

# 大学生による先進的な超小型衛星の研究開発 —超小型衛星TSUBAMEプロジェクト—



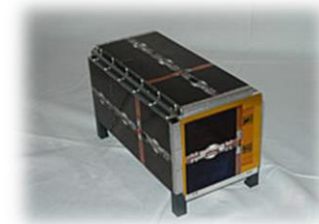
- 松永研のSmall Satellite Program紹介
  - 超小型衛星
- TSUBAMEプロジェクトーマネジメントの観点からー
  - 概要
  - 開発過程：統合試験～打上げ

宇宙を舞台とし、  
個人の能力を最大限に発揮する。

エンジニアとしての素養を深める活動の中で、  
新たな宇宙開発を創出することで  
理工学の発展に寄与し、  
人類に貢献する。

- 超小型人工衛星開発プロジェクト

- ✓ 数kg～数十kg級人工衛星の開発・打上・運用



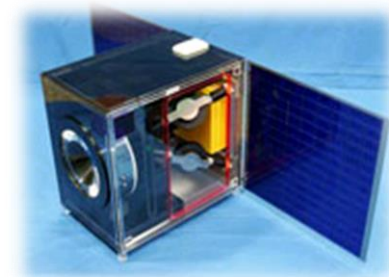
- CanSatプロジェクト

- ✓ 空き缶サイズの模擬人工衛星の開発
- ✓ アメリカで打ち上げ実験



- 衛星設計コンテスト

- ✓ 小型人工衛星の概念設計を行う
- ✓ 東工大は13回参加（7回大賞受賞）



## 1～数十kgの人工衛星のこと

- 特徴
  - 小型・短期開発・安価
  - 通常の大衛星とは異なる
- 2003年に東工大・東大が世界初の技術実証に成功
- 現在
  - 世界中で開発（年間打上げ数100機以上）
  - 注目の技術（サイエンス誌ブレイクスルー2014入選）

### The rise of the CubeSat

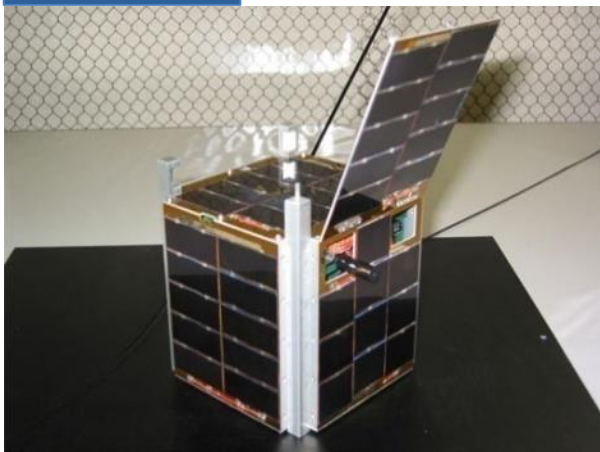
A decade ago, CubeSats were just educational tools, a way for university students to place a simple Sputnik in space. Now these 10-centimeter boxes, built with off-the-shelf technology and costing hundreds of thousands of dollars rather than hundreds of millions, have taken off. More than 75 were launched this year, a record. What's more, the little boxes are starting to do real science.

Increased and affordable access to space is driving much of the boom. CubeSats can hitch a ride on commercial or government rockets carrying bigger spacecraft, or they can be pushed out the door of the International Space Station. The rapid-fire launch rate is encouraging



