

次世代の宇宙輸送システムに向けた JAXAの基盤技術研究について

令和7年(2025)年6月3日

宇宙航空研究開発機構
研究開発部門 第四研究ユニット

はじめに	...	3
新たな宇宙輸送システムの構築に向けたJAXAの役割	...	4
次世代の宇宙輸送技術の基盤技術研究	...	9
①将来宇宙輸送システム研究開発プログラムの基盤技術研究	...	10
②再使用技術の飛行実験(RV-X、CALLISTO)の状況	...	14
③一部の基盤技術研究の次フェーズへの移行	...	15
民間等との連携を通じた産業・人材基盤の底上げ	...	20
①民間事業者等との対話と意見の集約・確認	...	23
②民間事業者の提案等に基づく官民共同での研究開発	...	27
③民間主導の開発体制を支える環境の整備	...	30

- 2025年3月26日に開催された基幹ロケット開発に係る有識者検討会(第1回)では、H3ロケットの開発状況および世界のロケットの開発動向を踏まえた現状の課題認識等をご説明し、5月15日の検討会(第2回)では、H3ロケット高度化の意義・必要性、プログラムの全体像等についてご説明した。
- 宇宙航空研究開発機構(JAXA)においては、宇宙基本計画や宇宙技術戦略に基づき、2040年代までの輸送ニーズの多様化などを見据え、将来の宇宙利用市場及び継続的な我が国の宇宙輸送システムの自立性確保と宇宙産業の発展に向けて、抜本的な宇宙輸送能力の強化やライフサイクルコストの低減などの次世代宇宙輸送の競争力の獲得を目指した基盤技術研究を推進している。
- 基盤技術研究の推進にあたっては、技術課題の解決を通して、事業化による市場創出やブレークスルーをもたらす可能性のある、初期段階の技術アイデアや事業構想を広く非宇宙産業からも発掘し、民間企業等とJAXAの双方のノウハウを生かした共同研究によって技術成熟を促す活動も行っている。これにより、その技術実現性と事業化見通しを高めるなど、民間等との連携を通じて我が国の宇宙活動を支える技術・人材・産業基盤の底上げ等を図っている。
- このような基盤技術研究の取り組みは、H3ロケット高度化開発をはじめとした国内宇宙輸送システムの開発における技術や人材基盤の育成に貢献している。
- 本日の検討会(第3回)では、基盤技術研究の取り組み、並びに2030年代に向けて次のフェーズに進む研究内容等について報告する。

宇宙基本計画(令和5年6月13日閣議決定)

2. 目標と将来像 (4)宇宙活動を支える総合的基盤の強化 ii.将来像 (a)宇宙輸送

(略)次期基幹ロケットでは、機体の一部を再使用化した上で、打上げ頻度や輸送能力を向上させるとともに、打上げ価格を低減する。さらに、将来的には、産学官が連携する中で、完全再使用化や有人輸送にも対応できる拡張性を持つことが期待される。また、高速二地点間輸送や宇宙旅行などを実現する新たな宇宙輸送システムを、我が国の民間事業者が中心となり開発・運用することで、新たな市場が創出されることが期待される。

4. 宇宙政策に関する具体的アプローチ (4)宇宙活動を支える総合的基盤の強化に向けた具体的アプローチ

(a) 宇宙輸送

【新たな宇宙輸送システムの構築】

将来にわたって我が国の宇宙活動の自立性を確保するため、**宇宙開発利用の将来像**(地球低軌道や月等における宇宙科学・探査、有人宇宙活動等)にも**対応する次期基幹ロケットの開発に向けた取組**を進める。そのため、産学官の連携の下、**JAXAが中心となり、輸送能力の大型化・再使用化・低コスト化などに必要な次世代の宇宙輸送技術の研究開発**に取り組む。

高速二地点間輸送や宇宙旅行のような、中長期的に大きな市場が期待される分野についても、**取組を主導する民間事業者における開発・事業化を促進**するため、**国・JAXAと民間事業者が連携し、次期基幹ロケットの開発に向けた取組と連携した形で**、海外の開発動向も踏まえ、**有人輸送などに必要となる要素技術の開発を進める**。

基幹ロケット開発方策と基盤技術研究の関係

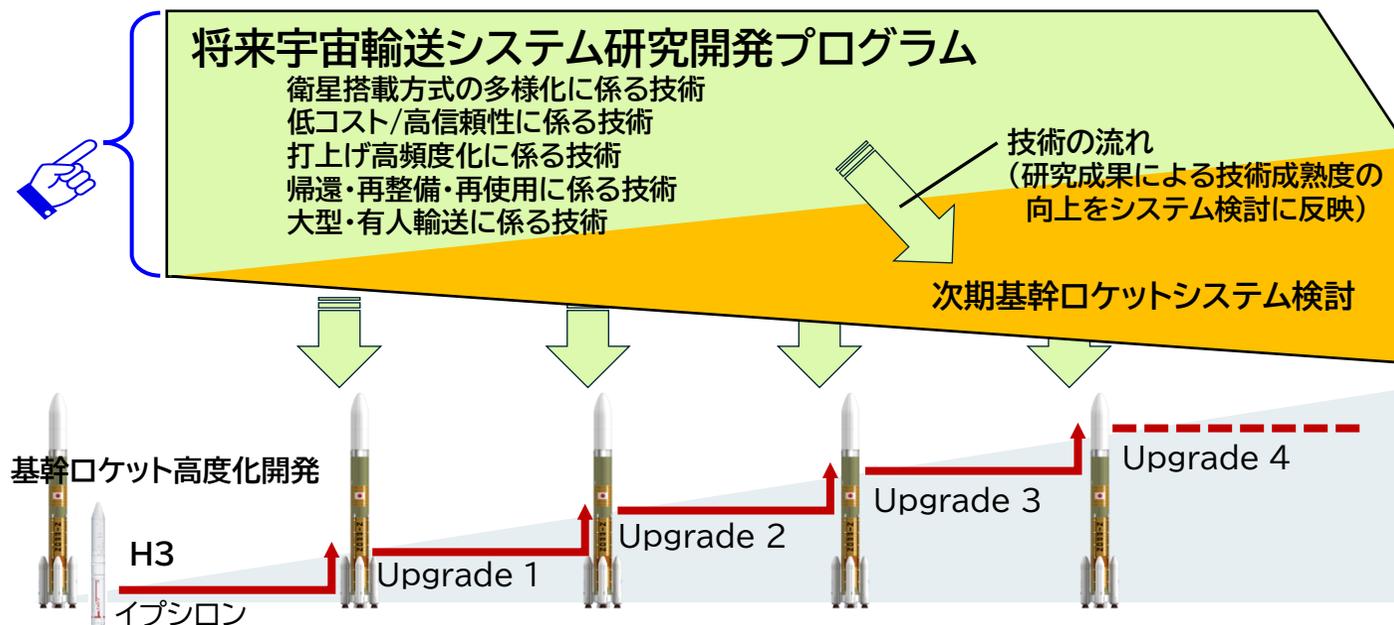
2025年3月26日
第1回基幹ロケット開発に関する有識者会合資料より抜粋

- 打上げ需要動向や技術動向の変化が激しい状況の中、ロケットの性能目標は柔軟に見直し・最新化することが重要であることから、打上げニーズの変化を踏まえた持続的かつ段階的な開発プロセス（ブロックアップグレード方式）を構築し、技術や人材基盤の維持向上を図る。
- さらに2030年代には、再使用化を軸とし、抜本的なコストダウンと打上げ頻度向上を備えた次期基幹ロケットを実現するために、基幹ロケットを総合システムとしてアップグレードしながら各システム性能を段階的に向上させる。
- 並行して、老朽化した射場設備・試験設備の刷新・拡充や、現在実施中の基幹ロケット打上げ高頻度化に向けた取組みを着実にを行うとともに、将来にわたって高頻度に打ち上げ続けるための我が国の打上げ射場等のあり方について今後検討を進める。また、新たな機能を実証するための飛行実験場の検討等を併せて行うことも重要。

2020年代後半～

2030年代～

2040年代～

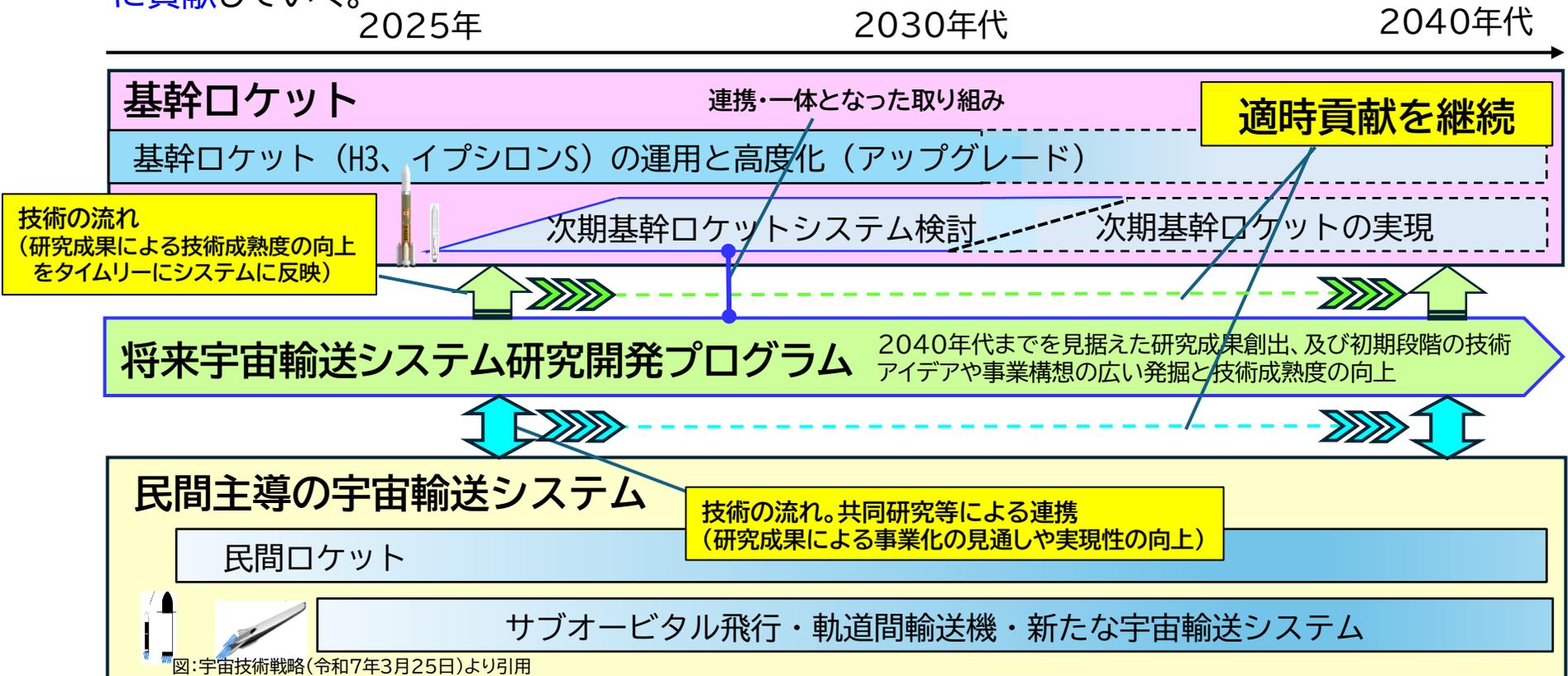


(注)下図は例であり、未確定。



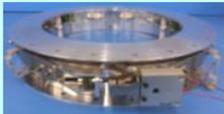
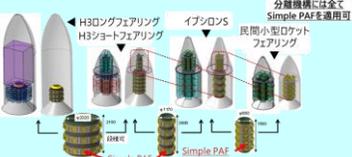
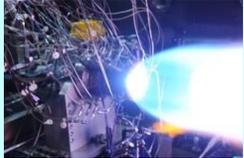
次期基幹ロケット実現
(さらなる高頻度打上、大幅な低コスト化)

