

I.1.(4)宇宙輸送システム

平成25年度 内部評価 S

中期計画記載事項:宇宙輸送システムは、我が国が必要とする時に、必要な人工衛星等を、独自に宇宙空間に打ち上げるために不可欠な手段であり、今後とも自律的な宇宙輸送能力を保持していく。具体的には、以下に取り組む。

我が国の基幹ロケットであるH-IIAロケット及びH-IIBロケットについては、一層の信頼性の向上を図るとともに、技術基盤の維持・向上を行い、世界最高水準の打上げ成功率を維持する。H-IIAロケットについては、打上げサービスの国際競争力の強化を図る。そのため、基幹ロケット高度化により、衛星の打上げ能力の向上、衛星分離時の衝撃の低減等に係る研究開発及び実証を行う。

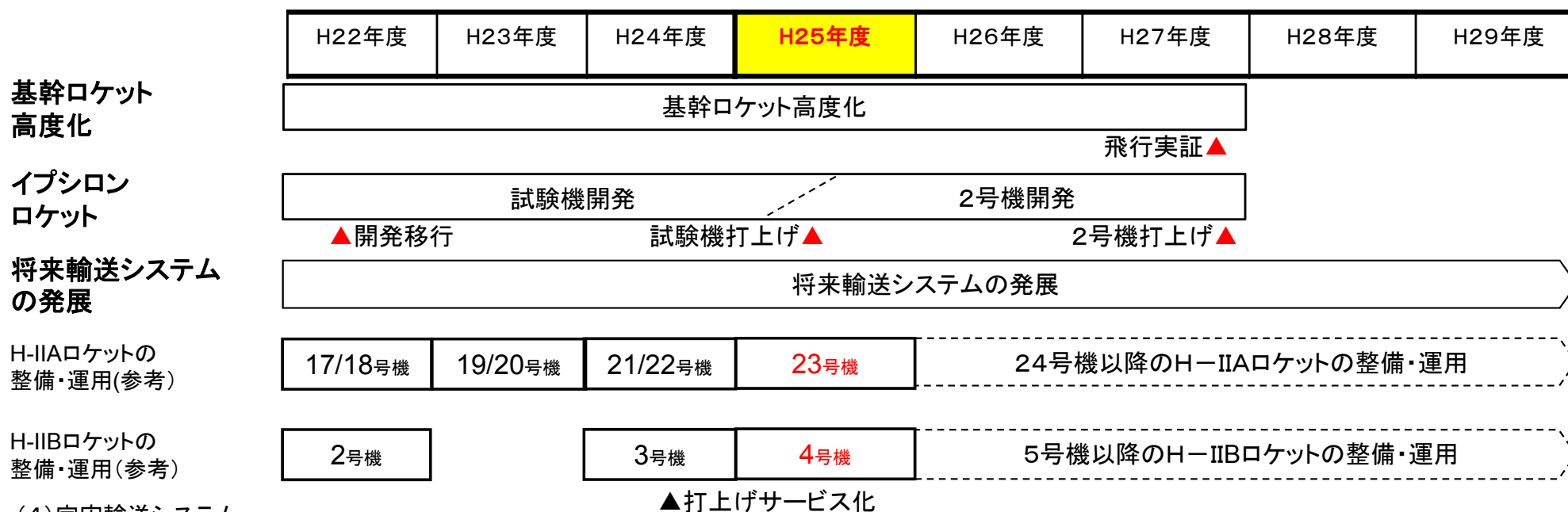
固体ロケットシステムについては、打上げ需要に柔軟かつ効率的に対応でき、低コストかつ革新的な運用性を有するイプシロンロケットの研究開発及び打上げを行う。また、システム構成の簡素化、固体モータ改良、低コスト構造の適用等を行い、イプシロンロケットを高度化することにより、更なる低コスト化を目指す。

液化天然ガス推進系、高信頼性ロケットエンジン、再使用型輸送システム、軌道上からの物資回収システム、軌道間輸送システム等の将来輸送技術については、引き続き研究開発を行う。

また、これまでの我が国ロケット開発の実績を十分に評価しつつ、より中長期的な観点から、基幹ロケット、物資補給や再突入、サブオービタル飛行、極超音速輸送、有人宇宙活動、再使用ロケット等を含め、我が国の宇宙輸送システムの在り方について政府が実施する総合的検討の結果を踏まえ、必要な措置を講じる。

特記事項(社会情勢、社会的ニーズ、経済的観点等)

なし



①基幹ロケットの維持・発展

1) 基幹ロケット(H-IIA ロケット及びH-IIB ロケット)について、一層の信頼性の向上を図るとともに、部品枯渇に伴う機器等の再開発を引き続き進め、開発した機器を飛行実証する。

実績:

