

ARLISS2025大会報告書

提出日:2025年11月21日

チーム情報

CanSatチーム名	東京電機大学 TDU_TeamDauntlessUncharted
CanSatチーム 代表者情報	氏名 大野 舜 24fr019@ms.dendai.ac.jp, 080-8498-9854
UNISEC団体名	UNISEC登録時の団体名
UNISEC団体 学生代表	大野 舜
責任教員	東京電機大学 服部 聖彦 hattorik@mail.dendai.ac.jp, 090-1735-4661
CanSatクラス	Open Class

メンバー

役割	氏名(学年)
Bパーツソフト班	大野 舜(B2)
Bパーツハード班	広瀬 隼来(B2)
Bパーツソフト班	石橋 璃久(B3)
Bパーツソフト班	渡邊 唯人(B3)
Bパーツソフト班	山寄 伶馬(M1)
Aパーツハード班	二瓶 康太朗(M2)
Aパーツソフト班	佐々木 雄太(M1)
Aパーツハード班	名取 諒(M1)
Aパーツハード班	渡部 将来(M1)
Aパーツハード班	渡邊 岳人(M1)
ロジスティクス班	末森 平良(B4)
ロジスティクス班	山本 悠介

目次

第1章 ミッション定義	3
第1.1節 ミッションステートメント	3
第1.2節 ミッション内容	3
第1.3節 サクセスクライテリア	3
第2章 システム要求	3
第2.1節 レギュレーションを満たすためのシステム要求	3
第2.2節 ミッションを達成するためのシステム要求	4
第3章 システム試験項目の設定	4
第3.1節 レギュレーションを満たすためのシステム試験項目	4
第3.2節 ミッションを達成するためのシステム試験項目	5
第4章 システム仕様	5
第4.1節 機体概観	5
第4.2節 機体機構	5
第4.3節 搭載機器	5
第5章 システム試験	6
第5.1節 レギュレーションを満たすためのシステム試験	6
第5.2節 ミッションを達成するためのシステム試験	6
第6章 工程管理	7
第7章 大会結果報告	7
第7.1節 目的	7
第7.2節 結果	7
第7.3節 考察	7
第8節 まとめ	7
第8.1節 工夫点・努力した点	7
第8.2節 課題点	7
第8.3節 今後の展望	7

第1章 ミッション定義

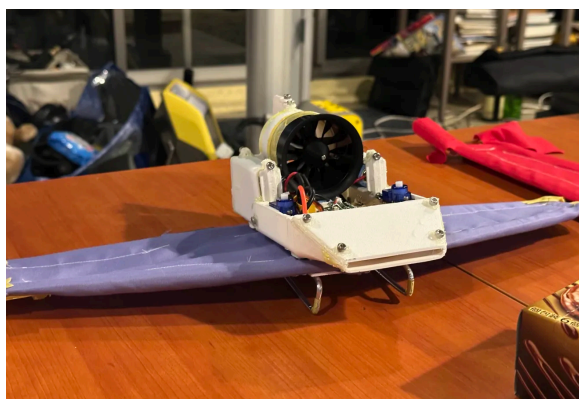
第1.1節 ミッションステートメント

人類は1969年のアポロ11号月面着陸以降、惑星探査に注力してきた。太陽系内で最も居住可能性が高い火星は、固体地盤、平均気温 -63°C 、地球の約0.38倍の重力、24時間40分の自転周期、薄い CO_2 大気(地球の1/160)などの特徴を持つ。従来の火星ローバはアルミ製車体、ロッカーボギーサスペンション、各種センサー、ナビゲーションソフトウェアで構成され、土壌調査に適応している一方、不整地では高速走行が困難である。そこで、本研究はPoC(概念実証)段階として、浮遊ローバによる先行偵察と車輪ローバによる本格調査の協調動作が不整地での探索効率を高め得るかを、最小構成・限定条件下で実証することを目的とする。具体的には、(1)浮遊ローバの低高度巡航および離着陸の安定動作、(2)両機間の情報連携手順、の成立性を現地試験で確認する。速度や画質の絶対性能は本段階の主要目標とせず、安全な運用が可能か、短時間で走破判断とデータ収集が行えるかを主要評価指標とする。本PoCにより、当該コンセプトの有効性を初期検証し、実用化に向けたボトルネックと改良点を抽出する。

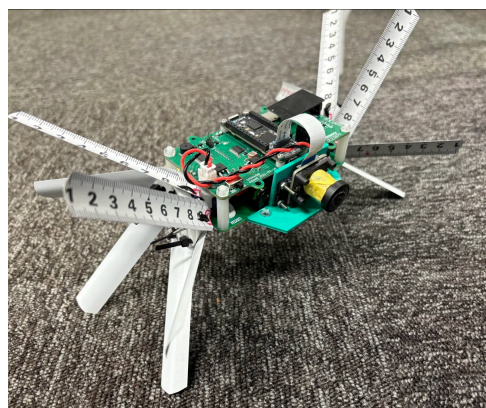
未踏・悪地形環境を想定し、高効率かつ高速に行動できる機体と
画像データを撮ることが出来る探査プラットフォームの実証

第1.2節 ミッション内容

本チームでは、浮遊ローバ(浮遊ローバ)と車輪ローバ(車輪ローバ)が連携して動作するCanSatシステムを製作する。浮遊ローバと車輪ローバの外観を図1.2.1に示す。浮遊ローバはダクトファンを動力として動作し、車輪ローバが走行するための安全なルートを広範囲に偵察する機体である。車輪ローバは、浮遊ローバの後方から安全なルートを走行し、センサで詳細な地形データを取得する機体である。最終的に、浮遊ローバと車輪ローバの2機がお互いに状態を送受信し、連携動作を行うことが目標となる。以下、CanSatと表記する場合は浮遊ローバと車輪ローバ2つの機体のことを指す。



(a) 浮遊ローバ



(b) 車輪ローバ

図1.2.1 ローバの外観

ミッションシーケンスを以下の図1.2.2に示す。図1.2.2より、(1)から(10)の流れでミッションの遂行を目指す。

- (1) CanSatを収納したケースをロケットで打ち上げる。
- (2) ロケットが分離し、パラシュートを展開する。
- (3) キャリアからの分離後、車輪ローバのカメラを起動させる。
- (4) 車輪ローバと浮遊ローバとケースの通信を開始する。
- (5) 着陸後にケースを展開し、車輪ローバの移動を開始する。
- (6) カメラの画像認識で浮遊ローバの位置を確認する。

- (7) 車輪ローバに付いているカメラの向きを浮遊ローバに向け車輪ローバが浮遊ローバの方向に進み、浮遊ローバに発進を指示する。
- (8) 車輪ローバは浮遊ローバの移動を撮影する。

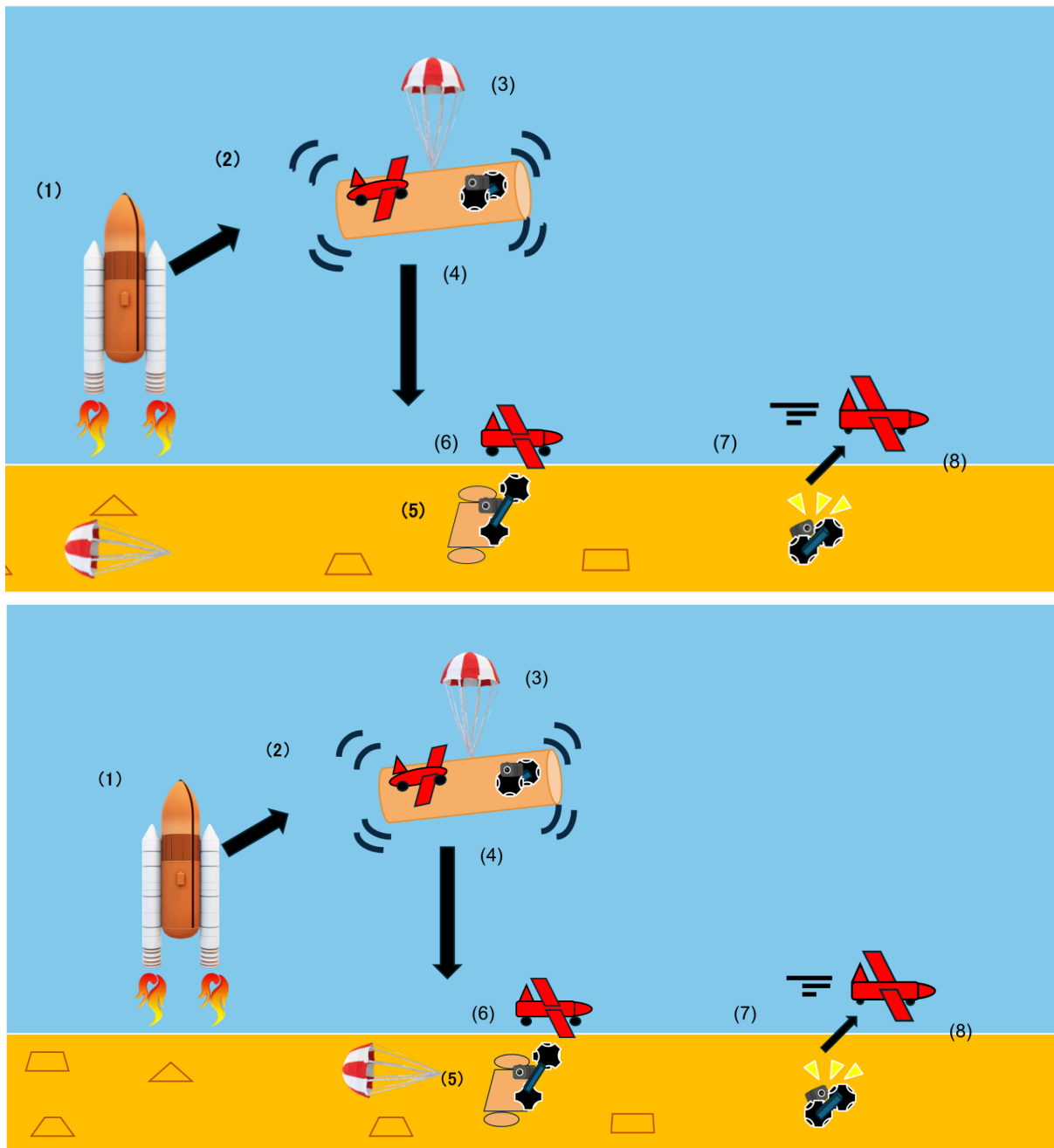


図1.2.2 ミッションシーケンス

パラシュート展開から2機が動作するまでの流れの詳細を図1.2.3に示す。その際のフローチャートを図1.2.4に示す。「1.待機シーケンス」として、ケースが光センサでロケットからの放出を検知する。次に「2.落下シーケンス」としてケースが気圧とジャイロセンサから着地判定を行う。また、ケースが浮遊ローバと車輪ローバに無線通信を用い「3.撮影シーケンス」に移る。車輪ローバは着地点かららせん状に移動を開始し、カメラの画像認識によって浮遊ローバの探索を行う。浮遊ローバを発見すると接近し、撮影を始める。また、浮遊ローバに無線通信で発進の信号を送信する。その後、浮遊ローバは発進し、車輪ローバは浮遊ローバの浮遊及び移動の撮影を行う。最後に「4.ナビゲーションシーケンス」となり浮遊ローバはゴールへと向かい、車輪ローバは着地点の探査を開始する。本システムではテザーの絡み防止および落下経路の安定化を図るため、金属メジャー(巻き尺)をガイドラインとして併用する方法を採用する。具体的には、取り付けした細径ナイロンロープを、幅約10mmの金属メジャー上に両面テープで固定し、

展開時にはメジャーが緩やかに伸長しながらロープとともに落下する構造とした。金属メジャーは半剛体のため空中での湾曲が少なく、ロープが自身に絡みつくことを防止するとともに、降下姿勢の乱れによる回転運動も抑制できる。また、金属メジャー上にロープを貼り付けることで、パラシュート展開後の初期落下区間においてロープがメジャー表面に沿って整流され、安定した「2.着地シーケンス」へ移行できるメリットが得られる。詳しくは、着地信号の送信後に行われる際も、メジャーが一定の張力を維持しつつ引き抜かれるため、ロープとパラシュート/機体間の確実な分離動作が担保される。なお、金属メジャー自体は極端な負荷を受けない設計としている。

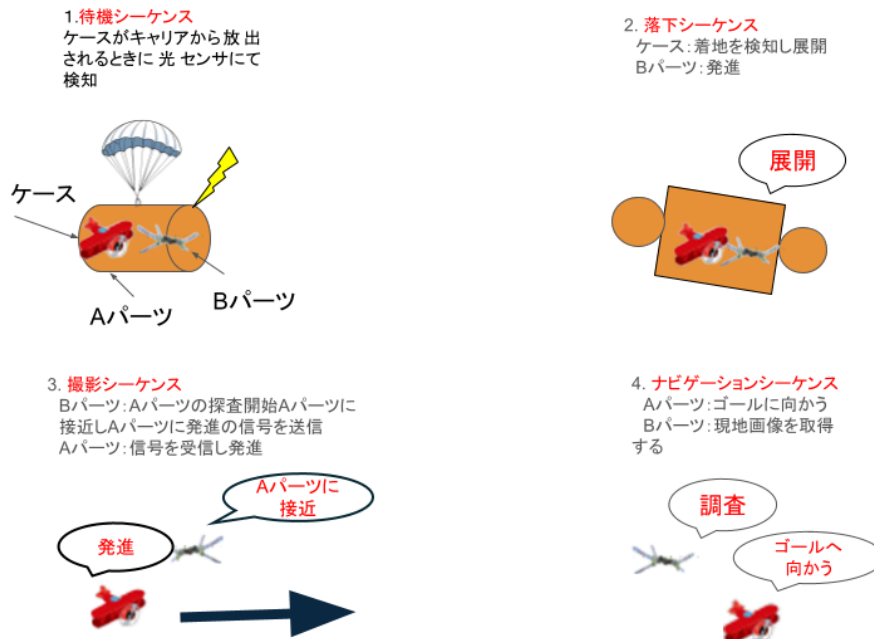


図1.2.3 パラシュート展開から2機が動作するまでの流れ

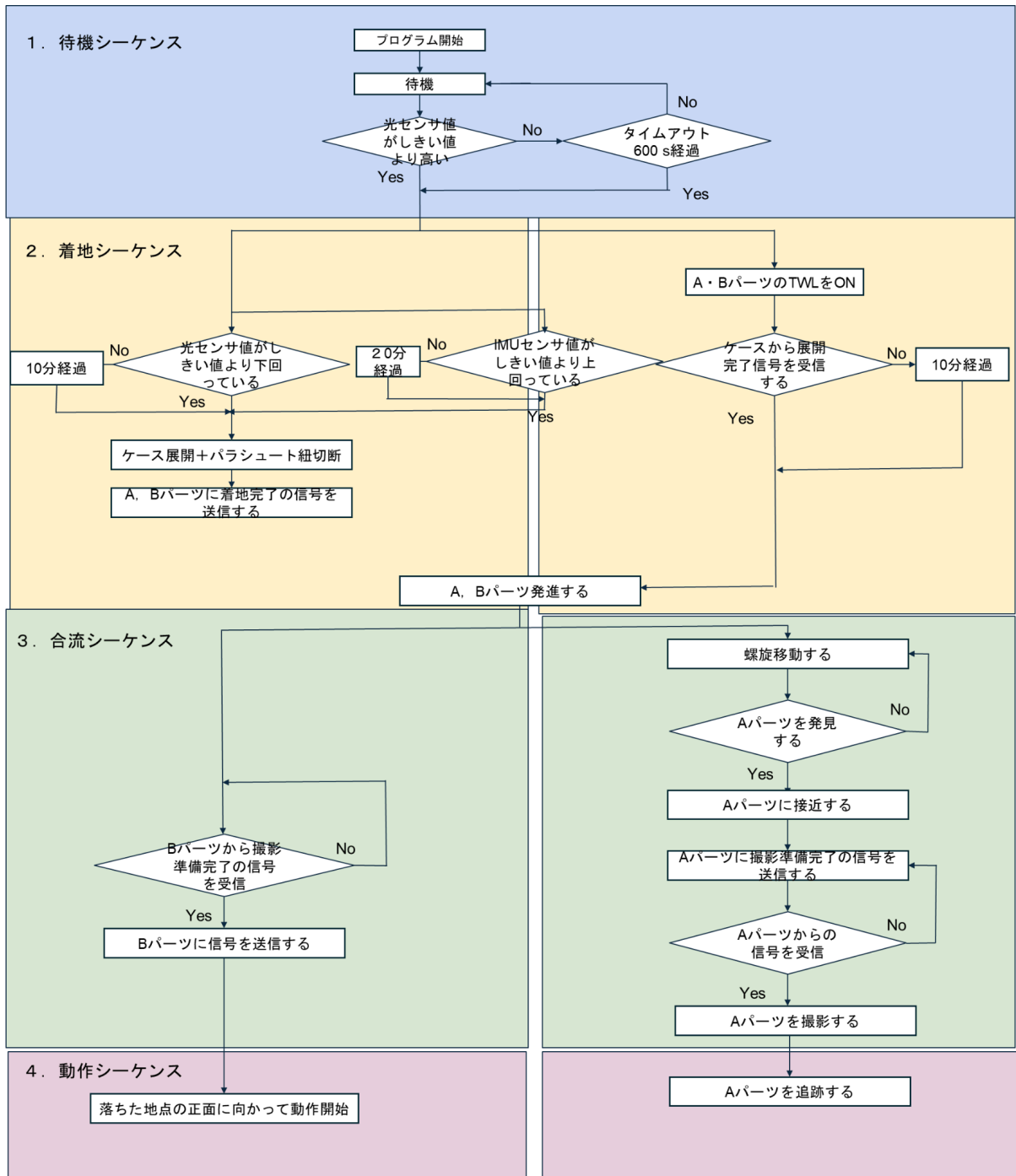


図1.2.4 ミッションシーケンスフローチャート(左:浮遊ローバ, 右:車輪ローバ)

本チームでは浮遊ローバのコンセプトとして地面効果を利用したローバを提案する。地面効果とは、物体が地面からの距離が近くなると、空気の流れが変わり、その結果として揚力が増加する効果である。例えば、飛行機が滑走路を離陸する際、地面が近いと多くの空気が圧縮され、より大きな揚力を得ることができる。地面効果を利用することで燃料を節約しながらも、比較的高速で飛行することが可能となる。

図1.2.5に地面効果翼機のイメージとブラックロック砂漠の地面を示す。図に示すように地面効果翼機は低空を飛行する機体であり、地面方向に反る翼を用いて地面効果を用いた揚力を生み出す構造となっている。もちろん、地面効果を最も生み出しやすいのは平地や海面である。そこで本チームはブラックロック砂漠の地形に注目した。ブラックロック砂漠にはローバで走行するのに障害となる大きさの轍が存在する。この問題を解決するために、ドローンを用いる方法が考えられるがドローンは電力効率が悪いことが問題となる。そこで、本チームはブラックロック砂漠の地形を活用することで効率よく高速で移動可能

な「地面効果を利用した浮遊ローバ」を提案する。



(a) 地面効果翼機のイメージ図



(b) ブラックロック砂漠の地面

図1.2.5 地面効果概要

第1.3節 サクセスクライテリア

本チームにおける目的は、ARLISSの会場であるブラックロック砂漠での地面効果を用いた浮遊ローバとその機体と連携する車輪ローバの有効性評価である。これを踏まえて本チームのサクセスクライテリアは以下に示す表1.3.1と決定した。ミニマムサクセスをクリアするためには、車輪ローバと浮遊ローバが着地衝撃などで機能を失わないこと、車輪ローバが浮遊ローバを見つける必要がある。

フルサクセスをクリアすることでブラックロック砂漠における地面効果を用いた浮遊ローバの有効性の評価が可能となる。浮遊ローバの移動時間は3分以上に設定することもできるが、時間を長くするほどバッテリー容量を増加させる必要がある。4章にて示す現状の浮遊ローバA・Bは総重量が100 g以下であり、そのうちバッテリー容量が1/10程度を占めている。そのためバッテリー容量を増加させることで走行距離を増加させることは可能だが重量の関係で地面効果を得られなくなる可能性が高い。そこで、現在使用しているバッテリーの容量から浮遊ローバが10分程度は移動可能であることよりフルサクセスにおける浮遊ローバの走行目標時間を3分と決定した。車輪ローバは、フルサクセスの達成を通じて未知地形に対する探索能力を、多モーダル知覚データと生成した地形情報から定量評価する。具体的には、ペイロード展開後に浮遊ローバの離着・移動を継続撮影しつつ、自律走行中にカメラ、IMU、GPS、照度センサ等の時刻同期済みデータを記録し、後処理で画像データから地形特徴を構成可能であることを要件とする。本機能は、将来の惑星探査における多機連携の共通データ基盤として有用であり、高精度な環境モニタリングと探索計画の最適化への展開が期待できる。

エクストラサクセスをクリアすることで、浮遊ローバのカメラを用いたミッションの有効性が検証できる。本ミッションにおいては、浮遊ローバが地面効果を受けながら移動している様子を記録し、その挙動が地形や周囲の障害物とどのように関係しているかを評価することが主な目的となる。特に、走行時にどのような地形的障害(轍・凹凸・など)が存在していたかを映像により可視化することで、地面効果を用いた走行がブラックロック砂漠のような環境でどの程度有効かを検証するための重要な手がかりとなる。さらに、カメラ映像を取得することで将来的なカメラを用いたミッションの実現可能性を評価することができる。カメラ映像から

