

# 超省エネルギービル（大林組技術研究所本館）における 太陽電池設備の性能評価

安倍 隆 齋藤 満  
(本社 建築本部 設備部)

野田 久生  
(本社 建築本部 設備設計部)

## Evaluation of Performance of Photovoltaic Power Supply System in the Super Energy Conservation Building (Main Building of Ohbayashi-Gumi Technical Research Institute)

Takashi Abe Mitsuru Saito  
Hisao Noda

### Abstract

This paper describes the performance during a period of about two years from completion of the photovoltaic power supply system installed in the Super Energy Conservation Building. The photovoltaic system supplies electricity to one of the three circulation pumps for solar collectors. This circulation pump is driven only while the sun shines so that the solar cells supply power to the pump directly without a storage battery, which arrangement served to reduce the installation cost. The following may be said according to the records for the first year after completion:

(1) The circulation pump driven by solar cells consumed 372.6 kWh of electricity, which is about 41% of total potential power generation by the solar cells. (2) The solar cells provided approximately 25% of the total electricity demand for the three circulation pumps. (3) The conversion efficiency between incident solar energy and electricity generated is estimated to be 8%.

### 概 要

本報告は、超省エネルギービルに設置された太陽光発電設備の性能を、竣工後約2年間の運転実績に基づいて評価したものである。太陽電池は冷暖房用太陽集熱器の循環ポンプ3台のうち1台の電源として利用している。本システムの特徴は負荷に直流電動機を用い、蓄電池設備を設けずに負荷に直接太陽電池の電力を入力していることである。竣工後、最初の1年間の実績によれば、太陽電池可能発電量の41%が有効に利用され、循環ポンプ全体に対する太陽電池の依存率は25%であった。2年目に入ってから、天候の差による建物熱負荷の増大に伴い、集熱運転の頻度が増加したことにより、太陽電池の利用率も増加している。また、これまでの所、太陽電池の光電変換効率は8%前後で運転されていると推測される。

### 1. はじめに

本報告は大林組技術研究所本館ビルの一連の追跡調査のひとつで、太陽光発電設備に関するものである。

太陽電池の価格は昭和58年現在でも1W当り¥1,500～¥2,000と言われており、周辺装置の価格も合わせると現時点では経済的に成立するとは言い難い。従って用途も電卓や腕時計といった小型のものが大半を占め、電力用としての利用は人工衛星、無人灯台、遠隔地の中継局といったような特殊な分野に限られているのが現状で

ある。しかしながら、近年太陽光発電の特質を生かして建築物への利用を計る試みも出てきている<sup>1)</sup>。

太陽光発電は、①有害排出物がなくクリーンなエネルギーである、②エネルギー源が無尽蔵であり、かつあらゆる場所で利用できる、③システムが単純で、可動部分がほとんどなく、メンテナンスフリーである、④モジュール構成をとるため、需要や地形に合わせて小規模なものから大規模なものまで自由に検討ができる、⑤発電したその場所で負荷へ電力供給が可能である、といった特徴を有しており、石油代替エネルギーとして期待されて

いる。太陽光発電の本格的な実用化への課題としては周辺装置を含めた価格の低下，光電変換効率の向上，太陽電池利用システム技術の確立などがあげられ，我が国においてもサンシャイン計画で研究が進められている。

今後特に太陽電池の価格の低下に伴い，様々な方面での太陽電池の利用が考えられるが，当建物においても省エネルギー手法のひとつとして，太陽熱冷暖房システムと組み合わせた太陽電池の利用を試みた。ここでは本システムの概要と運転実績を報告するとともに，建築への太陽電池利用の可能性について述べる。

## 2. システム概要

### 2.1. 太陽熱冷暖房システムの概要

図-1に当建物の太陽熱冷暖房システムの概要を示す。冬季において日射が十分にある場合には約45℃で集熱（中温集熱）して温水蓄熱槽にたくわえ，そのまま暖房用熱源として利用する。また日射が少ない場合には約15℃で集熱（低温集熱）して冷水槽にたくわえ，ヒートポンプの低温熱源として利用する。夏季は85℃程度で集熱（高温集熱）して吸収式冷凍機により冷房運転を行なう。

