

資料4-1

科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
宇宙開発利用部会
将来宇宙輸送システム
調査検討小委員会
(第4回)R2.3.18

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

令和2(2020)年3月18日

国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構

1. これまでの議論の状況と本資料の目的

■ 文部科学省資料「将来宇宙輸送システム調査検討小委員会の検討状況について」

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

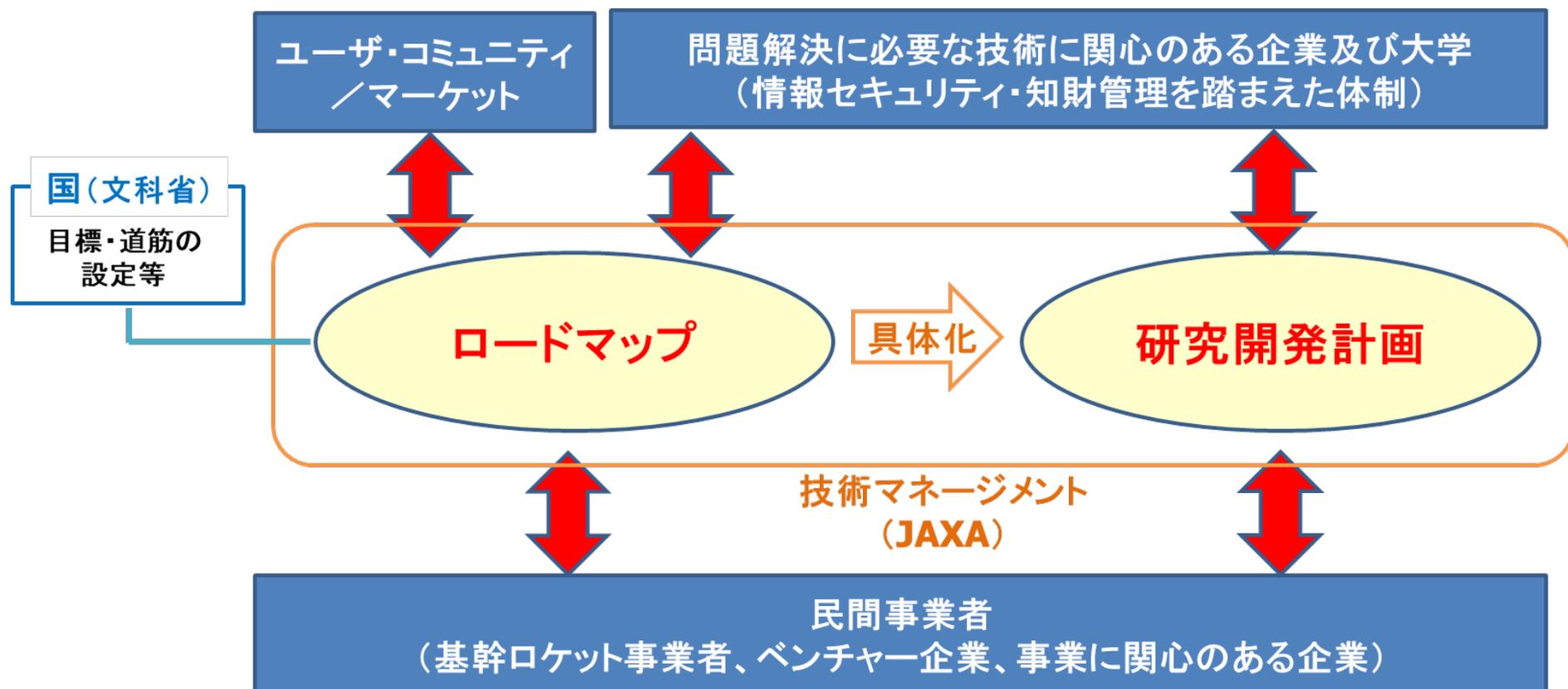
将来の政策ニーズへの対応や宇宙市場の形成を見据え、利用形態や市場主導でバックキャストしつつ、必要となる将来の革新的宇宙輸送システム技術の実現を民間事業者とともに目指すべき。そのとき、自立性確保や将来の宇宙開発利用の飛躍的拡大に向け、抜本的低コスト化を実現する技術をはじめとして国が革新的な研究開発を先導する。（中略）

- 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。

■ これを受け、本資料では、今後、産学官の主体による共創体制において、国が中心となって策定するロードマップの検討の視点(案)を説明する。

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、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が主体となって行う研究開発の内容(民間、他機関支援含む)について具体化を図る。



