

小型実証衛星1型(SDS-1)

成果概要と運用終了



平成22年9月22日

宇宙航空研究開発機構

研究開発本部

中村 安雄、平子 敬一

SDS-1の概要(1/2) システム

【SDSの目的】

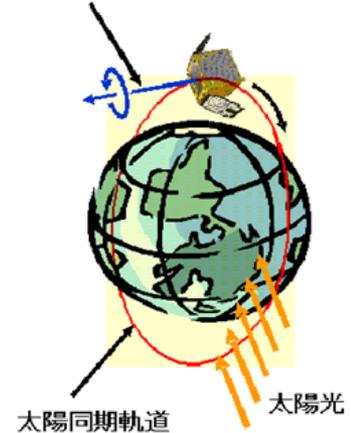
宇宙機器・部品の宇宙での事前実証機会の提供。

(実際に宇宙でしか得られない環境下での検証や総合的なシステムとしての検証)

SDS-1は、温室効果ガス観測技術衛星「いぶき(GOSAT)」の小型副衛星として、他の公募小型副衛星6機と共に2009年1月23日にH-2A(15号機)により打ち上げられた。

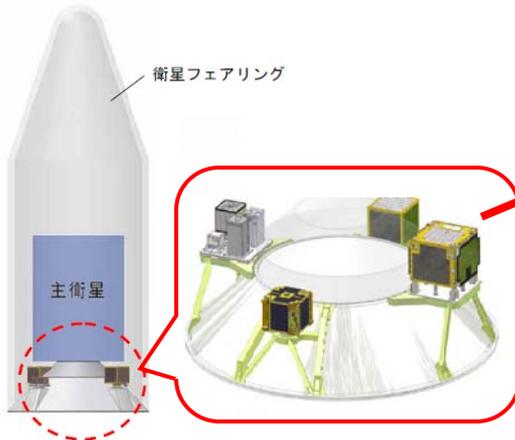


スピン軸 (3rpm)
太陽光に対して40deg



【成果】

当初の実験計画を全て達成すると共に、追加の軌道上実験を実施し、当初計画以上の宇宙実証を行うことができた。



いぶき搭載モニタカメラ画像

● 衛星主要諸元:

- 軌道: 高度666km
太陽同期軌道
- サイズ: 70cm × 70cm × 60cm
- 質量: 約100kg
- 発生電力: 約140W
- 通信: S-band
- 姿勢: スピン安定(定常時)
簡易三軸制御(ミッション時)



SDS-1の概要(2/2) 搭載実験機器

スペースワイヤ実証モジュール(SWIM)

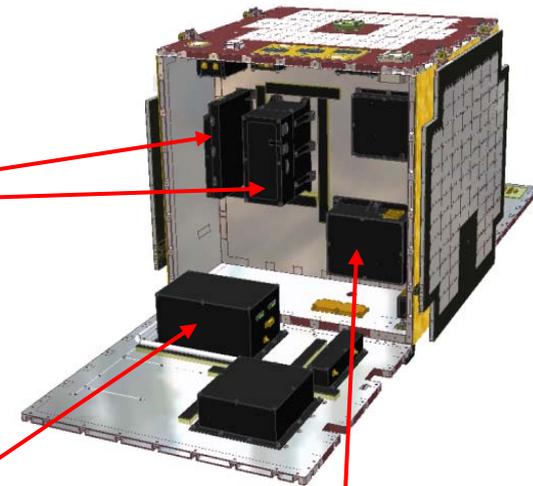
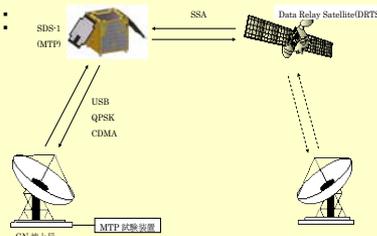
- ・スペースワイヤ規格を発展させた次世代ネットワーク型データ処理技術の実証
- ・そのデータ処理技術を活用した超高感度加速度計による重力波計測装置の動作実証試験



