

再使用型ロケットの研究開発 について

平成30年9月5日

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

研究開発部門

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)

1. 長期ビジョンの基本的な考え方(「おわりに」より引用)

- 2040年から2050年頃には、将来宇宙輸送システムが社会インフラとして整備され、広く日常的に宇宙輸送を利用できるような社会になる
- 鍵となるのは低軌道領域への再使用型宇宙輸送システムであり、これは静止軌道や月周辺以遠における新たな宇宙利用の実現にも資する

2. 将来宇宙輸送システムの開発プロセス(「4章」より引用)

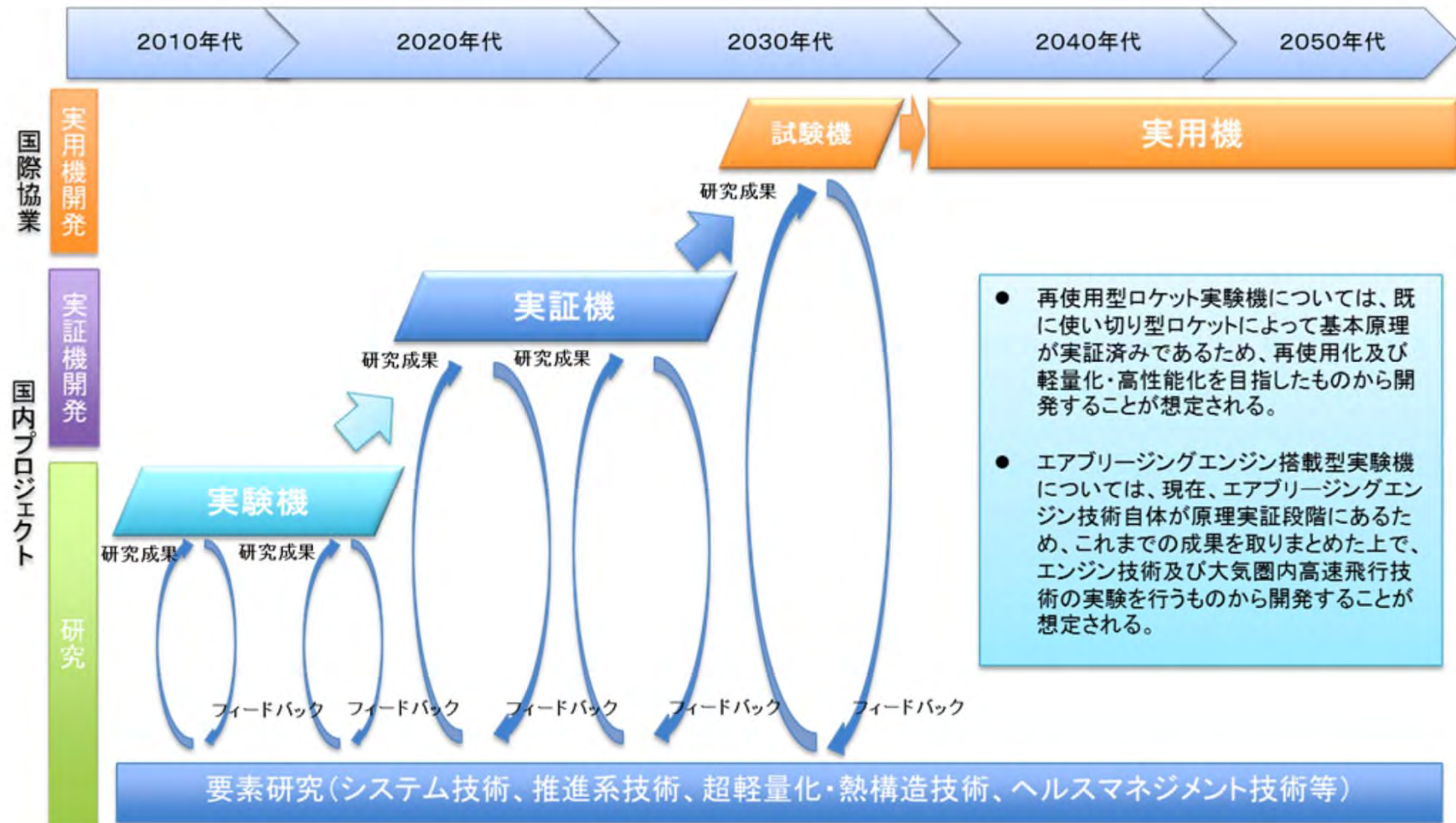
- 再使用型宇宙輸送システムの実用化を目指すためには、要素技術だけでなく、それらを統合するシステムインテグレーション技術を獲得する必要があり、国際優位性の観点からも重要。
- 実験機の開発と運用を通じて、得られる各種の成果を再び研究フェーズにフィードバックするというサイクルを確立し、研究開発を進めていく必要がある。
- 実験機に続いて、2020年代以降には実証機の開発にも着手し、2030年代には将来型宇宙輸送システムの実用化を見据えた試験機を開発する
- 各国の機関と我が国の実施機関において、密接な連携を推進し、効率的に研究開発を進めることが望ましい。

