



2013年9月20日(金)  
第1回シンポジウム@武田先端知ビル

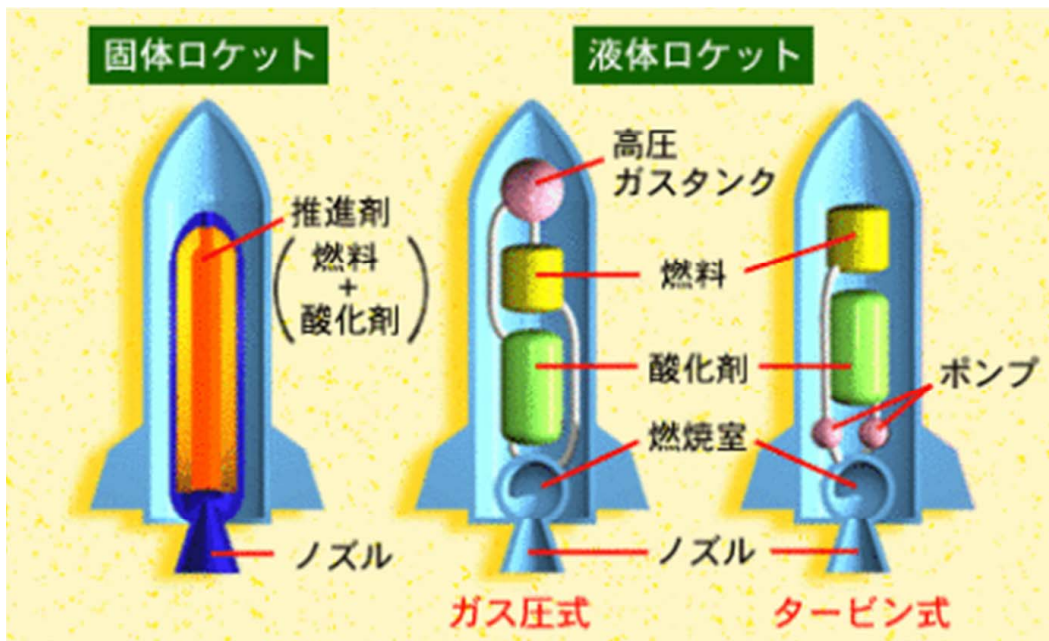
# 推進薬熱流動モデリングの研究

社会連携講座 特任准教授 井上 智博

東大 姫野 武洋

JAXA/JEDI 谷 直樹・梅村 悠

## ロケットの種類



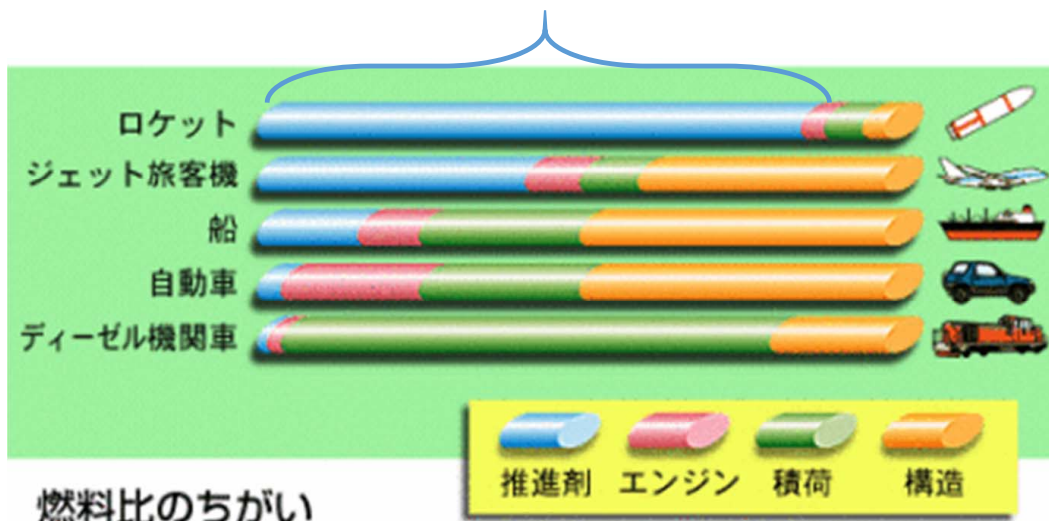
[http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/solid\\_liquid\\_rockets.html](http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/solid_liquid_rockets.html)