- 宇宙基本計画や宇宙技術戦略に基づき、2040年代までを見据えて基盤技術研究を継続し、研究成果である技術成熟度の向上によって、外部動向や多様なニーズにタイムリーに対応する基幹ロケットのシステム検討及び基幹ロケットを含む国内宇宙輸送システムの実現に貢献していく。
- 技術課題の解決を通して、事業化による市場創出やブレークスルーをもたらす可能性のある、初期段階の技術アイデアや事業構想を広く非宇宙産業からも発掘し、民間企業等とJAXAの双方のノウハウを生かした共同研究によって技術成熟度の向上を促し、官民双方の技術・人材基盤の底上げに貢献していく。



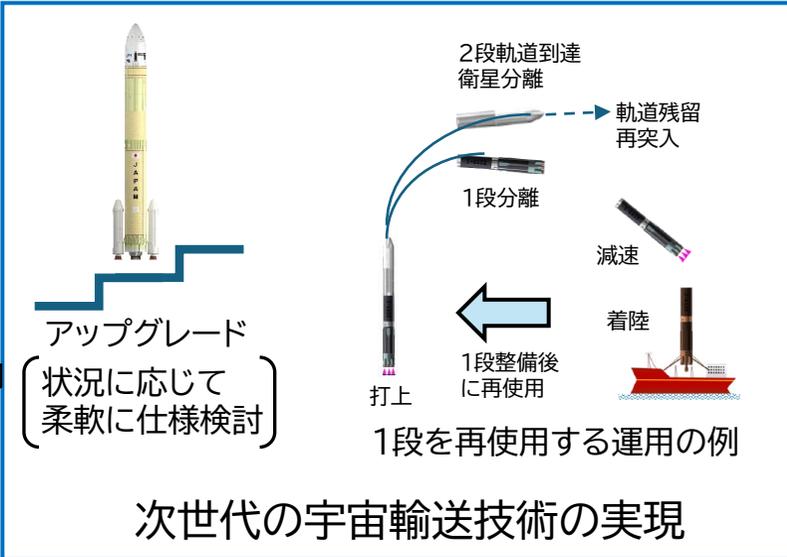
● 将来宇宙輸送システムに必要な要素技術研究開発の例

- 再使用化を軸とし、抜本的なライフサイクルコストの低減と高い打上げ頻度を実現する次世代の宇宙輸送技術の獲得に向けて、基盤技術研究を実施中。
- 技術成熟度や周辺状況を踏まえて選択されるシステム仕様に研究開発成果を適時適用していく。
- 研究開発によって成熟度が向上した技術は、民間主導の輸送システムにも適用されることによって、民間事業者における開発・事業化の促進が期待される。

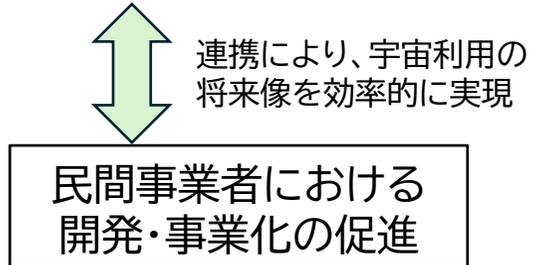
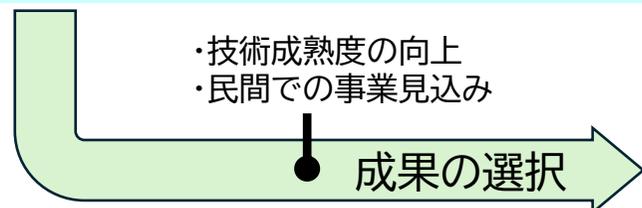
 <p>小型衛星向け非火工品 低衝撃分離機構の例 (Simple PAF)</p>	 <p>大型3D積層の例</p>
 <p>衛星の汎用搭載構造の例</p>	 <p>金属積層技術によるエンジン 造形プロセス改善の例</p>



- 研究開発の技術成熟度
- 変化する打上げ需要動向
- 課題対応の緊要性等



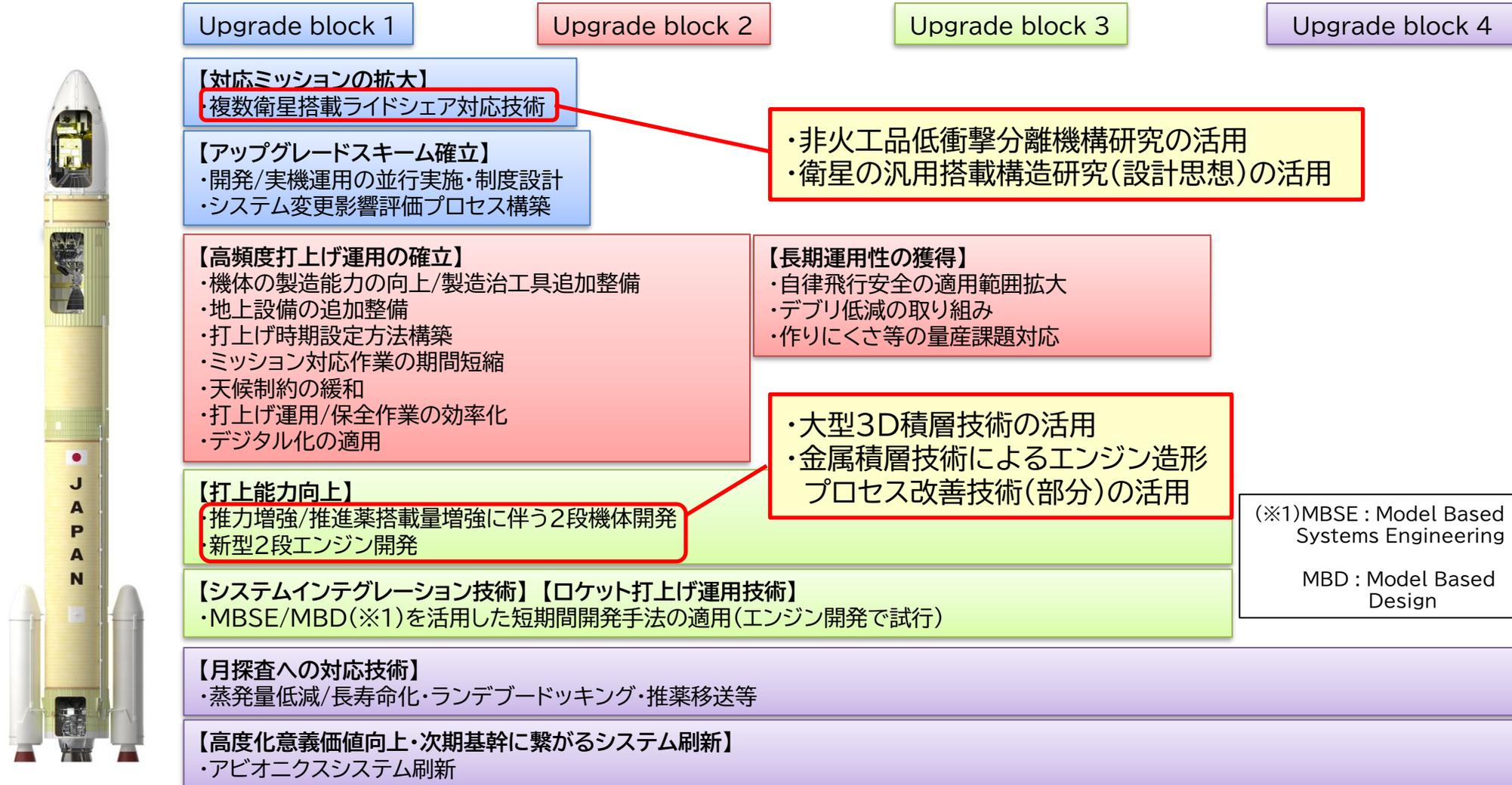
研究開発プログラムにおける成果(例)



H3高度化の開発計画(案)と基盤技術研究の関係

2025年5月15日
第2回基幹ロケット開発に関する有識者会合資料より抜粋、及び追記

- H3高度化開発計画(案)における基盤技術研究成果の活用の可能性がある例(現時点)を以下に示す。



はじめに

新たな宇宙輸送システムの構築に向けたJAXAの役割

次世代の宇宙輸送技術の基盤技術研究

- ①将来宇宙輸送システム研究開発プログラムの基盤技術研究
- ②再使用技術の飛行実験(RV-X、CALLISTO)の状況
- ③一部の基盤技術研究の次フェーズへの移行

民間等との連携を通じた産業・人材基盤の底上げ

- ①民間事業者等との対話と意見の集約・確認
- ②民間事業者の提案等に基づく官民共同での研究開発
- ③民間主導の開発体制を支える環境の整備

• 宇宙基本計画(令和5年6月13日閣議決定)

2. 目標と将来像 (4)宇宙活動を支える総合的基盤の強化 ii.将来像 (a)宇宙輸送

- 2030年代には、H3ロケットに続く次期基幹ロケットを運用し、新たな宇宙輸送(月周回軌道への補給機や月面への着陸機の輸送等)を行うことで、我が国の宇宙開発利用の将来像(地球低軌道や月等における宇宙科学・探査、有人宇宙活動等を含む。)を実現していく。(略) また、高速二地点間輸送や宇宙旅行などを実現する新たな宇宙輸送システムを、我が国の民間事業者が中心となり開発・運用することで、新たな市場が創出されることが期待される。

