

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

Daisuke JOUDOI, Tatsuhito FUJITA and Susumu SASAKI (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. We try to select the best style of large structure for SSPS. We analyze the relation between flatness of mirror and rate of gathering solar light in order to study feasible requirement of large mirror on orbit. We measured the flatness of commercial mirror and inflatable mirror, and then analyzed distribution of illumination in the case that mirrors reflect the solar light. This paper shows status of our studies.

* Presented at the Thirteenth SPS Symposium, 28-29 October, 2010

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*

上土井大助、藤田辰人、佐々木進 (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認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、反射鏡部及び發送電部の構造様式・組立方式のトレードオフを進めているところである。また、鏡の反射率等の性能が、鏡のサイズ、配置に影響を与えるので、鏡の鏡面精度を測定して、その鏡で太陽光を反射した場合の照度分布の解析を行った。本稿は、上記の検討状況について示すものである。

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]。SSPS の大型構造物を構築するための目標とする 3 つのモデルのイメージを図 1 に示す。

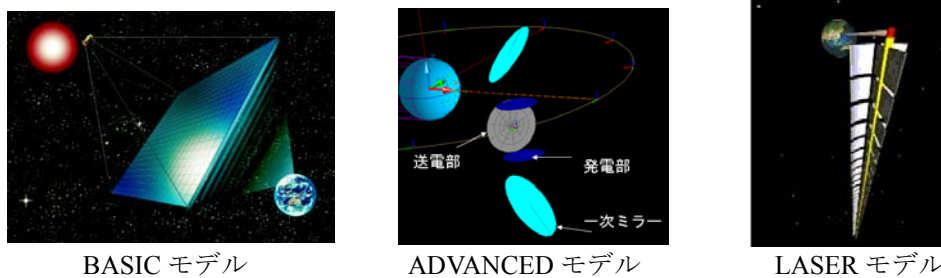


図1 目標とするSSPSモデルイメージ図

図1に示したモデルは、どのモデルにおいても、km～数100m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。従来の検討では、km級の構造物の組立方法や適用可能な技術の要素試作を中心に行ってきた。しかし、既存の大型構造物の技術レベルとSSPSで必要とする技術レベルには、まだギャップがあり、この間を埋めるための検討の進め方が課題であった。

*第13回SPSシンポジウム、2010年10月28-29日に発表

2008年度からの検討方針として、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。このサイズの大きさは、有人で組み立てた国際宇宙ステーションで実現されており、また、ETS-VIIIの展開アンテナのサイズ(約18m)を複数組み立てて実現できるレベルであることから、無人で組み立てる上での課題も明確にすることが可能である。この目標に向けて検討を進める上では、まずは、構造様式・組立方式のトレードオフが重要であると考えて、現在、その作業を進めているところである。

3. 構造様式・組立方式のトレードオフ

構造様式・組立方式をトレードオフするには、対象となる構造物を定義する必要がある。トレードオフの対象として、まずは、100m×100m級の発送電部と反射鏡部を設定した。これは、同じ平板構造でありながら、前者はある程度の厚みのあるパネルが設置された構造に対して、後者は鏡に薄膜を使用した構造であるため、構造に対する要求が異なるからである。対象物のミッション要求と、トレードオフを行う際の評価項目を設定し[2]、各構造様式を使用した場合の構造モデルを検討した。

反射鏡部については、バックボーンにインフレーター構造を持つ構造モデルの検討を行った。図3に、その展開時のイメージ図を示す。この構造様式では、H-IIB2機の打ち上げで低軌道に設置可能という検討結果であった。しかし、別に組立プラットフォームを軌道上に構築する必要があるため、このプラットフォームをどのように構築するかという課題がある。

発送電部については、展開パネルを組み立てて100m級の構造物を構築する方法を検討した。図3に組立イメージを示す。この組立方法の場合も、組立プラットフォームが必要であり、プラットフォームの軌道上での構築方法が課題である。

