
NASA ゴダードでの8年間と 大学でのキューブサット開発

坂本 貴紀 (青山学院大学)



内容

■ NASA ゴダード (GSFC) での8年間の研究生活

- NASAでポスドクを始めるには
- アメリカでの生活
- GSFC で何をしたのか
- 海外ポスドクの勧め

■ 大学でのキューブサット開発

- 速報実証衛星 ARICA
- 衛星引き渡しに必要な手続き
- クラウドファンディング
- 軌道上運用



NASA ゴダード (GSFC) での8年間の研究生活

「ゴダード体験記」日本物理学会誌 Vol. 68, No. 6, 2013

略歴

- 1996: 芝浦工業大学 機械工学科卒業
- 1996–1998: 東京理科大学 理学部2部 物理学科
学士編入/卒業
- 1998: アメリカの大学院へ出願するが全て不合格
- 1999–2004: 東京理科大学大学院 (修士)、東京工業大学大学院 (博士): 主に理化学研究所で研究
- 2004–2012: NASA Goddard Space Flight Center
研究員
- 2012–: 青山学院大学 着任



NASA ゴダードで研究する3つの入り口

■ 海外学振

- 日本学術振興会の海外特別研究員に申請し、採択されること。給料は学振(日本)から支払われる。期間は2年間。

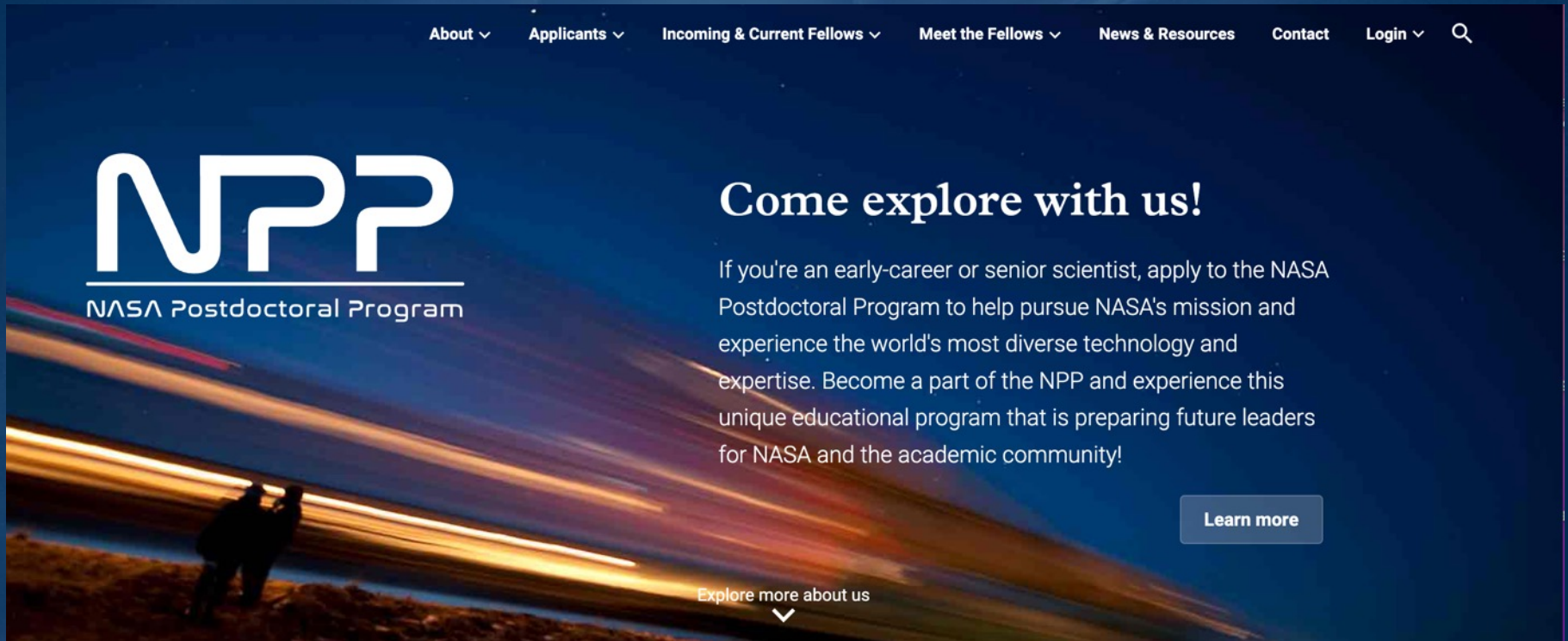
■ NASA Postdoctoral Program (旧 NRC Postdoc)

- NASA のポスドク制度。年3回出願の機会あり。給料はコントラクターである ORAU (Oak Ridge Associated Universities) から支払われる。期間は2年+1年。

■ ゴダードの研究者からの直接雇用

- ポスドクを雇用できる研究費を持っているゴダードの正規職員 (civil servant といいます) に雇用してもらう。給料はコントラクターから支払われる。期間は研究費が続く限り。個人的に繋がりのある方でないと難しい。

NASA Postdoctoral Program (NPP) (npp.orau.org)



- 出願書類

- 出願フォーム（今までの研究内容や今後の研究計画）
- **3通の推薦書**（私の時は4通）
- 成績証明書

渡米の準備

■ VISA の申請

- NPPは J-1 ビザでの受け入れ. ORAU の NPP 担当者に J-1 ビザ申請に必要な DS-2019 の発行依頼. 奥さんは J-2 ビザの申請が必要. (3年分の DS-2019を発行してもらえるとベスト)
- 豆知識: ORAU/NPP 担当者へ日本ぽいおみやげの購入

■ アメリカの銀行 ATM から引き出せる口座の開設

- Citi bank (日本撤退)の口座を開設
- クレジットカードの裏に PLUS と書かれているものは、アメリカの銀行 ATM で現金の引き出しなどは可能

■ 引っ越しの荷物は最小限

- GSFC周辺は日本や韓国食材店がある

■ GSFC 入構手続き



アメリカについたら

- Social Security Number (SSN) の入手
 - 銀行口座は開けない、アパート契約もできない。
- 銀行口座の開設
 - 給料や光熱費、アパート費用の支払い。
 - Checking account と Saving account
- 住む場所
 - 1年契約の家具なしアパートがほとんど
 - 特に奥さんがいる場合は、治安の良い場所
- 車
 - 中古車の購入には十分な注意を。
- ガス、電気、ケーブルTV、インターネットなどの契約
 - ケーブルTVとインターネットは一体のサービスがある

NASA Goddard Space Flight Center (GSFC)

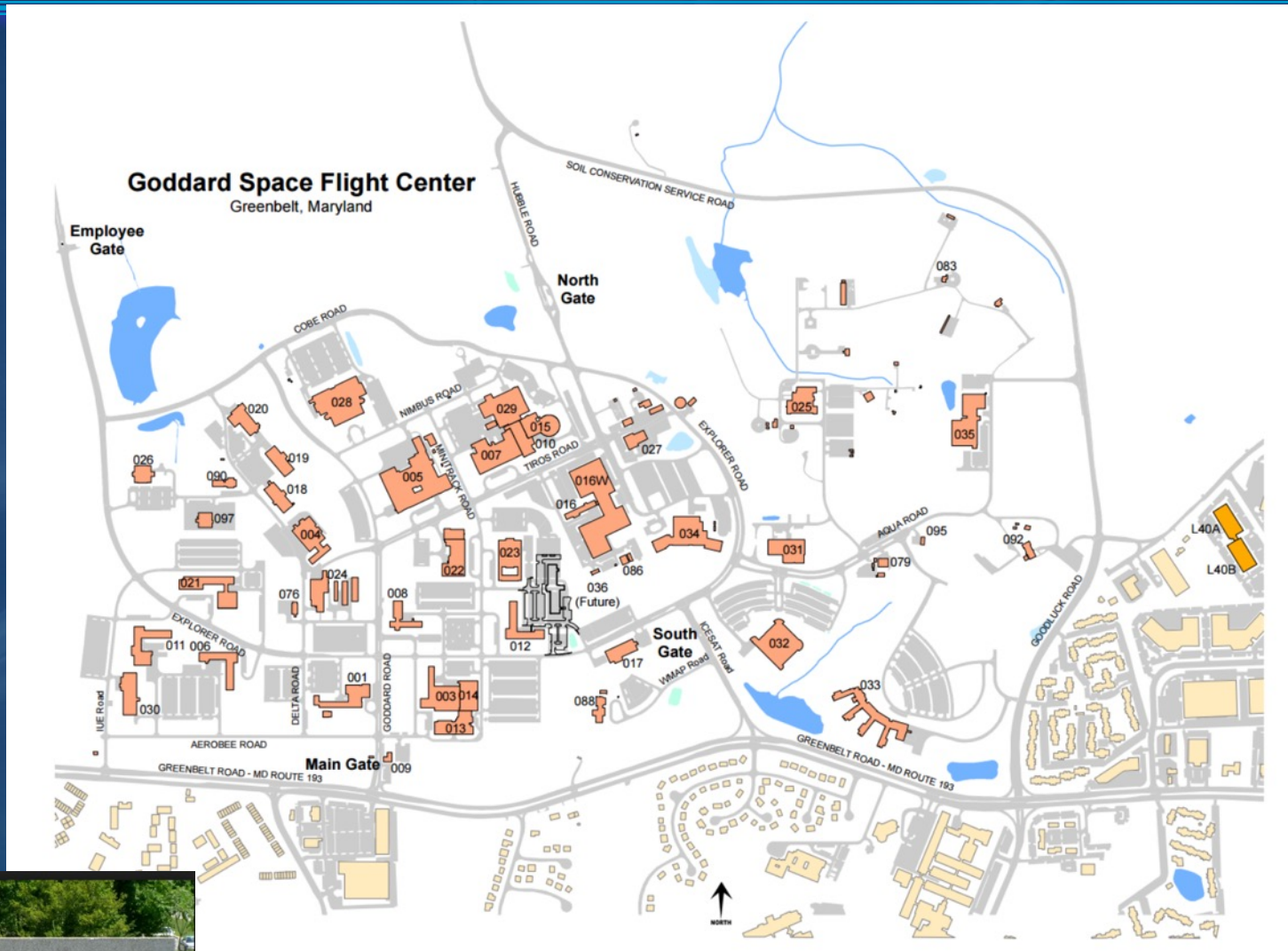
メリーランド州、グリーンベルト



アクセス

- 車 1時間: ダレス国際空港 ANA/United 成田直行便
- 車 40分: レーガン国際空港 メトロの駅とつながっている
- 車 30分: ボルチモア国際空港 国内旅行の時によく使う

GSFC キャンパスマップ



約1万人の研究者や技術者が勤務
地球物理、宇宙物理、太陽物理、惑星科学などの分野

GSFC の様子

- 研究や開発を行うための30近い建物
- カフェテリア
- 託児所
- レクリエーションセンター
- サッカー場、テニスコート、ソフトボール場 (キャンパス外)
- 天文台 (キャンパス外)
- GEWA (Goddard Employees Welfare Association)



Building #7: 2019年は JWST が
あった



何をしに GSFC へ？

■ガンマ線バースト探査衛星 Swift (2004-)

－ Burst Alert Telescope (BAT) のチームメンバー



Swift Gamma-ray Burst Explorer Mission



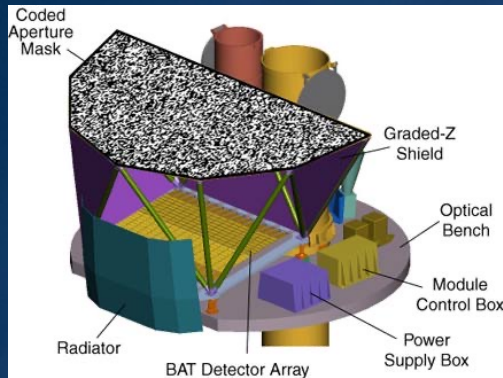
■ NASA の Medium-Class Explorer (MIDEX)

- 1999年1月 Phase-A study の選定
- 1999年10月 ミッション選定
- 2004年11月 打ち上げ

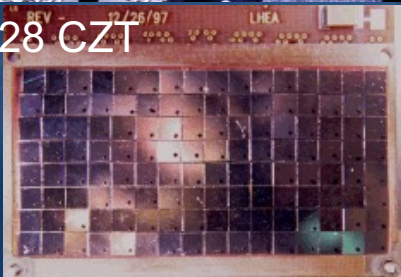
■ アメリカ、イギリス、イタリアの国際協力ミッション

- **Burst Alert Telescope (BAT)**: 新規開発;
NASA/GSFC とロスアラモス国立研究所
- **X-ray Telescope (XRT)**: X線ミラーはJET-X FM、CCD
はXMM-NewtonのMOS; ペンシルバニア州立大学、イ
タリア国立天体物理学研究所 (INAF)、レスター大学
- **Ultra-Violet/Optical Telescope (UVOT)**: XMM-
Newton OM のコピー; ペンシルバニア州立大学、UCL
マラード宇宙科学研究所 (MSSL)

