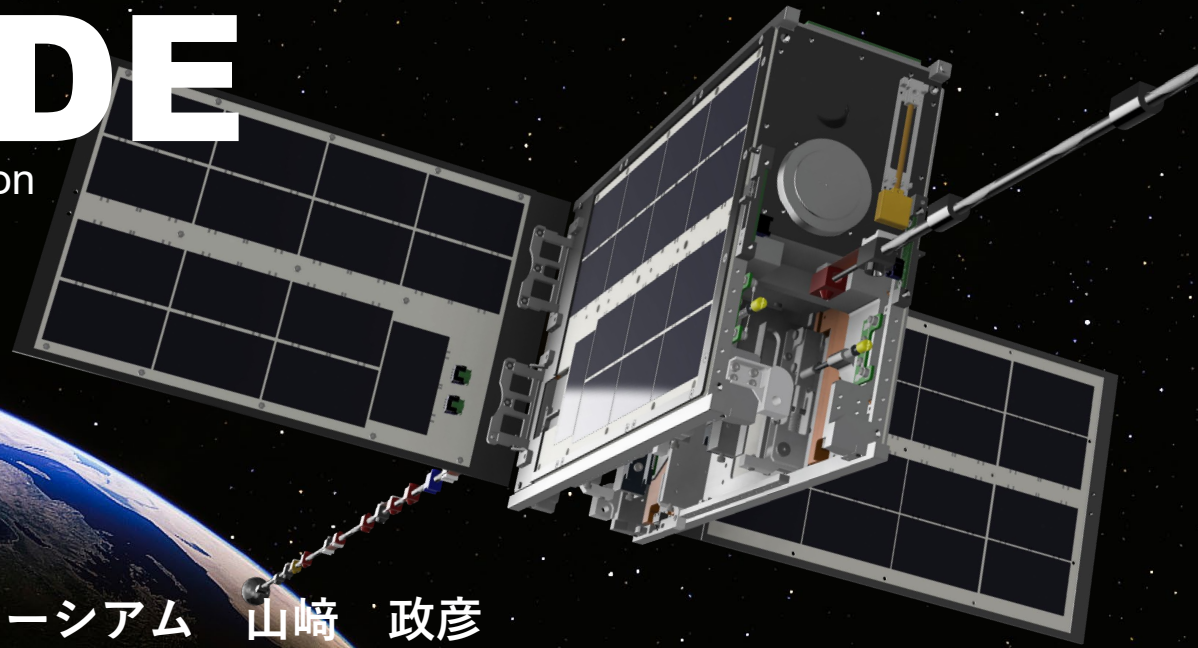


# PRELUDE

Precursory electric field observation  
CubeSat Demonstrator



NPO法人大学宇宙工学コンソーシアム 山崎 政彦

「地震先行電離圏変動現象検知のための CubeSat のフライト・モデル製作に向けて：衛星バス・サブシステムの打ち上げ環境および宇宙環境適応試験」

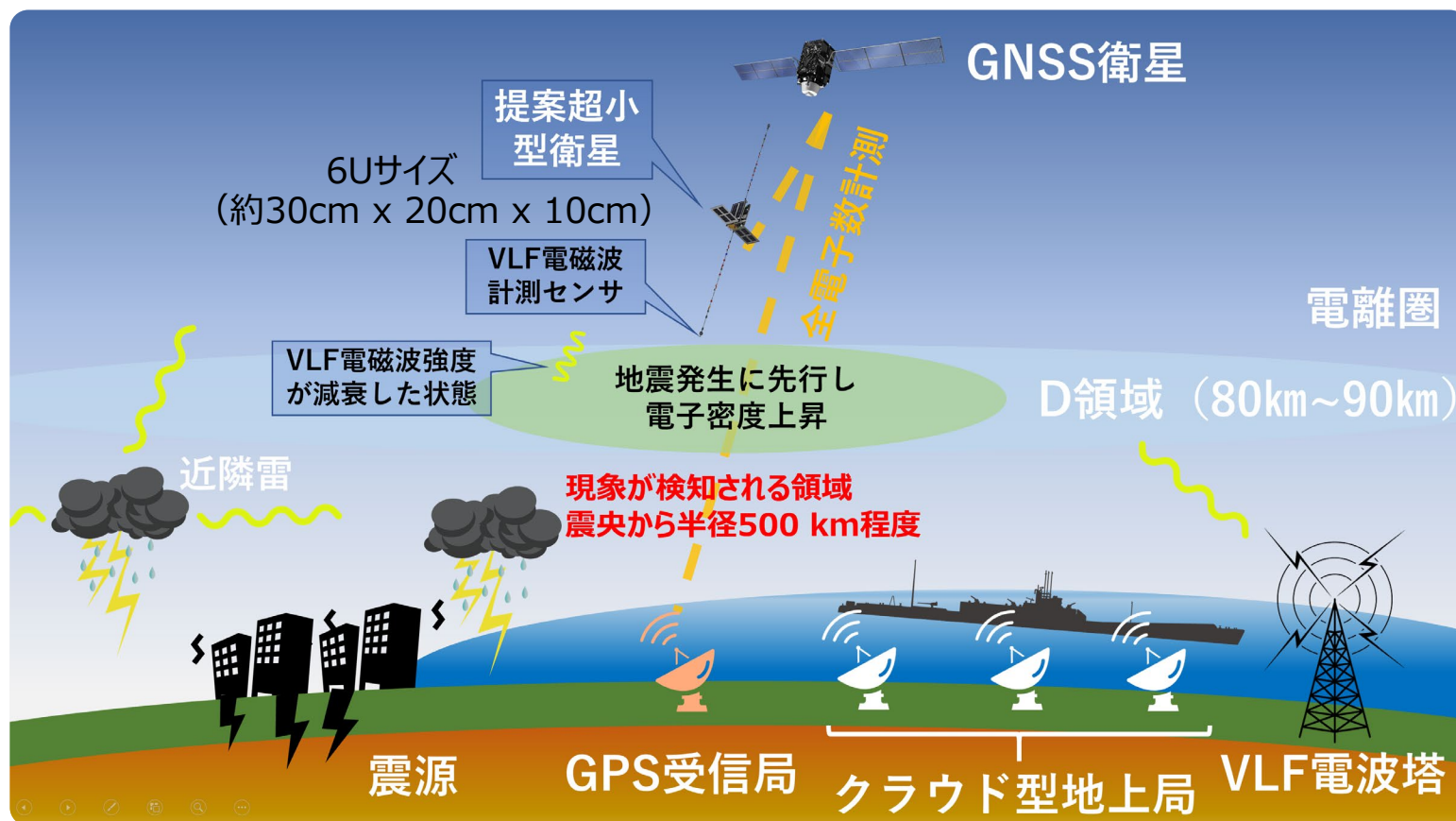
1. 衛星概要と設計の変更点
2. 衛星のエンジニアリングモデル構体と試験準備
3. 太陽電池セルのITO加工と発電試験
4. 統合試験：ミッション部・バス部
5. スケジュール・資金計画

