

# ステップカバレッジを考慮した半導電性コーティングの熱サイクル耐性と

## 軌道上試験に関する研究

九州工業大学大学院 工学府 先端機能システム工学専攻 博士前期課程2年 趙研究室 12350924 高橋明敏

### 1. 研究背景・目的

現在、衛星利用の動きがますます活発になっており様々な面で私達の生活を支えている。しかし、これら人工衛星は長期間常に宇宙の過酷な環境に晒されており、故障が発生する。近年、人工衛星の太陽電池アレイ上での帯電・放電事故が確認されている。太陽電池アレイ上で発生した放電は場合により太陽電池アレイの発電能力低下や人工衛星の運用停止など深刻な問題を引き起こす可能性がある。このことより、帯電・放電を抑制させる技術の必要性が高まっている。放電現象は太陽電池アレイ上で局所的な電位差が生じることが発端となる。つまり、局所的な電位差をなくすことで放電を防ぐことができる。本研究では、半導電性コーティングで帯電・放電を抑制することを目的としている。

### 2. 半導電性コーティング

半導電性コーティング液にはシリカを母材にATO(Antimony Tin Oxide)微粒子を拡散させたものを用いた。塗工液は表面抵抗率を任意に変更させることができ、本研究では表面抵抗率 $10^8\Omega/\text{sq}$ に調整している。半導電性にすることで太陽電池アレイ全面への塗工を可能にし、従来の帯電緩和対策工程に比べて、作業量、およびコストを大きく削減できるメリットを持つ。

しかし、いくつかの技術課題がある。1つ目は全面塗工による太陽電池発電電力低下である。従来のコーティングを太陽電池アレイ全面に塗工すると帯電を完全に緩和させることができるが、半導電膜の光吸収によって、発電可能波長域の光透過性が数~数十%低下する。発電への影響を少なくするために光透過性を考慮して薄くコーティングすると、段差(太陽電池の淵)を覆うことができないためステップカバレッジが悪いため帯電し、放電に至る。そこで本研究では、ステップカバレッジを考慮して粘度の違うコーティング液を2種類作成し、太陽電池表面と塗布しづらい太陽電池の淵で使い分けることで、太陽電池上での半導電膜の光透過性を改善することに試みた。2つ目は、宇宙環境耐性が不明な点である。太陽電池は常に過酷な

宇宙環境に晒される。放射線、紫外線、熱等様々な環境劣化があるが、半導電膜は硬化時にガラスに類似した無機化合物になることから、本研究では熱サイクルの影響について検証した。

### 3. 熱サイクル試験

恒温槽を用いて不活性雰囲気大気圧環境下での熱サイクル試験を実施した。宇宙用太陽電池(シリコン太陽電池クーボンパネル)に半導電性コーティングを施したサンプルを図1に示す。全面に3回、淵に4回コーティングを施した太陽電池クーボンパネルと全面に4回、淵に9回塗工した太陽電池クーボンパネルを用意した。また、これらの太陽電池のコーティングによる発電電力低下率は10%程度であった。熱サイクル試験は最高温度:100℃、最低温度:-150℃、さらし時間なし、1サイクル:50分の条件下で行った。この条件は静止衛星の熱環境を模擬している。サイクル数は、5サイクル、10サイクル、100サイクルで行った。



図1: 試験サンプル

表1に7keVの電子線を照射したときの放電回数を示す。塗工したサンプルでは放電が一度も発生していない。7keV以外の照射条件においても同様の結果となった。また図2に示すように、電位差を測定した結果、太陽電池表面の電位はゼロとなっていた。これらのことから、半導電膜による帯電緩和により、放電を抑制できたことが分かった。また、熱サイクル負荷後も良好な放電抑制性能が得られることが分かった。

