# Research of the Panel Deployment System Using the Shape Memory Alloy\*

Seiichro Nogami (1), Hirokazu Morita(2), Ken Higuchi (3), Nobukatsu Okuizumi (3), Koji Tanaka (3), Susumu Sasaki(3),

(1) Teikyo Heisei University, (2) University of Tokyo, (3) ISAS/JAXA

In the tethered-type solar power satellite, a large panel structure for the power generation and transmission is adopted. A huge number of actuators are required to deploy the large panel in orbit. In our research, a deployment mechanism using coils of shape memory alloy (SMA) has been studied. When the SMA coil is heated by applying an electric current, it works to deploy the folded panels if the coil has a memory for rotation. This mechanism has several advantages as;

- 1. Simple and light-weight as compared with motor activation,
- 2.Deployment speed is well controlled to minimize the effect on the attitude of the system during deployment and to suppress the shock when the panel is fully deployed,
- 3. The shape of the unfolded panels can be controlled using two types of SMA coils (this function can be used to compensate the thermal deformation of the panels),
- 4. The oscillation of the panels can be suppressed by heating the SMA coils to the super-elastic state.

We have fabricated the hinges containing the SMA coils as shown in Fig.1 and integrated them to a test panel composed of 4 x 8 sub-panels. The size of the sub-panel is 12 x 24 cm. The test model is equipped with a latch mechanism using the permanent magnet. In the laboratory test, it is confirmed that the hinge with the SMA coils work well as expected, but it is found that the life of the SMA coils is unexpectedly limited by the metal fatigue. Further study is required to redesign the SMA coils to eliminate the fatigue effect.

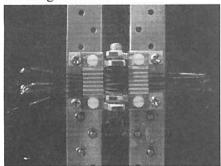


Fig. 1 Hinge having 5 SMA coils.

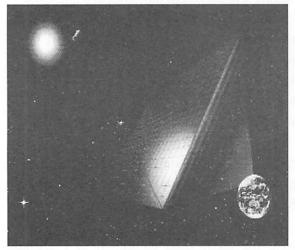
<sup>\*</sup> Presented at the Seventh SPS Symposium at Kyushu Institute of Technology, 16-17 September 2004.

# 形状記憶合金を用いたパネル展開方式の研究 注1

野神 誠一郎(1)、森田 博和(2)、 樋口 健(3)、奥泉 信克(3)、田中 孝治(3)、佐々木 進(3) (1)帝京平成大学院、(2)東大院、(3) ISAS/JAXA

#### 1. 本研究の背景

テザー型太陽発電衛星では大型の発送電一体型のパネル構造が採用されている。大型のパネルの軌道上での展開には多数のアクチュエーターが必要である。本研究では単純で多くの機能を持たせることのできる形状記憶合金(SMA)を用いた展開機構と任意の角度でラッチ可能なスライドラッチ機構を組み合わせることによりパネルの形状制御機能を持った試作モデルの作成を検討した。



km×1.9km の大きさで多数のテザー(約10km)で吊るす方式のSPSである。 発送電一体型パネルは一辺の長さに対する板厚の比率は1/10000~1/20000程度になり膜構造に近い柔軟なパネルになり、ミウラ折方式の展開方法は適用できず、あくまでも板厚が数cmから20cmのパネルとして検討する必要がある。

図1は発送電一体型パネルである。2

図1 テザー型太陽発電衛星

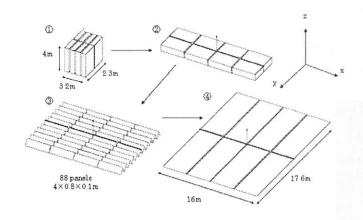


図2に示すように①の状態が打ち上げ時の格納状態であり、② で縦に展開し、③・④で横展開していく。展開後、これらを繋ぎ合わせてより大きな衛星を構築し、図1の大きさにする。

図2 発送電一体型パネルの展開順序

<sup>&</sup>lt;sup>注1</sup> 第7回 SPS シンポジウム、九州工業大学にて 2004 年 9 月 16、17 日開催

#### 2. SMAをパネルの展開に利用する利点

SMAは熱を加えることにより、記憶させていた形に戻る性質の合金であり、そのとき力を発生させる。そのためアクチュエーターとして利用すれば軽量の物を作る事ができる。そして、以下の利点がある。

- 穏やかに展開できるため展開中の姿勢変動への影響が小さい
- 展開時の衝撃を小さくできる
- 形状制御ができる(熱変形を吸収できる)
- 振動減衰に優れる
- 厚みのあるパネルにも組み込むことができる
- 3. 展開パネルの熱膨張変形とパネル角制御による変形の抑制

発送電一体型パネルは上面が太陽電池パネルで 下面が送電アンテナになっており、上面は太陽に 絶えず向けられることになる。

それは上面だけを温める結果となり、パネルの熱 膨張による歪みを発生させる。その歪みは送電ア ンテナも歪ませる結果になり、送電効率を低下さ せる原因になる。この状態を解決するためにそれ ぞれのパネルの角度を制御することによりパネル 全体の平面度を保つようにする。

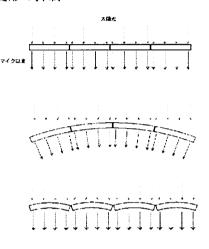


図3熱膨張とパネルについて

#### 4. アクチュエーターの制御方法

アクチュエーターとして SMA を使用するに当たって制御方法を解説する。電源による 断続通電によって加熱し、展開角度をセンサーによりモニターする。開き角 180 度付近で 展開速度をおとし、展開完了時の衝撃を和らげる。そして、展開後パネルの構造制度維持 のために制御を行う。図 4 は前述の機構を図示したものである。

