

民生部品・コンポーネント実証衛星 MDS-1「つばさ」運用報告

荒井 功恵、臼杵 茂、今村 裕志、柳 英二 (宇宙航空研究開発機構)
 臼田 繁、尾崎 満 (NEC 東芝スペースシステム)、田代 誠 (NEC 航空宇宙システム)
 明田 義則、阿部 旬也 (宇宙技術開発)

Tsubasa (MDS-1 :Mission Demonstration test Satellaite-1) Operation Status Report
 Katsuyoshi Arai ,Shigeru Usuki, Hiroshi Imamura , Eiji Yanagi, (JAXA),
 Shigeru Usuda , Mitsuru Ozaki (NEC TOSHIBA Space Systems), Makoto Tashiro(NEC Aerospace
 Systems) , Yoshinori Aketa , Junya Abe (SPACE ENGINEERING DEVELOPMENT)

Key Words: Tsubasa, Operation, Status

Abstract

Tsubasa (MDS-1) was launched by H2A rocket TF#2 on Feb 4th 2002. After 10days early orbit operation, Tsubasa has been in routine operation stage from Feb 15th. In this paper, operational status of early orbit operation stage, routine operation stage, and extended intermittent operation stage are reported.

1. はじめに

民生部品・コンポーネント実証衛星 (MDS-1)「つばさ」は、2002年2月4日にH-IIAロケット試験機2号機により種子島宇宙センターから打上げられ、10日間の初期段階を経て、同年2月15日より定常運用を開始した。翌2003年2月26日に定常段階を終了し、後期利用段階を経て同年9月25日をもって運用を終了している。本資料では「つばさ」の全運用状況について報告する。

2. 「つばさ」衛星システムの概要

「つばさ」は将来宇宙機の小型・高機能・低コスト化を目的とし、宇宙放射線環境の厳しいバンアレン帯を通過する静止トランスファー軌道を周回させることにより、

- (1) 民生部品の宇宙適用評価技術の確立
- (2) 衛星搭載コンポーネントの事前実証
- (3) 宇宙放射線環境等の計測
- (4) 短期間・低コスト開発手法の確立

をミッションとする重量 約480kgの小型衛星である。

表1に システム主要諸元、図1に外観写真、図2に軌道上外観図を示す。

Table.1 Main characteristic of Tsubasa

Configuration	1.2m×1.2m×1.5m Box-type
Mass at launch	About 480kg
Generated power	About 900w (EOL)

