

4. 解 説

太陽エネルギー利用技術の現状と将来

東京理科大学 谷 辰 夫

1. は じ め に

将来のエネルギー資源の多様化に対応して、太陽エネルギーは有効なエネルギー源の1つと見なされており、国内外で太陽エネルギー利用技術の研究開発が進められている。その背景には、太陽エネルギーは量的に豊富であること、無公害であること、技術開発が進めばエネルギーコストが安くなる見通しがあることなどによる。

太陽エネルギーをエネルギー源とした利用システムのエネルギーコストの目標値は、既存のエネルギーコストに比肩するまでに低減させることである。この目標を達成することは簡単ではないが、必ずしも悲観するに当たらないであろう。それは、太陽エネルギーは他に見られない特徴を有しており、この特徴を最大限に活かした利用システムを開発することが可能であると考えられるからである。

ここでは、太陽光発電、太陽熱利用を中心として、太陽エネルギー利用技術の現状と将来について述べることにする。

2. 太陽光発電システム

2.1 システム構成

太陽光発電システムは、大別すると、図1のように、独立システムと系統連係システムに分けることができる。すでに、燈台用の電源としてこれまでも使用されてきた直流負荷用の独立システムから、将来、商用電源と連係して使用することが期待されている連係システムまで、さまざまなシステムが考えられている。

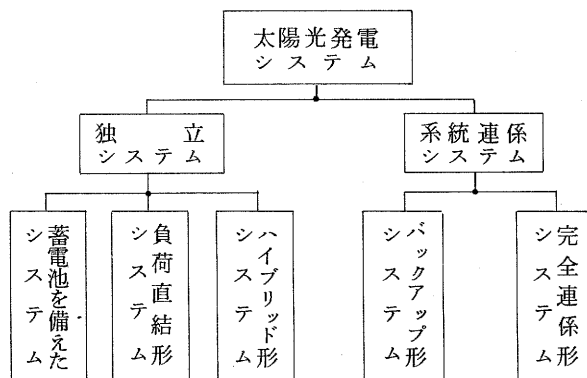


図1 太陽光発電システムの分類

例えば、系統連係システムの中でバックアップ形システムは、太陽光発電の出力が負荷の需要量を下回ったとき、商用電源から電力を供給する方式である。余った電力の蓄電と不足電力の一部を供給するために、蓄電池を備えているが、一般的には大きな容量の蓄電池を必要としない。太陽電池アレイの発電量が負荷消費電力を上回るときには、余った電力は蓄電池に貯蔵される。一方、太陽電池アレイの発電量が負荷消費電力を下回るときには、蓄電池から不足分を供給することになる。しかし、蓄電池の容量に限度があり、供給不足になると商用電源から電力を供給するように構成されている。わが国では、太陽光発電システムの典型的なシステムとして各種の実験設備が建設され、現在運転研究が行われている。

2.2 太陽電池

太陽電池を種類別に分けると図2のようになる。これらについて現状を述べると次のようである。

(1) 結晶系シリコン太陽電池

結晶シリコン太陽電池は古くて新しい太陽電池である。太陽電池の実用化を図るためには、従来の製造工程を改良し、低コスト太陽電池を製造することが極めて重要である。その1つの方法は、従来法に連続自動製造プロセスを取り入れ、大量生産と合理化によるコストダウンを図ることである。すでに、インゴットから電極の印刷までの自動製造工程が開発されている。

キャスト法は、シリコン融液を鋳型に流し込み角型のインゴットを作るものである。この結晶は多結晶であり、変換効率は単結晶シリコン太陽電池より低いが、セルで15%以上のものが開発されている。多結晶ウエハの低コスト化を目指したわが国独自の新しい方法として、スピニング法が開発されており、この方法が完成すれば、10cm角の多結晶ウエハを低価格で供給できる可能性がある。

