

# 我が国の宇宙輸送系の 現状と今後の方向性

平成23年2月24日

文部科学省

(独)宇宙航空研究開発機構

# 目次

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 1. 我が国が独自の輸送システムを保持する意義 | 3  |
| 2. 我が国のロケット開発の経緯        | 8  |
| 3. 世界の主要ロケットとの比較        | 13 |
| 4. これまでの開発のまとめ          | 17 |
| 5. 我が国の輸送系の当面の課題について    | 18 |
| 6. 輸送系の今後の方向性           | 20 |
| (今後の取組)                 |    |
| A. 基幹ロケット               |    |
| A-1. 基幹ロケット高度化          | 26 |
| A-2. LE-Xエンジン技術実証       | 28 |
| A-3. 次期基幹ロケット           | 32 |
| B. イプシロンロケット(小型固体ロケット)  | 33 |
| C. LNG推進系の研究開発(LNGエンジン) | 36 |

# 1. 我が国が独自の輸送システムを保持する意義

## (1) 宇宙開発利用の我が国の自立性の確保

- 必要な打上げ手段を独自に保持
- 他国の輸送システムへの依存の問題  
(打上げ失敗時の原因究明の限界)
- 国内宇宙産業の成長
- 安全保障の観点

## (2) 科学技術創造立国を目指し優れた宇宙技術の獲得

- 基盤的技術の維持
- 専門的人材の確保

## (3) 宇宙先進国としての国際プレゼンスの確保

- 宇宙先進国としての立場の保持
- 宇宙新興国への 国際展開における有利な交渉手段

# 宇宙輸送系に関する政策

(注)輸送系に関連する部分のみを抜粋

## ○宇宙基本法(平成20年5月)

第15条 国は、人工衛星等の開発、打上げ、追跡及び運用を自立的に行う能力を我が国が有することの重要性にかんがみ、これらに必要な機器(部品含む)、技術等の研究開発等の必要な施策を講ずる。

## ○宇宙基本計画(平成21年6月 宇宙開発戦略本部決定)

### ③自立的な宇宙活動を支える宇宙輸送システム構築の推進

- ・宇宙輸送システムは我が国が必要な時に、独自に宇宙空間に必要な人工衛星等を打ち上げを行うために維持することが不可欠な技術。
- ・経済的な宇宙開発利用を行っていくためには、継続的な商業市場でのシェア獲得が必要不可欠であり、国は引き続き国際競争力を維持・向上するための信頼性向上などの改良施策を推進。

## ○宇宙分野における重点施策について(平成22年5月 宇宙開発戦略本部決定)

- ・我が国が輸送系の技術を確立し、自律性を確保していくためには、長期的な視点に立った弛まない新たな技術開発を継続的に行い、人材の育成や経験・知見の蓄積を図ることによって、ロケットに係る総合的な技術力を継続的に発展・向上させていくことは必要不可欠。

## ○第3期科学技術基本計画(平成18年3月 閣議決定)

(国家基幹技術) 宇宙輸送システム

## ○第4期に向けた「科学技術基本政策について」(平成22年12月 総理大臣答申)

### (4)国家存立の基盤の保持

#### i)国家安全保障・基幹技術の強化

- ・国の安全保障や国民生活の安全確保等にもつながる宇宙輸送に関する技術の研究開発を推進する。

# 文部科学省と宇宙航空研究開発機構(JAXA)の役割(1/2)

- ◆ **文科省**は、研究開発の**基盤整備**、基礎研究・共通的**研究開発**、大学における**教育・研究**を担うという責務を、宇宙開発利用分野においても、宇宙基本法に従って積極的に果たしていく
- ◆ **JAXA**は、宇宙政策の実施機関として、研究開発を業務の中心としつつも、基本法の理念を踏まえ、**役割・機能を見直す**

各省・民間の宇宙開発利用を支える  
世界トップレベルを目指す**研究開発の推進**と  
利用ニーズを先取りした**技術基盤の構築**

各省・民間の宇宙開発利用を支える  
**宇宙インフラ(※)と技術力の提供**

(※ 各省、民間が共通して利用する地上の施設や設備のみならず、  
利用が各省・民間にまたがる衛星などの継続的な開発・運用を含む)

将来の宇宙開発利用を支える**人材育成**

科学的発見に挑戦し、人類の夢を育む  
**宇宙科学、宇宙探査、有人宇宙計画の推進**

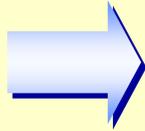


**宇宙基本法の  
理念を実現**

# 文部科学省と宇宙航空研究開発機構(JAXA)の役割(2/2)

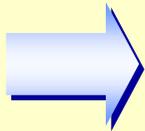
- ◆ **宇宙開発戦略本部による戦略の下、関係府省と緊密に連携しながら施策を推進**
- ◆ **宇宙分野において我が国が国際競争力を強化していくために、以下のような取組み**
  - ① **先端的・基盤的な研究開発の強力な推進**
  - ② **利用指向型の研究開発の推進、研究開発成果の社会還元・実利用への展開の強化**

国民生活の向上等  
【第3条関係】



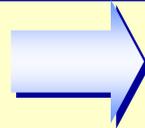
- 国民生活の向上、安全安心な社会、災害その他様々な脅威の除去、我が国の安全保障等に資するため、地球環境観測、陸域観測、通信、測位に関する衛星の開発等を強力に推進。
- より利用を重視し、開発段階から、衛星開発と運用における利用官庁・民間等のユーザーとの更なる連携強化を図る。

産業の振興  
【第4条関係】



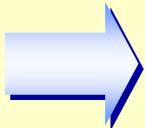
- 国際競争力の源泉となる研究開発を実施し、成果の民間への技術移転や民間との連携を一層強化
- パッケージ化による我が国の国際展開に対し、人材育成などで積極的に貢献

人類社会の発展  
【第5条関係】



- 世界最高水準の宇宙科学研究・月惑星探査等を推進

国際協力等  
【第6条関係】



- 国際宇宙ステーション計画の推進
- 宇宙先進国としての協力、途上国との戦略的協力を推進（アジア太平洋地域宇宙機関会議(APRSAF)でのイニシアティブ、「センチネルアジア」プロジェクトの推進等）

# ロケット打上げ期間の見直しについて

平成23年4月より、通常の打上げを行うことができる期間(通常期)、及び特別な事情により打上げを行うことができる期間(特別期)は廃止し、打上げ対象期間を190日間から通年とする。

## 【現行の打上げ期間】

|       | 4月 | 5月 | 6月                | 7月        | 8月 | 9月 | 10月 | 11月        | 12月   | 1月       | 2月 | 3月 |
|-------|----|----|-------------------|-----------|----|----|-----|------------|-------|----------|----|----|
| 打上げ期間 |    |    |                   |           |    |    |     |            |       |          |    |    |
|       |    |    | 6/26<br>~<br>7/15 | 7/22~9/30 |    |    |     | 11/1~12/31 |       | 1/1~2/28 |    |    |
|       |    |    | (特別期)             | (通常期)     |    |    |     | (特別期)      | (通常期) |          |    |    |

## 【見直し後の打上げ期間】

|           | 4月            | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 |
|-----------|---------------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|----|----|----|
| 打上げ期間見直し案 |               |    |    |    |    |    |     |     |     |    |    |    |
|           | 打 上 げ 対 象 期 間 |    |    |    |    |    |     |     |     |    |    |    |
|           |               |    |    |    |    |    |     |     |     |    |    |    |

## 2. 我が国のロケット開発の経緯

1. ペンシルロケットからスタートした我が国のロケット開発は、科学衛星打上げ用の固体ロケットとして進化を遂げ、惑星探査まで可能なM-Vロケットまで発展。
2. 現在、我が国が独自に培った固体ロケットシステム技術を継承し、機動性・即応性に優れた小型固体ロケット(イプシロン)の開発に取り組み中(2013年試験機打上げ目標)。
3. 一方、実利用衛星の打上げを目的として米国からの技術導入によりスタートした液体ロケットについて、H-Iロケット以降、衛星の大型化に対応しつつ段階的に国産ロケットの開発を継続してきた。
4. H-IIロケットにおいて全段自主技術により、独自の輸送能力を有する7つの国の中で世界と比肩する打上げ能力を有し、その後改良したH-II A/Bロケットにおいても95%(20機打上げ中19機の成功)という世界最高水準の打上げ成功率を誇るまでに成長した。
5. ロケットシステムとしての高い信頼性は、選択と集中により着実に研究開発を重ねて獲得・進化してきた先進的キー技術(代表例を以下に示す)と、これらをシステムとして高度に統合するシステム・インテグレーション技術によるところが大きく、いずれも世界最先端の水準にある。
  - 推進薬として最高性能を有する液体水素／液体酸素ロケットエンジン技術
  - 当初から自主技術で進歩を重ね、惑星探査も可能なM-VロケットやH-IIA/BロケットSRB-Aを実現するに至った固体ロケット技術

# 我が国のロケット開発経緯

1970 1980 1990 2000 2010

※点線は開発期間、実線は運用期間、数字は打上げ数を示す。

開発と運用に並行で取り組み、段階的にロケット技術を獲得。

液体ロケット

米国から技術導入

固体ロケット

Pencil Rocket  
1954  
1955  
3機



Q/N Rocket 計画



K-Series  
1950  
1956



L-4S  
1961  
1966  
5機



M-Series  
1963  
1970

M-4S~M-3S  
15機

M-3SII  
1981  
1985  
8機



M-V  
1990  
1997  
7機



Epsilon  
2010  
2013  
9機



N-I  
1970  
1975  
7機



N-II  
1976  
1981  
8機



H-I  
1981  
1986  
9機



H-II  
1994  
1996  
7機



H-IIA  
2001  
18機



H-IIB  
2005  
2009  
2機



自主技術による開発

運用中

運用中

開発中

# 我が国におけるロケットのシステム・インテグレーション

- ロケットはエンジン、固体モータ、アビオニクス、構造、機構品等、多岐の分野にわたる先進技術を高度に統合するインテグレーション技術が必要。
- 我が国では、機器メーカー(主要8社)が得意分野に応じて技術開発を分担し、JAXAがこれを統合することで日本全体の総力を結集し、世界水準のロケットおよび国産の先進技術を育成してきた。
- JAXAと産業界は、技術の成熟に応じて適切に役割分担を行ってきている。

