

ARLISS2022 開発審査書

提出日:2022年 11月 21日

- 審査教員

審査教員氏名	
メールアドレス	
審査コメント	
その他一言	

- チーム情報

CanSatチーム名	東北大学他 FUSiON
CanSatチーム 代表者情報	加藤数麻 cansat.fusion@gmail.com, 070-1147-2040
UNISEC団体名	FUSiON
UNISEC団体 学生代表	加藤数麻
責任教員	中須賀真一 nakasuka@space.t.u-tokyo.ac.jp, 080-1131-8217
CanSatクラス	Open Class

目次

第1章	ミッションステートメント(簡潔に文章でミッション定義)
第2章	サクセスクライテリア
第3章	要求項目の設定
第4章	システム仕様
第5章	試験項目設定
第6章	実施試験の内容
第7章	工程管理, ガントチャート作成(スプレッドシートを推奨)

第1章 ミッションステートメント

CanSatの安全な経路選択と研究的価値を目的とし、ローバーに搭載したカメラで撮影した画像を用いてゴール周辺地形の3Dモデル生成を行う。

<ミッションの意義と概要>

CanSatをはじめとするローバーは、より長い期間走行を続けるために、高い走破性と、適切な走行経路を選定する能力が求められる。実際のローバーでも走行経路を誤り、車輪がはまり走行が困難になった例もあるため、適切な経路選択は未知の地を走るローバーにとって重要な課題である。そして、経路選択において、地形の起伏を把握できる地形の3Dモデリングは有効な手段であると言える。

また、実際の惑星・衛星探査において地形の3Dモデリングは科学的にも大きな意味を持つ。それは、それらの地形が惑星および衛星の風化・浸食・衝突の歴史を表すためである。科学的・実学的観点から、画像を用いた3Dモデリングは宇宙開発において大きな意味を持つと考えられる。

しかし実際に画像から3Dモデルを生成する際には課題もある。画像処理による地形のモデリングは、ハードウェアとしてのコストが大きくなる。ステレオ視によるモデリングは複数のカメラを必要とし、画像処理はオンボードコンピュータに高い処理能力を要求する。重量や大きさの制限で、計算機にかけられるリソースやカメラの追加は難しい。

しかし、現在運用されている宇宙機搭載プロセッサの処理能力では立体図を作成するための画像処理を行うことが難しいため、火星サンプルリターン計画で後続機がサンプル回収するように記録媒体を回収をする方式や、時間をかけて大容量の画像を通信する方式をとることが考えられる。

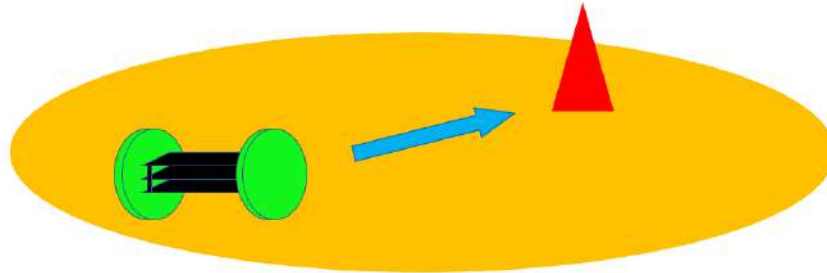
以上の技術の基礎を確立するために、我々は以下の手順のミッションを定義する。

1. ローバー搭載の単眼カメラを用いて複数の角度からの画像を取得する
2. ローバーから地上局に画像を送信するローバーで画像を保存する
3. 火星サンプルリターンのように、画像を保存したSDカードを後ほど回収し、地上局で画像処理を行い、地形の3Dモデルを製作する

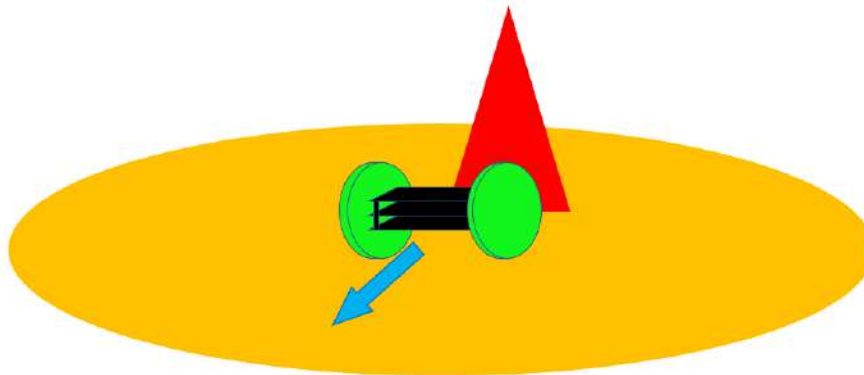
これらのミッションを行うことで、単眼カメラによるVisual SLAM(Visual Simultaneous Localization and Mapping)の使用を通し、今後開発が加速するとされる月火星開発における無人ロボットの自動制御技術や有人拠点構築技術の礎を築くことが出来ると考えられる。

これらの背景及び根拠から我々は、上記のミッションを設定し、研究として、ローバーに搭載されたカメラで撮影された画像から3Dモデルの生成が可能であることを実証する。

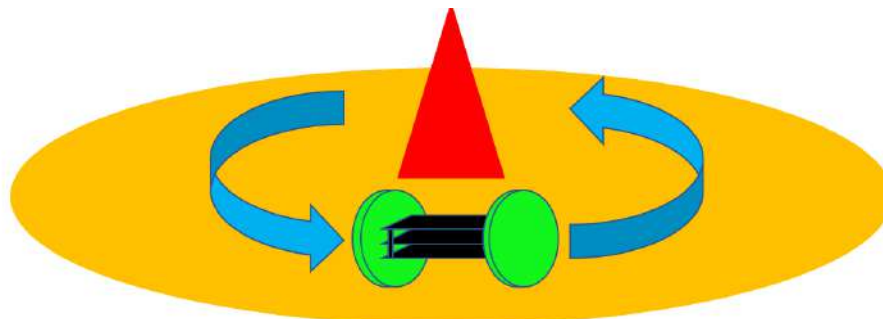
<ミッションシーケンス>



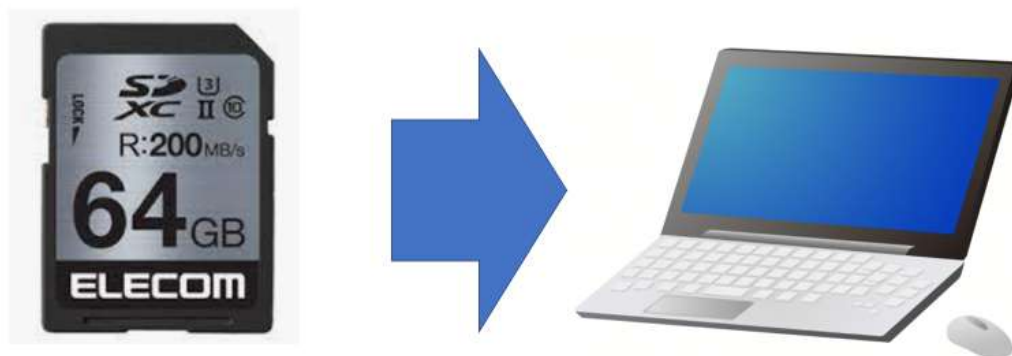
1. GPSとカメラを用いて0mゴールを達成する



2. 0mゴール達成後、ローバーをゴールから3m近く離れる方向へ直進する



3. ゴール周辺3mを周回・停止・撮影・送信を繰り返しながら2枚以上の画像を撮影する



4. 地上局(PC)で画像を読み込み、3Dモデルを形成する

第2章 サクセスクライテリア

ミニマムサクセス	ゴール周辺を周回しながら画像を取得できる 0mゴールを達成する
ミドルサクセス	取得した画像を地上局へ送信できる 画像をSDカードに保存できる
フルサクセス	地上局側で回収した画像を用いて3Dモデルを生成できる
アドバンスドサクセス	ミニマムサクセス～フルサクセスまでを一連の動作で行い、画像取得から20分で3Dモデルを生成することができる

第3章 要求項目の設定

3.1 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	システム要求項目 (ARLISS打ち上げ <u>安全基準</u>)
S1	投下する機体の質量が基準を満たしている
S2	容積がキャリア基準を満たしている
S3	打ち上げ時の準静的荷重によって, 安全基準を充足するための機能が損なわれていないことが試験で確認できている
S4	打ち上げ時の振動荷重によって, 安全基準を充足するための機能が損なわれていないことが試験で確認できている
S5	ロケット分離時の衝撃荷重によって, 安全基準を充足するための機能が損なわれていないことが試験で確認できている
S6	パラシュート開傘時の衝撃荷重によって, 安全基準を充足するための機能が損なわれていないことが試験で確認できている
S7	地表近くで危険な速度で落下させないための減速機構を有し, その性能が試験で確認できている
S8	ロストへの対策を実施しており, 有効性が試験で確認できている (対策例: 位置情報送信, ビーコン, 蛍光カラーペイント等)
S9	打ち上げ時の無線機の電源OFFの規定を遵守できることが確認できている (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)
S10	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
S11	ローバーと地上局の通信可能距離が5km以上である
S12	ロケットへの装填からミッションの開始, 打ち上げ後の回収までを模擬したEnd-to-end試験を実施できしており, 今後, 大幅な設計変更はない

3.2 ミッション要求

番号	ミッション要求項目
M1	キャリアから放出時にローバーからの信号を地上局で受信できる
M2	ゴールの付近を周回しながら、画像を2枚以上取得できるSDカードに保存できる
M3	地上局で地形の3Dモデルを生成できる
	カムバックコンペティションに参加する場合は以下の項目を必ず満たしてください
M4	走破性を持ち、またスタックしても脱出することが確認されている
M5	ミッション時に人間が介入しない自律制御を実施することを確認出来ている
M5-1	着地後、エンベロープが展開できることを確認できる
M5-2	GPSと9軸センサーを用いてゴール付近5mまで接近できる
M5-3	カメラを用いたゴール認識により、ゴール5m付近から0mゴールを達成できる
M6	ミッション後、規定された制御履歴レポートを運営及び審査員へ提出しログ・取得したデータについて説明が可能な状態である

第4章 システム仕様

4.1 機体外観

機体外観は以下の図4.1.1, 4.1.2に示す.

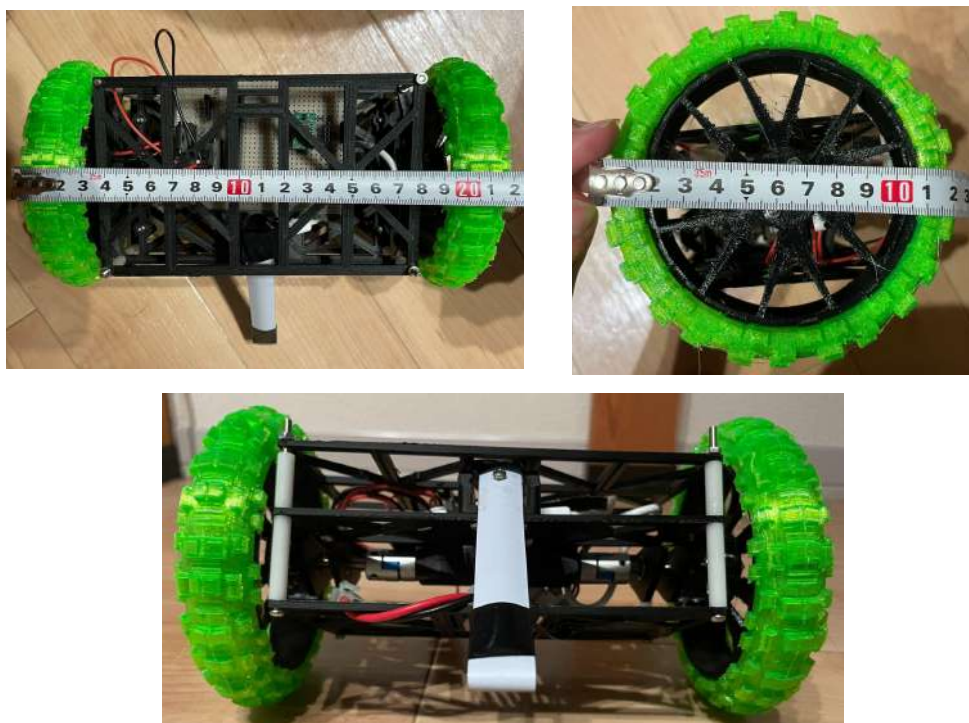


図4.1.1 機体の3側面からみた図



図4.1.2 エンベロープとパラシュート

エンベロープに包んだ時の直径は完全にローバーに沿わせることができる.

直径[mm]	145
高さ[mm]	220

質量[g]	760.0
-------	-------

4.2 機体内観・機構

1. 構体

- 三層構造

機体の構体の部分は3枚のプレートで構築されており、それぞれ20mmのスペーサーを使い立体的な構造を構成している。それぞれのプレートは素材としてABSを使用しており、3Dプリンターを用いて制作した。以下、各プレートの役割である。

上層:GPSセンサー、九軸センサー、カメラを設置

中層:プリント基板、モーターの設置

下層:リポバッテリーの設置

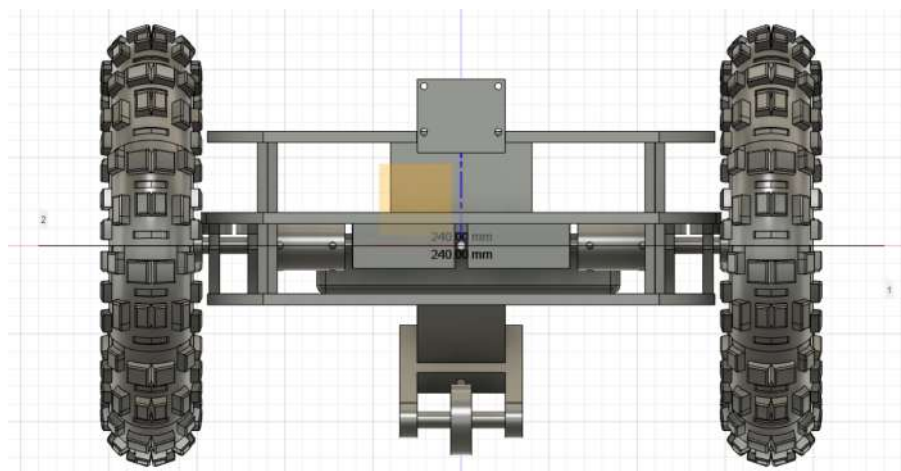


図4.2.1 ローバーの三層構造

2. 駆動構造

- タイヤ構造

砂漠の非舗装地での走行を想定した図4.2.2のブロック型のタイヤを制作した。素材はタイヤ・ホイールともにTPUを採用し、モーターとホイールを接合するシャフトに着地時や走行時の衝撃がかからないよう工夫した。

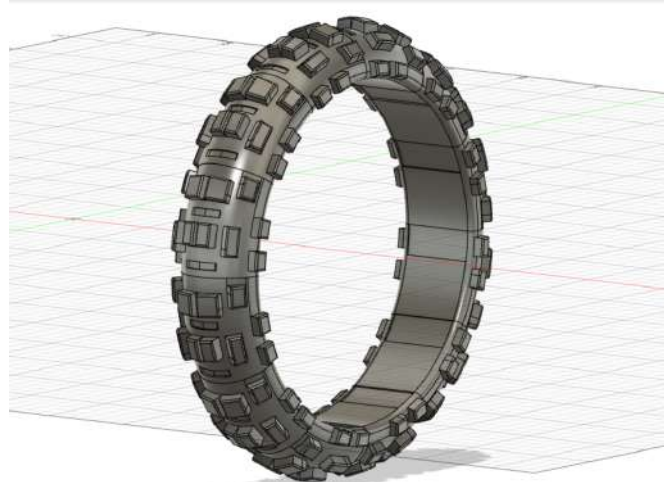


図4.2.2 ブロック型タイヤ

- モーターとホイールの接続構造

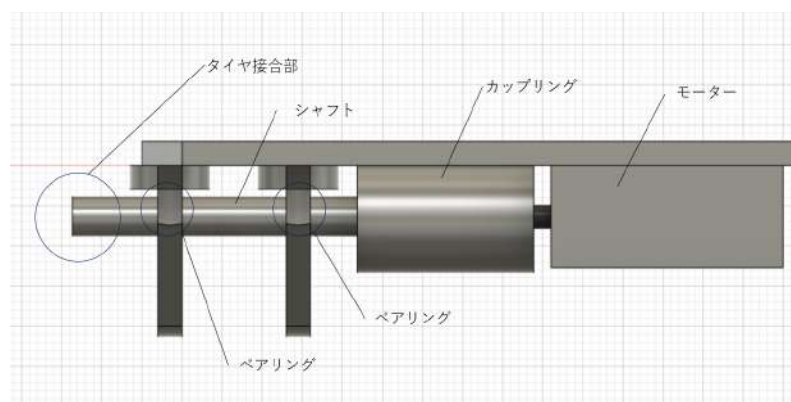


図4.2.3 ホイールとモーターの接続構造

落下時の衝撃がモーターに加わり走行が不可能になることを防ぐ機構を採用した。着地の衝撃によるホイールと接続されたシャフトの変形を防ぐために、シャフトを2つのベアリングを用いて2支点で支える。このシャフトとモーターの接続にはできるだけ損失が少なく、かつ走行時の振動を吸収するためにカップリングを用いた。

