

宇宙輸送の技術ロードマップ(詳細版)(公開用)

2024年10月

宇宙航空研究開発機構 研究開発部門

目次



	1. 技術ロードマップ(詳細版)の目的	•	•	•	3
4	2. 主要マイルストーン	•	•	•	6
•	3. 宇宙輸送システムのシステムロードマップ	•	•	•	7
4	4. 主要技術のロードマップ	•	•	•	8
	4.1 H3高度化~次期基幹ロケット	•	•	•	9
	4.2 民間ロケット(小型ロケット)	•	•	•	18
	4.3 民間主導による新たな宇宙輸送システム	•	•	•	21
	4.4 自立性確保のための部品の安定供給	•	•	•	30

1. 技術ロードマップ(詳細版)の目的



研究開発部門第四研究ユニットでは、政府の宇宙基本計画・宇宙技術戦略に基づく「宇宙輸送の技術ロードマップ(詳細版)(注1)」を策定している。これは、国・民間企業・大学等との継続的な対話と意見交換等を踏まえ、1年に1回程度の頻度でローリング(改訂)しているものである。その目的は以下のとおり。

- ◆政府の宇宙基本計画・宇宙技術戦略などを踏まえてアップデートし、**勝ち筋を見据 えた宇宙技術戦略を実現していく補助的なツール**とすること。
- ◆宇宙輸送事業者等の動向や要望を踏まえて、**官民双方の技術ニーズを可視化**すること。また、これを**官民で共有**してJAXAのオープンイノベーション共創体制につなげ、民間による研究開発を後押しすること。
- ◆宇宙輸送事業者以外に**広く産業界やアカデミアとも共有**し、技術シーズの発掘や、 宇宙分野以外の事業者・投資家等の新規参入を促進すること。

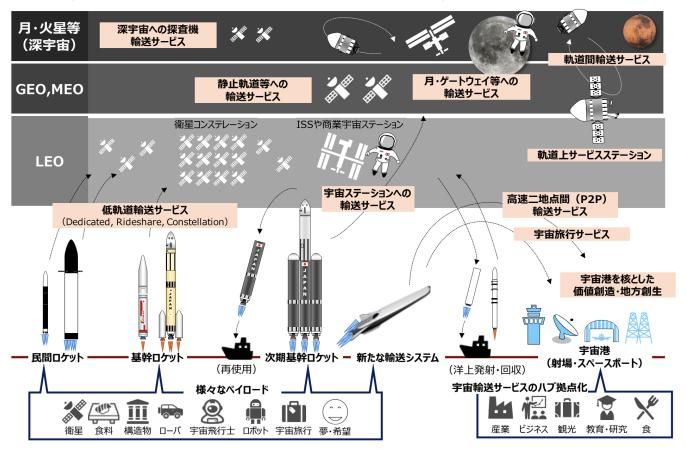
⁽注1)「宇宙技術戦略」(宇宙政策委員会)が示す「宇宙輸送の技術ロードマップ」(P5に参考掲載)と区別するため、「(詳細版)」と呼ぶ。

1. 技術ロードマップ(詳細版)の目的



【参考】宇宙輸送の将来像

「宇宙技術戦略」(令和6年3月28日内閣府宇宙政策委員会)、P65より引用



「将来にわたって、宇宙へのアクセスを確保し、拡大する宇宙利用に対応していくためには、 宇宙輸送システムを担う事業者が、事業の継続性と成長性を確保できることが必須である。」

(「宇宙基本計画」(令和5年6月13日閣議決定)、P8より引用)

