

Basic Experiment on Flatness Control of Large deployable Antenna Panels for Solar Power Satellite

Daichi Matsumoto, Yoshiki Yamagiwa(Shizuoka University),
Satoshi Yamaguchi, Osamu Odawara (Tokyo Institute of Technology),
Kenichiro Maki, Koji Tanaka, Susumu Sasaki (JAXA)

Abstract:

Solar Power Satellite (SPS) which has been drawn attention as a future clean energy system remains many issues which should be studied. Construction of a large scale solar panel and transmitting antenna is one of the important subjects toward SPS. We have carried out experimental study on the deployment and flatness maintaining of a large-sized antenna for the SPS. Flatness control of the large antenna panel is required in order to achieve the proper microwave power transmission conditions. The antenna panel will be deformed by the heat cycle in the orbit. Therefore, the high reliable surface control system that maintains the flatness of the panel structure are required.

We carried out the basic experiments on a CNT (Carbon NanoTube) actuator that is expected to be a light weight and an easy controllability. The CNT actuator consists of CNT electrodes and a separator impregnated with ionic liquid. The CNT actuator works like a capacitor, so the displacement of the CNT actuator can be controlled electrically. We compared the CNT actuator with other actuators. Also, we evaluated the dependence of the displacement on the thickness and the stress per unit weight.

SPS 用大型展開アンテナ形状維持のための基礎実験

○松本大地, 山極芳樹 (静岡大学), 山口哲史, 小田原修 (東京工業大学),
牧謙一郎, 田中孝治, 佐々木進 (JAXA)

1. 序 論

近年, 再生可能エネルギーを利用した発電手法として太陽発電の需要が急増しているが, 発電が天候に大きく左右されることや夜間の発電ができないことなどが, 他の多くの発電方式との違いであり, 太陽発電の欠点であると言える. 一方, 宇宙空間で太陽発電を行う太陽発電衛星(SPS)は昼夜や天候に左右されることなく発電ができる. さらに, 大気による太陽光の減衰がないことも利点の一つである. これらのことから, SPS は地上で行う一般的な太陽発電よりもはるかに効率が良いと考えられる.

SPS 実現のためには様々な課題が存在するが, その中でも, 効率に大きな影響を及ぼすアンテナ面の平面度維持は重要な課題の1つである. SPS は数kmオーダーの大きさが検討されており, 太陽光が当たる側と当たらない側の寒暖の差によって超大型のアンテナパネルが熱変形を生じると考えられ, それにより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となる. 本研究では, カーボンナノチューブ(CNT)を用いた新しいアクチュエータによって平面度維持を行うことを考えている. そのための検討やシステムの開発を行うことが本研究の目的である.

本稿では SPS について簡単に説明し, 次に, CNT アクチュエータの概念や構造について説明し, 他のアクチュエータとの特徴の違いについて述べる. そして, CNT アクチュエータの性能測定実験などについて示す.

2. SPS について

SPS は 1GW 級を検討している. そのためには 2 km² km 程度のサイズとなる. また, 一枚当たりのパネルサイズは 4m²×2m²×0.05m を考えている. そして, このパネルを Fig.1 のように組み合わせて 100m²×100m の SPS のユニットを建設し, さらに, このユニットを連結させ, 2km²×2km を構築する. 発電した電力は伝搬効率の観点からマイクロ波を用いて地上に送ることが検討されている. Fig.2 に SPS の構想図を示す.

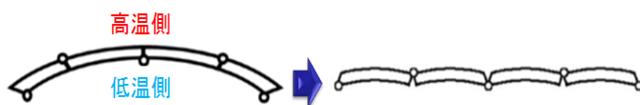


Fig.1 パネルの組み合わせと平面度維持

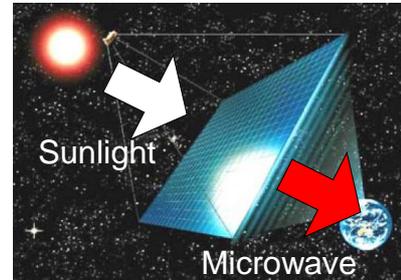


Fig.2 SPS の構想図(USEF モデル)

3. CNT アクチュエータについて

3.1 CNT アクチュエータの原理

CNT 膜は表面積を大きくとれるため, 大容量コンデンサーへの応用が検討されている. この時, 陽イオンと陰イオンの体積差が大きければ, CNT 膜で構成した電極形状を変化させ, アクチュエータとしての応用が可能であり, Fig.3 に示すようなアクチュエータが考えられている. これは2つのCNT電極層とセパレータ層からなるもので, 電極であるCNT層に電圧をかけると, セパレータに含まれているイオン液体の陽イオンと陰イオンが対応する電極に移動する. このとき陽イオンと陰イオンの体積差からある方向に変形を起こす. この変形をアクチュエータの力として利用したのがCNTアクチュエータである. このアクチュエータは電氣的な制御が容易で, 電流のプラスマイナスを変化させることによって変形方向を変えることができる.