3. 電装系

- プリント基板

プリント基板を発注し、中層に設置する。

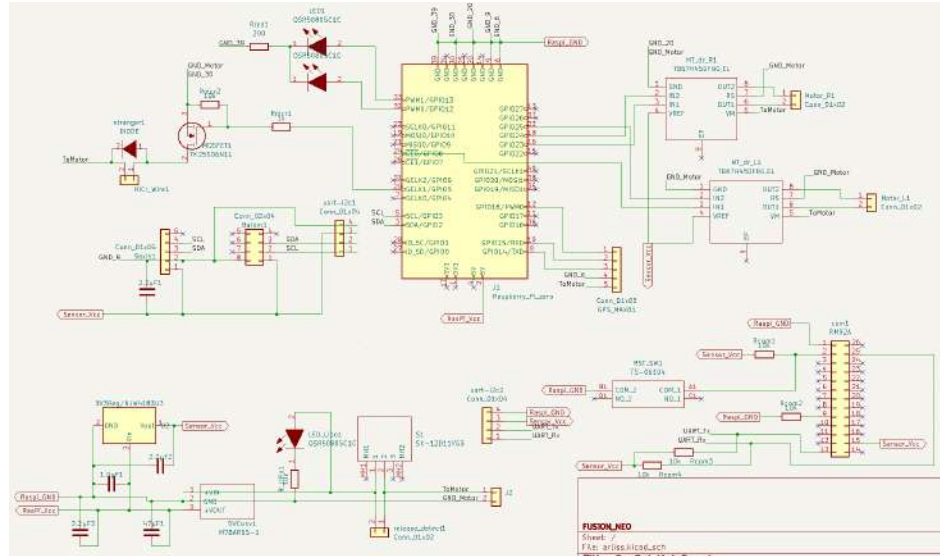
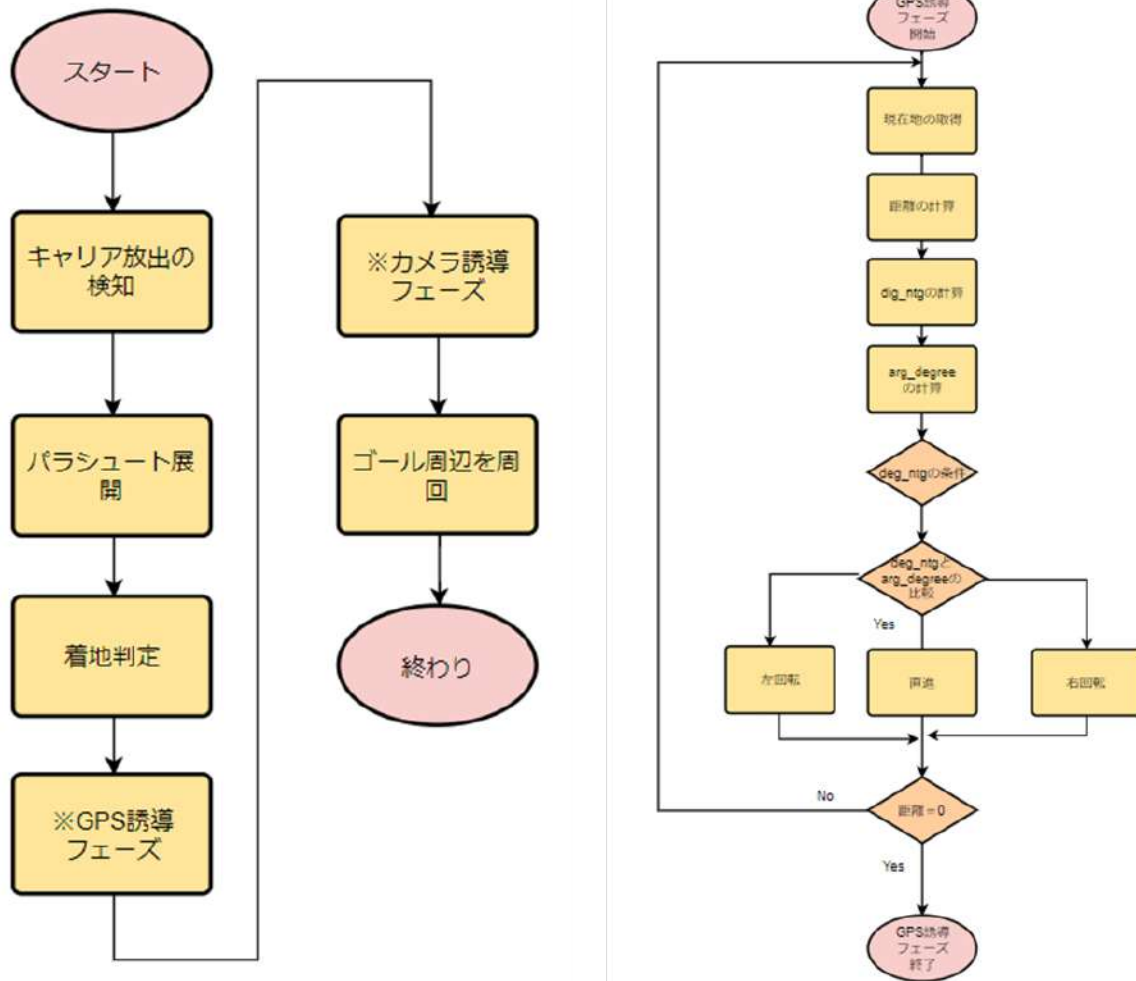


図4.3.1 CanSat回路図

※通信試験は成功しているが、通信モジュール周辺の設計を改良中である。

4. 制御系



- 制御のフローを上を示す。誘導は主に「GPS誘導フェーズ」と「画像誘導フェーズ」に分かれる。
- ロバーの各種センサ及びアクチュエータ等の関係を示すシステム図を上を示す。

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	S1	実施済み
V2	機体の収納・放出試験	S2	7/26

V3	準静的荷重試験	S3	7/30
V4	振動試験	S4	7/28
V5	分離衝撃試験	S5	7/30
V6	パラシュート開傘衝撃試験	S6	7/29
V7	落下試験	S7	7/30
V8	着地衝撃試験	S7, M5-1	7/30
V9	GPSデータダウンリンク試験	S8	7/20
V10	通信開始試験	S9, M1	7/19
V11	長距離通信試験	S8, S10, S11	7/12
V12	End-to-end試験	S12	8/1
V13	3Dモデル生成試験	M4	7/30
V14	カメラを用いた0mゴール試験	M2, M5-3	8/7
V15	制御履歴レポート作成試験	M6	8/9
V16	GPS走行試験	M5-2	8/8
V17	スタック試験	M7	7/14
V18	画像取得及び保存試験	M2	8/29

第6章 実施試験の内容

v1. 質量試験

- **目的**
キャリアに収納するローバーとパラシュートを合わせた全質量がレギュレーションを満たすことを確認する。
- **試験内容**
キャリアを乗せゼロ設定した重量計にローバー本体とパラシュートを入れ、質量がレギュレーションの1050g以下であることを満たしているか確認する。
- **結果**
ローバーとパラシュートの全重量は760.0 gであり、質量がレギュレーションを満たしていることを確認した。図6.1.1に質量測定結果の結果の様子を示す。



図6.1.1 パラシュートとローバー全体の総質量

v2.機体の収納・放出試験

- **目的**
ローバーとパラシュートを合わせた全体のサイズがレギュレーションを満たすことを確認する。また、キャリアが開いたあとローバーとパラシュートがスムーズに放出されることを確認する。
- **試験内容**
レギュレーションの高さ240 mm、内径146 mmを満たすキャリアを作成し、ローバーとパラシュートを合わせた全体が収納可能であるか確認する。次にキャリアを軽く振って機体とパラシュートが放出されることを確認する。放出確認を3回行い、全て放出できれば成功とする。
- **試験結果**
ローバーとパラシュートを合わせた全体はキャリアに問題なく収納できたため、レギュレーションを満たすことを確認した。図6.2.1に収納の様子を示す。また、キャリアからの放出は3回とも問題なく行えた。



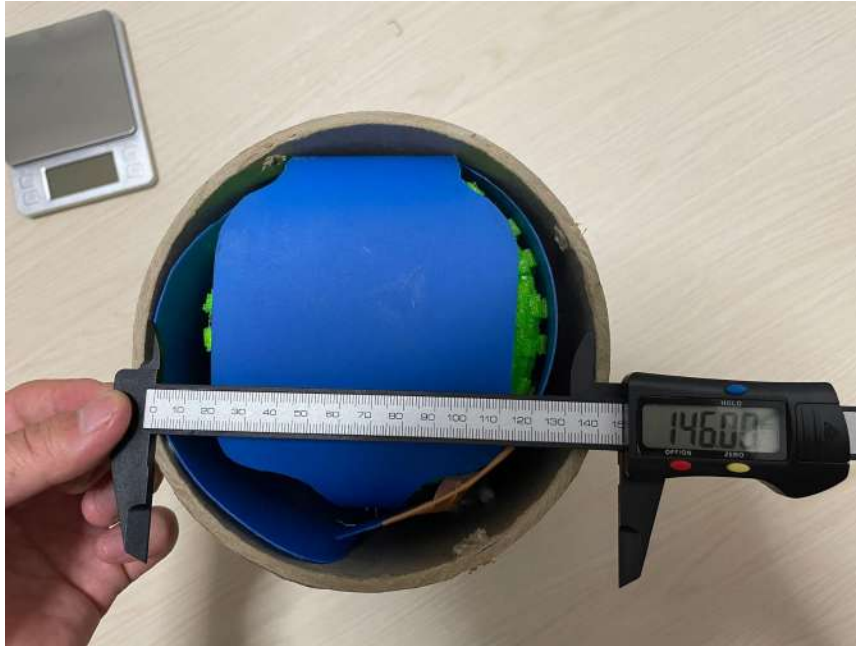


図6.2.1 キャリアへの収納確認

表6.2.1 放出試験結果

回数	放出の様子	試験動画
1回目	スムーズ	https://youtu.be/fu7ZdOUpYIk
2回目	スムーズ	https://youtu.be/tggXJjRhbxE
3回目	スムーズ	https://youtu.be/Mbk6rgwEg4Q

v3. 準静的荷重試験

- 目的

ロケットの打上げ時にかかると想定される大きさの静的荷重をローバーに与え、構造的損傷およびセンサー類の故障の有無を確認する。

- 試験内容

早稲田大学理工学術院材料実験室の加振機を用いてロケット打ち上げ時の機械的環境を模擬した試験を行う。キャリアにローバーとパラシュートを合わせた全体を収納した状態で、レギュレーションに従い加速度10Gのもとで20 Hzの正弦波振動を10 s間与える。振動終了後、構造的損傷およびセンサー類の故障の有無を確認する。実験は3回行う。

- 試験結果

3回の実験全てにおいて、実験終了後に目視で構造的損傷がないこと、SSH接続により9軸センサに異常がないこと、モーターが正常に動作することを確認した。以下に準静的荷重試験の実験中測定加速度のグラフ(図6.3.1, 6.3.2, 6.3.3)と実験の動画URLを記す。

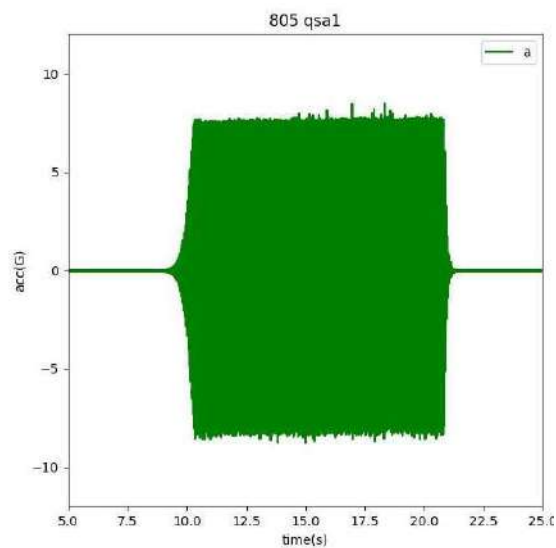


図6.3.1 1回目の試験結果

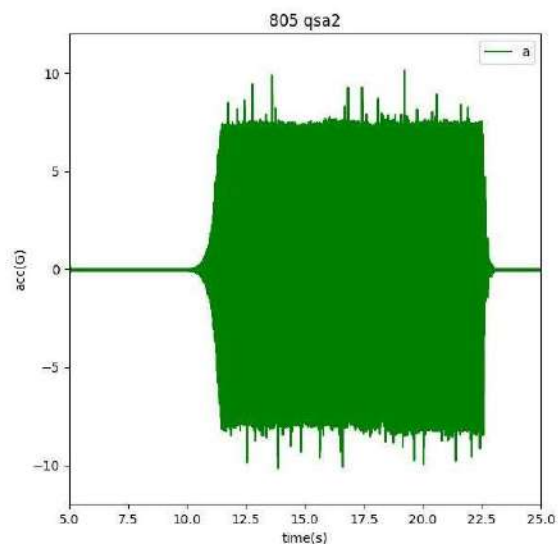


図6.3.2 2回目の試験結果

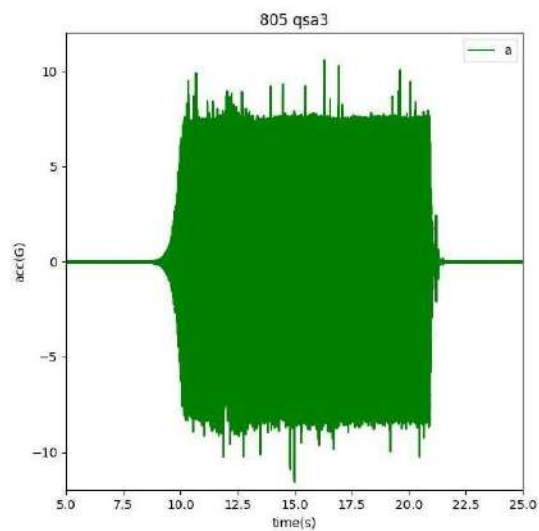


図6.3.3 3回目の試験結果

表6.3.1 準静的荷重試験結果

回数	最大加速度(絶対値)	外観の損傷の有無	センサの動作	モーターの動作
1	8.78805637G	損傷なし	正常	正常
2	10.1640499G	損傷なし	正常	正常
3	11.5617907G	損傷なし	正常	正常

いずれも開始約10 s後に振動を開始し、その後10 s間振動を続けた。図6.3.1において加速度が10Gに達していないものもあるがこれはキャリアが一部衝撃を吸収したためだと考えられる。外力である加振機の出力は10Gであるため、レギュレーションに従った試験として問題はない。

準静的荷重試験動画URL: https://youtu.be/XnOuAT_HIVc

v4. 振動試験

- 目的
ロケットの推進時にかかると想定される振動をローバーに与え、構造的損傷およびセンサー類の故障の有無を確認する。
- 試験内容
早稲田大学理工学術院材料実験室の加振機を用いてロケット推進時の機械的環境を模擬した試験を行う。キャリアにローバーとパラシュートを合わせた全体を収納した状態で、レギュレーションに従い加速度15Gのもとで30 Hzから2000 Hzまでsweepさせた正弦波振動を与える。sweep時間は30 sとし、2000 Hzからsweep downさせて行う。振動終了後構造的損傷およびセンサー類の故障の有無を確認する。実験は3回行う。
- 試験結果
3回の実験全てにおいて、実験終了後に目視で構造的損傷がないことを確認、SSH接続により9軸センサに異常がないこと、モーターが正常に動作することを確認した。以下に振動試験の実験中測定加速度のグラフ(図6.4.1, 6.4.2, 6.4.3)と実験の動画URLを記す。

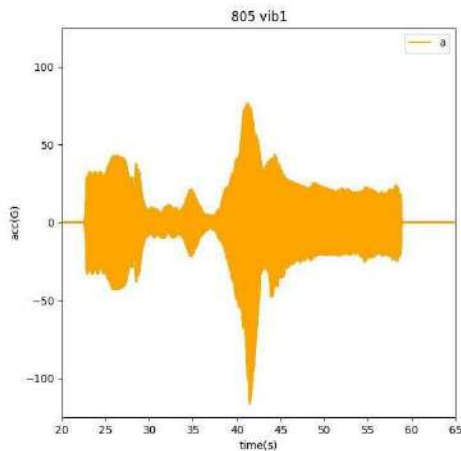


図6.4.1 1回目の試験結果

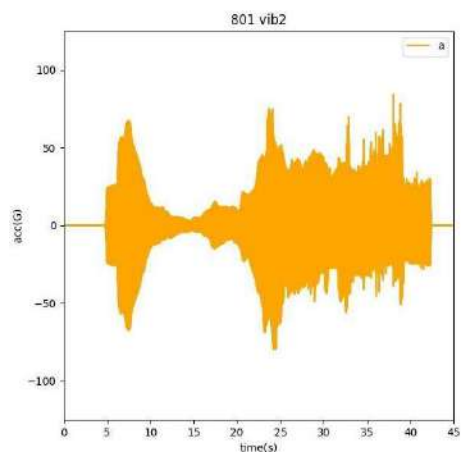


図6.4.2 2回目の試験結果

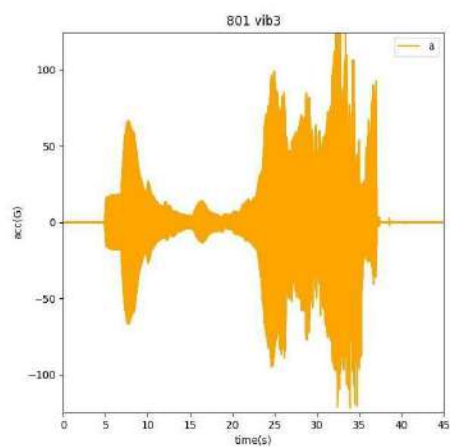


図6.4.3 3回目の試験結果

表6.4.1 振動試験結果

回数	最大加速度(絶対値)	外観の損傷の有無	センサの動作	モーターの動作
1	116.453762G	損傷なし	正常	正常
2	84.3831825G	損傷なし	正常	正常
3	141.421309G	損傷なし	正常	正常