○信頼性向上の取り組み

- (1) ロケットアビオニクス機器に関する総点検を行い、現行機器の設計／製造検査工程や今後の機器開発プロセスの改善事項を抽出し実行に移した。その結果、再開発中の機器で検査工程の漏れを未然に検出するなど、具体的な効果があることを確認した。
- (2) 打上げ結果等に基づき、さらに高い信頼性・確実性を確保するための改良・改善策を施し飛行実証を行った。

○部品枯渇に伴う機器等の再開発

- (1) 固体ロケット、誘導制御機器や飛行安全機器等の部品枯渇に伴う再開発を進め、H-IIB4号機およびH-IIA23号機で飛行実証を行った。
- (2) H-IIAロケットの第1段タンクについて、欧州からのタンクドームの調達途絶リスク(部品枯渇)を回避するため、国産化開発を完了した。(平成27年度打上げのH-IIA29号機から適用予定)

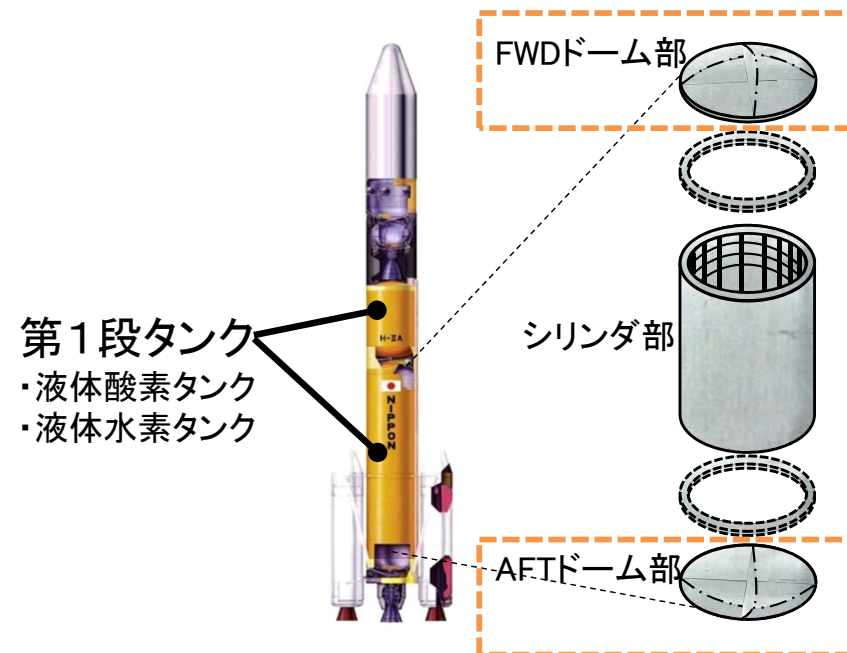
効果:

- ・打上げ結果等に基づく改良・改善および部品枯渇に伴う機器等の再開発により、打上げ計画に影響を与えることなく、今後の我が国の自律した宇宙開発利用計画の推進に貢献。今年度2機(H-IIB4号機、H-IIA23号機)の打上げについてもOn-timeでの打上げ成功を達成した。

世界水準:

- ◎ 打上げ成功率世界水準は97.4%(アリアンV(ES/ESC)97.9%、アトラスV97.7%、デルタIV96.0%)、過去5年のOn-time打上げ率水準は58.0%。
H-IIA/Bロケットの打上げ成功率は96.3%、過去5年のOn-time打上げ率は91.6%。

第1段タンクドームの国産化開発 (部品枯渇に伴う再開発)について



(注) 写真は実機大工作試験での機械加工後のもの

2) 国際競争力を強化し、かつ惑星探査ミッション等の打上げにより柔軟に対応することを目的とした基幹ロケット高度化について、設計及び試作試験を継続する。また、飛行実証に向けた準備を行う。

実績: H-IIAロケットの第2段の改良による静止衛星打上げ能力向上の開発を進めた。本開発では高い信頼性を有する現行の設計を変えることなく、機能追加や衛星の軌道投入方法の工夫により、国際競争力に係る機能・性能上の最大の課題である打上げ能力を向上させ、近年の静止商業衛星打上げ需要に対応可能な世界に通用するロケットとして仕上げた。(参考次ページ)



軌道投入方法の工夫

- ・ロケットによる衛星の増速を近地点に加え効率の良い遠地点で行うことで、打上げ能力を向上させる

機能追加の具体例

- ・衛星の静止軌道打上げ能力を向上し高精度で軌道投入するための2段エンジンの低推力スロットリング(60%)機能や液体水素(燃料)及び液体酸素を最大限節約する機能等の追加
- ・宇宙空間で長時間(5時間)慣性飛行するための機能追加や搭載電子機器の対熱環境性能の拡張

効果: 高度化開発の成果とこれまで培ってきた高い技術力・信頼性が評価され、三菱重工業が世界第4位の大手通信衛星事業者(平成24年の保有資産高)であるカナダのテレサット社から日本で初めて商業衛星の打上げサービス契約を受注するに至った。