浮遊ローバが地面効果で安定して飛行している様子を記録することで、将来的には車輪ローバの走行経路を上空から追従して障害物の有無や走行不能箇所を把握することや轍などにスタックした車輪ローバの状況を上空から撮影・記録することで、遠隔地における探査支援や異常把握への有効性を評価するミッションの可能性を評価できる。また、撮影だけでなく、浮遊ローバが車輪ローバの位置情報や状態信号を受信して自律的に現場へ向かい、現地の映像を取得したり、必要に応じて救援行動を行うことで、連携動作の実現可能性も確認することができる。そのため、今回は浮遊ローバの走行映像をカメラで取得すること、轍にはまった車輪ローバの撮影や救出行動を行うこと、車輪ローバが収集した情報を浮遊ローバが受信することをエクストラサクセスとした。

以上より、ミニマムサクセスではシステムの基本的な動作信頼性を確認し、フルサクセスでは地面効果を活用した浮遊ローバおよび車輪ローバの有効性を評価し、さらにエクストラサクセスでは今後の発展的な連携ミッションの可能性を探る構成となっている。これらの基準は、本チームの目的である「地面

効果を用いた浮遊ローバと車輪ローバの連携による探査手法の有効性評価」を段階的かつ実現可能な形で捉えたものとなっており、技術的妥当性および実行可能性の両面から合理的であると考え。したがって、本節で定義したサクセスクライテリアは、本ミッションの成果を客観的に判断するための適切な指標であると考え。

第1.3節 サクセスクライテリア

	内容	確認方法
ミニマムサクセス	・CanSatがパラシュートを分離、移動を開始	パラシュートの分離と機体の移動開始を目視で確認する。
フルサクセス	・浮遊ローバが3分間移動する ・車輪ローバが画像データの撮影に成功する	浮遊ローバの移動時間を計測する。 車輪ローバが取得した画像データを確認する。
エクストラサクセス	・車輪ローバが移動中の浮遊ローバを撮影	車輪ローバが撮影した映像の中に浮遊ローバの移動中の様子が含まれていることを確認する。

第2章 システム要求

第2.1節 レギュレーションを満たすためのシステム要求

番号	レギュレーションを満たすためのシステム要求
R1	CanSatは規定のサイズと質量以内でなければならない
R2	CanSatはロケットから放出後、位置が特定できなければならない
R3	CanSatは規定の終端速度の範囲内で降下しなければならない
R4	CanSatは打上げ時、パラシュート開傘時の衝撃を受けた後もその機能を維持しなければならない
R5	CanSatはロケット搭載時に無線の送波を停止しなければならない。ただし、許可された無線機は除く。
R6	使用する全ての無線機は周波数(チャンネル)を変更できなければならない
R7	CanSatはロケットに搭載後メンテナンスなしにミッションを維持しなければならない
R8	CanSatはロケットに損傷を負わせる可能性のある機構や物質を搭載してはいけない。
R9	CanSatは制御されることなく着地しなければならない
R10	CanSatは打ち上げ時の準静的荷重を受けた後も機能を維持しなければならない
R11	CanSatは打ち上げ時の振動衝撃を受けた後も機能を維持しなければならない
R12	CanSatは打ち上げ時の分離衝撃を受けた後も機能を維持しなければならない

番号	レギュレーションを満たすためのシステム要求 (Comeback Competition)
CR1	CanSatは完全に自律的に制御されなければならない
CR2	チームは2種類のコントロールレコードを提出しなければならない

番号	レギュレーションを満たすためのシステム要求(UAS)
UR1	CanSatはFAA認証を取得しなければならない。
UR2	CanSatは対地高度400ftを超えて飛行してはならない。

第2.2節 ミッションを達成するためのシステム要求

番号	ミッションを達成するためのシステム要求
M1	打ち上げから着地までの衝撃で機体が破損しないこと
M2	パラシュート展開時や落下時に2機が絡まらないこと
M3	パラシュートと機体が分離できること
M4	任意の方向に前進・旋回などが可能であること
M5	2機間で通信可能であることが確認できること
M6	浮遊ローバ・車輪ローバがカメラ映像を取得可能できること

第3章 システム試験項目の設定

第2章で設定したシステム要求に対しての試験項目を書いてください。全てのシステム要求がいずれかのシステム試験項目で評価されなければなりません。

第3.1節 レギュレーションを満たすためのシステム試験項目

番号	検証項目名	対応するシステム要求番号	実施予定日
RV1	質量試験	R1	8/15
RV2	機体の収納・放出試験	R1	8/15
RV3	長距離通信試験	R2	8/4
RV4	パラシュート投下試験	R3, R4, R9, M2	8/19
RV5	準静的荷重試験	R4, R10	8/17
RV6	振動試験	R5, R7, R11	8/19
RV7	分離衝撃試験	R6, R12	8/19
RV8	通信機電源ON/OFF試験	R8	7/26

RV9	通信周波数変更試験	R6, R9	7/26
RV10	電力耐久試験	R10	8/8
RV11	機体形状・搭載物確認試験	R11	8/17
RV12	落下時制御確認試験	R12	8/19
RV13	開傘衝撃試験	R7	9/5

番号	試験項目名	対応するシステム要求番号	実施予定日
CRV1	End-to-End試験	CR1	8/22
CRV2	制御ログ取得試験	CR2	8/22

UASに該当する全てのCanSatは、システム要求番号がURであるレギュレーションを満たすためのシステム要求項目に対して試験項目を設定してください。

番号	試験項目名	対応するシステム要求番号	実施予定日
FRV1			

第3.2節 ミッションを達成するためのシステム試験項目

番号	検証項目名	対応するシステム要求番号	実施予定日
MV1	着地衝撃耐久試験	M1, M2	8/19
MV2	機体分離試験	M3, M5	8/19
MV3	カメラ映像取得試験	M6	8/17
MV4	走行性能確認試験	M4	8/17

第4章 システム仕様

第4.1節 浮遊ローバ機体概観(Aパーツ)

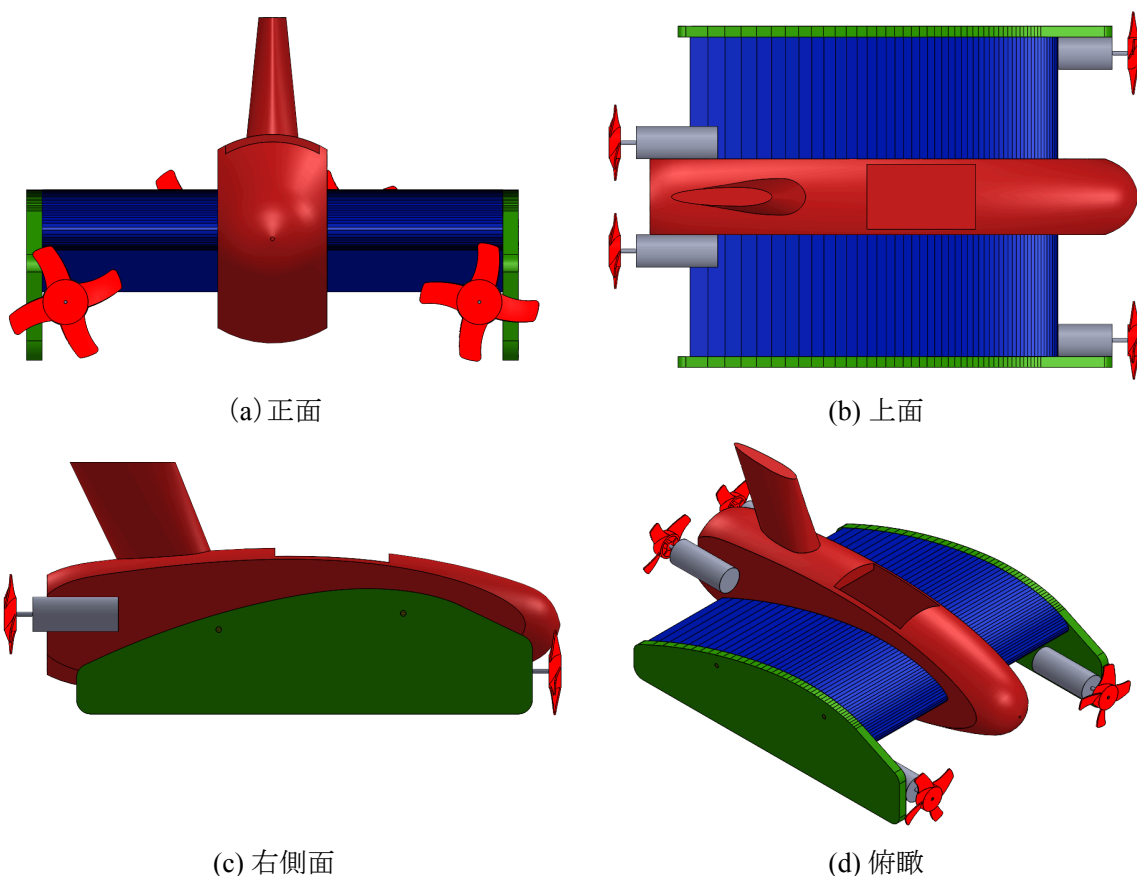
第4.1.1項 浮遊ローバの機体

本項では、開発中の浮遊ローバについて説明を行う。現在開発を進めている浮遊ローバには3種類があり、それらを同時並行で設計・試作を行っている。本審査書では、これら3種類の浮遊ローバをそれぞれ浮遊ローバA、浮遊ローバB、浮遊ローバCと呼ぶ。これら3つの機体は、主に2つの指針に基づいて開発を行っている。1つは軽量化、もう1つが巡航速度の向上である。

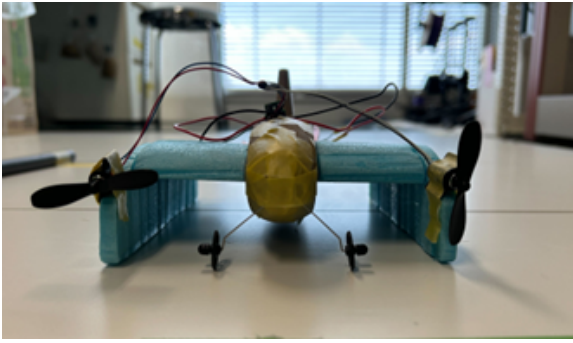
機体に働く重力と釣り合うために十分な揚力を得るための方法として、機体の軽量化を行うことで必要な揚力を小さくする方法、得られる揚力をより大きくする方法の2種類を挙げられる。揚力を大きくするために取ることのできる手段として、翼面積の拡大と速度の向上がある。しかし、CanSatとしてロケットで打ち上げることを考慮すると、実現可能な翼の大きさには限界がある。そのため、揚力を大きくする方法としては速度の向上が現実的であると考えた。

浮遊ローバA・浮遊ローバBは機体の軽量化、浮遊ローバCは高速巡航をそれぞれ目標とした機体である。これら3つの機体を用いて、それぞれの方向性における実現可能性を探り、よりミッションの成功に向けた道筋が明確に見えるものを、実際の浮遊ローバとして採用する。

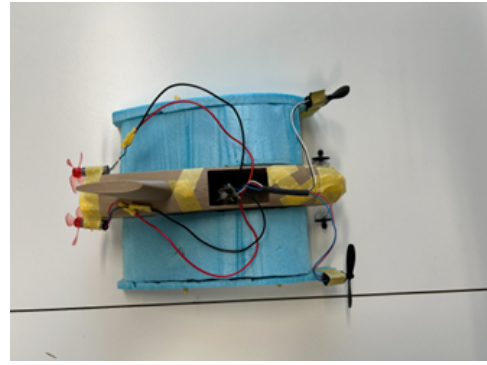
浮遊ローバAの外観を図4.1.1.1.1、実際の外観を図4.1.1.1.2に示す。



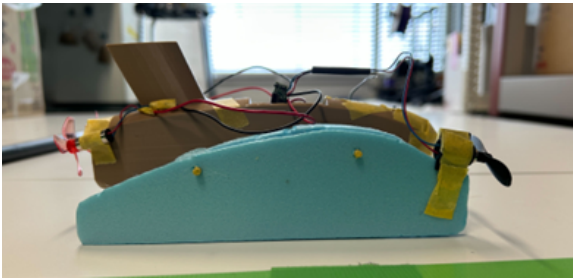
(a) 正面 (b) 上面 (c) 右側面 (d) 俯瞰
図4.1.1.1.1 浮遊ローバA外観(3DCADモデル)



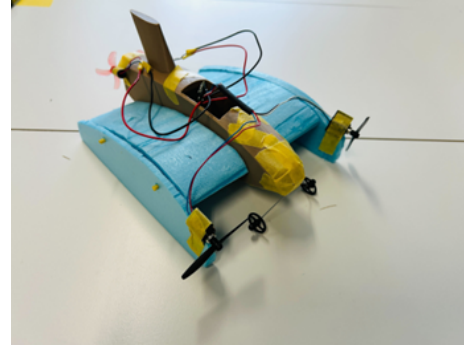
(a) 正面



(b) 上面



(c) 右側面



(d) 俯瞰

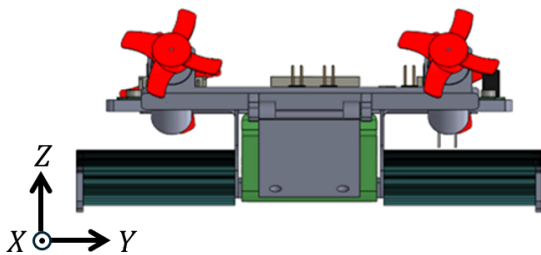
図4.1.1.1.2 浮遊ローバA外観(実機)

浮遊ローバAの大きさを表4.1.1.1に示す。

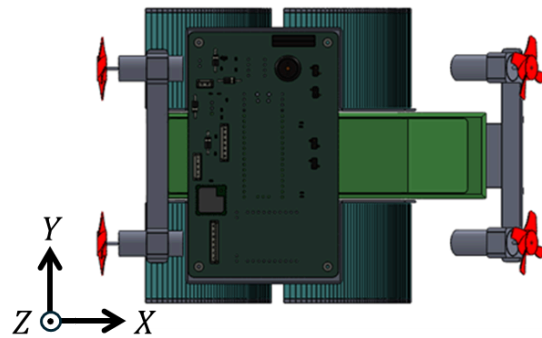
表4.1.1.1 浮遊ローバの全長, 全幅, 全高, 質量

全長 [mm]	180
全幅 [mm]	126
全高 [mm]	90
質量 [g]	90

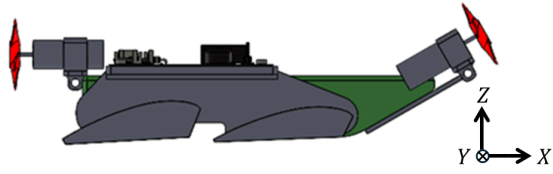
浮遊ローバBの外観の3DCADモデルを図4.1.1.2.1, 実際の外観を図4.1.1.2.2に示す。



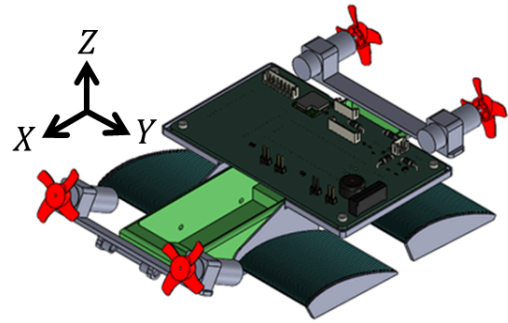
(a) 正面



(b) 上面

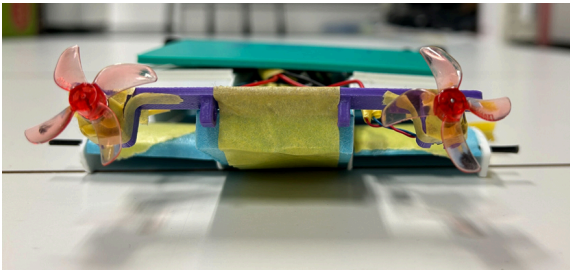


(c) 右側面

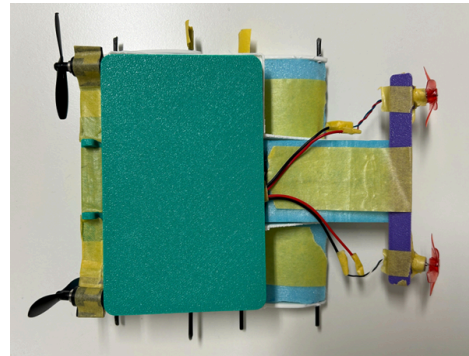


(d) 俯瞰

図4.1.1.2.1 浮遊ローバB外観(3DCADモデル)

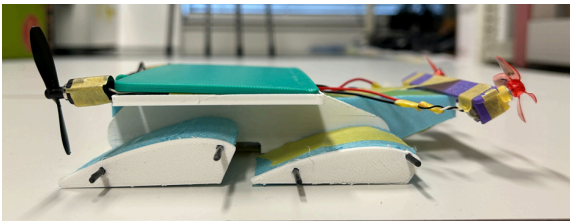


(a) 正面

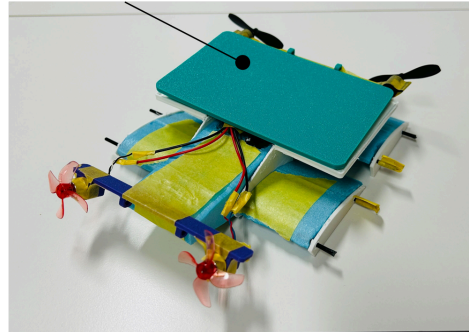


(b) 上面

基板の外寸モデル



(c) 右側面



(d) 俯瞰

図4.1.1.2.2 浮遊ローバB外観(実機)

浮遊ローバBの大きさを表4.1.1.2に示す。

表4.1.1.2 浮遊ローバBの全長, 全幅, 全高, 質量

全長 [mm]	190
全幅 [mm]	32
全高 [mm]	50
質量 [g]	140

浮遊ローバCの3DCADモデルを図4.1.1.3に示す。

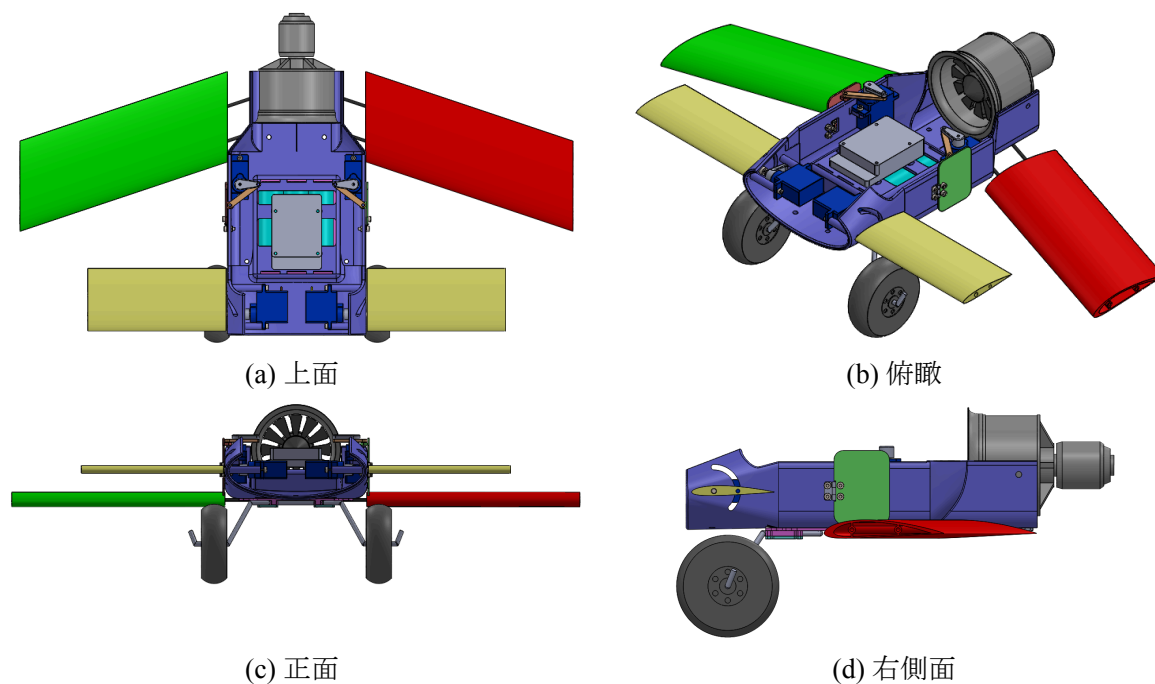


図4.1.1.3 浮遊ローバC外観(3DCADモデル)

