

G5

次世代宇宙用デブリモニタの開発

Development of next generation space debris monitor

○神谷浩紀, 松本晴久 (JAXA), 北澤幸人 (IHI/九州工業大/JAXA),
奥平修 (千葉工大), 野村健一, 小笹健仁, 牛島洋史 (産総研)

○Koki Kamiya, Haruhisa Matsumoto (JAXA), Yukihito Kitazawa
(IHI/Kyushu Institute of Technology/JAXA), Osamu Okudaira (Chiba Institute of Technology),
Ken-ichi Nomura, Takehito Kodzasa, Hirobumi Ushijima (AIST)

これまで、0.1～数ミリサイズの微小デブリは、宇宙機への衝突被害を生じさせる可能性があるものの、効率的な計測手段がないためにごく限られた計測しか行なわれていなかった。そこで、我々は宇宙用デブリモニタ (SDM: Space Debris Monitor)を開発し、HTV5 号機によるフライト実証を通してその有効性を確認した。今後は、様々な軌道と高度におけるデータ蓄積のため、より多くの衛星への搭載を目指している (特に高度 800 km 付近)。プリントドエレクトロニクスの技術を用いたセンサの大型化、搭載性向上のための MLI との一体化を目指した次世代宇宙用デブリモニタの開発の概要と現状について述べる。

There is a possibility that sub-millimeter to several millimeter size debris (micro-debris) cause collision damage to the spacecraft, however only limited measurements have been carried out to measure micro-debris because there is no efficient measurement method. We have developed the Space Debris Monitor (SDM), confirmed its effectiveness by flight demonstration on HTV-5. We are aiming to mount SDM on more various satellites in order to know micro-debris environment. We describe the overview and current status of development of next generation SDM to enlarge measurement area and improve mountability using printed electronics.



次世代宇宙用デブリモニタの開発

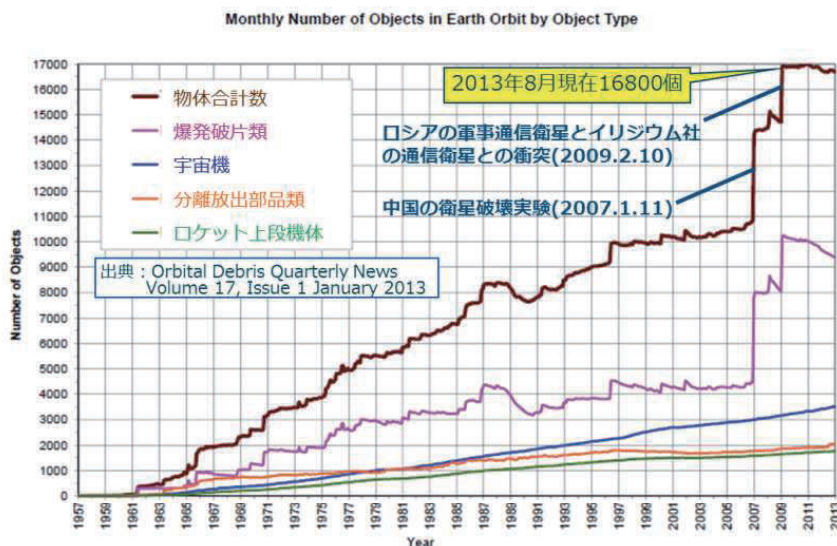
神谷浩紀、松本晴久(JAXA), 北澤幸人(IHI/九工大/JAXA),
奥平修(千葉工大), 野村健一、小笹健仁、牛島洋史(産総研)

