

## 資料30-1

科学技術・学術審議会  
研究計画・評価分科会  
宇宙開発利用部会  
(第30回)H28.9.29

# 強化型イプシロンロケットの開発 及び2号機打上げ準備状況

平成28(2016)年9月29日  
宇宙航空研究開発機構

理事 山本 静夫

執行役 布野 泰広

イプシロンロケットプロジェクトチーム 森田 泰弘

# 1. 経緯

- 平成25年9月14日、試験機打上げに成功。惑星分光観測衛星「ひさき」を軌道に投入。
- 平成26年10月、強化型イプシロンロケットプロジェクト移行審査においてプロジェクトへの移行は妥当と判断され、その結果を宇宙開発利用部会（平成26年10月30日）において報告した。
- 強化型イプシロンロケット開発は順調に進行し、JAXA第一宇宙技術部門において開発完了審査を平成28年3月28日から4月8日、および9月9日に実施し、2号機の射場作業移行に問題ないことを確認した。現在、2号機打上げに向けた射場作業を実施中。



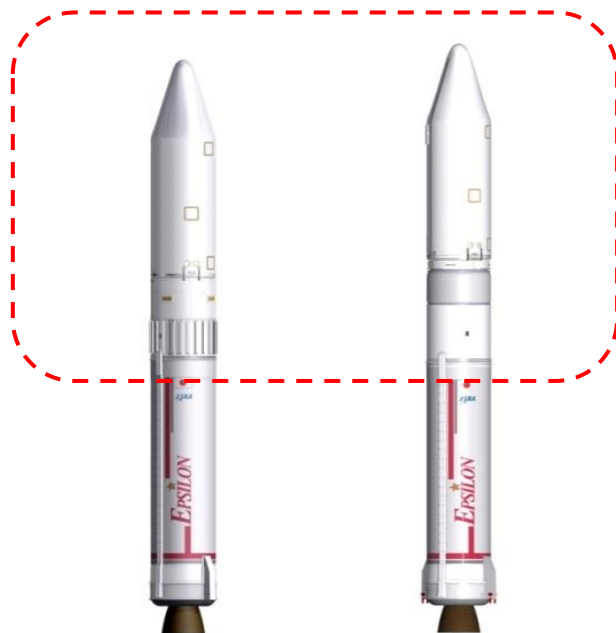
試験機の打上げ(内之浦宇宙空間観測所より)

## 2. 強化型イプシロンロケットについて

### ■ プロジェクトの目的

- ✓ 固体ロケットは即時性が高く、戦略的技術として重要であるとともに、小型衛星用の輸送手段として適していることから、今後の小型衛星の打上げ需要に対応していくとともに、我が国の自立的な宇宙輸送システムを持続的に確保する。
- ✓ ERG(ジオスペース探査衛星)等の小型科学衛星やASNARO-2等の小型衛星(国内・海外)の打上げ需要に対応するため、性能向上開発(打上げ能力向上、衛星包絡域の拡大)を実施する。

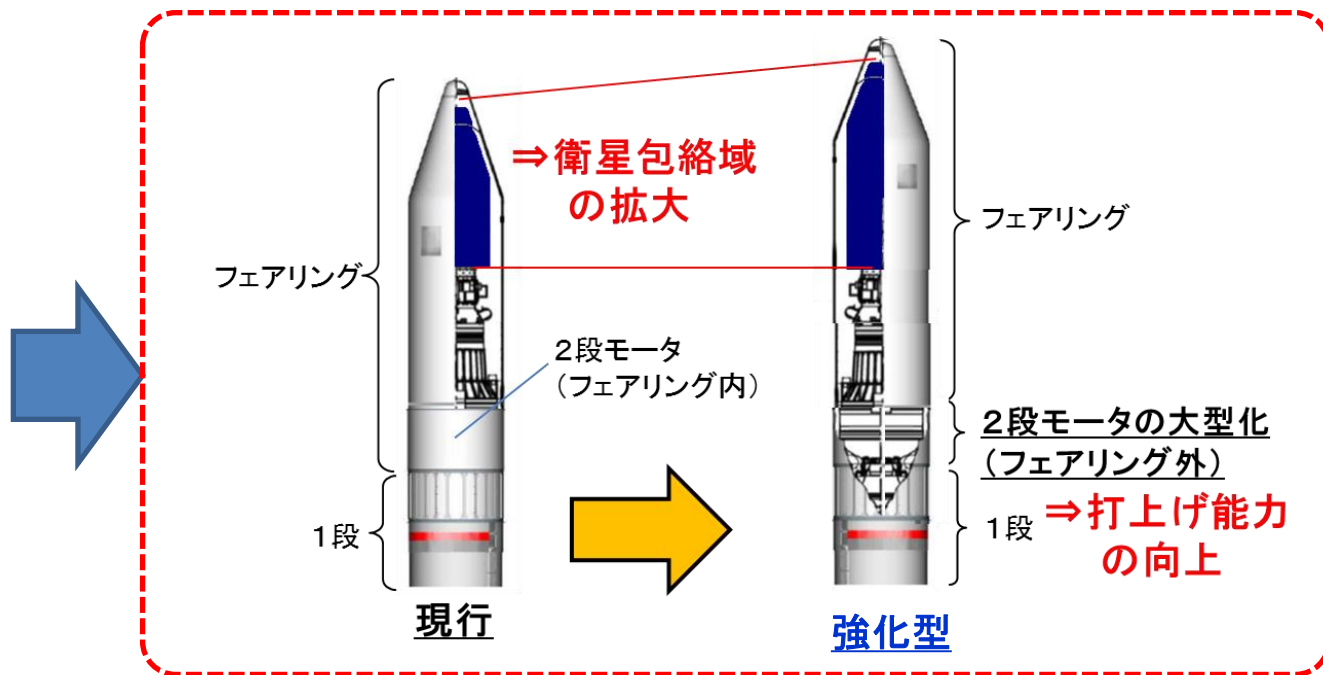
## 2. 強化型イプシロンロケットについて



試験機

強化型

性能	試験機	強化型
打上げ能力 (太陽同期軌道)	450kg	590kg
衛星包絡域 (高さ)	約4.7m	約5.4m



### 主な開発仕様

打上げ能力の向上

衛星包絡域の拡大

構造・機装軽量化

電力シーケンス分配器軽量化

フェアリング全長最適化

2段モータ大型化(エクスポーズ化)

