

# 大会報告書

所属(芝浦工業大学 芝浦衛星チーム)

チーム名(AMPM)

## 内容

1	チームについて .....	2
2	CanSat 機体概要.....	2
3	大会結果 .....	12
3.1	能代宇宙イベント .....	12
3.2	ARLISS .....	17
4	まとめ.....	23
5	責任教員所感 .....	24

2016年10月12日

作成者名

南之園 彩斗

小見山 瑞綺

小室 雄太郎

# 1 チームについて

指導教員 吉田 健二

学年	名前	製作担当箇所
B3	南之園 彩斗	プロジェクトマネージャー,構造兼任(CAD,タイヤ,3D プリンタパーツ)
B3	小見山 瑞綺	回路(回路全般の設計,機体と電装のコネクション管理)
B3	原 裕一	回路(プログラミング)
B2	小室 雄太郎	回路(回路設計,無線,プログラミング)
B2	小野田 圭佑	構造(パラシュート)
B2	横野 和樹	構造(タイヤ回り,走行)
B2	高田 拓実	構造(水分測定器)

## <本機体製作の目的>

宇宙で働く機械は各々開発、探査、解明などの様々な目的をもっている。例えば火星地表で稼働している Curiosity は地表の土や岩石を機体内部で調査し、火星が「生物の生息が可能か否か」について調査し続けている。我々は Curiosity のような、目的(ミッション)を持たせた模擬探査機(以後、CanSat と表記)を「人類が宇宙を今以上に知る」という目的のもと、製作を行った。

また自律制御により各々のミッションを遂行しなければならない CanSat は、大会という僅かな実践の場でその機能をフルに発揮し、機体自身の力でミッションを最後まで遂行しなければならない。それを可能とするためには、主に①耐久性の高いボディ、②あらゆる問題に対面した場合の機体制御、③上空からの安定した降下および着地、そして更に多くの課題をクリアした機体でなければならないのではないかと。ゆえに、我々は CanSat 機体に必要な条件課題を熟考し、それらを乗り越えられる力を身につけることも目的の一つとし、本機体製作に臨んだ。

# 2 CanSat 機体概要

## 2.1 ミッションステートメント

地中水分測定機能を搭載したローバー型 CanSat を用いて、ゴールに向かいながら試験場の地中を調査し水分の有無を確認する

## 2.2 サクセスクライテリア

	内容
ミニマムサクセス	パラシュートが展開し着地判定後、分離を行う
ミドルサクセス	水分測定を行う
フルサクセス	ゴール向かいながら地中の水分測定を行う
アドバンスドサクセス	ゴール地点 5m 以内に到達する

## 2.3 ミッションシーケンス

キャリア収納からミッション達成までの流れを以下に示す。

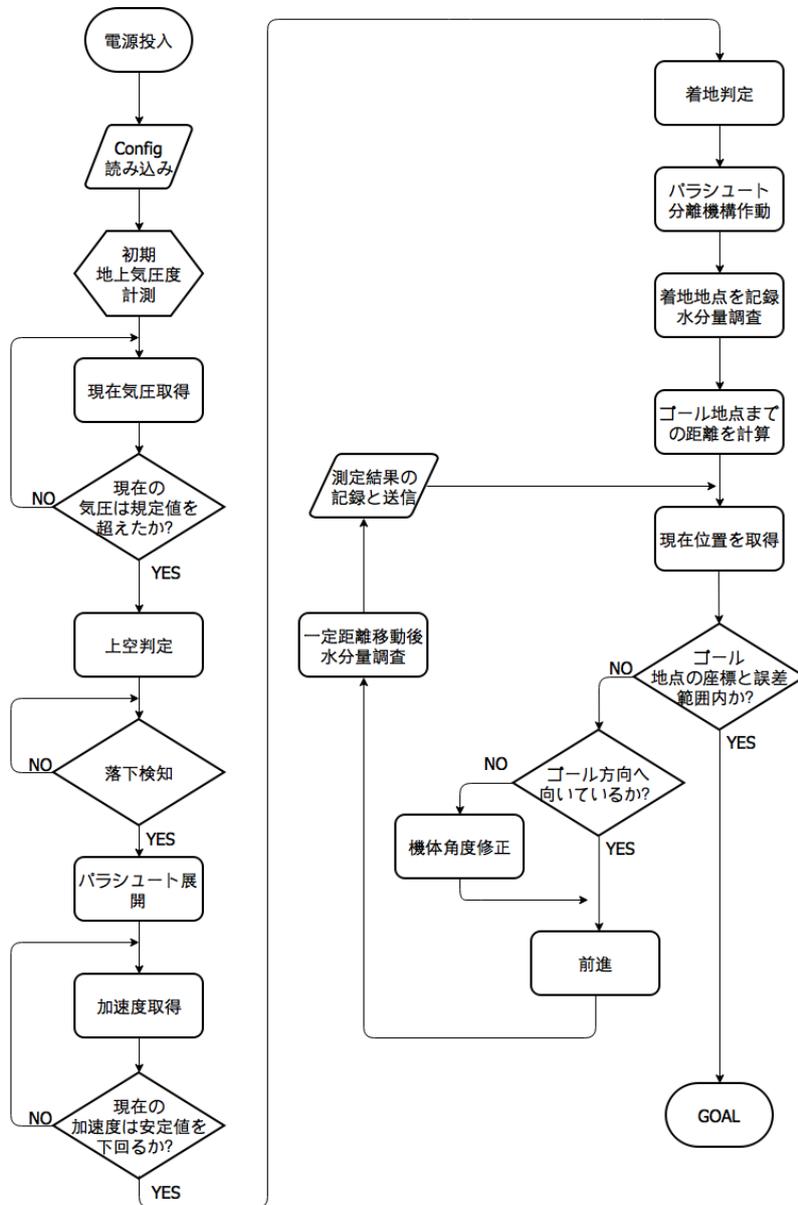


図1 ミッション達成の流れ

## 2.4 製作スケジュール

### チーム内ミーティングの頻度

機体班：週 1 回程度(毎週木曜日)

電装班：週 1 回程度(毎週木曜日)

チーム全体：週 1 回程度(毎週金曜日)

### 審査会

月 1 回程度、同団体内の他 CanSat 開発チームと意見交換を行った。(毎月第 4 週の金曜日)

### 大まかなスケジュール

構想開始・・・2016 年 5 月

設計開始・・・2016 年 6 月

予備審査書の準備及び試験・・・2016 年 7 月中

能代宇宙イベント参加機体製作・・・2016 年 8 月 1 日～2016 年 8 月 15 日

能代宇宙イベントの反省会と ARLISS に向けた機体の改良・・・2016 年 8 月 23 日～2016 年 9 月 1 日

ARLISS 安全審査書対応の試験・・・2016 年 9 月 1 日～2016 年 9 月 5 日

以下に詳細なスケジュールをガントチャートにて示す。

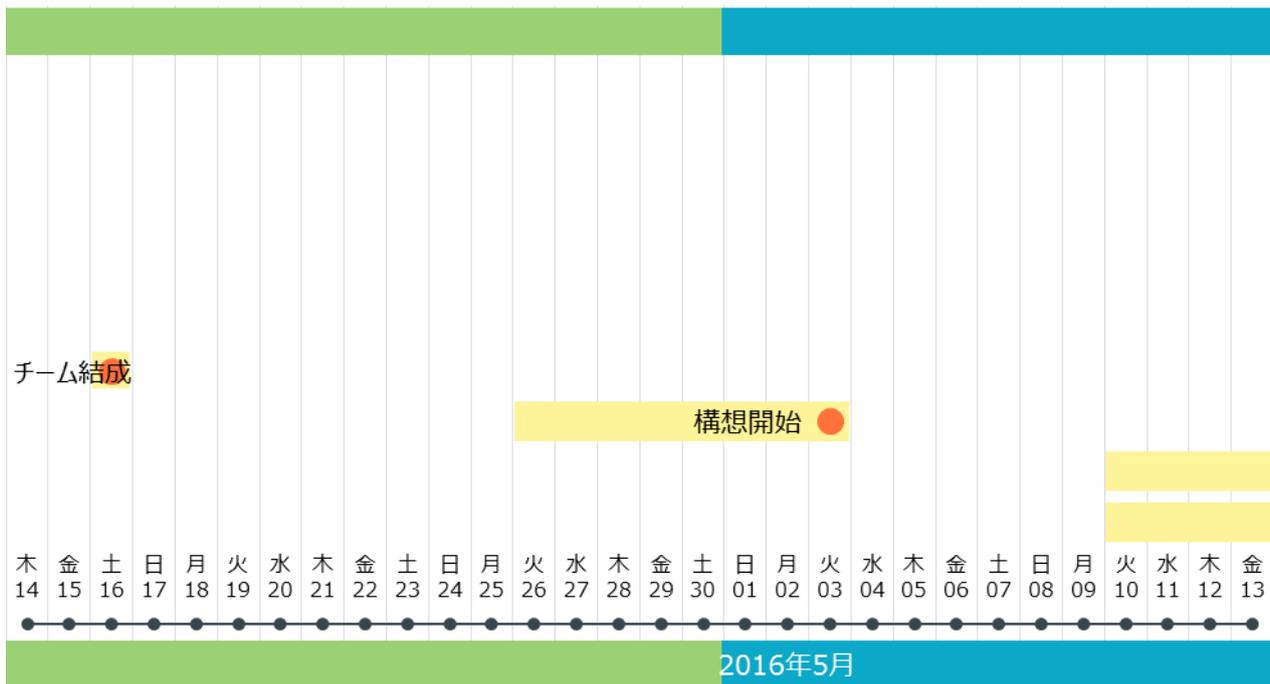


図 2 ガントチャート(4 月～5 月)

