

[招待論文] JAXA における宇宙エネルギー利用システム (SSPS) 研究の現状

藤田辰人、鈴木拓明、吉田裕之、瀬在俊浩、木皿且人、久田安正、福室康行、森雅裕

宇宙航空研究開発機構 〒152-8522 東京都調布市深大寺東町 7-44-1

E-mail: {fujita.tatsuhito, suzuki.hiroaki, yoshida.hiroyuki, sezai.toshihiro, kisara.katsuto, hisada.yasumasa, fukumuro.yasuyuki, mori.masahiro}@jaxa.jp

あらまし 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) では、委員会/ワーキンググループ形式によりマイクロ波方式宇宙エネルギー利用システム (SSPS: Space Solar Power Systems) およびレーザー方式 SSPS に関するシステム総合研究を 1998 年度より実施している。JAXA が実施している SSPS の研究内容は、3 つに分類して、システム総合研究、技術実証、要素試作試験から構成される。本稿では、2007 年度における SSPS の研究実績の概要を示す。

キーワード 宇宙エネルギー利用システム (SSPS)、マイクロ波方式、エネルギー伝送実験

Status of Studies on Space Solar Power Systems (SSPS) in JAXA

Tatsuhito FUJITA Hiroaki SUZUKI Hiroyuki YOSHIDA Toshihiro SEZAI Katsuto KISARA

Yasumasa HISADA Yasuyuki FUKUMURO and Masahiro MORI

Japan Aerospace Exploration Agency 7-44-1 Jindaijihigashi-cho, Chofu-shi, Tokyo-to, 152-8522 Japan

E-mail: {fujita.tatsuhito, suzuki.hiroaki, yoshida.hiroyuki, sezai.toshihiro, kisara.katsuto, hisada.yasumasa, fukumuro.yasuyuki, mori.masahiro}@jaxa.jp

Abstract Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) has been conducting studies on Space Solar Power Systems (SSPS) using microwave and laser beams for years since FY1998 organizing a special committee and working groups. Current SSPS study undertaken by JAXA consists of three main subjects, SSPS concepts and architectures study, technology flight demonstration and major technology development. This paper presents the results of these study effort in 2007.

Keyword Space Solar Power Systems (SSPS), microwave based SSPS, test of transmitting energy

1. 宇宙エネルギー利用システム研究概要

1.1. 技術開発ロードマップ

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。宇宙航空研究開発機構 (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、1GW 級マイクロ波方式 SSPS 及びレーザー方式 SSPS の研究開発を実施している。

1.2. 研究の流れ

JAXA では 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軌道上技術実証衛星に関する検討や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。2005 年からは、マイクロ波やレーザーの無線電力伝送実験の準備を進めている

2. システム総合研究

1998 年度より「マイクロ波による宇宙エネルギー利用システム (M-SSPS) 検討委員会」(座長: 松本紘京大副学長) およびワーキング・グループ (WG) を設置しているが、2002 年度より新たに「レーザーによる宇宙エネルギー利用システム (L-SSPS) 検討委員会」(座長: 中井貞雄 阪大名誉教授) を立ち上げた。現在は、両委員会および 12 の WG に産官学より 180 名を超える研究者が参加し、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。

2.1. M-SSPS システム検討内容

2.1.1. 2004 年度型 M-SSPS 基準モデル

JAXA では、M-SSPS に関して、これまでに種々のシステム概念について検討を行ってきた。2004 年度からは発電部を分離した方式を中心に検討を行った。図 1 に 2004 年度型 M-SSPS 基準モデルを示す。

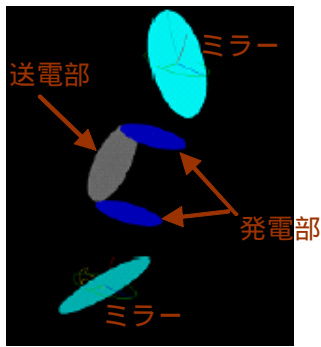


図 1 2004 年度型 M-SSPS 基準モデル

< システム概要 >

- ・ ミラー（反射鏡）：2.5km × 3.5km。
1,000ton × 2 式
- ・ 発電部：直径 1.7 ~ 2km (TBD)
- ・ 送電部：直径 1.8km ~ 2.5km (TBD)
- ・ 総重量：10,000ton 以下