Burst Alert Telescope (BAT)



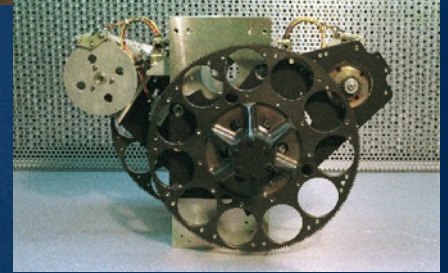
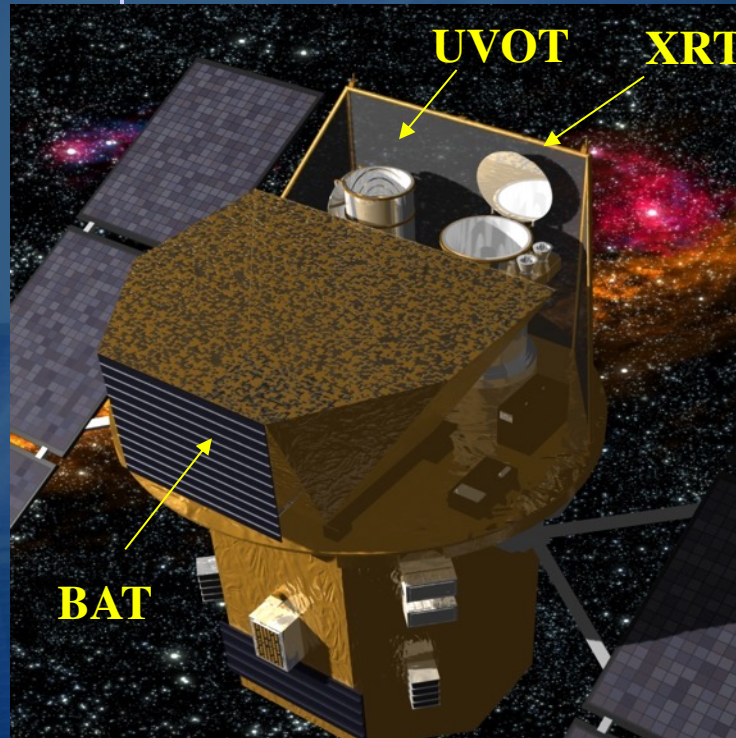
128 CZT



E_range: 15-150 keV (15-350 keV)
 Det: CdZnTe ($4 \times 4 \times 2 \text{ mm}^3$)
 # of detectors: 32,768 (256×128)
 FOV: 120 deg x 90 deg
 Pos: $1' - 3'$

UV/Optical Telescope (UVOT)

Aperture: 30 cm (XMM OM)
 Det: MCP+CCD (XMM OM)
 FOV: $17' \times 17'$
 7 filters (UV - Opt)+2 grism

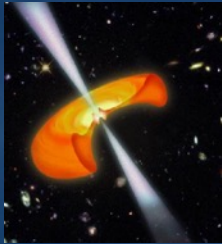


X-Ray Telescope (XRT)



E_range: 0.3-10 keV
 Focal Length: 3.5m
 Det: X-ray CCD (XMM MOS)
 FOV: $23' \times 23'$

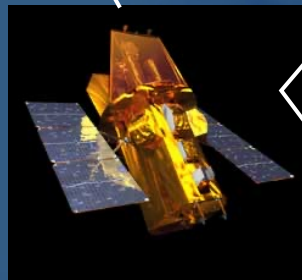
Swift: 人を介在しない自立した観測



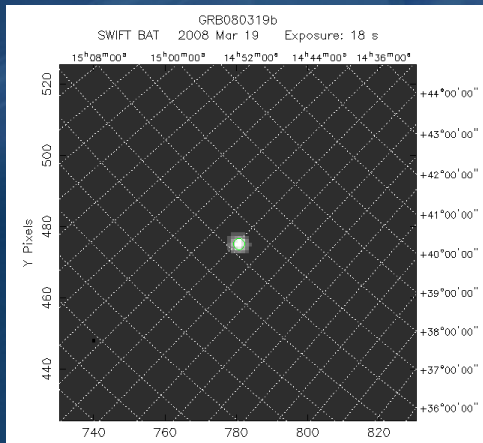
XRT & UVOT Observation
($T_0+75-120$ s)

BAT GRB detection: T_0
BAT GRB position: $T_0+\sim 20$ s (3')

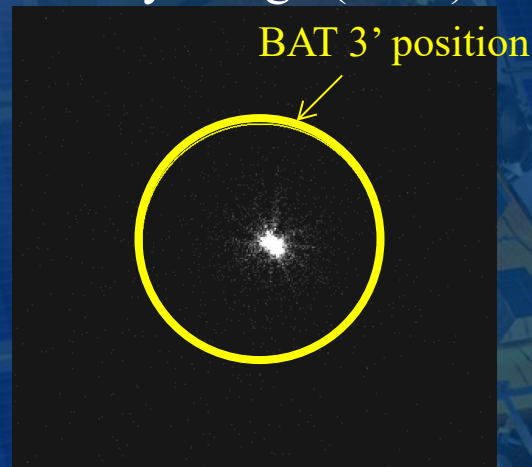
$T_0+(20-75$ s)



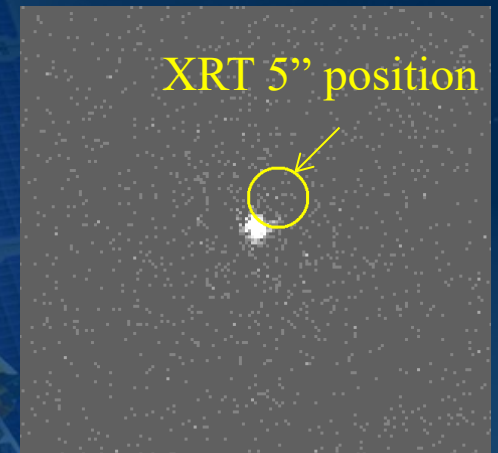
Gamma-ray Image (BAT)



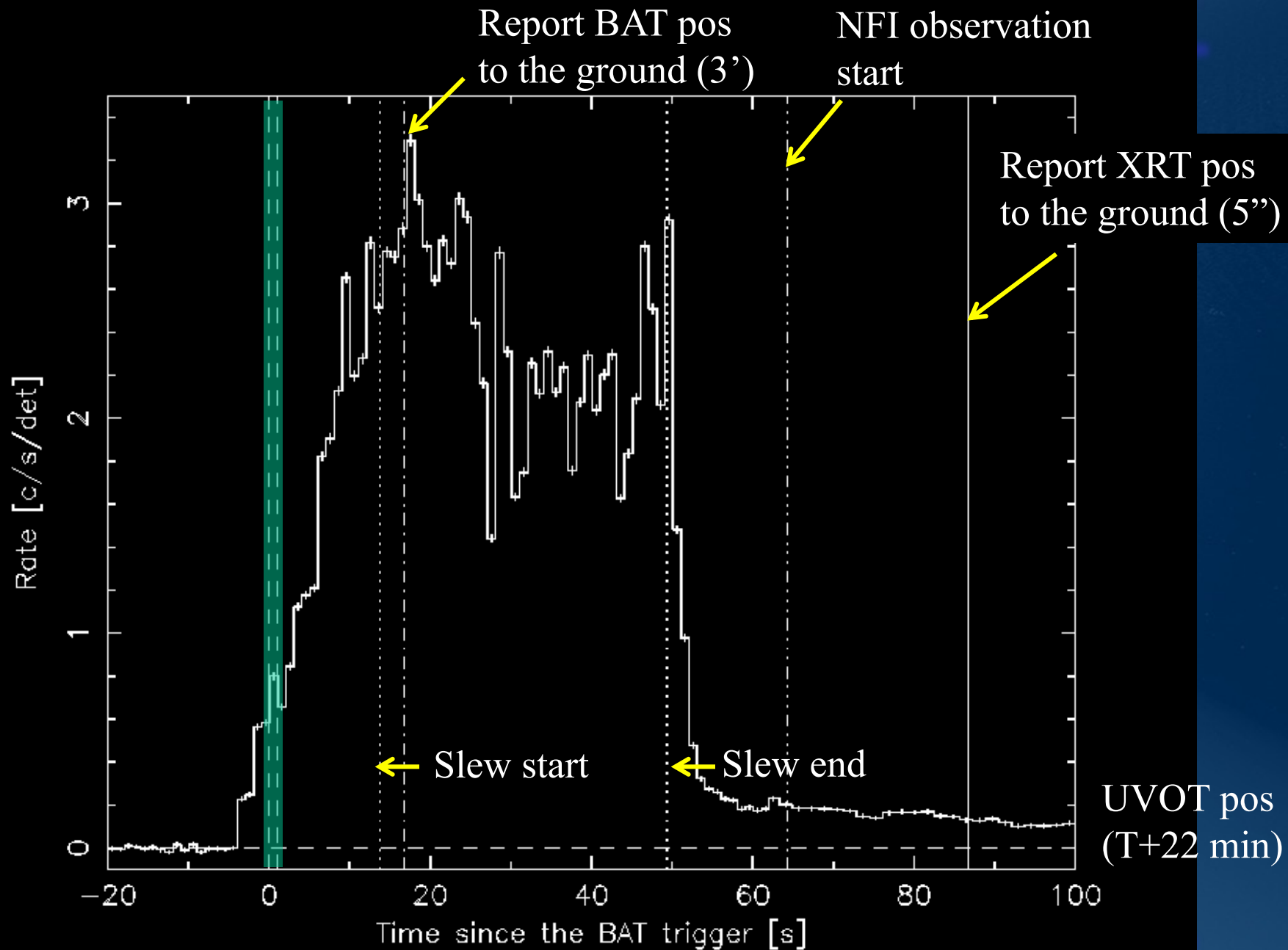
X-ray Image (XRT)



Optical Image (UVOT)



GRB 080319B の観測例



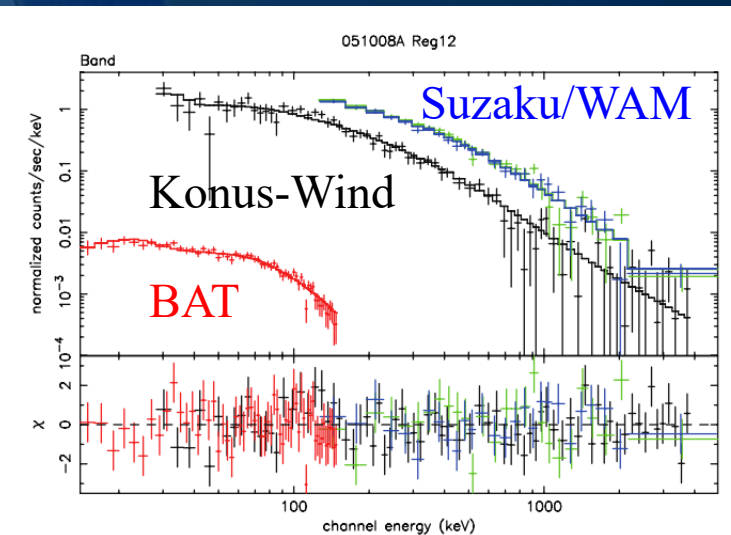
大好きな Swift へ貢献しないと...

