

寒冷地における太陽光発電 システムの諸特性 (第1報)*

仲村 宏一**

山城 迪**

(昭和59年4月28日受理)

The characteristics of a Photovoltaic system in a cold district. (First report)

by Koichi NAKAMURA and Susumu YAMASHIRO

The energy crisis of 1973 resulted in increased interest in solar energy, especially, the realization of a photovoltaic system able to convert solar energy into electricity.

In Japan, study has been done mainly through the New Energy Development Organization (NEDO).

Due to its high daylight rate and little snow in winter, the Kitami district is good for the utilization of solar energy.

Last year, we developed a measurement system which can measure solar radiation, the electric power of a solar cell, etc, by microcomputer, and we have been studying these characteristics in Kitami.

In this paper, we report the outline of the measurement system developed and the characteristics of the solar cell of 35W output which is set up on the roof of the natural energy laboratory's second building.

1. まえがき

1973年のエネルギー危機を契機に太陽エネルギーへの関心が高まり、中でも、太陽エネルギーを直接電気に変換する太陽電池を用いた太陽光発電の実用化が強く望まれており、我国でも新エネルギー開発機構(NEDO)を中心に研究が進められている。北見地方は年間を通じた日照率がきわめて高く、冬期間の降雪が少ない等太陽エネルギー利用の点では好条件にある。筆者らは昨年よりマイクロコンピューターを使った北見地方の日射量、太陽電池出力等の計測システムを開発し、それらの特性の検討を行っている。ここでは、開発した計測システムの概要と、自然エネルギー実験室2号棟の屋上に設置した35W太陽電池の特性について報告する。

* 電気四学会北海道支部連合大会(昭和58年10月)において口頭発表

** 北見工業大学

2. システム構成

今回、考察の対象となる太陽光発電システムは以下の(1)～(4)の要素から構成されている。

(1) 太陽電池

表-1に示す特性を持った単結晶 35 W 太陽電池パネル (S-270 A, シャープ製) を自然エネルギー実験室の屋上に仰角 45° で真南に向けて設置した (写真-1 参照)。

表-1 太陽電池の電気的特性 (シャープ S-270 A)

開放電圧	V	20.0	
最適動作電圧	V	16.6	
短絡電流	A	2.32	
最適動作電流	A	2.11	100 mW/cm ² (28°C)
最大出力	W	35.0	
交換効率	%	12.4	

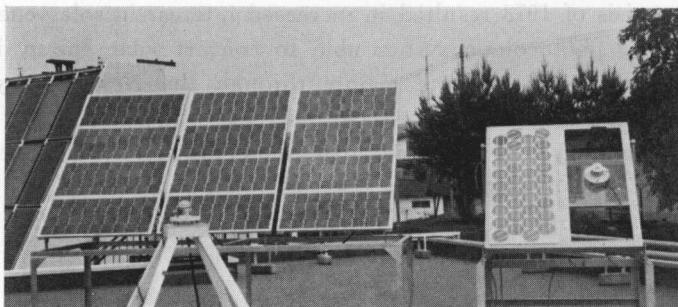


写真-1 35 W 太陽電池パネルと 480 W 太陽電池パネル及び日射計

(2) 負荷装置

太陽電池の負荷としてスライド抵抗器 (0～39 Ω, 横河製) を使用した。

(3) 日射計

ネオ日射計 (MS-42, 英弘精機製) をそれぞれ、水平方向と太陽電池パネルと同方向に設置し、水平全天日射と 45° 傾斜面全天日射を計測した (写真-1 参照)。

(4) 計測装置

写真-2 および 図-1 に計測システムの構成を示す。このシステムの主要機器は、マイクロコンピューター MZ-2000 とその周辺機器 (ディスク, プリンター), そして A/D コンバーター (TR 2723, タケダ理研製) である。計測システムのソフトウェアの流れを 図-2 に示す。計測プログラムが起動されると、A/D コンバーターは GP-IB システムを通してマイクロコンピューターに、日射量 (水平面日射と 45° 傾斜面日射), 温度 (太陽電池パネル裏面温度と外気温度), 電圧 (太陽電池電圧), 電流 (太陽電池電流), 電力 (電圧 × 電流), 各積算値 (水平面全天日射量,



写真-2 計測システムの外観 (A/D コンバーター及びマイクロコンピューター MZ-2000 とその周辺機器)

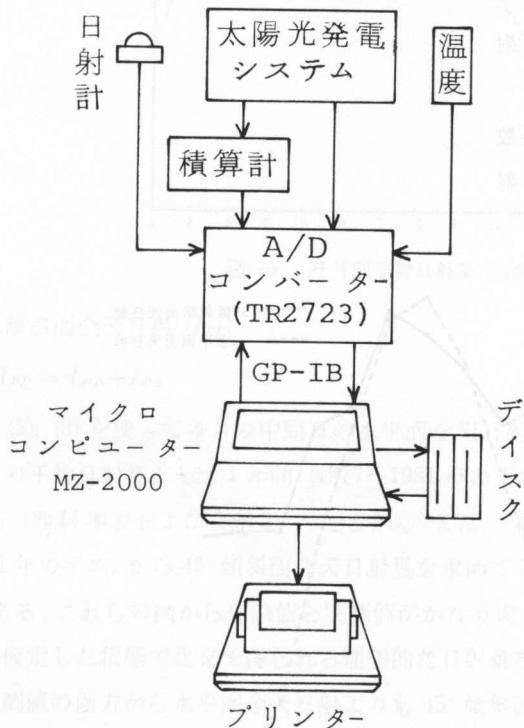


図-1 計測システム

45° 傾斜面全天日射量、発電電力量) のデーターを送る。なお、マイクロコンピューターの使用言語は BASIC を使用し、一部機械語も使用している。

3. 日射量の計算

日射は直接太陽から届く直達日射と、大気中でさまざまに散乱、減衰を受けたものが種々の角度で入って来る散乱日射から成り立っている。一般に言われている日射は、これらの和で表わされ全天日射と呼ばれる。日射量の計算は地球と太陽間の天文学的関係 (距離、赤緯、時角

