



# 基幹ロケット高度化開発と飛行結果

基幹ロケット高度化プロジェクトチーム  
宇宙航空研究開発機構

○石川 主税、藪崎大輔、川上道生

# 1. はじめに

平成27年11月24日我が国初の商業衛星打上げ成功



Telesat 12V



Telesat (カナダ)

- ✓ 世界初のTV衛星中継(1962)
- ✓ 世界初の商業通信衛星(1972)
- ✓ 商業衛星市場で世界有数のオペレーター

基幹ロケット高度化

2011年に開発着手



打上げサービス受注活動

2007年にMHI民間移管。(F13以降)



# 1. はじめに

## H-IIA 29号機の特徴

- ✓ 高度化仕様を適用(2段)
- ✓ 11号機以来の9年ぶりの204型(SRB-Aが4本)

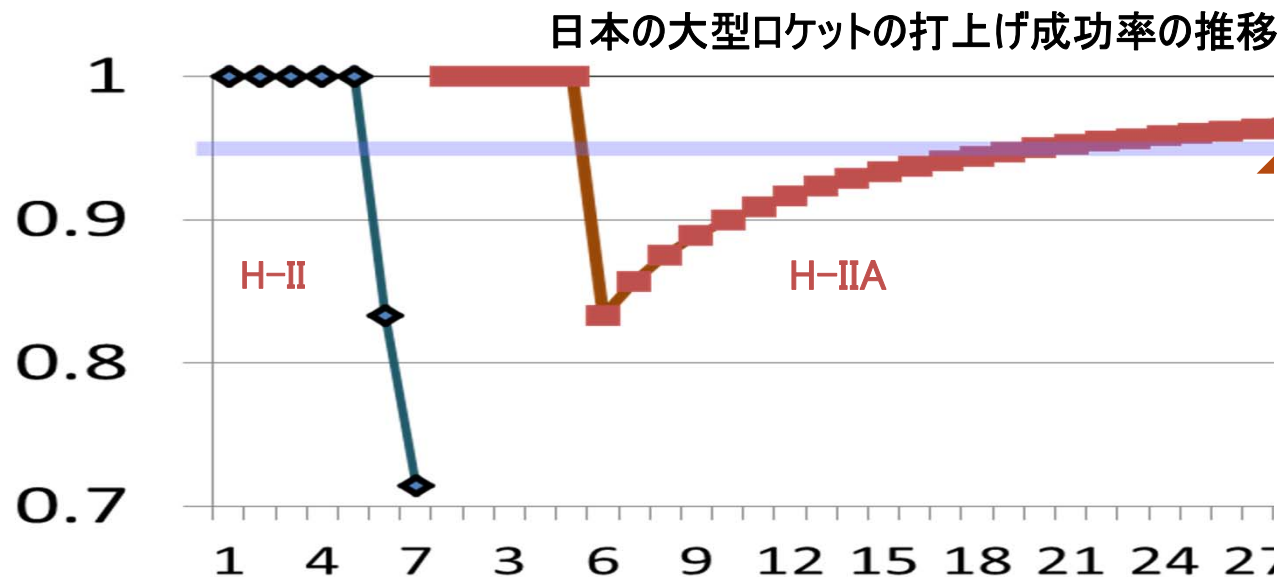


## 2. 背景

- 日本の基幹ロケットにはH-IIA、H-IIB、イプシロンが位置づけられている。
- H-IIAは、2001年の試験機打ち上げからの14年の間に28機を打ち上げ、日本の宇宙開発・利用に貢献。運用経験を積む中で高い信頼性を築き上げ、世界トップクラスの打ち上げ成功率と世界一のオンタイム打ち上げ率を構築。
- 一方で14年の間には競合ロケットの台頭、人工衛星の打ち上げ需要の変化、設備の老朽化などの課題に直面

- 日本の宇宙開発・利用を支える輸送システムを維持・発展させるため、課題に対応した取り組みが必要。
- この取り組みは、将来(H3やイプシロン)につながるものとする必要がある。

## 2. 背景 ～世界最高水準の信頼性～



世界の主要大型ロケットの打上げ成功率とオンタイム打ち上げ率

ロケット	成功率(成功数／打上数) <sup>※1</sup>	オンタイム打上率 <sup>※2</sup>
欧:アリアン5(ES/ECA)	98.2% (55／56)	74.1%
米:アトラス5	98.2% (55／56)	69.7%
<b>日:H-IIA/B</b>	<b>97.0% (32／33)</b>	<b>93.3%</b>
米:デルタ4	96.7% (29／30)	50.0%
米:ファルコン9	94.7% (18／19)	25.0%
露:プロトンM	89.1% (82／92)	no data

※1: 2015年9月30日時点データ。

※2: 2010年4月1日から2015年3月31日の期間の打ち上げで、あらかじめ定められた日時に打ち上げを行った割合。天候による延期を除く。

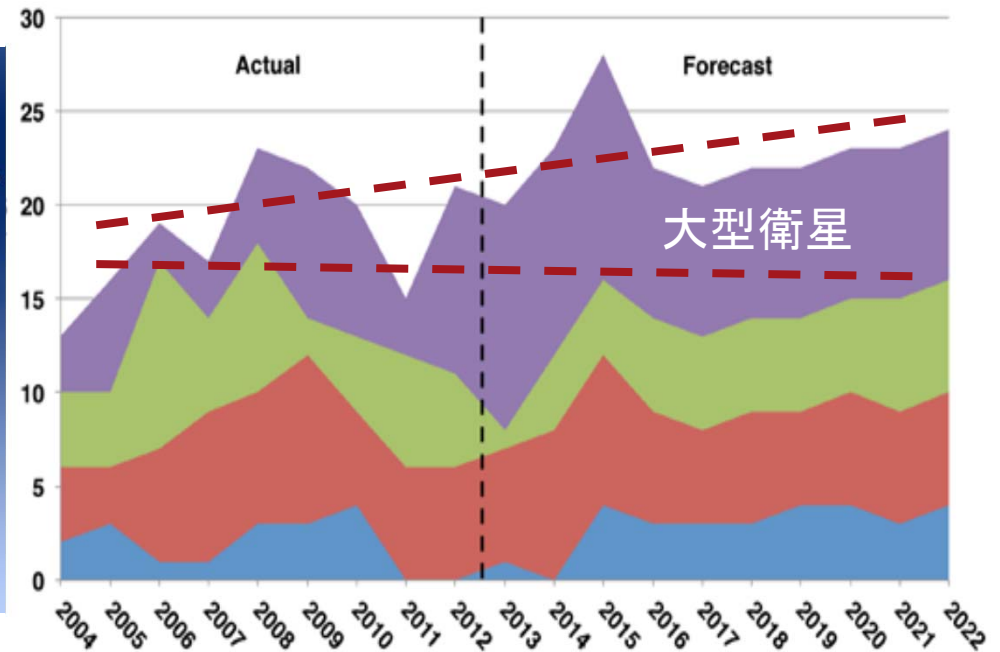


## 2. 背景 ～H-IIAロケットの課題～

- 競合ロケットの登場・改良
- 打ち上げ市場の変化
- 設備の老朽化



- 競争力低下
- 打ち上げ能力不足
- 宇宙開発予算圧迫



出典: Commercial Space Transportation Forecasts, COMSTAC

## 2. 背景 課題とプロジェクトの取り組み

- 課題に対し、長期的な視点に立った継続的システム開発の一環として、H-IIAロケットの改良開発である基幹ロケット高度化を実施。

### ロケットの機能・性能の向上

- 【課題】海外のロケットの台頭や、人工衛星からの打ち上げ需要の変化があり、商業衛星打ち上げ市場での競争力が低下。
- 【取組】信頼性の高い現行の設計を大きく変えることなく、商業衛星打ち上げ市場に対応するロケットとすることで、国際競争力の向上を図る。

### ロケット運用基盤の強化

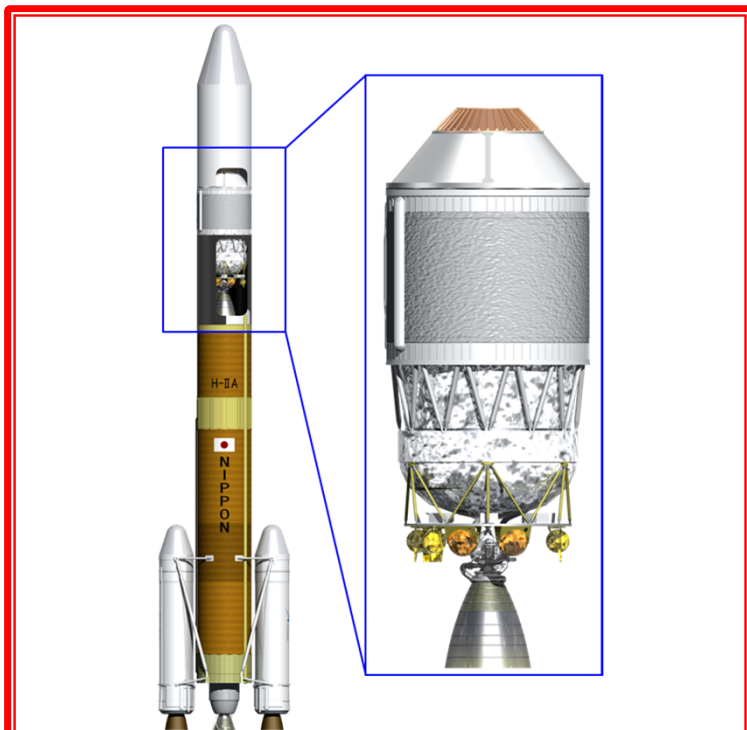
- 【課題】地上設備の老朽化に伴う、維持・更新コストの上昇。
- 【取組】中長期的な設備維持・更新コストを大幅に削減。