3. ロードマップ構築の考え方(案)

- 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。

3. ロードマップ構築の考え方(案)

③ 我が国宇宙輸送系の産業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産業競争力強化等(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、産業競争力強化(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

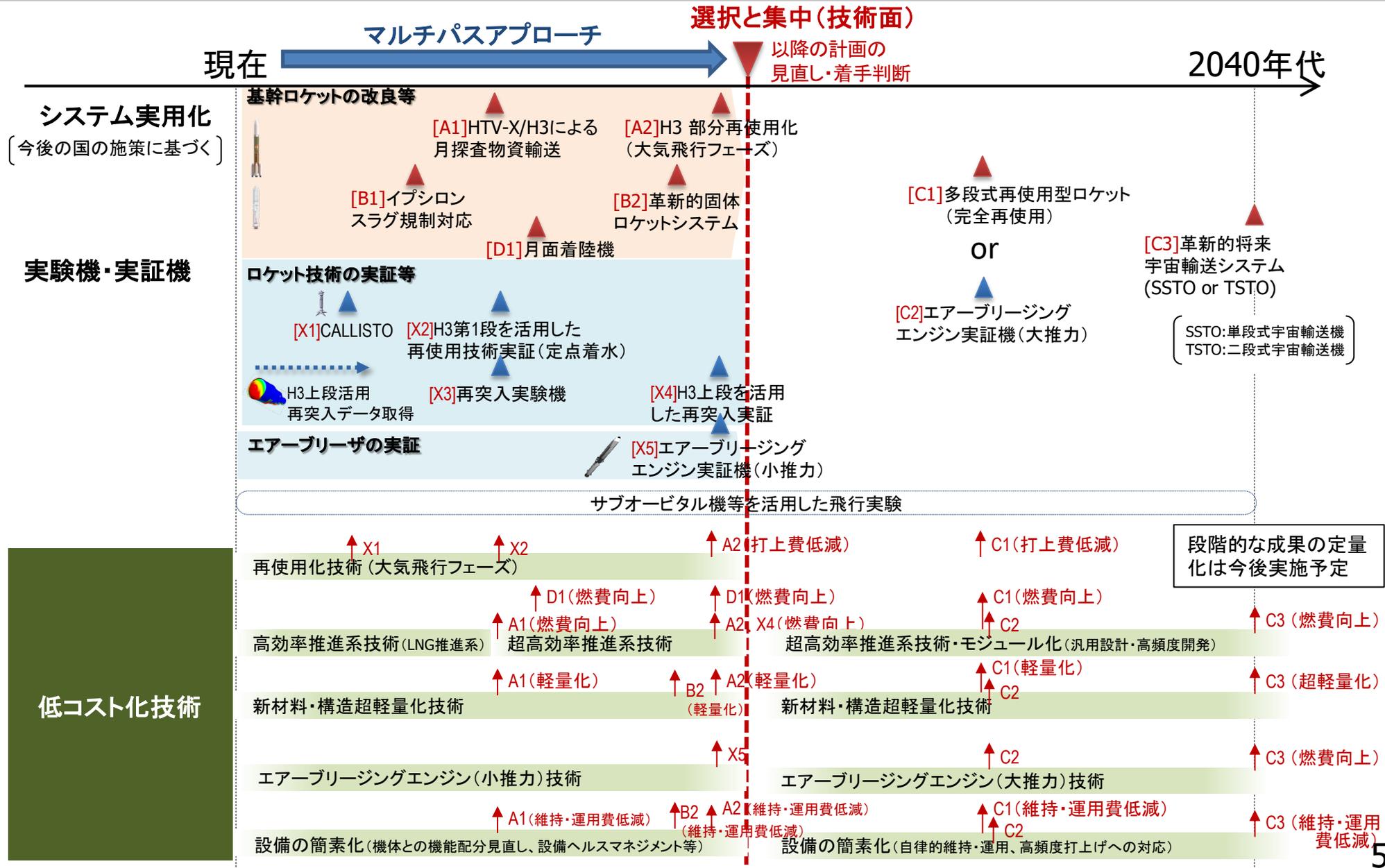
✓ 次世代を担う若手研究者・若手エンジニアの育成・確保

✓ 宇宙利用市場の形成

- 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。

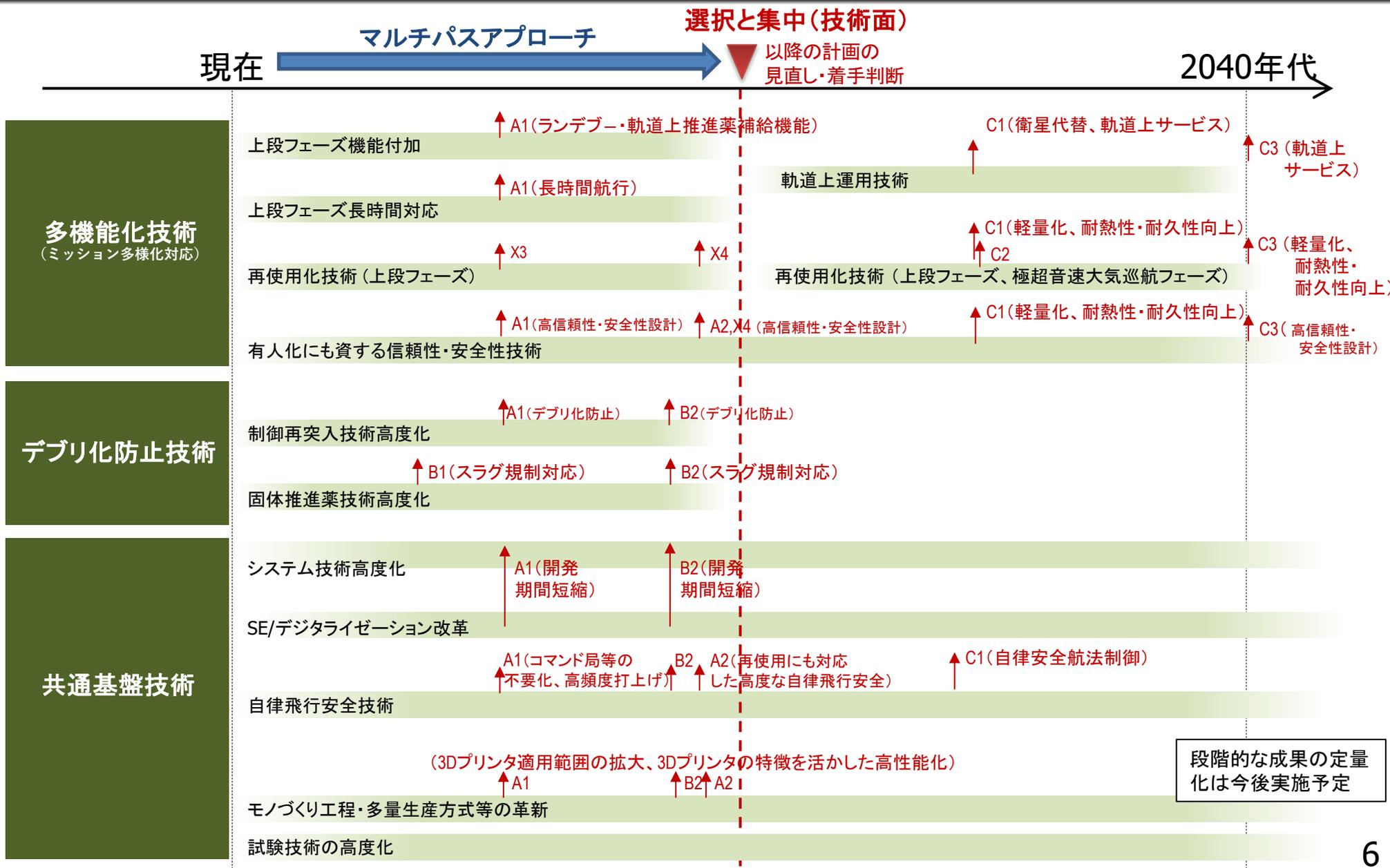
(補足1) ロードマップ(素案) (1/2)

(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1)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



