

環境因子を考慮した太陽電池モジュールの出力計算法

A method for estimation of electric power output of PV module
considering environmental factors.

山上 裕介^{*1}
Yuusuke YAMAGAMI

谷辰夫^{*2}
Tatsuo TANI

Abstract

For system design purposes, it is necessary to estimate electric power output of photovoltaic module (PV module) accurately. It is important to determine the operating points between PV module and electric load characteristics corresponding to power output.

This paper describes the new method concerned I-V curves of PV modules added environmental factors such as spectral distribution and intensity of solar radiation to the fundamental equations of solar cells.

The ratio of calculated and experimental values of annual amount of electric power generated decreases from 2.50% to 0.95% for amorphous silicon solar module and it decreases from 2.52% to 1.24% for polycrystalline silicon solar module, when the I-V curves contained environmental factors are applied to estimate annual amount of electric power output.

Keywords Output of PV module, Environmental factors, I-V curve, System design, Operating point

1. 緒言

太陽光発電システムの最適設計には、設置場所における太陽電池アレイ出力を正確に求める必要がある。従来、太陽電池アレイ出力の計算は、標準状態（標準光, $E=1000W/m^2$, $T=298K$ ）における太陽電池モジュールの変換効率と日射量を掛け合わせ、太陽電池温度を考慮して最大出力量を見積もるのが一般的であった。また、太陽電池モジュール出力には太陽電池温度のみでなく、季節、天候、時刻によって変化する太陽光スペクトル分布や日射強度も影響するため、従来の方法に加えこれら環境因子の影響を考慮して、最大出力量を見積もあるスペクトル法が報告されている⁽¹⁾。スペクトル法によれば、季節、天候、時刻などによる太陽電池モジュールの出力量の変化が求められ、より正確な年間の出力量が評価できるようになった。

しかし、太陽電池アレイと負荷とを直接に接続したシステムとして考えると、太陽電池アレイの電流電圧特性と負荷の電流電圧特性の整合性、すなわち動作点を十分考慮して出力を見積める必要がある。そのためには最大出力量だけでなく、正確な太陽電池アレイの電

流電圧特性（以下I-V特性カーブと称する）の把握が必須である。従来、太陽電池の基本特性式は半導体物理に立脚して求められており、この式によるI-V特性カーブが用いられている。しかし、この特性式は日射量、太陽電池温度は加味されているが、先に述べたスペクトル法で考慮されている太陽光スペクトル分布や日射強度を考慮して求められたものではない。

本論文は太陽電池の基本特性式をベースにして、太陽光スペクトル分布、日射強度を考慮した太陽電池モジュールの特性式を構築し、I-V特性カーブから出力量を求める計算法を提案している。また、計算で求めた結果と測定結果とを比較し本計算法の有効性について論述したものである。対象にした太陽電池モジュールはアモルファスシリコン太陽電池モジュール（以下、a-Siと称する）と多結晶シリコン太陽電池モジュール（以下、多結晶Siと称する）であり、本論文で用いた測定データは本学9号館屋上で取得した1994年1月1日から12月31日までのデータである。

原稿受付 平成8年9月5日

*1 東京理科大学 工学部 大学院生

*2 同大学教授

2. 記号

本文で使用した主たる記号は以下の通りである。

R_s	: 内部直列抵抗
R_{sh}	: シャント抵抗
q	: 単位電荷
k	: ボルツマン定数
γ_0	: 温度によらない定数
n	: ダイオード因子
E_g	: 材料のエネルギーギャップ
T	: 太陽電池絶対温度
E_n	: チャネル n の日射強度
S_n	: チャネル n の分光感度特性
A, B, C	: I-V 特性カーブに合わせる係数
$V_{oc,ref}$: 計算中に使用する開放電圧の近似値
P_{max}	: I-V 特性カーブ上の最大出力
$I_{ph,max}, V_{pmax}$: P_{max} の電流、電圧
$I_{ph(=1000)}$: 1000W/m ² での光電流
α	: $I_{ph(=1000)}$ での光電流の温度補正係数
I_{ph0}, P_0	: 環境因子を考慮しない光電流、出力
I_{phT}, P_T	: 太陽電池温度のみを考慮した光電流、出力
I_{phS}, P_S	: 太陽光スペクトル分布のみを考慮した光電流、出力
I_{phTS}, P_{TS}	: 太陽電池温度、太陽光スペクトル分布を考慮した光電流、出力
I_{phTSE}, P_{TSE}	: 太陽電池温度、太陽光スペクトル分布、日射強度を考慮した光電流、出力
R_{ce}	: 計算値と測定値の比 =(計算値)/(測定値)
D_{ce}	: 計算値と測定値の差 =(計算値)-(測定値)