## ➤ JAXA

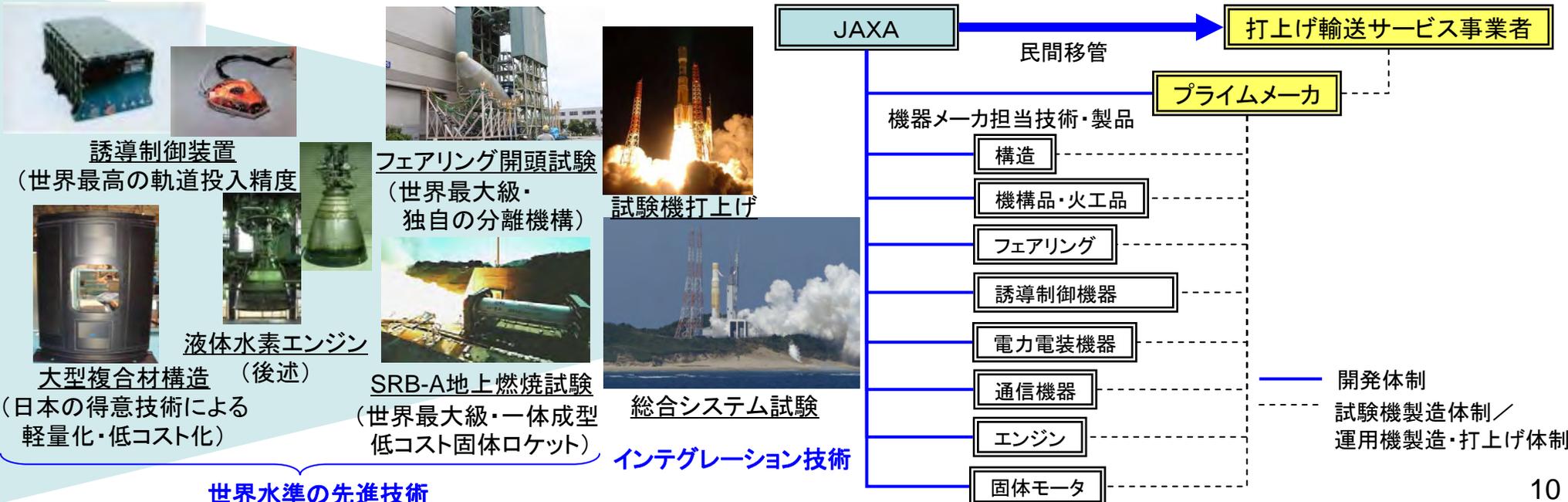
- ◆ 国の計画を遂行するためのプロジェクトマネジメント
- ◆ リスクを伴い技術的難易度の高い先進技術の開発・実証及び共通基盤的研究開発。
- ◆ JAXAが実証し成熟した技術はプライム企業に移管し、製造責任を一元化。
- ◆ 信頼性の確認された打上げ運用(安全監理はJAXA)は民間に移管し、打上げ輸送サービス体制へ移行。

## ➤ プライムメーカー

- ◆ 民間の効率的かつ迅速な経営手法によるコスト低減と製造責任の一元化による品質向上。

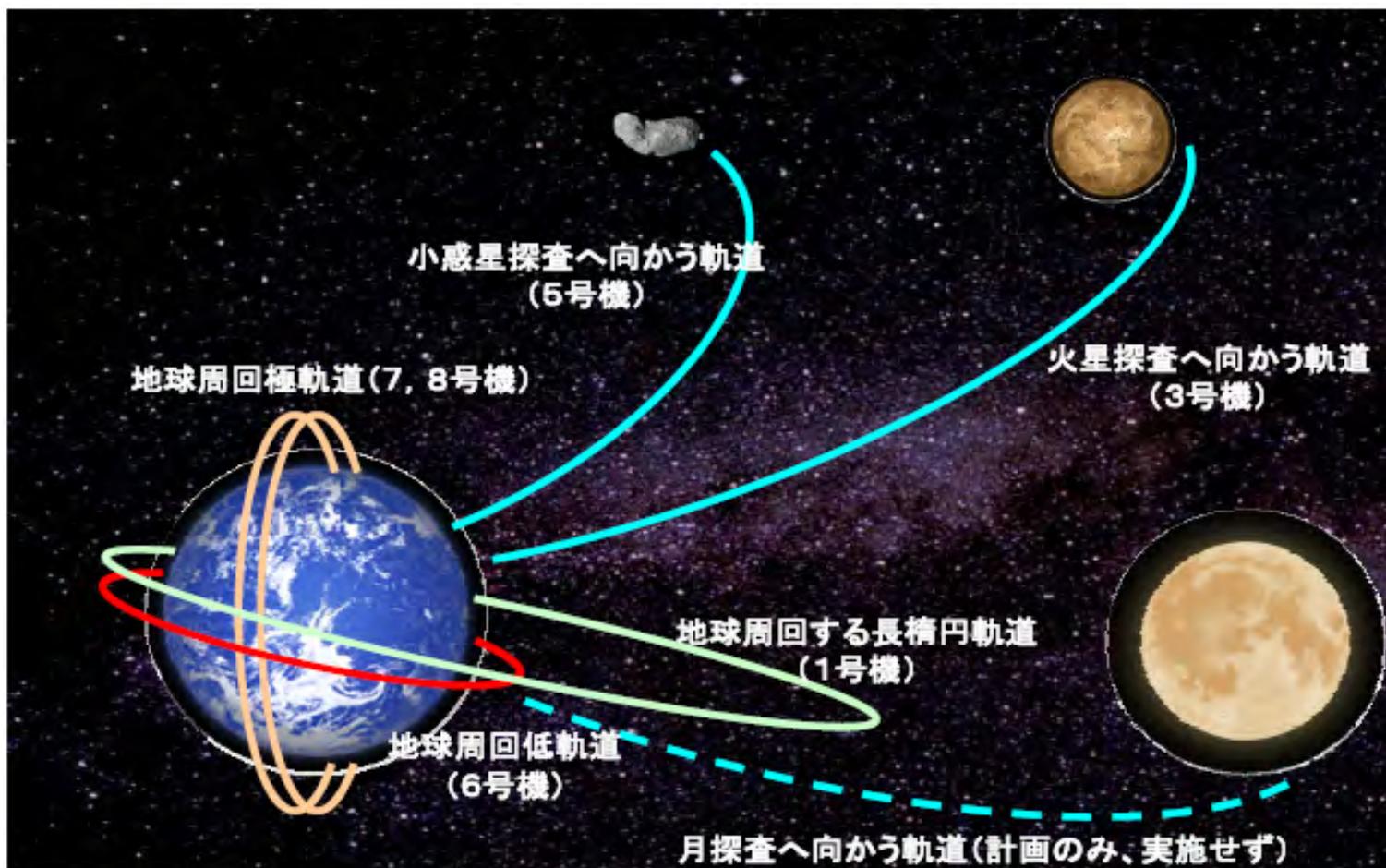
## ➤ 打上げ輸送サービス事業者

- ◆ 民間の経営手法を活かした商業打上げ受注活動。



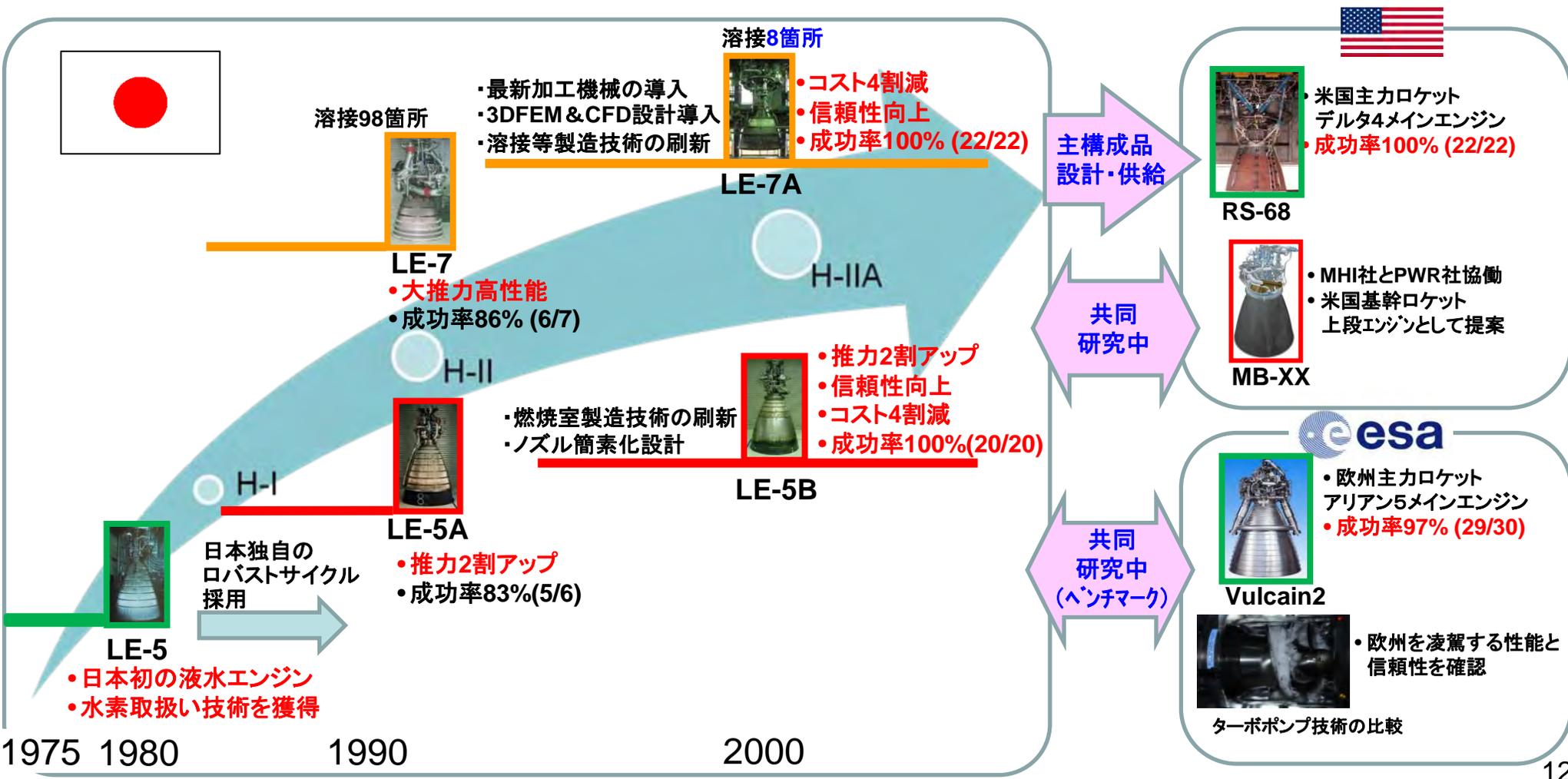
## 固体ロケットシステム技術の確立(M-Vロケットの主要な技術成果)

- 固体ロケット技術はペンシルロケットから約55年、おおすみ(初の国産衛星)打上げから約40年にわたって我が国の独自技術で開発・運用が継続され、はやぶさを上げたM-Vロケット(2007年退役)に進化。
- M-Vロケットは、7回の技術実証を経て地球周回から惑星探査まで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の全段階で高い技術力が要求される。