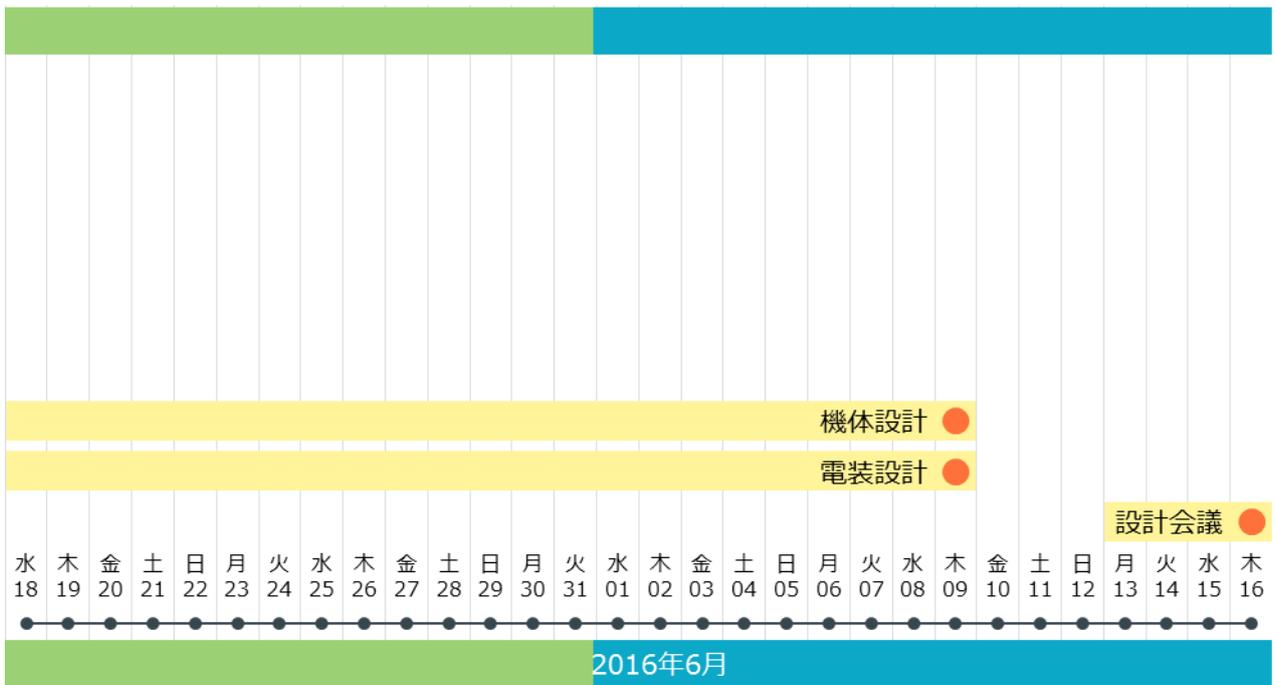


図3 ガントチャート(5月～6月)

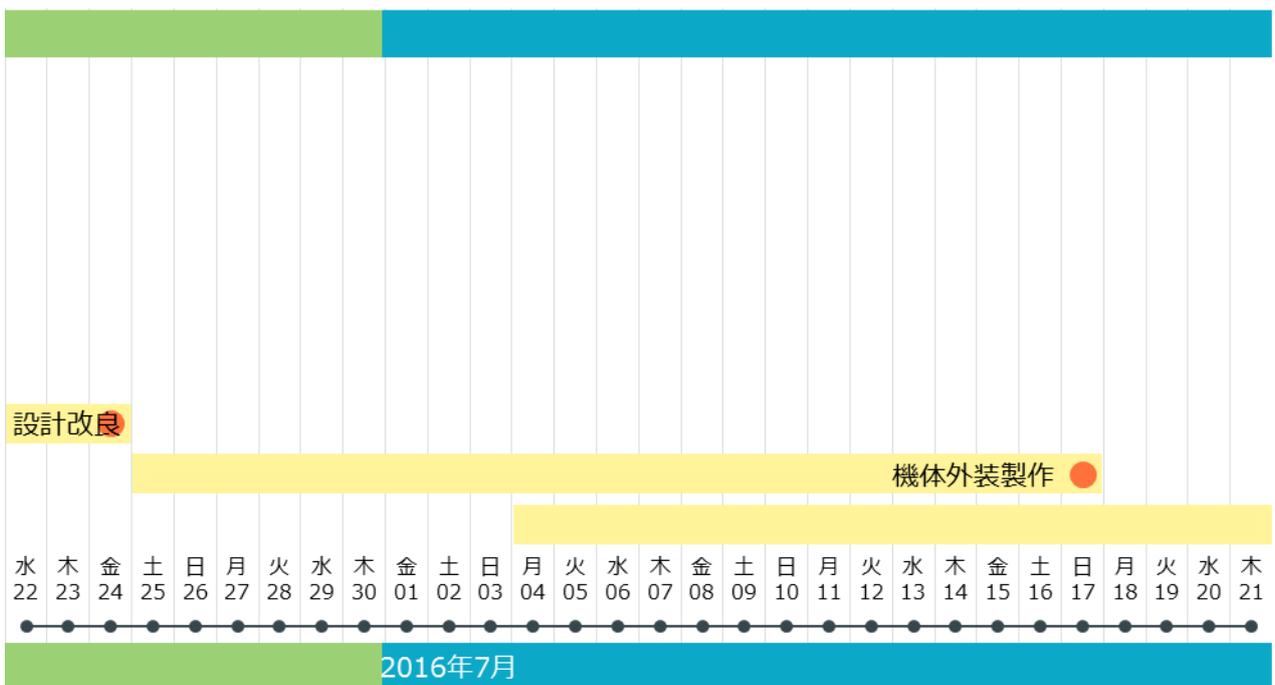


図4 ガントチャート(6月～7月)

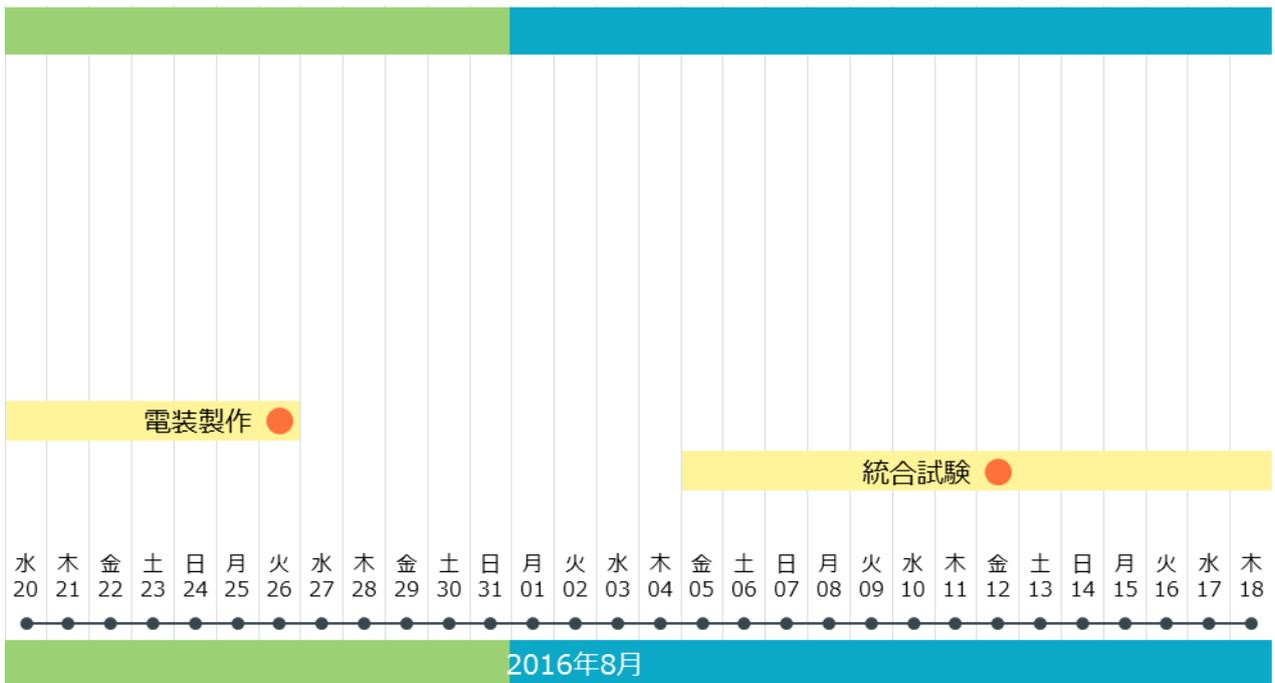


図5 ガントチャート(7月~8月)

