

宇宙技術戦略（宇宙輸送）の方向性 （宇宙輸送小委員会における議論のまとめ）

- 宇宙技術戦略に関する考え方（概要）
- 重要技術の評価軸
- 技術トレンドと宇宙輸送小委員会における議論

2024年2月6日

内閣府宇宙開発戦略推進事務局

宇宙技術戦略に関する考え方（概要）

- 「世界の技術開発トレンドやユーザーニーズの継続的・的確な調査分析を踏まえ、**安全保障・民生分野において横断的に、我が国の勝ち筋を見据えながら、我が国が開発を進めるべき技術を見極め、その開発のタイムラインを示した技術ロードマップを含んだ「宇宙技術戦略」を新たに策定し、ローリングしていく。**」（令和5年6月13日閣議決定「宇宙基本計画」）
- **宇宙政策委員会**において宇宙技術戦略を**年度内に策定し、関係省庁における技術開発予算の執行において参照。**
- 必要な宇宙活動を自前で行うことができる能力を保持（「自立性」の確保）するため、下記に資する技術開発を推進：
 - ① 我が国の**技術的優位性**の強化
 - ② サプライチェーンの**自律性**の確保 等

衛星

防災・減災、国土強靱化や気候変動を含めた地球規模問題の解決と、民間市場分野でのイノベーション創出、SDGs達成、Society5.0実現をけん引：

- ① 通信
- ② 衛星測位システム
- ③ リモートセンシング
- ④ 軌道上サービス
- ⑤ 基盤技術



【出典】独TESAT-Spacecom
大容量のニアリアルタイム伝送を可能にする光通信

宇宙科学・探査

宇宙の起源や生命の可能性等の人類共通の知を創出し、月以遠の深宇宙に人類の活動領域を拡大するとともに、月面探査・地球低軌道活動における産業振興を図る：

- ① 宇宙物理
- ② 太陽系科学・探査
- ③ 月面探査・開発等の国際宇宙探査
- ④ 地球低軌道・国際宇宙探査共通

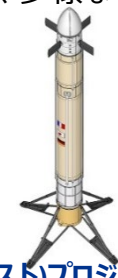


【出典】TOYOTA
JAXA/TOYOTAが研究開発中の有人与圧ローバ(イメージ)

宇宙輸送

宇宙輸送能力の強化、安価な宇宙輸送価格の実現、打上げの高頻度化、多様な宇宙輸送ニーズへの対応を実現：

- ① システム技術
- ② 構造系技術
- ③ 推進系技術
- ④ その他の基盤技術
- ⑤ 輸送サービス技術
- ⑥ 射場・宇宙港技術



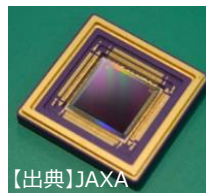
【出典】JAXA

CALLISTO(カリスト)プロジェクト：
日・仏・独の宇宙機関共同で、2025年度にロケット1段目の再使用を実施予定

分野共通技術

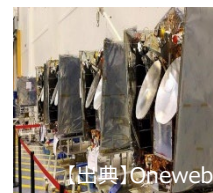
上記の衛星、宇宙科学・探査、宇宙輸送分野共通となる技術について、継続的に開発に取り組むことが、サプライチェーンの自律性確保、国際競争力強化の観点から不可欠：

- ① 機能性能の高度化と柔軟性を支えるハードウェア技術（デジタルデバイス等）
- ② 小型軽量化とミッション高度化を支える機械系基盤技術（3Dプリンティング等）
- ③ ミッションの高度化と柔軟性を支えるソフトウェア基盤技術（AI、機械学習等）
- ④ 開発サイクルの高速化や量産化に資するシステム開発・製造プロセスの変革



