## 太陽光発電システムの開発

### Development of Solar Photovoltaic Power Systems

石油エネルギーに代わる新エネルギー源の開発が活発に行なわれているが、その一つに太陽光エネルギーを利用した太陽光発電システムがある。太陽光発電システムの特性評価を行なうため、東京電力株式会社技術開発研究所に1kW太陽光発電システムを設置し、発電電力量などの調査研究を行なった。

本稿では、太陽光発電システムの概要及び直交変換装置の性能について説明し、 最後に各月の発電実績量について述べる。

約1年間にわたる試験の結果,太陽電池及び直交変換装置は,太陽光発電用として要求される機能,性能をほぼ満足していることを確認した。また,長期連続運転を実施し発電量調査を行なうことにより,将来の大規模太陽光発電システムの基礎資料が得られた。

川平浩良\* Hiroyoshi Kawahira 市東利一\* Toshikazu Shitô 江口吉雄\*\* Yoshio Eguchi 徳永紀一\*\*\* Norikazu Tokunaga

#### 11 緒言

太陽エネルギーの利用形態としては、太陽熱を利用した給湯,冷暖房、太陽熱発電及び太陽光を利用した太陽光発電などがある。

太陽光発電とは、太陽電池により太陽光エネルギーを直接電気エネルギーに変換する発電方式で、その長所としては、回転部などの可動部分がほとんどなく、設備が簡単で保守が容易であること、また、熱発生や環境排出物がなく、環境上好ましいことなどが挙げられる。

しかし、太陽電池により得られる電力は直流電力であり、一般機器に適用するには直交変換装置が必要である。今回、100kW級太陽光発電システムを模擬した太陽光発電システムの研究開発を行なったので、以下にまず太陽光発電システムの構成、太陽電池の特性及び今回開発した太陽光発電用直交変換装置の機能について説明する。次に、長期連続運転により得られた発電実績量について説明する。

# 2 太陽光発電システムの構成

今回開発した太陽光発電システムの構成図を**図1**に示す。システムは、太陽電池と直交変換装置から構成され、**図2**に、 実際に設置した太陽電池アレイ及び直交変換装置の外観を示す。以下、主構成部について説明する。

#### 2.1 太陽電池

太陽電池は、半導体のP-N接合から成り、接合部に光が照射されると光エネルギーを吸収して、起電力を発生する光-電力変換素子である。現在、太陽電池の材料としては、シリコン単結晶がほとんどあり、変換効率は8~15%程度である。しかし、最近コスト面の改善が叫ばれ、アモルファスシリコン、リボン結晶、SOG(ソーラーグレイドシリコン)太陽電池の開発が活発に行なわれている。

昭和54年度末に東京電力株式会社技術開発研究所に設置された太陽電池は、特性の異なる2種類のシリコン単結晶太陽電池である。

この太陽電池の電圧-電流特性は、図3に示すとおりである。 2種類の太陽電池を並列接続した場合の電圧-電流特性は、同 図に示すように高電圧領域では、電圧の高いほうの太陽電池

