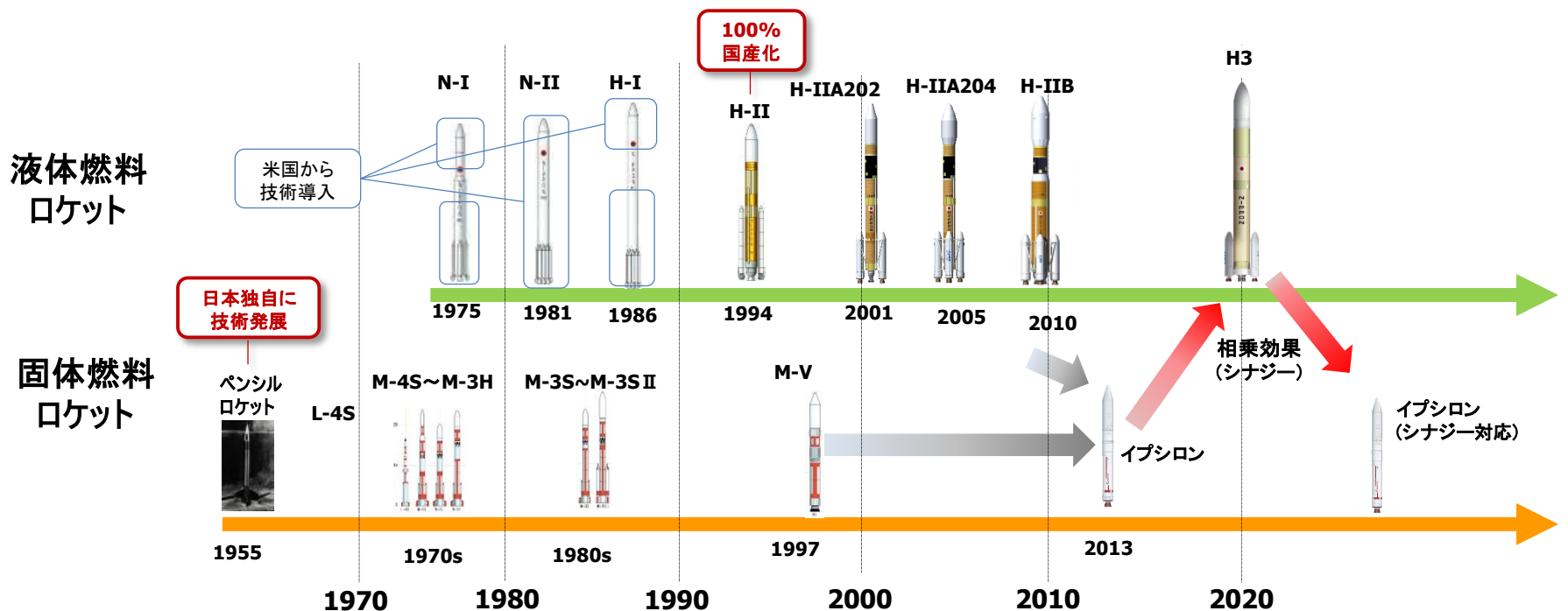


参考資料集

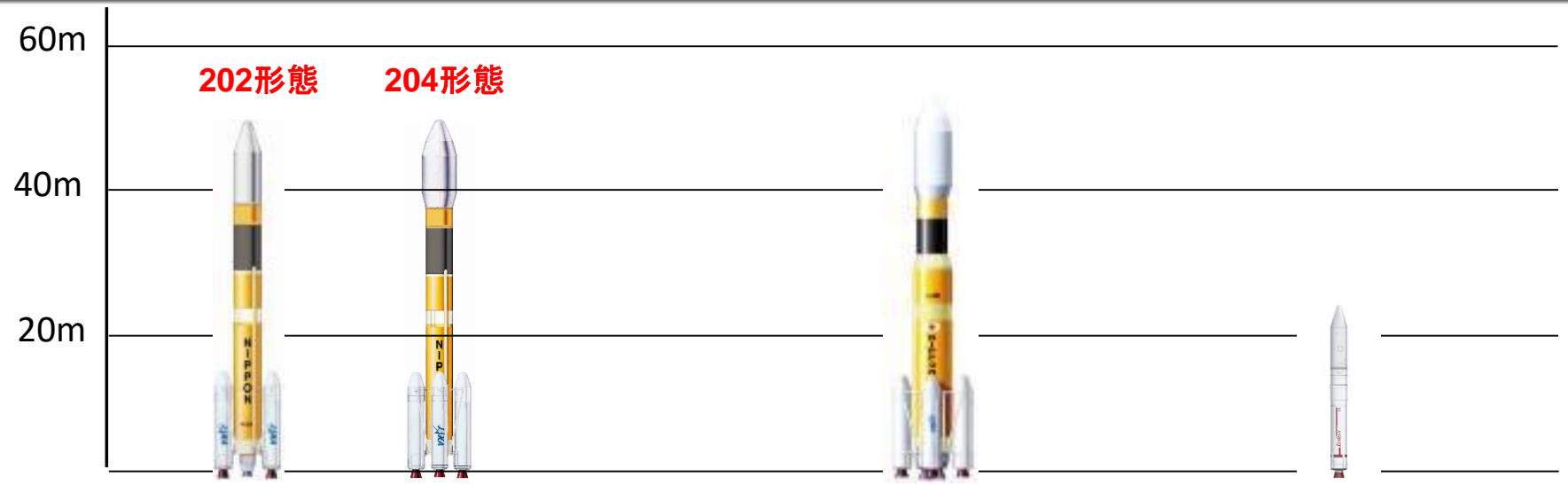
1. 我が国の基幹ロケットに関わる動向
2. 我が国のその他のロケットに関わる動向
3. JAXAにおける宇宙輸送系研究開発の動向
4. 国外における宇宙輸送に関わる主要動向
5. 宇宙利用の拡大及び将来の宇宙ビジネスの可能性
6. JAXAにおける共創体制の枠組み

1. 我が国の基幹ロケットにかかわる動向

- 我が国では、これまで蓄積してきた国産技術によりロケットを開発・製造・運用することにより、宇宙開発利用の根幹である我が国の自立的持続可能な宇宙輸送システムを確保しており、安全保障を中心とする政府衛星や海外の商業衛星、探査機等を打ち上げてきている。
- この宇宙輸送の自立性を維持・拡大するため、液体燃料のH-II A/B ロケット及びそれらの後継のH3ロケット並びに固体燃料のイプシロンロケットを我が国の基幹ロケットとして位置づけ、双方の産業基盤を確実に維持することとし、政府衛星の打上げに当たっては基幹ロケットを優先的に使用して打ち上げる政策とされている(宇宙基本計画)。



1.1 液体ロケット開発経緯 ～H-IIA/Bロケットの概要～



ロケット名	H-IIAロケット			H-IIBロケット	(参考)イプシロンロケット
全長	約53 m			約57m	約26m
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／打上げ	40/41			8/8	4/4
打上成功率	97.5 %			100 %	100 %
打上能力		202	204	GTO※1:8トン HTV軌道:16.5トン	LEO:1,200kg以上 SSO:590kg※4
	GTO	4.00ton※1 2.97ton※2	5.95ton※1 4.82ton※2		
	SSO	3.30ton※3 5.10ton※4	N/A		

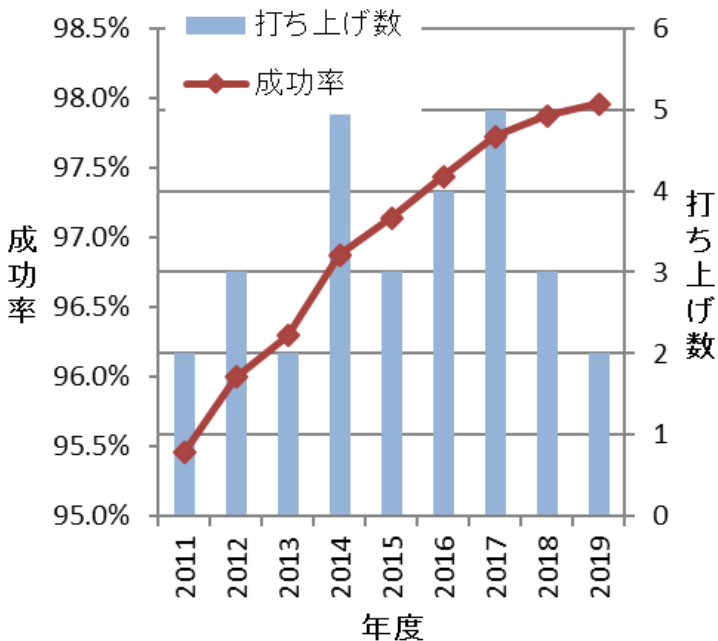
(*1) 静止化増速量:1,830m/sの場合、(*2) 静止化増速量:1,500m/sの場合(*3) 高度800kmの場合(*4) 高度500kmの場合

1.1 液体ロケット開発経緯 ～H-II A/Bロケットの概要～

【確実な打上げ実績】

- H-IIA/Bロケットは、世界最高水準の打上げ成功率98.0%とH-IIA民間移管以降のオンタイム打上げ率83.3%(世界最高)により、政府の安全保障衛星を含む多くの衛星を確実に打上げており、**安全保障を中心とする政府のミッションの達成に貢献**している。
- H3ロケットに円滑に移行するまでの間、H-IIAロケットの部分的な改良開発等により、**国際競争力を強化しつつ**、世界最高水準の打上げ成功率とオンタイム打上げ率を維持してきている。また、政府衛星を始めとした**国内外の衛星打上げ計画に確実に対応**していくため、継続的な信頼性向上の取組及び射場設備への老朽化対応を含め、効率的かつ効果的に基盤技術を維持している。

H-II A/Bロケットの各年度打上げ数と通算成功率



各国ロケット打上げベンチマーク (2019年12月末現在)

各国ロケット	打上げ成功率	オンタイム率
H-IIA/B (日)	98.0% (48/49)	83.3%
デルタ4 (米)	97.5% (39/40)	43.8%
アトラス5 (米)	98.8% (82/83)	65.8%
ファルコン9 (米)	97.6% (80/82)	48.8%
アリアン5 (欧)	96.3% (104/108)	71.6%
プロトンM (露)	89.8% (97/108)	
ゼニット3 (露)	91.3% (42/46)	
長征3 (中)	95.1% (117/123)	

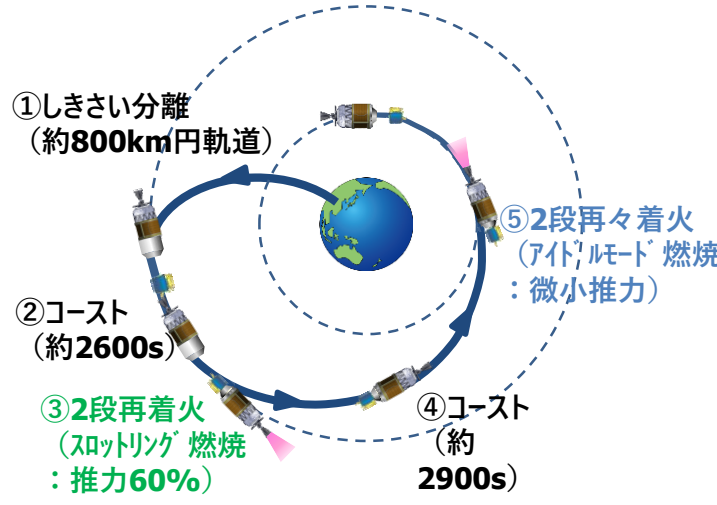
1.1 液体ロケット開発経緯 ～H-IIA/Bロケットの概要～

【継続的な国際競争力の確保】

- H-IIAロケットの運用後約10年が経過した時点で、海外の競合ロケットの台頭や打上げ需要の変化などの新しい流れや、設備の老朽化などの課題に対応するため、H-IIAロケットの部分的な改良開発「基幹ロケット高度化」に着手。
- 宇宙空間の飛行性能の向上等により高緯度に位置する種子島射場の打上能力のハンディキャップを克服し、商業衛星打上げ市場における打上能力需要の対応範囲を約7%から約50%に大幅に拡大(次ページ)。また、低衝撃分離部による世界一衛星に優しい搭載環境を提供可能とした。
- これらにより、H-IIAロケットの本格的な国際的な商業衛星打上げ市場への参入を可能とし、H-IIA_F29商業衛星Telstar(カナダ)打上げ、UAE火星探査機の打上げ、インマルサット6号(英)の打上げを受注に繋がった。
- 更に、この高度化開発の成果を最大限活用し、小規模かつ低コスト開発による相乗り打上げ能力の向上機能を付加し、H-IIAロケット37号機において異なる2軌道への投入ミッションを成功させ、衛星相乗り打上げに対して打上げコスト低減と打上げ機会の有効利用(早期の打上げ機会確保)の両面に貢献した。



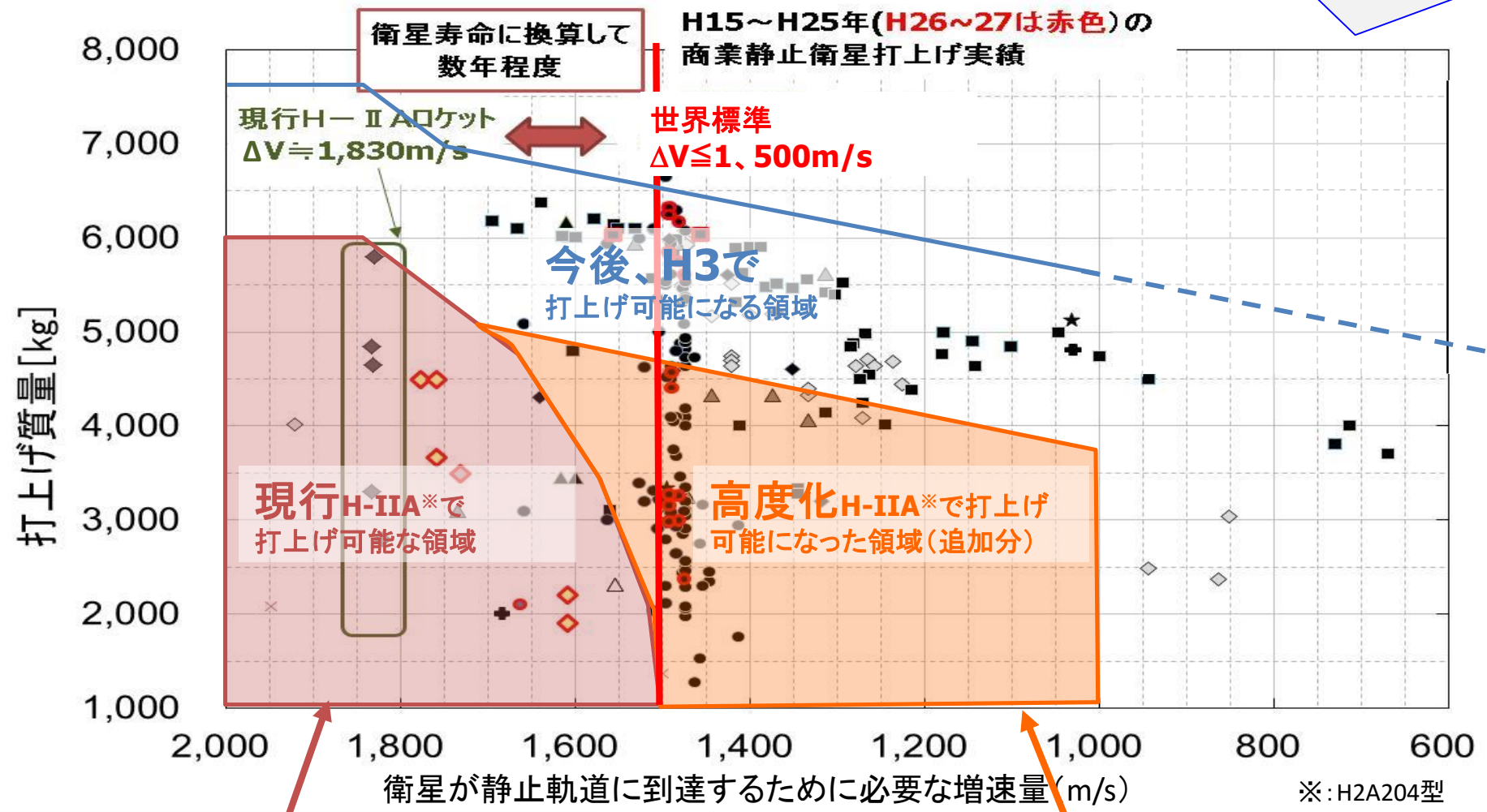
宇宙空間を飛行中のH-IIAロケット(イメージ)。高度化開発により約5時間、地上から36,000kmの距離でも飛行できるようになった。



