

# つばさ (MDS-1) バス開発手法

荒井 功恵、臼杵 茂、今村 裕志、柳 英二 (宇宙航空研究開発機構)

## New Technology of MDS-1(Tsubasa) Bus Development

Katsuyoshi Arai, Shigeru Usuki, Hiroshi Imamura, Eiji Yanagi, (JAXA),

Key Words: Tsubasa, Bus Development, New Technology

### Abstract

Tsubasa (MDS-1) was launched by H-2A launch vehicle TF#2 on Feb 4<sup>th</sup> 2002. Tsubasa exceeded the planned 1-year orbit mission life. To satisfy the short term, low cost and reliable satellite, new technology and approach are applied for Tsubasa system. This paper describes the new technologies of Tsubasa bus development, the evaluation of each approaches and comparison with NASA LEWIS satellite.

### 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、民生部品等の宇宙実証に加え、バスシステムについて、短期間、低コスト、低リスク開発が要求された。今回、設計ミッション期間1年を超える成果が得られたことから、「つばさ」で採用した新たな衛星開発手法について述べ、それぞれの評価を行うとともに、同時期に短期間、低コスト開発に挑戦したNASA LEWIS衛星との比較を行った。

### 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。

Fig.1に「つばさ」の軌道上概略とミッション機器を示す。

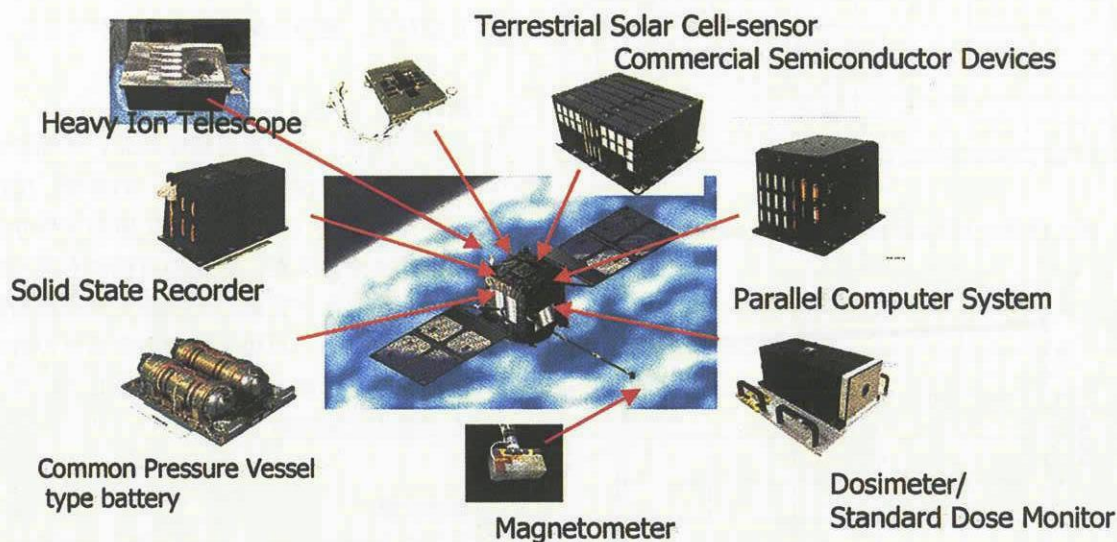


Fig.1 MDS-1 Mission Equipments



### 3. 新たな開発方式による開発

#### 3-1 要求事項

平成8年の「つばさ」開発開始時の要求は次の通りであった。

- 短期間開発 (3年)
- 低コスト開発 (60億円)
- リスク低減

これらの要求は当時の宇宙開発事業団(NASDA)にとって挑戦であり、達成できればわが国の衛星開発にとっても画期的と考え、「今後の衛星開発のお手本」を目指し開発を開始した。

しかし、平成10年2月のH-II 5号機(COMETS)および平成11年11月のH-II 8号機(MTSAT)の連続したロケット打上事故をから、新たな要求として、

