

世界のロケット開発動向と H3高度化に向けた現状の課題認識

令和7(2025)年3月26日

宇宙航空研究開発機構
宇宙輸送技術部門 H3プロジェクトチーム

目次

1. 各国のロケット開発状況
 - 1.1 世界の競合ロケットの状況
 - 1.2 Falcon9の段階開発
 - 1.3 Space Launch Systemの段階開発
 - 1.4 Ariane6の段階開発
2. 我が国の今後の基幹ロケット開発方策
 - 2.1 我が国の液体ロケットの開発経緯
 - 2.2 宇宙技術戦略を踏まえた宇宙輸送システムの将来像
 - 2.3 基幹ロケットの役割とあり方
 - 2.4 基幹ロケット開発方策検討における基本的な考え方
 - 2.5 基幹ロケット開発方策の検討
3. H3ロケット高度化に向けた現状課題認識(サマリ)

1. 各国のロケット開発状況

1.1 世界の競合ロケットの状況

市場はFalcon9の寡占状態。2020年頃にデビューを予定していたその他競合ロケット (NewGlenn、Vulcan、Ariane6)も初フライトを終え、運用を開始。

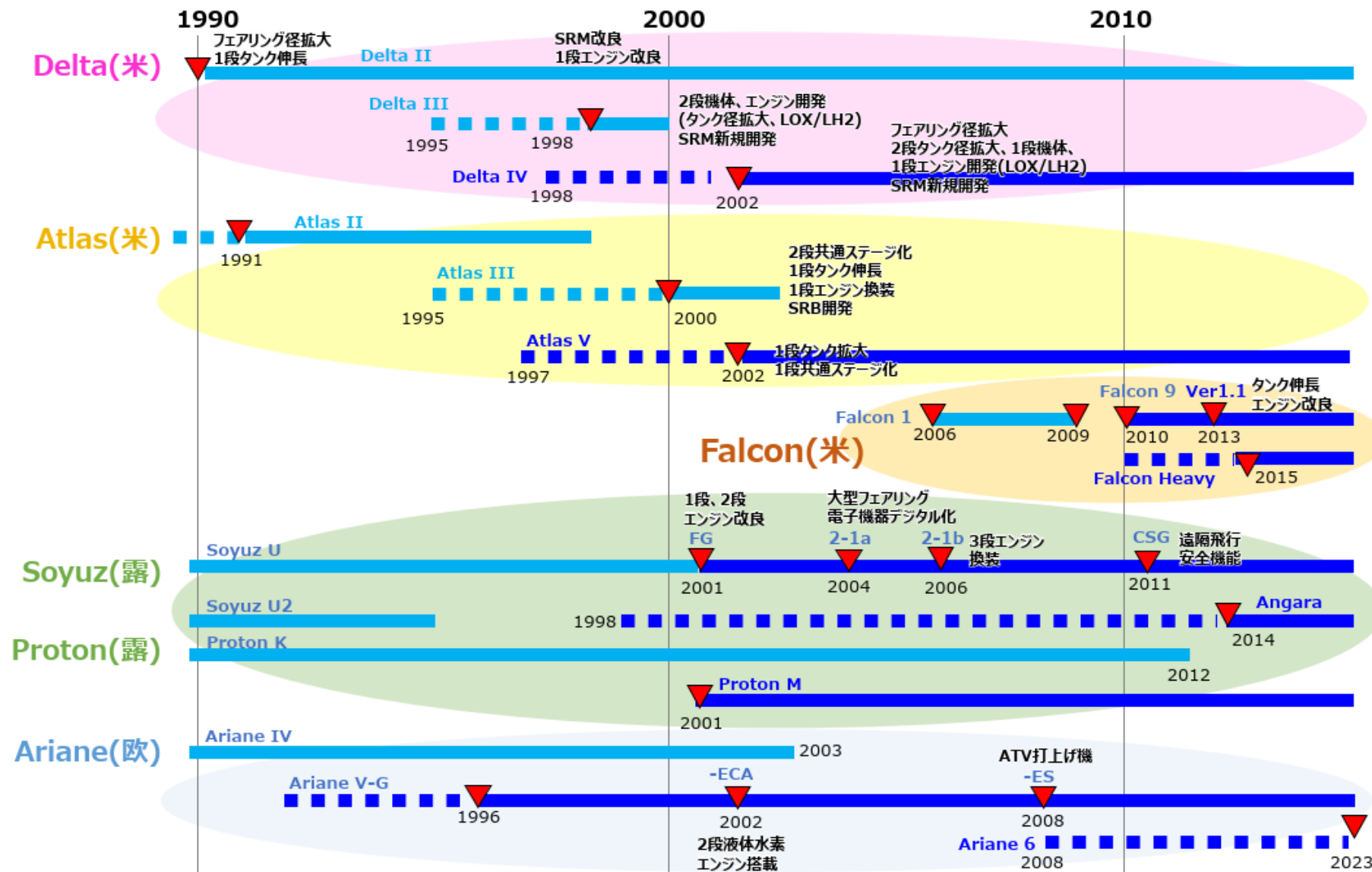
ロケット	打上能力/価格	現在のステータス
(米国 SpaceX) Falcon 9	GTO 5.5ton/\$69.75M ($\Delta V=1,800\text{m/s}$ 、1段回収を前提)	2018年からBlock5の運用を継続。回収した1段の再打上げ実績を蓄積中。 2024年は132回打上げ(Starlinkが90回、GTOは10回) 。内1回ミッション失敗、内1回1段回収に失敗。
(米国 SpaceX) Falcon Heavy	GTO 8.0ton/\$90M ($\Delta V=1,800\text{m/s}$ 、 1段コア/LRB×2本回収を前提)	2018年2月以降、11回の打上げに成功。 2024年は2回 。1段コア使い捨て前提の価格は\$95M(能力:24ton)、LRBも全て使捨前提だと\$150M(能力:26.7ton)とのCEO発言。
(米国 SpaceX) Starship	LEO 150ton(完全再使用)、 250ton/\$100M(使い捨て)	1段/2段(Starship)いずれも再使用を想定した 完全再使用ロケット 。LEOより遠い軌道に対しては、 軌道上推薬補給 により実現する構想。飛行試験を2022年7月から開始し、 2025年からBlock2飛行試験を開始 。
(米国BlueOrigin) New Glenn	GTO 13.6ton (シングル) GTO 6.2ton (デュアル) ($\Delta V=1,800\text{m/s}$)	1段は洋上回収を想定。フェアリング直径は7m。2025年1月に初飛行。2段は軌道に到達し 打上に成功 したが、 1段回収は失敗 。デュアルローンチにも対応する計画。商業受注実績有。
(米国 ULA) Vulcan Centaur/Heavy	GTO13.6ton(固体6本) GTO14.4ton(CentaurHeavy) ($\Delta V=1,800\text{m/s}$)	1段エンジン部をヘリコプター回収予定。商業受注実績有。 初号機打上を2024年1月に実施し成功 した。なお、2024年10月の2号機では片方のSRBのノズルが脱落する異常が発生し、原因調査中。
(欧州ArianeG) Ariane 62/ 64	GTO 5ton /\$85M (A62) GTO 11ton/\$130M (A64) ($\Delta V=1,500\text{m/s}$)	商業受注実績有。 2024年7月に初号機(A62)を打上げ 、超小型衛星の軌道投入に成功したが、推進補助装置(APU)故障により、 部分的失敗 に終わった。 2号機(2025年3月)は成功 。