複数衛星を異なる2軌道への投入し、打上げコストの低減・打上げ機会の有効利用を実現 19

1.1 液体ロケット開発経緯 ～H-IIA/Bロケットの概要～

縦軸は打ち上げる衛星の質量、
横軸は軌道到達のための衛星側燃料負担を表し、
過去に打ち上げられた衛星をプロット



現行のH-IIAロケットでは、商業静止衛星の
7%程度しか打ち上げられなかった。
(過去に打ち上げられた商業静止衛星の機数での換算)

高度化

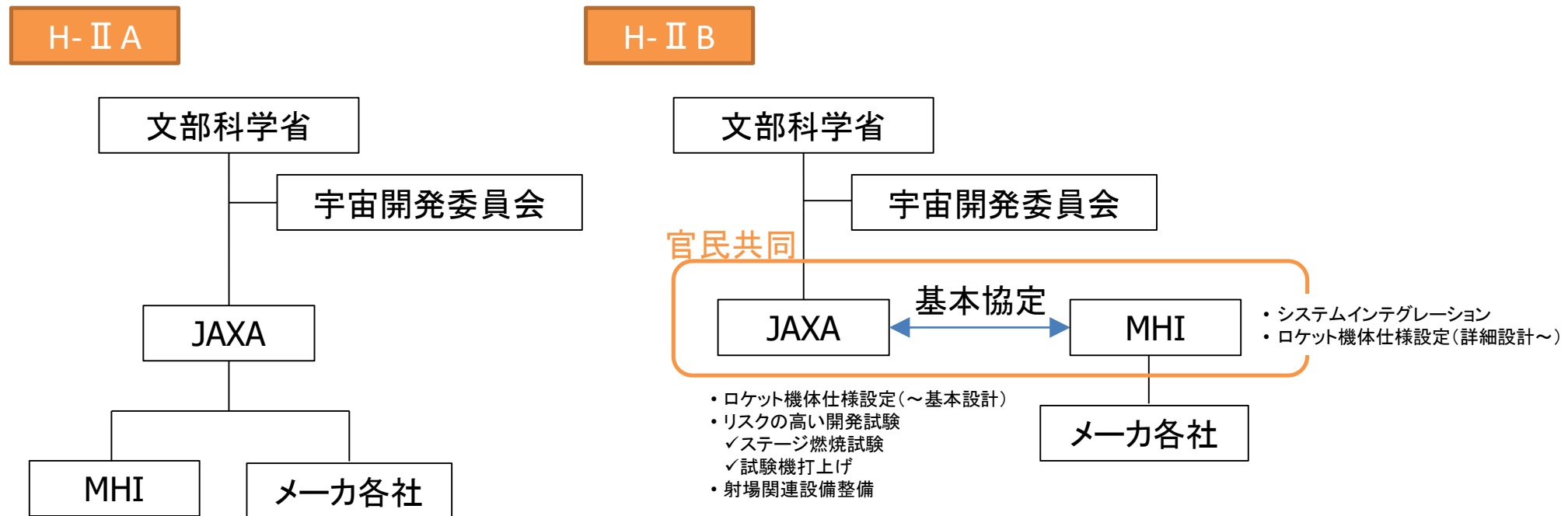
基幹ロケット高度化対応により、
約50%の静止衛星を打上げ可能とした。

1.1 液体ロケット開発経緯

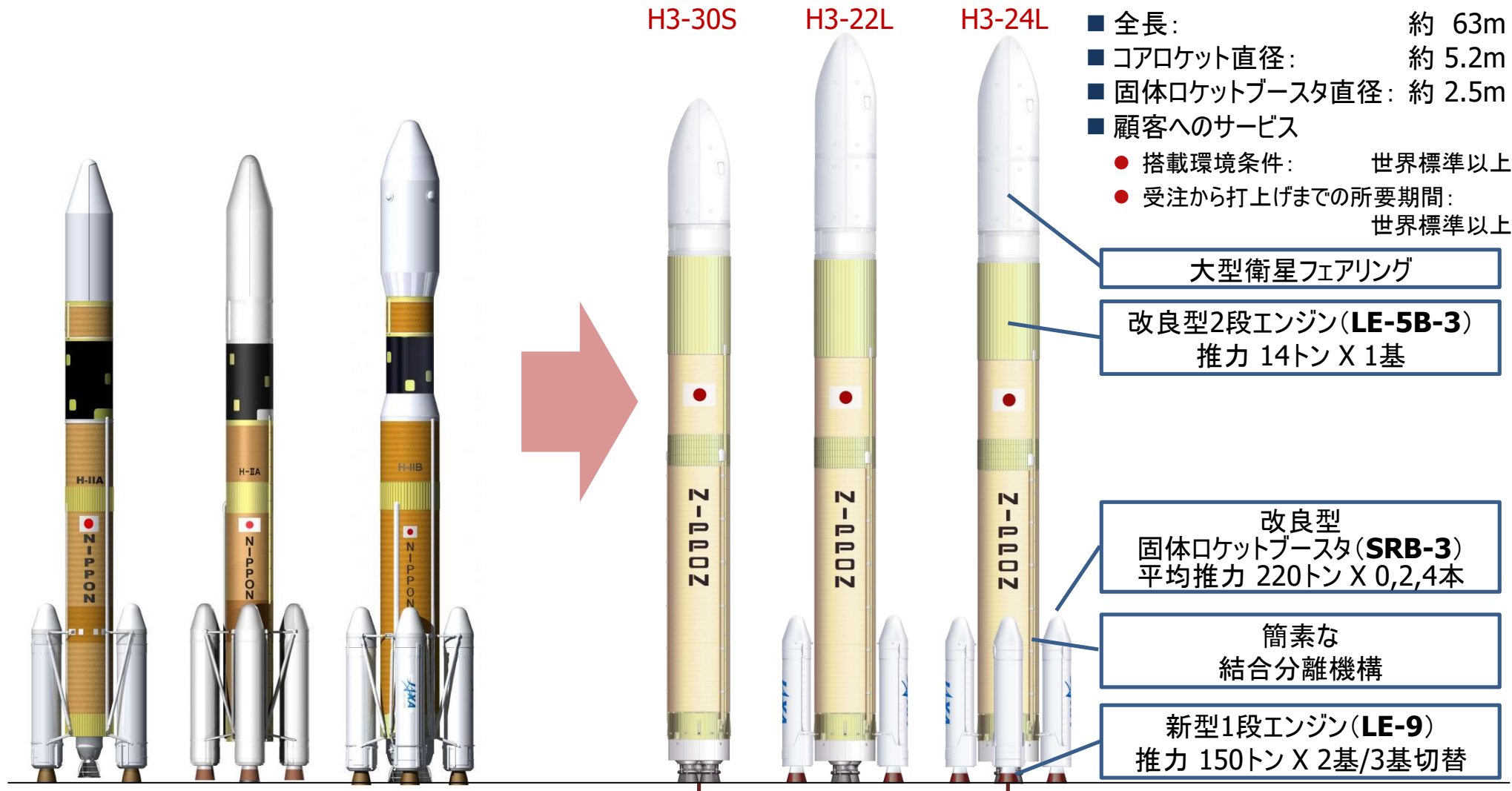
～H-IIA/Bロケット開発体制と官民役割分担～

- H-IIAロケット開発はH-IIロケット同様、JAXAがインテグレートする体制。
- H-IIBロケットの開発は、H-IIAロケット6号機の打上げ失敗の原因究明および対策を取りまとめた「宇宙開発委員会特別会合報告書」(2004年3月～10月)や「我が国の宇宙開発基本戦略」(総合科学技術会議、2004年9月)を受けて、民間の主体性・責任を重視した官民共同体制で取り組み。
- H-IIAロケット13号機以降、H-IIBロケット4号機以降、**民間事業者による打上げ輸送サービス体制に移行**。

【開発実施体制の変遷】



1.1 液体ロケット開発経緯 ～H3ロケットの概要～



H3-30S

H3-22L

H3-24L

- 全長: 約 63m
- コアロケット直径: 約 5.2m
- 固体ロケットブースタ直径: 約 2.5m
- 顧客へのサービス
 - 搭載環境条件: 世界標準以上
 - 受注から打上げまでの所要期間: 世界標準以上

大型衛星フェアリング

改良型2段エンジン(LE-5B-3)
推力 14トン X 1基

改良型
固体ロケットブースタ(SRB-3)
平均推力 220トン X 0,2,4本

簡素な
結合分離機構

新型1段エンジン(LE-9)
推力 150トン X 2基/3基切替

202

204

H-IIA

H-IIB

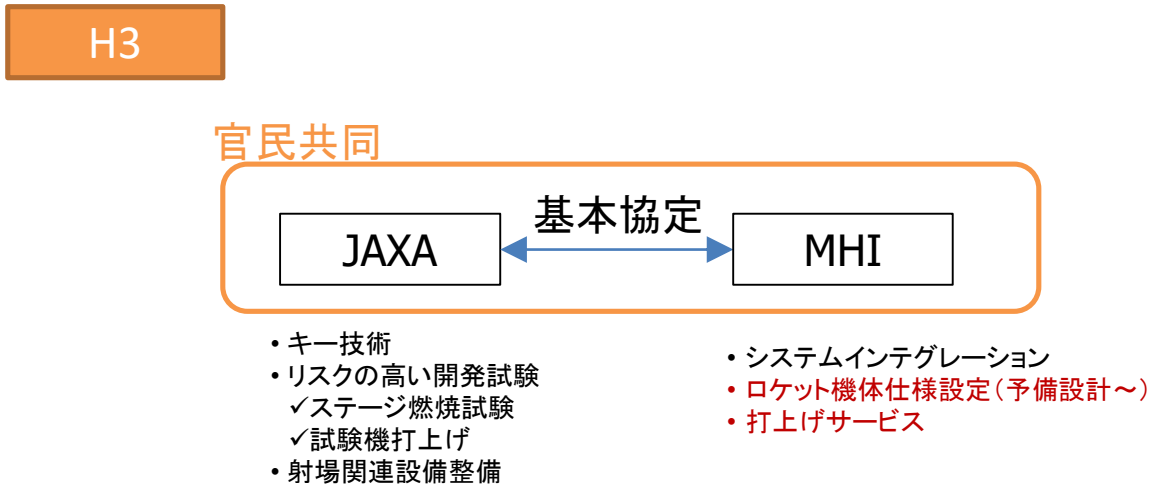
太陽同期軌道^[注1] 4トン以上を
目指す
約50億円^[注2]を目指す
(H2Aの約半額)

静止トランスファ軌道
6.5ton以上を目指す
(衛星需要の大半を
シングルランチでカバー)

[注1] 500km円軌道
[注2] 定常運用段階かつ一定の
条件下での機体価格

1.1 液体ロケット開発経緯 ～H3ロケット開発・製造体制と官民役割分担～

- H3ロケットの開発は、これまで以上に民間事業者の力を活用するべく、**開発当初から、民間事業者がロケット機体の開発から製造及び完成後の打上げサービスまでの全体を一元的にとりまとめるプライムコントラクタ制を採用。**



政策文書(※)にそれぞれの役割が定められている。
(※宇宙政策委員会宇宙輸送システム部会資料「新型基幹ロケット開発の進め方」(平成26年4月3日))

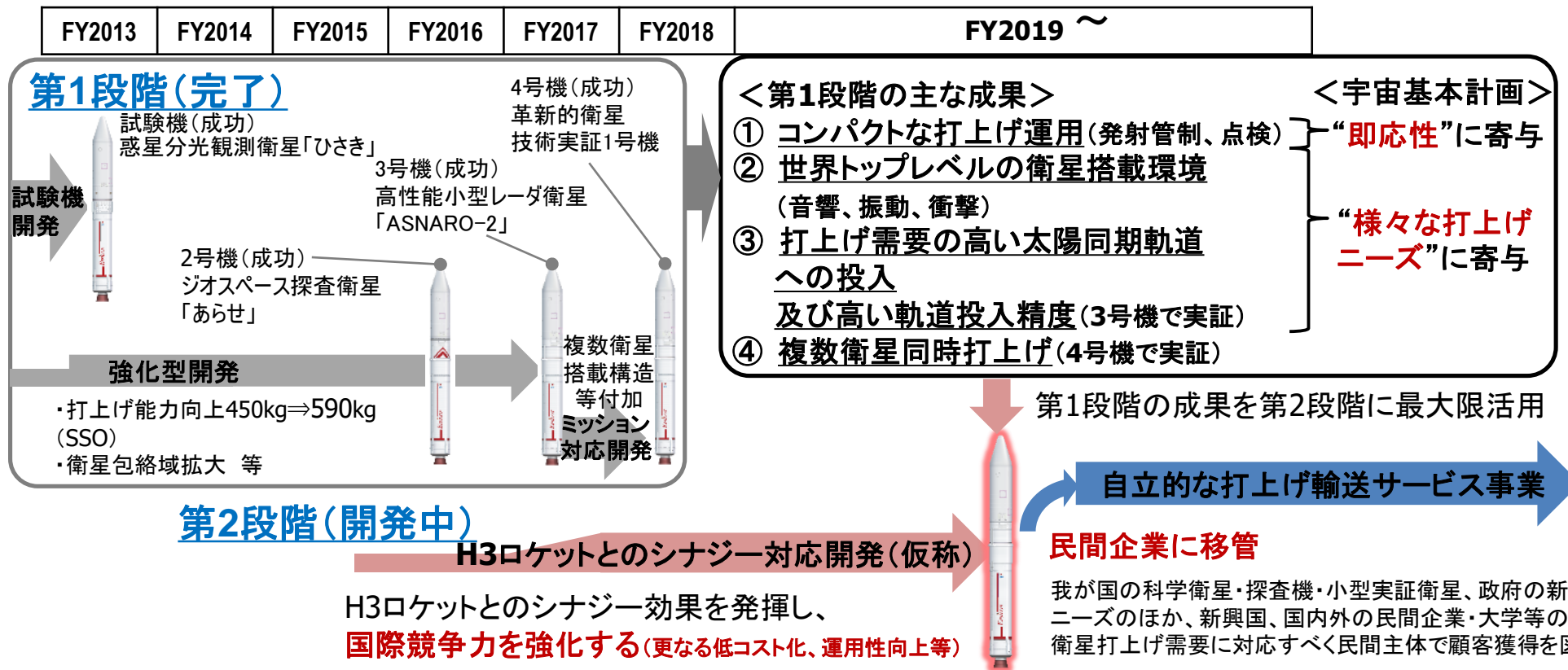
- ◆民間事業者の役割
 - 国際競争力のあるロケットを開発するためには、より民間事業者の力を活用した開発体制、即ち**民間事業者がロケット機体の開発から製造までの全体を一元的にとりまとめるプライムコントラクタ制とする。**
 - プライムコントラクタは、契約の範囲内で機体開発に係る責任を負担することになる。しかしながら、ロケット開発は、**民間事業者にはコントロールし得ないリスクも存在することから、今後、項目ごとに個別に議論し、JAXAとプライムコントラクタの責任分担及び費用負担の割合を確定していく必要がある。**
- ◆JAXAの役割
 - **プロジェクト全体の管理、総合システムの構築、射場等地上設備の整備、自律性確保のためのロケット技術基盤の維持・向上(キー技術の開発)**

