



宇宙太陽光発電の研究

宇宙科学研究所 宇宙エネルギー工学部門教授
佐々木 進



研究の概要

宇宙太陽光発電は、宇宙空間で太陽電池を用いて太陽光を電力に変換しマイクロ波など無線で地上に送電する電力システムの概念である。そのための軌道上設備を太陽発電衛星（SPS）と呼んでいる。SPSの研究の歴史は古く、米国では1970年代にその技術的な可能性だけでなく、社会、経済、環境の立場からの大がかりな研究が行われている。この研究は21世紀初頭の米国の電力（約3億kW）を全てSPSで賄うという前提で行われ、10km×5kmの大きさの衛星（1基5万トン程度の重さ）を静止衛星軌道に60基配備することを想定した。リファレンスシステムと呼ばれたこの構想はあまりにも壮大であったため技術的・社会的な飛躍が大きく、実現への第一歩を踏み出すことなく検討は終了し、その後研究の熱は冷めてしまった。しかし1980年代の終わり頃から地球環境問題が社会的に認識されるようになり、これらを解決するための有力な将来の選択肢としてSPSの研究が復活している。再び始まった研究では、遠い将来の目標を目指した巨大なリファレンスシステムの研究とは対照的なアプローチとして、近未来の実現性を重視した1～10万kWクラスの試験的なSPSの検討が行われている。図1に示すような我が国のSPS2000や米国NASAのサンタワー型SPSなどの構想はその代表的な研究である。

技術開発の現状

1～10万kW級の試験的なSPSの場合でも、軌道上の発電設備のスケールは数百m～数kmであり、現在建設中の国際宇宙ステーション（100m規模）と比べてもか

なり大きい。大規模宇宙システムであるSPSの実現には、宇宙への大量の物資輸送、宇宙での大型構造物建造、宇宙での大電力太陽発電、宇宙から地上への無線送電の技術が必要である。これらの技術は小規模であればそれぞれ既に実現しており、現在の技術をいかにして大規模なシステムに応用するかが今後の技術課題である。表1に現状の各技術の到達レベルと本格的なSPSの実現に必要な技術レベルを示す。

表1 SPSを実現するための技術の現状と目標

| クリティカルな技術 | 現状の到達レベル | 目標レベル |
|------------|-----------------------|--------|
| 宇宙太陽光発電 | 数十kW（国際宇宙ステーションで80kW） | 100万kW |
| 発電電圧（バス電圧） | 100～150V | 1kV以上 |
| マイクロ波送電 | 数十kW（地上）、1kW（宇宙） | 100万kW |
| 排熱 | 数十kW | 数十万kW |
| 大型構造物 | 100mクラス（国際宇宙ステーション） | 数km |
| 宇宙輸送のコスト | 100～200万円/kg | 1万円/kg |

宇宙太陽光発電のポテンシャル

信州大学の山田興一教授らの計算によれば、SPSのエネルギーペイバックタイム（エネルギーシステムを構築するために投入した全エネルギーをそのシステムが生み出すエネルギーにより何年間で回収できるかを示す指標）は1年以下であり、30年と考えられるSPSの稼働可能年数と比べはるかに短い。一方エネルギー収支が正のシステムであっても、その構築と運転に投入される資金が稼働可能年数の間に回収される見込みがなければ、投資の対象にならず実現されることはない。現在の高コストの宇宙技術でSPSを構築する場合は、その電力コストは地上のエネルギーシステムの電力コストの100倍程度となって経済的に成立しないため、現状のままではSPSは社

会的に受け入れられることはない。しかし、現在のSPSのコスト分析でその大部分を占める宇宙への輸送コストは、技術革新と輸送量の増大により将来1/100程度まで下がることが見込まれる状況にある。SPSの構築に低コストの民生品と民生技術を適用することにより、SPSからの電力コストは地上の電力コストと比肩しうようになると想定される。

地球温暖化防止効果

SPSに必要な素材の製造、軌道上への輸送と構築を含む全てのプロセスで排出されるCO₂を考慮しても、SPSからの単位電力当たりのCO₂排出量は原理的に非常に小さい。表2に慶応義塾大学の吉岡完治教授らによる各種の発電システムからのCO₂排出量の計算結果を示す。ただしSPS（太陽発電衛星）の場合の経常運転で排出されるCO₂排出量は評価されていない。SPSの単位電力当たりのCO₂排出量は原子力発電と同レベルであり、化石燃料を用いる場合の数十分の一以下と計算されている。

