

# 太陽光発電システム

## Photovoltaic Power Generation Systems

太陽光発電はクリーンで枯渇しないエネルギーとして、昭和48年の第一次石油危機以来、国内外で強力に研究開発が推進されている。

日立製作所は、通商産業省工業技術院のサンシャイン計画に積極的に参画し、太陽電池の基礎研究からセル、パネルの製造ラインの建設、また各種利用システムの検証と、各分野で研究開発を進めており、本格的実用化に向けての低コスト化、応用の多様化を推進中である。

本報では、日立製作所での太陽光発電システムに対する研究開発を中心に、国内外での太陽光発電の動向について述べる。

地福順人\* Yorito Jifuku  
加藤 寧\*\* Yasushi Katô

### 1 緒 言

太陽光発電の歴史は比較的長く、太陽電池の出現後既に四半世紀以上を経過している。我が国では昭和33年に最初の実用化が行なわれたが、コスト的に高価なため、無線中継局の電源、灯台用、人工衛星用など特殊用途に限られていた。

ところが、昭和48年の第一次石油危機以後、太陽光発電も石油代替エネルギーの一つとして見直しが行なわれ、国内外で、低コスト化と普及拡大に関する諸施策が開始された。

我が国では通商産業省工業技術院サンシャイン計画の一環として、昭和49年から、太陽電池の原料から太陽光発電利用システムに至る全技術分野を対象とし、まず太陽電池の効率向上と価格の大幅低減技術の研究開発が開始され、昭和56年

度からは、製造システム及び利用システムの開発が行なわれている。

日立製作所はサンシャイン計画に積極的に参画し、表1に示すように、昭和49年初頭から太陽電池の基礎研究、続いてセル、パネル製造ライン及び利用システムの開発と多くの分野で研究開発を進めており、太陽光発電の早期実用化に向けての戦略を展開中である。

### 2 太陽光発電システムの現状

これまでの太陽光発電の応用は、前述のように無線中継局の電源、灯台用、人工衛星用などの特殊用途に限られ、蓄電

表1 日立製作所での太陽光発電の開発状況(委託研究) 日立製作所は太陽電池の材料から利用システムに至るすべての分野に対し研究開発を推進中である。

No.	研究 題 名	研究 目 的	委 託 元	期 間
1	粒子非加速成長形シリコン薄膜結晶の研究開発	低価格太陽電池の開発	通商産業省工業技術院	昭和49～55年
2	アモルファス太陽電池の研究開発(高効率アモルファス太陽電池の研究開発)	アモルファスと微結晶の長所を合わせもつ混相系アモルファスの薄膜形成技術と太陽電池特性向上の研究	//	昭和56～57年
3	アモルファス太陽電池の研究開発	高速成膜技術の開発の一部	//	昭和58～
4	太陽電池パネル実験製作検証(乾式PN接合工程の技術開発)	太陽電池用パネルの大量低廉生産ラインの開発(250kW/年)	NEDO	昭和55～
5	太陽電池パネル実験製作検証(パネル組立工程の技術開発)	低価格・高信頼性太陽電池パネル500kW/年規模プラントの建設の一部	//	昭和55～
6	太陽光発電利用システムの研究開発(学校用システムの研究開発)	学校用太陽光発電システムの研究開発の一部	//	昭和55～
7	分散配置形太陽光発電システムの研究開発	分散配置形太陽光発電システムの系統連係に関する諸特性の研究の一部	電力中央研究所・東京電力株式会社	昭和55～
8	集中配置形太陽光発電システムの研究開発(水上立地調査研究)	水上浮上太陽光発電システムに関する調査研究の一部	電源開発株式会社	昭和57～
9	太陽光発電システムの開発	公共建物用太陽光発電システムの系統との連係に関する研究	某電力会社	昭和54～
10	太陽熱光ハイブリッドパネルの開発	太陽熱光ハイブリッドパネルの基礎研究	//	昭和55～56年
11	太陽光発電システムの開発	個人住宅用太陽光発電システム系統との連係に関する研究	//	昭和56～57年
12	風力発電の実用化研究 太陽光発電の実用化研究	通信機電源用風力発電及び太陽光発電ハイブリッドシステムの研究	//	昭和56～