(補足2) 個別ロードマップのサンプル① ~部分再使用(大気フェーズ)(素案)~

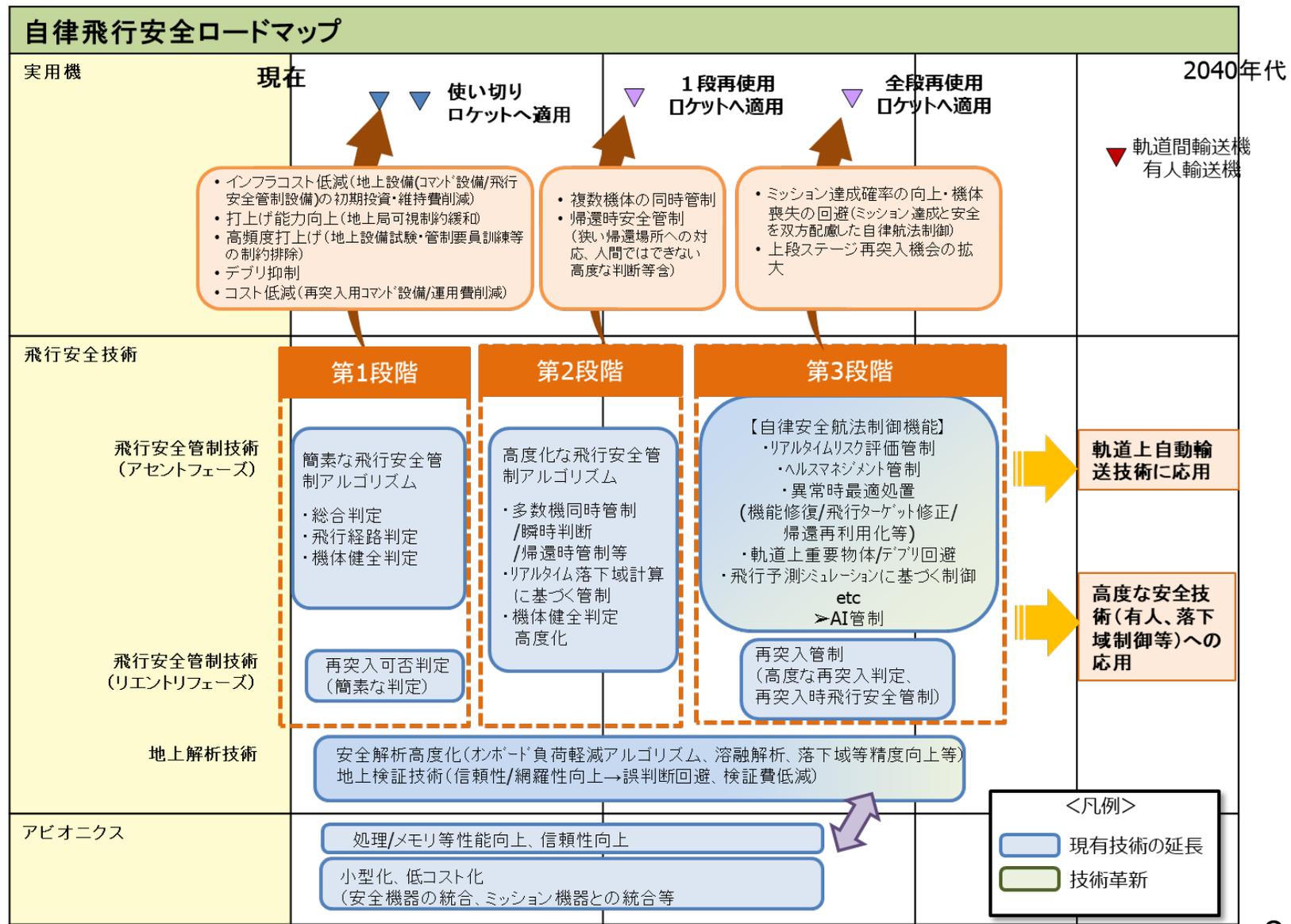
- RV-X・CALLISTOにおいて1段ステージの再使用化のコスト効率・ターンアラウンド期間短縮等の技術実証を行う。
- RV-X・CALLISTOの成果を活用して、事業者と連携し、実用機1段ステージ再使用化の事業化判断を行う。
- 有効性が確認された場合、速やかな実用機への適用を行う。

