



資料12-3

科学技術・学術審議会  
研究計画・評価分科会  
宇宙開発利用部会  
(第12回)H25.9.4

# 新型基幹ロケットに関する検討状況について

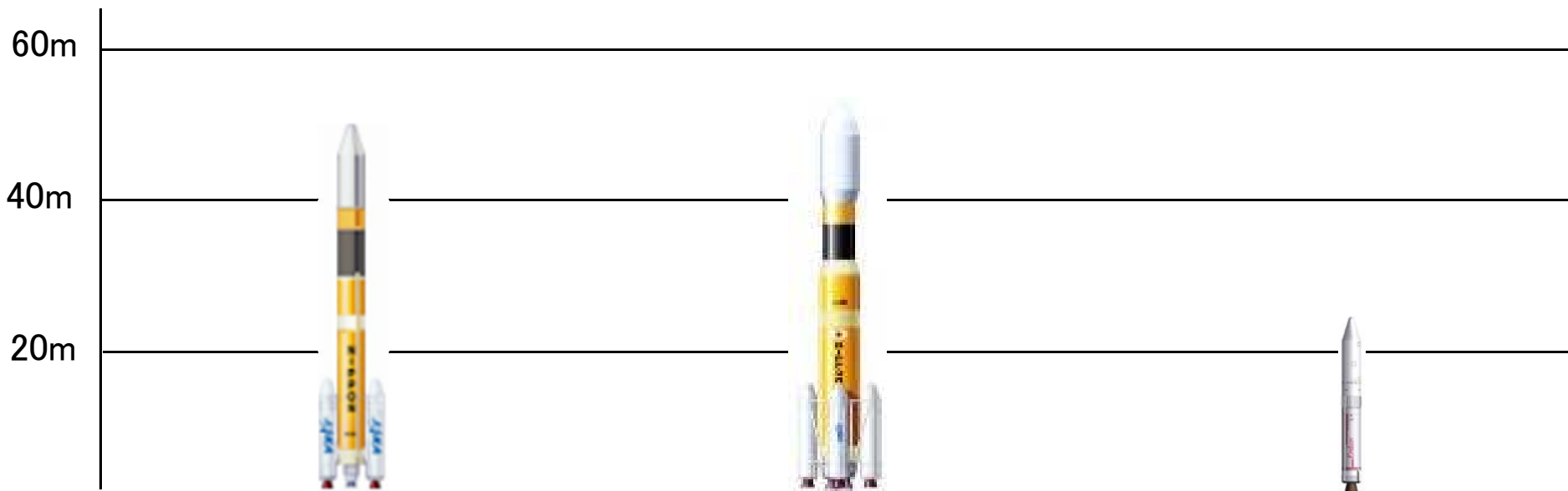
平成25(2013)年9月4日

宇宙航空研究開発機構  
理事 遠藤 守

1. 我が国の宇宙輸送システムの概要
  2. 新型基幹ロケットについて
    - (1) 我が国の宇宙輸送事業の目指す姿
    - (2) 新型基幹ロケット検討フロー
    - (3) 要求分析
    - (4) 要求事項(ミッション要求、運用要求、安全要求)
    - (5) 総合システムのコンセプト
    - (6) 開発計画
- 
- 補足A 液体ロケット開発経緯
  - 補足B 動向分析の結果
  - 補足C エンジン開発・高信頼性開発プロセス
  - 補足D 大型ロケットの世界動向