# 2. 背景

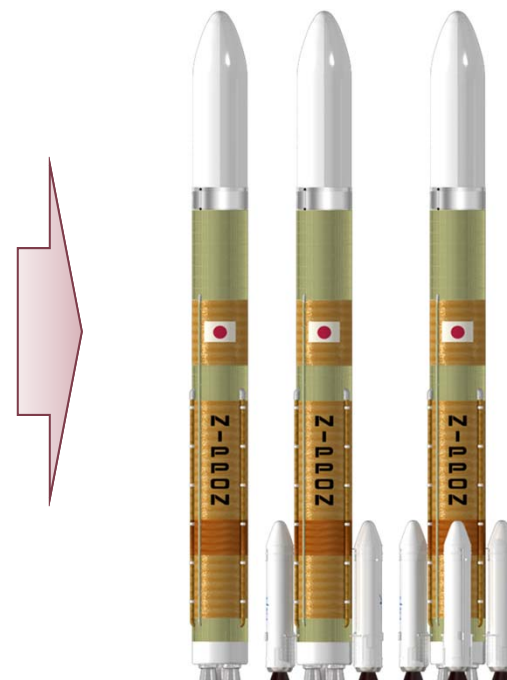
▶ H3ロケット等, 今後のロケット開発に繋がる技術を獲得



H-IIA H-IIB



基幹ロケット高度化  
~ 来月飛行実証 ~



H3ロケット  
~2020年試験機打上げ~

	<b>2段改良</b>	<b>システム刷新</b>
推薬マネジメント 輸送需要 基盤経費削減 (飛行安全システム高度化)	トリクル予冷 / 蒸発量25%/day 静止化ΔV低減 / 衝撃環境緩和 追尾系オンボード化	循環予冷 / 蒸発率10%/day 多様な衛星ニーズへの対応 ダウンレンジ局の遠隔操作



# 3. 高度化開発概要

- ▶ 喫緊の課題に対し、長期的な視点に立った継続的システム開発の一環として、H-IIAロケットの第2段に対する改良開発.

