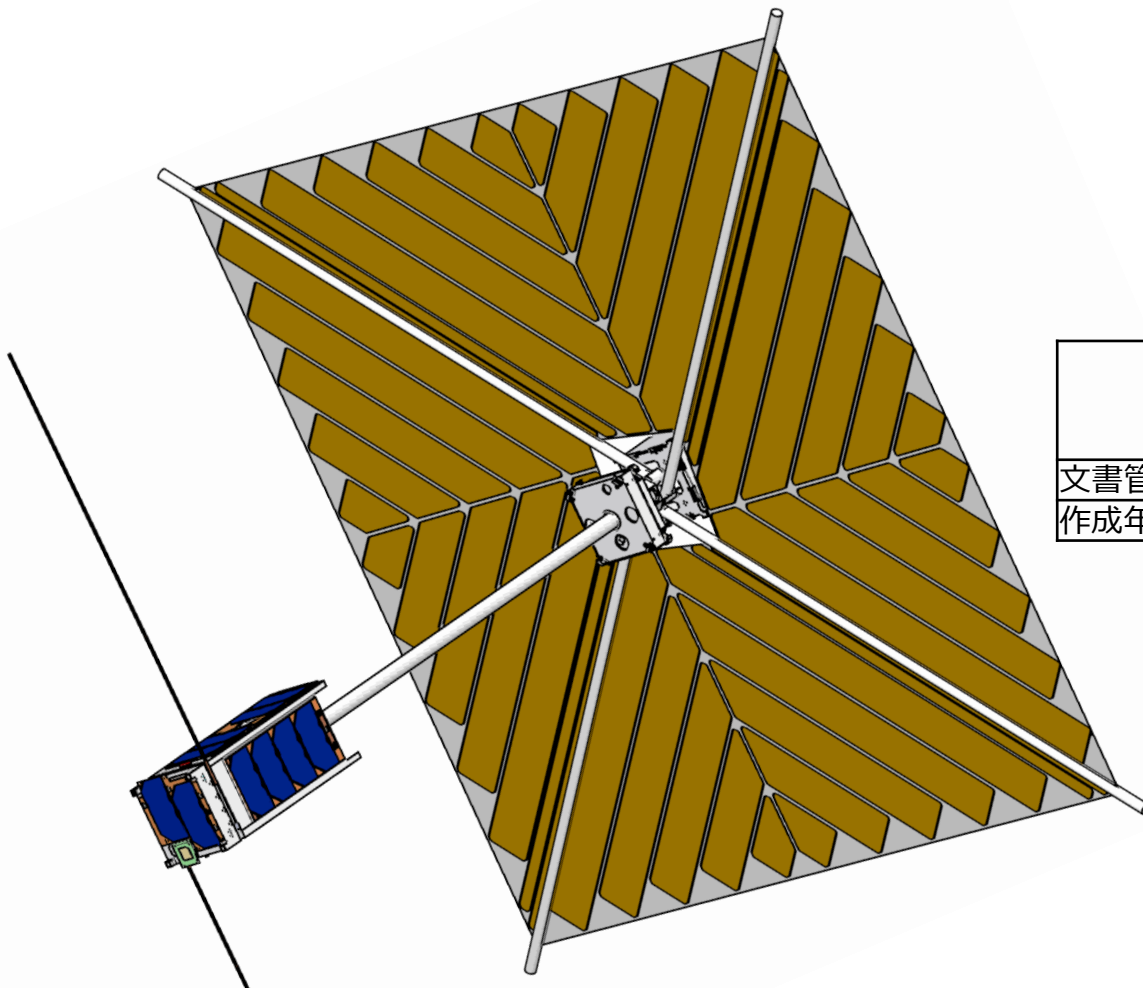


OrigamiSat-1

打上げ・運用報告 (2019年9月)



OrigamiSat-1打上げ・運用報告
(2019年9月)

文書管理番号	OP-S1-0123	改訂番号	Ver. 1.2
作成年月日	2019/09/18		



ORIGAMI
PROJECT

概要： 3UキューブサットOrigamiSat-1/FO-98 (JS1YAX)は、2019年1月18日 10:57JST **イプシロン4号機**により予定通りの軌道（高度500km太陽同期軌道）へ打ち上げられ、打ち上げ後すぐ地上局との通信を確立した。しかし、

- 6日間半の運用（CW/FMダウンリンク、FMアップリンク）後、CWダウンリンクが停止した。
- 以降2019年6月1日まで、5.8GHzミッションの実行を試みるが、応答が得られなかった。
- 2019年6月3日から7月24日まで、膜展開の実行を試みるが（膜展開が実行されれば発生するはずの）衛星高度に変化がなかった。

本資料では、多数の軌道上データを取得して下さったアマチュア無線家の皆様を主な対象として、現在（2019年9月）の時点での、衛星打ち上げ後の経緯を報告する。

構成：

1. 衛星の概要

[Mission 1] 多機能展開膜の展開

[Mission 2] カメラを用いた展開構造の軌道上計測

[Mission 3] 無線技術の習得

機器構成

システムダイアグラム

ミッションシーケンス

開発チーム

2. 打ち上げ後の経緯

3. 軌道上データ

4. 打ち上げ後、地上試験で見出した不具合

5. 今後の運用計画

1. 衛星の概要

3つのミッション[Mission 1~3]／機器構成／
システムダイアグラム／ミッションシーケンス／開発チーム



O R I G A M I
PROJECT

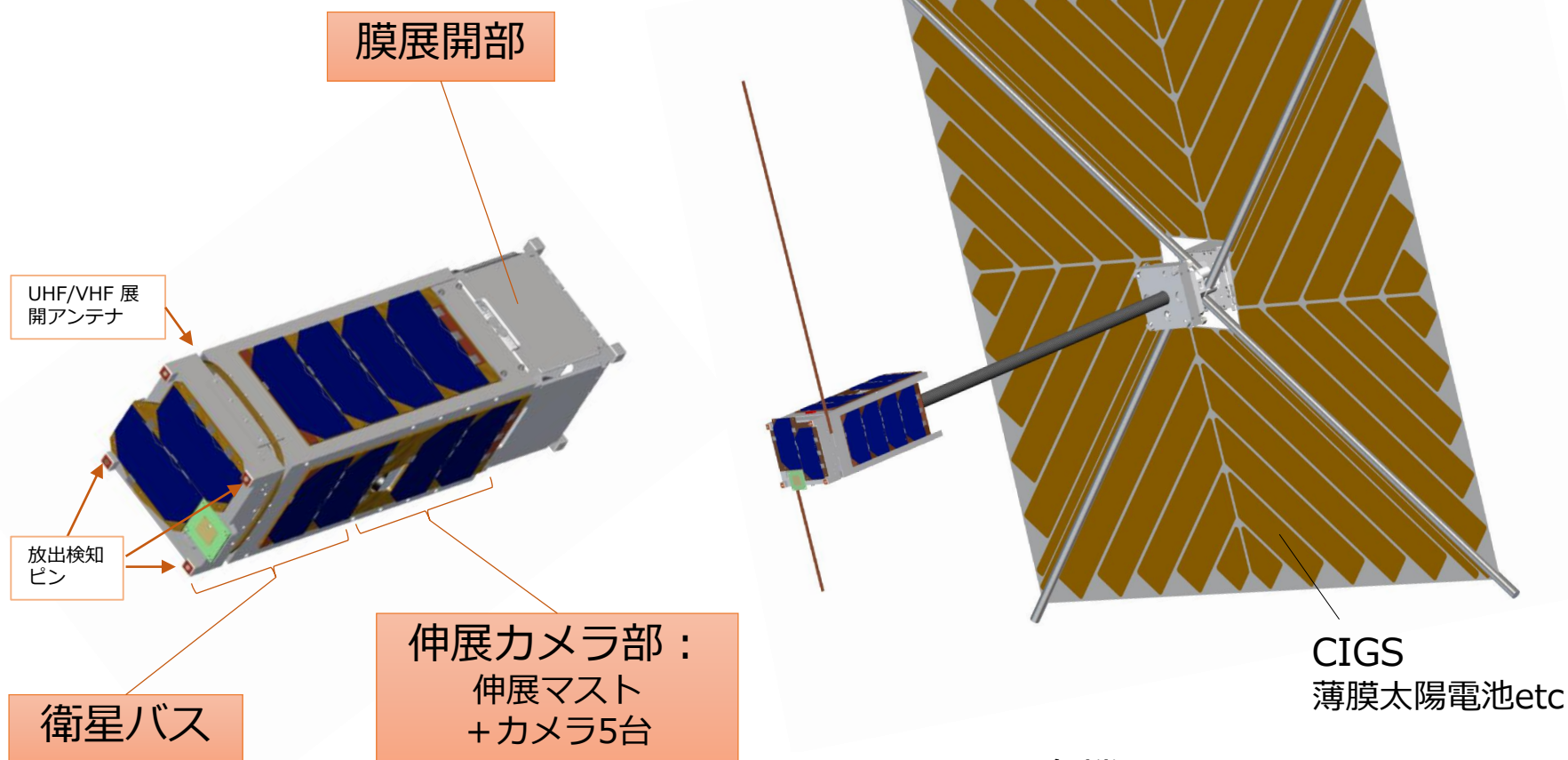
3Uキューブサット OrigamiSat-1 / FO-98



X: 100 × Y: 100 × Z: 340.5 mm

4.1 kg

次ページ以降に示す3つのミッションを実施する。



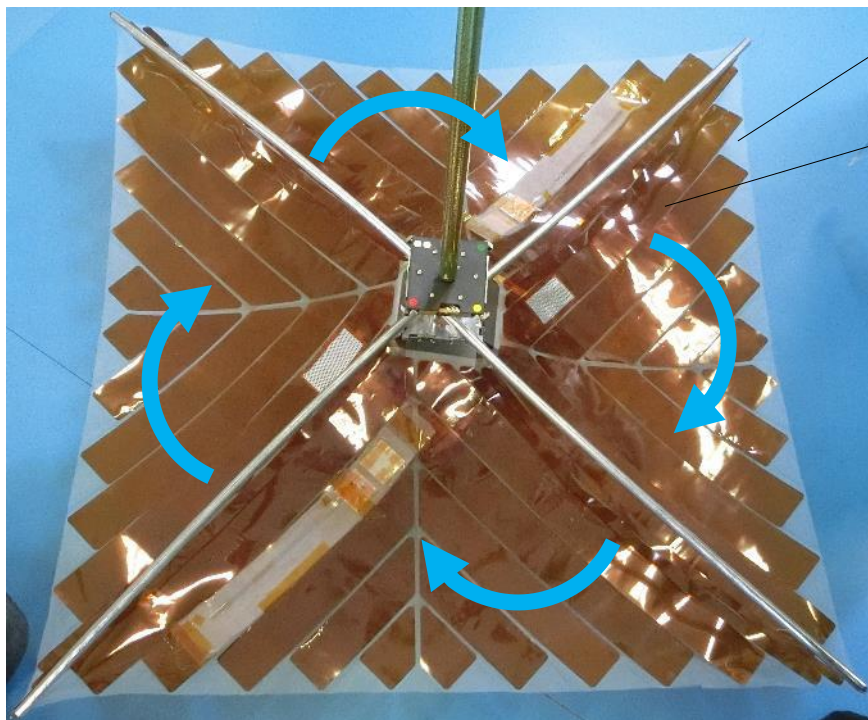
多機能膜展開時

[Mission 1] 多機能展開膜の展開 EM膜

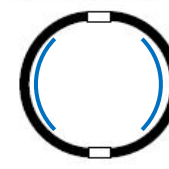


厚さ82 μ m ポリエステル平織物

厚さ75 μ m ポリイミドフィルム
(薄膜太陽電池などのデバイスのダミー)



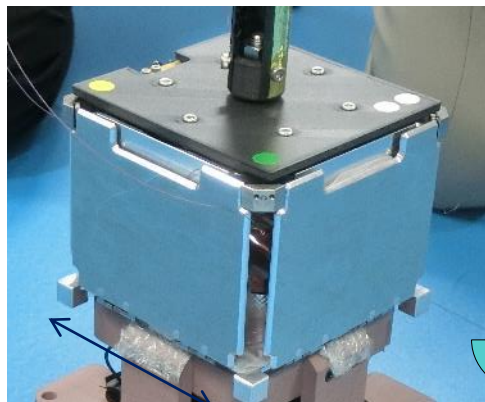
展開時



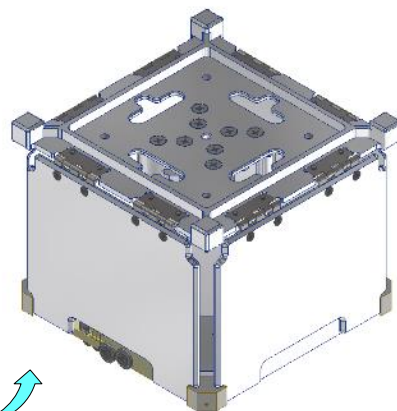
収納時



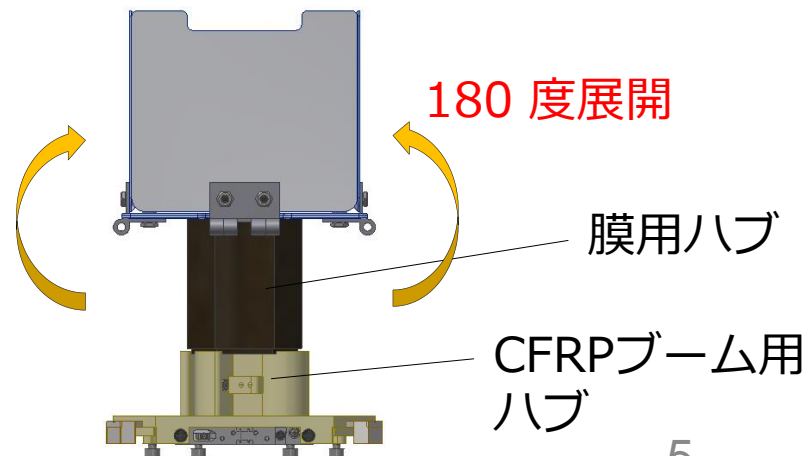
円断面CFRPブーム
(内部に市販コンベックスを
2重に挿入)