### 強化型イプシロン開発ロケット概要

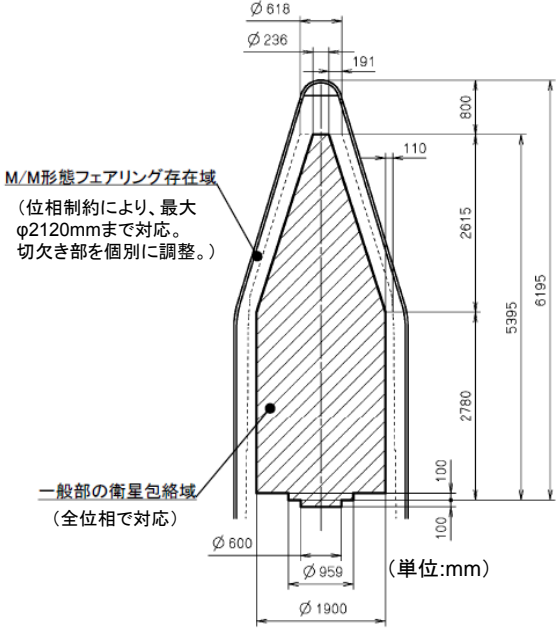
# 3. 要求

## ■ ペイロード要求

項目	ERG(ジオスペース探査衛星)	ASNARO-2 (高性能小型レーダ衛星)
機体形態	基本形態(制振機構なし)	オプション形態(制振機構あり)
質量	365kg(最大)	588kg(最大)
軌道	長楕円軌道 夏期 近地点200km 遠地点28700km以上 冬期 近地点200km 遠地点31100km以上	太陽同期軌道 500km
正弦波振動 加速度荷重 音響(代表値) 衝撃(代表値)	2.9G (機軸方向) 4G (機軸直交) 138.6dB (O.A) 1300G (1700~4000Hz)	0.64G(機軸方向) 2.5G(機軸直交) 138.6dB(O.A.) 1300G <sub>SRS</sub> @850-4000Hz
衛星包絡域	試験機と同じ領域で可	試験機より拡大 (最大径φ1900→φ2120)
衛星外観		

# 3. 要求

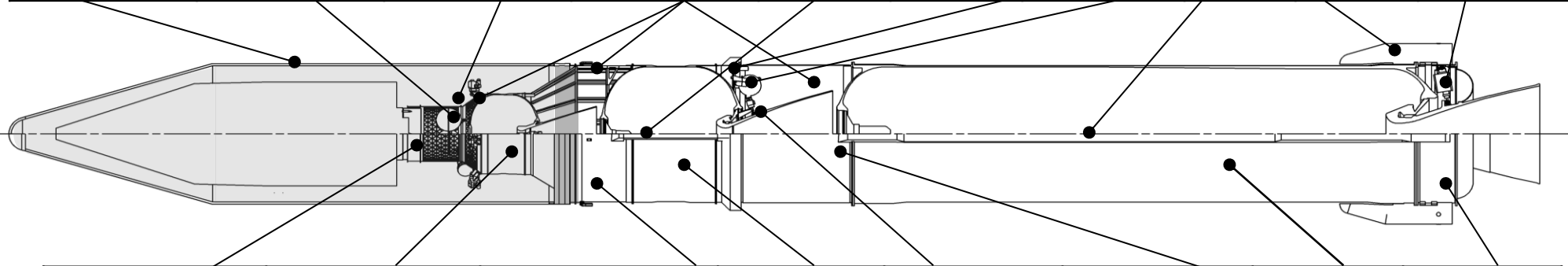
## ■ ミッション要求とサクセスクライテリア

	サクセスクライテリア	現時点の評価
フルサクセス	<p>ジオスペース探査衛星(ERG)およびASNARO-2をはじめとした小型衛星需要に対応するため、以下の①および②の要求を達成すること。</p> <p>①軌道投入能力  <b>【長楕円軌道】</b>            近地点高度 200km            遠地点高度 28,700km以上(夏期)                              31,100km以上(冬期)            質量:365kg</p> <p><b>【太陽同期軌道】</b>            高度:500km            質量:590kg以上</p> <p>②衛星包絡域            右図に示す衛星包絡域を有すること。</p> 	<p>①: ○</p> <p>②: ○</p>
エクストラサクセス	<p>国内の宇宙産業の振興と国際協力等の推進に寄与するため、海外衛星打上げの受注を目指して、世界トップレベルの運用性・衛星搭載環境を実現すること。            具体的には3号機までに以下の全てを達成すること。</p> <p>① 衛星最終アクセスから打上げまで(レイトアクセス)3時間以下            ② 世界最高レベルの音響環境(オーバーオール135dB以下)            ③ 世界最高レベルの正弦波振動環境(0.3G0-p以下)            ④ 世界最高レベルの衝撃環境(1000G以下)</p>	<p>2号機と3号機の射場作業と打上げ結果をもとに評価する</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2号機で①～③を評価</li> <li>・3号機で①～④を評価</li> </ul> <p>(試験機実績で①～③を達成できる目途を得た)</p>

# 4. 機体システム仕様

凡例:  新規開発、  一部改修、  既開発

フェアリング	PBS推進系	第3段機器搭載構造	アビオニクス	第2段システムトンネル	第2段後部構造	第2段ガスジェット装置	第1段システムトンネル	第1段SMSJ	第1段TVCシステム
・非投棄部短縮化	・推薬タンク大型1式化 ・ラムライン制御装置(オプション化)	・シリンダ部短縮化 ・計器板廃止 ・機器艙装変更	・PSDB半導体リレー化 ・DAU-2式化 ・上記対応OBC改修	・エキスポース化対応	・艙装簡素化	・推薬タンクダイヤフラム化 ・パイロ弁数減	既開発	既開発	・舵角速度向上



衛星分離部	第3段モータ	第2段機器搭載構造	第2段モータ	第2段TVCシステム	第1段機器搭載構造	第1段モータ	後部筒
・低衝撃分離機構	・伸展ノズルなし	・エキスポース化対応 ・一体化	・φ2500mm化 ・薬量約15ton ・伸展ノズルなし	・アクチュエータストローク延長	・エキスポース化対応 ・一体化	既開発	既開発

注: PBS(Post Boost Stage: ポストブーストステージ)、PSDB(Power Sequence Distribution Box: 電力シーケンス分配器)、DAU(Data Acquisition Unit: データ収集装置)、OBC(On-Board Computer: 誘導制御計算機)、SMSJ(Solid Motor Side Jet: 固体モータサイドジェット)、TVC(Thrust Vector Control: 推力方向制御)

