

ARLISS2025 開発審査書

提出日：2025年11月21日

チーム情報

CanSat チーム名	慶應義塾大学 Keio Team Wolve' Z
CanSat チーム 代表者情報	伊藤 優之介 yunosuke@keio.jp, 080-8470-5141
UNISEC 団体名	慶應義塾大学高橋研究室
UNISEC 団体 学生代表	伊藤 優之介
責任教員	高橋 正樹 takahashi@sd.keio.ac.jp, 090-3573-4005
CanSat クラス	Open Class

メンバー

役割	氏名
PM・ソフト班員	伊藤 優之介
ソフト班員	飯塚 創
ハード班長	坂本 侑斗
ソフト班長・回路班長	吉川 拓志
回路班員	大江 光輝
ハード班員	岸 海樹弥
ソフト班員	定仲 理希
ソフト班員	正田 優衣
ハード班員	村 優大

Cansat の製作目的・大会参加理由

本団体は、高橋研究室に所属する B4 および M1 の学生で構成され、研究室の課外活動として CanSat の開発および大会参加に取り組んでいる。CanSat 機体を自ら設計・製作し、チームで議論・実装・検証を重ねることで、実践的なモノづくりとチーム開発の経験を積むことを目的として活動している。なお、メンバーの多くは、研究として模擬人工衛星や宇宙分野に直接関わっているわけではない。しかし、普段の研究で培った「背景整理・課題設定・提案手法の検討」という一連の研究プロセスを応用し、チーム全員で一つの CanSat 機体を作り上げている。ここで、ARLISS 大会は本団体にとって同一メンバーで参加する最後の大会であり、活動の集大成として位置付けている。これまでの開発の成果を発揮し、ARLISS 大会で設定したミッションを確実に成功させることを最終目標として日々取り組んだ。

目次

目次	2
図表目次	4
第 1 章 ミッション定義	6
第 1.1 節 ミッションステートメント	6
第 1.2 節 ミッションについて	6
第 1.3 節 サクセスクライテリア	9
第 2 章 システム要求	11
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	11
第 2.2 節 ミッションを達成するためのシステム要求	12
第 3 章 システム試験項目の設定	14
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	14
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	15
第 4 章 システム仕様	16
第 4.1 節 機体外観	16
第 4.2 節 機体内観・機構	19
4.2.1. 本体	19
4.2.2. タイヤ	22
4.2.3. 上下機構	22
4.2.4. 回転機構	25
4.2.5. カメラ	25
4.2.6. ランドマークモジュール	26
4.2.7. スタビライザ	27
4.2.8. 焼き切り機構	27
第 4.3 節 搭載機器	28
4.3.1. システム構成	28
4.3.2. 使用電源	30
第 5 章 システム試験	31
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	31
第 5.2 節 レギュレーションを満たすためのシステム試験 (カムバック向け)	43
第 5.3 節 ミッションを達成するためのシステム試験	46
第 6 章 工程管理	54

第7章	大会結果報告	58
第7.1節	目的	58
第7.2節	結果	58
7.2.1.	1回目投下結果	58
7.2.2.	2回目投下結果	58
第7.3節	考察	58
7.3.1.	1回目投下の考察	58
7.3.2.	2回目投下の考察	59
第8章	まとめ	60
第8.1節	工夫点・努力した点	60
8.1.1.	全体	60
8.1.2.	ソフト班	60
8.1.3.	ハード班	60
8.1.4.	回路班	60
第8.2節	課題点	60
8.2.1.	全体	60
8.2.2.	ソフト班	61
8.2.3.	ハード班	61
8.2.4.	回路班	61
第8.3節	今後の展望	61

図表目次

図 4.1	収納中の機体の外観（上：正面，左下：横面，右下：上面）	16
図 4.2	展開後の機体の外観（左上：横面，右上：正面，下：上面）	17
図 4.3	機体の CAD 図	18
図 4.4	モータの拡大図	19
図 4.5	基板の CAD 図	20
図 4.6	回路の配線並びに配置図	20
図 4.7	実際の基板	20
図 4.8	回路図	21
図 4.9	タイヤの外観	22
図 4.10	ミッション機構外観	22
図 4.11	上下機構（上左：正面から見た外観，上右：上から見た外観，下：構成する部品）	24
図 4.12	回転機構（上：背面，下：構成する部品）	25
図 4.13	カメラの拡大図（左：正面，右：斜め）	25
図 4.14	ランドマークモジュールの外観	26
図 4.15	スタビライザの拡大図	27
図 4.16	焼き切り機構（機体展開用）	27
図 4.17	システム構成図	28
図 5.1	パラシュートと CanSat の質量	31
図 5.2	1 回目の加速度履歴	32
図 5.3	2 回目の加速度履歴	33
図 5.4	1 回目の加速度履歴	34
図 5.5	2 回目の加速度履歴	35
図 5.6	加速度履歴	36
図 5.7	2 地点間の距離結果	40
図 5.8	SD カードが記録した制御履歴の一例	43
図 5.9	End to End 試験で記録した制御履歴の一例	45
図 5.10	End to End 試験で記録したミッションログ	46
図 5.11	撮影画像	52
図 5.12	射影変換後の画像	52
図 5.13	種子認識における画像	52
図 5.14	直線フィッティングを行ったときの画像	52
図 5.15	種子間の距離計算結果	53
図 6.1	スケジュール全体像	54
図 6.2	試験スケジュール	54
図 6.3	ソフトウェア班開発スケジュール（ステート 1-4）	55
図 6.4	ソフトウェア班開発スケジュール（ステート 5-9）	56
図 6.5	ハードウェア班開発スケジュール	57
図 7.1	スポーク部が破損した様子	58
図 7.2	GPS センサが脱落した様子	58

表 1.1	サクセスクライテリアの簡易図.....	9
表 1.2	サクセスクライテリアの簡易図.....	9
表 2.1	レギュレーション向けシステム要求.....	11
表 2.2	レギュレーション向けシステム要求（カムバック）.....	11
表 2.3	ミッション向けシステム要求.....	12
表 3.1	レギュレーション向け試験項目.....	14
表 3.2	レギュレーション向け試験項目（カムバック）.....	14
表 3.3	ミッション向け試験項目.....	15
表 4.1	機体の寸法.....	18
表 4.2	使用機器・使用概略.....	28
表 4.3	使用電源について.....	30
表 4.4	安全対策について.....	30
表 5.1	終端速度計算結果.....	39
表 5.2	結果一覧.....	44

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

月面地下農園における等間隔種まきのための自律型ローバ

本ミッションでは、NASA のアルテミス計画に基づき、月面の地下基地に設置された農業エリアでの自律型ローバによる種まき作業を提案する。具体的に、ローバはGPS が使用できない環境下でも ArUco マーカにより自己位置を推定し、直線上に等間隔で穴あけおよび種子を投下する。なお、穴あけと種子放出を同時に行う一体型機構を搭載することで、作業効率と電力効率の両立を図っている。

第1.2節 ミッションについて

① 背景

近年、月面における持続的有人活動の実現が国際的に模索されており、NASA のアルテミス計画では 2027 年中旬に人類を月面に再び着陸させ、以降は継続的な探査拠点としての基地の建設が計画されている。[1]こうした構想の中で不可欠とされるのが、月面における食料の自給自足体制の構築である。[2]

月面環境は地球とは大きく異なる。まず、昼夜の温度差は約 280°Cにも及び、加えて放射線や微小隕石の影響を強く受ける。[2]これにより、地表での農作業や農業活動は現実的でなく、農園は地下空間に設置されることが一般的な構想となっている。地下基地の上層部に農園區画を設けることで、作物は熱や放射線から守られつつ、基地インフラと連携した制御システムの中で栽培される構造が想定されている。[2]

このような環境では、宇宙飛行士による有人での農作業には限界があると考えられる。限られた作業時間、酸素消費、宇宙服の可動性、微粒子や湿度といった農業環境の衛生的リスク、これらの要素は人間による反復作業を著しく非効率なものとする。とりわけ、月面基地における空間は完全密閉環境であるため、農業空間と居住空間を明確に分離することが極めて重要であり、感染症リスクの制御と衛生管理が鍵となる。感染症の発生と拡大は、月面のような閉鎖空間では致命的である。作物栽培空間には水分、土壌、微生物といった病原体の温床となる要素が含まれており、人間が頻繁にその空間に立ち入ることは、相互汚染のリスクを高める。[2]また、土壌との接触による細菌やカビの付着、微細な粒子の宇宙服や通気装置への混入といった間接的衛生問題も想定される。この点において、農業ローバを導入することで、人間が農業空間に出入りする必要を最小化し、完全無人の農業システムを確立することが可能になると考えられる。

また、月面において電気は貴重な資源である。[3]したがって、本ミッションでは電力効率および作業効率を考慮し、穴あけと種まきを1つのサーボモータで行う機構を用いる。このような機構により、電力消費や作業効率向上を可能とする。

さらに、等間隔に種まきを行うことは、植物の生育空間を均等に確保し、光、養分、水分の供給を最適化するうえで有効であると同時に、後続の農業ロボットによる施肥、除草、収穫などの作業計画を構造化するための座標系の整備にもつながると考えられる。

以上のような技術的・構造的背景のもと、本ミッションは農業支援ローバによる種まき作業の自律実行を通して、月面農業における新たな作業体系の創出を目指す。

[1] NASA, “Artemis III”, <https://www.nasa.gov/mission/artemis-iii/>
(2025/05/01 参照)

- [2] JAXA, 月面農場ワーキンググループ, “月面農場ワーキンググループ検討報告書 第1版”, 2019.
- [3] Shaw, Matthew, Matthew, Geoffrey, Akbar, Alan, Mark, PHILADELPHIA : Taylor & Francis, “Mineral processing and extractive metallurgy review”, 2022-10, Vol. 43 (7), p. 865-891.

② ミッション詳細

本ミッションで用いられるローバは、月面における実用環境を模擬した条件下で「等間隔点種まき」という農作業の中核的工程を実行することを目的として設計されている。ローバはまず、打ち上げ後に地表へと降下・着地し、パラシュートを分離した後、先端にランドマークとして用いられる ArUco マーカが備え付けられたスタビライザ分離シートを展開する。なお、この分離シートに装着されたマーカの位置は、あらかじめ既知情報としては与えられていない。本ミッションでは、GPS が使用できない環境を前提としており、位置情報を得るためには基地内に存在するランドマークを利用する必要がある。したがってランドマークは事前に座標が与えられているわけではなく、ローバが基地内を自律的に探索し、視認可能となったランドマークを検出することで、それらとの相対位置関係をもとに自己位置を逐次推定する。

このように、ArUco マーカは、月面農園の所定区画を示すランドマークとしての役割を果たす。続いて、ローバはその正面に対して姿勢を制御したのち、ランドマークの方向に向かって走行し、事前に設定された間隔に従って「停止・穴を開け・種子の放出」の動作を繰り返す。ここで特徴的なのは、「穴あけ」と「種子の放出」を別々に行うのではなく、一連動作として統合されたメカニズムにより、ひとつの駆動で両者を実現する点にある。この構造によって、ローバの電力消費が抑制され、月面のように電源供給が制限される環境下でも安定動作が可能となると考えられる。加えて、作業時間の短縮と構造の簡素化が同時に達成されることから、長期運用や他の作業への迅速な切り替えが求められる場面でも優れていると考えられる。

ミッションは「打ち上げ・移動」「穴あけ&種まき」「成功判定」「ゴール走行」の4段階に分けられ、それぞれの工程に対してサクセスライテリアを設けている。

「ミニマムサクセス」について説明する。これは、ローバが農園區画に到達し、ランドマーク (ArUco マーカ) を視認・認識したうえで、種まき予定区画への走行に成功することが条件である。

「ミドルサクセス」について説明する。第一段階にランドマークを認識し、また立方体であるランドマークに正面を向くように移動する。第二段階に、ランドマークの方向に向かって走行し、事前に設定された間隔に従って「停止・穴を開け・種子の放出」の動作を繰り返すことの第一第二段階を遂行することが条件である。具体的には、まず設定した距離を移動し、ランドマークモジュールの探索を開始する。ランドマークモジュールが見えていない場合は、その場回転と移動のループを繰り返してランドマークを探す。見えている場合は、ランドマークの正面に向かって経路を計画し、移動 (追跡) を行う。あらかじめ設定した範囲内 (ArUco マーカから 80 cm) に到達したと判断できれば種まき開始位置へ到着したと判断する。ここで、種まき開始位置へ到着後、種まき機構の駆動から一定距離 (10 cm) 移動を2回繰り返し、計3回の種まきを行う。種まき機構はサーボモータを用いて駆動する。一定距離移動の判定は、前方に設置されたランドマークモジュールとの距離情報を支配的に用いて推定し、予備の情報としてオドメトリ・IMU の情報を用いる。カメラ画角からランドマークモジュールが外れた場合には、機体全体を回転および微小距離の後退によって再び探索を行う。ここまでの成功をミドルサクセスとしている。

「フルサクセス」について説明する。これは、種子の散布状態から、種まき位置の精度を評価し、成功判定をするまでが条件である。具体的には、まず、色認識アルゴリズムによる種子の領域認識を実施する。あらかじめ取得した種子の色情報を用いて画像内から、種子と近い色を持つ領域を抽出し、この領域に対してマスキング処理を施す。続いて、連続している領域や近接している領域を結合して一つのクラスとしてクラスタリングを行う。そのクラスのうちある閾値以上の面積を持つ領域を種子の領域として、それ以外の領域をノイズとして除去する。そして種子の領域の特定が完了したとき、特定した種子の間隔が等間隔であるかを判定する。特定したそれぞれの領域に対して重心の座標を求め、RANSACによる直線近似により、全ての種子の近傍を通る直線を引く。この直線に対して、種の重心を正射影して、一直線上に並べ、正射影後の隣り合う種子同士における重心間の距離の分散を求め、その値が許容分散 σ 以下であるのならば成功と判定する。

最終段階の「アドバンスドサクセス」について説明する。これは、フルサクセス後にローバがゴール地点まで自律的に走行し、ランバック用のコーンに到達することが条件である。なお、ミッションが失敗し、所定の時間の閾値を超えたことでゴール走行ステートへ移行し、その後コーンに到達した場合であっても、これはアドバンスドサクセスとはみなさない。この場合は、ミッションステートにおいて到達していたサクセスクライテリアとする。具体的には、ミニマムサクセスに到達した状態でランバック（ゴール到達）に成功した場合はミニマムサクセスとする。

第1.3節 サクセスクライテリア

以下に、サクセスクライテリアについてまとめたものを示す。

表 1.1 サクセスクライテリアの簡易図

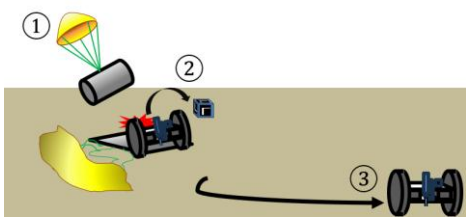
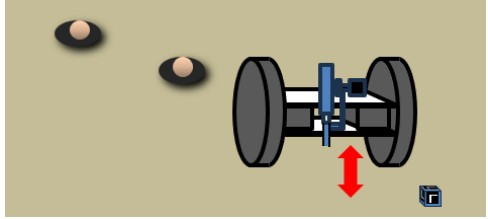
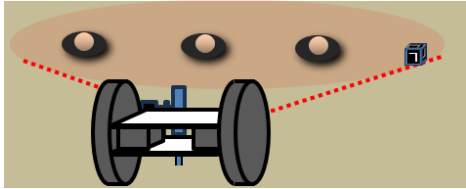
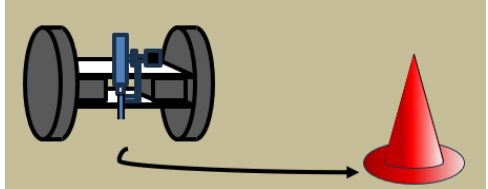
サクセスクライテリア	Minimum	Middle
内容	パラシュート分離場所から走行	ランドマーク認識+ランドマークの正面を認識+等間隔穴あけ&種まき
イメージ図		
サクセスクライテリア	Full	Advanced
内容	等間隔種まきの成功判定	ゴール地点まで走行*
イメージ図		

表 1.2 サクセスクライテリアの簡易図

ミニマムサクセス	<ol style="list-style-type: none"> 1. フライトピンが外れたことを検知し、パラシュートの開傘を確認 2. 降下し、加速度・気圧・時間の3条件より着地を判定 3. 焼き切りによりパラシュート分離 4. パラシュートを色で認識し、スタック防止のため、パラシュートを避ける方向に走行
ミドルサクセス	<ol style="list-style-type: none"> 1. 分離シートに備え付けられたランドマーク位置を探索 2. ランドマークを色認識およびArUcoマーカの認識より確認 3. ランドマークの正面を確認 4. ランドマークの正面を向き、かつ一定距離(80 cm)離れた位置に移動 5. ランドマークを正面に見ながら進行し、等間隔(ARマーカ正面から70 cm, 60 cmの地点)に穴をあけると同時に種モジュール放出
フルサクセス	<ol style="list-style-type: none"> 1. 種まき後の結果全体を俯瞰できる位置に移動 2. 画像認識により等間隔種まきの成功判定

アドバンスドサクセス	1. GPS および色認識にゴール地点に 0 m で到達※
------------	-------------------------------

※アドバンスドサクセスについて：フルサクセス後にローバがゴール地点まで自律的に走行し、ランバック用のコーンに到達することが条件である。なお、ミッションが失敗し、所定の時間の閾値を超えたことでゴール走行ステートへ移行し、その後コーンに到達した場合であっても、これはアドバンスドサクセスとはみなさない。この場合は、ミッションステートにおいて到達していたサクセスクライテリアとする。具体的には、ミニマムサクセスに到達した状態でランバック（ゴール到達）に成功した場合はミニマムサクセスとする。