100mm



反転した図



180度展開

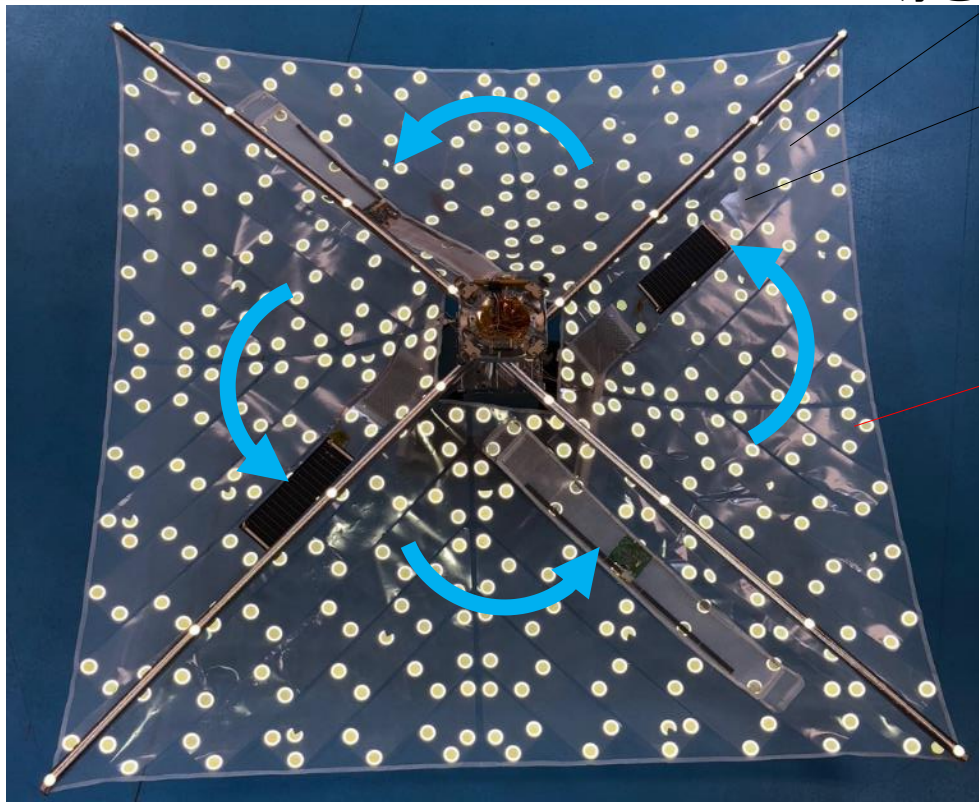
膜用ハブ

CFRPブーム用
ハブ

[Mission 1] 多機能展開膜の展開 FM膜

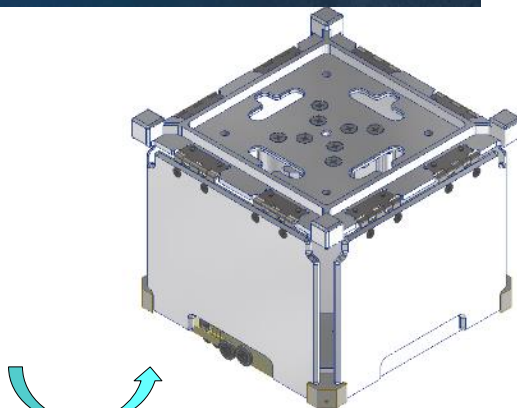
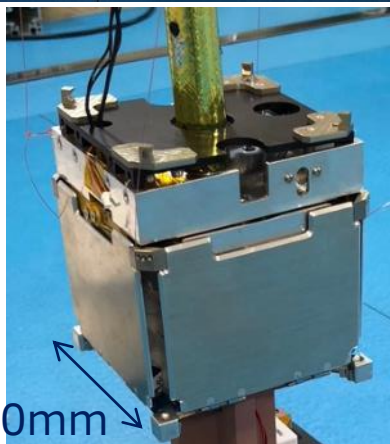


厚さ82μm ポリエステル平織物

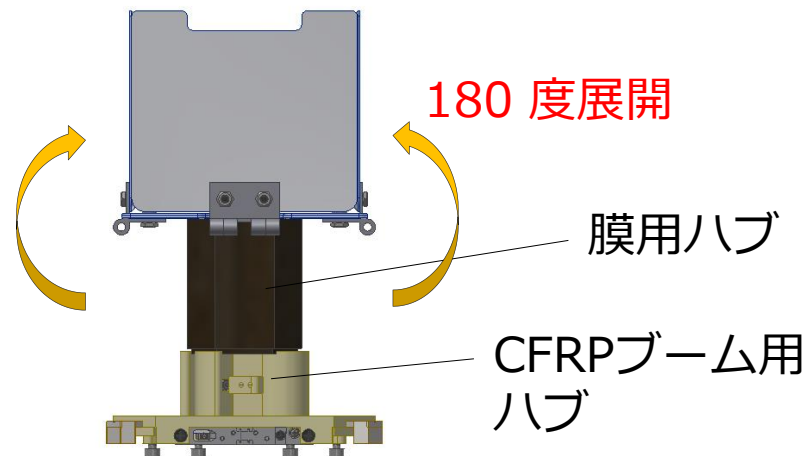


厚さ50μm スペリオUTフィルム (ダミーデバイス)
(発電量への影響減少を目指し**透明膜を使用**.
さらに本物のデバイスとして,
薄膜太陽電池・膜上アンテナ・球状太陽電池
を搭載.)

全面に再帰性反射マーカを貼付



反転した図

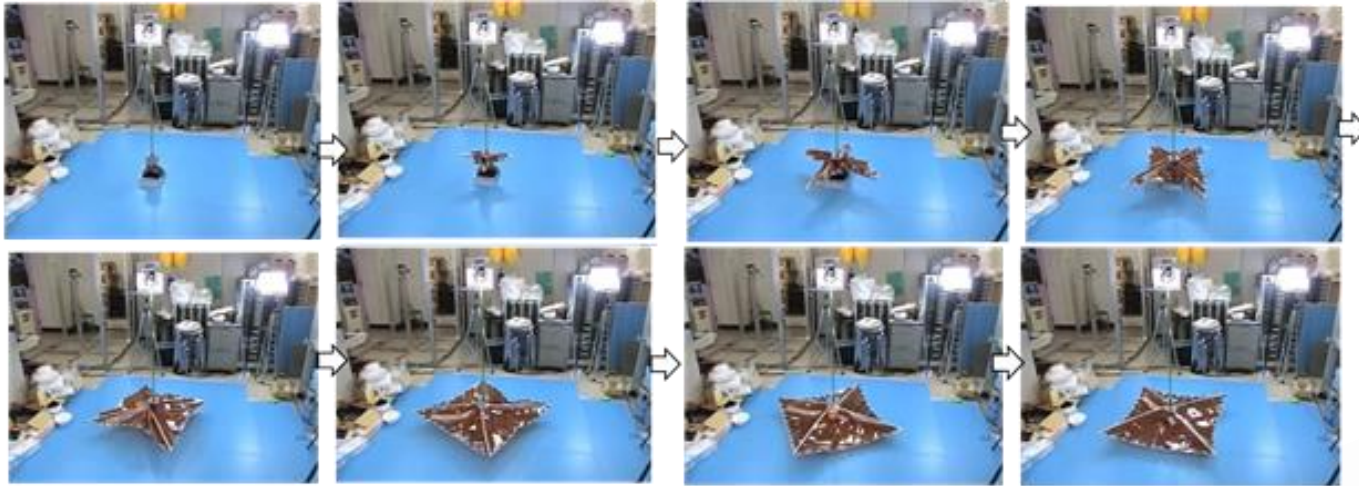


マスト伸展状態での地上展開実験

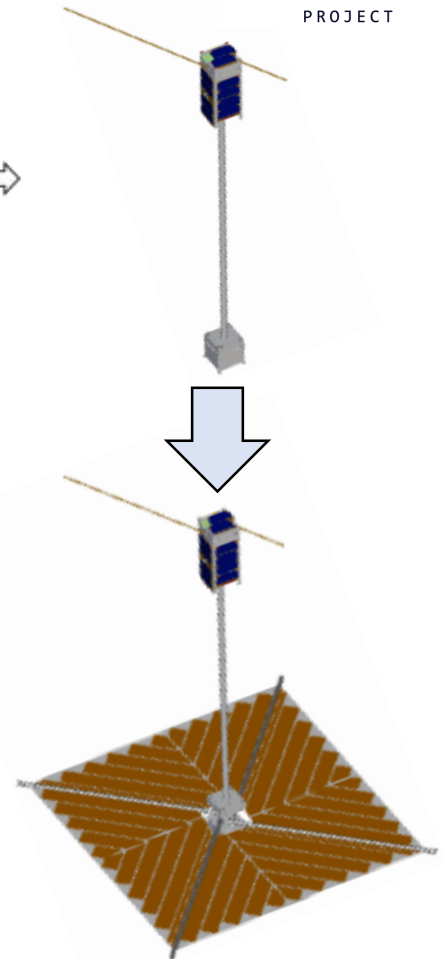


ORIGAMI
PROJECT

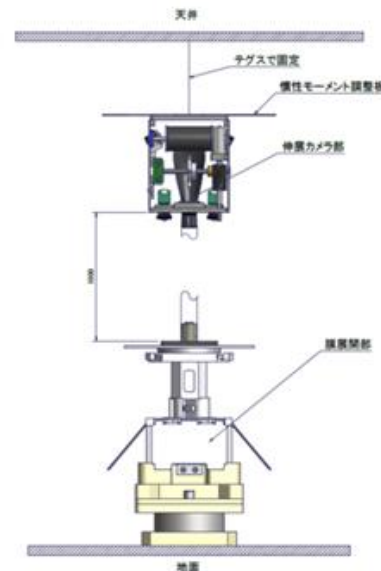
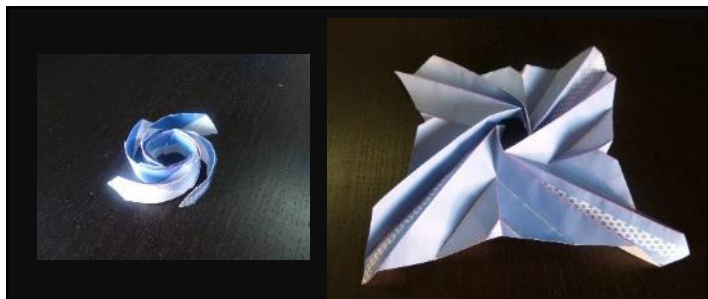
➤ 膜の4隅（円断面CFRPブーム先端）を地上から懸架し実験.



(2017年4月東工大 古谷研究室)

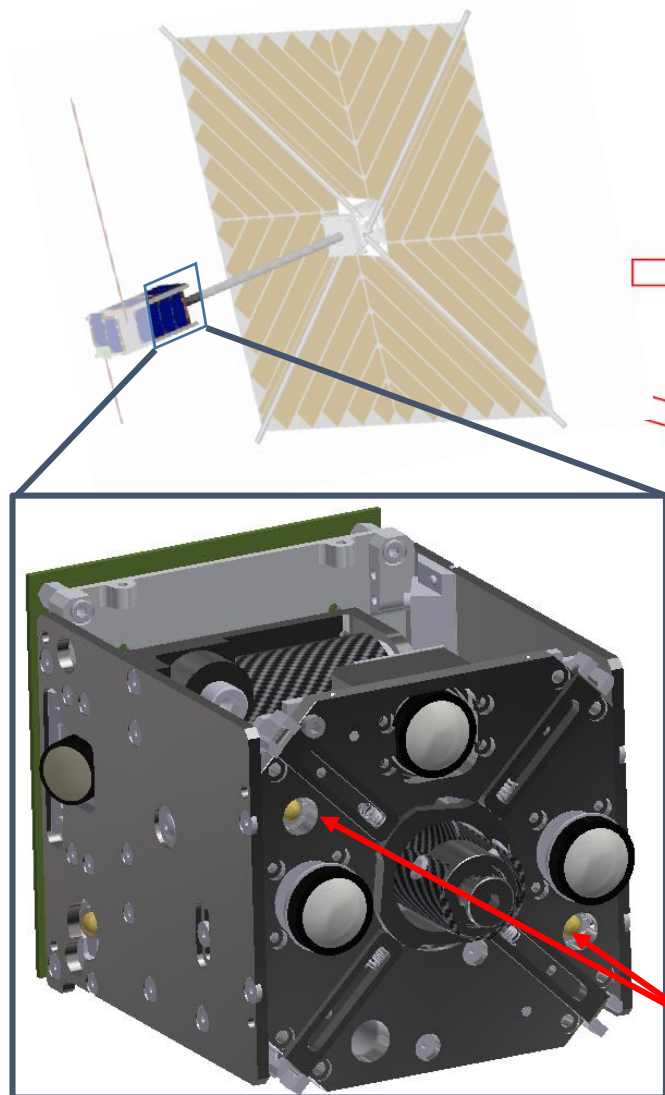


参考： 折り紙での模擬

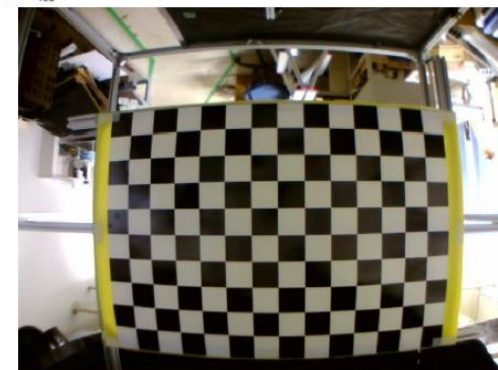
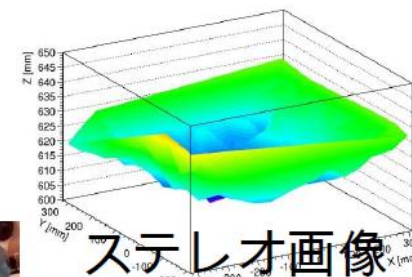
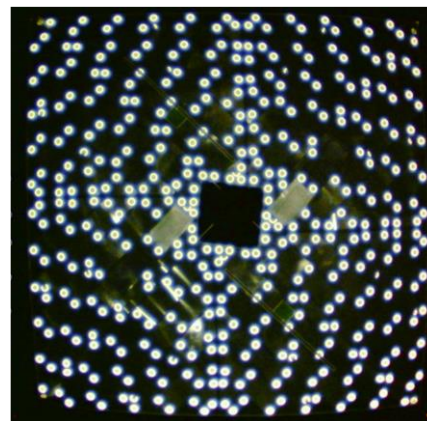


