

宇宙航空研究開発機構 (JAXA)

此上一也

1. 世界の小型衛星の動向

近年注目されている小型衛星は、機能・性能の面で制約を受けるものの、開発期間が短く、低コストであるという利点を持っています。その利点を活かし、大型衛星の補完的役割の早期実現を期待できるとともに、複数機を同時に打上げて衛星群を構成することにより実現できるミッションの可能性も広がります。小型衛星のメリットが活かせる分野として、以下のようなものが挙げられます。

① 科学分野

世界に先駆けた観測が重要視される科学分野では、最先端の観測機器を小型・軽量化することにより、早期に観測成果を挙げることが期待できます。

② 技術実証分野

新規開発機器の信頼性の評価を行う場合、短期間での開発が見込める小型衛星に搭載し、軌道上での動作実証・実験・評価を早期に行い、実利用に備えることができます。

③ 地球観測分野

観測センサの小型化に伴い、小型衛星による地球観測ミッションの実現可能性が高まっています。また、観測頻度を向上させるために複数機の小型衛星による衛星群の活用が考えられます。

④ 通信分野

複数機の小型衛星から構成される衛星群を利用することにより、高頻度・広範囲の通信ネットワークの構築が期待できます。

また、数 kg 級の超小型衛星は、ミッション企画、解析、設計、製作、試験、打上げ、運用とほぼ全ての衛星開発の過程を、極めて短期かつ低コストで、学生や研究者が自ら行うことができることから、効果的な宇宙工学教育の目的として、日本のみならず世界中の大学や研究機関などにおいて取り組みが増えてきており、可能性が非常に注目されています。

2. JAXA における小型衛星への取り組み

JAXA では、これまでに以下のような小型衛星への取り組みを行ってきています。

2.1 科学分野

小型高機能科学衛星「れいめい」(INDEX: INnovative-technology Demonstration EXperiment、質量 72kg、2005 年 8 月打上げ)

主たるミッションとしてオーロラ科学観測を目的としていますが、制御精度 3 分角の 3 軸姿勢制御機能を定常的に実現し、薄膜反射器を用いた太陽集光パドル、超小型の宇宙用 GPS 受信機、フレキシブル可変放射率素子などの先進的衛星搭載機器技術の軌道上実証を行っています。オーロラ

の微細観測を行うオーロラ観測3波長イメージャは、オーロラの鮮明な3バンドの動画像を最大約8枚/秒の頻度で取得します。あわせて、オーロラを引き起こす電子／イオンのエネルギー分析器を用いて、オーロラ電子の観測を行います。2009年10月現在で、軌道上で4年間健全に動作しています。

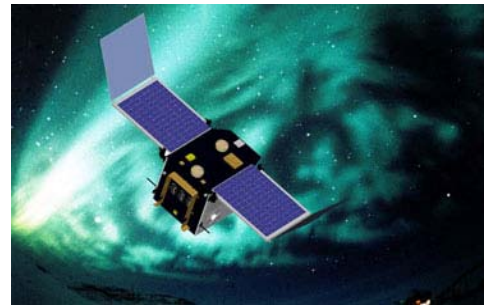


図1 れいめい(INDEX)

小型ソーラー電力セイル実証機 (IKAROS: Interplanetary Kite-craft Accelerated by Radiation Of the Sun、質量 300kg 程度、2010 年度打上げ予定)

超薄膜の帆を広げ太陽光圧を受けて宇宙空間を航行できること、及び薄膜太陽電池で発電できることの世界初の技術実証を目指します。IKAROS は H-II A ロケットにて金星探査機 PLANET-C と相乗りで打上げられ、太陽指向でスピン分離されます。数週間で膜面を展開し、薄膜太陽電池による太陽光発電を実現します。打上げ後、半年間で光子セイルによる加速・減速を確認し、膜面の方向を調整して軌道制御を実施します。

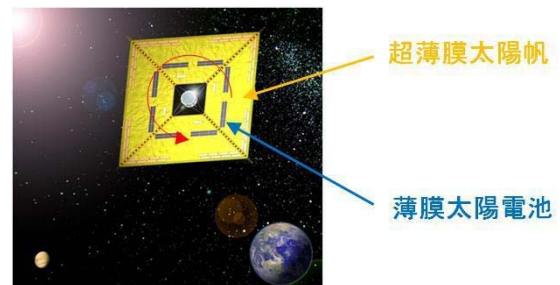


図2 IKAROS

小型科学衛星シリーズ(衛星全体質量 400kg 以下)