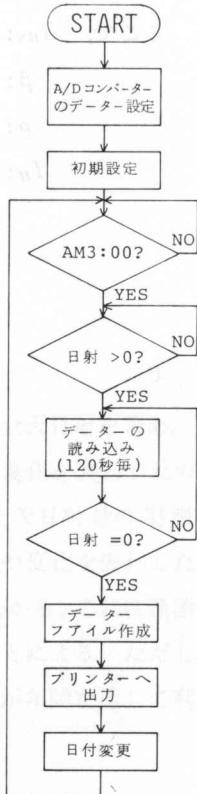


図-2 フローチャート

等) の影響を受け、日射量の理論値を求める時はこれらの事を考慮しなければならない。

ある傾斜面の日射は、一般に次式によって計算される。

(1) 任意傾斜面直達日射 (I_{PD})

$$I_{PD} = I_{ND} \cos i \quad (1)$$

ここで、 I_{ND} : 法線面直達日射

i : 日射の入射角

(2) 任意傾斜面散乱日射 (I_{PS})

$$I_{PS} = I_{HS} \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho I_H \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (2)$$

ここで、 I_{HS} : 水平面散乱日射

β : 傾斜角

ρ : 地表面反射係数

I_H : 水平面全天日射

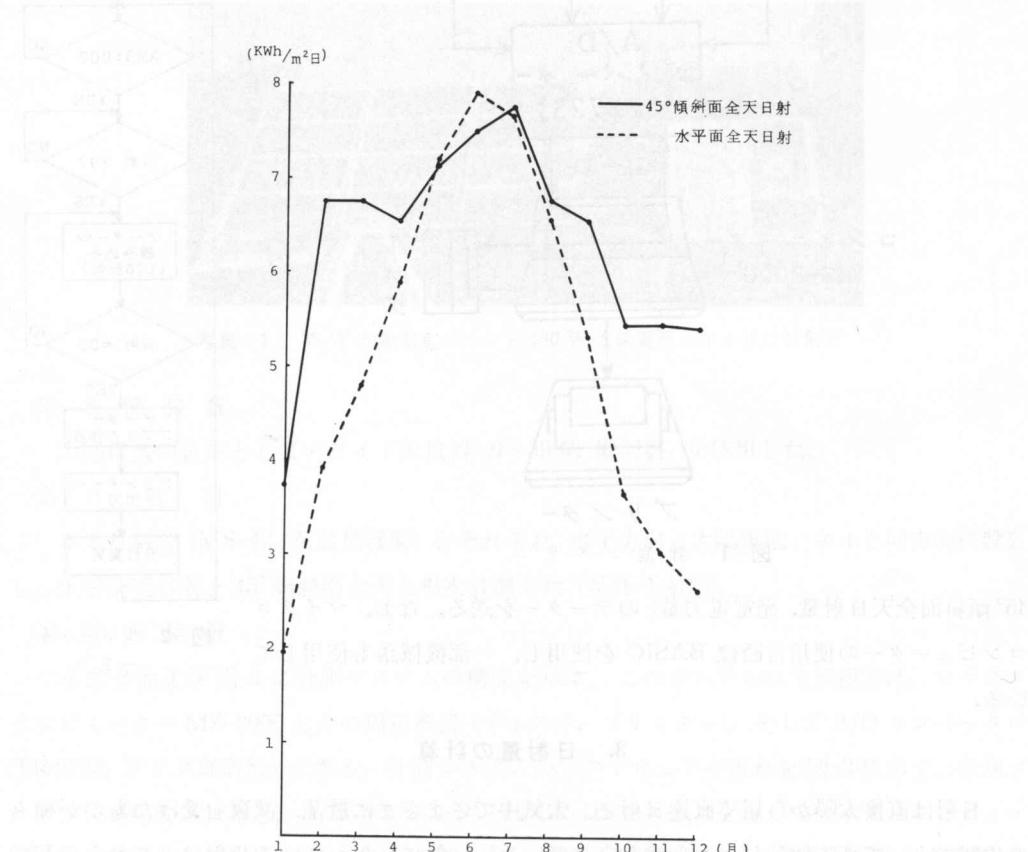


図-3 各月別平均日射量(理論値)

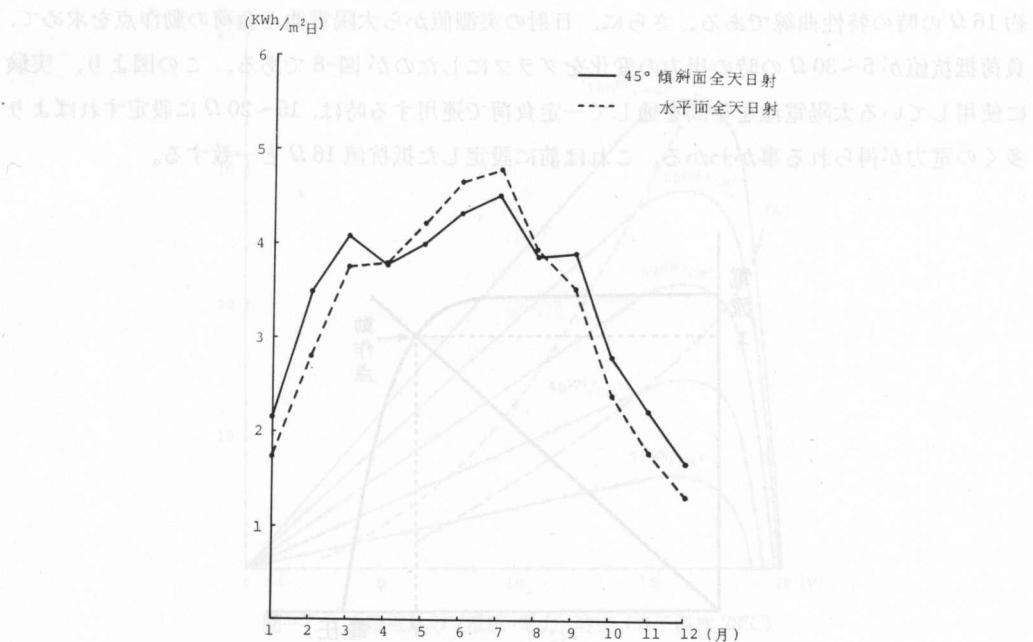


図-4 各月別平均日射量(実測値)

