

C09

MLI 用耐 AO 性材料に対するデブリ衝突の影響評価の取り組み Initiative for Evaluation of Space Debris Impact on AO-Resistant Materials for MLI

○久保優子、木本雄吾 (JAXA 研開部門)、梅田花織 (株式会社エイ・イー・エス)、
長谷川直 (JAXA 宇宙科学研究所)

○KUBO Yuko, KIMOTO Yugo (JAXA Research and Development Directorate), UMEDA Kaori
(Advanced Engineering Services), HASEGAWA Sunao (JAXA Institute of Space and Astronautical Science)

JAXA では多層断熱材 (Multi-Layered Insulation; MLI) 用の材料の研究開発を行ってきた。優れた耐宇宙環境性から、有機材料の 1 つであるポリイミドが MLI 用の材料として広く使用されてきたが、ポリイミドも低高軌道に存在する原子状酸素 (Atomic Oxygen; AO) による浸食を受け劣化することが判明している。そこで我々は耐 AO 性を有する MLI 用材料の研究開発を行い、軌道上曝露実験等も経て、その機能を実証しつつある。一方で、ポリイミド材料にデブリが衝突するとポリイミド材料の耐 AO 性が低下する可能性を示唆する先行研究がある。そこで我々は研究開発中の耐 AO 性ポリイミドを中心とした耐 AO 性材料に対し、模擬デブリを衝突させる地上実験 (超高速衝突実験) を行い、耐 AO 性の変化を評価する取り組みを行った。本発表では、我々が行った取り組みを紹介すると共に現在までに得られた結果を報告する。

JAXA has been studied and developed materials for Multi-Layered Insulation (MLI). With its excellent space environmental resistance properties, polyimide, an organic material, is used to fabricate MLI. However, polyimide is degraded by Atomic Oxygen (AO), which is present in low earth orbit. To reduce degradation of MLI, we have developed AO-resistant materials, AO-resistant polyimide in particular. Our materials are proving themselves through orbital experiments and ground tests. Previous studies have suggested that debris impact on polyimide materials degrades their AO resistance. We evaluated the changes in the tested materials through ground hypervelocity impact tests that simulated debris impacts. In this presentation, we will report our work and the current results.

[C09]

MLI用耐AO性材料に対する デブリ衝突の影響評価の取り組み

Initiative for evaluation of space debris impact on AO-resistant materials for MLI

○久保 優子*、木本 雄吾*、梅田 花織**、長谷川 直*
Yuko Kubo Yugo Kimoto Kaori Umeda Sunao Hasegawa

*国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)

** 株式会社 エイ・イー・エス
Advanced Engineering Services Co., Ltd.,

2022年11月30日
30 Nov. 2022

第10回スペースデブリワークショップ
10th Space Debris Workshop

10th Space Debris Workshop

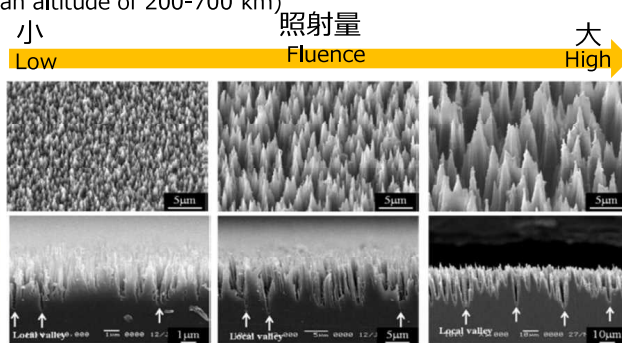
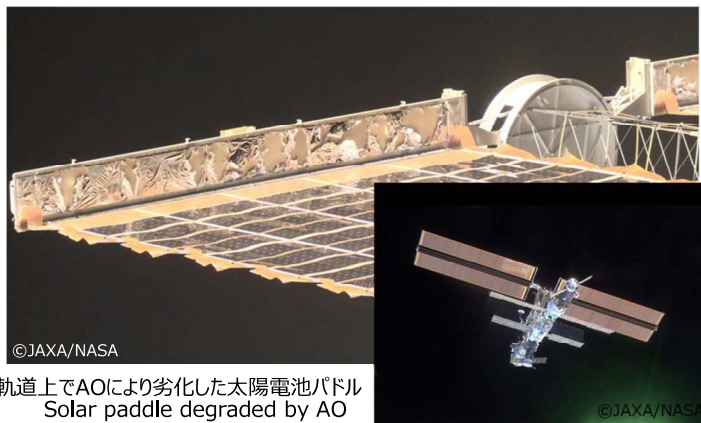
目次 Outline