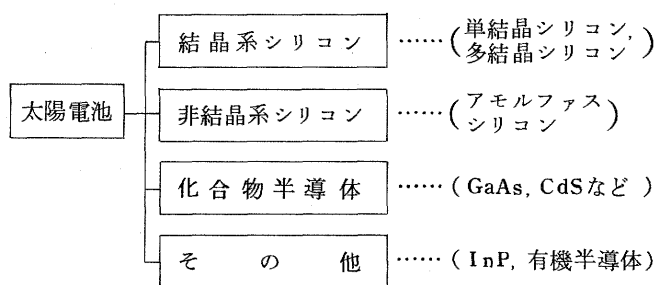


図2 太陽電池の分類

結晶系シリコン太陽電池の発明から約30年を経過したが、これまで、高効率化について十分検討されたと言えない状況にあった。しかし、近年、結晶系シリコン太陽電池の効率向上のための研究が大きく進展した。

(2) 非結晶系シリコン太陽電池

アモルファスシリコン太陽電池は種々の利点を有しており、積極的な研究が進められている。現在、変換効率向上のための研究では、小面積で10～12%，10cm角で8～10%のものが出現している。しかし、本格的な実用化のためには、10cm角で10%以上の変換効率が必要であるとされている。

一方、いくつかの特性をもつ太陽電池を積み重ね、太陽光スペクトルを有効に利用して変換効率の向上をねらったタンデム形太陽電池の開発も進められている。

(3) 新型太陽電池

新型太陽電池は(1)、(2)以外の太陽電池であり高効率、薄膜化として注目されている。表1に一覧を示す。この種の太陽電池の目指すところは、アモルファスシリコンに代わる薄膜結晶材料で構成した新しい原理に基づく太陽電池を開発することであり、その変換効率は30%以上である。

表1 新型太陽電池

種 類	現状の効率	面 積	将来予想	
高	GaAs 系 (バルク)	21% (AMI)	4cm ²	23%
	GaAs 集光 (バルク)	22~25% (100~500倍)	~4cm ²	25%
効	GaAs/Si 系	・単接合 14% (AMI)	0.3cm ²	23%
		・タンデム 20% (4端子)	1cm ²	35%
	InP 系	20%	0.25cm ²	24%
薄	CuInSe ₂	~12%	1cm ²	15% (薄膜)
	リン化亜鉛	6%	数mm ²	10%
	Se	5%	1cm ²	10%
材	有機半導体	0.7% (メロシアン)	1cm ²	数%
	湿式	12% (液/n-Si)		20%

2.3 蓄電池

充放電を繰り返して使用する二次電池としては、従来から鉛蓄電池、アルカリ蓄電池のほか、太陽光発電用レドックスフロー電池の研究開発が進められている。蓄電池の選択に当たっては、コスト、性能、信頼性、負荷などを総合的に評価する必要がある。特に、負荷の形態によっては、瞬時大電流放電が必要なものから、常時緩放電のものまでさまざまあり、負荷の性質に合わせた選択が肝要である。

レドックスフロー電池は、タンクに貯蔵したレドックス水溶液をポンプにより流通形電解セルに供給

して充放電させる方式の二次電池である。この電池は、①充放電電圧を自由に切り替えることができること、②自己放電が少ないこと、③長時間の充放電に適し、経済的であることなどの特徴がある。現在、太陽電池アレイと接続したレドックスフロー電池の研究開発が行われており、太陽電池アレイの容量の2 kw、蓄電容量8 kwhのレドックスフロー電池で、充放電効率が65～80%（充放電流10～20 A）が得られている。電池セルの特性の向上、低日射時における効率の向上などが今後の課題となっている。

2.4 インバータ

太陽光発電システムが幅広く実用化するためには、太陽電池セルのみならず、周辺機器の主要素であるインバータについても、高性能化、低コスト化が極めて重要である。わが国では、各種の太陽光発電用インバータの研究開発が進められているが、系統連係用個人住宅についての開発目標は次のようである。

小形、高信頼度、高効率、低コスト、メンテナンスフリーの3 kw級（単相100V、50または60 Hz）を開発する。効率は94～95%、コストについては、現状400～600円/W程度のものを1/2以下（量産時）に低減する。

