

異なる地点における 太陽電池モジュールの出力特性の変化

(東京都新宿区と静岡県浜松市との比較)

Change of Photovoltaic Module Conversion Efficiency

with the Environmental Factors in different site

(Comparison of the conversion efficiency in Kagurazaka Tokyo
with the one in Hamamatu Sizuoka)樋口 俊之*¹

Toshiyuki HIGUCHI

亀山 範弘*²

Norihiko KAMEYAMA

谷 辰夫*³

Tatuo TANI

平田 陽一*⁴

Youichi HIRATA

稲坂 勤*⁵

Tutomu INASAKA

Abstract

For optimum design of photovoltaic power systems, it is very important to estimate their annual maximum output precisely. It has already become clear that the conversion efficiencies of photovoltaic modules are mainly effected by the environmental factors such as solar irradiance, cell temperature and spectral solar radiation. In this paper, it was discussed how the output of photovoltaic modules for polycrystalline silicon and amorphous silicon are effected by the environmental factors in Tokyo and Sizuoka. The environmental factors that have been measured at two sites from January, 1993 to September, 1995 were compared quantitatively and discussed. The different of solar radiation that have integrated the annual amount of two areas are 379kWh/m². year, the output of photovoltaic system with rating capacities of 3kW were calculated by using the different environmental factors of two sites. As a result, the annual generated power of the polycrystalline silicon photovoltaic power system was 3588kWh in Tokyo and 4367kWh in Sizuoka. For optimization of photovoltaic power systems, it is necessary to consider the environmental factors in each area.

Key Words : optimum design, photovoltaic power system, environmental factors, annual generated power, rating capacities

1. 緒言

太陽光発電システムの最適設計を行うには、太陽電池モジュールの変換効率を正確に把握し設計に反映させることが重要である。すでに、太陽電池モジュールの変換効率は日射強度、セル温度、太陽光スペクトル分布などの環境因子に影響を受けて変化することが報告されている¹⁾。本論文は、異なる2地点の環境因子の違いによる太陽電池モジュール出力の諸特性について論述したものである。まず、東京都新宿区(東京理科大学神楽坂校舎屋上)、静岡県浜松市((財)日本品質保証機構浜松ソーラエネルギー研究所)の異なる2地点で測定した同一期間の傾斜面全天日射強度、外気温度、太陽光スペクトル分布を比較検討して、両地点の環境因子の相違を定量的に明らかにした。なお、以降、本論文では前者地点をSUT、後者地点をJQAと略記する。

次いで、東京で測定した多結晶シリコン太陽電池モジュールとアモルファスシリコン太陽電池モジュールの基本特性をベースにして、両地点における太陽電池モジュールの諸特性の差異を考察した。

さらに、両地点で太陽光発電システムを設置したとき、環境因子の違いによるシステム発電量の差異を比較した。すなわち、両地点に定格容量3kWの太陽光発電システムを仮定し、年間発電量を従来より一般に用いられているセル温度のみを考慮した出力評価法“従来法”と日射強度、セル温度、太陽光スペクトル分布を考慮した出力評価法“スペクトル法”で求め、比較した。その結果、従来法とスペクトル法で評価した発電量の差は例えば、多結晶シリコン太陽電池アレイにおいてSUTが46kWh、JQAで116kWhとなり、太陽光スペクトル分布の差異が発電量に影響していることが分かった。

これより、両地点の太陽光発電システムの最適設計を行うには設置地点での傾斜面全天日射量はもとより、環境因子(日射強度、セル温度、太陽光スペクトル分布など)も考慮する必要があることが分かった。

原稿受付 平成9年5月26日

*1 東京理科大学工学部大学院生 *2 元大学院生

*3 同大学教授(東京都新宿区神楽坂 1-3)

*4 東京理科大学諏訪短期大学助手

*5 同大学教授(長野県茅野市豊平 5000-1)

2. 測定場所と測定装置

2・1 測定場所

本論文では、図1に示す2地点の傾斜面全日射強度、外気温度、太陽光スペクトル分布を測定した。また、東京理科大学神楽坂校舎では多結晶シリコン太陽電池モジュール（以下、多結晶Siと略記）、アモルファスシリコン太陽電池モジュール（以下、アモルファスSiと略記）の出力特性も測定した。測定期間は1993年1月から1995年9月である。測定地点に関する詳しい情報は次のようである。