Source: <http://www.sciencemag.org/content/346/6216/1444.full>

## CUTE-I



2003/06/30 打ち上げ

世界初の超小型衛星  
目的: 学生教育

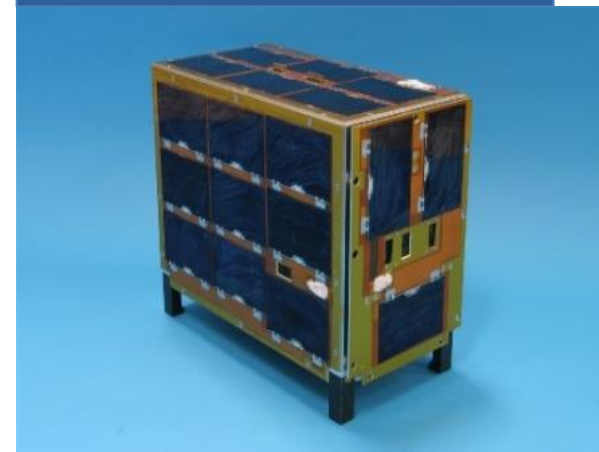
## Cute-1.7 + APD



2006/02/22 打ち上げ

PDA (スマホのはしり)  
搭載 + 理学観測

## Cute-1.7 + APD II



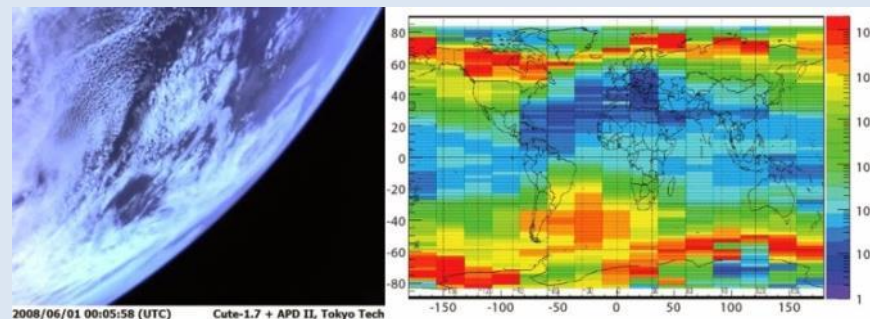
2008/04/28 打ち上げ

- ・ 技術実証
- ・ 世界初の科学データ



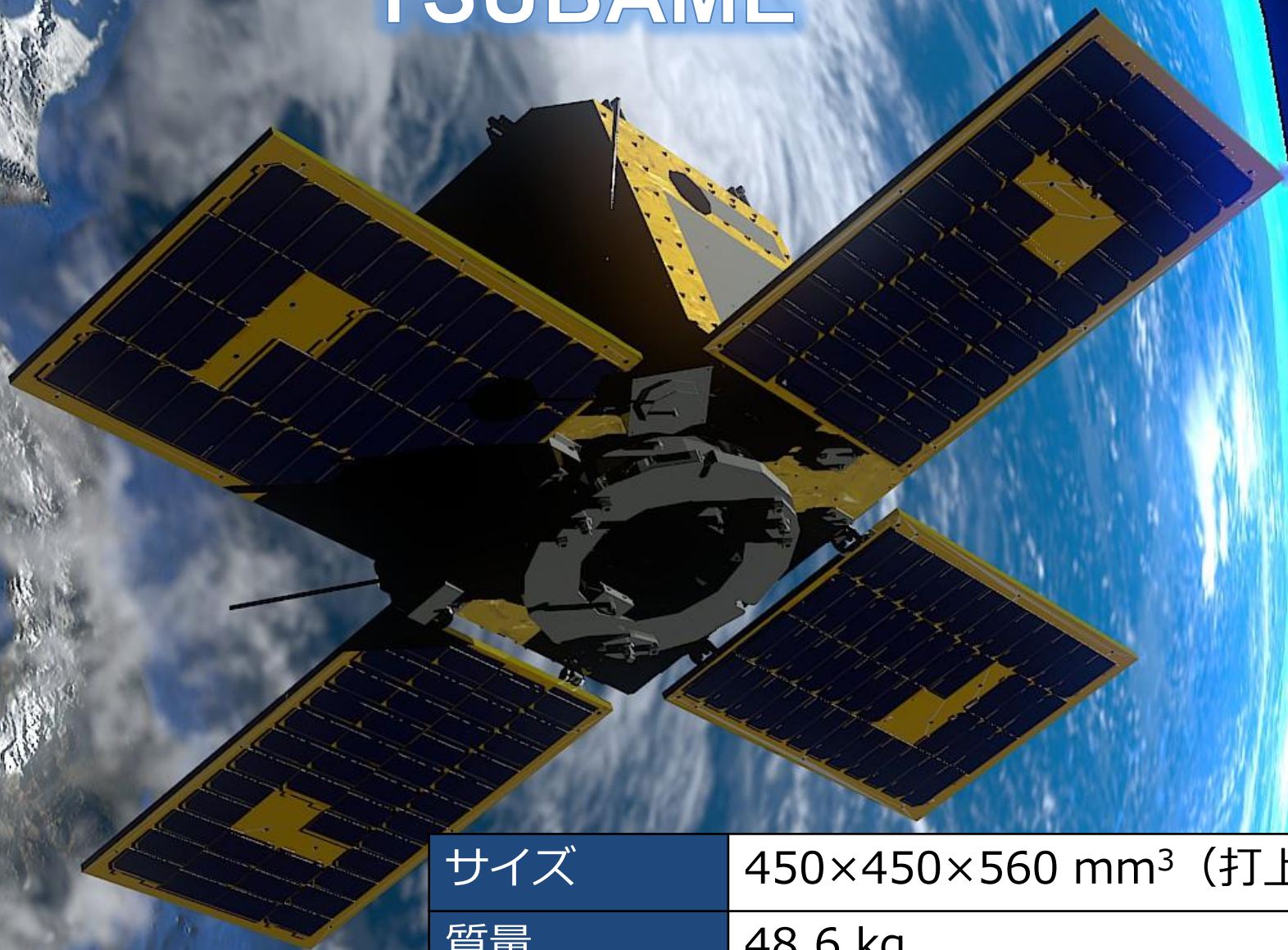
<http://www.amazon.co.jp/dp/4767803993/>

開発物語が書籍化



2008/06/01 00:05:58 (UTC) Cute-1.7 + APD II, Tokyo Tech

# TSUBAME



サイズ

450×450×560 mm<sup>3</sup> (打上げ時)

質量

48.6 kg

打上げ

2014年11月6日@ロシア

## TSUBAMEのミッション

### 工学

- ・ 基礎技術の実証  
(最重要)