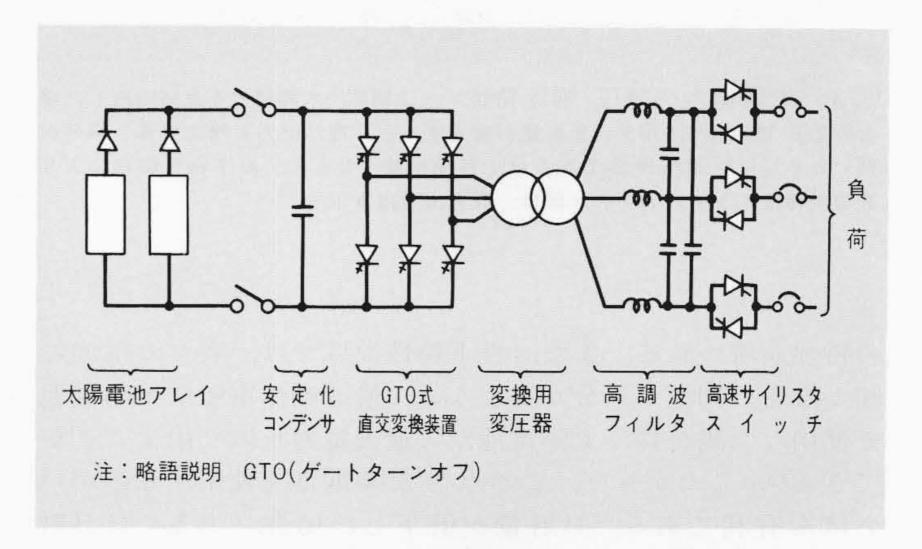
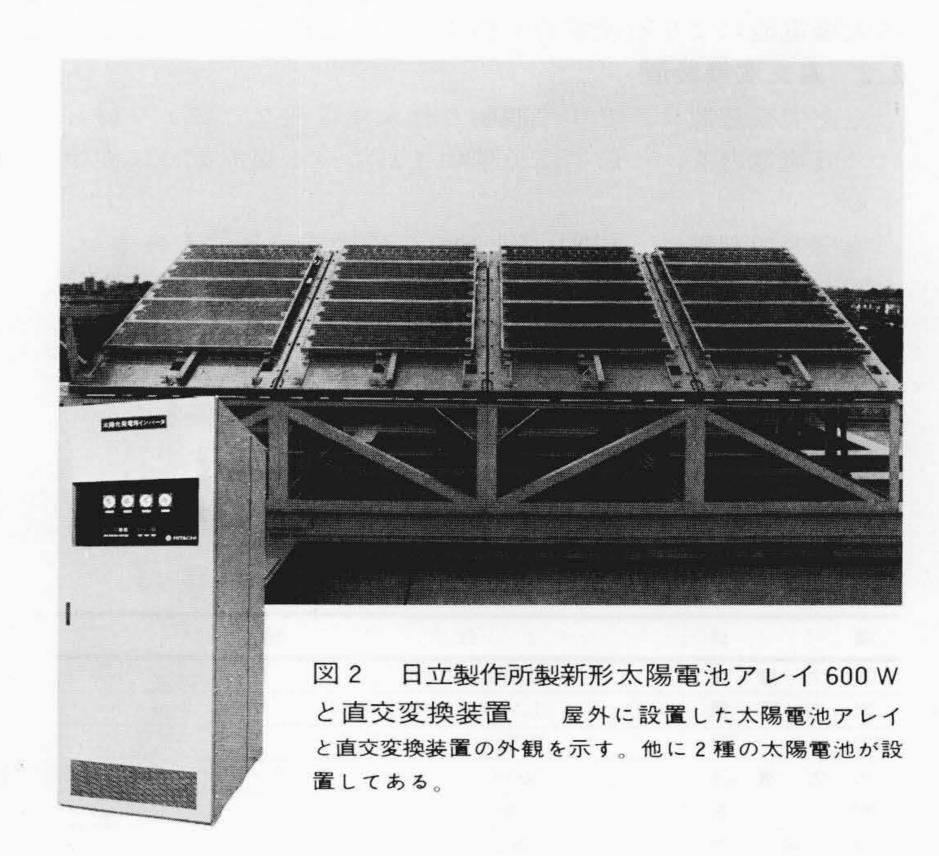