浮遊ローバCの大きさを表4.1.1.3に示す。

表4.1.1.3 浮遊ローバCの全長, 全幅, 全高, 質量

全長 [mm]	190
全幅 [mm]	400
全高 [mm]	65
質量 [g]	550

第4.1.2項 浮遊ローバのシステム構成

浮遊ローバA・浮遊ローバBのシステム構成を図4.1.2.1に示す。バッテリーは5Vリチウムバッテリーを使用する。プロペラをつけた小型DCモータを前方に2つ, 後方に2つの計4つを使用する。用途としては推進用として後方2つのモータを, 地面効果を受けるために翼下に空気を送り込む用として前方2つのモータを用いる。マイコンにはRaspberry Pi Picoを使用する。Raspberry Pi Picoは, GPSから取得した位置情報とIMUのデータをセンサフュージョンしたデータをもとに自律航行する。車輪ローバと無線通信をするためにTWELITEを用いる。また, 動作中のカメラ映像をMicroSDへ記録することで地面効果による飛行の

映像を残すことができる。カメラ映像は小型カメラモジュールに接続するマイクロSDに保存する。自律航行中のデータはGPSモジュールに接続するマイクロSDに保存する。

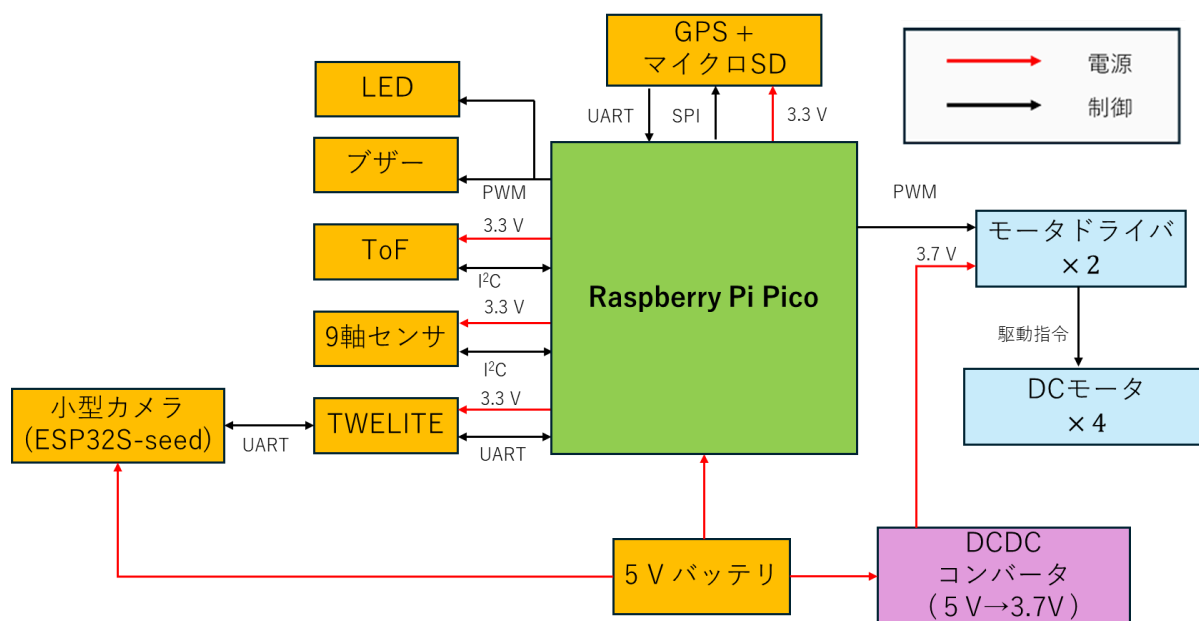


図4.1.2.1 浮遊ローバBのシステム構成

浮遊ローバAは羽の揚力が浮遊ローバB,Cに比べて極端に少なく、形状からも轍を超えられないと判断し、ここからは浮遊ローバB,Cについて言及する。

表4.1.2.1に浮遊ローバBに必要な電子部品一覧を示す。

表4.1.2.1 浮遊ローバBに必要な電子部品一覧

名称	値段 [円]	必要個数	購入先	リンク
Raspberry Pi Pico 2	880	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g129604/
電子ブザー12mm UDB-05LFPN	90	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g109704/
VL53L1X使用 レーザー測距センサーモジュール(ToF)	1320	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g114249/
TWELITE RED UART アンテナ内蔵タイプ	2480	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g116831/
5mm赤色LED640nm OSDR5113A	70	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g108922/
BNO055使用9軸センサーフュージョンモジュールキット	2450	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g116996/
Seeed Studio XIAO ESP32S3 Sense	2480	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g118079/

ESPr® Developer用GPSシールド SAM-M8Q搭載m 2P 緑 縦	3850	1	SWITCH SCIENCE	https://www.switch-science.com/products/3480
デュアルDCモータードライバー IC TB6612FNG	180	2	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g111317/
可変三端子レギュレーター 1.2~37V1.5A LM317P	150	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g111163/
リードリレーSS1A05	80	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g104326/
チップトランジスター 低雑音 2SC2712-Y 50V150mA	200	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g102638/
ターミナルブロック 2P 青 縦 小	35	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g101306/
チップ積層セラミックコンデン サー 10μF35V X5R 1608	150	4	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g113161/
チップ積層セラミックコンデン サー 0.1μF50V X8L 1608	110	4	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g116143/
汎用小信号高速スイッチング・ダ イオード 1N4148 100V200mA	150	4	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g100941/
KOA RK73B1JTTD241J 1608(0603)チップ抵抗 240Ω	53	1	千石電商	https://www.sengoku.co.jp/mod/sgk_cart/detail.php?code=EEHD-57G4
KOA RK73B1JTTD103J 1608(0603)チップ抵抗 10KΩ	53	5	千石電商	https://www.sengoku.co.jp/mod/sgk_cart/detail.php?code=EEHD-57GX

浮遊ローバCのシステム構成を図4.1.2.2に示す。フライトコントローラとダクテッドファンの駆動に約12 Vの電圧が必要であるため、電源として3.7 Vバッテリー3つを直列に接続して使用する。フライトコントローラ(FC)はMateksys F405-WING-V2を使用する。FCには気圧センサ、MicroSDスロット、6軸IMUが搭載されている。また、PWM出力ピンが10pin存在するため、浮遊ローバの動力となるダクテッドファンの制御や方向制御に使用するラダー、エルロン、エレベータサーボの制御に使用する。気圧センサとIMUは浮遊ローバの姿勢取得と高度取得に使用する。さらに、FCにINAVというファームウェアを書き込むことで、指定したGPS座標を追従するように飛行が可能である。FCには、Seeed Studio製のXIAO ESP32S3 Sense(以下、XIAO)が接続されている。XIAOは、GPSからの位置情報などをFCを介して受け取り、処理するほか、動作指令をFCへ送信する。また、車輪ローバからの着地信号を無線で受け取るためにXBeeを接続する。これにより、自律航行、ログデータの記録が可能となる。

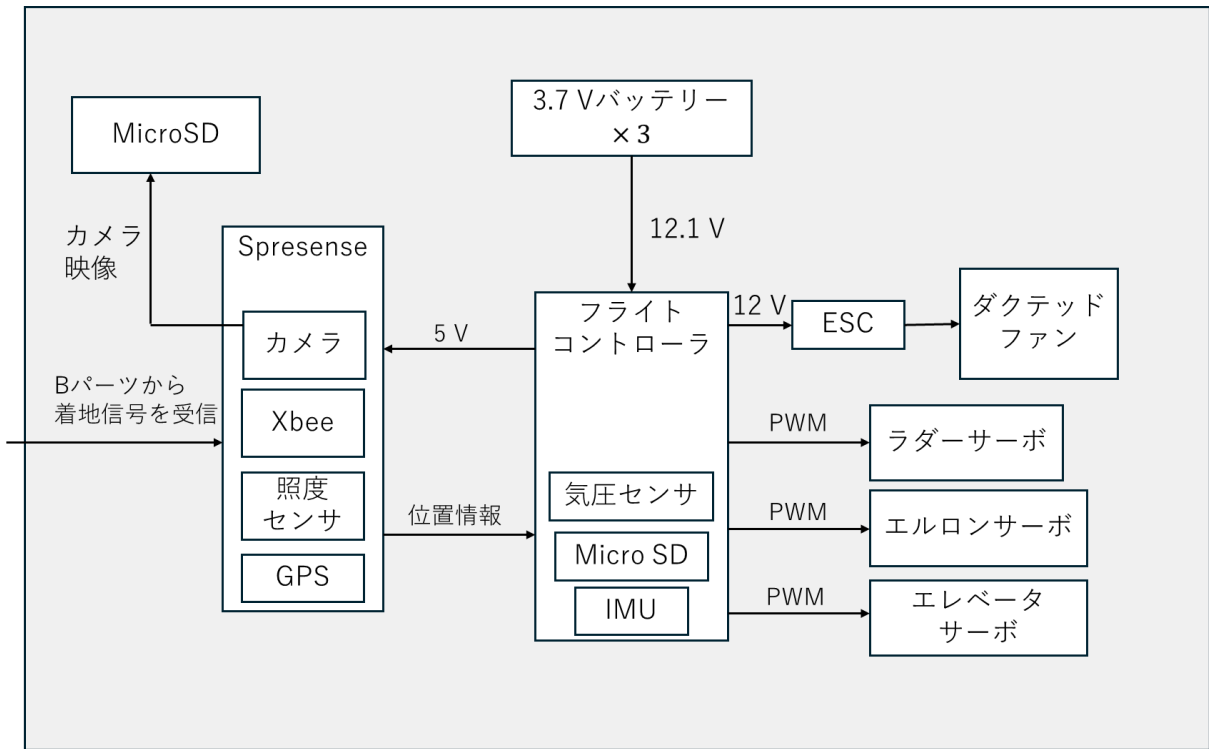


図4.1.2.2 浮遊ローバCのシステム構成

第4.1.3項 浮遊ローバの動作検証および検証結果・今後の開発方針

本項では、これまでに行った浮遊ローバの動作検証とその結果について述べる。浮遊ローバB, 浮遊ローバCのそれぞれについて行った動作検証の内容について述べた後、その結果について説明する。

浮遊ローバBについて動作検証を行った際のシステム構成を図4.1.3.1に示す。動作検証ではラジコン操作などに用いられるプロポを送信機として使用した。浮遊ローバBに取り付ける受信機やモータドライバが含まれる基板は市販のRC飛行機に使用されているものを再利用した。

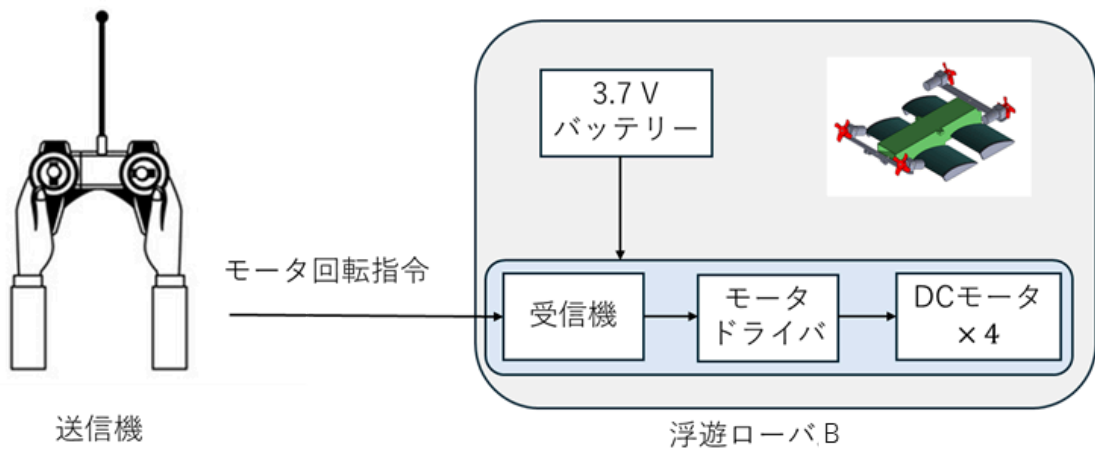
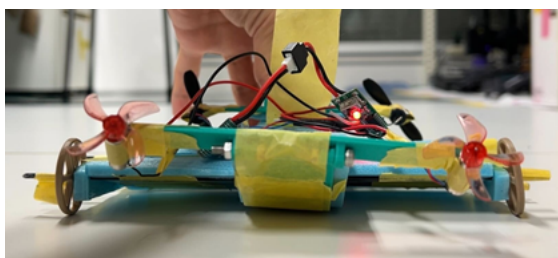


図4.1.3.1 浮遊ローバBにおけるプロトタイプモデルのシステム構成

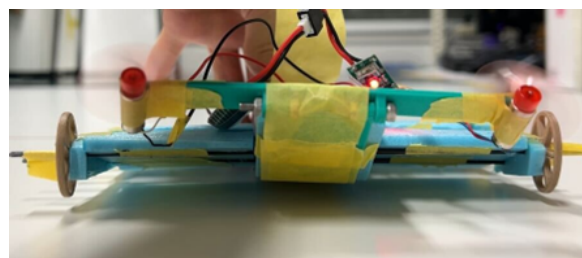
浮遊ローバBについては、機体を軽量化することを目的とし、プロペラとモータを前後4箇所配置した場合の動作検証を行った。前後4箇所を使用したプロペラの役割として前方につけたプロペラは地面効果のため地面と翼の間に空気を送るために用いている。後方のプロペラは推進力として用いる。これらの動作検証として2つの検証を行った。

1つ目は、前方のプロペラの有効性の確認である。この検証では、前方のプロペラを回転させ機体が浮くかの検証を行った。図4.1.3.3に前方のプロペラを回転させたときの動作結果を示す。図5.1.3.3よりプロ

ペラを回転させる前では胴体が地面につき、車輪も地面とついていることが確認できる。回転中では胴体と車輪が浮いていることが確認できた。このことから前方のプロペラは地面と翼の間に空気を送ることができていることがわかる。



(a) 回転前



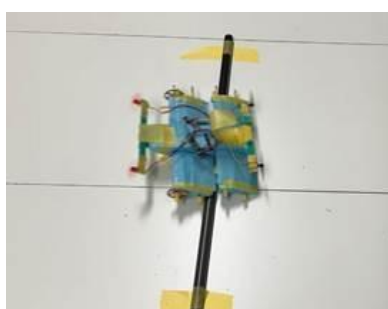
(b) 回転中

図4.1.3.3.1 前方のプロペラを用いた動作結果

2つ目は、後方のプロペラが推進力として有効であるかの動作検証である。この検証では、後方のプロペラを回転させ機体が前進することができるかを検証する。また、1つ目の検証で前方のプロペラを回転させることで胴体が浮くことが確認できたため、すべてのプロペラを回転させ地面に取り付けた直径15mmの円柱を乗り越えられるかの検証も行う。図4.1.3.3.2に全てのプロペラを動作させたときの結果を示す。図4.1.3.3.2より、機体は前進していることが確認できた。また、地面に設置した円柱を乗り越えることができた。このことから、後方のプロペラは推進力として有効であることが確認することができた。また、すべてのプロペラを回転させることで地面に設置した円柱を超えることが可能であることがわかった。



(a) 乗り越え前



(b) 乗り越え中



(c) 乗り越え後

図4.1.3.3.2 浮遊ローバBの円柱乗り越え実験

この動作検証より浮遊ローバBでは地面に設置した円柱を乗り越えることができることがわかった。次に、浮遊ローバBの収納確認を3DCADモデルを用いて行った。レギュレーションを参考に使用されるキャリアを3DCADモデルとして設計し、3DCADモデル機体が収納可能かを確認した。図4.1.3.3.3に3DCADモデルを用いた収納時の様子を示す。図4.1.3.3.3より使用するキャリアのサイズを再現した3DCADモデルに設計した浮遊ローバBは収納することができていることがわかる。

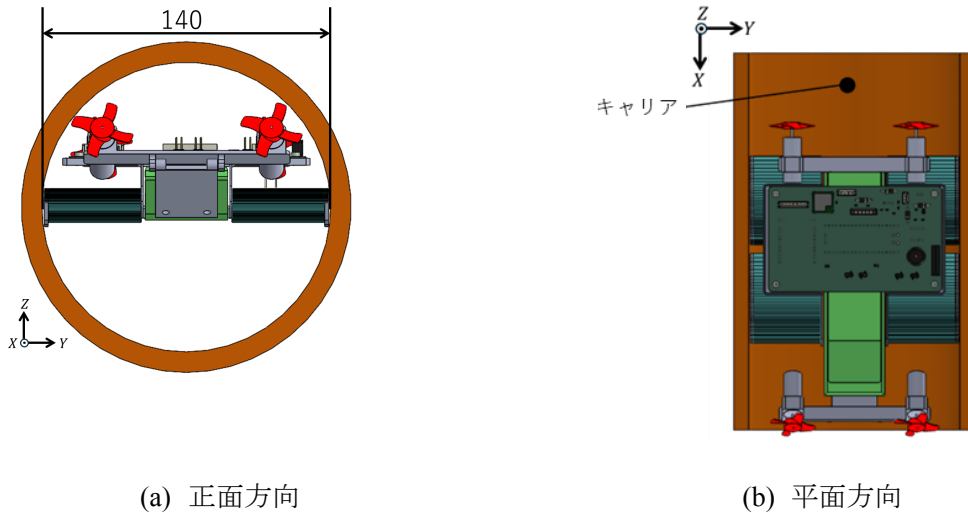


図4.1.3.3 3DCADモデルを用いた収納確認

しかし、浮遊ローバBは造型精度にバラツキがあるため機体の一部が地面と接触し、安定して進むことができなかった。

浮遊ローバCについては、ダクトファンを用いた巡航速度の測定を目的とした検証を行った。浮遊ローバCプロトタイプモデルのシステム構成を図4.1.3.3に示す。また、プロトタイプモデルを用いて行った検証の様子を図4.1.3.4に示す。

浮遊ローバCプロトタイプモデルによる本検証では、マイコンとXBeeからなるコントローラによって、プロトタイプモデル内のマイコンへダクトファンの出力指令を送信している。この指令信号は0から100までの整数値であり、プロトタイプモデル内のマイコンボードにて、それぞれの出力指令に対応したデューティ比のPWM信号へと変換される。

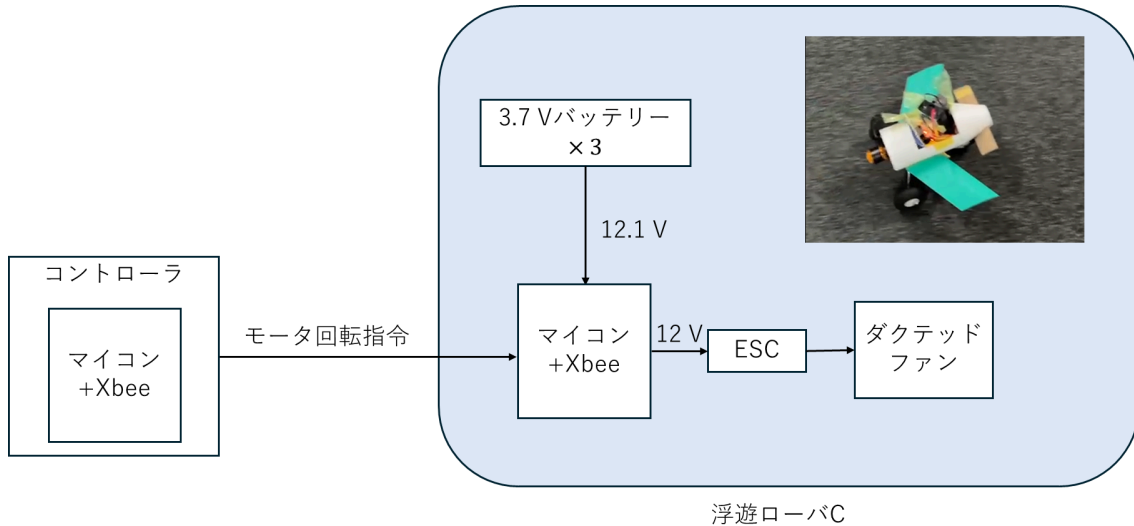


図4.1.3.3 浮遊ローバCにおけるプロトタイプモデルのシステム構成

事前に距離を測定した、全長4mの区間をプロトタイプモデルが走破する時間を計測することにより、速度の計測を行った。プロトタイプモデルは同区間を3.6秒で通過したので、本検証におけるプロトタイプモデルの走行速度は、約4km/hと求められる。これは、目標とする8km/hには及ばず、また、離陸可能速度に到達することもできていない。

原因として、空気がダクトファンに至るまでのエアフローの悪さや、走行が不安定であったことを挙げられる。図4.1.3.4に示す通り、本検証においては、胴体上部に空いた穴に電池や制御基板を差し込んで走行を行わせた。そのため、設置した基板や電池が空気の通り道を塞いだことで、ダクトファンが本来の推力を発揮するために必要な空気を取り入れることができなかったと考えられる。また、図4.1.3.3に示す通り、プロトタイプモデルは操舵機能を持たないモデルであった。そのため、真っ直ぐに安定して

