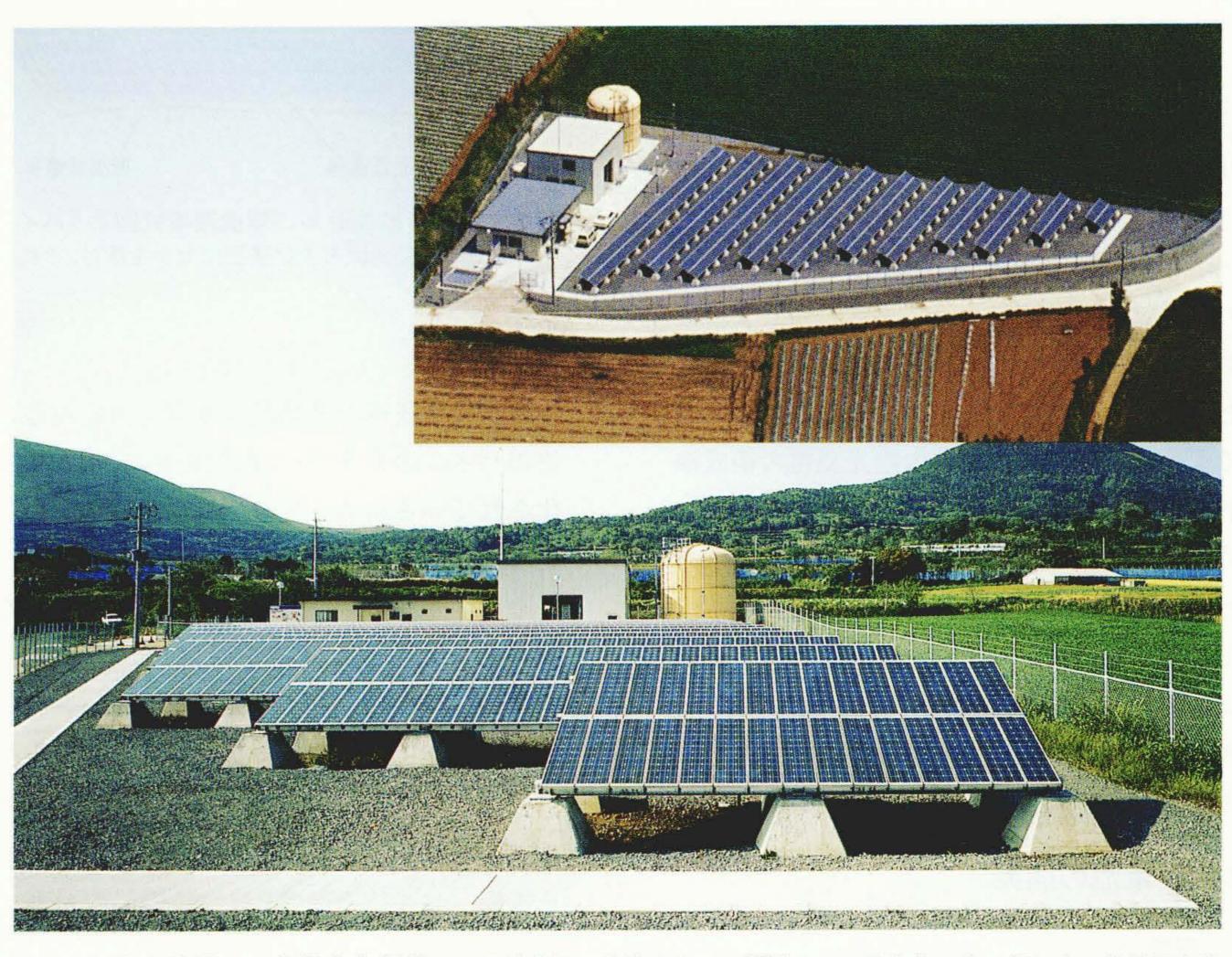
高効率太陽電池の開発と利用システム

Development of Photovoltaic Power Generation Technology

西野入一雄* 蕨迫光紀** 山 崎 洋 一*** 石丸智彦**** Norihiko Ishimaru

Kazuo Nishinoiri Mitsunori Warabisako Yôichi Yamazaki



長崎県福江市崎山地区に設置され、研究終了後は福江島の飲料用水供 65 kW太陽光発電かん水淡水化設備 給に使用される予定である(電気透析装置定格: 200 m³/d)。

第一次石油危機以来太陽光発電は、石油代替エネ ルギー開発の重要な柱として先進各国で研究開発が 続けられた結果, 世界的にかなりの実用化が実現さ れた。日立製作所では通商産業省の指導のもと, 関 係各社の協力を得て、太陽電池本体については、シ リコン結晶型およびアモルファス型の高効率化、お よび低コスト製造プロセスを,太陽光発電システム については、太陽エネルギーの合理的利用を主眼と して開発を継続してきた。

その結果,シリコン結晶型太陽電池については,

将来のいっそうの高効率化のための構造, および低 コストプロセスの基礎技術を開発した。発電システ ムについては、太陽エネルギーの特色を生かすよう に, 負荷の選択および運転方法をくふうし, 光発電 システムの安定運転を得るに際していたずらに電力 系統への連系に頼らぬよう配慮した。これからの地 球環境維持の時代に向かい,太陽光発電の開発重点 を単なるコスト面での石油代替価値に偏ることな く、今までの開発成果を基に広い概念での環境価値 を開発する考えである。