マルチモード統合トランスポンダ(MTP)

従来の2つの通信機能の他に、新たに2つの通信機能を追加し、小型化を目指した次世代トランスポンダの技術実証

- ・USB (Unified S-Band) :
衛星-地上局間の通信として従来から実績のある機能
- ・SSA (S-band Single Access) :
衛星間通信として従来から実績のある機能
- ・CDMA (Code Division Multiple Access) :
複数衛星同時運用時の干渉を回避する通信機能
- ・QPSK (Quadri-Phase Shift Keying) :
USB通信の更なる高速通信化

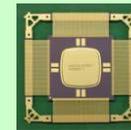


先端マイクロプロセッサ 軌道上実験装置(AMI)

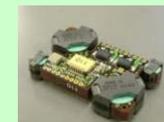
JAXA開発の

- 320MIPS級64ビットMPU
- SRAM
- DC/DCコンバータ

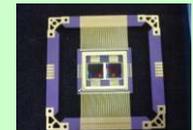
などの部品で構成した高性能計算機ボードの軌道上での動作実験



320MIPS 64bit
MPU



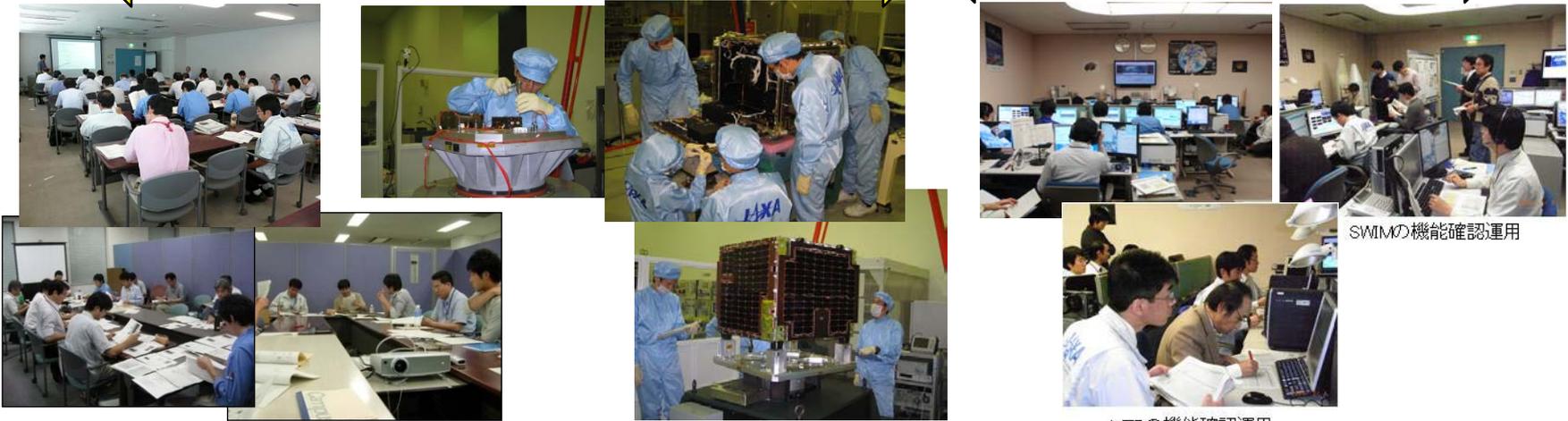
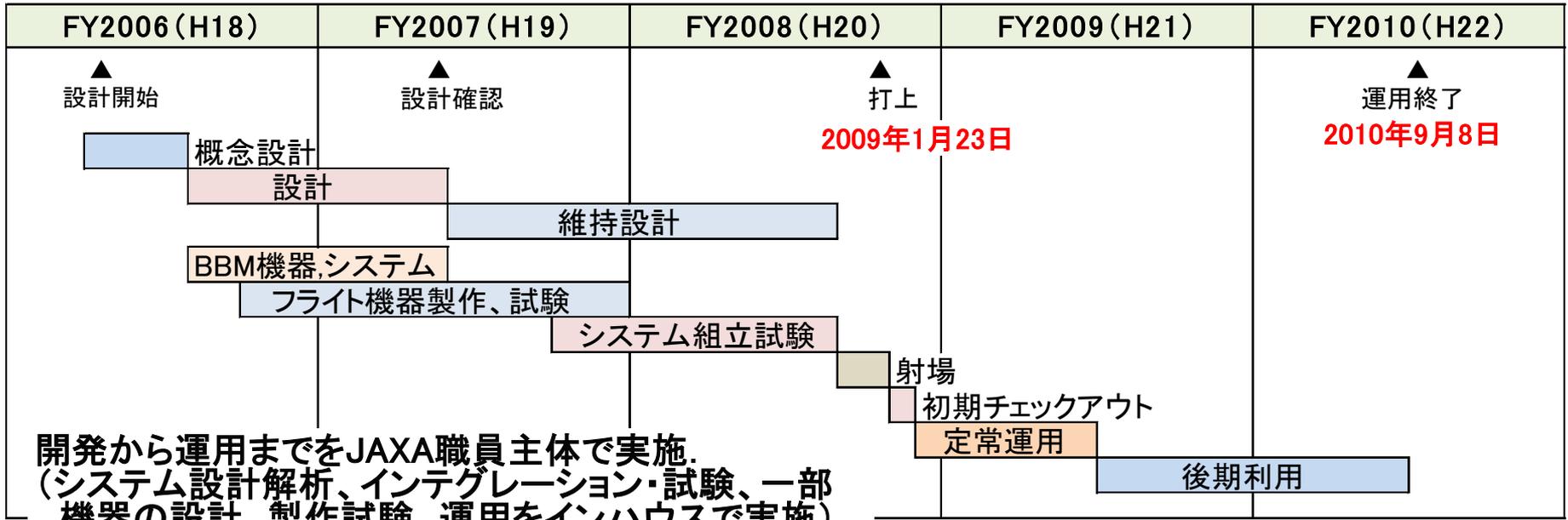
DC/DC
Converter