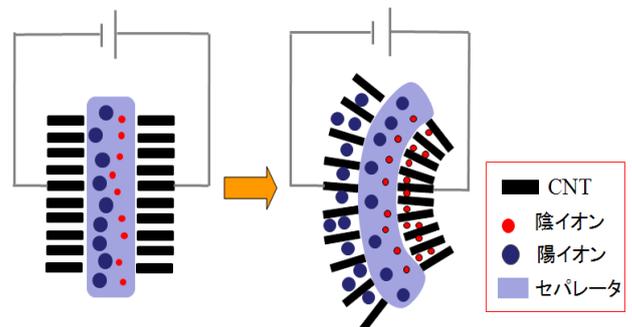


Fig.3 CNT アクチュエータの原理

3.2 イオン液体

イオン液体とは常温において液体で存在する塩のことをいう. ここでの塩とは陽イオンと陰イオンがイオン結合した化合物のことである. 本研究で必要となるイオン液体は低融点かつ陽イオンと陰イオンの体積差が大きい

ものである。これらを考慮して1-エチル-3-メチルイミダゾリウムテトラフルオロボラート ($C_6H_{11}BF_4N_2$) を採用した。融点は $15^{\circ}C$ で両イオンの構成は Fig.4 に示す通りである。

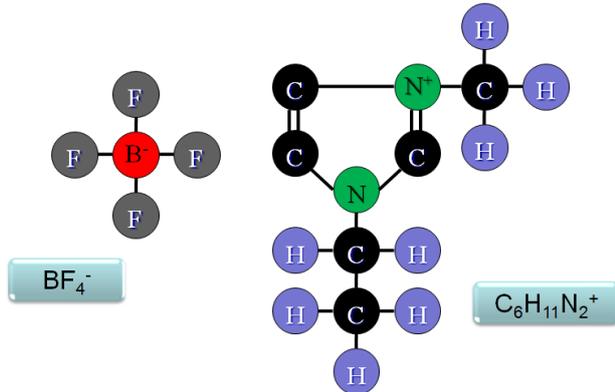


Fig.4 イオン液体の陰イオンと陽イオン

3.3 アクチュエータとの比較

モーター、形状記憶合金(SMA)、CNT アクチュエータの3種類のアクチュエータに関して、比較を Table1 に示す。まず、信頼性についてであるが、これは部品数や構造の簡易性から判断を行った。宇宙環境適応性については、無重力下における潤滑に関する問題を考慮してモーターは適応性が低いと判断した。CNTについては現在、適応性試験の最中である。可動範囲はモーターには制限がないため、これに関しては他の2つよりも有利であると言える。寿命に関しては、CNT アクチュエータはコンデンサの原理を応用したものであることから、これに準ずる高寿命が期待できる。入力エネルギーは、SMA が温度変化によって動作するため熱エネルギーであるが、CNT アクチュエータは供給する電流によって動作することから、電気エネルギーである。効率、制御性の観点から CNT アクチュエータは良好であると言える。単位重量当たりの発生応力は本稿の第7節において示す。

Table 1 CNT アクチュエータとモーター、SMA との比較

名称	信頼性	宇宙環境 適応性	可動範囲	寿命	入力 エネルギー	単位重量当たりの 発生応力
モーター	△	△	無制限	△	電気	5.7mNm/g
SMA	◎	◎	制限有	○	熱	600mNm/g
CNT	○	?	制限有	◎	電気	?

