

# イプシロンSロケット 第2段モータ再地上燃焼試験における燃焼異常 原因調査状況

2025年2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

更新

※ 12/25の記者説明会で報告した内容との差異はページ右上に識別

同一：前回報告済み

更新：前回報告から内容を更新

追加：今回新たに追加

## 0. 本日の報告内容

### 1. イプシロンSロケット概要

#### 1.1 イプシロンSロケット機体仕様

#### 1.2 イプシロンSロケット第2段モータ

### 2. 第2段モータ再地上燃焼試験

#### 2.1 第2段モータ再地上燃焼試験計画

#### 2.2 第2段モータ再地上燃焼試験結果

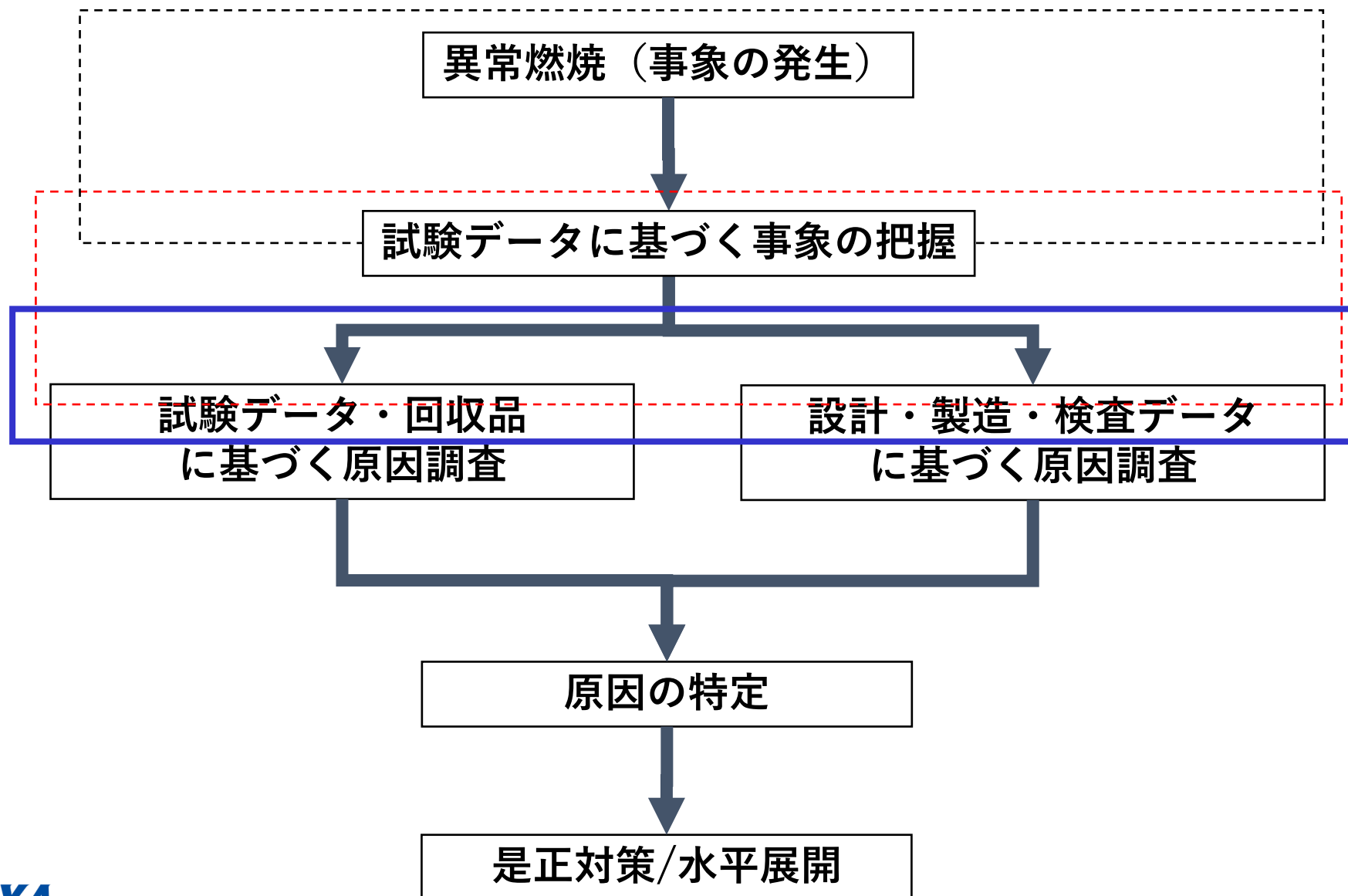
### 3. 原因調査状況

### 4. 設備復旧状況

### 5. 今後の計画

# 0. 本日の報告内容（原因調査ステータス）

更新



12/5時点のステータス  
（事象の把握は速報まで）

12/25時点のステータス  
（事象の把握まで実施し、  
原因調査に着手）

2/25時点のステータス  
（試験データ・回収品、  
設計・製造・検査デー  
タに基づく原因調査中）

# 0. 本日の報告内容（エクゼクティブサマリ）

追加

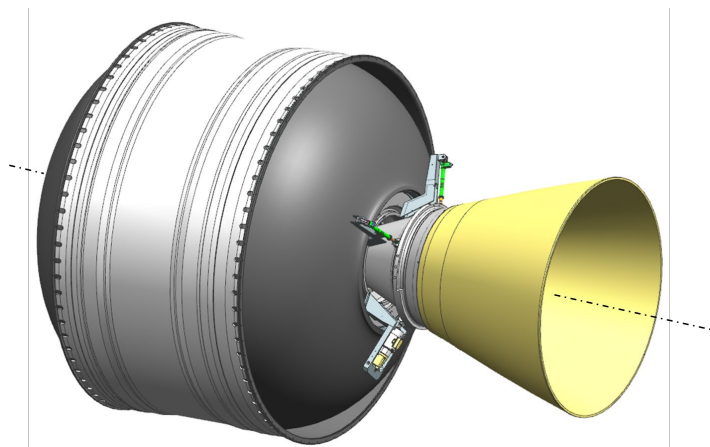
## ■ 原因調査状況

- ・回収品の分析結果を原因の絞り込みに反映。海中探索継続中。【2.2項】
- ・製造・検査データ確認の中で特記事項を抽出したが、原因に繋がるものであるか現時点不明。【3項】
- ・3つの特記事項それぞれをトップ事象としたFTAを展開した。【3項】
  - ①「点火後約17sから燃焼圧力の予測値との乖離が高い側に徐々に拡大」の要因を絞り込み中。
  - ②約48.9sでのガスリークは、ジョイントホルダとノズルからではないと判断。
  - ③約49.3sでの爆発は、モータケースの熱起因によるものと判断。
- ・爆発に至るまでのシナリオの代表例を推定。【3項】

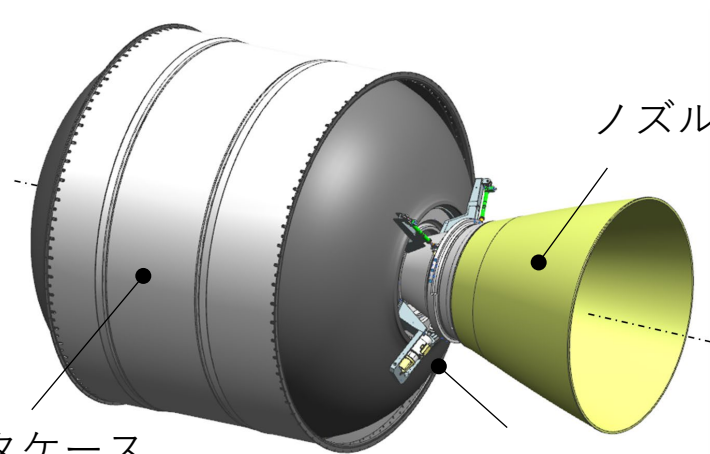
## ■ 設備復旧状況

- ・設備損傷状況の詳細調査を実施し、「再製作」「健全性確認のうえ流用」に大別し、設備復旧計画を検討した。【4項】
- ・2025年秋ごろの復旧完了を目指す、今後実施する健全性確認結果を反映して更新する。【4項】

- 0. 本日の報告内容
- 1. イプシロンSロケット概要
  - 1.1 イプシロンSロケット機体仕様
  - 1.2 イプシロンSロケット第2段モータ
- 2. 第2段モータ再地上燃焼試験
  - 2.1 第2段モータ再地上燃焼試験計画
  - 2.2 第2段モータ再地上燃焼試験結果
- 3. 原因調査状況
- 4. 設備復旧状況
- 5. 今後の計画



強化型 第2段モータ



モータケース

TVC

ノズル

イプシロンS 第2段モータ

- 強化型第2段モータをベースに高性能・高信頼性・低コスト化を追求
- 打上げ能力向上を目的に推力増／推進薬量増（強化型第2段モータをサイズアップ）及びモータケースの軽量化

| 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            |
| 姿勢制御方式   | 電動アクチュエータによるノズル駆動 | 電動アクチュエータによるノズル駆動 |

