

The status of the SSPS studies in Japan

H. Nagayama
New Science Dept., Mitsubishi Research Institute, Inc.
(E-mail: nagayama@mri.co.jp)
Fax: +81-3-3277-0568

Abstract:

The studies on Space Solar Power Systems (SSPS), which were carried out in the 1970s at DOE/NASA, have been conducted in Japan as well. The fundamental investigation and the economic study were conducted as the contract business of STA and NASDA in the early 1980s. In the second half of 1980s, "the study on space energy technology" was conducted as the contract business of MITI. In the 1990s, one of the largest committees in the past was organized under contract of NEDO, and it conducted "the study on Space Solar Power Systems", which is a study on its feasibility as the future commercial power source, for 3 years from 1991 to 1993.

This is the overview of these SSPS studies and the recent study activities on them in this presentation.

日本の SPS 調査研究の現状

長山 博幸

株式会社三菱総合研究所 ニューサイエンス部

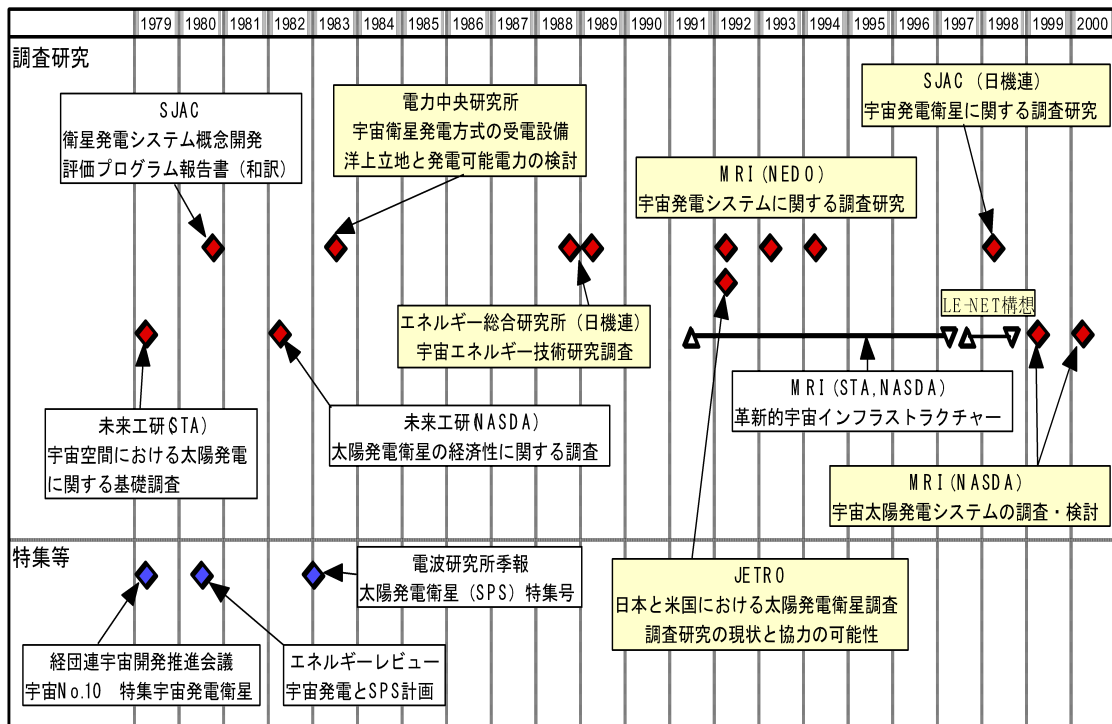
(E-mail: nagayama@mri.co.jp)

Fax: 03-3277-0568

1. はじめに

1970年代に行われた DOE/NASA の太陽発電衛星システム構想に関して、我が国においても調査検討が進められてきた。1980年代前半には STA や NASDA の委託業務として、基礎的な調査や経済的な検討が行われた。1980年代後半には MITI の委託業務として「宇宙エネルギー技術研究調査」が行われた。1990年代に入ると過去最大規模の委員会が NEDO の委託業務として設置され、1991年度～1993年度の3年間に渡って将来の商用電源としての実現性について検討「宇宙発電システムに関する調査研究」が行われた。これらの SPS 調査研究の概要とともに、最近の調査研究活動について報告する。

