

革新的将来宇宙輸送システム実現に向けた取組について

令和4年3月29日

文部科学省 研究開発局 宇宙開発利用課

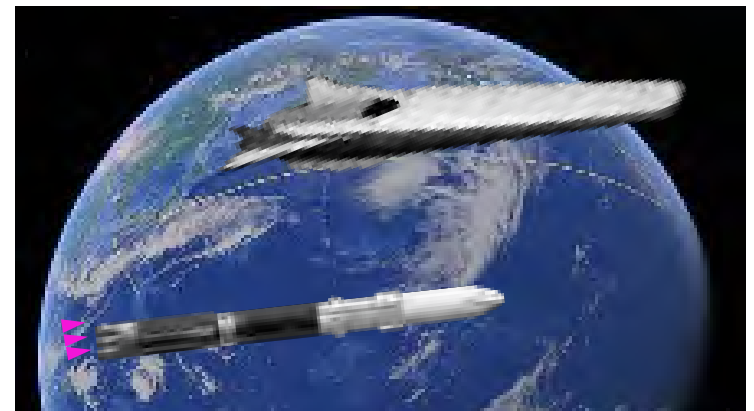


文部科学省

MEXT

MINISTRY OF EDUCATION,
CULTURE, SPORTS,

SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN



将来宇宙輸送システムの検討経緯

- 2014年4月：宇宙政策委員会において、2040年頃の再使用型宇宙輸送システムを含む「**宇宙輸送システム長期ビジョン**」を取りまとめ
- 2018年12月：宇宙基本計画工程表を改訂し、**再使用型宇宙輸送システムを実現するに当たっての課題（技術・コスト等）の検討**を行うこととされた。
- 2019年9月：文部科学省宇宙開発利用部会において、「将来宇宙輸送システム調査検討小委員会」を設置
- 2020年5月：抜本的な低コスト化等も含めて技術の革新による**革新的将来宇宙輸送システム**を実現することとされ、そのための**段階的な計画・道筋（ロードマップ）の策定に当たっての基本的な考え方**が示された。
- 2020年11月：文部科学省において、「革新的将来宇宙輸送システム実現に向けたロードマップ検討会」を設置
- 2021年6月：「革新的将来宇宙輸送システム実現に向けたロードマップ検討会」において、**中間取りまとめ。市場規模が大きく民間が関心を持つミッションにも適用できる将来宇宙輸送システム**の開発を国と民間が連携して取り組む必要があり、ミッションに応じて**二本立ての研究開発を進めていく**ことが示された。



革新的将来宇宙輸送システム実現に向けたロードマップ検討会中間取りまとめについて

1. 背景・経緯

- H3ロケット後や国際動向を見据え、抜本的な低コスト化を図る革新的将来宇宙輸送システム実現に向けたロードマップについて検討を行うため、2020年11月から2021年6月まで、有識者によるロードマップ検討会を10回開催。
- この検討成果の中間とりまとめを6月22日に公表。

