



# 第14回 宇宙環境技術交流会



## 微生物観測衛星” TeikyoSat-3 ” の開発について

2014年3月24日(月)

帝京大学 理工学部 航空宇宙工学科

助教 河村 政昭

# 本日の発表内容

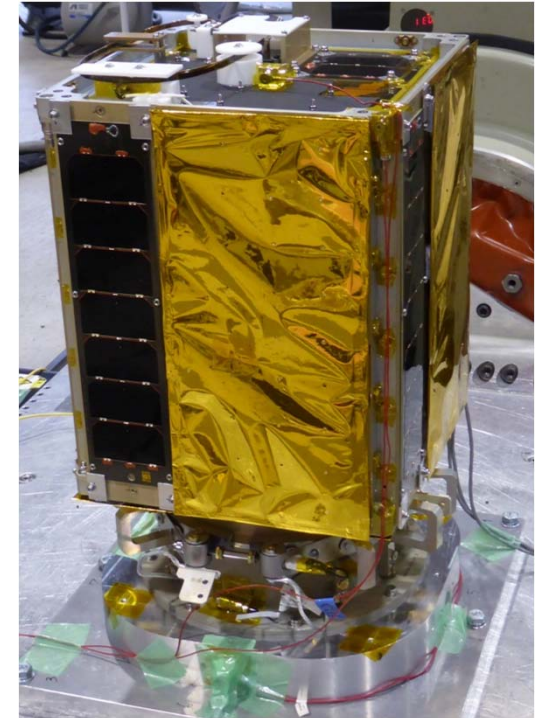


1. 衛星概要
2. TeikyoSat-3のミッション
3. 期待される成果
4. サクセスクライテリア
5. ミッション系の概要
6. バス系の概要(構体、熱、電子・電源、通信)
7. TeikyoSat-3開発の流れ(STM ⇒ EM ⇒ FM)
8. TeikyoSat-3開発体制
9. 超小型衛星試験センターでの試験
10. 現状報告
11. まとめと今後の課題

# 衛星概要



衛星名称	TeikyoSat-3
サイズ	320 mm × 320 mm × 440 mm
質量	約 21 kg
ミッション	微小重力と宇宙放射線が粘菌に与える影響を小型副衛星で観察
運用軌道	高度406km、傾斜角65° (放射線量最大20-30Gy/年)
ミッション期間	約1カ月
軌道上運用期間	約440日
姿勢制御	永久磁石による受動制御
通信	アマチュア無線 Transmitter(down link)437.450 MHz Receiver(uplink)145 MHz帯

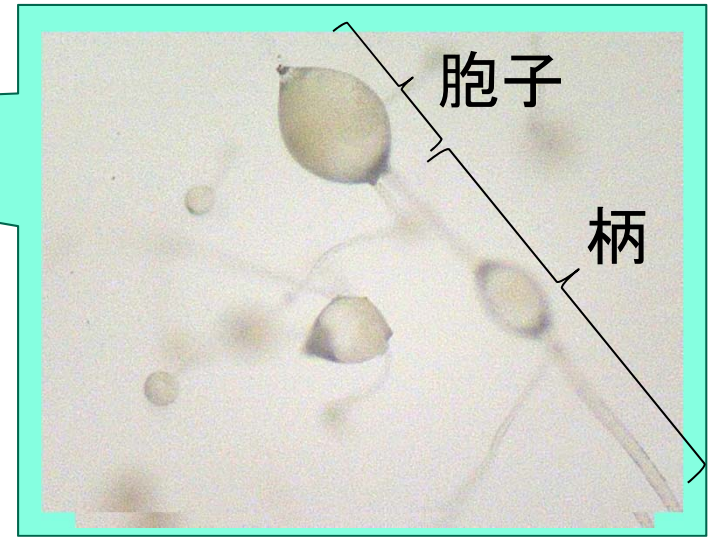
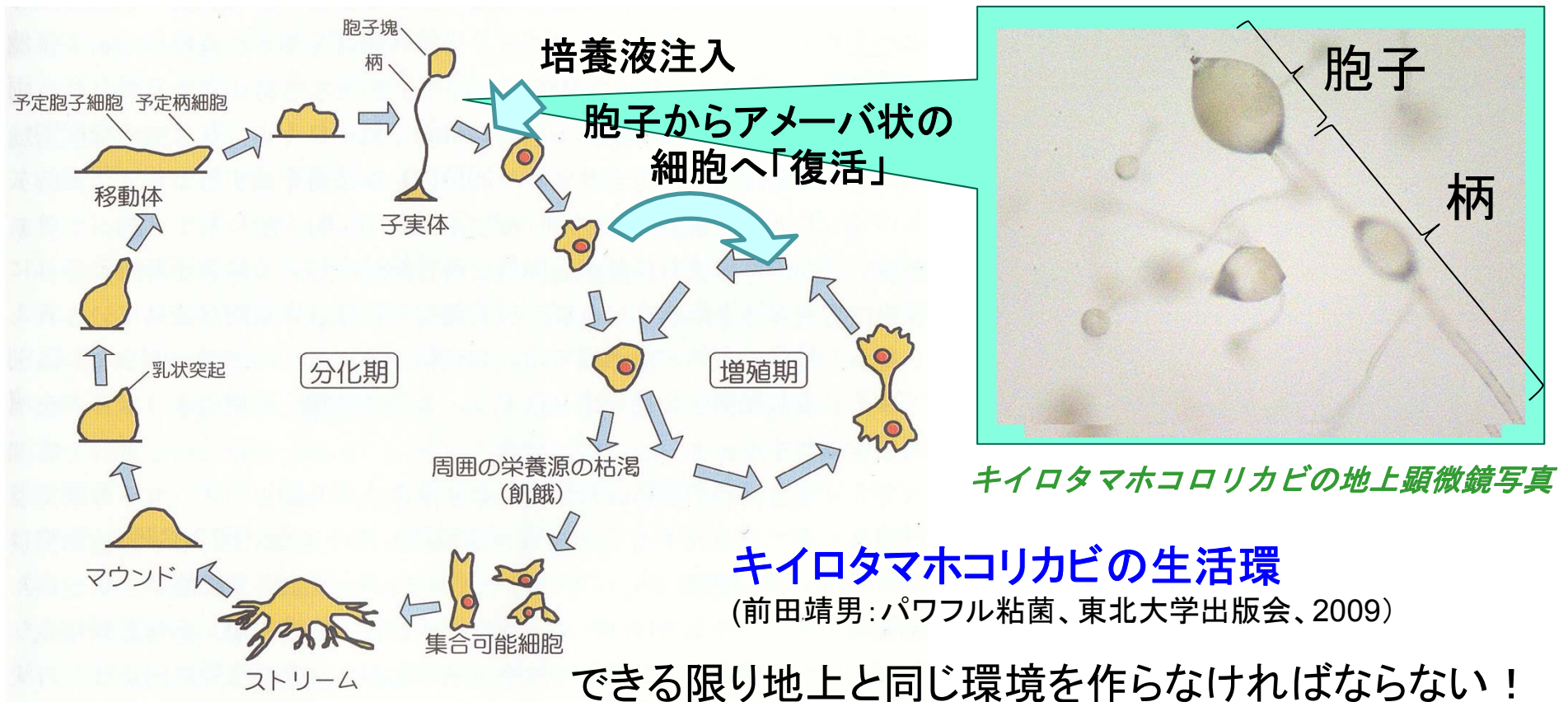


**小型衛星で初めて生物実験を行う！**

# TeikyoSat-3 のミッション (1/2)



地上で扱いやすく、人に無害な微生物(=粘菌)を搭載し、  
微小重力・高放射線量の環境下での挙動を観察



キイロタマホコリカビの地上顕微鏡写真

## キイロタマホコリカビの生活環

(前田靖男: パワフル粘菌、東北大学出版会、2009)

できる限り地上と同じ環境を作らなければならない!