Burst SRAM

(注)スペースワイヤ(SpaceWire):世界的に標準化作業が行われている、人工衛星用のデータ通信I/F規格

SDS-1の開発経緯



実験成果：マルチモード統合トランスポンダ（MTP）

目的

4種類の通信機能を持ち高速データ伝送が可能な、小型・軽量で低消費電力のトランスポンダの地上ネットワーク・こだま（DRTS）・軌道上衛星を含む統合システムにおける宇宙実証。



成果

【フルサクセス】

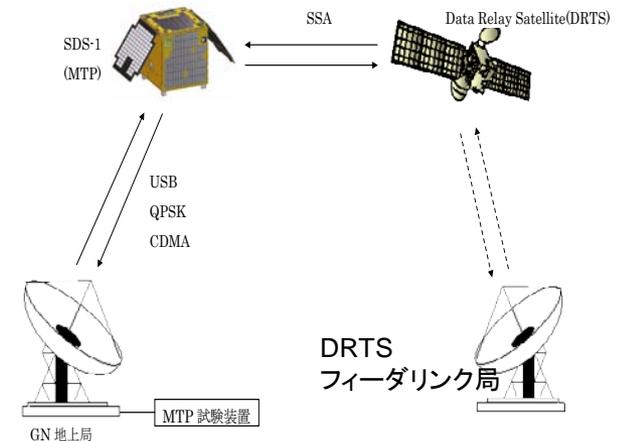
1. USB,SSA,QPSK,CDMAの4種類の通信に全て成功.
2. 地上局－衛星間との距離測定に成功.
3. USBアップリンク信号によりQPSK動作モードからUSB動作モードに自動変更する機能が働くことを確認.
4. こだま（DRTS）とのRF適合性を確認.