# 1.1 イプシロンSロケット機体仕様

同一



| ロケットシステム |      | 強化型                    |            | イプシロンS<br>(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<br>(機軸方向加速度なし) |            | 2段燃焼中<br>(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<br>(インポーズ)     |            | フェアリング外<br>(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                  |            | ノズル駆動 + PBS          |
| 2 段      | 推進薬量 | 約15トン                  |            | 約18トン                |
|          | 姿勢制御 | ノズル駆動 + RCS            |            | ノズル駆動 + 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 | ノズル駆動 + SMSJ           |            | ノズル駆動 + SMSJ         |



フェアリング  
カプセル化

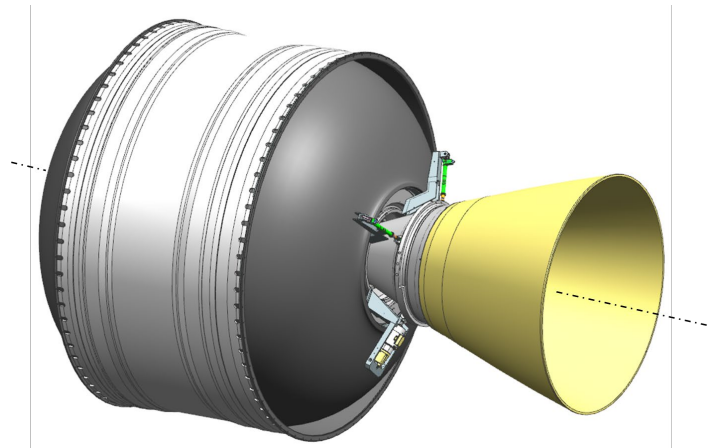
3段モータ大型化  
3段ノズル駆動化

2段モータ大型化

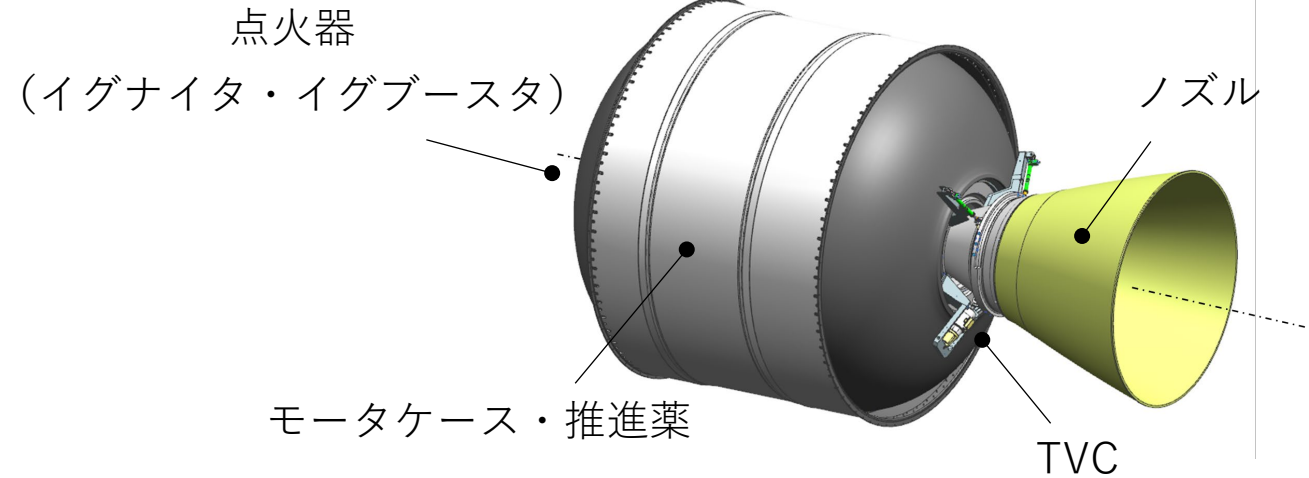
SRB-3適用

# 1.2 イプシロンSロケット 第2段モータ

同一



強化型 第2段モータ (M-35)



イプシロンS 第2段モータ (E-21)

|                            | イグブースタ                         | イグナイタ                      | モータケース                                                           | 推進薬                                                     | ノズル                            | TVC                              |
|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 強化型<br>第2段モータ<br>(M-35)    | —                              | CFRPケース<br>推進薬は主<br>モータと同一 | CFRPケース<br>設計圧力：5.88MPa                                          | コンポジット推進薬<br>薬量：15ton                                   | —                              | —                                |
| イプシロンS<br>第2段モータ<br>(E-21) | M-35品に熔融<br>対策追加（能代<br>地燃事故対策） | 金属ケース<br>M-35から推進<br>薬量増   | CFRPケース<br>設計圧力：8.0MPa<br>M-35から推進薬量増／<br>圧力増のため機軸長さ増／ケース<br>板厚増 | コンポジット推進薬<br>薬量：18ton<br>材料枯渇のためM-<br>35推進薬材料の一部<br>を変更 | M-35より剛<br>性増<br>形状はM-35<br>踏襲 | イプシロンSは第3<br>段モータと共通仕<br>様とし新規開発 |

TVC: Thrust Vector Control（推力方向制御）

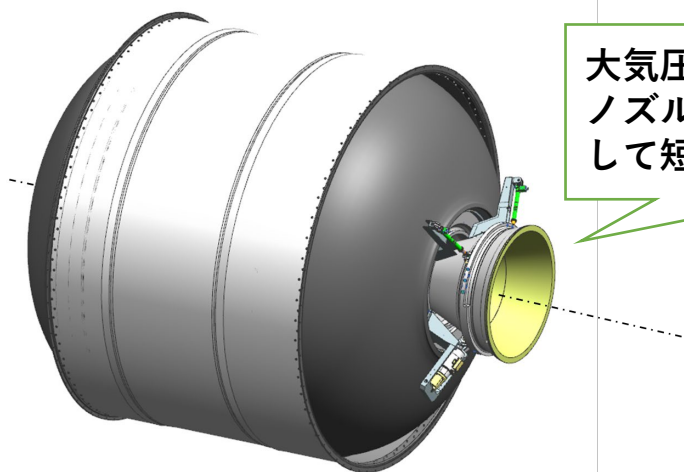
- 0. 本日の報告内容
- 1. イプシロンSロケット概要
  - 1.1 イプシロンSロケット機体仕様
  - 1.2 イプシロンSロケット第2段モータ
- 2. 第2段モータ再地上燃焼試験
  - 2.1 第2段モータ再地上燃焼試験計画
  - 2.2 第2段モータ再地上燃焼試験結果
- 3. 原因調査状況
- 4. 設備復旧状況
- 5. 今後の計画

## 2.1 第2段モータ再地上燃焼試験計画

- 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の燃焼異常の対策を含めた第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、③TVCシステム機能・性能  
④**2023年7月に発生した地上燃焼試験の燃焼異常の対策の妥当性の検証**
- 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**

実機／燃焼試験仕様差異

| 項目              | 実機仕様<br>(イプシロンS実機) | 燃焼試験仕様<br>(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           | 有                  | 有                 |



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

## 2.2 第2段モータ再地上燃焼試験結果（実施状況）

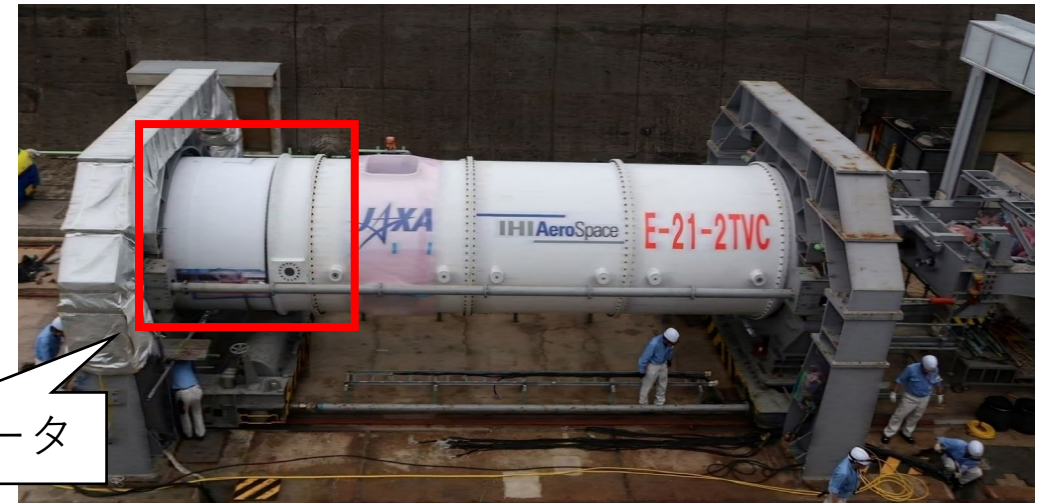
同一

### ■ 実施状況

- ・ 点火日時：2024年11月26日08時30分
- ・ 発生時刻：点火後約49秒（計画燃焼秒時：約120秒）
- ・ 発生事象：第2段モータの燃焼異常

### ■ 被害状況

- ・ 警戒区域を設定し安全を確保しており、人的被害および第三者物的損害はなし。
- ・ JAXA設備の被害状況について、スタンド設備の損傷、周辺設備（扉等）の破損等。