• 宇宙輸送の将来像(出典:宇宙技術戦略(令和7年3月25日))

- 人類の活動領域は、地球低軌道を越え、月、更に火星等の深宇宙へと、本格的に宇宙空間に拡大する。それに伴い、宇宙空間へ輸送されるペイロードは、これまでは人工衛星や探査機が中心であるところ、宇宙における人類の活動拠点(宇宙ステーションやゲートウェイ、月面基地等)に向けて、その構築に必要な構造物、活動に当たつての物資・食料やローバ、ロボット、そこで活動する人員など、従来以上に多様かつ大量のペイロードの輸送ニーズが生まれる。

• 将来宇宙輸送システム研究開発プログラムの目的

- 宇宙基本計画や宇宙技術戦略に基づき、2040年代までの輸送ニーズの多様化などを見据え、国と民間が連携して抜本的な輸送能力の強化、高頻度化、及びライフサイクルコストの低減などに必要な基盤技術研究に取り組むことで、我が国の継続的な宇宙輸送システムの自立性確保と宇宙産業の発展、及び宇宙活動を支える技術・人材・産業基盤の底上げを図る。

基盤技術研究の全体像

- 宇宙基本計画や技術戦略に示される将来の輸送ニーズの多様化等に応えるためには、以下のような新しい技術(宇宙輸送システムの運用の観点で整理した例)が必要である。
- 新技術は将来考えられる輸送システム(使捨て型・再使用型・有人輸送)に広く有効であることから、主にこれらの基盤的かつ技術難度の高い技術に関して研究に取り組み、技術成熟度を向上させることによって開発リスクを軽減し、将来の国内宇宙輸送システム開発における新技術導入の促進をはかる。

次世代宇宙輸送システム技術

国際的な宇宙輸送市場の動向に対応するためのシステム等に関する基盤技術研究

- 衛星搭載方式の多様化に係る技術
- 機体を再使用化するロケットのシステム(高信頼性含む)に関する研究
- メタン推進剤を採用する機体の保安距離(爆発威力)の研究
- 有人宇宙輸送システムの要素技術に関する検討 等

技術活用可能なシステム
使捨て型、再使用型、有人

高性能・軽量化・低コスト化技術

国際的なロケット推進系の高性能化、帰還用燃料や着陸脚等の追加装備による構造効率低下を抑制するための基盤技術研究

- 大型低コストタンク技術(複合素材成型技術、3D積層技術)
- 大型大推力エンジン技術(メタンや水素)
- ロケット/ジェット複合エンジン技術 等

技術活用可能なシステム
使捨て型、再使用型、有人

高高度からの帰還技術

国内事例として少ない極超音速での帰還飛行、回収船等への定点着陸の実現に向けた基盤技術研究

- 帰還時誘導飛行制御技術(アビオニクス技術等)
- 着陸機構や洋上回収技術
- 再使用ロケット自律飛行安全技術
- 極超音速(再突入)空力特性の予測・検証技術 等

技術活用可能なシステム
再使用型、有人

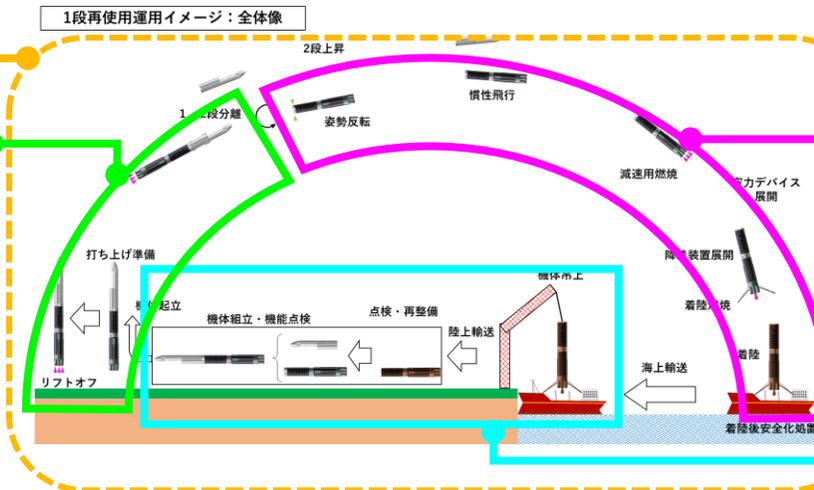
技術活用可能なシステム
使捨て型、再使用型

再整備効率化技術

機体回収後の再整備期間及び費用を低減するための地上系の基盤技術研究

- 機体点検・整備技術
- ヘルスマニタ技術注 等

(注)機体の健全性の確認や故障の予兆の検知等に関する技術



1段機体を再使用する場合の運用の例と主な基盤技術研究の関連

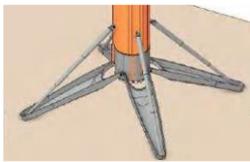
・ ロケット機体の一部を再使用化する場合の課題と研究事項の例

- ・ 打上の高頻度化やライフサイクルコストの低減に対し、機体の再使用化は有効な手段であるものの、日本においては技術難易度が高い新しい技術(以下、例)が多数含まれる。
- ・ 使捨て型ロケットに比べて開発リスクが大きいことから、開発着手に向けた取り組みとして**技術成熟度(TRL)の向上に向けたフロントローディング研究を推進中**。
- ・ なお、我が国では、仏・独の宇宙機関との共同プロジェクト(CALLISTO)において機体再使用に必要な技術獲得を目指すなど、**要素レベルだけではなくシステムレベルの技術検証活動も実施中**。

高高度からの帰還技術

ロケットの打上飛行時において、高い高度(およそ100km)で分離した1段機体を所定の場所へ着陸させ、機体を回収する技術

- ・ 帰還時誘導飛行制御技術
- ・ 着陸機構技術
- ・ 洋上回収技術※1



着陸機構の例



洋上回収の例
(Space-Xの例※2)

高性能・軽量化・低コスト化技術

帰還用燃料や着陸脚等の追加により機体が使捨て型より大きくなり運用性が悪くなることを回避するため、機体の小型化に資する技術

- ・ 複合素材成形技術※1
- ・ 3D積層技術※1
- ・ メタンや水素エンジン技術

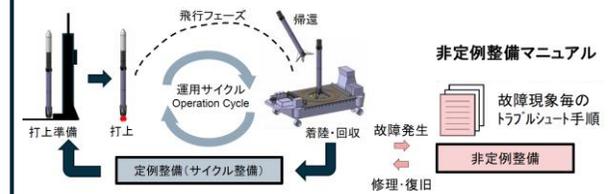


大型3D積層の例 エンジン検討の例

再整備効率化技術

回収後の機体再整備期間及び費用を低減するために長寿命化等による点検項目・回数の低減や作業の効率化に資する技術

- ・ 回収した機体の点検・整備技術
- ・ 長寿命液体エンジン技術
- ・ ヘルスマニタ技術※3



点検・再整備に関する検討の例

※2引用:<http://tokyoexpress.info/wp-content/uploads/2016/04/d8ca484b6f2350cba6e1fd72b6302d13.jpg>

※1:技術の一部が宇宙戦略基金研究テーマとなっている事項(参考)

※3:機体の健全性の確認や故障の予兆の検知等に関する技術

将来の有人宇宙輸送にも貢献する基盤技術研究の例

● 有人宇宙輸送に必要な技術開発のイメージと基盤技術研究の関係性

- 有人宇宙輸送技術については、現在JAXAは経験が限定的であるため、幅広い技術獲得に向けて初期段階からの検討を行っている。技術的知見を得るためには多大な研究開発活動が必要な状況である。
- なお、取り組み中の基盤技術研究の一部の項目は、様々な形態が想定される将来の有人宇宙輸送の実現にも有効な共通基盤技術であり、引き続き民間事業者との連携の仕方を調整するとともに、必要な要素技術研究を着実に進める。

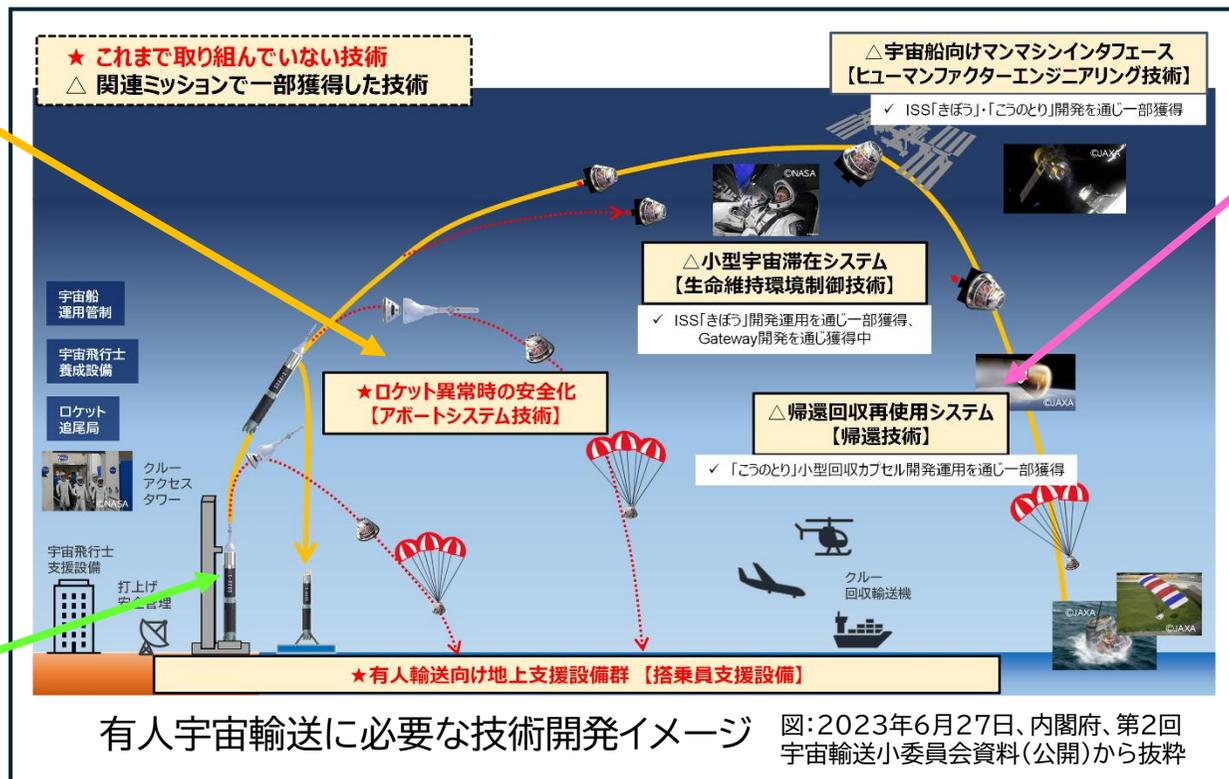
次世代宇宙輸送システム技術

有人宇宙輸送システムの要素技術検討の例

- 海外の有人ロケット等の信頼性設計の調査、信頼性設計手法とその検証・実証に関する基礎研究
- 有人安全確保のためのアボートシステムに関する解析方法検討等の基礎研究