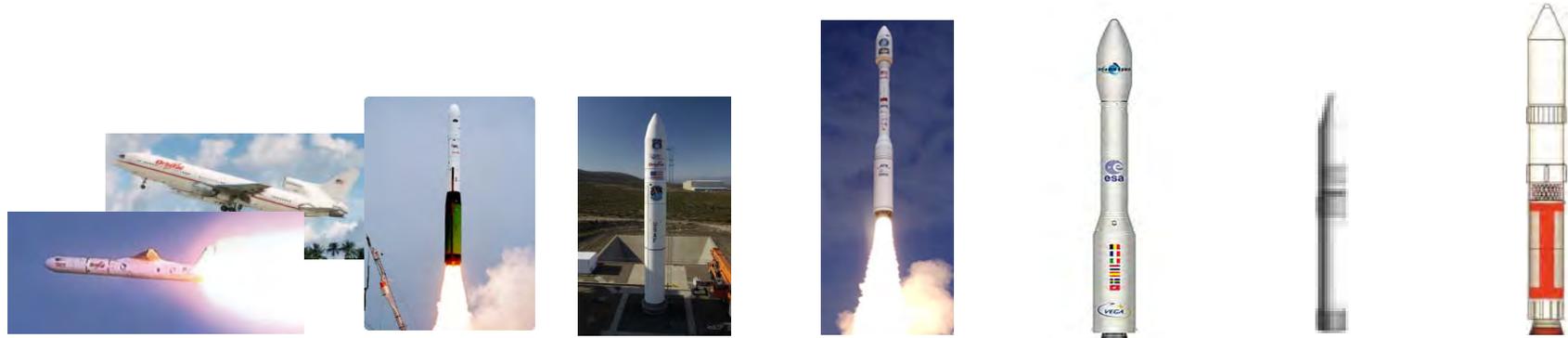
# 日本の液体水素エンジン技術のこれまでの取組みと世界との水準

1. 国産化を目指したH-Iロケットの開発以来、ロケットの心臓部として、**35年にわたって空白期間を設けことなく開発を継続し、米国・欧州と同等以上の技術水準に到達**。高い信頼性、コスト効率、性能は世界で認められ、現在、欧米の宇宙機関・メーカーとの共同研究や米国基幹ロケットのキー・コンポーネント輸出を行っている。
2. **1段、2段のエンジン技術を共通化**してリソースの投入を集中。当時として**最新の設計・製造技術を取り入れ**つつ段階的に技術を高め、現在に至る。



# 3. 世界の主要ロケットとの比較

## 諸外国の主要固体ロケットの比較

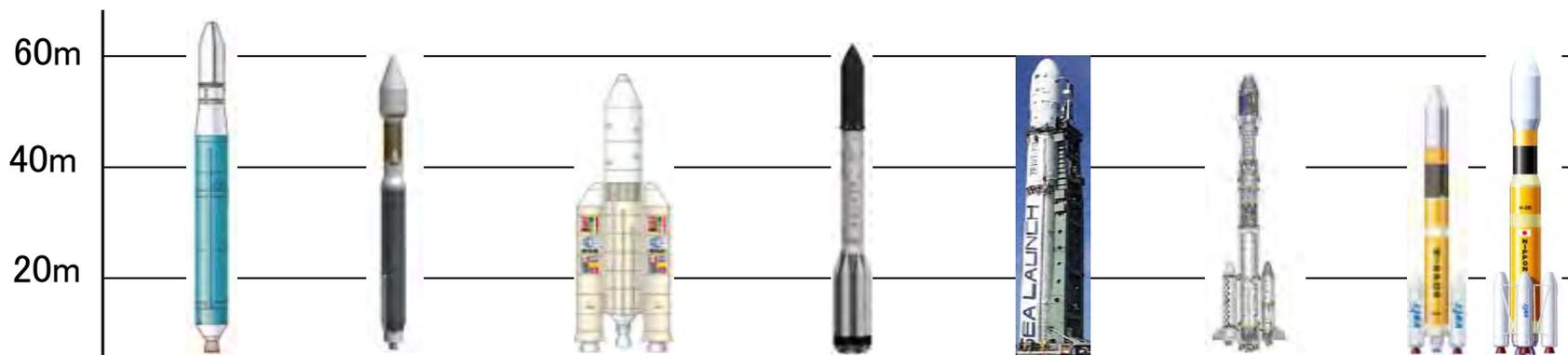


|          |                  |        |         |        |       |              |              |
|----------|------------------|--------|---------|--------|-------|--------------|--------------|
| ロケット名    | ペガサスXL<br>(空中発射) | ミノタウルス | ミノタウルス4 | トーラスXL | ベガ    | <b>イプシロン</b> | <b>M-V</b>   |
| 国名       | 米国               | 米国     | 米国      | 米国     | 欧州    | <b>日本</b>    | <b>日本</b>    |
| 成功数／打上げ数 | 35／40            | 8／8    | 3／3     | 6／8    | —     | <b>—</b>     | <b>6／7</b>   |
| 打上げ成功率   | 88%              | 100%   | 100%    | 75%    | —     | <b>—</b>     | <b>86%</b>   |
| 低軌道打上能力  | 0.4トン            | 0.6トン  | 1.7トン   | 1.5トン  | 2.3トン | <b>1.2トン</b> | <b>1.8トン</b> |
| 備考       | 運用中(※1)          | 運用中    | 運用中     | 運用中    | 開発中   | <b>開発中</b>   | <b>運用終了</b>  |

(※1) ペガサスXLは2008年以降打上げ実績なし。米国における小型需要の打上げはミノタウルスへ移行。

(2011年2月時点)

## 諸外国の主要液体ロケットの比較

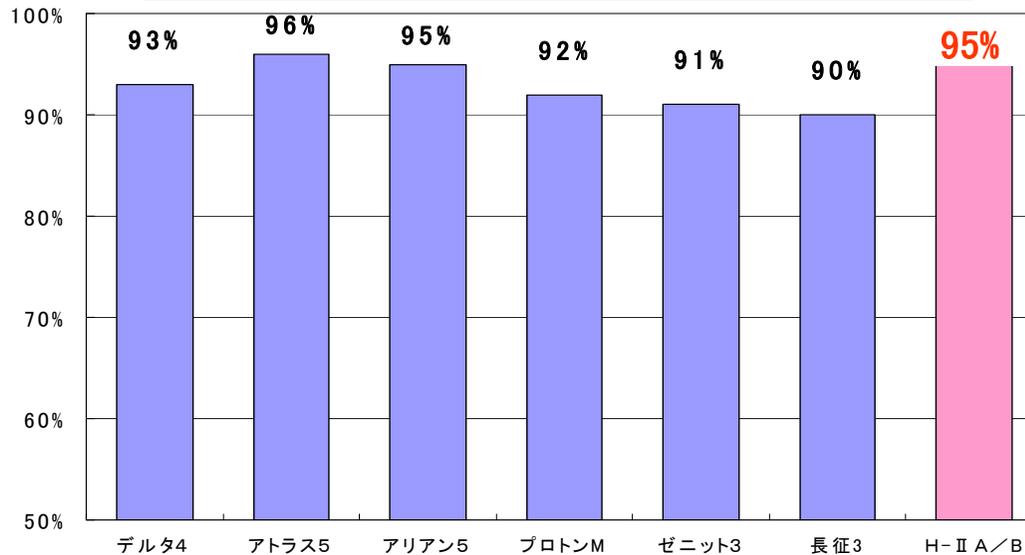


|                |         |         |               |       |       |       |                |
|----------------|---------|---------|---------------|-------|-------|-------|----------------|
| ロケット名          | デルタ4    | アトラス5   | アリアン5         | プロトンM | ゼニット3 | 長征3   | <b>H-IIA/B</b> |
| 国名             | 米国      |         | 欧州            | ロシア   | ロシア   | 中国    | <b>日本</b>      |
| 成功数／打上げ数       | 14／15   | 22／23   | 53／56         | 46／50 | 32／35 | 46／51 | <b>19／20</b>   |
| 打上げ成功率         | 93%     | 96%     | 95%           | 92%   | 91%   | 90%   | <b>95%</b>     |
| 静止遷移軌道<br>打上能力 | 4～13トン  | 5～9トン   | 7～10トン        | 5.5トン | 6トン   | 3～5トン | <b>4トン／8トン</b> |
| 開発費            | 2,750億円 | 2,420億円 | 8,800～9,900億円 | 不明    | 不明    | 不明    | <b>1,802億円</b> |

(2011年2月18日時点)

# 打上げ成功率と開発費の比較

## 1. 諸外国の主要液体ロケットの打上げ成功率

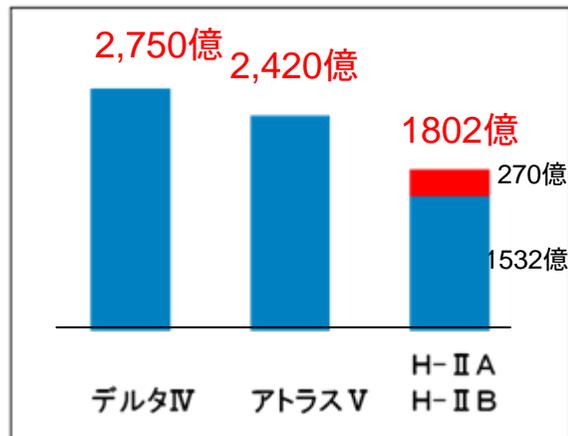


## 2. ロケット改良開発費の比較

ロケットシステムの部分改良による開発費の比較

✓デルタ3からデルタ4、アトラス3からアトラス5への改良

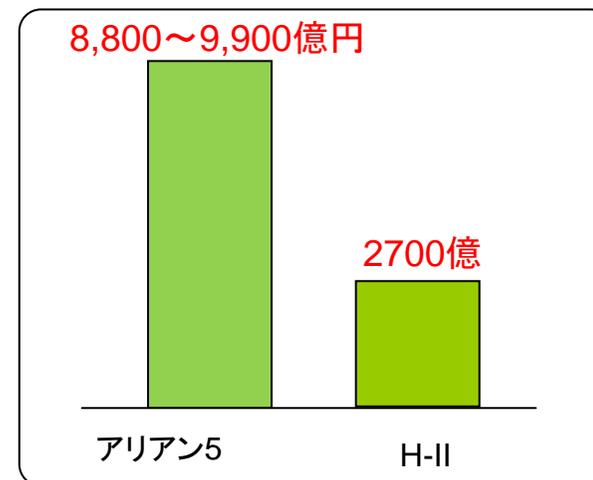
✓H-IIからH-IIA/H-IIBへの改良



## 3. ロケット新規開発費の比較

全段新規開発したアリアン5ロケットと自主技術により

全段新規開発したH-IIロケット開発費の比較



## 欧州(アリアン5)米国(アトラス5/デルタ4)の打上げ事業に対する政府の取組み

欧米とも「宇宙への自在なアクセス手段の確保」を国の政策として宇宙輸送手段の確保、重点技術開発プログラムの維持、宇宙輸送産業の促進、打上げ事業基盤の維持・発展に相当規模の予算を投入することで基幹ロケット打上げ事業を強固に推進。

### <欧州宇宙戦略(2000年9月27日)、欧州宇宙政策(2007年5月22日)骨子>

1. 宇宙活動の基盤強化(妥当なコストで独自に宇宙アクセスできる手段の確保)に関して新型ロケットの革新的技術開発と関連地上施設は公的部門が支援を継続する。
  - ① 宇宙輸送システムには、関連する地上インフラ利用を含め、持続可能な欧州の打上げロケットプログラムに対する安定した政治的支援が必要。
  - ② 戦略的評価に基づいて、既存の打上げロケットを改良し、新たな打上げシステムを開発するための投資が行われるべきである。
  - ③ 経済性を確保するには、継続的な世界の商業市場での成功が不可欠である