集熱ポンプは交流の商用電源で駆動されるものが2台，太陽電池で駆動されるものが1台で，これら3台のポンプはパーソナルコンピュータを使用した中央管制装置により台数制御される。

### 2.2. 太陽光発電システムの概要

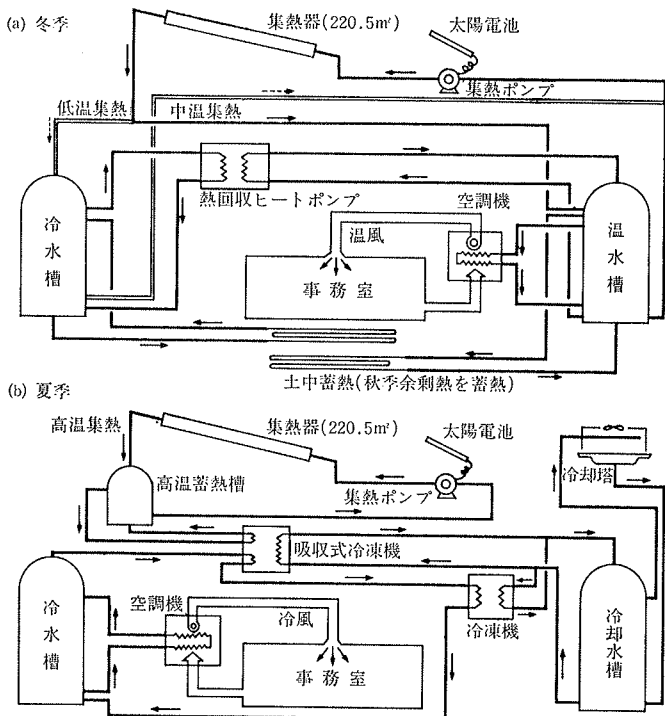


図-1 太陽熱冷暖房システムの概要

2.2.1. 全体システム 一般に太陽電池を用いてシステムを構成する場合，図-2に示すように蓄電池とDC/ACインバータを併用したシステムが用いられる。これは太陽電池の出力が入射エネルギーの大きさに応じて変動するため，これを蓄電池に充電して常に安定した出力を得るためと，負荷として用いられる電力消費機器は圧倒的に交流用のものが多いという理由によるためである。しかしこのようなシステムはコストが非常に高くなり，特に太陽電池の今後の価格低下の見通しに対して，蓄電池やインバータの価格低下がそれほど期待できないことを考えると，今後の太陽電池の一般建築物への普及のためには必ずしも最良のシステムであるとは言えない。また保守上の問題からも，システムはできるだけシンプルであることが望ましい。そこで本システムを設計するに当たっては次の点に留意した。

- (1) 太陽電池の発電特性に適合する負荷を選定することにより，蓄電池設備は省略する。
- (2) 負荷としてできるだけ直流機器を選び，インバータによる効率低下と価格上昇をおさえる。
- (3) システムをシンプルに構成することにより，保守性の向上を計る。