※大型ロケットはタービン式を採用



## 液体ロケットの構成

液体ロケット全体の重量の大部分を推進剤が占める

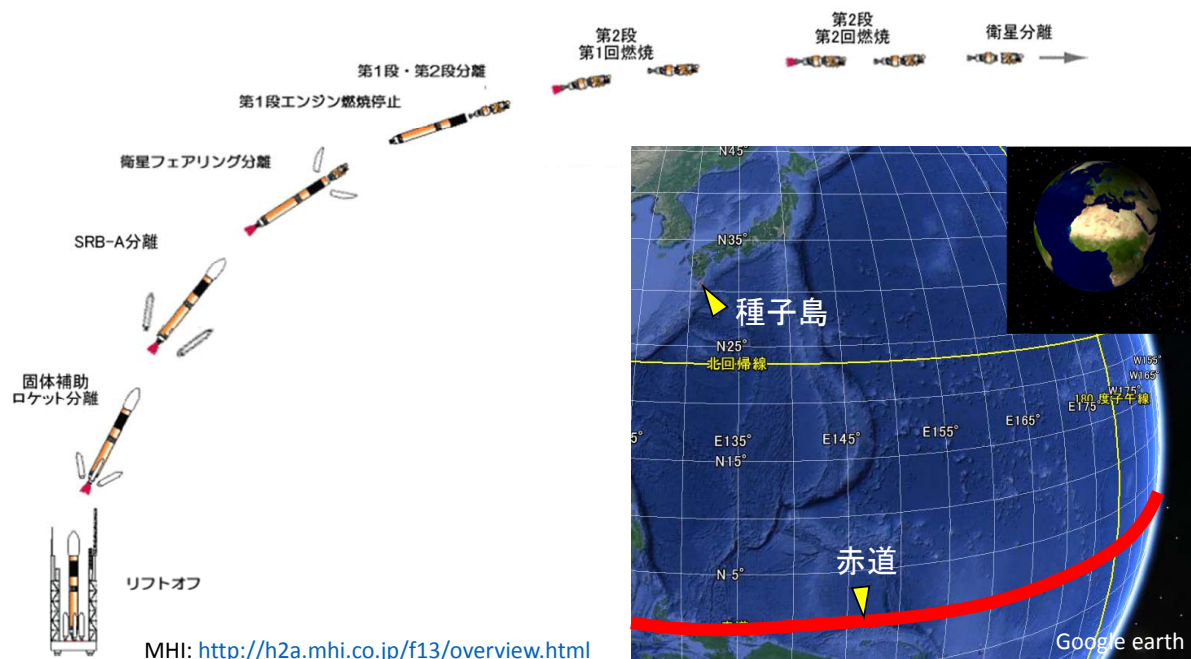


[http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/need\\_speed.html](http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/need_speed.html)