[Mission 2] カメラを用いた展開構造の軌道上計測

- ✓ 「展開挙動」「展張形状」の計測

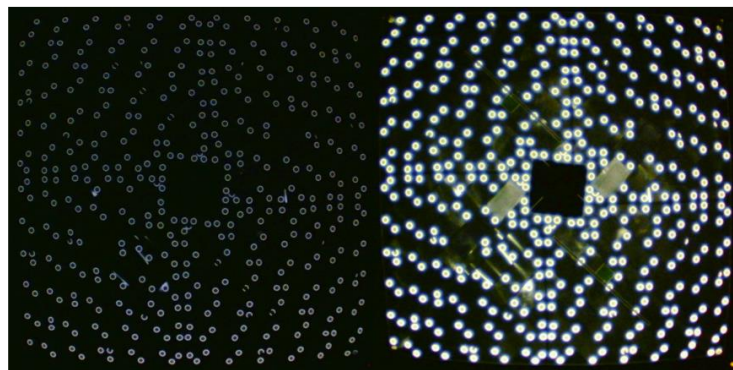


静止画



白色LED:光源(膜面を照射)

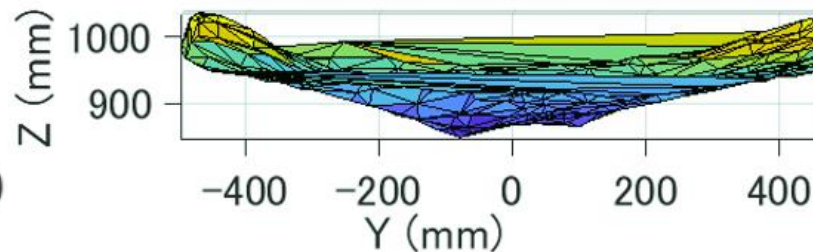
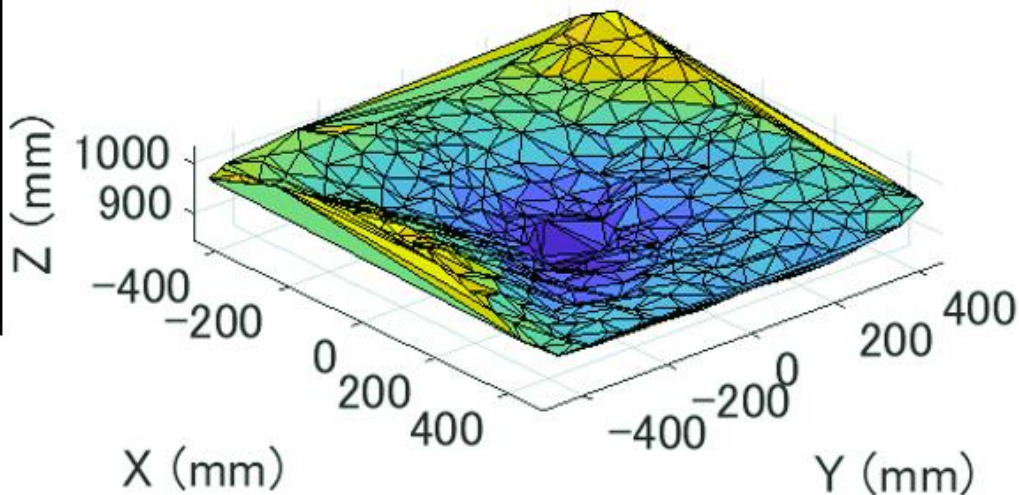
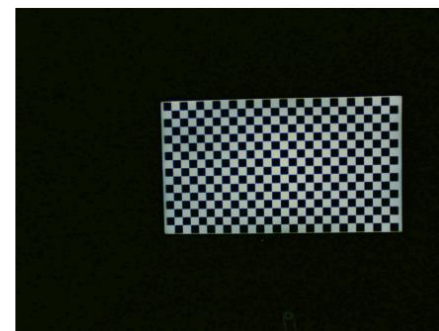
ステレオ視による面外形状推定



2592 × 1944
325KB

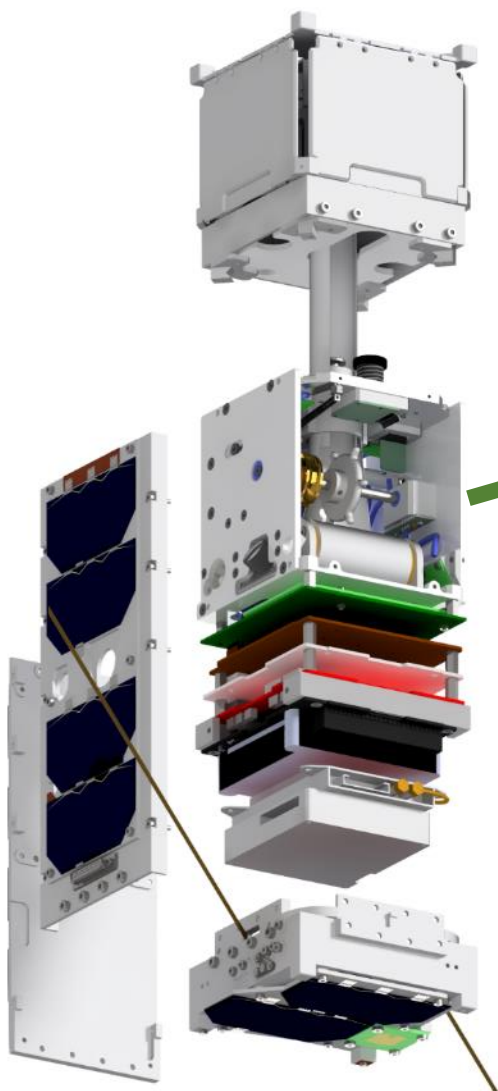
チェッカーボードによる
精度評価結果 (距離1m)

レンズ歪み補正	標準偏差
補正なし	4.8 mm
補正あり	4.0 mm

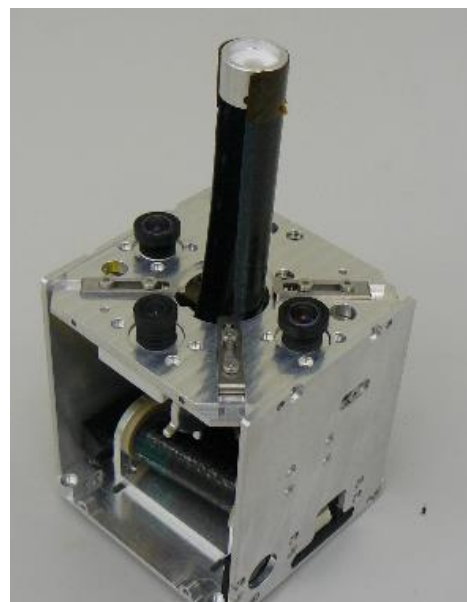
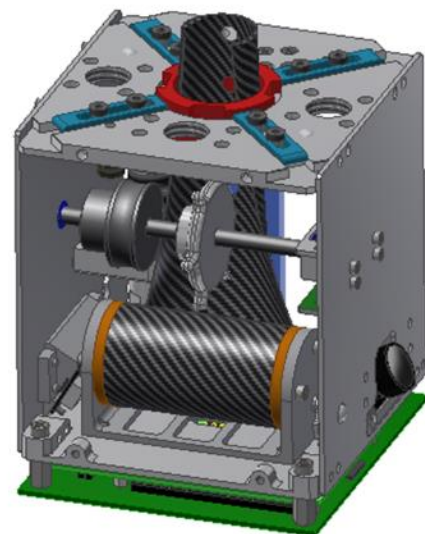
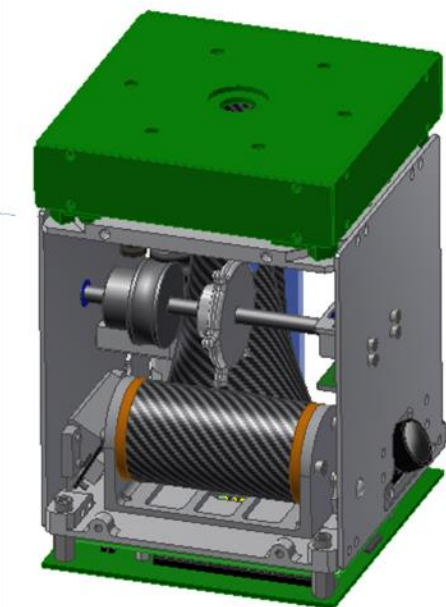