Prelude

【メインミッション】：電離圏(D領域)におけるVLF波帯電磁波強度の観測

【バイプロダクトミッション】：電離圏(F領域)における全電子数(TEC)の観測

【観測原理】：D領域の変動を導出できる近隣雷の自然電波及び航行用電波を衛星が受信することで、地震に先行したVLF帯電磁波電場強度減少の検知から、地震準備過程起因とみられるD領域電子密度上昇を調べる。



# 電場・プラズマハイブリット観測用3Uサイズのペイロード開発 Pre|ude

- ❖ 電場センサは磁場センサに比べ、電磁波計測に対し高感度であり、静電場の計測もできるので、数多くの衛星に搭載されているが、CubeSatへの搭載事例は今までになかった。そこで、**電場センサとプラズマセンサをハイブリット化し、3Uサイズ化した。**
- ❖ 3U化により、超小型衛星の搭載可能性を高め、地球電磁気観測の敷居を下げる。
- ❖ **4つ折り多段(Zホールド)伸展ブームを2つ導入し、先端にそれぞれセンサを取り付ける。**背景電場の検知が可能となるようなセンサ間を確保するために、**双方向に1.5mずつ伸展**する。（CFRPの巻取り式から、多段式展開ブームへ変更）

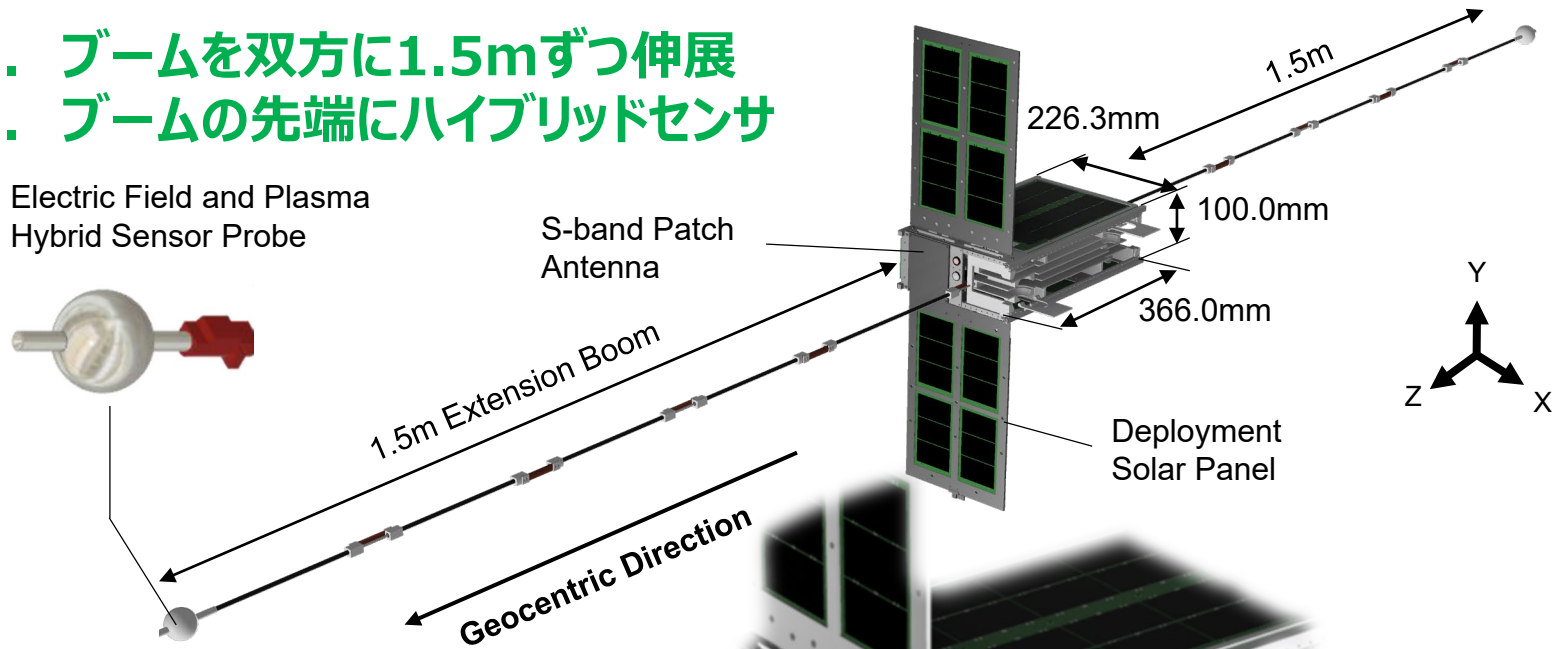


ペイロード全体イメージと評価モデル



- ❖ **DEMETERの観測結果から報告された、VLF帯の電磁波強度の変動現象の観測に特化したW6Uサイズ(100mm x 226.3mm x 366.0mm)のCubeSat.**
  - ❖ 変動現象の観測及び現象解明を低コストかつ短期間で実現する。
  - ❖ 将来的に複数機でのコンステレーションによる常時広域観測ネットの構築を視野に入れている。