図 | 太陽光発電システム構成図 太陽電池出力である直流電力を, 一般に使用しやすい交流電力に変換する直交変換装置を備えたシステムの全体 構成を示す。



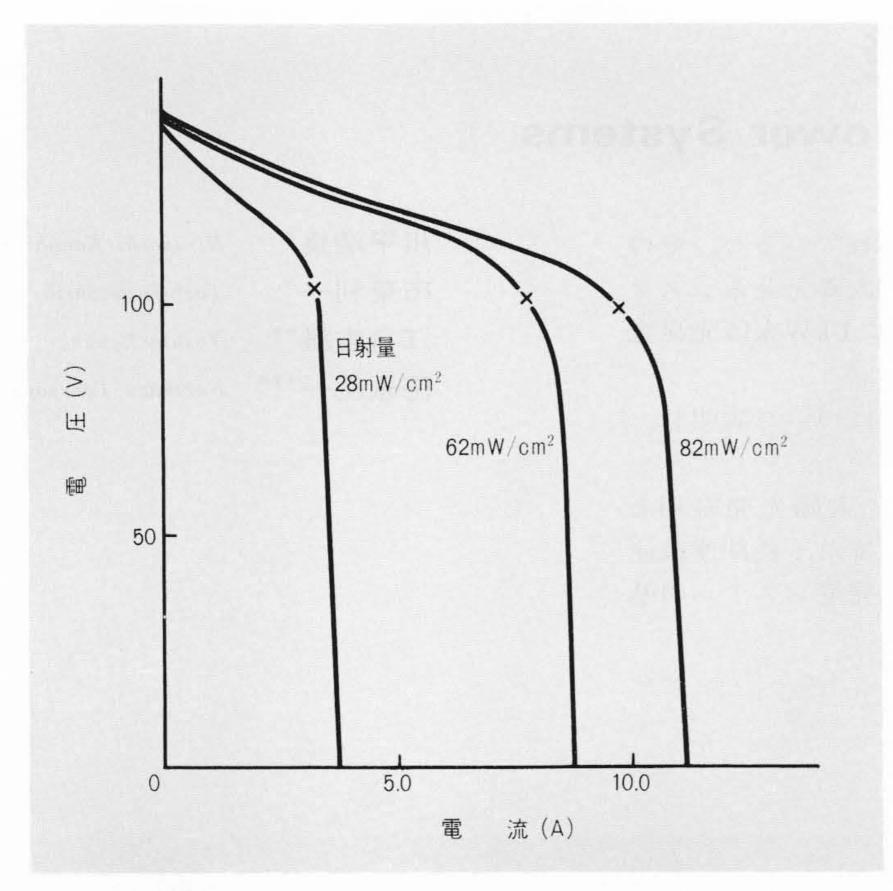


図3 太陽電池の電圧-電流特性 2種類の太陽電池を並列接続した場合の電圧-電流特性を示す。日射量が増大すると、電池出力も増大する。負荷が軽いときには定電圧特性であるが、負荷が重くなると、垂下特性領域に入り定電流特性を示す。図中の×印は、最大出力点を示す。

の特性が現われる。また、垂下特性領域では、各々の電流の和となる。同図から分かるように、最適動作電圧で太陽電池を使用した場合に、太陽電池から最大電力を取り出すことができる<sup>1)</sup>。したがって、この点で太陽電池を使用するのがいちばん有利である。日射量が低下した場合、あるいは日射量に対し負荷が重すぎる場合には、太陽電池は垂下特性領域に入り、太陽電池出力電圧は低下する。なお昭和56年3月には、日立製作所が開発したSOG太陽電池(600W)を追加設置し、現在評価試験を行なっている。その結果、上述した特性の太陽電池により直流電力を得る。

#### 2.2 直交変換装置

直交変換装置は、2.1 で説明した太陽電池などにより得られた直流電力を、一般に広く使用されている交流電力に変換する。

直交変換装置は、大別して自励式と他励式に分けられるが、 今回は商用系統が停電時でも運転が可能な自励式を採用した。 表1に、直交変換装置の主な仕様を示す。

今回開発した直交変換装置は、容量が1kW程度と小容量であるが、将来の100kW級太陽光発電システムを模擬したもの

表 | 直交変換装置仕様 直交変換装置の主な電気的仕様を示す。

項			目	
入	カ	電	圧	DC90~135V
出	カ	容	量	I.2kVA
カ			率	0.9
出	カ	電	圧	200V
相			数	三相
周	波		数	50Hz
制	御	方	式	GTOサイリスタによるPWM制御

注:略語説明 PWM(パルス幅変調)

である。将来このクラスの直交変換装置は、高効率化のためにGTO(ゲートターンオフ)サイリスタの使用が考えられるため、今回の直交変換装置でもGTOサイリスタを使用した。制御はGTOサイリスタのスイッチング時間が短いことや高調波低減のために、PWM(パルス幅変調)制御方式を採用した。

#### (1) 主回路構成

図4に、直交変換装置の主回路構成を示す。600 V、90 A級のGTOサイリスタを6個使用して、三相ブリッジ結線として三相出力を得るものとした。同図中のアノードリアクトルは、短絡事故時の電流を抑制し保護協調を取りやすくするためと、スイッチング時の電流、電圧の上昇率抑制効果をもたせるものである。GTOサイリスタのターンオフ時では、このアノードリアクトルの蓄積エネルギーを帰還ダイオードで電源へ回収することにより、過電圧の発生を抑えている。また、GTOサイリスタと並列にスナバ回路を接続することにより、GTOサイリスタターンオフ時の電圧上昇率を抑制している。

