

SSPS の研究開発の現状と展望

Current Status and Prospects of Study on Space Solar Power Systems (SSPS)

森 雅裕

Masahiro Mori

(宇宙航空研究開発機構 総合技術研究本部 高度ミッション研究センター)

Key Words: Space Solar Power Systems, microwave, laser beams, research and development roadmap

Abstract: JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) has examined studies on SSPS (Space Solar Power Systems) using microwave and high efficiency hydrogen generating systems using laser beams since FY1998 organizing a special committee and working groups. We continue the study of system configuration, technical subject, and the research-and-development plan of these systems. We also continue to study related key technologies such as high-voltage power transmission technology, laser transmission technology, thermal control technology and control technology of large scale flexible structure. This paper presents current status and prospects of study on SSPS.

1. 概要

宇宙エネルギー利用システム (SSPS: Space Solar Power Systems) とは、宇宙空間で得られる太陽光エネルギーをマイクロ波やレーザーにより地上に無線伝送し、地上でそのエネルギーを電気や水素等の無公害燃料に変換し利用するシステムである。SSPS を実現させることは、環境問題の解決策とエネルギー源の多様化を図る上で極めて重要である。ここでは、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) における SSPS 研究の現状とそれをとりまく状況および今後の展望等について説明する。

2. JAXA における SSPS 研究の現状

2.1 技術開発ロードマップ JAXA における SSPS に関する研究では、2020~2030 年の商用システム運用開始を目標に、マイクロ波による 1GW 級宇宙太陽発電システム及びこれと共通技術を有する宇宙レーザーによる高効率水素製造システムの研究開発を実施している。これらのシステムの技術開発ロードマップを第 1 図に示す。

2.2 研究の流れ 第 2 図に JAXA における SSPS 研究の流れを示す。1998 年より委員会/ワーキンググループ (WG) 形式によりシステム総合研究を実施しており、システムコンセプト、実証シナリオ、技術課題等の検討を実施している。また、高電力送電技術、レーザー発振技術、熱制御技術、大型構造物制御技術など重要な要素技術のうち、地上で実証可能であるものに対して要素試作試験等を継続して実施している。さらに、技術開発ロードマップの第一段階である 50kW 級軌道上技術実証衛星に関してミッションクリティカルな機器等の部分試作試験も実施している。

2.3 主な研究の内容

2.3.1 システム総合研究

(1) **研究体制** 1998 年度より宇宙太陽発電システム検討委員会 (座長: 京都大学松本教授) および WG を設置しているが、2002 年度より新たに宇宙レーザーによるエネルギー利用システム検討委員会 (座長: 中井阪大名誉教授) を立ち上げた。産官学より約 180 名の研究者が参加し、2020~2030 年の実用化を目標とした商用システムのシステムコンセプトを明確にするために、技術課題、実証シナリオ、安全性、経済性等について検討を行っている。また、技術開発ロードマップの第二段階であるロボットによる組立・換装技術の習得を目的とする ISS 近傍での 10MW 級実証システムの構築を行うための概念検討を実施している。

(2) **マイクロ波伝送型 SSPS の検討** 2001 年度のシステム総合研究では、発電部と送電部を一体モジュールとし、反射鏡で同モジュールに太陽光を導く 2001 年型基準モデル (第 3 図参照) についてその実現性を検討した。同基準モデルは、発電部と送電部を一体化モジュールとすることにより、従来の発電部と送電部が分離した各種のモデルに共通する発電部から送電部への長距離送電に伴う様々な課題 (電力ケーブルの質量、電力ロス等) の回避を狙うと共に、組立保守を容易にし、システムの大半の質量が発送電部に集中していることによる重力傾斜安定の利用を期待するものであった。しかしながら検討の結果、発電部と送電部を一体構造とした場合、送電部からの発熱を適切に排熱して送電部を適切な温度範囲に維持することが容易でないこと、及び重力傾斜安定の利用は静止軌道においてはそれ程有効には作

用しないこと等が明らかになった。

上記の検討結果をふまえて、2002年度には第4図に示す2002年型基準モデルが提案され、システムの成立性等に関する検討が行われた。本モデルは発電部と送電部を同一面とし、その背面を排熱面とすることにより、発電部で発生する熱を外部に放出しやすくすることを期待したものである。検討の結果、依然として発電部の排熱能力に比して発熱量が多すぎる、二次光学系は反射ミラーの組合せとする必要があるが、マイクロ波送電に影響を及ぼす可能性がある等の課題があることが示された。

