

## ISS・人工衛星搭載用帯電計測装置の開発 及び 試験

Development and Test of Internal Charge Measurement System for ISS &amp; Satellite

三宅 弘晃

Hiroaki MIYAKE

1) 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と報告されている<sup>(1)</sup>。本研究では衛星搭載を目的とした衛星材料内部の帯電モニタを開発し、プロトン照射時に材料内に形成される帯電分布を計測した。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

人工衛星が運用される宇宙空間は放射線環境であり、荷電粒子に起因した帯電・放電現象(Electrostatic 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。図1に宇宙環境による障害統計を示す<sup>(1)</sup>。同図に示すように、8割以上は荷電粒子が直接原因となって障害が発生していることが分かる。近年我が国の衛星も帯電により設定された運用期間を全う出来ない事象が発生している。少なくとも設定された運用期間は安定して動作することが出来る衛星の開発設計が必要である。宇宙航空研究開発機構は衛星設計標準化作業におこなっており、帯電・放電に関しても研究課題として取り組まれている。そこで筆者らは、宇宙放射線環境による帯電現象に注目し、実際に宇宙環境における衛星材料の帯電量の定量評価を目的として放射線照射時の材料内帯電測定を行っている。本報告では、プロトン照射試料の内部帯電測定結果について報告する。

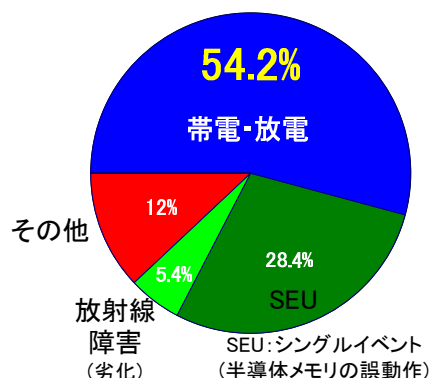


図1 宇宙環境による衛星障害統計

### 2. 方法

人工衛星の表面材料に高エネルギープロトンを照射し、照射後の材料内部の電荷分布の測定を行った。また、プロトン照射材料に表面帯電を模擬し、直流高電圧を印加した際の内部帯電計測も合わせて行った。内部帯電の計測はパルス静電応力法(PEA法)を用いて行った<sup>(2)(3)</sup>。

#### 2-1 測定試料およびプロトン照射・測定条件

宇宙機の表面材料に用いられるPIフィルム125 $\mu\text{m}$ を試料に用いた。プロトン照射は真空下で加速電圧2.5MV、電流30nA/cm<sup>2</sup>、照射時間20分である。照射前、照射中・後にかけて連続的にPEA法により空間電荷分布測定を行った。プロトン照射には日本原子力研究開発機構、高崎量子応用研究所所有の3MeVタンデム加速器を用いた。また、照射5日後に、表面帯電を模擬し直流高電圧を試料に60分間印加し空間電荷分布の測定を行った。印加電圧は印加電界が100kV/mmになるように12.5kVとし、プロトン照射面側から印加した。

### 3. 研究成果

図2にプロトン照射PI試料内の空間電荷分布と電界分布を示す。同図a)はプロトン照射開始1分後の最大電荷蓄積時の空間電荷分布結果を、同図b)には照射5日後に直流高電圧を印加した際の材料内の空間電荷分布の経時変化の測定結果を、同図c)には同図b)での印加直後、印加終了直前、直後の空間電荷分布の結果を、

同図 d)には同図 c)における材料内の電界分布を示している。尚、プロトンは図中右側より照射を行った。

同図 a)より、照射側電極より  $90\mu\text{m}$  の位置に  $11.5\text{C}/\text{m}^3$  の正電荷の蓄積が観察された。イオンの物質内での飛程等を算出するシミュレーションコードである SRIM(Stopping and Range of Ions in Matter : SRIM)を用いて、同実験条件による PI 試料内のプロトン飛程を算出すると  $84\mu\text{m}$  となる。これは同図 a)の試料内正電荷ピークと比較し 7%程度の誤差であり、 $90\mu\text{m}$  位置の正電荷信号は照射されたプロトンに起因するものであると考えられる。更に同条件の照射を行った試料に直流高電圧を印加すると、同図 b)及び c)より、材料内に多量の正負のヘテロ電荷の蓄積が観察される。ヘテロ電荷の蓄積量は電圧印加時間の経過と共に増加している。試料内の正電荷ピークの位置は照射界面から  $84\mu\text{m}$  であり、計算飛程と一致する。更に同図 c)より直流高電圧印加終了の直前・直後で材料内ヘテロ電荷の蓄積量に差はなく、同図 d)より高電圧印加直後の電界分布は終了直前の電界分布とヘテロ電荷形成前の電界分布との差分に一致することも確認できる。未照射の試料では同様の高電圧印加を行っても試料内に電荷蓄積は確認できないことから、材料内のヘテロ電荷はプロトンによって材料の分子構造が切断されたことに起因する空間電荷分極によって形成されてものと考えられる。今後は照射線量や印加電界を変更しプロトン照射材料内の電荷挙動の解析を行っていく予定である。

