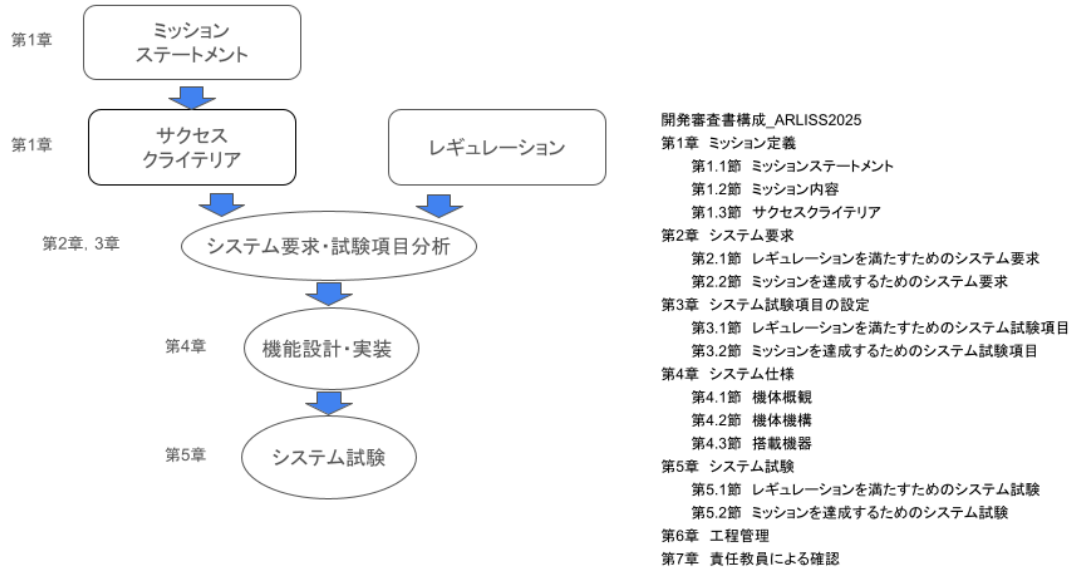


ARLISS2025大会報告書

提出日：2025年11月21日



チーム情報

| | |
|--------------------|--|
| CanSatチーム名 | 東京都立大学 MultiTMU |
| CanSatチーム 代表者情報 | 伊藤奨真 ito-shoma@ed.tmu.ac.jp , 070-3365-0517 |
| UNISEC団体名 | 東京都立大学 宇宙システム研究室 |
| UNISEC団体 学生代表 | 伊藤奨真 |
| 責任教員 | 佐原宏典 sahara@tmu.ac.jp |
| CanSatクラス | Open Class |

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 | 4 |
| 第1.3節 | サクセスクライテリア | 5 |
| 第2章 | システム要求 | 6 |
| 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 | 6 |
| 第2.2節 | ミッションを達成するためのシステム要求 | 6 |
| 第3章 | システム試験項目の設定 | 8 |
| 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 | 8 |
| 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 | 8 |
| 第4章 | システム仕様 | 10 |
| 第4.1節 | 機体概観 | 10 |
| 第4.2節 | 機体機構 | 13 |
| 第4.3節 | フローチャート | 14 |
| 第5章 | システム試験 | 19 |
| 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 | 19 |
| 第5.2節 | ミッションを達成するためのシステム試験 | 36 |
| 第6章 | 工程管理 | 53 |
| 第7章 | 大会結果報告 | 54 |
| 第7.1節 | 目的 | 54 |
| 第7.2節 | 結果 | 56 |
| 第7.3節 | 考察 | 58 |
| 第8節 | まとめ | 59 |
| 第8.1節 | 工夫点・努力した点 | 59 |
| 第8.2節 | 課題点 | 59 |
| 第8.3節 | 今後の展望 | 59 |

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

MultiIMUを用いた誘導制御による複数ターゲットへの接近

近年の惑星衛星探査では、測位システムが利用できない環境下での自律探査ミッションが増加している。代表的な例として、小型月着陸実証機SLIMから放出された超小型月面探査ローバLEV-1や変形型月面ロボットのLEV-2[1]、NASA/JPLのPerseveranceが挙げられる。月をはじめとする深宇宙との交信には時間を要するためローバが自律的にミッションを実施することが求められている。特に月面探査においては、人類の活動拠点として縦穴が注目されているが、そこは測位システムが使えず地球との通信も困難な環境である。また、SLIMは高度50m付近で3~4m程度の高精度な位置推定を可能としますが、画像照合航法を用いることができない天体での着陸精度が数km~十数km程度と大きく、ランダーから降ろされたローバは着地後に自律して目的地まで誘導する必要がある。このような環境下で小型ローバが高精度な自律誘導を行うためには、外部の測位システムに依存しない慣性航法技術が必要不可欠である。

本ミッションでは、複数のIMUから構成される”MultiIMU”を用いた複数のターゲットへの自律誘導手法を提案する。このMultiIMUを構成する1つのIMUは3軸の加速度センサと3軸のジャイロスコープから成るCOTS品であるが、同一のセンサを32個搭載し、出力を合成することで低バイアス変動かつ低ノイズ密度の1つのIMUとして使用することができ、高精度に自己位置推定・姿勢推定を実施することができる(図1.1)。このMultiIMUを用いることにより、昨年度から設置された4つの球からなる新型ゴール、これまで用いられてきた旧型ゴールへの誘導を実現する。弊研究室のCanSatは、昨年度から終端誘導にYOLOといった画像認識アルゴリズムを用いているが認識に時間と電力が必要であるため、本手法を用いることによりミッション時間の短縮と低消費電力を実現する。

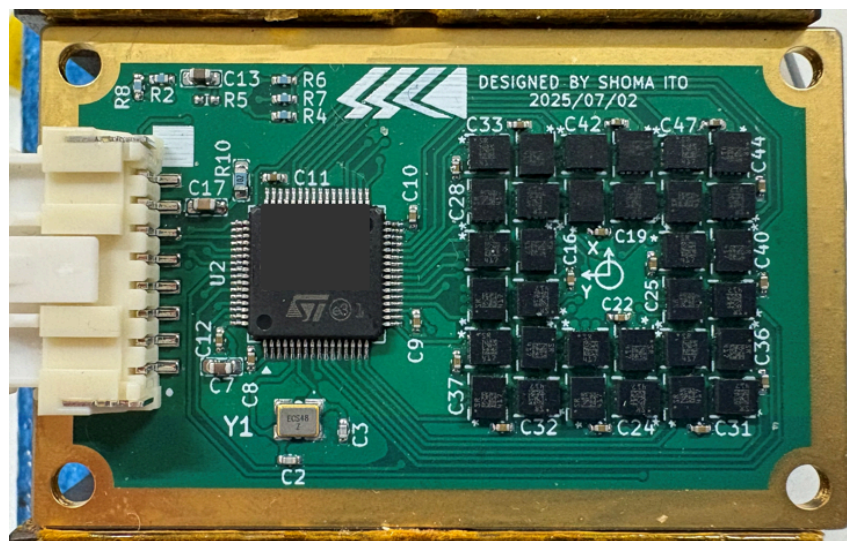


図1.1 開発中のMultiIMUモジュール

[1]國中均, 坂井真一郎, 吉光徹雄, 船木一幸: 「小型月着陸実証機 (SLIM)、超小型月面探査ローバ (LEV-1)、及び変形型月面ロボット (LEV-2) の月面着陸結果について」、
(https://www.mext.go.jp/content/20240226-mxt_uchukai01-000034190_1.pdf 2025年7月4日引用)

第1.2節 ミッション内容

本ミッションでは、以下の図1.2に示すミッションシーケンスでミッションを実施する。CanSatがロケットで打上げられた後にパラシュートを用いて降下、パラシュートの分離・回避を実施した後にCanSatの現在地から最も近いゴールGNSS誘導を開始、ゴール周辺でMultiIMUモジュールで自己位置推定を実施し、新旧の2ゴールに誘導をする。その際、MultiIMUの自己位置推定の精度を高めるために複数回停止し、自己位置推定回数を増やすことで精密誘導を実現する。数百[mm]単位の動作で10[mm]程度の自己位置推定が可能である。

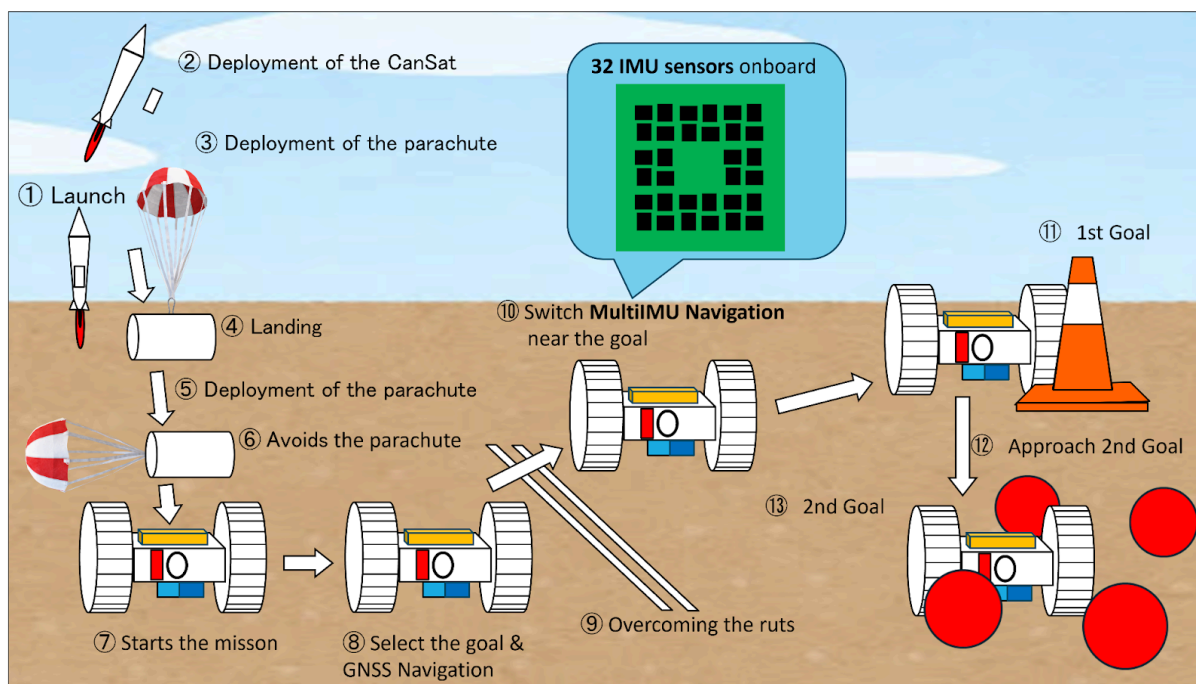


図1.2 ミッションシーケンス

ミッションステートメントから本ミッションにおけるミッションアイテムを以下に選定した。MI-1では、高精度に自己位置推定と姿勢推定ができるMultiIMUシステムを選定した。MI-2では新旧の異なる形状・場所において誘導をする必要があることから異なるターゲットへの誘導制御とした。

| | ミッションアイテム |
|------|---------------------------------|
| MI-1 | 高精度に自己位置推定と姿勢推定ができるMultiIMUシステム |
| MI-2 | 異なるターゲットへの誘導制御 |

第1.3節 サクセスクライテリア

前節で設定したミッションアイテムからサクセスクライテリアを選定した。フルサクセスをMultiIMUを用いた誘導制御による複数ターゲットへの接近とした。

| | 評価項目 | 評価基準 |
|-----------|------------------------------------|--|
| ミニマムサクセス | MultiIMUを用いて自己位置推定をする。 | 自己位置推定して最終位置と真値との差が0.1[m]以下である。 |
| フルサクセス | MultiIMUを用いた誘導制御による複数ターゲットへの接近をする。 | MultiIMUから求めた最終位置と実際の位置が0.1[m]以内かつ0mゴールを達成したかを運営が測定した値を用いて達成 or 未達成で評価 |
| エクストラサクセス | 2個体でフルサクセスを達成する。 | 2個体（2回の打上で）フルサクセスを達成 or 未達成で評価。 |

第1.4節 ミッション要求

ミッションアイテムからミッション要求を設定した。以下のMR1～MR8に示す。

| 番号 | ミッション要求 |
|-----|---|
| MR1 | CanSatはMultiIMUを用いて自己位置推定をする必要がある。 |
| MR2 | CanSatはMultiIMUを用いて姿勢推定をする必要がある。 |
| MR3 | CanSatがMultiIMUを用いて異なるターゲットへ誘導制御を行う必要がある。 |
| MR4 | CanSatが現在地から近いターゲットを選択する必要がある。 |
| MR5 | CanSatが現在地から一番近い目的地へ誘導を行う必要がある。 |
| MR6 | CanSatがカラーコーンに接触した状態で停止をする必要がある。 |
| MR7 | CanSatが新型ゴールの中央で停止する必要がある。 |
| MR8 | CanSatがゴール検知後に次の目的地へ誘導を開始する必要がある。 |

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

レギュレーションからシステム要求を以下のSR1～SR9に設定した。

| 番号 | レギュレーションを満たすためのシステム要求 |
|-----|---|
| SR1 | CanSatは規定のサイズと質量以内でなければならない。 |
| SR2 | CanSatはロケットから放出後に位置が特定できなければならない。 |
| SR3 | 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。 |
| SR4 | 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。 |
| SR5 | CanSatはロケット搭載時に無線の走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。 |
| SR6 | 使用する全ての無線機はチャンネルを変更できなければならない。 |
| SR7 | 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。 |
| SR8 | 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。 |
| SR9 | CanSatは制御されることなく着地しなければならない。 |

ComebackCompetitionに参加するCanSatであるため、以下のレギュレーションを満たすためのシステム要求項目を設定した。

| 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。 |

第2.2節 ミッションを達成するためのシステム要求

サクセスクライテリアを達成するためのCanSatへの要求項目を設定した。

| 番号 | ミッションを達成するためのシステム要求 |
|------|--|
| SR10 | 着地時にパラシュートが絡まない必要がある。 |
| SR11 | CanSatは着地後にパラシュートを分離する必要がある。 |
| SR12 | CanSatは着地後にパラシュートを避ける必要がある。 |
| SR13 | 現在の位置情報を取得し、ゴールまでの経路の確認に必要な情報を取得する必要がある。 |

| | |
|------|---|
| SR14 | CanSatが完全自律でGNSSを用いて現在地から一番近い目的地へ誘導をおこなう必要がある。 |
| SR15 | CanSatは直線距離で5[km]、走行距離で7[km]走行する必要がある。 |
| SR16 | CanSatが正常に動作するための電力を供給できる必要がある。 |
| SR17 | CanSatがスタックを検知する必要がある。 |
| SR18 | CanSatがスタックしても元の走行に戻す必要がある。 |
| SR19 | CanSatがカラーコーンを認識する必要がある。 |
| SR20 | CanSatが新型ゴールを認識する必要がある。 |
| SR21 | CanSatに位置座標の履歴を記録し、回収後に運営委員の審査員に制御履歴を提出する必要がある。 |
| SR22 | CanSatが振動や衝撃などで電源が落ちても再度復帰してもミッションを行える必要がある。 |
| SR23 | GNSSセンサの測定精度外において、CanSatがゴール手前5[m]からMultiIMUを用いて自己位置推定をする必要がある。 |
| SR24 | CanSatがMultiIMUを用いて姿勢を推定し、誤差は5[deg]である必要がある。 |
| SR25 | CanSatがMultiIMUを用いてゴール近傍からカラーコーンと新型ゴールへ誘導制御をする必要がある。 |
| SR26 | MultiIMUの角速度ドリフトの誤差が誘導制御での許容範囲で1.0[deg/h]以下であること。 |
| SR27 | MultiIMUのジャイロドリフトの誤差が誘導制御での許容範囲内で0.5 [deg/h]を下回らないこと。 |
| SR28 | CanSatがGNSSからのデータを用いて現在地を推定する必要がある。 |
| SR29 | CanSatがカラーコーンに接触した状態で停止する必要がある。 |
| SR30 | CanSatが新型ゴールの中央で停止する必要がある。 |
| SR31 | ゴール検出後に次の目的地へ誘導を開始する必要がある。 |
| SR32 | CanSatが旧型ゴールにゴールした後にバックする必要がある。 |
| SR33 | CanSatはMultiIMUセンサから方位を推定する必要がある。 |
| SR34 | CanSatが長時間待機中に他団体のCanSatが来た時に一時的に緊急避難する必要がある。 |

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

システム要求を満たしていることを確認するためのシステム試験項目を以下のRV1～RV9まで設定した。

| 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 | SR1 | 7月21日 |
| RV2 | 機体収納・放出試験 | SR2 | 7月21日 |
| RV3 | GNSSデータダウンリンク試験 | SR13 | 7月22日 |
| RV4 | 長距離通信試験 | SR5 | 7月24日 |
| RV5 | 通信周波数変更試験 | SR5,6 | 7月24日 |
| RV6 | パラシュート降下・分離試験 | SR3,10,11,12 | 7月25日 |
| RV7 | 準静的荷重試験 | SR4 | 7月29日 |
| RV8 | 振動試験 | SR4 | 7月29日 |
| RV9 | 分離衝撃試験 | SR4 | 7月29日 |