(1) 東京都新宿区神楽坂 1-3

（緯度 $35^{\circ} 41'$ ，経度 $139^{\circ} 45'$ ）

東京理科大学 神楽坂校舎

方位：真南，傾斜角： 35.5° ，設置場所：地上 40 m

(2) 静岡県浜松市初生町 1084-2^{2) 3)}

（緯度 $34^{\circ} 44'$ ，経度 $137^{\circ} 44'$ ）

（財）日本品質保証機構 浜松ソーラエネルギー研究所

方位：真南，傾斜角： 30.0° ，設置場所：地表面

（財）日本気象協会より発表されている日射気候区分⁴⁾によれば東京の区分はIII-2B、浜松の区分はIV-4Aと異なっているが、冬季は同じ太平洋型で、夏季はJQAが梅雨顕著型、SUTがその弱まった型であり、日射気候の特徴は比較的似た地域であると言える。

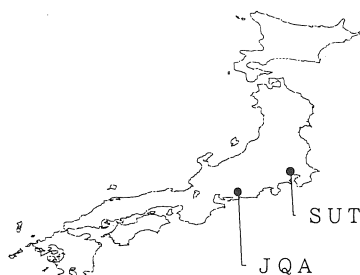


図1. 環境因子の測定地点 (SUT, JQA)

2・2 測定装置

両地点で測定に使用した全日射計は英弘精機(株)の精密全日射計 (MS-801)，分光日射計は同社の全日分光日射計 (MS-131WP) である。表1に両地点で用いた分光日射計の測定波長帯を示す¹⁾。また、SUTでは同時期に表2に示す多結晶SiとアモルファスSiを 35.5° 度に傾斜させ真南に設置した。太陽電池モジュールについては、パソコン制御のI-Vカーブトレーサ（英弘精機(株)，MP-123B）からモジュールの裏面温度（本論文ではこれをセル温度とした）、短絡電流、

開放電圧、曲線因子の瞬時値が5分ごとに出力され、30分毎に平均した値をデータ処理に用いている。

表1. 分光日射計の測定波長帯

Channels	Wavelength	Band [nm]
	SUT	JQA
1	305 ~ 395	305 ~ 395
2	395 ~ 495	395 ~ 495
3	495 ~ 590	495 ~ 695
4	590 ~ 695	695 ~ 850
5	695 ~ 850	850 ~ 1,200
6	850 ~ 2,800	1,200 ~ 2,800

表2. 太陽電池モジュールの定格

	Poly-Si	Amo-Si
Maximum Power [W]	59.3	24.9
Open-circuit Voltage [V]	25.8	38.7
Short-circuit Current [A]	3.1	1.1
Optimum Voltage [V]	20.3	28.7
Optimum Current [A]	2.9	0.9

（条件：AM 1.5，日射強度 1 kW/m^2 ，セル温度 25°C ）

3. 積算日射量の比較

両地点の年間で積算した傾斜面全日射量を表3に示す。SUTの傾斜面全日射量はJQAのそれに比べ1993年1月1日から12月31日までの1年間で29.6%，また同様に1994年の1年間で28.3%小さいことが分かる。これはSUTではビルなどの陰により日射が遮られることと、両地点の気候区分が異なるためである。

表3. 両地点の傾斜面全日射量

Year	Solar Radiation [$\text{kWh/m}^2 \cdot \text{year}$]	
	SUT	JQA
1993	1205	1562
1994	1340	1719
1995*	986	1231

1995*は1月から9月の積算値である。

図2は1993年1月から1994年12月までの2年間の両地点の日積算日射量の累積度数分布⁵⁾を示した。累積度数分布とは、ある日積算日射量以下の度数を累積して表示したものである。この図より、JQAに比べSUTは日射量の少ない日が多く、それだけ散乱光、つまり短波長成分が増加していると推測される。つまり、SUTはJQAに比べて日射量が少ないが中身が濃くなっていると表現される。

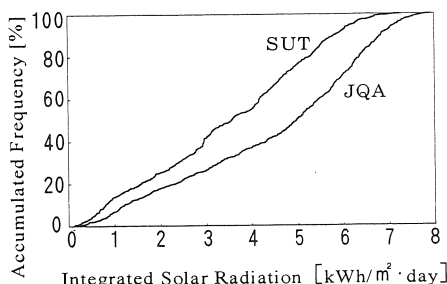


図2. 日積算日射量の累積度数分布図

4. 環境因子

太陽電池の変換効率には日射強度、セル温度、太陽光スペクトル分布などの環境因子に影響を受ける。これらの環境因子は日射強度により出力積算量全体に与える影響の度合いが異なる⁷⁾。そこで、各環境因子の値に日射強度により重み付けを行い、各月、年間の環境因子の代表値を加重平均日射強度、加重平均セル温度、有効スペクトル比と名付けた。

