

「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」中間取りまとめ概要

令和3年6月28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

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はかる「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」について昨年11月から本年6月迄、有識者によるロードマップ検討会を計10回開催。本書は、その中間取りまとめ概要である。

目次

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
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ミッション
3. 将来宇宙輸送システム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. 革新的将来宇宙輸送システムに必須となる抜本的な低コスト化の方策
6. 本検討会での引き続きの検討事項



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

● 革新的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社等の台頭により、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抜本的な低コスト化を図り民間市場でコスト競争力のあるロケットを作ることができなければ、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国は調達して打上げを続けることになる。あるいは我が国の宇宙輸送システムが民間市場から退出させられることにより、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、経済的な利益が失われる可能性がある。

また、抜本的な低コスト化が実現することにより、宇宙へのアクセスが容易になれば、今以上に宇宙のプレイヤーが拡大し、宇宙利用の幅が拡大することが見込まれる。

一方、従来の延長線上の研究開発だけでは、抜本的な低コスト化を実現することは容易ではない。機体の量産効果や、製造ラインの共通化等により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**革新的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。

・世界を取り巻く変化としては、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がある。

世界的な人口が引き続き増加し、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の達成は地上のみを考慮しては容易な課題ではない。今後、宇宙輸送システムが抜本的に低コスト化し、宇宙利用が拡大することにより、**カーボンニュートラルの達成に貢献する技術革新が生まれることが期待できる。**



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。



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。
我が国発着ベースで年間5.2兆円の市場規模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・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。低軌道市場は、グローバルで約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・宇宙状況把握・地球観測)

静止軌道における通信・宇宙状況把握・地球観測等のグローバル市場は年間4,000～5,000億円程度の見込み。

(ISS活用)

2025年以降のISSを含む地球低軌道活動については、各国の検討状況も注視しつつ、これまでの軌道上技術実証、科学実験に加えて、将来の宇宙探査を視野に入れた高度な戦略的技術の実証や民間主体による研究開発利用等への利用拡大の状況等を踏まえて、国/JAXAにてその在り方について検討中である。

(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る、増加することが想定される。



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ミッション – 詳細(3/3) –

・深宇宙

(宇宙科学・探査及びアルテミス計画／国際協力)

宇宙科学・探査及び国際協力に基づくアルテミス計画等の深宇宙探査については、我が国の国際社会におけるプレゼンス向上等に貢献するものであり、官ミッションとして確実に実施する必要がある。今後も月・月以遠（火星等）の探査活動に向けて、需要が高まってくることが考えられ、利用規模が増加することが想定される。

(商業月経済圏)

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。



3. 将来宇宙輸送システム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/2B、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、旅客飛行を伴う二地点間高速輸送等用途への対応には2段目の再使用化等の技術課題がある)

- 「**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、**軌道上への輸送のためには「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、期間を要すると想定される。

- 「**併用形態(ロケット+2段目有翼)**」(システムC等) ;

システムA等の派生型で**「2段目(上段)」を有翼形態とすることで地上帰還/再使用化が容易となり旅客輸送を想定する二地点間高速輸送、サブオービタル宇宙旅行等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と想定される。

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**大型市場が予測される二地点間高速輸送、宇宙旅行用途等の高頻度打上げに対応できるよう、固有の革新的技術等の獲得**を図り、その上で、**高頻度往還飛行が可能な「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) 併用形態 (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 ・有人輸送の実現可能性あり(有人カプセル輸送など海外での実績あり) 	<ul style="list-style-type: none"> ・2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 ・有人輸送の実現可能性あり(航空機運用技術が使用できる) 	<ul style="list-style-type: none"> ・2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) ・有人輸送の実現可能性あり
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 ・2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タイプに比べ相対的に低い(但し、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

●二本立ての研究開発の推進（1/3）

- これまでの内容を踏まえ、ロードマップ作成に当たっては、**以下の通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。**
- 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、防災利用、アルテミス計画等）を含む）に対応するために、これまでのH-IIA/B、H3ロケットでの開発・運用で培われた技術も継承し、**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「基幹ロケット発展型宇宙輸送システム」**の開発を進める。なお、今後の技術獲得状況等を踏まえ、初号機打上げ時期の前倒しについても柔軟に検討する。
- 更に、民間主導で開発される下記「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全段の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。**



