

寒冷地における太陽光発電 システムの諸特性 (第3報)*

仲 村 宏 一**

山 城 迪**

(昭和60年10月4日受理)

The Characteristics of a Photovoltaic System in a Cold District (Third Report)

by Koichi NAKAMURA and Susumu YAMASHIRO

Recently, the application area for photovoltaic systems has expanded from special purpose usage to the more general field in our everyday lives.

In Hokkaido, we are also able to see some applied examples of photovoltaic systems in such fields as traffic lights or lighting facilities, and for geographical reasons, an independent power generation systems for a thinly populated region is now under consideration.

A refrigerator is considered to be the main system load when a photovoltaic system is used as a household power source. In this paper, we study some characteristics of our natural energy laboratory's 480 Wp photovoltaic system which includes a refrigerator as the system's load and discuss the appropriate power capacity for a photovoltaic system for household usage in a cold district.

Furthermore, we study the effective utilization of sun-light reflected from snow covered surfaces which is considered one of the characteristics of a snowy and cold district.

The quantitative relation between the amount of the reflected sun-light and the power output of a photovoltaic system is also studied.

1. ま え が き

近年、太陽光発電は、その応用範囲を一部の限られた分野から一般生活に関連した分野へと拡大しつつある。北海道においても、各種の道路標識や照明関連施設への実用例もみられるようになり、また、広大な地域のため僻地用の独立電源としての利用も考えられている。

本研究では、一般家庭用の電源として太陽光発電システムを導入する際に、その主要な負

* 電気関係学会北海道支部連合大会にて発表 (1986年10月4日)

** 北見工業大学電気工学科

荷と考えられる家庭用冷蔵庫等を対象として、本学に設置した太陽光発電システムによる運転データから、システム負荷としての冷蔵庫等の特徴および寒冷地における一般家庭用太陽光発電システムの設置容量の検討、さらに、積雪寒冷地特有の雪面反射光の有効利用に関し、反射光と発電電力量との定量的関係の検討を行った。

2. システムの概要

本学自然エネルギー実験施設 2号棟屋上に480 Wp太陽光発電装置、35 Wp太陽電池パネル2台(反射板付きと反射板なし)、日射計、温度計測用熱電対、そして屋内に配電盤、バッテリー、インバーター、負荷(交流用として小型家庭用冷蔵庫とランプ、直流用として抵抗器)、計測装置を設置した⁴⁾。(図-1及び図-2参照)

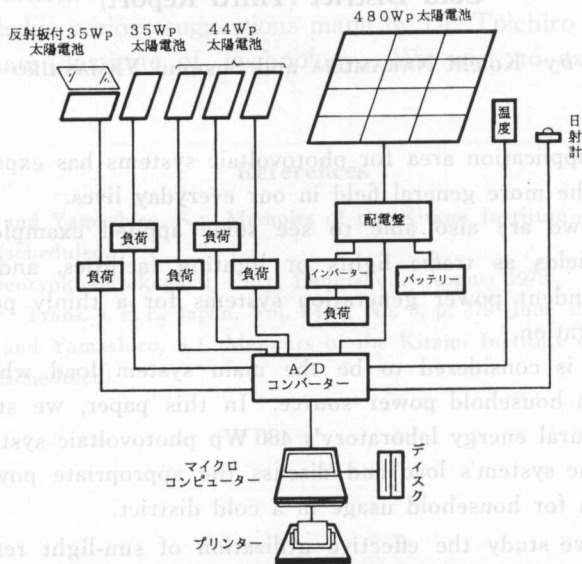


図-1 太陽光発電システム

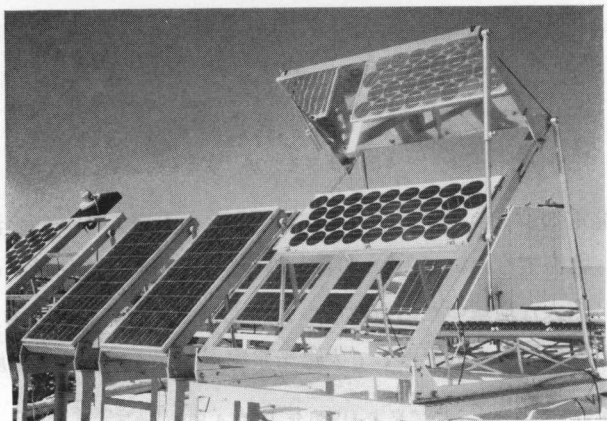


図-2 反射板と 35 Wp 太陽電池

以下に、各装置についてその概略を説明する。

(1) 太陽電池

図-1 および 表-1 に示す 35 W_p 太陽電池 (単結晶)、480 W_p 太陽電池 (多結晶 40 W_p 太陽電池を 2 直列 6 並列にして運用) を自然エネルギー実験室屋上に仰角 45°、方位角 0° で設置した。

