

# Development of Carbon Nanotube-Based Polymer Actuators for Large Scale Power Transmission Antenna.

Takashi Kume<sup>1</sup>, Koji Tanaka<sup>2</sup>, Yoshiki Yamagiwa<sup>1</sup>, Toshio Abe<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Shizuoka University, Faculty of Engineering,

<sup>2</sup> ISAS/JAXA 3-1-1 Yoshinodai, Chuo-ku, Sagamihara, Kanagawa, 252-5210 Japan

<sup>3</sup>Spacelink

## Abstract:

Solar Power Satellite (SPS) is expected as a clean energy system of the next generation. The SPSs have some technical challenges to be solved for commercial use. One is the thermal deformation of the large-scale panel that has the function of electrical generation and energy transmission. This thermal deformation causes the efficiency deterioration of both generation and transmission. In our research, the flatness of the large-scale panels for the SPS is maintained by controlling the angle between the adjacent thermally deformed panels. We are developing a smart actuator that contains a sensor and a controller and that will be mounted between the neighboring panels. The purpose of this study is to develop carbon nanotube-based (CNT) polymer actuators for the smart actuator. CNT actuators are considered to be suitable for use in space, because CNT actuator has lightweight, high deformation ratio, low energy consumption and capability of operation in a vacuum in comparison with existing actuators. In this report, we describe the relationship of stiffness, density and the amount of the ionic liquid to CNT actuator's behavior. By clarifying the basic characteristics of the CNT actuator, we aim to establish a design method of the CNT actuators.

# SPS の発・送電パネルの形状制御のための CNT を用いたアクチュエータ開発

○久米孝志 (静岡大学), 田中孝治 (ISAS/JAXA),

山極芳樹 (静岡大学), 阿部俊雄 (スペースリンク)

## 1. 序論

石油や石炭, 天然ガスなどのエネルギー資源の枯渇についての不安が, 近年更に強まってきた。同時に, 風力, 太陽光, 地熱といった再生可能なエネルギーを利用する発電システムへの関心が大きくなってきている。<sup>(1)</sup>

特に, 太陽光を用いて発電を行う太陽光発電は, 設置が容易で一般的な家庭においても導入されたりなどその普及が進んでいる。しかし, この太陽光発電は雨雪や昼夜によって発電が左右されてしまう。そこで, 提案されたのが, SPS(Solar Power Satellite)である。

(Fig.1)

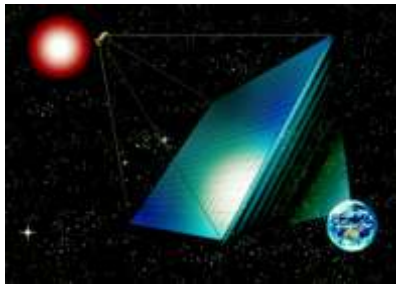


Fig.1 SPS 構想図(USEF)

SPS とは, 宇宙空間にソーラーパネルを設置し, 無線によって地上へ電力を送るというコンセプトの発電システムである。

宇宙空間で受光するため, 地上のように周囲の環境に影響されず, 大気減衰の無い太陽光を受けとれる。そのため, 地上よりも効率的な発電が行えるというメリットがある。

しかし, SPS 実現のためには様々な課題が存在する。その中の一つが, 発電 - 送電を担うパネルの熱変形である。

この送電パネルは, 太陽側を向く発電側と, 地球側を向く送電側があり, 厚み方向の温度分布差が生じる。その温度分布差により, 発

送電パネルに歪が生じる。すると, 発電 - 送電面の両方でロスが生じてしまい, 本来の効率が出せなくなる。そこで, パネル間にアクチュエータを搭載し, 平面度を維持する制御を行う。(Fig.2)

我々はこのアクチュエータに Carbon nano tube (CNT)を用いた高分子アクチュエータ(CNA)を使用することを検討している。本報告では, CNA の物性値が動作特性に及ぼす影響を実験的に明らかにし, 評価した結果を示す。また, その結果から, CNA 設計手法の確立に向けた指標を示す。