高性能・軽量化技術

有人宇宙輸送に必要な追加装備による構造効率低下の抑制に貢献する基盤技術研究



高高度からの帰還技術

極超音速での帰還飛行、回収船等への定点着陸の実現に向けた基盤技術研究

- 帰還時誘導飛行制御技術
- 着陸機構や洋上回収技術
- 極超音速(再突入)空力特性の予測・検証技術

②再使用技術の飛行実験(RV-X、CALLISTO)の状況

- ・ JAXAでは、再使用型輸送システムに共通的に必要となる技術のうち、**システムレベルのキー技術について、2段階の飛行実験(RV-X、CALLISTO)により、データ蓄積と技術成熟度の向上を目指す**とともに、再使用による経済的な効果を評価する計画を進めている。
- ・ 「革新的将来輸送システムロードマップ」では、RV-X/CALLISTOは次期基幹ロケット実現に向け、低コスト化実現の重要な技術開発と位置付けられている。

先行としてRV-Xを実施し、取得したデータをCALLISTOの設計に反映し、技術的リスクを低減

RV-X(飛行実験フェーズ1)

計画概要

- ・ 2025年度に飛行試験を予定
- ・ 日本単独の研究として、能代ロケット実験場で実施

目的

- ・ 再使用エンジン技術(液体酸素/液体水素)の熟成や着陸段階での誘導制御技術に関する基礎データの取得等

諸元

- ・ 全長約7.3m、直径約1.8m、質量約3.1トン



CALLISTO(飛行実験フェーズ2)

計画概要

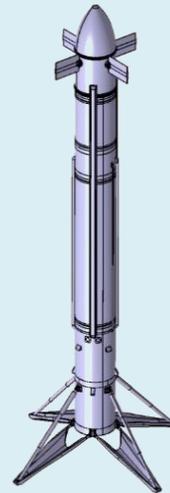
- ・ 2026年度に飛行試験開始を予定
- ・ 南米ギアナ宇宙センターで実施
- ・ 仏CNES、独DLRの3機関共同で実施し、早期かつ効率的に技術獲得
- ・ RV-Xと同型のエンジン1基を搭載

目的

- ・ 大気上層・超音速域まで飛行範囲を広げ、キー技術の実証および再使用化の経済性に関するデータを蓄積

諸元

- ・ 全長約13.5m、直径約1.1m、質量約3.6トン



【略語】RV-X : Reusable Vehicle eXperiment

CALLISTO: Cooperative Action Leading to Launcher Innovation for Stage Toss-back Operation

はじめに

新たな宇宙輸送システムの構築に向けたJAXAの役割

次世代の宇宙輸送技術の基盤技術研究

- ①将来宇宙輸送システム研究開発プログラムの基盤技術研究
- ②再使用技術の飛行実験(RV-X、CALLISTO)の状況
- ③一部の基盤技術研究の次フェーズへの移行

民間等との連携を通じた産業・人材基盤の底上げ

- ①民間事業者等との対話と意見の集約・確認
- ②民間事業者の提案等に基づく官民共同での研究開発
- ③民間主導の開発体制を支える環境の整備

本研究開発プログラムにおける基盤技術研究の段階の考え方

- 本研究開発プログラムにおける基盤技術研究を、技術成熟度TRLとの対応を含めて、以下の通り5つの段階に区分している。
- 現在まで**基礎的な基盤技術研究(フェーズ1)**を主に実施してきたところ、一部の事項については次の**技術検証目的の基盤技術研究(フェーズ2)**へ移行する時期に来ている。

フェーズ	技術開発段階	各段階の概念	TRLとの対応
1	基礎的な基盤技術研究	<ul style="list-style-type: none"> • 機体内の物理現象や原理の理解 <ul style="list-style-type: none"> • 技術及びそれを構成する物理構造・理論の解明 • 技術を支える素材特性等の理解 	1 ~ 2
2	技術検証目的の基盤技術研究	<ul style="list-style-type: none"> • 特定の技術分野の土台となる知識・技術の整備 <ul style="list-style-type: none"> • 技術の理論的な裏付けの検討 • 評価手法や試験手法の確立 • 素材や構成要素の性能データの収集 • モデルやシミュレーション環境の検証 • 技術は、実用化を視野に入れつつも、幅広い応用の可能性を持つ 	3 ~ 4 (BBM)
3	応用研究	<ul style="list-style-type: none"> • 製品やサービスの開発に向けて基盤技術の応用方法を固める 	5 (EM)
4	開発	<ul style="list-style-type: none"> • 実際の製品やサービスに繋げるに向けて試作・プロトタイプを開発 	6 (PFM)
5	技術実証	<ul style="list-style-type: none"> • 実環境での動作の確認 • 社会実装に向けた信頼性・安全性の検証 	7 (FM)

一部の基盤技術研究のフェーズ2への移行について

- 現在まで、本研究開発プログラムでは、将来宇宙輸送技術の一つとして、ロケットの再使用化や低コスト化に向けた機体の軽量化や高性能化などについて基礎的な基盤技術研究を進めてきた。
- 基礎的な基盤技術研究の進捗・成果等を踏まえると、一部の研究について次の検証目的の研究に進む段階にきており、特に、環境条件が特殊で、既計画の飛行実証(RV-X、CALLISTO)では検証できない「高高度(極超音速飛行)からの帰還」に関しては基盤技術の検証の難易度が高い。このため、今後の研究活動では2030年代の基幹ロケットでの実用化の判断に資することができるように、これまでの研究に加えて「高高度(極超音速飛行)からの帰還」等に関する技術検証目的の基盤技術研究(フェーズ2)へ移行する。
- なお、この技術検証には、民間単独での実施が難しく高いコストを要する極超音速環境等での試験が必要であり、JAXAにおけるこれらの基盤技術獲得は、国内企業への技術供与等によって、民間企業における再使用ロケットや帰還を要する有人輸送機の開発推進にも貢献すると考えられる。

			RV-X	CALLISTO	今後必要	
次世代宇宙輸送システム技術	システム	再使用機体設計	△(部分)	△(部分)	○(大規模)	
		環境条件予測	○(小規模)	○(中規模)	○(大規模)	
高性能・軽量化・低コスト化技術	推進系	高性能化	×	×	○	
		再使用化	○	←	←	
高高度からの帰還技術	構造系	軽量化	×	×	○	
		誘導飛行制御系	着陸(低高度)	○	←	←
		中速帰還飛行(中高度)	×	○	←	
		高速帰還飛行(高高度)	×	×	○	
	構造系	空力フィン	×	○(小規模)	○(大規模)	
		着陸機構	○(小規模)	○(小規模)	○(大規模)	
		熱防護システム	○(部分的)	○(広範囲・中性能)	○(広範囲・高性能)	
再整備効率化技術	地上系	洋上回収技術	×	×	○	
		点検・整備効率化技術	○(小規模)	←	○(大規模)	
		安全接近技術	○(人員接近の知見)	○(ロボットの知見)	←	

地上環境での検証が可能

極超音速環境での検証が必要

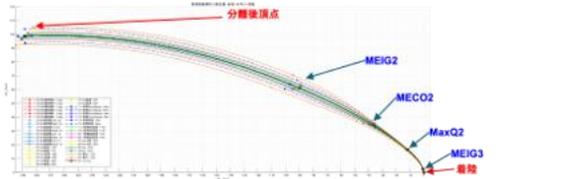
地上環境での検証が可能

高高度(極超音速飛行)からの帰還に関する基盤技術研究の例

- 高高度(極超音速飛行)からの帰還に関する基盤技術研究の例を以下に示す。
- 環境条件が特殊で、既計画の飛行実証(RV-X、CALLISTO)では検証できない事項であり、特に検証段階(フェーズ2)に移行することが必要な基盤技術研究である。

帰還時の誘導飛行制御技術

高高度からの帰還時において、機体の姿勢、空力フィンやエンジン逆噴射によって、逆噴射用推進剤を最小としつつ、飛行経路や速度を制御して目標地点への定点着陸を実現。



帰還時の経路誤差を踏まえた誘導制御シミュレーションの結果の例

形状・運用要求

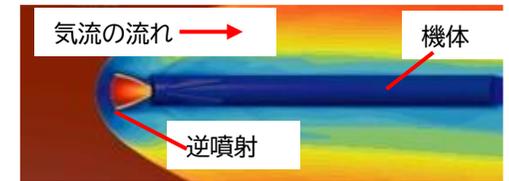
機体特性

極超音速環境での機体空力特性やエンジン逆噴射時の特性の予測・検証技術

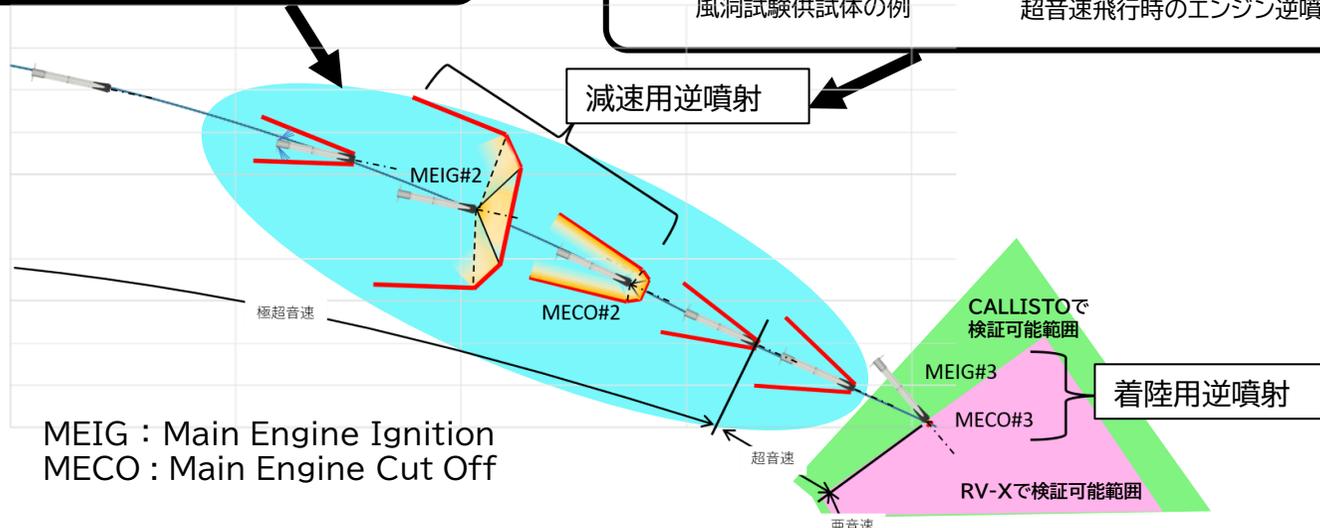
極超音速環境における、空力制御用の機器(空力フィン)の効果を加味した機体空力特性や、エンジン逆噴射時の機体空力特性の変化や機体への入熱評価などを予測・検証し、機体システム検討に反映。



