

デブリ検出性能に対する耐原子状酸素コーティングによる影響評価

松本 晴久(JAXA), 北澤 幸人(IHI/JAXA 客員), 奥平 修(JAXA),
長谷川 直(JAXA), Pauline Faure(九工大)

1. はじめに

JAXA では、ADEOS-II (「みどり」2号) の運用異常に対する宇宙開発委員会の提言に基づき、微小なスペースデブリの衝突頻度を把握するためのデブリセンサ (SDM) を開発している。具体的には、宇宙環境モデルで不明確な、高度 800km~1000km の極軌道における大きさ $100\mu\text{m}$ ~数mm のデブリ衝突の危険性を評価可能にする衛星搭載センサの開発である。センサの技術課題をクリアにしたことにより平成 25 年から HTV に搭載する実証モデルを開始した。HTV/ISS 軌道では、原子状酸素 (AO) がセンサを侵食するため、耐原子状酸素 (AO) コーティングを施すこととなった。本稿では、AO コーティングによるデブリ計測影響評価結果について述べる。

2 SDM の概要

2. 1 計測原理

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、銅とニッケルを主成分とする $50\mu\text{m}$ 幅の直線状導線を $100\mu\text{m}$ 間隔で形成したものである。ある大きさをもつデブリが薄膜へ衝突貫通すると、この導線 (以下検出線とよぶ) を切断することになる。もし、隣接する複数本の検出線の切断があれば、その本数からデブリの大きさが推定できる。SDM は、切断された検出線の位置と時刻を特定することにより、いつどの程度のデブリが衝突したのか計測する。

2. 2 試作モデル

平成 20 年からセンサ検討を開始し、平成 22 年度にフィルム厚や検出線の形成法、電子回路との接続法など、大面積化に伴う課題に対して試作と改良を行った結果、フレキシブルプリント基板 (FPC) 製作技術により検出部と電気回路との一体化および大型化 (約 $35\text{cm} \times 30\text{cm}$ の検出部) に成功した。また、熱衝撃試験 ($-65 \sim +125^\circ\text{C}$ で 100 サイクル) で検出面に影響がないことを確認した。(図 1)

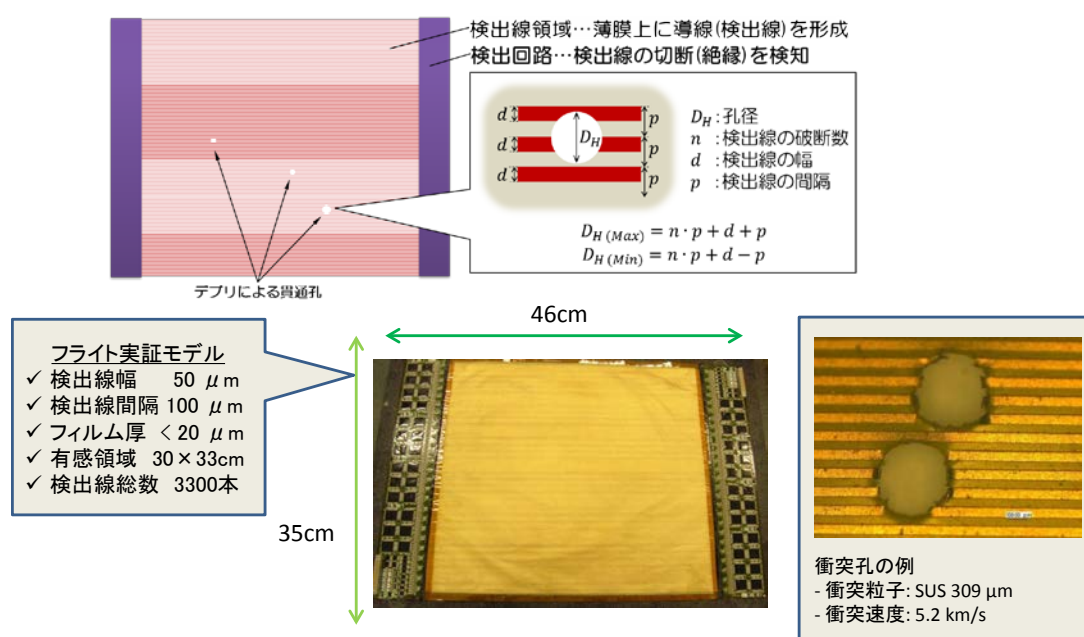


図 1 センサの動作原理と試作モデル

2. 3 衝突試験

試作モデルに対しては、JAXA 宇宙科学研究所（ISAS）の二段式軽ガス銃を用いた超高速度衝突試験を実施した。デブリを模擬した直径 50～500 μm のステンレス（SUS304）及びガラスを約 2～7km/秒でセンサに衝突させ、センサの検出原理の確認と性能評価を行った。