4. CNT アクチュエータの開発

イオン液体を含ませた電解質フィルム (セパレータ) を CNT 電極で挟み、加熱圧着を行い、3層構造のアクチュエータを作製した。発生応力は Table1 の SMA アクチュエータの単位重量当たりの発生応力を目標とする。

4.1 変位量測定

Fig.5 に今回の測定に用いたアクチュエータを示す。こ

のアクチュエータの端を電極で挟み、Fig.6のように固定端から15mmの変位を計測した。この時、印加電圧は3Vとした。



Fig.5 CNT アクチュエータ(sample1)

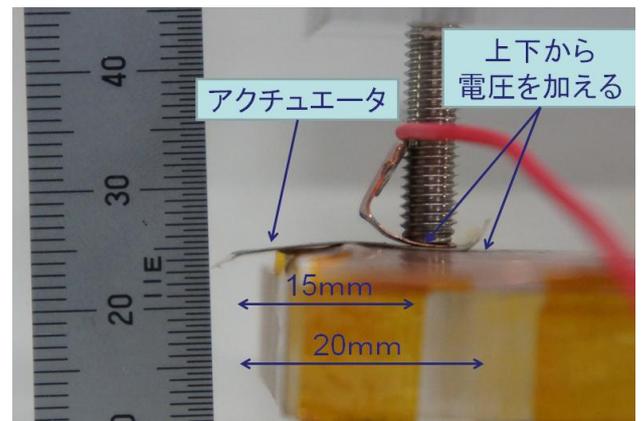


Fig.6 CNT アクチュエータの変位測定

4.2 測定結果

Table2 に測定したアクチュエータの仕様と測定結果を示す。Fig.7に厚さと変位量の関係を示す。Fig.7からも分かるようにアクチュエータの厚さが分厚いと変位量は小さく、アクチュエータの厚さが薄いと変位量が大きくなる結果となった。

Table 2 アクチュエータの仕様と測定結果

	セパレータの 厚さ(μm)	CNTの 厚さ(μm)	アクチュ エータの 厚さ(μm)	面積 (mm ²)	変位量 (mm)
sample1	170	64×2	298	20×10	3.5
sample2	39	49×2	137	20×10	10

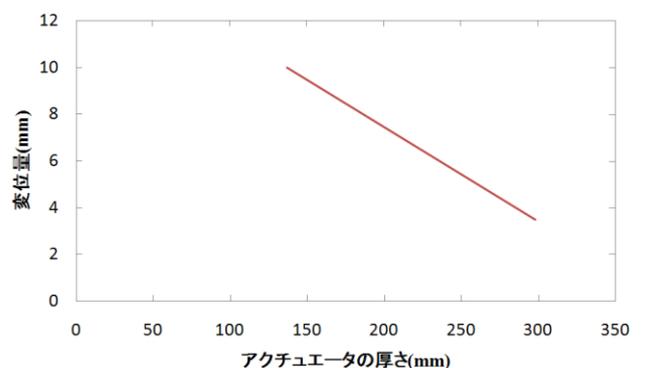


Fig.7 アクチュエータの厚さと変位量の関係

4.3 発生力測定

前節と同様に20mm×10mmのアクチュエータの端を電極で挟み、固定端から13mmのところのところに重りを取り付け応力測定を行なった。実験装置の写真をFig.8に示す。おもりは600mgとし、印加電圧は3Vとした。

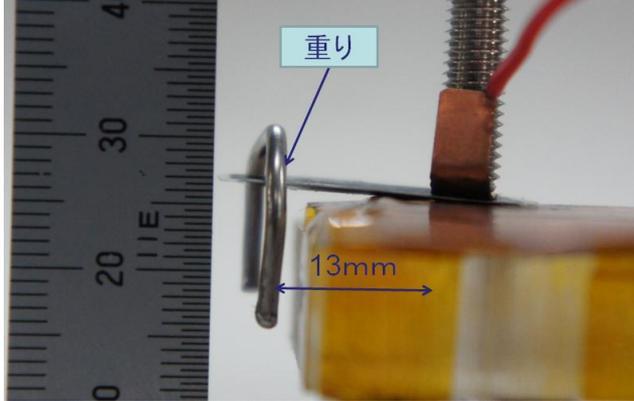


Fig.8 CNT アクチュエータの応力測定

4.4 測定結果

測定結果をTable3とFig.9に示す。重りを付けていないときは、アクチュエータの厚さが厚くなると変位量が小さくなるが、重りを付けると厚さが厚い方が薄い方よりも変位が大きい結果となった。

