

# 「きぼう」を利用した SSPS 技術実証実験の構想

上野 浩史<sup>†</sup> 松枝 達夫<sup>†</sup>

†宇宙航空研究開発機構 〒305-8505 茨城県つくば市千現 2 丁目 1 番 1

E-mail: †ueno.hiroshi@jaxa.jp, †matsueda.tatsuo@jaxa.jp

**あらまし** 宇宙太陽発電システム (Space Solar Power Systems, 以下 SSPS) は二酸化炭素発生を抑制できるクリーンなエネルギーとして注目されている。本報告では, SSPS を段階的に構築するために必要となるエネルギー伝送等の軌道上実証について, 「きぼう」の特徴を活かした SSPS 技術実証実験の構想例を報告するものである。

**キーワード** 宇宙太陽発電, きぼう, エネルギー伝送, 技術実証

## Concept Study of SSPS Technology Demonstration on Kibo

Hiroshi UENO<sup>†</sup> Tatsuo MATSUEDA<sup>†</sup>

†Japan Aerospace Exploration Agency 2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki, 305-8505 Japan

E-mail: †ueno.hiroshi@jaxa.jp, †matsueda.tatsuo@jaxa.jp

**Abstract** Space Solar Power System (SSPS) is one of attractive future energy station due to the suppression of the carbon dioxides generation. In this paper, the concept study of SSPS technology demonstration using Kibo on International Space Station has been reported.

**Keyword** SSPS, Kibo, Energy Transmission, Technology Demonstration

### 1. はじめに

宇宙太陽発電システム (Space Solar Power Systems, 以下 SSPS) は化石燃料を必要としないため, 二酸化炭素発生を抑制できるクリーンなエネルギーとして注目されている。SSPS は, 風力発電や地上太陽光発電と比較しても, 地政学的な影響を受けず, 天候に左右されずに, 安定的でクリーンなエネルギーを利用可能である。

2009 年 6 月, 政府により決定された宇宙基本計画により, 実現に必要な技術の研究開発を進め, 地上における再生可能なエネルギー開発の進捗と比較しつつ, 10 年程度を目途に実用化に向けた見通し付けを目標とすることになった。関係機関が連携し総合的な観点から SSPS システム検討を実施し, エネルギー伝送技術について地上技術実証を進めることが記述されている。また, 3 年程度を目途に, 大気圏での影響やシステムの確認を行うため, 「きぼう」や小型衛星を活用した軌道上実証に着手することも記述されている。

本報告では, SSPS のエネルギー伝送に係わる軌道上実証について, 「きぼう」の特徴を活かした技術実証の構想例を報告するものである。

### 2. 「きぼう」の特徴

2009 年 7 月, 若田宇宙飛行士がロボットアームを用いて船外実験プラットフォームを取り付けたことにより「きぼう」は完成し, 本格的な船外実験ができる環

境が整った (図 1 参照)。「きぼう」を用いて SSPS の技術実証を実施する場合, 以下のような船外実験プラットフォームの特徴がある。



図 1 船外実験プラットフォームの完成 (NASA 提供)

「きぼう」の船外実験プラットフォームは国際宇宙ステーション (International Space Station, ISS) の主要要素であるため, ISS の特徴を継承している。従って, 電源, 通信, 排熱等の安定したリソースを実験装置に提供することができる。また, 計画的な軌道維持や姿勢変更, 安定した姿勢制御を常時実施しているため, 実験機会を計画的に確保しやすい。一方, ISS の周回

軌道が高度約 400km の地球低軌道であるため、地上の固定局と軌道上の ISS との間に幾何的制約があり、実験機会および実験時間が限られる。地上局が赤道付近にある場合には、仰角 60 度以上の範囲の上空を ISS が通過するのは、1 週間に 2 回程度であり、また、1 回の実験時間（上空通過時間）は約 1 分間である。

船外実験プラットフォームに取り付けられる実験装置は、打ち上げ時には、図 2 に示すように直方体の箱側形状(1.8m(L) x 0.8m(W) x 1.0m(H))に制約される。しかしながら、軌道上では、システム機器や他の実験装置の視野等に干渉しない範囲で、アンテナ等の展開構造を有することができる。また、実験装置の標準重量は 500kg 以下であり、大きく逸脱することはできない。