# 1. 我が国の宇宙輸送システムの概要

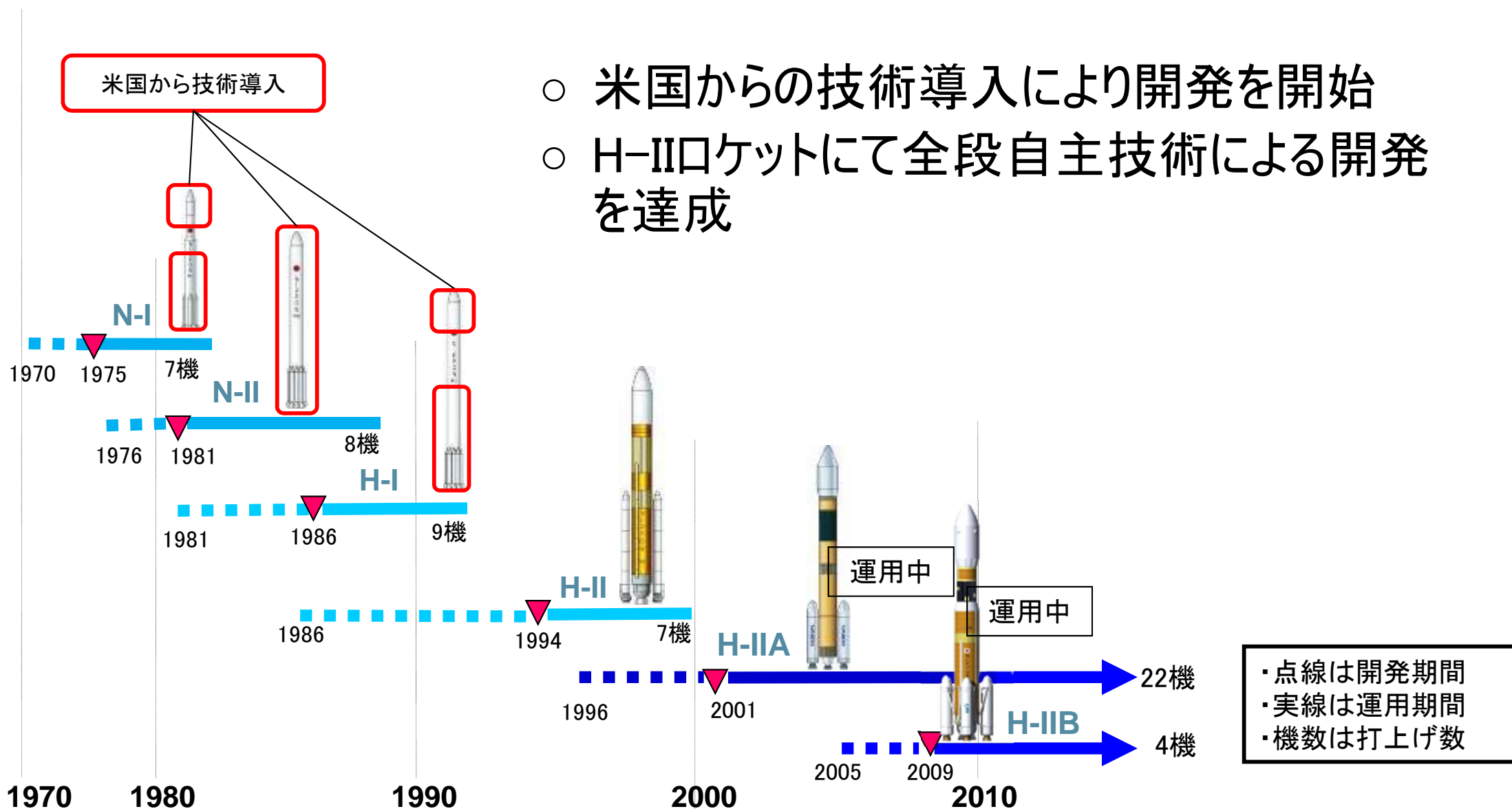
# 我が国の宇宙輸送システム



ロケット名	H-IIAロケット	H-IIBロケット	イプシロンロケット
全長	約53m	約57m	約24m
推進薬	液体(液体酸素/液体水素)	液体(液体酸素/液体水素)	固体
成功/打上	21/22	4/4	平成25年度9月 打上予定
打上成功率	95.4%	100%	—
打上能力	GTO(*): 4.0ton(202形態) 5.8ton(204形態) SSO(*): 3.9ton(202形態)	GTO(*): 8トン HTV軌道: 16.5トン	LEO: 1,200kg SSO: 450kg(高度500km)

(\*) GTO打上げ能力は静止化増速量: 1,800m/sの場合、SSO打上能力は高度800kmの場合。

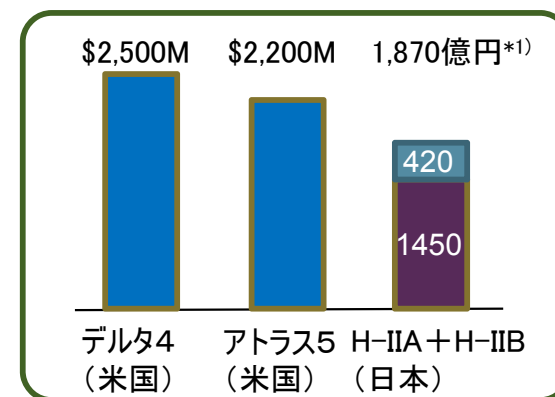
# 液体燃料ロケットの経緯



# H-IIAロケット

- 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**。
- 欧米に比べて**格段に少ない費用**で、世界に比肩する**ロケットを開発**
- **連続16機の打上げに成功**（成功率：**95.4%**。主要ロケットの初期成功率で世界最高水準）。
- 2006年度には民間移管完了。**三菱重工業(MHI)**による**打上げサービス**により、13号機から10機の打上げに成功。
- 21号機で**初の商業打上げ(韓国衛星)**を実施し、成功。
- JAXAでは、H-IIA/H-IIBの**信頼性向上**の取り組みに注力。

同規模のロケット開発費の比較



\*1) 試験機・地上設備費用含む。信頼性向上含まず

主要ロケット開発初期20機打上げ成功率

ロケット	初期の成功数	成功率(%)
アトラスV	19/20	95%
デルタ4	19/20	95%
アリアン5	19/20	95%
ソユーズU	19/20	95%
プロトンM	18/20	90%
長征3	16/20	80%
平均		91.66%
H-IIA	19/20	95%

## 【参考】民間移管後の打上げ実施体制

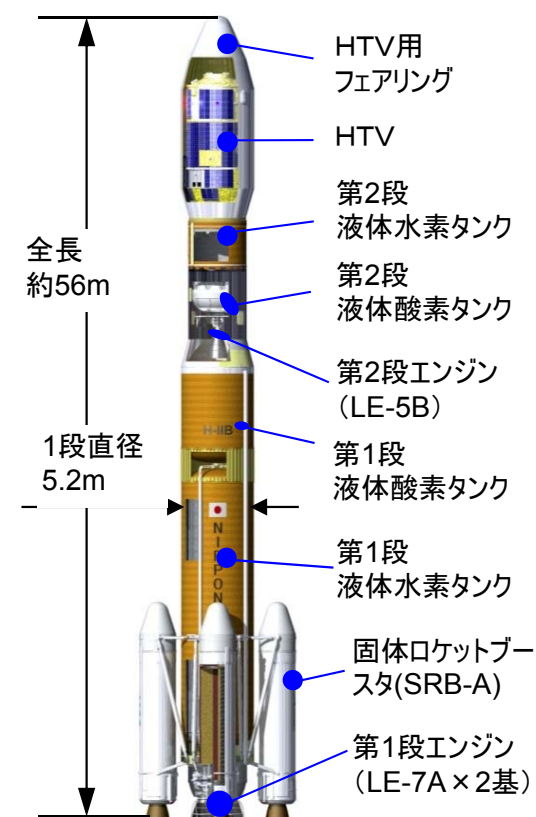
- JAXA衛星の打上げについても、商業衛星と同様にMHIより打上げサービスを購入。
- 打上げサービスでは、**MHI**は、打上げ事業者として**衛星軌道投入までの業務**等(ロケット製造、衛星インタフェース作業、射場整備作業及び打上げ等)を実施。
- **JAXA**は地上、海上およびロケット飛行中の安全を確保するための**打上げ安全監理業務**を実施。



型式	H2A202	H2A204
打上げ能力 (GTO換算)	約4.0ton	約5.8ton
( $\Delta V=1,800\text{m/s}$ )	4Sフェアリング	5Sフェアリング

