

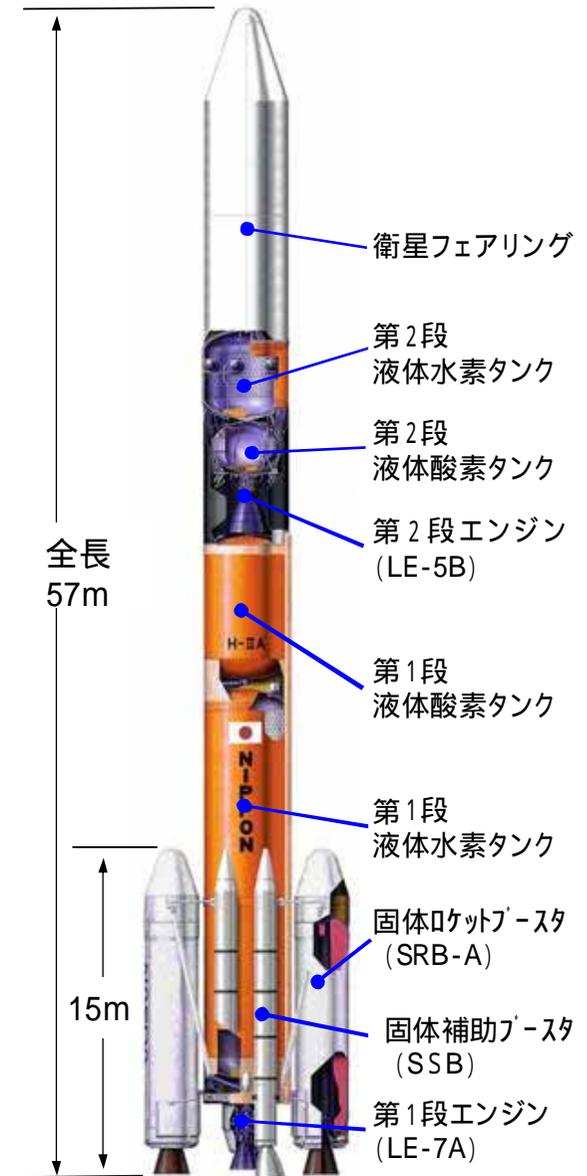
H - Aロケット信頼性向上に関する
これまでの取り組みと今後について

平成19年4月4日

宇宙航空研究開発機構
宇宙基幹システム本部
先進基盤開発室長 遠藤 守

H - A ロケット

- ◆ 我が国の自律的な宇宙開発利用活動の展開を可能とする、我が国の基幹ロケット。
- ◆ 平成15年2月にNASDA（現JAXA）/三菱重工（MHI）間で基本協定が締結され、技術移転等、H - A ロケットの民間移管が開始。
- ◆ 6号機事故を機に、信頼性向上のための体制の変革として、MHIによるプライム化（製造責任の一元化）を加速。7号機から9号機までの過渡期の対応を経て、10号機以降、プライム体制の下、機体製造を実施。
- ◆ JAXAを挙げた信頼性向上の取組みやミッションサクセスに向けた改革により、確実な打上げを実現。
- ◆ 平成18年度に204型初号機の打上げを実施。これにより全ての型式の飛行実証が完了。
- ◆ 平成19年度より、民間が主体的に打上げを実施する打上げサービスに移行する。



H - A ロケット ラインアップ

◆平成18年12月に実施された204型初号機(11号機)の打上げにより、全ての型式の飛行実証が終了。H - A ロケットのラインアップが完成した。



型式	H2A202	H2A2022	H2A2024	H2A204
打上げ能力 (GTO換算)	約3.8トン	約4.2トン	約4.7トン	約5.8トン
	4Sフェアリング			5Sフェアリング