宇宙輸送システム長期ビジョン 将来宇宙輸送システムの開発プロセス(抜粋)



低軌道領域の将来宇宙輸送システムの開発プロセス

実験機を開発してシステム全体の実証や新たな研究課題の抽出を行い、その成果を要素研究にフィードバックするサイクルを確立して、研究開発を加速。その成果を順次実証機、試験機の開発へと発展させる一連のプロセスが必要。なお、実験機から実証機に移る段階、実証機から試験機に移る段階といった、適切な時期において、国際動向も踏まえつつ、4-1で述べたどのパスを選択するかという検討を行うことが適当。



1. 宇宙基本計画(平成28年4月1日閣議決定)

「4.(2)②iii)将来の宇宙利用の拡大を見据えた取組」において「新型基幹ロケット等の次の宇宙輸送技術の確立を目指し、再使用型宇宙輸送システムの研究開発を推進する。」と記載されている。

2. 宇宙基本計画工程表(平成29年12月12日 宇宙開発戦略本部決定)

「部分的再使用システム／2020年代以降に新規技術の実証を行うための実験機の検討等」が記載されている。

3. 宇宙基本計画の工程表改訂に向けた重点事項

(平成30年6月22日宇宙政策委員会)

「平成31年度までに再使用型宇宙輸送システムの小型実験機の飛行試験を実施し誘導制御技術・推進薬マネジメント技術等のデータを得て、H3ロケット等の次の宇宙輸送技術構築に向けて国際競争力を有する再使用型宇宙輸送システム検討を推進する。」が記載されている。

- 再使用型宇宙輸送システムの構築を目指し、どのシステム形態や推進システムの採用によっても、共通的に必要となる推進系技術、超軽量化・熱構造技術、故障許容・ヘルスマネジメント技術等を中心的課題と設定し、要素技術研究を進めている。
- 更に、誘導制御技術等、システムレベルによる飛行実証で技術成熟度の向上が図れるものは、小型実験機の飛行実験等による研究開発を推進している。

<再使用型宇宙輸送システムの構築に係る中心的課題>

A. システム技術

- ① 高頻度繰り返し運航のシステム技術(機体を帰還させるための誘導制御、推進薬管理技術含む)
- ② 故障許容安全設計技術
- ③ 超軽量化, 推進系の高性能化によるシステム構築
- ④ 耐空性, 有人化など安全基準の確立

B. 超軽量化・熱構造技術

- ① ナノマテリアル技術
- ② 複合材構造設計の高度化技術
- ③ 再生冷却構造等の冷・熱構造の一体設計技術
- ④ 高温強度の高い複合材技術
- ⑤ 耐熱素材技術を用いた熱構造の革新技術

C. 推進系技術

- ① ロケットエンジン
 - # 寿命管理設計, フェールセーフなシステム技術
 - # 性能向上, 軽量化, 高度補償ノズルなどの新技術
- ② エアブリージングエンジン
 - # 超音速燃焼, 熱交換器, インテーク技術
 - # 機体統合サーマルマネジメント

D. ヘルスマネジメント技術

- ① エンジンヘルスマonitoring技術
- ② 構造・統合機体ヘルスマネジメント技術
- ③ 自律的飛行管制・飛行運用技術
- ④ 飛行間点検・整備・運航におけるヘルスマネジメント技術(再打ち上げまでの効率的な地上整備運用)