### 科学

- ・ 宇宙の起源解明



©NASA

### 教育

- ・ 学生主体の宇宙プロジェクト

### 学術

- ・ 超小型の科学技術衛星のシリーズ化
- ・ 最先端技術を迅速に実証

### インフラ

- ・ 超小型衛星群による地球観測網の構築
- ※Google Earth  
のリアルタイム版



### 人材輩出

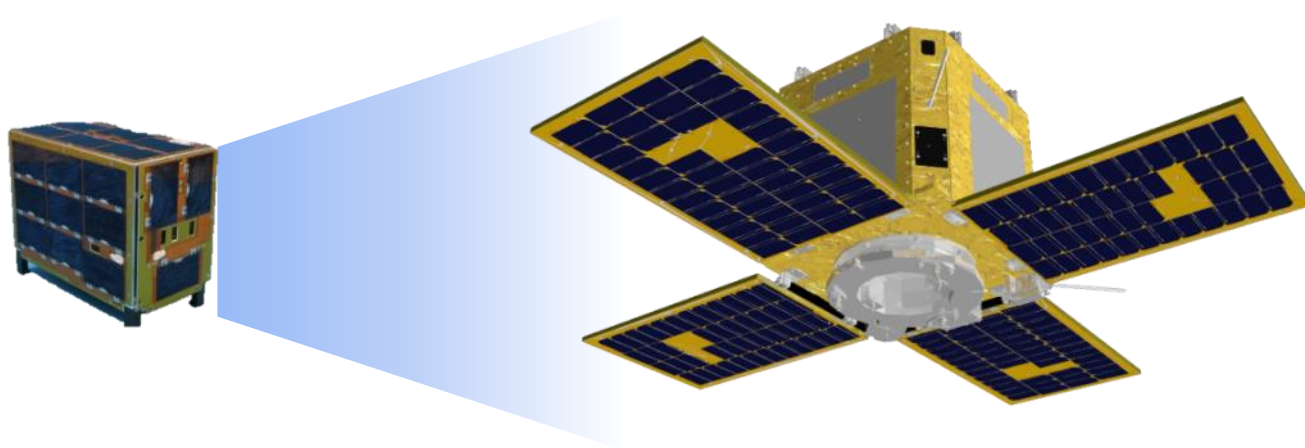
- ・ プロジェクト経験を積んだ  
協調性・課題発見/解決力のある  
理系人材の輩出

### 宇宙ビジネスの可能性

- ・ 迅速な災害監視
- ・ 地上の放射線モニタリングなど



## 飛躍的な大型化（全てが新規開発）



Cute-1.7 + APD II: **3** kg

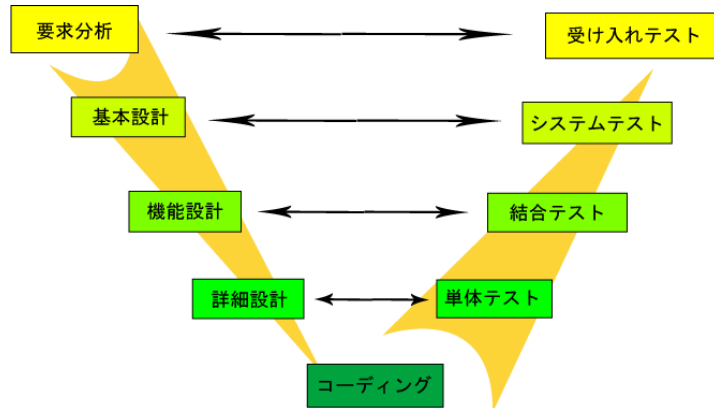
TSUBAME: **50** kg

大学衛星10kgの壁への挑戦  
(10kg超えると成功率↓)

## 学生開発の難しさ

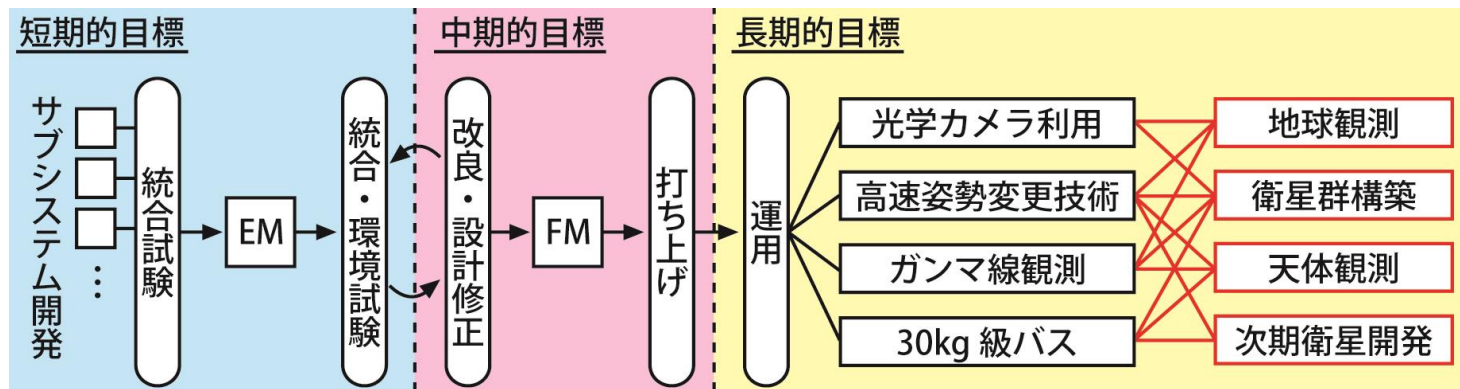
- 未経験者
  - 授業・研究と並行
  - 引き継ぎが多い(数年で卒業)
- OJT・小規模プロジェクト（模擬人工衛星の開発）  
などで実践的な新人教育を行う

- Vモデル（大規模プロジェクトの古典的手法）



<http://ja.wikipedia.org/wiki/V%E3%83%A2%E3%83%87%E3%83%AB>

- 反復のあるウォーターフォール型開発



理科大 木村研

光学カメラの開発

東工大/ISAS 松永研

- ・衛星バス開発
- ・プロジェクト管理
- ・CMGシステム開発

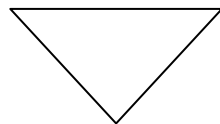
東工大 河合研

天体観測機器の開発

監督：木村教授  
開発：学生3名

監督：松永連携教授,顧問1名  
開発：学生10名  
その他企業の協力

監督：河合教授,谷津助教  
ポスドク1名  
開発：学生2名



各団体にさらに  
**サブシステム毎に担当を分けて開発を効率化**  
(例：電源系、構造系など)

