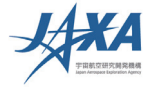


「第8回宇宙環境シンポジウム」 2011.10.19



「小型衛星による軌道上衛星帯電検証、薄膜太陽電池パドル実証及びマイクロデブリ計測の提案」

宇宙航空研究開発機構
研究開発本部

宇宙環境グループ: 古賀清一、松本晴久、小原隆博
電源グループ: 高橋真人、奥村哲平

「第8回宇宙環境シンポジウム」 2011.10.19

1

実証衛星システム(案)



実証項目

- ①軌道上不具合が多い(50%以上)帯電関連の軌道上検証
- ②重要コンポーネントであり、帯電の影響が大きい、薄膜太陽電池セルおよびパネル展開機構の軌道上実証
- ③未だに計測例がなく、モデルの不確定要素が大きいマイクロデブリの計測

上記検証・実証を行うため、搭載を予定している機器を以下に示す。

- 1) 帯電関連
帯電計測装置、放電計測装置、プラズマ計測装置、帯電緩和装置
- 2) 太陽電池
薄膜太陽電池、パドル展開機構
- 3) デブリ
マイクロデブリ計測装置

「第8回宇宙環境シンポジウム」 2011.10.19

2

実証衛星システム概要



SDS-1バスをベースとして、極軌道太陽指向スロースピン(定常運用)/太陽指向簡易三軸衛星とする。主要ミッション機器搭載外観図を図1に示す。

