

2F16 たんぽぽ捕集パネルに衝突する粒子フラックス予測

○栗原愛美 (法政大学大学院), 東出真澄 (JAXA), 高柳優, 新井和吉 (法政大学)
矢野創 (ISAS/JAXA), 山岸明彦 (東京薬科大学)

Microparticle Impact Flux Estimate on "Tanpopo" Capture Panels onboard the ISS
Manami Kurihara (Hosei University), Masumi Higashide (JAXA), Yū Takayanagi, Kazuyoshi Arai (Hosei University), Hajime Yano (ISAS/JAXA) and Akihiko Yamagishi (Tokyo University of Pharmacy and Life Science)

Key Words: Space debris, Debris environment model, Risk assessment code, ISS

Abstract

This study is a part of "Tanpopo" project, which is to be mounted on the ISS. The goal is to estimate the impact frequency of the micron-sized debris onto the Tanpopo exposure panels in the ISS's orbit. Then particle flux impacting on the panels was predicted from ESA's debris environment model. The three-dimensional model of the ISS was created in the TURANDOT which is the debris impact risk analysis tool developed by JAXA. For the duration 1 year from January 1st in 2015, the debris with a diameter of 0.01 mm or more was expected to impact 14 or more in the RAM faced panel.

1. 緒論

宇宙空間には寿命を終えた人工衛星やロケットの残骸などの大きな物から、塗料やボルトといった小さな物まで、様々な物がデブリとして多数存在している。近年の各国の宇宙産業の発展により、利用頻度の高い低高度軌道 (LEO) 上のスペースデブリは特に増加しており、中でも直径 1 mm 以下の微小デブリは衛星の運用中に 1 回以上衝突する状況である¹⁾。微小デブリの衝突でも、衛星にとってはその任務遂行能力を奪う危険性があるが、微小デブリの分布が不明であってはデブリ衝突リスクの評価を行うことはできない。しかし、微小デブリは地上観測網からは検出できないため、モデルを用いた分布予測が必要となる。ESA と NASA は、スペースシャトル等の軌道上のデータを基にしたデブリ環境モデルを作成している²⁾が、デブリの分布は時間経過と共に変化するため、常に最新のデータとの比較が必要となる。デブリ衝突頻度の高い LEO 上で曝露実験を行うことで、これらのデータは取得可能である。

デブリ環境モデルから予想される衝突頻度と、宇宙空間に曝露された捕集パネルに生じた衝突痕とを比較し、分布モデルの妥当性を評価する計画がある。それが、「たんぽぽ」プロジェクト³⁻⁵⁾であり、本研究はこのプロジェクトの一部である。たんぽぽは、国際宇宙ステーション (ISS) 上で微生物や宇宙塵及び有機物を捕集する一方で、微生物や有機物を曝露し

変成の様子を調べるというものである。微生物等の捕集と同時に微小デブリが衝突すると考えられるため、デブリのフラックス評価も行うことができる。

本研究の目的は、デブリ環境モデルを用いて、ISS の軌道上における微小デブリの衝突頻度の評価を行うことである。そこで、デブリ衝突リスク解析ツールを用いて捕集パネルへのデブリ衝突頻度予測を行った。

2. 衝突頻度解析

デブリ環境モデルは、ESA の MASTER-2009 を用いた⁶⁾。また、デブリ衝突頻度の予測には、JAXA 及び MUSE 社開発のデブリ衝突損傷リスク解析ツール (Turandot⁷⁾) を用いた。このツールでは、三次元形状モデルを作成し、モデル表面を詳細な面素に分割することができる。また、面素に複数の貫通限界方程式を適用した上で、デブリ環境モデルから面素に対する衝突頻度及び衝突リスクを算出できる。更に、モデル各部の遮蔽の効果を考慮して衝突判定をすることも可能である。