✓ 100mmの変形を検出可能

伸展カメラ部保持解放機構とマスト伸展機構



膜展開部
伸展カメラ部

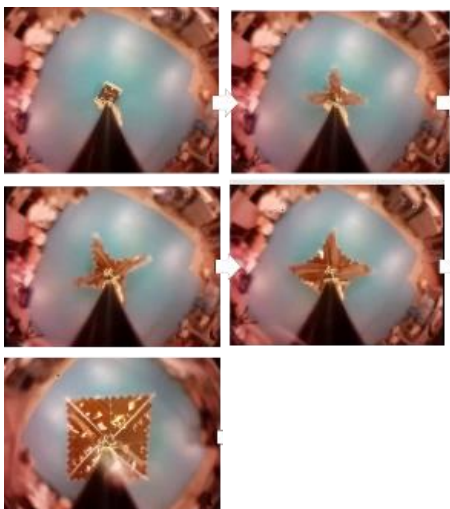


膜展開部非表示

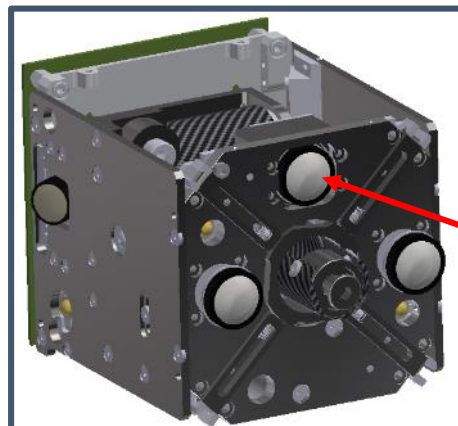
展開動画の取得



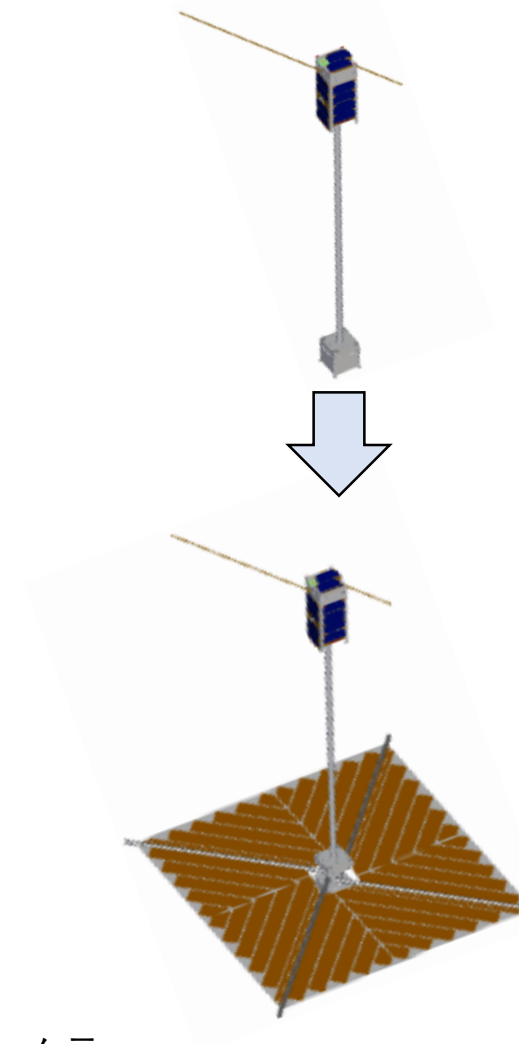
ORIGAMI
PROJECT



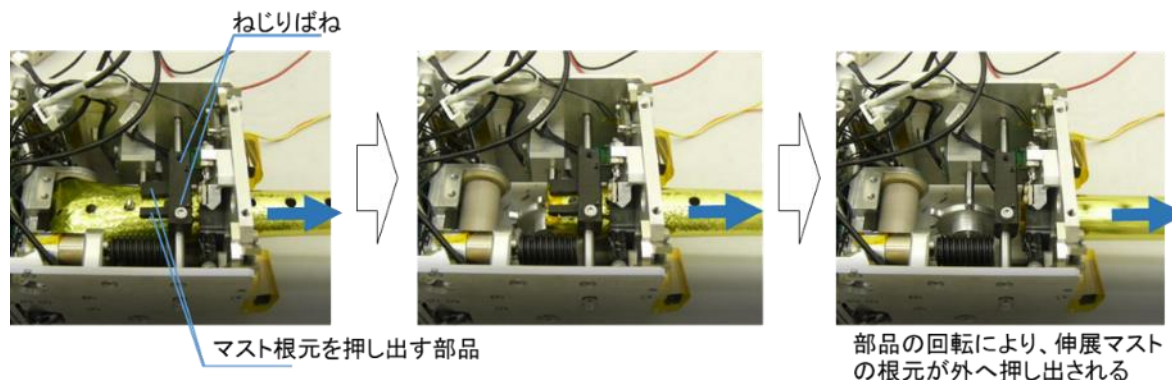
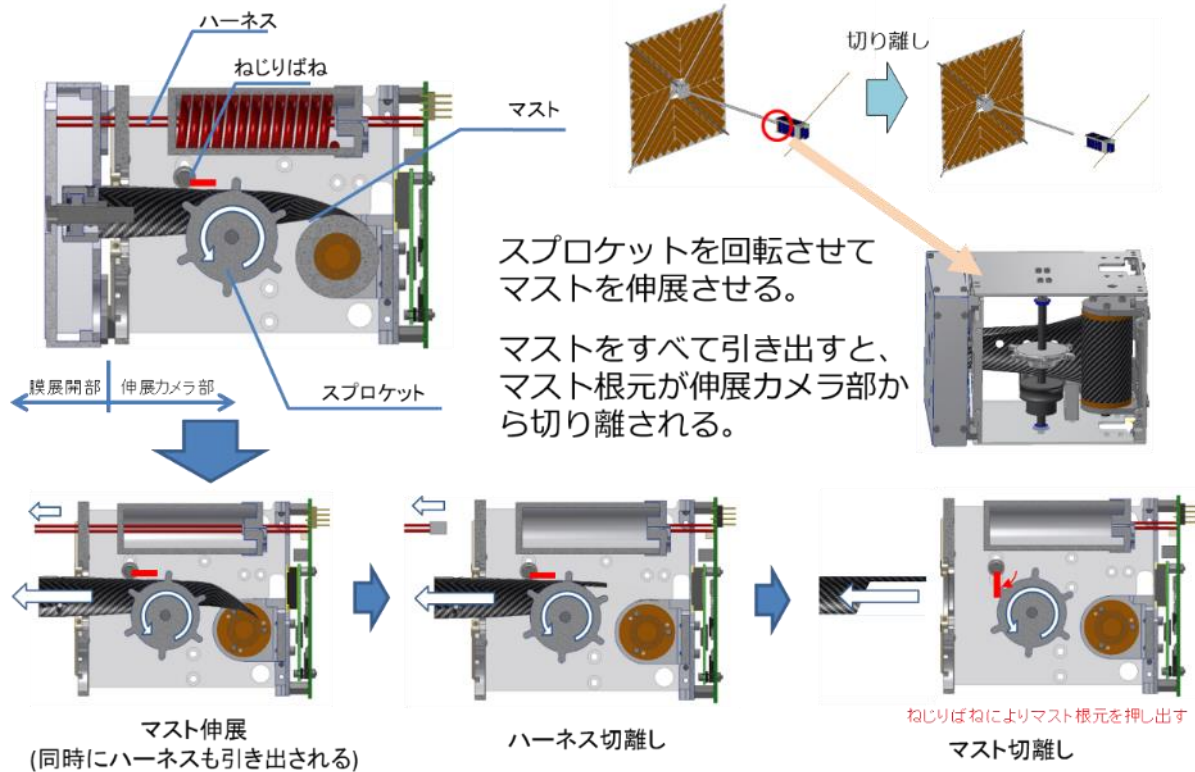
✓ 320x240, 80fpsの動画を取得



動画カメラ



伸展マストの切り離し機構



[Mission 3] 無線技術の習得



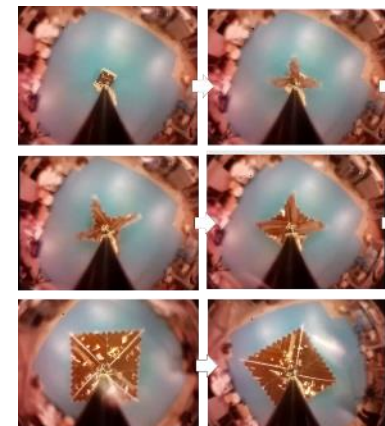
ORIGAMI
PROJECT

(1) VHF/UHF帯の活用：コマンド・テレメトリ

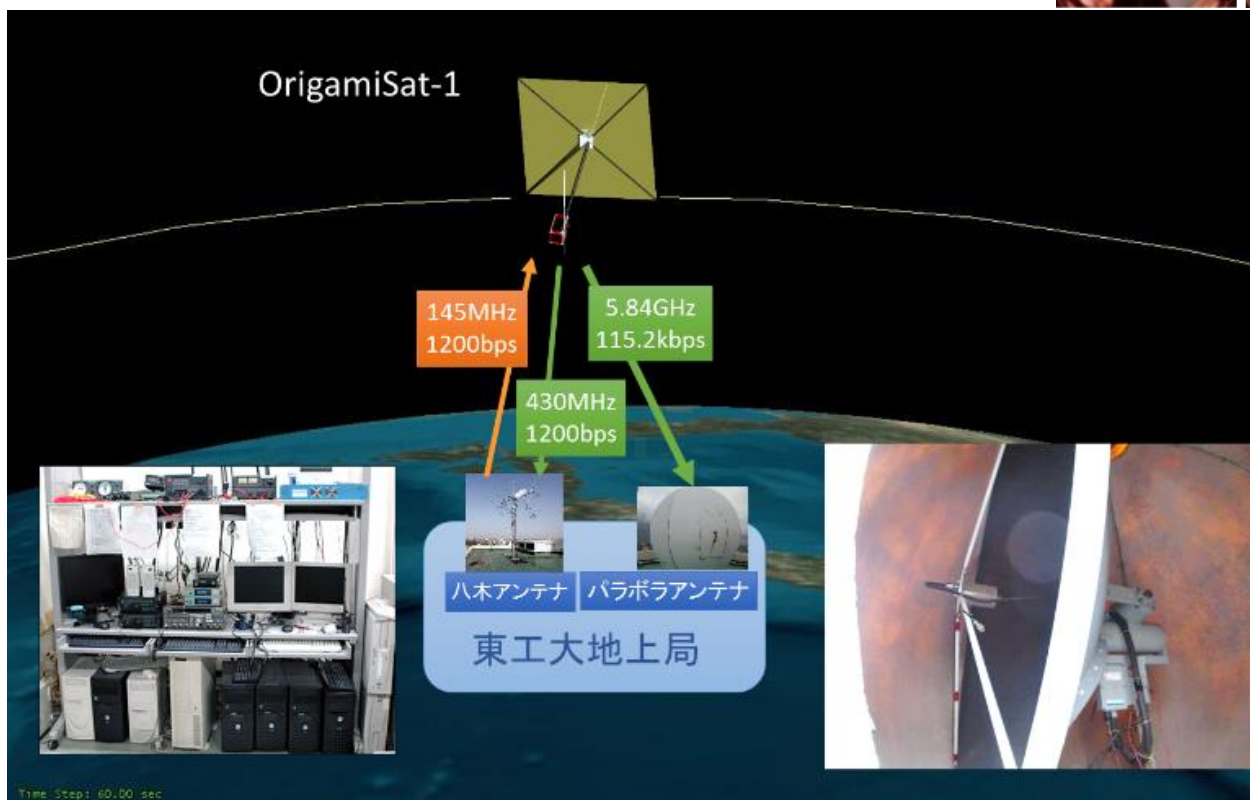
- ✓ 大学衛星（CubeSat）開発黎明期からのアマチュア無線コミュニティとの連携の維持・発展を目指す。

(2) 5.8GHz帯の活用：ミッションデータダウンリンク

- ✓ 福岡工大FITSAT-1（にわか衛星）（2012年ISS放出）が開拓した周波数帯での衛星通信技術を習得。



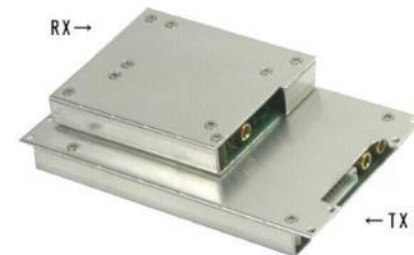
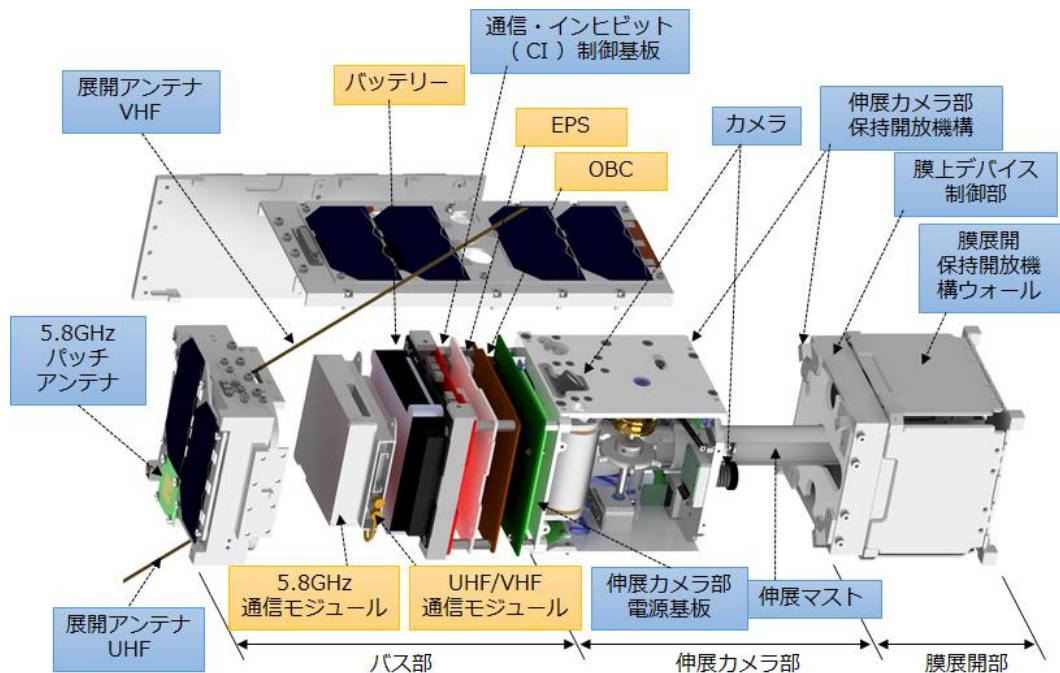
コールサイン
JS1YAX



機器構成 (1 / 2)



ORIGAMI
PROJECT



NTX (FMCW) 430MHz,
 NRX (FM) 145MHz
 西無線研究所 301A型



OBC
 GomSpace
 NanoMind



EPS
 Clyde Space 3rd
 Generation EPS

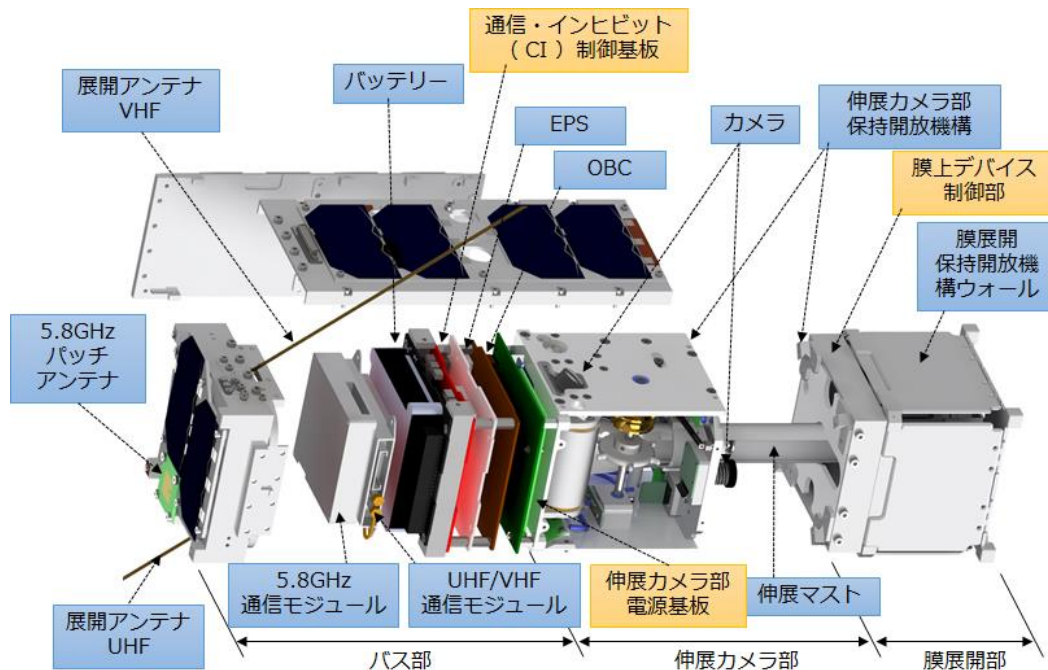


BAT
 Clyde Space
 3G Battery

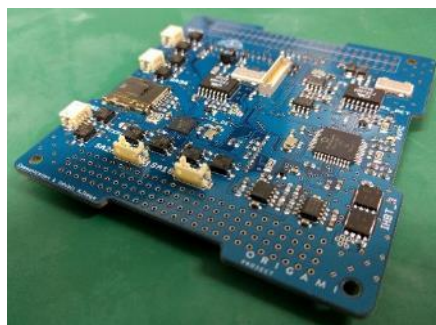


5R8G
 TX 5.84GHz
 ロジカル・プロダクト LPTX5840-1
 (福岡工大FITSAT-1と同品)