走行・加速を行うことができず、用意された場所の中で最高速度に到達することができなかったと考えられる。



(a) 翼を付けての動作検証



(b) 翼を外しての動作検証

図4.1.3.4 浮遊ローバCプロトタイプを用いた動作検証の様子

プロトタイプモデルでの検証を踏まえ、試作2号機の設計と一部製作を行った。まず、プロトタイプモデルでの検証により得られた反省点として、電池や基板の配置によるエアフローの悪化があった。図4.1.3.4に示すように、機体後方に設置されたダクトファン吸気口前に物を配置して塞いだことが、ダクトファンの推力低下を招いた。この改善のため、図5.1.3.5に示すように、電池を機体下部に設置するよう変更を行ったほか、機体前方に、空気の流れを妨げないよう基板を設置するスペースを設けた。また、機体上部の穴を拡大し、より空気を取り入れやすいようにした。また、穴の拡大により材料使用量が削減され、軽量化を実現する。

試作2号機の胴体部を製作し、走行試験を行った。この試験は、フライトコントローラを用いてシステムを動作させることができるかの確認と、試作2号機の直進性を評価することを目的に行った。

試験の結果、フライトコントローラを用いた、機体の姿勢安定化制御の動作確認を行うことができた。一方、安定して直進することができなかった。

直進できなかった原因として、現状の操舵システムが低速域において十分な効力を発することができない構造になっていることを挙げられる。図4.1.3.3に示す通り、試作2号機のヨー軸回転制御は、機体側方に存在する空力板を展開することによって行う。このため、発進直後の低速域においてはヨー軸方向の制御がほぼ効かず、十分加速するよりも前に機体がスピンした。

また、設計した試作2号機のCADモデルを用いて、流体解析を行い、発生する揚力を求めた。解析の様子を図4.1.3.6(b)に示す。解析を行った結果、得られた垂直方向の揚力は、機体が秒速10 mの風を正面から受けている状態において、0.0605 Nであることがわかった。試作2号機の機体重量は550 gであることから、機体が浮上するために必要な揚力の大きさは5.5 Nであり、発生する揚力が、必要な揚力に達していないことがわかった。

揚力不足の原因は、翼面積の不足であった。設計段階において、翼型を変更して検証することができるよう、発泡PLAフィラメントを用いたソリッドな翼を採用した。これにより、ロケットに搭載することのできる体積へ機体を収めるうえで、翼面積への制約が厳しくなった。ロケットに搭載できるサイズであり、かつ、衝撃での破損等が起らないよう考慮した結果、試作2号機においては、機体重量550 gに対して全幅が400 mmと、非常に翼長が短い形状の機体となった。

試作2号機での反省点を踏まえ、試作3号機の設計を行った。まず、ヨー軸回転制御については、ダクトファン後方にラダーを配置し、簡易的な推力偏向を行うことで旋回する機体構造の設計を行っている。また、翼面積の拡大については、頑丈な布と、金属製メジャーを用いた、フレキシブルな主翼を採用することとし、設計・製作を行う。

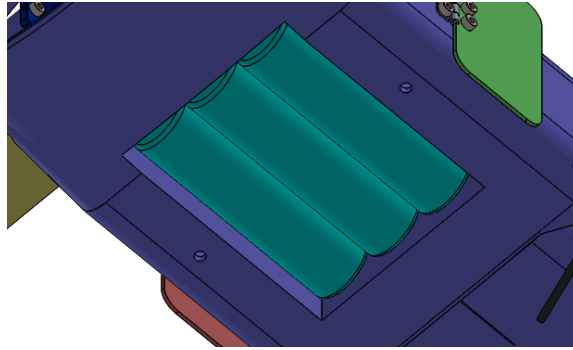
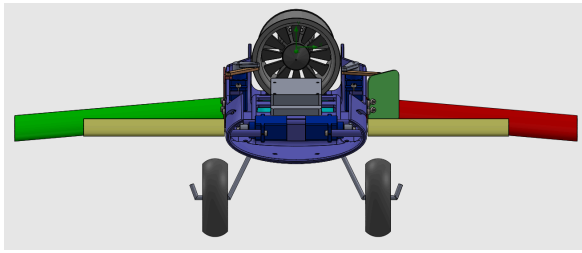
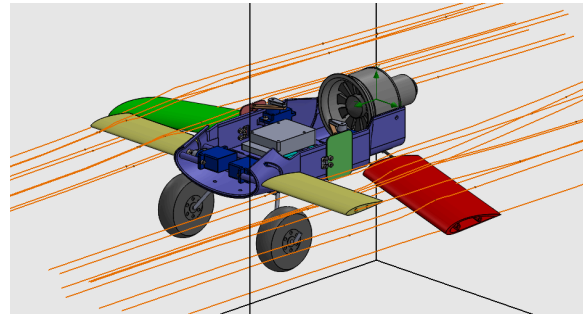


図4.1.3.5 試作2号機の電池格納部



(a) 空力板展開の様子



(b) 流体解析の様子

図4.1.3.6 浮遊ローバC試作2号機のCADモデル

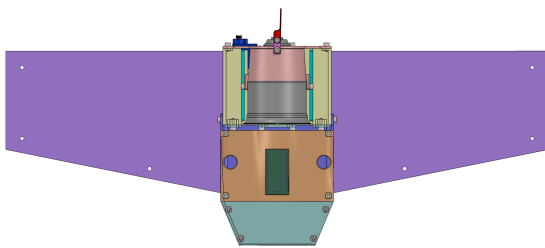
第4.1.4項 ARLISS2025で用いる実際の機体

本項では, ARLISS2025で最終的に使用する浮遊ローバC-3号機について説明する. 以下, この機体の呼称をFR-C3 (Floating Rover-C No.3)とする. FRC3の大きさを表4.1.4.1に示す.

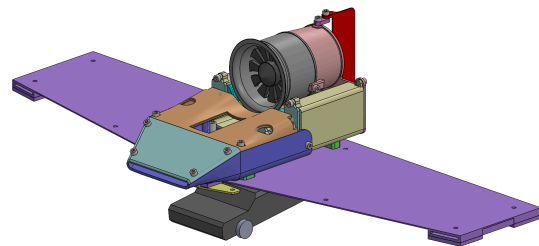
表4.1.4.1 FR-C3の全長, 全幅, 全高, 質量

全長 [mm]	188
全幅(翼展開時)[mm]	500
全高 [mm]	92
質量 [g]	510

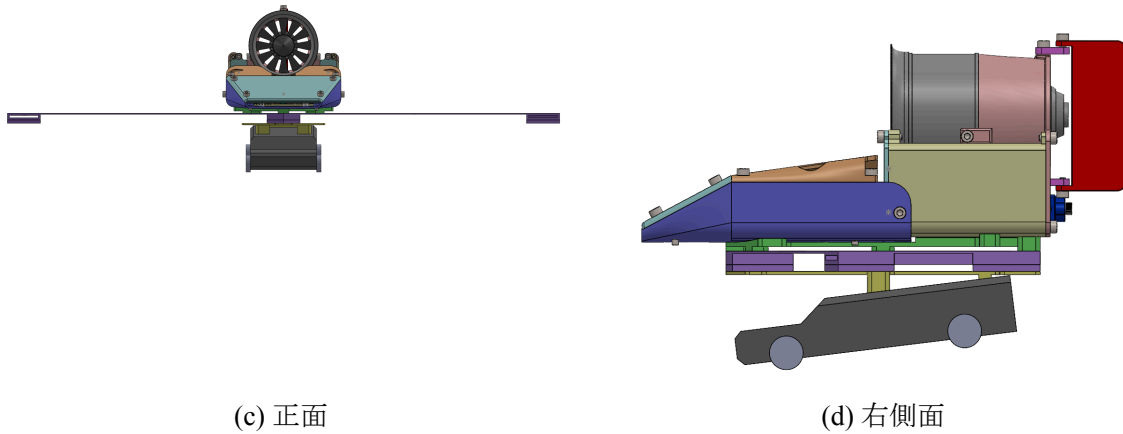
FR-C3の3DCADモデルを図4.1.4.1に示す.



(a) 上面



(b) 俯瞰

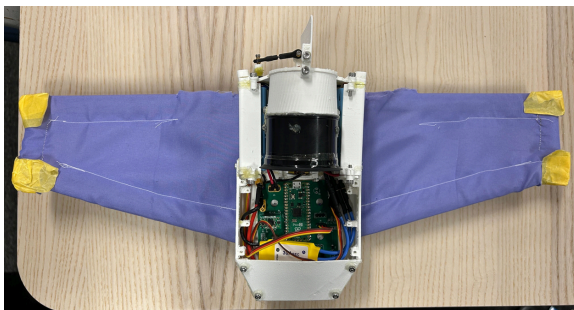


(c) 正面

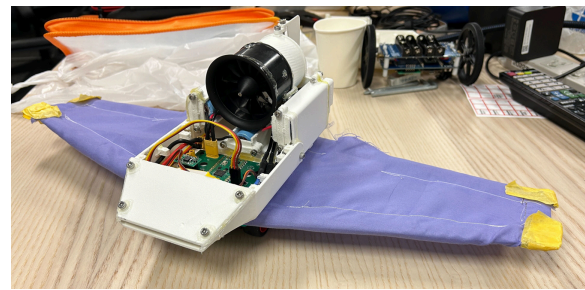
(d) 右側面

図4.1.4.1 FR-C3外観(3DCADモデル)

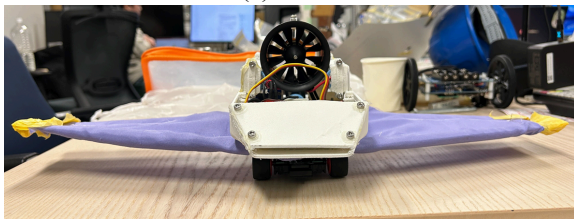
FR-C3の実機の外観を図4.1.4.2に示す。



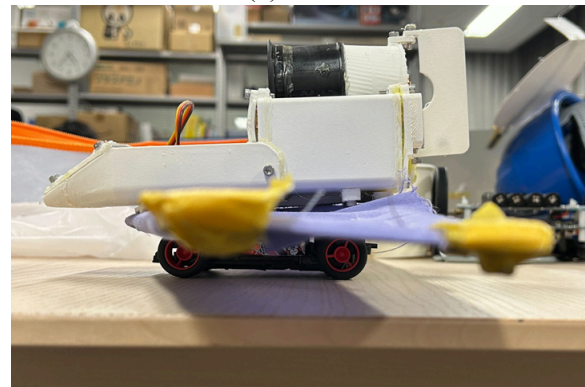
(a) 上面



(b) 俯瞰



(c) 正面



(d) 右側面

図4.1.4.2 FR-C3外観(実機)

FR-C3では翼長が500 mmとなっている。しかし、この状態ではレギュレーションに収まらない。今回は、機体の翼に折りたたむことが可能な素材にする必要があった。

図4.1.4.3にFR-C3のシステム構成を示す。本システムはRaspberry Pi Pico2を中心に構成されており、センサや通信モジュールからの入力を受けて、各種アクチュエータを制御する。電源は3.7 Vのリチウムイオンバッテリー3本を直列接続して確保し、バッテリーをESCに接続することで、ESCから出力される5.0 VをRaspberry Pi Pico2の電源として利用する。入力系としては、CdSセルを搭載し、ロケットからの分離を検知する(ロケット内とロケット外の判別に用いる)。9軸センサは姿勢や加速度を計測する。GPS+マイクロSDは位置情報の取得とログ保存を行う。無線通信モジュールであるTWELITEは車輪ローバおよびケースとの通信に使用される。さらに、XIAO ESP32-S3は浮遊ローバ走行時にカメラ映像を取得し、マイクロSDに保存する役割を持つ。出力系としては、ラダーサーボおよびエルロンサーボ2基を制御することで姿勢を操作し、ダクトファンを駆動して推進力を発生させる。

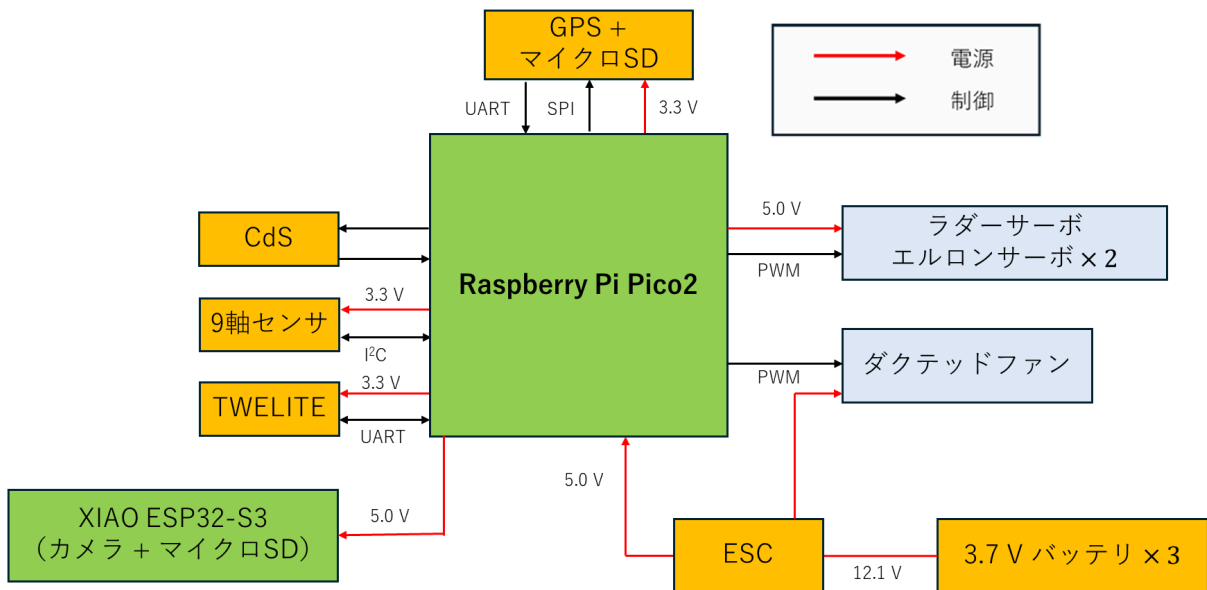
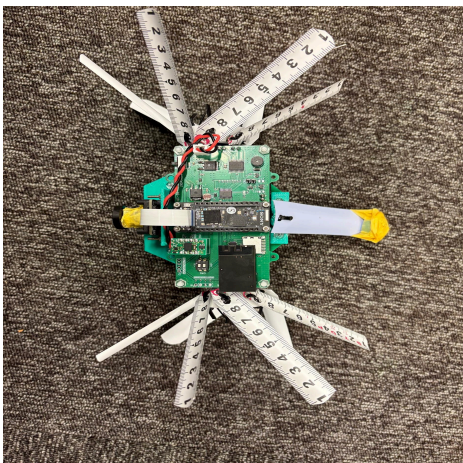


図4.1.4.3 FC-C3のシステム構成

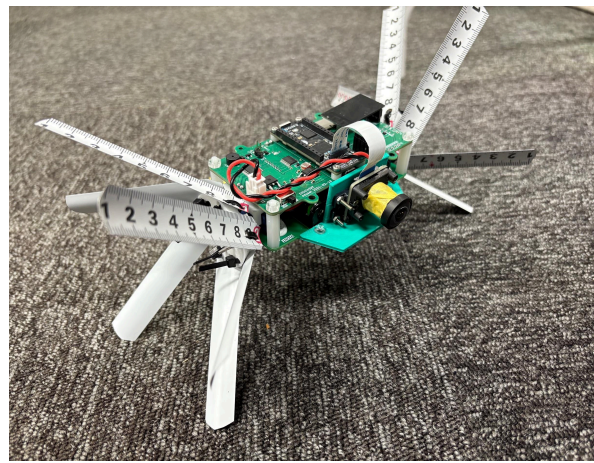
第4.2節 車輪ローバ機体機構(Bパーツ)

第4.2.1項 車輪ローバの機体外観

車輪ローバの機体外観を図4.2.1.1に示す。車輪ローバはタイヤ直径が100 mm、左右のタイヤ間の距離(高さ)が180 mmである。車輪ローバの総重量は電池なども含め240 gである。



(a) 平面



(b) 俯瞰



(c) 正面



(d) 右側面

図4.2.1.1 車輪ローバ外観

車輪ローバの大きさについて表4.2.1.1に示す.

表4.2.1.1 車輪ローバの直径, 高さ, 質量

直径 [mm]	100
高さ [mm]	180
質量 [g]	240

第4.2.2項 車輪ローバの機構

車輪ローバには, 100kinSATを改良したものを利用する. 100kinSATとは, 誰でも利用可能な教育用CanSatである.

車輪ローバのシステム構成を図4.2.2.1に示す. 制御用のマイコンボードとして, SONY製のマイコンで宇宙開発の分野でも使用されているSpresenseを使用する. 電源としては1.5 Vの単4アルカリ電池を4つ直列接続して使用する. ただし, Spresenseは5 V, センサ類は3.3 V電圧で駆動するため, レギュレータを用いて降圧する. 無線通信には, TWE-LITEを使用する. Spresense-microSD間はSDIO, Spresense-IMUセンサ間はI2C, Spresense-TWELITE間はUARTを用いる. また, パラシュート投下前後を判断するために照度センサを搭載する. 回路図は下記リンクに示す通りである. 基板はJLCPCBに発注することで作成した. 作成した基板の外観を図4.2.2.2に示す. 基板のサイズは100 × 50 mmである.

回路図リンク: <https://github.com/100kinsat/100kinsat-spresense/tree/main>

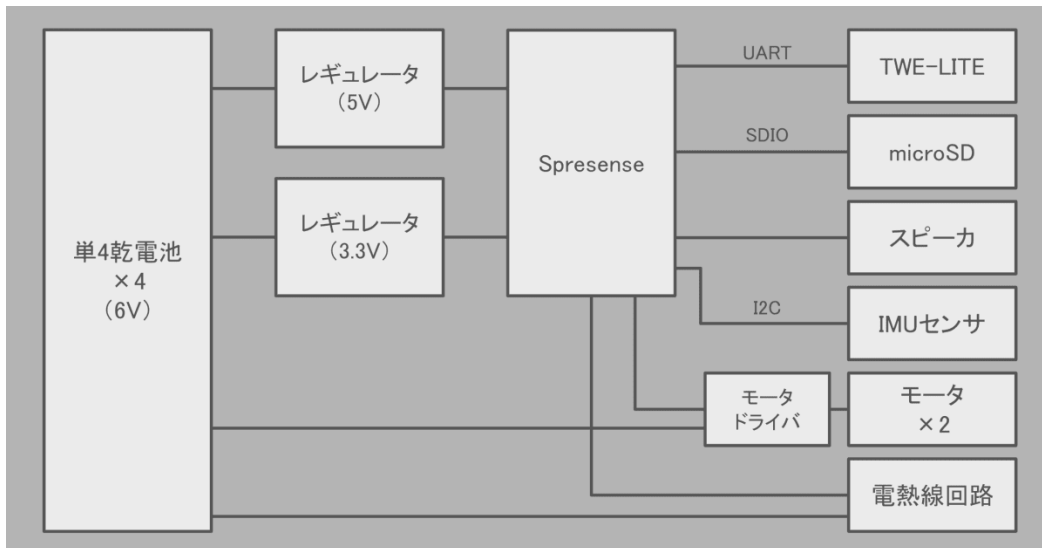


図4.2.2.1 車輪ローバのシステム構成

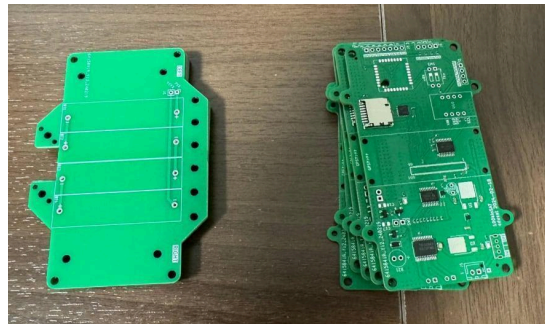


図4.2.2.2 作成した基板外観

車輪ローバの車輪やサーボブラケットなどは3Dプリンタを用いてPLA樹脂で製作する。車輪の動力としては、FEETECHのギヤードモータFM90を使用する。

車輪ローバに用いる電子部品を表4.2.2.1に示す。車輪ローバの電子部品はすべて秋月電子通商で入手可能である。

表4.2.2.1 車輪ローバに必要な電子部品一覧

名称	値段 [円]	必要個数	購入先	リンク
SONY SPRESENSE メインボード	6050	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g114584/
スライドスイッチ 1回路2接点 基板用 横向き	25	2	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g115703/
XHコネクタ ベース付ポストトップ型 2P B2B-XH-A(LF)(SN)	10	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g112247/
コネクタ付コード 2P(D) 赤黒	30	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g105682/
DIPスイッチ 2P	70	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g108922/
トワイライトワイヤレスモジュール TWE-Lite アンテナ別付けタイプ	1450	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g108263/
USBスティック MONOSTICK - モノスティックブルー	3030	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g

				111931/
ターミナルブロック 2.54mm 2P 緑縦	25	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/114217/
基板取付用小型ダイナミックスピーカ UGCM0603APE	60	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/110128/
FEETECH ギヤードモータ FM90	330	2	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/114801/
BNO055使用 9軸センサーフュージョンモジュールキット	2450	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/116996/
CdSセル(1MΩ)GL5528	100	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/105886/
低損失表面実装型三端子レギュレータ 3.3V800mA NJM2845DL1-33	50	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/111299/
低損失表面実装型三端子レギュレータ 5V800mA NJM2845DL1-05	50	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/111298/
電池ボックス 単4x1本ピン	40	4	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/102670/
ピンヘッダ 1x40(40P)	35	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/100167/
ピンヘッダ (オスL型) 1x40 (40P)	50	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/101627/
ジャンパーピン黒(2.54mmピッチ)	100	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/103687/
分割ロングピンソケット (42P)	1x42 80	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/105779/