^{*} 日立製作所 エネルギー環境技術推進本部 **** バブコック日立株式会社 機電事業本部

^{**} 日立製作所 日立研究所

^{***} 日立製作所 電力事業部

11 はじめに

光発電は半導体の光量子効果を利用して、光エネルギーを電気エネルギーに変換する発電法である。太陽光の持つ無尽蔵なクリーンイメージが、石油の持つ枯渇化・ 高価格化という不利なイメージと相対するため、太陽光発電は各国の代替エネルギー開発の重要な柱の一つとなっている。

昭和49年に通商産業省のサンシャイン計画に太陽光発電技術が取り上げられると同時に、日立製作所もこれに参画して太陽光発電の実用化のための太陽電池の高性能化、製造技術、利用システムの研究開発を継続してきた。太陽光発電の開発は、当時高騰が見込まれた石油価格面の代替効果だけに注目されたため、太陽光発電による電力コストが石油を主力としているわが国の電力コストと同程度となるように、開発の目標は太陽光発電の構成機器の低コスト化に主眼を置いている。

今後,環境面から評価した太陽光発電の開発目標の方 向づけは世界的に大きな課題となるが,現在までに蓄積 された開発の成果はこの面でも大いに役立つものと思わ れる。この計画の中で日立製作所が担当したもののう ち,最近の新型太陽電池製造技術と,その利用システム について開発の成果を述べる。

2 高効率太陽電池の開発

2.1 結晶型太陽電池

この新型太陽電池の実用化研究は、図1に示すように 昭和56年から始められた一連の研究(低コストシリコン 製造技術,基盤製造技術,接合技術,高効率セル化技術,

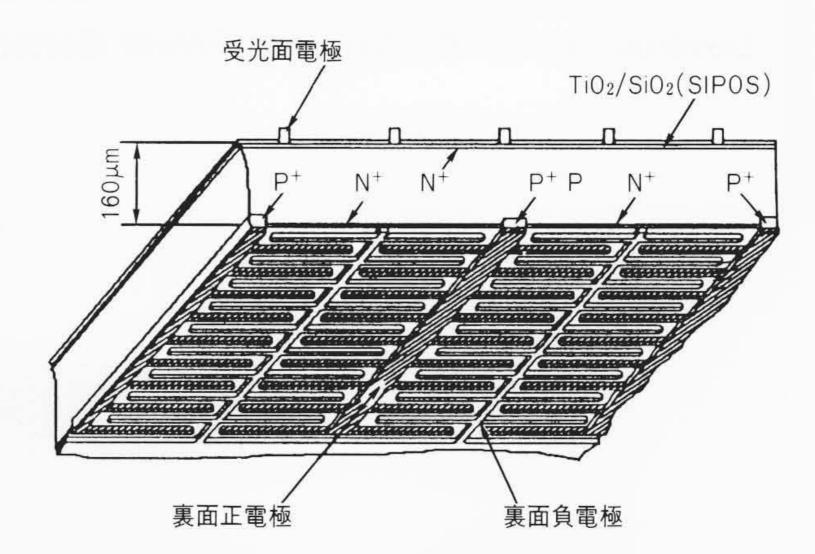


図2 薄型多結晶セルの新構造模式図 ハイブリッド型多結 晶薄型セルの受光面および裏面にセルを設け、それぞれが分担して 発電する。

パネル組立技術など結晶シリコン太陽電池の原料から最終のパネル組立まで)の成果を基に,現在すでに市販実用化されている結晶シリコン型太陽電池をいっそう高効率化することを目的としている。

セルの基本構造は表面再結合損失低減のため、酸化被膜などを利用した構造を採用した。多結晶セル(10 cm角)は厚さを200 μm以下に薄型化し、裏面からも出力を取り出すことが可能な新しいハイブリッド構造とし、これにより世界のトップレベルの高効率16.8%を得ている。このセルの模式図を図2に示す。裏面のP+層と裏面正電極、および内部のP層はこの二つのセルでそれぞれ共有している。このセルでは広いスペクトル分布を持つ太陽光に対し、波長の短い光によって受光面近くに生成したキャリヤは受光面セルにより、一方波長の長い光によって裏面近くに生成したキャリヤは裏面コンタクトセ

