

大学による超小型衛星の開発動向と SEEDS2およびCute-1.7 + APD IIの 開発・打上・運用報告

松永三郎 (東京工業大学・機械宇宙システム)
宮崎康行 (日本大学・航空宇宙工学)

小型衛星の挑戦

Size	Mass	市場
large	> 1 ton	静止衛星通信
small	500 – 1000 kg	USEF(日本)
mini	100 – 500 kg	OSC(米) SSSL(英)
micro	10 – 100 kg	SatReCi(韓国)
nano	1 – 10 kg	リモセン(災害監視、IGS含む)
pico	0.1 – 1 kg	
MEMS	<< 0.1 kg	

大学主導開発(1kg~50kg)

挑戦:

- ・どこまで小さくて機能の高い衛星を実現できるのか
- ・低コスト・短期開発による新しい宇宙開発の実現

1. **米国**: University Nanosatellite Programなど、国の長期に渡る育成(大学、ベンチャーの養成)
 - 大学と衛星メーカー、NASA、Air Force、DARPAの協力
 - 大学が宇宙開発の重要な一翼を担う(新しい衛星バス、機器、制御方法などのアイデアを量産)
 - NASA、国研も使い安いテストベンチとして積極的に利用
 - **ボーイング社**: 2007年4月にCubeSat実験機打上・運用
=> 将来の革新技術へ
2. **英国**: サレー大学が企業化(SSTL)、小型衛星の販売
3. **ドイツ**: ブレーメン大、ベルリン大が独自バス開発
4. **韓国、中国**: サレー大との協力で小型衛星開発
5. **日本**: 50kg級では千葉工大・鯨生態観測衛星('02)、
JAXA: μ -LABSAT('02)、INDEX('03)、小型衛星標準バス機器
METI: ビジネス化への動き

300kg以下の小型衛星が180機以上打上

日本の超小型衛星(6kg以下)の打上実績: 9機





- 1999年USSS(by Stanford大Bob.Twiggs)
 - 1辺10cmの立方体, 1kgの超小型衛星
 - 各大学独自の製作と共同での仕上げを目指す
- 宇宙工学教育が第一の目的
 - 学生が**衛星プロジェクト1サイクル**(ミッションの構想、設計、製作、試験、打上、運用)を**短期に経験する**(1, 2年で)
 - 作ったものの**現実世界からのフィードバック**を得る
 - **学生主導:プロジェクトマネジメントの生きた鍛錬**
- 教育を超えた狙い:新しい宇宙開発への挑戦
 - 民生品利用, 短期開発により「しきい」を**根本的に下げる**.
 - **新規技術の大胆な実験, 新しい宇宙利用の試行を手軽に**

- 80以上の大学, ベンチャー, 宇宙機関による開発
<http://cubesat.calpoly.edu/>
- 小型衛星で新しい技術(シーズ)を開発し、その中から有意義なものを宇宙機関等で本当に使えるものに発展させる(**技術発掘・開発の場として**)
- 新規技術の迅速・低コストの宇宙実証(**実験の場として**)
- 超小型衛星のまま実ミッションに適用(**ビジネスとして**)
- 具体例 (CubeSatシンポジウムなどより)
 - 地震予知のための電磁気観測(QUAKESAT)
 - NASAによるバイオ関連の実験への応用
 - MEMS関連技術の軌道上実証実験
 - 個人的な目的のため, など
- 東工大・東大 CubeSatは初期に完成, **最初の仕上げ**