各ミーティングの役割ごとに細分化し、目的を明確化

天体観測器系  
ミーティング  
河合研

衛星バス系  
ミーティング  
松永研

光学カメラ系  
ミーティング  
木村研

**サブシステムMTG**  
系内で閉じた議題  
詳細な議論

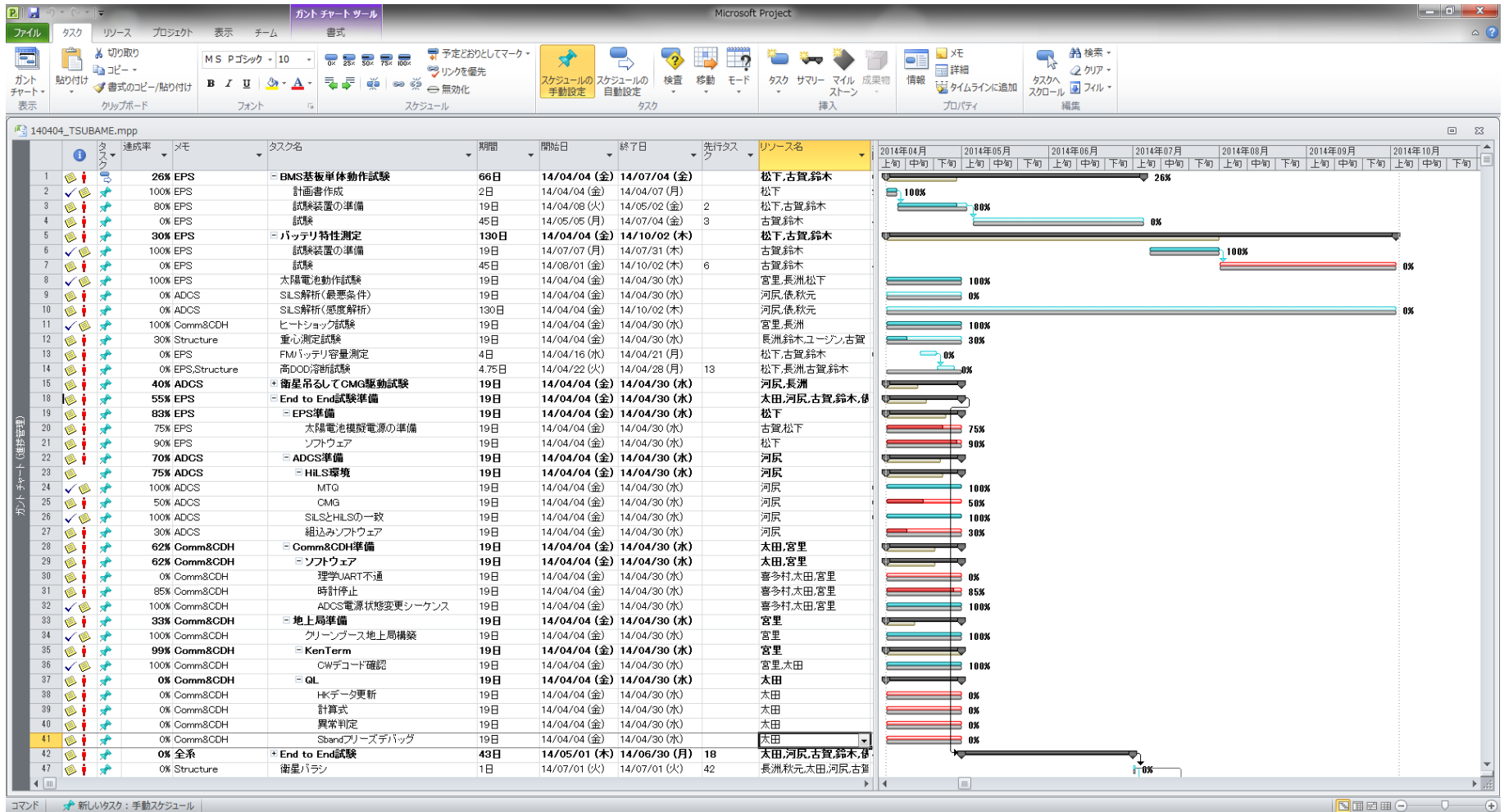


TSUBAME開発チーム  
全体ミーティング  
開発メンバー全員

**全体MTG (週1)**  
系間をまたがる議題  
インターフェイス調整 等

	工学系	理学系	カメラ系
ミニマム サクセス	<p><u>小型衛星バスの実証</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>パドル展開、熱制御</li> <li>初期運用での電力確保</li> <li>FPGAを利用したC&amp;DH</li> <li>アマチュア通信</li> <li>姿勢安定化</li> </ul>	<p><u>観測機器の動作実証</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>WBMの正常動作</li> <li>HXCPの正常動作</li> </ul>	<p><u>カメラの動作実証</u></p> <p>模擬宇宙環境 (熱真空条件下) で機能し、 軌道上での健全性が 確認できること</p>
フル サクセス	<ol style="list-style-type: none"> <li>定常運用時の太陽指向制御の確立</li> <li>衛星-地上局間の高速度通信回線の確立</li> <li>超小型CMGの基本性能確認</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>GRBの検出および発生方向の決定</li> <li>散乱されたX線の異方性検出</li> <li>WBMで検出したGRBをHXCPで観測</li> </ol>	<p>地上面の画像が取得でき、 その場所が判別できること</p>
アドバンスド サクセス	<ol style="list-style-type: none"> <li>ガンマ線観測での高速姿勢制御の実証</li> <li>地球観測での高精度姿勢安定化の実証</li> </ol>	<p>少なくとも1個のGRBに対して、 MDP30%以下で偏光の有無を観測する</p>	<p>地上分解能14mが確認できること</p>

