

小山高専40kW太陽光発電システムの評価

Characteristics of 40kW Photovoltaic Power Generation System in ONCT

鹿野 文久・小澤 祐二*・田中 昭雄

Fumihisa KANO・Yuuji* OZAWA・Akio TANAKA

1. はじめに

太陽光発電システムはCO₂削減や電力消費の増大に伴うピークカット効果が期待され、現在まで出力数kWの主に住宅用の小規模システムの普及が図られてきた¹⁾。更に低コスト化が進めば、産業用の規模の大きな太陽光発電システムが普及すると思われる。このような状況にあって平成11年に文部省補正予算により小山高専に太陽電池による40kWの太陽光発電システムが導入された。これは環境とエネルギーに対する学生への教育の向上と啓蒙効果を狙い設置されたものである。そこで本研究では本校に設置した太陽光発電システムについて、1999年9月から2000年8月までの1年間、システムの発電電力と気象状況を測定し、太陽光発電システム稼働状況をまとめたので報告する。

2. システム構成

図1に太陽光発電システム概略図を示す。太陽電池で発電した直流電力は、パワーコンディショナーを介し三相交流200Vに系統連携²⁾され学内で使用される電力の一部として供給される。太陽光発電システムはこのほかに太陽電池の電圧・電流・温度の測定装置、日射量計や気温計からなる気象観測装置、そしてこれらのデータをコンピュータに記録するデータ解析システムから構成される。測定データは6秒ごとに測定し積算・または平均値として5分間隔で保存する。これら測定データは学内に設置した計測表示板にリアルタイムで表示するとともに、学内ネットワークに接続したパソコンからも、ブラウザでデータの参照がおこなえる。図2は本システム稼働中の計測データを、ネットワーク接続したパソコン上での表示画面を示す。

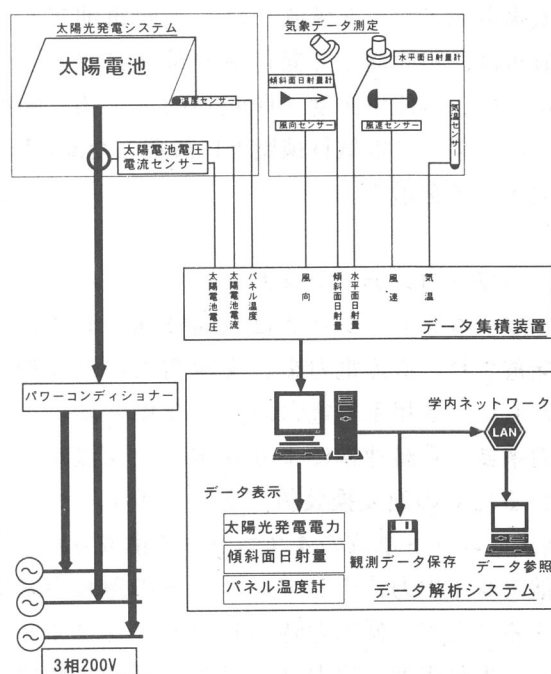


図1 小山高専太陽光発電システム概略

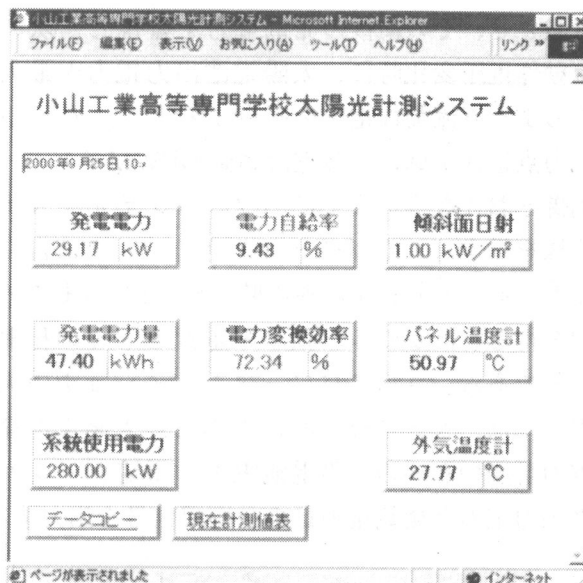


図2 ブラウザでの計測値表示画面

* 本校電子システム専攻科1年生 (平成12年4月現在)