1. **ブームを双方に1.5mずつ伸展**
2. **ブームの先端にハイブリッドセンサ**

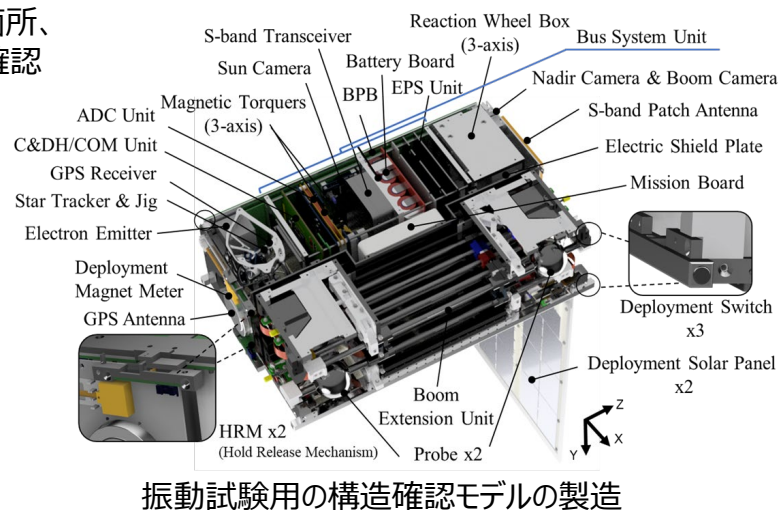
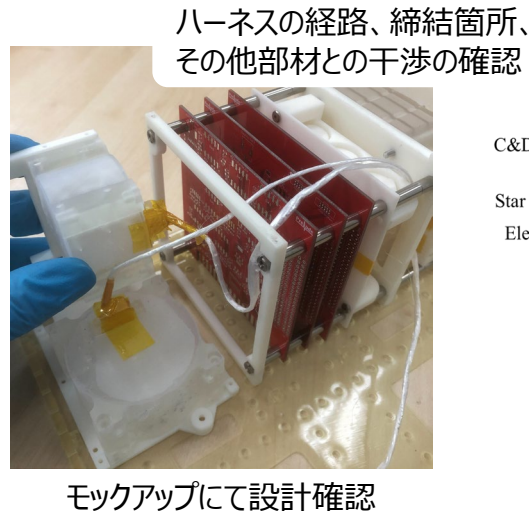
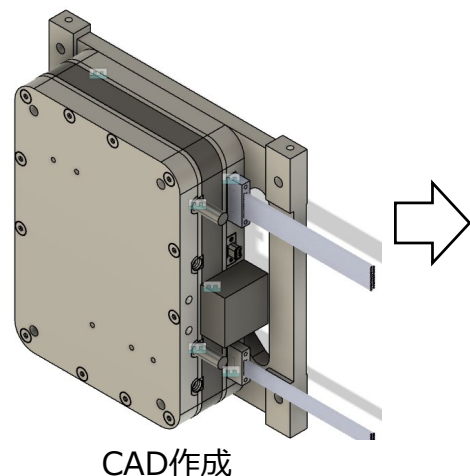


シールド処理

(ハーネス, コーティング, IT0)

3U部開口

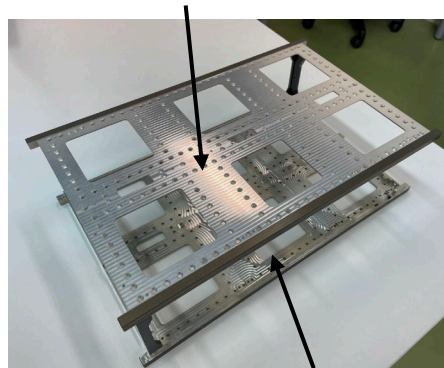
## ❖ 構造CADから製造, ロケット打ち上げ時の振動環境試験準備



## ❖ 衛星構造の表面処理

❖ 熱や劣化防止の導電性の観点より表面処理

アロジン処理



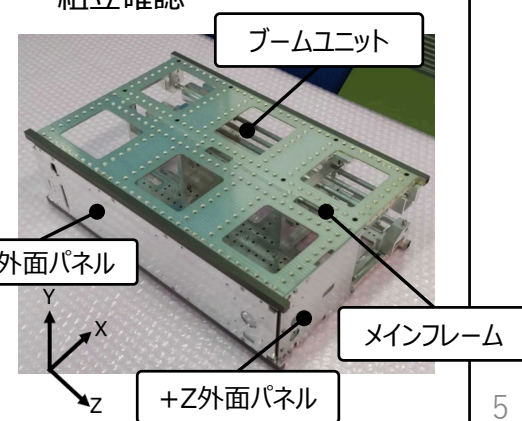
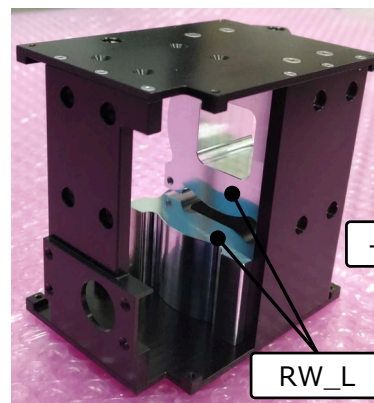
硬質アルマイト

黒色導電性アルマイト



## ❖ 構体組み立て確認

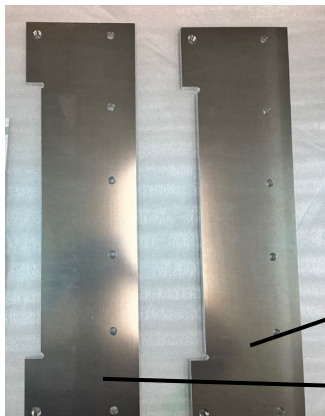
❖ 設計確認を行うために組み立て試験を実施  
リアクションホイール BOX 組立確認  
主構造と内部搭載機器の組立確認



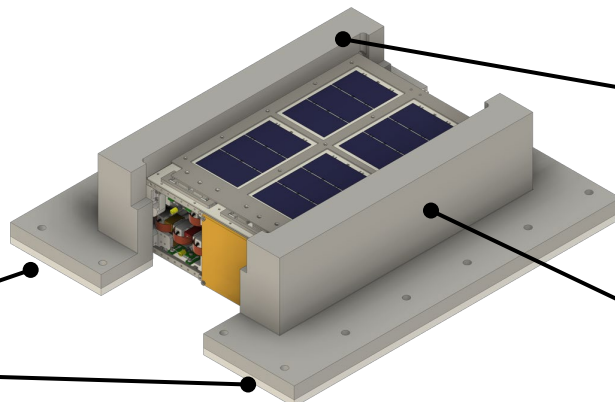


## 振動試験治具

- 振動試験にて衛星放出機構を模擬する試験治具を開発，製造を行った。



振動試験機インターフェース治具



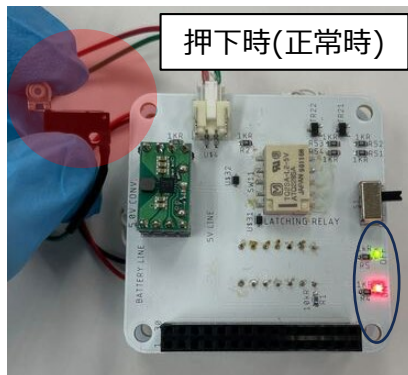
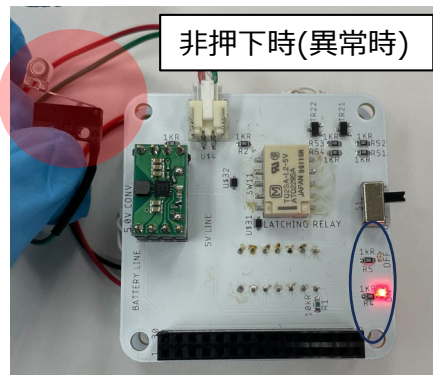
試筐体と振動試験治具外観図