Attitude control	Sun-oriented spin stable (5rpm)
Mission duration	One year

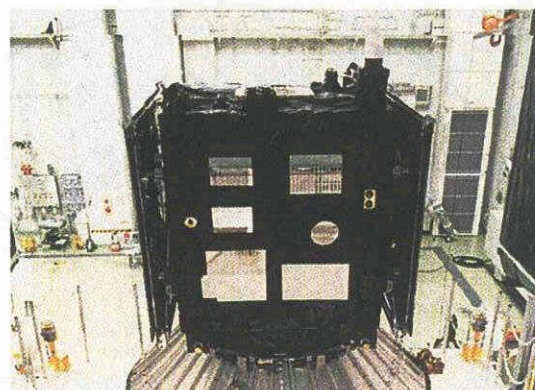


Fig.1 Tsubasa outward picture

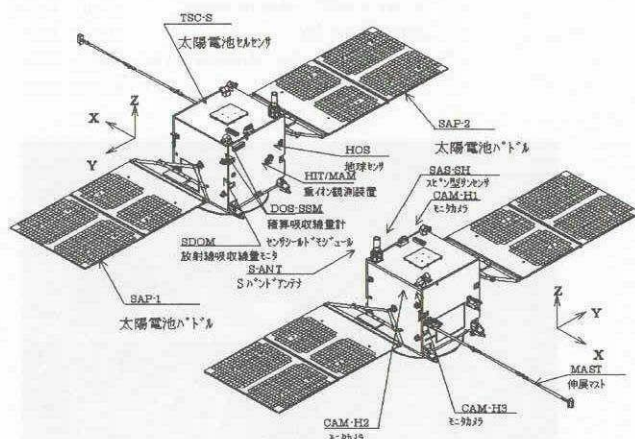


Fig.2 Tsubasa outward in orbit

3. 打上げおよび初期運用結果概要

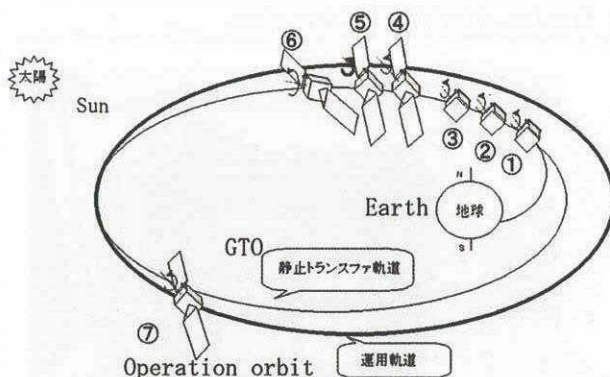
3-1 打上げ結果概要

2002年2月4日11時45分(JST)にH-IIAロケット試験機2号機により種子島宇宙センターから打上げられた「つばさ」は、同日12時32分に2段ロケットから分離され下記に示す軌道に精度よく投入された。投入姿勢も正常であった。

	Results	Plan
Apogee altitude	35696km	(35735km)
Perigee altitude	500km	(500km)
Inclination	28.5deg	(28.5deg)
Time period	10H35M	(10H35M)
Spin rate	4.9rpm	(5.0rpm)

3-2 初期運用概要

衛星分離以降の運用シーケンス概要と、軌道上展開物である太陽電池パドルと磁気センサを撮影したモニタカメラ画像を図3に示す。バス・ミッション機器ともにチェックアウトは正常に終了した。



Major event	Time after launch
① Satellite separation	about 46Min
② First nutation control	about 51Min
③ Second nutation control	about 1H22M
④ Solar Paddle deployment	about 1H53M
⑤ Spin rate Up	about 13H
⑥ Preliminary Sun Acquisition	about 15H
⑦ MAST deployment	about 38H



Fig.3 Operation sequence & Picture of M-CAM

3-2-1 ニューテーション制御

分離時のニューテーション角が充分小さく衛星の質量特性も良好であったため、ニューテーション制御は実施したがスラスタの噴射はなかった。

3-2-2 スピンレート制御状況

ロケット分離時に 4.9rpm であった回転数は太陽電池パドル展開直後には質量特性の変化から 2.3 rpm まで低下、スピナップ制御により 5.4rpm まで上昇させ、MAST 展開後には 5.2 rpm となっている。

3-2-3 姿勢制御状況

打上げ前はスピン軸と太陽方向のなす角度 (θ_s) を約 $10^\circ \pm 2^\circ$ に保持する計画であったが、シャント温度の異常により、2月19日以降 θ_s を $30^\circ \pm 2^\circ$ の中に保持する運用へ変更した。

4. 運用結果概要

4-1 定常及び後期段階の運用

静止トランスファー軌道に投入された「つばさ」は、JAXA 国内局増田のみで運用された。定常段階では全可視について、後期利用段階では週2回(月・木曜日)の間欠運用を行なった。典型的な運用について図4に示す。