1.2 固体ロケット開発経緯 ～イプシロンロケット開発の政策的位置づけ～

- **M-Vロケットまでの固体ロケット**開発で、世界で唯一固体ロケットとして惑星探査にも活用できる等、性能面では世界最高水準の技術を獲得した。しかし、**性能最適化を追求した結果、機体及び打上げ費用が割高となり、運用性・整備性・耐候性に対して最適化がなされていないという課題**があった。
- 宇宙開発委員会(平成22年8月11日)
 - 今後恒常的に一定の需要が見込まれる状況において、**我が国として自律的に対応し、機動的かつ効率的な小型衛星の打上げ手段を確保**するとともに、我が国が培った**戦略的技術である固体ロケットシステム技術を継承・発展**させ、自律点検等先進的技術により**世界一の運用性**を有する小型固体ロケット(イプシロンロケット)を開発する。
 - **開発は2段階で進める**。1段階目では、運用改善に眼目を絞り、M-Vロケット及びH-IIAロケットで培った技術を最大限に活用し、リスク低減と初期開発コストの低減を図ったうえで開発を進める。2段階目では、価格水準でも世界に比肩することを実現する。
- 宇宙基本計画(平成28年4月1日 閣議決定)
 - **即応性が高く、戦略的技術として重要な固体燃料ロケット**のイプシロンロケット
 - 安全保障、地球観測、宇宙科学・探査等の様々な衛星の打上げニーズに対応すること。
 - H-IIA/BロケットからH3ロケットへの移行完了時期までに**シナジー効果を適用したイプシロンロケットを切れ目なく運用開始できるように進めること**。
 - 小型・超小型の人工衛星を活用した基幹的部品や新規要素技術の軌道上実証を適時かつ安価に実施する環境を整備し、イプシロンロケットを用いた軌道上実証実験を実施すること。

1.2 固体ロケット開発経緯 ～イプシロンロケットの開発計画～

- **小型衛星打上げ手段早期獲得、固体ロケット空白期間極小化のため2段階開発を計画**
 - 第1段階(完了): M-V及びH-IIAで培った技術を最大限活用し、4号機までの打上げに成功
 - 第2段階(開発中): H3ロケットとのシナジー効果を発揮して**国際競争力を強化する開発を実施中**
- 今後、JAXAは長年培った固体燃料ロケット技術を民間企業に移管し、民間企業の自立的な打上げ輸送サービス事業展開を支え、日本の宇宙産業の規模拡大に貢献していく



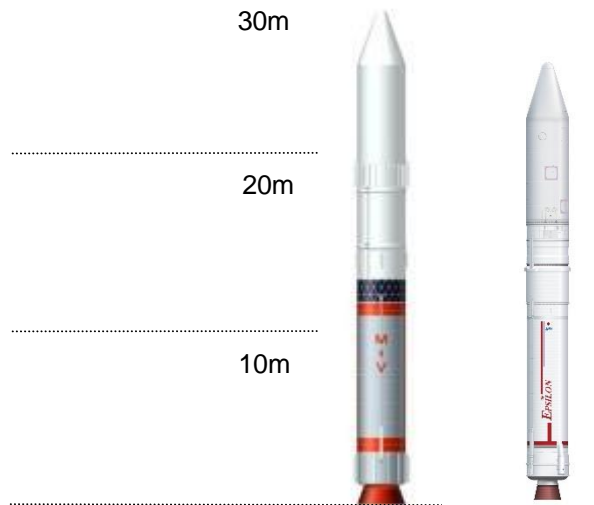
1.2 固体ロケット開発経緯 ～イプシロンロケット概要～

- **小型衛星の打上げ**に我が国として**自立的に対応**するための、**機動性・運用性**に優れる**固体ロケット**で、我が国の基幹ロケットのひとつ。
- イプシロンロケットの開発にあたっては**M-V及びH-IIAで培った技術を最大限に活用**。
- 打上げ射場は内之浦(前身のM-Vと同様)。
- **2013年9月14日に試験機の打上げ成功**。その後、打上げ能力の向上等の性能向上を目指した**強化型開発**を行い、**2・3号機で飛行実証を実施**。

- 3号機では初の非科学衛星である**ASNARO-2を搭載し**、主要な需要が見込まれる**太陽同期準回帰軌道への投入に高い精度で成功**。
- 4号機では複数衛星搭載構造等を付加し、合計7機の**複数衛星の同時打上げ成功**。



イプシロンロケット3号機の打上げ(内之浦宇宙空間観測所より)

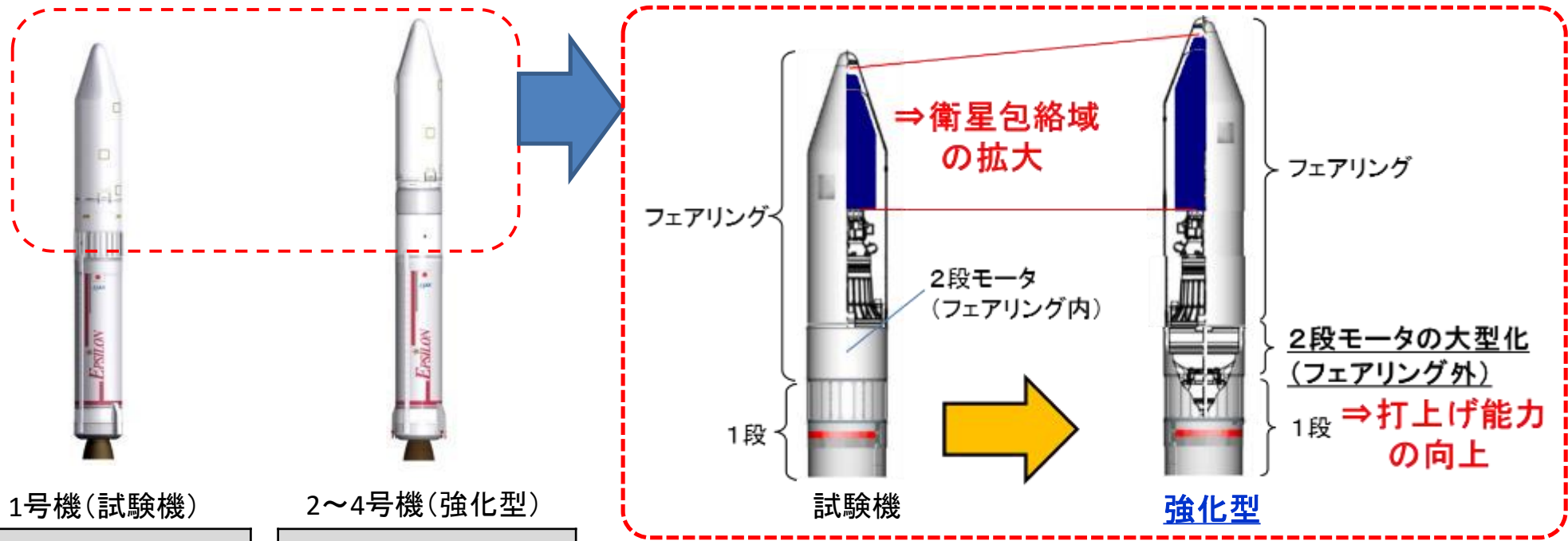


		M-V	イプシロン
全長		30.8 m	26.0 m
直径(代表径)		2.5 m	2.6 m
推進薬	3段部	固体	固体
	2段部	固体	固体
	1段部	固体	固体
軌道投入能力 ・太陽同期軌道		450kg	590kg
射場作業期間 (1段射座据付けから 打上げ翌日まで)		42日	9日
衛星最終アクセスから 打上げまで		9時間	3時間

1.2 固体ロケット開発経緯 ～イプシロンロケットの開発実績～

【第1段階開発の概要】

- M-Vロケットの技術を継承し、H-IIAロケットの技術の活用・共通化により、高い信頼性を維持しつつ短期間での開発に成功
- 1号機(試験機)で喫緊のミッションに対応しつつ、2号機以降(強化型)で**性能向上開発(打上能力の向上、打上げ可能衛星サイズ(衛星包絡域)の拡大)**などを実施し、4機の打上げに成功(4/4:100%)
- 打上げ需要を取り込みつつ、**我が国の固体ロケットシステム技術の維持・向上と産業基盤の維持。**



1号機(試験機)

2～4号機(強化型)

性能
太陽同期軌道500km 450kg

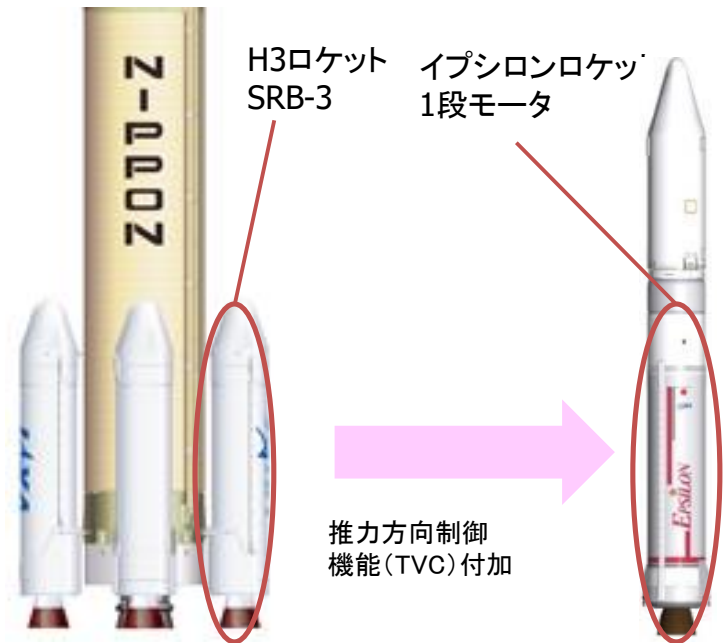
性能
太陽同期軌道500km 590kg

イプシロンロケット2号機では強化型基本形態として実証。3号機では、低衝撃分離機構及び軌道投入精度を高める、ポスト・ブースト・ステージ (PBS:Post Boost Stage) と呼ばれる小型液体推進系を取り付けたオプション形態を実証。

1.2 固体ロケット開発経緯 ～イプシロンロケットの開発計画(今後の予定)～

【第2段階開発の計画】

- 世界の競合ロケットや衛星市場の動向を踏まえながら、**国際競争力を強化**。
 - 打上げコスト低減、及び基幹ロケットとしての高い信頼性の両立
 - ✓ **H3ロケットとのシナジー効果の発揮**に努めながら、1機あたり30億円以下の打上げコスト*、打上げ需要が見込まれる太陽同期軌道への打上げ能力600kg以上等達成目標とする。
 - *）消費税、打上げ安全監理等に係る費用含まず
 - 衛星ペイロードの運用性向上
 - ✓ **固体燃料ロケットの即応性を最大限に発揮**し、打上げ輸送サービス期間を12か月以内、衛星搭載から打上げまでを10日以内とする等、を実現する。
 - ✓ 強化型イプシロンで確立した搭載環境を維持しつつ衛星とのI/F条件の改善を行い、**安全保障、地球観測、宇宙科学・探査等**の様々な打上げに対応する。
- **戦略的技術として重要な固体燃料ロケット技術を更に維持・発展させる**ため、本開発と並行し、相乗り打上げの拡張性や宇宙環境への対応等を検討中。



シナジー効果(H3ロケットからイプシロンロケットへの適用)



SRB-3地上燃焼試験(2019年8月)

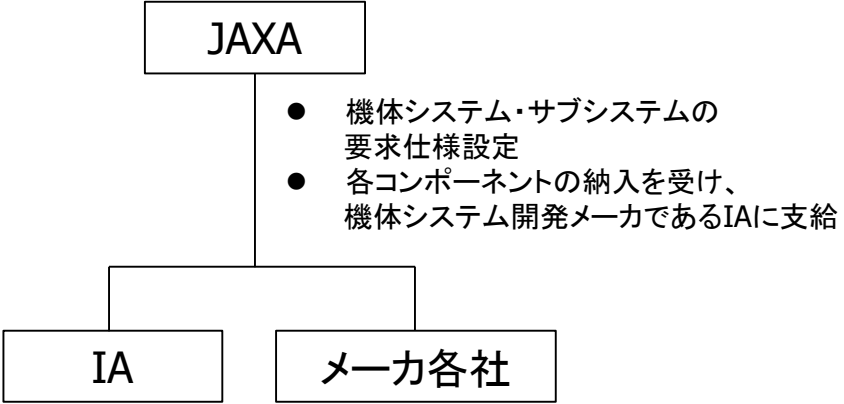
1.2 固体ロケット開発経緯

～イプシロンロケット開発／製造・運用体制と官民役割分担～

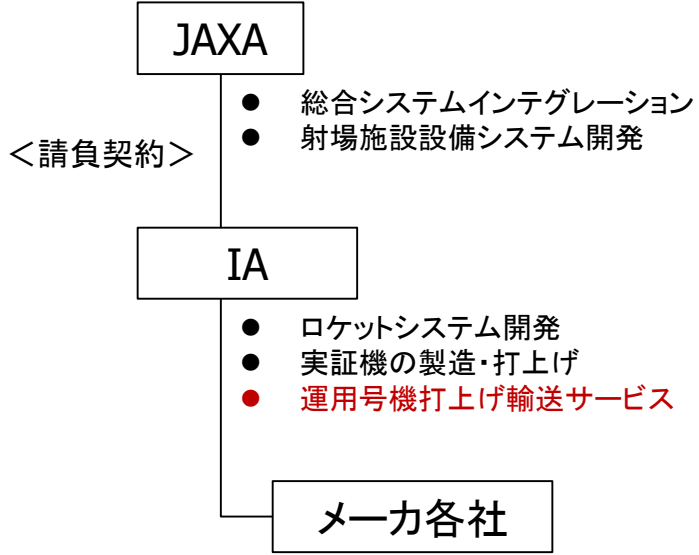
- 第1段階では、イプシロンロケットの開発はJAXAがインテグレートする体制
- 第2段階では、ロケットシステム開発を民間事業者（IA）が請負で実施する体制で進める
- 第2段階の実証機（1機目）はJAXAが実施主体として打上げ運用を実施するが、2機目の製造・運用から、**民間事業者による打上げ輸送サービス体制に移行**。

【開発実施体制の変遷】

第1段階



第2段階



2. 我が国のその他のロケットに関わる動向

～民間事業者主導の小型ロケットによる打上げサービスの取り組み例～

■ インターステラテクノロジズ(株)



©インターステラテクノロジズ

- 安定した性能かつ低コストなロケットエンジン技術の獲得により、超小型衛星打上げ用ロケット(ZERO)を開発中。
- 射場は北海道大樹町。
- JAXAによりロケットエンジン開発試験他支援中 (J-SPARC)

