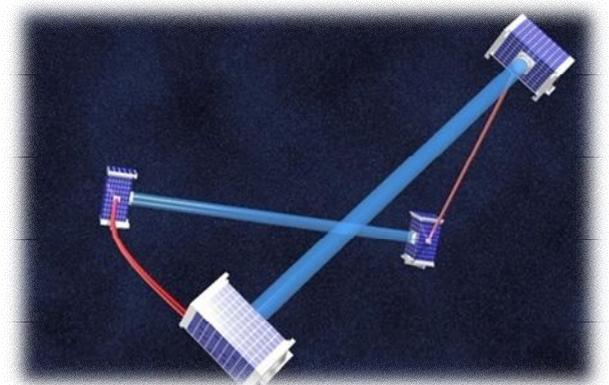
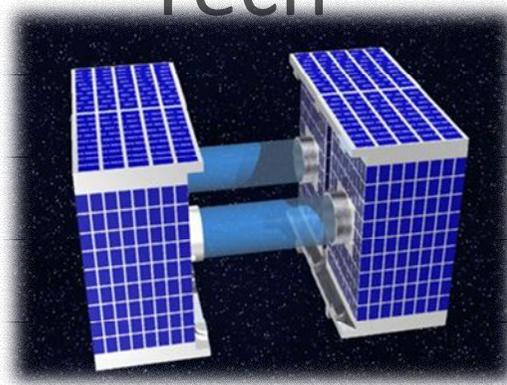




# 東工大小型衛星開発プログラム2008

— Small Satellite Program 2008 in Tokyo —

Tech



## 東京工業大学松永研究室

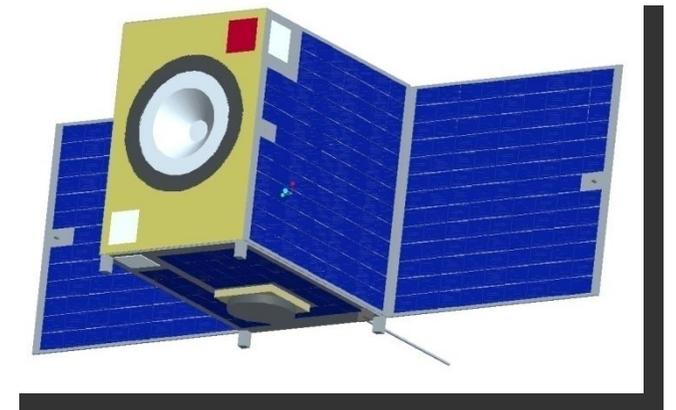
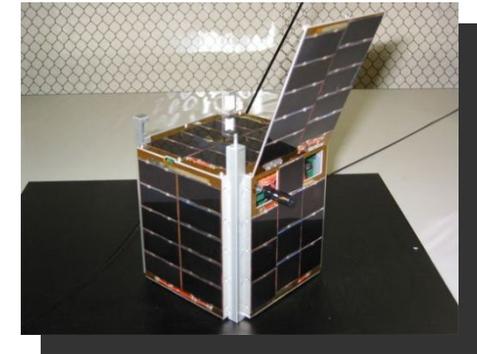
稲川慎一, Paul Iliffe, 芦田宏樹, 西田淳一, 藤橋幸太  
川久保学, 水沼慎太郎, 久我楽南, 三浦尚幸  
秋山恭平, 木佐允彦, 松永三郎



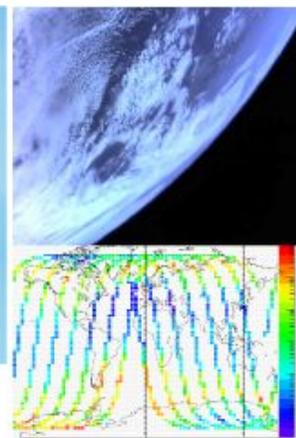
2008 11/23 UNISEC WS in AKITA

# これまでの活動

- **Cube Sat project**
  - CUTE-I (2003.6打ち上げ)
  - Cute-1.7 + APD (2006.2 打ち上げ)
- **CanSat project**
  - 1999年より毎年参加
  - 20機以上製作
- **衛星設計コンテスト**
  - 12回参加  
(2006,2007年度は不参加)
  - 6度設計大賞を受賞

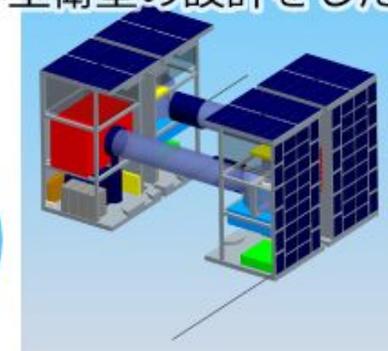


# 今年度の活動



## 新規衛星の設計 × 計画 衛星設計コンテスト出展

近年注目されている編隊飛行を行う小型衛星の設計をした。



4月にインド PSLV  
で打ち上げに成功し、荷電粒子観測や3軸姿勢制御実験を実施する

## 小型衛星プログラム 2008 Small Satellite Program 2008

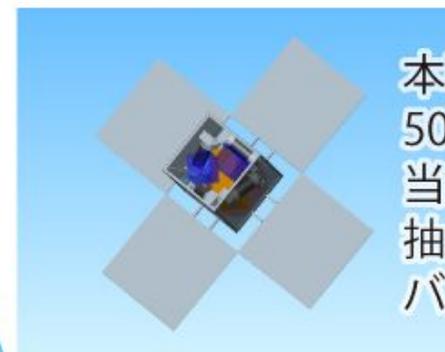
### Cute-1.7 + APD II 打ち上げ × 運用



技術の継承・新規技術獲得を行い、継続して衛星開発技術を向上させる。

### ARLISS 参加 技術の獲得 × 継承

### CMG × 偏光 X 線観測衛星 『TSUBAME』開発



本研究室 4 機目  
50kg 級衛星開発に  
当たり技術課題の  
抽出・克服に挑み、  
バス開発を進める。

# 発表内容

松永研究室開発3機目の超小型人工衛星  
Cute-1.7 + APD IIの打ち上げ・運用とその結果

---

ARLISS2008

CanSat <QUAROBORDS> プロジェクト

---

次期小型衛星TSUBAMEの開発

---

第16回衛星設計コンテスト

立体編成飛行衛星テトラ

---

まとめ

---

# 松永研究室開発3機目の超小型人工衛星 Cute-1.7 + APD IIの打ち上げ・運用とその結果

---



# Cute-1.7 + APD IIの概要



## 仕様

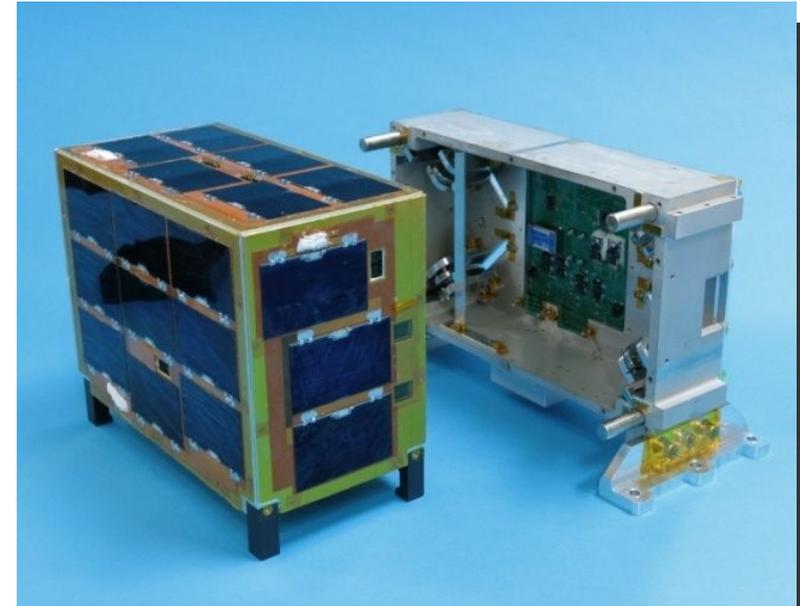
サイズ: 115 × 220 × 180 mm

質量: 3kg, 発生電力: 6.6W

搭載センサ: 3軸ジャイロセンサ

3軸磁気センサ, 太陽センサ

搭載アクチュエータ: 磁気トルカ



## ミッション

1. 民生品を利用した衛星開発
2. 磁気トルカを利用した姿勢制御実験
3. アマチュアサービス
4. APDセンサ宇宙実証
5. 超小型衛星用分離機構の実証



# 打ち上げ@ISRO



## 打ち上げロケット

— PSLV-C9

## 打ち上げ場所

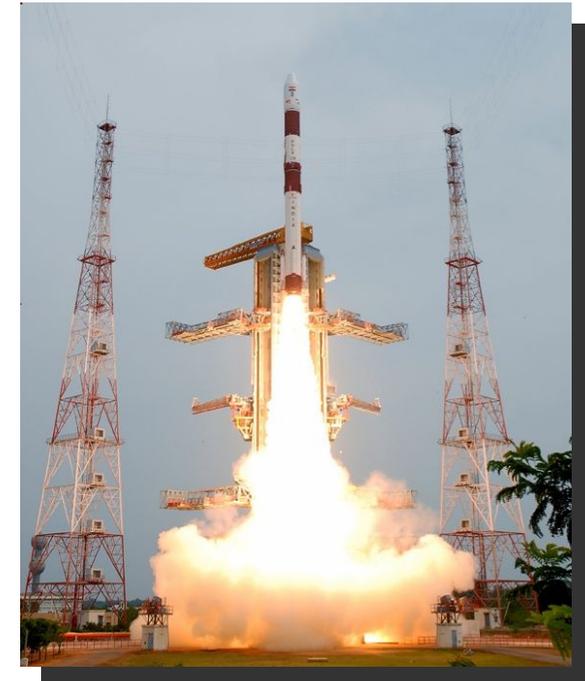
— サティッシュ・ダワン  
宇宙センター(インド)

