

革新的将来宇宙輸送システム研究開発に向けて

令和2(2020)年5月19日

国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構

1. これまでの小委員会におけるJAXAからの報告と本資料の位置付け

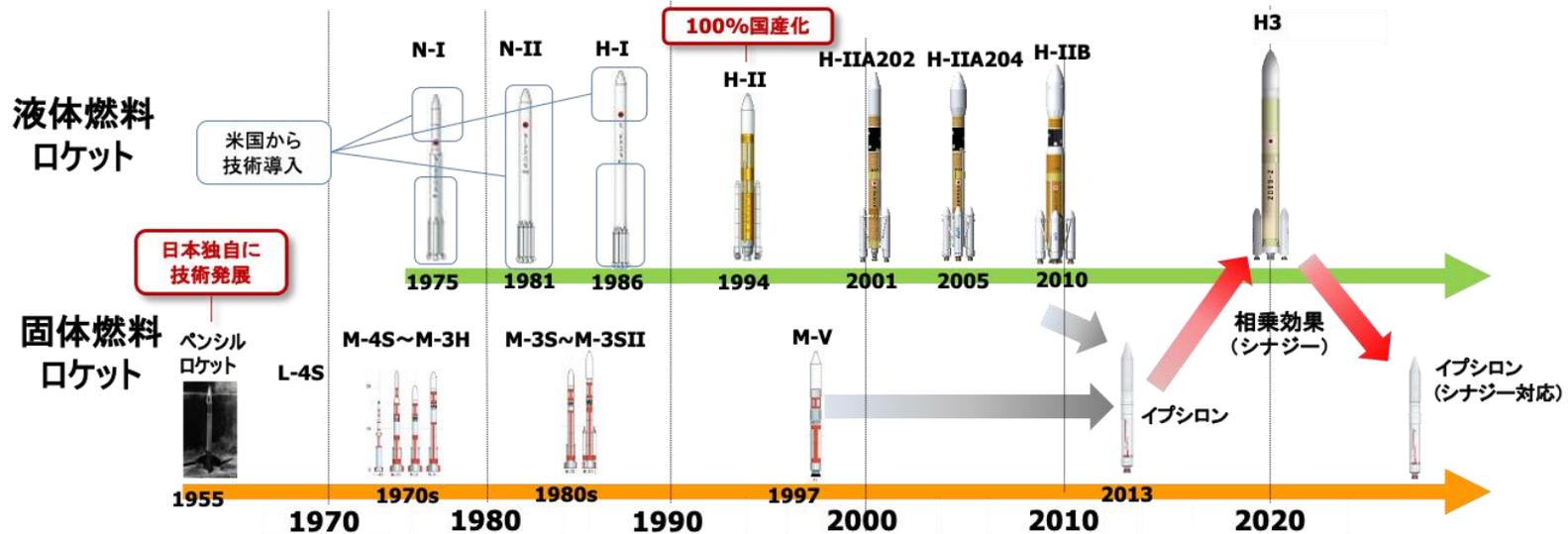
- これまでの将来宇宙輸送システム調査検討小委員会において、JAXAからは宇宙輸送に係る取組、国外動向、周辺状況を踏まえた将来に向けた取組方策、将来宇宙輸送システムロードマップ構築に向けた考え方について報告してきた。
 - 第1回：JAXAにおける宇宙輸送に関わる取り組み
 - 第2回：宇宙輸送に関わる国外の主要動向
 - 第3回：宇宙輸送系の取り巻く状況と将来に向けた今後の取組方策について
 - 第4回：将来宇宙輸送システム ロードマップ構築に向けた検討の視点
 - 第5回、第6回：革新的将来宇宙輸送システム研究開発に向けて

- 本資料は、将来宇宙輸送システム調査検討小委員会 提言(案)の補足資料として、これまでの本小委員会での議論等を踏まえた、JAXAにおける共創体制およびロードマップ構築に向けた基本的な考え方(案)を纏めたものである。

