

# イプシロンSロケット開発状況 及び 第2段モータ再地上燃焼試験概要説明

2024年11月25日

井元 隆行

(JAXA 宇宙輸送技術部門 イプシロンロケットプロジェクトマネージャ)

# 目次

1. イプシロンロケット概要
  - 1.1 イプシロンロケット全体計画
  - 1.2 イプシロンSロケット機体仕様
  
2. 第2段モータ再地上燃焼試験
  - 2.1 能代ロケット実験場での地上燃焼試験結果
  - 2.2 第2段モータ異常燃焼の原因と対策
  - 2.3 第2段モータ再地上燃焼試験
  
3. 打上げ準備状況
  - 3.1 イプシロンSロケット開発状況
  - 3.2 打上げに向けた準備状況・今後の予定

# 目次

## 1. イプシロンロケット概要

### 1.1 イプシロンロケット全体計画

### 1.2 イプシロンSロケット機体仕様

## 2. 第2段モータ再地上燃焼試験

### 2.1 能代ロケット実験場での地上燃焼試験結果

### 2.2 第2段モータ異常燃焼の原因と対策

### 2.3 第2段モータ再地上燃焼試験

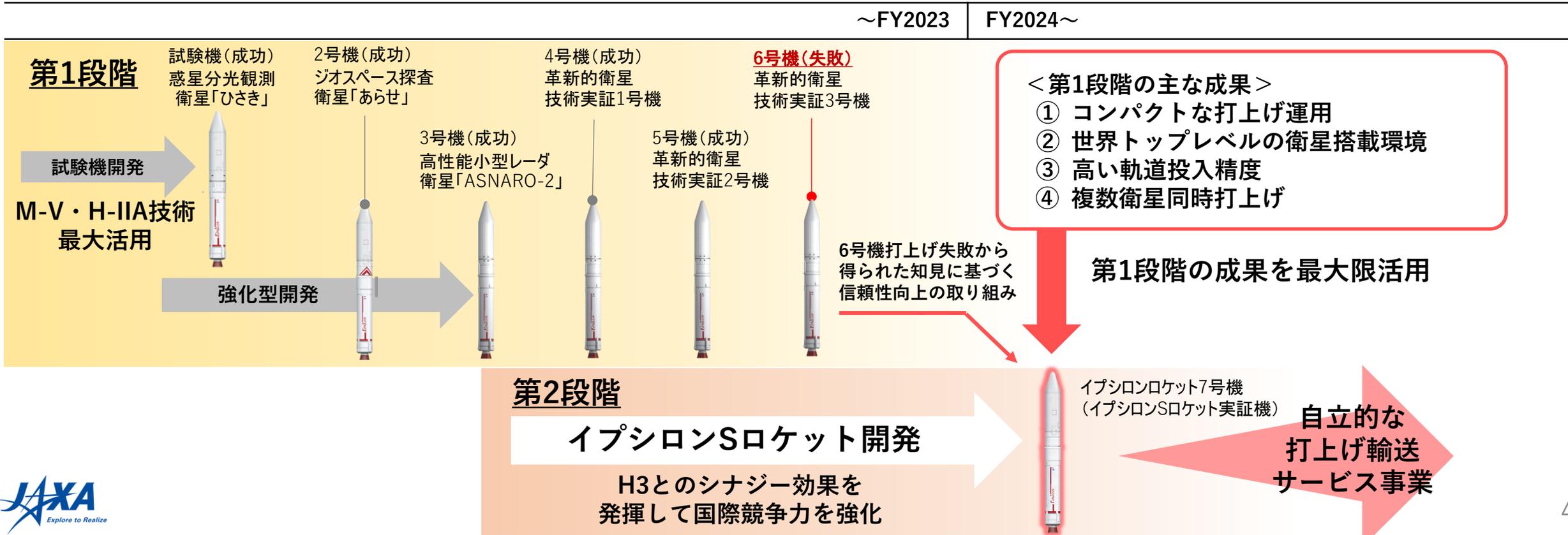
## 3. 打上げ準備状況

### 3.1 イプシロンSロケット開発状況

### 3.2 打上げに向けた準備状況・今後の予定

# 1.1 イプシロンロケット 全体計画

- 小型衛星打上げ手段早期獲得・固体ロケット空白期間極小化のため、イプシロンロケットシリーズとして**2段階の開発**を推進。
  - 第1段階：M-V及びH-IIAで培った技術を最大限活用 → 試験機・強化型
  - 第2段階：H3ロケットとのシナジー効果を発揮して国際競争力を強化 → **イプシロンS**
- 2024年度に**イプシロンロケット7号機（イプシロンSロケット実証機）**を打上げ予定。



# (参考) イプシロンSロケットの号機名称

- イプシロンSロケットはイプシロンロケットのシリーズの一つ。
- 号機名称は6号機から継承し、**イプシロンロケット7号機 (イプシロンSロケット実証機)**。
- イプシロンSロケットの2機目は**イプシロンロケット8号機**。

## イプシロンロケット

### イプシロンロケット試験機 (通称:試験機)



イプシロンロケット  
試験機

### 強化型イプシロンロケット (通称:強化型)



イプシロンロケット  
2号機



イプシロンロケット  
3号機



イプシロンロケット  
4号機



イプシロンロケット  
5号機



イプシロンロケット  
6号機

第1段階

### イプシロンSロケット (通称:イプシロス)



イプシロンロケット  
7号機  
(イプシロスロケット  
実証機)



イプシロンロケット  
8号機



イプシロンロケット  
9号機

...