## 基幹ロケット高度化プロジェクト

### ロケットの機能・性能の向上

(1) 静止衛星打ち上げ性能の向上

<H-IIA29号機に適用>

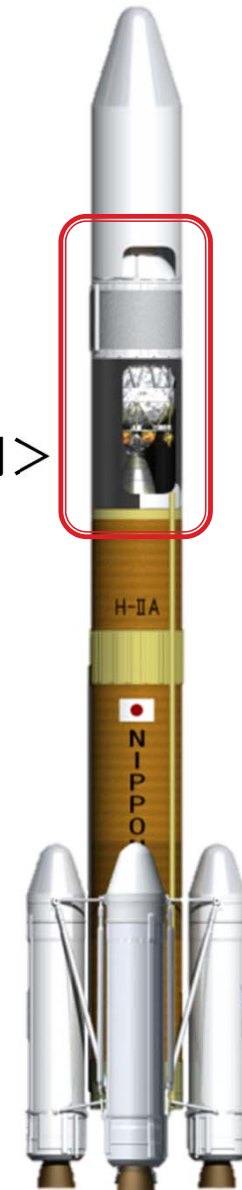
(2) 衛星搭載環境の緩和

<H-IIA30号機にてデータ取得>

### ロケット運用基盤の強化

(3) 地上レーダ不要化に向けた航法センサ開発

<H-IIA29号機にてデータ取得(その後、イプシロンロケット、H-IIBロケットでデータ取得した後、実運用の予定)>



### 3. 高度化開発概要

#### 基幹ロケット高度化プロジェクト

##### ロケットの機能・性能の向上

(1) 静止衛星打ち上げ性能の向上

(2) 衛星搭載環境の緩和

##### ロケット運用基盤の強化

(3) 地上レーダ不要化に向けた航法センサ開発

動画にて説明

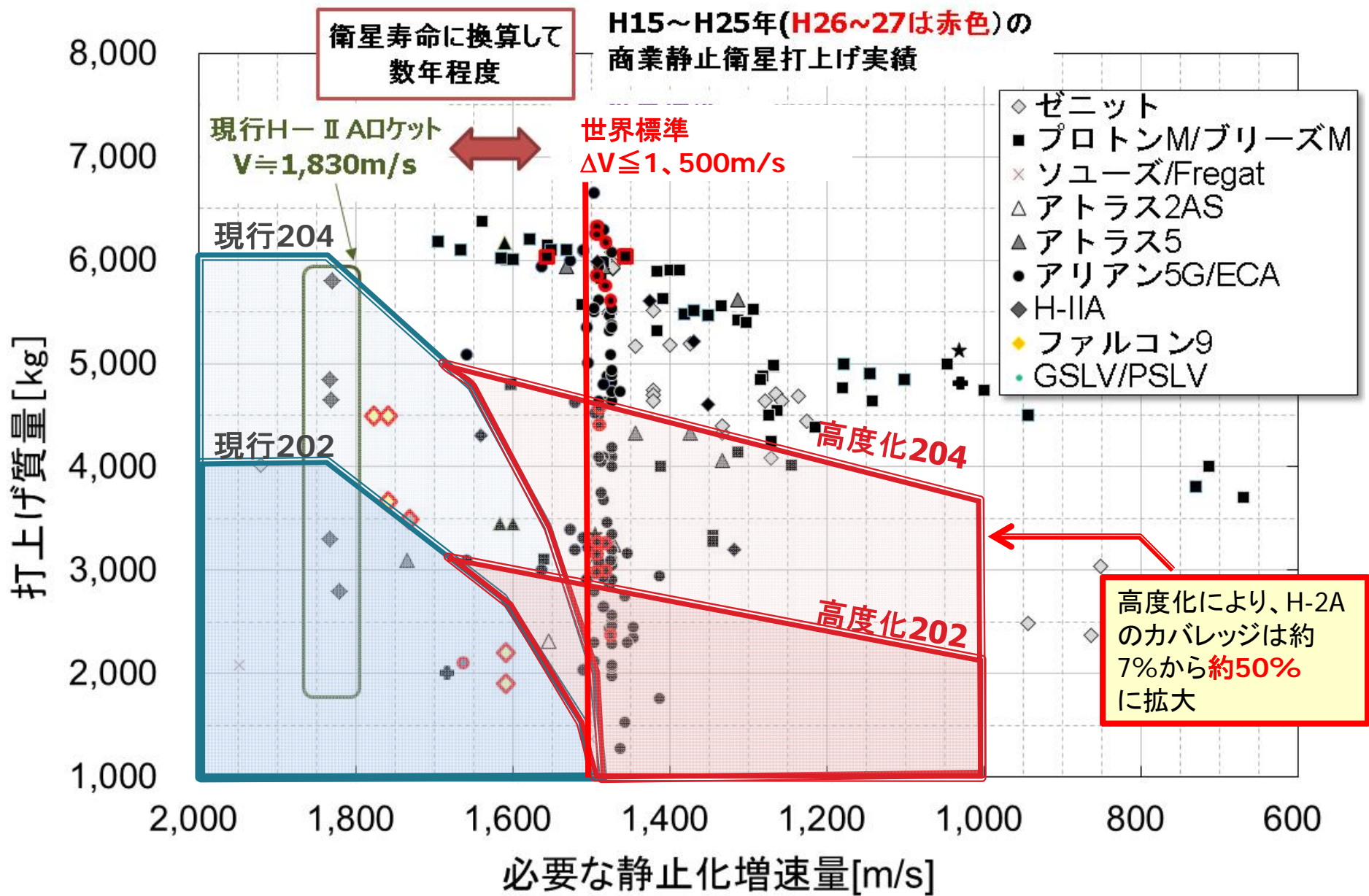


図-1 GTO衛星打上げ実績と高度化による能力向上範囲

# 4. 開発内容と飛行結果

## (飛行結果概要)

■ H-II A29号機の飛行結果は良好であり、衛星を所定の軌道に精度良く投入した。

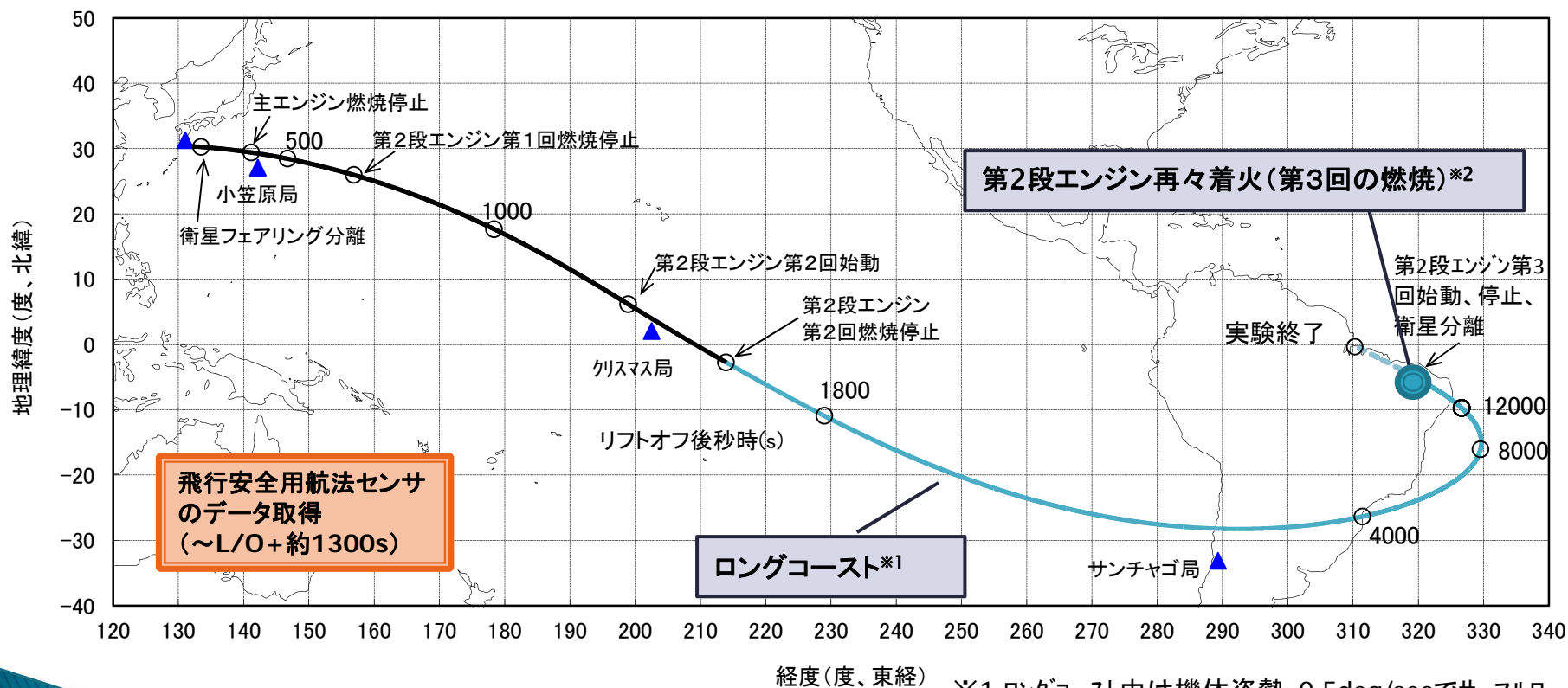


図-2 飛行経路～H-IIA・F29～

※1 ロングコースト中は機体姿勢:0.5deg/secでサーマルロールを実施。太陽方位角80deg～110degに制約。  
 ※2 第2段エンジン再々着火は60%スロットリングを適用。