1. 各国のロケット開発状況

1.1 世界の競合ロケットの状況

2023年6月23日
宇宙政策委員会 宇宙輸送小委員会
第2回会合 資料3 より抜粋

競争力を有する各国とも、並行かつ間を置かずに新規ロケットの開発が開始されている。



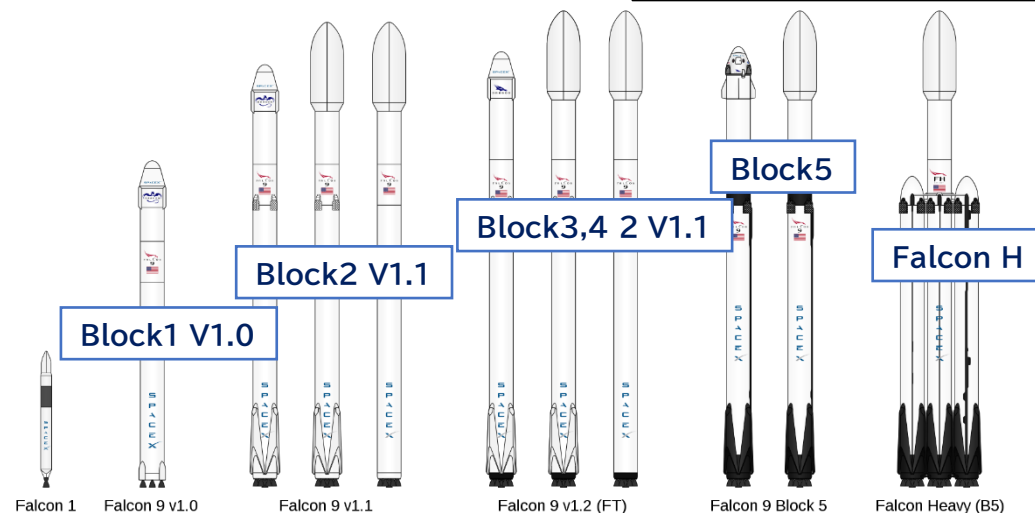
1. 各国のロケット開発状況

1.2 Falcon9の段階開発

2024年7月23日
第88回宇宙開発利用部会
資料88-3-2 より抜粋

Falcon9 Block Upgrade 概略

- Merlin1Dエンジンを段階的に15%から30%の能力増強
- 液体燃料と酸化剤の過冷却機能付加により貯蔵燃料及びエンジンへの質量流量の増加
- 構造面では1, 2段タンクの延長、ステージ分離部の改良、1段エンジン配置変更等
- 自律飛行安全適用、アビオニクス改良
- 再利用開発適用(グリッドフィン、着陸脚等)



出典: Dari kiri ke kanan: Falcon 1, Falcon 9 v1.0, tiga versi Falcon 9 v1.1, tiga versi Falcon 9 v1.2 (FT), dua versi Falcon 9 Block 5, dan dua versi Falcon Heavy

バージョン	Falcon9 v1.0 (運用終了)	Falcon9 v1.1 (運用終了)	Falcon9 Ver.1.2 フル・スラスト ブロック 3/4(運用終了)	Falcon9 Ver.1.2 ブロック5 (運用中)
第1段	Merlin 1C × 9	Merlin1D × 9	Merlin1D(改良版) × 9	Merlin1D(改良版) × 9
第2段	Merlin1C Vacuum × 1	Merlin1D Vacuum × 1	Merlin1D Vacuum(改良) × 1	Merlin1D Vacuum(改良) × 1
全高 (m)	53	68.4	70	70
直径 (m)	3.66	3.66(フェアリング5.2m)	3.66(フェアリング5.2m)	3.66(フェアリング5.2m)
質量(ton)	318	506	549	~587
静止トランスファ軌道(GTO) ペイロード (kg)	3,400	4,850	8,300(使い捨て) >5,300(再利用)	8,300(使い捨て) 5,500(再利用)
ブロックアップグレード 主要変更箇所	✓ Merlin1C+ (Falcon1改良型) ✓ 1段Eng 3x3グリッド配置 ✓ 2段Merlin1C Vacuum ✓ 軽量熱防御システム	✓ Merlin1D(60%増強) ✓ 1段Eng 放射状型配置 ✓ 2段Merlin1D Vacuum ✓ タンク延長(60%) ✓ ステージ分離部削減 ✓ アビオニクス強化 ✓ 着陸脚の適用	✓ Merlin1D+(能力強化) ✓ 推進過冷却機能付加 ✓ 2段Merlin1DV改良型 ✓ 2段タンク延長 ✓ ステージ分離機構改良 ✓ グリッドフィン改良 ✓ 自律飛行安全適(AFSS)	✓ Merlin1D++(能力強化) ✓ 2段Merlin1DV ✓ 製造運用工程の見直し ✓ 複合材タンク(COPV2) ✓ スロットル設定見直し ✓ 分離タイミング見直し ✓ 着陸脚の改良