第4.3節 浮遊ローバと車輪ローバの収納方法

本節では、2機のローバのCanSatへの収納について説明する。収納時のCanSat内部の図を以下の図4.3.1に示す。なお、浮遊ローバの寸法が決定していないため収納方法は暫定のものである。



図4.3.1 ロボタ2機収納時のCanSat内部 (左Aパーツ, 右Bパーツ)

浮遊ロボの全幅が収納最大直径である240 mmを超えた場合は、浮遊ロボの翼に展開翼機構を追加する。展開翼機構の動作を図4.3.2に示す。図に示すように、翼を2分割し、翼を畳むことができるような機構を設計する。2分割された翼は蝶番とトーションばねを用いることでロケットから浮遊ロボが放出された際にトーションばねが自然蝶に戻ることで2枚の翼を平行に保つことが可能となる。ただし、蝶番とトーションばねのみでは翼を平行に保つことが難しいため、2分割した翼の断面にネオジム磁石を埋め込むことで展開した翼をより強固に接続することが可能となる。

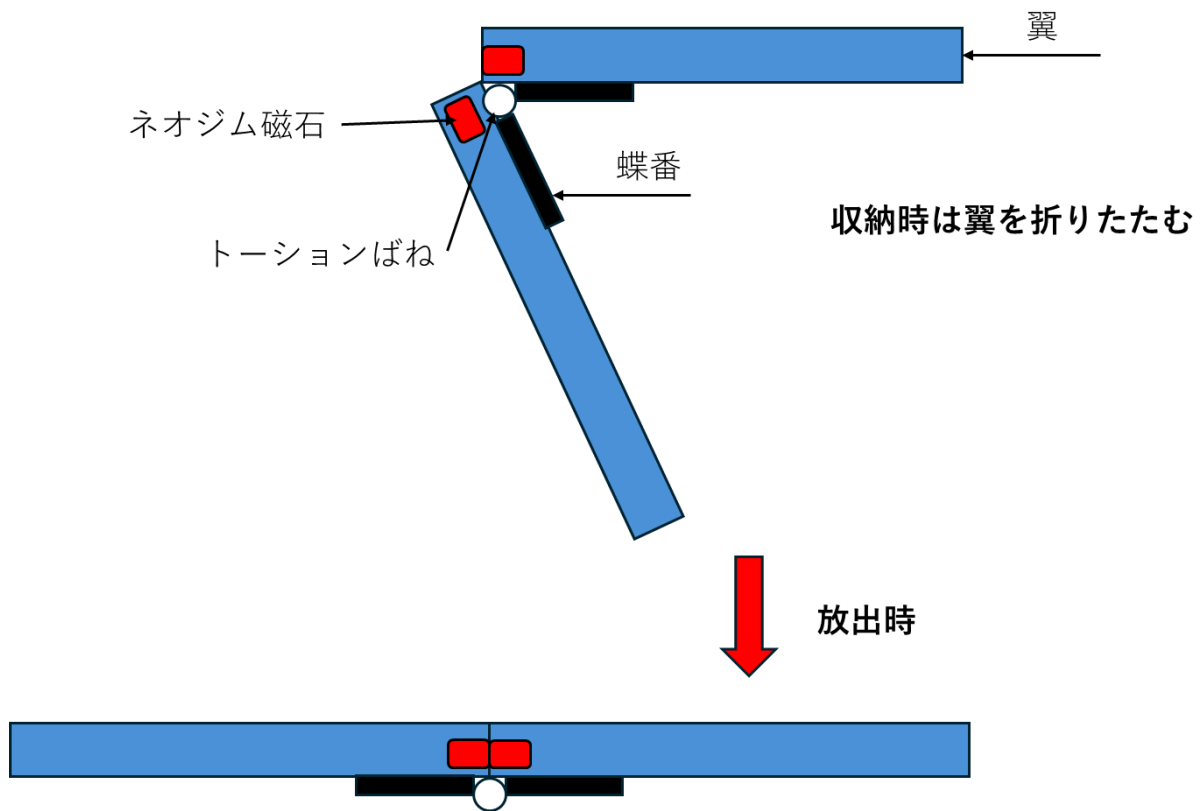


図4.3.2 展開翼機構

車輪ローバは、クリアファイルを用いてメジャータイヤ、スタビライザを折りたたむ。メジャータイヤ、スタビライザの収納図を図4.3.3に示す。図に示すように、クリアファイルが開いたとき、メジャータイヤが展開できるように折りたたむ。

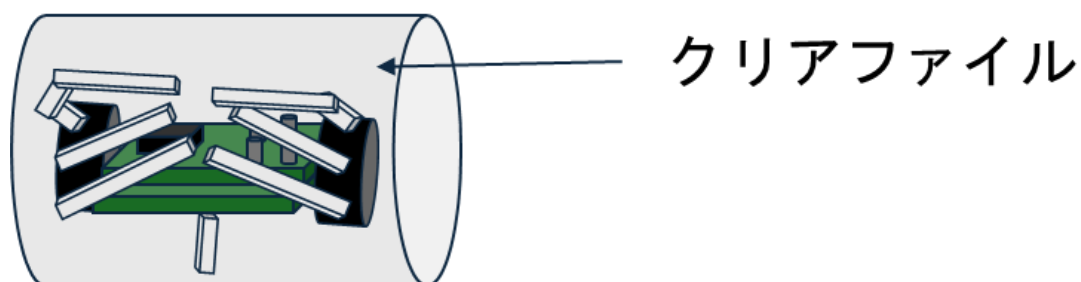


図4.3.3 メジャータイヤ、スタビライザの収納図

第4.4節 ケース仕様

本節では、浮遊ローバと車輪ローバを収納するケースの仕様について説明する。ケースの外観を図4.3.4に示す。ケースの寸法は、縦220mm×横130mmである。作成した基板の外観を図4.3.5に示す。基板の寸法は、縦100mm×横40mmであり、基板には、Raspberry Pi Pico、CdSセンサ、ヒーター接続端子、LED、保護ダイオード、NPNトランジスタ、LM7805系レギュレータが搭載している。CanSatの着地判定はCdSセンサを用いる。

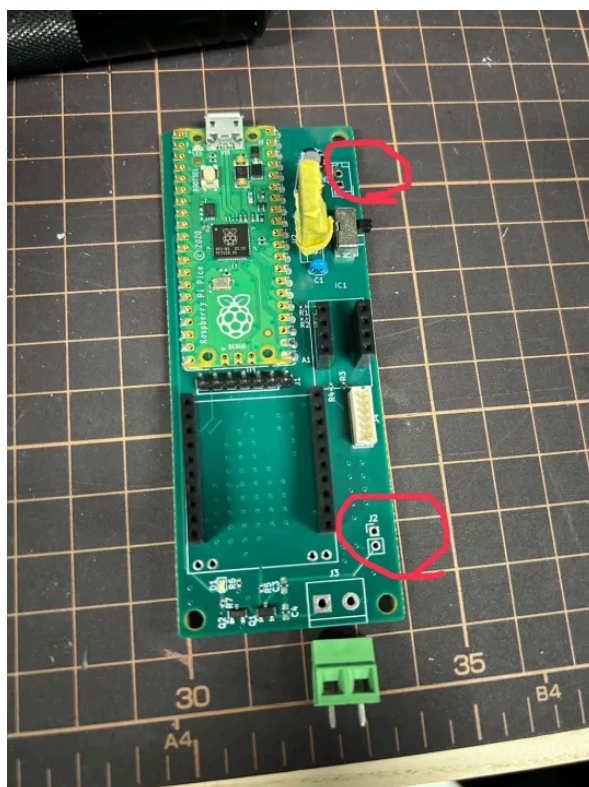


図4.3.5 基板の外観

ケースに用いる電子部品を表4.2.2.2に示す。

表4.2.2.2 ケースの電子部品

名称	値段 [円]	必要個数	購入先	リンク
raspberry pi pico2	880	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g114584/
5Vレギュレータ	100	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g100537/
10kΩ抵抗	1	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g125103/
1kΩ抵抗	1	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g125102/
CdSセンサ	25	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g108922/
0.1μFのコンデンサ	25	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g100537/
47μFのコンデンサ	25	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g100537/
5mm砲弾型LED	20	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g111655/
ダイオード	3	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g100941/
リレー	80	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g104326/
トランジスタ	5	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g113491/
スイッチ	25	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g115703/
ターミナル	25	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g114217/
7.4V電源(バッテリー to 基板)	42	1	千石電商	https://www.sengoku.co.jp/mod/sgk_cart/detail.php?code=EEHD-4KBN
ピンヘッド(CdSを実装するよう2ピン)	20	1	秋月電子通商	https://akizukidenshi.com/catalog/g/g114164/

第5章 システム試験

本章では、浮遊ローバと車輪ローバ両方を指す場合はCanSatと表記する。

第5.1節 レギュレーションを満たすためのシステム試験

RV1 質量試験(実施)

- 目的
 - CanSatがキャリア格納時にレギュレーションを満たすことを確認する。
- 試験内容
 - Aパーツ, Bパーツ, ケースとパラシュートの合計質量を計測する。
- 試験結果

Aパーツ, Bパーツ, ケースとパラシュートの総重量は計1005[g]であり, 1050[g]以下であることを確認した。図5.1に結果を示す。



図 5.1 A,Bパーツ パラシュート ケース 搭載物すべてを含めた質量

RV2 機体の収納・放出試験(実施)

- 目的
 - 以下の3点を確認することを目的とする
 - CanSatのレギュレーション(直径146 [mm], 高さ240 [mm])を満たすこと
 - キャリアに収納可能であり, 円滑に放出可能であること
 - CanSatを収納するまでの工程が5分以内に収まっていること
- 試験内容
 - 以下の4つの項目を実施する
 - CanSatを入れるキャリアの内径を計測する。

- CanSatの高さを計測する。
- 減速機能を有するCanSatがキャリアに収納・放出可能であることを確認する。
- CanSat収納の際に収納までの手順の時間を計測し、5分以内に収納可能であることを確認する。
- 試験結果
 - 内径132mm, 高さ240mm, 収納2分, 放出も可能であることを確認したあることを確認した。図5.2,5.3にその様子を示す。



図 5.2 高さ計測時の図

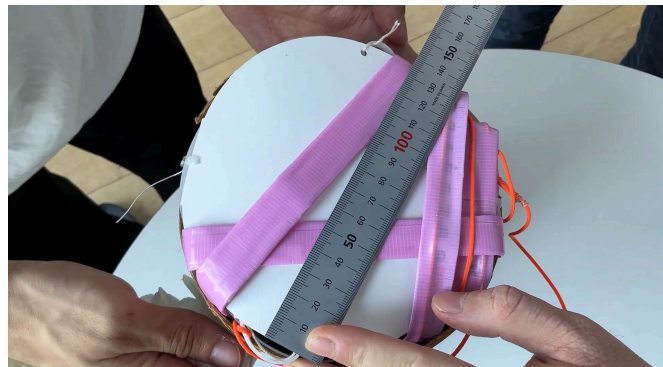


図5.3 内径計測時の図

試験動画: [End-toEnd 質量, 内径.MOV](#)

6:30～計測開始

RV3 長距離通信試験 (実施)

- 目的
 - CanSatの最大通信距離を把握し、機体のロスト対策として有効かどうかを確認する。
- 試験内容
 - PC1に搭載したTWELITERからTera Termを用いて定期的に文字列を送信し、車輪ローバに搭載したTWELITE UARTでTera Termで送信した文字列を受信する。受信したデータをPC2のシリアルモニタに表示させることで、2機器間の最大通信距離を測定する。
- 試験結果
 - PC1から文字bを送信して、ローバに接続したPC2から文字bが受信できたことを確認した。表5.1に通信距離測定実験の結果を示す。確認できた通信距離は40mであった。これは浮遊ローバ, 車輪ローバの相互通信において十分に必要距離を満たしている。

表5.1 通信距離測定実験の結果

PC(地上局)の座標	北緯:35.750342 東経:139.813243
CanSatの座	北緯:35.750020 東経:139.813490
最大通信可能距離	40m
試験開始時	リンク

● 結論

- 通信距離を確認することができた。

試験動画: [RV3 長距離通信試験 - Googleドライブ](#)

RV4 パラシュート投下試験(実施)

- 目的
 - キャリアから放出されたときに減速機構であるパラシュートが問題なく展開されて減速すること, また, 落下速度のレギュレーション(4.0 - 6.0 m/s)を満たすことを確認する.
- 試験内容
 - 地面から6.5m地点から, あらかじめキャリアに収納済みの500mlペットボトル×2を放出する. ここで使用する500mlペットボトル×2は実際に開発中のCanSatとほぼ近い質量のものを使用する予定である.
本試験はCanSat自体の回路やソフトウェアには関与しない. あくまでパラシュートの性能およびCanSatを包むケース側に対する試験であるため, 本試験はこの「500mlペットボトル×2」を用いた場合においても, 実際のCanSatを用いた場合と同等の結果が得られるといえる. パラシュート投下試験は東京電機大学千住キャンパス内で5m以上の落下試験を行える場所で行う.
- 試験結果
 - 東京電機大学千住キャンパス内にある6mの高度がある場所からパラシュート投下試験をおこない, 開傘することを確認した. 図5.3,5.4にその様子を示す.
動画にて実験の様子を示す. 実験では高度約5.8m付近から開傘して0.78秒で高度1.5mに着地しているため, 0.78秒の間に4.3m/s 1秒の間に5.5秒の落下速度であるということが言える.

[パラシュート投下試験.MOV](#)

表5.2 パラシュートの落下速度

試験回数	算出速度	動画該当箇所[min:sec]
1回目	4.3 [m] / 0.78 [s] \doteq 5.5 [m/s]	00:10.62 ~ 00:11.40

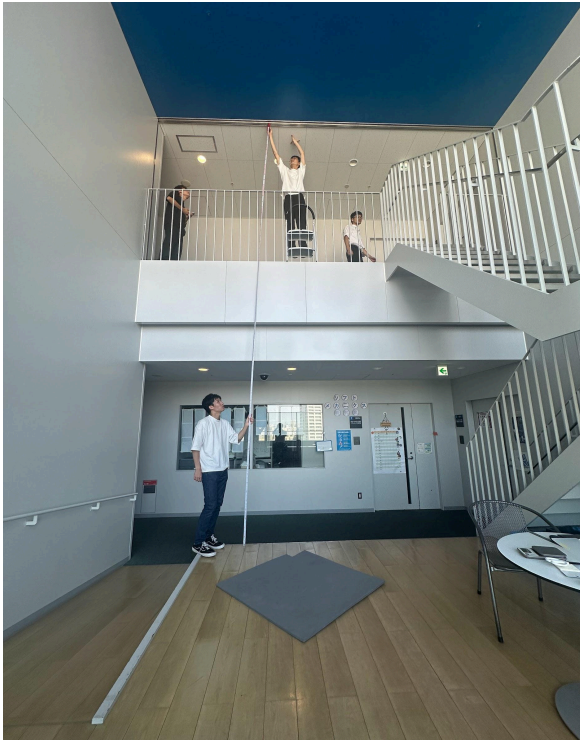


図5.3 実験時の様子

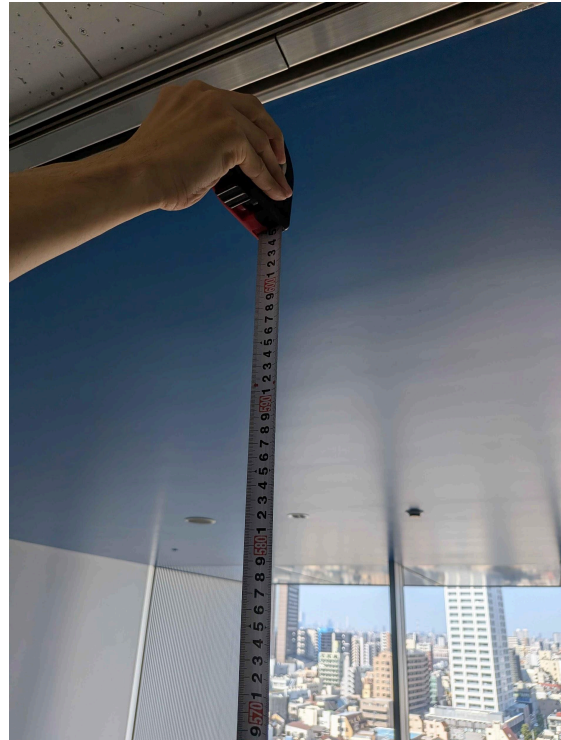


図5.4 ケースを落とした場所の最大高度

RV5 準静的荷重試験(実施)

- 目的
 - 打ち上げ時の準静的荷重(以下、静荷重と呼ぶ)によってCanSatのハードウェア・ソフトウェア共に問題が発生せず、正常に動作することを確認する。
- 試験内容
 - ロケット搭載状態を想定したCanSatを紐で繋いだ袋に入れハンマー投げの要領で回すことでロケットによる静荷重を再現する。静荷重はレギュレーションに記載されている通り、CanSatに10Gを10秒間与える。その後、機体の放出から走行開始までのシーケンスを実施し、センサ類とモータ類が破損することなく動作することを確認する。
- 試験結果
 - 浮遊ローバ、車輪ローバをケースに収納し、ハンマー投げの要領で回すことによりロケットによる静荷重を再現した。試験時に機体が計測した加速度データを図5.5に示す。図5.5より、ハンマー投げの要領で機体に10Gが10秒間の静荷重が生じていることが確認できた。
 - 試験動画より、静荷重を与えた後図 にケースが展開し、浮遊ローバと車輪ローバのセンサとモータが破損することなく正常に動作していることを確認できた。
- データログ：[準静的荷重試験.mov](#)

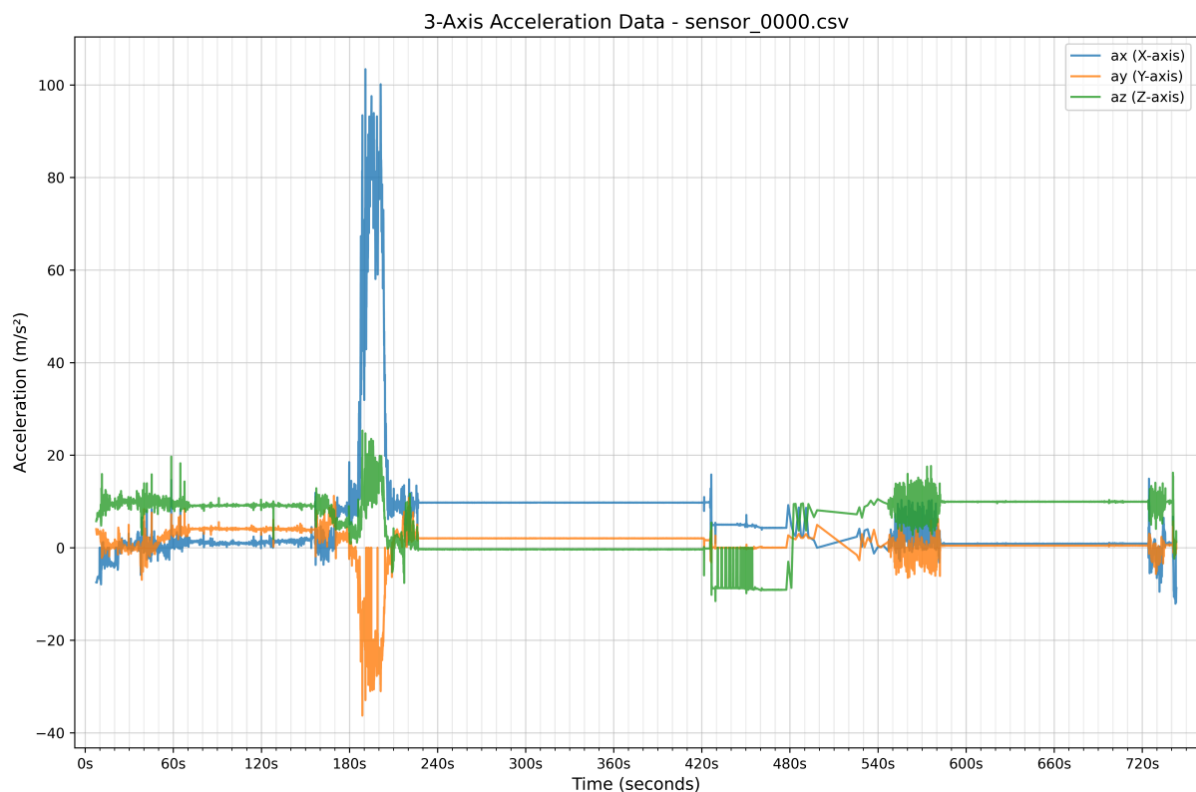


図5.5 準静的荷重試験の加速度データ

RV6 振動試験 (実施)