(参考) H2B
約8トン
5Sフェアリング

H - A ロケット打上げ結果

- ・平成13年8月29日 試験機1号機 **打上げ成功**
 - H-IIAロケット性能確認用ペイロード(VEP-2)
 - レーザ測距装置(LRE)
- ・平成14年2月4日 試験機2号機 **打上げ成功**
 - 民生部品・コンポーネント実証衛星(MDS-1)「つばさ」
 - H-IIAロケット性能確認用ペイロード3型(VEP-3)
 - 高速再突入実験機(DASH)
- ・平成14年9月10日 3号機 **打上げ成功**
 - データ中継技術衛星(DRTS)「こだま」
 - 次世代型無人宇宙実験システム(USERS)
- ・平成14年12月14日 4号機 **打上げ成功**
 - 環境観測技術衛星(ADEOS-II)「みどり」
 - マイクロラブサット1号機(μ-LabSat)
 - Federation Satellite(FedSat)
 - 鯨生態観測衛星(WEOS)「観太くん」
- ・平成15年3月28日 5号機 **打上げ成功**
 - 情報収集衛星2機
- ・平成15年11月29日 6号機 **打上げ失敗**
 - 情報収集衛星2機
- ・平成17年 2月26日 7号機 **打上げ成功**
 - 運輸多目的衛星新1号(MTSAT-1R)「ひまわり6号」
- ・平成18年 1月24日 8号機 **打上げ成功**
 - 陸域観測技術衛星(ALOS)「だいち」
- ・平成18年 2月18日 9号機 **打上げ成功**
 - 運輸多目的衛星新2号(MTSAT-2)「ひまわり7号」
- ・平成18年 9月11日 10号機 **打上げ成功**
 - 情報収集衛星光学2号機
- ・平成18年12月18日 11号機 **打上げ成功**
 - 技術試験衛星 型(ETS-)「きく8号」
- ・平成19年 2月24日 12号機 **打上げ成功**
 - 情報収集衛星レーダ2号機
 - 情報収集衛星光学3号機実証衛星



試験機1号機(H2A202)



試験機2号機(H2A2024)



3号機(H2A2024)



試験機4号機(H2A202)



7号機(H2A2022)



8号機(H2A2022)



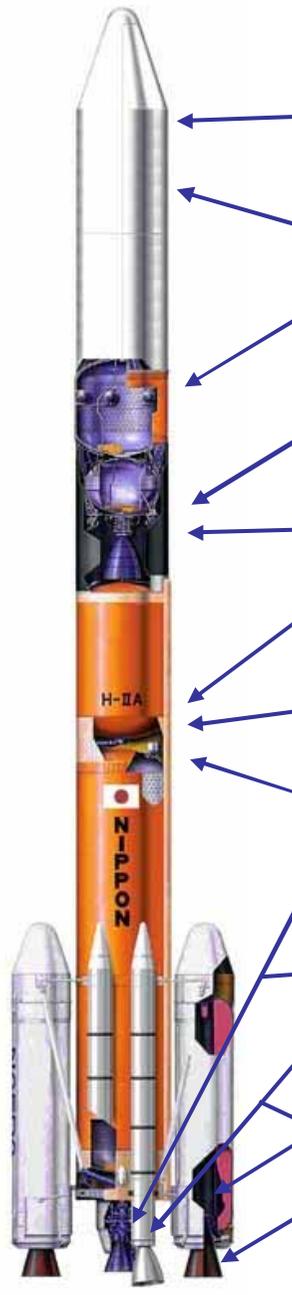
9号機(H2A2024)



11号機(H2A2024)