はじめに



■ スペースデブリは年々増加

- 宇宙機の打上げ
- 機能停止した宇宙機の破砕
- デブリ同士の軌道上衝突による自己増殖

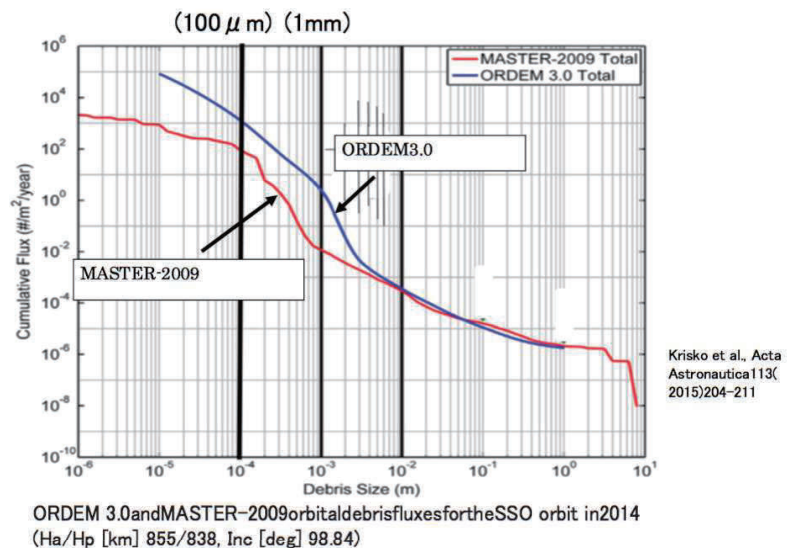


はじめに



■ 宇宙機との相対速度が5～10km/sのため、衝突被害が大きい

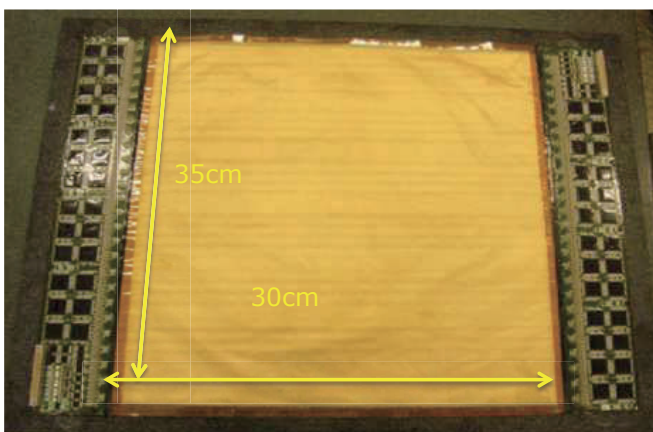
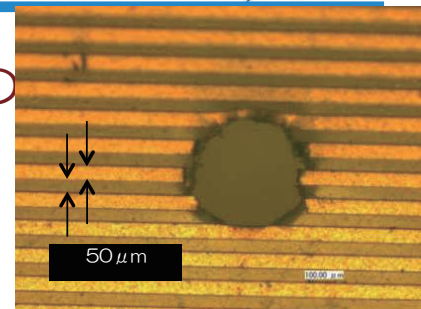
- センチ以上のデブリが衝突すると宇宙機は破壊
- 数100 μ m以上のデブリでも機能喪失の可能性
- サブミリサイズのデブリはデータが少ないためモデルの精度が低い



Space Debris Monitor(SDM)