2. 宇宙輸送に係るJAXAにおける取組

■ 我が国の基幹ロケット

- 国産技術によりロケットを開発・製造・運用。我が国の自立的持続可能な宇宙輸送システムを確保。
- 液体燃料のH-IIA/Bロケット及びそれらの後継のH3ロケット並びに固体燃料のイプシロンロケットを我が国の基幹ロケットとして位置づけ。政府衛星の打上げに当たっては基幹ロケットを優先的に使用。



■ 宇宙輸送系研究開発

- 自在性確保の観点から研究開発を実施

ex. 再使用型宇宙輸送システム技術 (CALLISTO、RV-X)、LNG推進系の研究、エアブリージングエンジン研究 等

■ 民間事業者との共創型プログラム (J-SPARC)

- 民間事業者等を主体とする事業を出口としつつ、民間事業者等と JAXA がそれぞれの強み・リソース持ち寄り技術開発・技術実証等を伴うパートナーシップ型の共創型プログラム

ex. 有翼サブオービタル事業 (スペースウォーカー、PDエアロスペース)

小型ロケットによる宇宙輸送サービス事業 (インターステラテクノロジズ、スペースワン)



3. 宇宙輸送に係る国外の主要動向

- 各国でも自国で宇宙にアクセスする手段として自立的持続可能な宇宙輸送システムを確保するため、主力となるロケットの開発・運用に対する政策的な支援を実施
- 小型ロケットのベンチャー企業等、宇宙輸送システムへの新規参入者に対する支援を各国実施
- 国の施策の下、将来の宇宙輸送システムに向けた中長期的な戦略的な研究開発に取り組んでおり、革新的イノベーションへの挑戦を推進しつつ、次世代を担う人材の育成にも貢献

(例) NASA、AFRL等の技術ロードマップに基づく中長期的な研究開発、DARPAによるハイリスク・ハイリターン型の研究開発支援・技術実証プログラム、欧州の将来輸送システムに関わる中長期的な研究開発

軌道投入ロケット(部分再使用含む)の国外動向

○米国

- SLSによる有人飛行計画
- SpaceX Falcon9/Heavyによるロケットの部分再使用実用化。
- New Glenn, Vulcan, Electron等も部分再使用ロケット開発。
- SpaceXによる完全再使用ロケットStarship/Super Heavyも段階的に開発中。



Starshipプロトタイプ



Falcon Heavy



New Glenn

○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中。
- Callistoの他、Themisも計画。
- 英Reaction Enginesが完全再使用輸送機Skylonを開発中。



Ariane64



VEGA-C



再使用エンジン
Prometheus



Themis



Skylon

○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8号



完全再使用
輸送システム

4. 小委員会の議論等を踏まえた基本認識と今後の取組方策

- ① 各国における自立的な宇宙輸送システムの確保・宇宙輸送産業基盤の保持
- ② 民間事業者による宇宙輸送事業の立ち上がり
- ③ 月探査を第一ステップとした宇宙探査活動の構想実現化の動き
- ④ 宇宙利用活動の広がりおよび宇宙領域の戦略的重要性の高まり
- ⑤ 国の施策の下における将来輸送系研究開発の取組
- ⑥ 人的基盤維持・拡大の必要性



<基本的な対応の考え方>

■ 我が国宇宙政策の実現、市場形成・獲得を目指した宇宙輸送産業の競争力確保

- ✓ 基幹ロケットの維持・発展(宇宙空間への自立的アクセス手段の確保)
- ✓ 活発化する民間による活動・挑戦の支援、将来の宇宙輸送市場を創造・獲得する民間の事業活動への協力