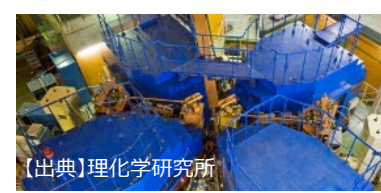
【出典】JAXA

宇宙用高性能デジタルデバイス
マイクロプロセッサ



【出典】Oneweb

製造試験ラインを自動化しているOneweb衛星



【出典】理化学研究所

重粒子放射線試験設備例@仁科
加速器科学研究センター

重要技術の評価軸（宇宙輸送）

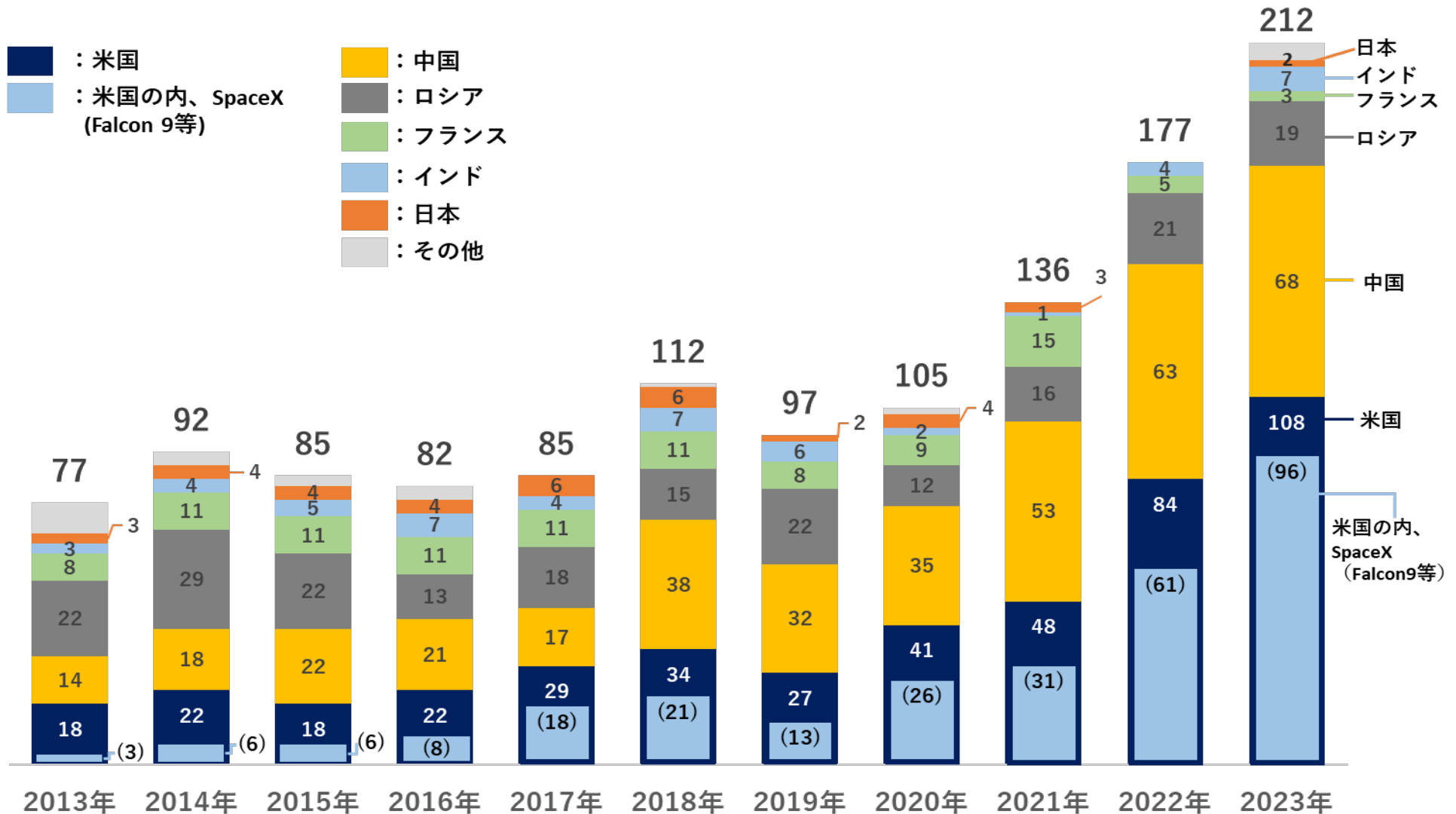
我が国の宇宙活動における自立性の維持・強化と、宇宙輸送の将来像を実現しつつ多様なニーズに対応した柔軟性の高い宇宙輸送サービスを実用化するイノベーションを創出・推進する。

