

## 5.2. イプシロンロケット用衛星フェアリングの 開発について

宇宙航空研究開発機構

宇宙輸送ミッション本部

宇宙輸送系要素技術研究開発センター

伊海田 皓史 様

第11回試験技術ワークショップ、筑波宇宙センター



## イプシロンロケット用衛星フェアリングの開発について

宇宙航空研究開発機構 宇宙輸送ミッション本部  
宇宙輸送系要素技術研究開発センター  
伊海田 皓史

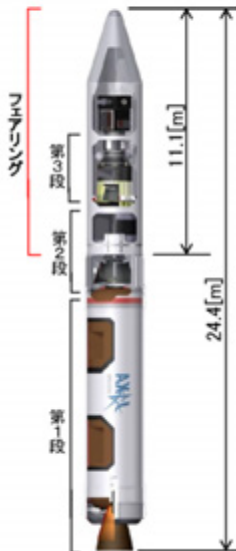
2013年11月28日(木)  
筑波宇宙センター

### 目 次



- イプシロンロケット概要
- ペイロードフェアリング概要
- 要素試験概要
- 実機大開発試験
- 射場オペレーション
- フライト結果
- まとめ

## イプシロンロケット概要(1/2)



- 高性能と低コストの両立を目指し、JAXAにて開発を実施した固体ロケット。
- 新しい時代にふさわしい宇宙輸送システムへと進化・発展させ、ロケットの打ち上げをもっと手軽なものにして、宇宙への敷居を下げることを目的としている。
- 2013年9月14日に試験機の打上げを実施。SPRINT-Aを計画通りの軌道へ投入することに成功しミッションを達成した。
- イプシロンロケット用フェアリングは、衛星及びロケット上段組立を収納する形態である。

2

## イプシロンロケット概要(2/2)



- ・全体の重さ: M-Vロケットの約2/3
- ・打上げ能力: M-Vロケットの約2/3
- ・技術の革新: 自律点検による発射準備作業の簡素化

項目	諸元	
ロケット	イプシロン (E-X)	M-V
機体構成	3段式 (PBS追加可)	3段式 (第4段追加可)
直径	2.5 m	2.5 m
全長	約 24 m	約 31 m
全備質量	約 91 ton	約 140 ton
打上げ能力※	LEO: 1.2 トン	LEO: 1.8 トン
打上げ年度	初号機 2013年	1996~2006
打上げ場所	内之浦宇宙空間観測所 (USC/JAXA)	

※LEO:地球周回低軌道に換算した能力

3



- イプシロンロケット概要
- ペイロードフェアリング概要
- 要素試験概要
- 実機大開発試験
- 射場オペレーション
- フライト結果
- まとめ

4

## ペイロードフェアリング概要(1/3)

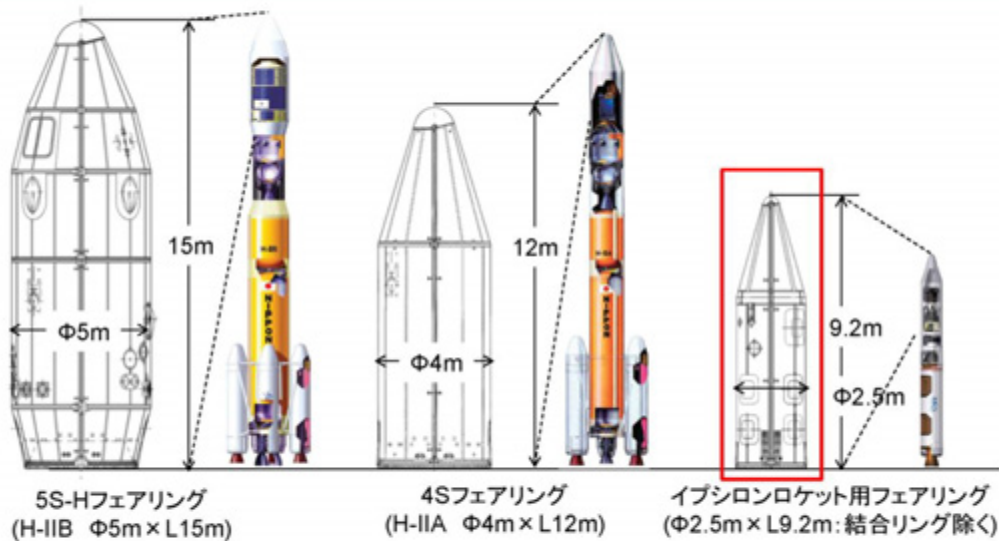


- ロケット打ち上げ直後, および飛行時に発生する音響、振動、温度環境から衛星を保護し、大気圏外に出るとロケットからの点火信号により分離機構が作動し、機体から離脱するサブシステム。