3. 太陽電池アレイ

太陽電池はシャープ（株）製多結晶太陽電池（形名NE51FLR、最大出力120W、最大出力動作電圧25.7V、最大出力動作電流4.67A、モジュール変換効率12.5%）を1モジュールの基本単位として用いた。このモジュールを電気科棟屋上に6直列42並列・252モジュール約30kW出力と機械科棟屋上に6直列14並列・84モジュール約10kW出力の計336モジュールを設置。開放電圧308.4V、最適動作電圧154.2V、最適動作電流130.76A、最大出力40.3kWの太陽電池アレイを構成した。太陽電池アレイの設置角は、年間通して発電量が最大になるよう傾斜角20度、方位角90度（真東を0として南に90度）とした。図3に電気科棟屋上に設置した30kW太陽電池アレイを示す。

4. パワーコンディショナ

パワーコンディショナは太陽電池アレイによって発電された直流電力を、交流電力に変換するとともに、商用系統電力が正常な場合には、商用電力系統と系統連携により安定した交流電力を供給するための逆変換装置である。インバータ部は10kWユニット単位の4ユニットで構成され、太陽電池アレイ出力に応じてユニットの運転台数を制御することで、低出力時の効率をアップする。しかし、太陽電池の出力は、日射強度や太陽電池モジュールの温度により変化するため、最大電力を取り出す太陽電池電圧は常に変化する。そこで、インバータの直流動作電圧を1秒間に5Vずつ微増・微減させ、その前後の発電電力を監視し、次の直流動作電圧変化時に、太陽電池出力電力が最大になるよう直流動作電圧を制御するといった、最大電力点追従制御による電流制御形PWMインバータ制御をおこなう。表1にパワーコンディショナの仕様を示す。このパワーコンディショナは自立運転も可能であり、系統連計時定格の100%までの出力を得ることができ、独立の電源としての稼働も可能である。さらにパワーコンディショナの入出力部では、NEDO計測に対応した太陽電池発電電力計測のための太陽電池電圧・電流、インバータ出力電力と積算電力量の計測用信号を出力する。

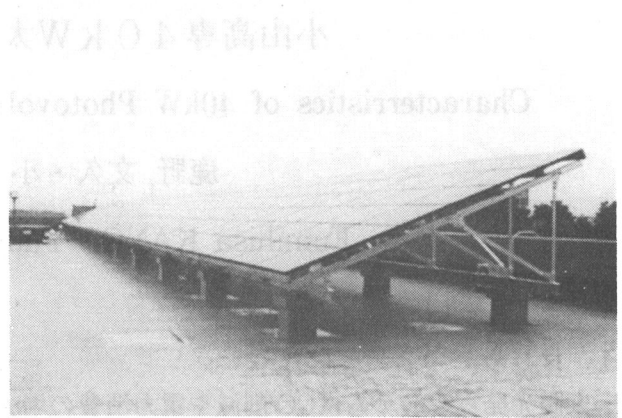


図3 電気科棟設置の30kW太陽電池アレイ

表1 パワーコンディショナの仕様

出力容量		40kW
定 格		連続
冷却方式		強制空冷
直 流 入 力	定格電圧	300V
	変動範囲	0～500V
	運転電圧	200～500V
	始動電圧	270V以上（20分後） 300V以上（5分後）
交 流 出 力	定格電圧	200V
	定格周波数	50Hz
	相 数	三相3線
	変換方式	電流制御形PWMインバータ
	運転方式	ユニット運転台数制御
	電圧変動範囲	定格電圧±10%
	周波数範囲	定格周波数±1%
	高調波流出電 流	総合電流歪率5%以下 各次電流歪率3%以下
	出力力率	0.95以上
	自動電圧調 整	222～225V／出力力率1～0.85 225V～／出力電力減少
製 造 会 社		古河電気工業株式会社