2.1.2. 2007 年度の M-SSPS 検討内容

2007 年度は、2004 年度型 M-SSPS モデルについて、以下の観点から、実現性の検討を行った。

- ・ 半導体デバイスを用いた場合の送電系全体仕様の設定
- ・ アンテナ素子レベルの仕様検討
- ・ レクテナ仕様とパラメータの設定検討
- ・ 送電系への配電ケーブルの重量の検討 等

以下に主な検討結果を示す。

半導体デバイスを用いた場合の送電系全体仕様の設定

2007 年度は、M-SSPS の送電部について、増幅器として半導体デバイスを用いた場合の詳細パラメータの

設定を行った。M-SSPS のマイクロ波送電システムは、ビーム方向制御を行うため、フェーズドアレイアンテナの使用を想定している。アンテナはモジュール構造として、分割して軌道の上に輸送し、組み立てられるように考えた。表 1 に送電系の全体パラメータと図 2 にアンテナのモジュール構造イメージを示す。

表 1 送電系全体パラメータ

- ・ モジュール形状 六角形 (8m) 41.57m²
- ・ アンテナ配列 三角配列
d = 0.04m (0.77)
- ・ モジュールあたりのアンテナ数 29,701 個
- ・ モジュール重量 49.42kg (アンテナ+MW のみ)
- ・ モジュール数 70,375 個
- ・ 送電アレー直径 1.93km
- ・ アンテナ数 2,090,207,875 本
- ・ 送電アレー振幅テーパ 10dB Gaussian
- アンテナ中心から端まで約 20 段階で出力が減少していくモジュールを同心円状に配置
- ・ 周波数 5.8GHzCWN0N (無変調連続波)

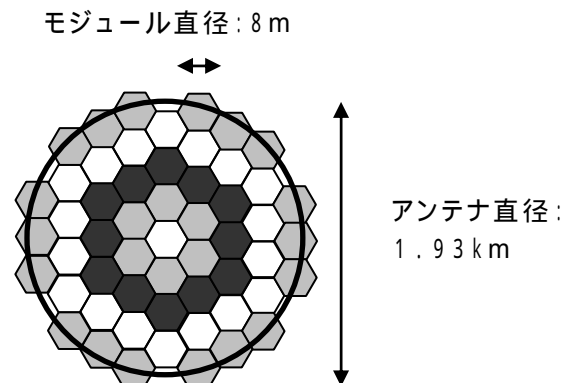
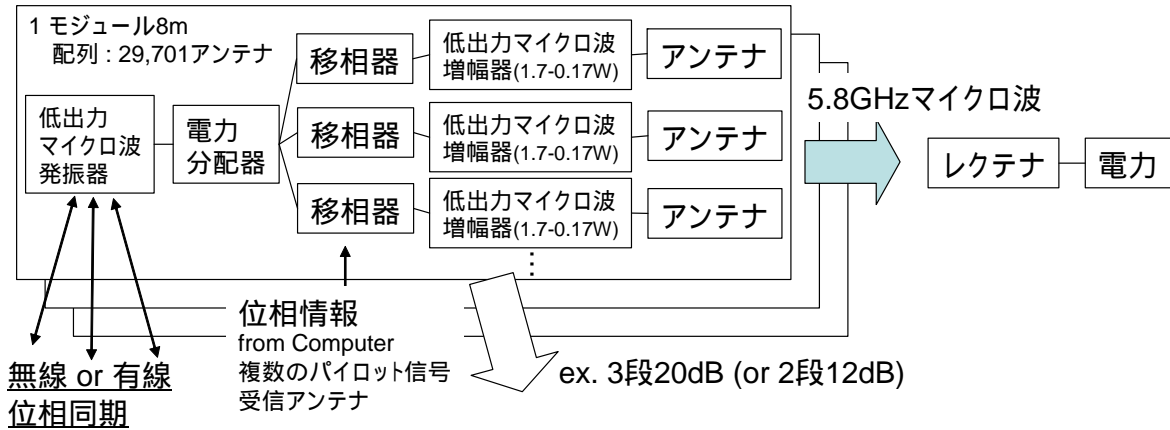


図 2 送電アンテナのモジュール構造イメージ

上記の全体パラメータを持つ M-SSPS モジュール構造マイクロ波送電システムを薄型半導体増幅器で構成されたフェーズドアレーで実現すると図 3 のような構成が考えられる。