1回目では22 s~52 s, 2回目では5 s~35 s, 3回目では10 s~40 sと, 2000 Hzから30 Hzまで30 s間一定速度で sweepさせた。加振機の出力は15Gであったが, 正弦波振動により機体にかかった加速度は最大141Gと非常に大きくなった。いずれの周波数においても常に15G以上の加速度がかかっているのでレギュレーションを満たした実験が成功したといえる。

振動試験動画URL: <https://youtu.be/uX3d7q7iMEI>

v5. 分離衝撃試験

- 目的

ロケットからの分離時にかかると想定される振動をローバーに与え, 構造的損傷およびセンサー類の故障の有無を確認する。

- 試験内容

早稲田大学理工学術院材料実験室の加振機を用いてロケット打ち上げ時の機械的環境を模擬した試験を行う。キャリアにローバーとパラシュートを合わせた全体を収納した状態で, レギュレーションに従い加速度40Gのもとで20 Hzの正弦波振動を短時間与える。当初衝撃を与える時間を5 sと想定していたが, 強い振動により2~3 s程で加振機にオートロックがかかるため与える時間は「オートロックがかかるまでの短時間」とした。振動終了後ローバーに構造的損傷およびセンサー類の故障の有無を確認する。実験は3回行う。

- 試験結果

3回の実験全てにおいて, 実験終了後に目視で構造的損傷がないことを確認, SSH接続により9軸センサに異常がないこと, モーターが正常に動作することを確認した。以下に衝撃試験の実験中測定加速度のグラフ(図6.5.1, 6.5.2, 6.5.3)と実験の動画URLを記す。

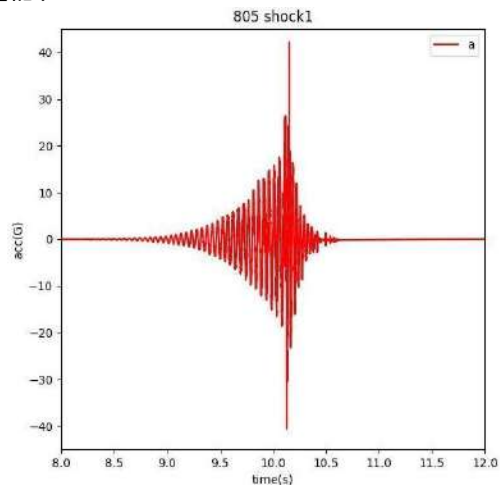


図6.5.1 1回目の試験結果

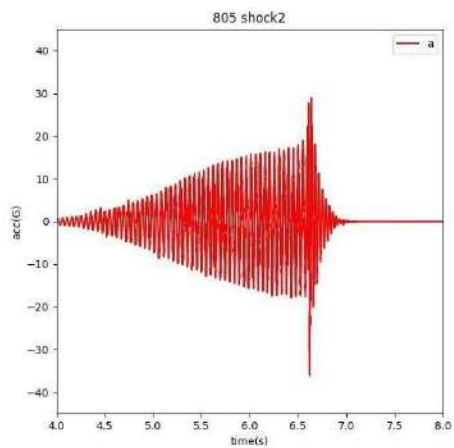


図6.5.2 2回目の試験結果

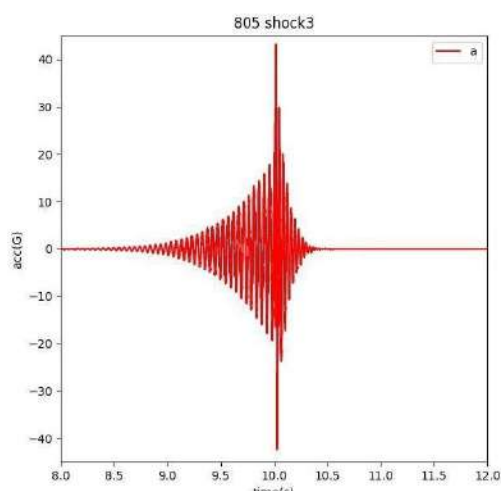


図6.5.3 3回目の試験結果

表6.5.1 衝撃試験結果

回数	最大加速度(絶対値)	構造の損傷の有無	センサの動作	モーターの動作
1	116.453762G	損傷なし	正常	正常
2	84.3831825G	損傷なし	正常	正常
3	141.421309G	損傷なし	正常	正常

2回目の実験で加速度が40Gに達しなかったが、1回目、3回目の実験ではレギュレーション通り40G以上の加速度をキャリアに与えることができた。実験は成功したといえる。

衝撃試験動画URL: <https://youtu.be/Fo3BUaDv2YY>

v6.パラシュートの開傘試験

- 目的

キャリアからローバーが放出される際、減速機構として装着したパラシュートとともに落下し、開傘まで自由落下したのち、開傘しローバーとエンベロープに上向きの力がかかる。本実験では、競技本番と同じような条件下で開傘の衝撃が加えられた際、エンベロープとパラシュートが分離しないか確認することと、エンベロープ内部のローバーが開傘衝撃後に正常に動作するかを確認することを目的としている。

- 試験内容

高さ11mからエンベロープとローバーにパラシュートをつけて落下させ、パラシュートが開傘するかどうかを実験した。また、着地後に構造的損傷およびセンサー類の故障の有無を確認する。

- 試験結果

結果は10回落下させたうちの7回開傘に成功したという結果になった。開かなかった原因としてパラシュートの畳み方の精度の低さにより11mの落下でパラシュートが開き切らなかったことが考えられた。また風が強いときにはパラシュートが開くまで時間がかかってしまうことも確認できた。よってパラシュートが開傘しなかった10回中3回の場合でも高度があれば開き切っていたと考えられる。本番では落下距離が4km程になると予想されるため落下中にパラシュートが開傘する可能性は高いと考えた。またいずれの結果においても構造の損傷は無く、センサとモーターの動作確認をすることができたため信頼性と再現性の高いローバーであることが確認できた。実験の結果と様子を撮影した動画のURLを以下に示す。

表6.6.1 パラシュート開傘試験結果

回数	パラシュートが開傘したか	構造の損傷の有無	センサ、モーターの動作	動画
1回目	×	損傷なし	正常	https://youtu.be/LxjdRriK-v0
2回目	○	損傷なし	正常	https://youtu.be/XhazXHmEmt8
3回目	○	損傷なし	正常	https://youtu.be/u66pyZJxLnM
4回目	○	損傷なし	正常	https://youtu.be/cNx8dqTYR88
5回目	○	損傷なし	正常	https://youtu.be/9LZ-cxGztO0
6回目	×	損傷なし	正常	https://youtu.be/uNx8vtsGEpM
7回目	○	損傷なし	正常	https://youtu.be/dSSM-Cq0Q3g

8回目	○	損傷なし	正常	https://youtu.be/BUta-RxIVlc
9回目	×	損傷なし	正常	https://youtu.be/it6UmpsF_Ws
10回目	○	損傷なし	正常	https://youtu.be/-FPoXi4h8bcj

v6.パラシュート開傘衝撃試験

目的

当日、ローパーが放出される際はエンベロープとパラシュートのコードの間に強い張力が働く。本試験では、25~30Gの衝撃が加わった際、それらにパラシュートのコードが耐えられるかどうかを確認することを目的とする。

試験内容

本実験では、25~30Gの衝撃の代わりに28.5kgのおもりをパラシュートの先に吊り下げて静的荷重を与え、1 s間程度パラシュートやコードおよびエンベロープの付け根が破損せず耐えられることを確認する。エンベロープの付け根をコードに触れないように押さえて実験を行った。

試験結果

実験は3回行った。それぞれの結果を以下の表6.7.1に示す。また、パラシュート、コード、エンベロープの様子を以下の動画に示す。また、使用したおもりの質量測定の様子を図6.7.1に示す。

表 6.7.1

	結果	動画URL
1回目	損傷なし	https://youtu.be/qm_ILJTYJ0I
2回目	損傷なし	https://youtu.be/y5f2mGDxM1A
3回目	損傷なし	https://youtu.be/4sKTn5UBm4M



図6.7.1おもりの質量

v7.落下試験

目的

競技当日には、キャリアから放出されたローバーがパラシュートの減速機構により減速しながら落下することを想定している。本実験では、パラシュートによる減速が十分であることを確認することを目的としている。

試験内容

本実験では、高さ11m付近からパラシュートを開いた状態でローバーを落下させる。落下中のローバーの気温気圧センサの結果から高度を求め、この時間変化からおおよその落下速度を計測する。これらの値と動画での落下速度推定を行い、5m/s付近まで減速できていることを確認する。

試験結果

機体を高さ11mの橋の上から落下させる動作を三度繰り返し、それぞれの状況における高度を記録した。(図6.7.1)

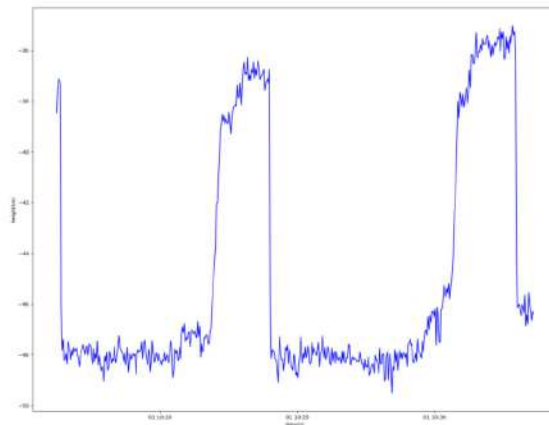


図6.7.1 実験中における高度変化の様子

10時17分ごろ1度目の投下を行い、10時23分ごろ2回目の投下、10時32分ごろ三回目の投下を行った。この時系列は図6.7.1のグラフによく符合する。また、橋と着地位置の高度差が11mほどであったということから高度判定も正確に取れているといえる。

これらの結果を用いて落下時の速度判定を行う。

図6.7.1の結果を用いて高度変化と時間変化から速度を測定し、グラフにプロットしたものが図6.7.2、図6.7.3、図6.7.4である。落下中であるとされる時間はそれぞれの図で青い線で挟まれた期間であり、落下方向の速度を正に取っている。

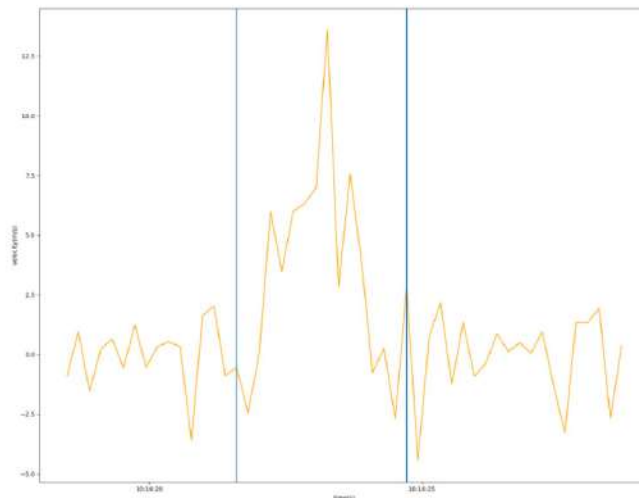


図6.7.2 落下一度目の速度変化曲線

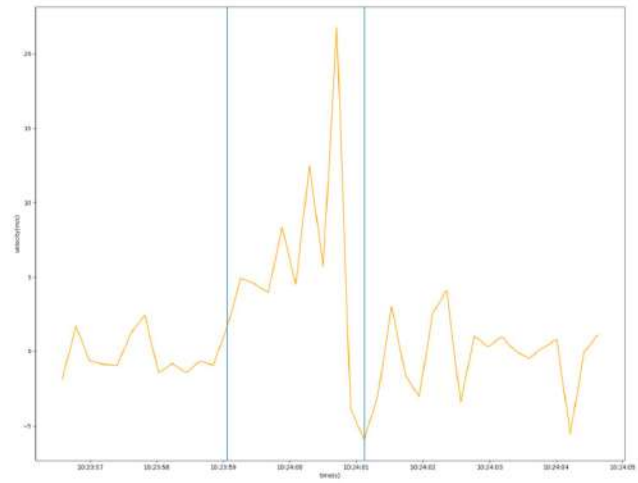


図6.7.3 落下二度目の速度変化曲線

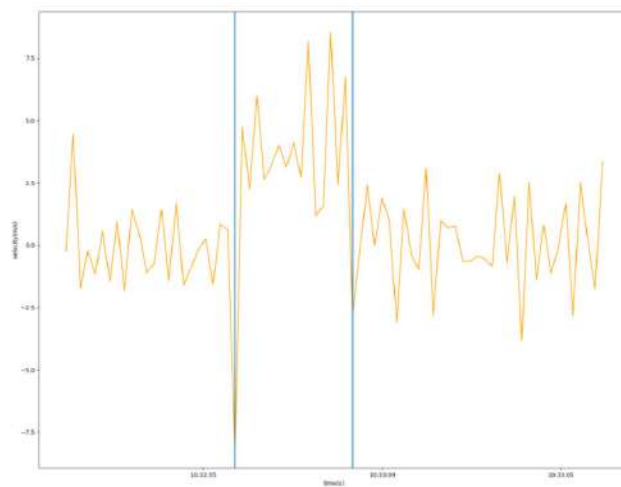


図6.7.4 落下三度目の速度変化曲線

これらの結果を用いて求めた落下速度は以下のようになった。

表. 6.7.1 実験別速度計測結果(高度変化から算出)

回数	落下速度判定(m/s)	速度評価(5m/s以下であるか)
1	6.986	×
2	8.974	×
3	4.091	○

また、これらの結果に加え、動画による撮影により、速度の概算を行った。

表. 6.7.2 実験別速度概算結果(落下動画から概算)

回数	落下速度推定(m/s)	速度評価(5m/s以下であるか)	動画
1	約7m/s	×	https://youtu.be/OMDmorax8xk
2	約6m/s	×	https://youtu.be/ggAg7otJMu0
3	約4.5m/s	○	https://youtu.be/II1aN14RFJM

第一回、第二回と落下速度は要求を満たしていないように思えるが、動画で確認するとパラシュートが開ききっていない状態で落下していることがわかる。第三回目の動画からパラシュートが確実に開いていることが観測される。よって十分に減速できたとき速度が5m/s以下になると考えられる。

追記:

追加で複数の開傘実験を行い、動画から終端速度を求めた。その結果、5回中4回速度評価を満たしていたよって十分に減速できたとき速度が5m/s以下になると考えられる。

回数	終端速度	動画
1	約5m/s	https://youtu.be/2rmXSmJOQtw
2	約5m/s	https://youtu.be/0ZzXP-hU1DM
3	約4m/s	https://www.youtube.com/watch?v=dSSM-Cq0Q3g
4	約10m/s	https://www.youtube.com/watch?v=it6UmpsF_Ws
5	約4m/s	https://www.youtube.com/watch?v=XhazXHmEmt8

v8.着地衝撃試験

● 目的

パラシュートにより減速し一定の速度でローバーが落下した際、その速度に伴う衝撃がローバーに加えられる。本試験は、着地による衝撃を受けてもなお、ローバーが正常に動作するかどうかを確認する。また、このとき、ローバーに搭載されているセンサーを用いて着地判定とエンベロープ展開も同時に実証する。

● 試験内容

1)ローバーの着地耐性試験

ローバーを高さ11mからさまざまな初速を与えて落下させる。落下させたのち、ローバーが正常に作動するのかを確認する。通常の自由落下に加え、砂漠での横風を想定した水平方向にも初速を加えた横方向落下も行った。3回の自由落下と3回の横方向落下を行う予定であったがローバーの損傷により横方向落下の実験は1回のみに終わった。

追記:

ローバーの電装が正常に動作することは1回目のローバー落下前に「高度と着地判定のタイミングをログにとるプログラム」を作動し3回目のローバー落下後まで続けてプログラムが動作していることにより確認する。

また、v4の振動試験により、終端速度で着地した時の機体にかかる衝撃を大きく上回る衝撃をかけた後ローバーの構造が破損せず正常にモーターが回ることを確認した。よってv4の結果から着地衝撃後、ローバーのハード部は破損しないことを示す。

2)着地判定試験

ローバーが着地したことを気温気圧センサによって読み取ることができ、落下中は着地判定をしないことを確認する目的で試験を行う。まず、着地判定を行うプログラムを実行させたローバーを高さ11mから落下させ、着地後5分間ローバーを待機させる。これらの動作を計3回繰り返す。実験終了後、保存したデータを解析することで、着地後に正確に着地判定をしているのかの確認を行う。

追記:

End to End試験により着地判定後エンベロープ展開をすることができることは確認できているため着地判定とエンベロープ展開を実証するという目的は達成している。

● 試験結果

1)ローバーの衝撃耐性試験

衝撃耐性試験は7/23に新荒川大橋にて試験を行った。

3回の自由落下と1回の横方向落下の実験について結果と動画URLを表6.8.1に示す。

表6.8.1

回数	構造	モーター動作	動画
自由落下1回目	損傷なし	正常	https://youtu.be/JRzHwDmqmqc
自由落下2回目	損傷なし	正常	https://youtu.be/izyMkge-yo8
自由落下3回目	損傷なし	正常	https://youtu.be/EPyrjveevE
横方向落下1回目	破損	計測不能	https://youtu.be/IraiO

			E8LteA
--	--	--	------------------------

自由落下での衝撃によるローバーの損傷はなかった。横方向落下ではベアリング台とスタビライザ台が3Dプリントの積層方向に割れ、モーターの動作確認が不能となった。この実験後、ローバー接地面に対し鉛直方向に印刷を行うなど機体の構造強度改善を行った。

追記:

ローバーの電装が正常に動作することは1回目のローバー落下前に「高度と着地判定のタイミングをログにとるプログラム」を作動し3回目のローバー落下後まで続けてプログラムが動作していることにより確認した。図6.8.2のグラフが上記表6.8.1落下動画の落下一回目から三回目の高度変化ログである。落下一回目から三回目までプログラムが止まることがなかったことが確認できるため落下衝撃による電装の故障はなかったことが確認した。

また、終端速度で着地した時5.6Gの衝撃がローバーにかかると予想される。それは同実験のパラシュート落下時に加速度センサで計測した加速度のログから落下後平均5.6Gの衝撃がかかっていることが読み取れることにより予想した(図6.8.1)。v4の振動試験により5.6Gを大きく上回る80G~140Gの衝撃をかけた後ローバーの構造が破損せず正常にモーターが回ることによりハード部の故障はないことを確認した。

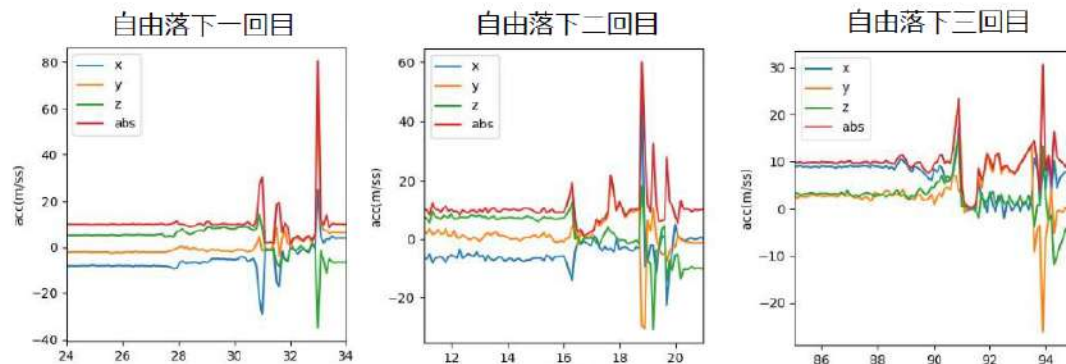


図6.8.1 自由落下1~3回目の加速度ログ

2)着地判定試験

着地判定試験はV7の落下試験に付随させ、新荒川大橋にて試験を行った。

第4章「システム仕様」4. 制御系における着地判定のアルゴリズムをもとに着地判定のプログラムを構築し、V7に示したローバーの高度と時間の計測するプログラムと同時に落下判定をした時間と高度を計測するプログラムを実行した。

図6.8.2にその結果を示す。ローバーの高度と時間の関係をオレンジ色でプロットし、着地判定をした時間と高度を青色の点で表示している。

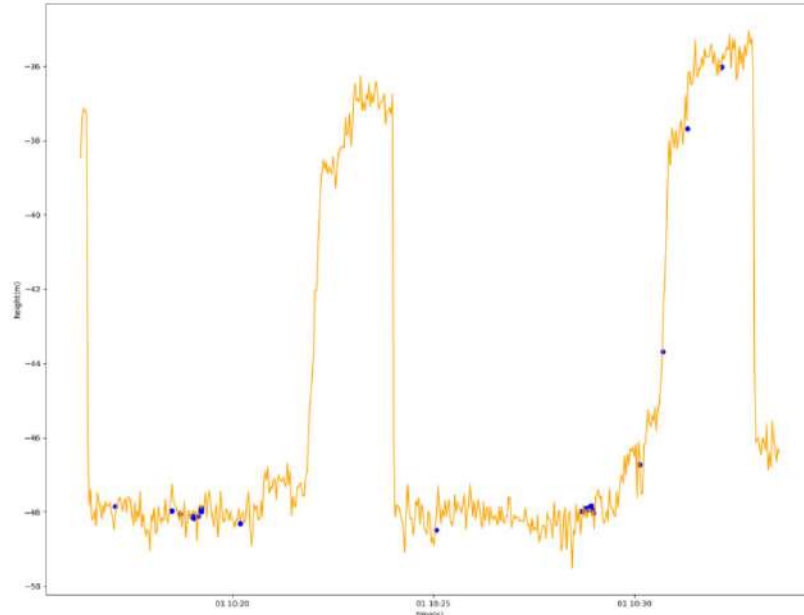


図6.8.2 ローバーの高度変化と着地判定

以上のデータから着地判定のタイミングは表6.8.2のようになる。

表6.8.2着地判定のタイミングと回数

回数	落下中	着地後2分間	着地後5分間
1	0	1	8
2	0	1	12
3	0	計測不能*	計測不能

* 三回目の落下後は、計測を停止したため、着地判定の回数の計測は不可能であった。

表6.8.1のように落下中に着地判定することはなく、着地後5分間の間には約10回ほどの着地判定を行うことが確認された。よって、現在の着地判定のアルゴリズムの整合性が実証された。

追記(9/2)

落下による着地衝撃を与えたのち、着地判定をしてモーターが回り前進することにより、構造面・ハードウェア面に故障がないことを確認する試験を行った。

試験内容:

本試験では、機体を約11mの高さから落下させたのち、着地判定後走行を開始させる制御を行い、問題なく走行できることの実証を行った。

以下に実験手順を示す。

1. パラシュートを開いた状態で機体を高さ約11mの橋から落下させる。同時に着地判定と走行を行うプログラムを実行させる。
2. 落下したのち、エンベロープを手動で開く。
3. 機体の損傷の有無を確認し、モーターが正常に動作しているのか確認する。

また、約11mの高さではパラシュートによる減速が十分でない可能性があることや落下する地面に草が生えていることにより衝撃が弱まっていることが考えられる。よって、より本番に近づけた、高さ約30mで地面が岩場である羽村大橋で落下衝撃試験を行った。落下衝撃に構造が耐えることができ、問題なく走行できることを確認する。

以下に実験手順を示す。

1. パラシュートを開いた状態で機体を高さ約30mの橋から落下させる。
2. 落下したのち、エンベロープを手動で開く。
3. 機体の損傷の有無を確認し、モーターが正常に動作するのか確認する。

結果:

今回使用したプログラムでは、着地判定を行った後、走行を開始するように制御されている。高さ11mからの投下2回と30mからの投下1回の計3回の投下により、走行を開始する様子が確認できることから、構造・ハードウェア面での着地衝撃による損傷がないことが示された。(表6.8.3)

表 6.8.3

回数	構造	モーター動作	動画
11m投下(1) (9/1 新荒川大橋)	損傷なし	正常	https://youtu.be/4AFqSYp-uDs
11m投下(2) (9/1 新荒川大橋)	損傷なし	正常	https://youtu.be/lEyYtZ-tQ8
30m投下(1) (8/31 羽村大橋)	損傷なし	正常	https://youtu.be/tCLAoa7E9VQ

v9.GPSデータダウンリンク試験

目的

ロスト対策として、ローバーが投下されたのちLoRa通信を用いて地上局に位置データを送信する。GPSのデータをテキストデータとして欠落することなく、地上局側に送信できるかどうかを試験する。

試験内容

GPSから取得した時刻・経度・緯度・高度の値をテキストデータとして送受信できるかどうかを確かめる。

1. 要素別試験

二つの要素に分け、GPSデータダウンリンク試験を実行することとする。

- 1)ラズベリーパイPicoを用いたI2C通信によるGPSの値の取得
- 2)ラズベリーパイPicoとLoRa通信モジュールを用いたテキスト送受信

1)raspberrypi zeroと通信モジュールの間にraspberrypi picoを用いる。通信モジュールはraspberrypi picoを介してGPSセンサの値の取得をし地上局と通信するため、そのようなシステムのステップとして「raspberrypi zeroで受け取ったGPSセンサの値をI2C通信を用いてraspberrypi picoに送信する」を行い、実際にラズベリーパイPicoを介した通信が可能であることを実証する。

2)ラズベリーパイPicoと通信モジュールを接続し、ラズベリーパイPicoが得たGPSの情報を地上局に通信できることを確認するため、任意のテキストを地上局に送信する試験を実施する。

2. 統合試験

要素別試験の二つのフェーズを連動させ、GPSの取得から地上局の受信まで一連の動作を確認する。

試験結果

1.要素別試験

1)ラズベリーパイPicoとラズベリーパイ0を接続し、ラズベリーパイzeroが受け取るGPSのデータをI2C通信によりラズベリーパイPicoに送信、シリアルモニターに表示することに成功した。

2)ラズベリーパイPicoと通信モジュールの接続および無線通信はV11(長距離通信試験)ですでに成功している。

2.統合試験

実際にOBCでGPSの値を取得しその情報をもとにラズベリーパイPicoを通して地上局との無線通信を実演した。

試験の様子: <https://youtu.be/NVggaSY2N80>

以上の試験によりGPSのデータの値をもちいて地上局側にデータを送信することに成功した。

V9.GPSデータダウンリンク試験(再試験)

目的

ロスト対策として、ローバーが投下されたのちLoRa通信を用いて地上局に位置データを送信する。GPSのデータをテキストデータとして欠落することなく、地上局側に送信できるかどうかを試験する。

試験内容

GPSから取得した緯度・経度の値をテキストデータとして送受信できるかどうかを確かめる。
試験用に送信ユニット(図6.9.1)と受信ユニット(図6.9.2)を作成し、送信ユニットからGPSの値を取得、送信を行い、受信側からデータが取れているのか確認を行う。

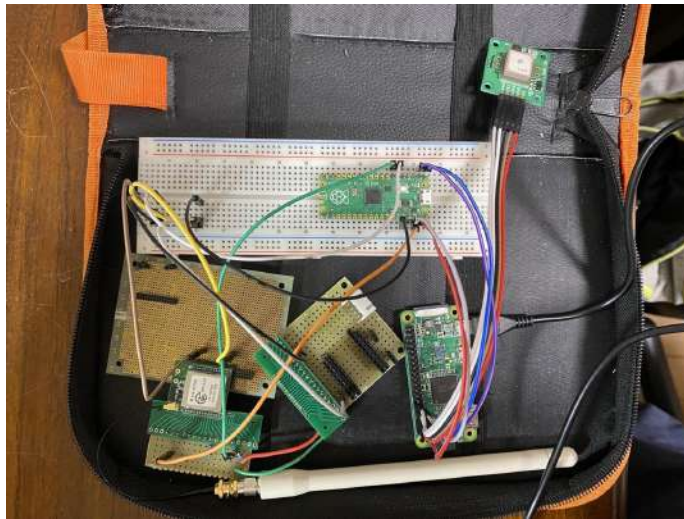


図6.9.1 送信ユニット(GPS, ラズパイ0, ラズパイピコ, 通信モジュール)



図6.9.2 受信ユニット(mbed, 通信モジュール)

試験結果

電源を入れ, GPSが位置情報を取得している状態の送信ユニットを屋外に置き, 屋内の受信ユニットを接続したPCからデータの受信ができていることを確認した。

送信ユニット	受信ユニット
https://youtu.be/Z2yP_xLyCWE	https://youtu.be/dy0a6Qnjl8Q

v10. 通信開始試験

目的

我々のローバーはロスト対策及びミッション遂行のために通信機能を備えている。しかし、キャリアに収納されている状態では通信を行うことはできず、落下開始とともに、地上局との通信が開始される必要がある。本実験では、フライトピンをトリガーとした通信開始システムが正常に動作するのを確認する。

試験内容

本ローバーで使用する予定であるLoRa通信モジュールとフライトピンを用いた回路をブレッドボード上で制作し、フライトピンが抜けたことで通信が開始されるのを確認する。

弊チームのローバーはキャリアから放出されパラシュートが開傘する際にフライトピンが抜かれる。これにより回路が通電しraspberrypi zero, 各種センサ, 通信モジュールに給電が行われる。よって本試験ではフライトピンを抜くことにより通信モジュールが給電されraspberrypi picoを通して通信が始まることを確認する。確認方法としては地上局としているPCに受信するためのモジュールを接続しTeratermにて監視することで通信が開始されたことを確認する。

試験結果

フライトピンが抜けることによりローバーのraspberrypi zero, センサ, raspberrypi pico, 通信モジュールが給電されることを確認することができた。通信モジュールに給電された約14秒後に通信が始まったことを地上局とするPCにて確認することができた。

通信開始試験の様子: <https://youtu.be/FCyhDffzZLc>

:

v11. 長距離通信試験

目的

ローバー投下後、ローバーと本部付近の地上局が最大数kmほど離れると考えている。そのため、我々が用いる無線通信モジュールが、数km単位で通信が可能であることを確かめる必要がある。よって、実際に使用する通信モジュールを使用しどれくらいの距離の二点間で通信が可能であるのかを検証することを目的としている。

試験内容

荒川河川敷にて2点間の距離が**1300m, 1700m, 2000m**の地点でそれぞれ通信が可能であるかどうかの確認を行う。本試験では簡単のためダミーデータの送受信をすることによって無線での通信が可能かどうかの判断をした。また、実験と並行して無線機のチャンネル変更が可能であるかの確認も行った。

試験結果

<本試験で使った通信モジュール>

本試験では、地上局・ローバーにおける通信モジュールに(株)グリーンハウスのRM-92Aシリーズを使用する。

1)チャンネル変更

チャンネルの変更前(図11.3.1)と変更後(図11.3.2)の画像を示す。また、通信試験の結果を下の表に示す。

```

***** [Settings] *****
[*]RF Mode                :[LORA]
## RF Transmittable Size(Byte) :228 ##
[a]RF-Channel              :[25](Frequency[920800000Hz])
[b]PAN-ID                  :[Enable] PAN-ID[0x1234]
    EXPAND-PAN Address ENABLE :[Disable]
    EXPAND-PAN Address       :[0x32 0x31 0x47 0x12 0x37 0x35
                                0x36 0x33 0x03 0xB5 0xFC 0x4A]
[c]SRC-ID                  :[0x0000]
[d]LAST-DST-ID             :[0xFFFF]
[e]Unit Mode               :[Parent]
[f]Routing Mode            :[Non-Routing]

```

図6.11.1 チャンネル変更前

```

***** [Settings] *****
[*]RF Mode                :[LORA]
## RF Transmittable Size(Byte) :228 ##
[a]RF-Channel              :[26](Frequency[921000000Hz])
[b]PAN-ID                  :[Enable] PAN-ID[0x1234]
    EXPAND-PAN Address ENABLE :[Disable]
    EXPAND-PAN Address       :[0x32 0x31 0x47 0x12 0x37 0x35
                                0x36 0x33 0x03 0xB5 0xFC 0x4A]
[c]SRC-ID                  :[0x0000]
[d]LAST-DST-ID             :[0xFFFF]
[e]Unit Mode               :[Parent]
[f]Routing Mode            :[Non-Routing]

```

図6.11.2 チャンネル変更後

2)長距離通信試験



図6.11.3 2点間が1300m地点



図6.11.4 2点間が1700m地点



図6.11.5 2点間が2000m地点

2点間の距離が1300m, 1700m, 2000mでの通信試験の送信者, 受信者の位置関係は上記の図6.11.3~5に示した。
それぞれの通信距離における試験結果を表6.11.1に示す。

表6.11.1 通信結果

通信距離(m)	通信の可否
1300	可能
1700	可能
2000	可能

よって、本試験によって少なくとも**2km**の通信が可能であることが実証された。
また、この通信モジュールについてはメンバーが所属している他団体での成層圏バルーンへの応用実績もあり、昨年度は福岡県の糸島半島・志賀島間の約8kmの水平方向の通信試験に成功した。それに加え、鉛直方向では地上からバルーンの最高到達点である約**30km**の通信にも成功した。

v11. 長距離通信試験(再試験)

目的

ローバー投下後、ローバーと本部付近の地上局が最大数kmほど離れると考えている。そのため、我々が用いる無線通信モジュールが、数km単位で通信が可能であることを確かめる必要がある。よって、実際に使用する通信モジュールを使用し約5kmの間隔で通信が可能であるのかを検証することを目的としている。

試験内容

荒川河川敷にて2点間の距離が約**5.3km**の地点で通信が可能であるかどうかの確認を行う。本試験では簡単のためダミーデータの送受信をすることによって無線での通信が可能かどうかの判断をした。また、実験と並行して無線機のチャンネル変更が可能であるかの確認も行った。

試験結果

＜本試験で使った通信モジュール＞

本試験では、地上局・ローバーにおける通信モジュールに(株)グリーンハウスのRM-92Aシリーズを使用する。

1)チャンネル変更

mbedを用いて通信モジュールの初期設定を変更し、チャンネルを変更する試験を行った。

動画: <https://youtu.be/mMWeGzN5krc>

また、通信チャンネルを変更したうえで通信を行うことで、チャンネルが実際に変更されているのかを確認した。

	送信側チャンネル	受信側チャンネル	通信の可否	動画
1回目	24	24	○	https://youtu.be/zvmHbDYyttU
2回目	24	61	×	https://youtu.be/11AEvkhDUy8

