

## 基幹ロケットの開発に関する JAXAの取組について

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構  
理事（第一宇宙技術部門長）  
布野 泰広

JAXAの第一宇宙技術部門は宇宙輸送システムの構築、人工衛星の開発や運用・利用を通じて、豊かな国民生活の実現に貢献することを事業の目的としています。

このたびは日本航空宇宙工業会殿より貴重な機会をいただきましたので基幹ロケットの開発に関するJAXAの取組についてご紹介させていただきます。

まず、「基幹ロケット」とは何かについてご説明いたします。

我が国の宇宙政策をめぐる環境として、民生・安全保障の両面で宇宙空間の利用が果たす役割がますます大きくなってきている中、我が国にとって自前で宇宙活動できる能力を保持すること（自立性の確保）が重要です。

このため、安全保障を中心とする政府のミッションを達成するため、国内に保持し輸送システムの自立性を確保する上で不可欠な輸送システムが「基幹ロケット」と定められています。

そして、宇宙開発利用について政府が取り組むべき一連の政策を具体的かつ体系的に示している「宇宙基本計画（平成28年4月1日閣議決定）」では、液体燃料のH-II Aロケット、H-II Bロケット（以下、「H-II A/Bロケット」。）及びH3ロケット並びに固体燃料のイプシロンロケットが我が国の基幹ロケットに位置づけられ、双方の産業基盤を確実に維持することとされています。

政府全体の宇宙開発利用を技術で支える中核の実施機関として位置づけられているJAXAは、この政策的要望を踏まえ、基幹ロケットに関する研究開発に取り組んでいます。

### 「H3ロケット」

現在運用中のH-II A/Bロケットは、打上げ成功率が「97.4%」、オンタイム成功率（過去5年間（平成24年度～28年度）の打上げにおいて定められた日時に打上げられた割合（天候など外部要因による延期を除く））が100%であり、世界最高水準の信頼性を誇るロケットです。現在このH-II A/Bロケットにより、三菱重工業(株)殿が打上げ輸送サービスを提供しておりますが、政府衛星だけではなく、これまで4機の海外衛星を受注した実績もある等、現在の我が国の主力ロケットです。

一方、現在のH-II A/Bロケットの能力及び価格では、衛星の大型化に伴う打上げ能力

不足や、新たなロケットの開発による打上げ輸送サービス市場への参入の動きの活発化に伴う国際的な価格競争が激化する中での競争力の低下等により、持続的に宇宙活動の自立性を確保することが困難になる危機的な状況となることが懸念されます。このため、平成25年5月、政府において、「我が国の自立的な打上げ能力の強化」及び「打上げサービスの国際競争力強化」に資するようなロケットの開発着手が決定されました。

この開発着手に至る背景を踏まえ、JAXAはH3ロケットを開発するにあたり、まず衛星市場動向の長期予測分析や海外競合ロケットの分析（Falcon9やAriane6等）やH-IIA/Bロケットとの比較等を行いました。

この結果、将来の静止衛星需要は3トン～6トン級まで幅広いレンジにばらつくことや、現行のH-IIA/Bは高い信頼性が国際市場でも注目を集めつつあるものの、価格面や打上げの柔軟性に難があるとのことがわかりました。

これに基づき、H3ロケットは利用者の声を実現することを第一に考えたロケットとして、信頼性と価格の両面で世界トップクラスであることはもちろん、打上げスケジュールの柔軟性などのサービス面にも力点を置いたロケットとなるように、打上げ能力や打上げコスト・維持コスト等の「ミッション要求」及び契約から打上げにかかる期間や打上げ間隔等の「運用要求」を設定しました。また、これに加えて飛行安全やデブリ対策等の「安全要求」も踏まえ、ロケットシステム、地上施設設備システム、打上安全監視システムからなるロケットの総合システムを構築しました。

また、今回のH3ロケットの開発がこれま

でのJAXAのロケット開発と大きく異なるポイントとして、商業打上げ市場で競争力のあるシステムとするために、プロジェクト全体を通じて民間事業者である三菱重工(株)殿にプライム企業として主体的に参画いただき、JAXAと役割分担をしながら開発を進めている点があげられます。