ComebackCompetitionに参加するCanSatであるため、システム要求番号がCR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検証項目を設定した。

| 番号 | 検証項目名 | 対応するシステム要求番号 | 実施予定日 |
|------|------------|--------------|-------|
| CRV1 | 制御レポート作成試験 | CR1,2,SR21 | 7月29日 |

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 |
|------|----------------|--------------|-------|
| MRV1 | 走行性能確認試験 | SR16 | 7月23日 |
| MRV2 | 着地衝撃試験 | SR22 | 7月24日 |
| MRV3 | ロングラン試験 | SR15 | 7月26日 |
| MRV4 | GNSS誘導試験 | SR13,14,28 | 7月22日 |
| MRV5 | スタック検知・脱出試験 | SR17,18 | 7月22日 |
| MRV6 | MultiIMU性能確認試験 | SR24,26,27 | 7月23日 |

| | | | |
|------|------------------|-------------------------|-------|
| MRV7 | MultiIMU自己位置推定試験 | SR23,25,33 | 7月23日 |
| MRV8 | 終端誘導試験 | SR19,20,29, 30,31,32 | 7月27日 |
| MRV9 | End to End 試験 | 全要求 | 7月31日 |

第4章 システム仕様

第4.1節 機体概観

機体の正面図、背面図、右側面図、鳥瞰図をそれぞれ図4.1～図4.4に、機体の全長（高さ）および直径をそれぞれ図5.5と図5.6に示す。機体の正面には、カメラやニクロム線、LiDARを設置した。モータ、Li-Poバッテリー等を設置する機体部にはカーボン板を、LiDARとカメラ等のマウントには3Dプリンタを用いてPLAで印刷したものをを用いた。また、アンチトルク用テールにはコンベックスを用いた。

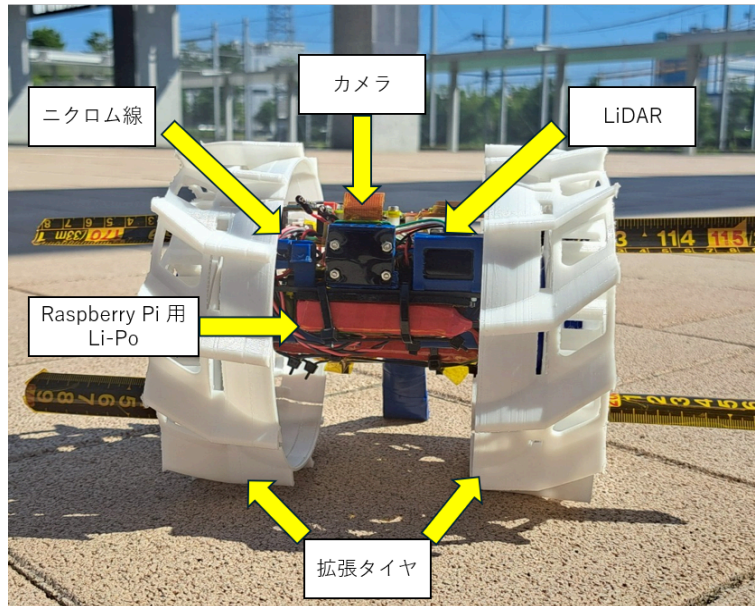


図4.1 機体前面

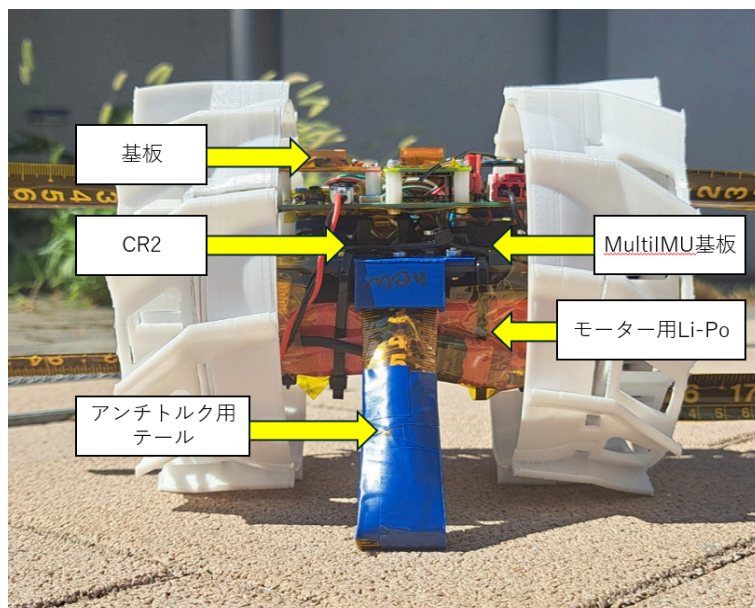


図4.2 機体後方

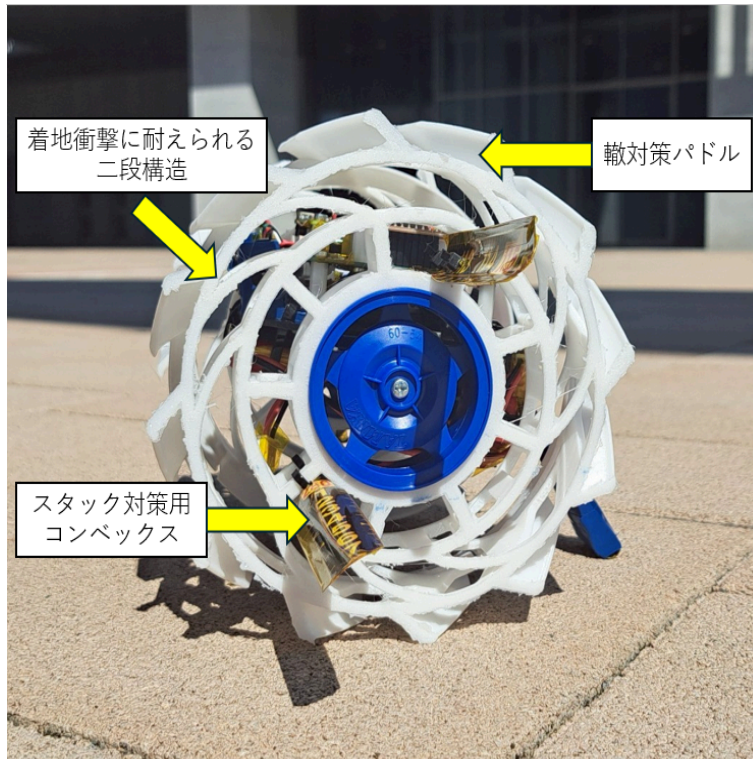


図4.3 機体側面

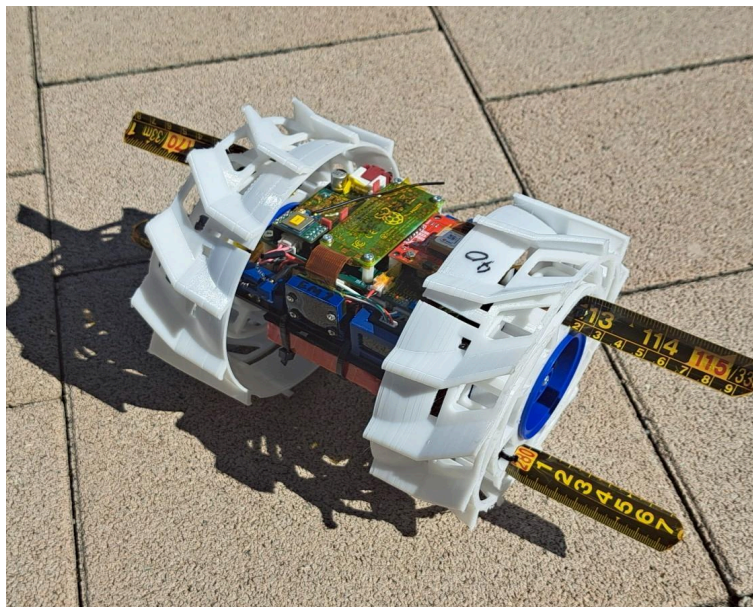


図4.4 鳥瞰図



図4.5 機体全長（高さ）



図4.6 機体直径

システムブロック図

MultilMUの開発は引き続き実施しているため、システムブロック図等は非公開とする。

機体の寸法および質量を表 4.1に示す。

表4.1 機体諸元

| | |
|---------|---------------------|
| 直径 [mm] | 144 (拡大前) 155 (拡大後) |
| 高さ [mm] | 185 |
| 質量 [g] | 1046 |

第4.2節 機体機構

機体のタイヤには 3D プリンタを用いてTPUで製造したものを使用した。図5.3で示したように、着地衝撃から機体を守るためにモータの中心部は着地の衝撃を受けてもあまり変形しないハードコア層を、その外側には走行時にタイヤの径を拡大するためのソフトコア層、地面と接する面には砂をかくことができるパドルを設置した。さらにタイヤ側面にコンベックスを取り付けたことでタイヤ側面が設置し直立した際にモーターの制御によって走行可能な姿勢に戻ることができるようにした。タイヤのCADと実際に 3Dプリンタで印刷したタイヤの写真をそれぞれ図4.7と図4.8に示す。

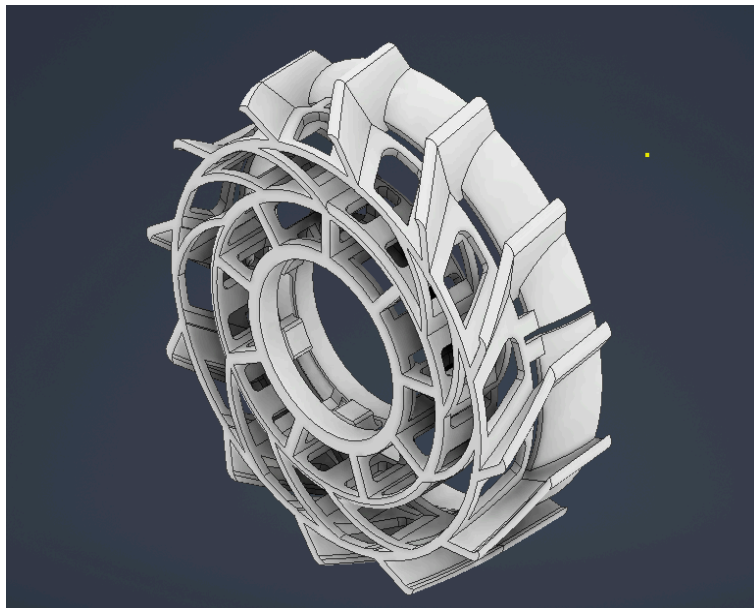


図4.7 タイヤのCAD



図4.8 3Dプリンタで出力したタイヤ

第4.3節 フローチャート

以下は制御に関するフローチャートである。

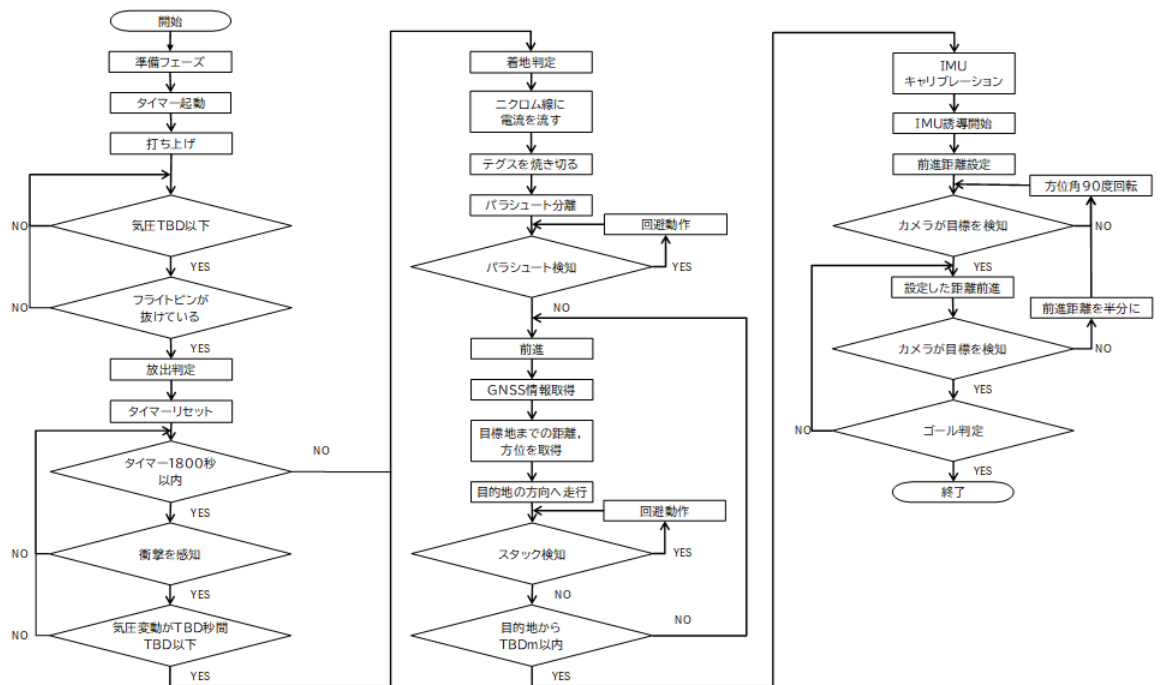


図4.9 制御フロー

CanSatはパラシュート開傘でフライトピンが抜けたときタイマーをリセットする。タイマーの計測時間が1800秒を超えるか、衝撃を感知した後の圧力の変動が一定値以下であったとき着地をしたと判定する。着地判定の後、テグスを焼き切りパラシュートを含む減速機構を分離する。落下地点から近いゴールへの誘導を開始する。ゴール近傍に到達したとき、IMUによる位置、カメラの目標検知機能を用いた誘導に切り替え、ゴールを目指す。

以下の図4.10は、旧型ゴールへの終端誘導のシーケンス図である。GNSS誘導の終了判定時にCanSatがゴール方向を向いていない場合もあるため、CanSatの正面（進行方向側）に搭載したカメラで画像を撮影し、YOLOを用いた画像認識でカラーコーンを検索・認識する。CanSatの正面にカラーコーンが位置するように制御した後、その時点での座標を原点として100[cm]ごとにMultiIMUを用いた自己位置推定を行い接近する。100[cm]ごとに画像を撮影し、画像認識でカラーコーンと認識した領域が10[%]以上である場合100[cm]先ではなく50[cm]先を目標地点として接近する。また、LiDARで70[cm]以内と判定するまで繰り返し誘導を行う。カラーコーンとの距離がLiDARで30[cm]以下になったら再度からコーンが画角中央に位置するように姿勢を調整し再度前進、カラーコーンとの距離がLiDARとMultiIMUで15[cm]以下となる場合、CanSatをさらに前進させCanSatをカラーコーンに押し付ける。MultiIMUで姿勢角を推定してゴールに乗り上げていることを確認し、ゴール判定を行う。

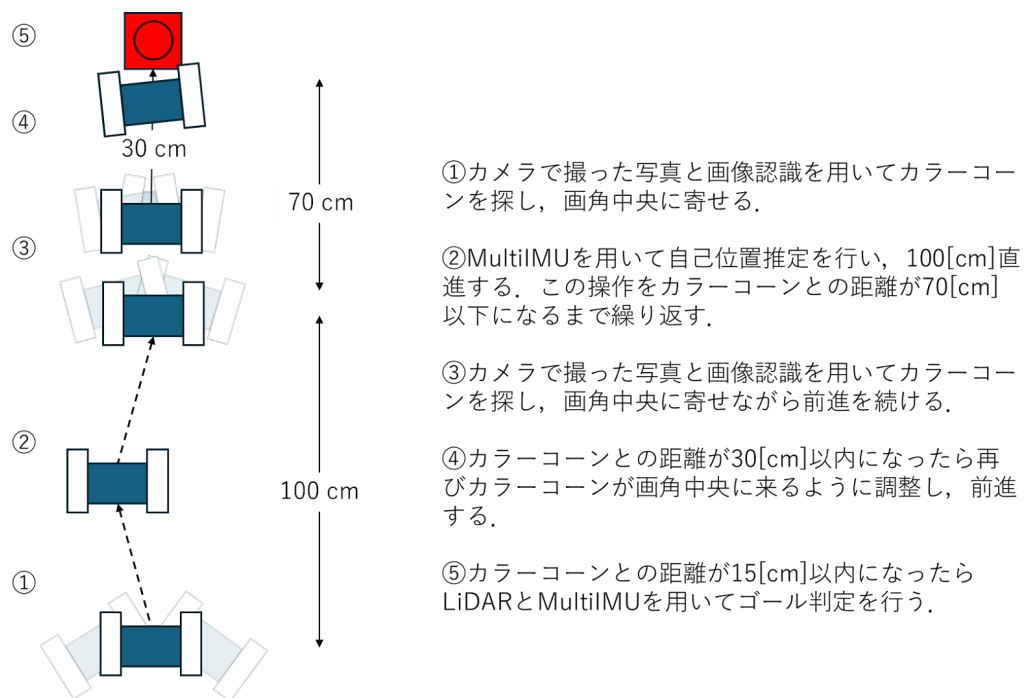


図4.10 旧型ゴールへのアプローチ

以下の図4.11に旧型ゴールへの詳細な制御フローを示す。モータの制御を行うMCUをメインとして、MultiIMUモジュール搭載MCUと画像認識用Raspberry Pi Zero 2Wからのデータやコマンドを処理する。