試験結果、入射粒子の径は衝突孔径と強い相関がある一方、粒子の種類や衝突速度に依存しないことが分かった。これらの結果から、検出線が n 本破断したとすると、衝突粒子の径 D_p の最大/最小値は衝突孔径 D_H を用いて次式のように算出できる。（図 2）

$$D_p = 1.39 \times 10^{-1} D_H^{1.28}, D_H = n \cdot p + d \pm p$$

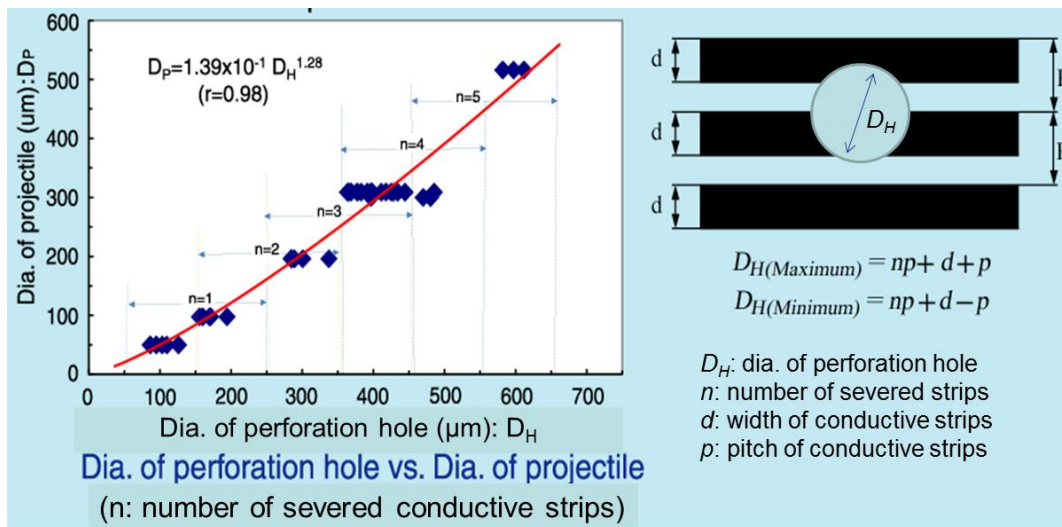


図 2 衝突粒子と衝突孔径の関係

さらに、斜め衝突を含むパラメータサーベイ試験も実施した。

本センサは、HTV 搭載にあたり、原子状酸素がセンサを破損させる恐れがあるため、センサ曝露面に JAXA 材料 G 開発の耐 AO コーティングを施したところ、最新のセンサ製造工程において表面に薄い Si 層が転写され、コーティング剤のはじきと密着性が課題となった。洗浄やコーティング剤の配合、後処理（換装・硬化）の方法を検討&試作した結果、ほぼはじきなくコーティングが可能となったが、膜厚が 10 μm 程度となったため、衝突試験を実施しその影響を調査した。図 3 に耐 AO コーティング塗布前後での結果を示す。図から分かる通り衝突孔径に優位な差はみられなかった。図 4 に 30° 斜め衝突の結果を示す。耐 AO コーティング塗布前後で、衝突孔短径に優位な差はみられない。但し、衝突孔長径には若干差違がみられるものの、データのばらつきの範囲内と推定している。

3. まとめ

デブリ検知回路を実装した製造工程確認モデルに対し衝突試験を実施し、耐原子状酸素コーティング膜（膜厚増加）による検出性能への影響を調査した。これまでの実験結果では、フィルムに形成される貫通孔の大きさや形状は、プロジェクタイトルの材質や速度に対する依存性は小さく、その大きさと入射角でほぼ決定されることが確認されている。また耐原子状酸素コーティングによる影響は、検出性能を劣化させるほどではないものの、さらに詳細な確認実験を必要としている。今後は、搭載性の向上をはかりつつ、2 次デブリによる影響を最小化する搭載方法を確認していく必要がある。

	耐AOコーティング	
	前	後
プロジェクタイトル直径(μm)	309	
プロジェクタイトル材質	SUS	
衝突角度	90°	
衝突速度(km/s)	5.2-5.4	5
取得データ数(衝突孔数)	15	18
平均孔径(μm)	371	375
σ	27	31

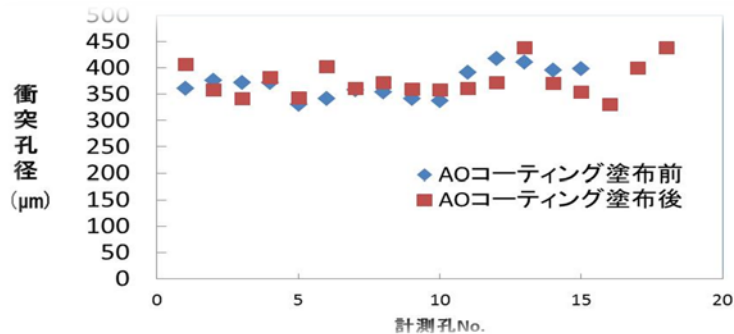


図3 耐AOコーティング塗布前後での試験結果比較(垂直衝突)

	耐AOコーティング	
	前	後
プロジェクタイトル直径(μm)	309	
プロジェクタイトル材質	SUS	
衝突角度	30°	
衝突速度(km/s)	5.2-5.4	5
取得データ数(衝突孔数)	7	9
孔径(μm)	短径 356	短径 363
	長径 698	長径 584
σ	短径 12	短径 21
	長径 62	長径 59

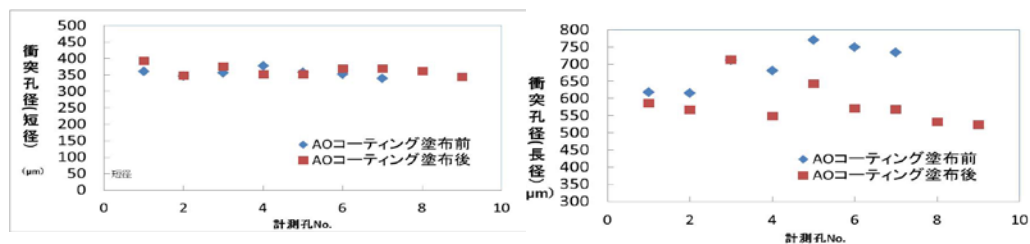


図4 斜め衝突(30°)の試験結果

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, Yukihiro 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.