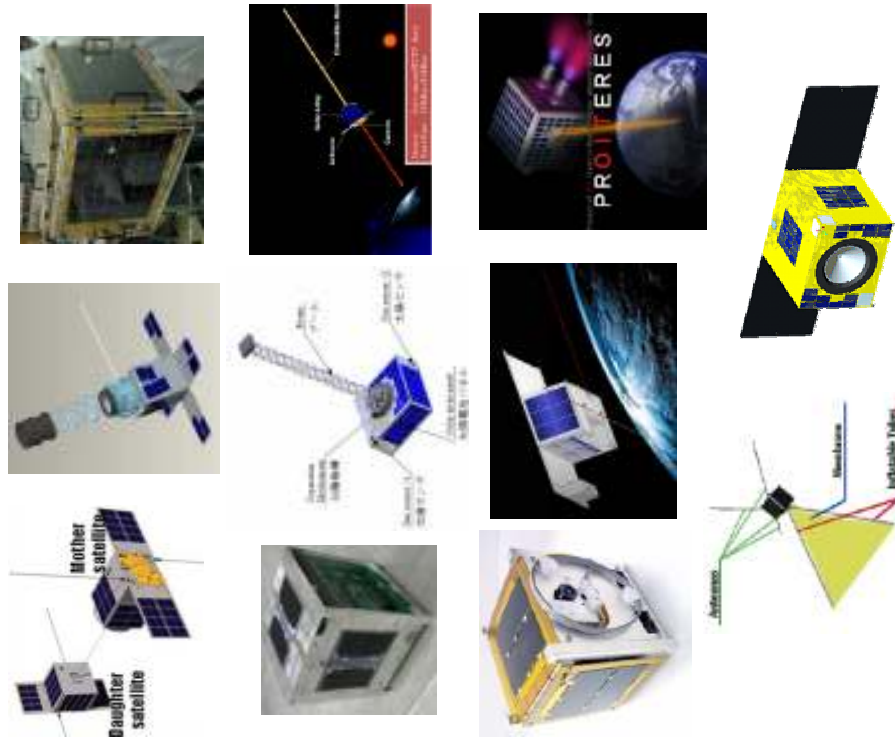
著: 川島レイ

- 1) **2003/6/30 ロシア、ロケット** (世界最初のCubeSat打上) (P-POD, T-POD, TSD)
 XI-IV(1kg,東大)、CUTE-I(1kg,東工大)、QuakeSat(3kg,米国企業): **運用成功**
 CanX-1(1kg,カナダ)、DTUsat(1kg,デンマーク)、AAU CubeSat(1kg,デンマーク): **運用失敗**
- 2) **2005/10/27 ロシア、コスモス-3M** (ESAの組織的支援による打上) (T-POD)
 XI-V(1kg,東大)、UWE-1(1kg,ドイツ): **運用成功**
 NCUBE-2(1kg,ノルウェー): **運用失敗**
- 3) **2006/2/22 日本、M-V-8** (サブペイロード打上) (TSD)
 Cute-1.7 + APD(3.8kg,東工大): **運用成功**
- 4) **2006/6/26 ロシア、ドネイプル** (P-POD): **打上失敗(14機)**
 SEEDS(日大)、CP-1 (米国)、CP-2、ICE Cube-1(米国)、ICE Cube-2、ION(米国)、KUTESat(米
 国)、MEROPE(米国)、SACRED(米国)、Voyager(米国)、HAUSAT-1(韓国)、nCube-1(ノルウェー)、
 AeroCube-1(米国企業)、RINCON(米国企業)
- 5) **2006/9/22 日本、M-V-7** (サブペイロード打上)
 HITSAT(3kg,北海道): **運用成功**
- 6) **2006/12/16 米国 ミタウロス-1**
 GENESAT-1(4.5kg, 米国, NASA): **運用成功**
- 7) **2007/4/17 ロシア、ドネイプル** (P-POD)
 CSTB 1(1kg,米国ボーイング社)、AeroCube 2(米国Aerospace): **運用成功**
 CP-3(1kg,米国)、CP-4、CAPE-1(1kg,米国)、Libertad 1(1kg,コロンビア)、MAST(3kg,米国企業):
運用失敗?
- 8) **2008/4/28 インドPSLV-C9** (T-POD, TSD)
 Cute-1.7 + APD II(3kg,東工大)、SEEDS 2(1kg,日大)、CanX-2(3kg,カナダ)、AAUSAT-II(1kg,デン
 マーク)、COMPASS-1(1kg,ドイツ)、Delfi-C3(3kg,オランダ): **運用成功**