2. 抜本的な低コスト化を中心とした将来宇宙輸送システムを日本が行う意義

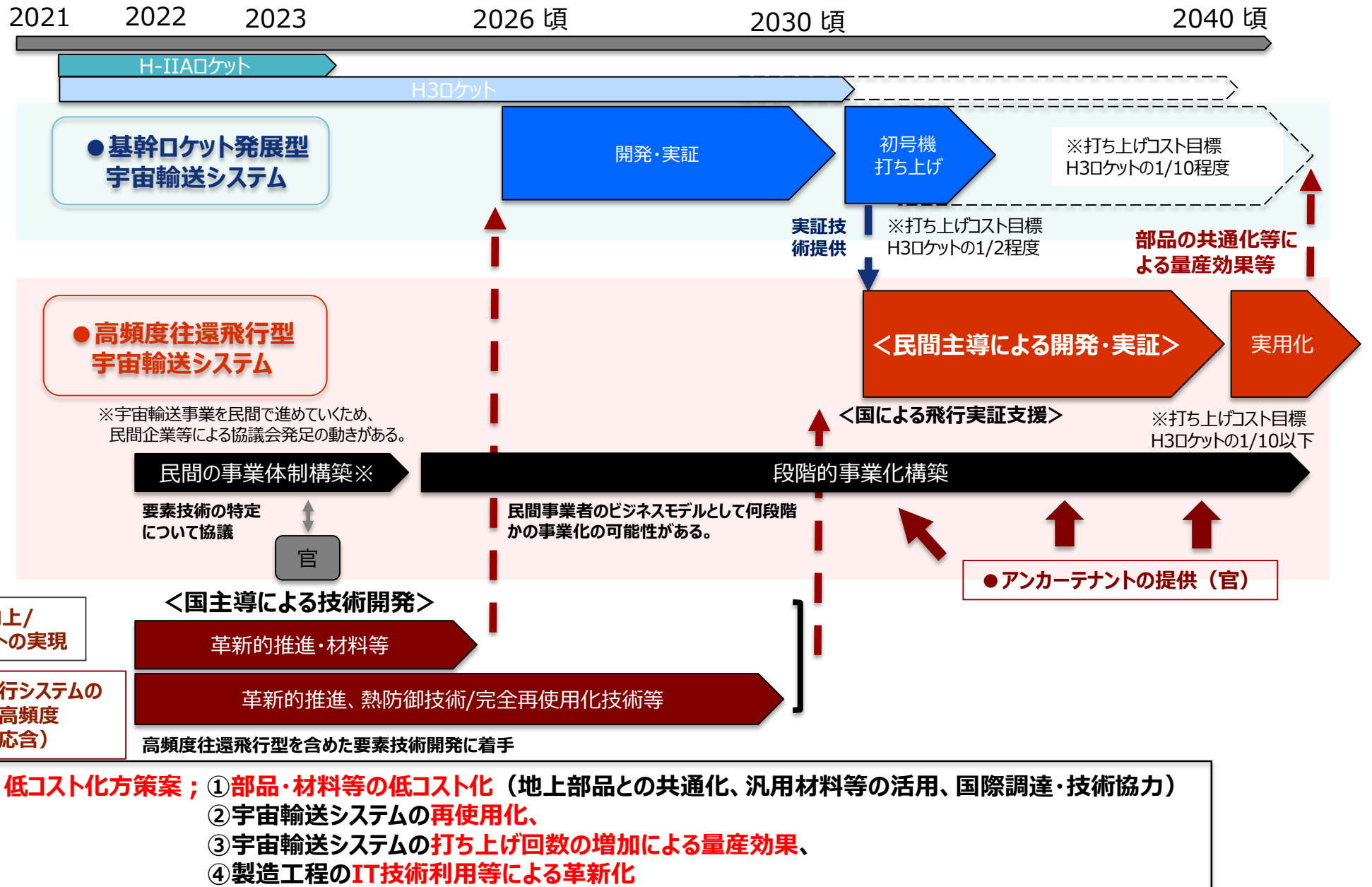
- スペースX等の台頭により、国際的な民間市場での競争は激化している。このような中で我が国において民間市場で競争力のあるロケットを作れなければ、我が国の宇宙輸送システムが民間市場より退出させられる恐れがあり、**我が国独自の打ち上げ手段を失い、自立的に宇宙にアクセスすることができなくなり、国益等が失われる可能性がある。**
- 一方、従来の延長線上の研究開発のみでは、抜本的な低コスト化を実現することは容易ではなく、**市場規模が大きく民間が関心を持つミッションにも適用できる将来宇宙輸送システムの開発を国と民間が連携して取り組む必要**がある。