(3) 任意傾斜面全天日射 (I_{TP})

$$I_{TP} = I_{PD} + I_{PS} \quad (3)$$

式(1), (2), (3)を使って各月の中間日の水平面全天日射と45°傾斜面全天日射を求め、その値を各月の平均日射量として1年間(1977~1981年の平均)の日射量の変化を表わしたのが図-3である(理科年表および文献2), 3)を参照)。また、北見の水平面全天日射量の実測値(1979~1981年の平均)から45°傾斜面全天日射量を求めて1年間の日射量の変化を表わしたのが図-4である。これらの図から理論値と実測値がかなり違っているのがわかる。これは理論値では晴天を仮定した状態で北見で得られる理想的な日射量を求めてることによる。ただし、理論値、実測値の両方から水平面全天日射よりも45°傾斜面全天日射の方が年間を通して利用し得るエネルギー量が大きい事がわかる。

4. 太陽電池の負荷特性

太陽電池に負荷を接続した時の負荷特性は、負荷の電圧-電流特性曲線と太陽電池の電圧-電流特性曲線の交点が動作点となり、その動作点の電圧と電流を掛けることにより出力が決定される(図-5参照)。図-6および図-7は実験に使用している太陽電池への各入射エネルギーにおける電圧-電池特性と電圧-電力特性を太陽電池素子温度28°C一定として求めたものである。図中の点線は日射が最大の時(100 mW/cm^2)最大出力が得られる負荷抵抗値約 7.9Ω 、1点鎖線は北見の年間平均日射(約 52 mW/cm^2)から平均した出力が得られると思われる負荷抵抗値

約 16Ω の時の特性曲線である。さらに、日射の実測値から太陽電池と負荷の動作点を求めて、負荷抵抗値が $5\sim 30\Omega$ の時の出力の変化をグラフにしたのが図-8である。この図より、実験に使用している太陽電池を年間を通して一定負荷で運用する時は、 $15\sim 20\Omega$ に設定すれば多くの電力が得られる事がわかる。これは前に設定した抵抗値 16Ω と一致する。

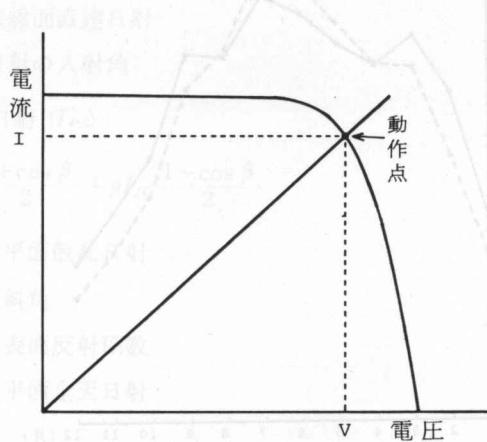


図-5 動作点の求め方

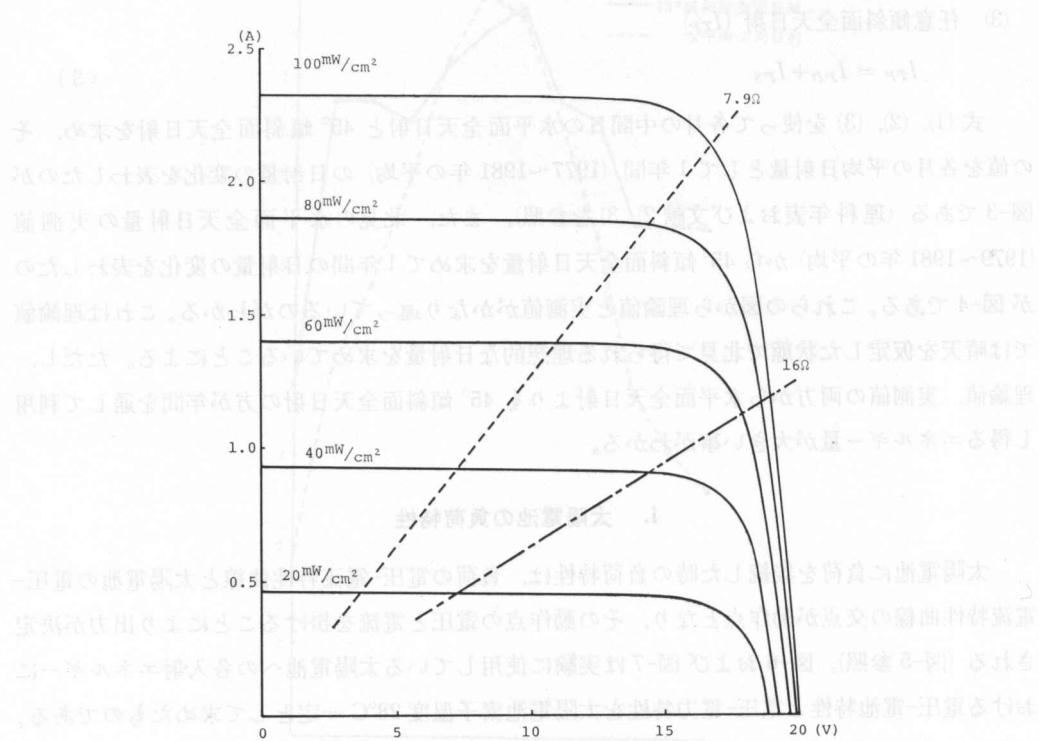


図-6 太陽電池の（電圧-電流）特性 (素子温度 28°C)