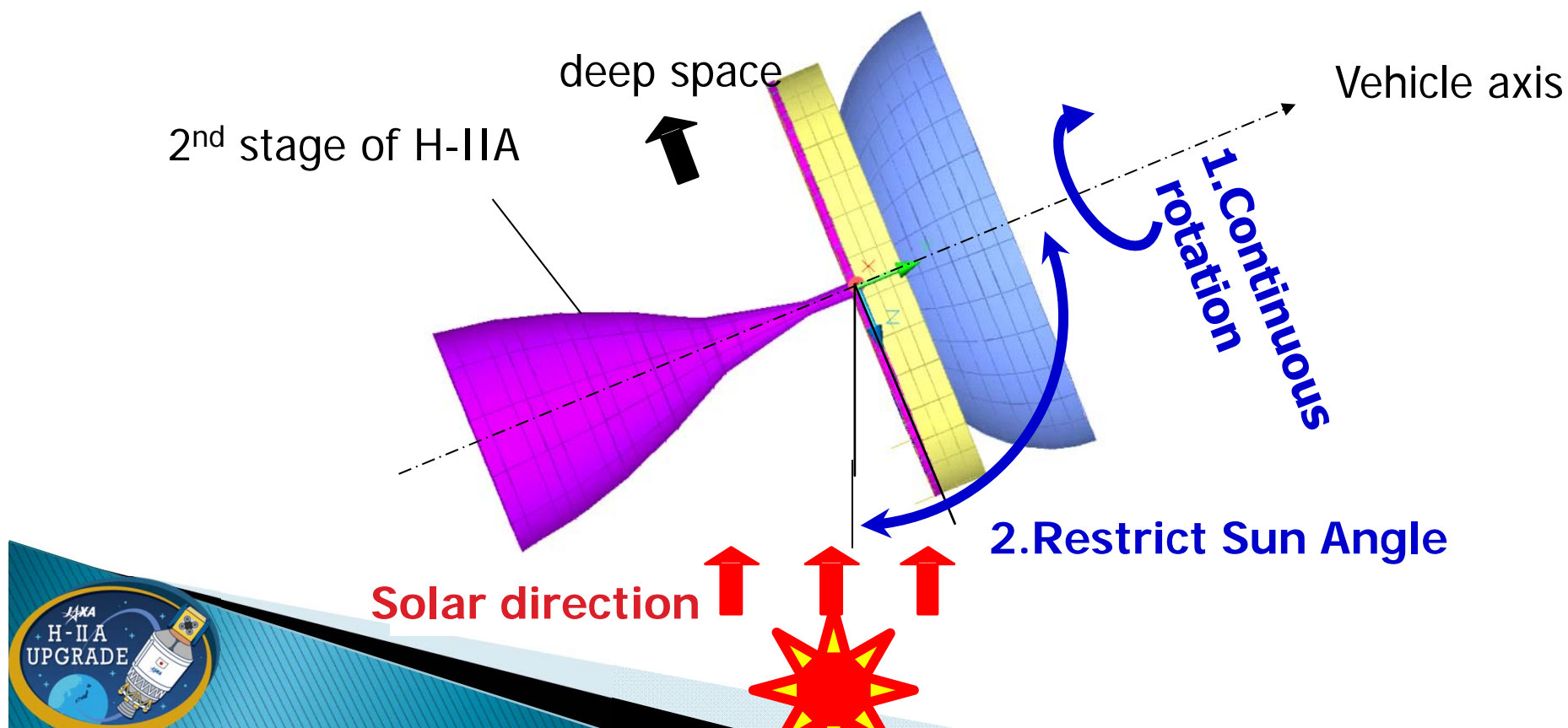
# 4. 開発内容と飛行結果

## ① ロングコースト中の熱制御

1. ロール制御

+

2. 太陽光入射方向の制限

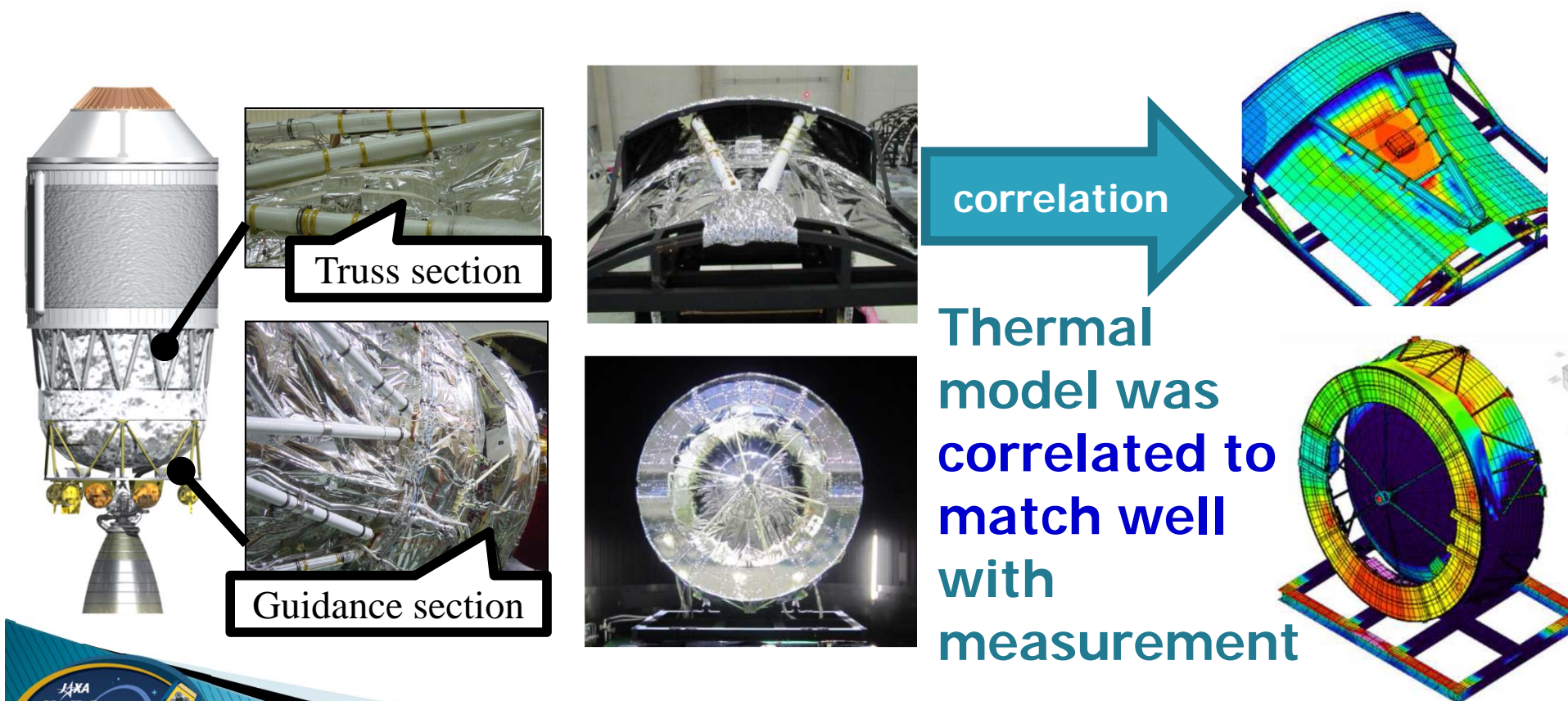




# ①ロングコースト中の熱制御

地上における熱真空試験において、熱解析モデルの詳細化を実施(つくば宇宙センターφ8m真空チャンバ)

- ・不確定なボルト結合部やベアリングの熱コンダクタンスの同定
- ・MILの鏡面反射率の同定



# ①ロングコースト中の熱制御

## 熱解析結果

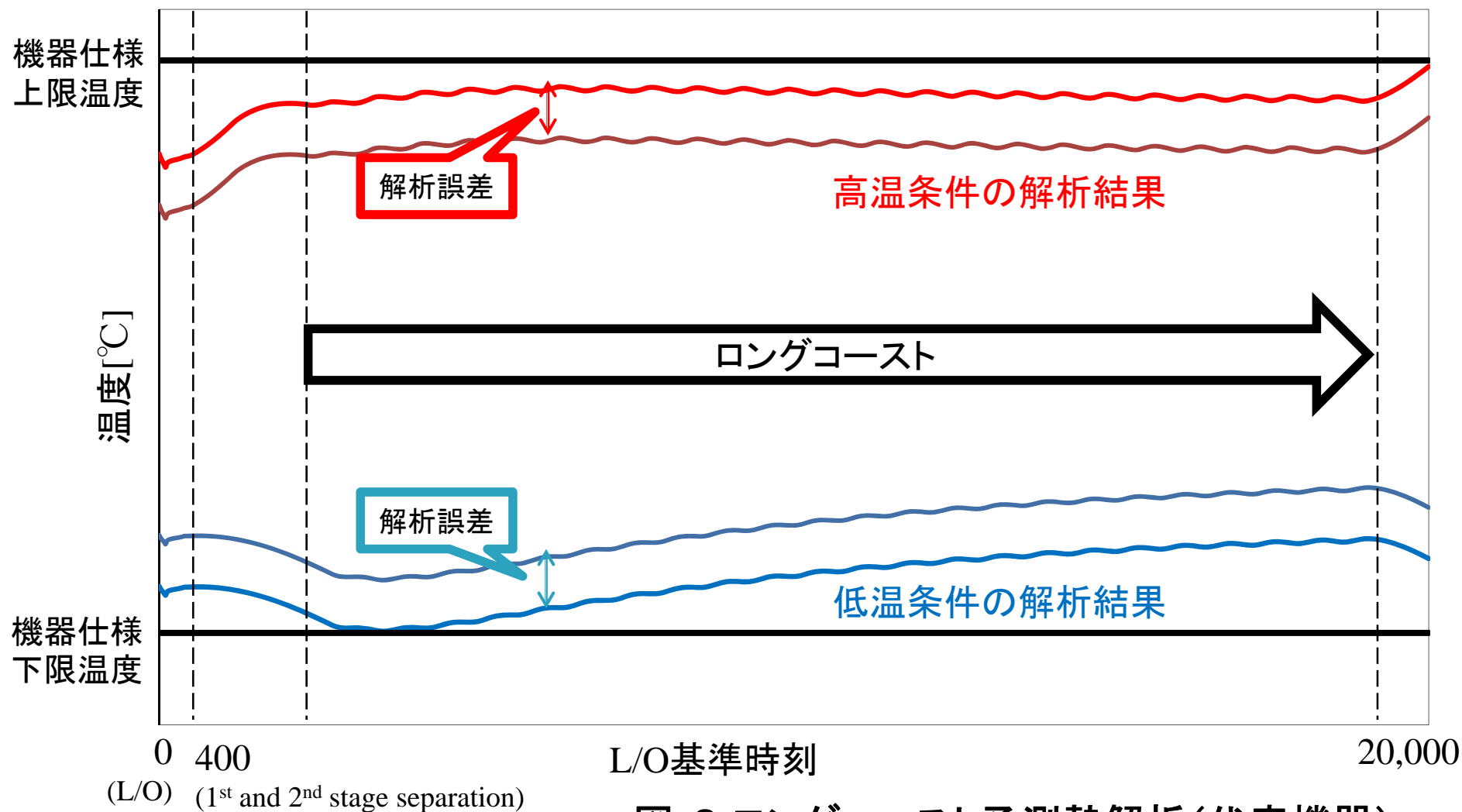


図-3 ロングコースト予測熱解析(代表機器)