- BAT自動データ解析パイプライン
 - TDRSS データの可視化
 - イベントデータの自動解析
- BATエネルギー応答関数の較正
 - Konus-Wind, Suzaku/WAM との相互較正
 - XRT, Suzaku/XIS, Suzaku/HXDとの相互較正
- 100編以上のSwift が関係するGRB論文にBATの解析結果を提供

(Sakamoto et al. 2011)



GSFC 2006 Peer Award



自分だけ充実していたらよいか…

- 家庭が充実して、初めて研究にも集中できる。
 - スミソニアン航空宇宙博物館でのボランティア
 - ESL (English as a Second Language) class に参加
- アメリカ人は家族中心
 - 夕方5時以降、GSFC で仕事をしている人はほとんどいない
 - 家族ぐるみでBBQなどの食事会
- 幼稚園のcoop (コアープ) 制度
 - 幼稚園の coop 制度で、子どもたちのお手伝い

その後

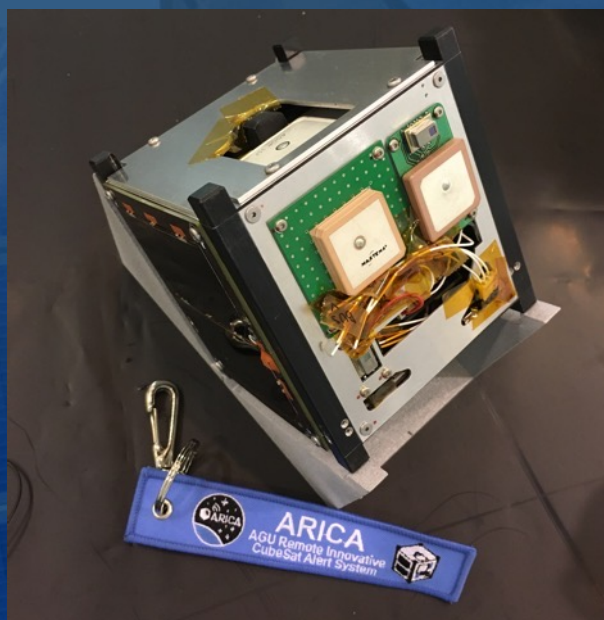
- 2004–2007: NPP
 - J-1 VISA (3年間)
- 2007–2012: メリーランド大学ボルチモア校
(University of Maryland, Baltimore County) 所属
のNASA/GSFC 研究員
 - H-1B VISA (3年+3年)
 - Swift の予算で100%雇用

是非、一度は海外で研究を!

- 研究や生活環境の違いを知る
- 日本を良く知る

大学でのキューブサット開発

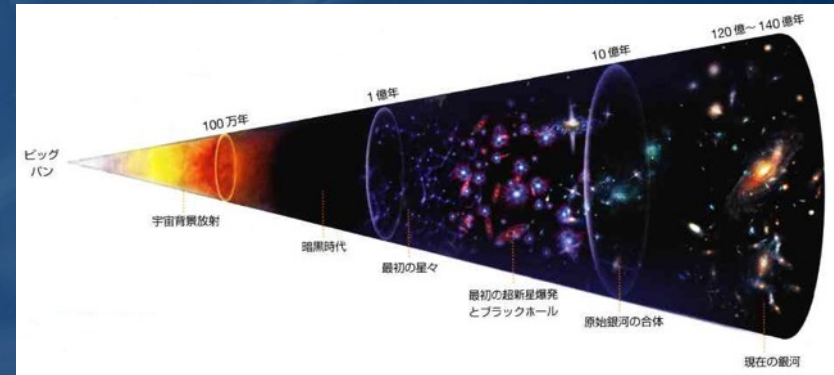
AGU Remote Innovative Cubesat Alert System – ARICA (ありか) –



GRB のサイエンス

■ 初期宇宙探査

- 初代星の発見
- 宇宙再電離の時期を探る



■ 重力波源の電磁波対応天体

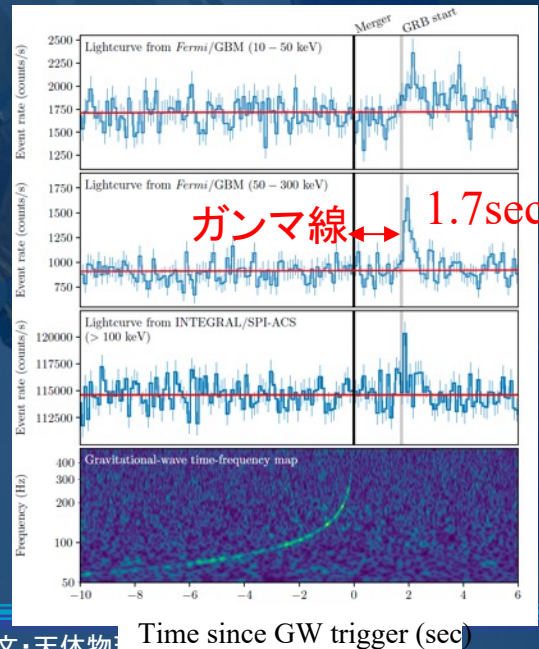
- 重力波発生現場
- 重元素合成に伴う光

Larson & Bromm (2001)

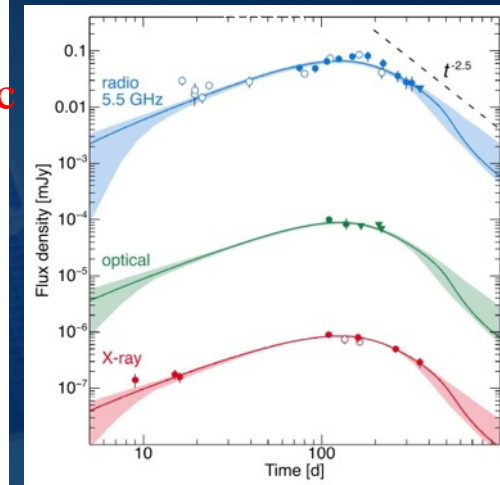
■ 宇宙ジェット

- ジェットの生成機構
- ガンマ線の放射機構

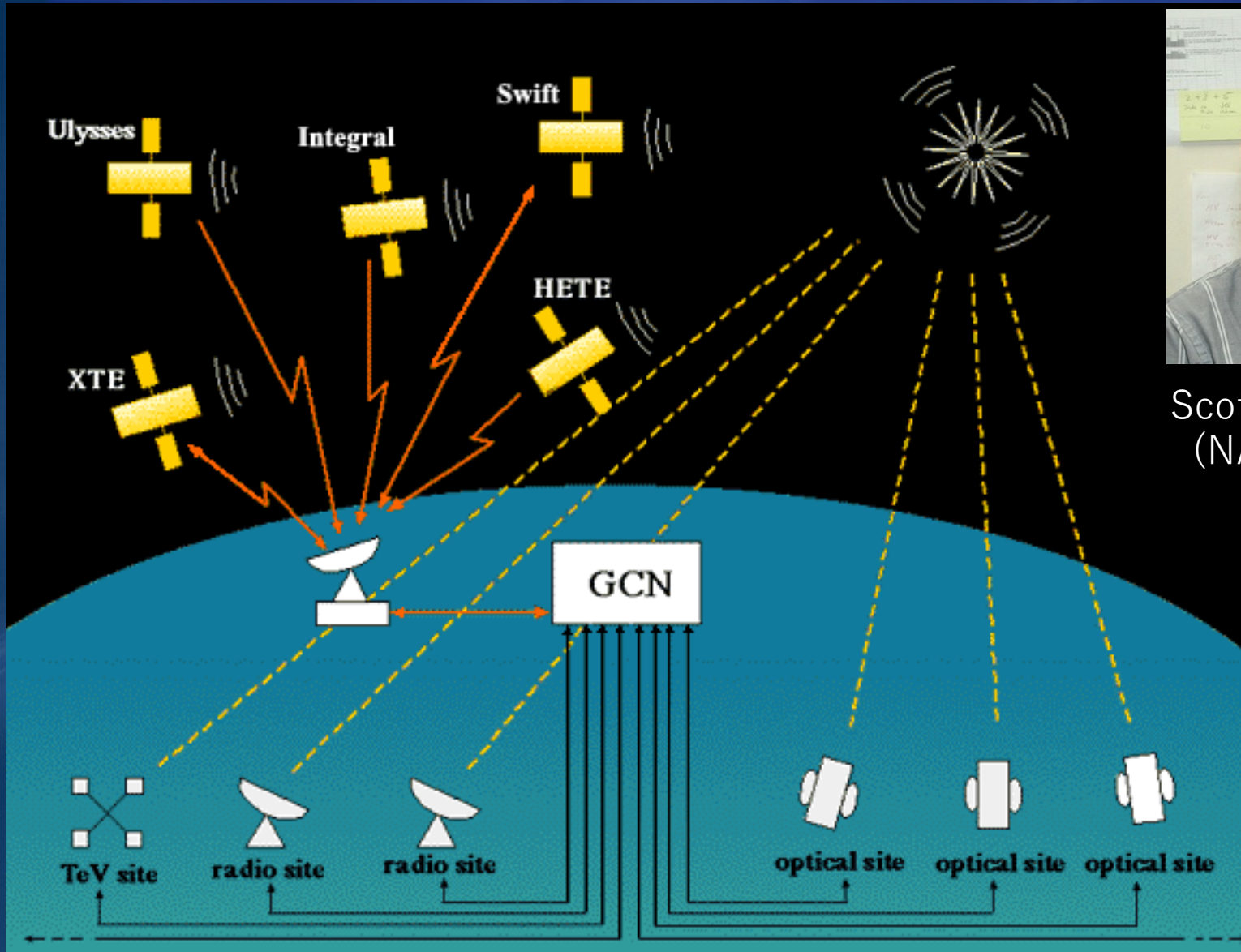
Abbott et al. 2019



Troja et al.



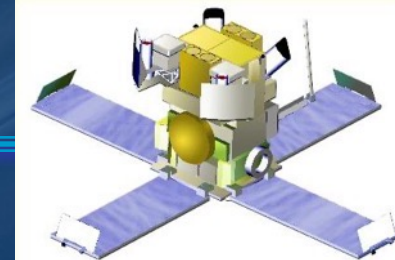
Gamma-ray Coordinate Network (GCN)



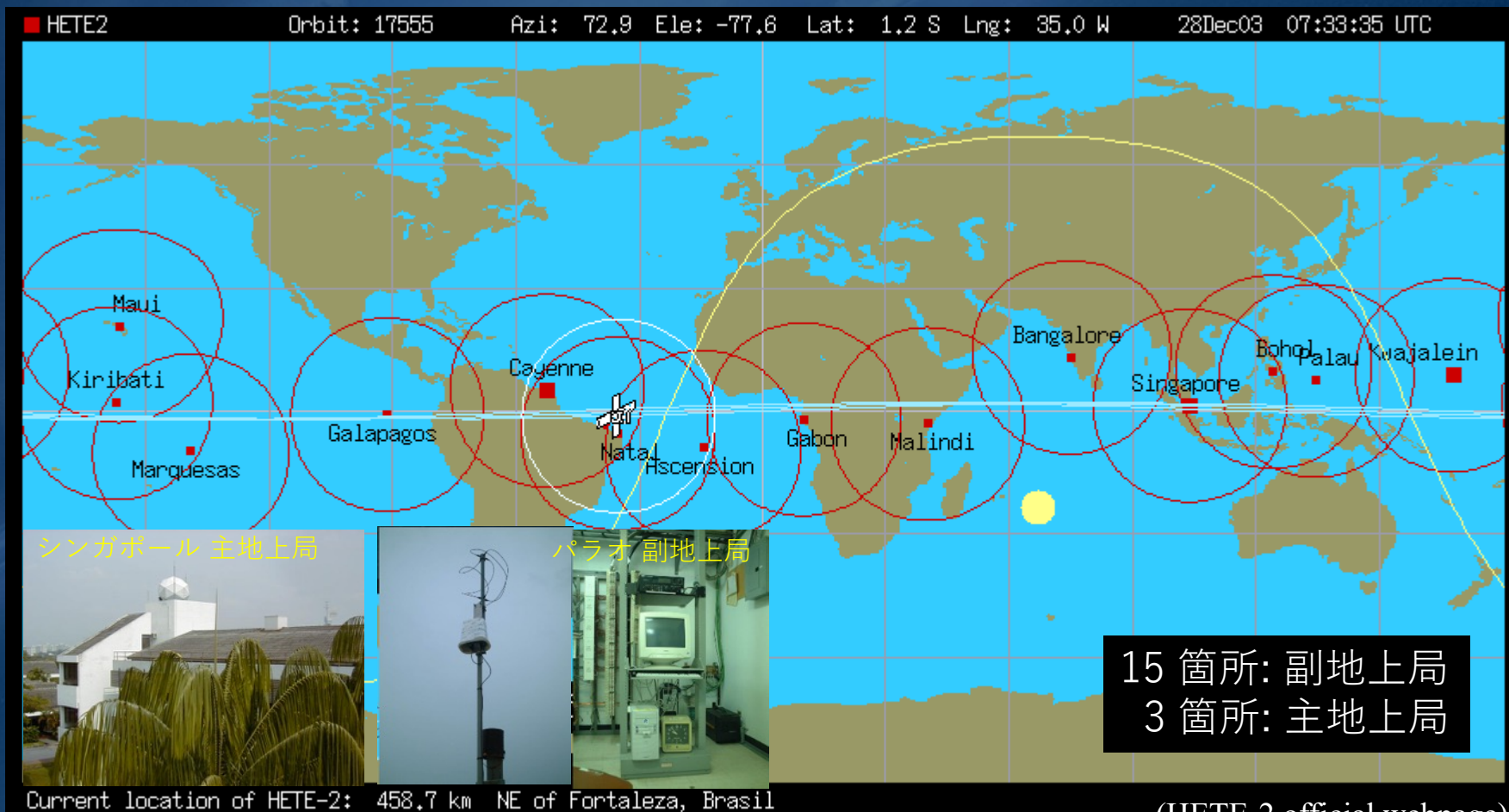
Scott Barthelmy
(NASA/GSFC)