他機関の衛星

各号機の打上げ後評価にて識別された主要な技術課題と対策結果のまとめ



項目	対策結果
フェアリング分離時に発生した微粉の低減（1号機）	微粉対策（分離機構部端部カバー形状の変更等）を実施。対策の効果を確認した。
フェアリング内の音響環境への対応（1号機）	移動発射台上部デッキ上の冷却水量増及びフレームデフレクタ水量を増加し、音響の対策を実施。音響レベルの低減を確認した。
第2段液体水素タンク内に発生した液面貫入の抑制（1号機）	デフューザ設計変更、加圧制御設定変更を実施。再々着火前のアレジセトリングシーケンス延長を実施。対策の効果を確認した。
第2段エンジンを発生源とした機体振動への対応（1号機～）	各号機について衛星振動荷重解析を行い問題ないことを確認。また10号機以降、2段推進薬タンク圧力を若干増加する対策を適用した。フライトの結果、対策の効果を確認。なお、抜本的な対策として改良型LE-5Bの開発を実施中。
第2段搭載機器の温度環境への対応（1号機）	搭載パネルの熱制御フィルムの追加・変更、圧力センサ取付部に断熱シム追加等の対策を実施。対策の効果を確認した。
第1段VHFテレメータの一部欠測（固体補助ロケット噴煙損失）（2号機）	固体補助ロケットの着火順序（第1ペア/第2ペア）を入替え改善を実施。
ワイヤハーネス損傷による1段制御用電源電圧変動（11号機）	12号機用機体について、損傷回避のためワイヤハーネス艦装の見直しを実施した。後続号機についても同様の対策を適用する。
第1段液体水素タンク加圧系統に発生した圧力脈動の抑制（1号機）	逆止弁の位置変更により試験機2号機で脈動発生抑制効果を確認した。
第1段エンジンの燃焼圧力計測センサーポートの氷結対策（1号機）	氷結対策（センサーポート穴径拡大）を実施。効果を確認した。
リフトオフ前の第1段エンジンアクチュエータ変動対策	作動油の清浄度向上及び異常監視方法の見直しを実施。対策の効果を確認した。
第1段エンジン推力、SRB-A燃焼圧力積が低め	試験機1、2号機の結果から推力パターンを見直した。（解析に反映）
固体ロケットブースタ/コア機体の結合機構の応力緩和（1号機）	切断部分の強度余裕増加のため切断位置をコア側に近づける設計変更を実施。設計変更が妥当であることを確認した。
SRB-Aノズル局所エロージョンによる分離用導爆線の破損（6号機）	導爆線の艦装見直し、並びに燃焼圧力を低減・ノズルの設計変更を施したSRB-A改良型を開発。7号機以降適用し、対策の効果を確認した。なお、局所エロージョンを排除して更なる信頼性向上と打上げ能力の回復を目指す新たなSRB-Aを開発中。

各号機の打上げ後評価にて識別された主要な技術課題と対策結果のまとめ

■ 最近の取り組み状況

(1) 第2段エンジンを発生源とした機体振動への対応

- H - A ロケット 9 号機の打上げにおいて、第 2 段エンジンを発生源とした機体振動がこれまでのフライトと比して大きいことが確認された。
衛星に対しては、振動のレベルはインタフェース規定値以下であり問題のないことを確認。
- 本課題への対応として、推進薬タンクの圧力を若干増加することにより機体振動を低減できることを燃焼試験等により確認。10号機以降、その対策を反映した。
- 抜本的な対策として、振動の発生源である燃焼圧変動のレベルを低減できる『改良型 LE - 5 B エンジン』の開発を引き続き進める。また、機体振動をさらに抑制するための対策検討を実施中。
来年度に認定試験を実施し、開発が完了する予定。
(信頼性向上プログラムとして実施中。)

(2) ワイヤハーネス損傷による 1 段制御用電源電圧変動

- H - A ロケット 11 号機の打上げ (リフトオフ後 6.2 秒付近) において、1 段制御用電源電圧および電流に約 1.5 秒間にわたって変動事象が発生した。
- 飛行データ評価結果から機体構造体との接触によりワイヤハーネスの被覆が損傷し、一時的に短絡に至ったものと推定。
- 後続号機については接触が起きないようにワイヤハーネス艤装の見直しを行った。

基幹ロケットの確立に向けた今後の取り組みについて

- 民間移管後も、移管した技術に対する開発責任はJAXAが保有。H-Aロケットは運用段階にあるが、「国家基幹技術」としてキー技術の信頼性を継続強化する必要性を認識。
- 恒常的な戦略事業として信頼性向上プログラムを捉え、顕在化した課題への対処や、潜在的技術リスクの抽出・検証活動を実施する。また、信頼性向上を核とした研究開発を通じて技術基盤の維持・向上を図る。

(1) 緊急的課題

新たなSRB-A
認定試験フェーズの作業を実施。
(設計解析、地上燃焼試験)