1. 背景と目的
Introduction
2. 試験計画
Experimental plan
3. 試験方法
Experimental method
4. 試験結果
Result
5. 発表まとめ
Summary of the presentation

1. 背景と目的 Introduction

■ 原子状酸素 (Atomic Oxygen: AO) による有機材料 (ポリイミド等) 表面の劣化 Degradation of a surface of organic materials (including polyimide) by Atomic Oxygen (AO)

- 酸素分子が紫外線により分解したもの
Oxygen molecules decomposed by UV
- 高度200-700km (低軌道) の主な大気成分
Main atmospheric constituents of low Earth orbit (at an altitude of 200-700 km)



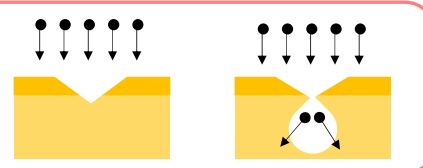
AOにより劣化したポリイミド表面及び断面 *
The surfaces and cross sections of polyimides degraded by AO

* 島村宏之, 中村孝, Investigation of Degradation Mechanisms in Mechanical Properties of Polyimide Films Exposed to a Low Earth Orbit, Vol. 95, pp. 21-33, 2010

1. 背景と目的 Introduction

■ 劣化対策 Anti-degradation measures

- 表面コーティング Surface-coating methods
無機材料等による表面の保護 Coating by inorganic materials
- × 損傷部分を起点とした劣化の進行 AO erosion spreading from damaged areas
 - ・ 製造時の欠陥 (ピンホール) Manufacturing defects (e.g., pinholes)
 - ・ ハンドリング時のクラック Cracks caused by handling

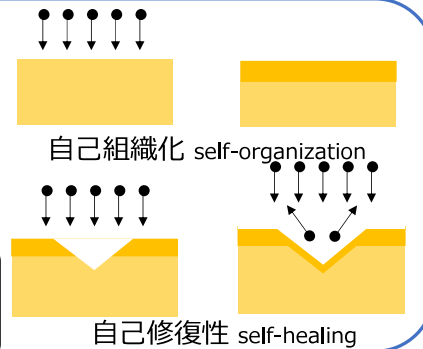


AOの照射を受けるとサンプル表面に自ら耐AO性の層 (酸化物層) を生成する
Exposure to AO forms an AO-resistant layer (an oxide layer).

自己組織化 Self-organization / 自己修復性 Self-healing

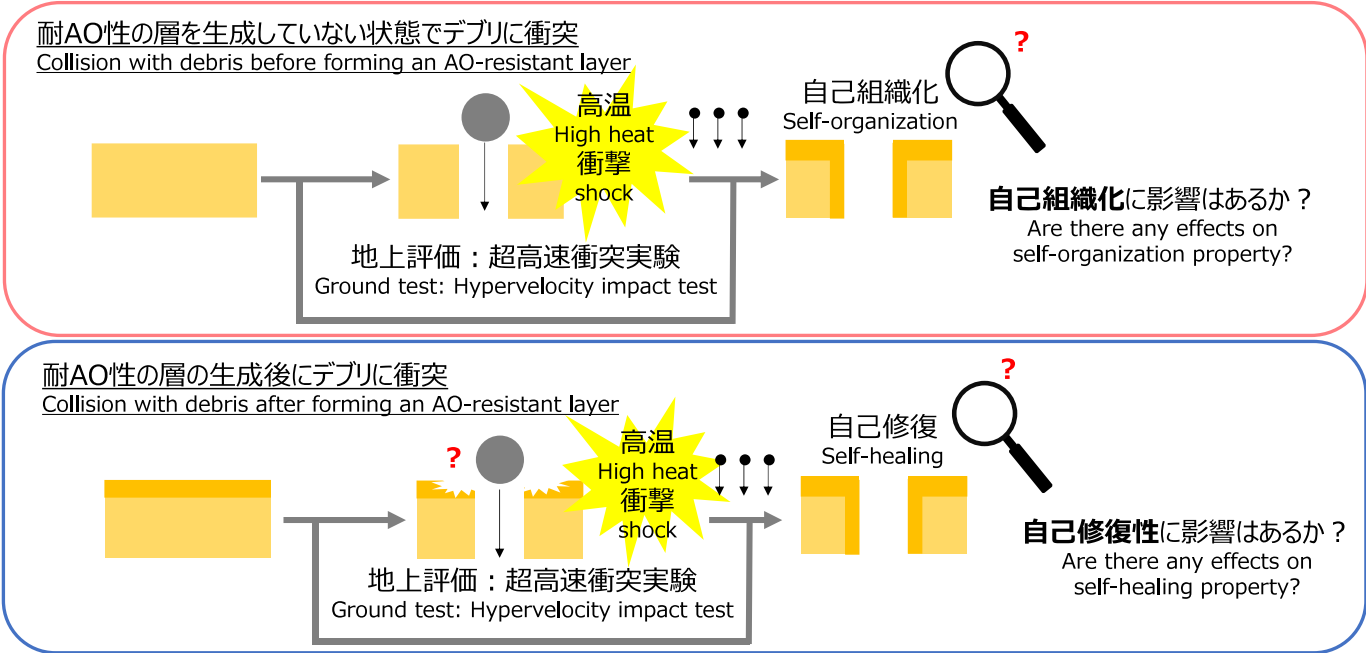
耐AO性材料 (ポリイミド/コーティング剤)
AO-resistant materials (polyimide/coating agent)

