

# ACTS 大会報告書

提出日：2021年 12月 26日

- チーム情報

CanSat チーム名	東京都立大学 さはらかん Base-Project
CanSat チーム 代表者情報	芝田朋世 shibata-tomoyo@ed.tmu.ac.jp, 090-6675-8560
UNISEC 団体名	さはらかん
UNISEC 団体 学生代表	堀光太郎
責任教員	佐原宏典 <a href="mailto:sahara@tmu.ac.jp">sahara@tmu.ac.jp</a> 042-585-8624 (大学) / 090-6142-4169 (携帯)

- メンバー

役割	名前 (学年)
PM, 構造担当	芝田朋世 (B2)
ソフトウェアリーダー, 発電蓄電機構担当	濱下宙千 (B2)
ハードウェアリーダー, メイン機構担当	堀光太郎 (B2)

- CanSat の製作目的・大会参加理由

例年 ARLISS への出場を目標としており、今年度は ACTS がその代替大会であったため、また大会への参加に向けた CanSat 製作を通して宇宙工学やものづくりを学ぶため。

# 目次

第1章	3	
1.	3	
2.	4	
第2章	4	
第3章	5	
1.	エラー!ブックマークが定義されていません。	
2.	5	
第4章	5	
1.	6	
2.	7	
3.	7	
4.	8	
第5章	エラー!ブックマークが定義されていません。	
第6章	9	
1.	10	
2.	14	
第7章	19	
各担当 (ハード・ソフト・全体などの進行状況を記入)		36
第8章	21	
1.	36	
2.	36	
3.	36	
第9章	47	
1.	47	
2.	46	
3.	47	

## 第1章 ミッションについて

### 1. ミッションステートメント（ミッションの意義と目的）

#### ミッションの意義：

惑星上で探査を行う別の CanSat に電力を供給するための基地局を構築する。

#### ミッションの目的：

本ミッションでは開発した基地局を惑星上空まで輸送したと仮定し、着陸、発電、充電、発電電力の使用の実現可能性を検証する。また、基地局の周辺情報をリアルタイムで発信する。基地局周辺の情報は気温値、気圧値、画像である。基地局の周辺情報を発信することは、基地局を使用する別の CanSat が安全に基地局のところに辿り着けるようにするために必要である。

一般的に CanSat は大きさが制限されており大規模な電源の搭載が困難である。そのため運用期間に大幅な制約がかかる。CanSat が遠距離の惑星を探査する場合、惑星の軌道上の制約や資金的都合により CanSat への定期的な電力供給は困難である。基地局の構築はそのような CanSat への電力供給に有効である。

## 2. ミッションシーケンス

ミッションシーケンスは次の通りである。またその様子を図 1.1 に示す。

- 1) 基地局を気球に搭載する。
- 2) キャリアから基地局が放出される。
- 3) パラシュートが開傘する。
- 4) 基地局が減速落下する。
- 5) 基地局が軟着陸する。
- 6) 基地局からパラシュートを分離する。
- 7) 基地局が展開する。
- 8) 太陽光発電と画像撮影を開始する。
- 9) 太陽光発電で得た電気を使用する。

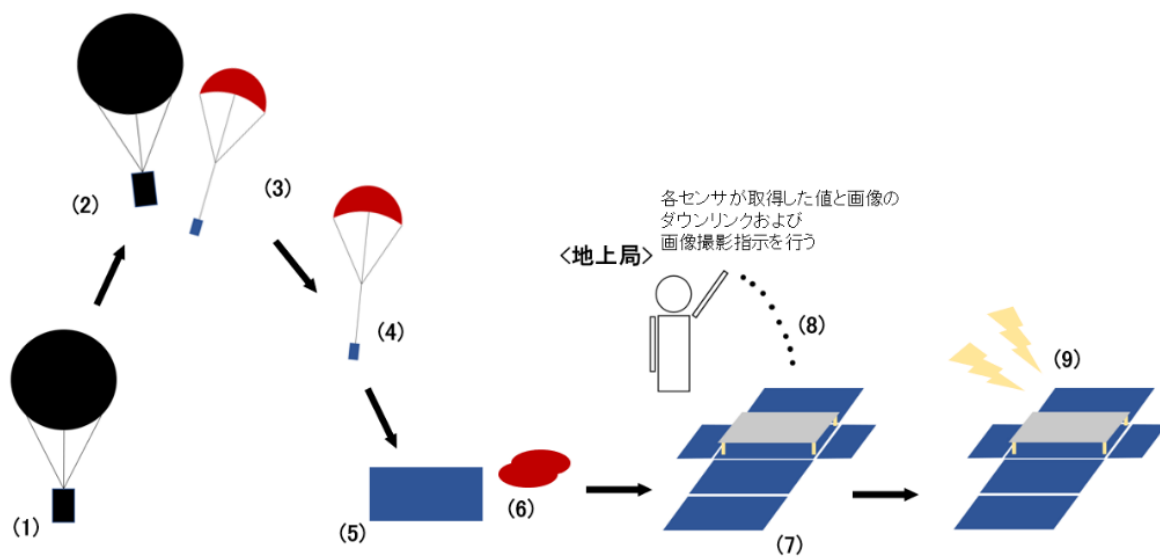


図 1.1 ミッションシーケンス

## 第2章 サクセスクライテリア

ミニмумサクセス	1) 太陽光による発電電圧値と電流値を発信する. 2) 基地局周辺の情報を発信する.
フルサクセス	ミニмумサクセスを満たした状態で充電した電力を使用する.

ミニмумサクセスには、基地局の発電状態と周辺環境を発信しリアルタイムで周知することを定義した。ミニмумサクセスが達成されたかどうかは、太陽光による発電電圧値、電流値、および基地局周辺の情報を地上局にダウンリンクすることで評価する。

フルサクセスには、太陽光により発電した電力を実際に使用することを定義した。フルサクセスが達成されたかどうかは、使用電力の履歴により評価する。

### 第3章 要求項目の設定

#### 1. システム要求（安全確保、レギュレーションのための要求）

要求番号	自己審査項目
	<b>ACTS 安全基準</b>
R1	<u>質量と容積</u> がレギュレーションを満たすことが確認できていること
R2	<u>ロスト対策</u> を実施しており、有効性が試験で確認できていること（例：地上局にダウンリンクする場合、ACTS で十分な通信距離が実現できると推測できる根拠が明確に示されていること。）
R3	地表近くで危険な速度で落下させないための <u>減速機構</u> を有し、その性能が試験で確認できていること
R4	打ち上げ時の <u>準静的荷重</u> によって、安全基準を充足するための機能が損なわれないことが試験で確認できていること
R5	打ち上げ時の <u>振動荷重</u> によって、安全基準を充足するための機能が損なわれないことが試験で確認できていること
R6	分離時の <u>衝撃荷重</u> によって、安全基準を充足するための機能が損なわれないことが試験で確認できていること
R7	打ち上げ時の <u>無線機の電源 OFF</u> の規定を遵守できることが確認できていること（FCC 認証かつ 100mW 以下の機器は OFF しなくて良い。また、スマートフォンを用いる場合は FCC 認証かつソフトウェアまたはハードウェアスイッチで off にできること（2017 年追加））
R8	無線のチャンネル調整に応じる意思があり、また実際に調整ができることを確認できていること
R9	R1-R8 の充足を確認した設計の機体によって、ロケットへの装填から打ち上げ後の回収までを模擬した End-to-end 試験を実施できていること、今後、安全性に関わる大幅な設計変更はないこと
R10	CanSat の収納・投下準備が 5 分以内でできていること

## 2. ミッション要求（ミッションを実現するにあたり要求される性能）

要求番号	自己審査項目
M1	放出を検知できること
M2	着地を検知し、減速機構を分離すること
M3	着地時に減速機構が CanSat にかぶさらないこと
M4	着地衝撃で機体が破損したり電子部品が外れたりしないこと
M5	着地後に静止を検知し、太陽光パネルを展開すること
M6	発電した電圧値と電流値、充電した電圧値と電流値を取得すること
M7	M6 で取得した値を発信すること
M8	気圧、気温、加速度の値を取得すること
M9	M8 で取得した値を発信すること
M10	CanSat 周辺を任意のタイミングで撮影すること
M11	M10 で撮影した画像を発信すること
M12	充電した電力を使用すること
M13	セル電圧を測定すること
M14	蓄電用バッテリーの残量を算出すること
M15	蓄電用バッテリーの残量を発信すること
M16	バッテリーを安全に使用すること
M17	バッテリーが 2 時間もつこと

## 第4章 システム仕様

### 1. CanSat 外観

CanSat 外観を図 4.1, 図 4.2, 図 4.3 に示す.

CanSat は 6 枚のアルミ板で直方体をなしている. それぞれは内側から蝶番で接続されている. 外側にはバネをつけて, アルミ板が展開方向へ引っ張られるようにしている. 側面 (長方形), 上面は軽量化のために肉抜きし, 内側からプラスチック段ボールを固定している. 上面には図 4.3 のようにコンベックスを 3 本固定した. これにより上面を下にして着地することは難しくなる.

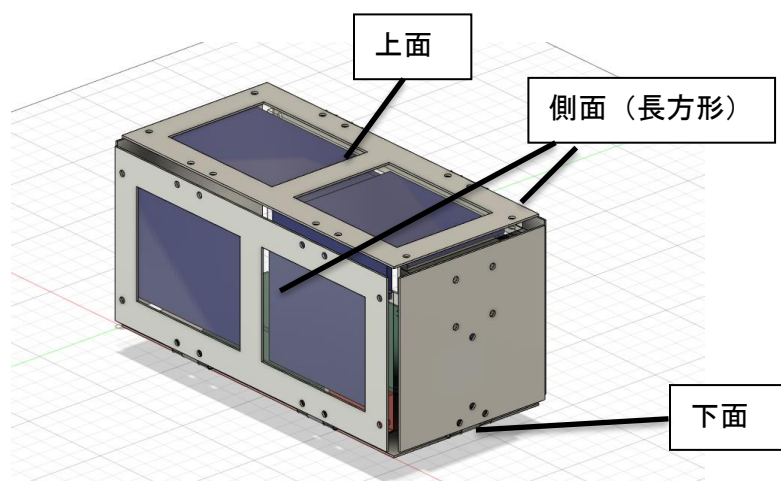


図 4.1 外観図 (CAD)



図 4.2 外観図 (実際)





図 4.3 横からの外観図

## 2. CanSat 内観・機構

BBM の写真を図 4.4 に示す.