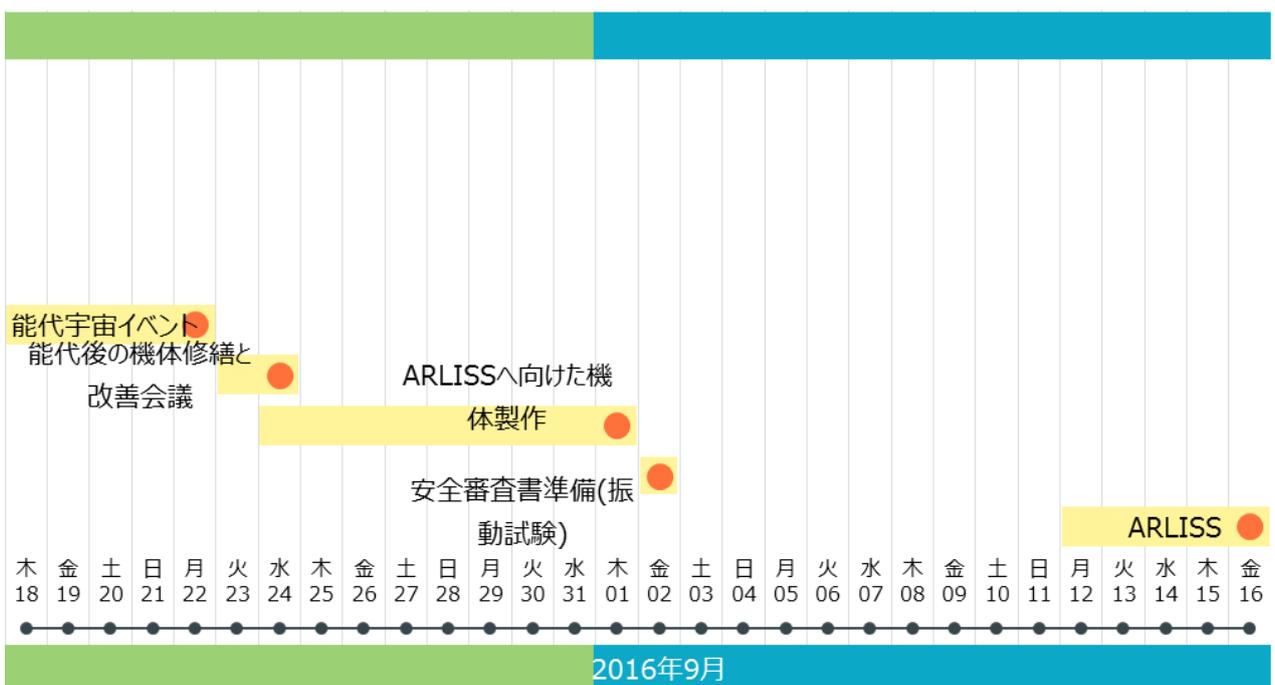


図6 ガントチャート(8月~9月)

## 2.5 システム図

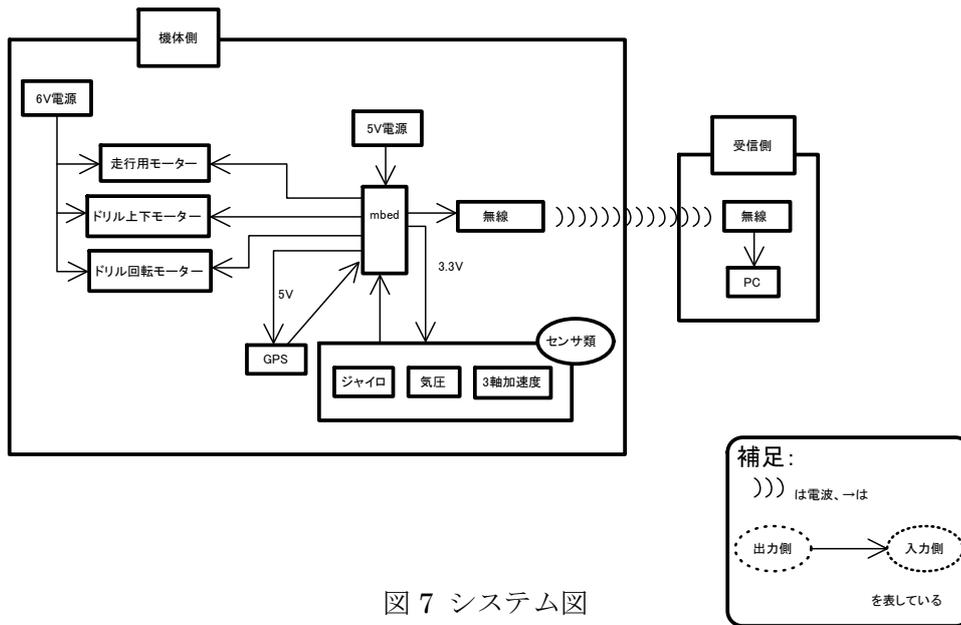
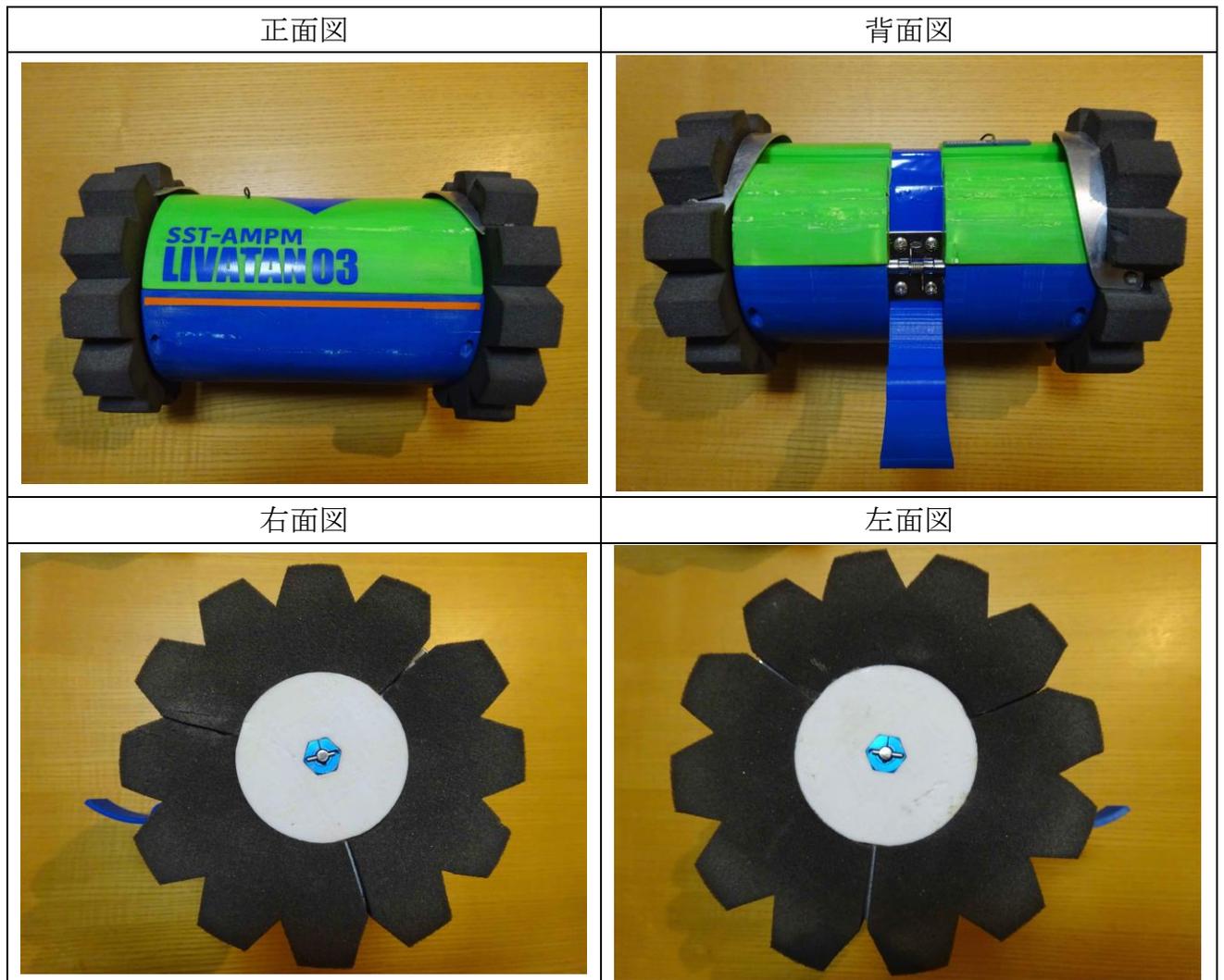


