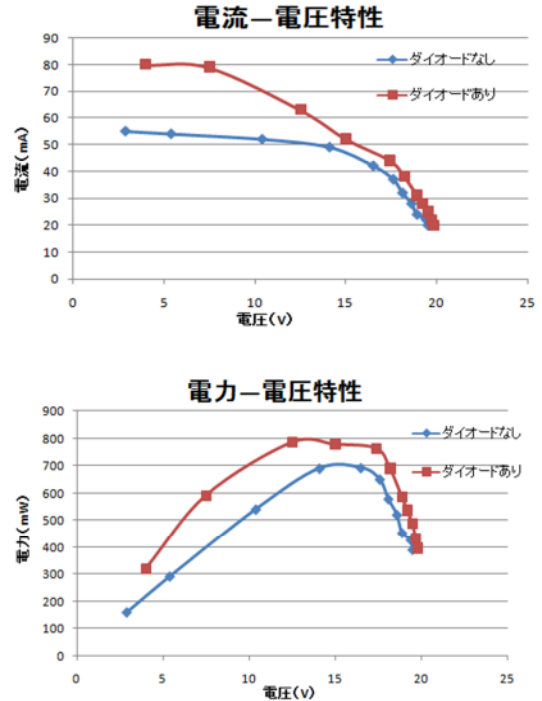


図 20 試作モジュールの特性(影 2 セル分)

電流、電圧、電力の各値については、シミュレーションと入射光の条件が違ったため、大きさが異なるものの、シミュレーションの結果とおなじ傾向の結果が得られた。

4. まとめ

シミュレーションならびに、試作したモジュールにより、モジュールの一部に日陰や付着物による部分影が生じた場合の出力低下を軽減できるモジュール構成について検討した。提案した各セルにバイパスダイオードを付属する回路構成が有効であることを確認した。今後、より実用的な規模での検討をして、防災用のテレメータ電源などの設備に利用できるモジュールの開発につながると思われる。

謝辞

本研究において、太陽電池のSPICEモデル作成に、株式会社ビーテクノロジーに協力頂いた。ここに謝意を表します。

参考文献

- (1) 経済産業省 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部新エネルギー対策課:「太陽光発電システム等の普及動向に関する調査」,2011
- (2) たとえば,森山正和ほか「情報防災拠点における太陽光発電システムの有効性に関する研究」,神戸大学都市安全研究センター研究報告 8, 363-368, 2004-03
- (3) Wang, Y.-J *et al.*, "Analytical modeling of partial shading and different orientation of photovoltaic modules", IET Renewable Energy, Vol.4 , pp.272 – 282,2010