

# 次期固体ロケットについて

- ( 1 ) 目的
- ( 2 ) 目標
- ( 3 ) 開発方針
- ( 4 ) 実施体制
- ( 5 ) その他
  - ・ システム選定及び基本設計要求
  - ・ 開発計画
  - ・ リスク管理

平成19年8月27日A改訂

平成19年8月7日

宇宙航空研究開発機構

宇宙基幹システム本部

固体ロケット研究チーム

森田 泰弘

# 背景・経緯

宇宙航空研究開発機構は平成10年2月に初号機を打上げて以降、平成18年9月に7号機で太陽観測衛星「ひので」を打上げるまで、合計7機のM-Vロケットを打ち上げた。

「ひので」に続く科学衛星として平成22年に金星探査衛星（PLANET-C）の打上げを計画しているが、これをM-Vロケットで打上げるには、4年間の設備等の維持費等、多額の経費を要する。

一方で、宇宙科学におけるプロジェクトの規模について宇宙開発委員会 計画部会 の元に設置された宇宙科学ワーキンググループにおいて審議され、平成19年1月29日の計画部会にて、以下の方針がとりまとめられた。

『従来M-Vロケットによる打上げを前提とした中型科学衛星計画を中心としていたものを、中型計画に加えて、国際協力を前提とした大型計画と、**機動的で迅速に成果を挙げられる小型計画の積極的な推進**により、ニーズに即した多様な規模の計画を展開するよう指向すべき。』

中型計画に加えて小型計画を積極的に推進するという宇宙科学の計画方針には、M-Vロケットを継続して運用するよりも、機動的・迅速かつ低コストの小型ロケットとH-IIAロケットの組合せで対応する方が、効果的、効率的であり、中型計画のミッションもより充実したものになる。

これらの背景を踏まえて、宇宙開発委員会 計画部会 の元に設置された輸送系ワーキンググループにて固体ロケットシステム技術の維持方策について審議され、平成19年2月27日の計画部会にて、以下の方針がとりまとめられた。

『**M-Vロケットの開発・運用を通じて得た知見を継承し、基幹ロケットと基盤、機器を共通化するなどの設計思想の下「次期固体ロケット」を開発し、小型衛星への柔軟、効率的に対応することで固体ロケットシステム技術の維持・向上を図る。**なお、次期固体ロケットの開発に伴いM-Vロケットの運用を終了する。』

# 政策的位置づけ（総合科学技術会議）



## ●我が国における宇宙開発利用の基本戦略

（平成16年9月9日 総合科学技術会議）

- 固体ロケットシステム技術は、我が国独自の技術の多くの蓄積があり、即時打上げ要求に対応可能な特徴を持つ技術として、我が国がその自律性を確保する必要がある。M - Vロケットについては、技術開発は終了した、打上げ実績のあるロケットであることを踏まえ、固体ロケットシステム技術の維持を図るとともに、我が国の小型衛星(科学衛星を含む)打上げ手段を確保するため、当面運用を継続する。なお、固体ロケットシステム技術の維持方策としては、M - Vロケットのみによる対応だけではなく、H - Aロケット固体ロケットブースタの技術維持による対応や、M - Vロケットのコスト削減方策の検討を含め将来における民間移管の可能性を視野に入れた対応の検討が必要である。

## ●第3期科学技術基本計画 分野別推進戦略（フロンティア分野）

（平成18年3月28日 総合科学技術会議）

- 重要な研究開発課題の概要：M - Vロケット
- 研究開発目標（計画期間中の研究開発目標）

2010年度までに、固体ロケットシステム技術の維持方策を明確にするとともに、我が国の自律性の確保のため、即時打上げ要求に対応可能な特徴を持つ技術として、固体ロケットシステム技術を維持する。【文部科学省】

- 成果目標

2010年度までに世界トップレベルの打上げ成功率90%（20機以上打上げ実績において）を達成し、我が国が必要な衛星を必要に応じて独自に打ち上げる能力を確立する。また、中小型から大型の衛星の打上げに対応できる能力を維持・確立する。【文部科学省、経済産業省】

# 政策的位置づけ（宇宙開発委員会）

## ●宇宙開発に関する長期的な計画

（平成15年9月1日 総務大臣・文部科学大臣・国土交通大臣）

- M-Vロケットについては、政府としての技術開発を終了し、大型固体ロケット技術を確立した。これまでの技術成果を有効に利用し、打上げウィンドウなどの打上げに当たって厳しい条件を有する科学衛星について、引き続き、全段固体ロケットとしての優位性を活かした打上げを行うなどにより、固体ロケット技術の維持を図る。その際例えば、H-Aロケットの固体推進系との共通化等により、打上げコストの低減に努めることが望まれる。なお、科学衛星の打上げ手段については、将来において国内での他の代替手段が信頼性等の観点から確立した時点で、改めて検討を行う。

## ●宇宙開発委員会計画部会輸送系ワーキンググループ（平成19年1月まで）

- 固体ロケット固有の技術の向上を図りつつ「次期固体ロケット」を開発し、小型衛星へ柔軟、効率的に対応することが適切
- 本ロケットの開発は、宇宙科学にとって有用な輸送手段を提供するという意味で極めて重要であるのみならず、ロケット工学の発展を図るもの
- 短期間・低コストの打上げオペレーションや、簡素性を徹底的に追求した射場設備などの新しい設計思想を採用し、単なる既存コンポーネントの組合せでは及ばない高品質のシステムを構築するとともに、革新的な運用性の向上を目指す
- 基幹ロケットと基盤（技術、技術者、技能者、設備）、機器を共通化するなどにより、短期、低コストでの開発や、基幹ロケットと一体となった信頼性向上、コストダウンを図る

# 固体ロケットシステムの特徴

➤ 固体ロケットシステムは、その本質的な簡素性から、小型のペイロードを効率的、機動的に打ち上げるシステムに適している。

		固体ロケット	液体ロケット
比推力		高性能固体推進薬 M - Vで注力した技術課題 (特に上段用は液体に迫る高比推力を実現)	高性能液体燃料・エンジン
構造効率	大型	高圧燃焼に耐えるモータケースが重い M - Vで注力した技術 (CFRPケースの開発で一般的な固体の欠点は解消)	固体用ほど重くないタンク タンクの占める重量割合が大きい
	小型	構造が単純 (複雑なエンジン構造が無い)	複雑なエンジン構造などの 占める割合が相対的に増加
誘導性		燃焼中断ができない M - Vで注力した技術課題 (全段固体で惑星探査、太陽同期ミッションを遂行)	燃焼中断、再着火、推力可変 などの制御能力を織り込める
即時打上げ		打上げ準備状態で待機可能 M - Vで準備完成後の保管待機を実証済	打上げ準備が複雑で長時間を要する
開発費用・開発期間		相対的に安く、短い 革新的なパイロットプログラムに適する	相対的に高く、長い
打上げ費用	大型	相対的に高い	相対的に安い
	小型	相対的に安い	相対的に高い

# ユーザ(小型衛星)のニーズ

## ■科学分野

- 小型衛星により、多様な特徴ある宇宙科学ミッションを迅速、高頻度、低コスト、短期、かつ、タイムリーに実現
- 軌道は低軌道500km円軌道、極軌道、長楕円軌道、月・惑星遷移軌道と多岐
- 機械環境条件の緩和を要望
- 宇宙理学委員会・宇宙工学委員会の下にワーキンググループが存在(厳正なピアレビューを経て精選)

## ■技術実証衛星

- 宇宙開発利用を支える技術基盤の強化・充実に図るため、小型衛星を活用した宇宙実証によりコンポーネント・部品レベルのそれぞれで基盤的な技術力の抜本的な強化を行うことを目的
- 軌道は低軌道、極軌道、長楕円軌道と多岐
- 機械環境条件については基幹ロケットと同レベルを要望
- 総合技術研究本部を中心としてミッション検討中