表 1 日本における SPS 関連の調査研究

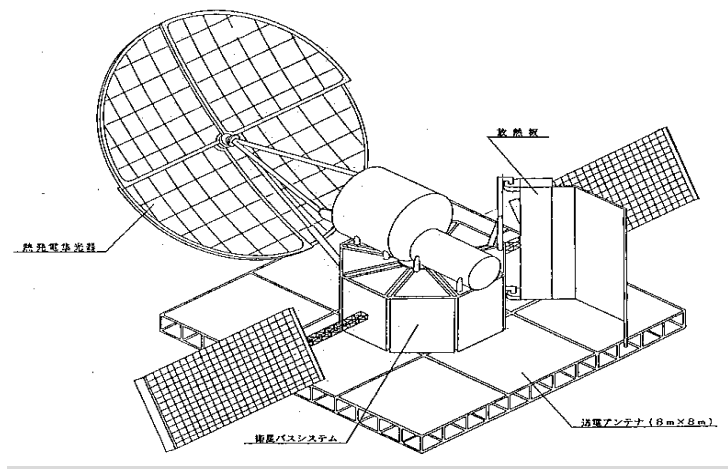


2. 宇宙エネルギー技術研究調査

「宇宙エネルギー技術研究調査」は、機械工業の技術開発促進等補助事業テーマの一つとして、日本機械工業連合会よりエネルギー総合研究所に委託された調査研究である。この調査研究では、①宇宙における発電技術の確立を主目的とした衛星送電方式の提案、②無線エネルギー伝送技術の確立を主目的とした衛星受電反射方式の提案、③実利用 SPS の経済性（評価方法、トータルエネルギー収支評価）および環境への影響についての調査・考察、④欧米の宇宙エネルギー技術動向の調査、を行った。以下に本調査研究で提案された衛星送電方式及び衛星受電反射方式の概略を示す。

(1)衛星送電(SPOT)方式

衛星上で中規模の太陽熱発電ができる発電システムを実現し、その試験と評価、さらに小規模なマイクロ波送電実験を目的としている。

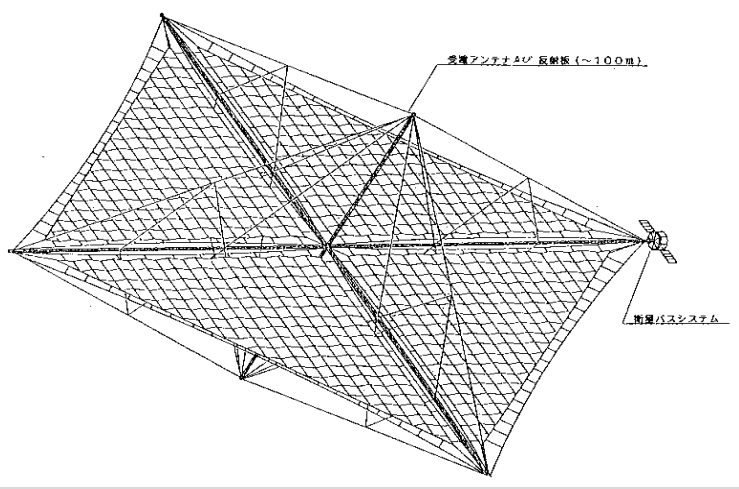


主要諸元

発電容量：約 50kW
 発電方式：太陽熱+蓄熱
 重量：約 7.3 トン
 使用周波数：2.45GHz
 軌道：高度 1000km、傾斜角 0°
 又は 30°

(2)衛星受電反射(GTOR)方式

宇宙-地上間のマイクロ波送受電技術の確立と評価、レトロディレクティブ技術の評価、大型軌道上構造物技術の確立と評価、成層圏等の環境への影響評価、を目的としている。なお、63年度は反射面方式を検討したが、衛星の姿勢制御が難しいため、元年はアンテナで受電した電力をアンテナから送電する方式に変更した。