気圧: 1気圧、温度: 10 ~ 28°C、湿度50%程度



# TeikyoSat-3 のミッション (2/2)



近年小型副衛星の打ち上げが盛んになってきており、  
多種多様なミッションが遂行されている

これまでの小型副衛星のミッション・・・

→ **工学系のミッション**が多いのではないかと？

→ **理学系のミッション**を行うことで小型副衛星  
の可能性を拡げたい！（理工連携ミッション）



**生物観察に着目！**

# 期待される成果

- ・これまでの実験はシャトルやステーション等で行われてきた
- ・小型衛星で実現できれば低コスト、短期、かつ無人での生物実験が可能になる！



将来的には、人間が滞在不可能な高放射線環境下での生物実験も可能に？



人に有害な生物でも生物実験が可能になるのでは？



**新しい生物学創成への期待**

- ☆生物実験衛星のモジュール化！（産業界への貢献）
- ☆医工連携のミッション！（医学会へ貢献）
- ☆小型人工衛星で無重量、高放射線の影響を観察

# サクセスクライテリア



## 1. ミニマムサクセス

TeikyoSat-3と地上局との通信成功

## 2. フルサクセス

TeikyoSat -3に搭載したカメラによる  
粘菌の画像データの受信成功

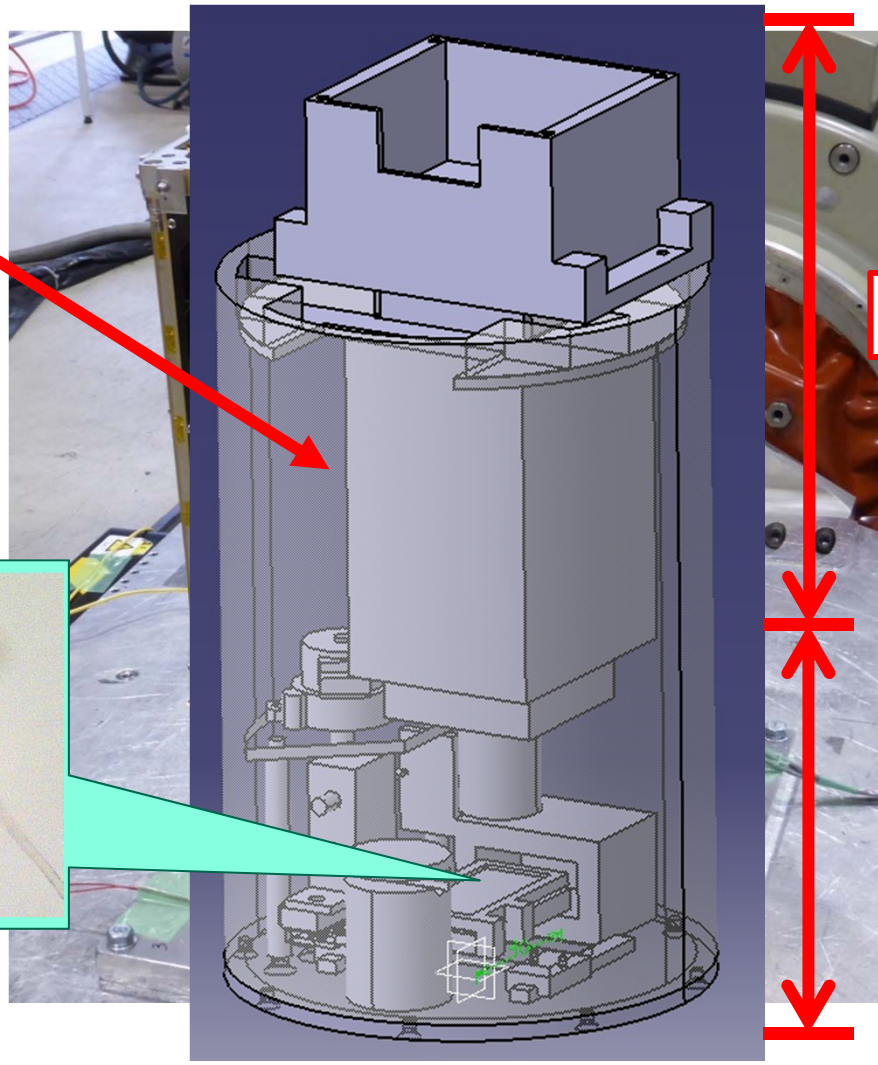
## 3. エクストラサクセス

粘菌の微小重力環境と宇宙放射線の影響  
の比較実験成功

# ミッション系の概要 (1/5)



ミッション機器

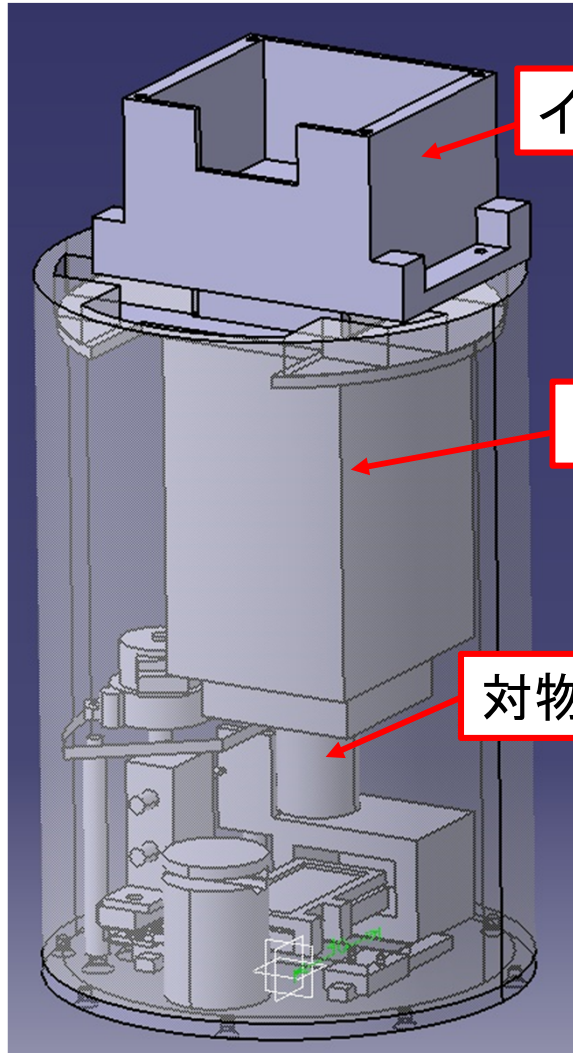


粘菌観察システム

粘菌生育システム

## 粘菌観察システム

## 各機器の役割



イメージャ

- ・対物レンズ  
撮影する画像のサイズ、被写界深度  
子実体の形成過程を観察する上で  
非常に重要

【ロケットの振動でレンズが取れない事】

鏡筒

- ・鏡筒  
対物レンズからの光を集光

【内部の集光レンズがずれない事】

対物レンズ

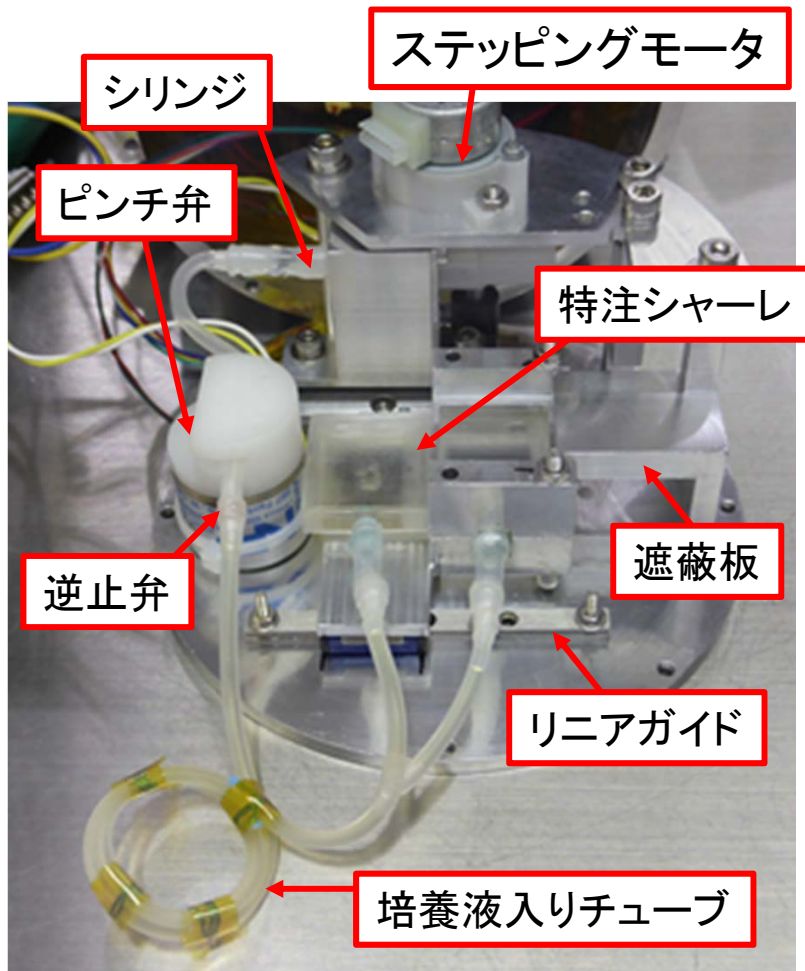
- ・イメージャ  
対物レンズ、鏡筒を通った光を結像  
生データの取得

【イメージャで集光できる事】



## 粘菌生育システム

## 各機器の役割

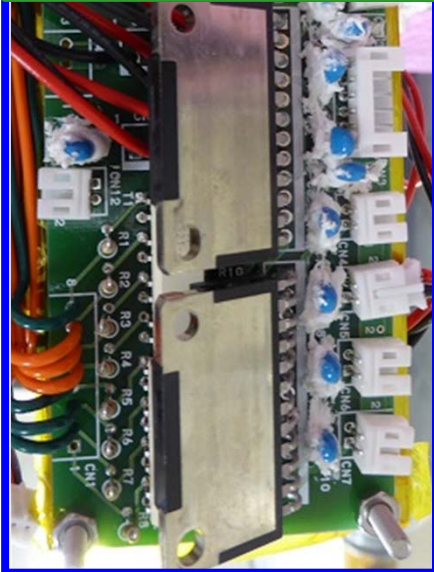
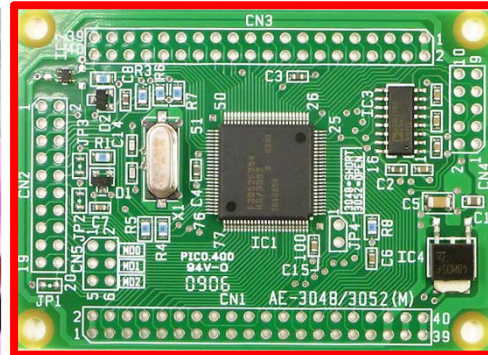
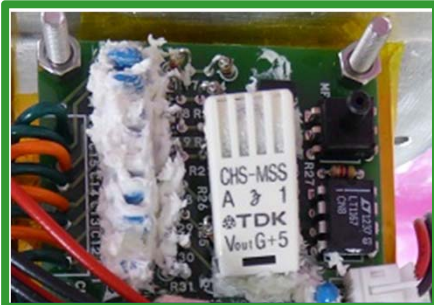


- ステッピングモータ  
リニアガイドをスライドさせる事で  
暴露側と遮蔽側のシャーレを観察
- シリンジ  
チューブ内に入れられた培養液を  
空気圧で押し出す
- ピンチ弁  
培養液の逆流防止(打ち上げ時)
- 逆止弁  
培養液の逆流防止(宇宙空間)
- 遮蔽板  
宇宙放射線を遮断

**【振動で各コンポーネントが破損しない事】**

## ミッション機器

## 各機器の役割



・ミッションOBC (H8マイコン)  
ミッション系の仕事の指令を出す

・ドライブ回路  
ピンチ弁、ステッピングモータ  
ヒータ、LEDの駆動

・センサ回路  
温度センサ、湿度センサ  
気圧センサのデータを取得

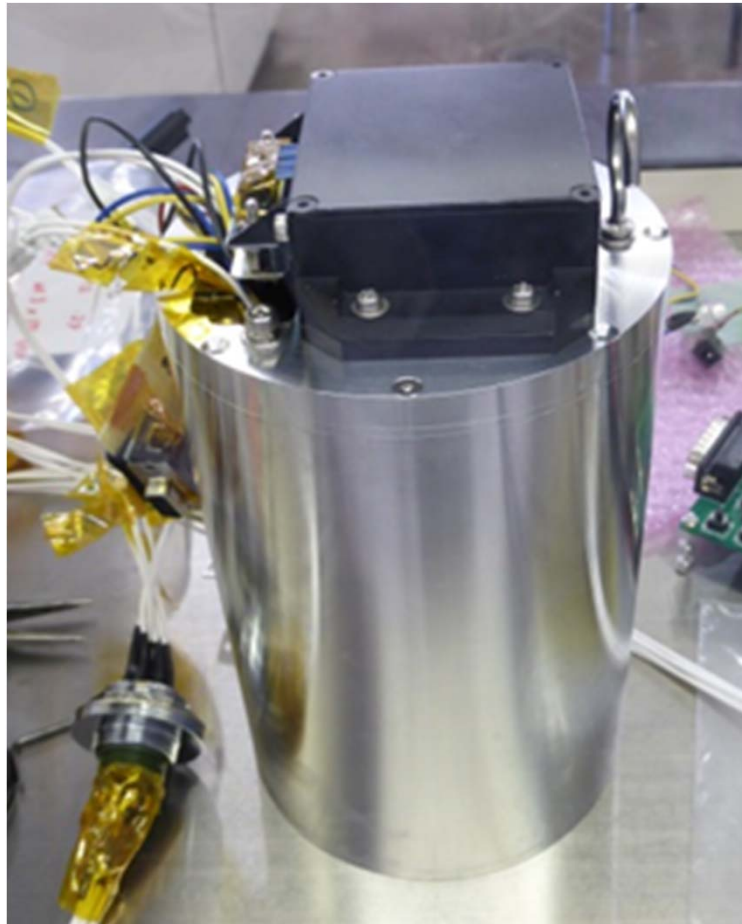
線量計については、ミッションモジュール内に  
スペースの確保ができなかったため  
アクセスパネル(外板パネル)に直接取り付け