#### 4. 結論・考察

プロトン照射を行った際の内部帯電計測結果を報告した。 $2.5\text{MeV}$  のエネルギーのプロトンは放射線帯内帯において支配的な粒子であり、それにより空間電荷分極と電界強調、材料劣化を引き起こす可能性があることを示した。今後帯電と衛星障害への関連を明らかにし、成果を衛星の設計・運用に反映させていく。

#### 5. 引用(参照)文献等

- (1) 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.
- (2) 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.
- (3) 沼田誠也、丸田真吾、三宅 弘晃、田中 康寛、高田 達雄: 「プロトン照射絶縁材料における電荷蓄積特性」, Vol. 2, 2-065, 平成 21 年電気学会全国大会, 2009 年

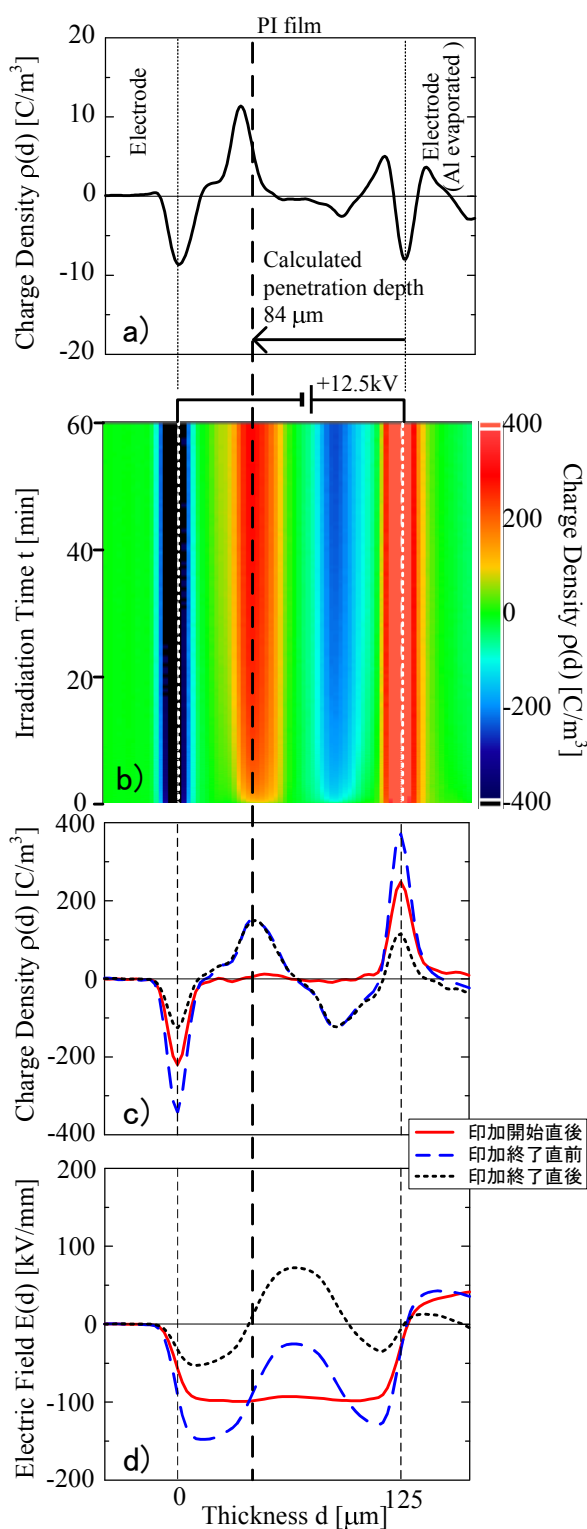


図 2 プロトン照射 PI 試料内の電荷・電界分布  
 a) プロトン照射中における電荷分布  
 b) 12.5kV 印加時におけるプロトン照射試料の電荷分布の経時変化  
 c) 12.5kV 印加時の印加開始、終了直前直後の電荷分布  
 d) 12.5kV 印加時の印加開始、終了直前直後の電界分布