4・1 加重平均日射強度

加重平均日射強度 E_τ は変換効率に影響を与える日射強度を日射強度で重み付けすることにより、次式で求められる。

$$I_\tau = \int_0^\tau E dt \quad \dots\dots(1)$$

$$E_\tau = \int_0^\tau E \cdot E dt / I_\tau \quad \dots\dots(2)$$

ただし、 E は日射強度 [kW/m^2]、 τ は各月、年間の総日照時間 [h]、 I_τ は各月、年間の積算日射量 [$\text{kWh/m}^2 \cdot \text{month}$]、 $[\text{kWh/m}^2 \cdot \text{year}]$ である。

図3は両地点の各月の加重平均日射強度の季節変化を示したものである。この図からJQAの加重平均日射強度はSUTのそれに比べ1994年2月を除き全て大きく、最大で 0.15 kW/m^2 大きいことが分かる。

4・2 加重平均セル温度

加重平均日射強度と同様に太陽電池セル温度についても加重平均セル温度 T_τ を次式のように定義した。

$$T_\tau = \int_0^\tau T \cdot E dt / I_\tau \quad \dots\dots(3)$$

ただし T はセル温度である。SUT、JQAのセル温度は以下の様に求めた。まずSUTで実測した多結晶Si、アモルファスSiの日射強度に対するセル温度、外気温度の差 ΔT の関係を近似式により求めた⁸⁾。この近似式を

用いてSUT、JQAの外気温度に ΔT を加えてセル温度とした。図4は両地点の加重平均セル温度の季節変化である。加重平均日射強度の特性と同様、JQAの加重平均セル温度はSUTのそれと比べ1993年11月を除き全て高く、最大で 7°C 高くなっている。

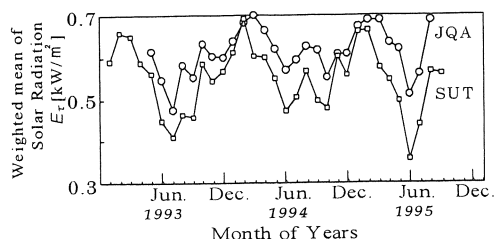


図3. 加重平均日射強度の季節変化の比較

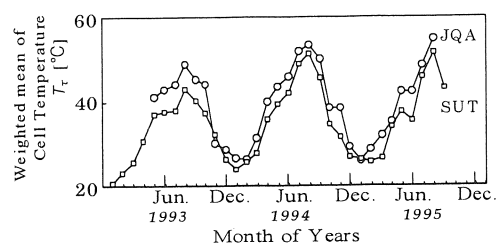


図4. 加重平均セル温度の季節変化の比較

4・3 分光感度帯と有効スペクトル比¹⁾

図5は本論文で用いた多結晶SiとアモルファスSiの分光感度特性である。これらのデータをもとにして多結晶Si、アモルファスSiの有効スペクトル比を求めた。まず、有効スペクトルとは表4に示した各太陽電池モジュールの分光感度帯に入射する日射量のことであり、傾斜面全天日射量に対する有効スペクトルの比率を有効スペクトル比とした。

各チャンネルの日射強度にかかる係数は基準光をもとに定めた¹⁾。SUTの多結晶Si、アモルファスSiの有効スペクトル E_R はそれぞれ(4a)、(4b)式によった。

$$E_R = \sum_{n=1}^5 E_n + 0.561 \cdot E_6 \quad \dots\dots(4a)$$

$$E_R = \sum_{n=1}^4 E_n + 0.849 \cdot E_5 \quad \dots\dots(4b)$$

ただし、 $E_n (n=1 \sim 6)$ は表1に示すSUTの n チャンネルの波長帯の日射強度である。

また、JQAの多結晶Si、アモルファスSiの有効スペクトル E_R はそれぞれ(5a)、(5b)式によった。

$$E_R = \sum_{n=1}^5 E_n \quad \dots\dots(5a)$$

$$E_R = \sum_{n=1}^3 E_n + 0.849 \cdot E_4 \quad \cdots \cdots (5b)$$

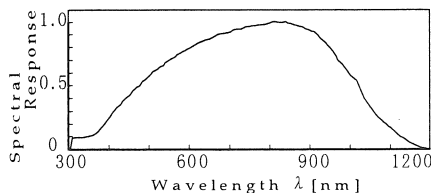
ただし、 $E_n(n=1\sim6)$ は表1に示すJQAの n チャンネルの波長帯の日射強度である。

