

# イプシロンロケット初号機 小型液体推進系の運用結果

宇井恭一、志田真樹、○香河英史(JAXA)  
長尾徹(IA)、古川克己、三島弘行(MHI)

2014年1月16日(木)

平成25年度宇宙輸送シンポジウム

# 小型液体推進系とは

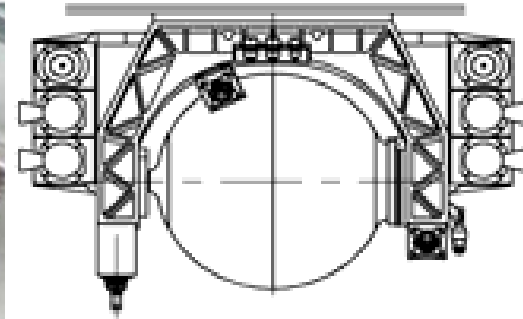
- イプシロンは、全段固体ですが2つの液体推進系を搭載
  - 2段リアクションコントロールシステム(2段RCS)
  - ポストブーストステージ(PBS,オプション)
- JAXA内では、液体推進WGを作って対応
  - イプシロンプロジェクト担当者
  - M-V/ISAS衛星の液体推進担当者
  - H-IIA/BのRCS担当者
  - 筑波衛星の液体推進担当者
- 製造企業は、RFPにて選定
  - 2段RCS:MHI
  - PBS:IA
  - ラムライン:IA(機体に付随する装置として未実施)

# 小型液体推進系仕様諸元

	2段搭載 RCS	PBS搭載推進系 (ポストブーストステージ) (オプション形態)	
機能系統	RCS	ラムライン制御	OMS/RCS
推進薬	ヒドラジン(一液式)		
推進薬供給	GN <sub>2</sub> 加圧 (フローダウン式)		GN <sub>2</sub> 加圧 (調圧式)
推進薬量	約18kg	1kg以上	104.7kg
スラスト基数	23N×6基 ×2モジュール	50N×1基	50N×8基
Wet質量	70kg以下	13.6kg以下	164.8kg以下
運用期間	1/2段分離 ～ 2/3段スピンアップ	3段スピン燃焼中	3段燃焼後 ～衛星分離 ／軌道離脱