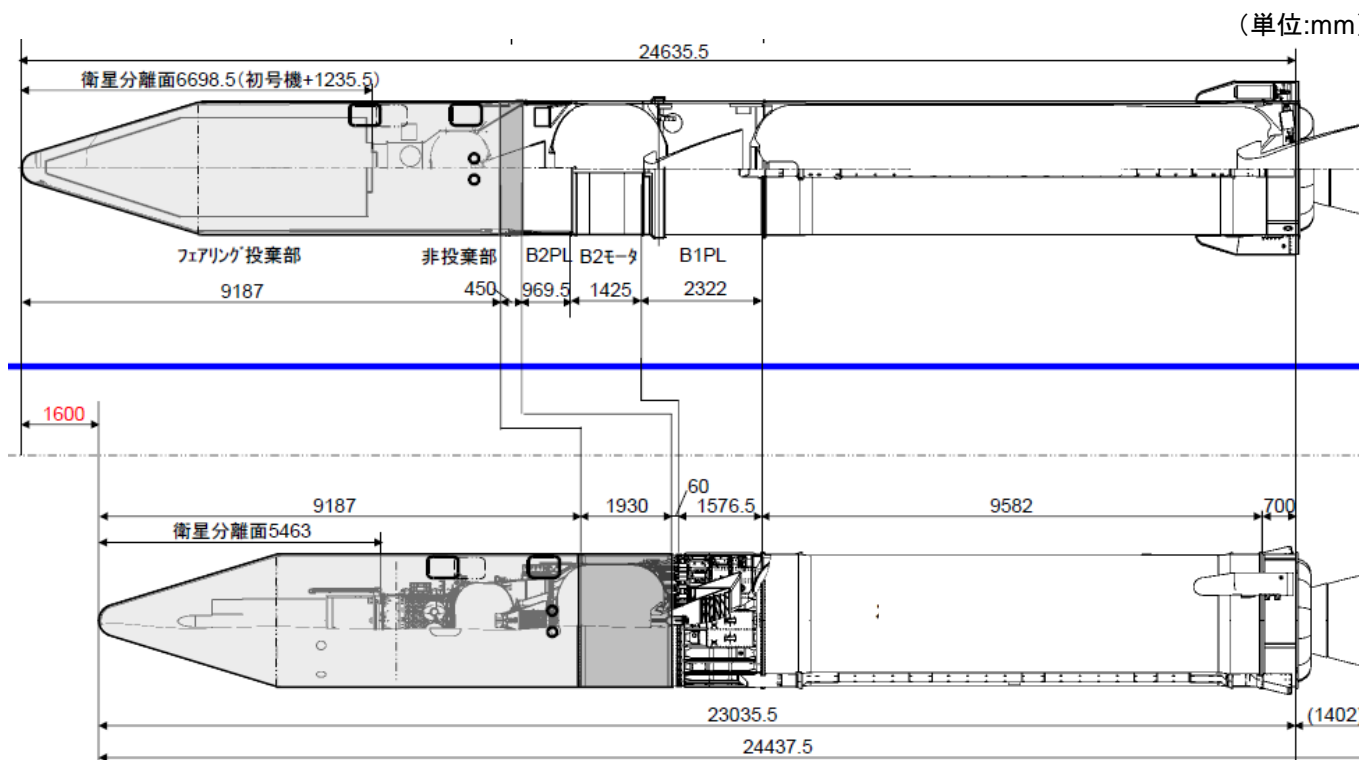
# 4. 機体システム仕様

		イプシロン試験機		強化型イプシロン	
		基本形態	オプション形態	基本形態	オプション形態
全長		約24.4m	約24.4m	約26.0m	約26.0m
直径		最大径: $\phi 2.6\text{m}$ フェアリング径: $\phi 2.5\text{m}$	最大径: $\phi 2.6$ フェアリング径: $\phi 2.5$	最大径: $\phi 2.6$ フェアリング径: $\phi 2.5$	最大径: $\phi 2.6$ フェアリング径: $\phi 2.5$
全備質量		約91.0ton	約91.2ton	約95.4ton	約95.7ton
段構成		固体3段式	固体3段式 + PBS	固体3段式	固体3段式 + PBS
フェアリング		投棄部: 9187mm 非投棄部: 1900mm	投棄部: 9187mm 非投棄部: 1900mm	投棄部: 9187mm 非投棄部: 450mm	投棄部: 9187mm 非投棄部: 450mm
第3段	モータ	KM-V2b (ノズル伸展)	KM-V2b (ノズル伸展)	KM-V2c (ノズル非伸展)	KM-V2c (ノズル非伸展)
	推進薬	ポリブタジエン系コンポジット	ポリブタジエン系コンポジット	ポリブタジエン系コンポジット	ポリブタジエン系コンポジット
	姿勢制御	スピン安定	スピン安定	スピン安定	スピン安定
	全備質量	約2.9ton	約3.2ton	約2.9ton	約3.2ton
	PBS	N/A	$\phi 420 \times 3$ 基	N/A	$\phi 650 \times 1$ 基
			1液ヒドラジン		1液ヒドラジン
			PBSスラスト(3軸)		PBSスラスト(3軸)
第2段	モータ	M-34c ( $\phi 2.2\text{m}$ ) (ノズル伸展)	M-34c ( $\phi 2.2\text{m}$ ) (ノズル伸展)	M-35 ( $\phi 2.6\text{m}$ ) (ノズル非伸展)	M-35 ( $\phi 2.6\text{m}$ ) (ノズル非伸展)
	推進薬	ポリブタジエン系コンポジット	ポリブタジエン系コンポジット	ポリブタジエン系コンポジット (SRB-Aと共通化)	ポリブタジエン系コンポジット (SRB-Aと共通化)
	姿勢制御	TVC+RCS	TVC+RCS	TVC+RCS	TVC+RCS
	全備質量	約12.5ton	約12.4ton	約17.2ton	約17.2ton

# 4. 機体システム仕様

		イプシロン試験機		強化型イプシロン	
		基本形態	オプション形態	基本形態	オプション形態
第1段	モータ	SRB-A	SRB-A	SRB-A	SRB-A
	推進薬	ポリバタジエン系コンポジット	ポリバタジエン系コンポジット	ポリバタジエン系コンポジット	ポリバタジエン系コンポジット
	姿勢制御	TVC + SMSJ	TVC + SMSJ	TVC + SMSJ	TVC + SMSJ
	全備質量	約74.5ton	約74.5ton	約74.5ton	約74.5ton
誘導制御		慣性誘導	慣性誘導	慣性誘導	慣性誘導