表：ZERO諸元

ペイロード	100kg (SSO 500km~)
サイズ	直径 1.8m, 全長 22m
段数	2段液体 (キックステージ追加可)
1段目エンジン	GGサイクル60kN × 9
2段目エンジン	1段目エンジン真空ver × 1
推進剤	炭化水素燃料/LOX
射場	北海道大樹町

■ スペースワン(株)



©SPACE ONE

- 固体燃料の特性を生かした3段式の小型ロケットを開発中。
- 新たな射場を和歌山県串本町に建設中。
- JAXAがミッション解析など受託による支援を実施中。

サービス内容	人工衛星の地球周回軌道への打上げ
サービスコンセプト	<ul style="list-style-type: none"> ○固体燃料ロケットの特性を生かした <ul style="list-style-type: none"> -Quick response【即応】 <ul style="list-style-type: none"> ・契約から打上げまで12か月以内 ・衛星受領から打上げまで4日以内 -Reliable【高信頼】 -Affordable【低コスト】 ○自社専用射場による顧客ニーズへの柔軟な対応
人工衛星打上げ能力 (高度500km)	太陽同期軌道(南方打上げ)：150kg 地球低軌道(東方打上げ)：250kg
年間目標打上げ回数	20回 (2020年代半ば)
サービス開始	2021年度

2. 我が国のその他のロケットに関わる動向

～民間事業者主導の小型ロケットによる打上げサービスの取り組み例～

■ PDエアロスペース(株)



- 「宇宙飛行機 スペースプレーン」の開発を行い、宇宙旅行や宇宙太陽光発電所建設など、民需としての宇宙利用の拡大を目指す。
- ジェットとロケット、二つの機能を持つ 燃焼モード切替エンジン ”が最大の技術。

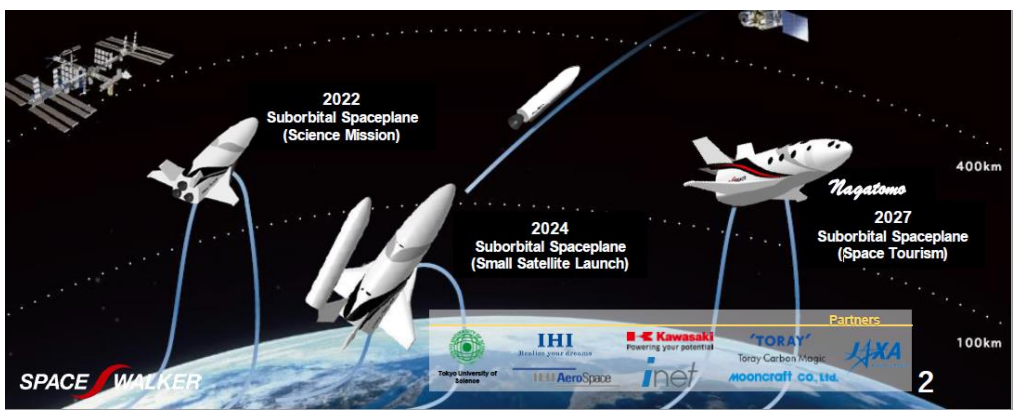


ジェット/ロケット燃焼モード切替技術実証

■ SPACE WALKER



- 「宇宙が、みんなのものになる。」を産官学民が連携して、無人有人のサブオービタルスペースプレーンの開発と運航を目指す。



第1回将来宇宙輸送システム調査検討小委員会資料1-2-8抜粋

第1回将来宇宙輸送システム調査検討小委員会資料1-2-7抜粋

3. JAXAにおける宇宙輸送系研究開発の動向

宇宙開発の自在性確保の観点から、下記の輸送技術の維持・発展に取り組んできた。

◆ 再使用型輸送システム研究

有翼往還機HOPE-X



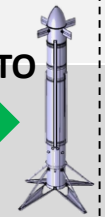
実機開発 → 製作凍結



小型実験機

再使用ロケットCALLISTO

飛行実験Phase2



飛行実験Phase1



再使用・観測ロケット

再使用・観測ロケット技術実証

再使用ロケット実験

RVT



地上燃焼試験

◆ LNG推進系の研究

LNG推進系(ガス押し式エンジン)

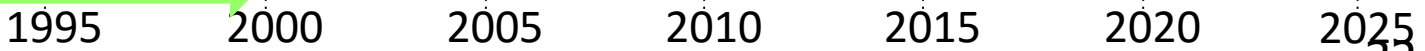
LNGエンジン高性能化研究

◆ エアブリージングエンジン研究

ラム・スクラムジェット作動実証

ロケットエンジンと組み合わせた
複合サイクル成立性検証

エンジン飛行実証



3.1 再使用型輸送システムに関する研究開発

(2) 再使用ロケット実験機RVT

目的

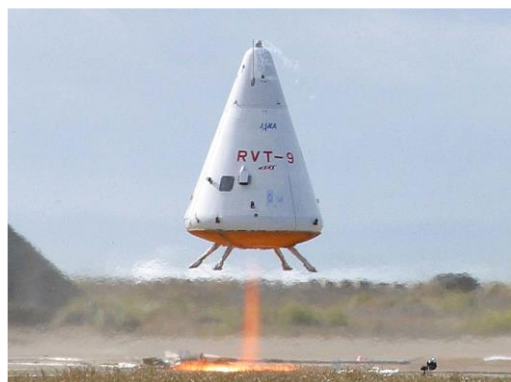
将来の再使用型宇宙輸送システムの構築に向けた普遍的な技術課題への取り組みとして効率的な繰り返し飛行運用を行うロケットや宇宙飛翔体のシステム構築とこれに必要な要素技術の研究を広範囲に行い、要素技術研究の成果を実験機に搭載して以下を主目的とした繰り返し飛行実証を実施した。

繰り返し飛行のシステム構築手法と基礎的要素技術の研究

- ①繰り返し飛行の設計／運用経験の蓄積
- ②耐久性／寿命管理設計を施した推進系の実証
- ③離着陸飛行の技術習得
- ④要素技術の実証機会提供の実践

繰り返し飛行実証等の実績

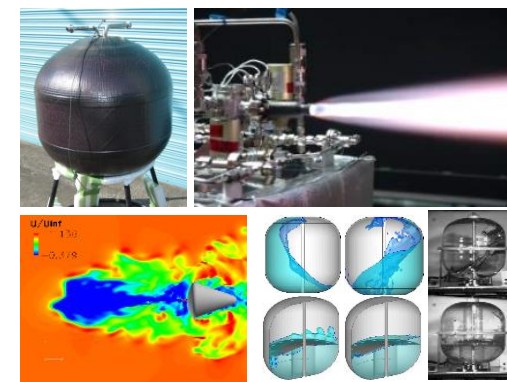
1998年から2007年までに3シリーズ計8回の離着陸実験、多数回のシステム地上燃焼実験を実施した。また、極低温複合材タンク、水素／酸素RCS、極低温推進剤スロッシング、垂直着陸空力特性など、将来の宇宙輸送システムの構築に普遍的に必要な要素技術の研究に取り組み、得られた成果を実験機に取り組みで飛行実証した。



RVT離着陸実験



繰り返し飛行運用の実践



要素技術研究への取り組み

3.1 再使用型輸送システムに関する研究開発

(3) 観測ロケット・再使用観測ロケット

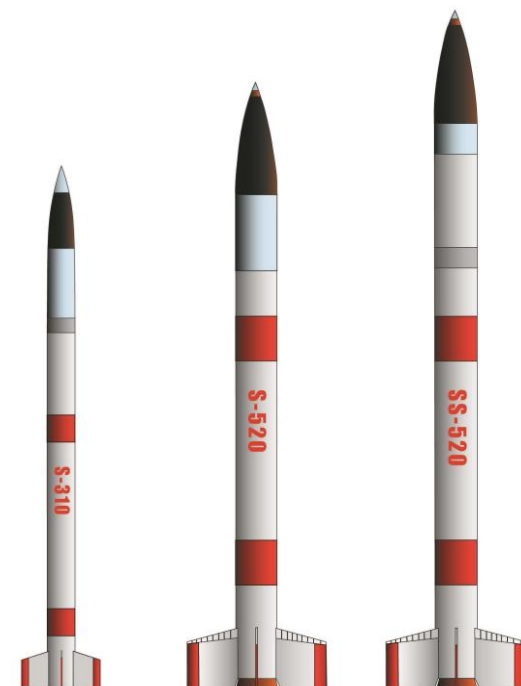
観測ロケット(現在運用中)の概要

- 約10分間の弾道飛行により、観測ロケット特有の飛翔領域を活用した高層大気・宇宙科学観測や工学技術実証実験を実施。
 - 実験内容に応じ、固体燃料をベースの3種類の小型ロケット(使い切り型)を使い分け。
 - 人工衛星では実現が難しい高度100km~300kmに渡る超高層大気の垂直構造を直接観測
- 観測ロケット実験を通じた国内研究者・技術者育成プラットフォームを構築し、宇宙工学・先行技術等飛行実証基盤を強化。

(例) SS-520 5号機(2018年2月)において、民生品を適用したロケット・衛星の技術開発を行い、3kg程度の超小型衛星の軌道投入、搭載品の軌道上実証に成功。
- 観測ロケットの運用技術を洗練化することで、即応型運用基盤技術等を蓄積。



SS-520 5号機
打上げ



	S-310	S-520	SS-520
全長	7.1m	8.0m	9.7m
直径	0.31m	0.52m	0.52m
打上げ時重量	0.7ton	2.1ton	2.6ton
到達高度	150km	300km	800km
飛行時間	約7分	約10分	約15分

3.1 再使用型輸送システムに関する研究開発

(3) 観測ロケット・再使用観測ロケット

再使用観測ロケットの目的

① 観測ロケット運用コストの大幅削減

打上コストの大幅削減と実験環境の革新を図り、
宇宙実験参加の敷居を飛躍的に下げる

性能目標 : 高度100km以上に100kgのペイロードを打上げ、発射点に帰還

運用方法 : 最短1日2回打上げ、100回再使用

運用コスト目標 : 現行観測ロケットS-310の1/10



② 観測ロケット飛行機会の利用活性化

質的に異なる実験機会を提供し、利用の活性化を図る。(ペイロード再使用、高頻度繰り返し等)

ユーザが関心のある利用用途 : 大気物理(超高層大気・磁気圏プラズマ)
微小重力科学

③ 再使用ロケットシステム構築技術の習得および高頻度繰り返し運用の実証

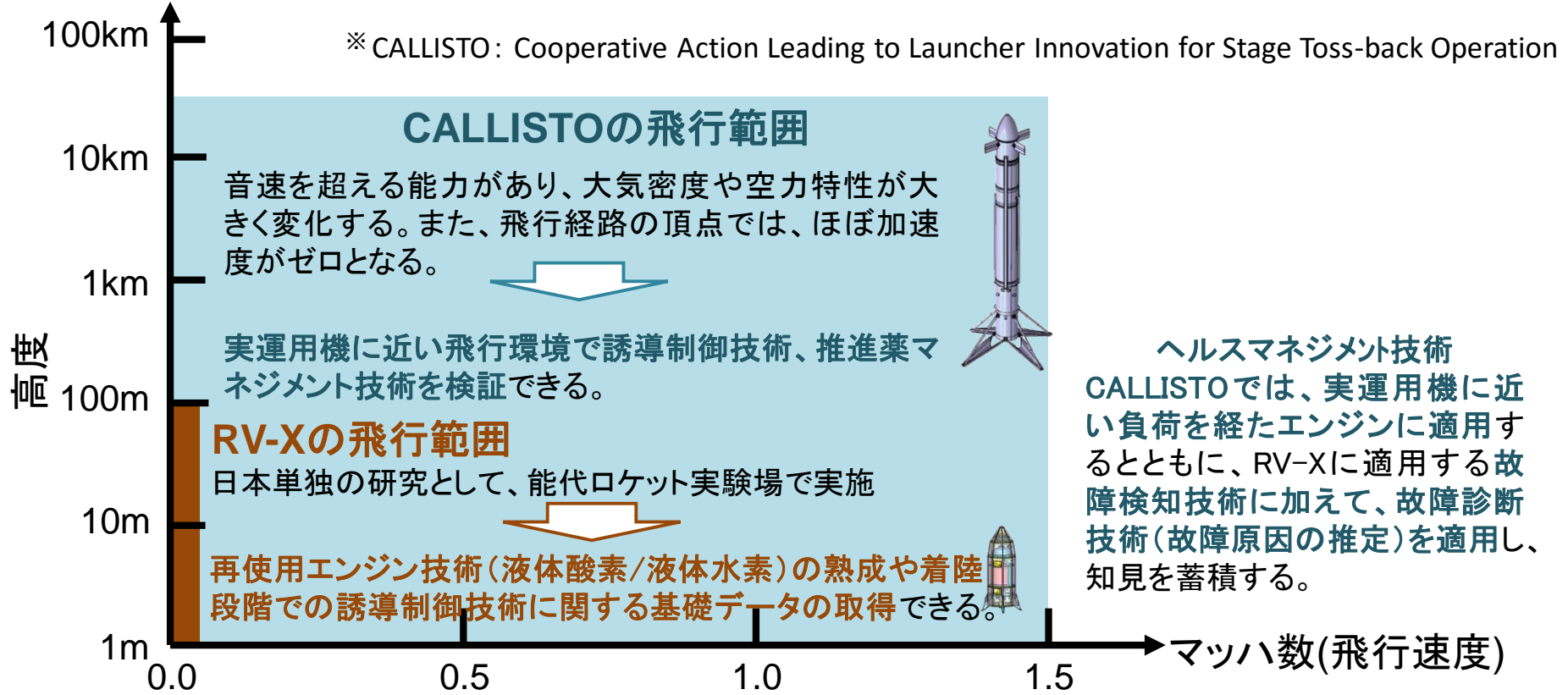
宇宙輸送コストを飛躍的に削減する宇宙往還システムの実現を目指し、この実現に必要な繰り返し飛行運用や故障許容システム、寿命管理設計や信頼性設計技術、軽量の構造・材料および推進システム等の基礎技術の開発・実証を行う。

3.1 再使用型輸送システムに関する研究開発

(4) 一段再使用飛行実験

概要

- 米SpaceX社などの一段再使用型ロケットの打上げ・実運用を踏まえ、宇宙基本計画の「再使用型宇宙輸送システムの研究開発」において工程表に明記されている「一段再使用飛行の実現に向けた取組」に基づき、飛行実験を計画している。
- HOPE-Xプロジェクトにおける効率的な技術獲得方策を踏襲し、2段階の小型実験機でリスクを抑えつつ飛行領域を拡大を計画しており、着陸段階での重要な設計データ取得などを国内体制で行うRV-Xの成果を活用・発展する形で、CALLISTOを実施して技術実証を達成する



3.1 再使用型輸送システムに関する研究開発

(4) 一段再使用飛行実験

1段再使用飛行実験の意義(1/2)

- 宇宙輸送システム長期ビジョンに示された中心課題(下表)のうち、システムレベルによる飛行実験で技術成熟度の向上が図れるものへの取り組みとなる(下線部)。
- 中でも1段再使用に必須のキー技術である、①誘導制御技術、②推進薬マネジメント技術、③ヘルスマネジメント技術、を獲得することができる(次ページに各技術を補足)
- CALLISTOで獲得する要素技術及びシステム技術については、適用できるものから順次適用し、多様な輸送要求への対応強化等を目指す。

A. システム技術

- ① 高頻度繰り返し運航のシステム技術(機体を帰還させるための誘導制御、推進薬管理技術含む)
- ② 故障許容安全設計技術
- ③ 超軽量化, 推進系の高性能化によるシステム構築
- ④ 耐空性, 有人化など安全基準の確立