表-1 太陽電池の特性

電気出力特性	シャープ S-270 A	京セラ PSA 100 H-361	備 考
開放電圧 (V)	20.0	19.6	素子温度: 28°C
最適動作電圧 (V)	16.6	16.2	
短絡電流 (A)	2.32	2.70	日射強度: 100 mW/cm ²
最適動作電流 (A)	2.11	2.47	
最大出力 (W)	35.0	40.0	
変換効率 (%)	12.4	11.1	
結 晶 質	Si 単結晶	Si 多結晶	

(2) 配電盤

480 W_p 太陽電池により発電した電気エネルギーを、蓄電地に充電すると共に無停電で負荷に安定した電力を供給するために、表-2 に示す配電盤を設置した。

表-2 配電盤の特性

適 用 電 圧	12 V 系, 24 V 系切換可能	
バッテリー過充電防止回路	(動作電圧 30 V (15 V) 解除電圧 27 V (13.5 V))	() 内は, 12 V 系時
バッテリー過放電防止回路	(動作電圧 23 V (11.5 V) 解除電圧 25 V (12.5 V))	
容 量	最大 1 kW (16.2 V, 61.7 A) (32.4 V, 30.9 A)	

(3) バッテリー

自動車用バッテリー (12 V, 200 Ah) を 2 直列 3 並列にして配電盤に接続した。

(4) インバーター

表-3 に示す DC-AC インバータを使用し、直流電力を 50 Hz の交流電力に変換して負荷に供給した。

表-3 インバーターの特性

変換方式	トランジスタ PWM 方式
定格入力電圧	DC 24 V
定格出力電圧	AC 100 V
定格出力容量	2 kVA
最大効率	62.1% (50 Hz 時)

(5) 負荷装置

家庭用小型冷蔵庫 (定格消費電力 61 W,

年平均1カ月当り消費電力量13kWh/月)と、ランプ負荷(定格消費電力65W)を使用した。

3. 実験結果および考察

3-1 冷蔵庫およびランプ負荷におけるバッテリー特性

負荷特性の違いによるバッテリーからの供給電力、電圧変動などの電気的特性を検討するために、480Wp太陽光発電システムにおいて太陽電池部分をシステムから切り離し、バッテリー単独による運転を行った。なお、実験に際してバッテリーは、完全満充電状態にして行った。

図-3にバッテリーのみによる電力供給開始から、配電盤の過放電防止回路が動作して電力供給を終了するまでのバッテリー電圧と比重の変化の様子を示す。表-4に示すように電力供給継続時間は、冷蔵庫が23.8時間に対しランプが38.5時間となり供給終了時(過放電防止回路動作時)のバッテリー電圧は、冷蔵庫23.82V、ランプ23.0Vであった。冷蔵庫負荷の場合、規定値よりも高いバッテリー電圧で過放電防止回路が動作しているが、その原因として冷蔵庫のコンプレッサー用電動機への突流(配電盤を通してバッテリーからインバーターへ33.62Aが約1秒間流れる)によって、過渡的にバッテリー電圧が23V以下に低下するためと考えられる。さらに、表-4よりランプ負荷を接続した場合の供給電力量および継続時間は、冷蔵庫を負荷とした時に比べて、それぞれ42.3%および61.8%となりバッテリーのエネルギーを十分に取り出せないことがわかる。太陽光発電システムを設計する際には、負荷の電気的特性なら

びに、配電盤の過放電防止回路特性を検討する必要がある。

表-4 バッテリーからの電力供給時間および供給電力量

負 荷	供給時間 (h)	供給電力量 (Wh)
冷 蔵 庫	23.8	3,122
ラ ン プ	38.5	7,376

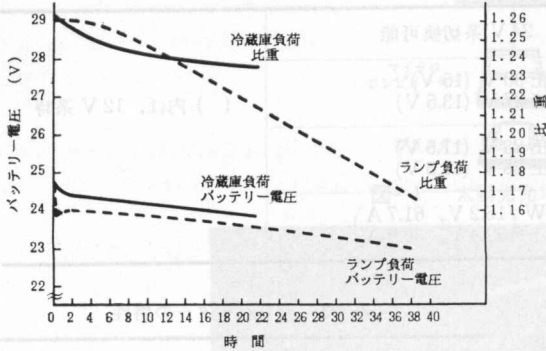


図-3 バッテリー電圧および比重の時間特性

3-2 480Wp太陽光発電システムの運転特性

表-5に1984年1月から1986年3月までの45°傾斜面全天日射量と480Wp発電システムの発電データから、各月における1日の平均日射量と平均発電量との関係を示す。