1. 技術ロードマップ (詳細版) の目的



【参考】宇宙輸送の技術ロードマップ

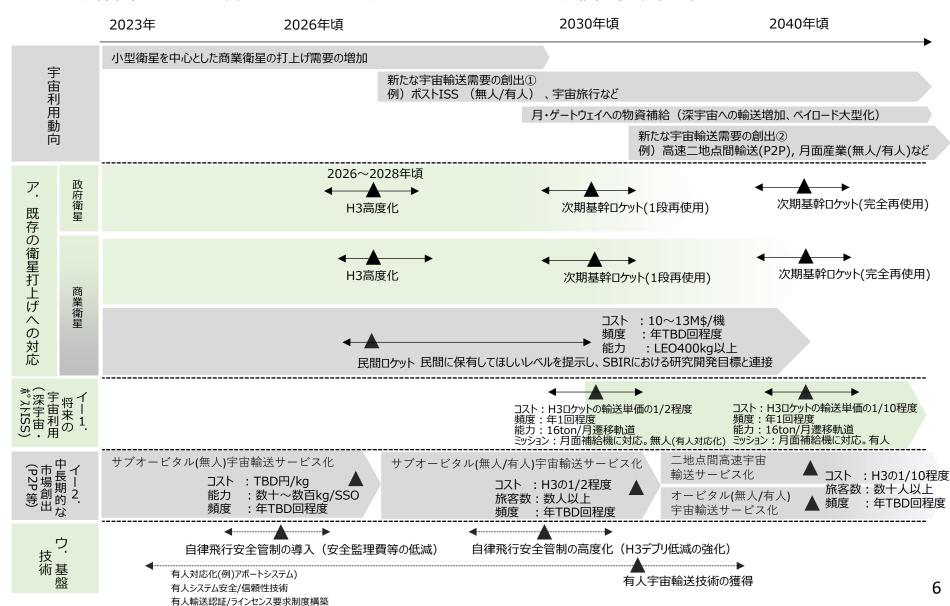
「宇宙技術戦略」(令和6年3月28日 宇宙政策委員会)本文P91より引用

	2023~2027	2028~2032	備考
世界における技術開発の見通し	(世界)民間企業を中心としたロケットの開発		
	(米)(中)超大型ロケットの開発		凡例
	(印)(欧)有人輸送技術の開発		マオト女界ル トファノむ 供の
			実装や商業化・システム整備の計画
	宇宙輸送サービスの高度化(より安価		
	宇宙輸送ネッ	トワークの拡大(月ゲートウェイ、月面、火星等への輸送)	実装や商業化・システム整備の見立て(不確定含む)
	(米等)サブオービタル飛行等による宇宙旅行の進展		
	宇宙輸送	ルートの多様化(高速二地点間輸送、軌道間輸送ネットワーク)	技術開発の計画
	(世界)宇宙港の整備		
我が国における技術開発の見通し	基幹ロケット(H3ロケット、イプシロンSロケット)の運用と高度化		2040年代前半に単位質量当たりの
	をいうが、(n3ログが、インジログSログがが) の雇用と同及で 次期基幹ロケットの開発・実証		打上げコストH3ロケットの1/10程度
	次州基料ログットの用光・夫証	次期基幹口	
	1799et 1,0997V	単位質量当成	りの打上げコストH3ロケットの1/2程度
	民間ロケットの開発 民間ロケットによる輸送サービスの商用化・海	d D 层 B B	2040年代前半に単位質量当たりの
	氏面ログットによる制送リーこ人の商用10・A サブオービタル飛行・軌道間輸送等、新たな宇宙輸送システムの	and the second s	打上げコストH3ロケットの1/10以下
	9プイーにグル飛行・判1週目制25号、利123十日制25プステムの	開発 民間主導で	
	国内の民間射場・宇宙港の活用		2030年代後半:宇宙空間での輸 送ネットワークの構築、有人輸送・宇
	システム技術(システムインテ		宙旅行の実用化
	構造系技術(3D積層、 性能向上・低コスト化を目指した技術開発	複合素材成型技術等)	
	1生形のエ・形。コストペしを自指した「文明開発 推進系技術(メタンエンシ"ン、デ"トネーションエンシ"ン、エア	マルンツングマンツン 日本工 万昌在ル社体体)	
	低コスト・軽量な高性能エンジン研究開発) リーシ プリ 1プラ 人 回径モージ里座1G技術等)	
	固体モータ主要材料の量産化のための技術開発		
	その他の基盤技術(自律飛行安全、再	使用型ロケット技術、洋上回収技術等)	
	再使用型ロケット技術の研 1段目再使用を目指した帰還技術実証	H究開発	
	回収システム等の地上系技術開発 自律飛行安全関連技術開発		
	輸送サービス技術(モジュー	-ル方式複数搭載技術等)	
		有人輸送技術等	
		宙港技術	
	宇宙輸送に係るサス	プライチェーンの維持	

2. 主要マイルストーン



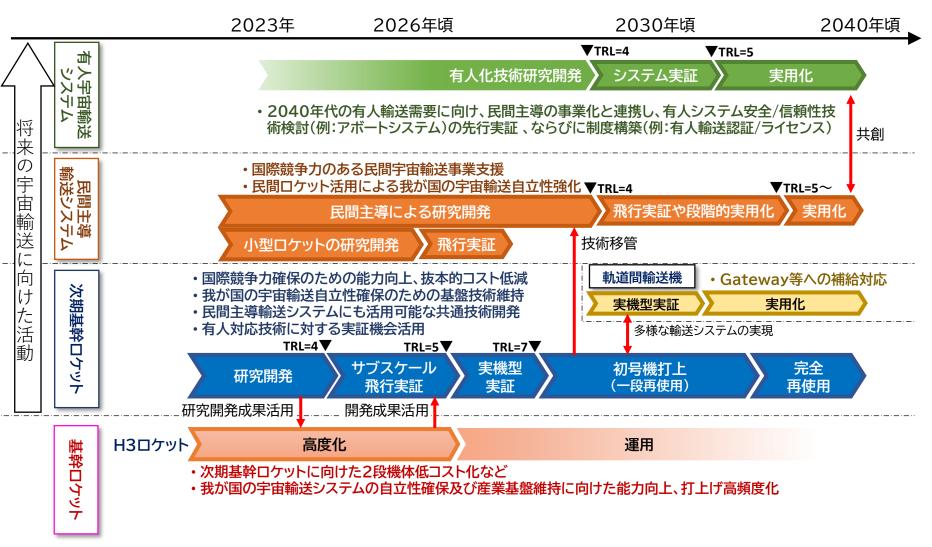
- 各マイルストーンは、**世界の動向や事業者の声を踏まえて設定**する。<u>なお、すべてJAXA調べに基づく仮定である。</u>
- また、**陳腐化しないよう**国内外の政策や需要、技術動向等を踏まえつつ、**継続的に見直す**。



3. 宇宙輸送システムのロードマップ



前ページの主要マイルストーンをもとに設定した、宇宙輸送システムのロードマップを示す。 後述の技術ロードマップ(詳細)は、このシステムロードマップを踏まえたものである。



4. 主要技術のロードマップ



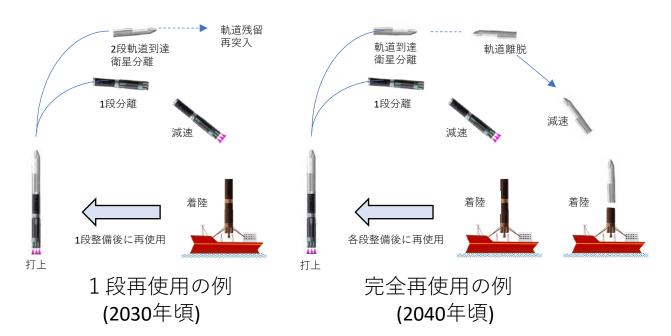
4. 主要技術のロードマップ	• • • 8
4.1 H3高度化~次期基幹ロケット	• • • 9
4.2 民間ロケット (小型ロケット)	• • • 18
4.3 民間主導による新たな宇宙輸送システム	• • • 21
4.4 自立性確保のための部品の安定供給	• • • 30

4.1 H3高度化~次期基幹ロケット(1/9)



次期基幹ロケットのシステム例

- 積層造形法(Additive Manufacturing)等の新技術による**製造費の低減に加えて**、第1段機体を繰り返し使う**1段再使用化**によって**輸送価格の大幅な低減**を図る。
- さらに、民間主導による新たな宇宙輸送システムの要素技術開発が進むことで、熱防御技術、上段回収のための誘導制御技術等を獲得し第2段機体を含めた完全再使用化を目指す。また、民間主導による新たな輸送システムが実用化され機体が量産される際には、部品の共通化等による量産効果による製造費のさらなる低減が期待できる。
- 製造工程が不要となる機体の再使用化と、再使用前の点検・整備作業の効率化による再打上げ期間 の短縮化により、輸送頻度の向上を図る。
- 次期基幹ロケットの基準形態に対し、**液体ロケットブースタ(<u>Liquid Rocket Booster</u>)を追加で装着し、輸送能力の向上(大型ペイロードの打上)**を図る。なお、1段・LRBを再使用せずに使捨型として使用することによって輸送能力はさらに向上する。



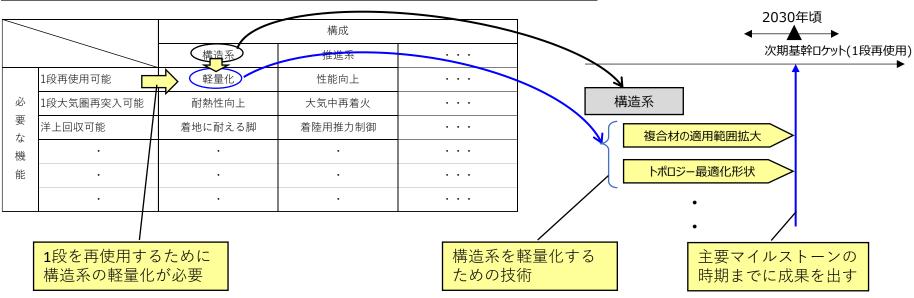
4.1 H3高度化~次期基幹ロケット(2/9)