【エクストラサクセス】

5. 複数衛星同時運用を想定し、同じ周波数でSDS-1用の信号と仮定の別衛星用の信号とを合成して送信し、SDS-1がSDS-1用の信号のみを分離・識別して通信することに成功。（CDMA対干渉性試験）
6. KSAT局（海外商用局）でのQPSKデータ受信に成功.
7. 更に、GCOM-W1のKSAT局を使用したUSBレンジングによる軌道決定の可能性を検証するため、KSAT局でのレンジング運用を実施.

MTPの概要

（寸法） 195 × 287 × 111 mm
（質量） 3.36 kg
（消費電力） 約40 W（送信時最大）
14 W以下（受信のみ）



MTP軌道上実証実験概念

⇒ 地上ネットワーク、こだま、軌道を含む総合システムにおいて機能・性能を実証

実験成果:スペースワイヤ実証モジュール(SWIM)

目的

新しい国際標準の一つになりつつあるスペースワイヤ規格を発展させた次世代ネットワーク型データ処理技術の実証と、そのデータ処理技術を活用した超高感度加速度計による重力波計測装置の動作実証試験。

SpaceCube2の機能

スペースワイヤ標準規格の新たな機能であるスペースワイヤ・リモートメモリアクセス機能(CPUを持たない通信相手の内部メモリへの直接アクセス機能)

超高感度加速度計(SWIM μ v)の機能

マスを磁気浮上させて相対位置を制御し、制御信号の変化から微小加速度変動を検出する機能。

成果

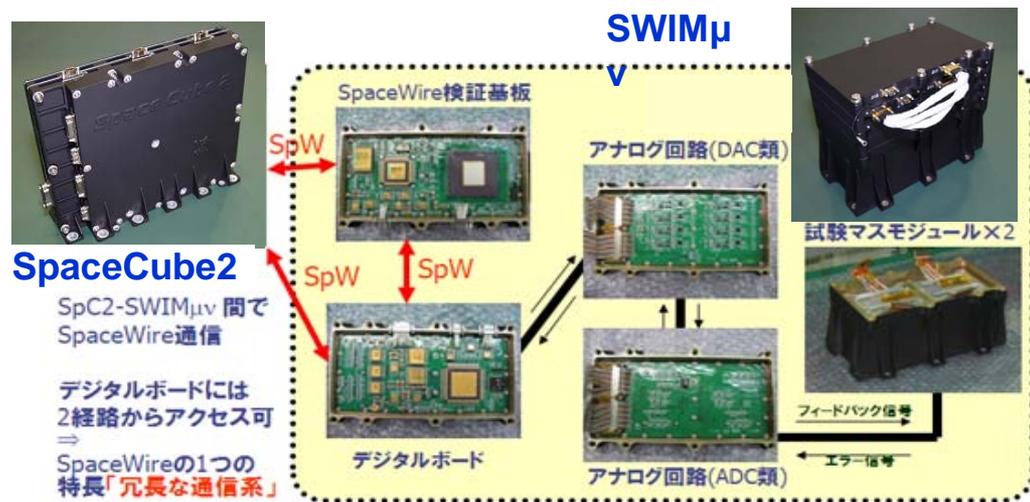
【フルサクセス】

スペースワイヤを標準サポートする宇宙用計算機SpaceCube2の宇宙機への適用のめどを得た。

【エクストラサクセス】

将来の科学衛星のミッション達成のために重力波検出の動作原理・性能評価を行うことができた。

さらに、宇宙-地上同時の重力波観測運転を実施し、世界に例のない観測手法の成立性を確認した。



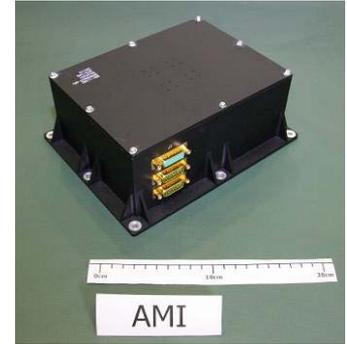
SWIMの構成(SpaceCube2とSWIM μ v)