これまで全く実績がなく新参者である商業衛星の打上げ市場において、世界第4位の大手通信衛星事業者からの受注は、世界に通用するロケットとして、その仲間入りが認められたこととなる。本事業者は大手であるとともに他の事業者の技術コンサルティングも数多くこなしており(三菱電機受注のトルコの衛星など)、与える影響力は大きく、以降の受注活動においても大きな弾みとなっているとともに国際競争力の強化を目標としている新型基幹ロケットの海外展開に対しても有効な実績となった。

3) 打上げ関連施設・設備については、効率的な維持・老朽化更新及び運用性改善を行う。

実績: 打上げ関連施設・設備については、一定期間使用しない設備の休止(高圧ガス設備の休止措置等)、不要設備の廃止(宇宙ヶ丘レーダ設備、SHFテレメータ受信設備)などにより効率的な維持を行うとともに、経済性を勘案してより安価な公共インフラを利用する(打上げ時に使用していた衛星回線を地上回線に切り替える)などの運用性改善を行った。

効果: 適切な予防保全、限られた資金の中での有効な老朽化更新を行うことにより、設備の老朽化に起因した打上げ延期を発生させることなく、結果として2機のH-IIA/Bロケット(On-time)、イプシロンロケット試験機、2機の観測ロケット(On-time)の打上げ成功に貢献した。

静止衛星打上能力の向上

世界の商業衛星は、赤道付近から打上げるロケット(アリアン5等)を基準に衛星側増速量を設定している。これらの衛星をH-IIAで打上げる場合の打上能力を向上する。

ロケットによる衛星の増速を近地点に加え、軌道面の変更効率の良い遠地点でも実施することで、打ち上げ能力を向上させる

現行H-IIA

現行H-IIAでの
遷移軌道(GTO)

近地点にてロケットにより増速後
衛星を分離

※ 高度・軌道面の変更を一度に実施

近地点 ● 地球 遠地点

高度化H-IIA

高度化H-IIAでの
遷移軌道(GTO)

近地点 ● 地球 遠地点

↑ ロケットによる増速
↑ 衛星による増速

打上げ能力(概算値)(注2)
(トン)

6
5
4
3
2
1
0

静止軌道

現行H-IIA202

現行H-IIA204

高度化H-IIA202

高度化H-IIA204

商業静止衛星の質量分布(注1)



H-IIA202 H-IIA204

(注1) 2003～2011年に打ち上げられた商業静止衛星の質量分布(JAXA調べ)

(注2) 静止化増速量 $\Delta V=1500\text{m/s}$ 時

②固体ロケットシステム技術の維持・発展

1) 固体ロケットシステム技術の維持・発展方策として、低コストかつ革新的な運用を可能とするイプシロンロケットの、工場・射場における総合試験等を進め、試験機打上げを着実に実施する。

実績: 工場・射場における総合試験等を進め、平成25年9月14日にイプシロンロケット試験機の打上げに成功した。打上げ時期に制約のあるペイロードのためタイトなスケジュールのなかであったが「モバイル管制」と呼ぶコンパクトな管制システムの開発や、自律点検を可能にするシステムの構築などを行い、従来の打上げシステムを革新した。プロジェクト資金は概ね想定通りで、既存の技術を最大限利用するなどリスクを低減した開発を行ったことにより、**試験機の段階で実用ペイロード「ひさき」の打上げに成功**し、宇宙開発計画を効率的に推進し、加えて**科学的成果の創出に貢献**した。ロケットの機能・性能は全て良好であった。特記事項を以下に示す。

- ① 平成22年に開発開始して平成25年夏に打上げ(**開発移行から打上げまで3年**)という**これまでのロケット開発に類を見ない短期間開発**を実現し、打上げ時期に制約のあるミッションに対応した。
- ② 速度調整が困難であるがゆえに軌道投入精度を高くできない固体ロケットでありながら、小型液体推進系搭載により液体ロケットを含む**世界のロケットと同等レベル以上の軌道投入精度**を実証した。
- ③ 試験機実績評価とその後の改善により、定常段階では「1段射座据付けから打上げ翌日まで9日」、「衛星最終アクセスから打上げまで3時間」という**革新的かつ世界一の運用を可能**とする目途を得た。
- ④ 試験機での衛星の**正弦波振動**は、新規開発した制振機構の効果により**世界のロケットの中でトップレベル**($0.2G_{0-p}$)であった。
- ⑤ 試験機での衛星の**音響環境**は、数値解析や実験をもとに設計した煙道の効果により**世界のロケットの中でトップレベル**(132dB)であった(M-Vロケットからは10分の1以下に低減した)。

効果: 上記により、**世界のロケットと勝負できる技術力を実証し、固体ロケットシステム技術の維持のみならず発展を実現した。我が国が自律的に小型衛星を打上げる手段を確保**したうえで、今後活発化が予想される世界の小型衛星打上げ市場に参入する準備が整った。