## 打ち上げ時刻

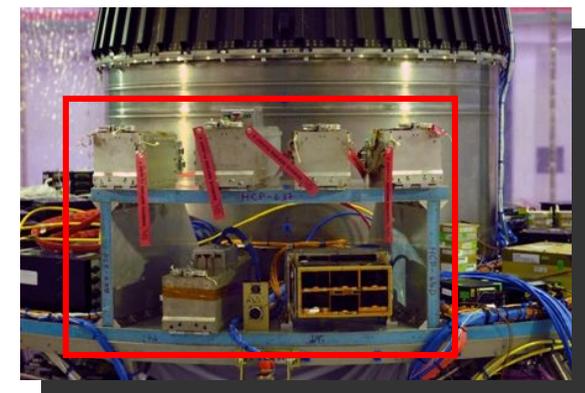
— 2008年4月28日12時53分  
(日本標準時)

## 軌道

— 高度約620km, 太陽同期  
軌道傾斜角 : 98deg  
降交点時刻: 9時30分

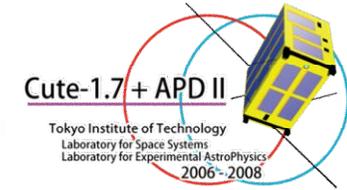


PSLV-C9



相乗り衛星

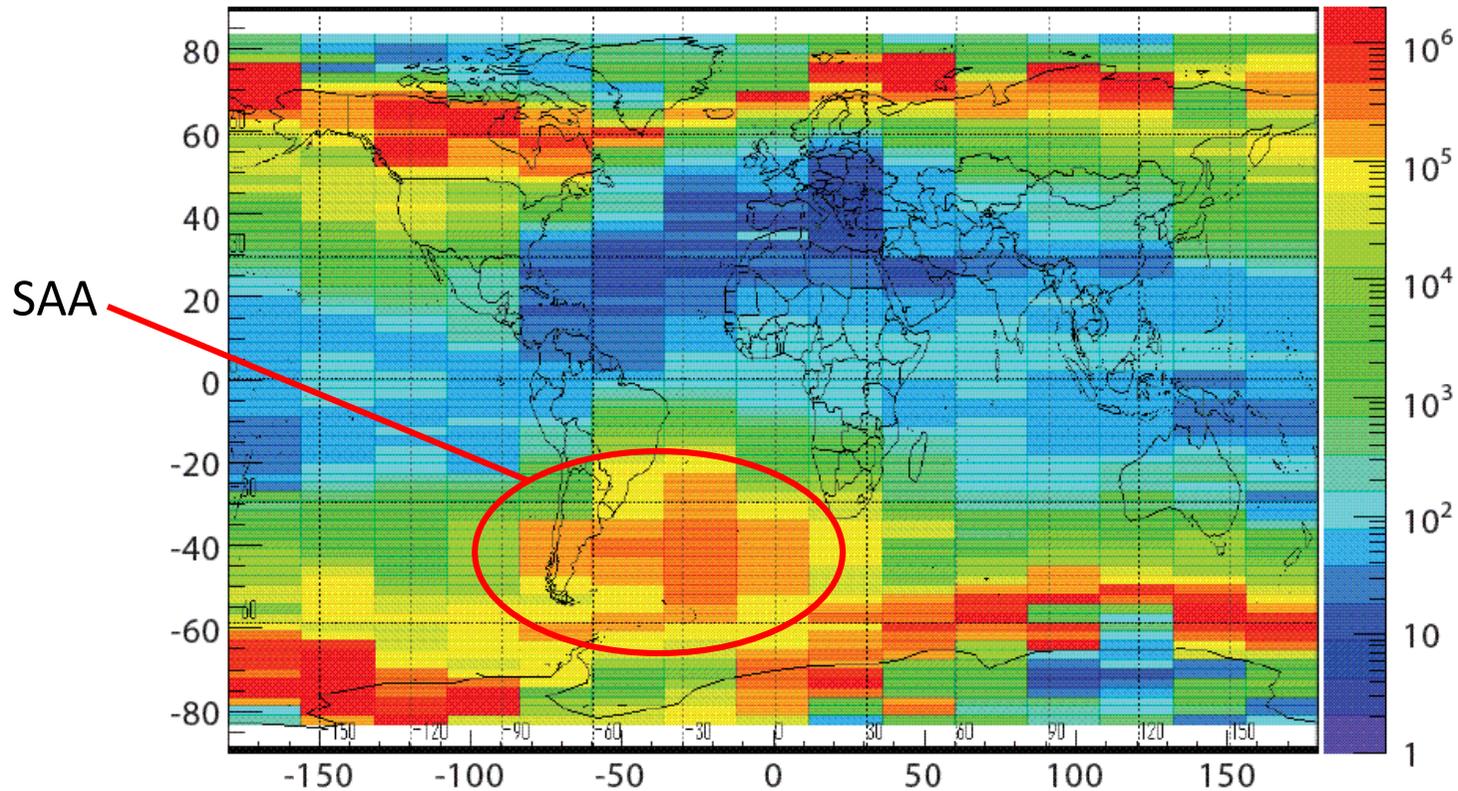
# 運用成果1 荷電粒子観測



世界初の30keV以下の荷電粒子全球観測の成功

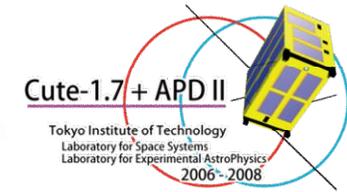
観測荷電粒子のエネルギー閾値を変更した観測の実施

荷電粒子の時間変動を観測中

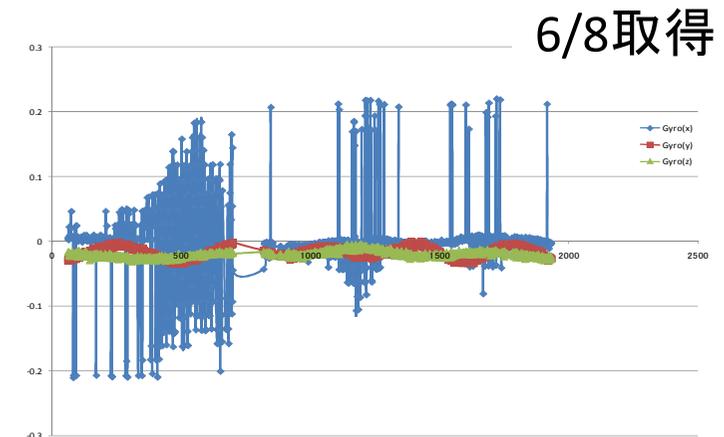
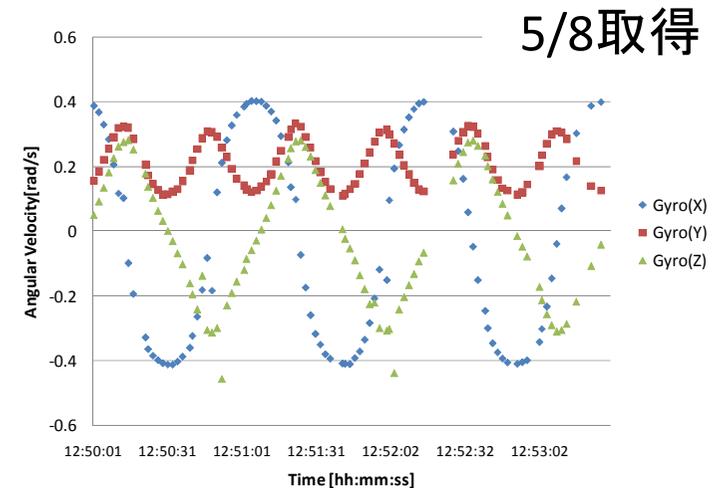


