

太陽光発電における日射量と太陽光スペクトル密度を用いた エネルギー推定

Energy presumption used with flux of solar radiation and solar spectrum density in solar generation of electricity

植田綾子[†] 堀岳央[†] 雪田和人[†] 後藤泰之[†] 一柳勝宏[†] 依田正之[†]

Ayako UEDA, Takao HORI, Kazuto YUKITA, Yasuyuki GOTO, Katsuhiko ICHIYANAGI, Masayuki YODA

Abstract In recent years, the power generation system using the natural energy, that is renewable energy, attracts the attention as an environmental harmony type or eco-friendly power generation system. Among these, the solar power generation and wind power generation are small capacity. They are installed also in power system and are increasing. We measured the open voltage and the short-circuit current of three kinds of solar cell modules, i.e. single crystal, poly crystal and amorphous. The result is compared with the total solar energy and the flux of solar radiation. The comparison result was used as training data of a neural network, and the generation power of a solar cell module is estimated by neural network.

1. まえがき

近年、環境調和型あるいは環境に優しい発電システムとして、再生可能エネルギーである自然エネルギーを用いた発電方式が注目されている。このうち、太陽光発電や風力発電については、小容量のものではあるが、住宅に設置され増加の傾向にある。そのなかで太陽光発電システムは、半導体の光電効果を利用し太陽から放射されるエネルギーを直接電気エネルギーに変換するためCO₂、NO_x、SO_xなどの有害物質を発生しないクリーンエネルギーシステムであり、代替エネルギーシステムの1つとして注目されている。また、太陽電池モジュールの種類には、シリコン結晶系太陽電池である単結晶、多結晶およびアモルファス、化合物半導体などがある。

本報告は、愛知工業大学5号館屋上に単結晶太陽電池、多結晶太陽電池、アモルファス型太陽電池の三種類の太陽電池モジュールを設置し、ある時刻における太陽光スペクトル密度および日射量、各太陽電池モジュールの開放電圧、短絡電流を測定し、比較検討を行った。そして、その結果を用いニューラルネットワークによる各太陽電池モジュールの単位面積当りの発電量推定を行った。

2. 実験方法

2.1 太陽光スペクトル密度測定

太陽光スペクトル密度測定装置の概略を図1に示す。この測

定システムは、図中に示す FINDER より太陽光を受光し、GS-1251-01(ガンマ社製)より 350~1099nm の測定波長範囲で分光し、波長ごとのスペクトル密度を測定している。GS-1271(ガンマ社製)は、GS1252-01 を制御する機器であり、GS-1271 からの測定データを GP-IB によりパソコンに取り込むようになっている。測定したデータは、Light Touch にて解析を行った。

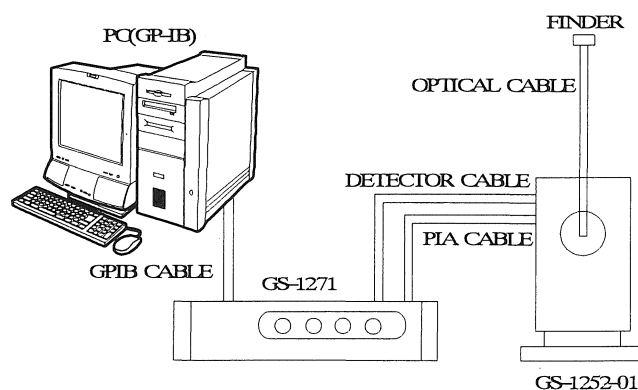


図1 太陽光スペクトル密度測定装置の概略

Fig.1 Outline of solar spectrum density measurement equipment

2.2 日射量測定

日射量の測定は日射量計にて行ない、日射量計の波長測定範囲は305~2800nmである。

2.3 太陽電池モジュール開放電圧・短絡電流測定

図2に太陽電池モジュールの設置状態を示す。図の左からアモルファス太陽電池、単結晶太陽電池、多結晶太陽電

[†] 愛知工業大学 工学部 電気工学科 (豊田市)

池で, 太陽電池モジュールの傾斜角度はすべて 15° で統一した。また, 表 1 に測定に使用した各太陽電池モジュールの仕様を示す。図 3 に示す様に, 太陽電池モジュールの無負荷時の電圧である開放電圧および短絡時の電流である短絡電流は, スイッチの切り替えにより, 電圧計, 電流計を使用して測定した。