第2段モータ

スタンドへのセット状況

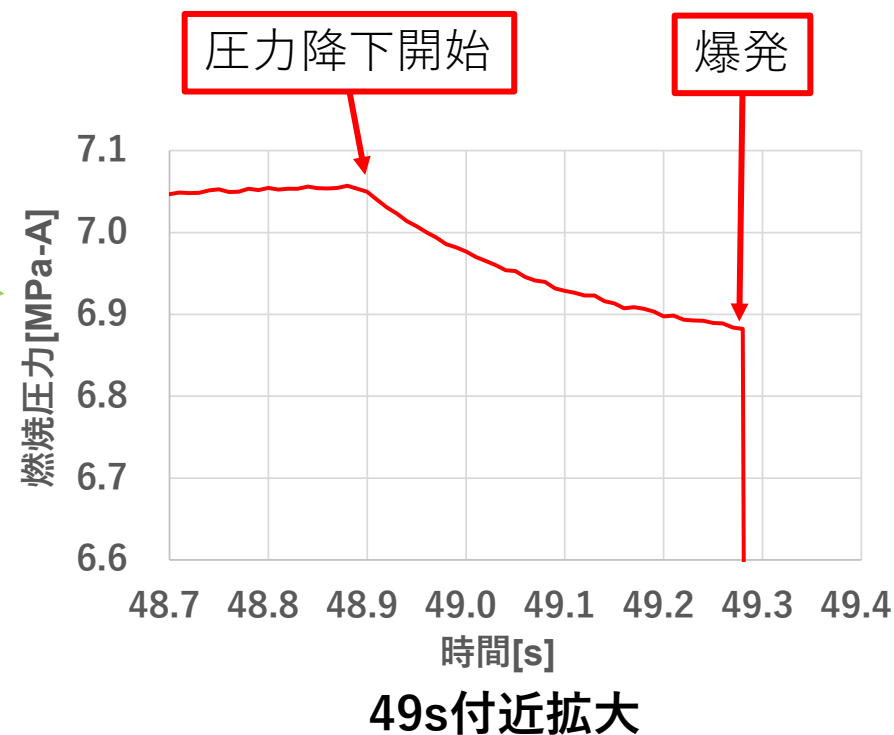
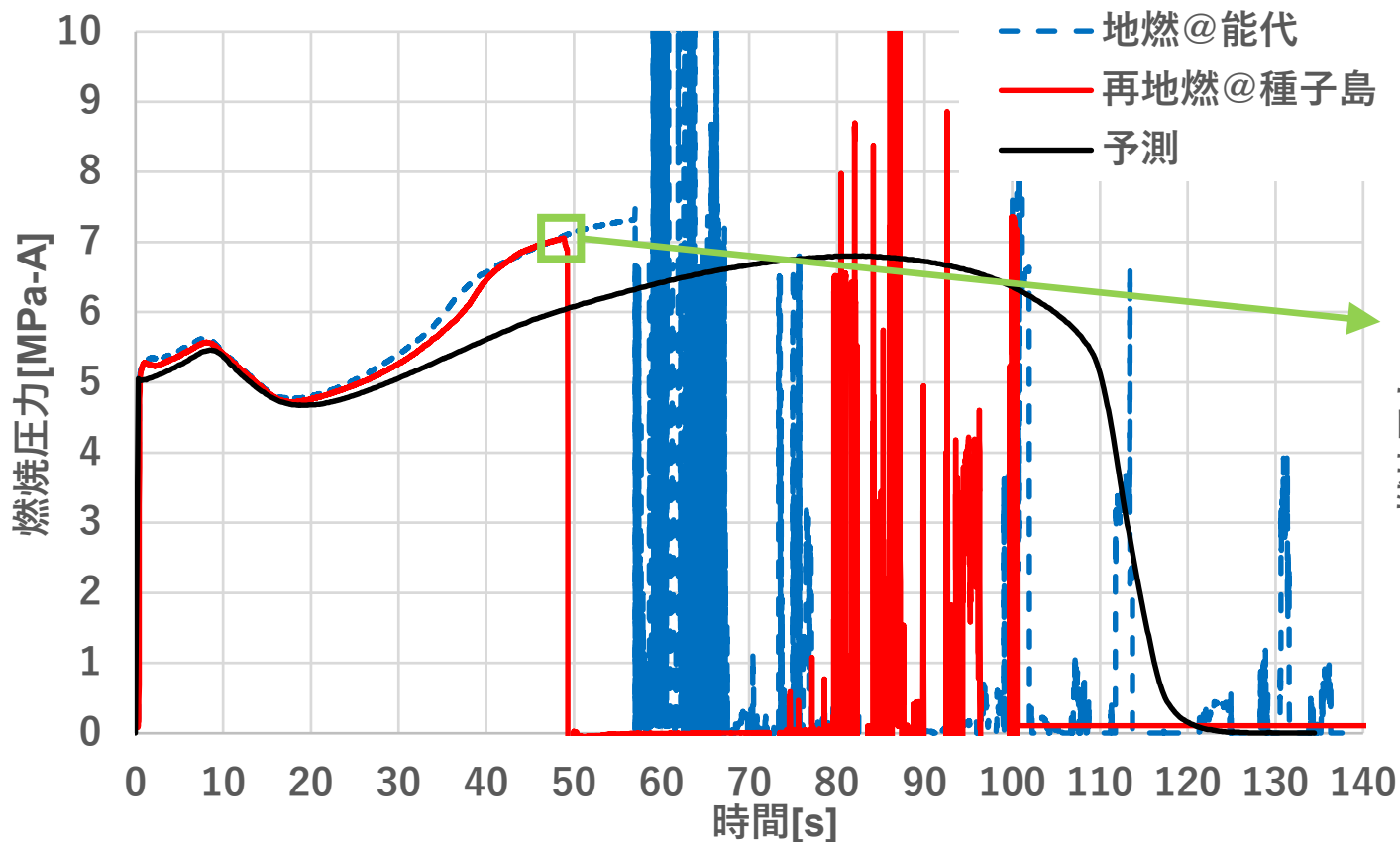
## 2.2 第2段モータ再地上燃焼試験結果（試験データ）

- 計測項目は全体確認済み。確認結果に基づいて把握した事象について示す。

同一

### 【燃焼圧力データ】

- ・ 点火後約17sから燃焼圧力の予測値との乖離が高い側に徐々に拡大。
- ・ 点火後約48.9sの時点で約7MPaに達したあと圧力が下降し、約49.3sで圧力が急激に下降（爆発）。（燃焼圧力は最大使用圧力（8.0MPa）及び保証耐圧試験の圧力（8.8MPa）以下）



# 2.2 第2段モータ再地上燃焼試験結果 (画像)

同一

【爆発時画像 (後方から)】 ※画像中時刻は手動タイマスタート(試験データと非同期)

