

# 小型衛星による 宇宙開発の新しい取組み

板尾彰二\*  
Shoji Itao  
神谷修平\*  
Shuhei Kamiya  
圓道新吾\*  
Shingo Endo

神代優季\*  
Yuki Koshiro  
村岡武晋\*  
Takekuni Muraoka

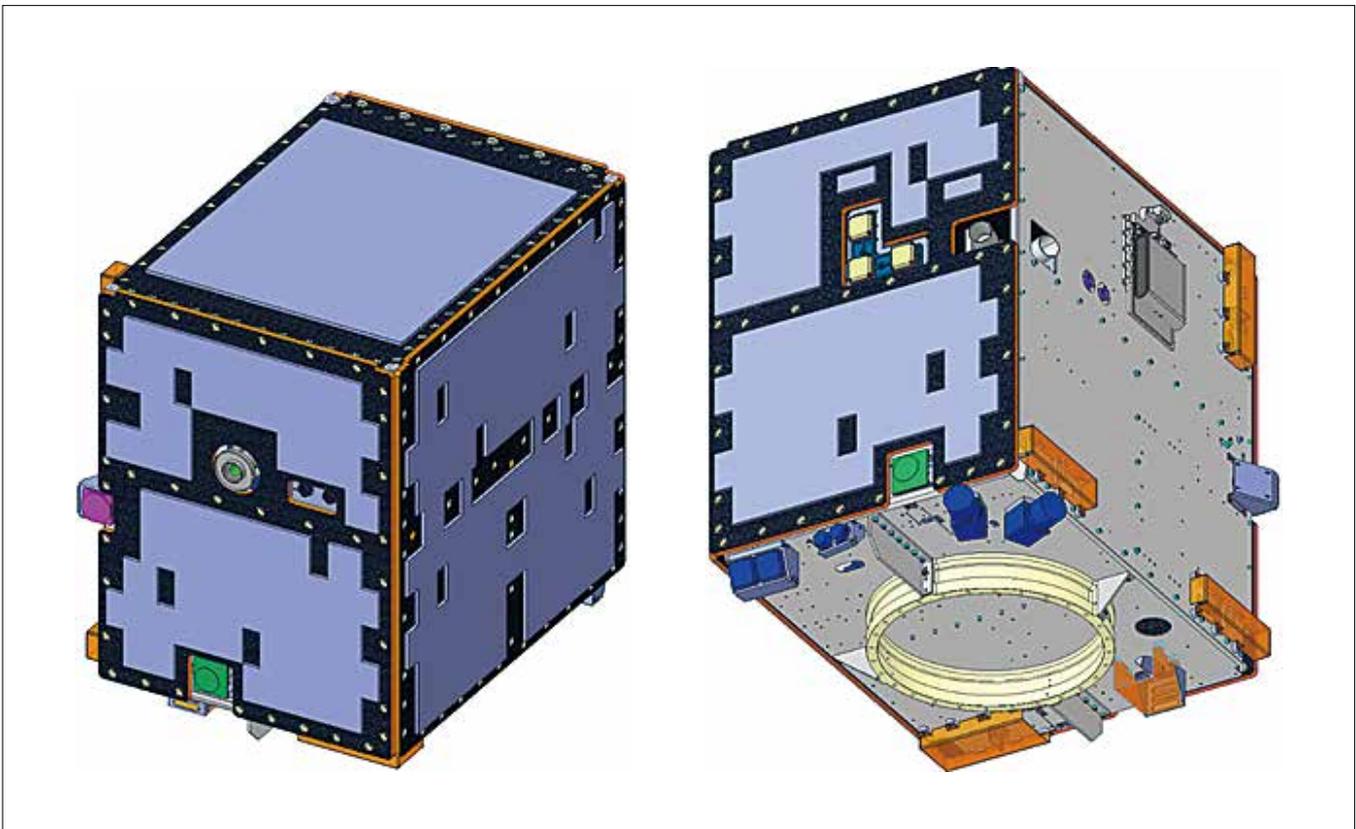
*RAISE-2 on the Innovative Satellite Technology Demonstration Program*