- 目的
 - ロケットによる打ち上げを想定し、打ち出し時に生じる振動によってCanSatに異常が生じないことを確認する。
- 試験内容
 - CanSatをキャリアに収納し、振動試験装置を用いてロケット上昇時に生じるランダムな振動を与える。試験後、機体の放出から走行開始までのシーケンスを実施し、センサ類とモータ類、およびCanSat本体に損傷がなくミッションが遂行可能な状態であることを確認する。振動試験は日本高度信頼性評価試験センターで行う。
- 試験結果
 - 浮遊ローバ、車輪ローバをケースに収納し、キャリアに格納。キャリアから放出後、規定通りのシーケンスを経て移動開始することが確認できた。また、ログやカメラの画像も確認した。車輪ローバ起動から25分間の3軸加速度データを図5.5に示す。また、振動実験の結果を表5.3, 表5.4に示す。

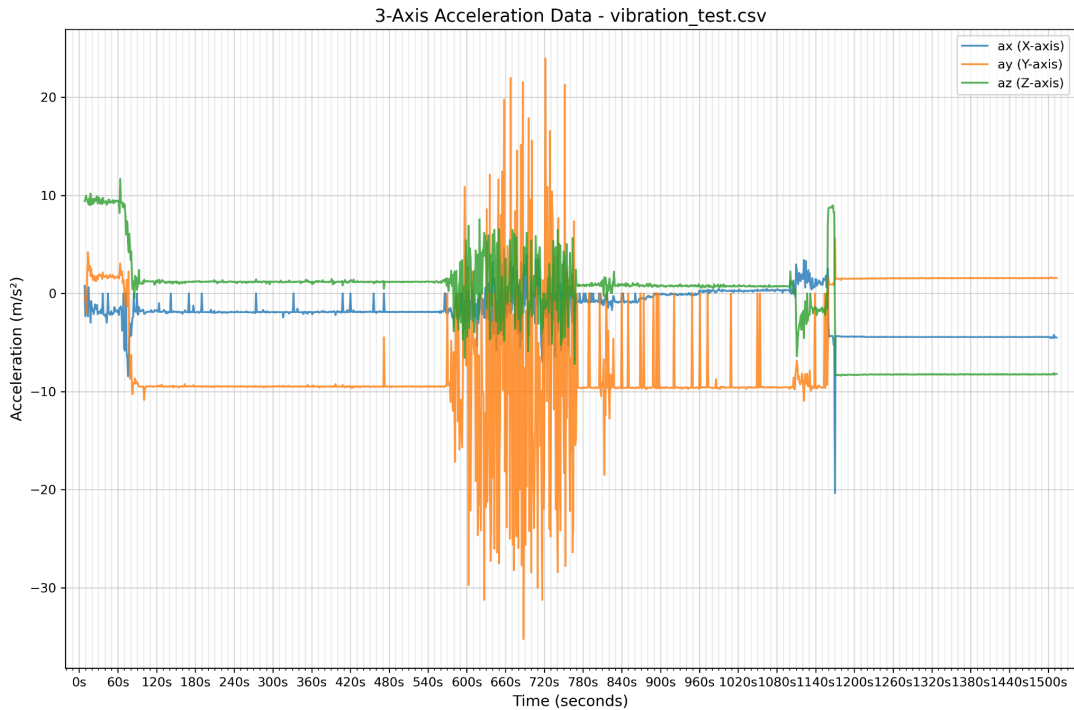


図5.5 車輪ローバ起動から25分間の3軸加速度データ

表5.3 車輪ローバ振動実験の結果

	動画リンク
振動実験装置の準備	振動実験装置の準備.mov
振動実験開始	振動実験開始.mov
振動実験終了	振動実験終了.mov
浮遊ローバ, 車輪ローバの動作確認と各種センサログ	浮遊ローバと車輪ローバの動作確認.mov
回路基板の動作確認	回路基板の動作確認.mov

上記の動画はシーケンスの時間の都合上, 車輪ローバメインでの確認になってしまったので以下, 実験室に戻ってから浮遊ローバの動作確認を行った動画である.

表5.4 浮遊ローバ振動実験の結果

	動画リンク
バッテリーから電圧を取れることを確認	電圧チェック.MOV
ダクトファン稼働テスト	ダクトファン動作確認.MOV

- 結論
浮遊ローバ, 車輪ローバ, ケース基板にロケット打ち上げを想定した振動を加えても問題なく動作することが確認できた。

RV7 分離衝撃試験(実施)

- 目的
 - ロケット打ち上げを想定した際, ロケット分離時の衝撃によってCanSatに異常が生じないことを確認する.
- 試験内容
 - (RV6)振動試験と同様の振動試験装置を用いて40Gのショック振動を与える. 試験後, キャリアからの放出, 着地, パラシュート分離, 通信確立までのシーケンス, 機体が正常に動作することを確認する. 分離衝撃試験は日本高度信頼性評価試験センターで行う.
- 試験結果
 - 振動試験装置を用いて40Gのショック振動を与えたことを確認した後, キャリアからの放出, 着地, 車輪ローバの動作開始を確認した. 施設内での溶断が危険なため, ケース展開のニクロム線が加熱し, テグスを切ることができることは屋外で個別に行った. また, 浮遊ローバに電力が供給されており, RV6,RV7の実験とは関係なく動作できることを個別でRV6で撮影した動画により確認した.

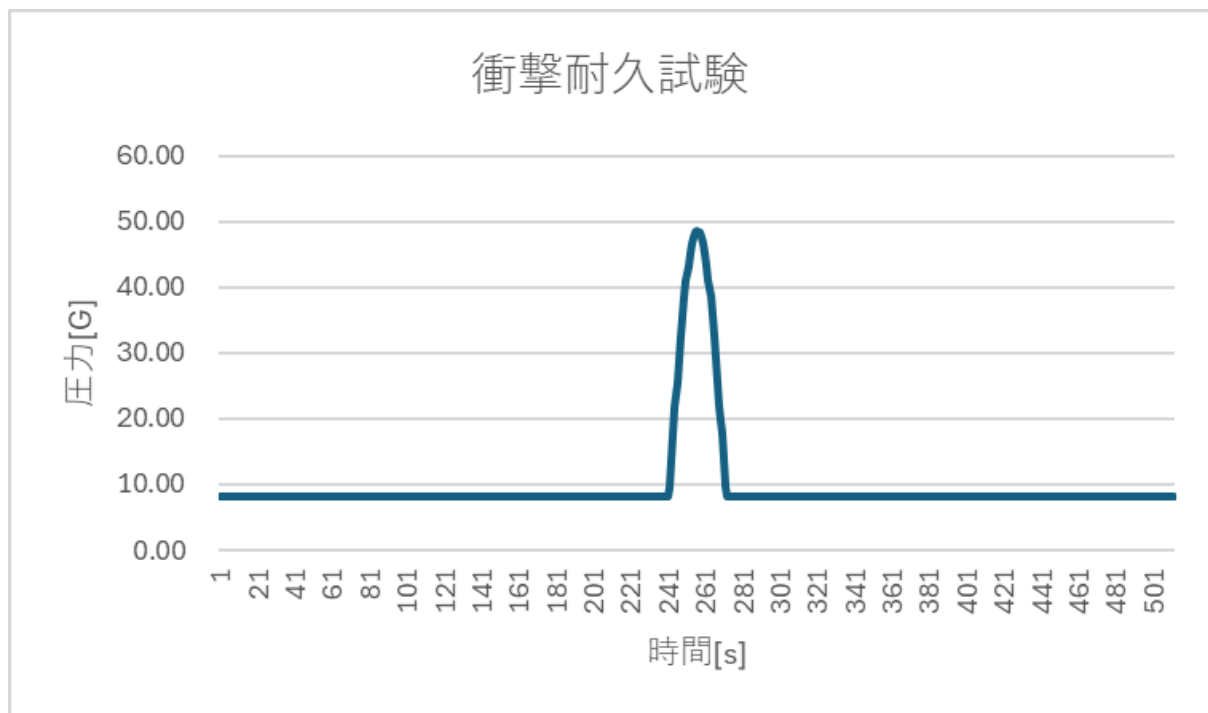


図5.6 車輪ローバ, 浮遊ローバ, ケースへの加えられた圧力のデータ

RV8 通信機器ON/OFF試験(実施)

- 目的
ロケットの通信機器に悪影響を与えないよう, キャリア内で通信機器の通信が切れることを確認する
- 試験内容
2つのローバに搭載されている無線通信機であるTWELITEについて, ターミナル上で通信のON/OFFを切り替えられることを確認する.

- 試験結果
PC(基地局)に接続したTWELITEとRaspberry Pi Picoと接続したTWELITEを用いて試験を行った。試験を行った結果、通信機の電源をON/OFFできることが確認できた。

試験動画:[通信機電源ONOFF試験](#)
- 結論
通信機器の無線通信を切ることが可能であることが確認できた。

RV9 通信周波数変更試験(実施)

- 目的
他の無線通信と通信周波数が干渉する可能性がある場合に、使用する通信周波数が変更できることを確認する。
- 試験内容
2つのローバに搭載する無線通信機であるTWELITEとPCに接続したTWELITE(基地局)で通信ができていることを最初に確認する。次に、基地局側のTWELITEのチャンネルを変更することで通信ができなくなっていることを確認する。最後に、基地局側のTWELITEのチャンネルを通信可能なチャンネルに変更し、再度通信が確立していることを確認する。
- 試験結果
TWELITEのチャンネルを変更し、通信ができなくなることで再度通信が確立できることを確認できた。TWELITEのチャンネル数は16あるため、当日ほかの機器と通信周波数帯が重なることはないと考えられる。

試験動画:[通信周波数変更試験](#)
- 結論
通信機器の通信周波数を変更可能であることが確認できた。

RV10 電力耐久試験(実施)

- 目的
 - 機体に搭載しているバッテリー容量が十分大きく、ミッション中に電池切れが発生しないことを確認する。
- 試験内容
 - 全てのシーケンスを実施して試験開始前と試験終了後の電圧を測定する。本番で使用するものと同じ以下の電池をそれぞれのCanSatで使用する。二次電池は十分に充電したものを使用し、一次電池は未使用のものを使用する。

試験結果

試験開始前と試験終了後の車輪ローバの電源電圧を表5.5に示す。システムのログを表5.6に示す。また、センサログ、撮影シーケンス動画、試験動画のリンクを下記に示す。

表5.5 電力耐久試験のローバの電源電圧

	ローバの電源 [V]
試験開始前	6.32
試験終了後	5.85

表5.6 システムログ

```
CansatController: begin() started
Power On (Supply)
[Calibration] Timeout: 300000
[Standby] Alt: 80.00, Timeout: 600000
[Launch] CdS: 1, Timeout: 600000
[Drop] Timeout: 600000
```

```
[Escape] Distance: 0.25, Timeout: 20000
[Detection] MaxFailedCount: 30
[Recording] Timeout: 300000, Time: 30000
CansatController: GNSS initialized successfully
CansatController: BNO055 initialized successfully
CansatController: begin() finished
timestamp: log
5382: config CalibrationState
5386: Entering CalibrationState
7576: Change to StandbyState
7581: Exiting CalibrationState
7595: Entering StandbyState %待機シーケンス
608397: Timeout. Change to LaunchState
608401: Exiting StandbyState
610788: Entering LaunchState %放出シーケンス
1211417: Timeout. Change to DropState
1211421: Exiting LaunchState
1213813: Entering DropState %着地シーケンス
1214318: CansatController: Twelite initialization started
1814422: Timeout. Change to EscapeState
1814515: Exiting DropState
1816906: Entering EscapeState %脱出シーケンス
1821526: Escaped. Change to DetectionState
1821529: Exiting EscapeState
1823916: Entering DetectionState %検出シーケンス
1825266: Detection mode set
1825269: Succeed to initialize Edge Impulse
1888424: Failed too many times. Change to RecordingState
1888428: Exiting DetectionState
1889147: Entering RecordingState %撮影開始
1890486: Recording mode set
2190493: Timeout. Recording start
2190497: Recording started
2220532: Recording finished
2220535: Finished recording. Changing to ExploreState
2220539: Exiting RecordingState
2221224: Entering ExploreState
2222480: Explore mode set
```

- センサログ : [センサログ.csv](#)
- 撮影シーケンス動画 : [撮影シーケンス動画.avi](#)
- 試験動画 : [リンク](#)

次に浮遊ローバの試験結果を示す。必要な連続活動時間である3分間のダクトファン回転を確認した。

- 試験動画 : [RV10_電力耐久試験 - Googleドライブ](#)

結論

車輪ローバの電源は1.5[V]の単4乾電池を4本使用し、6.0[V]の電圧を確保している。今回の電力耐久試験では全てのシーケンスを実施して、0.47[V]消費していることからミッションを遂行するのに十分な電力が供給されていることがわかる。また、浮遊ローバに関してもミッションに必要な電力を供給すること

ができることがわかった。

RV11 機体形状・搭載物確認試験(実施)

- 目的
 - CanSatがロケットに損傷を負わせる可能性のある機構や物質が搭載されていないことを確認する。
 - 試験内容
 - CanSatの形状, 搭載物の確認を行う。
 - 試験結果
 - 浮遊ローバに搭載されている機構としてダクトファン, 翼, ラダー, 車輪がある。浮遊ローバの前面, 裏面を図5.6, 図5.7に示す。図5.6より, 翼はメジャーを骨格にしており, 周りは布で保護されているため, キャリア内を損傷することはない。ダクトファンも機体中央に位置し, 周りに巻き込む危険性のあるものは存在しない。図5.7より, ラダーのパワーは人が簡単に抑えられるほど弱く, 素材は発砲PLAであるため危険性はない。図5.8より, 車輪はミニ四駆を改良し用いており, ゴム素材であるため危険性はない。
 - 車輪ローバに搭載されている機構としてスタビライザ, メジャータイヤがある。車輪ローバの前面, 裏面を図5.9, 図5.10に示す。図5.6より, メジャータイヤは先端を丸い形状にしているのでキャリア内で展開を図ってもキャリアを損傷することはない, ロケットの動作に影響を及ぼすことはない。図5.7より, スタビライザはメジャーで作成されており, キャリア内で展開を図ってもキャリアを損傷することはない。
- よって, CanSatにロケットに損傷を負わせる可能性のある機構や物質を搭載していないことが確認された。

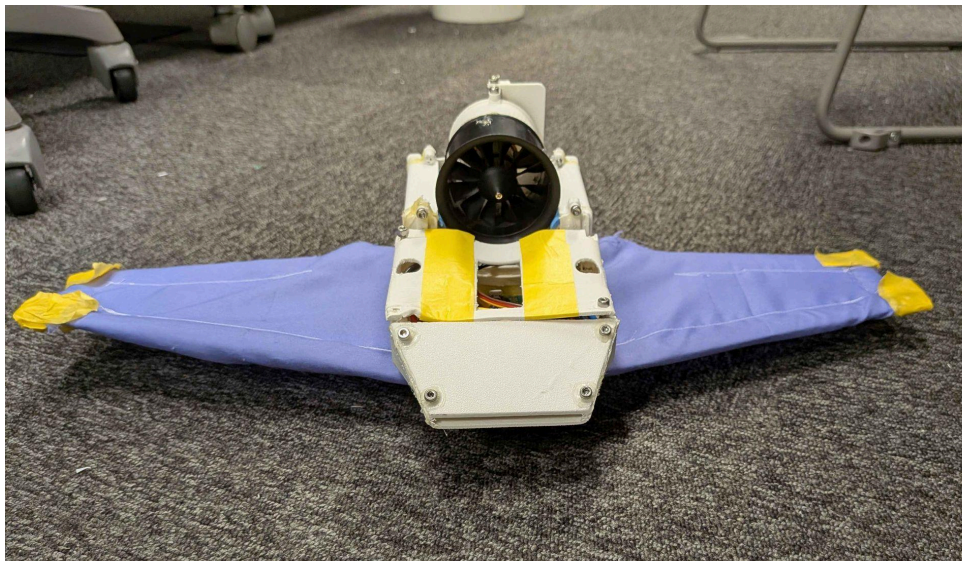


図5.6 浮遊ローバ前面

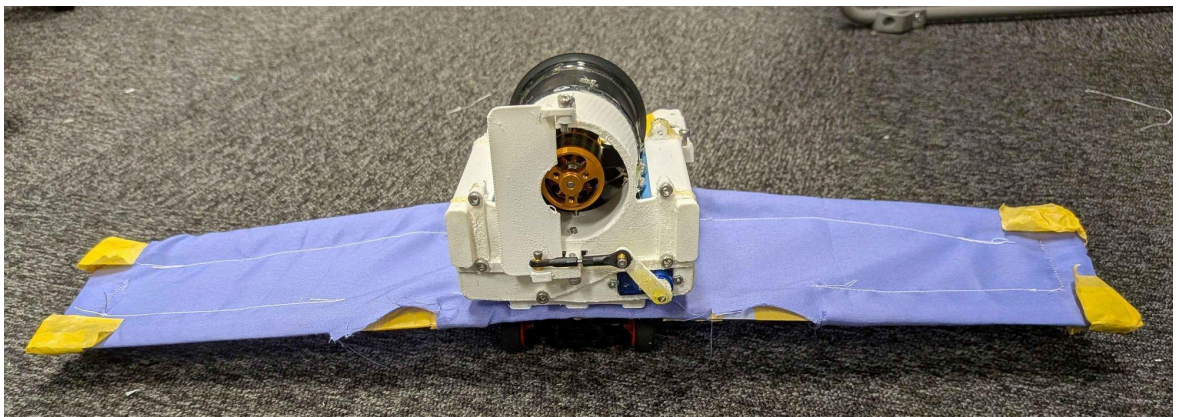


図5.7 浮遊ローバ背面

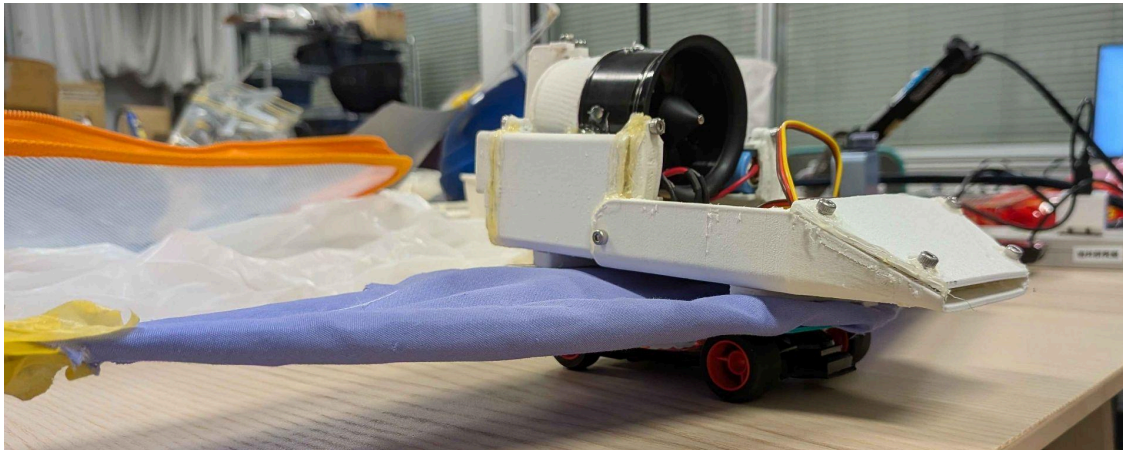


図5.8 浮遊ローバ斜め前方

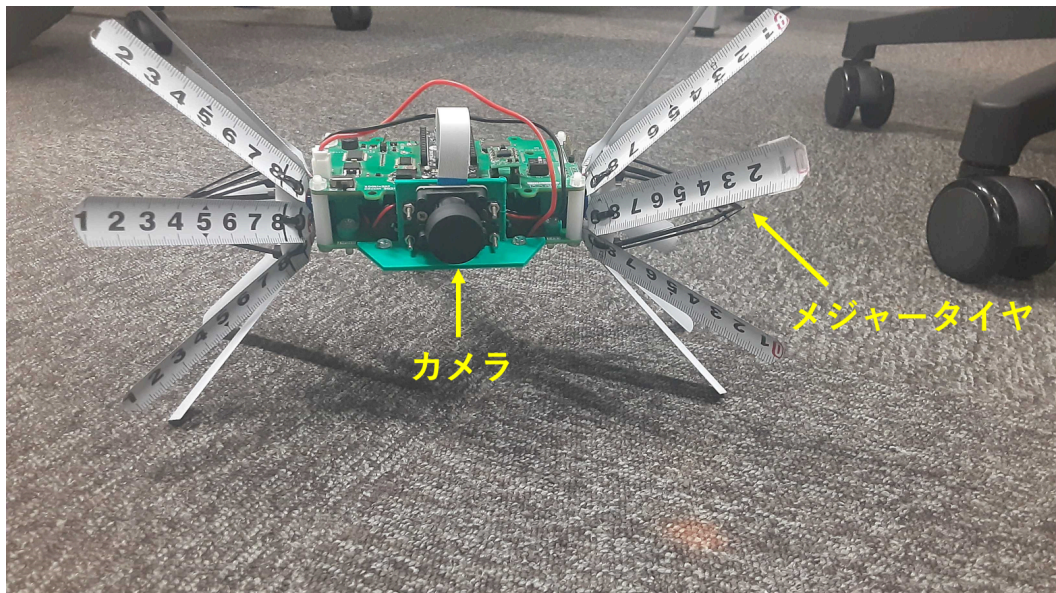


図5.9 車輪ローバ前面

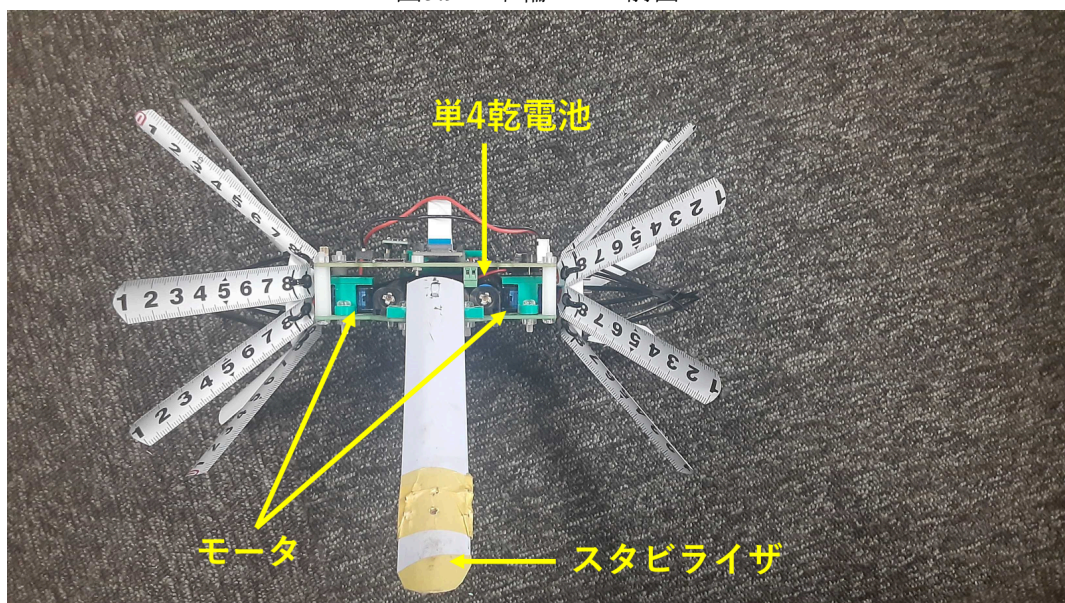


図5.10 車輪ローバ裏面

RV12 落下時制御確認試験(実施)

- 目的
 - CanSatが制御されることなく着地することを確認する.
- 試験内容
 - 滞空時の浮遊ローバと車輪ローバは状態を検知するセンサ値の取得のみを行い, 駆動系などを用いた制御が行われないことを確認する. 車輪ローバの着地信号を受け取った後に浮遊ローバの制御が開始されることを確認する.
- 試験結果
 - 1.2節の図1.2.4ミッションシーケンスフローチャートを確認することにより, 駆動系などを用いた制御が行われないことを確認した. 浮遊ローバと車輪ローバが動作を開始するタイミングは, 「ケースから展開完了信号を受信」もしくは, 「ケースからの展開完了信号を受信できずに10分経過」である. そのため, 浮遊ローバと車輪ローバの駆動系が滑空時に動作することはないことが確認できた.

