

ARLISS2012 報告書

TEAM:SABRO

～指導教官～

松永三郎

坂本啓

～メンバー～

川口健太 B3

佐藤剛志 B4

大友暢寛 B3

北守隆旺 B3

中嶋駿 B3

三浦敏孝 B3

山田晋太郎 B3

吉澤玄 B3

私たちは、「気象観測をし、地表探査する」惑星探査機を開発し、ARLISSにて打ち上げた。この報告書では、ミッションステートメントとサクセスクライテリア、開発した機体の特徴、打ち上げの結果、今後の課題を主旨として、最後にメンバーの感想を報告する。

目次

| | | |
|-----|--------------------------------------|----|
| 1 | ミッション定義..... | 2 |
| 1.1 | ミッションステートメント | 2 |
| 1.2 | ミッション概要..... | 2 |
| 1.3 | ミッションフローチャート | 3 |
| 1.4 | サクセスクライテリア | 3 |
| 2 | 機体説明..... | 6 |
| 2.1 | システムダイアグラム | 6 |
| 2.2 | パラシュート | 8 |
| 2.3 | 構造 | 9 |
| 2.4 | 電装 | 10 |
| 3 | ARLISS 結果報告 | 12 |
| 3.1 | 1 st フライト結果..... | 12 |
| 3.2 | 2 nd フライト結果..... | 17 |
| 3.3 | 結果のまとめ | 22 |
| 4 | 結果の分析と今後の課題..... | 23 |
| 4.1 | 結果の分析 (1 st フライト) | 23 |
| 4.2 | 失敗事項の分析 (2 nd フライト) | 25 |
| 4.3 | 今後の課題..... | 27 |
| 5 | 感想 | 27 |

1 ミッション定義

1.1 ミッションステートメント

自律制御を用いた惑星探査および超小型探査機との中継通信

私たちは超小型衛星による持続的な惑星探査を目指す。想定する惑星探査として、衛星が惑星に着地するまでは気象観測を行い、着地後は子機と親機に分離する。親機は太陽光発電パネルを積んだ発電所(本ミッションでは重量や大きさの制限より積まない)兼通信基地として機能し、子機の状況や位置は、子-親-地上局での中継通信によって把握される。子機の電源残量が少なくなったときには、親機に帰還し充電を行うことで太陽光が届かず、地上局と通信することも出来ないエリアでの持続可能な地表探査の実現が出来ると考えた。

1.2 ミッション概要

ミッションの概要を図1に示す。

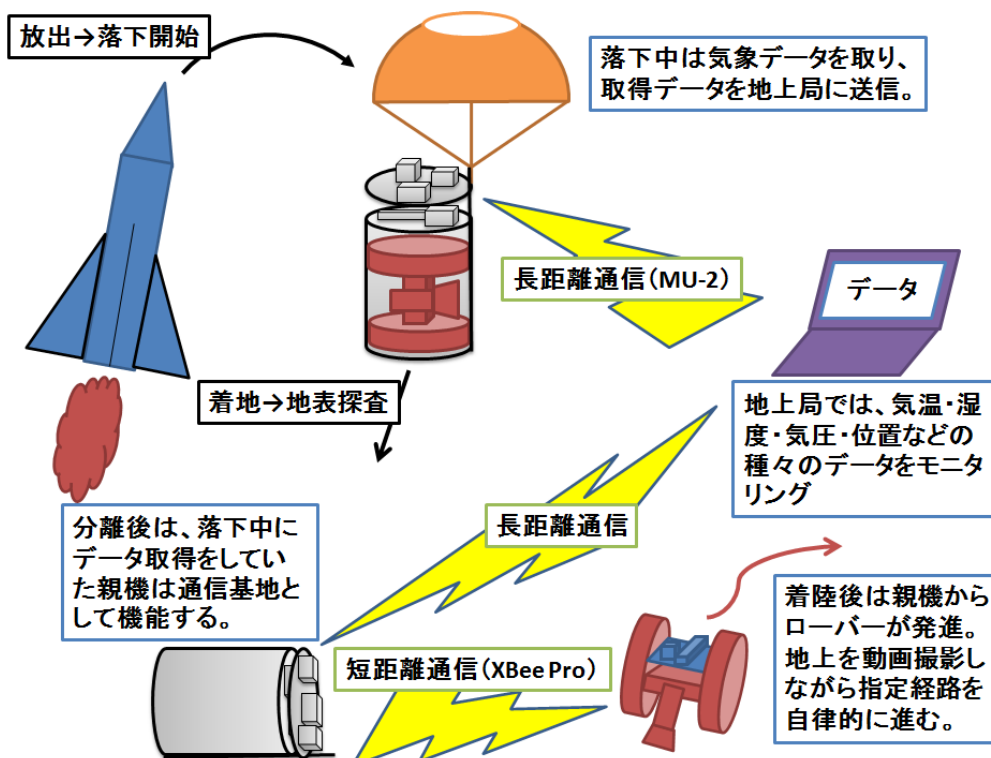


図1：ミッション概要

まず、ロケットから放出された Cansat は展開されたパラシュートで減速しながら落下する。落下時には気象観測として、気圧・湿度・気温のデータを取得し、取得したデータは地上局にダウンリンクする。また、このとき GPS からのデータも同時に取得しダウンリンクする。

着地後は親機から子機が分離し、子機が地表を探索する。地表探索は小型カメラを用いて動画を撮影することで行う。また、子機の取得した GPS データはまず親機に送信され、その後親機が地上局に子機の GPS データを送信するという中継通信を行う。通信距離は親子間は短く、親地上局間は長い。親機は分離後、通信基地として機能する。

1.3 ミッションフローチャート

図 2、3 にミッションのフローチャートを示す。

1.4 サクセスクライテリア

表 1 にサクセスクライテリアを示す。Cansat は子機と親機に分かれるため、共通のサクセスクライテリアとそれぞれについて個別のサクセスクライテリアを設定した。

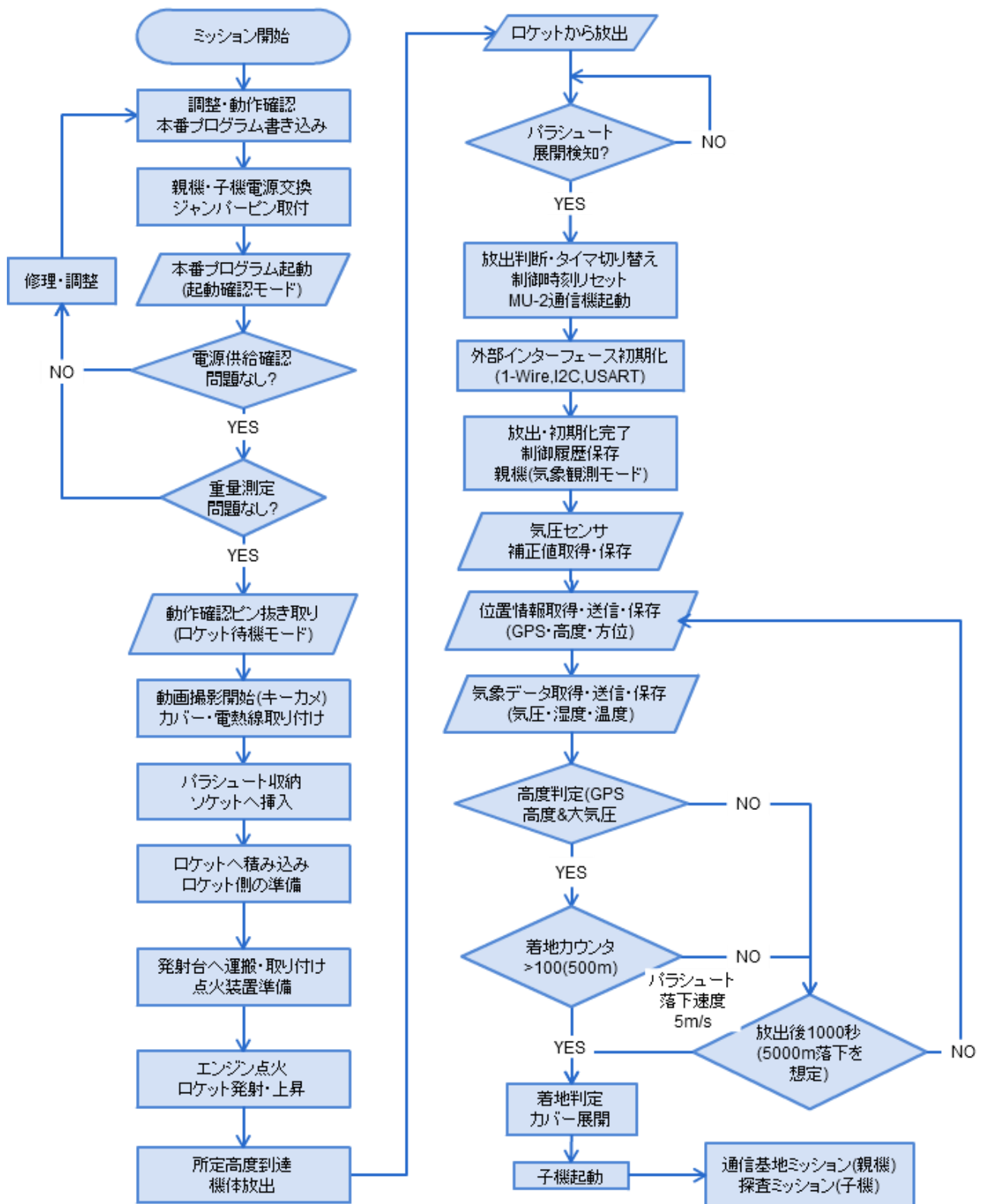


図2：ミッション開始~分離までのミッションフローチャート

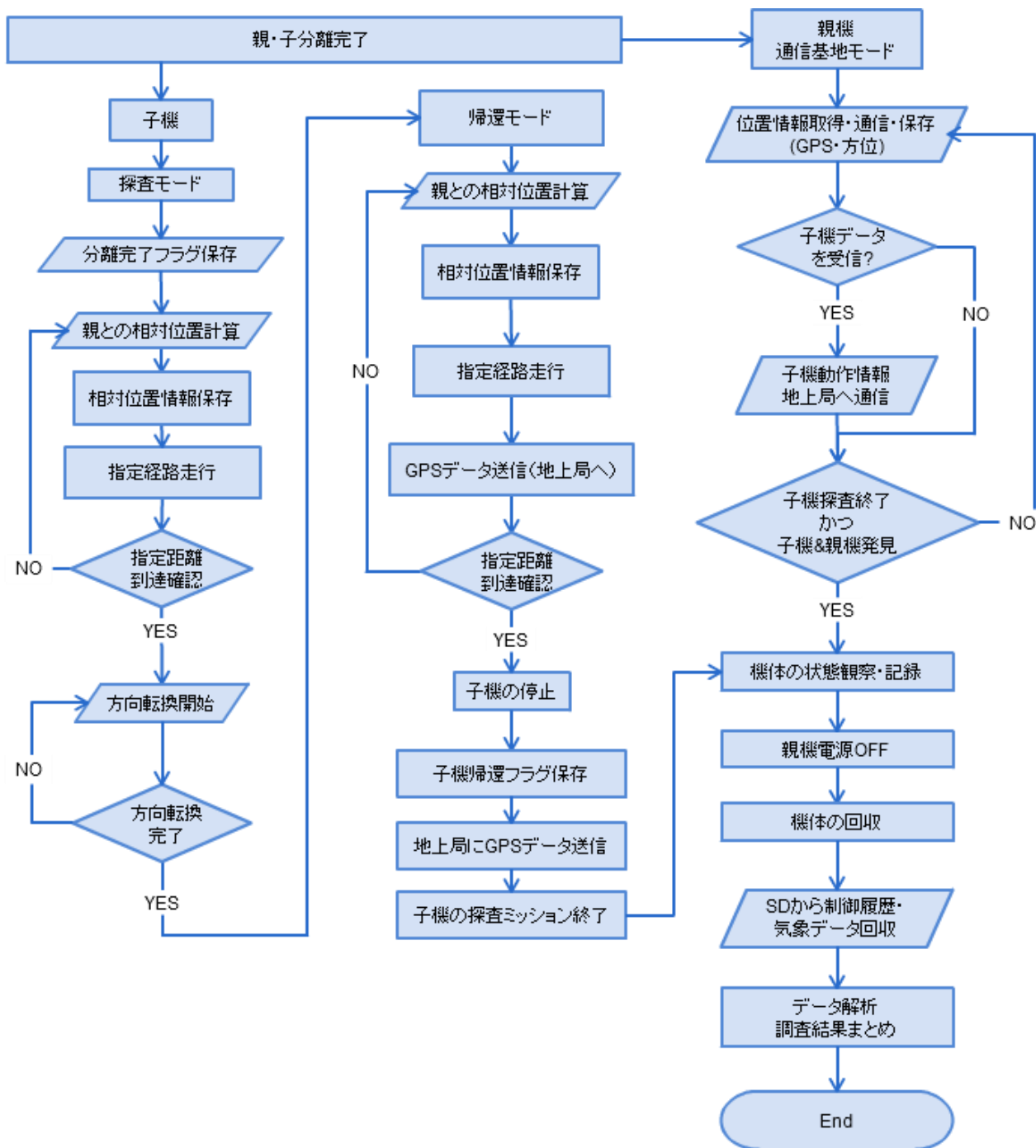


図3：分離～ミッション終了までのミッションフローチャート

表 1 : サクセスクライテリア

| | 項目(共通) | 項目(親機) | 項目(子機) |
|-----------------|---|-----------------------------|---|
| Minimum | 1.ARLISS レギュレーションを満たした機体の製作 2. データ送信、親機⇄子機 | 1.気圧・気温・湿度データの取得 | 1. 自律分離動作 2. ミッション動画撮影 |
| Full | | 1.子機状態の地上局へ送信 2. 大気密度の算出 | 1. 子機位置情報・制御データ送信 2. 自律移動制御 (親機から 30m 以上離れる。) 3. 自律帰還制御 (30m 以上離れたことを探知し、機体進行方向を 180 度反転させる。) |
| Advanced | | | 1. GPS の誤差範囲以上親機から離れて、5m 圏内に帰還する。 |