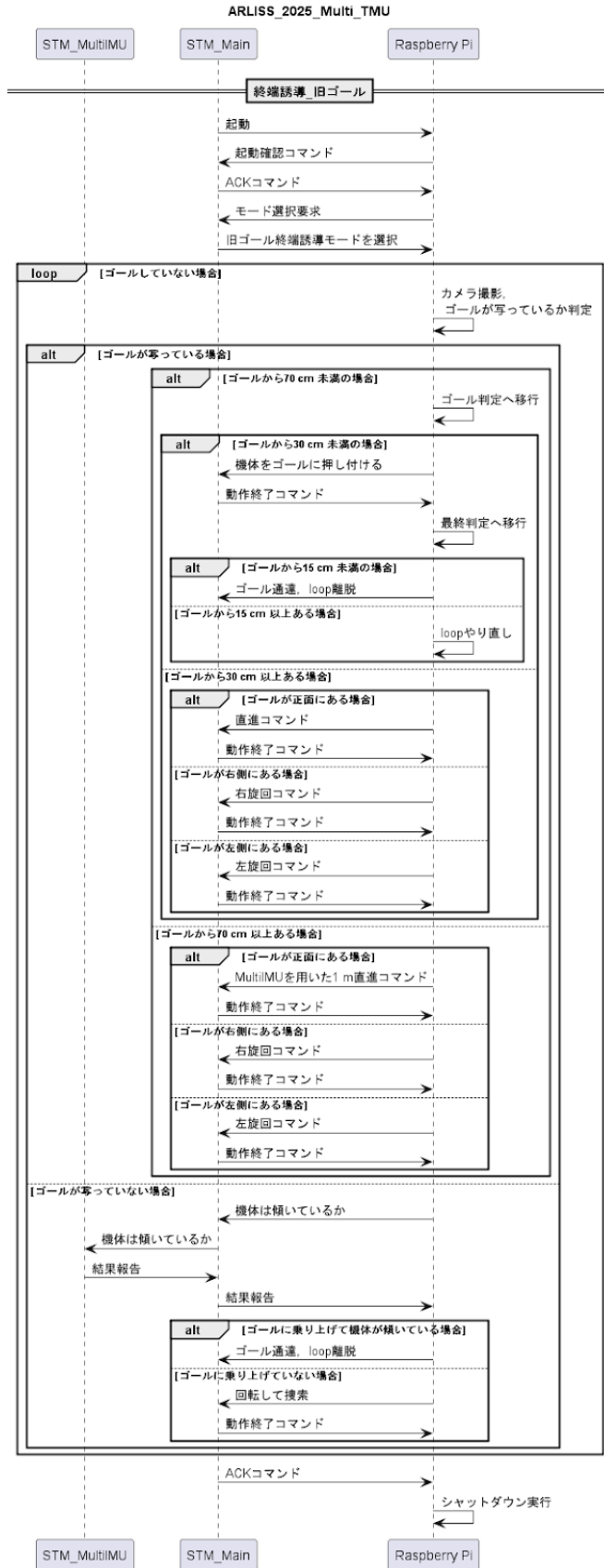
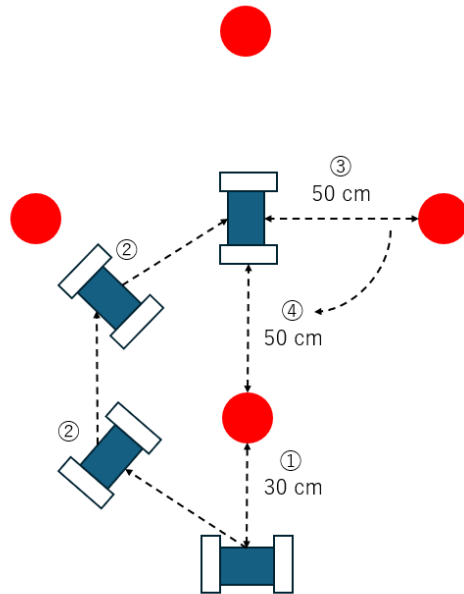


図4.11 旧型ゴールへの終端誘導の制御フロー

新型ゴールへの誘導は、以下の図4.12のようなアプローチで行う。GNSS誘導終了後に画像認識とLiDARを用いて4つの球のうち一番近い1つに対して30[cm]の位置まで接近する。その後、一辺の長さが約50[cm]の六角形を描くようにMultiIMUを用いた自己位置推定と制御を行う。1辺50[cm]の移動を2回行った後に4つの球で囲まれた領域の内部にどうかを判定する。判定にはMultiIMUを用いた姿勢角と回転角の推定を行いつつ画像認識で球の個数を測定する。認識された球の内最も正面にあるゴールとの距離が50[cm]となるように自己位置推定とLiDARを用いた移動をする。そして、その場で90[deg]回転を行い、2つの球に対してゴールとの距離が50±10[cm]となる場所でゴール判定を行う。



①ゴールのうちの一つに画像認識とLiDARを用いて30 cmの距離まで接近する。

②MultiIMUを用いて自己位置推定を行い、六角形の边上を移動していく。(このとき各頂点に当たる地点において、画像認識を用いて4つのゴールの内側にどうかの判定を行う)

③4つのゴールの内側にいると判定された場合、LiDARと画像認識を用いて最も正面にあるゴールとの距離が50 cmになるように調整する。

④90°回転し、③と同様に正面にあるゴールとの距離が50 cmになるように調整する。

図4.12 新型ゴールへのアプローチ

以下の図4.13に新型ゴールへの終端誘導の詳細なフローを示す。新型ゴールの制御においても、モータの制御を行うMCUをメインとして、MultiIMUモジュール搭載MCUと画像認識用Raspberry Pi Zero 2Wからのデータやコマンドを処理する。

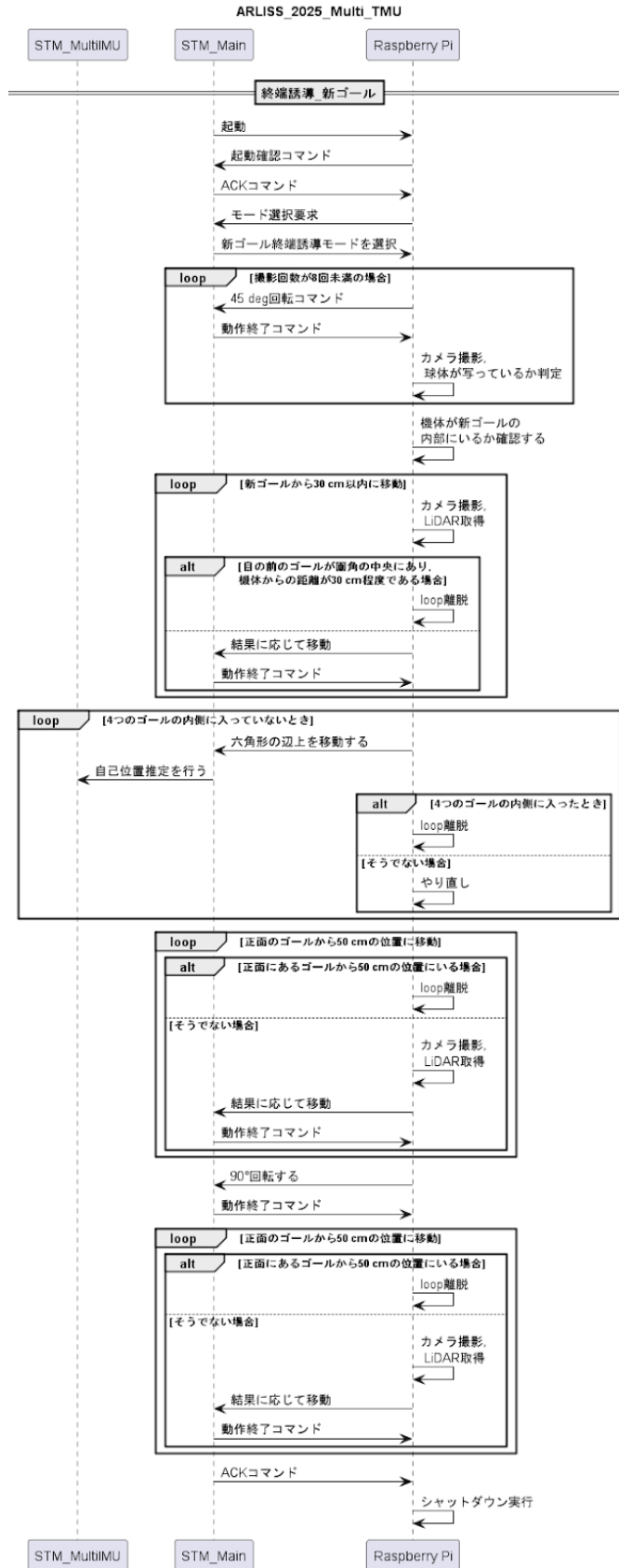


図4.13 新型ゴールへの終端誘導の制御フロー

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
 - 減速機構を含むCanSatの全質量がOpen Class のレギュレーションである 1,050g以下であることを確認する。
- 試験内容
 - キャリアを電子天秤に置き、重量を測定する。
 - 減速機構を含むCanSatをキャリアの中に入れ、電子天秤を用いて全質量を計測し、キャリアの重量を差し引くことでCanSatの重量を測定する。
- 試験結果
 - 試験結果を図5.1、5.2に示す。
 - キャリアを含めた質量が1529.04 [g] でキャリアの質量が482.96 [g]であるため減速機構を含めたCanSatの質量が1046.08[g]であることが分かった。



図5.1 キャリアの質量(計測値：482.96[g])

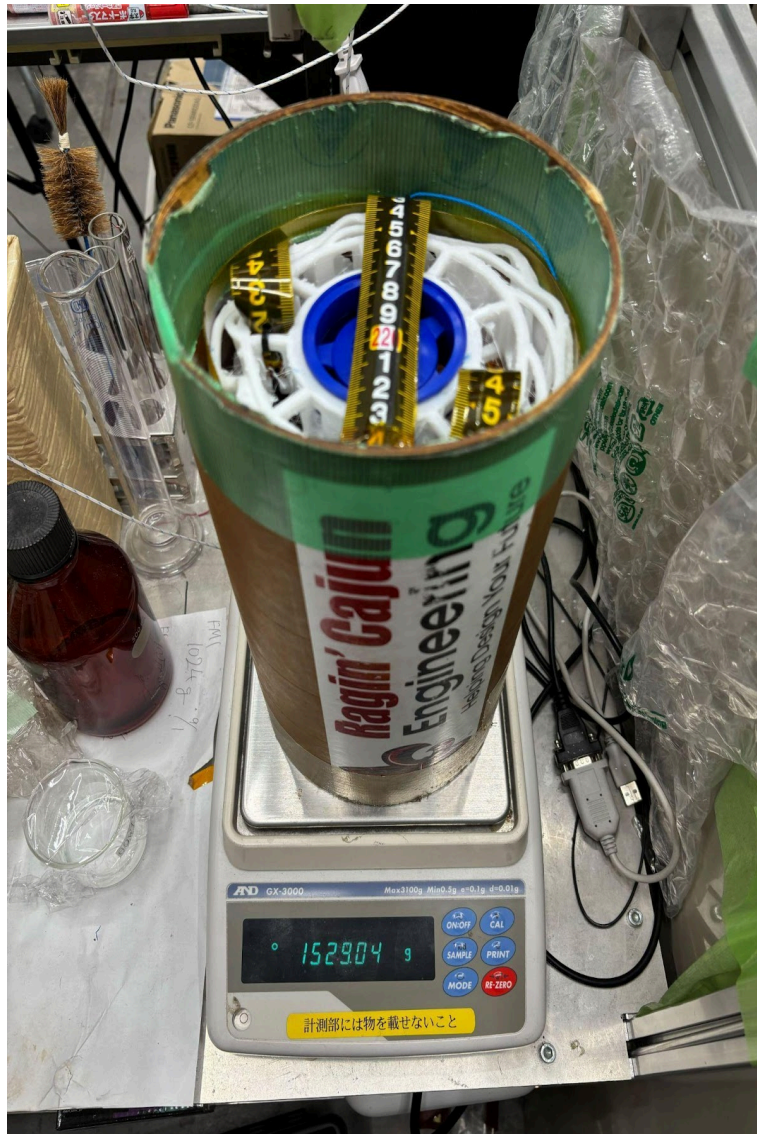


図5.2 キャリアを含めたCanSatの質量(計測値：1529.04[g])

➤ 結論

- CanSatの質量は1046[g]であることが分かった。
- 今回の試験によりCanSatが質量のレギュレーションを満たすことを確認した。

RV2 機体収納・放出試験

➤ 目的

- CanSatがキャリア格納後に自重で落下することができ、レギュレーションを満たすことを確認する。

➤ 試験内容

- CanSat本体と減速機構を、レギュレーションで規定されている寸法のキャリアに収納できることを確認する。
- 収納した状態から自重で落下することを確認する。
- キャリア本体の内径と深さについて寸法結果を図5.3・図5.4に示す。

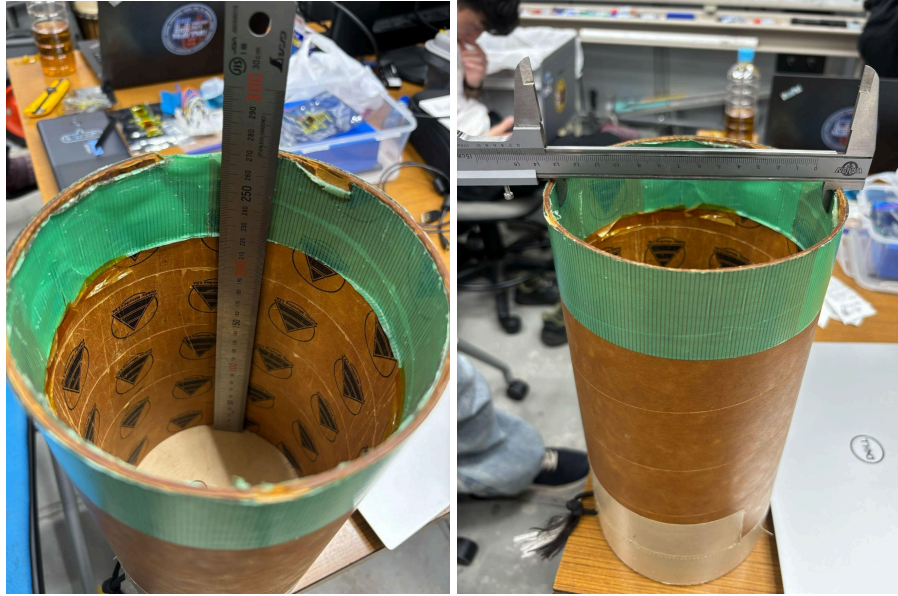


図5.3・図5.4 キャリアの寸法計測(直径147[mm]・深さ270[mm])

➤ 試験結果

- 寸法計測の前に、CanSatが遅延なく組み立てと収納ができることを確認した。
- パラシュートを含めてCanSatの寸法を計測した。計測結果を図5.5・図5.6に示す。また、機体は自由落下で放出できることを確認した。以下のURLに放出時の様子を示す。<https://youtu.be/PM1TWwfUf3l>