Fig.2 送電パネルの機械的制御

## 2. CNT アクチュエータ

### 2.1 既存のアクチュエータとの比較

現在広く利用されているアクチュエータには, PZT(圧電素子), モータ, SMA(形状記憶合金)がある。CNA は, それらと比較して, 重量, 効率, 真空での動作が可能と考えられること等から, 宇宙应用到すると考えられる。

Table.1 既存アクチュエータと CNA

	軽量	効率	真空動作	コスト
PZT	△	○	×	○
モータ	×	○	○	○
SMA	△	△	△	○
CNT	○	○	○	△

## 2.2 CNA 駆動原理

CNA 駆動の模式図を Fig.3 に示す。

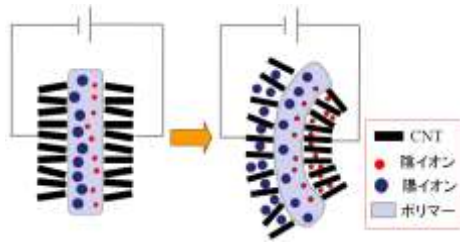


Fig.3 CNA 駆動原理

CNA は、イオン液体(IL)のみを含むフィルムを CNT と IL が分散されたフィルムで挟む三層構造である。両側の CNT 電極に電圧を印加し、CNA 内の陰イオンと陽イオンが移動、両極の CNT へ吸着する。陽-陰イオンで体積差があるため、両極で電圧印加前後の含有イオン体積差が発生し、CNT 電極の変形量に違いが生じる。そして、CNA 全体に反り(変形)が発生する。今回の実験では、条件を変えて製作した CNA の挙動をそれぞれ計測し、製作条件の違いが CNA 挙動に対してどう影響するかを確認した。また、過去の挙動モデル式(3)より算出した値と実験値を比較し、その改良指針を示した。

## 2.3 実験

### 2.3.1 CNA の物性値の影響

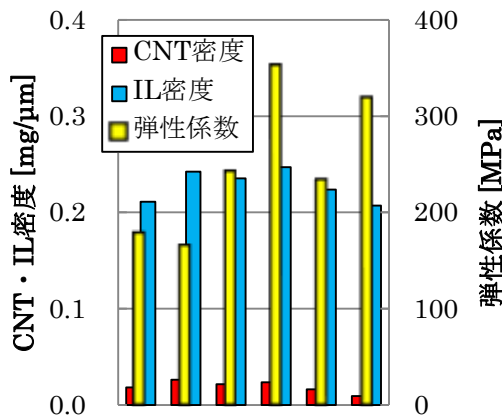


Fig.4 CNA 個体差

本実験で対象とした CNA の物性値は、弾性係数、CNT および IL の含有量(密度)である。上記条件を変えた CNA を試作した。計測を行った 6 つの CNA のそれらの値を Fig.4 に示した。

## 2.4 計測方法

今回の計測は二種類行った。一つの CNA(Fig.4 左端)に対してのみは、印加電圧を変化させて計測を行い、6 種類の全ての CNA に対しては同じ電圧を印加して挙動を計測した。今回計測したパラメータは、CNA の変形角度、発生力、静電容量、弾性係数である。それぞれの計測方法について示す。

### 2.4.1 変形角度

CNA の変形角度に関しては、CNA を電極で挟み、電圧を印加、先端の変位量をもとに変形角度を算出した。

### 2.4.2 発生力

CNA 先端とロードセルを接触するように配置し、電圧印加時の先端発生力を計測した。

### 2.4.3 弾性係数

弾性係数の計測では、片持りのモデルを使い CNA 先端にロードセルを接触させた状態でロードセルを上下させ、その変位と荷重から、弾性係数を算出した。(2)(Fig.5)(式 1)