3. 中間取りまとめのポイント

- 当面、打ち上げの抜本的な低コスト化を目指し、ミッションに応じて**二本立ての研究開発を進めていく。**
- 国は、低・静止軌道、月面等を対象としたミッション（安全保障等官ミッション含む）に対応するため、**2030年頃の初号機打ち上げを目指して大幅な低コスト化（H3の1/2程度を目標）を実現するための「基幹ロケット発展型」の開発**を進める。更に下記の「高頻度往還飛行型」で培われた技術の適用や部品の共通化、製造ラインの共通化により**抜本的な低コスト化（H3の1/10程度を目標）を図る。**
- 上記の形態ではカバーすることが困難な旅客飛行を伴う2地点間高速輸送等の高頻度打ち上げのニーズも取り込みながら、**抜本的な低コスト化（H3の1/10以下を想定）を実現する「高頻度往還飛行型宇宙輸送システム」に関する研究開発プロジェクト**を官民で新たに開始する。
- 高頻度往還飛行型宇宙輸送システムの**2040年代前半の実用機打ち上げ**を目標に、2025年頃までに、必要となる要素技術の絞り込みを行い、**2030年代始めに飛行実証**を行うことを目指す。



革新的将来宇宙輸送システムロードマップ



2040年頃の宇宙開発利用の状況予測

2040年頃の宇宙開発利用の状況予測 **(赤字は主に官ミッション)**

		行き先／ミッション		
		サブオービタル軌道	低・静止軌道	深宇宙 (月・火星)
輸送対象	有人	二地点間高速輸送※ 宇宙旅行	宇宙旅行	月経済圏 アルテミス計画 (国際協力)
	無人	二地点間高速輸送 微小重力環境実験	通信メガコンステ 地球観測 ISS活用* 軌道上サービス 安全保障/ 防災利用等	

* 2025年以降のISSを含む地球低軌道活動については、各国の検討状況を注視しつつ、その在り方について国/JAXAにて検討中。



民間における機運の高まり

▶ これまで宇宙輸送分野で活動していた企業にとどまらず、異業者からの参入も含め、将来の市場も見据えて、民間での活動が活発化している。

宇宙旅客輸送推進協議会（Space Liner Association）の発足

有人宇宙輸送の新しい体系の実現に向けて、サブオービタルの有人飛行、宇宙空間を利用した高速二地点間旅客輸送、低軌道における一般大衆の宇宙旅行等の大きなマーケットポテンシャルのある事業を民間主導のビジネスとして実行することのできる環境を作るために設立。協議会の理事には、**航空会社、銀行、コンサルタント会社からも加わっている。**

異業種からの宇宙分野への参入

本田技研工業が、「宇宙領域への挑戦」（2021年9月）を発表し、**若手技術者の発案による、燃焼・流体・制御・誘導技術等を応用した「再使用型の小型ロケット」の研究開発を行う。**

民間有人フライトの実現

●ヴァージン・ギャラクティック社

7月11日、宇宙船「スペースシップ2」が、母船「ホワイトナイト2」から空中で切り離され、高度約85 kmまで上昇する**有人試験飛行に成功。**

●ブルーオリジン社

7月20日、宇宙船「ニューシェパード」が打ち上げられ、顧客を乗せて宇宙空間に到達する**世界初の有人宇宙飛行に成功。**

●スペースX社

9月16日（日本時間）、宇宙船「クルードラゴン」が打ち上げられ、全乗員が民間人による**世界初の地球周回ツアー（3日間）に成功。**

民間によるスペースポート確保の動き

●兼松株式会社&シエラ・スペース社

シエラ・スペース社において、宇宙往還機「ドリームチェイサー」を先陣に次世代技術の関する取組を進めており、**大分空港を着陸拠点として活用するための検討を進めるパートナーシップを大分県と締結。**



将来宇宙輸送システム研究開発プログラム

令和4年度予算額：2,000百万円（176百万円）

- スペースXの台頭等宇宙輸送の国際的な競争の激化等を踏まえ、抜本的な低コスト化を実現し、継続的な我が国の宇宙輸送システムの自立性確保に加え、産業発展を目指した将来の国益確保と新たな宇宙輸送市場の形成・獲得に向け、抜本的な低コスト化等も含めて革新的技術による将来宇宙輸送システムの実現を目指し、官民共同で研究開発を実施する。
- 抜本的な低コスト化等を図る革新的将来宇宙輸送システムロードマップ（令和3年6月策定）に基づき、令和4年度からは、令和3年度から実施している事前研究を基に、「**基幹ロケット発展型**」及び民間主導による「**高頻度往還飛行型**」の二本立ての宇宙輸送システムの開発を開始する。