3-1の実験から求められる、冷蔵庫およびランプの1時間当りの消費電力で、表-5の各月の1日当りの平均発電量を割り、各々の負荷の1日当りの運転時間を決定する。この様にして、1985年11月から1986年3月まで運転した結果を表-6に示す。ここで、供給支障率は次

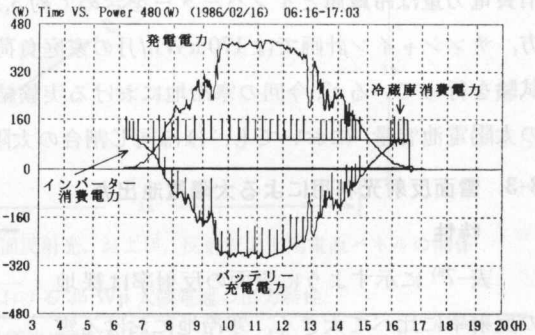
のように定義する。

$$\text{供給支障率 (\%)} = \frac{\text{供給支障時間の累積}}{\text{運転時間の累積}} \times 100$$

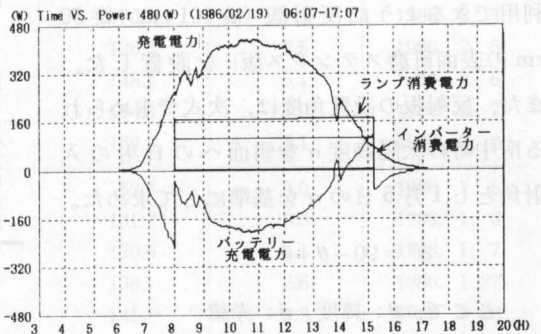
負荷と供給支障率との関係を見ると、冷蔵庫負荷の時 (1986年2月)、太陽光発電システムからの推定余剰電力が7,312.5 Whであり、この時の供給支障率は0.8%となっている。一方、負荷をランプに換えたところ推定余剰電力が2,620.8 Whで、この時の供給支障率は、0%を得

表一五 各月における45°傾斜面全天日射量と480 Wp太陽電池発電量の平均値

月	45°傾斜全面平均 全天日射量 (kWh/m ² 日)	平均発電量 (Wh/日)
1	3.0	1,179
2	3.4	1,376
3	4.8	2,016
4	4.9	2,049
5	4.3	1,781
6	4.7	1,877
7	4.0	1,571
8	4.8	1,842
9	3.9	1,613
10	3.5	1,481
11	2.6	1,118
12	3.0	1,179



図一四 冷蔵庫負荷時の480 Wp発電電力、各消費電力、バッテリー充電電力の関係



図一五 ランプ負荷時の480 Wp発電電力、各消費電力、バッテリー充電電力の関係

表一六 480 Wp太陽光発電システムの運転特性

負荷	年月	運転時間(運転日数)	総供給時間 (h)	総供給支障時間 (h)	供給支障率 (%)
冷蔵庫	1985年11月	8時間(26日間)	205.6	2.4	1.2
	1985年12月	9時間(17日間)	152.0	1.0	0.7
	1986年1月	9時間(30日間)	235.8	34.2	14.5
	1986年2月	10.5時間(13日間)	135.4	1.1	0.8
ランプ	1986年2月	7.2時間(12日間)	86.4	0	0
	1986年3月	10.5時間(20日間)	209.8	0.2	0.1

ることが出来た。コンプレッサーへの突流のような動特性を有する負荷は、静的な負荷に比べてバッテリー設置容量を大きくするか、または、突流をできるだけ抑制する工夫が必要であると考えられる。図-4 および 図-5 は冷蔵庫およびランプを負荷とした時の太陽光発電電力、バッテリー充電電力、負荷消費電力を示したもので、間欠的な冷蔵庫負荷の様子がわかる。