⇒ SpaceCube2の技術は、MMO, ASTRO-H, 小型科学衛星セミオーダーメイド型バスなどで採用

実験成果：先端マイクロプロセッサ軌道上実験装置（AMI）

目的

重要部品として開発した320MIPS 64ビットMPU、36MbitSRAM、DC/DCコンバータを用いて高性能計算機ボードを構成し、宇宙における複合環境下で動作させて、部品の宇宙での使用実績を得ると共に、部品の安定動作、放射線特性データ、データ反転訂正機能を評価する。



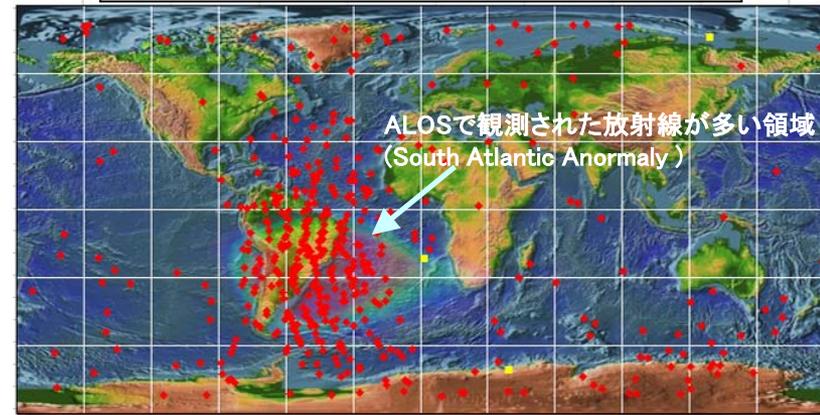
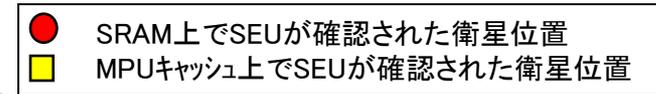
成果

【フルサクセス】

- ・ MPUの200MHz (320MIPS)動作を含む、計算機ボードの動作を軌道上の複合環境下で実証。（軌道上で稼動している耐放射線性を有する計算機としては、世界最高性能）
- ・ DC/DCコンバータについては、機器に実装した状態で、安定して動作することを確認した。
- ・ MPUキャッシュ、SRAM上で発生する放射線によるデータ反転を検知し、適切に訂正して正常復帰した事を確認した。

【エクストラサクセス】

- ・ 長時間電源ONの運用を通して取得した統計的データから算出したエラー発生頻度がシミュレーションおよび地上実験の結果と非常によく一致する事を確認。地上試験の精度評価および宇宙環境におけるエラー発生頻度の評価を行うことが出来た。



ALOSで観測されたSAA領域と、SDS-1/AMIで観測された放射線によるデータ反転(SEU)の発生場所を比較

SDS-1の総合成果と運用終了

【総合成果】

- (1) 搭載した実験機器について、当初計画していたエクストラサクセスまでを達成し、併せて、SWIM超高感度加速度センサによる、宇宙-地上同時の重力波観測手法の成立性を確認する等、当初計画を超える成果を得た。
- (2) SDS-1の開発から運用までの衛星ライフサイクルにおいて得た知見を今後のSDS開発・運用に考慮・反映してゆく。