# H-IIBロケット

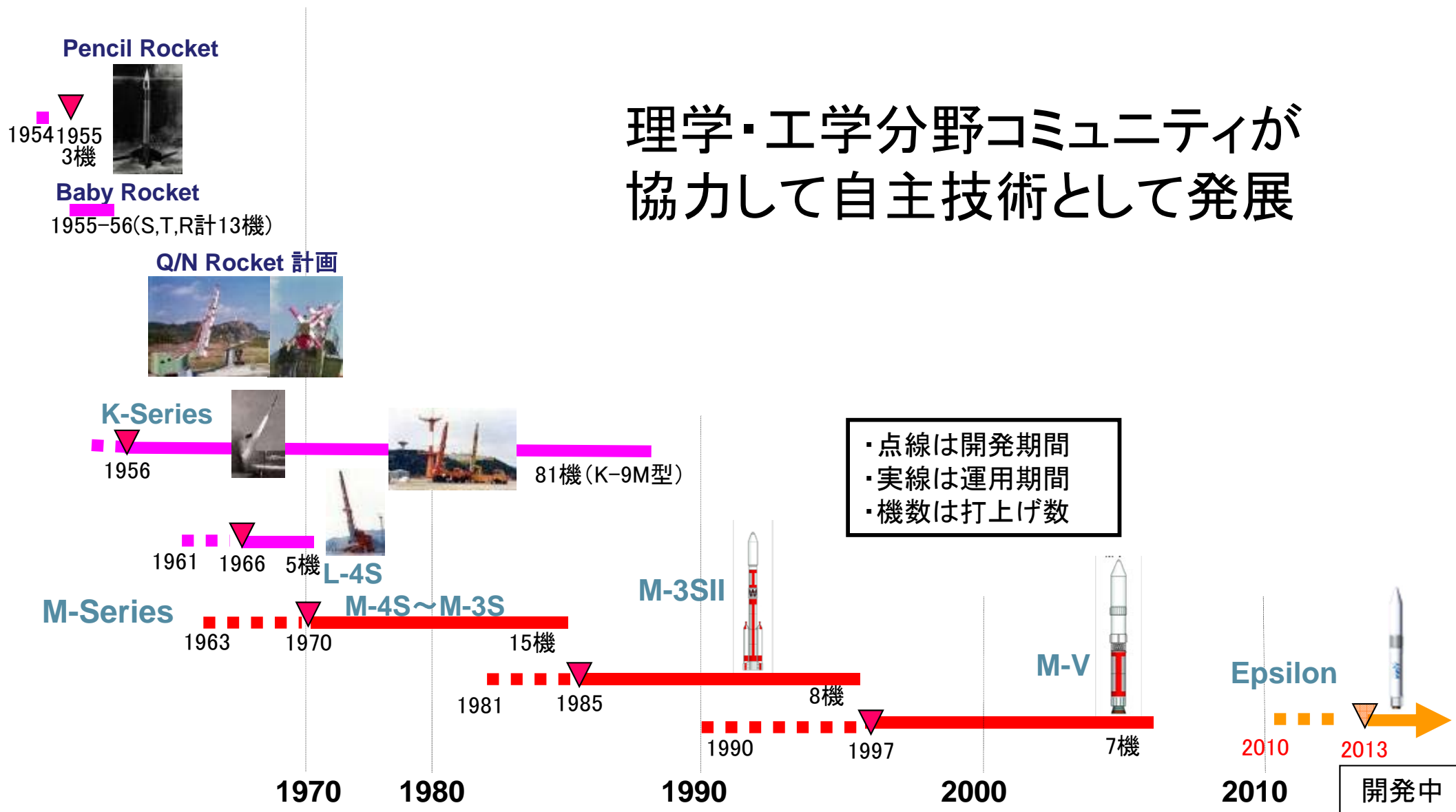
- 宇宙ステーション補給機(このとり)打上げと国際競争力確保を目的として、H-IIAロケットを基本として開発。
- 官民が共同で開発を行なうこととし、民間の主体性・責任を重視した開発プロセスを採用。
- 2009年9月11日の試験機打上げ以来、これまでに**4機連続**で**予定された日・時・秒**に**打上げ**を成功。
- 2013年8月4日に打上げた**4号機**から、H-IIAと同様のMHIによる**打上げサービスを開始**。
- JAXAでは、H-IIA/H-IIBの**信頼性向上**の取り組みに注力。



H-IIB2号機打上げ 2011年1月22日

		H-IIBロケット	H-IIA204型 (参考)
全長 全備質量		約57m 約530 <sup>ト</sup>	約53m 約445 <sup>ト</sup>
1段	タンク直径 推進薬質量 エンジン 推力	5.2m 176 <sup>ト</sup> LE-7A×2基 112 <sup>ト</sup> ×2	4m 100 <sup>ト</sup> LE-7A×1基 112 <sup>ト</sup>
2段	タンク直径 推進薬質量 エンジン 推力	4m 16.7 <sup>ト</sup> LE-5B×1基 14 <sup>ト</sup>	同左
SRB-A	推進薬質量 装着基数	66 <sup>ト</sup> / 本 4本	同左

# 固体燃料ロケットの経緯

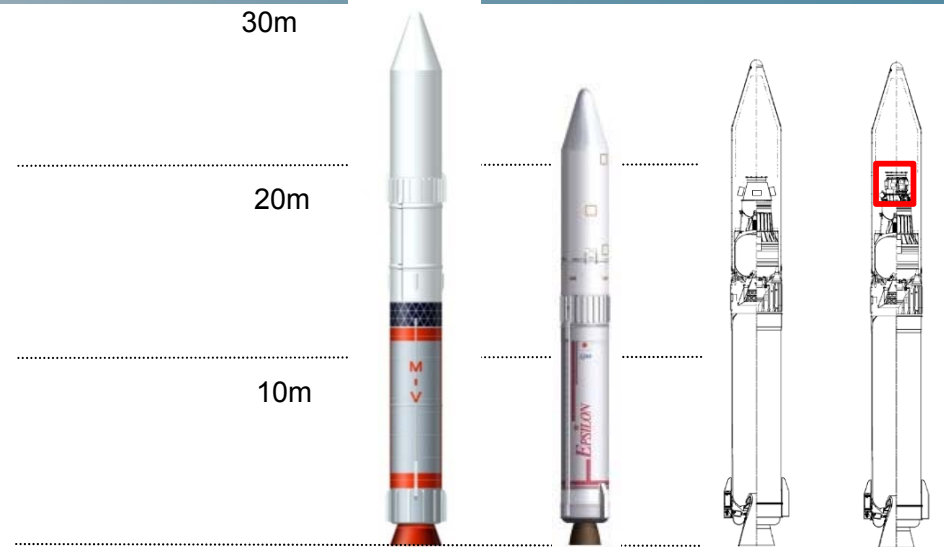


理学・工学分野コミュニティが協力して自主技術として発展



# イプシロンロケット

- **小型衛星の打上げに我が国として自律的に対応するための、機動性・運用性に優れた固体ロケット**  
(日本独自で培った技術、**世界一の運用性**)
- **M-V及びH-IIAで培った技術を最大限に活用したイプシロンロケットを開発**
- 2010年8月の宇宙開発委員会にて、開発移行が承認
- 2011年1月に打上げ射場を内之浦とすることを決定
- 平成25年**9月**に**試験機**により**惑星分光観測衛星 (SPRINT-A)**を打上げ予定
- ロケット・衛星ともに早期に打上げ実績を重ねつつ、**段階的に低コスト化を目指す**



		M-V	イプシロン
全長		30.8 m	24.4 m
直径(代表径)		2.5 m	2.5 m
推進薬	3段部	固体	固体
	2段部	固体	固体
	1段部	固体	固体
軌道投入能力			
・地球周回低軌道		1,800kg	1,200kg
・太陽同期軌道		—	450kg
・軌道投入精度		—	液体ロケット並み
射場作業期間 (1段射座据付けから 打上げ翌日まで)		42日	7日
衛星最終アクセスから 打上げまで		9時間	3時間

左: 基本形態  
右: オプション形態 (PBS付き)