本ツールを用いて、簡略化した ISS モデルを作成した (図 1)。主要部分は、実際の ISS のスケール及び構造を再現するため、公開されている構成図⁸⁾中の寸法・設置位置等を参考にモデリングを行った。たんぽぽの曝露実験に用いる船外簡易取付装置 (ExHAM) を模擬した 460 mm×410 mm×270 mm の直方体を図 2 に示すように曝露部前方に設置し、

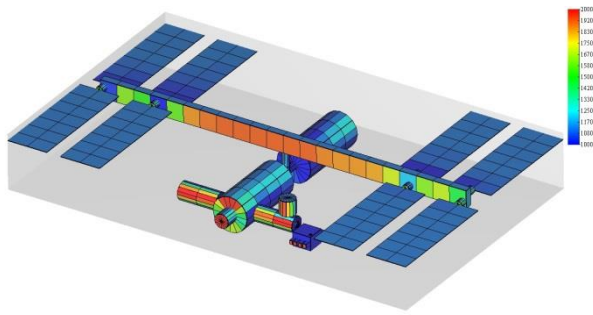


図1 Turandotで作成したISSモデル

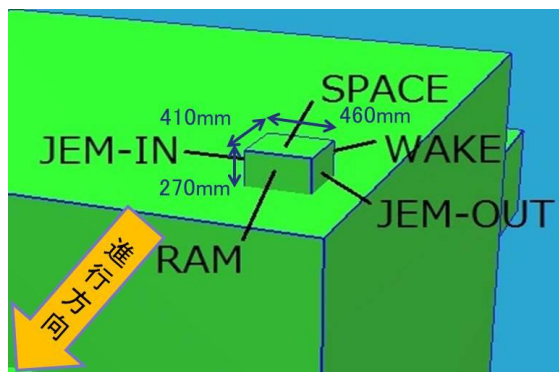


図2 ExHAMモデル

解析を行った。捕集パネルは ExHAM 上に設置されることから、本研究では ExHAM 各面について単位面積当たりの衝突頻度を算出し、これを捕集パネルの衝突頻度とした。ここで、ISS の進行方向の面を RAM、その逆の面が WAKE、ISS 側の面を JEM-IN、その逆の面を JEM-OUT、宇宙に面している面を SPACE とそれぞれ定義した。WAKE 面を除く 4 面の捕集パネルに対する粒子衝突頻度を算出した。捕集パネル 1 つの面積はおよそ 100 cm^2 であり、1 面に 4 つ並列させて曝露させることから、曝露面積を 400 cm^2 として捕集パネルの粒子衝突個数を求めた。

2015 年の初頭から 1 年間曝露した場合に、捕集パネルに衝突すると予測される粒子個数を表 1 に示す。直径 $10\sim 100\text{ }\mu\text{m}$ の粒子が各面の捕集パネルに 1 個以上衝突し、RAM 面では約 14 個衝突すると予測された。また、直径 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上の粒子は、RAM 面では 70 個以上捕集されるのに対し、他の 3 面は 40 個程度と大きな差が見られた。これは、RAM 面は ISS の進行方向と面しているため、粒子が最も衝突しやすい状況にあるからと考えられる。更に、図 3 に、直径 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上の粒子におけるデブリとメテオロイドの衝突個数の割合を算出した。縦軸に累積衝突個数、横軸に

表 1 捕集パネルに対する粒子衝突個数 (個/year)

Particle Diameter (μm)	RAM	JEM-OUT	JEM-IN	SPACE
100~	0.18	0.11	0.090	0.093
10~100	13.8	6.05	6.91	8.35
1~10	56.7	30.5	25.5	30.26

