

宇宙機搭載用微小デブリセンサ衝突試験結果

奥平修 (JAXA)、松本晴久 (JAXA)、北澤幸人 (IHI/JAXA 客員)、上野遥 (JAXA)、
長谷川直 (JAXA)、小林正規 (千葉工大)

1. はじめに

0.1～数 mm サイズのスペースデブリは、宇宙機や宇宙での有人活動に深刻な障害・事故を引き起こし得るにも関わらず、その分布はほとんど分かっていない。適切なデブリ防御設計のためには、このサイズ領域を計測する技術を確立する必要があり、我々は微小デブリをその場計測するセンサ (SDM) の開発を進めてきた。現在、HTV5 号機 (2015 年打ち上げ) でのフライト実証を予定している。ここでは、フライト実証の際、デブリがセンサを貫通し、構体やセンサ筐体へ衝突した際に発生するイジェクタ (2 次デブリ) が計測に与える影響について報告する。

2. 微小デブリセンサ SDM の概要

2.1 計測原理

SDM センサの検出領域は、厚さ $12.5 \mu\text{m}$ の絶縁性薄膜であるポリミドフィルム上に、銅を主成分とする $50 \mu\text{m}$ 幅の直線状の導体線を $100 \mu\text{m}$ 間隔で形成したものである。この導体線 (以下検出線とよぶ) の太さより大きなデブリが薄膜へ衝突すれば、検出線を切断し貫通することになる。もし、隣接する複数本の検出線の切断があった場合、その本数からデブリの大きさが推定できる。SDM は、図 1 に示すように検出領域のフィルム両端に電子回路を構成し、切断された検出線の位置と時刻を特定することができる。これにより、いつどの程度の大きさのデブリが衝突したのかを計測する。

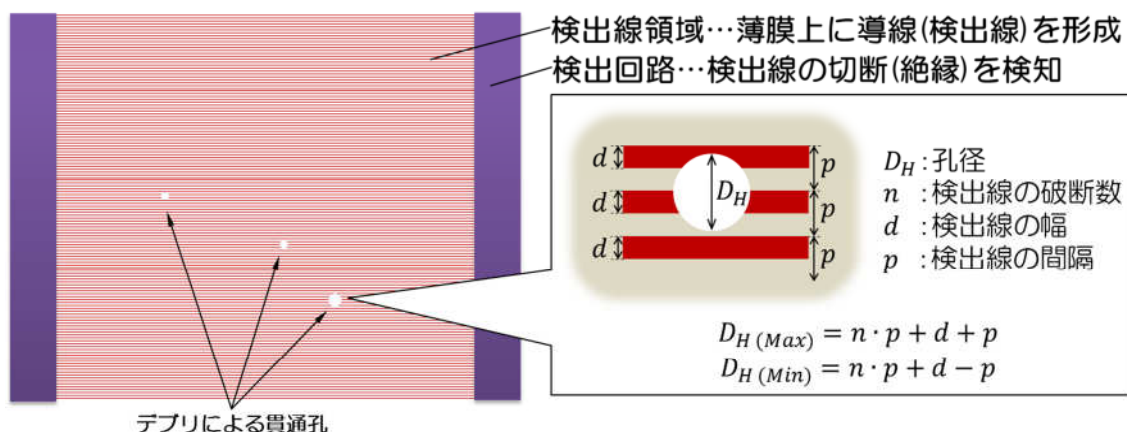


図 1 SDM 計測原理

2.2 HTV-5 KASPER-SDM

HTV5 号機には、太陽電池パドルの跡地を利用し、HTV の帯電情報を取得するための表面電位センサ (TREK-3G) とプラズマ電流計測 (LP) に 2 つの微小デブリ観測装置 (SDM と CDM) を追加した、宇宙環境観測装置 KASPER (Kounotori Advanced SPace Environment Research equipment) が搭載される。図 2 に KASPER の外観と搭載位置

を示す。KASPER はロケット分離後まもなく電源を投入され、HTV 単独飛行中から計測を開始、ISS 係留中を含めてその後の HTV 再突入まで連続運用する。ミッション期間は HTV の運用期間と同じ 45 日程度を見込んでいる。