- 確実な衛星開発
- が加わった。

これらの要求を達成するため、開発初期段階から、衛星開発担当会社、ミッション機器開発担当会社、追跡管制部門および衛星運用担当会社も含め検討を行った。

#### 3-2 短期間開発のポイント

短期間開発の方策を検討し開発を開始した。

- 主要スケジュールの設定
- PFM一段階開発(モデルは打上モデルのみ)
- 使用するコンポーネントは実績ある物を最大限使用する。

以上の検討およびコスト削減も考慮し、MDS-1で採用した短期間開発の手法と宇宙開発初期で採用された従来の開発手法との比較をFig.2に示す。

また、Fig.3には今回のMDS-1の開発スケジュールの実績を示す。

当初計画の3年を超え、約4.5年となってしまったが、H-IIの連続した事故や新規要求が加わったことなどが影響したものである。

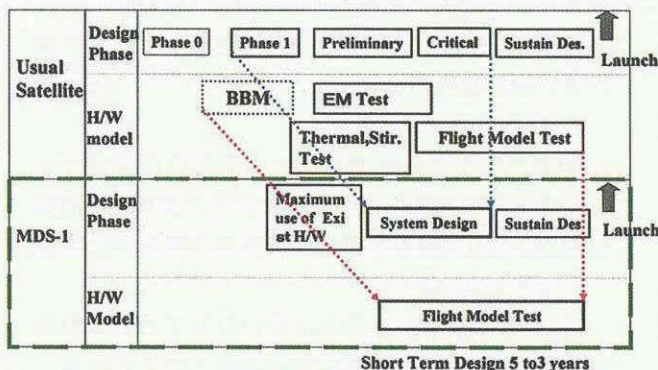


Fig.2 Comparison with MDS-1 and Usual Satellite

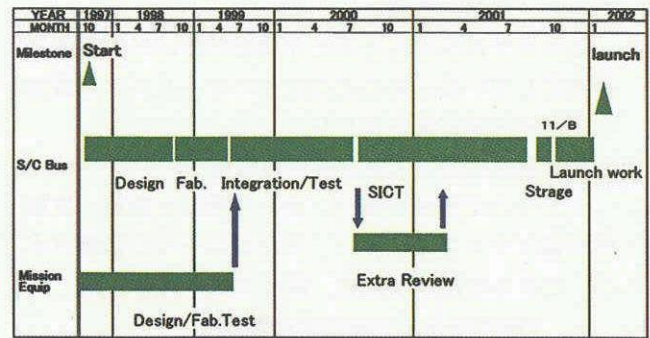


Fig.3 MDS-1 Development Schedule

#### 3-3 低コスト開発

開発の初期に検討を行い、次の対応を行った。

##### (1) 価格の設定

目標金額を設定するだけでなく、開発フェーズのそれぞれについて価格を設定し、コンティンジェンシーも考慮した。

##### (2) プライム契約

責任を明確にし、余分な作業項目を発生させず、素早く対応することを考えプライム契約方式を採用した。

##### (3) PFM一段階開発

余分なモデルを製作すると費用が発生するため、リスクを十分に検討し必要な対策(設計確認試験の実施)を講じて、打ち上げるモデルのみ製作することとした。

##### (4) 衛星契約と追跡管制契約を一体契約

従来追跡管制システムは追跡部門が別契約で実施してきたが、資金の制約からメーカー選定時にこの部分も一括して競争の中にいれた。

##### (5) 使用する部品の選定基準を緩和

単一故障点に対しては実績ある部品の使用としたが、その他の部分については必ずしもクラス1部品の使用を義務とせず、クラスB部品の採用も認めることとした。

##### (6) NASDA職員も可能なら試験を実施

可能な部分についてNASDAが自ら試験を実施した。

##### (7) 打ち合わせは衛星開発担当会社で実施

衛星開発担当会社の方々の発生する費用を抑えるため、会議は原則として衛星開発担当会社にて実施した。

##### (8) 衛星開発担当会社にてシステム試験を実施

自由度の確保及びコスト低減のため、音響試験と質量試験を除き、衛星開発担当会社にてシステム試験を実施した

### 3-4 リスク低減

これまでに採用した新たな開発手法は当然リスクを内在している。それぞれについて、リスクを識別し、必要な対応策を講じた。

#### (1) 簡素な設計と既存技術の採用

システムが複雑な場合、設計や検証が複雑、信頼性の低下やコストアップ、スケジュールに影響が出る。これらを避けるため、次の方式を採用した。

- 太陽指向スピンの安定姿勢制御
- 既存技術の最大限の活用
- 実績あるコンポーネントの採用

「つばさ」の条件に適合しない技術について実施した設計確認試験項目を以下に示す。

- フォトカプラ放射線評価試験  
(COMETS 不具合反映)
- ブラックカプトン評価試験
- 地球センサ機能試験
- モニタカメラ衝撃試験
- 1 Nスラスト耐衝撃性確認試験
- アライメント再現試験
- バッテリ評価試験
- S-BAND アンテナパターン測定
- クーポンパネル熱衝撃試験
- 太陽電池パネル発生衝撃試験
- 太陽電池ハーネス耐放射線確認試験

#### (2) リスクの識別と対応

それぞれについてリスクを明確にし、対応を考え、開発の進み具合に応じリスクの評価と対策を継続して実施した。

#### (3) 熱真空試験を機械環境試験の前に実施

通常は打上時の順序を考慮し、打上時の機械環境条件での振動、音響環境を行った後に熱真空試験を行う。しかし、不具合は熱真空試験で発生することが多いことから、熱真空試験を先に実施することとした。