強化型イプシロン



イプシロン試験機

# 5. 開発状況(全般)

## ■ イプシロンロケット2号機の射場作業に際して問題となる事項はない。

構成		開発内容	状況
機体システム		システム設計、システム試験	開発済
推進系	第1段モータ	—	—
	第2段モータ	2段エクスポーズ化、推進薬増量	開発済
	第3段モータ	ノズル非伸展化	開発済
	PBS推進系	推薬タンク大型化	開発済
構造系	フェアリング	全長最適化(非投棄部短縮化)	開発済
	衛星分離部	低衝撃型衛星分離機構	概ね計画通り進捗(3号機以降適用)
	第3段機器搭載構造	軽量化(短縮化)	開発済
	第2段機器搭載構造	2段エクスポーズ対応	開発済
	第2段後部構造	2段エクスポーズ対応	開発済
	第1段機器搭載構造	2段エクスポーズ対応	開発済
姿勢制御系	第2段ガスジェット装置	推薬タンクダイアフラム化、パイロ弁数減	開発済
	第2段TVC	アクチュエータ延長	開発済
	第1段TVC	舵角速度向上	開発済
アビオニクス系	誘導制御系	誘導制御計算機改修	開発済
	計測通信系	データ収集装置2式化	開発済
	電力電装系	PSDB半導体リレー化	開発済
	搭載点検系	即応型運用支援装置改修	開発済

## 5. 開発状況(2段モータ)

- 打上げ能力向上を達成するため、推進薬量を約10.7tonから約15tonに増量させた2段モータを開発。
- 実機サイズでの地上燃焼試験等を実施し、設計の妥当性を確認した。
  - ✓ 地上燃焼試験の結果を踏まえ、モータケースの断熱構造の改良を行うための追加確認試験を実施した。

### ●地上燃焼試験

#### 目的

2段モータの設計の最終検証

#### 試験実施場所

宇宙科学研究所 能代ロケット実験場

#### 試験作業期間

平成27年11月30日～12月25日

#### 試験日

平成27年12月21日

#### 着火時刻

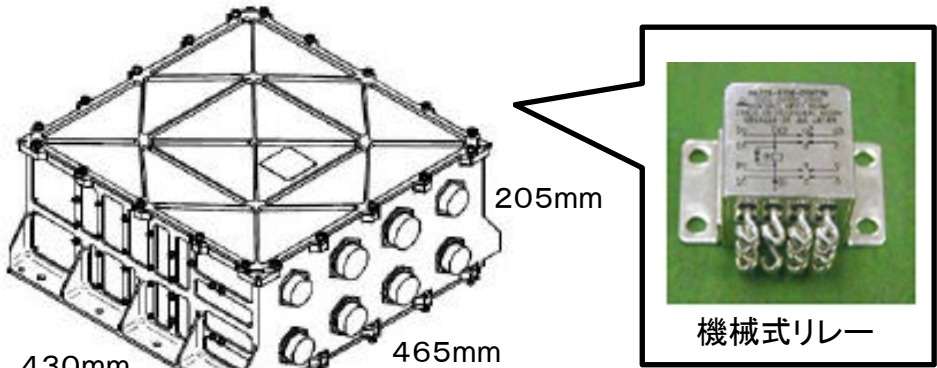
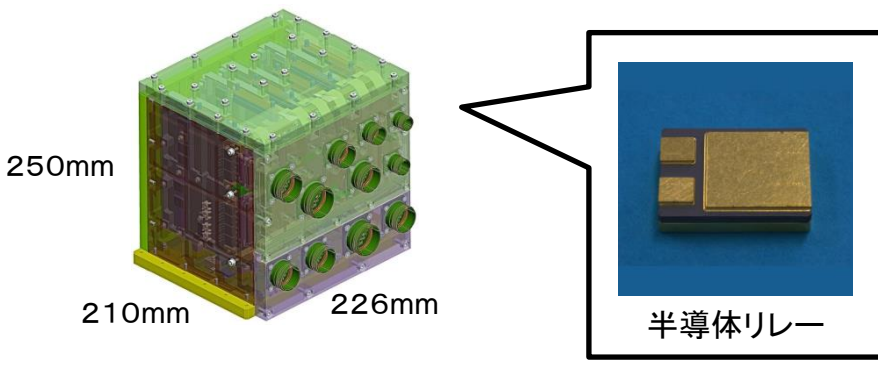
11:00 (計画通り実施)



地上燃焼試験の状況

# 5. 開発状況(電力シーケンス分配器(PSDB))

- 打上能力向上のため、イプシロンロケットの第2段および第3段に搭載される電力シーケンス分配器(PSDB)の小型・軽量化を行った。
- 試験機で採用したPSDB(機械式リレー)の機能要求・回路構成を踏襲し、機械式リレーを半導体リレーに置き換えた。

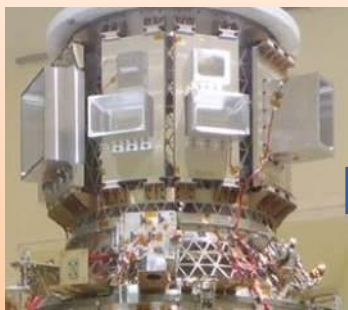
旧PSDB(機械式リレー)	新PSDB(半導体リレー)
 <p>430mm 205mm 465mm</p> <p>質量:20kg</p> <p>機械式リレー</p>	 <p>250mm 210mm 226mm</p> <p>質量要求:12.5kg以下 (実績値:10.6kg)</p> <p>半導体リレー</p>

PSDB外観図

# 5. 開発状況(構造系)

■ 構造の簡素化や構造様式変更により、製造性向上と軽量化を実施。

## 第3段機器搭載構造 (P3PL)



試験機仕様



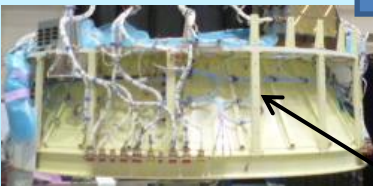
強化型仕様

全長短縮(軽量化、包絡域拡大)

## 第2段機器搭載構造 (B2PL)

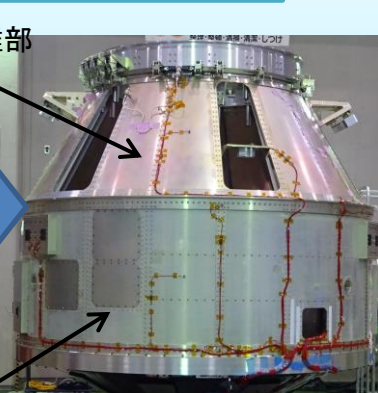


2/3段分離部



試験機仕様

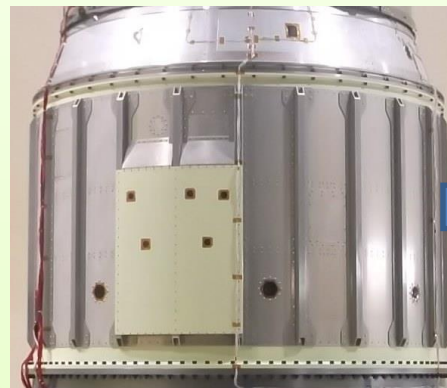
機器搭載部



強化型仕様

構造簡素化(製造性向上)