主要諸元

重量：4.85 トン
 寸法：100m × 100m
 受電容量：6kW
 反射時間：最大 5 分
 軌道：高度 1000km、傾斜角
 0° 又は 30°

3 宇宙発電システムに関する調査研究

「宇宙発電システムに関する調査研究」は、1991年度より3年間に渡って新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）より三菱総合研究所に委託された調査・研究である。将来のエネルギー源として期待されるクリーンで無尽蔵の太陽エネルギーを利用した宇宙発電システム(SPS)について、技術的、経済的、および環境観点から、SPSの商用電源としての総合評価を行うことを主目的としている。宇宙発電システム検討委員会が設置され、その下に宇宙技術WG、エネルギー技術WG、経済性評価WG、環境・生態への影響評価WGが設置された。本調査研究では以下の結論が示された。

(1)環境・安全面での評価

- ・マイクロ波の人体に与える影響は、現時点の研究では、問題ない。
- ・マイクロ波の電離層に与える影響は、ほとんど影響がない。
- ・通信に与える影響については、ほとんど影響がない。
- ・レクテナが自然環境に与える影響に関しては、影響を事前に把握し、その対策をとることは十分可能である。
- ・SPSという新しいエネルギーシステムを導入するには、パブリックアクセプタンスを十分考慮する必要がある、このためにもマイクロ波の長期曝露や、電離層に与える影響などの基礎的な研究を引き続き行うことは重要である。

(2)経済面での評価

- ・SPSの発電コストは現在の基幹エネルギーシステムと比べて約2倍程度割高だが、CO₂削減対策や化石燃料の枯渇などから、今後既存のエネルギーシステムのコストは上昇する可能性が高いことを考慮すると、SPSは将来の商用電源としての候補となり得る。
- ・システム構築に際して膨大なコストを必要とするため、コストを低減するための技術開発を進める必要がある。

(3)技術評価

- ・超大型衛星の構造体の最適化、熱制御、および電気推進を利用した位置制御、姿勢制御技術などの技術開発が最も重要となる。
- ・軌道上での作業を簡略化するためには、地上で出来るだけ組立を行い、軌道上では展開・結合のみとし、軌道上作業についても簡単な軌道上組立技術の開発が必要である。
- ・光発電技術については、現状技術の延長から将来には高効率期待できるが、経済的な観点から一層の効率向上、軽量化、耐宇宙環境性向上および低価格化のための研究開発が必要である。
- ・大型のロータリジョイントは、約20年前にNASAがSPSを検討した際も重要課題となっており、現在でも有効な技術の開発がなされていない。
- ・送電システムの増幅器の重量軽減とエネルギー変換効率の向上が重要である。
- ・レクテナ素子での今後の開発課題としては、ダイオードの大電力化、経済性の向上である。
- ・完全再使用型のターンアラウンドタイムの短い単段式の打ち上げシステムの構築が必要となる。
- ・完全再使用型軌道間輸送機(OTV)、軌道上作業機(OSV)、補給ステーション、追跡・管制システムなどの様々な宇宙インフラストラクチャーの構築が望まれる。これらのインフラは、その用途をSPSに限るものではなく、将来の宇宙活動全般を支援するものであるため、国際的な協力関係のものと構築していかなければならない。

(4)SPS 総合評価

- ・ SPS は太陽エネルギーを地上で利用するよりも、エネルギーを効率的に利用することが可能なシステムであり、また、化石燃料を消費する既存の発電システムに比べて、温室効果ガスである CO₂ の排出も、ライフサイクルを通してきわめて低く、地球環境問題の観点から優れた電源である。
- ・ 本調査研究で行った技術的、経済的、および生態・環境へ与える影響評価の結果より、SPS の実現に向けて更なる研究開発は必要であるものの、SPS の商用電源としての可能性は十分にある。

4 NASDA における活動

1998 年度より、宇宙開発事業団 (NASDA) より三菱総合研究所への委託業務として、「宇宙太陽発電システムの調査・検討」が始められた。この研究は、経済性の高い再利用型宇宙インフラストラクチャをベースとする宇宙太陽発電システムに関するライフサイクルモデルの構築とその妥当性の評価を行うことを目的としている。本調査研究では宇宙太陽発電システム検討委員会が設置され、検討が進められた。以下に成果の概要を示す。

(1) 事例調査

国内外の宇宙太陽発電衛星研究の動向について調査した。調査事例としては、海外事例では NASA リファレンスシステム、NASA フレッシュ・ルック・スタディ、SSP Concept Definition Study を、国内事例では MITI による検討、SPS2000 を取上げた。