今後は、2001/2002年型のモデルの課題を見直し、これを発展・改良する形で検討を実施していく予定である。

(3) レーザー伝送型 SSPS の検討 レーザー伝送型 SSPS についてシステム概念、主要機能等の検討を行った。本システムは、太陽光集光機能、レーザー発振機能、送信ビーム整形機能、送信ビームポインティング機能、熱制御機能、衛星バス機能等を備える。また、地上側のシステムとして高効率な受光・エネルギー変換機能が要求される。本システムでは太陽光を高倍率に集光するため、大きな排熱面積が必要となること等が課題として挙げられている。

2.3.2 要素試作試験 SSPS に関する重要な要素技術のうち、地上で確認可能なシステム、部品などの試作試験及び技術開発を実施している。具体的には以下の技術に関する要素試作試験を実施している。(第2図参照)

- ・ 高電力送電技術
- ・ 熱制御技術
- ・ 太陽光集光技術
- ・ レーザー発振技術
- ・ 大型柔構造物制御技術

(1) 高電力送電技術 SSPS の高電力送電システムに係る基本システム形態、技術要素の調査・検討を行い、高電力送電システムの設計基準案を作成している。

(2) 高出力マグネトロンに関する研究 マイクロ波 SSPS の送電システムについて、マグネトロン方式のみならず、半導体方式の送電システムも考慮して、送電システムの小型軽量高効率化に関する調査検討としてマグネトロン動作条件の最適化を図るためのマイクロ波送電システムに対する要求条件を検討している。

(3) 熱制御ループの重量検討および設計検討 SSPS の発電部およびマイクロ波送電部の熱制御ループ重量を軽減するために、集光や冷媒を考慮して重量試算モデルの設計検討を行い、部分試作評価試験を実施している。

(4) 太陽光集光/制御技術の研究 SSPS において太陽光エネルギー変換素子への入力光最適化を行う技術の確立を目指し、波長制御技術および集光技術において、それぞれ複数の手法に対しその利用可能性等を検討している。

(5) 太陽光直接励起型レーザーの部分試作試験 太陽光直接励起型のファイバーレーザーを試作し、ファイバーレーザー発振高効率化に関する検討を実施中である。また、セラミックレーザーについても部分試作試験を実施している。さらに、多ビームレーザー光のコヒーレント結合に関する実験および検討を行っている。

(6) 超大型軽量構造の制振技術検証モデルの設計・試作 SSPS 面構造(一次ミラー)に生じる長周期振動の範囲を把握するため、軽量化構造を想定した振動解析を実施し、実験モデルの設計・製作を行っている。また、実験モデルに生じる長周期振動に対して能動制振技術を適用して制振効果を評価し、成立性の検証を行っている。

(7) インフレータブルの研究 SSPS への適用を目指したインフレータブル構造部材のトラスチューブ材について、その材料および構造の調査・検討とそれに基づいた供試体の設計および試作を行い基礎データを取得している。

(8) 宇宙用テンセグリティ構造の構造特性解析 宇宙大型構造物用テンセグリティ構造について、主要構成材料等の技術検討を行い、基本モデルの概念検討および構造特性解析を実施している。

3. SSPS 研究を取り巻く状況

3.1 国内の状況 2003年2月に自由民主党に議員連盟が発足するなど、近年、SSPS 研究はその実現に向けて着実に歩を進めている。以下では、SSPS 研究を取り巻く国内の近況についてまとめる。

2003年2月27日、自由民主党に52名の衆・参両議員が発起人として参加し、党所属議員92名から成る「宇宙エネルギー利用推進議員連盟」が発足し、会長に甘利明衆議院議員(元労相)、事務局長に加納時男参議院議員が就任した。

また、宇宙開発委員会による「宇宙開発に関する長期的な計画」(2003年9月1日)の中でも、基礎的・基盤的研究の中での先端的な研究開発の一つとして、今後、「宇宙エネルギー利用システムに関する研究を推進する」必要性が記載された。

さらに、2003年10月7日閣議決定された「エネルギー基本計画」の中で宇宙太陽光利用は長期的視野に立って取り組むことが必要な研究開発課題として位置づけられた。

3.2 NASAの状況 NASAでは2001~2002年度にかけ、1999年~2000年度に行われた検討プロジェクトであるSERT(Space Solar Power Exploratory Research and Technology)プログラムに続き、SCTM(SSP Concept and Technology Maturation)プログラムと称し、システム研究、実現性研究、技術実証に関する検討を継続して実施した。特に、NASAの他にNSF(National Science Foundation:全米科学財団)、EPRI(Electric Power Research Institute:米国電力研究所)が共同で資金を拠出している件が注目すべき点である。SCTMプログラムの成果に関しては、2002年9月にNASAグレンリサーチセンターにおいて発表が行われたが、新規の検討としてレーザーによる伝送技術の検討結果等が紹介された。

