

## 産業界の技術動向

# 日本の宇宙開発と技術

宇宙航空研究開発機構（JAXA）

小澤 秀 司

## 1. はじめに

1955年のペンシルロケット打ち上げから始まった日本の宇宙開発はその後の50年間に世界トップクラスの技術を獲得するに至った。2008年には宇宙基本法が定められ、また2012年には宇宙開発体制の見直しが行われ内閣府に宇宙戦略室が設置されJAXA法も改正された。このように日本として更なる宇宙開発の推進が図られようとしている。

本稿では日本の宇宙開発のこれまでの歩みを概説するとともに、最近の宇宙航空研究開発機構（JAXA）における宇宙開発や宇宙技術の現状及び課題について述べる。

## 2. 日本の宇宙開発の歩み

1955年4月東京国分寺市において東京大学の糸川教授が長さ23cmのペンシルロケットを水平に発射しロケットの速度、スピン状態、飛翔経路のずれなど基本データを得る実験を行った。この実験が日本の宇宙開発の始まりとされている。その後カッパーロケットが開発されロケットによる科学観測が行なわれるようになった。さらに1964年には東京大学に宇宙航空研究所（ISAS）が設立され人工衛星打ち上げ計画が進められた。そして1970年2月日本初の人工衛星「おおすみ」の打ち上げに成功した。1981年にISASは文部省宇宙科学研究所（英文名はISAS）として改組され全国の大学の共同利用機関の役割を果たすようになった。固体燃料を用いたロケットの開発を進め、今までに33基の宇宙科学衛星／探査機を地球周回軌道や惑星間空間に打ち上げ、世界の宇宙科学をリードする数々の成果を上げてきた。

一方1964年に科学技術庁が放送・通信・気象などの実用を目指した宇宙開発を開始し、その実施機関として1969年に宇宙開発事業団（NASDA）が設立された。NASDAは当初自主技術によるロケットの開発を行い静止衛星の打ち上げを目指していたが、計画変更を行い米国の液体燃料を用いたロケット（ソーデルタ）の技術を導入したロケットの開発を行った。この結果、1975年にNASDA初の衛星（きく1号）の打ち上げ、1977年には日本初の静止衛星（きく2号）の打ち上げに成功した。

その後政府の行政改革の方針によってISASとNASDAに加えて航空宇宙技術研究所（NAL）の3機関が統合されることになり、2003年10月に新たに独立行政法人「宇宙航空研究開発機構」（英語名 Japan Aerospace Exploration Agency:JAXA）が発足した（図1参照）。発足直後の3か月間に地球観測衛星「みどりII」の機能停止、H-IIA6号機の打ち上げ失敗、火星探査機「のぞみ」の火星周回軌道投入失敗という3つの重大な失敗が起り、JAXAのみならず日本の宇宙開発全体に大きな影響を与えることとなった。

一連の失敗を受け、JAXAは失敗の根絶と信頼性の向上を図りミッションを確実に達成させるための取り組みを行い、社会からの信頼を回復すべく努力を継続した。

1955年 (S.30)	ペンシルロケットを水平発射	1997年 (H.9)	固体ロケット M-V 1号機打上げ
1964年 (S.39)	東大宇宙航空研究所 (ISAS) 発足	2001年 (H.13)	基幹ロケット H-IIA 1号機打上げ
1969年 (S.44)	宇宙開発事業団 (NASDA) 発足	2003年 (H.15)	3機関統合により、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 設立
1970年 (S.45)	我が国発の人工衛星「おおすみ」打上げ (世界で4番目)	2008年 (H.20)	宇宙基本法成立、宇宙開発戦略本部発足
1975年 (S.50)	N-1ロケット1号機打上げ (NASDA)	2009年 (H.21)	我が国初の有人実験施設「きぼう」日本実験棟完成 国際宇宙ステーションでの日本人宇宙飛行士による長期滞在開始
1977年 (S.52)	我が国発の静止衛星「きく2号」打上げ (世界で3番目)	2012年 (H.24)	内閣府宇宙戦略室発足
1994年 (H.6)	純国産液体ロケット H-II 1号機打上げ		

