

■ 展望・解説 ■

# 米国における太陽エネルギー研究開発の動向

## Current Solar Energy Research and Development in the United States

作 田 宏 一 \*

Koichi Sakuta



### 1. はじめに

オイルショックを契機に、枯渇することのないクリーンなエネルギー源の開発を目指してスタートした、太陽エネルギーを始めとする石油代替自然エネルギーの研究開発は、ここ数年来の、原油価格の低落を背景として、世界的に低調な状態が続いている。

一方で、ソビエト、チェルノブイリ原子力発電所の事故や、世界的規模での森林破壊の原因とみられている、酸性雨の問題など、地球規模の環境破壊問題を契機として、ここ2~3年、欧州諸国を中心に、太陽エネルギーを始めとする自然エネルギーの開発が、再び脚光を浴びつつある。

さらに最近になって、長期的には、より深刻な問題と考えられる、二酸化炭素の大気中の濃度増大による地球温暖化の問題（温室効果）が、各方面で取り上げられるようになってきた。近年特に目立つ世界各地での異常気象との因果関係が、現時点ではっきり立証されているわけではないが、現在の人類の活動が、石油、石炭を中心とした化石燃料の燃焼に、そのエネルギーの大半を依存しており、かつその総量が、自然界のバランスを崩さないための許容量に近づきつつあると考えられることから、なんらかの具体的な対策が必要とされていることは確かである。

筆者は、1986年10月より2年間にわたり、米国コロラド州デンバー郊外のゴールデンにある、米国エネルギー省、太陽エネルギー研究所（Solar Energy Research Institute, 以下SERIと略記）に、客員研究員として滞在する機会を得た。ここでは、太陽熱利用技術を中心に、最近の米国における太陽エネルギー利用技術開発の状況について紹介したい。

\* 通産省電子技術総合研究所エネルギー基礎部  
エネルギー物性研究室主任研究官

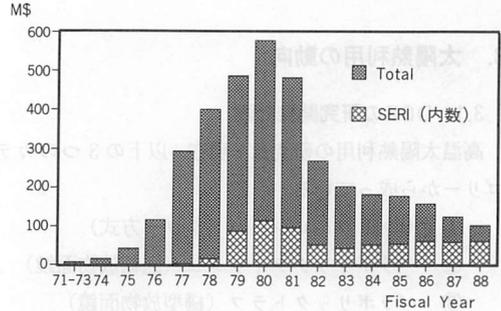


図-1 米国の太陽エネルギー研究開発予算の推移

### 2. 米国太陽エネルギープログラムの概要

米国の太陽エネルギー研究開発プログラムは、我が国のサンシャイン計画とほぼ同じ、1974年に本格的にスタートした。図-1は、米国のエネルギー省（Department of Energy, 以下DOEと略記）管轄の太陽エネルギー関係の研究開発総予算の推移である。<sup>1)</sup> 大規模テストプラント等の建設が山場を迎えた1980年頃に、約5億8千万ドルとピークに達したが、その後原油価格の低下などから、年々縮小されて、現在はピーク時の約1/6の、1億ドル程度となっている。同図には、総予算に占める、SERIの予算の割合も併せて示されている。後述のように、SERIは、主に基礎的な研究開発を担当しており、太陽全体の予算が減少傾向にある中で、ほぼ一定のレベルを保っている。このため、全体に占める割合では、むしろ増加しており、基礎研究重視の傾向が窺われる。

表1は、1988, 1989会計年度の予算の内訳を示したものである（89年は要求額）。<sup>2)</sup> Solar Buildingsが、太陽冷暖房・給湯システム, Solar Thermalが、太陽熱発電等の、高温太陽熱利用システムの研究開発である。太陽電池関係が最も多いのは、我国と同様であるが、太陽熱やバイオ関係にもかなりの金額が配分されていることがわかる。