このため、「技術的優位性」、「自律性」、「多様な宇宙輸送ニーズへの対応」の観点から、重要技術を特定し、評価した。

i. 技術的優位性	宇宙輸送能力（打上げ能力）の強化
	安価な宇宙輸送価格の実現（打上げ価格の低減）
	打上げの高頻度化
	技術を保有又は保有しようとする企業等の国際市場で勝ち残る意思とビジネスモデル
	技術成熟度が低い技術であっても、競争力の強化にむけて、先行開発が必要な技術かどうか
ii. 自律性	サプライチェーン上の代替困難性
	調達自由度のリスク
	システム構築上のコア技術であるかどうか
	技術成熟度が低い技術であっても、将来的に自律性確保の観点から先行開発が必要な技術かどうか
iii. 多様な宇宙輸送ニーズへの対応	様々なペイロードへの対応（衛星、実験機材、食糧、燃料、構造物、ローバ、宇宙飛行士、ロボット等）
	多様な宇宙輸送ルートの実現（高速二地点間輸送、軌道間輸送、洋上打上げ、宇宙旅行、月・火星等）
	柔軟かつタイムリーな打上げ機会の提供
	信頼性の高い宇宙ロジスティクスの提供
	当該技術にかかる市場セグメントの市場性や将来性が期待できるかどうか
	宇宙輸送ハブとしての射場・宇宙港の機能強化

ロケット打上げ数の推移

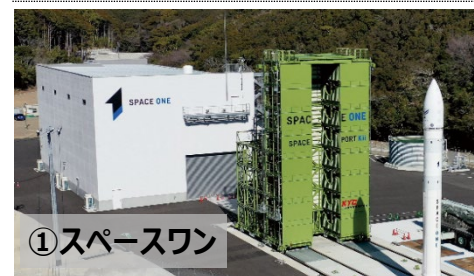
- 人工衛星の打上げ需要の増加を背景に、2023年の年間ロケット打上げ数は212回と過去最大数を記録。