日本の大学で現在計画されている小型衛星開発

- | | |
|---------------|-------------------------|
| 東京大学 | PRISM |
| 東北大学 | Sprite |
| 東京産業技術高専KKS-1 | かがやき |
| ソラン+東海大学 | STARS |
| 香川大学 | 以上、2008年H-IIAピギーバック打上予定 |
| 九州グループ | QSAT |
| 創価大学 | Excelsior |
| 東京大学 | Nano-JASMINE |
| 香川大学 | STARS2 |
| 青山学院大学、他 | UCISAT-1 |
| 九州工業大学 | 鳳龍 |
| 日本大学 | SPROUT |
| 東京工業大学 | TSUBAME |
| 北海道グループ | 大樹 |
| 大阪工業大学 | PROITERES |

Planet-C相乗り公募にUNISEC共同開発
 の衛星を応募予定



超小型衛星の打上手段の多様化

- 事例 1 : 東大・東工大とユーロコット・クルニチェフの契約 露・ロケット(03/6)
- 事例 2 : 東大・トレント大SFLとESA/SSETI-EXPRESSの契約 露・コスモス(05/10)
- 事例 3 : 東工大とISAS/JAXAの覚書 日・M-V-8(06/2)
- 事例 4 : 日大・Calpolyとコスモトラスの契約 露・ドニエプル(06/6)
- 事例 5 : 北海道グループとISAS/JAXAの覚書 日・M-V-7(06/9)
- 事例 6 : 東工大・日大・トレント大SFLとインド宇宙機関の契約 印・PSLV(08/4)
- 事例 7 : JAXAとの覚書・契約 日本・H-IIA (08~?)

必須3条件

1. 小型衛星を開発するグループ
2. ロケットを開発するグループ
3. 衛星・ロケット間調整するグループ

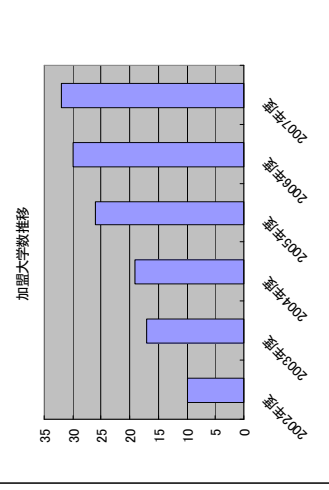
長期間運用
短時間運用
粘り強い交渉

3者を取りまとめ育成する組織が必要 => UNISEC

UNISECの概要

- UNISEC = UNiversity Space Engineering Consortium
(NPO法人 大学宇宙工学コンソーシアム)
- 2002年4月に、大学衛星コンソーシアムとハイブリッドロケット研究会の二つのグループが合併し、2003年2月に法人格を取得
- 大学・高専の学生による宇宙プロジェクト活動を促進・支援。
- 33大学46団体が加盟
- UNISEC加盟団体により、7機の超小型衛星の軌道投入に成功
- 主な資金源: JAXA受託研究: 800万円/年、会費: 200万円/年
「大学生等による宇宙開発プロジェクト等の支援」

2008年5月16日現在
個人会員: 150 企業会員: 8
学生会員: 458 (2007年度)
加盟団体数: 46 (大学数: 33)



2008年度UNISEC 事業内容

1. 大学宇宙工学プロジェクト支援事業

- 1) 宇宙工学プロジェクト支援
- 2) 部品・材料の共同購入や斡旋
- 3) 試験設備等斡旋
- 5) 周波数獲得に向けてのコンサルティング
- 6) ロケット打ち上げに関する安全問題に関する共同検討
- 7) 打ち上げ機会の探索、ピギーについての共同検討
- 8) 自己評価プログラム(自分自身で企画・実施、自分自身で厳しく評価)

2. イベント企画事業

- 1) カムバックコンペティション・ローバーコンペティション等の企画・運営(能代など)
- 2) 米国ネバダ州におけるCanSat(トレーニング用小型衛星)のサブオービタル実証実験のコーディネートセッションおよび派遣支援(9/15-20)