将来宇宙システムに必要な要素技術開発

①推進系、②軽量化、③再使用（耐久性）の観点にて、将来宇宙システムに必要な要素技術開発を実施

1. 民間企業の既存研究・アイデアを基にした官民共同研究

従来概念に囚われず広く民間企業の技術を募集し、性能向上・低コスト化のブレークスルー技術開発を実施。小規模なフェジビリティ研究を行い、成果が見込めるテーマは本格的な課題解決研究につなげる。

2. 革新的将来宇宙輸送システム実現に重要な技術開発

基幹ロケット開発技術によって培った技術を基に、機体の再使用化や大気圏中での推進系等、開発のキーとなり、現在技術成熟度が低く技術レベル向上まで時間が掛かるものから実施。

- 大型低コストタンク製造研究開発
- モジュラーエンジン研究開発
- 高頻度往還飛行型輸送システム実現に向けたロケット/ジェット複合エンジンの研究開発
- 空力加熱特性に関する実験研究

	官民共同研究テーマ例
①推進系	1. 極低温対応の複合材配管の実現に向けた研究 2. 熱交換器やバルブの軽量低コスト化の課題解決に関する研究
②軽量化	1. 極低温対応の複合材配管の実現に向けた研究(再掲) 2. 熱交換器やバルブの軽量低コスト化の課題解決に関する研究(再掲) 3. 着陸脚の展開/折り畳み機構の研究 4. 低コストかつ高耐熱の大型CFRP構造に向けたマトリクス樹脂材料の研究 5. 中温域(1000℃以下)への適用を想定した低コスト耐熱材の研究
③再使用(耐久性)	6. 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 7. 作業効率の改善に資するXR技術の研究 8. 高速計算ハードウェア、アルゴリズム等のソフトウェアの研究

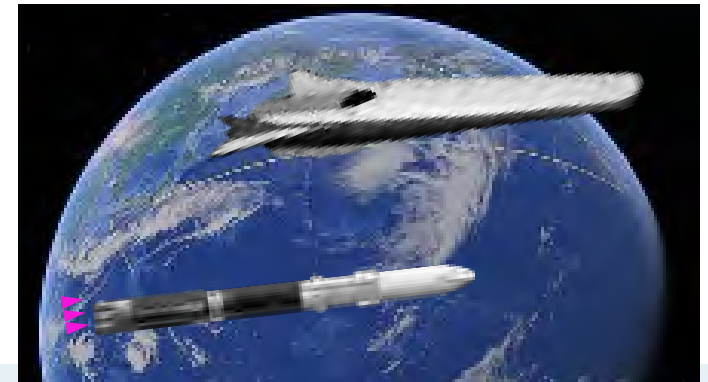
開発体制を支える環境の整備

1. 宇宙輸送事業実現・競争力強化に必要な技術研究・システム検討

宇宙輸送事業を実現し、競争力を強化するため、多様な顧客要求への対応と技術的成立性の両立を見極めるための設計ツールを開発。

- 輸送システム検討
- 新燃料安全基準検討
- システム総合シミュレーションのためのモデルベース設計評価基盤の整備

2. 官民共創推進系開発センターの整備



官民共同研究例

極低温対応の複合材配管の実現に向けた研究

■ 課題概要

- ・極低温推進薬を利用する宇宙輸送システムは耐圧要求の異なる配管を各所に多数設置しており、その総質量は推進薬を含めない機体質量の約1割を占める。このため、単位長さ当たりの配管質量を軽くし価格を安くすることができれば、宇宙輸送システムの軽量化と低コスト化を実現することができる。
- ・特に、革新的将来宇宙輸送システムは繰り返し使用を前提とするため、1 MPa程度の耐圧、220 K程度の熱サイクルに耐える必要がある。
- ・上述の使用環境に対して、単位長さ当たりの配管質量の軽量化や、配管構造を低コストに成形する技術研究に取り組む。

■ 研究目標

- ・まずは液体窒素温度(77 K)を対象に、供試体の製作と熱環境試験の実施により、適用性確認と課題抽出を行う。
- ・上記の結果を踏まえ、極低温対応の複合材配管の実用化と製造費低コスト化の研究開発計画(研究期間2年)の策定を目指す。

