

資料9-2

研究開発局宇宙開発利用課
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
(第9回) R3. 5. 12

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（案）概要

令和3年5月12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

目次

1. 抜本的低コスト化を中心とした将来宇宙輸送システム開発を日本が行う意義
2. 2040年台前半の社会ビジョンを踏まえての2040年代前半に想定される将来宇宙輸送システムのミッション
3. 将来宇宙輸送システムのミッションと飛行形態の適合性
4. 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
5. 将来宇宙輸送システムに必須となる抜本的低コスト化の方策
6. ロードマップ検討会での引き続きの検討課題



1. 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開発を日本が行う意義

● 将来宇宙輸送システムの開発に挑む意義、必要性

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コスト競争力のあるロケットが作れなければ、市場発展性の少ない官ミッションのみに対応したコストの高いロケットを調達して打上げを続けることになるか、あるいは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ことになり、我が国独自の打上げ手段を失い、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有る。

一方、従来の延長線上の研究開発のみでは、抜本的低コスト化を実現することは容易ではない。機体の量産効果等も得て低コスト化を実現するため、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る。**



2. 2040年台前半の社会ビジョンを踏まえての2040年代前半に想定される 将来宇宙輸送システムのミッション – 社会ビジョン –

● 2040年代前半に想定される社会ビジョン

・我が国で2040年代までに生じる大きな社会様相の変化として、人口の減少・高齢化の進行等が見込まれる。他方、世界人口は、現在の約78億人が92億人に増加する見込みであり、**日本の人口は減少する一方で、世界の人口は増大していく**ことから、拡大していく人口に伴う、経済的発展、新たな民間サービスが現れてくることを留意すべきである。

・2040年の社会イメージについては、文部科学省科学技術・学術政策研究所が第11回「科学技術予測調査」を実施しており、「令和2年版科学技術白書」に紹介されている。宇宙に関連のある可能性が高い予測としては、インフラとしての宇宙（地球観測・測位・通信等）を活用したアプリケーションとして、**準天頂・地上観測衛星を活用したリアルタイムの災害リスク評価システム、IOTを利用した精密農業の普及、場所を限定せず操作できる自動運転システム等**があり、宇宙が生活、産業を支えるインフラとしてますます活用されていることが予測されている。

・世界を取りまく変化としては、2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、カーボンニュートラル、脱炭素社会への対応である。我が国をはじめ主要国において、2050年頃のカーボンニュートラルを表明する国はあるが、世界的な人口が引き続き増大し、エネルギーの消費量が上昇する中、2050年のカーボンニュートラル達成は地上のみを考慮しては容易な課題ではない。**カーボンニュートラルに資する取り組みが宇宙空間においても実施**される可能性がある。



2. 2040年台前半の社会ビジョンを踏まえての2040年代前半に想定される 将来宇宙輸送システムのミッション – 将来市場予測 –

表2.1 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・火星経済圏 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 ISS活用 軌道上サービス 安全保障／ 防災利用等	



2. 2040年台前半の社会ビジョンを踏まえての2040年代前半に想定される 将来宇宙輸送システムのミッション – 詳細(1/3) –

- 2040年代前半に想定される将来宇宙輸送システムのミッションについて
(市場規模は「Northern Sky Research 2019」等を参照)

・サブオービタル軌道

(二地点間高速輸送)

2040年に向けて、高頻度輸送を実現するために、最も輸送量が見込める市場の1つである。
年間5.2兆円の市場規模(我が国発着ベース)となる可能性がある。

(宇宙旅行)

現在、世界的に民間によるサブオービタル宇宙旅行の事業創出が盛んであるが、低軌道宇宙旅行も今後の成長が期待される市場である。サブオービタルの宇宙旅行で年間8,800フライト、地球低軌道の宇宙旅行で年間21フライトという市場概況が予測される。

(微小重力環境実験)