※内閣府宇宙開発戦略推進事務局の調べ（打上げ成功のみカウント）

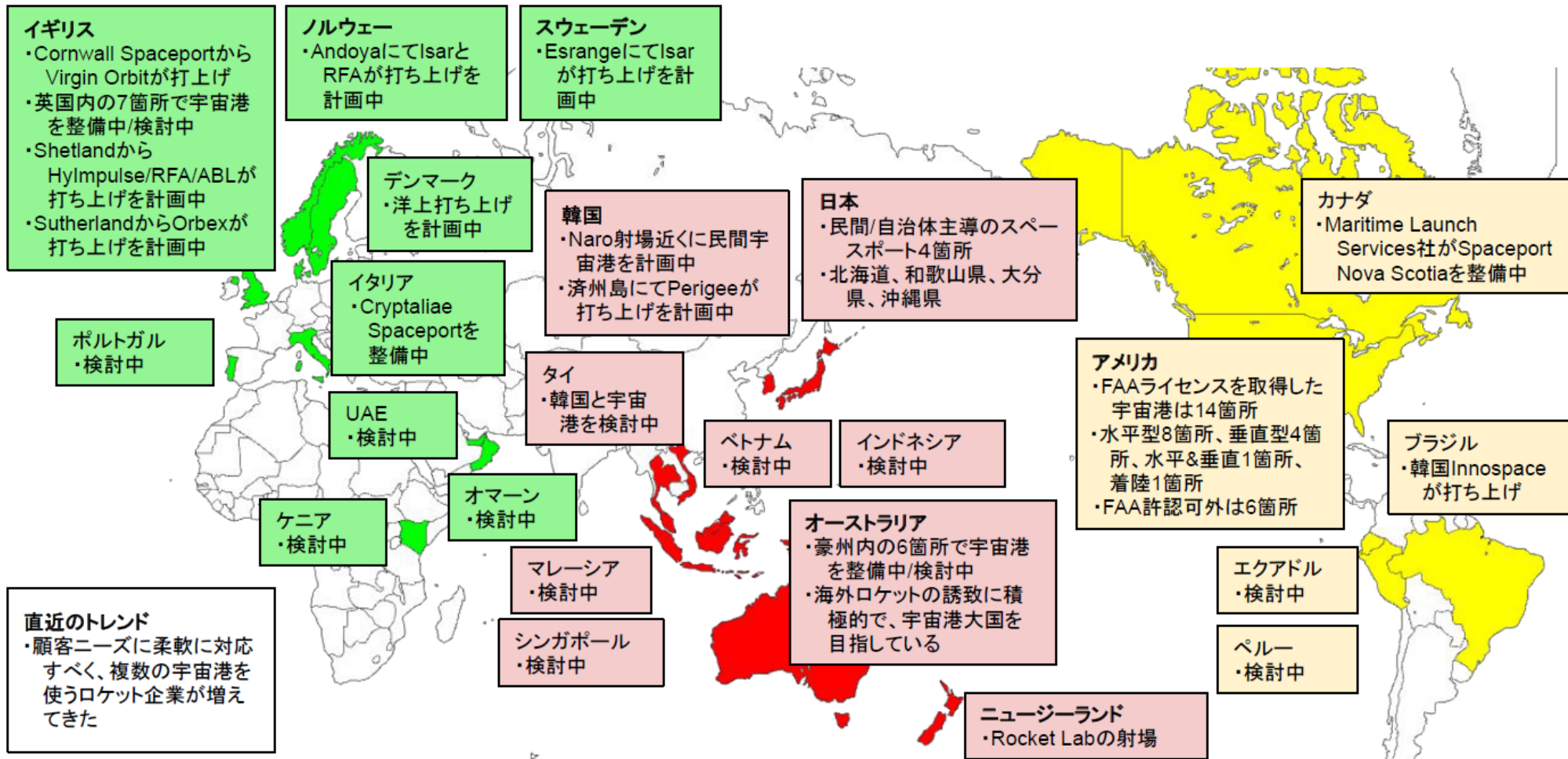
我が国における民間ロケットのラインナップ

企業名 (設立年、従業員数、役員、主要株主等)	ロケット 名称	打上げ能力	実用化 予定年	その他 (射場など)
スペースワン (2018年、従業員数：不開示、代表取締役社長：豊田正和、キヤノン電子、IHIエアロスペース、清水建設等)	カイロス (図①)	250kg (低軌道)	2024年	<ul style="list-style-type: none"> 自社整備の射場：和歌山県串本町 SBIRフェーズ3基金事業採択 2024年3月に初号機の打上げ予定
インターステラテクノロジズ (2013年、152名) (代表取締役社長：稲川貴大 取締役・ファウンダー：堀江貴文、丸紅、SBIインベストメント等)	MOMO	30kg (弾道飛行)	2019年～ (打上げ成功)	<ul style="list-style-type: none"> 北海道大樹町、これまで7回打上げ (うち3回成功) 19年、日本で初めて民間企業として宇宙空間にロケットが到達
	ZERO (図②)	～800kg (低軌道)	2024年度	<ul style="list-style-type: none"> 北海道大樹町、24年度以降の打上げを目指し、研究開発を実施中 SBIRフェーズ3基金事業採択
	DECA	10トン (低軌道)	2030年代	<ul style="list-style-type: none"> 北海道大樹町 再使用型ロケット (構想段階)
スペースウォーカー (2017年、41名) (代表取締役CEO：眞鍋顕秀) (東京理科大発ベンチャー)	Fujin Raijin (図③)	310kg (低軌道)	2028年	<ul style="list-style-type: none"> 北海道大樹町 スペースプレーン (再使用型有翼ロケット) によるロケットの空中発射を開発し、その後、2030年に有人宇宙輸送を目指す SBIRフェーズ3基金事業採択
将来宇宙輸送システム (2022年、22名、代表取締役：畑田康二郎、インキュベイドファンド等)	未定	未定	2027年以降	<ul style="list-style-type: none"> JAXAやIHIエアロスペース等と提携し、2032年に有人宇宙輸送を目指す SBIRフェーズ3基金事業採択
本田技術研究所	未定	未定	2030年代	<ul style="list-style-type: none"> ホンダの車両・ロボット等の技術ベースにロケット開発を進める