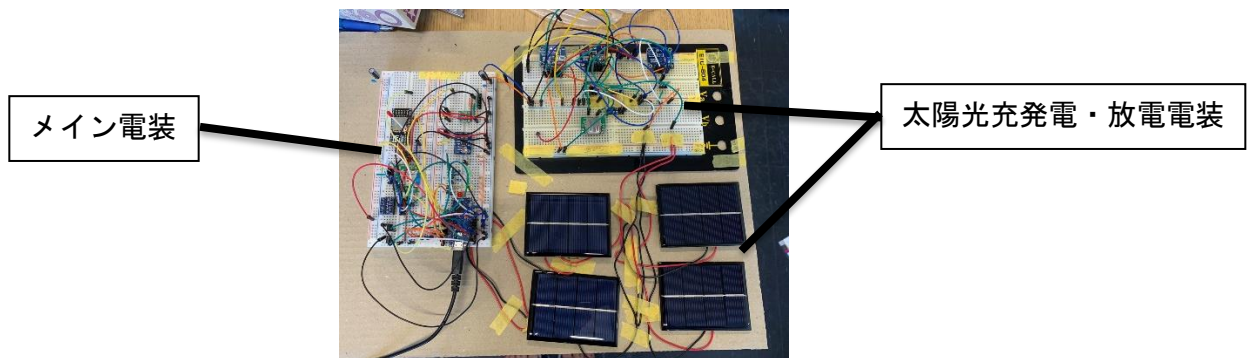


図 4.4 BBM

電装は大きく二つに分かれている。メイン電装はモード判定や周辺観測を行う機構を搭載している。太陽光充発電・放電電装は充発電・放電やその電流・電圧値の測定を行う機構を搭載している。太陽光パネルの数は6枚に決定した。各機構の詳細は4-3. システムブロック図で述べる。

FM の内観と電装基板を図 4.5 及び図 4.6 に示す。

前項にも記述のとおり，外側につけたバネの力で展開を補助する．側面（長方形）の内側にはそれぞれ2枚ずつ，計6枚の太陽光パネルを取り付けている．展開の際は，図4.7のオレンジ色の線のように外側のアルミ板とつないだテグスを基板上の1か所に集め，ニクロム線で溶断することで CanSat は展開することができる．

電装基板は図4.8，図4.9のように2段で構成されている．

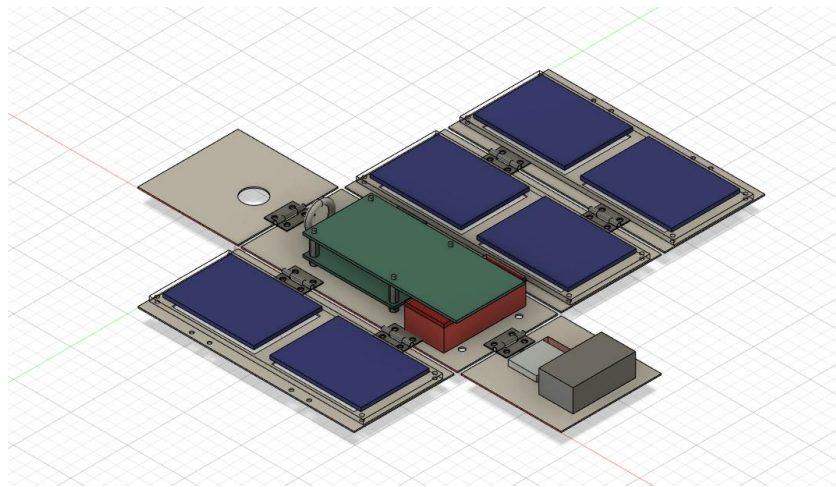


図 4.5 内観図 (CAD)

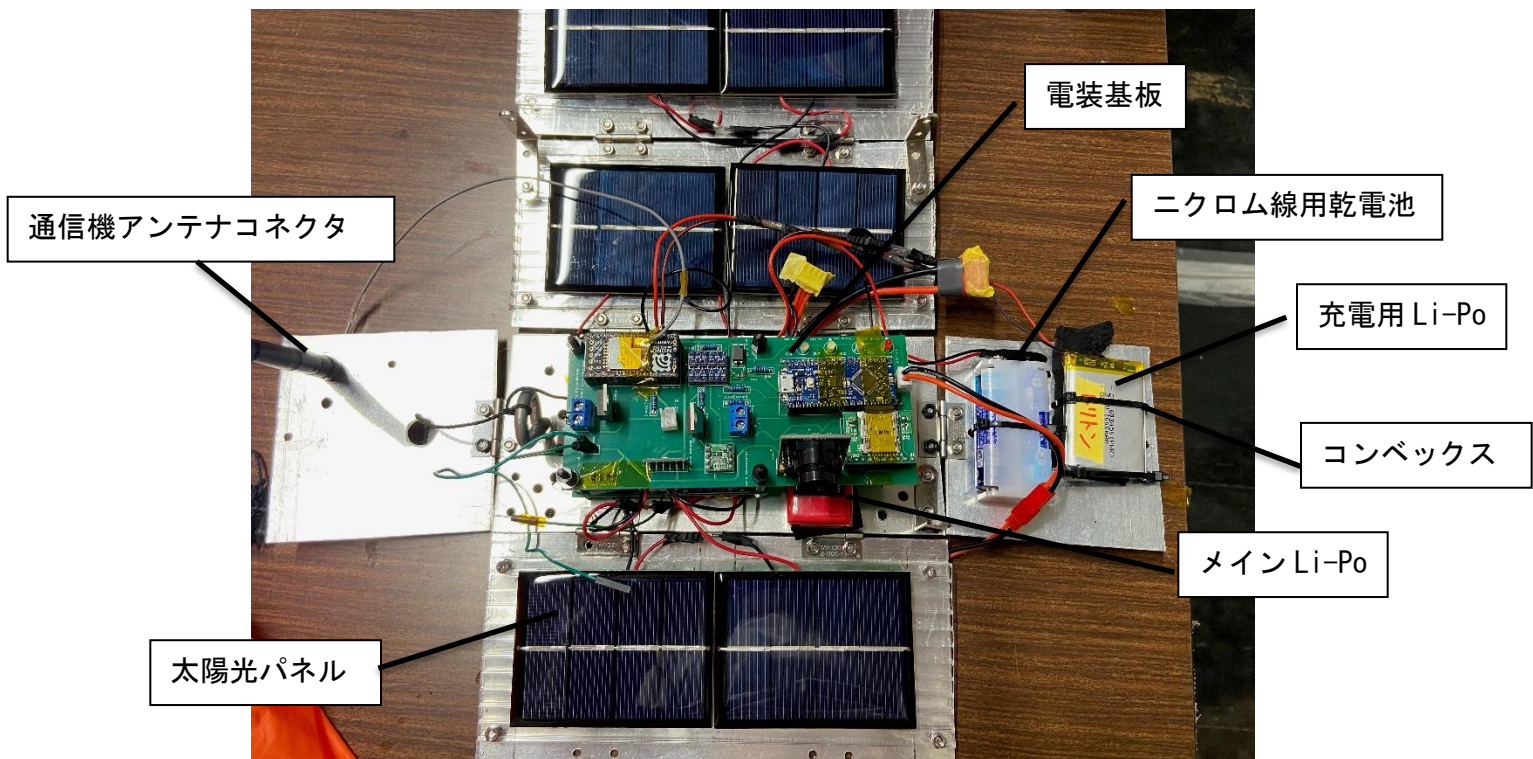


図 4.6 内観図 (実際)



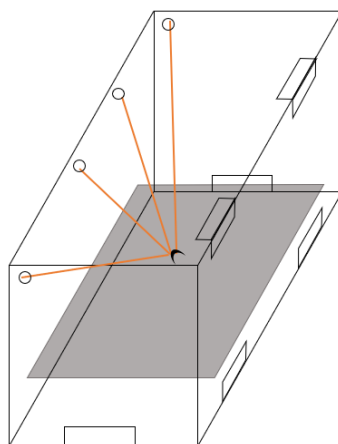


图 4.7 展开机构

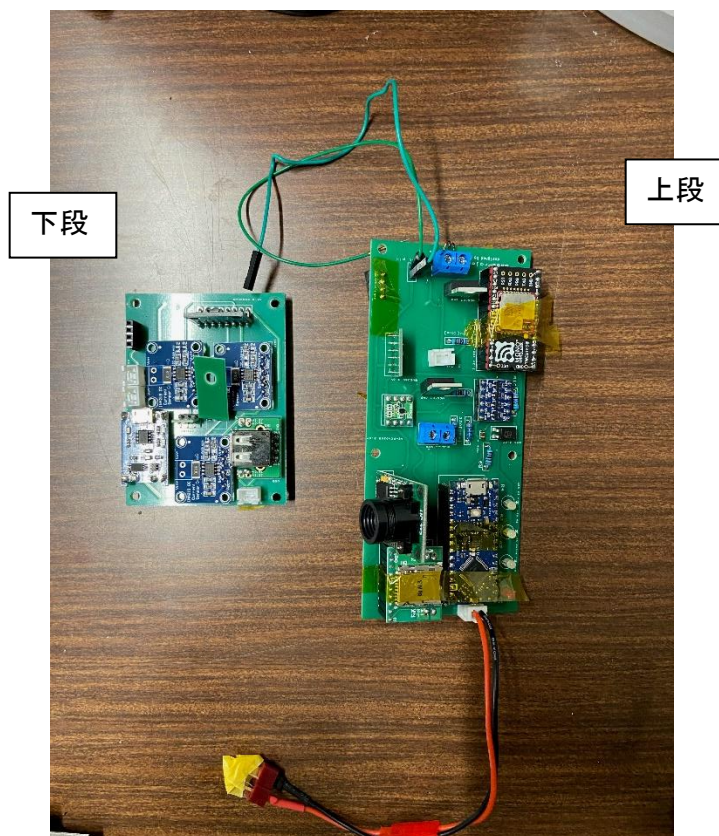


图 4.8 电装基板



図 4.9 電装基板の構成

パラシュートとの接続部分は図 4.10 のようになっている。パラコードはアイボルトに 1 周巻かれ、テグスに接続している。パラシュートを分離する際はニクロム線を加熱してテグスを溶断する。ニクロム線はターミナルブロックで固定されている。

パラコードにはフライトピンが巻きつけられていて、パラコードに大きな張力が生じるとフライトピンが抜ける。またフライトピンはパラシュートの分離を邪魔しないように巻きつけてある。



図 4.10 パラシュート接続部分

パラシュートは図 4.11 のように設計されている。正六角形の布の中央にスปีルホールをあけ、正六角形の各頂点にパラコードを接続する。落下の終端速度が 5m/s 以上になるように設計した。

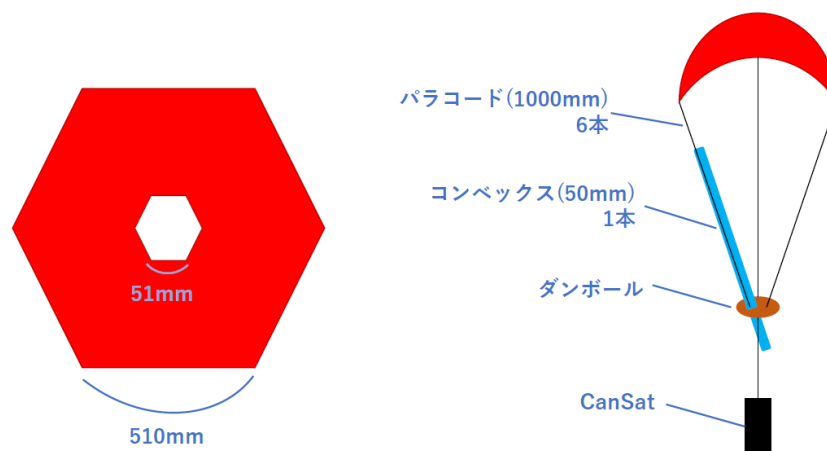


図 4.11 パラシュート

### 3. システム図 (CanSat 搭載計器仕様一覧)

#### システム図

システム図を図 4.12 に示す。各センサはモード判定、ミッションのために搭載している。

モード判定に用いるセンサを示す。フライトピンは放出判定に用いる。気圧・温度センサは着地判定に用いる。また加速度センサは太陽光パネル展開のための静止判定にも用いる。

ミッションに用いるセンサを示す。気圧・温度センサ、カメラモジュールは周辺の観測に用いる。三つ搭載している電流・電圧センサはそれぞれ発電電圧、充電電圧、放電電圧の測定に用いる。またこれらのデータのダウンリンクや撮影のためのアップリンクのために無線通信機を搭載している。観測データ取得の冗長性として SD カードスロットを搭載している。

放電用 USB ポートからは、充放電用バッテリーに蓄えた電力を放電する。

また本システム図において実線は信号線、点線は電気線を表している。各センサへの電力供給は CPU である Arduino nano every から行い、CPU への電力供給は Li-po バッテリーが行う。またグラウンドはすべて共通である。