※ロケット推進剤（推進薬）＝ 燃料＋酸化剤

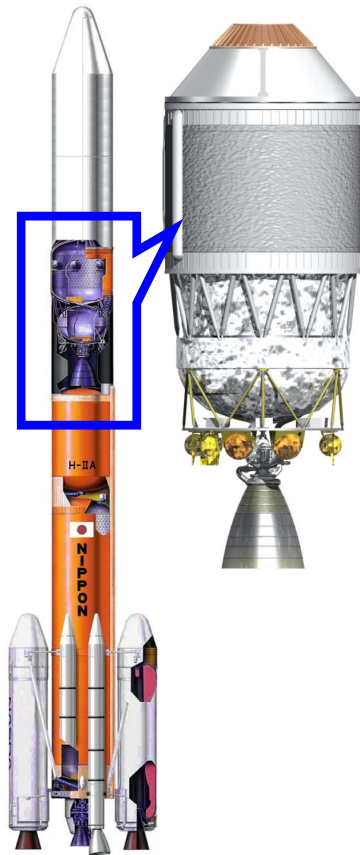


## H-IIAの打ち上げと飛行シーケンス



- 地球の自転速度が最も速い赤道付近から打ち上げるロケットと比べて、種子島（北緯約30度）から打ち上げるH-IIAロケットは、静止軌道投入に要する増速量が約300m/s大きいため、静止衛星が軌道に投入されるまでの間に、より多くの推進薬を消費してしまう。
- 衛星寿命や打ち上げ能力の面で不利（地の不利）

## 打ち上げ性能の向上：H-IIA高度化



### 【H-IIA高度化】

H-II Aロケットの第2段機体を中心とした改良開発。

#### 1. 長秒時慣性航行機能の獲得

- 極低温推進系技術等の開発により、第2段機体の宇宙空間の慣性航行能力を、**現状の約1時間から約5時間に長秒時化**。これにより、ロケットが衛星をより静止軌道に近い軌道へと投入することが可能となり、衛星が静止軌道到達に必要な増速量の低減、衛星の長寿命化に貢献。将来的には、本機能を活用して、惑星探査など特殊なミッションの打上げ可能期間の拡大を狙う。

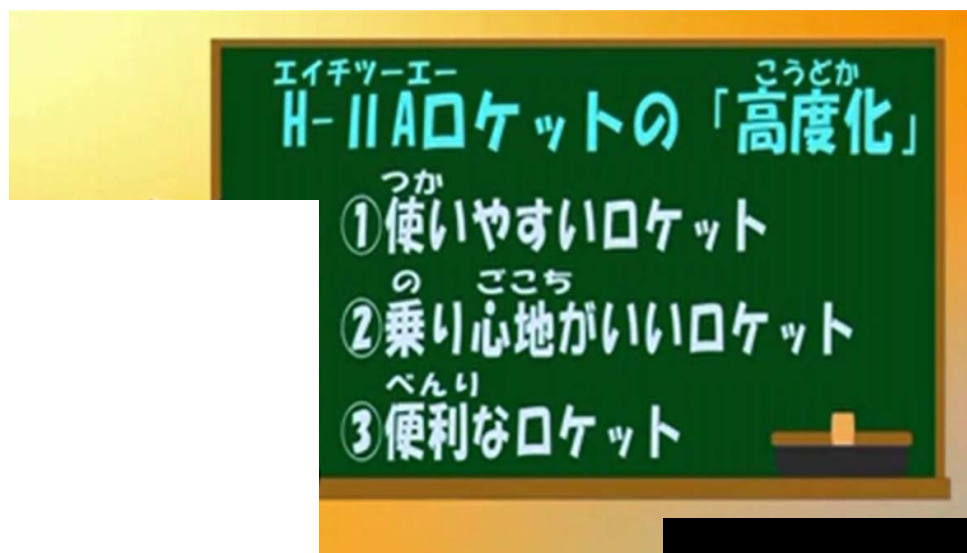
#### 2. ペイロード搭載環境の向上

- ペイロード分離時の衝撃環境を、現状の約4,100Gから世界最高水準の1,000G以下に低減し、衛星の負担を大幅に低減。これにより、衛星の設計自由度を格段に向上させる。