- ポリイミドフィルムに線幅50 μ mの導線を100 μ mピッチでパターン形成したシンプルな構造
- デブリが衝突した際の断線数からデブリサイズを決定

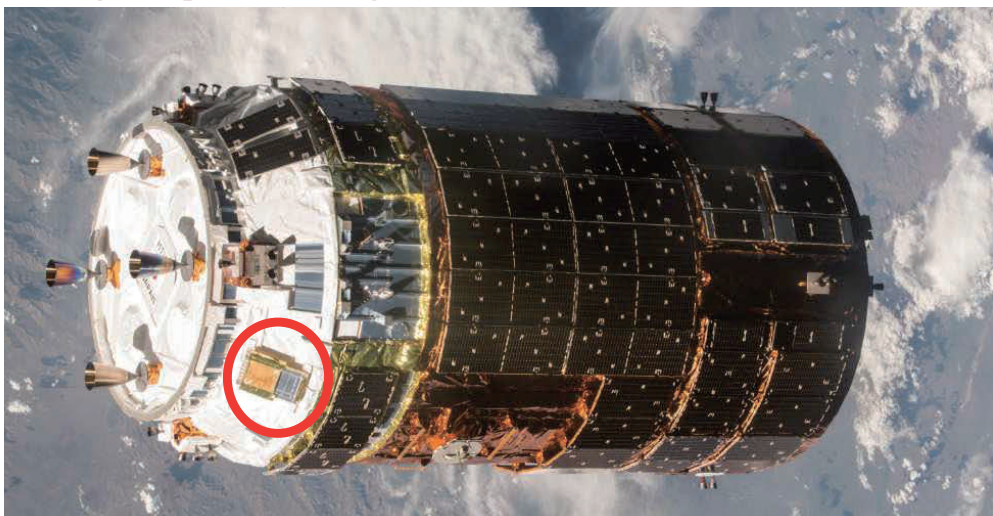


Space Debris Monitor	
フィルム厚	～20 μ m
検出線幅	50 μ m
検出線間隔	100 μ m
有感領域	30 x 35 cm
検出線数	3300
重量	800g以下
サイズ	46 x 35 x 2 cm
消費電力	～1W

SDMの軌道上実証



- HTV5号機にSDMが搭載された
- 2015年8月19日 打上げ
- 2015年9月1日 SDMが1本の断線を検出→世界初
- 2015年9月30日 再突入

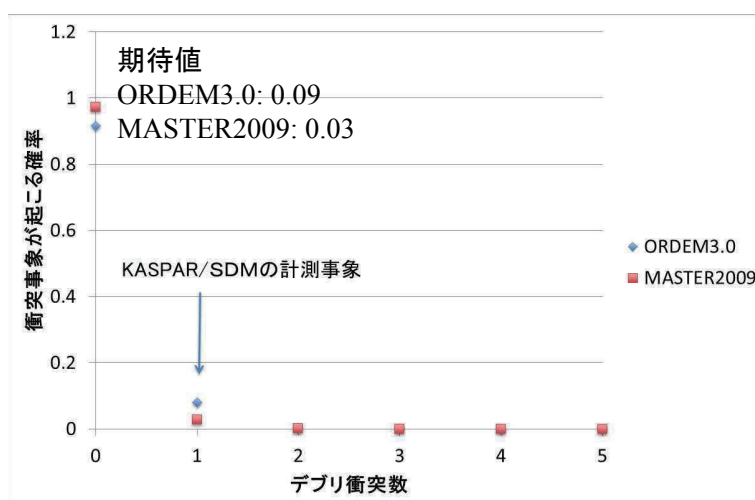


- 5 -

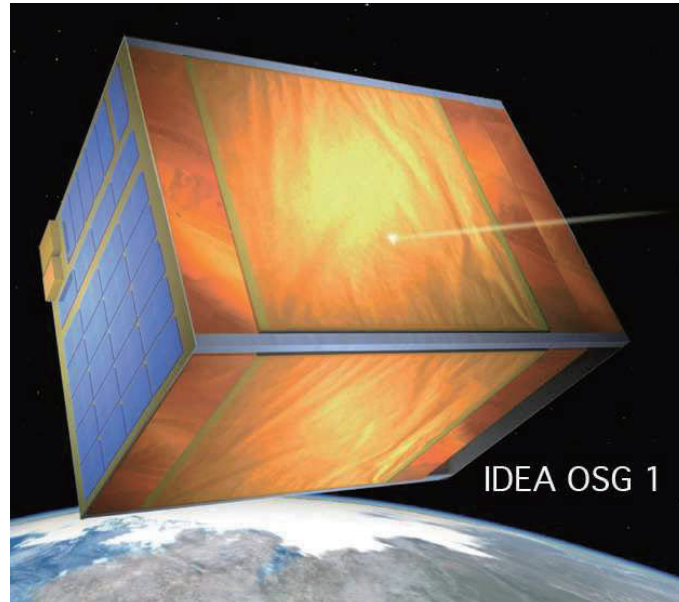
簡易的な解析結果



- 断線数が1なので $100\mu\text{m} \pm 50\mu\text{m}$
 - 衝突したデブリのサイズを $100\mu\text{m}$ として、MASTER2009, ORDEM3.0のモデルから期待される衝突数を計算
 - 両モデルとも 2σ の信頼区間内 ($0.025 \sim 5.6$)
- ↓
- 両モデルとも棄却できない