H3高度化~次期基幹ロケットに関する主要技術ロードマップの考え方(1/2)

- 輸送価格等の主要マイルストーンを実現する宇宙輸送システムの例に対し、必要な機能と機構を整理・細分化して、サブシステムや機器レベルで達成すべき技術項目を抽出した。抽出された技術項目について主要マイルストーンの目標時期に応じて必要時期を設定し、ロードマップを作成する。
- 例えば、輸送価格の低減手段である1段再使用化のためには、機体の軽量化や推進性能(燃費)の向上等が必要であり、機体の軽量化のためには低温タンクのカーボン複合材化等の技術項目が抽出される。 技術項目の技術成熟度(TRL)を必要時期までに向上させるスケジュールとして技術ロードマップが作成できる。

次期基幹ロケットの項目抽出とロードマップへの展開イメージ

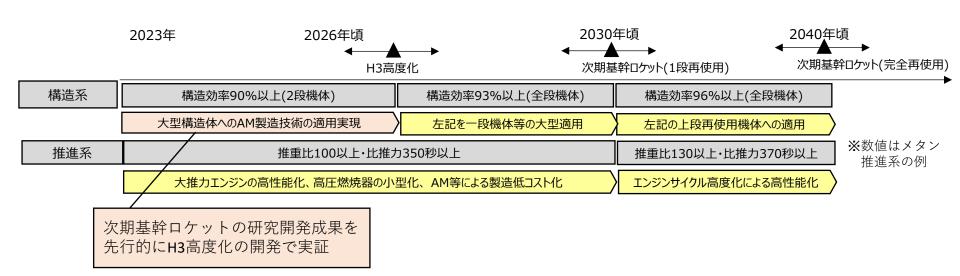


4.1 H3高度化~次期基幹ロケット(3/9)



H3高度化~次期基幹ロケットに関する主要技術ロードマップの考え方(2/2)

- 基幹ロケットとしての自立性を確保するため重要な官需や国際協力ミッションを確実に打ち上げるための対応力を強化するとともに、需要の変動が激しい民需の国際競争においての強みを有するため、スピードを持った研究開発が肝要である。
- このため、抽出された技術ロードマップについて2030年~2040年頃までを俯瞰し、早期に実現できる技術事項については、**事前の技術実証を兼ねて、現行の基幹ロケットへの適用等を考慮**する。
- 例えば、次期基幹ロケットに関する研究開発成果の一部をH3ロケット高度化開発に活用することや、 H3ロケット高度化の2段機体に関する開発成果を次期基幹ロケットの2段機体として活用するなどを 考慮する。これにより、H3ロケット高度化と次期基幹ロケットに関する研究開発を効率的かつシーム レスに推進していく。



4.1 H3高度化~次期基幹ロケット(4/9)



H3高度化~次期基幹ロケットに関する主要技術ロードマップ詳細(1/6)

能力	価格	頻度	2023年	2026年頃 ◆ ▲ ► H3高度化	•	30年頃 - ▲ → ト 朝基幹ロケット(1段再使用)	2040年 ◆	E頃 → → ・
3	システム	۲		再使用回数10回でコスト1/2程度		再使用回数100回	でコスト1/10程度	
•	•	•		開発を加速させるためのシステム設計手法・ツールの構築、運用、改良				
•	•	•		機体組立(溶接/ファスニング/検査)の自動化の実現 (自動化を実現する機体を設計する手法の確立を含む)				
	•	•		飛行安全解析の自動化等によるコスト・期間削減を実現 (DX等の新技術導入・実証)				
				回収後の点検・再整備を効率化する機体システムを実現 (構造・コンポーネントのヘルスモニタリング技術の導入)		上段再使用機体の再 (左記を		>
•	•	•		一段機体帰還時の機体内環境の予測精度向上、環境コントロールの実現		左記を上段再使	用機体へ拡張	\rangle

4.1 H3高度化~次期基幹ロケット(5/9)



H3高度化~次期基幹ロケットに関する主要技術ロードマップ詳細(2/6)

能	価	頻	2023年 2026年頃	↓	2030年頃	2040年頃
力	格	度	H3高	題度化	次期基幹ロケット(1段再使用)	次期基幹□ケット(完全再使用)
7	構造系	5	構造効率90%以上(2段機体)	構造効率93%以上(全段機体	精造効率96%以上(全段	
•			トポロジー最適化による構造系軽量化・低コスト化 (二段機体適用・一段サブスケール飛行実証)	左記を一段再使用に適用 (一段機体等の大型適用)	左記を上段再使用に適(高温・高負荷環境への過	
	•	•	大型ロケット構造体へのAdditive Manufacturing 製造技術の適用実現(大型成型・極低温・耐熱性・低コスト化・再使用への対応)	左記を一段再使用に適用 (一段機体等の大型適用)	左記の上段再使用機体への対応 (高温・高負荷への対応	<u>>)</u>
•	•	•	機器・コンポーネント搭載構造の振動と行びを受ける。 (メタマテリアル等の環境負荷を軽減		左記の上段再使用機体への (高温・高負荷への対応	•
•	•		電気部品・配線等の小型化 (IC範囲・フレキシブルプリント配約			
•	•	•	分離機構の整備コスト大幅削減の実現 非火工品分離機構の適用・安全性の向上)	分離機構の整備コスト大幅削減の第 (左記を大型化し1段機体に適用	<u> </u>	
	•	•	複合素材適用範囲(タンク・段間部等) (大型成型・極低温・耐熱性・低コン		上段再使用機体への複合素 (高温・高負荷への対応	
•	•	•	一段機体帰還飛行用の軽量な空力 (折り畳み等の格納・展開・ロックなどの機能の		上段帰還飛行用の空力姿勢的 (高温・高負荷・軽量化・再使	
•	•		一段機体帰還用の軽量かつ高降 (折り畳み等の格納・展開・ロックなどの機能の低コスト		上段帰還用の着陸機構の (高温・高負荷・軽量化・再使	
•		•		入機能追加を目的とした軽量な熱防護 こ耐える機構・材料の大規模な軽量化・		
•	•		部品点数の削減による低コストかつ軽量な構造様式 の実現(共通隔壁タンク、一体型2次構造、等)	部品点数の削減による低コストかつ。 な構造様式(左記を1段機体に適		
						_
			明基幹ロケットの研究開発成果を う的にH3高度化の開発で実証			