# ①ロングコースト中の熱制御 飛行結果

ロングコースト中に各機器の取付面における温度が、要求値で安定していることを確認した。

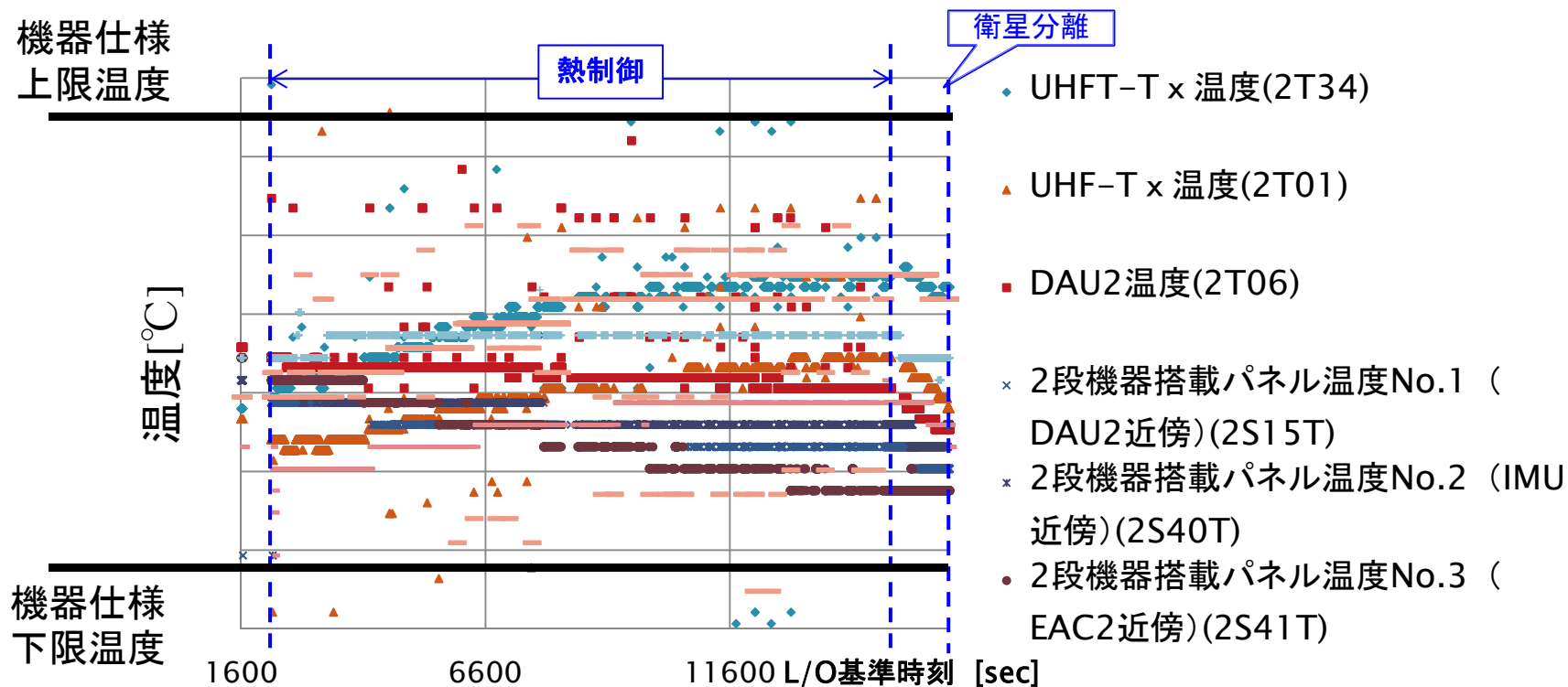
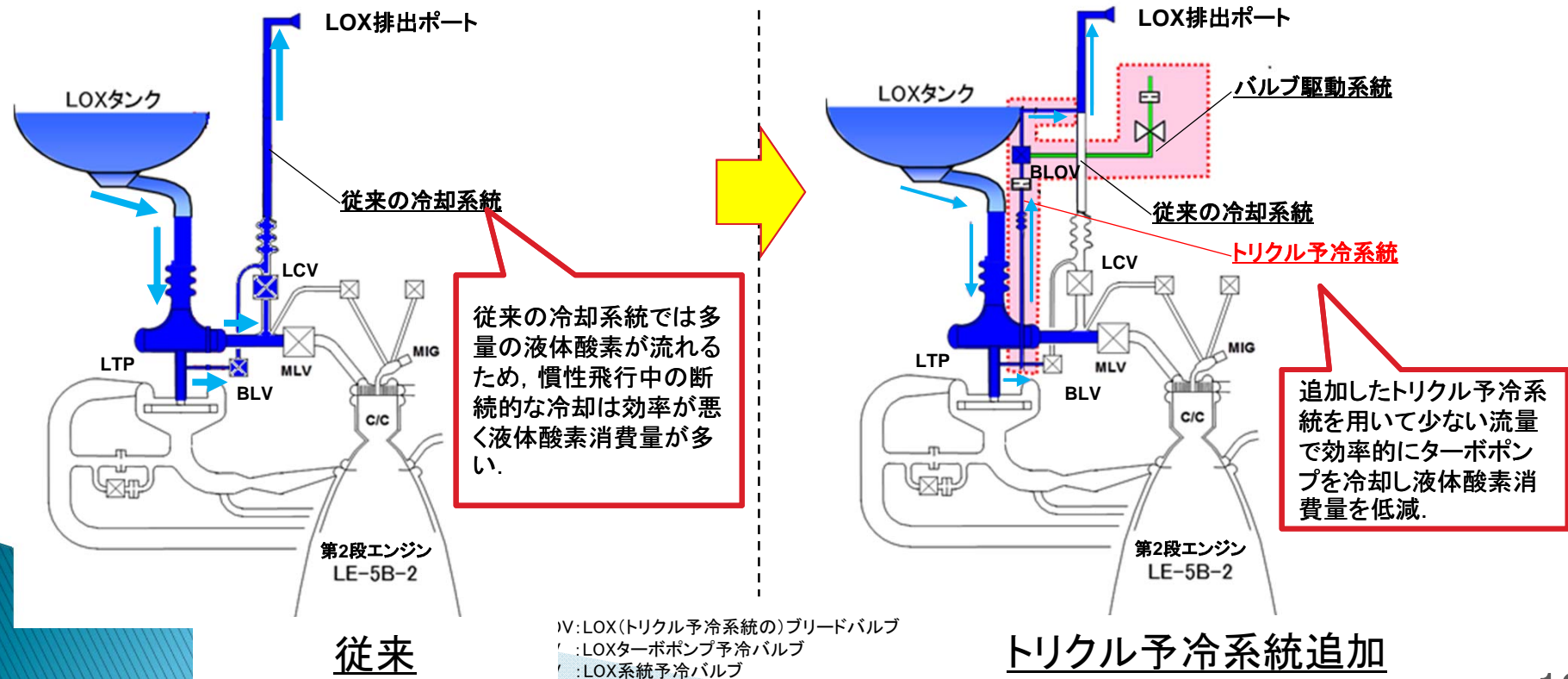


図-4 搭載機器(機器搭載パネル・タンク間トラス部) 温度評価

## ②エンジン冷却機能の改良

- エンジンを着火するには、ターボポンプ(エンジンの一部)をあらかじめ冷やしておく必要があり、そのために慣性飛行中には液体酸素/液体水素を消費している。
- 長時間慣性飛行(ロングコースト)をするにあたり、新たな予冷方式(『トリクル予冷』と呼ぶ)を開発し、液体酸素の消費量を大幅に減らし、エンジン作動に使用できる液体酸素の量を増やす。





## ②エンジン冷却機能の改良

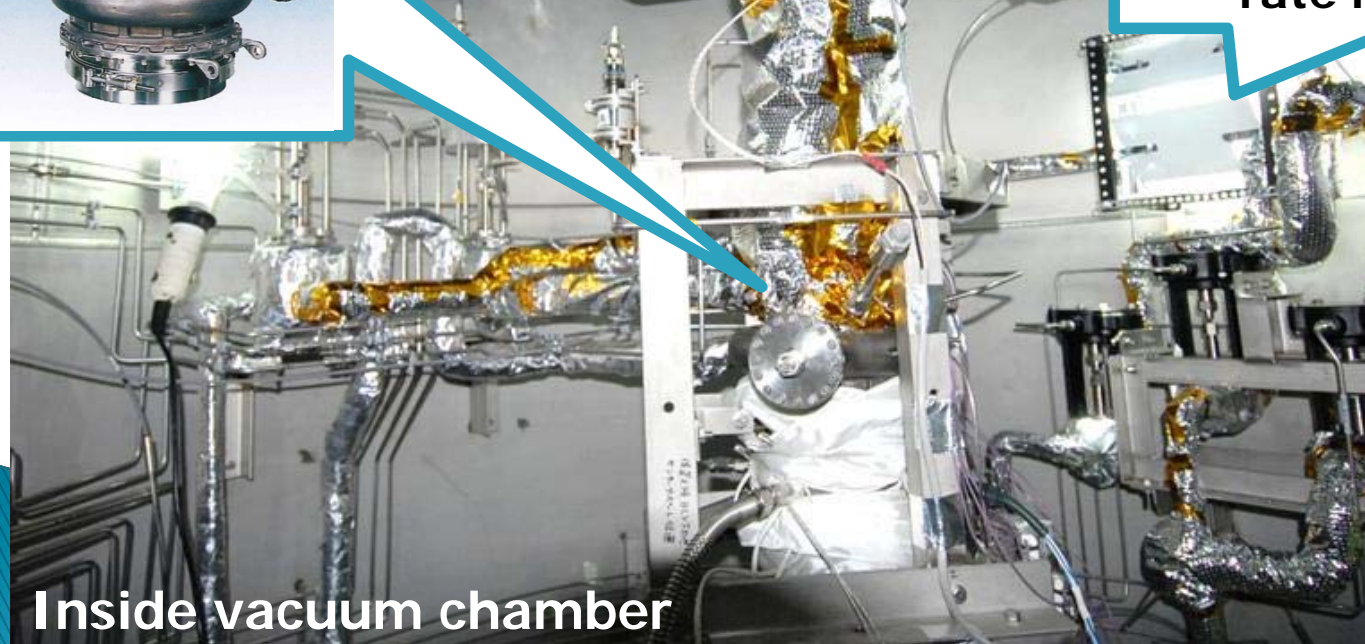
### 地上試験概要

- ✓ Chill-down experiment of LE-5B-2 LOX turbopump
- ✓ To find 5-hour-long efficient chill-down sequence

LE-5B-2 Turbopump

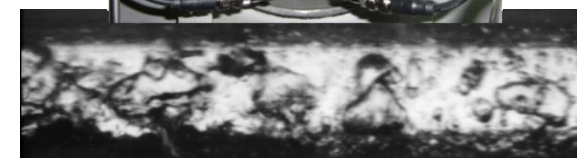
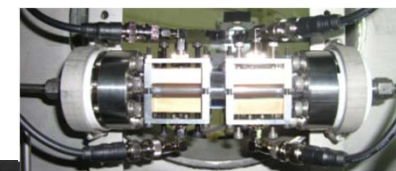