機器構成 (2 / 2)



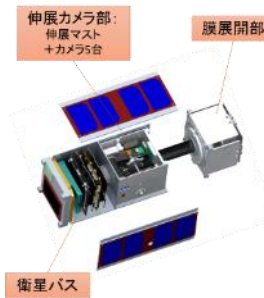
MDC
 (Membrane Devices Controller)
 膜上ミッション



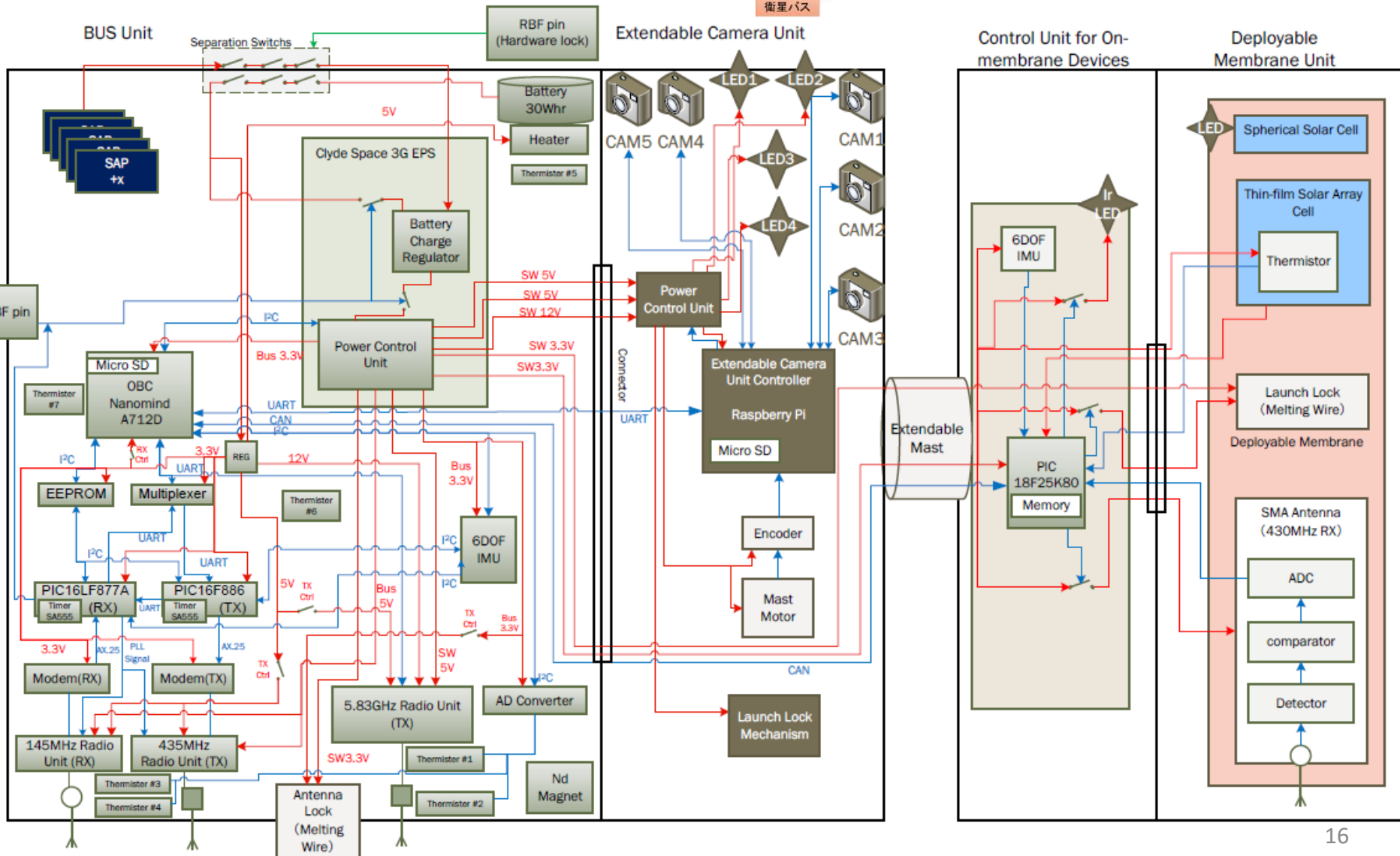
CI基板 (Communication & Inhibit control Board)
 FM通信のモデム, 電源のインヒビット
COBC (通信用マイコン) 搭載
 (COBCはRX COBCとTX COBCの2つのPICからなる)

ECPB (Extensive Camera Power Board)
 +Raspberry Pi
 伸展開カメラ部の電源制御
 カメラ撮影

OrigamiSat-1システムダイアグラム



OrigamiSat-1 System -: Data Line -: Power Line



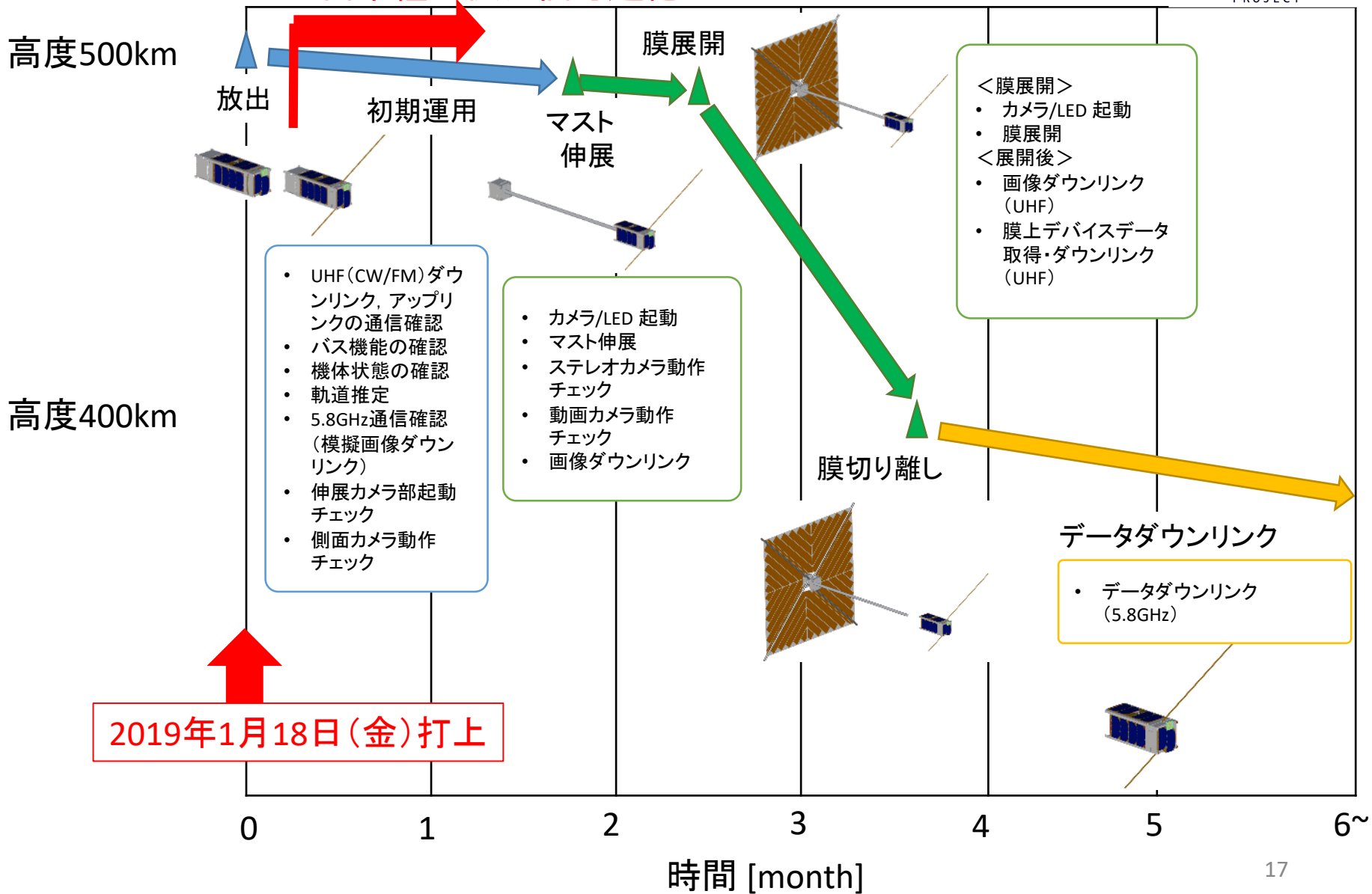
OrigamiSat-1 ミッションシーケンス

および
軌道上結果



ORIGAMI
PROJECT

6日半経過後、信号途絶

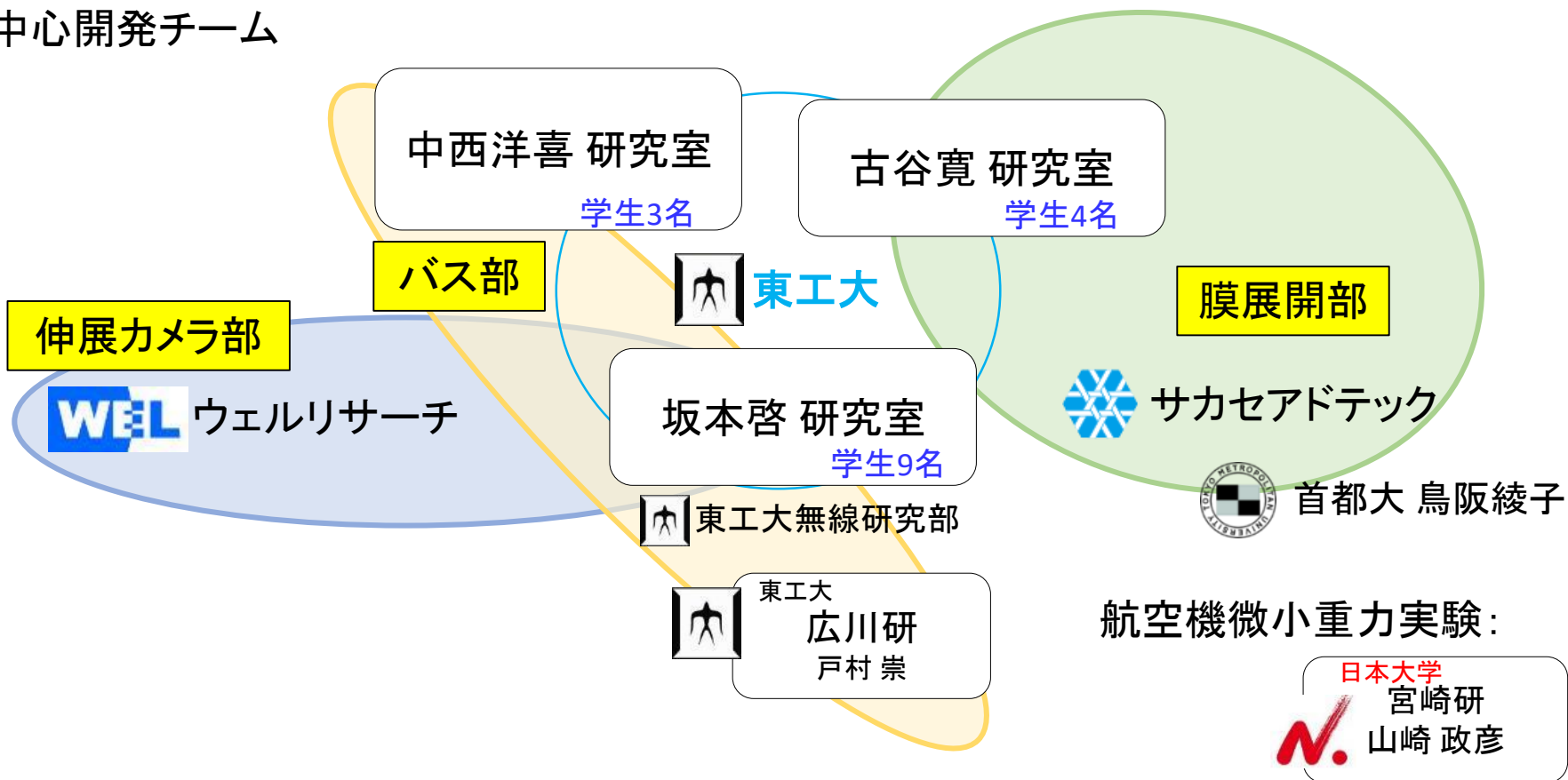


OrigamiSat-1開発チーム



Principal Investigator 坂本 (東工大)
Project Manager 中西 (東工大)
Student Project Manager 池谷 (東工大 修士課程)