#### 3. 飛行安全システム追尾系の高度化

- 地上レーダ局に頼らず、ロケットに搭載した航法センサにより飛行安全管制に必要な位置情報を取得。打上げインフラ設備の最小化を図る。

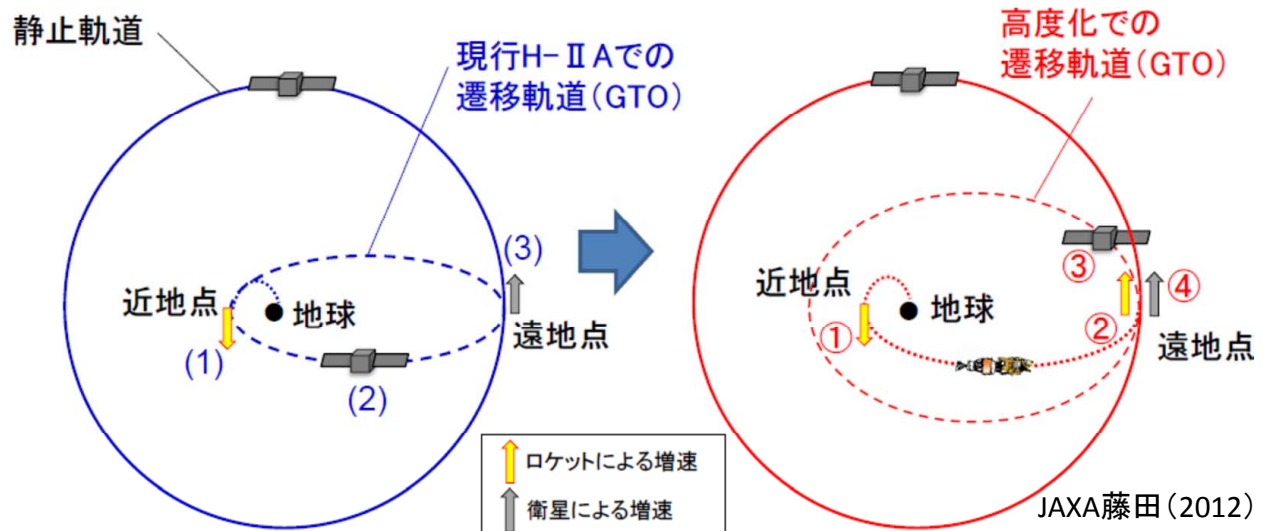
## H-IIA高度化



JAXA:smile.mp4



## H-IIA高度化：二段ロケットの長秒時航行

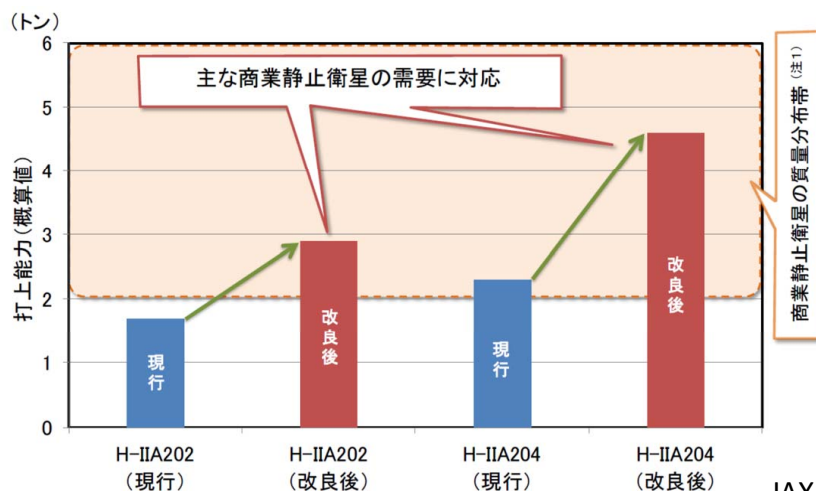


- (1) 近地点で2段エンジン再着火
- (2) 衛星を分離して遷移軌道に投入
- (3) 遠地点で衛星が増速して静止軌道に投入

- ① 近地点で2段エンジン再着火
- ② 長秒時航行後、遠地点で2段エンジンを再々着火
- ③ 衛星を分離して“より静止軌道に近い”遷移軌道に投入
- ④ 遠地点で衛星が増速して静止軌道に投入

