

## 国際宇宙ステーションロシアサービスモジュール利用 微小粒子捕獲実験および材料曝露実験 (SM/MPAC&SEED 実験) JAXA 提案 SEED 試料評価結果

宇宙航空研究開発機構 総合技術研究本部  
部品・材料・機構技術グループ  
山県 一郎、宮崎 英治、石澤 淳一郎、島村 宏之、森 一之、鈴木 峰男

### 1. はじめに

軌道上宇宙環境の把握、宇宙用部品・材料の耐宇宙環境性評価、高性能・長寿命材料の開発、JAXA 認定部品・材料の宇宙実証を目的として、国際宇宙ステーション (ISS : International Space Station) を利用した宇宙実験である、「国際宇宙ステーションロシアサービスモジュール利用微小粒子捕獲実験及び材料曝露実験」(SM/MPAC&SEED 実験 : Service Module / Micro-Particle Capturer and Space Environment Exposure Device) を、2001年8月より開始している。本実験は、同一試料構成の実験装置3式を同時に ISS 外壁で宇宙空間に曝露開始し、約1年間隔で1式ずつ地上に回収するというものである。本材料曝露実験に供している試料は、JAXA のほか、大学、研究機関、メーカーから提案を受け、23種類の試料が選定されている。

本稿では、JAXA から提案した宇宙用材料について、第2式目回収試料 (曝露期間約28ヶ月) を中心に報告する。

### 2. 実験概要

本実験は、図1に示すハードウェアに表1に示す JAXA 提案試料を搭載した。本実験装置は両面に曝露面を有し、ISS 進行方向に正対する面を「RAM 面」、その裏面を「WAKE 面」と呼んでいる。張力負荷ポリイミドフィルム (UPILEX-S) を除く5試料は、それぞれ2枚ずつ、隣接する位置に搭載した。張力負荷ポリイミドフィルムについては、125 $\mu$ mフィルムを4枚重ねたものを1組として、引張荷重0N、4.12N および 20.59N についてそれぞれ2組ずつ搭載した。

また、地上対照試験として、紫外線、電子線および原子状酸素を、上記曝露実験と同等の試料に照射した。

曝露実験および地上対照試験後の試料は、基礎評価として外観観察、質量測定、太陽光吸収率および垂直赤外放射率の測定を行い、必要に応じて原子間力顕微鏡 (AFM) 観察やフーリエ変換赤外分光分析 (FT-IR) などの詳細分析を行った。また、ポリイミドフィルム (UPILEX-S) およびシリコーン系接着剤については、引張試験を実施した。

### 3. 実験結果

#### 3. 1. 張力負荷ポリイミドフィルム (UPILEX-S)

曝露実験後の外観観察では、4枚重ねの試料のうち、最表層の1枚目だけ著しい変色が見られた。原子間力顕微鏡 (AFM) では、表面に細かな凹凸が多数観察された。

質量減少については、地上対照試験結果から原子状酸素の影響が大きいと考えられるが、フライト

品について見ると、1回目、2回目回収試料ともに同程度となっていた。引張強度は、地上対照試験結果では、原子状酸素のみ照射量に伴う明らかな引張強度の低下が認められた。これは、原子状酸素がフィルム表面を侵食して生じた凹凸が、破断の起点になっている可能性が考えられる。一方、フライト品の引張試験結果では、曝露期間による大きな差異は認められなかった。

### 3. 2. 耐原子状酸素性向上型ポリイミドフィルム (UPILEX-R)

同種フィルムは、低軌道で原子状酸素による重量減少（侵食）が大きい問題があったが、2回目回収試料からは、ほとんど質量減少が見られなかった。

耐原子状酸素性向上のため表面に付与したポリイミドシロキサン層において、表層に均質な層が形成されていること、また、同層が変性シリカ層であることが、断面観察及び FT-IR によって確認されたことから、期待通りの耐原子状酸素性膜の形成がなされたと判断できる。