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

表 2.1 レギュレーション向けシステム要求

番号	レギュレーションを満たすためのシステム要求
R1	規定のサイズと質量以内であることを満たしている
R2	ロケットから放出後, 位置が特定できることを満たしている
R3	規定の終端速度の範囲内で降下することを満たしている
R4	キャリアから自重で落下可能であることを満たしている
R5	キャリアからの放出を検知可能であることを満たしている
R6	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
R7	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することを確認できている
R8	ロケット搭載時に無線の送波を停止する
R9	搭載する全ての無線機は要求に応じて周波数の変更ができることを確認できている
R10	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できることを確認できている
R11	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を満たしている
R12	制御されることなく着地できることを確認できている
R13	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
R14	ミッションを遂行するために十分な電力が供給可能な電源を有することを満たしている

表 2.2 レギュレーション向けシステム要求 (カムバック)

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	チームはレギュレーションで指定されたコントロールレコードを提出しなければならない

第2.2節 ミッションを達成するためのシステム要求

表 2.3 ミッション向けシステム要求

番号	ミッションを達成するためのシステム要求
M1	着地時の衝撃荷重によって、ミッションを実現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
M2	着陸を検知できることが確認できている
M3	分離指令により、パラシュートを分離できることが確認できている
M4	パラシュート分離時にスタビライザが展開することが確認できている
M5	カメラを用いて画像を撮影できることが確認できている
M6	パラシュートの存在有無・角度がカメラにより検知できることが確認できている
M7	パラシュートに覆われても脱出できることが確認できている
M6	CanSat の姿勢を IMU より検知できることが確認できている
M7	悪路でのスタック・反転・横転したとき復帰できることが確認できている
M8	回路基板が機体上部にくるように姿勢を変更できることが確認できている
M9	通信開始地点の GPS 情報を取得できることを確認できている
M10	現在地の GPS 情報を取得できることを確認できている
M11	ゴール地点の GPS 情報を認識できることを確認できている
M12	起伏のない場所ではスタックせずに走行できることが確認できている
M13	スタックの検知ができることが確認できている
M14	サーボモータが正常に回転することを確認できている
M15	ランドマークを自律的に探査し、最終的に認識することが確認できている
M16	ランドマークによる自己位置推定が確認できている
M17	ランドマークの正面を認識し、ランドマークの正面に一定距離を保ちつつ移動することが確認できている
M18	種モジュール放出が正常に行われていることが確認できている
M19	放出した種モジュールの位置が確認できている

M20	等間隔に種をまいたことが画像処理によって確認できることを確認できている
-----	-------------------------------------

第3章 システム試験項目の設定
 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

表 3.1 レギュレーション向け試験項目

番号	検証項目名	対応するシステム要求番号	実施予定日	実施日
RV1	質量試験	R1	6/25	7/2
RV2	機体の収納・放出試験	R4, M2	6/9	7/2
RV3	準静的荷重試験	R7	6/25	7/7
RV4	振動試験	R7	6/25	7/14
RV5	分離（パラシュート開傘）衝撃試験	R7	6/25	7/15
RV6	パラシュート開傘試験	R6	6/21	7/3
RV7	パラシュート投下試験	R3, R6, M1, M2	6/21	7/27
RV8	着地衝撃試験	M1	6/21	7/12
RV9	無線 ON/OFF 試験	R5, R10	7/5	7/5
RV10	無線 CH 変更試験	R9	7/5	7/5
RV11	通信距離試験	R13	6/25	7/31
RV12	GPS センサ精度試験	R2, R13, M9, M10, M11	7/5	7/5
RV13	9 軸センサ試験	R12	7/5	7/5
RV14	電池試験	R14	6/25	7/15
RV15	着地判定試験	M2	7/5	7/5

表 3.2 レギュレーション向け試験項目（カムバック）

番号	検証項目名	対応するシステム要求番号	実施予定日	実施日
CRV1	SD カード記録試験	CR2	6/15	7/5
CRV2	センサ統合試験	R15, CR2	6/30	7/5
CRV3	地上局記録試験	CR2	6/25	7/5

CRV4	EtoE 試験	CR1, R12, R14	7/12	7/31
CRV5	制御履歴レポート作成試験	CR2	7/12	7/31

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

表 3.3 ミッション向け試験項目

番号	検証項目名	対応するシステム要求番号	実施予定日	実施日
MV1	パラシュート分離試験	M3	6/21	7/17
MV2	カメラ撮影試験	M5	7/5	7/5
MV3	前方パラシュート検知・回避試験	M6, M7	7/5	7/29
MV4	姿勢変更・保持試験	M7	7/5	7/5
MV5	走破性試験	M12	6/30	7/15
MV6	スタック検知・回避試験	M7, M13	6/30	7/16
MV7	フライトピンフライトピン引抜試験	M2	7/5	7/5
MV8	上下機構試験	M14	7/5	7/16
MV9	種モジュール放出試験	M14	7/5	7/17
MV10	種モジュール放出検知試験	M18	7/5	
MV10	放出位置移動試験	M15, M16, M17	7/5	7/16
MV11	等間隔種まき判定試験	M19	7/10	7/17

上記のうち、MV8 から MV12 が本年度ミッション特有の試験である。

MV8：上下機構がサーボモータの指令通りに上下に動作するかを確認する。

MV9、MV10：サーボモータの指令通りに種が落下し、さらに落下したことをフォトリフレクタが検知するかを確認する。

MV10：ArUco マーカの正面を認識し、その正面に対して直線上で等間隔に種をまく位置へ移動できるかどうかを確認する。

MV11：等間隔種まき判定試験：種まき後の結果全体を俯瞰できる位置に移動し、等間隔に種をまけているかどうかを判定できているかを確認する。

第4章 システム仕様

第4.1節 機体外観

機体収納中および展開中の外観を図 4.1, 図 4.2, 図 4.3 に示す.



図 4.1 収納中の機体の外観（上：正面，左下：横面，右下：上面）

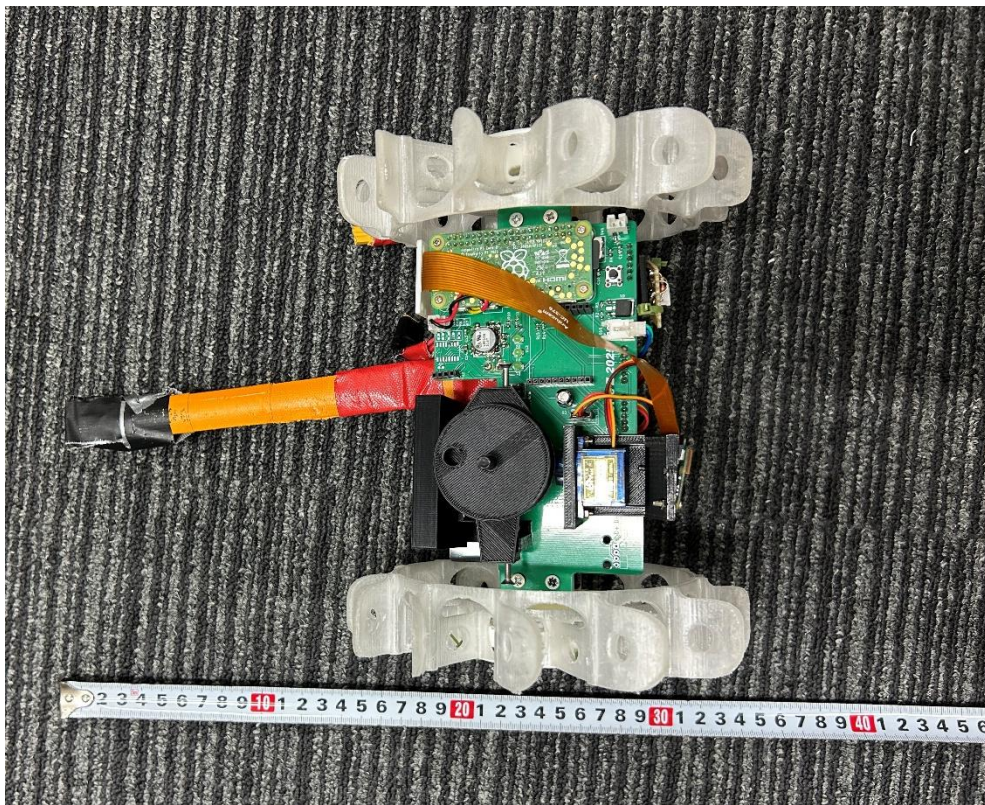
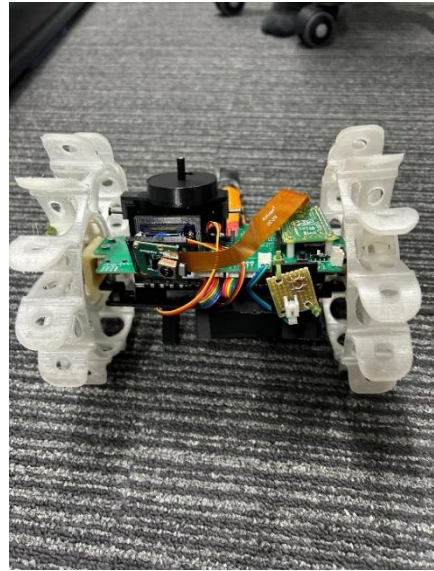
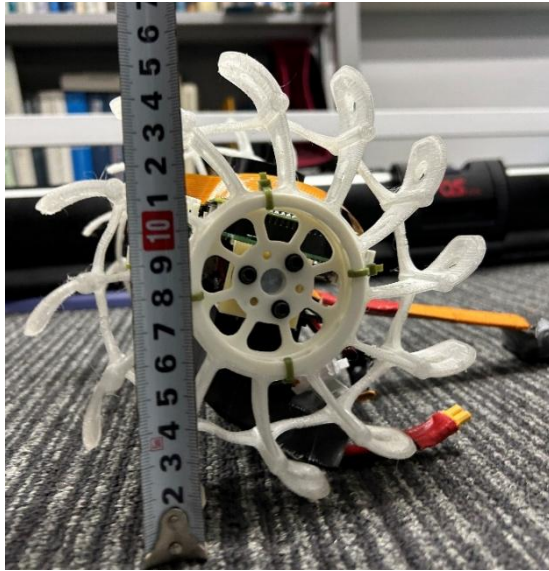


図 4.2 展開後の機体の外観 (左上：横面，右上：正面，下：上面)

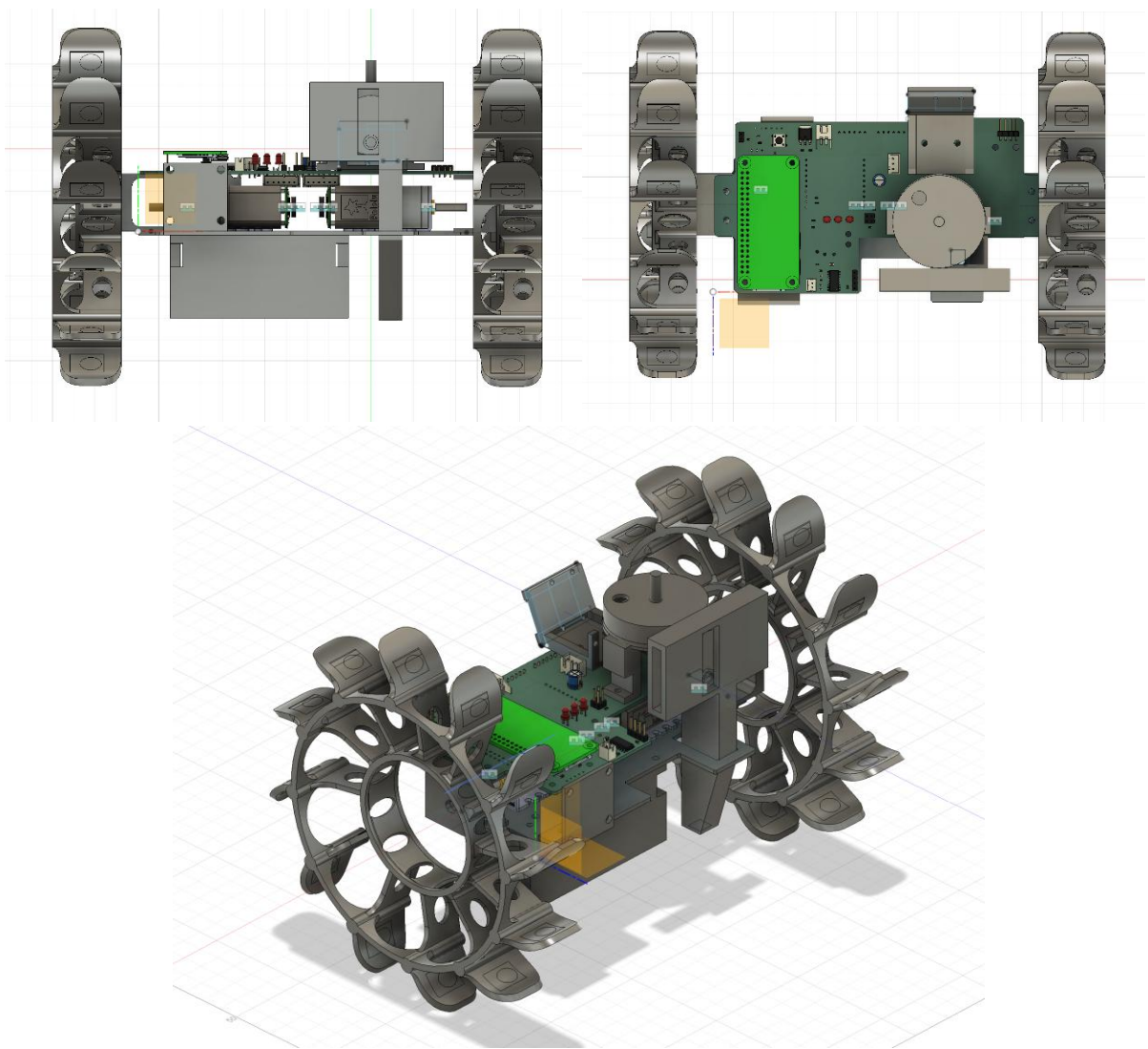


図 4.3 機体の CAD 図

以下表 4.1 に展開前後の機体の寸法および質量をまとめたものを示す。

表 4.1 機体の寸法

	全長 [mm]	全幅 [mm]	全高 [mm]	質量 [g]
収納中	130	235	130	966
展開後	330	235	160	740

第4.2節 機体内観・機構

4.2.1. 本体

①モータ系

モータの画像を以下図 4.4 に示す.

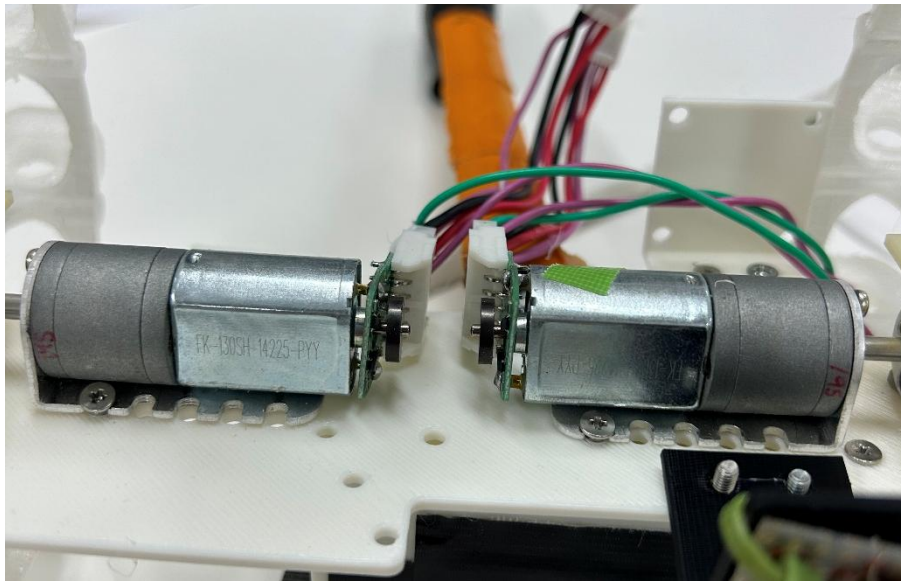


図 4.4 モータの拡大図

正確な種のプロットを実現するために回転角度・回転速度のフィードバック制御を行う。
モータのフィードバックには、モータの後軸に取り付けられた磁気エンコーダを用いる。

