

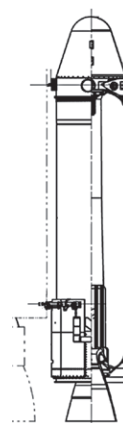
進化する固体ロケットブースタ

H3/ イプシロン S ロケットで目指す 「低価格、柔軟性、高信頼性」一翼を担う固体ブースタ 『SRB-3』

商業衛星市場における日本の宇宙輸送産業のプレゼンス向上を目指し開発中の H3 ロケットとイプシロン S ロケット。株式会社 IHI エアロスペースでは、H3 ロケット用固体ロケットブースタ兼イプシロン S ロケットの 1 段モータとなる SRB-3 を開発した。取り組んだ技術開発と今後の展望について紹介する。



射点にて総合システム試験中の H3 ロケット ©JAXA



SRB-3 概要

H3 ロケットで宇宙輸送をリード

H3 ロケットは、現在の日本の基幹ロケットである H-Ⅱ A/B ロケットの後継機として開発が進められている。H-Ⅱ A/B ロケットで築き上げた高い信頼性を継承しつつ、打上げ費用は大幅に低減、利便性を向上させることで、2020 年代以降の商業衛星市場・宇宙輸送業界をリードすることを狙いとしている。H3 ロケットの開発コンセプトは「低価格、柔軟性、高信頼性」である。

株式会社 IHI エアロスペース (IA) では、H-Ⅱ A ロケット用の固体ロケットブースタ (SRB-A) の後継機となる H3 ロケット用の固体ロケットブースタ (SRB-3) を国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の下、開発している。SRB-3 では開発コンセプトにのっとり、以下を開発目標として取り組んだ。

【低価格】

商業衛星市場で魅力ある価格実現のため、SRB-3 に搭載する機能部品を最少化する。また、材料 / 製造を見直しコスト低減を図る。

【柔軟性】

打上げ機会の拡大を狙い、打上げ間隔を現状の約 2 か月から 1 か月へ短縮を図る。この実現に向け SRB-3 ではコア機体との結合作業の簡素化および点検作業を削減する。

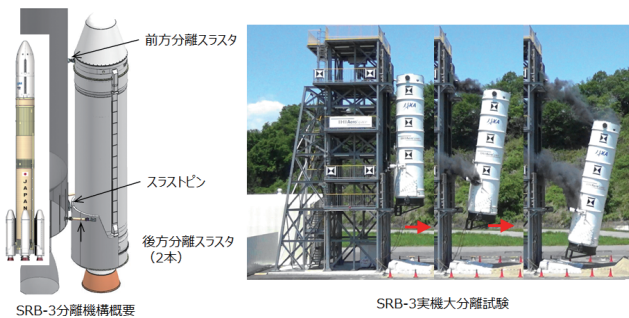
【高信頼性】

1 ショット品である固体ロケットでは、現行機の高い信頼性を継承するため、従来培ってきた設計・製造のヘリテージを踏襲しつつ、解析の高度化を図る。

これらの目標達成に向け、次に示す開発に取り組んだ。

(1) 結合分離システムの革新

- ・ コア機体と SRB-3 の結合点最少化による整備期間の短縮



SRB-3 分離方式概要

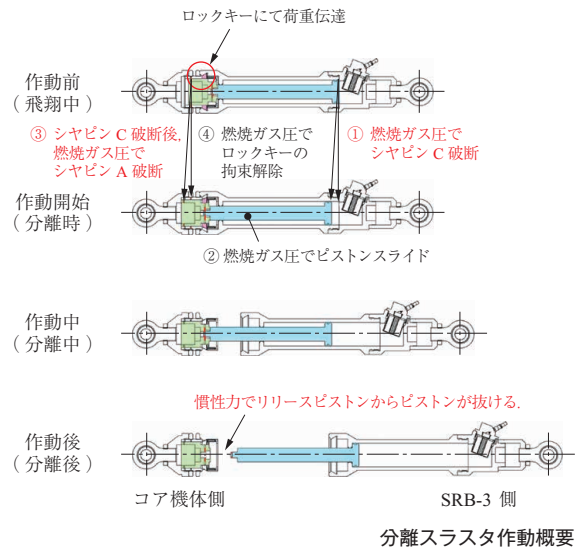
- ・ 分離デバイスを機能統合し機能部品を削減
- (2) モータケースの国産化開発
 - ・ 運用要求に対応した国産モータケース開発
 - ・ 国産材料開発による調達自由度の向上
- (3) 高信頼性を維持した固体ロケットの低コスト化
 - ・ SRB-A ノズル設計のヘリテージ踏襲
 - ・ 材料開発・製造性向上による低コスト開発
 - ・ 燃焼性能解析手法の高度化
- (4) 射場整備期間の半減
 - ・ 機体へのハンドリング機能統合による運用性向上
 - ・ 点火系安全装置 (SAD) の点検機能内蔵化