5. 太陽光発電計測システム

太陽光発電はその日の気象状況により発電量が大きく変化する。そこで太陽光発電システムの発電状況を評価するために、太陽光発電データ測定と同時に、気象計測システムも稼働し、太陽光発電に影響する気象データの測定をおこなった。太陽電池に到達する太陽光強度測定のため日射量計を用い、傾斜面日射量計（太陽電池面と同じ傾斜

角20度)で太陽電池に入射する太陽光の法線成分測定を、全天日射量計で地表に垂直に到達する日射量測定をおこなった。また温度測定としては、太陽光発電システム設置場所の温度を気温計で、また太陽電池温度を太陽電池モジュール裏面に貼り付けた温度センサーで測定した。さらに自然風による太陽電池モジュール放熱の状況を調べるために風速計・風向計を設置し測定をおこなった。測定に用いたセンサーの一覧を表2に示す。これらセンサー出力は太陽光発電の電圧・電流・電力データとともにパソコンにて6秒ごとにサンプリングし、5分間隔でデータ記録をおこなった。

表2 気象観測用センサー

傾斜面日射計	形 式	サーモパイル式全天日射計
	感 度	$7 \text{ mV/kW} \cdot \text{m}^{-2}$
	方位特性	$\pm 25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下
	温度特性	$\pm 2\%$ 以内
	非直線性	$\pm 1.5\%$ 以内
	波長範囲	300~2800nm
	ISO 等級	Second Class
水平面日射計	そ の 他	結露防止ファン付き
	形 式	サーモパイル式全天日射計
	感 度	$7 \text{ mV/kW} \cdot \text{m}^{-2}$
	方位特性	$\pm 25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下
	温度特性	$\pm 2\%$ 以内
	非直線性	$\pm 1.5\%$ 以内
	波長範囲	300~2800nm
気温計	ISO 等級	Second Class
	そ の 他	結露防止ファン付き
	形 式	自然通風式
パネル温度計	温度素子	白金抵抗素子
	精 度	B級 $\pm (0.3 + 0.005T)$
	素 子	熱 電 対
風速計	形 式	光 電 式
	風速検出	8 パルス/回転
	始動風速	0.4m/sec
	使用範囲	0~40m/sec
風速計	形 式	光 電 式
	風速検出	16方位 (4ビット)
	始動風速	0.4m/sec
	使用範囲	0~40m/sec