注:略語説明 NEDO(新エネルギー総合開発機構)

\* 日立製作所日立工場 \*\* 日立製作所電力事業本部

池を備えた独立電源が主であった。しかし、昭和48年の第一次石油危機後、国内外で太陽光発電も石油代替エネルギーの一つとして急速に研究開発が進められ、応用面での多様化が図られ始めた。

我が国では、まずサンシャイン計画で表2に示す利用システムの建設が行なわれ、将来の利用形態を想定した実験検証が始められた。

一般市場としては、まず我が国特有の市場としてポケット形計算機や腕時計の電源など民生用の応用が先行し、電力用としては街灯、時計台、誘導灯、交通表示灯などの市場が芽生え始めた。

海外では、アメリカで大々的な太陽光発電システムの普及活動が始まり、1975年から1982年までに2,861箇所、総容量3,680 kWの実験検証システムが、建設ないし一部建設中となっている。

またアメリカの ARCO SOLAR 社は、1982年カリフォルニアに1,000 kWの実用プラントを建設し、発生電力を南カリフォルニア・エジソン会社に供給し始めている。更に同社は、16MWのシステムの建設も始めており、うち6 MWを1983年3月までに完成させるとしている。一方、サクラメント市企

表2 サンシャイン計画での現在建設中の太陽光発電システム  
日立製作所は学校用システムの開発を受託している。

No.	システム名	容量(kW)
1	個人住宅用システム	3
2	集合住宅用システム	20
3	工場用システム	100
4	学校用システム	200
5	集中形太陽光発電システム(分散配置形)	200
6	集中形太陽光発電システム(集中配置形)	1,000
7	光・熱ハイブリッド形太陽光発電システム	5

表3 世界での代表的太陽光発電システム 太陽光発電も本格的なシステムが建設され始めた。

No.	容量(kW)	場所	備考
1	1,000	アメリカ・カリフォルニア	ARCO SOLAR社が1982年に建設
2	16,000	〃	ARCO SOLAR社が、1984年3月までに6 MWを建設予定。
3	100,000	〃	うち1MWは、1984年4月までに建設予定。
4	350	サウジアラビア	集光式
5	240	アメリカ・アリゾナ	フェニックスハーバー空港
6	1,000	日本・愛媛	西条に建設中
7	300	西ドイツ・ベルウォーム島	1983年中に完成

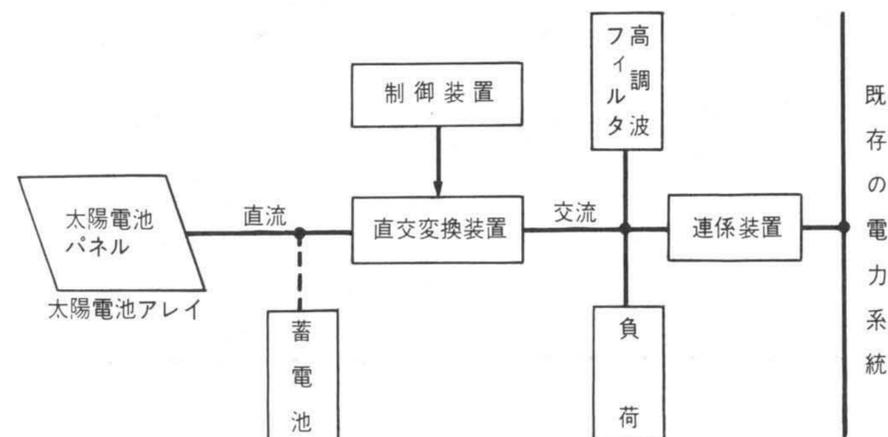


図1 一般的な太陽光発電システムの構成例 太陽光発電システムは、太陽電池のほか各種の周辺装置から構成される。

表4 太陽光発電システムの分類 独立電源システムでは、エンジン発電機や風力発電などとのハイブリッドシステムも検討されている。

システム	蓄電池	直交変換装置	商用電力系統との関係	主な用途
A	なし	なし	なし	直流ポンプによるかんがいシステム
B	あり	なし	なし	灯台、無線中継所、照明灯
C	なし	あり	なし	交流ポンプによるかんがいシステム
D	あり	あり	なし	遠隔村落、離島用電源システム
E	なし	あり	あり	住宅用など発電用システム
F	あり	あり	あり	独立運転を考慮した、あるいは系統変動を避けた住宅用などの発電用システム