図 1. 日本の宇宙開発の歴史

### 3. JAXA における宇宙開発

2005 年以降 JAXA はロケットの打ち上げに 21 回連続して成功し、打ち上げられた JAXA 衛星も 20 基に達し (2012 年 12 月時点) 社会からの信頼を回復しその使命を果たしていると言える。またこれらの衛星を活用して、温暖化・気候変動等の地球環境の観測、災害発生時の被災地域の監視、測位サービスの提供など実用的な分野での利用に加えて宇宙科学研究や惑星探査の推進を行っている。また国際宇宙ステーション (ISS) 計画に参加し実験モジュール「きぼう」で宇宙環境を利用した材料実験や生物実験を行っている。日本人宇宙飛行士の育成にも力を入れており 8 人の宇宙飛行士が NASA のスペースシャトル搭乗や ISS での滞在機会を得ている。

最近の JAXA の計画・成果について以下に述べる (図 2 参照)。

#### ア) 地球観測分野

2008 年に地球温暖化の原因となる「温室効果ガス」の濃度分布を観測し、温室効果ガスの排出量削減に貢献することを目的とした「いぶき (GOSAT)」が、また 2012 年 5 月には高性能マイクロ波放射計 2 (AMSR2) により降水量、水蒸気量、海洋上の風速や水温、陸域の水分量、積雪深度などを観測し地球の水循環変動の把握に貢献する「しずく (GCOM-W1)」が打ち上げられた。2011 年の 3 月の東日本大震災時には「だいち (ALOS)」が活躍し被災地情報の収集に貢献した。「だいち」は既に運用を停止しているが 2013 年の打ち上げを目指して後継機 (ALOS-2) の開発が行われている。

#### イ) 測位分野

「準天頂軌道」という特殊な軌道に測位衛星「みちびき」が 2010 年に打ち上げられ運用されている。これは政府が構築しようとしている準天頂衛星システムの第 1 号機で、このシステムは当面 4 基の衛星で構成される。完成すれば米国の GPS と互換性のある高精度な測位情報が提供される。

#### ウ) 宇宙科学・惑星探査分野

2010 年 6 月に小惑星「イトカワ」から微粒子を採集した探査機「はやぶさ」が無事オーストラリアに帰還し世界中の人々に感動を与えた。2010 年に金星探査機「あかつき」は金星周回軌道投入に失敗したが、2015 年に予定されている再投入を目指して飛行中である。2006 年に打ち上げられた「ひので (SOLAR-B)」は太陽観測を継続し太陽コロナの解明に貢献している。欧州と共同で水星探査を行う「ベピコロンボ」計画に向けて水星磁気圏を観測する衛星を開発中である。

## エ) ISS 計画

ISS は、地上約 400km 上空に建設された、人類史上最大の有人宇宙施設で、その大きさは約 108.5m × 72.8m とサッカー場とほぼ同じ大きさであり、質量は約 420 トンになる。JAXA は実験モジュール「きぼう」を ISS に取り付け微小重力環境や宇宙放射線を利用した実験を行っている。この結果、新薬の開発に繋がる「たんぱく質結晶の生成」など貴重な成果が出ている。日本人宇宙飛行士も ISS に 4 度長期滞在し最近では 2012 年 7 月から 11 月にかけて星出飛行士が約 4 か月間 ISS に滞在した。宇宙ステーション補給機「こうのとり (HTV)」も既に 3 度の物資補給を順調に行っている。

## オ) ロケット開発

JAXA は高性能化と低コスト化を目指した次期固体ロケット「イプシロンロケット」の開発を行っている。1 段目に H-IIA の補助ロケットを、2, 3 段目には ISAS の開発した M-V ロケットの上段モーターの改良型を用いており、2013 年の初飛行を目指している。




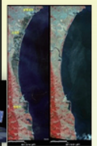




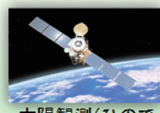
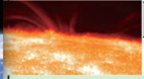

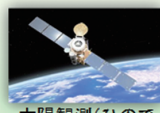

2008年度 (平成20年度)	2009年度 (平成21年度)	2010年度 (平成22年度)	2011年度 (平成23年度)	2012年度 (平成24年度)
 <p>▽ 温室効果ガス観測 (いぶき、GOSAT) 打上げ</p>	 <p>日本実験棟「きぼう」 完成</p>	 <p>△ 測位(準天頂衛星、 みちびき)打上げ</p>	 <p>だいち (ALOS) 画像の活用</p>	 <p>△ 降水・水蒸気観測 (しずく、GCOM-W1) (5/18 打上げ)</p>
 <p>月探査 (かぐや、SELENE)</p>	 <p>△ H-II B1号機、こうのとり 技術実証機 打上げ</p>	 <p>小惑星探査機(はやぶさ) 帰還</p>	 <p>太陽観測(ひので、SOLAR-B)</p>	
		 <p>△ 金星探査機(あかつき) 小型ソーラー電力セイル実 証機 (IKAROS) 打上げ</p>	 <p>△ HTV2号機 打上げ</p>	 <p>△ HTV3号機 (7/21 打上げ)</p>