液体エンジンの信頼性向上
・改良型LE-5Bの認定試験
・液体酸素ポンプの信頼性向上
バルブ高信頼性化

当面の打上げに対するリスク低減作業
継続実施。

部品枯渇対応
部品枯渇に対する対応の継続
次期誘導制御システムの開発

誘導計算機(GCC)のメインプロセッサ(CPU)の部品枯渇に伴う代替部品の適用(誘導計算機の基板設計、周辺回路の変更)を実施する。



固体ロケット地上燃焼試験



LE-5Bエンジン



電子機器搭載位置

(2) 継続的課題

体系的な試験実施等によるデータベースの蓄積と充実

フライトデータ、実機データの拡充
・技術テレメータの追加搭載によるフライト環境データの拡充。

エンジン材料データベースの構築

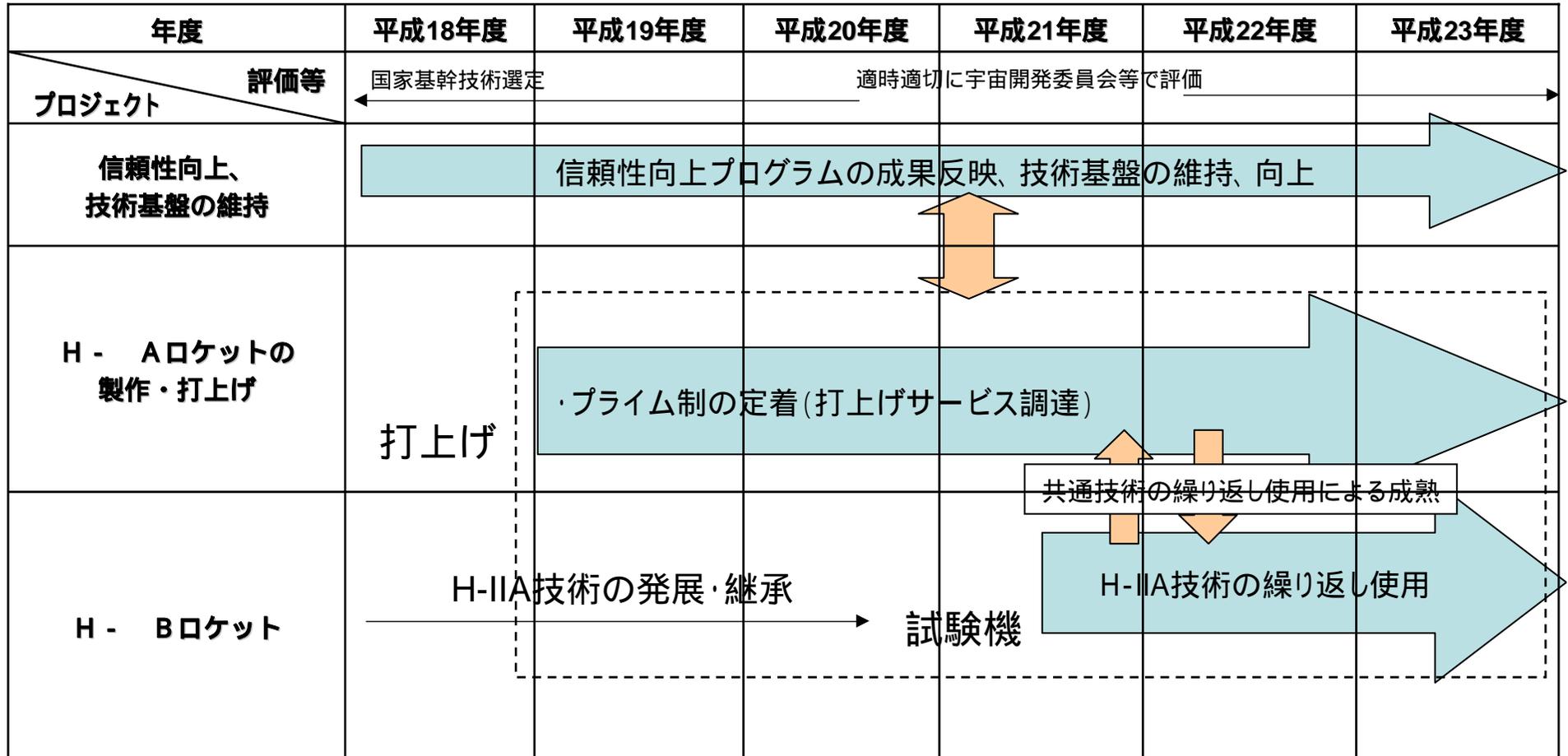
(3) 中・長期的課題

信頼性向上定量的評価に向けた検討
信頼性を定量的に評価する手法について検討を行う。

部品等の国産化対応

基幹ロケットの確立に向けた今後の取り組みについて(続き)

～ 国家基幹技術としての宇宙輸送システムの維持・発展 ～



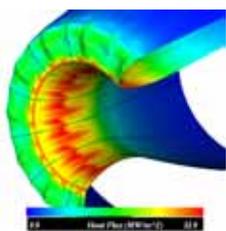