### <米国宇宙輸送政策(2005年1月6日)骨子>

1. 宇宙へのアクセスを保証する米国宇宙輸送能力の維持のために、米政府は強固な宇宙輸送産業および技術基盤が発達するような環境整備に向けて十分かつ安定した資金を提供する必要がある。
  - ① 宇宙へのアクセス保証について、国防総省(DOD)とNASAが以下の能力を維持する役割と責任を明文化。
    - ◆ DODが国家安全保障で要求される宇宙輸送システム・インフラ等の維持、米国基幹ロケット(アトラス5/デルタ4)の管理責任と固定予算の拠出。
    - ◆ NASAが探査・科学、民事的目的の有人等含む民間宇宙輸送システム・インフラ等の維持とDODや商業分野での活動では満足されない要求に限定した開発活動に従事

## 4. これまでの開発のまとめ

1. 液体ロケット・固体ロケットともに、10年程度毎にロケットの運用を行いつつ新型ロケットの開発ないしはシステムレベルの改良に継続的に取り組むことで、輸送システム技術を維持・発展してきた。
2. 現在、我が国は基幹ロケット(液体ロケット)とイプシロンロケット(固体ロケット)の2系統のロケット技術を保有し、小型衛星から静止衛星・HTVなどの大型衛星まで自立的に打ち上げる能力を備えている。
3. 我が国が保有するロケット技術は、先進技術を選択と集中により着実に獲得・進化させ、これらをシステムとして高度に統合することで、世界に比肩する打ち上げ能力と世界最高水準の信頼性を獲得している。
4. 日本は欧米と比べてきわめて効率的にロケットを開発し、我が国の宇宙開発利用を促進してきた。

H-IIロケットからH-IIAロケットへの移行により、18機打ち上げで開発費を上回る約1800億円を節減。

5. 液体ロケット・固体ロケットともに新型ロケットの開発着手から20年以上が経過※し、基幹ロケットについていくつかの課題が顕在化してきており、新型ロケットの開発を通して設計・製造技術およびロケットシステムを次世代の高い競争力あるものに刷新すべき時期に来ている。

※ 固体ロケット:M-V開発着手1990年(2010年 イプシロンロケット開発着手)

液体ロケット:H-II開発着手1986年(25年経過)

# 5. 我が国の輸送系の当面の課題について(1/2)

## 1. 国際競争力の強化の必要性

### (1) 打上能力の衛星需要へのマッチング

H-II Aロケットの打上能力は、衛星側のニーズの変化に的確にマッチングしなくなっている。

○静止衛星は、大型化・長寿命化が進んでおり、現在のH-II Aロケットでは打上げ能力不足で対応できなくなっている。

○地球周回衛星は、軽量化が進んだことにより、2機相乗りで打ち上げた方が効率的であるが、現在のH-II Aでは高度の異なる軌道への打ち分けができない。

<対応>

H-II Aロケットの第2段機体を高性能化するプロジェクトを来年度開始(3年後に打上げ目標)

### (2) 衛星搭載環境(衛星分離時の衝撃)

H-II Aロケットは、欧米のロケットに比べ衛星の分離時に、衛星に与える衝撃が大きい。

<対応>

H-II Aロケットの第2段機体を高性能化するプロジェクトを来年度開始(3年後に打上げ目標)

### (3) 打上げ価格

打上げ価格(プライス)について強固な政府支援を受けた欧米が日本に比べて優位。

<対応>

技術的な対応に加え、欧米と同様の産業政策の視点での政府支援が必要

## 5. 我が国の輸送系の当面の課題について(2/2)

### 2. 国内宇宙産業の維持の必要性

(1)平成16年度以降、ロケット開発に携わる関連企業約370社のうち、54社が撤退の見込み。

<対応>

重要な機器・部品については、MHIとJAXAが協力、関連企業と連携し、再開発を実施しており、機器・部品が継続的に供給できるように対応してきている。

(2)産業界によると、国内の輸送系産業を維持するためには年間4機程度の打上げが必要。

<現状の計画>

平成23年度、4機の打上げ予定

### 3. 輸送系に関する将来計画の具体化の必要性

(1)現在及び将来のニーズにあった国際競争力を有するロケットを保持し続けるためには、新しいロケットシステムの開発が必要。これは輸送系の技術基盤(人材含む)の維持のためにも不可欠。(世界の各国においても、継続的なシステムレベルの改良、及び一定期間毎の新型ロケット開発を通じて技術基盤を維持している)

<対応>

すでにH-II開発時から25年程度経っており、輸送系の将来計画の検討を開始する時期

## 6. 輸送系の今後の方向性(1/2)

我が国の輸送系の経緯を踏まえ、現有の自立的な宇宙輸送能力を将来にわたって持続可能とするため、2013年頃まで現行のH-IIA/Bロケットの高性能化を図るとともに、今後の方向性として以下を提案する。

2020年頃までに、我が国が着実に進化させてきた基幹ロケット及びイプシロンロケットの2系統のロケットについて、これまで選択と集中により獲得してきた輸送系先進技術をさらに進化させて、小型から大型まで国内外の利用ニーズに格段の効率性をもって対応可能なラインアップを構築する。

### 【基幹ロケットについて】

1. 現行基幹ロケット(H-IIA/Bロケット)が保有する世界水準の先進技術(液体エンジン、構造・機構品、アビオニクス等)を進化させ、これらを効率的に統合して新型ロケットシステム(次期基幹ロケット)を開発し、機体・地上システム全体を刷新する。
2. 政府ミッションを効率的に打ち上げて我が国の宇宙開発利用を促進するとともに、高い国際競争力で商業打上げを受注して打上げ事業基盤の安定化を図る。
3. 獲得・成熟した先進技術は、官民が連携してコンポーネントレベルで海外展開し、打上げサービスのみでは限定されている事業規模を拡大することにより、基盤の強化を図る。

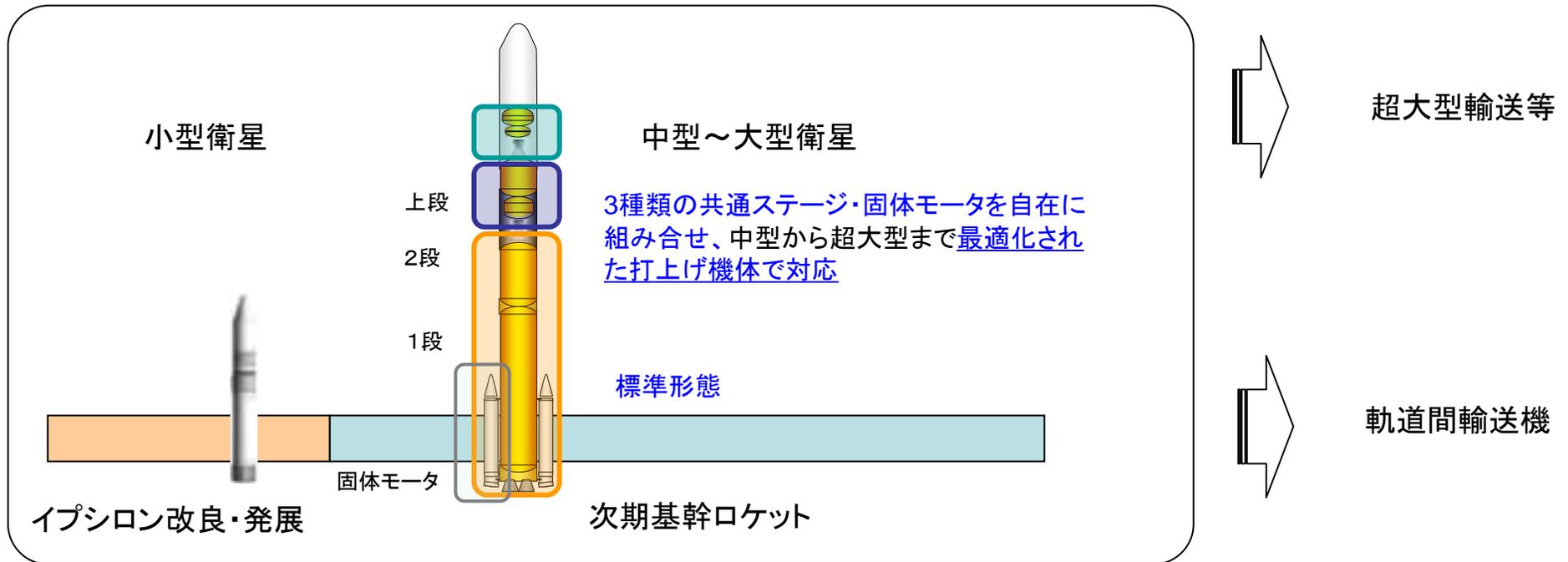
### 【イプシロンロケットについて】

1. 開発中のイプシロンロケットは運用に移行後も先進技術に基づく継続的な改良を重ね、利用ニーズの動向を踏まえて発展させる。
2. これにより小型衛星の普及を促進するとともに、輸送系先進技術の先行実証機(プリカーサー)の役割を果たす。

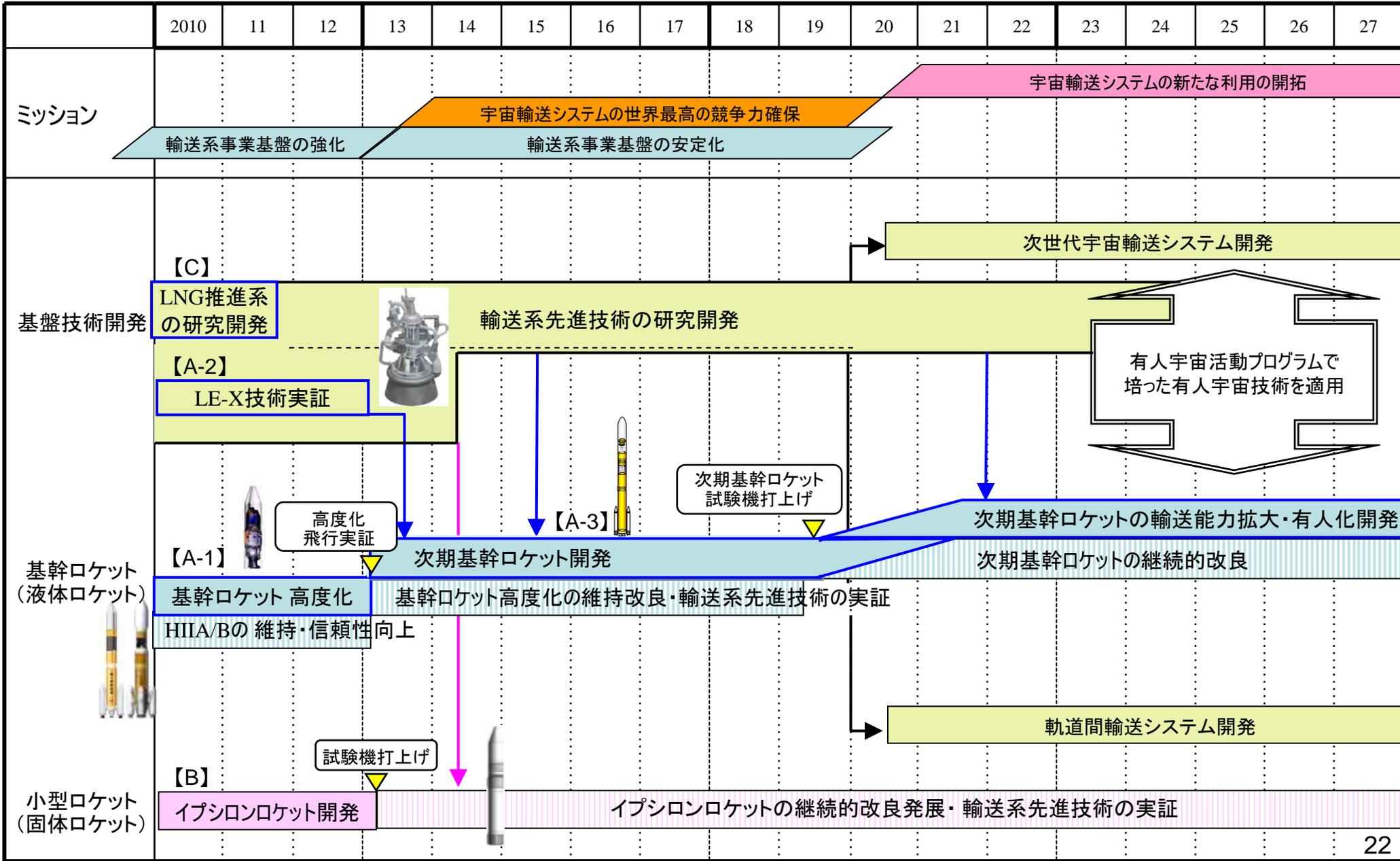
## 6. 輸送系の今後の方向性(2/2)

