

# Status of Studies on Large Structure Assembly of Space Solar Power Systems (SSPS)\*

Tatsuhito FUJITA, Daisuke JOUDOI and Kazuo OHASHI (JAXA)

## Abstract

Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) has been conducting studies on Space Solar Power Systems (SSPS) using microwave and laser beams since FY1998. Large structure assembly is one of the most critical technologies for realizing SSPS. Large structure of kilometer-size must be assembled on orbit in SSPS practical model JAXA studied. Now we study how to assemble structure of 100m size like mirror and panel for antenna and generator on orbit as middle target before the study of kilometer-size structure. As the result of tradeoff we selected Deployable Truss Structure as candidate of panel structure for antenna and generator for SSPS. We carried out demonstration of Deployable Truss Structure making demonstration equipment on the ground. We studied feasibility of STEM (Storable Tubular Extendible Member) structure. We made trial model of this structure and found problems for realizing. This paper shows outlines of our studies.

---

\* Presented at the Sixteenth SPS Symposium, 3-4 October, 2013

# 宇宙太陽光利用システム (SSPS) における 大型構造物組立技術の検討状況\*

藤田辰人、上土井大助、大橋一夫 (宇宙航空研究開発機構)

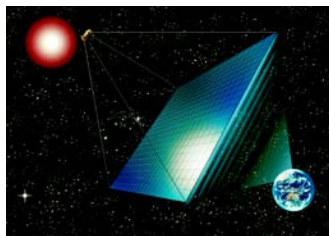
## 1. はじめに

宇宙太陽光利用システム (SSPS: Space Solar Power Systems) の研究開発を進める上で、クリティカルな技術として太陽光集光技術、熱制御技術、フェーズドアレイ技術、レーザー増幅・発振技術、レーザー/光電変換技術、光触媒水素製造技術、大型構造物組立技術などが挙げられる。この中で、大型構造物組立技術は、未だ発展途上の技術であり、今後、どのようにこの技術を確立していくかということも大きな課題である。

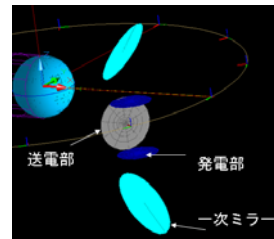
宇宙航空研究開発機構 (JAXA) における大型構造物組立技術の検討としては、現在、発電電部の構造、組立方式として展開トラス構造を候補として選定し、地上実証実験を実施してきた。また、STEM (Storable Tubular Extendible Member) 構造について、発電電部および反射鏡部への適用性の検討を行っている。本紙では、展開トラス構造の地上実証実験、STEM構造の試作試験の概要について報告する。

## 2. SSPS 大型構造物組立技術の検討の進め方

JAXA 等では、従来から 1GW 級の SSPS の軌道上モデルについて検討を行ってきた[1]。検討した SSPS モデルの中で、現在、大型構造物組立技術の対象としているモデルを図 1 に示す。



BASIC モデル



ADVANCED モデル

図 1 大型構造物組立技術の対象とした SSPS モデル イメージ図

図 1 に示したモデルは、どちらのモデルも、km サイズの大きさである。例えば、ADVANCED モデルの反射鏡 (一次ミラー) のサイズは、3.5km×2.5km の楕円形である。SSPS の構造は大きく分けて 2 種類あり、一方は BASIC モデルの発電電部、ADVANCED モデルの発電部 (太陽電池パネル) と送電部 (送電アンテナ) に使用される厚みを持った構造と、もう一方は ADVANCED モデルの反射鏡に用いられる薄い膜状の構造がある。

---

\*第16回SPSシンポジウム、2013年10月3-4日に発表

2008年度からの検討方針として、まずは途中段階に100m×100m級の平板構造物の組立技術軌道上実証を設定し、当面の目標とした。構造様式・組立方式のトレードオフを行い、発送電部の構造の候補として展開トラス構造物を選定し、反射鏡部にはインフレータブル構造を選定した。しかし、試作試験を行ったところ、インフレータブル構造には、硬化方法等に課題があるため、新たな構造としてSTEM構造の適用性について検討を開始した。