3. 環境因子を考慮した基本特性式の構築

3.1. 太陽電池モジュールの基本特性式の構築

結晶形太陽電池セルの基本構造は pn 接合ダイオードであり、太陽電池セルの基本特性式（電流電圧特性式）は式(1)で示される。一方、アモルファス Si 太陽電池セルの基本構造は p-i-n 接合であるが、電流電圧特性式は基本的に式(1)で示される⁽²⁾。また、ダイオードの逆方向飽和電流は式(2)で示される。

$$I = I_{ph} - I_o \cdot \left(\exp\left(\frac{q \cdot (V + R_s \cdot I)}{n \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right) - \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$I_o = \gamma_0 \cdot T^3 \cdot \exp\left(-\frac{q \cdot E_g}{n \cdot k \cdot T}\right) \quad \dots \dots \dots (2)$$

しかし、本計算法での評価の対象は太陽電池モジュールであり、モジュールはセルを集めた物であるのでモジュール自体が一枚のセルと同様であると考え、モジュールの基本特性式を式(3), (4)で示す。

$$I = I_{ph} - I_o \cdot \left(\exp\left(\frac{V + R_s \cdot I}{A \cdot T}\right) - 1 \right) - \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$I_o = C \cdot T^3 \cdot \exp\left(\frac{1}{B \cdot T}\right) \quad \dots \dots \dots (4)$$

ここで、I-V 特性カーブに合わせる係数 A, B, C については、以下の通りである。

太陽電池セルで考えると、A は式(1)の $n \cdot k / q$ にあたりダイオード因子に定数である“ボルツマン定数/単位電荷($=8.617 \times 10^{-5}$)”をかけたものである。ここで、 $R_{sh} > (V + R_s \cdot I)$ となるため $(V + R_s \cdot I) / R_{sh} = 0$ とし、また式(7)においても $R_{sh} > (-V_{oc,ref})$ であるため $(-V_{oc,ref}) / R_{sh} \approx 0$ となり、 R_{sh} と R_s の影響は小さいのでこれを考慮しないと、式(3)より次の 2 式が求まる。

$$I_{pmax} = I_{ph} - I_o \cdot \left(\exp\left(\frac{V_{pmax}}{A \cdot T}\right) - 1 \right)$$

$$0 = I_{ph} - I_o \cdot \left(\exp\left(\frac{V_{oc}}{A \cdot T}\right) - 1 \right)$$

これより P_{max} を計算すると、

$$\begin{aligned} P_{max} &= V_{pmax} \times I_{pmax} \times \left(1 - \frac{\exp(V_{pmax}/A \cdot T) - 1}{\exp(V_{oc}/A \cdot T) - 1} \right) \\ &\approx V_{pmax} \times I_{ph} \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{V_{pmax} - V_{oc}}{A \cdot T}\right) \right) \end{aligned}$$

となり、この式を展開して次式を得る。

$$A = \frac{V_{pmax} - V_{oc}}{T \times \log_e\left(1 - \frac{P_{max}}{I_{ph} \times V_{pmax}}\right)} \quad \dots \dots \dots (5)$$

一方 B は $-n \cdot k / q \cdot E_g$ であり、-A を各太陽電池材料によるエネルギーギャップで割った値となる。

$$B = \frac{V_{oc} - V_{pmax}}{E_g \times T \times \log_e\left(1 - \frac{P_{max}}{I_{ph} \times V_{pmax}}\right)} \quad \dots \dots \dots (6)$$

また、C は式(3), (4)より次式となる。

$$C = \frac{I_{ph} - \frac{V_{oc,ref}}{R_{sh}}}{\left(\exp\left(\frac{V_{oc,ref}}{A \cdot T}\right) - 1 \right) \cdot T^3 \cdot \exp\left(\frac{1}{B \cdot T}\right)} \quad \dots \dots \dots (7)$$

ここで $V_{oc,ref}$ は、計算中に使用する開放電圧の近似値である。

I-V 特性カーブは太陽電池モジュールの基本特性式、式(3)で V [V] を固定し、I [A] を Newton-Raphson 法⁽³⁾で求め作成した。

3.2. 環境因子による光電流への影響

3.2.1. 太陽電池温度による光電流への影響

環境因子を考慮しない場合($T=298K$)の光電流 I_{ph0} は日射強度 E に比例するので、式(8)で示される。

$$I_{ph0} = I_{ph(-1000)} \times \frac{E}{1000} \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

また、光電流は太陽電池温度の影響を受けるため温度補正係数を用い補正する⁽⁴⁾。太陽電池温度のみを考慮した光電流 I_{phT} は式(9)で示される。

$$I_{phT} = I_{ph0} + \alpha \cdot \frac{I_{ph0}}{I_{ph(-1000)}} \cdot (T - 298) \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