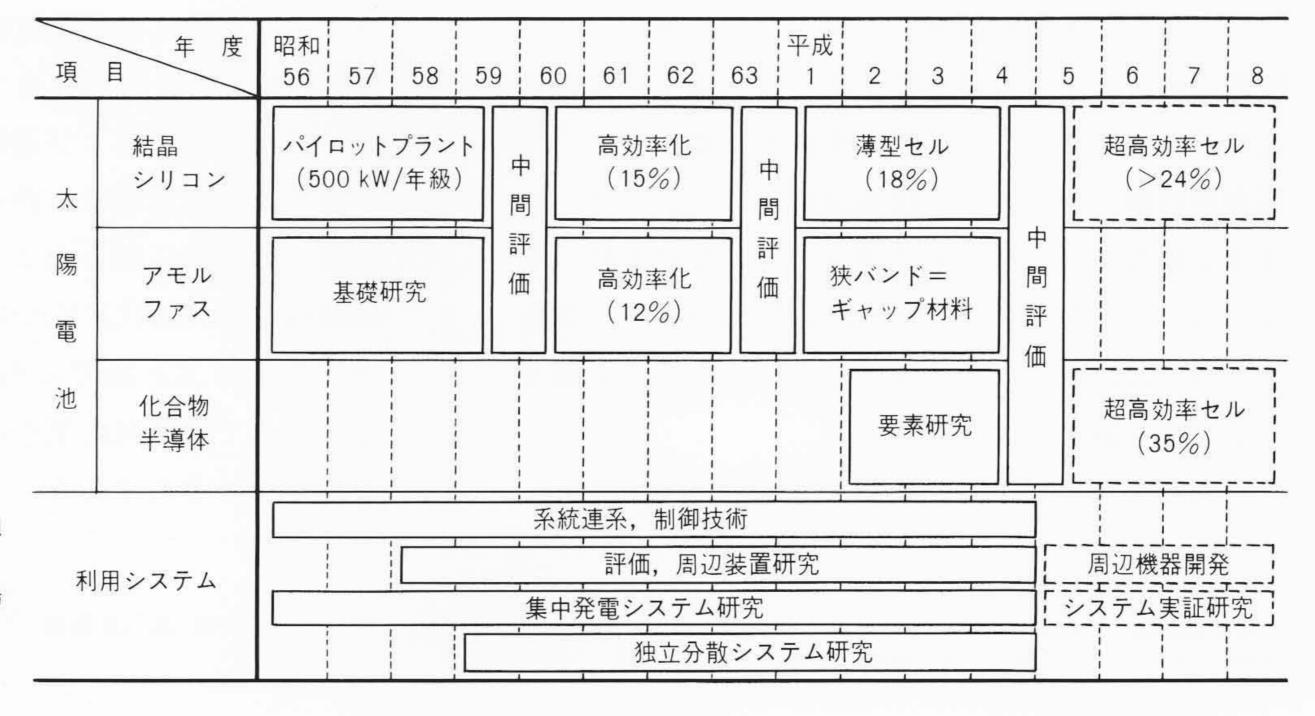


図 I 現在までの開発経過(通 商産業省サンシャイン計画に よる。) 低コスト高効率太陽 電池とその利用システムの開発を 産,官,学の合同で実施している。

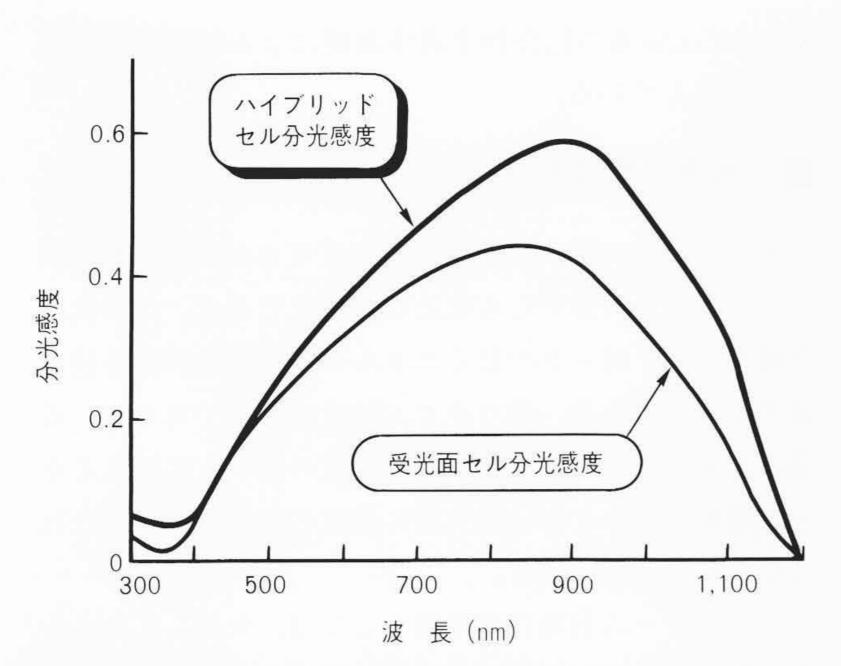
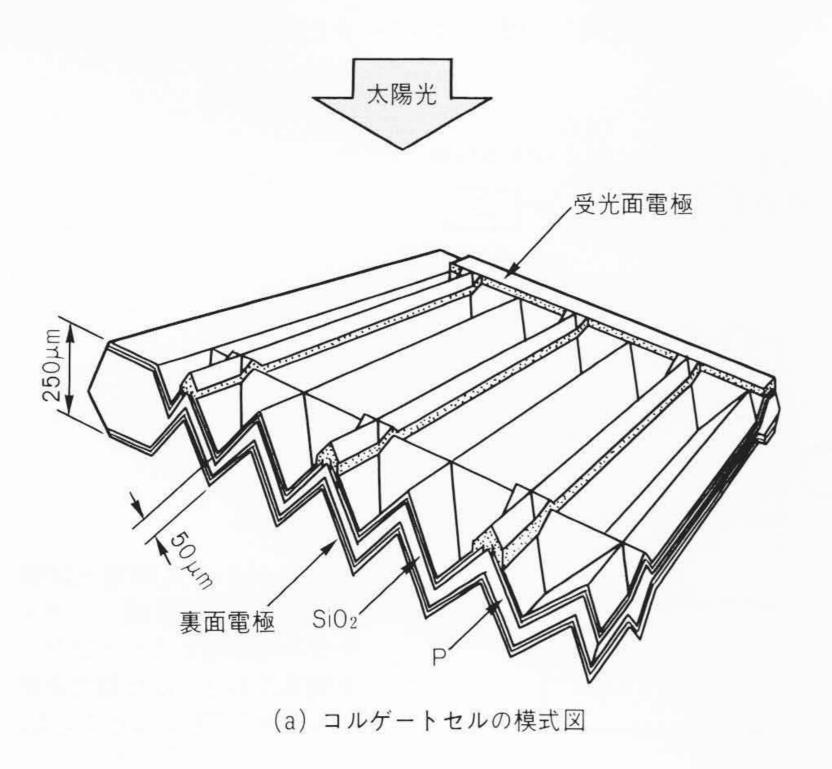