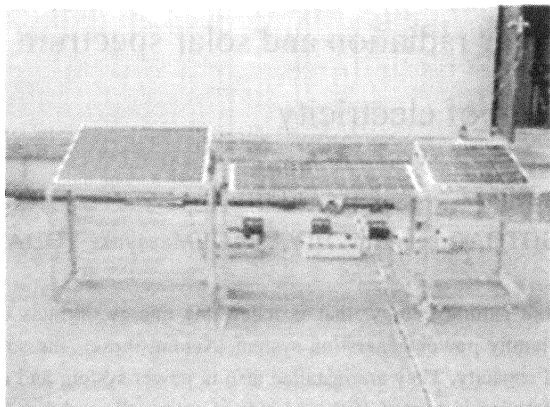


図 2 太陽電池モジュール
Fig.2 Solar cell module

表 1 太陽電池モジュールの仕様

Table 1 Specification of solar cell module

Type	Single crystal	Poly crystal	Amorphous
Form	GT133	KC40S	US-42
Area(cm ²)	3500.64	2070	6231.97
P _m (W)	50	40	42
V _{ov} (V)	19.8	21.5	23.8
I _{sc} (A)	3.45	2.48	3.17
V _{pm} (V)	15.9	16.9	16.5
I _{pc} (A)	3.15	2.34	2.54

P_m: 公称最大電力(W)

V_{ov}: 公称開放電圧(V)

I_{sc}: 公称短絡電流(A)

V_{pm}: 公称最大出力動作電圧 (V)

I_{pc}: 公称最大出力動作電流(A)

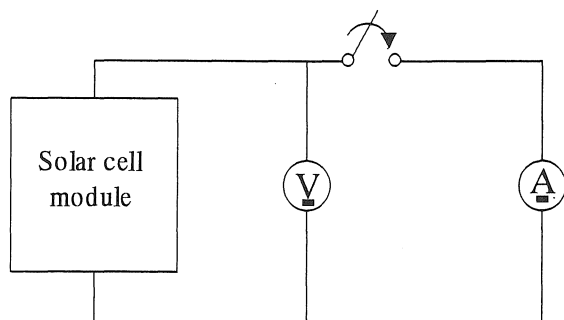


図 3 開放電圧, 短絡電流測定回路図

Fig.3 Open voltage and short-circuit current measurement circuit diagram

3. 測定結果

本報告では, 平成 15 年 7 月 22 日の 10 時 30 分~18 時 30 分まで, 約 30 分毎に太陽光スペクトル密度, 日射量及び各太陽電池モジュールの開放電圧, 短絡電流の測定を行ったこれらの結果について以下に示す。

3.1 太陽光スペクトル密度測定結果

図 4 に太陽光スペクトル密度波形を示す。全時間の波形を比較すると, どの時間においても可視光領域波長である $380\sim 770\text{nm}$ において太陽光スペクトル密度の値が高くなっている。これは, 地球大気の大部分が, 窒素や酸素のように直線的かつ対照的な二原子分子の構造のもので占めており, 電気的雙極子モーメント能率を持たないために分子の振動や回転に伴うエネルギー遷移が起こらず, そのため可視光領域において吸収帯が存在しないからである。また, 紫外線領域の一部である $850\sim 900\text{nm}$, $1050\sim 1099\text{nm}$ あたりにおいて太陽光スペクトル密度値が極端に低くなるのは, 吸収帯の一種である H_2O で構成される水蒸気の影響であると考えられる。また, 今回の測定において太陽光スペクトル密度の値がもっとも高いと思われる, 正午前後において図 5 に示す様に, 太陽に雲の掛かってない状態である 11 時 30 分の太陽光スペクトル密度の値と比較すると, 値が全波長域において減衰している。これは, 7 月 22 日が日中を通して図 6 に示す様に太陽に雲が掛かった状態が多かったためである。このため, 太陽光が吸収および散乱されたために全波長において太陽光スペクトル密度の値が減衰したと言える。