# 2段搭載RCS



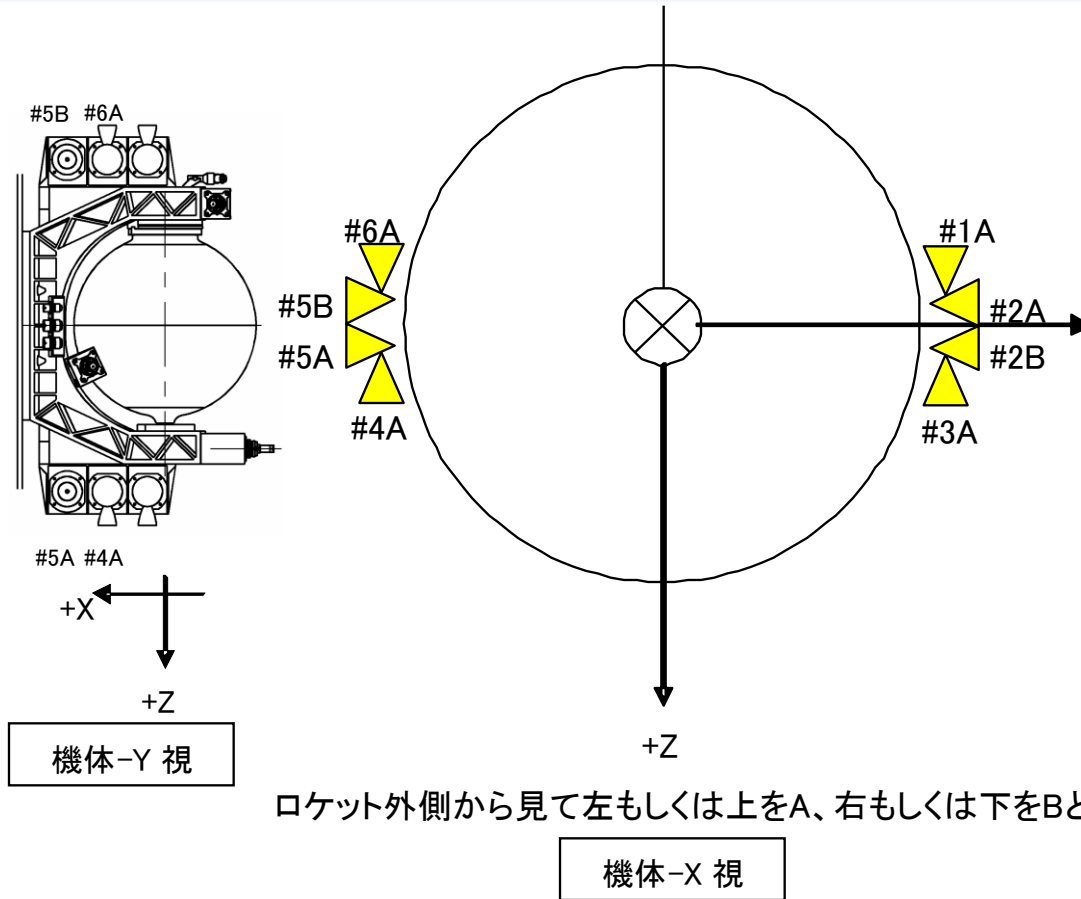
推薬弁

  
**EPSILON**

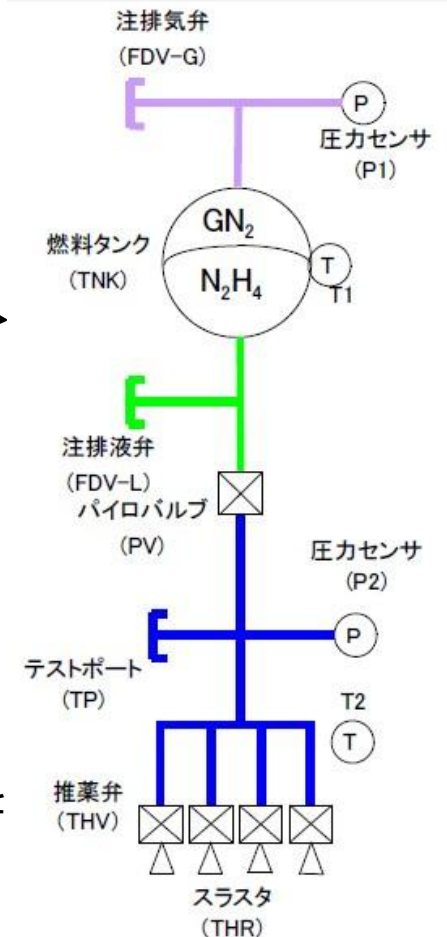


# 2段搭載RCS

- 機体との着脱運用向上を狙った2つの独立モジュールを180度対向に艀装
- 新規開発要素： 推進薬タンク、搭載構造、推薬弁
- 運用コスト低減策： 推進薬と加圧ガスを工場充填する ⇒ 射場作業簡素化

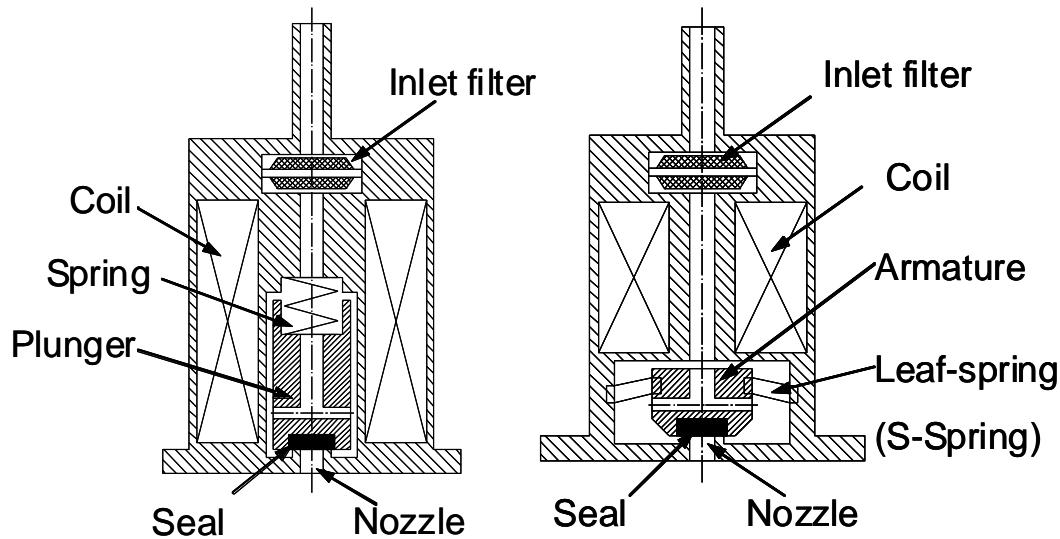


ロケット外側から見て左もしくは上をA、右もしくは下をBと



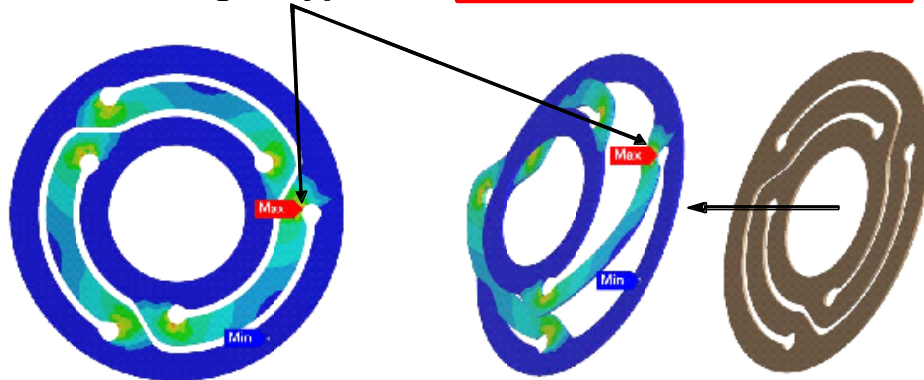
# 20N級推薬弁

- 電気で励磁する電磁弁
- 擦るところがないタイプ
  - 構造的に固着を排除
  - サスペンディッドアモチュア
  - S-スプリング2本で懸架
- シールは国際実績のAF-E411を採用