中心開発チーム



2. 打上げ後の経緯

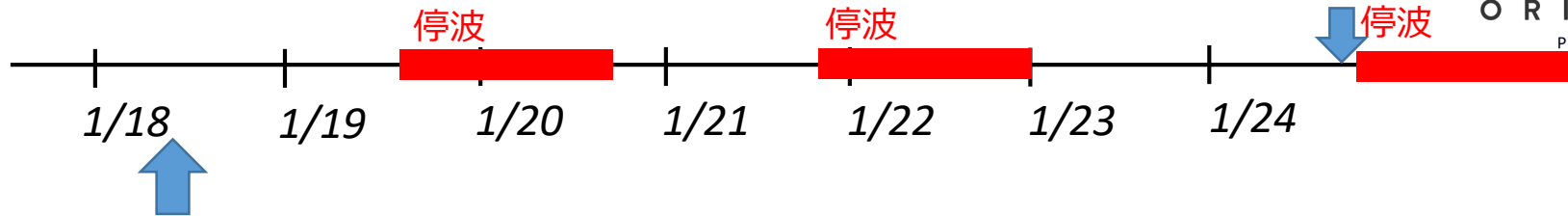


O R I G A M I
PROJECT

OrigamiSat-1打ち上げ～運用の経緯（1 / 2）



ORIGAMI
PROJECT

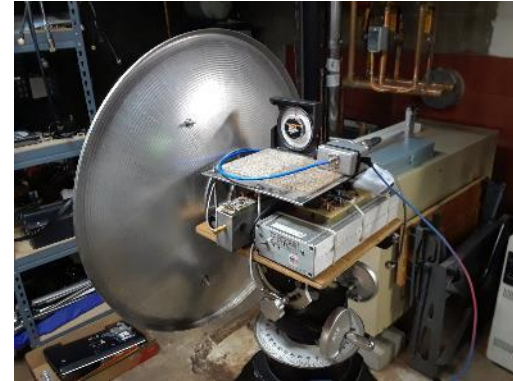


- ✓ 衛星分離後，2019年1月18日11:22に日本のアマチュア無線家がCW（Continuous Wave）を受信し，電源投入，VHF/UHF展開アンテナのテグス溶断による展開，CWによるHKデータ (house keeping)データ発信を確認。
- ✓ 同日に東工大地上局からのコマンドアップリンク成功。以降，CWおよびFMによるHKデータのダウンリンクを繰り返し実施。
- ✓ **1月19日，21日に2度の約1日間の停波を経験。**
- ✓ 1月24日，430MHzでのダウンリンクが停止する不具合が衛星に発生（以降，9月現在まで復旧していない）。
- ✓ 原因究明のための地上検証で，電源モード切替のプログラムにバグが見つかり，約1日の停波が起こる可能性があることがわかった。しかし，この不具合は1日1回（あるいはコマンドアップリンクによる）リセットで復旧するはずであり，1日以上停波の原因は特定できていない。

OrigamiSat-1打ち上げ～運用の経緯（2 / 2）



東工大
JQ1YCZ局
5.8GHz受信設備



北米バーモント州
N1JEZの5.8GHz受信設備

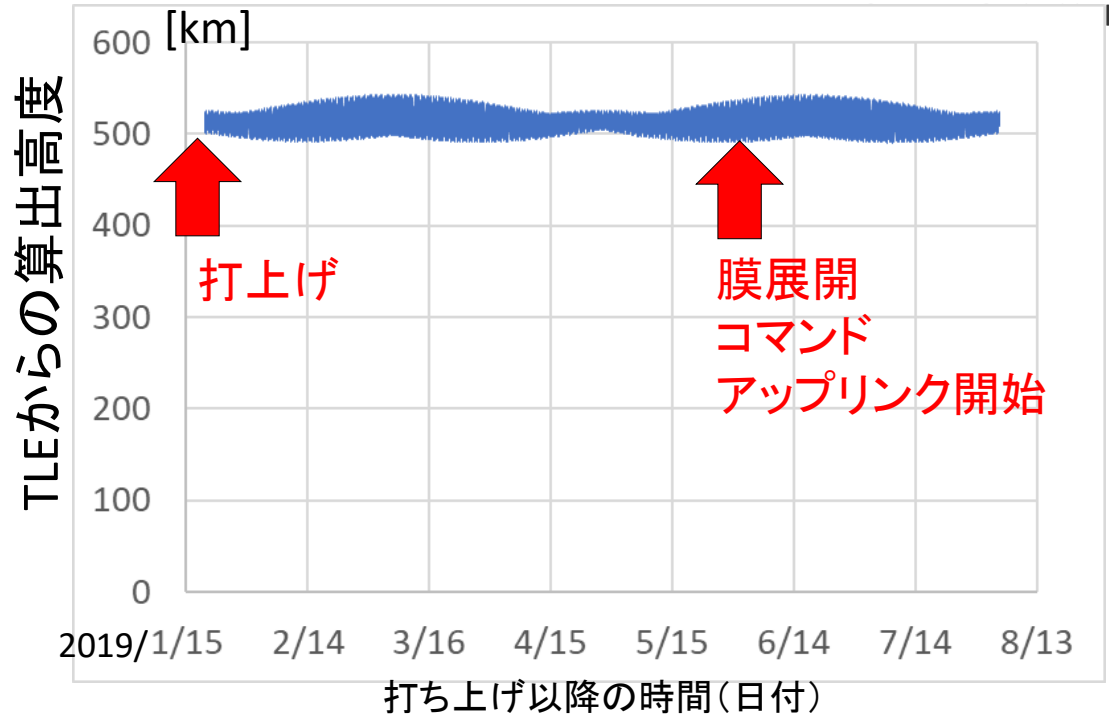
©N1JEZ

- ✓ 2019年5月7日～6月1日に東工大局，および北米のアマチュア無線局により 5.8GHzダウンリンク実験を試みるが，受信は確認できなかった。
- ✓ 膜展開で軌道高度が下がれば、コマンドが通っている証明となるため，東工大から 膜展開コマンドを送信した。
- ✓ 2019年6月3日～7月24日，膜展開コマンドを送信したが、TLE（=米国 連合宇宙運用センター(CSpOC)が監視し公開している軌道情報）の変化は見られない（=膜は展開していない）。

膜展開コマンド送信 (2019/6/3から7/24)



- ✓ 2系統から膜展開コマンドを送ったが、高度の降下なし。



膜展開コマンドアップリンク
(主系(EPS))

TLEを7日間(TBD)
モニタする。TLEを
Perigee/Apogee高度へ変換。
有意な高度変化あるか？

Yes

膜切り離し
シーケンスへ移行

No

膜展開コマンドアップリンク
(副系(MDC))

- TLE変化がない場合、主系／副系での膜展開コマンドアップリンクを繰り返す。

3. 軌道上データ

OrigamiSat-1/FO-98 (JS1YAX)はアマチュア無線衛星であり、そのテレメトリを世界中のアマチュア無線家が取得して下さった。打ち上げ後6日間半の運用で得られた軌道上での衛星のHK (House-Keeping)データを掲載する。

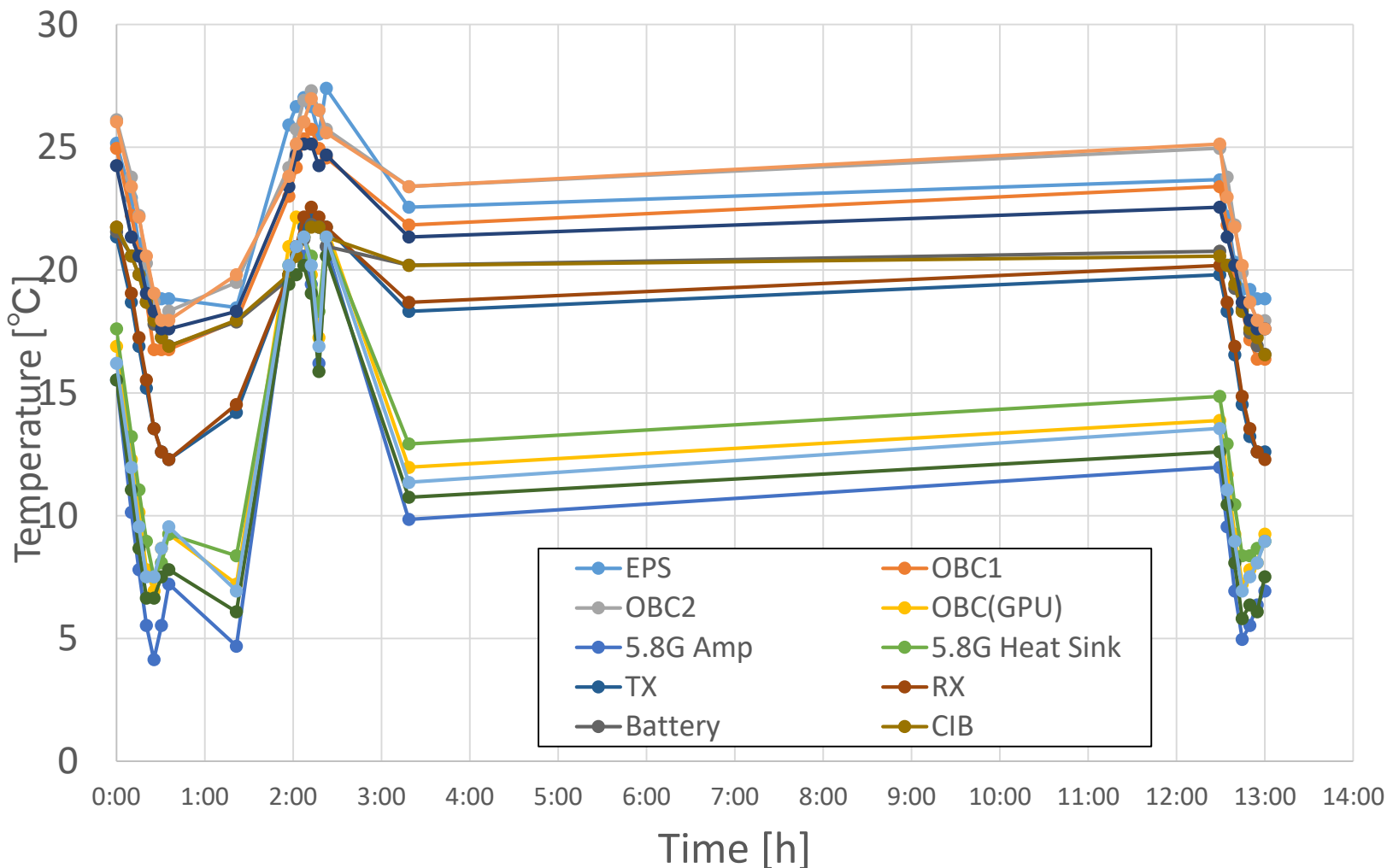
参考： 受信報告ページ

<http://www.origami.titech.ac.jp/archives/722>



軌道上データ： 温度

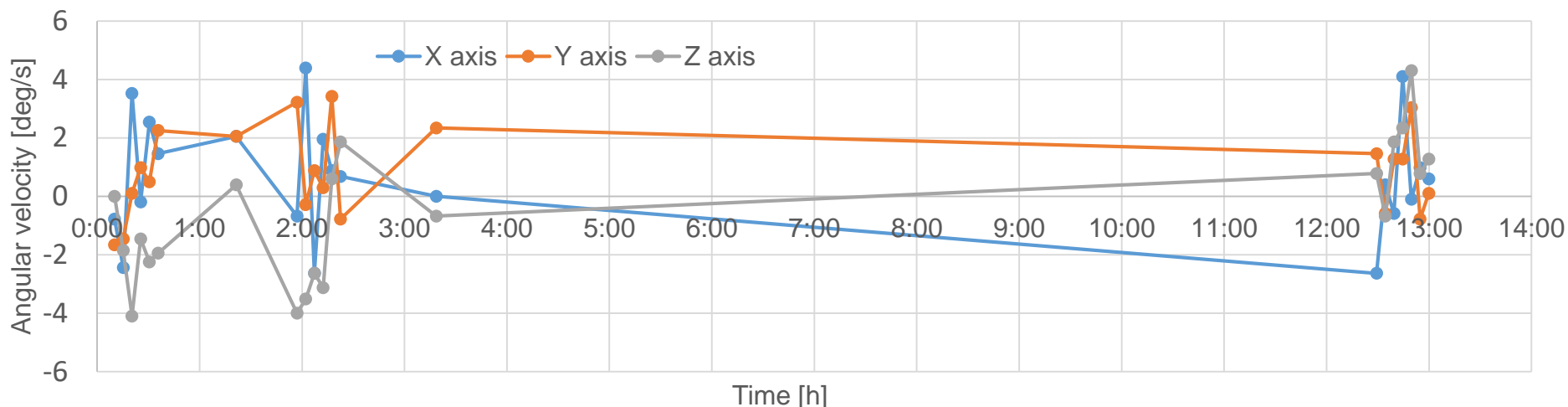
- 全ての機器の温度が約5~30℃の範囲に収まっている。



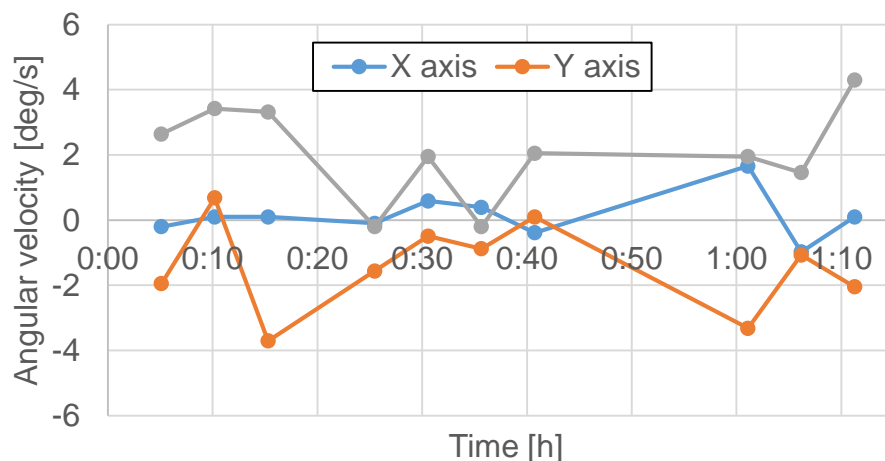
温度の推移(1/21~1/22頃 約12時間)