5

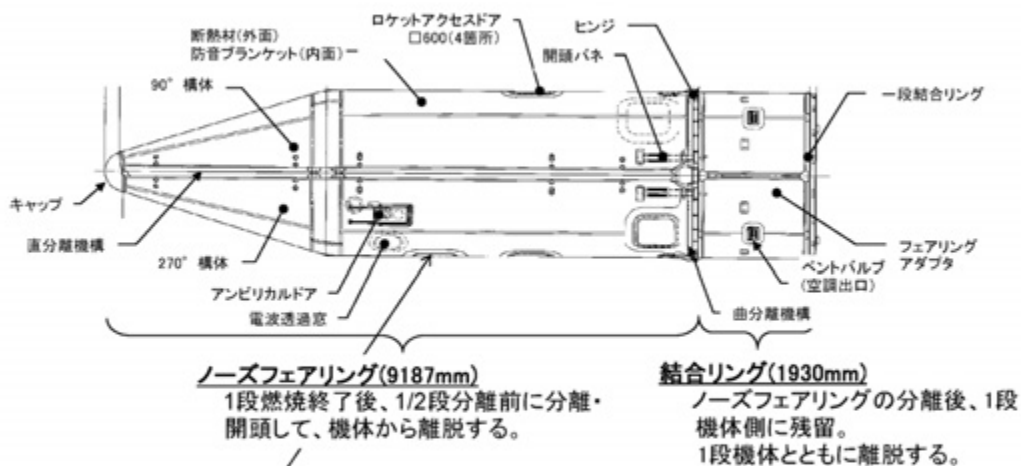
### ペイロードフェアリング概要(2/3)



- H-II A/Bロケット用衛星フェアリングでフライト実績のある基盤技術を活用
- 上記に加えて衛星への柔軟な対応, 運用性向上の技術を新規開発

6

### ペイロードフェアリング概要(3/3)



#### ペイロードアクセスドア

- 衛星にアクセスするためのドア
- 衛星の要望に応じて、設置可能範囲内の任意の位置に設置可能
- ドアサイズは□600mm、φ350mm、φ180mmの3種類
- ドアへの最終アクセスは、**打上げ3時間前まで可能**
- 全ペイロードアクセスドアのクローズに要する時間は**20分以内**

7



- イブシロンロケット概要
- ペイロードフェアリング概要
- **要素試験概要**
- 実機大開発試験
- 射場オペレーション
- フライト結果
- まとめ

8

## イブシロンロケットフェアリングの開発概要



イブシロンロケット用フェアリングの開発方針は下記(1)~(4)の通りであり、下記を達成するため各種設計および新規技術開発を実施した。

- (1) 衛星ミッションへの柔軟な対応
  - ◆ 半殻一体成形パネル、シート貼付方式の断熱材、取扱い容易なペイロードアクセスドアを採用することにより、製造期間を短縮し高頻度・発注後短期間での打上げに対応
  - ◆ また衛星用のアクセスドア位置決定時期を、打上げ約6ヵ月前まで対応可能とした
- (2) 運用性向上
  - ◆ 射場搬入後の作業期間及び衛星の最終アクセス完了から打上げまでの時間を短縮
  - ◆ 分離後着水したノーズフェアリングが船舶航行に支障のある海上浮遊物とならないよう、透水/排気が可能なフェアリング構造を新規開発
- (3) コスト低減
  - ◆ 半殻一体成形や樹脂性防音ブランケット(H-II B開発品)等を採用し、性能を向上させつつ、製造コストを低減した
  - ◆ 射場AGEや輸送形態/方法を簡素化し、運用コストを低減した
- (4) 信頼性確保
  - ◆ H-II A/Bロケットで実績のある分離・開頭方式を採用し、信頼性を維持した

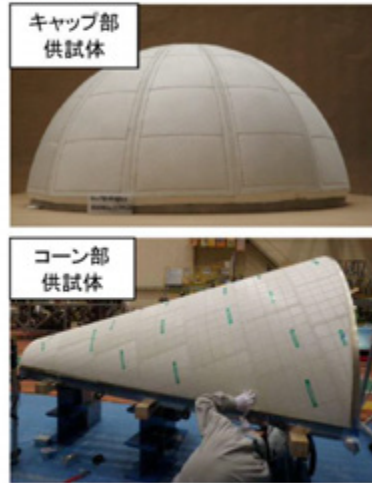
9



## シート貼付型断熱材(1/2)



- シリコンフォーム断熱材(衛星ミッションへの柔軟な対応、耐熱性能向上)
  - イプシロンロケットの空力加熱条件に対応でき、製造工程の柔軟性(ペイロードアクセスドア取付の後工程化が可能)を実現できる貼付方式のシリコンフォームの断熱材を新規開発 → ドア位置決定は**打上げ約6カ月前(最短4ヶ月前)**まで対応可能



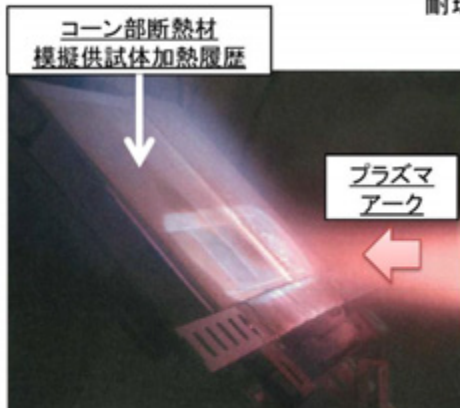
断熱材施工状況(左:実機全体 右:開発試験時供試体)