特徴のある宇宙科学ミッションを迅速かつ高頻度で実現するため、低コストかつ短期間で打上げ可能で、多様なミッション要求仕様を包含しうる柔軟な標準衛星バスを開発しています。ミッション部質量 200kg 以下、ミッション部電力 300W 以下に対応し、3 軸姿勢制御を可能とします。2012 年度以降、5 年間に 3 機程度のペースでの打上げを目指しています。

小型科学衛星1号機は衛星軌道から金星や火星、木星などを遠隔観測する世界で最初の惑星観測用の宇宙望遠鏡です。観測に使用するのは可視光線よりも5~10倍波長が短い極端紫外線と呼ばれる光です。この波長の光は地球の大気で吸収されるため、地上の望遠鏡では全く観測のできない世界を垣間見ることができます。

2号機以降についても、10 余りの候補ミッションが提案されています。



図3 小型科学衛星1号機

2.2 技術実証分野

民生部品・コンポーネント実証衛星「つばさ」(MDS-1: Mission Demonstration test Satellite-1、質量 480kg、2002 年 2 月打上げ)

民生部品の軌道上におけるデータの取得、コンポーネントの小型化技術の実証及び宇宙環境計測データの取得がなされ、主に以下のような成果を得ました。

- ・民生部品のデータ取得については、地上試験と宇宙環境の相関性を定量的に検証し地上試験の有効性が確認されました。
- ・コンポーネントの事前実証については、後続するプロジェクト(陸域観測技術衛星(ALOS)、技術試験衛星Ⅷ型(ETS-Ⅷ)、国際宇宙ステーション日本実験棟(JEM))のコンポーネントレベルでの軌道上事前実証ができました。
- ・宇宙環境計測については、新しい放射線帯モデル提案の目処が得られました。



図4 つばさ(MDS-1)

マイクロラブサット1号機(μ LabSat、質量 54kg、2002 年 12 月打上げ)

技術者の人材育成と設計・組み立て・試験技術の習得のため、開発や運用の各工程を JAXA 若手職員が自ら実施した小型衛星です。最新民生部品の活用という観点から、機器製作は JAXA の設計に基づいて、専門業者に依頼しています。高機能で低コストの小型衛星を効率よく製作するためのテストケースとなりました。

また、本衛星により主に以下の成果を得ました。

- ・50kg 級小型衛星バス技術蓄積のために、三重冗長系の搭載コンピュータによる集中制御や、高効率な電力制御技術、三軸姿勢制御実験等に成功しています。
- ・月周回衛星(SELENE)のリレー衛星用に開発した小型衛星用分離機構の実証を行いました。
- ・遠隔検査技術として、故障した衛星に見立てたターゲットをカメラに捉え、画像処理によって自動的にターゲットの位置を特定し、画面中央に衛星を制御する技術を実証しました。

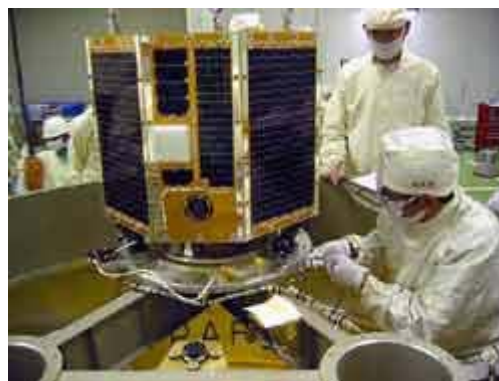


図5 マイクロラブサット1号機

小型実証衛星(SDS: Small Demonstration Satellite)プログラム

実利用衛星の信頼性を向上させる目的で、機器・部品からシステム技術に至るまで、新規技術を事前に宇宙で実証して技術成熟度を向上させることを狙いとして SDS プログラムを進めています。

小型実証衛星は大型衛星に比べて低コストかつ短い期間で開発できるため、様々な技術の軌道上実証・実験をタイムリーに進めることができます。また、システムの設計解析からインテグレーション、さらに、各種試験までを JAXA の研究者が中心となってインハウスで行っており、システムズエンジニアリングなど各種専門能力を短期間で経験できるために、若手技術者育成にも寄与しています。



