

## 深宇宙環境での使用に耐える粘着性シリコーン素材の開発

Development of spacecraft on-board non-solvent silicone PSA

岡本 千里<sup>1)</sup>

Chisato OKAMOTO

青木 俊司<sup>2)</sup>

Shunji AOKI

岩田 稔<sup>3)</sup>

Minoru IWATA

森下 拓往<sup>4)</sup>

Hiroyuki MORISHITA

矢野 創<sup>1)</sup>

Hajime YANO

宝田 充弘<sup>2)</sup>

Mitsuhiro TAKARADA

松永 三郎<sup>4)</sup>

Saburo MATSUNAGA

森井 翔太<sup>4)</sup>

Shota MORII

1) 独立行政法人宇宙航空研究開発機構

2) 信越化学工業株式会社

3) 九州工業大学

4) 東京工業大学

### (概要)

深宇宙において小惑星などの小天体表面からの試料採取方法として、粘着材による砂礫試料の採取が検討されている。本研究では、耐宇宙性を満たすために新規開発した粘着材の宇宙環境模擬試験を行うことを目的とし、放射線照射実験を実施し、その粘着機能を調べた。本研究は、小惑星試料をなるべく破壊・汚染せず地球に持ち帰ることを目的とする。例えば、探査機「はやぶさ」は小惑星表面に数gの弾丸を撃ち込むことにより、小惑星破片を舞い上げ、試料を採取する手法を用いた。この方法は、未知の小惑星表面からの試料採取という点では有効であるが、試料を破壊してしまう可能性がある。そこで、本研究では、はやぶさ後継機などのサンプルリターンミッションでは、なるべく試料のサイズ分布を保持したまま、粘着剤を小惑星に圧着させ、試料を採取することを目指し、深宇宙耐性のある粘着材を新規開発した。

### キーワード：

宇宙耐性試験, シリコーン系粘着材, 小惑星探査機

### 1. 目的

深宇宙に耐える粘着剤は、従来品では試料への粘着素材の汚染など、使用するには難点があった。また、宇宙空間での長期間の使用に耐えるような耐放射性素材を新規開発する必要がある。本試験目的は、宇宙機搭載素材の開発において必須となる放射線環境での耐性を調べ、素材の経年劣化を明らかにすることである。小天体表面は、粉体ないし砂利層に覆われている可能性が高いため、本方法は、小惑星試料を採取するために有効な手段である。一方、素材の機能が重要な鍵となるため、長期間宇宙空間にさらされても、天体表面から試料をより多く、効率よく圧着採取することができるか評価する必要がある。よって、宇宙機が照射される銀河宇宙線量を模擬した環境を作り、長期間放射線に曝された状況下で粘着性を保持できる粘着剤の開発を行うことを目的とする。

## 2. 方法

粘着素材には、数年間、高真空、熱サイクル、宇宙放射線などの深宇宙環境に曝されても、十分な試料採取能力（タック）を有することが求められる。そこで、今回、宇宙放射線環境を模擬するため、地磁気捕捉荷電粒子放射線、静止軌道プラズマ、太陽風、太陽フレア陽子線を考慮し、探査機の放射線環境を予測し、予測される放射線環境に相当する放射線量を粘着試料に照射した。照射後、粘着材特性及び接着力を調べることにした。宇宙放射線環境を模擬するため、日本原子力研究開発機構に設置された Co60 照射施設及び電子線照射施設を用いて、 $\gamma$ 線及び電子線照射を行った。試料として、粘着性シリコン素材を使用した。

粘着素材として、厚膜塗工・バルク成型が可能で、かつ採取した小惑星試料を汚染しない無溶剤型シリコン粘着剤を硬化させたものを用いた。この粘着剤は、凝集性フリーオイル、反応性オイル、レジン、架橋剤、触媒からなり、有機溶剤を全く含有しない液状の組成物である。本素材は、小惑星試料への粘着性と採取が可能な柔軟性を確保しながら汚染を低減できることを確認済みである。本粘着素材はアルミ板基材に塗布したものを使用した。粘着素材の厚みは 500 ミクロンとし、照射前後のタックを計測した。