以上の理由により，太陽電池の主たる負荷としては，太陽熱冷暖房用の循環ポンプを選び，電動機には直流電動機を使用することとした。図-3に本システムの概要を示す。

図-3に示すように，太陽電池の電力は，冷暖房用集熱ポンプの他に，給湯用循環ポンプと，1Fトイレ照

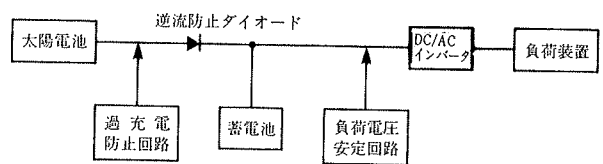


図-2 蓄電池，インバータを用いたシステム構成例

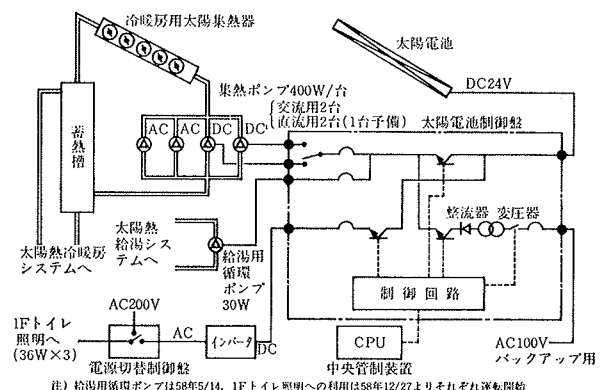


図-3 当建物における太陽電池電源システム

明にも供給されている。前者は冷暖房用とは別に設置された給湯用集熱器（4 m<sup>2</sup>）のための循環ポンプで、建物使用開始から約1年後の昭和58年5月より運転をはじめた。また後者は後述する太陽電池の利用効率を向上させるために、昭和58年12月より運転を開始したもので、太陽電池出力に余裕がある場合のみ、インバータを介して照明用電力に利用するものである。これらはいずれも補助的な負荷であり、以下冷暖房用集熱ポンプの運転を中心として述べる。

本太陽電池電源システムには蓄電池がないためポンプへ供給される電力は太陽電池への入射エネルギーの変動の影響を受け、ポンプ出力が変動するが、同時に集熱器による集熱量も同様の変動をすると予測されるため、影響は少ないと考えた。すなわち負荷の性質上ポンプの出力特性に厳密な安定性が要求されていないという点が、このようなシステムを可能にしたと言える。

2.2.2. 太陽電池と直流集熱ポンプ 太陽電池はシリコンリボン結晶形のものを採用した。構成は75 mm×100 mmの素子を40枚並べて1モジュールとし、3モジュールを直列に接続したものを13組並列として合計39モジュールを建物屋上の集熱器前面に設置している。表-1に1モジュール当りの仕様を示す。太陽電池の素子面積の合計は11.7 m<sup>2</sup>で、素子温度28°C、入射エネルギー100 mW/cm<sup>2</sup>の時に1,014 Wの出力が得られる。光电変換効率は表-1より次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{太陽電池効率} &= \frac{\text{太陽電池出力} \times 100}{\text{太陽電池へ入射する総エネルギー量}} \\ &= \frac{26000 \text{ mW}}{100 \text{ mW/cm}^2 \times 7.5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 40 \text{ 枚}} \times 100 = 8.7\% \end{aligned}$$

モジュールの設置架台は、水平に対する取付角度が季節別の太陽高度に合わせて20°、35°、50°の3段階に変更できるようになっている。写真-1に太陽電池の設置状況を示す。

集熱ポンプには定格出力400 Wの直流電動機を使用し、太陽電池の出力電圧変動に対して安定した特性を持つものを選定した。また台数は予備を含めて2台とし、制御盤の切替スイッチで1週間ごとに手動にて交互運転を行なっている。図-4および5にポンプと直流電動機の特性格線を示す。

2.2.3. 運転制御 基本運転フロー図を図-6に示す。運転は中央管制装置からの指令と、太陽電池制御盤に組み込まれた制御回路により自動的に行なわれる。中央管制装置では日射量、集熱器出入口温度、蓄熱槽温度などから集熱運転を行なうか否かを判定し、さらに集熱ポンプの運転台数を決定して、直流集熱ポンプの運転を行なうか否かの信号を太陽電池制御盤に出す。この場合の信

入射エネルギー100mW/cm<sup>2</sup>、素子温度28°C、1モジュールあたり

開放電圧 Voc	10.5(V)	短絡電流 Isc	3.41(A)
最大出力電圧 Vp	8.3(V)	最大出力電流 Ip	3.13(A)
最大出力 P	26.0(W)	重量 W	6.0(kg)
モジュール寸法	460×810×24(mm)		
素子構成	75(mm)×100(mm)×40(枚)		