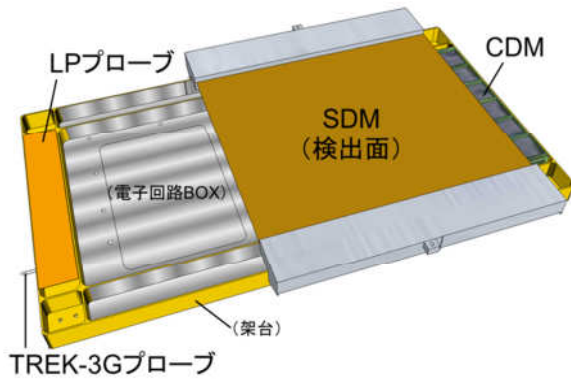


図 2 KASPER 外観 (MLI 艦装前) および KASPER 搭載位置

3. 衝突試験

KASPER-SDM は、原子状酸素 (AO) による侵食を防ぐため、検出領域の表面に耐 AO コーティングを施している。昨年度は衝突実験により、このコーティングがセンサの性能へ与える影響を調べた。その結果、衝突孔径に与える影響は認められなかったが、一方でイジェクタ (2 次デブリ) が想定以上に発生し、センサに新たな貫通孔をもたらす可能性があることが分かった。今回、KASPER-SDM を模擬してセンサ背面に MLI を設置した高速衝突試験を実施し、イジェクタがセンサに与える影響について評価した。

衝突実験には JAXA/ISAS の二段式軽ガス銃 (JAXA 宇宙科学研究所スペースプラズマ共同利用設備) を用い、図 3 のように SDM の下流に MLI と 4cm 下流にアルミニウム板 (3mm 厚) を設置して直径 0.3、0.8、1.6、3.2mm の SUS304 のプロジェクタイトルを 5km/s または 7km/s で衝突させた。

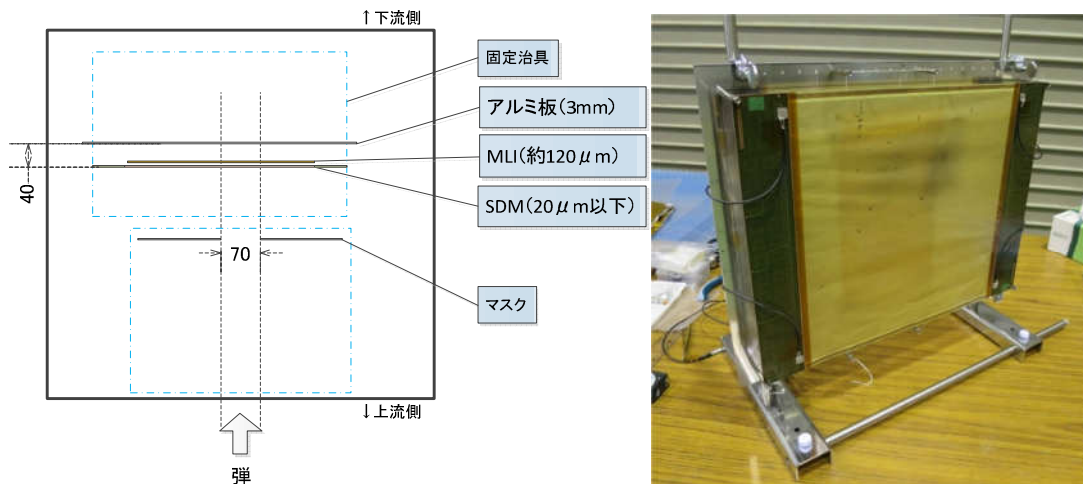


図 3 実験セットアップ

3.1 センサの衝突孔径

図 4 に SDM、MLI、Al 板に生じた衝突孔の一例を示す。まず、計測原理の確認としてセンサ上の衝突孔径を確認した。今回の実験における、プロジェクタイト径と SDM 上の断線数および衝突孔径の関係を表 1 と図 5 にまとめる。結果として、今回初めて使用した 0.8, 1.6, 3.2mm のサイズを含め、プロジェクタイト径と衝突孔径はほぼ一致することが確認された。309 μm プロジェクタイトでは 7km/s での衝突も実施したが、速度による孔径の違いはなかった。なお、800 μm 以上の SUS プロジェクタイトを打ち込んだ際は、3mm 厚の Al 板を貫通している。