## 第1段機器搭載構造 (B1PL)



- 形状  
テーパ部+ストレート部
- 構造様式  
アルミ製スキンストリンガー構造

試験機仕様

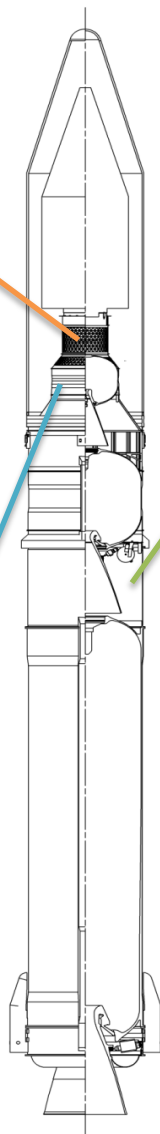


- 形状  
ストレート部のみ
- 構造様式  
CFRP(\*)スキン/アルミハニカム  
サンドイッチ構造  
(CFRPフランジ)

(\*)CFRP: 炭素繊維強化プラスチック

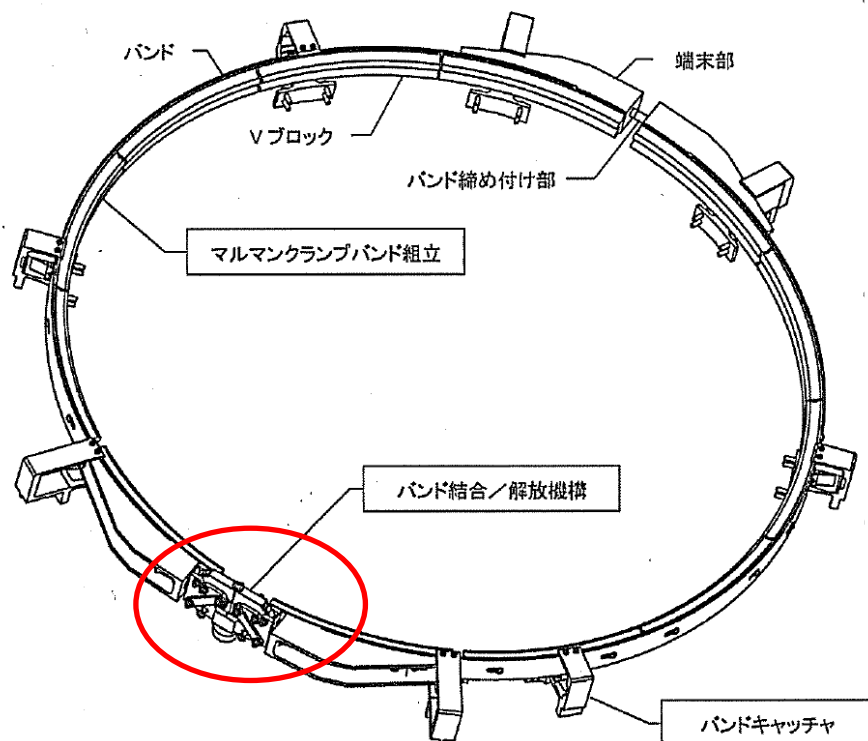
強化型仕様

構造簡素化(製造性向上)  
構造様式変更(軽量化)

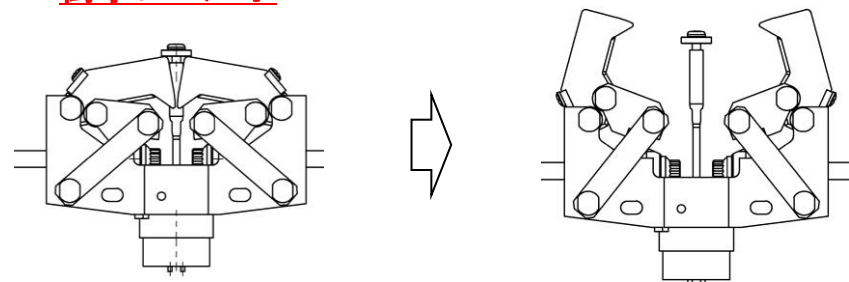


# 5. 開発状況(低衝撃型衛星分離機構)

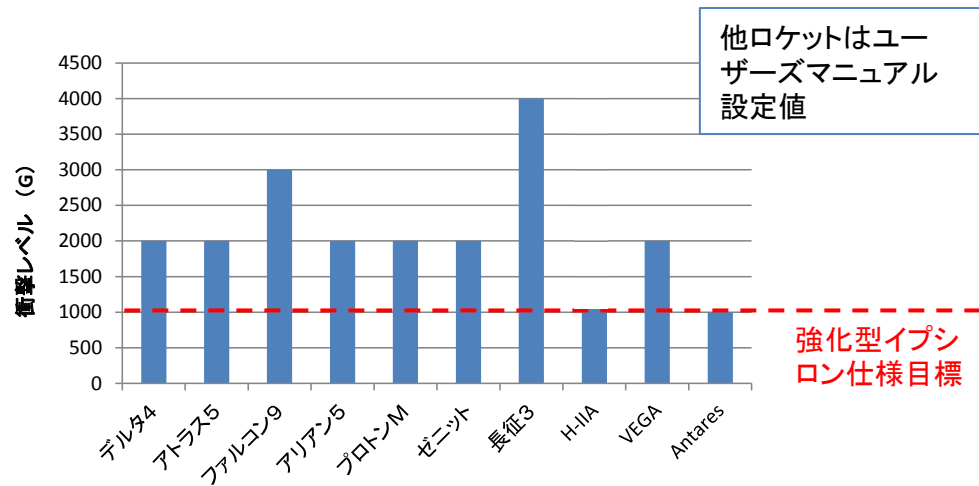
- 基幹ロケット(H-IIA)高度化で開発した低衝撃型衛星分離機構を、イプシロンに適用するための開発を実施。