6. 太陽光発電システム1日のデータ推移

6.1 晴天日における太陽光発電データ

図4に2000年4月25日晴天日に24時間測定したデータについて、太陽電池電圧・電流・発電電力、傾斜面・水平面日射量、気温・パネル温度、風向・風速を示す。

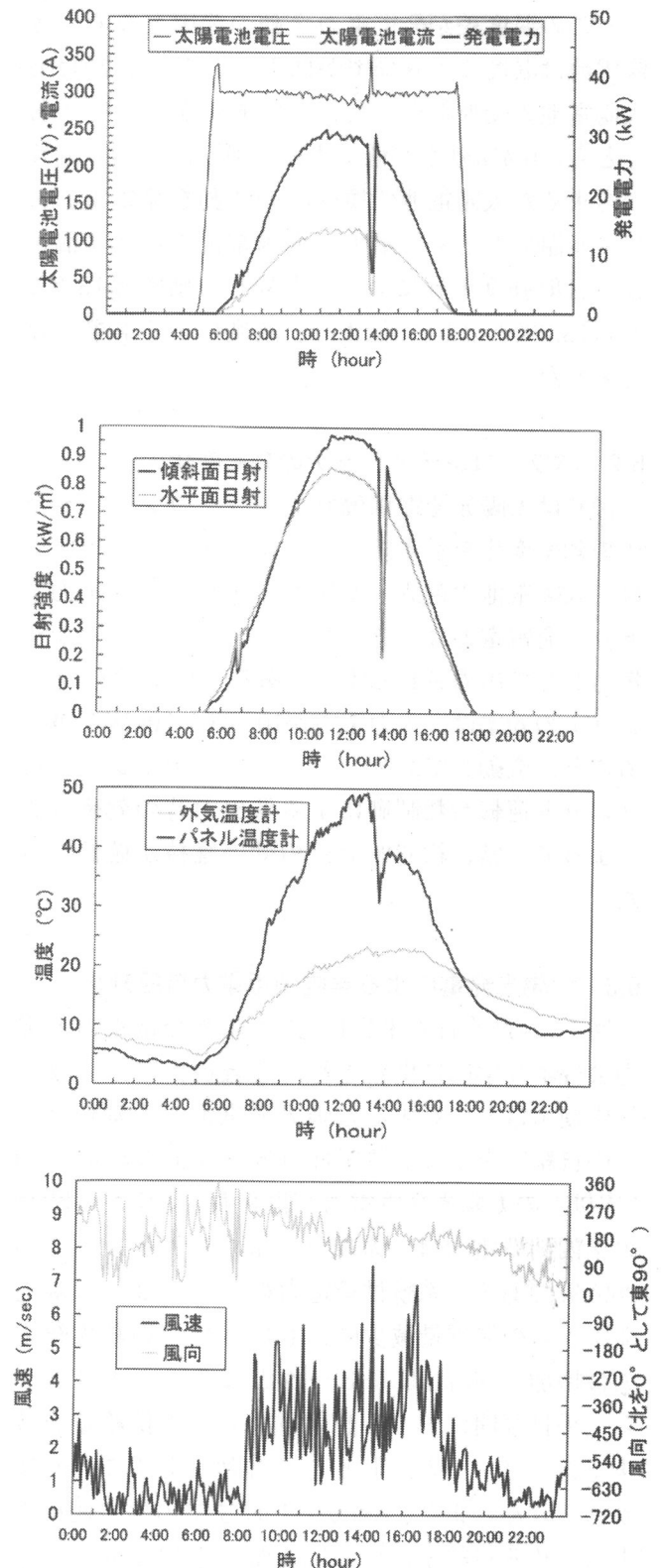


図4 2000年4月25日の太陽光発電システムの24時間測定結果

図4に示すように太陽光発電電力は11時15分に最大31kWの発電電力を得た。しかし、太陽電池の法線成分である傾斜面日射強度の最大値は11時45分の $0.973\text{kW}/\text{m}^2$ であり、これは小山での太陽高度の南中時間と一致する。11時15分と45分での太陽電池のパネル温度はそれぞれ 43.7°C と 44.1°C であり、この温度差が発電電力変動の要因となる。太陽電池は温度により効率が低下し、 25°C に於ける太陽電池の変換効率は12.5%であるが、 1°C 上昇とともに0.4%効率が低下する。図5にパネル温度から求めた太陽電池変換効率の変動を発電電力・パネル温度とともに示す。太陽電池のパネル温度は、日射強度上昇によって上昇し、効率は13.7%から12.2%へと1.5%低下し、温度による影響が確認された。

6.2 パワーコンディショナの効率変化

図6は太陽光発電稼働時のパワーコンディショナの効率変化を示す。パワーコンディショナ入力、太陽電池の電流・電圧から求めた入力電力であり、発電電力はパワーコンディショナから交流電力として出力される電力である。パワーコンディショナの効率は、入力電力が10・20・30kWを越えるごとに変動しており、パワーコンディショナのユニット運転台数制御による低出力時の効率改善によって、常に約93%前後の効率維持が確認できた。

6.3 太陽光発電による学内使用電力自給割合

図7に4月25日の平日1日の太陽光発電電力と電力会社より学内に供給された系統供給電力、及び学内使用電力に対する太陽光発電電力の割合としての自給率を示す。晴天日の8時から15時の間、20kW以上の太陽光発電電力が得られ、9時から20時の学内消費電力は、系統供給電力と併せると平均280kWである。系統供給電力のピークは、太陽光発電からの発電量減少にともなって、系統供給電力は増加し16時以降にピークとなる。このことから、平日昼間における商用電力からの供給量を減少でき、ピークカットとして有効であることが確かめられた。また、8時から15時までの学内使用電力に占める自給率は最大12.9%、平均でも約10%を太陽光発電により供給したこととなる。