図 7 システム図

## 2.6 機体外観



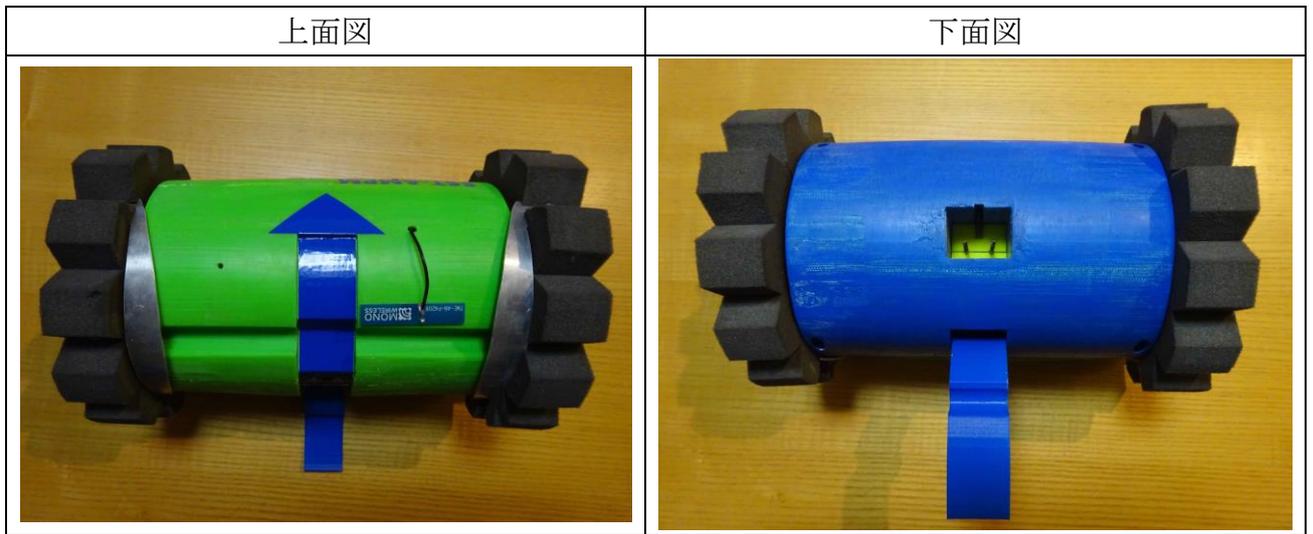


図 8 機体外観

## 2.7 機体構造・仕組み

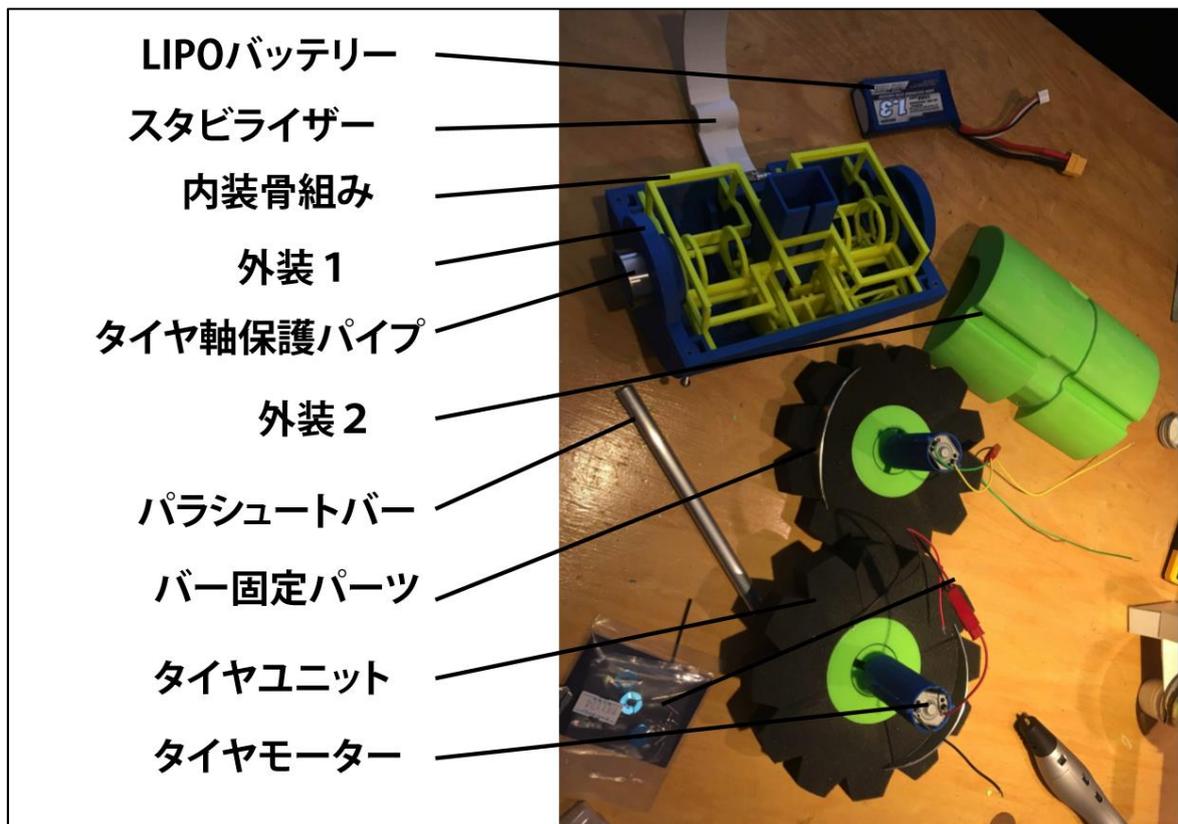


図 9 機体構造

## 2.8 プログラム・アルゴリズム

使用言語:C++

機体のアルゴリズムをフローチャートにして示す。

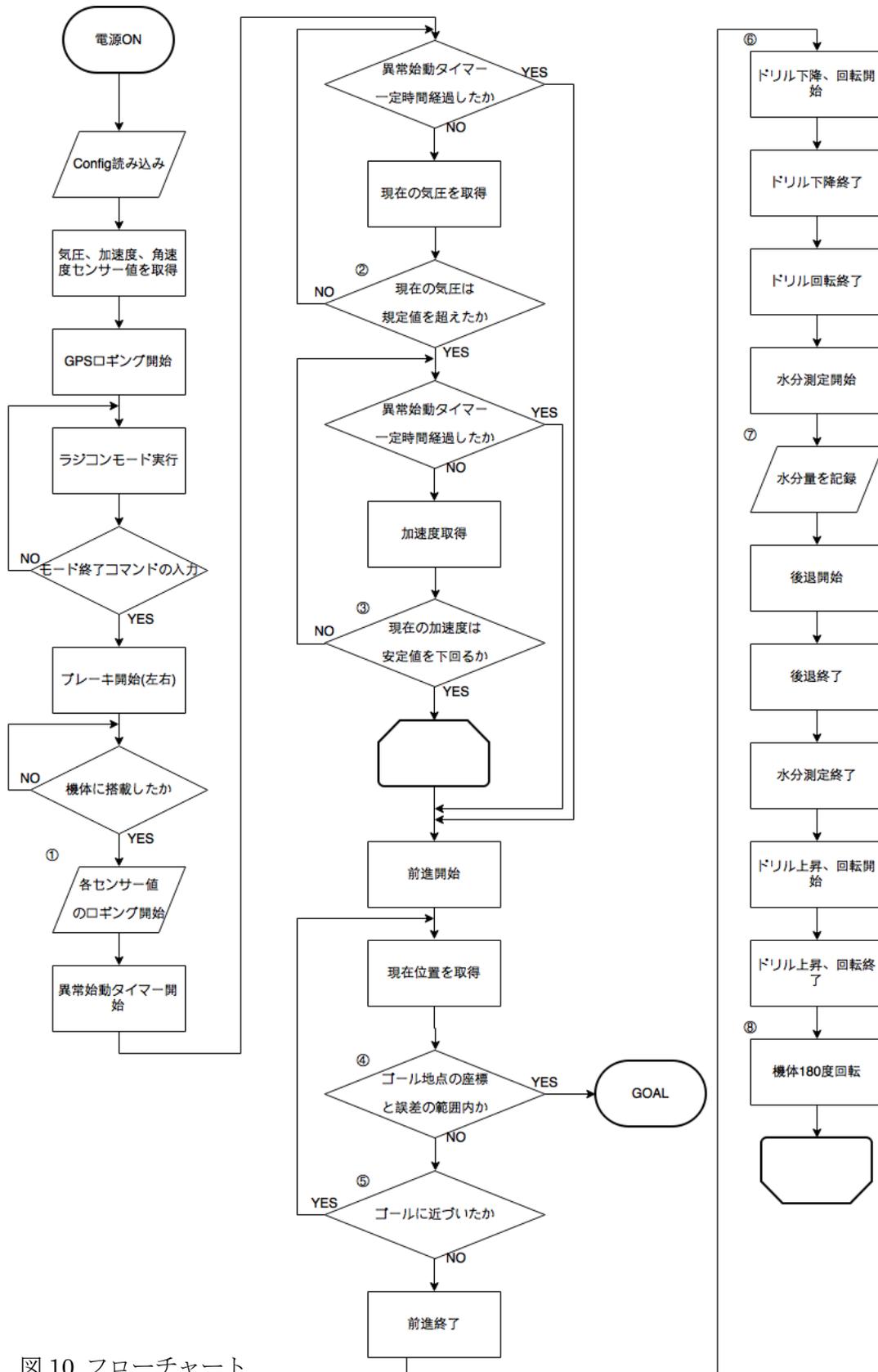


図 10 フローチャート

前ページのフローチャートの計算式や条件式を抽出した。

- ① 1 秒ごとに「時刻、加速度、気圧、GPS 座標、水分測定値、角速度」のデータ値をファイルに保存する。
- ② [条件式] (地上気圧)−(現在の気圧) $>20$  のとき上空判定とする。
- ③ 1. [条件式] (地上気圧)−(現在の気圧) $<0.05$  であるかを判定する。  
2. 加速度①(x 軸,y 軸,z 軸)を測定する。  
0.2 秒ごとに加速度②(x 軸,y 軸,z 軸)を測定し、  
合計値=合計値+|加速度①−加速度②|を実行する。  
これを 10 回実行する。  
3. [条件式] それぞれの合計値(x 軸,y 軸,z 軸) $<0.02$  で判定する。
- ④ [条件式] (現在地点からゴールまでの距離) $<0.01$  のときゴール判定とする。※
- ⑤ [条件式] (前進開始前のゴールまでの距離)(現在地点からゴールまでの距離)で判定する。※
- ⑥ ドリルの下降時間を 10 分割し、下降と停止を繰り返す。
- ⑦ 水分測定値は①の LOG ファイルに保存される。
- ⑧ 0. 回転用タイマーを開始する。
  1. 左タイヤの前進開始。
  2. 角速度を測定する。
  3. z 軸の角速度が 0 以下の時、0 にする。
  4. 合計値=合計値+(z 軸の角速度値) $\times$ {(現在のタイマー値)−(記録したタイマー値)}
  5. 現在のタイマー値を記録する。(記録したタイマー値)
  6. [条件式] |合計値| $\geq 30$  のとき回転終了

※ 2 地点の距離を算出する計算式

1 地点目の緯度 : slat、経度 : slon

2 地点目の緯度 : tlat、経度 : tlon とする。

1. 弧度法から度数法に変換する。(例 : slat = slat  $\times$   $\pi$   $\div$  180.0)
2. 距離 =  $6378.137 \times \cos^{-1}(\sin(\text{slat}) \times \sin(\text{tlat}) + \cos(\text{slat}) \times \cos(\text{tlat}) \times \cos(\text{tlon} - \text{slon}))$