2 機体説明

2.1 システムダイアグラム

図 4～6 にシステムダイアグラムを示す。それぞれ順に親機、子機、地上局のシステムダイアグラムとなっている。また、図 7 には作成した機体の外観を示す。図 7 は左が打ち上げ前の親機と子機とパラシュートを詰めた状態で、右が子機の全体像である。

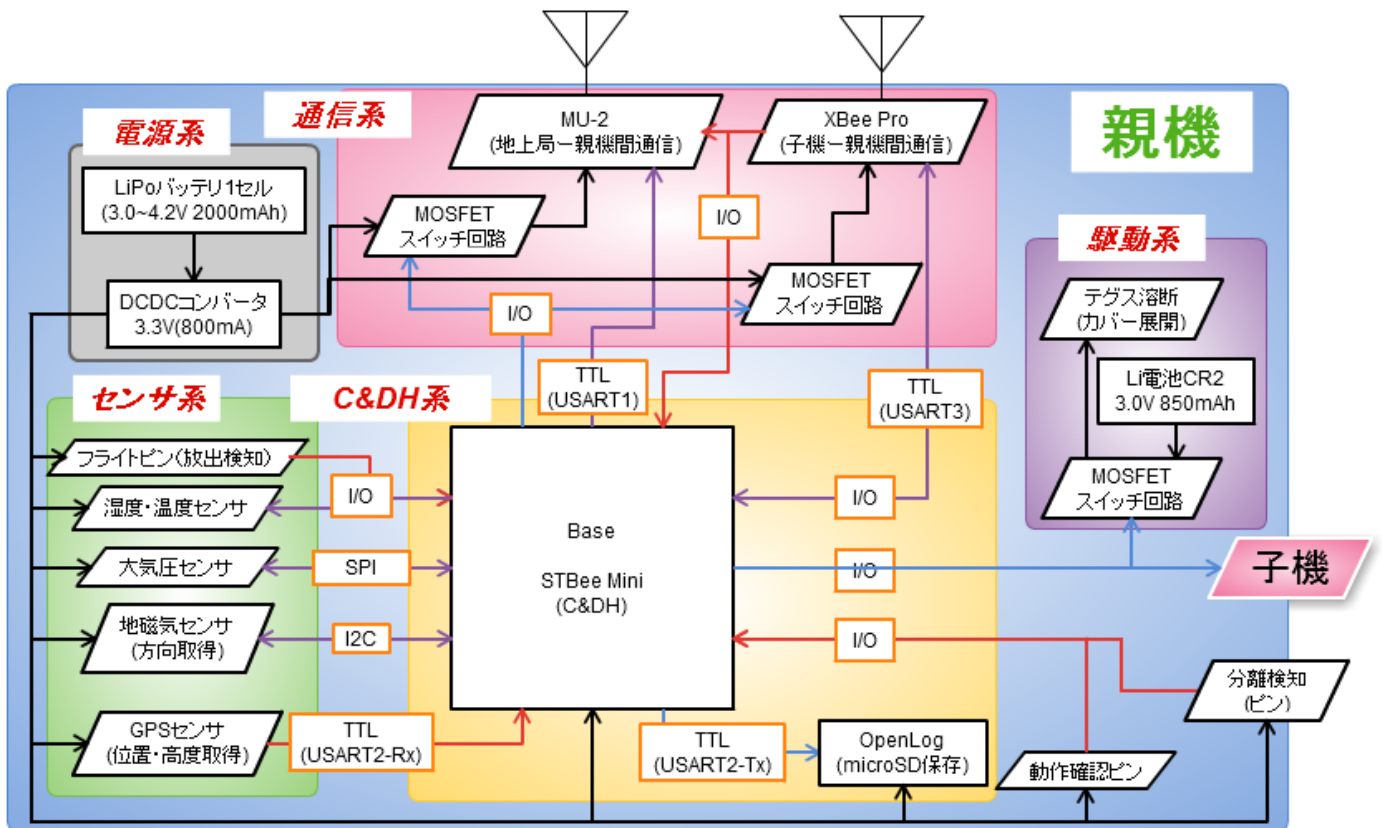


図4：親機のシステムダイアグラム

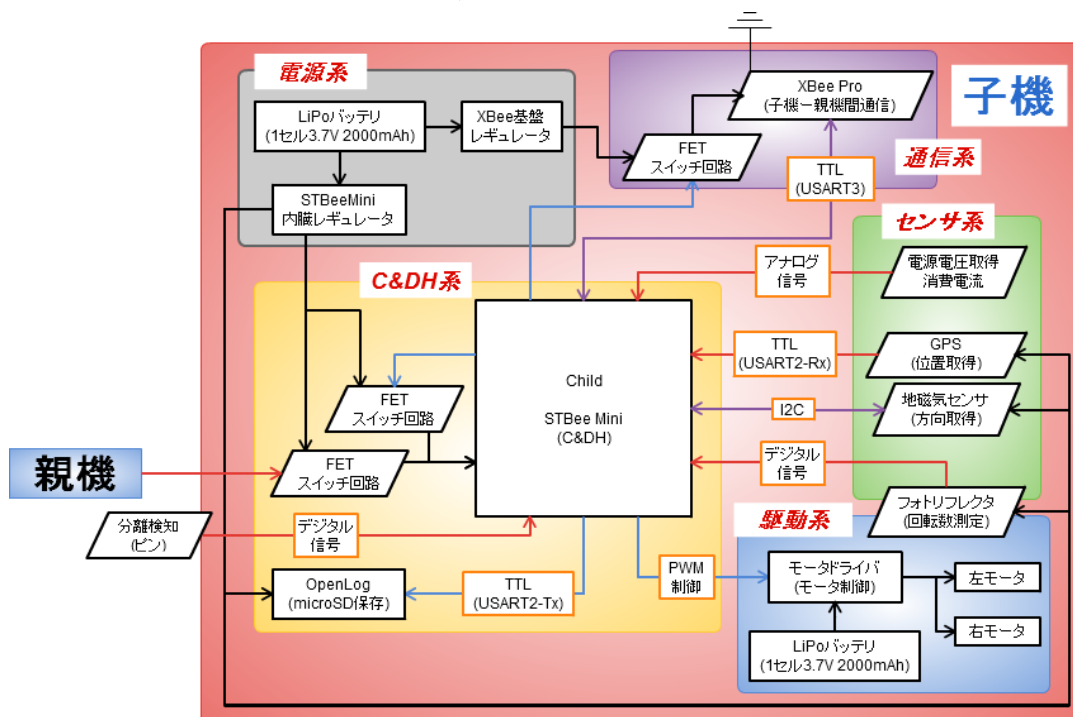


図5：子機のシステムダイアグラム

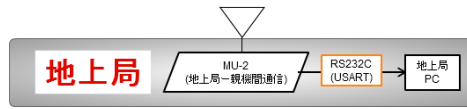


図6：地上局のシステムダイアグラム



図7：機体外観

2.2 パラシュート



図8：パラシュートが開いている様子

図8に制作したパラシュートを示す。パラシュートは自作であり、図9のように生地から正三角形を6つ切り取ってミシンにて縫合し、中央は穴の開いた形状をしている。材料にはリップストップナイロンを用いている。落下試験などを多く行い、信頼性の高いパラシュートであったため、ARLISS本番でも問題なく展開し、十分に減速した機体の着地ができた。

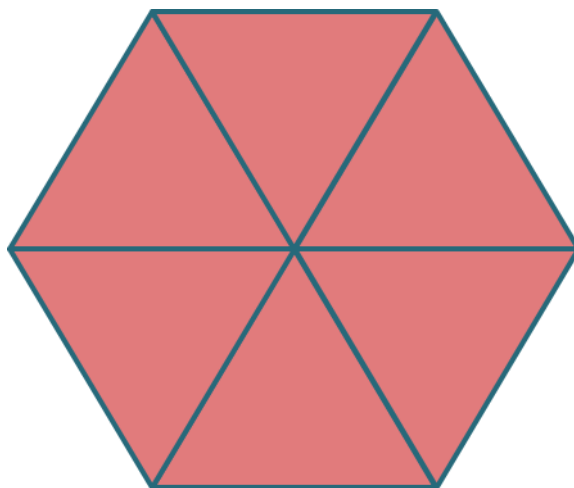


図9：自作パラシュート

2.3 構造

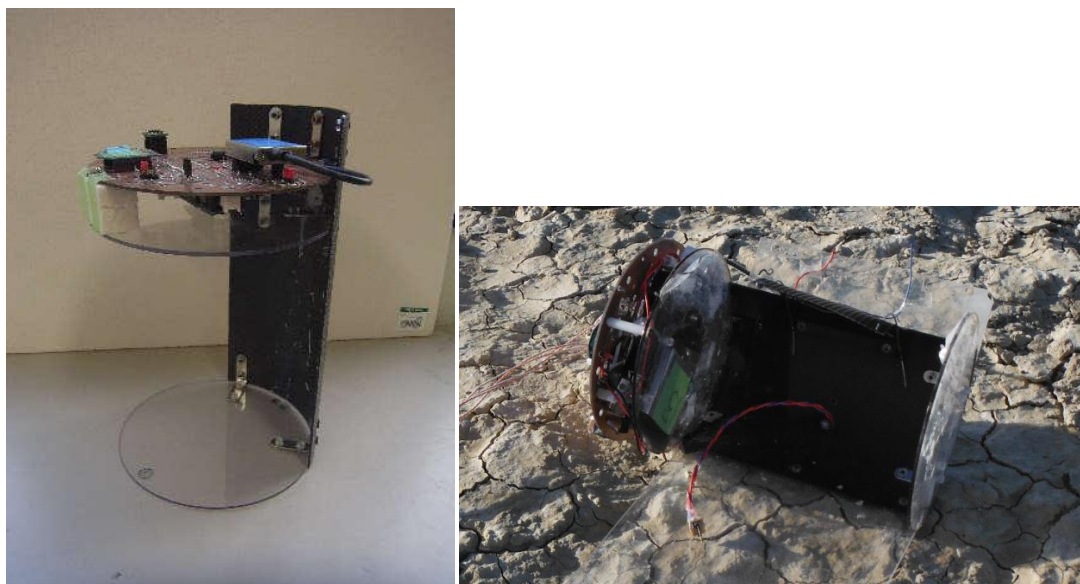


図10：親機構造

図10は開発した親機の構造であり、図11はその概念図である。CFRPパイプを3分の1にカットしたものにステンレスのL字金具で基板とポリカーボネート円板が取り付けられている。ゆりかごのような構造をすることで、子機の保護と分離の両立ができるようにした。また、カバー展開時に子機が親機から飛び出

して、ローバーの発信する方向に親機が存在してしまうのを防ぐために、飛び出し防止の工夫がされている。

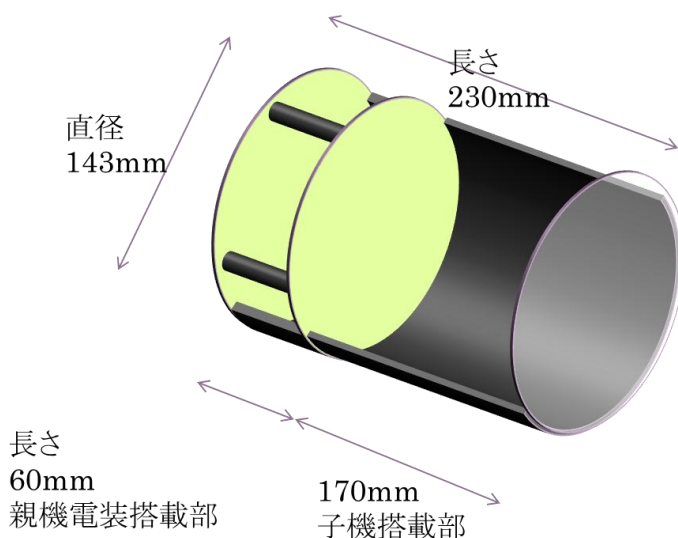


図 1 1 : 親機概念図

子機はローバー型で、図 7 の右側のような構造となっている。二輪駆動の主にモータ・タイヤ・スタビライザと支持部から構成されるローバーである。この機体の主な特徴は軽量化・小型化のために、車輪部の材料には強化ダンボールを用いていることと、ゴム板を車輪先端に取り付けることで、段差に引っかかって登ることができるようにし、走破性を向上させる設計となっていることである。