荷電粒子観測結果(9~30keV)

# 運用成果2 姿勢決定実験



- 姿勢決定アルゴリズムの検証
  - QUEST
  - REQUEST
  - 拡張カルマンフィルタ
  - 無香料カルマンフィルタ
- ジャイロセンサ値の異常
  - 2軸: およそ0rad/s,
  - 1軸: 離散的な値
  - センサ周辺回路のバグ
- 複数のアルゴリズムによる結果の比較が行なえていない

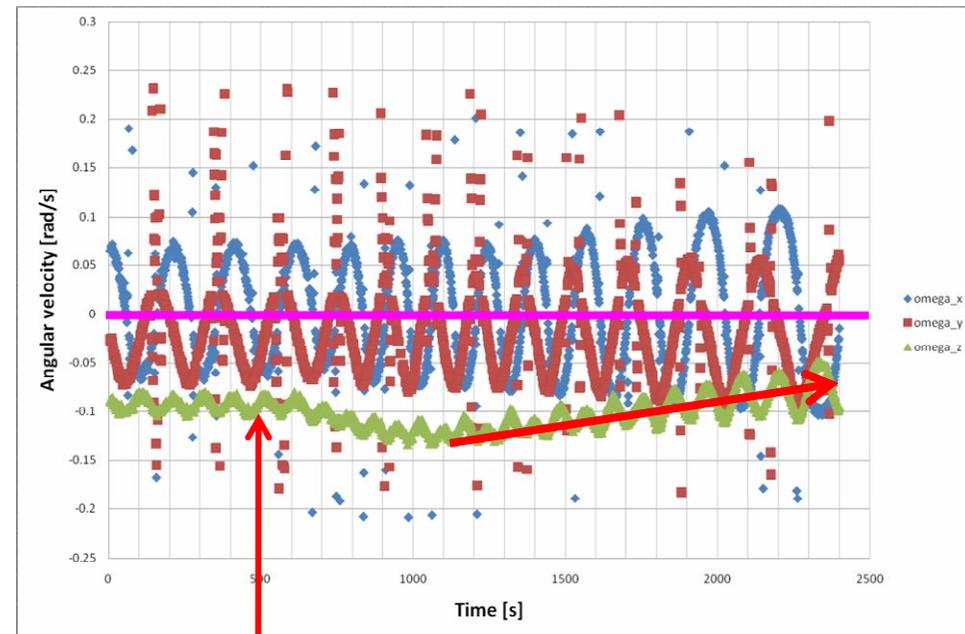


ジャイロセンサデータ

# 運用結果3 姿勢制御実験



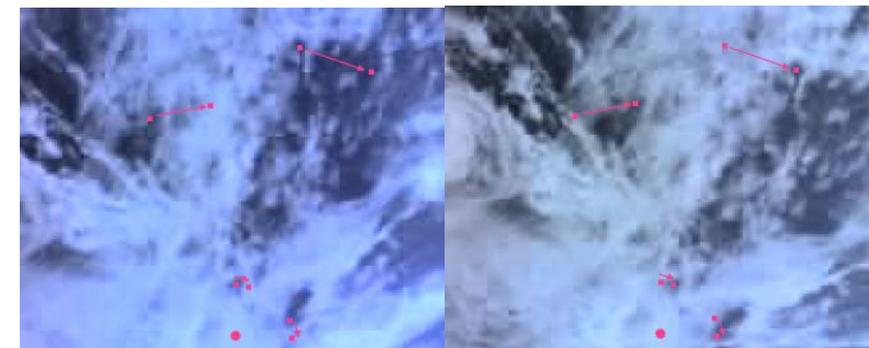
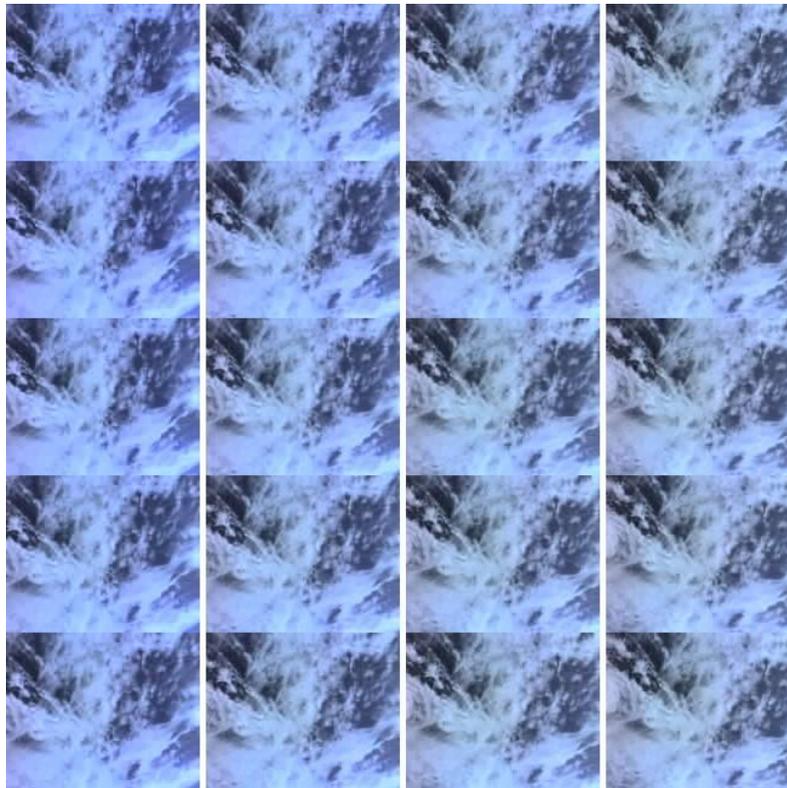
- 磁気トルカの効果検証
  - Bdot制御を実施
  - 1軸の角速度  
→ 0rad/s
  - 姿勢決定方法  
QUEST
- 1軸の角速度が  
0rad/sへ変化
- 磁気トルカの  
有効性の確認