試筐体保持治具

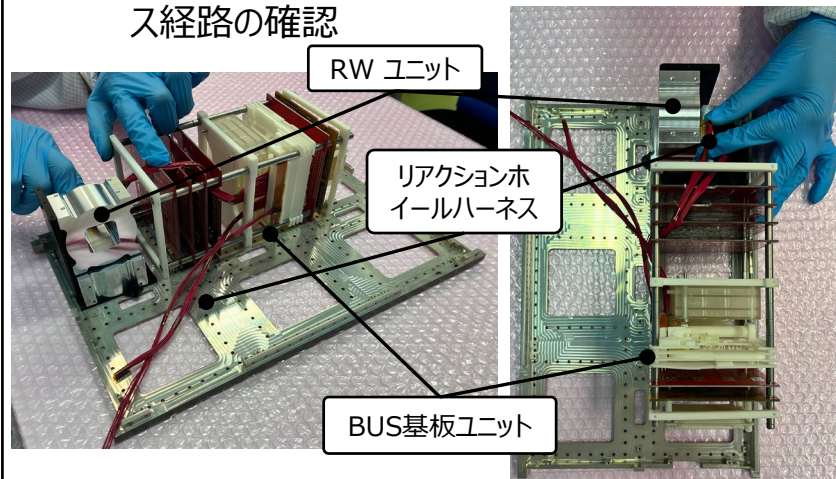
## チャタリング検知基板

- 振動試験時の衛星電源のON/OFFを検知するチャタリング検知用の基板を作成。



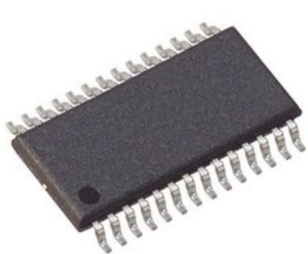
## ハーネス経路確認

- リアクションホイールとBUS基板ユニットとのハーネス経路の確認

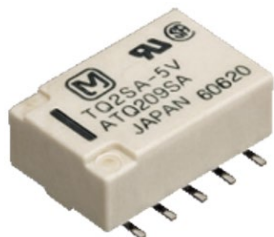


## ❖ 素子選定

- ❖ システムに必要な素子を選定・購入



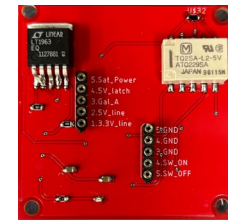
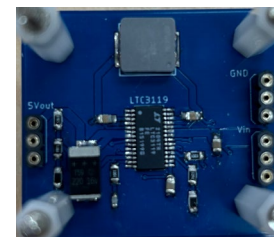
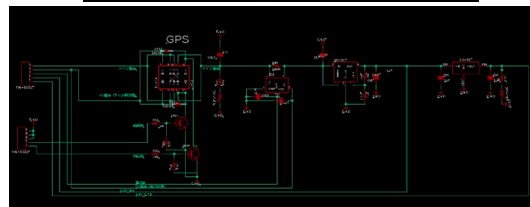
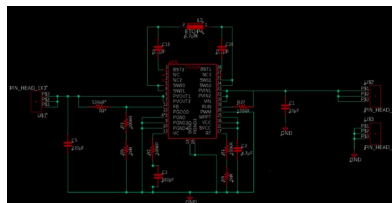
LTC3119



TQ2SA-L2-5V

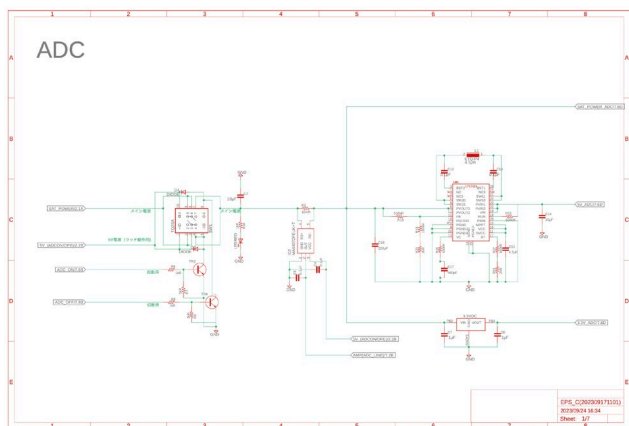
## ❖ 検証基板作成

- ❖ 素子の周辺回路の単体検証

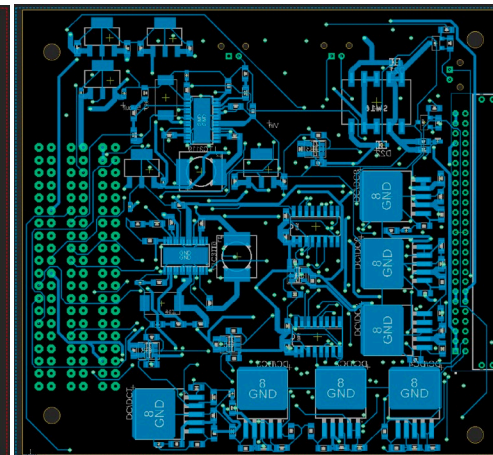
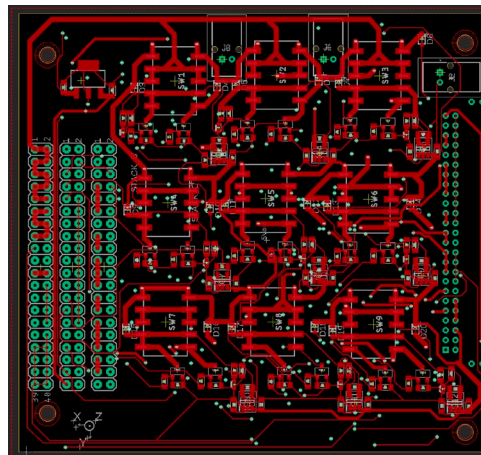