②電気回路系

本年度の回路系について、以下に示す。

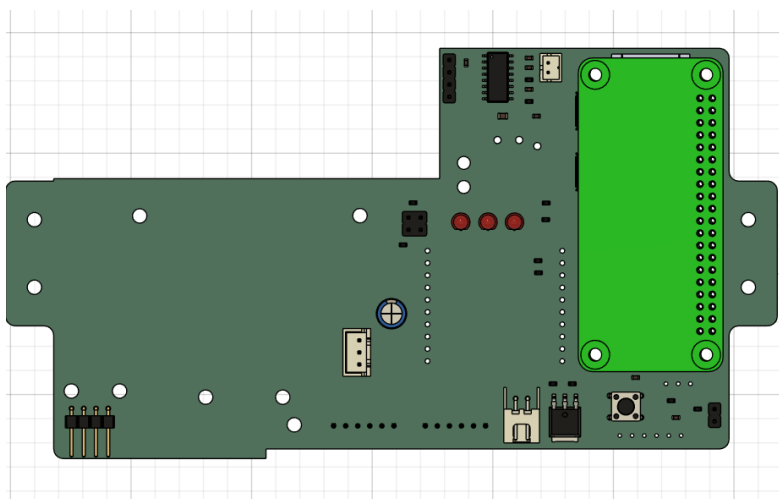


図 4.5 基板の CAD 図

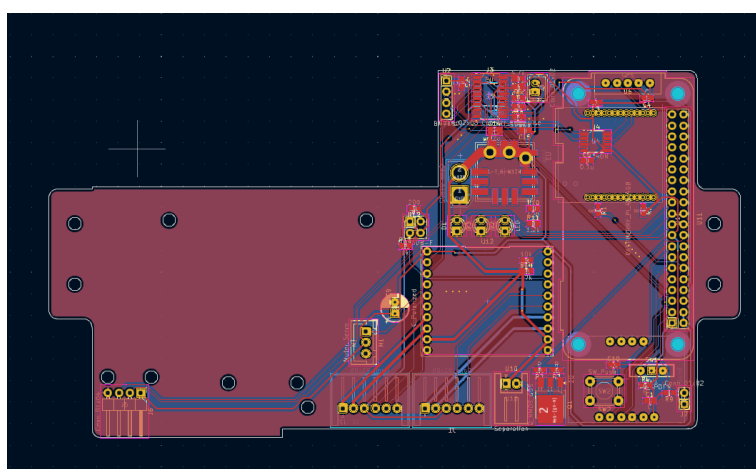


図 4.6 回路の配線並びに配置図



図 4.7 実際の基板

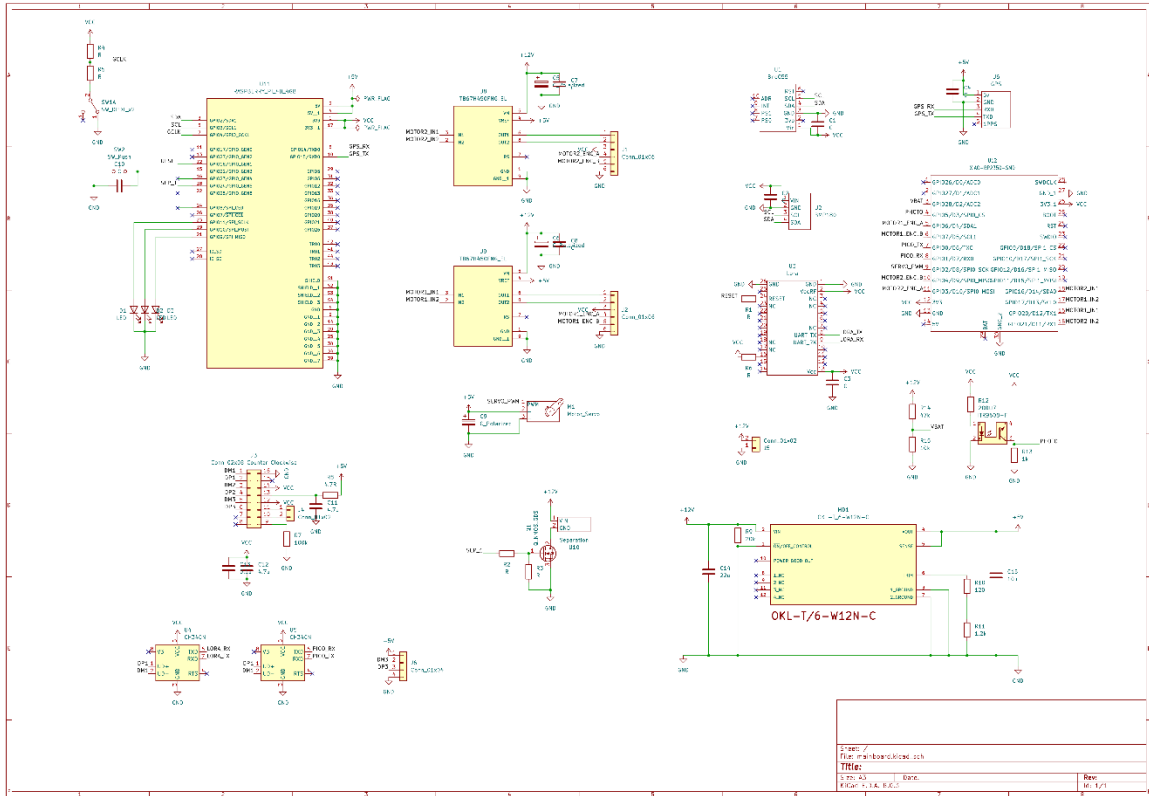


図 4.8 回路図

独自に設計した回路基板の上に LoRa、9 軸センサ、GPS、モータドライバ、気圧センサ、他各種センサ入力端子をとりつけ、さらに中央に Raspberry Pi Zero 2 W を搭載した。ミッション中で画像処理等を行うことから、高度処理可能な SBC を選定した。また、表面実装部品を採用することにより実装面積の小型化を実現した。基板と機体上板を一体構造とすることで、部品点数の削減と軽量化を図った。

4.2.2. タイヤ

本年度のタイヤを以下図 4.9 に示す.

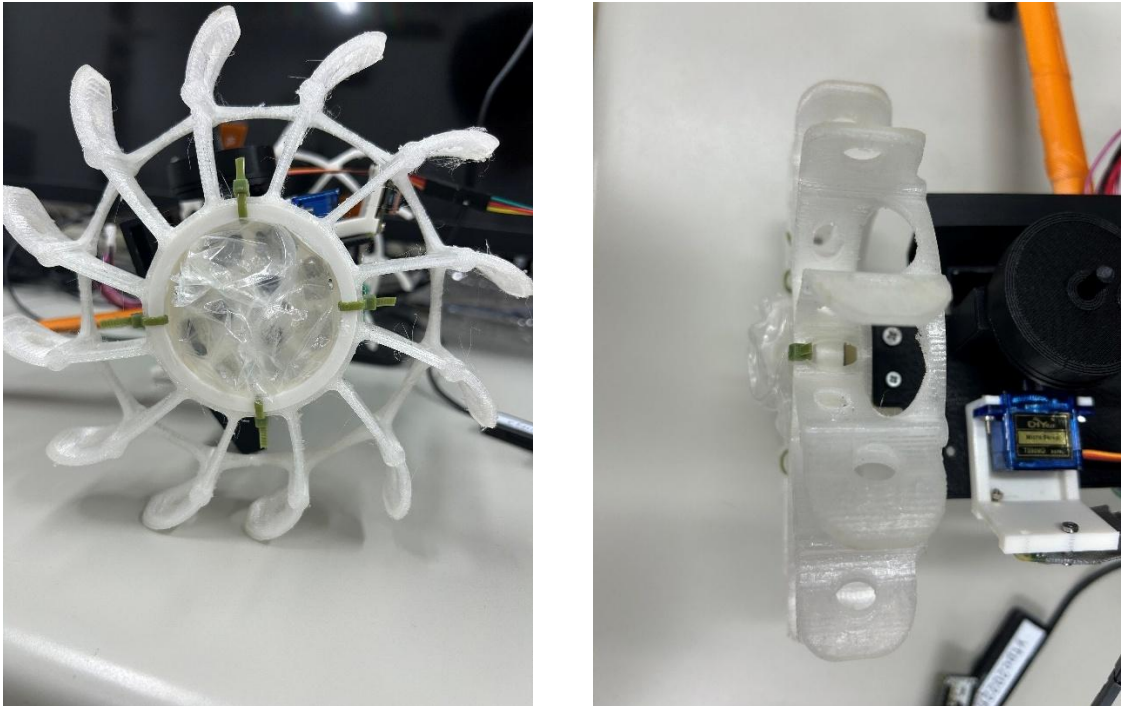


図 4.9 タイヤの外観

本年度のタイヤは、昨年度と同様に羽の部分で地面をつかみながら進む形状となっている。穴をあけることで軽量化している。落下衝撃による機体の損壊を防ぐためにタイヤの中心部部分に衝撃吸収用のエアセルを搭載している。

4.2.3. 上下機構

ミッション機構全体の概観を以下に示す.

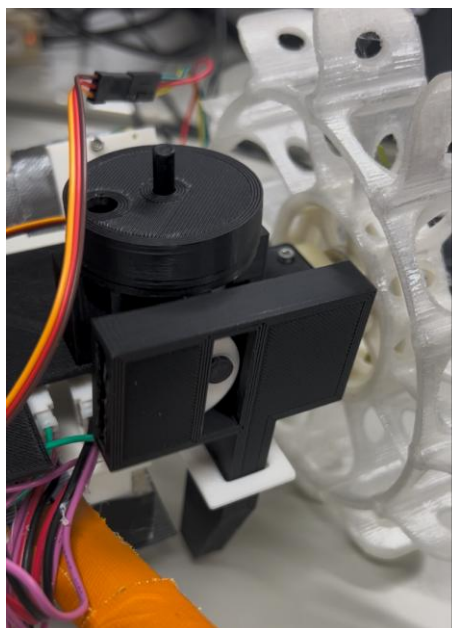


図 4.10 ミッション機構外観

本年度のミッション機構は、1つのサーボモータから種を撒くための穴を掘る作業と種を撒く作業の2つの作業を行う。そのため、1つのサーボモータに対して穴を掘るための上下運動を行う機構と種を撒くための回転機構が軸を通じてつながっている。2つの機構は一つのサーボモータの回転により連動して動作する。機構の動作については動画を参照する。

次に、上下機構について以下に示す。

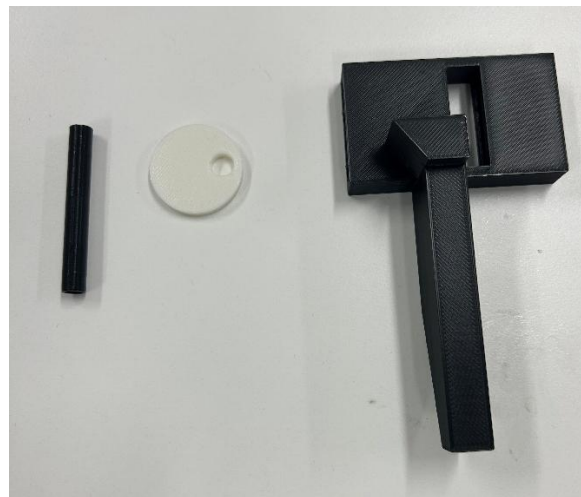
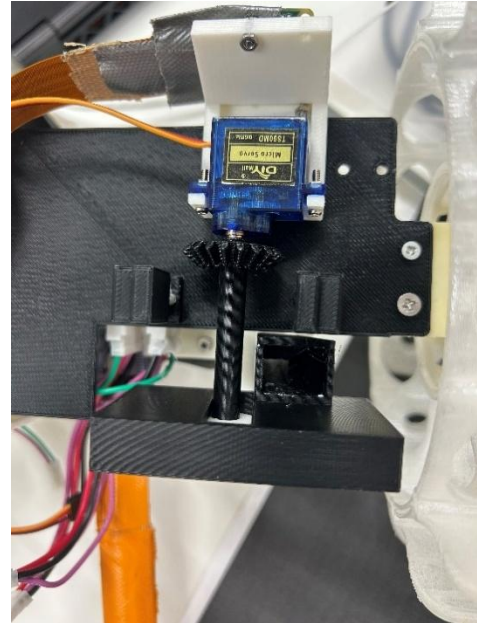
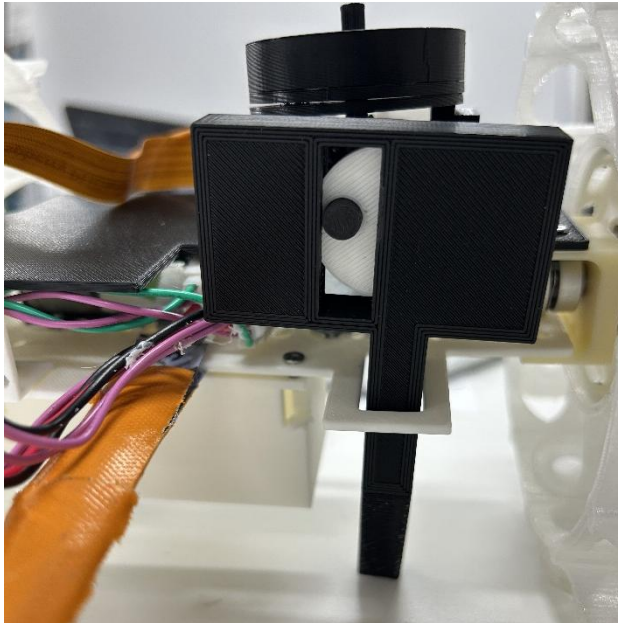




図 4.11 上下機構（上左：正面から見た外観，上右：上から見た外観，下：構成する部品）

4.2.4. 回転機構

回転機構を以下図 4.12 に示す.

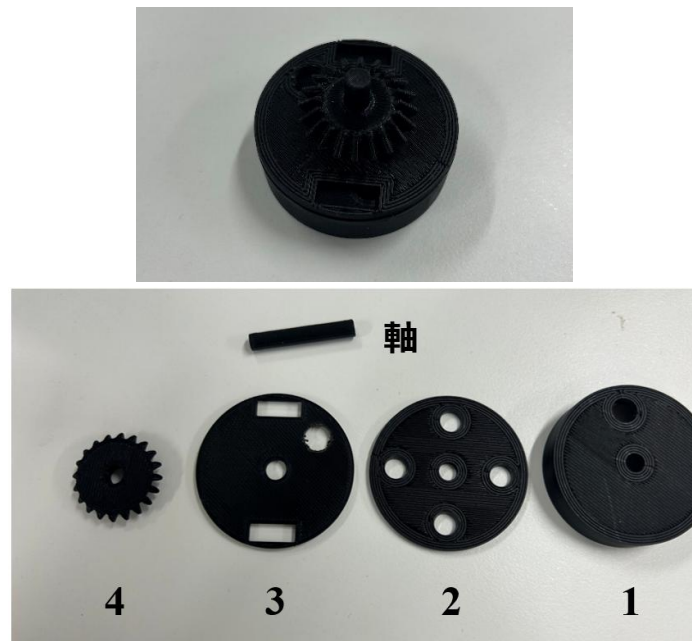


図 4.12 回転機構 (上：背面，下：構成する部品)

回転機構は、サーボモータの回転を傘歯車により機構の回転に伝え、種を一つずつ落下させる。回転機構は1,2,3,4の順番の階層構造となっている。1は蓋の役割をなし、1と2の間に多数の種が入っている。回転により2の穴に種が一つ一つ入り、3の穴と重なった瞬間に種が落ちていく仕組みである。そして、4の歯車がサーボモータからの回転を回転機構に伝える。

なお、ミッション実施にあたり、実際の種でなく種を模擬したBB弾を用いる。大会中に撒かれたBB弾はすべて回収可能とするため、事前に使用するBB弾の個数を記録し、実施後に回収・確認を行う。

4.2.5. カメラ

本機体で用いるカメラを以下に示す.

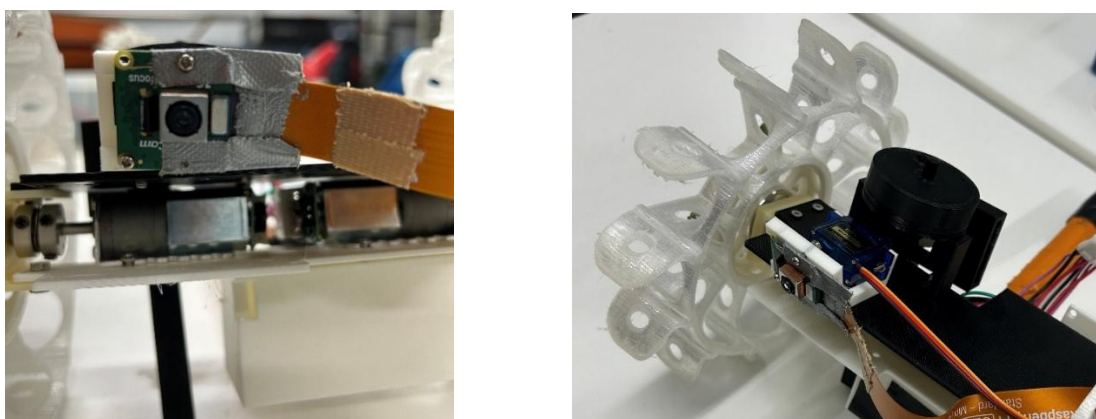


図 4.13 カメラの拡大図 (左：正面，右：斜め)

カメラはランドマークモジュールの追跡と種子の認識，ランバック時の目標追跡に使用する．正確なピント合わせが必要と考え，オートフォーカス機能を有するものを選定した．カメラの固定角度を90度回転させることで配線を回路に直接繋がられるようにし，配線の絡まりを抑制する．

4.2.6. ランドマークモジュール

ランドマークモジュールの外観を以下図 4.14 示す．



図 4.14 ランドマークモジュールの外観

ランドマークモジュールは分離シートの焼き切りとともにメジャーの長さ分分離シートから離れた位置に展開される．また，モジュールの全面に ArUco マーカを取り付けることでカメラから ArUco マーカを捉えることが可能な機構となっている．

4.2.7. スタビライザ

スタビライザを以下図 4.15 に示す.



図 4.15 スタビライザの拡大図

スタビライザは先端におもりを括り付けたメジャーに布ガムテープを巻いて補強したものであり、地面からの反力を支えることで機体の走行を可能にしている。

4.2.8. 焼き切り機構

焼き切り機構を以下図 4.16 に示す.

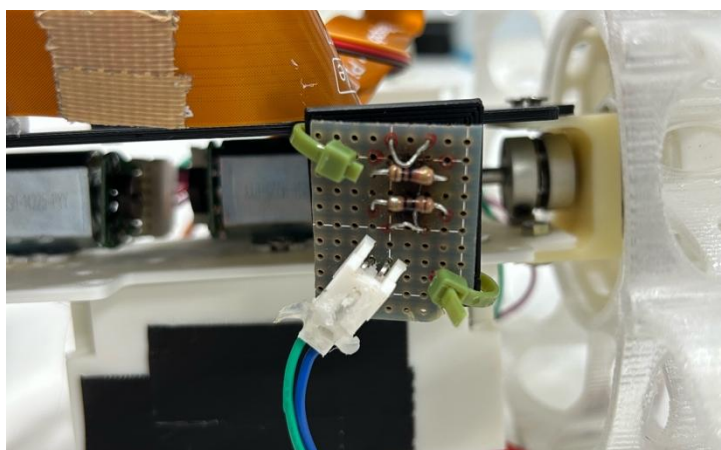


図 4.16 焼き切り機構 (機体展開用)

焼き切り機構は機体の分離シートからの展開に用いる。カーボン抵抗を発熱させることでテグスを溶断させる。

第4.3節 搭載機器

4.3.1. システム構成

システム構成を以下図 4.17 に示す.