搭載機器の変更に伴い、システムブロック図と搭載計器一覧を変更した。

また図 4.13 に回路図を示す。

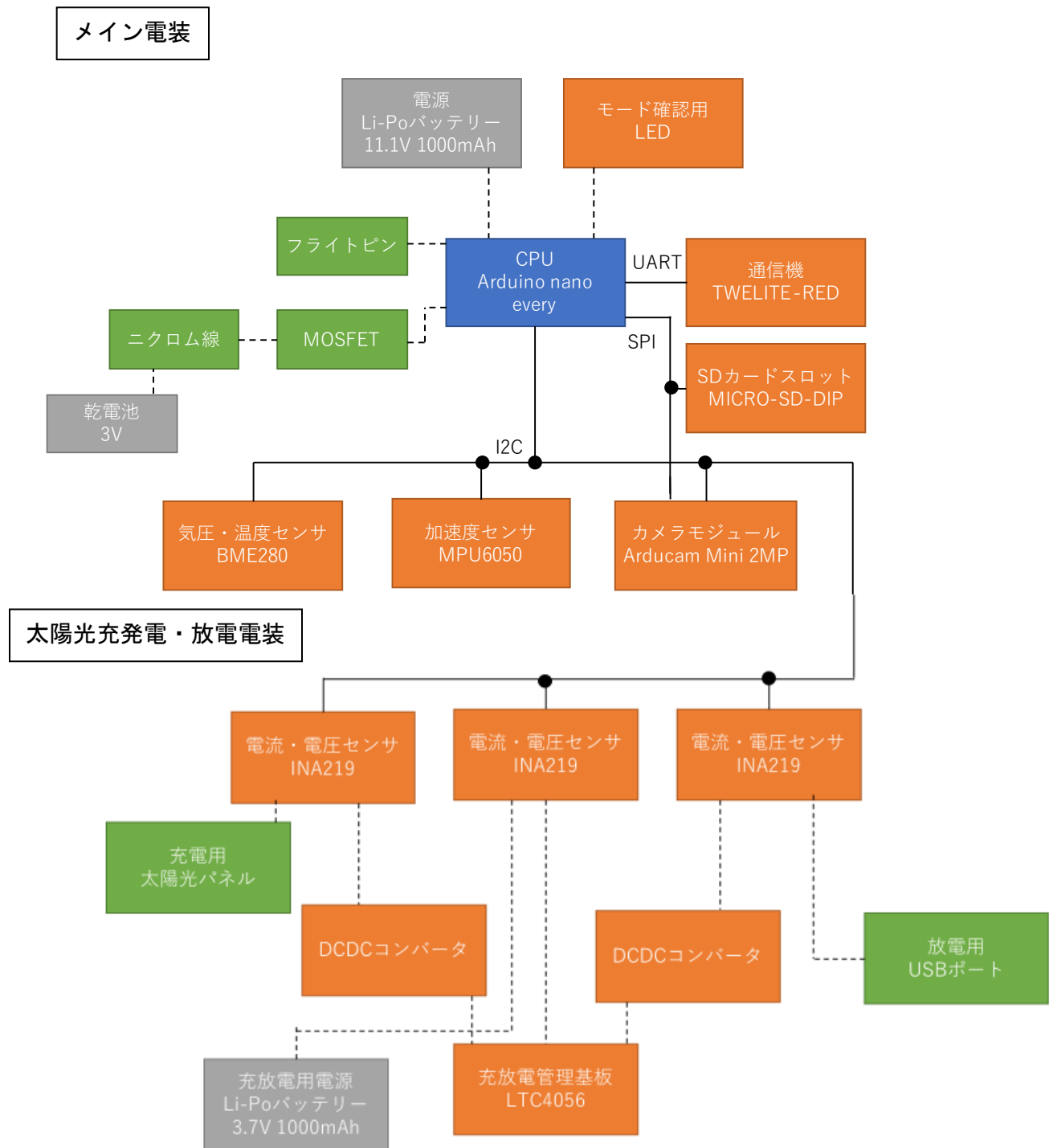


図 4.12 システム図

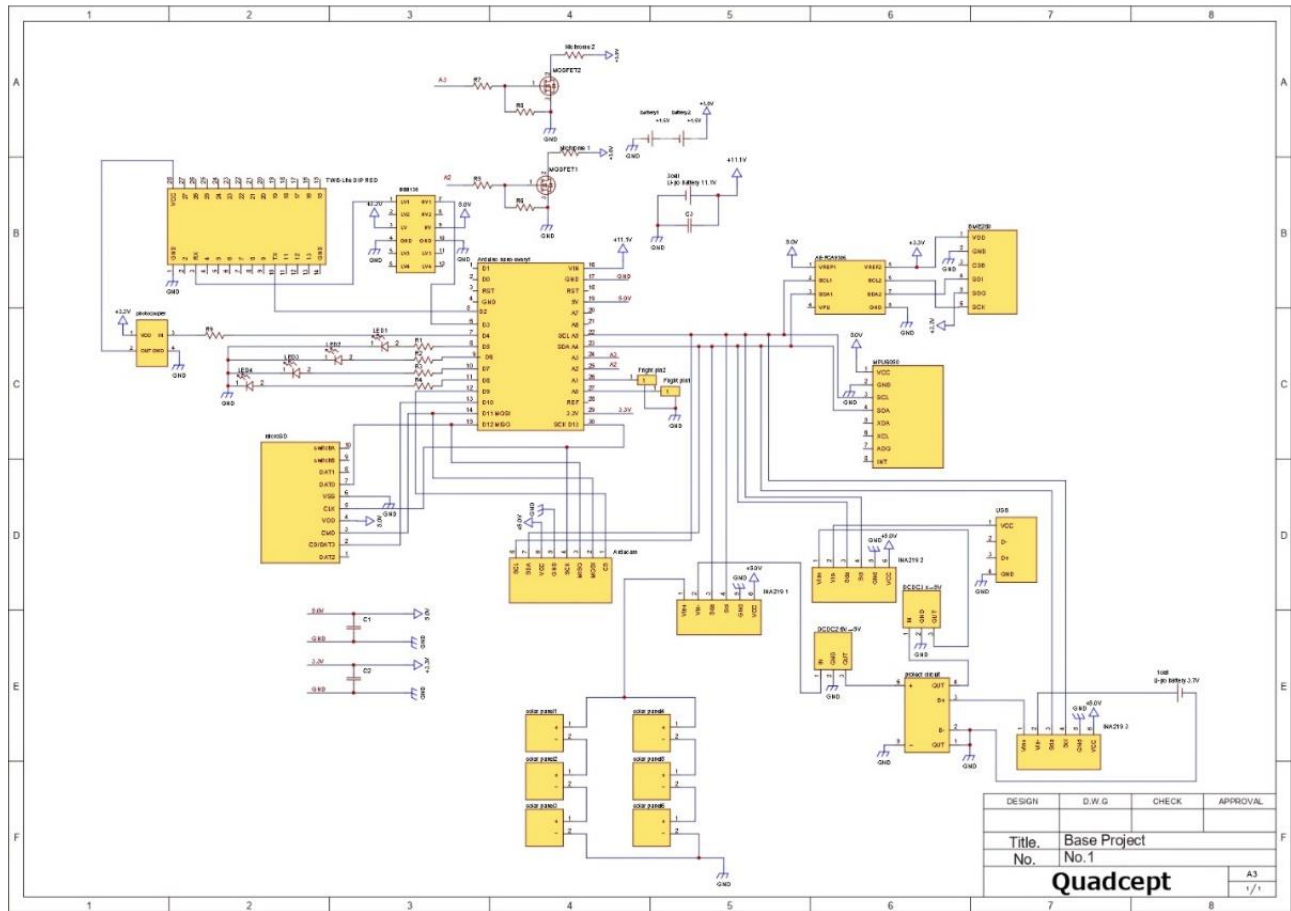


図 4.13 回路図

### 搭載計器一覧

下にシステム図に示した搭載計器を示す。

分類	名称・型番	入手先・参考情報等	備考
マイコン	Arduino nano every	秋月電子通商	
加速度センサ	MPU6050	Amazon	
温度・気圧センサ	BME280	秋月電子通商	
カメラモジュール	Arducam Mini 2MP	秋月電子通商	

電流・電圧センサ	INA219	Amazon	
SD カードスロット	マイクロ SD カードスロット	秋月電子通商	
無線通信機	TWELITE-RED	秋月電子通商	
充放電管理基板	LTC4056	Amazon	
太陽光パネル	SY-M 1.5W	秋月電子通商	
フライトピン	TBD	TBD	
DCDC コンバータ	KYES502-10	Amazon	
フォトカプラ	フォトカプラ	秋月電子通商	
USB ポート	USB コネクタ DIP	秋月電子通商	
microSD カード	16GB	TBD	
Li-Po バッテリー	KYPOM K6 11.1V 1000mA	KK HOBBY	電源用
Li-Po バッテリー	3.7V 1000mAh	Amazon	充放電用
LED	3mmLED	秋月電子通商	
乾電池	単三 エボルタ	TBD	溶断回路用
MOSFET	IRLB8721PBF	秋月電子通商	溶断回路用

#### 4. アルゴリズム

この CanSat はモード移行によってミッションを遂行する。各モードの詳細について簡潔に述べる。

- 放出待ちモード
  - フライトピンが抜けることでキャリアからの放出を判別する。  
判別した場合、無線機の電源を投入する。
- 着地待ちモード
  - 気圧の変化が一定値以内になることで着地したことを判別する。



判別した場合、パラシュートの分離動作を開始する。

- 静止待ちモード
  - 着地後転がっている最中に展開することを防ぐために3軸すべての加速度の値が一定値以下であることを判別する。  
判別した場合、展開動作を開始する。
- 定常モード
  - 基地局としての開設が完了した段階である。
- 画像撮影モード
  - 画像撮影を行う。

CanSat 電源投入時、つまりキャリア格納以前では放出待ちモードである。この時、無線通信はおこなわない。キャリアから CanSat 放出後フライトピンによる放出判定が行われることで着地待ちモードへと移行する。着地待ちモードでは過去 10 秒間の気圧変化が 0.5hPa 以下であるときに着地したことを判定する。0.5hPa とは同一高度においての気圧変化がない場合、気温 15 度において高度変化が 5m 程度である。その後、パラシュートの切断を行い、静止判定を行う。静止判定は過去 10 秒間 3 軸すべての加速度変化が  $0.1G (=0.98m/s^2)$  以下の場合 CanSat が静止したと判断する。静止判定を行った後展開動作を行い定常モードへと移行する。