1)長距離通信試験

今回は、宮城県名取市閑上で、2点間の距離を保ったうえで、通信モジュール同士で通信試験を計3回行った。

1回目：2022年8月28日 14:43～14:46

図6.11.6、6.11.7はそれぞれ送信側と受信側のIphone標準搭載のMapのスクリーンショットである。左上に時刻が掲載されており、ほぼ同時刻に2点に離れていたことがわかる。



図6.11.6 送信側位置

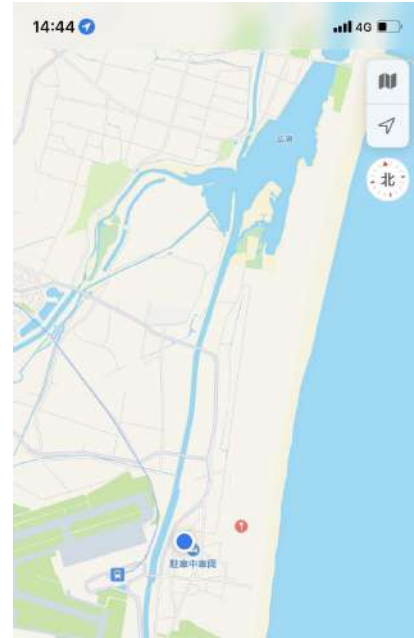


図 6.11.7 受信側位置

これらの位置から2点間の距離をGoogleMapを用いて計測した結果が図6.11.8である。これにより、2点間に5.25kmの感覚があることが分かった。



図6.11.8 2点間距離の結果

2回目 : 2022年8月28日 14:53～14:56

図6.11.9, 6.11.10はそれぞれ送信側と受信側のIphone標準搭載のMapのスクリーンショットである。左上に時刻が掲載されており、ほぼ同時刻に2点に離れていたことがわかる。



図6.11.9 送信側位置

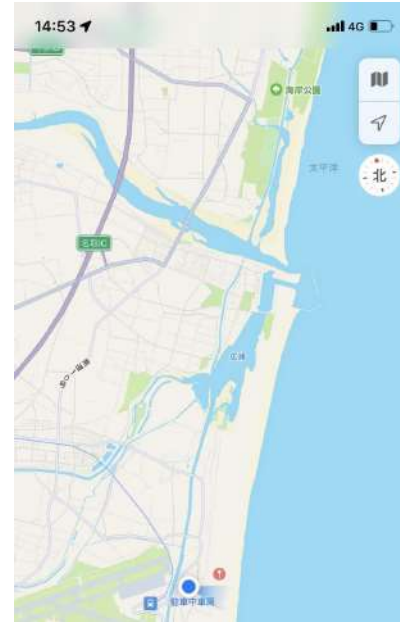


図6.11.10 受信側位置

よって二点間の距離は1回目の試験と同じ5.25kmだとわかる。

3回目：2022年8月28日 14:57～14:59

図6.11.11, 6.11.12はそれぞれ送信側と受信側のIphone標準搭載のMapのスクリーンショットである。左上に時刻が掲載されており、ほぼ同時刻に2点に離れていたことがわかる。



図6.11.11 送信側位置

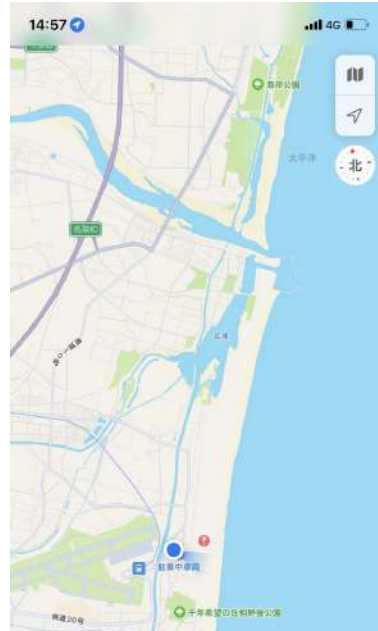


図6.11.12 受信側位置

よって二点間の距離は1回目、2回目の試験と同じ5.25kmだとわかる。

1回目～3回目までの試験の結果および動画を以下にまとめた。

	送信側動画	受信側動画	2点間距離	通信の可否
1回目	https://youtu.be/P0IUM03EQpI	https://youtu.be/l9d3Q4aW5r4	5.25km	○
2回目	https://youtu.be/1M30fl21fuU	https://youtu.be/B6-s7Nfj7RU	5.25km	○
3回目	https://youtube.com/shorts/Y2jwTHWY9QY?feature=share	https://youtu.be/VeCZbDGlbQo	5.25km	○

結果として現在使用する通信モジュールで5.25kmまで通信可能であることを立証した。

v12. End-to-End試験

目的

本試験以外の試験はそれぞれの系に細分化されたものであり、これを統合した結果すべての機能が期待どおりに働くかどうかは実証されていない。よって本試験では、すでに確認された系別の実験を統合し、落下からゴールに至るまでの一連の動作が正常に行えるのかを実証することが目的である。

追記: 本試験はミニマムサクセスの0mゴールを成功させるための試験であるため、ミッションである画像取得などは行わず、自律制御のみを行う。

試験内容

[End to End(1)] (投下>着地判定>ニクロム線導通)

橋の上からパラシュートを結んだローバーを投下し、気温・気圧センサーを用いて高度変化が無くなったことを検知したらニクロム線を導通させ、エンベロープを固定するナイロン線を溶断する。

試験場所は新荒川大橋。投下が行える高度を確保する事と、ブラックロック砂漠を模した開けた地形を確保できなかったため、投下～着地を(1)のフェーズとして行った。

落下高度は11mだったので、パラシュートを展開した状態で投下、エンベロープの展開を行った。

[End to End(2)] (着地判定>(ニクロム線導通)>GPS走行>画像処理誘導)

実際に競技で使用するFMを用意し、手持ちの状態から地面に置いて高度変化が無くなったことを検知しニクロム線(に見立てた抵抗&LED)に電流を流し自律制御(GPS誘導)→自律制御(画像誘導)により0mゴールできるかどうかを検証する。図6.12.1のように始点と終点を設置し、距離は15m程度離れた。



図6.12.1 始点と終点の位置



図6.12.2 路面状況

試験場所は新荒川大橋河川敷にて行った。路面状況は図6.12.2のような砂利道であり、比較的競技会場の様子に近い路面状況であると考える。

試験結果

[End to End(1)] (投下 ▶ 着地判定 ▶ ニクロム線導通)

落下から落下判定, エンベロープ展開まで成功。動画URLを以下に示す。

試験(1)の様子: https://www.youtube.com/watch?v=mY_FKB_tWk

[End to End(2)] (着地判定 ▶ (ニクロム線導通) ▶ GPS走行 ▶ 画像処理走行)

表6.12.1試験(2)の結果

1回目	赤コーンへ接近成功(周囲にあった別のコーンに反応して0mゴールした)
2回目	赤コーンへ接近成功(周囲にあった別のコーンに反応して0mゴールした)
周囲にあった赤コーンを撤去した	
3回目	光の当たり方により画像処理に失敗
GPSの目標地を光源側に寄せた	
4回目	赤コーンへ接近成功
5回目	赤コーンへ接近成功
動画(5回目) : https://www.youtube.com/watch?v=C0t2aFOfQ4Y	

12.4. 備考

1, 2回目の画像処理誘導では周辺にある三角コーンに反応する現象が起きた。これは実験時間帯が夕方で日光が斜めに注いでいたため、目標とした三角コーンより周囲の三角コーンが鮮明にカメラに捉えられたことに由来すると考えられる。実際に1, 2回目の走行では本来の目標地点より東側にあるコーンに向かって走行した。そのため、4回目以降はゴール地点を三角コーンに対し太陽側(西側)5m地点に設定したところ、安定してゴールに到着した。3回目はゴール地点より太陽側2m程度に設定したが、十分にコーンが太陽光を受ける向きに移動することが出来ず、検出に失敗した。

追記: エンベロープの展開部が地面に接してしまう事象が起きたため、手で支えることで展開の様子を撮影した。現在では、対策として、エンベロープ自体におもりを乗せ、展開部が上部にくるように調製し、より高い確率でエンベロープ展開が成功するよう改良する。また、展開部が下を向いていても展開ができることも確認できている。

エンベロープ展開動画: <https://youtu.be/Qqghdg7fZ2U>

v13. 3Dモデル生成試験

目的

実際のミッションでは、ローバーから撮影された画像を用いて、地上局のPCでVisualSLAMを用いた地形の3Dモデル生成を行う。本試験では、実際に2枚以上の画像から3Dモデルを生成できることを確認する。

試験内容

PC内部に送信された画像を自動で処理し、3Dモデルを生成、表示するプログラムを実行させる。その後、v12の画像撮影試験において撮影された画像を用いて、地上局側で自動処理による3Dモデルの生成を行えることを確認する。

試験結果

iPhoneで撮影した画像を18kB(左), 19kB(右)(図6.13.1)に圧縮してPC内部で画像を処理し(図6.13.2, 6.13.3, 6.13.4, 6.13.5, 6.13.6), 3Dモデルを生成・表示するプログラムを実行させた(図6.13.7)



図6.13.1 圧縮した2枚の画像



図6.13.2 2枚の画像のレンズの歪みの補正



図6.13.3 2枚の画像を合成

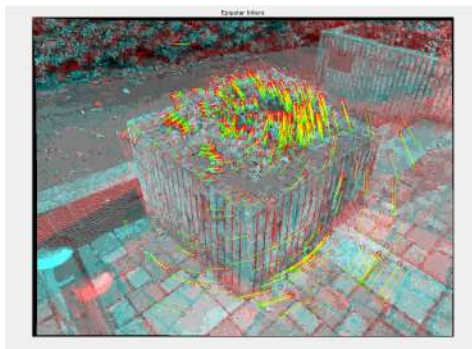


図6.13.4 特徴点の結合1

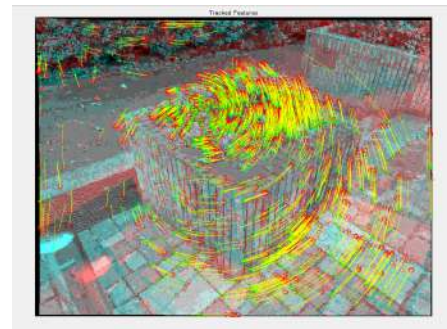


図6.13.5 特徴点の結合2

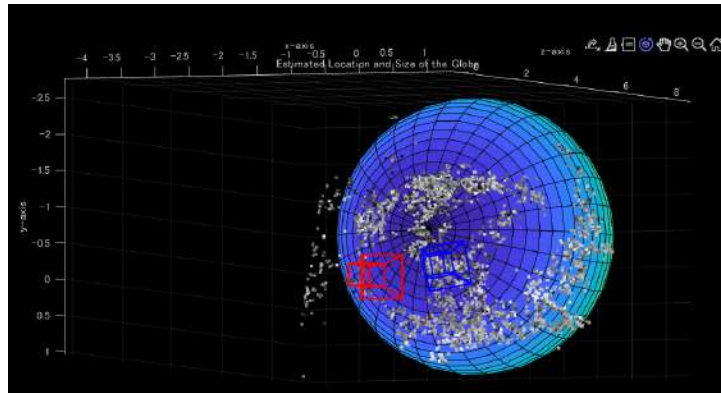


図6.13.6 特徴点の3次元位置の再構成

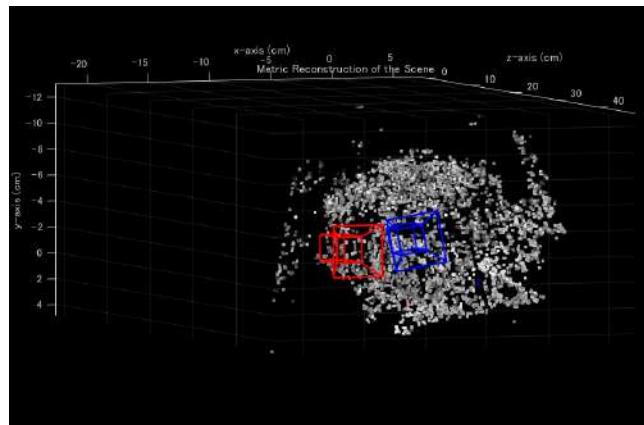


図6.13.6 生成した3Dモデル

v14. カメラを用いた0mゴール試験

目的

画像処理走行のフェーズに移った際に、0mゴールを達成できること及びゴールを判定し動作を停止出来ることを実証する。

試験内容

GPS誘導がゴール地点から半径2m程度の位置以内に誘導が可能であるため、ゴールコーンから2mの位置から赤色成分を判定し、接近できることを確認する。

実験は3回行い、再現性を確認する。

実施結果



図6.14.1 赤コーンを認識しゴール判定をした様子

表6.14.1画像処理走行の試験結果

1回目	0mゴール成功	https://youtu.be/uD_2qJMGto0
2回目	0mゴール成功	https://youtu.be/QtawkN9dEoc
3回目	0mゴール成功	https://www.youtube.com/watch?v=jfm26a9AT_w&feature=youtu.b

考察

2m離れた場所からスタートさせたとき、十分な精度で画像処理による誘導が可能であることが分かった。一方、誘導精度を確保するためには実験開始前に環境に併せた閾値調整を行う必要があったため、競技前に十分な準備を行うことが望ましい。

(追記)

本試験は、GPS誘導でゴールコーン2m以内に接近できることが確認できている事を踏まえて2m以内にあるゴールコーンを認識できるか、というカメラのハードウェア試験及び閾値設定の試験である。(「目的」項にも「ゴールコーンから2mの位置から赤色成分を判定し、接近できることを確認する」とあることから明らかである)

誘導制御等に関しては、v12.End-to-End試験を確認されたし。

v15. 制御履歴レポート作成試験

目的

ローバーが走行する際にGPS、9軸センサの値が記録できていることを確認する。

実験内容

ローバーのEnd-to-End走行中のGPS走行プログラムを動かす中でGPS、9軸センサの値がcsvファイルに記録するプログラムが動作しているかどうか確認する。

試験結果

表6.15.1保存されたログの一部

	A	B	C	D	E
1	16:31.7	35.7886	139.7217	-0.9755	0.219994
2	16:32.3	35.7886	139.7217	-0.90365	0.42827
3	16:32.8	35.7886	139.7217	-0.94868	0.316228
4	16:33.4	35.7886	139.7217	-0.96385	0.266431
5	16:33.9	35.7886	139.7217	-0.82931	0.558787
6	16:34.6	35.7886	139.7217	-1	-1.84E-16
7	16:35.2	35.7886	139.7217	-0.99989	0.014597
8	16:35.7	35.7886	139.7217	-0.99982	0.018865
9	16:36.3	35.7886	139.7217	-0.99481	0.101714
10	16:36.8	35.7886	139.7216	-0.77122	0.636565
11	16:37.4	35.7886	139.7216	-0.62682	0.77016

記録の一部を上を示す。

左から(1)時刻、(2)緯度、(3)経度、機体の向きの単位ベクトルの(4)x成分及び(5)y成分である。

全体のデータを以下のリンクに示す。

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1vihCeRPJvlw5cEz1W8FSAzKz9BHGkcOf1Me7IH4ZPDM/edit#gid=1359184147>

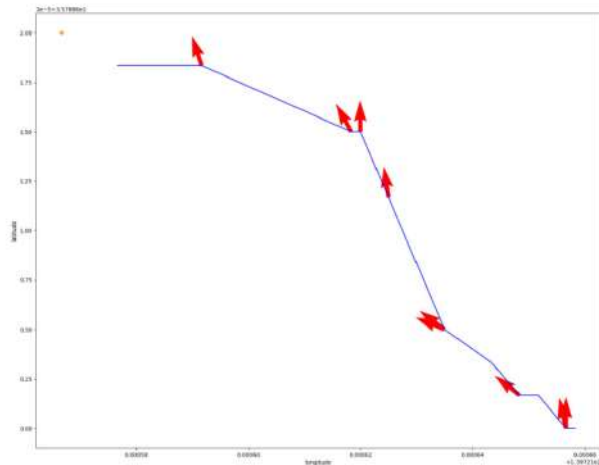


図6.15.1ローバーの方位角と軌跡

得られたCSVファイルのデータから、GPS誘導の始点から終点への軌跡とベクトルを描画した。以上のGPSログを提出することで、ミッション終了時に自律でミッションを遂行していることを証明することが出来る。

v16. GPS走行試験

目的

ローバーがGPS、地磁気センサを用いて、ゴールへ向かい、ゴール付近 1.5mまで接近できるかどうかを確認するために行う。

実験内容

落下地点から走行を開始し、GPS、地磁気センサの値からゴールとの角度を求めて、ローバーがゴールとの角度の $\pm 15^\circ$ 以内に入るように調整を行いながらゴール 1.5m以内まで走行し、ゴール1.5m以内に入るときにモーターを停止させる試験を行う。

試験結果

GPSのみでゴールコーンへのゴールが確認できた。実験の様子を以下の動画URLに示す。

<https://www.youtube.com/watch?v=MurgtSizsfU>

v17. スタック試験

目的

競技中、非舗装の砂漠上には轍が存在するため、ローバーがスタックしてしまうことが予測される。そのような場合に、スタックした状態からローバーを脱出させる必要がある。本試験では、モーターの走破性と実際に用いる脱出方法の有効性を検証することを目的としている。