耐圧1 MPa以上 直径25.4 mm



供試体イメージ

再使用輸送機の構造健全性評価のための欠陥検出技術

■ 課題概要

- ・宇宙輸送費用を下げるためには、高頻度かつ多数回の打ち上げに応えていく必要があり、再使用するための機体整備期間を最小化しなければならない。宇宙輸送システムは部品点数が多く、機体サイズも大きいので、短時間で広範囲の欠陥検出を可能とする技術を獲得する必要がある。
- ・低コストな宇宙輸送システムの整備を実現することを目的に、低コストで短時間に広範囲の欠陥検出が可能な技術のフェジビリティ検討と、それをもとにしたシステム構成の検討に取り組む。

■ 研究目標

- ・欠陥検出手法の提案し、適用可能な材質・検出可能な欠陥種類/精度・検査範囲・検査時間・検査コスト等を要素試験/解析により評価する。
- ・提案検出手法の機体システムへの適用方法を検討する。



段階的な事業化と必要な技術レベル

- ▶ 2040年代前半の「高頻度往還飛行型宇宙輸送システム」実用化までは20年弱の期間が必要。
- ▶ 下表は、段階的な事業化に向けて、5年ごとに技術レベルの到達点を定める場合に想定されるマイルストーンの例。
- ▶ 政府としても技術レベルに伴うアンカーテナンシーを用意することで、民間事業者の事業予見性を向上。
- ▶ アンカーテナンシーや段階的な事業化により、2040年を待たずとも低コスト化した宇宙アクセス手段を活用する機会を創出。

2026年頃	2030年頃	2035年頃	2040年頃
<p>(予想される事業例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・小型衛星コンステの打ち上げ ・微小重力環境実験や軌道上サービス実証の機会提供 <p>(必要な技術レベル)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 打ち上げ能力 <p>ペイロード：○ kg 高度：SSO○ km</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 打ち上げ価格 <p>1回当たり○億円</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 再使用 <p>部分再使用</p>	<p>(予想される事業例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・サブオービタルや低軌道の短期宇宙旅行 ・低軌道への大規模輸送 <p>(必要な技術レベル)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 打ち上げ能力 <p>ペイロード：宇宙船（○名規模） 高度：○ km（地球周回軌道）</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 打ち上げ価格 <p>1回当たり○億円</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 再使用 <p>全機再使用</p>	<p>(予想される事業例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・サブオービタルや低軌道の長期宇宙旅行 ・無人P2P <p>(必要な技術レベル)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 打ち上げ能力 <p>ペイロード：宇宙船（○名規模） 高度：○ km（地球周回軌道）</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 打ち上げ価格 <p>乗員1人当たり○億円</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 再使用 <p>全機再使用週○回ペース</p>	<p>(予想される事業例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・有人P2P ・軌道上サービス等の本格的な事業化 <p>(必要な技術レベル)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 日に1回ペースで繰り返して打ち上げ可能な宇宙機



研究開発体制を支える環境整備

- ▶ 技術レベルに応じて、研究開発体制を支える環境の整備も必要。
- ▶ 研究開発の進捗に遅れないよう、政府としても必要な環境整備について引き続き検討。

環境整備に関する課題の観点例

(法令事項等)

- ・飛行実験/実証を高頻度を実施するための手続緩和
- ・宇宙機の航行安全等を図る法令
- ・ｽﾊﾟｰｽﾎﾟｰﾄの設置基準を定める法令
- ・再突入の許認可
- ・有人飛行の許認可や事故の責任区分
- ・宇宙機に搭乗する資格/医学的基準
- ・宇宙機を操縦/整備する資格
- ・安全運航管理する資格
- ・高頻度大量輸送の国際的なルール

(射場/ｽﾊﾟｰｽﾎﾟｰﾄ等)

- ・高頻度の打ち上げ可能な射場/スペースポート及び設備
- ・宇宙機の帰還に十分な場所（海上含む）
- ・高頻度の再使用に十分な整備設備及びシステム

