

JAXA Activities for SSPS Research *

S.Sasaki^{1,2)} and JAXA Advanced Mission Research Group²⁾

¹⁾ The Institute of Space and Astronautical Science (ISAS)

²⁾ Aerospace Research and Development Directorate(ARD)

Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)

¹⁾3-1-1 Yoshinodai, Kanagawa 229-8510

²⁾2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-8505

There are four major research activities associated with Space Solar Power Systems (SSPS) in JAXA as shown in Table 1. The first one is demonstration of wireless power transmission on ground both for microwave and laser. We will demonstrate the beam pointing technologies with kW-level at a range of 50-500 m. For laser, we also make research to establish the sun light-laser (1.06 μm) direct conversion technology for SSPS. The second one is to establish the technologies to construct 100 m scale structures both for a panel 0.1 m thick and a ultra-light mirror structure with a density of 300 g/m^2 . Scale models will be used to demonstrate the construction technologies on ground. The third one is preparation for demonstration experiments of wireless power transmission in orbit. The small scientific satellite now under development in JAXA or JEM on the International Space Station is the possible platform to conduct a kW-level space-to-ground power transmission experiment. The fourth is to develop a realistic technology roadmap towards the commercial SSPS in 2030's, considering technical feasibilities. Following the roadmap, SSPS requirements to future space transportation systems are now under investigation.

Table 1. JAXA SSPS research fields and subjects.

Research fields	Research subjects
Ground demonstration for wireless power transmission	Precise microwave beam pointing
	Direct laser generation from sunlight
	Precise laser beam pointing
Ground demonstration for construction of large space structure	Deployment of plate structure typically 0.1 m thick
	Deployment of ultra-light mirror structure typically 300 g/m^2
Preparation for space demonstration experiment	Microwave power transmission experiment on a small satellite
	Laser power transmission experiment on JEM/ISS
SSPS system study	Technical roadmap for SSPS research and development
	Space transportation system for SSPS

* Presented at the Fourteenth SPS Symposium, 13-14 October, 2011

JAXA の SSPS 研究開発状況

佐々木進*、**、高度ミッション研究グループ**

宇宙航空研究開発機構

*宇宙科学研究所 〒229-8510 相模原市由野台 3-1-1

**研究開発本部 〒305-8505 つくば市千現 2-1-1

sasaki@isas.jaxa.jp

JAXA では、SSPS の中枢課題である無線送電（マイクロ波、レーザー）技術の地上実証、大型構造構築技術の地上実証、近未来の軌道上実証の準備、及び実用 SSPS に向けた SSPS システムの検討、の 4 本柱を軸として研究を進めており、その研究状況と課題について述べる。

1. 研究課題と体制

JAXA の現在の研究の位置づけを図 1 に示す。前中期までに（2007 年までに）行われたシステムの概念検討を受け、無線送電技術と大型構造物技術の 2 つの中枢技術について地上での本格的な実証的研究を実施している。また地上での実証後は早い段階で無線送電技術の軌道上実証に入ることを目指してその準備を行っている。平行して実用に至るまでの技術ロードマップの策定と必要な輸送系の検討を行っている。表 1 に研究項目とその具体的な目標をまとめた。図 2 に研究体制を示した。

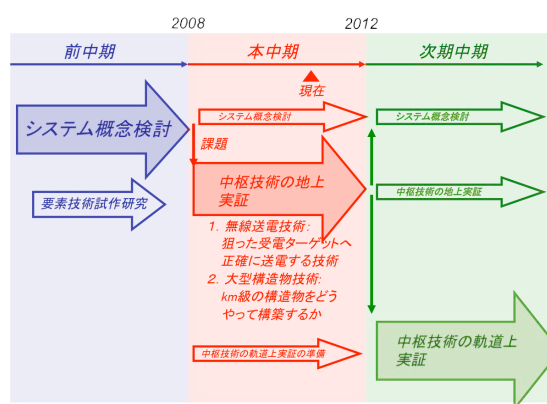


図 1 JAXA の現在の研究の位置づけ

表 1 JAXA の研究課題と目標

区分	分野	項目	具体的な目標
中枢技術の地上実証	マイクロ波送電技術	マイクロ波ビーム制御技術	制御精度 0.5 度以内
	レーザー送電技術	高効率送電技術	太陽光直接励起効率 20%以上 受電効率 20%以上
		レーザービーム制御技術	制御精度 10μ ラジアン以内
	大型構造物技術	厚みのあるパネル展開	100m サイズの展開の部分実証
		薄膜反射鏡の展開	100m サイズの展開の部分実証 反射鏡光学性能評価
耐宇宙環境性	高電圧・高出力マイクロ波のプラズマ干渉	電圧 15KV、 電力密度 1500W/m ²	
中枢技術の軌道上実証の準備	無線送電技術	マイクロ波送電技術実証	kW クラス、小型衛星での実験計画策定
		レーザー送電技術実証	kW～数十 W クラス、JEM での実験計画策定
システム検討	開発計画	SSPS 実現に至るロードマップの検討	各分野の専門家との協働による詳細技術ロードマップの策定
	宇宙輸送	SSPS 構築に必要な宇宙輸送機の検討	宇宙輸送の専門家との協働による開発ロードマップの策定