表1 米国の太陽エネルギー研究開発予算の内訳

	'88	'89 (req.) (M\$)
Photovoltaic	35.0	24.2
Solar Thermal	17.0	15.0
Solar Buildings	5.4	5.4
Biofuel	17.1	11.0
Wing	8.5	8.8
Others	13.9	16.0
Total	96.9	80.4

表2 DOEの5ヶ年計画における太陽熱利用システムのコスト目標

	現状 (1986年)	中間目標 (1990年)	最終目標
電気(CR)	13¢/kWh	8¢/kWh	4¢/kWh
電気(PD)	13¢/kWh	7¢/kWh	5¢/kWh
熱(PT)	30\$/MBtu	23\$/MBtu	9\$/MBtu

CR: Central Receiver  
 PD: Parabolic Dish  
 PT: Parabolic Trough

### 3. 太陽熱利用の動向

#### 3.1 DOEの研究開発計画

高温太陽熱利用の研究は、現在、以下の3つのカテゴリーから成っている。

- ① セントラルレシーバ (タワー方式)
- ② パラボリックディッシュ (回転放物面鏡)
- ③ パラボリックトラフ (楕型放物面鏡)

①は、大規模な発電システム、②は、小規模な発電システム、③は、プロセスヒート等の熱利用システムが目的である。政府ベースの研究開発は、①、②に重点が置かれており、③については、既に実用化の段階に達しているとして、民間企業の開発努力に期待する、という方針である。

表2は、1986年9月に発表された、DOEの1990年度までの5ヶ年計画における、各カテゴリーの中期目標、および長期最終目標である。<sup>3)</sup> 電力コストの最終目標値は、太陽電池による光発電システムの目標値と、ほぼ同様の値となっている。

#### 3.2 セントラルレシーバシステム

セントラルレシーバシステムは、タワー方式とも呼ばれ、高温太陽熱利用システムの研究開発の中心的存在であった。我国を含め、世界各国に0.5~10MW級のテストプラントが建設され、運転研究が行なわれてきた。その結果、技術的な可能性は実証されたものの、現状のままで、すぐに既存のほかの発電方式に経済的に対抗し得るシステムを建設するのは困難、とする見方が一般的で、我国でも太陽熱発電関係のプロジェクトは大幅に縮小されてきている。

米国でも、カリフォルニア州南部のモハベ砂漠に建設されたSolar Oneと呼ばれる、電気出力10MWのパイロットプラントの運転研究が、ほぼ終了したが、DOEには、次期の大規模プラント建設の計画は、今のところない。

しかしながら、電力会社を中心とした、実用プラントのデザインスタディや、各コンポーネントの研究開発は、現在でも地道に続けられている。実用プラントの建設についても、最近、欧州諸国を中心に、積極的な動きがみられる。

1988年6月に、ニューメキシコ州サンタフェで開かれた、第4回太陽熱技術シンポジウムでも、セントラルレシーバ方式の太陽熱発電システムの実用化は可能、という見方が広まっているのが感じられた。欧州諸国では、“PH OEBUS”と名付けられた、出力30MWのタワー方式商業プラントの建設に向けて、国際的なコンソーシアムが設立され、準備が進められているとの報告があった。<sup>4)</sup>

#### 3.3 要素機器の研究開発

図-2は、集光部の大幅な低コスト化を目指して研究が進められている、ストレッチ・メンブレン方式と呼ばれる、新しい方式のヘリオスタット (タワー方式の太陽熱発電システムの集光部に用いられる平面鏡ユニット) である。表面に反射フィルムを張った金属等の薄いシートを枠に強く張り、大型の平面鏡を得るというアイデアである。シートを薄い太鼓のように2重にし、中の空間を減圧して、わずかな局率の凹面鏡とし、フォーカシングを行なうことも考えられている。



図-2 ストレッチ・メンブレン方式のヘリオスタット  
(サンディア国立研究所)

本方式のアイデアは、SERIで提案され、<sup>5)</sup> 基礎研究を経て、現在、ニューメキシコ州アルバカーキのサンディア国立研究所で、実用化研究が行なわれている。

