

## 2S03 新型基幹ロケット 1 段エンジン・2 段エンジンの開発構想

○堀秀輔, 黒須明英, 南里秀明, 小林悌宇 (JAXA)

真子弘泰, 小河原彰 (MHI)

河野真一郎, 水野勉 (IHI)

### The Development Plan of the First and the Second Stage Engines for the H-X Launch Vehicle

Shusuke Hori, Akihide Kurosu, Hideaki Nanri and Teiu Kobayashi (JAXA)

Hiroyasu Manako and Akira Ogawara (MHI)

Shinichiro Kohno and Tsutomu Mizuno (IHI)

Key Words: H-X Launch Vehicle, First Stage Engine, Second Stage Engine, Development Plan

#### Abstract

The development of the Japanese new launch vehicle, H-X, was decided in 2013 May based on the discussion in the Committee on National Space Policy. This paper introduces the development plan of its first and the second stage engines for the H-X launch vehicle.

### 1. はじめに<sup>[1],[2]</sup>

新型基幹ロケット（以下、H-X という）は、①人工衛星等の打上げ能力にかかる自律性の確保及び、②国際競争力のあるロケット及び打上げ輸送サービスの提供の 2 つを主な目的として、2020 年代の国内及び国際的な打上げ市場投入に向けて開発する新たな大型ロケットである。平成 25 年 5 月、宇宙政策委員会の審議に基づき開発着手が決定された。

打上げ能力、価格、信頼性等における高い国際競争力はもちろんのこと、現行の基幹ロケットである H-IIA や H-IIB の後継機として、現行ロケットが抱える課題を解決し、ロケットに係る産業基盤や技術力を、国際競争力がある形で国内に保持・向上させることが求められている。

これらの目標は、ロケット機体、射場等の地上設備、飛行安全システム、運用体制等を含めた全体（総合システム）の最適化を行うことにより達成する計画であるが、高い信頼性／性能／価格競争力を有する液体ロケットエンジン（1 段エンジン及び 2 段エンジン）が成否のキーファクターとなる。本稿では、新型基幹ロケット開発における 1 段エンジン（LE-9）及び 2 段エンジン（LE-11）の開発構想について述べる。

### 2. 新型基幹ロケットエンジン開発構想の概要

#### 2.1. 背景

我が国では、1980 年代の H-I ロケット以来、液酸／液水エンジンの開発が実施されてきた。現行基幹

ロケット（H-IIA/B）の 1 段エンジン（LE-7A：推力 110 トン級）及び 2 段エンジン（LE-5B：推力 14 トン級）は、これまでの打上げで一度も故障せずに成功実績を積み重ねている。液酸／液水エンジンを保有する国が数少ない宇宙先進国に限られる中、高い信頼性を有する我が国の液酸／液水エンジン技術は、コア・コンピタンスとも言える。

LE-7A や LE-5B の確実な運用を行う一方、我々は次世代の宇宙輸送システムを見据え、LE-X エンジン技術実証（JAXA が実施）や MB-XX エンジンの研究（MHI 等民間企業が実施）等、低コスト・高信頼性を両立させたエンジンの技術開発を行ってきた<sup>[3]</sup>。

この様に、液酸／液水エンジンの着実な実績の蓄積と、低コスト・高信頼性を両立するためのエンジン技術開発の両輪を進めてきたことが、新型ロケットエンジン仕様設定の背景となっている。（図 1）