軌道上データ：機体角速度

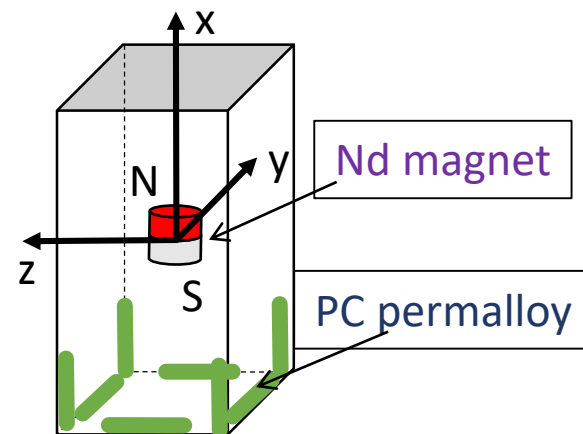
- HK データより約3~4[deg/s]程度でタンブリングしている状態
- スピンレートは1/21頃と1/24頃で変化は見られない



機体角速度 (1/20~1/21頃 約12時間)

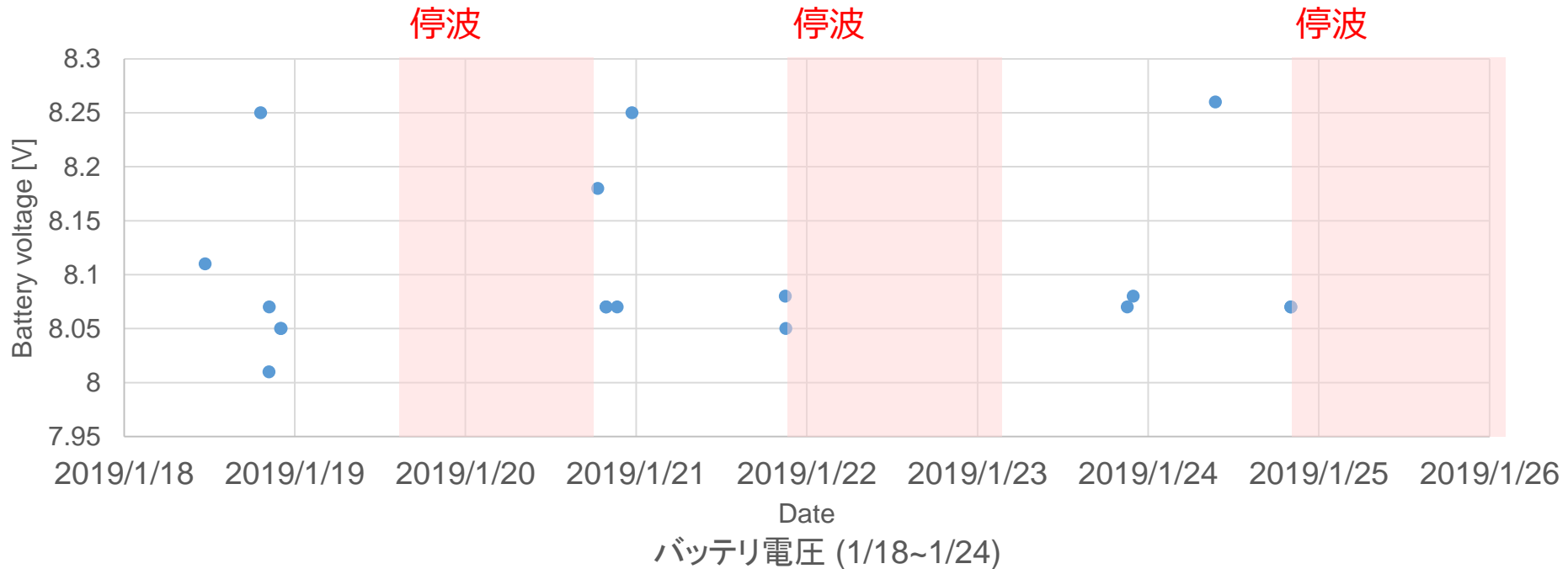


機体角速度(1/23~1/24頃 約70分間)



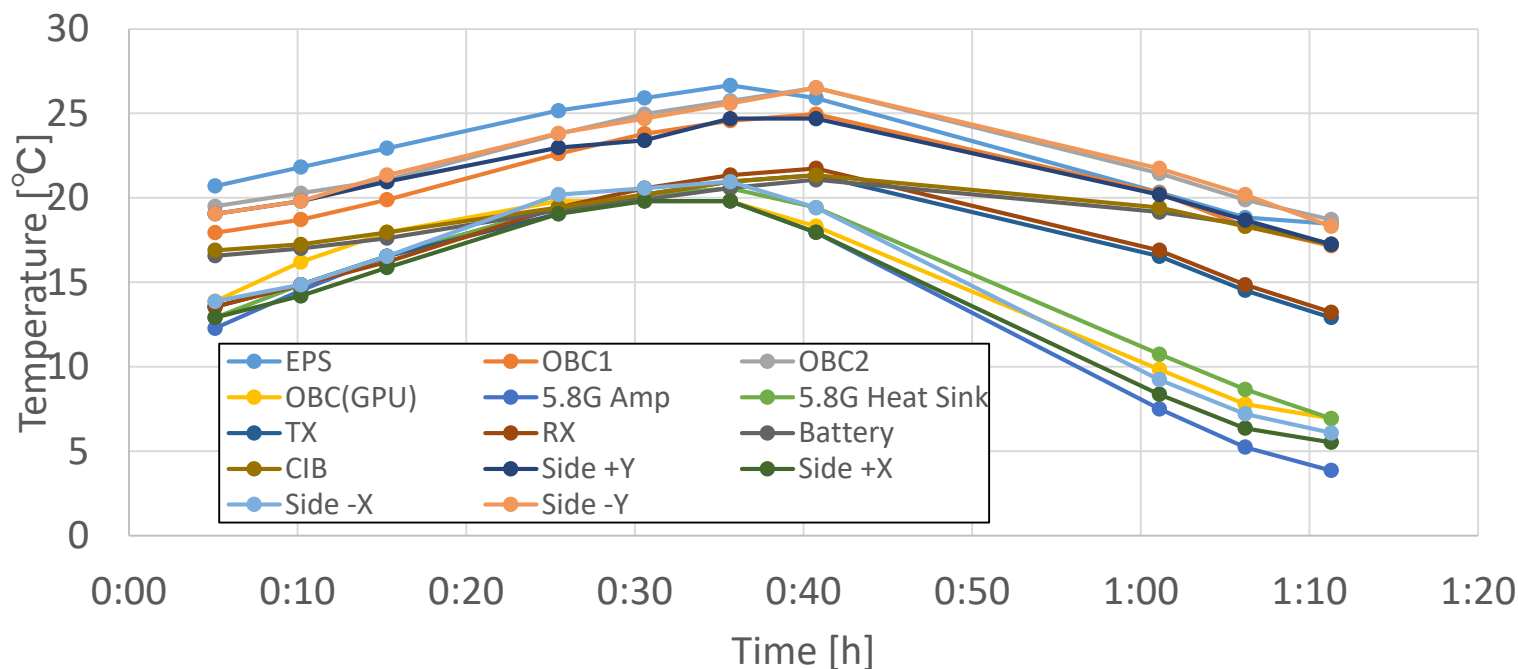
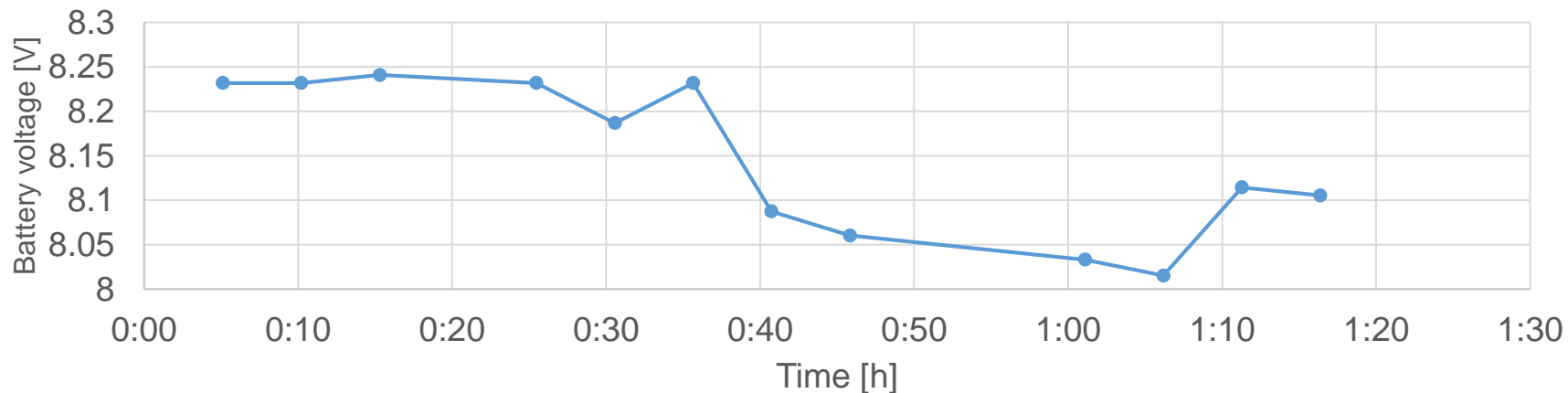
軌道上データ： バッテリ電圧の変化（長期）

- CW通信、可視時刻毎の電圧データ
- 8.0~8.25 [V] で推移



軌道上データ： 軌道1周期ぶんのデータ

1/23~24頃 約70分間 (タイムスタンプは取得できず)



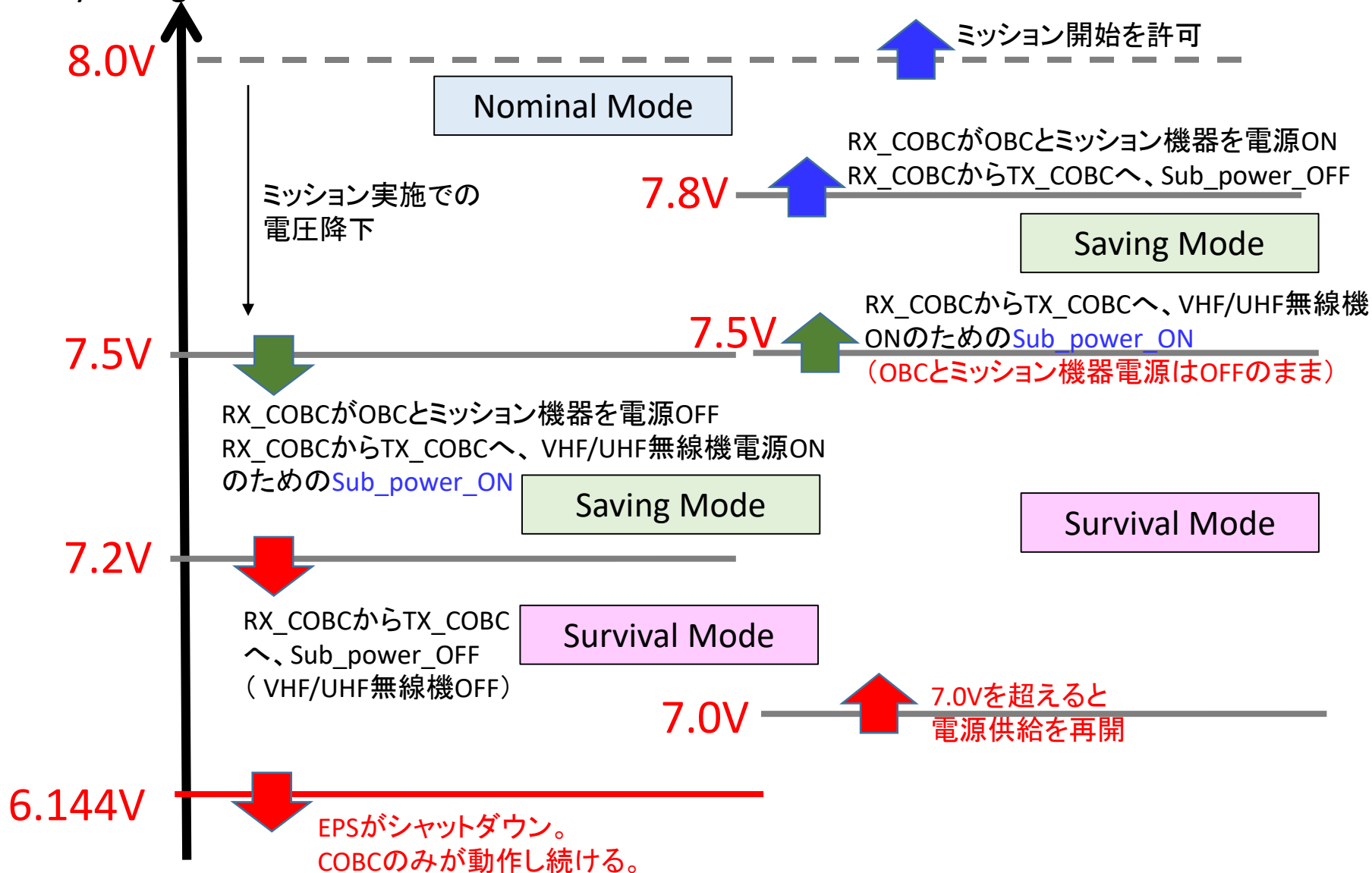
4. 打ち上げ後, 地上試験で見出した不具合

打ち上げ後の地上検証で、これまでCI基板に2つのバグが判明しており、OrigamiSat-1での軌道上不具合との因果関係を調べている。



衛星電力モード切替の概念図 (RX COBCが切替)