この他、集熱温度の高温化、高効率化を目指して、溶融塩に集光された太陽光を直接吸収させる、直接吸収方式のレーザ等の研究も進められている。

### 3.4 新しい研究開発の方向

以上のように、従来からの概念に基づく太陽熱発電システムの研究も、地道に進められているが、より長期的な観点からは、「発電」だけを目的としたシステムとしての太陽熱発電は、やはり苦境に立たされているようである。比較の実用化に近いとされていた、小規模のパラボリックディッシュ型の発電システム（回転放物面鏡の焦点位置にスターリングエンジンなどの熱機関と直結の発電機を置き、直接発電を行なうもの。出力25～50kW程度）も、長期的には、太陽電池による光発電システムに比べて、優位性に乏しいと見られる様になりつつある。

このようなことから、最近、いくつかの新しい動きが見られるようになってきている。

第一は、集光された太陽光を、熱に変えて単に発電に利用するのではなく、化学反応、物質の処理、などに直接利用することによって、より有効に活用しようというものである。<sup>6)</sup> 中でもかなり早い時期に実用化が可能と考えられているのが、有害物質の無害化処理である。通常の方法では分解処理の困難な有害物質を、集光太陽光の高密度光エネルギーと高温とで分解しようというもので、SERIを中心に、大学等でも基礎実験が始められている。

金属等の表面処理に、集光太陽光を使う方法も試みられている。加工したい金属の表面に、別の金属等の粉末を塗布し、集光太陽光を照射することにより、表面の改質を行なうことができる。この方法の利点は、加熱が非常に短時間に行なわれるため、基板金属自体に損傷を与えることなく処理が可能なこと、熱反応だけでなく光化学反応も利用できるため、新しい効果が期待できること、同様の効果を得るための他の方法（レーザー光を利用した方法など）に比べ、エネルギーコストが安いこと、などである。金属の処理に限らず、セラミックスや炭素繊維などの処理にも応用可能である。実際、炭素繊維を集光太陽光で処理すると、酸化環境に対する耐久性が大幅に改善されることが、ジョージア工科大学の実験で明らかにされている。

第二は、二次集光系を用いた、超高集光比の集光系

である。理論最大集光比の得られる、CPC（Compound Parabolic Concentrator）と呼ばれる集光系を、回転放物面鏡による集光系の二次集光系として用いることにより、これまで得られていた値を大幅に上回る、約5万6千倍という、理論限界に近い集光比が、シカゴ大学のR. Winston等のグループにより、実験的に達成された。<sup>7)</sup> 太陽光励起レーザーなどへの応用が検討されている。

## 4. SERIの概要と動向

SERIは、カーター政権時代の1977年、新エネルギー研究開発促進のための法律に基づき設立された、エネルギー省の国立研究所である。ちょうど筆者の滞在中の1987年夏に、エネルギー省長官も列席して、設立10周年の記念式典が盛大に行なわれた。

国立研究所と言っても、SERIの職員は国家公務員ではない。米国の国立研究所は、政府の依託を受けた民間企業、大学等の第三者機関により運営されているケースが多い。SERIの場合も、カンサスシティに本部を置く、Midwest Research Instituteという非営利の民間団体が、DOEの依託を受け、国の予算で運営を行なっている。

職員の数はおよそ500名で、そのうち研究者は約半数である。海外からの研究者を含む客員研究員の数もかなり多い。年間予算は、1988会計年度で、約6千万ドル（1ドル=130円の換算レートで、およそ80億円）であるが、そのうちおよそ半分は、外部への依託研究費である。

研究所は、デンバーの西20kmのゴールデンという町にある。実験室やオフィスの大半が貸しビルで、自前の実験棟が、車で5分程離れたところにある。実験棟をさらに一つ増築する予算が、ようやく認められたところで、これが完成すれば、かなりの人員がそちらに移ることになるものと思われる。