## ❖ エンジニアリング基板製作

- ❖ 単体検証結果を元に設計開発中の基板



回路図

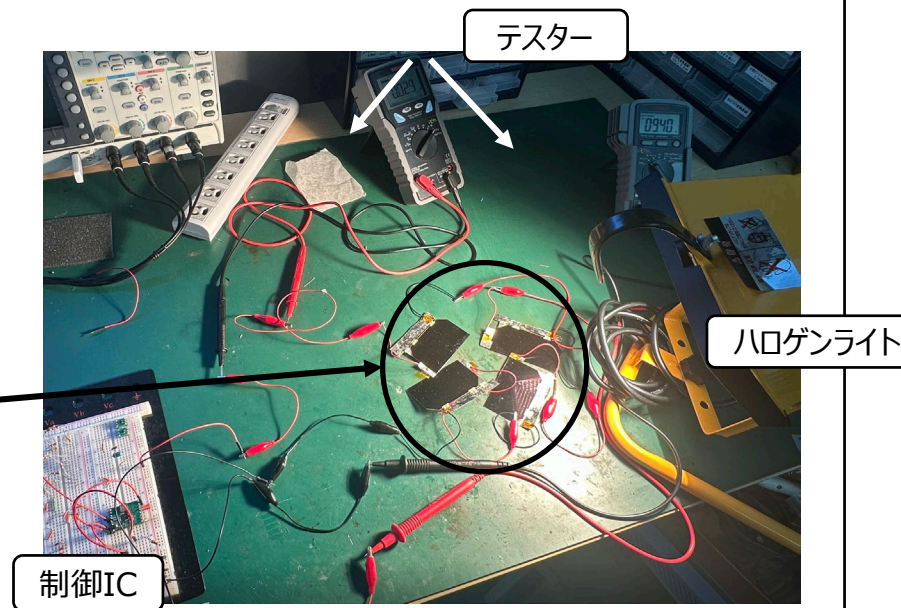
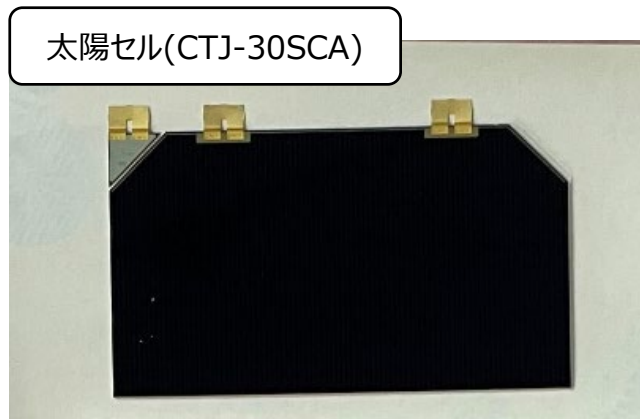


基板図



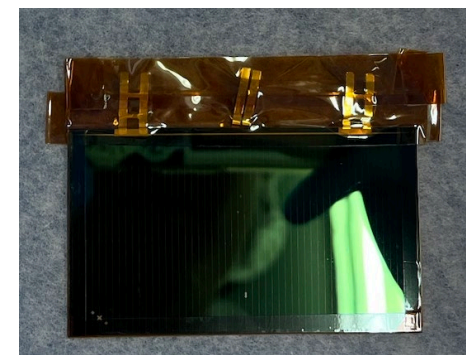
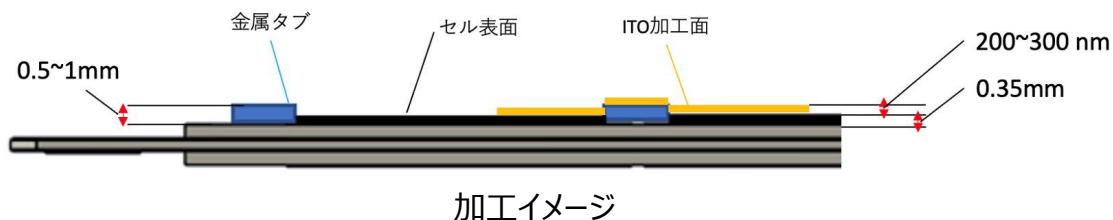
## ❖ 発電試験

- ❖ 太陽電池セルの発電性能を計測.
- ❖ 発電の最大電力点を追従する制御が行えているかを確認



## ❖ ITO加工 (透明導電性膜加工)

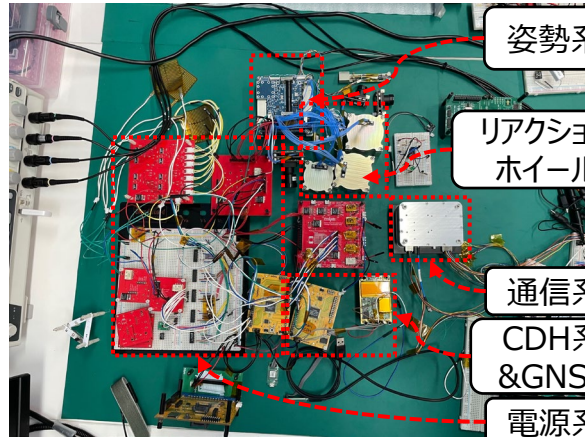
- ❖ 太陽電池セルが電場・プラズマセンサに電氣的影響を及ぼさないように表面加工を実施.
- ❖ 加工後の太陽電池表面が同電位であることを確認.