IDEA OSG 1への搭載



©ASTROSCALE

- 7 -

次世代デブリモニタの開発



- デブリ環境モデルの検証、高精度化にはセンサの大型化、様々な宇宙機への搭載が必要



- 現SDMはフレキシブルプリント基板(FPC)の技術の応用で製作されており、40cm×40cm程度のサイズが限界→プリントドエレクトロニクス技術を利用し、様々なサイズに対応
- ほとんどの宇宙機は温度制御のためMLIで覆われているため、SDMにMLIと同等の機能を持たせ、MLIと置き換えることで、より多くの衛星に搭載

- 8 -

プリントドエレクトロニクス



- 印刷技術で電子回路、デバイスを形成する技術
 - 約 $1\mu\text{m}$ の線幅の回路形成
 - 1m^2 級の面積の回路形成
 - 発展が著しい分野でさらなる微細化や大面積化が期待される
 - 印刷に使用されるインクは銀が主成分の導電体
 - 銀は酸化に弱い
 - 銅が主成分のインクも開発途上にある
- ↓
- SDMのパターン形成に利用する

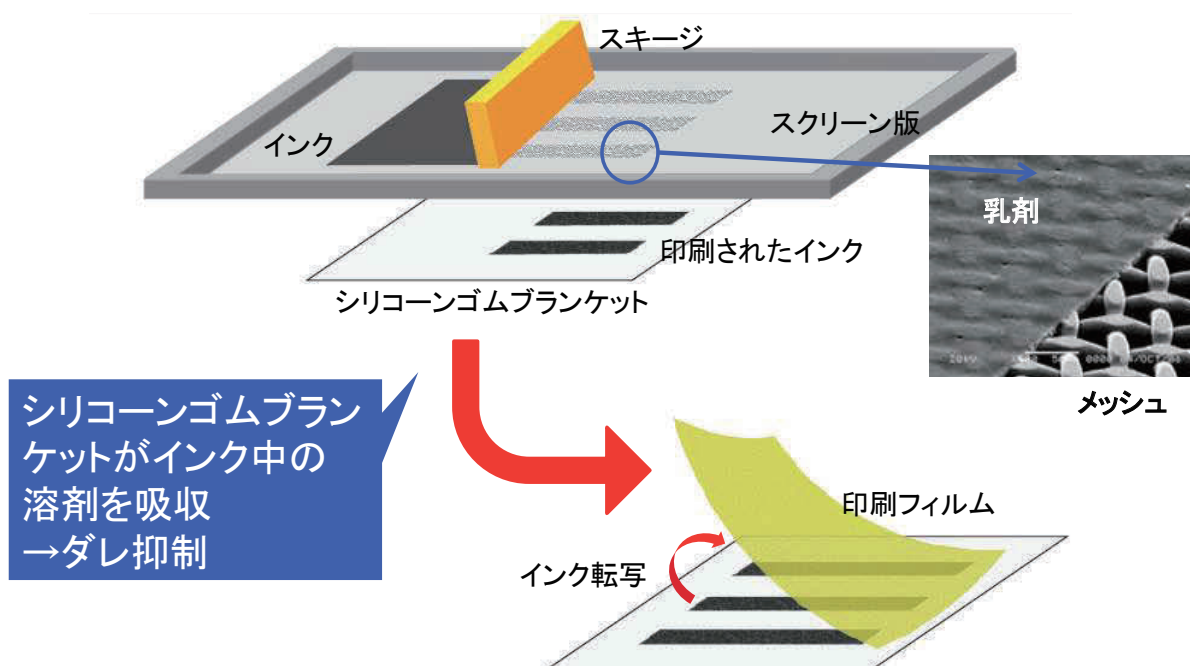
- 9 -



スクリーンオフセット(SOS)印刷



スクリーン印刷の特徴である厚膜形成と
スクリーン印刷を凌駕する微細線が形成可能