10

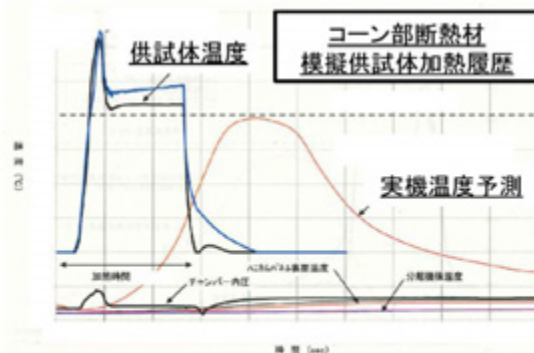
## シート貼付型断熱材(2/2)



- 要素レベルの試験として以下を実施し、フライト環境下で問題がないことを検証した。
  - ✓ 試作試験 → シート貼付方式の断熱材施工性の確立、および検査手法の検証
  - ✓ 耐環境性確認試験 → 熱真空試験、分離衝撃試験、降雨試験等を実施。  
製造～フライトまでの全フェーズに対して断熱材の耐環境性に問題がないことをを検証



熱真空試験実施時の状況



供試体の加熱温度履歴

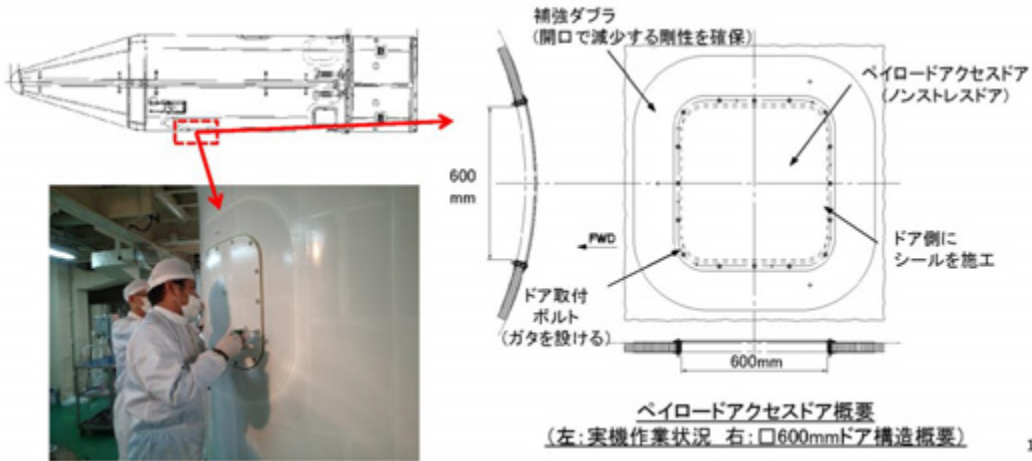
11

## クイックアクセスドア(1/2)



### ■ 板金構造のノンストレス(荷重を伝達しないドア)アクセスドア

- ▶ ドア取付ボルトの本数を減らし、ドア側にラバーシールを施工することで、打上げ時のドアクローズ作業を**20分以内**に完了可能。
- ▶ また衛星最終アクセス完了から打上げまでを**3時間**を達成可能なことを確認。

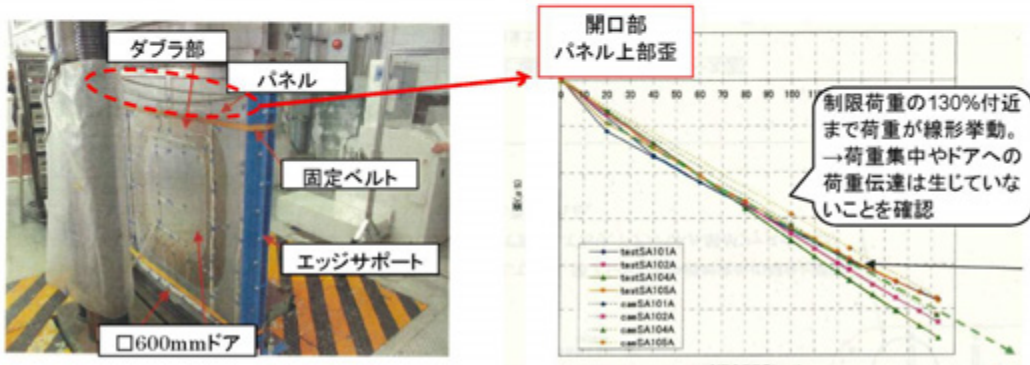


12

## クイックアクセスドア(2/2)



- ▶ 以下の要素試験を実施し、設計妥当性を検証した。
  - ✓ シール性確認試験
    - 板金構造のシール付ドアの水密性を確認する観点から、散水試験(降雨想定)と圧力負荷試験(ペンティング荷重想定)を実施し、設計妥当性を確認した
  - ✓ 部分構造強度試験
    - ドアによる開口に対する荷重分布、およびペイロードアクセスドアへの荷重伝達が設計通りであるか確認した



開口部強度試験(□600mmペイロードアクセスドア) 概要

13



## 半殻一体成形



### ■ 半殻一体成形の適用

- 信頼性向上、製造コスト削減などの観点から部品点数を削減し、製造プロセスをシンプルにしていくことが、今後のロケット開発の発展のために必須である
- イプシロンフェアリングでは部品点数削減(信頼性向上・製造コスト削減)を目的として、シリンダ部とコーン部を分割しない半殻一体成形を採用
- 過去のKHIの研究開発成果を活用し、肩部(コーン部とシリンダ部の連結部)の3次元成形を実現することにより、上記半殻一体成形を達成した