RV13 開傘衝撃試験(追加実施)

- 目的
 - ローバを包んでいるケース部分がロケットから放出され, パラシュートが開傘する際の衝撃に結合部が耐えられることを確認する
- 試験内容
 - Cansatを包むケースの部分に接合されているパラシュート部を持ち, 図5.11に示す1kg弱の重り載せたをケースを落下させて紐の長さ分の自由落下の衝撃13G以上をパラシュートに与える. これを数回繰り返し, ケースとパラシュートの結合部分に損傷等がないことを確認する. また, この実験中の加速度センサの値をGoogle社が提供しているPixel3の加速度センサを用いて確認する.



図5.11 開傘衝撃試験に用いた模擬的な重り

- Pixel3を用いる理由として, Bパーツに搭載されている9軸センサでは4Gまでしか計測できないた

め、本実験ではPixel3を用いる。

- また、CanSatはRV7分離衝撃試験より、40Gの衝撃に耐えられることを確認しているため、本実験ではケースとパラシュートの結合部分が耐えられるかどうかを追加試験によって確認する。

(参考) 開傘衝撃試験で与える加速度(13 [G])の根拠

開傘衝撃を決定するにあたって、ARLISS2024_電気通信大学_LastHighballチームの審査書で用いられている値を参考にした。

審査書URL :https://unisec.jp/history/arliiss2024/13_LastHighball.pdf

- 試験結果

試験で得られた機体の重力加速度のグラフを以下の図5.12に示す。縦軸は重力加速度G、横軸は時間を示している。

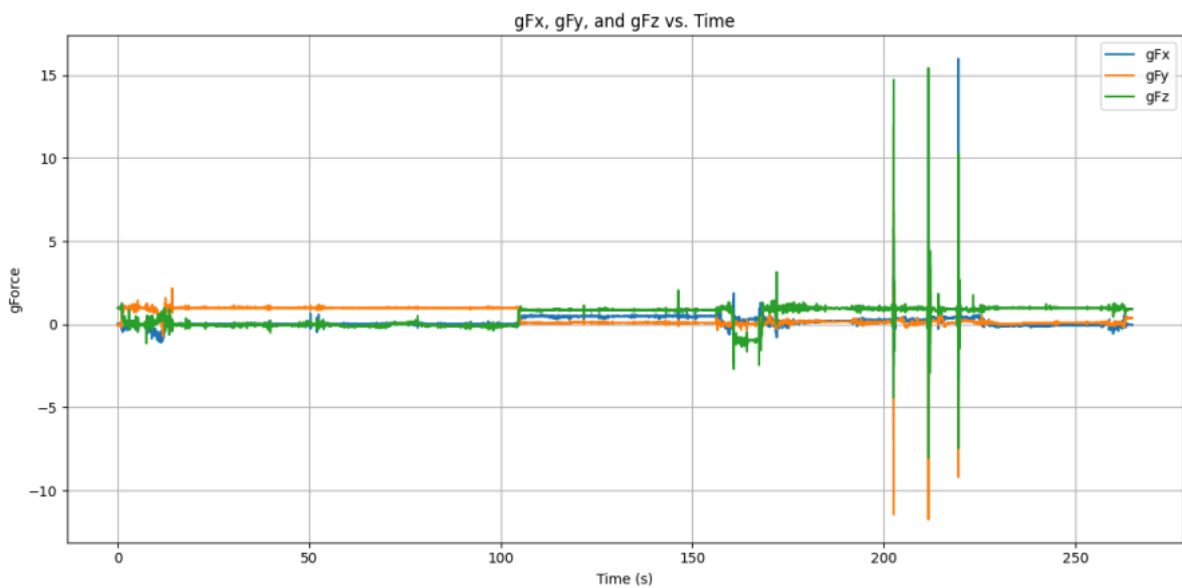


図5.12 Pixel 3 で取得できた開重力加速度の値

試験映像リンク:[開傘衝撃試験.MOV](#)

3:46～ 衝撃試験開始

また、実際に実験後の結合部の写真を図5.13に載せる。実際のケースの破損状況では特に問題はなく、実際の打ち上げにおいてもケースの結合部分、結合している糸が切れることはないと考えられる。

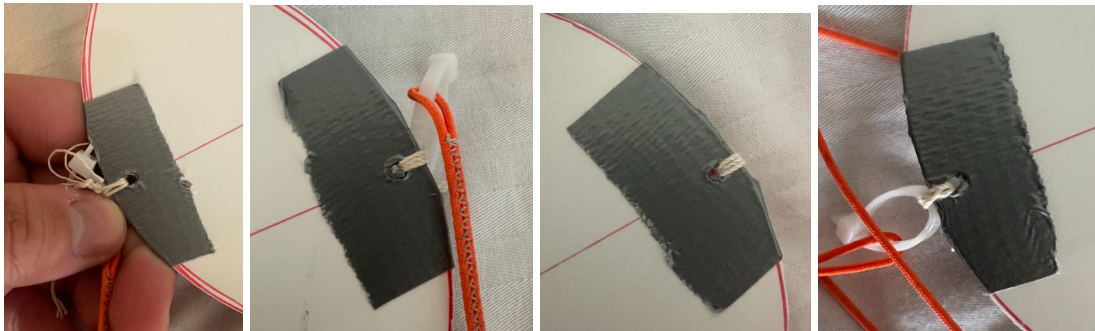


図5.13 実験後のケースとパラシュートの結合部分4点

- 結論
CanSatやパラシュート接合部は開傘衝撃に耐えられることが確認できた。

第5.2節 ミッションを達成するためのシステム試験

CRV1 End-to-End試験 (実施)

- 目的
 - CanSatがミッションを行う上での全シーケンスを一連の流れとして遂行できることを確認する
- 試験内容
 - CanSatがミッションを行う上で質量測定, キャリア収納, 放出判定, 着地判定, パラシュート切り離し, ナビゲーション, CanSat分離シーケンス, ゴール判定シーケンスまでの全シーケンスを一連の流れとして自律的に制御できることを確認する.
- 試験結果
試験結果を以下の表5.7に示す

表 5.7 EndToEnd試験の結果1

	質量測定	キャリア 収納・放出	放出 判定	着地判定	パラシュート切り離し
1回目	失敗	成功	成功	成功	成功
2回目	成功	成功	成功	成功	成功

	ローバ 分離	ゴール 判定	ミニマムサクセ ス判定	ミドルサクセス 判定	フルサクセ ス判定	映像リンク
1回 目	-	-	○	×	×	end to end1st.MOV
2回 目	-	-	×	×	×	end to end 2nd.MOV

CRV2 制御ログ取得試験 (実施)

- 目的
 - ミッション後, 規定された制御履歴レポートを提出するため, 得られたログデータから制御履歴レポートを作成する.
- 試験内容
 - End-to-End試験で得られた制御履歴に関するログデータから提出用の制御履歴レポートを実際に作成する.
- 試験結果
 - 下記に車輪ローバのログデータを示す. 尚, この時点ではAパーツの制御ログは記録されていない. 原因が不明で, 基板から制御ログを取ることができなくなっているためであるが, comeback ミッションではなく今回はコンセプトの提案という体裁であるためログを取らなくても良いとここでは判断した.

また図 ではBパーツのカメラから取得出来た画像も載せている.

表5.8 Bパーツシステムログ

```
CansatController: begin() started
Power On (Supply)

=== Configuration Dump ===
[Calibration] Timeout: 300000
[Standby] Alt: 20.00, Timeout: 600000
[Launch] Cds: 400, Timeout: 300000
[Drop] Timeout: 300000
[Escape] Distance: 0.50, Timeout: 15000
[Detection] MaxFailedCount: 25
[Recording] Timeout: 10, Time: 25000
=== End of Configuration Dump ===

CansatController: GNSS initialized successfully
CansatController: BNO055 initialized successfully
CansatController: begin() finished
timestamp: log
5367: config StandbyState
5370: Entering StandbyState
605631: Timeout. Change to LaunchState
605634: Exiting StandbyState
608260: Entering LaunchState
908575: Timeout. Change to DropState
908578: Exiting LaunchState
910930: Entering DropState
911434: CansatController: Twelite initialization started
1211592: Timeout. Change to EscapeState
1211595: Exiting DropState
1213939: Entering EscapeState
1228984: Timeout. Change to DetectionState
1228988: Exiting EscapeState
1231330: Entering DetectionState
1232590: Detection mode set
1232594: Succeed to initialize Edge Impulse
1232661: Failed too many times. Change to RecordingState
1232665: Exiting DetectionState
1233414: Entering RecordingState
1234750: Recording mode set
1234816: Timeout. Recording start
1234819: Recording started
1259845: Recording finished
1259848: Finished recording. Changing to ExploreState
1259851: Exiting RecordingState
1260531: Entering ExploreState
1261791: Explore mode set
1281137: Can't Move. Changing to HELPING_STATE
1281140: Exiting ExploreState
1281821: Entering HelpingState
1281888: TurnSignal sent
1281955: TurnSignal sent
1282020: TurnSignal sent
```

1282085: TurnSignal sent
1282150: TurnSignal sent
1282216: TurnSignal sent
1282282: TurnSignal sent
1282348: TurnSignal sent
1282434: TurnSignal sent
1282500: TurnSignal sent
1282567: TurnSignal sent
1282633: TurnSignal sent



図5.11 End to End試験時のBパーツ取得画像

第5.2節 ミッションを達成するためのシステム試験

MV1 着地衝撃耐久試験(実施)

- 目的
 - 着地衝撃の付与後であっても、CanSatに損傷が無くミッション継続可能であることを確認する
- 試験内容
 - RV4.パラシュート投下試験で算出したパラシュートを用いて落下した時の終端速度5.5 [m/s]である。この終端速度をもとに本番で想定される着地時の衝撃を与えるために必要な高さ h [m]を以下の式で求める。算出した高さより高い位置からCanSatを自由落下させることで本番同様の着地衝撃を与える。着地後、走行開始までのシーケンスを実施し、センサ類とモータ類、およびCanSat本体に損傷がないことを確認する。なお、 g は重力加速度9.8m/sとする。

$$h = \frac{v^2}{2g}$$

以上より実際の落下衝撃に相当する高さは1.54[m]である。本試験ではこの高さより高い約1.6[m]からCanSatを自由落下させることで、本番同等の着地衝撃を与える。その後、落下から走行開始までのシーケンスを実施し、センサ類とモータ類、およびCanSat本体に損傷がないことを確認する。

また、センサ類の確認としてBパーツをメインに、

・光センサ, カメラ, 9軸,GNSSのセンサ類の値をとれることを一連の試験の流れで確認する.

● 試験結果

以下の表5.9に試行結果を示す. また, 実験時の様子と, その後別でBパーツの性能試験を行った動画を添付する.

表5.9 着地衝撃試験の結果

試行回	CanSatの 外的損傷	センサ類	モータ類	シーケンス動 作	映像
1回目	なし	正常な値が取得 できた.	正常に動作 した.	正常に動作 した.	

- データログ:[MV1_着地衝撃耐久試験.MOV](#)
: Bパーツ機能検査 [B_success.MOV](#)

● 結論

- 現状としては着地の衝撃がかかっても, 外観状態, センサ値の取得, 動力系, シーケンスの動作に問題がない.

MV2 機体分離試験 (実施)

- 目的
 - 浮遊ローバと車輪ローバが着地後, パラシュートがついているケースから分離できることを確認する.
- 試験内容
 - パラシュートとともに浮遊ローバと車輪ローバを自由落下させ, 着地後にパラシュートがついたケースから機体が分離できることを確認する.
 - 試験結果 CRV1 End-to-End試験にて分離できることを確認.

ログデータ

1回目 [end to end1st.MOV](#) キャリアとの分離10:42~ ケースcdsセンサ反応

2回目 [end to end 2nd.MOV](#) 分離 18:00~ ケースcdsセンサ無反応, timer起動

MV3 カメラ映像取得試験 (実施)

- 目的
 - 車輪ローバが走行時に撮影した映像がMicroSDに保存できているかを確認する.
- 試験内容
 - 2つのローバが正常に着陸したと仮定し, 車輪ローバは数m先に設置された浮遊ローバにカメラを向け, 浮遊ローバ動作の様子を撮影できることを確認する.
- 試験結果
 - 車輪ローバが浮遊ローバの発進を動画としてmicroSDに保存できていること, PCを用いてmicroSDのデータの確認ができた.

試験結果:[MV3_カメラ映像取得試験 - Googleドライブ](#)

MV4 走行性能確認試験 (実施)

- 目的
 - CanSatが目的地に到達するために必要な走行性能を有することを確認する.
- 試験内容
 - 車輪ローバと浮遊ローバについて数 cm程度の段差がある荒地や河川敷などで下記動作

- が行えることを確認する.
 - 確認事項
 - 前進可能か
 - 旋回可能か
- 試験結果
 - 浮遊ローバは必要な動きである前進移動を確認した. また, 左右に舵が取れることも確認できた.
 - 車輪ローバは前進移動と旋回移動を確認した.

試験動画:[MV4_走行試験 - Googleドライブ](#)

第6章 工程管理

ガントチャートは以下のリンクに示すスプレッドシートで管理を行っている. ガントチャートは浮遊ローバと車輪ローバで分けている.

“本体”シートの方に現在のタスクが入力されている. 各項目の進捗は進捗状況の欄で管理されており, それぞれ意味は以下のとおりである.

- Backlog: まだ作業を開始していない
- InProgress: 作業中
- Test & Confirming: タスクが完了したかチェック
- Done: 終了(灰色で塗られる)
- Canceled: タスク中止(黒塗り, 不必要になったタスクの意)

浮遊ローバガントチャート:[ARLISS2025ガントチャート_浮遊ローバ - Google スプレッドシート](#)

車輪ローバガントチャート:[ARLISS2025ガントチャート_100kinsat - Google スプレッドシート](#)

No.	優先度	大項目	中項目	小項目	進捗状況	着手日	完了日	担当者	開始目標(必ず書く)	終了目標(必ず書く)
1	5日以上	本日の日付		2025年6月30日						20 20 20 20 20 20
2	締め切り	3・4日	calendar開始日	2025年4月17日						月 4 4 4 4 4 4
3	切り	1・2日	本番	2025年9月11日						日 17 18 19 20 21 22 23
4	0・締め切り	本番まで残り		73日	タスク管理シート					曜 日 木 金 土 日 月 火 水
					各項目を埋めて進捗を管理する					
6	1	***	全体	立案	ミッション機製造	Done	4/11 4/18	全員	4/11	4/18
7	2	**	全体	立案	ミッション, ミッションテストメント&サケ	Done	4/24 5/8	全員	4/24	5/8
8	3	***	全体	立案	ミッションテストメント&サケスライダ	Done	5/8 5/15	全員	5/8	5/15
9	4	***	全体	資料作成	ARLISS予備書書	InProgress	6/30 7/4	全員	6/19	6/26
10	5	***	全体	資料作成	ARLISS本番書書	InProgress		全員	7/28	8/4
11	6	***	全体	実験	パラシュート投下試験	InProgress		全員	7/21	7/21
12	7	***	全体	実験	重量試験	InProgress		全員	7/10	7/10
13	8	***	全体	実験	収納放出試験	InProgress		全員	7/10	7/10
14	9	***	全体	実験	開傘衝撃試験	InProgress		全員	7/21	7/21
15	10	***	全体	実験	着地衝撃試験	InProgress		全員	7/21	7/21
16	11	***	全体	実験	準静的荷重試験	InProgress		全員	7/20	7/20
17	12	***	全体	実験	走行性能試験	InProgress		全員	7/21	7/21
18	13	***	全体	実験	電力耐久試験	InProgress		全員	7/30	7/30
19	14	***	全体	実験	長距離通信試験, 通信周波数変更試験	InProgress		全員	7/8	7/8
20	15	***	全体	実験	分離試験	InProgress		全員	7/21	7/21
21	16	***	全体	実験	分離時通信確立試験	InProgress		全員	7/21	7/21
22	17	***	全体	実験	衝突回避試験	InProgress		全員	7/21	7/21
23	18	***	全体	実験	振動/分離衝撃試験	InProgress		全員	7/21	7/21
24	19	***	全体	実験	E2E試験	InProgress		全員	7/30	7/30
25	20	***	全体	実験	制動履歴レポート作成試験	InProgress		全員	7/30	7/30
26	21	***	全体	試験	2輪走行開始確認試験	InProgress		全員	7/30	7/30
27	22	***	全体	試験	分離状態判定試験	InProgress		全員	7/21	7/21
28	23	**	ソフト	環境構築	リポトリ作成	Done	5/11 5/11	ソフト班	5/11	5/18
29	24	***	ソフト	環境構築	SD環境構築	Done	5/11 5/11	ソフト班	5/11	5/18
30	25	***	ソフト	環境構築	コード整理	InProgress		ソフト班	5/11	7/1
31	26	***	ソフト	環境構築	SDイメージbackup	InProgress		ソフト班	5/11	7/1
32	27	***	ソフト	環境構築	SPRESENSE開発環境構築	Done	5/11 5/14	ソフト班	5/11	5/18
33	28	***	ソフト	設計	機架出来	Cancelled		ソフト班	5/11	5/25
34	29	***	ソフト	設計	機架復旧案	Done	5/11 5/16	ソフト班	5/11	5/18
35	30	***	ソフト	設計	反転復旧案	Done	5/11 5/16	ソフト班	5/11	5/18
36	31	***	ソフト	設計	浮遊ローバとの通信案	InProgress	5/11	ソフト班	5/11	7/5

図6.1 ガントチャート外観

第7章 大会結果報告

第7.1節 目的

地面効果翼機による高速探査と、ヘテロローバシステムの技術実証

第7.2節 打ち上げ1回目結果

第7.2.1項 サクセスクライテリア達成状況

本項では、打ち上げ1回目のサクセスクライテリア達成状況について説明する。

1回目打ち上げでは、打ち上げた機体を発見することはできたが、ケースが展開せず、AパーツとBパーツの移動を開始できなかった。

ケースは、打ち上げ衝撃や落下衝撃などで接触不良などを起こすことなく、フロー通り動作していたが、ニクロム線の加熱時間が短く、テグスw焼き切ることができなかった。

Aパーツについては、ケースの展開前からダクトファンに信号が流れているときに生じるモータ音が確認でき、さらに、ケースを手動で展開した後、Aパーツがフロー通りに動作していることを確認できた。