## 2.9 特に工夫した点・苦労した点

我々のミッションは、要約すると「水分測定を行いつつ、ゴールへ向かう」というものであるが、水分測定と走行の2つの機能を兼ね備えた機体であるため、搭載する機器が多く、レギュレーション内に収めることに大変苦労した。最大限工夫したのは以下3つの点である。

まず1つ目に、モーターの選定をあげる。製作した機体には、走行用モーター2つと水分測定器を上下させるためのモーター1つ、さらに土を掘るためのドリルを回転させるためのモーター2つ、計5つのモーターを使用している。レギュレーションの関係上、すべてを走行用モーターのような、大きくて重い物を使用するわけにはいかず、上下用モーターとドリル用のモーターで使用している、小型で軽いものを探すのに大変苦労した。しかし、苦労の甲斐あって、最終的には満足のゆくモーターを探し当てることに成功し、そのモーターは製作した機体の特徴の一つとなっている。

2つ目に、電装基板の配置をあげる。製作した機体は、中央に水分測定器を有しており、1つの電装基板上に、電子機器を全て載せるのは非常に困難となった。そこで、電装基板を3つに分けて配置することにした。

1つ目の基板には、制御に必要なセンサ類、2つ目の基板には、モータードライバ2つ、そして3つ目の基板にはマイコンと電源類を配置した。マイコンが載った基板とその他の基板を、コネクタを介して接続することで、機体の空きスペースをフルに活用した電装基板が完成した。限られた機体内部のスペースを使って、コンパクトかつ軽量の基板を製作し搭載できたことは機体の特徴の1つである。

3つ目に、機体の構造をあげる。本機体はモノコック構造で構成されている。モノコック構造とは、内部パーツを骨組みで外装と繋げることで、内部パーツを外装で支え保護する仕組みのことである。この構造を製作するにあたり3Dプリンタを用いたことで内装の骨組みが58gと非常に軽いものとなった上、基盤、モーターなどを十分に支えることが出来た。また、外装は238gと重量を要してはいるが機体内部を完璧に保護できるものに仕上げられた。更に、上記のようにミッション用の機構を実装しているため、重量面のレギュレーションをクリアするために「はめ込み構造」を用いてネジの使用を14個に抑え、軽量化を行った。そしてそのネジが機体表面で「つかえ」、「引っかかり」とならないように「埋め込み」も施した。そのため、機体に見えるネジはスタビライザー固定部のみと成っておりデザイン的にもシンプルで構造的にも有意性のあるものとなった。

構造についてはもう一点工夫したことがある。それはユニット化である。外装、内装、タイヤをユニット化したことで、1パーツの破損に対し、3Dプリンタでの再度印刷を行うことですぐに修復が可能になった。そして、構造上、破損するのは主に内装の骨組みであり、骨組みを事前に量産しておくことで数度の破損に対処することができた。

### 3 大会結果

#### 3.1 能代宇宙イベント

##### 3.1.1 目的

我々のチームでは、ARLISS 参加を考えていたため、能代宇宙イベントは、様々な試験を行う場として認識していた。主な試験項目として、①落下試験②End to End③分離衝撃の以上 3 点を行った。

##### 3.1.2 結果

能代	パラシュート開傘	壊れずに着地	パラシュート分離	走行開始	10m 以上制御走行	50m 以上制御走行	ゴール
1 回目	○	○	○	○	×	×	×
2 回目	○	○	○	○	×	×	×

	ミニマムサクセス	ミドルサクセス	フルサクセス	アドバンスドサクセス
投下 1 回目	○	○	○	×
投下 2 回目	×	×	×	×

##### 投下 1 回目

投下 1 回目の結果はパラシュート展開、着地、分離後、ゴールへ向かいながら水分測定までを行うことができ、フルサクセスという結果であった。水分測定に関しては確実に地中に穴を掘れていたことと、その際に得られた地中の電気伝導率値の値が明らかに水の存在を示していたことから成功であると判定した。アドバンスドサクセスで設定したゴールにたどり着けなかった理由は、スタビライザー固定部(下図の矢印部)のバネ蝶番の反発力が予想以上に弱く、スタビライザーがうまく機能しなかったためである。タイヤと地面の状態によって時間をかけながらもゴール方向へは向かうことができていたので結果をフルサクセスとした。

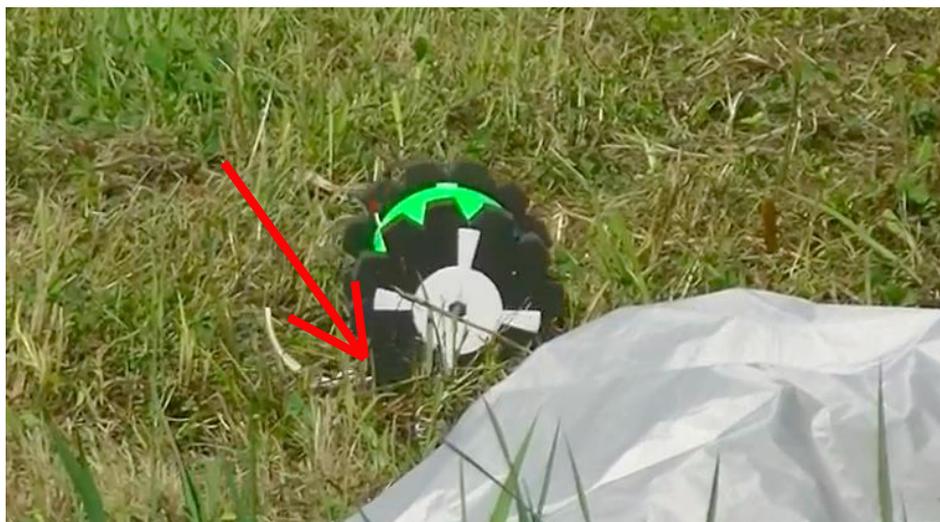


図 11 投下 1 回目の様子

## 投下 2 回目

投下 2 回目は自由落下という不甲斐ない結果となってしまったため、ミニマムサクセスさえクリアできていない。原因はパラシュートが空中分離したためであった。自由落下後機体の外装は下の図のように破損していた。機体の内部も確認したところ、GPS 以外は無傷であることがわかった。これにより機体の構造が内部を保護していたことは証明されたので、機体の強度は十分であったというデータが得られた。



図 12 投下 2 回目後の機体

### 3.1.3 取得データ

#### 投下1回目

(注)詳細は別途提出したログデータを参照されたい。  
ログデータの数値をプロットしたものを以下に示す。

#### ① 加速度センサ

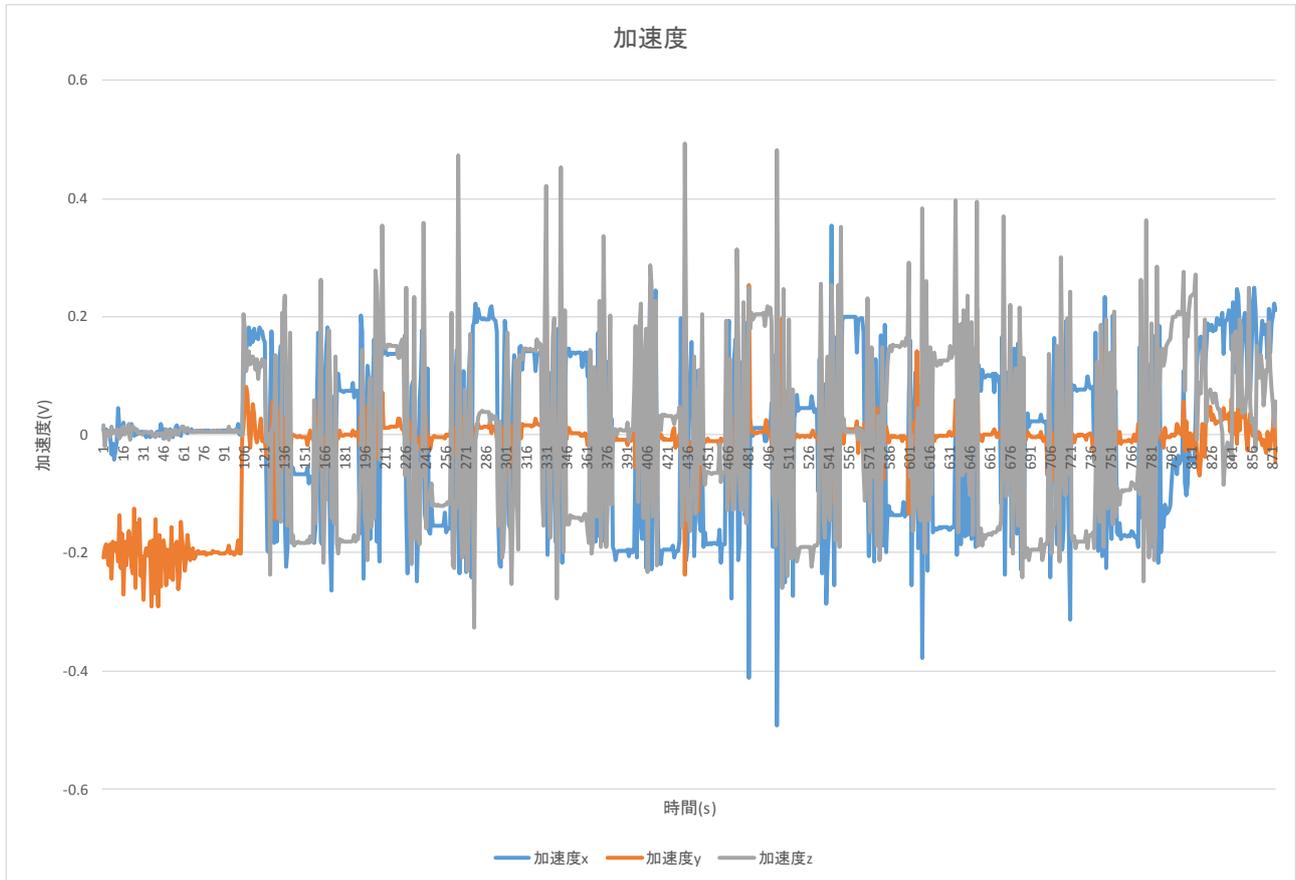


図 13 加速度センサの記録結果

最初の 70 秒ほどはキャリアに投入後、放出されるまでに機体に及んだの加速度だと考えられる。  
800 秒から 870 秒にかけて大きく変化しているのは、試験終了後機体を持ち上げた際の加速度である。