#### (4) 余裕ある機械環境試験条件にて

打上ロケットについてH-IIまたはH-II Aと何度か変更になったことから、どちらでも対応できるよう、機械環境条件の厳しい方に適合できる設計とした。

### 3-5 今後の衛星開発のお手本

「つばさ」はこれまでのNASDAでは経験のない、短期間、低コスト開発を目指したことから、新たな開発手法や開発の過程で発生した課題が何で、それらをどのような考え方で対応したのかを技術資

料に残すこととした。

また、新たな開発の為には早期に正しい情報入手し、それをプロジェクト関係者が共有し、短時間で次の展開へ反映させる為、モバイル端末を各自に配布し、迅速な判断と対応に役立てた。

### 3-6 確実な開発

開発開始時は挑戦的なプロジェクトであったことから、成功するか否かも含め、比較的緩やかなサクセスクライテリアであった。しかし、相次ぐH-IIロケット事故により、開発途中から確実な衛星開発が厳しく求められた。そのため従来のリスク低減の対策だけでなく、抜本的な見直しが必要となった。

確実な開発を行うため、特別点検を全てのシステムについて行うこととした。打上までの期間が比較的であったことから、特別点検で指摘された事項について設計変更、追加試験も行える時間的な余裕があった。

この特別点検は最初に衛星の中身をよく知っている開発担当者が自ら点検シートを用いて確認し、その結果をプロジェクト外の専門家が再度確認する2段階方式とした。これにより、プロジェクト外専門家が評価しやすく、開発担当者も少し自信のない部分があれば自ら指摘し、追加の試験や設計変更をしやすい環境を作った。

また、特別点検をする上での基本方針を以下の通りとした。

#### - 過誤の排除

今までの作業結果、製造/試験結果等に問題があるはずはないという思い込みを排除。

#### - 権威主義の排除

開発課題はその時々最善の判断の基に実施してきたので、一度決めたことは仕方ないという姿勢の排除

#### - 諦観の排除

MDS-1が抱えるリスク要因とその影響と対策については夫々実施してきたが、「短期間・低コスト開発」だから仕方がない、今となってはもう遅いといった姿勢の排除

#### - 客観性の担保

開発内容を十分熟知している開発原局及びプロジェクト外専門家による点検。結果の文書化、追加試験、他への反映等今後の作業内容を明らかにする。

また、打上ロケット変更に伴いDRTSとの相乗りが無くなり、打上重量に余裕が合ったことから、

投入軌道を変更し、直接運用軌道であるペリジ高度500kmの軌道に投入した。更に、確実な運用の観点から、太陽電池パドル展開時のコンティンジェンシー対策が可能なよう、海外局（サンチャゴ局）支援を決めた。

#### 4. 開発中の課題

開発を進めていく中でいくつかの課題が発生した。主要な課題を以下に示す。

##### （1）衛星開発と追跡システムの一体開発

契約的には成功したが、NASDA、開発担当会社ともこの方式の経験が無かったことおよび資金が十分で無かった。

##### （2）予算制度と現実の資金

従来の開発初期では設計作業が主なことである。更に、MDS-1では試作も行わないことから予算は少なかった。しかし、現実には長納期部品の手配やPFM試験へ向けた準備作業、ミッション機器とのインタフェース調整などの作業があった。

##### （3）コンポーネントの設計変更の確認

実績あるコンポーネントの使用を前提として進めていたが、実績あると言っても、若干の設計変更や環境条件の相違などがあった。その為、使用するコンポーネントについて、内容を確認し、分類分けを行った。

##### （4）累積疲労損傷

「つばさ」は既存品を最大限に有効利用することとコスト低減から、開発モデルや認定試験モデルを持たない。よって、累積疲労損傷率を要求せず、追加試験で損傷率の要求が必要となった場合には、類似品の累積指数を分母とする損傷率の管理とすることとした。

##### （5）不具合発生時の対応

フライト品の不具合発生時、原因究明作業を進めていく中で、試作モデルやEMを制作しなかったことから、直接フライト品を使った不具合原因究明作業を行うこともあった。フライト品に損傷を与えず原因究明を行うかに時間を要した。

##### （6）主要要求事項の変更

開発を行う上で当初の主要条件変更は前提を覆すばかりでなく、資金、スケジュール、リスク発生などがあり、開発ではあつてはならないことである。しかし、「つばさ」ではいくつかの主要要求事項の変更が行われた。

- 打ち上げロケットの変更、打上時期
- MDS-2開発中止

何とかリスク管理やコンティンジェンシー資金で対応できたが、あつてははならない事である。

##### （7）バッテリー地上保管寿命

バッテリーの地上保管は3年である。しかし、打上ロケットの事故により打上が延期され、バッテリー地上保管寿命を約半年超えてしまった。バッテリーについて打上可能か否かの判断が必要になったことから、バッテリーの性能劣化の無いことを確認し上げた。