表-1 太陽電池仕様

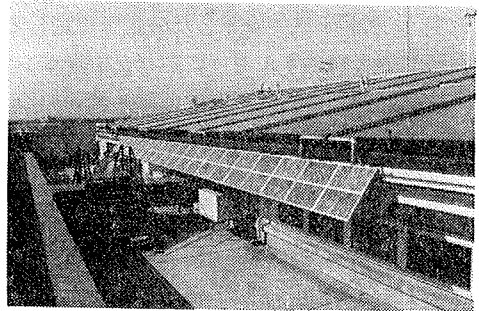


写真-1 太陽電池の設置状況

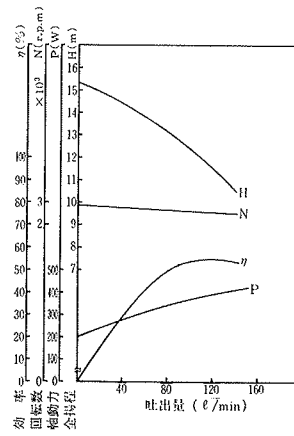


図-4 集熱ポンプ特性

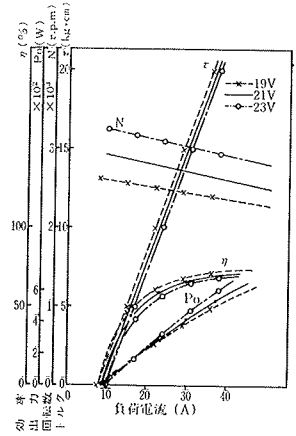


図-5 直流電動機特性

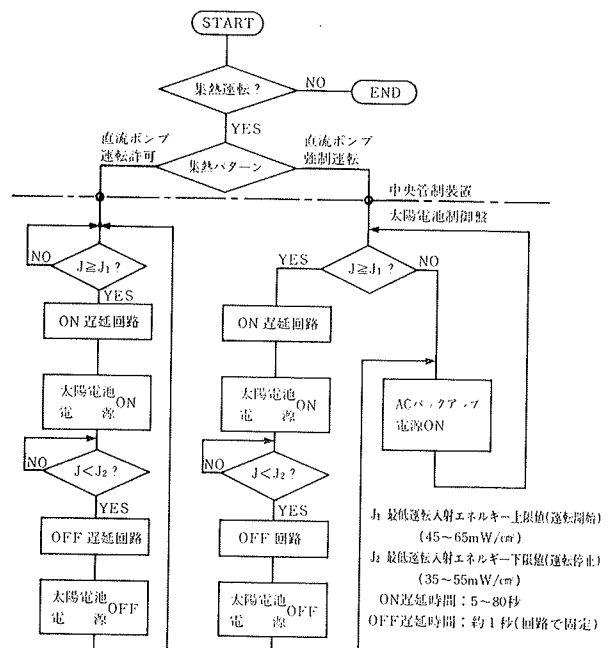


図-6 基本運転フロー図

号は、①直流ポンプ運転許可、②直流ポンプ強制運転の2種類である。前者は太陽電池出力が直流ポンプ運転に十分な場合のみ直流ポンプを運転し、不足する場合は他の2台の交流ポンプを運転する。後者の場合は太陽電池出力が不足する場合は交流バックアップ電源により直流ポンプが運転される。これは日射量が少なく太陽電池出力が小さい時でも集熱ポンプを3台とも運転する必要がある場合や、交流ポンプが故障した場合を想定している。

太陽電池への入射エネルギーに応じた直流ポンプの発停は制御盤側で行なわれる。入射エネルギーの急激な変動に対して、ポンプが頻繁に発停を繰り返すことを防ぐために、最低運転入射エネルギーに上限値と下限値を設け、さらに ON と OFF に対して遅延時間を設定した。これらは制御盤のつまみで変更可能である。

### 3. 運転実績

#### 3.1. 1日の運転状況

図-7に竣工後2年間の夏季および冬季代表日の運転状況を示す。各々快晴日のデータである。図に示す通り、晴天日には朝8時前後に直流ポンプの運転を開始し、14時前後に停止することが多かった。太陽電池取付方位角は建物方位に合わせてあるために、真南より東へ27°ず

れており、午後は比較的早く太陽電池への入射エネルギーが小さくなる、同図(a)で電流、流量、圧力が急激に変化している所は、他の2台の交流ポンプの運転、停止の影響によるものである。太陽電池出力電圧は無負荷時(開放電圧)に夏季で28V程度、冬季に30V以上まで上昇するが運転時は22~23Vでほぼ一定である。電圧が夏季よりも冬季の方が高くなるのは太陽電池の素子温度による影響で、素子温度が低い程開放電圧は高くなる。また太陽電池の光電変換効率も素子温度の影響を受け、一般に素子温度が1℃高くなると効率が0.5%低下するとわれているが、図に示すように素子温度はピーク時に外気温に比べて30℃程度高くなるため、太陽電池効率は前述した8.7%よりもかなり低い値で運転されていると思われる。