PDエアロスペース (2007年、14名) (ANA、HIS等)	ペガサス (図④)	有人輸送	2030年	<ul style="list-style-type: none"> 沖縄県下地島空港 2030年にスペースプレーン (再使用型有翼ロケット) による有人宇宙輸送を目指す。 2023年6月発生 of 無人飛行実験機の着水事象で運輸安全委員会が調査。



世界の宇宙港の検討・開発状況

- 拡大する宇宙輸送サービスをホストする拠点として、宇宙港の開発・整備が盛ん。ロケットを保有しない国においても、他国ロケットの誘致を計画。



技術トレンド（構造系）

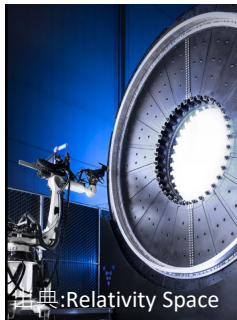
- ロケットの打上げ能力強化と、打上げ価格低減にむけて、機体構造の軽量化や製造期間の短縮にむけた構造系技術の革新が進む。

3D積層技術

- 3Dプリンタを活用したロケットの大型構造体の製造技術。製造期間短縮や、製造コストの低減が期待される。

技術的なトレンド：

- タンクやエンジン製造への3Dプリンタ活用が進み、打上げコストの低減や製造期間が短縮が図られている。
- 国内では、機体製造への3Dプリンタの活用は、小型部品の製造など一部に留まる。



（米）Relativity Space

- エンジンを含むロケット機体全体の製造に対応する巨大な3Dプリンタを開発し、機体を製造。60日間での機体全体の製造を実現。

（米）Firefly Aerospace

- エンジンを除く機体構造の製造に3Dプリンタを採用し、年間24機の製造体制確立に取り組む。



複合素材成型技術

- CFRP※等を用いた、ロケット構造体の成型技術。機体の軽量化や打上げ能力の向上が期待される。 ※Carbon Fiber Reinforced Plastics

技術的なトレンド：

- タンクなど大型構造物への複合素材の適用が進み、機体の軽量化やそれによる打上げ能力の向上が図られている。
- 国内では機体構造への複合素材の適用は、基幹ロケットのフェアリングや固体モータケースなど一部に留まる。



（米）Rocket Lab

- 運用中の小型ロケット（Electron：左図）、開発中の中型ロケット（Neutron：右図）の機体全体にCFRPを適用し、徹底的な軽量化を図っている。

（欧）欧州宇宙機関（ESA）

- 開発中のロケット（Ariane 6）の2段目の機体構造のCFRP化を目指した研究開発を推進。



技術トレンド（推進系）

- 輸送能力の強化やロケットの使用性向上、その先の完全再使用化や深宇宙への輸送システムの実現にむけて、推進系の技術開発が激化。

液化メタンエンジン

- 液体水素より経済性・貯蔵性・安全性が高く、かつ密度が大きい液化メタンを燃料とするエンジン。機体サイズの小型化と低コスト化、打上げ能力向上、運用性の向上が期待される。