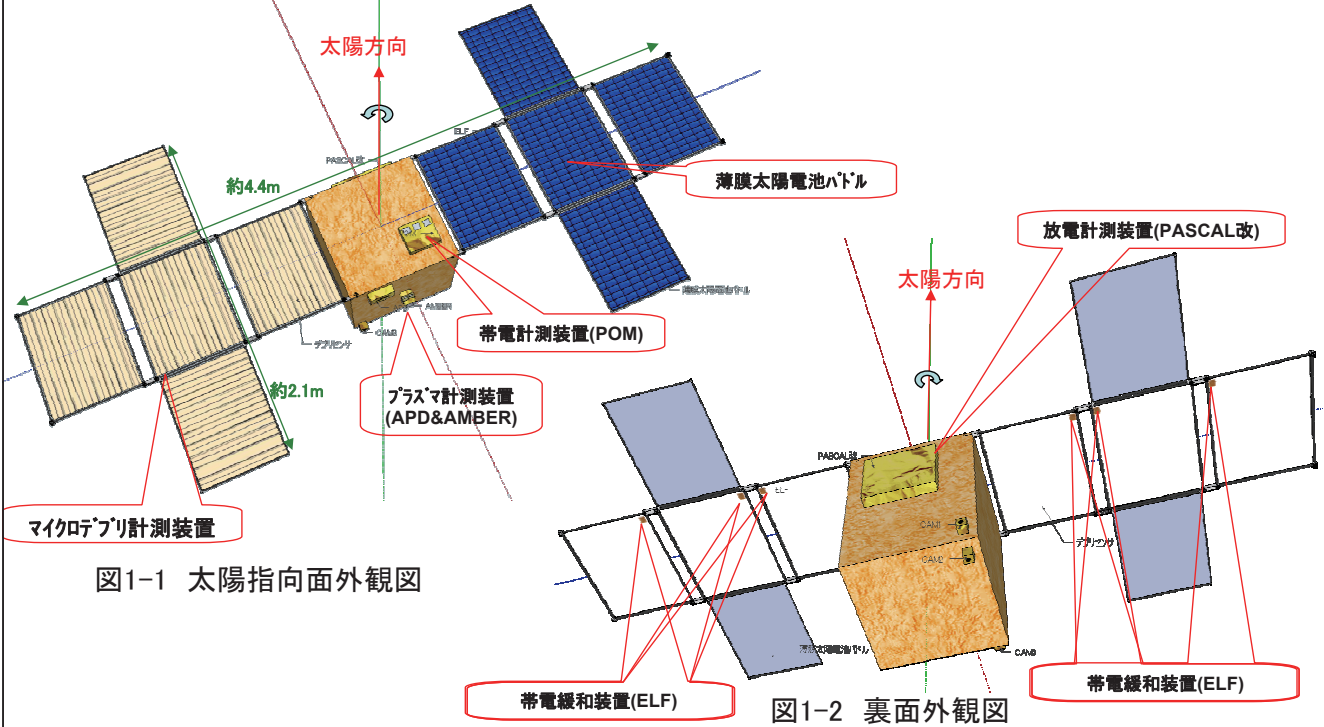


図1-1 太陽指向面外観図

図1-2 裏面外観図

「第8回宇宙環境シンポジウム」2011.10.19

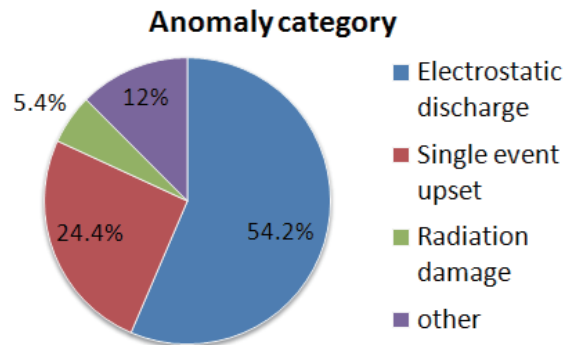
①帯電検証の搭載目的



研究の背景

帯電による不具合は、未だに宇宙環境による不具合に中では多い(最近ではGalaxy15が帯電により不具合を生じた)。

JAXAでは「みどり2号」の衛星帯電に起因する帯電対策について、衛星帯電解析ソフト(MUSCAT)や地上検証用チャンバを整備してきた。



(源泉データ: Koons et al. 1999)

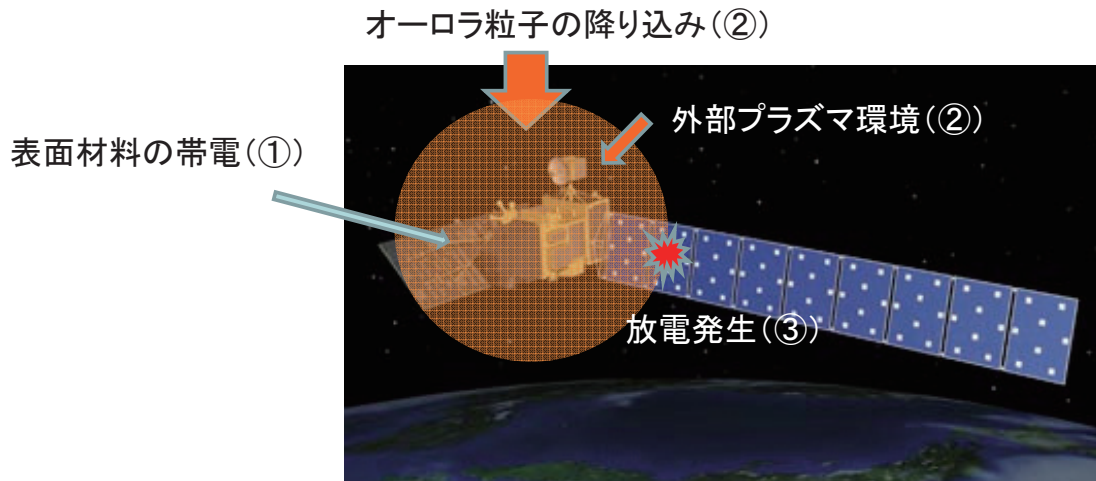
「第8回宇宙環境シンポジウム」2011.10.19

②帯電検証の搭載目的



これらのチャンバ試験や解析ソフトの精度を検証するため、衛星外部プラズマ環境(②)、帯電計測(①)、及び放電発生(③)の同時計測を軌道上で行うことが重要である。

この計測を行うことにより最終的に衛星設計時の帯電防止技術、軌道上での帯電計測及び帯電警報技術を実証し、衛星の安全・安心な運用や今後の衛星の帯電防止設計を担保する。