# 小型科学衛星候補

No	ワーキンググループ名称	希望時期	軌道	質量	機関
1	惑星観測用小型宇宙望遠鏡 (TOPS)	2011年	太陽同期軌道or極軌道	400kg	東北大、JAXA、極地研、東大、NICT、京大、九大
2	小型衛星の編隊飛行による高エネルギー領域広天走査衛星 (FFSAT)	2011-2012年	地球周回低軌道	350/300kg	大阪大、名大、JAXA、神戸大
3	超小型精密測位衛星 (PPM-Sat)	TBD	極軌道	50-100kg	京大、東大、NICT、極地研、国土地理院、気象研究所、北大、奈良産業大、総合地球環境学研究所
4	高感度ガンマ線望遠鏡 (CAST)	TBD	地球周回低軌道	150kg	JAXA、スタンフォード大、東大、埼玉大、理化学研、大阪大、広島大
5	小型重力波観測衛星 (DPF)	2012年	極軌道	100kg	東大ほか
6	ダークパリオンの探査衛星 (DIOS)	2011年	地球周回低軌道	400kg	首都大学東京ほか
7	超高層大気撮像観測小型衛星 (IMAP)	2011-2014年	長楕円軌道	TBD	京大、名大、東北大、極地研、東大、JAXA、NICT、北里大、奈良女子大、島根大、駒澤大、京都女子大、北大、九大、電通大、千葉大、岐阜大、電子光法研、立命館大
8	地球電磁環境モニター衛星 (ELMOS)	2012年	地球周回低軌道	300kg	首都大学東京、九大、電通大、東海大、千葉大、学芸大、JAXA、IPE、CNRS、UNAM
9	小型衛星によるジオスペース探査 (ERG)	2012年	長楕円軌道	240kg	東北大、立教大、JAXA、東大、東海大、金沢大、京大、富山県立大、名大、九大、NICT、極地研、電通大、吉備国際大、理研、大阪府立大、北大、統計数理研、愛媛大、東工大
10	X線ガンマ線変更観測小型衛星 (POLARIS)	TBD	地球周回低軌道	TBD	大阪大、金沢大、山形大、理研、京大、JAXA、名大、東工大、立教大、広島大
11	宇宙テザー技術の検証	TBD	地球周回低軌道	380kg	首都大学東京、静大、東北大、東工大、九大、香川大、九工大、核融合科学研、JAXA、ESA/ESTEC、マドリッド大、コロラド州立大
12	小型衛星を用いた太陽発電衛星技術実証	TBD	準回帰軌道	600kg	JAXA
13	小型月実験機	2012年	月遷移軌道	300kg	JAXA、横国大、金沢大、東大、東北大、九大、京大
14	小型探査機による金星気球技術実証	2014年	地球脱出or 静止トランスファ軌道	150kg	JAXA、東大、名大、筑波大
15	磁気プラズマセイル	TBD	長楕円軌道	150kg	JAXA、京大、防衛大、高エネルギー加速器研究機構、静岡大、九大、東京農大
16	小型探査機によるソーラー電力セイルの展開・宇宙実証	2012年	長楕円軌道	190kg	JAXAほか

# M - V ロケットの主要な技術成果

## 固体ロケットシステム技術の確立

- M - V ロケットは、7回の技術実証を経て惑星探査にも活用できる世界で唯一の全段固体ロケットシステムとして確立された。
- 燃焼中断による制御のできない固体ロケットによる正確な軌道投入には、設計・製造・打上げ運用に至るライフサイクルにおける全ての段階で高い技術力が要求される。

## わが国の高水準固体ロケットシステム技術

- 下段から上段までの各段に最適な推進系設計および性能評価技術
  - 高性能固体推進薬製造技術(自国における主原料生産(高品位酸化剤など),調達から製造および検査まで)
  - 下段の大推力/短秒時燃焼モータ技術(高度な推進薬燃焼速度管理技術)
  - 上段の高比推力/高構造効率モータ技術(高燃焼効率推進薬,モータケース材料,高開口比ノズル設計技術)
  - 各段の能力配分の適正化によるロケット全体の最適設計技術
  - 残留推力の評価手法(分離後衝突回避システム技術)
- フライトモデルの高精度推進性能予測技術
  - 解析及び数少ない燃焼試験結果に基づく高精度の設計・評価技術の確立(真空燃焼試験技術を含む)
- 高い製造技術および信頼性・品質保証技術
  - 製造のばらつきを微小なレベルに抑える品質管理・製造検査技術の確立
- 高度な誘導制御技術
  - 各段推進性能に対し,製造による不可避のばらつきを許容した飛行制御技術の確立





# M - Vロケットの課題

---

## ■ 経済性

性能最適化を追求した結果、機体及び打上げ費用が他に比べ割高である。

## ■ 運用性(即応性)

運用性や整備性、耐候性に対しては最適化が行われていない。

## □ 特殊性

性能最適化と初期投資最小化を追求した結果、多くの機器がM - Vロケット専用の設計になっており、汎用性・共通性に対する配慮が十分ではなく、信頼性、コスト、生産体制維持に改善の余地が残る。

# 固体ロケットシステム技術の維持・発展方策

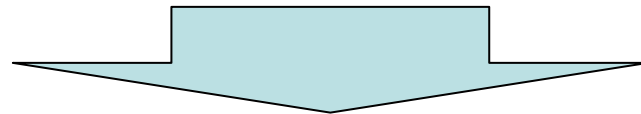
## 【維持・発展すべき固体ロケットシステム技術とは】

- ✓ 固体ロケットシステム技術は、設計・製造・打上げ運用に至るライフサイクルの全てにおいて必要な固有の技術をトータルシステムとして構築するもの。
- ✓ M - Vロケットで確立した我が国の固体ロケットシステム技術は、他国の追隨を許さない世界最高の水準にある。

## 【維持・発展方策】

基幹ロケットの固体ロケットブースタは、下段専用のサブブースタであり、推進効率が求められる上段推進系やトータルシステム技術とは本質的に異なる。したがって、当該技術だけでは固体ロケットシステム技術を維持・発展させることはできない。

M - Vロケットは性能面では世界最高水準の技術にあったが、経済性、運用性、及び即応性の観点では課題を抱えており、特殊性を有するM - Vロケットの維持、改良では解決できない。



『現有固体ロケット技術の基盤の上に新規技術を導入することによって、世界に冠たる運用性を実現し、「新たな小型固体ロケット打上げシステム」を開発すること』が、我が国が独自に培った固体ロケットシステム技術を将来にわたって価値ある技術に維持・発展させる唯一の方策であり、経済性の観点でも最良である。

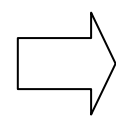
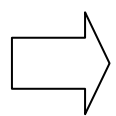
# 目的

**小型衛星計画への対応**

- ・ 衛星開発期間短縮、小型衛星による部品の事前実証
- ・ 短期間・高頻度の打上げ、効果的・効率的な成果創出

**固体ロケットシステム技術の維持・向上**

- ・ M - Vロケットまで培ってきた我が国独自の特長ある技術の継承・発展



システム構成と運用を簡素化することで、信頼性が高く、低コストで、運用性の良いシステムの実現を目指す。

**打上げシステム簡素化**

信頼性向上

コスト低減

運用性向上

# 目標

項目	次期固体ロケット (目標)	【参考】 M - Vロケット (実績)
<b>軌道投入能力</b> ・地球周回低軌道 ・太陽同期遷移軌道	1.2トン 0.6トン	1.8トン 0.9トン
<b>打上げ費用</b>	25 ~ 30 億円	約75 億円
<b>機体製造期間</b>	1 年以下	約3 年
<b>射場作業期間</b> (1 段射座据付けから 打上げ翌日まで)	7 日	42 日