有人施設であるため、アンテナ展開状況や機器の駆動状態のビデオ確認等、クレーンによる実験支援が受けられる。一方で、展開したアンテナが他のシステムとの干渉を防止するため、アンテナを収納できる機能が必要となる等の安全上の要求事項が追加される。

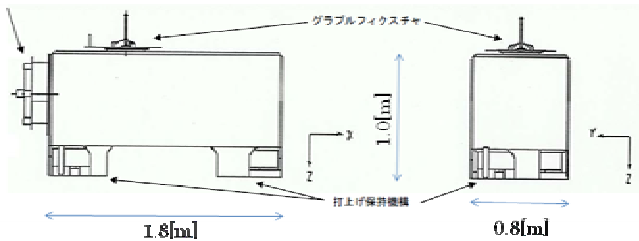


図 2 船外実験プラットフォーム用標準実験装置

### 3. 軌道上による技術実証

軌道上での技術実証を実施する意義は、地上では実証できない、あるいは、困難である要素技術やシステム技術を、実際に使用される環境と同じ軌道上にて実証したり、データ取得することにより、商用フェーズや実証プラントフェーズにおける技術の確立 (Technology Readiness Level (TRL) の向上) を認めることである。

一方で、軌道上での実証実験は、一般には、社会の関心や資金規模においても地上試験を凌駕するため、全体開発スケジュールにおけるマイルストーンであったり、次ステップへの見極めの判断になる場合もある。

技術実証の内容は、本来、SSPS の全体開発のロードマップから実証すべき課題が識別され、それに基づき、技術実証計画が策定される。しかしながら、すでに「きぼう」のように、実験環境が整備されている場合には、これらの制約の中で実証できる範囲を見極める検討を実施することも有意義であると考えられる。今回の報告では、後者の立場に立って、また、「きぼう」利用を推進

する観点から検討を実施した。

上記のアプローチの中で、以下の項目を実証候補として取り上げ検討を実施した。ただし、SSPS の実現のためには、大型構造物のロボット組立て技術等、軌道上実証が必要な項目は他にもあるため、今後これらについても検討が必要になる。

- マイクロ波によるエネルギー伝送技術
- レーザ光によるエネルギー伝送技術

#### 3.1. マイクロ波によるエネルギー伝送実験

マイクロ波によるエネルギー伝送実験の実証項目の候補は以下の項目である。

- ビーム方向制御実証
- 電離層通過実証
- エネルギーの伝送デモ

マイクロ波によるエネルギー伝送実験の概念は、「きぼう」の船外実験プラットフォームにおいて展開したアンテナから地上局への伝送実験を試みるものである。

ビーム方向制御実証のために、レトロディレクティブ方式により、地上からパイロット信号を発信し、その電波飛来方向を軌道上アンテナにて検知して、マイクロ波ビームを地上に向けて発信する。軌道上からのマイクロ波ビームが地上にて受電でき、受電パターンが予測どうりかを確認する。SSPS を構成するフェーズドアレイアンテナによるビームの形成および方向制御は、これまでの研究で原理実証がなされている。軌道上から地上までの距離（約 400km）は地上では実施困難な距離であるため、小規模ながらも実用に向けた一段階として意味があると考えられる。

電離層の通過実証では、商用段階と同等な電力密度を、電離層の中でも最もプラズマの影響を受けやすい F2 層に対して照射し、プラズマを観測することにより、電離層への影響を評価する。電離層通過実験は、軌道上でのみ実施可能な項目である。

技術実証項目にエネルギー伝送のデモを含める場合には、技術実証システムの規模が必要になる。後述するように、アンテナ径を拡大するだけでなく、より高周波の伝送周波数を用いる必要がある。

以下に示す構想案では、ミッション要求を明確にするために、きぼうの有する機能・制約の観点から、検討を実施したものである。

EMC の観点では、ISS には図 3 に示すような電波放射の限界基準値の規定がある。5.8G[Hz]帯での電波強度の最大値は 1.8[mV/m]である。想定されるマイクロ波の電波放射強度は送電アンテナの電波照射面の表面の中心ピーク値では 750[V/m]である（図 4 参照）。本ピーク値は限界基準値を大きく逸脱するが、送電アン

テナ面は地心方向であり，ISS には向かないので，問題ない．一方，送電アンテナ電波照射面の裏側方向には ISS がある．ISS が視野に入る方向に対して，ピーク値の-120[dB]以下に電波強度を抑制できれば，基準を満足できる．