LN2 Tank



Inside vacuum chamber

Void meter & flow visualization



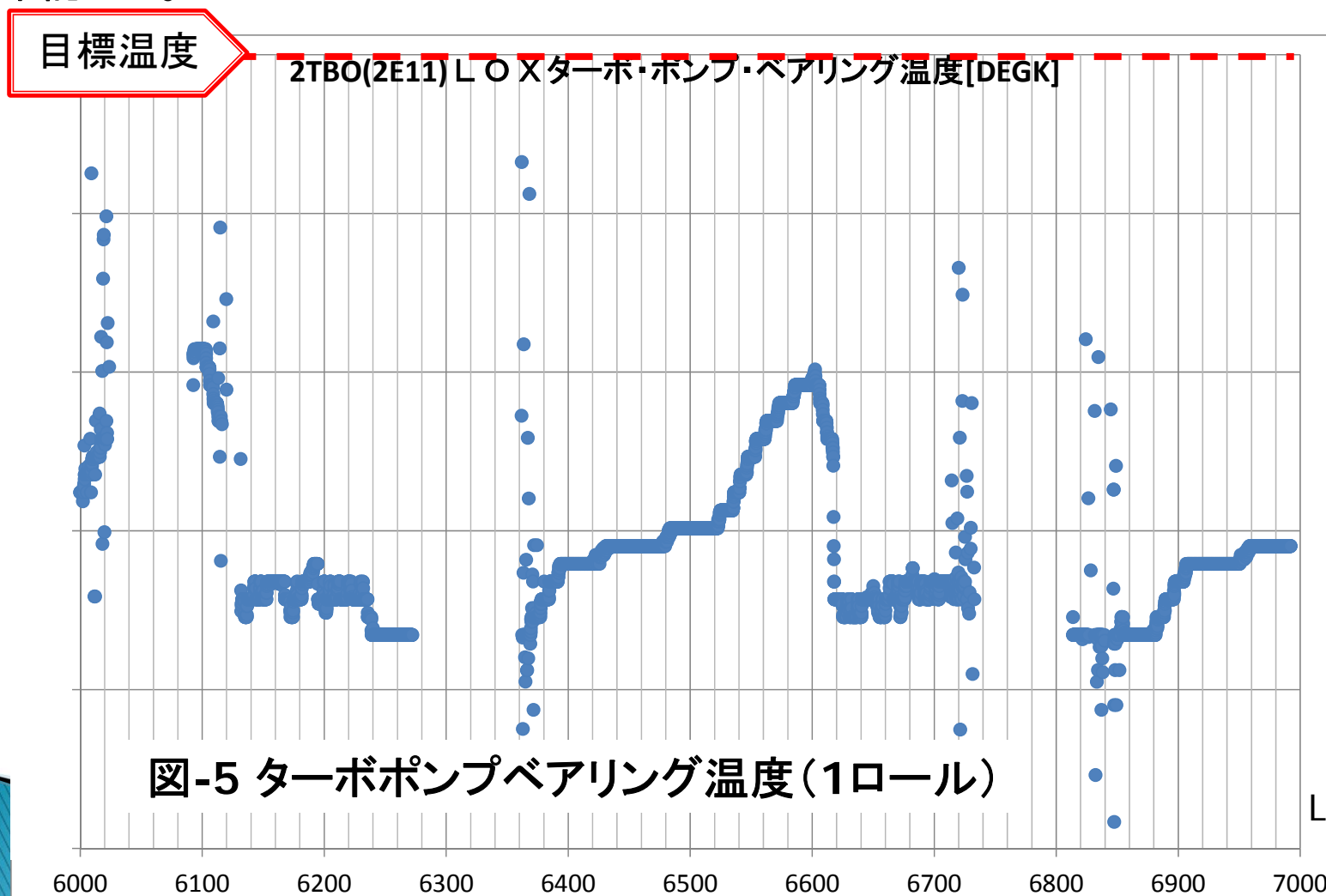
Two-phase mass flow rate measurement



## ②エンジン冷却機能の改良

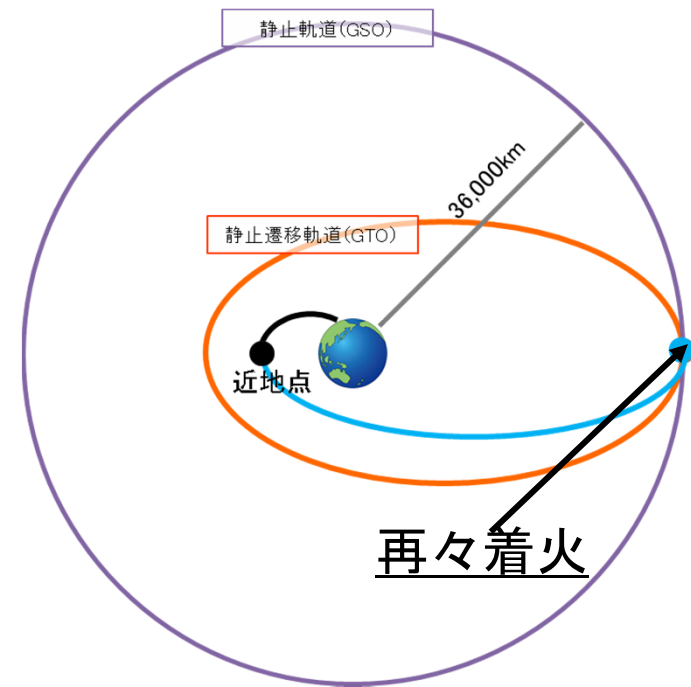
### 飛行結果

ターボポンプの軸受温度が、目標温度以下に収まっており十分に冷却されていることを確認した。

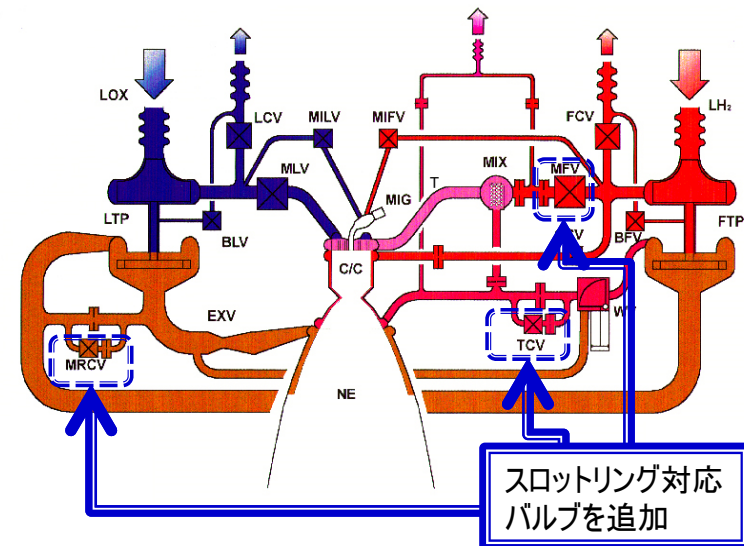


### ③2段エンジン再々着火技術

- ロングコーストしたのちに、衛星を増速するために、2段エンジン再々着火が必要。
- 静止軌道付近(遠地点)ではロケットの速度が遅く、2段エンジンをフルパワーで着火させた場合、推進力が大きすぎて目標の軌道に精度よく投入できないため、エンジン推力を60%に絞って作動させる「スロットリング機能」を追加し、高精度の軌道投入を可能にした。



LE-5B-2エンジン開発試験  
(於角田宇宙センター 高圧燃焼試験設備)