下線部: 小型実験機による飛行実験にて技術実証またはデータ蓄積を目指す項目

1段再使用に係る段階的な開発・飛行実験

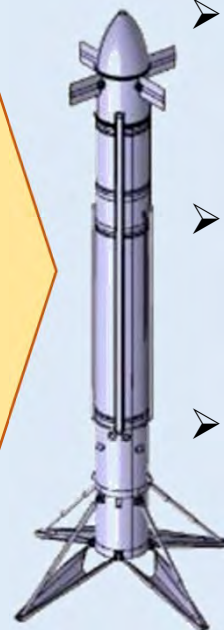
- 打ち上げから着陸、再使用までの一連の再使用飛行シーケンスにおける誘導制御技術、推進薬マネジメント技術とエンジン再整備技術を重要なシステム技術として識別し、2段階の飛行実験で知見を蓄積する。大気圏再突入が不要となる1段飛行フェーズを対象に、当該技術の早期獲得を推進。
- 宇宙科学研究所 (ISAS) の再使用エンジン研究や航空部門の低層風予測 (DREAMS 成果) や統計的誘導制御技術 (D-SEND 成果等) の活用など、我が国独自の優位技術の取り込みつつ、仏、独との国際協力による効率的な飛行実験を計画。

実験フェーズ1 (RV-X)



- 飛行実験: 2018年度後期～
 - ✓ JAXA単独の研究として、能代ロケット実験場で実施。
- 目的:
 - ✓ 着陸段階での誘導制御技術の実証などを行う。
 - ✓ 獲得した基礎データをCALLISTOに反映する
- 実証技術:
 - ✓ 着陸段階の基礎データ取得
 - ✓ 再使用エンジンのデータ取得

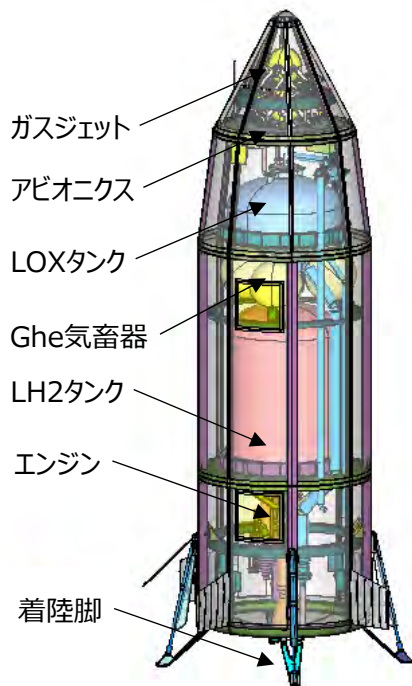
1段再使用飛行実験 (CALLISTO※)



- 飛行実験: 2020年度～
 - ✓ ギアナ宇宙センター(仏領)で実施
 - ✓ 仏CNES、独DLRとの3機関共同で実施し早期かつ確実な技術獲得を図る。
- 目的:
 - ✓ 1段再使用化に向けた早期かつ確実な技術獲得および経済性に関するデータ蓄積を行う。
- 実証技術:
 - ✓ 打ち上げから着陸までの一連の飛行を通じて、誘導制御技術・推進薬マネジメントを実証。

1段再使用飛行実験フェーズ1 (RV-X)

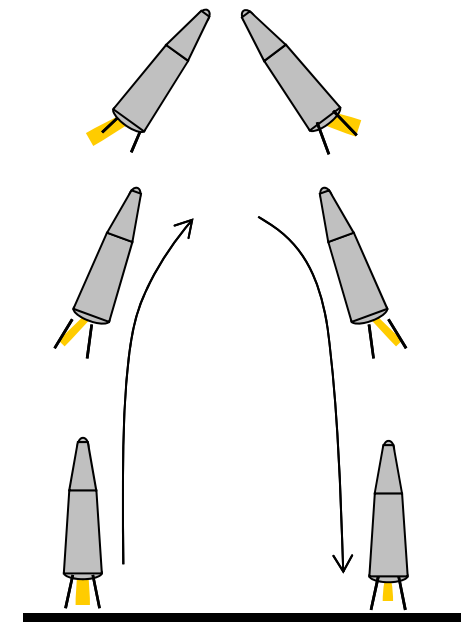
- 一連のシステム技術の実証を目指すCALLISTOに技術反映を行うべく、宇宙科学研究所 (ISAS) による再使用エンジンの研究を継承し、再使用エンジン技術の熟成と着陸段階での誘導制御技術の飛行実証を目的とする。さらに再使用／繰り返し飛行運用のシステム構築手法とエンジンの寿命管理設計技術の習得を図る。
- 2016年より垂直離着陸飛行可能な実験機体 (RV-X) の開発を進め、2018年度内に地上燃焼試験を行い、高度100m程度までの飛行試験#1を予定。



順調に行けば、2018年度末に、高度100mまでの飛行試験を実施

主要諸元

直径	1.8m
全長	7m
乾燥質量	2000kg
全備質量	2900kg



飛行試験#1

1段再使用飛行実験フェーズ2(CALLISTO)