**【振動で各コンポーネントが破損しない事】**

# ミッション系の概要 (5/5)

完成したミッションモジュール

フライト品



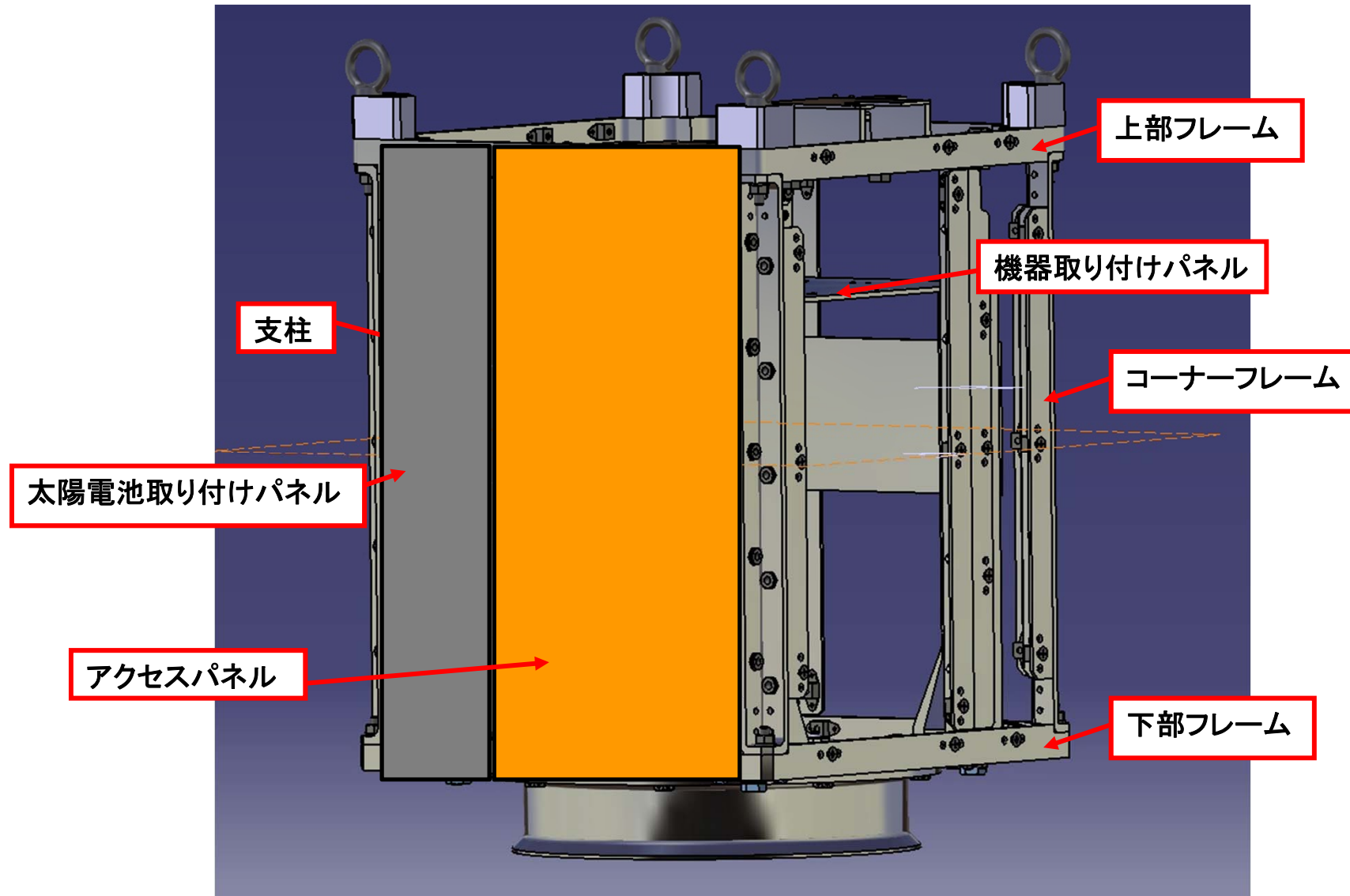
動作確認用のアクリル筒



【振動で各コンポーネントの破損等ない事】



# 構体系の概要 (1/3)



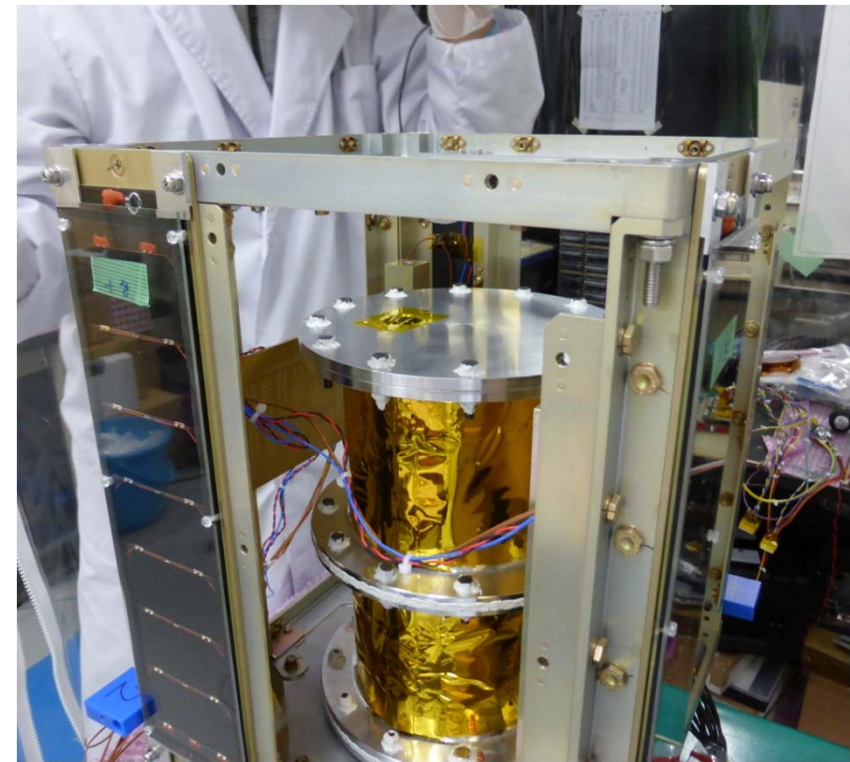
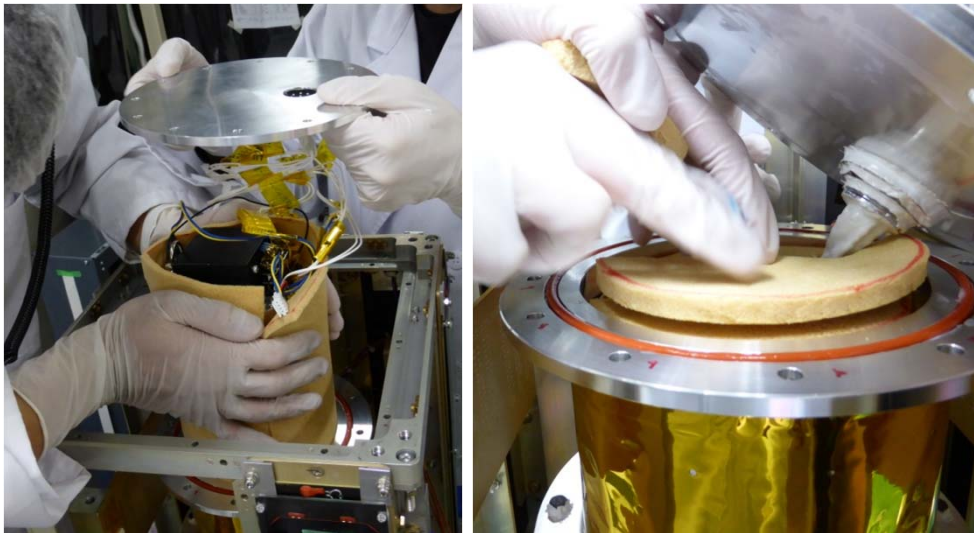
【ネジの緩みや構体の破損等ない事】

# 構体系の概要 (2/3)

ユーピレックスフォーム  
(断熱材兼緩衝材)で覆う



ミッションモジュール収納後の  
構体の様子



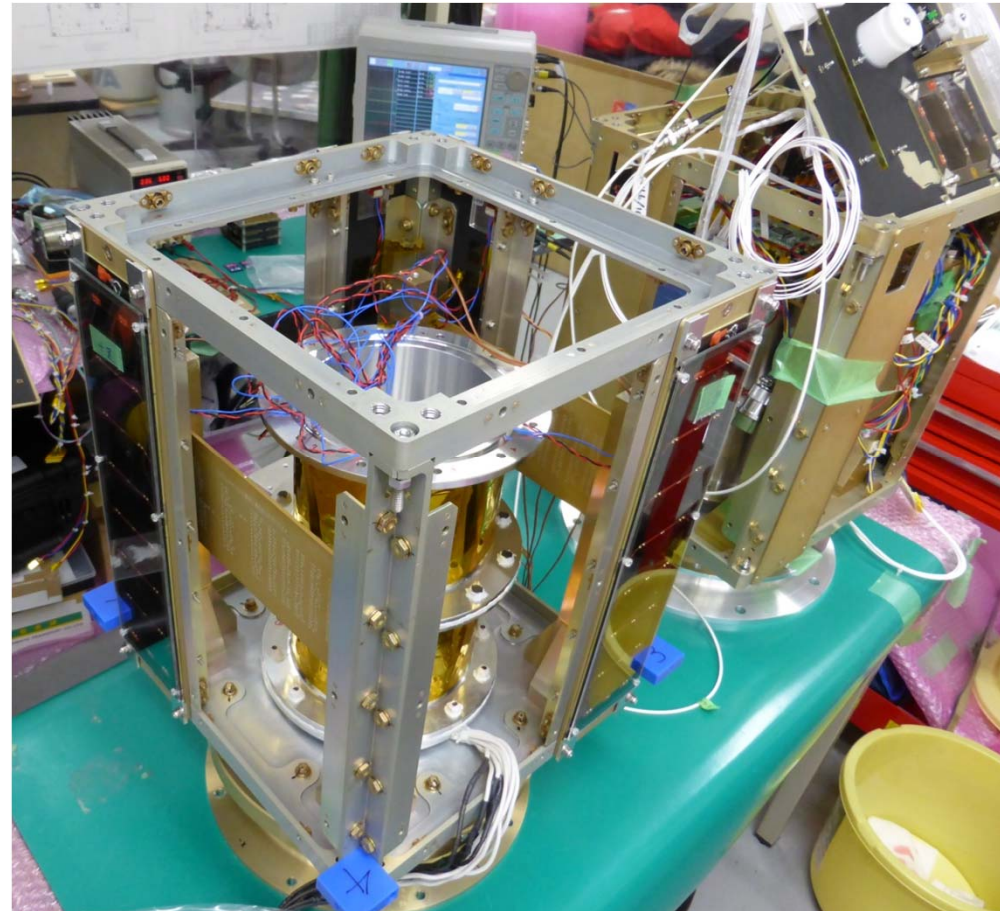
ミッションモジュールの収納 **【モジュール容器に破損等ない事】**



# 構体系の概要 (3/3)

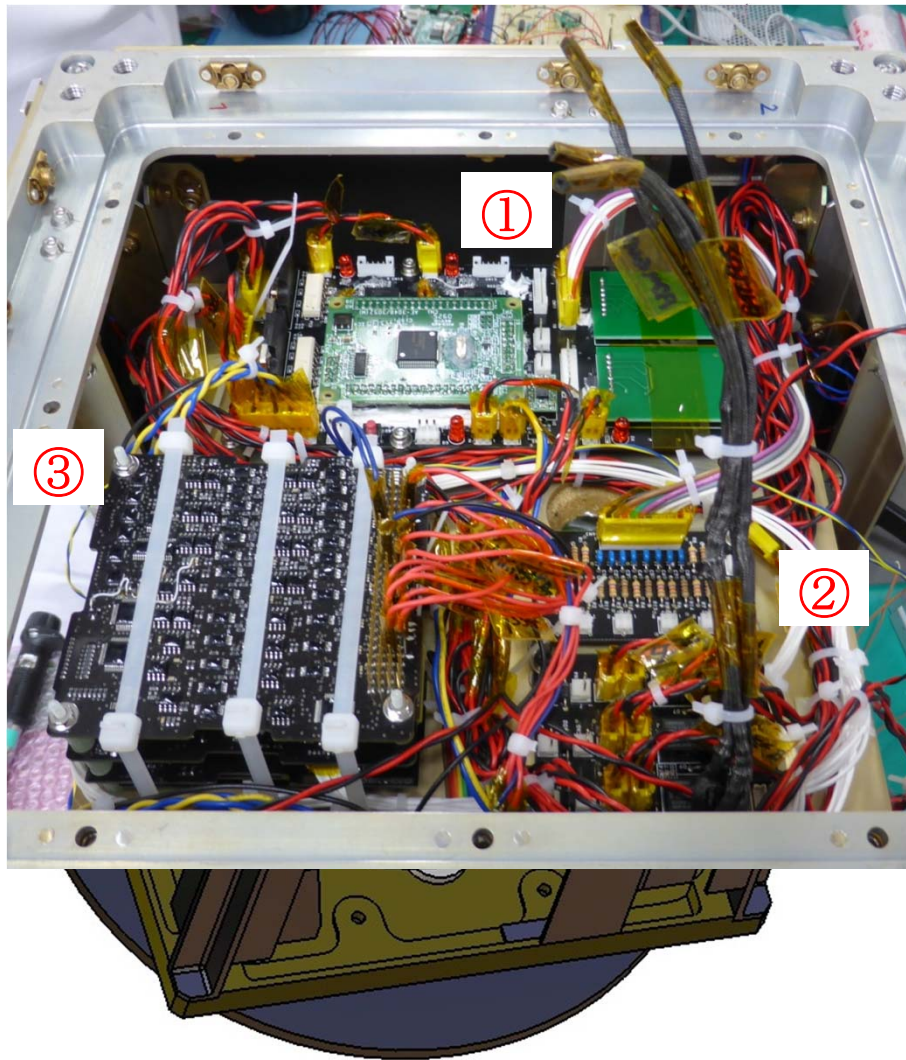
## 銘板の取り付け

開発関係者、開発支援者、開発応援者の名前を刻んだ銘板の搭載





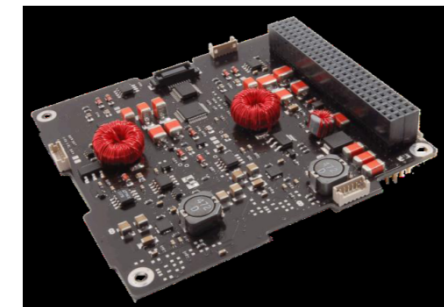
# 電子電源系の概要



- ① Mother Board (including Main OBC)  
衛星システム全体を管理  
温度計、線量計、SDカード
- ② Latching Relay Board  
打ち上げ時電源が入らないよう制御
- ③ Battery / EPD / PDM (Clyde Space)  
本衛星の主電源