図 6 SDS-1

SDS-1(質量約 100kg、2009 年 1 月打上げ)では、JAXA が開発した高速 MPU を用いた次世代ネットワーク型データ処理技術(スペースワイヤ)の実証や、小型軽量のマルチモード統合トランスポンダの実証、JAXA 開発部品による高性能計算機ボードの軌道上動作実験を行っています。

2.3 地球観測分野

地球観測分野では、高頻度・広範囲観測が可能となるような複数衛星から構成される衛星群のメリットを最大限に活用した上で、宇宙利用の推進を行うことを目指し、小型衛星群に適した地球観測ミッションの実現を検討しています。

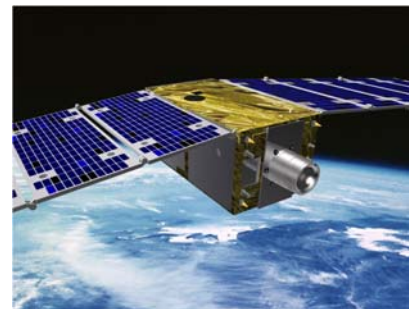


図 7 SLATS

JAXA では、従来実現できなかった超低高度(250km~180km)を継続的に飛行する超低高度衛星の技術実現性およびシステムコンセプトを早期に実証する小型衛星として、超低高度衛星技術試験機(SLATS:Super Low Altitude Test Satellite、質量 300kg 程度)の設計・開発に取り組んでいます。SLATS の成果を十分に活用し、将来的には超低高度域からの高分解能観測やライダーによる観測を実現する実用的な超低高度衛星を開発し、新たな利用ニーズに応えることを目指しています。

2.4 外部機関との衛星開発の連携

2.4.1 産学官連携

(1) SOHLA-1(まいど1号、質量約 50kg、2009 年 1 月打上げ)

JAXA は、研究開発成果を社会に還元することを通して、社会経済の発展に貢献することを目的とし、東大阪宇宙開発協同組合(SOHLA)に協力し、SOHLA の小型衛星開発に対して、JAXA が保有する小型衛星技術情報を開示し、技術支援を行いました。SOHLA は、より汎用性の高い小型衛星を開発して産業化を図り、地域の活性化を行うことを目的としています。

SOHLA-1 の開発にあたっては、大阪大学が雷観測

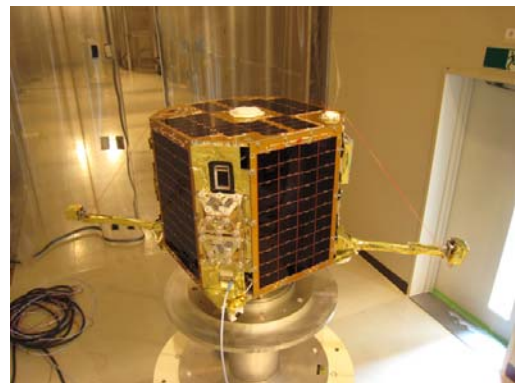


図 8 まいど 1 号(SOHLA-1)

の基礎実験機器を開発し、大阪府立大学と龍谷大学が JAXA の技術支援のもと、システム設計に参加しました。

(2) 打上機会の提供

小型衛星では、打上げ機会を確保することが非常に重要となります。大型衛星の場合、一つのロケットを占有することができるため、打上げ軌道及び打上げ時期の決定権は衛星側にありますが、小型衛星はほとんどの場合がロケットを購入することが難しく、複数機を同時に打上げるクラスター方式や、主衛星に相乗りするピギーバック方式での打上げとなり、打上げ時期及び軌道をユーザ側で指定することができません。また、国内においては、このような打上げ機会自体が限られていました。