H3ロケットの特長としては、まず、打上げ輸送サービス市場におけるもっとも重要な特性であるロケットの信頼性について、現行のH-IIA/Bロケットの高い信頼性、オンタイム打上げ成功率を継承します。現在のH-IIA/Bロケットの成功率及びオンタイム打上げ成功率の競合ロケットとの比較は以下の図の通りであり、引き続きこの水準を達成することで打上げ輸送サービス市場において信頼性で大きな評価を獲得するように開発を進めています。

ロケット	オンタイム 打上げ回数※	オンタイム率 (%)
アトラスV	32/41	78%
デルタIV	11/16	69%
アリアン5	25/30	83%
ファルコン9	16/30	53%
平均		72%
H-II A/B	17/17	100%

※過去5年間（平成24年度～28年度）のデータ、天候による延期は除く

※アリアン5は現運用形態（ECA、ES）にて算定

次に価格に関しては、開発の初期段階からH-IIA/Bロケットの経験に基づき、設計・製造・運用のあらゆる面を見直し、コスト半減を目指しています。主なポイントは以下の3点になります。

①システム構成の簡素化（エンジン燃焼サイクルを二段燃焼サイクルからエキスパンダ

- ブリードサイクルへ変更等)
- ②低コストの製造・運用コンセプトを設計段階で作りこみ（機体のモジュール化による、複数の機体形態の流れ生産（ライン化）等）
  - ③民生技術の活用（民生部品（自動車用の電子部品等）の積極的な使用）

現在のH-IIA/Bロケットは信頼性は高いものの、価格面や打上げの柔軟性に難があると言われており、特に信頼性向上のための追加作業や部品枯渇に対応するための追加開発等の運用段階を見通した価格設定が出来ていなかったという面があります。このため、H3ロケットでは、H-IIA/Bロケットの運用実績からこれまでの価格上昇の要素に対してあらかじめ策を講じることで、コスト上昇を抑制することを狙っています。

打上げの柔軟性については、複数の機体形態を準備し、利用用途にあった価格・能力のロケットを提供します。また、受注から打上げまでの期間短縮によるサービスの迅速化や、年間の打上げ可能機数を増やすことで、「迅速に、かつ打上げたい時期に打上げたい」という利用者の声に応えます。そのために、ロケット組み立て工程や、衛星のロケット搭載などの射場整備期間をH-IIAロケット（最短実績で52日）から半分以下に短縮します。これにより、顧客に最適な能力のロケットを顧客が望む時期に打上げられるようにすることを目指します。

これらの「高信頼性」・「低価格」・「柔軟性」の3つの特長による総合力によって、打上げ輸送サービス市場において国際競争力を確保することを目指しています。

現在は国際的に官民間問わず多くのロケットが開発されており、この環境の中で国際競争

力を確保することは容易なことではありません。しかしながら、打上げ輸送サービス市場において国際競争力を獲得することは、ロケットの打上げ機数の確保、ひいては宇宙産業基盤の維持、我が国の自立性の確保にもつながるため、プライムコントラクターである三菱重工㈱殿と連携してこの達成に全力で取り組んで参ります。

現在の開発の進捗状況としては、当初予定の通りに詳細設計を進めているところであり、H3ロケット用として新規に開発をしているLE-9エンジンについて、初めてのエンジンシステムとしての試験となる実機型燃焼試験を種子島で現在実施しています。2020年度の試験機1号、2021年度の試験機2号機の打上げに向けて、これからも着実に開発を進めて参ります。

### 「イプシロンロケット」

技術開発の進展により、小型衛星の能力は向上し続けており、宇宙科学・探査や地球観測等幅広い分野で活用されています。特に、小型衛星を取り巻く近年の動向として、宇宙分野以外で事業を実施していた者による宇宙分野への参入や、宇宙資源の獲得等、宇宙を利用した新事業、新サービスを創出する動きがみられており、これにより小型衛星の需要は更に増大するとともに多様化することが見込まれています。

イプシロンロケットは我が国が独自に開発・発展させてきた固体燃料ロケットの技術を引き継ぐロケットです。固体燃料ロケットは液体燃料ロケットと比べて、打上げ状態で待機が可能である「即応性」や、構造が単純で、開発費、期間が相対的に安価で短い「機動性」に優れています。

「安価・高頻度・タイムリーな開発・運用」を特徴とする小型衛星の打上げ手段には、小型固体燃料ロケットによる打上げが最適です。

イプシロンロケットは、この固体燃料ロケットの特長を生かすとともに、更に進化させて、宇宙への敷居を下げ、これまで宇宙開発・宇宙利用ができなかった人や産業が積極的に宇宙を使えるようなロケットとなることを狙いとしています。