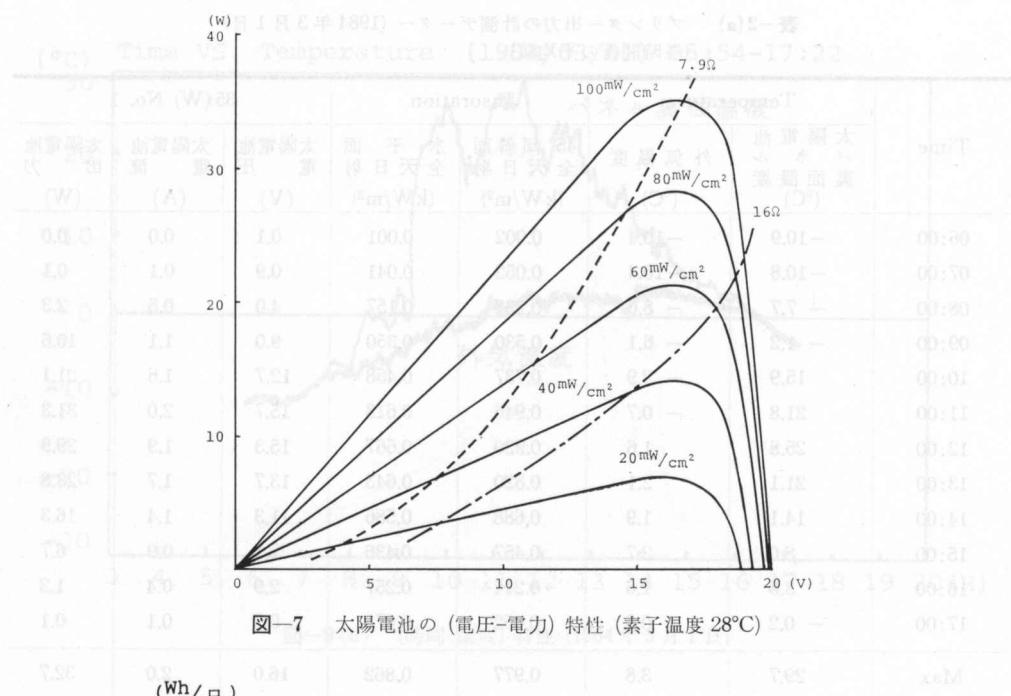


図-7 太陽電池の(電圧-電力)特性(素子温度28°C)

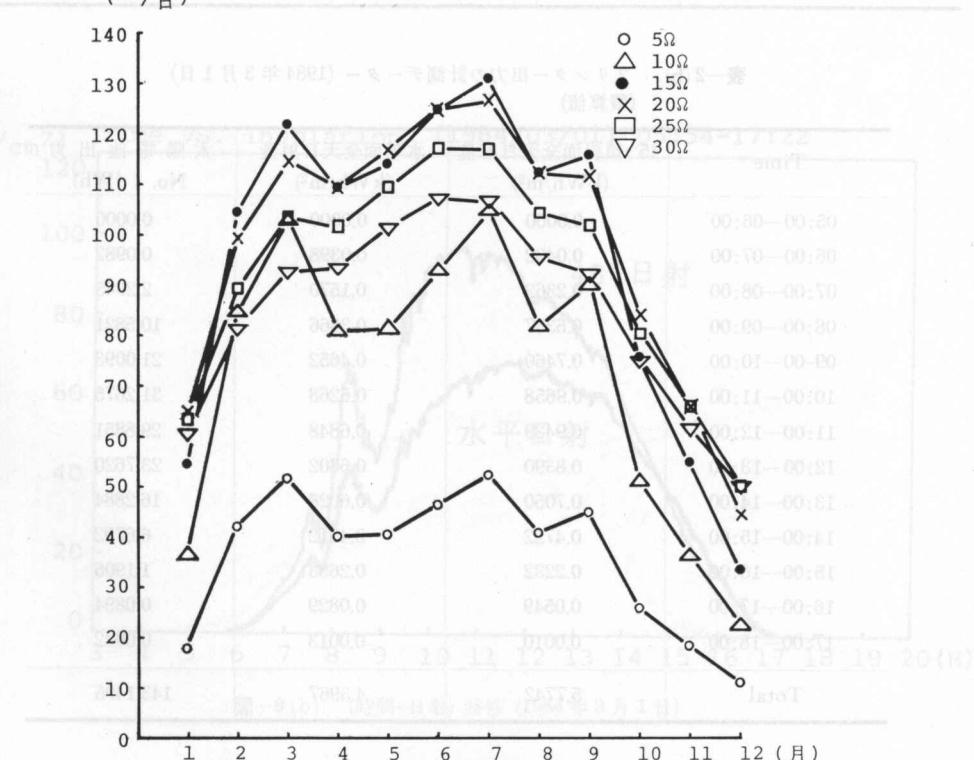


図-8 各月別、負荷抵抗別平均太陽電池出力特性

表-2(a) プリンター出力の計測データー (1984年3月1日)
(各時間帯の平均値)

Time	Temperature		Insolation		35(W) No. 1		
	太陽電池 バッテリ 裏面温度 (°C)	外気温度 (°C)	45°傾斜面 全天日射 (kW/m ²)	水平面 全天日射 (kW/m ²)	太陽電池 電圧 (V)	太陽電池 電流 (A)	太陽電池 出力 (W)
06:00	-10.9	-10.4	0.002	0.001	0.1	0.0	0.0
07:00	-10.8	-10.4	0.052	0.041	0.9	0.1	0.1
08:00	-7.7	-8.0	0.238	0.157	4.0	0.5	2.3
09:00	-1.2	-6.1	0.530	0.350	9.0	1.1	10.6
10:00	15.9	-2.9	0.737	0.458	12.7	1.6	21.1
11:00	21.8	-0.7	0.946	0.613	15.7	2.0	31.3
12:00	25.8	1.6	0.920	0.667	15.3	1.9	29.9
13:00	21.1	2.1	0.820	0.643	13.7	1.7	23.8
14:00	14.1	1.9	0.688	0.586	11.3	1.4	16.3
15:00	8.0	2.7	0.457	0.436	7.1	0.9	6.7
16:00	3.5	1.6	0.214	0.257	2.9	0.4	1.2
17:00	-0.2	-0.5	0.052	0.078	0.7	0.1	0.1
Max	29.7	3.8	0.977	0.862	16.0	2.0	32.7

表-2(b) プリンター出力の計測データー (1984年3月1日)
(積算値)

Time	45°傾斜面全天日射量 (kWh/m ²)	水平面全天日射量 (kWh/m ²)	太陽電池出力 No. 1 (Wh)
05:00—06:00	0.0000	0.0000	0.0000
06:00—07:00	0.0492	0.0398	0.0982
07:00—08:00	0.2362	0.1570	2.2945
08:00—09:00	0.5387	0.3566	10.5821
09:00—10:00	0.7460	0.4652	21.0093
10:00—11:00	0.9658	0.6268	31.2675
11:00—12:00	0.9429	0.6848	29.8851
12:00—13:00	0.8390	0.6602	23.7620
13:00—14:00	0.7050	0.6026	16.2884
14:00—15:00	0.4722	0.4512	6.6792
15:00—16:00	0.2232	0.2683	1.1906
16:00—17:00	0.0549	0.0829	0.0894
17:00—18:00	0.0010	0.0013	0.0032
Total	5.7742	4.3967	143.1495