■ 革新的将来宇宙輸送システムの研究開発

マルチパスアプローチを基本として以下を柱として推進。時間軸を意識しながら選択と集中を図る。

- ✓ 将来の選択肢となる複数の有望技術の発展に資する研究開発
- ✓ 抜本的輸送コスト低減に資する異業種・異分野と連携したイノベーション活動・挑戦的な研究開発

■ 研究開発の進め方

- ✓ 我が国の宇宙輸送システムの自立性を継続的な確保、革新的な将来宇宙輸送システムの実現を目指し、研究開発から実用化までの道筋とその実現方法示すロードマップを策定。
- ✓ JAXAが中心となり、異業種・異分野・産学官との共創環境の構築を図る。当該連携における研究開発の段階的な成果を我が国の宇宙輸送国際競争力強化等に適宜反映。

4.1 革新的将来宇宙輸送システムの研究開発の共創体制案 [1/2]

■ 研究開発のフェーズに応じた共創体制の狙い

(1) オープンイノベーションによるSEEDS作り(協調領域での研究開発活動)

- これまで実現できなかった抜本的な低コスト輸送システムの実用化や、上段再使用技術のような技術のブレークスルーに向けたSEEDS作り
- ✓ 宇宙探査イノベーションハブの枠組みを活用した新たなプレイヤーの発掘(宇宙と地上のDual Utilization 研究開発)

(2) 連携パートナーの明確化による研究開発の加速(競争領域での研究開発活動)

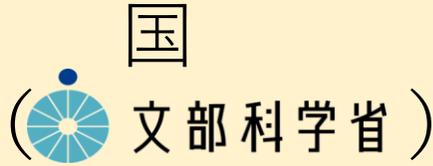
- SEEDSから効率的かつスピード感をもって、技術の実証、事業の掘り起こし、拡大へ向けたシームレスな体制。
- ✓ 企業間競争と企業育成をバランスさせ、幅広い産業振興策をベースに研究開発を推進(民間投資も推奨し、より積極的な企業と連携)
- ✓ 連携パートナーの事業計画と国の政策の実現に向けた適切な役割分担の下、推進

(3) 出口戦略の明確化および官民協働開発による実用成果の獲得(競争領域での研究開発活動)

- 実証された技術をスピード感をもって、様々な事業者の活動へ実装する仕組み。
- ✓ 効果は2つ。①社会実装による国際競争力の強化、②実用成果の獲得により技術成熟度を早期かつ格段に向上
- ✓ 部品レベルからシステムレベルまでの各事業計画に応じた出口戦略とセットで連携パートナー(基幹ロケット、民間事業)のコミットメントを明確化

以上の取り組みを通じて、人材育成・拡大及び産業基盤の維持・拡大に資する。

4.1 革新的将来宇宙輸送システムの研究開発の共創体制案 [2/2]



- ✓ 非宇宙分野やユーザコミュニティを含む産学官のチームを設置
- ✓ 政策領域ごとに適切な関係省庁間・政府関係機関と連携・協力
- ✓ ロードマップの策定・見直し

革新的宇宙輸送技術の共創体制



J-SPARC 枠組

事業化支援
戦略共有

民間事業者
ベンチャー企業
事業に関心のある企業

個別・技術ロードマップの構築

研究計画の設定及び推進・実施

技術の実証

成果活用
実用成果の獲得

技術戦略共有
連携強化

基幹ロケット事業者

研究成果の活用
実用化開発の実施
実用成果の獲得

セキュリティを確保した
クローズイノベーション

研究開発
方向性の共有

オープンイノベーションの枠組
(探査ハブ等の枠組み活用、産学官連
携による人材流動化・育成)

事業性検討
民間投資喚起

金融機関・商社・コンサル他

企業（異業種含む）及び大学
問題解決に必要な技術

社会課題の解決
産業競争力向上

4.2 ロードマップの目的・位置づけ(案)

- ロードマップは、我が国が2040年代中に目指すべき将来宇宙輸送システムの実現に向けて、研究開発の大きな方向性や道筋、段階的な成果の社会実装計画を国が中心となり定めるもの。