第2段階

# 1.2 イプシロンSロケット機体仕様



ロケットシステム		強化型		イプシロンS (仕様統一)
		基本形態	オプション形態	
全長		約26m		約27.2m
段構成		固体3段	固体3段 + PBS	固体3段 + PBS
フェアリング分離		2段燃焼開始前 (機軸方向加速度なし)		2段燃焼中 (機軸方向加速度あり)
アビオニクス		H-IIAと共通 (一部)		H3と共通 (一部)
3段	搭載方式	フェアリング内 (インポーズ)		フェアリング外 (エクスポーズ)
	推進薬量	約2.5トン		約5トン
	姿勢制御	スピン安定		TVC + PBS
2段	推進薬量	約15トン		約18トン
	姿勢制御	TVC + RCS		TVC + RCS
1段	モータ	SRB-A		SRB-3
	推進薬量	約66トン		約67トン
	姿勢制御	TVC + SMSJ		TVC + SMSJ



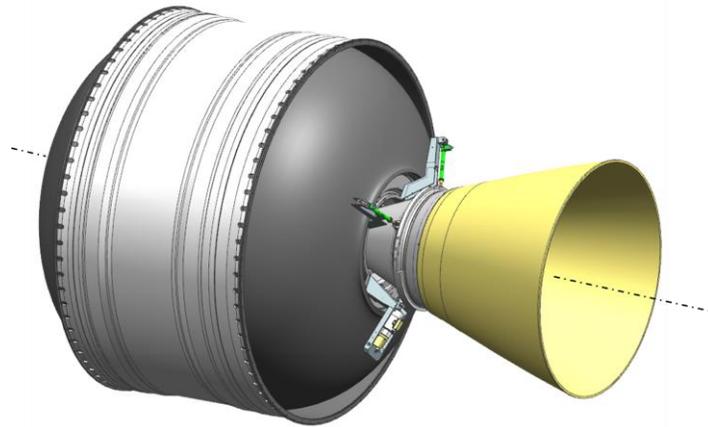
フェアリングカプセル化

3段モータ大型化  
3段TVC化

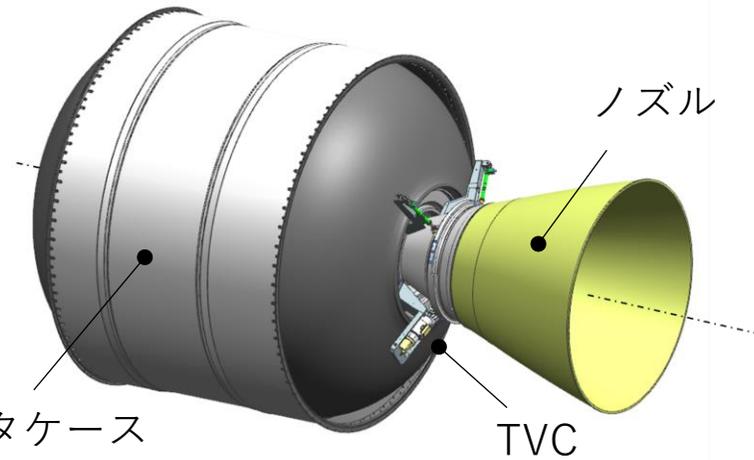
2段モータ大型化

SRB-3適用

# 1.2 イプシロンSロケット機体仕様（第2段モータ）



強化型 第2段モータ



イプシロンS 第2段モータ

- 打上げ能力最適となる推進薬量（強化型第2段モータをサイズアップ）
- 強化型第2段モータとSRB-3開発成果を活用し、高信頼性・低コスト化を追求。

項目	強化型 第2段モータ	イプシロンS 第2段モータ
固体推進薬	コンポジット推進薬	コンポジット推進薬
真空中推力	約470 kN	約610 kN
性能 (Isp)	295 s	294.5 s
固体推進薬量	約15 ton	約18 ton
全長	4.0 m	4.3 m
直径	φ 2.5m	φ 2.5m
燃焼時間	130 s	約120 s
ノズル駆動方式	TVC	TVC

TVC: Thrust Vector Control (推力方向制御)

# 目次

1. イプシロンロケット概要
  - 1.1 イプシロンロケット全体計画
  - 1.2 イプシロンSロケット機体仕様
  
2. 第2段モータ再地上燃焼試験
  - 2.1 能代ロケット実験場での地上燃焼試験結果
  - 2.2 第2段モータ異常燃焼の原因と対策
  - 2.3 第2段モータ再地上燃焼試験
  
3. 打上げ準備状況
  - 3.1 イプシロンSロケット開発状況
  - 3.2 打上げに向けた準備状況・今後の予定

## 2.1 能代ロケット実験場での地上燃焼試験結果

- 2023年6月～7月に能代ロケット実験場において第2段・第3段モータ地上燃焼試験を実施。
- 第2段モータ地上燃焼試験においてモータが爆発（異常燃焼）。
- 製造・検査データ、試験データに基づき詳細な分析を実施し、**2023年12月に原因を特定**。