衛星帯電防止・計測技術の開発戦略での位置づけ



衛星設計、運用時

- ・衛星帯電解析ソフト (MUSCAT)による設計検証(2006年度完成)
- ・軌道上計測データによる衛星帯電警報(運用中)

小型衛星で実施

軌道上帯電計測

- ①表面帯電電位計測
- ②外部プラズマ環境計測
- ③放電電流計測

検証・警報

実験パラメータ提供

検証

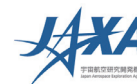
地上実験

- ・筑波設置のプラズマチャンバを用いた帯電懸念部分(太陽電池クーポンパネル等)の地上試験(2006年度から実施)

反映

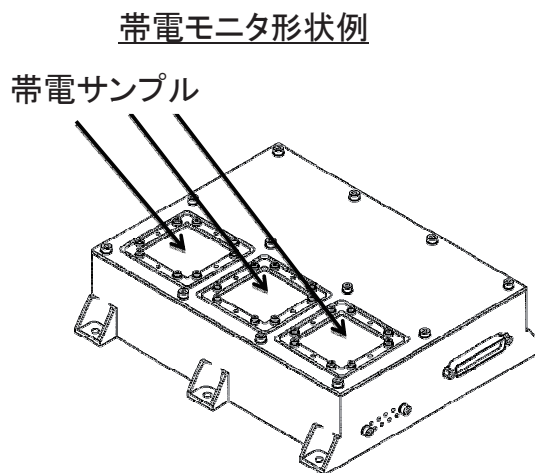
衛星帯電設計基準の確立

表面電位計測(帯電モニタ)



帯電モニタには、計測する帯電サンプルと衛星構造体の電位差を計測する。
計測方法については、下記の研究開発が行われているので、この中から搭載性、重量、性能を考慮して選択する。
スケジュール的に間に合わない場合は、フライト実績のある音叉型を採用する。

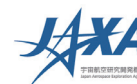
計測方式名	計測方法	備考
非接触型プローブ	音叉型プローブ	フライト実績有
ポッケルス型	ポッケルス素子の電場による偏光を利用	共同研究*1
PEA法	圧力波パルスを利用し、電荷量および電位を計測	//
接触型プローブ	高インピーダンスのプローブを接触させて計測	宇宙オーブンラボ*2



サイズ:200x176x50mm

*1)東京都市大学
*2)「極限環境に対応した超小型表面電位計の開発」
(トレック・ジャパン(株),九州工業大学,昭和電気研究所,東京エレクトロンAT(株))