実機大試作試験時における成形状況 (左: パネル成形後 右: 積装品取付後)

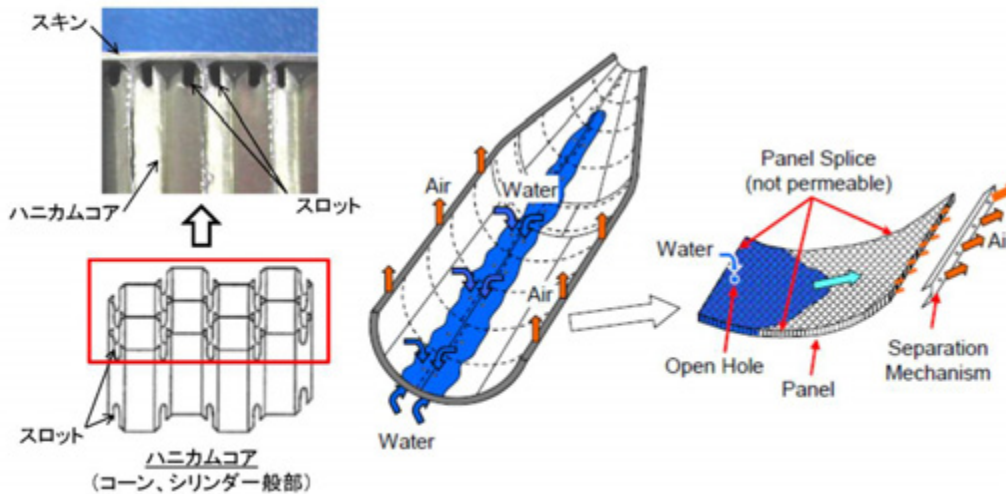
14

## 水没化対応パネル(1/3)



### ■ 水没化対応パネル

- フェアリング分離/海上着水後、船舶の航行に支障のある海上浮遊物とならないようパネル内面に浸水孔を設け、セル壁にスロットを設けたハニカムコアを採用して透水/排気を可能とし、水没性を有するフェアリング構造を新規開発した

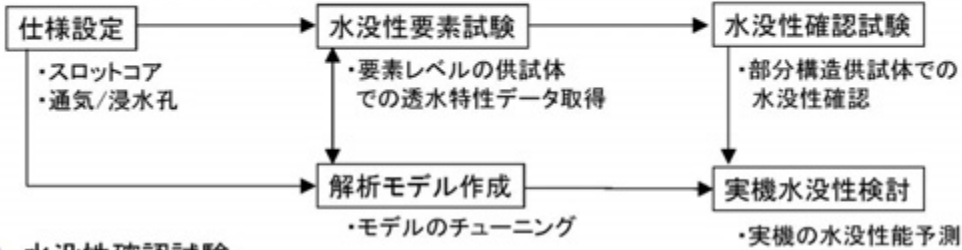


15

### 水没化対応パネル(2/3)



#### ■ フェアリング透水構造の開発フロー



#### ■ 水没性確認試験

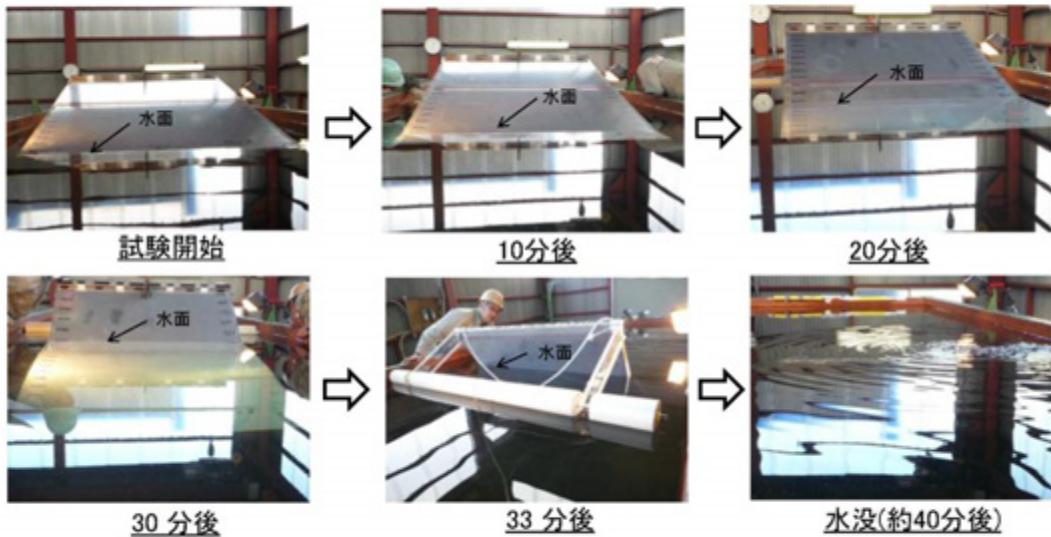
部分構造供試体(1200mm×2000mm)を大型水槽に浮かべ、パネルへの透水/排気性能を確認した。