### 3. 展開トラス構造物組立技術

発送電部の構造の候補として選定した展開トラス構造物の軌道上のイメージを図2に示す。ロケット等の輸送系への収納時は、トラス構造がたたまれて、パネルが重なった状態でコンテナに収納される。組立時は、展開装置によりパネルが展開されてトラス構造になり、既に展開されたトラスと結合する。一列展開後は収納コンテナと展開装置は、次の列の最初の結合点に移動して展開と結合を行う。これを繰り返すことで発送電パネルを構築する。

展開トラス構造物の設計、製作は2011年度から行い[2]、2013年度に筑波宇宙センターで地上実証実験を行った。図3に地上実証実験装置の外観図を示す。

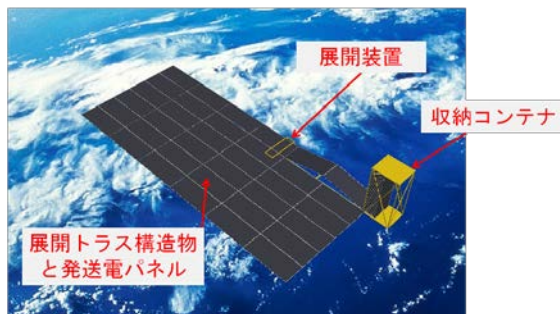


図2 展開トラス構造物イメージ

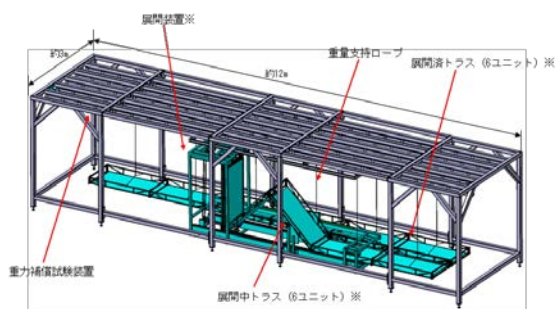


図3 展開トラス構造物地上実証実験装置

本実験装置には、重力の影響を減らすために、重力補償装置を設置し、展開トラス、展開装置を吊るして実験を行った。本実験において、最初は展開結合試験を行い、展開装置により展開トラス構造物を自動的に展開結合することを実証することができた。次に、展開装置を移動する機構を確認する試験を行い、こちらも手動で移動機構の実証することができた。図4に実験時の画像を示す。

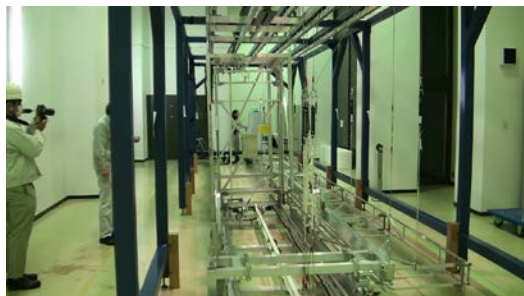


図4 展開トラス構造物組立技術地上実証実験（左は展開結合試験、右は展開装置移動試験）

展開トラス構造物を用いた BASIC モデルの組立方法についても、検討を行った。図 5 に組立時のイメージを示す。表 1 に BASIC モデルを構築した場合の主な仕様を示す。輸送系には、地上から低軌道まで再使用型軌道往還機 (RLV)、低軌道から静止軌道まで軌道間輸送機 (OTV) を使用することを想定している。OTV は一回あたり 50 トンの輸送能力をもち、RLV は 250 トンの輸送能力を持つことを想定している。現時点では、組立時の姿勢、軌道、構造の形状の変動を考慮しておらず、今後、シミュレーションを行う中で、実現性のある組立方法の構築を行っていく。