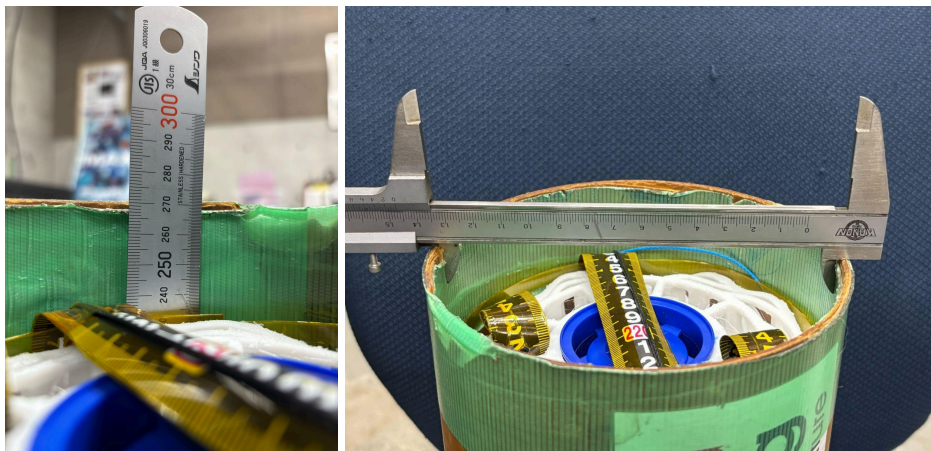


図5.5・図5.6 CanSatの寸法計測結果

➤ 結論

- 計測結果より、CanSatの寸法はレギュレーションを満たすことを確認できた。
- キャリアに収納した状態から自由落下することを確認した。

RV3 GNSSデータダウンリンク試験

➤ 目的

- CanSatに搭載するGPS受信機と通信機がロスト対策に有用であることを確認する。複数の地上局で受信できることを確認する。

➤ 試験内容

- CanSatに搭載するGPS受信機はu-bloxのM10Q、通信機はEASEL社のES920LR3である。このGPS受信機で受信したデータをマイコンで処理をし、通信機を用いて

位置座標を送信し続けた状態のCanSatを地上局から遠ざける。地上局は受信したデータをターミナルソフトTera Term上に表示し、試験終了後に記録を行う。

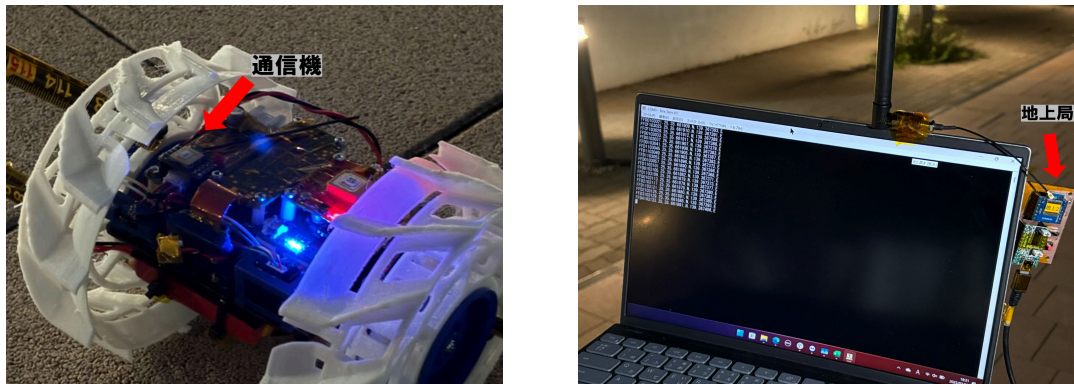


図5.7 試験の様子(左:CanSat, 右:地上局(Tera Term))

➤ 試験結果

- CanSatから送信された位置情報(図5.8)を基に、Google Mapにてプロットした図を図5.9に示す。建物間で試験を行ったため、プロットされた位置に多少のずれが生じるものの、運用に影響はない程度の誤差である。

```

VT Tera Term - [未接続] VT
ファイル(F) 編集(E) 設定(S) コントロール(O) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)
FF9D103725. 25, 35. 661176, N, 139. 365838, E
FF9C103729. 25, 35. 661148, N, 139. 365794, E
FF9C103733. 25, 35. 661164, N, 139. 365765, E
FF94103737. 25, 35. 661186, N, 139. 365756, E
FF9B103741. 25, 35. 661187, N, 139. 365754, E
FF95103745. 25, 35. 661178, N, 139. 365761, E
FF98103749. 25, 35. 661173, N, 139. 365764, E
FF9A103753. 25, 35. 661178, N, 139. 365778, E
FF94103757. 25, 35. 661181, N, 139. 365781, E
FF97103801. 25, 35. 661181, N, 139. 365782, E
FFA1103805. 25, 35. 661216, N, 139. 365840, E
FFA0103809. 25, 35. 661236, N, 139. 365902, E
FFA1103813. 25, 35. 661260, N, 139. 365970, E
FFAA103817. 25, 35. 661282, N, 139. 366035, E
FFA9103821. 25, 35. 661320, N, 139. 366103, E
FF96103825. 25, 35. 661352, N, 139. 366165, E
FF90103829. 25, 35. 661372, N, 139. 366177, E
FF98103833. 25, 35. 661376, N, 139. 366175, E
FFA9103837. 25, 35. 661381, N, 139. 366174, E
FFA5103841. 25, 35. 661411, N, 139. 366225, E
FFA6103845. 25, 35. 661442, N, 139. 366279, E
FFAB103849. 25, 35. 661464, N, 139. 366328, E

```

図5.8 Tera Termに送信された位置情報(一部抜粋)

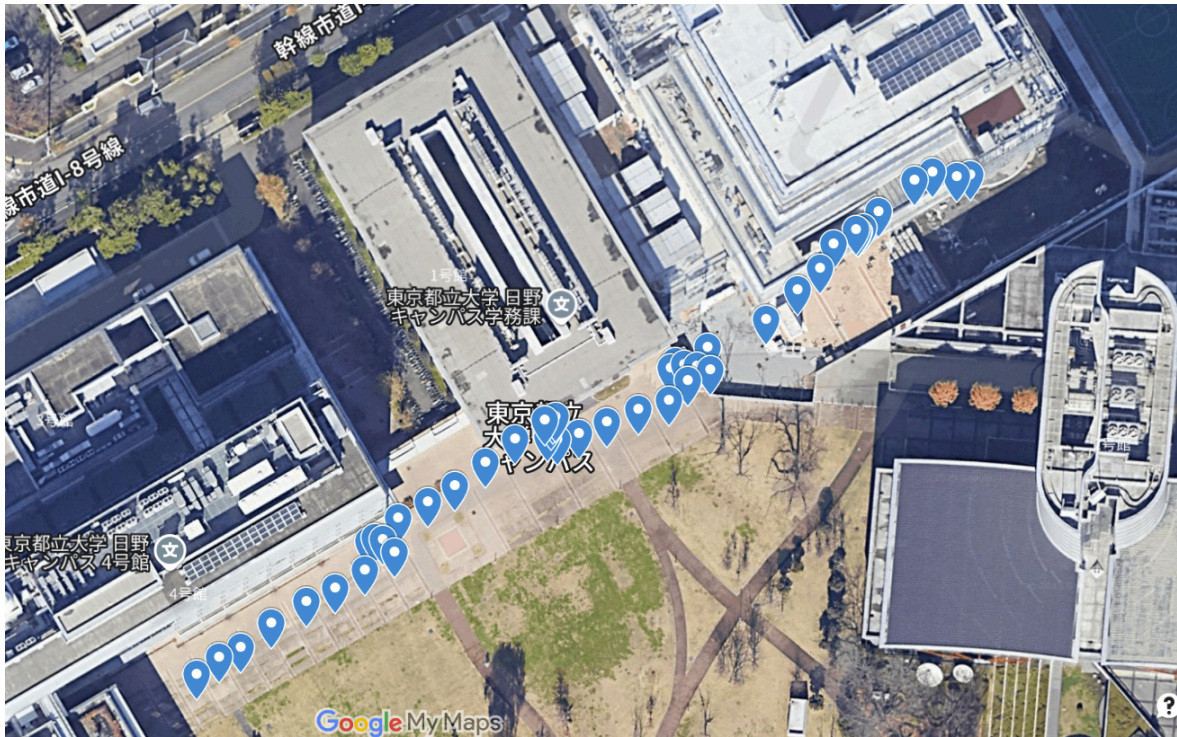


図5.9 受信履歴

➤ 結論

- CanSatから位置情報をダウンリンクすることができ、ロスト対策に有効であることを確認できた。

RV4 長距離通信試験

➤ 目的

- ロケットから放出された後、CanSatが高度4[km]から位置情報を送信することが求められているため長距離通信できることを確認する。そして、ロスト対策として有効であることを確認する。

➤ 試験内容

- CanSatに搭載するES920LR3にはアンテナにワイヤアンテナを用いる。地上局側にはES920LR3に外付けアンテナを装着する。表5.1に示すデータシートによると、外付けアンテナとワイヤアンテナを用いることでLoRa変調使用時で見通し5kmの通信が可能である。この条件の下で見通し距離4[km]でダウンリンクが可能なことを確かめる。
 - ES920LR3 : U.FLコネクタ+920[MHz]用アンテナ
 - ES920LR3A1 : ワイヤアンテナ

表5.1 アンテナタイプごとのデータシート

| アンテナタイプ | 通信距離の目安 | |
|-----------------|-----------|------------|
| | LoRa変調使用時 | FSK変調使用時 |
| 外付けアンテナー外付けアンテナ | 見通し10[km] | 見通し1.2[km] |
| 外付けアンテナーワイヤアンテナ | 見通し5[km] | 見通し0.4[km] |
| ワイヤアンテナーワイヤアンテナ | 見通し2[km] | 見通し0.2[km] |

- CanSat側は江ノ電駐車センター付近の公園で待機し、地上局側の通信機を移動させ、

最大通信距離を測定する。

➤ 試験結果

- CanSatから送信されたデモデータが受信された位置および強度を図5.10に示す。また、試験を行った際のCanSat側、地上局の様子を図5.11、図5.12に示す。



図5.10 測定場所



送信局：CanSat



地上局

図5.11・図5.12 実験の様子

➤ 結論

- 本試験では、約6[km]の通信が最大通信距離であった。選定した通信機は要求の4[km]を超えており、ロスト対策として有効であるといえる。

RV5 通信周波数変更試験

➤ 目的

- CanSatに搭載する無線機の周波数を変更できることを確認する。

➤ 試験内容

- CanSatに搭載する通信機は EASEL 社製の ES920LR3である。LoRa変調を行う場合、帯域幅 125kHz 以下の場合にはチャンネル数が 38 で、十分なチャンネル数があることを

確認できる。よって本試験においては、複数のチャンネルに変更することで周波数を変更する意図があると示す。試験では、スペクトルアナライザを用いて、指定した各チャンネルにおいて所定の周波数が適切に出力されているかを確認した。

➤ 試験結果

- 指定周波数として920.8 [MHz]、922.0 [MHz]、923.2 [MHz]を順に設定し、それぞれについてスペクトルアナライザにより出力周波数を計測した結果を図5.13～図5.15に示す。

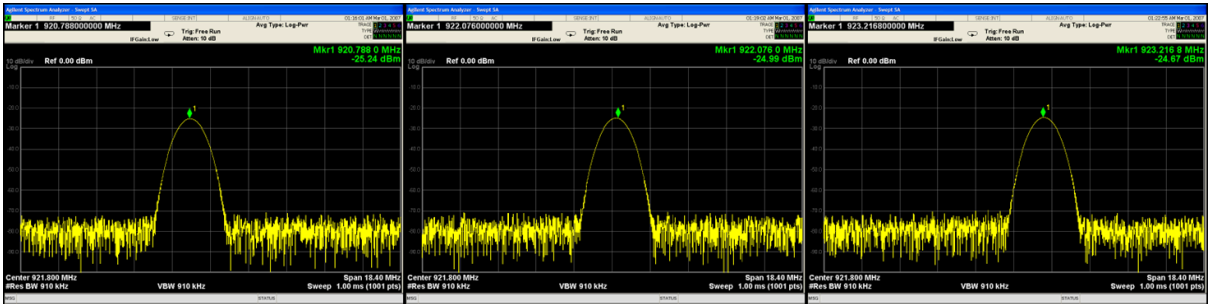


図5.13～図5.15 スペクトルアナライザを用いた周波数検出

- CanSat搭載用、地上局用、予備機を含む全10個体について、同様の計測を実施した。その結果、すべての通信機において出力された周波数は、指定周波数に対して ± 0.1 [MHz]以内の誤差に収まっていることを確認した。

➤ 結論

- 本試験では、使用予定のCanSat、地上局ともに周波数変更が可能であることを確認した。

RV6 パラシュート降下・分離試験

➤ 目的

- キャリアから放出された後にパラシュートが正常に展開することを確認する。
- 気圧センサの変動からパラシュートの終端速度が5[m/s]以内であることを確認する。
- CanSatの機体が着地衝撃に耐えられることを確認する。
- 着地後にパラシュートを含む減速機構がCanSatに覆いかぶさらないか確認する。

➤ 試験内容

- 日野キャンパス5号館非常階段において試験を実施する。
- パラシュートを畳んだ状態でキャリアに収納し、キャリアから自由落下させ開傘させる。着地時にCanSatに損傷がないか、ソフト・ハードともにミッションを達成できる状態にあるかどうか確認する。

➤ 試験結果

- 本試験はキャリアに入れた状態から計2回投下した。試験結果と動画を表5.2～表5.5に示す。

表5.2 パラシュート開傘試験結果

| 試験回数 | 動画URL | 合否 |
|------|---|----|
| 1回目 | https://youtu.be/fFsN4K0JC18?si=gNNoFdm4Zq7gbm3Z | 合格 |
| 2回目 | https://youtu.be/AVWGV2qH8j8?si=bbBDiSDG-b6N1tUi | 合格 |

表5.3 終端速度結果

| 試験回数 | 気圧センサ[m/s] | 気圧センサB [m/s] | 気圧センサC [m/s] |
|------|------------|--------------|--------------|
| 1回目 | 4.423 | 4.292 | 4.359 |
| 2回目 | 4.365 | 4.441 | 4.363 |
| 3回目 | 4.436 | 4.452 | 4.366 |
| 4回目 | 4.518 | 4.411 | 4.363 |

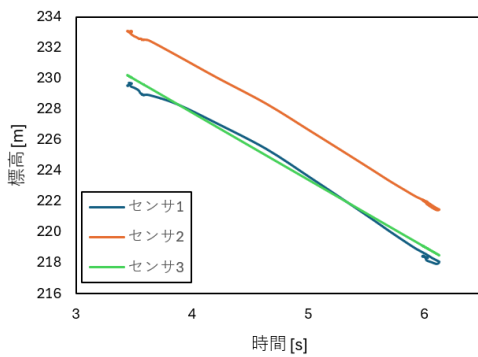


図5.16 1回目の測定結果

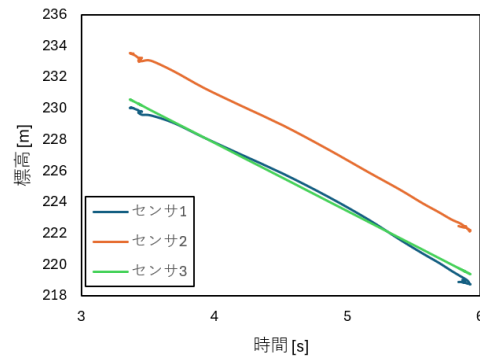


図5.17 2回目の測定結果

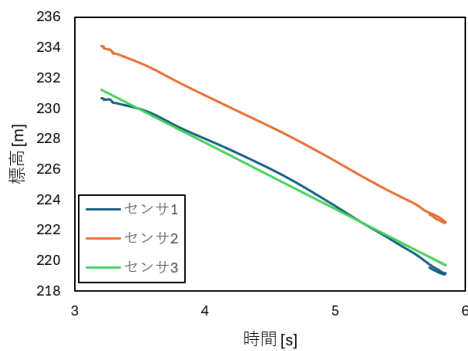


図5.18 3回目の測定結果

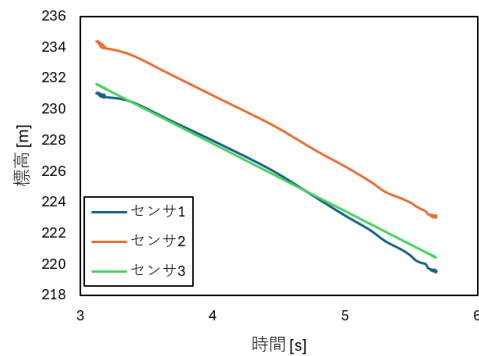


図5.19 4回目の測定結果

表5.4 パラシュート投下試験 (CanSat) 結果

| 試験回数 | 動画URL | 合否 |
|------|---|----|
| 1回目 | https://youtu.be/vFOk9XR5LM?si=QXCTzx23EcRS6QUA | 合格 |
| 2回目 | https://youtu.be/cR1aqYi48SQ?si=5iHTud4oawEw8qHt | 合格 |

➤ 結論

- 試験動画が示すようにCanSatがパラシュート降下した際、正常に動作したことを確認した。また、終端速度もレギュレーションの範囲内であることを確認した。

RV7 準静的試験

➤ 目的

- 打ち上げ時の準静的荷重によってCanSatが「安全基準を充足するための機能」と「ミッション遂行に必要な最低限の機能」を損なわないことを確認する。
 - 3~5[m/s]程度の終端速度になるパラシュートが搭載されていること。
 - ロスト対策に有効な距離でも通信可能な無線機が搭載されていること。
 - GPS 受信機が搭載されていること。
 - GPS と無線機の電波を遮断しないこと。
 - 打ち上げ時に電波を飛ばさず、それが確認できること。