1. 各国のロケット開発状況

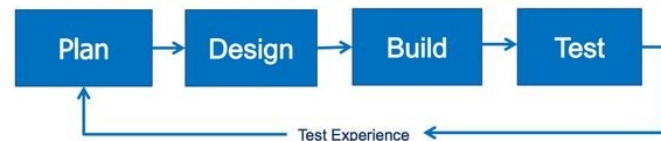
1.2 Falcon9の段階開発

2024年7月23日
第88回宇宙開発利用部会
資料88-3-2 より抜粋

- ✓ 段階的な開発を行うことで運用をし続けながら改良・実証していく方式(Test As You Fly)
- ✓ Falcon9は、Ver.1.0からVer.1.1で3年間、Ver.1.1からVer.1.2で2年間で実施し、新しい技術や改良を適用
- ✓ 全バージョンの開発終了後、すぐに次バージョン開発に移行しつつ、実機を使いながらエンジン、構造、アビオ、自律飛行安全等を段階的に実証
- ✓ 再使用技術についてはBlock2から段階的に開発成果を実機に適用しながら実証しつつ、単体試験(Grasshopper試験、回収機体を使ったエンジン限界試験等)を複数回実施

SpaceX learns through experience rather than attempting to anticipate all possible system interactions

Traditional Developments Use Single Cycle to Product—This Mandates Heavy Systems Engineering to Protect the Design-Build-Test Investment



SpaceX relies on rapid design-build test cycles to inform design by experience



Documentation and process becomes more formal as systems move into later cycles
Final qualification, first flight and production

9/28/2012

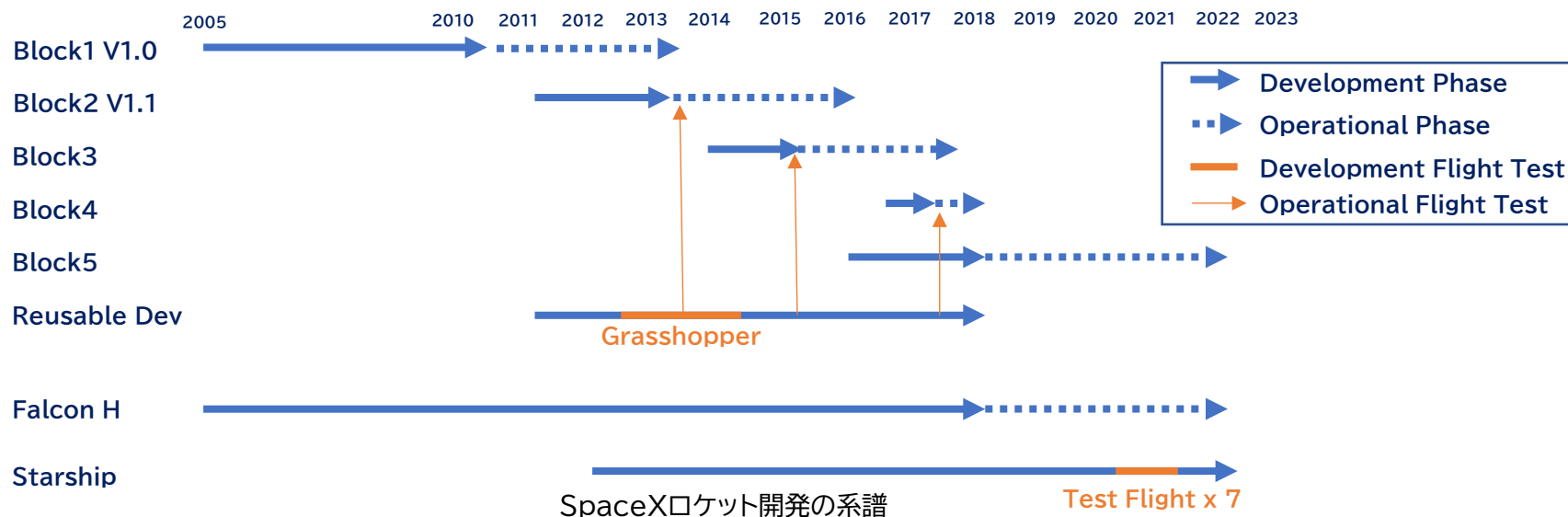
© Space Exploration Technologies Corp.

Page 14

SPACEX

出典: SpaceX System Engineering: A Traditional Discipline in a Non-traditional Organization