Battery voltage

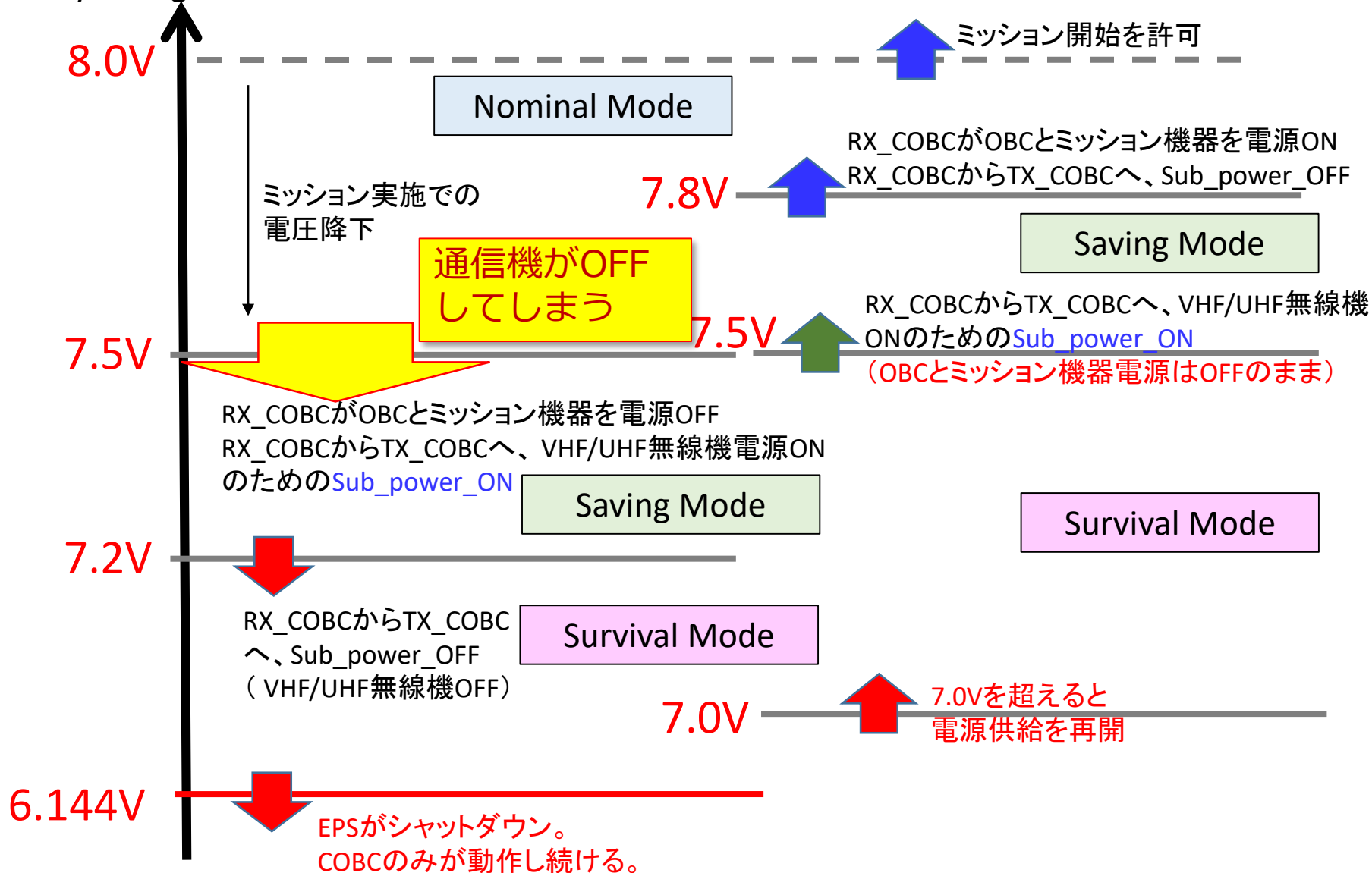


打ち上げ後の地上実験により発見した不具合（その1）



ORIGAMI
PROJECT

Battery voltage



打ち上げ後の地上実験により発見した不具合（その1）



Battery voltage

8.0V

Nominal Mode

ミッション実施での
電圧降下

通信機がOFF
してしまう

7.5V

RX_COBCがOBCとミッション機器を電
RX_COBCからTX_COBCへ、VHF/UHF
のためのSub_power_ON

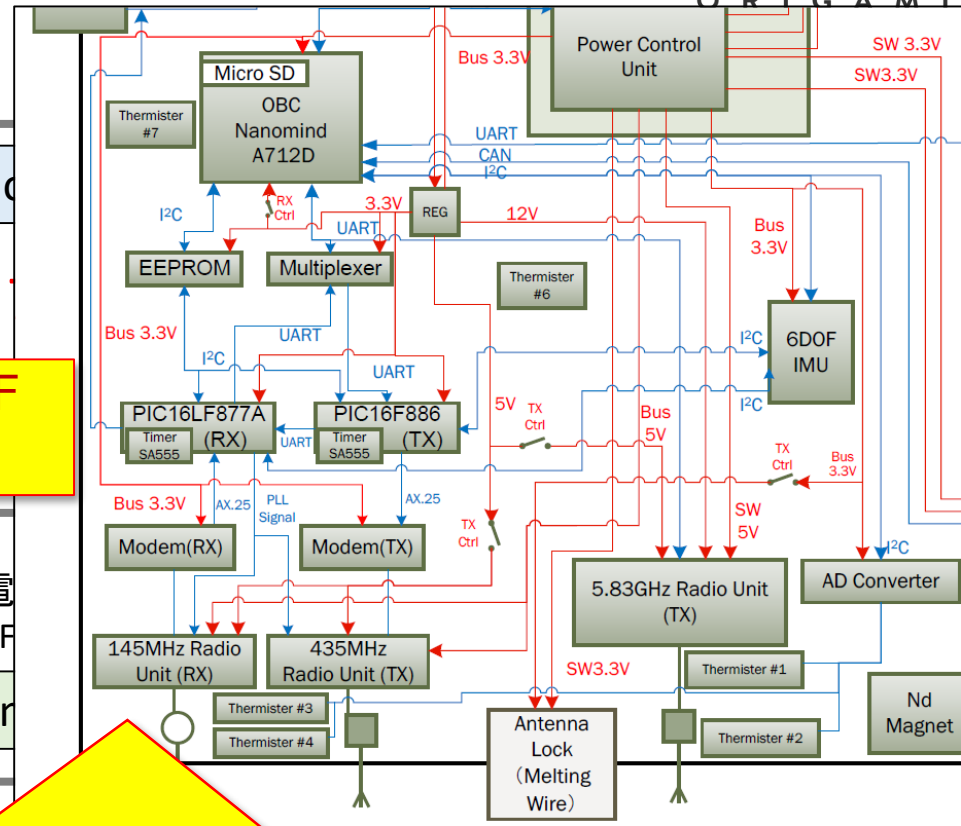
Saving

7.2V

RX_COBCからTX_COBC
へ、Sub_power_OFF
(VHF/UHF無線機C

6.144V

EPSがシャット
COBCのみが



- ✓ RX COBC (PIC)から無線機 (RX/TX) へ初期設定信号を送るが、ディレイが短く送られないバグが残っていた。
- ✓ したがって、**2度の一時停止の理由**として Savingモードに入ったことが考えられる。
- ✓ **しかし7.8V以上あれば1日1回のリセットで復帰するはずであり、現在の停波の理由は不明。**

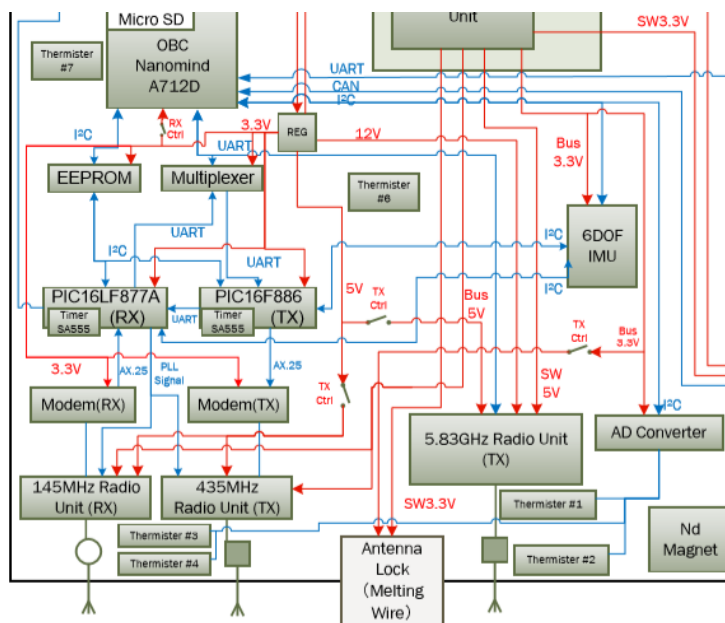
打ち上げ後の地上実験により発見した不具合（その2）

TX COBC、RX COBC、OBCのEEPROMへのI2C衝突

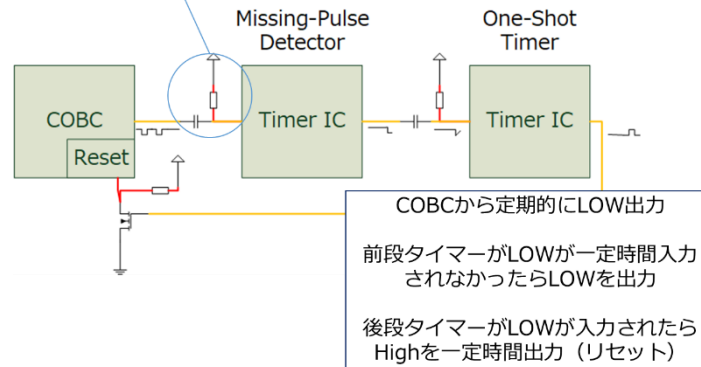
OrigamiSat-1では、TX COBC、RX COBC、OBCの3者が共通のEEPROMを介してデータをやり取り（I2C通信）している。

EMを使った地上試験で、EEPROMへのTX COBC、RX COBC、OBCのアクセス頻度を高めた。

- このとき、RX COBC、TX COBCともにリセットを繰り返す不具合がある。
- この不具合の原因、および軌道上でこの不具合モードが発生する可能性をEM（地上検証モデル）を用いて検討している。（このバグは長期にわたり通信停止する原因となりうる。）



リセット信号ピンがLowで固定された場合、エラーを検知できない
プルアップで次第にHighにする



5. 今後の運用計画



O R I G A M I
PROJECT

今後の運用計画（2019年9月～）



- 現在、CI基板上のCOBCに異常が発生している可能性が高い。

しかし、WDT機能あるいは電源低下に起因するリセットにより、CW発信が復帰し、ミッションが再開できる可能性が残っている。

- **そこで以下を継続して、OrigamiSat-1の復旧を待つ。**
 - i. 1か月に1回、膜展開コマンドアップリンク/応答のダウンリンク、の運用を継続し、運用手順を継承して運用再開に備える。
 - ii. 2か月に1回、(i) 他のCubeSatのCWを受信し、(ii) EM基板で地上局からのアップリンクを受け、地上局の健全性を確認する。
 - iii. 4か月に1回、5.8GHzダウンリンク運用を行い、パラボラアンテナ運用の知見の継承を行う。

- OrigamiSat-1は「多機能展開膜の展開」, 「カメラを用いた展開構造の軌道上計測」, 「無線技術の習得」の3種のミッションを実現するために開発され, 2019年1月18日にイプシロンロケット4号機により予定通りの軌道(高度500km太陽同期軌道)へ打ち上げられた.
- 打ち上げ後6日間半, 衛星HKデータを取得できたが, その後, ダウンリンクが途絶し, アップリンクコマンドも受け付けていない(膜展開コマンドが通らない)状態が続いている.
- 通信の復旧に備え, 東工大局の機能を維持する運用を継続する.

謝辞:

打ち上げの機会を提供し多大なる開発支援を下された宇宙航空研究開発機構(JAXA)の皆様, 多くの軌道上データの受信報告を下されたアマチュア無線家の皆様, そしてOrigamiSat-1を支援下さったすべての皆様に感謝します.

本文書の一部または全部を著作権者の許可なしに複製, 転載することを禁止します.

© 東京工業大学 2019

Email: info [at] origami.titech.ac.jp