

再使用型宇宙輸送システムを含む 将来宇宙輸送システムの検討状況について

令和2年3月10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調査検討小委員会について

1. 将来宇宙輸送システム調査検討小委員会

宇宙基本計画工程表（平成30年度改訂）を踏まえ、昨年9月26日、文部科学省 科学技術・学術審議会 宇宙開発利用部会（部会長：白石隆 熊本県立大学理事長）に表記小委員会を設置。令和2年1月15日の第1回会合を含め、3回開催。

2. 主な検討事項

- (1) 再使用型宇宙輸送システムを含む将来宇宙輸送システムの考え方について
- (2) 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）について
- (3) 国内外の将来宇宙輸送システム研究開発動向について
- (4) その他

3. 構成員（◎；主査、○主査代理）

有田 誠	JAXA H3プロジェクトチームサブマネージャ	石井 由梨佳	防衛大学校人文社会科学群准教授
石田 真康	A.T.カーニー株式会社 プリンシパル	稲川 貴大	インターステラテクノロジズ社代表取締役社長
◎遠藤 守	日本宇宙少年団専務理事	大貫 美鈴	スペースアクセス株式会社代表取締役
神武 直彦	慶應義塾大学システムデザイン・マネジメント研究科教授	齊藤 靖博	JAXA研究開発部門CALLISTOチーム副チーム長
竹森 祐樹	日本政策投資銀行イノベーション推進室長 兼 担当部長	○永田 晴紀	北海道大学工学研究院機械宇宙工学部門教授、 副研究院長
中村 裕子	東京大学スカイフロンティア社会連携講座 特任准教授	野口 裕一	I H I エアロスペース宇宙輸送システム技術部主査
野中 聡	JAXA宇宙科学研究所宇宙飛翔工学研究系准教授	兵頭 翔洋	三菱重工業宇宙事業部技術部計画課主任
松尾 亜紀子	慶應義塾大学理工学部教授	山崎 直子	スペースポートジャパン代表理事

第1回（1月15日）

- 将来宇宙輸送システム調査検討小委員会について（設置目的、委員名簿等）（文科省【事務局】）
- 我が国の宇宙輸送に係る国内の主要動向について（JAXA、内閣府、事務局、稲川委員、SpaceOne、山崎委員）
- 将来宇宙輸送システム調査検討小委員会における検討項目素案について（事務局）

第2回（1月30日）

- 宇宙輸送に係る国外の主要動向について（JAXA）
- 宇宙輸送コミュニティにおける次の目標設定の議論及び提言について（稲谷JAXA特別参与）
- 将来の宇宙利用の動向（事務局、石田委員、兵頭委員、野口委員、JAXA）
- 将来宇宙輸送システム調査検討小委員会における検討項目について（事務局）

第3回（2月14日）

- 宇宙輸送システムと宇宙産業について（経産省）
- 防衛省の宇宙分野における取組（防衛省）
- 宇宙輸送系の取り巻く状況と将来に向けた今後の取り組みについて（JAXA）
- 将来宇宙輸送システム調査検討小委員会の議論の方向性について（事務局）

小委員会の議論状況

(主な内容等：背景)

1. 世界的な宇宙開発利用と関連産業の拡大、また、戦略的な空間としての宇宙領域の重要性が高まる中で、宇宙輸送システムはあらゆる宇宙活動の根幹であり、その自立性確保が引き続き重要。
2. H-IIA/Bロケット・イプシロンロケットの運用、H3ロケット開発等を推進するとともに、再使用型宇宙輸送技術の国際共同実証に向けた取組を推進。これらを通じ、我が国の宇宙輸送システムを担う研究者・技術者等の経験・知見が蓄積。
3. 近年、小型衛星を用いたメガコンステレーション、深宇宙探査、また、宇宙旅行、高速二地点間輸送等の様々な宇宙利用や宇宙輸送ビジネスの可能性の出現等の一方、デブリといった宇宙環境は悪化し、世界的な打上げ市場環境は激変。国内においても市場獲得に向けた民間事業者による様々な宇宙輸送サービスに向けた取組が活性化。
4. 各国でも基幹ロケットシステムの維持・発展に努め、価格戦略を含めて打上げサービスの国際競争は更に激化。特に海外の民間では、市場形成と一体化した宇宙輸送システム開発が進行。また、各国においても宇宙輸送システム技術基盤の充実・強化と将来市場の獲得に向け、最先端技術を踏まえながら、再使用型宇宙輸送システムを含む将来宇宙輸送システムの実現に向けた様々な研究開発を推進。
5. 宇宙輸送システムの自立性確保には官民の役割分担の下、政策提示、リスクの高い研究開発、産業・人的・設備基盤の充実、市場獲得支援等の国の適切な関与が必要。あわせて、基幹ロケットを含む宇宙輸送システムに関する技術基盤を継承し、発展させていくためには、将来拡大が期待される市場獲得を企図した経済的な自立性にもつながる革新的将来宇宙輸送システムを目指していく必要。