# マネジメントの例：WBS・ガントチャート



- ▶  宮里 地上局不良の調査
  - 実際のFMの設計を整理した資料を作成
- 宮里 運用モードの整理と詳細な資料の作成
- 松下 EEPROMの値が起動直後に書き換わるバグが治ったことを、高温低温条件下で十分
- 鈴木 HK正常値・異常値の基準のリスト化
- 森山, 河尻 STTが使用できない場合の運用方法の検討 (ADCS)
- 河尻 アルベド対策の試験方法を検討
- 太田, 宮里 シーケンスの可視化。エクセルのシーケンスシートにリセットが入った場合のシーケンスを入れ込む
- 太田, 宮里, 松下, 河尻 ハードウェアリセット運用の検討
- 俵, 松下, 河尻 姿勢系実験の検討
- 長洲 射場作業項目の洗い出しおよびスケジュール案の作成
- 松下 CDH-EPS間のシーケンス図の作成(EPS)
- 松下 CMG ON時の電流降下現象の検証
- 宮里 Cute1.7 + APD IIのリセットした時刻と場所の調査
- バス系 FET周辺回路設計の見直し・再確認
- 誰か GPSの時間遅れを調査
- 宮里 S-bandの通信システムの現状確認・改善の検討
- 河尻 STTが無い場合の姿勢決定精度についてのまとめ (ADS)
- 松下 レギュレーターの追従性を確認 (EPS)

リスト 共有 公開

**TSUBAME A/I**  
(31 個のタスク)

今日まで 0  
明日まで 0  
期限切れ 0  
[完了 49個](#)

印刷

iCalendar

iCalendar (イベント)

Atom

**キー**

優先度:

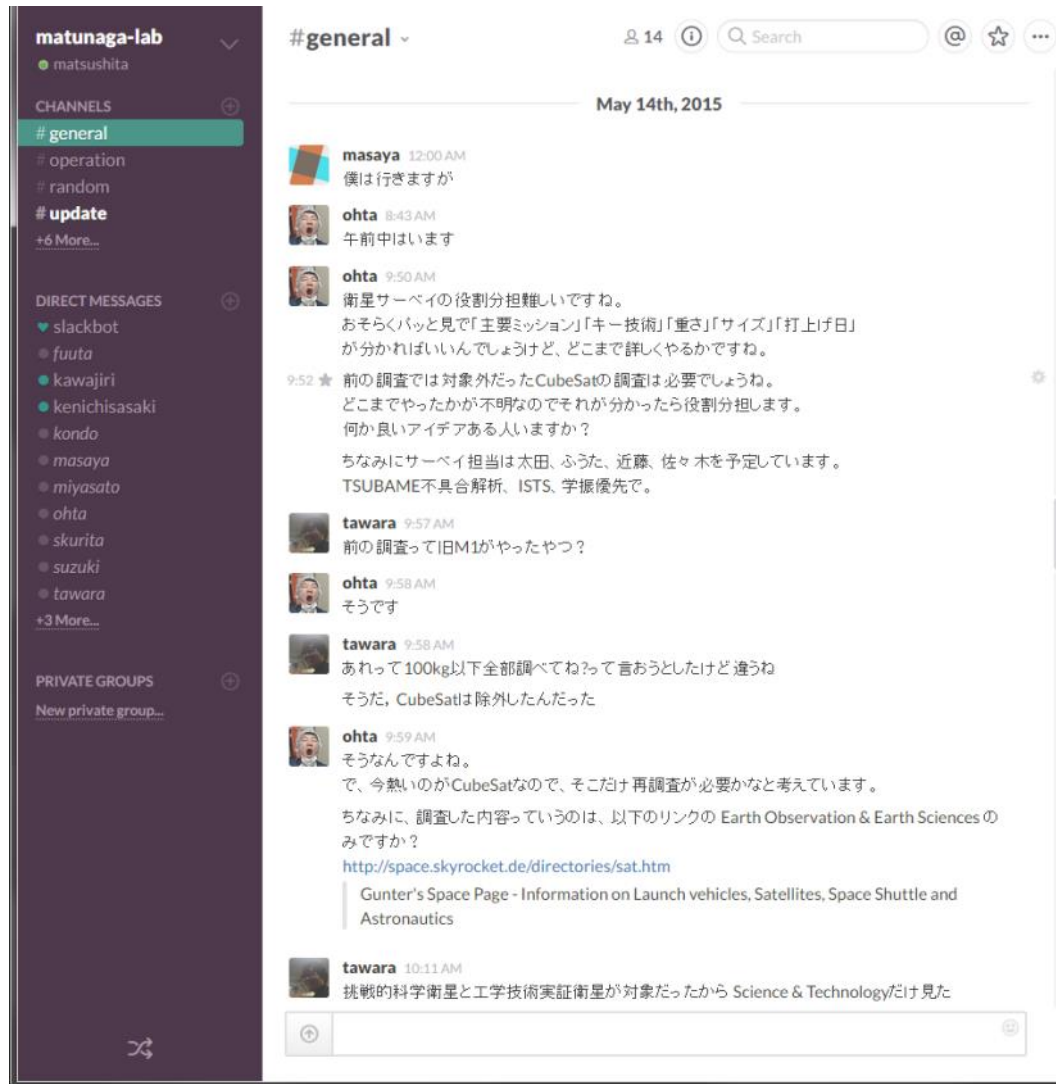
1 2 3 なし

今日が期限: 太字  
期限切れ: 下線

[ショートカットについて](#)



# マネジメントの例： チャットツールによるコミュニケーションの効率化



The screenshot shows a Slack chat interface. On the left is a sidebar with the workspace name 'matunaga-lab' and a list of channels including '# general', '# operation', '# random', and '# update'. Below the channels are 'DIRECT MESSAGES' and 'PRIVATE GROUPS'. The main chat area shows a conversation in the '#general' channel dated 'May 14th, 2015'. The participants are masaya, ohta, and tawara. The conversation discusses the roles and responsibilities for a CubeSat survey mission, mentioning specific tasks like '主要ミッション' (main mission), 'キー技術' (key technology), '重さ' (weight), 'サイズ' (size), and '打上げ日' (launch date). A link to 'Gunter's Space Page' is shared.

