

# 宇宙機搭載用デブリセンサの開発状況

松本晴久 (JAXA), 北澤幸人 (JAXA 研究開発本部・客員), 長谷川直 (JAXA)

## 1. はじめに

2003年10月25日、環境観測技術衛星「みどり2号」(ADEOS-II)の太陽パドルの発生電力が3分間で6kWから1kWまで低下する異常運用が発生した[1]。この原因究明の結果、ハーネスへの微小粒子の衝突もその要因の1つとしてあげられた[2]。この不具合事故を機にJAXAにおいてデブリに関連する「宇宙環境標準」及び「デブリ防御標準」制定作業が開始された。衝突試験等の結果、大きさ $100\mu\text{m}$ ～数mmのデブリは、宇宙機にクリティカルな故障・障害を引き起こすことが明らかになったものの、従来の計測データが乏しいことにより、デブリ衝突のリスク評価に不可欠な「デブリ衝突頻度」予測値には2桁に及ぶ不確定性があることが判明した[3]。

従来のメテオロイドデブリ用のセンサ(ダストカウンタ)では、メテオロイド&デブリの「衝突」エネルギーを他の物理現象(振動、プラズマ、電磁波等)に変化することを利用し、その物理現象を計測する。そのため、計測面積の大規模化が困難であり、大きさ $100\mu\text{m}$ ～数mmのデブリの計測には必ずしも適していなかった。また、センサに生じる現象と衝突パラメータ(速度、粒径、材質)とを関連付けるために多くの超高速衝突試験(パラメータ・サーベイ)が必要であった。本センサーは宇宙機にクリティカルな故障・障害を引き起こすことが予想されるものの、その軌道上の存在量(衝突フラックス)が不明確な数百 $\mu\text{m}$ ～数mm程度の大きさのデブリの存在量を正確に計測することに特化して研究開発を行っており、単純な原理・大面積化の容易さ・少ないパラメータサーベイを特徴としている[4]。

現在の開発状況について述べる。

## 2. 計測原理

センサは、ポリイミドなどを材質とする絶縁性薄膜(例えば、厚さ10ミクロン程度)上に、エッチングなどの技法により、ピッチ(空間周期)100ミクロン以下の直線状の細長い導線(以後、検出線と呼ぶ)のパターンを印刷する(右図参照)。

例えば、検出線のピッチが100ミクロンの場合、100ミクロン程度以上の有効直径を有するデブリが薄膜に衝突すると、1本以上の検出線が破断する。このよ

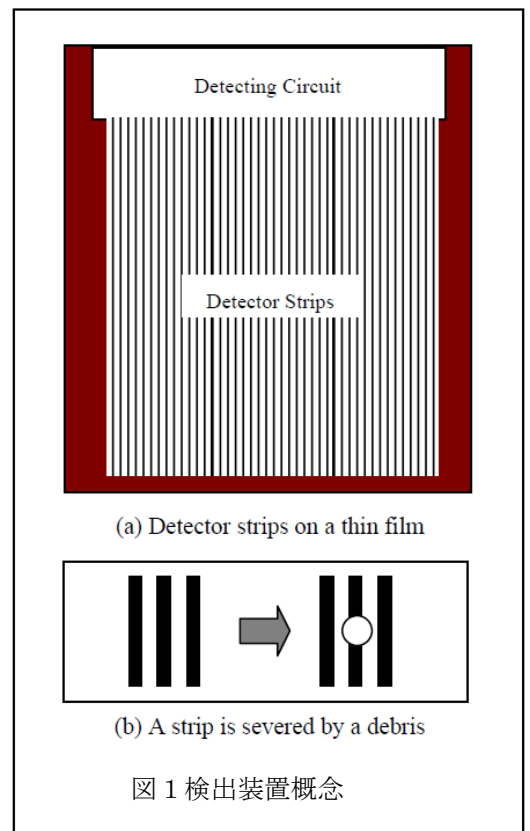


図1 検出装置概念

うな検出線の破断を電氣的に検出することにより、メテオロイド&デブリの衝突を検知する。

機能としては、「切断された検出線の識別」、「切断された時刻を特定」を行うことに在る。同時刻に隣り合う複数本の検出が切断された場合には、それらの本数を同時切断するだけの大きさのメテオロイド&デブリが衝突したと判断でき、メテオロイド&デブリのサイズを推定することが可能である。

### 3. 昨年度までの成果

平成 20 年度、平成 21 年度に実施した結果から得られた「フィルムの孔の直径/フィルム厚さ」と「プロジェクタイト径/フィルム厚さ」の関係を図 2 に示す。図から分かるとおりフィルム厚が 12.5 μm ~ 25 μm 程度であればダストの直径に対するフィルムの直径 (= 検出線の破断数) に大きな相違は生じないことが分かった。平成 20 年度に使用した試験体は、ポリミドフィルム厚 12.5 μm または 25 μm、導線層は、0.1 μm 厚以下の Al である。平成 20 年度に使用した試験体は、ポリミドフィルム厚 12.5 μm、導線層は、厚さ約 6 μm の Cu+約 2 μm の Ni,Au である。