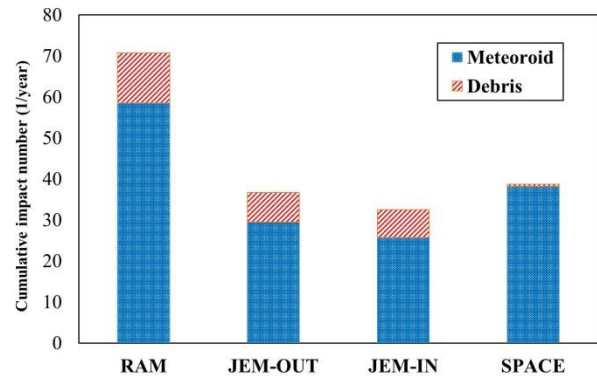


図3 衝突粒子の要素割合

WAKE 面を除く 4 面を示した。どの面においても、メテオロイドの衝突個数が大半を占めており、特に SPACE 面に衝突する粒子のほぼ全てはメテオロイドということがわかった。また、JEM-OUT 面と JEM-IN 面においては、メテオロイドとデブリの衝突頻度の割合は同等であった。JEM-IN 面の方が、ISS の構造上、遮蔽は多いと考えられるが、他国の実験棟との位置関係から計算して、衝突の際の入射角度が 40 度以上であった場合には JEM-IN 面でも遮蔽物の影響がない。これは、今回使用したモデルは簡略化したものであったため、JEM-OUT 及び JEM-IN 面に影響を及ぼす可能性のある実際の構造とは異なってしまっていたことから生じたと考えられる。RAM 面は他の 3 面よりの多くの衝突が見られ、デブリの捕集数も多いことから、RAM 面における捕集実験がデブリの衝突頻度を求めることについて最も有用であることがわかった。

3. 結論

衝突頻度解析ツールを用いた捕集パネルへの粒子フラックス予測を行った結果、以下のことがわかった。

- 1) 粒子の衝突頻度は、RAM 面で最も高く、WAKE 面では最も低いこと。
- 2) 捕集パネルには、直径 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下の粒子の衝突が期待され、RAM 面に設置されたパネルには他

の面と比較して約 2 倍もの衝突頻度があること。
また、衝突粒子のうち、メテオロイドはその大半を占めていること。

- 3) RAM 面には、他の面よりも多くのデブリが衝突するため、デブリ衝突頻度の算出には最も有用な面であること。

しかし、今回用いた ISS モデルは構造を簡略化したものであったため、現在詳細化したモデルの作成を進めている。また、デブリの衝突角度や衝突するデブリの種類については不明なため、このモデルが完成次第、これらについて求めていく予定である。

謝辞

本研究において、MUSCAT スペース・エンジニアリング株式会社の八田 真見様にたくさんのご助言を頂きました。心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 木部：宇宙の厄介者：スペースデブリ，航空と文化，No.106，日本航空協会，2013。
- 2) Kanemitsu, Y. et al. : Comparison of Space Debris Environment Models: ORDEM2000, MASTER-2001, MASTER-2005 and MASTER-2009 ,

JAXA-RM-11-020E, 2012.

- 3) Yamagishi, A. et al. : TANPOPO: Astrobiology Exposure and Micrometeoroid Capture Experiments, TRANCACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES,SPACE TECHNOLOGY JAPAN, Vol.7(2009), No.ists26, pp.Tk-49-Tk_55.
- 4) 山岸ら：TANPOPO:有機物と微生物の宇宙空間曝露と微隕石及び微生物の捕集実験，Biological Science in Space, Vol.21, No.3(2007), pp.67-75.
- 5) 東出ら：たんぼぼ計画における微小デブリ分布取得の検討，宇宙科学シンポジウム，2014.
- 6) MASTER – Meteoroid and Space Debris Terrestrial Environment Reference- ホームページ
<http://www.master-model.de>
- 7) 金ら：デブリ衝突損傷リスク解析ツール (TURANDOT)の機能拡張，宇宙航空研究開発機構特別資料:第 5 回スペースデブリワークショップ講演資料集, JAXA-SP-13-018, pp.290-300, 2014.
- 8) 宇宙ステーション・きぼう広報・情報センターホームページ内「ISS の構成」
<http://iss.jaxa.jp/iss/about/config/>