## 要 旨

近年では小型衛星による経済的で迅速な宇宙実証が望まれており、衛星需要の中でも世界的に重要な開発要素になっている。こういった世界的な傾向の中で三菱電機も小型実証衛星2号機(Rapid Innovative payload demonstration SatellitE-2: RAISE-2)で、宇宙基本計画工程表に記載のとおり<sup>(1)</sup>、国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構(JAXA)を始め、大学、民間企業及び関係府省庁のニーズを取り込み、衛星の新規キー技術の宇宙実証によって、日本の衛星産業の国際競争力の獲得・強化を目的とし、小型・超小型の人工衛星を活用した軌道上実証を適時かつ安価に実施する環境の整備を行う。

この重要なミッションを遂行する上で必要不可欠な衛

星・地上システムを確実に実現し、ユーザー側に向けて必要なデータを供給することが必須である。衛星システムは、超低高度衛星技術試験機(SLATS)で搭載した統合計算機等の資産、多数の衛星開発実績に基づく知見を最大限活用し、実証テーマ機器とのインタフェース充実化を図るとともに、品質・価格で国際競争力を持つ標準小型実証衛星プラットフォームの構築を実現する。また実際の軌道上実証実験を充実化するための地上システムの構築にも取り組んでいる。さらに、同時にこの衛星開発を世界の潮流になる小型衛星やそのコンステレーションを見据えた開発手法を取り入れる場として、従来とは異なる開発方式、品質保証、製品検証を実践する。



## RAISE-2

RAISE-2衛星は100kg級の小型衛星であり、0.7×1.0×1.0(m)のコンパクトな構体ながら効率的に実装テーマ機器を搭載し、電力等のリソースの面でもユーザーの実証テーマ実験要求に対して十分な供給能力を持つ。

## 1. ま え が き

小型実証衛星2号機(RAISE-2)衛星のミッションは、JAXAを始め、大学、民間企業及び関係府省庁のニーズを取り込み、衛星の新規キーテクノロジーの宇宙実証によって、宇宙分野を支える技術基盤、産業基盤の持続的な維持・発展、日本の衛星産業の国際競争力の獲得・強化を目的とし、小型・超小型の人工衛星を活用した軌道上実証を適時かつ安価に実施する環境の整備を行うことである。表1にRAISE-2衛星に搭載される、実証テーマを示す<sup>(2)</sup>。

RAISE-2衛星は超低高度衛星技術試験機(SLATS)で搭載した統合計算機等の資産、当社が持つ多数の衛星開発実績に基づく知見を最大限活用し、実証テーマ機器とのインタフェース充実化を図っている。本稿では、これらを含めたこの衛星の技術的特長を述べる。

## 2. 実証衛星標準プラットフォームとしてのRAISE-2設計思想

### 2.1 電源インタフェースと通信インタフェース

#### 2.1.1 電源インタフェース

現状の実証テーマ実験要求に対応する電力供給能力に対応していることはもちろん、将来のプラットフォーム化を見据えて、PCU(Power Control Unit)、PDU(Power Distribution Unit)の充実化によって、発生電力の追加、二次電圧供給チャンネルの拡張を可能にする。拡張による質量増加は小型衛星としてのターゲット内で対応が可能である。特にPDUは実証テーマ機器用とバス系で分離して2式を配置することで、次号機以降バス系の電源系を同一設計にでき、実証テーマ機器プラットフォームの標準化に寄与する。

#### 2.1.2 データ通信規格の共通化

RAISE-2搭載の実証テーマ機器では、RS422、LVDS(Low Voltage Differential Signaling)によるシリアル通信が主流であり、TLM(TeLeMetry)/CMD(CoM-

mand)データフォーマットを各実証テーマ機器で統一することで、衛星バス及び地上システムと各機器とのインタフェースを共通化・標準化できるため、今後のプラットフォーム化に大きく寄与している。データフォーマットはCCSDS(Consultative Committee for Space Data Systems)勧告に基づいたパケットデータ形式でのデータ伝送を基本とする。なおMIL-STD-1553BやSpaceWire等、次号機以降の多様なユーザー側データバス要求に対しても柔軟に対処可能である。