1. 基幹ロケットの維持・強化

H-IIA/Bロケット、イプシロンロケット及びH3ロケットといった基幹ロケットについて、宇宙開発利用の拡大や宇宙環境の変化に対応した技術の高度化、産業・人的・設備基盤、関連インフラの維持を行う。これらを継承・強化させ、その関連技術を将来の宇宙輸送システムへ発展させる。

2. 革新的将来宇宙輸送システムの実現

将来の政策ニーズへの対応や宇宙市場の形成を見据え、利用形態や市場主導でバックキャストしつつ、必要となる将来の革新的宇宙輸送システム技術の実現を民間事業者とともに目指すべき。そのとき、自立性確保や将来の宇宙開発利用の飛躍的拡大に向け、抜本的低コスト化を実現する技術をはじめとして国が革新的な研究開発を先導する。

- ① 「宇宙輸送システム長期ビジョン」（平成26年4月宇宙政策委員会）を踏まえ、再使用宇宙輸送技術を含む革新的将来宇宙輸送システム技術の実現に向けた複数の研究開発課題を設定し、それぞれの技術的成立性、コスト見通し、我が国としての優位性、将来の拡張性等の観点に基づき、選択と集中を図りつつ、進捗管理（ステージゲート審査）を実施。
- ② 運用システム全体を俯瞰し非宇宙分野を含む最新の知見・技術を取り入れながら挑戦すべき技術候補を明確化。
（実用システムを前提として考えられる個別技術の例）再使用型熱防御技術、革新的高性能エンジン（エアブリージング、LNG推進等）、新材料・構造超軽量化技術、自動ヘルスマネジメント技術、モジュール化、ものづくり工程/多量生産方式等の革新、ワイヤレス化、有人化に資する信頼性・安全性技術、運航管理技術 等
- ③ 実用システムの実現時期を明示し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）をシステムの実証計画を含めて国が中心となって民間事業者や大学等の関係者とともに検討・策定。
- ④ 非宇宙分野を含め、最新の知見・技術を獲得し、また、研究開発を通じて得られた知見・技術等を関連民間事業者や非宇宙分野の関係者へ移転して活用・波及させていくため、宇宙航空研究開発機構（JAXA）や宇宙輸送関連産業だけではない、ユーザーを含む幅広い産学官の主体の参画による共創体制を構築。
- ⑤ 技術マネジメントはJAXAを中心として推進し、研究開発政策の策定・推進について国が継続的に実施。

3. 宇宙輸送システム発展に向けての留意事項

- ① 関係省庁間の協力、官民の役割分担を実施。
 - ア) 官：社会実装に向けた制度整備・資金調達、方向性としてのロードマップのとりまとめ、産業・人的・設備基盤の充実、国内外との連携・協調
 - イ) 民：将来のユーザー、顧客の意図、行動を分析して新たな宇宙市場形成を目指し、資金調達を含め民間事業者中心のビジネスプラン策定・事業化と競争促進
- ② これまで蓄積してきた関連人材の着実な継承、革新的将来宇宙輸送システムの研究開発を通じた人的基盤強化。これらの人的基盤が民間事業者の活動へ貢献。大学等との連携について、宇宙科学コミュニティの機能を活用。