第3段モータ地上燃焼試験



日時：2023年6月6日(火)10:00

結果：良好

燃焼時間：107.3秒（事前予測107.8秒）

最大圧力：4.8MPa（事前予測4.7MPa）

最大推力：137kN（事前予測：135kN）

第2段モータ地上燃焼試験



日時：2023年7月14日(金)09:00

結果：**点火後約57秒の時点でモータが爆発**

（破壊起点はモータケース後方ドーム）

## 2.2 第2段モータ異常燃焼の原因と対策

### ■ モータ破壊シナリオ

イグブースタの一部が溶融・飛散

溶融物がモータケースと推進薬の隙間に侵入

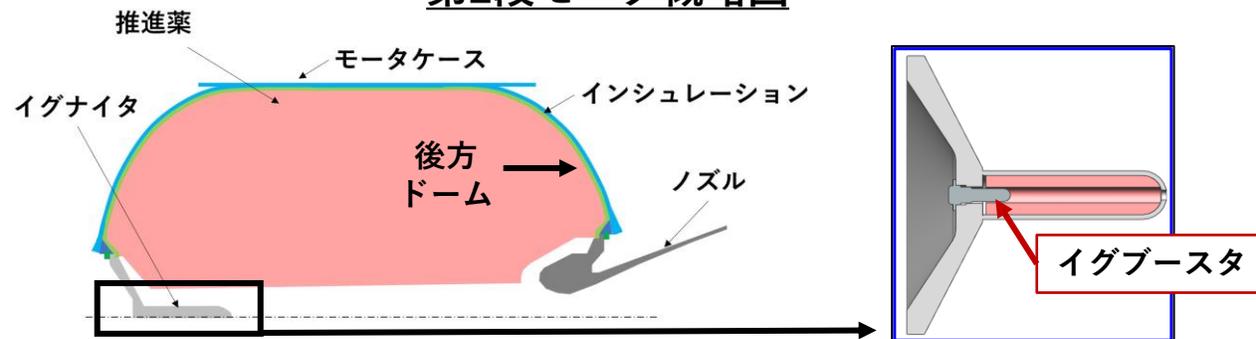
推進薬側のインシュレーションが損傷

損傷部分の推進薬に着火して熱負荷が増大

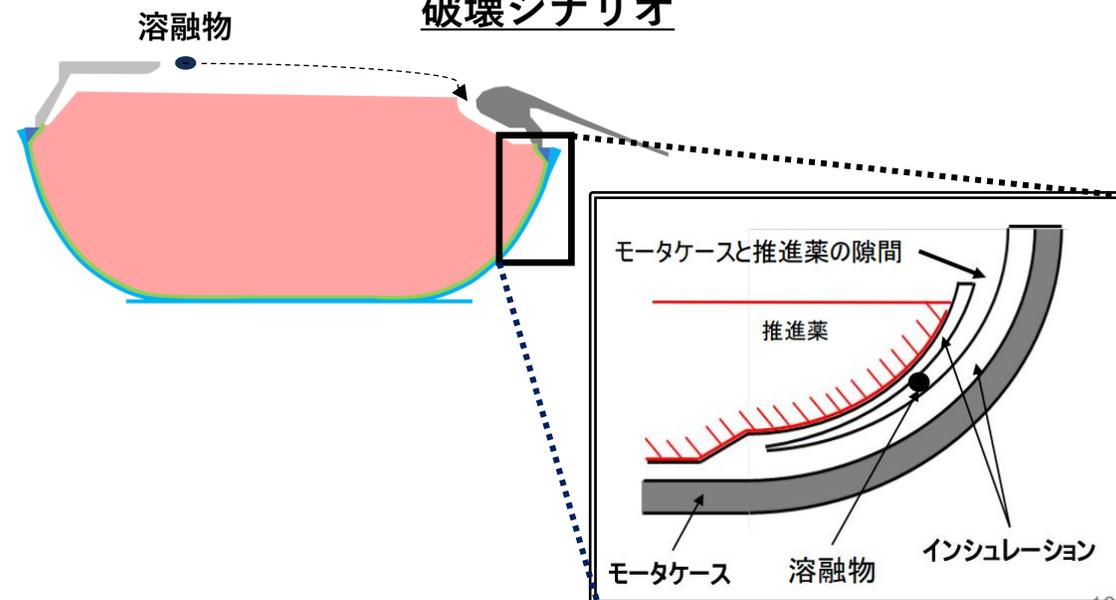
モータケース側のインシュレーション焼損が拡大

モータケースが許容温度超過により破壊

第2段モータ概略図



破壊シナリオ



## 2.2 第2段モータ異常燃焼の原因と対策

- 対策：根本原因排除を目的として、イグブースタ溶融防止のため、**イグブースタ表面にインシュレーション（断熱材）を施工。**

- 対策の妥当性確認のため、以下を実施。

### A) 単体試験

#### a. イグブースタ燃焼試験

溶融対策を施したイグブースタ単体を燃焼させ、対策の妥当性を検証 ⇒良好に完了

#### b. イグナイタ燃焼試験（第2段モータ用、第3段モータ用）

溶融対策を施したイグブースタを組み込んだイグナイタ単体を燃焼させ、対策の妥当性を検証

⇒第2段モータ用イグナイタ燃焼試験において燃焼ガスリーク事象発生、設計変更・検証を良好に完了（次頁）