技術的なトレンド：

- 中国では2023年に、米国では2024年に、それぞれ液化メタンエンジンを用いたロケットの打上げに成功。
- 国内では2023年11月に液化バイオメタンを燃料としたエンジンの燃焼試験に成功。



出典:LandSpace

(中) LandSpace

- 2023年7月に世界で初めて、液化メタンエンジンを用いたロケット（朱雀2号）の打上げに成功。



出典:IHI

(日) IHI

- 2010年に推力10トン級の液化メタンエンジンの試作試験に成功。



出典:インターステラテクノロジズ

(日) インターステラテクノロジズ

- 2023年11月、家畜ふん尿から製造した液化バイオメタンを燃料とした燃焼器単体試験に成功。

デトネーションエンジン

- 燃料を超音速燃焼させることで、燃焼効率の飛躍的な向上を可能にする技術。

技術的なトレンド：

- 我が国は2022年に世界で初めてデトネーションエンジンの宇宙実証に成功。



出典:JAXA

(日) JAXA、名古屋大学等

- 2022年7月、S-520で打ち上げた後、世界初の回転デトネーションエンジンの宇宙空間での実証実験に成功。

エアブリージングエンジン

- 大気中の酸素を酸化剤として使用し、ロケットの軽量化と比推力向上を可能にする技術。

技術的なトレンド：

- 米国と欧州において、研究開発が進展。



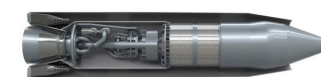
出典:AFRL

(米) 空軍研究所(AFRL)

- マッハ5以上の大気中の航行を目指し、「Mayhem」エンジンの研究開発を推進。

(米) 欧州宇宙機関(ESA)

- マッハ5以上で宇宙空間に上昇する「SABRE」エンジンの研究開発を推進。



出典:Reaction Engines

技術トレンド（その他の基盤技術①）

- 打上げ高頻度化や打上げコスト低減にむけて、再使用型ロケットや自律飛行安全技術など、新たな宇宙輸送技術のイノベーションが活発化。

再使用型ロケット

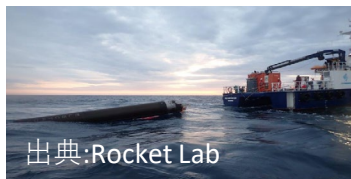
- 機体の再使用により、打上げ毎の機体製造の必要がなくなり、打上げの高頻度化や打上げ価格の低減が期待される。

技術的なトレンド：

- SpaceXが2013年に世界で初めて再使用を実用化して以来、その成功は、世界中のロケット開発企業を、再使用化にむけて駆り立てている。
- 我が国も、仏・独の宇宙機関と連携し、2025年度に再使用化にむけた実証試験（CALLISTO）を計画。



出典:SpaceX



出典:Rocket Lab

（米）SpaceX

- 2023年末までに、246回のロケット一段目の帰還に成功。回収した機体は、これまで最大17回の再使用を実施。

（米）Rocket Lab

- パラシュートで海上に着水させ、回収を実施。2023年8月に初めて、回収したエンジンの再使用を実現させた。

（日）JAXA/（仏）CNES/（独）DLR

- 共同プロジェクト（CALLISTO）において、2025年度に1段目再使用飛行実験を実施し、機体再使用に必要な技術獲得を目指す。



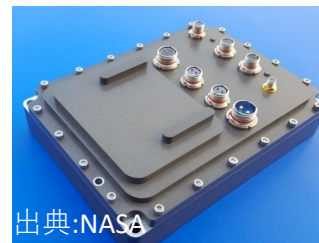
出典:JAXA

自律飛行安全技術

- 従来、地上で人が判断して行うロケットの飛行安全管理（打上げ異常時の指令破壊措置等）を、ロケット側で自律的に判断する技術。

技術的なトレンド：

- 米国ではNASAが中心となり米国政府が開発し、SpaceXやRocket Labなど民間企業が活用。打上げコストの低減や打上げ高頻度化を実現。
- 我が国もH3ロケットの運用を通じて、自律飛行安全技術の開発と実証を予定。