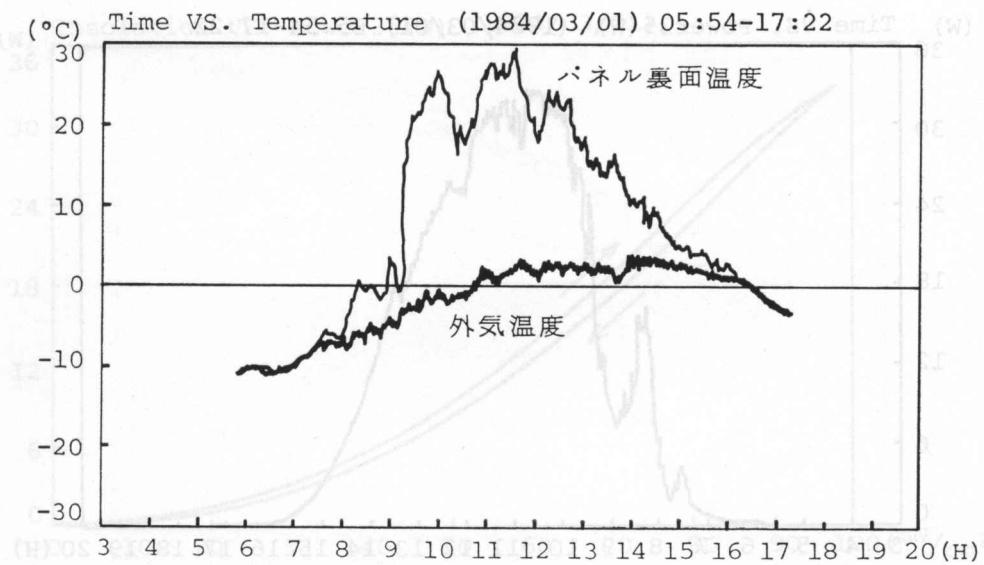


図-9(a) (時間-温度) 特性 (1984年3月1日)

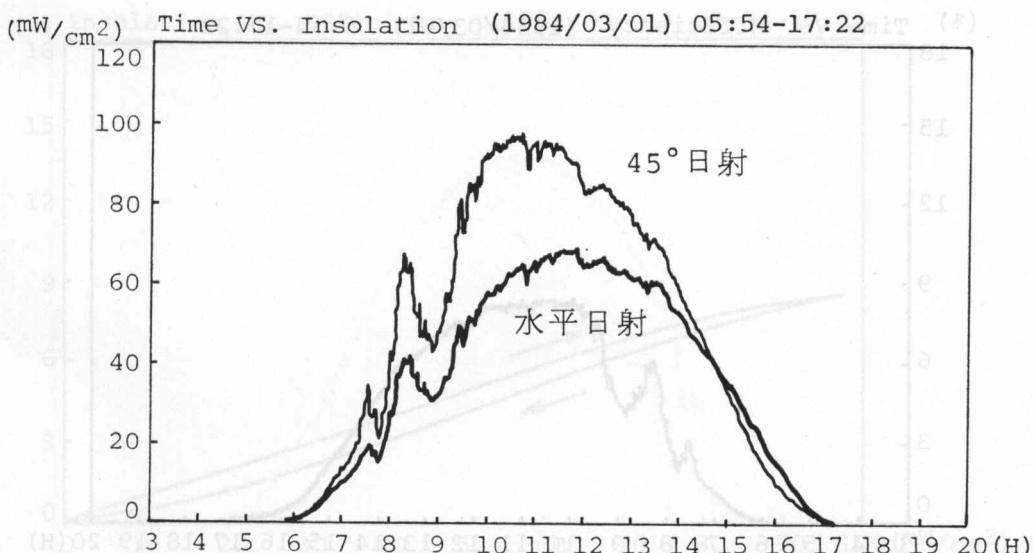


図-9(b) (時間-日射) 特性 (1984年3月1日)

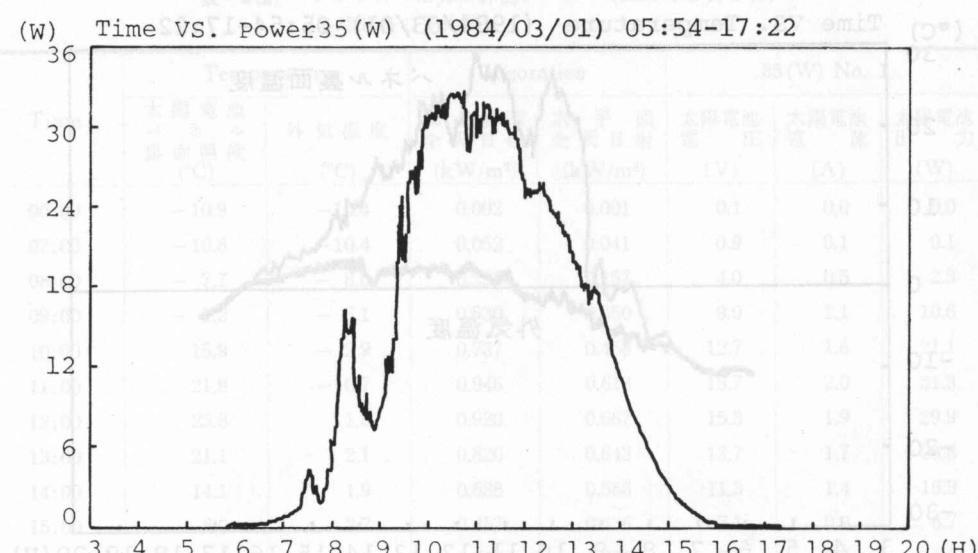


図-9(c) (時間-出力) 特性 (1984年3月1日)