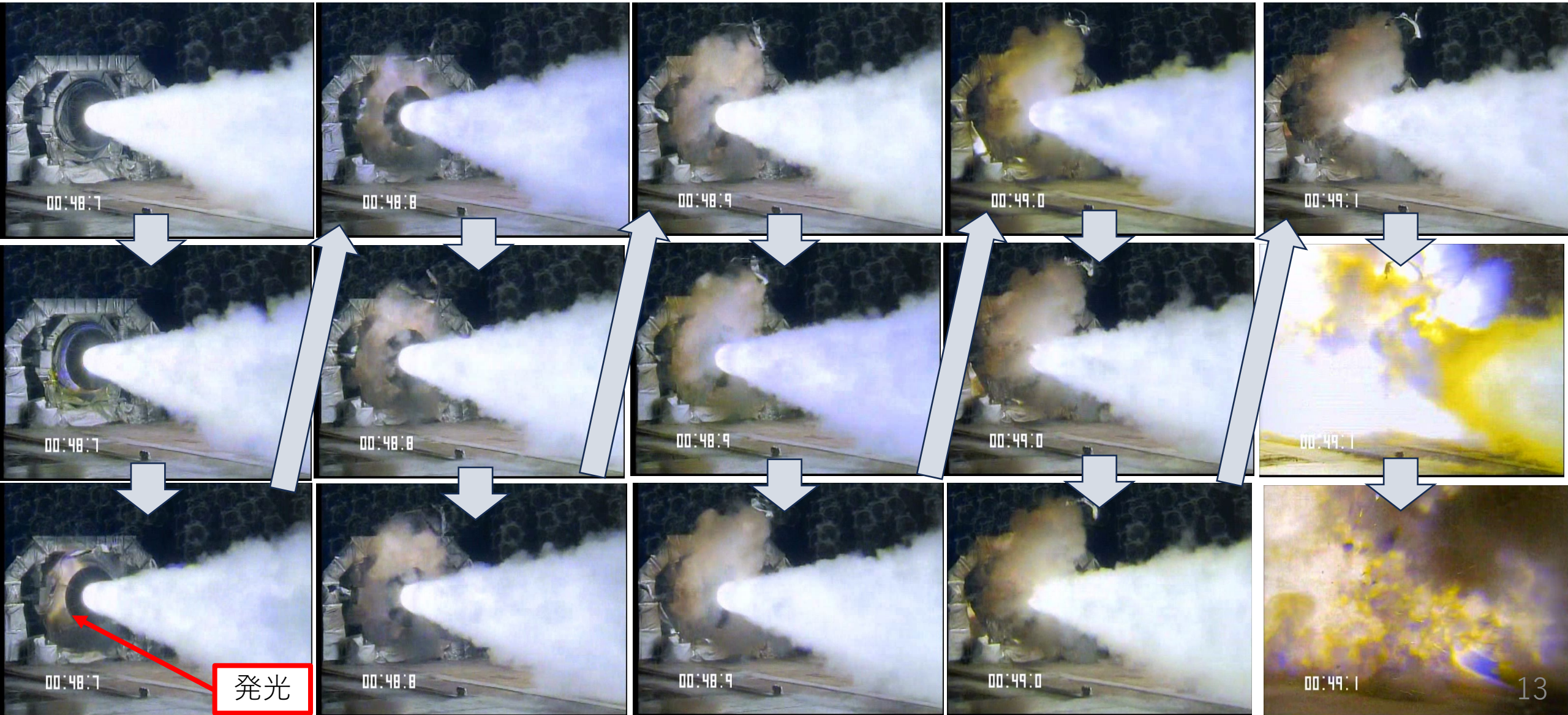
48.7 s

48.8 s

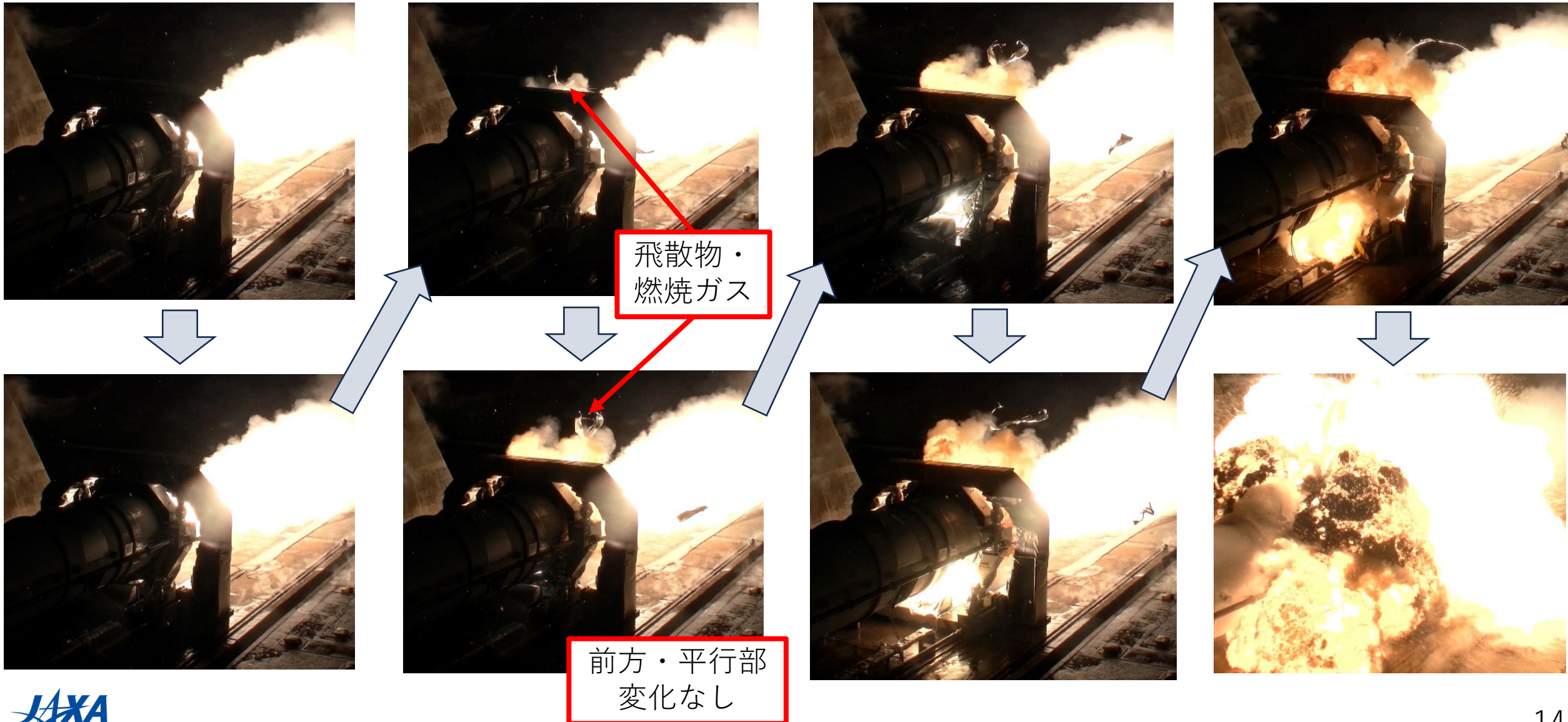
48.9 s

49.0 s

49.1 s



【爆発時画像（前方から）】 ※時刻情報はなし



## 2.2 第2段モータ再地上燃焼試験結果（画像）

【爆発時画像（竹崎局付近よりJAXA撮影）】 ※本画像を11/26(火)19:50にメディアへも提供済み



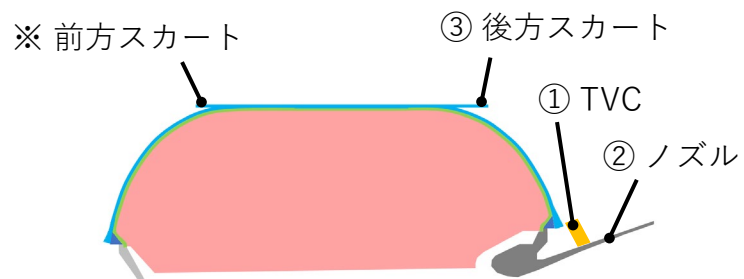
## 2.2 第2段モータ再地上燃焼試験結果（試験データ）

同一

- 約48.9s時点の圧力下降と画像データから、**燃焼ガスがリーク**していると判断した。
- 加速度・歪は事象発生箇所近傍から変動すること、及び画像データから、**燃焼ガスリークと爆発はモータ後方で発生**したと判断した。