**Sliding fit type**

**Suspended armature type**



**Stress contour**

**Deformation view**

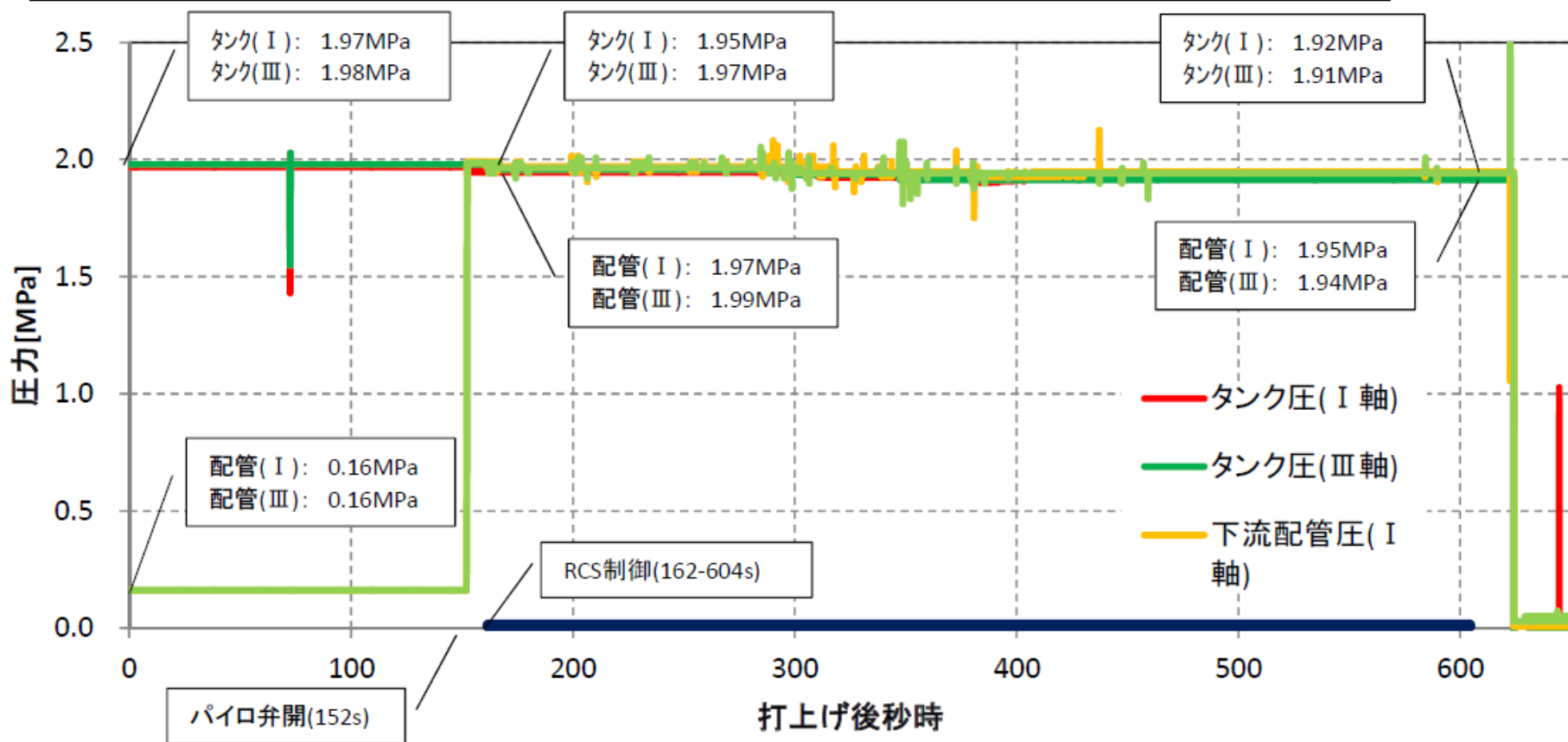


# 打ち上げまでの作業

- 工場での作業
  - ヒドラジン充填
  - タンク加圧
- 工場～射場間輸送
- 射場での作業
  - ヒドラジン漏洩チェック
  - 圧カセンサ出力確認
  - スラストガスフロー
    - (推薬弁駆動)
  - ブランケット圧設定
    - (パイロ弁～推薬弁間  
0.05MPaG)
- 機体への取り付け
  - 推薬弁の動作チェック
  - 注排弁の閉止
  - パイロバルブ用着火火薬  
装着
- 打ち上げ当日
  - ステータスの確認
  - 温度データの監視

# 2段RCSの動作結果

- ・ パイロバルブ動作: 正常 下流圧が立ち上がり、過度なオーバシュートも無い
- ・ タンク圧力履歴: 正常 噴射に伴う圧力低下が計測されている
- ・ 推進薬消費量: タンク充填量の約5%(推定, 十分な余裕)
- ・ スラスト作動: バルブ作動回数及び作動時間は要求仕様の3%以下(十分な余裕)  
(+Y 側0.24kg、-Y 側0.55kg の計0.79kg、搭載推薬量の4.4%の推進剤を消費)





# 2段RCSスラスタ作動結果

- 最大10秒程度、合計67秒と非常に少ない作動であった。
- 研究開発本部にとっても20N推薬弁は初フライト！

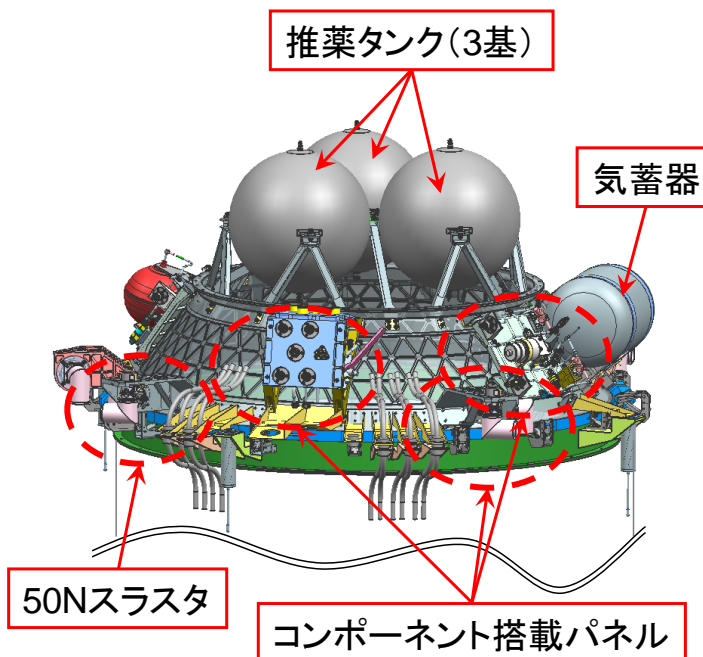
フェーズ		3軸制御 (1回目)	2段燃焼中 ロール制御	3軸制御 (2回目)	積算
時間		162～165s	165～259s	259～604s	-
+Y	1A	0.02	2.48	3.34	5.84
	2A	0	0	9.39	9.39
	2B	0	0	9.39	9.39
	3A	0	2.02	3.80	5.81
	小計	0.02	4.50	25.92	30.44
-Y	4A	2.50	2.48	4.06	9.05
	5A	2.25	0	9.02	11.27
	5B	2.25	0	9.02	11.27
	6A	0	2.05	3.06	5.11
	小計	7.00	4.53	25.16	36.69
合計		7.02	9.03	51.08	67.13