2.4 電装

親機と子機の回路図を図 12～13 に示す。マイコンには STBeeMini を用いて、電源は LiPo バッテリーを DCDC コンバータで 3.3V に変換して供給している。

親機には、主なセンサとして

- 気圧センサ (SCP1000-D01)
- 湿度センサ (Grove - Temperature and Humidity Sensor Pro)
- GPS (GT-723F)

を搭載している。子機には主に、

- GPS (GT-723F)
- デュアル・モータードライバ (TB6612FNG)

が搭載され、それぞれにはデータを保存するための OpenLog と MicroSD カードも搭載されている。

また通信機として、XBeePro、MU-2 を用いている。

基板は基板切削機を用いて制作した。実際に制作したものを図 14～15 に親機のを、図 16～17 に子機の基板を示す。

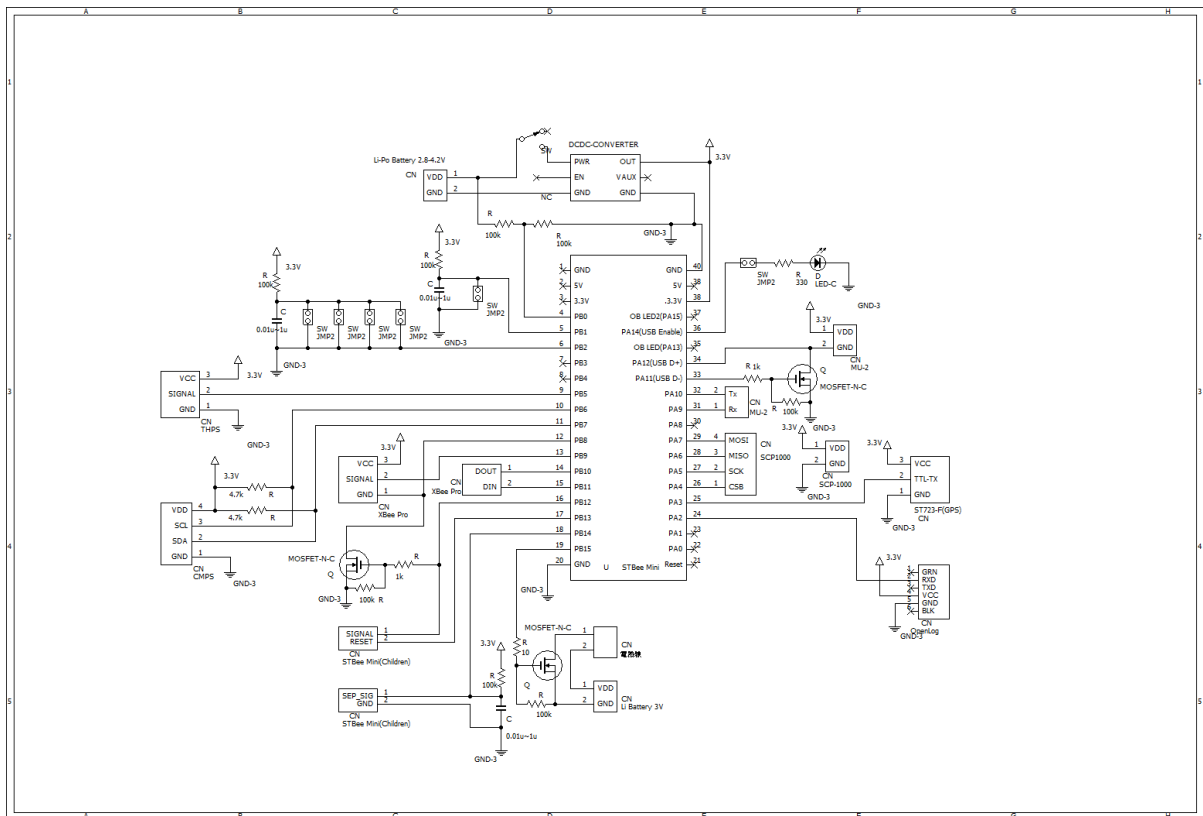


図 12 : 親機の回路図

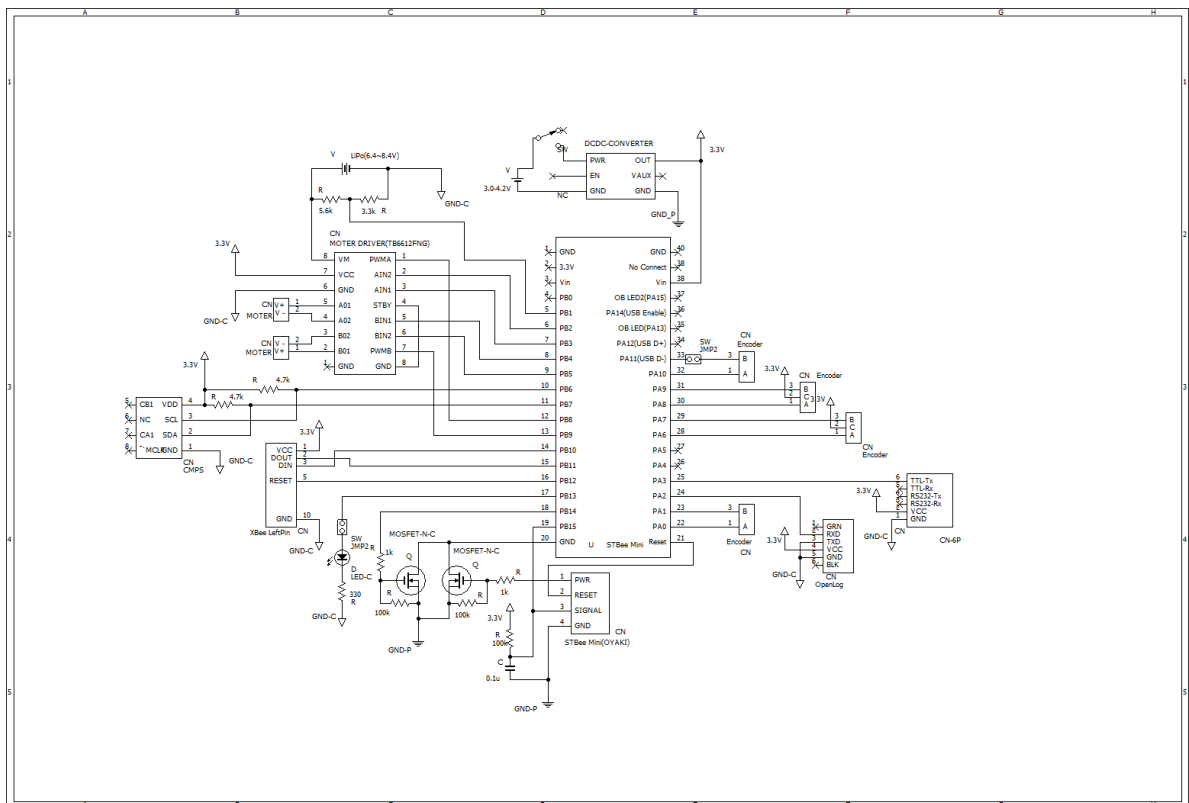


図 13 : 子機の回路図

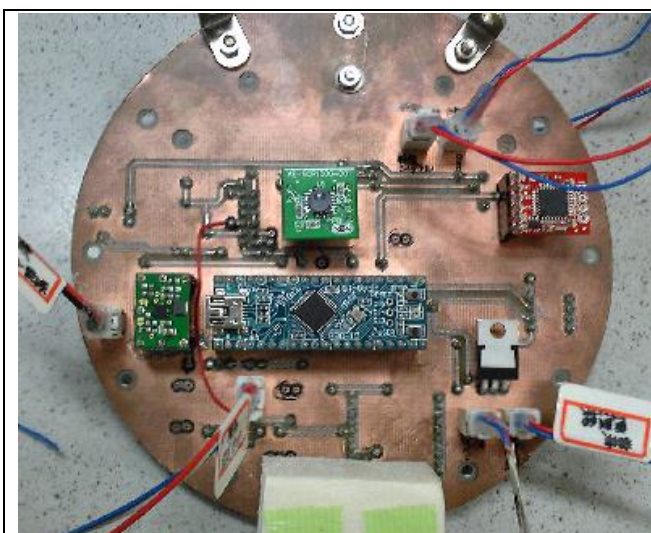


図 1 4 : 親機電装の切削基板 (下側)

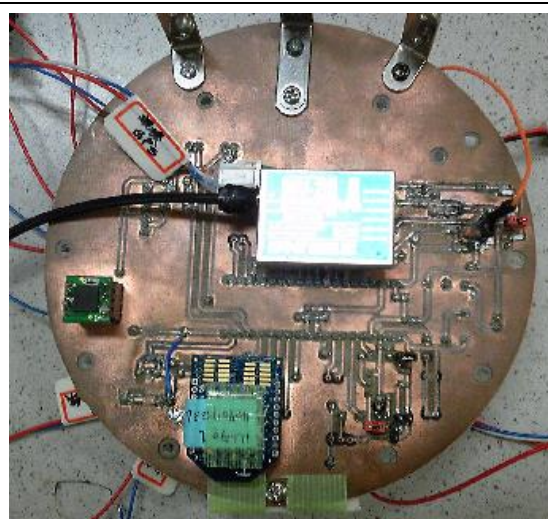


図 1 5 : 親機電装の切削基板 (上側)

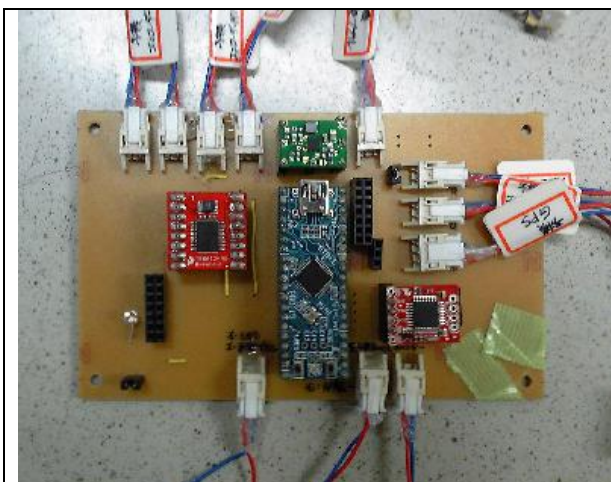


図 1 6 : 子機電装の切削基板 (下段)

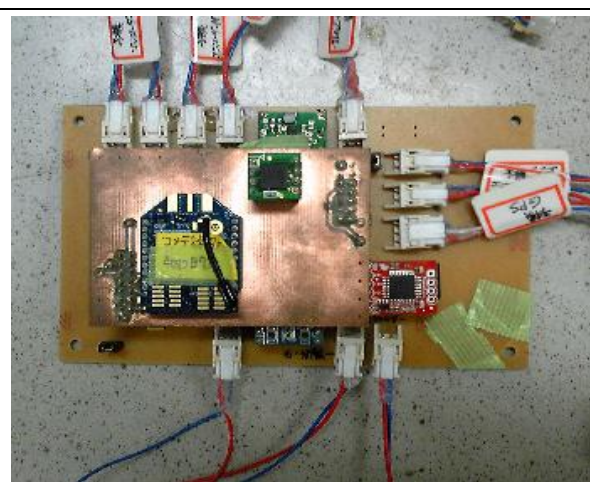


図 1 7 : 子機電装の切削基板 (上段)

3 ARLISS 結果報告

3.1 1stフライト結果

表 2 : 打ち上げ 1 回目状況

| 項目 | 詳細 |
|--------------|--|
| 打ち上げ日時 | 9/11(ARLISS 2 日目) 14:30 |
| 放出地点(GPS 座標) | N 40° 50.5544' W 119° 07.0413' |
| 着地地点(GPS 座標) | N 40° 50.0099' W 119° 05.4928' |
| 上記 2 点間の距離 | 2418m |
| 天候 | 快晴・微風 |
| 衛星回収 | 地上局の GPS と目視で追跡 発射から 10 分後に、目視により着地前に発見 |

表 2 に打ち上げ一回目の状況を示す。結果としては、打ち上げから着地までは特に問題なく動作したが、親機のカバー展開後に子機が起動せず、その後のミッション遂行が不可能となった。また両輪のモータのギアの損傷、GPS 信号線のコネクタ根元での断線も生じており、仮に子機が起動したとしても子機の探査ミッションの遂行は不可能であった。

