

宇宙用太陽電池パネル上の放電により誘起されるサージの等価回路を用いた解析

工学研究科 電気工学専攻 博士前期課程2年 趙研究室 07346446 前島淳司

1. 研究背景と目的

近年の宇宙開発において、宇宙機のバス電圧の増加とともに宇宙空間のプラズマ環境と宇宙機に搭載された太陽電池との相互作用により太陽電池表面上で恒久的短絡につながる放電が発生し宇宙機の安定運用を脅かす危険性がある。この放電により発生したサージが搭載機器へ流れ込み、不具合や故障につながる可能性がある。本研究の目的は放電プラズマと太陽電池パネルの等価回路を作成して電子回路シミュレータ SPICE を用いてどのようなサージが流れるのか解析することである。

2. 解析手法

軌道周回中の宇宙機は太陽電池表面のカバーガラスが帯電し、蓄えられていた電荷が放電により生じたアークプラズマを介して放電点へ流れ込む(図 1)。この放電を Flash-over 放電と呼び、この経路に存在する抵抗 (Flash-over 抵抗)の時間的変化を考慮しスイッチと抵抗でモデルを作成する。モデル作成には実験室で行った Flash-over 放電試験で得られた結果を元としている。

太陽電池パネルの等価回路はインピーダンス特性に注目して、太陽電池パネルに含まれている RLC 成分を測定した後、その結果を用いて等価回路モデルを作成する。測定にはファンクションジェネレータとインピーダンスアナライザを用いた。太陽電池のダイオード特性にも注目し等価モデルを作成し、さらにケーブルの等価回路も作成した。これらを Flash-over 抵抗を組み合わせ放電模擬回路を作成し、実機相当の宇宙機モデルでの放電現象による宇宙機本体へのサージの影響を解析する。

3. 解析結果

Flash-over 抵抗に関しては、Flash-over 抵抗は放電プラズマの伝搬時間にほぼ比例して増加することがわかった。具体的には、放電点に一番近い太陽電池中心の Flash-over 抵抗を 10kΩ、一番遠い Flash-over 抵抗を 1000kΩ とした時に実験室での放電試験と同等の結果が得られた。

太陽電池の等価回路作成に関しては、1 枚の太陽電池から簡略化した複数枚の太陽電池モデルを LCR 回路で

作成した。これらの等価回路は周波数 2MHz までのインピーダンス特性が一致している。

作成した太陽電池パネルの回路にケーブルの等価回路と Flash-over 抵抗を追加して実機相当の宇宙機の放電模擬回路(図 2)を SPICE 上で作成し宇宙機ほどの程度のサージが流れ込むかシミュレーション解析を行った。放電プラズマの伝搬速度が $3.0 \times 10^4 \text{m/s}$ と仮定した時、4m×2.4m の太陽電池パネル中心で生じた Flash-over 放電により最大約 30A の Flash-over 電流が放電点へ注入され宇宙機本体には約 30V のサージ電圧(図 3)が 600μsec 程度発生することがわかった。

4. 今後の課題

今後は等価回路のさらなる精度向上や電源系の装置(PCU 等)も考慮してより詳細に解析する必要がある。

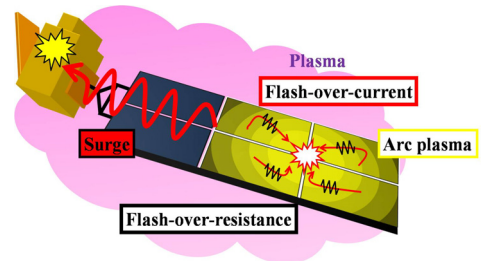


図 1 Flash-over 放電の概要図

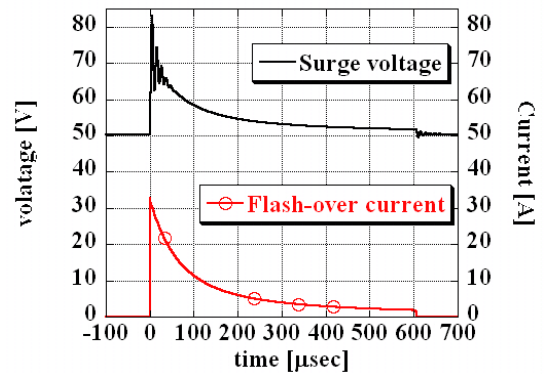


図 3 宇宙機に流れ込むサージ電圧

-----発表実績-----

- 日本航空宇宙学会西部支部講演会(2007)
- 第 27 回宇宙エネルギーシンポジウム(2008)
- 第 52 回宇宙科学技術連合講演会(2008)

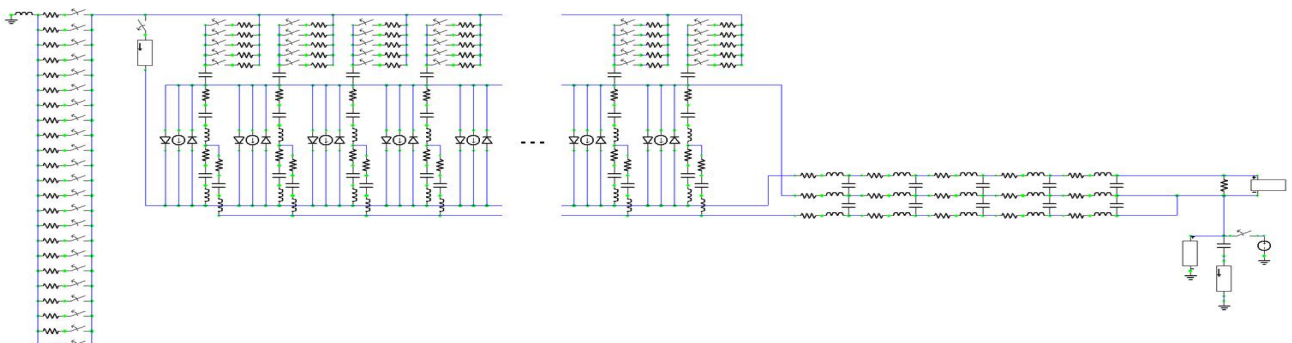


図 2 宇宙機の放電模擬回路