速報ケース1: 多くの地上局を利用

- 赤道軌道
- 軌道上に VHF 帯地上局を多数設置



HETE-2



速報ケース2: TDRSS

(Swift/Fermi/MAXI/CALET)

NASA's Tracking and Data Relay Satellite System (TDRSS)

First generation TDRS
(launched: 1983–1995)



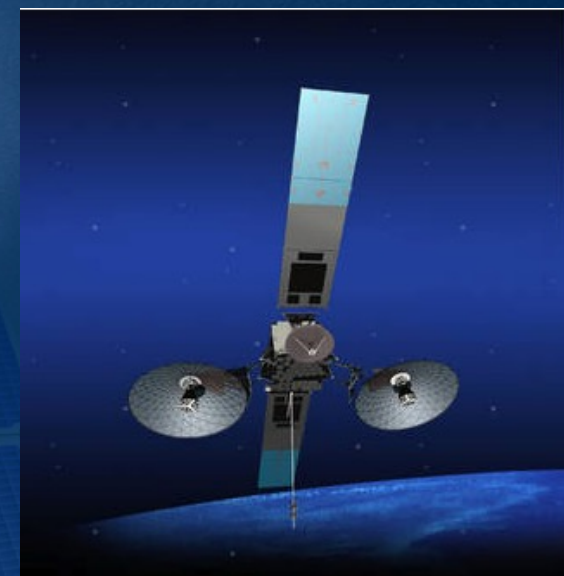
(TDRS-6, TDRS-7)

Second generation TDRS
(launched: 2000–2002)



(TDRS-8, TDRS-9, TDRS-10)

Third generation TDRS
(launched: 2013–2017)



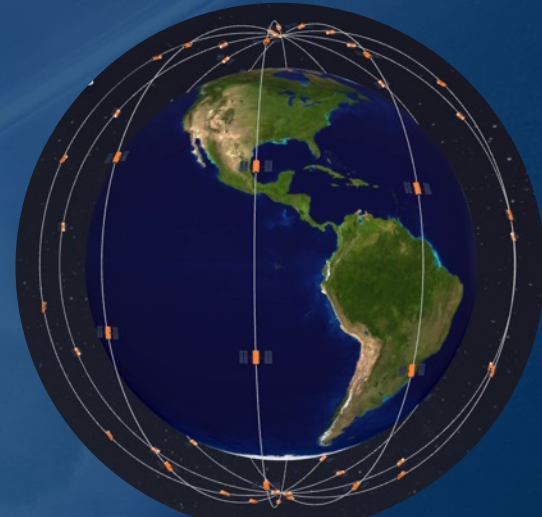
(TDRS-11, TDRS-12, TDRS-13)

(figures and information from NASA TDRS webpage:
https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/services/networks/tdrs_main)

- 約70% の時間で衛星と地上の常時通信が可能
- 基本 NASA のプロジェクトでないと使用できない

イリジウム衛星通信

- 66 機の衛星が稼働中
- 高度 780 km
- 極軌道
- 衛星間通信



(<https://www.iridium.com/network/>)

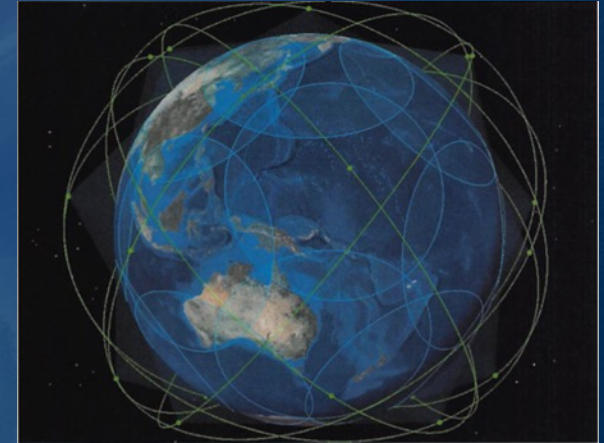
Iridium: Short Burst Data (SBD)

- 型番: SBD9603N
- サイズ: 31.5 x 29.6 x 8.1 mm
- 重さ: 11.4 g
- 消費電力: 1.5 W (max)
- 340 バイト (送信), 270 バイト (受信)
- 1621-1625 MHz



グローバルスター衛星通信

- 32 機の衛星が稼働中
- 高度 1414 km
- 8 つの異なる軌道
- 衛星と地上との通信 (23 箇所の地上局)

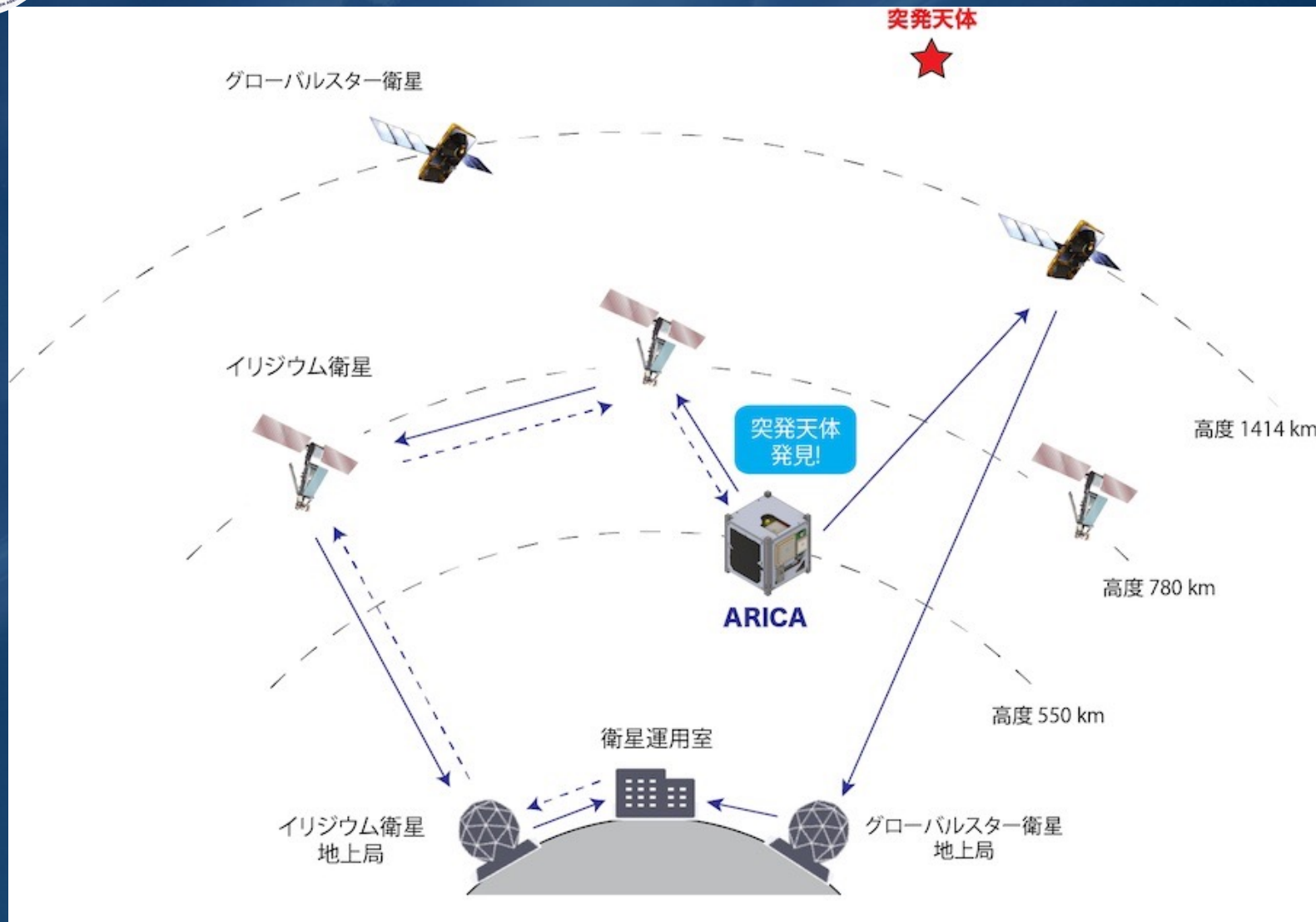


Globalstar: EyeStar-S3 (NSL)

- 型番: STX-3
- サイズ: 50 x 25 x 15 mm
- 重さ: 22 g
- 消費電力: 0.063 W (max)
- 35 バイト (送信)
- 1615.0-1617.5 MHz



民間衛星通信を利用した 突発天体速報システム



- 2016年度: 卒研テーマ「イリジウム衛星を用いたガンマ線バースト速報システムの開発」でイリジウム SBD を動作させ、手応えを得る.
- 2017年度 科研費 基盤C にキューブサットでの実証実験を提案するも不採択
- 2018年度科研費 基盤B にキューブサットでの実証実験を提案し、採択.
- 2018年夏頃 JAXA 革新的衛星技術実証2号機の実証テーマとして応募し、採択 (12月に通知).
- 2019-2021 本格的な開発スタート
- 2021年8月 衛星引き渡し
- 2021年11月 打上げ

ARICA 開発体制

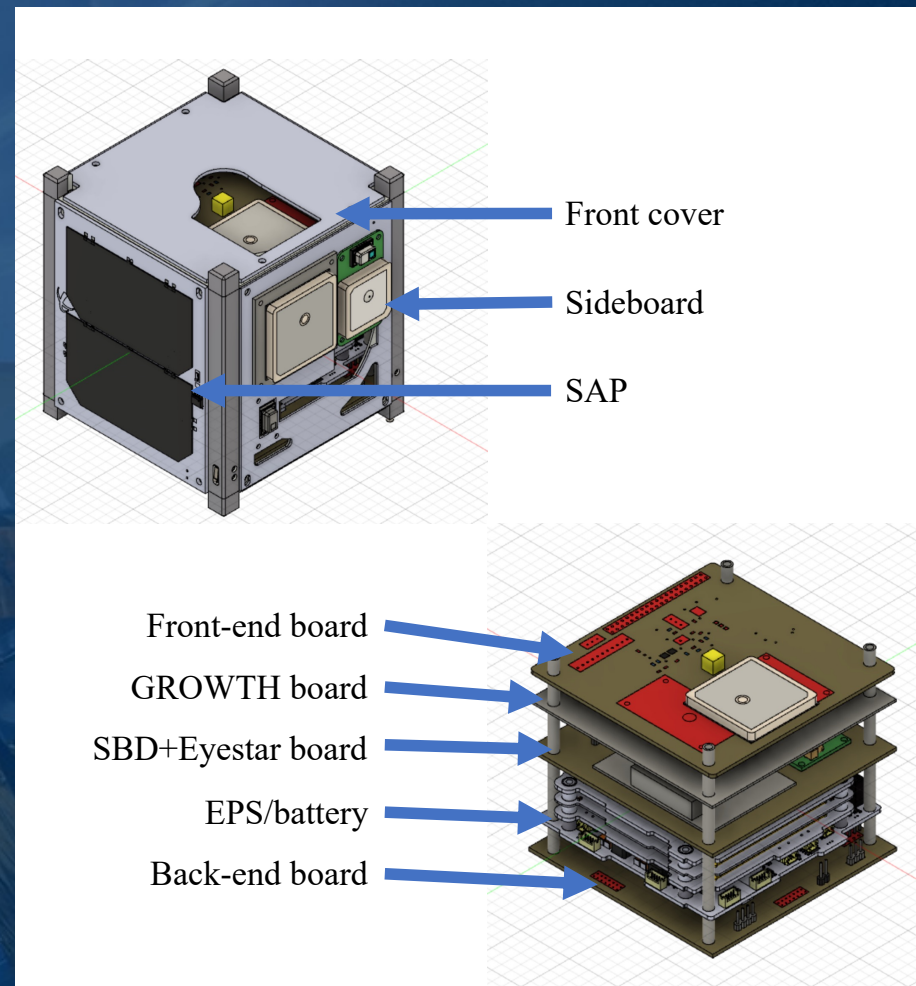
- 2018年度 B4 2名、M1 1名、M2 1名
- 2019年度 B4 2名、M1 2名、M2 1名
- 2020年度 B4 2名、M1 2名、M2 2名、D1 1名
- 2021年度 B4 2名、M1 2名、M2 1名、D2 1名
(スタッフは 助教の芹野さんと坂本の2名)