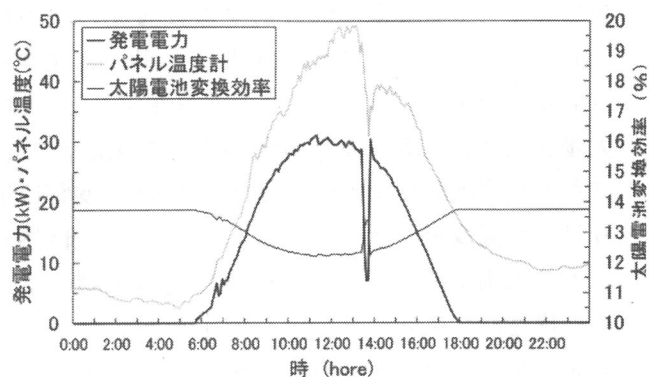


図5 パネル温度による太陽電池効率の変動

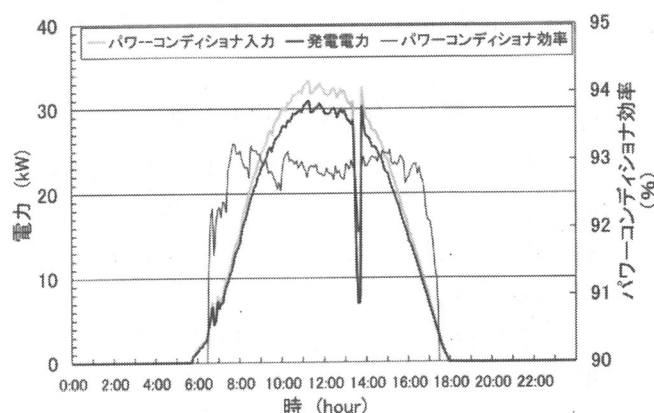


図6 パワーコンディショナの効率変化

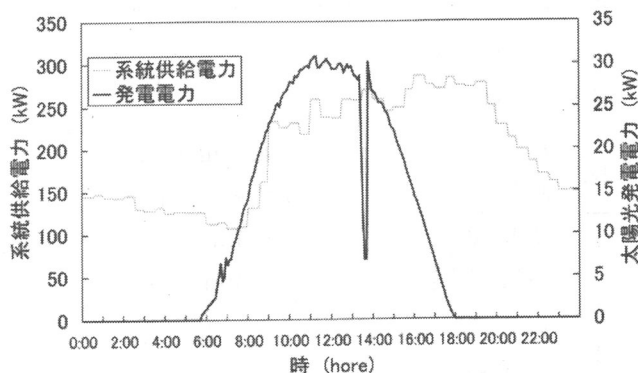
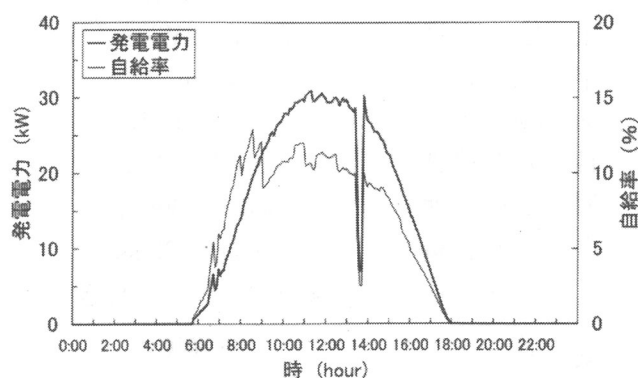


図7 小山高専平日における系統供給電力と太陽光発電電力による自給率割合

7. 太陽光発電システムデータの年間推移

7.1 太陽光発電電力

図8に1999年9月から2000年8月まで1年間、太陽光発電システムから供給された発電電力を示す。発電電力は1日ごとに積算し、太陽光発電電力量として求めた。図中3月9日から4月13日の35日間は、パワーコンディショナトラブルにより太陽光発電停止のため、発電電力量のデータは得られていない。測定を行った1日の最高発電電力量は、2000年5月5日に238.86kWhを記録した。図9に各月別に積算した発電電力量を示す。2000年5月一ヶ月の発電量は、4669kWhと最も高く、また年間総発電電力量は38965kWhと約39Mwhの電力を得たこととなる。月別の発電推移については3・4月におけるシステム停止のため、発電量の比較が十分に出来ない。そこで図10に示す各月ごと、その月の稼働日数から1日の平均発電電力を求め比較する。その結果、1日平均発電量は5月の150.61kWh・dayを最高に2、4、7月と140kWh・dayを発電し、最低でも11月の平均発電電力96.76kWh・dayは5月の約4割減少に留まり、測定を行った1年間の平均1日の発電電力量は124kWh・dayであった。