## H-IIA高度化による打ち上げ能力の向上

- 極低温推進系技術等の開発により、第2段機体の宇宙空間の慣性航行能力を現状の約1時間から約5時間に強化。(ロケットを宇宙空間で長く飛ばす)
- これにより、静止衛星打ち上げにおいて、衛星をより静止軌道に近い遷移軌道に投入することが可能となり、衛星が静止軌道到達に必要な増速量を低減する。
- 静止軌道周回時に衛星が使用可能な推進薬を従来よりも多く確保できる結果、衛星の長寿命化に貢献。
- 同時に、静止衛星の打ち上げ能力も向上。



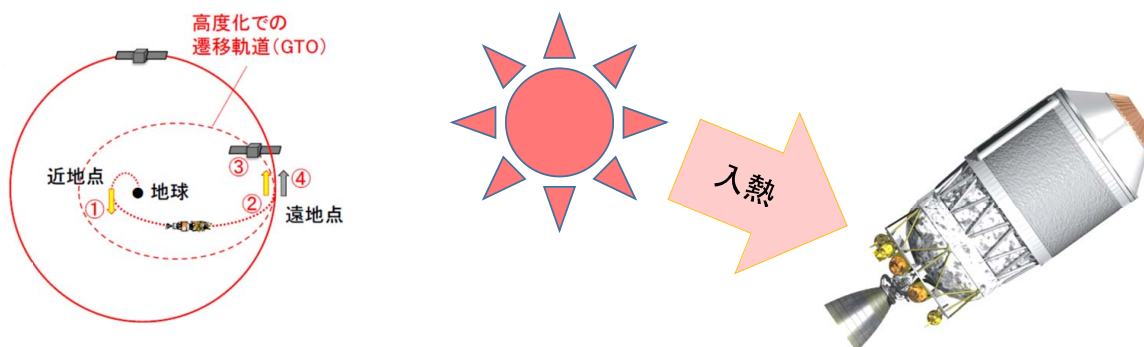
## H-IIA高度化の先は？

宇宙輸送ミッション マイルストーン	H-IIA高度化 	次期基幹ロケット(H-X) CPS Blk 1 	CPS Blk 2 
目的地	静止軌道	静止軌道・月周辺	小惑星・火星
ミッション時間	～5時間	～1週間	～1年
蒸発量抑制	白色断熱塗装 タンク熱流体解析(簡易モデル)	MLI断熱(展開機構等開発) タンク熱流体解析(詳細モデル) 軌道上入熱解析	極低温冷凍機 ベントガスシールド
微小G下での 液体推進剤制御	ベントリテンション ブルーム希薄流解析 スロッシング解析	PMD(ペーン/メッシュ) 表面張力支配流解析	推進剤コンディショニング
エンジン予冷	トリクル予冷 アイドル予冷 予冷解析(簡易モデル)	ブリード予冷効率化 予冷解析(詳細モデル)	リサーキュレーション
タンク与圧 エンジン高機能化	極低温He与圧 エンジンスロットリング	高Ispアイドル燃焼	タップオフ与圧 アイドル/スロットル立上げ

JAXA杵淵(2012宇科連)