実験内容

[物理性能試験]

ローバーの物理的な走行性能を確認するために、段差踏破性能・登坂性能を把握する。それぞれの試験を以下の手順で行う。

- **スタック試験**
スコップを用いて穴を掘り、機体の片輪、両輪を埋めてパターン試行のプログラムを実行させて脱出できるか確認する。
- **段差踏破試験**
煉瓦や岩、自然地形を用いて、段差を乗り越える試験を行う。試験の中で、段差60mmを乗り越えられる事を確認する。
- **登坂試験**
屋外の傾斜地にて傾斜を測定して登坂の可否を計測する。

[パターン試行]

我々のローバーでは、スタックした場合、GPSの変化の小ささからそれを判断し、スタックの状態から脱出するために、いくつかのパターン走行を行う。以下がそのパターンの草案である。

1. 両輪を5秒間後ろに回す
2. 右輪を5秒間後ろに回したのち、両輪を5秒間後ろに回す
3. 左輪を5秒間後ろに回したのち、両輪を5秒間後ろに回す
4. 右輪・左輪をそれぞれ5秒間後ろに回したのち、両輪を5秒間後ろに回す
5. 両輪を5秒間前に回す
6. 左輪を5秒間前に回したのち、両輪を5秒間前に回す
7. 右輪を5秒間前に回したのち、両輪を5秒間前に回す
8. 右輪・左輪をそれぞれ5秒間前に回したのち、両輪を5秒間前に回す

これらのパターン走行を轍にはまった状態で行い、有効なパターンの検証を行う。有効であるパターンを絞ったのち、それらが実際の走行中にスタックした際、ランダムにパターン走行ができるように実装する。

V17. スタック試験(追加)

試験1

轍を作りローバーが通過できるかどうか確認した。

説明動画: <https://youtu.be/kbsvqL5d9mY>

計測動画: <https://youtu.be/w692xsMIAns>

試験2

片輪を穴に埋めて脱出できるかどうか確認した。

説明動画: <https://youtu.be/5RcJpJ5PR2E>

試験3

機体を反転した状態から復帰できるかどうか確認する。

試験結果

スタック試験・登坂試験・段差試験の結果をそれぞれの表、図に示す。

片輪の1回目でパターン7以降行われなかった理由としては、スタック試験中にローバーが再起動したため2回目でパターン1~8を行った。

追記:

下の2つの図は、機体の両輪を穴に埋めたときの様子を示し、このときの穴の深さはタイヤの半分ほどの深さであるから、タイヤの半径が63mmであることから63mmと推定される。



図6.18.1 両輪を埋めた様子1



図6.18.2 両輪を埋めたときの様子2

表6.18.1 スタック試験結果

100	片輪				両輪	
	1回目	動画	2回目	動画	1回目	動画
パターン1	×	https://youtu.be/74JnrK_P1-E	×	https://youtu.be/vR8Vvk16ig	×	https://youtu.be/imUYqssP8E
2	×	https://youtu.be/9nNTa9cS0n8	×	https://youtu.be/W903v24Lo00	×	https://youtu.be/DAKapDpnp8
3	×	https://youtu.be/GVYMyQXqBSY	×	https://youtu.be/eVoMn_A0OHI	×	https://youtu.be/814GXLQ-Bt0
4	×	https://youtu.be/01cPFz17pDg	○	https://youtu.be/4RHE7OUUFm4	-	-
5	○	https://youtu.be/bQ1bbyMgE0g	○	https://youtu.be/UF-ujqE4s50	×	https://youtu.be/TZmyic52luY
6	○	https://youtu.be/YlwL7gZwaw	○	https://youtu.be/hoBQbmLt7r8	×	https://youtu.be/HEHAu6xQkWw

7	-	-	○	https://youtu.be/Xym3HrjeWjg	×	https://youtu.be/1d0_dmObkeY
8	-	-	○	https://youtu.be/7Q2FI6b6cVg	×	https://youtu.be/dYNB1XF6hNI

抜け出せた→○
抜け出せない→×

表6.18.2 段差踏破試験結果

回数	3cm		5cm		7cm	
	上ったかどうか	動画	上ったかどうか	動画	上ったかどうか	動画
1	○	https://youtu.be/foxe1rVHITQ	△	https://youtu.be/mpgAh-h4QDU	△	https://youtu.be/SRtvuGTkHg8

走破できる→○
走破できない→×

片輪だけ乗り上げた→△

表6.18.3 登坂試験結果

回数	2°~7°(9°)		10°~18°(16°)		20°~30°(32°)	
	乗り越えたかどうか	動画	乗り越えたかどうか	動画	乗り越えたかどうか	動画
1	○	https://youtu.be/eTlrPXA3tRE	△	https://youtu.be/013qxrQ2P3s	×	https://youtu.be/wQrJ_XpP90I

前進可能→○
前進不可能→×

傾斜が緩やかな方向に進んだ→△

表6.18.4 追加試験1の結果

回数	乗り越えたかどうか	動画
1回目	○	https://youtu.be/3MXtLaxxmjo
2回目	×(片輪のタイヤが外れた)	https://youtu.be/AC9l8x76spQ
3回目	○	https://youtu.be/d8kbhxUNWVw
逆方向1回目	○	https://youtu.be/wblGNVb69UI
逆方向2回目	○	https://youtu.be/4JWo6g_ITIE
逆方向3回目	×	https://youtu.be/volr8hnwIEQ

走破できる→○

走破できない→×

表6.18.5 追加試験2の結果

回数	脱出したかどうか	動画
1	×	https://youtu.be/3Mxza5PB4uk
2	×	https://youtu.be/fdguTE76wWU

抜け出せた→○

抜け出せない→×

表6.18.6 追加試験3結果

回数	復帰したかどうか	動画
1	×	https://youtu.be/M07gZntpgbw
2	○	https://youtu.be/OYcMhK8xcF0

--	--	--

復帰した→○

復帰しなかった→×

V18. 画像取得及び保存試験

目的

我々は、ミニマムサクセス以上の目標として画像を取得し保存したのちに解析するというミッションを定義している。本試験では、その工程の一つである画像を取得し保存するというフェーズが実行できるのか確認する。

試験内容

オンボードコンピュータに搭載されたカメラを使用し、赤色の判定からコーンの位置を特定する。位置を特定しある程度近づいた場合、画像を取得しSDカードに保存するというプログラムを作動させる。今回は提出まで差し迫っていたため、カメラと赤色のメンを使用し疑似的に試験を行う。

試験結果

プログラムを実行した結果、2枚の画像を取得していることを確認した。(図6.18.1)



図6.18.1 取得した二枚の画像(時刻をファイル名として保存している)

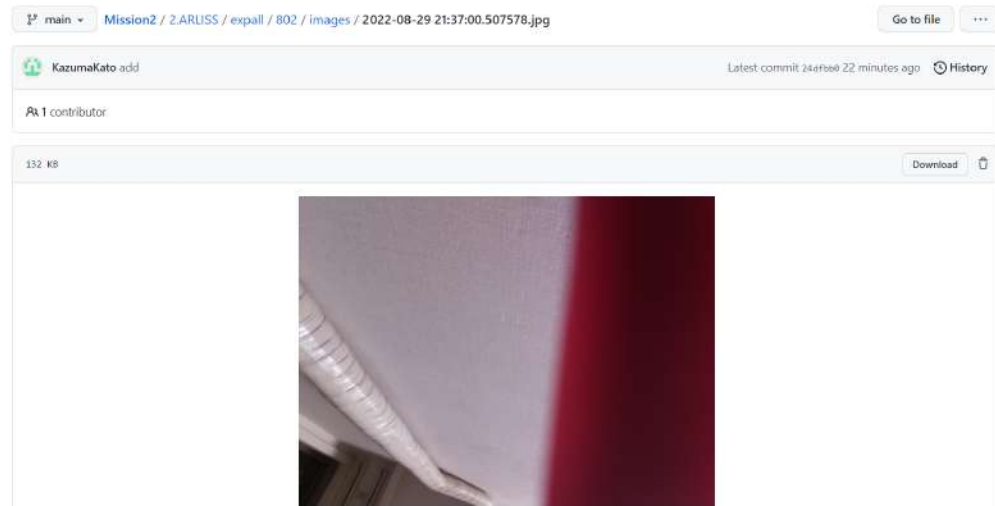


図6.18.2 取得した画像1



図6.18.3 取得した画像2

画像を取得するまでの様子の動画を以下に示す.

動画: <https://youtu.be/VdgT2ZOnU1o>

第7章 ガントチャート(工程管理)

ガントチャートをスプレッドシートにまとめた.

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1UFTNGpzMs8RpDfL-R-xkkVM6Q0wubtPFjg0zKioRRiQ/edit#gid=890752657>

第八章 責任教員による自己安全審査結果のまとめ

(この章は必ず責任教員が記入してください)

安全基準審査

要求 番号	自己審査項目	自己審査結果	責任教員コメント（特筆すべき事項があれば）
	ARL ISS2022安全基準		
S1	投下する機体の質量が基準を満たしている	☑	まだ余裕が多いので、バッテリーなどの搭載をしてはどうかとサジェスションしている
S2	容積がキャリア基準を満たしている	☑	
S3	打ち上げ時の準静的荷重によって、安全基準を充足するための機能が損なわれていないことが試験で確認できている	☑	
S4	打ち上げ時の振動荷重によって、安全基準を充足するための機能が損なわれていないことが試験で確認できている	☑	
S5	ロケット分離時（パラシュート開傘時）の衝撃荷重によって、安全基準を充足するための機能が損なわれていないことが試験で確認できている	☑	
S6	地表近くで危険な速度で落下させないための減速機構を有し、その性能が試験で確認できている	☑	
S7	ロストへの対策を実施しており、有効性が試験で確認できている （対策例：位置情報送信、ビーコン、蛍光カラーペイント等）	☑	
S8	打ち上げ時の無線機の電源OFFの規定を遵守できることが確認できている（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）	☑	
S9	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	☑	
S10	ロケットへの装填からミッションの開始、打ち上げ後の回収までを模擬したEnd-to-end試験を実施できており、今後、大幅な設計変更はない	☑	フルのend-to-end試験は難しいので、二つに分けての試験で全体の代わりにして

			いるが、十分なレベルに達していると判断している。
	カムバックコンペティションに参加する場合は以下の項目を必ず満たしてください		
M3	ミッション時に人間が介入しない自律制御を実施することを確認出来ている	<input checked="" type="checkbox"/>	
M4	ミッション後、規定された制御履歴レポートを運営及び審査員へ提出しログ・取得したデータについて説明が可能な状態である	<input checked="" type="checkbox"/>	

責任教員所感

マルチの大学のチームであり、私が責任教員を引き受けている。東大に招いて、すでに数回にわたってレビュー会、PDR, CDRなどを行って技術を見てきた。

種子島の大会でも遠隔操縦の部門で優勝するなど、設計・製造・マネジメントとも、非常にしっかり進めており、設計においてもこちらのコメントを的確に反映して改造を繰り返してきたことを評価している。今回もCDRの機会を経て、この審査書にコメントをしているが、やるべき試験をしっかり実施しており、様々な工夫を行って成果も期待できるローバーになっている。

ゴールに0mで到着できる可能性を持ったレベルのローバーであると判断する。

第9章 大会結果報告

結果＜一度目＞

投下日:9月13日(火)

タイムスケジュール:

UTC		hh:mm:ss	Event
13th Sept ember	8:22:22	-1:22:43	regulation審査1回目。キャリアから気体放出ができず、再調整。
	8:30:00	-1:15:05	エンベロープのパラシュートの紐の取り付け方を変更。
	8:40:00	-1:05:05	機体のプログラムを開始。

	8:44:00	-1:01:05	regulation審査通過。
	8:53:32	-0:51:33	ロケットにローバーを挿入。
	9:15:00	-0:30:05	ロケットを担いで移動開始。
	9:19:00	-0:26:05	射点に到着。
	9:39:15	-0:05:50	東京卍ユニオン機体の打ち上げ。
	9:45:05	0:00:00	ロケットの打ち上げ。
	10:10:00	0:24:55	車による搜索の開始。
	16:00:00	6:14:55	当日の搜索終了。機体・エンベロープ・パラシュートはともに見つからず。

記録:

発射前にプログラムが終了したため、記録残らず。

考察＜一度目＞

サクセスクライテリアの達成度:

ミニマムサクセス	×
ミドルサクセス	×
フルサクセス	×

事象:

ロケット発射前にプログラムが終了してしまった

SSHにより、ラズベリーパイにアクセスし、プログラムを作動させたが、ロケット発射数秒前にプログラムが停止してしまい、落下後の走行が行えなかった。これは、機体回収後、ラズベリーパイにアクセスしたことで発覚した。

原因:

SSH接続切断によるプログラム停止

我々のチームの他、ロケット発射前にプログラムが停止したチームが他にも存在し、いずれもSSH接続によりラズベリーパイにアクセスしていたため、SSHによる遠隔操作に問題があるのではないかと考察した。実際に、ある条件下でSSH接続が切断されたタイミングでプログラムが停止することは確認されている。

また、本問題について、他のチームと情報交換をした結果、他チームとのWiFi通信が混線したことも原因の一つとなった可能性があるという意見も浮上した。実際に検証はできていないが、通信に関する何かしらの問題が発生したのではないかと結論付けた。

考えられる解決策：

1. WiFi通信などで混線を起こさないために、発射前に準備できるチームを限定する。
2. SSH接続の方式においてtmuxを用いることにより、直接ラズベリーパイを制御する。

結果＜二度目＞

投下日：9月15日（木）

タイムスケジュール：

UTC		hh:mm:ss	Event
15th Sept ember	7:15:00	-0:47:14	regulation審査通過。
	7:30:50	-0:31:24	ロケットにローバーを挿入。
	7:43:40	-0:18:34	ロケットを担いで移動開始。
	7:48:10	-0:14:04	ロケット射点に到着。
	8:02:14	0:00:00	ロケットの打ち上げ。
	8:20:00	0:17:46	車による機体搜索開始。
	8:22:30	0:20:16	ロケット2段目を発見。
	8:24:10	0:21:56	ロケット1段目を発見。
	8:33:00	0:30:46	目視により、機体がエンベロープに収まった状態で発見される。
	8:37:27	0:35:13	機体の緑LEDランプの点滅を目視により確認し、プログラムが正常に動作していると判断した。
	9:42:32	1:41:18	機体上部から煙を確認し、エンベロープ展開のフェーズに入ったことを確認。しかし、エンベロープは展開せず。
	9:43:20	1:41:06	エンベロープ内で、走行を開始する。
	9:55:00	1:52:46	エンベロープが展開しないと判断し、リタイア。

記録:

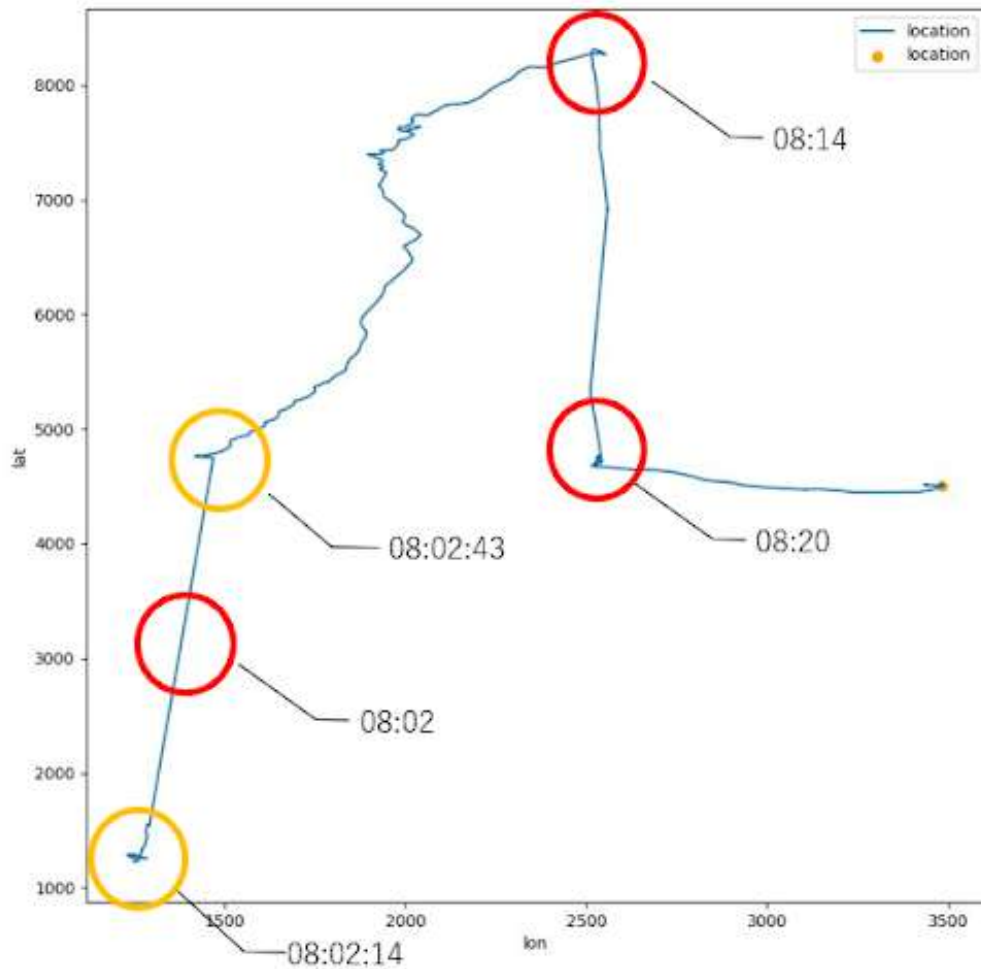


図9.1.1 発射からのGPSのログ

8時2分14秒にロケットが発射され、重力加速度がかかることにより、一時GPSの値が取れなくなった。その後、数秒で放出されたのち、GPSの値は復帰し、落下しながら北東の方向へ進んだ。その後、8時14分の段階で、風向きが変わり南の方向へ進んだのち、8時20分に着地した。その後の移動履歴は、リタイアを宣言したのち、走行実証試験を行った時のものである。