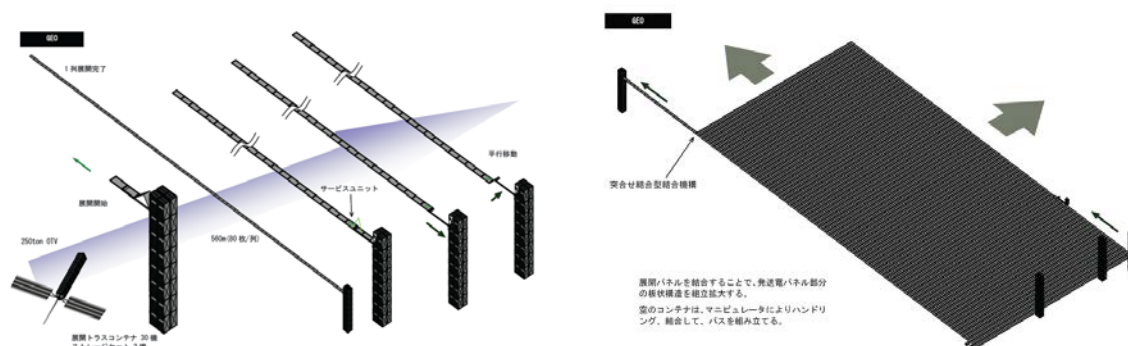


図 5 展開トラス構造物による BASIC モデルの組立イメージ  
(右は最初の 1 次展開のイメージ、左は複数枚展開した時のイメージ)

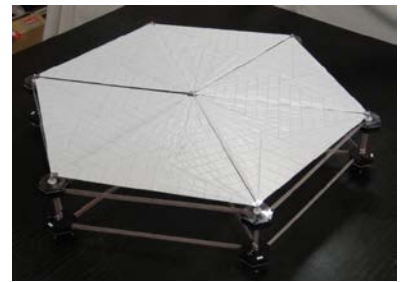
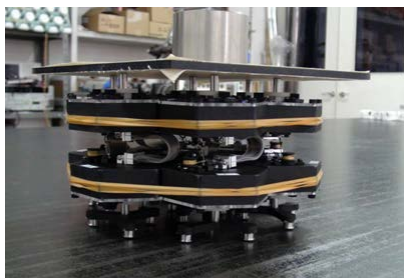
表 1 展開トラス構造を用いた場合の BASIC モデルの主要仕様

発電電パネル：2.8 m × 2.25 m、パネル 30 万枚 テザー：5000 m サービスユニット：250 式 ストレージ：パネル 15000 枚 (5%) 発電電パネル：25200 ton (パネル 4 kg/m <sup>2</sup> 想定) 総質量 (バス、サービスユニット、ストレージ含む)：28500 ton 輸送コンテナ数：4000 個 (コンテナにパネル 80 枚積むことを想定) RLV 打上げ回数：500 回 (8 個コンテナを RLV に積むことを想定)
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### 4. STEM 構造 (反射鏡用)

STEM 構造の反射鏡への適用性について検討する中で、構造部分については、コンベックステープを組紐で被覆したブーム (BCON) を構造材料として選定した[3]。この BCON は、容易に折り曲げたり、巻き取ることが出来るため収納がしやすく、展開後も、ある方向への曲げ剛性が高いため、BCON の組合せ方によっては、軽量で高剛性の構造物が構築できる。

今回は、過去に試作したインフレーター構造の反射鏡モデル[4]と比較するため、これと同サイズのモデルを、BCON を用いて試作し展開試験を行った。図 6 に試作した反射鏡モデルの画像を示す。



1. 収納状態

2. 面外展開後

3. 面内展開後

図6 BCONを用いた反射鏡モデル

展開試験を行ったところ、面内展開時に反射鏡の膜（今回は紙で代用）が巻き取り部に噛み込んだり、ブームが完全に進展しないという現象が起きた。このような課題は今後、対策を行うことで、解決可能と考えている。