外部プラズマ環境計測装置

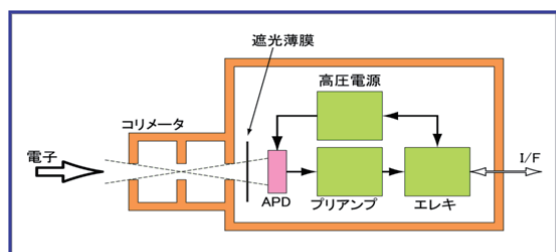


衛星の外部のプラズマ環境を計測する装置としては、以下の2種類を予定。

①APD型のプラズマ計測装置

アバランシェ・フォトダイオード(APD)を用いた計測装置。
計測エネルギー範囲:5keV ~50keV

JAXAでの軌道上での実績は無いが、構造が比較的簡単のため、フライトモデルの開発は可能と考える(本年度よりフライトへ向けた研究開発を開始)。

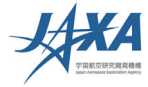


低エネルギー電子計測器の構成図

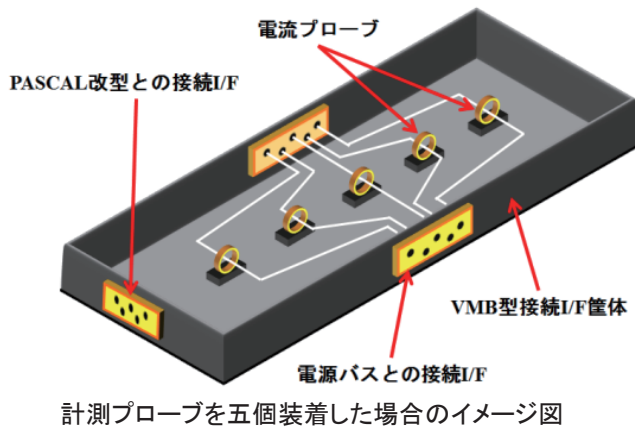
寸法	140 x 70 x 70mm / 1台
質量	300g/台 × 4台 = 1200g
消費電力	1.5W/台 × 4台 = 6W
データ量	256 bps × 4 = 1024bps
性能・仕様	計測エネルギー範囲: 5keV ~ 50keV

②静電分析型のプラズマ計測装置(AMBER)

CNESが開発した静電分析型のプラズマ計測装置。
JAXA/CNES協力でCNES側が提供可能として提案されている装置。
計測エネルギー範囲(80eV~35keV)、重量:1.5kg、消費電力:1W。



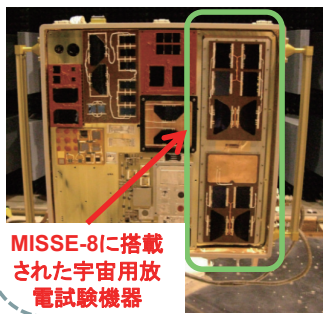
放電観測器「PASCAL改」



PASCAL改は、太陽電池アレイパネル上で発生した放電を観測する装置。

目的: 各種宇宙環境測定装置によって得られた宇宙環境データと、放電発生との相関性を調べることにより、宇宙天気予報の高度化を狙う。

特徴: 非接触電流プローブによるバス電流計測からサブシステムに干渉な計測システムを実現。



類似した放電観測器がMISSE8のコンポーネントの一部として、ISSにて運用中。

計測プローブのサイズ: 70 x 10 x 100mm以下
 コントローラのサイズ: 240mm x 100mm x 40mm
 計測プローブ個数の調整により、モニタリングできる電源線の本数を調整可能。単機の計測プローブでも、小型衛星クラスのバス電流であれば測定可能。

帯電緩和装置

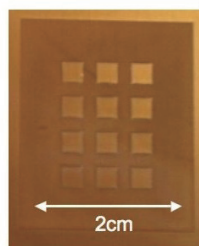
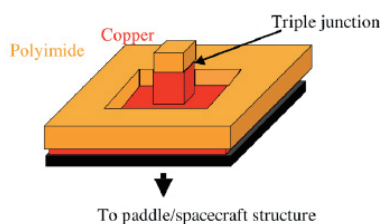


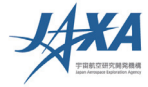
受動型電子エミッタ

宇宙オープンラボ「静止軌道衛星の帯電を防止する受動型電子エミッタの実用化研究」(九州工業大学、マスカットスペースエンジニアリング(株)、JAXA)で開発された素子。

フィルムが高エネルギー電子によって帯電すると同時に両者の境界の三重接合点付近の電界が高まって、導体から電子が電界放出される効果を利用し、衛星の帯電を緩和する。

衛星表面の電位、プラズマ環境を同時にモニタしつつ、電子放出によって構体と表面電位の差がどのように変化するかを計測する。





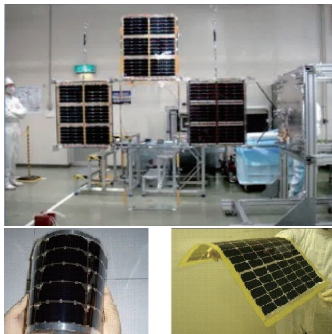
②薄膜太陽電池の搭載目的

薄膜太陽電池セルを適用したフレーム型展開パドルは、従来のリジットタイプ太陽電池セルを搭載した軽量リジットパドルに比べ、発生電力質量比を2倍以上(50w/kg⇒100w/kg以上)に改善することが可能となり、且つ搭載容積(従来比1/3程度)の改善も可能となる。