(注)液体ロケット並みの軌道投入精度に対応するため小型液体推進系を搭載したオプション形態を有する

PBS: ポスト・ブースト・ステージ



ランチャー旋回試験  
(2013年4月内之浦射点にて実施)



衛星フェアリング音響試験  
(2013年2月筑波宇宙センターにて実施)



上段サブサイズモータ地上燃焼試験  
(2011年9月能代ロケット実験場にて実施)

## 2. 新型基幹ロケットについて

- (1) 我が国の宇宙輸送事業の目指す姿
- (2) 新型基幹ロケット検討フロー
- (3) 要求分析
- (4) 要求事項(ミッション要求、運用要求、安全要求)
- (5) 総合システムのコンセプト
- (6) 開発計画

# (1) 我が国の宇宙輸送事業の目指す姿



## 我が国における宇宙輸送システムの位置付け

### 宇宙基本計画(平成25年1月25日 宇宙開発戦略本部決定)

#### 3-1. 宇宙利用拡大と自律性確保を実現する4つの社会インフラ

##### D. 宇宙輸送システム

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、その維持は我が国の宇宙活動の自律性確保の観点から重要である。今後とも将来に向けて自律的な宇宙輸送能力を保持していくために、人材や施設を含めた産業基盤の維持、強化、発展が必要である。

### 平成26年度宇宙開発利用に関する戦略的予算配分方針(経費の見積り方針) (平成25年6月4日 内閣府宇宙戦略室)

#### 1. 平成26年度概算要求に向けた重点化の方針

##### (2) 自律性確保の視点

宇宙へのアクセスの自在性を確保することは我が国の宇宙政策の大前提である。従って、自前の輸送システムを保持することが必要であり、直ちに必要な措置を講じるべきである。

#### 2. 重点化すべき事業

##### (4) 新たな基幹ロケット(部分抜粋)

輸送系の全体像を明らかにし、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。

# (1) 我が国の宇宙輸送事業の目指す姿



## ■ 新型基幹ロケットの目的・意義

安全保障を中心とする政府需要等に応える「自律的持続可能な宇宙輸送システム」を構築すること

## ■ 我が国の宇宙輸送事業の目指す姿

### ① 自律的な宇宙へのアクセス確保

- ロケット開発・運用能力を国として保持し、かつ、開発運用中の不具合等を解決する技術能力を保持して打上げを安定して継続できる状態

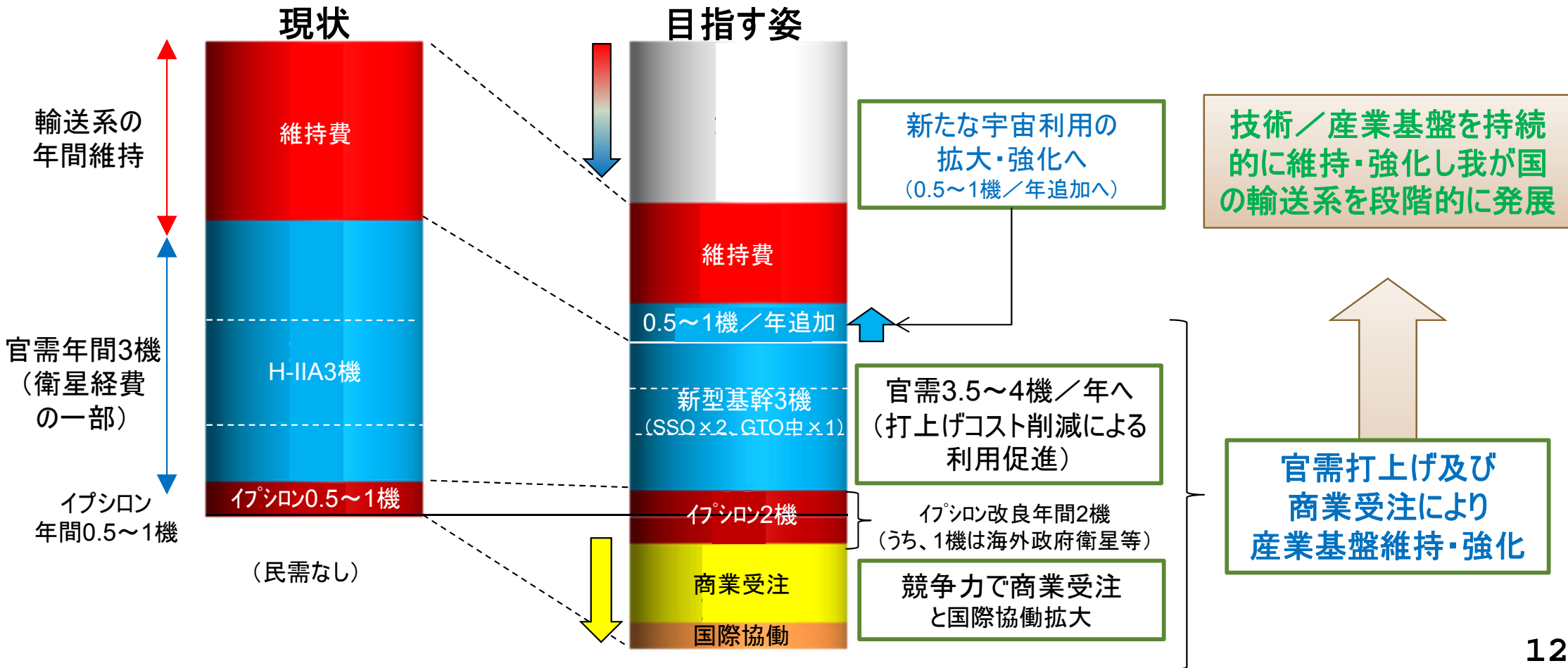
### ② 持続可能な宇宙輸送システムの実現

- 宇宙輸送コストをライフサイクル全体で低減して効率的に宇宙輸送事業を実施できる状態
- 産業基盤維持のために、国際競争力を有する新型基幹ロケットにより、民間事業者が主体的に打上げサービス事業を展開、拡大していける姿