一回目の打ち上げ時に取得したデータを、図 18～25 に示す。

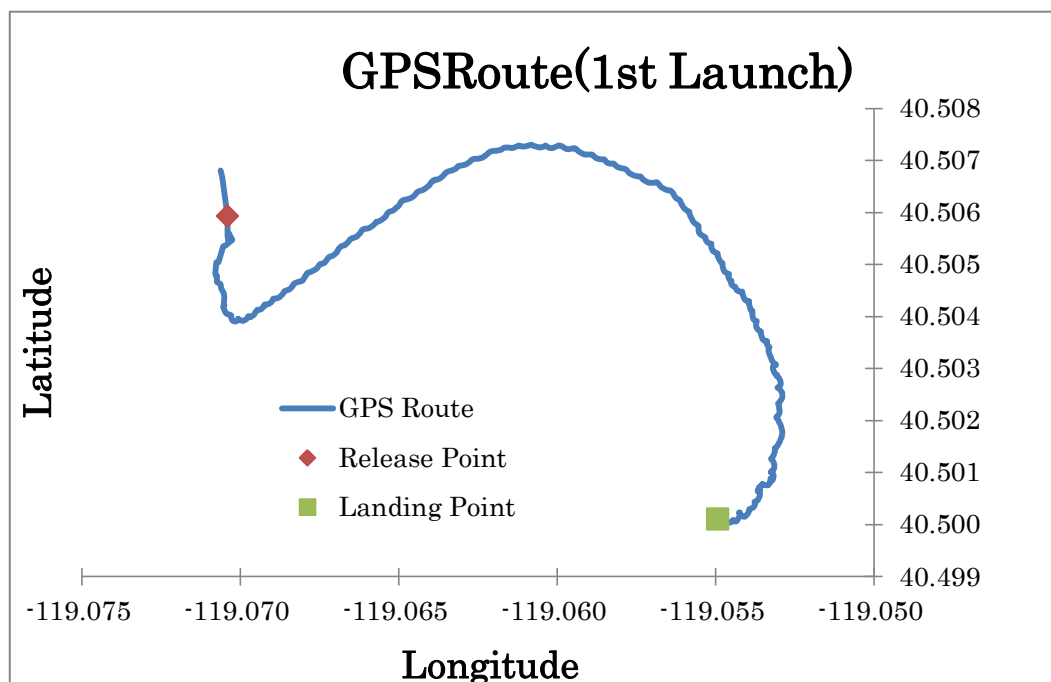


図 18 : GPS 座標

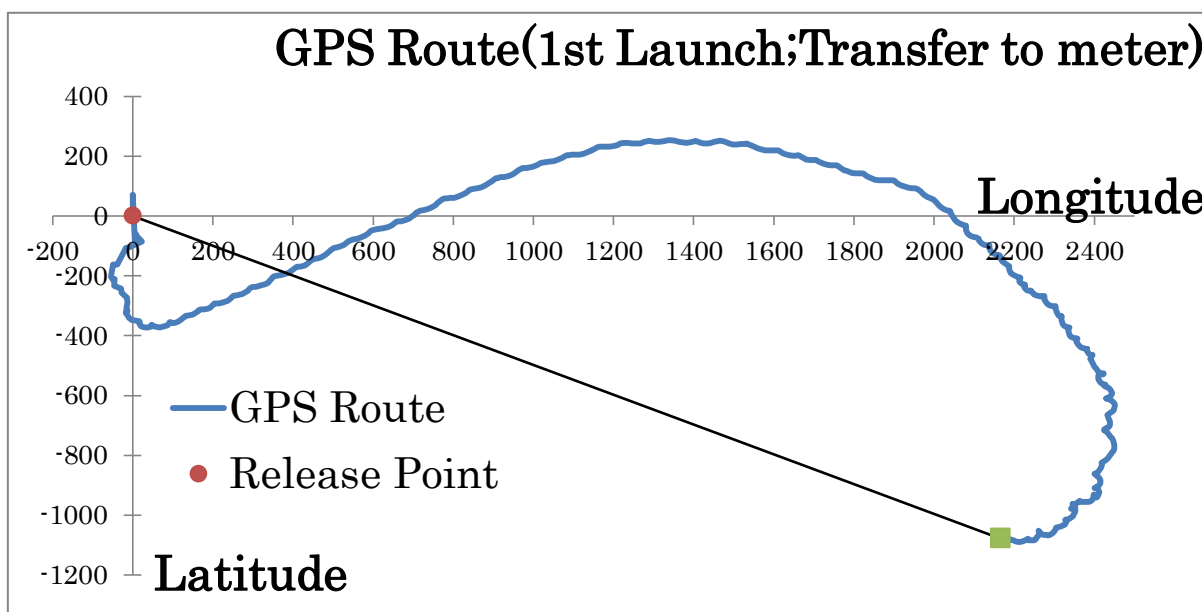


図 19 : GPS 座標(メートル換算 : 放出地点と着地地点の距離は約 2.4km であった)

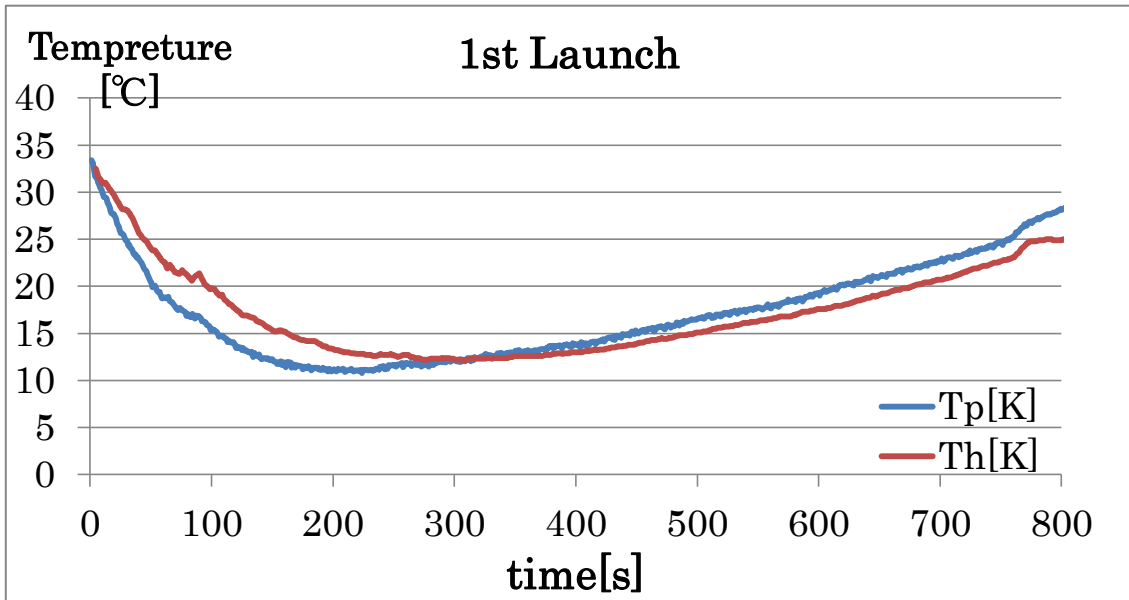


図 2 0 : 温度データ(気圧センサ・湿度センサ)

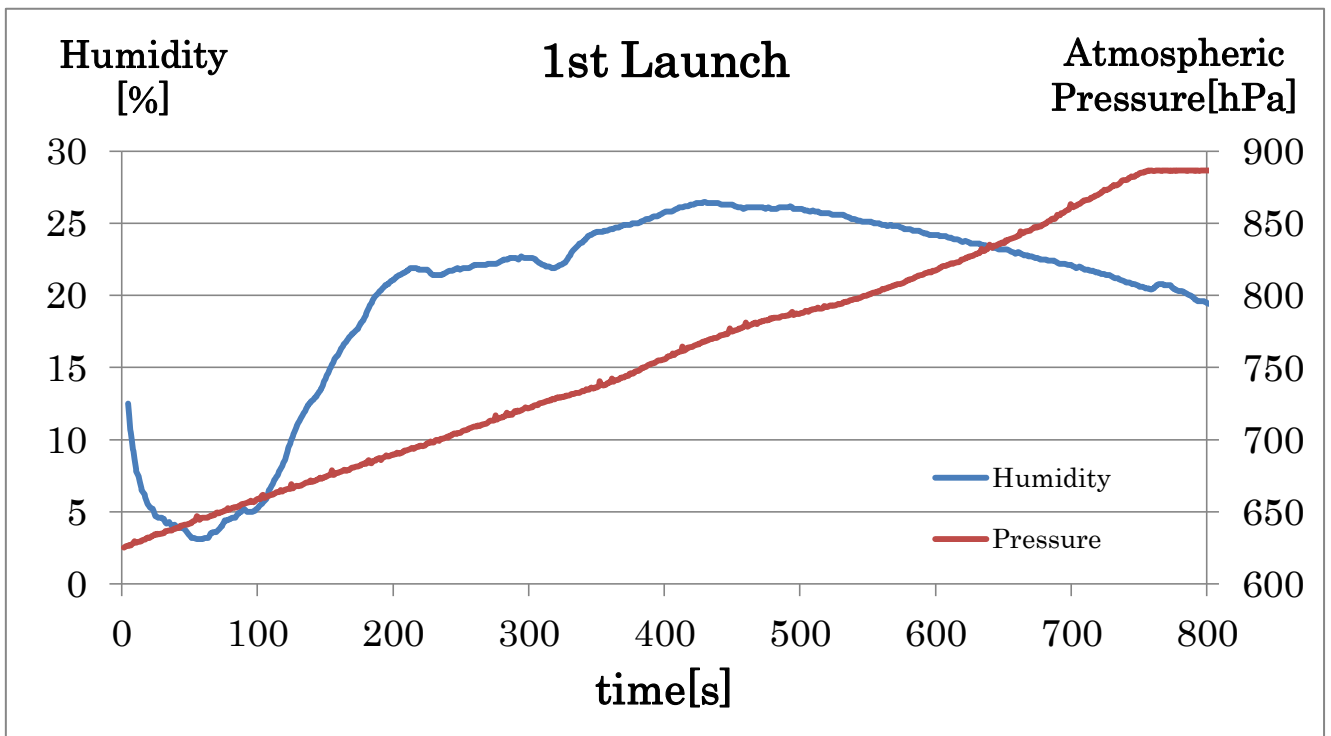


図 2 1 : 気圧・湿度データ

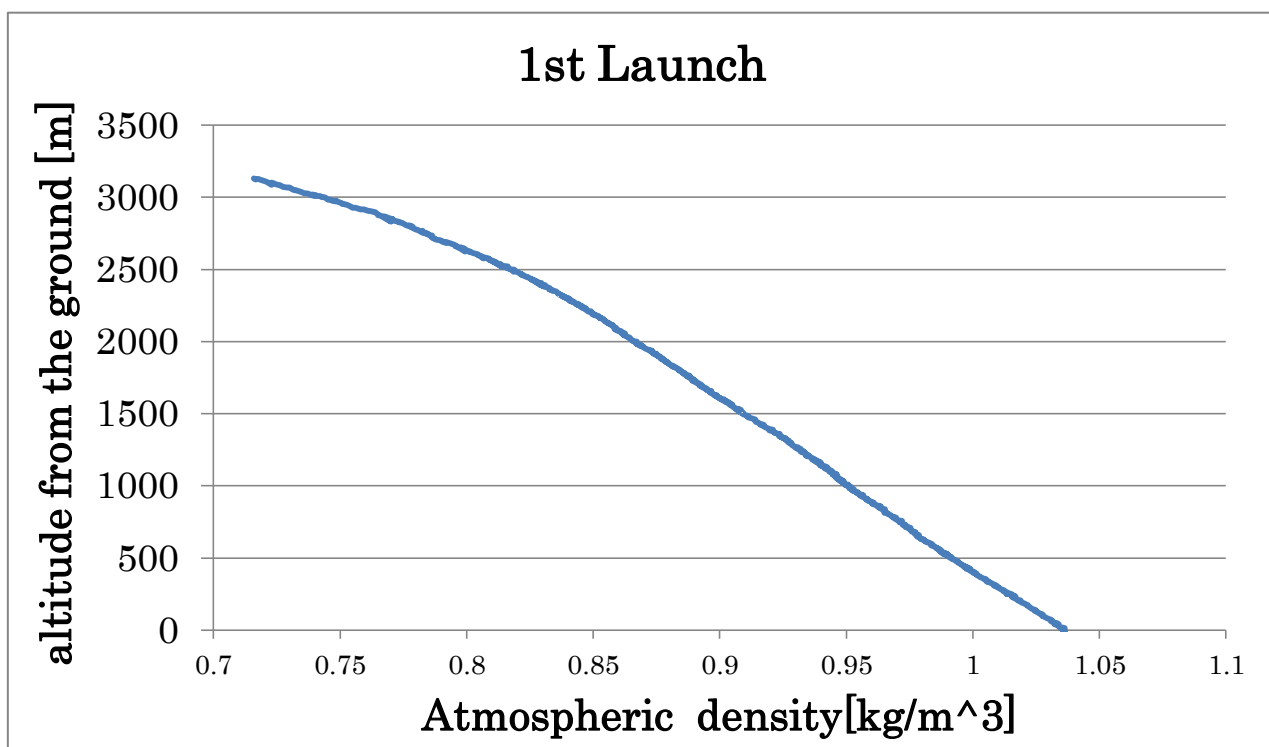


図 2 2 : 高度・大気密度データ(高度：気圧データより)