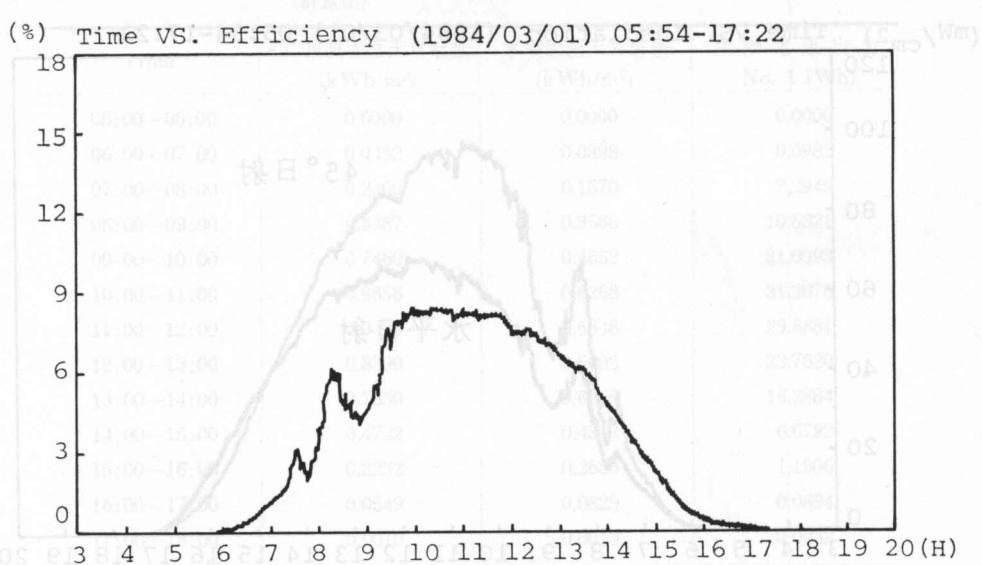


図-9(d) (時間-効率) 特性 (1984年3月1日)

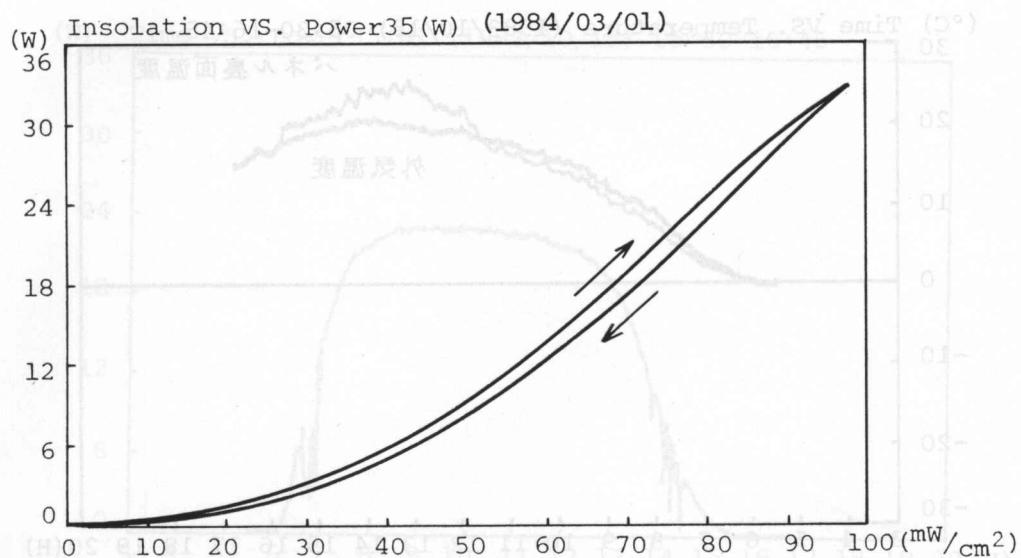


図-9(e) (日射-出力) 特性 (1984年3月1日)

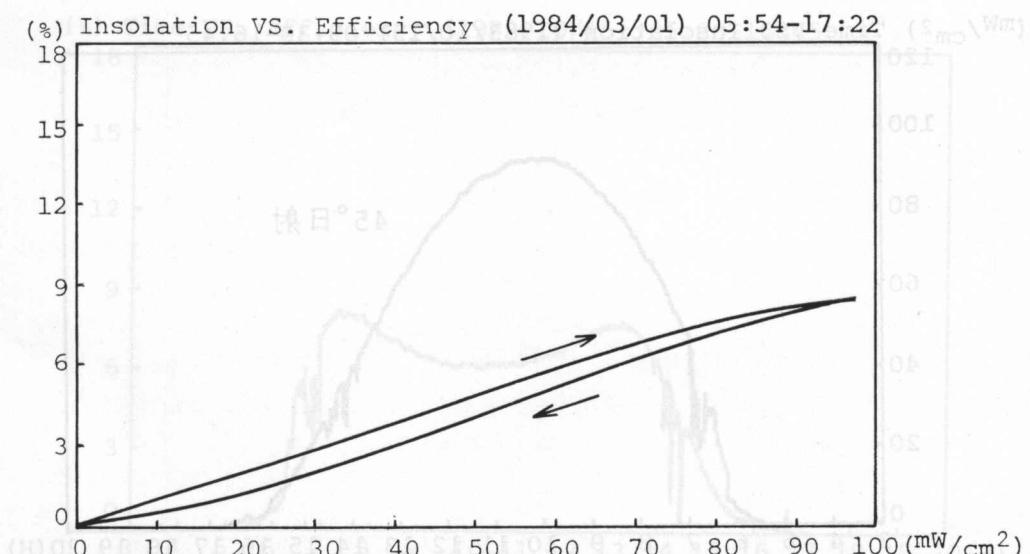


図-9(f) (日射-効率) 特性 (1984年3月1日)

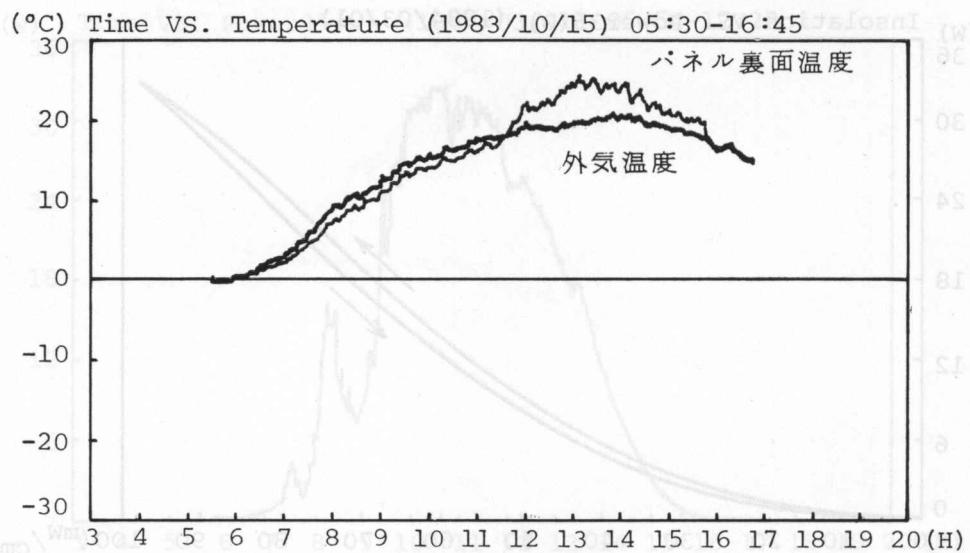


図-10 (a) (時間-温度) 特性 (1983年10月15日)