#### 5. 学んだこと

##### 5-1 改善点

「つばさ」の開発および運用を進めた中で学んだことを段階的に以下に示す。

##### （1）開発開始時

- 既存技術、実績ある部品を正確に見極める力が大事

分類分けして確認を行ったが、開発中の不具合、軌道上で発生した不具合原因を究明すると設計変更が行われていたり、十分に確認されていなかったことがあった。

##### - 資金計画

開発初期により多くの資金確保が必要である。

##### （2）開発完了時（種子島出荷前）

開発中に発生した電源制御回路（PCU）不具合は原因究明と対策に時間を要した。これは実績ある製品では無かった点や、十分な確認試験期間無かったことが原因であった。

##### （3）射場作業

##### - バッテリー過放電

射場において、保護回路確認作業を実際のフライトバッテリーを用いた時に発生した。バッテリー取扱い要求を十分に理解できなかった点や保護回路確認にフライトバッテリーを用いたことが原因であった。

##### （4）軌道上運用時

##### - ショント温度異常

設計時の電源系と熱系のインタフェースが不十分で放熱面積が少なかった。

##### - 電源系異常

現在原因究明を行っている所である。

##### （5）運用終了後

ミッション実証衛星の後続機が連続ロケット事故により無くなってしまった。新規開発要素の事前実証の重要性を認識してもらえなかった点は我々の努力不足と認識している。しかし、民生部品についてはUSEF殿の後続衛星があることは大変うれしいことである。



## 5-2 良かった点

今後の開発へ参考となる事項としては次の内容がある。

- (1) 新たな開発手法を確立できた。
- (2) 良いチームワークがあれば難しいことも達成できる。(パス、ミッション、運用関係者が一丸となって対応してくれた)
- (3) 衛星開発経験者を多くすることで、新たな開発手法の部分に重対応できる。
- (4) 今後の衛星開発のお手本をキャッチフレーズにモチベーションが高く、それを継続できた。
- (5) 分かりやすいミッションと要求事項が明確であった点が良かった。
- (6) 確実な運用まで考慮し、開発担当者が運用まで継続した点は良かった。
- (7) 重大な要求事項の変更に対し許容できる範囲であった。ぎりぎりの設計でなく、少し余裕ある設計にしていた点は良かった。

## 6. NASA LEWIS衛星との比較

「つばさ」について行った開発手法の評価を、同様の衛星と比較してみた。比較はNASA/TRWが開発したLEWIS衛星とした。

以下にLEWIS衛星の概要を示す。

- 典型的な Faster, Cheaper, Better 衛星
- 1997年8月に打上たが、初期段階で運用停止
- NASAの監督最小、メーカ責任を最大

NASAで発表した文献を基に「つばさ」との比較を行った。

この内容を Table.1 に示す。

「つばさ」ではLEWIS衛星の直接原因となった2つの事項は無かったが、間接的な事項の多くは「つばさ」でもあった。後から振り返って見ると大変リスクのあったプロジェクトと言える。

Table.1 LEWIS Failure Causes

LEWIS	MDS-1	Remarks
Improper ACS Safe Design	Spin Stabilized	Direct Cause
Improper Initial Operation	Proper Operation	Direct Cause
Big Design Changes LV, Life(3 to 5 years)	Big Design Changes LV, Date, Reliable	Indirect Cause Proper Manage
Improper Understanding FCB (NASA, TRW)	Close Communication NASDA/NTS	Indirect Cause
Program Office Change	Moving out to Tsukuba	Indirect Cause
Improper Operation Team at Initial Operation	Proper Operation Team at Initial operation	Indirect Cause
Frequent person Change	Almost Fix Person to work	Indirect Cause
Improper Audit	Extra Review by Audit	Indirect Cause

## 7. まとめ

新たな開発手法を採用した「つばさ」は、無事ミッション期間の1年間を達成できた。「つばさ」で採用した、短期間、低コスト、リスク低減の開発手法に問題は無く、有効であったと言える。「つばさ」で採用した新たな開発手法のいくつかは今後の衛星開発に有効と考えられる。

## 8. 謝辞

新たな開発手法を一緒になって検討し、それを苦しみながら実践できました。開発中、運用中に発生した多くの課題に対し、関係者が積極的に対応されたことで無事ミッション期間を達成できたと思っています。関係する人々が連携を取り適切に作業されることがプロジェクト管理の本質であるなら、「つばさ」は「チームワークと情熱」によりプロジェクトの成功を成し得た例と言えます。

「つばさ」の開発と運用に関係された多くの方々に感謝いたします。

## 9. 参考文献

- (1) LEWIS spacecraft mission failure investigation board - final report - 12 Feb. 1998