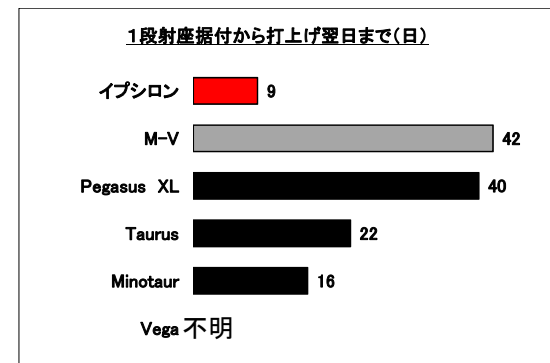
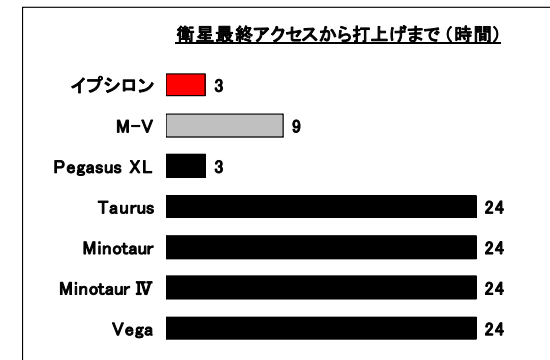
日本が培ってきた固体ロケット技術を発展させた革新的な新型ロケットの開発として、**多数のメディアに取り上げられ社会に大きなインパクトを与え、将来を担う青少年をはじめとした多くの国民の関心と支持を得た。**毎年一回優れた新製品・サービスに贈られる**日経優秀製品・サービス賞2013の最優秀賞**を「ななつ星in九州」等4点と並び受賞するとともに、暮らしと産業そして社会全体を豊かにする「よいデザイン」として**2013年度グッドデザイン金賞**を受賞し、**宇宙開発や国の事業への国民の理解を深める契機となったばかりか、宇宙分野を離れた活動としても高い評価を得た。**