さらに、有効スペクトル比は次式より求めた。

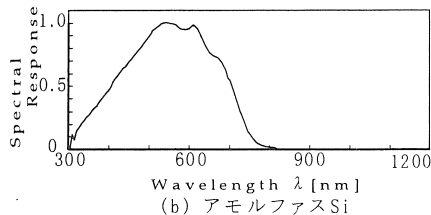
$$A_s = \int_0^{\infty} E_R dt / \int_0^{\infty} E dt \quad \cdots \cdots (6)$$

表4. 分光感度帯

PV Module	Spectral Response[nm]
Poly-Si	305~1,212
Amo-Si	305~ 819



(a) 多結晶Si



(b) アモルファスSi

図5. 相対分光感度特性

図6は両地点の各月の有効スペクトル比を比較したものである。図より有効スペクトル比は両地点ともに夏期に最大、冬期に最小となるように季節変化していることがわかる。両地点の有効スペクトル比を比較するとJQAの有効スペクトル比がSUTのそれに比べて大きく変化していることがわかる。また、年間を通じて両太陽電池モジュールともJQAの有効スペクトル比よりSUTの有効スペクトル比の方が大きく、その最大の差は1993年4月の多結晶Siで0.082、アモルファスSiで0.066である。

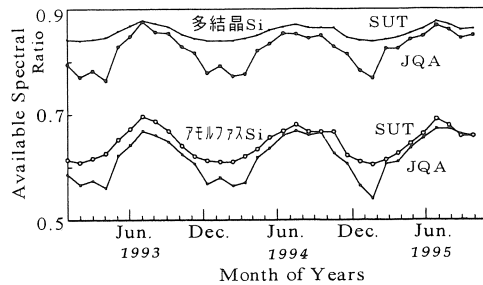


図6. 両地点の有効スペクトル比の比較

4・4 環境因子の年間特性

表5は両地点の環境因子の1994年1~12月の1年間の値を示したものである。SUTの加重平均日射強度はJQAのそれに比べ 0.06kW/m^2 小さい。また、SUTの加重平均セル温度はJQAのそれに比べ 3°C 低い。一方、有効スペクトル比については多結晶Si、アモルファスSiともにSUTの有効スペクトル比がJQAのそれに比べ多結晶Siで0.037、アモルファスSiで0.025大きくなった。これら各環境因子が異なることより出力に与える影響が異なることが分かる。

5. 太陽電池モジュールの基本特性

ここでは、東京と静岡の環境因子より太陽電池モジュールの出力を評価するのに必要となる多結晶Si、アモルファスSiの基本特性を求めた。

5・1 セル温度係数⁷⁾

太陽電池モジュールの変換効率率はセル温度が上昇するにつれ低下する。表6は測定データより求めた多結晶Si、アモルファスSiの変換効率率と温度係数を示した。使用した測定データは1994年1月1日から3月31日の3ヶ月間、SUTで測定したものである。すなわちこの期間の 850W/m^2 以上の日射強度で有効スペクトル比が多結晶Siでは $0.835\sim0.840$ 、アモルファスSiでは $0.607\sim0.613$ の環境因子を限定したデータで、これを標準光として用いた。

表5. 年間の値 (1994年1~12月)

Area	Environmental		
	Irradiance $E_T[\text{kW/m}^2]$	Cell Temperature $T_c[^\circ\text{C}]$	Available Spectral Ratio Poly-Si Amo-Si
SUT	0.56	36	0.854 0.642
JQA	0.62	39	0.817 0.617

表 6. 太陽電池モジュールの特性

PV Module		Poly-Si	Amo-Si
Fill Factor FF		0.74	0.59
Square $S[m^2]$		0.54	0.49
Efficiency $\eta_o[\%]$		10.05	3.94
Coefficient of Temperature $\alpha[^\circ C]$		-0.37	-0.05