参 考

(参考1) 宇宙基本計画工程表(平成30年度版) 関連

(参考2) 「宇宙輸送システム長期ビジョン」(平成26年4月宇宙政策委員会) 関連

(参考3) 将来宇宙輸送システム調査検討小委員会関連資料

4. (2)②iii) 将来の宇宙利用の拡大を見据えた取組

年度	平成27年度 (2015年度)	平成28年度 (2016年度)	平成29年度 (2017年度)	平成30年度 (2018年度)	平成31年度 (2019年度)	平成32年度 (2020年度)	平成33年度 (2021年度)	平成34年度 (2022年度)	平成35年度 (2023年度)	平成36年度 (2024年度)	平成37年度 以降
34 再使用型宇宙輸送システム	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p>再使用型宇宙輸送システムの研究開発 [文部科学省]</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="width: 30%; border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>部分的再使用システム</p> <ul style="list-style-type: none"> 2020年代以降に新規技術の実証を行うための実験機の検討等 </div> <div style="width: 30%; background-color: #FFD700; padding: 5px; text-align: center;"> <p>一段再使用飛行の実現に向けた取組</p> <p>小型実験機の飛行実験計画</p> </div> </div> <div style="margin-top: 10px; border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>エアブリージングエンジン搭載システム</p> <ul style="list-style-type: none"> 関係機関と連携した主要技術の効率的な獲得等 </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>反映</p> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px; background-color: #FFD700; padding: 5px;"> <p>再使用型宇宙輸送システムを実現するにあたっての課題の検討</p> </div> </div>										
	<p>(参考)平成26年4月3日宇宙政策委員会「宇宙輸送システム長期ビジョン」</p>										

34 再使用型宇宙輸送システム

成果目標

【基盤】「新型基幹ロケット」等の次の宇宙輸送技術の確立を目指して研究開発を推進し、技術を蓄積する。

2018年度末までの達成状況・実績

- 「宇宙輸送長期ビジョン」以降の米国や欧州等の動向、JAXAの技術蓄積状況等を踏まえ、我が国の再使用型宇宙輸送システム開発についての輸送システム全体における位置づけ等を含めた今後の進め方を2019年度に示すべく検討を開始した。
- 1段再使用を想定し、技術獲得のための飛行実証等を含めた研究開発方針を示し、部分的再使用システムの実現に不可欠な要素技術に係る解析・試験等を実施するとともに、誘導制御技術、推進薬マネジメント技術等の知見を得ることを目的とした再使用型宇宙輸送システムの小型実験機の飛行実験を2019年度に実施すべく準備を進めた。
- エアブリージングエンジン搭載システムについて、関係機関と連携して主要技術の獲得に向けた検討を実施した。