Battery



EPS

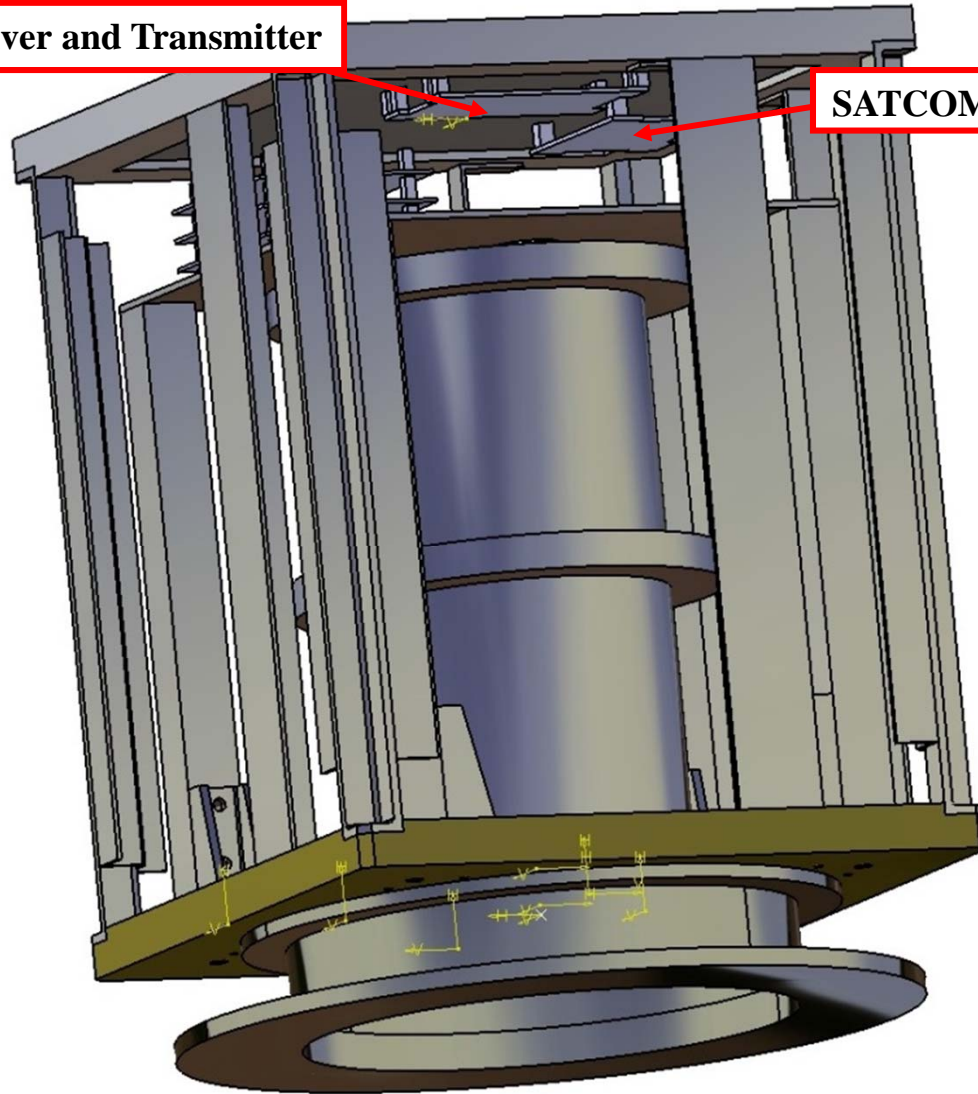


PDM

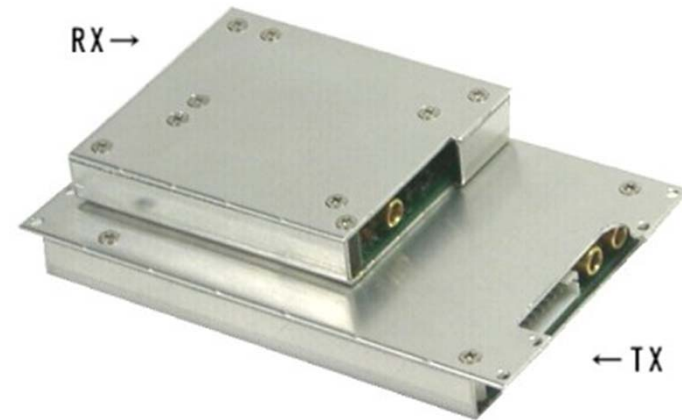
【各環境試験前後で破損していない事(H/S)】

# 通信系の概要 (1/2)

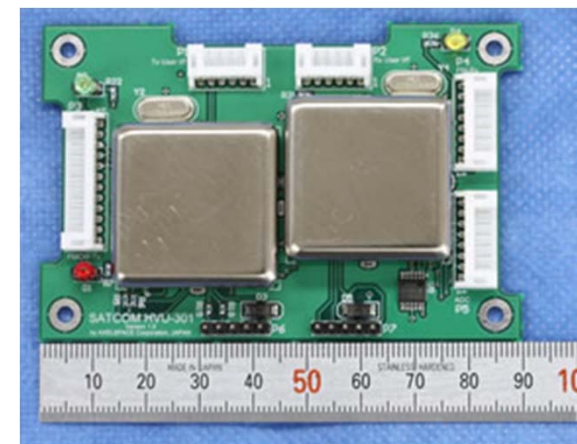
Receiver and Transmitter



SATCOM



送受信機(西無線)

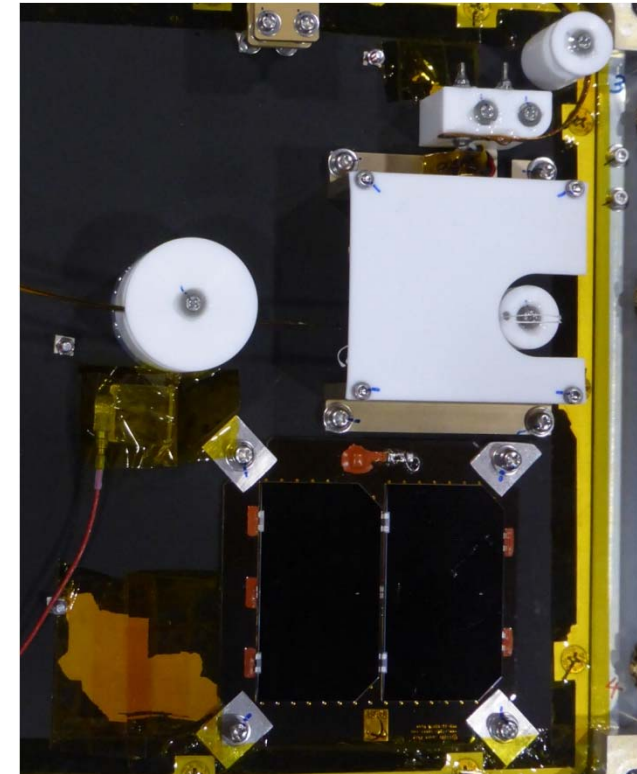
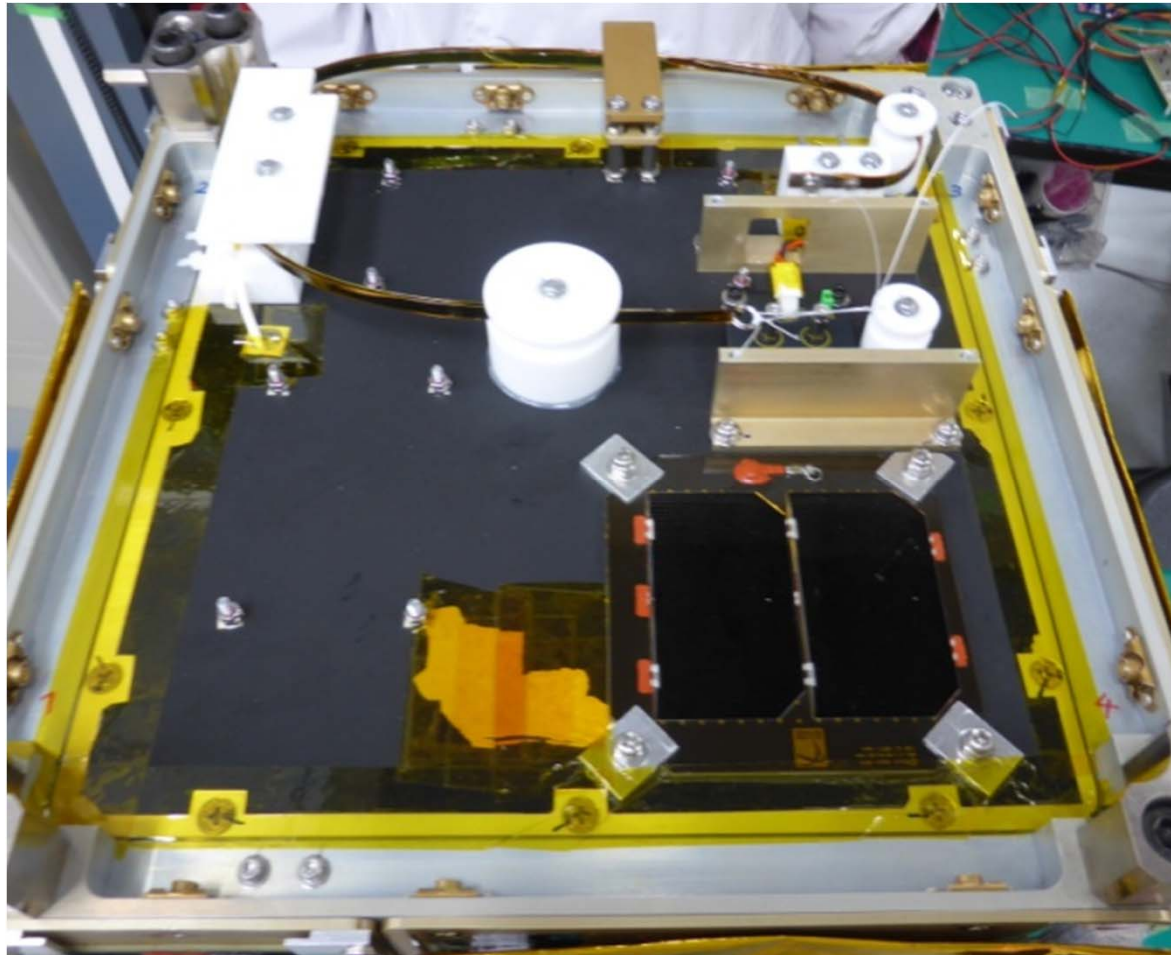