# (1) 我が国の宇宙輸送事業の目指す姿

新型基幹ロケットの開発により、自律的かつ持続可能な事業構造への転換を図る。

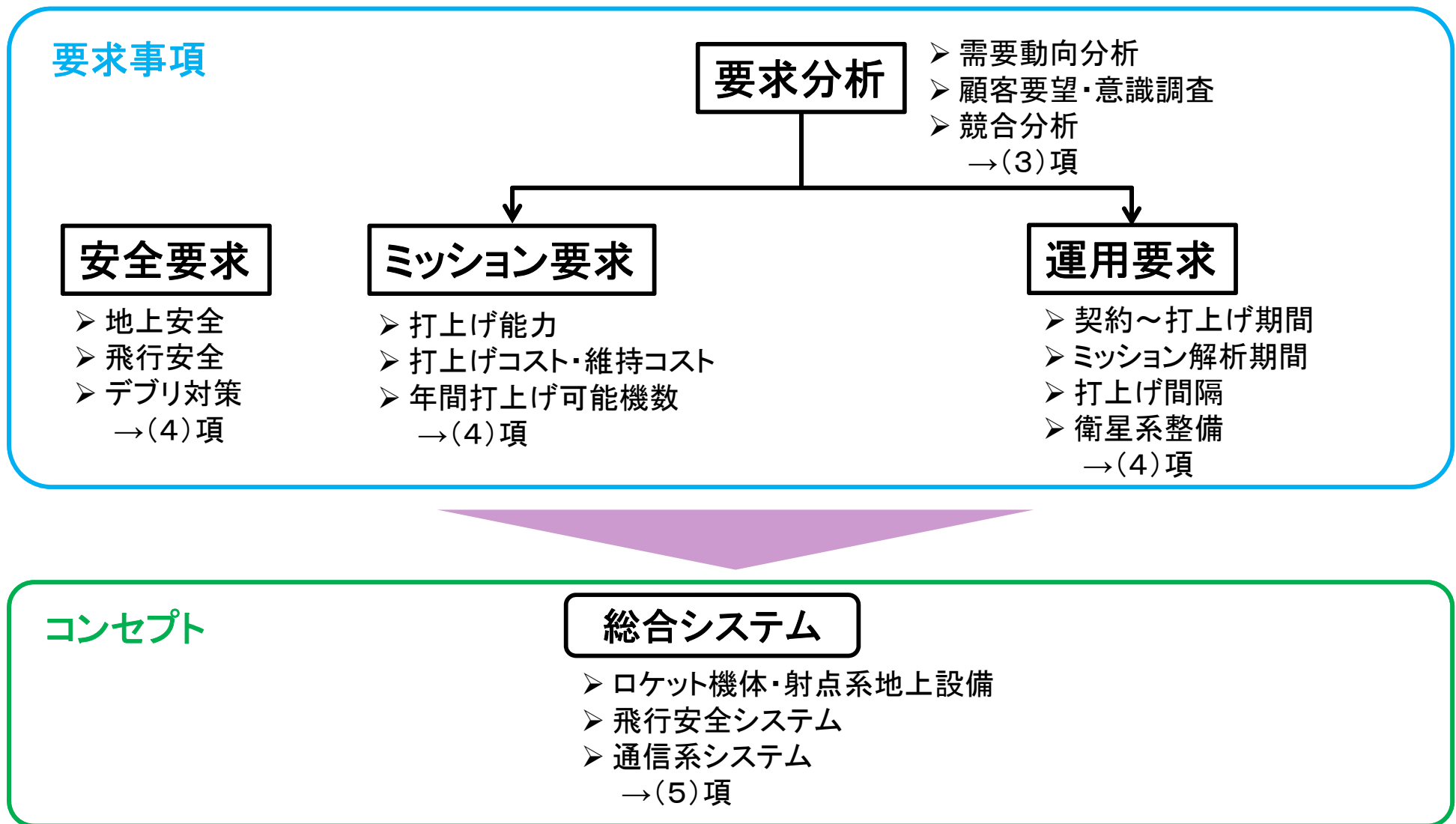
- 打上げコスト低減で宇宙利用を拡大
- 維持費の抜本低減で政府支出を効率化
- 事業規模の低減分を商業受注および輸出拡大で補い、産業基盤を維持・強化
- 技術競争力を強化し、国際協働を促進、システムインテグレーション技術を含め、将来にわたる競争力を継続的に確保



## (2) 新型基幹ロケット 検討フロー

■ 以下のフローに基づいて、新型基幹ロケットのコンセプトを検討中。

要求分析に基づきミッション要求と運用要求を設定し、これに国が責任を負う安全要求も加え、要求事項の実現の考え方と共に、ロケットのコンフィギュレーション選定を含む総合システムのコンセプトを検討中。



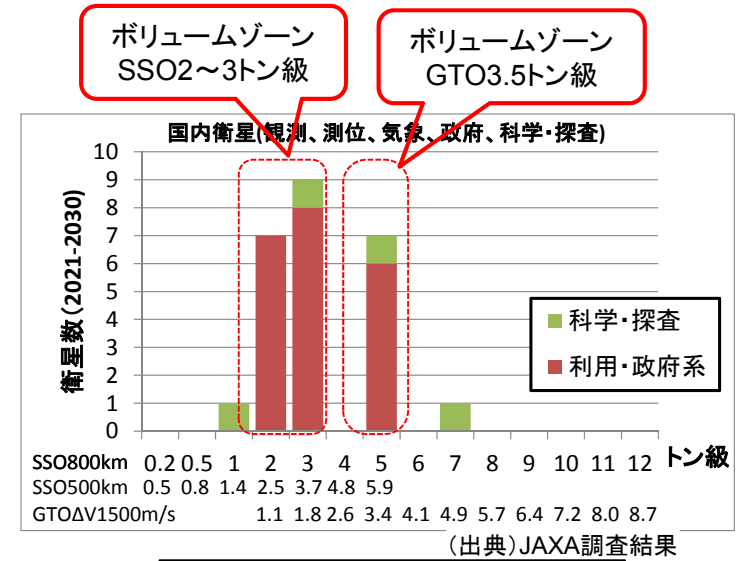


# (3) 要求分析 結果概要 (1/2)

■ ミッション要求の検討にあたり、要求分析を実施。結果概要を以下に示す。(詳細は補足B参照)

## ① 政府衛星需要動向

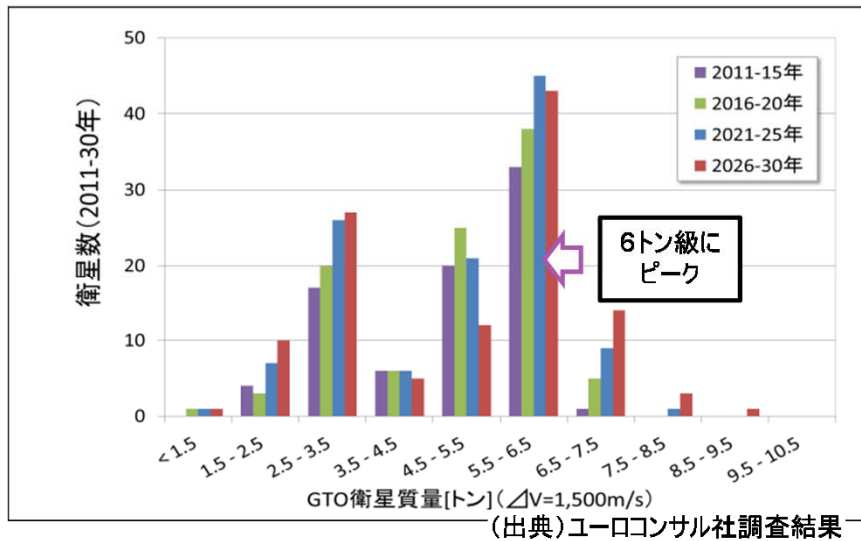
- SSO衛星は、年間1.5機程度で質量のボリュームゾーンは2～3トン級。
- GTO・準天頂衛星は、年間0.5機程度で質量は3.5トン級(～4トン級)