業局(Sacramento Municipal Utility District)では、100MW太陽光発電システムの計画を発表している。

その他、ヨーロッパでも日本・アメリカと同様の実用化普及を目的とした利用システムの建設が行なわれている。表3に世界での大容量太陽光発電システムの代表例<sup>1)</sup>を示す。

### 3 システム構成

図1に太陽光発電システムの代表的構成例を示す。太陽光発電は日射があるときだけの変動発電となるため、電力の安定供給を行なうためには蓄電装置を必要とし、交流出力を得るためには直交変換装置を必要とする。表4に蓄電池、直交変換装置及び商用電力系統との関係の有無による太陽光発電システムの分類<sup>2)</sup>を示す。

従来の太陽光発電システムは、ほとんどの場合表4に示すBのケースとなっているが、現状では蓄電池が比較的高価なため、まずAのシステムから普及が拡大すると予想されている。太陽光発電の本格的普及の段階では、E又はFのシステムが主になると考えられる。

太陽光発電システムを商用電力系統と関係する場合には、不連続、変動発電に対する系統安定化、無効電力、高調波、系統停止時の逆加圧、逆潮流時の計測と料金制度、電気事業法など関連法規との関係など、解決すべき問題点が多く、電力会社を中心として検討が進められている。

また、太陽エネルギー有効利用の見地から、太陽熱光ハイブリッド利用システムの検討も種々されており、太陽光による電気と太陽熱による温水を同一パネルで得ようとする熱光ハイブリッドパネルの開発も行なわれている。しかし、光発電は低温ほど望ましく、温水は高温ほど望ましいというあい矛盾する特性をもったものを一体化することになるため、現状では必ずしも一体化の利点が得られるまでには至っていない。

更に、太陽光発電は単位面積当たりの発電エネルギーが小さいため、我が国のように狭い国土では、水上に太陽電池アレイを設置することも検討されており、太陽電池モジュール自体を水に浮べる構造として、浮体構造や係留法の簡略化を図る研究が行なわれている。

また、蓄電池の容量低減のために、エンジン発電機や風力発電とのハイブリッドシステムの検討も行なわれている。

### 4 周辺装置の技術動向

太陽光発電システムは、図1に示すように太陽電池パネルのほか必要に応じて、太陽電池アレイ支持架台、蓄電池、直交変換装置、制御装置、高周波フィルタ、系統関係装置、その他スイッチ、配線などから構成される。

現在の太陽光発電システムの命題である低コスト化については、太陽電池パネルが当面の課題ではあるが、上記の周辺装置も当然低コスト化が必要である。

まず問題になるのが太陽電池アレイの架台であり、設置形態に応じた耐風速の見直し、既設建築物の有効活用などによる低コスト化の推進が必要である。

太陽光発電の活用で蓄電池の役割は極めて重要であるが、その低コスト化は最も困難な問題である。現在、我が国ではムーンライト計画で電力貯蔵用各種新形電池の開発が進められている。また、ヨーロッパでは固体電解質によるリチウム電池など各種電池の開発が進められているが、まだ太陽光発電システムに適合した蓄電池の開発見通しが得られるには至っておらず、現状では鉛蓄電池の量産化による低コスト化が当面の解決法と考えられる。

直交変換装置としてのインバータは、最近の省エネルギー、省力、省資源化の動向と、パワーエレクトロニクス、マイクロエレクトロニクスの伸長により、コンピュータの無停電電源装置や交流電動機の世界制御用などに大量に使用され始め、低コスト化が図られてきた。