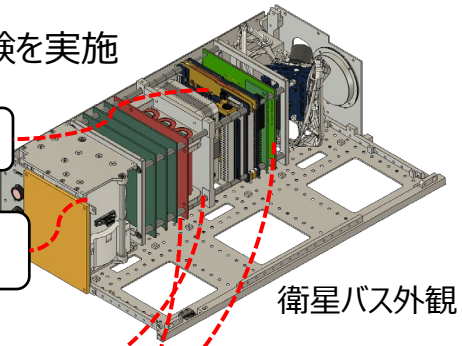
# 統合試験：バス開発

- 電気統合試験
- PEM基板を使用した電気統合試験を実施

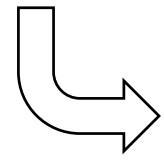


電気統合外観

- 姿勢系
- リアクションホイール
- 通信系
- CDH系 & GNSS
- 電源系



衛星バス外観



```

138 int main(void)
139 //see Settings.cpp
140 spi(PORT_SPIA, EPS_MOSI, EPS_MISO, EPS_CLK, MASTER);
141 init_cs(EPS_CS);
142 Frequency(PORT_SPIA, 0x05, 0x09, MASTER, 0x07);
143
144 //see Main Code.cpp
145 printf("##>>> CDH Main Start\n");
146 printf(">>> Auto Sequence Start\n");
147 printf(">>> eps_get_HK_isr_flag = %d\n", eps_get_HK_isr_flag);
148 // Power on Phase
149 printf(">>> Release Detection & Power on\n");
150
151 //timer on
152
153 VOR_SYSCONFIG-TIM_CLK_ENABLE |= 1<<23; // enable TIM23 clock
154 i = CONFIG.TIM23_periodic_int0;
155
156 // 6. EPS Power ON
157 printf(">>>> 6. EPS Power ON\n");
158 printf(">>>> wait");
159 for (int i=0; i<S; i++){
160     printf(" ");
161     VOR_Sleep(1000);
162 }
163 printf(">>>>");
164 //Show EPS on;
165 // Latching Relay Switch ON
166 printf(">>>> EPS Power ON Done !!\n");
167 VOR_Sleep(1000); // Wait for power on
168
169 // 7. EPS Health Check
170 printf(">>>> 7. EPS Health Check\n");
171 health_check(PORT_SPIA, EPS_CS, 0x02);
172 printf(">>>>");
173 for (int i=0; i<100; i++){
174     printf("health check ");
175     health_check(PORT_SPIA, EPS_CS, 0x02);
176     VOR_Sleep(1000);
177 }
178 // 10. EPS HK Sensing
179 printf(">>>> 10. EPS First HK Sensing\n");
180 int ack = spi_send_cmd(PORT_SPIA, EPS_CS, 0x04);
181 VOR_Sleep(1000);
182 if (ack == 0x0F) {
183     printf(">>>>");
184     eps_get_HK_isr_flag = 1;
185     printf(">>>> eps_get_HK_isr_flag = %d\n", eps_get_HK_isr_flag);
186     VOR_Sleep(1000);
187     for (int i=0; i<10; i++){
188         printf(">>>> HK command Sending\n");
189         ack = spi_send_cmd(PORT_SPIA, EPS_CS, 0x05);
190         if (ack != 0x0F) {
191             break;
192         }
193     }
194     VOR_Sleep(1);
195     printf(">>>> HK data Recieving\n");
196 }
    
```

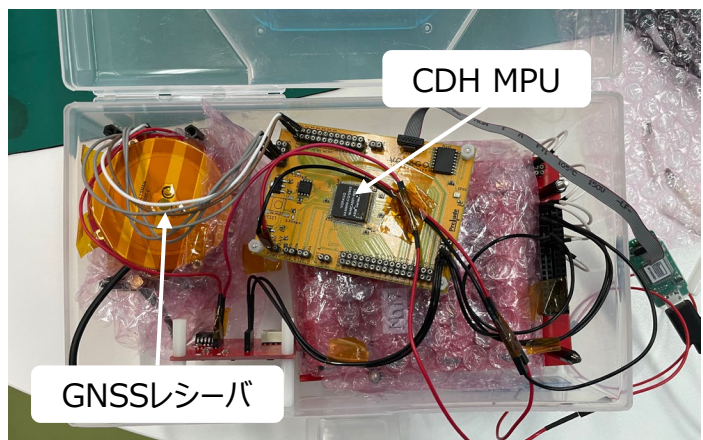
統合用コード

```

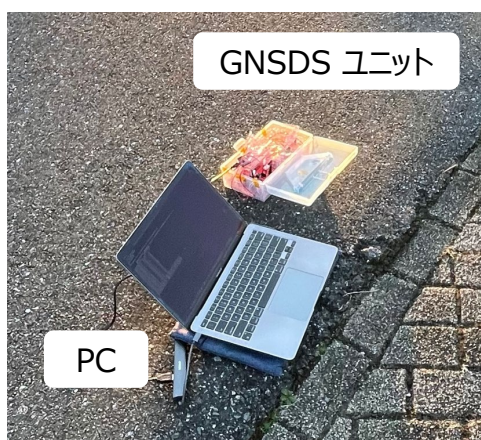
All Terminals Terminal 0 Terminal 1
00> - cmd 2 = EPS_HK_Sensing (interrupt) -
00> - cmd 3 = ADC_Power_ON -
00> - cmd 4 = ADC_HK_Sensing (interrupt) -
00> - cmd 5 = GPS_Power_ON -
00> - cmd 6 = COM_Power_ON -
00> - cmd 7 = TRX_Power_ON -
00> - cmd 90 = MIS_Power_ON -
00> - cmd 98 = Check Interrupt -
00> - cmd 99 = ALL KILL cmd -
00> - which sequence to check? -
00> -> cmd = 1
00>
00> >>>> 1. EPS_Power_ON
00> >>>>>> flag_sequence == 0
00> >>>> Sending HEALTH Check cmd , i = 0
00>
00> >>>> Sending HEALTH Check cmd , i = 1
00>
00> >>>> flag_sequence = 1
00> >>>> EPS Power ON Success
00>
00> >>>> flag_get_HK[EPS] == 1
00>
00>
00> - cmd 0 = CDH_main_routine -
00> - cmd 1 = EPS_Power_ON -
00> - cmd 2 = EPS_HK_Sensing (interrupt) -
00> - cmd 3 = ADC_Power_ON -
00> - cmd 4 = ADC_HK_Sensing (interrupt) -
00> - cmd 5 = GPS_Power_ON -
00> - cmd 6 = COM_Power_ON -
00> - cmd 7 = TRX_Power_ON -
00> - cmd 90 = MIS_Power_ON -
00> - cmd 98 = Check Interrupt -
00> - cmd 99 = ALL KILL cmd -
00> - which sequence to check? -
00> ->
    
```