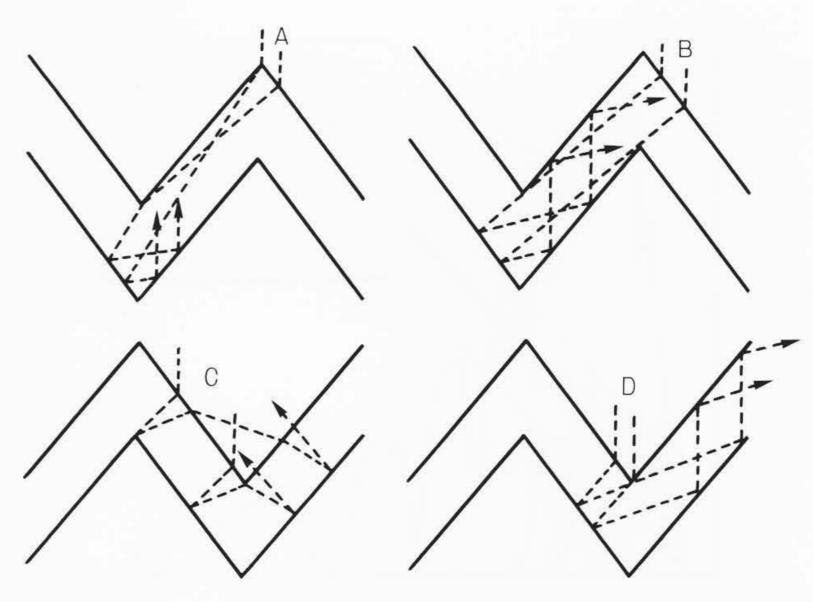
図3 ハイブリッドセルの分光感度特性 ハイブリッドセ ルでは長波長側の分光感度が広い範囲で向上している。

ルにより、それぞれ効率よく集電されるため高効率とな る(図3参照)。

この構造をさらに発展させて周囲の構造物からの反射 光をセル両面から採光する「両面採光型」により、出力 で19%相当の効率を得ることができる。

一方, 単結晶セル(2 cm角)については, 厚さ50 µmと さらに薄型化し光閉じ込め効果の高いコルゲート板構造 を採用し、21.6%の高効率を得た。コルゲート型太陽電 池の模式図とその一断面図を図4に示す。機械的強度を 増すために、波板と直交して梁(はり)を設けた。受光面 および裏面には表面再結合損の低減のため、SiO₂などの 酸化被膜を設けて、受光面電極は波の頂部にSiO₂窓を通 してコンタクトされている。 裏面電極は、 裏面からの光 内部反射を増すため全面に設けられている(図5参照)。



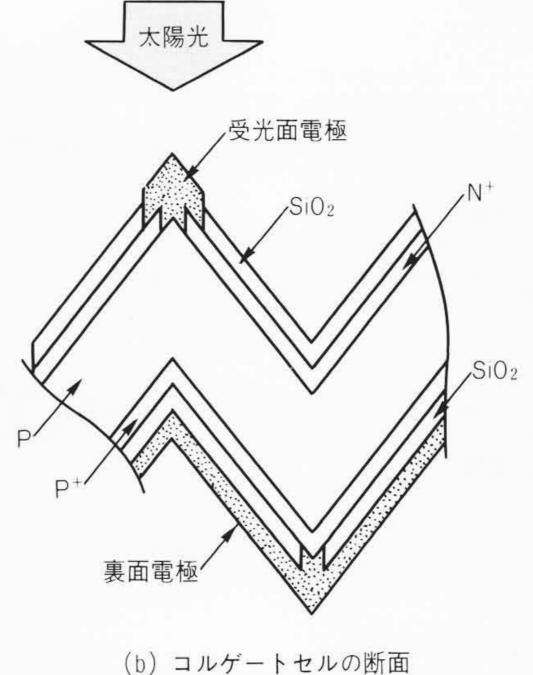


コルゲート基板斜面の各点に入射した光の基板内での 光はABCDのいずれから入っても,少なくとも3回以上セ ル内部を通過する。コルゲート構造はこのような多重反射により, 光閉じ込め効果が大きいことがわかる。