風洞試験供試体の例



超音速飛行時のエンジン逆噴射シミュレーションの結果の例



MEIG : Main Engine Ignition
MECO : Main Engine Cut Off

高高度からの帰還の概念の例と飛行実証(RV-X、CALLISTO)との関係

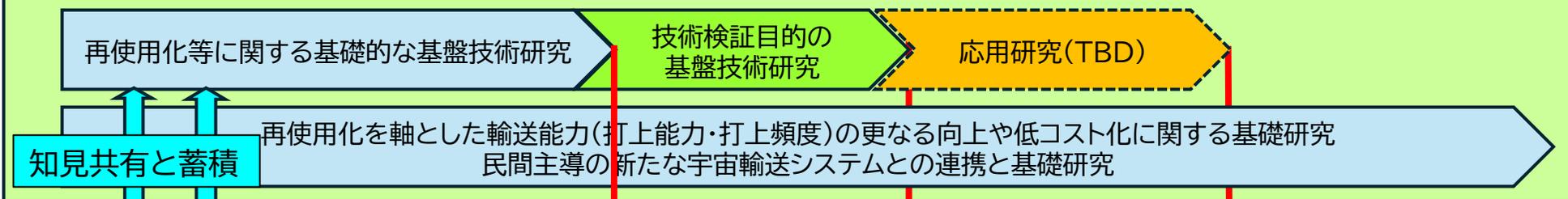
基盤技術研究のフェーズと他の研究開発との関係

- 飛行実証(RV-XやCALLISTO)で得られる知見の共有と蓄積を図りつつ、技術検証目的の基盤技術研究を推進し、再使用化を軸とした機体の実用化の判断に必要な技術の見通し、ライフサイクルコストの低減や高頻度打上への有効性等を評価していく。

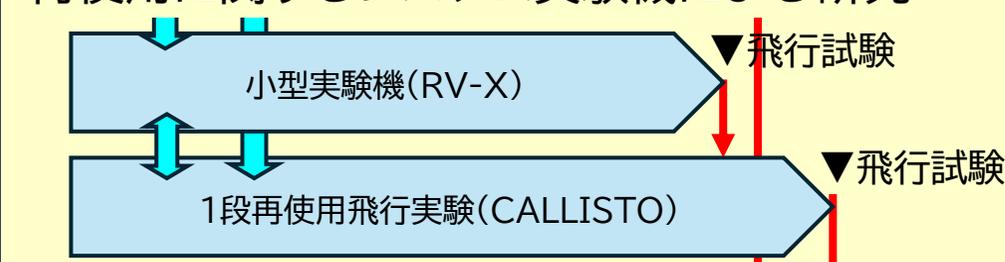
2025年

2030年代

将来宇宙輸送システム研究開発プログラム

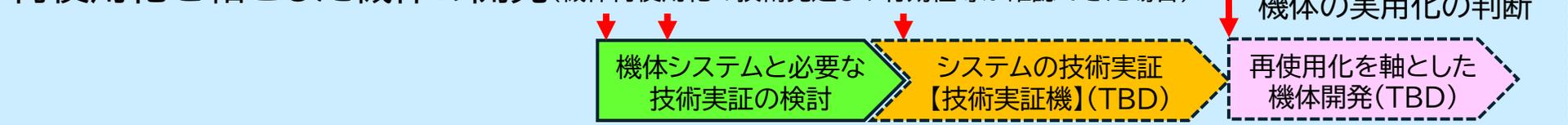


再使用に関するシステム実験機による研究



次世代宇宙輸送システム技術			RV-X	CALLISTO	今後必要
システム	再使用機体設計		△(部分)	△(部分)	○(大規模)
	環境条件予測		○(小規模)	○(中規模)	○(大規模)
高性能・軽量化・低コスト化技術	推進系	高性能化	×	×	○
		再使用化	○	←	←
構造系		軽量化	×	×	○
	高高度からの帰還技術	誘導飛行制御系	着陸(低高度)	←	←
		中速帰還飛行(中高度)	×	○	←
		高速帰還飛行(高高度)	×	×	○
構造系		空力フィン	×	○(小規模)	○(大規模)
		着陸機構	○(小規模)	○(小規模)	○(大規模)
地上系		熱防護システム	○(部分的)	○(広範囲・中性能)	○(広範囲・高性能)
		洋上回収技術	×	×	○
再整備効率化技術	地上系	点検・整備効率化技術	○(小規模)	←	○(大規模)
		安全接近技術	○(人員接近の知見)	○(ロボットの知見)	←

再使用化を軸とした機体の開発(機体再使用化の技術見通しや有効性等が確認できた場合)



はじめに

新たな宇宙輸送システムの構築に向けたJAXAの役割

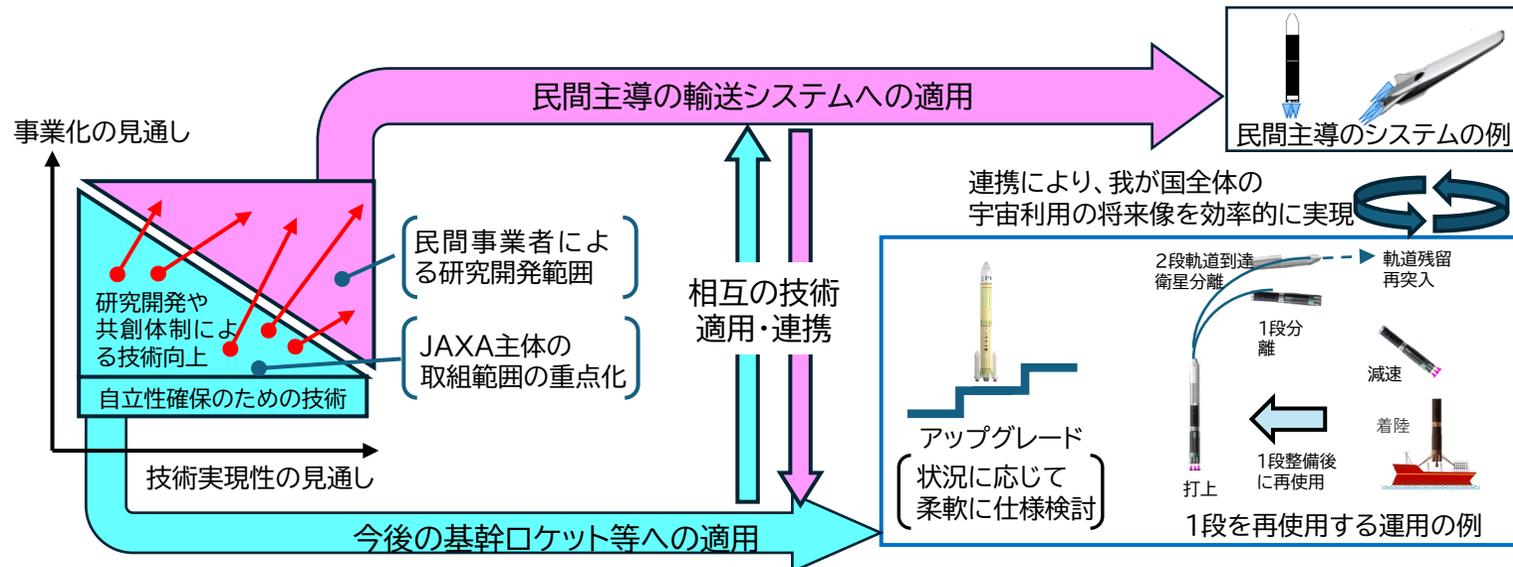
次世代の宇宙輸送技術の基盤技術研究

- ①将来宇宙輸送システム研究開発プログラムの基盤技術研究
- ②再使用技術の飛行実験(RV-X、CALLISTO)の状況
- ③一部の基盤技術研究の次フェーズへの移行

民間等との連携を通じた産業・人材基盤の底上げ

- ①民間事業者等との対話と意見の集約・確認
- ②民間事業者の提案等に基づく官民共同での研究開発
- ③民間主導の開発体制を支える環境の整備

- 高速二地点や宇宙旅行のような中長期的な分野の取組を主導する民間事業者の新たな宇宙輸送システムの開発・事業化を促進する事を目的に、相互の技術適用・連携を鑑みながら**技術の獲得戦略案を取りまとめ**ていき、宇宙利用将来像の実現を推進する。
- また、民間事業者が主導する新たな宇宙輸送システムの確立には、事業化見通しや技術実現性見通し(技術成熟度)の低さから、**民間等が単独で開発に取り組むことが難しい初期段階の要素技術**がいまだに複数存在している。こうした技術の開発に際しては、**提案に基づく官民での共同研究や今後の基幹ロケットの開発に向けた取り組み等によって技術成熟を促進する。**



①民間事業者・アカデミア等との対話と意見の集約・確認(技術の獲得戦略案のとりまとめ)

民間主導による新たな宇宙輸送システムの実現に向けて、**アカデミアを含む宇宙輸送業界関係者、宇宙輸送民間事業者との対話と意見の集約・確認**を行い、一民間企業に限らず我が国全体の宇宙輸送システムの振興に重要な**技術のロードマップ(詳細)を策定・見える化**する。これに基づき要素技術の獲得を進めるとともに、対話等は継続的に行うことによって**技術ロードマップ(詳細)へ適時反映し、最新化**を図る。

②民間事業者等の提案に基づく官民共同での研究開発(オープンイノベーション共創体制による要素技術開発)

従来概念にとらわれず**広く民間企業の技術の情報や提案を募集し、性能向上や低コスト化等のブレークスルー技術開発を実施**するとともに、官民共同研究を行うための体制を整備する。

③民間主導の開発体制を支える環境の整備(官民共創推進系開発センターの整備)

エンジン開発に必須であるエンジン燃焼試験を複数同時に実施可能な設備の整備や、JAXAのコーディネーターによるサポートを受けることにより、**民間事業者に試験準備の予見性を持たせ、民間における開発機会の拡大**を図る。

□ 民間事業者・アカデミア等との対話と意見の集約・確認の主なツールや方法

□ 宇宙輸送の技術ロードマップ(詳細版)