Bパーツについては、落下衝撃により乾電池が外れてしまい、動作を開始することができなかった。

以上の結果より、打ち上げ1回目では、ミニмумサクセス、フルサクセス、エクストラサクセスを達成することはできなかった。

	内容	確認方法	結果
ミニмумサクセス	・CanSatがパラシュートを分離、移動を開始	パラシュートの分離と機体の移動開始を目視で確認する。	×
フルサクセス	・浮遊ローバが3分間移動する ・車輪ローバが画像データの撮影に成功する	浮遊ローバの移動時間を計測する。 車輪ローバが取得した画像データを確認する。	×
エクストラサクセス	・車輪ローバが移動中の浮遊ローバを撮影	車輪ローバが撮影した映像の中に浮遊ローバの移動中の様子が含まれていることを確認する。	×

第7.2.2項 Aパーツ制御概要

2025年9月9日

(ログデータによる判別が不可能なため動画によるデータの判別と録画媒体のバッテリー不足により、動画が分割されている)

[動画種別]	内容	動画時間
•[動画A]	電源 / プログラム起動	00:28:03
•[動画A]	ロケット打ち上げ	01:12:00
•[動画A]	CanSat発見	01:35:01
•[動画B]	Aパーツ起動	00:20:32
•[動画B]	リタイヤ	00:24:31

第7.2.3項 Bパーツ制御概要

2025年9月9日

機体の電力不足でログデータが所得出来ずログデータではなく、動画などの記録より記述する

[動画種別]	内容	動画時間
•[動画A]	電源 / プログラム起動	00:28:03
•[動画A]	ロケット打ち上げ	01:12:00
•[動画A]	CanSat発見	01:35:01
•[動画B]	リタイヤ	00:24:31
•[動画B]	Bパーツ確認	00:25:28

第7.2.4項 ケース制御概要

[動画種別]	内容	動画時間
•[動画A]	電源 / プログラム起動	00:28:03
•[動画A]	ロケット打ち上げ	01:12:00
•[動画A]	CanSat発見	01:35:01
•[動画B]	リタイヤ	00:24:31
•[動画B]	手動でテグス切断	00:25:16

第7.3節 打ち上げ2回目結果

第7.3.1項 サクセスクライテリア達成状況

本項では、打ち上げ2回目のサクセスクライテリア達成状況について説明する。

2回目打ち上げでは、打ち上げた機体を発見することはでき、ケースの展開が確認でき、Bパーツの移動が確認できた。しかし、Aパーツは落下衝撃でバッテリーの接触不良が生じ、動作できなかった。

ケースは、1回目よりニクロム線の加熱時間を1s(事前検証で1s加熱時間を増加させれば安定してケースを展開できることを確認)増加させた結果、フロー通り動作し、展開することができた。

Aパーツについて、ロケットを発射台に設置した際は、ダクトファンに信号が流れているときに生じるモータ音が確認できたが、着地後に機体を発見したときにはモータ音が聞こえず、機体回収後にバッテリーに接触不良であることがわかった。

Bパーツについては、ケース展開後、ケースから脱出してフロー通り動作したことが確認できた。

	内容	確認方法	結果
ミニマムサクセス	•CanSatがパラシュートを分離、移動を開始	パラシュートの分離と機体の移動開始を目視で確認する。	×

フル サクセス	・浮遊ローバが3分間移動する ・車輪ローバが画像データの撮影に成功する	浮遊ローバの移動時間を計測する。 車輪ローバが取得した画像データを確認する。	×
エクストラ サクセス	・車輪ローバが移動中の浮遊ローバを撮影	車輪ローバが撮影した映像の中に浮遊ローバの移動中の様子が含まれていることを確認する。	×

第7.3.2項 Aパーツ制御概要

2025年9月12日

(ログデータによる判別が不可能なため動画によるデータの判別を行う)

[動画種別]	内容	動画時間
・[動画A]	電源 / プログラム起動	00:01:00
・[動画A]	ロケット打ち上げ	00:38:45
・[動画A]	CanSat発見	00:47:47

第7.3.3項 Bパーツ制御概要

[動画種別]	内容	動画時間
・[動画A]	電源 / プログラム起動	00:00:31
・[動画A]	ロケット打ち上げ	00:38:45
・[動画A]	CanSat発見	00:47:47

第7.2.4項 ケース制御概要

[動画種別]	内容	動画時間
・[動画A]	電源 / プログラム起動	00:00:03
・[動画A]	ロケット打ち上げ	00:38:45
・[動画A]	CanSat発見	00:47:47

第7.4節 考察

第7.4.1項 Aパーツの動作について

本項では、現地で行った2回のミッションにおける、それぞれのAパーツの動作や状態、その原因について考察する。また、地上動作試験の結果についても同様に考察する。

1回目の打ち上げにおいて、Aパーツは着地後も生存が確認できた。ケースが展開しなかったため、走行はしなかったが、ケースの内部でダクトファンが回転していることが確認できた。一方、機体には図7.4.1.1に示すように、ラダーの破損が確認された。これは、機体の軽量化を図るために部品を薄くしたことや、着地時の衝撃力により生じる、部品隅部への応力集中を十分想像せずに設計を行った事によるものであるといえる。また、ラダー下部のボールジョイント部の破損も見られるが、これは、展開しなかったケースの内部でラダーが動作しようとしたことによるものであり、設計や加工に問題は無かったものと考えている。



図7.4.1.1 1回目の打ち上げによるラダーの破損

2回目の打ち上げでは、着地時の衝撃により、機体後部の部品が破損し、着地後に動作を確認することができなかった。これは、機体軽量化のために使用した発泡PLAの特性上、部品自体が脆くなる点や、その脆性を十分に理解した設計を行うことができていなかったことによるものであるといえる。特に、電池と電極との接点に近い部分が破損したことにより、適切に電極が接することができなくなり、機体全体の電源が遮断されたことが、着地後に動作をできなかった直接の原因であるといえる。

発泡PLAにより製作した部品の脆さについては、事前の試験において確認していた。試験において判明した、強度が不十分な部分は、筋交い状の形状を採用するなどして強度の向上を図った。各種試験は合格できていたが、パラシュート降下からの着地に耐えるには、強度が不十分であったことがミッションでの破損により判明した。

地上動作試験においては、最高速度約8 km/hでの速度が実現された。速度記録としては史上最速タイであった。しかし、ダクトファンの推力が、電圧12.6 V・電流32.0 Aのとき、最大780 gfに達することを考えると、その性能を十分に活かすことができているとはいえない。

その原因として、走行中の機体と地上が常に接触し続けたことを考えられる。本機体では、強度や軽量化を考慮し、走行部分のパーツにミニ四駆のシャーシを使用した。ミニ四駆のシャーシ底面が砂漠表面の凹凸に接触を繰り返したことで、加速が妨げられたと考えられる。それ以外にも、機体のロール方向の姿勢制御を行うことができていなかったことで、安定した姿勢での走行を行うことができなかったこと、それによって翼端が地面へ接触を繰り返したことも、加速の妨げになったと考えられる。



図7.4.1.2 地上動作試験の様子

第7.4.2項 Bパーツの動作について

1回目の打ち上げにおいて、着地後に動作することが確認できなかった。回収後、ログを確認したところ、43分以降のログが存在しなかった。機体を確認したところ図7.4.2.1に示すように、電池が2個ほど電池ホルダーから外れていたため、打ち上げ時、ロケット内、落下時のいずれかで外れたと考えられる。

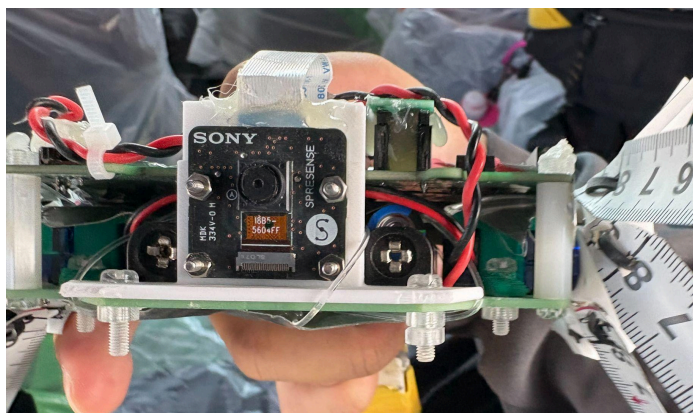


図7.4.2.1 1回目の打ち上げによる電池外れ

2回目の打ち上げにおいて、着地・ケース展開後に動作を確認できた。しかし、図7.4.2.2に示すようにスタビライザーが打ち上げ時、ロケット内、落下時のいずれかで破損したため、その場で機体が回転するだけで、走行することはできなかった。

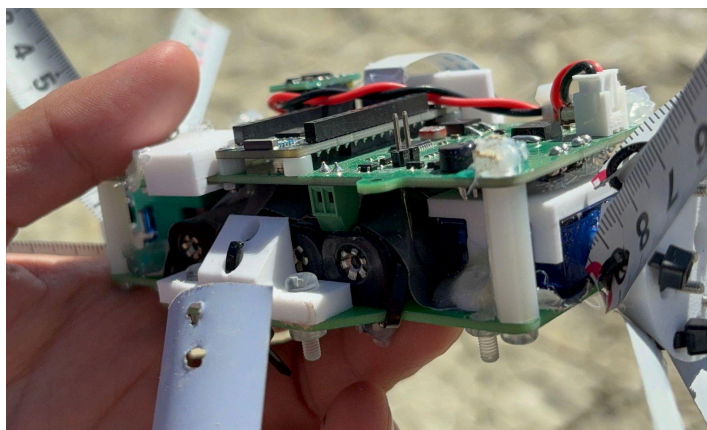


図7.4.2.2 2回目の打ち上げによるスタビライザーの破損

第7.4.3項 ケースの動作について

この項では2回行ったミッションにおけるケースの動作と結果に至る原因について考察を行う。ただし、ケースの動作完了状態とは、着地後にニクロム線によってテグスを焼き切って円筒側面部が展開し、各A・Bパーツが動作開始できる状態になる状態を指す。

まず、1回目の打ち上げにおいて、着地後のケースは図7.4.3のように展開しなかった。キャリア放出後にケースに搭載している基板のCdsセンサが外光を検知した後、一定時間後にニクロム線の加熱を開始する手筈であったが、基板のRaspberryPiのLED点灯によるステータス遷移確認では、ニクロム線加熱終了となっていたものの、実際にテグスは焼き切れておらず、ケースの素材であるPPに焼きついてしまっていた。この原因は当時のニクロム線の加熱時間4sが短かったためと考えられた。そのため、ケース展開プログラムのうち、ニクロム線の加熱時間を1s長い5sと設定しなおして、RaspberryPiに書き込んだ。



図7.4.3.1 1回目の着地後のケース

次に2回目の打ち上げにおいて、着地後のケースは想定時間よりも遅れて展開した。書き込んでいたコードではキャリア放出後にCdsセンサが外光を検知して15分後、または検知せず1.5時間後にニクロム線を加熱する手筈であった。しかし、図7.4.3.1のように着地したケースのRaspberryPiを確認すると、LED点滅がロケット内での待機フェーズを示していたことがわかった。その後、図7.4.3.2のようにケースは1時間後に無事展開し始めたが、Bパーツの動作開始に間に合わず、ケース内でBパーツのタイヤが回転、一定の動作を終えて沈黙した。この原因として、着地時の衝撃によってRaspberryPiのリブートボタンが地面と接触し、RaspberryPiが再起動してしまったことが考えられる。



図7.4.3.2 2回目の着地1時間後、展開中のケース



図7.4.3.3 2回目の着地後、展開終了したケース

第8章 まとめ

第8.1節 工夫点・努力した点

- Aパーツ

- ハード班

- どのような機体を設計・製作すればよいのか全くわからなかったため、「強力なファンで、重い機体を動かす」というコンセプトと、「小型軽量なコアレスモータで、非常に軽量な機体を動かす」というコンセプトそれぞれに基づいて3種類の機体を設計・製作した。その中で、最も砂漠での動作可能性が高いと考えられる機体を現地で使用できるように再設計し、実験を行った。
- 機体が飛行するための速度要件に近づくため、車輪を取り付け、スムーズに滑走するようにした。また、翼面積を確保するために折りたたみ可能な翼を設計・製作した。
- 機体重量の軽量化を図るため、構成部品に軽量の発泡PLAを採用した。また、機体全体の部品厚さを極力薄くし、機体の造形に使用されるフィラメントの量が少なくなるようにした。
- 脆い発泡PLAで製作された、薄い部品で構成される機体であることから、電池やダクトファンなどの重量物が機体の離れた場所に配置されていると、部品にかかる応力が大きくなると考えた。そのため、電池とダクトファンは近くに配置した。
- 短期間での設計変更や現地での組み立て・補修を考慮し、電池を固定するパーツや、ダクトファンを固定するパーツなど、重量が嵩まない範囲でモジュール化を意識した。
- お盆には大学で活動できなかったが、別のキャンパスにお邪魔することで活動を維持した。

- ソフト班

- Aパーツ、ケースで2次利用が可能なようなクラス設計や誰でもパラメータ調整が行えるような形式でプログラムを作成した点
- 時間が少ない中でできる限りの実装を行った点
- 単体テストをすべてのセンサ、モジュールで行えた点

- Bパーツ

- ハード班

- タイヤの制作にてタイヤの自由度をあげ尚且つわだちを乗り越えるためにメジャーを使用し、ケース内にAパーツとBパーツを格納することをできるようにした
- タイヤの形状に斜面をつけることでメジャーがわだちに入る確率を減らすことができた
- カメラボードの固定を行うことで撮影の際にカメラボードがぶれないように固定した
- SDカードが抜けないようにカバーを作成した

- ソフト班
 - もしBパーツの機体の電源が瞬断したとしても、すぐにリカバリーできるように、SDカードとフラッシュに状態を書き込み復帰できるようにした。
 - Aパーツを探索する際、物体検知(TinyML)をできるようにして、他のセンサの情報や通信などを頼りにすることなく、BパーツのカメラのみでAパーツの探索を可能とした。
 - ユーザ設定値をファームウェアの再書き込みせずにSDカード内のファイルを編集することで変更できるようにした。
 - センサ、アクチュエータ、I/Oなどの処理をクラスとして抽象化し、統一的なAPIとして提供した。利点として、ハードウェア依存の隠蔽、同じAPIを複数の状態から呼び出せる再利用性、ハードウェア変更時もAPI層飲みを修正すれば良いといった移植性がある。また、複雑なハードウェア制御を簡単なメソッド呼び出しで実現できるようになっている。
 - CanSatのミッション遂行を8つの状態に分割し、State Pattern(ステートパターン)を採用した。利点として、独立したクラスファイルに分離されているため、特定の状態のバグ修正や機能追加が容易になる。また、状態遷移の流れが明確にであり、新しい状態を追加しても既存のコードに影響を与えない設計となっている。
- ケース
 - ハード班
 - 8月初頭までケースの構想ができておらず、3週間程度で設計し、組み立てまで行った。
 - お盆には大学で活動できなかったが、別のキャンパスにお邪魔することで活動を維持した。
 - 毎日のように形状が変わるA、B双方のパーツをレギュレーション寸法内に収納し、かつテグスを焼き切ってスムーズに展開するための閉じ方を考案したこと。
 - キャリア搭載時のスムーズな収納をするため、現地で増加した容積をテグスで抑えつつ、ケース基板のRaspberryPiの電源投入をケース円筒底部からはみ出したタイラップを引っ張ることによって容易に行えるようにしたこと。
 - ソフト班
 - Aパーツ、ケースで2次利用が可能なようなクラス設計や誰でもパラメータ調整が行えるような形式でプログラムを作成した点
 - 単体テストをすべてのセンサ、モジュールで行えた点
 - お盆には大学で活動できなかったが、別のキャンパスにお邪魔することで活動を維持した。
- ロジスティクス
 - 他大学からの参加であったが、時間を見つけて指示出しをすることを徹底したこと、顔をしっかりと出して自分の存在感を出すことによってチームメンバーとの団結力や、実際の行動の速さに響いた。
 - 自分の今までの知見を新しいチームにうまく適応させるために泥臭く作業に参加し続け、一番最短とは言わなくても、限られた時間で結果を出すことができた

第8.2節 課題点

- Aパーツ
 - ハード班
 - 複数のコンセプトに基づき、複数の機体を同時並行して開発したことで、開発期間が足りなくなった点。
 - 上述の理由により、打ち上げモデルの設計・製作・試験をできる期間が2週間になってしまった点。
 - 使用するフィラメントを部品ごとに適切に管理することができなかった点。発泡PLAの特性を踏まえ、強度の必要な部品では他のフィラメントを使用するなど、より工夫をするべきであった。
 - 強化コンベックスを用いた折りたたみ可能な翼を設計、製作した。強化コンベックスを骨組みとし、ビニール生地を縫い付けた。しかし、縫い付けに粗さが出てしまい翼の張りに差が生じてしまった。また、海外に持ち込む際、縫い付けを行ってしまうとキャリーケースに入らないため、渡米先で手縫いでビニール生地を縫い付けた。これにより強度に不安が出てしまった。
 - 開発期間の都合上、ロール・ピッチ方向の姿勢安定化機構を搭載することができなかった点。来年度以降はロール・ピッチ方向の姿勢安定化機構を搭載し、フライトコントローラを用いるなどして姿勢制御を行いたいと考えている。
 - 強風の向きによっては、ダクトファンを全開で回しているにも関わらず、その場に静止することがあった点。ダクトファンの推力と空気抵抗が釣り合うことがあったため、安定して走行させるためには、更なる推力が必要と考えられる。ダクトファンを増やすなどして推力の増加を図りたい。
 - エレキ班
 - 機体コンセプトに適合するバッテリーの選定などに時間がかかってしまった点
 - 機体設計のコンセプト変更により新規に基板を設計することが必要となったため慌ただしいスケジュールとなってしまった点。
 - 使用するマイコンやセンサなど必要な機能の資料をまとめが足りず複数の設計を並行して進めなければならなくなった点。
 - ソフト班
 - マイコンやセンサなどの選定を手早く行えず、単体テストが7月までかかった点
 - 制御フローの構築が遅かったため、要件が不明瞭であった点
 - 誰でも理解でき、編集できるコードにできなかった点
 - クラス化、ライブラリ化を検討するべき
- Bパーツ
 - ハード班
 - メジャーの展開が甘く地面に立たないことがあった
 - CADの制作が甘く作成に時間を要してしまった
 - 乾電池の格納が振動で取れてしまう現象が発生した
 - スタビライザーが外れてしまい固定ができていなかった

- 3DCADの共有が出来なかったことでメンバーに説明する時間がなかった
- ソフト班
 - 想定外の動作やエラー発生時など、異常系への対処が甘かった.
 - マイコンにSPRESENSEを使用したにもかかわらず、シングルコア・シングルスレッドでの開発となってしまったため、マルチコア・マルチスレッドでの開発が行えると、さらにパフォーマンスの良い機体の開発が可能であると考えられる.
 - 開発フレームワークがArduinoであり、SPRESENSEの機能を完全に活かすことができていないため、Sony社が提供しているSPRESENSE SDKを利用することで、マルチコアでの開発と同様に、さらにパフォーマンスの良い機体の開発が可能であると考えられる
- ケース
 - ハード班
 - 8月初頭までケースの構想ができておらず、3週間程度で設計し、組み立てまで行ったため、収納試験や着地衝撃試験等、耐衝撃性を考慮した構造設計が十分でなかった.
 - お盆には大学で活動できず、作業時間があまり取れなかった.
 - 日々変化するA・Bパーツの容積を収納するため、ケース寸法を最後まで決定できなかった.
 - エレキ班
 - 機体コンセプトに適合するバッテリーの選定などに時間がかかってしまった点
 - 機体設計のコンセプト変更により新規に基板を設計することが必要となったため慌ただしいスケジュールとなってしまった点.
 - 使用するマイコンやセンサなど必要な機能の資料をまとめが足りず複数の設計を並行して進めなければならなくなった点.
 - シンプルな構成を目指す
 - ソフト班
 - マイコンやセンサなどの選定を手早く行えず、単体テストが7月までかかった点
 - 制御フローの構築が遅かったため、要件が不明瞭であった点
 - 誰でも理解でき、編集できるコードにできなかった点
 - クラス化、ライブラリ化を検討するべき
- ロジスティクス
 - 引継ぎが曖昧になってしまっていたことと、技術的作業量の分担をさせるのが難しかった
 - 事務的作業と単純な炊事の練度が足りなかったため、大会期間中の炊事活動ですべての体力が持ってかれてしまっていた.

第8.3節 今後の展望

- 各部品に使用する材料を適切に選択するほか、ロール・ピッチ方向の姿勢安定化機構を搭載し、その制御を行う。また、ダクトファンを2発にするなどして、推力の増加を図る。
- 現在、フライトコントローラを用いた機体の制御について開発を進めている。フライトコントローラと、マイコンとの通信をUARTにて行い、マイコンからの指令で、機体のロールピッチ

チ安定化制御を行いながら自律航行する機能を実装する。来年度以降のコンペにて検証したい。

- 学内に入館できる期間が限られていたので製作にとっても苦勞した。入館することができた場合、製作スピードや効率が向上できたと考える。