SpaceXの開発サイクル

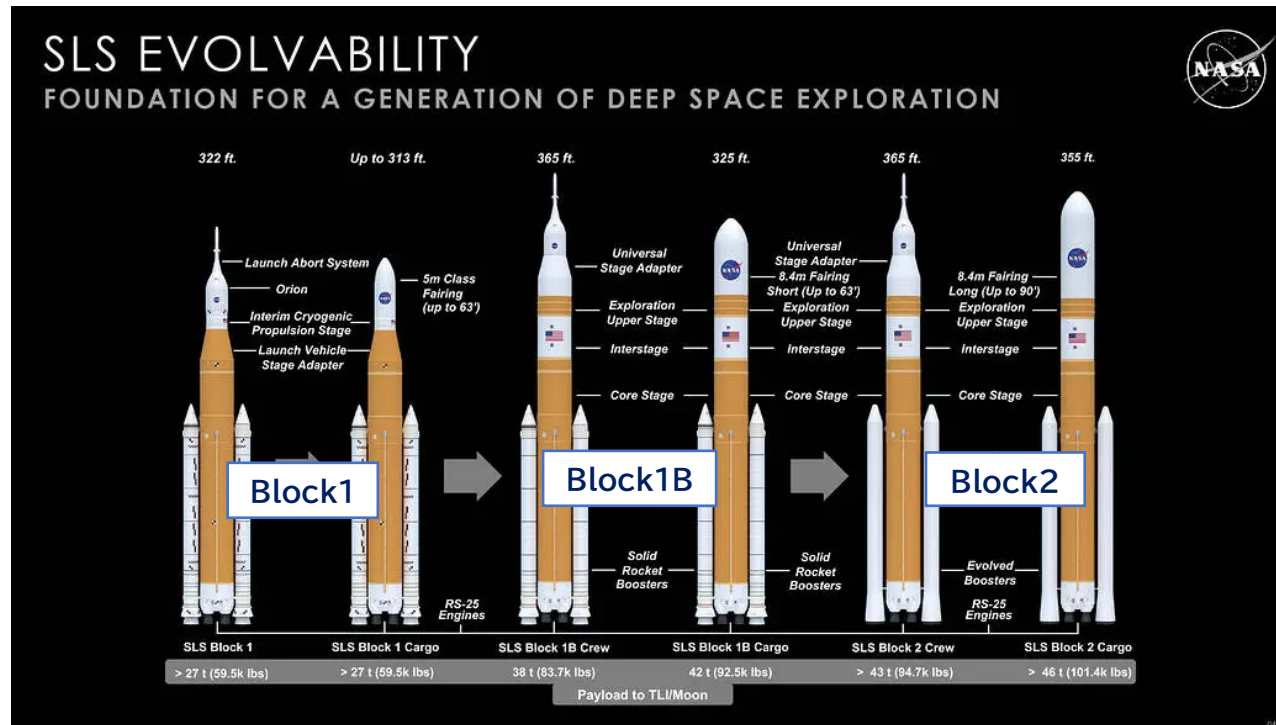


1. 各国のロケット開発状況

1.3 Space Launch Systemの段階開発

2024年7月23日
第88回宇宙開発利用部会
資料88-3-2 より抜粋

- ✓ 主要なサブシステムを段階的に適用・実証していくようなモデルであり、メインエンジン、固体ブースタ、上段ステージを分けることでリスク分散している
- ✓ 開発は2011年から始まっており、2013年にKDP-C(CDR相当)を通過するも、技術的、予算的な要因含め開発が大幅に遅延し、Block1の初号機は2022年11月に打上げられた



出典: <https://www.nasa.gov/image-article/sls-block-1-crew-block-1b-crew-block-1b-cargo-block-2-cargo-evolution/>

Block1	Block1B(Crew/Cargo)	Block2(Crew/Cargo)
✓ RS-25D ✓ SSSRB(5セグメント) ✓ ICPS(中間開発上段ステージ)	✓ RS-25E ✓ EUS(探査ミッション用上段ステージ)	✓ BOLE(新型一体成型ブースタ)

1. 各国のロケット開発状況

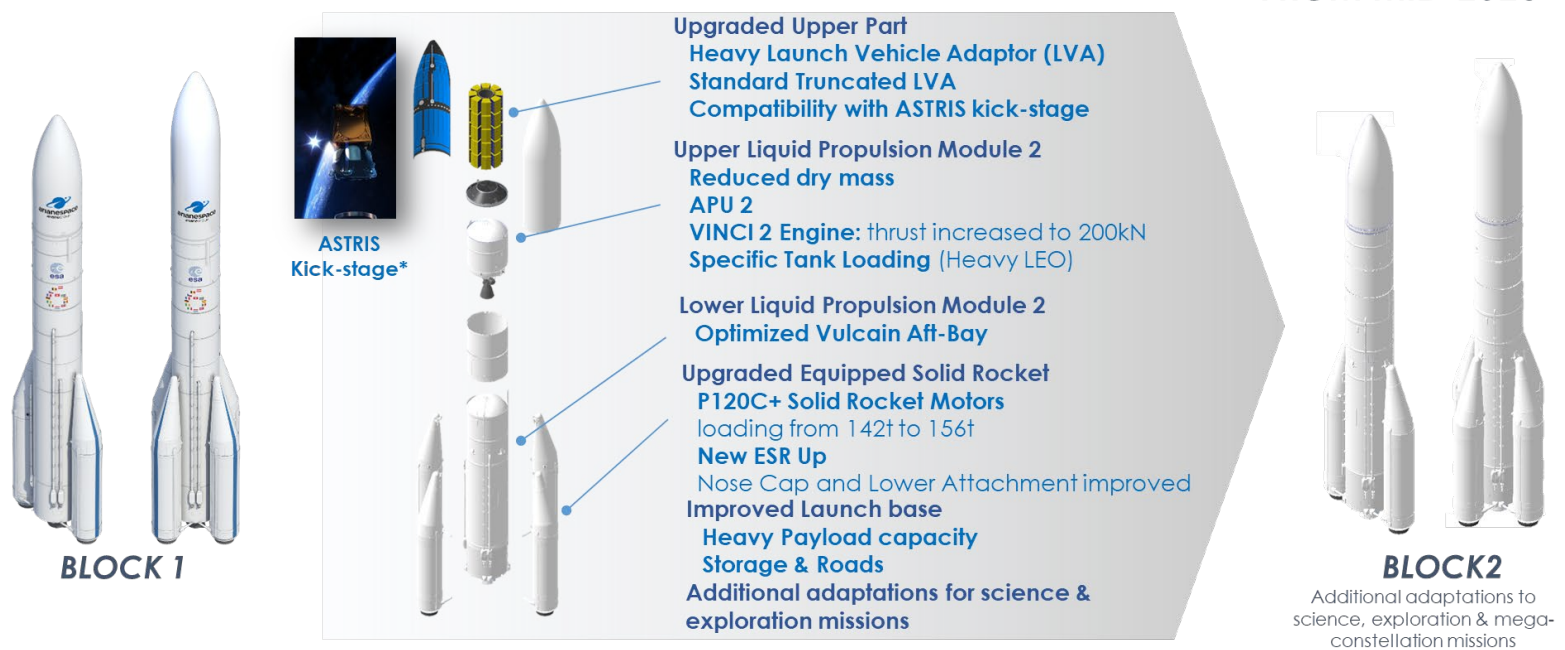
1.4 Ariane 6の段階開発

2024年7月23日
第88回宇宙開発利用部会
資料88-3-2 より抜粋

- ◆ Ariane 6において、2025年頃を目指したサブシステムやエンジンの性能向上を図り、打上能力向上やユーザ利用拡大を図る取組みを始めている。

FROM ARIANE 6 BLOCK 1 TO BLOCK 2

CURRENT VISION AND PROPOSALS



出展:IAC-22-D2.1.2ARIANE 6 LAUNCH SYSTEM DEVELOPMENT UPDATE

Block1	Block2(Crew/Cargo)
✓ Vulcain2.1(Ariane5改良型) ✓ P120C Solid Booster ✓ 2段Vinci Engine ✓ 5.4mフェアリング(Large20m、Small14m)	✓ P120C+ Solid Booster ✓ 2段Vince2 Engine ✓ 2段軽量化 ✓ ペイロードアダプタ改良型(Heavy LVA)