表1 熱サイクル後の各サンプルの放電回数

	塗工あり	塗工あり	塗工なし

	(4×9)	(3×4)	
5 サイクル	0	0	1
10 サイクル	0	0	6
100 サイクル	0	0	11

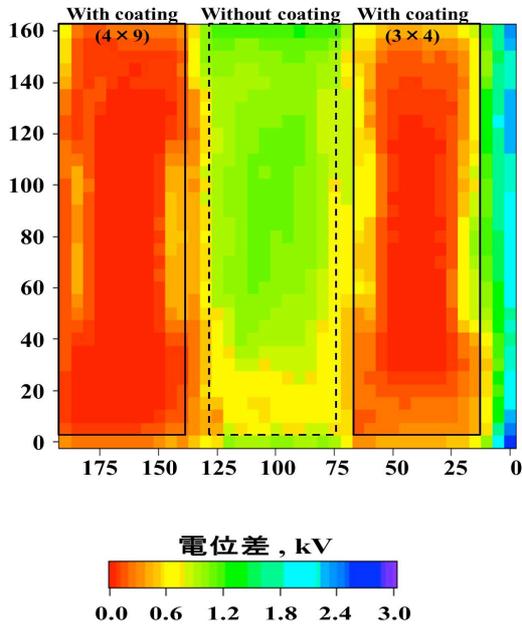


図2 表面の電位

(100 サイクル実施後のサンプルに 7keV の電子を照射した際)

#### 4. 軌道上試験

本技術は、2012年5月18日に種子島宇宙センターから打ち上げられた高電圧技術実証衛星「鳳龍式号」に搭載されている。本衛星では、コーティングした太陽電池を 300V にバイアスし、意図的に放電が起きやすい環境をつくりだして、コーティングによる放電抑制技術を検証した。太陽電池にコーティング液を厚塗りしたため発電電力低下が約 34% となった。塗工あり、なしとの放電回数を比較して軌道上放電抑制および、半導電膜の環境耐性を検証した。

図3に軌道上試験の結果を示す。放電しやすい環境を意図的に設けたが、放電は発生しなかった。表2に試験時間と各太陽電池ターボンパネルでの放電回数を示す。半導電性コーティングを施した太陽電池では一度も放電が発生していなかった。現在は衛星の故障により、軌道上試験を実施することができないが、打ち上げから182日間は宇宙環境に耐えうることが実証できた。コーティングを施した太陽電池ターボンパネルは2548周(14周/日×182日)の熱サイクルを受けており、高い熱サイクル耐性が期待できることが分かった。

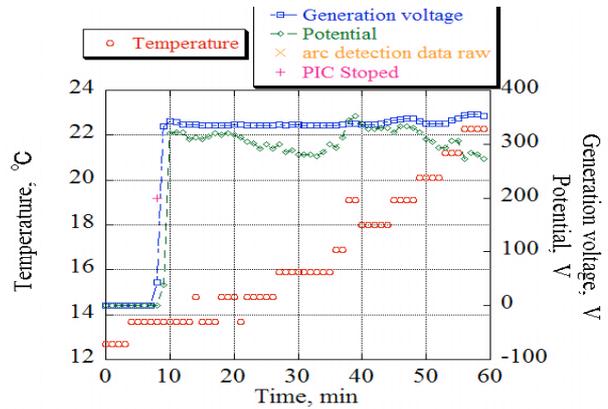


図3 軌道上試験結果

表4.1 軌道試験結果のまとめ

	コーティング なし	コーティング あり
試験時間, min	678	650
放電回数, 回	17	0

#### 5. 総括・今後の予定

粘度の違う2種類のコーティング液を塗工した太陽電池ターボンパネルで熱サイクル試験を実施した。発電電力低下率は10%程度であり、熱サイクル負荷後に、放電が発生することはなかった。また、九工大発超小型人工衛星による軌道上試験により放電抑制効果を実証することができた。

今後の予定として以下の検証試験、改善を図りたい。

##### ①宇宙環境耐性

→放射線、原子状酸素などの宇宙環境耐性評価

②本研究のものとは異なる各種表面材料が複合した太陽電池アレイに対するコーティングの塗工性改善

③コーティングへの新しい機能性付与によるコーティングを用いた新たな太陽電池アレイ製造工程の提案

これらの検証試験、改善を図ることで、半導電性コーティングの実用へと前進できると考える。

#### 研究業績 (発表論文4件、投稿論文1件)

国際学会 (3件)

- International Astronautical Congress, Oct 2012
- Nano-Satellite Symposium, Oct 2012
- 12th Spacecraft Charging Technology Conference, May 2012

国内学会 (1件)

- 第57回宇宙科学技術連合講演会, 11 2013

投稿論文(1件)

- IEEE Transactions on Plasma Science, Volume:42, Issue:2