定常モードでは気温、気圧、発電量、充電量のデータを取る。また、地上局からの指令により画像撮影モードへ移行し、撮影終了後定常モードへ復帰する。

着地及び静止判定ができなかった場合を想定し、放出判定後一定時間がたった場合強制的に展開する。時間は投下から着地までの想定時間より十分に長いものとする。

また、すべての状態においてデータ取得と保存は行っており、放出待ちモード以外では無線で送信する。

ワークフローを図 4.14 に示す。

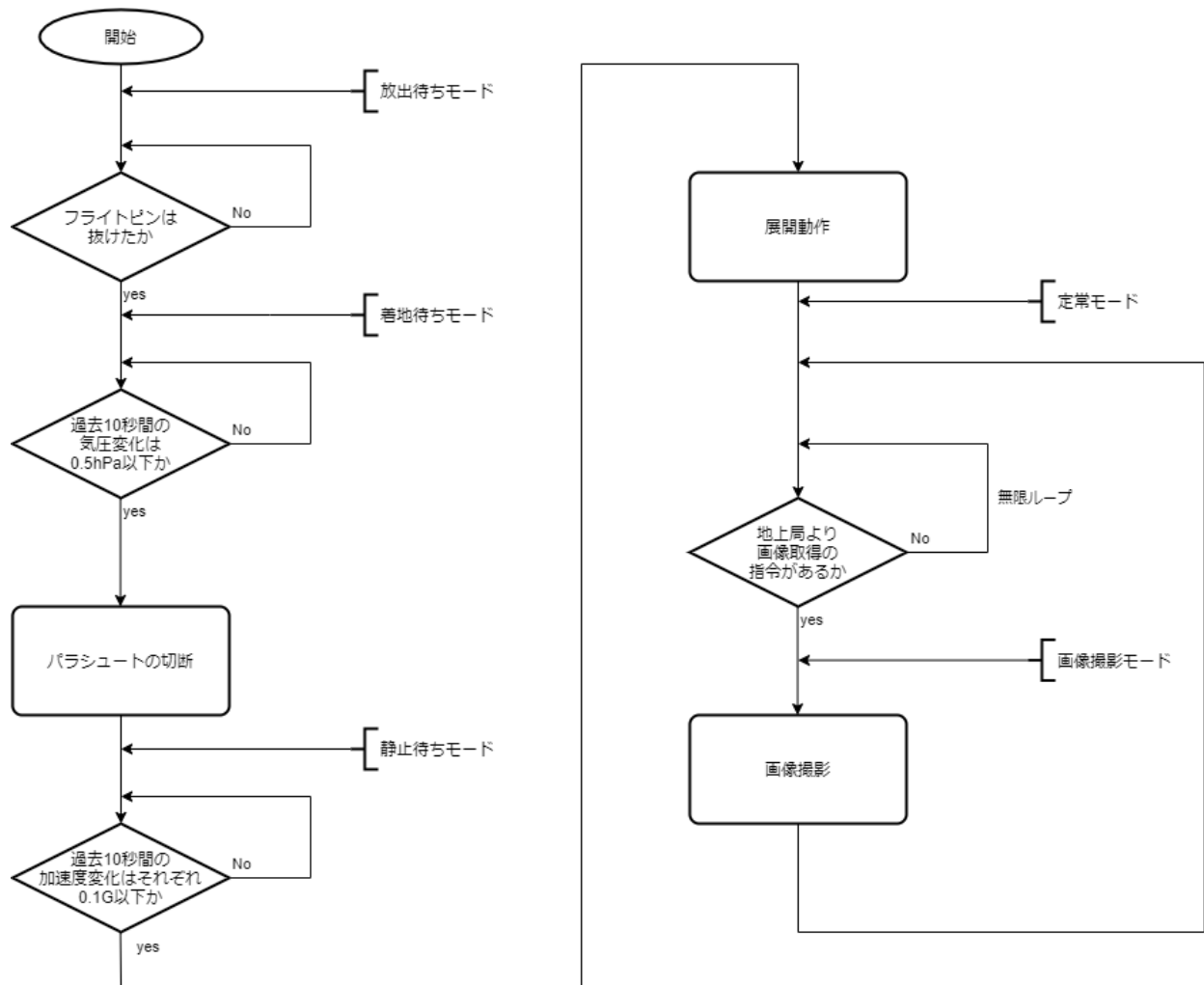


図 4.14 ワークフロー

ここで常に搭載機器一覧に掲載のセンサ類はすべてデータを取得し続けている。

モードは図 4.15 のように構成されている。

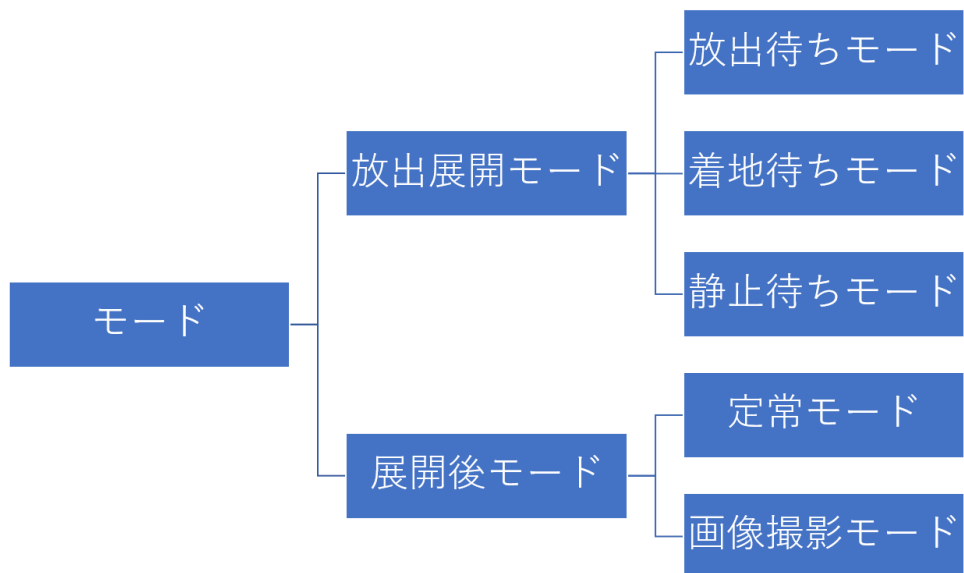


図 4.15 モード分類

## 第5章 試験項目設定

番号	検証項目名	対応する自己審査項目の 要求番号（複数可）	実施予定日
V1	質量試験	R1	8/20(完了)
V2	キャリア収納試験	R1	8/20(完了)
V3	通信距離試験	R2	8/19(完了)
V4	パラシュート投下試験	R3	8/12(完了)
V5	通信機電源 ON/OFF 試験	R7	8/19(完了)
V6	通信周波数変更試験	R8	8/19(完了)
V7	パラシュート分離試験	M2, M3	8/21(完了)
V8	着地衝撃試験	M4	8/22(完了)
V9	構造展開試験	M5	8/23(完了)
V10	太陽光発電蓄電試験	M6, M7, M13, M14, M15	8/24(完了)
V11	画像撮影発信試験	M10, M11	8/25(完了)
V12	太陽光充電使用試験	M12	8/24(完了)
V13	ロングラン試験	M16, M17	8/26(完了)
V14	End-to-end 試験	R9, M1~M17	8/27(完了)

今回、R4に対応する準静的荷重試験、R5に対応する振動荷重試験、R6に対応する衝撃荷重試験の実施は任意であるので、実施しない。今回は打上時にロケットを使用しないためである。

## 第6章 実施試験内容

### 1. システム要求を満たすための試験内容

#### (V1) 質量試験

##### ○ 目的

質量がレギュレーションを満たしていることを確認する。

##### ○ 試験/解析内容

質量計で測定を実施し、機体とパラシュートを含めた全ての質量が、レギュレーションに記載されている質量（1050g）以下であることを確認する。

##### ○ 結果

CanSat の質量を測定すると、892 gであった。その様子を図 6.1 に示す。



図 6.1 質量試験

##### ○ 結論

質量はレギュレーションを満たしている。

---

#### (V2) キャリア収納試験

##### ○ 目的

CanSat を素早く収納できるようにする。また、CanSat の大きさがレギュレーションを満たすことを確認する。

##### ○ 試験/解析内容

CanSat を 5 分以内で収納し，投下準備ができることを，動画に撮って示す．

○ 結果

内径がレギュレーションと等しいキャリアに，CanSat を収納することができた．その様子を図 6.2，図 6.3 に示す．また収納の過程を動画で示す．



図 6.2 キャリア格納試験(直径)



図 6.3 キャリア格納試験(高さ)

動画 : <https://youtu.be/VPICPiLGuqY>

○ 結論

CanSat を素早く収納することができる。また、CanSat の大きさはレギュレーションを満たしている。

---

(V3) 通信距離試験

○ 目的

CanSat と地上局との通信が 99m 以上の区間距離で行えることを確認する。

○ 試験/解析内容

2 人で行う。1 人が CanSat に搭載する通信機を、もう 1 人が地上局をもち、多摩川(東京都)の河川敷の直線距離上にそれぞれが立ち、地上局が通信機からの通信を受信するか確認する。

CanSat 側の通信機、地上局の通信機ともに、TWE-Lite RED に外付けアンテナを装着したものを使用する。99m 以上の通信距離の確認を目的としたのは、本番 70m 四方のフィールド内で確保できる最長距離がフィールドの対角線であり、それが  $70m \times \sqrt{2}$  より約 99m であるからである。

○ 結果

多摩川の河川敷で行った。CanSat 側の通信機を、CanSat が着地した高さを意識して地上に置いた。地上局が河川敷を東へ移動した。図 6.4 のように直線距離で約 260m まで通信を確認することができた。使用している TWE-Lite は 2.4GHz 帯のため、河川敷付近の住宅の Wi-Fi の電波と干渉すると考えられる。本番のフィールドはひらけた場所であるため他の電波の干渉を受けず、さらに長い通信距離を確保できると考えられる。



図 6.4 通信距離試験結果

○ 結論

通信機と地上局との通信が 99m 以上の区間距離で行える。

---

(V4) パラシュート投下試験

○ 目的

パラシュートが開傘し、5m/s 以上で十分に減速することを確認する。

○ 試験/解析内容

約 16m の高さからパラシュートを落とし、パラシュートが開傘し落下速度が減少するかを検証する。終端速度が 5m/s 以上になれば設計値どおりであるといえる。当試験は図 6.5 のように EM を落下させる。





図 6.5 試験に用いた EM

○ 結果

11月12日に再試験を行った。投下試験は2回行い、そのうち2回目を動画で示す。2回の試験の解析結果を表6.1に示す。解析は、EMに搭載していた microSD カードに記録されていた気圧のログをもとに行った。

動画：<https://youtu.be/m8ReEjJrpy0>

表 6.1

	終端速度
1 回目	5.35 m/s
2 回目	5.94 m/s
平均	5.65 m/s

○ 結論

パラシュートは減速し終端速度 5m/s **以上**で落下する。

---

(V5) 通信機電源 ON/OFF 試験

○ 目的

放出判定後に通信が始まることを確認する。

○ 試験/解析内容

放出判定に使用するフライトピンを抜くと通信機のスリープモードが解除され、地上局で通信を受信できるようになることを確認する。ただし、今回使用する通信機 TWE-Lite RED は 10mW 級でありレギュレーションの出力 100mW 以下であるからキャリア格納時通信機を OFF にする必要はない。また今回使用する通信機 TWE-Lite RED は FCC 認証を受けている。

○ 結果

EM 搭載用の電装を用いて試験を実施した。実験時の様子を動画で示す。

動画 : <https://youtu.be/QmzwcTf-Cf4>

○ 結論

動画よりフライトピンが抜ける前、つまりキャリア格納時には通信を行っておらず放出後に通信を正常に開始できる。

---

(V6) 通信周波数変更試験

○ 目的

通信機の周波数を変更できることを確認する。

○ 試験/解析内容

地上局側、CanSat 側ともに搭載した通信機は TWE-Lite である。これは専用のアダプタでパソコンに接続し、専用のアプリで受信/送信チャンネルを変更することができる。TWE-Lite は 11~26 の合計 16 チャンネルをもち、各チャンネルは表のような周波数と対応している。(参照 : <https://mono-wireless.com/jp/products/TWE-APPS/interactive.html>)

この試験では TWE-Lite のチャンネルを変更する。

○ 結果

もともと 18 チャンネルであった TWE-Lite を 11 チャンネルに変更した。パソコンに接続してチャンネル変更している様子を図 6.6 に示す。CanSat 側の通信機は固定しているが取り外しもできるように設計されているので、必要に応じて通信機のチャンネルすなわち周波数を変更することが可能である。

```
--- CONFIG/TWE_UART_APP_V1-04-1/SID=0x82015df9/LID=0x78 -E ---
a: set Application ID (0x67720103)
i: set Device ID (120=0x78)
c: set Channels (18)
x: set RF Conf (3)
r: set Role (0x0)
l: set Layer (0x1)
b: set UART baud (115200)
B: set UART option (8N1)
m: set UART mode (D)
k: set Tx Trigger (sep=0x0d, min_bytes=0 dly=100[ms])
h: set handle name []
C: set crypt mode (0)
o: set option bits (0x00000000)

S: save Configuration
R: reset to Defaults

Input Channel(s) (e.g. 11,16,21): 11-> 11
--- CONFIG/TWE_UART_APP_V1-04-1/SID=0x82015df9/LID=0x78 -E ---
a: set Application ID (0x67720103)
i: set Device ID (120=0x78)
c: set Channels (11)*
x: set RF Conf (3)
r: set Role (0x0)
l: set Layer (0x1)
b: set UART baud (115200)
B: set UART option (8N1)
m: set UART mode (D)
k: set Tx Trigger (sep=0x0d, min_bytes=0 dly=100[ms])
h: set handle name []
C: set crypt mode (0)
o: set option bits (0x00000000)

S: save Configuration
R: reset to Defaults
```