ミッション遂行に必要な最低限の機能

- 走行できること。
- ゴールとCanSatの相対位置がわかること。

➤ 試験内容

- 準静的試験の試験条件はARLISS2025のレギュレーションに従い、CanSatに正弦波加振 20[Hz]で 10[G]を 10[s]加える。その他は以下の表5.6のとおりとする。
- CanSatは電源を投入し、加振機のキャリアに本番と同様に収納する。
- 図5.16の治具で振動試験機に固定する。また、治具特性についても図5.17・図5.18に示す。
- 準静的荷重、振動荷重、衝撃荷重の順で荷重を加える。その後、CanSatを取りだし構造的な破損、電装機器が動くことを確認する。

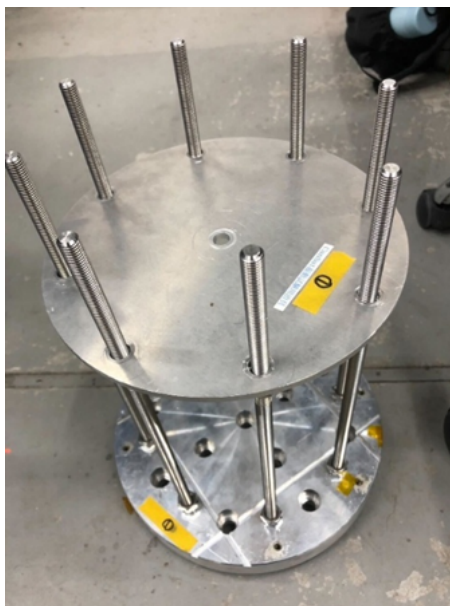


図5.16 実験治具

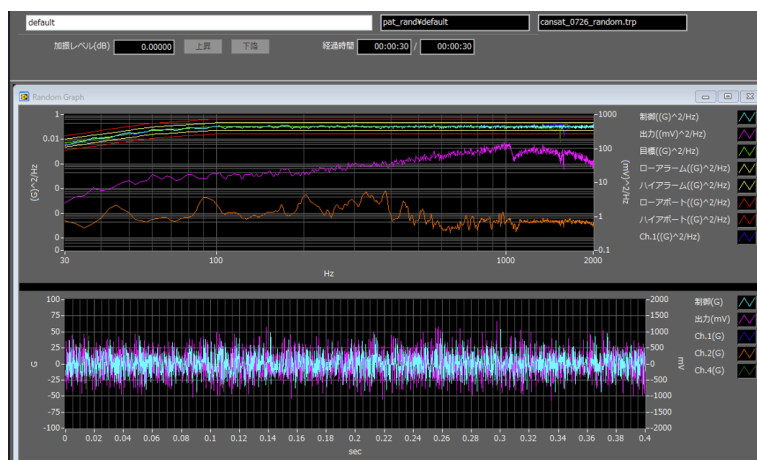


図5.17 治具特性

| 項目 | 値 |
|-------------|---------------------|
| 制御((G)rms) | 14.243 |
| 出力((mV)rms) | 353.335 |
| 目標((G)rms) | 14.593 |
| 試験開始時刻 | 07/29/2025 13:53:33 |
| 試験終了時刻 | 07/29/2025 13:54:59 |
| 加振レベル(dB) | 0.000 |
| 加振上昇ステップ | 3.000 |
| 経過時間 | 00:00:30 / 00:00:30 |
| 残り時間 | 00:00:00 |
| 次回書込まで | 00:03:33 |
| 書込番号 | 00_000001 |

図5.18 治具特性

表5.6 準静的荷重試験_共通設定

| 設計項目 | 設定値 |
|------------|------|
| 開始遅延時間[s] | 0.00 |
| 立ち上がり時間[s] | 5.00 |
| 減衰停止時間[s] | 2.00 |

➤ 試験結果

- レギュレーションに基づいて、目標の波形データ(正弦波周波数20[Hz]、加速度10[G])で正弦波振動を10s加えた。その解析結果画面を図5.19と図5.20に示す。但し縦軸は荷重[G]、横軸は時間[s]である。

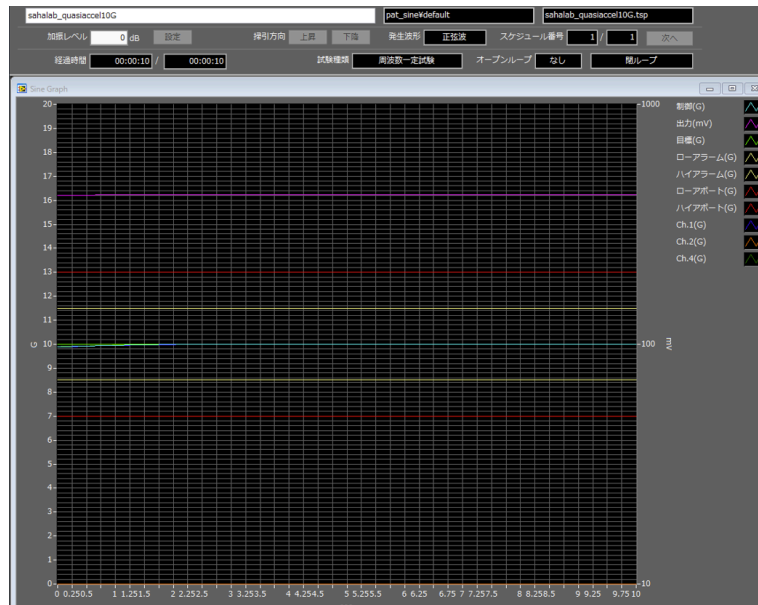


図5.19 準静的荷重試験の結果

| | |
|-----------------|---------------------|
| 制御(G) | 0.685 |
| 出力(mV) | 0.000 |
| 目標(G) | 10.000 |
| 加振周波数(Hz) | 20.000 |
| 試験開始時刻 | 07/29/2025 15:00:54 |
| 試験終了時刻 | 07/29/2025 15:01:15 |
| 経過時間 | 00:00:10 / 00:00:10 |
| 残り時間 | 00:00:00 |
| 掃引時間 | ----- |
| 掃引状態 | |
| 掃引速度 | ----- |
| 繰り返し回数・スケジュール番号 | 1 / 1 |

図5.20 準静的荷重試験のデータ

- 上図における制御データは、キャリア内部のCanSatに正味付加された荷重量を示している。これより、キャリア内部に正味付加された荷重量は、レギュレーションにおける荷重の大きさに非常に近い値になっている。これより、試験条件は適切であるといえる。
- 試験における動画のURLについては、以下に示す。
URL : <https://youtu.be/C9OJQUuO3Ho?si=i0e-iXKSIPwzkg8p&t=254>
- 動画内終盤(12:36~)にもあるように、RV7~RV9試験実施後もCanSatが正常に作動できることが分かる。よって、レギュレーションで定められた条件の準静的荷重を与えてもCanSatがハード面及びソフト面において破損及び異常を起こさないことが確認できたため、ARLISSの打ち上げ時に供することができる機体であることが分かる。

➤ 結論

- 打ち上げ時の準静的荷重によって、CanSatがハード面及びソフト面での破損及び異常がないことが分かった。
- 試験後も正常に動作したことから、打ち上げ時の準静的荷重によってCanSatが「安全基準を充足するための機能」と「ミッション遂行に必要な最低限の機能」を損なわな

いことを確認できた。

RV8 振動試験

➤ 目的

- 打ち上げ時に遭遇する広範囲な周波数の振動によってCanSatが「安全基準を充足するための機能」と「ミッション遂行に必要な最低限の機能」を損なわないことを確認する。

安全基準を充足するための機能

- 3~5[m/s]程度の終端速度になるパラシュートが搭載されていること。
- ロスト対策に有効な距離でも通信可能な無線機が搭載されていること。
- GPS 受信機が搭載されていること。
- GPS と無線機の電波を遮断しないこと。
- 打ち上げ時に電波を発せず、それが確認できること。

ミッション遂行に必要な最低限の機能

- 走行できること。
- ゴールとCanSatの相対位置がわかること。

➤ 試験内容

- ARLISS2025のレギュレーションに従い、振動試験の試験条件としてはCanSatにランダム加振 15[Grms]、30~2000[Hz]、30[s]を加え、試験前後でCanSatの動作に相違がないことを確認する。CanSatは電源を投入し、加振機のキャリアに本番と同様に収納する。
- 準静的荷重、振動荷重、衝撃荷重の順で荷重を加える。その後、CanSatを取りだし構造的な破損、電装機器が動くことを確認する。

表5.7 ランダム加振 PSDパターン

| 周波数 [Hz] | レベル [G^2/Hz] | 傾き [dB/oct] |
|----------|------------------|-------------|
| 30.0 | 0.005 | 10.00 |
| 60.0 | 0.050 | 4.65 |
| 100.0 | 0.110 | 0.00 |
| 2000.0 | 0.110 | 0.00 |

➤ 試験結果

- 目標の波形データを15[Grms]として目標の波形になるように加振周波数を30~2000[Hz]、30[s]でランダム加振を実施した振動試験の結果を図5.21と図5.22に示す。縦軸は応答PSD[G^2/Hz]、横軸は周波数[Hz]を示す。

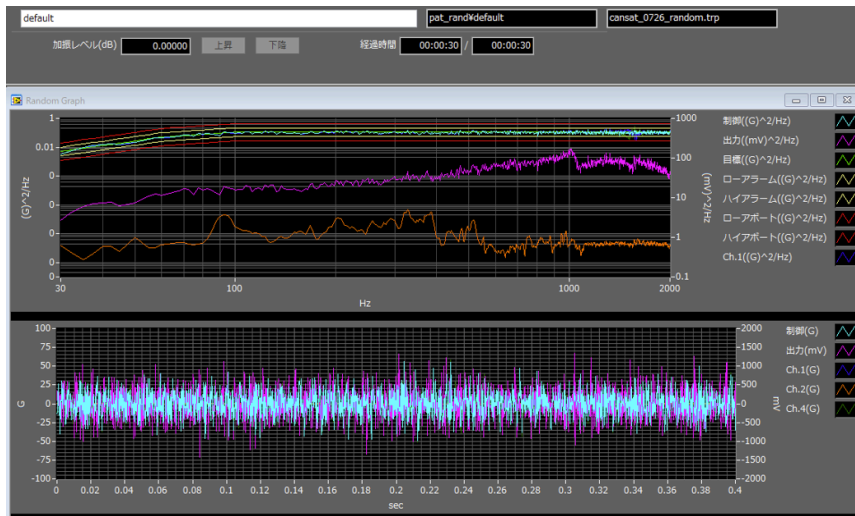


図5.21 ランダム振動試験の結果

| Random Numeric | |
|----------------|---------------------|
| 制御((G)rms) | 14.170 |
| 出力((mV)rms) | 354.162 |
| 目標((G)rms) | 14.593 |
| 試験開始時刻 | 07/29/2025 15:02:12 |
| 試験終了時刻 | 07/29/2025 15:03:36 |
| 加振レベル(dB) | 0.000 |
| 加振上昇ステップ | 3.000 |
| 経過時間 | 00:00:30 / 00:00:30 |
| 残り時間 | 00:00:00 |
| 次回書込まで | 00:03:36 |
| 書込番号 | 00_000001 |

図5.22 ランダム振動試験のデータ

- 上図より、制御用ピックアップとモニタ用ピックアップでは、目標数値に近い応答 PSDを確認した。
- 試験における動画のURLについては以下に示す。
URL:<https://youtu.be/C9OJQUuO3Ho?si=jh-ia6XNptBjXUF2&t=334>
- 動画内終盤(12:36~)にもあるように、試験実施後もCanSatが正常に作動できることが分かる。よって、レギュレーションで定められた条件のランダム加振を与えてもCanSatがハード面及びソフト面において破損及び異常を起こさないことが確認できたため、ARLISSの打上時に供することができる機体であることが分かる。

➤ 結論

- 打ち上げ時の振動荷重によって、CanSatがハード面及びソフト面での破損及び異常がないことが分かった。
- RV7~RV9を行った後にCanSatが正常に動作したことから、打ち上げ時の振動荷重によってCanSatが「安全基準を充足するための機能」と「ミッション遂行に必要な最低限の機能」を損なわないことを確認できた。

RV9 分離衝撃試験

➤ 目的

- ロケットから分離される際の衝撃によってCanSatが機械的、電気的な破損および異常を起こさないことを確認する。
- パラシュートが開傘する際の衝撃によってパラシュート結合部及びCanSatが機械的、電気的な破損および以上を起こさないことを確認する。

➤ 試験内容

- ARLISS2025のレギュレーションに従い、振動試験の試験条件としてCanSatに正弦波半ショック加振で最大40[G]として、60[%]・80[%]・100[%]の三段階に分けて連続して加振させる。CanSatは電源を投入し、加振機のキャリアに本番と同様に収納する。
- 準静的荷重、振動荷重、衝撃荷重の順で荷重を加える。その後、CanSatを取りだし構造的な破損、電装機器が動くことを確認する。
- 30[G]の加速度を基準値として（2023報告書、東京情報大学SuperNOVAを参照）、CanSatのパラシュートを手で持ったまま、高い位置から自由落下させ、その際CanSatの加速度センサを測定した結果30[G]を超えた衝撃を観測したとき、30[G]の加速度が加わっていたときのCanSatの状態に異常が無い評価し、問題が無ければ成功とする。

➤ 試験結果

- レギュレーションに基づいて、正弦波半ショック加振で最大40[G]として、60[%]、80[%]、100[%]の振動を加えた。レギュレーション通り10[s]で試験を行った。試験時間における加速度の解析結果画面を図5.23と図5.24に示す。但し縦軸は加速度[m/s²]、横軸は時間[s]である。

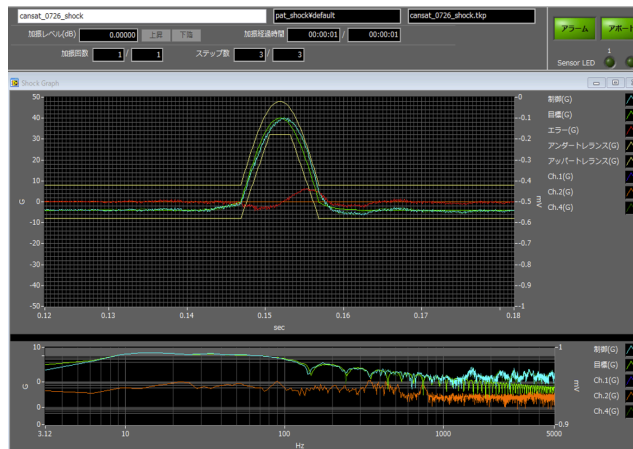


図5.23(a) 分離衝撃試験における計測結果

| | |
|--------------|---------------------|
| 制御最大値(G) | 40.094 |
| 出力/+側最大値(mV) | 620.344 |
| 目標最大値(G) | 40.000 |
| 試験開始時刻 | 07/29/2025 15:04:16 |
| 試験終了時刻 | 07/29/2025 15:04:49 |
| パルス幅(ms) | 10.000 |
| エラー率(%) | 0.627 |
| 加振回数 | 1 / 1 |
| ステップ数 | 3 / 3 |
| 加振レベル(dB) | 0.000 |
| 加振経過時間 | 00:00:01 / 00:00:01 |
| 加振残り時間 | 00:00:00 |

図5.2(b) 分離衝撃試験のデータ

- グラフより、制御データと目標データが非常に近い値になっていることから、試験条件は適切であるといえる。
- 試験における動画のURLについては、以下に示す。
URL : <https://youtu.be/C9OJQUuO3Ho?si=7oMa8llk1pRsBgT2&t=457>
- 動画内終盤(12:36~)にもあるように、試験実施後もCanSatが正常に作動できることが分かる。よって、レギュレーションで定められた条件の分離衝撃荷重を与えてもCanSatがハード面及びソフト面において破損及び異常を起こさないことが確認できたため、ARLISSの打上時に供することができる機体であることが分かる。
- 図5.24(c)に示すようにして分離衝撃を与え、30[G]以上の加速度がかかるようにした。実際にかかった加速度のログデータでのグラフを図5.24(d)に示した。加速度値がピークを示す部分が開傘衝撃を与えている部分となっている。
- 試験の様子を以下に示す
URL:<https://youtube.com/shorts/PlE6HazaW4?si=L2Q3m2R6X9r-72oR>



図5.24(c) 分離衝撃試験の様子

- 図5.24(d)より3回がそれぞれ、30.2[G]、11.3[G]、35.9[G]の衝撃加速度を与えられていることが分かる。3回中2回で基準値以上を検出しており、衝撃試験後のパラシュート接合部・CanSatハード面及びソフト面において破損及び異常を起こさないことが確認できたため、ARLISSの打上時に供することができる機体であることが分かる。

