

## 内部帯電計測システムによる帯電現象の解析

Analysis of Charging Phenomena in dielectric materials using the PEA System

三宅 弘晃<sup>1)</sup>

田中 康寛<sup>2)</sup>

Hiroaki MIYAKE

Yasuhiro TANAKA

<sup>1)</sup>宇宙航空研究開発機構

<sup>2)</sup>武蔵工業大学

宇宙機表面絶縁材料は高エネルギー荷電粒子の照射により帯電を引き起こし、衛星事故・運用停止の原因となる可能性があることが報告されている(1)。本研究ではプロトンを絶縁材料各種に照射し内部帯電を計測した。その結果、材料ごとに正帯電分布の差が観察された。

**キーワード**：プロトン照射、内部帯電、宇宙機材料

### 1. 目的

人工衛星の飛行する宇宙空間は放射線環境(ヴァン・アレン帯：電子や陽子等の荷電粒子、プラズマで満たされた空間)であり、飛行している衛星が荷電粒子に起因した帯電・放電現象(Electro static discharge :ESD)、あるいは材料の劣化や絶縁破壊により誤作動や故障するという事故が発生している(1-2)。世界の衛星のロケット打ち上げ技術はほぼ完成の域にあるが、これに対して衛星が飛行中に宇宙環境の高エネルギー放射線による ESD に起因した事故により、設定された運用期間を待たずに運用を終了してしまう事例が報告されている。そこで、宇宙放射線環境において設定された運用期間、さらにはその期間を越えて長期間安定して動作することが出来る衛星の開発設計を行うことが研究課題になっている。そこで本研究は宇宙放射線環境における帯電現象解明の基礎研究を目的として、高エネルギーのプロトンを照射し絶縁体中に蓄積する荷電粒子分布の計測を行う。

### 2. 方法

ポリイミドフィルム(PI)および Ag-FEP を試料として用いた。厚さは全て 125 $\mu\text{m}$  である。PI は人工衛星の熱制御材として、Ag-FEP は太陽光反射板(OSR)として用いられているものである。照射面には金属蒸着を施していない面を用いた。プロトン照射は真空中で行い、照射条件は加速電圧 2.5、2.0、1.5、1.0MV、電流密度 270nA/cm<sup>2</sup>、照射時間 180 秒である。照射 1、10 日後に PEA 法により空間電荷分布測定を行った(3)。照射装置に日本原子力研究開発機構 3MV タンデム加速器を用いた。

### 3. 研究成果

2.5MeV プロトン照射時の PI と Ag-FEP フィルム内の空間電荷分布測定結果をそれぞれ図 1a)、b)に示す。同図より両試料内に正電荷の蓄積が観察された。また、同図(a)及び(b)に示した正電荷蓄積ピーク位置はそれぞれ 83 $\mu\text{m}$  と 110 $\mu\text{m}$  と判断できる。このピーク位置と IRACM (日本原子力研究所開発の放射能・線量等の評価シミュレーション)を用いて算出したプロトン飛程値である 89 $\mu\text{m}$ (ポリイミド)及び 100 $\mu\text{m}$ (Ag-FEP)とを比較すると、その差が約 10%以内である。故に観察された正電荷信号は照射されプロトンに起因する電荷蓄積が観察されたものと考えられる。照射 10 日後には Ag-FEP 内の正電荷蓄積量はわずかに減少したのみであったが、PI 内の電荷量は半減した。他のエネルギー照射時の測定結果は、飛程距離が短くなるだけで、図 1 で得られた結果と同様に正電荷蓄積の結果が得られた。これは過去に計測されたプロトン照射時の PMMA の帯電計測結果と同様の傾向である(3-5)。

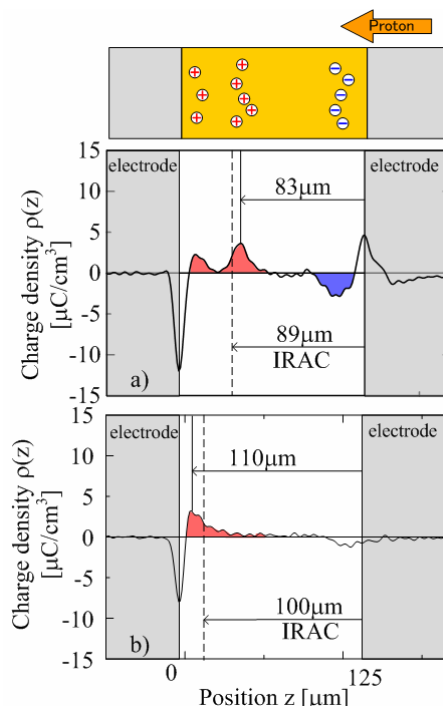


図 1 プロトン照射材料の空間電荷分布測定結果(2.5MV 照射時)  
a)ポリイミドフィルム b)Ag-FEP

#### 4. 結論・考察

プロトン照射材料において正帯電が観察される原因として、高エネルギープロトンによるスパッター効果により材料外へ構成原子(ラジカル近傍水素原子)がイオン化して放出、もしくは照射プロトンが構造体内の電子との結合により水素となり試料外へ放出されることから構造的に正電荷が観察されると考えられる。同図 a)に、計算飛程より奥の照射面の対向側電極近傍に観察されている正電荷の蓄積については、プロトン照射により材料内に格子欠陥が生成されることにより、飛程が計算値よりも進展してしまったものと考えられるが、今後更なる解析が必要となる。

#### 5. 引用(参照)文献等

- (1) A. C. Tribble, "The Space Environment", Princeton University Press, 1995, Chapter 2-3
- (2) H. C. Koons, J. E. Mazur, R. S. Selesnick, J. B. Blake, J. F. Fennell, J. L. Roeder and P. C. Anderson, "The Impact of the Space Environment on Space Systems", Proceedings of the 6th Spacecraft Charging Technology Conference, Air Force Research Laboratory, pp. 7-11, 1998.
- (3) Tatsuo TAKADA, Hiroaki MIYAKE, and Yasuhiro TANAKA, "Pulse Acoustic Technology for Measurement of Charge Distribution in Dielectric Materials for Spacecraft", IEEE NPSC Transactions on Plasma Science, Vol. 34, No. 5, pp.2176-2184, 2006.
- (4) 三宅弘晃、田中康寛、高田達雄：「プロトン照射絶縁材料の正電荷蓄積」，平成 17 年電気学会全国大会講演論文集[2]，p.13，徳島大学，3 月，2005.
- (5) 三宅弘晃、田中康寛、高田達雄，「宇宙機絶縁材料における内部及び表面帯電計測」，第 37 回電気電子絶縁材料システムシンポジウム予稿集，電気学会，pp.29-32，千葉大学，10 月，2006.