制御開始

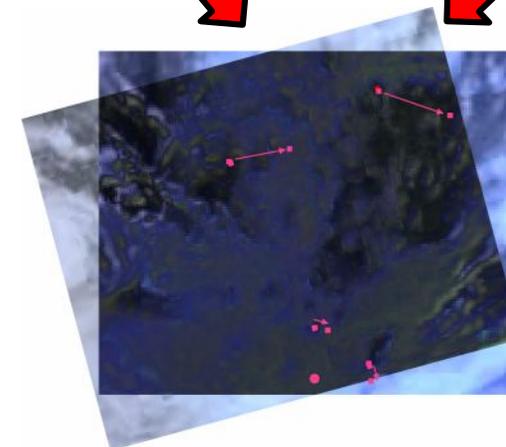
# 運用結果4 動画撮影

- 1.3秒間の動画の撮影に成功
- この動画より衛星の角速度を算出:  $0.264\text{rad/s}$

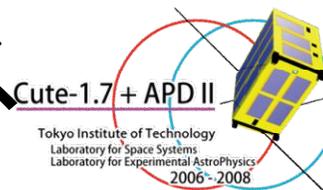


1フレーム目

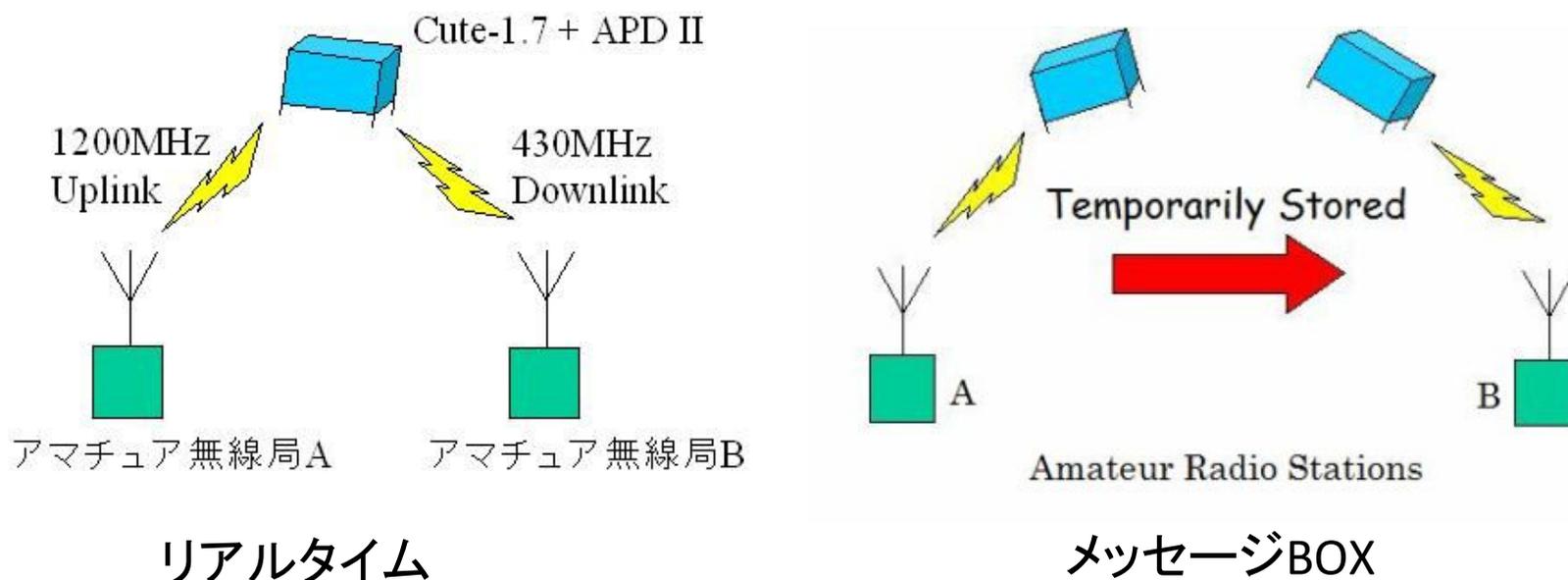
20フレーム目



# 運用結果5 アマチュアサービス



- **1.2GHzのデジピータの利用開始**
  - 全国のアマチュア無線家の協力のもと、デジピータの正常動作を確認
- **メッセージBOX機能の実施予定**



衛星を中継器とした通信概念図

# 運用体制



## 2人体制で運用

### 仰角により運用パスの選択-運用の効率向上

- 7/23~仰角 $10^{\circ}$  以上のパスを運用
- 10/8~仰角 $20^{\circ}$  以上のパスでミッションを実施  
急ぎのダウンリンクは低仰角でも実施

### CHATROOMによるリアルタイム受信協力

- 現在はアマチュア無線家の  
情報交換の場として利用

### Googleカレンダーを利用した 運用予定の公開

Tokyo Tech Ground Station Operation Schedule	
今日	11月 20日 (木曜日)
11月 20日 (木曜日)	
08:17	Cute-1.7 + APD II Pass
09:52	Cute-1.7 + APD II Pass
日時	11月 20日 (木), 09:52 ~ 10:05
場所	AZ@AOS=6deg, Max EL=57deg (地図)
説明	Operator: Paul, 秋山, Mission:姿勢系データダウンリンク, Comment: <a href="#">詳細</a> <a href="#">マイカレンダーにコピー</a>
11:30	Cute-1.7 + APD II Pass
19:11	Cute-1.7 + APD II Pass
20:44	Cute-1.7 + APD II Pass
22:23	Cute-1.7 + APD II Pass
11月 21日 (金曜日)	
08:35	Cute-1.7 + APD II Pass
10:11	Cute-1.7 + APD II Pass

# 成果報告状況



## ブログによる運用結果報告

### 展示・講演会

JAMSAT Symposium

ハムフェア

航空国際宇宙展

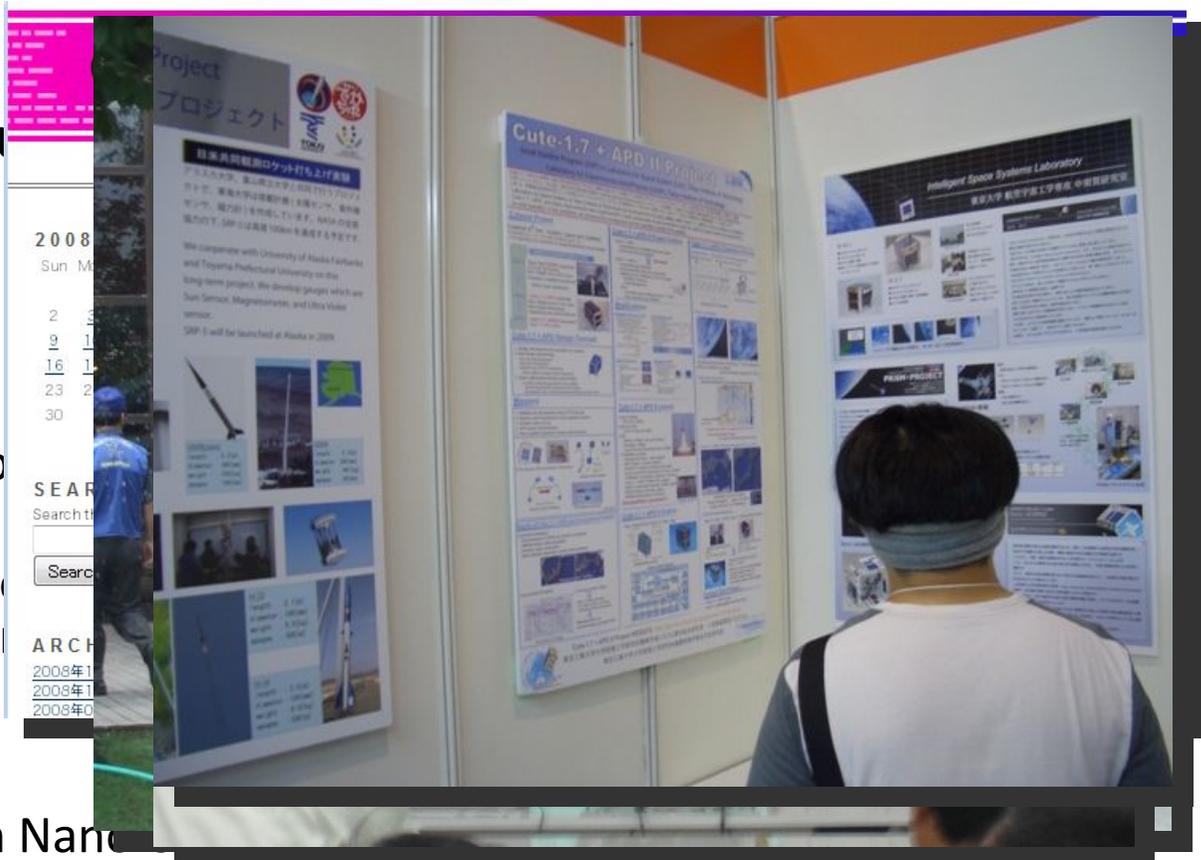
### 5つの学会へ発表

Flight Model Develop

Tracking and Operati  
[18<sup>th</sup> Wo

超小型衛星Cute-1.7

Design of Tokyo Tech Nan



[59<sup>th</sup> IAC]

超小型人工衛星Cute-1.7 + APD IIの打ち上げ・運用結果

[第52回宇宙科学技術連合講演会]

ARLISS2008

CanSat <DUROBOROS> プロジェクト

---



# プロジェクト概要



Mission: 固定翼機によるフライバック

ARLISS2007

## PHOENIX

無尾翼機による初挑戦  
プロペラ推力差を利用



ARLISS2008

## OUROBOROS

飛行機タイプ  
尾翼による飛行方向制御  
翼面積の拡大  
軽量化(740g→400g)