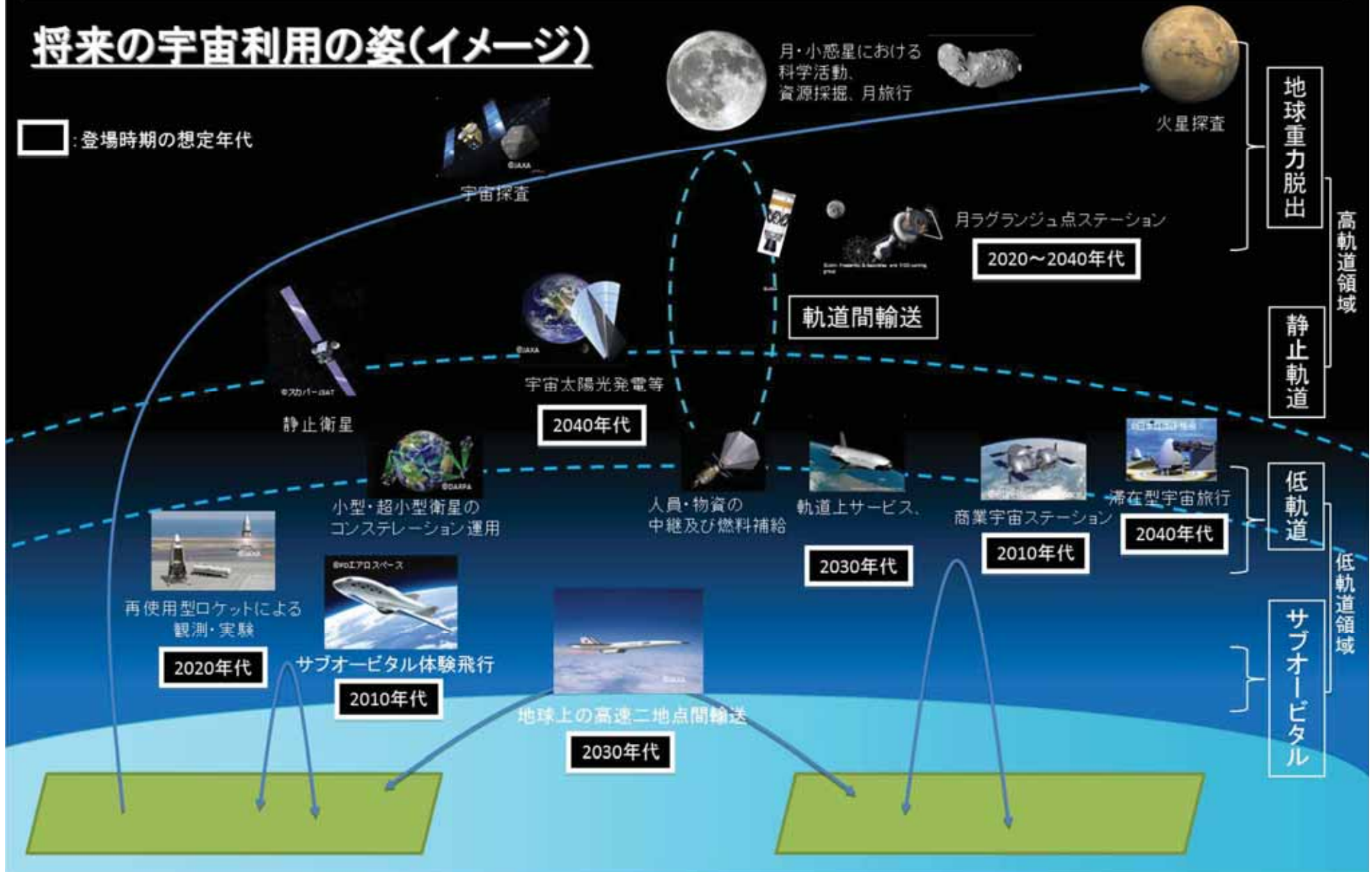
2019年度以降の取組

- H3ロケット等の次の宇宙輸送技術構築に向けて国際競争力を有する将来輸送系のシステムについての検討を進めるとともに、国際協力による一段再使用飛行実験の計画を念頭に、2019年度に再使用型宇宙輸送システムの小型実験機の飛行実験を実施し、誘導制御技術や推進薬マネジメント技術等の実証を行う。
- 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を目指す。
- 上記の成果を念頭に、宇宙輸送システムの長期ビジョンの見直しも視野に入れつつ、2019年度から我が国の再使用型宇宙輸送システムを実現するにあたっての課題(技術・コスト等)の検討を進める。

宇宙輸送コストの大幅な低減により、新たな宇宙利用の出現・拡大が考えられる。サブオービタル体験飛行、二地点間高速輸送、滞在型宇宙旅行、軌道上サービス、大規模構造物(SSPS等)建設、資源採掘など。

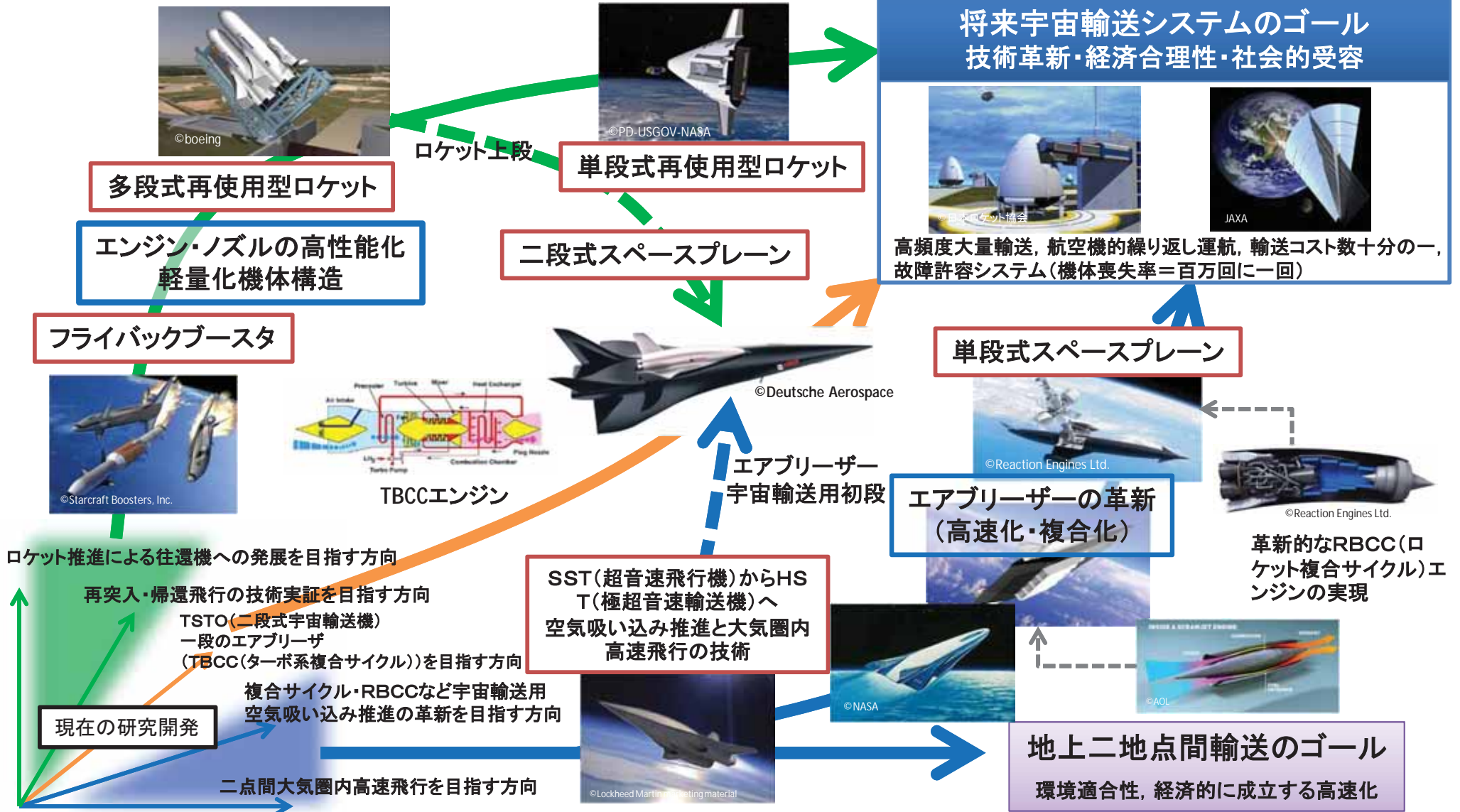
将来の宇宙利用の姿(イメージ)