### 水没化対応パネル(3/3)



#### ■ 水没性確認試験の状況



➤ 設計した透水構造が妥当であることを確認し、水没に至る姿勢/時間のデータを取得。実機の水没時間予測解析に反映した。



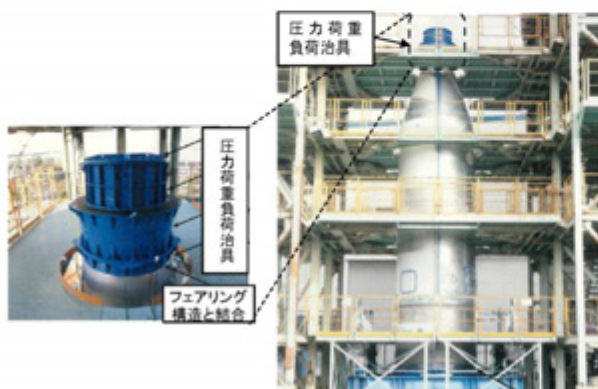
- イブシロンロケット概要
- ペイロードフェアリング概要
- 要素試験概要
- 実機大開発試験
- 射場オペレーション
- フライト結果
- まとめ

18

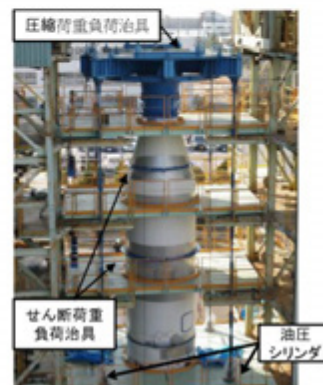
## PM強度試験(1/2)



- PM試作試験
  - PM(プロトタイプモデル)を試作し、製造性確認、質量特性等の確認を実施した。
- PM強度試験
  - 強度試験に先立ち実機大供試体に散水を実施しシール設計の妥当性を確認した。
  - 実機荷重を模擬した圧力、せん断荷重、軸圧縮荷重を各評定部位(キャップ部・シリンダ上端部、フェアリング下端)に負荷し、構造設計/解析の妥当性を確認した。



ノーズキャップ外圧試験概要



圧縮・曲げ試験概要

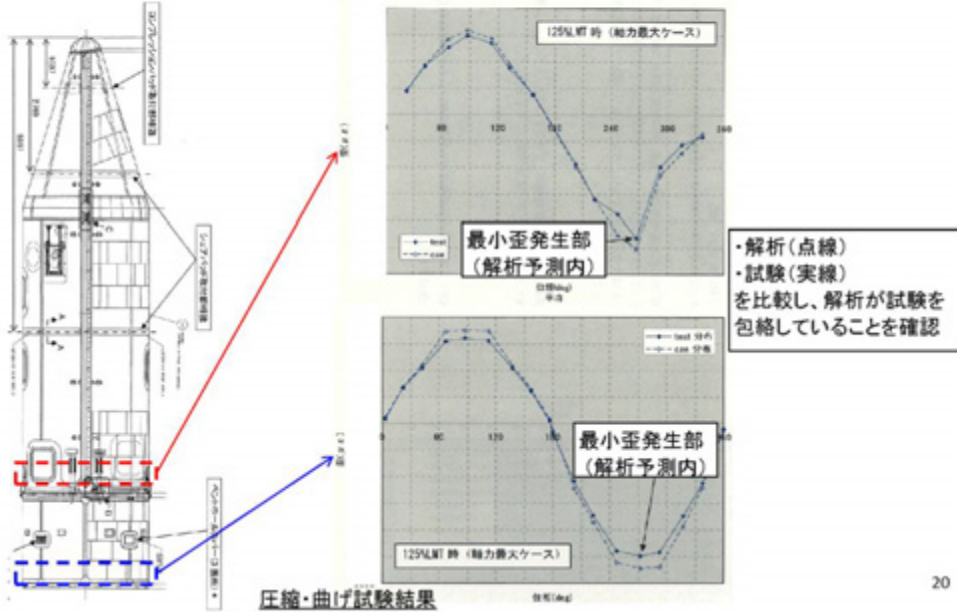
19



### PM強度試験(2/2)



- ▶ フライト荷重を模擬した実機大試験において、事前の解析予測と試験結果が良好に一致し、解析モデルが妥当であることが確認された。試験結果概要を下図に示す。



20

### PM音響試験(1/3)



#### PM音響試験

- ▶ 環境技術試験センターが所有する1600m<sup>3</sup>音響試験設備を用いて、防音ブランケットを装備した実機大供試体を設備内に入れ、実機打上げ時を想定した外部音響を負荷して音響減衰データの取得/評価、フェアリング各部の耐環境性データを取得した
- ▶ 試験状況は下図に示す通り



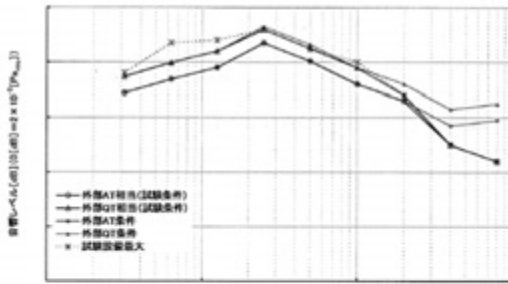
PM音響試験(左:試験方法概要 右:試験状況)