## ② 気圧センサ

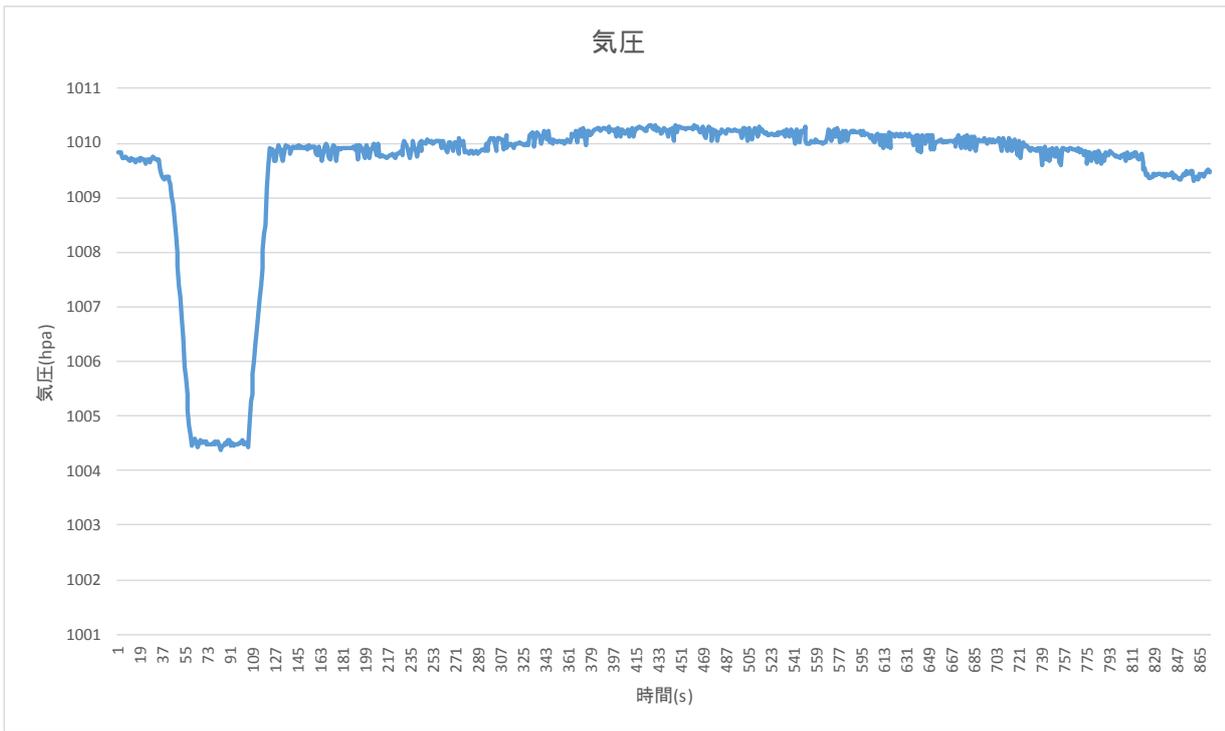


図 14 気圧センサの記録結果

30 秒から 120 秒にかけては、上空にいる際に機体に及んだ値である。

800 秒から 870 秒にかけては、機体を持ち上げた際に及んだ値である。

## ③ 水分測定値

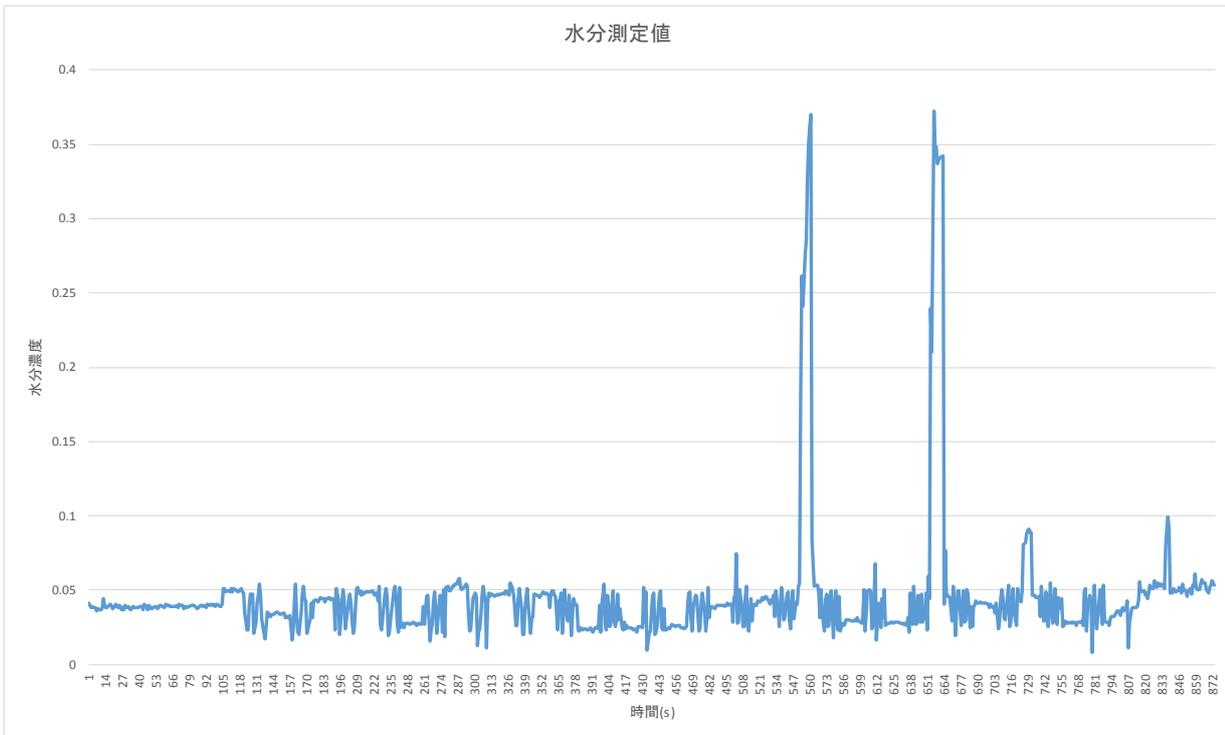


図 15 水分測定値の記録結果

550 秒前後および 660 秒前後で値が大きく変化しているのが分かる。このことより水分測定が成功したと判定した。

ログから GPS データを取得して、軌跡を表示した。番号は機体が移動した順番(およそ 100 秒ごとに表示)



図 16 機体の移動軌跡

#### 投下 2 回目

取得データなし

### 3.1.4 故障原因解析

1 回目の投下の際のスタビライザーの機能性を十分に発揮できなかったのは本来取り付けるはずであった両面テープをつけ損なったことが 1 つの原因、2 つ目に根本的にスタビライザー展開時に爪などで固定するように設計していなかったことが挙げられる。

2 回目の投下の際、パラシュートの空中分離が発生した原因は展開時の衝撃で、シュラウドライン(ワイヤー)の固定に使用しているクランプが外れてしまったことにあると判明した。これに関してはグルーガン(ホットボンド)による補強、クランプを増やすなどの対処により解決できるものであると考え ARLISS の際にはその点を補強し挑むことにした。

## 3.2 ARLISS

### 3.2.1 目的

まず1つ目に、ロケット打ち上げの衝撃及び分離衝撃に耐え、ロケットから分離後、パラシュート傘開が出来るか否かの検証を行うこと、更に2つ目に着地してミッションを遂行出来るか否かの検証を行うことが目的であった。

### 3.2.2 結果

	パラシュート開傘	壊れずに着地	パラシュート分離	走行開始	10m以上制御走行	100m以上制御走行	1km以上制御走行	ゴール
1回目	○	○	×	×	×	×	×	×
2回目	○	×	×	×	×	×	×	×

	ミニマムサクセス	ミドルサクセス	フルサクセス	アドバンスドサクセス
投下1回目	×	×	×	×
投下2回目	×	×	×	×

#### 投下1回目



図 17 投下1回目の機体発見時の様子

1回目の投下は、現地時刻 2016 年 9 月 14 日 14 時頃に行った。この時は風が強く、機体は射点から、およそ 5km 離れたところで、上写真のように、パラシュートに絡まった状態で発見された。着地の際、風に煽られ、機体が回転し、パラシュートに絡まったものと考えられる。また、着地検知後、タイヤモーターにかけているブレーキが外れ、走行を開始するシーケンスに移行予定であったが、発見した際、ブレーキが外れていなかったため、着地検知を行えていないと分かった。