(条件: 標準光, 日射強度 $850W/m^2$ 以上)5・2 日射強度依存性⁷⁾

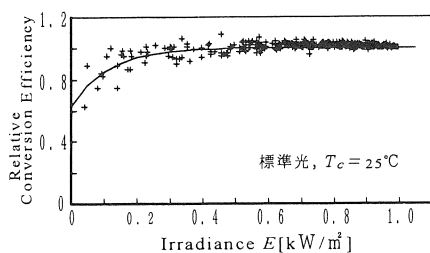
図 7(a), (b)は日射強度に対する多結晶 Si とアモルファス Si の相対変換効率の関係を示している. 図の特性は, 1994 年 1 月 1 日より 3 月 31 日まで SUT で取得したデータで, 有効スペクトル比が多結晶 Si では 0.835 ~ 0.840, アモルファス Si では 0.607 ~ 0.613 の測定データをプロットしたものである. 両モジュールともセル温度が $25^\circ C$ のときの変換効率に換算して表示してある. 多結晶 Si において相対変換効率は日射強度が $0.2kW/m^2$ 以下で急激に低下しており, 変換効率が日射強度に依存していることが分かる. 一方, アモルファス Si についても, 日射強度が弱くなるに従い, 徐々に相対変換効率が低下する傾向にあることがわかる. これらの近似式は次のように求まった. 多結晶 Si は

$$\phi(E)=1-0.38 \cdot \exp(-8.8 \cdot E) \quad \cdots \cdots (7a)$$

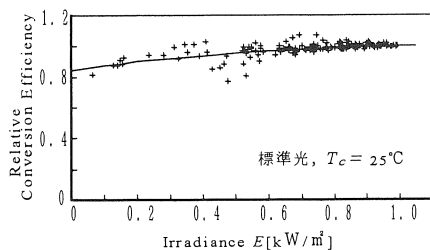
アモルファス Si は

$$\phi(E)=1.04 \cdot [1-0.20 \cdot \exp(-1.59 \cdot E)] \quad \cdots \cdots (7b)$$

となった.



(a) 多結晶 Si



(b) アモルファス Si

図 7. 日射強度に対する変換効率の変化

5・3. 分光感度特性

太陽電池の絶対分光感度特性を, 次のように求めた. 短絡電流の定格値は, 基準光スペクトル分布と絶対分光感度特性の積を積分した値に等しい. そこで, 短絡電流の定格値を $I_{sc}(1.0)$, 絶対分光感度特性を $S(\lambda)$, 基準光スペクトル分布を $E_o(\lambda)$, 相対分光感度特性を $S_o(\lambda)$ とおくと, 次のような関係式が成り立つ.

$$I_{sc}(1.0) = \int S(\lambda) \cdot E_o(\lambda) d\lambda \quad \cdots \cdots (8)$$

$$S(\lambda) = C \cdot S_o(\lambda) \quad \cdots \cdots (9)$$

ただし, $S(\lambda)$ の単位は $[A/kW/m^2]$, $E_o(\lambda)$ の単位は $[kW/m^2/nm]$, C は定数である.

これより定数 C は, 次式で表される.

$$C = I_{sc}(1.0) / \int S_o(\lambda) \cdot E_o(\lambda) d\lambda \quad \cdots \cdots (10)$$

これより C を計算し, 絶対分光感度を決定する. 標準光, 日射強度 $1.0kW/m^2$ の短絡電流の値を用いて, 絶対分光感度を決定したものを表 7, 8 に示す.

表 7. 絶対分光感度 (SUT)

Ch	Poly-Si	Amo-Si
1	0.576	0.654
2	2.068	1.723
3	3.511	2.509
4	4.535	2.173
5	5.056	0.370
6	1.423	0

表 8. 絶対分光感度 (JQA)

Ch	Poly-Si	Amo-Si
1	0.576	0.654
2	2.068	1.723
3	4.049	2.333
4	5.056	0.370
5	2.536	0
6	0	0

6. スペクトル法と出力比率

6・1 従来法とスペクトル法⁸⁾

まず(11)~(14b)式はそれぞれ環境因子の影響を含んだ各月, 年間の出力積算量を求めたものである. 積分時間は各月, 年間の積算日照時間であり, 積分記号における時間の表記は省略してある. P_0 は標準状態(標準光, 日射強度 $1kW/m^2$, セル温度 $25^\circ C$)での定格出力積算量, P_{EO} は日射強度の影響を考慮した出力積算量, P_{TEO} はセル温度と日射強度の影響を考慮した出力積算量, そし