21

### PM音響試験(2/3)

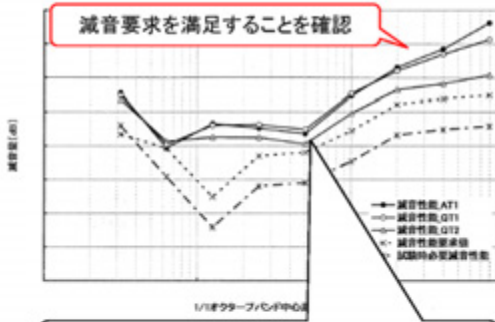


- ▶ 試験は2形態(ブランケット貼付面積を2パターン変化させて)で計3回実施した。  
(AT条件×1回、QT条件×2)
- ▶ PM音響試験における音響負荷レベル、およびフェアリング減音性能を下図に示す。



1/1オクターブバンド中心周波数 [Hz]

PM音響試験レベル



減音性能の差は、防音ブランケットの取付形態の差異によるもの(特に高周波領域)

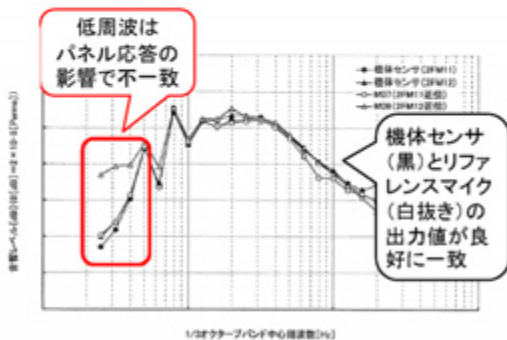
フェアリング減音性能

22

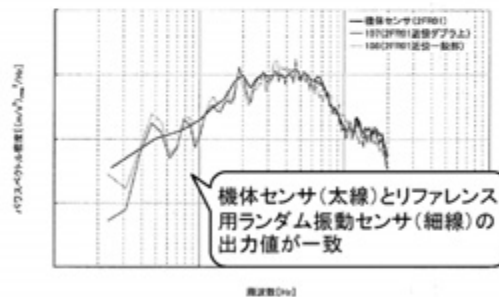
### PM音響試験(3/3)



- ▶ 機体の音響センサと、リファレンスマイク(フェアリング内壁近傍に配置)を比較し、機体センサの艤装方法(データ取得方法)に問題がないことを確認した
- ▶ フェアリングパネル上の121点で加速度データ(ランダム振動データ)を取得し、機体センサ艤装方法、およびフェアリングランダム振動条件設定の妥当性を確認した



試験結果(フェアリング内部音響レベル)  
機体センサ v.s. リファレンスマイク



試験結果(ランダム振動レベル)  
機体センサ v.s. ランダム振動センサ

23



## PM分離放てき試験(1/2)



### ■ PM分離放てき試験

- 実機大供試体に分離機構用の火工品を装備し、フライトと同様のシーケンスで火工品を作動させ、フェアリングを開頭させる試験を実施した
- 分離機構・開頭機構の設計の妥当性を確認するとともに、フェアリング各部の分離衝撃環境のデータを取得し、衛星への衝撃環境が規定値以下であることを確認した



PM分離放てき試験

24

## PM分離放てき試験(2/2)



### ■ 試験状況



25



- イプシロンロケット概要
- ペイロードフェアリング概要
- イプシロンロケットフェアリングの開発概要
- 開発試験結果
- 射場オペレーション
- フライト結果
- まとめ

26

## 射場オペレーション



- ハンドリング訓練
  - 初の射場オペレーションのリスク管理の観点から、実機大供試体を用いてフェアリング結合作業 → VOS(1段モータへの搭載)の一連の作業のリハーサルを実施
- 試験機用フェアリング全殻結合・VOS作業
  - リハーサル通り、試験機のフライト品についても良好に結合作業を完了した。
  - 衛星へのアクセス性について**計画通り3時間前までアクセスが可能**であること、および**ドアクローズが20分以内に完了可能**であることを確認した。



フェアリング全殻結合

フェアリングVOS  
(1段モータへの搭載)ドアクローズ作業  
(口600ドア：打上げ当日)

27



- イプシロンロケット概要
- ペイロードフェアリング概要
- 要素試験概要
- 実機大開発試験
- 射場オペレーション
- フライト結果
- まとめ

28

## 試験機フライト結果(1/5)



- フライト結果
  - イプシロンロケット試験機は2013年9月14日に打上げを実施し、衛星を計画通りの軌道に投入することに成功した
  - フェアリングには分離確認、温度、音響、圧力、ランダム振動の各センサが搭載されており、各データとも良好に取得できた
  - データ評価の結果、設計想定外の事象が発生しておらず、イプシロンロケット用フェアリングが設計意図通りの機能を発揮したことが確認できた。