SATCOM (AXELSPACE)

【各環境試験前後で破損していない事(H/S)】



# 通信系の概要 (2/2)



【各環境試験前後で破損していない事(H/S)】  
【アンテナが展開しない事】

# TeikyoSat-3 開発の流れ (1/3)

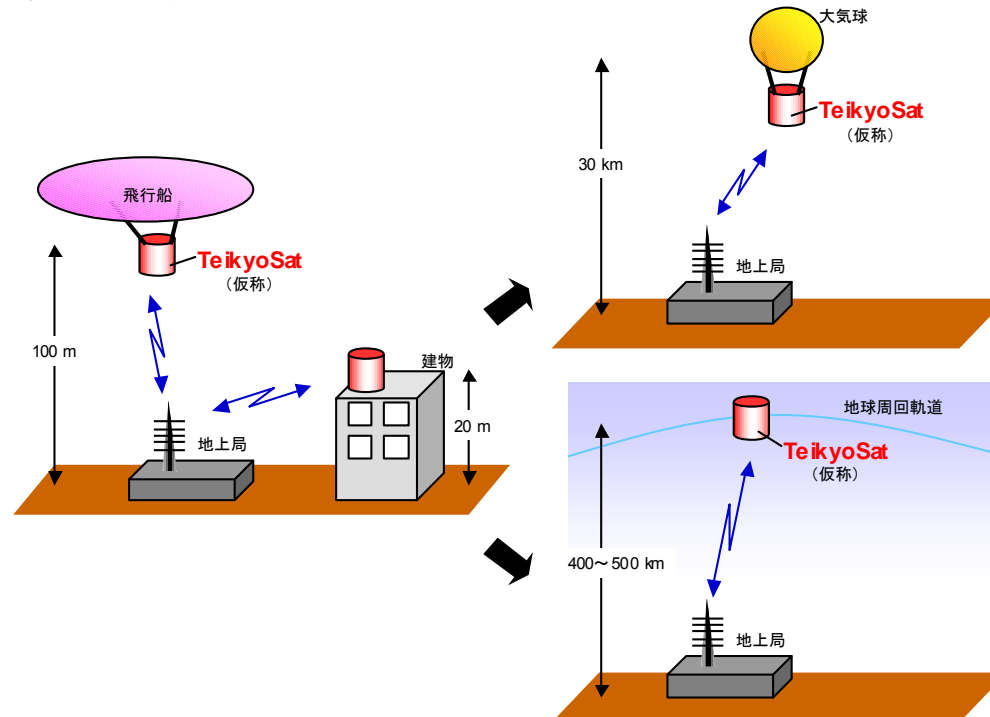


## 2008年度 : TeikyoSat プロジェクトスタート

TeikyoSat-1, TeikyoSat-2 (CanSatキット) を用いた  
基礎実験 (衛星の基本について学ぶ)

## 2009年度 : TeikyoSat-3 の概念設計

TeikyoSat-1, TeikyoSat-2 (CanSatキット) を用いた  
通信実験、学生サークル「宇宙システム研究会」の設立





# TeikyoSat-3 開発の流れ (2/3)



**2010年度**：衛星設計コンテストに参加

アイデア部門において受賞  
(日本機械学会宇宙工学部門スペースフロンティアの部)  
「宇宙システム研究会」サークルから工学クラブへ  
地上局設置(震災で破損)、他衛星追尾実験

**2011年度**：2013年度打ち上げ予定の相乗り候補に選定

7月27日(水)ヒアリング、8月8日(月)面接審査  
12月14日(水)選定結果発表  
2013年度夏期打ち上げ予定(約1年半の開発期間)  
⇒最終的に2013年冬期打ち上げに変更(約2年)

【無謀】【背伸びし過ぎ】【サークル感覚?】



学生からの要請で教員(河村)がプロマネに!



# TeikyoSat-3 開発の流れ (3/3)



**2012年度 : STM (Structural and Thermal Model)**

2012年1月 ~ 2013年2月

※振動試験 (9/10~9/14)

**2013年度 : EM (Engineering Model)**

2013年3月 ~ 2013年10月

※熱平衡試験、準熱真空試験 (7/28~8/2)

**FM (Flight Model)**

2013年10月 ~ 2014年1月

※低温環境下でのアンテナ展開試験 (10/22~10/23)

※熱真空試験 (12月上旬に予定していたが、出来ず)

2014年1月30日(木) : 衛星のJAXAへの引き渡し

2014年2月28日(金) : 打ち上げ

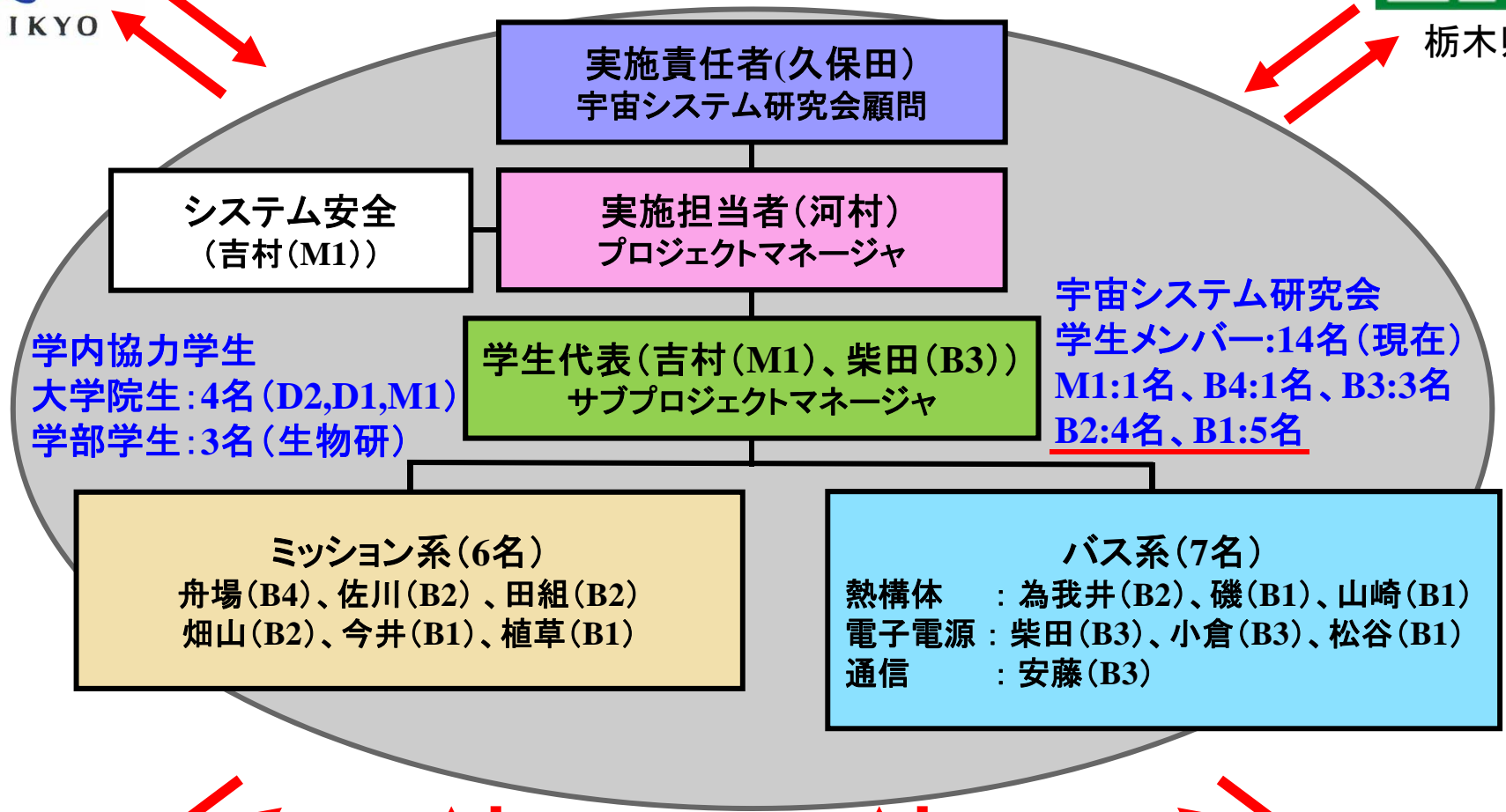
**初期構想から約5年 !**



# “TeikyoSat-3” 開発体制



栃木県



学内協力学生  
 大学院生: 4名 (D2, D1, M1)  
 学部学生: 3名 (生物研)

宇宙システム研究会  
 学生メンバー: 14名 (現在)  
 M1: 1名、B4: 1名、B3: 3名  
B2: 4名、B1: 5名

他大学  
(相乗り団体)

UNISEC  
(大学宇宙工学  
コンソーシアム)

他分野との連携  
 例: バイオサイエンス学科・  
 柔道整復学科 (若林研究室)  
 生物研究部 (梶谷学科長)

地域企業

# 超小型衛星試験センターでの試験 (1/4)

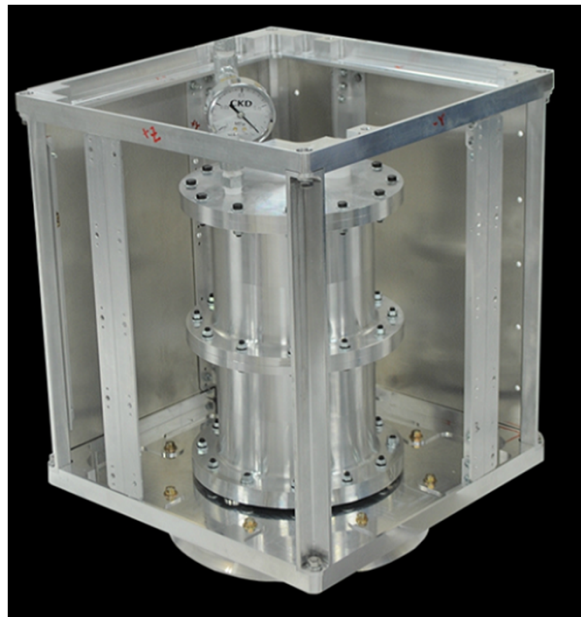


STM：振動試験、2012/9/10～9/14、人数5名(河村 + B1学生4名)

試験目的① 振動試験のやり方そのものを学ぶ

試験目的② STMの振動特性の取得

試験目的③ 次年度を見据えて、B1学生の現場教育



- ・構体そのものが破損しないか？
- ・ネジの緩みはないか？
- ・モジュール容器をどう固定するか？  
片持ち？それとも上面も固定？
- ・機器はどこに取り付けるべきか？
- ・ロケット打ち上げ時の共振周波数が  
規定値以上になっているか？
- ・モジュール容器の中身(ミッション系)の  
振動特性はどうなっているか？

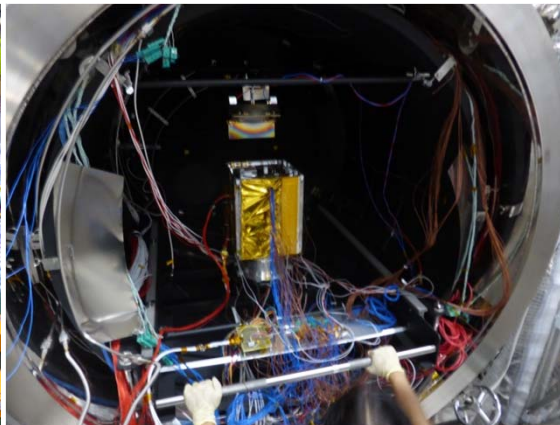
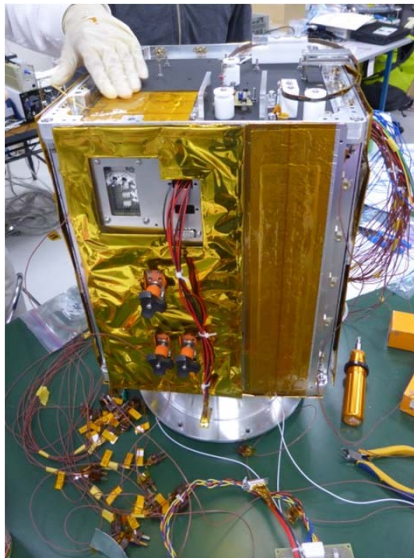
構造的な基礎データを数多く取得