### 2.2 リソース余裕

電力、質量、電源チャンネル数、データ通信インタフェースチャンネル数、機器搭載面積、レコーダ容量、データ伝送容量のリソースに可能な限り余裕を持たせた設計を実現している(表2)。

### 2.3 実証テーマ機器インタフェースの簡略化・標準化

実証テーマ機器とのインタフェースを簡略化・標準化し、かつ図1に示すように実証テーマ機器とバス機器を可能な限り分離することで、実証テーマ機器の変更に伴うバス系の設計変更を最小化し、低コストかつ短期間での開発を実現する。

これらによって宇宙開発の実績のない応募者に対しても衛星バスとのインタフェース設計を容易にする。

表2. リソース余裕

項目	実証機器要求リソース	提供リソース	リソース余裕
電力	33Wh/周回(定常時)及び実験運用時の消費電力	112Wh/周回(BOL) 62Wh/周回(EOL)	79Wh/周回(BOL) 29Wh/周回(EOL) (非定期実験時の運用電力含む)
質量	22.87kg (15%マージン含む)	24.78kg	1.91kg
電源チャンネル数	+24~+33V非安定: 2チャンネル +5V:4チャンネル +12V:2チャンネル	+24~+33V非安定: 10チャンネル +5V安定:6チャンネル +12V安定:2チャンネル	+24~+33V非安定: 8チャンネル +5V安定:2チャンネル
データIFチャンネル数	RS422:21 LVDS:8 AA:0, AB:1, PA:3, PB:0, DS:1	RS422:32 LVDS:11 AA:7, AB:5, PA:14, PB:5, DS:6	RS422:11 LVDS:3 AA:7, AB:4, PA:11, PB:5, DS:5
機器搭載面積	0.3m <sup>2</sup> (取付け面の面積合計)	2.5m <sup>2</sup>	2.2m <sup>2</sup>
レコーダ容量	795MB/週	7.69GB/週	6.9GB/週
データ伝送容量	795MB/週	4.79GB/週(684MB/日)	3.9GB/週

BOL: Beginning Of Life, EOL: End Of Life

表1. RAISE-2の実証テーマ

区分	テーマ名称	提案機関
部品	ソニー製小型・低消費電力マイコンボード「SPRESENSE <sup>(注1)</sup> 」の耐宇宙環境性能評価	ソニー セミコンダクタ ソリューションズ(株)
コンポーネント	クロズドループ式光ファイバジャイロの軌道上実証	多摩川精機(株)
	CubeSat用小型・安価な国産スタートラッカーの商用化に向けた宇宙実証	㈱天の技
	3Dプリンタで製作する廉価版アンテナ(テレメトリ・コマンド受信用)の軌道上評価	当社
	軽量・無電力型高機能熱制御デバイスの軌道上実証	東北大学
	冗長MEMS IMU(MARIN)の軌道上放射線環境での飛行実証	JAXA

(注1) SPRESENSEは、ソニー(株)の登録商標である。

MEMS: Micro Electro Mechanical Systems, IMU: Inertial Measurement Unit

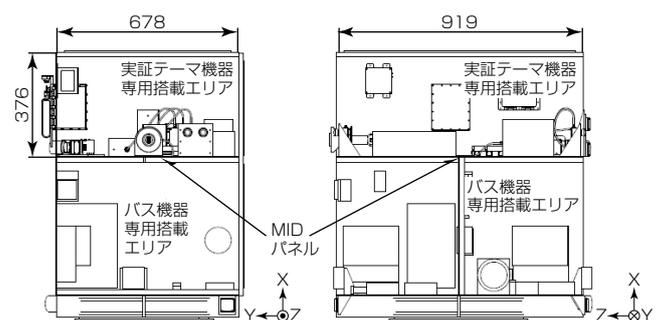


図1. 機器搭載エリア

## 2.4 民生部品活用による低価格化

3.1節に述べるように最重要部品には宇宙用部品を使用することにしているが、故障分離が可能な機器に対して民生部品を活用することを顧客と合意した上で、大幅なコストダウン、開発スケジュールのドラスティックな短縮を図っている。

## 2.5 実証テーマ機器の多様な運用ニーズへの対応

数多くの衛星開発経験によって培った姿勢制御技術を活用し、実証テーマ機器側の多様な姿勢制御要望を実現可能な柔軟なシステムを提供する。また、投入軌道に柔軟性を持たせ、実証テーマ機器の投入軌道のニーズを実現する。