上記の開発を通じて高い安全性、信頼性、国際競争力を持つ技術基盤が確立される。  
この技術基盤は、将来、超大型輸送や有人輸送に繋がりをうるもの。

### 2020年頃の輸送系ラインアップ(例)



# 輸送系の開発イメージ

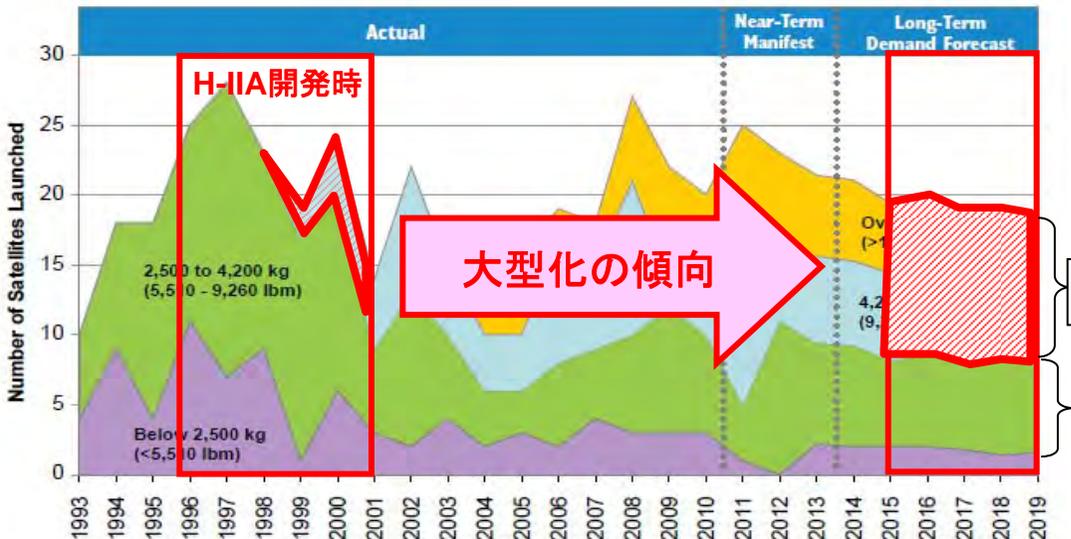


# 今後の取組

- A 基幹ロケット
  - A-1 基幹ロケット高度化
  - A-2 LE-Xエンジン技術実証
  - A-3 次期基幹ロケット
- B イプシロンロケット(小型固体ロケット)
- C LNG推進系の研究開発(LNGエンジン)

# (参考)国内外の幅広い利用ニーズの動向

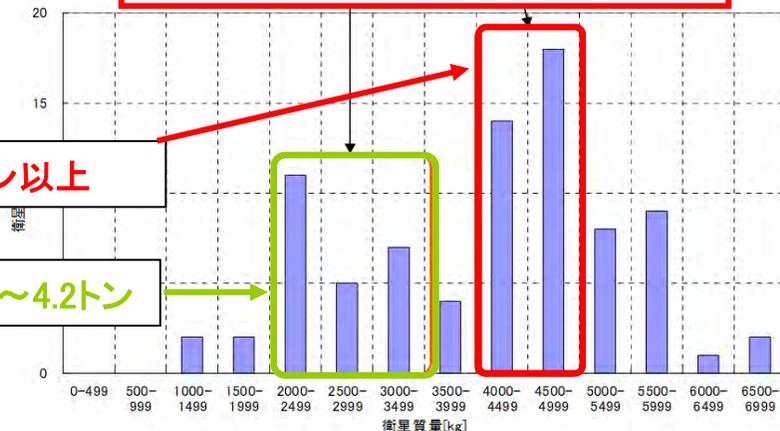
□ 商業静止衛星の需要動向—商業静止衛星は**GTO4.2トン以上の衛星が全体の半数以上**



(出典)COMSTAC2010

## 商業静止衛星の質量分布

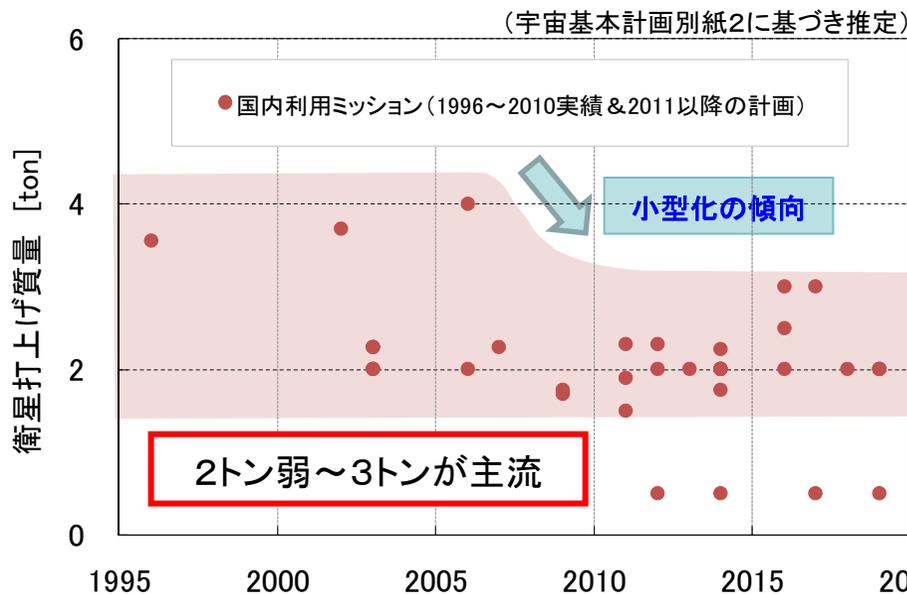
【2~3.5トン】と【4~5トン】にピーク



(2006~2008年の打上げ実績に基づく)

□ 国内の太陽同期衛星の需要動向

今後、国内の太陽同期衛星は、**3トン以下の中型衛星が主流**となる傾向(右図)。



(宇宙基本計画別紙2に基づき推定)

# (参考) 商業打上げ市場の動向

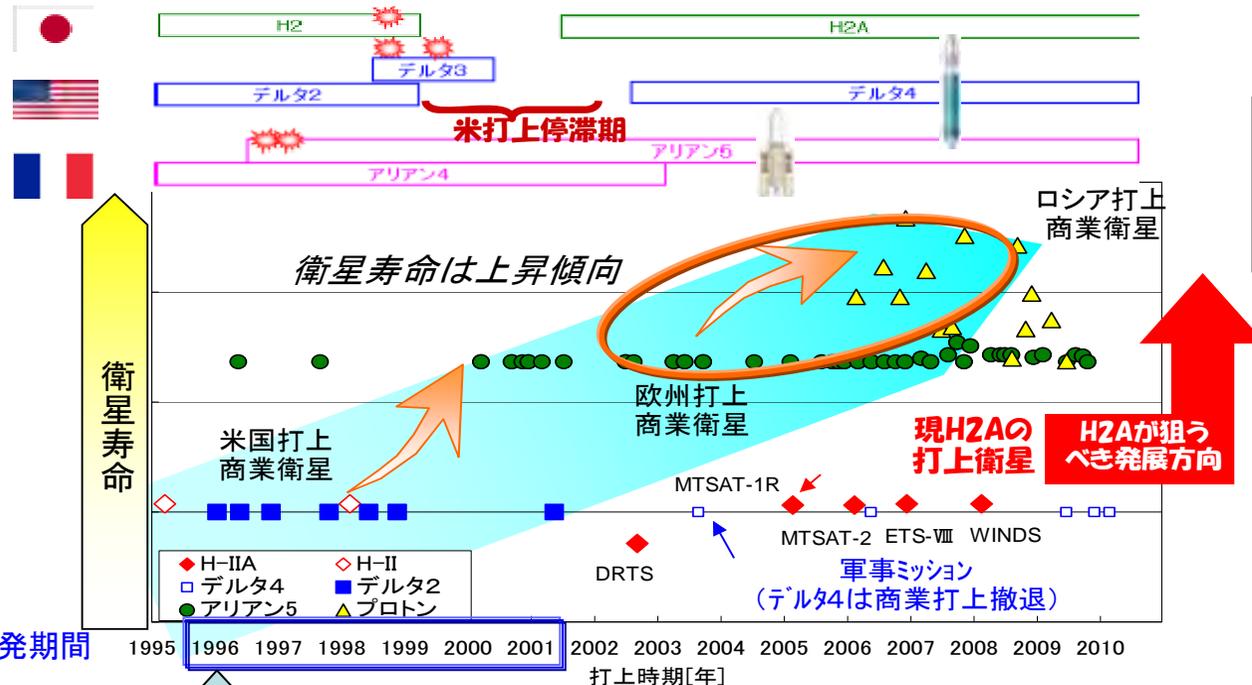
□ H-IIAロケット初号機が打ち上がった2001年以降、世界的に衛星寿命が急伸。H-IIAロケットは以下に示す商業市場の動向変化への対応が遅れている。

◆米国の停滞

- ✓ 1995年、米国でも商業市場での競争力を強化するため、発展型ロケットの開発に着手。しかしながら、1997～1998年の間、デルタロケットの打上げ失敗が続き、この影響で発展型ロケット開発に遅れが生じた。

◆アリアン5の市場シェア拡大

- ✓ 欧州はアリアン4の運用を継続しつつ、アリアン5への移行に成功。
- ✓ 赤道付近から打ち上げられるアリアン5の場合、ロケットから分離後、衛星が自ら静止軌道に移動するために消費する燃料が、中緯度の米国射場や種子島射場から打ち上げられる場合より少なく済む。このため、衛星を静止軌道上に保つのにより多くの燃料を使用することができ、寿命が5年程度延びる。
- ✓ 米国発展型ロケット開発が停滞する中、アリアン5は2000年頃から商業打上げ受注を拡大。それまでは米国射場から打上げた場合の軌道投入条件が市場の標準であったが、現在はアリアンによる軌道投入条件が標準となっている。