2.2 アモルファス太陽電池および化合物半導体太陽 電池

アモルファス太陽電池はシリコン使用量が少なく,最 も低コスト化が見込める薄膜の太陽電池であるが、電力 用としての変換効率がまだ十分とは言えない。日立製作 所では、図6、7に示すように、バンドギャップの異な るアモルファス材料でセルを形成し、これを積層したタ ンデム構造のセルを開発している。

また, 化合物半導体太陽電池では, 半導体の化学組成 の組み合わせによって、ある程度の範囲でバンドギャッ プを自由に設計することができる。したがって, バンド ギャップの異なるセルの積層によって,太陽光スペクト ルをさらに有効に利用することができる。日立製作所 は、バンドギャップを制御するためにAlの組成を制御



模式図とその断面 (a) コルゲート構造の形 成には異方正エッチングを 利用した。(b) 裏面電極は裏 面からの光内部反射を増す ため全面に設けてある。

図 4

コルゲートセルの

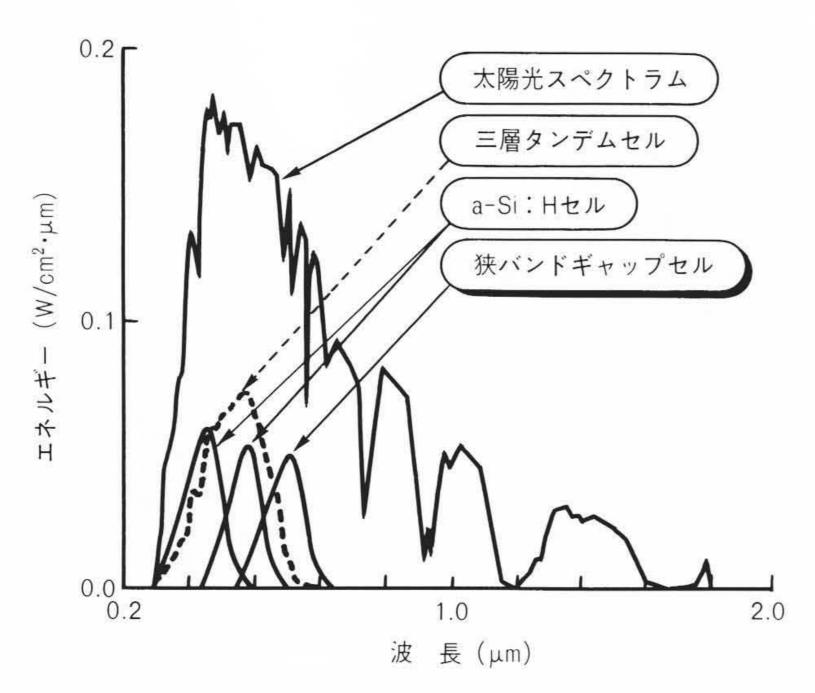
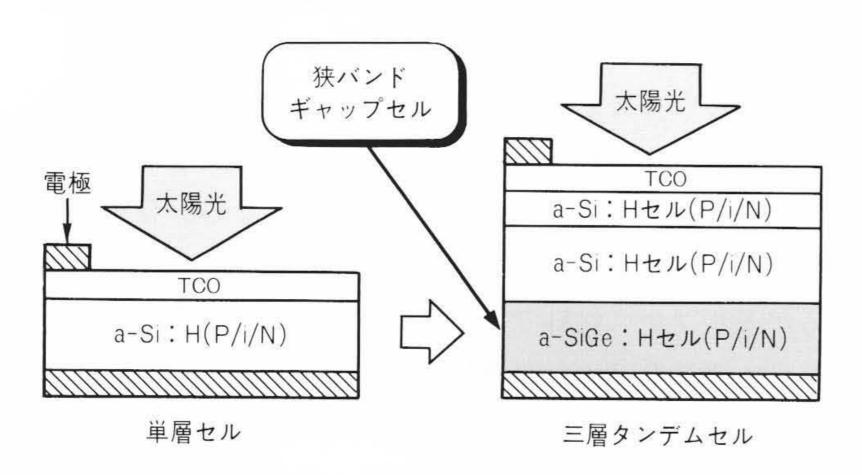


図 6 太陽光エネルギーとセル出力 対スペクトル特性の異なる3種のセル層を重ねることにより、太陽光のスペクトルを広範囲に有効利用できる。



注:略語説明 TCO (Transparent Conductive Oxide)

図7 狭バンドギャップ材によるタンデムセル化 Ge混入によってバンドギャップを狭い方向に制御した材料となり,長波長側に感度が良好になる。

したAlGaAs系の化合物半導体薄膜による積層型太陽電池を開発している。

3 太陽光発電利用システム

太陽光発電の最大の欠点は、発電電力が天気任せで利用したいときに必ずしも使えないことである。この欠点を補うため、何らかの形でエネルギーの有効利用手段を講ずる必要がある。降り注ぐ太陽光は無償であるが、設備はエネルギー収支面でかなり価値の高いものであるから、発電できるときは最大限に発電し有効利用しなければならないからである。