1. 各国のロケット開発状況

1.4 Ariane 6の段階開発

2024年7月23日
第88回宇宙開発利用部会
資料88-3-2 より抜粋

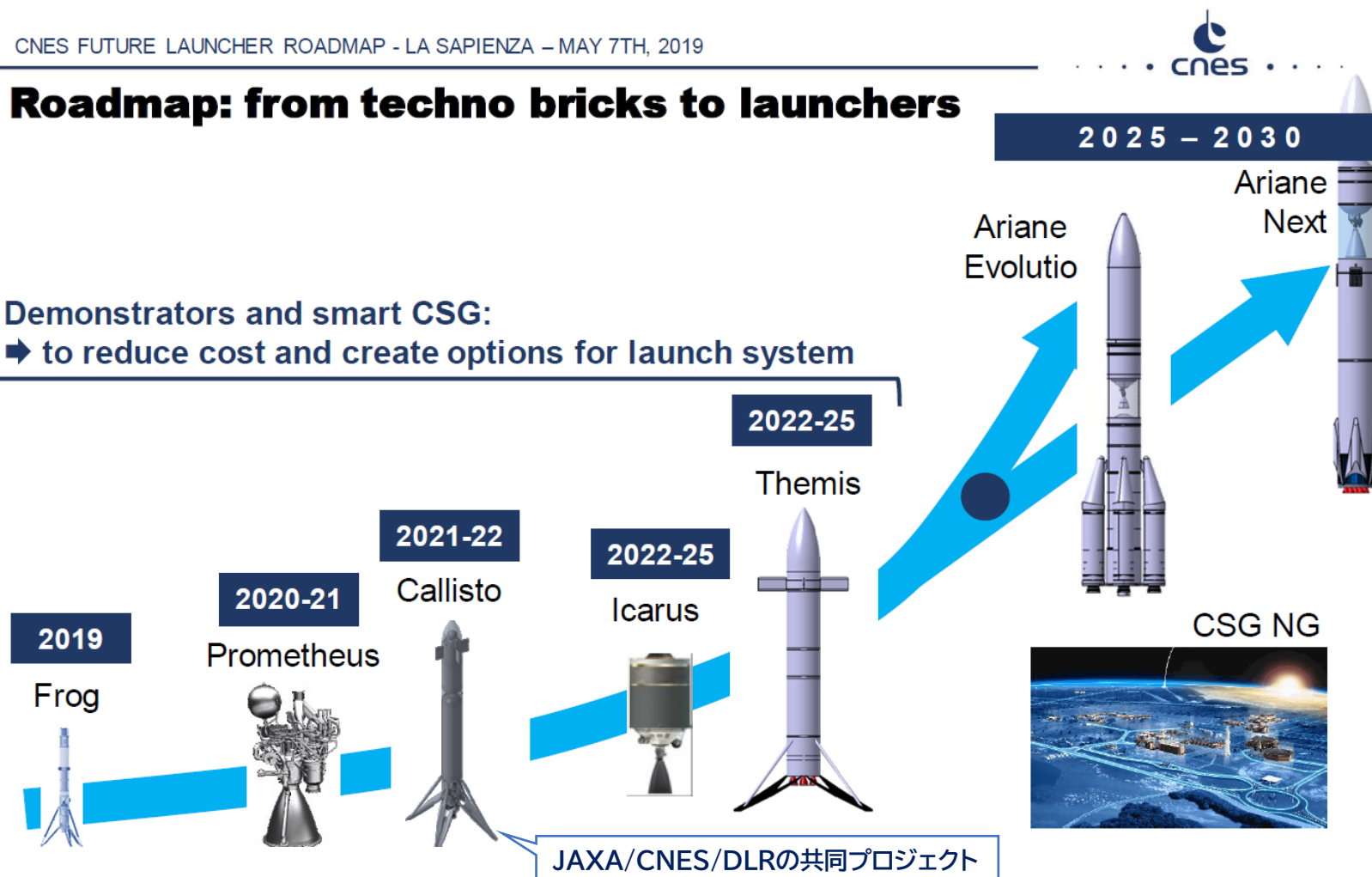
- 欧州においては、Ariane6の開発と並行して、次世代ロケットAriane Nextに向けて、ロードマップに従い推進している状況

CNES FUTURE LAUNCHER ROADMAP - LA SAPIENZA - MAY 7TH, 2019

Roadmap: from techno bricks to launchers

Demonstrators and smart CSG:

➡ to reduce cost and create options for launch system

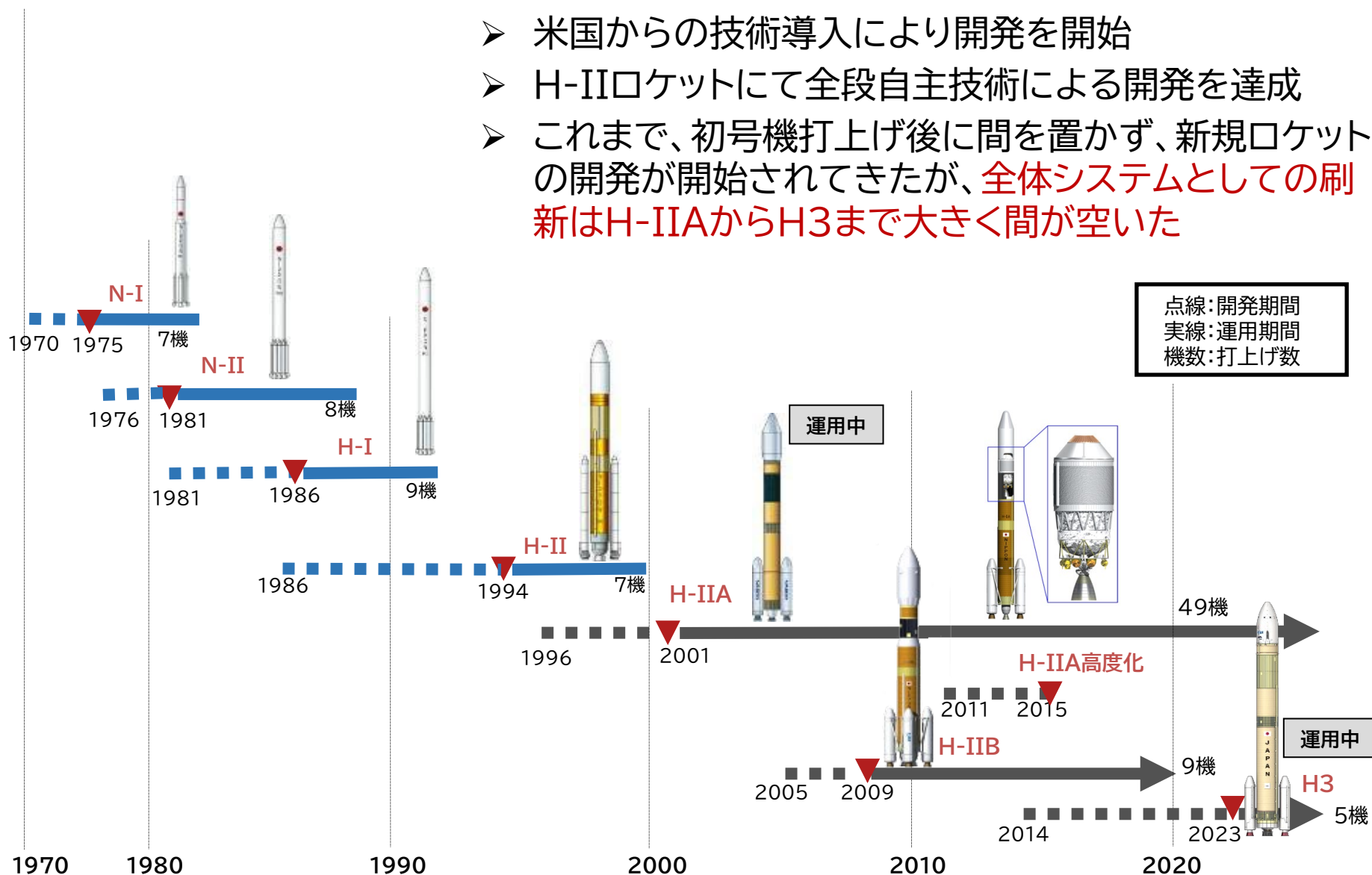


2. 我が国の今後の基幹ロケット開発方策

2.1 我が国の液体ロケットの開発経緯

2024年7月23日
第88回宇宙開発利用部会
資料88-3-2 より抜粋

- 米国からの技術導入により開発を開始
- H-IIロケットにて全段自主技術による開発を達成
- これまで、初号機打上げ後に間を置かず、新規ロケットの開発が開始されてきたが、**全体システムとしての刷新はH-IIAからH3まで大きく間が空いた**

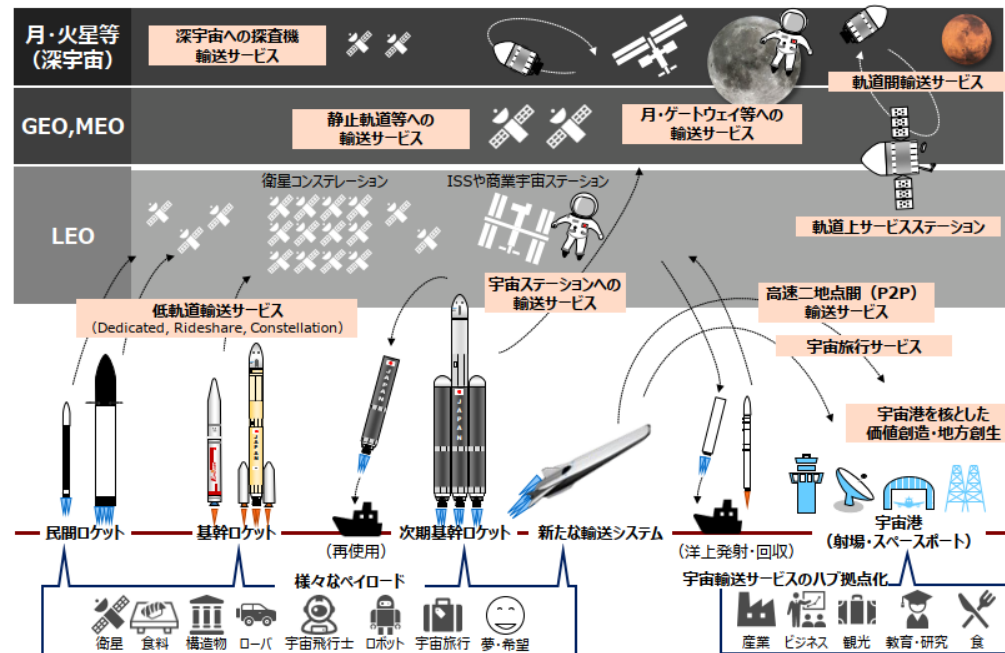


2. 我が国の今後の基幹ロケット開発方策

2.2 宇宙技術戦略を踏まえた宇宙輸送システムの将来像

2024年7月23日
第88回宇宙開発利用部会
資料88-3-2 より抜粋

- 宇宙基本計画および宇宙技術戦略では、次期基幹ロケットの運用実現、完全再使用化及び有人輸送への拡張、及び高速二地点間輸送や宇宙旅行などの新たな宇宙輸送システムの実現を目指すことが示されており、こうした宇宙輸送分野のイノベーションを積極的に創出することにより、**多様な宇宙輸送ニーズに確実に対応**できるようにすることが求められている。
- 多様な輸送ニーズに対応するため、宇宙への輸送はより高頻度になるとともに、より柔軟性が高く、高頻度なロジスティクスを実現する**柔軟性の高い宇宙輸送サービスへと進化**しなければならない。
- このような変化の中で、基幹ロケットが果たすべき役割やあり方を次ページ以降に示す。