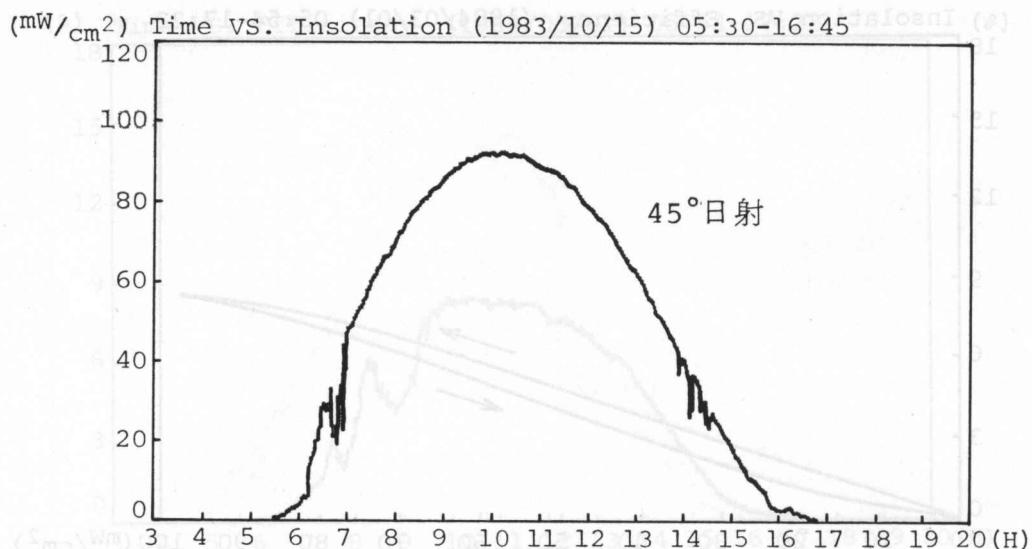


図-10 (b) (時間-日射) 特性 (1983年10月15日)

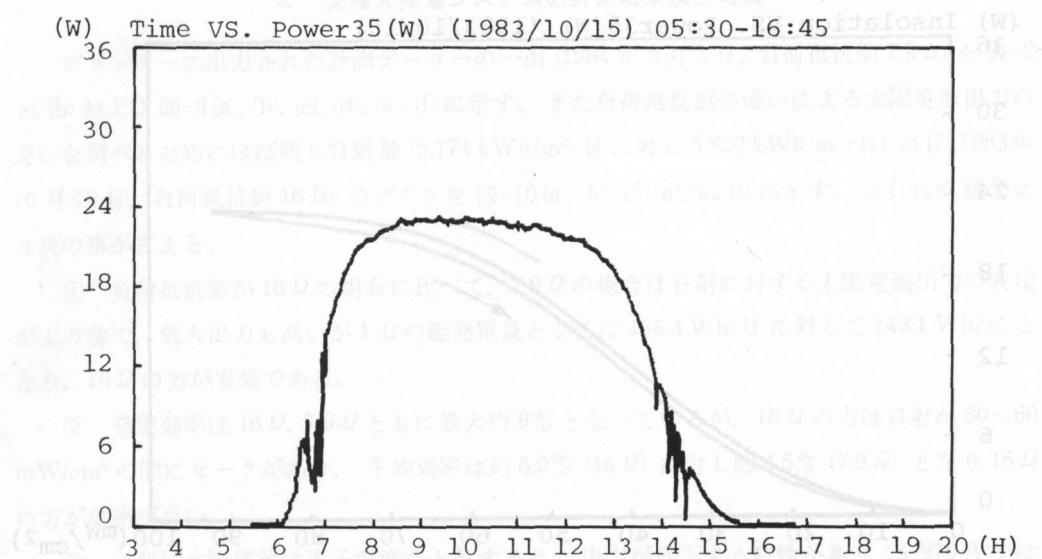


図-10(c) (時間-出力) 特性 (1983年10月15日)
図-10(c) (時間-出力) 特性 (1983年10月15日)。この図では、太陽電池の効率が最も高い午前中の出力を示す。また、午後は効率が低下するため、出力も減少する。