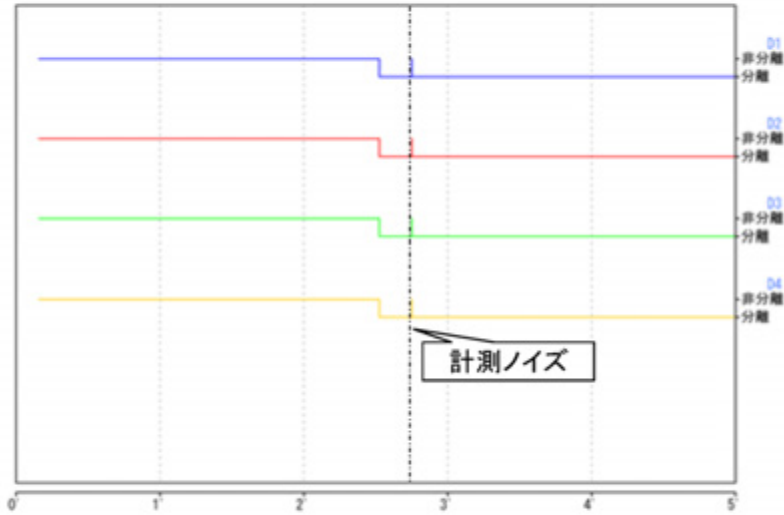


試験機打上げ状況

ランチャ旋回後の状況(9月14日)

29

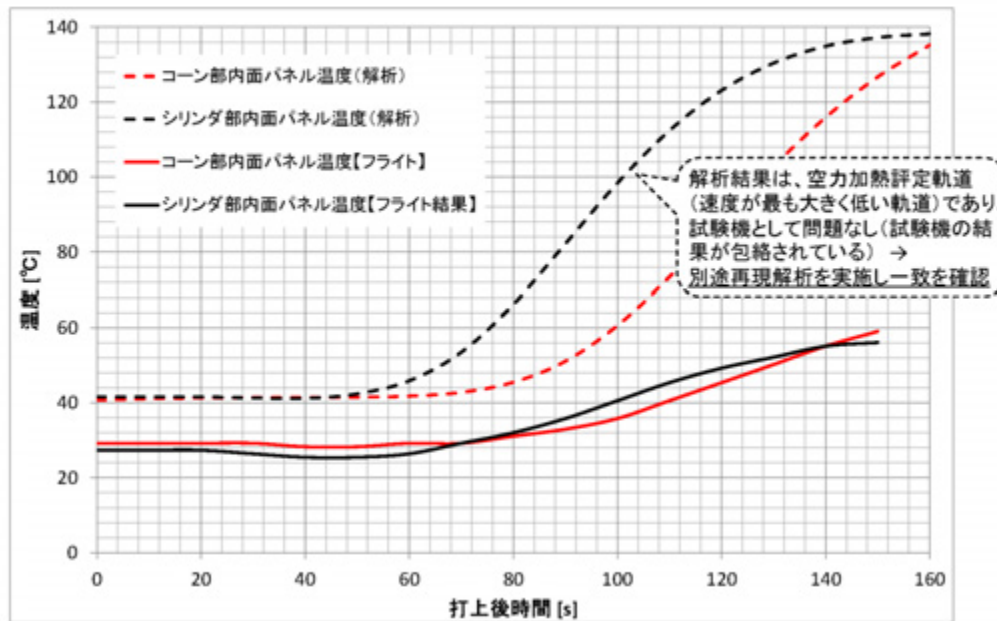
### 試験機フライト結果(2/5)



フライトデータ(分離信号出力履歴)

30

### 試験機フライト結果(3/5)



フライトデータ(温度履歴)