ロケット信頼性向上 固体ロケットモータ 局所エロージョンメカニズム究明

【目標】局所エロージョンのメカニズムの解明とそれに基づく定量的評価技術の確立による新たなSRB-A開発におけるノズル設計方針の設定。

課題：固体ロケットモータのノズル部に局所的なエロージョンが発生し、ノズルの破孔に至ることにより打上げの失敗につながった。

活動状況：エロージョン解析の高度化と流体解析、構造解析、各種試験結果等から局所エロージョン発生メカニズムについて、その概略の推定を実施。

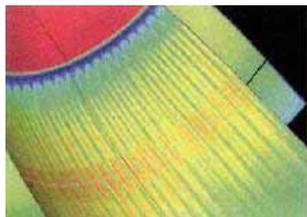
インレット部形状に起因する渦の発生



実機 + 解析 + 検証

局所エロージョン確認
(サブスケール)

C/C スロットインサート下流部の流れ



C/C: 炭素繊維強化炭素複合材



成果の活用

局所エロージョンを排除して更なる信頼性向上と打上げ能力の回復を目指す新たなSRB-Aの開発に着手

【これまでの実績】

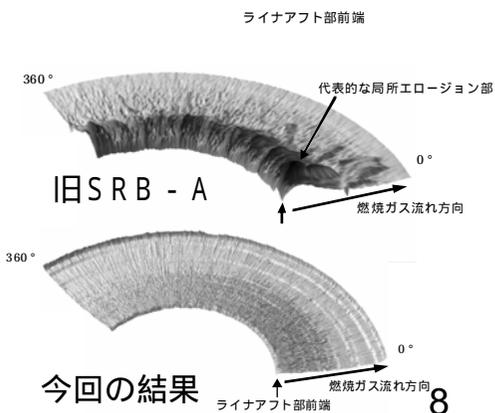
新たなSRB-Aの開発作業として、システム設計作業、ノズル設計・解析作業等を実施。
実機大モータ地上燃焼試験により所期の局所エロージョンの排除の実証に成功。