送電アンテナの視野の観点では，送電アンテナには，図 5 に示すように，地心方向に対して 30[deg]の視野を確保する必要がある．船外実験プラットフォームを横方向から見た外観図を図 6 に示す．実験装置の下面は，ISS 全体から見ても最下面となるため，送電アンテナパネルを実験装置の下面付近に設ければ，ISS の固定構造物で視野妨害するものはない．また，図 7 に示すように太陽電池パドルが干渉するが，本干渉は太陽電池パドルが特殊な位置にいる場合にのみ起こる事象なので，実験運用のタイミングを適切に選択することにより十分回避することができると思われる．



図 6 船外実験装置の側面方向からの鳥瞰図



図 7 実験装置から見た地心方向の視野

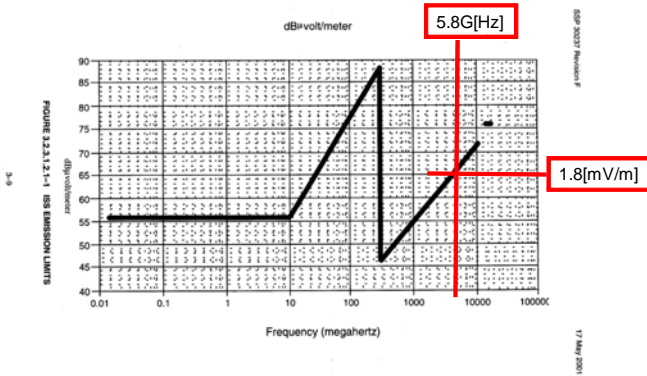


図 3 ISS における電波放射の基準値

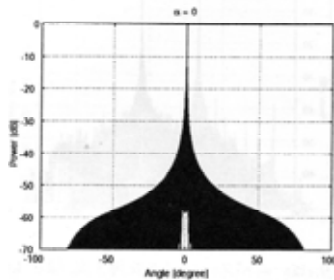


図 4 アンテナパターンと放射強度のピーク値 (1500W/m<sup>2</sup>, 750V/m)

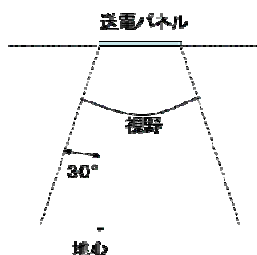


図 5 送電パネルアンテナの視野要求

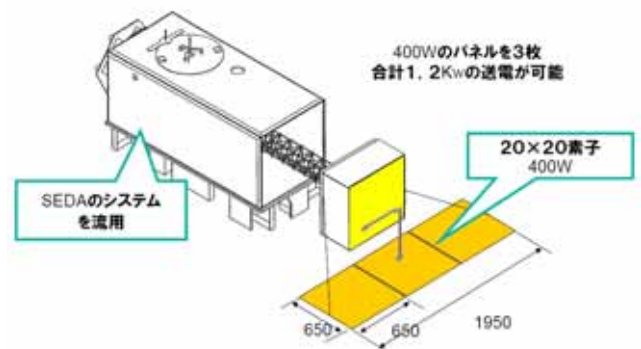


図 8 マイクロ波伝送の実験装置の構想例 1

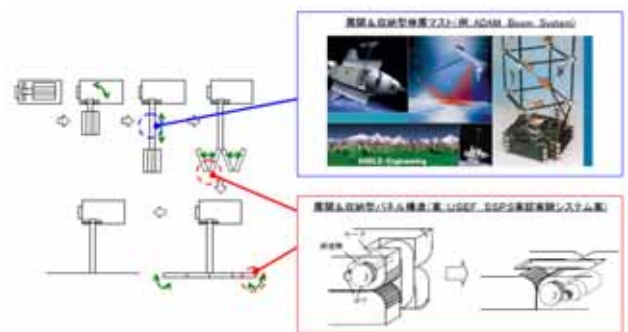


図 9 マイクロ波伝送の実験装置の構想例 2

表 2 マイクロ波実験のマイクロ波主要仕様

主要仕様		
送電周波数	5.8 (24)	GHz
送電規模	1.2 ~ (20)	kw
送電アンテナ形状	0.65 x 2.0 ~ (4.0 x 4.0)	m x m
送電強度	100 ~ 1500	W/m <sup>2</sup>
ビーム幅	1.3 (0.16)	deg



表3 マイクロ波による伝送の実験装置の重量配分

重量配分例	5.8G	24G	
電装品	160	990	kg
電源(バッテリー)	40	130	kg
展開構造	60	340	kg
バス機器	40	40	kg
合計	0.30	1.5	ton