2021年度 ARICA チーム



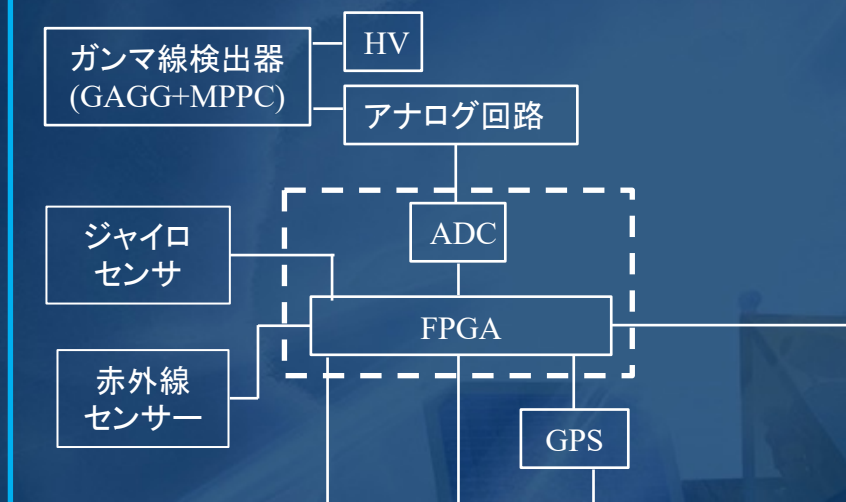
衛星バス部の開発は行わない(宇宙利用実績品をメーカーから購入)。ミッション部のみの開発を行う。

大きさ	1U キューブサット
質量	1065 g
電力	6-7 W
構造体	1U Structure (AAC-Clyde Space)
太陽電池パネル	4枚 (AAC-Clyde Space)
EPS/バッテリー	20 Whr (AAC-Clyde Space)
データ処理	改良 GROWTH ボード (シマフジ電機)
ミッション部	- Front-end board - SBD+Eyestar board - Back-end board

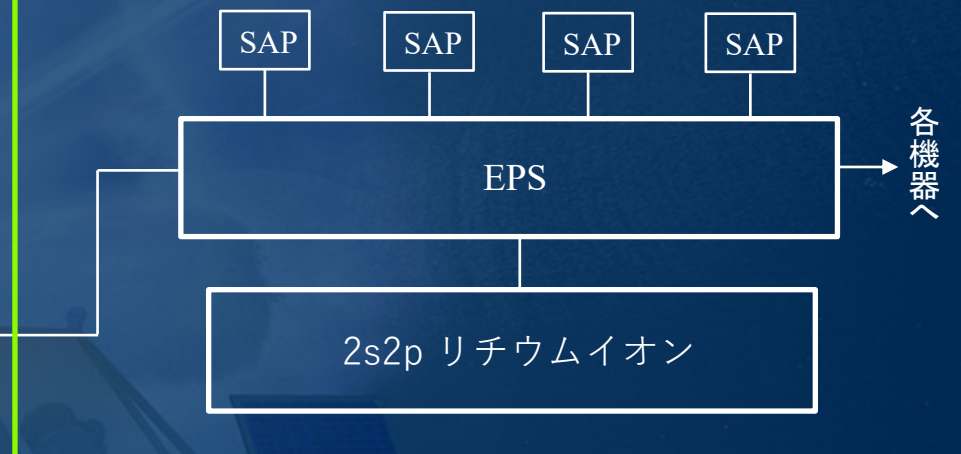


ARICA システム概要

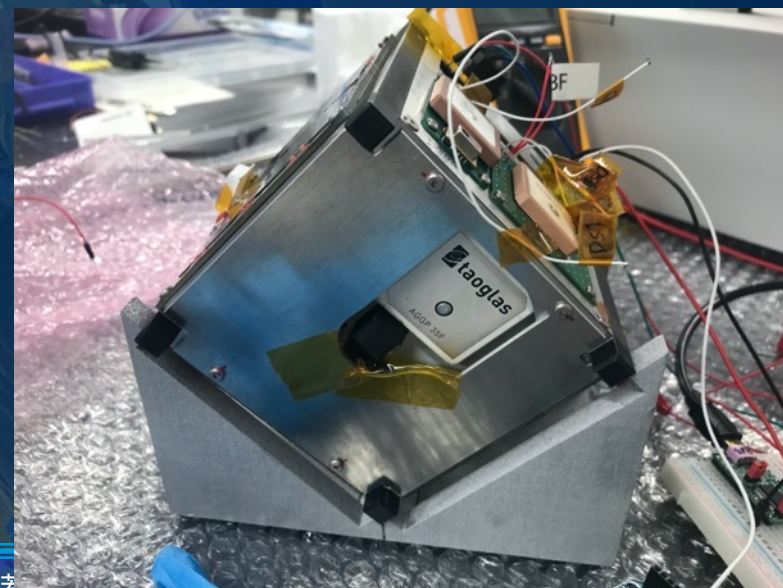
ミッション系



電源系



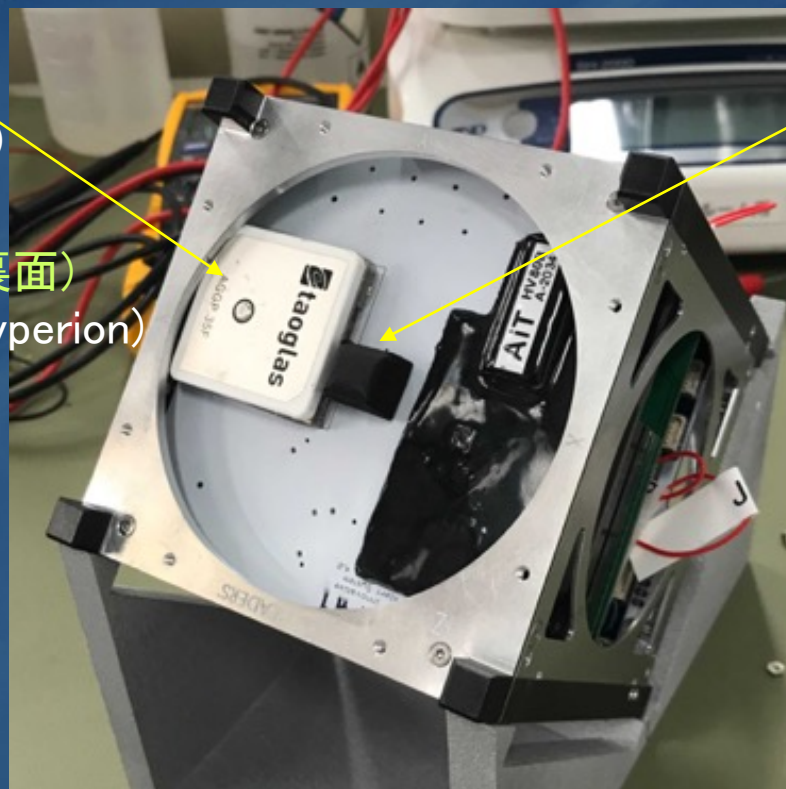
通信系



Front-end board

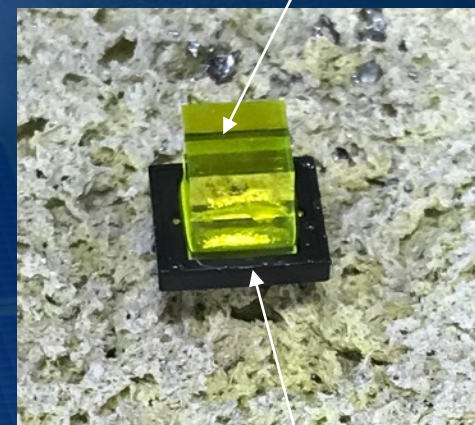
GPS アンテナ
- AP.35A (Taoglas)

GPS モジュール (裏面)
- HT-GNSS200 (Hyperion)



ガンマ線検出器

シンチレータ: GAGG



光センサー: MPPC

イリジウム端末

– Short Burst Data (SBD)

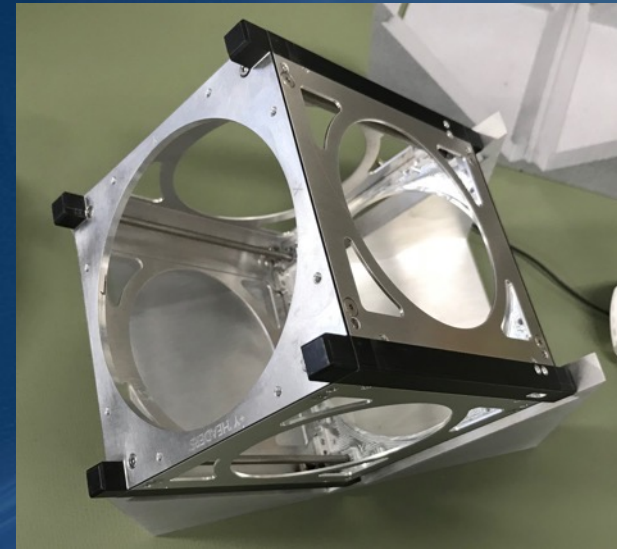


グローバルスター端末

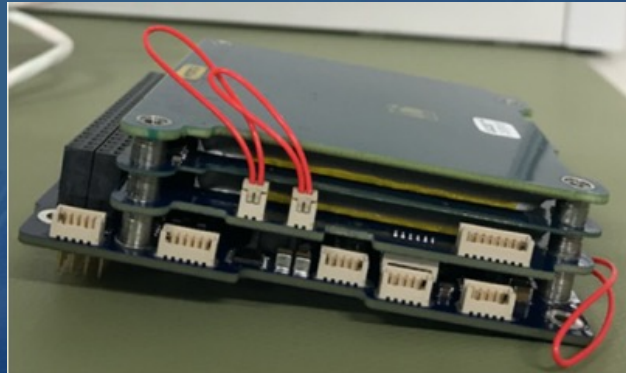
– EyeStar-S3 (NSL)