3. 研究発表会、講演会、講習会の開催

- 1) 6期通常総会及び活動報告会(創価大学にて)(7/27)
- 2) UNISECワークショップ(秋田大学にて)(11/22-23)

4. 受託研究

- 1) 「大学生等による宇宙開発プロジェクト等の支援」(独)宇宙航空研究開発機構,JAXA

5. 啓蒙・普及活動

- 1) 地域との交流事業企画
- 2) ホームページによる情報の発信
- 3) 啓蒙・普及のための講演活動
- 4) 年次報告書の発行
- 5) ワークショップのプロジェクトページ発行
- 6) 学生による母校訪問プログラム、地上局ネットワーク等、学生主催の企画の支援

工学・人間教育における意義

- ミッション策定から設計、製作、打ち上げ、データ解析までのプロジェクトのすべてを経験できる「**宇宙ものづくりプロジェクト**」の工学教育における有効性
- 宇宙で動くものを作るには、広範な知識はもちろんのこと、創意工夫と試行錯誤が必要
- 作ってからの試験と作り直しという地道な作業
- 「支援金ほしさに、低い目標に流れたり、自己評価を甘くしたりする」態度を許さない高い意識を持つ
- **結果が明確に出るリアルなプロジェクト**を対象としているからこそ、自己評価システムが成立しうる
- 「**宇宙ものづくりプロジェクト**」による教育は、人格形成にも一役買えるはず

- 「宇宙ものづくりプロジェクト」は、工学教育・人間教育に有効と考えられ、また、正式な高等教育の一環として認められてきている。
- 学部や学科としてサポートする体制にあるところはまだまだ少なく、予算的には不足しており、サポートする立場であるUNISECの財政基盤も脆弱で、十分な支援ができていない。
- 少ない予算を最大限に効果的に使うことを考えて生み出した「自己評価プログラム」を通して、参加団体の教員が相互に学生を指導しながら、「エンジニアの良心」を持った人材の輩出を試みている。

- 打上日時
 - 2008年4月28日(月)12時53分51秒(日本時間)
- 打上場所
 - サテリッシュュ・ダワン・スペースセンター(インド, スリハリコタ)SDSC-SHAR
- 打上機
 - PSLV-C9ロケット(インド・ISRO)
 - トロント大UTIAS-SFLが調整 ISROと打上契約
 - 東工大・日大はUTIAS-SFLと打上覚書
 - インドの主衛星CARTOSAT-2A, 日大SEEDS2, 東工大のCute1.7+APD IIを含む, インド・日本・カナダ・デンマーク・オランダ・ドイツの計10機の衛星のクラスタ打上げ
- 衛星軌道
 - 軌道傾斜角97.89°, 遠地点高度約636km, 近地点高度約615km, 昇交点時刻10:30a.m.の太陽同期軌道
 - 日本上空には, 午前(7~12時)に2~3パス, 午後(7~11時)に2~3パス



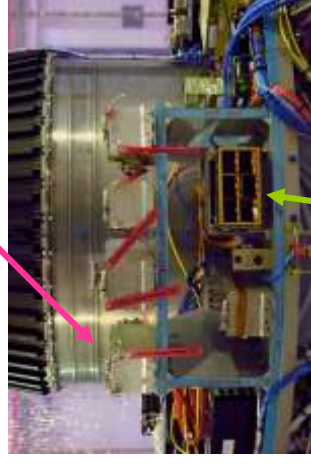
PSLV-C9



ペイロード



SEEDS 2



作業日誌をWebにて公開中:

<http://lss.mes.titech.ac.jp/ssp/cute1.7/blog/>

<http://cubesat.aero.cst.nihon-u.ac.jp/japanese/blog.html>

Cute-1.7 + APD II

Launch Campaign in SDSC, SHAR, 2008

March 25

電話会議: 分離機構の追加試験要求=>28に実施

April 1

日本出発 深夜インド・チェンナイ到着

April 2

昼: SDSC到着、午後: SP1Bにて会議

April 3

午前: 衛星搬入開梱、終日機能確認

April 4

午前: 機能確認、午後: ロケットVIP見学対応

April 5

午前: **Flight Readiness会議**、ローンチパッド見学
午後: **Flight Readiness会議** (特に分離機構)