図 6.6 無線機のチャンネル変更画面

○ 結論

通信機の周波数を変更することができる。

## 2. ミッション要求を満たすための試験内容

### (V7) パラシュート分離試験

○ 目的

着地判定後パラシュートを CanSat から分離できることを確認する。

○ 試験/解析内容

開傘衝撃を模して、CanSat に接続しているパラコードを引っ張り、フライトピンを抜く。その後マイコンが着地判定をしてニクロム線がパラコードについたテグスを溶断し、パラシュートを CanSat から分離させる。

○ 結果

パラコードを引っ張るとフライトピンが抜け、その後マイコンが着地判定をしたことでニクロム線の加熱が始まった。その後テグスが溶断され、パラシュートが分離された。試験の様子を動画で示す。

動画：<https://youtu.be/LLcmeAGQv7M>

○ 結論

着地判定後パラシュートを CanSat から分離できる。

#### (V8) 着地衝撃試験

- 目的

CanSat が着地したときに、電子部品が外れないこと、機体が破損しないこと、ソフトウェア上でリセットがかからないことを確認する。

- 試験/解析内容

パラシュートをつけた CanSat を高所から減速落下させ、構造上の破損がないか目視で確認する。その後マイコンの動作確認をする。

- 結果

高さ約 13.2m の外階段から落下させた。本番、同じ機体を用いることを想定して 3 回投下を行った。

3 回目の投下後の CanSat の様子を図 6.7 に示す。構造上はアルミ板などの目立った変形は見られなかった。電子部品の破損も見られず、ソフトも正常に動作した。



図 6.7 投下試験後の CanSat

3 回目の投下の様子を動画で示す。

動画 : <https://youtu.be/gUQjCUidtY8>

- 結論

CanSat 着地後に電子部品が外れない、ミッションに影響を及ぼす機体の破損がない、ソフトウェア上でリセットがかからない。

#### (V9) 構造展開試験

- 目的

CanSat が着地判定後に展開することを確認する。

- 試験/解析内容

ソフト上で着地判定および静止判定を行った後、CanSat 外側のアルミ板を留めているテグスがニクロム線の加熱によって溶断され、CanSat を展開させる。本番 CanSat が下面、側面、上面のどの面を下にして着地するかわからないので、その4面が下になった場合を想定してそれぞれ試験を行った。

○ 結果

すべての場合で CanSat を展開させることができた。その様子を動画で示す。

動画①：下面を下にして着地したとき

<https://youtu.be/Jcw0u70hob4>

動画②：側面 1 を下にして着地したとき

<https://youtu.be/7GDCT2LvbdA>

動画③：側面 2 を下にして着地したとき

<https://youtu.be/7aApy0oSl-g>

動画④：上面を下にして着地したとき

<https://youtu.be/4R1ni0nsg2I>

○ 結論

CanSat は着地判定後に展開する。

(V10) 太陽光発電蓄電試験

○ 目的

太陽光発電で得た電気を Li-Po バッテリーに蓄電できるか確認する。

○ 試験/解析内容

屋外に CanSat を放置する。電流・電圧センサで発電電力と蓄電電力を確認する。

○ 結果

屋外に CanSat を放置している様子を図 6.8 に示す。



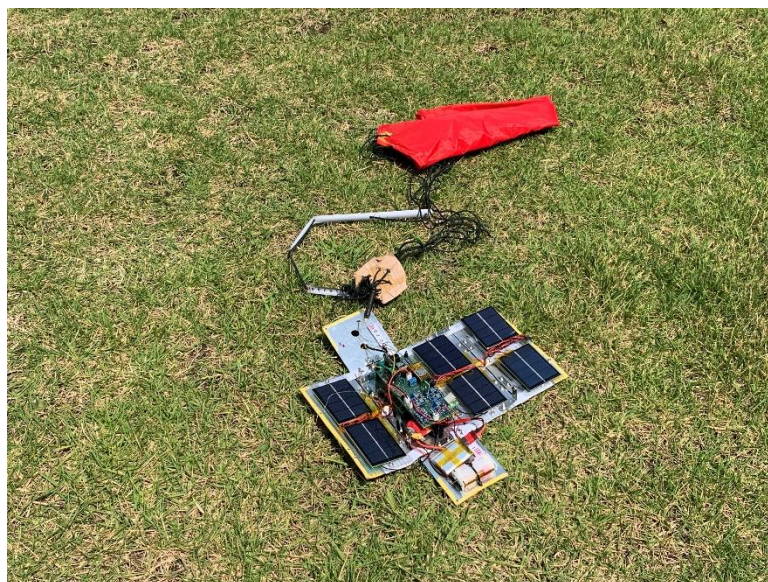


図 6.8 放置中の CanSat

発電電圧，電流の結果と充電電圧，電流の結果を図 6.9，図 6.10 にそれぞれ記載する。横軸 300 秒程度で CanSat を格納し，800 秒程度で展開した。2300 秒程度で試験を終了した。

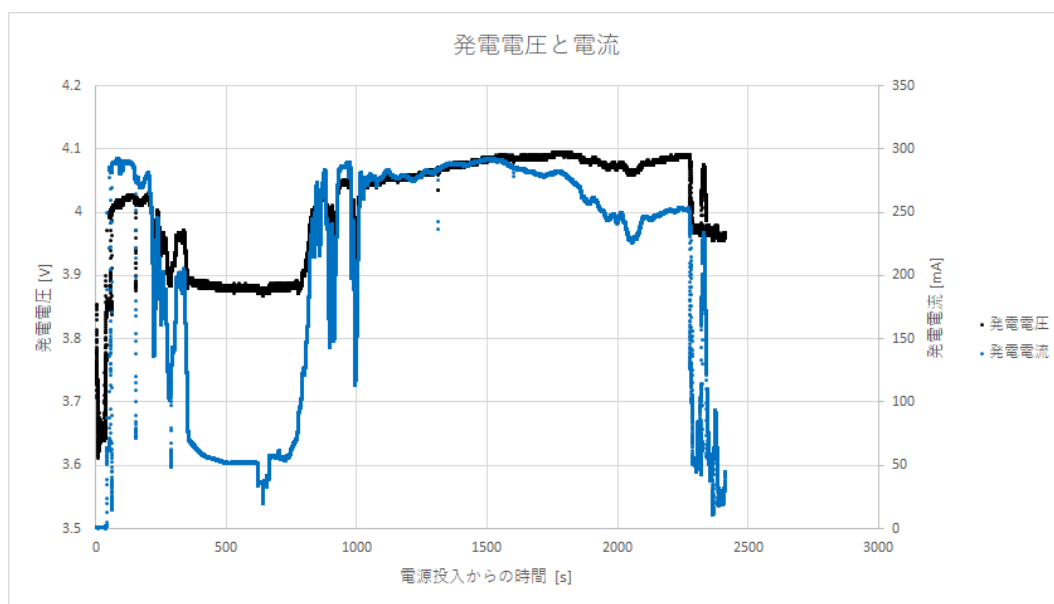


図 6.9 発電電圧，電流の結果

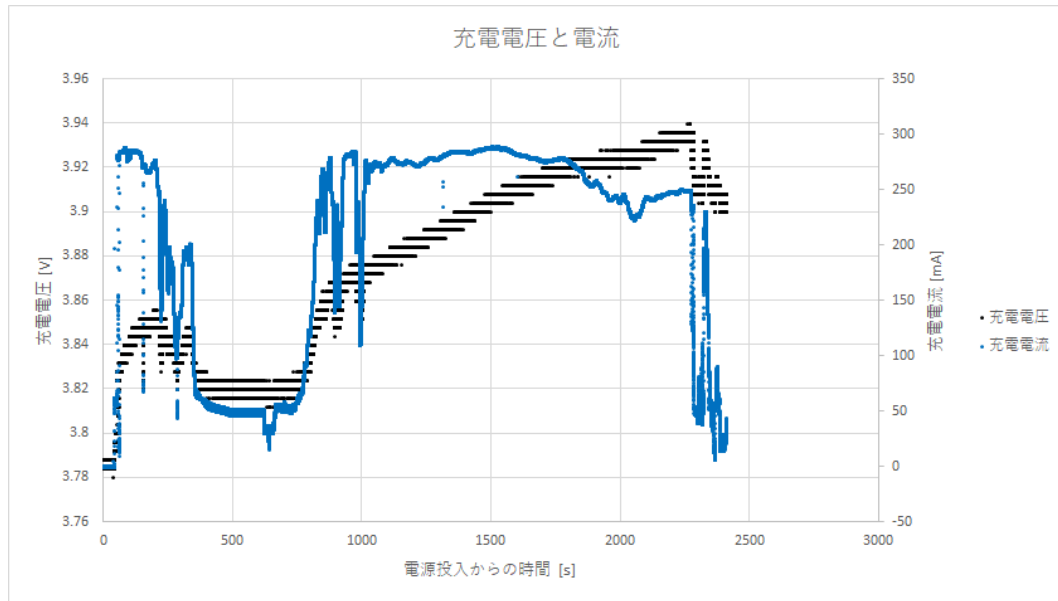


図 6.10 充電電圧, 電流の結果

また, 総量について図 6.11 に示す.

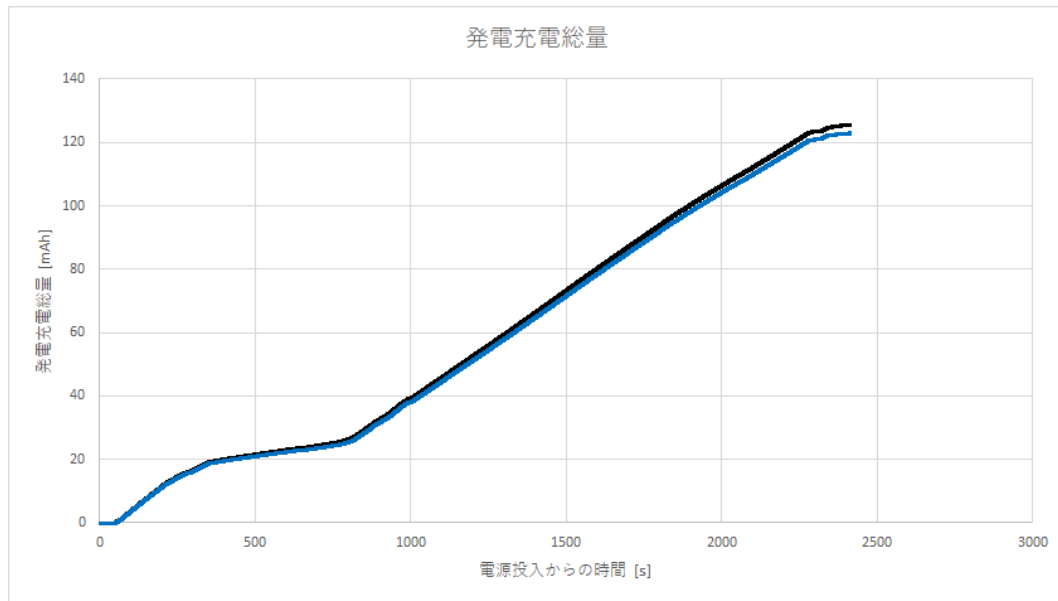


図 6.11 発電充電の総量

黒線が発電量で青線が充電量である. 全体で 2mAh の損失が発生した.

○ 結論

太陽光発電で得た電気を Li-Po バッテリーに蓄電できることを確認した.