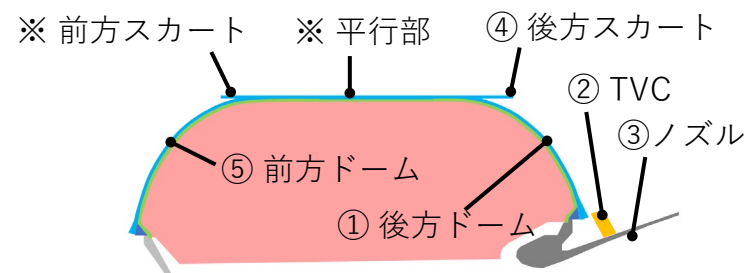
### 【加速度・歪データ】

- ・ 約48.9sの加速度と歪は後方から変動している。



48.9s付近の加速度変動順

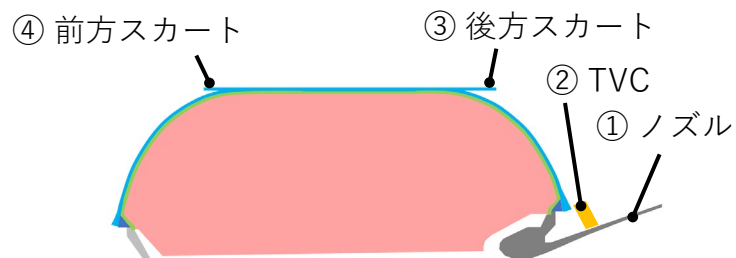
※ 有意な変動なし



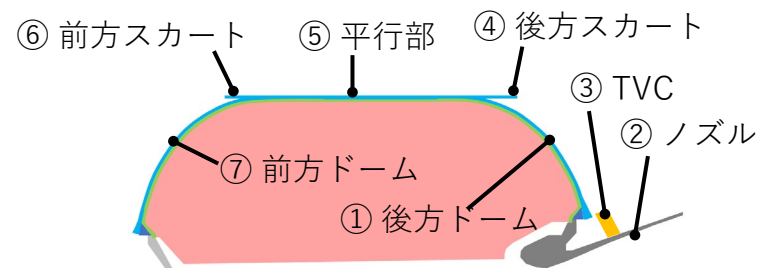
48.9s付近の歪変動順

※ 有意な変動なし

- ・ 約49.3sの加速度と歪は後方から変動（断線等）している。



49.3s付近の加速度変動順



49.3s付近の歪変動順

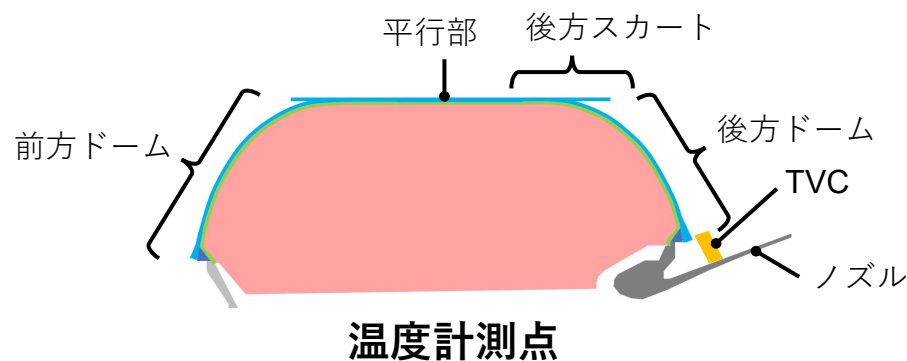
## 2.2 第2段モータ再地上燃焼試験結果（試験データ）

同一

### 【温度データ】

- 約48.9sまでの供試体各部の温度履歴は以下の通り。
  - 後方（後方ドーム・TVC・ノズル）は、1～5°C程度昇温し、最大約19°C。
  - 前方（後方スカート・平行部・前方ドーム）は、0～2°C程度昇温し、最大約15°C。
- 約48.9s以降の温度変化は以下の通り、後方で温度変化が大きい。
  - 後方で0～7°C程度上昇し、最大約22°C。
  - 前方で0～0.2°C程度上昇し、最大約15°C。

※ 試験時の外気温：21.9°C



※ 温度は10Hz（0.1秒ごと）の計測であるため  
短時間の事象を正しく捉えられていない可能性あり

## 2.2 第2段モータ再地上燃焼試験結果（回収物）

更新

- 地上に飛散した供試体は回収完了。探索継続中。
- 回収状況と分析結果を下表に示す。

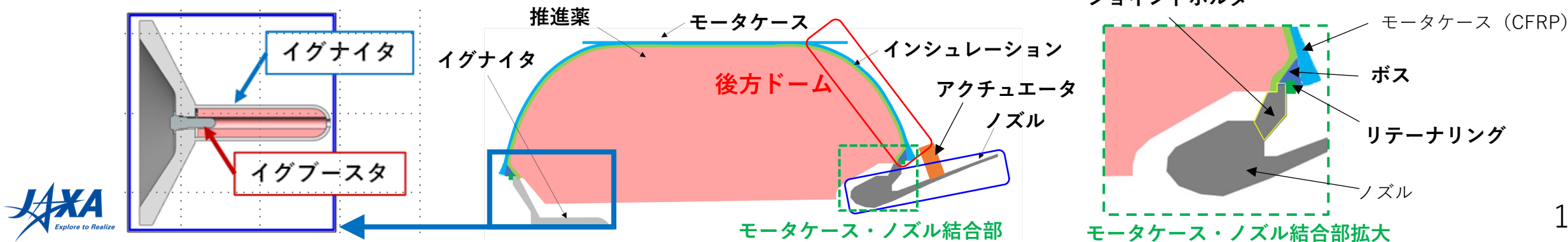
（凡例）○：全回収 △：一部回収 ×：未回収

| 構成品          |           | 状況 | 回収・分析結果                                |
|--------------|-----------|----|----------------------------------------|
| イグナイタ・イグブースタ |           | ○  | 外観溶損なし。                                |
| モータケース       | CFRP      | △  | バラバラの状態での回収。引張破断部あり。                   |
|              | インシュレーション | △  | バラバラの状態での回収。後方ドーム（ケース側）焼損量が予測より大。      |
|              | ボス※1      | ×  | （探索継続中）                                |
| リテーナリング※2    |           | △  | 6分割中1個回収。インシュレーション等付着、変色あり。            |
| ジョイントホルダ※3   |           | ○  | 一体で回収。ノズルとは分離。インシュレーション焼損量は上側より下側の方が大。 |
| ノズル          |           | ○  | 2分割で回収。ジョイントホルダ接触痕あり。リーク痕なし。           |
| アクチュエータ      |           | △  | 2個中1個回収。                               |

※1 ボス：モータケース口元部を補強し、リテーナリングをはめてジョイントホルダと結合するリング状の金属部品

※2 リテーナリング：ボスにはめ込んでジョイントホルダを結合するための6分割されたリング状の金属部品

※3 ジョイントホルダ：モータケースとノズルを繋ぐ金属部品



- 0. 本日の報告内容
- 1. イプシロンSロケット概要
  - 1.1 イプシロンSロケット機体仕様
  - 1.2 イプシロンSロケット第2段モータ
- 2. 第2段モータ再地上燃焼試験
  - 2.1 第2段モータ再地上燃焼試験計画
  - 2.2 第2段モータ再地上燃焼試験結果
- 3. 原因調査状況
- 4. 設備復旧状況
- 5. 今後の計画

## 3 原因調査状況（製造検査データ確認）

追加

- モータ（イグナイタ、モータケース、ノズル）製造・検査データを確認し、現時点以下の特記事項が確認されている。本事項が原因に繋がるものであるかは現時点不明。

### 【特記事項】

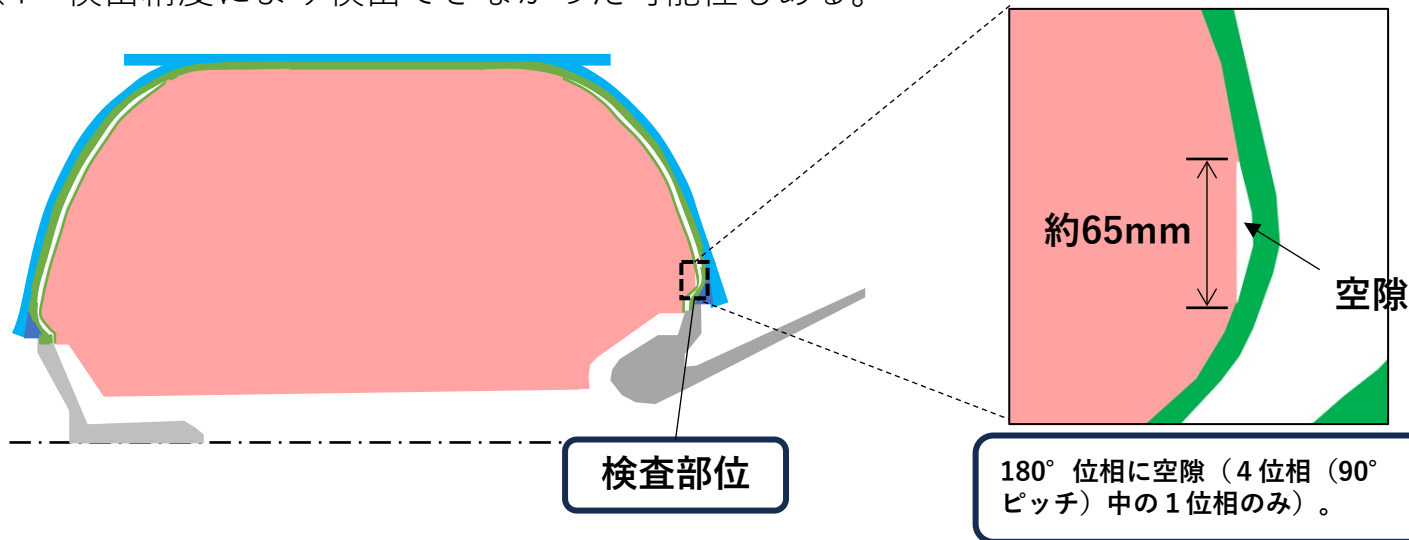
推進薬充填後に実施した非破壊検査データで、後方ドーム口元部180° 位相※<sup>1</sup>の推進薬側インシュレーションと推進薬の間に長さ約65mmの空隙※<sup>2</sup>を確認（M-35※<sup>3</sup>、能代地燃用E-21では確認されていない※<sup>4</sup>）。