現在、航空機あるいは観測ロケットにより微小重力環境で特徴のある物質、材料等の製造による新市場は見込まれるが、2040年ごろの市場規模を予測することは現時点では困難である。



2. 2040年台前半の社会ビジョンを踏まえての2040年代前半に想定される 将来宇宙輸送システムのミッション – 詳細(2/3) –

(市場規模は「Northern Sky Research 2019」等を参照)

・低・静止軌道

(低軌道における通信・状況把握・地球観測・メガコンステレーション等)

メガコンステレーションを筆頭に、今後成長が期待される市場である。低・中低軌道市場は、約1兆円の市場規模になることが見込まれる。

(静止軌道における通信・状況把握・地球観測)

静止軌道における通信・状況把握・地球観測等の市場は年間4,000～5,000億円程度の見込み。

(ISS活用)

これまでの軌道上技術実証、科学実証から2030年頃迄は将来探査を視野に入れた高度な戦略的技術の実証、民間主体による研究開発利用等へのISS活用の拡大が想定される。

(軌道上サービス)

デブリ除去、衛星デオービット、衛星検査ロボティクス、衛星寿命延長、衛星燃料補給等の軌道上サービス市場 (宇宙太陽光発電を含む) は、今後の成長が見込まれる市場である。

(安全保障、防災利用等)

安全保障や防災利用等においても、衛星データの需要の増大等により、打上げの需要が高まる見込み。国の存続、国民生活にとって影響が大きい分野であり、低・静止軌道にかけて官ミッションとして確実に実施する必要があり、増加することが期待される。



2. 2040年台前半の社会ビジョンを踏まえての2040年代前半に想定される 将来宇宙輸送システムのミッション – 詳細(3/3) –

・深宇宙（月・火星）

（月・火星経済圏）

2040年に向けて、高頻度輸送を実現するために、最も輸送量が見込める市場の1つである。 2040年ごろの月面においては、1,000人が居住し、年間10,000人が月面を訪問すると想定されている。（第4回ロードマップ検討会でのiSpace社発表内容による） また、有人与圧ローバ等さまざまな設備の輸送も予測され、2兆円程度の市場規模となる可能性がある。

（アルテミス計画／国際協力）

宇宙科学・探査及びアルテミス計画等の深宇宙探査については、国際協力に基づくものでもあり官ミッションとして確実に実施する必要がある。 今後も火星等の探査が本格化するため需要が高まってくることが考えられ、市場規模が増加することが期待される。



3. 将来宇宙輸送システムのミッションと飛行形態の適合性

- 「**ロケット形態**」(システムA等) ;

将来の宇宙利用市場(サブオービタル宇宙旅行ミッションを含む)の**大部分の要求に対応**できる形態であり、また現在のH-2A、H3ロケットの開発方式/技術要素の蓄積を最大限利用できるものであり、**大量物資の軌道上輸送に適している**。(但し、有人輸送を想定する二地点間高速輸送等の用途への対応には2段目の再使用化等の課題がある)

- 「**有翼形態**」(システムB等) ;

空力翼を有した形態であるため**水平離陸・着陸**といった航空機的飛行運用方式が可能となる。従って、**旅客飛行を伴う二地点間高速輸送等の用途への対応には効果的な形態**といえる。但し、**軌道上への輸送には「2段目(上段)ロケット」の追加が必要**。また必要技術である推進系技術(スクラムジェットエンジン等)、熱防衛技術の**技術成熟度(TRL; Technology Readiness Level)が低い**ため実用化までには、期間を要する。

- 「**併用形態(ロケット+2段目有翼)**」(システムC等) ;

システムAの派生型で二地点間高速輸送、サブオービタル飛行を含むあらゆるミッションに対応が可能であり、**「2段目(上段)」を有翼形態とすることで地上帰還/再使用が容易となり旅客輸送を伴う二地点間高速輸送等の用途への対応も可能**にしている。但し、必要技術の**技術成熟度(TRL)が低い**ため、システムB同様に実用化までには期間を要する。