電力系統との連係システムでの直交変換装置は、系統との協調運転という観点から多くの機能を具備しており、ソフトウェア的なものも含めて高コストとなりがちであるが、将来太陽光発電用として機能の標準化が実現されれば、現在の汎用インバータと同程度のコストとすることも、さほど困難な問題ではないと考えられる。

最近のパワートランジスタ、GTO（ゲートターンオフ）サイリスタなどの自己消弧素子の進出により、PWM（パルス幅変調）制御方式も広く適用され始め、インバータの低コスト化に大きく寄与している。日立製作所では太陽光発電システム用として、数キロワット以下の小容量器はパワートランジスタ、数十キロワット以上ではGTOサイリスタを使用<sup>3)</sup>し、制御回路はマイクロコンピュータを採用した直交変換装置の標準化に取り組んでいる。

なお、太陽光発電の利用で負荷となる機器を直流化して、システムの簡素化を図ろうとする動きもあり、直流駆動ポンプや冷蔵庫なども商品化されつつある。

### 5 学校用システム

日立製作所は新エネルギー総合開発機構から、日本電気株式会社と共同で表1に示す太陽光発電学校用システムの研究開発に関する委託を受け、58年3月までに20kWp太陽電池アレイを設置した。

本システムは通常は商用電力系統と連係して学内の負荷に給電するが、緊急時は非常用電源として単独運転も可能であり、非日照時や夜間の給電のための蓄電池を具備している。

太陽電池アレイは現在一部が屋上に設置されている。

直交変換装置の主回路素子にはGTOサイリスタを使用し、出力制御はPMW制御方式とし、系統連係装置を含めてマイクロコンピュータによる制御を行なっている。

図2に系統連係制御回路を示す。まずサイリスタスイッチをオフとし、アナログスイッチ①と③を連係側とすると、インバータの出力電圧は系統電圧と等しくなるように制御されると同時に、周波数は成分分離回路によって系統の周波数と同期するように制御される。そこでアナログスイッチ②を併入側とすると同時に、サイリスタスイッチをオンにすると、インバータの出力電圧は力率設定値に応じた値に制御されるとともに、周波数は出力電力設定値に応じた値に制御される。

