

人工衛星の太陽電池パネルの放電試験

Discharging Test for a Satellite Solar Array Panel

エレクトロニクス技術グループ (Expert Group for Electrical Engineering)

川北史朗、仁田工美、岐部公一

Shirou Kawakita, Kumi Nitta, Koichi Kibe

ALOS プロジェクト (ALOS Project Team)

岩田隆敬、三浦健史

Takanori Iwata, Takeshi Miura

Abstract

A large solar array paddle with the power generation of 7 kW was developed for the Advanced Land Observing Satellite (ALOS). With the deployed dimension of 22x3m in a polar orbit, this 9-panel rigid paddle has insulator Silver-Teflon thermal sheets and exposed bypath diode boards on its back face. A charging analysis suggested that large negative potentials on the dielectric back-surfaces and at satellite ground may be induced through the ALOS's auroral passage in off-nominal conditions. The ALOS's baseline panel design was tested for the electron beam radiation which simulated charging situations near the poles. Possibility of sustained arc and surge voltage, as well as survivability against estimated accumulation of arcs, was investigated. The back face showed small negative arc thresholds for both the insulator surface potential and the spacecraft ground voltage. Surface flashover was observed over the silver-Teflon coating. Although the back face was demonstrated sufficiently against sustained arcs, design modifications to mitigate the back face's susceptibility for charging and arcing were experimentally examined and implemented. The conductive adhesive that surrounded the baseline Silver-Teflon sheet and covered the CFRP face-sheets eliminated arcs at the silver-Teflon edges and the face-sheet. The Kapton film shielding the diode board protected the exposed power line from arcs.

1. はじめに

近年、人工衛星の宇宙環境における帯電・放電が、衛星システムに多大な損傷を与える事故が多発している[1,2]. JAXAにおいては、平成15年10月25日に環境観測技術衛星(ADEOS-II)が約3分間で発生電力が6kWから1kWまで低下する運用異常が発生した. この原因を検討した結果、放電による電力ハーネスの損傷が原因のひとつとして考えられている[3]. そこで、我々は開発中の人工衛星の信頼性を確認および向上するために、放電耐性に関する試験を行ってきた. 陸域観測技術衛星(ALOS)の太陽電池パネルについては平成16年3月から12月に帯放電検証試験を実施し、試験結果を反映した放電抑制のための改修が施された. ここでは、この検証試験及び放電抑制技術について報告する[4].

2. 実験と結果

ALOS の太陽電池パネル裏面は、太陽電池に影がかかった時の逆方向電圧による損傷を防ぐためのバイパスダイオードボード、熱制御用の銀蒸着テフロンおよび電力ハーネスで構成されている。ここでは、銀蒸着テフロンの帯電・放電がダイオードボードに及ぼす影響について検討した。

まず、ALOS の太陽電池パネル裏面のオーロラ帯での帯電状態について解析した。北極域では、ALOS の太陽電池パネル裏面は進行方向に対してウェイクとなるため、低軌道プラズマは裏面に回りこむ事ができない。その結果、高エネルギーの電子のみが裏面に照射されるため、銀蒸着テフロンは負に帯電することが考えられる。そこで、Particle-in-Cell (PIC)法を用いて、北極域での太陽電池パネル裏面の帯電状態について解析した。この結果、太陽電池パネル裏面は、一番厳しい環境において、オーロラ帯通過 9 秒後には -7kV 以上に帯電することが分かった。つまり、ALOS の太陽電池パネル裏面は、宇宙環境によっては放電が発生する可能性が十分高いことが明らかとなった[5]。

そこで帯電緩和・放電抑制のために以下の対策を検討した。

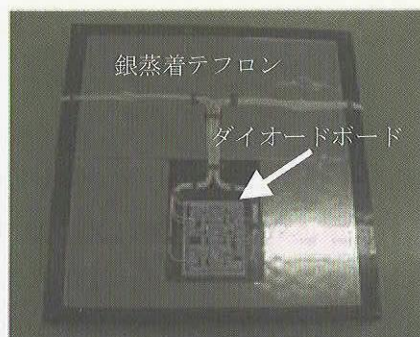
(1) 銀蒸着テフロン周囲を導電性接着剤にてコーティングする

(2) ダイオードボードをカプトンフィルムにて覆う

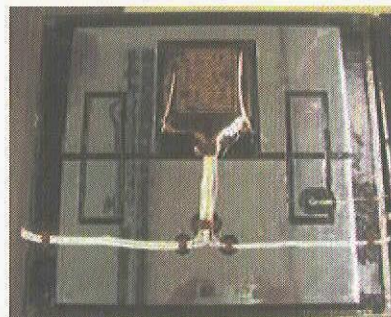
(1)は銀蒸着テフロン端での放電抑制、(2)はトリガー放電のダイオードへの飛び込み防止を目的としている。