今回の実験から、冷蔵庫を負荷として1日24時間の運転を想定した場合、必要な太陽光発電容量は、少なくとも現在のシステムの約3倍の1.5kWpが必要となる。この場合、1日の消費電力量は冷蔵庫とインバーターを含めて約3,122Whで、月間では約94kWhである。一方、サンシャイン計画では170kWh/月の家庭負荷に対して3kWpの太陽電池を設置して実証試験を行っているが、今回の寒冷地における実験結果(94kWh/月の負荷容量に対して1.5kWpの太陽電池容量)においても、ほぼ同じ割合の太陽電池容量が必要ことが示された。

3-3 雪面反射光利用による太陽電池出力

特性

表-7⁶⁾に示すように雪面の反射率は裸地の反射率に比べて大きく、寒冷地における雪面反射光利用による太陽電池出力特性の検討を行った。雪面反射光は、1~3月の反射光を利用できるように反射版(横101cm×縦50cmの表面研磨ステンレス版)を設置した。また、反射板の設置角度は、次式で求められる南中時の太陽高度 α を雪面への日射の入射角とし1月5日の α を基準にして求めた。

$$\alpha^{\circ} = 90 - \theta + \delta$$

ここで、 θ : 緯度, δ : 赤緯

図-6に、太陽電池パネルと反射板との関係を示す。また、雪面反射光による太陽電池パネル面の日射量を次のように推定した。雪面の反射率を平均50%、ステンレス反射板の反射率を70%、そして、反射板の取り付け角度により雪面反射光の50%が太陽電池パネルに入射するものと仮定すると、雪面反射により日射量増加率は約18%になる。さらに、雪面の凹凸や太陽電池パネル表面および反射板の汚れや、太陽電池パネル表面での乱反射などにより、これらの50%が失われるとすると、最終的に雪面反射光により9%程度の日射量増加が期待できるものと推定される。

雪面反射光の効果を確かめるために、同じ特性を持つ2組の35Wp太陽電池を設置し、一方に反射板を取り付けた。結果を図-7及び表-8に示す。図-7は、1986年2月8日の太陽電池出力を示しており、雪面反射光の効果が示されている。表-8から、反射板付きの太陽電池

表-7 各状態における反射率⁶⁾

	表 面	反 射 率
雪 と 氷	乾 燥 新 雪	0.8~0.95
	湿 潤 新 雪	0.6~ 0.7
	よ ご れ た 雪	0.4~ 0.5
裸 地	黒 土 色	0.05~0.15
	乾いた明るい砂土	0.35~0.45
	湿った灰色土	0.1 ~0.2
	乾いた粘土・乾いた灰色土	0.2 ~0.35
不 透 明 材 料	アルミ (電解研磨)	0.75~0.84
	アルミ (普 通)	0.65~0.73
	鋼	0.6