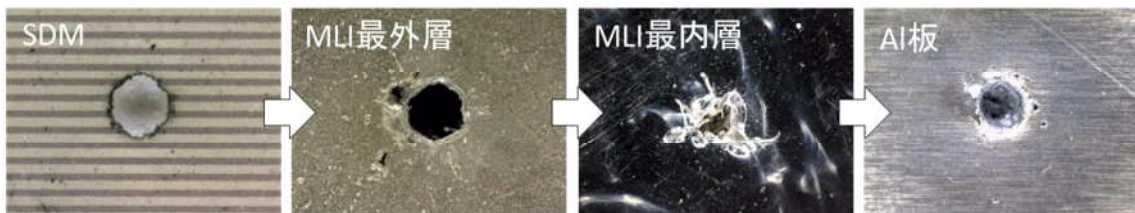


図 4 309 μm のプロジェクタイトを 5km/s で垂直に衝突させた場合

Projectile 直径[μm]	309	309	800	1600	3200
衝突角[度]	90	45 (線方向)	90	90	90
SDM の 衝突孔					
検出線の 断線数	3 or 4	3 or 4	8 or 9	16	32

表 1 SUS を 5km/s で 90 度または 45 度で衝突させた時の断線数

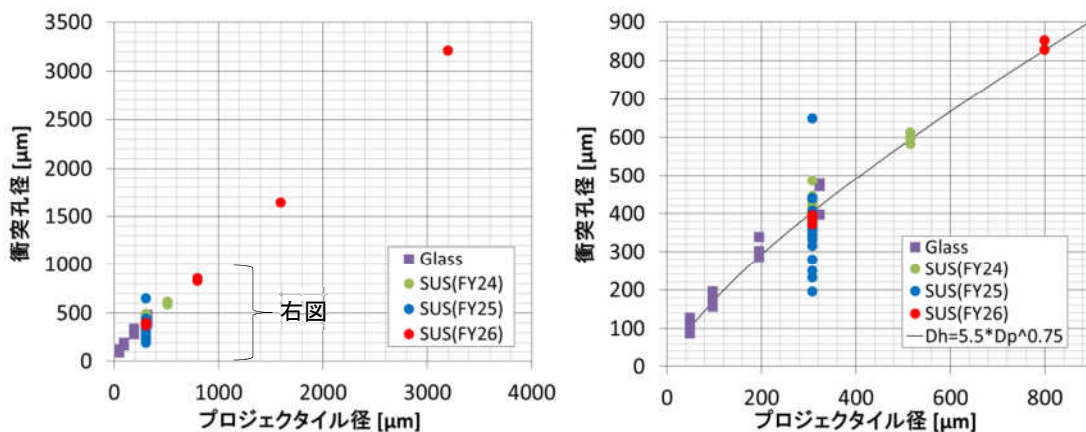


図 5 プロジェクタイト径と衝突孔径の関係

3.2 イジェクタ

800 μm 以下のプロジェクトイルについて、2次デブリ（イジェクタ）の影響を調査した。図6にイジェクタにより生じたMLI上の衝突孔の例を示す。プライマリのプロジェクトイルによる孔の周りに同心円状にイジェクタによる衝突孔があり、外層ほどその数が減少していくのが確認された。KASPERで使用されているMLIは最外層50 μm 、内層6 μm \times 8枚、最内層25 μm の計10層である。HTV/ISS軌道では原子状酸素による影響が大きいため、最外層を厚くしており、今回の実験（5回のショット）において、これを貫通したイジェクタは確認できなかった。よって、KASPER-SDMにおいては、イジェクタがセンサに与える影響はほぼないと考えられる。しかし、ミッション終了近くやデブリのサイズによっては最外層を越えてくるイジェクタがないとは言えず、今後のSDM搭載においては工夫が必要である。