直交変換装置の出力部には、昇圧用変圧器、波形整形用フィルタを付けて直交変換装置出力を昇圧し、高次の高調波成分を除去して出力するようにしてある。この直交変換装置の転流回数は15回転流である。したがって、発生高調波の主なものは13次、17次、29次、31次各高調波となる。波形整形フィルタは、一段のL-Cフィルタで、上記の高調波を十分除去できるようにフィルタ次数を決定してある。

#### (2) 制御回路

制御回路の基本的な機能としては, (a) 定電圧制御機能, (b) 日射量による自動起動・停止機能, (c) 負荷条件に追従し電池出力最大となる制御機能が挙げられる。以下に, これら機能の概要について説明する。

#### (a) 定電圧制御機能

日射量が変化した場合に、太陽電池出力も変化する。太陽電池の電圧-電流特性は、図3から分かるように日射量が低下し、太陽電池電圧が約90V以下になると垂下領域に入る。これより、太陽電池の運転電圧範囲を90Vから開放電圧約135Vまでとし、この電圧範囲(90~135V)で直交変換装置出力電圧を制御する。すなわち、直流入力電圧がこの範囲で変化しても直交変換装置の出力電圧が一定となるように、出力電圧を

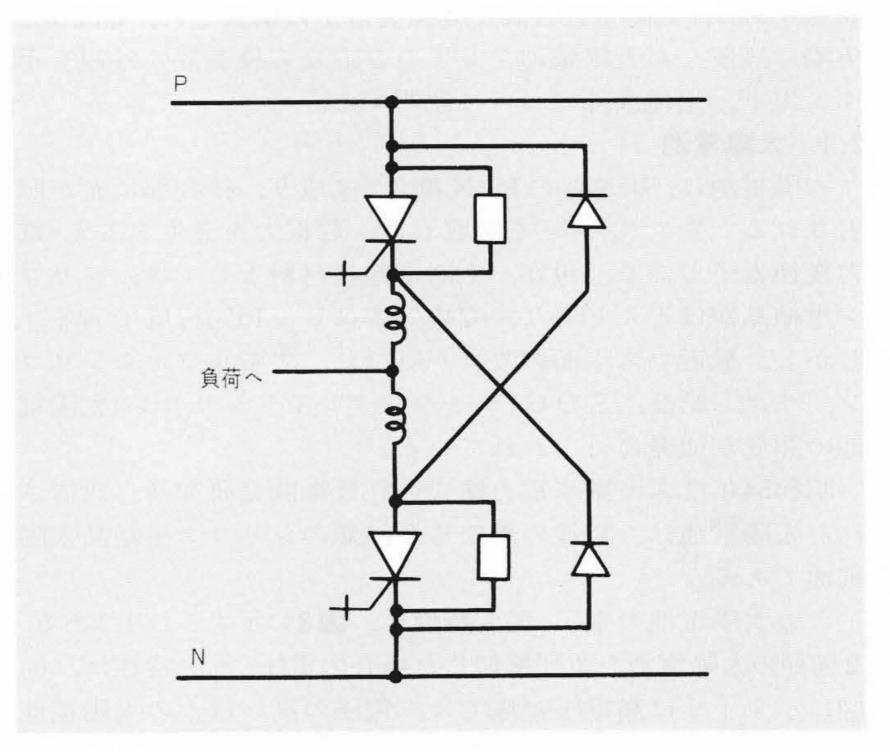


図 4 直交変換装置の主回路構成図 直交変換装置の主回路構成詳細を示す。この回路は一相分だけを示し、3回路用いることにより直流電力を三相交流電力に変換できる。

フィードバックしてGTOサイリスタの通流幅を制御するようにしている。また、直流電圧が90V以下となった場合には、 直交変換装置を停止させ、電圧復帰後再運転に入る。

- (b) 日射量による自動起動・停止機能
- (a)でも述べたように、日射量が低下して太陽電池の出力が低下した場合には、太陽電池から安定に電力を取り出せないため、直交変換装置を停止させる必要がある。また、日射量が回復した場合に、自動的に直交変換装置を起動し運転に入れる必要がある。このため、モニタ電池により日射量検出を行ない、日射量に応じて起動、停止を自動的に行なっている。
  - (c) 負荷条件に追従し電池出力最大となる制御機能