また、2002年度以降は有人宇宙探査計画(HEDS)等5大戦略事業に分散させた形で、月・惑星エネルギー伝送、レーザー推進等のSSP(Space Solar Power)関連技術を蓄積する計画となっており、SSPとしての予算が表に出てこない仕組みとなっているが、SSP研究は継続して実施されている。

4. 今後の展望

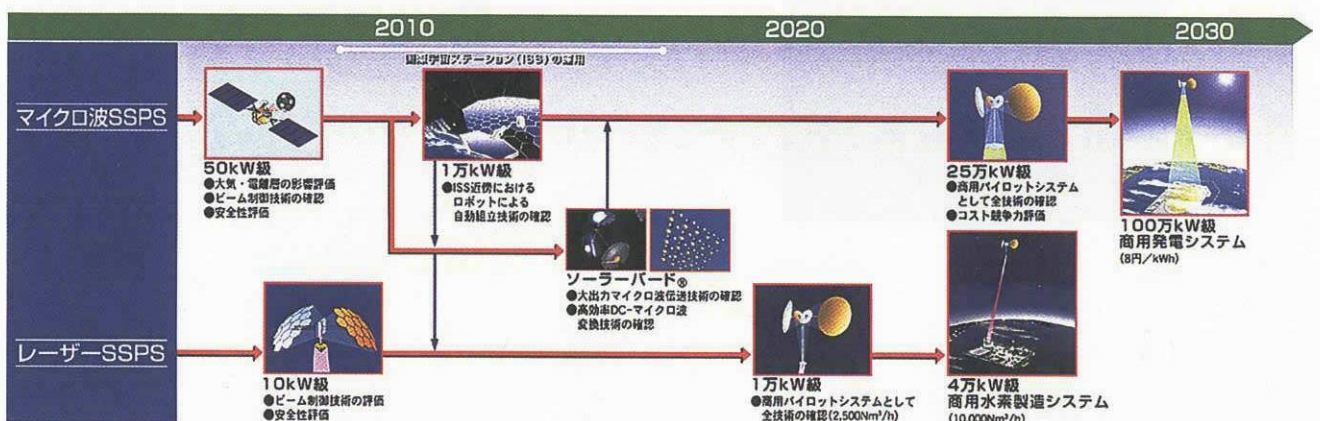
SSPSのような長期的かつ大規模なプロジェクトの実現に向けては、国家レベルでの政策・取り組みが必要不可欠である。その意味で、議員連盟が発足し、国が宇宙エネルギー利用の実現に向けて第一歩を踏み出したことは、今後のSSPS研究の推進を大いに期待させるものである。特に、宇宙太陽光利用に言及したエネルギー基本計画が閣議決定されたことは大変意義深いことである。今後はさらに、国家政策・戦略として宇宙エネルギー利用を位置付けていくことが求められる。

また、研究開発に際しては、産官学およびユーザーが一体となって、我が国の将来を見据えた上で、全日本の活動および体制を整え、重要技術を峻別し、商用化に向けて段階的な実証実験等を行っていく必要がある。特に、複数の関係省庁が連携して研究開発を行っていくことは、効率的な研究推進のためにも極めて重要であろう。このような認識に基づき、JAXAでは経済産業省とも連携を深め、平成17年度の予算要求に反映すべく調整を進めているところである。