- 10 -



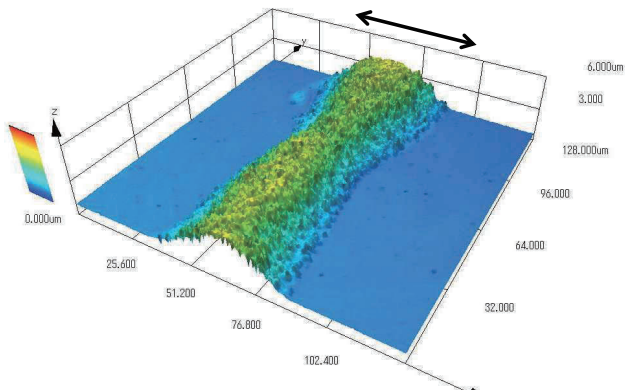
印刷パターン3次元像



線幅設計値: 20 μm

スクリーン印刷

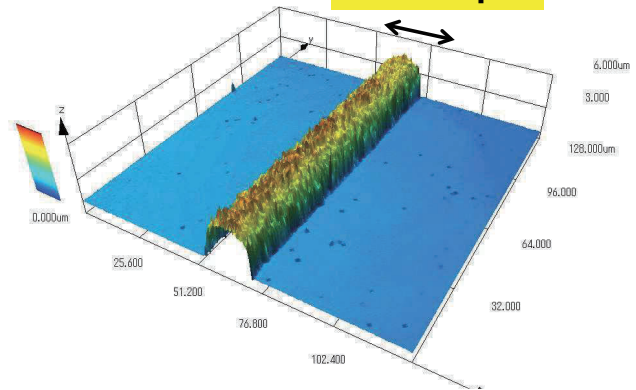
線幅 40-50 μm



- ・インクダレ、断面かまぼこ形状
⇒線幅増加

スクリーンオフセット印刷

線幅 20 μm



- ・断面矩形性の高いパターン
→設計値通りの細線

- 11 -



スクリーンオフセット印刷で試作されたセンサパターン



版設計値: Line / Space = 20 μm / 20 μm



- 例えば、L/S=20 μm /20 μm のパターンも形成可能
→デブリの粒径の誤差を小さくすることが可能になる

インク: (株)ノリタケ製Agインク NP-4508A2 (300℃焼成タイプ)
基材: PETフィルム

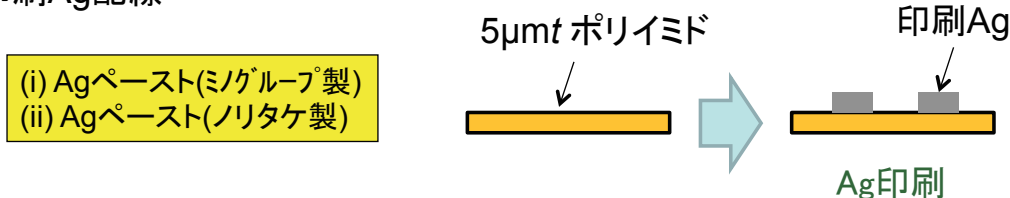
- 12 -



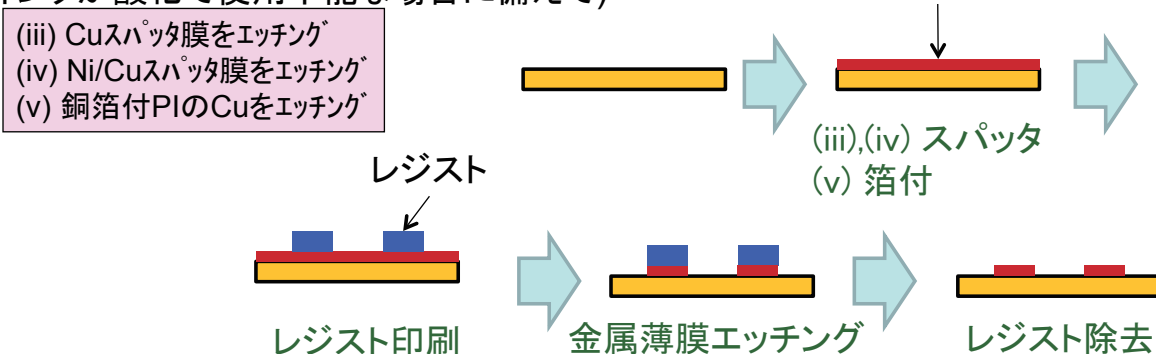
環境試験用のセンサパターンの形成方法



■印刷Ag配線



■Cu膜上にレジストを印刷⇒エッチング (銀インクが酸化で使用不能な場合に備えて)