一度生成した耐AO性の層 (酸化物層) が損傷しても、再度AOの照射を受けることによって自ら耐AO性の層を修復する
Subsequent exposure to AO regenerates even a damaged oxide layer.



地上、軌道上では実証されつつあるが、
デブリとの衝突後も同様に耐AO性 (自己組織化、自己修復性) 特性が発揮されるか?
Are AO-resistant (including self-organizing, self-healing) properties the same after a collision with debris?

2. 試験計画 Experimental plan



5

3. 試験方法 Experimental method

AO照射試験 AO irradiation test

- プラズマアッシャー装置を用いて宇宙空間でのAO環境を簡易的に模擬
Simplified simulation of AO environment in space by plasma asher

試験条件 Test conditions

照射量 Flux (atoms/cm ²)	6×10 ²⁰
	1.2×10 ²¹
	1.8×10 ²¹
	2.5×10 ²¹



AO照射設備
AO irradiation machine

超高速衝突実験 Hyper velocity impact test

- デブリとの衝突を模擬した地上試験 Simulation of collision with debris on ground
- JAXA宇宙科学研究所にて実施 conducted at ISAS, JAXA

アルミ片(10 km/s)との衝突を模擬*
Simulated collision with a piece of aluminum flying at 10 km/s

試験条件 Test conditions

パラメータ Parameters	条件 Conditions
衝突速度 Velocity	6 km/s
模擬デブリサイズ Size of projectile	0.3 mmφ
模擬デブリ材質 Material of projectile	鋼球 (ステンレス) steel
照射方法 Shooting method	散弾法 shotgun



模擬デブリ方向
Direction of projectiles
サンプル設置状況
Sample setup

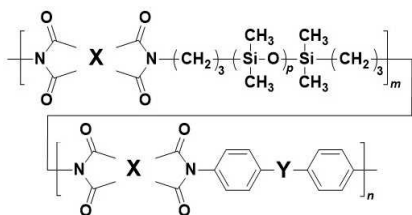
東出真澄ら、MLIの微小デブリ防御性能、第59回宇宙科学技術連合講演会講演集、JSASS-2015-4586, 2015

6

3. 試験方法 Experimental method

シロキサン変性ポリイミド (BSF-30) Polysiloxane-block-polyimide

- 日鉄ケミカル & マテリアル株式会社様との共同研究で作製 Created by NIPPON STEEL Chemical & Material Co., LTD. and JAXA.
- 主にMLI用のフィルムとして使用することを想定 Developed for use as a film of MLI.
- AOの照射を受け、表面に耐AO性の酸化物層 (SiO_x層) を生成 Exposure to AO forms an AO-resistant layer (SiO_x layer).
- 自己組織化 / 自己修復性を有する Self-organization and self-healing properties exist.
- ポリイミドとポリジメチルシロキサンの共重合体 Copolymer of polyimide and polydimethylsiloxane



(X, Yの構造は非公開)
Construction of X and Y are not disclosed.