考察＜二度目＞

サクセスクライテリアの達成度:

ミニマムサクセス	×
ミドルサクセス	×

フルサクセス	×
--------	---

事象:

1. エンベロープが展開しなかった

本来は着地後、抵抗を用いたエンベロープ展開機構によりエンベロープが展開する予定だった。しかし、エンベロープを展開する抵抗の加熱は煙により目視できたものの、ニクロム線へ十分に熱が伝わらず、溶断ができなかった。

原因:

1. 風の影響により抵抗が過熱しきらなかった

自然環境による温度・風量の影響を受け、抵抗が充分に加熱されなかったことが、原因として考えられる。実際に、帰国後、抵抗の燃焼試験を行い、風による影響で過熱が充分にされないケースを確認した。

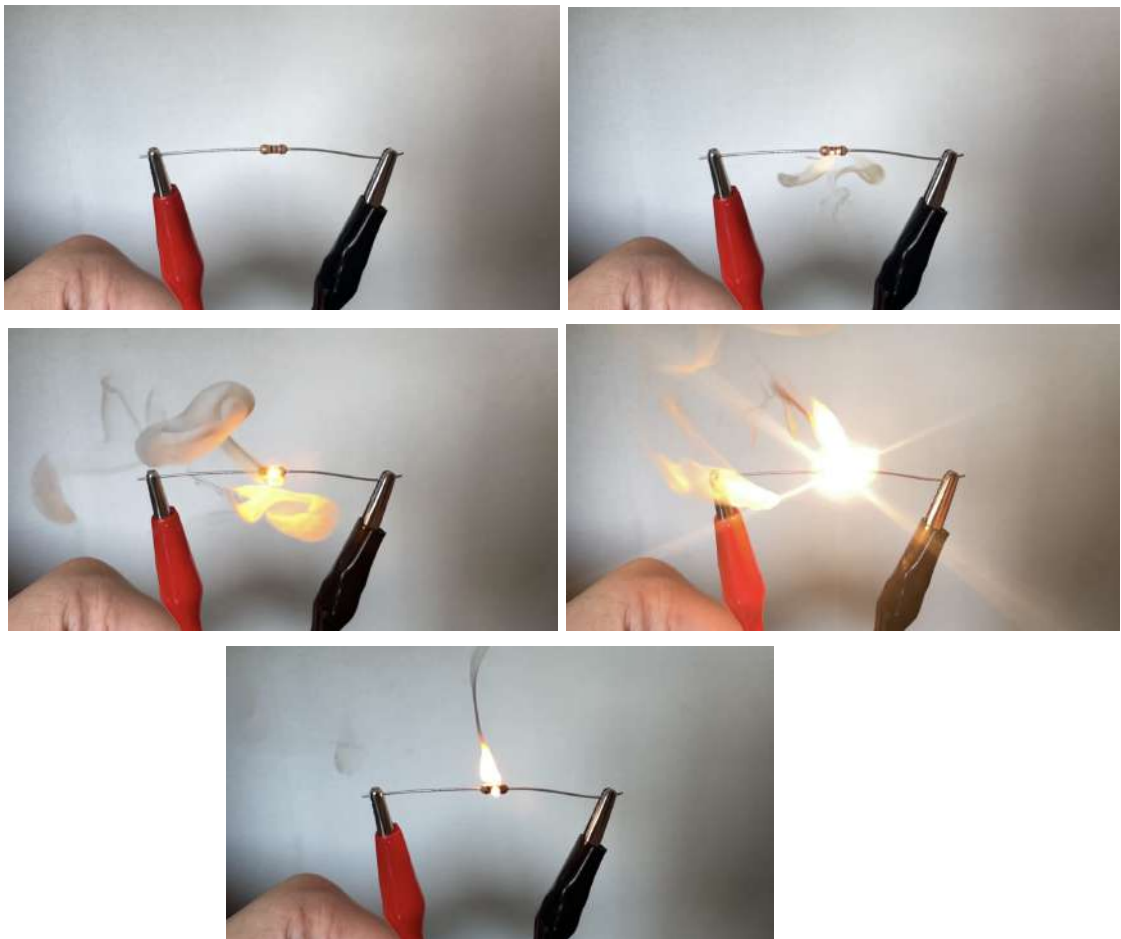


図9.1.2 抵抗の燃焼の様子

考えられる解決策:

1. 抵抗とエンベロープの線を接触させる部分を1つだけでなく複数用意することで、冗長性を高める。
2. 抵抗以上の熱を発生させるニクロム線を用いた機構に変更することで、エンベロープを結ぶナイロン線を溶断できる可能性を高める。

第10章 まとめ

A. エンジニアリング各系

a. 構造・駆動系

i. 工夫・努力した点

部品数を減らす

部品を固定する際にスペーサーを使用していたが、スペーサー一体型となる構体をプリントすることで、部品数を減らすことができ、整備性の向上や、スペーサー購入費用の削減につながった。



図10.1.1 プリントしたプレート

モーター保護構造

カップリングとベアリングを用いたモーターの保護構造は実験時から本番まで落下衝撃によるモーターの破損から防いだ。パラシュートの開傘実験中、エンベロープが落下直後に開いてしまい、約11mの高さから自由落下してしまった。センサーを固定していたプレートは3層中2層が割れ、モーター保護構造であるベアリングホルダーも割れてしまった。機体は大破してしまったが、モーターは破損せず、堅牢さを発揮した。

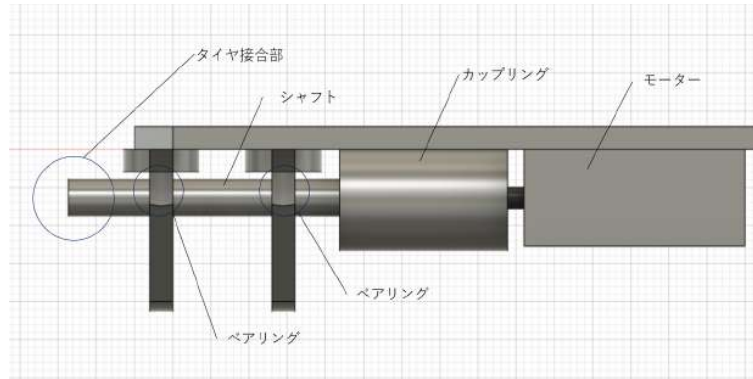


図10.1.2 モーター保護構造

3Dプリント品にベアリングをインサート

複数回の落下実験を通して、赤丸部分のベアリングホルダーが割れたりベアリングが取れたりしてしまうことがあった (図10.1.3) . ベアリングホルダーとはモーター保護機構である3Dプリント品で、ベアリング外形にぴったり合う穴が空いているので、そこにベアリングを圧入する。しかし、落下衝撃によって圧入していたベアリングが取れてしまうことが多かった。それを対策するために圧入するのではなく、印刷過程でインサートすることにした (図10.1.4) .

ベアリングホルダーを圧入からインサートに変更することによって、落下衝撃でベアリングが取れてしまうことがなくなった。圧入からインサートに変更するに伴い、ベアリングホルダーを太くしたため積層方向に割れてしまうこともなくなった。

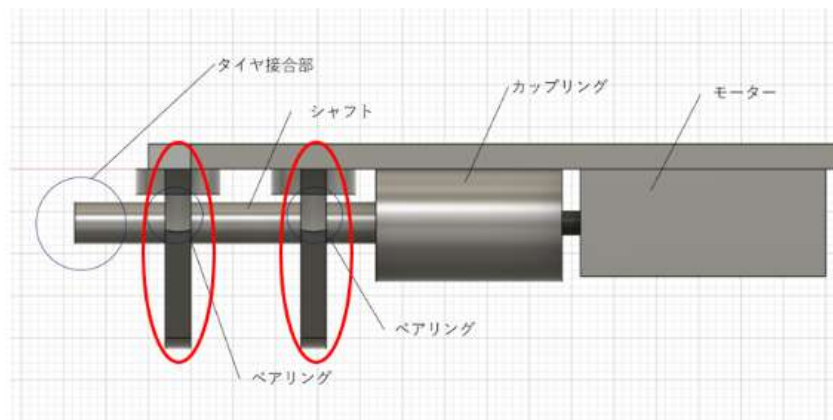


図10.1.3 ベアリングホルダー



図10.1.4 インサートベアリング

3Dプリント品による治具作成

3Dプリンターは試作品や完成品を作るほかに治具作成をするための手段として有効である。

下の図はテグス焼き切り用の抵抗を取り付けるための適切な幅を調べるために製作した治具である。治具作成により、試行錯誤のサイクルを早めることができた。(図10.1.5)

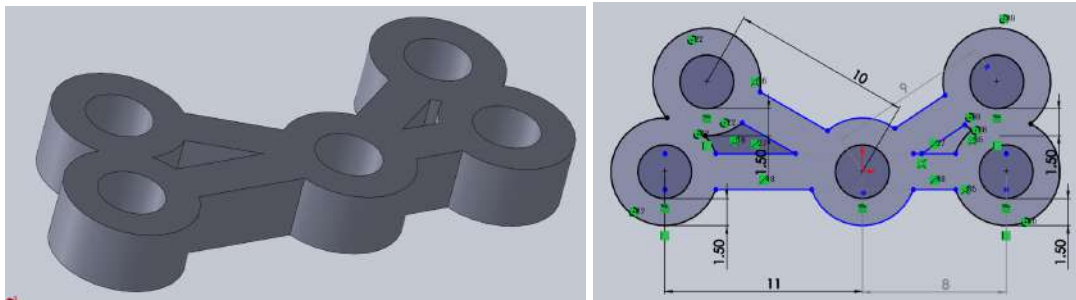


図10.1.6 寸法決め用治具

破損しにくいTPU製プリント品を適用

TPUフィラメントで作った部品は伸縮性があるため、積層方向に割れるなどの心配がない。伸縮性があっても問題がなく、かつ壊れてほしくないタイヤ部に使用した。TPU製プリント品は内部のインフィル構造設定をすることにより伸縮性をコントロールできる。また、ホイールとタイヤを着脱可能にすることにより、タイヤの形状を検証する実験効率と整備性が向上した。



図10.1.7 TPU製ホイール+タイヤ

ii. 課題点

ARLISS本番で1回目の投下後、回収した機体を分析したところ、1か所のみネジの外れが確認できた。ネジが刺さっていない箇所であったため、仮に走行していたとしても支障はなかったが、ネジの締め忘れやネジのゆるみには注意すべきであった。ネジの締め忘れ、ゆるみの再発防止案として、二人で指をさしながらネジがささっているか、ネジが緩んでいないか確認するべきであると考えた。

iii. 今後の展望

ネジの締め忘れはミッションの失敗に直結しかねないので、特に非修理系の製作をするときは再発防止案として「ネジ締め確認リスト」を作成することを勧める。ネジ締め確認リストとは何mmのネジを何本どこに使うのかを明確にするリストである。

b. 制御系

i. 工夫・努力した点

SSH接続使用上の注意

競技1回目の投下で制御に用いたPCとマイコンの距離が離れてssh接続が切れる、その後打ち上げ前に再接続されてプログラムが終了する事象が発生した。

制御用のターミナルがPC側にあることが問題なので、マイコン側(サーバ側)に仮想のターミナルを起動するtmuxを利用して解決する。

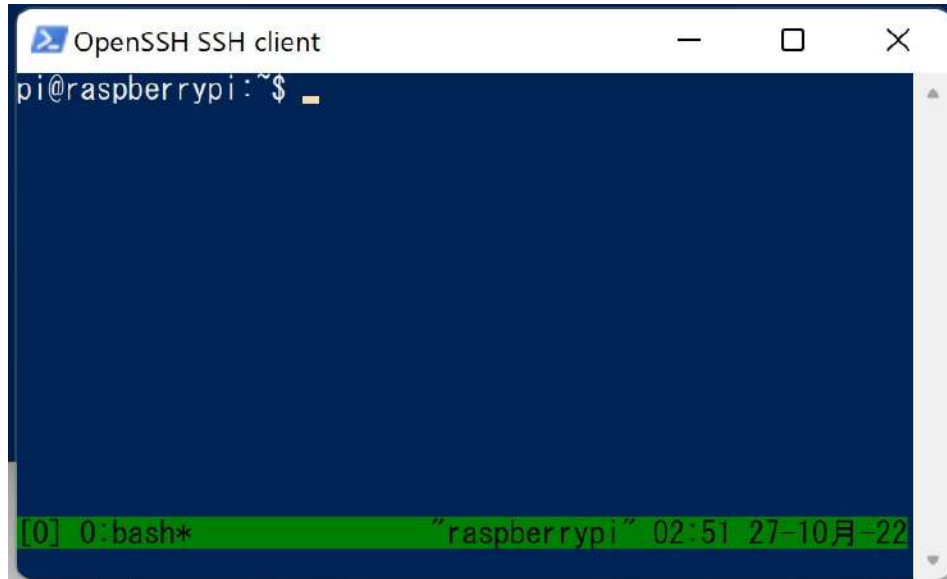


図10.1.8 推奨されるターミナル起動[tmux]

エラー発生時の冗長化

pythonの文法にはインデント内容のエラーが出たらexcept:内の処理を行うtry:文法がある。ここで、try:の中で関数化したプログラム全体を実行し、except:内でエラー発生時にプログラムの先頭に戻るよう設定することで、予期せぬエラーが発生したときに再実行することが出来る。

また、それでも予期せぬエラーが発生し、プログラムが終了した際には「OSを再起動」&「OS起動時にプログラム実行」の機能を組み合わせることでシステムを再実行することが出来る。

OS起動時にプログラムを実行の機能は、回路的な電流遮断に対する冗長化にも繋がる

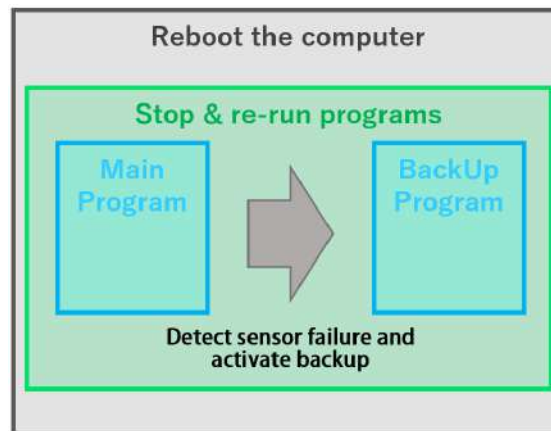


図10.1.9 システム図

直列・並列を意識したトリガー

着地判定の開始、GPS誘導の終了判定など、何かを判定して次のフローに進むときには判定条件の直列・並列を意識する必要がある。まず、自分が今「判定」について検討をしているのかを意識しながら開発をし、判定の検討をして

いる場合は直列の条件・並列の条件が適切であるかを検討しながら開発をするべきである。

直列条件を多くするほど判定が正確になるが、判定しづらくなる。一方で並列条件を多くするほど判定しやすくなるが、予期しない判定が実行される可能性がある。

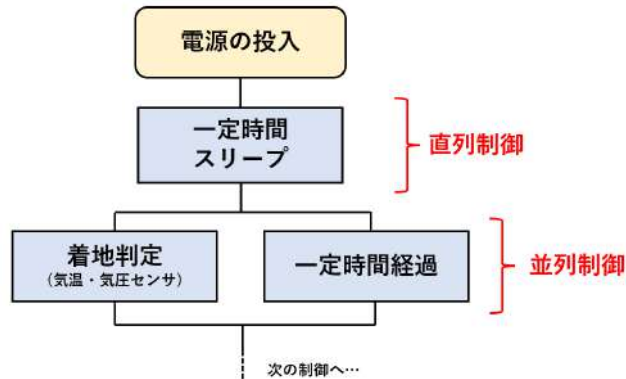


図10.1.10 メインのプログラムに移行する条件の例

ii. 課題点

変数の混同・関数の誤用

[課題]

開発の過程で変数や関数を正しく扱えず、プログラムをチェックしていながらもそれに気づくことが出来ないという事象が繰り返し発生していた。一方で、ホワイトボード上に書き出した誘導のロジックは正しかったので、プログラミング言語にて記述する際に混乱が生じたと見られる。

[解決法]

最近、処理を文章で記述するとAIがプログラミングを生成するサービスが開始しているので、該当サービスを利用することが一つの手段である。

センサーの値を取得した後の変数に対する処理を、AIを併用して書き進める事で誤植が減らせるだろう。

一方で、プログラミングを書く上では、誘導理論が構築された段階で図表を作成し、図表のなかに変数を書き込みながらプログラミングを起こす。また、チェックポイントを設定し段階を踏んで変数の出力値を確認しつつ、定期的に他のメンバーに実演するなどの機会を積極的に設けることが対策に挙げられる。

スタック検知機能の精度向上

[課題]