図 18 投下 2 回目の機体発見時の様子

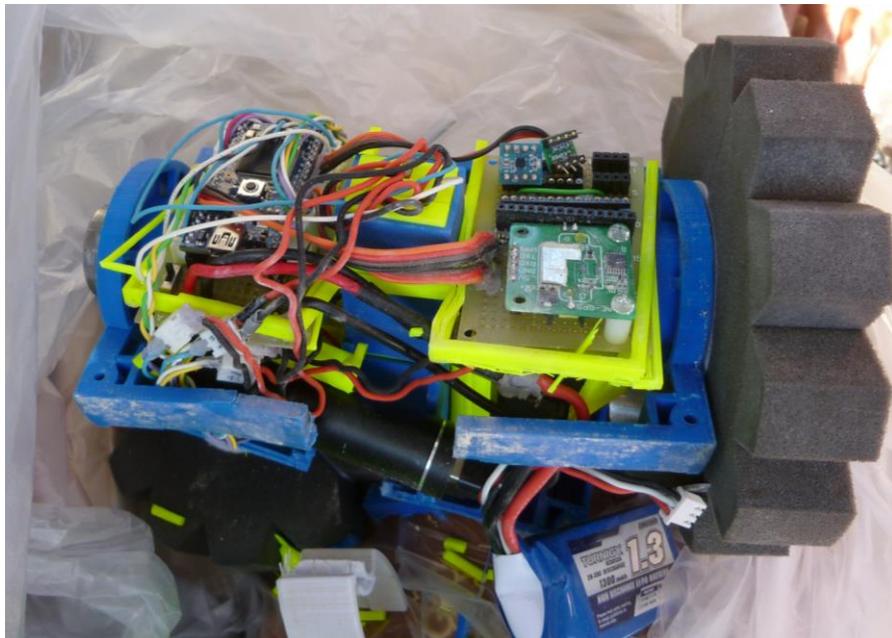


図 19 回収後の機体内部の様子

2 回目の投下は、現地時刻 2016 年 9 月 15 日 14 時頃に行った。この時、風は前日に比べ穏やかであった。

前日問題となった着地検知のプログラムの改良を行い、2 度目の投下試験に臨んだ。ロケットから分離し、パラシュート傘開後、順調に落下しているように見えたが、途中で突然姿が見えなくなってしまった。機体発見の際には、図 18 のような状態で、落下途中でパラシュートと分離し、自由落下してしまったものと考えられる。

### 3.2.3 取得データ

#### 投下1回目

取得データなし

#### 投下2回目

(注)詳細は別途提出したログデータを参照されたい。  
ログデータの数値をプロットしたものを以下に示す。

#### ① 加速度センサ

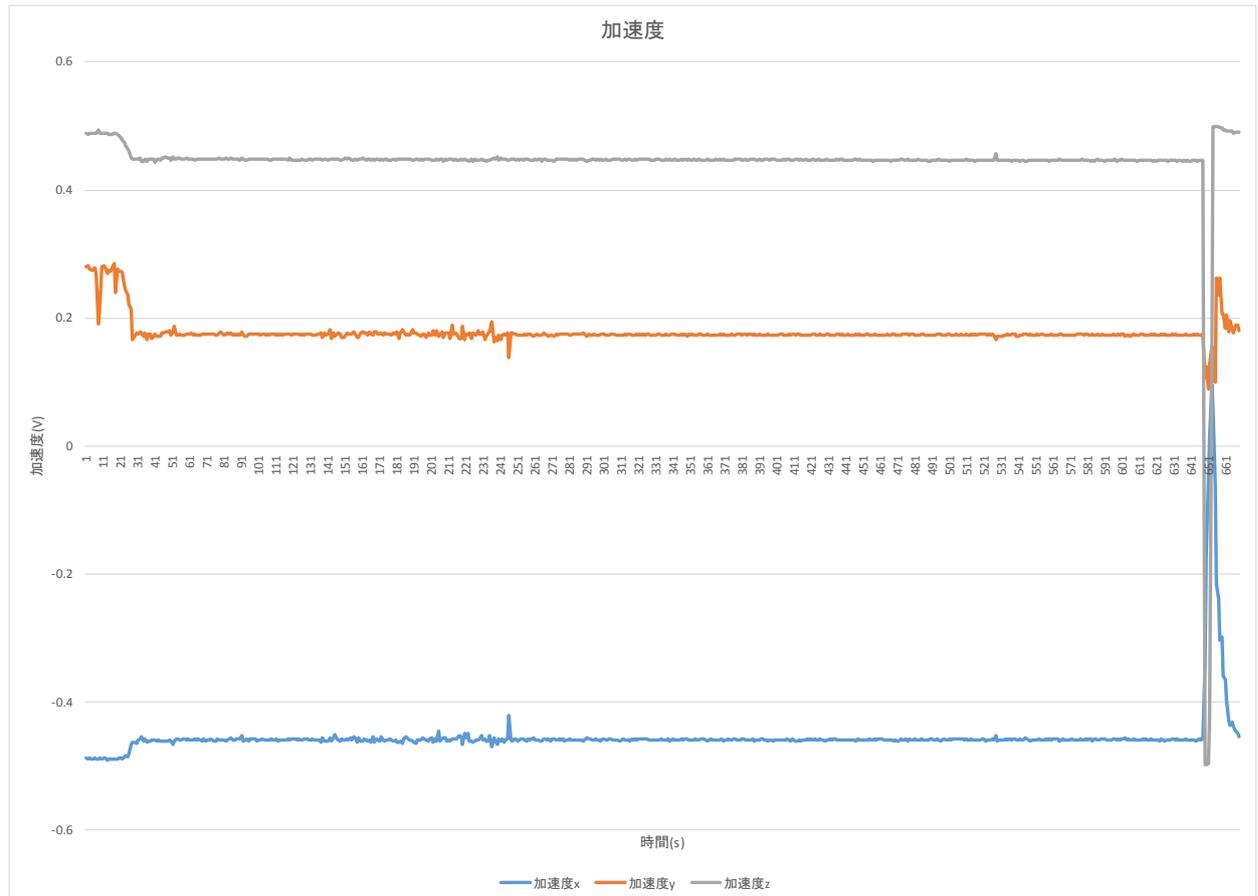


図 20 加速度センサの記録結果

最初 30 秒ほどはロケットへの機体搭載時に機体に及んだ加速度が見て取れる。続いて開始 250 秒あたりまでの微振動は機体搭載地点から射点までの移動の際に機体に及んだ加速度である。最後の激しい加速度の変化はロケット打ち上げの際に機体に及んだ加速度である。

## ② ジャイロセンサ

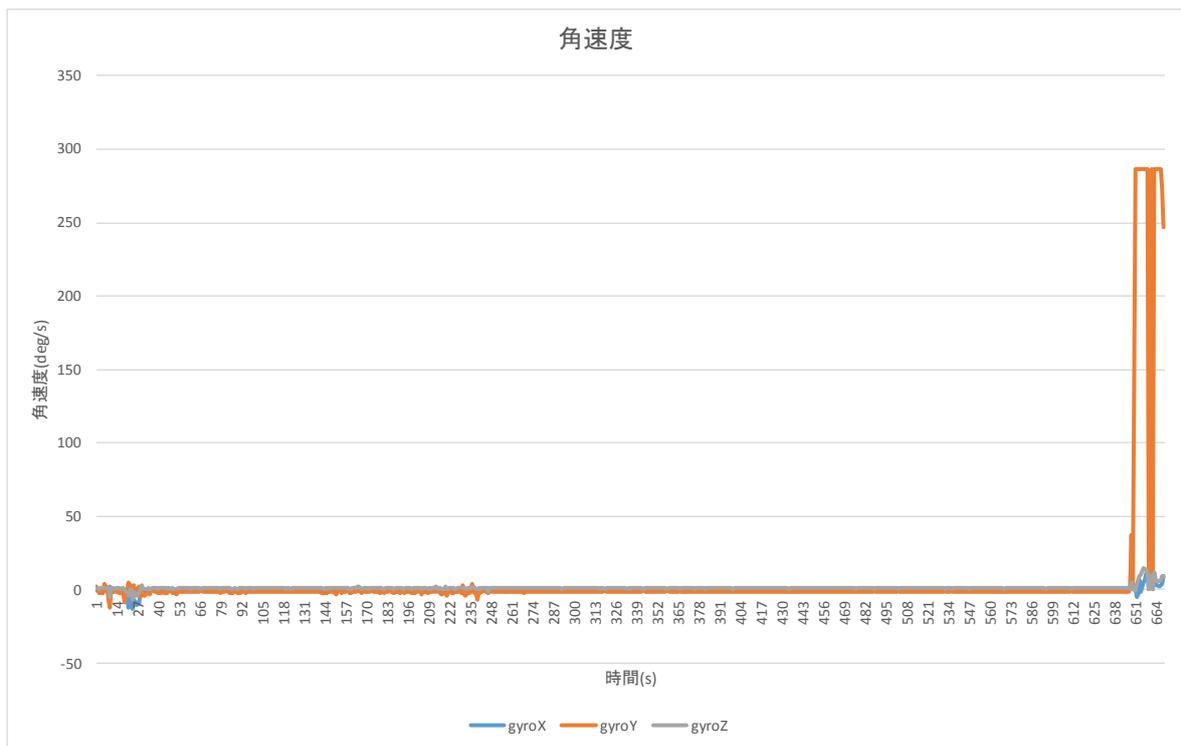


図 21 ジャイロセンサの記録結果

最初 30 秒ほどはロケットへの機体搭載時に機体に及んだ値である。開始後 650 秒付近の激しい数値変化はロケット打ち上げの際に機体に及んだ加速度であり打ち上げ方向の y 軸の値の変化が激しい。