**matunaga-lab**  
● matsushita

CHANNELS  
# general  
# operation  
# random  
# update  
+6 More...

DIRECT MESSAGES  
♥ slackbot  
● fuuta  
● kawajiri  
● kenichisasaki  
● kondo  
● masaya  
● miyasato  
● ohta  
● skurita  
● suzuki  
● tawara  
+3 More...

PRIVATE GROUPS  
New private group...

#general 14 ① Search @ ☆ ...

May 14th, 2015

**masaya** 12:00 AM  
僕は行きますが

**ohta** 8:43 AM  
午前中はいます

**ohta** 9:50 AM  
衛星サーベイの役割分担難しいですね。  
おそらくパッと見て「主要ミッション」「キー技術」「重さ」「サイズ」「打上げ日」  
が分かればいいんですけど、どこまで詳しくやるかですね。

9:52 ★ 前の調査では対象外だったCubeSatの調査は必要でしょうね。  
どこまでやったかが不明なのでそれが分かったら役割分担します。  
何か良いアイデアある人いますか？

ちなみにサーベイ担当は木田、ふうた、近藤、佐々木を予定しています。  
TSUBAME不具合解析、ISTS、学振優先で。

**tawara** 9:57 AM  
前の調査ってIBM1がやったやつ？

**ohta** 9:58 AM  
そうです

**tawara** 9:58 AM  
あれって100kg以下全部調べてね？って言おうとしたけど違うね  
そうだ、CubeSatは除外したんだった

**ohta** 9:59 AM  
そうですね。  
で、今熱いのがCubeSatなので、そこだけ再調査が必要かなと考えています。  
ちなみに、調査した内容っていうのは、以下のリンクの Earth Observation & Earth Sciences の  
みですか？  
<http://space.skyrocket.de/directories/sat.htm>  
Gunter's Space Page - Information on Launch vehicles, Satellites, Space Shuttle and  
Astronautics

**tawara** 10:11 AM  
挑戦的科學衛星と工学技術実証衛星が対象だったから Science & Technologyだけ見た

# マネジメントの例： Gitによるソースコード・ドキュメントのバージョン管理

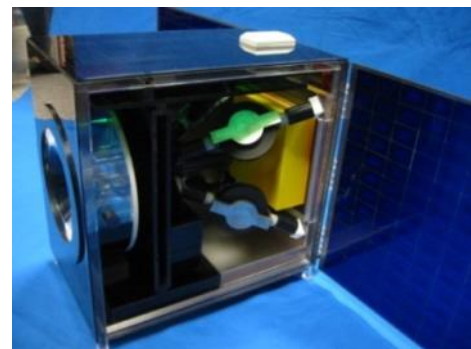
The screenshot shows the SourceTree application interface. The main window displays a commit history table with columns for commit ID, description, date, author, and commit message. Below the table, a diff view shows changes to a file named `.gitignore`.

説明	日時	作者	コミット
デバッグモードでNorReadする際にアドレスを表示する	2014/8/16 16:56	koga <koga@lss>	17696a5
origin/MDUdebug コミットしておきます by太田	2014/8/16 13:56	saburo <tokyote>	4dc0a67
隠しコマンドのデバッグ	2014/8/16 13:26	ohta <ohta@lss>	5e9d865
FMアップリンク時のチェックに使うコールサインをハードコーディングにした。	2014/8/16 11:59	koga <koga@lss>	59a2060
Merge branch 'new_developer' of http://gsas.mes.titech.ac.jp:8080/tsubame-cdh/c	2014/8/16 11:56	saburo <tokyote>	c067235
origin/CommandUplinkBug デバッグ表記を追加	2014/8/16 11:54	saburo <tokyote>	77bfe04
Norの読み出し時にアドレスも出力。recvCntも表示。Merge branch 'new_developer' in	2014/8/16 10:33	saburo <tokyote>	e594b54
隠しコマンドの実装。デバッグプリントの追加。	2014/8/16 10:32	ohta <ohta@lss>	99e5746
デバッグプリントを大量に追加	2014/8/16 8:44	saburo <tokyote>	70b7702
コマンドアップリンクバグ用	2014/8/16 8:34	saburo <tokyote>	be32d32
誰かACK追加した?(古賀)Merge branch 'MDUdebug' of http://gsas.mes.titech.ac.jp:8080/tsubame-cdh/c	2014/8/16 7:11	saburo <tokyote>	94d36ff
射場作業用にデバッグタームからパドル展開フラグを変更できるようにした。	2014/8/16 2:43	ohta <ohta@lss>	86f6405
Merge branch 'new_developer' of http://gsas.mes.titech.ac.jp:8080/tsubame-cdh/c	2014/8/16 2:31	ohta <ohta@lss>	40e739f
デバッグプリントを追加しました。	2014/8/16 2:31	ohta <ohta@lss>	30661ed
デバッグ表記を追加	2014/8/16 2:30	saburo <tokyote>	fb4ca00

The diff view shows the following changes to `.gitignore`:

```

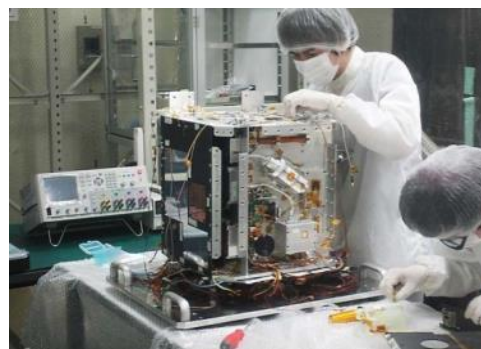
Hunk 1 : 行 1-4
1 1 *.sdf
2 2 *.filters
3 - *.vcxproj
4 3 \ No newline at end of file
4 + *.vcxproj
5 + *.lnk
5 6 \ No newline at end of file
  