図 2. 最近の JAXA の成果

## 4. 宇宙開発に必要な技術

## 1) 宇宙開発に必要なシステムと技術

宇宙開発の目的は、宇宙機を打ち上げそれに搭載された機器が目的に応じた観測を行い地上にデータを送信し、さらにそのデータが処理・加工され地上の事業者や研究者等に利用されて初めて達成される。そのために必要なシステムは次のように分類される。

- ① ロケットや打ち上げのための射場等の宇宙輸送システム
- ② 地球観測衛星、科学観測衛星、宇宙ステーションなどの宇宙機システム
- ③ 追跡管制やデータ処理のための地上システム

図3に宇宙に必要なシステムを例示する。

これらのシステムを開発、運用・利用するために材料からシステム技術まで広い分野の技術が必要となる（図4参照）。

特にロケットにとってはエンジン技術が重要な技術となる。H-IIA ロケットのエンジンは液体酸素と液体水素を使ったもので世界でもトップクラスの性能を有している。打ち上げ成功率も95%を超え欧米やロシア・中国と肩を並べ世界のトップクラスにある。世界で初めて小惑星からの物資回収を成し遂げた「はやぶさ」のイオンエンジンは4万時間と世界最長の稼働を実現した。宇宙科学の分野ではX線や赤外線を用いた観測技術で世界的な成果を挙げている。地球観測衛星の分野ではL帯の周波数を用いた合成開口レーダーや降雨レーダー、温室効果ガス観測センサー、マイクロ波放射計など世界最先端のセンサーが開発されている。このようにペンシルロケットから始まった日本の宇宙開発は世界の宇宙先



図3. 宇宙開発に必要なシステム

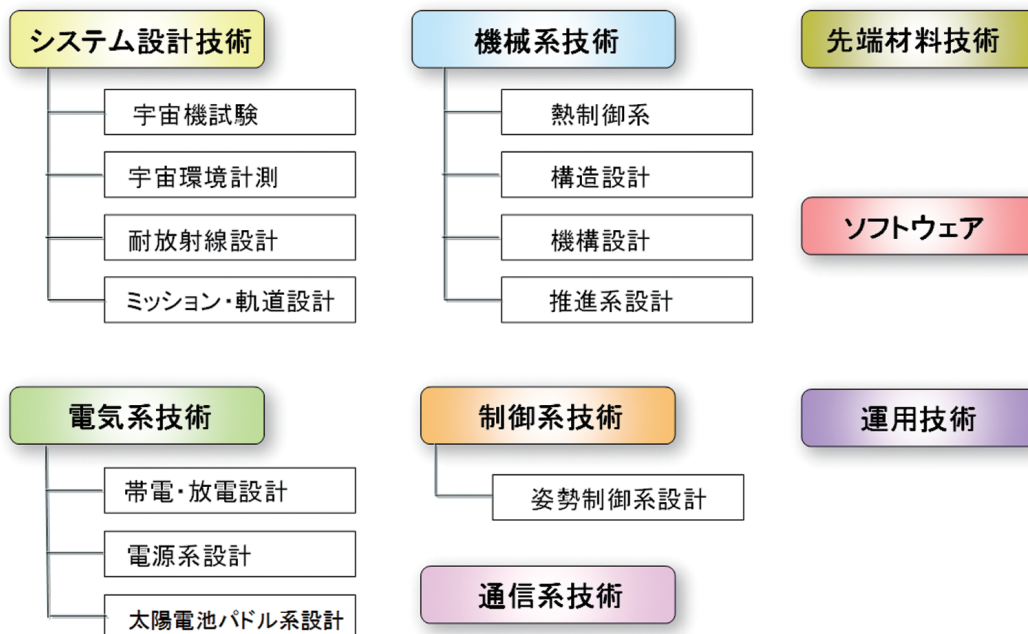


図4. 宇宙技術の構成

進国の一員としての地位を確保しそれにふさわしい高い技術力を持つに至った（図5参照）。

## 2) 宇宙技術の特徴（図6参照）

宇宙システムは一般のシステムと異なり、少数生産品であり軌道上での故障の修理が難しく原因究明すらできないケースもある。ロケットの打ち上げ途中での故障や衛星の軌道上での不具合はそのミッションの成否に大きく影響し、社会的に大きなインパクトを与えることもある。一旦このような事態を招くと原因究明と対策の検討に長い時間が必要となり計画の大幅な遅延を招くことになる。そのため宇宙システムの開発にあたってはシステムの信頼性が重要視される。