現状	発振器出力 8W	電力分配数 100	移相器出力 損失6dB, 20mW	アンプ出力2W (3段20dB, 60%)	アンテナ合成 1.8W
×297セット	電源系 10V, -5V		Digital nbits 数V × n(×2) 消費電力あり	電源系 (10V, -5V) × 3	
将来	発振器出力 <300mW	電力分配数 100	移相器(MEMS)出力 損失<1dB, 2mW	アンプ出力2W (3段30dB, 90%)	アンテナ合成 1.8W
×297セット	電源系 10V, -5V		Digital nbits 数十V × n(×2) 消費電力ほぼなし	電源系 (10V, -5V) × 2 +(50V, -25V) × 1	

図3 M-SSPS送電系 機器構成イメージ

2.2. L-SSPS システム検討内容

図4にL-SSPSシステム基準モデル、表2に単位システム、全体システムの概要を示す。2007年度は、以下の検討を実施した。

- ・ レーザーモジュール、1次光学系、ラジエータの形状、重量等の仕様検討
- ・ レーザー媒質排熱方式に関する検討 等

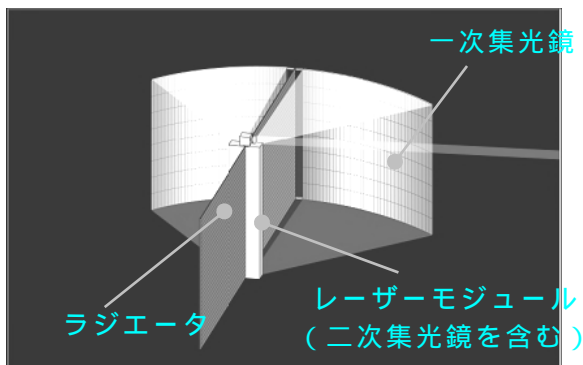


図4 L-SSPSシステム基準モデル

表2 単位システム、全体システムの概要

単位システム

- ・ レーザー出力：10MW
- ・ レーザー波長：1.06μm
- ・ 一次集光鏡：縦 100～120m × 横 200m × 2枚
- ・ ラジエータ：縦 100～120m × 横 100m × 2枚
- ・ レーザーモジュール：縦 100m
- ・ 総重量：50ton 以下

全体システム

- ・ レーザー出力：10MW × 100機=1GW
- ・ レーザー波長：1.06μm
- ・ システムサイズ：400m (集光鏡方向)
200m (ラジエータ方向)
10～12km (接続方向)
- ・ 総重量：50ton 以下 × 100機=5,000ton 以下

2.3. 共通課題の検討内容

L-SSPS, M-SSPS に共通する課題については、以下の検討を実施した。

ロボット・構造技術

- ・ 構造様式、組立方式の検討

輸送系技術

- ・ バイロードインタフェース条件を満たす再利用型輸送系の検討

環境・安全性の調査、検討

- ・ レーザー実験におけるハザード解析

経済性の調査、検討

- ・ L-SSPS コストモデルの整理

3. 地上エネルギー伝送実験

JAXA では、2005 年度からマイクロ波、レーザーの地上エネルギー伝送実験の準備を進めてきた。この実験の目的は、初期の技術確認を行い、現時点で判明しうる技術的課題を抽出することである。2007 年度は、レーザーの地上エネルギー伝送実験を行い、低出力での長距離伝送実験を実施した。