【今後の計画】

認定試験の実施



実機大モータ
データ取得試験状況

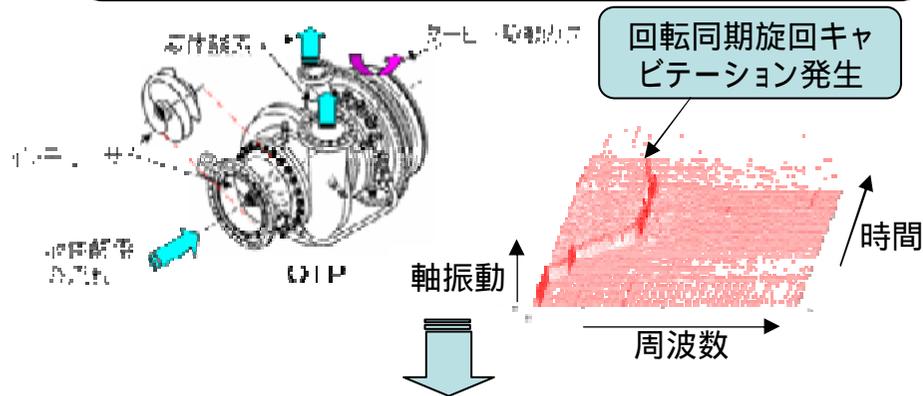


今回の結果

ロケット信頼性向上 液体酸素ターボポンプ キャビテーションサーージ対策

【目標】キャビテーションサーージ(CS)のメカニズム解明及び抑制に対する抜本的な対策の立案と効果の確認。

課題: H - A第1段エンジン(LE - 7A)の液体酸素ターボポンプ(OTP)は回転同期巡回キャビテーションが発生しており、軸振動が大きく、振動規格を満足しない場合がある。



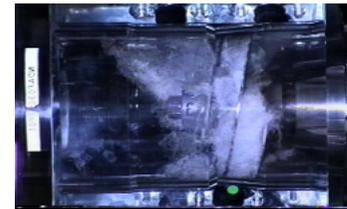
活動状況: これまでの開発及び平成16年度から進めているタスクフォース活動から得られた知見をもとに、液体酸素ターボポンプのインデューサに次の改善を施した。

揚程を低減及び翼負荷分布の適正化
過去の試験データ、CFD(数値流体)解析及び可視化水流し試験により、より良い翼形状に修正
2次元翼 / 3次元翼設計を実施し、最適な翼形状を選定

この結果、平成18年度にキャビテーション発生を抑制でき、フライトに適用できる翼形状が得られた。

今後のタスクフォース作業

- ・インデューサ水流し歪測定試験による耐久性の確認
- ・ポンプ単体試験及び認定試験の実施

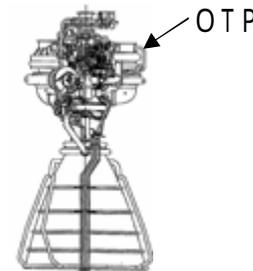


水流し試験の例



開発試験の例

成果の活用



ステージ燃焼試験

H - Bのステージ燃焼試験にて、改善されたOTPを搭載したLE - 7Aエンジンを使用し、機体システムとして確認。



H- AH- B

ロケット信頼性向上 バルブ高信頼性化

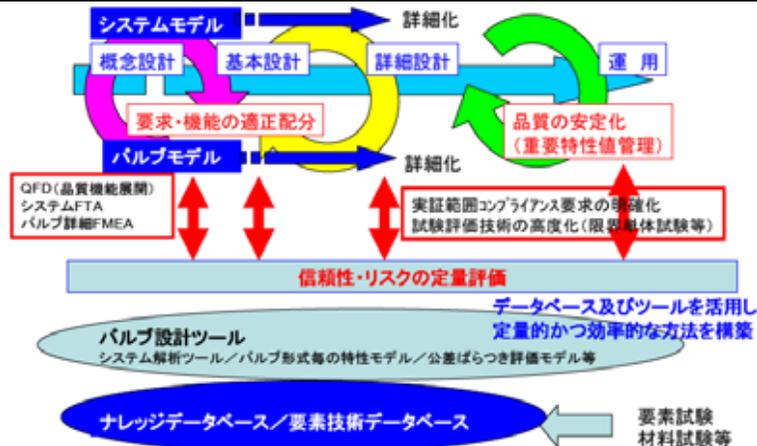
【目標】ロケットの推進系バルブに関する信頼性を軸とした開発手法の確立及びその手法を適用した信頼性の高いバルブ開発と実機への適用。

課題:バルブの不具合によって、ロケットの整備作業の一部にやり直しが発生したり、打上スケジュールの遅延が発生したりする。

活動状況:バルブの信頼性を高めるため、従来からの設計方法の改善方策について平成16年度より継続して検討を実施。

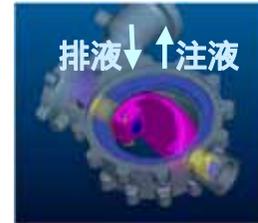
- 例)・QFD(品質機能展開)や詳細FMEA(故障モード影響解析)による網羅的な設計検討と適切な機能配分。
- ・解析や試験による重要特性値の把握と管理。
- ・ナレッジデータベースや材料データベースの充実と活用。