7.2 年間日射量の推移

図11に積算日射強度の年間推移を示す。傾斜面日射、水平面日射ともに、日射量計により測定した24時間のデータを1日単位で積算し、積算日射強度（単位：kW/m²・day）とした。システムを設置した小山高専での日射量の特徴として、夏至を挟んだ5月から6月において強い日射強度が得られ、また、12月から3月の冬季期間、日射強度は低いものの、快晴日が多く続くことが確認できる。

この結果、図8に示した太陽光発電電力の年間推移のうち、夏期は晴天日の強い日射強度のため1ヶ月の発電電力が大きく、一方冬季は日射強度は低いが晴天日が多いため1ヶ月の積算発電電力高くなるものと説明できる。また、傾斜面と水平面日射強度については、水平に設置した日射量強度の変動は、夏期と冬季とで1日あたりの2倍程度と大きく推移するのに対して、傾斜面での変動は1.5倍程度と小さい。

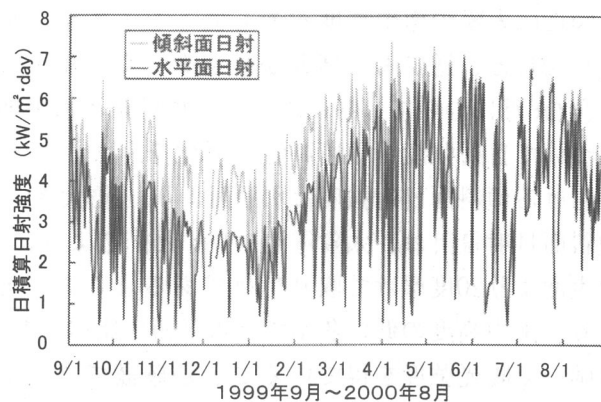


図8 太陽光発電電力量の年間推移

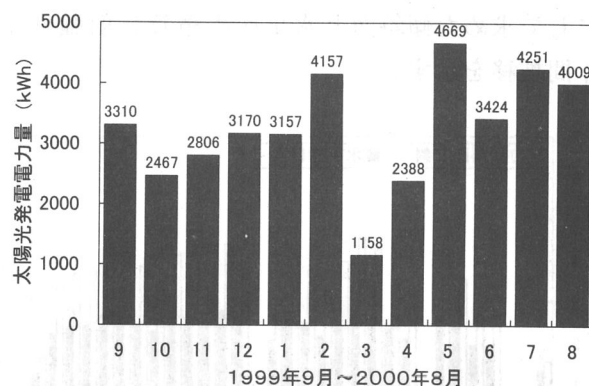


図9 月別太陽光発電積算電力

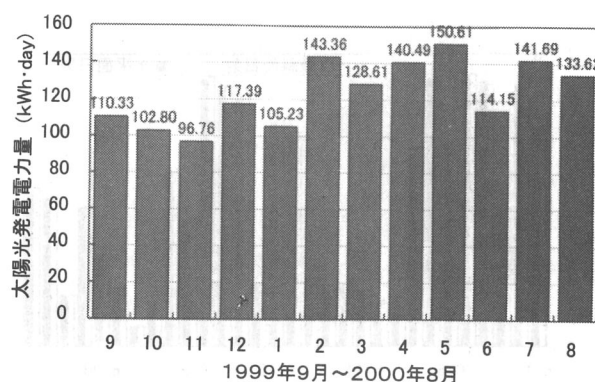


図10 各月1日の平均発電電力量

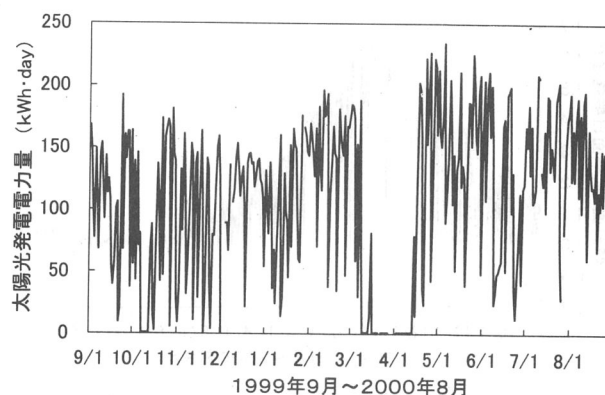


図11 積算日射強度の年間推移

図12は太陽の南中高度が最も低くなる冬至日を含む12月と、逆に南中高度が最も高くなる夏至日を含む6月について、各々1ヶ月の傾斜面と水平面について日射強度1日積算値の変化を示す。12月における傾斜面日射強度は水平面より1.6倍大きい。傾斜面日射量計は、太陽電池アレイと同じように、地表面より20度傾けて取り付けられている。