出典:NASA

（米）自律飛行安全システム

- NASA及び国防総省（DoD）が中心となり、2005年より実証実験を繰り返し、自律飛行安全システムを開発した。

技術トレンド（その他の基盤技術②）

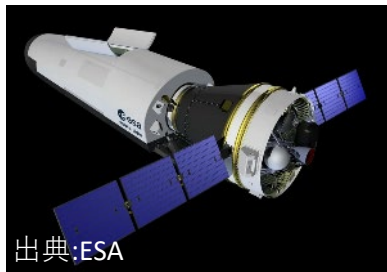
- 宇宙へ運搬するペイロードの大型化・多様化（衛星、実験機材、食糧、燃料、構造物、ローバ、宇宙飛行士、ロボット等）に対応する技術開発が進展。

軌道間輸送技術

- ロケットの打上げ後、軌道上から月・火星等の目的地へ輸送を行う技術。

技術的なトレンド：

- 欧州では、軌道間輸送機（Space Ride）の開発が進む。
- OTV（Orbital Transfer Vehicle）を用いた軌道上でのラストワンマイルの輸送サービスは超小型衛星の打上げへの活用が進む。



出典:ESA

（欧）欧州宇宙機関（ESA）

- 再利用可能な軌道間輸送機として、Space Riderの開発を推進し、2025年までの初飛行を計画。



出典:D-Orbit

（伊）D-Orbit

- 軌道上に打ち上げられた後、超小型衛星を放出するOTVを開発・運用。2023年末までに13回のサービス実施し、100機の衛星を輸送。

有人輸送技術

- ロケットによる有人輸送を実現するため技術。

技術的なトレンド：

- 米国ではSpaceXが2020年以来、12回の国際宇宙ステーション（ISS）への有人輸送を実施。
- 宇宙空間への有人輸送を行える国は、これまで米国とロシア、中国に限られていたが、インドは2025年に有人輸送を計画。また、欧州でも有人輸送の実現にむけた構想が進展。



出典:SpaceX

（米）SpaceX

- NASAのプログラムを通じて有人輸送システムを開発。ISSミッションに加え、民間人の宇宙旅行（ISS訪問）サービスを提供。



出典:ISRO

（印）インド宇宙機関（ISRO）

- 有人輸送ロケット（HLVM3）と有人輸送カプセル（Gaganyaan）を開発中であり、2025年に3人の宇宙飛行士の有人輸送を計画。

技術トレンド（射場・宇宙港技術）

- 宇宙輸送の拠点となる射場・宇宙港では、ロケットの高頻度打上げが実現。さらに、ロケット・宇宙機の帰還拠点としても重要な役割を果たす。
- また、観光・教育、研究・創薬・材料などの他産業とのオープンイノベーションによって、宇宙港の周辺で新たな価値創造や地方創生が進展。

打上げ運用技術

- 打上げの効率化や高頻度化にむけた、射場でのロケットやペイロードの運用技術。

技術的なトレンド：

- 射場でのペイロードの組立点検整備や、打上げ時の安全確保にむけた技術開発が進展。
- 中国では、洋上からの打上げが活発化。



出典: Boston dynamics

(米) SpaceX

- 4足歩行ロボットを用いて、射場での無人化にあたっての警戒警備を実施。



出典: China Daily

(中) Orienspace

- 2024年1月に、低軌道6.5トンの打上げ能力を持つ固体ロケット（Gravity-1）を黄海上から打上げ。
- この他にも小型ロケットを中心に、洋上からの打上げが行われている。