信頼性を確保するためには、日頃から信頼性向上のための取り組みを継続して行っていく必要がある。最大限の冗長性の確保や不具合発生時の最低限のミッションの確保など、徹底した信頼性設計の実施や打ち上げ前の地上試験の充実などに加えて、開発時や軌道上での不具合データの蓄積、設計基準の整備やこれらの情報のJAXA・企業の関係者間での共有などが行われている。



図5. 日本の代表的な宇宙技術

- 少数(一品)生産である。
- 故障しても修理できない。
- 原因究明が困難。
- 信頼性向上が重要。

プロジェクトマネジメント、システムエンジニアリング  
信頼性管理、安全管理技術も重要

図6. 宇宙技術の特徴

またシステム開発のマネジメントも高信頼性システムの実現には不可欠な要素である。JAXAにおいて宇宙システムの開発はプロジェクトとして実施されているが、その実施にあたって次のような基本事項に基づく詳細なプロジェクトの実施要領を作成して開発を行っている。

- ① プロジェクトに関する要求事項を定めること
- ② 明確で達成可能な目標を定めること
- ③ リスクに対応しつつ、スコープ・スケジュール・リソース（人と資金）等を調和させること
- ④ 関係者間での調整を行い、仕様、計画及び進め方を適応させること

プロジェクトの実施に当たっては段階的に進める方法（PPP：Phased Project Planning）を採用しているが本格的なプロジェクトの開始に先立ちプリプロジェクトと呼ばれるフロントローディング段階を設け、技術的なリスクの低減を図るとともに費用の見積もり精度を挙げている。

このように大規模で複雑な宇宙システムの開発においては信頼性管理技術に加えてプロジェクト管理やシステムエンジニアリングも重要な技術である。

### 3) 宇宙技術の課題及び展望

#### ア) 有人宇宙技術

ペンシルロケットから半世紀を経て日本は世界でもトップクラスの宇宙技術を獲得したと言えるが、これは無人宇宙開発の分野であって有人宇宙開発の分野では米国、ロシアや中国に遅れをとっている。日本は米国のスペースシャトル計画や国際宇宙ステーション計画に参加し有人宇宙技術の開発に努めてきたが未だ独自の有人宇宙開発を実施できる技術を有してはいない。本格的な有人宇宙開発に日本が取り組むのであればロケットの有人化、有人宇宙船、回収システム、宇宙服、空気・水再生システムなどが必要となりこれらの技術開発が課題である。また最近では米国の呼びかけで月や火星の有人探査を視野に入れた国際宇宙探査の検討が行われており14の宇宙機関が参加している。日本としての将来の月や火星の探査について明確な計画はないが、JAXAはこの国際検討に参加している。有人月探査などのためには月面の環境を考慮した滞在技術や月面着陸、月面探査車などの技術開発も進める必要がある。