# 3. ロバスト性・サバイバビリティ設計

## 3.1 ロバスト性・サバイバビリティ設計

RAISE-2バスは、SLATSで軌道上実績のあるSCP (Satellite Control Platform)を中心とした高信頼性バスである。SCPには宇宙用部品を使用し、豊富な軌道上実績を持つ搭載ソフトウェアアルゴリズムの採用によって信頼性を高めており、衛星全体の異常検知・自動化・自律化機能をつかさどる。運用継続のためにクリティカルになり得る機器に対しては、機器冗長化、機能冗長化によって万が一機器が故障した場合にも、可能な限り運用継続できる設計にしている。図2にRAISE-2バスの構成を示す。

## 3.2 高信頼性SCPによるFDIR機能

SCPのCPUは、軌道上実績豊富なHR5000Sを搭載した高信頼性の構成にして、他のバス機器、ミッション機器に異常が起きても、SCPの信頼性を高めることで安全モードへ確実に移行する設計にしている。SCPのFDIR (Fault Detection Isolation and Recovery)機能は、SLATSを始め、

従来の衛星に標準的に搭載されている機能であり、軌道上実績も豊富である。衛星システムの異常はSCPによって検知し、安全モードへの移行と自律化コマンドの発行をする。SCPでは、収集したバスとミッション各機器のテレメトリをモニタし、条件に合致した場合に自律的にコマンドを発行する機能を具備する。衛星のモード移行と連動して、姿勢モードを自律的に変更可能である。SCPは、電源系のアナログテレメトリから、放電深度を演算する電源監視機能を持ち、放電深度がしきい値に達した場合には、自律化機能によって衛星全体を安全モードへ移行する。衛星全体の電圧が基準を下回った場合は、UVC (Under Voltage Condition)を判定して衛星全体を安全モードへ移行する。SCP自身のハードウェアとソフトウェアの異常を検知した場合には、衛星全体を安全モードへ移行する。安全モードへ移行した場合にも、レコーダへの記録は継続し、かつSバンドでの再生・伝送を可能にする。これによって、地上でのトラブルシュートが可能である。

## 3.3 太陽電池(SAP)

SAP (Solar Array Panel)の1ストリング故障時の電力収支解析結果に基づき、MY/MZ/PX/PZ (SAP搭載面の識別呼称)のどの面の1ストリングが故障しても、電力的ワースト条件で、電力収支の回復が可能である。