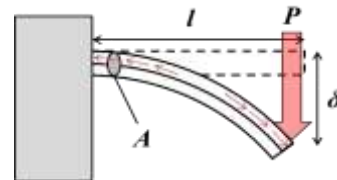


Fig.5 片持りへの荷重モデル

$$\delta = \frac{Pl^3}{3E \frac{bh^3}{12}} \quad (1)$$

( $\delta$ :変位,P:荷重,l:はり長さ,E:弾性係数,b:はり幅,h:はり厚み)

## 2.4.4 静電容量

CNA はコンデンサとしての性質を持つため、充電後の放電電流から、充電電荷量を計測することが出来る。微小電流計を用いて、放電電流を時間積分し充電電荷量を計測した。

## 3. 測定結果

### 3.1 印加電圧の影響

まず、一つの CNA に対して印加電圧を変えた時の充電電荷量の変化を Fig.6 に示す。印加電圧に比例して、充電電荷が増加した。

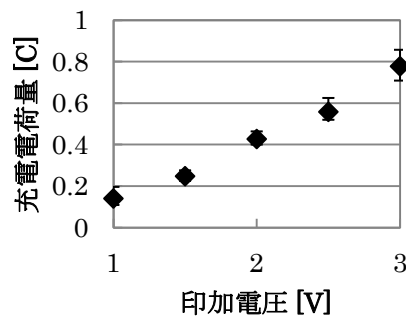


Fig.6 電圧印加による充電電荷量

電圧に対するアクチュエータ挙動の変化を示すグラフを Fig.7 に示す。充電電荷量が増加するとは、両極へそれぞれ移動するイオンの量が増加する。つまり、イオンの体積差効果が大きくなり、アクチュエータとしての動きがより大きくなる。

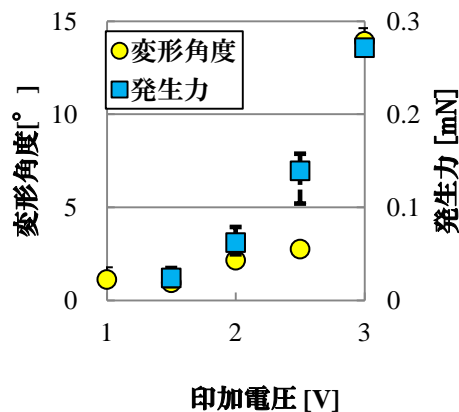


Fig.7 電圧変化と変形角-発生力の関係

## 3.2 CNA 製作条件の影響

製作条件が異なる CNA の弾性係数, IL 量, CNT 密度に着目して挙動への影響を調べた。まず, CNT 密度と IL 量の静電容量との関係について Fig.8 に示す。

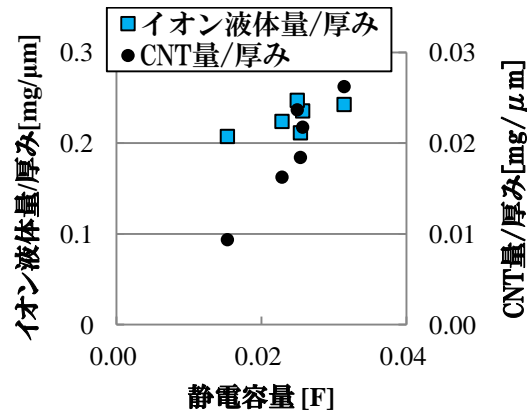


Fig.8 CNT 密度と静電容量

これを見ると, CNT と IL 密度が上昇すると, 静電容量も上昇する事がわかる。つまり, CNA に含まれる CNT 密度と IL 量が上昇すれば, 変形角度, 発生力の増加に繋がる。

次に, CNA の弾性係数と変形量の関係について計測し, 弾性係数の上昇により変形角度が減少していることがわかった。

そこで, 弾性係数に対して CNT 密度, IL 量がどのように影響するか調べたが, 今回得られたデータから明確な関係性は特定出来なかった。しかし, 何らかの影響を与えている可能性があり, 計測方法見直しを行っている。