図-3に、SERIの組織を示す。研究部門は3つの部からなる。太陽電池、風力エネルギーを担当するSolar

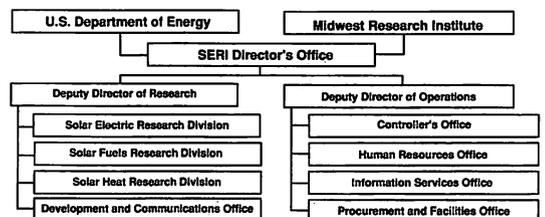


図-3 SERIの組織図

Electric Research Division, 光化学変換や、バイオマス等を担当するSolar Fuels Research Division, それに、高温の太陽熱利用, 海洋温度差発電, 太陽冷暖房・給湯システムを担当するSolar Heat Research Divisionの3部である。

当研究所の役割は、米国における太陽エネルギー利用技術開発のナショナルセンターとして、政府DOE予算による委託研究の管理を行なうとともに、民間企業等では困難な、ハイリスクなテーマについての、独自の基礎研究を行うことである。太陽電池の研究では、アモルファス太陽電池の基礎的研究や、化合物半導体薄膜太陽電池等の、最先端の研究が行なわれており、太陽熱関係では、前述のストレッチ・メンブレン方式反射鏡の、パラボリックディッシュ型のコレクタへの応用や、集光太陽光の化学的利用等の、次世代システムの研究開発が行なわれている。

太陽エネルギー研究開発の総予算が厳しい状況にある現在、SERI自体も人員の削減等を余儀なくされているが、基礎研究重視の方針に沿って、今後も米国の太陽エネルギー研究開発の中心としての役割が期待されている。

### 5. 民間資金による太陽熱利用プラント

米国には、政府の研究開発プログラムとは独立に、全くの民間プロジェクトとして進められている太陽熱利用システムの開発計画も幾つか存在している。しかもその中には、すでに商業ベースに乗るところまで行っているものもある。筆者の訪問した2つの例を、以下に紹介する。

#### 5.1 SEGS

カリフォルニア州南部、ロサンゼルス市の北東に位置するモハベ砂漠に、すでに総出力130MW分余りが完

成・運転中で、現在も盛んに建設が進められているのが、イスラエルを本拠とするLUZ社の商用太陽熱発電プラント、SEGS (Solar Electric Generating System) である。<sup>8)</sup>

SEGSの建設は、1983年にスタートし、1984年には、最初のプラントである、SEGS I (出力13.8MW) が、Solar Oneの隣接地に完成し、運転を開始した。発電された電力は、Southern California Edison社が、長期契約に基づき買い上げている。同社とは、総出力600MWを越えるプラント分まで、既に契約が成立しているとのことである。

このプロジェクトは、全くの民間プロジェクトであり、政府の資金はいっさい入っていない。民間投資家からの資金により建設が行なわれ、実際に利益が上がっているのである。

図-4に、SEGS III~Vの構成を示す。本プラントは、分散型といわれる方式のプラントで、太陽光は、敷地内に配列された、多数の太陽熱集熱装置で高温の熱エネルギーに変換され、熱媒体を介して、中央に集められる。以後は、既存の火力発電所と同じで、熱交換器により発生した蒸気で、タービン発電機が駆動され、発電が行なわれる。

初期のSEGS Iでは、太陽熱で作られた飽和蒸気を、天然ガスボイラーで過熱蒸気とする、いわゆるハイブリッド方式が採用されていたが、それ以後のプラントでは、図のように天然ガスボイラーは、日射条件の悪いときの補助熱源として使われ、通常は太陽のみでも発電が可能なシステム構成となっている。これにより、SEGS Iにあった、蓄熱サブシステムも削除されている。