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

●二本立ての研究開発の推進（2/3）

- 並行して、上記の飛行形態ではカバーすることが困難な旅客飛行を伴う民間ミッションである宇宙旅行、二地点間高速輸送等の将来の大型市場を確保するために、宇宙輸送システムの**高頻度使用、機体の大量生産や製造ラインの共通化等により抜本的な低コスト化（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、民間による宇宙輸送事業化を推進するための民間企業等による協議会が本年5月に発足しており、この民間での事業化実施機運の高まりを踏まえて、早期に輸送システム開発計画を開始するためにも**数年以内に民間中心の事業体制構築**を目指す。



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

●二本立ての研究開発の推進（3/3）

- 「高頻度往還飛行型宇宙輸送システム」として、どのような飛行形態を選択するかは、民間事業者のビジネスモデル次第（サブオービタル宇宙旅行／軌道上宇宙旅行／二地点間高速輸送等）である。国は民間事業者と協議を行い、**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、JAXAにおいてその研究開発を実証飛行に必要な技術レベルまで高めていくように進める。その後引き続き2030年代初めに民間主導での飛行実証を目指せるように必要な支援を行う。**

※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、高頻度輸送技術、性能向上技術、低コスト化技術等

- 二地点間高速輸送等は事業化までに時間がかかることから要素技術の獲得状況、市場環境等も踏まえ、「高頻度往還飛行型宇宙輸送システム」の研究開発プロジェクトの進捗について市場環境を踏まえて、**適切なマイルストーン毎に文部科学省によるレビューを行い、研究開発計画、官民の役割分担等の見直しを行う。**
- 同時に、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、**有人飛行実施等に際しての我が国の安全規制・法制度等の対応について検討を進めておく。**



5. 将来宇宙輸送システムに必須となる抜本的な低コスト化の方策

(1) 部品・材料等の低コスト化（地上部品・汎用材料等の適用、国際共同調達・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大量生産に伴う量産効果（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)

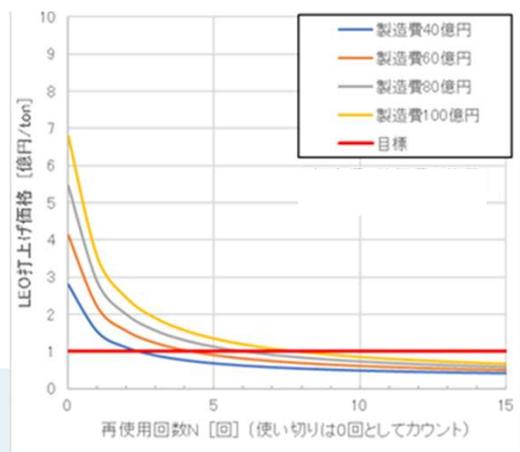
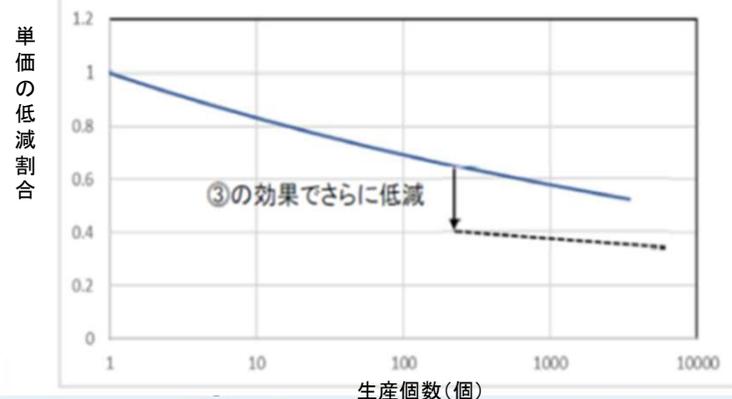


図2 量産による経験曲線-単位コスト



6. 本検討会での引き続きの検討事項

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」の開発を官民共同で推進していくための、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（知財の持ち方に係るものを含む。）
- ・これまでの我が国の宇宙開発で、JAXAや民間の培われた技術や知見などの効率的活用のための仕組みづくり
- ・開発を担う民間事業者の選定方法
- ・我が国の宇宙輸送システム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
- ・機体以外のシステム（地上施設設備・打上安全管理）の開発、運用主体と役割分担

(2) 射場・スペースポート

(3) 制度的障壁（法律・条約事項、型式証明要否等）

(4) 国際協業の在り方

(5) 利用ミッション動向を含む将来市場環境及び宇宙輸送事業者に関する継続的な分析・評価