AAC-Clyde Space社の宇宙利用実績品を購入

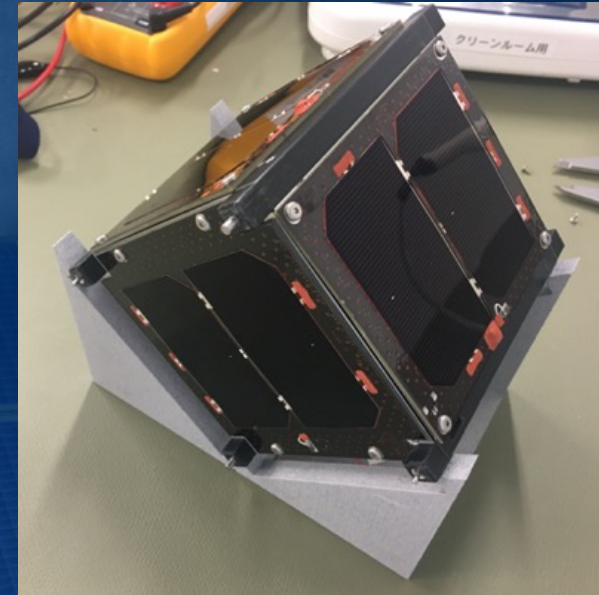
1U Structure



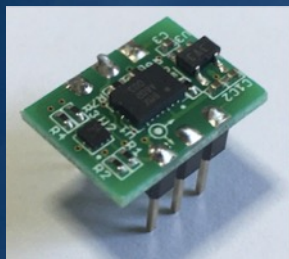
EPS/バッテリー



太陽電池パネル



宇宙利用実績のあるコンポーネントを積極的に利用することで、開発期間の短縮と信頼性の高い衛星開発が可能

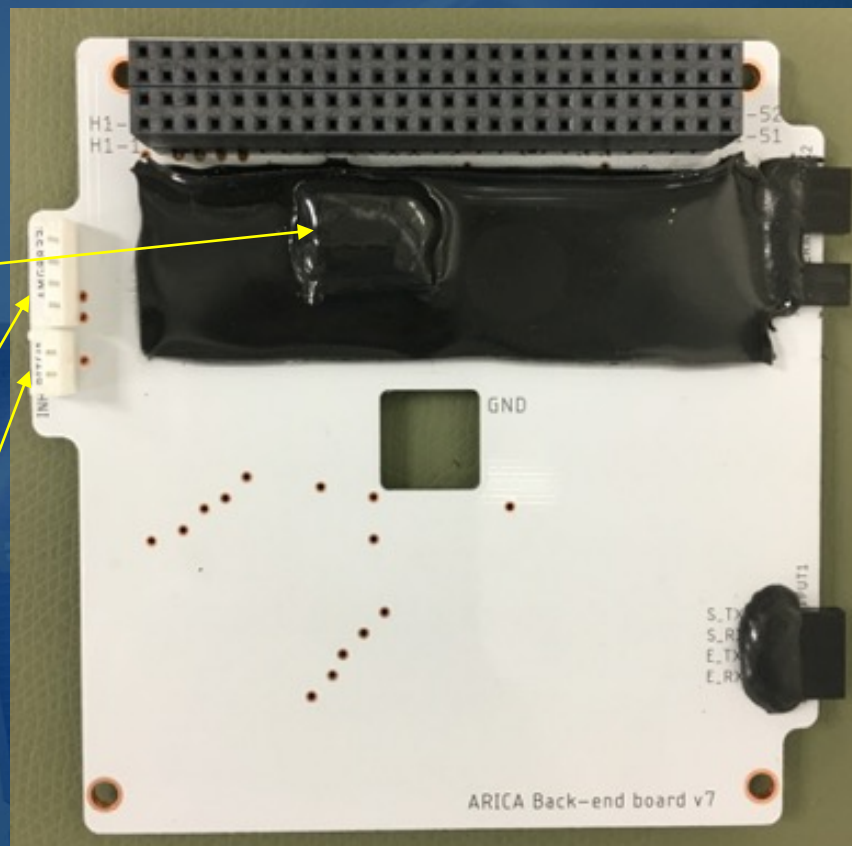


ジャイロセンサー

- BMX055 (BOSCH Sensortech Inc.; 秋月電子で購入)

赤外線センサー
コネクター

Inhibit コネクター

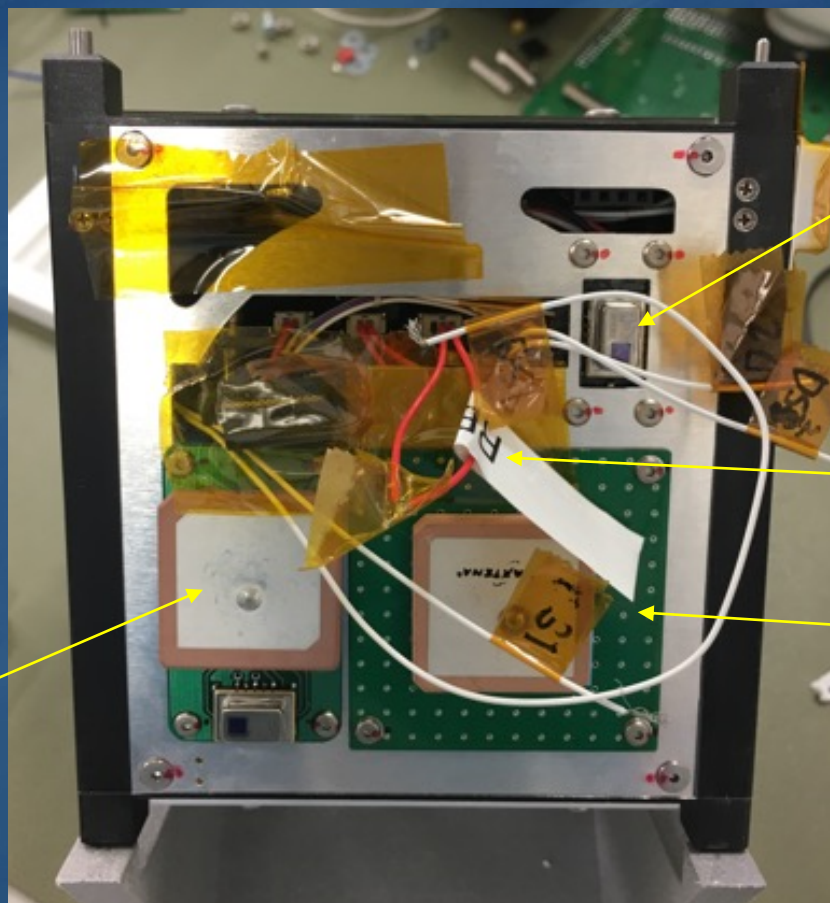


バッテリー充電
コネクター

Inhibit コネクター

送信機 Rx/Tx
アクセス
コネクター

側面パネル (アクセス窓)



EyeStar用パッチ
アンテナ

赤外線センサー

– AMG8834 (Panasonic)

“地球”を検知し、アンテナが地球を向いている時に電波を発射しない処置

RBF ピン

SBD 用パッチ
アンテナ

■ JAXA 安全審査

- ロケット側に対して、衛星が十分に安全な設計になっているかの審査

■ 総務省 送信機の免許申請

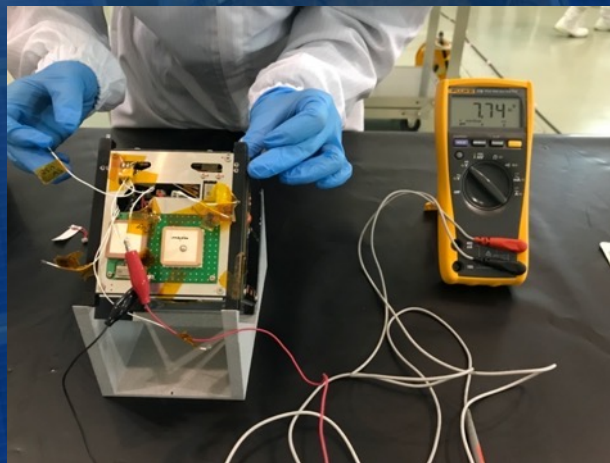
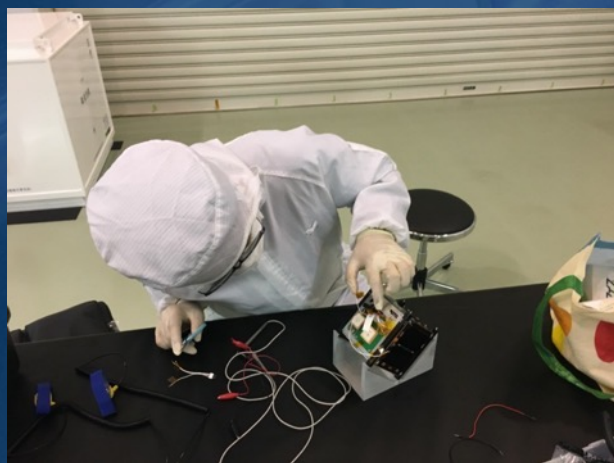
- 衛星に搭載する電波を発する送信機は、全て特殊な送信機となるため、総務省からの免許(予備免許)

■ 内閣府 宇宙活動法の申請

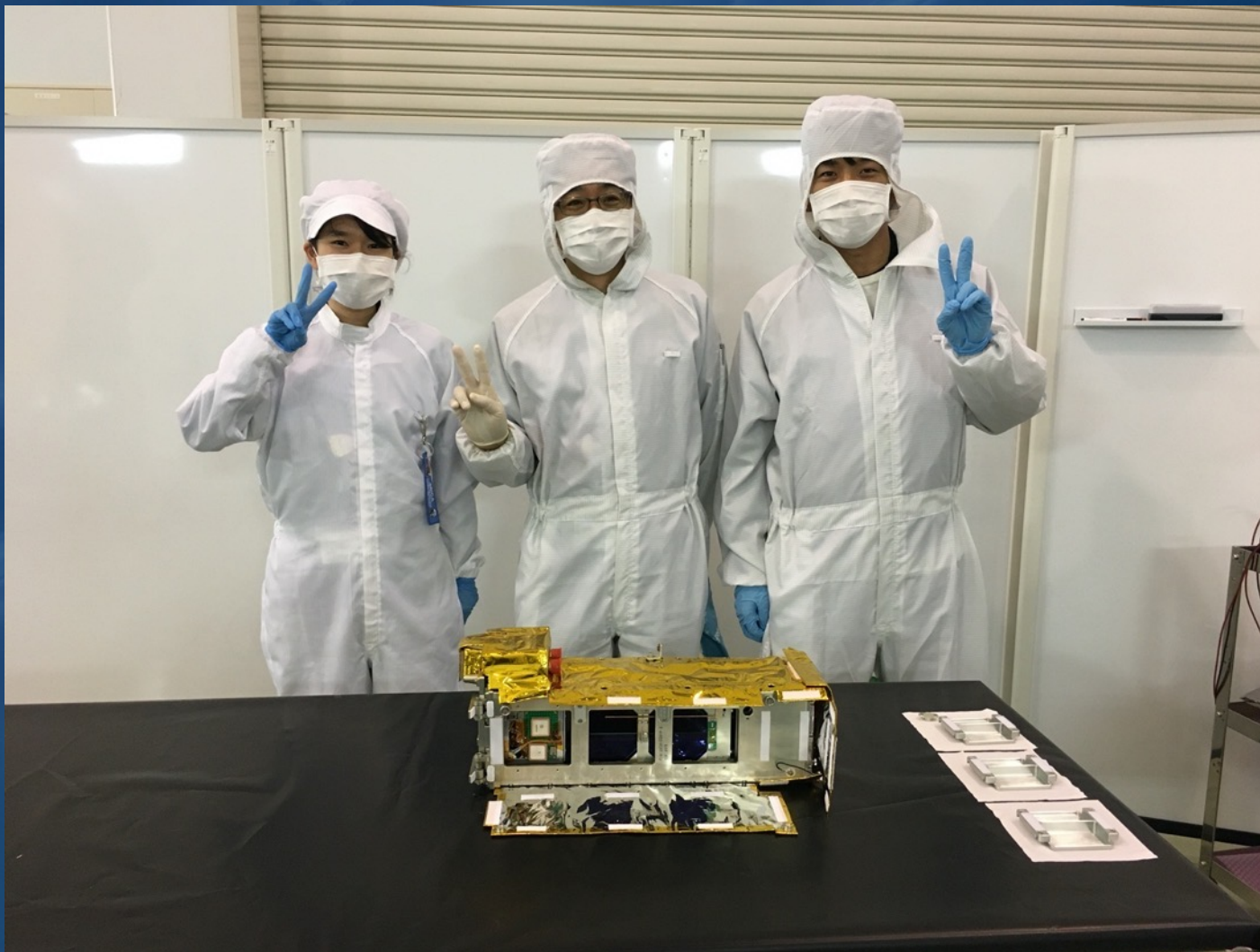
- 衛星が打ち上がった後に衛星を他の軌道上にある衛星や衛星の運用が終了したあとに安全にミッションを終了できるかの審査

衛星の引き渡し

日時: 2021年8月15日-8月19日
場所: 内之浦宇宙空間観測所



作業完了!





クラウドファンディングにも挑戦



総務省の免許申請時に必要な業者による送信機の登録点検などに予想以上の経費が発生. 運用費が枯渇する…

学術系クラウドファンディングサイト「academist（アカデミスト）」

JP | EN



academist

academist とは?

研究者の方へ

大学・研究機関の方へ

企業の方へ



ログアウト

超小型衛星「ARICA」で突発天体ガンマ線バースト解明の糸口をつかむ！

</> 埋め込み

f シェア

ツイート



坂本貴紀



青山学院大学、教授

支援総額: 2,087,700 円

目標金額: 2,000,000 円



達成率
104 %



サポーター
164 人



残り時間
終了

支援する

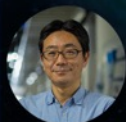


クラウドファンディングにも挑戦



高知高専 今井先生との対談動画

KOSEN-1
高知高専の今井先生に
坂本が聞きました!



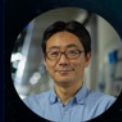
テーマ:
衛星開発による教育



Part 1

NASA/GSFC 岡島さんとの対談動画

NASA GSFC の
岡島崇さんに
坂本が聞きました!