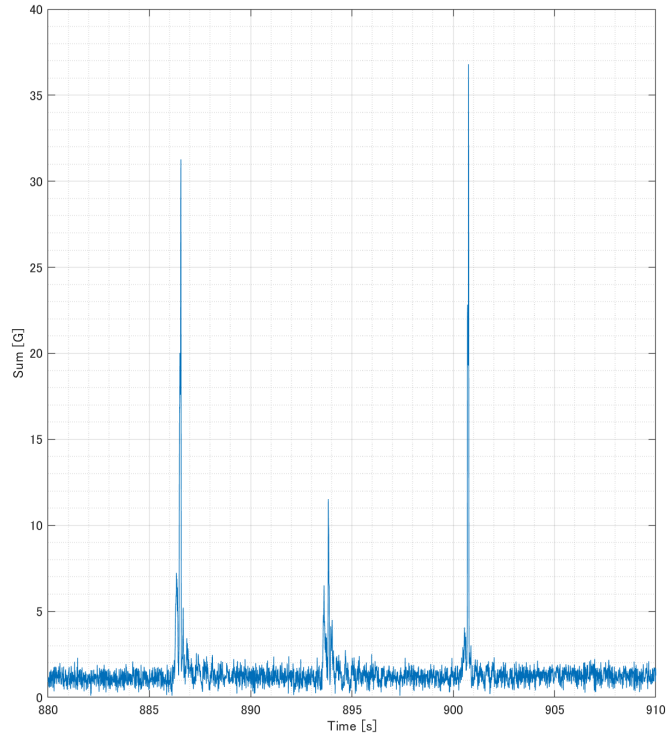


図5.24(d) 開傘衝撃試験のデータ

- 図5.24(e)に示すように、振動試験によりランダム振動及び分離衝撃を加える前と後で生じたバイアスの変化は最大2.8[mG]であった。図5.24(f)に振動試験前と振動試験後に実施したIMUにより y 方向(前方方向) 2.0 [m]の地点への誘導試験の位置データを示す。この誘導は目標地点に対して半径 0.5 [m]以内に入ることを終了条件としており、どちらも 0.5 [m]以内の地点への誘導に成功している。

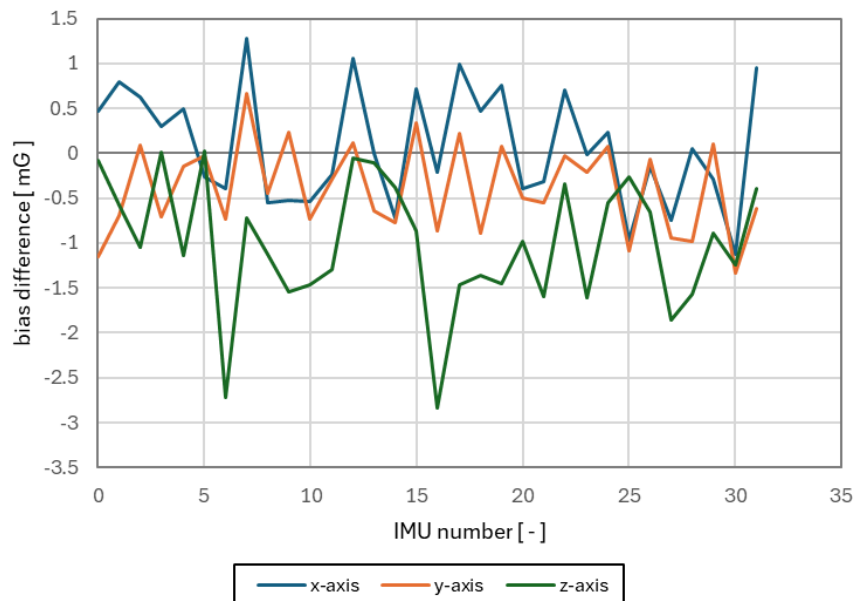


図5.24(e) 振動試験前と試験後の加速度バイアスの変化

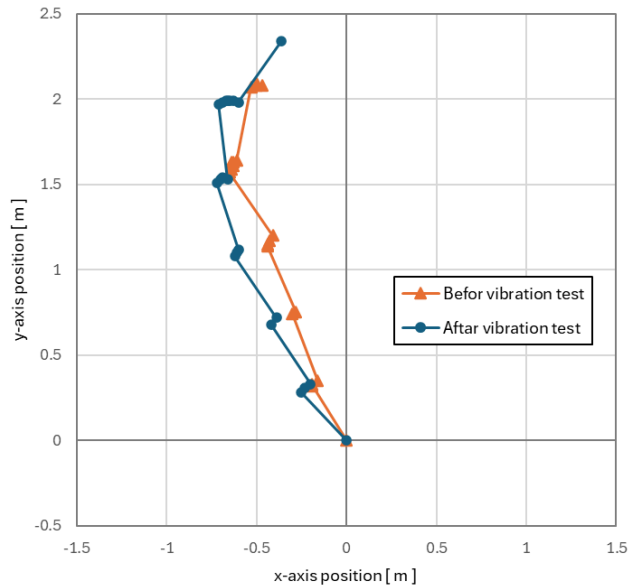


図5.24(f) 振動試験前と試験後のIMUを用いた誘導の結果

➤ 結論

- RV7~RV9を行った後にCanSatが正常に動作したことから、打ち上げ時の分離衝撃荷重によってCanSatが「安全基準を充足するための機能」と「ミッション遂行に必要な最低限の機能」を損なわないことを確認できた。
- 打ち上げ時の分離衝撃及び開傘衝撃荷重によって、CanSatがハード面及びソフト面での破損及び異常がないことが分かった。

CRV1 制御レポート作成試験

➤ 目的

- 制御履歴をmicroSDカードに記録できることを確認する。

➤ 試験内容

- CanSatの走行中に制御履歴をmicroSDカードに記録する。

➤ 試験結果

- CanSatの走行中に制御履歴をmicroSDカードに記録することを確認した。その履歴を以下の図5.25に示す。



図5.25 GNSSデータのログ

➤ 結論

- CanSatの走行中に制御履歴をmicroSDカードに記録できることを確認した。

第5.2節 ミッションを達成するためのシステム試験

MRV1 走行性能確認試験

- 目的
 - Black Rock砂漠を想定した環境においてCanSatの走行性能を確認し、CanSatが走行可能であることを確認する。
- 試験内容
 - 大学内にスコップを用いて轍を想定した凹凸を作り、走行可能か試験する。BlackRock砂漠において車によって作られる轍を幅が約20[cm]、高さを約5[cm]と想定し、同じサイズの轍を砂場で再現する。30[°]、60[°]、90[°]の三方向で、CanSatが轍に進入したとき走行可能か試験する。



図5.26,27 轍の深さ5[cm],轍の幅20[cm]



図5.28 轍の様子

➤ 試験結果

- 各条件下の試験動画のURLと結果を表5.8に示す。

表5.8 走行性能試験結果

| 試験条件 | 動画URL | 合否 |
|-------|---|----|
| 30[°] | https://youtu.be/1Vli46BS6PU?si=5h0ihJ_51lBeFZH | 合格 |
| 60[°] | https://youtu.be/wwB5M--vqzU?si=dy6aDDb0p7TxHB7f | 合格 |
| 90[°] | https://youtu.be/RfMPf8NtWEE?si=3eCgRkvlZ5hb1UY3 | 合格 |

- 以上の動画から、いずれの進入角度でも轍にスタックして停止することなくCanSatが走行を続けられている。

➤ 結論

- それぞれの角度でタイヤによる轍を乗り越え走行を継続できたことから、CanSatに轍やその他の悪路でも走行できる基本的な走行性能が備わっていることを確認できた。

MRV2 着地衝撃試験

➤ 目的

- CanSatが着地時に衝撃を受けてもコンポーネントが正常に動作することを確認する。

➤ 試験内容

- パラシュートの終端速度は、RV6より4.5[m/s]以下である。4.5[m/s]で着地した時の衝撃を再現するためにパラシュートを搭載した機体を実際に投下する。投下、着地後に機体の破損の有無、全センサ・モータが正常に動作するかを確認する。
- CanSatの終端速度を4.5[m/s]と設定した。ここで重力加速度を9.8[m/s²]とおき、位置エネルギーと運動エネルギーの関係から

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

と表すことができ、式変形をすると

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

となり、終端速度4.5[m/s]で地面に着地することを模擬するためには、地面から約1[m]の高さからCanSatを自由落下させればよいことがわかる。よって地面からの高さ約1[m]からCanSatを自由落下させ、衝撃に耐えられるかを確認する。

➤ 試験結果

- 着地衝撃試験の動画のURLと結果を表5.9に示す。



図5.29 試験の様子

表5.9 着地衝撃試験結果

| 試験回数 | 動画URL | 合否 |
|------|---|----|
| 1回目 | https://youtu.be/2rSje_oMudw?si=nLPHFBGbQgo8Pdxg | 合格 |
| 2回目 | https://youtu.be/3nyDigncH0o?si=b6Bd6-gMuiP734pS | 合格 |
| 3回目 | https://youtu.be/Xru9TRQFHPC?si=HoGkhyXG21VR_eYM | 合格 |

- 着地衝撃試験実施後もCanSatが正常に作動できることが分かる。よって、パラシュート降下後の着地後においても、CanSatの構造と電装両面において破損及び異常を起こさないことが確認できた。

➤ 結論

- 着地衝撃によって、CanSatの構造と電装両面において破損及び異常がないことが分かった。

MRV3 ロングラン試験

➤ 目的

- ロケットでの待機と実際の走行時間と制御を考慮してミッション期間中に電力を供給できることを確認する。
- 運用想定時間内において、タイヤに走行に支障をきたす破損がないことを確認する。

➤ 試験内容

- CanSatに電源を入れた状態で60[min]待機させた後、地面を240[min]間走行できることを確認する。

➤ 試験結果

- ロングラン試験の際の電圧、電流を図5.30と図5.31に示す。

Voltage

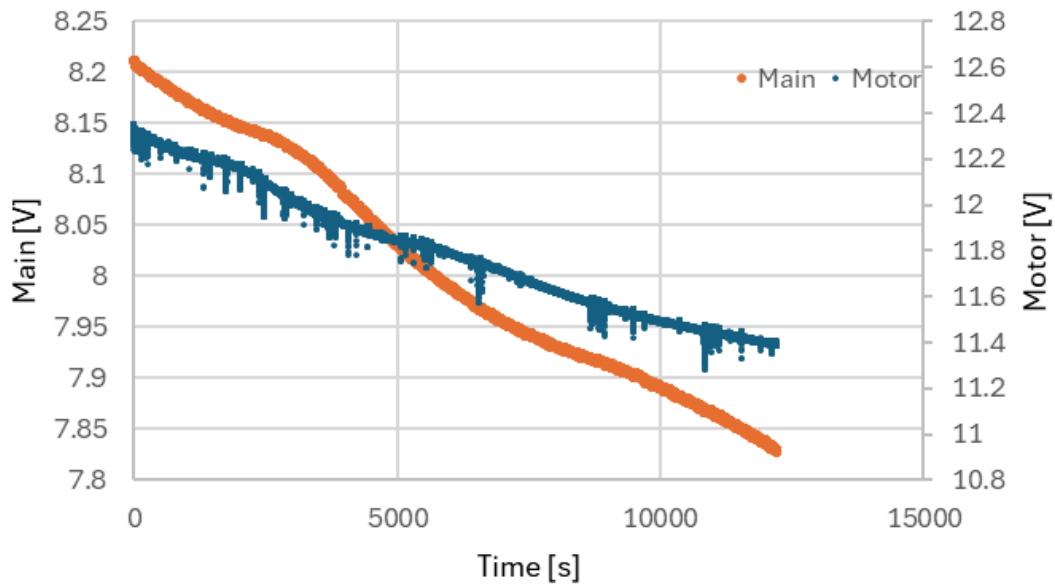


図5.30 メイン基板とモータ基板の電圧の時間変化

Ampere

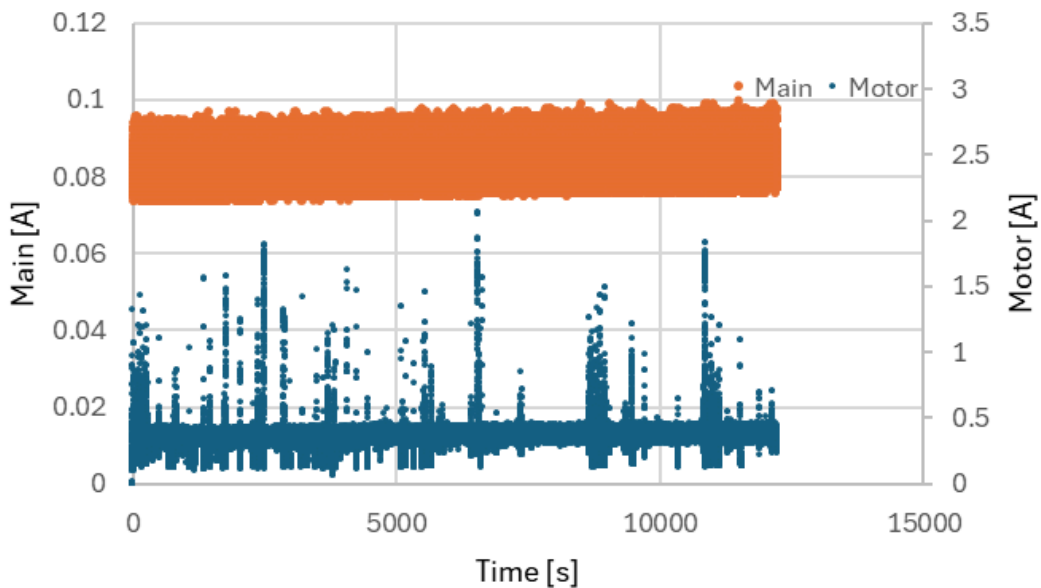


図5.31 メイン基板とモータ基板の電流の時間変化

- 試験時間の問題なくバッテリーから電力供給できることが分かった。
- 試験後の機体を確認したところ、走行に支障をきたす損傷は確認されなかった。
- 試験の動画を以下のURLに示す。

URL:<https://youtu.be/imNxvH8SuC8?si=vssC7HyQaLDrc9Nd>

- 結論
 - CanSatへの電力供給は十分に行われており、全ミッションに想定される時間の間、損傷なく走行できることを確認できた。

MRV4 GNSS誘導試験

- 目的
 - 設定した地点までGNSSセンサを用いてCanSatを誘導できることを確認する。
- 試験内容
 - GNSS誘導中の制御量と進行方向から、適切に誘導することができているかを確認する。CanSatが目的の地点に到達した後に、GNSSセンサからの現在地の座標を複数回取得し、目的の地点から3[m]以内であることを確認して走行を停止させる。
- 試験結果



図5.32 GNSS誘導試験の様子

- GNSS誘導により目的の地点の3[m]以内で停止することができた。
- 試験の動画を以下のURLに示す。挙動が異なる2つの様子を示す。
URL : <https://youtu.be/PJLoPyHScHs?si=TidSAS7AJRvhhPN> (1回目)
https://youtu.be/li9X1_l8So0?si=Gp99h1qt8EoLPnA- (2回目)
- 動画内で分かるように一回目は進行方向、制御量に異常は見られなかった。しかし、2回目の試験ではタイヤが草むらにスタックしてしまい、上手く方向転換ができなかったが最終的にはゴールへたどり着いた。
- 2回目の制御ログについては、以下に示す。

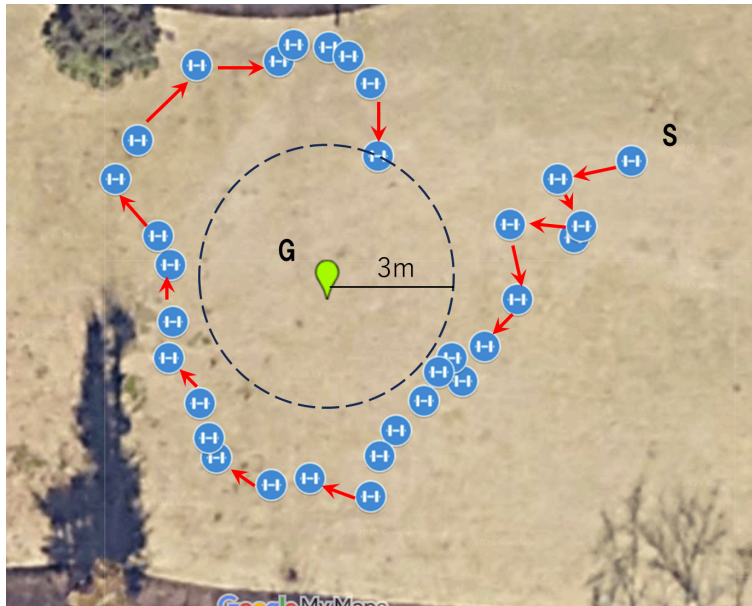


図5.33 GNSS誘導制御ログ

➤ 結論

- 設定した地点までGNSSを使用して、CanSatを誘導できることを確認できた。
- タイヤがスタックした際でも目標地点とCanSatの位置関係から次に行うべき制御を行い目標地点までたどり着けることが確認できた。