ユーザ及び潜在ユーザを含む、国、JAXA、民間企業、大学等によって共有されるコミュニケーションツールとなる。また、徹底した内外の動向の調査分析・ベンチマーキングを行い、技術動向・成熟度や宇宙市場等を踏まえながら定期的に更新する。

- ロードマップの着実な推進のため、研究開発計画は、各研究開発の取組に関する役割を明確化するとともに、JAXAが他の主体とともに協働しながら宇宙技術基盤を支える中核機関として進める研究開発の内容(民間、他機関支援含む)について具体化を図る。

4.2 ロードマップ構築の考え方(案) [1/2]

- 2040年代の革新的将来宇宙輸送システムの実現を最終目標とする。
 - 革新的将来宇宙輸送システムは、長期ビジョン※で示されている輸送コストの抜本的低減、高頻度大量輸送、航空機的な繰り返し運航、民間航空機と同様の水準の安全性を有する宇宙輸送システムに改めて設定。

※「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)

- 最終目標達成に向けた研究開発の考え方は以下とし、ロードマップに反映。

① マルチパスアプローチから選択と集中へ

- 最終目標である革新的将来宇宙輸送システムの形態や具体的な仕様は、複数の発展経路(マルチパス)における各技術の成熟度・効果を踏まえ、適切な時期に決定(選択と集中)。当面はマルチパスアプローチとして、共通的な技術及び「選択と集中」の判断に必要な技術の調査研究・研究開発を推進。

② 4つの技術分野(価値)で宇宙輸送技術を洗練

- 当面の取組としては、将来宇宙輸送システムの形態等に拠らず、宇宙輸送システムとして不変の価値である、4つの技術分野(低コスト化、多機能化、デブリ化防止、共通基盤)を追求すべき研究開発課題として設定し、その価値向上に必要な技術発展の道筋を明確化。

4.2 ロードマップ構築の考え方(案) [2/2]

③ 我が国宇宙輸送系の国際競争力強化等のための研究開発成果の適用

- 革新的将来宇宙輸送システムの実現に向けた長い道のりの中で、研究開発の段階的な成果を我が国宇宙輸送系の国際競争力強化等(下記)に適宜反映することを明確に意図。
- その際、飛行を模擬した高度な地上検証、早期・段階的な飛行実験・実証や実験機・実証機開発により、実証・実績に基づくベストプラクティスを社会に早期に示しながら、迅速な社会実装を図る。
 - ✓ 基幹ロケット等の短・中期的なニーズへの対応・課題解決
 - H3ロケットのHTV-Xによる月への物資輸送対応、複数衛星打上げ能力の強化、コスト競争力の強化(部分再使用含む)、デブリ化防止等
 - イプシロンロケットのコスト競争力の強化、スラグ規制対策、即応性強化
 - ✓ 民間事業者の事業化支援、国際競争力強化(デファクト・スタンダード戦略を含む)
 - ✓ 宇宙輸送産業に対する新たな民間事業者、投資家等の新規参入の促進
 - ✓ 次世代を担う若手研究者・若手エンジニアの育成・確保
 - ✓ 宇宙利用市場の形成および継続的拡大への貢献
- 有人輸送については、有人化にも資する信頼性・安全性技術を継続的に向上しつつ、民間等の宇宙市場形成状況および国際動向を踏まえ、有人輸送に関わる我が国の方向性を検討する。

4.3 今後の取り組み方策(案)