#### c. イグブースタ温度データ取得試験

溶融対策を施したイグブースタに対して、外部から燃焼ガスによる熱負荷を与え、イグブースタに施工した断熱設計の妥当性を検証 ⇒良好に完了

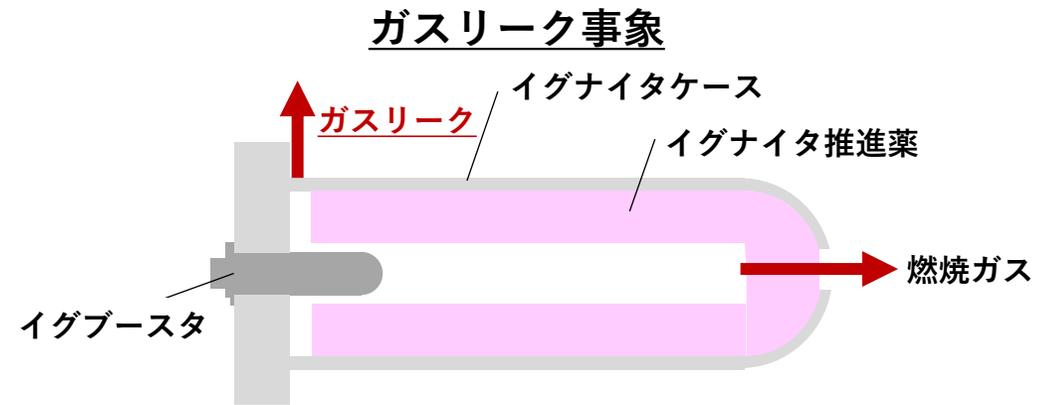
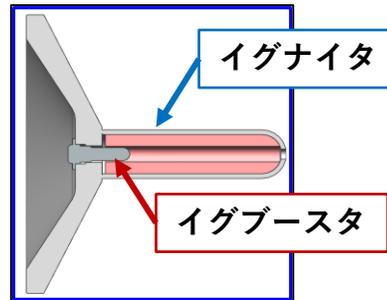
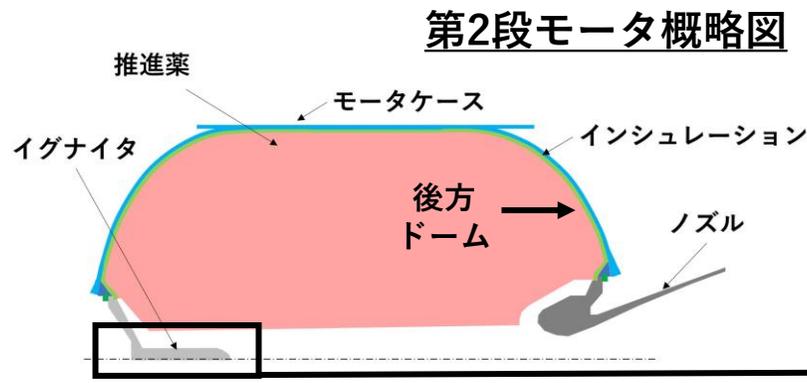
### B) 第2段モータ再地上燃焼試験

上記A)単体試験において良好な結果が得られたことから、今回の第2段モータ再地上燃焼試験を実施する。

## 2.2 第2段モータ異常燃焼の原因と対策

### 【第2段モータ用イグナイタ燃焼試験 ガスリーク事象】

- 事象：第2段モータ用イグナイタの振動・衝撃試験実施後の燃焼試験において、着火直後に燃焼ガスリークが発生。
- 原因：イグナイタ内部のシール（接着材）の衝撃荷重等に対する耐荷力不足。
- 対策：シール設計変更（接着材からOリング）とイグナイタのケース材質変更（CFRPから金属）  
⇒対策反映後のイグナイタ燃焼試験により燃焼ガスリークが発生しないことを確認。

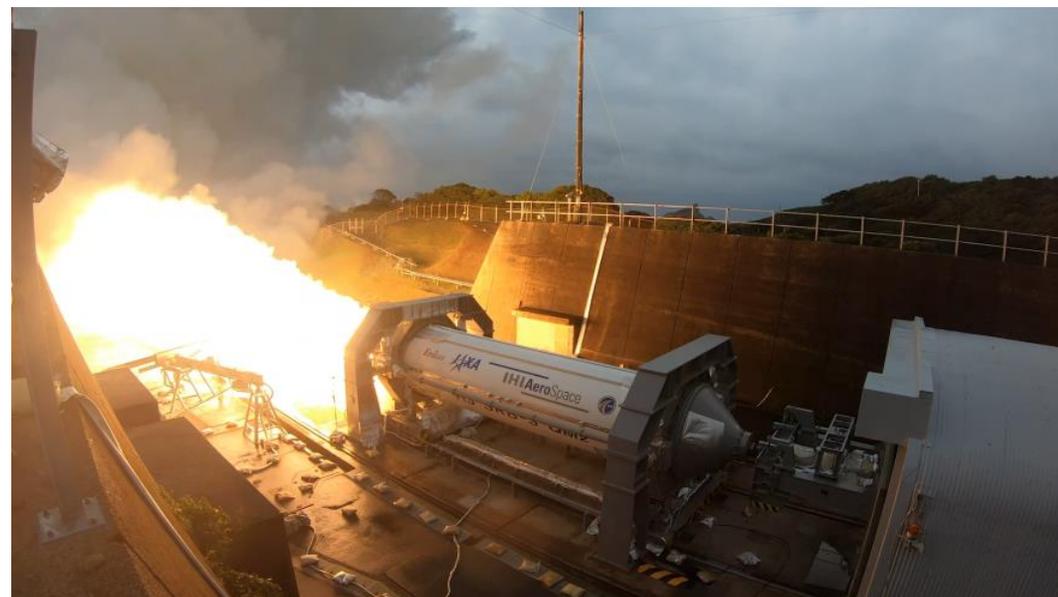


## 2.3 第2段モータ再地上燃焼試験（試験目的）

- 以下の技術データを取得し、**2023年7月に発生した地上燃焼試験異常燃焼の対策を含めた第2段モータの設計妥当性を検証する。**

- 検証項目

- ① モータ着火・燃焼・推進特性
- ② 断熱材設計の妥当性
- ③ TVCシステム機能・性能
- ④ 2023年7月に発生した地上燃焼試験異常燃焼の対策の妥当性の検証

