

宇宙機表面における高電圧絶縁破壊特性とそのアブレーション現象の数値計算

Characteristics of high-voltage breakdown on spacecraft insulator surface and calculation of its ablation phenomena

田原 弘一 [1]

Hirokazu Tahara[1]

[1] 阪大・基礎工

[1] Engineering Sci., Osaka Univ.

地球低高度軌道上の宇宙機は大型化、高電圧化の方向にある。宇宙機の導電性本体の電位は周辺プラズマから宇宙機に流出入する電流がバランスすることにより決定され、その結果大きく負に沈むことになる。そのため太陽電池が高電圧で発電を行うと、宇宙機表面において絶縁破壊によるアーク放電が発生することが危惧される。また宇宙機表面材料でアーク放電が繰り返し発生することにより、材料本来の熱特性が失われるという報告もある。

大阪大学では、これまで宇宙機表面を覆う絶縁性材料表面におけるアーク放電現象に関する地上模擬実験を行ってきた(文献1-4)。その結果、アーク放電の際に流れる電流、電荷量はサンプルに印加された初期電圧、および周辺中性粒子密度に対して依存性があることが確認された。また放電後のサンプル表面をSEMにより観察した結果、放電痕の直径は初期印加電圧に対して依存性を示していたが、中性粒子密度に対しては依存性が確認されなかった。以上の結果から、放電痕直径とアーキングによる絶縁性材料の劣化の程度は放電前にコンデンサに蓄えられていたエネルギーに依存すると推察される。本研究では、より現実的な繰り返しアーキング特性を調べ、さらにアークスポットにおけるアブレーション現象を含む熱流体計算を行い、絶縁性材料表面において発生するアーク放電によって、放電痕直径がどのように拡大するかを調べた。

1000回の繰り返しアーク時のその頻度の変化と放電後の表面状態を調べた結果、放電回数の増加と共に、同一箇所での放電が多くなり、その頻度が増加していくことがわかった。これは一度放電が発生した箇所では表面が粗くなり電界集中が起き易いためと考えられる。

計算結果より、パルス的な電流が流れた際に、プラズマ電気抵抗は急激に低下した後緩やかに減少した。これはジュール加熱により中性ガスがプラズマ化され、プラズマの電気抵抗率が低減したことに起因している。また放電の終盤にはアークスポット内の粒子密度が低くなることにより、プラズマ電気抵抗が増加した。陽極酸化層は放電初期において急激に溶け出し、その後放電が終了するまで徐々に溶けるものと考えられる。また計算されたアークスポット直径は初期エネルギーの増加とともに拡大する傾向を示しており、実験で観察された依存性と一致した。そのため放電前に蓄えられていたエネルギーが大きいほど放電の最中に陽極酸化層へ入射するエネルギーは増加し、より多くの陽極酸化層が蒸発するものと考えられる。しかしながら、これらの計算結果は実験で観察されたアークスポット直径に比べ小さい値であった。これらのことから、放電が同一箇所でも繰り返し発生することにより、アークスポットの直径が拡大される効果があるものと予想される。また計算された中性粒子密度、電子数密度は共に軸方向の変化量に比べ時間の変化量が大きかった。これら密度のオーダーは共に周辺のプラズマ密度に比べ非常に大きくなるので、この高密度プラズマが光学機器等に付着することによりコンタミの原因となる可能性がある。

(参考文献) 1) 田原弘一, 永田政人, 増山貴久, "宇宙機表面のアーキングに関する地上実験," 日本航空宇宙学会論文集, 52-609 (2004) pp.473-478.

2) T. Masuyama, M. Nagata, T. Onishi and H. Tahara, "Ground-Based Experiment of Arcing on Spacecraft Insulator Surfaces in Ambient Plasma Environment," Proc. 24th Int. Symp. Space Technology and Science, ISTS 2004-b-25, 2004, pp.179-185.

3) H. Tahara, T. Masuyama and K. Horikawa, "Ground-Based Experiment of Electric Breakdown of Spacecraft Insulator Surface in Ambient Plasma Environment," Proc. 9th Spacecraft Charging Technology Conf., Tsukuba, Paper No.1, 2005.

4) K. Horikawa, H. Tahara and T. Masuyama, "Numerical Calculation of Ablation and Plasma Expansion Induced by Electric Breakdown of Spacecraft Insulator Surface in Ambient Plasma Environment," Proc. 9th Spacecraft Charging Technology Conf., Tsukuba, Paper No.2, 2005.