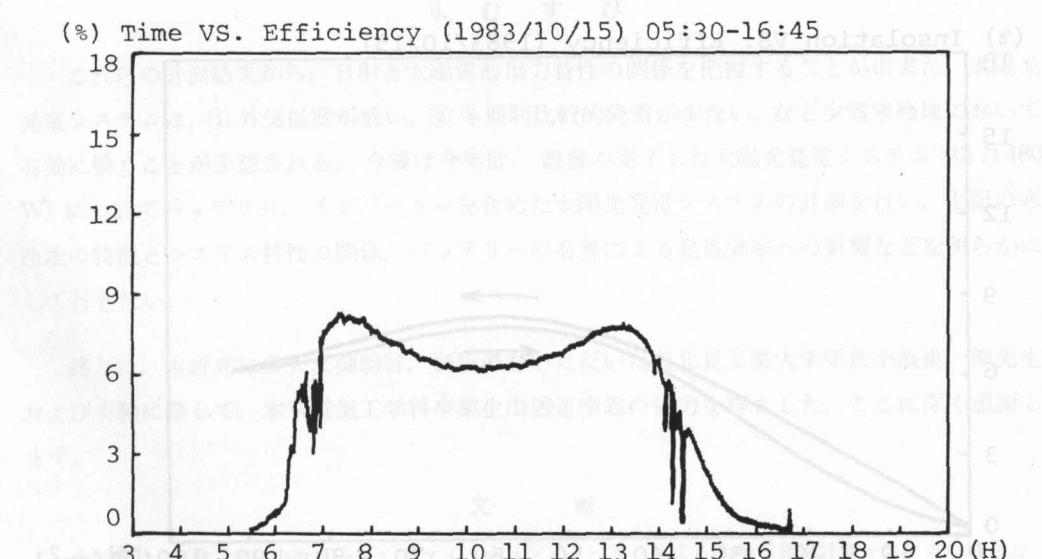
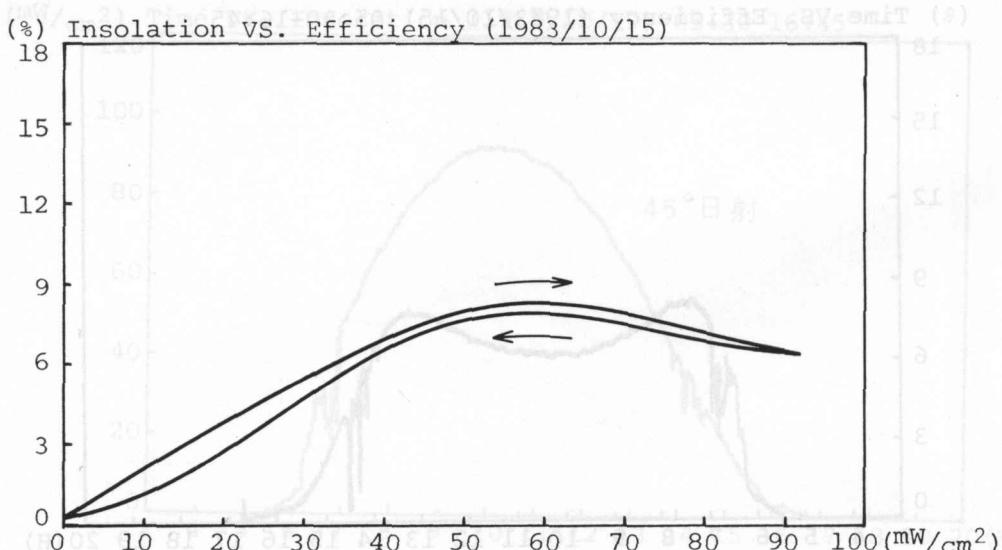
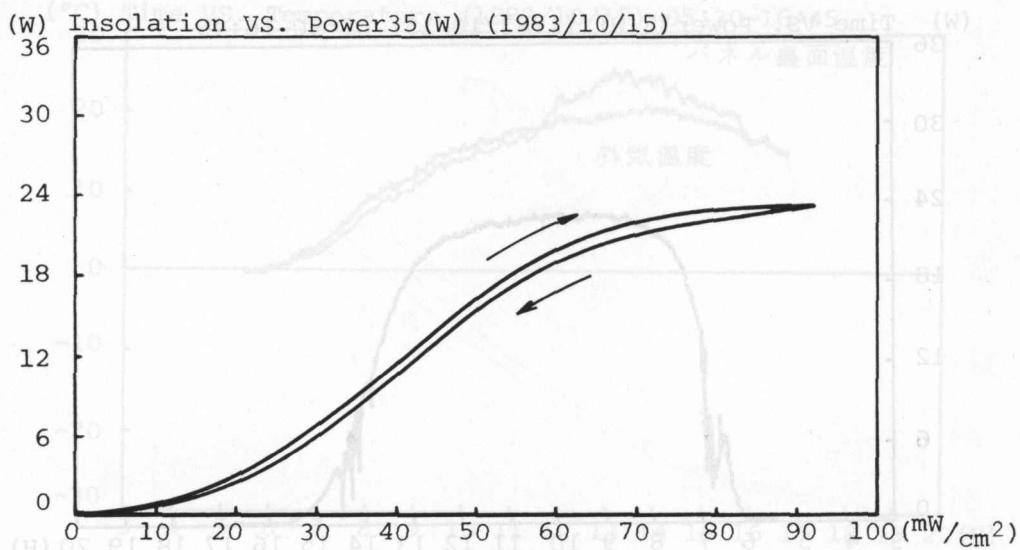


図-10(d) (時間-効率) 特性 (1983年10月15日)



5. 太陽光発電システムの計測結果及び考察

プリンターに出力された計測データの一例(1984年3月1日、負荷抵抗値 7.9Ω)を表-2(a), (b)および図-9(a), (b), (c), (d), (e), (f)に示す。また負荷抵抗値の違いによる太陽電池出力の違いを調べるためにほぼ同じ日射量($5.774\text{ kWh/m}^2\cdot\text{日}$ に対し $5.820\text{ kWh/m}^2\cdot\text{日}$)の日(1983年10月15日、負荷抵抗値 16Ω)のグラフを図-10(a), (b), (c), (d), (e), (f)に示す。これらの結果より次の事が言える。

① 負荷抵抗値が 16Ω の場合に比べて、 7.9Ω の場合は日射に対する太陽電池出力の変化がより急で、最大出力も高いが1日の総発電量としては 156.4 Wh/日 に対して 143.1 Wh/日 となり、 16Ω の方が有効である。

② 発電効率は 16Ω , 7.9Ω ともに最大約9%となっているが、 16Ω の方は日射が $50\sim60\text{ mW/cm}^2$ の間にピークがあり、平均効率は約5.9%(16Ω)に対し約4.5%(7.9Ω)となり 16Ω の方が効率が良い。

③ 一般に太陽電池は素子温度が上昇すると、出力が低下する特性があり(S-270 Aでは 1°C 上昇すると出力は0.5%低下する)、このことは、図-9(e), (f)および図-10(e), (f)において気温および太陽電池パネル裏面温度が低い午前の方が、気温および太陽電池パネル裏面温度が高い午後よりも効率が良くグラフがループ状になることからもわかる。

3. Introduction

6. む す び

これらの計測結果から、日射と太陽電池出力特性の関係を把握することが出来た。太陽光発電システムは、①外気温度が低い、②冬期間比較的降雪が少ない、など少雪寒冷地において有効に働くことが予想される。今後は今年度、設置の完了した太陽光発電システム(出力480W)についてバッテリー、インバーターを含めた太陽光発電システムの計測を行い、上記の寒冷地の特徴とシステム特性の関係、バッテリーの有無による発電効率への影響などを明らかにして行きたい。

終りに、本研究に多大な御助言、御指導をいただいた前北見工業大学学長小池東一郎先生および実験に際して、本学電気工学科卒業生山居正幸君の協力を得ました。ここに深く感謝します。

文 献

- 仲村宏一、山城 迪、小池東一郎：「マイクロコンピューターによる太陽光発電計測システムの開発」、電気四学会北海道支部連合大会講演論文集、No. 124、昭和58年10月。
- 金山・他：「寒冷地におけるソーラーシステムの技術解説と実用化資料集」。
- 日本太陽エネルギー学会：「太陽エネルギーの基礎と応用」。
- 高橋・他：「太陽光発電」。
- 辻 高輝：「太陽電池」。