## 3.4 バッテリーセル

バッテリーのセルは2並列・8直列構成にしているため、1セル故障時にも、運用制約を課した縮退運用モードへ移行し、運用を継続できる。

# 4. 利便性に優れた実証テーマ運用環境の実現

## 4.1 地上システムの利便性

RAISE-2地上システムは、利用実績の高い衛星管制ソ

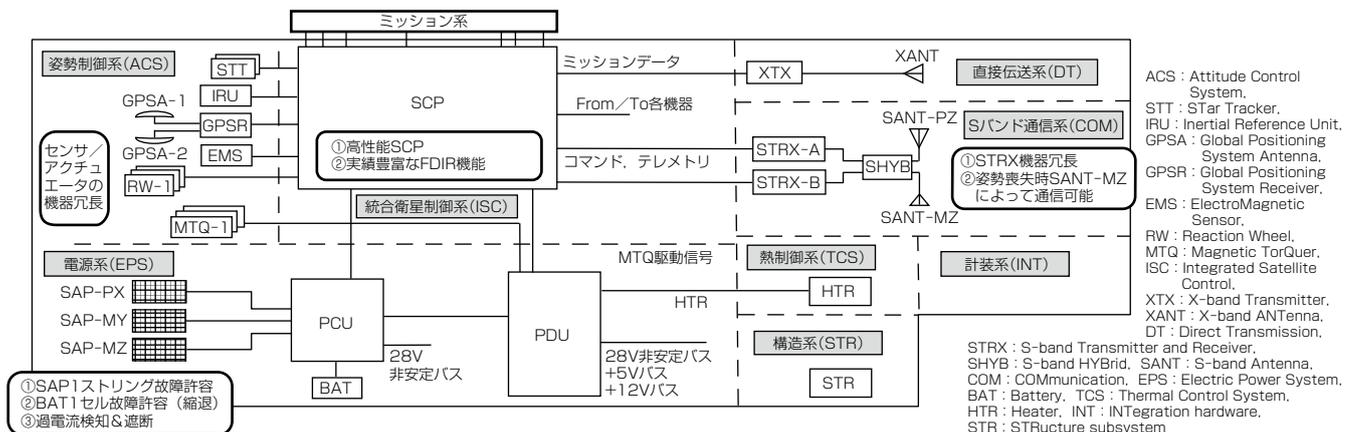


図2. RAISE-2バスの構成

ソフトウェアを採用している。豊富な機能から衛星運用に最適な設定・構築を行うことによって、運用の効率化と利便性を実現する。また、高い利便性を確保するために、国内の二つの地上局アンテナ(沖縄及び北海道)を用いて運用を実施する。地上局は、常時2局を用いた主従利用が可能であり、RAISE-2の打ち上げから定常運用段階終了まで安定した実証テーマ実験をサポートできる。図3にRAISE-2の地上システム構成を示す。

計算機は、サーバは2台による冗長構成によって、リスク低減をしてシステム信頼性を向上させている(図4)。

#### 4.2 運用基本パターンを用いた効率的な運用

RAISE-2では、運用コンセプトの立案方針・実証テーマ機器の要求と衛星性能を考慮して実証テーマ運用の分析を行い、分析結果に基づいて運用基本パターンを作成する。運用基本パターンの組合せによって運用を実施することで、実証テーマ機器の要求を満たす運用を効率的に立案・実施可能である。運用基本パターンの組合せによって、運用シナリオ(1か月)を作成し、実証テーマ機器の要求を満たした運用が確実に実施可能である。