3.2 日射量測定結果

図 7 に日射量の時間変化の波形を示す。今回の測定期間における日射量最大値は 11 時 30 分であり, 日射量値は 990W/m^2 であった。また, 日射量の変化は日中高く, 夕方付近に近づくと低くなっている。しかし, 11 時, 12 時などの極端に低くなっている時間は, 雲の影響による吸収および散乱が原因であると考えられる。また, 今回測定した 10 時 30 分~18 時 30 分までの平均日射量は 460.58W/m^2 であった。

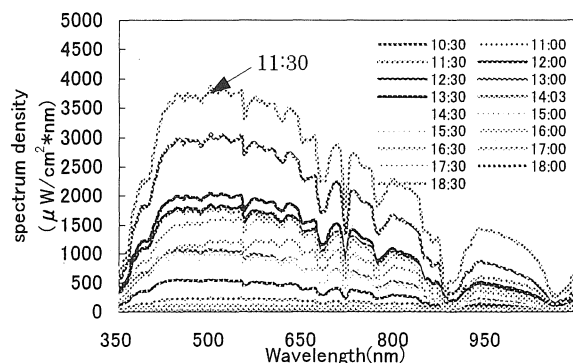


図 4 2003 年 7 月 22 日における波長ごとの太陽光スペクトル密度

Fig.4 solar spectrum density for every wavelength on 22, July, 2003



図5 2003年7月22日11時30分における太陽の写真
Fig.5 Solar photograph on 22, July, 2003



図6 2003年7月22日12時における太陽の写真
Fig.6 Solar photograph on 22, July, 2003

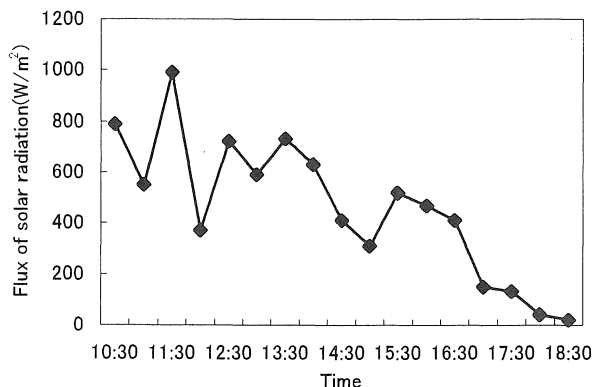


図7 2003年7月22日における日射量の時間変化
Fig.7 Time change of flux of solar radiation on 22, July, 2003

3.3 太陽電池モジュールの開放電圧・短絡電流測定結果

図8, 図9は, 単結晶太陽電池, 多結晶太陽電池, アモルファス太陽電池の開放電圧及び短絡電流の時間変化波形である。図8の開放電圧の時間変化波形をみると, 表1

の太陽電池の仕様表どおり開放電圧値は, アモルファス太陽電池, 多結晶太陽電池, 単結晶太陽電池の順に高くなっている。また, 時間変化における各太陽電池の開放電圧の最大値は, 各太陽電池とも15時30分であり, 単結晶太陽電池が18.6V, 多結晶太陽電池が19.4V, アモルファス太陽電池が21.1Vであった。また, 各太陽電池の平均開放電圧は, 単結晶太陽電池が17.96V, 多結晶太陽電池が18.6V, アモルファス太陽電池が20.3Vであった。

次に, 図9に示す短絡電流の時間変化を見ると, こちらも開放電圧同様表1どおり, 単結晶太陽電池, アモルファス太陽電池, 多結晶太陽電池の順で高くなっている。また, 時間変化における各太陽電池の短絡電流最大値は, 各太陽電池とも11時30分であり, 単結晶太陽電池が3.82A, 多結晶太陽電池が2.61A, アモルファス太陽電池が3.85Aとなった。また, 各太陽電池の平均短絡電流は, 単結晶太陽電池が1.61A, 多結晶太陽電池が1.06A, アモルファス太陽電池が1.61Aであった。