国内局の可視時間帯の中で、半導体データレコーダに記録された衛星バス機器、ミッション機器のデータが再生され地上におろされる。

スピン軸と太陽方向との角度制御については、毎週月曜日および木曜日の可視時間帯で行う。

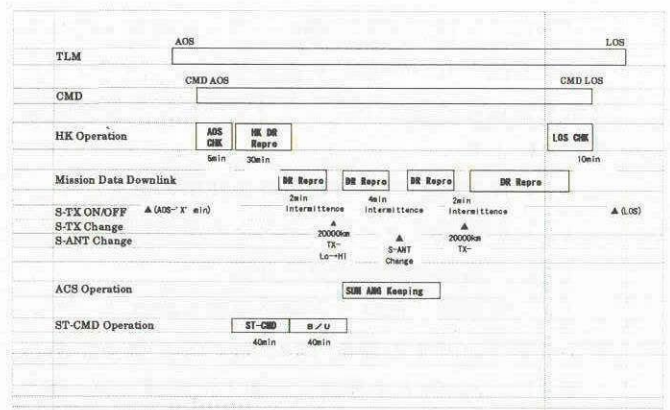


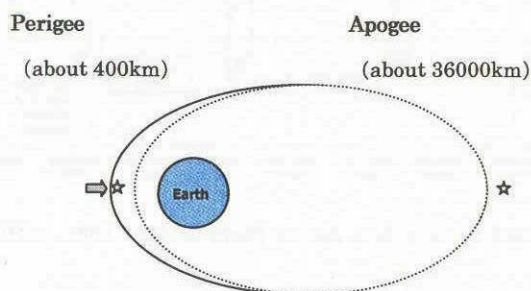
Fig.4 Tsubasa typical operation

4-2 システム運用概要

4-2-1 軌道制御状況

軌道に投入以降「つばさ」は所定の軌道範囲内にあり、定常段階を通じて軌道制御は実施しなかった。

2003 年の後期利用段階では、BAT1 系に不具合が発生し、9 月に最大 120 分の食が控えていたためデブリ防止の観点より、8 月 28 日に軌道制御（目標ペリジ高度：200km）を実施している。



An altitude is set to about 200km

表 2 に制御結果、図 5 に遠近地点高度推移を示す。この制御の結果は事前の解析結果と一致したものであり、目標軌道への制御を実施できた。

Table.2 Orbit control result

- Thruster: 1A+2A+1B+2B
- Injectin time : 1hour 15min 50sec
- Amount of ΔV : 30.9 m/s

	Perigee (km)	Apogee (km)	Sun ANG (deg)	Restof hydrazine
Before O. C	389.2	35,670	32.25	N/A
Plan value	200	N/A	N/A	-6.64 kg
After O. C	198.6	35,501	30.52	14.33 kg

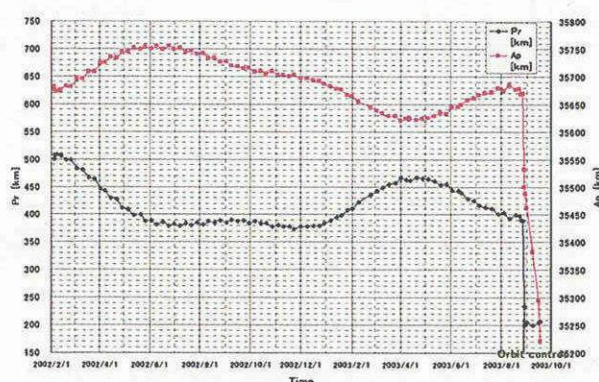


Fig. 5 Apogee and Perigee Height

4-2-2 姿勢制御状況

2 月 19 日に θ_s を $30^\circ \pm 2^\circ$ の中に保持する運用へ変更して以降、運用上の観点よりスピン軸制御を毎週月曜日と木曜日の可視時間帯で実施することとしている。この姿勢で熱的、電力的に問題なく運用

を行った。スピン軸制御時に規定量以上のニューテーションが発生した場合、能動的にニューテーションを押さえる機能を準備していたが、発生するニューテーション量が少ないため、スピン軸制御後のニューテーション制御は実施していない。