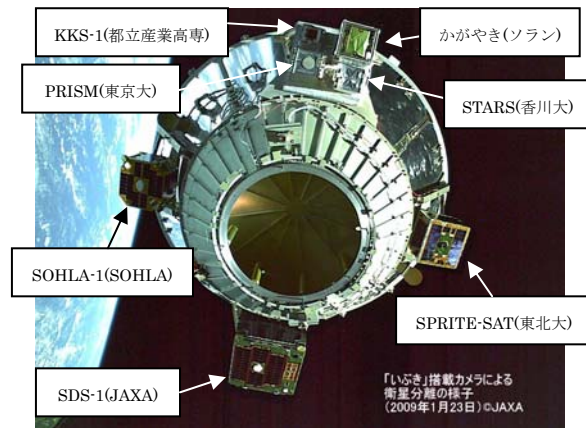


図9 GOSAT 相乗り副衛星

JAXA は、容易かつ迅速な小型衛星の打上げ・運用を実現するための仕組みを作り、我が国の宇宙開発利用の裾野を広げることを目的に、平成 20 年度以降の H-IIA ロケットの打上げ機会を利用して、広く民間企業・大学等に、1kg～50kg 程度の小型衛星の打上げ機会を提供しています。2009 年 1 月の温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)の打上げでは、上記 SDS-1 と SOHLA-1 に加え、東北大学、ソラン(株)、東京大学、香川大学、東京都立産業技術高等専門学校がそれぞれ開発した小型衛星6機を相乗り衛星として打上げています。JAXA は、打上げ機会の提供に加え、ロケットとのインタフェース及びシステム安全要求の調整、各種技術調整等、各小型副衛星の作業支援を行いました。

2.4.2 APRSAF(アジア太平洋地域宇宙機関会議)参加国との協力

(1) STAR (Satellite Technology for the Asia-Pacific Region) 計画

STAR 計画は、アジア太平洋地域宇宙機関会議 (APRSAF) において JAXA から提案した、アジア諸国の宇宙機関が実施する共同プロジェクトです。本計画の参加機関の若手技術者が JAXA 相模原キャンパスに集まり、STAR 計画チームとして以下の2つの衛星の開発を予定しています。

① EO-STAR (質量 300kg～500kg)

参加国における小型衛星による地球観測衛星のニーズ調査を行い、EO-STAR のミッション要求分析、ミッション定義、システム検討までのフェーズに取り組みます。EO-STAR 衛星バスのベースは前述の小型科学衛星バスであり、ミッションに適したシステム構成について検討します。

② Micro-STAR (質量 50kg～100kg)

Micro-STAR は、本計画参加機関にミッション提案を募り、ミッション選定、解析、設計を実施した上で、更に製作、試験、打上げ及び運用を行います。2009 年 6 月から本格的に検討を開始し、現在は概念設計段階にあり、STAR 計画参加宇宙機関のロケットの相乗り副衛星として、2012

年頃の打上げを目指します。

(2) アジア各国の小型衛星開発計画の支援

ベトナム VAST/STI において 2007 年度から取り組んでいる超小型衛星(1kg 級)の開発支援などを行ってきています。

2.4.3 経産省・NEDO との連携

2008 年より経済産業省・NEDO にて進められている小型衛星計画(先進的宇宙システム(ASNARO)、400kg 級)に対しては、日本の先端技術の強みを活用し、宇宙システム全体の高性能化、衛星の軽量化・小型化を進めるために、JAXA が有する基盤技術を提供しています。

3. 将来に向けた研究開発

JAXA では、将来の宇宙開発を見据え、継続的に研究開発活動を行っています。我が国の衛星基盤技術の国際競争力向上を図るために、衛星の大きさに関わらず、特に機器の小型軽量化の研究開発を進めています。

① 機器の小型化

コンポーネントの小型軽量化を図るために、電子回路の ASIC 化(Application Specific Integrated Circuit: 特定の用途向けに複数機能の回路を 1 つにまとめた集積回路)による機器の 1チップ化や、機器のソフトウェア化を目指した研究開発を進めています。これらの実現に加え、産業界で注目されている MEMS 技術(Micro Electro Mechanical Systems: 機械要素部品、センサ、アクチュエータ、電子回路等を一つのシリコン基板、ガラス基板、有機材料などの上に集積化したデバイス)の適用等により、部品の実装面積の縮小や、消費電力の減少、大量生産時のコスト低減などが見込まれ、将来の衛星の小型軽量化に大きく貢献できると考えられます。

② 小型衛星の編隊飛行による高機能観測の実現

一機の大型衛星による高性能・多機能観測にかわる、複数機の小型衛星による高機能・高性能観測の実現に向けた研究開発を進めています。フォーメーションフライト(編隊飛行)技術は複数の宇宙機が一定の形態を保って飛行する技術であり、衛星サイズという物理的制約を打破できる画期的な技術であり、長焦点距離の大型望遠鏡、超長基線干渉計を実現できる可能性があり、高機能な宇宙科学・宇宙利用ミッションの実現につながります。JAXA では、このような高精度な軌道制御・航法技術の研究開発を進めています。■