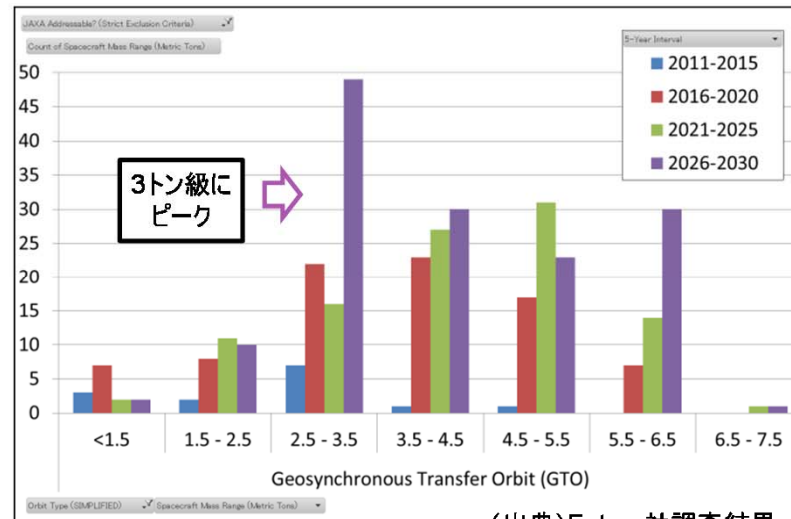
① 政府衛星需要動向

## ② 商業衛星需要動向

- 年間機数は20～25機/年(2020～2030年)となり、微増傾向。
- 質量は3～6トン級まで幅広いレンジでばらつく。



(出典)ユーロコンサル社調査結果



(出典)Futron社調査結果

② 商業衛星需要動向

# (3) 要求分析 結果概要 (2/2)

## ③ 顧客要望・意識調査

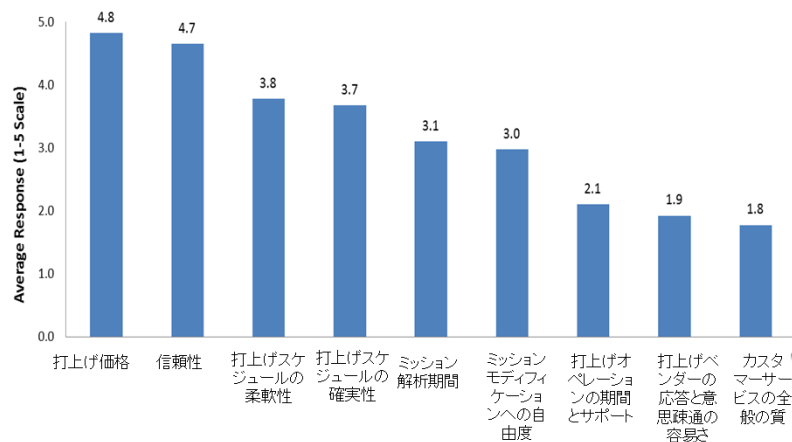
- ロケットを選定する上では、「打上げ価格」と「信頼性」が最も重要。
- 打上げスケジュールの柔軟性／確実性も重要な要素。

## ④ 衛星の技術動向

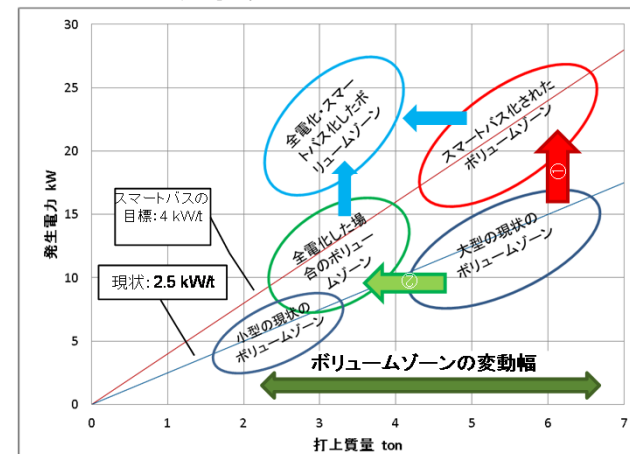
- 大電力化とスマートバス化→静止通信衛星のハイパワー化
- 全電化衛星(高比推力の電気推進)→衛星質量の大幅軽減

## ⑤ 競合ロケット分析

- FALCON 9 Ver1.1(米) : シンプルな機体構成による信頼性の高さと低価格をアピール
- Ariane6(欧) : トリプルセブン(GTO:7ton、価格:€70M、開発期間:7年)を発表、シングルロンチを基本(Ariane5はデュアルロンチが基本)
- Angara(露) : Proton/Soyuzに代わり、Angaraでラインナップを刷新し一元化
- GSLV(印) : GTO4トン級のGSLV Mk-IIIを開発中(スケジュールは不透明)
- 長征5号(中) : 軽量級から重量級まで対応可能な長征5号シリーズを開発中、ITAR規制(国際武器取引規制)により、事実上商業衛星打上げは困難



③ 顧客要望・意識調査



④ 衛星の技術動向



# (4) 要求事項 ～ミッション要求・運用要求(案)～



主なミッション要求(案)、運用要求(案)を以下に記す。

	項目		要求事項
	大分類	中分類	
ミ ッ シ ヨ ン 要 求	打上げ能力 軌道投入精度	打上げ能力 SSO軌道	3ton／高度800km
		打上げ能力 GTO軌道	2ton～6.5ton <sup>(※)</sup> (衛星静止化増速量 $\Delta V$ 1500m/s)
		軌道投入精度	H2Aと同等
	打上げ価格 設備維持コスト	打上げ価格	現行基幹ロケットの半額程度を目標とする。
		設備維持コスト	現行基幹ロケットの設備維持コストの半額程度を目標とする。
年間打上げ可能機数		6機対応可能なこと。	