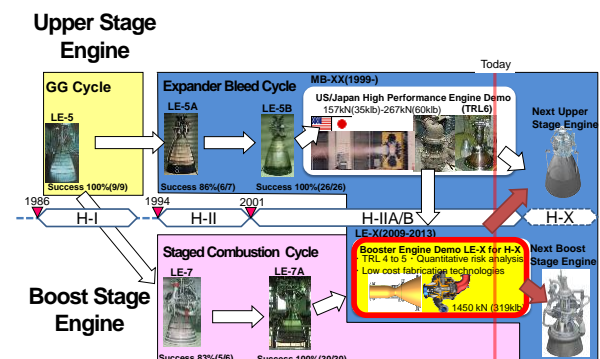


図 1 我が国の液酸・液水ロケットエンジンの発展<sup>[3]</sup>

## 2.2. コンセプト

エンジンとして、高信頼性と低コストの両立、及び開発の効率化と開発リスクの低減を図るため、以下のコンセプトを構想中である。

### (1)エキスパンダーブリードサイクルの採用

LE-9, LE-11 共に、高温部と部品点数が少ないエキスパンダーブリードサイクルを採用し、高信頼性と低コストの両立を図る。また、同じエンジンサイクルである LE-5B エンジンの開発実績、LE-X や MB-XX 等の知見を活用し、開発リスクの低減を図る。

### (2)LE-9/LE-11 エンジンでの共通化

1 段エンジンと 2 段エンジンで、エンジンサイクル、開発手法、製造技術、要素技術、コンポーネント仕様等を共通化し、エンジン開発全体として開発ソースの効率化とリスク低減を図る。

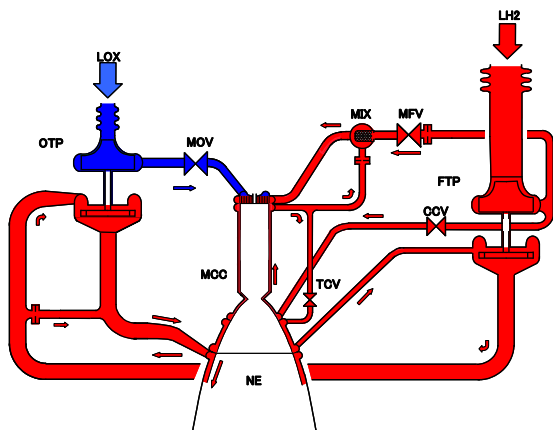


図 2 エキスパンダーブリードサイクル<sup>[3]</sup>

## 2.3. エンジン仕様

目標の打上げ能力、信頼性、打上げ価格等を満たすロケットの機体構成を選定するため、1 段エンジンの推力と基数、2 段エンジン性能、固体ブースタの推進薬量・本数などをパラメータとした複数の機体候補について、飛行シミュレーション、質量推算、コスト推算等を行い、比較検討を実施中である<sup>[2]</sup>。

現時点におけるエンジン仕様の構想例を表 1 に示す。これらの要求仕様はシステム定義審査（SDR）等を経て設定していく。

表 1 エンジン仕様（構想例）

	LE-9エンジン (1段エンジン)	LE-11エンジン (2段エンジン)
推進薬	液酸/液水	
エンジンサイクル	エキスパンダーブリードサイクル	
推力	約150トン	約27トン
比推力	約427秒	約463秒
混合比	5.9	5.4
再着火	なし	あり
スロットリング	あり	
バルブ制御方式	電動	

## 2.4. 開発体制

液体ロケットエンジンは我が国の宇宙活動の自律性の確保に欠かせないキー技術と指定されており、JAXA が開発を行い、技術基盤を保有、活用する<sup>[1]</sup>。

平成 26 年 4 月、JAXA のもとで LE-9 及び LE-11 の開発・運用を担当する民間事業者として、エンジンシステム担当事業者（三菱重工業株式会社）、及びターボポンプ担当事業者（株式会社 IHI）を選定した。開発体制を図 3 に示す。