3.1. レーザー地上エネルギー伝送実験

図 5 にレーザー地上エネルギー伝送実験の全体システム仕様を示す。

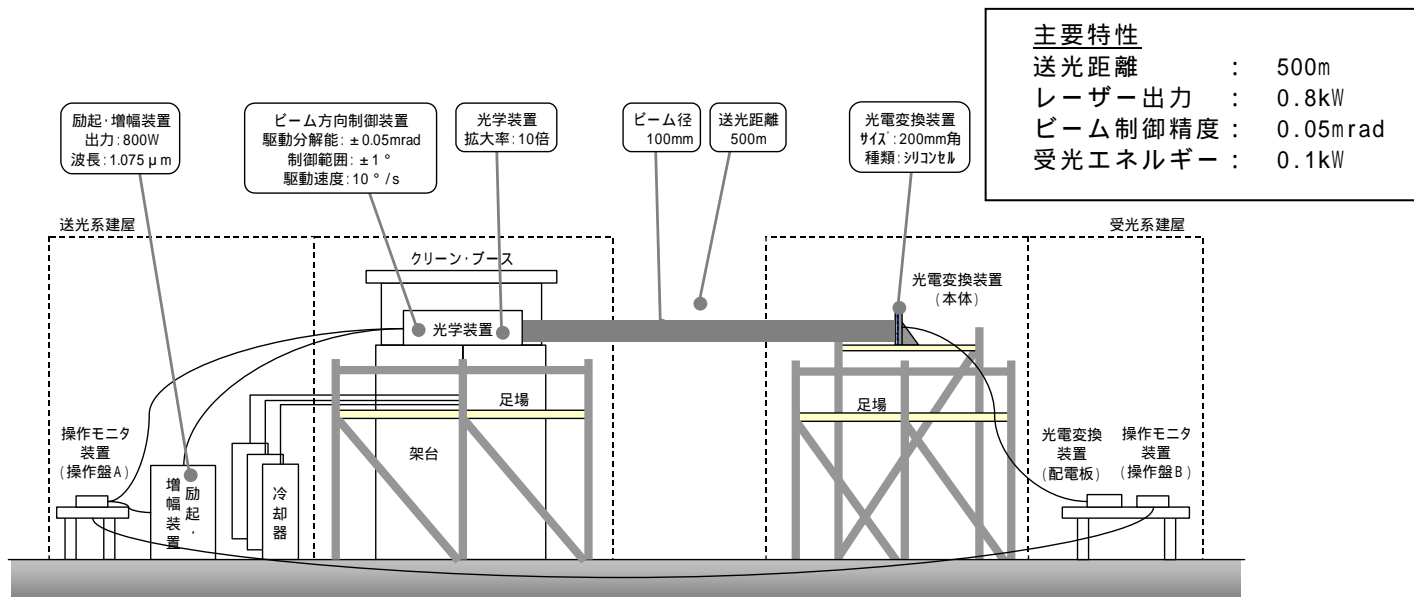


図 5 レーザー地上エネルギー伝送実験の全体システム仕様

図 6 に 8 W で長距離エネルギー伝送した時の受光側のレーザービームのパターンの変化を示した。この図から、時間経過でビームパターンが変化していることがわかる。このような状況から、いかに安定的に電力を取り出すかが、今後の課題である。

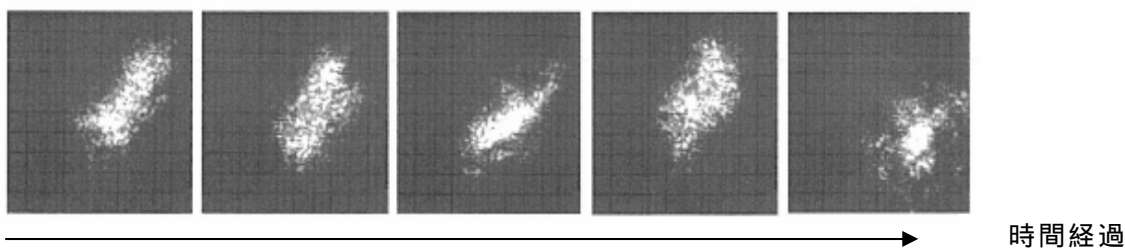


図 6 ビームパターンの時間経過

4. 今後の計画

2008 年度から始まる 5 カ年の次期中期計画において、SSPS の研究は、エネルギー伝送技術の研究を中心に、エネルギー伝送実験、要素試作試験等を行う予定である。

文 献

- [1] 平成 15 年度宇宙航空研究開発機構委託業務成果報告書「宇宙エネルギー利用システム総合研究」, 株式会社三菱総合研究所
- [2] 平成 16 年度宇宙航空研究開発機構委託業務成果報告書「宇宙エネルギー利用システム総合研究」, 株式会社三菱総合研究所

[3] 森雅裕, 香河英史, 斉藤由佳, 長山博幸 "JAXA における宇宙エネルギー利用システムの研究状況", 第 7 回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム講演要旨集, 平成 16 年 9 月

[4] 平成 17 年度宇宙航空研究開発機構委託業務成果報告書「宇宙エネルギー利用システム総合研究」, 株式会社三菱総合研究所

[5] 平成 18 年度宇宙航空研究開発機構委託業務成果報告書「宇宙エネルギー利用システム総合研究」, 株式会社三菱総合研究所