# PBS搭載推進系

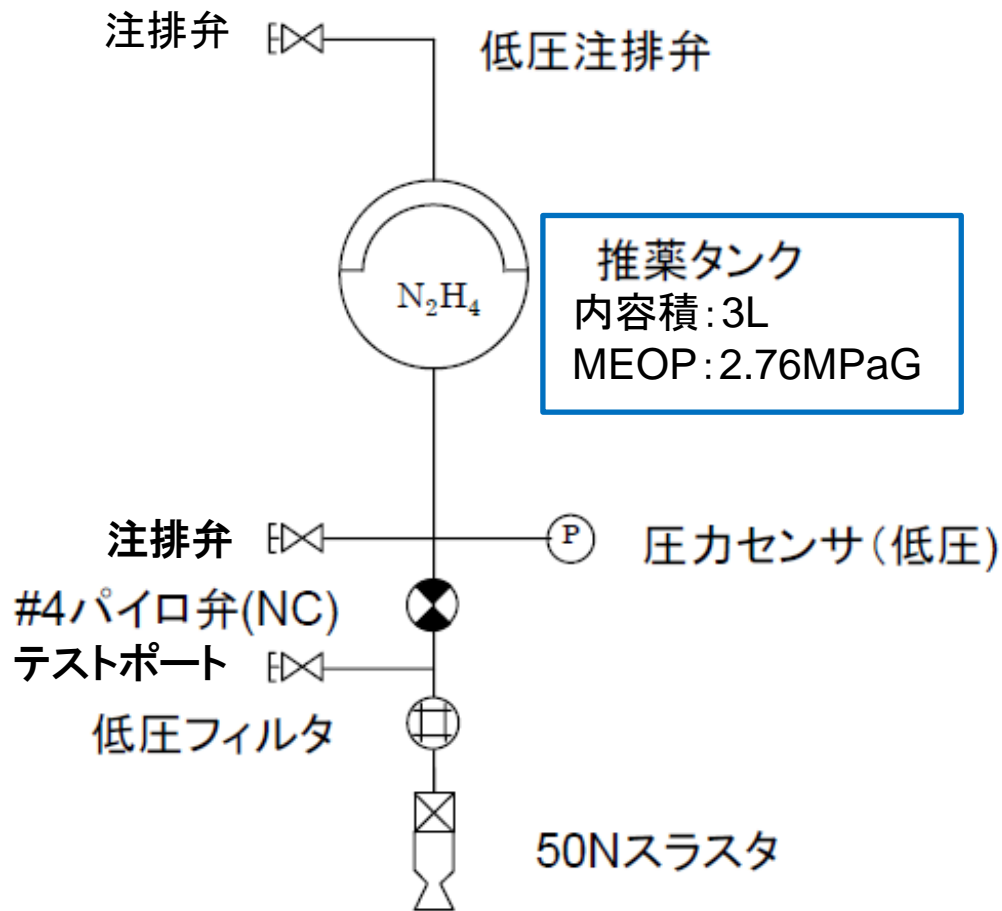


## PBS搭載推進系の仕様諸元

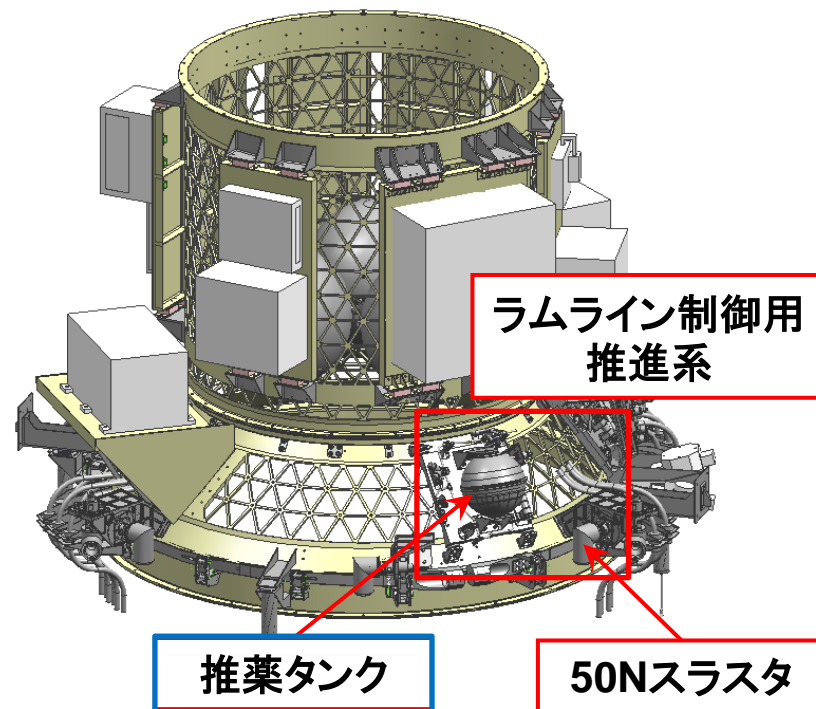
系 統	ラムライン制御	OMS/RCS
推進薬	ヒドラジン(一液式)	
推進薬供給	ガス加圧 (ブローダウン式)	ガス加圧 (調圧式)
推進薬量	1kg以上	83kg以上
スラスト基数	50N × 1基	50N × 8基
Wet質量	13.6kg以下	164.8kg以下
運用期間	3段燃焼中	3段燃焼後～衛星 分離・軌道離脱