# 軌道投入能力目標

## 小型科学衛星候補の分析

### (1) 軌道

- ・地球周回低軌道 : 6機
- ・太陽同期軌道もしくは極軌道 : 3機
- ・長楕円軌道・月遷移軌道・地球脱出軌道 : 6機
- ・その他 : 1機

### (2) 軌道と質量

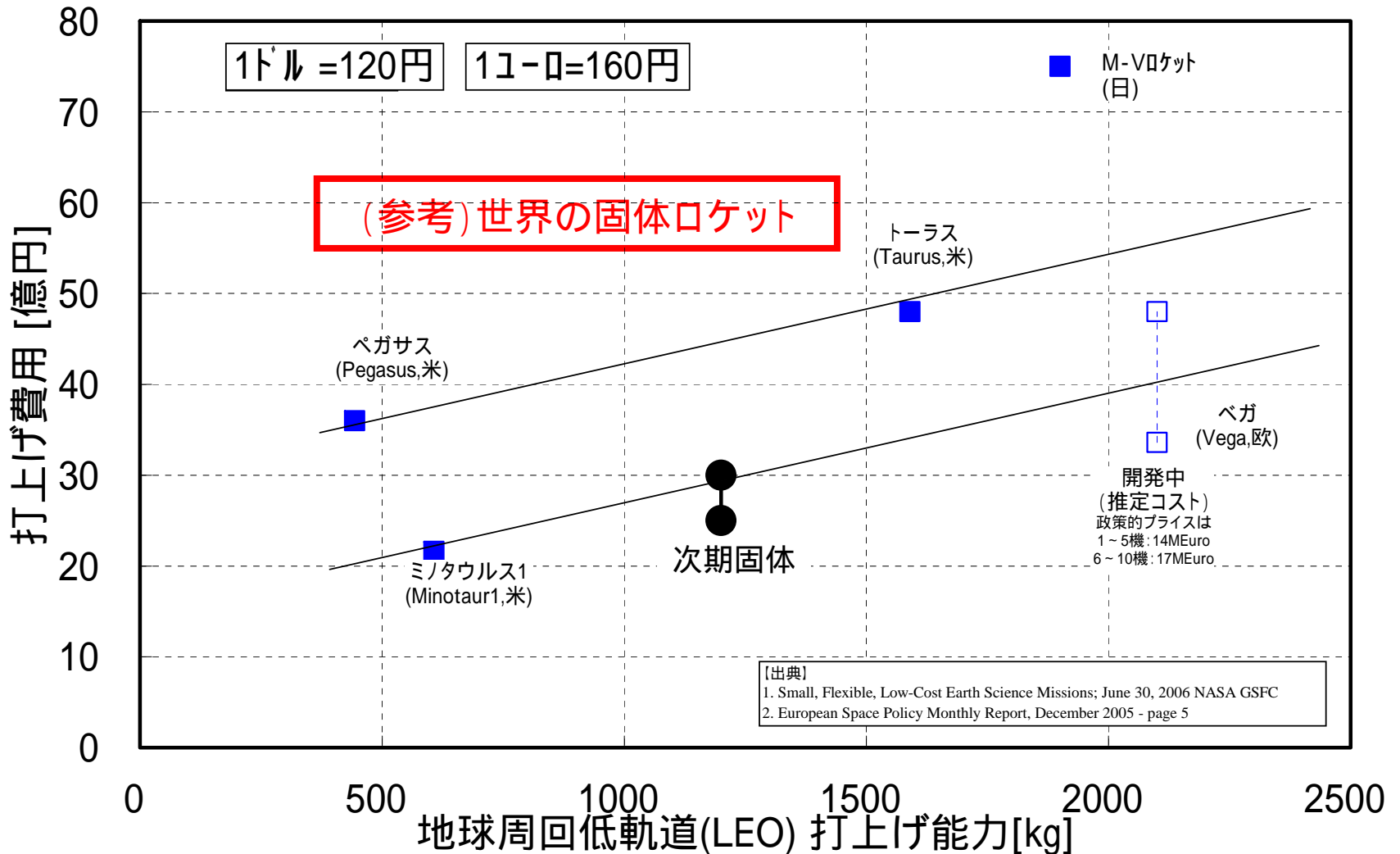
上記の軌道と質量を分析した結果、次の代表的な軌道に換算して以下の投入能力を有するロケットであれば、ミッションは成立する見込み。

- ・地球周回低軌道 (250 × 500km) : 1.2トン
- ・太陽同期遷移軌道 (250 × 500km) : 0.6トン

したがって、上記を軌道投入能力目標とする。

# 打上げ費用目標

必要な信頼性を確保したうえでシステム簡素化と運用性効率化により世界の固体ロケットと比肩し得る打上げ費用を目標



# 開発方針

## 1．小型衛星への柔軟な対応

- (1) 多様な軌道への対応が可能なシステムを構築すること
- (2) 音響環境、分離衝撃等のペイロード搭載環境を緩和すること
- (3) 短期間・高頻度打上げに対応したシステムにすること