- 13 -



試験用サンプル	基材・厚さ	配線	断面	顕微鏡	備考
(i) Agペースト (ミノグループ製)	ポリイミド (5μmt)	印刷Ag (~5μmt) ※厚さは推定	印刷Ag PI		引出線付近 パターン太り有
(ii) Agペースト (ノリタケ製) 抵抗小さい パラメータ要調整		印刷Ag (~5μmt) ※厚さは推定	印刷Ag PI		・側壁ライン性 ややガタ付き ・隣接ショート やや多い
(iii) Cuスパッタ →レジスト印刷 →エッチング		スパッタCu (~1μmt)	スパッタCu PI		最も綺麗?
(iv) Ni/Cuスパッタ →レジスト印刷 →エッチング ※Niは接着層		スパッタNi/Cu (Ni:~5nm/ Cu:~1μmt)	スパッタNi/Cu PI		ややへび玉
(v) 銅箔付PI (現SDMと同じ) →レジスト印刷 →エッチング	ポリイミド (12.5μmt)	銅箔 (9μmt)	銅箔 PI		配線 やや細かい (w~30um)

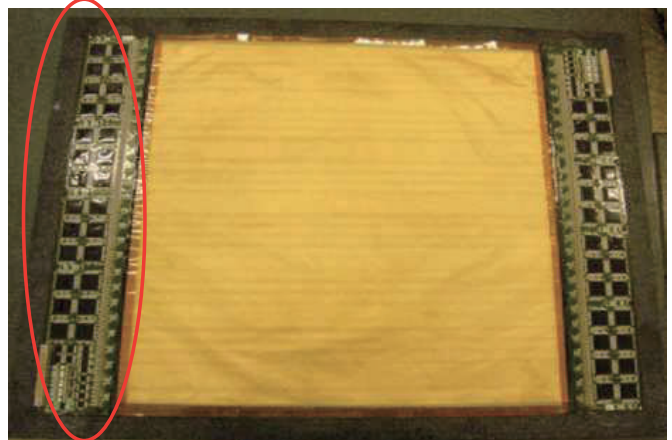
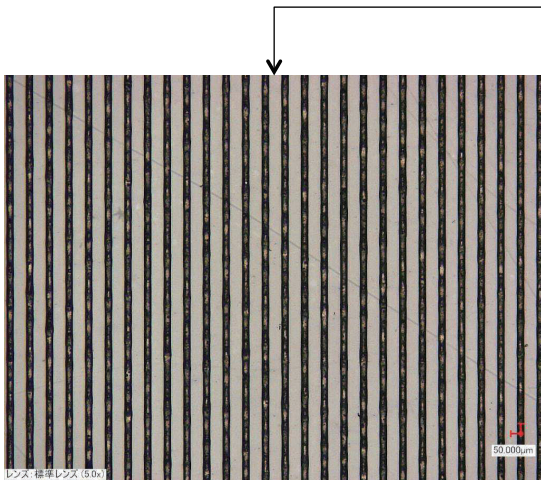
これらのサンプルに対して温度、紫外線、原子状酸素などの耐環境試験を行う