(V11) 画像撮影発信試験

- 目的  
カメラで撮影した画像を地上局に送信できることを確認する。
- 試験/解析内容  
カメラで画像を撮影し、通信機で画像を地上局に送信する。
- 結果  
EM 電装を用いて画像を撮影した。jpg 画像を取得しバイナリでデータを送信し、地上局(PC)上で jpg 画像として表示した。



図 6.12 撮影した画像

- 結論  
画像を取得することができることを確認した。

(V12) 太陽光充電使用試験

- 目的  
太陽光発電で得た電力を使用できるか確認する。
- 試験/解析内容  
V10 を行った後に、USB ポートにスマートフォンを接続する。スマートフォンが充電を開始するかを見る。



- 結果  
スマートフォンが充電を開始することを確認した。  
動画 : <https://youtu.be/XKj3SF9FQro>
- 結論  
太陽光発電で得た電力を使用することができる。

#### (V13) ロングラン試験

- 目的  
CanSat の電装が 2 時間以上駆動することを確認する。
- 試験/解析内容  
CanSat の電装をつなぎ、Li-Po バッテリーの放電試験を行った。電圧の測定は 5 秒間隔で行った。本番を想定し電源投入後 30 分後にフライトピンを抜きフライトモードに移行した。
- 結果  
Li-Po バッテリーの放電試験の様子を図 6.13 に、Li-Po バッテリーの電圧と時間の記録を図 6.14 に示す。初めて Li-Po バッテリーの下限電圧である 9V を下回ったのは 7 時間 26 分後である。

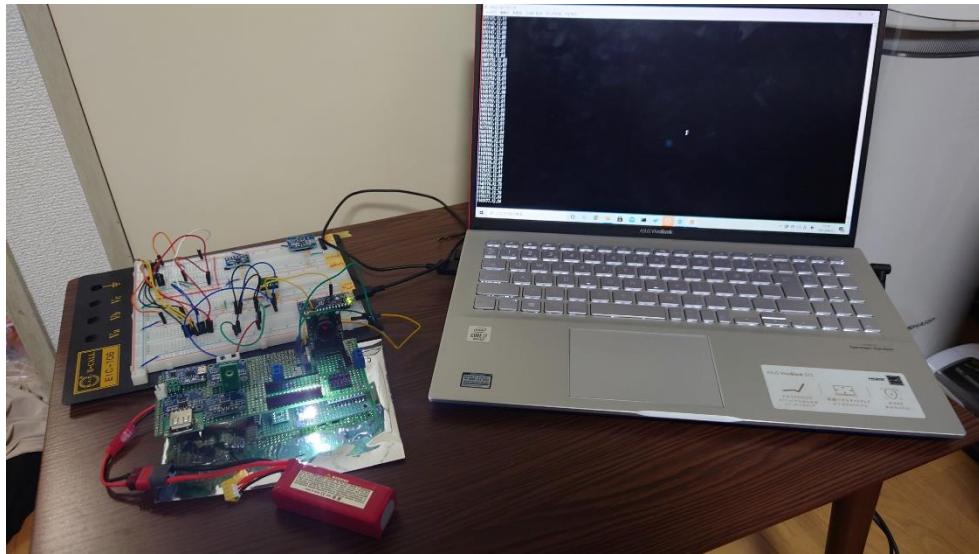


図 6.13 Li-Po バッテリーの放電試験の様子

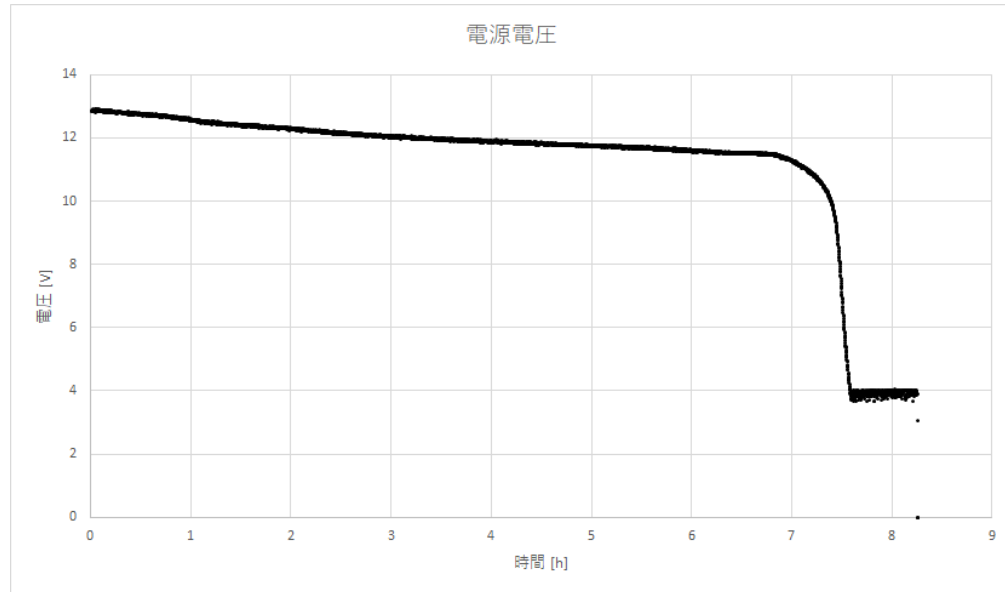


図 6.14 電圧と時間の記録

○ 結論

CanSat の電装が 2 時間以上駆動することを確認した。

(V14) End-to-end 試験

○ 目的

CanSat の投下から回収までを模擬し、シーケンス中に構造的、電装的な異常なくミッション達成ができることを確認する。

○ 試験/解析内容

次の手順で行った。以降、次の手順を「試験手順」とする。

1. CanSat の電源を投入し、組み立てる。
2. CanSat を顔の高さ (約 160cm) から自由落下させる。(注 1)
3. 放出判定用のフライトピンを抜く。(注 2)
4. 着地後に CanSat の展開、定常モードの開始を確認する。
5. CanSat を約 30 分放置する。
6. 充電した電力を消費する。

(注 1) 高いところから落下させその後ミッションを継続させられる環境がなかったため、当試験では減速落下の過程を省略する。減速落下すること、CanSat が着地衝撃に耐えられることはそれぞれ V4, V8 で実証済みである。

(注 2) パラシュートの開傘がないため、フライトピンを手動で抜く。今回は CanSat を落下させるときに CanSat の自重でフライトピンを抜いている。パラシュー

ト開傘によってパラコードに生じる張力でフライトピンが抜けることは V7 で実証済みである。

## ○ 結果

試験手順を、構造的、電装的な異常なく実施することができた。

試験は 30 分以上に及んだため、動画を 2 つに分割した。動画①を撮影した約 30 分後に動画②を撮影した。

動画①：落下-着地-展開（試験手順 2, 3, 4）

<https://youtu.be/IVxpxfqN1Xw>

動画②：電力の使用（試験手順 6）

<https://youtu.be/h21SPigGXjc>

当試験での発電量の記録を図 6. 15 に示す。試験手順 6 においてタブレット端末の充電開始反応を確認した。しかし天候不良により発電量が少なかったため、給電は短時間で終了した。

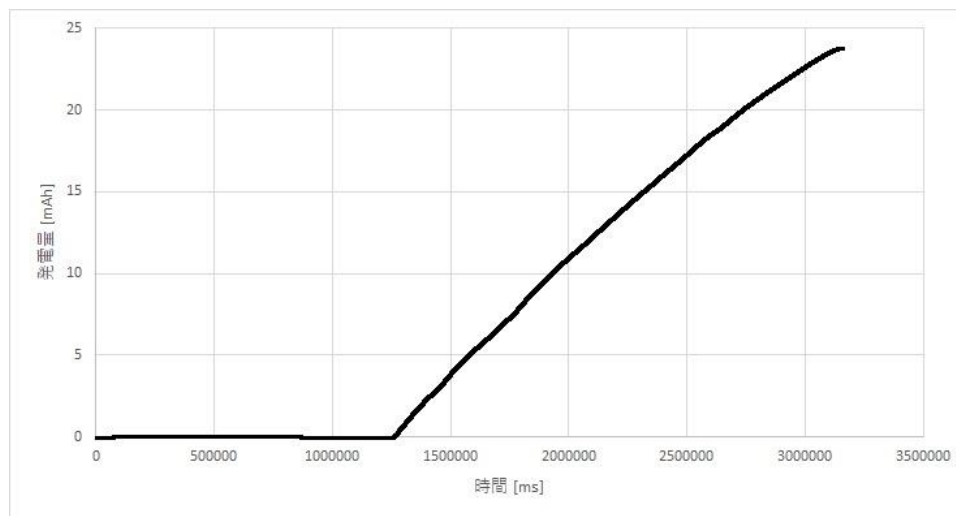


図 6. 15 発電量

## ○ 結論

シーケンス中に構造的、電装的な異常なくミッション達成ができる。

## 第7章 工程管理、ガントチャート（スプレッドシートを推奨）

### 各担当（ハード・ソフト・全体などの進行状況・予定を記入）

当プロジェクトは次の日程で製作を進めた。各 DR では佐原先生や佐原研究室の先輩方にご意見や助言をいただいた。

2021 年 4 月 7 日：プロジェクト始動

2021 年 4 月 22 日：MDR

2021 年 5 月 17 日：SDR

2021 年 6 月 25 日：PDR

2021 年 8 月 12 日：CDR

2021 年 10 月 22 日：全試験完了

8 月中に EM の、10 月の全試験完了までに FM1 機目の製作が完了した。その後大会本番までに FM2 機目、FM3 機目の製作を完了した。

ガントチャートの URL を次に示す。

[https://docs.google.com/spreadsheets/d/15RVCrC0VRbXtK\\_e6Z\\_L-\\_ztB2nHjv9SD0IMt5f10aGQ/edit?usp=sharing](https://docs.google.com/spreadsheets/d/15RVCrC0VRbXtK_e6Z_L-_ztB2nHjv9SD0IMt5f10aGQ/edit?usp=sharing)

## 第8章 大会結果報告

### 1. 目的

惑星上で探査を行う別の CanSat に電力を供給するための基地局の実現可能性を検証する。

### 2. 結果

#### 2.1 投下1回目

パラシュートが開傘せず自由落下し、着地後に動作しなかった。自由落下の様子の動画のリンクを下に示す。また落下後の機体の様子を図 8.1, 図 8.2 に示す。自由落下による着地衝撃で、基板の1枚目と2枚目を接続していたスペーサが破損し、基板が傾いている。キャリアからの放出を判定するフライトピンは抜けていた。したがって着地後は1枚目と2枚目の接続が切れたことが原因で、動作しなかったと考えられる。その後動作試験を行うと、基板自体の動作不良は確認されなかった。

また、正常な展開ではなかったためミッション部の動作は行わなかった。

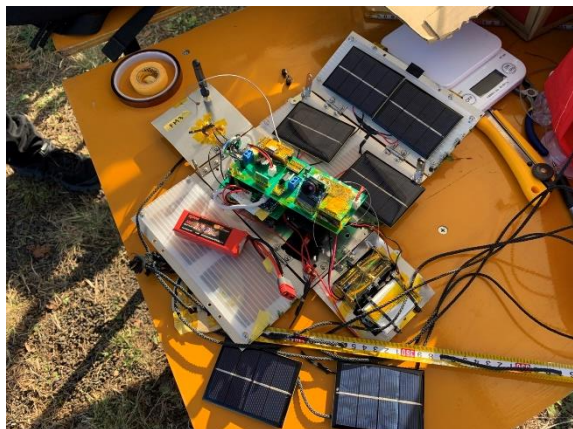


図 8.1 傾いた基板

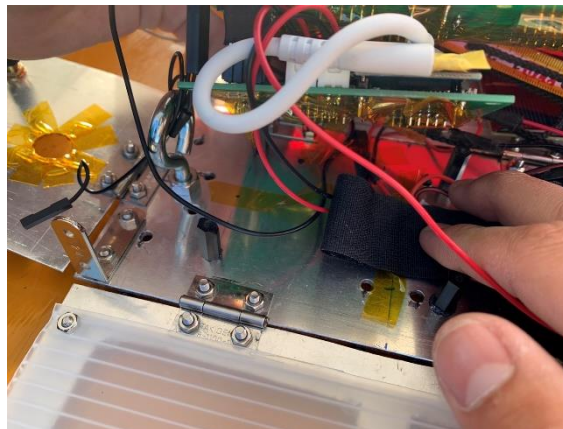


図 8.2 破損したスペーサ

投下1回目動画：<https://youtu.be/9cMV3eI ZZ00>

#### 2.2 投下2回目

パラシュート開傘、着地後の構造展開、無線通信の継続を確認した。無線通信については基地局周辺の画像の撮影および発信はできたが、受信はできなかった。投下後フィールド内に約40分放置した後、フィールド外に放置を続け、最終的に搭載していたUSBケーブルとスマートフォンを接続した。スマートフォンの充電が4%上昇したことを確認した。したがってミニムサクセス、フルサクセスは達成したと判断した。

