

Study on construction of large-scale structure and flatness maintenance for SPS*

Satoshi Yamaguchi (Tokyo Institute of Technology), Koji Tanaka(ISAS/JAXA), Susumu Sasaki(ISAS/JAXA), Osamu Odawara(Tokyo Institute of Technology)

Abstract

Solar Power Satellite (SPS) which has been received a considerable public concern by the efficient utilization of the sunlight remains many issues which should be studied. Construction of a large scale solar panel and a transmitting antenna is one of the important subject toward SPS. I carried out the experimental study on the construction and flatness maintaining a large-sized antenna for the SPS. The wireless microwave power transmission method is used for the SPS system. The panel should be distorted by the heat cycle on the orbit, and the power transmission efficiency degradation will be resulted. Therefore, the high reliable construction of the antenna panel and the flatness maintaining control are required in order to achieve high efficiency power transmission. In this paper, we propose a new construction method of the large-scale panel structure in the orbit and the flatness control by a smart actuator system. It was confirmed that our smart actuator system has a angular control function with sufficient accuracy. I compared the smart actuator with the conventional actuators and summarized the advantages of our actuator using Shape-Memory Alloy (SMA). I proposed a new constructing method of the large-scale panel structure method in the orbit.

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

SPS における大規模構造物の建築方法と平面度維持に関する研究*

山口 哲史 (東京工業大学), 田中 孝治 (ISAS/JAXA), 佐々木 進 (ISAS/JAXA),
小田原 修 (東京工業大学)

1. 緒言

宇宙での高効率な太陽光利用による大規模な太陽光発電が計画されている。そのため送電方法としてマイクロ波を利用した太陽発電衛星(SPS)に関する研究が行われている。SPS 実現のためには様々な課題が存在するが、大規模構造物の建築と平面度維持は重要な課題である。本研究では、大規模構造物の建築方法を検討し、大型アンテナの平面度維持機構の開発を目的とする。

SPS は最終的に数 km 級を予定しているため、新たな建築方法を検討する必要がある。また軌道上の熱サイクルによる変形が生じるため、送電アンテナ面の平面度が悪化し、送電効率が低下する。送電効率を維持するためには送電アンテナ面の平面度維持制御システムが必要である。そのため平面度維持を行うことのできるスマートアクチュエーターの開発に取り組んでいる。スマートアクチュエーターとは、アクチュエーターと制御回路を組み合わせたものである。

本論文では平面度維持制御が可能なスマートアクチュエーターを用いて 4 枚パネルによる平面度維持の実験結果を述べ、大規模構造物建築方法の検討を行った。

2. スマートアクチュエーター

スマートアクチュエーターに使用するアクチュエーターに求められる特性は、軽量で構造が単純であることである。その特性を満たす SMA(形状記憶合金)をアクチュエーターに用いた。Ti-Ni 合金の SMA を図 1 のような 2 種類の形状で記憶処理を行った。この 2 種類の SMA を通電加熱してパネルの開閉を行い、パネルの平面度維持を行う。図 2 に熱変形時における平面度維持について示した。

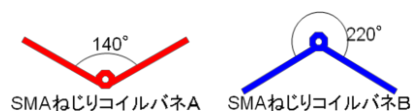


図 1 SMA の形状

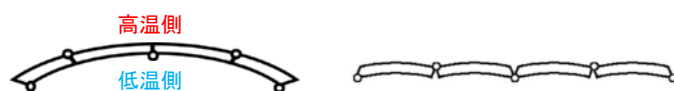


図 2 熱変形時の平面度維持の原理

*第13回SPSシンポジウム、2010年10月28-29日に発表

今回の実験で使用するスマートアクチュエーターは制御回路と2種類のSMA、そして光センサとLEDによって構成されている。LEDと光センサはパネルの角度を検知するために使用している。スマートアクチュエーターの概略図を図3に、試作したアクチュエーターの写真を図4に示した。

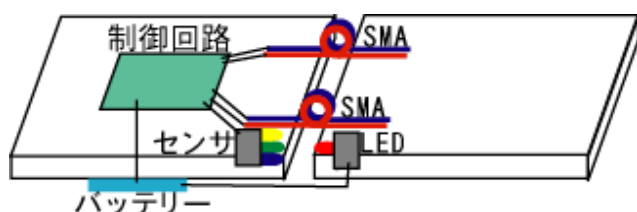


図3 スマートアクチュエーターの概略図

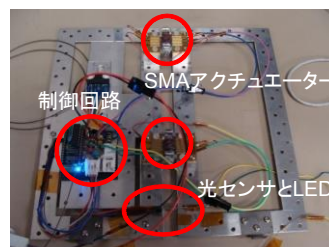


図4 スマートアクチュエーター

3. 実験方法と結果

3.1. 4枚パネルの平面度維持

4枚パネルの平面度維持実験を行った。4枚パネルの平面度維持過程を図5に示した。

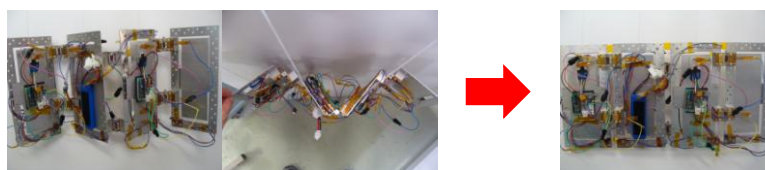


図5 4枚パネルの平面度維持過程

実験を行った結果、パネル動作とSMAの温度変化から制御プログラムが正常に動作していることが分かった。また平面度維持は4枚パネルの端が先に動作し、中心部が後から動作した。4枚パネルを $\pm 5^\circ$ で平面度維持が可能であることを確認した。