## 2．信頼性向上

- (1) 基幹ロケットとの基盤共有化・強化を図ること

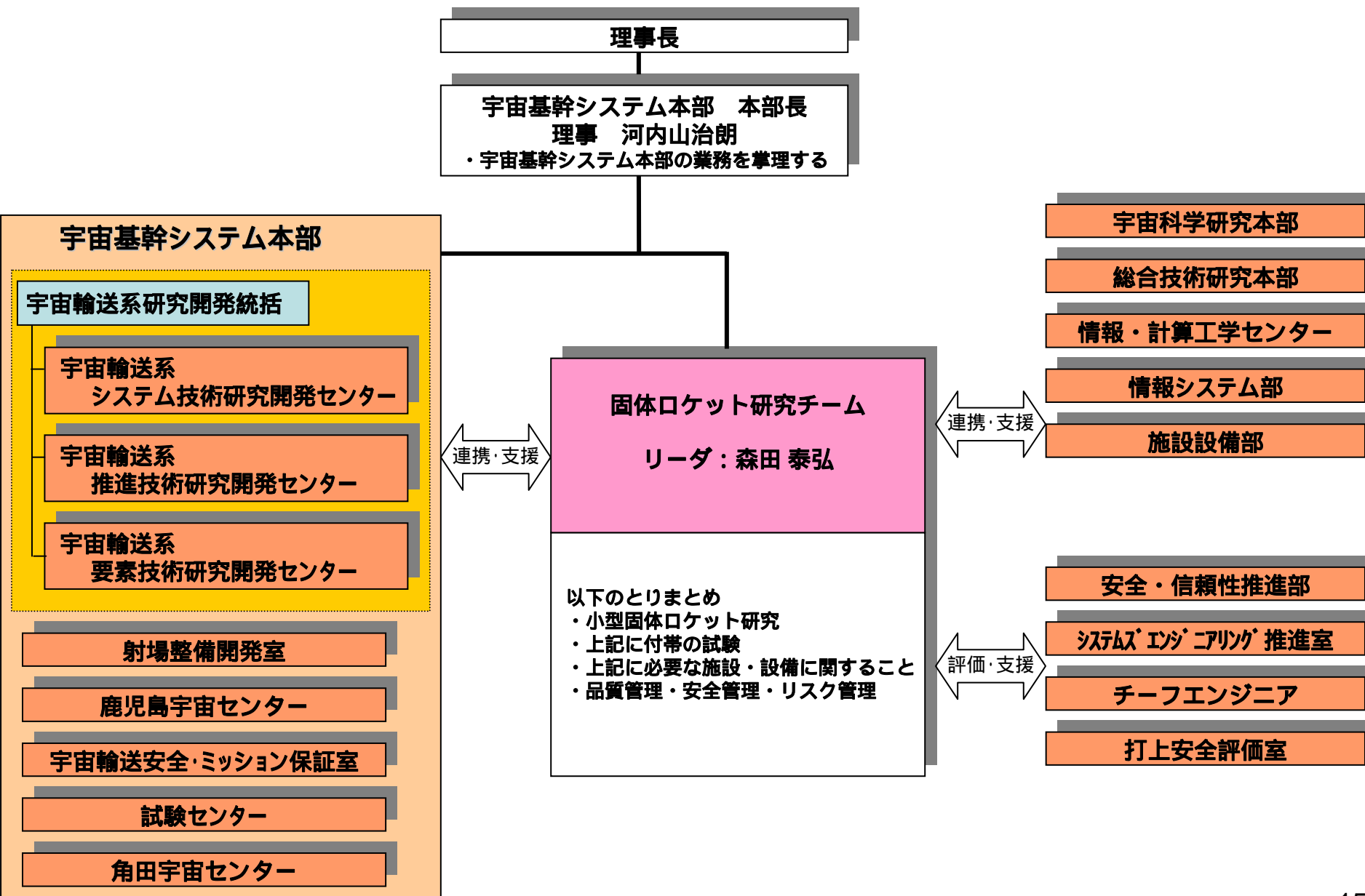
## 3．コスト低減

- (1) 地上設備簡素化と運用効率化を追求すること
- (2) 高度な技術（性能）とのバランスを取ってコスト低減を図ること

## 4．運用性向上

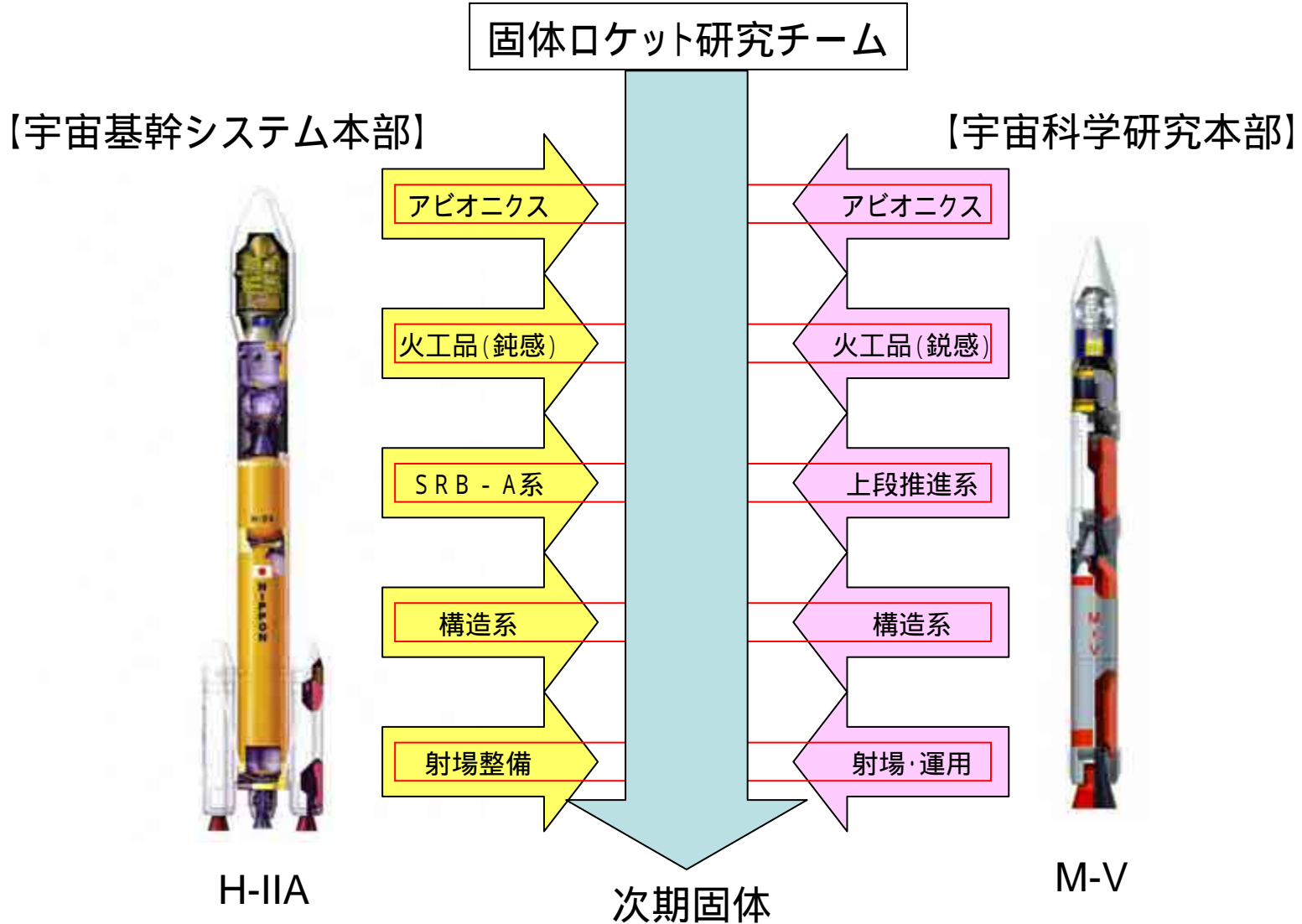
- (1) 打上げシステムの革新的向上のため次世代標準技術を取り入れること
- (2) ロケット整備の短期間化による機動性の高い運用手法を実現すること
- (3) 高度電子情報網を活用すること