最近、変換効率が負荷率50～100%において、トランスなしで93%、トランスありで90%のインバータが試作されている。

3. 太陽熱利用システム

わが国では、周知のように、民生用の太陽熱冷暖房システム、産業用ソーラシステム、太陽熱発電システムなど幅広い太陽熱利用システムの研究開発が展開された。その研究開発の目的は、技術的な可能性を明らかにするとともに軽量化、低価格化を進め、経済的にも他のエネルギーに比肩するシステムを確立することにあった。しかし、昨今のエネルギー事情の緩和に伴い、研究開発のピッチも鈍化しているのが現実である。ただ、世界的には、新材料、ハイテク技術を適用して次々と新しいシステムの開発が進められており、わが国でも今後一層の研究開発の推進が望まれるところである。

3.1 集光・集熱装置

太陽熱利用システムでもっとも重要な要素機器の一つは集光・集熱装置であり、集熱温度が100℃以下の平板型から500℃以上の点集光型まで多種多様である。これらの中で欠くことのできない技術は、選択吸収面である。研究開発の結果、低温度から高温度までのコレクタの集熱効率が大幅に向上し、集光・集熱技術の水準を大きく高めた。また、選択透過膜の概念を発展させ、スイッチング材料（エレクトロクロミック、サーモクロミック）の研究が行われており、省エネルギーの新しい材料として注目されている。

集光・集熱技術は非集光固定型、集光追尾型に大別されるが、非集光固定型として各種のコレクタがあり、さらに、最近コストを大幅に低減することを主眼として高分子材料を用いたフィルムコレクタな

どの研究が進められている。また、集光追尾型といって線集光，点集光のコレクタが開発されているが，コスト低減のための技術のブレークスルーが待たれている。最近，米国では，軽量，低コストの反射鏡としてストレッチ・メムラン型反射鏡，集熱効率の向上を期待した熔融塩に直接太陽エネルギーを吸収させる直接吸収型集熱器の開発が進められている。

一方，非集光固定型，集光追尾型の上位技術として固定集光型がある。典型的なコレクタとして真空管型，CPCを挙げることができるが，プリズム型，蛍光体によるコレクタなどの基礎研究も進められている。

3.2 蓄熱・熱交換

蓄熱・熱交換については，熱エネルギーの蓄熱，輸送を中心に顕熱，潜熱蓄熱，熱輸送における気液二相流現象の解析など数多くの研究が行われた。ただ，不規則で希薄な太陽エネルギーを取り扱うことの経験不足もあって，従来の技術ですべて事足りると断言するほど現象が単純でないことも明らかにされた。

一方，化学反応による蓄熱，輸送の研究も行われている。水和反応，酸化・還元反応，有機化学反応，光化学反応などがそれらであるが，これらの反応は，基本的には太陽エネルギーを化学エネルギーに固定化する反応であるといえる。現在，金属水素化物による蓄熱，輸送の研究，光化学反応による水素製造，起電力発生などの基礎研究が行われている。特に化学反応では，蓄熱，輸送過程でエネルギー損失が少ないこと，ヒートポンプ作用が付加できることなど数々の特徴を有しており，今後組織的な研究開発が期待される。また，地下帯水層による長期蓄熱は，利用地域の自然条件に適合した方式として注目できる。

3.3 変換技術

変換技術については，一重・二重効用吸収式冷凍機，ソーラヒートポンプ，デシカント冷房，除湿などがある。これらの技術は太陽エネルギーのみならず，他のエネルギーを併用することによってさらに機能を発揮することが可能であり，波及効果の大きな技術である。また，熱電変換素子，熱電子発電などの研究も行われている。

3.4 制御技術

太陽熱利用システムの制御として，日射変動に拘わらず集熱部の出口温度を一定に保つPID制御が用いられ，また，この制御方法をベースにして補助熱源の消費量を最小にする制御法などの開発が行われた。さらに，システムの特性を予め推定し，その特性に応じて制御装置をオンラインで調整して利用システムの特性と制御性能をマッチングさせながら制御するモデル規範適応制御(MRAC)の研究が行われている。この制御法が確立されれば，太陽エネルギーを始めとする自然エネルギー利用システムの制御が良好に行われ，稼働率の向上，引いてはシステムの経済性に寄与することが期待される。

4. 利用システム

太陽光発電システムの研究開発は、太陽光発電システムを構成する要素機器をいかに効率良く機能させるかを究明することであり、技術的、経済的両面からの最適設計を確立することにある。現在わが国では20例を超える各種のシステムが設計、建設され運転研究が行われている。これらの運転データをベースにして、わが国の環境条件、負荷条件に整合のとれたシステムのための設計法が待たれている。