MRV5 スタック検知・脱出試験

➤ 目的

- CanSatがスタックを自己検出し、脱出行動を実行できるかを確認する。
- スタック状態を安定して識別・復帰できる条件を明確にする。

➤ 試験内容

- 障害物に向かってCanSatを走行させ、意図的にスタックを発生させる。機体加速度・消費電力を取得することでスタック検出を行い、判定アルゴリズムの有効性を確認する。スタック検出後は後退・旋回などの脱出行動を実行させ、再走行可能となるかを検証する。

➤ 試験結果

- 試験における動画のURLについては、以下に示す。
URL : <https://youtu.be/0SiUAL2PHR0?si=DriS3848uVS5UOMD>

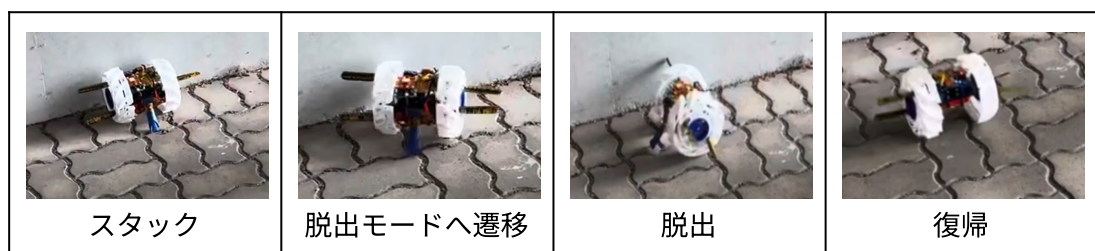


図5.34 機体のスタックから、脱出までの流れ

- 動画内から分かるようにCanSatがスタックを自己検出して脱出行動をとった。

➤ 結論

- CanSatがスタックを検知して、脱出行動を実行できた。

MRV6 MultiIMU性能確認試験

- 目的
 - MultiIMUの加速度と角速度の観測精度を確認する。
- 実施内容
 - 性能に関する情報は研究開発中のため非公開とする。
- 結論
 - MultiIMUの加速度と角速度の観測精度は、本ミッションを達成するうえで十分な性能といえる。

MRV7 MultiIMU自己位置推定試験

- 目的
 - MultiIMUの位置推定精度を確認する。
- 試験内容
 - 初期地点から見て前方2.0[m]の地点の半径0.1[m]以内へCanSatをMultiIMUの自己位置推定により誘導制御する。
 - 誘導制御が終了した時点におけるCanSatの位置と、MultiIMUの位置推定値を比較する。
 - MultiIMUを用いた自己位置推定によりCanSatを正確に2[m]前進させる。
 - はじめにCanSatが向いている向きを絶対座標（車軸方向にx軸、進行方向にy軸、垂直方向にz軸をとる）として、 $(x,y,z)=(0,2,0)$ まで前進させる。
- 試験結果
 - MultiIMUによる自己位置推定を用いて、CanSatを2[m]前進させた所、誤差15[cm]以内に収まった。
 - 試験の様子を以下の動画に示す。
URL：https://youtu.be/ltAofMu9NV4?si=EBel8mnT8LS94_K8
 - 自己位置推定値と実測値の比較を表5.10に示す。動画はNo.2の試験のものである。図5.41にMultiIMU自己位置推定試験における位置推定履歴を示す。

表5.10 $(x,y,z)=(0,2,0)$ での自己位置推定値と実測値の比較

| No. | 推定 | | 実測 | | 推定と実測の差 | | 推定と実測の距離 |
|-----|-------|------|-------|------|---------|------|----------|
| | x[m] | y[m] | x[m] | y[m] | x[m] | y[m] | r[m] |
| 1 | -0.01 | 2.09 | 0.07 | 2.03 | -0.08 | 0.06 | 0.10 |
| 2 | -0.04 | 2.08 | -0.13 | 2.01 | 0.09 | 0.07 | 0.11 |

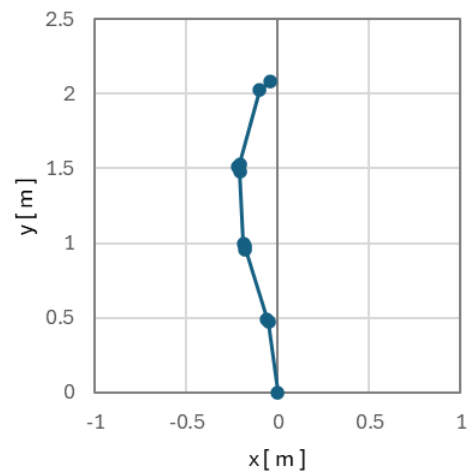
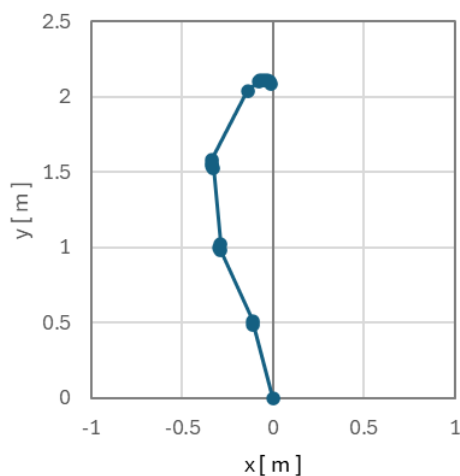


図5.41 MultiIMU自己位置推定試験における位置推定履歴

- 結論
 - 試験結果よりMultiIMUモジュールの自己位置推定性能はシステム要求SR23を満たすことを確認した。

MRV8 終端誘導試験

- 目的
 - 新旧のゴール手前6[m]からMultiIMUモジュール、LiDAR、画像認識を用いて0[m]ゴールできることを確認する。
- 試験内容
 - 新旧のゴール手前6[m]からMultiIMU、LiDAR、画像認識を用いて0[m]ゴールできることを実証する。

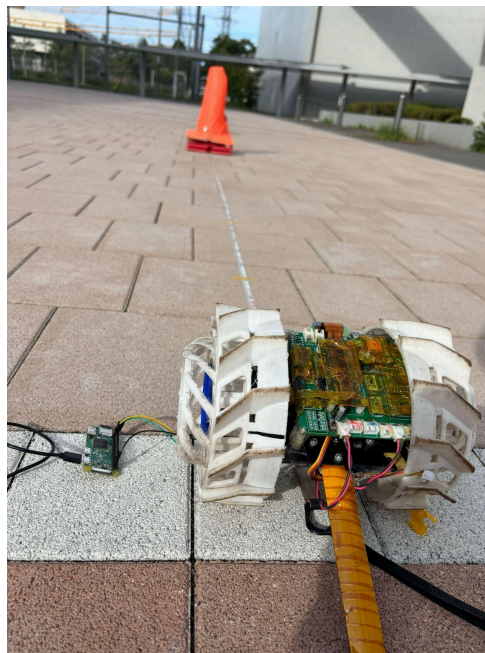


図5.42 LiDARによる距離測定

画像認識

YOLOv8による、画像認識の試験を行う。ラズパイカメラで撮影した画像を用いて、ゴールを識別する。画角におけるゴールの位置と占有面積を利用して誘導を行う。

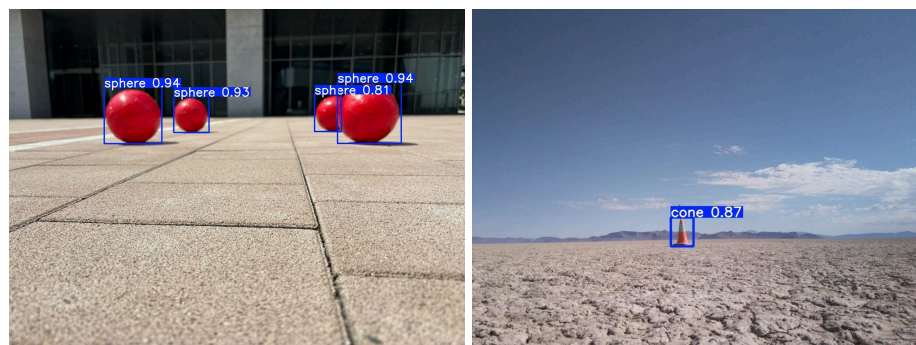


図5.43 新型ゴール・旧型ゴールの識別

- 試験結果
 - 旧型ゴール、新型ゴールともにYOLOを用いて画像認識ができることができた。
 - 1. 旧型ゴール
 - 旧型ゴールにおいて以下のようにゴールに近づいていき、ゴールに接触したところでゴール判定をすることが確認できた。
 - ゴール手前70[cm]までは画像認識を用いて画角の中央にコーンが写っている状態を保ち

ながら前進して行く。LiDARにより70[cm]以内であることを認識したのちに、画像認識を用いて画角の中央にコーンを保ちながらMultiIMUを用いた精度の高い前進を行う。

- ゴール判定はLiDARによる取得距離が15[cm]以下、またはMultiIMUを用いた機体の傾き検知による結果が5°以内であった場合ゴールとしている。
- 詳細な制御手法について図5.44に記載する。

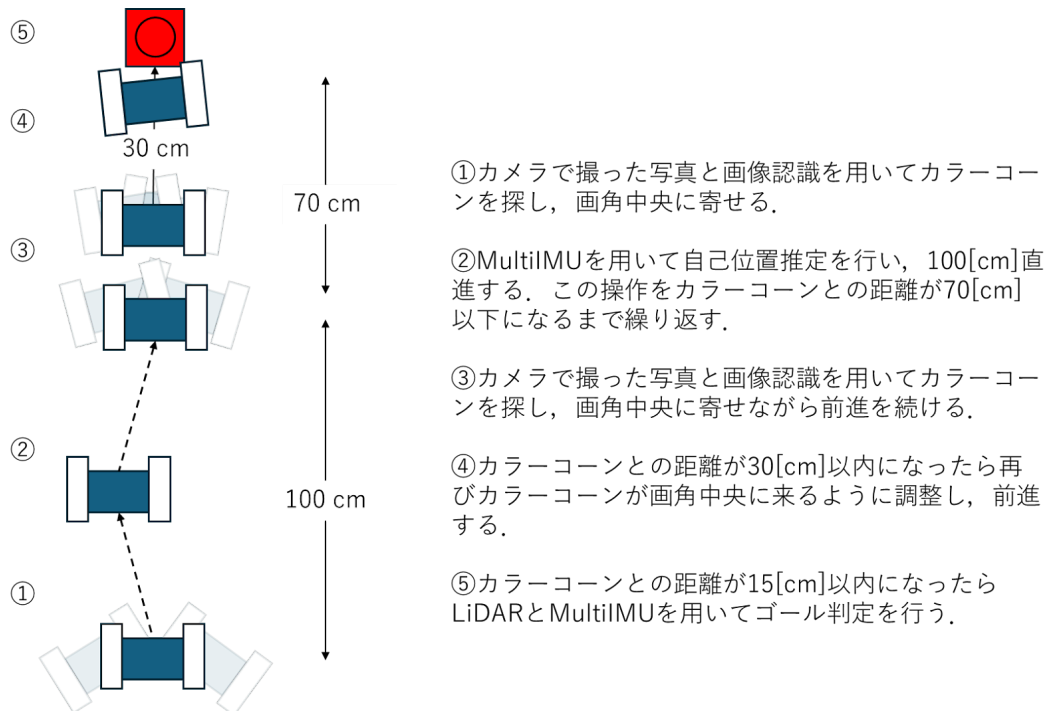
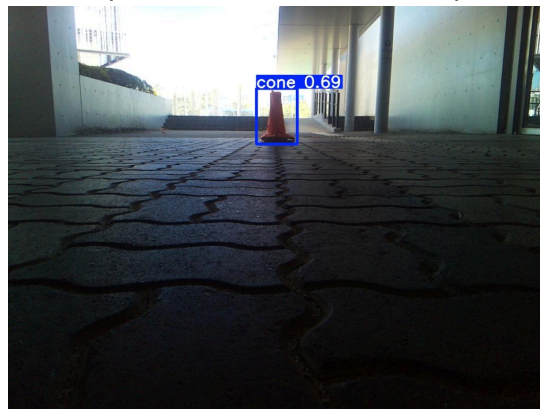


図5.44 旧型ゴールへのアプローチ(再掲)

- 試験の様子を以下の動画に示す。

URL:https://youtu.be/VVb_S9qKoVc?si=RhhEWvdB3A2_hpKc



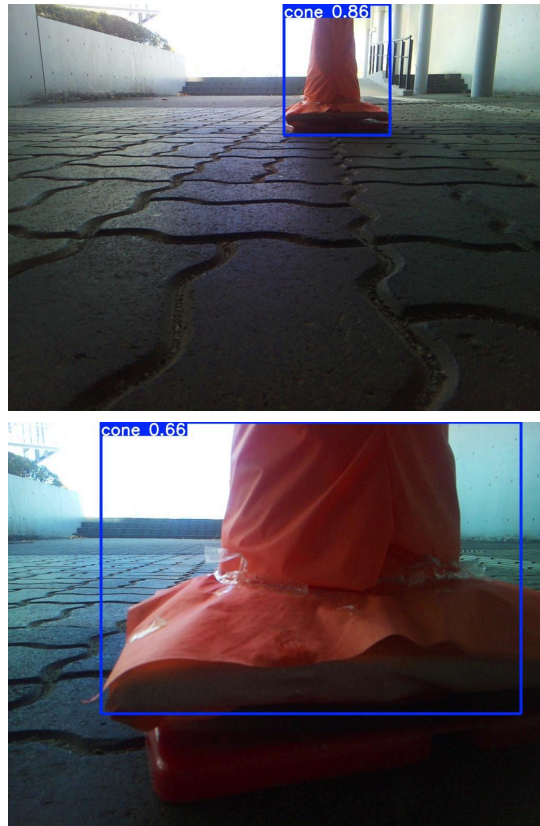


図5.45 旧型ゴールへの終端誘導の画像ログ

- 制御履歴を以下に示す。まずメイン基板からのコマンドでCONE MODEに入り、旧型ゴールの検索を行った。発見後は細かく左右を合わせながら MultiIMUをの自己位置推定を用いた正確な直進でゴールに向かっていく。ゴールからの距離が70[cm]を下回ったときにGOAL JUDGEを行い、さらにゴールに近づいていく。最後にゴールに確実に接触するための直進(straight_last)を行い、距離が15[cm]未満となったためゴール判定を行った。

```

time : 20250902_110554, Command: a211b, Move direction : None
=====CONE MODE=====
time : 20250902_110607, Command: a715b, Move direction : search_cw
time : 20250902_110607, Command: a715b, Move direction : search_cw
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 1000 cm, Strength: 135
time : 20250902_110931, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 987 cm, Strength: 134
time : 20250902_110941, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 976 cm, Strength: 121
time : 20250902_110950, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 120 cm, Strength: 119
time : 20250902_111001, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 130 cm, Strength: 114

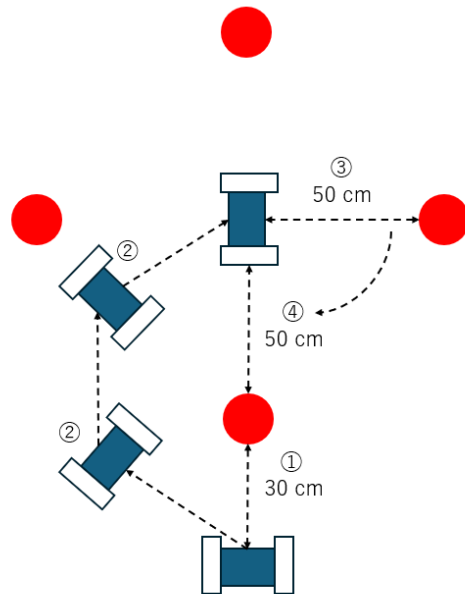
```

```
time : 20250902_111010, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 143 cm, Strength: 95
time : 20250902_111124, Command: a712b, Move direction : straight
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 139 cm, Strength: 75
time : 20250902_111253, Command: a712b, Move direction : straight
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 947 cm, Strength: 111
time : 20250902_111350, Command: a713b, Move direction : left
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 400 cm, Strength: 208
time : 20250902_111359, Command: a712b, Move direction : straight
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 141 cm, Strength: 106
time : 20250902_111438, Command: a713b, Move direction : left
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 126 cm, Strength: 97
time : 20250902_111448, Command: a712b, Move direction : straight
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 125 cm, Strength: 134
time : 20250902_111543, Command: a713b, Move direction : left
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 128 cm, Strength: 104
time : 20250902_111552, Command: a712b, Move direction : straight
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 84 cm, Strength: 206
time : 20250902_111654, Command: a712b, Move direction : straight
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 54 cm, Strength: 392
time : 20250902_111737, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 51 cm, Strength: 504
-----GOAL JUDGE-----
Distance:51 cm,Strength:504
Goal adjust - Cone center_x: 592.9744262695312, area: 254630.38, confidence:
0.93
time : 20250902_111753, Command: a711b, Move direction : adjust_right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance:48 cm,Strength:464
Goal adjust - Cone center_x: 350.3194580078125, area: 274368.72, confidence:
0.96
time : 20250902_111802, Command: a713b, Move direction : adjust_left
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance:45 cm,Strength:506
Goal adjust - Cone center_x: 666.4769897460938, area: 276603.25, confidence:
0.55
time : 20250902_111810, Command: a711b, Move direction : adjust_right
```

```
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance:43 cm,Strength:524
Goal adjust - Cone center_x: 466.67608642578125, area: 291309.22, confidence:
0.90
time : 20250902_111821, Command: a718b, Move direction : straight_short
[RECEIVED] Command detected: a714b
time : 20250902_111746, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 25 cm, Strength: 534
-----GOAL JUDGE-----
Distance:25 cm,Strength:550
time : 20250902_111947, Command: a718b, Move direction : straight_last
[RECEIVED] Command detected: a714b
time : 20250902_111947, Command: a725b, Move direction : straight_short
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance:13 cm,Strength:201
time : 20250902_112004, Command: a718b, Move direction : straight_last
[RECEIVED] Command detected: a714b
time : 20250902_112004, Command: a725b, Move direction : straight_short
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance:12 cm,Strength:174
time : 20250902_112023, Command: a718b, Move direction : straight_last
[RECEIVED] Command detected: a714b
Goal adjust - Cone center_x: 494.7257385253906, area: 759898.75, confidence:
0.54
time : 20250902_112023, Command: a718b, Move direction : straight_short
[RECEIVED] Command detected: a714b
CONE_GOAL!!!!!!!!!!!!!!
time : 20250902_112023, Command: a719b, Move direction : None
```