図 2 3 : 放出時の搭載カメラの動画の 1 シーン



図 2 4 : 落下時の搭載カメラの動画の 1 シーン

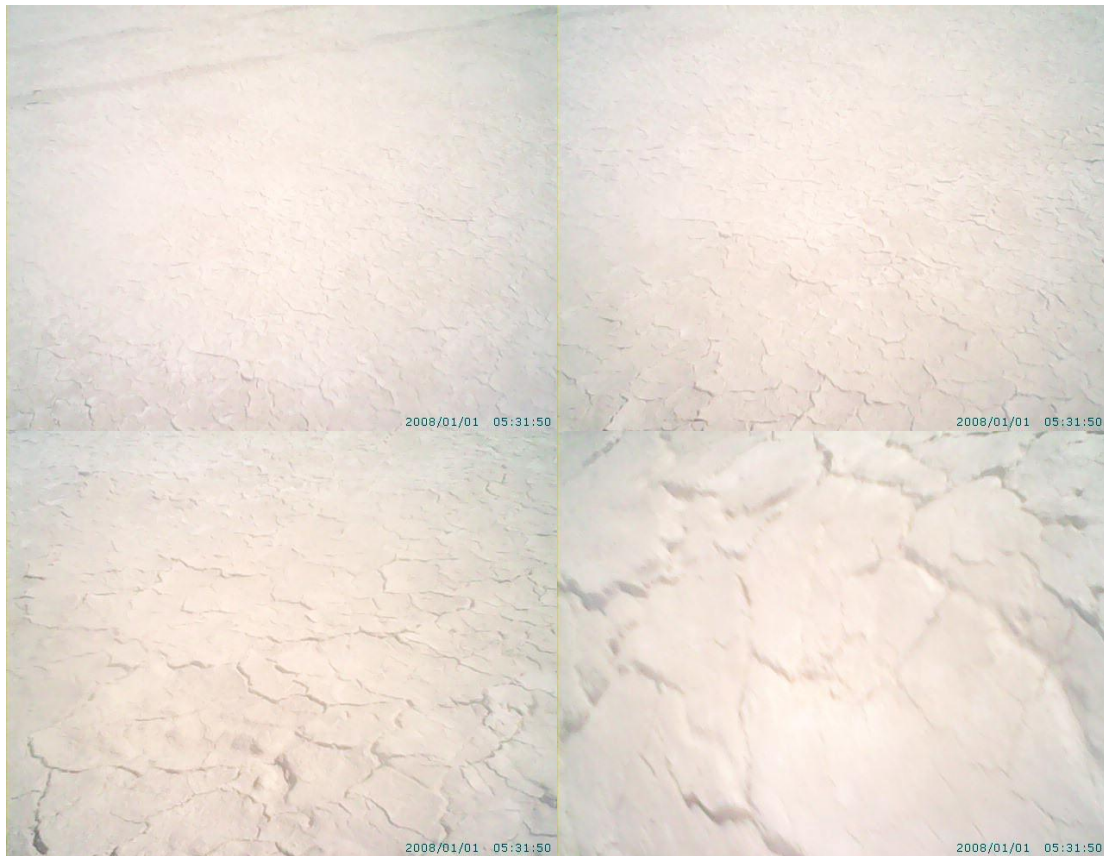


図 2 5 : 着地前の搭載カメラの動画の 1 シーン

3.2 2ndフライト結果

表 3 : 打ち上げ 2 回目の状況

| 項目 | 詳細 |
|--------------|---|
| 打ち上げ日時 | 9/13(ARLISS 4 日目) 17:00 |
| 射点(GPS 座標) | N 40° 52.7044' W 119° 08.3538' |
| 着地地点(GPS 座標) | N 40° 51.7235' W 119° 08.2349' |
| 射点からの距離 | 約 1850m |
| 天候 | 快晴・微風 |
| 衛星回収 | 地上局での GPS データで追跡 打ち上げから 40 分後 目視で、着地後の子機の探査中に発見 |

表 3 に打ち上げ 2 回目の状況を示す。機体は打ち上げから着地、分離、目標地点到達、子機の帰還まで、問題なく動作していた。しかし帰還制御後に、左モータが回らず、探査開始地点の親機まで戻ることが出来なかった。また、カメラによるミッション動画も、カメラの microSD には、壊れたファイルしか残すことが出来ず、探査中の動画を見る事が出来なかった。

2 回目の打ち上げでも親機の気象データは取得できていた。機体の取得データを

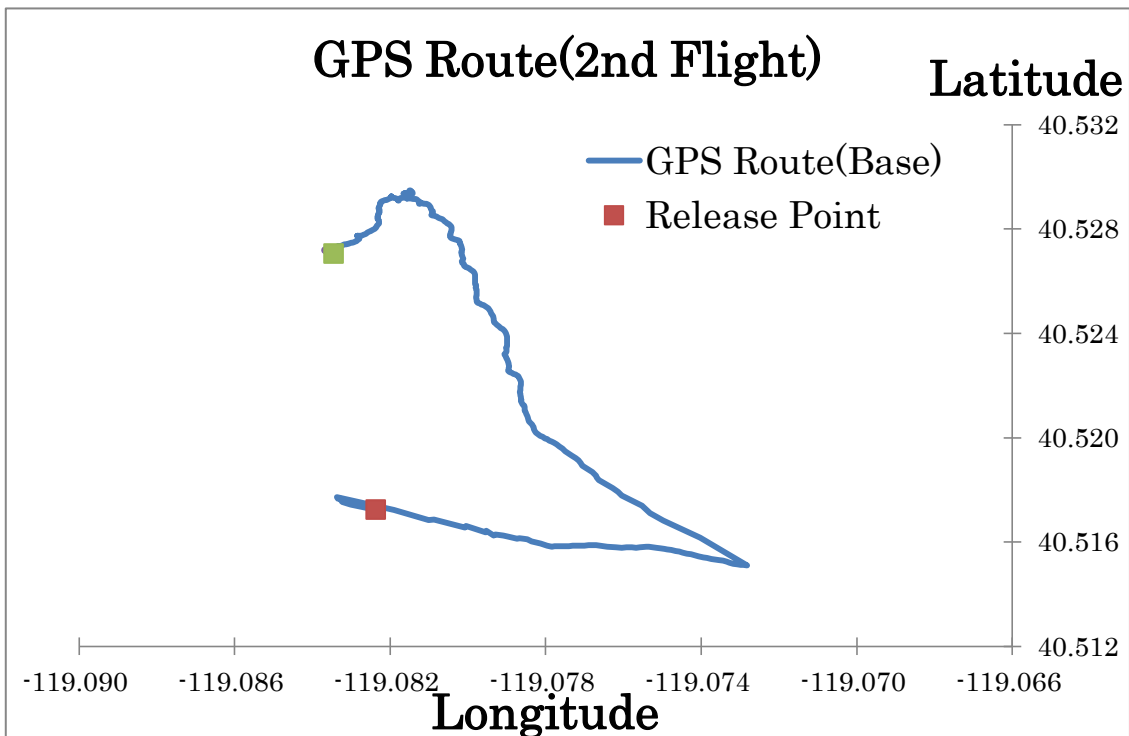


図 2 6 : 放出から着地までの親機の GPS 座標

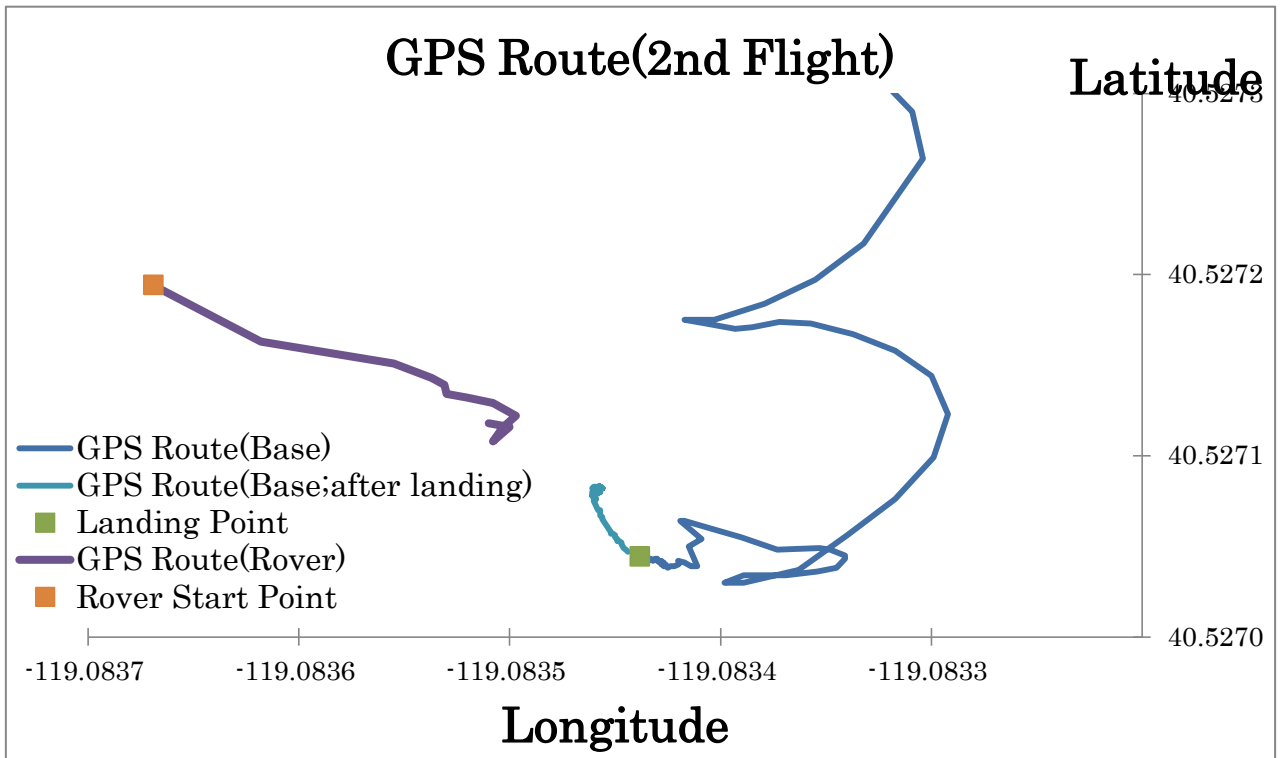


図 2 7 : GPS 座標(着地地点周辺)

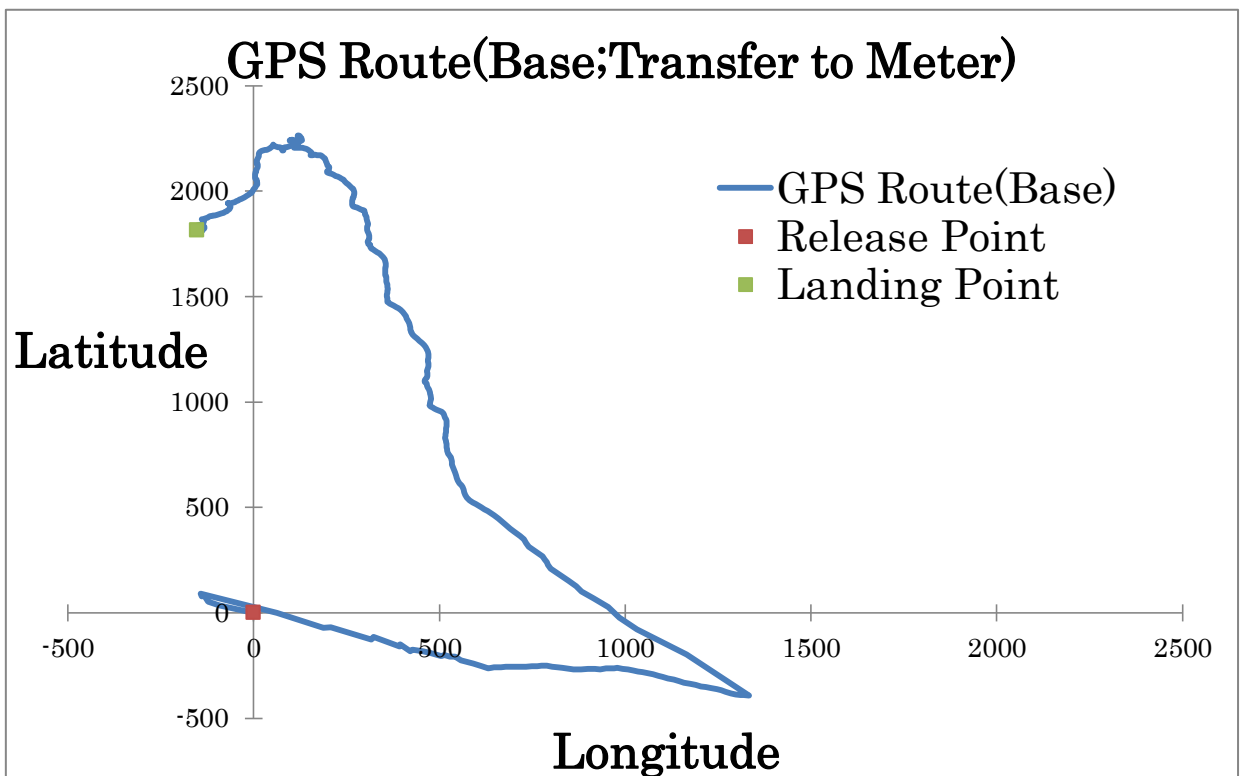


図 2 8 : GPS 座標(親機;メートル換算)