□: 登場時期の想定年代



低軌道領域の将来宇宙輸送システムの発展経路

材料技術の革新による単段式再使用型ロケット、エンジン技術の革新によるエアブリージングエンジン搭載単段式スペースプレーン、両者の技術を活用した二段式スペースプレーンの3つの発展経路(パス)を想定。再使用型宇宙輸送システムの発展経路は、複数のパスが考えられるが、適切な時期に適切なパスを選択する必要がある。ただし、どのパスにおいても共通に必要な技術があることや、各パスが進展する途上で、実用化できるシステムが生まれる可能性もあることから、開発の初期の段階では、各パスの発展可能性を追求することが必要。



①軌道投入ロケット (部分再使用含む)

(1) 米国

- 月探査では、SLSによる有人飛行のほか、民間ロケットによる燃料補給等の打上げを計画。
- SpaceX Falcon9/Heavyによるロケットの部分再使用が実用化。
- New Glenn, Vulcan, Electron等も部分再使用ロケットを開発中。
- SpaceXによる完全再使用ロケットStarship/Super Heavyも段階的に開発進行中。



Falcon Heavy New Glenn



Starshipプロトタイプ

(2) 中国

- 2017年、次世代の有人ロケット「長征7型」打上げ成功。
- SLSと同規模の超大型ロケット「長征9型」(2028年打上げ目標)
- 1段コア、固体ブースタを再利用する「長征8号」を開発中。
- 小型ロケットベンチャーも100社以上。再使用実験も成功。
- 2035年までに完全再使用輸送システムの段階的実現を計画。



長征7型



長征9型



長征8号



完全再使用輸送システム

(3) 欧州

- 大・中・小ロケットを刷新し競争力強化する計画。
- 再使用エンジン等、再使用ロケットに関わる先進技術の研究開発を推進中。
- CallistoのほかThemisも計画。
- 英国Reaction Engines社が完全再使用輸送機Skylonを開発中。



Ariane64 Ariane62 VEGA-C



再使用エンジン Promethus 複合材タンク Icarus Themis



Skylon

(4) 日本

- H3ロケット、イプシロンロケットのH3とのシナジー対応開発を実施中。
- 再使用に必要な技術実証CallistoをCNES/DLRと共同開発中。
- IST、SpaceOne等の民間ベンチャーによる小型ロケット開発も進行中。



H3ロケット



イプシロンシナジ開発



Callisto



ZERO (IST)



Space One

②エアブリージングエンジン搭載の単段/二段式スペースプレーン

(1) 米国

- Robust Scramjet計画で、徐々に寸法・機能を付加しながら、段階に応じた社会実装(安全保障目的中心)を推進。
- 実証計画(X-51A)終了し、2020年代中盤の実用化に向け研究開発が進行中。
- ターボジェットとスクラムジェットを組み合わせた複合エンジンの極超音速機を開発中。