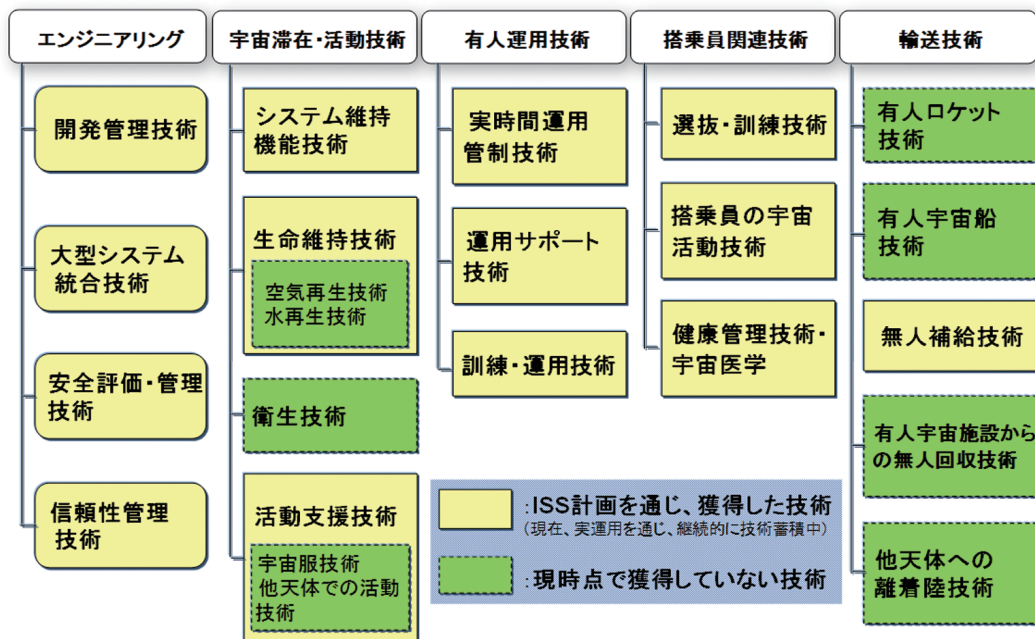


図7. 有人宇宙技術 – ISS計画を通じた技術開発–

### イ) 宇宙技術の国際競争力

米国の会社の2012年のある調査によると世界の宇宙開発のランキングにおいて日本は米国、欧州、ロシア、中国について第5位となっている。しかし日本のロケットによる海外衛星の商業打ち上げは1基にとどまり、日本の衛星メーカーが受注した海外衛星は3基である。国内の衛星通信企業が保有する衛星21基のうち国産衛星は僅か1基で残りは米国製となっている。このように日本のロケットや衛星企業はほぼ全て官需によって成り立っていると言える。民需や海外需要拡大が求められている中、世界を見ると米国では民間企業によって低コストのロケットが開発され商業打ち上げサービスが開始されており、商業衛星分野においては小型で高性能な地球観測衛星の需要が増え、通信衛星は大型化、長寿命化が進んでいる。このような状況においては日本として国際競争力強化のために宇宙システムの更なる低コスト化、高信頼性化、高性能化を目指した技術開発が必要となる。長期的には故障フリーな自律型衛星システムやエネルギー問題への貢献が期待されている宇宙太陽光発電システムなどの世界を先導する技術開発を促進し国際競争力を強化する戦略が必要である。

### ウ) 更なる高信頼性を求めて

宇宙システムの開発にあたっては繰り返し試験を行い問題点を洗い出すことによって信頼性を高めていく方法が従来からとられている。エンジン開発の場合、試験用の供試体をその度ごとに製作し試験を行う必要があり、莫大な費用がかかると同時に開発期間も長くなっている。このためJAXAでは、従来型の試験に加えてエンジン開発にスーパーコンピュータによる数値シミュレーションを導入し数値解析による性能解析やエンジントラブルによる危険予測などを行い、エンジンのより一層の高性能化や信頼性の向上を図っている。JAXAのロケットエンジン数値解析技術は高精度でエンジン全体を解析できる技術で世界に類を見ないものである(図8参照)。

このように、ロケットや衛星の設計プロセスにシミュレーションやデジタルモデルによる設計検証を行うなど情報技術を取り入れることにより高信頼性の確保を図っている。宇宙システムのソフトウェア開発に際しては高信頼性ソフトウェアを目指しその開発プロセスの改善を図るとともにIV&V(Independent Verification & Validation)と呼ばれる評価技術を開発し導入している。

## — 世界初の高精度解析 —



図8. ロケットエンジン数値シミュレーション

## 5. おわりに

宇宙基本法の成立さらには2012年夏に宇宙開発体制の見直しが行われ、日本の宇宙開発は新しい時代を迎えた。世界的には中国やインドの台頭、民間での商業ベースでの宇宙開発の活発化など、日本の宇宙開発を取り巻く環境も大きく変化しようとしている。また国内の財政事情を考えるに多額の資金を要する宇宙開発にとっては厳しい時代になっている。このような状況下において日本の宇宙開発の更なる「自律性の確保」や「宇宙利用の拡大」を図るためにはJAXAのみならず政府、産業界、大学が一体となって、目標の達成に向けた適切な計画設定、計画実現のための技術開発を効率良く行っていく必要がある。