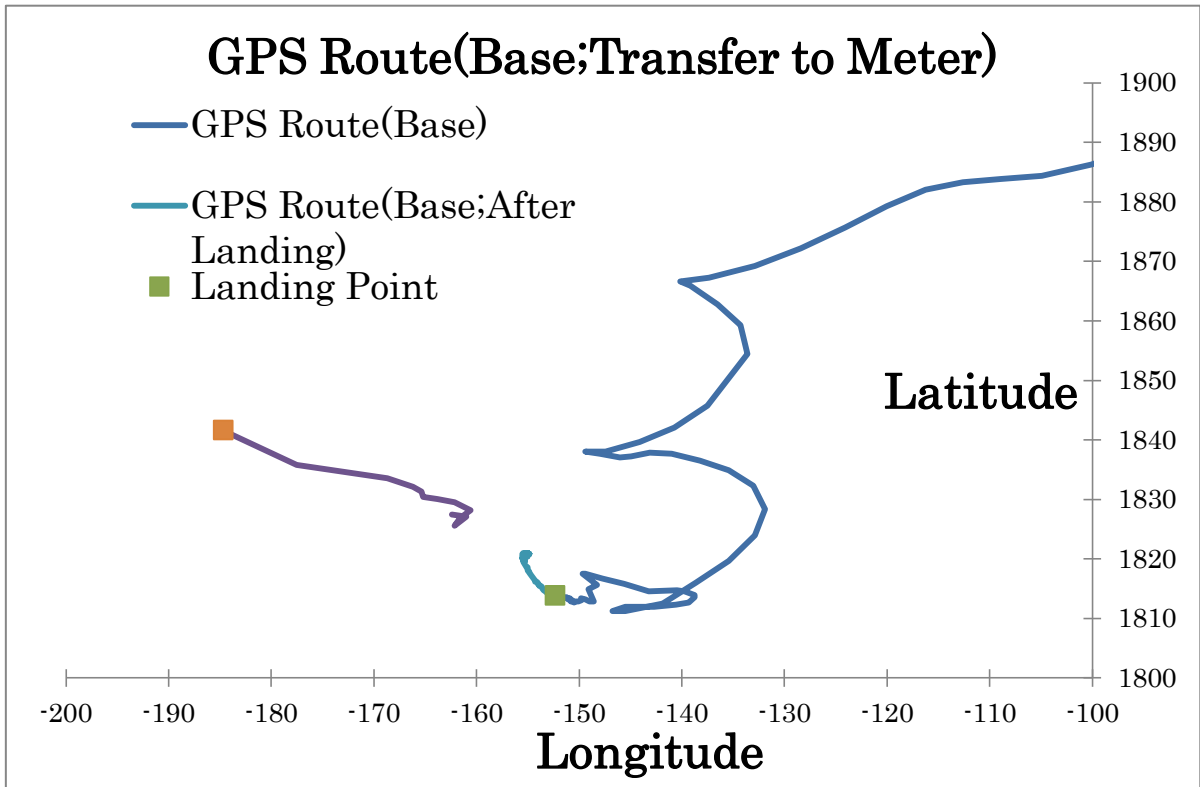


図 2 9 : GPS 座標(着地地点付近; メートル換算)

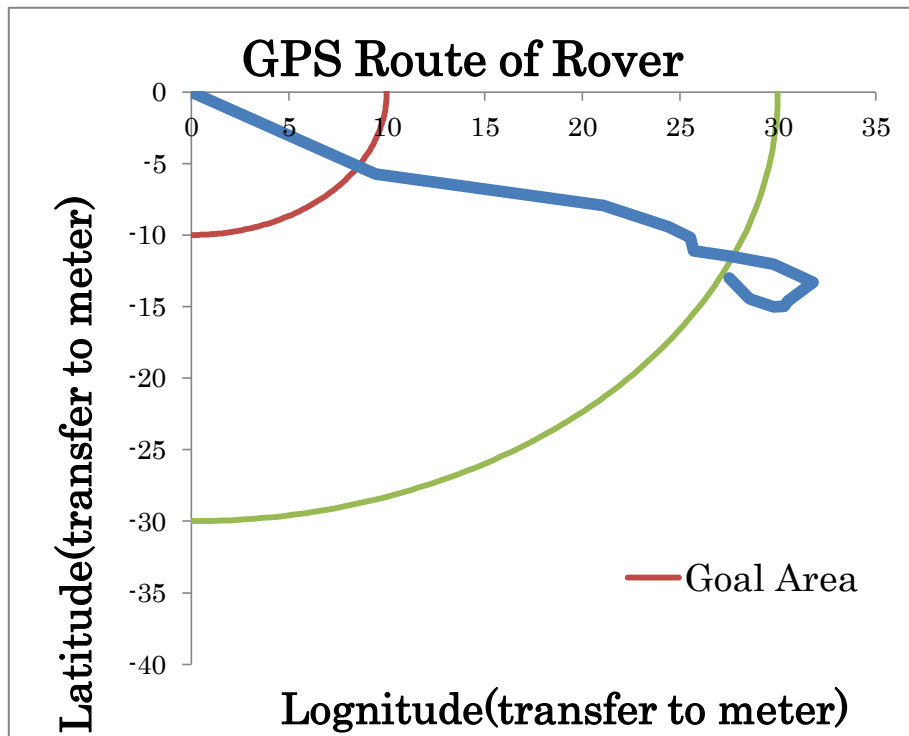


図 3 0 : GPS 座標(子機探査状況; 出発地点を原点としている)

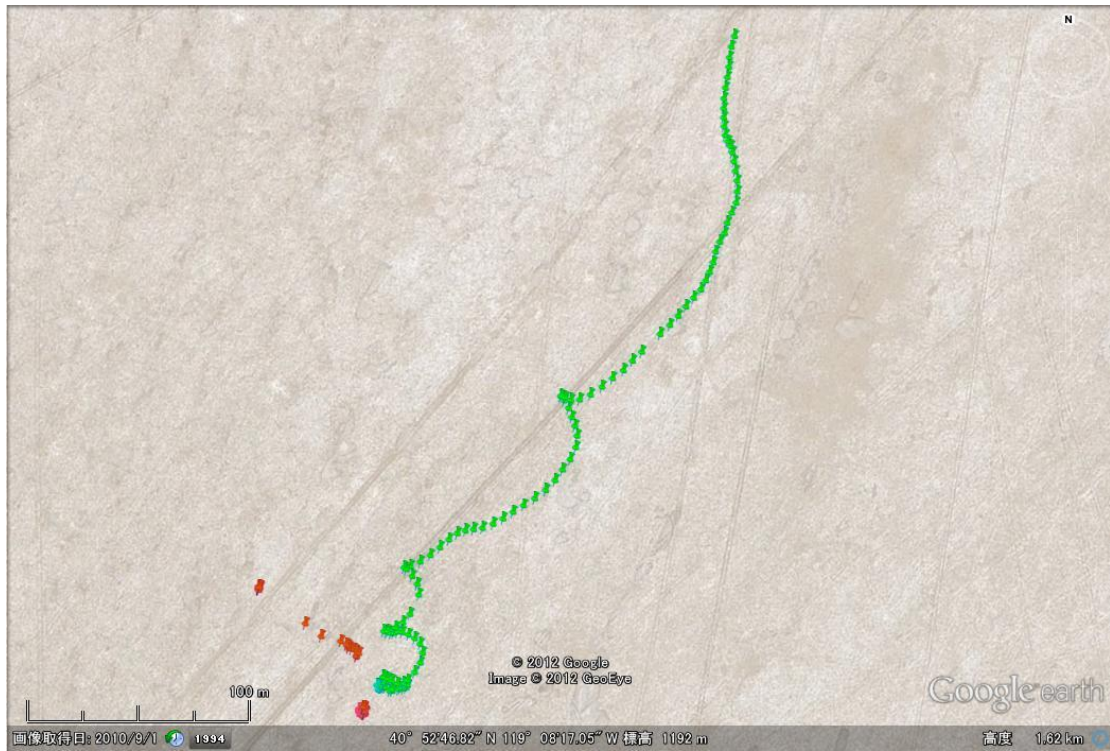


図 3 1 : GPS 座標 Google earth 表示
 (緑ピン：親機(放出～着地)、赤ピン：子機(起動～ミッション終了))

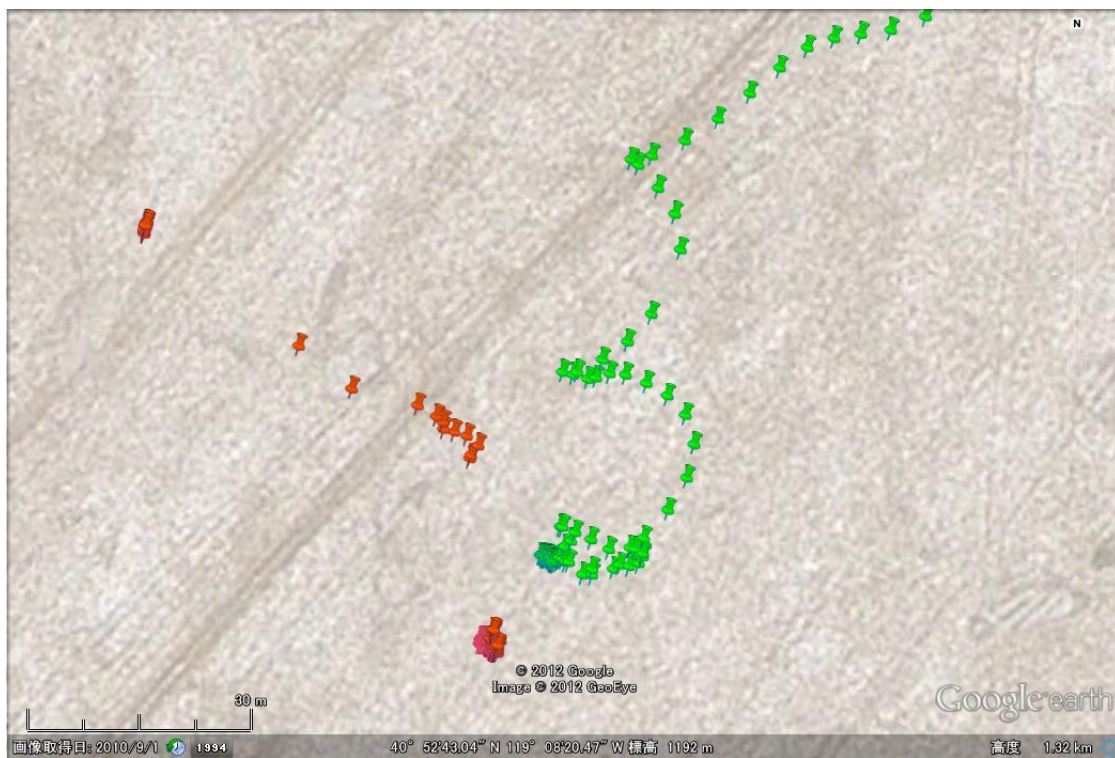


図 3 2 : GPS 座標 Google earth 表示 着地地点周辺拡大

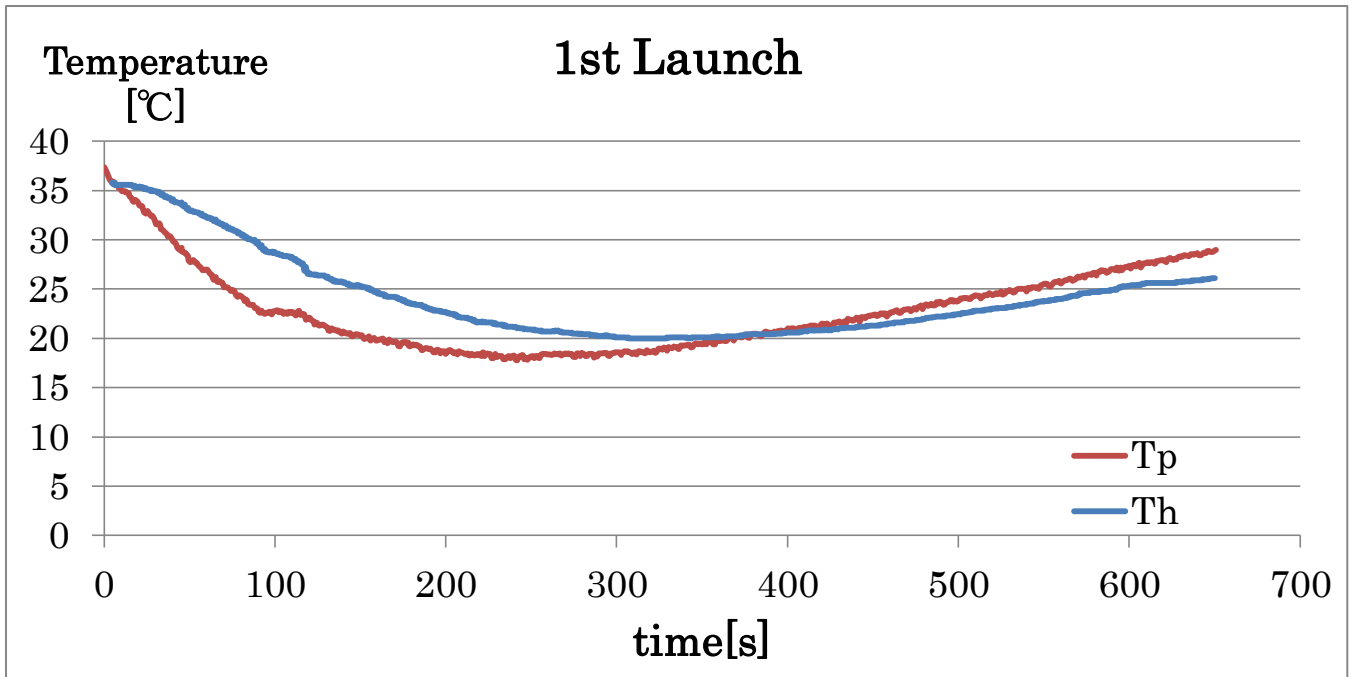


図 3 3 : 温度データ(気圧センサ・湿度センサ)