# 実施体制





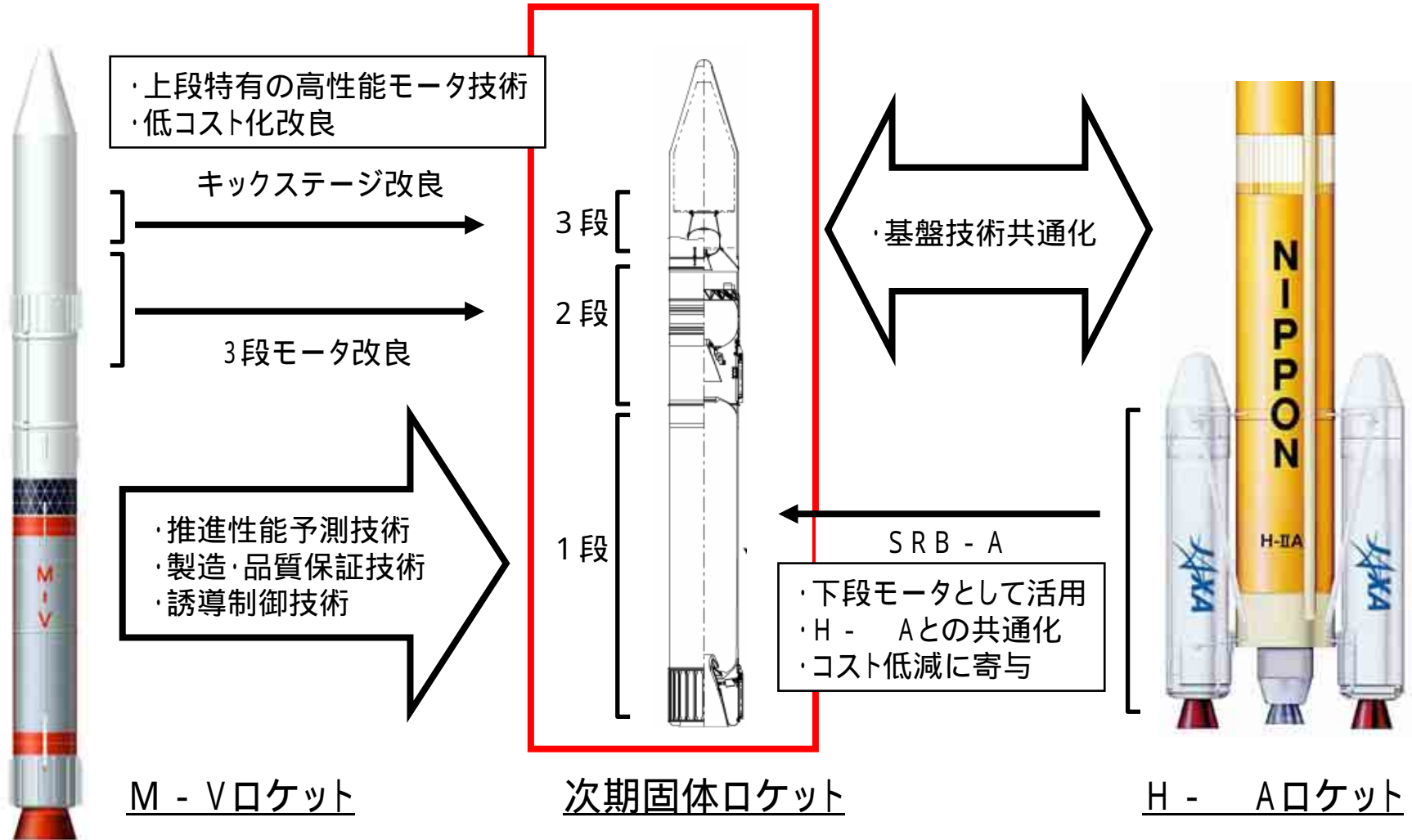
# ワーキンググループによる技術検討



その他、情報化、飛行安全・飛行計画などのWGで構成

# システムの選定及び基本設計要求

3段式により軌道投入能力目標を満足する見込み。



# システムの選定及び基本設計要求

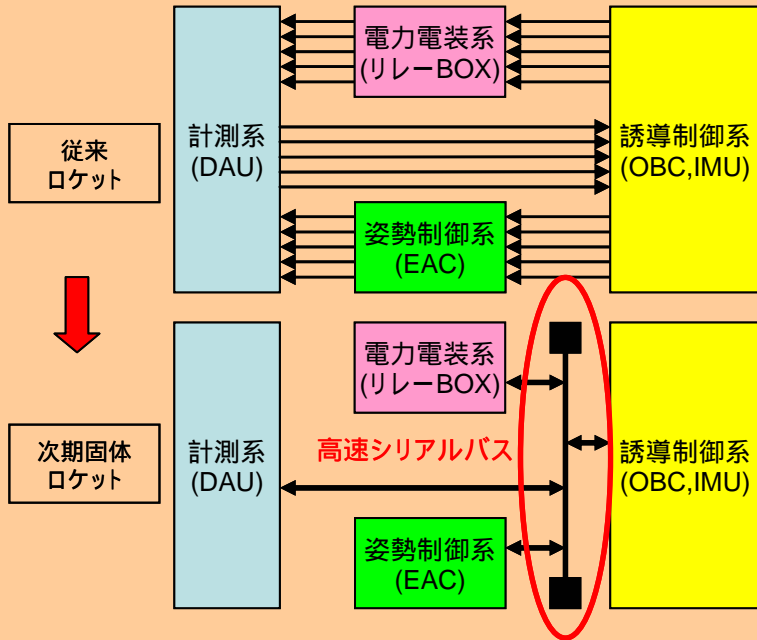


系	内容
アビオニクス	<b>打上げシステムの革新的向上、次世代標準技術に向けた開発</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・高速シリアルバス化（ネットワーク化）と点検の自律搭載化（機体インテリジェント化）</li><li>・共通基盤の強化<ul style="list-style-type: none"><li>地上設備簡素化と運用効率化の追求</li><li>将来輸送系を見据えた次世代技術</li></ul></li></ul>
推進	<b>世界最高水準の固体推進技術の洗練</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・上段固体モータの性能・コストの最適バランス化</li></ul>
構造	<b>音響環境、分離衝撃等の緩和によるペイロード搭載環境の改善</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・音響・衝撃予測の高精度化</li><li>・音響低減のための工夫</li><li>・低衝撃分離機構の構築</li></ul>
運用	<b>ロケット整備の短期間化による機動性の高い運用手法の実現</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・ロケットの組立て・整備の簡素化に対応した機体設計及び付帯設備</li><li>・情報ネットワーク化、点検の自律化による管制の省力化と遠隔化（射場に依存しない管制）<ul style="list-style-type: none"><li>短期間・高頻度打ち上げに対応したシステムの構築</li></ul></li></ul>
情報	<b>高度電子情報網の活用</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・デジタルエンジニアリングによるミッション解析期間の短縮<ul style="list-style-type: none"><li>短期間・高頻度打ち上げに対応したシステムの構築</li></ul></li></ul>

# システムの選定及び基本設計要求

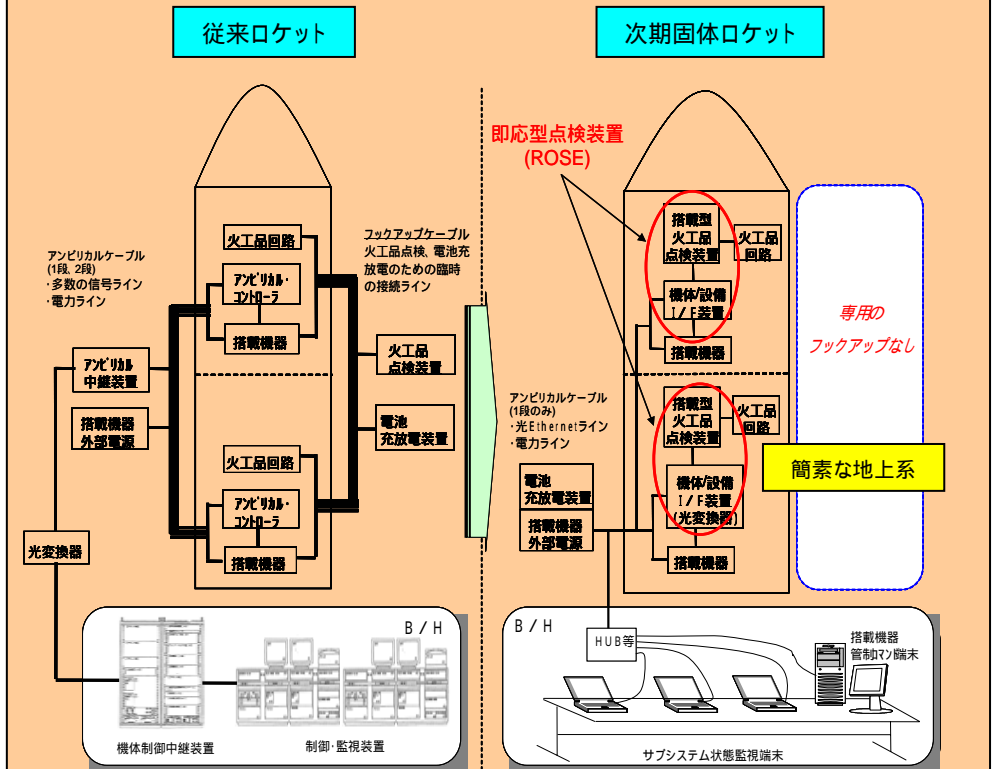
## 高速シリアルバス化(ネットワーク化)

