

P01

微小デブリ分布妥当性評価に関する たんぽぽ捕集パネル分析の準備状況

Current preparation statement of TANPOPO Capture Panels analysis
for validity evaluation of micron-sized particle flux

- 尾田佳至朗(法政大学), 東出真澄(JAXA), 新井和吉(法政大学),
北澤幸人(ISAS/JAXA), 矢野創(ISAS/JAXA), 山岸明彦(東京薬科大学)
○Yoshiro Oda (Hosei Univ.), Masumi Higashide (JAXA), Kazuyoshi Arai (Hosei Univ.),
Yukihito Kitazawa (ISAS/JAXA, IHI), Hajime Yano (ISAS/JAXA),
and Akihiko Yamagishi (Tokyo Univ. of Pharmacy & Life Sciences)

スペースデブリは地上から観測できないほど微小なものもあるため、継続的な計測が必要である。本研究はたんぽぽ計画の一部として行う。この計画では国際宇宙ステーションの曝露部に捕集パネルを設置し、曝露試験を終えたパネルを地上に持ち帰って種々の実験を行う。本研究の目的は、捕集パネルに生じた衝突痕から衝突粒子を判別し、衝突頻度解析モデルとの整合性を確認することである。捕集パネルと同じ材料であるアルミ板への衝突実験を行い、生じたクレータの体積を測定し、飛翔体の衝突エネルギーとの関係式を算出した。その関係式と、モデルで計算した捕集パネルを設置した部分に対する衝突条件から、形成されるクレータを予測した。また、2016年6月に曝露試験を終えた捕集パネルに関して、帰還後の初期分析に向けた準備を行った。

Space debris are needed to measure in space constantly because some of them are too small to observe from the ground. This study is a part of TANPOPO project. In this project, TANPOPO Capture Panels are set on the exposed facility on the International Space Station. After the expose experiment, the panels come back to the Earth. Various experiments are planned by using the panels. The purpose of this study is to identify impact particles from craters on the panels and to estimate consistency with collision frequency analysis results. The impact experiments were conducted to an aluminum alloy plate which is the same material to the Capture Panel case. The crater volumes were measured after the experiments. A relational expression between projectile impact energies and crater volumes was derived. Typical craters which may be formed on the expose panels were estimated by using the relational expression and the collision condition analyzed by a flux model. Furthermore, preparation for initial analysis was conducted in terms of the panels finished the exposure in June 2016.

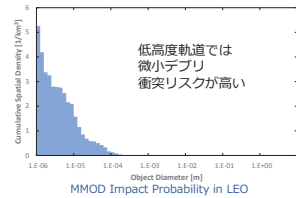


微小デブリ分布妥当性評価に関する たんぽぽ捕集パネル分析の準備状況



尾田 佳至朗 (法政大) 東出 真澄 (JAXA) 新井 和吉 (法政大) 北澤 幸人 (IHI/JAXA/ISAS) 矢野 創 (JAXA/ISAS) 山岸 明彦 (東薬大)

1. 研究背景・目的

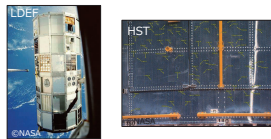


低高度軌道では微小デブリ衝突リスクが高い

低高度軌道の人工衛星に対する平均デブリ衝突速度は約10km/s
→人工衛星にとっては、微小デブリ衝突が致命的損傷になり得る
微小デブリ個々の軌道は観測できない
→デブリ環境モデルを使って衝突リスク評価が行われている

デブリ環境モデルは過去の軌道上計測データを参考にして作られている

- MASTER-2009で使用された軌道上計測データ
- LDEF (NASA) 1984-1989
- EuReCa (ESA) 1992-1993
- HST (NASA/ESA) 1989-1993



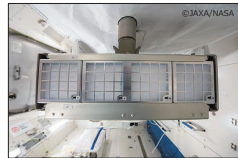
継続的に微小デブリ分布データを取得し、デブリ環境モデルの妥当性を定期的に評価する必要がある

研究目的

たんぽぽ捕集パネルに生じた微小デブリ衝突痕を用いて、デブリ環境モデルの妥当性を評価

たんぽぽ捕集パネル

- アルミケースにエアロゲルが装填
- エアロゲルとアルミケースの曝露面積比は6:4
- きぼう曝露部に設置されたExHAMのうち3面にパネルを配置
- 1年間曝露後パネルを交換し、3年間データを取得



デブリ環境モデルによる捕集パネルへの粒子衝突頻度解析

捕集パネル材に対する衝突痕と衝突デブリのキャリブレーション式

フライト品の解析
捕集パネルに生じたデブリ衝突痕の解析

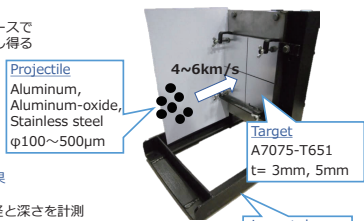
環境モデルと実測値を比較

3. 捕集パネルのキャリブレーション試験

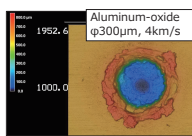
捕集パネルはエアロゲルとアルミケースで構成され、その両方にデブリは衝突し得る

他のテーマでは使用されないアルミケースの衝突痕は優先的に解析できる

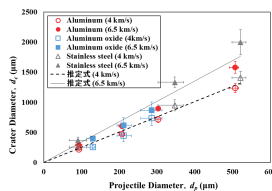
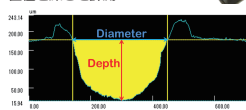
→アルミケース材のキャリブレーションをまず実施