今年度・次年度以降に向けた取り組みについて

1. 革新的宇宙輸送技術の共創体制の構築準備

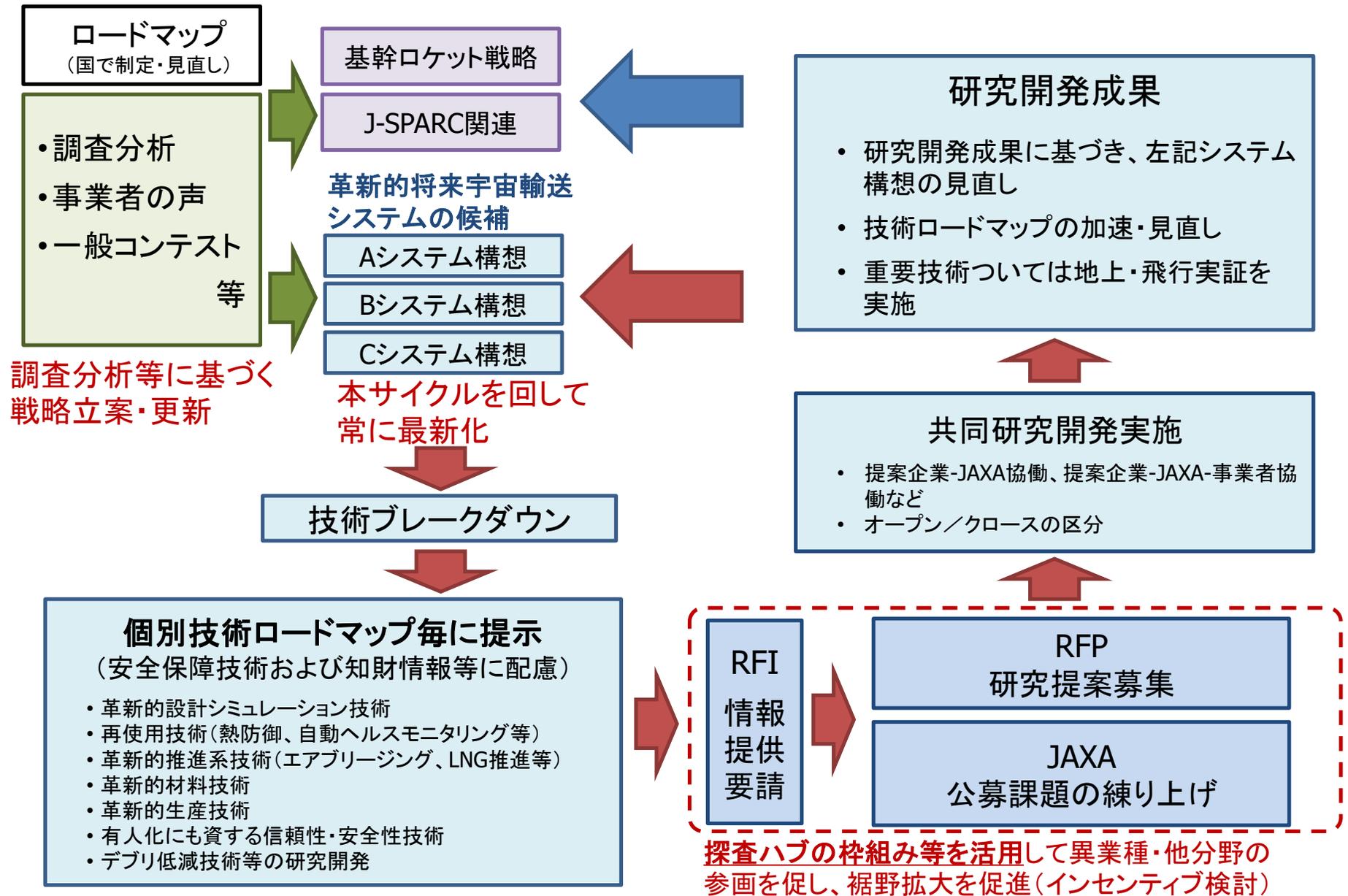
- JAXA内体制整備(関連施策の糾合・プログラム化)
 - ・ 革新的宇宙輸送システムの研究開発として、これまでの基盤的研究及びLNG推進系、宇宙輸送デブリ対策など一元的にマネジメントを実施。
- 徹底した調査分析/ベンチマーキング・戦略立案
 - ・ 複数社のコンサルを用いた海外の動向分析及びJAXA独自情報収集
 - ・ 基幹ロケット等の将来戦略について民間事業者と協議を進めるとともに、宇宙のみならず航空分野等他分野の調査、社会情勢、マーケットなど広範囲に分析。他産業分野等の潜在的なステークホルダーも識別。
 - ・ 政府のロードマップの検討状況も踏まえ、技術ロードマップ案を最新化。
 - ・ なお、国際連携に関しては、自立性の確保および産業基盤状況を踏まえながら、戦略調整を行う。
- 制度や基準など社会的課題の洗い出し
 - ・ 各システム構想毎に国内制度・基準の早期課題洗い出しを行い、技術ロードマップでのフォローアップが可能な仕組み(可視化)を構築する。