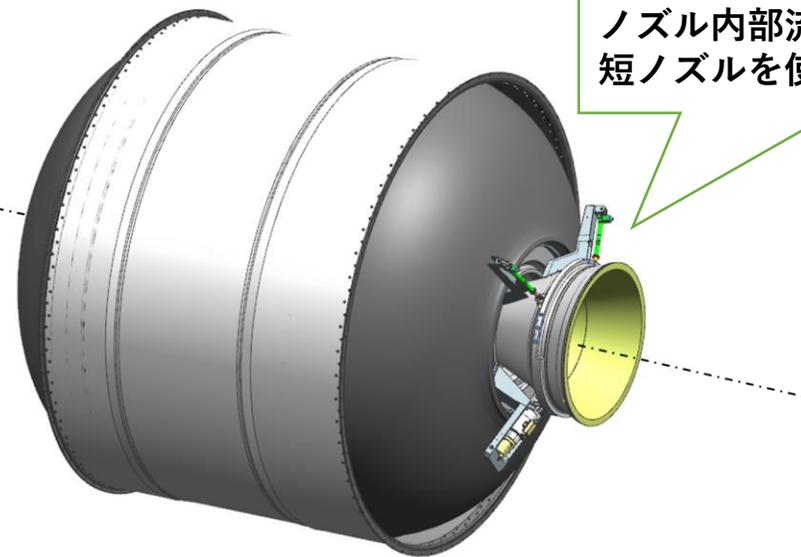


燃焼試験イメージ

2020/02/29 H3ロケット用固体ロケットブースタ（SRB-3）  
認定型モータ地上燃焼試験（その2）

## 2.3 第2段モータ再地上燃焼試験（試験概要）

- 試験場所 : 種子島宇宙センター竹崎地上燃焼試験場
- 燃焼時間 : 120秒程度
- 供試体 : 短ノズル型
- 計測項目 : 推力、燃焼圧力、各部温度・歪・加速度等の**約200点**



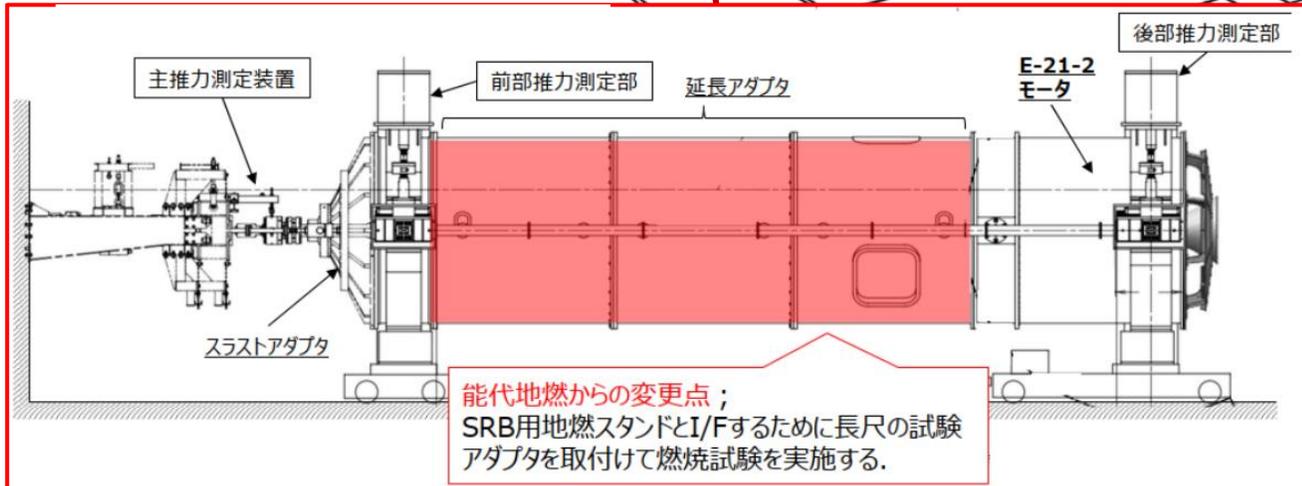
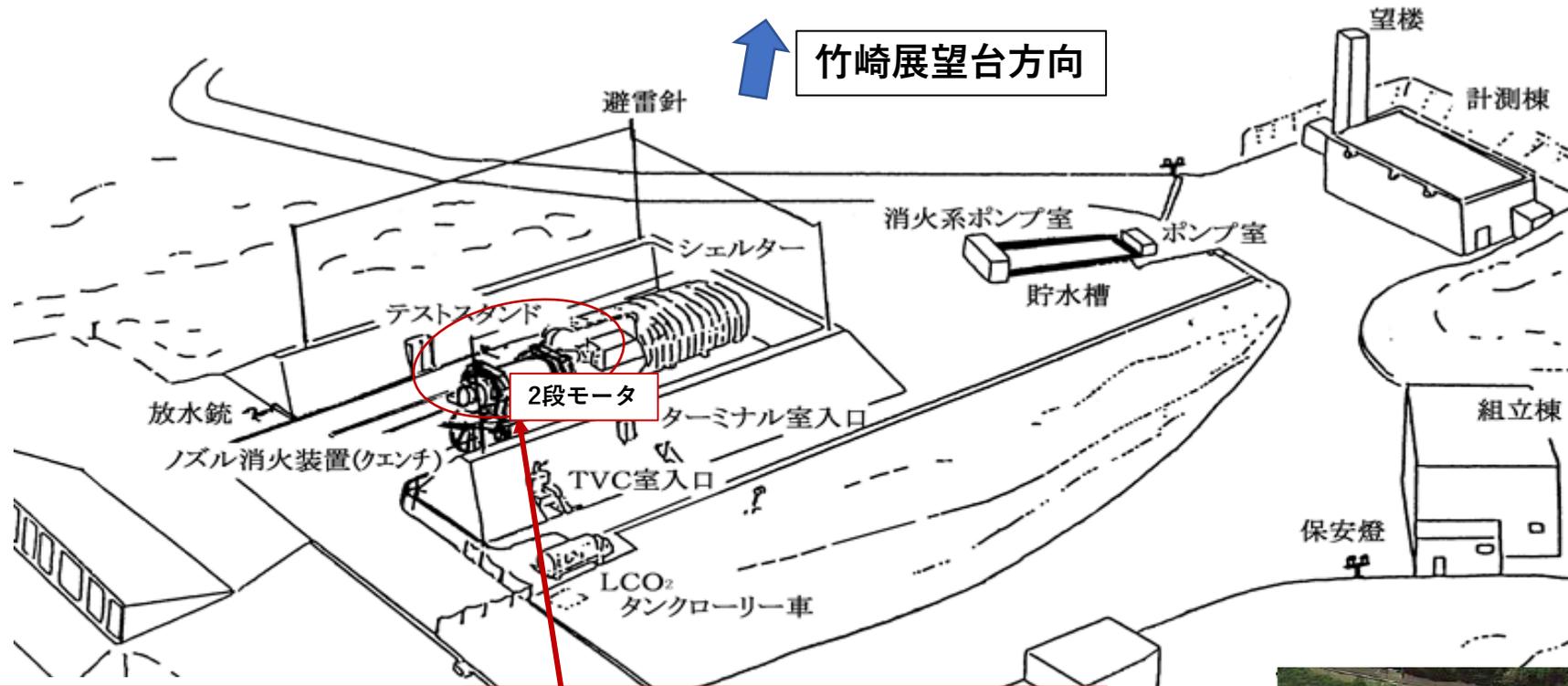
大気圧下で試験を行うため、ノズル内部流れの剥離防止として短ノズルを使用