## ③ 気圧センサ

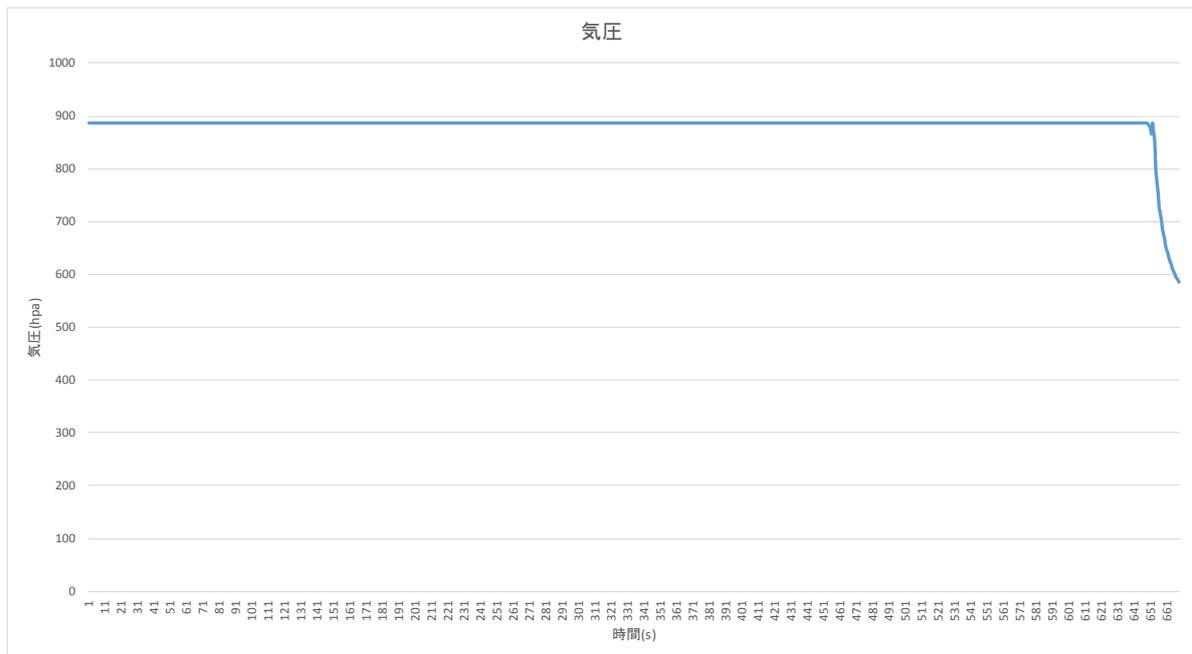


図 22 気圧センサの記録結果

開始後 650 秒付近から気圧が急激に下がっているのが、機体が打ち上げられ上空にいることがわかる。

### 3.2.4 故障原因解析

#### 投下1回目

ロケットから放出後、徐々に高度を下げ、無事に着地したが、結果で示したように、風で煽られパラシュートに包まった状態で発見された。発見時、着地検知を正しく判断できていないことが判明した。今回、着地検知の方法として、ロケット搭載前に地上の気圧を測定し、その気圧を基準にして、着地を判定しようと考えていた。着地検知と共に、モーターにかけていたブレーキも外れる手筈であったが、発見当時、ブレーキがかかったままであったため、失敗の大きな原因として、「設定した気圧の差が誤っていた」のではないかと考えた。しかし、機体を拠点に持ち帰り、ロケット搭載を無線で検知したあと、モーターにブレーキをかけ、自立制御に入り、すぐに取り始めるはずのログが記録されていないことが判明したため、ロケット搭載の検知後、何らかのバグが発生したのではないかと考えられる。

#### 投下2回目

前日の着地検知の不良を改善し、2度目の投下に挑んだが、結果でも示したように、機体が途中で自由落下してしまった。前日の教訓から、自立制御に入った時、ログを無線で飛ばすように改良し、ログがしっかりとれて自立制御のシーケンスにプログラムが突入していることを確認出来るようにした。打ち上げ直前まで、ログを取っていることが確認出来ていたため、あとは機体が地上に戻ってくるのを待つだけであった。しかし、ロケットから放出され、徐々に高度を下げて行く途中で、機体の姿が突如見えなくなり、追跡できなくなった。発見時には、パラシュートと機体が 1km 程離れた状態で見つかった。

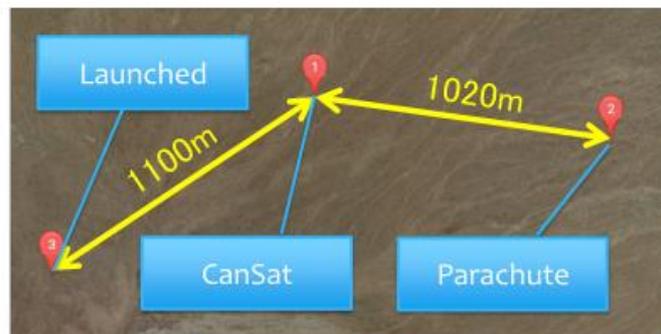


図 23 機体の打上地点と着地点、パラシュート回収地点の位置関係

機体回収後、奇跡的にマイコンに残されたログデータを確認する事が出来た。(※取得データ欄参照)  
ログから読み取れる大きな気圧の変化部分をプロットすると、図 24 のようになった。

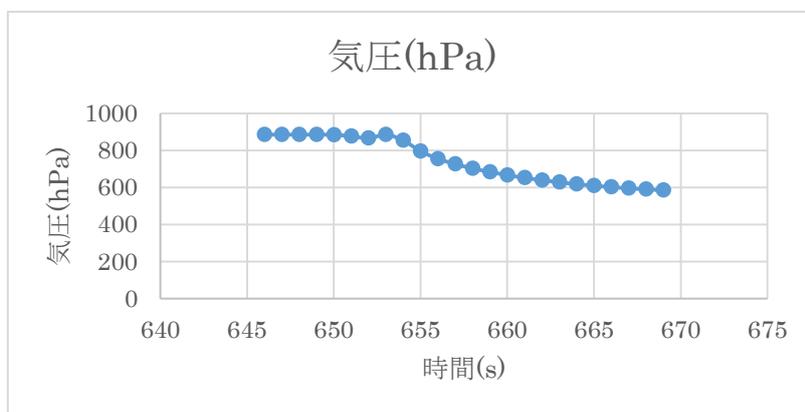


図 24 ログデータから抽出した気圧変化の様子

ログの記録が止まるのは、プログラム終了時、もしくは、マイコンに電力供給されなくなった場合である。今回取得できたログは、上空で途切れてしまっていることが読み取れる。ログより、655秒から669秒にかけて、気圧が一気に下がっていることから、ここでロケットが発射されたと考えられる。気圧と高度の関係より、ログの最後から読み取れる到達点が、射点から約上空 3.7km と分かった。この高度は、ロケットがちょうど機体を放出する高度に近い。このことから、ロケットから分離する際に何らかの衝撃が加わり自由落下の原因となったのではないかと考える。原因の詳細としては以下 2 点が考えられる。

- ①電力供給部分に負荷がかかることで、電力を供給出来なくなり、タイヤのブレーキが外れ、上空でタイヤが回り、分離機構が作動して自由落下につながった
- ②マイコンに負荷がかかることで、リセットがかかり、タイヤのブレーキが外れ、上空でタイヤが回り、自由落下につながった。

## 4 まとめ

### 機体製作において良かった点

- 機体の完成度を今まで以上に追求できたこと。

水分測定ミッションに加えランバック機能も搭載された我がチームの CanSat は強度、内部重点率、機能的デザインにおいてかなり良い出来となった。特に機体の全体を覆う構造は内部構造を保護した上、砂漠での完璧な防塵対策となったため、良い設計が行えたと感じた。

### 機体製作において悪かった点

- 走行機能

→上記にあるように機体の全体を外装で覆ったのだが、地面と機体本体の隙間が 2~3cm ほどになってしまい、機体したに石、草が入り込むとタイヤが浮いてしまい、思うような走行が出来なかった。

- 水分測定器

→水分測定機構には土壌の電気伝導率を用いていたのだが、土壌によっては鉱物、砂鉄などの水分以外の誘電物質が存在し水分測定が正しく行えていないと考えられる環境が多々あった。

### 故障原因解析から導き出された対策

- 電装基板やワイヤーに不必要な負荷をかけないために、プリント基板を用いる。

### 今後の課題

- 無線を遠くまで通信が行える物を選ぶ
- 分離機構の改良
- スタビライザーの改良
- GPS は、なるべく衝撃に強い物を選ぶ

### マネジメントについて良かった点

- 限られた時間内で班員に均等に役割をふり、試験を行えたこと。
- 審査書類など、誰かが書いたものを 2 人以上が確認修正して、作成できたこと。
- 大会直前製作がギリギリにはなってしまったものの、機体を完成させられたこと。

### マネジメントについて悪かった点

- 班員が 8 人いたのにもかかわらず、機体製作における糸口を個人個人でみつけることができなかつたため最終的に 2、3 人が主要メンバーとなり製作を進めることとなった。残りメンバーは主要メンバーの手伝いを行うことが主な活動内容となってしまったため、全員が自らのアイデアを注ぎ込んで作れた機体とは言い難いものとなってしまった。
- 渡航準備と機体製作の両立が難しかった。特に、9 月に入ってから、安全審査書通過の為の試験も加わり、てんてこ舞いとなってしまった。

## 5 責任教員所感

能代宇宙イベントでフルサクセスまで達成できたことは、喜ばしい結果だと考えています。ARLISSでもフルサクセスが達成できるよう臨んでいってほしいと思います。

8名全員が開発に参加出来れば、もう少し余裕を持ったスケジュールが可能だったかもしれません。

能代宇宙イベントやARLISSへの参加経験、工夫した点や苦勞した点、良かった点、悪かった点など来年度の引き継ぎが必要不可欠です。