一方で、太陽光吸収率の増加が見られたが、地上対照試験との比較から、主に紫外線による影響と判断できる。

### 3. 2. フレキシブル太陽光反射素子 (F-OSR)

フライト前後の質量測定結果では、質量が増加する傾向が見られた。28ヶ月間で0.08mg程度増加していた。太陽光吸収率および垂直赤外放射率はそれぞれ、0.16、0.81でほぼ一定の結果となった。表面を FT-IR 分析したところ、主に SiO<sub>x</sub> で覆われたことがわかった。さらに、図6に示す断面 TEM 画像から、付着物層の厚さは10~20nmとなり、SiO<sub>2</sub>の密度を用いて付着物の質量を算出すると、増加質量と概ね一致することがわかった。F-OSR 試料の成分には Si が含まれていないことから、この付着物は Si を含む外来物質によるものと考えられる。

フライト前後の質量測定結果では、質量が増加する傾向が見られた。28ヶ月間で0.08mg程度増加していた。太陽光吸収率および垂直赤外放射率はそれぞれ、0.16、0.81でほぼ一定の結果となった。表面を FT-IR 分析したところ、主に SiO<sub>x</sub> で覆われたことがわかった。さらに、図6に示す断面 TEM 画像から、付着物層の厚さは10~20nmとなり、SiO<sub>2</sub>の密度を用いて付着物の質量を算出すると、増加質量と概ね一致することがわかった。F-OSR 試料の成分には Si が含まれていないことから、この付着物は Si を含む外来物質によるものと考えられる。

### 3. 3. 白色塗料

白色塗料については、28ヶ月間で0.35mg程度減少しており、質量が減少する傾向が見られた。また、太陽光吸収率は増加しており、フライト前からの増加量は1式目で1.8%、2式目で16%となった。一方、垂直赤外放射率は、ほぼ一定の結果であった。

1式目、2式目相当の地上対照試験の結果では、原子状酸素、電子線照射による影響変化が頭打ちになるのに対し、紫外線照射試験では、照射量の増加に従い、徐々に太陽光吸収率も増加していた。そのため、太陽光吸収率の変化は、紫外線若しくは外部汚染の影響と考える。

### 3. 4. シリコン系接着剤およびポッティング材

フライト前後の外観観察および質量測定では、顕著な変化は見られなかった。シリコン系接着剤の引張せん断試験結果では、フライト期間に従って、破断荷重およびせん断強さが若干低下する傾向が見られた。ポッティング材については、外観観察において大きな変化は見られなかったが、電界放

射形走査型電子顕微鏡 (FE-SEM) 観察では、フライト後試料に亀裂が多数観察された。原子状酸素の地上対照試験でも類似した組織が観察されていることから、ポッティング材表面の亀裂は原子状酸素の影響が大きいと考えられる。しかしながら、第2回目回収試料にはこのような亀裂は観察されておらず、今後実施する第3回目回収試料の観察結果を含めて検討する予定である。

4. 研究発表リスト

- 1) F. Imai and K. Imagawa, "NASDA'S Space Environment Exposure Experiment on ISS - First Retrieval of SM/MPAC&SEED", 9th International Symposium on Materials in a Space Environment, ESA SP-540, pp. 589-594, European Space Agency, Noordwijk, The Netherlands, 2003.
- 2) 井上利彦ら, "国際宇宙ステーション ロシアサービスモジュール利用材料曝露実験 (SM/SEED 実験) 第1回回収試料の評価解析", 日本マイクロ重力応用学会 第20回学術講演会 (JASMAC-20), 福井, 2004年.
- 3) 今川吉郎ら, "NASDA における宇宙用材料に関する研究概要", 日本金属学会 2003年春期 (第132回) 大会, 千葉, 2003年.

表 1.材料曝露実験 (SEED 実験) JAXA 提案試料一覧

	搭載実験試料名	主な用途
1	張力負荷 ポリイミドフィルム (UPILEX-S)	宇宙用膜構造物用構造材料
2	耐原子状酸素性向上型ポリイミドフィルム	宇宙用熱制御材料(フィルム)
3	フレキシブル太陽光反射素子 (F-OSR)	
4	白色塗料	宇宙用熱制御材料 (塗料)
5	シリコーン系 接着剤	宇宙用接着剤
6	シリコーン系ポッティング剤	宇宙用ポッティング材