アリアン5とプロトンが  
商業静止衛星のシェア  
を獲得

H-IIAロケット開発期間

↑ 米国衛星メーカー2社(ヒューズ・スペース&コミュニケーションズ社、スペース・システムズ・ロラール社)より合計20機のH-IIA打上げ契約を締結。(H-IIロケット8号機の失敗等の影響によりキャンセル。)

# A-1 基幹ロケット高度化

## 基幹ロケット高度化で取り組む技術開発

□ 2段ステージの推進系、構造系、アビオニクス系の高機能化を中心としたシステム開発を行う。

### 1. ロングコースト機能獲得

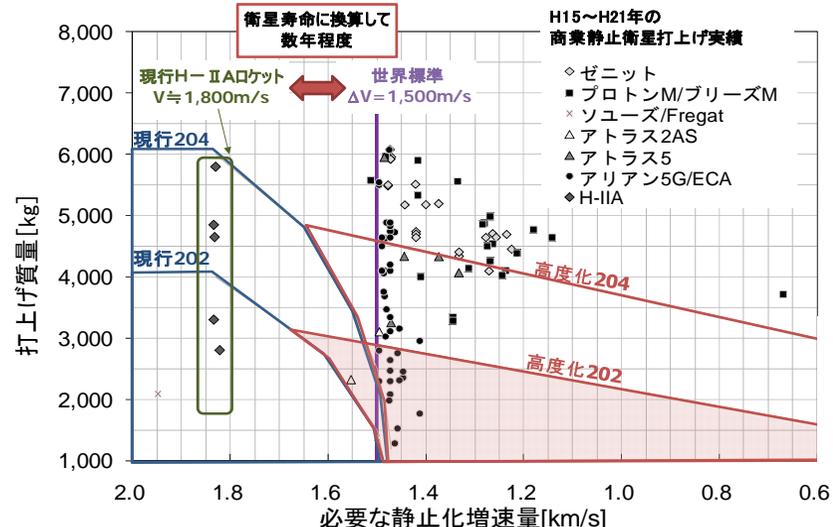
- ・推進薬蒸発量の低減技術の開発
- ・低出力スロットリング機能の獲得
- ・搭載機器の長秒時作動技術の獲得

### 2. 衛星衝撃環境の抜本的緩和

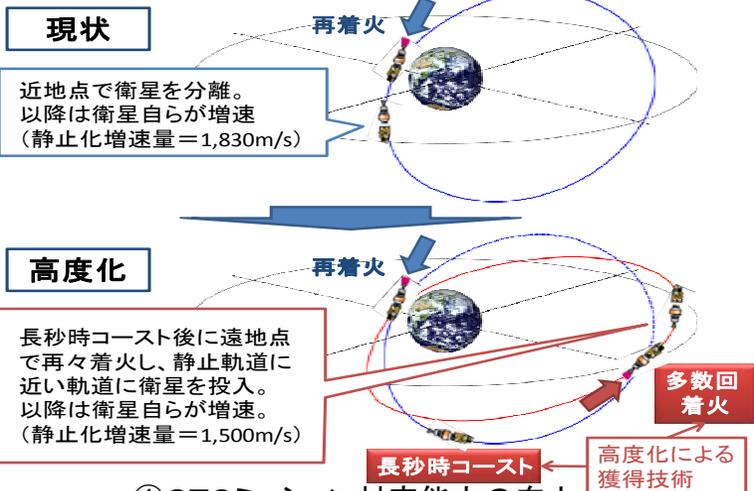
- ・火工品によらないメカニズムによる低衝撃衛星分離機構の開発

### 3. 飛行安全システム追尾系の高度化

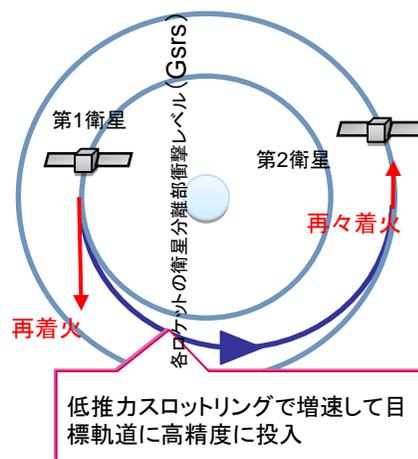
- ・機体搭載型航行安全用航法システム(レーダー代替)の開発



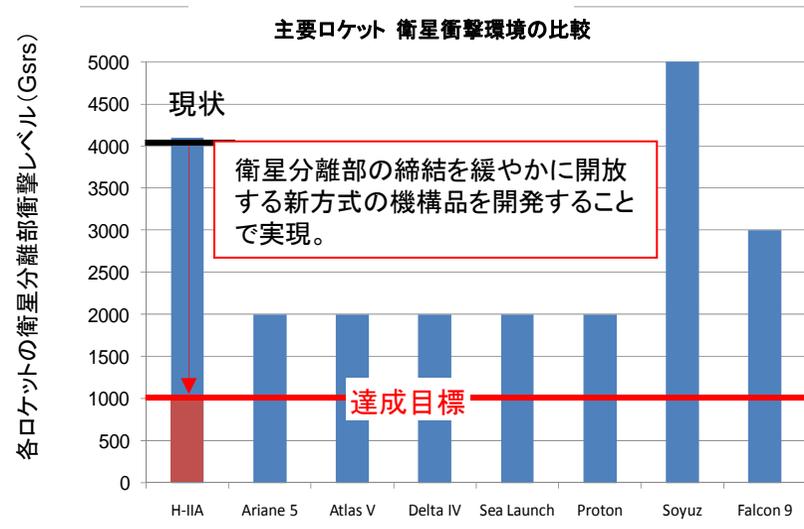
② 商業静止衛星の打上げ実績



① GTOミッション対応能力の向上



③ SSOミッション対応能力の向上



④ 主要ロケットの衛星衝撃環境の比較

# 複数衛星相乗り打上げ能力の向上

□ H-IIAロケットは複数衛星を打上げる手段として、以下の機構を実用化している。

①主衛星(2トン級)を2機同時打上げるための機構

(実績)

- ・3号機(こだま/USERS)、・5号機、12号機(IGS/IGS)

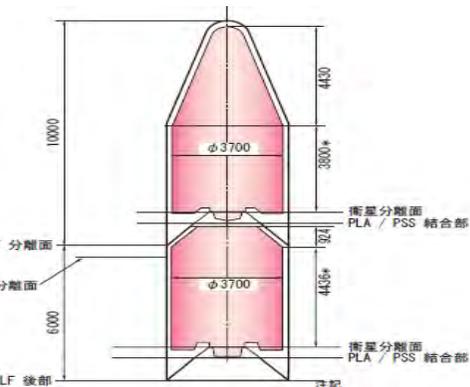
②主衛星に加え、小型副衛星(ピギーバック)を同時に打上げるための機構

(実績)

- ・4号機(みどり2、FedSat、WEOS、 $\mu$ -LabSat)
- ・15号機(いぶき、KAGAYAKI、KKS-1、PRISM、SDS-1、SOHLA-1、SPRITE-SAT、STARS)
- ・17号機(あかつき、IKAROS、KSAT、Negai☆”、UNITEC-1、WASEDA-SAT2)

□ 「あかつき」打上げでは、金星遷移軌道投入という特殊なミッションにおいて、余剰能力を最大限活用し、1機の惑星探査技術実証衛星( IKAROS )と4機の小型副衛星の打上げを実現。

□ H-IIAロケットの高度化開発で「上段エンジンの再々着火機能」を付与する予定。これにより異なる軌道へ2トン級衛星を2機高い精度で投入可能となり、より柔軟な打上げが可能となる。

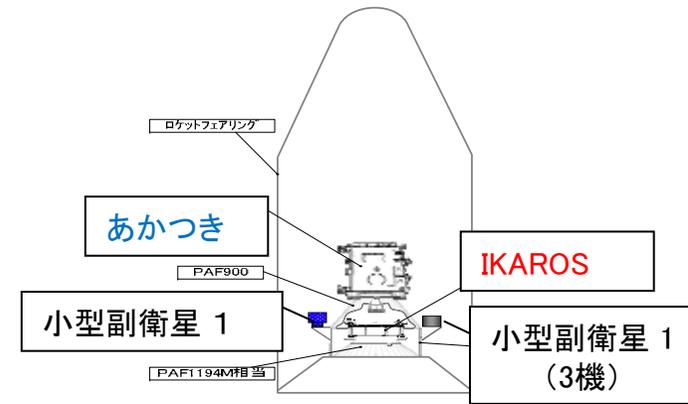


①主衛星2機搭載  
(4/4D-LCフェアリング)



②主衛星1機+小型副衛星4機搭載(標準形態)  
(4Sフェアリングの場合)

(※)4/4D-LCフェアリングの場合、さらに主衛星1機を搭載可能。



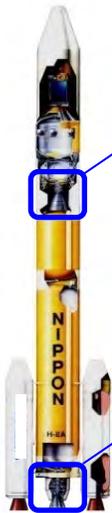
②17号機(あかつき)の場合  
主衛星1機+副衛星1機+小型副衛星4機

# A-2 LE-Xエンジン技術実証

## 【目的】

基幹ロケットの次期ブースタ・エンジンとして、**本質的に簡素で安全(故障時に爆発に至らない)・高信頼性・低コストな大推力エンジン**の成立性を実証する。

- LE-7Aエンジンと比べ実機コスト1/2を達成するエンジン設計・製造技術などの差別化技術を獲得。
- 信頼性・リスクの定量評価に基づく新たな開発手法を確立し、次期基幹ロケットの開発や有人輸送形態への派生に目処付け。



LE-5B



LE-7A

□ 世界で唯一日本が実用化に成功したエンジン形式を大推力化

□ LE-5、LE-7エンジンの開発・改良・運用で得た豊富な技術的知見、ノウハウを活用

□ 信頼性・リスクの定量評価に基づく新たな開発手法

□ 大型ロケットエンジンの高機能化(推力可変・多数回着火)、低コスト化



真空中推力:  
148 tonf  
真空中比推力:  
430.5 秒  
可変推力範囲:  
100 - 60 %  
着火回数:  
2 回以上

- ◆ 信頼性 = LE-7A × 10
- ◆ 実機コスト = LE-7A × 1/2
- ◆ 開発期間 = LE-7 × 1/2
- ◆ 開発コスト = LE-7 × 1/2