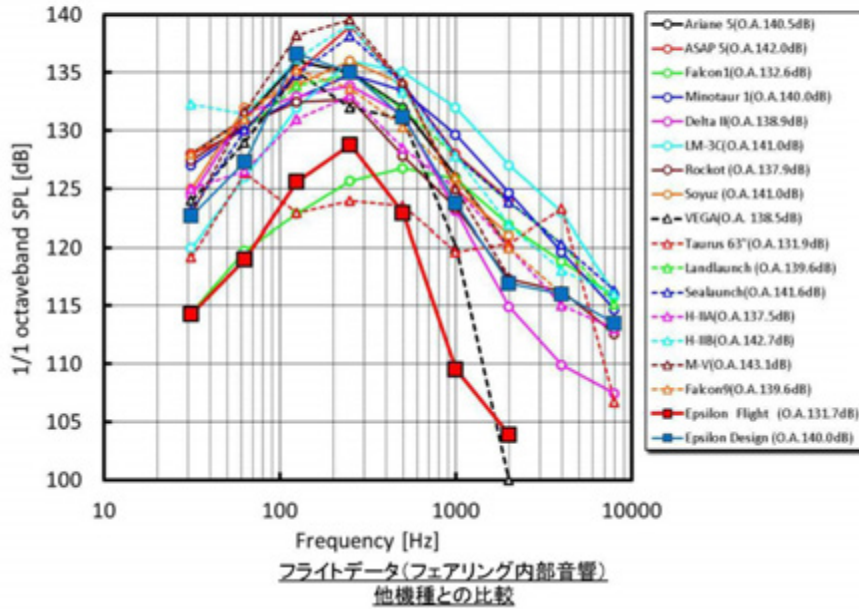
31



### 試験機フライト結果(4/5)

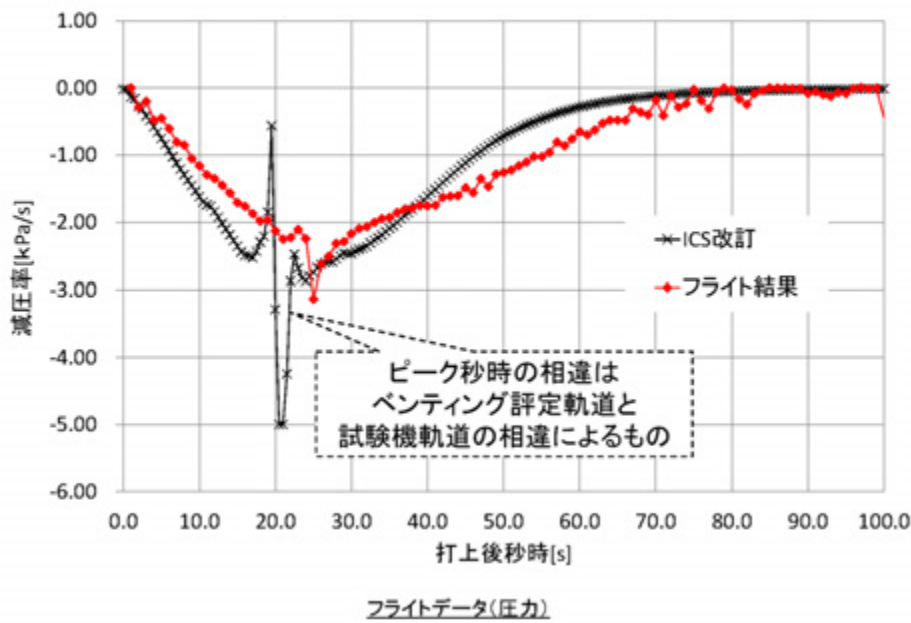


- 外部音響の低減+フェアリング(含:防音ブランケット)減音効果により、世界最高峰の音響レベルを達成



32

### 試験機フライト結果(5/5)



33





- イプシロンロケット概要
- ペイロードフェアリング概要
- イプシロンロケットフェアリングの開発概要
- 開発試験結果
- 射場オペレーション
- フライト結果
- まとめ

34

## まとめ



- イプシロンロケットフェアリングはH-II、H-IIA、H-IIBの開発と運用を通じて蓄積してきた基盤技術を活用して信頼性を確保するとともに、新規技術を適用してミッション対応への柔軟性向上、運用性向上、コスト低減に革新的な進歩を達成したと考える。
- 環境条件は、音響をはじめIGS規定に対し余裕のあるフライト結果となっており、次号機に向けた緩和を検討中。
- 2号機、3号機に向けて試験機の射場オペレーションおよびフライト結果から抽出された課題を改善していくとともに、更なる低コスト化と運用性向上に向けた改良について検討を進める。
- 今後開発が予定されるロケットについても、イプシロンロケット用フェアリングで獲得した技術を適用していきたい。

35

## 質疑応答

### 質問者① JAXA OB 吉田様

ベンディングのご説明があったが、遷音速時の衝撃の評価はどのようになっているか。

### 発表者

外部の圧力センサを装備していなかったため、直接的なデータの比較はできていないが、内部の減圧率から衝撃波がベントバルブの上を通過したタイミングを推定している。この件については、ほぼ想定通りの結果となったことを確認している。

### 質問者

フェアリングについて H-IIA、IIB と同様にハニカム構造で製造されているということであるが、噂では意外とコストがかかっているため将来的にはコストを下げたいということを知った。このあたりの検討について教えていただきたい。

### 発表者

実績と製造方法から、今回もアルミハニカムサンドイッチ構造を適用した。剛性強度については良いものであることは間違いないが、これに拘り続けるのではなく、今後の検討では、色々とトレードオフした上で決めていきたいと考える。

### 質問者② JAXA 環境試験技術センター 三枝様

23 ページの音響試験のマイクロフォンについて、搭載したマイクロフォンの種類はピエゾマイクロフォンか。また、データからは高周波の一致が確認できないが、どう評価しているか。

### 発表者

ピエゾ型と認識しているが、念のため確認し、間違っていた場合は後程連絡する。高周波はご指摘の通り合っていないが原因究明中である。ただし、2000kHz 以上は評価対象外

### 質問者

ピエゾは 5kHz くらいから周波数特性が上がっていくため、8k-10kHz では数 dB 上がる可能性があるため注意が必要である。

### 発表者

ご指摘の通りであるため、今後の検討に反映していきたい。ただし、フライトデータとしては 2000kHz 以上は取得が厳しいため、地上試験では評価対象外としている。

質問者③ JAXA 環境試験技術センター 施様

フライトデータと地上試験データの比較から、フライト環境が拡散音場であるか否かの検討を進める計画はあるか。

発表者

フライトデータと地上試験データのレベルに差があるのは認識している。今後フライト環境条件の緩和にもつながるので、この様なデータを元に一緒に議論していきたい。