将来の宇宙利用市場ニーズに基づき大まかな評価検討から、**軌道上/深宇宙ミッション等には従来の基幹ロケット発展型である「ロケット形態」(システムA等)の実用化を進めること**により今後の宇宙システムに必要な共通基盤技術の実用化を図ることが妥当。並行して、国は今後の**大市場が予測される二地点間高速輸送用途等に対応できるよう、固有の革新的技術等の獲得を図り、その上で、「有翼形態」「併用形態」(システムB, C等)の民間主体の開発**につなげていく。



表 将来宇宙輸送システムの飛行形態案の特徴

システム	システムA: ロケット形態(2段式)	システムB: 有翼形態(2段式)	システムC: 併用形態(2段式)
機体イメージ			
	<p>●システムA (2段式) ロケット形態 (1段目再使用)</p>	<p>●システムB (2段式) 有翼形態 (1段目再使用)</p>	<p>●システムC (2段式) ハイブリッド形態 (ロケット+2段目有翼) (1/2段目再使用)</p>
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・サブオービタルを含む大部分のミッションに対応可能(深宇宙への輸送が可能) ・搭載輸送能力が大きい(大型化が相対的に容易) ・開発の知見/関連技術の蓄積がある ・有人輸送の可能性(有人カプセル輸送など海外での実績あり) 	<ul style="list-style-type: none"> ・二地点間高速輸送に最適 ・空港など地上インフラの共用が可能 ・推進剤(酸化剤)を減らせるため、機体軽量化が可能 ・有人輸送の可能性(航空機運用技術が使用できる) 	<ul style="list-style-type: none"> ・二地点間高速輸送、サブオービタルを含むあらゆるミッションに対応可能(深宇宙への輸送が可能) ・ロケット部分は開発の知見/関連技術の蓄積がある(上段部分は技術成熟度低) ・有人輸送の可能性
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ・射点が限定的 ・機体の軽量化、エンジン高性能化が必要 ・海上回収などの新規設備・維持 ・二地点間高速輸送には対応できない 	<ul style="list-style-type: none"> ・単独での大型建造物の軌道上輸送や深宇宙への輸送は困難(現実的な機体サイズを超え、長距離の発着場が必要になる) ・現時点で、主要技術(エンジン・熱構造)の技術成熟度が低い(航空分野との融合が必要) 	<ul style="list-style-type: none"> ・搭載輸送能力がロケット形態に比べ相対的に低い(大型化が相対的に容易) ・現時点で、上段再使用に係る主要技術(軽量熱構造、再突入誘導)の技術成熟度が低い



4. 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

- 当面、打上げの抜本的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（官ミッション（安全保障、防災、アルテミス計画等）含む）に対応するため、2030年頃の初号機打上げを目指して大幅な低コスト化（H3ロケットの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。なお、今後の技術獲得状況等を踏まえ、ロードマップの前倒しについても柔軟に検討する。更に、以下に示す民間主導による「高頻度往還飛行型宇宙輸送システム」との部品等の共通化による量産効果や完全再使用化等により抜本的なコスト低減（H3ロケットの1/10程度を目標）を2040年代前半に図る。
- 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宇宙旅行、二地点間高速輸送等の将来の大型市場の確保により抜本的低コスト化（H3ロケットの1/10以下を想定）を2040年代前半に実現する「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。
- 当該新規プロジェクトの実施に当たっては、民間で開発体制が構築されることが不可欠であり、早期に計画を開始するためにも、将来の二地点間高速輸送事業化等を含めた宇宙輸送事業を進めるための民間の幅広い関係者の集まりである「宇宙旅客輸送推進協議会」が発足予定であり、民間での実施機運が高まっていることも踏まえて、数年以内に民間中心の開発体制構築を目指す。
- 新規開発を進めるにあたり、キーとなる技術であり、民間だけでは開発できない下記要素技術※を官民の共創体制で特定し、JAXAにおいてその研究開発を実施する。