非火工品デバイスをトリガとし、リンクによりボルト拘束解除  
→衝撃レベル小

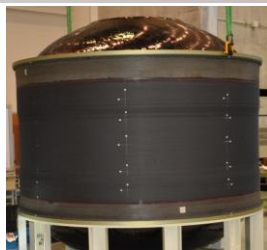


バンド結合／解放機構



衛星搭載衝撃環境の比較

# 5. 開発状況(開発スケジュール)



2段モータケース試験



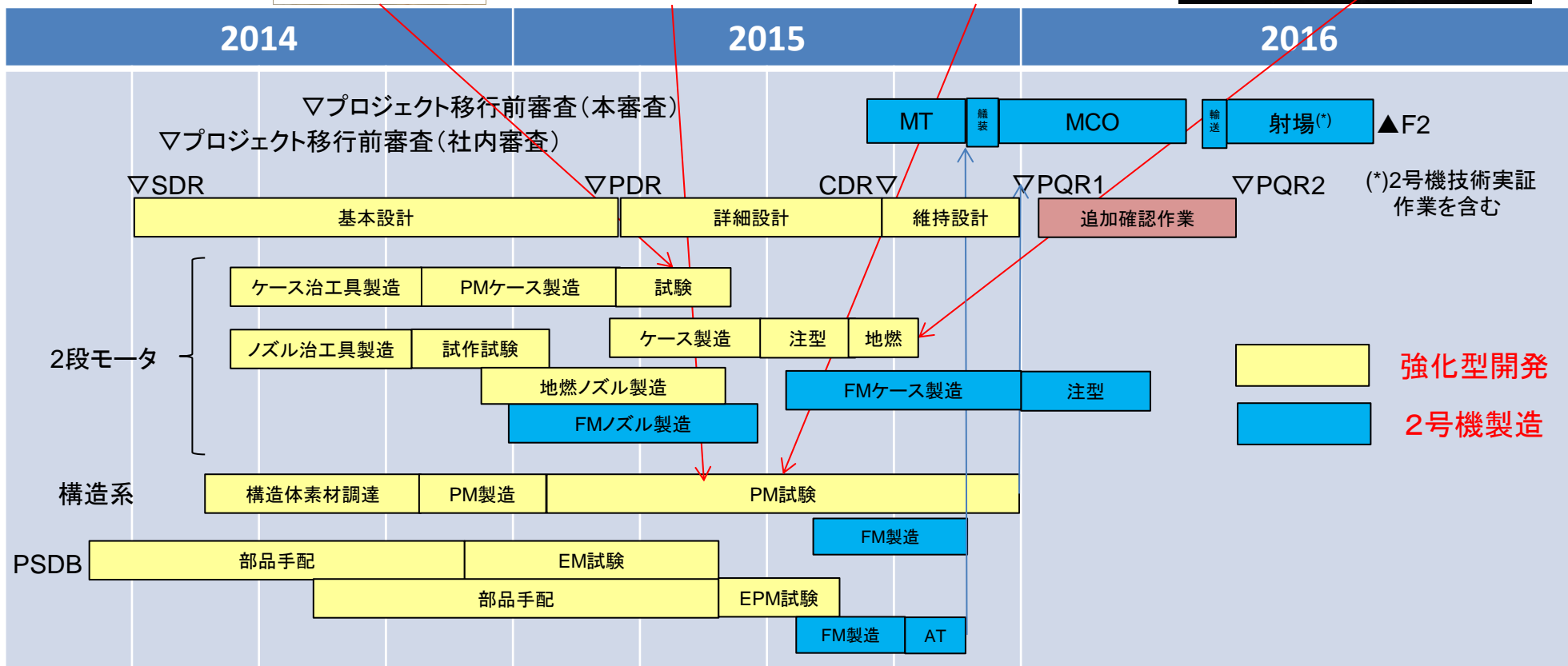
第2段機器搭載構造



第3段機器搭載構造



2段モータ地上燃焼試験



注: EM(Engineering Model: 開発モデル)、PM(Prototype Model: 実機型モデル)、FM(Flight Model: フライトモデル)

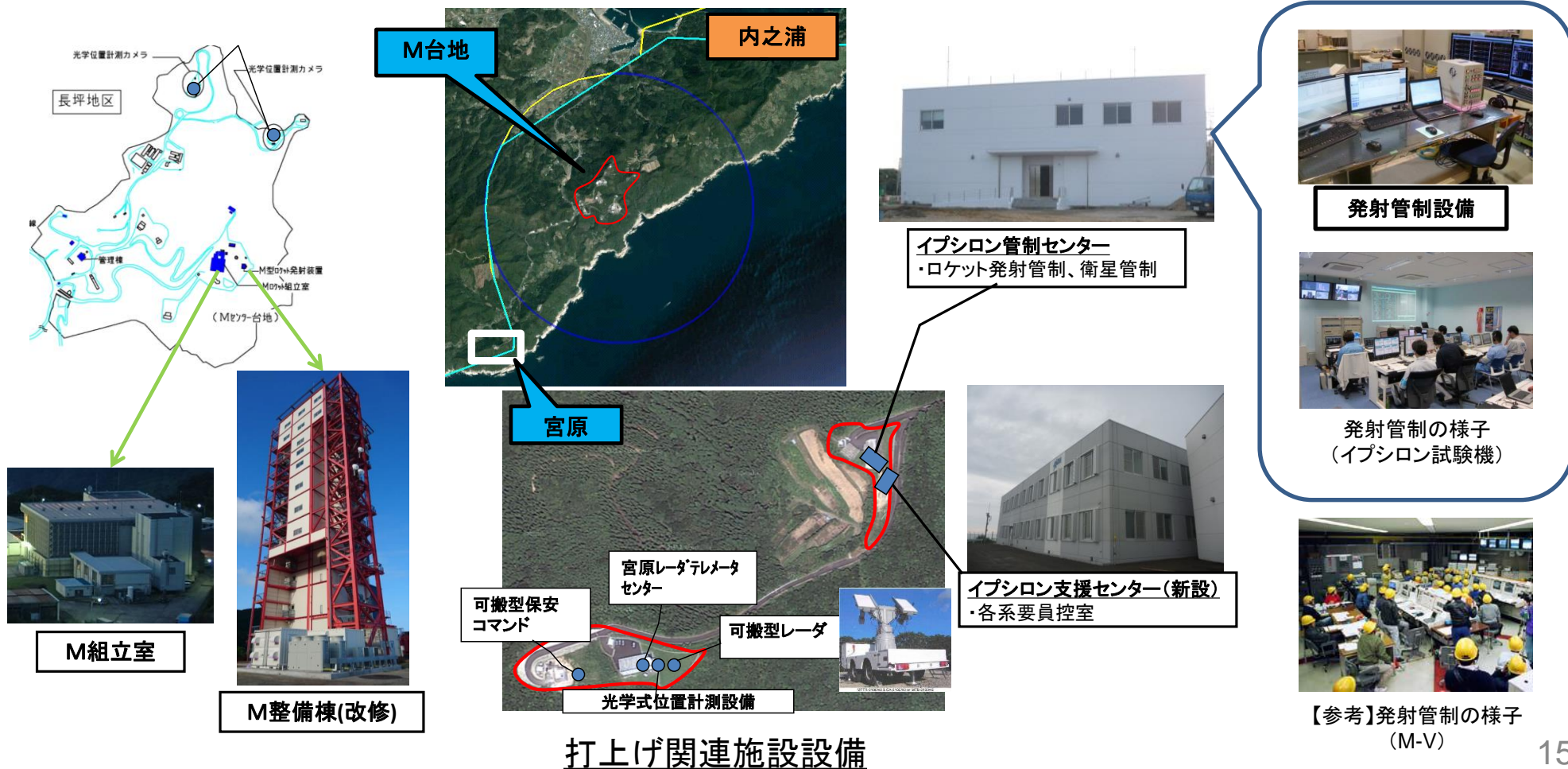
EPM(Engineering Prototype Model: 開発兼 実機型モデル)、MT(Motion Table test: モーションテーブルテスト(=姿勢制御系システム試験)、