宇宙技術戦略(令和6年3月28日)
P65 図1:宇宙輸送の将来像

2. 我が国の今後の基幹ロケット開発方策

2.3 基幹ロケットの役割とあり方

2024年7月23日
第88回宇宙開発利用部会
資料88-3-2 より抜粋

■ 宇宙輸送の意義と基幹ロケットの役割

- 我が国の安全保障や経済・社会活動における宇宙輸送システムの重要性が高まる中、自立的な宇宙活動実現のために他国に依存しない宇宙輸送システムを確保することは宇宙政策の基本である。
- 自立的な宇宙へのアクセス手段を確保し、拡大する宇宙利用に対応していくために、基幹ロケットは必要な技術・人材・産業の基盤を持続的に維持する役割を担う。

■ 自立性確保および国際競争力強化のための要件

- 宇宙輸送システムの自立性確保のためには、安定した開発・運用・事業の機会を持つことが重要。
- 特に、技術や人材の基盤を維持するためには、継続的なロケット開発機会の確保が不可欠である。これまで我が国の大型ロケット開発は20年程度の間隔で立ち上げられており、技術・人材基盤の途絶リスクを抱えている状態であった。H3開発で再び構築した技術・人材基盤を維持するとともに、その基盤を土台とした民間ロケットとの共創等により、我が国全体の共通基盤として活用していくことも重要である。
- また、産業基盤の維持には、事業として成立するために必要な打上げ機会の確保および打上/試験設備等の更新/拡充が不可欠である。打上/試験設備等の多くは整備後50年近く経過し、老朽化が激しく、安定した打上げや開発の継続に対してリスクを有する状態であるため、総合システム維持のためには対応が必須。民間による宇宙利用が益々拡大する中、基盤的な課題に対処しながら、打上げ需要に適切に応え、カスタマの信頼を保ち続けることが重要である。

■ 以上を踏まえた基幹ロケットのあり方

- 技術・人材・産業基盤の維持/向上のため、基幹ロケットの継続的な開発機会を通して、これまで熟成してきた総合システムとしてのロケット開発技術を後世に確実に継承するとともに、新たな技術革新を可能とする裾野の拡大、次世代の人材の確保・育成を推進しなければならない。
- 更に、官需衛星を着実に打上げながら同時に民需も獲得していくため、基幹ロケットの強化により、社会的な要請に応え信頼を保ちながら、将来にわたり国際競争力を保持しなければならない。

2. 我が国の今後の基幹ロケット開発方策

2.4 基幹ロケット開発方策検討における基本的な考え方

2024年7月23日
第88回宇宙開発利用部会
資料88-3-2 より抜粋

前頁で述べた基幹ロケットのあり方をもとに、今後の開発方策における基本的な考え方を、以下のとおり整理した。

① 技術・人材・産業基盤維持向上

H3/イプシロンSロケットの技術・人材・産業基盤を成熟させながら、**段階的に強化**するとともに、多様な研究成果による**新たな技術革新**にも機を逃さず挑戦することにより、**持続的かつ安定した基盤を構築**する。また、構築した基盤を土台として、民間ロケット事業等との共創に貢献する。

② 官需衛星の着実な打上げ

宇宙基本計画工程表で示される衛星の打上げ、ならびに宇宙技術戦略で示される将来構想の実現に**必要な打上能力と高い信頼性**をもったロケットシステムを獲得する。

③ 国際競争力強化

常に**変化する需要動向・競合分析**を踏まえ、海外競合ロケットと比肩しうる**打上能力、打上能力単価**、社会的需要に応えるための**打上げ頻度**、ならびに多様化/大型化する**衛星動向への対応等**を、**柔軟性とスピード感**をもって進める。