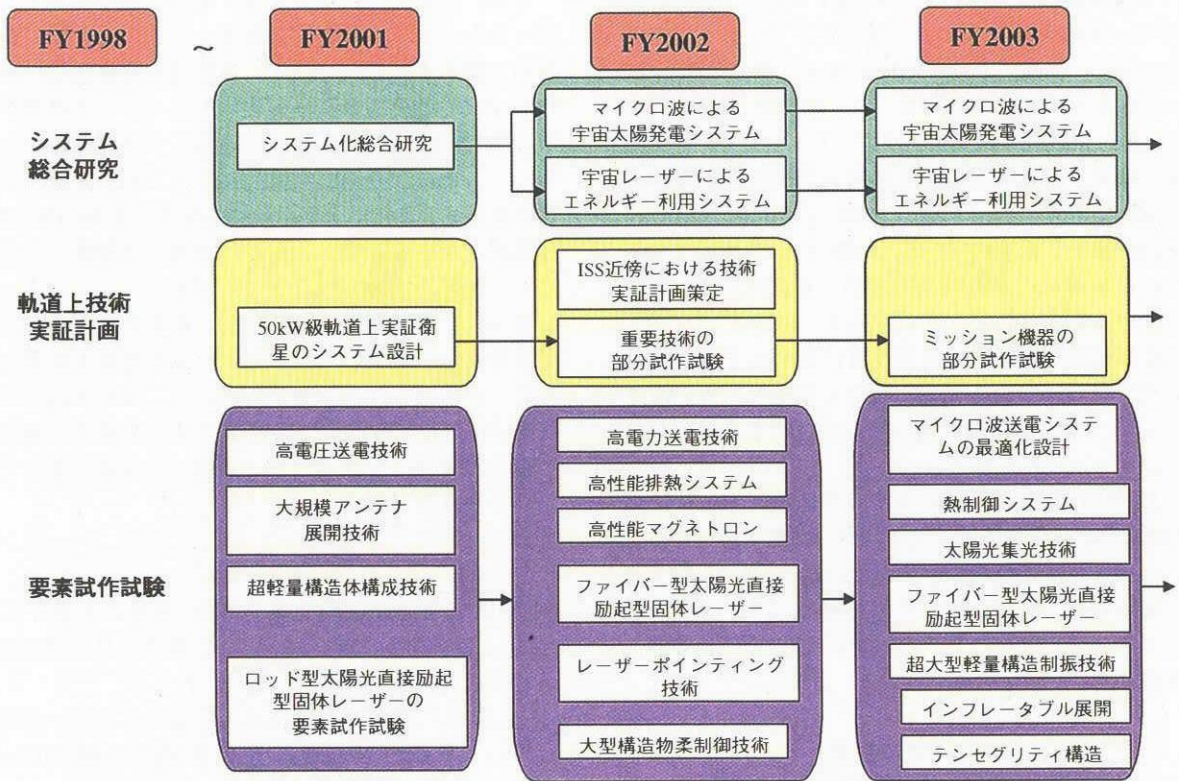
さらに、研究開発を加速度的に推進するためには、宇宙空間から地上へのエネルギー伝送を確実に実証することが求められる。そのためには、技術実証の第一段階に位置付けられる50kW級軌道上技術実証衛星を早期(2009年)に実現させ、社会への認識を深めていくことが重要である。

参考文献

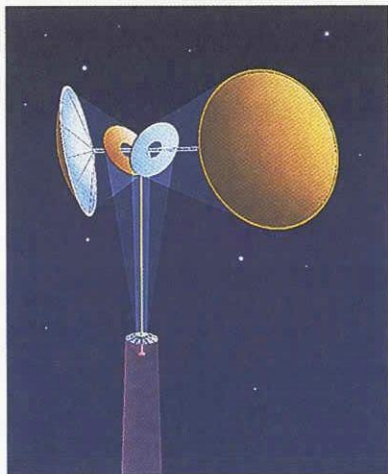
- [1] 平成13年度宇宙開発事業団委託業務成果報告書「宇宙太陽発電システムの研究」,株式会社三菱総合研究所
- [2] 森雅裕, "マイクロ波による宇宙エネルギー利用について", 電子情報通信学会 信学技法, SPS2002-04, pp.17-22, 2002年
- [3] 森雅裕, 斉藤由佳, 長山博幸, 松本紘, "NASDAにおける宇宙エネルギー利用に関する研究状況", 太陽発電衛星研究会, 第5回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム講演要旨集, 2003年
- [4] 森雅裕, 香河英史, 斉藤由佳, 長山博幸 "宇宙エネルギー利用研究の現状と展望", 第47回宇宙科学技術連合講演会講演集, 2003年11月



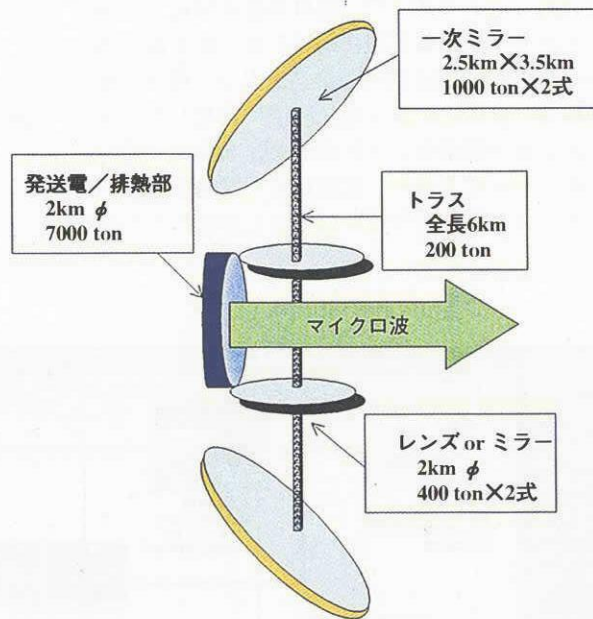
第1図 SSPS技術開発ロードマップ



第2図 JAXAにおけるSSPS研究の流れ



第3図 2001年NASDAリファレンスシステム



第4図 2002年NASDAリファレンスシステム