太陽光発電は、利用する太陽エネルギー密度が希薄であり、 しかも出力が日射量に依存するため、質的にも不連続、不安 定といった不利な点をもっている。このような太陽光発電を 有効に利用する方法としては、

- (i) 直流側にバッテリーを設置すること。
- (ii) 太陽光発電システムを商用系統に接続すること。

などが考えられる。今回は太陽光発電システムを商用系統に接続する場合の技術的問題点を把握するため、直交変換装置としては、系統の電圧変動、周波数変動に追従できるような設計とした。しかし、実際に商用系統と連系するには解決すべき法律的問題点が多い。図5に、直交変換装置の負荷変動のオシログラムを示す。

以上太陽電池の有効な使用法は、太陽電池を最適動作点で使用することを述べた。図6に、常時この最適動作点で動作するように直交変換装置を制御した場合の太陽電池出力と理論的な太陽電池最大出力電力との関係を示す。

図6の結果から、直交変換装置の制御としては、ほぼ太陽 電池の最適動作点を追跡していることが分かる。

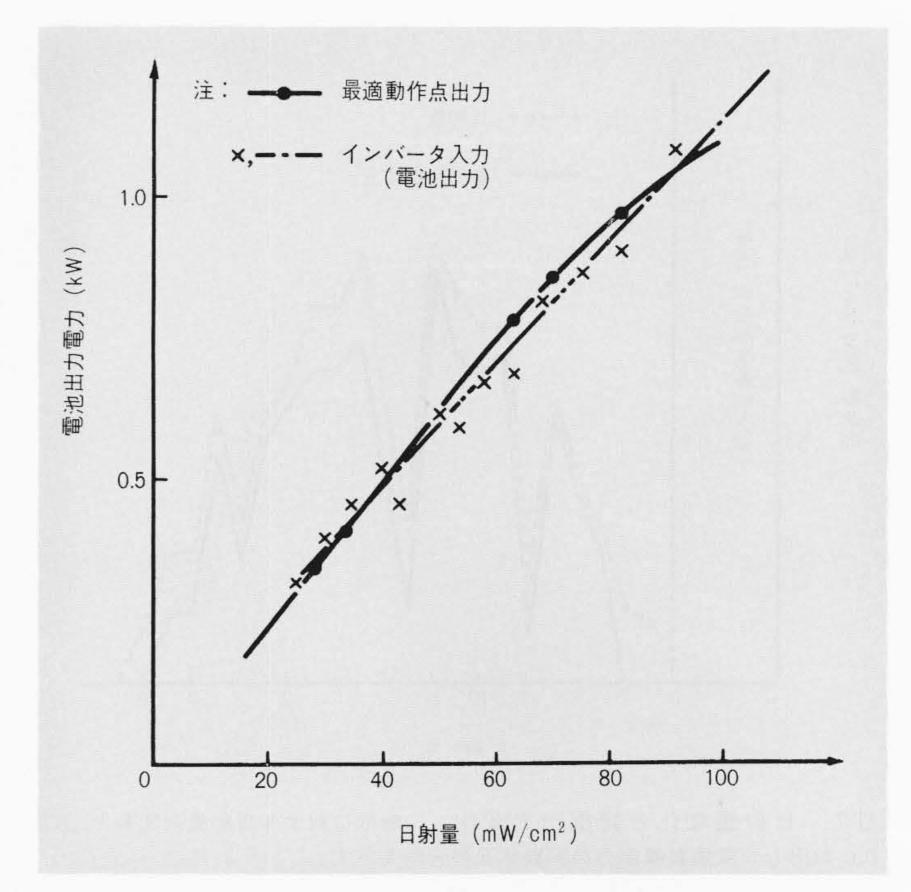


図 6 直交変換装置電力制御特性 各日射量での太陽電池の出力が最大となるような太陽電池のV-I特性上の動作点をプロットした最適動作点出力に対し、直交変換装置への入力電力が、ほぼ一致していていることから、直交変換装置の最大出力制御が良好に動作していることが分かる。