3.2.2. 太陽光スペクトル分布による光電流への影響

光電流は、式(10)のように共に波長の関数である日射強度 E と太陽電池の分光感度特性 S との積である⁽⁵⁾。

$$I_{ph} = \int (E_{(\lambda)} \times S_{(\lambda)}) d\lambda \quad \dots \dots \dots \quad (10)$$

そのため、季節、天候、時刻により太陽光スペクトル分布が変化し入射波長が一定でない実際の太陽光では、この影響を考慮する必要がある。ここで日射強度として、波長により n 個のチャネルに区分した分光日射強度を区分求積したものを使い、太陽電池モジュールの分光感度特性を各チャネル毎に定数で定める事により、光電流は式(11)で求めることができる。

$$I_{phS} = \sum_{k=1}^n (E_n \times S_n) \quad \dots \dots \dots \quad (11)$$

これに、式(9)と同様に太陽電池温度による影響を式(12)で補正する。

$$I_{phTS} = I_{phS} + \alpha \cdot \frac{I_{phS}}{I_{ph(-1000)}} \cdot (T - 298) \quad \dots \dots \dots \quad (12)$$

3.2.3. 日射強度による光電流への影響

太陽電池は、日射強度が弱くなると分光感度特性が悪くなる性質がある⁽⁶⁾。そのため日射強度が弱くなると、分光感度特性に比例する光電流の値も小さくなる。そこで、この影響も考慮する必要がある。

4. 使用データ

解析に使用した各種のデータは次のようにある。

- ・ 使用データ期間は 1994 年 1 月 1 日～12 月 31 日までの連続した 1 年間の測定データを 30 分ごとに整理し、日射強度が $40W/m^2$ 以上のデータを用いた。
- ・ 測定場所は本学 9 号館屋上（東京都新宿区神楽坂 1-3、地上約 40m）において傾斜角は 35.5° 、測定方向は真南で測定した。
- ・ 日射強度は全天分光日射計（英弘精機（株） MS-131WT）を使用し、入射波長により 6 つのチャネルに分けた分光日射強度を測定した。

- ・ $1000W/m^2$ での光電流として $1000 \pm 20W/m^2$ の光電流を温度補正及び日射強度に正比例補正をした平均の値を用いた。
- ・ 短絡電流と光電流は、ほぼ同じ値となるため光電流は測定値の短絡電流とした。
- ・ 対象とした太陽電池モジュールの特性を表 1 に示す。

表 1 各モジュールの特性

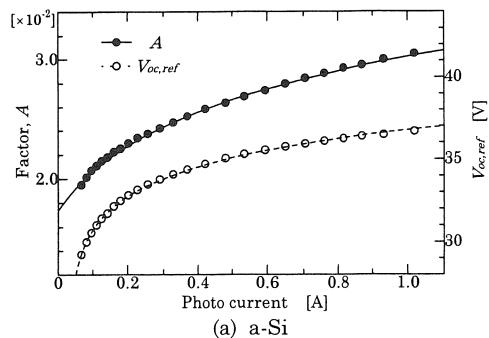
	amorphous Si	polycrystalline Si
type	30F3 (S Co.)	LA441K59 (K Corp.)
rated output[W]	24.9	59.3
rated efficiency[%]	5.04	10.91
$I_{ph(-1000)}$ [A]	1.064	2.892
α [A/K]	0.0010	0.0016

($T=298K$, $E=1000W/m^2$)

5. 結果

5.1. I-V 特性の係数の計算結果

I-V 特性カーブに合わせる係数 A , B , C , $V_{oc,ref}$ は、年間の総データを光電流の値で 25 組に分割し、各組の平均の値を式(5)～(7)で計算し、光電流と太陽電池温度の関数で近似した。



(a) a-Si

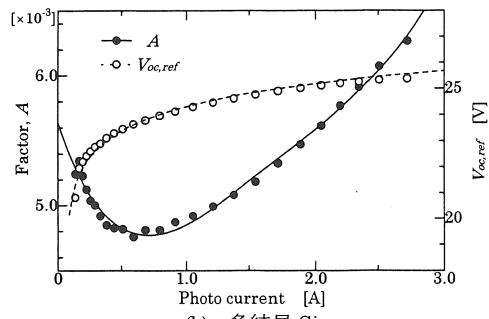


図 1 短絡電流と係数 A , $V_{oc,ref}$ の関係

ここで、図1は係数 A , $V_{oc,ref}$ の値と光電流による近似曲線を示す。

両モジュールの A , B , $V_{oc,ref}$ を a-Si : 式(13~15-a), 多結晶 Si : 式(13~15-b)で示す。

$$A = (298.35 + 63.04 \cdot \log_e(I_{ph} + 0.15) - 3.08 \cdot (T - 298)) \times 10^{-4} \quad \dots \dots (13-a)$$