# 第3段ラムライン制御用推進系の概要

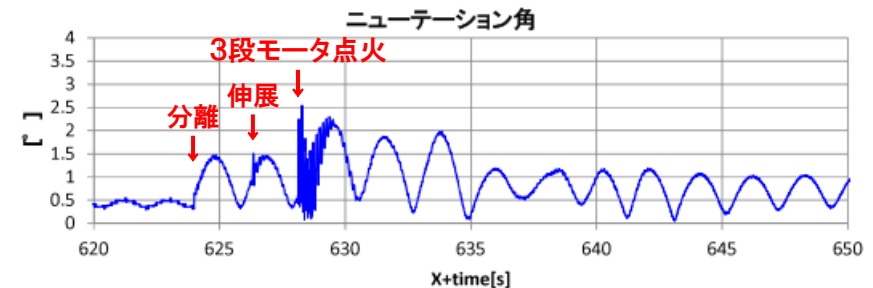
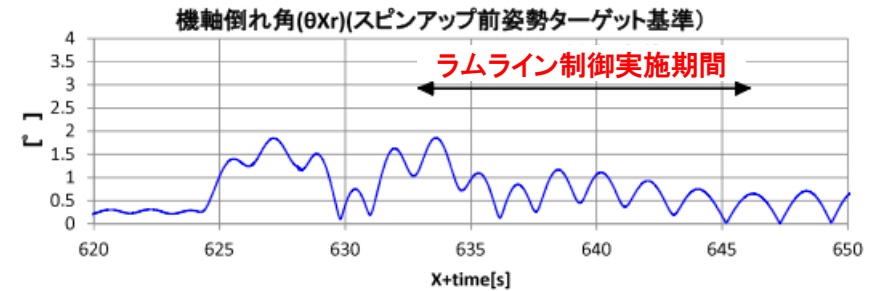
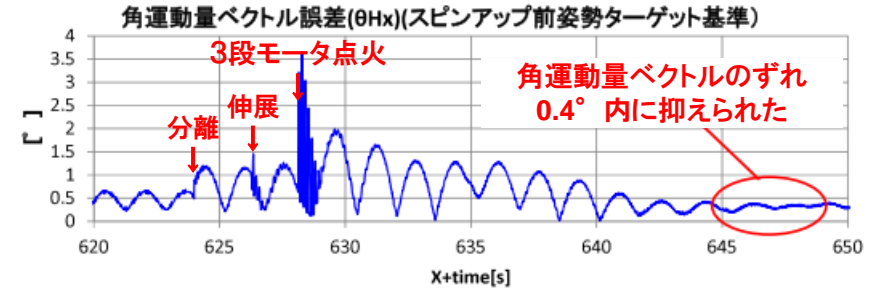
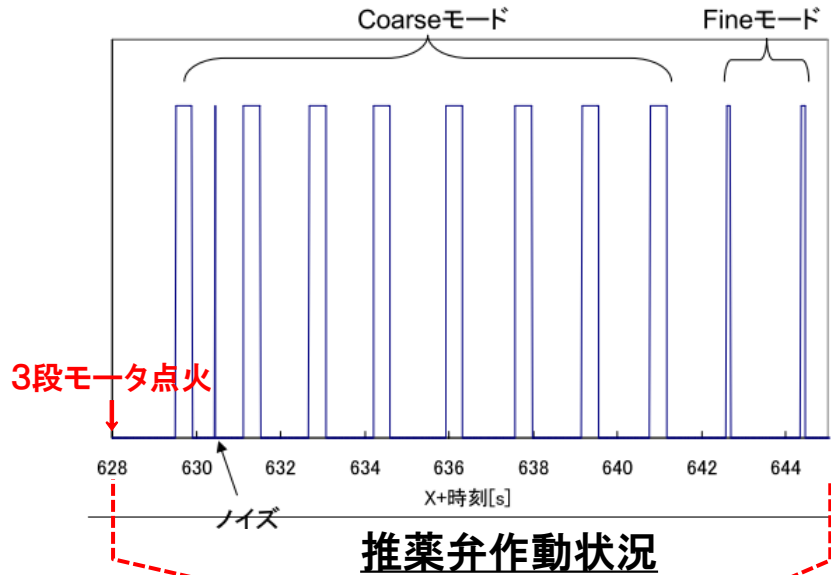