# 超小型衛星試験センターでの試験 (2/4)



EM：熱平衡試験・準熱真空試験、2013/7/28～8/2  
人数6名（河村 + M1学生3名+B3学生1名 + B2学生1名）  
試験装置：LEOチャンバー

- 試験目的① 熱数学モデルの妥当性の確認
- 試験目的② 熱制御ハードウェアの性能確認
- 試験目的③ サブシステム、コンポーネントの動作確認



- ・地球周回軌道上で考えられる高温側と低温側環境の模擬
- ・ユーピレックスフォームやGFRP製のスペーサ等の熱制御材は有効か？

衛星内の熱の流れを理解するのに大変有効なデータ  
しかし、モジュール容器はダダ漏れ状態・・・

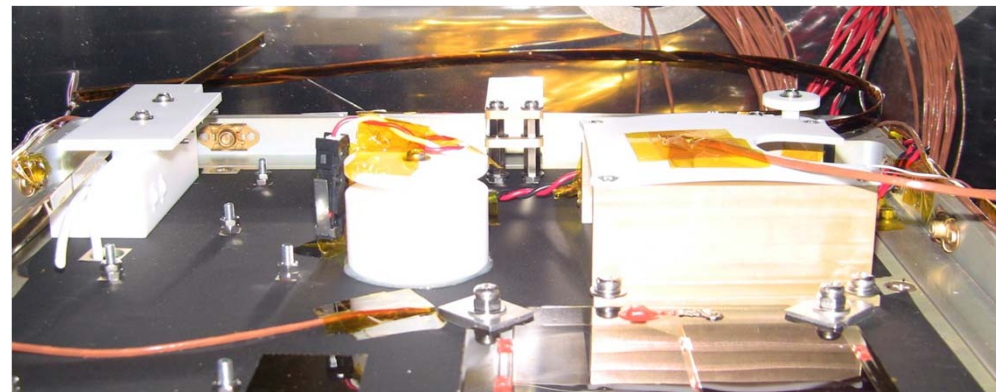
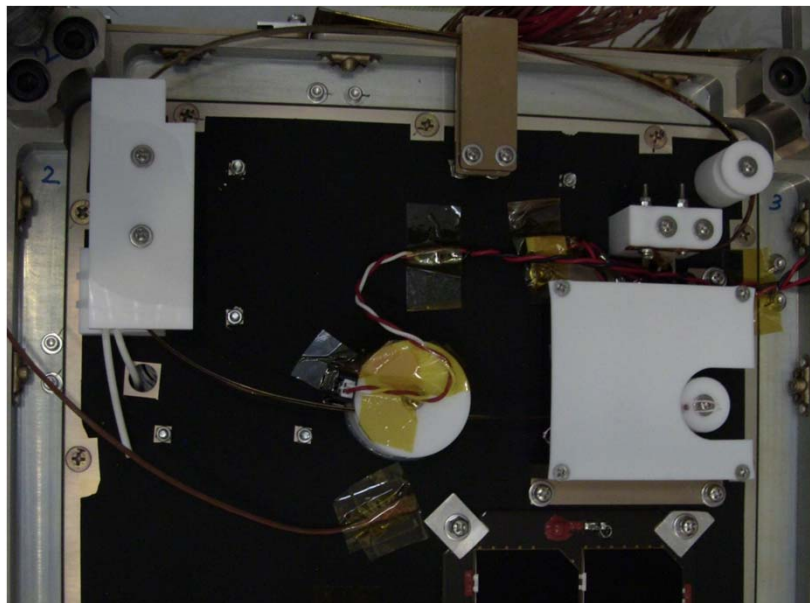


# 超小型衛星試験センターでの試験 (3/4)



FM：低温環境下でのアンテナ展開試験、2013/10/22～10/23  
人数7名(河村 + M1学生3名+B4学生3名)  
試験装置：恒温槽

試験目的① 低温(-20°C)環境下でアンテナが展開する事の確認



・バッテリーで供給可能な電流・電圧  
でテグスを切ることが可能か？

約10秒程度

真空中より厳しい条件下(大気圧環境)で  
アンテナが展開する事を確認

# 超小型衛星試験センターでの試験 (4/4)



## その他お世話になった事

その① 試験治具の借用

その② 熱電対の借用

その③ 各試験に対する細かなアドバイス

その④

その⑤ **この場を借りて深くお礼申し上げます！**



## 運用計画

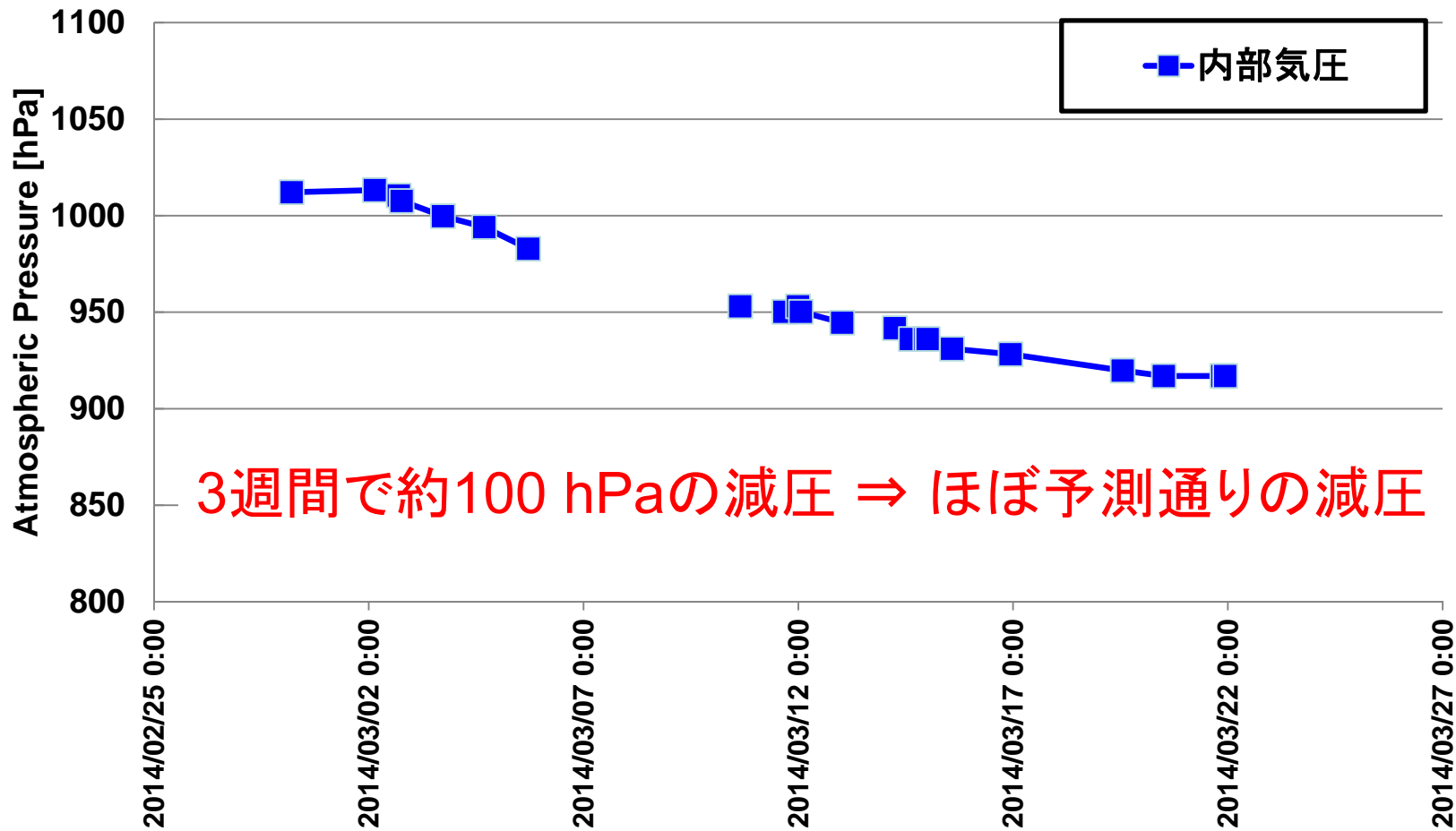
- **分離～3日後**  
初期補足、健全性確認、初期運用開始
- **3日～5日後**  
ミッション開始準備
- **5日～30日後**  
ミッション開始、定常運用
- **30日～落下**  
後期運用