したがって、アクチュエータの厚みが小さいと変位量が大きくなり、厚いと発生する力が強くなることが考えられる。

Table3 重りがある場合とない場合の変位量の変化

	アクチュエータの厚さ(μm)	重りなしの変位量(mm)	重りありの変位量(mm)
sample1	298	3.5	2.5
sample2	137	10	1.5

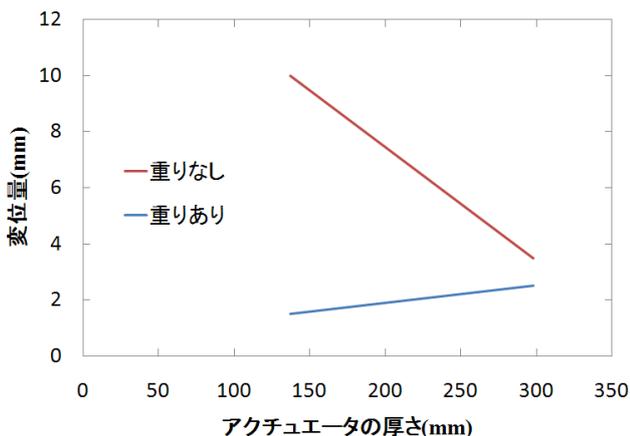


Fig.9 重りがある場合とない場合の変位量の変化

4.5 単位重量当たりの発生応力

sample2で計算を行なった。sample2の重さは47mgであるため、単位重量当たりの発生応力は1626(mNm/g)である。この数値はTable1の他の種類のアクチュエータや

他のCNTアクチュエータ²⁾と比較してもかなり良好な数値である。

5. 電流と変位量の関係

CNTアクチュエータは電子の移動により、陽極に陰イオンが、陰極に陽イオンが引き寄せられ、その体積差によって変動を起こすため、電流値と変位量との間には何らかの関係があることが推測される。このため、この2つの関係について調べた。実験としてsample2の両端に流れる電流値と変位量を同時に測定した。その結果をFig.10に示す。このグラフからも電流値と変位量との間には何らかの相対的關係があるものと考えられるが、この検証については更なる詳細な調査が必要であるとされており、今後の課題として留めておく。

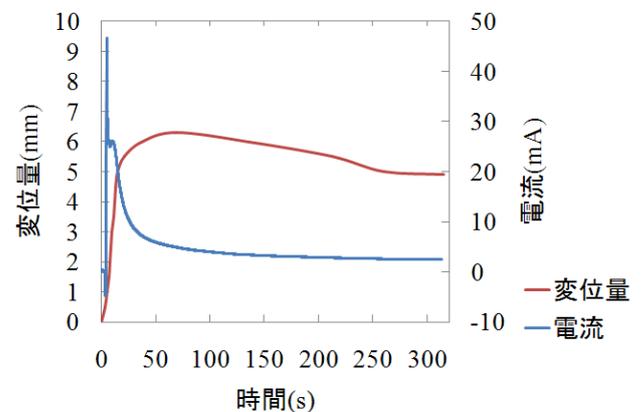


Fig.10 変位量と電流値の関係

6. まとめ

本稿ではSPSについて簡単に説明し、SPSの熱応力による変形を補正するためのCNTアクチュエータの原理や構造、基礎実験結果を示した。その中で、アクチュエータの厚みの変化によって、発生応力が大きく変化することが、実験的に予測できた。今後、データ数を増やしていき、それぞれの関係についてより深く調べていく。また、耐宇宙環境性能や変位量と供給電荷量の関係についても検証を行う。

これと並行して大規模化の第一ステップとして、数十cmから1m規模のパネル駆動モデルを作製して、熱応力を模擬した力を外部から加え、この変形をアクチュエータによって補正することを行う予定である。

参考文献

- 1) 山口哲史, 田中孝治, 佐々木進, 小田原修, “SPS応用に向けたSMAアクチュエータのパネル展開と平面度維持の基礎実験”, 第29回宇宙エネルギーシンポジウム, (2010).
- 2) 安積欣志, 福島孝典, 他6名, “カーボンナノチューブとイオン液体からなる高分子アクチュエータの応

答性能”日本機械学会第14回機械材料・材料加工技術講演会講演論文集, (2006).

- 3) 安積欣志, “イオン導電性高分子アクチュエータの研究動向”日本機械学会2008年度年次大会講演資料集, (2008).
- 4) S. E. Iyuke, N. P. Mahalik, “Micromanufacturing and Nanotechnology” Springer-Verlag, pp219-241(2006).