燃焼試験仕様

実機／燃焼試験仕様差異

項目	実機仕様 (イプシロンS実機)	燃焼試験仕様 (短ノズル型)
固体推進薬	コンポジット推進薬	コンポジット推進薬
<b>真空中推力</b>	<b>約610 kN</b>	<b>約560 kN</b>
<b>性能 (Isp)</b>	<b>294.5 s</b>	<b>267.3s</b>
固体推進薬量	約18 ton	約18 ton
<b>全長</b>	<b>4.3 m</b>	<b>3.2 m</b>
直径	φ 2.5m	φ 2.5m
燃焼時間	約120 s	約120 s
ノズル駆動方式	TVC	TVC

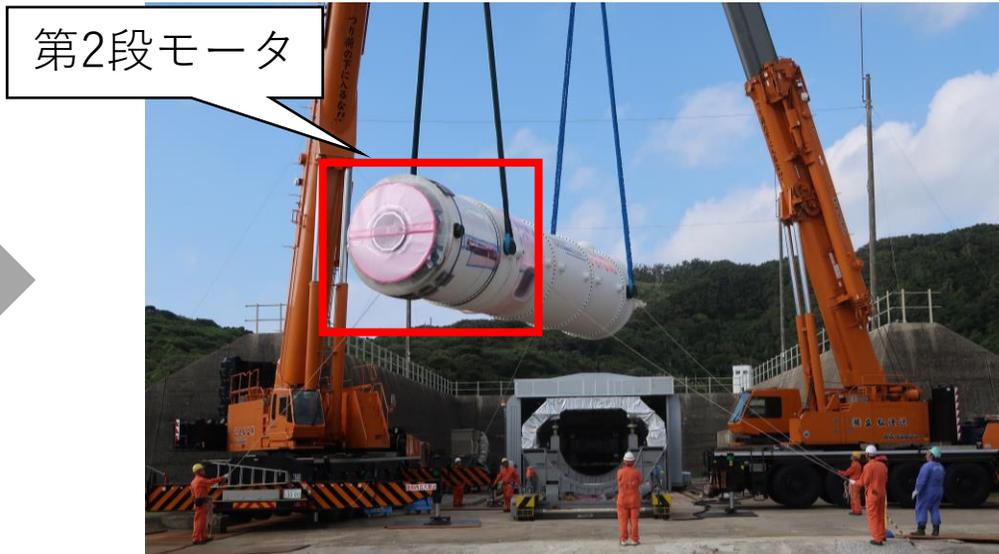
# 2.3 第2段モータ再地上燃焼試験 (燃焼試験設備)



# 2.3 第2段モータ再地上燃焼試験（準備作業状況）



SBBから地燃への移動



スタンドへのモータ吊り込み



スタンドへのセット状況

- ・モータと設備を組合わせた最終確認
- ・TVCの機能確認
- ・センサの貼り付け、接続
- ・点火用火工品の取り付け、結線 等  
を実施し、試験実施

## ■ 試験時（点火時）の天候条件

## ① 風向・風速

ノズルから噴出される固形物（アルミナ粒子）が、JAXA敷地外の陸地へ落下することによる第三者への影響を極力避けるように設定。

風向 : 大勢の人が屋外に集まるイベント等がある方向への風向でないこと

風速 : 3m/s以上。3m/s未満の場合はトレンドを監視して風向が安定していること

## ② 雨 : 3mm/h（試験場エリア）未満

## ■ 試験時刻

10:00～16:30（日没までに主要な後処置を実施）

## 2.3 第2段モータ再地上燃焼試験（スケジュール）

X±	安全系	試験系
X-180分	警戒区域内（試験スタンドから595m内） 警備開始	
X-140分		点火系ケーブル接続
X-90分	警戒区域内入場禁止	TVC駆動チェック
X-40分		GO/NOGO判断
X-30分		セーフ・アーム装置 安全ピン外し
X-20分	総員退避完了	
X-10分		点火モードに切り替え
X-3分		サイレン吹鳴
X-60秒		シーケンス開始
<b>X-0</b>		<b>点火</b>
X+2分		燃焼終了確認 クエンチ（モータ内消火装置）作動
X+15分頃	警戒区域内規制解除 スタンド周辺安全確認開始	サイレン吹鳴

# 目次

1. イプシロンロケット概要
  - 1.1 イプシロンロケット全体計画
  - 1.2 イプシロンSロケット機体仕様
  
2. 第2段モータ再地上燃焼試験
  - 2.1 能代ロケット実験場での地上燃焼試験結果
  - 2.2 第2段モータ異常燃焼の原因と対策
  - 2.3 第2段モータ再地上燃焼試験
  