世界水準: 世界のロケットとの比較は次ページ図の通り。

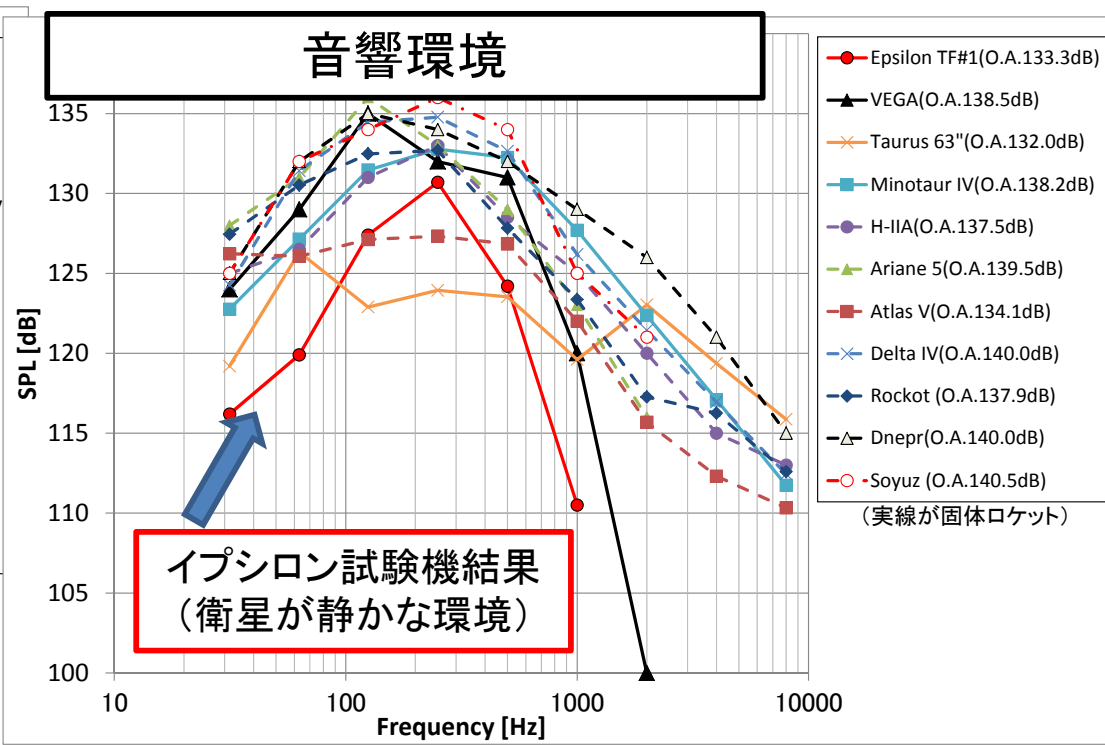
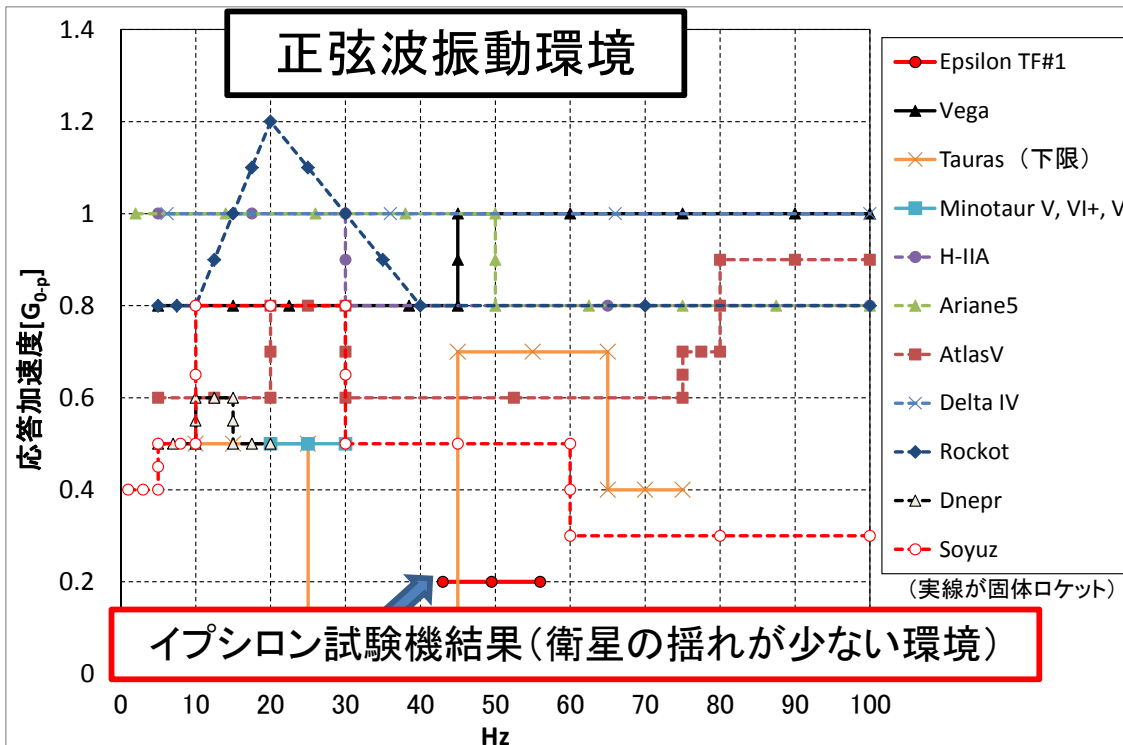
2) システム構成の簡素化、固体モータ改良、低コスト構造の適用等を行い、更なる低コスト化を目指したイプシロンロケットの高度化研究を行う。

実績: 2段改良により、打上げ能力向上、簡素化、モータ改良、低コスト化を実現する機体を適用する開発計画を設定した。

効果: イプシロンロケットの性能向上により、ASNARO2をはじめとするより多くの小型衛星を打ち上げることが可能となる。



補足説明資料



固体ロケット開発期間



ロケット	M-V	ベガ	イプシロン
開発期間	1990-1997	1998-2012	2010-2013



©朝日新聞 @内之浦漁港

③将来輸送システムの発展

1) 高信頼性ロケットエンジンの燃焼試験等に向けた作業を進める。また液化天然ガス推進系等の要素技術や、次期基幹ロケット、軌道上からの物資回収システム、再使用型輸送システム、軌道間輸送システム等の研究を進める。

※年度計画の「次期基幹ロケット」は政策文書にて「新型基幹ロケット」と定義された。

実績：

平成25年度は、新型基幹ロケットや将来輸送系への搭載や反映を目指した各種要素技術の研究を進めたほか、来年度以降開発へ移行予定の新型基幹ロケットをはじめ、再使用型輸送系及び軌道間輸送システムなど、将来の輸送システムの検討を進めた。

高信頼性ロケットエンジンについては、我が国が独自に開発、運用し技術を蓄積してきた簡素で安全性の高い形式のエンジン（H-IIAロケットの第2段エンジンとして実用化済）を、推力を約10倍にし第1段エンジンとして使用する世界で初めての取り組みとして、推力室フルスケール燃焼試験及び液体水素ターボポンプのフルスケール試験等を実施し、エンジンシステムの成立性評価に必要な所定のデータを取得した。

次期基幹ロケットについては、顧客要望のヒアリングをはじめ国内外の需要に対応するためのミッション動向調査を行い、ミッション要求案の取りまとめを行うとともに、それら要求（能力、コスト、等）の実現可能性について、機体コンフィギュレーション、射場での整備方式、打上げコスト等を中心に詳細検討を実施した。これらの検討結果を踏まえ「**新型基幹ロケット**」として**達成すべきミッションを定義し、プロジェクト準備段階に移行した。**