SDカードに保存できたデータを次に示す。

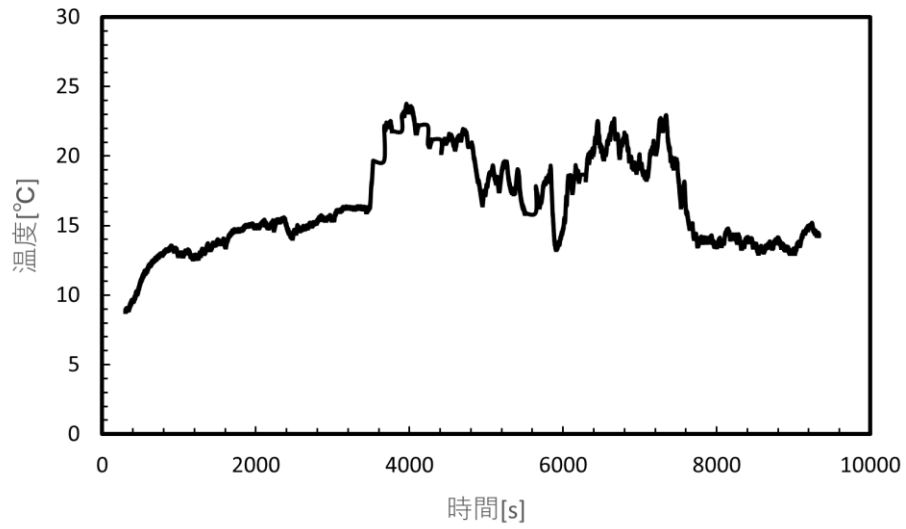


図 8.3 温度-時間のグラフ

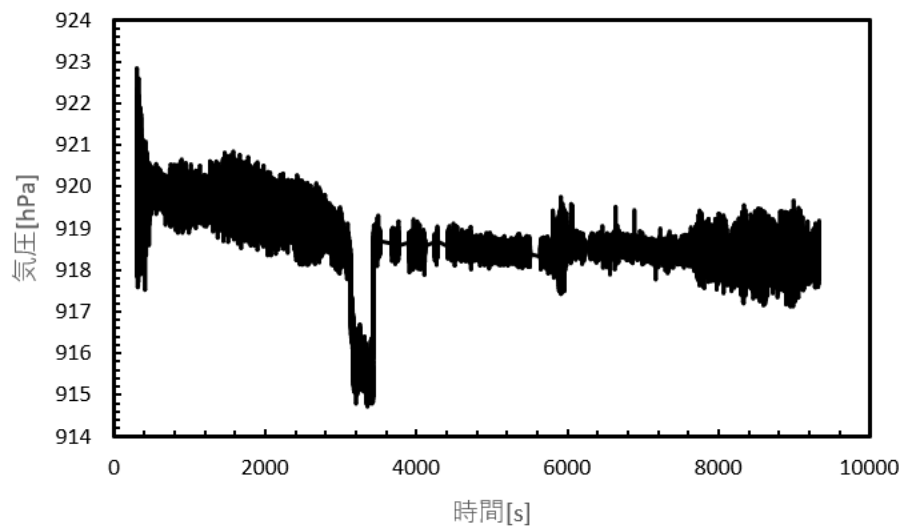


図 8.4 気圧-時間のグラフ

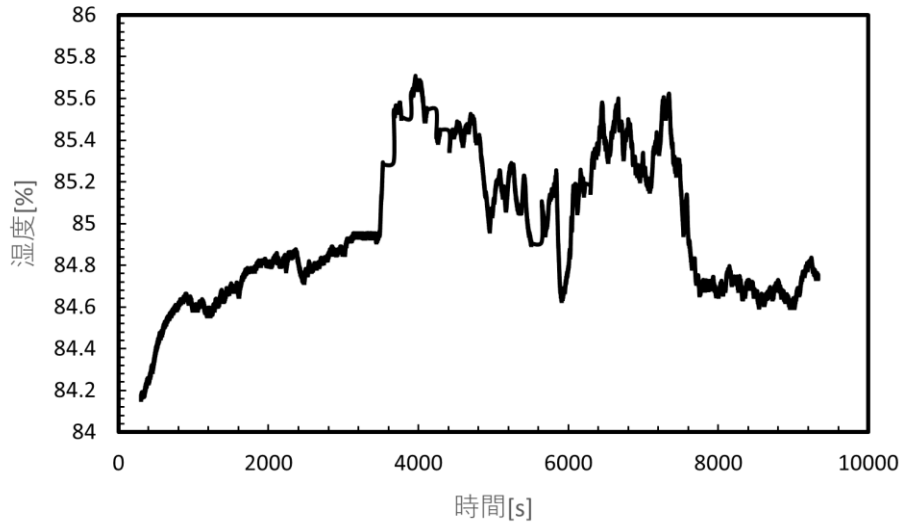


図 8.5 湿度-時間のグラフ

図 8.3 を見ると、ある時間から温度が上昇していることがわかる。これは、機体が展開し直射日光を受けたためであると考えられる。その後、天気は晴れと曇りを繰り返していたため、湿度が上昇と下降を繰り返していると考えられる。

図 8.4 を見ると、ある時間で急激に気圧が減少していることがわかる。これは機体の落下による高度の急激な変化によって起きていると考えられる。その後は 918~920hPa の値をとっていることがわかる。これは機体が高度の変化がない状態であったためと考えられる。

図 8.5 を見ると、ある時間から湿度が上昇していることがわかる。図 8.3 と比較して、これは機体が展開したためと考えられる。その後の湿度の値の変化の様子もおおまかに図 8.3 と同じであると考えられる。

以上から、温度、湿度の値の変化によって機体が受ける直射日光の有無を確かめることができると考えられる。また、気圧の変化によって機体の高度が変化していることを確かめることができると考えられる。

図 8.6、図 8.7 に X 軸、Y 軸、Z 軸の加速度を示す。図 8.6 ではグラフの重なりにより Y 軸が見えないため、Y 軸は図 8.7 に記載した。着地時の衝撃は、加速度の合成により 9.40G であった。その後しばらく X 軸が 1G、Y 軸と Z 軸が 0G のまま加速度変化がない。従って着地後に機体が風等によって転がることはなく、静止していたことがわかる。その後は移動の際に加速度変化があったことがわかる。

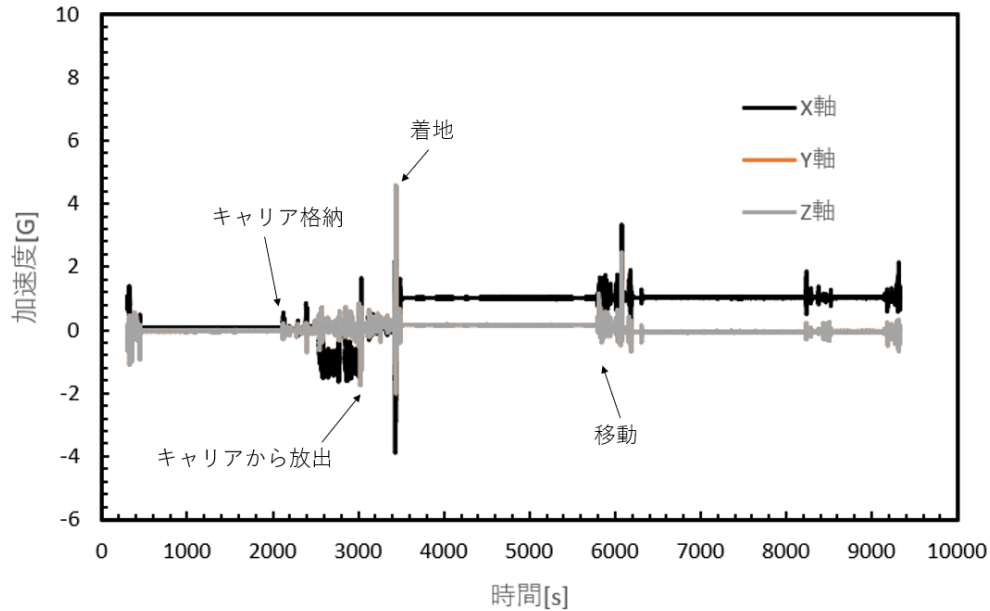


図 8.6 X 軸・Z 軸加速度-時間のグラフ

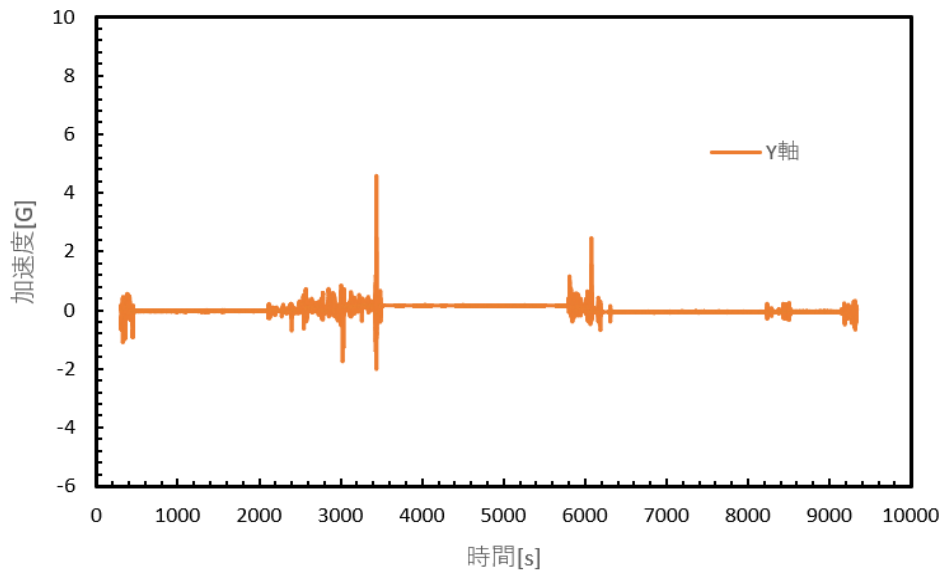


図 8.7 Y 軸加速度-時間のグラフ

次に、ミッション部の評価を行う。

まず、太陽光発電による充放電である。本実験ではフィールド上でフィールドの使用限界時間まで発電を行い、フィールド外でタブレット端末に接続することで放電を行う予定であった。実際は運営の方のご厚意により投下後もフィールド内で発電を継続した。

結果として次のような発電量が得られた。図 8.8 に発電電圧値にシーケンスの様子を加えたもの、図 8.9 に発電電流、図 8.10 に総発電量を示す。時間軸が一致しているためシーケンスの様子は図 8.9、図 8.10 においても適用される。