4. 測定結果の解析及び比較

4.1 太陽光スペクトル密度波形の解析

図10に太陽光スペクトル密度の全波長域, 紫外線波長域の一部である350~380nm, 可視光波長域である380~770nm, 赤外線波長域の一部である770~1099nmの総和エネルギー時刻変化波形を示す。図10を見ると, 紫外線域, 可視光域及び赤外線域の波形変化が酷似していることから, 太陽光スペクトル密度の総和エネルギーの減衰は, 波長を関係としない雲などにより吸収, 散乱されたと考えられる。また, 全時刻の太陽光スペクトル密度の平均総和エネルギーおよび総和エネルギー和は, 全波長域では5132.929W/m²および87259.79W/m², 紫外線域の一部では123.193W/m²および2094.291W/m², 可視光領域では3975.32W/m²および67580.76W/m², 赤外線域の一部では1034.4W/m²および17584.93W/m²であった。

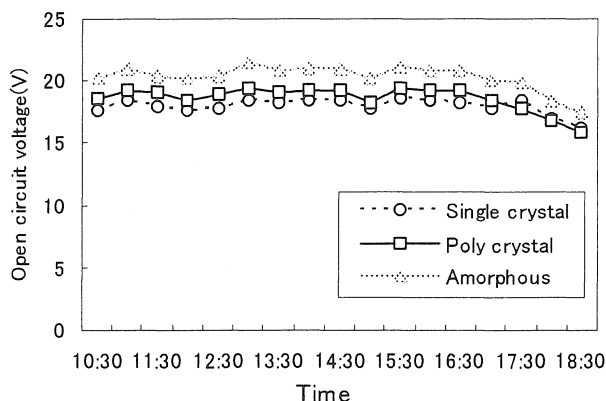


図8 2003年7月22日における開放電圧時間変化
Fig.8 Time change of open voltage on 22, July, 2003

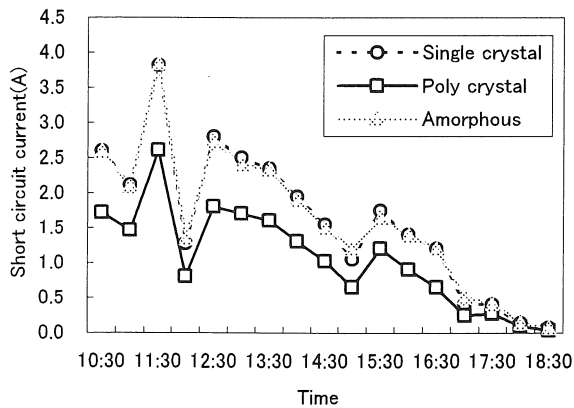


図 9 2003 年 7 月 22 日における短絡電流時間変化
Fig. 9 Time change of short-circuit current on 22, July, 2003

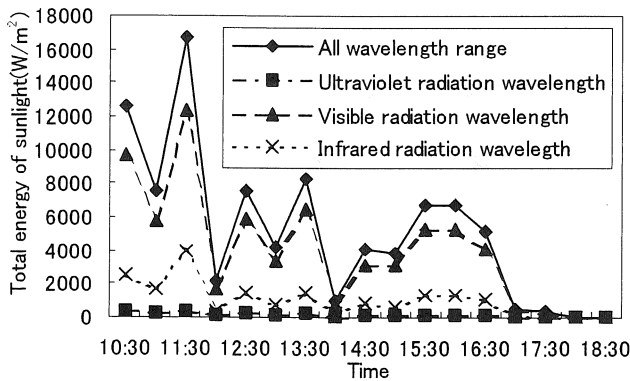


図 10 2003 年 7 月 22 日における全波長領域の太陽光スペクトル密度
Fig. 10 Sunlight radiation density for all wavelength domains on 22, July, 2003

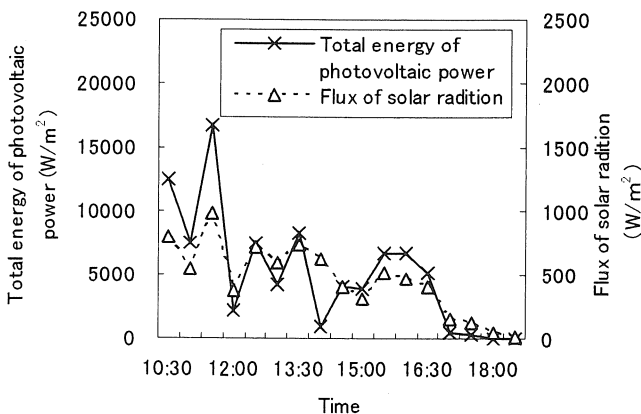


図 11 2003 年 7 月 22 日における太陽光総和エネルギーと日射量の時間変化
Fig. 11 Time change of total energy of photovoltaic power and flux of solar radiation on 22, July, 2003