# 現状報告 (2/3)



## データ解析 1・・・モジュール容器内圧力

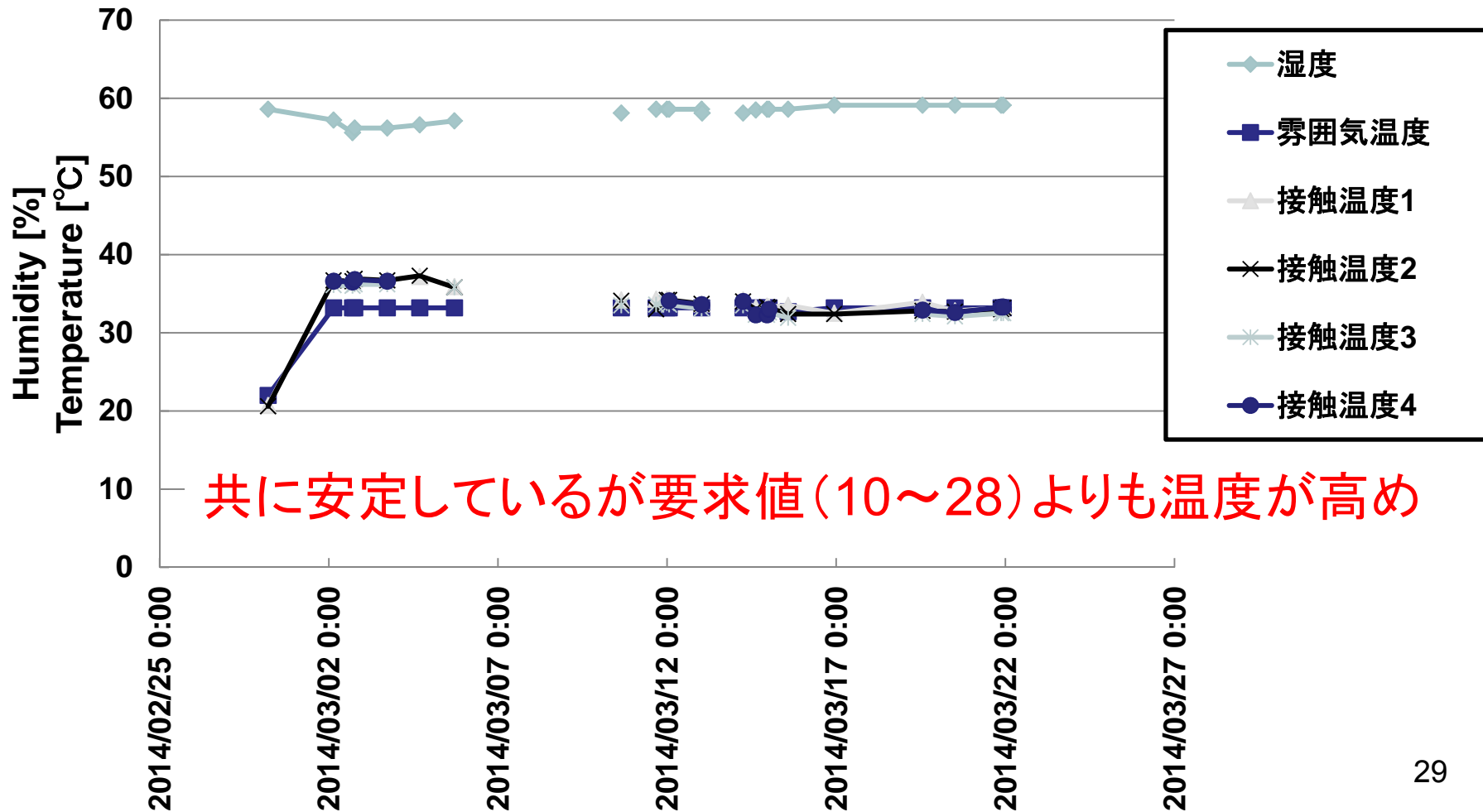
Mission Module Pressure





## データ解析 2・・・モジュール容器内温度及び湿度

### Mission Module Telemetry

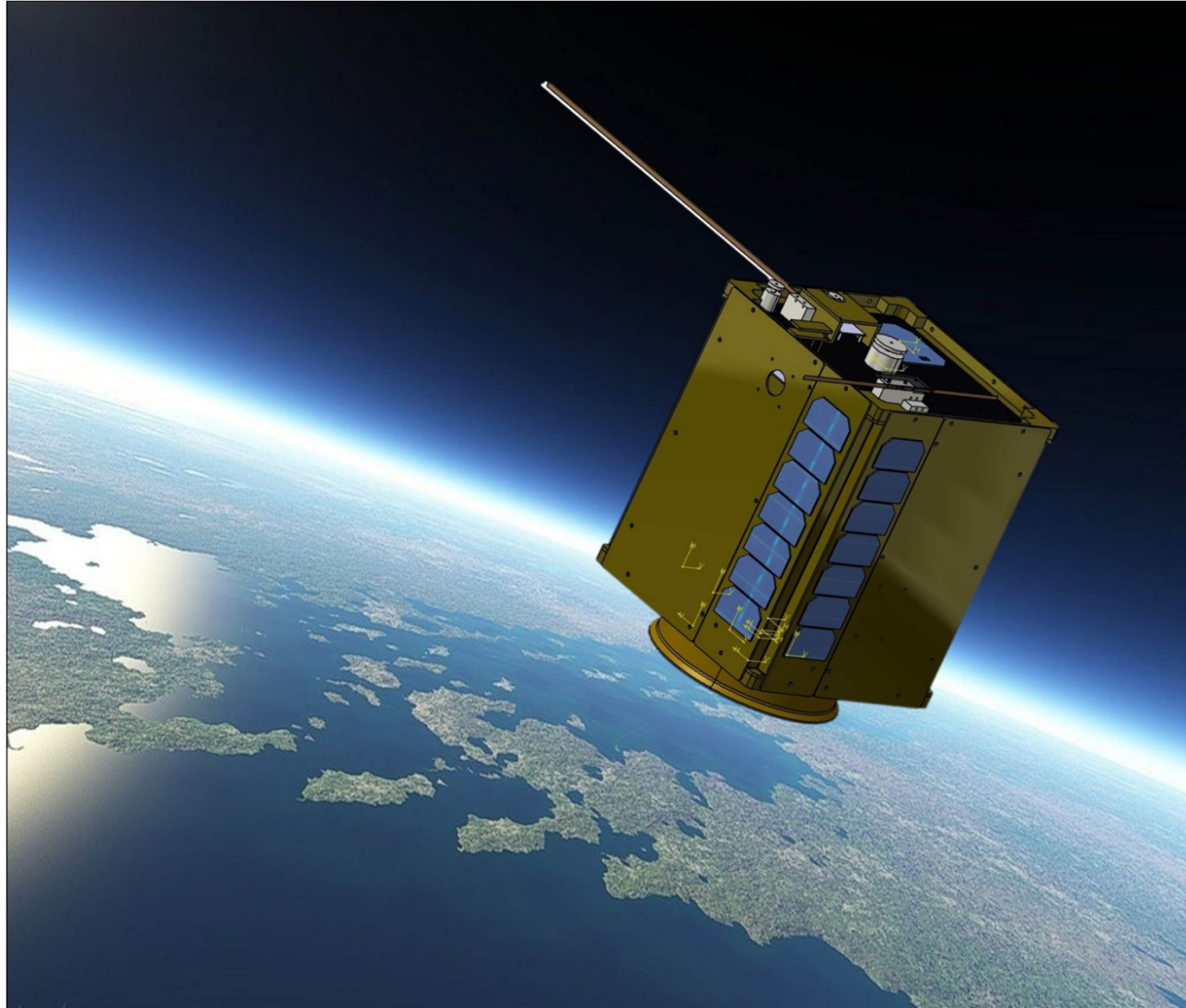


## まとめと今後の課題



- **より長期的なミッションを行うために**  
より機密性を維持できる容器の開発
- **温度要求値を満たすために**  
熱解析のモデル化をより正確に
- **アップリンクコマンドを確実に通すために**  
FMでの熱真空試験の実施

ご清聴ありがとうございました！！



# 補足資料



# 開発経緯



- ・**2011年12月以前(相乗り決定以前)** : 衛星設計コンテストに応募したりしながら技術検証を進めていく
- ・**2011年12月** : 相乗り決定
- ・**2012年1月～2013年2月: STM Phase**
  - ミッション系: ミッションモジュールの概要決定
  - 構体: 振動試験により振動特性の把握
  - 電子電源: Main OBCの設計・BBMによる動作チェック
  - 通信: アンテナ展開機構の形状決定
- ・**2013年3月～2013年9月: EM Phase**
  - ミッション系: ミッションOBCを含む基板の決定、カメラシステム、供試体の開発
  - 構体: 機器取り付けパネルの追加(振動試験により振動特性の把握)
  - 電子電源: Main OBCによる動作チェック
  - 通信: アンテナ展開機構の配置・テグス長などの詳細決定
- ・**2013年10月～2014年1月: FM Phase**
  - ミッション系: 供試体の開発
  - 構体: 振動試験により振動特性の把握(フライト品)
  - 電子電源: EMを踏まえたMain OBCの設計変更、衛星にくみ上げ動作チェック
  - 通信: 仮免許交付後地上通信実験、アンテナ展開確認

**現在、日々衛星の運用中**

# 要求事項



## 1. ミッション要求 (開発者側)

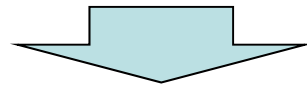
TeikyoSat-3のミッションを成功させるための要求

## 2. 安全要求 (ロケット側、主衛星側)

TeikyoSat-3が、H-IIAロケット・主衛星 (GPM) に対して安全に開発されていること

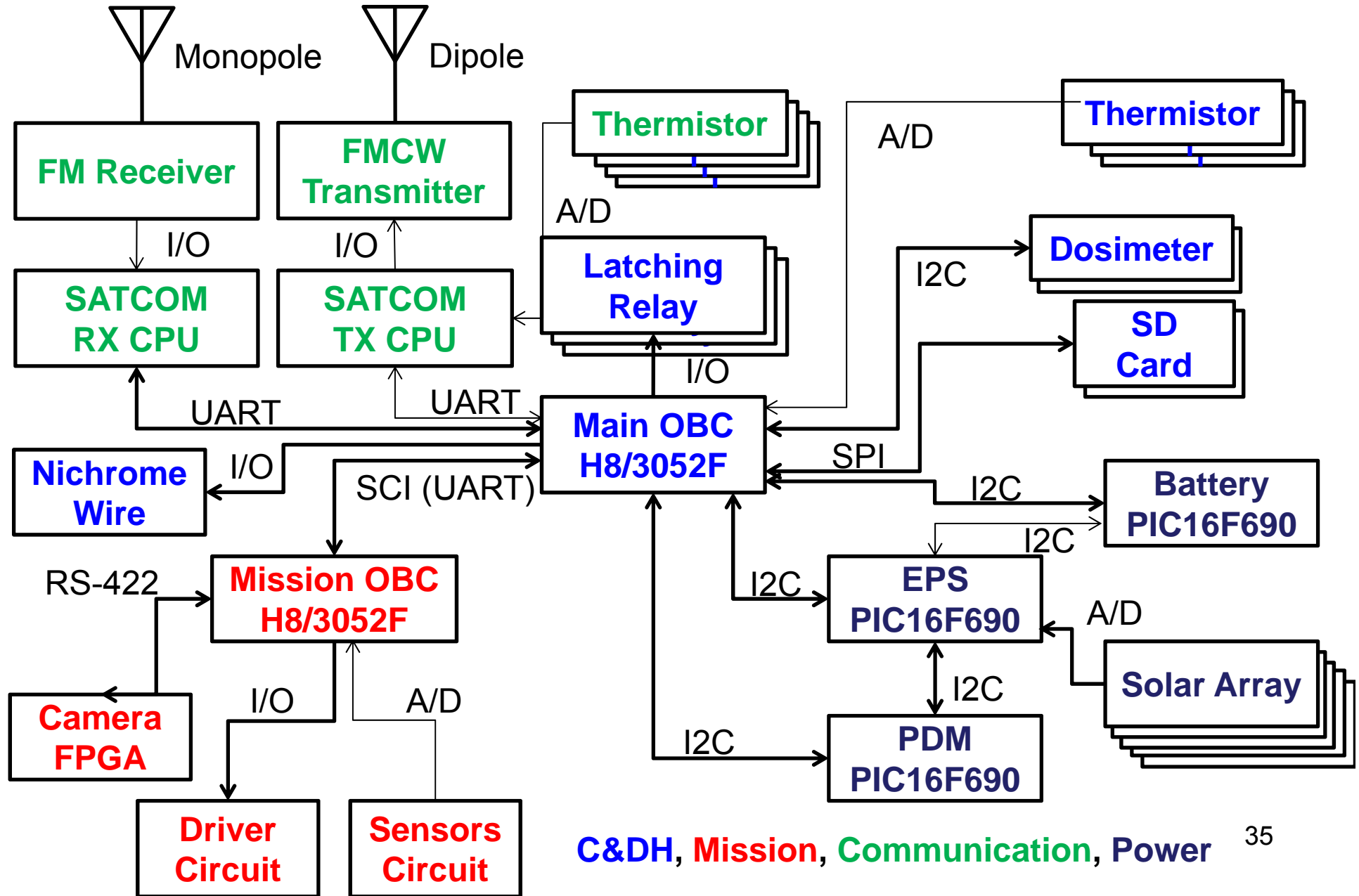
## 3. 適合性要求 (ロケット側)