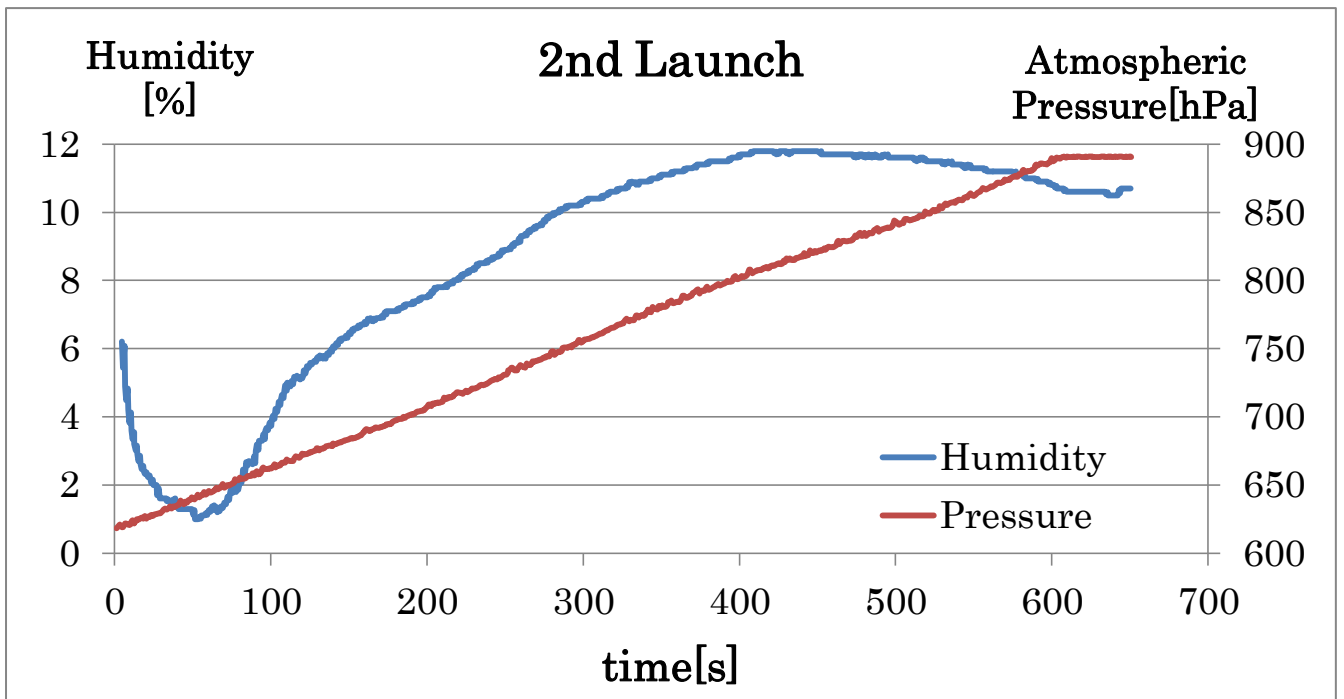


図 3 4 : 気圧・湿度データ

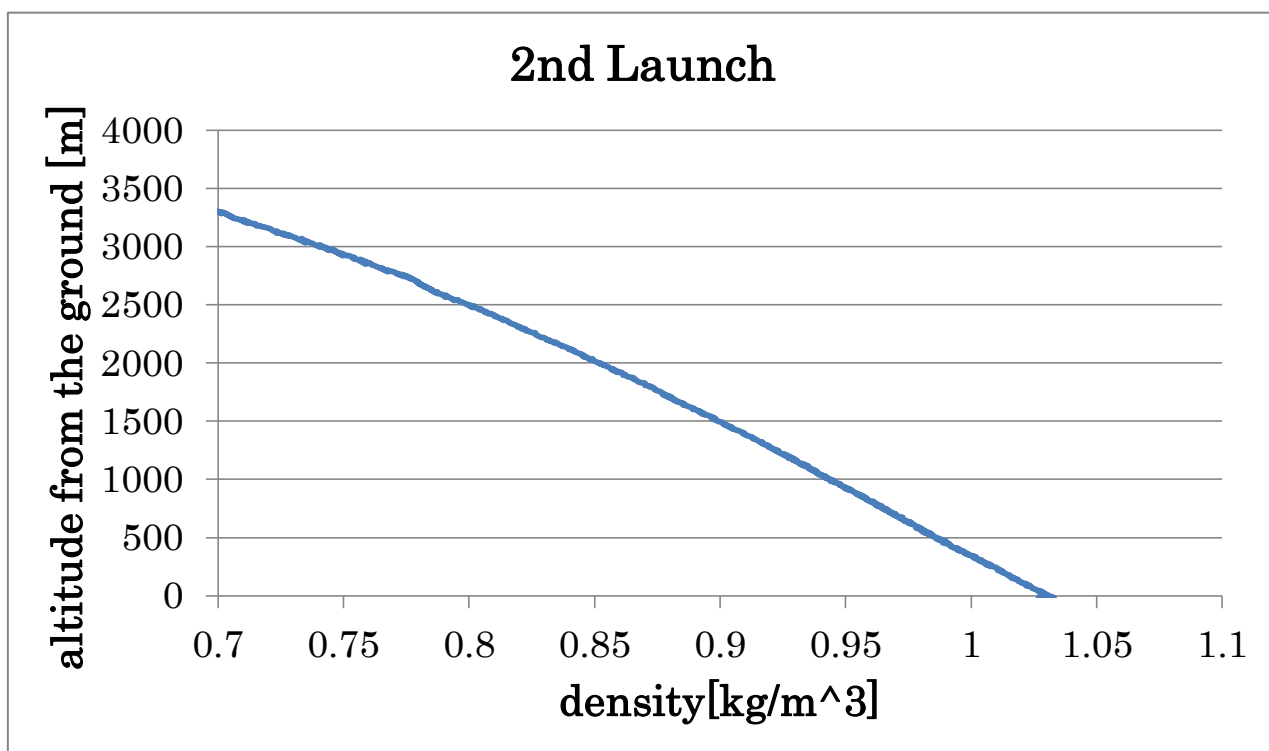


図 3 5 : 高度・大気密度データ(高度：気圧データより)

3.3 結果のまとめ

表 4 : サクセスクライテリアの評価

| | 項目(共通) | 項目(親機) | 項目(子機) |
|-----------------|---|-----------------------------|---|
| Minimum | 1.ARLISS レギュレーションを満たした機体の製作 2. データ送信、親機⇄子機 | 1.気圧・気温・湿度データの取得 | 1. 自律分離動作 2. ミッション動画撮影 |
| Full | | 1.子機状態の地上局へ送信 2. 大気密度の算出 | 1. 子機位置情報・制御データ送信 2. 自律移動制御 (親機から 30m 以上離れる。) 3. 自律帰還制御 (30m 以上離れたことを探知し、機体進行方向を 180 度反転させる。) |
| Advanced | 青⇒成功 赤⇒失敗 | | 1. GPS の誤差範囲以上親機から離れて、5m 圏内に帰還する。 |

2回の打ち上げの結果とサクセスクライテリアを比較する。サクセスクライテリアの評価表を表4に示す。表を見ると、フルサクセスまで達成していることがわかるが、一回目に子機が起動しないことや、モータの破損という失敗があった。2回目には動画が正しく保存できなかったことや、再びモータの破損が起きてしまった。これを繰り返さないようにするためにはどうすればよかったのか、次に同様の過ちを犯さないようにするにはどうすればよいか。失敗の原因と考察について次の「4. 結果の分析と今後の課題」にて述べる。

4 結果の分析と今後の課題

4.1 結果の分析 (1stフライト)

1. 結果の分析

(ア) 気象データ

① 状況

- 全ての気象データを取得・保存できた。
- 気圧は予想通りほぼ線形で変化した。
- 温度・湿度は予想に反する変化を示した。

② 分析

- 気圧データはGPSの高度データと比較するとよく相関性を示すことから、正しい値がとれていると判断した。
- 温度・湿度データは、機体と一緒に地上の空気が運ばれた影響で、放出後しばらくは正しい大気の数値を得られていないと推測される。
- 落下中に撮影した動画を見ると、湿度がピークを示すあたりで雲を通過していることがわかる。途中で湿度が高くなったのはこのためだと考えられる。
- 上記の要因から、全ての気象データが正しく測定できているのは1500m以下の範囲だと考えられる。この範囲で空気密度は線形に変化している。

2. 失敗原因の分析

(ア) 子機起動失敗

① 状況

- 起動の信号線の親機側と子機側の2つのコネクタの接続は問題なし
- 親機から、電氣的に起動の信号が出ていたが、コネクタの親機側には届いていなかった。
- 信号線を製作してから、導通チェックと実機を使用した動作確認を行っていた。
- 打ち上げ直前にも、動作確認したものをを使用した。

② 原因

- コネクタの子機側と子機の基板では、導通チェックに問題がなかったことから、

親機側の起動の信号線に問題があることが考えられる。

- コネクタ部分と基板での起動の信号が導通しなかったが、他のピンと導通している事から、親機側の信号線の配線ミスが考えられる。
 - 打ち上げ直前の動作確認では作業者は問題なしと判断したが、これが判断ミスだと発覚した。
- ③ 対策
- 信号線すべての導通と接続のチェックを行った。

(イ) GPS データの未取得

① 状況

- GPS は起動しており、衛星を捕捉していることを示す内部 LED が点滅しており、GPS 衛星は補足していると考えられる。
- 一方で、マイコンの STBee Mini は受信できず、GPS 処理をしていない。
- コネクタを注意して観察すると、GPS と子機の基盤を繋ぐコードの GPS 側のコネクタの根本で、信号線が切断されていた。
- 信号線には、ホットボンドによる保護がされていなかった。
- 事前の動作確認で問題なしと判断されているものを使用した。
- 打ち上げ直前の確認でも、動作していたことから問題なしと判断していた。

② 原因

- GPS データがマイコンまで送られてこなかったのは、GPS と基板の間の信号線が切断されていたためと考えられる。
- 切断は打ち上げてから着地までの間に起きたと考えられる。
- 動作しているとしても、ホットボンドによる保護が必要であったにもかかわらず、判断されなかったことにも、問題があると考えられる。

③ 対策

- すべての GPS コネクタが保護されているか、信号線の導通に問題がないかを再度確認し直した。

(ウ) モータのギアの損傷

① 状況

- 両輪が回りにくくなっていた。
- 特に左モータはほとんど回わすことができなかった。
- カップリング・ラジアルベアリング・シャフト・タイヤといったモータ以外の駆動系は破損しなかった。
- モータに付属したギアの歯が 3~4 か所で根元から折れていた。

② 原因

- モータのギア以外の駆動系では破損が見られなかったことから、ギアの破損が回転しなかった原因と判断した。
- 破損に至るほどのトルクが生じた原因は、ロケットの振動・放出時の衝撃・着地衝撃などが考えられるが、特定はできなかった。
- モータが壊れた原因は衝撃力が挙げられるが、これは機体を放出させるための爆発によるものであると考えられる。
- 加えて、機体がレギュレーションとほぼ同じ寸法であったことが、ロケットからの放出時に機体の放出を妨げる方向に強い摩擦力を発生させる原因となり、結果機体に大きな衝撃力を発生させたことによるものであると考えられる。
- タイヤに最も近い部分のギアが破損していることから、衝撃力はタイヤから伝わったものであり、機体がタイヤを介して直接モーターに力がかかりやすい機構となっていた事も原因の1つと判断できる。