# LE-5、LE-7エンジン技術の発展:LE-Xへ

↑  
推カレベル

### GG Cycle (ガスジェネレータ)



**LE-5**

- 日本初の液酸/液水エンジン
- 2段用エンジン

### SC Cycle (2段燃焼)



**LE-7**

- 日本初の液酸/液水1段エンジン
- 日本初の2段燃焼サイクル
- 燃焼圧アップ



**LE-7A**

- 信頼性向上
- 製品コスト削減

### Expander Bleed (EB) Cycle (エキスパンダブリード) LE-X

- 推カアップ
- 信頼性向上
- 製品コスト削減



**MB-XX**



**LE-5A**

- ノズルEB
- 推カアップ
- 2段用エンジン



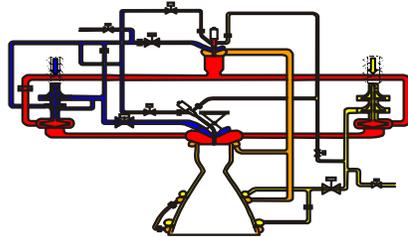
**LE-5B**

- 燃焼室EB
- 推カアップ
- 製品コスト削減
- 信頼性向上
- 推力可変機能追加
- 2段用エンジン

# LE-Xエンジンの特徴

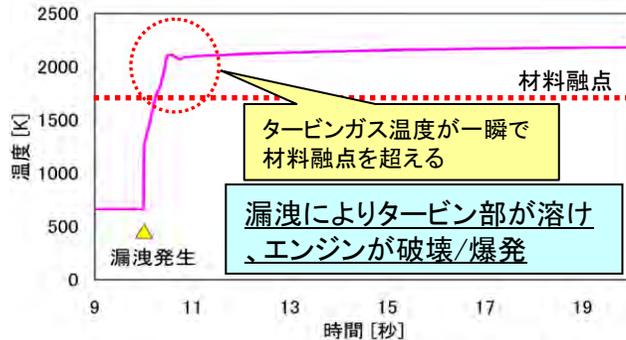
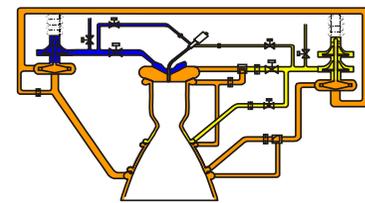
- ① 本質的に簡素で安全な(故障時に爆発に至らない)ことから、衛星打上げロケットに求められる信頼性・低コスト、有人ロケット・再使用型輸送系に求められる安全性のいずれについても世界に類のない特長と優位性。
- ② 安全に停止可能なためクラスタによる大推力化や冗長化に適する。有人ロケットにおいても搭乗員の脱出までの時間的余裕を確保可能。
- ③ 燃焼室の再生冷却のみでタービン駆動パワーを得ることから、ロバストな一方、燃焼室長の製造限界等で推力に上限あり。

| 現大型ロケットエンジン(LE-7A)      | 次期大型ロケットエンジン(LE-X)      |
|-------------------------|-------------------------|
| ・高温高圧の燃焼ガスが配管内に有り、爆発し易い | ・低圧で燃焼ガスが配管内になく、爆発し難い   |
| ・部品点数が多く、起動、停止の制御が困難    | ・部品点数が少なく、制御が容易         |
| ・故障発生時には、溶損、爆発に至り易い     | ・故障時にも溶損・爆発に至らず、安全に停止可能 |

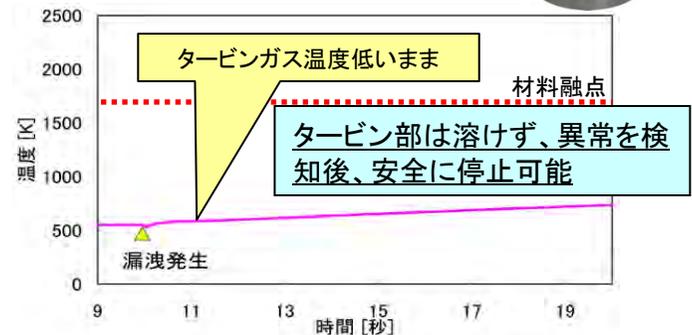


・高温/高圧部位削除  
・部品点数削減

■ 低温  
■ 中温  
■ 高温(燃焼ガス)



燃料ポンプの下流配管から燃料が漏洩した場合を仮定し、ポンプを回すタービンに入るガス温度の変化を解析した例



# LE-Xエンジン技術実証で取り組む技術開発

- 高度なシミュレーション技術と要素試験の組合せで現象を把握し、高い信頼性を確保。
- 信頼性・機能性能の設計検討と最先端の製造技術の組み合わせで、主要コンポーネントの実機コストを大幅に低減。

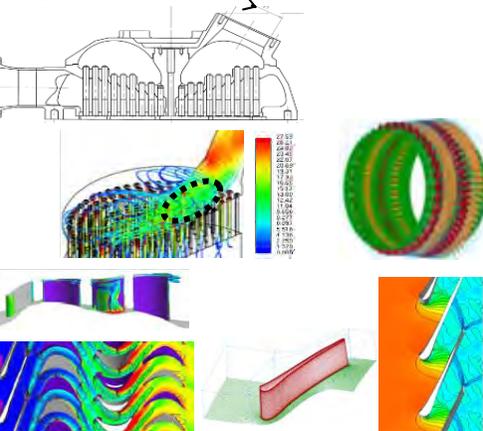
## 各種要素試験

(燃焼安定性、ターボポンプ軸振動、熱交換特性、超音速タービン効率等)

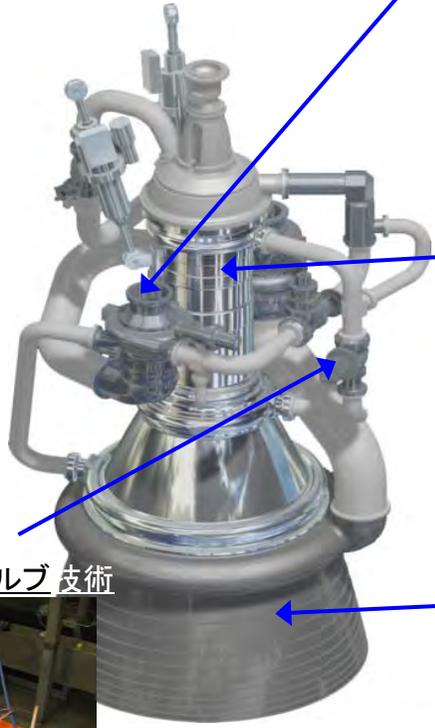


燃焼安定性・性能確認試験

## シミュレーション技術



性能向上、コストダウン設計の妥当性検証  
起動・過渡状態の現象把握



## ターボポンプ 設計・製造技術



オープンインペラ、2段インデューサの採用  
粉末冶金による一体成形

## 燃焼室 製造技術

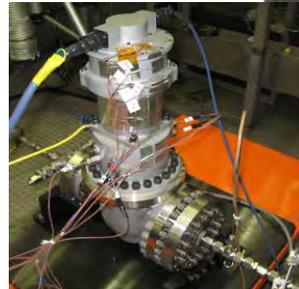


長大燃焼室のしごき加工



HIP (Hot Isostatic Pressing) ろう付け

## 極低温電動バルブ技術



- ・電動バルブによる推力・混合比自動制御で打上げ能力向上
- ・1回の領収燃焼試験で作動点調整
- ・圧力・温度ばらつき低減による信頼性向上

## ノズルスカート 製造技術



スピン成形

# A-3 次期基幹ロケット

## 【目的】

国内外の幅広い利用ニーズに格段の効率性をもって対応可能なラインアップを構築することで、我が国の宇宙開発利用を促進する。

## 【システム・コンセプト(検討例)】

- これまで獲得してきた先進技術(液体エンジン、構造・機構品、アビオニクス等)をさらに進化させ、効率的に統合。
- 1段・2段・上段の液体共通ステージと固体モータを自在に組み合わせ、中型から超大型まで最適化された打上げ機体で効率的に打上げ、利用動向の変化に柔軟に対応。
- ステージから機器・部品まで簡素化・共通化を徹底し、打上げコストを大幅に低減。
- 射場等インフラをコンパクトで維持・保全の容易なものへと刷新し、維持費を大幅に低減。



# B イプシロンロケット(1/2)

## 【目的・成果】

### 1. 小型衛星の単独・即応打上げ手段の提供

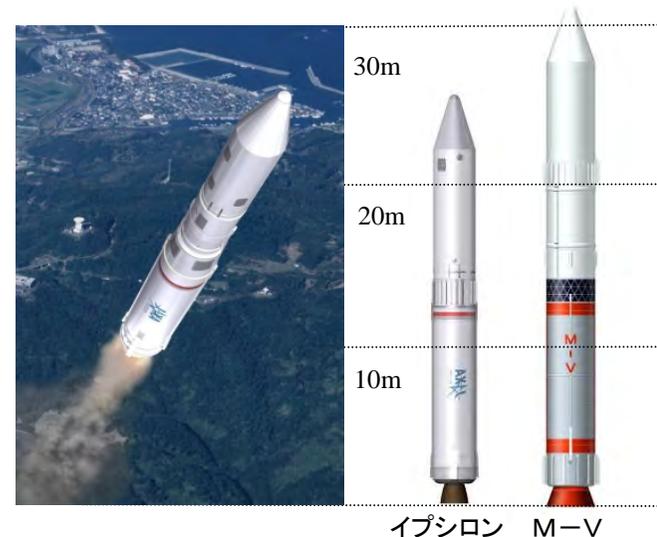
- ▶ 小型衛星標準バスとの組合せで「安価・高頻度・タイムリーな開発・運用」という小型衛星の特長を活かし、利用を喚起。
  - ・ 宇宙科学ミッションの迅速・高頻度・高効率な成果創出
  - ・ 通信、地球観測等の宇宙システムをパッケージとしてアジア等に海外展開
  - ・ 災害等の有事に際して宇宙からの情報収集手段を緊急展開
- ▶ 開発移行時に、計画されている16の小型科学衛星ミッションと経済産業省が推進する小型衛星1号機ミッションをカバーする打上げ能力を設定した。

### 2. 固体ロケットシステム技術の継承・発展

- ▶ 我が国が独自に培った固体ロケットシステム技術を継承し、機動性・即応性に優れる世界一の運用性を有する小型打上げシステムへ発展。

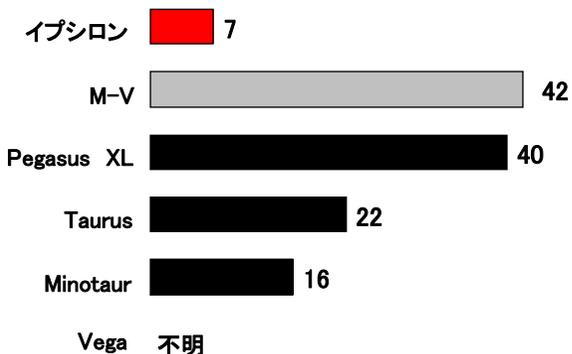
### 3. 輸送系先進技術の先行実証

- ▶ 運用に空白を設けることが許されない基幹ロケットの着実な進化に貢献。

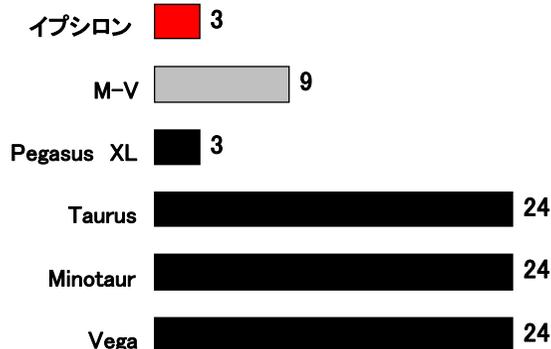


### イプシロンロケットの機動性・即応性

1段射座据付から打上げ翌日まで(日)