その他、液化天然ガス推進系、軌道上からの物資回収システム、再使用型輸送システム及び軌道間輸送システム等に係る研究を実施した（補足図参照）。

効果：

高信頼性ロケットエンジンにおいては、低コストで高信頼性を達成可能な液体ロケットエンジンの開発プロセス（「高信頼性開発プロセス」）の構築及びエンジンシステムの成立性評価に必要な所定のデータを取得し、今後の課題等を確認できた。

次期基幹ロケット（新型基幹ロケット）の開発により、従来システムの課題を解決し、打上げコスト低減による宇宙利用の拡大、商業打上げ受注による産業基盤の維持・強化、維持費の抜本低減による政府支出の効率化、及び技術基盤の強化による競争力確保を実現し、我が国の宇宙輸送システムを自律的かつ持続可能な事業構造へ転換することを可能とする。

その他液化天然ガス推進系、軌道上からの物資回収システム、再使用型輸送システム、軌道間輸送システム等の研究により、宇宙輸送系技術による宇宙活動の効率化や信頼性向上、また日本の宇宙技術における競争力強化につながる成果が得られた。

補足説明資料

高信頼性ロケットエンジン(LE-X)

- ・最重要コンポーネント(推力室、液体水素ターボポンプ)のフルスケール試験を実施し、データを取得



FY25実施事項

- ・推力室フルスケール燃焼試験



- ・液体水素ターボポンプフルスケール単体試験

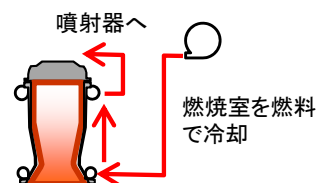


- ・高信頼性開発プロセスの構築
- ・要素技術研究/シミュレーション等

液化天然ガス推進系の要素技術

- ・サブスケール燃焼試験や解析の実施により、燃焼室の健全性を評価するための設計技術を向上すると共に、適用先の拡大と、より一層の技術(燃焼性能等)の向上を目指して再生冷却燃焼室に関する要素技術研究を推進。

燃焼室のサブスケール燃焼試験



再生冷却燃焼室は構造が複雑だが、燃焼性能と寿命の向上が図れる。

次期基幹ロケット(新型基幹ロケット)

衛星顧客要求分析
ミッション要求

- 市場競争力を持つ打上価格
- 高い信頼性
- スケジュールの柔軟性
- スケジュールの確実性

過去開発のLL

- 設計段階での信頼性の作りこみ
- 運用・保全性を考慮した設計検討

新型基幹ロケット総合
システムコンセプト

衛星顧客要望に効率的/柔軟/確実に対応できる機体ファミリー構成/衛星サービス

- ・シームレスな打上能力を有するファミリー構想
- ・顧客要望を意識した**高運用性・高信頼性**を実現する衛星サービス/運用構想
- ・**環境緩和**による世界標準以上の衛星I/F
- ・**低コスト化・高信頼性・高運用性**を実現するためのシンプルなロケットシステム

ライフサイクルコストを低減するロケットシステムの実現

- ・**モノに金**をかけない
- ・**運用に時間**をかけない
- ・**運用対象の最小化・集約化**

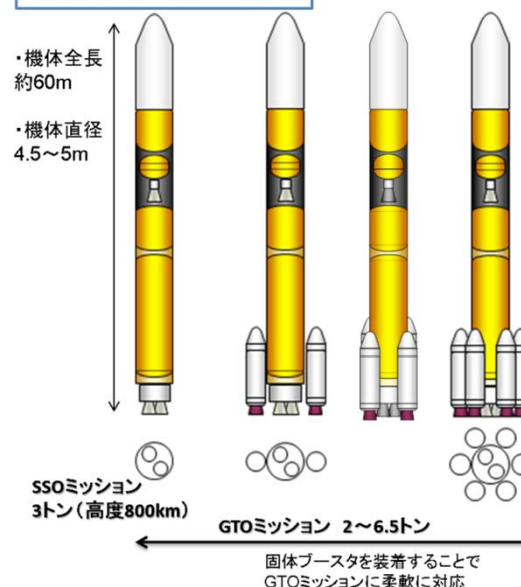
運用性を重視した設計、開発計画

- ・打上げ間隔1か月を実現する、補修箇所での低減
- ・射場整備作業7日間を実現する**高運用性**
- ・基幹ロケットの運用継続性を確保する切り替え計画

開発試験や運用段階で不適合を発生させないフロントローディング設計

- ・運用を考慮した設計検証プロセス
- ・高信頼性開発プロセスの適用

機体ファミリー構想

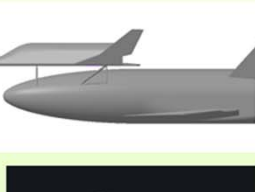


- ・過去の開発実績及び顧客要求を分析し、次期基幹ロケット(新型基幹ロケット)の総合システムコンセプトを検討(上図)
- ・うち機体ファミリーのコンセプト検討例を左図に示す