結合分離システムの革新

H-II A 用 SRB-A の分離方式は、SRB-A の両サイドに位置するスラストストラットと呼ばれる長い棒状の構造機構により棒高跳びの要領でコア機体から分離する。本方式は、主推力荷重を SRB-A 両サイドに分散して荷重伝達するため、構造強度上有利である。一方で、結合点が多くコア機体との結合解除および分離力を得る分離モータなど計 8 点の分離用機能部品が必要になりコスト高の要因となっている。

そこで、SRB-3 では分離スラストと呼ばれるガスアクチュエータを用いて、コア機体から押し離れて分離する方式へ変更した。本方式では結合点を削減でき、数が少なくなった分作業が減り、射場でのコア機体と SRB-3 の結合に必要な整備期間を短縮できる。また、作動概要図に示すとおり、結合解除と分離の機能統合を可能にし、分離用機能部品を 3 点へと大幅に削減できる。

本方式の推進薬量 65 t 級のブースタでの採用実績はなく、世界的にも最大級のものである。本分離スラ

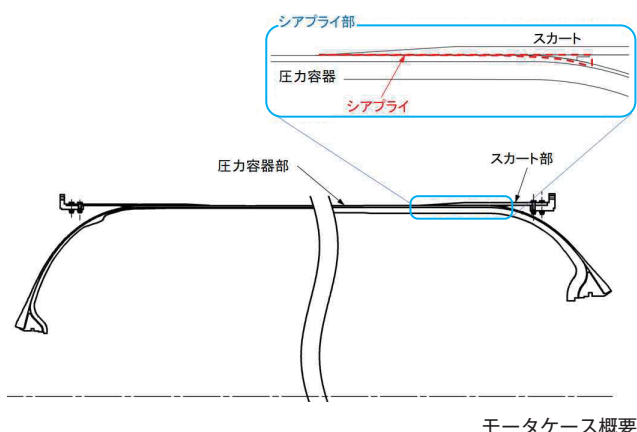


スタは 9.3 t の機体を 0.2 s で約 4 m/s に加速する大きなエネルギーが要求される。一方で、コア機体を受ける反力の荷重を小さく抑える必要があり、瞬時に発生させた燃焼ガスを断熱膨張させる方式は荷重が過大となり採用できない。そこで、推進薬を用い燃焼ガス発生量を調整可能なガスジェネレータを開発した。そして、推進薬は分離スラスト機構部への熱負荷を抑える燃焼ガス温度が低いものを選定した。さらに、^{ぎそう} 艤装作業を考慮しコンパクトなサイズとするため、燃焼面積を最大化できるデンドライド型（樹枝型）推進薬形状とした。また、飛翔中の環境で約 30 kN の横力を受けた状態においても分離スラストのピストンが正常にしゅう動する機能も必要となる。本要求に対しては、IA が得意とする火工品技術を応用し、低摩擦な軸受と作動時に生じるシール部の隙間へ追従するシール材およびシール部形状を開発した。これらの技術を組み合わせ完成した分離スラストを用いて、SRB-3 全体での分離システムを実機大分離試験にて検証し確かなものとした。

モータケースの国産化開発

モータケースは、推進薬の燃焼圧力と機体軸方向の推力荷重を保持する。IA では、炭素繊維複合材 (CFRP) のフィラメントワインディング (FW) 方式により軽量で一体成型で製造する技術を有している。