実行結果

- GNSS受信機動作検証
- GNSS衛星からデータを取得できることを確認



GNSSレシーバとアンテナユニットの外観



野外実験時の様子

```

SGPGGA,080409.00,3543.5637,N,14003.4256,E,1,04,2.1,40.14,M,36.00,M,,#5F
SGPGGA,080410.00,3543.5622,N,14003.4263,E,1,04,2.1,24.66,M,36.00,M,,#52
SGPGGA,080411.00,3543.5618,N,14003.4268,E,1,04,2.1,26.77,M,36.00,M,,#53
SGPGGA,080412.00,3543.5609,N,14003.4270,E,1,04,2.1,29.13,M,36.00,M,,#54
SGPGGA,080413.00,3543.5611,N,14003.4271,E,1,04,2.1,29.69,M,36.00,M,,#50
SGPGGA,080414.00,3543.5614,N,14003.4270,E,1,04,2.1,28.74,M,36.00,M,,#5E
SGPGGA,080415.00,3543.5616,N,14003.4268,E,1,04,2.1,28.16,M,36.00,M,,#50
SGPGGA,080416.00,3543.5609,N,14003.4271,E,1,04,2.1,29.78,M,36.00,M,,#50
SGPGGA,080417.00,3543.5612,N,14003.4270,E,1,04,2.1,28.80,M,36.00,M,,#50
SGPGGA,080418.00,3543.5611,N,14003.4271,E,1,04,2.1,28.95,M,36.00,M,,#59
    
```

取得データ

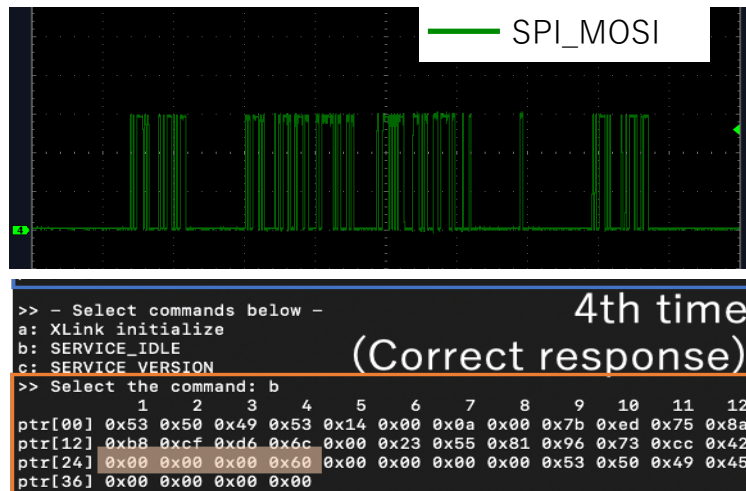
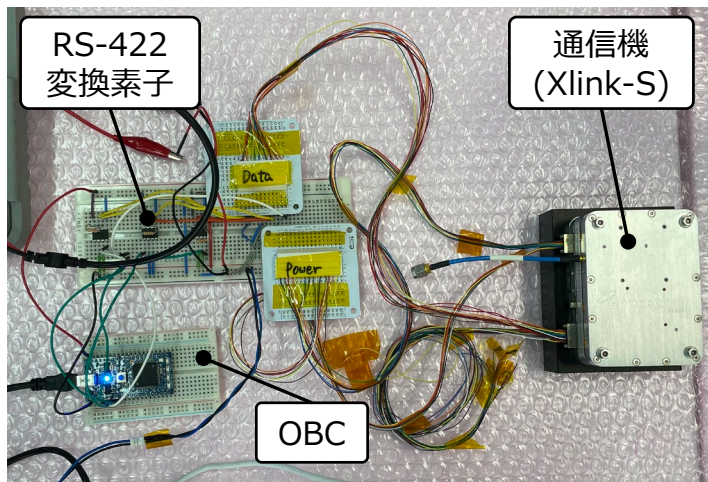


緯度・経度・高度を取得確認

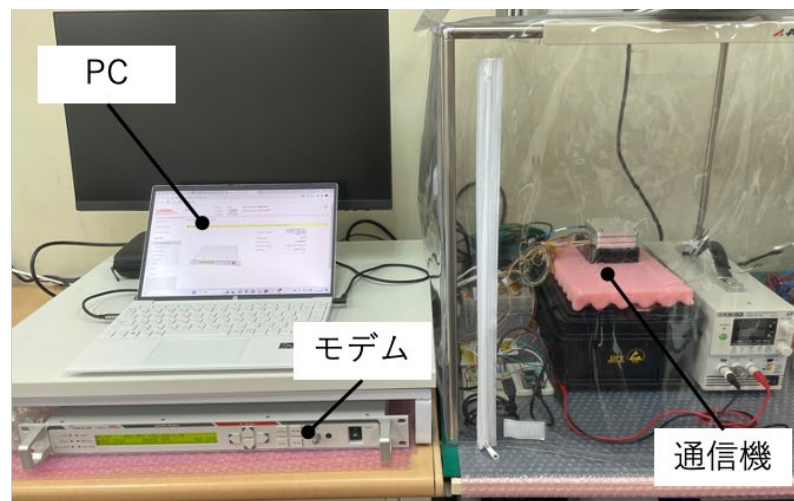
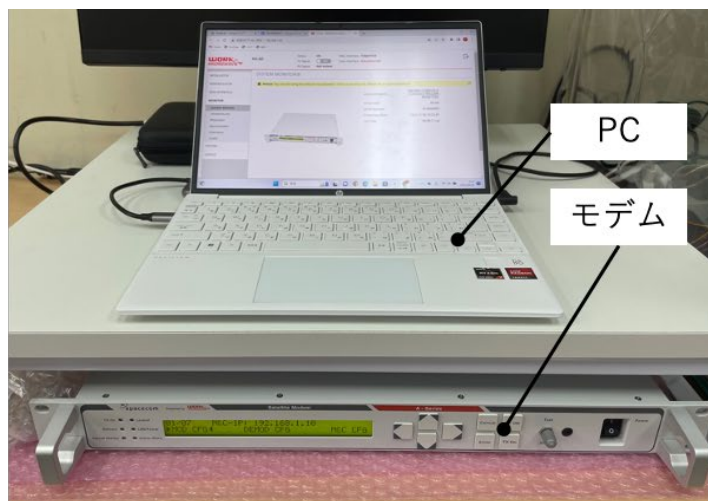