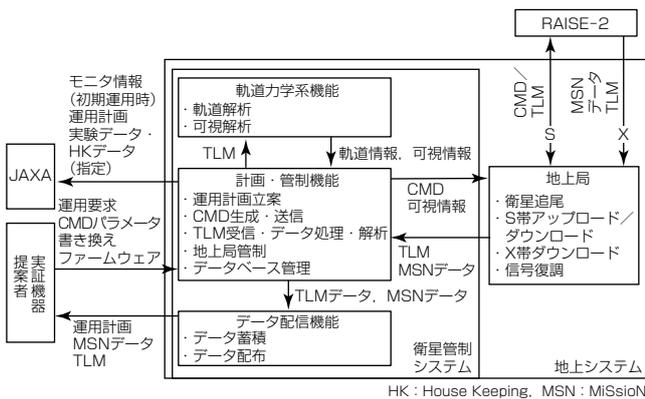


図3. 地上システム構成

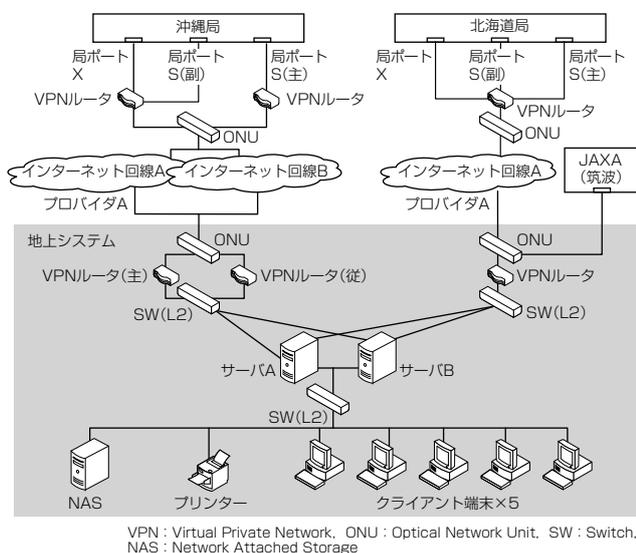


図4. 地上計算機及びネットワーク

表3. 実証テーマニーズに対応した運用

運用ケース	求められる機能・性能	RAISE-2性能値
①常時型実験運用 実証機器の常時電源ON、データ取得	常時運用可能な電力 常時運用可能な記録・伝送データ量	実証機器配分可能電力 62Wh/周回 実証機器配分可能容量 4.79GB/週
②地上局通信運用 姿勢制御によって地上局との通信を確立、データ取得(イベント運用)	姿勢制御機能	姿勢決定精度: <math>< 0.026^\circ (3\sigma)</math> 姿勢制御精度: <math>< 0.027^\circ (3\sigma)</math> 姿勢安定度: <math>< 0.0064^\circ/s (3\sigma)</math>
③④特殊環境下運用 姿勢制御・熱制御等によって、特殊な環境を実現、データ取得(イベント運用)	大角度ポインティング機能	ロール角45°程度でも電力・熱の収支成立 姿勢マヌーバ速度0.5°/s
	姿勢制御機能	姿勢決定精度: <math>< 0.026^\circ (3\sigma)</math> 姿勢制御精度: <math>< 0.027^\circ (3\sigma)</math> 姿勢安定度: <math>< 0.0064^\circ/s (3\sigma)</math>
⑤ミッション運用 姿勢制御によって対象を指向、観測後データ取得(イベント運用)	電力“大”要求を満たす電力	実証機器配分可能電力 62Wh/周回
	データ“大”要求を満たす記録・伝送データ容量	実証機器配分可能容量 4.79GB/週
⑤ミッション運用 姿勢制御によって対象を指向、観測後データ取得(イベント運用)	大角度ポインティング機能	ロール角45°程度でも電力・熱の収支成立 姿勢マヌーバ速度0.5°/s
	姿勢制御機能	姿勢決定精度: <math>< 0.026^\circ (3\sigma)</math> 姿勢制御精度: <math>< 0.027^\circ (3\sigma)</math> 姿勢安定度: <math>< 0.0064^\circ/s (3\sigma)</math>
⑤ミッション運用 姿勢制御によって対象を指向、観測後データ取得(イベント運用)	確実にターゲットを観測可能な機能	コマンド実行タイミング補正機能によって、実現可能
	電力“大”要求を満たす電力	実証機器配分可能電力 62Wh/周回
⑤ミッション運用 姿勢制御によって対象を指向、観測後データ取得(イベント運用)	データ“大”要求を満たす記録・伝送データ容量	実証機器配分可能容量 4.79GB/週

#### 4.3 余剰リソースを用いた高頻度運用

RAISE-2バスは十分な電力・データ容量のリソースを持っており、更に高頻度な実証テーマ運用を実施可能なシステムである。基本運用パターンの余剰リソースを用いて、要求に応じて高頻度な実証テーマ運用や大容量データ要求のある実証テーマ運用も実現可能なシステムである。

#### 4.4 実証テーマ機器の多様なニーズに対応した運用

RAISE-2バスは、豊富なデータ容量リソースや高度な姿勢・コマンド実行時刻制御技術・投入軌道の柔軟性によって、実証テーマ機器の多様なニーズに対応した運用を実現可能である(表3)。

### 5. むすび

RAISE-2の概要を含め、統合計算機等の資産、当社が持つ多数の衛星開発実績に基づく知見を最大限活用した開発等、小型実証衛星2号機への当社の取組みを述べた。現在詳細設計フェーズであり、エンジニアリングモデルの製造・試験を実施中である。今後フライトモデルの製造・試験を実施していく。さらに3号機の実証テーマが決定された状況であり、後継機への取組みも始まっており、2号機で得られる知見を更に活用しての革新的衛星技術実証プログラムに貢献していく計画である。

#### 参考文献

- 内閣府：宇宙基本計画工程表(平成30年度改訂)(2018)  
[https://www8.cao.go.jp/space/plan/plan2/kaitei\\_fy30/kaitei\\_fy30.pdf](https://www8.cao.go.jp/space/plan/plan2/kaitei_fy30/kaitei_fy30.pdf)
- 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構：「革新的衛星技術実証2号機のテーマ公募」選定結果について(2018)  
[https://www.jaxa.jp/press/2018/12/20181212\\_kakushin\\_j.html](https://www.jaxa.jp/press/2018/12/20181212_kakushin_j.html)