MCO(Mission Check Out: ミッションチェックアウト(=アビオニクス系システム試験))

# 6. イプシロンロケット2号機打上げに向けた準備状況

## ■ 射場運用

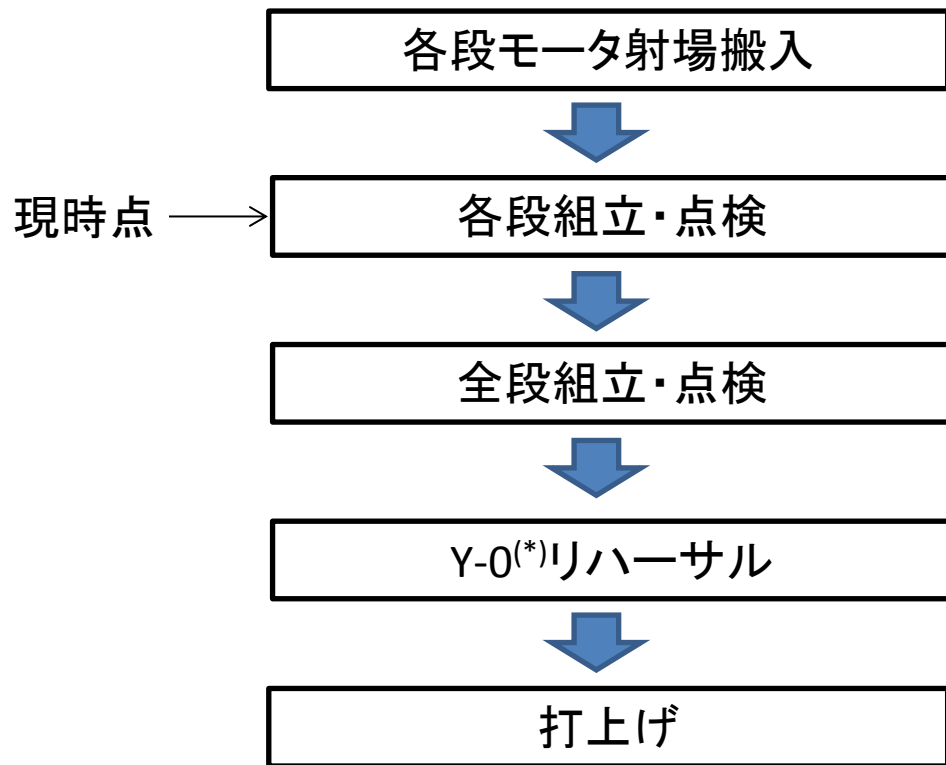
- ✓ イプシロン試験機では、M-Vと比較して、地上設備の簡素化や自動点検機能の導入等により、射場運用の効率化(短期間化、省人力化)を実現。
- ✓ 更なる効率化に向けて、2号機においても運用経験の蓄積を重ねていく。