※<sup>1</sup> 位相はノズル側から見て左側を0° として時計回りに定義。

※<sup>2</sup> 製造工程上発生し得るが大きめ。

※<sup>3</sup> 地燃用、2号機用で検査実施（M-35は2号機から適用）。3号機～6号機は検査なし。

※<sup>4</sup> 検出精度により検出できなかった可能性もある。



空隙部拡大

左図と同様の場所で、  
右表の●で空隙を確認

|      | A0 |
|------|----|
| 0°   | ○  |
| 20°  | ○  |
| 40°  | ○  |
| 60°  | ○  |
| 80°  | ○  |
| 100° | ○  |
| 120° | ○  |
| 140° | ○  |
| 160° | ○  |
| 170° | ○  |
| 180° | ●  |
| 190° | ●  |
| 200° | ●  |
| 220° | ○  |
| 240° | ○  |
| 260° | ○  |
| 280° | ○  |
| 300° | ○  |
| 320° | ○  |
| 340° | ○  |

再地燃用2段モータ後方ドーム非破壊検査結果

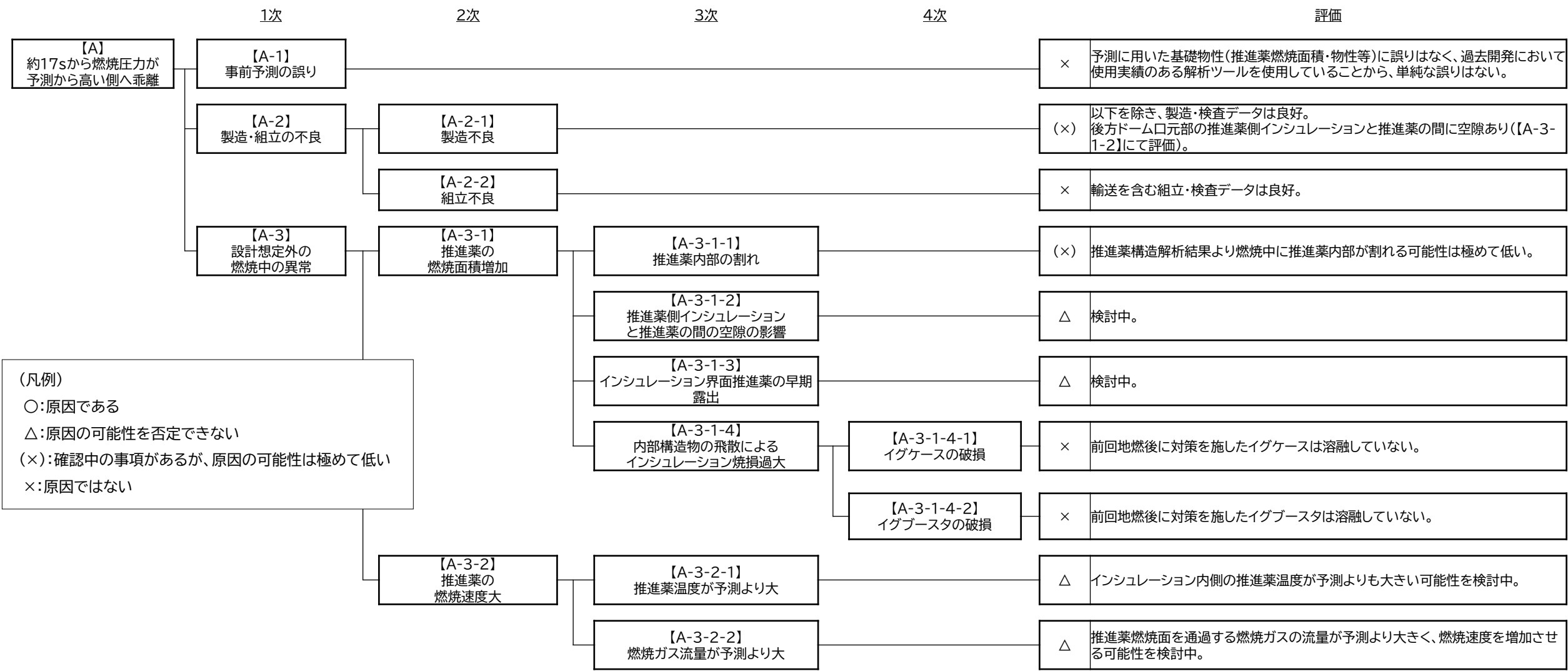
（参考）実証機用2段モータ後方ドーム  
非破壊検査結果

### 3. 原因調査状況（FTA）

- あらゆる可能性を考慮し原因調査を進めるため、試験データに基づいた事象の把握の中で抽出した3つの特記事項について、それぞれをトップ事象としてFTAを展開した。
  - ①点火後約17sから燃焼圧力の予測値との乖離が高い側に徐々に拡大【FTA①A】
  - ②約48.9sで燃焼圧力が下降(ガスリーク)【FTA①B】
  - ③約49.3sで燃焼圧力が急激に下降（爆発）【FTA①C】

# 3. 原因調査状況 (FTA)

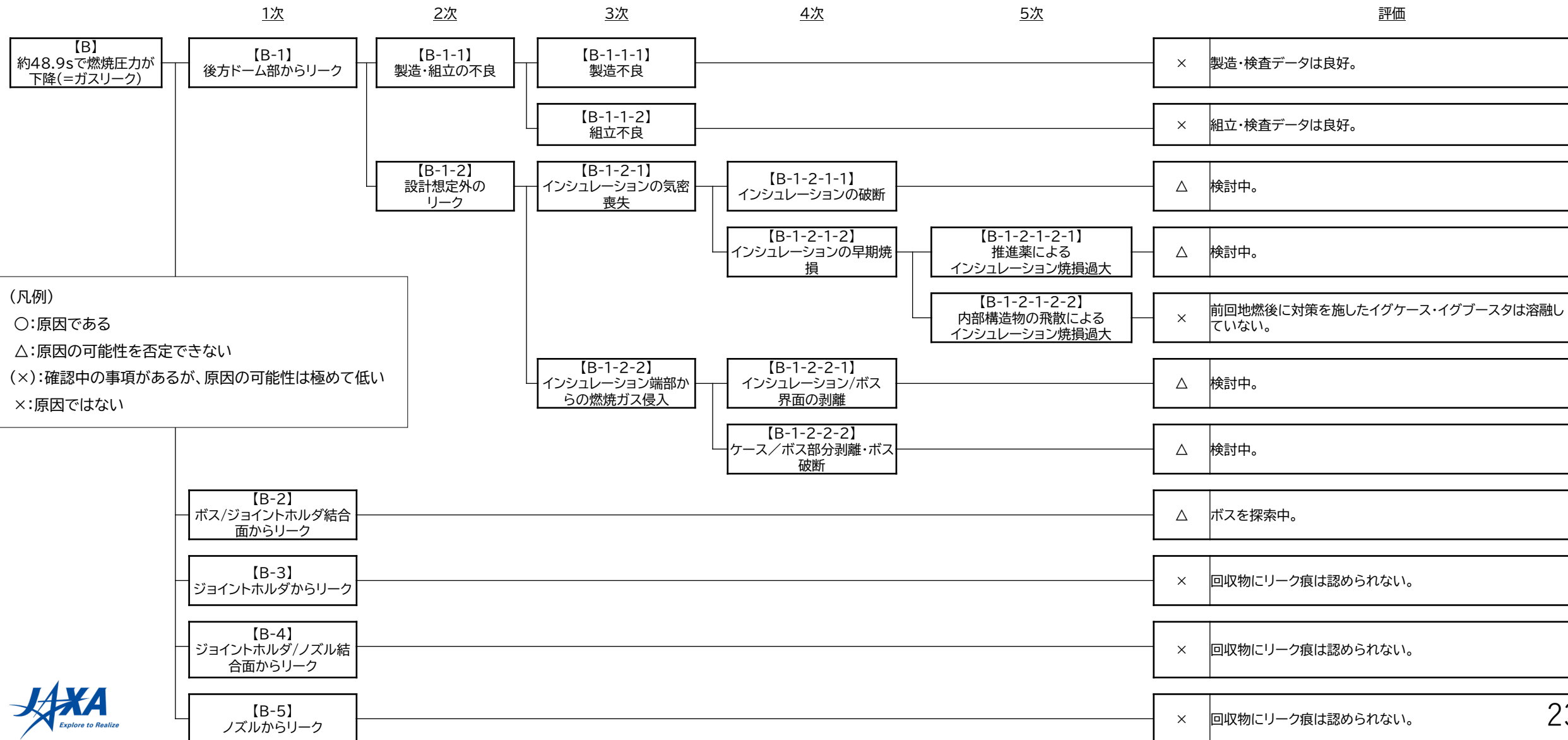
## 「点火後約17sから燃焼圧力の予測値との乖離が高い側に徐々に拡大」に係るFTA①