- 14 -

課題:センサパターンと周辺回路の接合

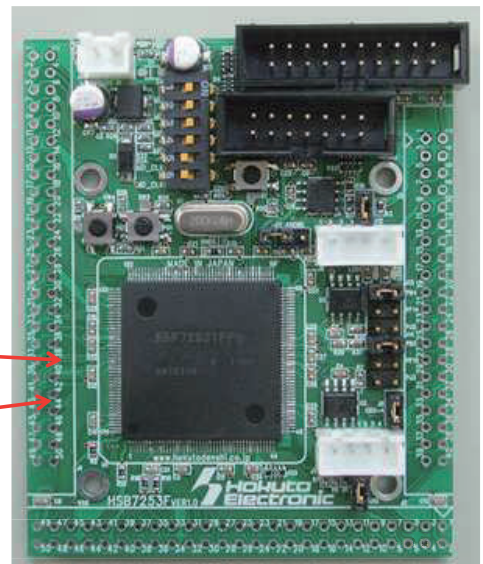
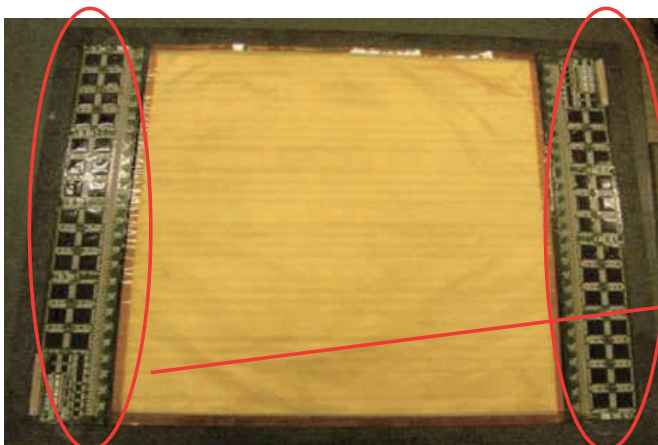
- 印刷したパターンと周辺回路をどう繋ぐか？
 - 100 μ mの狭ピッチ接合技術がある
 - 10cm \times 10cm程度のサイズのサンプルに対して工程を確立する

どのように繋ぐか？



課題:大型化によるライン数の増加

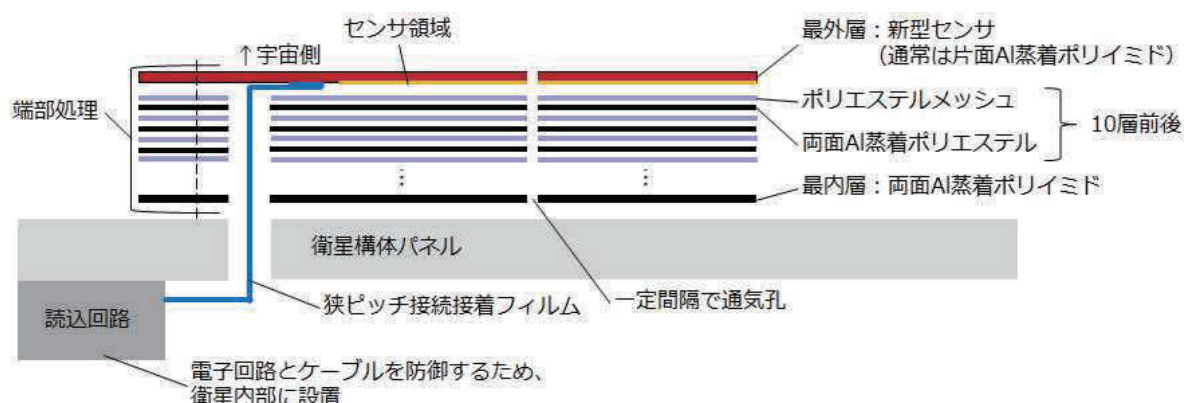
- 大型化によってライン数が増加する
- 現SDMでFPGA52個使用
- 回路の見直しによってCPU2個で駆動する
 - コストダウン
 - 消費電力削減



課題:MLIとの一体化



- ほとんどの宇宙機にはMLIが使用されているため
SDMをMLIと一体化し、搭載機会を増やす



- 17 -

まとめ



- SDMの軌道上実証がされたが、まだ搭載機会が少なくデブリ環境モデルの検証、高精度化ができていない
- 搭載機会を得るためにプリントドエレクトロニクスを用い、様々なサイズに対応する
- 作成されたサンプルに対して耐環境試験を行う
- 10cm×10cm程度のセンサパターンのサンプルに対して周辺回路との接合工程を確立する
- 回路の見直しによりライン数の増加に対応する
- MLIとの一体化をする

- 18 -