# プロジェクト目的



## Minimum success level

- 飛行履歴の取得・保存
- 翼の展開および滑空

基礎技術の習

新規技術開発力の鍛練

## Middle success level

- GPSデータを利用した飛行方向の制御
- SRLLプロトコルによる通信

基礎技術の習得

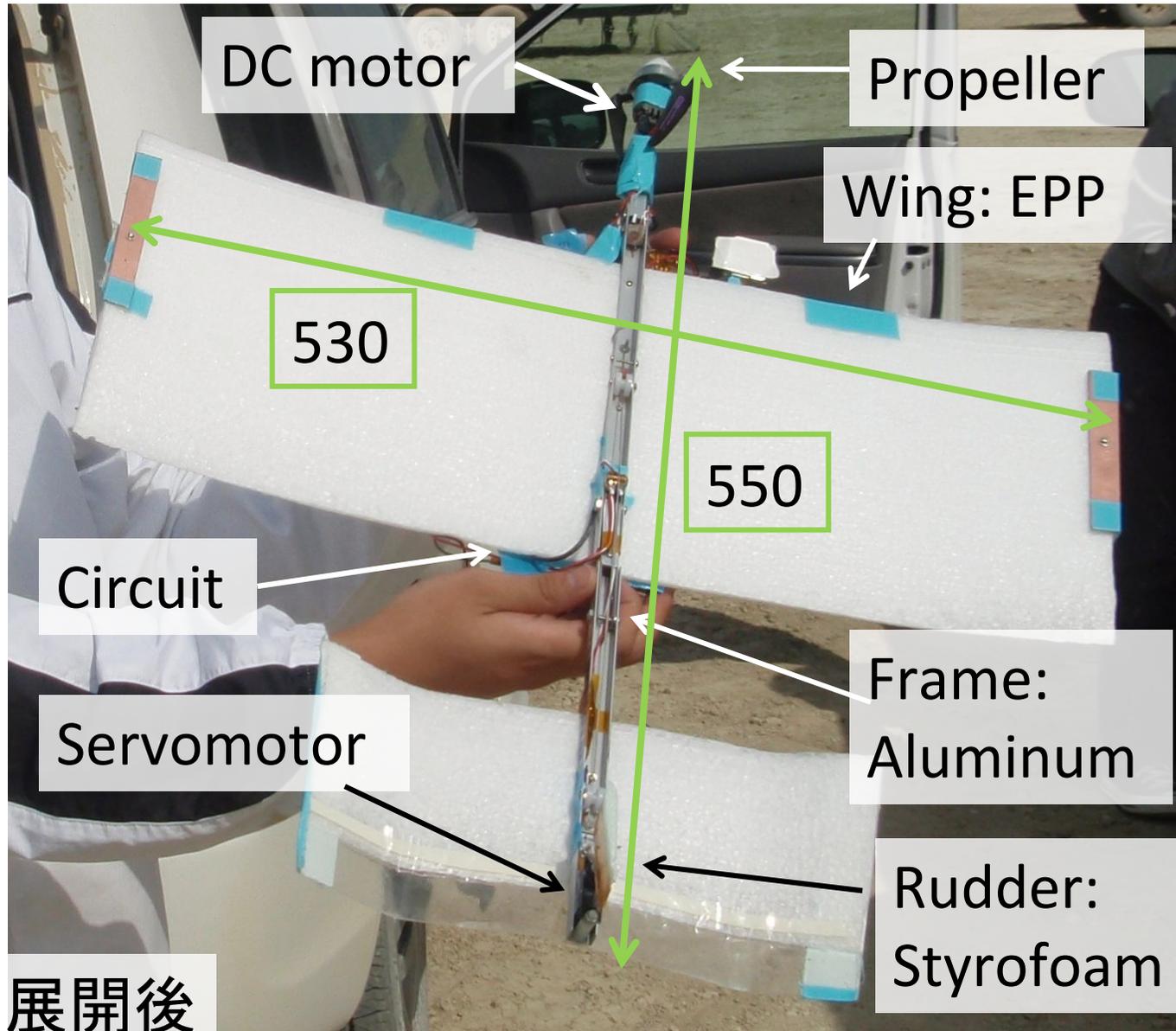
松永研独自技術の継承

## Full success level

- ターゲットポイントから200m以内に着陸

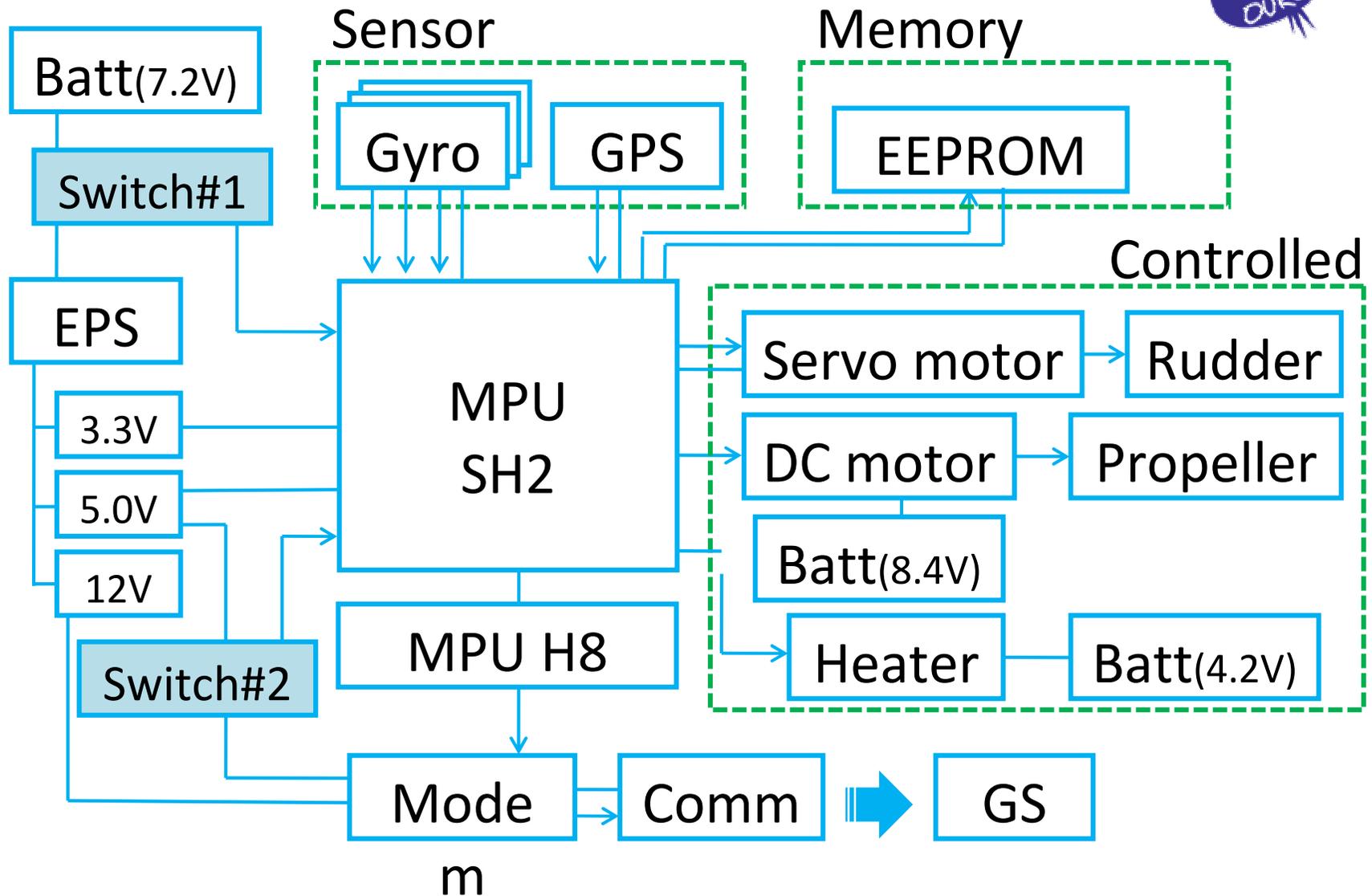
- Cute開発メンバーの卒業とともに技術が失われてしまうことを防ぐ—**技術継承**

# OUROBOROS外觀

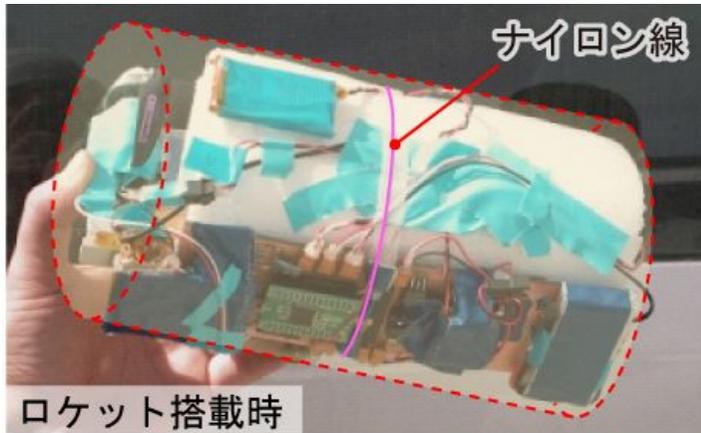
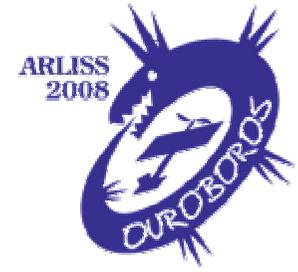