また、この構造を用いて、100m級反射鏡の構築方法についても検討を行った。図7に100m級反射鏡の構築時のイメージを示す。

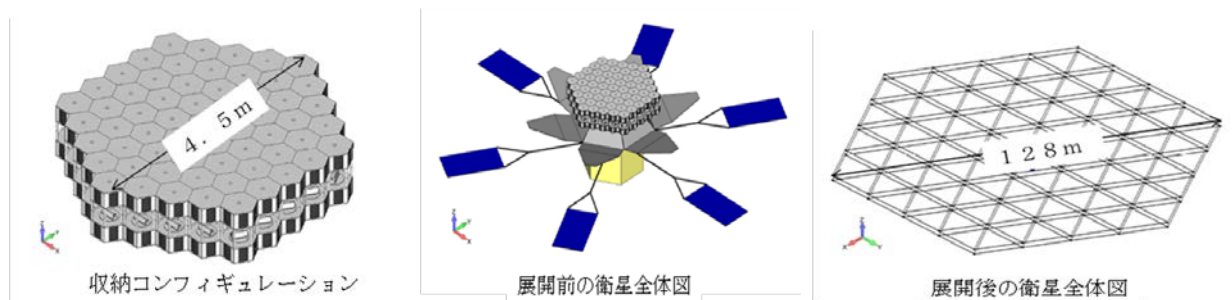


図6 STEM構造による100m級反射鏡のイメージ

検討結果から、収納時はH-IIBロケットのフェアリングに収まるサイズで展開時に100m規模の反射鏡を構築できる可能性がわかった。しかし、ADVANCEDモデルの反射鏡のようにkmサイズの反射鏡を構築するためには、打ち上げた反射鏡を結合する必要があり、結合できない場合は複数の反射鏡をフォーメーションフライトすることで太陽光を反射して、必要な光量を太陽電池に当てる必要がある。この課題は、まだ未解決であり、さらなる検討が必要である。

## 5. STEM 構造（発送電部用）

発送電部の構築に用いるSTEM構造についても適用性の検討を行ったが、この場合はSTEM構造を伸展機構として用いることを想定した。この構造での100m級発送電部の組立方法について検討を行った。図7に組立方法のイメージ図を示す。この場合、H-IIB一回の打上げで、一片が50mサイズの構造物を構築できるため、4回の打上げで100m級の構造物を構築することが可能である。



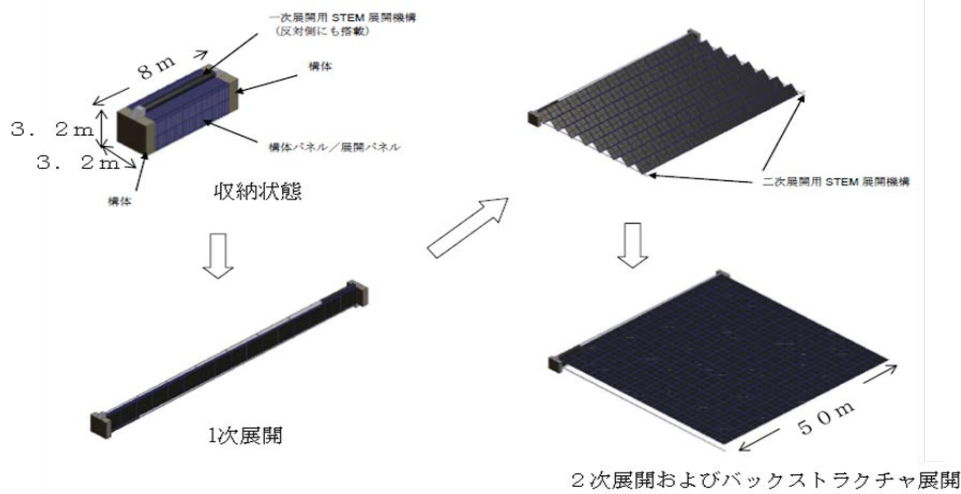


図7 STEM構造を伸展機構に用いた発電電部の組立イメージ

また、本構造においても試作試験を行い、展開、結合機構の確認、および、課題の抽出を行った。図8に試作した発電電パネルのモデルの画像を示す。幾つかの機構は良好に機能したが、一部の展開、結合機構に課題が見つかり、今後、対策方法を検討する予定である。



1. 収納時      2. 1次展開後      2. 2次展開後      3. バックストラクチャー展開後

図8 試作した発電電パネル

## 6. おわりに

展開トラス構造物については、展開結合、展開装置の移動の実証が確認できた。今後は、ドッキング技術について実証を行う予定である。STEM構造については、検討の中で適用性があることを確認したが、課題も幾つか見られるため、今後、対策を行う予定である。

## 参考文献

- [1] T. Fujita and S.Sasaki, 60<sup>th</sup> International Astronautical Congress, IAC-09-C3. 3.1, (2009)
- [2] 黒瀬, 小林 他”大型構造物地上実証試験展開装置の機能確認試験”第15回 SPS シンポジウム (2012年9月)
- [3] 渡邊, 他, ”組紐を被覆した伸展構造物の検討”, 第56回宇宙科学技術連合講演会講演集
- [4] 上土井, 藤田, 佐々木”宇宙太陽光利用システム (SSPS) 大型構造物の要素技術試作試験”, 日本機械学会 2011年度年次大会