2. オープンイノベーションによるSEEDS作りへの着手

- 民間企業や大学関係者の参画主体の多様化を促すインセンティブの検討
- 共創体制を生かした革新的将来輸送系の企画・アイデア募集(RFI)の取組
 - ・ 広く国内の企業・研究者に技術情報照会(RFI)を通じて、共同研究等に向け、公募課題の練り上げ
 - ・ 共創体制における研究開発プロセス概要に基づき、システム構想ー技術ブレークダウンを通じて広く国内の研究者、企業にイノベーションを追求する研究開発テーマの提案を募集。
- 宇宙探査イノベーションハブの枠組みを活用した共同研究の推進
 - ・ 一連の上記取組を踏まえ、識別される各研究開発テーマに対する共同研究パートナーを選定。

4.3 今後の取り組み方策(案)

共創体制における研究開発プロセス案



(補足1) 技術戦略の方向性(試案)

選択と集中 (一本化)

SSTOを実現。また、現在の航空機並みの運用性を実現。将来の有人輸送にもつながり得る高頻度大量輸送、航空機的繰り返し運航、輸送コスト数十分の一、故障許容システム(機体喪失率=百万回に一回)を目指す。



- ***選択と集中以降**、革新的将来宇宙輸送システムの実用化に至るまでに要する総経費試算:5千億円^注
- 過去のロケット(H-I~II)開発規模からの類推
 - 有人化する場合は+2千億円相当
 - 射場建設費は別途必要。



革新的将来宇宙輸送システム* (SSTO/スペースプレーン)

注:これらの試算は、技術難易度が過去の開発と同等な場合に限る。

完全再使用化

完全再使用技術

エアブリージング技術大推力化

再使用化技術(上段フェーズ)

自律航法誘導制御技術

戦略技術の維持

高頻度開発・高頻度輸送技術

高効率推進系技術

部分再使用化

開発・製造プロセスのデジタル化

自動ヘルスマニタリング技術

制御再突入技術高度化

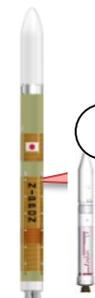
基幹ロケット (液体燃料・固体燃料)

自律飛行安全技術

- ****選択と集中までの研究開発費** 試算:1~2千億円^注
- 各技術の研究開発費、要素技術の部分実証(ロードマップ素案をもとに試算)
 - システム実証費(過去の既存ロケットを活用した改良開発費から類推)
 - 試験設備・製造設備整備費(既存設備の過去の整備費から類推)
 - 基幹ロケット維持・発展、戦略技術の維持に関する費用は含まない。