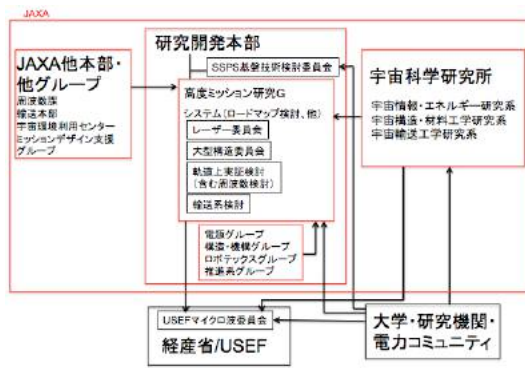


図2 JAXAの研究体制



図3 地上のマイクロ波送電実験の構想。約1.6kWのマイクロ波ビームを50m先の受電パネルに送電する。

2. 研究内容

2. 1 無線送電技術の地上実証

マイクロ波送電については、約1.6kWの電力を50m離れた受電ターゲットに0.5度の制御精度で送電を行うこと（図3）、レーザー送電については約1kWの電力を500m離れた受電ターゲットに10マイクロラジアン程度の制御精度で送電を行うこと（図4）、太陽光直接励起レーザーについては20%以上の効率で発振させること、大型構造については100m級のパネル及び反射ミラーの展開構築を可能とする技術の地上での部分実証（反射ミラーについては光学性能実証を含む）を目指して研究を進めている。太陽光直接励起については課題があるが、他の項目についてはほぼ予定通り研究開発が進行中である。

2. 2 軌道上実証実験の準備

これらの地上実証実験を次期中期（2013年からスタート）の早い段階で完了し、その後直ちに小規模な軌道上実証実験を行うことが当面の目標である。初期の軌道実証のテーマとしては、現在技術的な研究が先行しているマイクロ波送電をその候補として提案している。小型科学衛星を用いた場合のkW級マイクロ波送電実験の検討例を図5に示す。本実験により、マイクロ波ビームの長距離（数百km）での制御実証、電離層通過実証が行われる。レーザー送電については、国際宇宙ステーションJEMを利用したkW級～数十W級の電力伝送実験について技術的可能性を検討している。



図4 地上のレーザー送電実験。約1kWのレーザービームを500m先の受電パネルに送電する。

2. 3 技術開発ロードマップの検討

小型の宇宙実証から先の開発研究についてはまだ研究者レベルの提案であるが、概ね以下のような構想を描いている。小型の実証実験が終了後、地上での研究結果も合わせて、無線送電の方式としてマイクロ波を採用するかレーザーを採用するかを判断を行う。その後選択された方式で100kW級の本格的な軌道上実証を2020年頃に行う。これにより



図5 小型衛星を利用したマイクロ波送電実験の構想。

SSPS の電力システムとしての end/end の実証が行われシステムとしての評価が定まる。SSPS が実用的なものだという技術的・社会的評価が固まれば、その後 2020 年代に MW 級から数百 MW 級のプラント実証を行い、2030 年代の実用化が可能となる。

2. 4 宇宙輸送系の検討

上述のロードマップを実現するためには、そのための新輸送系の開発が前提となる。SSPS を実現するための新輸送系の開発ロードマップは SSPS コミュニティと宇宙輸送系コミュニティが協力して作りあげていく必要があり、そのための予備的な作業が開始されたところである。表 2 は SSPS 側から想定した輸送系に対する要求である。これによれば、2020 年度ころまでに予定している小型、大型実証は既存の使い捨てロケットで実現できるが、2025 年頃を目指した小型プラント実証からはペイロード 10 トン級の再使用型の新輸送系が必要である。更に 2030 年頃を目指した大型プラント実証には 50 トン級の再使用型の新輸送系だけでなく、50 トン級の軌道間輸送機が必要である。

表 2 SSPS 開発ロードマップを実現するために必要な宇宙輸送系とその時期。

フェーズ	小型実証	大型実証	小型プラント実証	大型プラント実証	商用初号機	商用
実施時期	2015年頃	2020年頃	2025年頃	2030年頃	2035年頃	2035年以降
軌道	低軌道	低軌道	1000km	静止衛星軌道	静止衛星軌道	静止衛星軌道
電力規模	数kW	100kW	2MW	200MW	1GW	1GW
実証項目	400kmビーム制御 大気・電離層通電実証	End-End 実証(地上受電)	MW級プラント 実証(地上配電)	100MW級プラント 実証	1号機フルスケール 実証	
総重量	500kg	15トン	50トン	4000トン	20000トン	20000トン
建設期間	NA	NA	1年	3年	5年	1年
ペイロード重量	500kg	15トン	10トン	50トン	50トン	50トン
地上から低軌道の輸送系	小型ロケット(ELV) 500kg、低高度	大型ロケット(ELV) 15トン、低高度	再使用型(RLV) 1機5回往還 10トン、1000km 2.4ヶ月に1回打上	再使用型(RLV) 50トン、500km 4機各160回往還 1週間に1回打上	再使用型(RLV) 50トン、500km 8機各640回往還 3日に1回打上	再使用型(RLV) 50トン、500km 28機各640回往還 毎日2回打上
軌道間輸送機(OTV)	NA	NA	NA	50トン(燃料30トン) 往復6ヶ月 17機各6回往還	50トン(燃料30トン) 往復6ヶ月 40機各10回往還	50トン(燃料30トン) 往復6ヶ月 200機各2回往還



イブシロンロケット



H-II ロケット



再使用ロケット



軌道間輸送機(イメージ図)

3. おわりに

地上での無線送電技術の実証は現在進行中であるが、一部を除きほぼ目処が立った状況である。SSPS は核融合と異なり科学としての原理検証は完了しているが、軌道上実証を実施しない限り技術としての原理検証を終えたことにはならない。できるだけ早い段階で軌道上実証のプロジェクトをスタートさせるべき段階に既に到達している。国際的にも NASA をはじめ軌道上実証への具体的な動きが胎動しはじめている。大学、研究機関、関係メーカーとの all Japan の体制で臨めば、数年中に SSPS 軌道上プロジェクトを世界に先駆けてスタートすることが可能な状況であり、JAXA はその一翼を担うことを目指している。