	項目	要求事項
運 用 要 求	契約～打上げ	<ul style="list-style-type: none"> <li>ミッションモディフィケーション(個々の衛星の要求に適合させるために必要な作業)が不要な標準インタフェース衛星に対して競合ロケットより短期間で打上げ可能とする。</li> </ul>
	ミッション解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>ミッション解析期間を競合ロケットと同等以下に短縮する。</li> </ul>
	打上げ間隔	<ul style="list-style-type: none"> <li>打上げスケジュールの柔軟性を実現する為に打上げ間隔を1ヶ月以下(TBD)とする。</li> <li>任意の1ヶ月(TBD)を打上げスロットとして設定可能とする。</li> </ul>
	衛星系整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>ロケットとの結合作業期間を短縮する。</li> <li>同一建屋での衛星点検/PAF結合/推進薬充填を可能とすること</li> <li>ロケットとの作業干渉を発生させないこと</li> <li>打上げ時人員残留可能な建屋を確保すること</li> </ul>

## (4) 要求事項 ～安全要求(案)～



国が責任を負うべき主な安全要求(案)を以下に記す。

地上安全と飛行安全の要求は従来のもものと基本的に同じだが、デブリ対策については、新型基幹ロケットの運用開始時には世界的なトレンドとなっていることが想定されることから、新たに設定する。

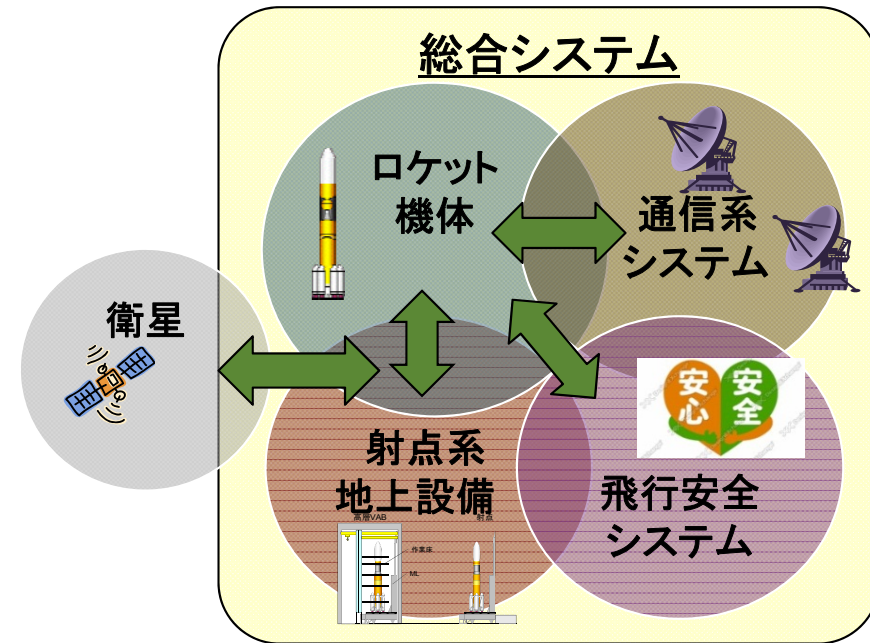
項目		要求事項
地上安全		ロケットの推進薬量に応じて設定する保安距離から警戒区域を設定し、人員の立ち入りを制限すること
飛行安全	打上げ時の落下物	飛行中に投棄する1段機体等が陸域に落下しないこと
	異常飛行時の被害防止	機体に異常が発生した場合には、飛行中断システムにより、意図しない地域への落下を防止すること
	航空機および船舶	飛行経路を航路から極力離し、事前に飛行経路を通報すること
デブリ対策		ミッション終了後のロケット上段機体を有効な軌道上から退避させること ✓ LEO保護領域(高度 $\leq 2,000$ km)から25年以内に退避 ✓ GEO保護領域(GEO $\pm 200$ km、緯度 $\pm 15$ 度)からの退避

# (5) 総合システムのコンセプト

## 新型基幹ロケット開発における対応方針(1/2)

要求事項を実現するために必要な、ロケット打上げシステム全体(以降、「総合システム」という)のコンセプトを検討するにあたっては、総合システムを構成するロケット機体、射点系地上設備、飛行安全、通信系システムへの要求をバランスよく行うことが重要である。

総合システムの概念図を右に示す。



さらに、総合システムのコンセプト検討においては、(宇宙政策委員会)宇宙輸送システム部会  
の中間とりまとめ(平成25年5月30日)で示された以下を考慮した。

- 実用システムとしての位置付け: 利用ニーズを踏まえた高い信頼性、低価格、柔軟な顧客対応等を可能とするサービス提供として位置づける。
- 固体燃料ロケットの産業基盤の維持は、固体推進薬を液体燃料ロケットの補助ブースタとして用いること等により行うこととする。また、輸送システムの要素技術の開発実証に当たっては、固体燃料ロケットと液体燃料ロケットの開発を連携させることで、効率的に実施する。

次頁に総合システムのコンセプト検討における対応方針を示す。

# (5) 総合システムのコンセプト

## 新型基幹ロケット開発における対応方針(2/2)



### ■ ロケット機体

- ✓ 打上げ能力、打上げ価格、設備維持コストなどのミッション要求を満足するロケット機体形態の選定を行う。
- ✓ また、分離方式の変更による環境条件の緩和、世界標準のフェアリングサイズなど、世界標準以上のユーザインターフェースにより柔軟な顧客対応を目指す。
- ✓ 解析技術を活用した高い設計信頼度と、試験機の打上げ機会を活用した商業衛星打ち上げ実績を積むことなどにより、市場での高い信頼性を獲得する。

### ■ ロケット機体／射点系地上設備

- ✓ ロケットと射点系地上設備間の機能配分を見直す等により、簡素な設備構成としてライフサイクル全体で効率的な維持を可能とする。
- ✓ ロケットと地上設備の運用性を向上させて打上げ間隔を短縮し、顧客の打上げ希望時期に柔軟に対応するとともに、産業基盤維持に必要な年間打上げ機数に対応可能とする。

### ■ ロケット機体／飛行安全システム

- ✓ ロケットと飛行安全システムの機能配分を見直す等により、安全性を確保しつつ簡素な地上設備構成としてライフサイクル全体で効率的な維持を可能とする。

### ■ ロケット機体／通信系システム

- ✓ ロケットと通信系システム間の性能配分を見直す等により、簡素な設備構成としてライフサイクル全体で効率的な維持を可能とする。

# (5) 総合システムのコンセプト

## ロケット機体／射点系地上設備(1／6)



打上げ価格、開発費、開発課題(リスク)、イプシロンとの共通化の可能性などを評価基準として、下記のように推進薬の種類選定、機体サイジング及びトレードオフを実施した。

1. 推進薬(燃料)は実用的なものを候補とする。
  - 液体水素(LH2)、ケロシン、メタン、固体  
他国の主要ロケットに用いられている推進薬、または我が国において開発経験のある推進薬を候補とする。  
環境への負担軽減のため、毒性のある推進薬は除外。
2. コスト・信頼性の観点からロケットの段数は最小限\*1とし、打上げ能力などミッション要求・安全要求を満足する機体構成とする。  
また、地上設備・共通インフラを効率的に活用する観点から、種子島からの打上げを前提とする。