# 3. 原因調査状況（FTA）

更新

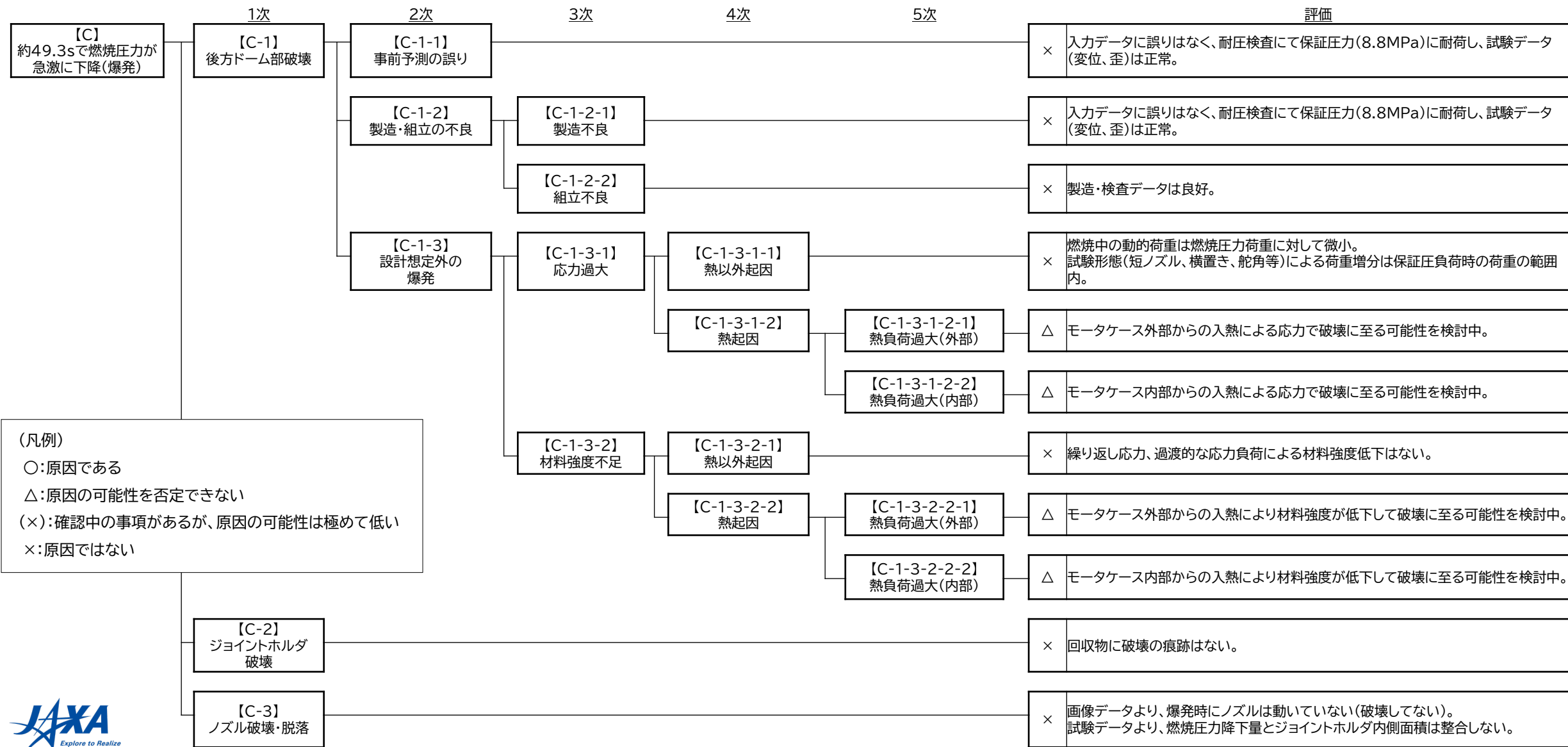
## ■ 「約48.9sで燃焼圧力が下降（ガスリーク）」に係るFTA⑥



# 3. 原因調査状況 (FTA)

更新

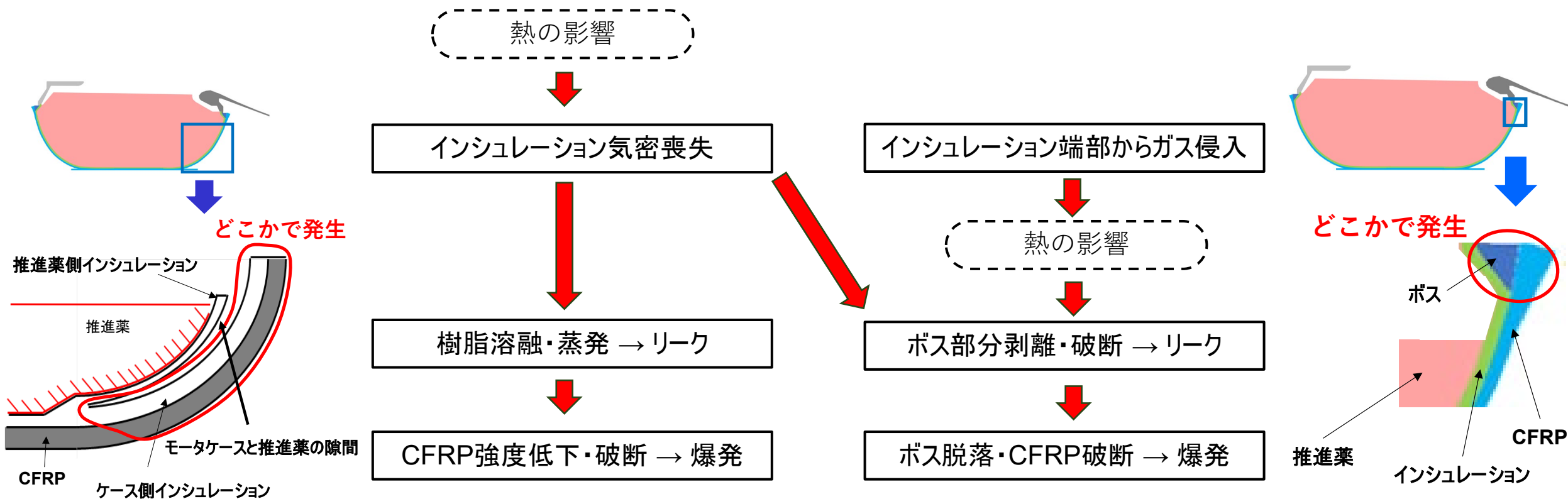
## ■ 「約49.3sで燃焼圧力が急激に下降（爆発）」に係るFTA③



### 3. 原因調査状況（リーク・爆発発生シナリオ）

追加

- モーターケース（後方ドーム）をCFRPとボスに分類し爆発までのシナリオの代表例を以下に示す。  
今後試験等も実施してFTAを絞り込み、その結果に応じてシナリオを更新する。



- 0. 本日の報告内容
- 1. イプシロンSロケット概要
  - 1.1 イプシロンSロケット機体仕様
  - 1.2 イプシロンSロケット第2段モータ
- 2. 第2段モータ再地上燃焼試験
  - 2.1 第2段モータ再地上燃焼試験計画
  - 2.2 第2段モータ再地上燃焼試験結果
- 3. 原因調査状況
- 4. 設備復旧状況
- 5. 今後の計画