展開後

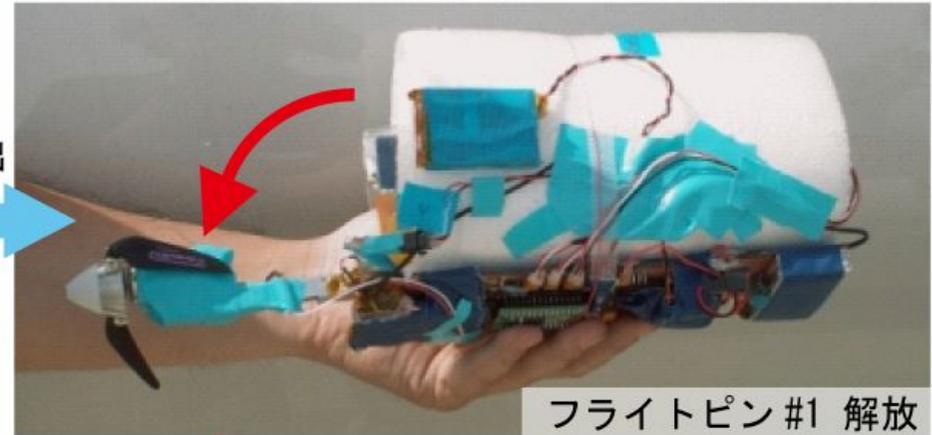
Weight:  
400g



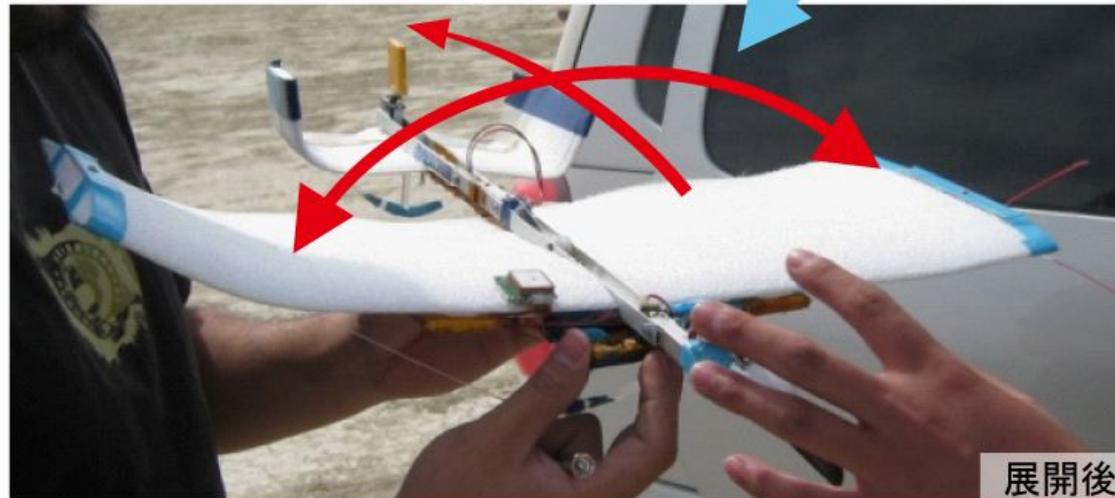
# フライトシーケンス



放出



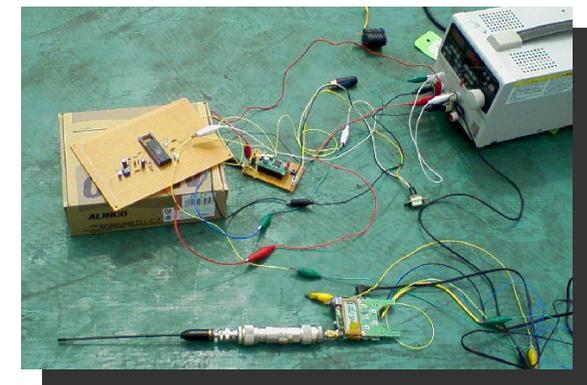
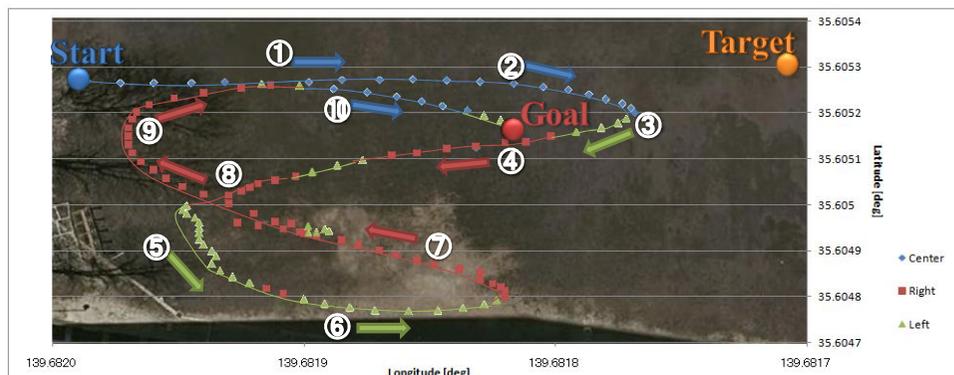
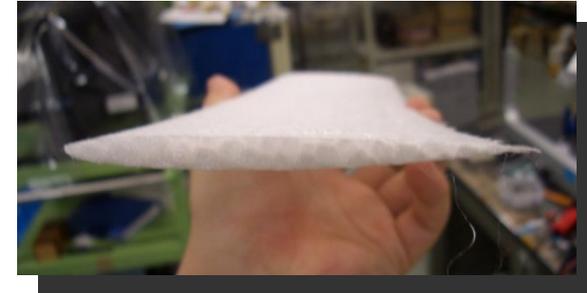
ナイロン線溶断・展開



# 製作過程/実験・実証



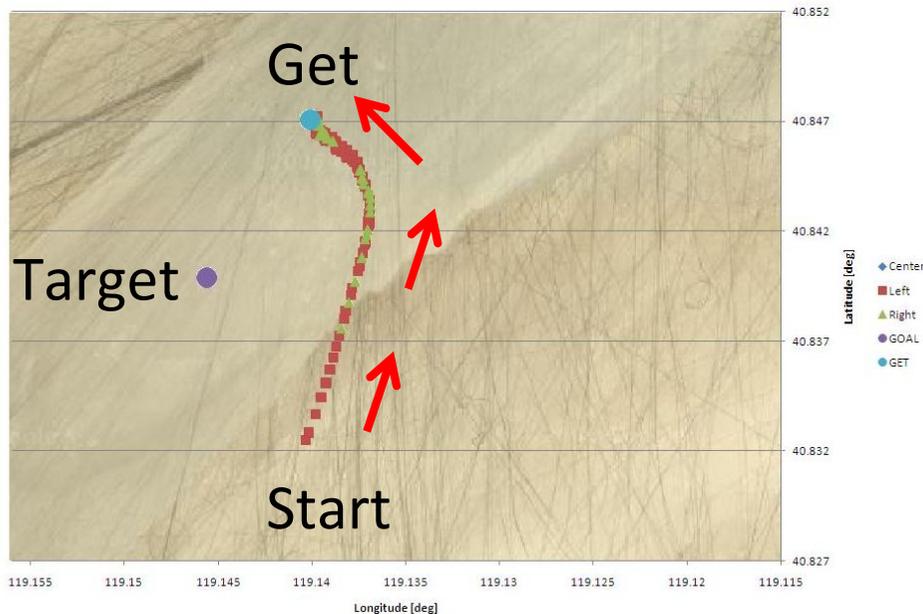
- EPPの利用(研究室として新規の材料)
  - 加工方法・剛性, 曲げの評価
- 5回の気球実験
  - 飛行性能・制御方法の検証
- 通信実験
- サーボ制御実験