このため、イプシロンロケットでは、運用・設備・機体の3点セットからなる打上げシステム全体を改革（コンパクト化）するとともに機体、ユーザにとっての利便性（乗り心地と軌道投入精度）に対応する開発を進めています。

イプシロンロケット試験機では、まずロケットの組立・点検などの運用を効率化することにより、ロケットの打上げ管制をできるだけシンプルにすることに取り組みました。例えば、機体の自動点検を実施することで、点検時間の短縮・オペレータ人員の削減、人為ミス排除に伴う信頼性向上等を達成しました。競合する小型ロケットと運用性を比較した表は以下の通りであり、イプシロンロケットは世界最高水準の運用性を有しています。

ロケット	衛星最終アクセスから打上げまで（時間）	1段射座据付から打上げ翌日まで（日）
イプシロンロケット	3時間	9日
M-V	9時間	42日
Taurus	24時間	22日
Minotaur	24時間	16日
Vega	24時間	不明

試験機では、上記の通りロケットの運用の

改革を実現しましたが、技術基盤維持のためにM-V退役後の固体燃料ロケットの空白期間を短くすることや当面の小型衛星の打上げ需要に応えるために、H-IIAロケット及びM-Vの既存コンポーネントを活用することによる短期間・低コストでの開発を行いました。このため、ロケットの運用はコンパクト化されたものの、小型衛星の打上げ需要に対応しきれない状態にありました。これを改善すべく機体の改良開発に取り組んでいるのが「強化型開発」です。

強化型開発の大きな目的は、より多くの小型衛星の需要に応えられるように打上げ能力を向上（試験機に比べて30%向上）させることと、搭載可能な衛星サイズを拡大（衛星包絡域の拡大）することです。

このため、試験機では衛星フェアリングの中に収納されていた2段モータを大型化してフェアリングの外に出すことによって、推進薬量を約1.4倍に増加させることが可能となり、打上げ能力を向上させました。また、これに合わせてフェアリングについても最適化開発を行いました。

また、多くの小型衛星の打上げ需要を獲得するためには、衛星にやさしい環境を提供することも重要です。

イプシロンロケットは音響、振動について世界トップレベルに人工衛星にやさしい環境であることを2号機までに実証しました。これに加えて3号機では、繊細な機器を上げられるように衛星分離の際の衝撃を緩和するため火工品を使用しない低衝撃衛星分離機構を実証し、衝撃についても世界トップレベルを目指します。

更に3号機は、衛星の軌道投入の精度を向上させるため最終段に液体エンジンのPBS

(ポストブーストステージ) を搭載したオプション形態 (2号機はPBSなしの基本形態) としての実証も実施する等、より顧客のニーズに対応するロケットとして開発を進めて参ります。

そして、強化型開発のその先には、上記の通り別途開発を進めているH3ロケットとのシナジー効果を発揮するための開発や超小型衛星の打上げ需要の伸長傾向と相乗効果を得るべく、超小型衛星を活用した基幹的部品や新規要素技術の軌道上実証を適時かつ安価に提供する革新的衛星技術実証プログラムに対応するための開発として、超小型衛星やcubesatとの相乗り機能を付加する開発を進めて参ります。

なお、基幹ロケットの超小型衛星の打上げ需要への対応という観点としては、H3ロケットにおいても余剰能力を活用した打上げ機会提供に関する可能性の検討を実施しています。

加えて、更なる競争力向上 (低コスト化、性能向上) に向けた研究も進めており、戦略的技術として重要な固体燃料ロケットのイプシロンロケットについても、国際競争力を確保し、我が国の基幹ロケットとして産業基盤を確実に維持するようにして参ります。

#### 「最後に」

これまでご説明してきましたH3ロケットとイプシロンロケットの開発により、我が国としては小型衛星から大型衛星までを自立的に打上げられるロケットのラインナップが揃うとともに、国際的な競争力確保に向けた土台が整備されることとなります。

JAXAは、これからも宇宙産業の活性化、宇宙開発利用のすそ野の拡大に向けて研究開発を進めて参りますのでご理解、ご支援のほど何卒よろしく願いいたします。