このことより、南中高度の低い冬季では水平面に比べ、1.6倍強い太陽光強度を得ていることが確認できた。また、夏期においては、水平面と傾斜面1日の日射強度に大きな違いは見られなかった。図13に同様にして求めた傾斜面と水平面の積算日射強度比の年間推移を示す。

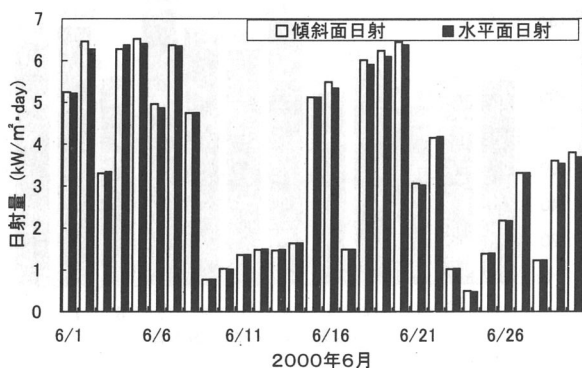
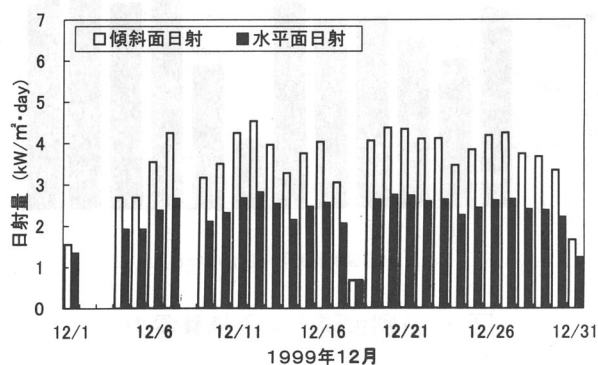


図12 12月および6月の日射強度変化

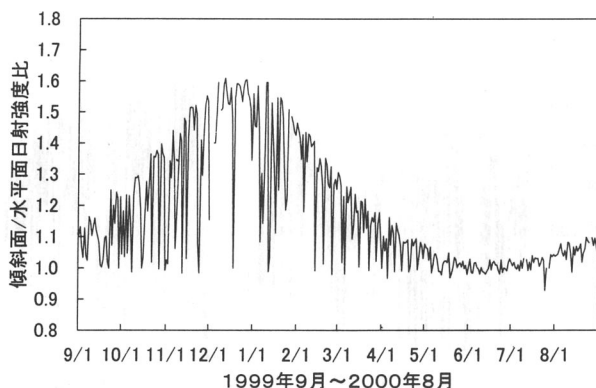


図13 傾斜面と水平面の積算日射強度変化

7.3 太陽電池変換効率の年間推移

太陽電池のエネルギー変換効率は、温度による影響を大きく受けることから、1日の気温やパネル温度の変動のみならず、年間を通して効率変動が生じる。図14に太陽電池パネルに設置した最高温度と、気温計の最高気温の年間推移を示す。その結果パネル温度は晴天時で冬季35度に対し夏期65度と30度の開きがある。このパネルの最高温度をもとに、太陽電池の変換効率変動を求めた結果を図15に示す。太陽電池の変換効率は12月から2月の間、効率11.7%程度であるが、パネル温度の高い8月においては10.5%とその差1.2%の変動を生じる。これは40kWの太陽光発電システムにおいて、太陽電池の効率変動により4.8kWのエネルギー差が生じることとなる。すなわち同じ日射強度において、12月から2月の冬季期間の方が、7月から9月の夏期より1割以上太陽光発電電力の増加となる。太陽電池のパネル温度は大気への放熱によっても変動することから、今後、更に風向・風速といった気象データを用いた詳細な影響についても、検討が必要となる。