エネルギーの有効利用手段としては、大別してエネルギー貯蔵(蓄電池、貯水、化学反応)、負荷選択(日照時だけの散水、別荘用換気扇など)、および他電源とのハイブリッド運転の三つがある。太陽光発電の有効利用には、目的に合わせて上記の手段を単独または組み合わせて合理的に利用することが重要である。

日立製作所が太陽光発電有効利用パイロットプラントとして建設した代表例を次に述べる。

3.1 離島用太陽光発電システム

このシステムは離島用電源として導入するための必要な技術的問題を解明する目的で、九州電力株式会社刈田発電所構内に設置され、昭和62年7月に試験運転が開始された。日立製作所は100kW太陽電池をはじめインバータなどの付属機器を納入し、九州電力株式会社と共同研究を実施した。

この試験装置の単線結線図を図8に示す。このシステムは,(1)太陽光発電を一般的な電源供給系統に増設した場合を想定して,ディーゼル発電交流並列のハイブリッド方式を採用し,(2)インバータは離島用ハイブリッド

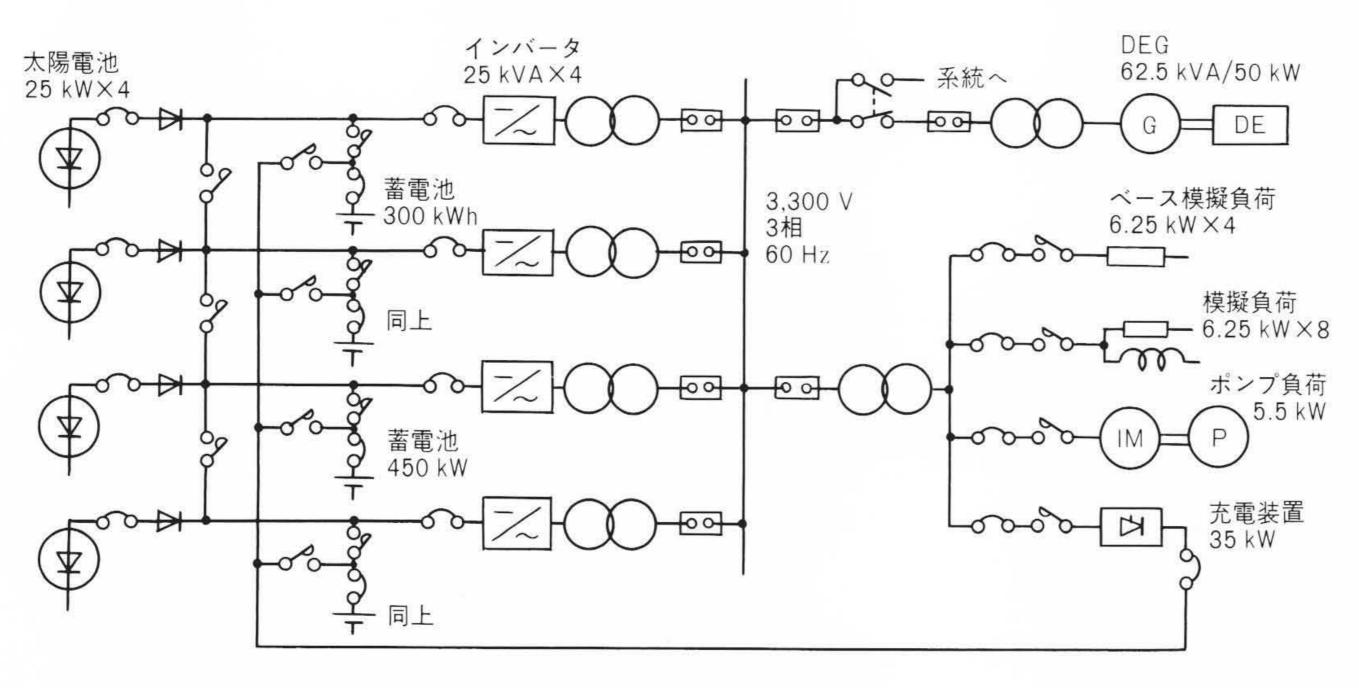


図8 100 kW太陽電池試験 装置の単線結線図 ディーゼル発電機とのハイブリッド構成であり、かつ電力系統 との連系も可能となっている。

方式独立電源用と一般電源系統との連系並列も可能と した。

この装置により、太陽光発電とディーゼル発電の並列 運転技術や,発生した電力の電圧変動,高調波などにつ いて試験研究を実施した。

3.2 太陽光発電利用海水淡水化システム

このシステムは財団法人造水促進センター, 日立製作 所,バブコック日立株式会社による共同研究の実証プラ ント設備として長崎県福江市黄島に設置された。この研 究は通商産業省のサンシャイン計画の一環として, NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)から共 同受託したもので、昭和61年から3年間にわたって運転 研究を実施した。

この方式,特に島嶼(しょ)部など飲料水や生活用水の 不足している地域では新しい水資源確保の手段として大 きな期待が寄せられており, 運転研究後は引き続き実用 プラントとして同市黄島の給水源の一部として活用され ている。