3. 打上げ準備状況
  - 3.1 イプシロンSロケット開発状況
  - 3.2 打上げに向けた準備状況・今後の予定

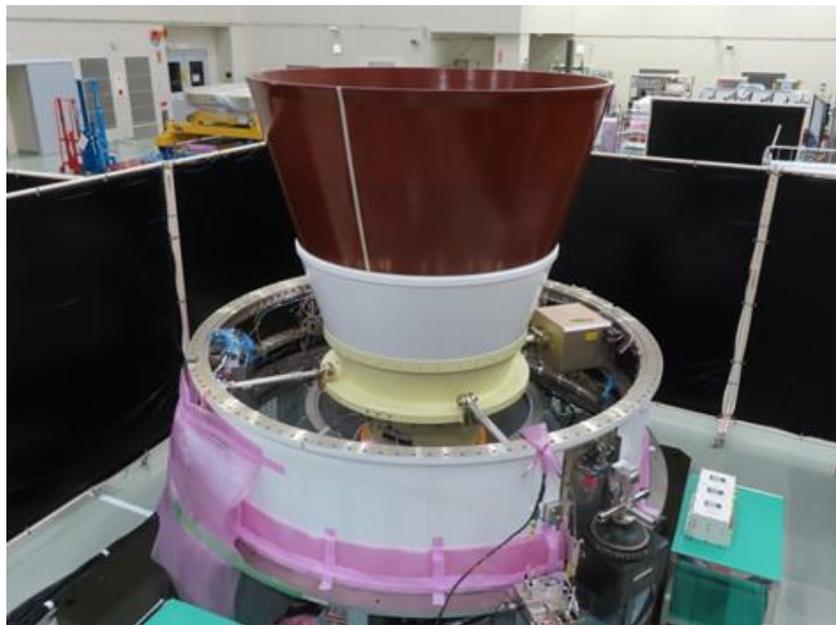
## 3.1 イプシロンSロケット開発状況

- イプシロンSロケット開発の各サブシステムの開発試験およびシステム試験を概ね完了。今後、以下を実施予定。
  - 第2段モータ再地上燃焼試験
  - モーションテーブル試験
  - 等
- 射場において、実証機ロケットシステムと射場施設設備システムを組み合わせた総合システム点検（Y-0シーケンス点検）を実施予定。

## 3.1 イプシロンSロケット開発状況

【システム試験の例：セグメント点検】（完了）

- アビオニクス機器と発射管制システムを組み合わせた電氣的なシステム試験。
- 各機器間の電氣的インタフェース確認や打上げ時のシーケンス確認等を実施。



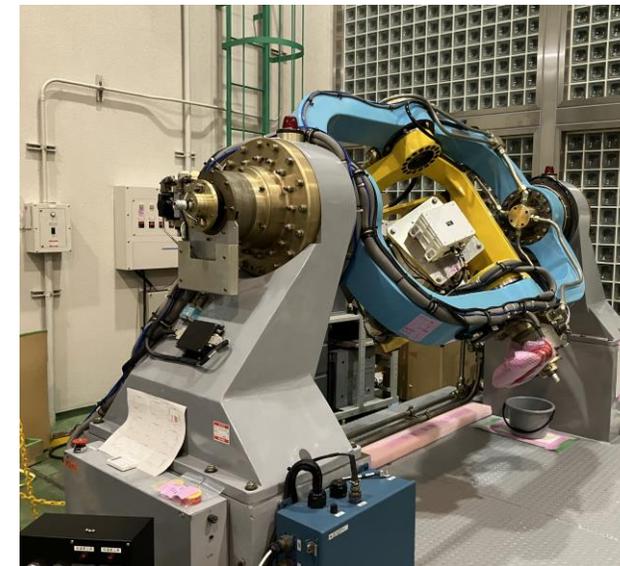
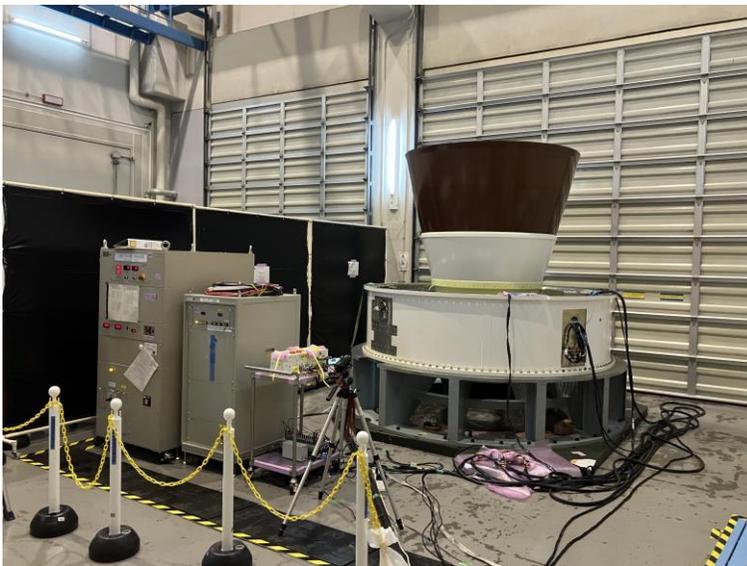
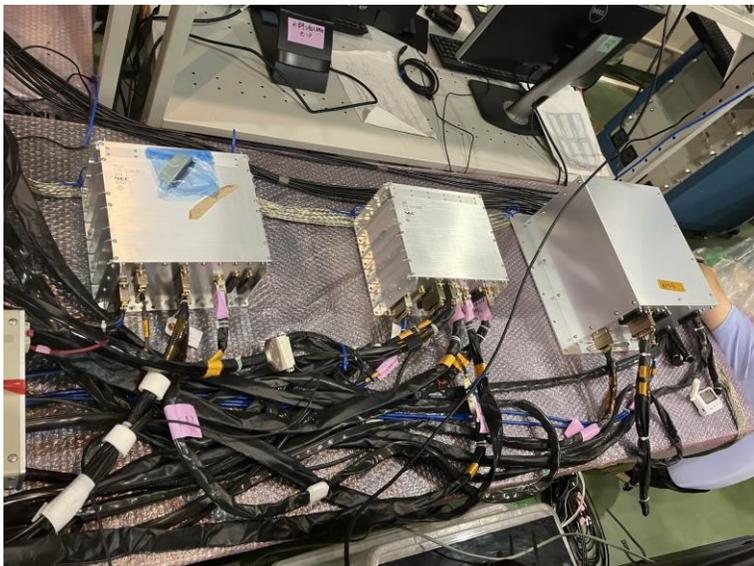
セグメント点検実施状況