SRB-A は海外からの技術導入開発であり、既存モータの活用であったことからケースへの荷重条件に



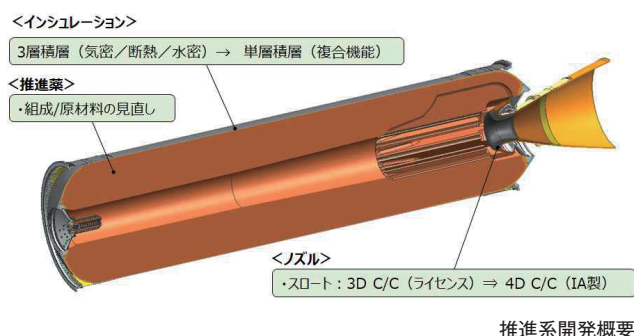
モータケース概要

は制約があった。SRB-3 ではモータケースを国産化し新規開発することで、荷重条件の制約を取り払い、運用性を大幅に向上させることを実現している。前項で示した分離システムを適用するには、モータケース概要図に示すモータケース後端で荷重を伝達するスカートと、その荷重を圧力容器に伝達するシアプライと呼ぶゴムの接手強度を倍増させることが技術課題であった。シアプライは内圧荷重によって生じる圧力容器のひずみを吸収しつつ、機軸方向に流れる推力荷重を伝達するものであり、モータケース設計の肝となる技術である。本接手強度を増大するため、IA 独自の国産シアプライゴムの材料開発および接手部の設計・製造技術を確立して、SRB-A に対して 2.4 倍の接手強度を実現した。そして、シアプライだけでなく圧力容器など CFRP 材をはじめ全ての材料系を国産材料に置き換え、材料の調達自由度を向上しコスト低減を可能にした。

高信頼性を維持した固体ロケットの低コスト化

SRB-A では高い燃焼圧力 (11.8 MPa) により、高い比推力を得ている。一方で、高圧燃焼では熱負荷が大きく、H-II A 6 号機はノズル部に局所的なエロージョンが生じて事故に至った。本事象を解決するため、ノズルの内面形状の改良を重ね、高い信頼性を有する高圧燃焼モータの設計・製造技術を IA は獲得した。SRB-3 では、高信頼性を維持するため、SRB-A 開発で培った技術を継承し、局所エロージョンを生じさせないことを優先し開発した。

推進系開発においては、これらのノズル形状などの制約があるなかでも推進系部材の材料を刷新し、製造



推進系開発概要

工程を簡略化することで、高い信頼性を維持しつつ、競争力を向上させるコスト低減に取り組んだ。

(1) 推進薬組成と原材料の見直し

従来専用設備が必要だった原材料の一部を汎用設備で製造できるように工程を改善した。

(2) インシュレーションの単層化

モータケースの内面側には、推進薬燃焼中の気密性・断熱性、および製造時に実施する耐圧試験のための水密性をもたせるため、機能別に 3 層のインシュレーションゴムが施工されている。この機能を統合し単層積層にて上記性能を満足するインシュレーション材を開発し、工期短縮による低コスト化を実現した。

(3) ノズルスロート部材の変更

ノズルの内径が最も絞られるスロート部は高温の燃焼ガスと高い燃焼圧力にさらされる。このような厳しい環境であるためスロートの材料には、カーボンカーボン複合材料 (C/C) を適用している。この C/C を成型するためのプリフォームの製造方法・設備は、従来までライセンス製造の三次元配向 (3D C/C) であったが、SRB-3 では IA 製の四次元配向 (4D C/C) へ変更し、自動化と工期短縮によりコストを低減した。



QM2 地上燃焼試験 ©JAXA



コア機体との結合作業 ©JAXA

また、燃焼性能解析の高度化にも取り組んだ。従来では取扱いが困難であった任意のグレイン三次元形状での燃焼性能計算を可能にし、システム要求に対する設計自由度および予測精度が向上した。