マルチパスアプローチ**

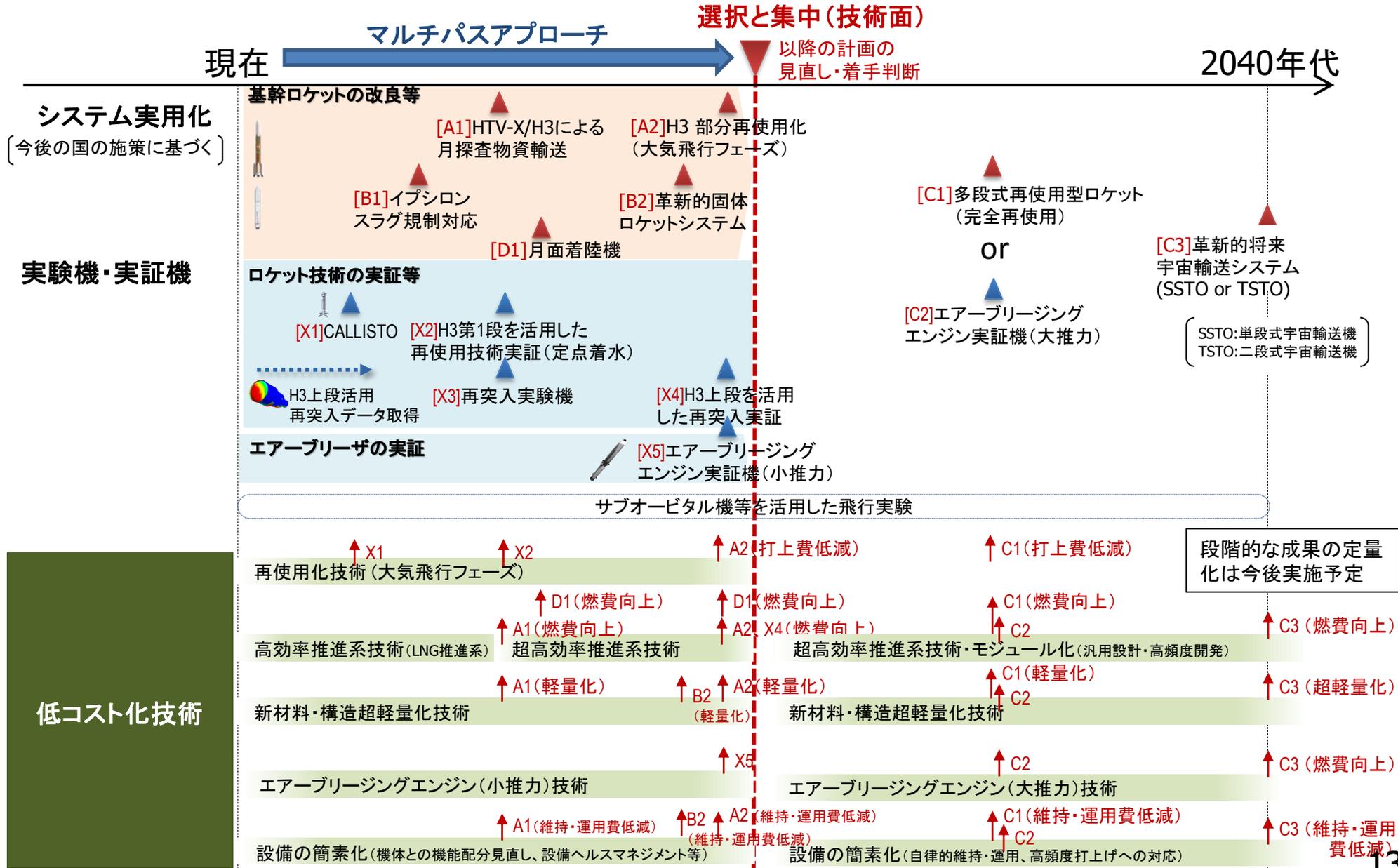
1段再使用化技術及び上段再使用化技術の獲得に伴い、**基幹ロケットの低コスト化、多機能化、デブリ対策**に貢献していく



H3 イpsilon

(補足2)ロードマップ(素案) [1/2]

(注) 民間事業や安全保障等政府ユーザの政策等への支援は今後調整予定



(補足2)ロードマップ(素案) [2/2]

(注) 民間事業や安全保障等政府ユーザの政策等への支援は今後調整予定