一方、太陽熱利用システムについては、いくつかの実験システム、実験プラントが設計、建設された。これらのシステム、プラントはいずれも太陽エネルギーを主たるエネルギー源として稼動し、機能を発揮したといえる。ただ、技術的に大きな欠陥が見当たらないまでも、システムの最適設計の観点からさらに研究を進める必要があり、また実用化を阻害している経済性についてシステムサイドからの定量的な検討も必要であろう。

4.1 利用システムの実例

ここでは、最近完成し、現在運転研究を行っている光熱ハイブリッド型太陽光発電システムを紹介する。

住宅の屋根の上に太陽電池アレイを設置した住宅用太陽光発電システムは、わが国の用地事情や分散電源の推進の観点から、比較的早朝に実用化が期待されている。一般の個人住宅では、電気エネルギーのみならず冷暖房・給湯用の熱エネルギーを使用しているが、双方のエネルギーを有機的に利用することにより次の利点が期待できる。

- (1) 電気エネルギーと熱エネルギーを同時に利用できるハイグリッドパネルにより総合的に高いエネルギー交換効率が期待できる。
- (2) 太陽電池を冷却することによる変換効率の向上と熱回収が期待できる。

写真1はこのシステムの外観であり、図3にシステムフローを、表2は構成機器の主たる仕様である。

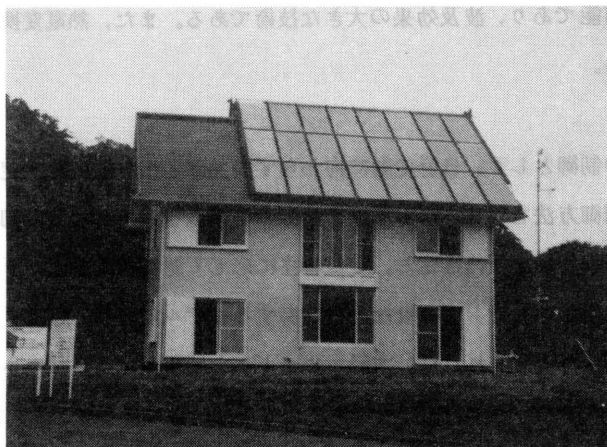


写真1 光熱ハイグリッド型太陽光発電システムの例

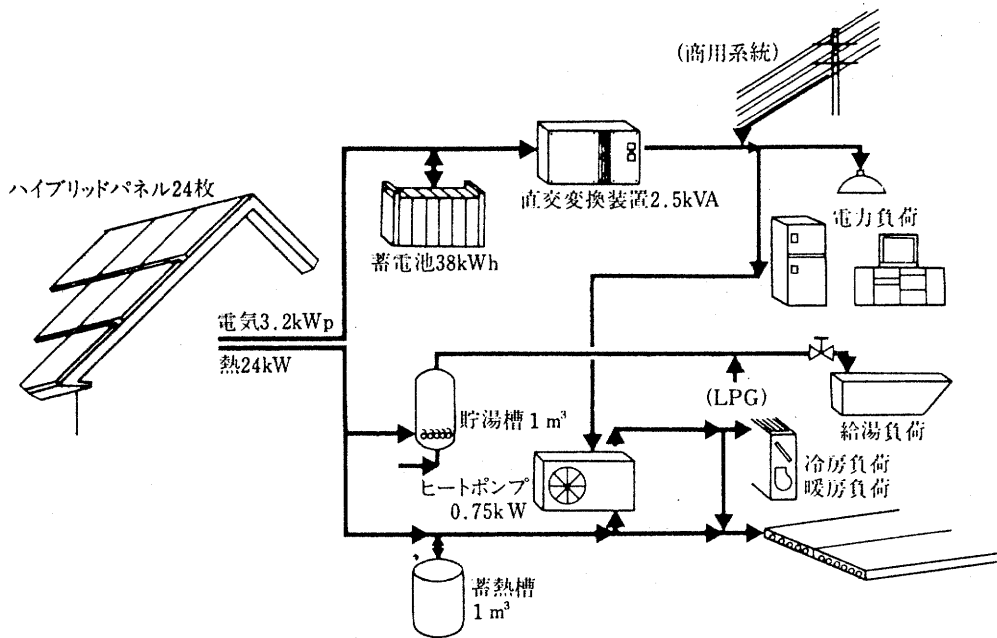


図3 システムフニー

表2 構成機器

構成機器	主仕様
ハイブリッドパネル	パネル面積50m ² (24枚) 多結晶シリコン太陽電池3.2kWp ブラックリキッド式集熱器24kW
直交電力変換装置	PWM方式トランジスタインバータ 定格出力2.5kVA
システム制御盤	システムの起動, 停止 保護装置
蓄電池	定格容量38kWh, 実効容量19kWh
システム監視盤	メータおよびランプによる運転状況表示 計測器用変換器
貯湯槽	実効容量1m ³
蓄熱槽	実効容量1m ³
屋外放熱器	自然対流式
ヒートポンプ	デュアルソース(大気・水)式インバータ ヒートポンプ冷温水機 モータ出力0.75kW×3台
熱系システム制御装置	NEC製PC-9801
実証住宅	延床面積148m ² (44.7坪) 構造 枠組壁工法(2×4) 間取り 4LDK+機械室