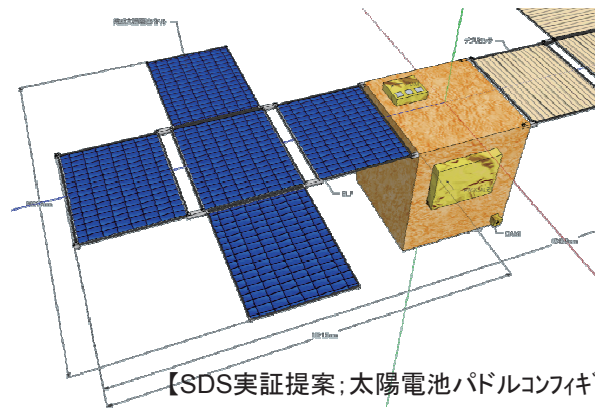
低軌道用フィルムタイプ薄膜アレイシートでは、振動モード有効質量比が小さいことから張力フリーでの搭載の可能性も考えられ、製造・検証段階でのコスト改善への効果も期待できる。

SDS実証提案では、以下の3点を軌道上実証する。

- ①開発中IMM3J(初期変換効率 $\eta=32\%$ @ペアセル)フィルムアレイシートの宇宙環境適用性
- ②低剛性部材応用二次元展開パネルの宇宙展開実証
- ③テンションフリー薄膜の姿勢影響評価



【小型BBMパドル研究開発】



【SDS実証提案; 太陽電池パドルコンフィギュレーション】

「第8回宇宙環境シンポジウム」2011.10.19

11

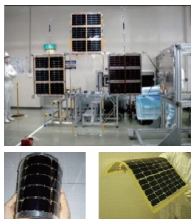
薄膜太陽電池



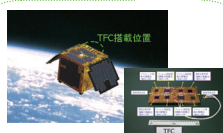
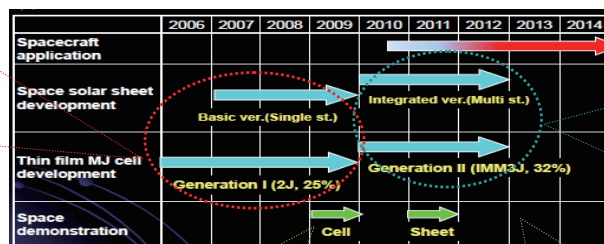
①Fy2009迄に2接合薄膜アレイシート及び基本展開小型BBMパドル(SDS搭載可能サイズ)にてTRL5相当の確認を完了。セルレベルではSDS-1搭載TFCにて宇宙実証済みである。

②現在IMM3J薄膜セルの開発、機能構造膜アレイシート及びメータモジュールパンタグラフ展開パドルの先行研究を実施中。2接合ガラスタイプ機能構造膜アレイシートが、次世代小型衛星電源系要素技術実証システム(NESSIE)としてSprint-Aに搭載し、Fy2013宇宙実証予定である。

③SDS搭載実証提案太陽電池パドルは、上記①基本展開パドルに、IMM3J太陽電池フィルムタイプアレイシートをテンションフリーで適用するものである。



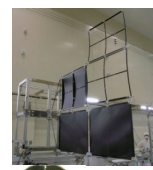
2接合薄膜アレイシート
基本展開小型BBMパドル



SDS-1搭載実証/TFC



Sprint-A搭載実証/NESSIE



IMM3接合薄膜アレイシート
パンタ展開メータBBMパドル

「第8回宇宙環境シンポジウム」2011.10.19

12

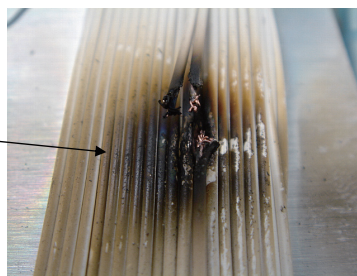
③ マイクロデブリ計測装置の搭載目的



- ・ 大きさ100 μm ～数mm程度のダストの衝突はワイヤーハーネスや機器の破損要因(下図参照)
- ・ 上記大きさのダストの衝突頻度評価に必要な宇宙環境データは計測が困難であり、データが国際的に欠落している。
- ・ 既存モデル(ORDEM, MASTER)間で、2桁以上の違いがある領域が存在する。
- ・ 国際的にトップレベルのダスト計測技術を確保し、宇宙環境を保全するための国際的なデータ取得/環境モデル構築に関する連携を促進する。