$$A = (1.729 \cdot I_{ph}^4 - 12.150 \cdot I_{ph}^3 + 31.986 \cdot I_{ph}^2 - 29.470 \cdot I_{ph} + 56.398) \times 10^{-4} \quad \dots \dots (13-b)$$

$$B = (-247.38 - 52.73 \cdot \log_e(I_{ph} + 0.15) + 2.56 \cdot (T - 298)) \times 10^{-4} \quad \dots \dots (14-a)$$

$$B = (-1.433 \cdot I_{ph}^4 + 10.074 \cdot I_{ph}^3 - 26.522 \cdot I_{ph}^2 + 24.436 \cdot I_{ph} - 46.764) \times 10^{-4} \quad \dots \dots (14-b)$$

$$V_{oc,ref} = 36.82 + 2.295 \cdot \log_e(I_{ph} - 0.03) - 0.093 \cdot (T - 298) \quad \dots \dots (15-a)$$

$$V_{oc,ref} = 24.48 + 1.207 \cdot \log_e(I_{ph} - 0.06) - 0.088 \cdot (T - 298) \quad \dots \dots (15-b)$$

表2は式(13)~(15)の各係数を用いた I-V 特性カーブの評価のため、光電流として測定値の短絡電流を用いて計算した I-V 特性カーブと I-V カーブトレーサー(英弘精機(株) MP-123B)で測定した I-V 特性カーブとの比較である。データとして1994年1年間の1時間ごとに測定した I-V 特性カーブを使用し、電圧が V_{oc} の 0.25, 0.50, 0.75 倍になる点及び V_{pmax} になる点での出力電力の R_{ce} の精度を式(16)で示す RMS 値により評価したものである。すなわち、出力電力の(計算値-測定値)を(測定値)で除したものが平均してどの程度ずれているかを示している。

この結果より式(13)~(15)による各係数を用いて I-V 特性カーブを作成することにより、比較した4点全てにおいて a-Si では平均して 3%以内、多結晶 Si では平均して 2%以内の精度で I-V 特性カーブが再現できることが分かる。

表2 I-V 特性カーブ各点の評価($I_{ph}=I_{sc}$)

Voltage	RMS of R_{ce} of power [%]	
	amorphous Si	polycrystalline Si
$0.25 \times V_{oc}$	1.78	0.81
$0.50 \times V_{oc}$	2.44	1.36
$0.75 \times V_{oc}$	2.85	1.43
V_{pmax}	2.23	1.67

$$(R_{ce} \text{の RMS 値}) = \sqrt{\frac{1}{(\text{データ数})} \sum (R_{ce,1})^2} \quad \dots \dots (16)$$

また図2は、計算による I-V 特性カーブと測定による I-V 特性カーブとを比較した一例である。

測定日時、日射強度、各太陽電池温度、各光電流はそれぞれ以下の通りである。

I. 1994年12月10日 11:30, $E=871.3 \text{W/m}^2$

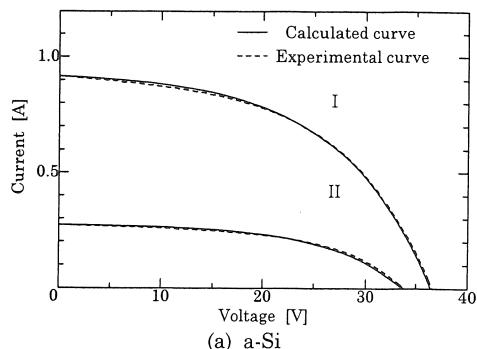
a-Si : $T=299.0 \text{K}$, $I_{ph}=0.916 \text{A}$

多結晶 Si : $T=300.1 \text{K}$, $I_{ph}=2.532 \text{A}$

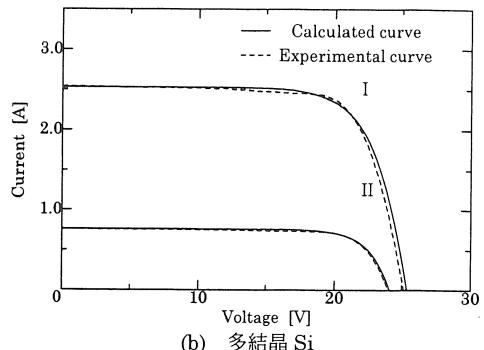
II. 1994年6月2日 7:00, $E=278.6 \text{W/m}^2$