LE-5B-2エンジンスロットリング作動

# ③2段エンジン再々着火技術

## 飛行結果

第3着火中のスロットリング作動において、燃焼が安定していることを確認。

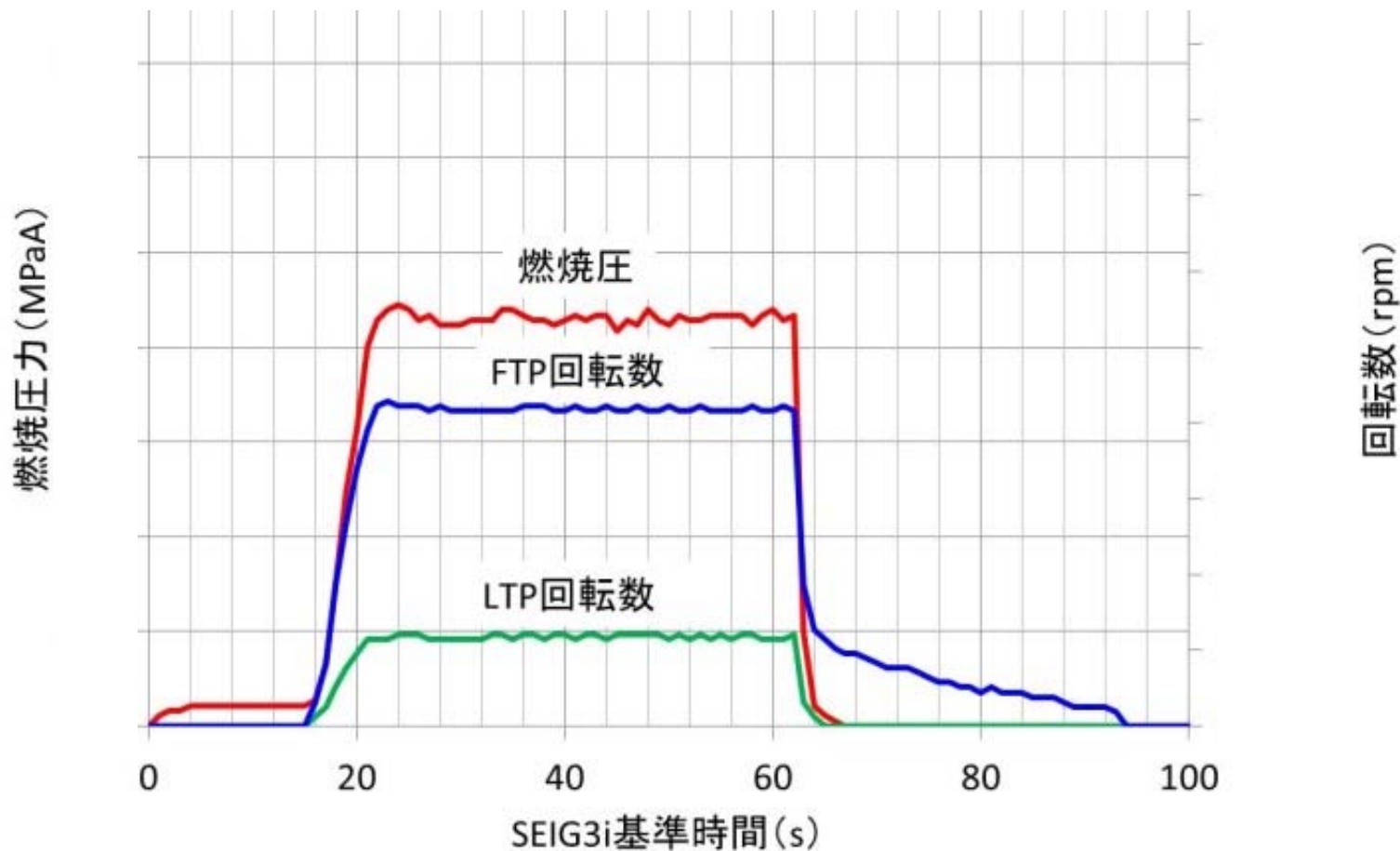


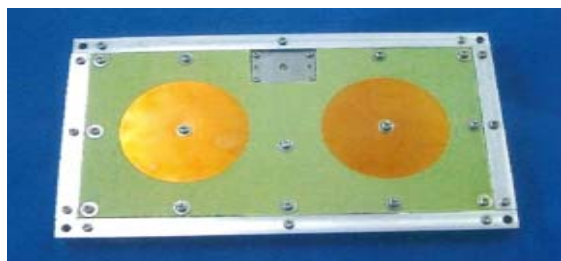
図-6 スロットリング作動 燃焼圧・ポンプ回転数

## ④ 搭載機器改良

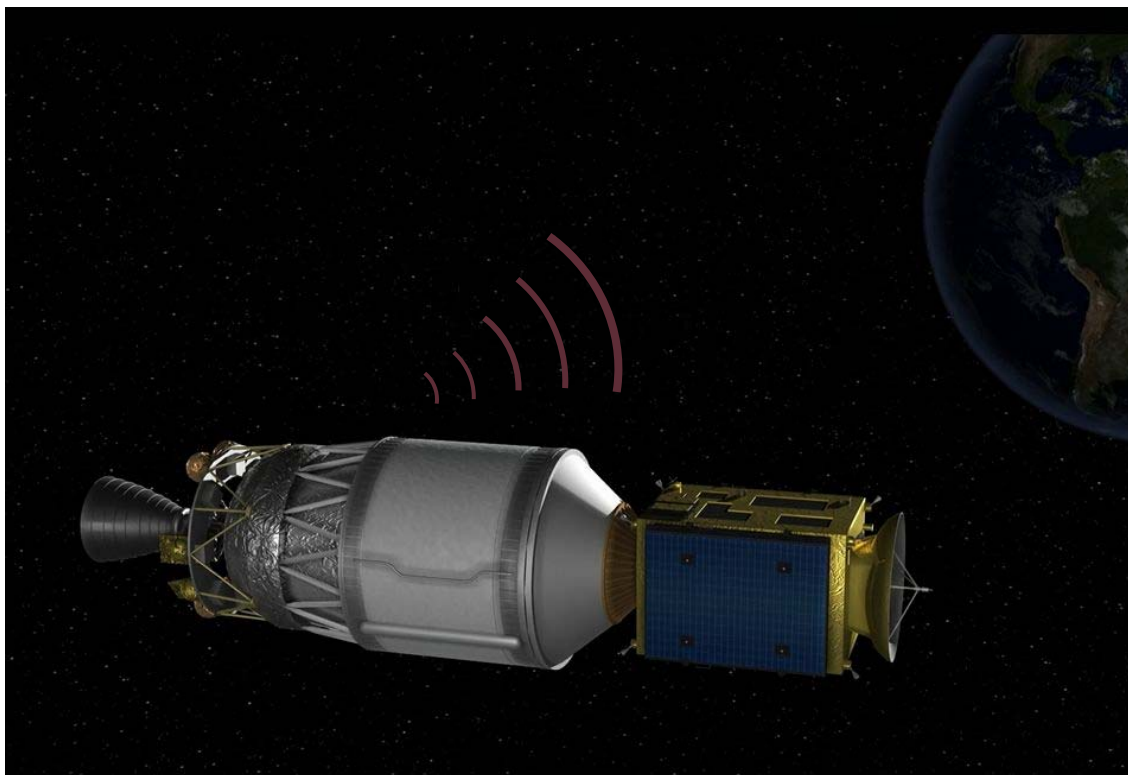
- ロングコースト中、電子機器の電源を確保するために大容量リチウムイオン電池を開発。
- 静止軌道付近でも機体の状況を確認できるよう、地上から36,000km離れた場所でも通信可能な高性能アンテナを搭載。