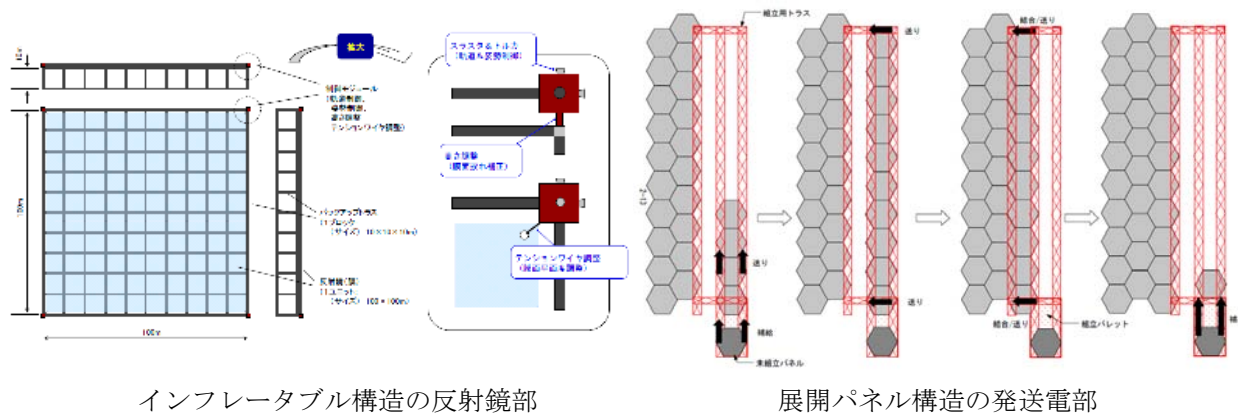


図3 検討した構造様式・組立方式

上記以外の構造様式・組立方式についても同様の検討を行い、質量、打ち上げ機数、技術の難易度等を考慮してトレードオフを行い、今後は地上実証、軌道上実証を行う構造様式・組立方式を選定する予定である。

4. 反射鏡の性能評価

SSPS においては、反射鏡は軌道上の大きな構成要素であり、コンフィギュレーションを決める上でも、反射鏡のサイズ、配置は大きな影響がある。従って、反射鏡の反射率、太陽光を反射したときの照度分布を測定または解析を行い、反射鏡の性能を把握することは必要である。

今回は、鏡面精度を測定する装置で鏡の凹凸データを測定し、そのデータを用いて、太陽光が反射した場合の光学解析を行い、集光効率、照度分布を求めた。表 1 に解析条件の概要及び解析結果として得られた集光効率を、図 4 に同じく解析結果として得られた照度分布を示す。

表 1 解析条件と結果

No.	項目	設定値	
1	光源	射出光線数	1.00E+09 [本]
		波長	単波長(λ=0.555[μm])
		配光半角	0.267[度](4.66[mrad])(※1) (分布形状は[λ:0.6[μm]の周辺減光分布])
		出力	1[W]
5	反射鏡	サイズ	990×990[mm]
		表面形状	計測値を使用
		反射率	100[%]
		サグ値の補間方法	線形
		入射角	45[度]
		反射角	45[度]
11	ディテクタ(検出器)	サイズ	990×990[mm]
		解像度	100×100[ピクセル] (1[ピクセル]のサイズ9.9×9.9[mm])
		設置距離	(鏡面位置を基準に)1.35[km]

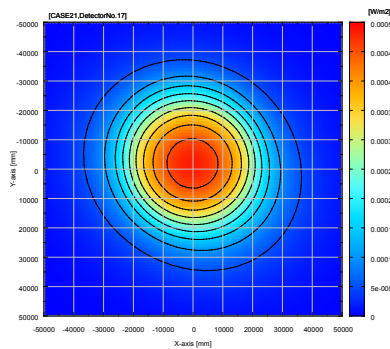
※1) (配光半角) = atan((太陽半径) / (地球太陽間の平均距離))
 = atan((696000[km]) / 149597870[km])

解析条件

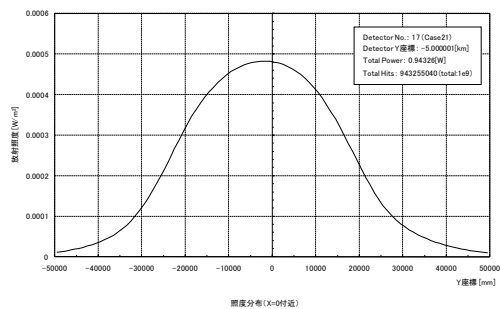
No.	解析ケース			解析結果		
	光線の強度分布	鏡面形状	対象	集光効率[%]		
21	周辺減光分布 (λ:0.6[μm])	計測面	リフレクスマirror(#1)	1.23	0.14	0.05
			リフレクスマirror(#2)	1.12	0.12	0.04
			リフレクスマirror(#3)	1.23	0.14	0.05
			リフレクスマirror(#4)	1.18	0.13	0.05