a-Si : $T=296.6 \text{K}$, $I_{ph}=0.272 \text{A}$

多結晶 Si : $T=297.7 \text{K}$, $I_{ph}=0.761 \text{A}$



(a) a-Si



(b) 多結晶 Si

図2 計算と測定による I-V 特性カーブの比較

5.2. 環境因子を考慮した光電流

本計算で対象した太陽電池モジュールの有効日射強度は波長により表3に示すように6つのチャネルに区分けた分光日射強度に区分求積を用い、a-Si と多結晶 Si につき各々式(17-a), (17-b)で示される⁽⁷⁾。そのため a-Si と多結晶 Si のスペクトル分布を考慮した光電流は、各々式(18-a), (18-b)で示される。

$$\int E(\lambda) d\lambda = \sum_{k=1}^4 E_k + 0.849 \cdot E_5 \quad \dots \dots (17-a)$$

$$\int E(\lambda) d\lambda = \sum_{k=1}^5 E_k + 0.561 \cdot E_6 \quad \dots \dots (17-b)$$

$$I_{phS} = \sum_{k=1}^4 (E_k \times S_k) + 0.849 \cdot (E_5 \times S_5) \quad \dots \dots \dots \quad (18-a)$$

$$I_{phS} = \sum_{k=1}^5 (E_k \times S_k) + 0.561 \cdot (E_6 \times S_6) \quad \dots \dots \dots \quad (18-b)$$

表3 各チャネルの波長範囲

Channel	Wavelength[nm]
ch1	305~395
ch2	395~495
ch3	495~590
ch4	590~695
ch5	695~850
ch6	850~2800

各チャネルの分光感度特性： $S_1 \sim S_6$ を表4に示す。

表4 各チャネルの分光感度

	amorphous Si	polycrystalline Si
S_1	0.732×10^{-3}	0.571×10^{-3}
S_2	1.781×10^{-3}	2.181×10^{-3}
S_3	2.470×10^{-3}	3.813×10^{-3}
S_4	2.066×10^{-3}	4.742×10^{-3}
S_5	0.560×10^{-3}	6.670×10^{-3}
S_6		0.759×10^{-3}

また、日射強度による分光感度特性の劣化の影響として年間の総データを光电流で25組に分割し、各組の平均の値に式(12), (18)を用いて I_{phTS} を計算し、これが平均の光电流の値とほぼ等しくなるようにa-Si, 多結晶Siについて補正式(19-a), (19-b)を作成した。

$$I_{phTSE} = I_{phTS} \cdot (0.760 + 0.0355 \cdot \log_e(E)) \quad \dots \dots \dots \quad (19-a)$$

$$I_{phTSE} = I_{phTS} \cdot (0.618 + 0.0573 \cdot \log_e(E)) \quad \dots \dots \dots \quad (19-b)$$

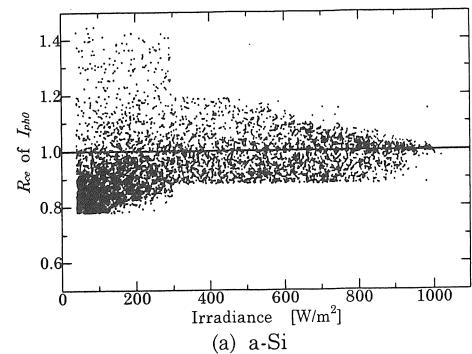
5.3. 環境因子を考慮した光电流と出力の計算結果

出力の評価は、一般的に用いられる P_{max} の評価で行う。

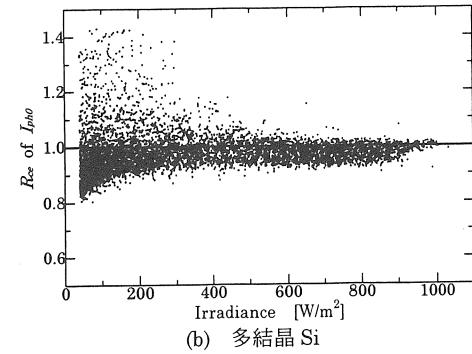
図3～6の横軸は日射強度であり、縦軸は光电流と出力の R_{ce} である。計算値と測定値とが等しいのであれば、プロットは $R_{ce}=1$ の直線上に集まる。

図3, 4は式(8)で求めた環境因子の影響を考慮しない光电流と環境因子の影響を考慮しない出力($T=298K$)の評価であり、両モジュールの I_{pho} , P_o とも計算値と測定値に大きな差があることが分かる。

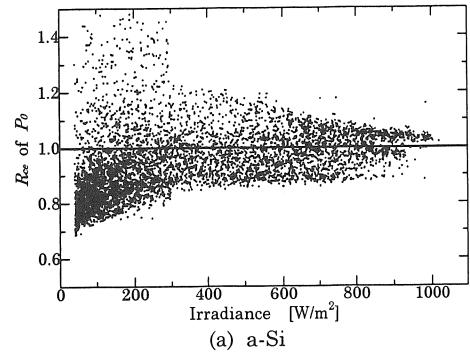
図5, 6は式(19)で求められた環境因子の影響を考慮した光电流及び出力の評価である。両図とも図3, 4に比べ R_{ce} が1に近づいており、環境因子を考慮することにより計算値と測定値の差が改善されている。