大容量リチウムイオン電池



長距離通信用の高利得アンテナ





# ④ 搭載機器改良

## 飛行結果

RFリンク解析結果に比べ、サンチャゴ局の受信レベルが良く、テレメータデータが良好に受信出来たことを確認した。

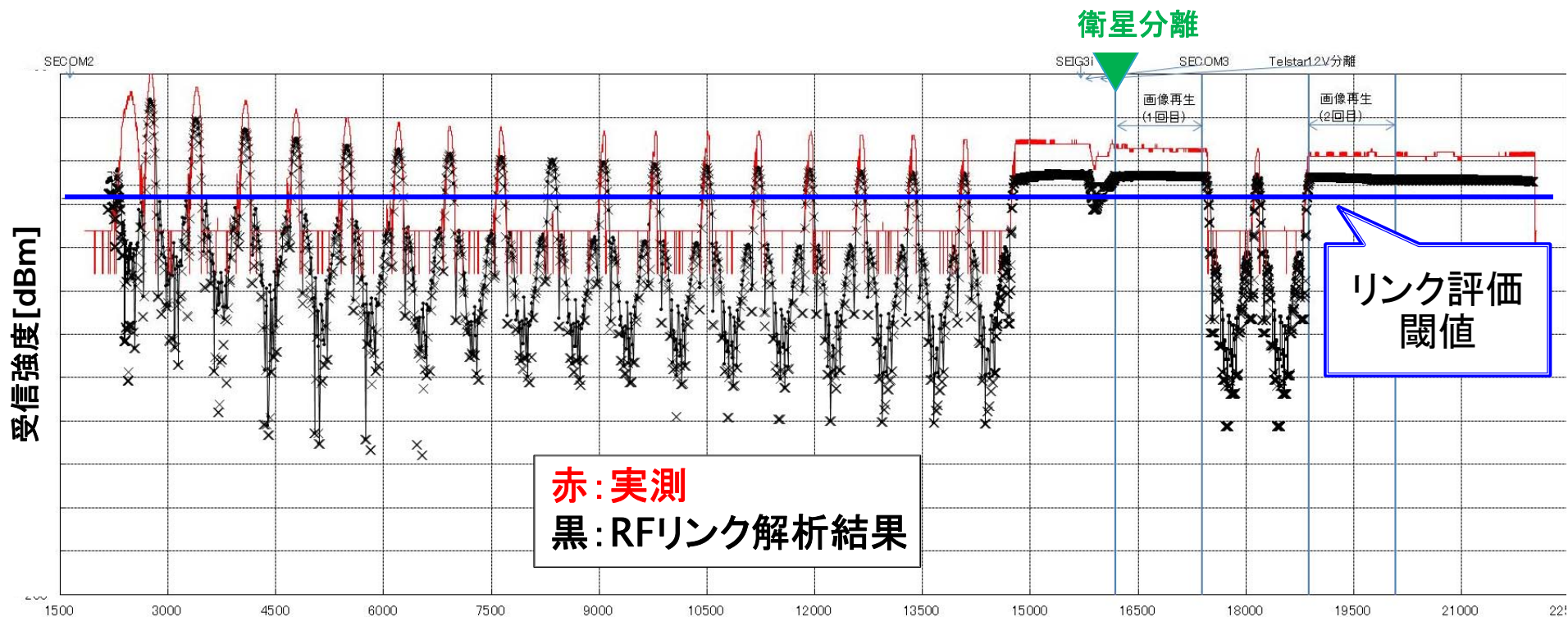


図-7 RFリンク解析結果と飛行結果



# 4. 開発内容と飛行結果

## 基幹ロケット高度化プロジェクト

### ロケットの機能・性能の向上

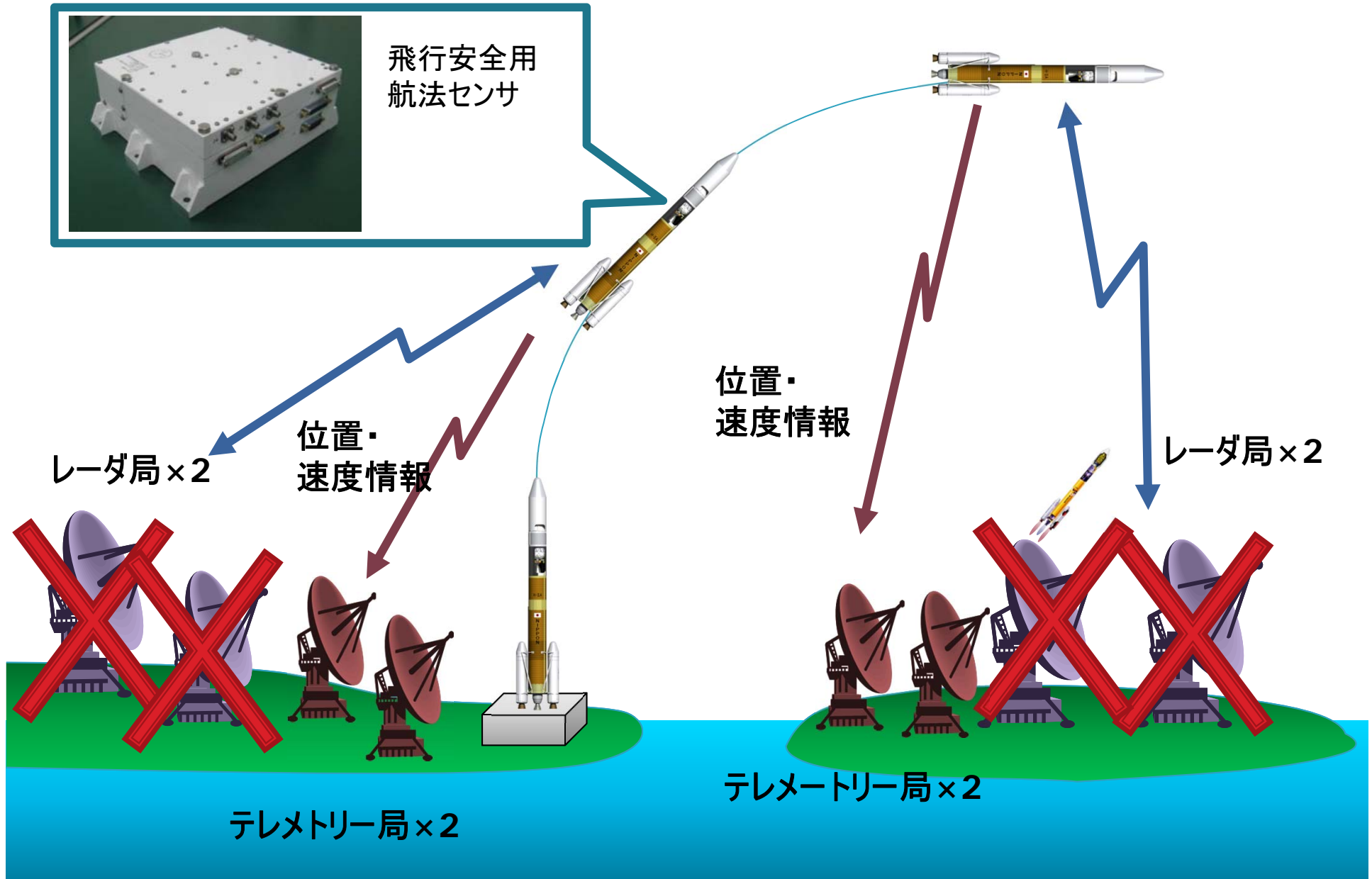
(1) 静止衛星打ち上げ性能の向上

(2) 衛星搭載環境の緩和

### ロケット運用基盤の強化

(3) 地上レーダ不要化に向けた航法センサ開発

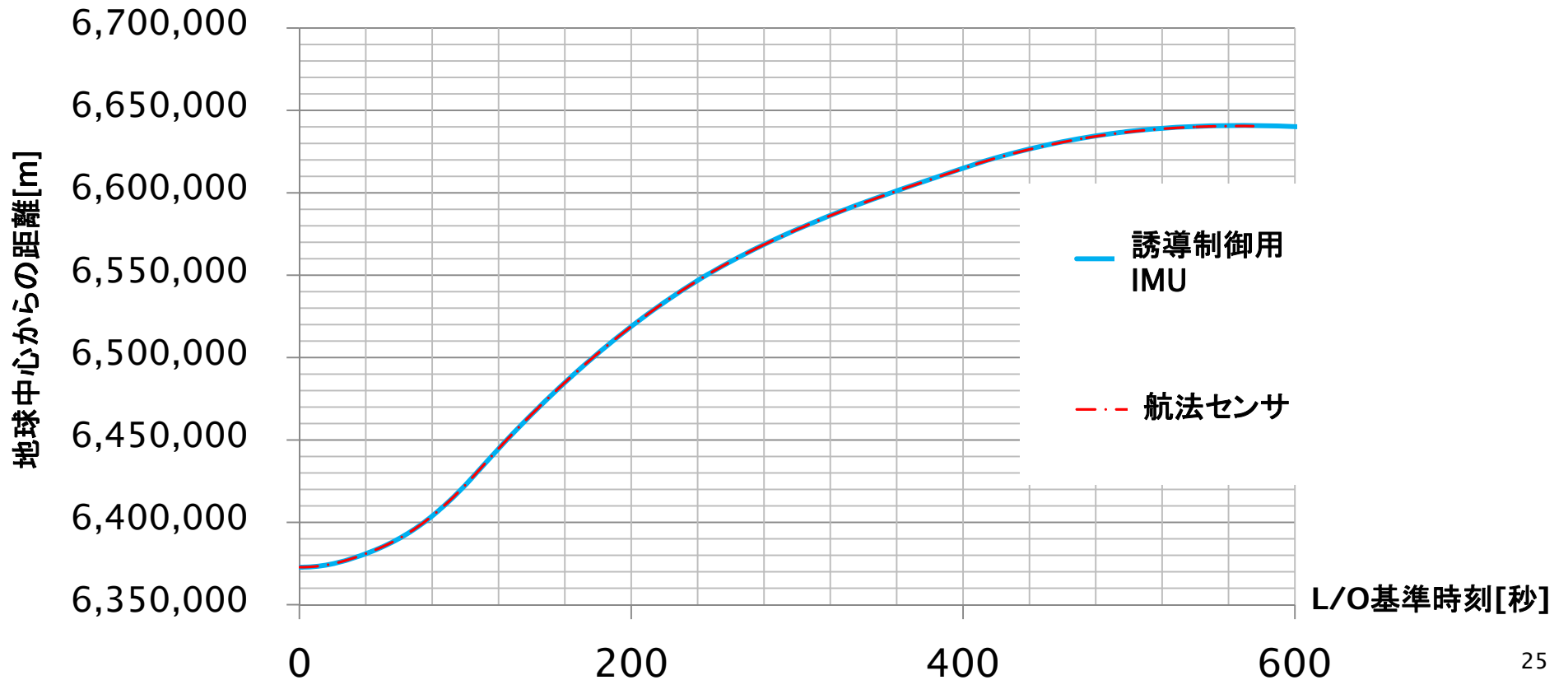
### ③飛行安全用航法センサの開発



### ③飛行安全用航法センサの開発

## 飛行結果

誘導制御に用いるIMUと同等の性能を確認。



IMUとの差分評価(位置)

## まとめ

- H-II A29号機の飛行結果は良好であり、性能面において国際競争力をもつH-II Aとすることが出来た。
- 今後、H-II A30号機にて、低衝撃型衛星分離部の実証フライトを行う計画。
- レーダ局設備を不要とするため、イプシロン2号機にて航法センサの飛行実証を行う。