```



2004  
衛星設計大賞 “燕”



2009  
単機能開発



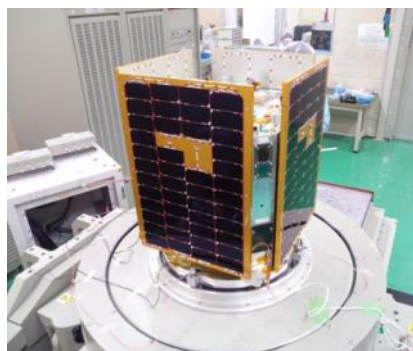
2010  
試作機開発



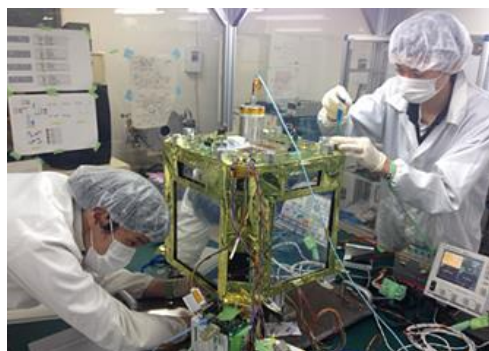
2011  
熱真空試験等



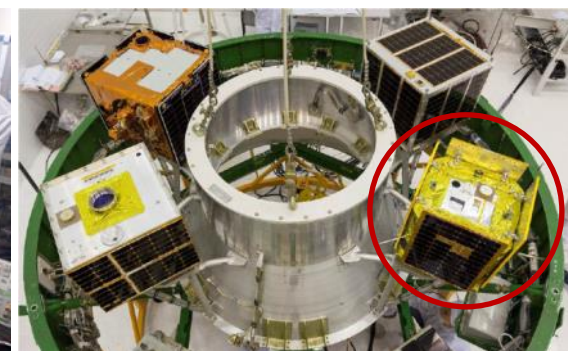
2012フライト品  
磁気試験



2013  
振動試験



2014  
統合試験



2014/11/6 打ち上げ

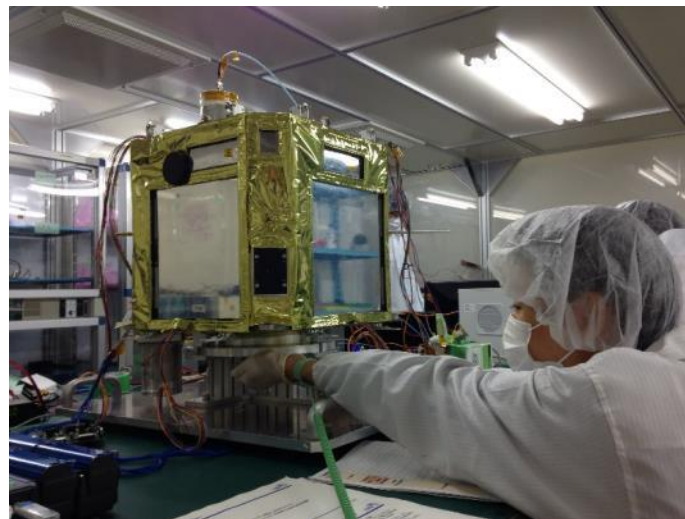
・レビュー会を設け第三者の検証を受けて信頼性を高める

# ※衛星の組み上げ（4日間）



× 2048 speed

- 最終的な動作確認
- 長期間の連続稼働が重要→連日連夜の試験



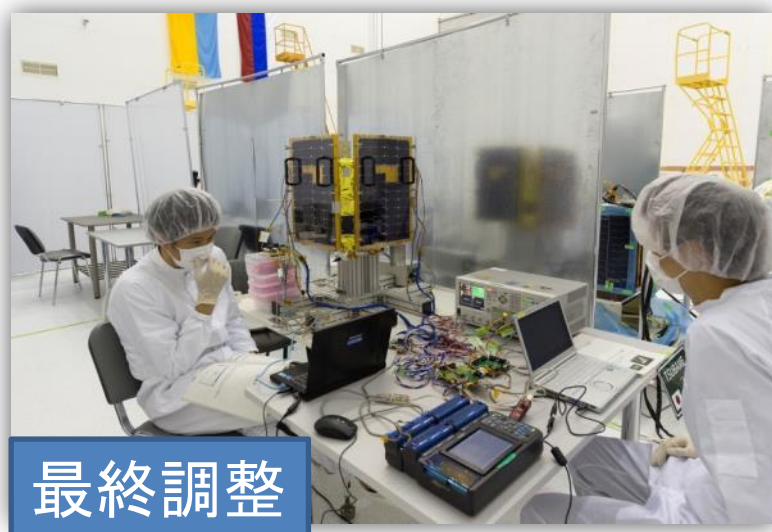
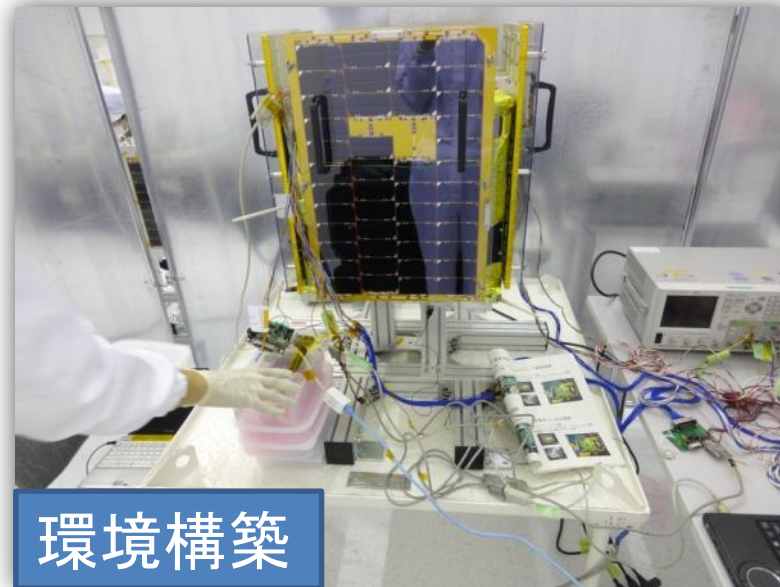
- 合宿作戦 (ref: 大部屋方式)
  - 試験を全員が最優先
  - 部活の合宿のような雰囲気
    - 泊まり込み (助教さんも)
    - OBの激励
- 夕会 (ref: アジャイル開発)
  - 毎日 17時に集合
  - 問題発生 → すぐに対策・計画修正