て P_{STEO} は日射強度、セル温度と太陽光スペクトル分布の影響を考慮した出力積算量である。

$$P_0 = \int E \cdot \eta_0 dt = \eta_0 \int E dt \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$P_{EO} = \int E \cdot \eta(E) dt = \eta_0 \int E \cdot \phi(E) dt \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$P_{TEO} = \int E \cdot \eta(E, T) dt = \eta_0 \int E \cdot \phi(E) \cdot k(T) dt \quad \dots\dots\dots (13a)$$

$$k(T) = 1 + \alpha(T - 25) \quad \dots\dots\dots (13b)$$

$$P_{STEO} = \int E \cdot \eta(E, T, S) dt = \eta_0 \int E \cdot \phi(E) \cdot k(T) \cdot \gamma(S) dt \quad \dots\dots\dots (14a)$$

$$\gamma(S) = \frac{\int R(\lambda) E(\lambda) d\lambda}{\int R(\lambda) E_0(\lambda) d\lambda} \quad \dots\dots\dots (14b)$$

ただし、 E : 日射強度 [kW/m^2], η_0 : 変換効率, $\phi(E)$: 日射強度による影響を考慮した係数で $\phi(1.0)=1.0$, $k(T)$: 温度補正係数 α を用いたセル温度の影響を考慮した係数, $\gamma(S)$: 太陽光スペクトル分布による影響を考慮した係数, $R(\lambda)$: 波長に対する分光感度特性, $E_0(\lambda)$ は標準光スペクトル分布, $E(\lambda)$ は太陽光スペクトル分布, P_0 , P_{EO} , P_{TEO} , P_{STEO} の単位は各月で [$\text{kWh/m}^2 \cdot \text{month}$], 年間で [$\text{kWh/m}^2 \cdot \text{year}$] である。

環境因子別に出力比率を示す。まず日射強度による影響 V_E は, (11), (12) 式より

$$V_E = P_{EO}/P_0 \quad \dots\dots\dots (15)$$

で求められる。また、セル温度のみの影響 V_T は, (12), (13a) 式より

$$V_T = P_{TEO}/P_{EO} \quad \dots\dots\dots (16)$$

で求められる。 V_T はセル温度のみを考慮しているので、従来より一般に用いられている“従来法”による出力比率である。また、太陽光スペクトル分布のみの影響 V_S は, (13a), (14a) 式より

$$V_S = P_{STEO}/P_{TEO} \quad \dots\dots\dots (17)$$

で求められる。日射強度、セル温度、太陽光スペクトル分布すべての影響による変化 V_{ETS} は (18) 式で、次式で表される。

$$V_{ETS} = P_{STEO}/P_0 = V_E \cdot V_T \cdot V_S \quad \dots\dots\dots (18)$$

V_{ETS} は各環境因子を考慮した“スペクトル法”による出力比率である。

6・2 各環境因子に対する出力比率の変化

図 8(a), (b), 図 9(a), (b) は多結晶 Si, アモルファス Si の両地点における各月の環境因子 (日射強度, セル温度, 太陽光スペクトル分布) の出力比率の変化を示

したものである。これらの図の出力比率の基準状態は日射強度, セル温度, 太陽光スペクトル分布がそれぞれ, 1kW/m^2 , 25°C , 標準光である。両地点ともに環境因子の季節に対する変化は同じ傾向を示している。特に多結晶 Si において、日射強度による出力比率への影響はセル温度, 太陽光スペクトル分布による出力比率への影響より季節変化が小さいことがわかる。また、アモルファス Si において、太陽光スペクトル分布による出力比率への影響が大きく季節変化が変化している。

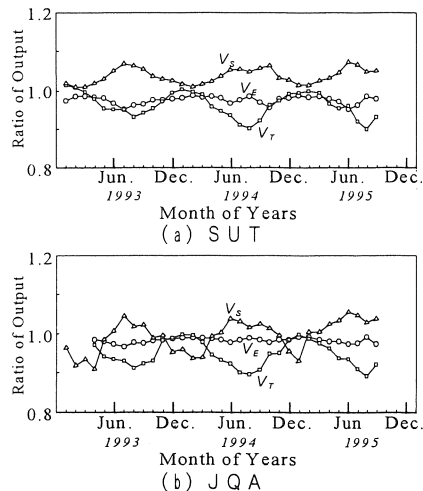


図 8. 環境因子に対する出力比率 (多結晶 Si)