地上と搭載の区別のない情報ネットワーク  
機体に依存しない搭載系  
地上装置の簡素化、データ通信の高速化  
艙装ハーネス低減



## 点検の自律搭載化(機体インテリジェント化)

即応型点検装置(ROSE)の開発  
火工品回路点検のためのセットアップを不要とする  
機体搭載状態でのバッテリー充電を実現  
フライト中動作不要 民生品活用(高性能・小型軽量・低価格)

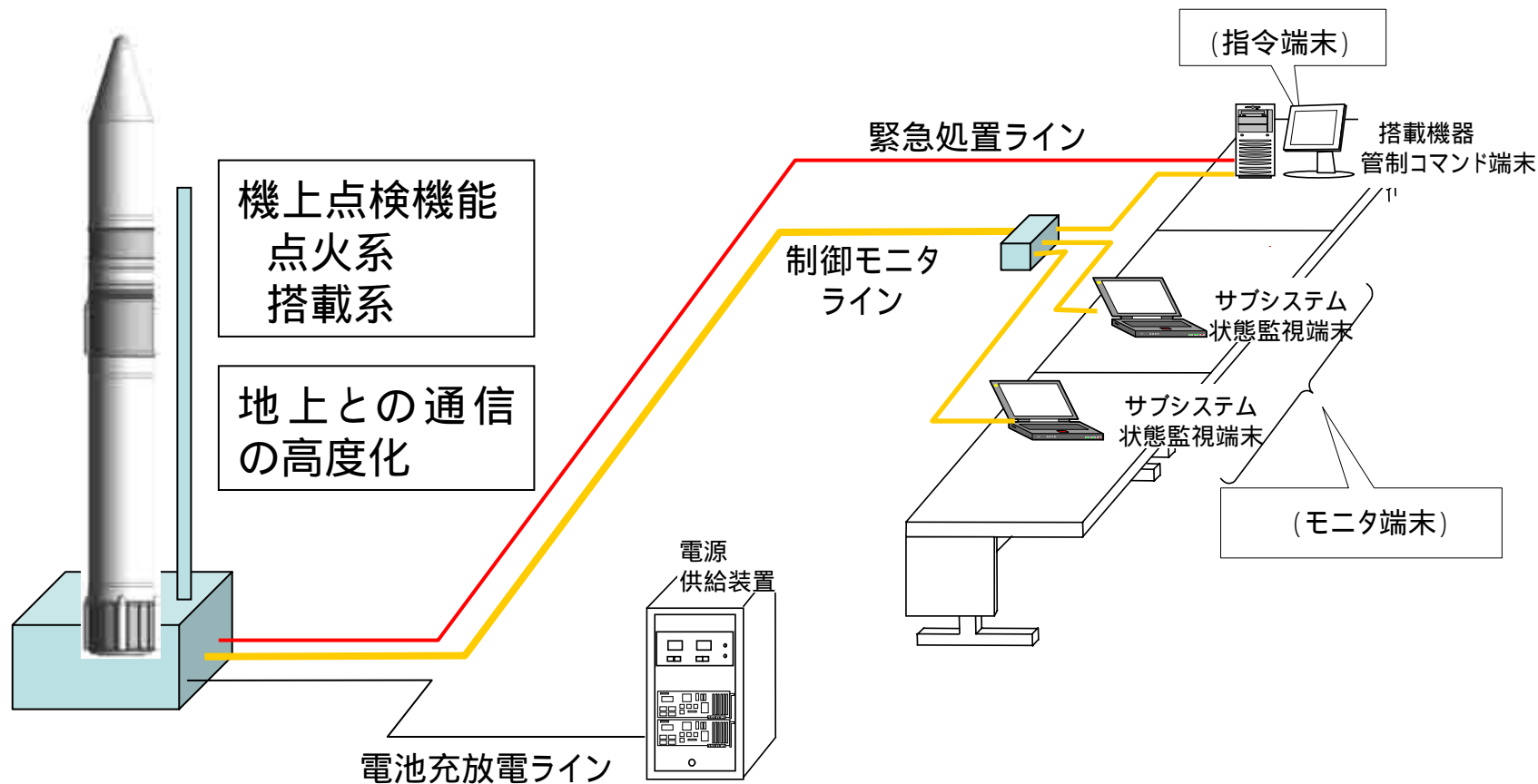


# システムの選定及び基本設計要求

- ・搭載系のネットワーク化 (Rocket Wire)
- ・高機能化 (インテリジェント化)
- ・設備&運用の負担軽減 (簡素化)

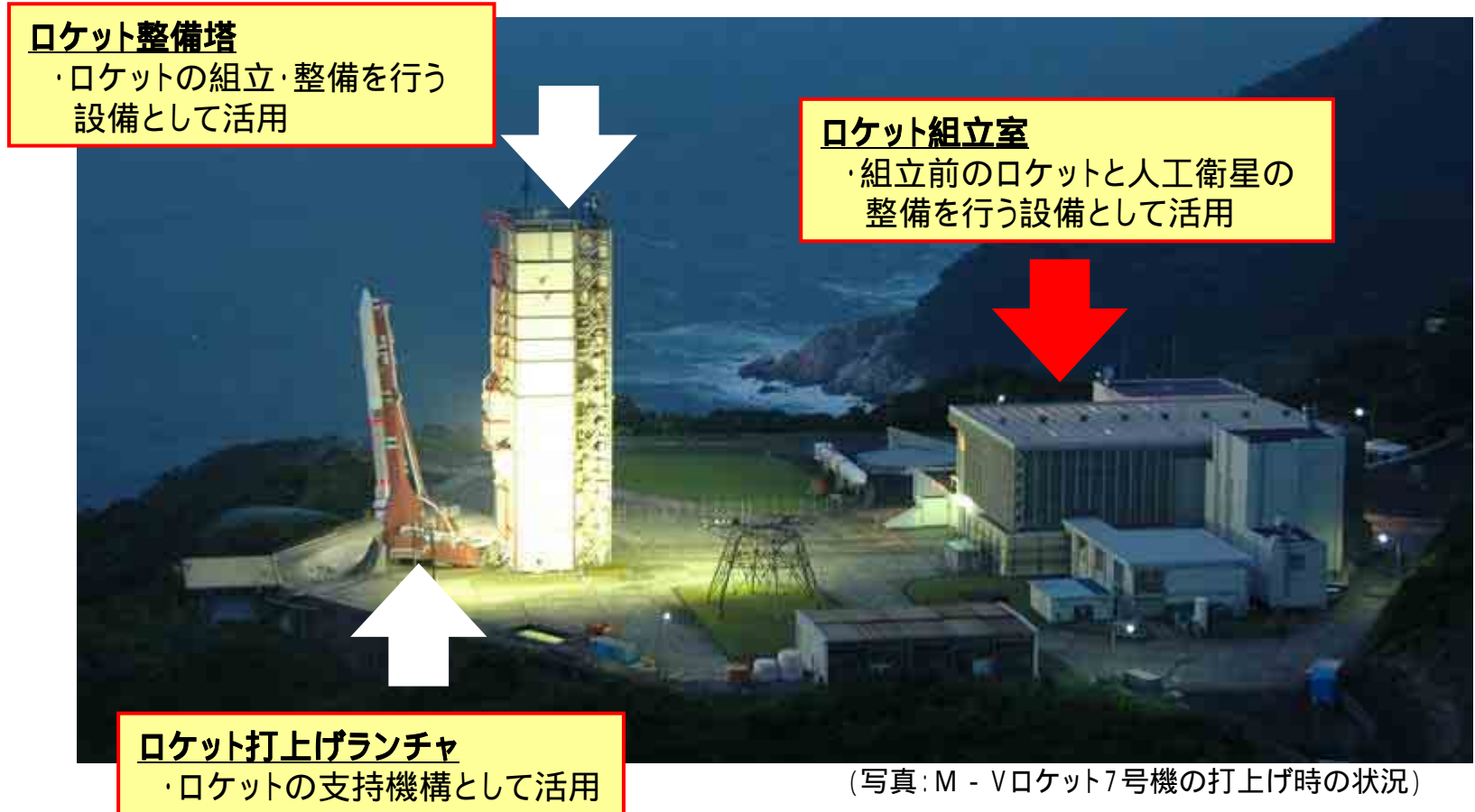


- ・アビオニクス技術を革新
- ・基幹ロケットを先導
- ・固体ロケットの発展性確保



# 打上げ射場

・内之浦を第一候補として検討中(下記は既存設備最大利用案)