4-2-3 スピンレート制御状況

MAST 展開時に 5.2 rpm となったスピンレートであるが、その後はスピン軸制御により若干の変化があるがほぼ 5.2rpm を維持している。

4-2-4 食運用概要

食は 3 月 29 日に 95 分間のピークを迎え、翌年 9 月 13 日に約 120 分の最大食が発生している。食時間の推移を図 6 に示す。

2002 年 3 月の 95 分食においては消費電力とバッテリー放電深度予測、および熱制御の状況から、ミッション機器のフル運用を実施している。

2003 年 9 月の 120 分食においては BAT1 系不具合のため、食時間帯のみ、ミッション機器を OFF する負荷軽減運用を実施した。図 7 に負荷軽減前後の BAT 放電電流の推移を示す。運用の結果、バス系・ミッション系の機器とも正常に動作し問題はなかった。バッテリーの充放電機能および放電深度も問題なかった。図 8 に 2002 年 3 月（95 分食）の BAT 動作を、図 9 に 2003 年 9 月（120 分食）の BAT 動作を示す。

4-3 サブシステム運用概要

全体として想定通りの正常動作をしている。以下にトピックスを示す。

① 通信・データ処理系

データレコーダに発生した 1 bit 反転を図 9 に単位でまとめた。2002 年において 4 月～6 月にかけて、2003 年では 5 月～7 月にかけて段階的にビット反転の発生が多くなっている。（2003 年 4 月から 7 月 31 日までは間欠運用のため補正值を使用している）

② 電源系

地上試験時の不具合のため、改修していた BAT C/D カウンタの動作を含め正常に機能している。最大食時の C/D カウンタの挙動を図 10 に示す。SHNT 温度については、太陽角を 30 度へ変更後は、許容温度範囲に収まっており、問題のない値となっている。太陽角変更を含め打上げ以降の SHNT 温度遷移を図 11 に示す。

③ 太陽電池パドル系

発生電力の実績と予測を図 12 に示す。予測以上に劣化が少かったため 2003 年 2 月に発生電力の予測値の見直しを行った。全運用を通じて十分な発生電力を供給した。

④ 姿勢制御系

太陽角テレメに重力傾度トルクの影響とみられる周期的な微小変動がみられ、その変動は一方方向に蓄積している。

⑤ 推進系

パルス積算法及びタンク圧・タンク温度法による搭載ヒドラジンの残燃料推移を図 13 に示す。2003 年 8 月末時点での残存推薬量は、タンク圧・タンク温度法で 14.28kg、パルス積算法で 14.33kg でありほぼ一致していた。打上げ時の搭載推薬量は 23.11kg であった。スラスト効率の推移を図 14 に示す。スラストの動作は全運用期間を通し良好であった。