次に、これらの対策の有効性を確認するために、従来設計及び改良設計((1)と(2)の反映)の 2 パターンの太陽電池裏面を模擬したクーポンパネルを作製し放電試験を行った。

この放電試験は、放電閾値電圧の計測、持続放電現象の有無、放電耐性およびサージ信号の計測および上記抑制技術の検証を目的としている。図1に試験に用いた従来および改良版のクーポンパネルの外観写真を示す。(a)は、CFRP を表皮としたアルミニウムのハニカム構造のサブストレート上中央下にバイパスダイオードボードを配置し、その周囲を銀蒸着テフロンとしている。一方、(b)の改良設計クーポンは、銀蒸着テフロンの周囲を黒色の導電性接着剤でコーティングし、銀層を接地すると共にダイオードボードをカプトンフィルムにて覆っている。これらのクーポンパネルを用いて、電子ビーム帯電試験とプラズマ干渉試験を行った。



(a) 従来設計



(b) 改良設計((1)および(2)対策)

図1 太陽電池パネル裏面を模擬した放電試験サンプル



図2 真空チャンバー内のクーポンパネル

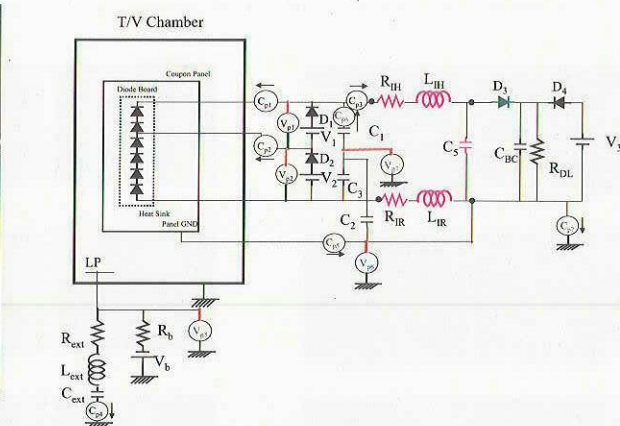


図3 電子ビーム放電試験回路図(シャントオフモード)

クーポンパネルを真空チャンバーに設置した時の外観写真および代表的な放電試験での回路図を図2および図3に示す。チャンバー上部に設置した電子ビーム照射装置にて、クーポンパネルに電子ビームを照射し、クーポンパネルを帯電させた。また、図3において、トリガー放電での周辺帯電エネルギーの寄与を、ラングミュアプローブ(LP)と外部回路(C_{ext} , V_b)にて模擬した。

電子ビーム帯電試験における放電閾値電圧は、従来設計では約3 kVであったが、改良設計では約9 kVに向上した。これは、導電性接着剤により銀層を覆い、かつ接地することによって銀蒸着テフロン端での放電が抑制されたためと考えられる。この結果、改良設計では低い帯電電位におけるトリガー放電を抑制することが確認された。

一方、持続放電は従来および改良設計ともに観測されなかった。しかし、従来設計において、ダイオードボード近くでの放電時において電源のエネルギー(太陽電池アレイの発生エネルギーに相当する)が寄与する2次放電が観測された。

図4に放電試験前後でのクーポンパネルの顕微鏡写真を示す。従来設計において、多くの放電は銀蒸着テフロン端、表面および電力ハーネス近傍にて発生していた。また、バイパスダイオードボード上やCFRP上での放電が抑制されたことにより電力系への擾乱も緩和されることが確認された。

3. まとめ

ALOSの太陽電池パネル裏面の耐放電性について試験にて検討した。この結果、従来設計においては、大きな損傷を与える持続放電は発生しないが、2次放電が多発し、電源回路に影響を及ぼす可能性があることが分かった。銀蒸着テフロン周囲を導電性接着剤にて接着し、ダイオードボードをカプトンフィルムで覆った放電抑制設計においては、トリガー放電を抑制できるため、放電に対して耐性が向上することを確認した。これらの研究成果は、フライト設計に反映された。

謝辞

本研究において、すべての検討項目に対するご指導、人工衛星の帯電解析および放電試験を行っていただいた九州工業大学の趙教授および趙研究室の皆様、ならびにクーポンパネルの作製および放電試験に参加し有益なご助言をいただいた NEC 東芝スペース㈱の野崎氏に感謝致します。