Before impact



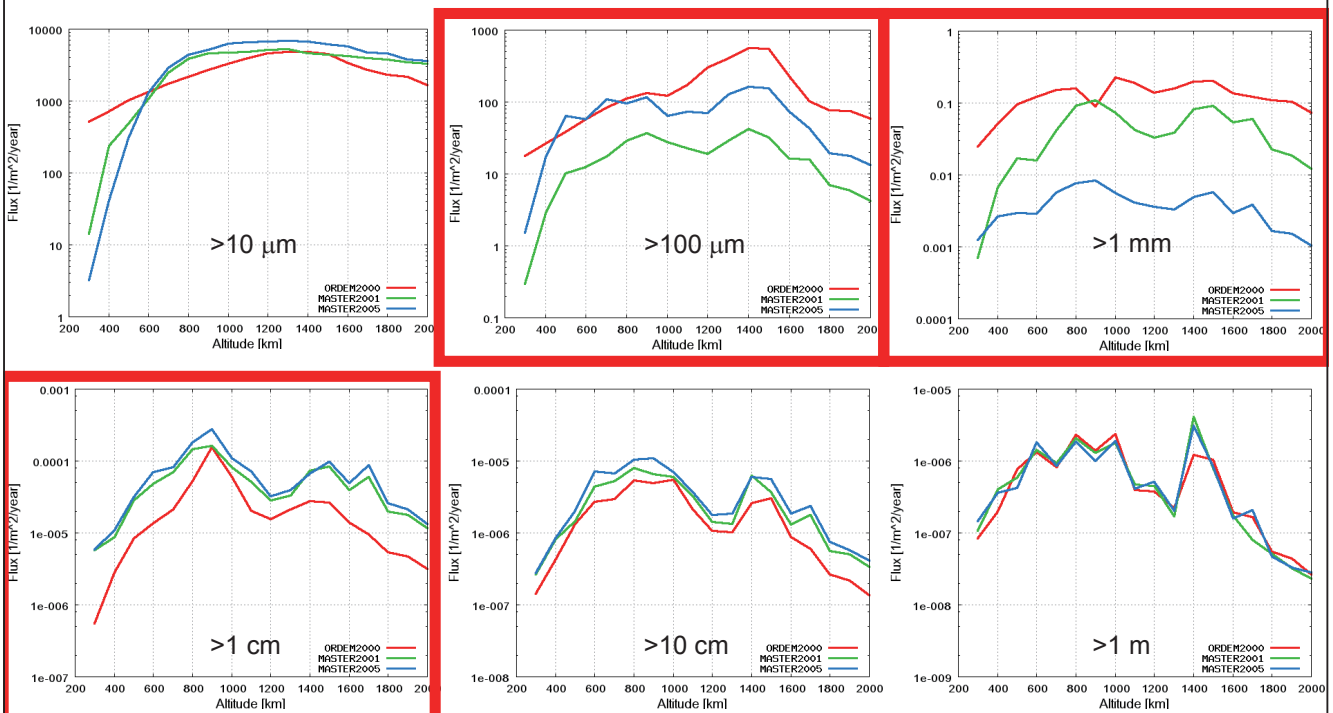
After impact

衛星用電力ハーネスへの衝突試験例。衝突速度4km/s程度、大きさ300 μm 以上のダスト衝突で持続放電が起き、炭化による短絡が発生。(JERG-2-144-HB001による)

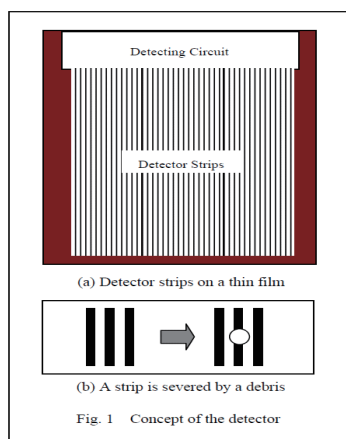
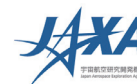
モデル比較 ~ Inclination 100 degrees ~