太陽熱集熱装置としては、パラボリックトラフ (楕円型放物面鏡) 型コレクタ (図-5) が用いられている。放物面鏡は、ガラス製で、集熱カプセルには、耐熱性

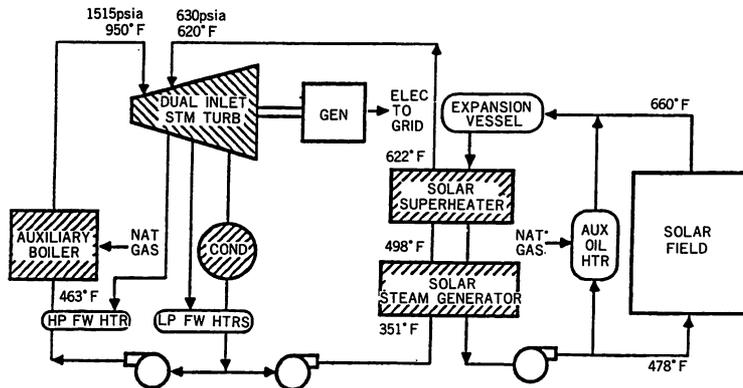


図-4 SEGS III~Vの構成図

表3 SEGSプラントの概要

Plant	First Full Operating		Turbine Capacity (MWe net)	Solar Field		Turbine Cycle Efficiency		Annual Output (MWh net)
	Year	Status		Temp (°C)	Size (m <sup>2</sup> )	Solar	Boiler	
I	1985	Operational	13.8	307	82960	31.5*	—	30100
II	1986	Operational	30	315	165376	29.4	37.3	80500
III	1987	Operational	30	349	203980	30.6	37.4	85050
IV	1987	Operational	30	349	203980	30.6	37.4	85050
V	1988	Operational	30	349	233120	30.6	37.4	91820
VI	1989	Construction	30	390	188000	37.5	39.5	90575
VII	1989	Construction	30	390	183120	37.5	39.5	94410

\* includes natural gas superheating

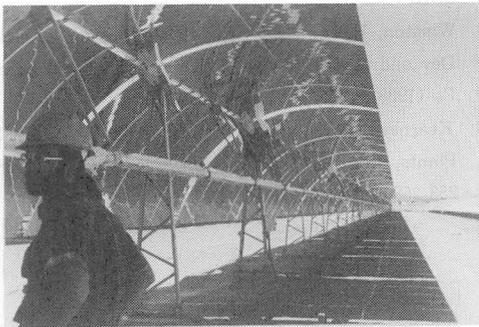


図-5 SEGSプラントのパラボリックトラフ型コレクタ (建設中)

の優れた選択吸収面、真空封じ切りの断熱構造など、高度の技術が適用されており、高温、高効率が達成されている。

表3は、運転中および建設・計画中のSEGSプラントの概要を示したものである。I号プラントは、出力13.8MWであるが、II～VII号プラントは、30MW、表にはないが、VIII号プラント以降は、80MWとなっている。新しいプラントほど、集熱温度、タービン温度が高くなっており、プラント効率も改善されている。特筆すべきことの一つは、プラントの設計から建設、運転までの所要期間が、非常に短いことである。実際の建設期間は、ほぼ1年程度で、原子力発電所等と比べると、金利負担などの点でも格段に有利である。

年間晴天日数が3百数十日という、恵まれた日射条件、電力会社との契約を、コストの高い夏のピーク電力に限定していること、連邦政府、及びカリフォルニア州からの税制上の優遇措置（前者はすでに廃止されている）、等の好条件が重なっているとはいえ、商業的に採算の合う太陽熱発電所が、実際に運転されていることには、注目せざるを得ない。LUZ社では、今後米

国内ばかりでなく、日射条件の良い世界の各地に、同様のプラントを建設して行く計画とのことである。

## 5.2 太陽熱・電気併給プラント

パラボリックトラフ型コレクタは、産業用プロセスヒートなどの、中温度レベルの太陽熱利用システム用として、一部実用化の段階にあり、少数ながら専門のメーカーも存在している。デンバーに、SERIをスピンアウトした技術者が始めたIndustrial Solar Technologies社、という会社があり、その設計・製作による小規模な産業用太陽熱・電気併給プラントを見学する機会があった。