システムフローを図りに示す。日射強度が一定値以上 のときは、消費電力が多い高濃度脱塩(TDS35,000 mg/1 を5,000 mg/lまで脱塩)を行い,中間濃度水タンクにいっ たん貯蔵し、日射強度が一定値以下のときは消費電力が 少ない低濃度脱塩[中間濃度水を飲料水(TDS400 mg/1)

になるまで脱塩]を行うことにより、太陽エネルギーの有 効利用を図った。

上記の自動選択運転によって,2~5 m³/dの造水量が 得られた。

3.3 太陽光発電利用かん水淡水化システム

このシステムは財団法人造水促進センター, 日立製作 所, 昭和シェル石油株式会社, およびバブコック日立株 式会社による共同研究の実証プラント設備として長崎県 福江市に設置された。この研究は通商産業省のサンシャ イン計画の一環として、NEDOから共同受託したもの で、平成2年から2年間にわたって運転研究を実施した。

この方式は、上記海水淡水化システム同様、引き続き 実用規模のプラントとして, 同市崎山地区の給水源とし て活用される予定である。

このシステムの構成およびフローは図9と同様である が, 塩分濃度の低いかん水であるため中間濃度脱塩運転 は行わない。電気透析装置に直流電力を直接利用し,発 電量の多い昼間に揚水ポンプをインバータを通して運転 し,かん水(TDS1,500 mg/l)をタンクに貯蔵することに よってエネルギー貯蔵効果を出している。蓄電池に貯蔵 された余剰直流電力は消費電力が少ない脱塩運転に利用 される。太陽電池出力は65kWである。太陽電池発電電力 量と淡水造水量の実績を図10、11に示す。光発電効率は

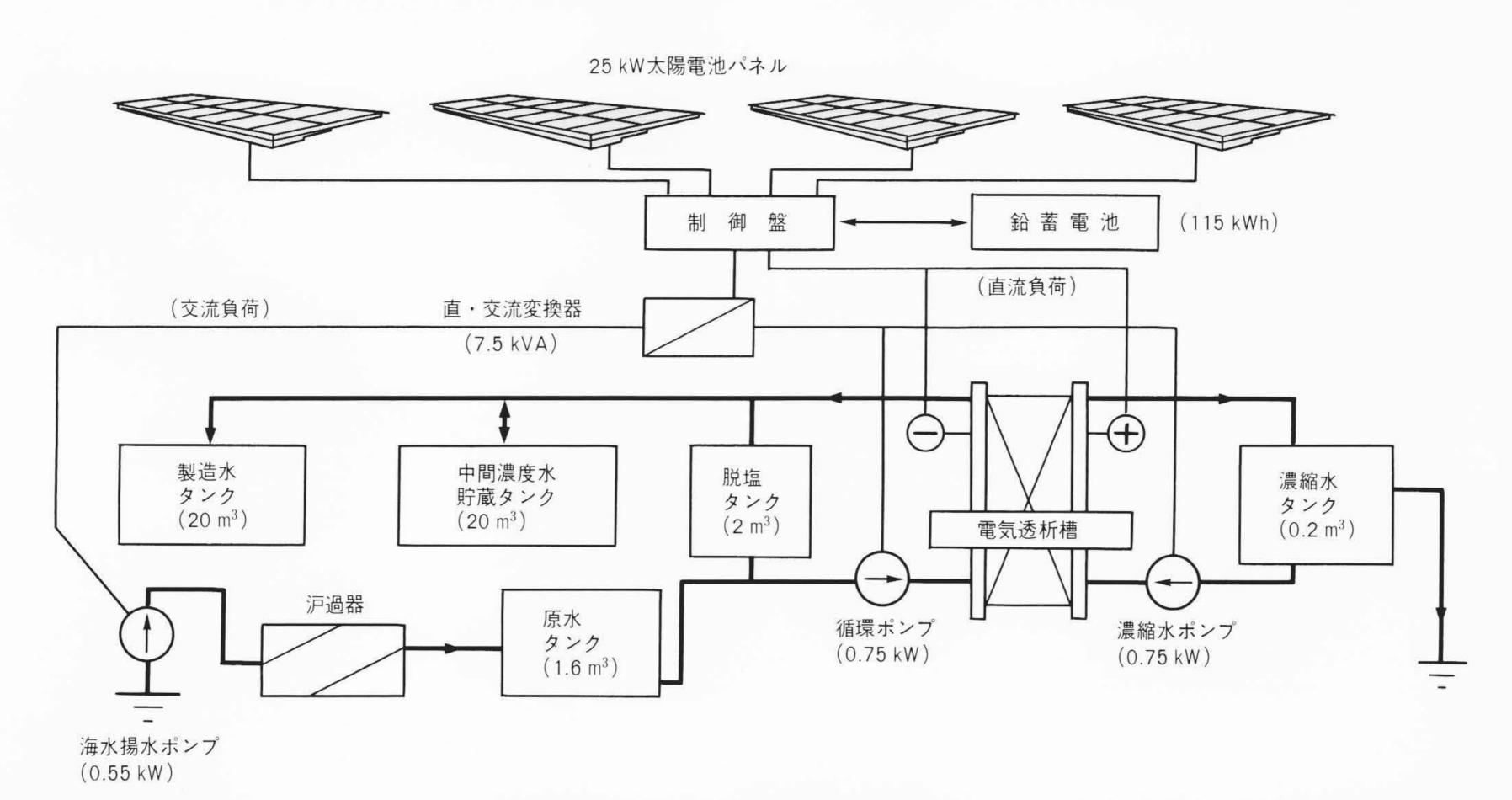
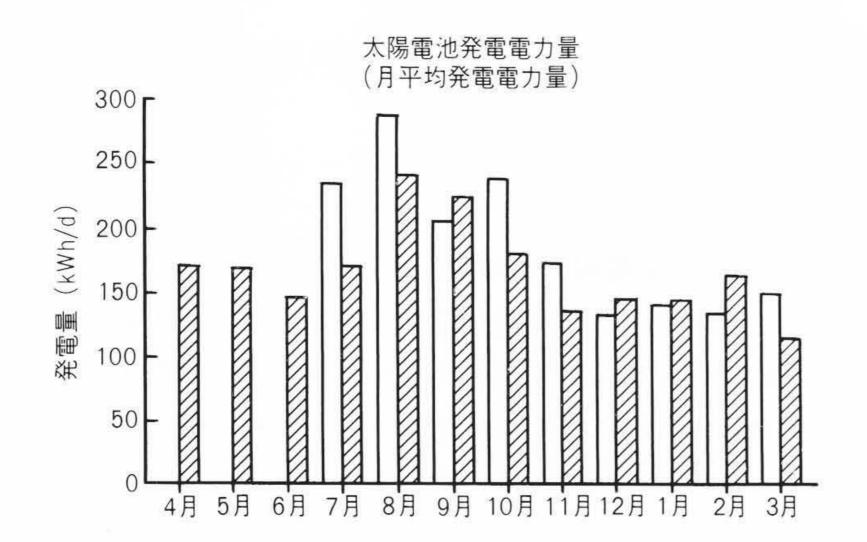