追跡管制技術

- ロケット打上げ後の追跡管制に係る技術。
- ### 技術的なトレンド：

- 打上げの効率化や飛行経路の拡大に向け、衛星を用いた追跡管制技術の開発が進展。



出典: Viasat

(米) Viasat/ (日) JAXA、三菱重工等

- 地上局の代わりに衛星を用いて、ロケットとのコマンド・テレメータ送受信を行うサービスを開発中。

地上支援技術

- ロケットの打上げ・帰還等を支援する技術。
- ### 技術的なトレンド：

- 射場での燃料生成や、宇宙往還機の着陸・整備にむけた新たな技術開発が進展。



出典: エア・ウォーター

(日) エア・ウォーター

- 牛ふんから生成した高純度のバイオメタンを、北海道大樹町（北海道スペースポート）にて利用。



(日) 兼松、日本航空、大分県

(米) Sierra Space

- 米国の宇宙往還機（Dream Chaser）の着陸拠点として、大分空港の活用を検討。

宇宙輸送小委員会における議論

技術項目	小委における議論
システム技術	<ul style="list-style-type: none"> 新しい技術に挑戦しながら、世界の開発スピードと戦っていくためには、実証の頻度を高めていくことが必要ではないか。 そのためには、実証実験も含めてアジャイルに開発を進めるためのシステム技術が重要ではないか。 実証の頻度を上げていくためには、ロケットが100%出来ていない状態でも打上げて、実証ができるよう、失敗に対する社会の認識も変えていくことが重要ではないか。
その他基盤技術	<ul style="list-style-type: none"> 再使用型ロケットに関わる技術は、将来的に有人輸送や高速二地点間輸送に欠かせない必須技術ではないか。 他方、再使用型ロケットは、回数によっては逆にコストが高くなることに繋がるのではないか。 そのため、基幹ロケット・民間ロケット両方のコスト低減に繋がる打上げ運用の効率化に関わる技術などの開発も、再使用型ロケットと両輪で進めていくことが必要ではないか。 <hr/> <ul style="list-style-type: none"> 年間の打上げ回数などの事業計画上の目標次第で、重要となる技術は変わるのではないか。 その目標によって、例えば、射場でのロケット打上げの間隔（ターンアラウンドタイム）のベンチマークなどが明確になり、ベンチマークの達成に必要な技術が明らかになるのではないか。
輸送サービス技術	<ul style="list-style-type: none"> 宇宙活動の領域が月、深宇宙へと広がり、輸送分野の技術戦略はそれらもスコープに入っていることを考えれば、特に探査分野との連携を深める必要があるのではないか。
射場・宇宙港技術	<ul style="list-style-type: none"> 打上げにおける各種制約の解消には、洋上打上げ技術が有効ではないか。 宇宙港価値創造技術は、今後の商業輸送の拡大を見据えれば最重要な項目ではないか。米国では、フロリダ州において、州政府が主導して、税制優遇、企業誘致などの先進的な取組を進めている。日本でもそうした事例を参考に、取組を具体化させていくことが必要ではないか。
その他	<ul style="list-style-type: none"> サプライチェーンの自律性強化にむけては、日本企業が海外からの部品調達に際して、長納期化などのリスク、それによる納入先への遅延損害金の発生など契約条件上のリスクを抱えている。そういった契約上の外国企業との課題を認識する必要があるのではないか。 新規事業者や海外事業者が事業参入するにあたっての許認可手続きを容易にするなど、制度面の取組についても、技術戦略の中で検討することが必要でないか。 一度技術戦略を定めたら、それを据え置くのではなく、ローリングを行い、環境変化に応じて、技術の重要性の評価を変えていくことが必要ではないか。 また、ローリングで重要なポイントは、技術戦略から「捨てるべき技術」を見極めることではないか。