B. 超軽量化・熱構造技術

- ① ナノマテリアル技術
- ② 複合材構造設計の高度化技術
- ③ 再生冷却構造等の冷・熱構造の一体設計技術
- ④ 高温強度の高い複合材技術
- ⑤ 耐熱素材技術を用いた熱構造の革新技術

C. 推進系技術

- ① ロケットエンジン
 - # 寿命管理設計, フェールセーフなシステム技術
 - # 性能向上, 軽量化, 高度補償ノズルなどの新技術
- ② エアブリージングエンジン
 - # 超音速燃焼, 熱交換器, インテーク技術
 - # 機体統合サーマルマネジメント

D. ヘルスマネジメント技術

- ① エンジンヘルスマonitoring技術
- ② 構造・統合機体ヘルスマネジメント技術
- ③ 自律的飛行管制・飛行運用技術
- ④ 飛行間点検・整備・運航におけるヘルスマネジメント技術(再打上げまでの効率的な地上整備運用)

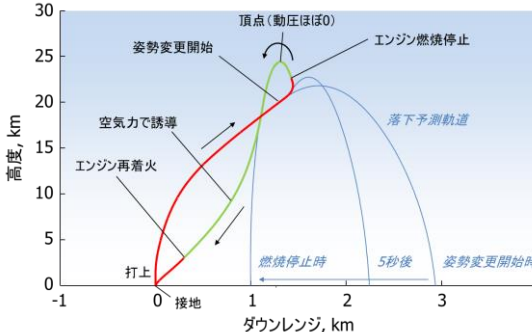
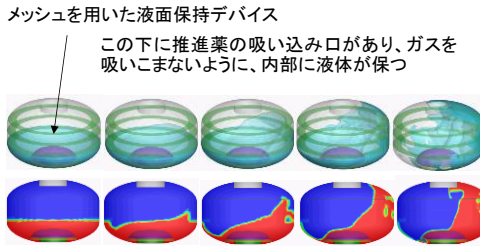
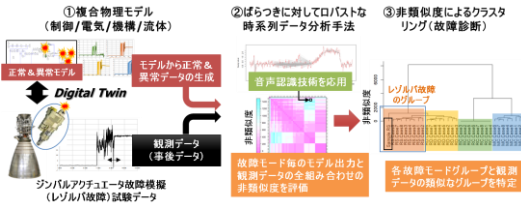
上図は「再使用型ロケットの研究開発について」(宇宙政策委員会 宇宙産業・科学技術基盤部会 第40回会合資料、平成30年9月5日)より引用

3.1 再使用型輸送システムに関する研究開発

(4) 一段再使用飛行実験

1段再使用飛行実験の意義(2/2)

- 補足: キー技術の獲得

キー技術	概要	RV-X	CALLISTO
<p>①誘導制御技術</p>	<ul style="list-style-type: none"> 大姿勢展開、フィンによる空力誘導や着陸などを含んだ帰還フェーズの誘導制御技術 Falcon9とは異なる形態のシステム(有翼形態等)にも適用できる機能を検討中  <p>CALLISTOで実証するPTO(Powered Tilt-Over)飛行</p>	<p>△ 着陸フェーズ</p>	<p>○ 全フェーズをカバー</p>
<p>②推進薬マネジメント技術</p>	<ul style="list-style-type: none"> 帰還のための大姿勢変更の際に生じる推進薬の激しい揺動に対する重心、圧力や推進薬の制御技術 JAXAが開発したメッシュを用いる液面保持デバイスは大幅な軽量化が可能  <p>メッシュを用いた液面保持デバイス この下に推進薬の吸い込み口があり、ガスを吸いこまないように、内部に液体が保つ</p> <p>実機スケールの液体酸素タンクを用いた内部デバイスの評価例。メッシュの表面張力により、推進薬がタンク底面に保持される。</p>	<p>NA</p>	<p>○ 低重力環境で推進薬マネジメントを実証</p>
<p>③ヘルスマネジメント技術</p>	<ul style="list-style-type: none"> 再打上げまでの効率的な地上整備運用を目的とした技術 故障モードごとに適切な非破壊検査、故障予知・診断(モデルベースおよびデータ駆動)を適用し、より一層の確実性を向上させるとともに従来行われてきたエンジン取外し/分解を行わないことで点検整備期間を短縮  <p>①複合物理モデル(制御/電気/機構/流体) ②ばらつきに対してロバストな時系列データ分析手法 ③非類似度によるクラスタリング(故障診断)</p> <p>正常な異常モデル 正常な異常モデルから正常と異常データの生成</p> <p>デジタルツイン</p> <p>観測データ(事後データ)</p> <p>音声認識技術を活用</p> <p>故障モード毎のモデル出力と観測データの全組み合わせの非類似度を評価</p> <p>エンジン取外し/分解試験データ</p> <p>レゾルバ故障のグループ</p> <p>各故障モードグループと観測データの類似性グループを特定</p> <p>JAXAのモデルベース故障診断技術の試行結果 模擬故障を正しく診断でき、エンジン再整備での意思決定やトラブルシューティング時間の短縮に役立つ目途を得た(JAXAで特許申請済み)。</p>	<p>△ エンジン燃焼室とターボポンプの一部に試行</p>	<p>○ エンジンシステムに拡張し、機体再整備プロセス全体を評価</p>

3.1 再使用型輸送システムに関する研究開発

(4) 一段再使用飛行実験

国際協力によるCALLISTO実施の枠組みについて

- CNESの広大な実験場による広い飛行領域や効率的な技術獲得、費用効率化の側面から、大きなメリットがあり、CNES/DLRとの国際協力の枠組みは効率的である(下表)。

実施方法	メリット	デメリット
CNES/DLRと3機関共同	<ul style="list-style-type: none">● 費用の効率化<ul style="list-style-type: none">－ 地上設備(バージ船含む)を担当するCNESの負担が大きくなっており、JAXAの割合は全体の約4分の1と、費用対効果は高い。● 実験機の開発や運用に必要な人的リソースを確保可能● CNESが管理する広大なギアナ宇宙センターで意義の高い飛行実験が可能● 共同で行うシステム設計を通して、他国が得意とする技術(例えば、DLRの脚の設計技術など)を学べる。	<ul style="list-style-type: none">● 日本側が持つ優位技術が流出する可能性がある。<ul style="list-style-type: none">⇒ 知財化で対応可能。また、サブシステムの設計に関わる詳細な情報・データは共有しない方針で合意している。
JAXA単独	<ul style="list-style-type: none">● 日本側が持つ優位技術を他国に供与することで利益を得られる可能性がある。	<ul style="list-style-type: none">● 150億円以上の資金が必要● 単独では人的リソースが不足● 安全に飛行実験ができる実験場を早期に確保することが困難● 上記課題で時間を要すると、米国だけでなく欧州からも後れを取る可能性

3.1 再使用型輸送システムに関する研究開発

(4) 一段再使用飛行実験

RV-X(高度100m飛行実験)の概要

- 2016年より実験機構築を開始
- 2018年10月、第1回地上燃焼試験を実施し、エンジン基本性能・推進系機能特性・システム運用特性・各種環境特性データを取得した
- 2020年3月、第2回地上燃焼試験を実施し、エンジン高度機能特性・推進系高度機能特性・構造系機能・地上設備運用機能・航法誘導制御機能特性・高頻度繰り返し運用の実現性を確認する予定
- 2020年、飛行試験を実施し、誘導制御・再使用運用を実証する予定

実験機構築

FY2016後期～FY2017

地上燃焼試験

FY2018～FY2019

飛行試験

FY2020



機体構築
インテグレーション

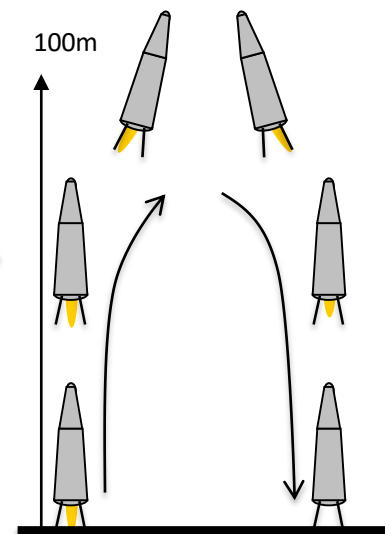
コンポーネント調達



ステージ
燃焼試験



飛行
試験



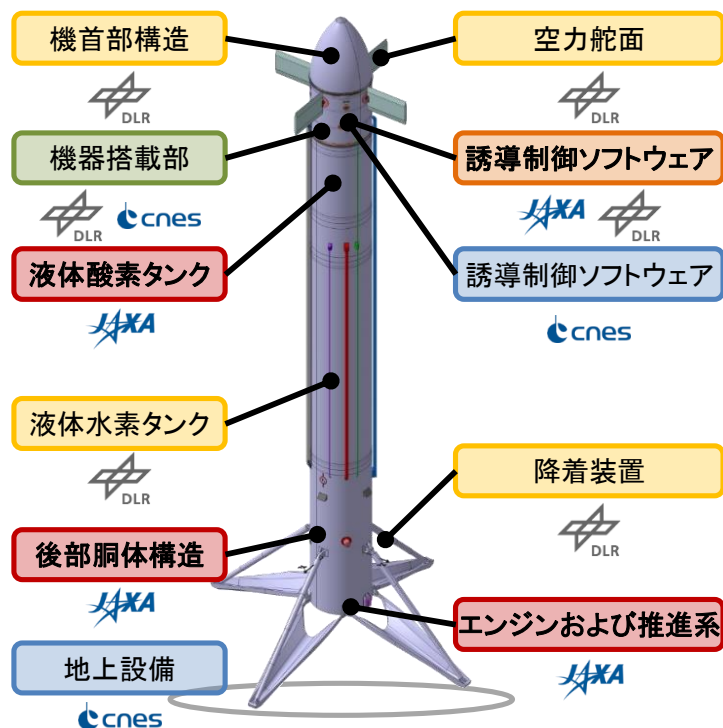
誘導制御・再使用運用の実証

3.1 再使用型輸送システムに関する研究開発

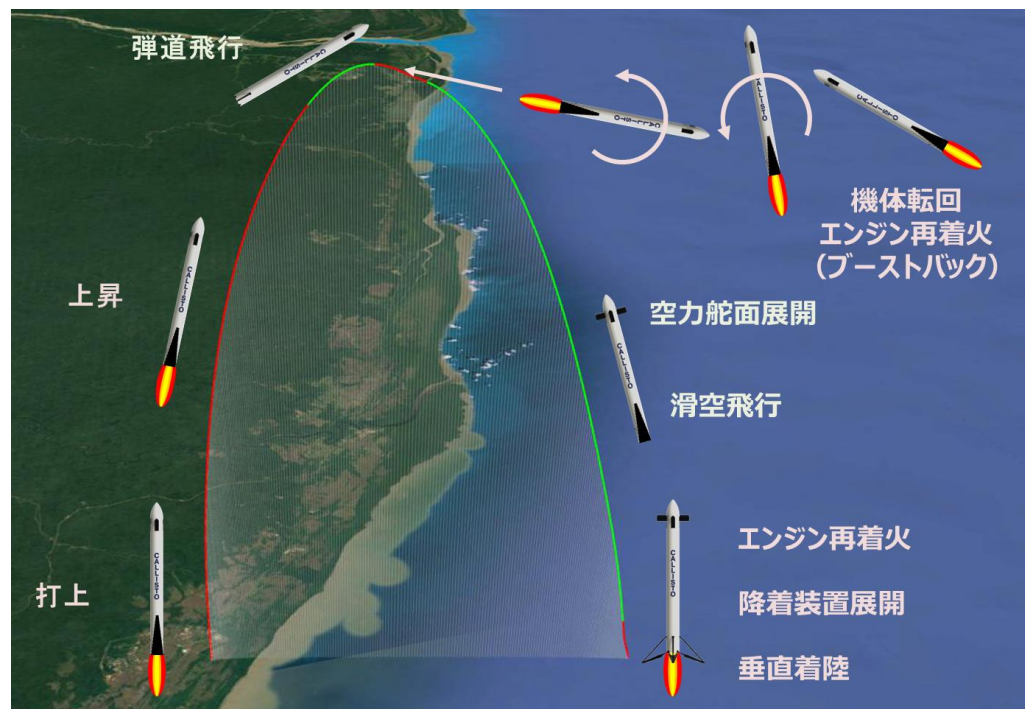
(4) 一段再使用飛行実験

CALLISTO(高度30km飛行実験)の概要

- 2017年6月に、プロジェクト計画検討のための3機関協定を締結し、概念設計を実施中
- 2018年3月に、前半作業であるミッション・システム要求の検討や主な分担(左下図)の調整等を完了
- その後、2019年度末に向けて、システム仕様(主要諸元、機能・性能など)、各機関で分担するサブシステムに対する要求、開発スケジュール等を確定させる作業を進めている。



機装検討用に作成したデジタルモックアップ(機体直径1.1m、全長13.5m)と各機関の主な分担



海上(台船)に着陸する飛行プロファイルの検討例(最高高度約36km、最高マッハ数1.6)

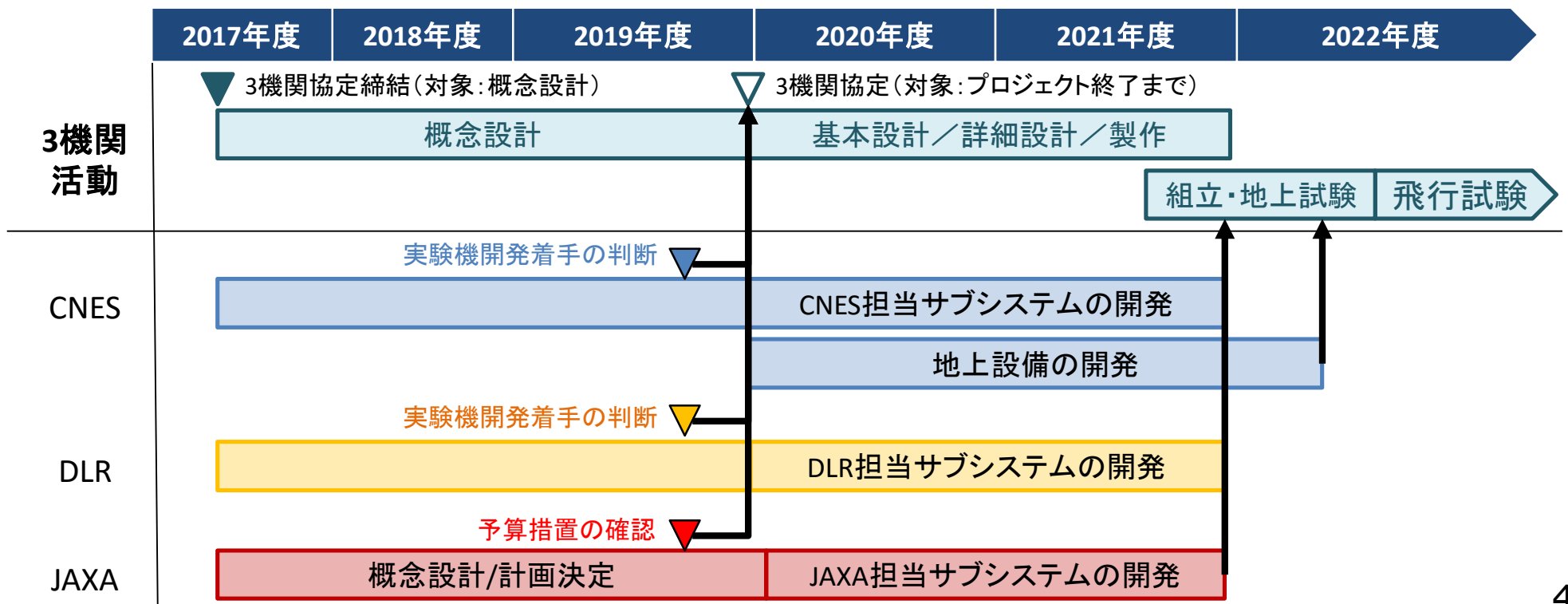
3.1 再使用型輸送システムに関する研究開発

(4) 一段再使用飛行実験

CALLISTO(高度30km飛行実験)の今後の計画

- 2019年度末:プロジェクト終了までを対象とした3機関協定締結を予定
- 2020年度:実験機の開発に着手
- 2022年度:飛行実験(ギアナ宇宙センター)を実施