# スケジュール

平成18年9月23日を最後にM - Vロケットが運用終了している。JAXA / メーカーのリソース(人員等)を分散することなく、これまでに培ってきた技術を継承するには、早急に本格的な研究着手が必要。

平成19年度 2007年度	平成20年度 2008年度	平成21年度 2009年度	平成22年度 2010年度	平成23年度 2011年度
SAC評価(開発研究への移行)	SAC評価(開発への移行)	PDR	CDR	打上げ PQR
概念検討・概念設計	計画決定	基本設計	詳細設計	製造・試験
	実現性確認試験		試験機1号機	
		モータ開発		
		アビオニクス開発		
		構造系開発		
		設備整備		

# 資金計画

---

次期固体ロケットの開発資金は現段階での不確定性を考慮して約200億円を見込んでいる。

以下を含む。

- 小型固体ロケットの開発（試験設備含む）
- 射場施設設備の整備（他ロケットとの共通部分を除く）
- 試験機1号機の打上げ（ペイロードを除く）



# リスク管理

リスクを以下のカテゴリに分類して識別した。

## 【カテゴリ 1】

JAXA / プロジェクトのコントロールが困難な外的要因が主で、必要に応じて追加コスト、スケジュール見直しを要するもの

## 【カテゴリ 2】

内的要因が主で、開発研究段階で処置をすることにより開発段階でリスクが大幅に低減すると見込まれるもの

## 【カテゴリ 1】

No	リスク項目	リスク内容	対処計画
1	目標・基本設計要求変更	目標・基本設計要求を変更する場合、性能・コスト・スケジュールに影響を及ぼす可能性がある。	変更する際には、性能・コスト・スケジュールを総合的に評価して決定する。
2	共通技術の不具合	他ロケットとの共通技術(SRB - A等)について、そのロケット研究開発・打上げ等で不具合が発生した場合、性能・コスト・スケジュール等の影響を受ける可能性がある。	状況に応じて影響度合いを検討する。

# リスク管理

## 【カテゴリ2】

No	リスク項目	リスク内容	対処計画(開発研究段階)
1	高速シリアルバス化	新規開発の高速シリアルバスの実現性確認が遅れる可能性がある。	確実な開発に向け、高速シリアルバスの試作試験により設計への反映事項を早期に抽出する。
2	点検の自律搭載化	従来地上装置で行ってきた点検機能の機体搭載化を可能とする装置の実現性が確認できない可能性がある。(質量・寸法過大等)	装置の設計・試作・試験により実現性を確認する。
3	モータケース	CFRPモータケース成立性確認が遅れる可能性がある。	設計・材料データ取得試験を実施し、適切なスケジュールを設定する。
4	音響環境	音響環境緩和のために設備に対する要求が過大になる可能性がある。(コスト増)	H - AやM - Vの評価結果を活用し、JAXA内専門家の支援を受けて解析精度の向上を図る。
5	高周波衝撃環境	分離衝撃低減効果が得られず、衛星やロケット搭載機器の開発に影響を与える可能性がある。	低衝撃分離機構の設計と試験により効果・実現性を確認する。
6	フェアリング沈水性	フェアリング海上落下後、海に沈める仕様にする場合、コスト・質量増などによりシステムとして成立しない可能性がある。	海に沈めるための材料・構造様式を検討し、システムとして成立するか検討する。