April 6,7

終日才フ 観光ツアー (Chennai, Mahabalipuram)

April 8

午前: 衛星最終準備、充電、午後: 射点見学

April 9

VSSCからのVIP見学対応

April 10

分離機構の機械的I/F確認 => 問題発生: 解決

April 11

分離機構の電氣的end-to-end試験

April 13

ロケットコマンド周波数との干渉問題発生: 解決

April 17-18

超小型衛星のSP3への統合

April 28

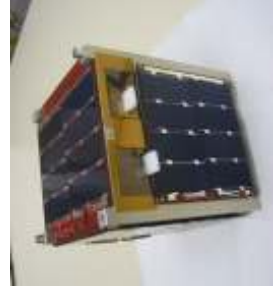
Launch 0923 IST (0353 GMT, 1253 JST)

- 10cm立方, 1kgのCubeSat
 - Space Engineering **ED**ucation **S**atellite
- 目的
 - 超小型人工衛星バス系開発の基礎技術獲得
(今後の超小型人工衛星開発に向けた第一歩)
- ミッション
 - HKデータのダウンリンク(CW, FMパケット)
 - 姿勢解析(ジャイロ, 地磁気センサ等)
 - デジト一カによる音声ダウンリンク実験・SSTV信号を用いたアナログ画像ダウンリンク実験
- 開発体制
 - 研究室の学生が主体となって, ミッション定義・システム設計・製作・試験・運用
 - 打上げ調整は海外の機関に委託し, 海外の打上げ機で打上げ



SEEDS

- SEEDSの初号機(今回打ち上げたものは2号機)
 - 打上げ機:ドニエプル(ロシア・コスモトラス社)
 - 打上げ場所:バイコノール宇宙基地(カザフスタン)
 - 打上げ調整:カリフォルニア州立ポリテクニク大学
 - 打上げ契約:2003年11月(1kg衛星1機/分離機構1機)
 - 衛星輸出:2004年9月(日本⇒米国)
 - 打上げ形態:CubeSat14機を含む18機のクラスタ打上げ
 - 打上げ日時:2006年7月27日4時34分(日本時間)
 - 打上げ結果:ロケットの1段エンジンの不調により失敗
- SEEDSの2号機(今回打ち上げたもの)
 - 打上げ機関: ISRO
 - 打上げ調整:トロント大学 UTIAS/SFL (University of Toronto Aerospace Studies Space Flight Laboratory)
 - 打上げ契約:2006年8月(1kg衛星1機/分離機構1機)
 - 衛星輸出:2007年6月(日本⇒カナダ)



初号機



初号機の打上げ

• SEEDSの開発目的

- 超小型人工衛星バス開発の基礎技術獲得
(今後の超小型人工衛星開発に向けた第一歩)
- 大学の研究室で超小型人工衛星を打ち上げることの意義
 - 教育的意義(学生でも本物の衛星開発に主体的に携わることができる)
 - 宇宙へのアクセス方法の多様化(宇宙実証や挑戦的なミッションなどの中でJAXAや企業では難しいものを補間してゆくのが大学衛星)