これは、デンバー郊外のブライントン市にある刑務所の給湯・暖房用熱源、および電力を供給するシステムで、コレクタの集光面積が、約560m<sup>2</sup>、コレクタからの最大熱出力が、約360kW、最大電気出力が、約60kWである。発電には、ランキンサイクルタービンが用いられており、その廃熱を給湯・暖房用の熱源としている。

図-6は、集熱部である。コレクタはアルミニウム製で、反射面にはプラスチックのフィルム鏡が用いられており、軽量・低コストを実現している。

本プラントからの熱水および電気は、市場価格より

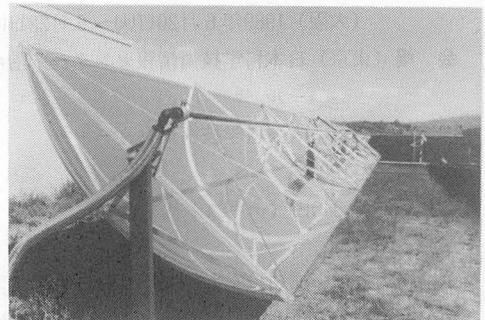


図-6 太陽熱・電気併給プラントのパラボリックトラフ型コレクタ

も安いコストで刑務所側に供給され、市の経費軽減に役立っているとのことである。

## 6. おわりに

米国における太陽エネルギー研究開発の最近の動向について、太陽熱利用技術を中心に紹介した。

第一次オイルショックから15年余りが経過し、太陽エネルギーをはじめとする新エネルギーの研究開発も、新たな段階を迎えようとしている。地球規模での環境破壊の問題が、次第に人類全体にとって深刻な問題として認識されつつある現在、クリーンで再生可能な自然エネルギー源の開発は、単に一国の利害を越えた、人類共通の課題である。長期的な視野に立った、地道な研究開発が、今後も各方面で続けられることを期待したい。

### 参 考 文 献

- 1) Moran, D.; private communication
- 2) International Solar Energy Intelligence Report, June 14 (1988), 187
- 3) U. S. Department of Energy ; National Solar Thermal Technology Program - Five Year Research and Development Plan 1986-1990, DOE/CE-0160 (1986)
- 4) Winter, C. J. ; Central Receiver Strategy in Europe, Abst. 4th Int. Symp. on Res. , Dev. and Appl. of Solar Thermal Technology, Santa Fe (1988), SERI/CP-250-3340, 3
- 5) Murphy, L. M. ; Technical and Cost Benefits of Lightweight, Stretched-Membrane Heliostats, SERI/TR-253-1818 (1983)
- 6) Science & Technology In Review, July-August (1988), SERI
- 7) Winston, R. et al. ; Abst. 4th Int. Symp. on Res., Dev. and Appl. of Solar Thermal Technology, Santa Fe (1988), SERI/CP-250-3340, 167
- 8) Kearney, D., et al. ; Performance of the SEGS Plants, Proc. 10th ASME Solar Energy Conf. (1988), 253-258

### セミナー紹介

### ■情報管理一般研修会

日 時 (東京) 1989年 5月24日(水)～5月26日(金)  
 1989年 6月28日(水)～6月30日(金)  
 (大阪) 1989年 6月20日(水)～6月22日(金)  
 会 場 (東京) 日本科学技術情報センター7階ホール  
 (大阪) 大阪科学技術センター  
 定 員 各100名  
 会 費 28,840円 (テキスト代を含む)

情報の管理・活用は企業の浮沈を賭けると言っ  
 て過言ではありません。情報管理部門に携わる担

当者はもとより、新入社員等、経験年数の浅い人を対象に3日間、情報の収集・整理、文献調査、オンライン検索などについて実務経験の豊富な専門家が平易に解説講義いたします。併せて外部情報機関としてのJICSTの役割や利用法等もガイダンスします。

この研修会を社内研修計画の一環として広くご活用ください。

【問い合わせ先】日本科学技術情報センター

〒100 東京都千代田区永田町2-5-2

TEL 03-581-6411