岡島さんの
幼少期～大学生



Part 1

Twitter 始める



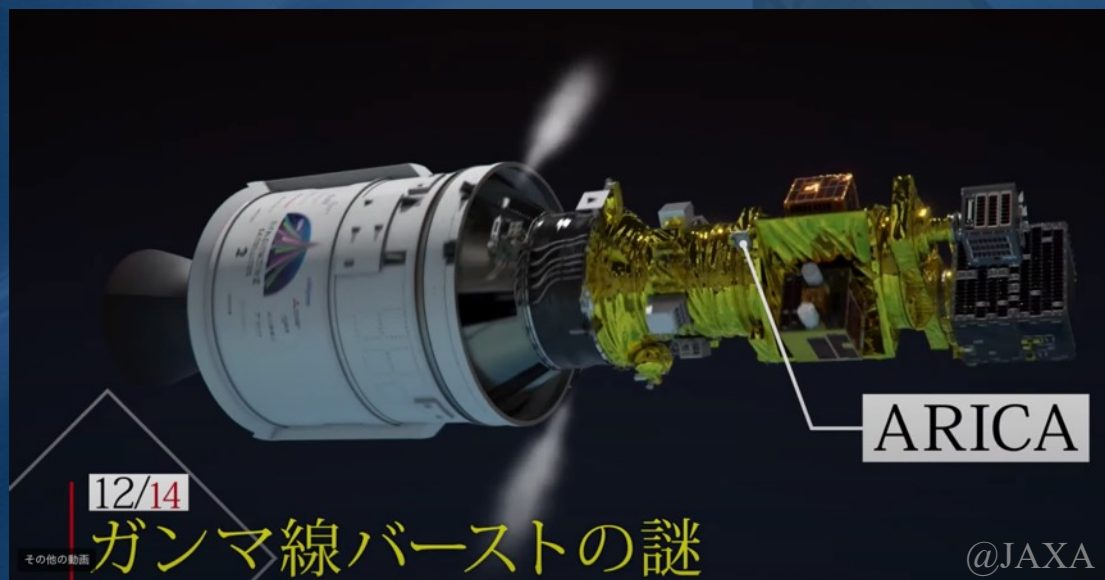
学生対談動画



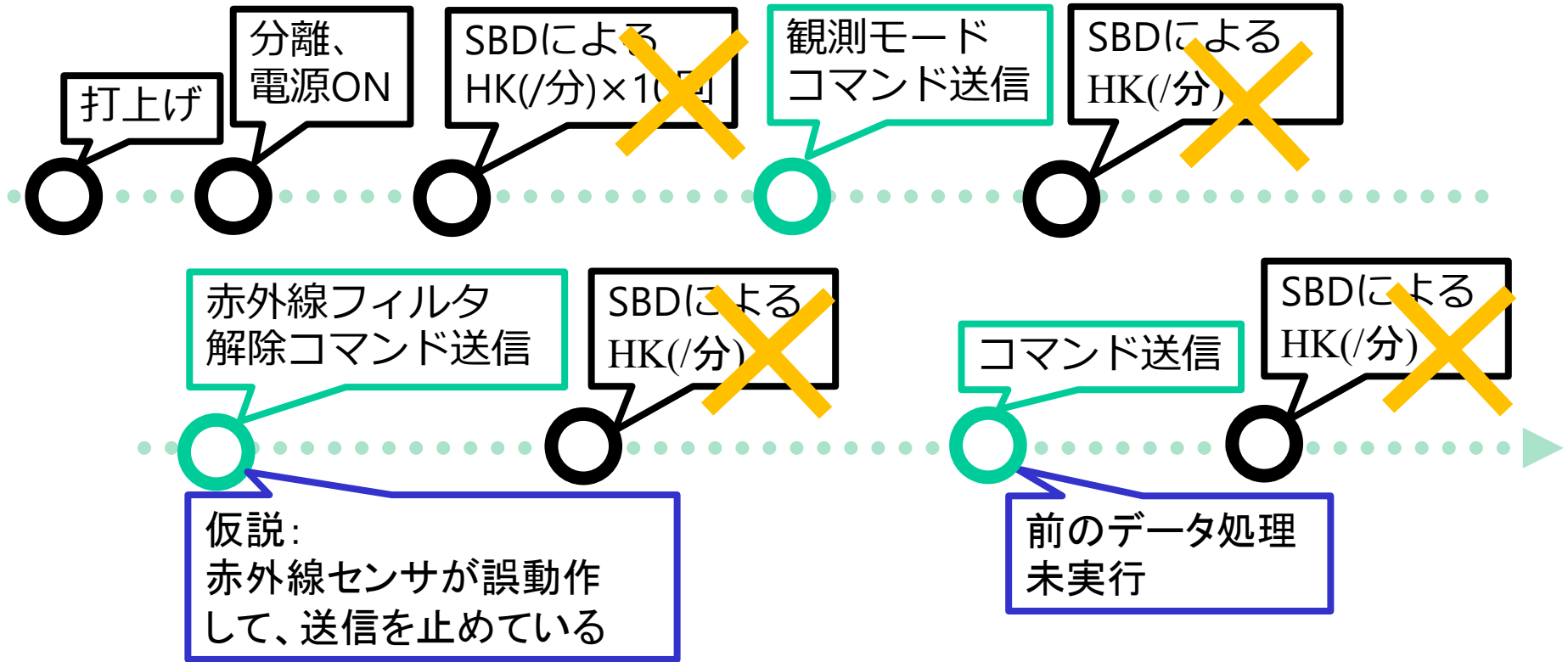
- 駅へのポスター掲示
- 学生主体のメルマガなどでの配信など

そして、打ち上げ

- JAXA イプシロンロケット5号機
- 日時: 2021年11月9日 9:55:16 (日本時間)
- 9機、全ての衛星の切り離しに成功

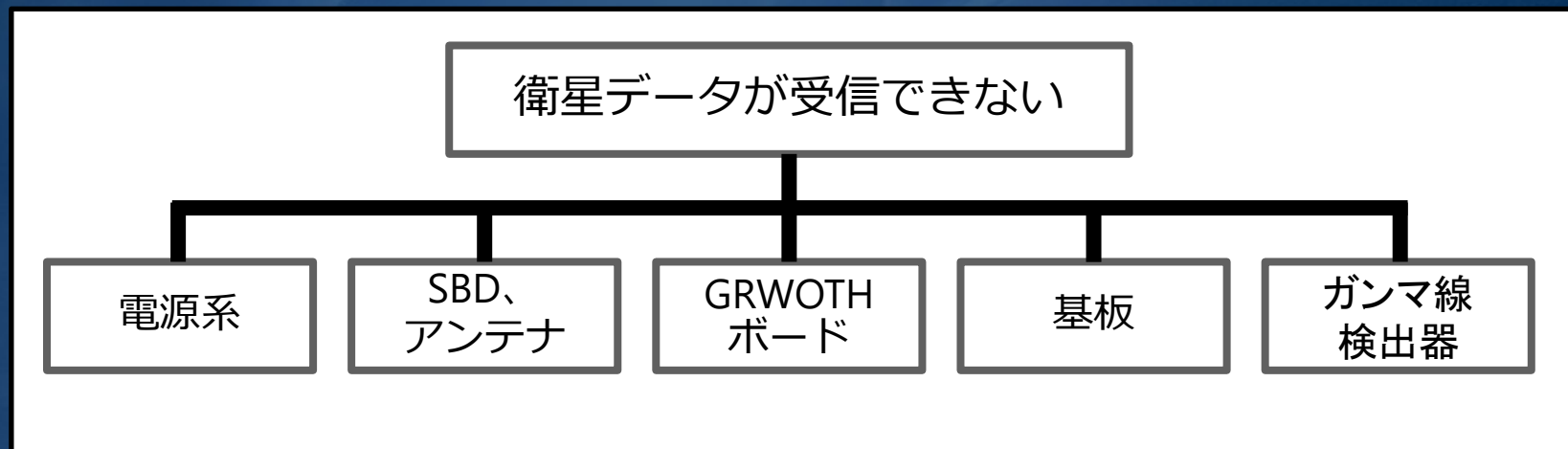


予定 現実



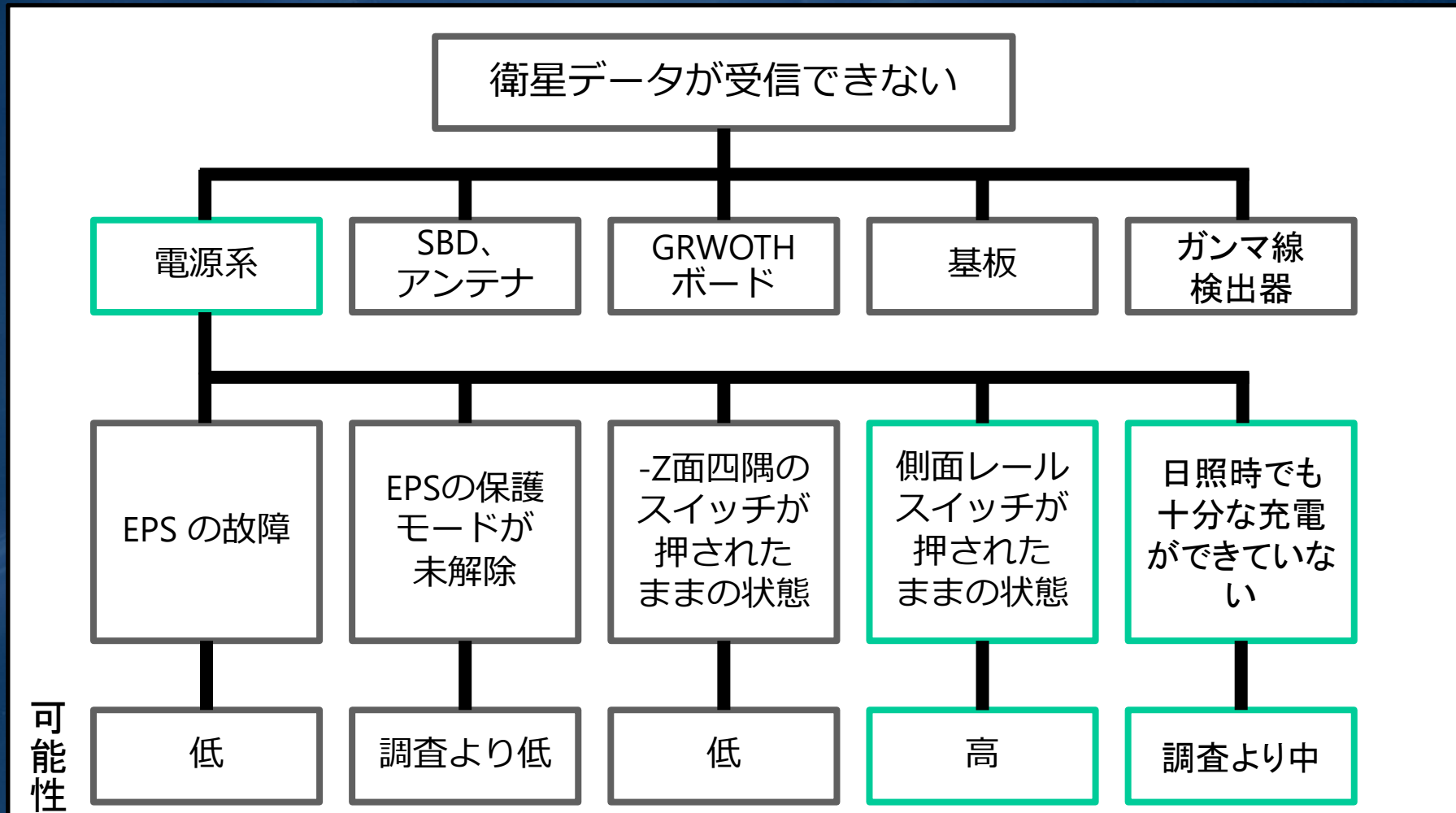
初期運用の状況

- ARICA衛星からデータが得られなかった
- コマンドを受け付けた形跡がなかった



不具合要因の可能性

1. 電源系 側面レールスイッチ
2. 電源系/SBD ONの状態の衛星とイリジウム衛星のコンタクト可能確率
3. 基板 SBDやGROWTH FPGA/ADC boardが壊れている