欧州では、CALLISTOに続く実機スケールの実証機の成果を用いて、2025年頃に1段再使用化の有効性を見極める予定である。そのため、CALLISTOについては、2022年の飛行試験実施が必達目標であるとCNESが表明している。



3.1 再使用型輸送システムに関する研究開発

(4) 一段再使用飛行実験

■ CALLISTO後の展望

- CALLISTOで得たデータにより、1段再使用化の技術的・経済的な有効性等の評価を行い、日本もFalcon9等と同様に、大型ロケットの1段再使用化に進むかどうかを検討する。
- CALLISTOは、宇宙輸送システム長期ビジョンに示された将来輸送系の中心課題への対応として、誘導制御技術やエンジン技術等、日本に強みのある技術領域を高度化しシステムレベルで実証するものであり、基盤技術の強化に資する有効な取り組み。
- CALLISTO成果の見極めと並行して、基幹ロケットへの適用可能性について検討を進めると共に、サブオービタル事業等、民間輸送事業への活用にも取り組む。

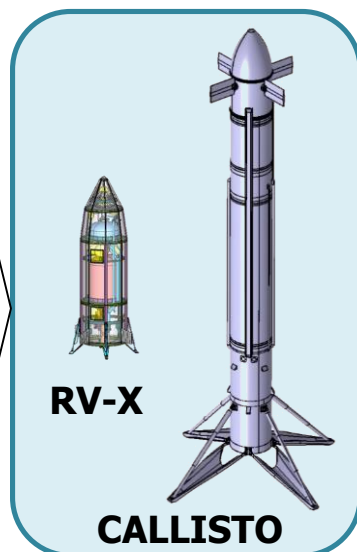
JAXAが強みを有するキー技術

誘導制御技術

推進薬マネジメント技術

ヘルスマネジメント技術

次世代の多様なシステムに広く応用できるよう技術レベルを高め、システムレベルで実証



成果を評価し大型ロケットの1段再使用化に進むかどうかを検討

基幹ロケットの部分再使用化に向けた研究開発

使い切りでのさらなる低コスト化や、抜本的にコスト低減できるシステムに向けた研究開発

民間輸送系事業(サブオービタル事業)への適用



3.2 推進系技術に関する研究開発

(1) LNG推進系の研究

研究目的

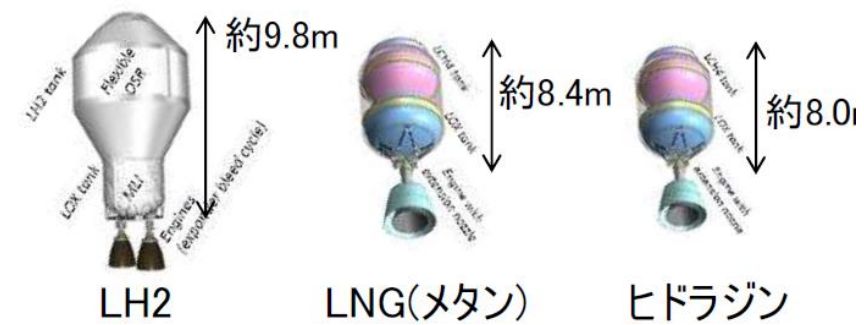
水素推進系に加えて、LNG推進系技術を確保することにより、次世代の輸送系研究開発における多様性を確保する。

LNG推進系の特徴

- ①高い推進剤密度 ②低コスト ③比較的高い比推力 ④液体水素より高い貯蔵性 ⑤高い安全性

- 大推力のエンジンが実現し易い
- 機体質量は液体推進系と比べて重い
- 冷凍機の搭載により質量の軽い長期ミッション用機体の実現し易い

項目		LNG推進系	水素推進系
推進剤密度[kg/m ³]		423	71
比推力[s]		313~375	446~466
貯蔵性	蒸発率[%/day]	0.66以下	2.5以下
	冷凍機性能	効率5[%] 質量25[kg/台]	効率1[%] 質量280[kg/台]
安全性		漏れ難く、 爆発し難い	漏れやすく、 拡散しやすい



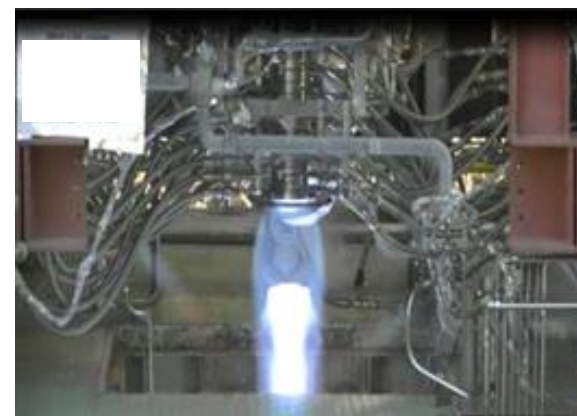
推進種による火星ミッション用軌道間輸送機サイズ比較例

3.2 推進系技術に関する研究開発

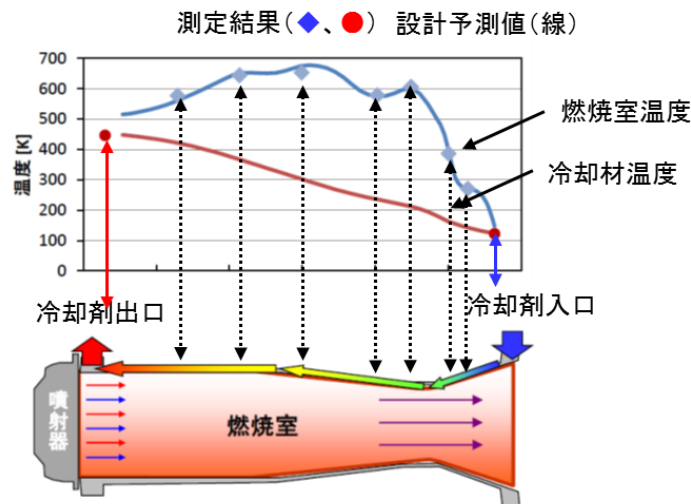
(1) LNG推進系の研究

進捗状況(LNGエンジン開発)

- 2012年度までに獲得した基盤技術(システム設計、解析、アブレータ冷却方式燃焼室、等)を踏まえ、2013年度からは世界トップレベルの燃費性能を目指して再生冷却方式燃焼室の研究開発に取り組んだ。
- 高性能化の主要素である燃焼室と噴射器が設計通りの特性で作動する事を燃焼試験で確認し、比推力約370秒を実現する燃焼効率97%を試作試験で実証した。
- これにより、LNGエンジンの主要コンポーネントのうち、ターボポンプ、燃焼室、噴射器、主バルブ、点火器についてTRL(技術成熟度レベル)4の技術を獲得した。



試作試験の様子



燃焼室各部と冷却剤の温度測定の例

◎点火器
試験シリーズを通して安定作動を実証

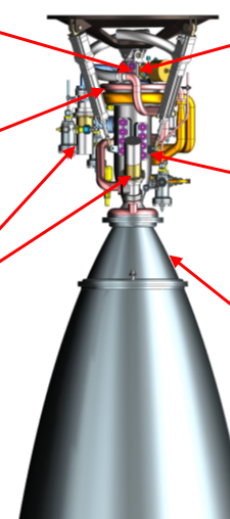
○ターボポンプ
所定の性能を発揮すること実証。軸封シールを改修し、総合燃焼試験で実証予定

◎主バルブ
試験シリーズを通して安定作動を実証

◎噴射器
Isp=370秒相当の燃焼効率を発揮することを実証

◎再生冷却燃焼室
十分な冷却性能と吸熱量を有していることを実証

ノズル
本試験では高空燃焼試験を実施していないため実証不可。解析的に性能を予測



3.2 推進系技術に関する研究開発

(1) LNG推進系の研究

世界のLNGエンジン研究との比較

日本は、再生冷却燃焼室の研究により、世界トップレベルの性能(比推力)を実証。

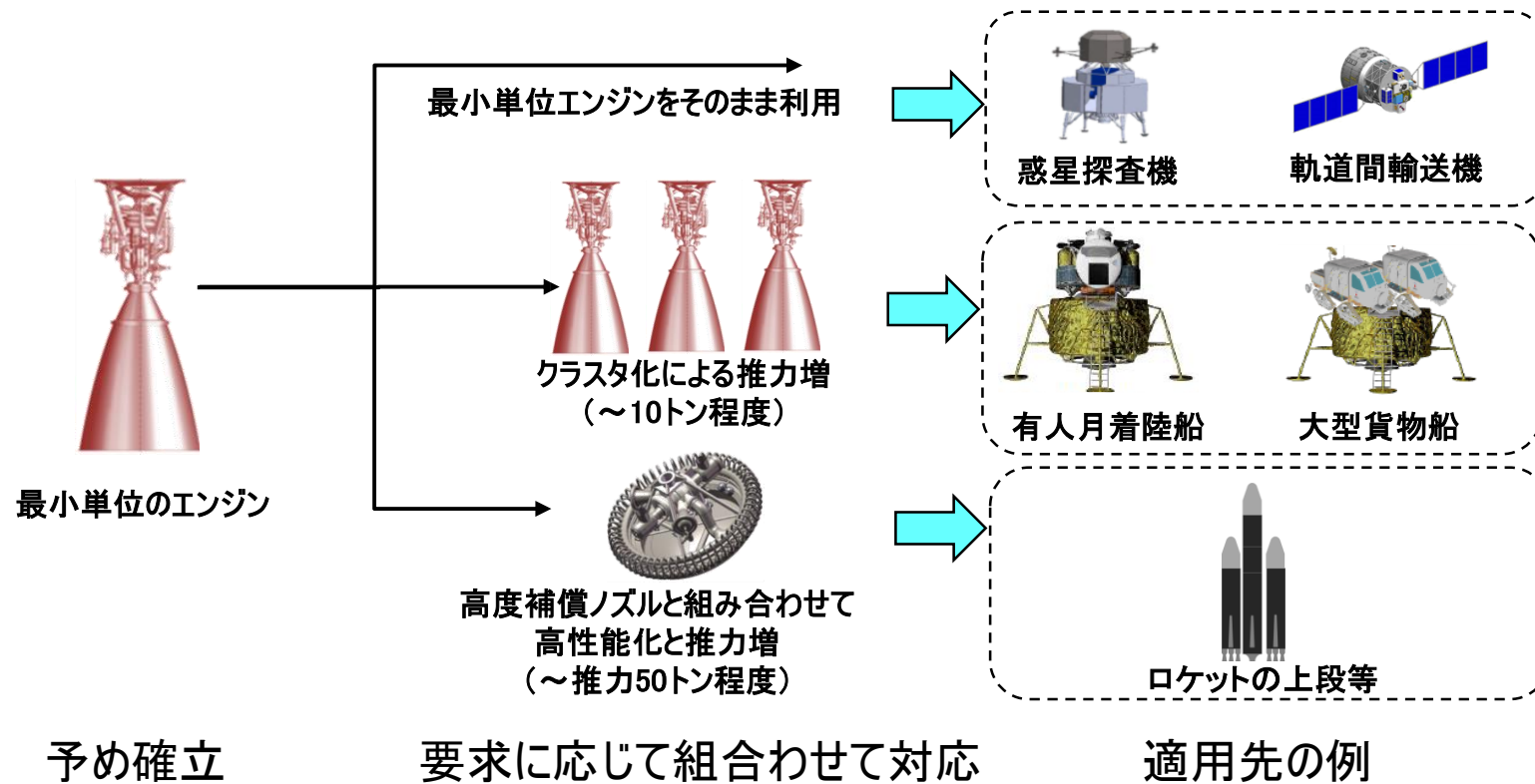
	米国			欧州			日本		
名称	BE-4	Raptor	HD4-LT	PROMETEUS	ACE-42R	MIRA	LE-8	30kN級	30 kN級
									
開発元	Blue Origin	Space X	NASA	CNES	Airbus Safran	ASI/AVIO	JAXA	JAXA	JAXA
搭載機体	Vulcan 1 st EG	BFR (火星往還機)	Morpheus	実証用エンジン	Space Plane	Vega-E 3 rd EG	GX 上段	研究	小型有翼ロケット
推力(真空)[kN]	2400	1900	19	1000	420	98	107	30	30
比推力(真空)[sec]	330~	375	320~	326~	340~	364	313	335	370
EGサイクル	Oリッチ二段燃焼	フルプロ-二段燃焼	タンク加圧式	ガスジェネレータ	ガスジェネレータ	フルエキスパンダ	ガスジェネレータ	タンク加圧式	フルエキスパンダ
推進供給方式	ポンプ式	ポンプ式		ポンプ式	ポンプ式	ポンプ式	ポンプ式		ポンプ式
燃焼室形態	再生冷却	再生冷却	フィルム冷却	再生冷却	再生冷却	再生冷却	アブレータ	アブレータ	再生冷却
実証燃焼試験年	2017~2018年	2016~2018年	2012年	2020年(予定)	2019年以降(予定)	2014年(露と共同)	2009年	2012年	2018年度
フライト	2020年(予定)	2019年(予定)	2014年(地上試験)	2030年までに実用化	—	2025年(計画中)	—	—	2021年(予定)
現状	開発中	開発中	研究開発終了	研究中	研究中	研究中	研究開発終了	研究開発終了	研究中