※革新的推進技術（エアブリージングエンジン等）、熱防御技術／完全再使用化技術、性能向上技術、低コスト化技術等



4. 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

- **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年代始めに民間主導で飛行実証**を目指せるように必要な支援を行う。（事業化まで時間が掛かることから）要素技術の獲得状況等も踏まえ、**高頻度往還飛行型宇宙輸送システムの開発プロジェクトの進捗について5年毎に文部科学省によるレビューを行い**、継続するか否かを含め研究開発計画、官民の役割分担等の見直しを行う。
- 開発を担う民間事業者に事業予見性を持たせるために、国として支援の取組を検討することが必要であると考えられる。
- 国は民間での高頻度往還飛行型宇宙輸送システム事業化に先立って、**有人飛行実施に際しての安全規制・法制度等の対応**検討を進めておく。



(参考) 革新的将来宇宙輸送プログラム オープンイノベーションによる共創体制

文部科学省

革新的将来宇宙輸送システム
の計画・進捗報告

将来宇宙輸送システム
実現に向けたロードマップ
の提示・進捗管理

※実用システムの目標形態(ゴール)、実現時期や国民の役割の在り方を明示しつつ、研究開発の発展に応じた段階的な計画・道筋(ロードマップ)

革新的将来宇宙輸送プログラム(JAXA)

- ・安全保障、防災利用や宇宙探査といった将来の政策ニーズへの対応や高速二地点間輸送、低軌道輸送等の将来の大きな需要を生み出す発展性と可能性のある市場形成と一体となり、利用形態や市場主導で将来のあるべき事業形態を目指す
- ・自立性確保や将来の宇宙開発利用の飛躍的拡大に向け、抜本的低コスト化等を実現する革新的技術をはじめとして国が革新的で基盤的な研究開発を先導
- ・非宇宙分野など幅広く革新的将来宇宙輸送システムに必要な最新の知見・技術を取得し、また、研究開発を通じて得られた最新の知見・技術等を民間事業者や非宇宙分野の関係者へ移転して活用・波及(オープンイノベーションによる共創体制)

①革新輸送としてリファレンスシステム設定・必要技術識別

政策ニーズ・市場調査の要求分析

リファレンスシステム検討

リファレンスシステムの
設定(維持更新)

RFI/民間
等個別調査
インプット

個別技術ロードマップ作成・維持

- ・スタートアップではRFI/個別技術ロードマップの作成を並行して実施
- ・システム・飛行実証計画含む

②オープンイノベーションによる共創体制

- ・地上に市場がある技術(非宇宙企業が研究開発)の需要や低コスト性を生かしつつ研究開発によりスピニン、低コスト化促進
- ・宇宙輸送特有の高信頼性・厳しい環境条件など付加し、宇宙輸送事業者・非宇宙市場分野にスピアウトし、市場価値向上

宇宙輸送事業者の要望集約
(基幹ロケット、ベンチャー)

RFP要請

JAXAキー技術・差別化技術
安全保障関連技術含む

RFP選定委員会※：個別案件の公募・選定(年数回)

共同研究開発(オープンイノベーション)

共同研究開発(宇宙輸送事業者とクローズドイノベーション)

知財は原則非独占、但し自社投資は除く

※RFP選定委員会

外部有識者…宇宙輸送システム・技術の専門家
オープンイノベーションの外部専門アドバイザー(金融、コンサル他)
…地上ビジネスの活性化・デュアルユーティリゼーションの視点

研究開発成果により反映

③JAXA共同研究開発/システム・飛行実証

- ・オープンイノベーションの成果を活用したシステム・飛行実証
- ・連携する宇宙輸送事業者を明確化

地上市場への付加価値追加、需要拡大へ
(地上市場の需要増加による部品・機器コスト低減)