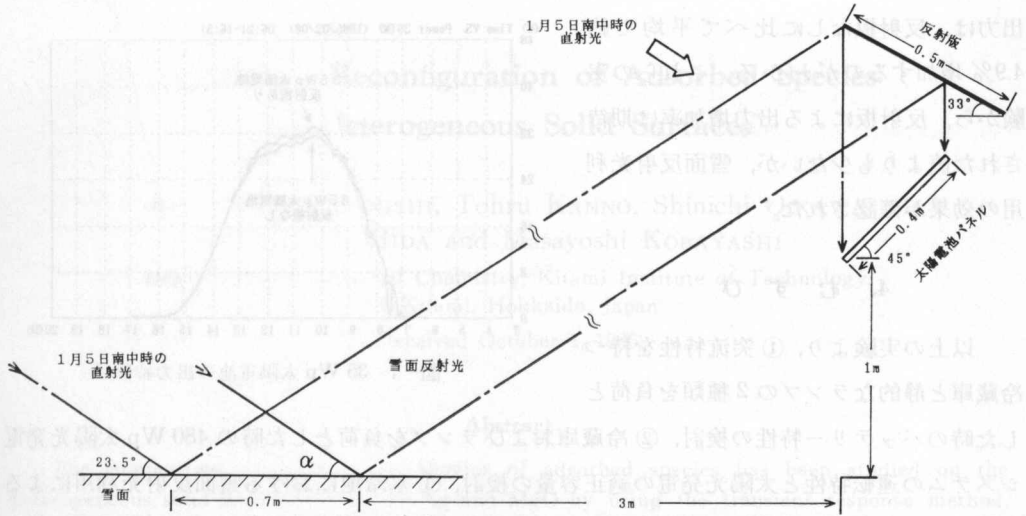


図-6 1986年1月5日の南中時直射光と雪面反射光, および, 反射板と太陽電池パネルの関係

表-8 各反射板設置角度における35 Wp太陽電池の出力特性

反射板水平角度	45°傾斜面総日射量 (kWh/m ² 日)	35 Wp太陽電池出力 (Wh/日)		出力増加率 (%)	年.月.日
		反射板無	反射板有		
23°	4.62	141.8	147.0	3.7	1986. 2. 3
	3.51	75.5	76.9	1.9	1986. 2. 4
	4.07	123.3	126.4	2.5	1986. 2. 5
	4.67	140.9	148.1	5.1	1986. 2. 6
	5.29	163.4	174.8	7.0	1986. 2. 7
	5.37	161.3	169.5	5.1	1986. 2. 8
33°	2.59	57.8	62.4	8.0	1986. 1. 5
	4.17	127.3	131.7	3.5	1986. 1. 6
	4.20	115.9	120.6	4.1	1986. 1. 7
	4.23	132.7	136.1	2.6	1986. 1. 27
	4.70	129.1	141.1	9.3	1986. 1. 28
	4.86	136.1	141.6	4.0	1986. 1. 31
	4.81	148.1	154.4	4.3	1986. 2. 1
	5.56	173.2	181.4	4.7	1986. 2. 19
	4.46	133.8	139.1	4.0	1986. 2. 21
	5.10	133.9	141.6	5.8	1986. 2. 25
43°	5.04	154.3	161.2	4.5	1986. 2. 11
	4.30	124.3	126.9	2.1	1986. 2. 12
	3.86	99.0	107.2	8.3	1986. 2. 13
	5.81	169.1	185.9	9.9	1986. 2. 15
	5.19	156.3	163.0	4.3	1986. 2. 16
	4.89	155.2	160.4	3.4	1986. 2. 17
合計	101.30	2,952.3	3,097.3		
平均	4.60	134.2	140.8	4.92	

出力は、反射板なしに比べて平均で約4.9%増加するのがわかる。これらの実験から、反射板による出力増加率は期待された値よりも少ないが、雪面反射光利用の効果が確認された。

4. む す び

以上の実験より、①突流特性を持つ冷蔵庫と静的なランプの2種類を負荷と

した時のバッテリー特性の検討、②冷蔵庫およびランプを負荷とした時の480 Wp太陽光発電システムの運転特性と太陽光発電の適正容量の検討、③寒冷地における雪面反射光利用による太陽電池出力増加の有効性の確認を行った。今後、直達光の反射光利用による太陽電池出力の特性および、太陽光発電システムにおけるバッテリー特性について引きつづき検討して行きたい。

終わりに、本研究の実験に際して本学電気工学科昭和60年度卒業生、金森重晴君の協力を得ました。ここに深く感謝します。

参 考 文 献

- 1) 仲村, 山城, 小池: 「マイクロコンピュータ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, P. 143, 1983年10月.
- 2) 仲村, 山城: 「寒冷地における太陽光発電特性の一考察」. 電気関係学会北海道支部連合大会講演論文集, No. 159, P. 178, 1984年9月.
- 3) 仲村, 山城: 「太陽光発電システムの特性(負荷特性および雪面反射光の影響についての考察)」. 電気関係学会北海道支部連合大会講演論文集, No. 174, P. 202, 1986年10月.
- 4) 仲村, 山城: 「寒冷地における太陽光発電システムの諸特性(第1報)」. 北見工業大学研究報告, 第16巻第1号, P. 25, 1984年11月.
- 5) 仲村, 山城: 「寒冷地における太陽光発電システムの諸特性(第2報)」. 北見工業大学研究報告, 第17巻第1号, P. 47, 1985年11月.
- 6) 金山公夫, 稲葉英男, 馬場 弘: 「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」.

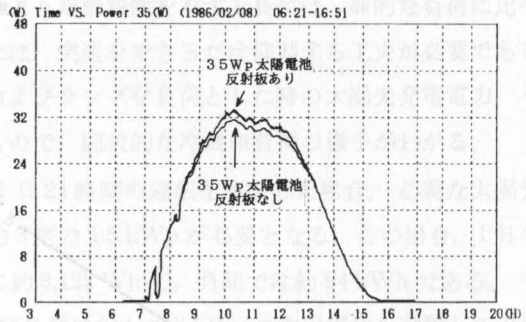


図-7 35 Wp 太陽電池の出力特性