- 側面のスイッチが押されたままになっている

側面レールスイッチ

ロケット側からの要求で設計変更、追加
振動・衝撃試験では問題なし

- 何かの衝撃でスイッチが構体との隙間に挟まり、電源offの状態では分離した可能性

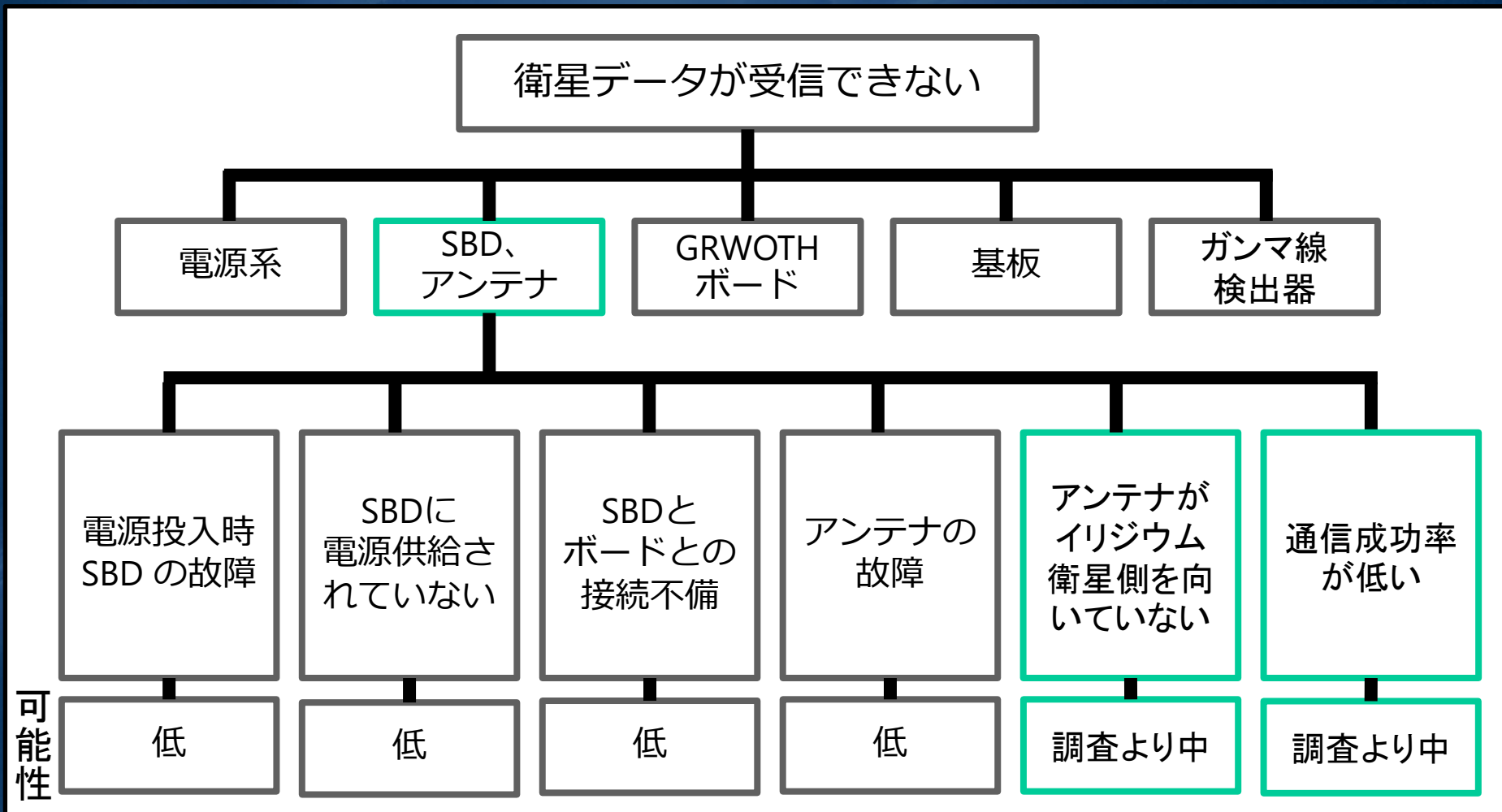


- 十分な充電ができず、バッテリーon/offを繰り返している

打上げ前の充電・放電のデータから、ARICAの駆動時間を求める

最小で20分でARICAは再び充電のみの時間に入る
充電のみで電力を供給しない時間は約1時間程度

- 駆動時間が短く、通信可能時間が短い可能性



- アンテナがイリジウム衛星側を向いていない

ARICAの回転速度を他の衛星から推測する

他の衛星は、ビーコンの電波信号の変動から 1 回転 200 秒程度で回転

- アンテナがイリジウム衛星の方向を向く可能性がある

- 通信成功率が低い

ARICAとイリジウム衛星の軌道解析からコンタクト可能時間を求める

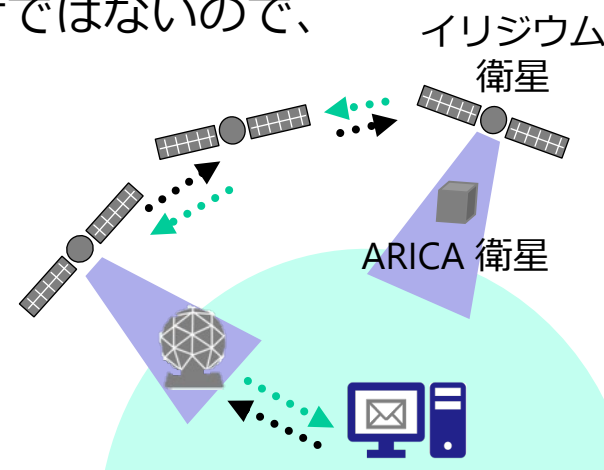
打上げ直後は、確率がとても低かった可能性が示唆されている
イリジウム衛星の情報が全て開示されているわけではないので、
詳細は不明

通信時間

送るデータ数が小さいと時間が短い

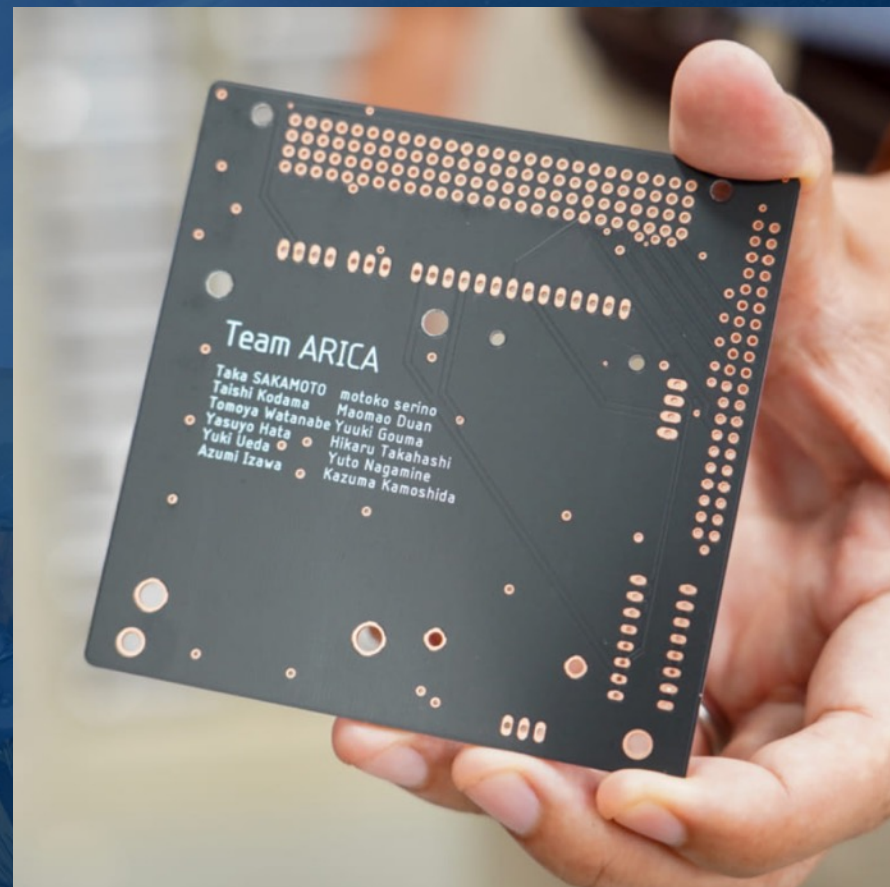
1 byteデータ運用を開始

- 現在まで、データが読み込まれた形跡なし



■ ARICA衛星のデータの送受信はできていない

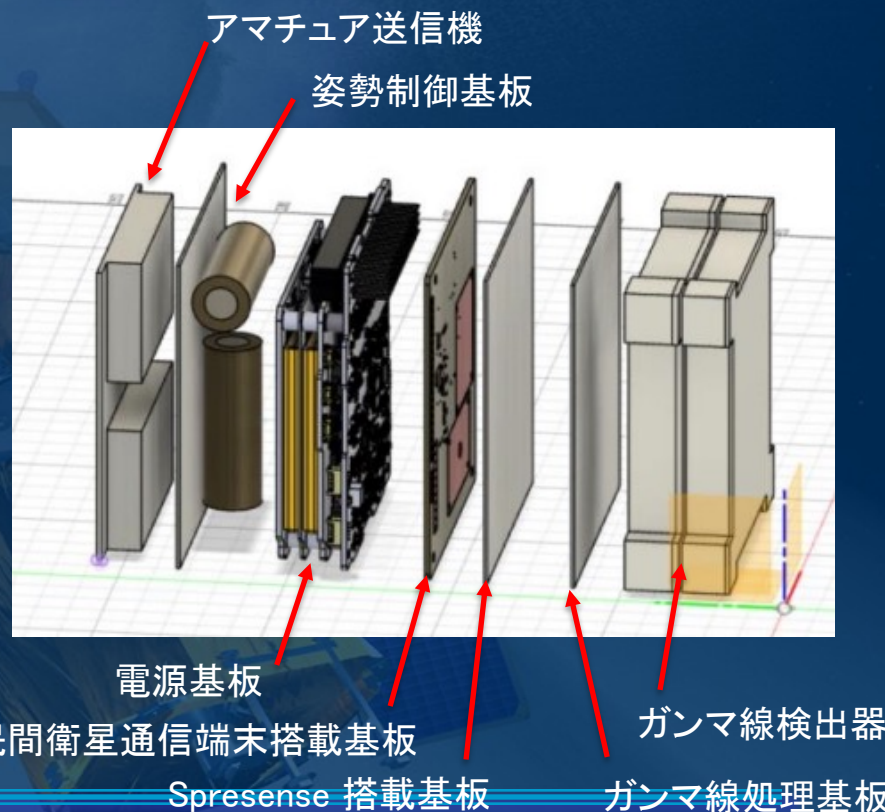
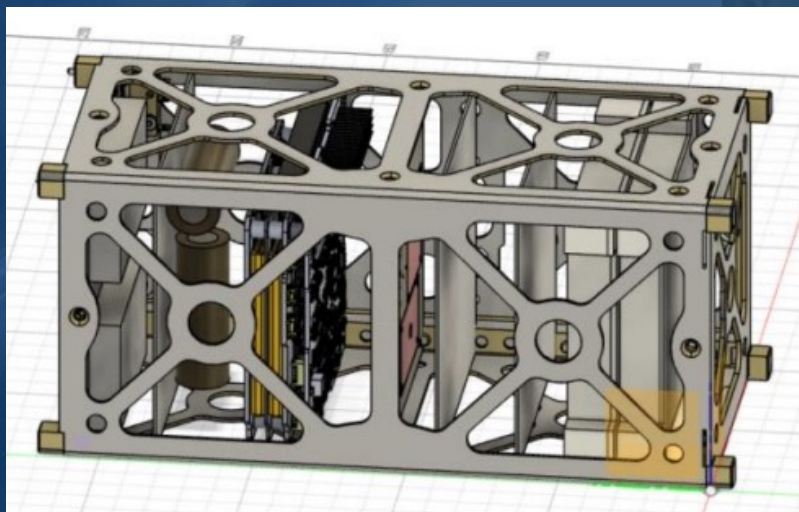
- 電源OFF
- 衛星とイリジウム衛星とのコンタクト可能確率が小さい
- SBD や GROWTH board が故障



引き続き衛星からのデータの受信を待つ

ゴール: 民間衛星通信を用いた突発天体速報システムの実証

- 大きさが 2U (20 x 10 x 10 cm³)
- アマチュア無線帯を用いた送信機
- Sony Spresense をオンボードコンピュータとして採用
- 姿勢制御系
- 大きなガンマ線検出器



まとめ

■ NASA ゴダードでの8年間の研究生生活

- 公 (Swift) 私 (妻との新婚生活)ともに充実した8年間
- 自分の可能性を広げるためにも一度は(日本人の少ない)海外で研究する機会を!

■ 大学でのキューブサット開発

- 民間衛星通信を利用した新しい突発天体速報システムの実証: ARICA
- 約3年で開発. 2021年11月打ち上げ.
- 衛星との通信がうまくいっていない.
- 再挑戦ミッション ARICA-2 始動