図8, 図9にマイクロ波伝送による実験装置の構想例を示す。いずれの方式においても, ビーム方向制御および電離装置通過実証を実施することができる。エネルギー伝送を実施するためには, アンテナ径を拡張し, 地上でのビームの広がりを抑えるため伝送周波数を24[GHz]に上げなければ, 成立の目途がない。表2は, 伝送周波数の相違による, マイクロ波の主要仕様の違いを示したものである。また, 表3にはそれぞれの場合の重量配分を示す。

### 3.2. レーザ光によるエネルギー伝送実験

レーザー光によるエネルギー伝送実験の実証項目の候補は以下の項目である。

- ビーム方向制御実証
- 大気の影響評価
- エネルギーの伝送デモ

レーザー光によるエネルギー伝送実験の概念は, 「きぼう」の船外実験プラットフォームの実験装置から地上局へレーザービームを送電し, 伝送実験を試みるものである。

ビーム制御実験のために, 地上からガイド光を発光し, そのガイド光の飛来方向に対して, レーザビームを発光し, レーザ光が地上で予測通り受電できるかどうかを確認する。軌道上から地上までの距離(約400km)は地上では実施困難な距離であり, 商用フェーズと同じ大気層を通過するため, 小規模ながらも実用に向けた一段階として重要な実証になると考える。

大気の影響評価では, 地上でのビームのパターンの変形・位置ずれを計測し, その影響を把握する。また, 位置ずれしたビームの補正方法に関する評価実験も実施する。

レーザー光によるエネルギー伝送は, ビームの広がりマイクロ波と比較して少ないため, 比較的小規模の地上局であってもエネルギーを受電できる。従って, 標準実験装置の範囲であっても, エネルギー伝送のデモンストレーションを実施することが期待できる。

図10に実験システムの構想図を, 図11に実験装置の構想例をそれぞれ示す。

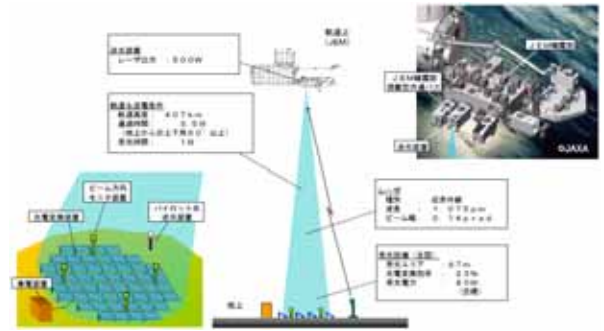


図10 レーザ光によるエネルギー伝送実験の構想図

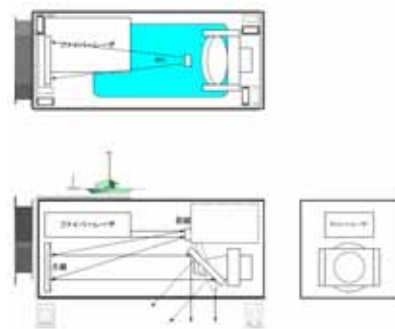


図11 レーザ伝送実験の実験装置の構想例

## 4. まとめ

本報告では, 「きぼう」を利用したSSPSの技術実証実験の構想例を示した。技術実証の内容は, 本来, SSPSの全体開発のロードマップから実証すべき課題が識別され, 技術実証計画が策定されるべきである。しかしながら, すでに「きぼう」のように, 環境が整備されている場合には, これらの制約の中で実証可能な範囲を検討することも有意義であると考えた。今回の報告では, 「きぼう」の利用推進も視野に入れ, 後者の方法にて検討を実施した。今後, 前者のトップダウンのフローと, 後者のボトムアップのアプローチの繰り返し検討により, 効率的に実施すべき軌道上実証の姿が浮き彫りになってくると考える。

## 文 献

- [1] 宇宙開発戦略本部, “宇宙基本計画”H21年6月2日
- [2] 上野他, “「きぼう」で獲得した有人宇宙活動支援技術～ロボティクスによる軌道上組立～”, 第53回宇宙科学技術連合講演会, September, 2009, 京都
- [3] 土井井他, “宇宙太陽光利用システム(SSPS)の大型構造物組立技術の検討状況”, 第28回無線電力送電研究専門委員会, 2010年1月, 東京