図 3 に検出線の破断数とプロジェクタイト径の関係を示す。プロジェクタイト径は、以下の式 1 ~ 式 3 で表すことができる。ここで、 $n$  は、検出線の本数、 $p$  は、検出線のピッチ幅、 $d$  は、検出線の幅とする。

$$D_p(\text{Maximum}) = 1.39 \times 10^{-1} (np + d + p)^{1.28} \quad \dots \dots (1)$$

$$D_p(\text{Nominal}) = 1.39 \times 10^{-1} (np + d)^{1.28} \quad \dots \dots (2)$$

$$D_p(\text{Minimum}) = 1.39 \times 10^{-1} (np + d - p)^{1.28} \quad \dots \dots (3)$$

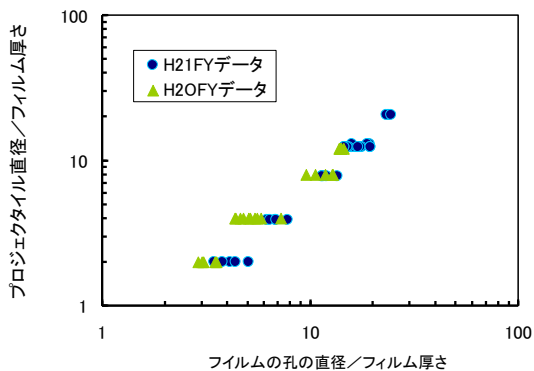


図 2 「フィルムの孔の直径/フィルム厚さ」と「プロジェクタイト径/フィルム厚さ」の関係

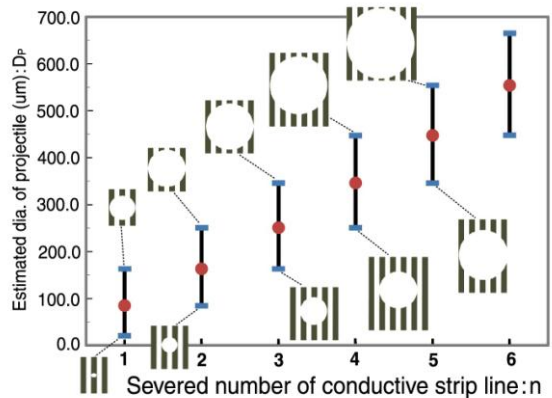


図 3 検出線の破断数とプロジェクタイト径の関係

#### 4. 今年度の成果

昨年度まで試験で、センサの原理は確認できたものの、センサ部の大型化とセンサ部と回路部の接続の信頼性向上が課題として残っていた。センサと回路基板を別々に作成し、それを接続すると方法から、フレキシブルプリント基板製造技術を応用することで、1枚の大型の「フレキシブルプリント基板」としてセンサ部と接続部を一体で製造するという発想の転換を行った。製造に成功すると共に JAXA 認定用プリント基板技術の延長で製造できることが確認でき、宇宙開発品と同等の品質検査・保証体制を維持できる目途がたった。

図4に完成したセンサの写真を示す。

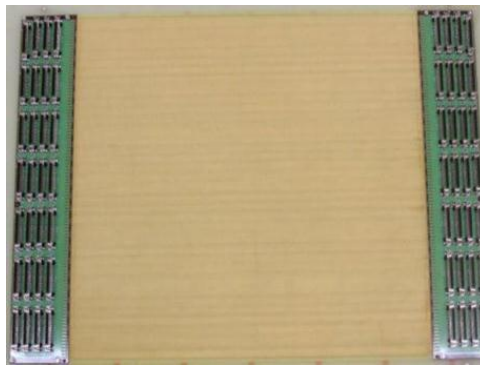


図4 完成したセンサ (センサ領域 : 35 cm (W) × 35 cm (L) = 1225 cm<sup>2</sup> / 1 unit)

#### まとめ

来年度、衝突角をパラメータとした試験を実施する予定である。

今後、本センサへの検出回路部の一体化等の機能拡充を実施し、なるべく早い時期にフライトし、宇宙樹のリスク評価・信頼性向上、宇宙環境監視・保全へのタイムリーな情報提供に貢献したい。

#### 参考文献

- [1] ADEOS-II 不具合原因究明チーム、「ADEOS-II 不具合原因究明概要」第1回宇宙環境シンポジウム(2004年12月) p. 84-92
- [2] ADEOS-II 不具合原因究明チーム、「ADEOS-II 100W 発生電力変動調査」第1回宇宙環境シンポジウム(2004年12月) p. 128-135
- [3] Fukushige, S., Akahoshi, Y., Kitazawa, Y., Goka, T., “Comparison of Debris Environment Models: ORDEM2000, MASTER2001 and MASTER2005”, IHIENGINEERING REVIEW, 40(1), February 2007.
- [4] H. Matsumoto, Y. Kitazawa, A. Sakurai, K. Funakoshi, T. Yasaka, Issues related to micro-debris and its measurement, the journal of space technology and science, 24, 2, 2009