図 9 海水淡水化システムフロー 電気透析槽は直流電力を使用するので、太陽電池の負荷として適している。日中の電力が豊富なときに 中間濃度まで脱塩しておくことを特徴としている。



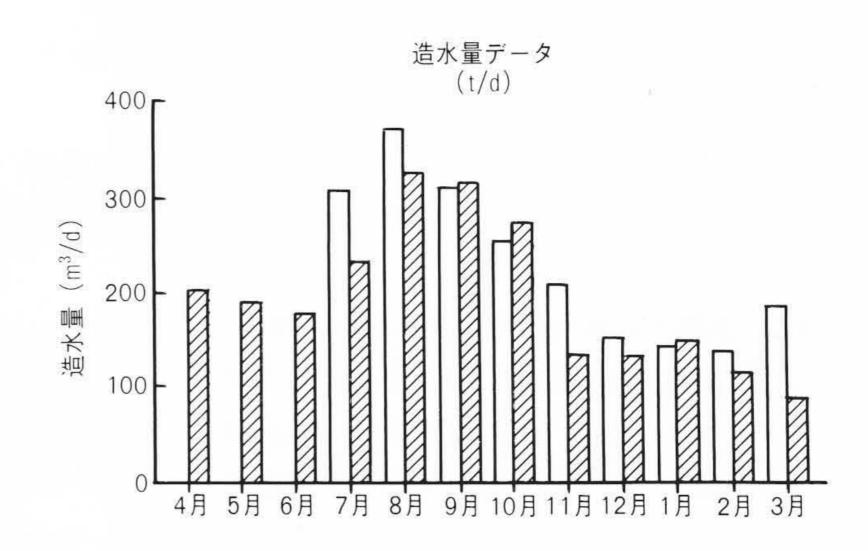
注: 平成2年度, 平成3年度

図10 太陽電池発電電力量 月別の日平均月別発電量を示す。夏季(8月)は冬季(1~3月)の約2倍の発電量が得られる。

年平均8.5%で、システムの消費電力ベースの年平均は7.4%である。システム構成と自動運転のくふうによって太陽エネルギーが有効に利用されていることがわかる。

4 おわりに

日立製作所グループでの石油代替エネルギーとしての 太陽光発電の開発について述べた。石油危機以来石油代 替エネルギーの開発は、石油の入手価格だけを注目した 「コスト」面の代替を目標としてきたが、この概念はここ



注: 平成2年度, 平成3年度

図II 造水量の実績 月別の日平均月別造水量を示す。この井戸のかん水濃度は夏季が冬季よりも低くなるので、発電量は夏季が冬季の2倍となるのに対し、増水量は夏季が冬季の約4倍となる。

数年間で「地球環境改善」のための総合的代替手段としての位置づけが強く求められている。日立製作所グループは、クリーンエネルギーとしての太陽光発電技術を今までの開発成果を基に、環境およびコスト両面の適正なバランスを保ちながら推進する考えである。なお、本研究の一部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、NEDOから委託されて実施したものであり、技術開発に際してご指導いただいた通商産業省はじめ関係各位に対し深く感謝する次第である。