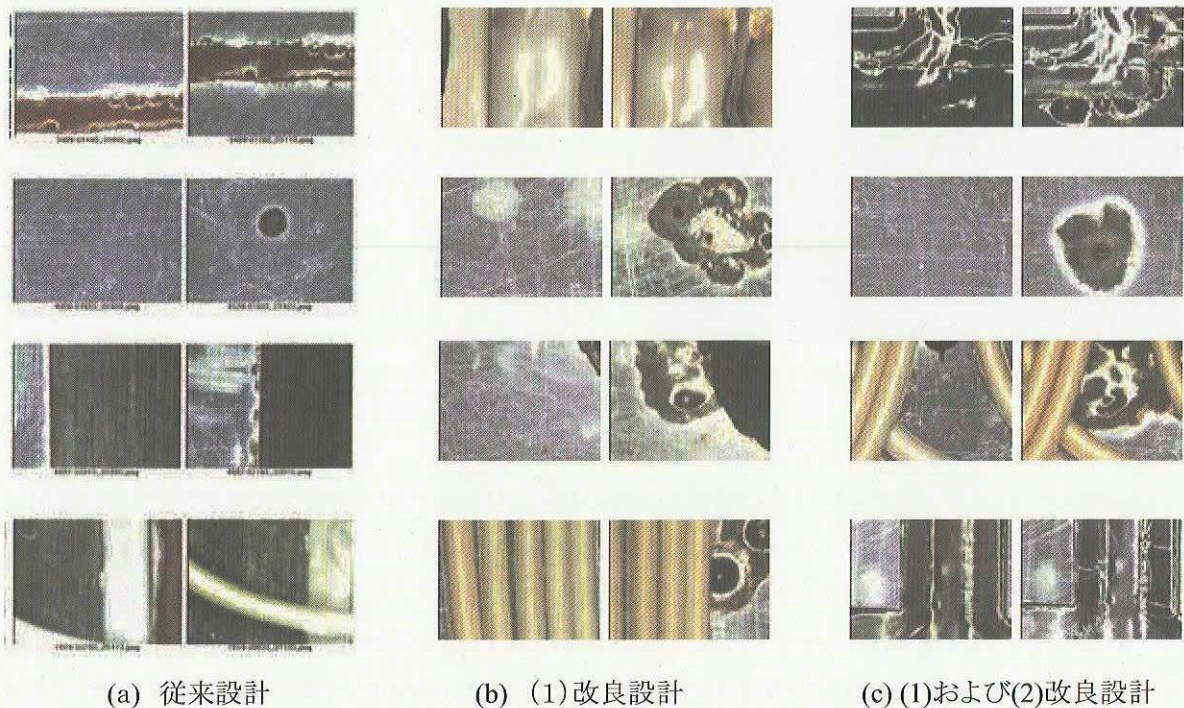


図4 放電試験前後のクーポンパネルの顕微鏡写真

[参考文献]

- [1] D. L. Cooke, "Simulation of an Aurora Charging Anomaly on the DMSP Satellite", AIAA-98-0385, 36th Aerospace Science Meeting & Exhibit, January 12-15, 1998, Reno, NV
- [2] S. Davis, R. Stillwell, W. Andiaro, D. Snyder and I. Katz, "EOS-AM Solar Array Arc Mitigation Design", AIAA-99-01-2582, 1999
- [3] S. Kawakita, H. Kusawake, M. Takahashi, H. Maejima, T. Kurosaki, Y. Kojima, D. Goto, Y. Kimoto, J. Ishizawa, M. Nakamura, J. Kim, S. Hosoda, M. Cho, K. Toyoda and Y. Nozaki, "Investigation of an Operational Anomaly of the ADEOS-II Satellite", 9th SCTC, Tsukuba, 2005.
- [4] T. Iwata, T. Miura, Y. Nozaki, S. Hosoda and M. Cho, "Solar Array Paddle for the Advanced Land Observing Satellite (ALOS):Charging Mitigation and Verification", 9th SCTC, Tsukuba, 2005.
- [5] M. Cho, J. Kim, S. Hosoda, Y. Nozaki, T. Miura, S. Kawakita, H. Kusawake, M. Takahashi and T. Iwata, "Aurora Charging of Large Solar Panel of a Polar Orbit Satellite", AIAA 2004-5667, 2nd IECEC, Providence, U.S.A., August 2004.