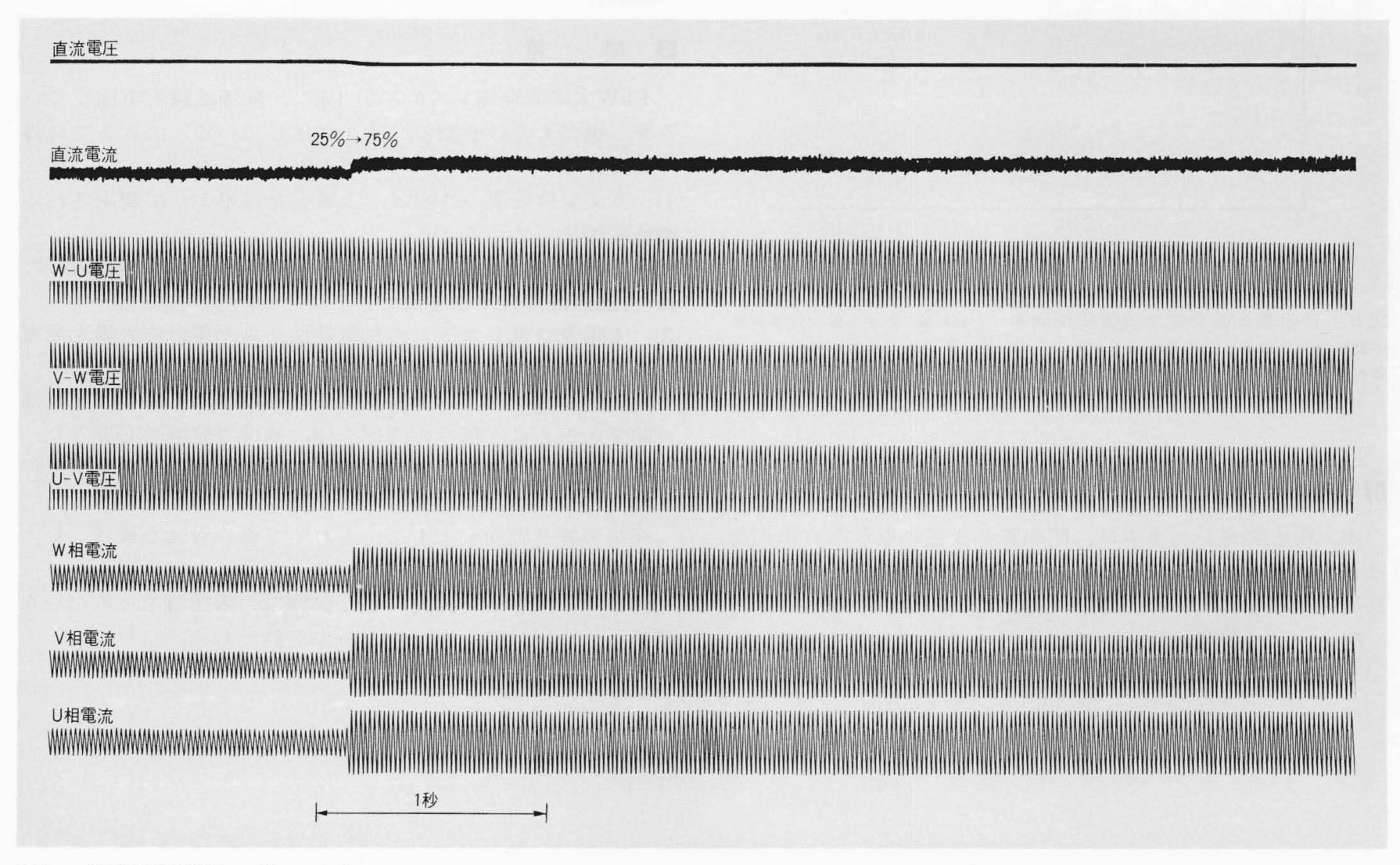


図 5 負荷変動試験(25%→75%) 負荷変動試験の結果を示す。負荷が急変した場合でも,直交変換装置は安定に運転していることが分かる。

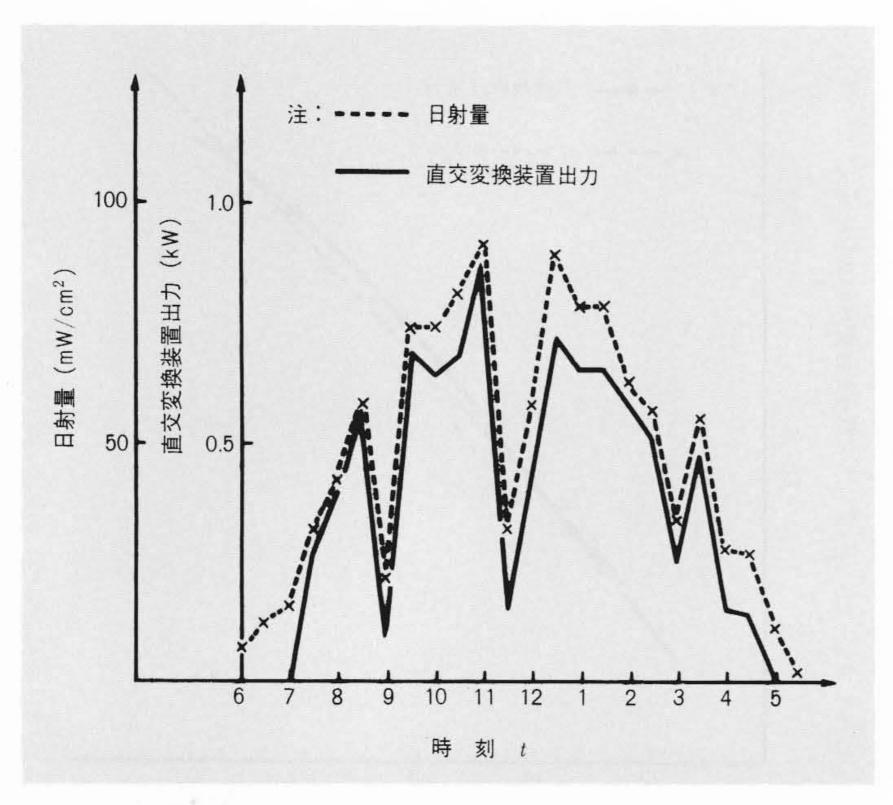


図7 日射量変化と発電出力変化 時刻に対する日射量の変動と、これに対応した変換装置出力の変動状況の一例を示す。