: 新規開発



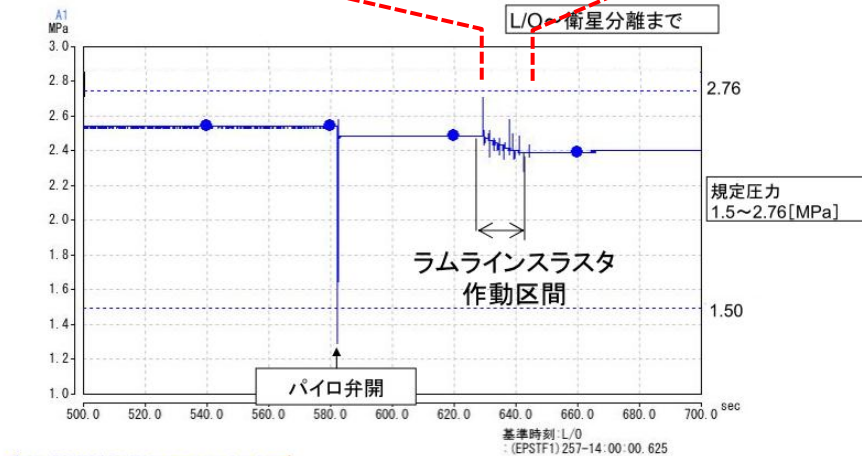
# ラムライン制御試行結果

ラムライン制御系は10回作動→角運動量ベクトル誤差が閾値(0.4°)内に収まった



X+time[s]	イベント
604	スピニングモータ点火
624	2段/3段分離
626	3段ノズル伸展
627	3段伸展機構投棄

X+time[s]	イベント
628	3段点火
633	ラムライン制御開始
646	ラムライン制御終了
717.8	3段燃焼終了