3.2 推進系技術に関する研究開発

(1) LNG推進系の研究

今後の取り組み

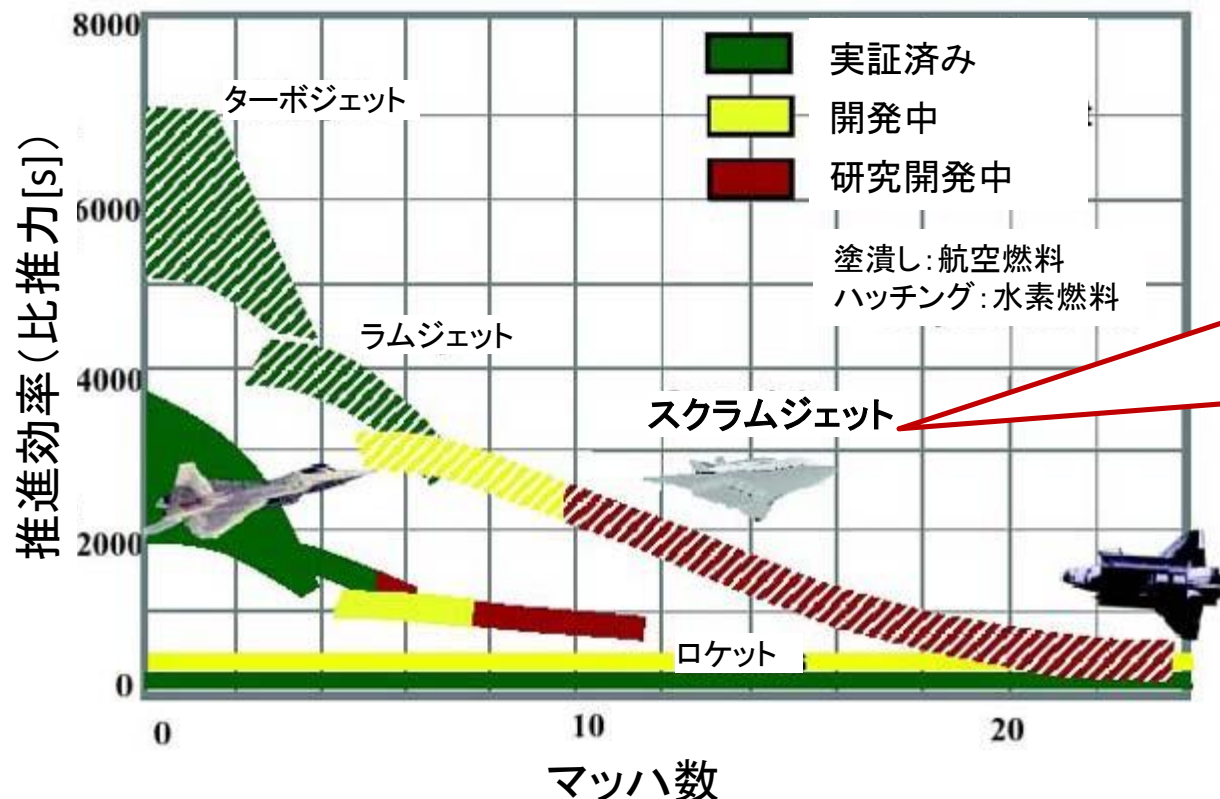
- LNG推進系は、液体水素と比して宇宙空間での貯蔵性に優れる他、漏洩や爆発の危険性が低いことから安全性などの面で優れており、軌道間輸送機等での利用が見込まれる。
- 軌道間輸送機等として今後様々なミッションと宇宙機が考えられるが、様々なニーズ(推力等)に素早く低コストで対応し、コンポーネントの組み合わせで様々な仕様を実現するモジュール化 (Integrated Modular Rocket Engine; IMRE) のコンセプトについて研究中である。



3.2 推進系技術に関する研究開発 (2)エアブリージングエンジンの研究

エアブリージングエンジン概要

- 現在、極超音速(マッハ5以上)の飛行には、主に、水素や炭素系燃料と液体酸素等の酸化剤を推進薬とするロケットエンジンが使用されている。しかし、この場合、重い酸化剤を搭載するため、ロケットエンジンの推進効率を示す比推力は、最大でも460秒程度。
- これに対し、大気中の酸素(酸化剤)を吸い込み燃料を燃やすエアブリージングエンジンは、推進効率を数千秒台まで飛躍的に向上することが可能(下図)。



超音速で作動させるエアブリージングエンジンである「スクラムジェット」は、極超音速域で最も推進効率の良いエンジン

極超音速巡航機や宇宙機へ応用が期待される

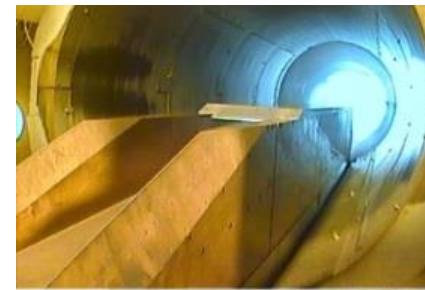
3.2 推進系技術に関する研究開発 (2)エアブリージングエンジンの研究

研究概要

宇宙基本計画工程表(平成30年12月11日宇宙開発戦略本部決定)に記された「エアブリージングエンジン搭載システムについて、関係機関との連携も含め、主要技術の効率的な獲得」に基づき、ロケットとスクラムジェットエンジン技術を有するJAXAのHeritageを生かし、エアブリーザ搭載型の有翼完全再使用機の実現を目指している。

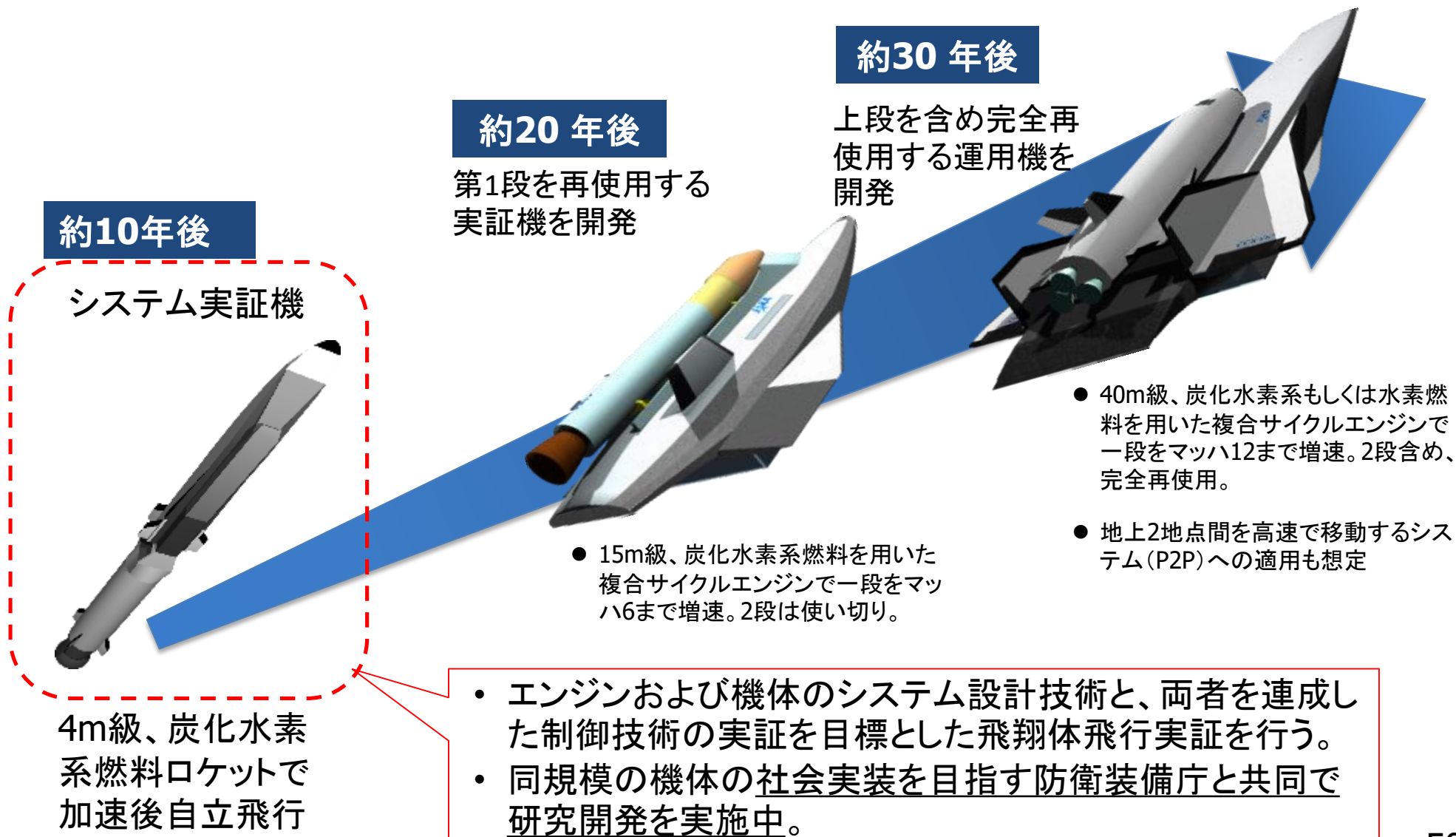
実績

- 水素ベースの高効率エアブリーザエンジン実現を目指して80年代から基礎試験を開始
- 1990～2000年、ラム・スクラムジェット作動実証の活動
 - 国内唯一の極超音速エンジン風洞(ラムジェットエンジン試験設備)を整備
 - M4、M6、M8飛行条件において、エンジン抗力に打ち勝つ推力発生を確認
- 2000～2014年、ロケットエンジンと組み合わせた複合サイクル成立性検証の活動
 - 亜音速から極超音速の領域まで、複合サイクルエンジンの作動と設計手法検証を完了
 - 単一エンジンにより、各サイクルモードを実現したのは世界初
- 2015年より、エンジン飛行実証に向けた活動
 - エンジン成立、さらにはエアブリーザエンジン機成立性を実証するための飛行実証を検討中



3.2 推進系技術に関する研究開発 (2)エアブリージングエンジンの研究

今後の計画: 米国Robust scramjet計画と同様の、段階的技術向上・実証によるアプローチをとる計画。



4. 国外における宇宙輸送に関わる主要動向

4.1. 国外の宇宙輸送システムに関わる政策動向

■ 概論

- 各国とも自国で宇宙にアクセスする手段として、自立的持続可能な宇宙輸送システムを確保するため、主力となるロケットの開発・運用に対する政策的な支援を行っている。

(例) 新しいロケット開発、打上げ等に使用するインフラ提供、打ち上げサービス調達によるアンカーテナンシー 等

- 小型ロケットのベンチャー企業等、宇宙輸送システムへの新規参入者に対する支援を各国実施している。

(例) 技術成熟度に応じた政府支援、技術開発を促進する懸賞コンテスト 等

- 将来の宇宙輸送システムに向けた中長期的な戦略的な研究開発にも取り組んでおり、革新的イノベーションへの挑戦を推進しつつ、次世代を担う人材の育成にも貢献している。

(例) NASA、AFRL、等の技術ロードマップに基づく中長期的な研究開発、DARPAによるハイリスク・ハイリターン型の研究開発支援・技術実証プログラム、欧州の将来輸送システムに関わる中長期的な研究開発

4.1. 国外の宇宙輸送システムに関わる政策動向

4.1.1 アメリカ

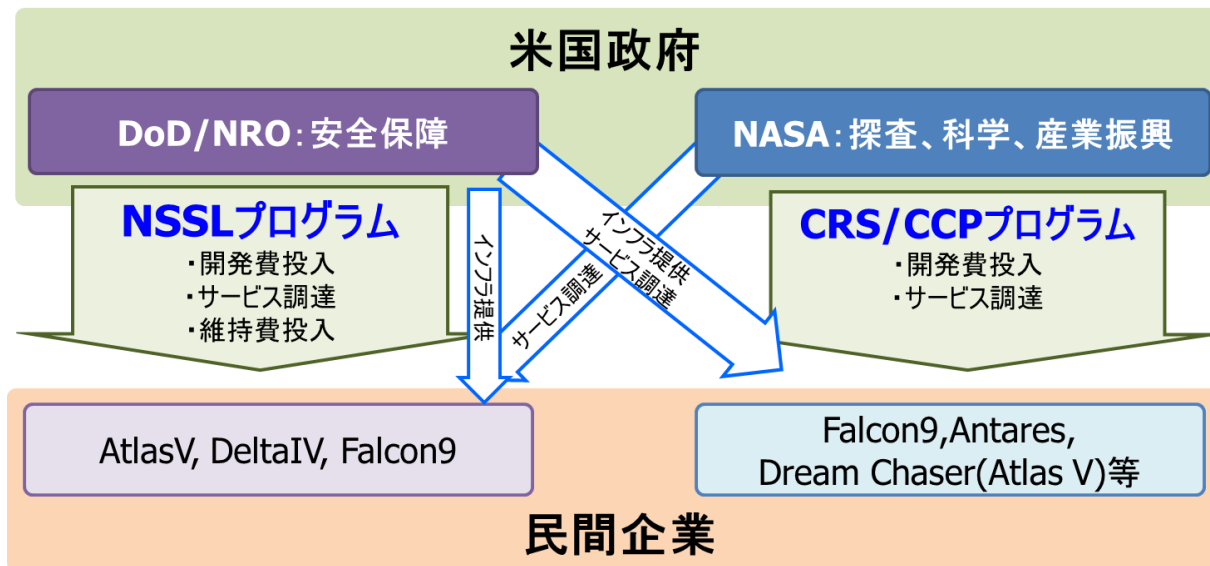
- 国の政府衛星は原則として米国のロケットで打上げることが定められている。(NSTP)
- 国家宇宙輸送計画(U.S. National Space Transportation Policy NSTP)
 - 米国の国家・国土安全保障、官需、科学、商業目的での宇宙へのアクセス及び宇宙利用を確保するための国家政策。
米国の宇宙輸送プログラムに関する国家政策や指針、実施アクションを規定
 - 2013年策定の方針概要
 - ・ 政府は、国内の航空宇宙産業を支援。国内企業の商業宇宙輸送サービスを介し、政府のニーズを満たす先進的な技術・概念の創出を支援。関連産業とのパートナーシップを活用し、技術革新を促進。
 - ・ 政府は、同国商業宇宙産業分野の支援を介し、米国経済力の強化推進、質の高い雇用の創出、ハイテク分野に於ける高度技能労働者の維持、競争力のある産業基盤の確立の実現。
 - ・ 科学分野等の機能拡大や宇宙への容易な輸送の実現、及び税金の合理的な使用につながるホステッドペイロードの活用について、国内企業とのパートナーシップを促進。
 - ・ 米国の宇宙への輸送手段の確立の重要性を再認識し、現行及び次世代の同国宇宙輸送システムの信頼性、即時性、機能性、及び費用対効果を向上するための研究開発を主導。
 - ・ 2010年のNASA授權法で定められている重量級ロケット開発プログラム、及びISSへの米国製商業宇宙機によるクルー・物資輸送の開発プログラムを引続き支援。
 - ・ 米国に於ける商業有人宇宙飛行市場の発展・拡大に向けたガイドラインの策定で宇宙産業分野との連携を促進する。
- 国家安全保障輸送プログラム(National Security Space Launch: NSSL)
 - 米空軍(USAF)と産業界が共同で実施するプログラム。旧EELV、打上げ実施企業:ULAとSpaceX社
- NASA戦略的宇宙技術投資計画(Strategic Space Technology Investment Plan SSTIP)
 - 20年以内の将来を見据えつつ、NASA ミッションの発展と米国の目標達成に必要な宇宙技術の優先の優先度や投資比率を定める。最新は2017年版。
 - ・ 「推進および打上げシステム」が8つの核心領域のうちの一つに識別
 - ・ Propellants、Integrated Solid Motor Systems、・LH2/LOX Based、・RP/LOX Based、Launch Abort Systems、・Liquid Cryogenic、・Electric Propulsion、・Thermal Propulsion、・Propellant Storage and Transfer、・Active Thermal Control、・Heat Rejection and Energy Storage
- 有人宇宙探査・国際宇宙ステーション有人物資輸送
 - 宇宙打上げシステム(Space Launch System, SLS)、COTS・CRS、CCDev・CCtCap等

4.1. 国外の宇宙輸送システムに関わる政策動向

4.1.1 アメリカ

■ 大型ロケットに関わる政策等

- 周回軌道打上げについては、米国空軍がNational Security Space Launch(NSSL)プログラム(旧EELL)に基づきAtlas V, DeltaIV Heavy, Falcon9/Heavyによる宇宙輸送の自立性を堅実に確保する一方、NASAはCommercial Resupply Services(CRS)、Commercial Crew Development(CCP)により、民間におけるISSへの物資・人員輸送に対し、資金・技術的に支援。いずれもアンカーテナンシーをベースとした調達方式を採用。
- 現在、複数の民間会社による輸送サービスが展開され、**宇宙へのアクセス手段を確保しつつ**、振興勢力も含めた国内企業の技術革新を下支えしており、ロケット再利用化・有人輸送などの**技術革新・価格競争力の強化がこれまでにないスピード感**で行われてきている。