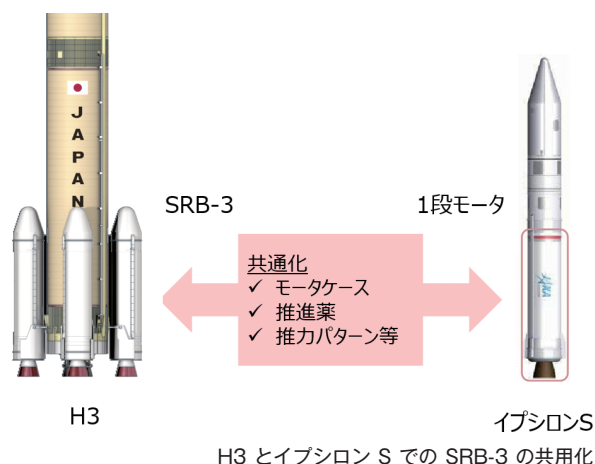
以上の開発に取り組む、計 3 回の地上燃焼試験により、その性能確認を実施した。

射場整備期間の半減

H3 ロケットでは打上げ機会の拡大に向けて、スケジューリング的にボトルネックとなっている打上げ間隔を短縮するため、射場整備期間の工期を半減することを目標とした。射場整備はコア機体との結合が主な作業であり、H-IIA では以下に示す ①～④ の工程となっている。①/④ は機体外径と同じサイズの大型ハンドリング治具の脱着が必要であり、これに多くの時間を費やしていた。

- ① 固体ロケットブースタ (SRB) への吊り具の設置
- ② クレーンを用いた SRB の起立作業
- ③ コア機体～SRB の結合、艀装作業
- ④ SRB の吊り具取外しとノーズコーンの取付け

そこで、SRB-3 ではハンドリング治具の機能を前方構造にもたせることで大型治具の脱着作業をなくし、かつノーズコーンが付いた完成状態でコア機体との結合ができる設計とした。2021 年 2 月に H3 ロケットの総合システム試験 (IST) の一環として実施したコア機体との結合作業において、前方構造でハンドリングが可能であることを検証した。SRB-A では 1 日 1 本であったコア機体との結合作業が、SRB-3 では 1 日 2 本となり、目標としていた射場整備期間の



半減を実現した。また、SRB-3 と同時に開発したスマート SAD (点火系安全装置) では、従来射場整備作業にて点検専用のケーブル類の脱着作業が必要であったが、点検機能を内蔵化し当該作業を不要とし SRB-3 結合以外の整備時間短縮にも寄与した。

今後の展望

今回開発した SRB-3 は、H3 ロケットだけではなく IA が打上げサービスに参入すべく開発を進めているイプシロン S ロケットの 1 段モータに適用する計画であり、2023 年度に初号機の打上げを目指している。

現在、測位や通信・放送衛星はデジタル社会を支える重要なインフラとなっており、衛星の小型化・コンステレーション化なども進み、商業衛星市場の拡大に伴い、打上げサービスの需要も急速に高まってきている。このような状況のなか、H3 およびイプシロン S の両ロケットに適用される SRB-3 を IA の宇宙輸送事業の柱とすべく、継続して取り組んでいく。

今後も IA では、製造・運用経験に基づいたモノづくり力とさらなる技術躍進により、宇宙輸送産業における日本のプレゼンス向上に貢献していく。

問い合わせ先

株式会社 IHI エアロスペース
宇宙輸送システム技術部
宇宙ロケット技術グループ
電話 (0274) 62-7672
<https://www.ihi.co.jp/ia/>

【ご案内】

IHI 技報をご覧頂きありがとうございます。
是非、関連する他の記事・論文もご一読ください。

IHI 技報 WEB サイト

[IHI 技報（日本語）](#)

[IHI ENGINEERING REVIEW
（英語）](#)

Vol. 61 No. 3 特集 産業インフラの新しい価値の創出を目指して



◆特集 産業インフラの新しい価値の創出を目指して

デザイン思考と本当のユーザーを意識した技術開発
お客さまへの価値をデジタルで創造
IHI エアロスペース 衛星打上げビジネスへ参入！
EV 船へ向けた Z ペラ® 電気推進システムの開発
再生部品を利用した車両用ターボのリマニュファクチャリング
振動のモニタリングサービス
深層強化学習とベイズ最適化による渋滞制御を行う搬送制御システム

◆箸休め

土光氏の言葉に触れ、いまを考える

◆記事

進化する固体ロケットブースタ
バイオマス発電所の営業運転開始から安定運転へ

[Vol. 61 No. 3（2021 年 12 月）](#)

インタビュー・特集外の記事も閲覧できます。

WEB サイトでは、社会と向き合い、社会とともに進化する IHI の技術・製品・サービスもご紹介しております。関連する技報も掲載しておりますので、ぜひご覧ください。

[IHI 技報を通じて IHI グループの
イノベーションを知る](#)

[IHI 製品を支える技術](#)