● A1: (D36C006) D36C006\_ラムラインタンク圧

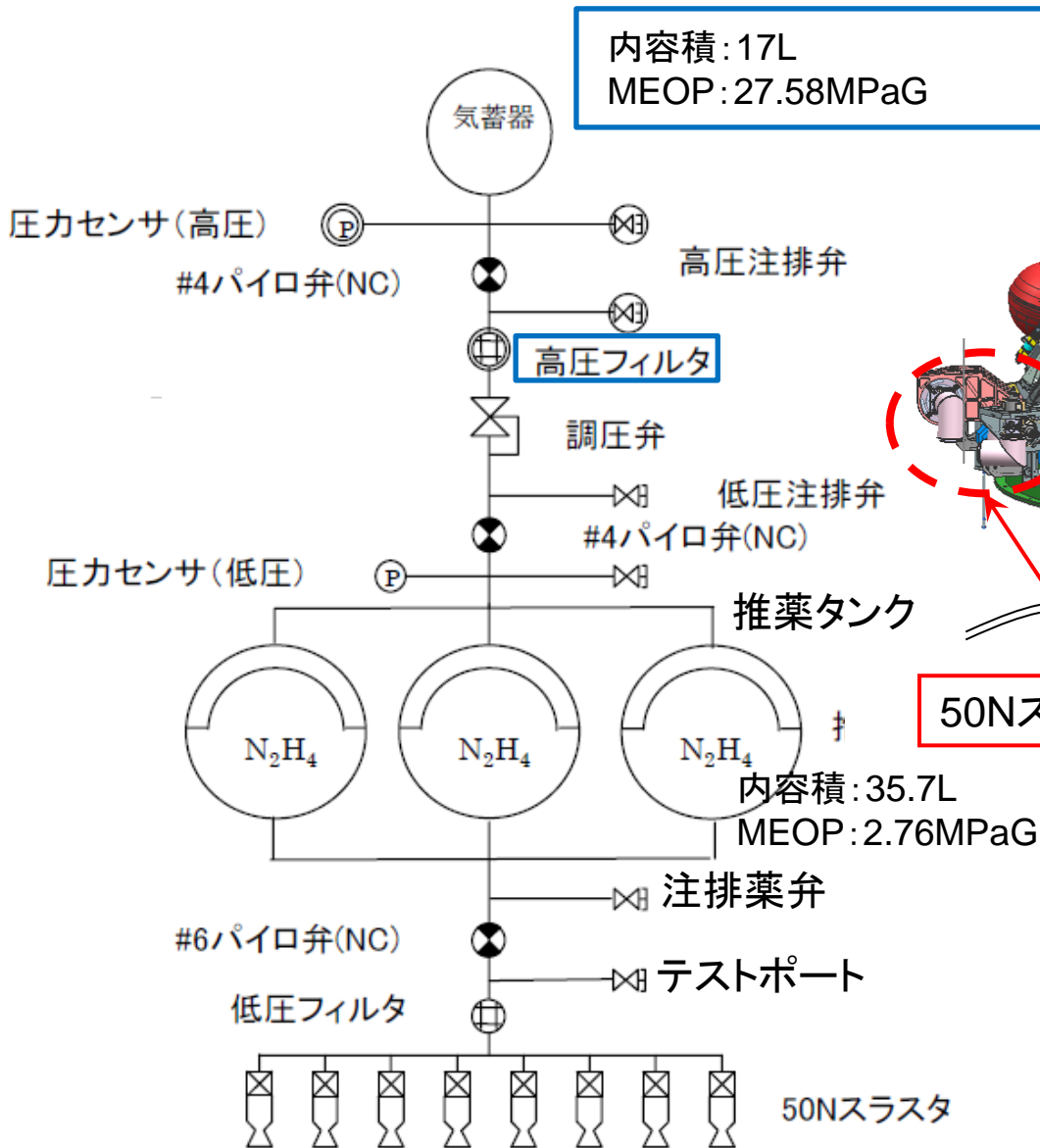
## ラムライン推進薬タンク圧力

# ラムライン作動実績

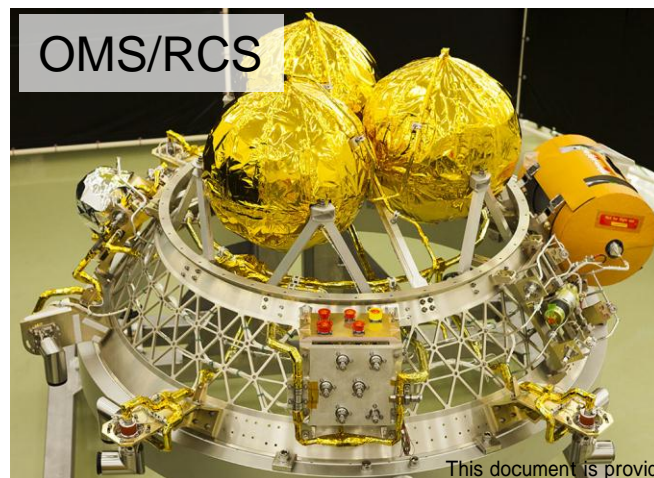
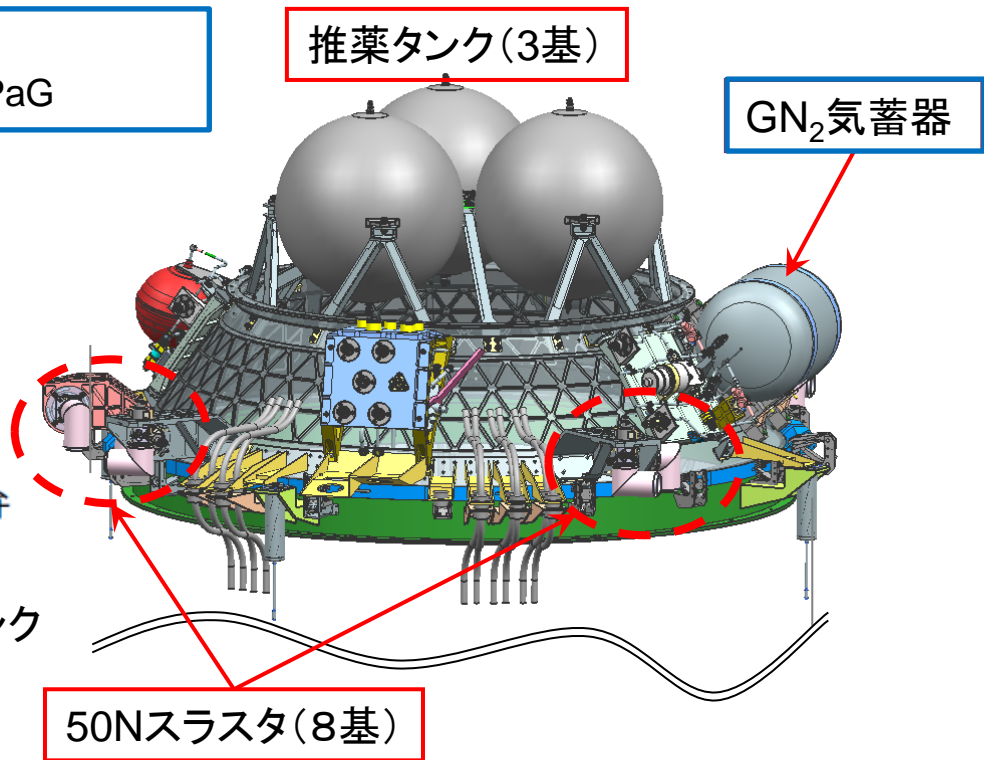
- ラムライン制御終了時までの消費推薬量は約0.10kgであり、TF#1のラムライン有効推薬量0.285kg (NOM)の約35%を消費した。