備考)
 ・集光面のサイズ・・・X方向:990[mm], Y方向:990[mm]
 ・集光面のディテクタ(検出器)解像度・・・X方向:100[pixel], Y方向:100[pixel]
 ・配光半角・・・0.267[度](4.66[mrad])

集光効率



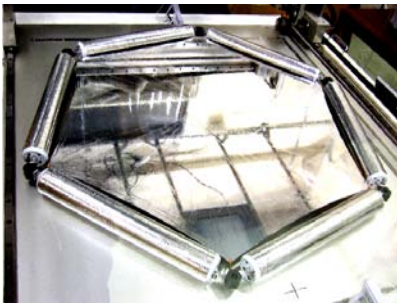
等高線図



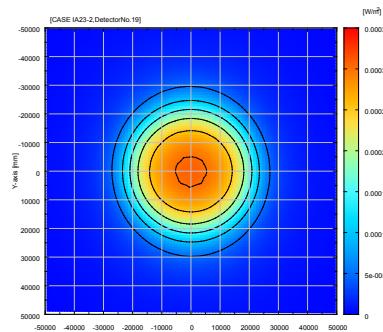
断面図

図 4 市販ミラーの反射光の照度分布 (反射鏡から 5km 離れた位置)

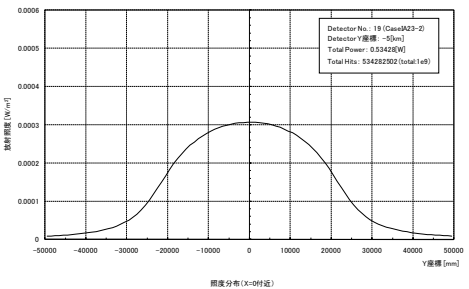
以前、試作したインフレイタブルミラーについても同様に鏡面精度を測定して、その凹凸データをもとに光学解析を行い、反射光の照度分布を求めた。図 5 に測定したインフレイタブルミラーの外観図及び反射光の照度分布の解析結果を示す。また、市販のミラーと比較した集光効率のグラフを図 6 に示す。



ミラー外観図



等高線図



断面図

図5 インフレータブルミラーの反射光の照度分布（反射鏡から5km離れた位置）

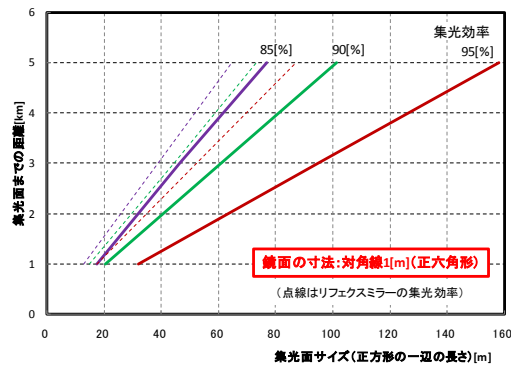


図6 市販のミラーとインフレータブルミラーの集光効率の比較

解析結果としては、市販のミラーに比べて、インフレータブルミラーの集光効率が低下している。この原因として、インフレータブルミラーは、収納時にフィルムミラーを折りたたむため、展開後も折ったときのしわが残ってしまい、それが反射光の散乱を大きくしているものと考えられる。今後、フィルムミラーを反射鏡に使用する場合は、展開後にしわが残らないような対策を検討する必要がある。今後も試作した反射鏡については、同様に鏡面精度の測定、光学解析による反射光の照度分布を求めて、反射鏡の集光効率等の性能を高める方法について検討を行う予定である。

5. おわりに

今後は、2012年度に実施予定の地上実証実験に向けて、実証する構造様式・組立方式を選定する。また、要素部分の試作、実験装置の設計・製作を2010年度から2011年度にかけて実施する予定である。

参考文献

- [1] T. Fujita and S. Sasaki, 60th International Astronautical Congress, IAC-09-C3. 3.1, (2009)
- [2] 藤田、佐々木、第28回エネルギーシンポジウム（2009年3月）、ISAS、「宇宙太陽光利用システム（SSPS）における大型建造物の検討状況」