⑥ 熱制御系

SHNT を含め全ての機器が、所定の温度範囲以内に収まっていた。

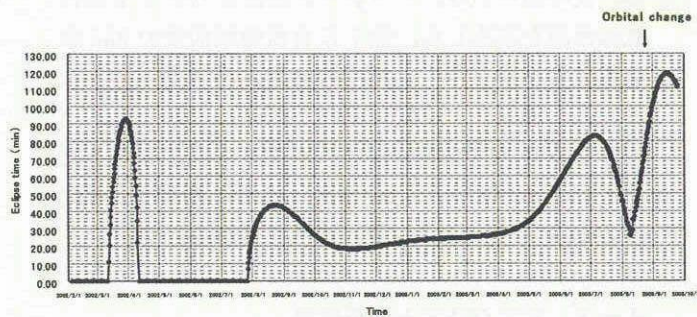


Fig.6 Result of eclipse time

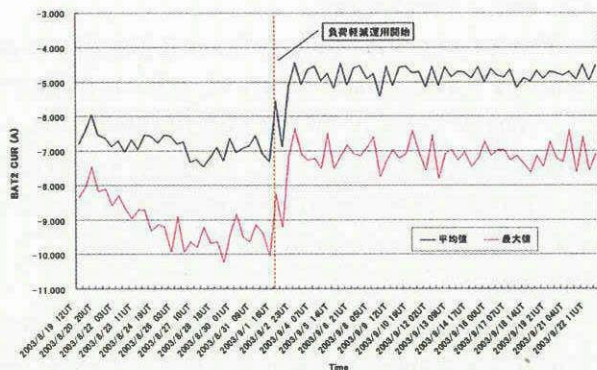


Fig.7 Discharge current after load reduction

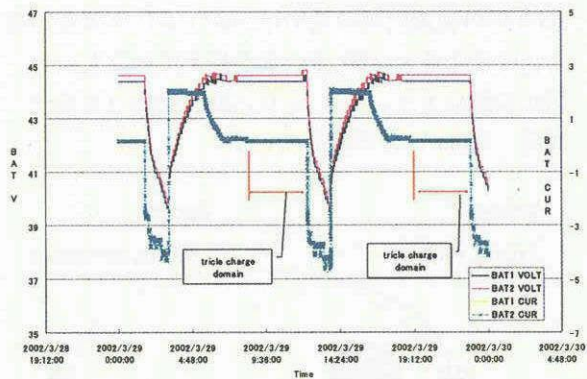


Fig.8 Battery data during 95min eclipse (2002.3.29)

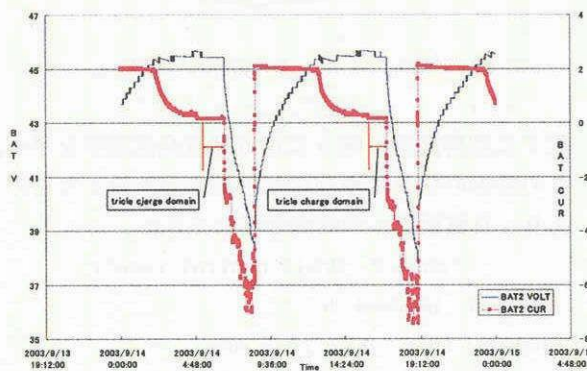


Fig.9 Battery data during 120min eclipse (2003.9.14)