	TF1フライト実績
Coarse mode (0.4sOn/1.67sec周期)	8回
Fine mode (0.1sOn/1.67sec周期)	2回

# PBS搭載推進系 (OMS/RCS)



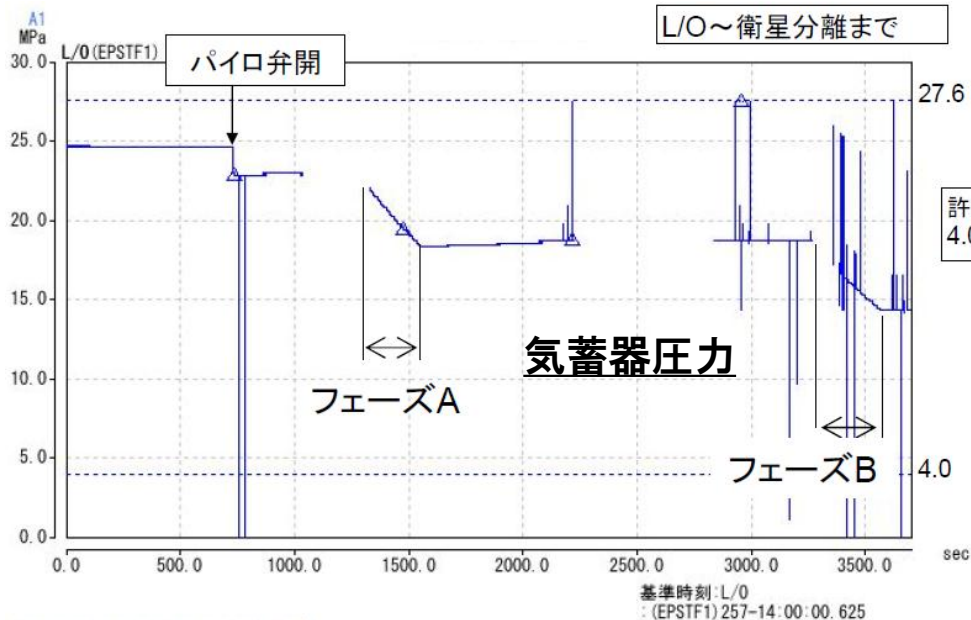
   : 新規開発



# 打ち上げまでの作業

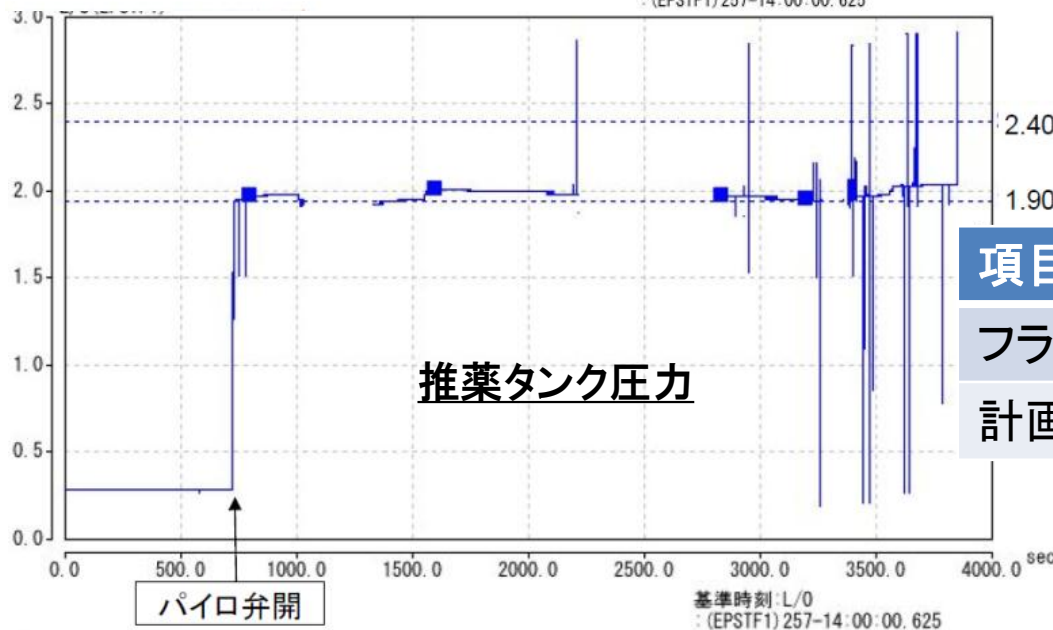
- 試験場での作業
  - ヒドラジン充填
  - タンク加圧
- 試験場～射場間輸送
- 射場での作業
  - 圧力センサ出力確認
  - ラムラインタンク加圧
    - スケープスーツ作業、2H
  - PBSガスタンク加圧(約5H)
  - 調圧弁の機能確認
- 機体への取り付け
  - 推薬弁の動作チェック
  - 注排弁の閉止
  - パイロバルブ用火工品装着
- 打ち上げ当日
  - ステータスの確認
  - 温度データの監視
  - ヒーター電源のON

# PBS搭載推進系OMS/RCSの動作結果



- ・ パイロバルブ動作: 正常
- ・ 気蓄器/タンク圧力履歴: 正常
- ・ 推進薬消費量: 充填量の約半分

(推定, 十分な余裕)



項目	衛星分離時	CCAM終了時
フライト	53kg	67kg
計画値	50kg	69kg



# 熱制御の結果

- 事前の解析結果と良く一致し、各部位の許容温度範囲の真ん中あたりで作動した。

		許容値	単位	結果
RCS	RCSガスジェットガスタンク壁温度(Ⅰ軸)	5～50	°C	23.3～24.1
	RCSガスジェットガスタンク壁温度(Ⅲ軸)	5～50	°C	23.3～25.1
	RCSガスジェット配管温度(Ⅰ軸)	5～50	°C	24.7～29.7
	RCSガスジェット配管温度(Ⅲ軸)	5～50	°C	24.7～30.4
PBS・ラムライン	PBS気蓄器温度	-54～60	°C	-1.2～24.2
	PBSガスジェットタンク壁温度	5～60	°C	30.1～34.3
	ラムラインタンク温度	5～60	°C	29.3～33.5
	PBS推薬弁温度	5～120	°C	25.1～53.6
	PBSパネル温度	5～60	°C	26.0～32.6

# PBS推薬弁作動回数/累積作動時間

- 計画値と良く一致して動作した。

スラスト番号	作動回数 [pulse]	累積作動時間 [s]	作動モード
M1	942	565.5	P,Y,△V
M2	325	577.6	P,Y,△V
M3	291	592.1	P,Y,△V
M4	861	591.7	P,Y,△V
R1	229	15.2	R,P
R2	193	30.3	R,P
R3	240	14.5	R,P
R4	198	29.7	R,P
計	3279	2416.5	

	計画値	TF #1結果
最大作動回数[回]	1255	942

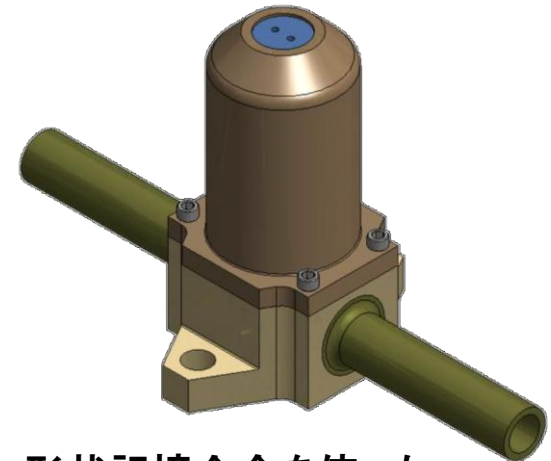
# 次号機に向けて

- 民生品の転用・工場充填等の低コスト策は、良好な結果
- RCS作動が少なく作動量推定精度が十分でなかった
  - 作動量にあった計測範囲への変更
- 射場の危険作業の更なる低減策の検討
  - 危険作業は、高圧ガスの充填、火工品のみ
  - 火工品の削除により工数削減の可能性はある



火薬が必要なバルブ

検討の例



形状記憶合金を使った  
パイロ弁代替品の採用

# まとめ

- イプシロン初号機の液体推進系は、目論見通り、余裕をもった運用結果となった。
- 初号機のフライトで得られた成果，抽出された課題を次号機以降の推進系の運用の効率化，輸送性能の向上に役立てたい。
- 初フライトのコンポーネントの更なる利用を進めたい
  - 20N推薬弁
  - 市販品転用の気蓄器
  - ラムライン用推薬タンク