NSSL: National Security Space Launch (旧 Evolved Expendable Launch Vehicle (EELV)プログラム)
CRS: Commercial Resupply Services
CCP: Commercial Crew Development
DoD: Department of Defense (アメリカ合衆国国防総省)
NRO: National Reconnaissance Office (アメリカ国家偵察局。偵察衛星の設計、運用などを行う国防総省の諜報機関。)

図A-2. 米国における宇宙輸送プログラム

4.1. 国外の宇宙輸送システムに関わる政策動向

4.1.1 アメリカ

■ 小型ロケットに関わる政策等

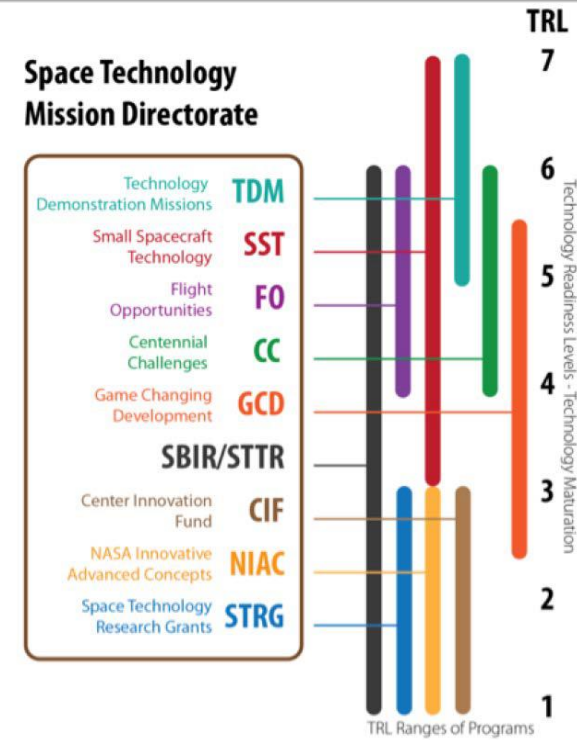
- 政府の積極的な資金的・技術的支援もあり、無数のベンチャー企業が小型ロケットの開発に取り組んでいる。

- NASAは**技術成熟度に応じて多様な支援プログラムを実施**。

- Flight Opportunities(FO): サブオービタル・小型衛星打上げ市場投入加速に必要な技術開発と実証機会創出が目的として、サービス提供者とユーザーの選定・マッチング・Award(年間予算は約\$15M)を実施。
- Venture Class Launch Services(VCLS): 小型衛星打上能力実証・機会を提供。(対象) Rocket Lab: \$6.9M、Virgin Orbit: \$4.7M
- SBIR/STTR: 米国政府が実施する中小企業の技術開発促進制度。**全ての政府機関は、外部委託研究予算の一定割合を中小企業の研究助成に使用**。
 - » SBIR(Small Business Innovation Research): 外部委託研究予算が1億ドルを超える全ての連邦政府機関が対象。2017年度は3.2%以上。
 - » STTR(Small Business Technology Transfer): 外部委託研究予算が10億ドルを超える全ての連邦政府機関が対象。2016年度は0.45%以上。

- DARPAは、**柔軟性・即応性を備えた打上げ能力実証コンテスト「DARPA Launch Challenge (DLC)」**を実施中。

- 2020年前半、数日前に通知された射場からパイロードを打ち上げ、その数日後に別の射場から打ち上げることを競う。
- Vector SpaceとVox Spaceと匿名のスタートアップの3社が参加。



図A-15. NASAの支援プログラム



図A-16. DLCの候補射場 54

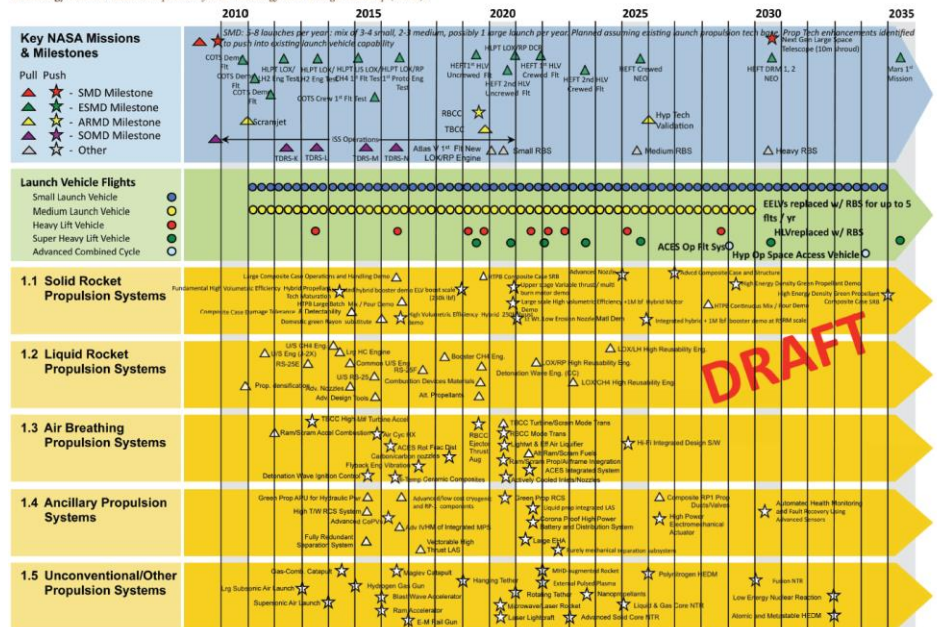
4.1. 国外の宇宙輸送システムに関わる政策動向

4.1.1 アメリカ

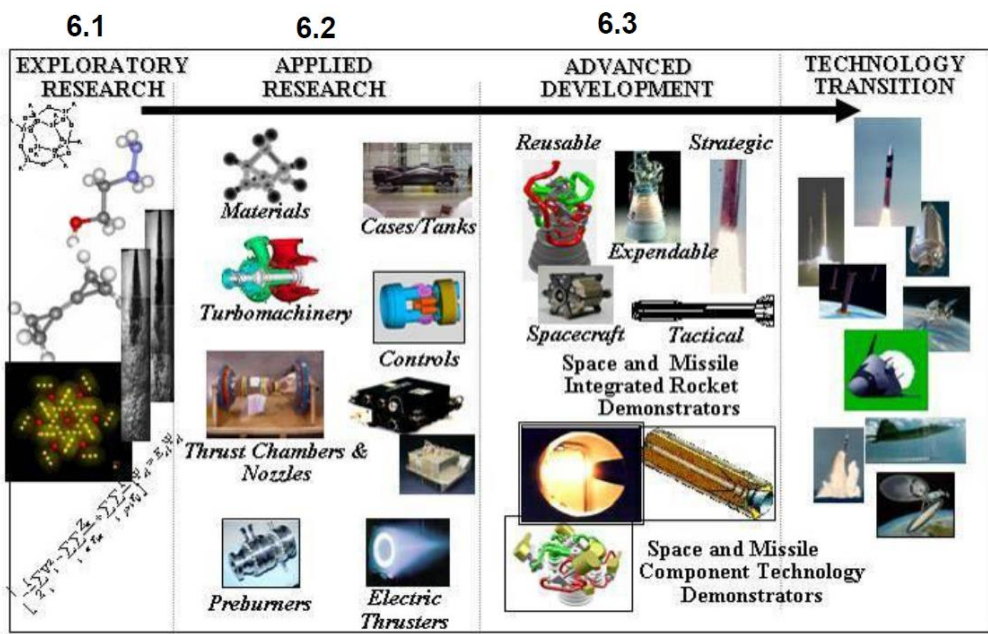
■ 将来宇宙輸送システムの研究開発に関わる政策等

- NASAでは、2010年14の技術分野について技術ロードマップを作製。その後、2012年、2015年の維持・改訂を経て、2020年にはAIなどの新しい技術動向も加味し、17の技術分野に再構成し更新中。
- 米国空軍研究所 (AFRL) は、ロケットエンジン等10の技術分野について、基礎研究から応用研究、実用開発を行い、その成果を様々なロケット等に対し技術移転。
- 米国国防高等研究計画局 (DARPA) は、固定観念に囚われない自由度の高く、極めてハイリスクであるがインパクトの大きい研究開発プロジェクトを立ち上げ、資金支援を実施。ロケット分野では、再使用性・即応性を旨とした有翼ブースタ(1段)XS-1の開発を実施。

Technology Area 01: Launch Propulsion Systems Technology Area Strategic Roadmap (TASR)



NASAにおける技術ロードマップ例(2015年)



AFRLにおけるロケットエンジンの研究開発例55

4.1. 国外の宇宙輸送システムに関わる政策動向

4.1.2 ヨーロッパ

■ ロケットに関わる政策等

<政策> 欧州宇宙政策 (European Space Policy、2007年)

- ・ 自立的で効率的な宇宙へのアクセスは、欧州にとっての戦略的目標であり続ける必要がある。
- ・ 欧州のプログラムを定義・実施するに当たっては、コスト効率、信頼性及びミッション適合性を踏まえ、まず自らの打上げリソースを活用する。
 - Ariane 5 に加え、ESA 開発の Vega ロケット、ロシアの Soyuz ロケットを段階的に追加
 - 欧州の射場であるギアナ宇宙センターの単一運用者による柔軟な打上げ体制の整備

<主な戦略> 欧州宇宙戦略 (Space Strategy for Europe、2016年)

- ・ 主なアクション: 欧州委員会は、宇宙への自立的な (autonomous) アクセスに対する EU 支援を下記により集約する。
 - 打上げサービスへの需要をまとめ、産業界に可視性を提供し、実装コスト削減
 - 破壊的な変化 (再利用性、小型ロケット) を予測し対応できる、欧州の能力確保のための研究および革新的な取組みの支援
 - EU の政策目標またはニーズを満たすために必要な欧州の発射インフラ施設をサポートする方法の検討
 - 新たな宇宙活動のための商業市場の発展を促進

■ 将来宇宙輸送システムの研究開発 (ESA)

- Future Launchers Preparatory Programme (FLPP) において、**将来輸送システムの検討および必要な要素技術の研究**を2003年から複数段階に分けて継続的に実施中。
 - 長期的な産業の競争力を確保しつつ、市場投入を5年以内、リカリングコストの削減、開発リスクの低減を目的として、システムの競争力と開発すべき技術を特定および準備する。
 - 開発コストを削減するために既存技術の再利用と新規技術開発の促進する。
 - 運用中の輸送機の進化、将来輸送機のアーキテクチャ、先進的なコンセプトを評価し、必要な技術を選択し、技術的な要求を抽出するためのシステム検討を実施する。
 - 既存の輸送機の安全な利用と宇宙空間へのアクセスを保証するために必須な欧州の産業能力を保護する。
 - 環境適合性の高い技術を開発する。
- **国際的な競争力を持つ企業の育成**を目的とし、FLPPを通して小型ロケット等の新興企業を主契約企業として実施することで、間接的に新興企業の支援。

4.1. 国外の宇宙輸送システムに関わる政策動向

4.1.3 中国

■ ロケットに関わる政策等

国主導で計画的に多様なローンチャーを運用・開発。将来技術の獲得に向けた研究を積極的に推進。新たなプレイヤーの参入奨励。

<政策>「2016年中国的航天(China's Space Activities in 2016)」| 国務院が約5年ごとに発表する白書

今後5年間の主要タスク/輸送関連

- ・無毒・無汚染の中型打上げロケットを開発し、新世代ロケット系列を整備し、信頼性を向上させる。
- ・重量級打上げロケットの重要技術を追求および実現し、同ロケット計画を始動する。
- ・低コストの打上げロケット・新型上段ロケット・再利用可能な輸送システム等の技術研究を行う。

発展政策と措置/関連部分のみ

- ・宇宙科学技術のイノベーション能力を大幅に向上する。
- ・宇宙産業の変革とアップグレードを全面的に促進する。(民間資本および機関等の宇宙活動への参加奨励など)



<主な戦略> 中国ロケット技術研究院(CALT)「2017-2045年宇宙輸送システム開発ロードマップ」

- ・2020年まで：主要ロケットである長征(LM、CZ)シリーズによる商業打上げサービスの全世界への提供。
(低コスト中型打上げロケット「長征8号」の初打上げ実現、インテリジェント化の実施等を含む)
- ・2025年頃：再使用型サブオービタル打上げ機の開発成功。サブオービタル宇宙旅行の実現。
- ・2030年頃：重量級打上げロケットの初打上げ実現、有人月探査や火星SRミッションに十分な輸送能力を提供。
- ・2040年頃：将来型の利用開始、再使用型打上げ機の開発成功、原子力輸送機のための重要技術の獲得。
- ・2045年まで：新たな推進システムの実用的な開発、宇宙エレベータ及びその地球駅、宇宙駅の建設を実現。

4.1. 国外の宇宙輸送システムに関わる政策動向

4.1.4 ロシア

■ ロケットに関わる政策等

- 「宇宙活動に関する2030年まで及びそれ以降の長期的な開発基本方針」において、「ロシアからの打上げを確実に行うための方策の確立」等を課題として挙げている。
- 現在、旧ソ連時代に開発した3種類の軌道投入ロケット(プロトンロケット、ソユーズロケット、ロコットロケット)を運用中。
- アンガラロケット(プロトンの後継機)、エルティシロケット(旧ソユーズ5ロケット。ゼニットロケットの後継機)を開発中。
- 「2016年-2025年連邦宇宙計画」として、以下が計画されている。
 - ・ 地球軌道にある有人・無人宇宙機の維持や月・火星軌道に向かう宇宙機の開発継続
 - ・ 打上げロケットや衛星等の製造における外国製部品に代わる国産部品の供給
 - ・ ポストーチヌイ射場における重量級ロケット射点の建設
 - ・ 新世代有人輸送船の開発および飛行試験の実施(3回以上)、超重量級および中型打上げ機の主要素の開発

4.1. 国外の宇宙輸送システムに関わる政策動向

4.1.5 インド

■ ロケットに関わる政策等

- インド宇宙研究機関(ISRO)が開発した小型ロケット(SLV、ASLV)、中型ロケット(PSLV)、大型ロケット(GSLV、GSLV MkIII)を運用中。
- 2019年2月、インド政府は、インド宇宙庁(Department of Space: DOS)傘下に新会社の設置を承認。ISRO、DOSの傘下部署の研究・開発成果の商業的活用が目的として以下を実施。
 - ・ 民間企業との協力による小型衛星打上げロケット(Small Satellite Launch Vehicle: SLV)の製造
 - ・ 産業界を介した小型極軌道打上げロケット(Polar SLV)の製造
 - ・ 打上げ及び利用分野を含む
 - ・ 宇宙関連製品の製造やサービスの提供、及び市場開拓

■ 将来宇宙輸送システムの研究開発

- DOS、ISROは、再使用輸送システム、新しいエンジン開発、有人宇宙飛行等の研究開発を実施。

プロジェクト名称等	研究開発内容
Semi-Cryogenic Project	将来の重量級ロケット用エンジン(200トン級、液体酸素/ケロシン)を開発中。
Reusable Launch Vehicle - Technology Demonstrator (RLV-TD)	輸送系の抜本的な打上げコスト削減を目指した完全再使用型の有翼宇宙輸送システムの開発に向けた技術を開発。2016年にサブオービタル実験を実施し、現在は軌道上からの再突入実験を構想中。
India's Human Space Flight	GSLV MkIIIによる有人宇宙輸送の開発を実施。2022年打上げ目標。