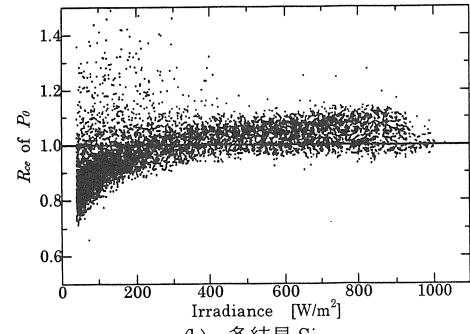
(a) a-Si



(b) 多結晶 Si

図3 日射強度に対する I_{pho} の特性

(a) a-Si



(b) 多結晶 Si

図4 日射強度に対する P_o の特性

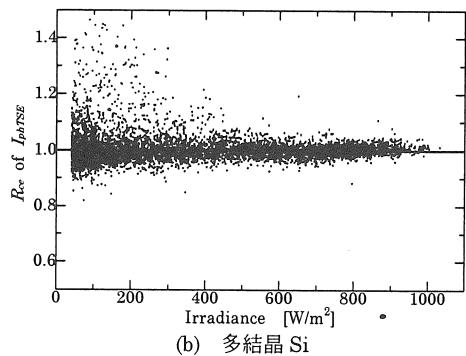
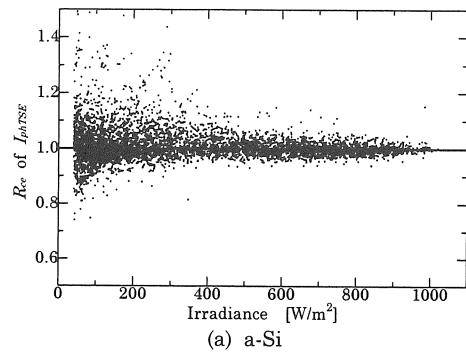
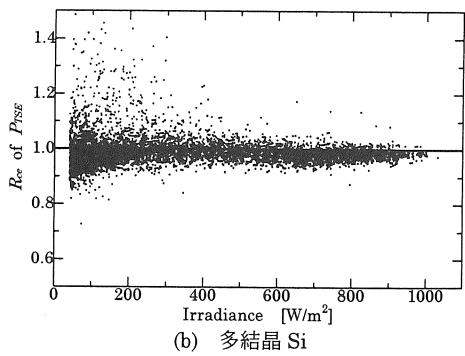
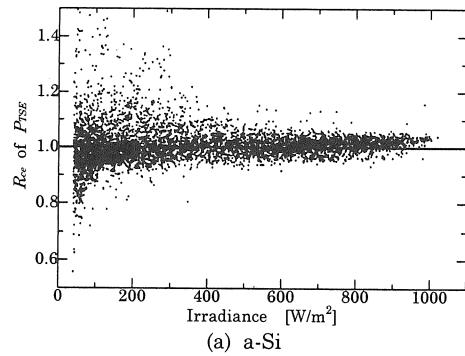
図5 日射強度に対する I_{phTSE} の特性図6 日射強度に対する P_{TSE} の特性

図7～9の横軸は日射強度であり、データを $100\text{W}/\text{m}^2$ 毎に区分した各組の平均の値である。

図7の縦軸は式(20)による出力差 D_{ce} の RMS 値であり、計算による瞬時値と測定による瞬時値とがどの程度差があるかを示している。

$$(D_{ce} \text{の RMS 値}) = \sqrt{\frac{1}{(\text{データ数})} \sum (D_{ce})^2} \quad \dots \dots \dots (20)$$

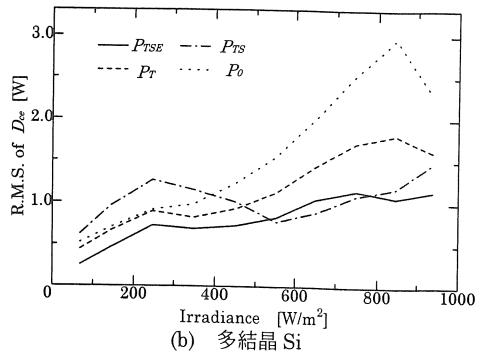
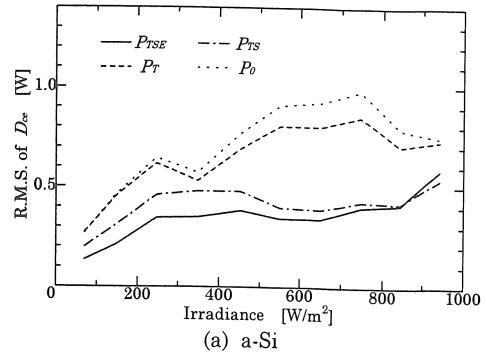