2. 我が国の今後の基幹ロケット開発方策

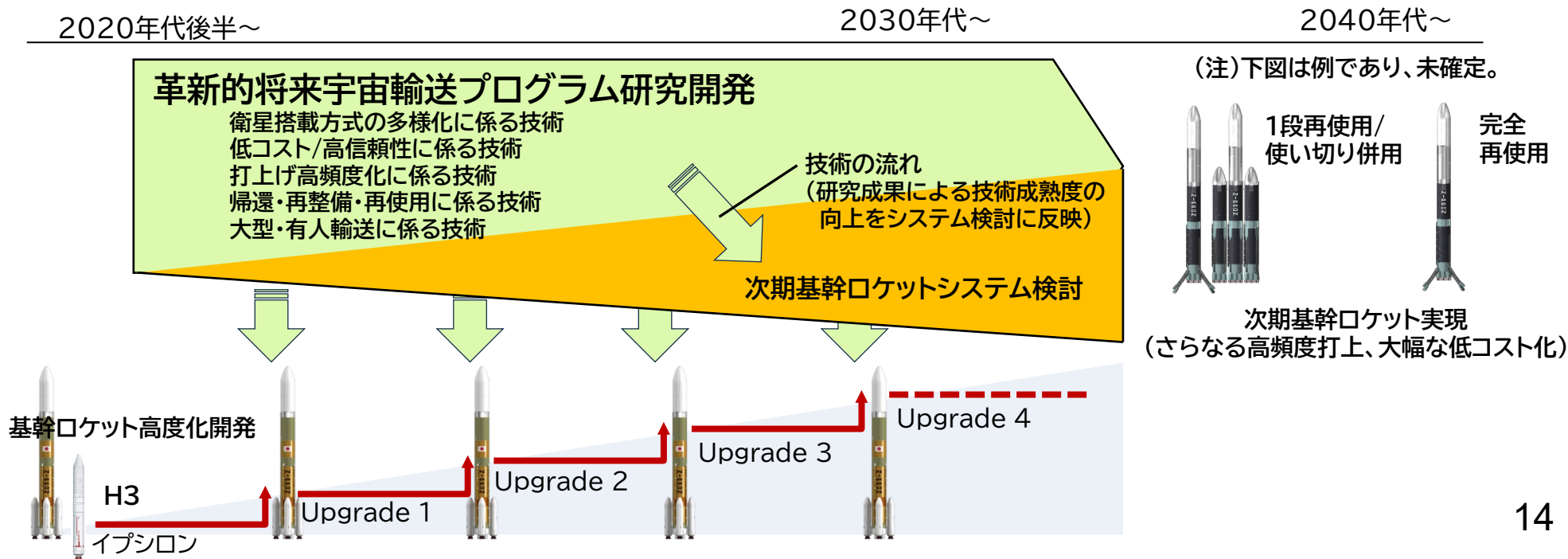
2.5 基幹ロケット開発方策の検討

2024年7月23日

第88回宇宙開発利用部会

資料88-3-2 より抜粋（図は更新）

- 打上げ需要動向や技術動向の変化が激しい状況の中、ロケットの性能目標は柔軟に見直し・最新化することが重要であることから、打上げニーズの変化を踏まえた持続的かつ段階的な開発プロセス（ブロックアップグレード方式）を構築し、技術や人材基盤の維持向上を図る。
- さらに2030年代には、再使用化を軸とし、抜本的なコストダウンと打上げ頻度向上を備えた次期基幹ロケットを実現するために、基幹ロケットを総合システムとしてアップグレードしながら各システム性能を段階的に向上させる。
- 並行して、老朽化した射場設備・試験設備の刷新・拡充や、現在実施中の基幹ロケット打上げ高頻度化に向けた取組みを着実にを行うとともに、将来にわたって高頻度に打ち上げ続けるための我が国の打上げ射場等のあり方について今後検討を進める。また、新たな機能を実証するための飛行実験場の検討等を併せて行うことも重要。



2. 我が国の今後の基幹ロケット開発方策

2.5 基幹ロケット開発方策の検討

2024年7月23日
第88回宇宙開発利用部会
資料88-3-2 より抜粋

■ ブロックアップグレード全体構想

- アップグレードの仕様や開発項目は、**刻々の打上げ需要動向や、研究開発の技術成熟度、課題対応の緊要性等を考慮し、柔軟に検討し設定**することが重要である。
- そのため最初に全体の計画設定するのではなく、以下の方向性を考慮し2025年度から段階的にアップグレードを立ち上げ、並行してさらに先のアップグレードを逐次設定する流れを指向する。
- このアップグレードプロセス全体を、基幹ロケット高度化と呼ぶ。

■ 各アップグレードの検討の方向性（※アップグレードの区切り方も重要な検討要素）

● アップグレード1

- ・ 宇宙戦略基金の創設等により増加する**多様なミッション・複数衛星搭載需要や国内小型衛星コンステレーションへの対応(ユーザ利用拡大)**を柔軟に実現し、さらなる宇宙利用拡大に資する。
- ・ システムの信頼性を確保しながらアップグレードを実現するため、アビオニクスシステム等の**信頼性の構築・検証／アップグレード開発スキームを確立**し、システム脆弱性の評価やロバスト性向上対策の適用に資する。

● アップグレード2～

- ・ 再使用/使い切りを問わない**低コスト製造技術**、それを支える部品・コンポの**簡素化/量産化**や運用効率化に資する**高頻度化技術**により、国際競争力の確保と打上げ事業基盤の安定化に資する。

● アップグレード3～

- ・ 国際協力ミッションや深宇宙探査等の大型輸送需要に対応するための**打上げ能力向上**や、余剰能力を活用した**再使用技術の飛行実証**等により、次期基幹ロケットの早期実現に向けた技術・人材基盤の橋渡しを担う。

2. 我が国の今後の基幹ロケット開発方策

2.5 基幹ロケット開発方策の検討

2024年7月23日
第88回宇宙開発利用部会
資料88-3-2 より抜粋

■ 補足：アップグレード1の狙いと方向性

- 大型かつ複数衛星打上げ需要の増加
 - ・ 打上げニーズ分析等から、従来の小型衛星の主流であった100kg以下級よりも、300kg程度までの**複数衛星打上げやコンステレーション需要**が大きく増加し、さらに大きなものでは、500kg級程度の衛星の**相乗り打上げ需要**増加も見込まれる。
 - 基幹ロケットの目指す方向性
 - ・ 今後宇宙戦略基金を活用した国内衛星が増えることも見込まれ、**増加する国内衛星を可能な限り国内から打ち上げられる状態**を目指す。そのためには以下の方向性が考えられる。
 - » 要求軌道や固有インタフェースにより、小型かつ単独または少数で打ち上げるのに適した衛星は、**イプシロンSと民間小型ロケットの協業**により、即応性/柔軟性をもって対応する。
 - » 標準的な軌道やインタフェースの衛星は、**H3ロケットで多数機同時に搭載**するライドシェア等によりできるだけ多くの衛星を一度に打ち上げる。そのために必要な打上げ能力余裕と柔軟性のある衛星搭載機能を確保する必要がある。
 - ・ このように、**ユーザ毎に異なる多様な、かつ喫緊のニーズに適切に応えられる宇宙輸送サービスの実現**を目指す。
- この実現のために、以下の技術をアップグレード1で優先的に取り組む方向で検討を進める。
 - ・ 共通的な搭載構造およびI/Fで互換性をもって衛星搭載可能とし、衛星事業者にとって国内の打上げロケット選択や乗換えを容易とする。
 - ・ 環境条件・剛性要求、検証要求などを国内各ロケットで可能な限り統一規格化し、衛星の設計/検証を効率化する。

3. H3ロケット高度化に向けた現状課題認識(サマリ)

■ 官需衛星の着実な打上げに関する課題認識

- 宇宙活動の自立性を確保するためにも、**基幹ロケットの着実な打上げと国際競争力の強化**を進めることが重要。
- 需要/動向変化を捉え、**必要な打上能力と高い信頼性を維持するとともに、打上げ高頻度化に向けた取組み**を着実に進めることが重要。

■ 国際競争力強化に関する課題認識

- **打上げ需要動向や技術動向の変化が激しい**状況の中、ロケットの性能目標は柔軟に見直し・最新化することが重要。
- **打上げニーズの変化を踏まえた持続的かつ段階的な開発プロセス(ブロックアップグレード方式)**を構築することが重要。

■ 技術・人材・産業基盤維持向上に関する課題認識

- 技術や人材の基盤を維持するためには、継続的なロケット開発機会の確保が不可欠であり、**技術継承のためにも間を置かずにロケット開発を行うことが重要**。
- 産業基盤の維持には、事業として成立するために必要な**打上げ機会の確保**および**打上げ・試験設備等の更新/拡充**が不可欠。基盤的な課題に対処しながら、打上げ需要に適切に応え、カスタマの信頼を保ち続けることが重要。