(2) ライフサイクルモデルの構築

マイクロ波送電型 SPS のライフサイクルモデルを構築した。ライフサイクルモデルは SPS の構築、運用について、コストモデル、環境負荷モデル、エネルギー収支モデルをそれぞれ作成した (各モデルは、SPS、レクテナ、打上げ、メンテナンスから構成される)。

(3) モデルの妥当性の評価

1GW 級の SPS を対象にモデルに用いた独立変数の発電単価、CO₂ 排出量、およびペイバックタイムに関する感度分析を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- ・ 発電単価に関しては、マイクロ波-DC 変換効率を高めることが一番重要となる。次に DC-マイクロ波変換効率、集電効率を高めるとともに、打ち上げコストを下げることも重要である。
- ・ CO₂ 排出量とペイバックタイムに関してはほぼ同様の結果が出ており、送電アンテナの直径を大きくすること、送電電力を増加することが重要であると示されている。送電アンテナに関しては、このモデルによる最適値が直径 1km よりやや大きいところにあるためこのような結果が出たものと考えられる。

以上の結果より SPS の技術開発要素としては、マイクロ波-DC、DC-マイクロ波の変換効率を高める研究開発を進めるとともに、安価で大量の輸送手段を確立することが重要と考えられる。

他のエネルギーシステムとの比較であるが、発電単価に関しては現在の基幹電源の値はいずれもこのモデルにより算出される発電単価の約半値程度である。しかしながらこのうち化石燃料を用いるものは今後地球環境の保護の面から発生する CO₂ の処理コストが加算されることが予想される。

原子力に関しては使用済み核燃料の処置や、廃炉の問題が今後発電コストに反映されるものと想定され、必ずしも現在の発電単価が維持されるとは限らないと考えられる。

CO₂ 排出量は、石炭、石油、LNG といった化石燃料による発電システムと比べ 1 桁少ない量である。また、地上の太陽光発電と比べても CO₂ 排出量は少なく、原子力発電

より若干多い程度であった。

エネルギーペイバックタイムに関して、石炭火力、石油火力、LNG 火力、原子力と比較した場合 SPS は 5 年と長いですが、地上での各種太陽利用発電システムが 6 年～11 年であることを考慮すれば回収効率は高い。

燃料を含めたエネルギー収支では石炭火力、石油火力、LNG 火力、原子力が 30%台であるのに対し、SPS は 600%と、投入エネルギー以上のエネルギーを生産することが可能である。このことは一端 SPS を構築すれば、SPS の発生するエネルギーを用いて SPS を製造できる可能性があり、自己増殖型のエネルギーシステムである。

(4) 宇宙太陽光発電事業に係わる国際動向の調査

宇宙太陽発電事業を考えるうえで重要と思えるエネルギー業界の国際動向として、地球温暖化防止京都会議(COP3)以降の国内外のエネルギー政策、および米国電力業界の変遷についてまとめた。

同研究は 1999 年度にも引き継がれ、特に①全体システムに関する研究（システム構想、研究・開発シナリオ）、②要素技術に関する検討、③技術実証の検討、の研究・調査が行われる予定である。

<参考・参考文献>

- ・宇宙発電と SPS 計画、エネルギーレビュー、1980 年 8 月
- ・衛星発電システム概念開発 評価プログラム報告書（和訳）、日本航空宇宙工業会、1980 年 11 月
- ・宇宙エネルギー技術研究調査、エネルギー総合研究所（日本機械工業連合会）、1988 年 6 月、1989 年 3 月
- ・日本と米国における太陽発電衛星調査 調査研究の現状と協力の可能性、日本貿易振興協会、1992 年 3 月
- ・宇宙発電システムに関する調査研究、三菱総合研究所（新エネルギー・産業技術総合開発機構）、1992 年 3 月、1993 年 3 月、1994 年 3 月
- ・宇宙発電衛星に関する調査研究、日本航空宇宙工業会（日本機械工業連合会）、1998 年 3 月
- ・宇宙太陽発電システムの調査・検討、三菱総合研究所（宇宙開発事業団）、1999 年 3 月