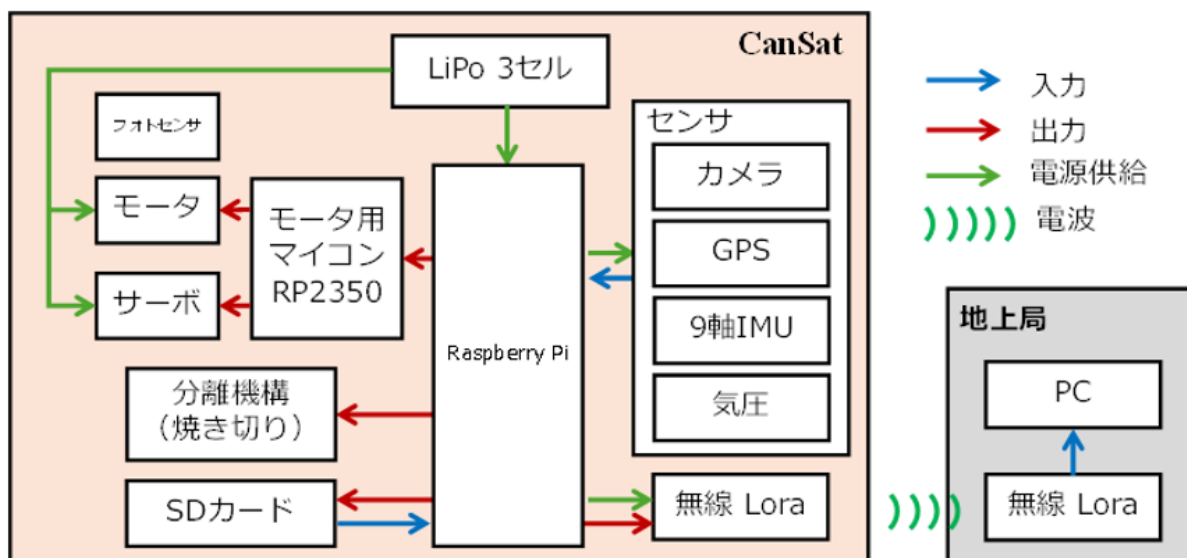


図 4.17 システム構成図

電源は昨年度より小型の 1500 mAh の LiPo バッテリーを採用した。また、起動タイミングもフライトピンが抜けるタイミングまで遅らせることで打ち上げ待ち等での不必要な電力消費防止を図る。Raspberry Pi 及びモータ制御用のマイコンにはバッテリーから降圧された 5V 電源を供給し、各種センサ・無線・アクチュエータの制御を行う。

また、搭載機器の詳細を以下表 4.2 に示す。

表 4.2 使用機器・使用概略

機器	型番	詳細仕様
降圧レギュレータ	OKL-T/6-W12N-C	ブランド：村田製作所 入力電圧：DC 4.5 - 14 V 出力電圧：DC 0.591 - 5.5 V 出力電流：0 - 6 A 変換効率：93%
MOSFET	TK8S06K3L	チャンネル：N ドレインソース間電圧：60V ドレイン電流 DC：8A ピークドレイン電流：16A ゲートソース間電圧：±20V ゲート漏れ電流：±10 μA オン抵抗：43mΩ パッケージ：DPAK+(2-7M1A) パッケージタイプ：TO

カメラ	UCTRONICS-B0371	Sony IMX519 stacked, back-illuminated sensor 16 megapixels 1.22 μm \times 1.22 μm pixel size 7.103 mm diagonal (Type 1/2.534)
GPS センサ	GYSFDMAXB	DC5V / 40mA, シリアル通信
サーボモータ	TS90MD	動作スピード: 0.11sec/60° (4.8V), 0.09sec/60° (6.0V) トルク: 1.2 kg/cm (4.8V), 1.4 kg/cm (6.0V) 動作電圧: 4.8V ~ 6.0V
モータ	195:1 Metal Gearmotor 20Dx44L mm 12V CB with Extended Motor Shaft	12V:72RPM 70mA でフリーラン 140 オンスインチ (5kg-cm) 1.6A でストール
エンコーダ	TLE4946-2K	入力電圧 2.7-18V 出力電流 0-20mA
モータドライバ	TB67H450FNG	入力モータ電圧: DC 4.5V-44V 出力電流: 3.0A (Max) (1chあたり)
SBC	Raspberry Pi Zero 2 W	DC5V / 1.7A (Max) ※GPIO 除く
モータ制御用マイコン	Seeed XIAO RP2350	CPU: RP2350 DC3.3V
9軸加速度センサ	Bno055	DC3.3V / 12.3mA (Max), I2C 通信
無線通信モジュール	ES920LR	920MHz 帯無線モジュール 3.3V / 43mA
気圧センサ	BMP180	DC3.3V / 5 μA (min), I2C 通信
フォトリフレクタ	RPR-220	V_f 1.34V

降圧レギュレータは電源とモータや焼き切りなどの用途先での要求電圧差の解消に用いる。MOSFET はパラシュート分離・モジュール投射で使用する焼き切り機構へ流す電流の制御に使用する。カメラは ArUco マーカの認識等に使用する。GPS センサ・9軸加速度センサ・気圧センサは自己位置推定に使用する。サーボモータは種まき機構の回転に使用する。モータは走行に使用する。モータドライバ並びにエンコーダはモータの制御に使用する。マ

アイコンは機体全体の制御およびミッション遂行管理に使用する。仕様書等については以下に掲載し、提出する。

<https://drive.google.com/drive/folders/1aMAg07tJNtfQy0biiV1VXtpxqD9f7ZXa?usp=sharing>

4.3.2. 使用電源

使用する電源とその安全対策について以下に示す。

表 4.3 使用電源について

使用用途	品名	型番
マイコン モータ	リチウムイオンポリマー電池 11.1V 1500 mAh	Zeee 11.1V 120C 1500mAh

表 4.4 安全対策について

状況	安全対策
運送	電池を傷つけないよう、専用の電池収納ケースに収納する
保管	高温となる場所に保管しない
使用	電池の外側の被膜が傷ついていないか、確認する
	バッテリーチェッカーで使用中は常に電圧を測り、過充電や過放電の状態にならないよう留意する
	発火時には近寄らず、あらかじめ用意した大量の水及び電気用の消火器で消火する

第5章 システム試験

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

- 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
 - CanSat 本体とパラシュートの合計質量を計測する.
- 試験結果
 - CanSat 本体とパラシュートの合計質量は 966 g であった. 以下に質量測定結果の様子を示す.



図 5.1 パラシュートと CanSat の質量

- 結論
 - パラシュートの質量を含めた CanSat の総重量が, レギュレーションを満たしていることを確認することができた.

RV2 機体の収納・放出試験

- 目的
 - CanSat がキャリアに入ること, CanSat がキャリアから自重で落下可能であることを確認する.
- 試験内容
 - 内径 146mm, 高さ 240mm のボイド缶に CanSat を入れ, 入ることを確認する. また, キャリアを下向きにし, CanSat がキャリアから自重で落下することを確認する.
- 試験結果
 - 以下に示すように, いずれにおいても CanSat を収納後, 自重で放出することが確認できた.
 - ◇ 1 回目 :
https://drive.google.com/file/d/1EFuxMV4WXheWyN2SHiDmKEslx5HYpPBg/view?usp=drive_link
 - ◇ 2 回目 :
https://drive.google.com/file/d/12uEzY226qM-4RgFpxRmGkt5hx9CRjwBk/view?usp=drive_link

- 結論

- CanSat はキャリアへの収納・放出に関するレギュレーションを満たす.

RV3 準静的荷重試験

- 目的
 - CanSat がロケット発射時の準静的荷重(10G)に耐えられることを確認する.
- 試験内容
 - CanSat をロープにつなぎ、ハンマー投げのように人を中心とした等速円運動によりロケット内部での静的荷重を実現する. ロケットの静荷重は10Gであり, 遠心力は mv^2/r と表せる. ここで, m は996gであった. 旋回半径, 旋回速度を調整することで機体に10Gを加える. また, 値を取得する際に用いたセンサはATR社のAMWS020Bであり, 機体の下面に固定し, 合成加速度を計測した.
- 試験結果
 - 試験の様子を以下に示す.
 - ◇ 1回目 : https://drive.google.com/file/d/1KjkUziiPRGR0LZkXxyWvu6YpYt_VFae7/view?usp=drive_link
 - ◇ 2回目 : https://drive.google.com/file/d/1i-ugPzvmI_9ur5HsCM12ZWkvSosMQf8J/view?usp=drive_link
 - 以下にそれぞれの加速度履歴を以下に示す. いずれの場合においても平均的に10G以上の加速度を10秒以上印加できており, センサが正常に機能し続けたことも確認できた. なお, 16G以上が計器の都合上計測できていないが, 今回は10G以上付加できていることが確認できていればよいため考慮しなくてよいとする.

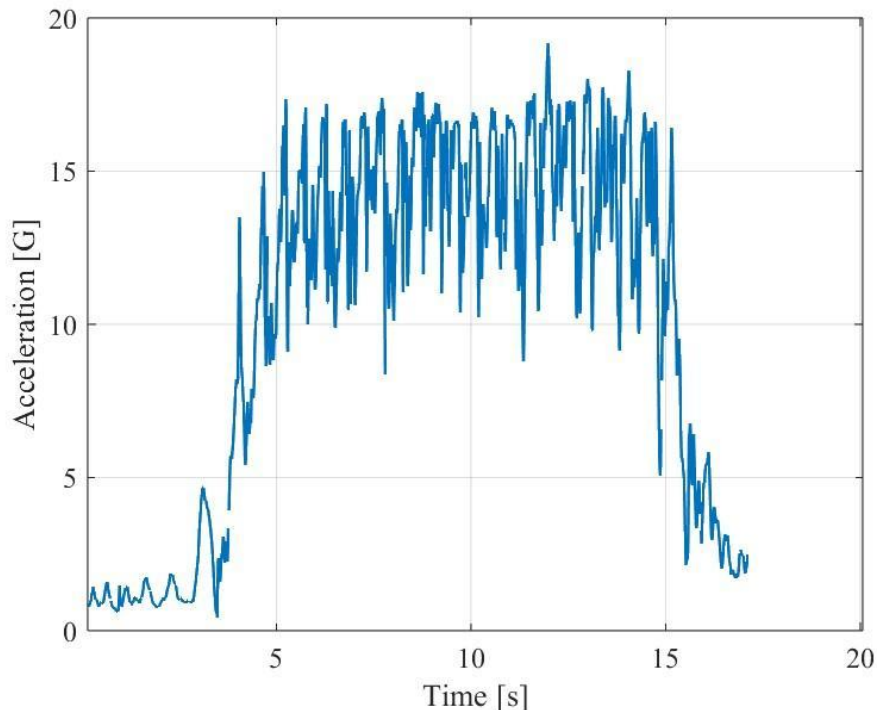


図 5.2 1回目の加速度履歴

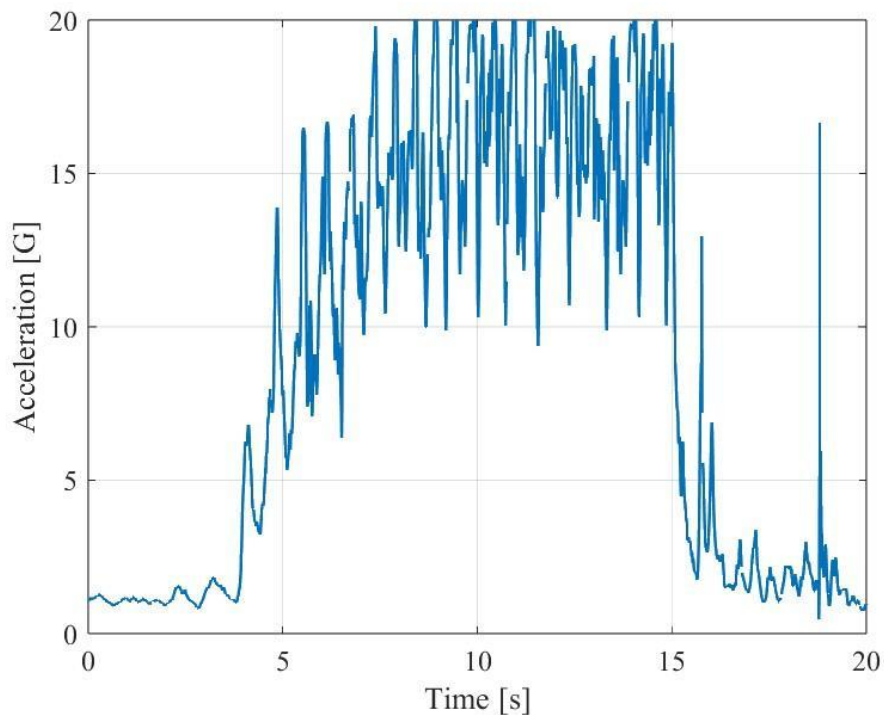
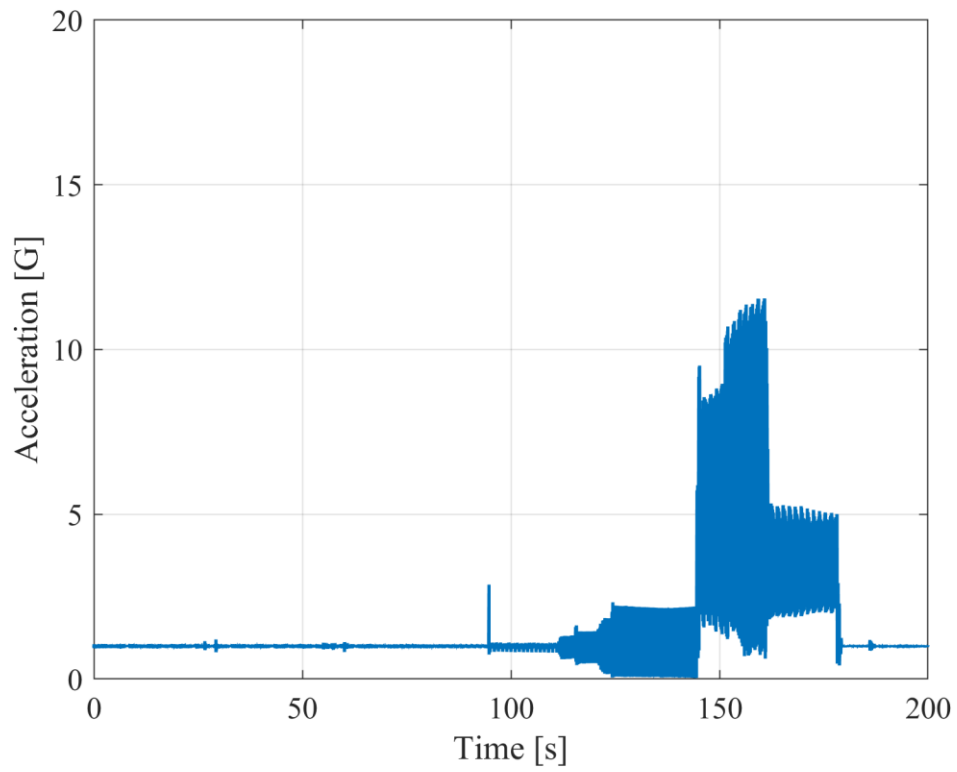


図 5.3 2回目の加速度履歴

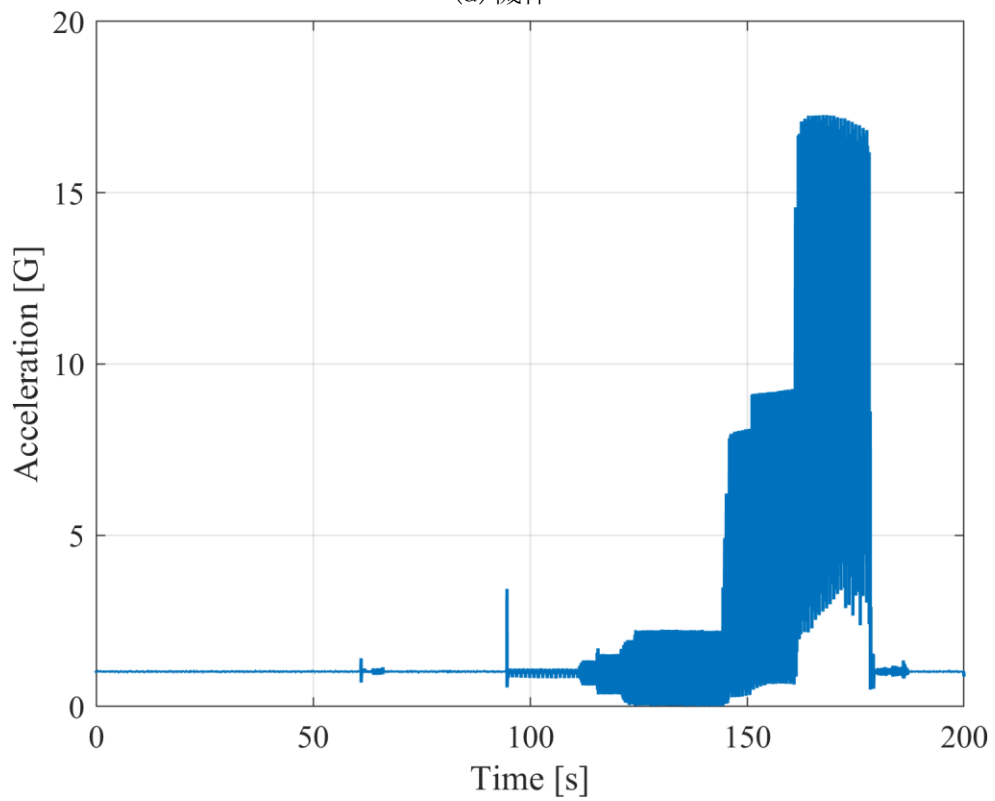
- 結論
 - 機体がロケット発射時の準静的荷重(10G)に耐えられることを確認できた。