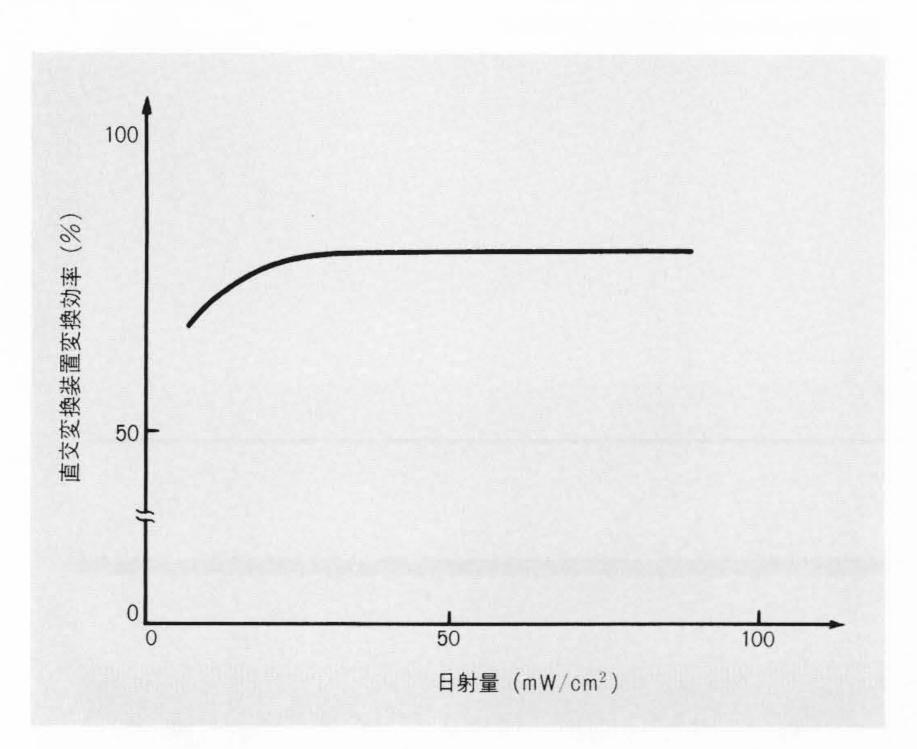


図 8 日射量と直交変換装置変換効率 日射量に対する直交変換装置 の効率特性を示す。日射量が低下すると、相対的に固定損の比率が増大し、効 率が低下する。

#### 3 運転特性

本太陽光発電システムは、昭和55年3月に東京電力株式会 社技術開発研究所に設置され、各種の機能試験を行なった後 長期連続運転に入った。以下、運転特性について説明する。