上段ロケットの長秒時航行技術がますます重要になる。

## 長秒時航行の難しさと課題



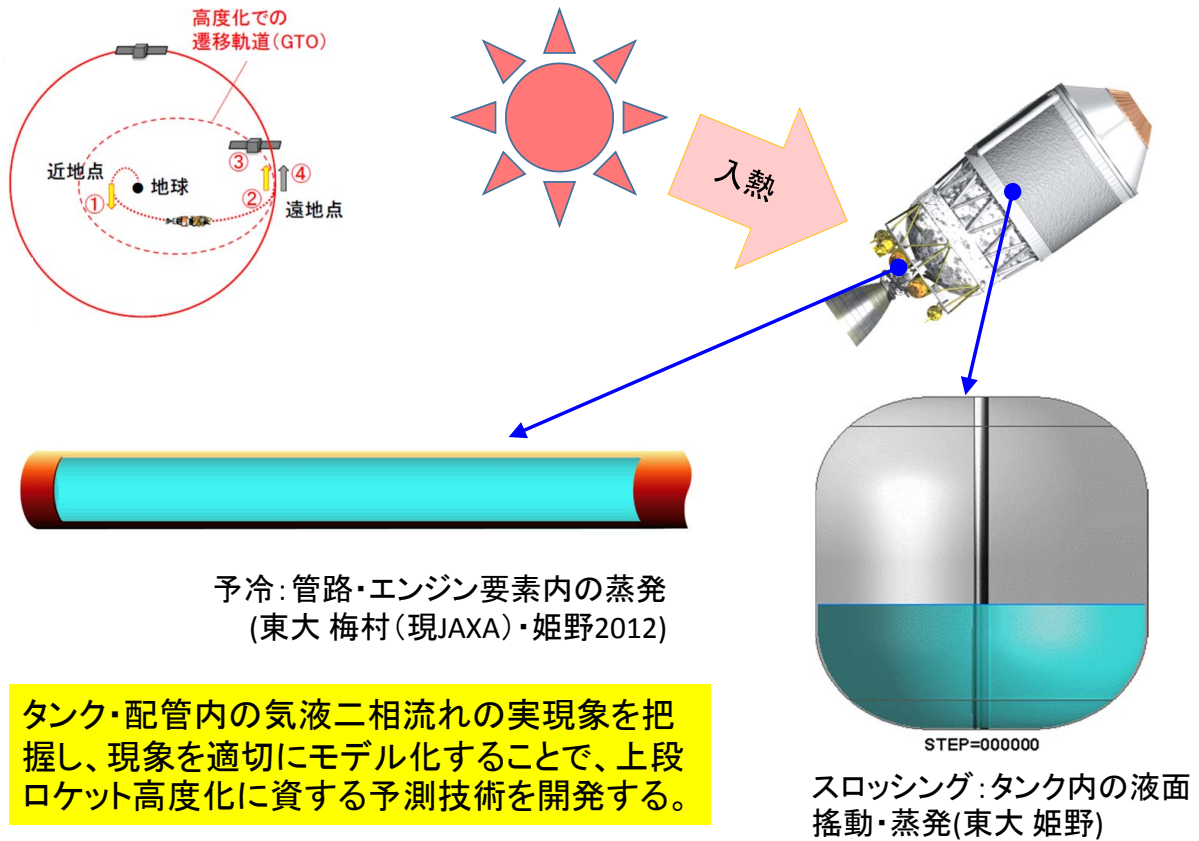
極低温の液体推進剤(液体水素と液体酸素)を搭載したロケットが、無重力空間中を太陽からの光にあぶられながら長い時間飛行する。