今回開発したシステムでは、ローバーのスタックを検知するまでに数百秒を要した。

しかし、タイヤが空転していた場合はまだしも、タイヤが固定されていた状態で数十秒も電流を流した場合、発熱やギヤの破損が起こる可能性がある。

[解決法]

競技期間中、終了直後ではこの問題に対する対応策を思いつくことが出来なかったが、JAXA相模原キャンパスの一般公開にて複数のローバー開発者にヒアリングを行った結果、カメラを用いた速度推定(ヴィジュアルオドメトリ)が行えることが分かった。

今後の導入を検討する。

iii. 今後の展望

制御系における今後の取り組みは、以上に上げた課題を解決する技術を獲得することである。

c. 回路系

i. 工夫・努力した点

LoRa通信モジュールのUART⇄I2Cの変換にRaspberry Pi Picoを使用

LoRa通信モジュールはUART規格により通信を行うが、制御に利用したRaspberry Pi ZeroはUART通信ポートが1つしかなく、そのポートは既にGPSセンサに利用されていた。従ってI2Cに信号を変換する必要があったが、新規の変換モジュールを使用するよりメンバーが外部団体でノウハウを持つRaspberryPiPicoを利用した変換を行った。

RaspberryPiPico用の変換基板の作成が追加の作業として生じたが、難しい作業ではなく、構体にも空きスペースがあったのですぐに対応することが出来た。

バッテリーを大型・大容量の4セルLiPoバッテリー(14.8V)に

モーターの出力不足、バッテリー容量の安全率不足の問題を解決するために、バッテリーを大型化した。

電圧は3セル11.1Vから4セル14.8Vに、容量は1350mAhから2600mAhへと、性能を向上させた。一方で、寸法が過度に大型化し、これまでの構体設計に適合しなかったために構体の再設計が要求された。同時に重量も大きく増加したが、その時点で構体・パラシュート総重量が700g程度だったため大きな影響は無かった。

重量が余分に余っているから大型化しようという判断は有効に作用したと評価している。使用モーターの定格を超える電圧を印加したが走行速度、地形踏破性能が大幅に向上し、電圧を上げただけで走行能力に対する不安が多く解消された。一方で、寸法の変更による構体変更は好ましくない。今後開発を行う際も「一度試作機の重量をみて、余裕があれば大型化する」プロセスは変わらないと考えられるので、2度設計を行ったことは許容するといいたいだろうが、直前期に行ったことが負担になった。

ii. 課題点

結線不良・はんだ忘れ

[課題]

はんだ忘れや結線不良のエラーが多発した。基板作成とその後それを用いてプログラミングを行う人が必ずしも同一ではないので、受け渡し後に不良点の調査を行うと非常に効率が悪く、作業員のストレスに繋がる。

[解決法]

はんだ付けを行う際には作成する基板の枚数分の設計図を印刷し、チェックマークを付けながらはんだを行う。同時に、回路図を印刷し、はんだ後に配線が導通していることを確認する。

回路図記号・フットプリントの設計ミス

[課題]

回路図記号とフットプリント(プリント基板における配線印刷パターン)は時に、自分で作成する必要がある。この時、ピン配置や寸法を謝ることがあり、約2週間かけて中国から発送されたのちに誤りに気づくことがあり、非常に効率が悪い。

[解決法]

可能であれば寸法をチェックする人員を別に付けることが好ましいが、毎回他者がチェックを行う事は難しい。過去に団体内で使用したデータをデータベース上に保存し、毎回新規で作成するコストや手間を減らす取り組みが効果的だろう。

iii. 今後の展望

マイコンの1人1個購入

種コン出場時はメンバーが一人一つマイコンを購入し、基本的なプログラムまでは共通認識として全員手元でプログラムを実行することを課していた。一方で、比較的マイコンが高額になった今回、同じ取り組みを取り入れなかったものの、マイコンを焼いてしまう事による不足や、基本的な感覚の欠如が生じるメンバーの発生などの問題が起きたため、メンバー同士の能力を均す目的や、実験の際に補助を行えるだけの基礎力をつける為にも今後は省くことなく取り入れていきたい。

この問題はオンライン下で開発してお互いの理解力がコミュニケーション上の障壁になる体制を踏まえても解決するべきである。

基板作成時、降圧の回路を上手くとるとバッテリー変更に耐えられる

今回、高電圧が必要なアナログ部品(モーター・抵抗など)を除く部品は5Vに降圧するコンバーターからのラインから電源を供給させた。主電源を1つ高い電圧で用意するこのやり方によって、コンバーター上の主電圧を変えても回路が同様に動作するため、基板の作り直しが生じない。

d. 飛行系

i. 工夫・努力した点

飛行機構(パラシュートとエンベロープ)について

パラシュートは図10.1.11に示す形状にした。パラシュートについて1辺70cm正六角形であったが、中心に半径10cmの円形の穴を空けることにより落下が安定したためこの形状を採用することにした。視認性を上げるため色は赤色を選択した。また図10.1.12のようにパラシュート端のハトメとラインの接合部を直結びではなくスナップにすることにより糸スレによる破損を防ぐとともにパラシュートの交換が容易にできるようにした。エンベロープ上での空転を防ぐために布やすりを貼り付けた。エンベロープが開放により確実に開くようにエンベロープ内にコンベックステープをとりつけた(図10.1.13)。また現地で、ignitionのスイッチと発射台間の無線で何らかの電磁波が発生し障害となっていたと考え、エンベロープにアルミホイルテープを巻き電磁遮蔽を行った(図10.1.14)。



図10.1.11 パラシュートの形状



図10.1.12 パラシュートの取り付け部

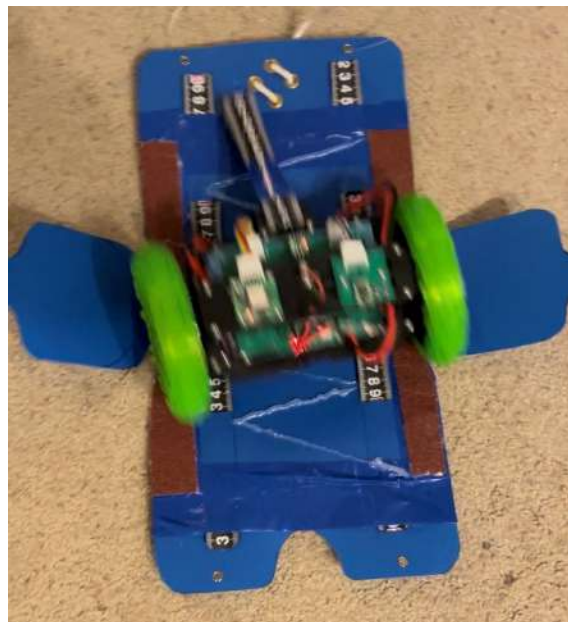


図10.1.13 エンベロープの内側



図10.1.14 エンベロープの外側

開放機構について

発火と熔断を防ぐためテグスの焼き切りをニクロム線でなく10Ω抵抗器で行った(図10.1.15)。着地判定においてばらつきが大きく閾値調整による対応が難しかったので、タイマーを導入した。着地判定開始の制御は一定時間経過後に行う直列制御とし、着地判定の終了も一定時間が経過したら強制的に行う並列条件でのエンベロープ開放とした。



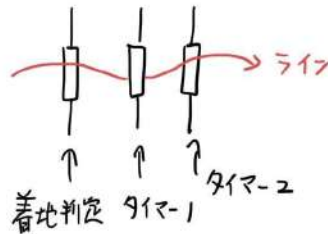
図10.1.15 エンベロープ展開機構

ii. 課題点

開放機構について

大会本番、テグスを焼き切ることができず開放に失敗した。リタイア宣言後抵抗器を確認してみるとテグスに触れていない片面のみに焦げが確認でき、抵

抗の熱がテグスに伝わっていないことが分かった。ナイロン線の溶断に抵抗を用いたが、線そのものが発熱するニクロム線に対し、抵抗は局所的に発熱しその熱で皮膜が燃焼する事で溶断に繋がる。したがって強風や低温下では抵抗の燃焼が途中で止められる可能性があり、抵抗は不向きであることがわかった。また、抵抗器(あるいはニクロム線)を図10.1.16のように着地判定での通電、複数回のタイマーによる通電というように並列配置すれば開放の失敗を防げていたであろうと反省した。



→ 一つでも正常に作動すれば切断できる。

図10.1.16 エンベロープ展開機構の改良案

e. 画像系

i. 工夫・努力した点

現地でのパラメータ調整

画像処理走行では、取得した画像をどう処理するのかにより、精度が大きく左右される。画像処理を用いた実験は日本国内で行っていたが、現地ではゴールの見え方や日光の強さなどが違うため、日本国内での実験で得られた誘導精度は実現できないと考えていた。そのため、現地でコーンの画像を取得し、パラメータを変更しながら解析するといったことを行うことで、精度の高い誘導へ近づけるための調整を行った。

ii. 課題点

日光が強すぎることで赤を正しく認識できない

[課題]

日本国内での実験では、画像を取得した際、問題なく赤色を検出することができた。しかし、現地で画像を取得したところ、画像が日光と地面の照り返しの影響で白飛びしてしまい、特に順光方向からの画像において、コーンを認識することが困難になってしまった。



図10.1.17 逆光からのゴール画像

[解決策]

ラズベリーパイのカメラは露光時間を調整することも可能である。そのため、露光時間を短くすることで、画像の白跳びを防ぐ解決策になると考えている。

パラメータ調整の簡易化

[課題]

大会本番などに周囲の環境に合わせてカメラのパラメータを変えられる準備が十分でなかった。そのため、画像の白とびの問題を現地で解決することができずに画像処理走行における課題が解決できなかったと考えている。

[解決策]

解決策としては、実際に画像をモニタリングしながら、パラメータを変更するシステムを構築することである。実際にラズベリーパイでは接続されたカメラの動画をモニタリングすることができるため、これらの機能を活用し、より簡易的にパラメータを調整できるようにしたいと考えている。

f. 通信系

i. 工夫・努力した点

長い通信可能距離の獲得

LoRa通信を用いることで、地上局と機体の距離が数kmに及ぶ環境でも無線通信ができるよう開発した。実際に国内の実験でも5kmの通信距離を確認し、ロスト対策の一端を担うことができた。

ii. 課題点

通信可能距離の減少

[課題]

日本国内での実験では、数km間隔での無線通信は可能であったが、実際に現地で通信距離を確認すると、600mほどで通信が途切れてしまうという減少が起きた。

[解決策]

通信可能距離が大幅に減少した原因として、砂地である地面からの照り返しが悪影響を及ぼしているのではないかと考えた。よって、解決策としては、受信機側をできるだけ高い位置に掲げることで、地面からの照り返しを最小限にすることを考えた。

実際に、他のチームでは、「機体落下中は通信ができていたが、落下後通信がつながりにくかった。」という事象もあったことから、砂地の影響が大きいと判断している。

B. マネジメント

a. 開発マネジメント

スケジュールについて

図10.2.1は開発初期に作ったガントチャート、図10.2.2は実際の進行時期をまとめた図である



図10.2.1 開発初期に作ったガントチャート



図10.2.2 実際に行った日程

初期に作ったガントチャートよりも開発に遅れが生じてしまった。

初期に作ったガントチャートでは7月中旬から8月中旬に最終調整とあるが、実際はそのころにはフライトモデルはできておらず、大会前の最終調整は9月上旬から大会最終日まで行った。

ガントチャート通りに進めなかった原因は、そもそも初期に作ったガントチャートでは具体性に欠けており、大会までの流れを把握できるほどの情報量がなかった。

例えば7月中旬から8月中旬に最終調整をする予定だったのなら、6月下旬から7月上旬までの二週間でプログラムの統合をしなければならない。そのような逆算をして、定期的にガントチャートを更新するべきであった。

To Doリストについて

ToDoリストを用いて、個人のタスク管理を行った。締め切りまでに間に合わせることを個人の義務として、進捗管理を行った

オンライン開発について

FUSiONは全国各地にメンバーが点在しており、オンライン開発をテーマとしている。オンライン開発では電子部品や工具、ローバーなどのモノの管理がネックとなる。基本、住んでいるメンバーが多い土地を本拠点とし部品やローバーを集結させるが、他拠点にもセンサやプリント基板があると実験の負担を割いたりプログラミングの確認ができた。

b. ヒューマンマネジメント

今回のARLISS出場メンバーは過半数が種コンからの持ちあがりメンバーであったこともあり、技術力や経験値が蓄積されていく実感を持ちながら開発を進めることが出来た。

また一方で、今大会から参加したメンバーは既に出来上がっているチームのスピード感覚に合流するまでに、想定より多くの時間を要した印象が強い。メンバーを少数に限定し、プロジェクトベースで開発を行っている弊チームでは、新規メンバー・工作未経験者であろうとも積極的な開発への関与が必要条件となるものの、十分にキャッチアップ出来なかったことが原因と考えられる。

当該競技に求められる能力を3つ、以下にまとめた。

(i)過去のドキュメントを参照し、適宜開発の現在地をキャッチアップする能力

(ii)CanSat競技の流れと制御を理解し、担当箇所では何を求められているのか把握する能力

(iii)実験を行う際は失敗したデータから原因を検討して改善する仮説検証能力

また、開発のみならず、プロジェクトベースドラニングにおいて求められる能力を、以下の5つにまとめた。

- 物事をやり遂げる能力
- 締め切りを守る能力
- 自己のスケジュール管理・調整能力
- コミュニケーション能力
- 積極的な発言力

c. 予算マネジメント

費用の使用状況

今回使用した開発費用の総額は**352348**円であった。各月ごとの支出額、総支出額の内訳は下図のとおりである。分類は**構造**、**電装**、**配送日用品等**としており、具体的な内容は次の通りである。(なお、最終項目の「中井」は本メンバーの中井が立て替えていた類型を

構造: パラシュート用布、テグス、モーター、フィラメント(3Dプリンター用)、ネジナット等締結部品、リポバッテリーなど

電装: ラズパイ、基板、カメラモジュール、抵抗センサー等の電子部品、LTEモジュールなど

配送日用品等: ラジオペンチ、ドリル刃、ARLISS用土産、製作した部品の配送料、シガーソケットコンバーター等

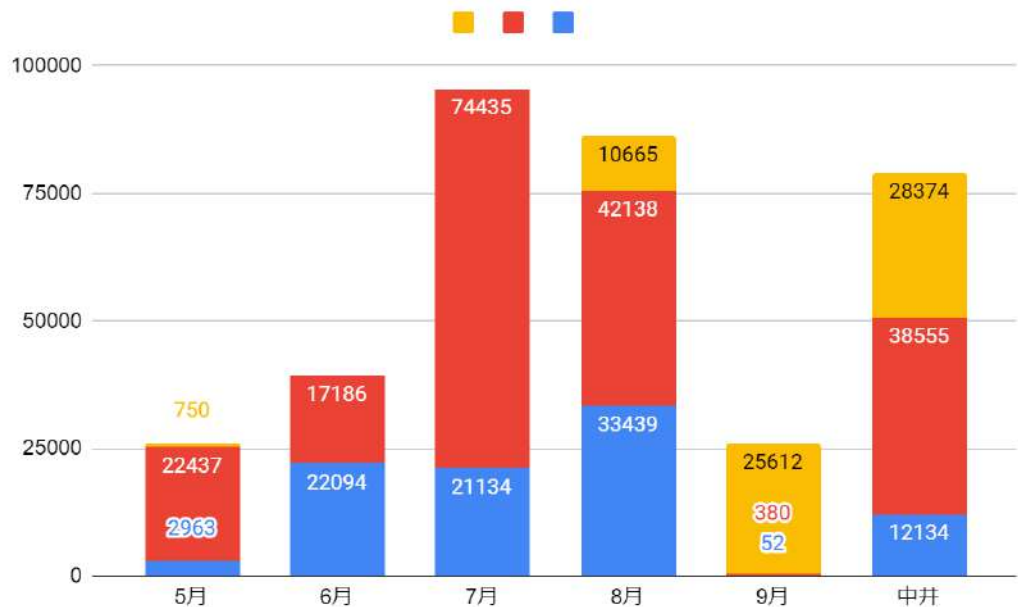


図10.2.3 時期別の経費

削減が見込める項目

- 逆接続等人為的ミスにより破損した部品など
 - ラズベリーパイ(8回破損):30000円程度
 - GPSセンサー:2200円
- より安いものを買うことにより削減できたもの
 - ナイロン糸、布など:2000円程度(800円程度で済むものを2000円程で購入してしまうなど)

c. 実験時にかかる費用について(参考)

8月後半の直前期に忘れ物をする、前回の実験の反省を活かせず現地で十分な実験が行えず繰り返し行くことになるなど往復の無駄となる実験が数回あった。こちらは今回予算には反映されなかったがレンタカー代、交通費等で10000円程度はロスしていた。

系統	コスト
構造	2000
電装	32200

予算の管理方法について

今回は規模を具体的に想定しにくかったこともあり、あらかじめ予算を設定するのではなくその都度費用の立て替えを行い。終了後に分配を行うという管理方法であった。

現在の出費額がいくらかを把握しながら開発する事が出来なかったのが、そこが改善点である。

C. 全体を通した今後の展望

今回の開発を通し、開発として必要な項目を進めていくことと同時に、治具製作などの開発環境の改善を進めていく必要があることを学んだ。これからは本大会で学んだことを自身等の今後の活動に活かすとともに、これらの経験と知見を形として残し、後輩の世代へと伝えていくということを進めていくことを展望として考えている。