再使用型輸送系

- ・関心を持つ研究者・技術者が一堂に会するワークショップを開催
- ・作業チームにより、研究を方向付けるミッション(用途)と、それを実現するためのシステムを検討(下図)

- ・再使用型輸送系の実現に必要な要素技術の研究を実施(下図)

2020年頃まで 技術開発・実証段階	2020～2035年頃 実用第1段階(部分再使用型)	2035年頃以降 実用第2段階(完全再使用型)
 有翼ロケット 実験機	 小型衛星 打上げシステム	 二段式再使用型輸送システム (有人輸送、衛星代替ミッション)
 有翼再突入実験機	 衛星代替システム	

(長寿命ロケット燃焼器の研究)



- ・再使用ロケットエンジンの長寿命化に効果の大きいフィルム冷却について、冷媒にエタノールを用いた場合の特性を取得。
- ・噴射位置、噴射量による特性を取得。間欠配置した噴射孔でのフィルム層均一化技術を取得。フィルム冷却設計の指針を構築。

(フィルム噴射の可視化)

(熱空力現象の研究)・H24年度に確立したフリーフライト法により、再突入実験機やHTV-R形状の空力特性を取得。HTV-Rではマッハ20相当の条件で3分力計測に成功。

(フリーフライト試験状況)

模型

(複合エンジン技術の研究)

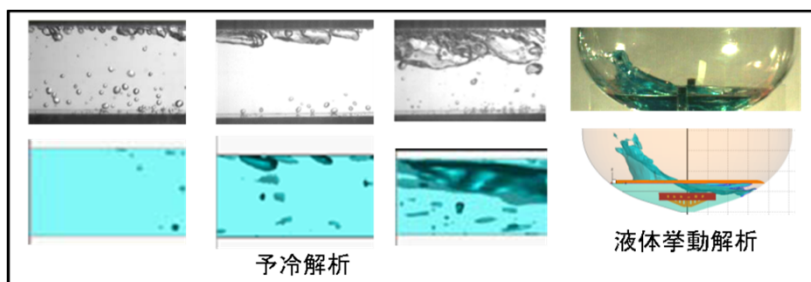


- 炭化水素燃料を用いる複合エンジンについて、
- ・燃焼器熱流束予測手法を構築
 - ・炭化水素冷却C/C複合材燃焼器特性を取得

(C/C複合材燃焼器加熱試験)

軌道間輸送システム

- ・長期間のミッションへの対応に必要な、推進薬の蒸発低減に向け、推進薬の挙動を高精度に解析可能なツールの開発を実施(左図)
- ・効率の高い推進手段である大型電気推進の有力候補として、ホールスラスタの研究を実施(右図)



推進系解析ツール

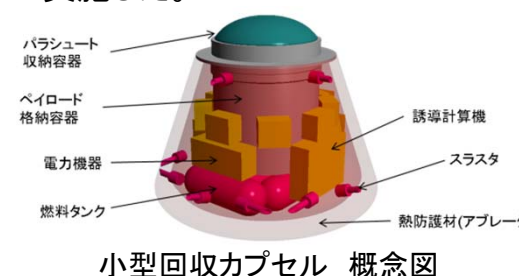
I. 1. (4)宇宙輸送システム



軌道上からの物資回収システム

(HTV搭載小型回収カプセルの研究)

- ・HTVに搭載し、帰還時に分離され日本近海で回収する小型のカプセルにつき、ミッション要求、システム要求分析及び概念検討を実施し、MDR/SRRを完了。
- ・キー技術要素として、小型誘導計算機、パラシュート放出、HTVからのカプセル分離機構を選択し、試作試験を実施した。



クラスタ化パラシュート(サブスケール)試験A-42

2) 政府が実施する総合的検討に資するため、これまでの我が国ロケット開発の実績を十分に評価しつつ、より中長期的な観点から、基幹ロケット、物資補給や再突入、サブオービタル飛行、極超音速輸送、有人宇宙活動、再使用ロケット等を含め、我が国の宇宙輸送システムの在り方について検討し、積極的な情報提供・提案を行う。また政府の総合的検討結果を踏まえ、必要な措置を講じる。

実績：

- ① 宇宙政策委員会宇宙輸送システム部会にて、これまでに機構が蓄積した経験に基づき新型基幹ロケットの開発において機構が果たすべき役割(ロケット技術基盤の保持活用、システム統合、技術マネジメント等)について見解を示すとともに、新型基幹ロケットに関する検討状況の報告を行った。また、平成26年度からの新型基幹ロケット開発着手に向けた準備を進め、新型基幹ロケットが満たすべきミッション要求を設定した。
- ② 宇宙政策委員会宇宙輸送システム部会の下に設置された「宇宙輸送システム長期ビジョンワーキンググループ」において、中長期的な観点からの宇宙輸送システムの在り方に係る総合的検討(長期ビジョン)が行われる中、各国の将来輸送系に関する研究開発動向や、機構としての取り組み状況について情報提供を行った。