RV4 振動試験

- 目的
 - ロケットでの打ち上げを想定した際に打ち出しにかかる振動に機体が耐えられることを確認する。
- 試験内容
 - 加振機に機体を直接取り付け、振動実験を行った。本試験では推奨試験条件よりも厳格に1 - 2300 Hzの振動数と最大17Gの加速度を加振機で機体に与えた。また、値を取得する際に用いたセンサは、ATR社のTSND151であり、機体と加振機台の2か所に取り付けた。機体側は、機体の上面に固定し、振動の方向と加速度センサのX軸方向が一致するようにした。また、加振機台側も加振機台の側面に固定し、振動の方向と加速度センサのX軸方向が一致するようにした。
- 試験結果
 - 試験の様子を以下に示す。
 - ◇ 1回目：<https://youtu.be/rE0Th4q5Fok>
 - ◇ 2回目：https://youtu.be/5ZrVl805P_jA
 - 1, 2回目ともに振動を加えても機体が破損することなく正常に作動した。いずれの場合においても平均的に10G以上の加速度を10秒以上印加できており、センサが正常に機能し続けたことを確認することができた。
 - このときの加速度に関する時系列を示す。



(a) 機体



(b) 加振台

図 5.4 1 回目の加速度履歴

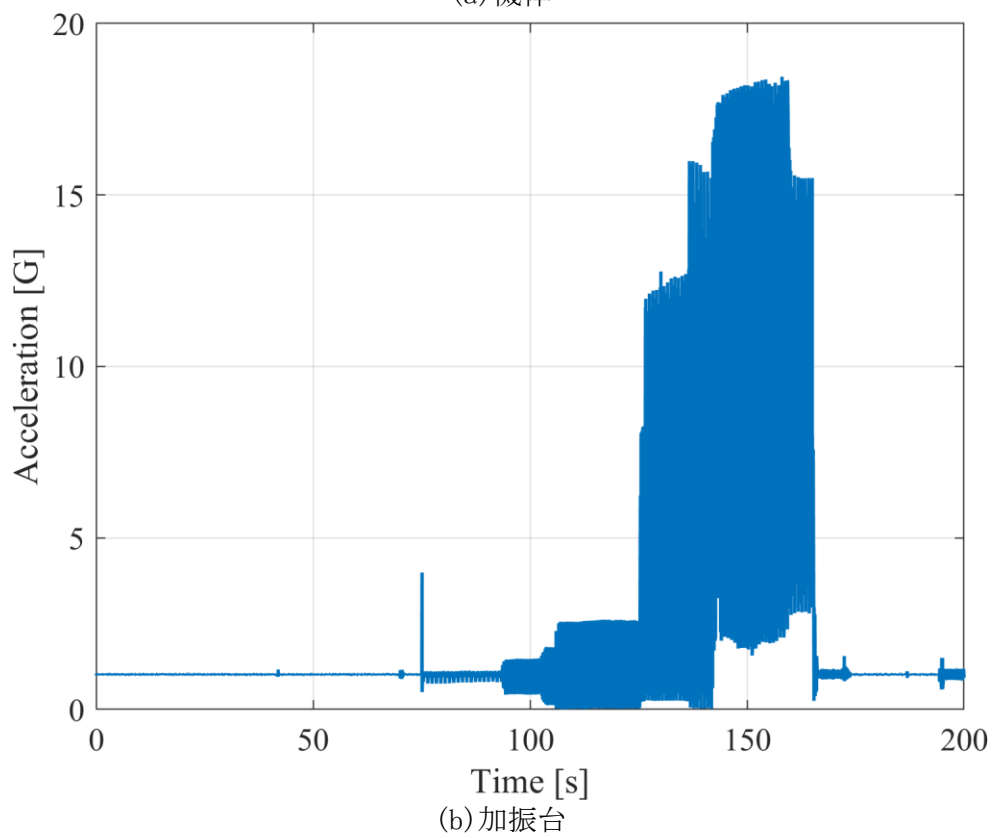
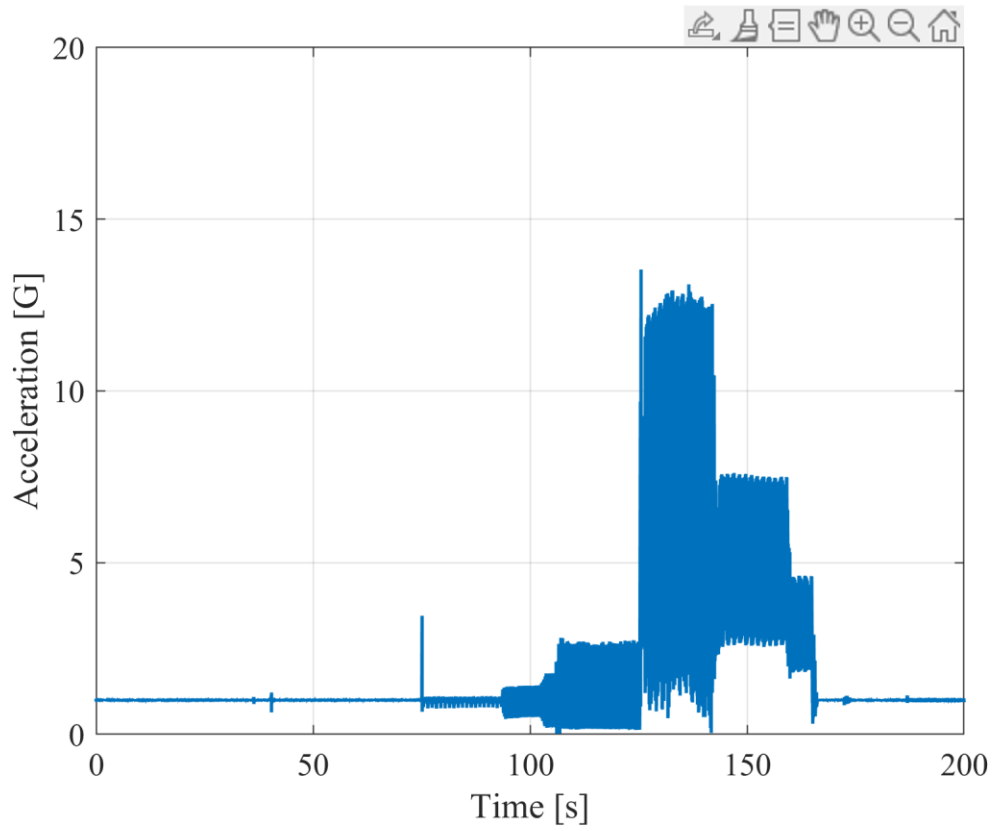


図 5.5 2 回目の加速度履歴

- 結論
 - 機体は想定される振動に対する耐久性能を有している.

RV5 分離（パラシュート開傘）衝撃試験

- 目的
 - ロケット搭載から放出される際の衝撃，またパラシュートが開く際の衝撃（40G と想定）に分離シートと機体が耐えられることを確認する。
- 試験内容
 - ロケットによる打ち上げを想定した際にロケットからの分離時にかかる撃荷重に耐えうることを確認する．ここでは推奨の 40 G に近い値で耐えることとする．パラシュートが開く際の衝撃も同様とした．機体及びパラシュートとの接続部がこれに耐えうることを示す。
 - 機体とパラシュートの接続部を紐で接続し，高所から力を下向きにかけて落下させ，紐が張り合った時に紐方向に約 40G がかかるようにする．値を取得する際に用いたセンサは ATR 社の AMWS020B を用い，機体の上面に固定した。
- 試験結果
 - 試験の様子を以下に示す。
 - ◇ <https://youtu.be/Y2Ic1N0cz1Y>
 - 衝撃を加えても機体が破損することなく正常に作動した。
 - このときの加速度に関する時系列を示す。

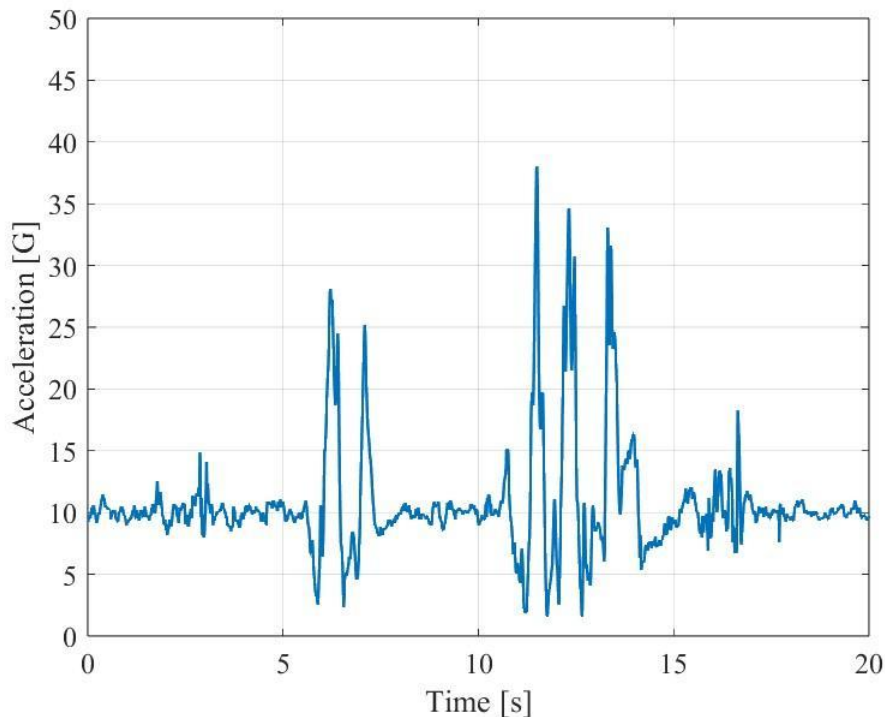


図 5.6 加速度履歴

- 結論
 - 40 G 近く加速度を加えた後も正常に動作することから，ロケット搭載から放出される際の衝撃，またパラシュートが開く際の衝撃に分離シートと機体が耐えられると考えられる。

RV6 パラシュート開傘試験

- 目的
 - キャリアから放出された機体のパラシュートが正常に開傘し，開傘後に減速していることを目視で確認する。

- 試験内容
 - 本試験は、タイプエス社様のご協力のもと行うことができた試験である。
 - ドローンを用いて上空 40 m の高さまで機体を移動させ、キャリアが開かれると同時にパラシュートが装着された機体が落下する。ここで、機体のパラシュートが正常に開傘し、減速できているかを目視で確認する。
- 試験結果
 - いずれの場合においてもパラシュートは正常に開き、減速できていることが確認できた。
 - 試験の様子を以下に示す。
 - ◇ 1 回目 : https://drive.google.com/file/d/1pksdkt_EspybjvSn-0Z_U0dQLDgPLk_B/view?usp=drive_link
 - ◇ 2 回目 : https://drive.google.com/file/d/15W-R-B_y7Ga0YAo07y-QCmefP2pZE0VG/view?usp=drive_link
 - ◇ 3 回目 : https://drive.google.com/file/d/1hEsmes_jhK2uGSM5QsaNDeTeEq3ggivyG/view?usp=drive_link
- 結論
 - パラシュートが開傘して減速できることが目視で確認できた。

RV7 パラシュート投下試験

- 目的
 - パラシュートが開傘して減速することを確認する。
- 試験内容
 - パラシュートを装着した機体をキャリアに収納し、約 19 m の高さからキャリアを下向きにして落下させる。パラシュートが開傘して速度が一定となる高さ 4 m の時点から着地するまでの時間 t を記録動画から読み取って計測し、落下速度 v を算出する。パラシュートは最終落下速度が 6 m/s 以下になるように設計している。そこで試行を 5 回繰り返して、平均終端速度を算出し、これが 5 m/s 以上 6 m/s 以下であることを確認する。
- 試験結果
 - 試験の様子を以下に示す。
 - ◇ 1 回目 : https://drive.google.com/file/d/1u0TX0-0jYY6Y6UQwfIjD33i6oIstUwpW/view?usp=drive_link
 - ◇ 2 回目 : https://drive.google.com/file/d/likbd_pLJyYJp3o2HCr_EYyqYQCj5iBv/view?usp=drive_link
 - ◇ 3 回目 : https://drive.google.com/file/d/1cLV5Uvc-k6I2S7dHM_sbuwGd-LavzLER/view?usp=drive_link
 - ◇ 4 回目 : https://drive.google.com/file/d/1hzofcdXwhZ9Kpp8jppL3uC1N774c5t1V/view?usp=drive_link
 - ◇ 5 回目 : https://drive.google.com/file/d/1qHKGUdXbek5yD1GPpmzTidHz0sWSUc1L/view?usp=drive_link
 - 以上の試験時の動画から、終端速度になっている地面から高さ 4 m の地点（動画内においては、壁にある横線の地面から数えて 2 つ目）を通過したときを時刻 t_0 とし、地面に落ちた時刻を t_1 として動画のフレームを抽出し、フレームレートを考慮して落下までに要した時間を計算する。その後、 $v_f = \frac{4}{t_1 - t_0}$ [m/s] という式から終端速度を計算する。
 - 以下の表では、5 回の試験から算出した終端速度の平均値を求め、その値が 5 m/s 以上

6 m/s 以下であることを確認した結果を示す.

表 5.1 終端速度計算結果

実験回数	速度計測開始の高さ[m]	左記高度からの落下所要時間[s]	終端速度[m/s]
1	4.00	0.73	5.48
2	4.00	0.74	5.41
3	4.00	0.70	5.71
4	4.00	0.70	5.71
5	4.00	0.69	5.80
平均	4.00	0.71	5.62

- 結論
 - パラシュートが開傘して減速できることが確認できた。終端速度の平均値は 5.62 m/s であり、正しく減速できていることが確認できた。

RV8 着地衝撃試験

- 目的
 - 落下衝撃で機体が故障しないことを確認する。
- 試験内容
 - パラシュートの終端速度と同等の落下速度となるように機体を自由落下させた後、機体が正常に動作するかを確認する。ここで、終端速度を 6.0 m/s とを仮定すると、この終端速度となるには $v = \sqrt{2gh}$ より約 1.8 m から自由落下させればよいことがわかる。これにより、着地時の衝撃力が再現できると考えられる。
- 試験結果
 - 試験中の様子を以下に示す。
 - ◇ https://drive.google.com/file/d/19GLtHXAA2F5aaaKQ2nUehBxqtdozaMWI/view?usp=drive_link
 - 上記より、1.8 m の高さから落下させても衝撃で機体が故障せず、モータも駆動することが確認できた。
- 結論
 - 落下衝撃で機体が故障しないことを確認した。

RV9 無線 ON/OFF 試験

- 目的
 - 一定時間経過後、無線通信モジュールが ON から OFF となること、およびフライトピンを抜くことで OFF から ON となることを確認する。
- 試験内容
 - 本ミッションでは、打ち上げ時の無線機の電源 OFF の規定に基づき、プログラムを実行すると無線通信が開始し、一定時間経過すると無線通信を停止する。これは、打ち上げ中にロケットの無線通信との緩衝を防ぐためである。打ち上げ後、機体がキャリアから放出されて機体の回路基板に取り付けられていたフライトピンが抜けたことを検知すると、無線通信を再開する。本試験では、プログラムを実行した後無線通信を行い、その通信データが受信できていることを地上局で確認する。そして、機体がキャリアから放出されたと仮定してフライトピンを抜いた後、無線通信が再開し、通信データが再度受信できることを地上局で確認する。
- 試験結果
 - 試験中の様子を以下に示す。
 - ◇ 1 回目：<https://youtu.be/tH4I0Lmv-aY>
 - ◇ 2 回目：<https://youtu.be/gLL818y1voU>

- 結論
 - 機体は無線の ON/OFF を切り替えることが可能であり、所望のタイミングで送信を停止、再開できることを確認した。

RV10 無線 CH 変更試験

- 目的
 - 通信の妨害や混線を防ぐため、無線通信モジュールのチャンネルが変更できることを確認する。
- 試験内容
 - 本ミッションで機体に搭載する無線通信モジュールとして LoRa を使用している。そこで、LoRa のチャンネルが変更可能であることを確認する。本試験では、TeraTerm 上で LoRa のチャンネルを変更し、同じチャンネル同士の LoRa はつながり、異なるチャンネル同士の LoRa はつながらないことを確認する。
- 試験結果
 - 試験中の様子を以下に示す。
 - ◇ 1 回目：<https://youtu.be/d-5yNhJWW6Y>
 - ◇ 2 回目：https://youtu.be/z5iNdAXRM_jM
- 結論
 - チャンネル変更可能であることを確認し、他のチャンネルに影響をもたらさないことを確認した。

RV11 通信距離試験

- 目的
 - ロスト対策のため、機体と地上局(PC)の通信できる最大距離を測定する。
- 試験内容
 - 機体と地上局(PC)それぞれに無線通信モジュール(LoRa)を接続し、通信を行う。その後、機体とともに多摩川沿いを徒歩で移動し、地上局から機体を離していく。これにより、地上局の設置地点と通信が途切れる直前の地点間の距離を算出する。
- 試験結果
 - 機体および地上局が通信可能であった各緯度経度は以下の通りであった。
 - ◇ 機体：緯度 35.58498°，経度 139.66781°
 - ◇ PC：緯度 35.60616°，経度 139.62673°
 - ここで、2 地点間の距離を以下のサイトを用いて導出し、その導出結果を以下に示す。
 - ◇ <https://keisan.casio.jp/exec/system/1257670779>



図 5.7 2 地点間の距離結果

- 以上より、機体と PC が 4.4030 km 離れた状況においても通信可能であることが確認できた。

- 結論
 - 本大会において必要な通信距離を満たす.