衛星最終アクセスから打上げまで(時間)



| 項目                               | イプシロン<br>(目標) | M-V<br>(実績) |
|----------------------------------|---------------|-------------|
| 軌道投入能力                           |               |             |
| ・地球周回低軌道                         | 1 2 0 0 k g   | 1 8 0 0 k g |
| ・太陽同期軌道                          | 4 5 0 k g     | —           |
| ・軌道投入精度                          | 液体ロケット並み      | —           |
| 打上げコスト                           |               | 7 5 億円      |
| ・定常運用時 (FY25)                    | 3 8 億円        |             |
| ・低コスト化 (FY29)                    | 3 0 億円以下      |             |
| 射場作業期間<br>(1段射座据付けから<br>打上げ翌日まで) | 7 日           | 4 2 日       |
| 衛星最終アクセスから<br>打上げまで              | 3 時間          | 9 時間        |

(※) 小型衛星のニーズ(関係府省含む)に適合した軌道投入能力を設定。

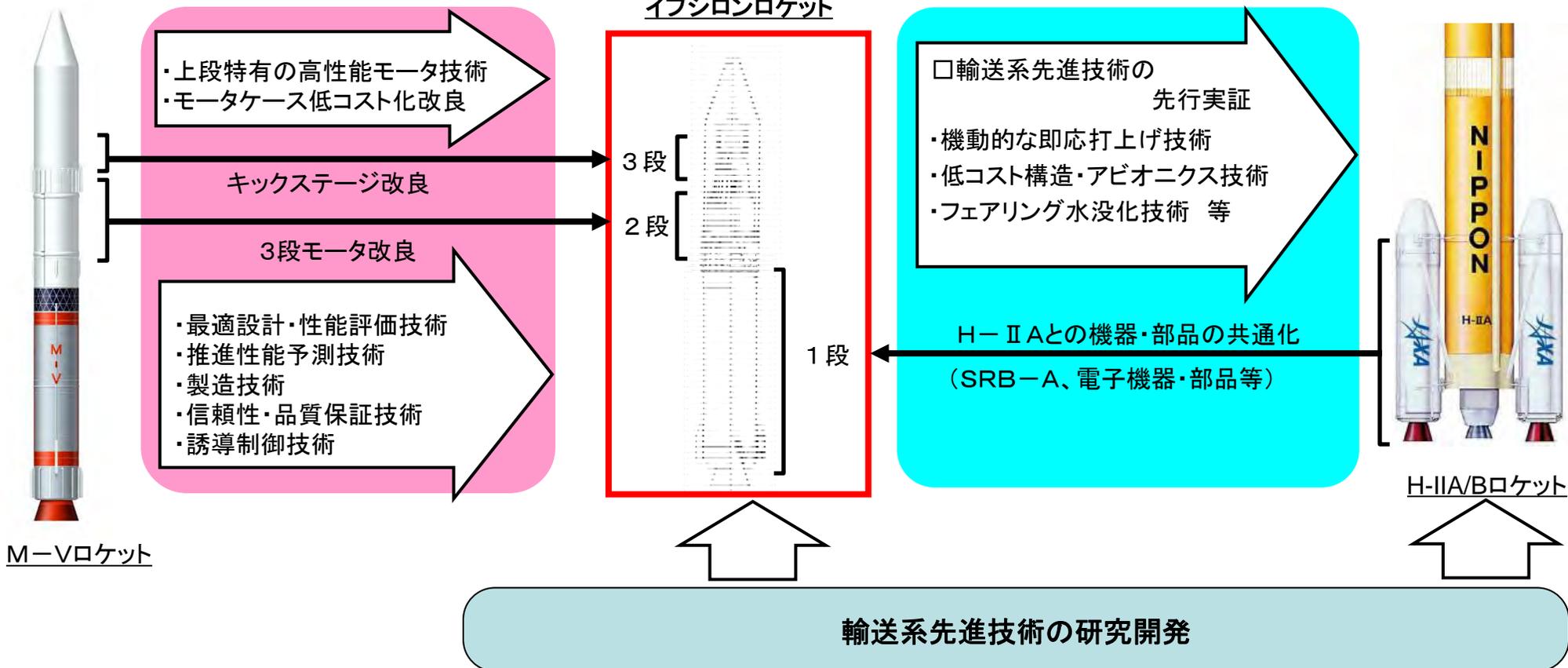
# B イプシロンロケット(2/2)

## イプシロンロケットで取り組む技術開発

- M-Vロケットの技術を継承し、H-IIAロケットの技術を活用・共通化。
- 輸送系先進技術を実証し、我が国の輸送システムの進化に向けたプリカーサとしての役割を果たす。

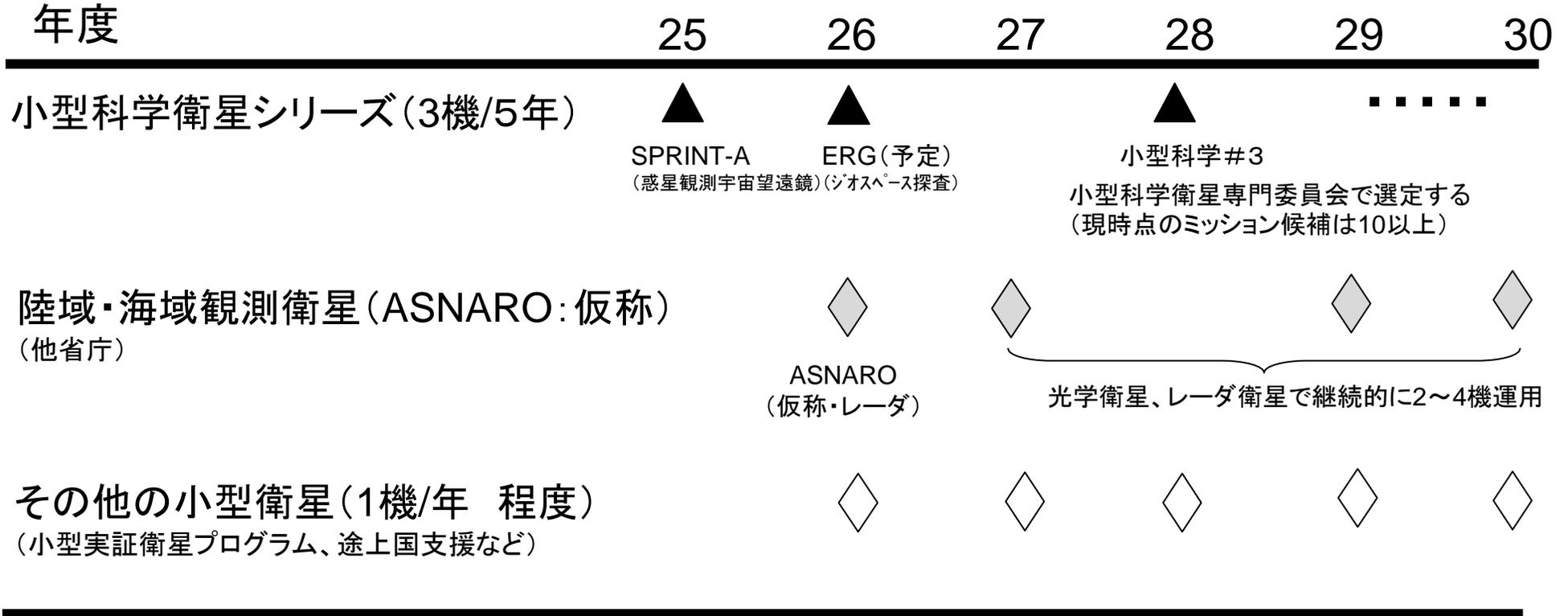
□ 我が国が独自に蓄積した固体ロケットシステム技術の継承・発展

- 機器・部品・技術の共通化と生産数増大による
  - ・ 調達、信頼性、品質の安定化
  - ・ 開発コスト、実機コスト低減



# 小型衛星のニーズ

(参考)

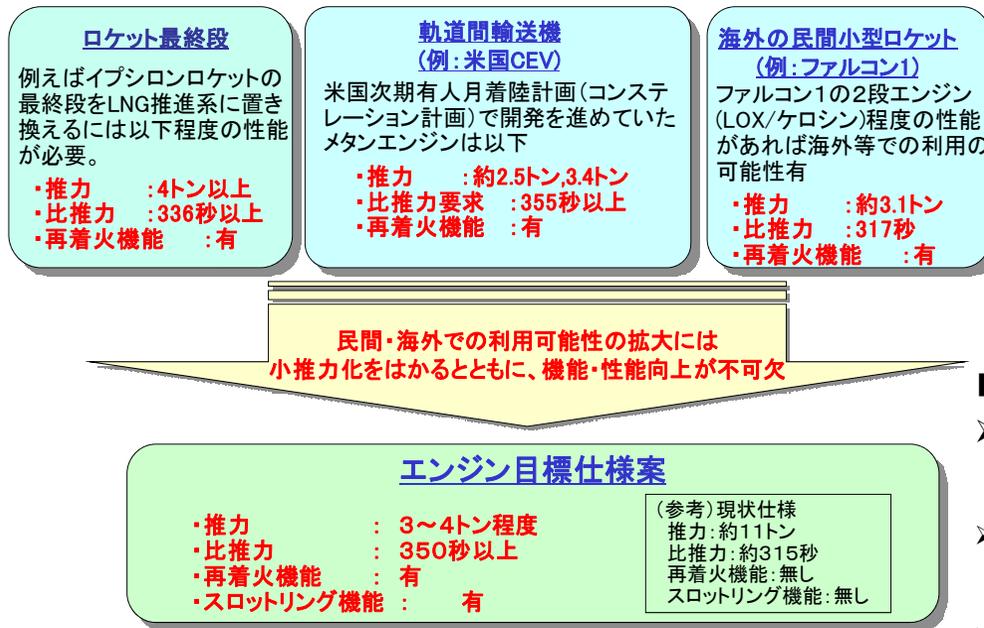


# C LNG推進系の研究開発

## 【目的・成果】

### 汎用性のあるLNGエンジン基盤技術の確立

- 海外の開発動向を踏まえて、確立すべきLNGエンジンの目標仕様を設定(下図)。
- 将来的に国内外のロケットの推進系や軌道間輸送機などの推進系としての適用が考えられる汎用性のあるLNGエンジンの基盤技術を確立



## 【経緯】

平成21年12月の政府決定「GXロケット及びLNG推進系に係る対応について」を踏まえ、将来的に国内外のロケットの推進系や軌道間輸送機などの推進系としての適用が考えられる「汎用性のあるLNGエンジンの基盤技術の確立」に向け、必要な研究開発を推進している。

### ■エンジン性能の向上

- 高性能化  
より効率的に推進薬(燃料)を燃焼させる技術
- 高機能化  
再着火機能(飛行中に複数回エンジンを作動できる機能)等
- 高信頼性化

1. 高圧燃焼化に向けた取り組み  
高圧燃焼化に向け重要な燃焼圧力とアブレータ損耗量の相関把握データの取得。

2. 高性能化、高機能化に係る  
共通基盤研究  
燃焼効率向上を目指した噴射器技術、多数回燃焼の基盤技術などを獲得。

### ■真空中性能の高精度予測

- 飛行中環境でのエンジン性能

3. 宇宙空間を模擬した環境での  
試験の実施  
高空燃焼試験(※)により、真空環境での性能特性データの取得を行い、より高精度な性能予測技術を獲得。