ハイブリッドパネルの太陽電池は多結晶シリコン形でその出力は3.2 kwである。太陽電池アレイにより発生した電力は、インバータを介して交流負荷に供給されるが、発生電力が交流負荷を上回る場合、残った電力は蓄電池に蓄電される。また、太陽電池アレイが動作しない時や負荷電力がインバータの容量を上回る時、電力は既存の電力系統より供給している。負荷電力は一般家庭を想定し照明、テレビ、ステレオ、冷蔵庫、洗濯機、空調機である。

一方、ハイブリッドパネルに組み込まれているコレクタにより集められた太陽熱エネルギーは、貯湯槽で水と熱交換され、風呂や台所の給湯、室内の冷房、暖房に利用される。太陽熱集熱器は、作動媒体を黒色液体（ブラックリキッド）とした集熱器である。外気温度28℃、日射量1 kw/m²、集熱温度が50℃以下で総合効率（太陽電池アレイの効率と集熱効率の和）が60%以上となる。

5. 太陽エネルギー利用システムの将来

太陽エネルギー利用システムの今後に残された課題を要約すると

- (1) 経済性向上
- (2) 効率向上
- (3) 利用率向上
- (4) 太陽エネルギー有効利用率向上
- (5) 普及促進

となる。これらの課題はいずれも相互に関連しており、究極的には経済性の向上に帰着することになる。わが国が太陽エネルギー利用システムを社会に取り入れ同化させていくためには、先に述べた経済性向上のための努力が不可欠であるが、併わせて、

- (1) 他の成熟した技術、システムとの融合（ハイブリッド化）の研究
- (2) 他分野の技術成果の適用のための研究
- (3) 附加価値が付与された機器、システムの開発
- (4) マルチパーパスな最終用途にマッチしたシステムの開発

なども必要である。また、発展途上国のための太陽エネルギー利用システムの開発も重要であろう。

以上のような研究開発状況を踏えて、わが国のエネルギーシステムを展望すると次のようになる。2000年頃までは、コストとエネルギー供給の安定性からエネルギー源は、現状の延長線である石油、石炭、天然ガスなどの化石燃料、核分裂による原子力エネルギーが主役でなろう。太陽エネルギーはこの期間、これらのエネルギーを補う小容量分散形のエネルギー源として協役的な域に止まることになる。

しかし、2050年頃になると、環境問題、特に地球規模での砂漠化、化石燃料の多用に起因する炭酸ガスの増加による熱汚染が深刻となり、エネルギー資源の有無に拘わらず、太陽エネルギーなどの自然エネルギーが重要な役割りを果たす太陽エネルギー時代の到来も夢でないであろう。

参 考 文 献

- (1) 太陽エネルギー利用技術の進展：電気学会技術報告（Ⅱ部）第187号（60年4月）
- (2) 太陽エネルギー利用システムの現状と将来：電気学会技術報告（Ⅱ部）第261号（63年1月）