4.1 H3高度化~次期基幹ロケット(6/9)



H3高度化~次期基幹ロケットに関する主要技術ロードマップ詳細(3/6)

能	価	頻	2023年	2026年頃		20304	F頃 >	2040年頃	Į →
力	格	度		H3高度	化	次期基	幹ロケット(1段再使用)	次期基幹	ロケット(完全再使用)
	推進系	\		推重比100以上·比推力3	50秒以上		推重比130以上·比推力370)秒以上	※数値はメタン
•				ンジンクラスター化実現スターエンジン着火技術獲得等)					推進系の例
•	•	•	(高	大推力エンジン(GG等のオープンサイク 性能化・高圧燃焼器の小型化・DfAN			大推力エンジン高性能(クローズドサイクル化等		
•	•	•	(DfAN	低コストかつ高性能なターボオ 1製造等による部品低コスト化・長寿命(上段再使用機体への左記 (ポンプ高圧化・タービン高温イ		
	•			こよる2段低コスト化(点火器・バルにコストな機器の採用・飛行実証)	左記を一段再使用に適用 (一段機体等の大型適用)				
	•			エンジン領収燃焼試験の低コン (作動点調整の容易(
•	•		(冷却による搭載	出の効率最大化の実現(2段) 推薬高密度化・推薬蒸発等による 減・機体内の残留推薬低減)	左記を一段再使用に適用 (一段機体等の大型適用)		上段再使用機体への左記 (高温・高負荷・長期運用への		
•	•	•		管・バルブ・推薬重心管理等のデバト化・軽量化の実現(AM技術・こる軽量化などを低コストに対応)	左記を一段再使用に適用 (一段機体等の大型適用)		上段再使用機体への左記 (高温・高負荷・長期運用への		
•	•	•	// 大気中再着火	推進系の性能を最大限引き出 ・液体ロケットブースタ燃料をメインロケット		(等)	上段再使用機体への左記 (多数回着火・再補給へ拡		
•	•	•		と機体帰還用に高推重比・高比推力の スタ/ガスジェット・タンク・バルブ・配管を低			上段再使用機体への左記(高温・高負荷・長期運用への		
			(スラスタ/ガス	姿勢制御システムの低コスト化と高 ジェット・タンク・パイロ弁の低コスト化・再			上段再使用機体への左記 (高温・高負荷・長期運用への		
			<u> </u>						

次期基幹ロケットの研究開発成果を 先行的にH3高度化の開発で実証

4.1 H3高度化~次期基幹ロケット(7/9)



H3高度化~次期基幹ロケットに関する主要技術ロードマップ詳細(4/6)

能価頻	2023年 2026年頃	←	0年頃 ▲ → (150束体界)	2040年頃 ◆ 本 → 次期基幹ロケット(完全再使用)
アビオニクス系	H3高 構造効率90%以上(2段機体)	機造効率93%以上(全段機体) コスト1/2程度	基幹ロケット(1段再使用) 構造効率96%以上(全段権 コスト1/10程度	
• • •	誘導アルゴリズム改善にて高い喇 (軽量かつ低コストな機器の		往還飛行経路の高い投入精成 (低コストな機器の採用・飛行	
• • •	機体姿勢・位置情報の高 (軽量かつ低コストな機器の		上段再使用帰還・高い着陸精 (低コストな機器の採用・飛行	
• • •	高い着地精度を実現させる一段再使用! (軽量かつ低コストな機器の		左記を上段再使用でも高い精 (低コストな機器の採用・飛行	
• • •	衛星通信のみでの飛行デ・ (軽量かつ低コストな機器の		左記を上段再使用帰還へ (低コストな機器の採用・飛行	
• • •	機体内ワイヤレス通信や機器統合 (軽量かつ低コストな機器の		左記を上段再使用帰還へ (低コストな機器の採用・飛行	
	搭載電池のエネルギー高密度化 (軽量かつ低コストな機器の	による軽量化の実現 采用・飛行実証)	左記を上段再使用帰還へ (低コストな機器の採用・飛行	
	民生品部品適用による低コスト化・軽量化 (軽量かつ低コスト部品・基板・筐体の部分採用)	民生品部品適用による低コスト化・軽量 化(左記の採用範囲の拡大)	左記を上段再使用帰還へ (低コストな機器の採用・飛行)
ペイロードイン	複数衛星搭載等への対応	月面大型輸送・探査大型化への対応	柔軟性の高いマルチ衛星指	答載
ターフェース系	コスト1/2程 複数衛星搭載の拡大	度 大型輸送の実現	□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □	の の 実現
	(コンステ・複数衛星・ライドシェア搭載方式確立) ペイロード搭載荷重推算の自動化等に	(大型輸送対応フェアリング等の実現)	(搭載方式の革新) 上段再使用機体への左記	
	(DX等の新技術導) ペイロードへの負荷軽減	技術の確立	(DX等の新技術導入・実 上段再使用機体への左記)	適用
	/ (制振・吸音等の環境負荷を軽減	する新技術導入・実証)	/ (環境負荷軽減の新技術導入	· <u>美耻)</u>
	リ基幹ロケットの研究開発成果を 対にH3高度化の開発で実証			15

4.1 H3高度化~次期基幹ロケット(8/9)



H3高度化~次期基幹ロケットに関する主要技術ロードマップ詳細(5/6)

	頻度	2023年 2026年頃	★	030年	E頃 ▶ ・	2040年頃
飛行安全系	系	再使用回数10回			再使用回数100回でコスト1/1	.0程度
• •		自律飛行安全適用範囲拡大の実現 (低コストな機器の採用・飛行実証)	帰還飛行を含む自律飛行安全機能の確立 (低コストな機器の採用・飛行実証)		再突入時の自律飛行安全へ (低コストな機器の採用・飛行	
• •		再突入安全管制のオンボード化の実現 (低コストな機器の採用・飛行実証)	帰還飛行を含む自律飛行安全機能の確立 (低コストな機器の採用・飛行実証)		左記を上段再使用機体へ拡 (低コストな機器の採用・飛行	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
• •		衛星通信活用フェーズの範囲拡大 (TDRS ⇒ InRange)	□ 帰還飛行を含む自律飛行安全機能の確立 □ (低コストな機器の採用・飛行実証)		左記を上段再使用機体へ排 (低コストな機器の採用)	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
• •		一段落下域の特定精度向上の実現 (機体誤差要因低減等)	帰還飛行を含む自律飛行安全機能の確立 (低コストな機器の採用・飛行実証)	\overline{i}	左記を上段再使用機体へ打 (低コストな機器の採用)	
• •	\	第1段エンジン停止時のEDIAの縮小実現 (飛行安全遅延時間短縮等)	帰還飛行を含む自律飛行安全機能の確立 (低コストな機器の採用・飛行実証)		左記を上段再使用機体へ打 (低コストな機器の採用)	
		多様な軌道傾斜角	投入技術の確立			
		一段着陸時の飛行 (低コストな機器の			複数機の同時管制技術へ排 (低コストな機器の採用・飛行	
次		<u>↓幹ロケットの研究開発成果を</u>				