集熱ポンプの流量、圧力、回転数については、図に現われている程度の変動であればほとんど問題はなく、ほぼ定格付近で運転していると考えられ、設計意図通りの運転状況となっている。

#### 3.2. 年間の運転実績

表-2に竣工から昭和59年1月までの太陽電池の運転実績を示す。なお直流ポンプの運転時間数、消費電力量には、交流バックアップ電源によるものは含まれていな

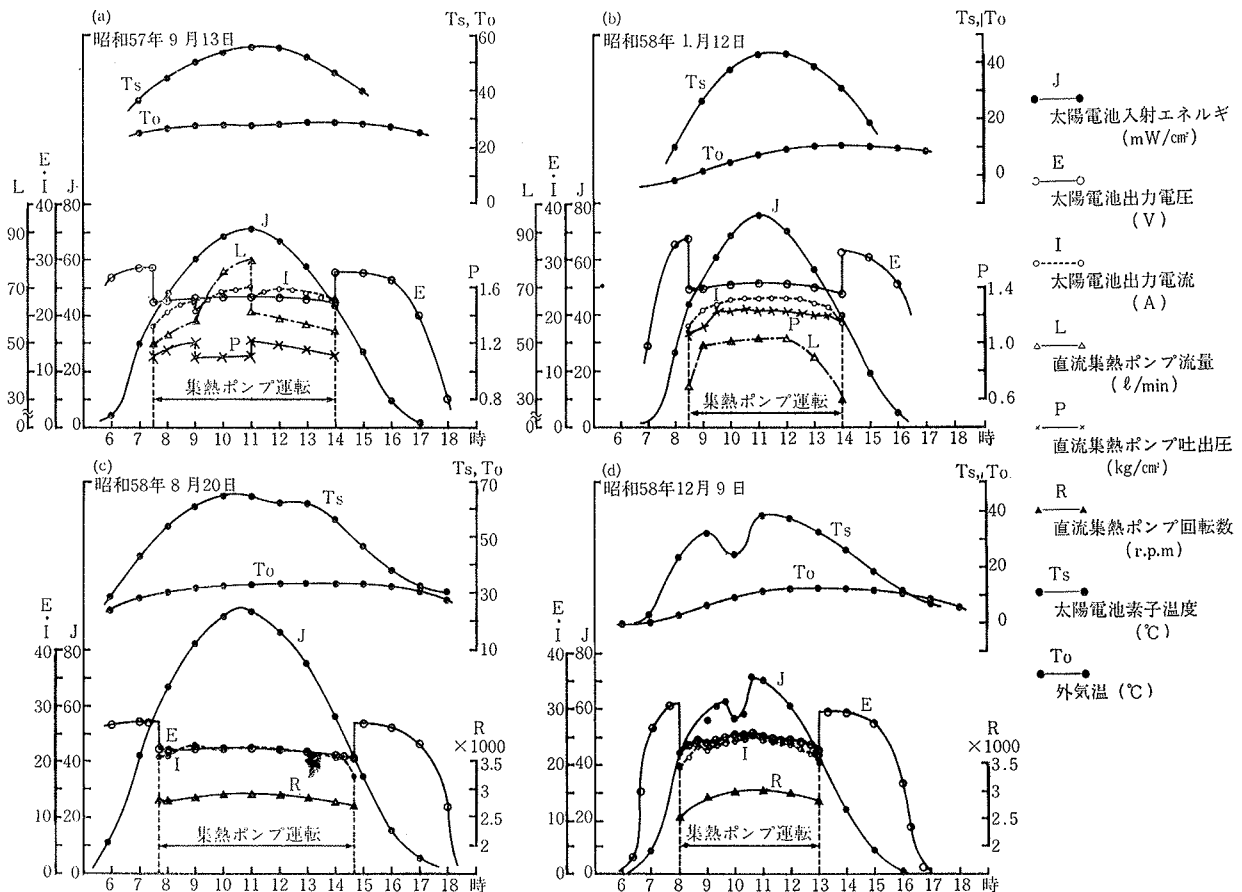


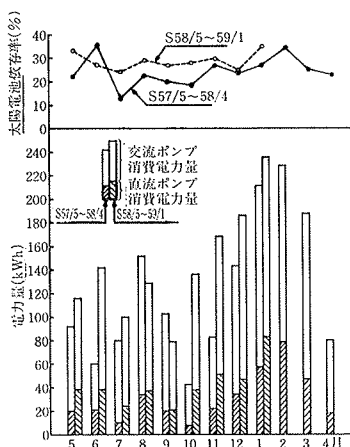
図-7 直流集熱ポンプ運転状況

	A 直流ポンプ 運転時間 (h)	B 直流ポンプ 運転時間 (h)	C 直流ポンプ 1日当り 時間(h)	D 直流ポンプ 消費電力 (kWh)	E 太陽電池 発電電力 (kWh)	F 太陽電池 入射エネルギー (kWh)	G 太陽電池 初年度 発電電力 (kWh)	H 太陽電池 初年度 入射エネルギー (kWh)	I 太陽電池 発電効率 (%)	J 太陽電池 初年度 発電効率 (%)	K システム効率 (%)
S57	16	42.0	2.5	20.4	78.7	987.3	72	7.8	26.6	22.1	2.1
5	18	45.0	2.5	21.2	78.4	993.7	39	7.9	27.0	35.2	2.1
6	10	22.0	2.2	10.2	55.6	685.5	70	8.1	18.3	12.7	1.5
7	22	70.5	3.2	34.2	75.8	983.5	118	7.7	45.1	22.5	3.5
8	16	40.3	2.5	20.4	56.4	721.3	83	7.6	35.1	13.7	2.6
9	8	17.6	2.2	8.0	73.9	936.0	35	7.9	10.8	18.6	0.9
10	14	42.0	3.0	22.3	48.8	619.5	61	7.9	45.6	26.8	3.6
11	21	64.3	3.1	33.7	62.6	745.9	110	8.4	53.5	23.4	4.5