# ARLISS2008結果



- 1回目 **フライバック3位入賞**
  - ターゲットから903m地点で発見
  - 全機能の動作確認



- 2回目
  - ターゲットから163m地点で発見 **自由落下記録1位**
  - メインバッテリーハーネスの断線により自由落下

# プロジェクトのまとめ



## Minimum success level

- 飛行履歴の取得・保存
- 翼の展開および滑空

基礎技術の習

新規技術開発力の鍛練

## Middle success level

- GPSデータを利用した飛行方向の制御
- SRLLプロトコルによる通信

基礎技術の習得

松永研独自技術の継承

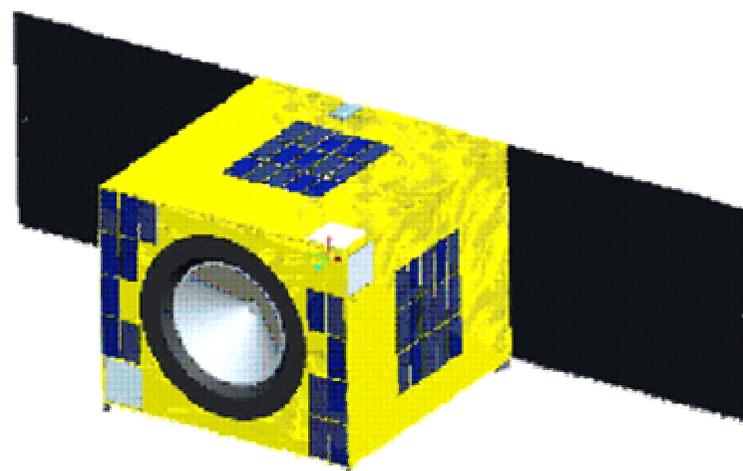
## Full success level

- ターゲットポイントから200m以内に着陸

各個人の技術継承・習得を通して、  
研究室の衛星開発技術として定着させることに成功

## 次期小型衛星TSUBAMEの開発

---



# TSUBAME概要

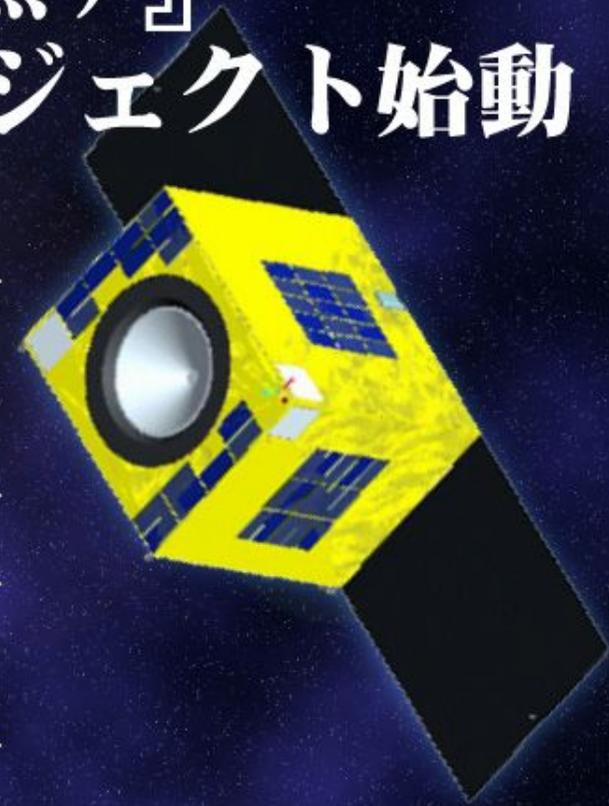


第12回衛星設計コンテスト  
設計大賞受賞作品

## 『TSUBAME (燕)』 開発プロジェクト始動

Main mission \_\_\_\_\_  
CMG を利用し  
10 秒以内で姿勢制御を行い  
突発天体現象の発生直後を観測する

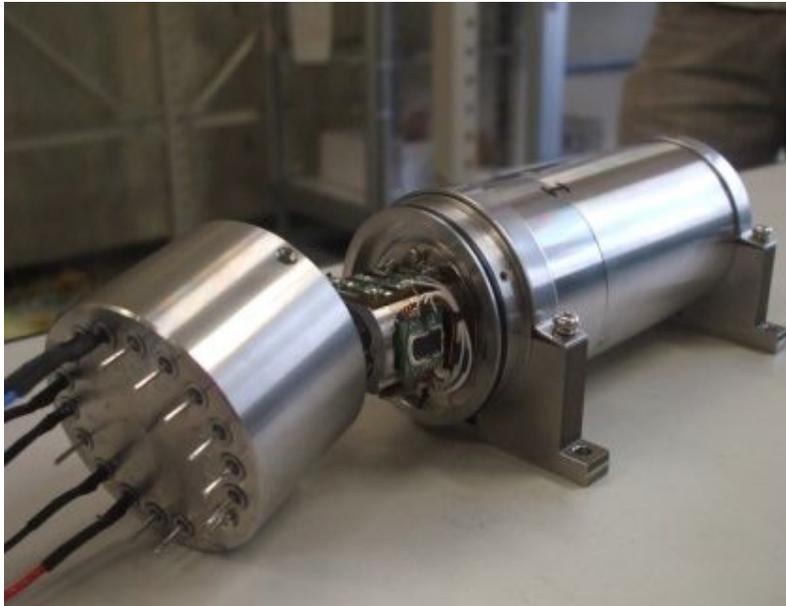
SPEC \_\_\_\_\_  
size : 300×300×300mm  
weight : 30kg



# 小型CMGの開発



## 小型CMGプロトタイプモデル

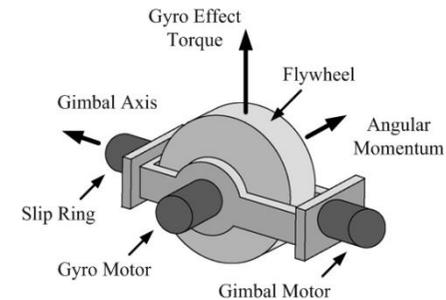


大きさ:  $\phi 70 \times 134$  [mm]  
 重量: 960 [g]  
 最大角運動量: 0.05 [Nms]  
 最大ジンバル速度:  $\pm 0.5$  [rad/s]

多摩川精機との共同開発研究

## Control Moment Gyro

大型宇宙構造物に採用されてきた高トルク発生デバイス



- 性能試験を実施

- 印加電圧の違いによる

ミッション要求を満足する  
課題の抽出

- 加減速時におけるホイールの回転特性

# 課題の明確化



- ミッションを詳細に再定義
  - ミッション期間
  - 観測できる可能性・確率
  - CMGの性能劣化と寿命

高速計算の必要性

—FPGAの利用

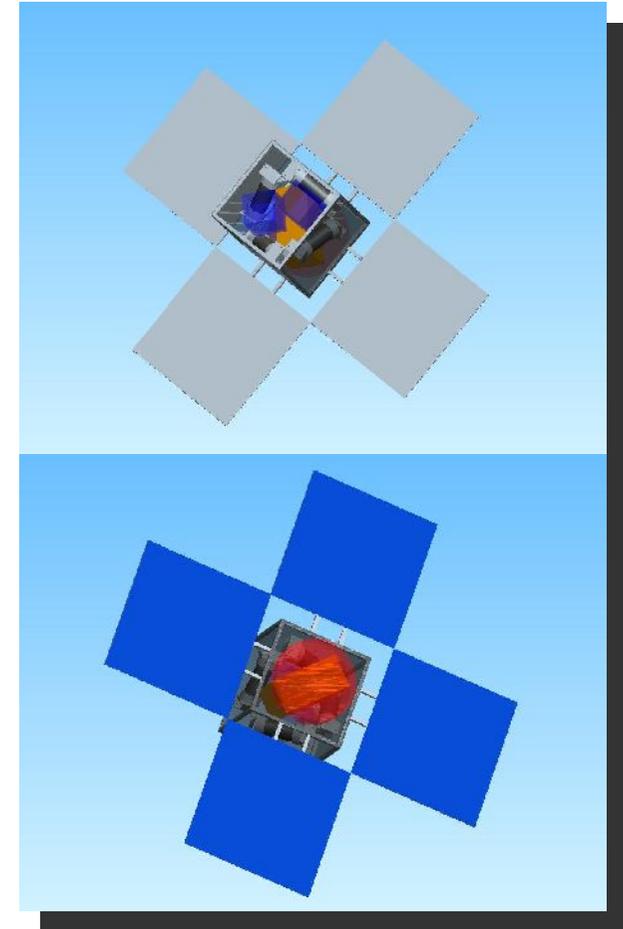
ダウンリンクデータ量

—専用周波数帯の検討

消費電力

—太陽セル貼付面積・衛星表面積

慣性モーメントの低減—内部機器の配置



# 第16回衛星設計コンテスト

## 立体編成飛行衛星テトラ

---



# フォーメーションフライト(FF)



複数の人工衛星が編隊飛行して、  
協調的にミッションを遂行

## 一般的なFFのメリット

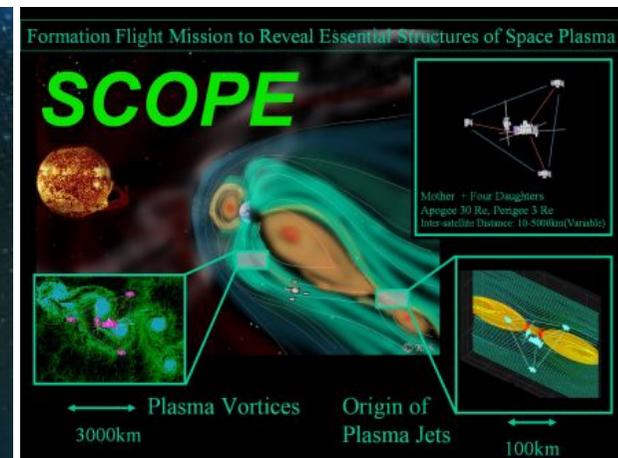
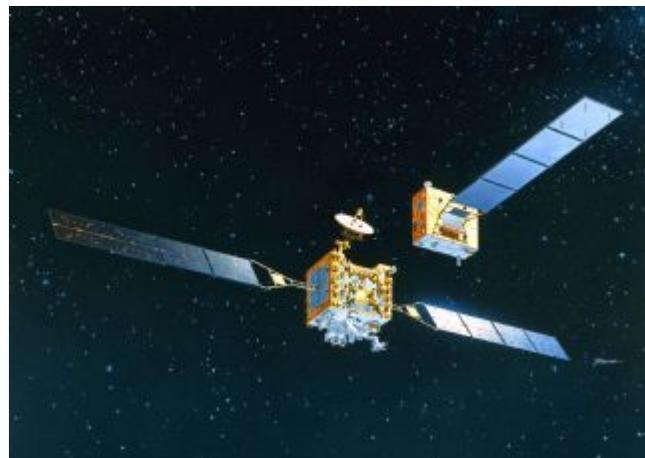
- 大容積の確保、冗長性、システムの柔軟化
- 観測衛星において多周波数で多角的な同時観測
- 同時観測・空間配置による分解能の向上