目的:

1段再使用化に係るキー技術の実証および経済性に関するデータ蓄積。

- ▶ 想定される1段再使用飛行プロファイルに対する主要課題解決(下図参照)のため、システムレベルの飛行実証により下記技術の実証・データ蓄積を行う。

- 課題① 安全で確実な帰還・着陸 → **帰還誘導制御技術**
- 課題② 大姿勢変更時や低重力下での推進薬供給 → **推進薬マネジメント技術**

- ▶ エンジン再整備の効率化技術に取組み、実用機の経済性評価に向けたデータを蓄積する。

- 課題③ 再打ち上げまでの効率的な地上運用 → **ヘルスマネジメント技術**



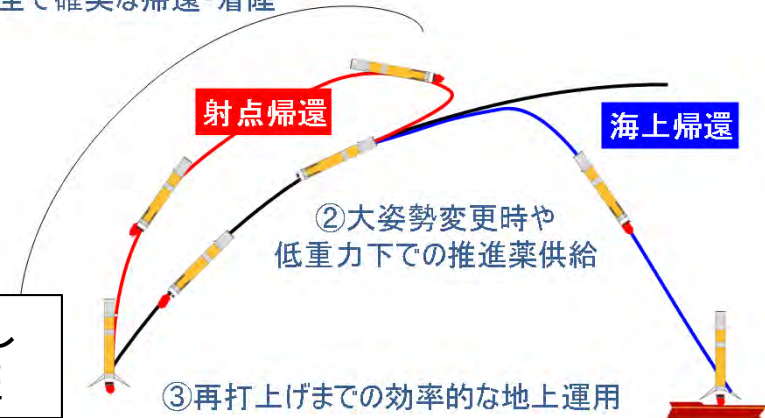
主要諸元

直径	1.1m
長さ	13m
乾燥質量	1520kg
全備質量	3400kg

高度40km程度(超音速の速度)まで到達し
実運用機に近い飛行プロファイルを実証

1段再使用で想定される運用プロファイルと主要課題

①安全で確実な帰還・着陸



②大姿勢変更時や
低重力下での推進薬供給

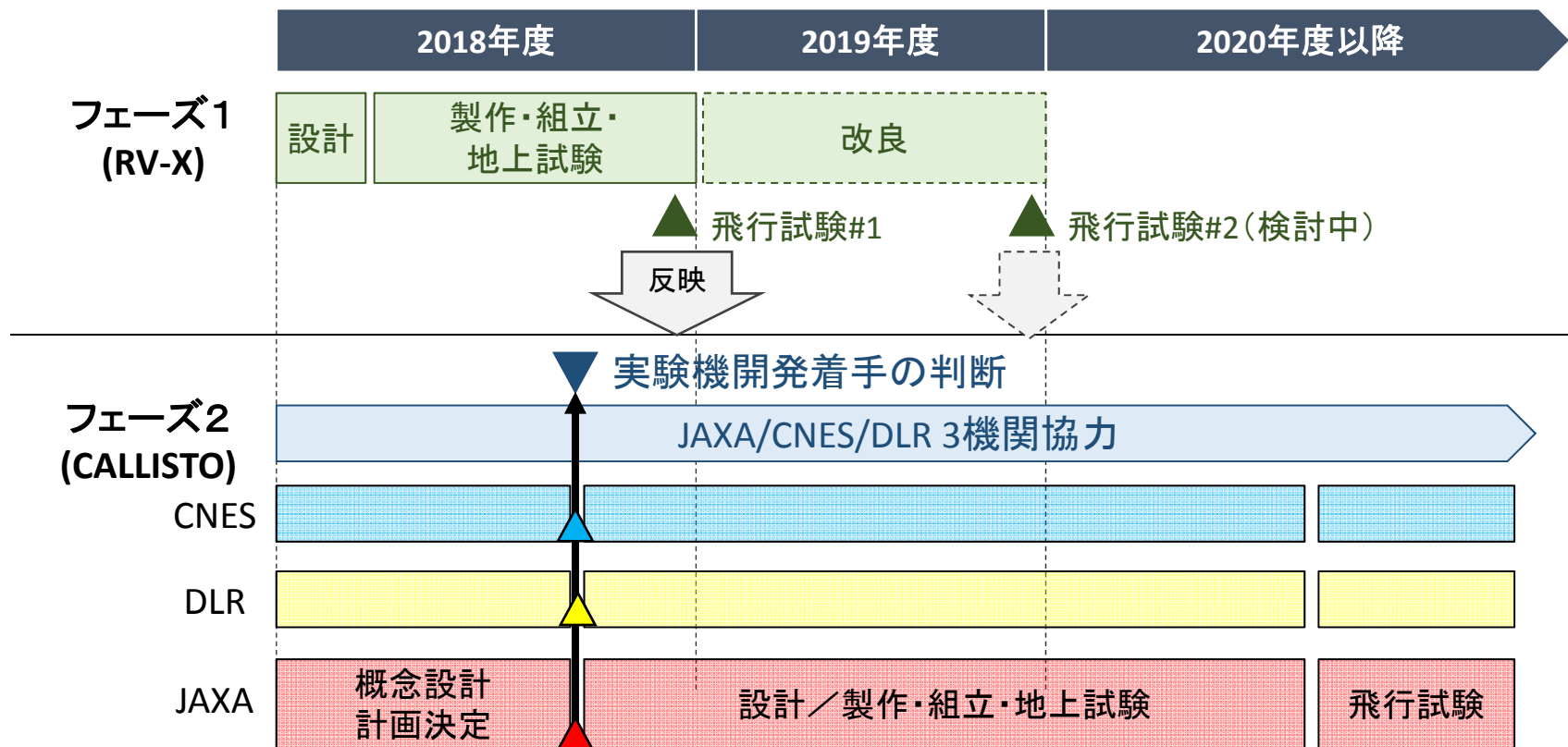
③再打ち上げまでの効率的な地上運用

1段再使用飛行実験フェーズ2 (CALLISTO)



CALLISTOの計画(想定)

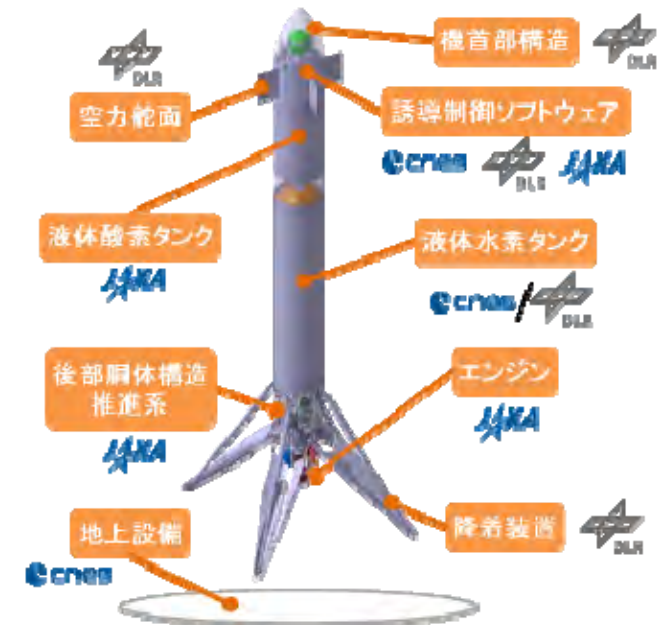
- 2018年度: 他の2機関と合同で概念設計作業を進めており、予算措置を確認次第実験機の開発着手を判断する。
- 2019年度: 設計を進め、実験機製作及び組立・地上試験に着手する。
- 2020年度以降: 飛行試験に着手する(3機関で詳細スケジュールを検討中)。



JAXA分担とCALLISTO実験機への要素技術の取り込み



<p>JAXA分担</p>	<p><u>誘導制御ソフトウェア</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 風に対するロバスト性など飛行実験で初めて検証できる誘導制御ロジックは使い捨てとは異なる特有部分があるため重要 <p><u>推進系システム(LOXタンク)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 飛行実験で初めて検証できる液体推進薬保持技術の確認を行う <p><u>エンジン</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 飛行による負荷が大きく、地上での再整備作業を左右するサブシステム <p><u>機体インテグレーション</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 再使用による機体のストレスデータ健全性評価方法を獲得する
<p>要素技術の取り込み</p>	<p><u>構造系</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 後胴部構造に、複合材構造の適用を検討中 ➤ エンジン排気からエンジンを保護するためのカバーに耐熱繊維の適用を検討中 <p><u>ヘルスマネジメント</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ エンジンの各種データや電動アクチュエータのデータを取得し技術獲得に利用



実験機の検討例と各機関の主な分担

なお、2018年2月中旬に日本で実施した3機関合同の審査会により、ミッションおよび実験機システムの成立性を確認。