3.2. アクチュエーターのトルク

SMAの発生トルクは、 $\phi 0.7\text{mm}$ が4本で 0.12Nm であった。実際にパネルの動作は摩擦が 0.09Nm であり、パネルの動作は摩擦を抜いた値が 0.03Nm 以下である必要がある。そこでパネルの開閉を行う際のトルクを計算し、パネルの平面度維持が可能なサイズを求めた。計算はモジュール質量を 28.7kg^1 で、維持時間を7分として計算をおこなった。結果を図6に示した。結果、 $50\text{m} \times 50\text{m}$ サイズまでは平面度維持が可能であることが分かった。

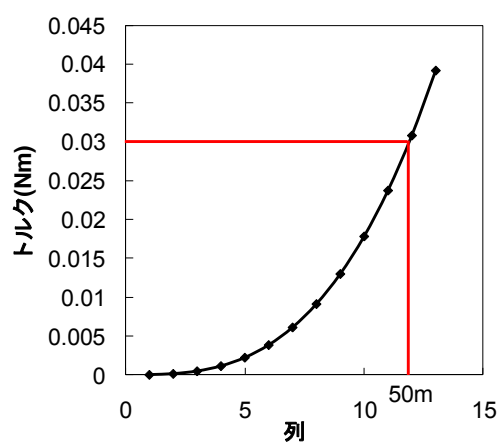


図6 パネル動作に必要なトルク

4. SPS の建設方法

前節で示した実験結果から、SPS を建設する際に、 $50\text{m} \times 50\text{m}$ を一つのユニットとすることを前提として、建築方法の検討を行った。我々の方法は、 $50\text{m} \times 50\text{m}$ のユニットを多数連結して数 km のサイズにする。建築方法としては、パネルの展開と連結を行うプラットフォームを建設する。プラットフォームには展開用ロボットと連結用のロボットを搭載しておく。そしてパネルを展開用ロボットに供給してパネルを展開する。パネルを展開して $50\text{m} \times 50\text{m}$ のユニットを建設し、複数のユニットがプラットフォーム上に固定された状態にして連結パイプによって連結する。そしてパネル移動させて、さらに展開と連結を繰り返して数 km 級の SPS の建設を行う。建設用のロボットにはパネルの展開・固定・移動、プラットフォーム上を移動、パネルの連結といったような機能が必要となる。図 7 に概要を示した。

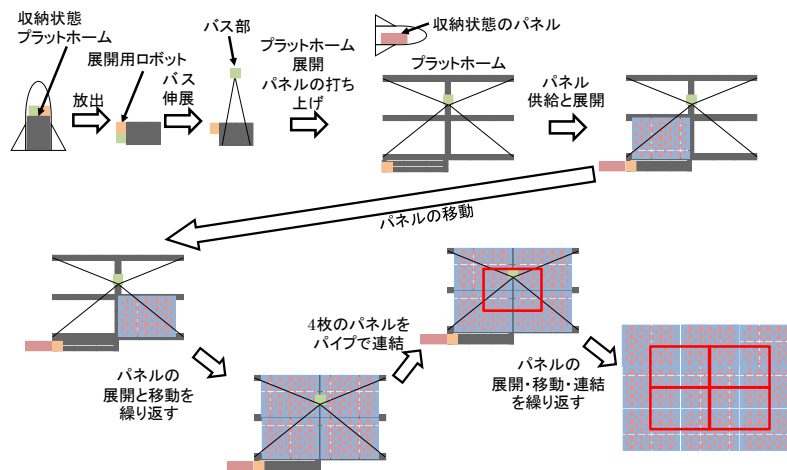


図 7 SPS の建設方法

5. まとめ

SMA スマートアクチュエーターを用いた 4 枚パネルを試作し、平面度維持の原理検証実験を行い、目的の精度内での制御が可能であることを確認した。SMA の発生トルクから、平面度維持制御が可能なサイズを推定し、その結果から、我々は、SPS は $50\text{m} \times 50\text{m}$ のサイズを一つのユニットとして構成する建築方法を検討した。建築設方法のプロセスを示し、そこで必要となるパネルの連結方法とロボットの機能を定義した。今後は実動作推定のために、SMA の基礎実験を進め宇宙環境におけるより精度のある動作推定を行うとともに、1 m サイズのパネルを試作し、制御アルゴリズムの改良を実施する。また、模型を用いた検討により、建設方法詳細化を行う。

参考文献

1)財団法人 無人宇宙実験システム研究開発機構, 宇宙太陽発電システム実用化技術調査研究 宇宙太陽発電システム(SSPS)実用化技術検討委員会 専門委員会 SSPS 実証実験システム概念検討所(案), pp8~11(2004)