効果：

- ① 「平成26年度宇宙開発利用に関する戦略的予算配分方針(経費の見積もり方針)(宇宙政策委員会決定)」(平成25年6月4日)において、「我が国の総合力を結集して、新型基幹ロケットの開発に着手する」とされ、新型基幹ロケットの開発着手が政策として位置付けられた。また「新型基幹ロケット開発の進め方」(第21回宇宙政策委員会(平成26年4月3日))において、機構が新型基幹ロケットのプロジェクト全体を取りまとめる体制にて開発を推進することが政策として位置付けられた。
- ② 2040～2050年頃までを対象とした今後の中長期的な宇宙輸送システムの研究開発の進め方が、政策文書「宇宙輸送システム長期ビジョン」として位置付けられた。

評価結果

評定理由(総括)

年度計画で設定した業務を全て実施し、中期計画の達成に向け順調に推移している。更に年度計画を上回る、特に優れた成果をあげた。

【基幹ロケット維持・発展】

- 信頼性向上や設備維持整備によりH-IIA23号機、H-IIB4号機の打上げにOn-Timeで成功、打上げ成功率をH-IIA/B合わせて96.3%とするなど、世界最高水準を高いレベルで維持向上させた。

【基幹ロケット高度化】

- 高い信頼性を有する現行の設計を変えることなく、機能追加や衛星の軌道投入方法の工夫により、国際競争力に係る機能・性能上の最大の課題である打上げ能力を向上させ、近年の静止商業衛星打上げ需要に対応可能な世界に通用するロケットとして仕上げた。これまで培ってきた高い信頼性と開発の成果が評価され、三菱重工業が大手通信衛星事業者であるカナダのテレサット社から日本で初めて商業衛星の打上げサービス契約を受注するに至り、新型基幹ロケットの海外展開に対しても有効な実績となった。

【固体ロケットシステム】

- 「モバイル管制」と呼ぶコンパクトな管制システムの開発や、自律点検を可能にするシステムの構築などを行い、従来の打上げシステムを革新した。
- 既存の技術を最大限利用するなどリスクを低減した開発を行ったことにより、試験機の段階で実用ペイロード「ひさき」の軌道投入に成功し、科学的成果の創出に貢献した。
- 試験機で以下の機能・性能が確認され、目的の「固体ロケットシステム技術の発展」と「小型衛星打上げ手段の確保」を達成した。
 - 短期間での開発を実現。(参考: M-V:7年、ベガ:14年、イプシロン:3年)
 - 革新的かつ世界一の運用が可能となる目途を得た。(定常段階では衛星最終アクセスから打上げまで3時間など)
 - 高い軌道投入精度を実証。(簡素な小型推進系を搭載することにより、固体ロケットの弱点を補い、液体ロケットを含む世界のロケットと同等レベル以上の精度を達成)
 - 衛星にやさしい環境を実現。(試験機実績で正弦波振動と音響環境はともに世界のロケットの中でもトップレベル)
- 日本が培ってきた固体ロケット技術を発展させた革新的な新型ロケットの開発として、将来を担う青少年をはじめとした多くの国民の関心と支持を得た。毎年一回優れた新製品・サービスに贈られる日経優秀製品・サービス賞2013の最優秀賞を「ななつ星in九州」等4点と並び受賞するとともに、暮らしと産業そして社会全体を豊かにする「よいデザイン」として2013年度グッドデザイン金賞を受賞し、宇宙開発や国の事業への国民の理解を深める契機となったばかりか、宇宙分野を離れた活動としても高い評価を得た。

【将来輸送システムの発展】

- 将来輸送システム発展のための施策では特に、高信頼性ロケットエンジンの試験を行い、今後の課題等を確認した。
- 新型基幹ロケットの開発においてJAXAが果たすべき役割について、これまで蓄積してきた経験に基づき宇宙政策委員会に見解を示すとともに検討状況を報告した。結果、新型基幹ロケットの開発着手と、機構がプロジェクト全体を取りまとめることが政策に明記された。新型基幹ロケットの開発により我が国の宇宙輸送システムを自律的かつ持続可能な事業構造へ転換することを可能にする。上記を受け、機構内においては新型基幹ロケットで達成すべきミッションを定義し、プロジェクト準備段階に移行した。

1. 2. 将来の宇宙開発利用の可能性の追求

評価項目	平成25年度 内部評価					頁
I.2.(1) 宇宙科学・宇宙探査プログラム	A					B-1
I.2.(2) 有人宇宙活動プログラム	S					B-39
I.2.(3) 宇宙太陽光発電研究開発プログラム	A					B-56