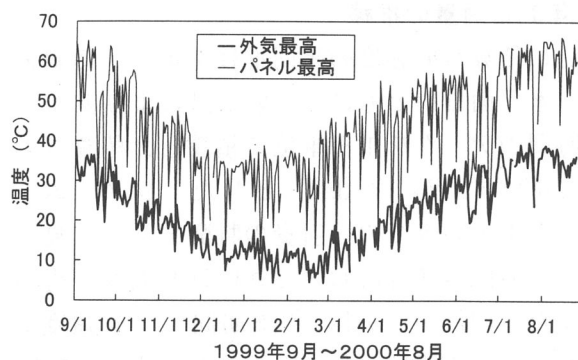


図14 太陽電池と外気温度の最高値の推移

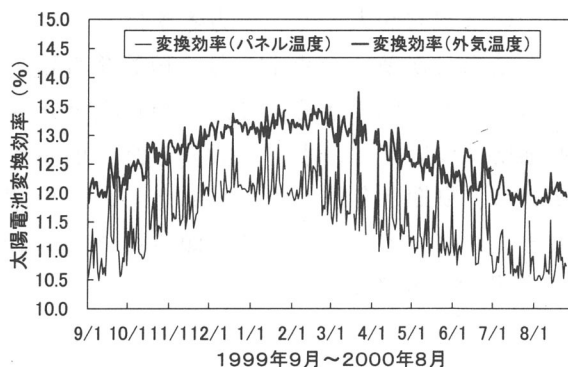


図15 太陽電池効率の年間推移

8. まとめ

本研究では小山高専40kW太陽光発電システムの1999年9月から2000年8月までの1年間稼働データから太陽光発電システムの評価を行った。

晴天時（2000年4月25日）における1日の測定データから、発電電力として瞬間最大31kWを記録し、8時から14時の間では20kW以上の発電電力供給を確認した。これは学内平日使用電力の平均10%を賄えることを実証した。

1999年9月から2000年8月までの太陽光発電システム稼働状況では、日射量強度と天候の関係から5月に最も発電電力を多く得ることができ、1日の最大供給電力は150kWh・dayであった。1年間システムが供給した発電電力量は、約39kWhであり1日あたり平均供給電力量としては125kWh・dayであった。同時に計測した気象データから、太陽光発電電力は太陽光強度の年変化に対応し、日射量計による太陽光強度の測定結果から太陽の設置角度を20度としたことで、季節による太陽南中高度の影響が少なく、季節変動としては1.6倍程度の太陽光発電電力供給が可能であることを確認した。

今後、数十kWを越える大規模太陽光発電システムの本格的普及に向け、本校太陽光発電システムをモデルに、システムから供給される発電特性の実績データを測定することで、商用電力需給への貢献が評価できるものとなる。

さらに、学生へのエネルギー問題や環境問題に対する教育向上に、太陽光発電システムを活用していきたい。

9. 謝辞

最後に、太陽光発電システムを設置・導入するにあたり、ご配慮いただいた前小山工業高等専門学校 施設係 須藤 悦二 氏、小山工業高等専門学校 施設係 柏渕 仁一 氏、小林 英樹 氏をはじめ、関係各位に深く感謝いたします。

10. 参考文献

- 1) 桑野 泰：個人住宅用太陽光発電システム, J. IEE Japan, Vol. 115, No. 4 p223 (1995)
- 2) 富田 孝司：太陽光発電の周辺技術, J. IEE Japan, Vol. 115, No. 4 p220 (1995)

「受理年月日 2000年9月28日」