部分再使用(大気フェーズ)				
データ取得・飛行実証	現在		飛行実証 H3など	2040年代
		RV-X	CALLISTO	1段再使用事業性判断
システム技術	再使用1段システム設計データ取得 (遷音速空力、帰還着陸時の脚荷重・プルーム加熱・音響環境等) →1段再使用実験機の設計技術	1段再使用実用機の試設計モデル・ツールによる1段再使用化による能力・コスト見込み評価	1段再使用実用機の試設計モデル・ツール 機体システムの能力・コスト/帰還誘導制御の成立性/再使用運用のコストをモデル化し、1段再使用実用機の能力・コスト評価ツールへ取り込む →実用機のリファレンス・事業構想に対する低コスト化踏まえた事業性判断	
誘導制御技術	再使用1段飛行データ取得 →ピンポイント帰還誘導・風耐性向上技術	高Mach数領域への適用範囲拡大		
推進薬マネジメント技術	帰還・急速姿勢変更時の推進薬挙動データ取得 →1段再使用推進薬マネジメントデバイス設計技術	大型機体・他推進薬への拡張・検証		
ヘルスマネジメント技術	再使用1段運用データ取得 (エンジン非破壊検査・故障診断) →地上安全化処置技術、地上再整備費低減技術	機体システムへの適用範囲拡大		
材料・構造・機構系	高負荷・高サイクル熱制御技術の獲得による再使用耐性の確保 (使い捨てから再使用化によるライフサイクルコスト低減) 上段軽量化技術の獲得による打ち上げ能力向上 (再使用輸送機の打ち上げ性能確保)			
液体エンジン	エンジン高寿命設計技術の獲得による設計マージンの適正化 (ハードウェア実証からリスクベースでの設計・解析保証へ) 大推力連続スロットリング技術の獲得による帰還着陸制御の自在性確保			
				<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><凡例></p> <p> 現有技術の延長</p> <p> 技術革新</p> </div>

(補足2) 個別ロードマップのサンプル② ~自律飛行安全ロードマップ(素案)~

自律飛行安全技術は段階的に開発・実機適用を行う。

- 第1段階: 使い切りロケットを対象に、シンプルな自律飛行安全管制を行い、コマンド設備等の不要化による維持・運用費の低減、打上能力向上等を達成。
- 第2段階: 1段ステージ等の再使用(機体の帰還)に必要な高度な自律飛行安全を実現。
- 第3段階: 上段ステージも含め、機体を安全に飛行・帰還させる自律安全航法制御を実現。(指令破壊を極力排除)



(補足3) 技術戦略の方向性 (案)

- 自立的なアクセス手段を確保し続けるため、安全保障、月探査等多様な需要への対応および継続的な国際競争力の強化に向けた現有技術の改善・高度化に関わる研究開発と、長期的な技術革新を視野に入れた、抜本的な輸送コストの低減等に資する研究開発、の**両輪**を推進。
- 4つの技術システムを機軸として、一貫性とバランスのある研究開発計画を構築。適宜、需要対応、競争力強化、産業振興への適用を見据えた技術実証・社会実装化を図りつつ、着実に技術獲得を推進。

	現有技術の改善・改良 に関わる研究開発	技術革新に向けた研究開発
低コスト化技術	<ul style="list-style-type: none">○ 再使用化技術 (大気飛行フェーズ)○ 高効率推進系技術 (打上単価減)○ 設備簡素化技術	<ul style="list-style-type: none">○ 再使用化技術 (上段フェーズ)○ 新材料・構造超軽量化技術○ エアブリージング技術大推力化
多機能化技術 (ミッション多様化対応)	<ul style="list-style-type: none">○ 上段フェーズ機能付加技術 ・軌道上ランデブ・推進薬補給技術○ 上段フェーズ長時間対応技術 ・推進薬マネジメント技術他	<ul style="list-style-type: none">○ 有人化技術
デブリ化防止技術	<ul style="list-style-type: none">○ 制御再突入技術高度化 ・自律リエントリ・制御技術 ・溶融解析技術高度化○ 固体推進薬技術高度化	<ul style="list-style-type: none">○ 完全再使用化技術○ 自律航法誘導制御技術 ・デブリ回避航法技術 (AI活用)○ 自律点検・自己診断技術
共通基盤技術	<ul style="list-style-type: none">○ システム技術○ 自律飛行安全技術○ SE/デジタルイゼーション改革	

技術戦略の方向性 (案)

選択と集中 (一本化)

SSTOを実現。また、現在の航空機以上の運用性を実現。
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。



SSTO / スペースプレーン

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

高頻度開発・高頻度輸送技術

高効率推進系技術

戦略技術の維持

部分再使用化

自動ヘルスマニタリング技術

開発・製造プロセスのデジタル化

制御再突入技術高度化

自律飛行安全技術

基幹ロケット

(液体燃料・固体燃料)

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**

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。

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。