RV12 GPS センサ精度試験

- 目的
 - GPS センサから取得される値の精度を確認する.
- 試験内容
 - GPS センサとスマートフォン上で現在地の緯度経度を調べた際の値をそれぞれ比較し、一致していることを確認する.
- 試験結果
 - 試験中の様子を以下に示す.
 - ◇ 1 回目 : https://drive.google.com/file/d/19bslvgmGQL7nLm7d3TsWblIPL6729Wc_/view?usp=drive_link
 - ◇ 2 回目 : https://drive.google.com/file/d/1X2GXw01G4Ldbutfk4kKpg0ePRkIpFwig/view?usp=drive_link
- 結論
 - GPS センサで取得した値がスマートフォンの位置情報と小数第 4 位までつまり 10m の誤差で合致し、GPS センサの精度を確認できた.

RV13 9 軸センサ試験

- 目的
 - 加速度センサを揺らした際に取得された値が変動していることを確認し、加速度センサが機体の着地判定に利用できることを確認する. また、角度センサが正しい方向を示すか確認し、ゴール方向を検知できるか確認する.
- 試験内容
 - 本試験では 9 軸センサが搭載された機体を傾けた時には角度センサから取れた値が、機体を揺らした時には加速度センサから取れた値が変動していることを確認する.
- 試験結果
 - 試験中の様子を以下に示す.
 - ◇ 1 回目 : https://youtu.be/egpBJ5Q7p_w
 - ◇ 2 回目 : <https://youtu.be/DpBjHNZiT5Y>
- 結論
 - 機体姿勢角と加速度の変更に対し加速度の変化が検出できていることを確認した.

RV14 電池試験

- 目的
 - ミッション遂行に十分な電源を有しているか確認する.
- 試験内容
 - 機体の動作時間を確認する. 最初の 45 分を投下までの準備状態としてキャリアに収納された状態を模擬し、その後実際のミッションと同様にモータ出力を行い、ミッション遂行に十分な電源を有しているか確認する.
- 試験結果
 - 試験中の様子を以下に示す.
 - ◇ https://drive.google.com/file/d/1NPQVfdi2Mk8jA5odHyW1Ev7VYBUbJmlp/view?usp=drive_link
- 結論

- 機体はミッションを遂行するにあたり必要十分な電池容量を有していることを確認した.

RV15 着地判定試験

- 目的
 - 機体が地上に着地することを検知する際に、時間、気圧、加速度の三つの条件によって着地を判定することで誤認識に対する冗長性があることを確認する.
- 試験内容
 - 機体が地上に着地することを検知するために、時間、加速度センサ、気圧センサの三つの条件によって着地を判定する. 校舎3階で試験をはじめ、校舎の1階に降りて機体に着地を判定するかを確認する.
 - 本試験でのそれぞれの閾値は、時間は60 [s]、加速度センサは振動の合成ベクトルの基準として 2.5×10^{-5} [ms²]、気圧センサは実験日(2025/07/07)に試験場所の2階でセンサ取得できた値を使用している.
- 試験結果
 - 試験中の様子を以下に示す.
 - ◇ 1回目：<https://youtu.be/dZtCsny908Q>
 - ◇ 2回目：<https://youtu.be/8vJ7MKC1SgM>
- 結論
 - 3階から1階に移動し、機体を地面に置くことで、それぞれの条件を満たし、着地を判定することができた. ここで気圧センサの閾値は試験当日の天候によって決定する必要があると考えられる.

第5.2節 レギュレーションを満たすためのシステム試験（カムバック向け）

CRV1 SDカード記録試験

- 目的
 - SDカードに機体のセンサ履歴が残されていることを確認する。
- 試験内容
 - 機体を走行させた際に txt 形式でセンサ値を記録できていることを確認する。
- 試験結果
 - SDカードが記憶した制御履歴を以下に示す。
 - ◇ 制御履歴

```
① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
1753922861.7441890,state:0,Lat: 0,Lng: 0,ax: 0.133,ay: -0.16,az: 0.078,q: 0.251,pressure:100670,cameraCount:
0,control_log1: ---,control_log2: ---,rv: 999,lv: 999,AR: False,Color: False,distance est.: 999
1753922936.589211,state:0,Lat: 0,Lng: 0,ax: -0.026,ay: -0.02,az: -0.001,q: 0.375,pressure:100667,cameraCount:
0,control_log1: ⑦ -,control_log2: ---,rv: 999,lv: 999,AR: False,⑨ r: False,distance est.: ⑩ : 999
1753923052.3808711,state:0,Lat: 0,Lng: 0,ax: -0.064,ay: 0.074,az: -0.094,q: 0.438,pressure:100666,cameraCount:
0,control_log1: ---,control_log2: ---,rv: 999,lv: 999,AR: False,Color: False,distance est.: 999
1753923164.8065197,state:0,Lat: 0,Lng: 0,ax: -0.156,ay: 0.121,az: -0.111,q: 0.375,pressure:100670,cameraCount:
0,control_log1: ---,control_log2: ---,rv: 999,lv: 999,AR: False,Color: False,distance est.: 999
1753923273.2331095,state:0,Lat: 0,Lng: 0,ax: -0.278,ay: 0.153,az: -0.139,q: 0.062,pressure:100667,cameraCount:
0,control_log1: ---,control_log2: ---,rv: 999,lv: 999,AR: False,Color: False,distance est.: 999
1753923370.8376739,state:0,Lat: 0,Lng: 0,ax: -0.099,ay: 0.21,az: -0.14,q: 359.875,pressure:100666,cameraCount:
0,control_log1: ---,control_log2: ---,rv: 999,lv: 999,AR: False,Color: False,distance est.: 999
```

- ①：時刻，②：ステート番号，③：緯度・経度，④：加速度センサ (x, y, z, q)，⑤：気圧，⑥：カメラ累計撮影枚数，⑦：モータ出力，⑧：画像認識ログ，⑨：AR マーカーとの距離

図 5.8 SDカードが記録した制御履歴の一例

- 結論
 - SDカードに機体のセンサ履歴が残されていることを確認できた。

CRV2 センサ統合試験

- 目的
 - GPS センサ，9 軸センサ，気圧センサ，モータを統合したときに正しく動作することを確認する。
- 試験内容
 - 機体に搭載している全てのセンサの値を定期的を取得し，画面出力にて確認する。
- 試験結果
 - 試験中の様子を以下に示す。
 - ◇ 1 回目：https://drive.google.com/file/d/1C_cSAJj-OIGQfja6FrJtKpLGeA3mbQhT/view?usp=drive_link
 - ◇ 2 回目：https://drive.google.com/file/d/1PLAjWVjTB4MsNBXqFFfUh41QHvOCC1F/view?usp=drive_link
- 結論
 - 全てのセンサとモータが正常に動作したことを確認した。

CRV3 地上局記録試験

- 目的
 - 地上局へ情報を正確に伝達可能であることを確認する。GPS センサによって，時刻・緯度・経度を取得でき，これらの情報を地上局に送ることができる仕組みとなっている。この仕組みが正常に作動するのか確認するための試験である。
- 試験内容
 - GPS センサの値を地上局へ正確に送信可能であるのか確認する。
- 試験結果

- 試験中の様子を以下に示す。
 - ◇ 1回目：<https://youtu.be/3OEWZP4Uypc>
 - ◇ 2回目：<https://youtu.be/9kazINb1Q6g>
- 結論
 - 地上局へ情報を適切に送信できることを確認した。

CRV4 End to End 試験

- 目的
- 試験内容
- 試験結果
 - 試験中の様子を以下に示す。
 - ◇ 1回目：https://drive.google.com/file/d/18kW6neOR9pZeu7jiyKG-11JHGN3dnFw9/view?usp=drive_link
 - ◇ 2回目：
https://drive.google.com/file/d/1LlIXuI152wzuwuoKohlcb6LfqsLTYL9B/view?usp=drive_link
 - 結果についてまとめたものを以下に示す。

表 5.2 結果一覧

サクセス クライテリア	ステート	内容	1回目	2回目
準備	0	センサ起動		0 : 00
		キャリア搭載		0 : 00
ミニマム	1	放出判定		0 : 46
	2	着地判定	1 : 02	0 : 46 ~
	3	パラシュート分離	1 : 02	1 : 47 ~
ミドル	4	ランドマーク位置を探索。 ランドマークの正面を確認。 その後ランドマークから一定 距離離れる。		2 : 00 ~
	5	等間隔に穴をあけると同時に 種モジュール放出。		2 : 42 ~
フル	6	種モジュールを俯瞰する位置 まで移動。射影変換を行い、 成功判定。		5 : 50 ~ 6 : 25
アドバンスド	7	ゴールに向かって走行。		

- ◇ 1回目の結果：プライトピンを挿し忘れ、ステート1からのスタートとなってしまった。ArUco マーカを探索するステートに移動することができなかったのは、カメラの故障によるものであると考えられ、カメラケーブルの断線であることが判明した。
- ◇ 2回目の結果：全体を通して、ステート5で時間を消費したものの、フルサクセスまで到達することができた。

- 結論および考察

- 1回目：まず、フライトピンの挿し忘れについては、単純なヒューマンエラーであると考えられる。そのため、本番の実験までに「忘れてはならない作業項目一覧表」などを作成し、確認漏れを防ぐ対策を講じる。次に、ケーブルの断線防止に関しては、破損が予想される箇所に対しガムテープなどで補強を行うことを検討している。さらに、ケーブルの信頼性を向上させるため、カメラ用ケーブルの種類をより耐久性の高いものへと変更した。
- 2回目：今回ステート5で時間を要してしまった原因について考察する。本アルゴリズムでは、ランドマークの正面かつ一定距離を保った位置を初期位置とし、そこから近づいて距離が閾値内に収まったら種を蒔くという手順を取っている。しかし、接近時にランドマークが画面外に出てしまったため、再び探索を行うことになり、時間を要したと考えられる。種まきフェーズに入った後は、角度の調整およびわずかな後退によって対策を行っているが、この過程にも時間がかかってしまった。これは位置決めにおけるランドマークの情報が支配的であるため発生した問題である。そのため、最後に見つけたランドマークの位置を記録し、画角から外れた場合でもモータの回転量から相対位置を検出する手法を考え、現在実装中である。成功判定ステートでは、ログにより、種モジュールの検出には成功しているものの、ミッションの成功判定は失敗の結果が出ていることが確認された。現在の手法では、射影変換によって、画角に入る範囲が限定されてしまう問題がある。それにより元の画像では検出されていた種モジュールが、変換後は描画されなくなり、今回の成功判定が失敗したと考えられる。また、それを回避しようと描画範囲を拡大すると、等間隔性の評価に支障をきたすことが考えられる。今後は、射影変換前の描画範囲を変更することで、変換後も全ての種モジュールが画角に入るような調整をしたいと考えている。

CRV5 制御履歴レポート試験

- 目的
 - CanSat の制御履歴およびミッションログが入手可能であることを確認する。
- 試験内容
 - End to EndE 試験において CanSat 本体に保存される制御履歴を確認し、動作の判定根拠および実行結果が記録されていることを確認する。
- 試験結果
 - 以下に、End to End 試験で記録した制御履歴の一例を示す。

```

① 1753943779.3742542, state:3, Lat: 0, Lng: 0, ax: 0.0, ay:-0.001, az:-0.001, q:234.625, pressure:100672, cameraCount:
② 1, control_log1:para separation, control_log2: ---, rv: 70, lv: 70, AR: False, Color: False, distance est. : 999
1753943853.0622542, s ③ 3, Lat: 0, Lng: 0, ax:-1.35, ay: 0.64, az:-0.906, q: 338, pressure:100677, cameraCount:
2, control_log1:para ④ ation, control_log2: ---, rv: ⑦ 70, lv: 70, AR: Fals ⑧ lor: False, distanc ⑨ :. : 999
1753944043.3072541, state:3, Lat: 0, Lng: 0, ax:-0.696, ay: 0.584, az:-0.843, q:222.438, pressure:100675, cameraCount:
3, control_log1:para separation, control_log2: ---, rv: 70, lv: 70, AR: False, Color: False, distance est. : 999
1753944108.1832540, state:3, Lat: 0, Lng: 0, ax: 1.223, ay: 0.503, az:-0.293, q: 215.0, pressure:100675, cameraCount:
4, control_log1:para separation, control_log2: ---, rv: 70, lv: 70, AR: False, Color: False, distance est. : 999
1753944207.1862540, state:3, Lat: 0, Lng: 0, ax:-1.262, ay:-0.337, az:-0.961, q:208.875, pressure:100670, cameraCount:
5, control_log1:para separation, control_log2: ---, rv: 70, lv: 70, AR: False, Color: False, distance est. : 999
1753944348.7452540, state:3, Lat: 0, Lng: 0, ax: 1.201, ay:-0.196, az:-0.054, q:194.062, pressure:100675, cameraCount:
6, control_log1:para separation, control_log2: ---, rv: 70, lv: 70, AR: False, Color: False, distance est. : 999

```

①：時刻，②：ステート番号，③：緯度・経度，④：加速度センサ (x, y, z, q)，⑤：気圧，⑥：カメラ累計撮影枚数，⑦：モータ出力，⑧：画像認識ログ，⑨：AR マーカとの距離

図 5.9 End to End 試験で記録した制御履歴の一例

- 以下に、End to End 試験で記録したミッションログの全体を示す。

```

time:1753941123.0589225, state:1, flying
time:1753943588.1182542, state:2, landing success
time:1753945264.0062542, state:3, para escaping success
time:1753946744.8092539, state:4, moving success
time:1753947579.4082539, state:5, sowing success
time:1753948261.6932540, state:6, 1 seeds found
time:1753948261.6932540, state:6, 1 seeds found
time:1753948261.6932540, state:6, Seed detection failed -> mission failed

```

図 5.10 End to End 試験で記録したミッションログ

- なお、各ステート番号は以下を意味する。
 - ◇ state0：センサ類のセットアップ
 - ◇ state1：ボイド管から機体が放出されたことの確認
 - ◇ state2：時間、加速度、気圧の値を用いた機体の着陸判定
 - ◇ state3：焼き切りによるパラシュートの分離およびカメラ画像による色認識を用いたパラシュート回避
 - ◇ state4：ArUco マーカの探索. ArUco マーカ正面への移動
 - ◇ state5：ArUco マーカに近づきながらサーボを回転
 - ◇ state6：種を俯瞰する位置まで移動. 種子を認識し成功判定
 - ◇ state7：GPS 走行（ランバック）
- 結論
 - 必要事項が記載され、制御の意思決定過程およびその判断基準データが記録できていることを検証した.

第5.3節 ミッションを達成するためのシステム試験

MV1 パラシュート分離試験

- 目的
 - 焼き切りにより機体からパラシュートおよびシートを分離できることを確認する.
- 試験内容
 - 焼き切りを行うことにより、機体がパラシュートおよびシートを分離し、走行する.
- 試験結果
 - 試験中の様子を以下に示す.
 - ◇ 1 回目：

https://drive.google.com/file/d/1660TMN81DuYyMgK47MxLw9pFXU7D2K0Z/view?usp=drive_link
 - ◇ 2 回目：

https://drive.google.com/file/d/1PKyxYeDwX9Qm5073GjB6q4VhWU4Z3ZrH/view?usp=drive_link
- 結論
 - 焼き切り後にシートが開き、その後正常な走行に復帰できていることから、パラシュート分離に関して実行可能性を有している.

MV2 カメラ撮影試験

- 目的
 - カメラが正常に起動し、ミッションで使用する ArUco マーカを検出できることを確認する.
- 試験内容
 - カメラで撮影しながら ArUco マーカの位置を変動させたときに、出力される ArUco マーカの座標も変動することを確認する.
- 試験結果

- 試験中の様子を以下に示す.
 - ◇ 1回目：<https://youtu.be/pil79Em3560>
 - ◇ 2回目：<https://youtu.be/XSEW0zGkMt0>
- 結論
 - カメラが起動し，ArUco マーカを検出，さらに座標取得を行うことができることを確認した.