【運用終了】

9月8日にSDS-1の運用を終了し、停波した。

ミッション達成結果

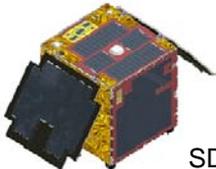
2010年3月末までに、全サクセスクライテリアを達成

	衛星バス	マルチモード統合トランスポンダ (MTP)	スペースワイヤ実証モジュール (SWIM)	先端マイクロプロセッサ 軌道上実験装置 (AMI)
ミニマムサクセス	<ul style="list-style-type: none"> 軌道上での動作が確認されること。 	<ul style="list-style-type: none"> マルチモード統合トランスポンダの送受信機能／性能、レンジング信号中継機能／性能確認ができること。 	<ul style="list-style-type: none"> JAXA開発CPUを搭載したデータ処理モジュールの動作が確認出来ること。 新規格のスペースワイヤ通信機能動作が確認出来ること。 	<ul style="list-style-type: none"> 搭載されているJAXA開発部品であるMPU、バーストSRAM、DC/DCコンバータの軌道上での動作が確認出来ること。
フルサクセス	<ul style="list-style-type: none"> それぞれのミッション機器の実証データが得られること。 	<ul style="list-style-type: none"> アップリンク信号の種類に応じた動作モードの自動切替機能が確認できること。 コヒーレント／インコヒーレントモードの切替機能が確認できること。 新GN, DRTS とのRF 適合性評価ができること。 QPSK, CDMA 運用を行うことによる運用性評価ができること。 	<ul style="list-style-type: none"> 最新の規格に基づくスペースワイヤ通信のプロトコルの実証が出来ること。 宇宙におけるTRONベースのリアルタイムOSの動作実証が出来ること。 上記OSで動作する標準ミドルウェア、アプリケーションの実証が出来ること。 スペースワイヤ通信の機能を用いて超高感度加速度センサの制御ならびにデータ取得機能が確認できること。 	<ul style="list-style-type: none"> MPU(キャッシュメモリ, ロジック回路部)及びバーストSRAMの耐放射線性(SEE耐性)が評価できること。 DC/DCコンバータ出力の電圧・電流データが評価できること。 動作中のJAXA開発部品の温度データを確認出来ること。また、その温度データから、当該開発部品を高負荷状態で使用する際に問題となる排熱の問題について、講じた熱対策設計の有効性を評価出来ること。
エクストラサクセス	<ul style="list-style-type: none"> 運用期間(6ヶ月)を上回る有効なデータが取得できること。 	<ul style="list-style-type: none"> KSAT局においてQPSKデータを受信できること。 CDMA機能において、耐RF干渉性評価が出来ること。 	<ul style="list-style-type: none"> 超高感度加速度センサにより、衛星スピン状態と3軸制御状態における衛星の微小振動環境データを取得すること。 超高感度加速度センサの特性・性能評価を軌道上で実施できること。 光学機器の軌道上劣化評価データが取得でき、小型科学衛星3号機への提案に向けた実証データを取得できること。 	<ul style="list-style-type: none"> 宇宙環境におけるエラー発生頻度の評価が出来ること。

小型実証衛星(SDS)の全体像

【小型実証衛星(SDS)のコンセプト】

- ✓ 実利用衛星や科学衛星の信頼性向上に向け、衛星に搭載される重要な機器・部品の事前実証を行い、成熟度の高い技術のプロジェクトへの提供を目指す。
- ✓ 世界最先端の革新技术への挑戦を目指し、将来に向けた軌道上データの蓄積を行う。
- ✓ 上記を短期・低コストで開発される小型衛星にて実現し、ピギーバック方式での打上げにより、タイムリーな実証機会を確保する。

SDSシステムコンセプト例			
衛星クラス	100kg級スピнтаイプ	100kg級三軸タイプ	50kg級三軸タイプ
サイズ	70cm × 70cm × 60cm	70cm × 70cm × 60cm	50cm × 50cm × 50cm
姿勢制御方式	スピン安定(定常時) 三軸バイアスモーメント(実験時)	地球／太陽指向 三軸ゼロモーメント	太陽指向 三軸ゼロモーメント
通信	Sバンド	Sバンド	Sバンド
外観図	 SDS-1が該当	