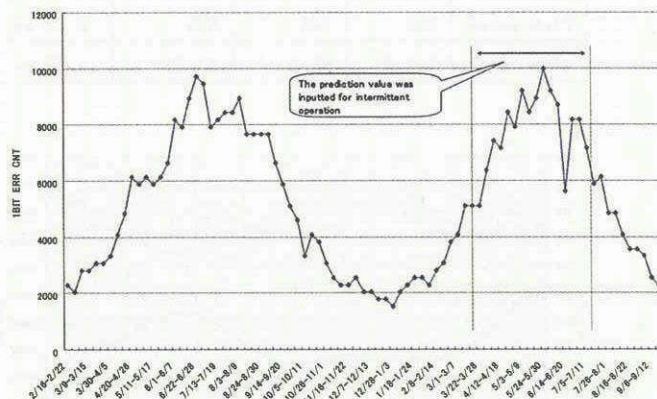


Fig.10 Data Recorder 1bit upset

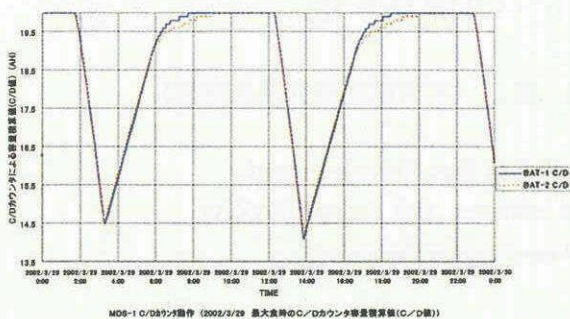


Fig. 11 C/D counter behavior in 95min eclipse

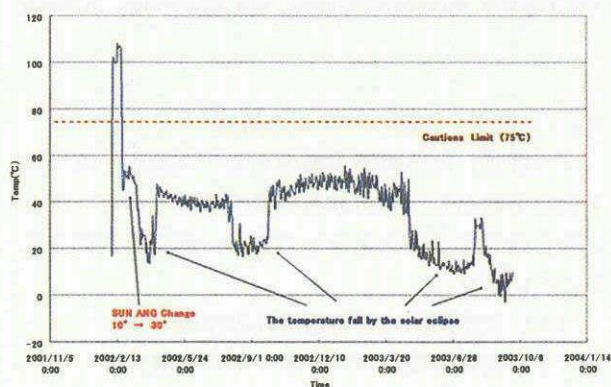


Fig. 12 Transition of SHNT temperatur

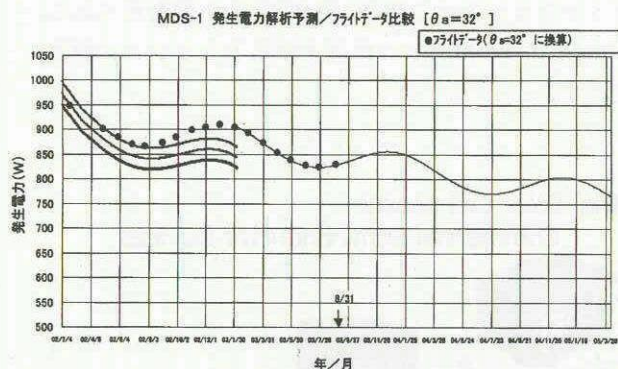


Fig. 13 Results and prospect of generated power

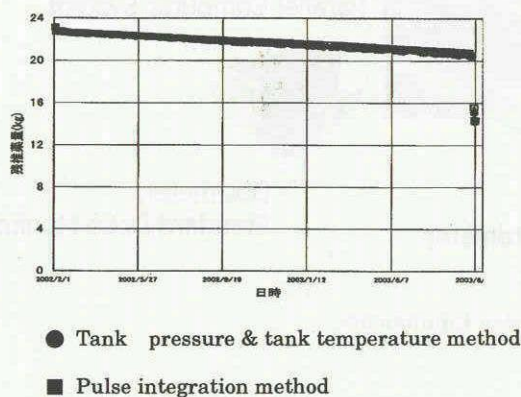


Fig. 14 Rest of hydrazine

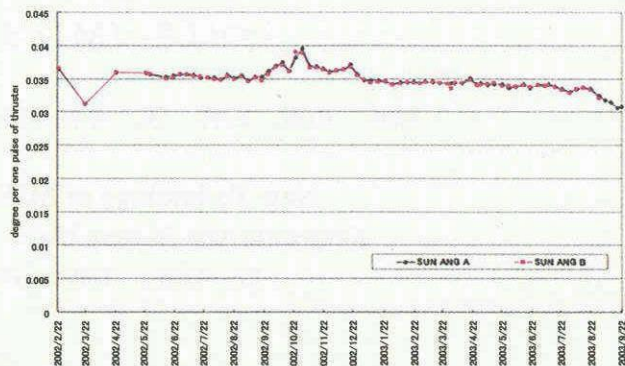


Fig. 14 Thruster efficiency behavior

5 軌道上の特異現象

- (1) シャント温度テレメトリ異常
- (2) DR-B系 WDT エラー発生
- (3) DR-B系 メモリパトロール機能停止
- (4) DR-A系 記録アドレス異常
- (5) LLM 移行と BAT1 系異常：詳細原因を調査中

6 まとめ

MDS-1「つばさ」の運用については想定外の現象も発生したが、関係各位の適切な対処の結果、ミッション期間（1年間）を達成し、全運用期間を通し貴重な実験データを取得できた。

不具合発生以降は電力収支の面で危機に面したが、バス系、ミッション系、開発会社、運用会社が協力しながら、運用を継続することができた。

謝辞

「つばさ」の全運用期間において間断なく支援いただいた宇宙技術開発（株）の皆様、NEC 東芝スペースシステム（株）の皆様に紙面を借りてお礼を申し上げます。また、深夜の可視にも関わらず運用に参加いただいた宇宙航空研究開発機構技術研究本部の皆様をはじめ、NW・軌道力学担当の方々にもお世話になり且つ励まされたと記憶しています。多大なるご協力に感謝致します。

参考文献

- [1] 今村裕志、他、「つばさ運用状況報告」第 46 回宇宙科学技術連合講演会、3B1(2002 年 10 月)
- [2] 荒井功恵、他、「つばさの定常運用結果について」つばさワークショップ、(2003 年 3 月)