次期基幹ロケットの研究開発成果を 先行的にH3高度化の開発で実証

4.1 H3高度化~次期基幹ロケット(9/9)



H3高度化~次期基幹ロケットに関する主要技術ロードマップ詳細(6/6)

財場施設設備	能	価	頻	2023年 2026年頃		2030年	=頃 ► ◆	2040年頃
回収 一回収 回収	力	格	度	H3ē	度化	次期基準	幹□ケット(1段再使用)	次期基幹ロケット(完全再使用)
(全体計画概念検討) ● サブスケール飛行実証に向けた飛行実験場の実現 (低コストに繰り返し実験可能な機動性) 変ガス制約緩和の実現 (液ガスサービス調達化・大型貯槽・GH2フリーペンド化・He回収技術高度化等) ● 機体設備インターフェース簡素化の実現 (アンピリカルの再使用化、低コストな機器の採用) DX等による機体点検・整備等の運用の効率化の実現 (DX等による整備作業の革新を起こす低コストな機器・技術の採用) ● 回収した機体を再整備する技術の確立・プロセスの構築 (コンボ・構造・耐熱などの点検、異常判断、寿命評価を含む) 点検設備の小型化・簡素化による機体点検・整備等の運用の効率化の実現 (整備作業の革新を起こす低コストな機器・技術の採用) 上段再使用機体の再整備技術へ拡張 (左記を発展) 上段再使用機体の再整備技術へ拡張 (左記を発展) 上段再使用機体の再整備技術へ拡張 (左記を発展) 上段再使用機体の再整備技術へ拡張 (左記を発展) 上段再使用機体の再整備技術へ拡張 (左記を発展) 上段再使用機体の再整備技術へ拡張 (左記を発展) 上段再使用機体の可整備技術へ拡張 (左記を発展) 上段再使用機体の可整体が表現 (左記を発展) 上段再使用機体の可整体が表現 (左記を発展) 上段再使用機体の可整体が表現 (左記を発展)				再使用回数10回でコ	スト1/2程度		再使用回数100回でコスト1/10	0程度
(低コストに繰り返し実験可能な機動性) 運用による実証等		•	•					
(液ガスサービス調達化・大型貯槽・GH2フリーベント化・He回収技術高度化等) 機体設備インターフェース簡素化の実現 (アンビリカルの再使用化,低コストな機器の採用) DX等による機体点検・整備等の運用の効率化の実現 (DX等による整備作業の革新を起こす低コストな機器・技術の採用) 回収した機体を再整備する技術の確立・プロセスの構築 (コンボ・構造・耐熱などの点検、異常判断、寿命評価を含む) 点検設備の小型化・簡素化による機体点検・整備等の運用の効率化の実現 (整備作業の革新を起こす低コストな機器・技術の採用) 意陸した機体を自動で固定する技術の確立 (センシング・モーションコントロール等を含む) 回収した機体を安全化する技術の確立 上段再使用機体の回収技術へ拡張 (左記を発展) 上段再使用機体の再整備技術へ拡張 (左記を発展)		•	•			場の		
(低コストな機器の採用) DX等による機体点検・整備等の運用の効率化の実現 (DX等による整備作業の革新を起こす低コストな機器・技術の採用) 回収した機体を再整備する技術の確立・プロセスの構築 (コンボ・構造・耐熱などの点検、異常判断、寿命評価を含む) 点検設備の小型化・簡素化による機体点検・整備等の運用の効率化の実現 (整備作業の革新を起こす低コストな機器・技術の採用) 直収した機体を自動で固定する技術の確立 (センシング・モーションコントロール等を含む) 回収した機体を安全化する技術の確立 した段再使用機体の可整備技術へ拡張 (左記を発展) 上段再使用機体の再整備技術へ拡張 (左記を発展) 上段再使用機体の可整備技術へ拡張 (左記を発展) 上段再使用機体の可整備技術へ拡張 (左記を発展)		•	•					
(四文等による整備作業の革新を起こす低コストな機器・技術の採用) (低コストな機器の採用) □収した機体を再整備する技術の確立・プロセスの構築 (コンポ・構造・耐熱などの点検、異常判断、寿命評価を含む) □成はた機体を再整備する技術の確立 (左記を発展) □成した機体を自動で固定する技術の確立 (センシング・モーションコントロール等を含む) □収した機体を安全化する技術の確立 上段再使用機体の回収技術へ拡張 上段再使用機体の回収技術へ拡張 上段再使用機体の回収技術へ拡張 (を開作機体を回収技術へ拡張 (を開作業の単新を起こす低コストな機器・技術の採用)		•	•					張
(コンポ・構造・耐熱などの点検、異常判断、寿命評価を含む) (左記を発展) 点検設備の小型化・簡素化による機体点検・整備等の運用の効率化の実現 (整備作業の革新を起こす低コストな機器・技術の採用) 上段再使用機体の再整備技術へ拡張 (左記を発展) 「左記を発展) 「		•						張
(整備作業の革新を起こす低コストな機器・技術の採用) (左記を発展)		•	•					△拡張
(センシング・モーションコントロール等を含む)		•	•					△拡張
		•	•					
(推進薬、加圧ガスを安全に取り扱う技術の確立) (左記を発展)		•	•					拡張
● 機体を洋上で回収する技術の確立 (低コストな洋上回収用着陸船・回収後機体移動・点検・再組立等の確立) 上段再使用機体の回収技術へ拡張 (左記を発展)			•					拡張

4.2 民間ロケット (小型ロケット) (1/3)



民間ロケット(小型ロケット)のシステム例

- 近年、我が国では宇宙輸送に挑戦するStart Up(SU)企業が複数社生まれてきており、地球周回低軌道への小型ペイロードを輸送することを目指した小型ロケットの研究開発が推進されている。
- 世界的に打ち上げ需要が一層高まり、宇宙輸送市場の国際競争が激化している状況下において、小型ロケットについては、**民間の活力を生かして主要マイルストーン案に定める時期までに実現**する進め方が効率的である。
- このため、低コストな宇宙輸送システムの開発・飛行実証を行う**SU企業を支援**することとし、 2027年以降の市場獲得を見据え、更なる低コスト化や機能向上等のための技術開発に取り組むこと を推奨する。
- 上記支援を通じて、国際競争力ある革新的宇宙輸送システムの開発・事業化はもちろん、宇宙輸送 分野の人材流動性を向上させること等により、**我が国の宇宙産業の発展と、宇宙活動を支える総合 的基盤の強化**を図る。