上記方策を適用したバルブを試作・試験し、その効果を確認。



今後のタスクフォース活動

- ・信頼性向上を図ったバルブの認定試験を実施。
- ・試験結果等から、設計方法を改善。



(適用例)注排液バルブ

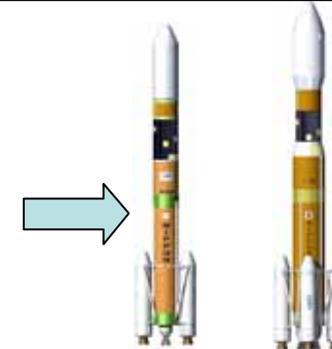


開発試験の例

成果の活用



H - Bのステージ燃焼試験において、改善されたバルブを機体システムとして確認する。



H- A H- B

改善されたバルブを実際のフライトに適用する。

改善された設計方法をもとにその他のバルブも改良。

(参考) H - A 民間移管に関するこれまでの経緯

(平成12年度)

- ◆ 平成12年5月：H - A ロケット8号機事故後、平成12年に開催された宇宙開発委員会特別会合にてプライム契約化が提言。

(平成14年度)

- ◆ 平成14年6月：総合科学技術会議及び宇宙開発委員会において、H - A ロケット標準型を我が国の基幹ロケットと位置づけ、優先使用するとともに、民間に移管することが決定。
- ◆ 平成14年8月：「H - A ロケット民営化作業チーム」における検討の中間とりまとめを定め、民間移管の条件、官民の分担、移管先企業の選定等に係る基本方針が設定。
- ◆ 平成14年11月：NASDA（当時）は、公募の結果、MHIをプライム会社として選定。
- ◆ 平成15年2月にNASDA（当時）とMHIにて、H - A標準型を用いた打上げサービス事業の実施に係る基本協定を締結。

(平成15～16年度)

- ◆ 平成15年4月：文部科学省により「H - A ロケット民営化作業チーム」の最終報告を実施。
- ◆ 平成15年9月：JAXAとMHI間でH - A標準型の技術移転契約を締結。
- ◆ 平成15年11月：(H - A ロケット6号機の打上げに失敗)
- ◆ 平成16年3月～10月：H - A ロケット等の製造および開発に関するプライム体制への見直し等について、宇宙開発委員会特別会合にて審議を実施。MHIプライムによる製造責任一元化のための体制移行の加速等、信頼性確保・向上に係る提言が成される。
- ◆ 平成17年2月：(H - A ロケット7号機の打上げに成功)¹

(平成17年度)

- ◆ 平成18年1月、2月：(H - A ロケット8、9号機の打上げに成功)¹

(平成18年度)

- ◆ 平成18年9月：(H - A ロケット10号機の打上げに成功)²
- ◆ 平成18年12月：(H - A ロケット11号機[204型初号機]の打上げに成功)²
- ◆ 平成19年2月：(H - A ロケット12号機の打上げに成功)²
- ◆ 平成19年3月：H - A技術移転完了

1：プライム体制移行までの補完的な措置として、MHIが信頼性確認作業を行う体制の下で機体製造、打上げ作業を実施。

2：MHIによる製造プライム体制の下、機体製造等を実施。

(参考) H - Aロケットによる打上げサービスについて

- 平成19年度より、民間(MHI)が主体的に打上げを実施する打上げサービスを開始。JAXA衛星の打上げについても、商業衛星と同様に、MHIより同サービスを購入する。
- 打上げサービスでは、MHIは、打上げ事業者として衛星軌道投入までの業務等(機体製造、ミッション解析、衛星インタフェース作業、カウントダウン作業、自主安全審査等)を実施する。
- JAXAは、打上げ安全確保に係る業務、並びにデータ取得に係る業務等を実施する。
 - 打上げ安全確保に係る業務: 公共の安全確保を目的とした、地上安全及び飛行安全に関する業務
 - データ取得に係る業務: JAXAが保有する射場系設備(地上局等)を用いて、飛行中のロケットテレメトリデータ等を取得する業務