- 宇宙技術戦略(令和6年3月28日 宇宙政策委員会決定)」などを踏まえてアップデートし、勝ち筋を見据えた宇宙技術戦略を実現していく補助的なツールとする。
- 宇宙輸送事業者の動向や要望を踏まえて、官民双方が必要とする技術を可視化するとともに、宇宙輸送事業者と共有し、オープンイノベーション共創体制やJAXA基金を活用した民間による研究開発を後押しする。
- 宇宙輸送事業者以外に広く産業界とも共有し、技術SEEDSの発掘や、宇宙分野以外の事業者・投資家等の新規参入を促進する。

□ 民間主導による宇宙輸送システムの技術ロードマップワークショップ

- 民間主導による宇宙輸送システムの技術ロードマップ(詳細版)等を題材として、産官学からのワークショップ参加者からご意見を広く賜り、技術ロードマップへ反映し所定の業務を進めることによって、産官学の連携推進に資することを目的とする。
- 技術ロードマップ(詳細版)が整いつつあることから、今後は宇宙技術戦略のローリングに資するために、年に1回程度ワークショップを行い、技術ロードマップ(詳細版)を改訂していくことを検討中。

①民間事業者・アカデミア等との対話と意見の集約・確認(2/4)

2024年10月28日
第91回宇宙開発利用部会
資料91-4-3 より抜粋

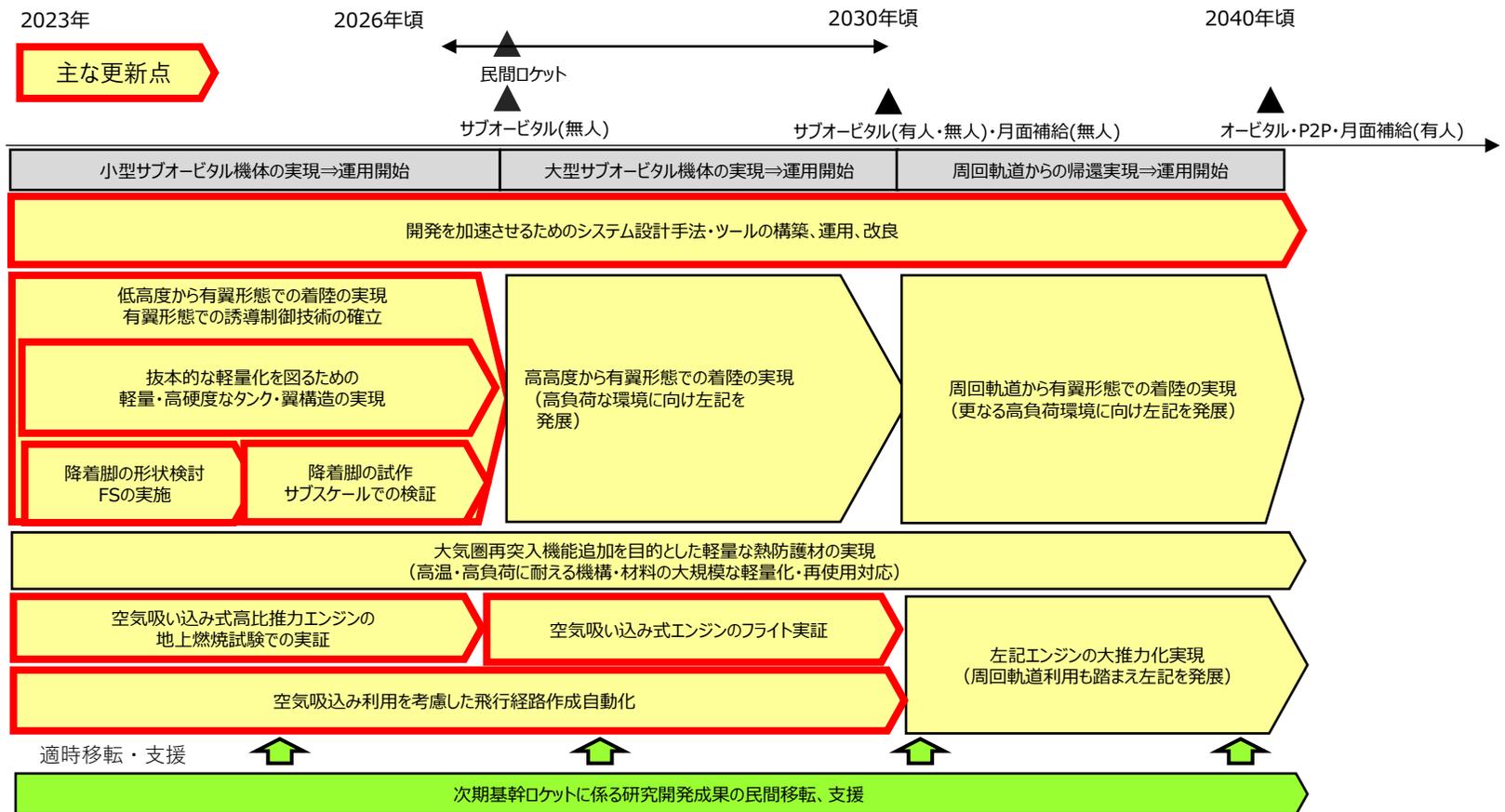
- これまで4回の技術ロードマップワークショップ(のべ79機関193名が参加)を行い、産官学の意見を集約・確認してきた。
 - 第1回(2022年11月11日、10機関43名が参加)
事業コンセプト共創から技術ロードマップをまとめるまでの工程と進め方、技術ロードマップに基づく研究の進め方を議論
 - 第2回(2023年3月5日、20機関約40名が参加)
意見募集(A.O.)選定企業による高頻度往還飛行型システムの目標を技術ロードマップ(案)として共有し議論
 - 第3回(2024年3月6日、15機関36名が参加)
2024年2月下旬の政府の宇宙技術戦略(案)の更新や、民間の計画の最新化等を受けて更新した技術ロードマップの議論
 - 第4回(2024年6月10日、17機関34名が参加。分科会を2024年10月7日に開催、17機関40名が参加)
第3回の議論と、第3回以降に実施した意見募集(A.O.)選定企業等との対話の結果を反映した民間主導による宇宙輸送システムの技術ロードマップを提示し、議論。未了だった旅客サービスを目指す新たな宇宙輸送システムについては分科会にて技術ロードマップを提示し、議論。

①民間事業者・アカデミア等との対話と意見の集約・確認(3/4)

2024年10月28日
第91回宇宙開発利用部会
資料91-4-3 より抜粋

民間事業者・アカデミア等との対話を踏まえた技術ロードマップの更新(民間主導による宇宙輸送システム)

- 民間各社の技術戦略は非公開が原則であるため、公開・共有可能な範囲で必要技術及びその獲得目標時期を整理し、機体システムの設計ツール類の構築、有翼形態の機体の着陸に関する技術(誘導制御、構造)、空気吸い込み式エンジンとそれを活用した飛行経路作成等に関する計画がやや詳しく示された(下図の赤線部に更新した)。

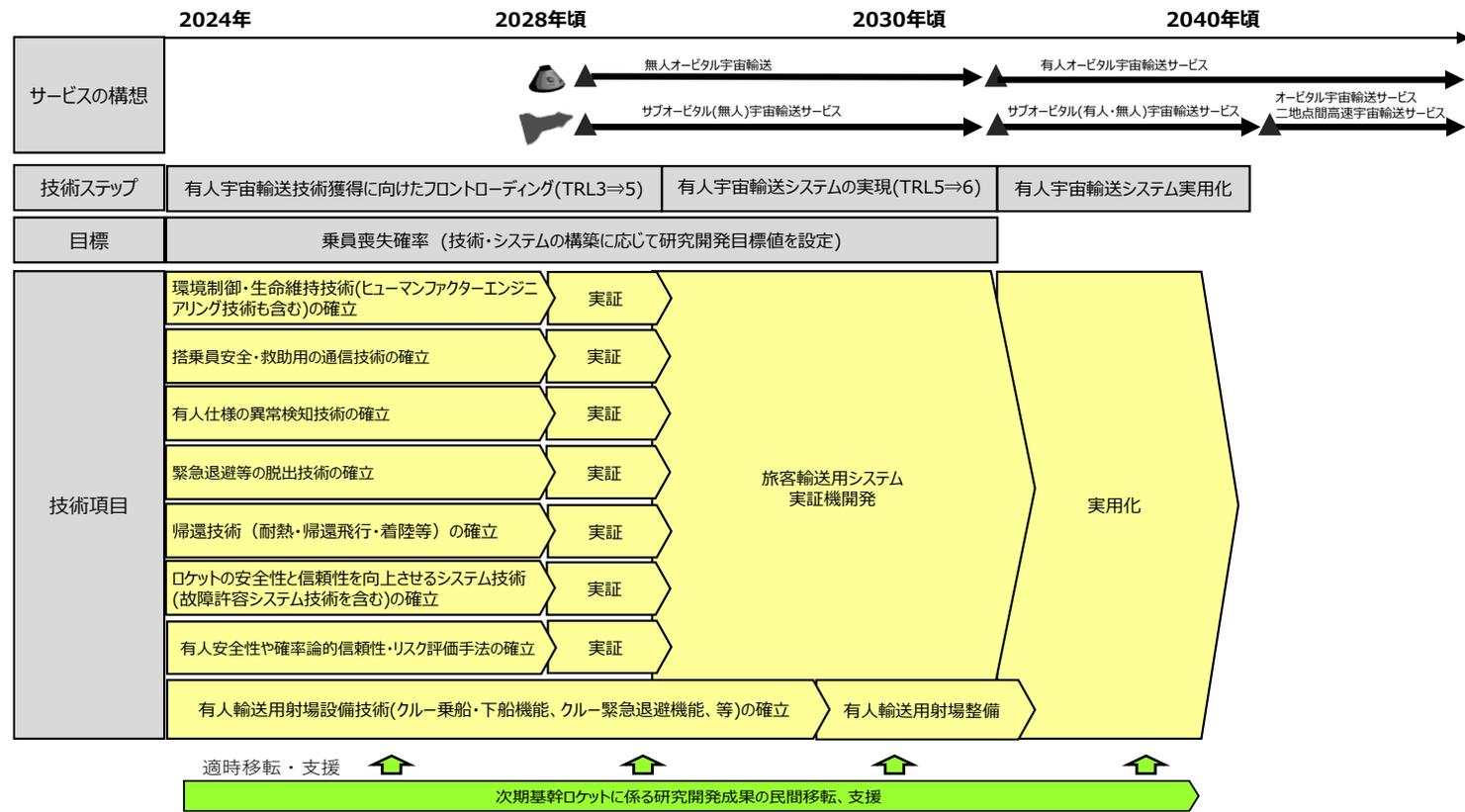


①民間事業者・アカデミア等との対話と意見の集約・確認(4/4)