スペースワン計HPより



インターステラテクノロジズ社HPより





スペースウォーカー社HPより

宇宙輸送に挑戦するStart Up企業による小型ロケットシステムの例

4.2 民間ロケット (小型ロケット) (2/3)



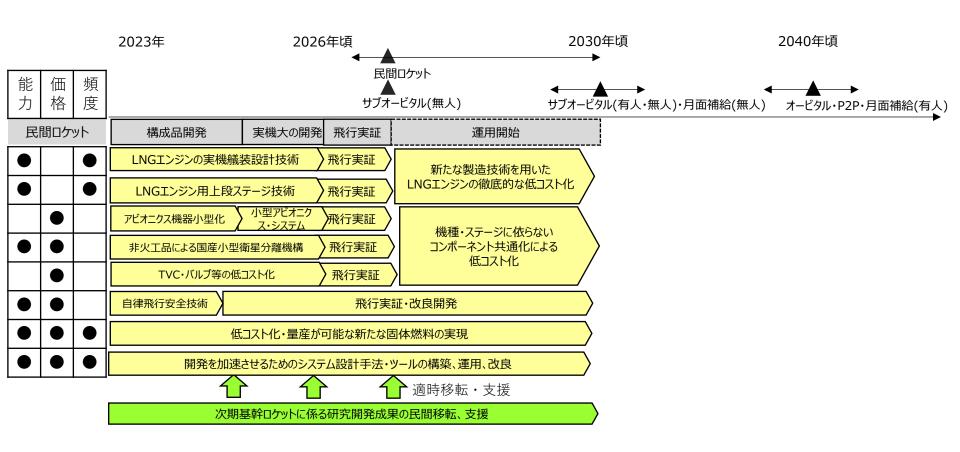
民間ロケット(小型ロケット)に関する主要技術ロードマップの考え方

- 2027年以降の市場獲得を見据えて、更なる低コスト化や機能向上等のための技術開発を促進するために、低コストな宇宙輸送システムの開発・飛行実証を行うスタートアップ企業(SU企業)を支援する。
- 固体ロケットに比べて性能が高く、ロケットの飛行中の軌道誤差を修正する為にエンジンの噴射時間を任意に調整できる液体ロケットエンジンのうち、特に推進剤コストが安く、取扱性・安全性に優れる液化天然ガス(LNG)エンジンにSU企業は着目しており、JAXAの研究開発成果を活用して、実機への適用を目指した研究開発が推進されている。
- ロケットの小型化に応じて誘導制御等をつかさどる**アビオニクス機器(電気機器)の**小型化、機器機能の統合・集積化等による軽量化が必要であり、SU企業においても**実機への適用を目指した研究開発**が推進されている。
- 宇宙輸送系共通の基盤技術である部品の低コスト化・軽量化等については、次期基幹ロケットに係る研究開発の成果を民間に技術移転すること等によって民間を支援する。
- 基幹ロケットと比べて小型ロケットは質量感度が高いため、小型かつ軽量なアビオニクス機器・非 火工品分離機構等を必要としている。
- 飛行実証後のシステム運用に向けて調達性や大量生産性を確保する為の技術課題を有している。
- 現在開発中のシステムを踏襲しながら、安全性や打上げ能力を引き続き高めていく傾向にあり、自 律飛行安全技術やシステム設計技術を高める事も課題となっている。

4.2 民間ロケット(小型ロケット)(3/3)



民間ロケット(小型ロケット)に関する主要技術ロードマップ詳細



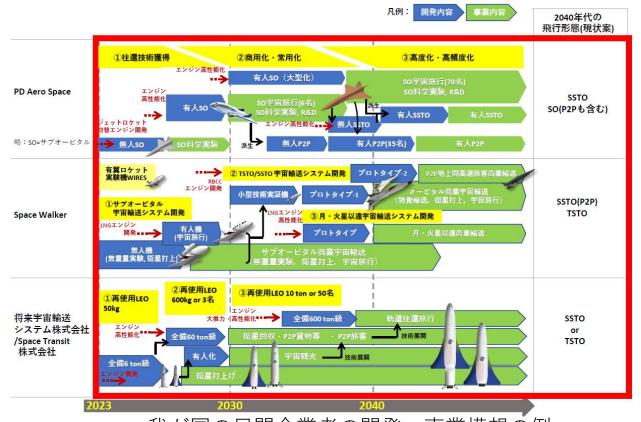
4.3 民間主導による新たな宇宙輸送システム(1/9)



軌道離脱

民間主導による新たな宇宙輸送システムの例

- 新たな宇宙輸送システムに挑戦する我が国のStart Up(SU)企業の中には、**更なる輸送価格の低減**と **輸送頻度の向上**を目指して、**完全再使用型の宇宙輸送機の実現に向けた技術**の研究開発に取り組ん でいる企業がある。
- これらの企業は、輸送対象は貨物に限らず、**宇宙往還(宇宙からの帰還)技術を踏まえて有人宇宙輸送**を目指している。



^{離陸} Single-Stage-To-Orbitの例 (2040年頃)

軌道到達

我が国の民間企業者の開発・事業構想の例

4.3 民間主導による新たな宇宙輸送システム(2/9)