多くの問題があったものの、  
発見した不具合を全て解決し、  
輸出に間に合わせた



# 射場作業 (学生が現場で判断)





<https://www.youtube.com/watch?v=iM5j2MnLWpg>



打上げ成功後、  
衛星が安定状態に移行したことを確認。

- ✓ 太陽電池パドルの展開
- ✓ 太陽指向状態の維持
- ✓ モールス信号の発信

設計通りの受信データ

Data	Result
充電状態	77.8[%]
衛星モード	初期運用モード
パドル状態	展開済み
太陽角	0~9[deg]



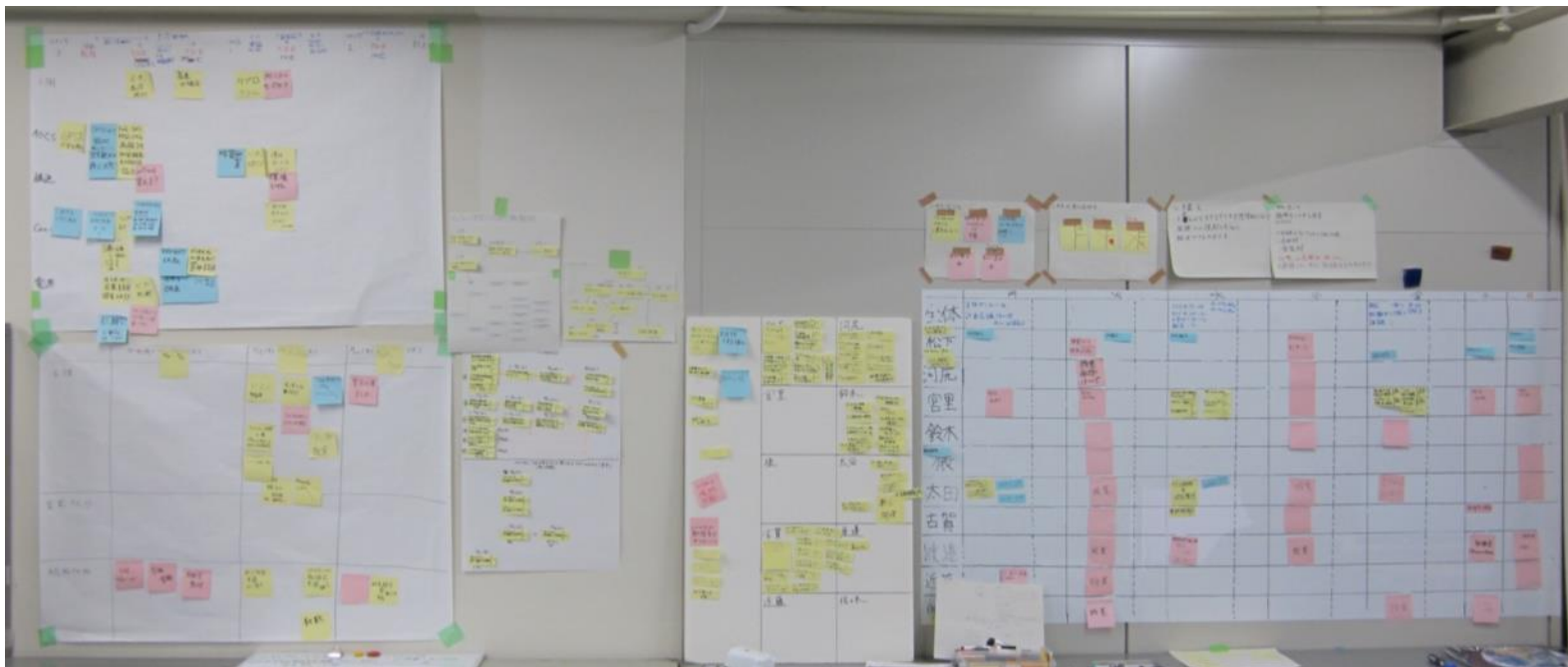
ファーストボイス@東工大局  
を聞いて拍手喝采



解析データを確認する開発メンバー

- 成果
  - 高機能バスの実証
    - 基本動作の工学データ取得
    - 自動での太陽電池パドル展開・太陽指向制御の達成
- 未達成
  - 科学ミッション
  - 地球撮影
- 今後の取り組み
  - 不具合箇所の原因究明(FTA等)
  - フィードバック、知見の共有（論文化）
  - 後継機の検討

- フセンによる予定の見える化 → マネジメント力を強化





見学会



高校生が描いた  
受信確認証のイラスト

© Kondo

手作りのアンテナで  
TSUBAMEのモールス信号を受信してもらいました。  
進路決定の一助になれば幸いです。

ご清聴ありがとうございました。