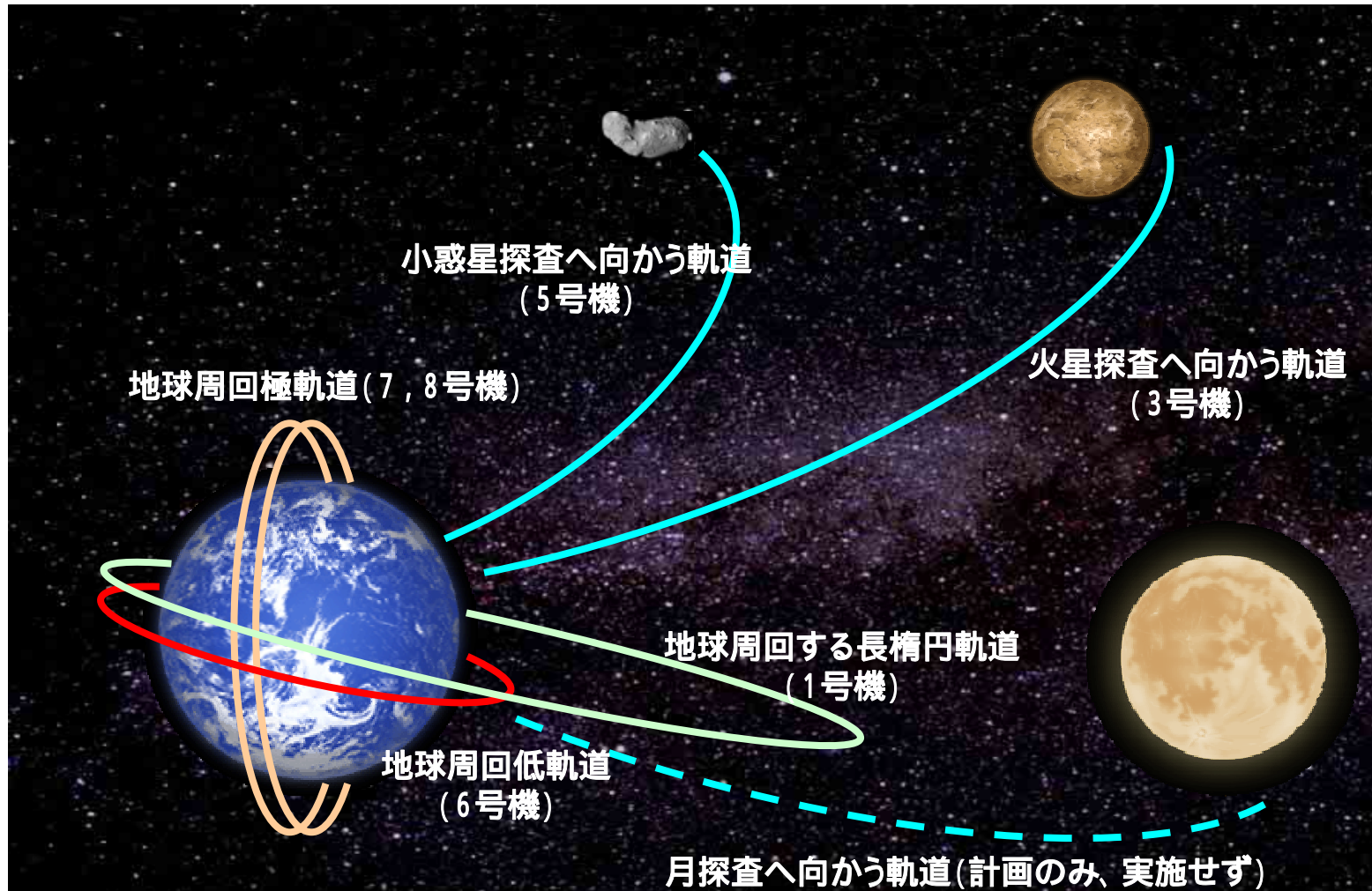
---

# 参考

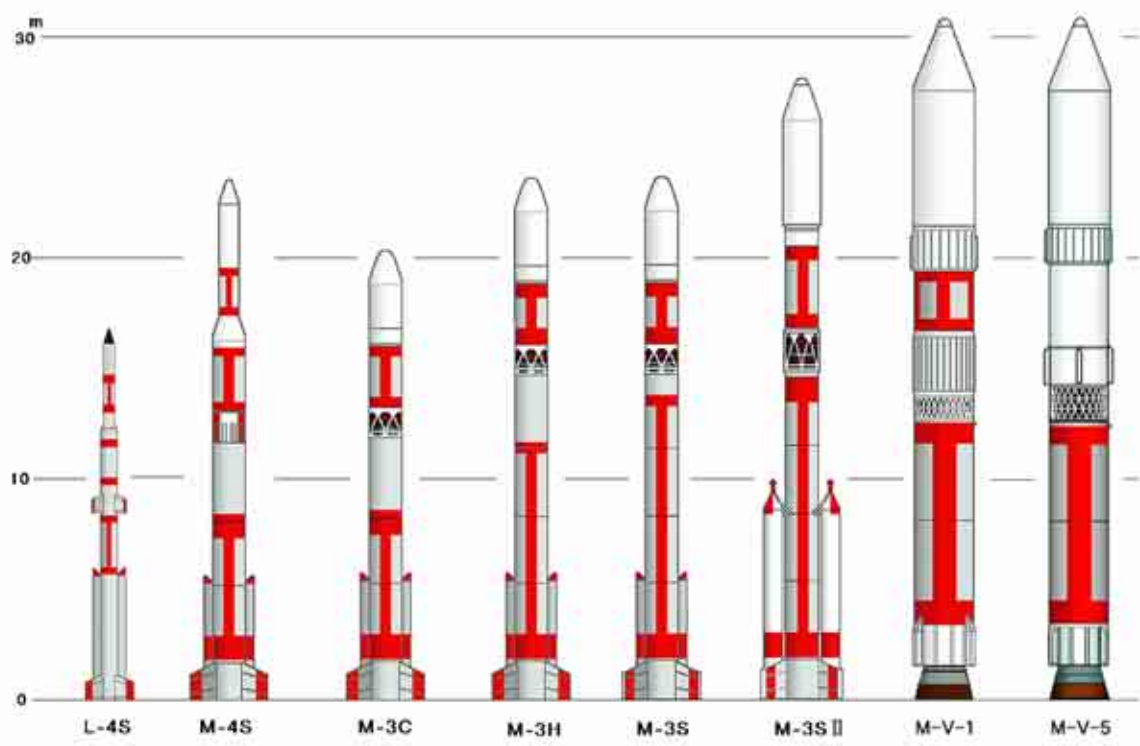
# M - V ロケットの打上げ軌道

## 多様な打上げ能力の確立

多様な宇宙科学ミッションに対応するため、M - Vは地球周回から惑星間軌道までの多様な軌道への打上げ能力を持つよう開発され、各号機の打上げを通じて技術が実証・確立された。

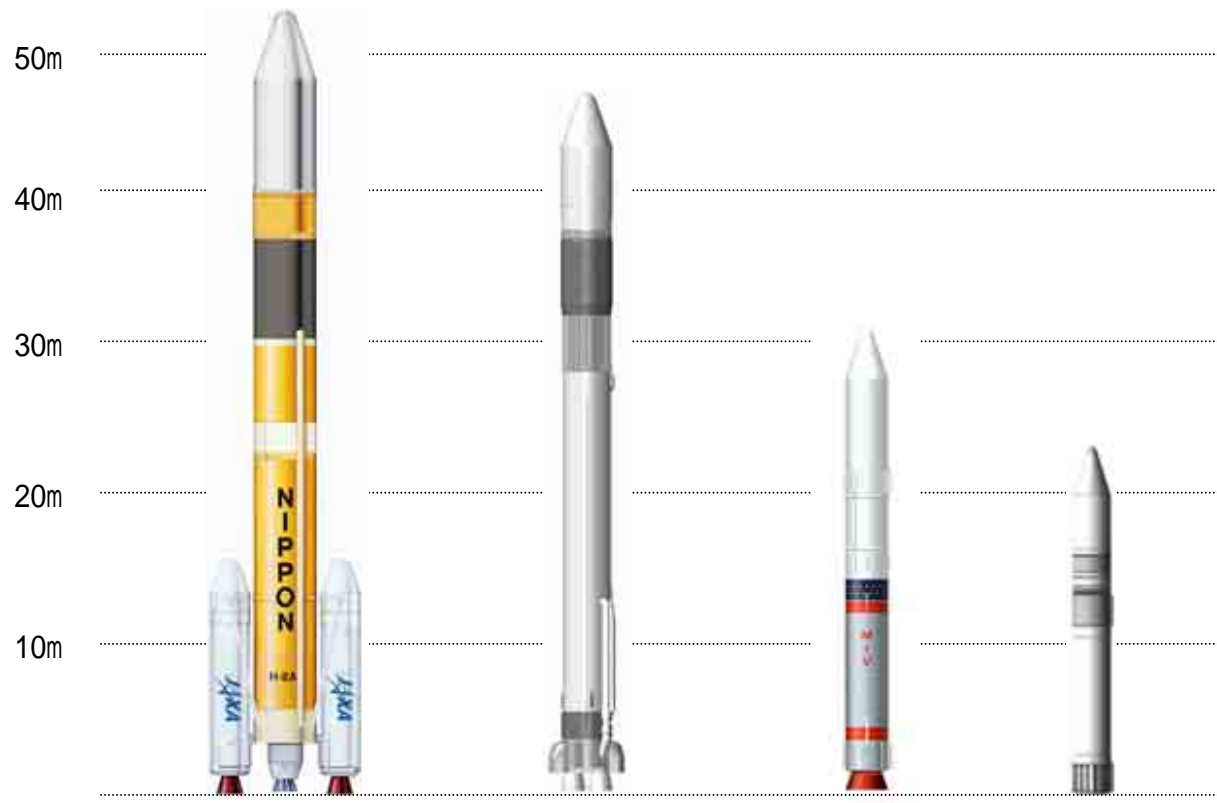


# 固体ロケット技術発展の推移



	L-4S	M-4S	M-3C	M-3H	M-3S	M-3S	M-V-1	M-V-5
全長(m)	16.5	23.6	20.2	23.8	23.8	27.8	30.7	30.8
直径(m)	0.735	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	2.5	2.5
全質量 (ton)	9.4	43.6	41.6	48.7	48.7	61	139	140.4
打上げ能力(kg)	26	180	195	300	300	770	1,800	1,850

# 日本のロケット比較



		H-IIA(標準型202)	GX	M-V	次期固体
打上げ能力(低軌道)		10 t	4.4 t	1.8 t	1.2 t
全長		53 m	48 m	31 m	24 m
推進薬	3 段部	-	-	固体	固体
	2 段部	液体水素 / 液体酸素	液化天然ガス / 液体酸素	固体	固体
	1 段部	液体水素 / 液体酸素	ケロシン / 液体酸素	固体	固体

大型衛星の補完としての  
小型衛星ミッションに適する  
打上げ能力と打上げコスト

中・大型ロケットによる相乗り  
打上げでも効率的に対応困難  
な小型のペイロード輸送を担う。