H-IIAロケットとのインターフェイスは適切か



これらの要求を全て満足させて初めて  
H-IIAロケットに搭載する権利を得る

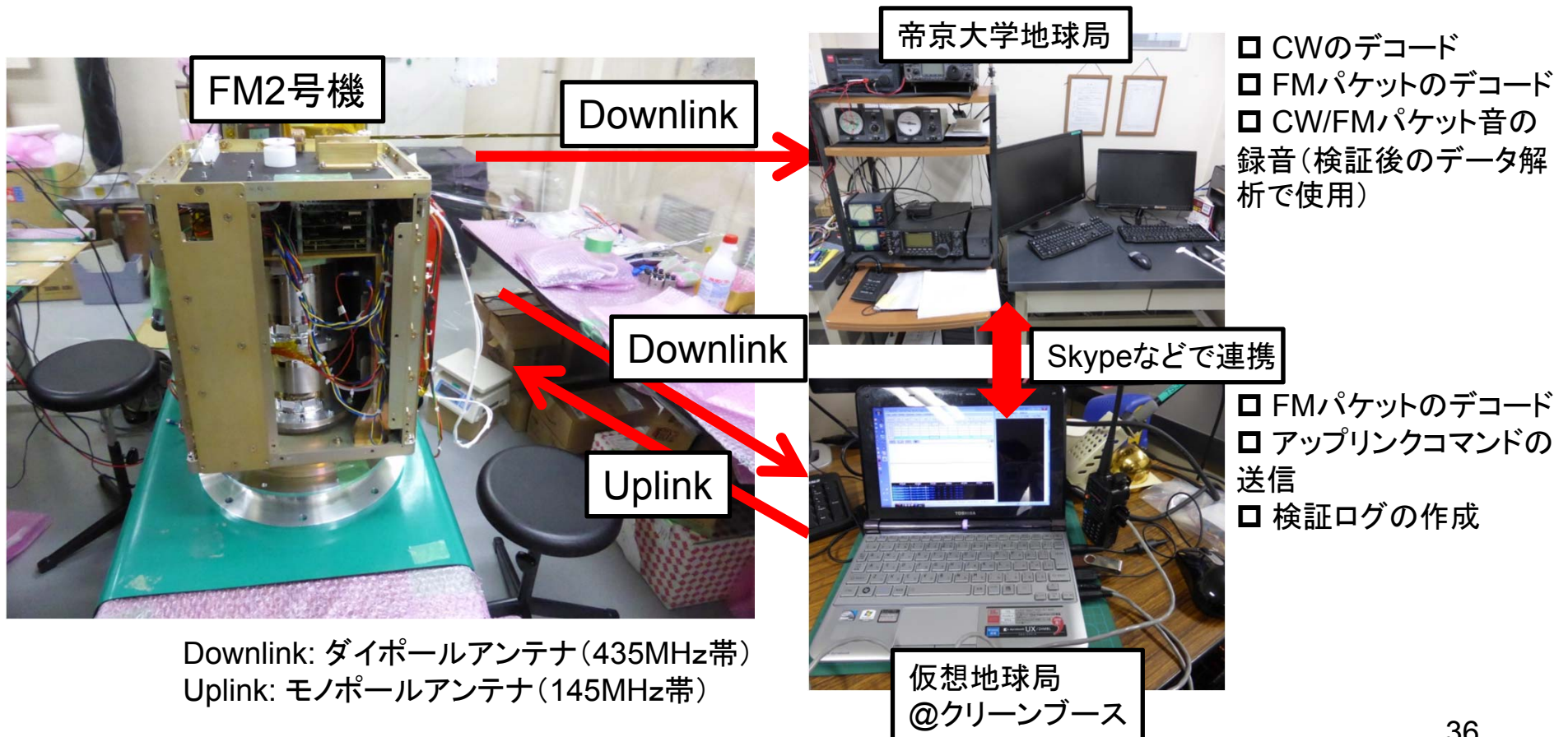
# 電子・電源系の概要



C&DH, Mission, Communication, Power

# システム検証状況

- FM2号機を使用したAir Linkで模擬運用を実施








# 開発者銘板



  
 学校法人 帝京大学  
 学長・理事長  
 理工学部長  
 TeikyoSat-3 プロジェクト 実施責任者 (特任教授)  
 TeikyoSat-3 プロジェクト プロジェクトマネージャー (助教)  
 電子電源系アドバイザー (助教)  
 システム安全責任者 (宇宙システム研究会会長、理工学研究科修士課程1年)  
 電子電源系リーダー (サブプロジェクトマネージャー、航空宇宙工学科3年)  
 通信系リーダー (航空宇宙工学科3年)  
 ミッション系リーダー (航空宇宙工学科2年)  
 構体系リーダー (航空宇宙工学科2年)  
 電子電源系クルー (ヒューマン情報システム学科 3年)  
 ミッション系クルー (航空宇宙工学科 2年)  
 ミッション系クルー (航空宇宙工学科 2年)  
 熱系クルー (航空宇宙工学科 1年)  
 ミッション系クルー (航空宇宙工学科 1年)  
 ミッション系クルー (航空宇宙工学科 1年)  
 電子電源系クルー (航空宇宙工学科 1年)  
 構体系クルー (広報部長、航空宇宙工学科 1年)

冲永 佳史  
 波江野 勉  
 久保田 弘敏  
 河村 政昭  
 笹尾 泰祥  
 吉村 弘之  
 柴田 克哉  
 安藤 貴大  
 田組 里穂  
 爲我井 孝規  
 小倉 健司  
 佐川 優太  
 畑山 佑介  
 磯 匠  
 今井 真冬  
 植草 弘揮  
 松谷 流加  
 山崎 陽之輔

「TeikyoSat-3」開発関係

通信系アシスタント (理工学研究科 博士課程2年)	高橋 綾香
電子電源系アシスタント (理工学研究科 博士課程1年)	中村 聡史
熱系アシスタント (理工学研究科 修士課程1年)	猪野 雄伍
熱・軌道系アシスタント (理工学研究科 修士課程1年)	渡邊 拓也
構体系アシスタント (航空宇宙工学科 4年)	佐藤 直也
ミッション系アシスタント (航空宇宙工学科 4年)	舟場 菜穂
技術職員 (航空宇宙工学科)	内山 晃
技術職員 (航空宇宙工学科)	植竹 康之
構体系アドバイザー (JAWSS)	木村 順一
ミッション系アドバイザー (バイオサイエンス学科長)	梶谷 正行
ミッション系アドバイザー (柔道整復学科 教授)	若林 健之
ミッション系アドバイザー (理工学研究科 博士課程3年)	五味 潤 由貴
ミッション系アドバイザー (医療技術学研究科 2年)	大貫 貴広
ミッション系アシスタント (バイオサイエンス学科 3年)	武馬 豊史子
ミッション系アシスタント (バイオサイエンス学科 2年)	音羽 優
ミッション系アシスタント (バイオサイエンス学科 2年)	西村 裕一
ミッション系アドバイザー (帝京大学医真菌研究センター 教授)	横村 浩一
ミッション系アドバイザー (帝京大学医真菌研究センター 講師)	山崎 丘

# 学外協力者銘板



係者

## Special Thanks!!

### Ⓜ 東都工業株式会社

代表取締役社長 佐畑 浩司  
 取締役会長 佐畑 博司  
 第2技術部長 柏谷 博  
 品質保証部長 丹沢 賢次  
 第2技術副部长 藤野 耕志  
 第1設計課 久保田 修一  
 第3設計課 小藤 涼  
 生産技術課 大橋 智弘  
 同 小嶋 広光  
 同 中嶋 泰之  
 同 高野 直史  
 同 五十嵐 利典  
 同 福田 康弘  
 同 笹沼 聡  
 同 小松 弘樹

### (構体製作)

第1製造課 山口 眞一郎  
 同 菊地 克夫  
 同 早乙女 剛哉  
 同 松尾 潤一  
 同 小出 直人  
 第2製造課 大塚 幸男  
 同 大家 朋彦  
 品証検査課 大須賀 文勝  
 同 関谷 憲司  
 同 仁平 健太

### Ⓜ 株式会社湯原製作所

(ミッションモジュール容器製作)

代表取締役社長 湯原 正壽  
 全体統括(取締役技術統括部長) 星野 誠  
 モジュール容器設計製作(技術部長) 和田 修  
 モジュール容器設計開発(技術部開発技術課長) 磯 幸男  
 モジュール容器設計製作(品質保証部品質保証課長) 大輪 浩之

加治金属工業株式会社 (構体表面処理)

株式会社佐治商店 (特注シャーレ製作)

中興化成工業株式会社 (PTFE製作)

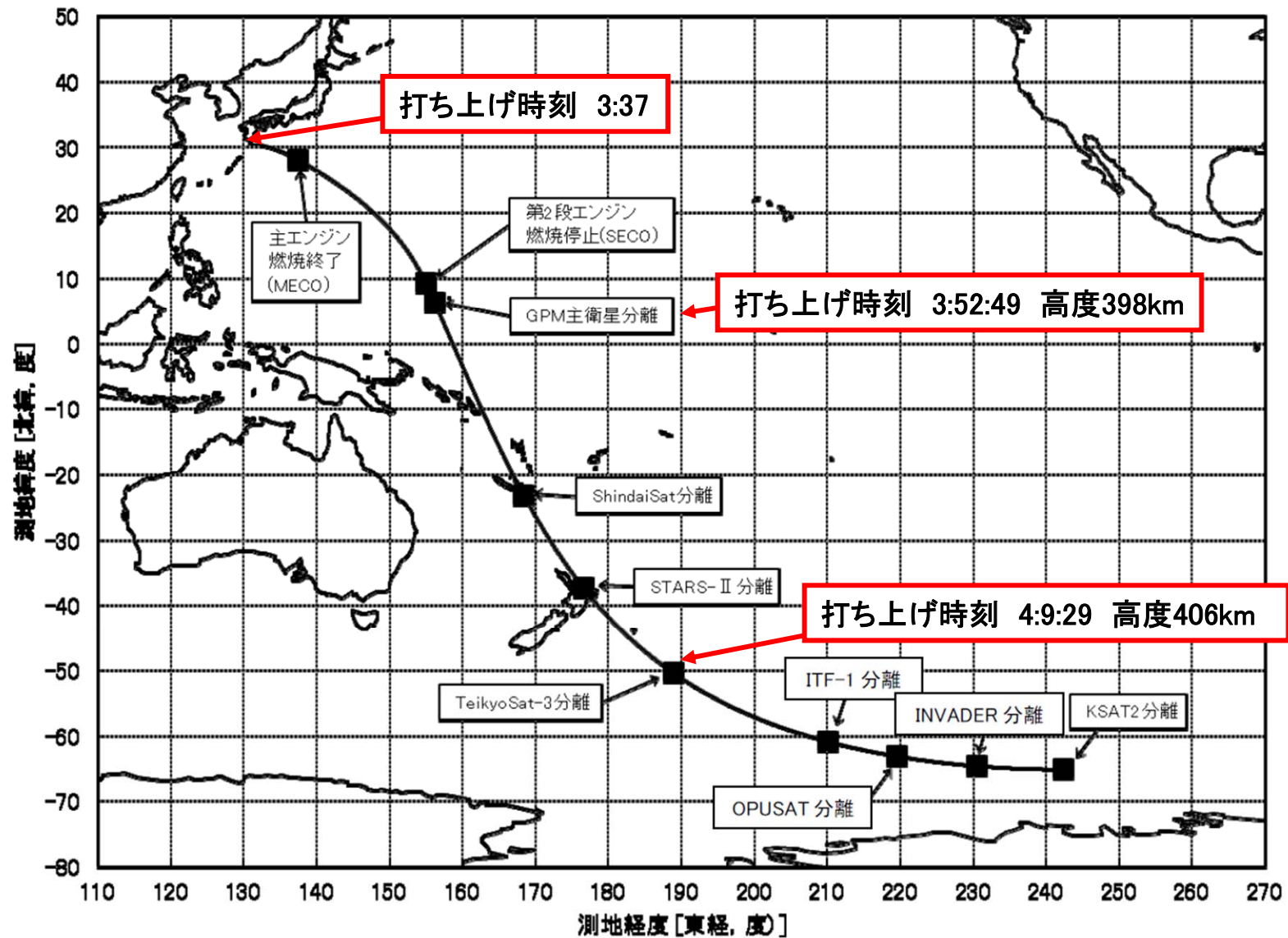
栃木カネカ株式会社 (MLI製作)

栃木県産業技術センター (共同研究)

公益財団法人栃木県産業振興センター (サポートユアビジネス事業)



# H-IIAロケット23号機飛行計画



# 初日の運用予定

ノミナル時刻			主要イベント
日付	JST	X +	
2/28(金)	04:37~04:46	+ 01:30	KSAT2 1stパス
	04:43~04:53	+ 01:36	STARS-II 1stパス
	04:44~04:52	+ 01:37	OPUSAT 1stパス
	04:45~04:50	+ 01:38	ITF-1 1stパス
	05:47	+ 02:40	打上げ経過記者会見(第3部)
	16:32~16:38	+ 13:25	INVADER 1stパス
	16:33~16:43	+ 13:26	TeikyoSat-3 1stパス
	16:37~16:43	+ 13:30	ShindaiSat 1stパス