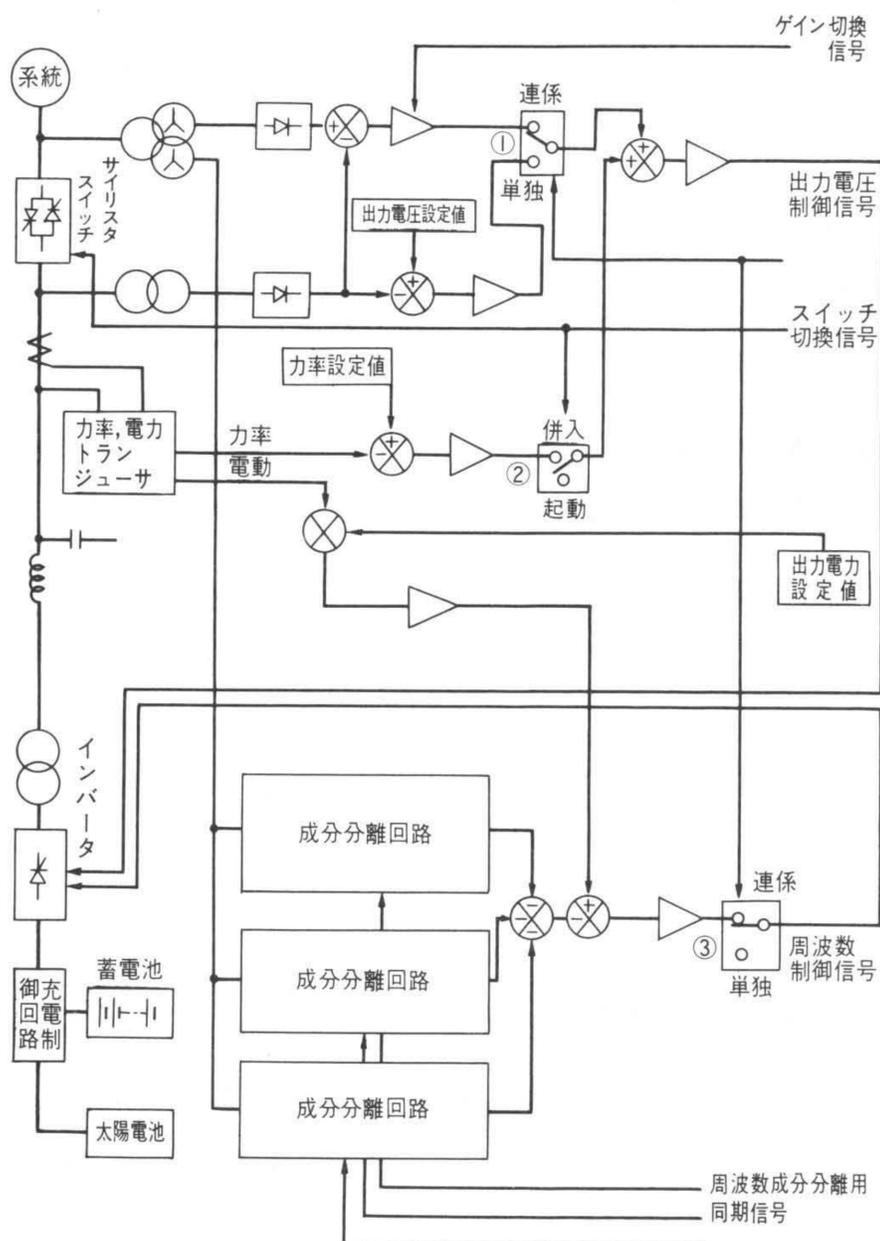


図2 太陽光発電システムの系統連係制御回路 単独運転、連係運転とも可能であり、連係運転時には有効電力と無効電力の設定が、それぞれ独立に可能である。

したがって、運転状態では有効電力と無効電力（力率）をそれぞれ独立に設定することが可能である。

出力交流電圧の高調波含有率は、力率1.0の単独運転で総合ひずみ率2%以下、各次で1%以下となっている。

### 6 太陽光発電システムの将来動向

太陽光発電システムの将来動向は、太陽電池パネルをはじめとする各構成機器の低コスト化の成否にかかっているが、発電形態のシンプルさから、低コスト化が進展する過程でも、種々の利用形態が想定されている。表5に太陽光発電の世界的な市場の推移予測例を示す<sup>4)</sup>。予測市場のうち、遠隔村落用電源システムやかんがいシステムなどは、全国津々浦々まで

表5 世界での一般太陽電池市場構成予測例 開発途上国での遠隔村落用システムが、最大の市場になると予想されている。

項 目	単 位	1982年	1984年	1986年	1990年	
市 場 規 模	MW	7.2	27	90	450	
市 場 構 成	通 信 用 (中継基地)	%	30	20	15	10
	ポ ン プ 用 (かんがい)	//	25	22	18	15
	電 気 防 食 用	//	10	8	7	5
	遠隔住宅用 (<10kW)	//	18	20	20	20
	遠隔村落用 (1MW)	//	2	10	20	25
	系 統 連 係 用	//	10	15	15	20
	そ の 他 一 般 用	//	5	5	5	5

配電網が整備されている我が国では、太陽光発電システムの建設コストが十分低減された将来でも、普及が困難と判別され、東南アジアや中近東諸国などの輸出市場が主になると思われる。

いずれにしても太陽光発電の本格的実用化のためには、各構成機器の低コスト化が必要であり、現在の我が国での官民一体となった開発意欲は、研究開発段階での種々の問題を克服し、必ずや低コスト化のゴールに到達するものと期待されている。