## 4. 設備復旧状況

【設備損傷状況】

後部横推力受台（門型治具）が焼損



## 4. 設備復旧状況

同一

### ■ 設備損傷状況

- ・被害はスタンド内部に集中しており、供試体が設置されていた海側の損傷が顕著。
- ・今後詳細確認が必要であるが、設備復旧の律速になる設備は下記。

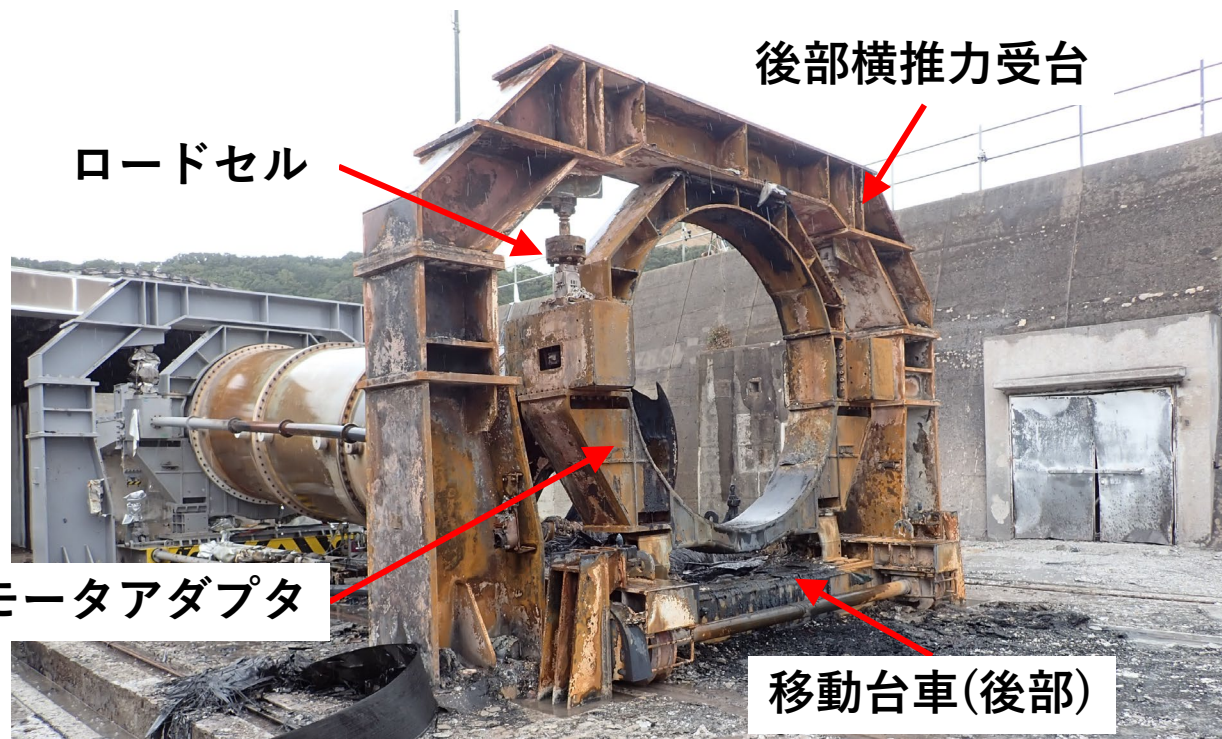
後部横推力受台、後部モータアダプタ、移動台車(後部)、ロードセル 等



試験前



試験後



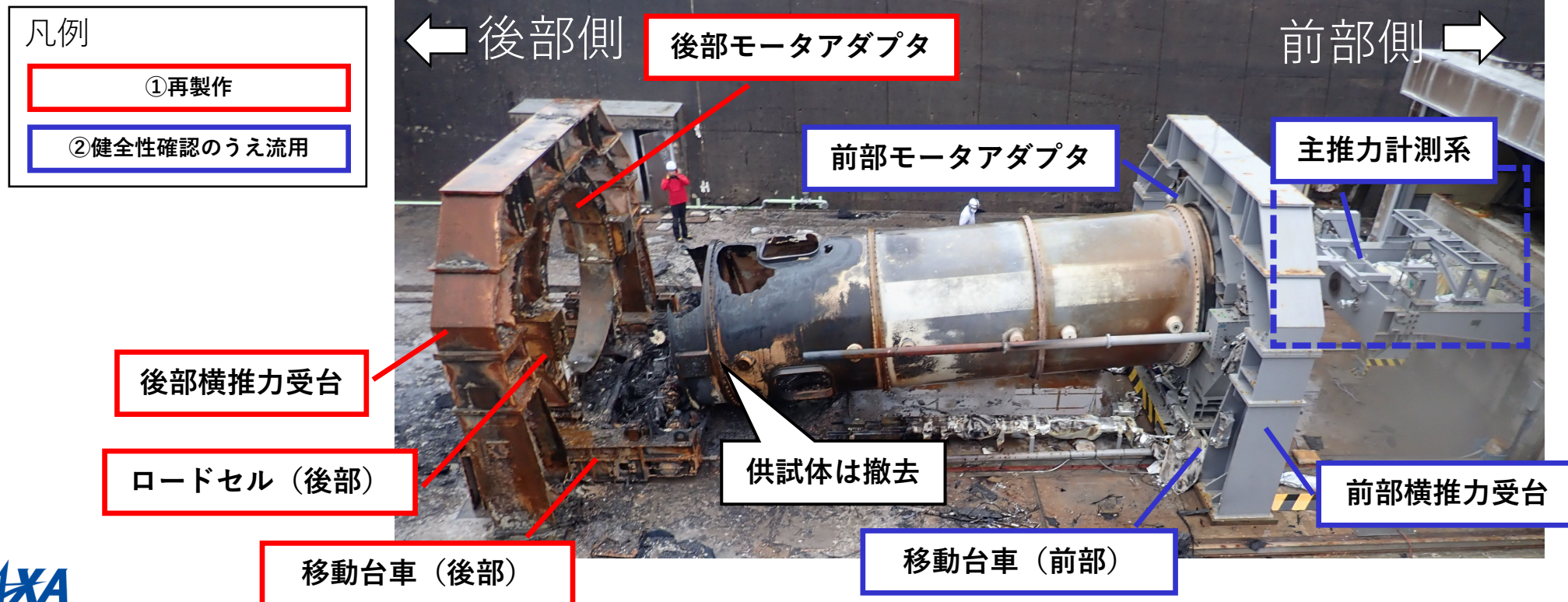
## 4. 設備復旧状況

追加

### ■ 設備復旧計画

外観点検により下記に大別し作業を進めている。

- ① 再製作 : 損傷が著しい設備（後部側の設備類）
- ② 健全性確認のうえ流用 : 外観では損傷が見られない設備（前部側の設備類）

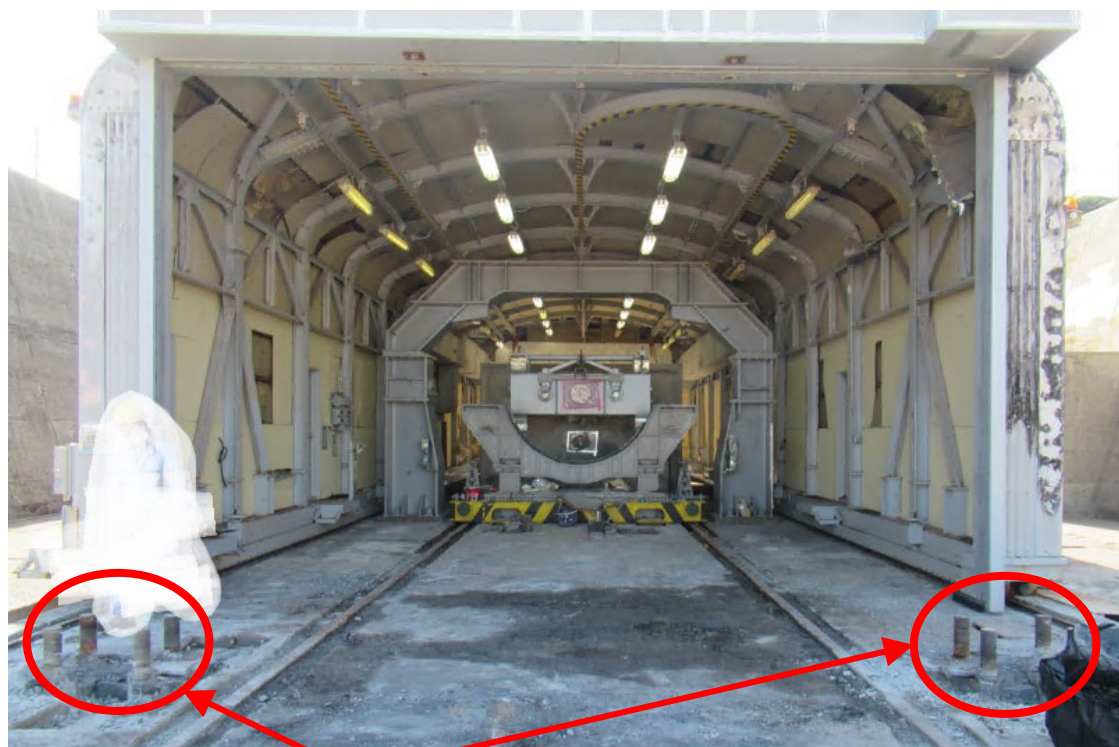


## 4. 設備復旧状況

追加

### ■ 設備復旧計画

- ・ 現在、撤去作業を終えており（左下図）、健全性確認や再製作の準備を進めている。
- ・ 2025年秋ごろの復旧完了を目指す。ただし、健全性確認結果にも依存する。



|          | FY2024   | FY2025                         |
|----------|----------|--------------------------------|
| マイルストーン  | 復旧仕様の決定▽ | ▽健全性確認結果に基づく復旧作業内容の確定<br>▽復旧完了 |
| 設備／供試体撤去 |          |                                |
| 健全性確認    |          |                                |
| 再製作／補修   |          | 健全性確認からの反映                     |
| 全体機能点検   |          |                                |

- 0. 本日の報告内容
- 1. イプシロンSロケット概要
  - 1.1 イプシロンSロケット機体仕様
  - 1.2 イプシロンSロケット第2段モータ
- 2. 第2段モータ再地上燃焼試験
  - 2.1 第2段モータ再地上燃焼試験計画
  - 2.2 第2段モータ再地上燃焼試験結果
- 3. 原因調査状況
- 4. 設備復旧状況
- 5. 今後の計画



## 5. 今後の計画

- 海中探索および追加の解析・試験により、FTAによる要因の絞り込みを進める。  
また、3つの特記事項の相関関係について分析を進める。
- 竹崎地上燃焼試験場について、健全性確認、再製作を実施し、設備復旧を進める。