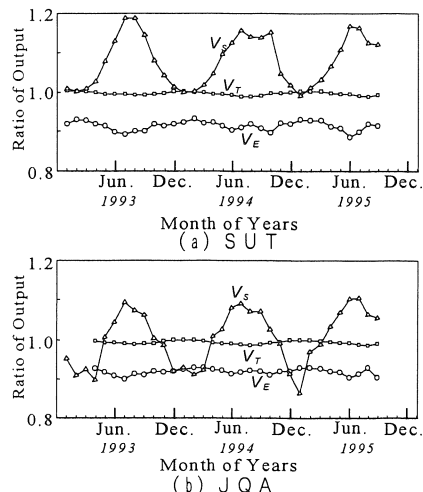


図 9. 環境因子に対する出力比率 (アモルファス Si)

6・3 出力比率の年間特性

両地点の年間の各環境因子に対する出力比率を表 9, 表 10 に示す。各環境因子に対する出力比率の地域によ

る差を JQA の値に対する SUT の値を調べた。日射強度による影響 V_E-1 、セル温度による影響 V_T-1 は各太陽電池モジュールともに $\pm 1\%$ 以下の差である。太陽光スペクトル分布による影響 V_S-1 は多結晶 Si で $+4.4\%$ 、アモルファス Si で $+7.3\%$ と、他の環境因子の影響の差に比べて大きい。これは、4.4 節で述べた太陽光スペクトル分布の地域差に起因している。

表 9. 各環境因子に対する出力比率 (多結晶 Si)

PV Module	V_E-1 [%]	V_T-1 [%]	V_S-1 [%]	V_{ETS}
SUT	-2.1	-4.5	3.5	0.968
JQA	-1.6	-5.5	-0.9	0.921

表 10. 各環境因子に対する出力比率 (アモルファス Si)

PV Module	V_E-1 [%]	V_T-1 [%]	V_S-1 [%]	V_{ETS}
SUT	-8.4	-0.6	7.6	0.980
JQA	-7.9	-0.7	0.3	0.952

7. 年間の発電量

ここでは太陽光発電システムの発電量に環境因子の影響がどの程度影響を与えるかを検討した。3kW の太陽光発電システムを想定し、従来法とスペクトル法による年間の発電量をそれぞれ P_T [kWh/year]、 P_{ETS} [kWh/year] とすると、これらは次式で求められる。

$$P_T = \sum_{m=1}^{12} I_m \cdot V_{Tm} \cdot \eta_0 \cdot S \quad \cdots \cdots (19)$$

$$P_{ETS} = \sum_{m=1}^{12} I_m \cdot V_{ETSm} \cdot \eta_0 \cdot S \quad \cdots \cdots (20)$$

なお、 I_{Tm} : 各月の積算日射量 [kWh/m²・month] で両地点の各月の平均、 V_{Tm} : 各月の従来法による出力比率、 V_{ETSm} : 各月のスペクトル法による出力比率、 η_0 : 各太陽電池の規格効率、 S : 3kW の太陽光発電システムを想定した太陽電池アレイ面積である。この面積は多結晶 Si が 27.5m²、アモルファス Si が 59.5m² とした。

(2) 表 11、表 12 は従来法とスペクトル法による年間の発電量を示したものである。これにより、スペクトル法で出力評価すると多結晶 Si においては SUT が 3588kWh、JQA が 4367kWh となり、アモルファス Si においては、SUT が 3112kWh、JQA が 3742kWh となった。この差は日射量の違いが大きく影響し、環境因子では太陽光スペクトル分布の違いが影響している。

また、従来法とスペクトル法で評価した発電量は、多結晶 Si で 46~116kWh、アモルファス Si で 35~298kWh の差を生じた。これは、両地域で太陽光スペ

クトル分布の環境因子が異なるためである。特に、アモルファス Si は多結晶 Si に比べ太陽光スペクトル分布の影響が大きいため、セル温度のみを考慮した従来法より太陽光スペクトル分布などの影響を考慮したスペクトル法での出力評価が必要である。

表 11. 年間の発電量の比較 (多結晶 Si)

PV Module	Conventional Method P_T	Spectral Method P_{ETS}	Difference $P_T - P_{ETS}$
SUT	3542	3588	46
JQA	4483	4367	116