代表的なデブリモデルでの比較(それぞれのサイズ毎の高度-フラックス分布)。100mm ~ 1cm のデブリにおいてモデル間の差が大きい(計測データの不足による)。



デブリセンサ



(1)計測対象／計測項目

- ・計測対象: 粒径100 μm以上のダスト
- ・計測項目: デブリ(ダスト)粒径、衝突頻度

(2)基本原理

厚さ約12.5 μmの絶縁性のポリイミドフィルム表面に、(空間周期) 100 μmの直線状の細長い導線(太さ50 μm)のパターンを形成(左図(a))。

検出線の破断を電気的に検知することにより、ダストの衝突(貫通)を検知する。破断した導線の数、導線の幅、ピッチからダストのサイズを計測(左図(b))。



高速衝突試験風景

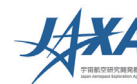


導線の切断検査風景

[技術的リスク]
計測原理は、BBMで検証済み。

センサの厚さが12.5 μmと薄いため、振動等耐環境性を十分考慮する必要がある。

搭載ミッション機器(1/2)



帯電計測関連

計測項目	計測機器名	計測方式	データ利用	計測実績	重量*2) 消費電力	サイズ
①表面帯電 電位計測	POM	従来方式 (ETS-VIII実績)又はポツケルス方式	MUSCAT検証、地上実験パラメータ	有(ETS-VIII) ポツケルス型: 無	2kg 8W (従来型)	200x176x50mm (従来型)
②外部プラズマ環境計測	APD型電子計測	アバランシェフォトダイオード方式	MUSCAT検証 地上実験インプ パラメータ	無	0.3kgx4=1.2kg 1.5WX4=6W	140 x 70 x 70mm / 1台
	AMBER*1)	静電分析方式		無	1.5kg 1W	38mmΦx80mm
③放電電流計測	PASCAL	電流プローブを取り付け、バス電源ラインの電流を計測	軌道上現象の把握 地上実験検証	有(ISS)	3~5kg 25~ TBDW	300x 400x 60mm(最大)
④帯電緩和	受動型電子エミッタ	サンプルが帯電することにより電子放出	衛星帯電の緩和	無	数g	

搭載ミッション機器(2/2)



太陽電池パドル、デブリ関連

計測項目	計測機器名	計測方式	データ利用	計測実績	重量 消費電力	サイズ
①薄膜太陽電池	薄膜太陽電池パドル	IMM3J薄膜7レイシート	・電力発生 ・パドル展開機能確認	Sprint-A/NESSIE	6kg 発生電力=350W(BOL, 太陽入射角直行)	片翼展開時 2100mm x 1900mm
②デブリセンサ	SDM (Space Debris Monitor)	QPL方式	衝突時の影響が大きく、かつ国際的に計測データが欠落している、大きさ100 μ m～数mmのダストの大きさと存在数を計測する。	BBM開発済み	1kg 10W ／1枚	460×360×30 ／1枚
③カメラ	MCMR	民生用CCDカメラ	パドル展開の確認	有(SDS-1)	0.2kg 0.7W	62x61x45

「第8回宇宙環境シンポジウム」2011.10.19

17

まとめ



宇宙環境による衛星への影響の中で、帯電による不具合は未だに多く50%以上を占めている。電源系の太陽電池パドルはその中でも帯電による影響が多いコンポーネントである。

このため、衛星帯電現象の総合的検証と、重要コンポーネントである太陽電池パドルの軌道上実証を行うミッション、およびスペースデブリに於いて未だ計測が行われておらず、モデルの不確定性が大きい領域であるサブミリオオーダーのマイクロデブリ計測を提案した。

これらの検証・実証により、衛星帯電・放電防止技術の確立、将来の太陽電池パドルの軽量化、デブリ計測にISO宇宙環境モデル等への国際貢献を行うことが可能である。

「第8回宇宙環境シンポジウム」2011.10.19

18