## 6. イプシロンロケット2号機打上げに向けた準備状況

### ■ 射場作業実施状況

- ✓ 射場に各段モータの搬入を行い、9月12日より射場作業を開始している。現在、各段組立作業を実施中。
- ✓ 射場作業のフローを以下に示す。



(\*)Y-0: 打上げ当日

### 【作業場所】



M組立室



M整備棟

# 6. イプシロンロケット2号機打上げに向けた準備状況



水切り

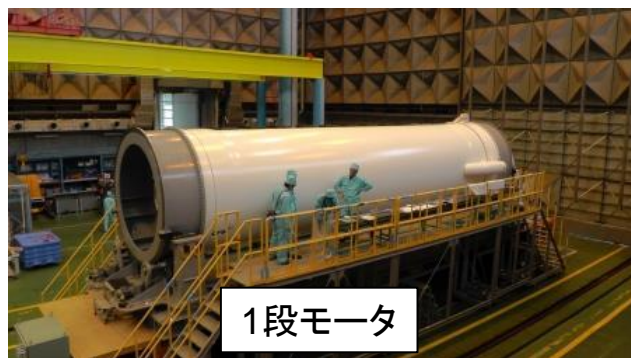


陸上輸送

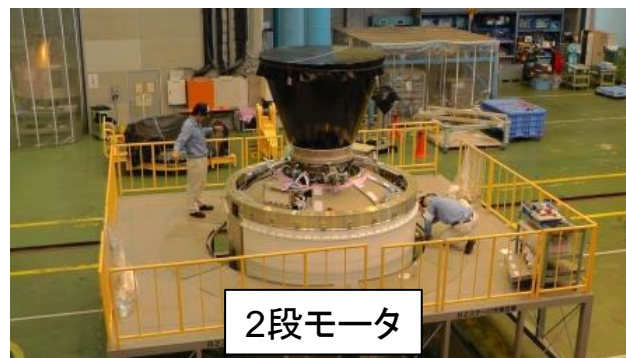


M組立室搬入

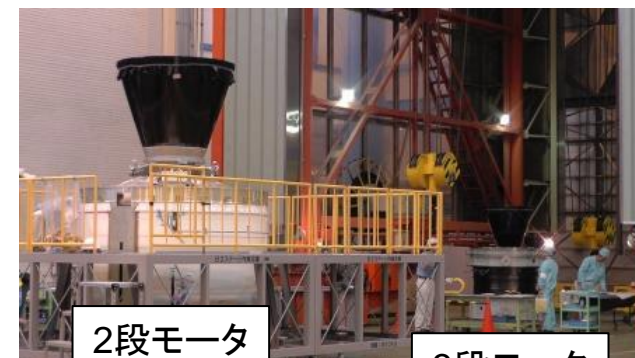
## 1段モータ輸送・搬入の状況



1段モータ



2段モータ



2段モータ

3段モータ

## 各段組立作業の状況

# 6. イプシロンロケット2号機打上げに向けた準備状況

## ■ 確実な打上げに向けた取り組み

### 【試験機での教訓の反映】

- 試験機でX-19sに自動緊急停止した不具合に対する教訓を踏まえ、2号機に向けて以下の確認を行い、監視要求の設定と検証計画が問題ないことを確認した。
  - ✓ 監視要求(監視項目、監視対象、基準時刻(地上基準or機体基準)等)が明確か
  - ✓ 監視設定が適切に行われているか、または行われる計画になっているか
  - ✓ 各点検イベント毎(Y-0リハーサル等)の検証計画が適切に設定されているか

#### 【概要】

8月27日に打上げ直前(19秒前)で自動カウントダウンシーケンスが停止したため打上げを延期した。これはOBCの時刻とLCSの時刻の約0.07秒のずれにより、OBCの姿勢計算開始前のデータを異常と判定し自動停止した。監視項目要求の点検と検証が十分でなかったことが原因である。

#### 【教訓】 打上げ延期に直結する項目は検証し尽くすこと

打上げ延期は対外的なインパクトが多めで、膨大なコスト追加も発生するため打上げ延期を未然に防ぐ必要がある。したがって、打上げ延期につながる重要な項目(要求やインプット定数)は特に注意が必要。

具体的には以下。

- ① 監視項目とそのインプット定数は誤りがあると打上げ延期や打上げ失敗につながる可能性があるため徹底的な点検・検証が必要。
- ② 特に、初号機(試験機)は検証機会の最大限確保が必要。具体的には、工場での試験前に監視項目要求を設定し、工場試験から検証を実施すること。
- ③ 総合試験(試験機ではリハーサル)では検証度合を最大化する。検証できないもの(検証から外したもの)は識別し、第三者が容易に評価・確認ができる仕組みを整備し、人知の及ぶ限り多角的かつ多数の目で問題ないことを徹底的に確認すること。

## 6. イプシロンロケット2号機打上げに向けた準備状況

### ■ 確実な打上げに向けた取り組み

#### 【イプシロン総点検】

- イプシロンロケット2号機は試験機以降3年ぶりの打上げとなること、および強化型イプシロンロケット開発の適用初号機となることを踏まえ、JAXAをあげて徹底的な点検を行い、自信を持って打上げに臨むべく、プロジェクト主体の活動に加えて、プロジェクト外の知識・経験を結集した総点検チームを編成し、総点検を行った。
- 総点検チームは、プロジェクトの活動に対して、独自の視点でもって、試験機不具合の反映状況、試験機からの変更点・新規開発項目に係る技術課題への対応、End-to-End検証計画、射場作業の実施体制・準備状況等について確認した。
- 総点検の結果、プロジェクトのスケジュールに影響を与えるような大きな問題点や射場作業前に処置すべき問題点等がないことを確認した。
  - ✓ なお、試験機でX-19sに自動緊急停止した不具合への対応状況についても、総点検チームによる点検を行い、問題ないことを確認した。

## 6. イプシロンロケット2号機打上げに向けた準備状況

### ■ 確実な打上げに向けた取り組み

#### 【要員訓練】

- 試験機以降3年が経過し、JAXA・契約相手方ともに人員の入替えが発生していること、およびY-0作業は衛星側との密接な連携と迅速な判断が必要となることを踏まえ、下表に示す射場作業を通じて要員訓練を行い、作業の万全を期す計画。
  - ✓ ロケット関連要員は、カウントダウンシーケンスを実行する試験等にはY-0と同じ人員配置で臨み、作業や技術判断の習熟を目指す。
  - ✓ ロケット系以外との連携はY-0リハーサル等での訓練を通じて強化する。

作業項目	作業概要
フライトシーケンス点検 (各段点検)	各段機体を試験ケーブルで接続した状態で、点検用フライトソフトウェアによるフライトシーケンスの検証を実施する。
フライトシーケンス点検 (全段点検)	機体全段組立状態で、実フライトソフトウェアによるフライトシーケンスの検証を実施する。
プログラムレート 再設定訓練	打上げ当日は、高層風データを取得し、プログラムレート(誘導に用いる角速度の設定値)を再設定(機体にアップロード)する。この一連の動作を円滑に行うための訓練を実施する。
Y-0シーケンス点検 (ランチャ旋回)	ロケット系・衛星系に係るY-0運用を模擬するため、ランチャに搭載した機体を整備塔から出して発射位置にセットし、カウントダウンシーケンスと前後の一連の作業(リサイクル含む)を実施する。
Y-0リハーサル	ロケット系・衛星系・射場系・飛行安全系を含めたY-0運用全体を模擬するため、ランチャに搭載した機体を整備塔から出して発射位置にセットするとともに、射場系設備及び飛行安全システムを用いて、カウントダウンシーケンスと前後の一連の作業(リサイクル含む)を実施する。

## 7. まとめ

- 強化型イプシロンロケットの開発および2号機の打上げに向けた作業は順調に進行している。
- 今後、各段の点検作業、全段組立・点検作業およびY-0リハーサル等を実施する。
- その後、ジオスペース探査衛星(ERG)の打上げを行う。

DAU	Data Acquisition Unit	データ収集装置
OBC	On-Board Computer	誘導制御計算機
PBS	Post Boost Stage	小型液体推進系
PSDB	Power Sequence Distribution Box	電力シーケンス分配器
RCS	Reaction Control System	姿勢制御装置
SMSJ	Solid Motor Side Jet	固体モータサイドジェット
TVC	Thrust Vector Control	推力方向制御
M/M	Mission Modification	ミッションモディフィケーション
SDR	System Definition Review	システム定義審査
PDR	Preliminary Design Review	基本設計審査
CDR	Critical Design Review	詳細設計審査
PQR	Post Qualification Review	開発完了審査
PM	Prototype Model	プロトタイプモデル
FM	Flight Model	フライトモデル
AT	Acceptance Test	領収試験