MV3 前方パラシュート検知・回避試験

- 目的
 - 機体が走行する際に、パラシュートが進路方向にあるか否かを確認し、あると判明した場合にはパラシュートを回避して走行を続けることを確認する。また、パラシュートでないものには反応しないことを確認する。
- 試験内容
 - 機体前方にパラシュートを置く。その際に機体がパラシュートを色認識によって識別し、回避する動作が選択されていることを確認する。
 - 続いて、パラシュートでない赤い布を機体前方に配置し、機体が回避行動をとらないことを確認する。
- 試験結果
 - 試験中の様子を以下に示す。
 - ◇ 1回目：
https://drive.google.com/file/d/1JsUHAEj3Awdfog6GIo17jvFZVQU9xkkQ/view?usp=drive_link
 - ◇ 2回目：
https://drive.google.com/file/d/1A68JmsZ69gI39LQz7KS5pZUzhyZjrMCs/view?usp=drive_link
- 結論
 - パラシュートに対しては回避行動をとり、それ以外のものに対しては反応しないことを確認した。これにより、パラシュートに絡まりスタックする可能性を下げるができると考えられる。

MV4 姿勢変更・保持試験

- 目的
 - 着地したときの機体の姿勢に関係なく、正常な姿勢（回路基板が上空を向く姿勢）になるよう、機体がタイヤを回転させて姿勢を変更できることを確認する。
- 試験内容
 - 機体の初期状態が反転の場合を用意する。この状態からタイヤを回転させて正常な姿勢に戻ることを確認する。
- 試験結果
 - 試験中の様子を以下に示す。
 - ◇ 1回目：https://drive.google.com/file/d/1DNP0wKTs5RCSAY84J2x1Zw8o-B1uKi-s/view?usp=drive_link
 - ◇ 2回目：https://drive.google.com/file/d/103j242zdL0p38gMhmnsj9u06CwI-8LkN/view?usp=drive_link
- 結論
 - 機体の姿勢が走行に不適切であった場合にモータタイヤの回転させることで正常な走行姿勢に変更できることを確認した。

MV5 走破性試験

- 目的
 - 機体が走行のために必要な走破性能を有することを確認する。
- 試験内容
 - 機体が段差に対して、乗り越えることができるのか確認する。段差の高さについては昨年度の現地確認結果より設定した。
- 試験結果
 - 試験中の様子を以下に示す。
 - ◇ 1回目：<https://drive.google.com/file/d/1cyk->

[P75Bns0D_YmVplWfxqugYG5Kh4mJ/view?usp=drive_link](https://drive.google.com/file/d/1Wg1fmXbxRW1IAPwE2sp-SDe3ZgiqY8K9/view?usp=drive_link)

- ◇ 2回目：https://drive.google.com/file/d/1Wg1fmXbxRW1IAPwE2sp-SDe3ZgiqY8K9/view?usp=drive_link

- 結論
 - 想定される障壁において十分な走破性を有すると考えられる。

MV6 スタック検知・回避試験

- 目的
 - 機体が障害物などによって進行が不可能なスタック状態になった際に、これを検知し、その状態から脱出することを確認する。
- 試験内容
 - 機体の進行方向に壁を置くことでスタック状態を生み出す。機体に取り付けられた加速度センサ情報によりスタック状態を検知できるか確認する。
- 試験結果
 - 試験中の様子を以下に示す。
 - ◇ 1回目：https://drive.google.com/file/d/1vG2xV2Jm3Buo9wPUNTIMnrQpzXycwv2-/view?usp=drive_link
 - ◇ 2回目：https://drive.google.com/file/d/1FGTnXbWRE4NgGCIVM96W-0greaJHE3iE/view?usp=drive_link
- 結論
 - 機体がスタックを検知し、脱出可能であることを確認した。

MV7 フライトピン引抜試験

- 目的
 - パラシュートが展開したことを検知するためのフライトピンの引き抜きを機体が認識できることを確認する。
- 試験内容
 - パラシュートと繋がったフライトピンを機体に刺した状態から始める。次にフライトピンを引き抜き、電圧の変動を機体が認識することを確認する。
- 試験結果
 - 試験中の様子を以下に示す。
 - ◇ 1回目：<https://youtu.be/3c8R1-oRb70>
 - ◇ 2回目：https://youtu.be/11d0_1C7ZuQ
- 結論
 - 機体はフライトピンの引き抜きを正しく認識できた。よって、機体は空中でパラシュートが展開したことを認識することが可能である。

MV8 上下機構試験

- 目的
 - サーボモータを動かし、正しく上下機構が上下に動くことを確認する。
- 試験内容
 - サーボモータに指令を送り、動かした際に、種をまくための上下機構が複数回上下に往復することを確認する。
- 試験結果
 - 試験中の様子を以下に示す。
 - ◇ 1回目：

https://drive.google.com/file/d/1uYHBP3LWCrjtXGtb1S93h6PYcec4FThG/view?usp=drive_link

◇ 2 回目 :

https://drive.google.com/file/d/1bLyFNzyrbBpDr2mqKT0gE9IMZA3Q0p7M/view?usp=drive_link

- 結論

- 種をまくための回転機構および上下機構がリンクし、複数回上下に往復することを確認することができ、ミッション遂行において十分な性能をハード機構が有していると考えられる。

MV9 種モジュール放出試験

- 目的

- サーボモータの駆動により種モジュールが上下機構の上下運動とともに落下することを確認する。

- 試験内容

- サーボモータに指令を送り、動かした際に、種をまくための上下機構が複数回上下に往復した際に種モジュールが放出されるかどうかを確認する。

- 試験結果

- 試験中の様子を以下に示す。

◇ 1 回目 :

https://drive.google.com/file/d/1wzWS0gG9E3EJ6V6kR6CsCPpAP2X0wTKo/view?usp=drive_link

◇ 2 回目 :

https://drive.google.com/file/d/1hyo5j9eRxDyh7IKbZLsLAVYb4DrKd_lm/view?usp=drive_link

- 上記より、4回の上下運動につき4つの種子が放出されることが確認できた。

- 結論

- サーボモータの駆動により種モジュールが上下機構の上下運動とともに落下することを確認することができた。よって、種まきフェーズにおいて穴あけ動作と種まきを同時に行うことのできるハード機構であると考えられる。

MV10 放出位置移動試験

- 目的

- ミッション開始位置からランドマーク (ArUco マーカ) 正面を基準に種モジュール放出を開始する位置まで移動し、そこからランドマークを認識することで相対距離を算出しながら等間隔に移動することができるかどうかを確認する。

- 試験内容

- AR マーカの正面を認識し、80 cm, 70 cm, 60 cm 離れたところで静止することを確認する。

- 試験結果

- 試験中の様子を以下に示す。

◇ 1 回目 : https://drive.google.com/file/d/1f6Lli60X105DUYy1B0X-tG3jdiOPyw98/view?usp=drive_link

◇ 2 回 目 : https://drive.google.com/file/d/1mjyflfgeptRsNtXYBN7r9ERPLSBBSNYd/view?usp=drive_link

- 結論

- ArUco マーカを認識し、おおよそ所望の位置まで移動することを確認した.

MV11 等間隔種まき判定試験

- 目的
 - 種子が等間隔にまかれていることを，カメラ画像から確認する。
- 試験内容
 - 本ステートは，射影変換，色による種子認識，RANSAC による直線フィッティング，種子間の距離計算の 4 つの行程からなる。本試験では，それぞれの行程の画像を確認することで，正常に処理が行われているかを確認する。
- 試験結果
 - 試験中の様子を以下に示す。

- ◇ 撮影画像



図 5.11 撮影画像

- ◇ 射影変換後の画像

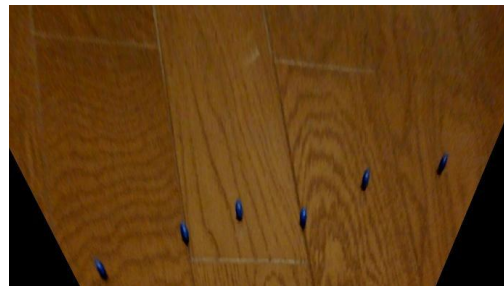


図 5.12 射影変換後の画像

- ◇ 種子認識

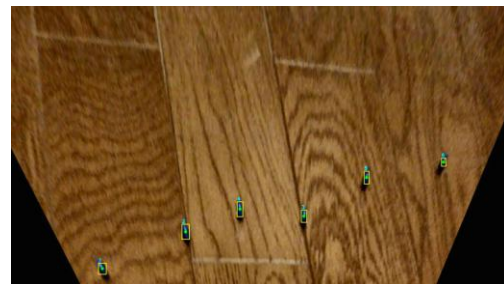


図 5.13 種子認識における画像

- ◇ 直線フィッティング

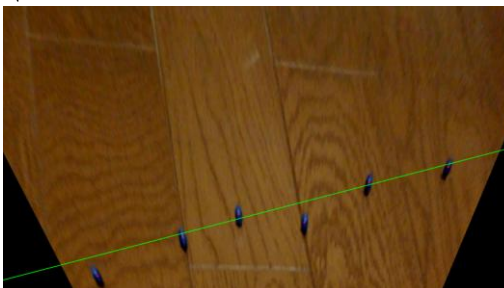


図 5.14 直線フィッティングを行ったときの画像

◇ 種子間の距離計算

```
Seed#1 -> Seed#2: 344.54  
Seed#2 -> Seed#4: 224.01  
Seed#4 -> Seed#3: 230.03  
Seed#3 -> Seed#5: 270.70  
Seed#5 -> Seed#6: 300.84
```

図 5.15 種子間の距離計算結果

- 結論
 - 種子を全て認識して、その距離を測定できることが確認した。

第6章 工程管理

全体工程のガントチャート、試験に関する計画、各班のガントチャートをそれぞれ以下に示す。各試験は、提出締め切りの5日前までに完了するようスケジューリングしており、万が一のトラブルにも対応可能な余裕を確保している。これにより、予期せぬ遅延が発生した場合でも、計画全体への影響を最小限に抑える体制を整えている。

また、ハードウェアとソフトウェアの開発を並行して進めるにあたり、メンバー全員が両分野に共通の理解を持てるよう、週1回の定例ミーティングを実施し、情報共有と進捗確認を行っている。さらに、大きな開発目標を細分化し、それぞれに対応した試験項目を独自に設定することで、短期的なマイルストーンを明確化し、開発全体のペースを適切に管理している。

なお、スケジューリングと試験管理には、Notion のガントチャートやスプレッドシートを活用している。

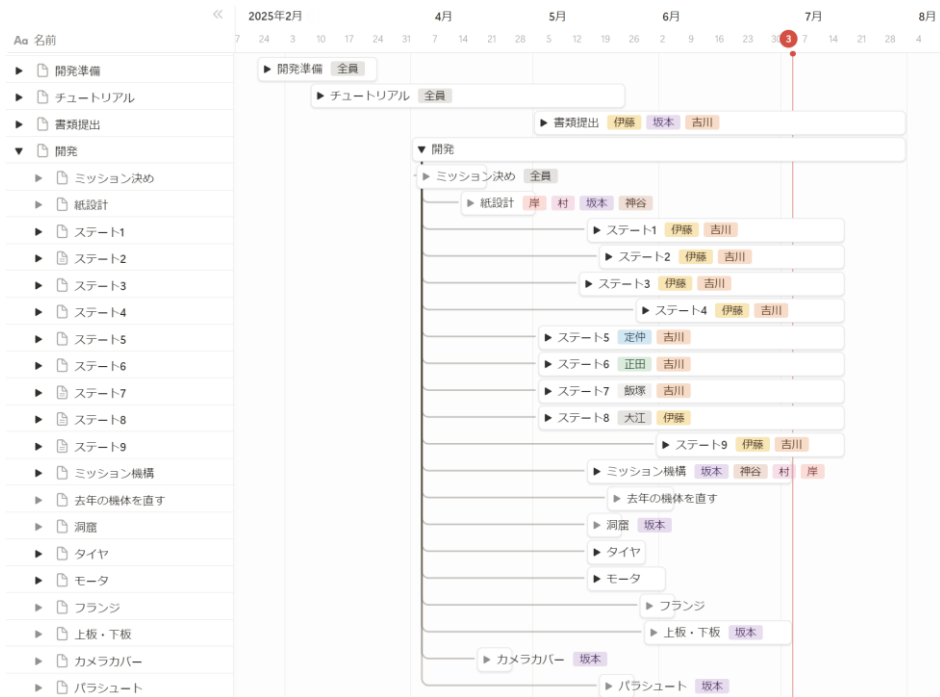


図 6.1 スケジュール全体像

Keio Team Wolve'Z 2025 試験スケジュール										
分	昨年度有	タスク	担当 (責)	担当	担当	実施済	結果記入済	試験完了目標E	実施日	締め切り
試験	有	質量試験	岸	坂本	吉川	✓	✓	9/25	7/2	7/17, 7/31
試験	有	機体の収納・放出試験	坂本	岸	村	✓	✓	9/9	7/2	7/17, 7/31
試験	有	準静的荷重試験	岸	坂本	定伸	✓	✓	9/25	7/7	7/17, 7/31
試験	有	振動試験	伊藤	吉川	定伸	✓	✓	9/25	7/14	7/17, 7/31
試験	有	分離 (パラシュート開傘) 衝撃試験	坂本	飯塚	大江	✓	✓	9/25	7/15	7/17, 7/31
試験	有	パラシュート投下試験	伊藤	定伸	村	✓	✓	9/21	7/3	7/17, 7/31
試験	有	落下分散に関する安全性評価	坂本	定伸	伊藤	✓	✓	9/9	7/15	7/17, 7/31
試験	有	着地衝撃試験	坂本	全員		✓	✓	9/21	7/12	7/17, 7/31
試験	有	無線ON/OFF試験	吉川	飯塚	正田	✓	✓	7/5	7/5	7/17, 7/31
試験	有	無線CH変更試験	吉川	正田		✓	✓	7/5	7/5	7/17, 7/31
試験	有	通信距離試験	伊藤	岸	村	✓	✓	9/25	7/5, 7/31	7/17, 7/31
試験	有	地上局記録試験	吉川	伊藤	正田	✓	✓	9/25	7/5	7/17, 7/31
試験	有	SDカード記録試験	正田	吉川		✓	✓	7/5	7/5	7/17, 7/31
試験	有	GPSセンサ精度試験	吉川	大江	正田	✓	✓	7/5	7/5	7/17, 7/31
試験	有	9軸センサ試験	吉川	飯塚	定伸	✓	✓	7/5	7/5	7/17, 7/31
試験	有	センサ統合試験	吉川	伊藤	大江	✓	✓	7/5	7/5	7/17, 7/31
試験	有	電池試験	伊藤	村	定伸	✓	✓	9/25	7/15	7/17, 7/31
試験	有	パラシュート分離試験	定伸	村	伊藤	✓	✓	9/21	7/17	7/17, 7/31
試験	有	カメラ撮影試験	吉川	飯塚	正田	✓	✓	7/5	7/5	7/17, 7/31
試験	有	前方パラシュート検知試験	吉川	伊藤	大江	✓	✓	7/5	7/29	7/17, 7/31
試験	有	姿勢変更・保持試験	吉川	飯塚	正田	✓	✓	7/5	7/5	7/17, 7/31
試験	有	走破性試験	飯塚	大江	岸	✓	✓	9/30	7/16	7/17, 7/31
試験	有	スタック検知試験	伊藤	飯塚	大江	✓	✓	9/30	7/5	7/17, 7/31
試験	有	着地判定試験	吉川	大江		✓	✓	7/5	7/5	7/17, 7/31
試験	有	フライトビン引抜試験	大江	飯塚	吉川	✓	✓	7/5	7/5	7/17, 7/31
試験	無	上下機構試験	坂本	村	岸	✓	✓	7/5	7/16	7/17, 7/31
試験	無	機モジュール放出試験	坂本	村	岸	✓	✓	7/5	7/17	7/17, 7/31
試験	無	機モジュール放出検知試験	正田	伊藤	飯塚	□	□	7/5		7/17, 7/31
試験	無	放出位置移動試験	定伸	伊藤	吉川	✓	✓	7/5	7/16	7/17, 7/31
試験	無	等間隔書き戻し判定試験	飯塚	伊藤		✓	✓	7/10	7/17	7/17, 7/31
試験	有	EtoE試験	伊藤	全員		✓	✓	7/12	7/17, 7/31	7/17, 7/31
試験	有	制御履歴レポート作成試験	吉川	伊藤	定伸	✓	✓	7/12	7/17, 7/31	7/17, 7/31
試験	無	パラシュート開傘試験	伊藤	全員		✓	✓	9/21	9/21	7/17, 7/31

図 6.2 試験スケジュール

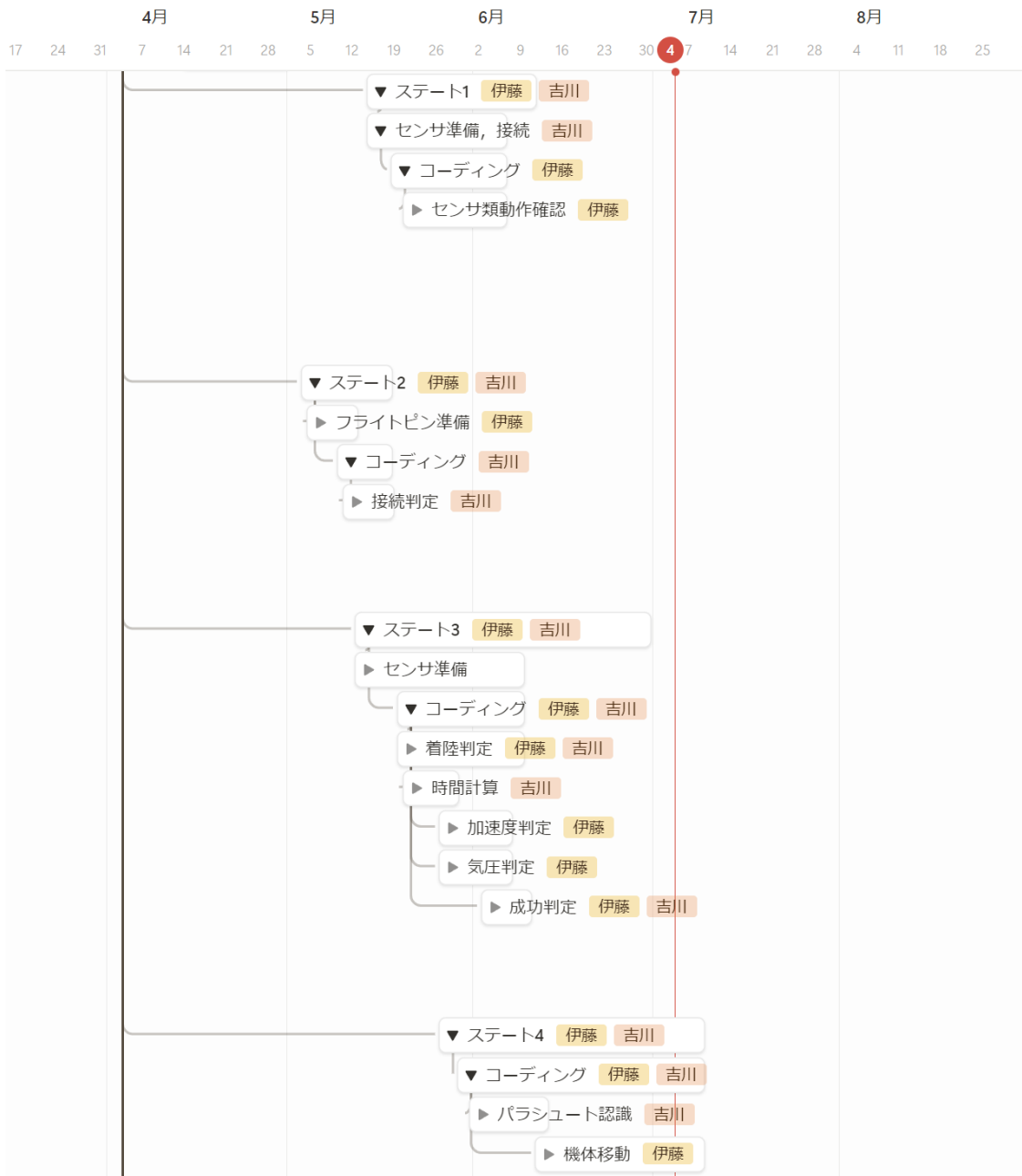


図 6.3 ソフトウェア班開発スケジュール (ステート 1-4)