研究の課題と展望

SPS実現の立場から今後最も重点的に取り組むべき研究は宇宙から地上への無線送電である。他の技術につい

表2 各発電システムから排出されるCO₂量 (g-CO₂/kWh)

| 発電方式 | 経常運転時 | 建設時 | 合計 |
|---------|-------|-----|-------|
| 太陽発電衛星 | 0 | 20 | 20 |
| 石炭火力発電 | 1,222 | 3 | 1,225 |
| 石油火力発電 | 844 | 2 | 846 |
| LNG火力発電 | 629 | 2 | 631 |
| 原子力発電 | 19 | 3 | 22 |

出典) 吉岡完治、菅幹雄、野村浩二、朝倉啓一郎
SPSのCO₂負荷計算 — NASA/DOEリファレンスシステムに基づいて —
第1回宇宙太陽発電システム (SPS) シンポジウム、東京、1999年1月

てはより広い宇宙開発のニーズから研究開発が進んでいくと想定される。軌道上から地上への無線送電技術の実証をまず行った後、1万~10万kWクラスの試験衛星によりSPSの技術を充分修得し、経済的な見込みと電力システムとしての環境評価を行った上で実用SPSの段階に移行するのが現実的なアプローチである。米国では有人火星探査に必要な電力システムと関連させながらSPSのための技術を確立し、20~25年先の商業的なSPSへの展開を目指した開発シナリオを模索している。我が国では、大学や研究機関の実証的な研究と調査研究をベースに、SPS実現に向けてのロードマップの検討が始まっている。これらの動きの中で、やがて具体的なプロジェクトとして先行的なSPSのデモンストレーション実験の構想が浮かび上がってくると予想される。

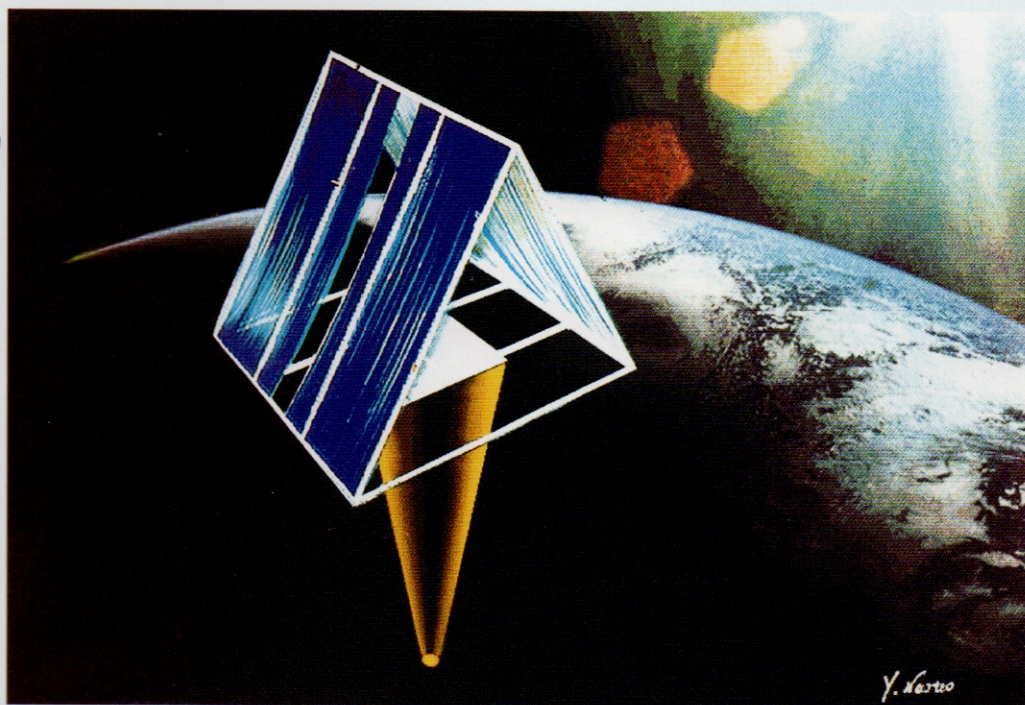


図1 我が国で研究の行われている*太陽発電衛星モデルSPS2000 (イラストは宇宙科学研究所成尾芳博氏による) 一辺約300mの三角柱形状で上2面に太陽電池、下面中央に直径150mのマイクロ波送電アンテナを持つ。赤道軌道高度1,100kmに投入し、10MWの電力を赤道近傍の国々に送電する。

*) 太陽発電衛星モデル SPS2000は、宇宙科学研究所の太陽発電衛星ワーキンググループの下に設置されたSPS2000タスクチーム(大学、国立研究所、企業の研究者、学生、約50名から構成される)により1992年から研究が行われている。