（左：第1段後部、中：第2段機器搭載構造、右：第3段機器搭載構造）

## 3.1 イプシロンSロケット開発状況

【システム試験の例：モーションテーブル試験】（実施中）

- 搭載機器およびフライトソフトウェアを組み合わせた姿勢制御システム全体の確認試験。
- 試験装置（モーションテーブル）に搭載機器を載せてロケットの動的挙動を模擬。
- 各段（第1段・第2段・第3段・PBS）毎に試験を実施中。



モーションテーブル試験実施状況

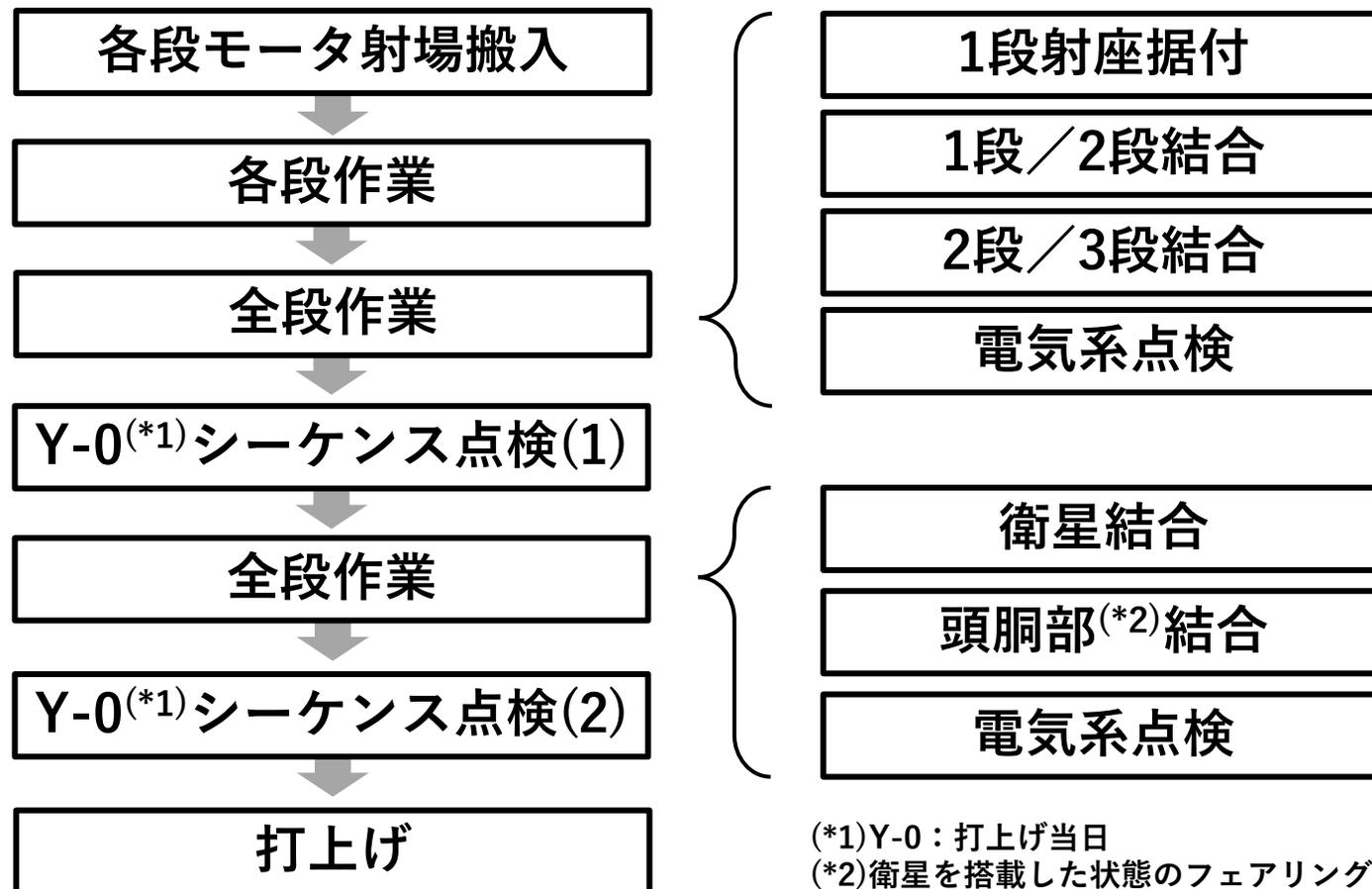
（左：アビオニクス機器、中：第1段姿勢制御機器、右：モーションテーブル）

## 3.2 打上げに向けた準備状況・今後の予定

- 11月6日に第1段モータを射場に搬入。各段作業を実施中。
- 今後、全段作業、Y-0シーケンス点検等を実施し、内之浦宇宙空間観測所から打上げ予定。



2024年11月6日  
第1段モータを内之浦宇宙空間観測所へ搬入



(\*1)Y-0：打上げ当日  
(\*2)衛星を搭載した状態のフェアリング