P_T, P_{ETS} : [kWh/year]

表 12. 年間の発電量の比較 (アモルファス Si)

PV Module	Conventional Method P_T	Spectral Method P_{ETS}	Difference $P_T - P_{ETS}$
SUT	3157	3112	35
JQA	4040	3742	298

P_T, P_{ETS} : [kWh/year]

8. 結論

本論文では、SUT と JQA の異なる 2 地点において環境因子が違うことを確認した。そして、その影響による太陽電池モジュール出力の諸特性の違いについて論述した。その結果を以下に示す。

(1) 年間積算傾斜面全日射量について、SUT は JQA に比べ 1993 年で 29.6%、1994 年で 28.3% 小さいことが分かった。これは SUT ではビルなどの陰により日射が遮られることと、両地点の気候区分が異なるためである。

(2) 各環境因子について比較したところ、1994 年では SUT の加重平均日射強度は、JQA のそれに比べ 0.06kW/m² 小さい。また、SUT の加重平均セル温度は JQA のそれに比べ 3°C 低い。一方、有効スペクトル比については多結晶 Si、アモルファス Si ともに SUT の有効スペクトル比が JQA のそれに比べ 4~5% 大きくなった。これら各環境因子が異なることより出力に与える影響が異なることが分かる。

(3) 各環境因子に対する出力比率の地域による差を JQA の値に対する SUT の値で調べた。日射強度による影響とセル温度による影響が各太陽電池モジュールともに $\pm 1\%$ 以下の差である。一方、 V_S は多結晶 Si で $+4.4\%$ 、アモルファス Si で $+7.3\%$ と、他の環境因子の差に比べて大きい。

(4) 3kW の太陽光発電システムを想定した PV アレイの年間の発電量をスペクトル法で出力評価した。多

結晶 Si においては SUT が 3588kWh, JQA が 4367kWh となり, アモルファス Si においては, SUT が 3112kWh, JQA が 3742kWh となった. この差は日射量の違いが大きく影響し, 環境因子では太陽光スペクトル分布の違いが影響している.

(5) 従来法とスペクトル法で評価した発電量は, 多結晶 Si で 46~116kWh, アモルファス Si で 35~298kWh の差を生じた. これは, 両地域で太陽光スペクトル分布の環境因子が異なるためである. 特に, アモルファス Si は多結晶 Si に比べ太陽光スペクトル分布の影響が大きいいためセル温度のみを考慮した従来法より太陽光スペクトル分布などの影響を考慮したスペクトル法での出力評価が必要である.

(6) 太陽光発電システムの最適設計を行うには, 設置地点での傾斜面全天日射量はもとより, 変換効率に影響を与える環境因子(日射強度, セル温度, 太陽光スペクトル分布など)を考慮する必要があることが分かった.

謝辞

本研究で用いた JQA (財) 日本品質保証機構 浜松ソーラ研究所の測定データは NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構) 太陽技術開発室の御好意によるものである. ここに感謝の意を表する.

参考文献

- 1) 樋口・亀山・平田・稲坂・谷:「異なる地域の環境因子に対する太陽電池の変換効率の変化」, 平成 8 年度電気学会全国大会講演論文集, Vol.7-327, No1761 (1996.3)
- 2) (財) 日本品質保証機構:「太陽光発電システムの評価技術の研究開発」, NEDO 委託業務成果報告書 (1994.3)
- 3) (財) 日本品質保証機構 同上 (1995.3)
- 4) 吉田・菊地原:「日射量の全国マップーその 10 (日射気候区分図)」太陽エネルギー, Vol.15.2, P18~P19
- 5) (財) 日本気象協会:「太陽光発電利用システム実用化技術開発 太陽光発電利用システム・周辺技術の研究開発」NEDO 委託業務成果報告書 P.56, H.7 年 3 月
- 6) 小林・谷:「環境因子の変化に対する太陽電池モジュールの出力特性」太陽エネルギー, Vol.19-4, P.42
- 7) 平田・亀山・谷:「太陽電池の変換効率を評価する際の基準状態と環境因子(日射強度に対する変換効率の変化)」平成 7 年度日本太陽エネルギー学会日本風力エネルギー協会合同発表会, P65~P68, No.17 (1995.12)

- 8) 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」, 平成 7 年度日本太陽エネルギー学会日本風力エネルギー協会合同発表会, P69~P71 No.18 (1995.12)