BSF-30化学構造
Chemical construction of BSF-30

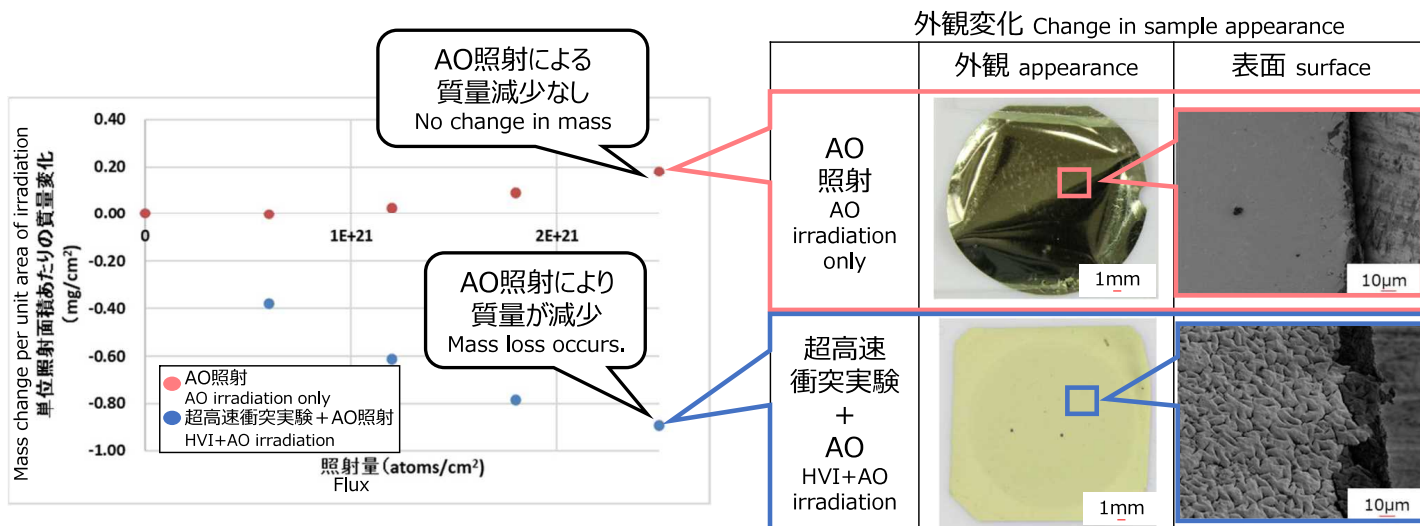


サンプル外観
Sample appearance

4. 試験結果 (BSF-30/AI評価結果)

Result of BSF-30

- 模擬デブリの衝突があったサンプルではAOの照射による質量減少が発生。表面に生成する酸化物層には無数のクラックが発生。
Mass loss occurs at hypervelocity impact test (HVI)+AO sample and this sample forms an AO-resistant layer with many cracks.
- ⇒耐AO性 (含、自己組織化) の低下を確認した
AO-resistant properties (including self-organization property) are degraded.



5. 発表まとめ Summary of the presentation

- **耐AO性ポリイミドフィルムに対するデブリ衝突の影響評価の取り組みについてご紹介した。**
Introduced our plans for evaluating the impact of space debris on AO-resistant materials for MLI.
- **デブリの衝突により耐AO性ポリイミドフィルムの耐AO性（自己組織化）が低下することを示唆する結果が得られた。**
This evaluation suggests that space debris impact degrades the AO-resistant properties of our samples.
- **現在も評価を実施しており、それらの結果をもとに結論を導きたい。**
We have been conducting the evaluations and we will offer a conclusion based on the result thereof.

謝辞 Acknowledgments

- **本研究はJAXA宇宙科学研究所スペースプラズマ共同利用（超高速衝突実験施設）を用いて実施されました。ご協力いただいた超高速衝突実験施設の皆様に感謝いたします。**
This study was supported by the Hypervelocity Impact Facility, (former facility name: the Space Plasma Laboratory) ISAS, JAXA.
- **本研究にサンプルをご提供いただいた日鉄ケミカル&マテリアル株式会社様に感謝いたします。**
We gratefully acknowledge NIPPON STEEL Chemical & Material Co., Ltd. for their help in supplying samples.
- **サンプルの測定及び分析を担当していただいた株式会社エイ・イー・エスのエンジニア各位に感謝いたします。**
We also thank Advanced Engineering Services Co., Ltd. for their kind support in these experiments.

ご清聴ありがとうございました
Thank you for your attention.