4.2 太陽光総和エネルギー波形と日射量波形の比較

図 11 に 2003 年 7 月 22 日における太陽光総和エネルギーと日射量の時間変化波形を示す。図 11 を見ると、太陽光総和エネルギーと日射量の時間変化は酷似していると言え、太陽光総和エネルギーと日射量の波形は相関性があると考えられる。

4.3 開放電圧, 短絡電流波形の解析

図 12 に、各太陽電池モジュールの開放電圧と短絡電流の積である発電量の時刻変化を、図 13 に表 1 の各太陽電池モジュールの面積値で発電量を割った単位面積当たりの発電量の時間変化を、図 14 に実測の発電量と最大発電量の出力の比を示す。

図 12 を見ると、全時刻においてアモルファスが最も高く次に単結晶、多結晶の順に発電量が高い事が分かる。これは、最大開放電圧と最大短絡電流の積である最大電力が、アモルファス 75.446W, 単結晶 68.31W, 多結晶 53.32W の順であり、実測値もその順になったと考えられる。また、各太陽電池モジュールの平均電力は、単結晶 29.182W, 多結晶 20.206W, アモルファス 33.257W であった。

次に、図 13 を見ると、全時刻において、多結晶が最も高く次に、単結晶、アモルファスの順に単位面積当たりの発電量が高い事が分かる。この結果、各太陽電池モジュールに放射されるエネルギーが同様であると仮定すると、今回使用した太陽電池モジュールにおいてエネルギーの変換効率、多結晶が最も高く次に、単結晶、アモルファスの順に高いと言える。また、各太陽電池モジュールの単位面積当たりの平均電力は、単結晶 83.363 W/m², 多結晶 97.617 W/m², アモルファス 53.365 W/m² であった。

次に、図 14 を見ると、アモルファスが最も高く次に、単結晶、多結晶の順に電力の比が高い事が分かる。このことから、最大電力に対する電力効率は、アモルファス、単結晶、多結晶の順に良いと考えられる。また、図 14 において電力の比が 100%を超える場合があるが、これは最大電力をメーカーの使用書より導いたため劣化を考慮して値を低く記載したためであると考えられる。また、各太陽電池モジュールの平均電力比は、単結晶 42.72%, 多結晶 37.89%, アモルファス 44.08% であった。

4.4 発電量波形と太陽光総和エネルギー及び日射量波形の比較

図 11 の太陽光総和エネルギーと日射量波形と図 12 の各太陽電池モジュールにおける発電量波形の比較を行なうと、どの時刻において波形変化が酷似していると言える。しかし、13 時の太陽光エネルギーと日射量波形が減衰しているのに対して、発電量波形に大きな減衰が見られなかった。これは、各太陽電池モジュールの感度波長域に対して影響のない波長域の放射照度値が減衰したために太陽光エネルギー、日射量のみ減衰し各太陽電池モジュールの発電量に大きな減衰がなかったと考えられる。