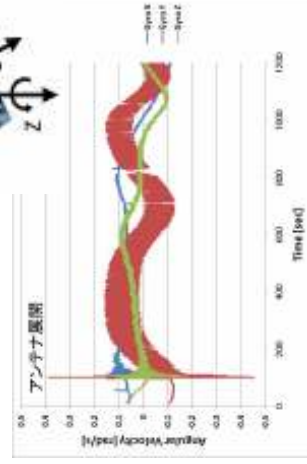
• SEEDSからの取得データの例



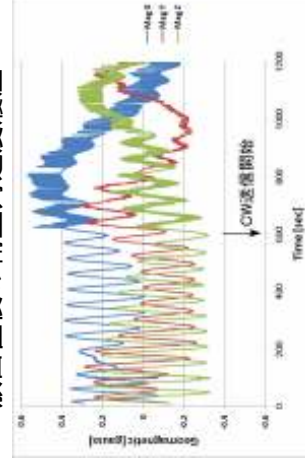
アマチュア無線家に受信して
いただいたSSTV画像の例



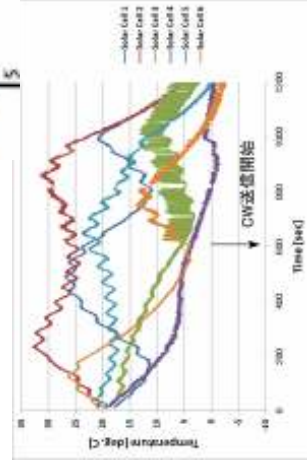
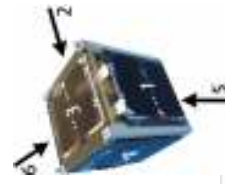
メモリ保存データの
受信状況



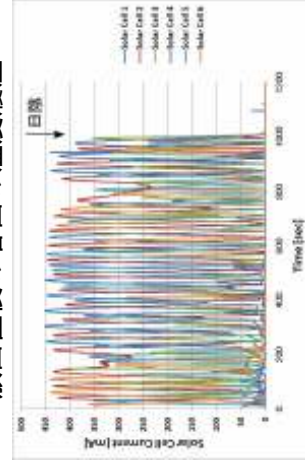
放出直後の衛星角速度履歴



放出直後の地磁気履歴



放出直後の各面の温度履歴



放出直後の各面の発電履歴

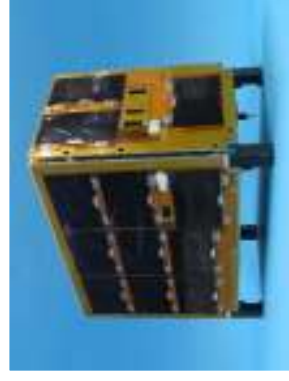
- SEEDSの運用
 - アマチュア無線家や他大学の協力も得ながら、学生が運用中。
- 次号機SPROUTの開発
 - 15cm × 15cm × 17cm, 3kg (TBD)
 - 工学ミッション(インフレーターダブル膜構造物の展開実験等)やアマチュア無線通信ミッション(デジタル・リピータ、軌道上撮影画像ダウンリンク等)



SPROUT

東工大・松永研による3機目の超小型衛星：運用に成功した数kg 大学衛星では世界最多。Cute-1.7 + APDの後継機で、数々な改良を実施。

1. PDAなどの民生品を用いて宇宙環境下での動作を保障した衛星バス機器の軌道上実証
2. APD (Avalanche Photo Diode)の軌道上実証と低エネルギー粒子観測(理学ミッション)
3. 3軸姿勢決定と磁気トルカのみを用いた姿勢制御実験の遂行
4. 世界中のアマチュア無線家へのアマチュア無線サービスの提供：**デジタル・リピータ、1.2GHzアップリンクなど**
5. アマチュア地上局を複数用いた広範囲データ取得実験の遂行：**APDデータ、静止画・動画など**