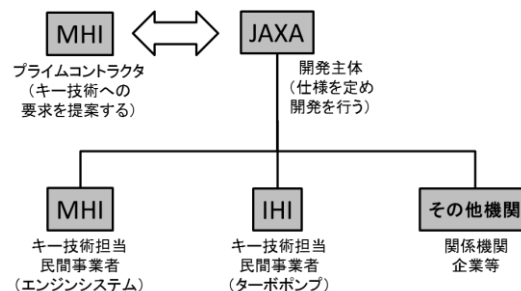


図 3 LE-9 エンジン及び LE-11 エンジン開発体制

## 2.5. 開発シナリオ

2020 年度に試験機の打上げを目指して開発を進める新型基幹ロケットスケジュール（図 4<sup>[2]</sup>）に整合し、LE-9 及び LE-11 の 2 種類のエンジンを開発し、試験機打上げ用エンジンを必要時期に提供する。

開発計画は今後システム定義審査（SDR）等を経て設定されるが、本稿では現在構想中のシナリオについて示す。なお、LE-9 と LE-11 ではほぼ同様である。

### (1)開発手法

開発後半での手戻りを極小化する確実な開発を目指し、これまでに JAXA が構築してきた、次の様な高信頼性開発プロセス<sup>[3]</sup>を適用する。

- ①開発初期に FMEA を基に故障モードを網羅的に抽出する。
- ②抽出された故障モードについて、要素試験や解析等を行い、故障モードごとの評価の積み上げにより、設計信頼度が高いことを定量的に示す。
- ③燃焼試験等のシステム試験において、積み上げた評価の妥当性を最終検証する。比較的 low コストで実施できる上記②までの活動を充実させることで、開発後半のシステム試験でのトライアンドエラー等を防ぎ、開発規模も適正にする。

### (2)開発シナリオ

検討しているシナリオを、大凡の時期と共に示す。計画設定後は、段階的プロジェクト計画（PPP）の考え方にに基づき、各フェーズ毎にマイルストーンを設定し着実に進めていく予定である。

### (a)基本設計

2014～2015 年頃にかけエンジンの基本設計を行う。

先述の高信頼性開発プロセスにおける①故障モードの網羅的抽出及び、②要素試験や解析による故障モード評価についても本フェーズで実施する。材料試験、サブスケール燃焼試験、タービンリグ試験、インデューサ吸込み性能試験、CFD 解析、構造解析等がそれに相当する。

### (b)プロトタイプ試験及び詳細設計

基本設計を行ったエンジンを複数台製作し、2016～2017 年頃にかけ、ターボポンプ単体試験及びエンジン燃焼試験等（プロトタイプ試験）を実施する。結果を反映したエンジンの詳細設計を行う。

なお、燃焼試験等においては、フライト中より広い作動範囲での正常作動、複数台燃焼させることによる個体差ばらつき、フライト 1 回あたりの作動時間を十分に上回る時間や回数（通常 4 倍以上）での燃焼等、フライト条件での正常作動を保証するための厳しい確認を行う。

### (c)認定フェーズ

2018～2019 年頃にかけ、詳細設計を行ったエンジンを複数台製作し、ターボポンプ単体試験及びエンジン燃焼試験（認定試験）を実施する。その結果を踏まえエンジンを認定し、開発を完了する。フライト条件での正常作動を保証するための厳しい確認試験については、上記(b)に同じ。

2019～2020 年、試験機打上げ用エンジンをプライムコンストラクタが必要とする時期に提供する。

実に進めていくと共に、2020 年代の打上げ市場における高い国際競争力を実現し、我が国の経済や産業の発展に貢献したい。

### 参考文献

- 1) 新型基幹ロケット開発の進め方，第 21 回宇宙政策委員会，2014 年 4 月 3 日。
- 2) 西平慎太郎：新型基幹ロケットの目的・意義と総合システム構想について，第 58 回宇宙科学技術連合講演会，2S01 予定稿，2014。
- 3) Shusuke Hori : Technology Demonstration Status of LE-X Engine, IAC-13-C4.1.4, 2013.



図 4 新型基幹ロケット開発スケジュール<sup>[2]</sup>

## 3. まとめ

新型基幹ロケットエンジン（LE-9 及び LE-11）の開発構想を示した。今後、関連機関や企業と協力し、低コスト・高信頼性を両立するエンジンの開発を着