レーザー顕微鏡によるクレータ計測結果



直径と深さを計測



デブリの材質によらずクレータ直径とデブリ直径は相関

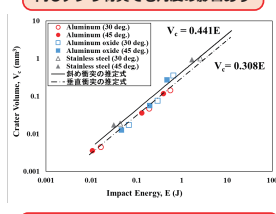
エネルギー算出式: $E = \frac{2}{3} \rho m r^3 (v \cos \theta)^2$

- E: 衝突エネルギー (J)
- v: 衝突速度 (km/s)
- r: IHI形状係数(m)
- p: 飛翔体密度 (kg/m³)
- CoSθ: 衝突角度

体積(V)は光学顕微鏡での測定値を使用

衝突エネルギー(E)とクレータ体積(V)の関係
斜め衝突(30~45度): $V = 0.441E$
垂直衝突(0度): $V = 0.308E$

クレータ深さとデブリ直径は同じデブリ材質でも角度の影響あり

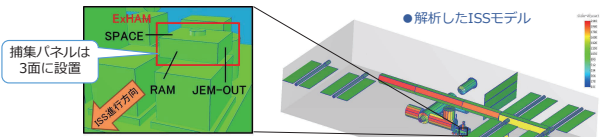


クレータ体積は衝突エネルギーと相関関係

2. 捕集パネルの衝突頻度解析

デブリ環境モデル	MASTER-2009 (ESA)
メテオロイドモデル	Seasonal met. (Jennikens)
計算期間	1 Jan 2015 ~ 31 Dec 2015
軌道長半径	6,800km (高度約400km)
離心率	0°
軌道傾斜角	51.6°

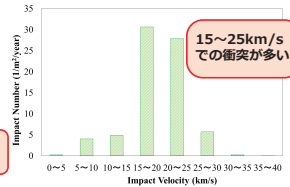
- "Turandot"を使って衝突頻度解析を実施
- JAXA開発のデブリ衝突リスク評価ツール
- 宇宙構造物の3次元モデルとデブリ環境モデルを組み合わせて衝突頻度を算出
- 構造物による遮蔽を考慮可能



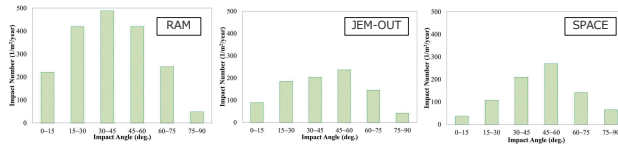
●捕集パネルに対する粒子衝突頻度
※曝露面積 = 10,000mm² × 4個 (約400 cm²/year)

粒子直径	RAM	JEM-OUT	SPACE
100µm ≤	0.2	0.1	0.1
10µm ≤	14.7	6.0	7.5
1µm ≤	73.6	35.9	33.2

●RAM面に対する衝突速度分布



●衝突角度分布



衝突角度30°~60°の範囲について、事前にキャリブレーションを行う必要がある

4. 衝突粒子個数と形成クレータの大きさ推定

衝突頻度解析結果とキャリブレーション試験結果をもとに、今回の曝露試験で捕集パネルのアルミ部分に衝突する粒子個数と形成されるクレータの大きさを推定。今回はφ10µmのStainless steelが衝突した結果を用いた。

●捕集パネルに衝突する粒子個数

衝突頻度解析結果から捕集パネルのアルミケース部分の面積に衝突するφ10µm以上の粒子を算出した。

粒子直径	RAM	JEM-OUT	SPACE
10µm ≤	1.59	0.65	0.81

捕集パネル TYPE I (100×100 mm)のアルミ部分の面積 = 4315 mm²

最も頻度が高いRAM面には1~2個の微粒子が衝突することが判明

●衝突痕の大きさの推定

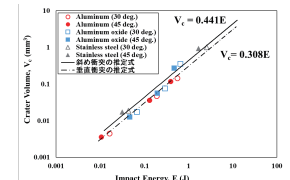
最も衝突頻度が高いと考えられるSUSの粒子が衝突した場合の解析結果を用いた

衝突速度: 15~25 km/s
衝突角度: 30~45度

また、地上実験の結果より、φ100µmのSUSがAl板に衝突した際に以下のことがわかった。

衝突エネルギー(E)とクレータ体積(V)の関係
斜め衝突(30~45度): $V = 0.441E$
垂直衝突(0度): $V = 0.308E$

解析と実験の結果より、曝露実験では直径80µm、深さ60µmのクレータができると予測



5. まとめ

たんぽぽ捕集パネルを用いたデブリ環境モデル妥当性評価の準備として、以下を実施した

- Turandotを用いて、捕集パネルに衝突する粒子の数・衝突速度・衝突角度をデブリ環境モデルから推定した
- 垂直衝突に対し、衝突試験と数値解析によってアルミケースに生じたクレータ体積とデブリ衝突エネルギーの関係式を得た
- 今年度の曝露実験で形成されると考えられるクレータの大きさの推定を行った。今後は、以下に取り組み予定である
- 地上に帰還した捕集パネルに形成されたクレータの形状測定。