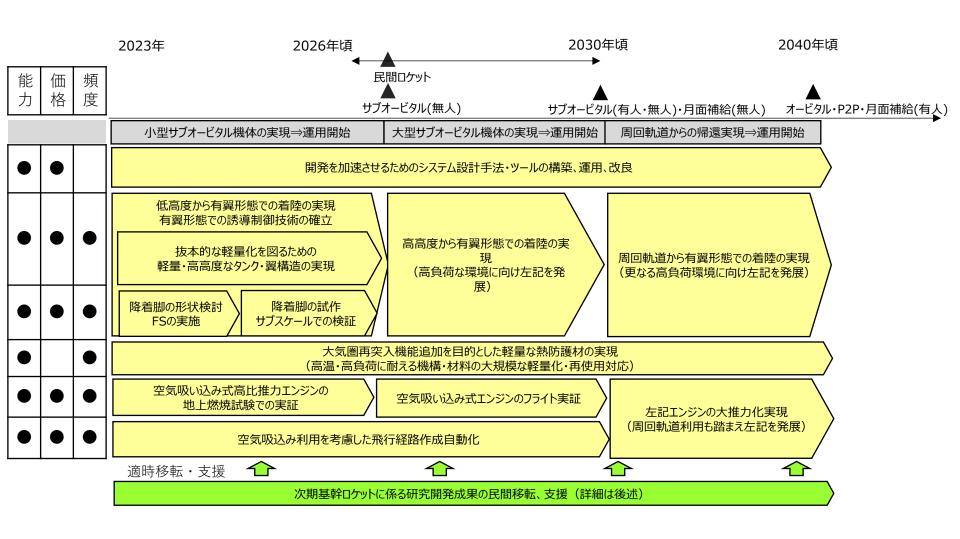
民間主導による新たな宇宙輸送システムに関する主要技術ロードマップの考え方

- わが国で実現例のない民間主導の新たな宇宙輸送システムに対しては官民の活動に加えて、学による先進研究成果の活用が重要であり、学(アカデミア)との連携も密にして推進していく。
- 従来のロケットと同型の**弾道型宇宙輸送システムに関する研究開発は次期基幹ロケット等の研究開発ロードマップに包絡されている**。
- 航空機のような**有翼型宇宙輸送システムについては、民間主導の新しい宇宙輸送システムとして研究開発が進められており**、民間の開発計画を踏まえて技術ロードマップを維持していくことが肝要。
- 有翼形態での機体は翼を加えても構造効率が大きく下がらない様にする為の軽量化技術が必要となっている。
- 機体のサイズを可能な限りコンパクトとする為に、飛行中に空気を機体内に取り込む事で搭載する 液体酸素の使用量を減らす/無くすエンジン・飛行経路の研究開発が進められている。

4.3 民間主導による新たな宇宙輸送システム(3/9)



民間主導による新たな宇宙輸送システムに関する主要技術ロードマップ詳細

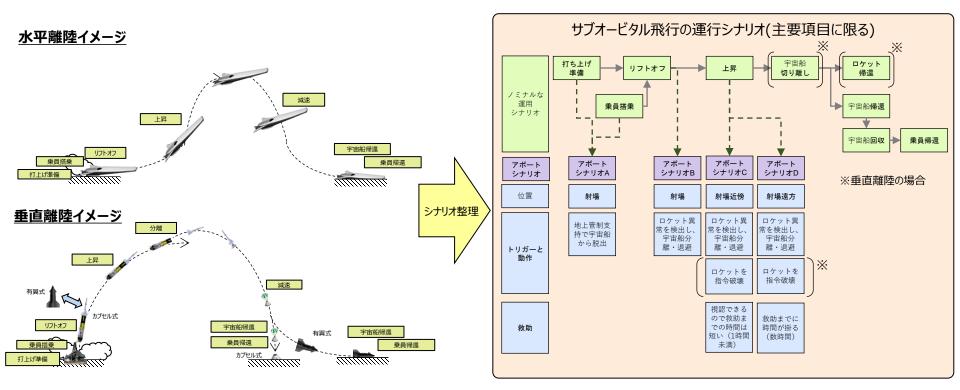


4.3 民間主導による新たな宇宙輸送システム(4/9)



サブオービタル飛行の運用シナリオの例について

- ◆国内の一部の民間企業では、宇宙旅行や大陸間二地点輸送などの新たな宇宙輸送サービスの実現に向けて技術開発が進められている。
- ◆これらの民間企業では、様々な飛行形式・システム形態を想定し、事業の初期段階でサブ オービタル飛行での有人輸送を目指している。
- ◆サブオービタル飛行の運用として一般に下記のシナリオが考えられる。

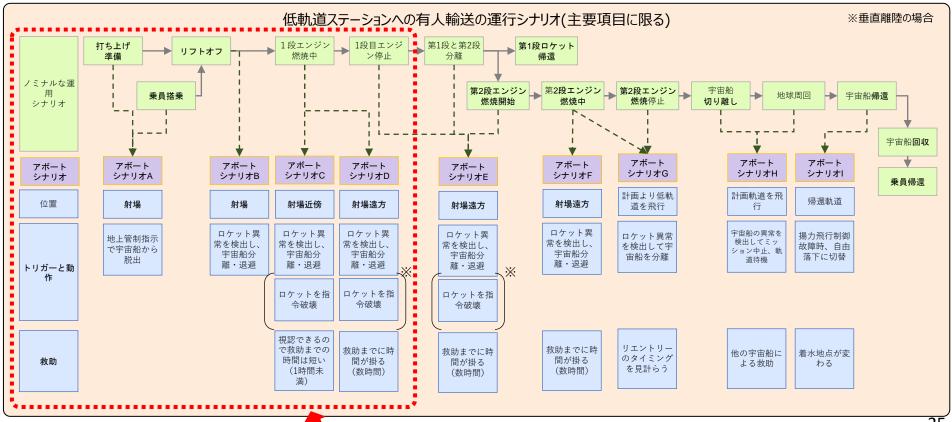


4.3 民間主導による新たな宇宙輸送システム(5/9)



低軌道ステーションへ有人輸送する運用シナリオの例について

- ◆国内の一部の民間企業では、更なる事業拡大の構想として、市場拡大を目指し、低軌道 ステーションへ有人輸送することが検討されている。
- ◆これらの民間企業では、サブオービタル飛行から低軌道ステーションへの有人輸送へのシステム発展を目指している。
- ◆低軌道ステーションへの有人飛行の運用シナリオとして一般に下記のシナリオが考えられる。

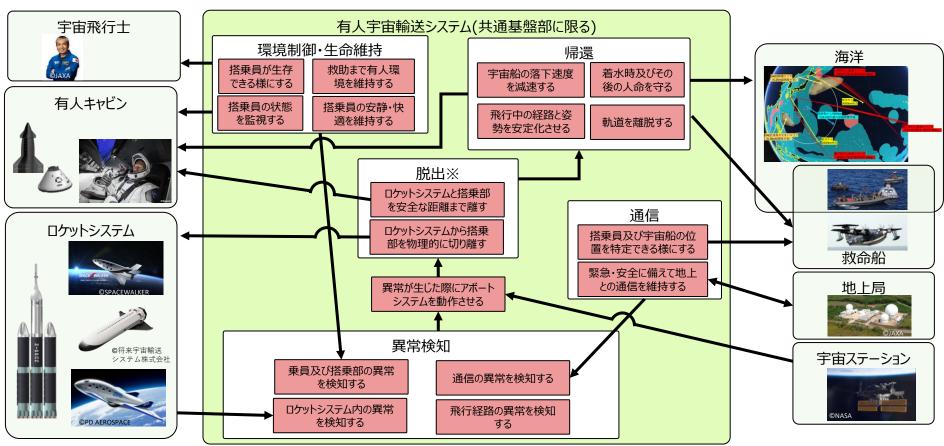


4.3 民間主導による新たな宇宙輸送システム(6/9)