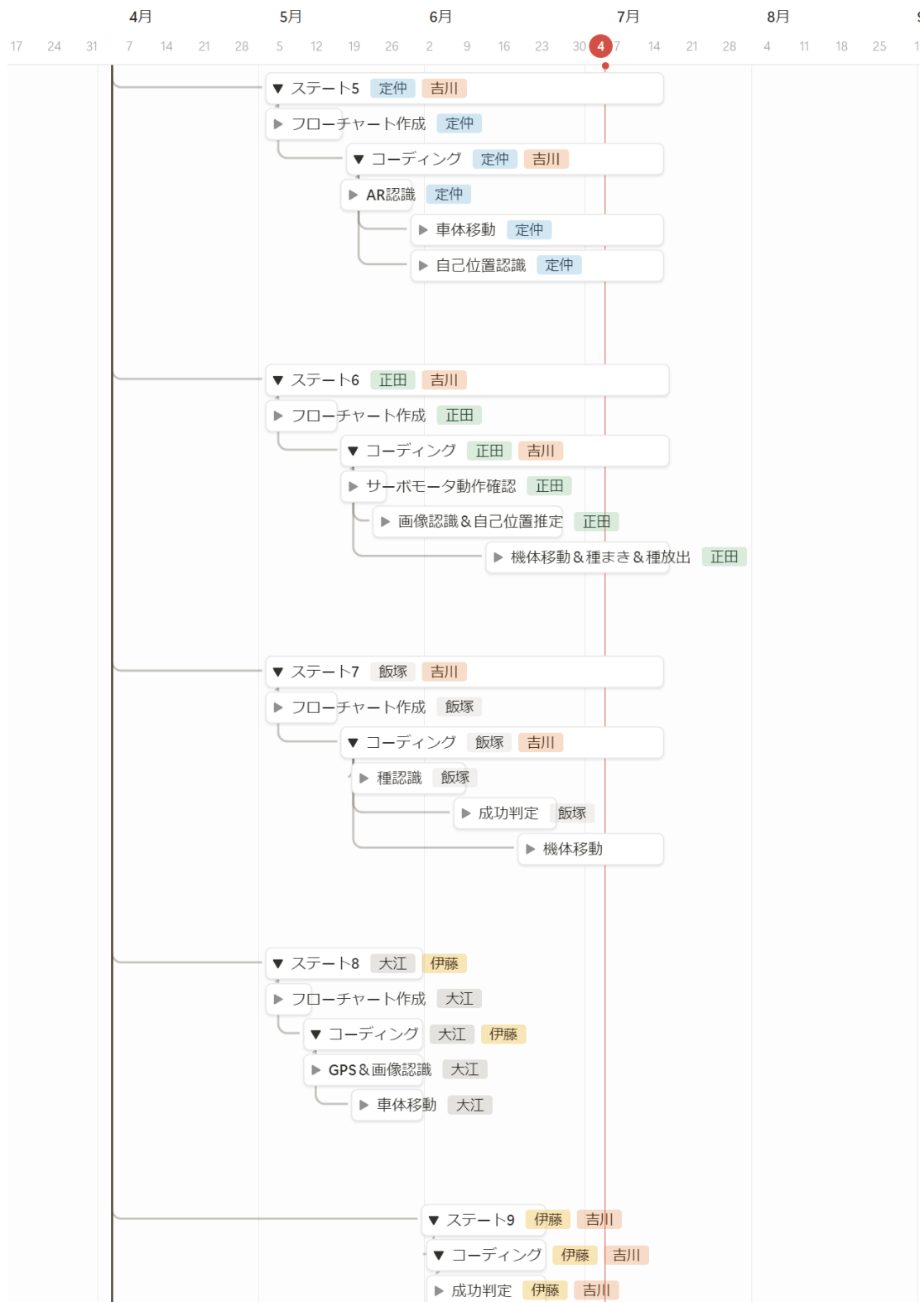


図 6.4 ソフトウェア班開発スケジュール (ステート5-9)

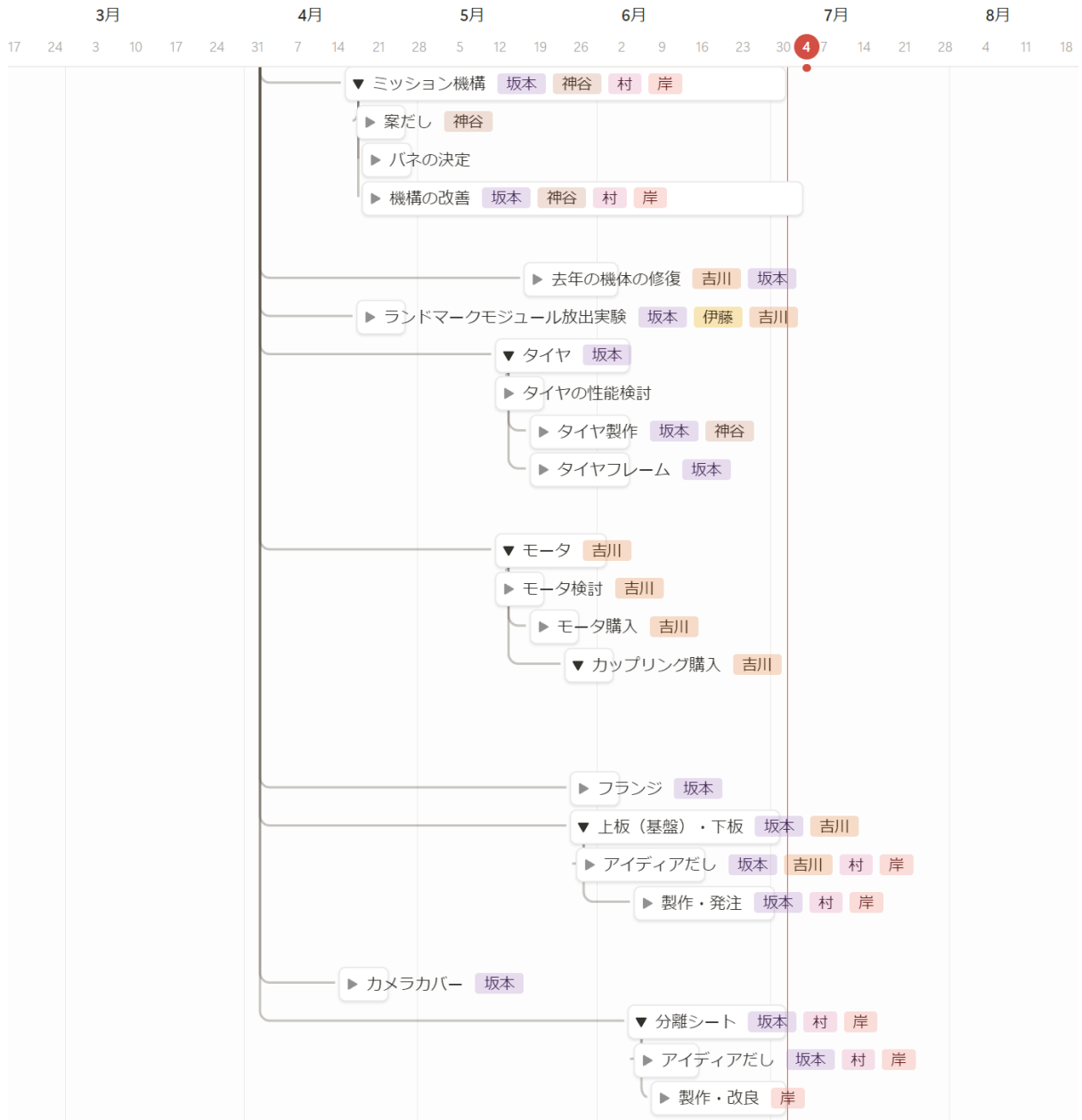


図 6.5 ハードウェア班開発スケジュール

第7章 大会結果報告

第7.1節 目的

Cansat の開発を通して、チームで協力しながら自ら手を動かすものづくりを実践的に学ぶことができた。ARLISS 大会は、その活動の集大成として位置付けられ、これまで取り組んできた開発成果を確認する貴重な場として参加した。

第7.2節 結果

7.2.1. 1回目投下結果

1回目の投下試験では、分離シートの焼き切りに失敗し、機体の分離動作を確認することはできなかった。また、落下衝撃の影響によりラズベリーパイが一時的に電源断となったほか、着地時の衝撃でタイヤのスポーク部が破損し、GPS センサが脱落した。



図 7.1 スポーク部が破損した様子

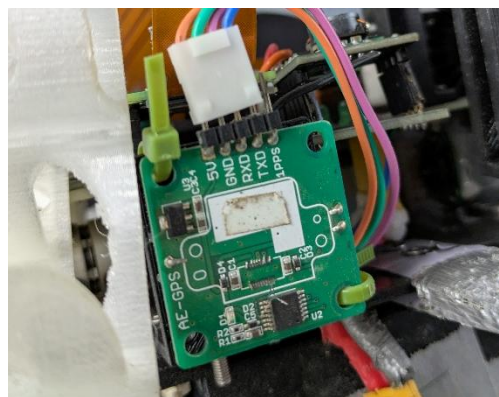


図 7.2 GPS センサが脱落した様子

7.2.2. 2回目投下結果

分離シートの焼き切りには成功し、機体は所定の手順でシートから脱出したものの、タイヤが地面を掘り返す形となり、その場でスタックして自走不能となった。一方で、時間ベースの閾値による状態遷移は正常に動作しており、ソフトウェアの状態管理が適切に行われていたことが確認された。本試験はミニマムサクセスとして評価できる。なお、機体に大きな損傷はなく、無事に回収することができた。

第7.3節 考察

7.3.1. 1回目投下の考察

1回目の投下試験では、着地時の衝撃により Raspberry Pi が落下してしまい、着地判定を行うためのプログラムが起動しない状態となった。ラズパイを機体内部に確実に固定でき

ていなかったことに加え、落下衝撃を吸収するための緩衝材が不足していたことが主因と考えられる。そのため、機体として最低限の着地後プロセスが実行できず、「ミニマムサクセス」にとどまる結果となった。

さらに、着地時の衝撃により片輪が崩壊するなど、機構耐衝撃性の不足が明らかになった。本番環境では強い地面衝撃を受けるため、スポンジなどの緩衝材を追加し剛性を高めた対応は合理的であったが、根本的な設計段階からの衝撃対策が今後必要となる。

7.3.2. 2回目投下の考察

2回目の試験では、機体の損傷は最小限に抑えられ、システム全体としてはより安定した挙動を示したと考えられる。しかし着地後、タイヤが地面に深く食い込みその場で空転したため、自走が不可能となった。この現象は、タイヤ形状が砂地のような柔らかい地面に適していなかったことに加え、接地圧が局所的に集中してしまい掘り返しが発生したこと、さらに重心位置や駆動力の配分が砂質環境と整合していなかったことなどが複合的に影響した結果と考えられる。加えて、試験地の土質に関する事前検証が十分でなかった点も、スタックの発生に拍車をかけた要因といえる。以上より、本機体の走行性能は硬い地面や人工的な環境では問題なく動作する一方、砂地のような本番環境に対してはロバスト性が不足していたと考えられる。

一方で、ソフトウェア面ではステート遷移が設計通りに正常に一巡し、自走不能であった状況下でも状態管理が破綻しなかったことが確認されている。これは、ソフトウェア基盤が適切に機能していたことを裏付けている。

第8章 まとめ

第8.1節 工夫点・努力した点

8.1.1. 全体

本年度の開発では、昨年度と比較して作業スピードが向上し、限られた期間の中で設計・実装・試験を効率的に進めることができた。特に、M1とB4が同じ空間で作業する時間が長かったことから、相談しやすい雰囲気が形成され、技術的な議論やアイデアの共有が活発に行われた点は大きな強みとなった。

ミッションの背景設定や仕様決定もスムーズに進み、途中で大きな方針転換が発生することなく作業を継続できたことは、全体の負担軽減にも寄与した。また、全員が居室で作業する体制が整っていたため、全体ミーティングは必要最低限の頻度で運用でき、各班が自主的かつ柔軟に開発を進めることができた。

8.1.2. ソフト班

ソフト班では、M1の班長を中心とした役割分担の明確化により、B4が新規ステート開発に主体的に取り組む体制が構築された。昨年度の反省を踏まえ、コードベースをファイルごとに適切に分割し、各メンバーが独立してステートを編集できる環境を整えたことで、開発効率が大きく向上した。

技術面では、ARマーカの検出精度向上、Raspberry Pi Zeroを用いた処理パイプラインの安定化、各種スクリプトのサービス化や便利コマンドの整備など、基盤的な技術が強化された。画像認識に強みを持つメンバーによって成功判定ステートが高度化されたほか、実機デバッグを重視した運用により、ステート間の連携精度も高まった。

班内のコミュニケーションが活発であり、問題発生時には助け合いながら解決へ向けて試行錯誤できた点は、班としての強い結束力を示している。

8.1.3. ハード班

ハード班では、限られた内部スペースの中で回転機構や上下機構を成立させるために多くの議論を重ね、最終的にコンパクトかつ機能的な構造を実現した。B4が主要機構に幅広く携われたことで、機構設計・組み立てに関するノウハウを実践的に学べた点は大きな成果である。

また、イモネジの扱い方や結束技術、衝撃に対する耐性設計など、ARLISS特有の知見を実機を通して後輩へ引き継ぐことができた。本番機体を無事に完成させられた点は、班全体の努力の成果といえる。

8.1.4. 回路班

回路班では、上板化基板の独自設計が実現され、他大学から注目を集める結果となった。DCDCやモータドライバのモジュール化による安定動作の確保、本番での電池切れゼロなど、安全性と信頼性を両立した設計が達成された。

はんだ付け作業は精度高く実施され、基板が破損するような重大トラブルも発生しなかった。回路全体として大きな問題が生じなかったのは、事前準備と丁寧な作業の積み重ねによるものである。

第8.2節 課題点

8.2.1. 全体

全体としての課題は、スケジュール管理の甘さとタスク配分の偏りである。特に後半ではB4への作業負荷が増大し、開発が一部属人的になってしまった。

本番環境を十分に想定した試験ができておらず、落下衝撃や姿勢変化、ロープの絡まりなど、現地で発生し得るトラブルを事前に検討できなかった点も明確な改善項目である。

8.2.2. ソフト班

ソフト班では、Git 運用に混乱が生じたことや、一部メンバーの作業締切が曖昧だったことから、作業が遅延する場面があった。また、ステート以外の基礎部分（回路・通信・メイン制御構造）に関する理解が不足していたため、特定メンバー不在時のトラブルシューティングが滞ったことも課題である。

技術的には、AR 認識や画像処理が本番の光条件や機体傾きに十分対応できず、ロバスト性が不足していた。

8.2.3. ハード班

ハード班の課題は、本番環境への想定不足である。落下後の姿勢変化や衝撃、パラシュート紐との干渉など、大学内では再現しにくい状況への対策が不十分であった。また、耐衝撃性や噛み合わせ精度が十分でなかった機構もあり、全体的な信頼性設計に改善の余地が残る。

一部作業が属人化してしまい、機構設計に関する知識が十分共有されなかった点も来年度の課題である。3D プリンターの扱い、重量見積もりの精度など、基礎的な技術面の改善も必要である。

8.2.4. 回路班

回路班の課題は、特定メンバーへの依存が大きかったことである。設計からトラブル対応まで多くが一人に集中し、スキルの引き継ぎが十分に行えなかった。また、リポコネクタ交換による接触不良やバッテリー過放電など、運用面でのリスク要因も発生した。

回路ノウハウを次年度へ引き継ぐための資料化や教育体制の整備が必要である。

第8.3節 今後の展望

学生にとって学業が本務であり、その中で CanSat 活動を進めるためには、時間的・体力的な調整が不可欠である。本団体では、作業内容の可視化や一部活動へのシフト制の導入などを行い、学業と活動を両立しつつ、メンバー同士が無理なく協力し合える体制づくりに努めてきた。今後の参加者においても、学業を大切にしながら、CanSat 活動でしか得られない学びと体験を存分に味わってほしいと考えている。

本年度の活動を振り返ると、単なる技術開発にとどまらず、仲間とともに悩み、議論し、乗り越えていく中で、多くの成長と発見があった。夜遅くまで議論した日、思い通りにいかず落ち込んだ日、そして成功に向けて皆で喜び合った瞬間その一つひとつが、チームとしての絆を深め、活動に特別な意味を与えてくれた。こうした経験は、座学や個人の研究では得られない、CanSat 活動ならではの貴重な財産である。

特に、計画を前倒しで進めることの重要性、そして作業内容や進捗を互いに共有し支え合うことの大切さを体感することができた。これらは、今後どのようなプロジェクトに携わる際にも活かせる普遍的な学びであり、次年度以降のチームにとっても大きな力になると考えられる。

以上の活動を通して得られた経験は、単に機体を完成させるためだけのものではなく、仲間とともに目標へ向かうことの喜びや、挑戦することの価値を改めて実感させてくれるものであった。今後 CanSat 活動に取り組む学生には、この活動が特別な思い出となり、次の挑戦への自信につながることを心から願う。