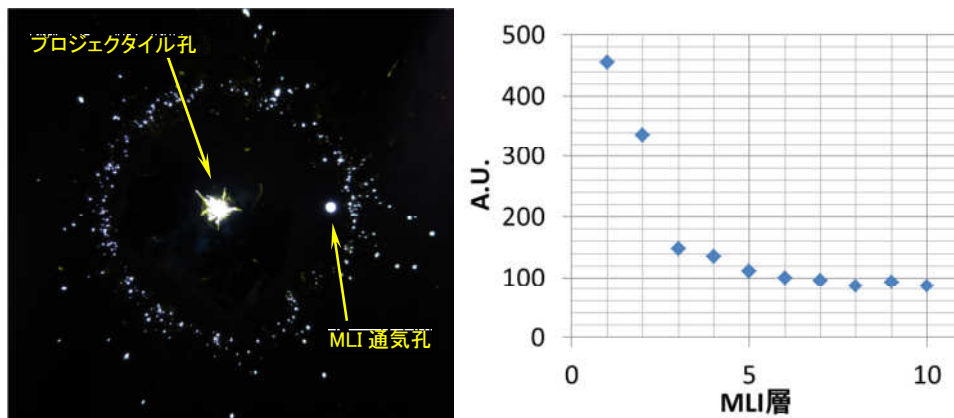


図6 左図は800 μm のSUS粒子を5km/sで衝突させた後のMLI最内層（アルミ板に最も近い層）を光源の前に置いて撮影したもので、右図は、孔数に相当する値をMLIの層毎にプロットしたもので、最内層を1層目としている。（ソフトウェア処理のため、値は実際の孔数ではない）

4. まとめ

JAXAで開発している微小デブリセンサSDMをHTV-5でフライト実証するにあたり、2次デブリによる影響を高速衝突実験により調査した。その結果、センサ背面のMLIにより、イジェクタのセンサ到達が防止できていることを確認した。今後のSDMの宇宙機搭載においては、イジェクタの影響を最小化する工夫が必要になる。

また、本稿では報告を省略したが、将来のSDM機能拡張を目指し、センサ上に圧電性素子を設置して衝突時の信号を取得している。今後は圧電信号と組み合わせた衝突位置や速度測定への可能性を探っていく予定である。

5. 参考文献

1. Space Debris Sensor for In-situ Observation of Micrometeoroid and Orbital Debris at JAXA, H. Matsumoto, Y. Kitazawa, O. Okudaira, T. Hanada, A. Sakurai, K. Funakoshi, T. Yasaka, Yasuhiro Akahoshi, Sunao Hasegawa, 29th ISTS, 2013-r-34, 5 June 2013.
2. HTV5 搭載宇宙環境（デブリ・プラズマ電流）観測実験計画，奥平修，奥村哲平，小林裕希，辻田大輔，高橋真人，島崎一紀，松本晴久，古賀清一，第57回宇宙科学技術連合講演会，2013年10月9日
3. R&D on In-Situ Measurement Sensors for Micro-Meteoroid and Small Debris, Y. Kitazawa, H. Matsumoto, O. Okudaira, Y. Kimoto, T. Hanada, P. Faure, Y. Akahoshi, M. Hattori, A. Karaki, A. Sakurai, K. Funakoshi, T. Yasaka, 6th European Conference on Space Debris, Germany, 24 April 2013.
4. R&D on in-situ sensors for MMOD measurement at JAXA, Osamu Okudaira, Yukihito Kitazawa, Haruhisa Matsumoto, Yugo Kimoto, Pauline FAURE, Maki Hattori, Toshiya Hanada, Yasuhiro Akahoshi, Atsushi Karaki, Akira Sakurai, Funakoshi Kunihiro, Tetsuo Yasaka, 64th International Astronautical Congress, Beijing, China, 9 September 2013.