## 通信機動作検証

- 通信機-マイクロコンピュータ間の通信を確認。通信機にコマンドを送信し、正常な返答がきていることを確認。

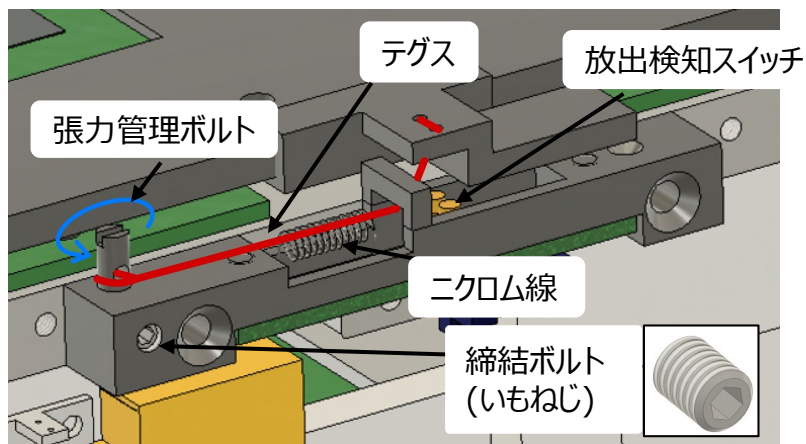


- 現在、地上局-衛星間通信を模擬するために、モデム-通信機間でのデータ送受信の検証を行なっている。

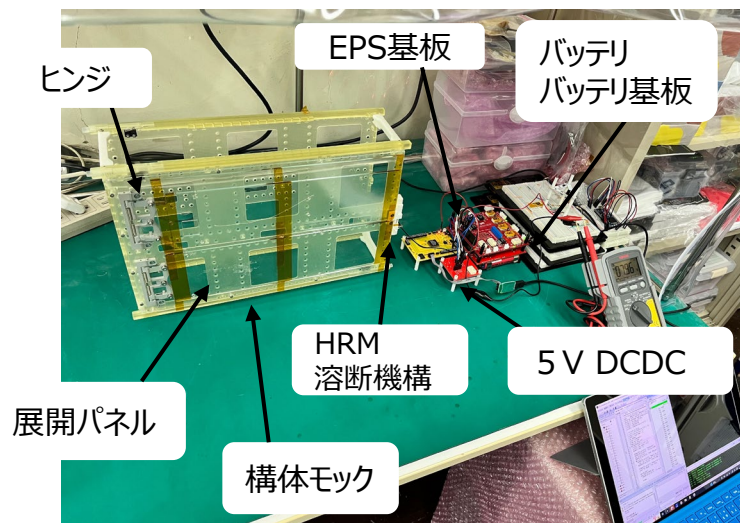


## ❖ HRM（保持開放機構）展開試験

- ❖ HRM、ヒンジの性能確認を行うために実機を用いて行う



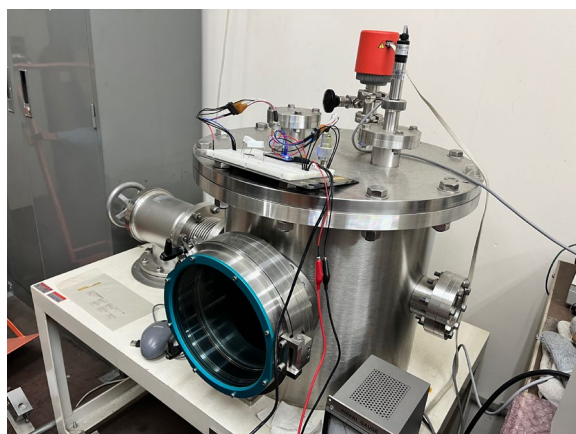
太陽電池パネル保持開放機構（HRM）



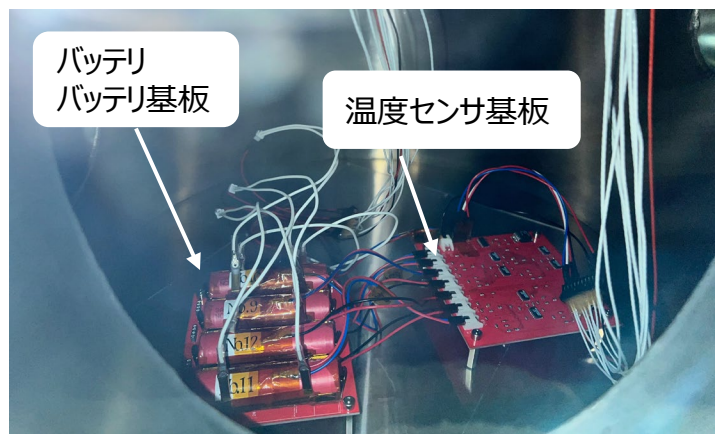
大気下でのパネル保持・展開試験の様子

## ❖ 真空環境下における温度評価

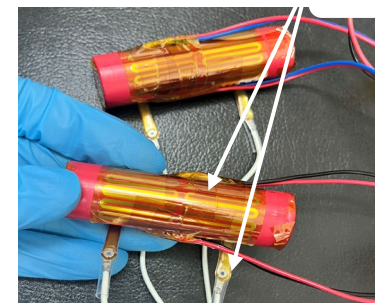
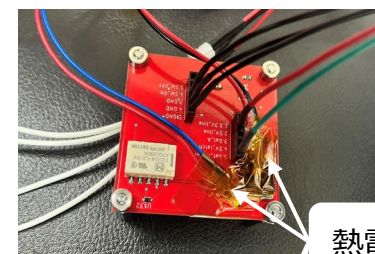
- ❖ 熱解析結果との比較しコンポーネント（DCDCコンバータ）仕様決定



真空槽外観



真空槽内の機器配置とコンポーネント用熱電対





- ◆ ご支援いただいております研究提案内容のキューブサットが、宇宙航空研究開発機構（JAXA）様の革新的衛星技術実証プログラム4号機に選定。

## 革新的衛星技術実証4号機 実証テーマ

<https://www.kenkai.jaxa.jp/research/innovative/theme04.html>

- ◆ 宇宙基本計画上の「産業・科学技術基盤を始めとする宇宙活動を支える総合的な基盤の強化」の一環として、大学や研究機関、民間企業等が開発した部品や機器、超小型衛星、キューブサットに宇宙実証の機会を提供するプログラム
- ◆ 打ち上げ機の決定に伴う**軌道が変更**のため、従来の設計からの変更箇所を洗い出し設計に反映させた。来年度の衛星引き渡し向けスケジュールを調整。5月26日に**設計レビュー会（PDR）**を実施。
- ◆ **WNI国内助成**，東大地震研究所，学内の運営交付金および日本大学の理工学研究所プロジェクト研究費のご支援により，衛星搭載機器の開発を実施。