2024年10月28日
第91回宇宙開発利用部会
資料91-4-3 より抜粋

民間事業者・アカデミア等との対話を踏まえた技術ロードマップの策定(民間主導による有人宇宙輸送技術)

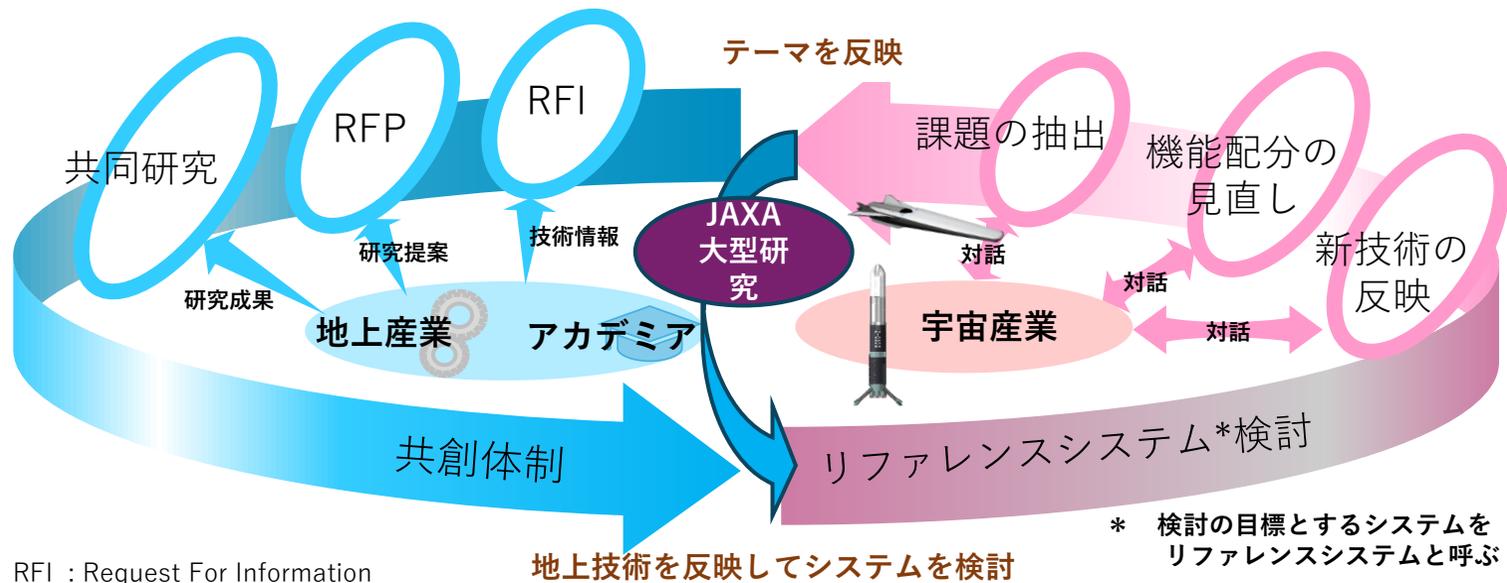
- 民間主導による有人宇宙輸送技術について、公開・共有可能な範囲で必要技術及びその獲得目標時期を整理し、下図の技術ロードマップ案を新たに策定した。
- 国内における有人宇宙輸送の技術開発や事前実証に向けて、環境制御・生命維持、通信、異常検知、脱出、帰還等に関する信頼性を向上させることが重要と考えられる。



②民間事業者等の提案に基づく官民共同での研究開発(1/3)

2024年10月28日
第91回宇宙開発利用部会
資料91-4-3 より抜粋

- 性能向上や低コスト化等の課題解決において優先度の高い技術提案を広く募集し、民間企業等とJAXAの双方のノウハウを活用した共同研究を実施。
- 技術課題の解決を通して、事業化による市場創出やブレークスルーをもたらす可能性のある、初期段階の技術アイデアや事業構想を広く非宇宙産業からも発掘するとともに、その技術実現性と事業化見通しを高める。



RFI : Request For Information
RFP : Request For Proposal

②民間事業者等の提案に基づく官民共同での研究開発(2/3)

2024年10月28日
第91回宇宙開発利用部会
資料91-4-3 より抜粋
情報を最新化

- 共創体制により、2021年度以降、3回のRFI/RFPを行って計48件の研究テーマを採択し、非宇宙産業を含めた民間企業等との共同研究を実施している。
- 共同研究相手方として宇宙輸送システムのスタートアップ企業も複数参加(○印)している。民間等との連携を通じて今後の基幹ロケットと民間主導の輸送システムの両方に裨益する技術を生み出すなど、我が国の宇宙活動を支える産業・人材基盤の底上げを図っている。
- 2025年度に第4回RFI/RFPを実施予定であり、今後も継続してブレークスルーをもたらす可能性のある技術アイデアや事業構想等の発掘を行う。

No.	区分	研究テーマ	企業・機関名 (★は提案者)
1	アイデア	AM熱交換器の構造・流体・プロセス最適化の研究	(株)NTTデータサムテクノロジーズ★/大阪大学/中央エンジニアリング
2	アイデア	Additive Manufacturingを活用した小型・軽量熱交換器の提案	三菱重工業(株)★
3	アイデア	作業効率化の改善に資するXR技術の機能研究	キヤノンITソリューションズ(株)★/立命館大学
4	アイデア	シルセスキオキサン樹脂をマトリックスとする400°C連続使用可能CFRPの開発	金沢工業大学★
5	アイデア	低コスト繊維強化セラミックス材の中温度域での宇宙輸送系機体構造への適用性検討	(株)湘南先端材料研究所★
6	アイデア	溶融合浸法と膜蒸騰法による低コストセラミック繊維/シリサイド複合材料の開発	東京農工大学★/(株)IHIEアロスペース
7	アイデア	極低温用CFRP配管の研究	(株)テックラボ★
8	アイデア	ATL成形による極低温対応配管製造のための炭素繊維強化液晶ポリマーの開発および金属製継手最適設計シミュレーション技術の開発	丸八(株)★/東京大学
9	アイデア	液体燃料挙動を簡略な操作で予測可能なシミュレーションツール開発	アドバンスソフト(株)★
10	アイデア	ロケットエンジン用小型低コスト電動ポンプの研究	千葉工業大学★/(株)黒磯製作所/宇宙興機(株)
11	アイデア	宇宙民生用情報通信エネルギーエレクトロニクスによるワイヤレス通信センサ用フェーズドアレーンテナ	スペース&モバイルワイヤステクノロジー★/鹿児島大学/(株)エフ・アイ・テック
12	アイデア	振動に強く小型軽量(高エネルギー効率)な低コスト電池の研究	名古屋大学★
13	アイデア	宇宙適用可能な低コストソフトウェア無線機の研究	インターステラテクノロジズ(株)★/三菱プレジジョン(株)
14	アイデア	トランシーバIC及び書き換え可能FPGAを活用したロケット搭載/衛星搭載ソフトウェア無線機の開発	NECスペーステクノロジ(株)★
15	アイデア	ガス圧利用による非火工品方式の結合/分離機構の研究	川崎重工業(株)★
16	チャレンジ	FRPヒンジ技術を使った着陸脚機構の研究	(株)ジーエイチクラフト★/帝人(株)
17	チャレンジ	テレスコピック式伸縮ロッドの着陸脚への適用研究	日本飛行機(株)★
18	アイデア	再使用輸送機の構造健全性評価のための欠陥検出技術の研究	三菱重工業(株)★
19	チャレンジ	再使用輸送機の運用整備計画構築手法に関する研究	三菱重工業(株)★
20	チャレンジ	航空機の整備計画策定手法の再使用ロケット整備への応用	ANAホールディングス(株)★
21	チャレンジ	洋上回収技術研究	三菱重工業(株)★/日本郵船(株)

22	アイデア	CFRP大型極低温推進薬タンク製造技術の研究	東京大学★/丸八(株)/津田駒工業(株)
23	アイデア	炭素繊維強化熱可塑性樹脂を用いたオートテーププレスメントによる液体酸素に適合する複合材製酸素タンクの試作	(株)SPACE WALKER★/(株)KADO/(株)富士インダストリーズ/東京理科大学
24	課題解決	熱可塑性CFRPによる先端技術を用いた低コスト極低温推進薬タンクの研究	三菱重工業(株)★
25	アイデア	電子線硬化モノマーとのハイブリッド化による推進薬用炭素繊維強化スーパーエンブラ製圧力容器の製造技術	金沢工業大学★/岡山県立大学/(株)KADO/(株)UCHIDA/物質・材料研究機構(NIMS)
26	課題解決	金属AMによる大型極低温推進薬タンク/一般構造の製造技術研究	清水建設(株)★
27	課題解決	短絡移行方式MIG溶接を用いた軽量かつ低コストな大型極低温推進薬タンクの製造技術研究	三菱重工業(株)★
28	アイデア	拡張可能なツールチェンジ複合材料3Dプリンター	東京理科大学★/早稲田大学
29	アイデア	"あやとり"成形技術によるCFRPラティス構造の低コスト・大型構造製造技術の開発	(株)ジーエイチクラフト★/帝人(株)
30	アイデア	短絡移行方式MIG溶接を用いたWAAMプロセスの造形シミュレーション技術の開発	大阪大学★/三菱重工業(株)
31	アイデア	マグネシウム合金ワイヤーを材料に用いたレーザーワイヤーDED方式AM造形技術の研究	三菱電機(株)★/熊本大学/東邦金属(株)
32	アイデア	WAAM向け高強度アルミニウム合金ワイヤーの開発	(株)UACJ★/三菱重工業(株)
33	アイデア	高比剛性と振動透過抑制性能を両立した弾性波メタマテリアルの設計と3Dプリンティング	(株)3D Printing Corporation★/愛媛大学
34	チャレンジ	超音波モータを用いた極低温バルブの研究	三菱重工業(株)★/(株)Piezo Sonic
35	アイデア	蛇腹構造を有する極低温用フレキシブルCFRP配管の研究	(株)テックラボ★
36	アイデア	エッジコンピューティング技術を活用した軽量型オンボード制御ソフトウェア技術の研究	ラトナ(株)★
37	チャレンジ	水平着陸式宇宙輸送システム用の軽量な降着装置の設計・製造の研究	将来宇宙輸送システム(株)★
38	チャレンジ	大降着重量に耐える革新的降着システムのコンセプト検討	PDエアロスペース(株)★/原田東面設計(株)
39	チャレンジ	軽量な複合材製降着装置に関する研究	(株)SPACE WALKER★/果レ・カーボンマジック(株)/東京理科大学
40	アイデア	超音波非破壊検査を用いたCFRP機体の効率的な点検・整備に関する研究	コニカミノルタ(株)★
41	チャレンジ	受動変化する基準圧と差圧測定を利用した高精度・耐故障フラッシュエアデータセンシングシステム	東京理科大学★/(株)SPACE WALKER
42	チャレンジ	水平着陸式宇宙輸送システムの軽量機体の設計・製造の研究	将来宇宙輸送システム(株)★/東京理科大学
43	アイデア	低コストかつ軽量な推進薬対応モータ駆動バルブの研究	伸和コントロールズ(株)★
44	チャレンジ	TVC機器的コスト低減に向けた品質保証プロセスの改善研究	シンフォニアテクノロジ(株)★/インターステラテクノロジズ(株)
45	アイデア	メタン/酸素を用いた燃焼器の繰り返し点火に用いるレーザー点火技術の研究	(株)IHIEアロスペース★/(株)IHIE
46	アイデア	メタン/酸素統合推進系の実現に向けたレーザー生成プラズマ着火スラスタ	名古屋大学★/東京理科大学/(株)SPACE WALKER/(株)IHIE
47	アイデア	耐熱合金(ニオブ系合金)を用いた積層造形および耐腐蝕コーティング技術	(株)デイ・ビー・シー・システム研究所★
48	アイデア	ロケット及び地上設備に向けた極低温流体対応液位計システム技術の研究	三菱重工業(株)★