- ⇒エンジン始動前に必要な、エンジンの冷却に要する推進剤量が増加
- ⇒タンク内の推進剤が蒸発
- ⇒無重力中では、推進剤を所定の位置に保持することが困難

### 【上段ロケット高度化の課題】

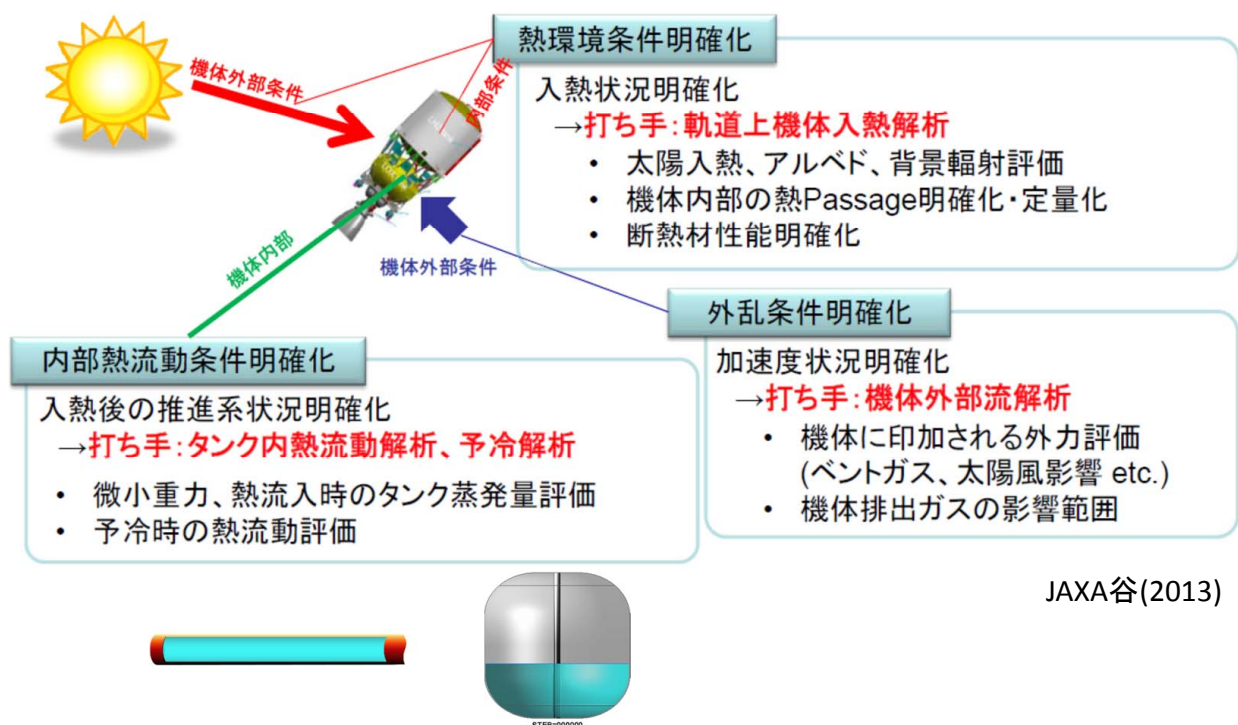
- ・ 有効な推進剤量を確保(入熱量低減、予冷方法の改良、推進剤保持技術向上)
- ・ 予測技術向上(入熱量予測、蒸発量予測、推進剤挙動予測技術)

## 関連する現象の例



## 今後の活動

タンク・配管内流れに加えて、ロケットへの入熱量の予測など、シミュレーション技術の向上が期待されている。他大学・JAXAと協力しながら、テーマを絞り込む。



## まとめ

(1)上段ロケットの高度化による、衛星の打ち上げ能力向上やミッション多様化への期待が大きい。

(2)こうした宇宙開発利用の進展に伴い、宇宙輸送システムの推進機関や軌道上構造物の熱管理機器など、**地上とは異なる加速度環境(低重力環境など)**で極低温推進薬をはじめとする液体を利用する機会が増えつつある。これらの流体機器を構成するタンクや配管に存在する流れは、太陽からの入熱等による液体の相変化とも相まって気液両相の共存系となる。

(3)今後、軌道上で運用される流体機器の信頼性を向上させ、同時に開発コストと運用リスクを低減するためには、その設計・計画段階から作動流体の挙動を適切に予測するシミュレーション技術が求められる。特に、**伝熱や相変化までも考慮し、共存する気体との熱交換に起因する熱流動特性を把握することが重要である。**

(4)本研究グループでは、タンク・配管内の気液二相流れの実現象を把握しながら、現象を適切にモデル化することで、上段ロケット高度化に資する予測技術を開発する予定である。