## 7 結 言

以上、日立製作所での太陽光発電システム開発の現状を中心に、太陽光発電の動向について述べた。

昭和49年以来、低コスト化に関する研究開発が進められてきた太陽光発電は、現在第一段階としての研究成果が目ざされ始めており、現状では一応所期の成果が得られたものと考えられる。しかし、本格的実用化に向けての低コスト化はこ

れからが本番と考えられ、まさに正念場を迎えてつつある。

終わりに、太陽光発電に関して御指導いただく通商産業省工業技術院サンシャイン計画推進本部、及び新エネルギー総合開発機構太陽技術開発室の各位に対して、厚く御礼申し上げる次第である。

## 参考文献

- 1) M. A. Greeu, et al.: SURVEY OF LARGE PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN THE MEGAWATT TO MULTI-MEGAWATT RANGE, INTERNATIONAL SOLAR WORLD CONGRESS (1983)
- 2) 地福: 我が国における太陽光発電システムの実例, エネルギー・資源 Vol. 3, No. 6 (1982)
- 3) 川平, 外: 太陽光発電システムの開発, 日立評論, 63, 7, 467~470 (昭56-7)
- 4) P.D. Maycock: PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY PROGRESS AND INDUSTRIALIZATION PROSPECTS, The 3rd Photovoltaic Sci. & Eng. Conf. in Japan 1982

## 論文抄録

# 最近の火力発電プラントの制御

日立製作所 二川原誠逸

日本機械学会誌 86—775, 607—612 (昭58-6)

我が国の火力発電プラント制御技術は、1970年にIC化されたデジタル制御用計算機によるタービン、発電機の自動起動制御に成功して以来目覚ましい発展を遂げ、1975年前後には計算機の高信頼化に伴って制御の範囲もプラント起動停止操作の全範囲をカバーするようになり、従来5~7名の運転員を必要としていたものが2~3名の運転員で十分プラント運転ができるようになった。また、1980年以降になると、それまでの自動化範囲拡大方向から監視、制御の深さに視点が向けられ、CRT(ブラウン管表示器)への系統図表示や音声告知装置を用いたマンマシンコミュニケーションの充実が図られている。

火力発電所の運転管理業務には、(1)発電所全体の運用管理、(2)発電所共通設備の運転監視、(3)発電プラントの運転監視がある。発電所全体の運用管理としては、発電所設備の運転履歴データ管理など多量のデータを扱うため、発電所管理用計算機を導入し

て発電所設備からオンラインで運転データを取り込み、データ処理と解析、ファイリングなどの処理を機械化していくこと、また、共通設備は多くの異なる機器から構成され、それぞれ異なる運転を行なうが、これら多くの設備を共通設備用計算機によって協調制御することは、発電所の合理化の一環として今後考えてゆかなければならない項目である。発電プラントは従来から制御用計算機によって運転制御されており、この発電プラントの計算機と共通設備用計算機及び発電所管理用計算機をオンラインで結合することによって、発電所運転管理の総合自動化が実現することになる。

火力プラントの制御システムを構成する場合、従来の制御装置機能主体の構成に代わってプラントの系統単位(給水系や燃料系など)に制御装置を割付けする系統単位の分割構成が、新しいデジタル制御装置の出現によって可能になった。更に、系統単位の制御装置レベルと、これら制御装置を協

調制御するマスタ制御レベル、及びプラントの運転スケジュールや運用などのスケジュール管理を行なうユニット計算機レベルに機能を階層化することによって数多い制御装置の機能を単一化でき、プラント全体の制御はマスタ制御レベルに集約し、ユニット計算機はプラントの全情報量を集約することによって運用面からの運転管理やプラント診断などに力点を置くことができ、これら分散された装置をシリアル伝送ネットワークで全体を構成することにより系統分割・機能階層化全デジタルトータル制御システムを構築することができる。

ここに述べた全デジタルトータル制御システムは、制御単位をプラントの操作系統単位に分割しているため制御の自律化が図られ、また機能をレベルに応じて階層化しているため拡張性に富み、シリアル伝送ネットワークによる信号伝送の合理化などの特徴があつて、デジタル技術の進歩とあいまって注目されている。