図7 日射強度に対する出力計算値の特性

この図から P_o と P_{TSE} を比較すると、 P_{TSE} の値の方が P_o の値より小さくなっています。また全日射強度での D_{ce} の RMS 値は a-Si で 0.669W から 0.316W に、多結晶 Si で 1.483W から 0.743W に減少しました。これにより、環境因子を考慮することにより出力の瞬時値をより正確に求められることが分かる。

図8の縦軸は積算出力量の R_{ce} を表しており、 P_o より P_{TSE} の方が 1 に近い。さらに、式(21)で示す D_{ce} の比は a-Si で 2.50% から 0.95% に、多結晶 Si で 2.52% から 1.24% に減少しました。これより積算出力量の比較においても環境因子を考慮した本計算法が有効であることが分かる。

$$(D_{ce} \text{の比}) = \frac{|(\text{計算値}) - (\text{測定値})|}{(\text{測定値})} \quad \dots \dots \dots (21)$$

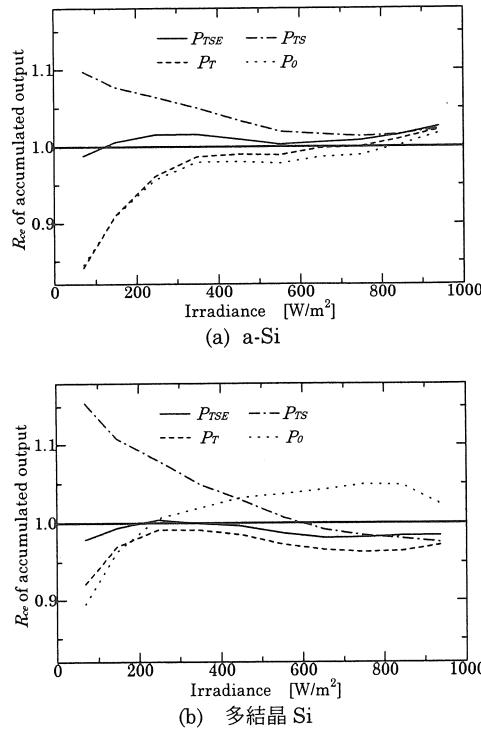


図 8 日射強度に対する積算出力量の特性

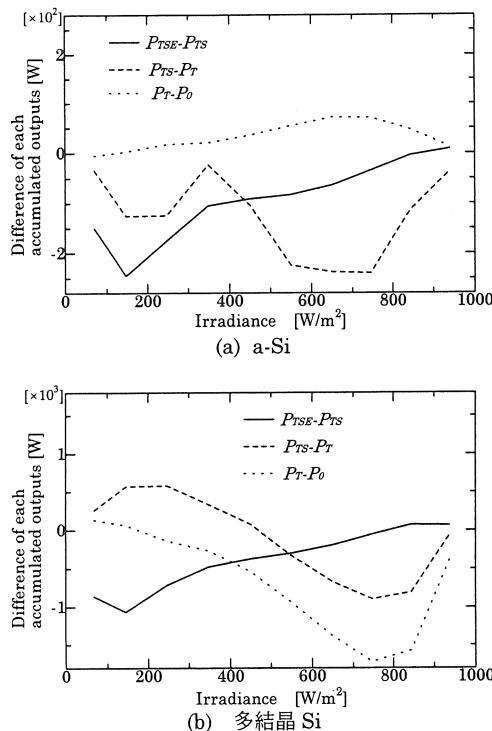


図 9 日射強度に対する各環境因子の影響

図 9 は、($|P_{TSE} - P_{TS}|$, $|P_{TS} - P_T|$, $|P_T - P_o|$)により求めた個々の各環境因子(日射強度, 太陽光スペクトル分布, 太陽電池温度)の積算出力量への影響を示したものである。a-Si では(473.2Wh, 631.4Wh, 163.4Wh)となり太陽光スペクトル分布が与える影響が一番大きく、太陽電池温度, 日射強度が与える影響の各々3.86倍, 1.34倍であった。また多結晶Siでは(1947.0Wh, 480.2Wh, 3383.9Wh)となり太陽電池温度が与える影響が一番大きく、太陽光スペクトル分布, 日射強度が与える影響の各々7.05倍, 1.74倍であった。