自立性を確保した
宇宙輸送事業の開発

5. 将来宇宙輸送システムに必須となる抜本的低コスト化の方策

(1) 部品・材料等の低コスト化（地上部品との共通化、汎用材料等の活用、国際調達・技術協力）

- ・設計仕様を従来の宇宙仕様からJIS仕様など需要の多い民間市場仕様に変更
- ・材料、機器等宇宙輸送システムに共通的な製品に関しては、海外企業との製品の共同調達等

(2) 宇宙輸送システムの再使用化（図1参照）

- ・機体システムの再使用化により、新規製造を最小限にすることでコスト削減
- ・更なる費用削減のための新規品製造費、打上げ費、再使用品等の整備費の削減等

(3) 宇宙輸送システムの打上げ回数の増加による量産効果（図2参照）

- ・製品の大量生産に伴う量産効果は、①固定費の割掛け減少効果、②習熟度向上による製造費低減、③大量生産に伴う製造設備大規模化、装置ノウハウに基づく製造の自動化、効率化等

(4) 製造工程のIT技術利用等による革新化

- ・3Dプリント技術／デジタルツイン技術により設計・製造のプロセスの効率化、低コスト化の実現
- ・モデルベース開発による実試験、検査工程の省力化等で低コスト製品の実現

図1 ロケット形態での目標価格と再使用回数
(H3ロケット相当LEO=15トン)

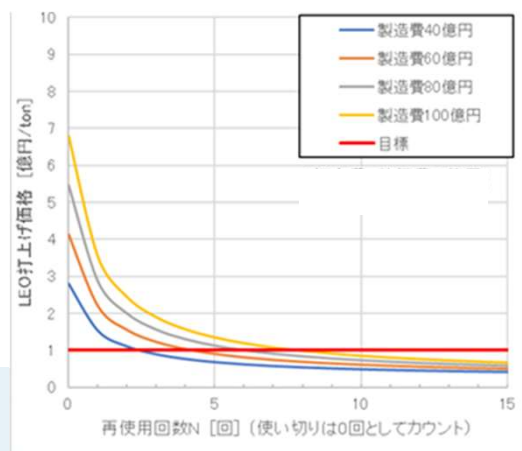
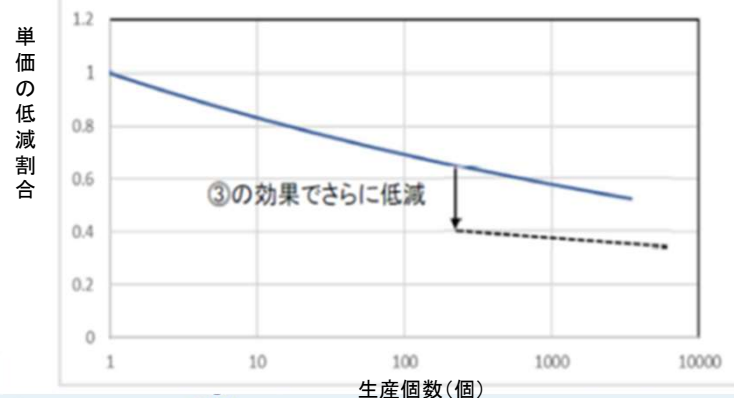


図2 量産による経験曲線-単位コスト



6. ロードマップ検討会での引き続きの検討課題

引き続き検討が必要と考えられる事項は以下の通り。

(1) 官民の役割分担

- ・「高頻度往還飛行型宇宙輸送システム」を官民で進めていくための、官民の協議体制、官の支援方策等
- ・国と民間の研究開発の分担（知財の持ち方にも係る）
- ・我が国の宇宙輸送の自立性確保のために、国が責任を負うべきキー技術の維持方策
- ・機体システム以外のシステム（地上施設設備・打上安全管理）の主体、役割分担

(2) 射場・スペースポート

(3) 制度的障壁（法律・条約事項等）

(4) 国際協業の在り方