\*1) 実用ロケットは2段～4段式が一般的。段数を多くするほど、ロケットは小型化が可能であるが、システムは複雑化・コスト高となる

上記の結果、これまでの技術を最大限に活用でき、エンジン開発におけるリスクとコストを抑制することが可能なことから、コアロケットにLH2/LOXの液体推進系を採用し、これに固体ブースタを組み合わせることで幅広い衛星質量に効率的に対応できる形態を選定した。

トレードオフの代表例を次ページに示す。



# ロケット機体形態のトレードオフ検討の代表例

推進薬	H-IIA/B*1	コアLOX/LH2+固体	コアLOX/メタン+固体	コアLOX/ケロシン+固体	コア固体+上段LOX/LH2
打上げ価格	SSO: 1.0 GTO中型: 1.2 GTO大型: NA	SSO : 0.5 GTO中型 : 0.6 GTO大型 : 0.8	SSO : 0.5 GTO中型 : 0.6 GTO大型 : 0.85	SSO : 0.6 GTO中型 : 0.7 GTO大型 : 1.0	SSO : 0.5 GTO中型 : 0.7 GTO大型 : 1.1
開発費	-	1.0	1.2以上	1.2以上	1.2以上
設備維持コスト	1	約0.5	約0.6	約0.6	約0.6
主な開発課題(期間)	-	・1段エンジン開発(6年) ・2段エンジン開発(6年)	・1段エンジン開発(10年以上) ・2段エンジン開発(6年)	・1段エンジン開発(10年以上) ・2段エンジン開発(6年)	・大型固体モータにおける燃焼振動・推薬充填等の成立性への課題あり。 ・現有の生産設備の大幅な増強が必要
イプシロンとの共通化可能性	-	固体ブースタをイプシロンの2段と共用	同左	同左	固体(2段)をイプシロン1の段と共用
参考	-		1段にメタンを利用(2段はLOX/LH2)したケース	1段にケロシンを利用(2段はLOX/LH2)したケース	

- メタンやケロシンは大型エンジンの開発に不確定要素が多く、液体水素より開発コスト・期間が増大する。
- 1,2段に固体ロケットを採用した場合、経験のない大型モータで成立性に課題。現有の生産設備の大幅な増強が必要
- コアに液体水素以外を使用する場合はGTO価格が割高(全備質量が重くなりブースターが増大するため)
- 液体水素は既存技術・インフラが最大限活用できる点で有利。固体を組み合わせることで、多様な市場ニーズに対応可能。イプシロンロケットとの共用も可能

# (5) 総合システムのコンセプト

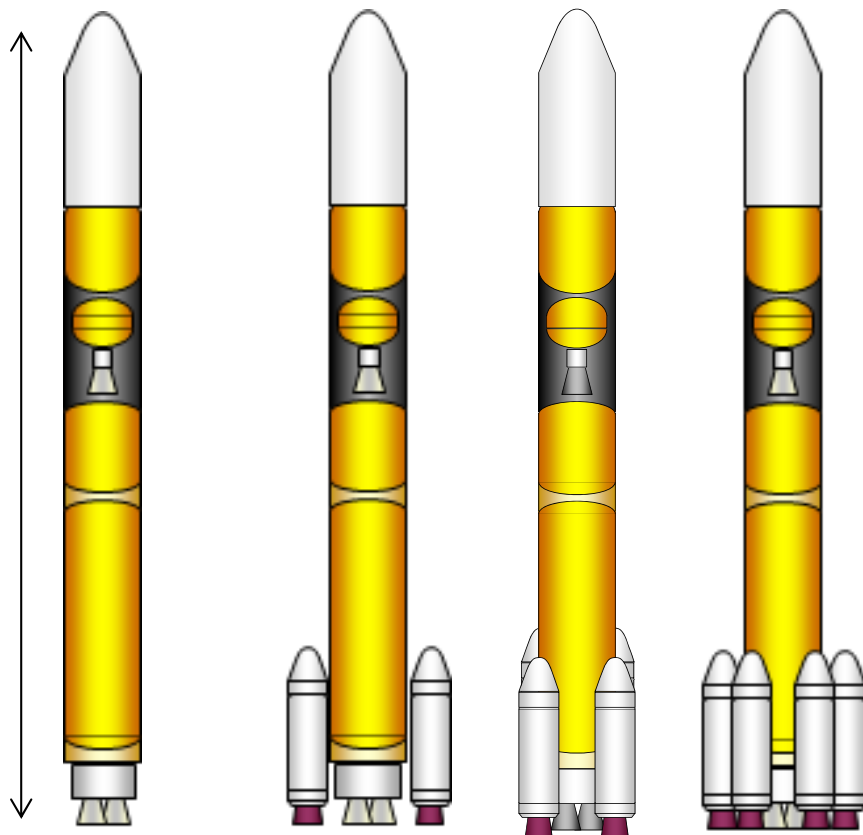
## ロケット機体／射点系地上設備(2/6)



### ロケット機体形態(検討例)

・機体全長  
約60m

・機体直径  
4.5~5m



- 全シリーズに亘って液体ブースタは共通仕様とし、製造/運用面での効率化を図る。
- GTOミッションに対しては、固体ブースタを装着(装着本数を6本までの間で調整)することで、多様なニーズに柔軟に対応する。

【参考】H2A:機体直径4m, 全長53m, 固体ブースタ本数2本or4本  
H2B:機体直径1段5.2m, 2段4m, 全長56m, 固体ブースタ本数4本

### ◆開発内容・打上げコストの目標

#### ・開発内容

- 機体開発(構造、電気、推進系、衛星フェアリング)
- エンジン開発(1段エンジン、2段エンジン)
- 固体ブースタ開発
- 射点/射場設備開発

・打上げコスト : H2A/Bの約半分

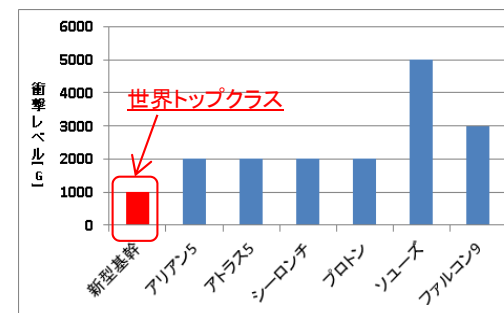
・世界標準以上のユーザインタフェース

SSOミッション  
3トン(高度800km)

GTOミッション 2~6.5トン



固体ブースタを装着することで  
GTOミッションに柔軟に対応



衛星分離時衝撃環境の例