図7に、日射量の変化と発電出力の関係を示す。同図から

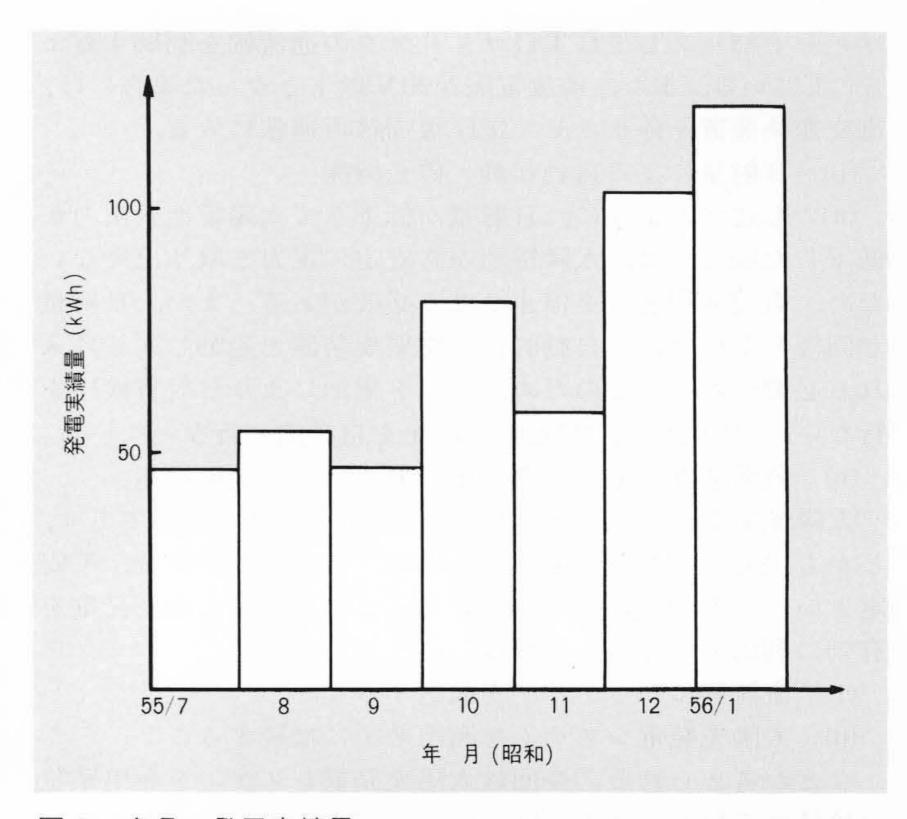


図 9 各月の発電実績量 太陽光発電システムによる昭和55年7月から 56年1月の発電量の実績を示す。

直交変換装置の出力は,日射量変化に全く依存していること が分かる。

図8に、日射量と直交変換装置の変換効率の関係を示す。 定格負荷を取った場合の直交変換装置の変換効率は約80%で あった。日射量が低下すると、相対的に固定損の比率が増大 するため効率が低下する。

最後に、昭和55年7月から56年1月までの同システムの運 転実績特性を図9に示す。

#### 4 結 言

1kW太陽光発電システムを開発し、評価試験を実施しているが、現在までに所期の性能を満足している。これまでに得られたデータから次の項目が明らかとなった。

- (1) 直交変換装置の性能は、太陽光発電用として要求される機能を満足していること。
- (2)  $1 \, \text{kW}$ の太陽光発電システムから得られる月間の発電量は、 $46 \sim 120 \, \text{kW}$  h程度であること。
- (3) 太陽光発電システムの発電特性から、将来の太陽光発電システムの基礎資料が得られたこと。

太陽光発電システムが普及するためには、安価な太陽電池の開発とともに、種々の関連法律、基準の整備を必要とし、また、安全を考慮した運転方式などの技術的諸問題を十分に解明しておくことが必要である。

今後の普及動向とともに,合わせて更に研究を続けていく 考えである。

終わりに,本研究開発に際し御協力,御指導をいただいた 関係各位に対し深く謝意を表わす次第である。