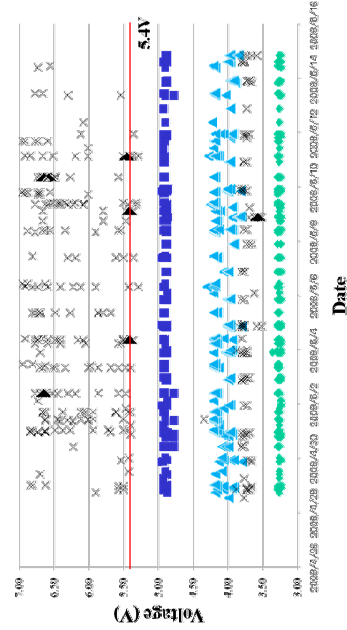


Cute-1.7 + APD II



専用分離機構

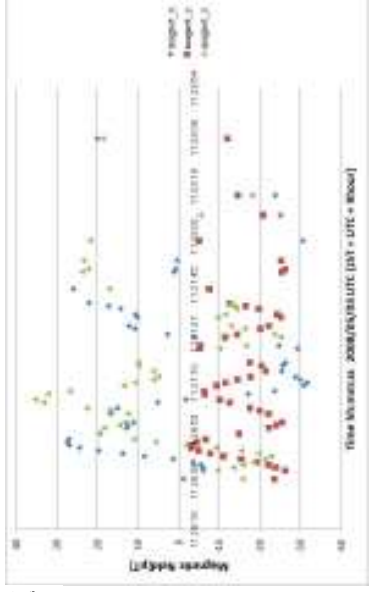
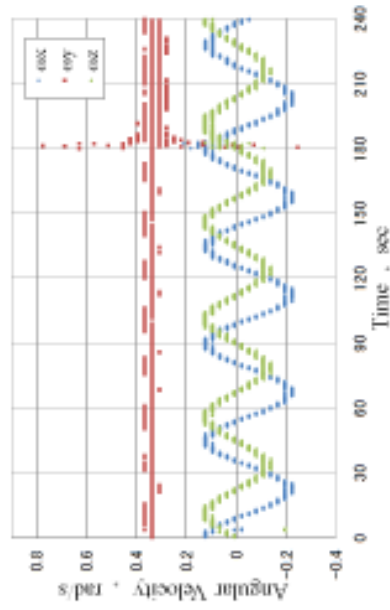
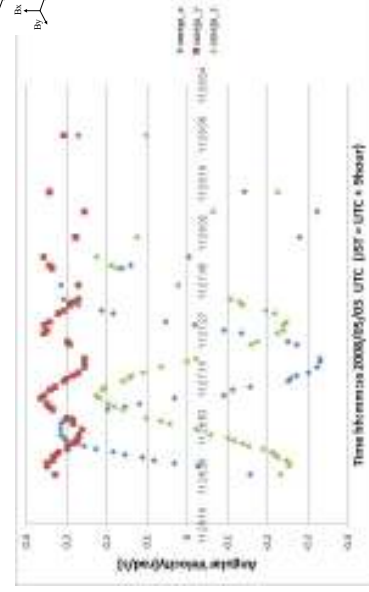
1. 予定通りの発電, 電力収支の成立
2. コマンド受信系, ビーコン・データ送信系との通信の確立およびハウスキューピングデータの取得
3. OBCであるPDAの正常動作
4. 姿勢系各種センサデータのPDAによる取得
5. 姿勢系アクチュエータである磁気トルカの起動
6. 分離直後からアンテナ展開時のジャイロデータの取得
7. 搭載カメラによる静止画の予備撮影
8. 理学系APDの正常動作および短時間(90分)観測