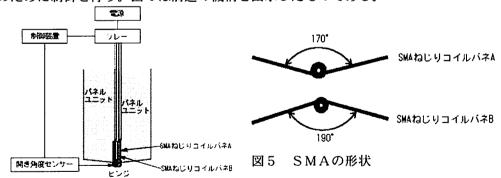


図4 アクチュエーター構成

### 5. 試作した展開機構

ここでは実際に試作した展開機構について説明していく。1つのユニットの大きさは $120\times240\,\mathrm{mm}$  とし、これらのユニットを $4\times8$  枚で設計した。これは展開完了時に正方形となるようにするためである。ただし、今回の実験では $2\times8$  枚の半分の大きさで試作をおこなった。アクチュエーターには $5\,\mathrm{MA}$  を $5\,\mathrm{a}$  本一組で使用し、ユニット一つあたり横方向展開用に $2\,\mathrm{d}$  のアクチュエーターにした。そのとき図 $5\,\mathrm{c}$  に示すように $5\,\mathrm{m}$  の形状復帰時が開き角 $170\,\mathrm{g}$  の  $5\,\mathrm{m}$  コイルバネ $190\,\mathrm{g}$   $17\,\mathrm{m}$  の $17\,\mathrm{m}$ 

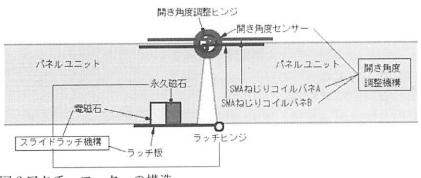
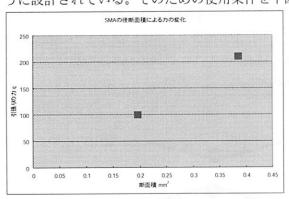


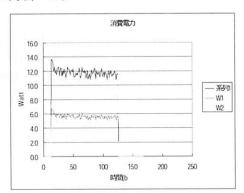
図6アクチュエーターの構造

#### SMA の力の比較 (直径 0.5 mm と 0.7 mm の場合)

SMA は直径が  $0.5 \, \text{mm} \geq 0.7 \, \text{mm}$   $0.7 \, \text{mm}$  0.7



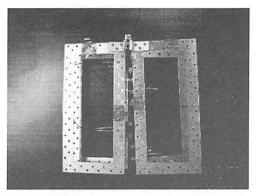
SMA 線径 0.5 mmの場合の所要電力



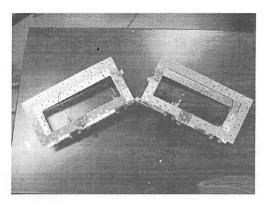
## 6. パネル4枚における展開シークエンスおよび展開実験

まずパネル4枚時において実際に展開構造が展開実験をおこなった。SMA のアクチュエーターを用いて4枚の基本的な展開構造を検証することにより複数のパネルにおいても展開構造を試作することができることを確認した。

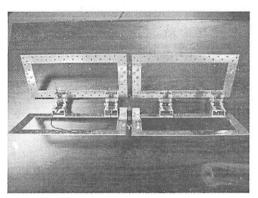
まず①において格納された状態から②の縦方向の展開を行い、縦の展開完了後③の横方向の展開を行った。最終的に④の展開終了状態にした。



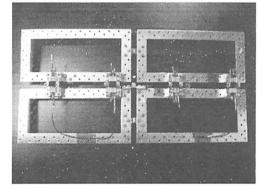
①格納状態



②縦方向の展開



③横方向の展開



④展開終了

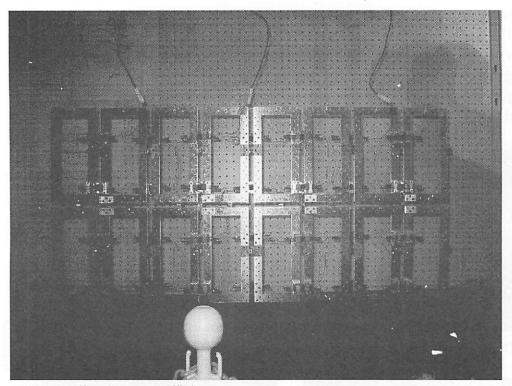


図7 16枚パネルの展開構造 7. 結果及びこれからの課題

16枚のパネルの展開構造を検証し、SMAによる複数のパネルが展開時、縦と横の稼動を実証した。SMAがアクチュエーターとして機能することは確認できた。しかし、複数回展開実証を行ったあと、SMAの展開が完全に行われないという状況が発生した。これは重力下で行っているために全体に負荷が掛かっていることや、SMAが金属疲労の蓄積による形状の復帰がされなくなったことが考えられた。そのためこれからの課題として今後の方針をここからはあげて行きたい。まず、SMAの金属疲労については、線径0.5 mmを使用しているが他の線径の再選択や、形状においても一重巻きのコイルバネを使用しているのだが巻き数を増やすことにより歪の分散ができないかなどを検討していく。そして展開に必要な力に対する適切なマージンの設定を行う。それとあわせてSMAの歪みに対する限界実験を行う。などがあげられる。これは先に述べた問題点に対する検討である。この他に16枚展開モデルに対し、これ迄確認した横方向の展開とともに、縦方向の展開を試験していく。そして、センサーを組み込んでパネル角の制御を実際に行い、機構としての検証も引き続き実験する。以上のように課題も多数ある状態だが、SMAによるアクチュエーター機構は実現可能であると考えられ、本研究で明らかとなった課題を克服するための研究を今後進めていく。