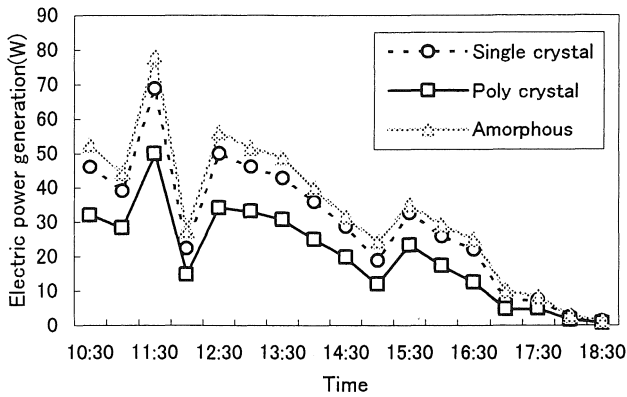


図 12 2003 年 7 月 22 日における各太陽電池モジュールの発電量

Fig.12 Electric power generation of each solar cell module on 22, July, 2003

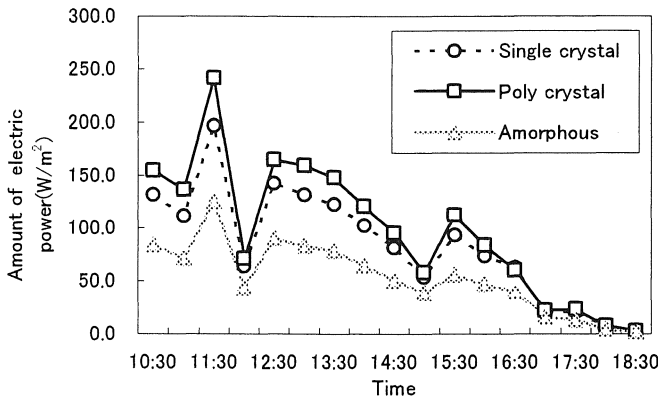


図 13 2003 年 7 月 22 日における各太陽電池モジュール単位面積当りの発電量

Fig.13 Amount electric power generation of each solar cell module on 22, July, 2003

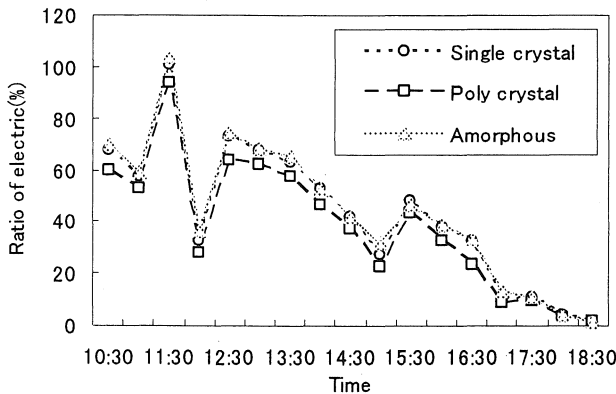


図 14 2003 年 7 月 22 日における各太陽電池モジュール発電量比

Fig14 Ratio of solar cell module electric power on 22, July, 2003

5. 発電量の推定

5.1 ニューラルネットワークによる推定

ニューラルネットワークによる各太陽電池モジュール単位面積当りの発電量推定システムを図 15 に示す。上記の結果より日射量、太陽光総和エネルギーと太陽電池モジュールの発電量との相関性があると考えられ、ニューラルネットワークの入力層に、推定対象時の時間、雲の量、日射量、太陽光総和エネルギーの 4 ユニットとした。また、中間層を 7 ユニット、出力層を単位面積当りの発電量とした。トレーニングデータは 2003 年 7 月 16 日及び 7 月 22 日の測定データを使用し、推定の対象日時を、2003 年 7 月 24 日の 12 時～17 時 30 分とした。

5.2 推定結果

図 16～図 18 に各太陽電池モジュールの推定結果を示す。実測値と推定値の波形変化の比較を行なうと比較的酷似しているが、大きな誤差がある時刻もある事から、今回の発電量推定システムではまだ精度の良い推定が出来るとは言えず、改良を行なってく必要があると考えられる。