S58	22	59.3	4.4	57.5	99.1	1,199.6	151	8.3	58.0	27.2	4.8
1	22	129.6	5.5	78.8	116.0	1,370.2	150	8.5	67.9	31.4	5.8
2	18	92.6	5.1	47.3	55.8	1,134.3	141	8.4	49.3	25.1	4.2
3	11	32.3	2.9	18.6	77.4	522.5	62	8.1	24.0	23.0	2.0
4	138	655.5	3.5	372.6	916.5	11,333.3	1,095	8.1	49.7	25.3	3.3
年度計	17	75.3	4.4	38.6	110.6	1,399.0	78	7.9	31.9	33.1	2.8
5	15	74.7	4.7	38.2	81.2	1,031.0	101	7.9	45.3	26.9	3.6
6	15	51.4	3.4	24.2	55.8	717.7	76	7.8	43.4	21.2	3.4
7	20	82.3	4.1	37.7	88.5	1,170.7	91	7.6	42.6	29.3	3.2
8	16	43.3	3.0	21.2	58.8	751.1	58	7.8	36.1	26.8	2.8
9	21	74.0	3.5	33.4	86.7	1,072.2	99	8.0	41.3	27.9	3.6
10	21	92.5	4.4	50.9	59.9	1,155.4	118	8.2	53.1	33.1	4.4
11	17	80.5	4.7	45.6	85.6	1,121.6	149	8.4	51.7	23.1	4.1
S59	26	130.7	5.0	83.3	103.9	1,217.0	133	8.5	80.2	35.3	6.8
1	19	709.8	4.2	373.3	770.1	9,529.7	917	7.9	49.3	23.1	3.9
小計	(147)	(491.0)	(3.0)	(227.9)	(627.3)	(7,556.3)	(743)	(8.0)	(35.3)	(23.3)	(3.0)