## 3. 研究成果

放射線耐性試験として、電子線、 $\gamma$ 線照射後の粘着材のタック性測定（プローブタック値）及び化学分析を実施した。粘着素材試料には、放射線試験を実施する前に熱真空処理を施している。電子線照射条件として、照射線強度は 1 MeV、1.72mA、表面線量 1kGy/s で実施し、ガンマ線照射条件として、照射条件 10kGy/h 及び照射線量 30kGy—170kGy で照射試験を実施した。試料表面温度は、電子線照射時、最大でも 50°C 程度の上昇であり、熱による材料の変成はないものと考えられる。電子線照射及び $\gamma$ 線照射の両者において、それぞれ粘着材の劣化が顕著に表れる線量を調べた。タック性とは、粘着テープ素材の評価に一般的に使用されるパラメータであり、プローブタック値が 100gf 以上保持されていれば、十分な粘着力を保持できているといえる。結果として、本研究のタック値は、照射量が多くなるほど低下し、電子線では 100kGy で、またガンマ線では 170kGy で 100gf となった。要求される放射線被爆量はおおむね 100kGy と見積もられているため、長期ミッション期間でも、粘着剤のプローブタックは 100gf を維持することが期待できる。

また、照射後の試料に化学分析を行うことで、宇宙空間での粘着素材の劣化のメカニズムを検証した。分析として、粘着材のゲル分率、溶出成分の GPC 測定、表面 IR 分析を実施した。ゲル分率は、未硬化分をトルエンで溶出させ、残留した硬化分量を乾燥し測定した。電子線照射、ガンマ線照射により、いずれもゲル分率が上昇したが、ガンマ線よりも電子線のほうが高いゲル分率となった。また、粘着材の未硬化サンプル、未照射サンプル、電子線 500kGy 照射サンプル、ガンマ線 170kGy 照射サンプルの溶出成分の GPC 分析を行った。放射線照射によりシリコンオイル成分の溶出が減少した。照射によりシリコンオイルの SiCH<sub>3</sub> 基にラジカルが発生し、これが反応して、架橋したため、硬化が起こり、粘着材の劣化が進むと考えられる。また、放射線照射後の粘着剤表面の IR スペクトル（ATR）を測定したところ、未照射サンプルと比べ、吸収の大きな変化は認められなかった。よって、各官能基の顕著な増減はないといえる。以上より、射線種による素材劣化のメカニズムの違いが認められるものの、総合的に見て、予想される最大の放射線量を照射された場合でも、粘着材性能は維持できていると考えられる。

#### 4. 結論・考察

粘着素材が経験する放射線量は、はやぶさ後継機の軌道において、1mm厚のアルミニウム板で遮蔽された場合、要求されているミッション期間5年間で120kGy以下であると見積もれた。本研究から得られた結果より、トータルドーズが100kGyを超えても、粘着性能は十分保持できていることが分かった。また、照射後の試料を化学分析することで、宇宙環境における粘着材劣化のメカニズムを解明することができた。

#### 5. 引用(参照)文献等

- 神戸博太郎, 小澤丈夫, 編: 新版 熱分析, 講談社サイエンティクス, p57-86,(1992)
- D.M.Sawyer; AP-8 Trapped Proton Environment for Solar Maximum and Solar Minimum, NASA-TM-X-72605 (1976).
- J.I.Vette; The AE-8 Trapped Electron Model Environment, NASA-TM-107820 (1991).
- H.B. Garrett and S.E. DeForest: An Analytical Simulation of the Geosynchronous Plasma Environment, *Planet. Space Sci.*, 27, pp.1101-1109, (1979).
- J.J.Minow, R.L. Altstatt, and L.N.Parker, Interplanetary Radiation and Internal Charging Environment Models for Solar Sails, Solar Sail Technology and Applications Conference, Greenbelt, MD, U.S.A., Sep. 2004, (2004).
- M.A.Xapsos, J.L.Barth, E.G.Stassinopoulos, E.A.Burke, G.B.Gee; "Space Environment Effects: Model for Emission of Solar Protons (ESP) Cumulative and Worst-Case Event Fluences", NASA/TP-1999-209763 (1999).