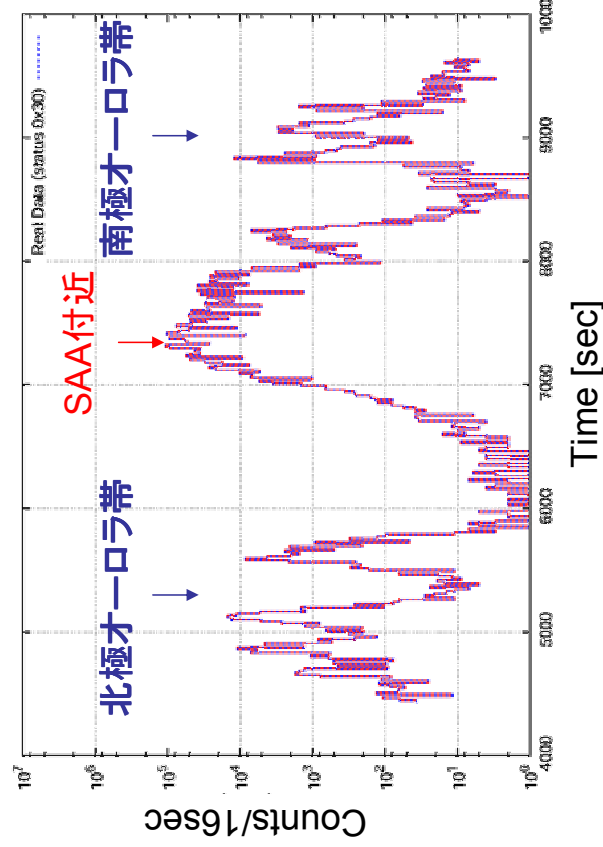


電源電圧などの履歴



分離直後データ: アンテナ展開at 180s





夜パス(東京上空 南→北)
1周分のプロット



- 10 keVまでの低エネルギー領域での荷電粒子の観測は、Cute-1.7+APDIIが**世界初!**?
- 地球全域での荷電粒子分布の観測は5月末...

Cute-1.7 + APD II 運用計画

理学系APDによる長時間観測(12時間以上、地球全周域)
 複数アルゴリズムによる姿勢決定(QUEST・REQUEST・Kalman Filter・Unscented Filter)
 磁気トルカを用いた姿勢制御実験(upload機能による実験機会提供)
 搭載カメラによる撮影(静止画・動画)
 東工大オリジナルプロトコル(SRLL)による通信
 アマチュアサービス(中継器)ミッション

次期開発衛星: TSUBAME

CMGを用いた高速姿勢変更による偏光ガンマ線バースト観測
 東工大4機目の小型衛星

2004年度衛星設計コンテスト, 設計大賞受賞

JAXA小型衛星ピギーバック公募に選定

サイズ: 300mm x 300mm x 300mm

質量: ~30kg、発生電力: 90W

センサ: 偏光ガンマ線、アクチュエータ: 超小型CMG



CMGプロトタイプ

• 開発意義

- 大学衛星の社会的位置づけ(公共性・社会性)と学問的位置づけ(科学技術)
- 資金面
 - SEEDS初号機は日本大学校費(一部、日本私立学校振興・共済事業団による高等教育研究改革推進経費)
 - SEEDS2号機は日本大学校費(一部、文部科学省大学改革推進等補助金)
 - 東工大Cute-1.7 + APD IIは主に科研費、打上費はJAXAオーブンプラボ、COE、学長裁量経費
 - 衛星開発を通じて学生教育に関して、JAXAからUNISEC(NPO法人 大学宇宙工学コンソーシアム)経由で毎年20万円程度の支援
 - 今後は?(学生教育・研究を含めた開発に毎年数百万円程度の費用は必要。海外での打上の場合、打上には数百万円から一千万円単位の費用が必要)
 - 衛星の目的・意義と外部資金導入との兼ね合い

• 技術面

- JAXAや宇宙関連メーカー、経験者による継続的・積極的な支援
- 試験設備幹旋、知識提供、部品調達などの良好な関係構築

• 打上機会

- 打上機会が定期的に確保されていることが非常に望ましい。この点の支援が強く望まれる
- 打上機会が確定しないと開発を進めにくい面がある
- 打上日の延期はある程度は許容できるかもしれない
- 打上機会の確保と同時に、打上調整も非常に重要
- 安全性・信頼性(ロケット側要求としての)
 - 戦略的・技術的根拠に基づいて、超小型衛星に適した安全性・信頼性要求を設定すべき
 - 適正なリスク内で原則緩和すべき



1) 宇宙システム工学の実践的教育

- 部分と全体を包括、「宇宙」を**現実の場**へ
- 全世界的規模・反響、宇宙的視野の獲得

2) 部品レベルの早期軌道上実証

3) 超小型衛星(群)による有意義な

科学ミッションや実利用ミッションの実施

4) 新しい宇宙工学・ビジネス分野の発掘・開拓

- 人生を捧げるに値する魅力／価値を創出
- 産官学あらゆる分野間の人材育成・協力・展開