## 4. 考察

### 4.1 CNA 製作条件と弾性係数

弾性係数と CNT 密度の関係性の特定には至っていないが, 仮に CNT 密度が弾性係数と比例関係にあるとすれば, 変形量の増加を目的に単純に CNT 密度を上昇させても, それにより弾性係数が上昇し, 変形量の増加が抑

制される可能性がある。CNTは非常に高価で、非効率的に密度の上昇により変形量増加を行うと、コストの問題も発生する。そのため今後の課題として、弾性係数とCNT密度、IL量の関係性の特定が挙げられる。

## 4.2 印加電圧と弾性係数

CNA製作条件が弾性係数へ及ぼす影響に対して、電圧と弾性係数の関係性も。そこで、電圧の弾性係数への影響の有無を調べるために、先行研究において提示された、弾性係数が定数である挙動モデル式(3)から算出した値と実験結果の比較を行った。その結果をFig.9に示す。

$$C^{-1} = C_0^{-1} - \alpha S \quad (2)$$

$$S_{\infty} = \frac{\alpha C_0^2 U_e^2}{2\kappa} \quad (3)$$

(C:静電容量,  $C_0$ :初期静電容量,  $\alpha$ :クーロン結合係数, S:変位,  $S_{\infty}$ :十分時間後変位,  $U_e$ :印加電圧,  $\kappa$ :剛性パラメータ)

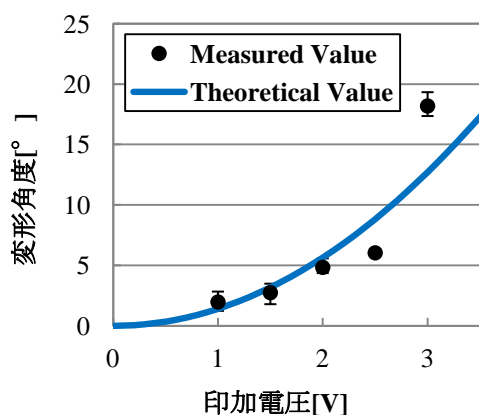


Fig.9 理論式と実測値

Fig.9において、印加電圧が低い領域では、理論値と実測値がよく一致している。しかし、印加電圧が高くなると、実験値と理論値に違いが生じている。そのため、今回定数とした弾性係数が、電圧印加により変化している可能性は十分に考えられる。

今回の計測において弾性係数は、CNAを片持はりモデルに近似して荷重と変位を計測し弾性係数を算出した。そのため、電圧印加時の変形が生じたCNAの弾性係数をこの方法で正確に計測する事は難しい。そのため、今後のCNA弾性係数計測の方法として、試料を振動させて固有振動数を計測、弾性係数を算出するリード振動法<sup>(3)</sup>などを用い、電圧印加による弾性係数の変化を調べ、その結果から今回用いたモデル式の改良も行っていく。

## 5. 結言

今回の報告では、製作条件の異なるCNAと挙動の関係に着目した。その結果、CNAの変形量と発生力が、CNT密度、イオン液体量、弾性係数に影響されることがわかった。また今後の計測方法や、CNAの成分調整といった指針を示すことが出来た。

今後の展望としては、CNT密度、イオン液体量といったパラメータの調整による、弾性係数への影響を調べるとともに、CNA設計手法の確立に向けた挙動モデル式の改良を行っていく。

## 参考文献

- (1) 中野不二男, 宇宙航空研究開発機構 (JAXA): クリーンなエネルギーをつくる太陽光発電衛星
- (2) 小泉堯, 原利昭, 笠野英秋, 水口義久, 基礎材料力学, pp.78-79.
- (3) 日本学術振興会 薄膜第131委員会, 薄膜ハンドブック(第二版), 4.7.3 機械特性-硬さ.