□ 共創体制による共同研究によって、今後の基幹ロケットと民間主導の輸送システムの両方に裨益する技術を生み出した事例を以下に示す。

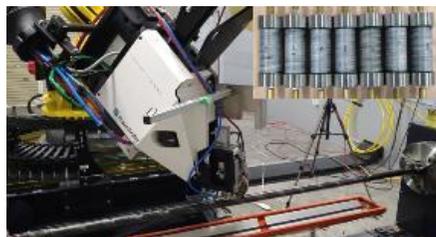
製造技術

宇宙輸送機の革新的な軽量・高性能化及びコスト低減技術

2022年RFPにより以下を採択し共同研究を推進

- ATL成型による極低温対応配管製造のための炭素繊維強化液晶ポリマーの開発および金属製継手最適設計シミュレーション技術の開発(前頁No.8)
- AM熱交換器の構造・流体・プロセス最適化の研究(前頁No.1)

本研究により得られる極低温仕様の部品製造の低コスト化に関する技術成果が今後の基幹ロケットの軽量化や低コスト化に資する予定。また、当該技術は民間ロケットでの利用が検討されており、その促進に向けて小型ロケット規模の試作等が行われる予定。



極低温対応複合材配管の自動積層の様子



効率的熱交換器の試作例

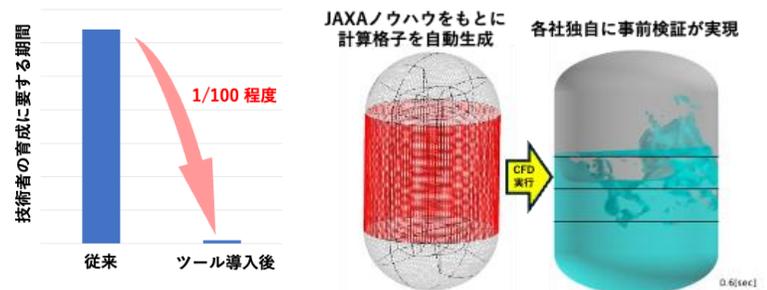
シミュレーション技術

将来宇宙輸送系設計に向けたシミュレーション技術

2022年RFPにより以下を採択し共同研究を推進

- 液体燃料挙動を簡略な操作で予測可能なシミュレーションツール開発(前頁No.9)

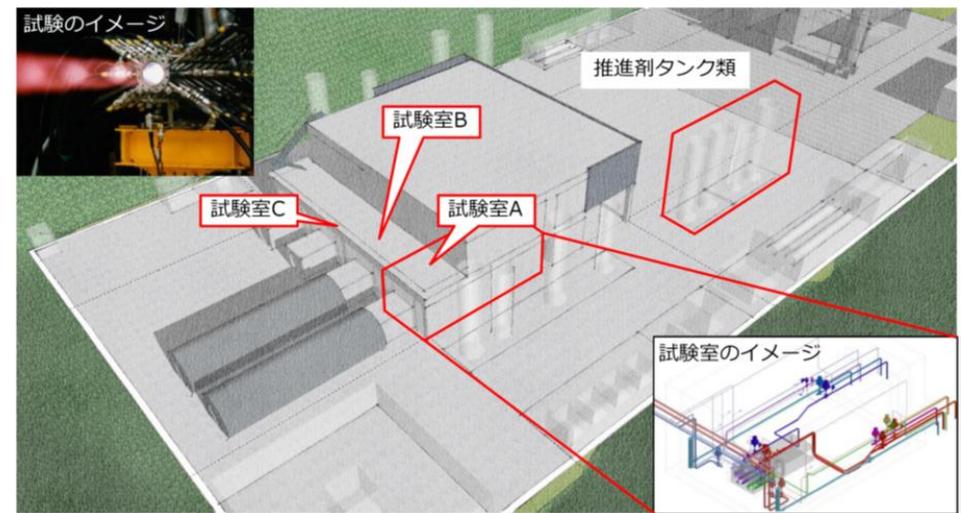
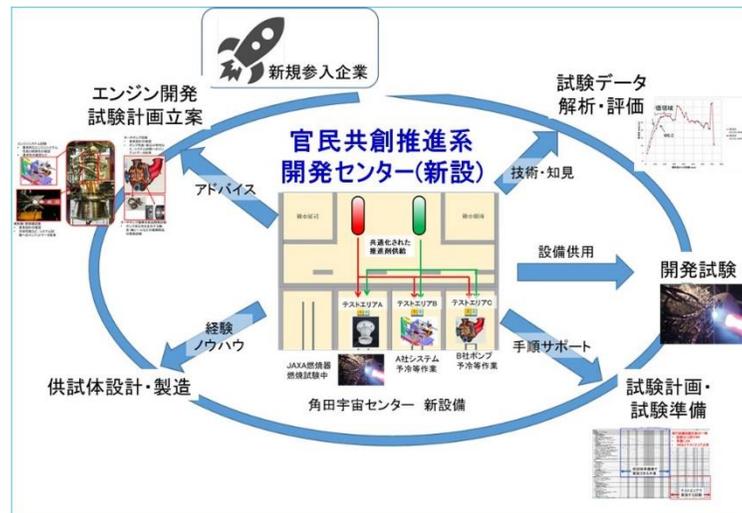
本研究によりJAXAが有する液体燃料挙動に関する解析技術ノウハウをソフトウェアに組み込むことによって、技術導入や解析の時間や精度の点で大幅な解析の効率化を実現する予定。本成果は、今後の基幹ロケット開発で活用するとともに、民間ロケット開発においても利用される予定。



研究の効果の例 計算格子作成とシミュレーションの例

③民間主導の開発体制を支える環境の整備(1/2)

- 推進系(ロケットエンジン等)の試験設備を保有する民間事業者は極限られ、かつその設備の規模は推力の小さいエンジン試験に限られており、かつ試験作業の経験も十分ではない。
- 推進系の専門知識を有するJAXAが試験設備と試験実施ノウハウ等を提供することで、民間事業者の参入初期や開発初期のリスクを低減し、開発を効率的に後押しするために、JAXA角田宇宙センターに官民共創推進系開発センター(ロケットエンジン等の試験設備)を2025年度以降の完成を目指して整備中である。
- また、設備完成後の民間支援活動を通してJAXAは試験実績・専門知識の更なる蓄積を行い、蓄積された知見をJAXAの研究開発や民間事業者による開発に活用するなどの好循環を図る。



③民間主導の開発体制を支える環境の整備(2/2)



写真1 建屋を建設中(令和7年1月時点)



写真3 肉厚95 mmの推進剤高圧ランタンク内槽
(製造途中の立会い検査にて 令和6年12月時点)



写真2 建屋を建設中(コンクリート打設)



図1 完成イメージ

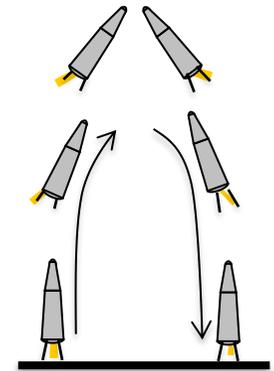
參考資料

再使用技術の飛行実験(RV-X、CALLISTO)の状況(1/2)

- RV-Xの進捗状況と飛行試験の予定
 - 2025年5月現在、飛行試験に向けた飛行安全確認や設計再点検を行うとともに、飛行試験前の総合燃焼試験(Captive Firing Test相当)の準備等を進めている。
 - 2025年度に飛行試験を実施予定。
- これまでに得た主な成果の例
 - キー技術
 - ① 誘導制御技術: ガスジェット及びジンバリングによる姿勢制御技術及び低高度の離着陸に必要な誘導及び推力制御技術等
 - ② 設計条件予測技術: 地表付近のエンジン燃焼による機体環境条件予測技術及び着陸時の荷重条件予測技術等
 - ③ 再使用運用技術: 着陸後の人員接近を許容する安全運用技術及び短期間での再飛行を可能とする点検・整備作業の効率化技術等
 - これらの技術については飛行を伴わない運用確認試験や燃焼試験、さらにはクレーンによる機体吊り上げ試験等によって検証を重ねてきている。引き続き、地上試験と飛行試験により技術検証を進める。



RV-X外観



飛行試験



地上燃焼試験の様子



地上運用試験の様子

再使用技術の飛行実験(RV-X、CALLISTO)の状況(2/2)

2024年10月28日
第91回宇宙開発利用部会
資料91-4-3 より抜粋
情報を最新化。

CALLISTOの進捗状況と飛行試験の予定

- 2025年5月現在、詳細設計の終盤作業、機体および搭載機器の開発試験(右写真)等を進めている。
- 2026年度に飛行試験開始を予定。



これまでに得た主な成果の例

キー技術

- 誘導制御技術: **フィン**の力と**推力**を飛行経路の制御に**利用する高精度着陸制御技術**(特許取得)等
- 推進薬マネジメント技術: 表面張力を利用した**メッシュ型推進薬管理デバイス**(右中図)、スロッシングモデル等
- ヘルスマネジメント技術: **エンジン燃焼器非破壊検査装置**(右下図)、電動・電磁バルブの故障診断技術等

- また、中間成果として、飛行試験の完了を待たずに、**設計フェーズ**で得た知見を**モデル・ツール・データベース**等として次期基幹ロケットなど将来戦略に活かせるような形でまとめた。今後、地上試験、飛行試験により検証や反映を進める。