有人宇宙輸送システムの機能構成と必要機能の例について

◆国内の一部の民間企業では、民間ロケットシステムの有人化に向けて、「環境制御・生命維持」「通信」「異常検知」「脱出※」「帰還」などの機能を実用レベル(人を乗せる判断が可能なレベル)にするため、安全性や信頼性を確認しながらシステムの実現を目指されている。
※ 脱出機能は飛行形式・システム形態および運用の考え方によって要否は異なる
※ 脱出機能は飛行形式・システム形態および運用の考え方によって要否は異なる



4.3 民間主導による新たな宇宙輸送システム(7/9)

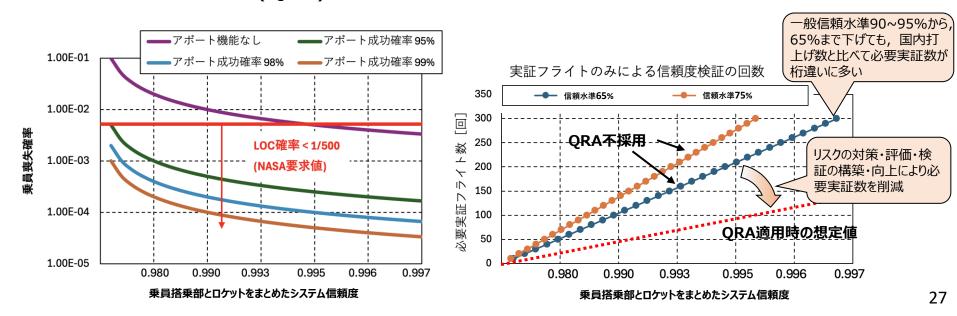


有人宇宙輸送における安全性・信頼性の目標設定の考え方案

◆事業利用において海外での着陸も想定される為、民間での有人宇宙輸送実現に向けて、乗員喪失確率(LOC)の目標値を、NASA基準を参考に1/500※以下(暫定値)とする (注:ロードマップ上の研究開発の目標値であり国としての制度として定める値ではない)。

※引用: NASA, ISS Crew Transportation and Services Requirements Document, CCT-REQ-1130

- ◆乗員喪失確率の目標値を実現するように、「環境制御・生命維持」「通信」「異常検知」「脱出」「帰還」の各成功率または信頼度の配分値を設定し、研究進捗を踏まえながら配分割合等を随時アップデートをしていく。
- ◆成功率または信頼度の目標値の達成状況については、様々な実証・検証機会をもとに、定量的リスクアセスメント(QRA)を導入しながら評価を目指していく。



4.3 民間主導による新たな宇宙輸送システム(8/9)



有人宇宙輸送実現に向けて研究開発が必要な技術

- ◆前4頁でに述べたように、「環境制御・生命維持」「通信」「異常検知」「脱出」「帰還」に関する成功率や信頼性の向上させることが重要であり、定量的リスクアセスメントを導入しながらシステム全体の高信頼性の実証を目指していくことから、これらに関する以下の技術の要素研究開発を推進することが必要と考える。
 - ▶ 適切な宇宙船内環境に維持するための環境制御・生命維持技術(ヒューマンファクターエンジニアリング技術や有人キャビン技術なども含む)
 - ▶ 搭乗員の安全・救命を確実とする通信技術
 - ▶ 搭乗員の安全性やミッションの適正を監視する異常検知技術
 - ▶ 異常時に搭乗員を緊急退避させる等の脱出技術(緊急退避システムなど)
 - ▶ 搭乗員を安全に地球に還す帰還技術 (大気圏再突入も含む熱防護システムなど)
 - ▶ ロケットの安全性と信頼性を向上させるシステム技術
 - ▶ 技術の実証に要する回数を軽減させるための信頼性・リスク評価技術
- ◆以上のことを踏まえて、技術ロードマップを作成し、次ページの通り整理した。

4.3 民間主導による新たな宇宙輸送システム(9/9)

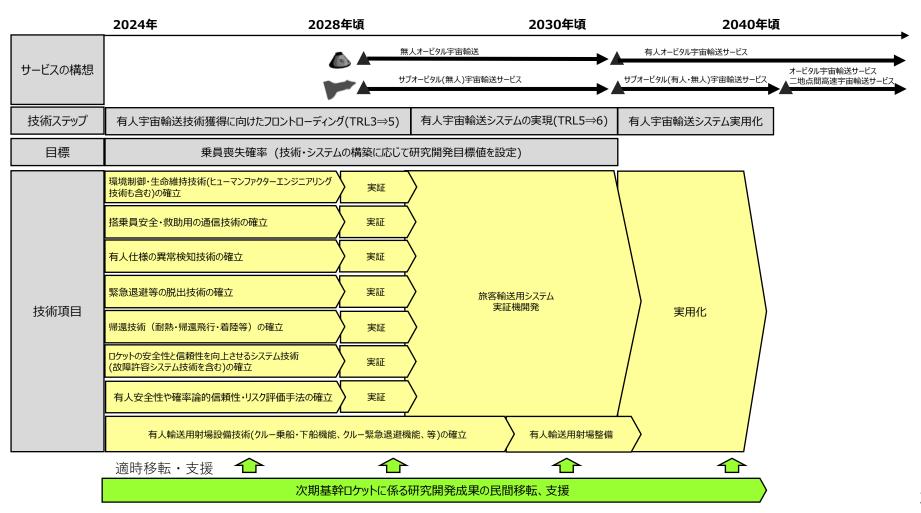


国内の有人宇宙輸送実現に関する主要技術ロードマップ詳細

◆有人宇宙輸送技術の基本となる評価軸は乗員喪失確率

要件1: システムの信頼性を高めること

要件2: 搭乗員及び飛行周囲環境に対する安全対策がされていること



4.4 自立性確保のための部品の安定供給



自立性確保のための部品の安定供給に関する主要技術ロードマップの考え方

- 我が国では輸送頻度が年間数機であり、部品の出荷台数が少ないことから採算性が合わない等の理由でベンダーから撤退の申し出を受けることがしばしばある。近年では、コロナ禍やウクライナ紛争の影響によりIC等の部品入手性が著しく困難な時期があった。
- 我が国の打上手段の自立性確保を確実なものとするために、高頻度化や高度化などの試作により年間打上げ数(製造数量)の安定確保に努めるとともに、主要部品については国産化していくことや、採算性の課題がある機器については台数の多い民製品の適用または改良使用等を目指した研究開発を実施する案が考えられる。