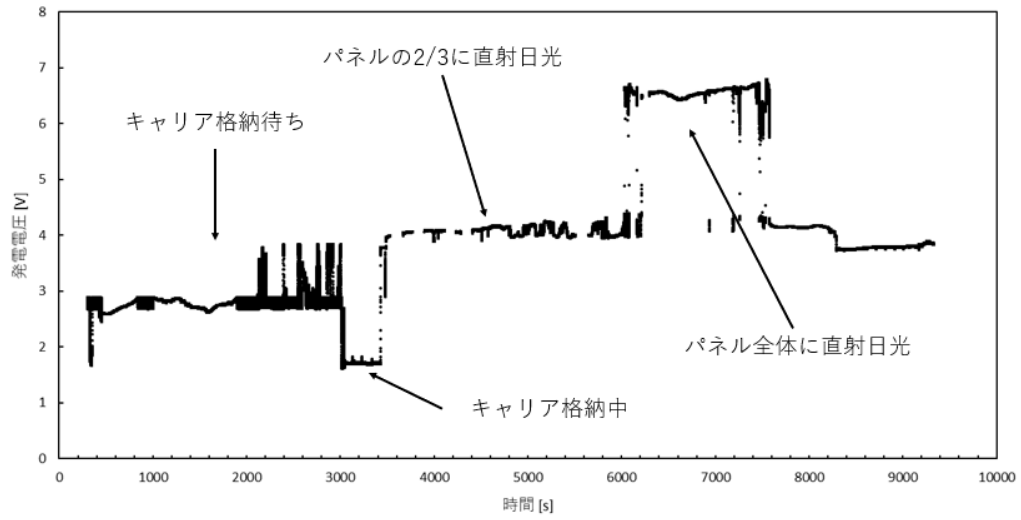


図 8.8 発電電圧値

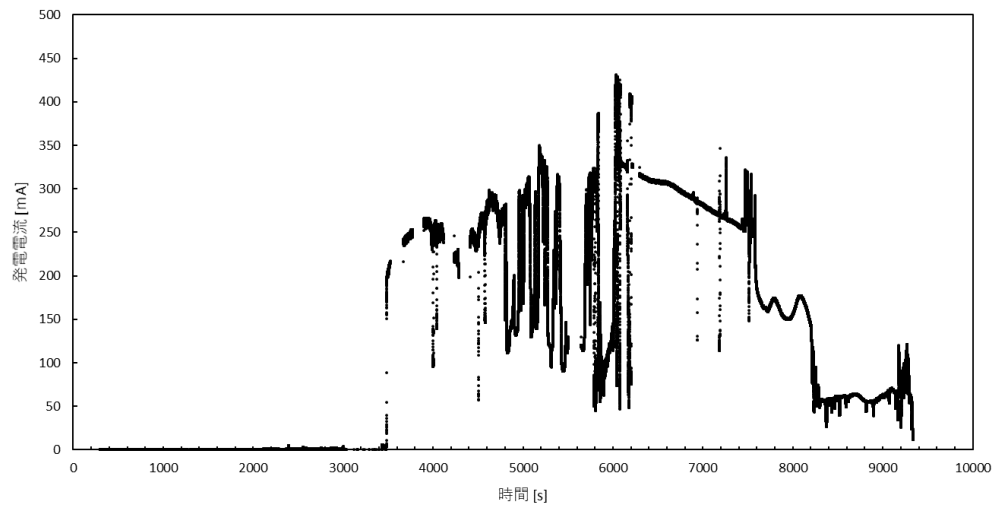


図 8.9 発電電流値

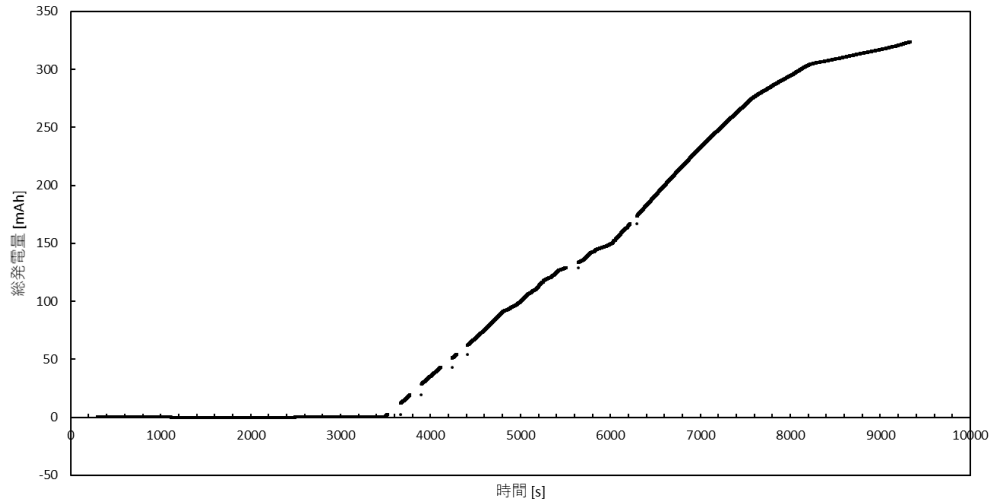


図 8.10 総発電量

以上より構造が展開してから発電を開始し、1時間30分程度で323mAh発電した。発電電流が上下しているのは雲に隠れるなど、日光が少しでも遮られることに機敏に反応したためである。

次に放電量について評価した。Li-Poに充電方向に電流が流れたときに増加、Li-Poに放電方向に電流が流れたときに減少するようにグラフをとった図が図8.11である。

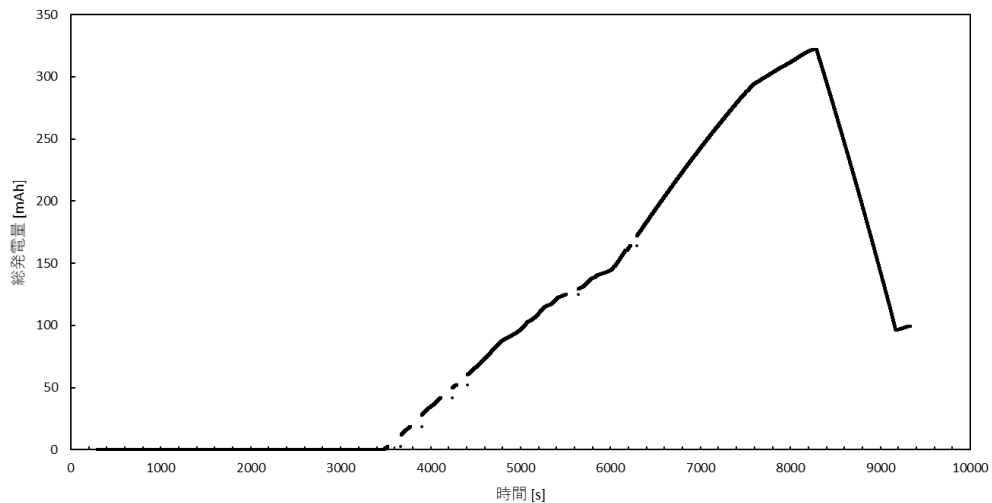


図 8.11 総充放電量

総充放電量のピークが放電の開始タイミングである。この時放電は800-900mAで行われた。これは発電量をそのままタブレット端末に供給することができるため発電量に応じてLi-Poからの出力が変化したためである。放電時の様子を図8.12に示す。



図 8.12 放電の様子

この放電により図 8.11 の記録より 226mAh 放電を行った。また、試験に使用したタブレット端末は 4%充電された。

次に画像の撮影の評価を行う。地上局からの指令により画像の撮影を複数回行うことができた。一例を図 8.13 に示す。



図 8.13 撮影した画像

この画像により基地局周辺の現在の天候などを判断することができた。ただ、周辺の植生の草丈が高く基地局周辺の地面の情報を取得することはできなかった。

また、画像の無線送信結果を図 8.14 に示す。



図 8.14 画像の無線送信結果

無線で送信したところ画像データに損傷が生じた。受信したファイル形式として認識しているためファイル構造は維持できたが本体のイメージデータのみ破損と考えられる。また画像上方はとぎれとぎれであるがデータが損傷することなく送信できている。

投下 2 回目動画 : <https://youtu.be/uIIIfQ1CmvVg>

投下 2 回目放電試験動画 : <https://youtu.be/OY92EZm9bqU>

### 3. 考察

「2. 結果」で記載のとおり、1 回目の投下はパラシュートが開傘せず自由落下し、2 回目の投下はミッションを最後まで遂行することができた。

まず 1 回目の投下について考察する。パラシュートが開傘しなかったのはパラコードどうしが絡まったからであると考えられる。図に 1 回目の投下を撮影した動画のスクリーンショットを示す。パラコードどうしが全体的に絡まってしまって布が開けない様子がわかる。この原因はパラコードが長かったこと、パラコードに添えていたコンベックスによって他のパラコードが絡まりやすくなっていたこと、キャリア収納の直前にパラシュートを開いて確認しなかったことの 3 点であると考えている。1 点目は布の投影面積をできるだけ大きくしようとして設計したことであったが、その分パラコードどうしの接触面積が大きくなるため絡まりやすくなってしまった。2 点目は、着地したときに布が機体に被ってしまうリスクを避けるためにパラコード 1 本にコンベックスを添えていたが、そのコンベックスが他のパラコードが少しねじれたり絡まったときに戻りにくくさせる原因になっていたと考えている。3 点目については、テントで投下準備をしている段階で布を開き、パラコードをそのまま束ねテープで固定していた。その後パラコード全体のねじれ等が生じ、不開傘の原因になってしまったと考えられる。

2回目の投下では2点目と3点目を改善した。コンベックスを取り除き、現地審査の直前にパラシュートを一度開き、丁寧に折りたたんだ。その結果、2回目の投下ではパラシュートはうまく開傘することができた。

## 第9章 まとめ

### 1. 工夫・努力した点（ハード、ソフト、マネジメント面すべて）

#### 1.1 ハード

基盤を2層に分ける際、上下につながる線ができるだけ少なくなるようにした。また、パラシュートと機体の分離にニクロム線を用いたが、ニクロム線は数回使うと劣化してしまい、外れてしまうためこまめに取り換えた。

機体自体で最も工夫したのは、機体がどの面を下にして着地しても展開できるようにバネや丸めたコンベックスをつけたことである。着地する芝生は柔らかいため、機体の展開が難しい向きでも安定して着地するという課題点があった。そのため開発期間中に芝生上での展開実験を繰り返し、バネの個数やコンベックスの形状を試行錯誤して決定した。

#### 1.2 ソフト

今回ほぼすべてのコードを一人で作成した。結果的に全体として統一性のあるプログラムになったが、私以外のメンバーが内容を理解していないなどの弊害が生じた。統一性のある簡潔なコードを書くことは重要であるが、関数の input, output を整理するなどし可読性を高める必要があった。

また、各センサのデータ取得を別ファイルで記載した。よって、プログラムを短くまとめることができ、同時に再使用性が高まったことは評価するべきである。

#### 1.3 マネジメント

タスクの管理は基本的にガントチャートを用いて行った。開発活動が本格化した8月以降は各メンバーの欄を設けた日程表を作成し、細かくタスクや締め切りを割り振った。それにより各メンバーがいつまでに何をやるかが明確になり、3人という少人数でも大きな遅れなく開発を進めることができた。

開催日が延期になった時点ですべての試験を完了していたため、時間に余裕が生まれ、妥協点の追求を行うことができた。またもともとFMを2機製作する予定であったが、3機製作することができた。実際本番では使用を予定していた基板の調子が悪く、他の2つの基板から一番状態の良い基板を搭載することができた。よって3機製作できて良かったと思う。

## 2. 課題点

### 2.1 パラシュートの構造

1回目の投下でパラシュートが開傘しなかったことから、パラシュートの構造は課題点にあげられる。パラコードの長さが1mと長めであったため、これを短くしても目標終端速度に見合った投影面積を得られるように設計するべきであった。またミッション要求M3「着地時に減速機構がCanSatにかぶさらないこと」の仕様としてつけたコンベックスが開傘の原因となっ

た。これは開発期間に開傘試験をより多く実施し、コンベックスの長さや設置位置、または他の方法がないか追究するべきであった。

## 2.2 画像の無線送信

図 8.14 に示したように無線通信により画像が損傷した。これは圧縮した JPEG を送信したため、1 か所のデータ損傷によりそれ以降のデータにも影響を及ぼすためである。そのため、データ量は多くなるが座標と色の情報を持つパケットを連続的に送り、情報が破損しても影響を受ける範囲を小さくするや、データにチェックディジットを追加し破損した場合は再送要求を送るなど工夫が必要であった。

## 3. 今後の展望

まずはあげた課題点の改善を目指したい。また本チームのミッションは、他の CanSat に電力を供給するための基地局の「実現可能性の検証」にすぎなかった。したがって他の CanSat に実際に電力を供給する機構を搭載していない。今後開発を続けるとすれば、実証を意識した機構を考えたい。