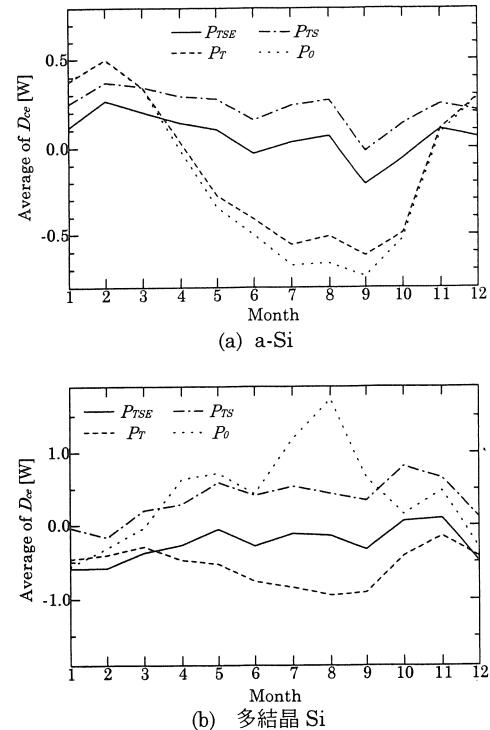


図 10 月ごとの各環境因子の影響

図 10 の横軸は1994年の各月であり、縦軸は各計算による積算出力量と測定による積算出力量の差を示している。ただし、月ごとでデータ数が異なるため縦軸の値は各月のデータ数で割った平均の値である。両モジュールとも P_o より P_{TSE} のグラフの方が振れ幅が小さくなっている。季節によって変化する太陽電池温度、太陽光スペクトル分布の影響が補正されていることが分かる。

また、a-Siでは特に P_{TS} と P_T との間でグラフの振れ幅の差が大きく、季節により変化する太陽光スペクトル分布が与える影響が大きい事がこの図からも分か

る。一方、多結晶 Si では特に P_T と P_0 との間でグラフの振れ幅の差が大きく、季節により変化する太陽電池温度が与える影響が大きいことが分かる。

6. 結言

以上太陽電池の基本特性式をベースにして、太陽光スペクトル分布、日射強度など環境因子を考慮した太陽電池モジュールの特性式を示した。さらに、電流電圧特性 (I-V 特性カーブ) から出力を計算し、本方法による出力量と本学屋上で取得した a-Si、多結晶 Si モジュールの測定データとの比較、検討をした。その結果次のことが明らかになった。

- (1) 太陽電池の基本特性式に基づいて、太陽光スペクトル分布、日射強度を考慮した太陽電池モジュールの電流電圧特性 (I-V 特性カーブ) を表示する特性式が構築できた。
- (2) 環境因子を考慮することで、出力差 D_{ee} の RMS 値が a-Si で 0.669W から 0.316W に、多結晶 Si で 1.483W から 0.743W に改善され、瞬時値での計算値と測定値との差が半減した。
- (3) 環境因子を考慮することで、年間積算出力量における D_{ee} の比は a-Si で 2.50% から 0.95% に、多結晶 Si で 2.52% から 1.24% に減少し、積算出力量での計算値と測定値との差は 50% 以上削減された。
- (4) a-Si において年間積算出力量に一番影響を与える環境因子は太陽光スペクトル分布であり、太陽電池温度、日射強度が与える影響の各々 3.86 倍、1.34 倍となった。
- (5) 多結晶 Si においては年間積算出力量に一番影響を与える環境因子は太陽電池温度であり、太陽光スペクトル分布、日射強度が与える影響の各々 7.05 倍、1.74 倍となった。

謝辞

本研究を行うにあたり、御協力頂いた三洋電機株式会社の関係各位に深謝致します。

参考文献

- (1) 亀山・平田・谷、各環境因子に対する太陽電池の変換効率の評価、太陽／風力エネルギー講演論文集(1995), (1995-11), 67, 大分。
- (2) Shinya Tsuda, Noboru Nakamura, Yukio Nakashima and Hisaki Tarui, Analysis of the Photovoltaic Characteristics of p-i-n a-Si solar Cells, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.21(1982)Supplement, 251-252.
- (3) 赤坂隆、数值計算、(1971), 192-193、コロナ社、東京。
- (4) 黒川浩助・若松清司編、太陽光発電システム設計ガイドブック、(1994), 56-57、オーム社、東京。
- (5) 浜川圭弘・桑野幸徳編、太陽エネルギー工学=太陽電池、(1994), 53-54、培風館、東京。
- (6) 電気学会太陽電池調査専門委員会編、太陽電池ハンドブック、(1985), 227-228、コロナ社、東京。
- (7) 平田・谷、太陽光スペクトル分布を考慮した太陽電池モジュールの出力評価、電気学会論文誌 D, 113-9(1993), 1029-1031。