③ 対策

- 子機を収納するスペースに、緩衝材をとり付けて、親機から子機に伝わる衝撃を軽減される工夫を行った。
- 子機のモータ支持が片持ちであったのを両持ちとなるように補強し、剛性を高めてモータの振動の変位を小さくなるようにした。
- モータの起動トルクが、ギアの定格トルク以下になるように、減速比が小さいギアボックスに交換した。

4.2 失敗事項の分析 (2ndフライト)

2. 結果の分析

(ア) 気象データ

① 状況

1. 全ての気象データを取得・保存できた。
2. 気象データは1回目の打ち上げと同じような変化を示した。

② 分析

1. 気圧データはGPSの高度データと比較するとよく相関性を示すことから、正しい値がとれていると判断した。
2. 温度、湿度データは、機体と一緒に地上の空気が運ばれた影響で、放出後しばらくは正しい大気の手データを得られていないようだった。
3. 上記の要因から、全ての気象データが正しく測定できているのは1500m以下の範囲だと考えられる。この範囲で空気密度は線形で変化している。

3. 失敗原因の分析

(ア) カメラの撮影動画の保存ファイルの破損

① 状況

- 2つの搭載カメラの1つは起動しておらず、もう1つは、動画撮影モードとなっていた。後者はファイル自体は残っていたものの、ファイルが破損していた。
- microSD は、どちらのカメラにも挿入されており、問題はなかった。
- カメラの固定もしっかりされており、問題はなかった。

② 原因

- 起動できなかったカメラの方は、起動スイッチの接触不良と考えられる。
- また、打ち上げまでに時間がなかったことから、複数の作業者によって動作確認できなかったことが考えられる。
- ファイル破損したカメラについては、保存用の microSD が、振動・衝撃等で接触にトラブルが生じ、撮影データが microSD に保存できなかったと考えられる。

(イ) モーターのギアの損傷

① 状況

- 左モーターがほとんど回らなくなった。
- 駆動系の中では、カップリング・ラジアルベアリング・シャフト・タイヤは破損していなかった。
- モーターに付属したギアの歯が、数か所で根元から折れていた。

② 原因

- モーターのギア以外の駆動系では、破損が見られなかったことから、1回目と同様のギアの破損が回転しなかった原因であると判断した。
- ギアの破損状況より、駆動系のシャフトにかかるトルクが破損原因と考えられる。
- 破損に至るほどのトルクが生じた原因は、ロケットの振動・放出時の衝撃・着地衝撃などが考えられるが、特定はできなかった。

(ウ) 子機探査開始地点の座標のずれ

① 状況

- 発見時には、子機が駆動して親機から離れようと移動している様子を確認できた。
- 方向転換後、タイヤを回すことができなくなっていた。
- 方向転換を始めるのは、親機から 30m 以上離れているときである。
- 方向転換時の子機は、親機から 20m、南南西方向にあった。
- 親機の制御履歴より、着地してから分離動作が動いている。
- ミッション終了後に確認したところ、子機の GPS 座標は親機から西北西方向のある地点から始まっていた。

② 原因

- 日本での実験で衛星を補足しづらかったため、衛星補足数 4 つ以上のデータを用いて制御を行っていた。
- 砂漠で衛星補足数が改善したが、制御プログラムの修正は行わなかった。
- 衛星補足数 4~5 における GPS 座標の誤差が、我々の想定していたものより大きかったと考えられる。
- 起動直後で、衛星補足数が少ない状態で取得した GPS 座標データを制御に用いてしまったために、正確なスタート位置を取得できなかったと考えられる。
- スタート位置を記録した後に発進した子機は、10 秒の前進と 15 秒の静止の後に再び GPS 座標を記録した。25 秒の間に衛星補足数が 7 に増え、我々が子機を発見した地点の座標を正確に記録した。
- 予定より短い距離である、親機から 20m の地点で子機が旋回動作を開始したのは、上記の理由によって親機から離れた地点をスタート位置と認識し、そこからの距離が 30m になったからだと考えられる。

4.3 今後の課題

作業者のミスが原因となった失敗が見受けられた。これは、本番での行動を全員で話し合い、複数人で作業をチェックすることがなかったことから生まれた失敗だと考えられる。ARLISS では、一回目の失敗を受けて「作業手順チェックリスト」を作って二回目に臨んだ。このとき二回目の成果が一回よりも良くなったことは、このような確認の強化によるものがあって考えてもよいのではないだろうか。このような確認の徹底化が課題として考えられる。

必要と思われた試験は、多岐に渡りながら SPindle 審査会等でのアドバイスをいただくことで実施できた。しかし、本番では放出衝撃が想定以上であり、モータ内のギアボックスが破損する失敗を経験した。これは試験条件が不十分であったと考えられ、試験計画を練ることも課題として挙げられる。

5 感想

最後に、メンバー各人の感想を紹介する。

- 大友(親機電装、基板製作、気象観測ミッション、書記担当)

気象観測ミッションを構想から担当し電装及び基板製作の作業も担当した。良い作業経験ができたと思う。また、秋葉原へ電子部品の買い出しも担当した。

ARLISS+SPindle 参加の目的は、集団での物作りを経験するということであった。今回のプロジェクトを無事に終えた時点でそれは達成していると言える。しかし、自ら担当する範囲を絞ってしまい、全体的な設計や構造についてあまり関わることをしなかったのは反省すべき点であると思った。

GPS が安定して動作しない不具合に悩まされた。GPS 条件の良い砂漠では結果的に問題にならなかったが、もっと早くこの問題に気づき、きちんと解決しておくべき課題だったと思う。GPS のノイズ対策はなるべく早い段階からよく調べ、考えておくとうまいと思った。

- 川口(PM、子機電装、分離、各種試験担当)

様々な制約を満たしながらも自分たちが納得いくミッションを行うための Cansat 開発は、それまでの自分の経験では初めてのことで、例えば試験と改善を何度も繰り返して達成できた親機と子機の分離などは、物づくりの苦しさや面白さを垣間見ることができた。そのようなこともあり、Cansat 開発を行い、ミッション達成のためにあれこれと策を考えることを通して、私の物づくりの技術は向上したと考えている。

SPindle 参加の提案こそがチームへの最大の貢献であったように感じられる。SPindle 審査会の前後の 1～2 週は開発が通常に比べて格段に進み、そのような意味で「ミッション成功率の向上」という SPindle 参加の目的は達成できた。

ところで、私たちの製作した Cansat はとてもメンテナンス性が悪く、分解・組み立てが煩雑であった。各種試験を行って機体が損傷した場合に、部品の交換などに時間がかかり、試験計画に支障を与えていた。そこで最新版の機体を製作する際に、メンテナンス性も考慮した設計を考えていくべきだった。また PM として、そのような注文を構造担当に要求していくべきだった。

アイデアを出し、試行錯誤を繰り返した開発の経験をこれからも大事にしていきたい。

- 北守(子機電装、会計担当)

今回の CanSat 開発ではおもに子機電装に関わった。

なにもかもが初めてで、右も左もわからないものづくり初心者であった為、戸惑うことも多かったが、その反面ものづくり経験者と共に過ごしたこの四カ月は今までの自分の大学生活の中で一番濃度の濃いものであったのは言うまでもない。

アドバイスや知見としてここに書き残せる事は少ないとは思いますが、つらくてもあきらめずに CanSat 開発をやりきってもらえればそれが一番いいということだけは間違いなく言える。

- 佐藤(子機構造、分離)

今回の Cansat プロジェクトでは主に構造の担当であった。

3 年次の独創機械設計という授業で、部品や材料を早くそろえることが早期開発につながると考え実行した。その結果、思いのほかローバーの BBM はすぐにできたと思う。時には考えるだけでなく行動するというのは大事だと思う。しかし、その後の開発であまりいい改良ができなかったことが心残りだ。原因は試験のするのが遅かった

こと。早期に何でもいいので動かして、一回壊してみることをお勧めする。試験した分だけいいものが出来上がるというのを体感した。

モータに関して。栄モータは壊れやすい。特に黒色の D 型。これはトルクが大きすぎて壊れるとメーカーの人に言われた。トルクがかからないように設計するか、おとなしく白 (C 型) か青 (B 型) を使うと壊れにくい。栄のギアは 2500N.cm で壊れるらしい。白モータの最大トルクが 2500N.cm だよ。この情報が、次の世代に受け継がれますように。(私たちは黒モータを全部で約 8 個ほど壊した)

私の参加目的が、ものづくりの経験をつみこれからの研究や社会人になったときの生かすことであったが、このプロジェクトでは忍耐力など技術的な面だけでなく精神的な面でも成長できたと思う。大学生になってからこれほどしんどく、かつ充実した日々はなかった。いい経験になったと思う。

- 中嶋(親機構造、パラシュート)

今回、CanSat 開発に参加してこの Spindle も含め、「ものづくり」の一連の流れを経験することができた。今まで、自分たちで直接ミッションを決定し、そのための方法を考え、実際にものを作るという経験がなかった私にとって、開発が進むたびにはじめて知ることだらけであった。この経験はこれからの研究や開発に生かしていこうと思う。

チームの中では親機の構造系とパラシュートを製作を担当した。パラシュートに関しては投下試験、本番を通して、破損および CanSat の自由落下が発生しなかったのでかなり信頼性の高いものが作れたと思う。しかし、CanSat の大きさに対して最適なものが作れたかどうかは不明であるので、やはり時間があれば、計算だけではなく、さまざまな形状で投下試験を実際に行うべきだと思う。

親機の構造は強度の面で ARLISS 直前まで不安要素が残ってしまった。具体的には、当初、プラスチック製 (RENY) のボルトを使用していたのだが、落下時の衝撃での破断が多発したので最終的に低頭の金属ボルトに交換した。プラスチック製のボルトは軽量化のために選択したのだが、クリティカルな部分には安全率の高い部品を採用しなければならないことが分かった。構造の不具合はチーム全体の進捗にかかわるので、優先して対処したほうがいいと思う。

- 三浦(準 PM、電装統合設計、プログラミング、旅行担当)

経験者として、電装・統合の設計の多くに関わって、とても有意義な期間を過ごせたが、設計の責任で追われた 4 ヶ月間であった。

コネクタに関して、つまみ付きの外れにくいものを選択したが、実際も外れにくいですが、取り外しが大変で、外すときの衝撃で、切削基盤上のコネクタのランドが剥がれ断線し、故障を起こすことが多く、大変悩まされた。つまみがなくても、コネクタの

前後をカプトンテープ等で固定すれば、コネクタの接続が外れることもないと思った。

また、配線の長さまで設計できるとすっきり出来たなと思いました。

ARLISS+SPindle 参加の目的は、去年の経験を生かして Cansat 開発をスムーズに行うことであった。ARLISS までの開発では、早い段階から EM 試験を多くこなせてきたが、EM 試験が不十分で製作した FM で初めて生じた不具合やトラブルが出てきてしまった。ARLISS 期間では、余裕を持って、打ち上げ前の確認作業の手順を確認できた事もよかったが、打ち上げ前は砂漠での確認となり、作業者の集中力を欠いてしまい、ミスが起きてしまった。以上より、60%は達成できたと考えています。

試験や当日の運営の問題に関しては、今後のものづくりに生かしていきたいと思います。

- 山田(子機構造)

経験不足ゆえに失敗に失敗を重ねながらの開発となりましたが、その失敗も今では良い経験となっています。

ARLISS では主に子機構造の設計・制作を行い、時間的制約がある中で開発を行う際のフィードバックを行いながらの構造制作の困難さを実感しました。特に強く感じたことは、失敗した原因の特定が想像よりもはるかに難しく、ミッションの成否に大きく関わってくるということです。

今回学んだシステムエンジニアの手法を、今後積極的に利用していこうと考えております。

- 吉澤(親機電装)

初期段階では親機の電装班として、気象データの測定の実現を果たし、親機制御のプログラムの補助を行った。基板製作においてははんだ付けの実作業を担当し、運用中の動作不良が極力少なくなるように緻密な作業を遂行した。

ARLISS+SPindle 参加の目的は、私はモノづくりにおける企画から運用までの全過程を体験し、また、これを十全に達成するための SE の手法を学ぶことであった。今回の参加にて、プロジェクトにおいて何が重要で、どのような選択を下して開発を進めるべきであるかを、成功と失敗と共に経験として学ぶことができた。また、ミッションを達成する上で必要な手法を体系的に学び、実践的に運用したことで、種々の要因について考慮、特にリスク管理については敏感になり、結果としてミッションの達成率を向上させることができた。しかし、運用を行う事に付随して生じる諸書類の作成を他のメンバーに頼りすぎてしまい、負担を掛けたと感じた。当初の目的自体はほぼ満足に達成したが、終了後に反省すべき点は多々ある。

プロジェクト半ばから電装系の修理については一手に引き受けていたが、取り分けモータやコネクタの導線根本の断線修理が多かった。繰返しの組立・調整や動作中に

導線に負荷が生じていることが原因であるのだが、これを防ぐ策は講じられたはずである。設計段階から配線についても注意を払えば良かったと感じた。

今回得た知見を活かすことは、モノづくりをただの開発に留まらず、目的を遂行すべきプロジェクトへと昇華、そして成功へと導くこととなる。エンジニアとして大変素晴らしい経験を得られた。