## FF衛星の例

ETS-VII

SCOPE

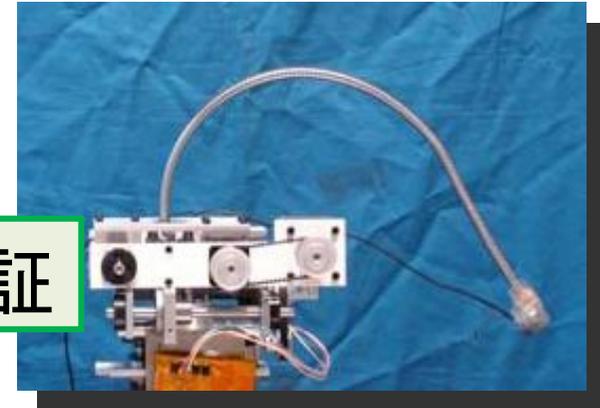
(JAXA)



## ミッション

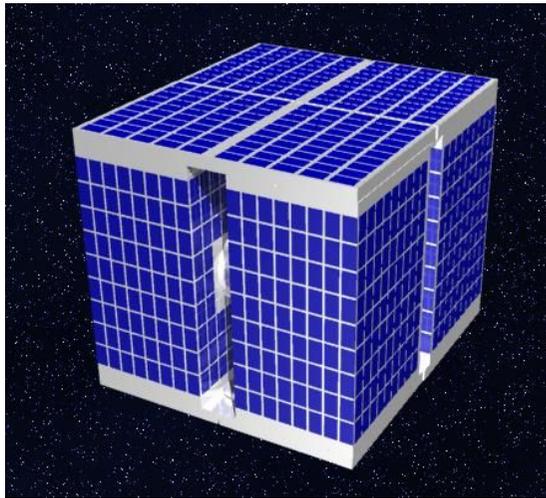
## 複数のデバイス利用による 任意のフォーメーションへの変更技術の実証

- 獲得技術
  - 最大100mの**MBD**の伸展技術
    - 研究室独自技術の宇宙実証
    - 伸展アルゴリズムの実証
  - 長大な**インフレーターブルチューブ**の伸展技術
    - 注目されている技術の利用
    - チューブの宇宙利用
  - 3DFF時のスラスト利用による**姿勢制御**技術
    - 観測などを視野に入れた発展性の検証

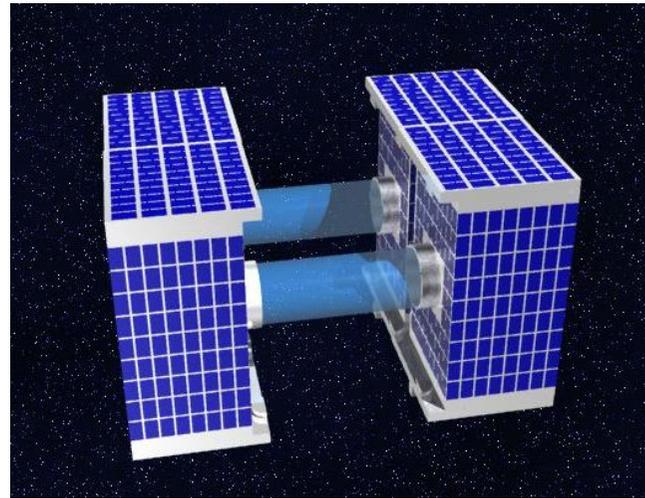


# ミッションシーケンス

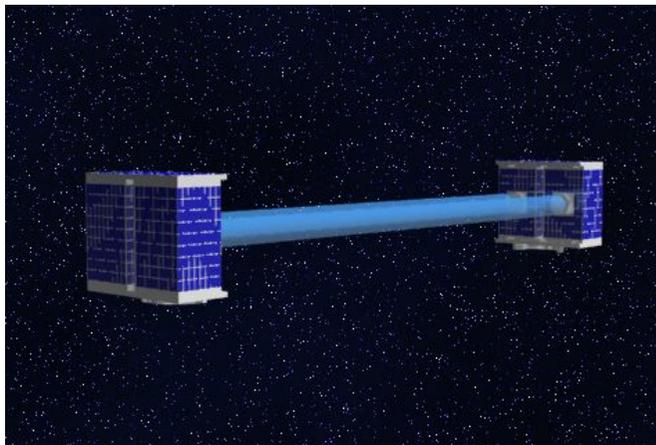
16th Satellite Design Contest



太陽同期軌道(700km)  
投入直後



インフレーターチューブ伸展(100m)



MBD未伸展状態

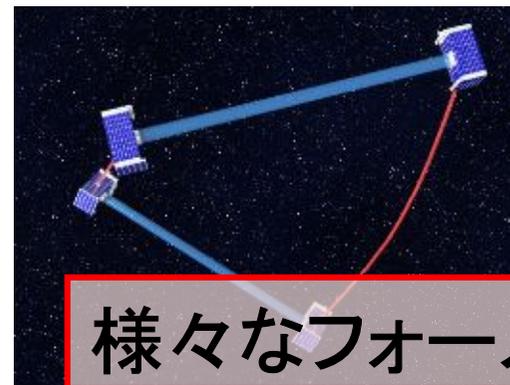
伸展



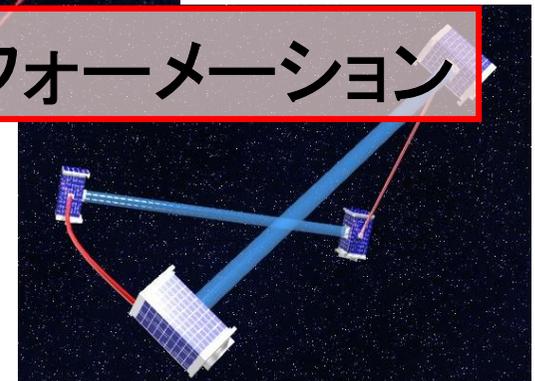
MBD



収納



様々なフォーメーション



# 発表—結果



2008 11/23 UNISEC WS in AKITA

# コンテストへの取り組み



持つ（発展的な）工学の理解につながつた

# まとめ



# 今年度の活動のまとめ

## Cute-1.7 + APD II 打ち上げ × 運用

- 打ち上げに用いた技術を得ることができた。
- 今後も観測・**運用フェーズ**の結果を次期衛星につなげる

## ARLISS 技術獲得 × 継承

- フライバックコンペ3位入賞
- 技術継承・習得

### 開発フェーズ

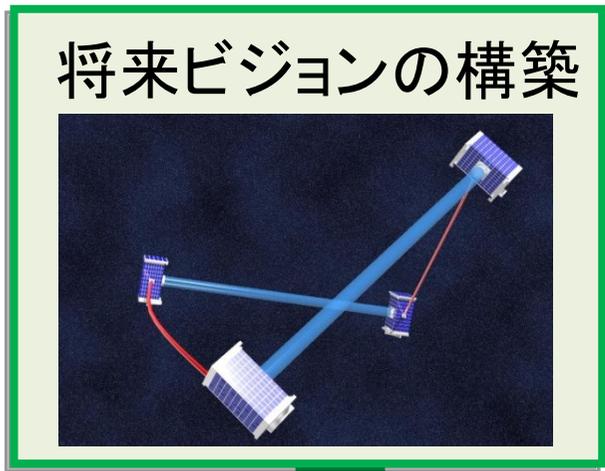
## TSUBAME開発 CMG、備用カメラ既測衛星

- CMGの開発を主にすすめた
- 各系の仕様と課題を明確にしている

## 衛星設計・**ミッション検討フェーズ**計画

- 設計大規模な衛星設計を経験
- 新規ミッション計画・設計を経験
- 5機**衛星開発の全フェーズ**を経験

# 将来展望



衛星設計コンテスト

3機の衛星開発  
CUTE-I  
Cute-1.7 + APD  
Cute-1.7 + APD II

解決策の実証

ARLISS

開発技術の  
習得・継承

課題の抽出

新入生



ご清聴ありがとうございました