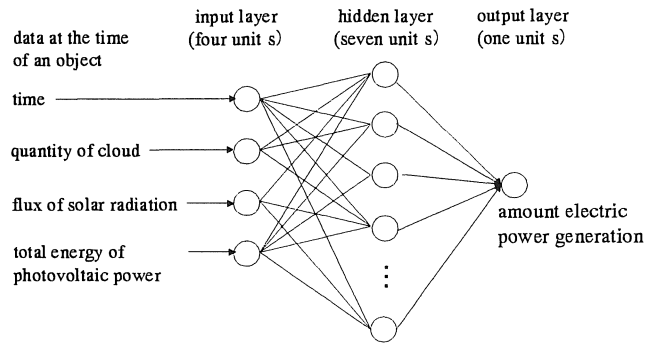


図 15 ニューラルネットワークによる発電量推定システム

Fig15. Generation power presumption by the neural network system

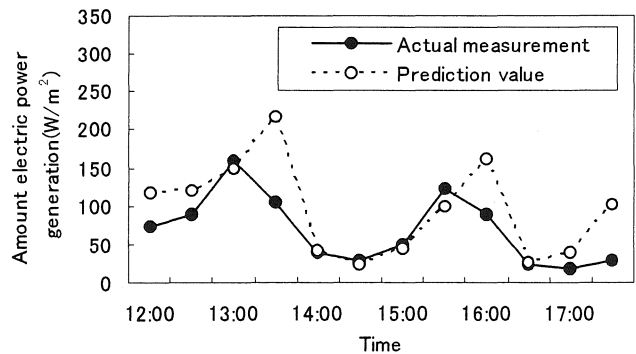


図 16 2003 年 7 月 22 日における単結晶太陽電池モジュール発電量推定

Fig.16 Presume of single crystal cell module amount of power generation on 22, July, 2003

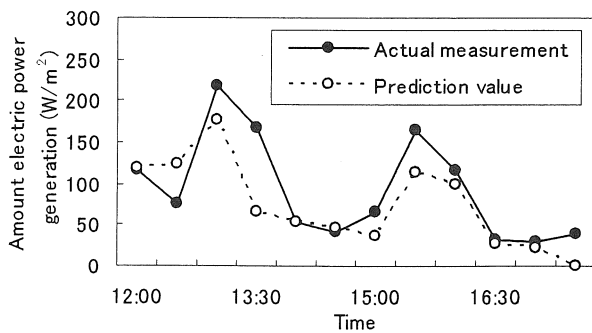


図 17 2003 年 7 月 22 日における多結晶太陽電池
モジュール発電量推定

Fig.17 Presume of poly crystal cell module amount of
power generation on 22, July, 2003

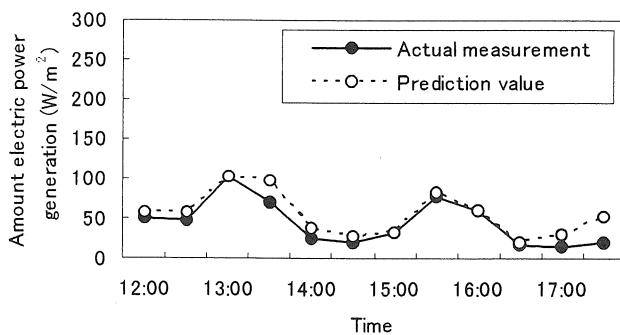


図 18 2003 年 7 月 22 日におけるアモルファス太陽電池
モジュール発電量推定

Fig18 Presume of amorphous cell module electric power
on 22, July 2003

6. まとめ及び今後の課題

本論文において, 2003 年 7 月 16 日, 22 日, 24 日の 3 日間, 単結晶太陽電池, 多結晶太陽電池, アモルファス型太陽電池の開放電圧, 短絡電流および太陽光スペクトル密度, 日射量の測定をし, 解析を行ない, それ等のデータを使用し, ニューラルネットワークにより各太陽電池モジュール単位面積当りの発電量の推定を行った。その結果, 値が近似する部分もあるが, 大幅な誤差が見られる部分があった事から, トレーニングデータに問題があると考えられる。今後の課題としては, 推定結果向上のために, より多くの測定を行ない, また湿度やパネルの温度などのデータを測定しトレーニングデータの精度を上げていきたい。また, ある面積における単結晶太陽電池, 多結晶太陽電池, アモルファス太陽電池の一年を通して最も発電量が多い組み合わせについてシミュレーションを行っていきたい。

参考文献

- [1]角田, 後藤, 一柳, 雪田, 水野, 横水, 松村; 「天気図およびSDPデータを用いたニューラルネットワークによる翌日最大電力需要予想」, 平成 9 年電気学会電力技術・電力系技術合同研究会
- [2]太陽エネルギー工学 太陽電池; 浜川 圭弘・桑原 幸徳 著
培風館 1994 年 5 月 20 日初版発行
- [3]太陽エネルギーノ基礎と応用; 日本太陽エネルギー学会 著
オーム社 1978 年 9 月 25 日初版発行
- [4]太陽エネルギー入門; ソル・ウィーダー 著
ワイリー・ジャパン Inc. 1983 年 4 月 25 日初版発行
- [5]大気と放射過程; 会田勝 著
東京堂出版 1982 年 7 月 10 日初版発行

(受理 平成 16 年 3 月 19 日)