X-51A



極超音速偵察機SR-72



Boeing極超音速旅客機

(2) 中国

- 国有企業、大学において、エアブリージングエンジン及び輸送システムの開発が進められている模様。



XTER(廈門大学)



再使用宇宙輸送機Tengyun



Turbo-aided Rocket-augmented Ram/scramjet Engine (TRRE)

嘉庚1号

(3) 欧州

- 2008年以降、EC及び欧州企業16社の共同出資により、マッハ数5及び8の極超音速旅客機の研究開発「LAPCAT II」が推進中。
- LAPCAT-A2はマッハ5で巡行する300人乗りの極超音速旅客機。Sylonの予冷ターボジェット複合サイクルSABREの派生型エンジンScimitarを搭載予定。



LAPCAT-A2



LAPCAT-MR1

(4) 日本

- ロケット複合エンジン(RBCC)と極超音速予冷ターボジェット(PCTJ)の2種類のエンジンの研究を推進。



JAXA/航空装備研究所間の研究協力により開発予定

RBCCシステム実証構想



極超音速予冷ターボジェット

1. 政府関係衛星等の今後の打上げ見通し

(現行 宇宙基本計画に基づく);

- ⇒ 低軌道: 3~4機/年
- 中高軌道: 1~2機/年

2. 今後の世界のロケット打上げ需要予測:

商用用途として今後、年間40機以上、更に政府衛星を含めると**年間100機以上**

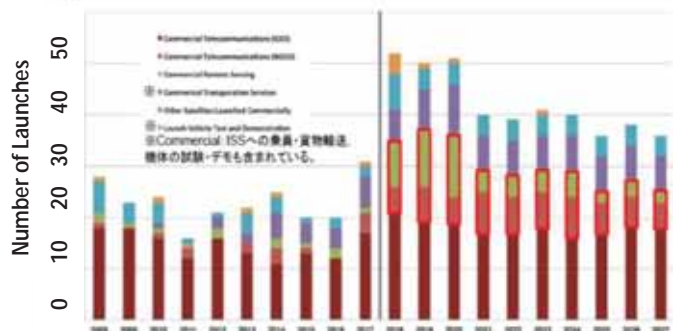


Figure 12. Historical and projected commercial orbital launches by industry segment

(野口委員発表資料)

3. 今後の世界の衛星市場の動向

- ①高性能電気推進系採用により、**衛星(電気推進衛星)バスの小型化**が可能となり、デジタルペイロード技術の発展とともに、静止衛星需要の拡大を牽引
- ②小型衛星による**低軌道衛星コンステレーション**構築の機運の盛り上がりに伴い、高頻度打上げ需要の拡大を牽引。また、新規にスペースデブリの懸念が発生



(兵頭委員発表資料)

4. 今後の宇宙ビジネス展望

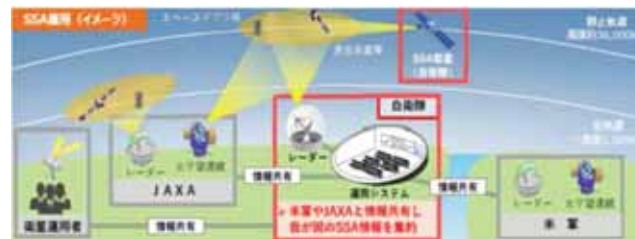
- ①世界の宇宙産業は現在大変革期にあり、**多様な新しい事業**が生まれつつある。
- ②宇宙輸送サービスは**ニーズと手段が多様化**しつつあり、世界的にニュープレイヤーが参入。



(石田委員発表資料)

5. 安全保障分野における宇宙領域の重要性

- ①宇宙空間の安定的利用の確保
宇宙作戦隊(仮称)の新編/SSAシステムの整備 等
- ②宇宙領域を活用した**情報収集、通信、測位**等能力向上
- ③宇宙開発利用推進のための先進的知見を有する諸外国との協力



SSA運用(イメージ)



Xバンド防衛通信衛星(イメージ)

(防衛省発表資料)

6. 月探査を中心とした国際宇宙探査

- ①各国の宇宙機関は、国家事業として宇宙探査にシフト
例: 米国ゲートウェイ計画
- ②民間の役割(輸送、開発等)は増大

(出典)各委員等発表資料から作成(第2・3回小委員会)