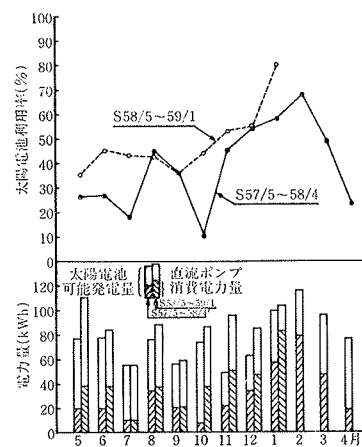
( )内は前年度同月までの値

表一 太陽電池運転実績

図一6に示した基本運転フロー図で、直流ポンプ強制運転パターンが発生したことは実際には一度もなく、ポンプの試運転調整時に手動で運転した時以外には、交流バックアップ電源を使用することはなかった。太陽電池の効率は、素子温度28℃の時に8.7%とし、測定された素子温度をもとに±1℃につき±0.5%の補正をして計算した値である。図一8に集熱ポンプ全体の消費電力量に対する直流ポンプ消費電力量の割合(太陽電池依存率)を、図一9に入射エネルギーより換算した太陽電池可能発電量に対する直流ポンプ消費電力量の割合(太陽電池利用率)の各月の変化を示す。竣工後1年間(昭和57/5~58/4)の平均値は表一2に示すように依存率25.3%、利用率40.7%であった。集熱ポンプの運転は直流ポンプを優先して行なったが、日射量が少なく、直流ポンプを運転できないような場合でも集熱器の出入口温度差が3℃以上とれば交流ポンプで集熱運転を行なったために、依存率は30%を切る値となった。また蓄電池を設けていないので、太陽電池出力に余裕がある場合や、直流ポンプを駆動するに満たない場合の発電電力は有効に利用されていないために、利用率は40%台に止まった。冒頭に述べた給湯用循環ポンプと照明用電力への利用は、これらの電力を有効に利用することを意図したものである。太陽電池利用率の各月ごとの変化は、集熱運転の頻度に依存しており、高温集熱のみを行なう夏季に比べて、中温集熱および低温集熱を行なう冬季の方が、利用率は高くなっている。図一8の棒グラフは集熱運転の頻度も表わしているが、この変化と図一9の利用率の折れ線グ



図一8 太陽電池依存率



図一9 太陽電池利用率

ラフの変化はほぼ一致しており、太陽電池利用率が集熱運転の頻度に依存していることがわかる。また竣工後2年目(昭和58/5~)には、直流ポンプの運転時間、太陽電池利用率とも前年に比べて上昇しているが、これも建物熱負荷の差による集熱運転の頻度の増加によるもので、特に1年目は中間期にはほとんど外気冷房で熱負荷をまかなっており、この時期の集熱運転の頻度が二年目に比べてかなり少ないことに起因する。太陽電池の発電効率は表一2に示すように素子温度の高い夏季の方が冬季より低く、平均8%前後で運転されていると考えられる。またシステム効率(入射エネルギーと直流ポンプ電力の比)は、太陽電池利用率と効率の積に等しい。なお昭和58年5月から運転を開始した給湯用循環ポンプ(運転時間は直流ポンプと全く同様になるよう制御されている)の太陽電池による消費電力量は昭和59年1月までで19.7kWhで、これを加えた太陽電池利用率は昭和58年5月より59年1月までの平均で51.8%となる。また昭和59年1月の1箇月の1階トイレ照明への利用電力量は2.42kWhであった。

#### 4. 結論

太陽光発電の一般建物への利用拡大のためには、太陽電池の価格の一層の低下が望まれるが、負荷として少々の変動を許容できるものを選び、かつ昼間の負荷で、直流電源で駆動できる機器を選定することにより、周辺装置のコストを抑えることができる。この意味で当建物で試みたシステムは、今後このようなシステムを計画する上で大きな成果が得られたと言える。

#### 参考文献

- 1) 室園：産業用太陽光発電システム，太陽光発電システムシンポジウム講演集，(昭和59)，pp. 2-43~50
- 2) 細川：新エネルギー開発機構における太陽光発電実用化技術開発について，サンシャインジャーナル，Vol. 4, No. 1, 2, (1983)，pp. 1~6