2. 新型ゴール

- 新型ゴールの手前6[m]からMultiIMUモジュール、LiDAR、画像認識を用いてゴールした。
- 新型ゴールの中心各球から60[cm]の点で停止しゴール判定することができた。
- 停止位置から正六角形を描くようにMultiIMUを用いてCanSatを誘導する。この際に、2つ目の辺の分の移動が終了したのちに新型ゴールの内側にいるかどうかの判定を画像認識を用いて行う。
- 内側にいる判定が得られた場合、最も近い球から50[cm]の位置までMultiIMUを用いて正確に接近しLiDARによる距離取得を行う。そののちCanSatを90[deg]回転させ、再度LiDARを用いて2つ目の球との距離が50[cm]であることを確認してゴール判定とする。
- 詳細な制御手法について図5.46に記載する。（再掲）



①ゴールのうちの一つに画像認識とLiDARを用いて30 cmの距離まで接近する.

②MultiIMUを用いて自己位置推定を行い、六角形の辺上を移動していく。
(このとき各頂点に当たる地点において、画像認識を用いて4つのゴールの内側にいるかどうかの判定を行う)

③4つのゴールの内側にいると判定された場合、LiDARと画像認識を用いて最も正面にあるゴールとの距離が50 cmになるように調整する.

④90°回転し、③と同様に正面にあるゴールとの距離が50 cmになるように調整する.

図5.46 新型ゴールへのアプローチ(再掲)

- 試験の様子を以下の動画に示す。

URL:<https://youtu.be/aPPn1NRq8mQ?si=Ow0wmWgLWSEPGz>

- 制御履歴を以下に示す。

まずメイン基板からのコマンドでSPHERE MODEに入り、新型ゴールの検索を行った。発見後は細かく左右を合わせながらMultiIMUの自己位置推定を用いた正確な直進で最も近い球に向かっていく。球からの距離が30[cm]を下回ったのちに、停止位置から正六角形を描くようにMultiIMUを用いてCanSatを誘導する。(time:20250903_151039)この際に、2つ目の辺の分の移動が終了したのちに新型ゴールの内側にいるかどうかの判定を画像認識を用いて行う (time : 20250903_151259~time : 20250903_151720)。その後、SPHERE PROCESS 2へ移行する。

(sphere_process -> 2以降のログ)

SPHERE PROCESS 2では、最も近い球の中心とCanSatの距離が60[cm]となるようにLiDARと画像認識を用いて誘導する。

SPHERE PROCESS 2が完了したのちに、SPHERE PROCESS 3へ移行する。

(sphere_process -> 3以降のログ)

SPHERE PROCESS 3ではCanSatを90°回転させ、SPHERE PROCESS 2で距離を合わせた球の隣の球との距離が60[cm]になるように誘導する。

SPHERE PROCESS 3の達成をゴール判定とする。

```
time : 20250903_145658, Command: a211b, Move direction : None
a214b
a214b
=====SPHERE MODE=====
time : 20250903_145711, Command: a715b, Move direction : rotate_cw
time : 20250903_145711, Command: a715b, Move direction : rotate_cw
[RECEIVED] Command detected: a714b
time : 20250903_150014, Command: a715b, Move direction : rotate_cw
[RECEIVED] Command detected: a714b
time : 20250903_150027, Command: a715b, Move direction : rotate_cw
```

[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 6553 cm, Strength: 73
time : 20250903_150036, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 6553 cm, Strength: 57
time : 20250903_150045, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 6554 cm, Strength: 59
time : 20250903_150054, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 1013 cm, Strength: 116
time : 20250903_150103, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 6553 cm, Strength: 68
time : 20250903_150206, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 135 cm, Strength: 100
time : 20250903_150218, Command: a712b, Move direction : straight
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 124 cm, Strength: 127
time : 20250903_150303, Command: a712b, Move direction : straight
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 135 cm, Strength: 99
time : 20250903_150332, Command: a712b, Move direction : straight
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 6553 cm, Strength: 80
time : 20250903_150413, Command: a712b, Move direction : straight
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 6554 cm, Strength: 62
time : 20250903_150442, Command: a712b, Move direction : straight
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 151 cm, Strength: 71
time : 20250903_150513, Command: a712b, Move direction : straight
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 141 cm, Strength: 93
time : 20250903_150550, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 6553 cm, Strength: 70
time : 20250903_150559, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 143 cm, Strength: 85
time : 20250903_150610, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 149 cm, Strength: 86
time : 20250903_150618, Command: a712b, Move direction : straight
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 6553 cm, Strength: 70
time : 20250903_150653, Command: a711b, Move direction : right

```
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 185 cm, Strength: 159
time : 20250903_150702, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 78 cm, Strength: 295
time : 20250903_150711, Command: a712b, Move direction : straight
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 127 cm, Strength: 109
time : 20250903_150742, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 142 cm, Strength: 107
time : 20250903_150850, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 136 cm, Strength: 92
time : 20250903_150905, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 12 cm, Strength: 549
time : 20250903_150919, Command: a717b, Move direction : back
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 143 cm, Strength: 84
time : 20250903_150933, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 130 cm, Strength: 101
time : 20250903_150943, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 6553 cm, Strength: 87
time : 20250903_150953, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 23 cm, Strength: 472
time : 20250903_151016, Command: a717b, Move direction : back
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 6553 cm, Strength: 76
time : 20250903_151030, Command: a711b, Move direction : right
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 28 cm, Strength: 522
time : 20250903_151039, Command: a735b, Move direction : rotate_ccw_60
[RECEIVED] Command detected: a714b
time : 20250903_151039, Command: a731b, Move direction : move_sphere_L
[RECEIVED] Command detected: a714b
time : 20250903_151039, Command: a731b, Move direction : move_sphere_L
[RECEIVED] Command detected: a714b
time : 20250903_151259, Command: a732b, Move direction : rotate_45
[RECEIVED] Command detected: a714b
time : 20250903_151325, Command: a732b, Move direction : rotate_45
[RECEIVED] Command detected: a714b
time : 20250903_151352, Command: a732b, Move direction : rotate_45
[RECEIVED] Command detected: a714b
time : 20250903_151416, Command: a732b, Move direction : rotate_45
```

```
[RECEIVED] Command detected: a714b
time : 20250903_151442, Command: a732b, Move direction : rotate_45
[RECEIVED] Command detected: a714b
time : 20250903_151511, Command: a732b, Move direction : rotate_45
[RECEIVED] Command detected: a714b
time : 20250903_151541, Command: a732b, Move direction : rotate_45
[RECEIVED] Command detected: a714b
time : 20250903_151720, Command: a732b, Move direction : rotate_45
[RECEIVED] Command detected: a714b
sphere_process -> 2
Distance: 67 cm, Strength: 390
time : 20250903_151753, Command: a713b, Move direction : left
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 64 cm, Strength: 524
time : 20250903_151803, Command: a725b, Move direction : straight_short
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 47 cm, Strength: 528
sphere_process -> 3
time : 20250903_151814, Command: a734b, Move direction : rotate_ccw_90deg
[RECEIVED] Command detected: a714b
Distance: 48 cm, Strength: 524
time : 20250903_151843, Command: a719b, Move direction : None
```

➤ **結論**

- 新旧のゴール手前6[m]からMultiIMUモジュール、LiDAR、画像認識を用いて0mゴールを認識できることを確認できた。

MRV9 End to End 試験

➤ **目的**

- End-to-End試験では、CanSatの投下、パラシュートの展開、ミッションの実施、データの取り出しを本番と同じ手順で行い、各シーケンスが行えることを確認する。

➤ **試験内容**

- End-to-End試験は以下の手順に従って行う。
 1. CanSatに電源を投入し、各センサからの値を確認する。
 2. プログラムを実行してキャリアに格納する。
 3. キャリアから放出してフライトピンを抜き、終端速度5.0[m/s]を再現するために上空1.3[m]から自由落下させ、パラシュートを展開する。
 4. 気圧センサを用いて着地判定をし、CanSatを包んでいる内キャリアをニクロム線で展開し、CanSatが走行を開始する。
 5. ゴールから半径76[m]以内までGNSS誘導を行い、到達後はMultiIMUモジュールを用いた終端誘導を行う。
 6. 到達後にゴール判定を行い、もう一方のゴールへGNSS誘導を行う。
 7. ゴールから半径6[m]以内までGNSS誘導を行い、到達後はMultiIMUモジュールを用いた終端誘導を行う。
 8. ゴール判定後に緊急回避コマンドを用いた離脱を行う。
 9. 到達後にゴール判定を行い、ログが保存されているSDカードからデータを取り出す。

➤ **試験結果**

- 各種センサからの値取得、フライトピンを用いた開傘判定、複数の気圧センサからの

- 多数決決定による着地判定、GNSS誘導終了まではできている。
- GNSS誘導後から終端誘導に移行する際のメインMCUとMultiIMU、Raspberry Piでのハンドシェイクに問題が生じている。
- 以下にmicroSDに保存された制御ログを示す。
<https://drive.google.com/file/d/1QN8TJu4EXmJYM-j7KbAGNRZFG0L7sgRP/view?usp=sharing>

➤ 結論

- GNSS誘導後から終端誘導に移行する際のメインMCUとMultiIMU、Raspberry Piでのハンドシェイクに問題が生じているが、原因の特定はできているため打上げまでには、解決ができると考えている。

第6章 工程管理

全体的な工程としては、

- MDRを4月下旬、SDRを5月上旬に実施した。
- 現在、EM機体を製作中である。CDR終了後に3機のFM機体を作成予定である。
- 8月はFM機体の調整を実施し、ロングランを通して機体全体のエイジングを行う予定である。
- ガントチャートを以下のリンクに示す。
 - <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1ZtK9bCCk-NIPFC9MvWrwBrL5LKCw4AfJ/edit?usp=sharing&ouid=111082999532257293051&rtpof=true&sd=true>

第7章 大会結果報告

第7.1節 目的

開発した機体の実証をおこなうために本大会に参加した。

第7.2節 結果

第7.2.1節 打上1回目

現地での機体調整や降雨のため大会4日目の9月11日(JST)に1回目の打上げを実施した。打上当日は、現地審査前に搭載機器の動作確認とMultiIMUのキャリブレーションを実施した。以下の図7.1にCanSat搭載の高衝撃加速度センサで計測したロケットからの分離衝撃とパラシュートの開傘衝撃を示す。分離衝撃は8.1[G]で開傘衝撃は10.4[G]であった。

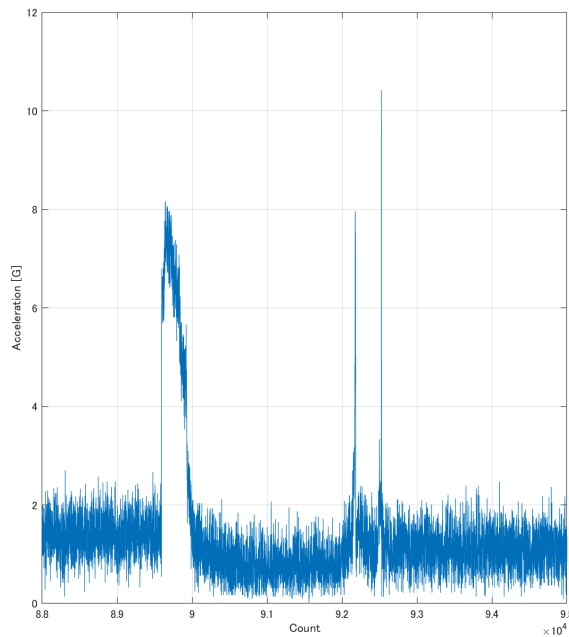


図7.1 打上げ1回目における分離衝撃と開傘衝撃

次に以下の図7.2に着地までの気圧のログから求めた高度の推移を示す。ロケットで高度約4100[m]まで打ち上げられた後に670[s]かけてパラシュートで地表まで降下した。着地時には気圧・温度・湿度センサであるBME280の値から多数決で着地判定を実施した。

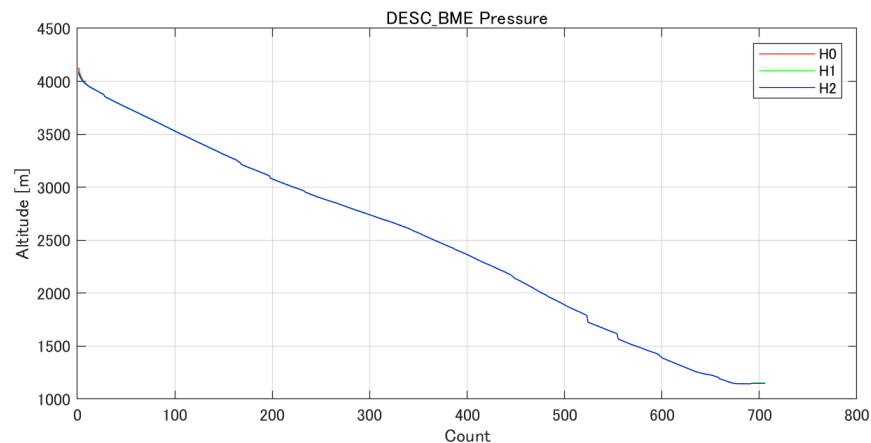


図7.2 打上げ1回目における高度推移

車での追跡中に目視で着地を確認したが、着地からパラシュートを切り離すフェーズにおいて風でパラシュートと機体が引きずられており、着地判定時にはエンベロープが破損した状態であった。次に着地してから着地判定までの高衝撃加速度センサのログを以下の図7.3に示す。図7.3からは着地をしてから10[G]程度のピークを複数回検出しており、エンベロープの破損に至ったと考えている。

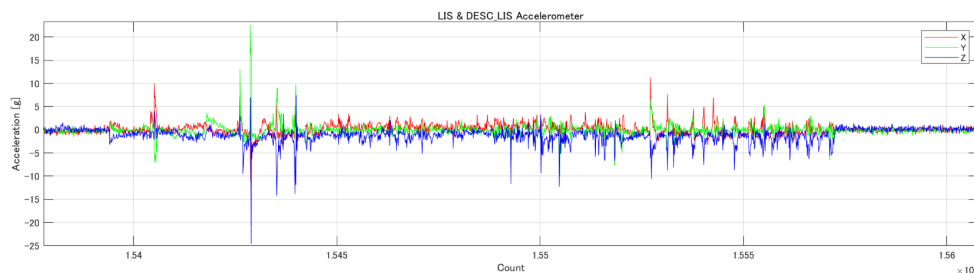


図7.3 着地から着地判定までの加速度(3軸)

着地判定後にニクロム線を用いてエンベロープの展開を行った。ニクロム線は2系統用意しており、加熱でエンベロープを機体から分離することができたが1系統目のニクロム線に印加される電圧と電流の記録はできていなかった。エンベロープ分離後に色検知でパラシュート回避を行う予定であった。メインマイコンからラズパイに電源を入れることはできたが、マイコンからのコマンドをRaspberryPi側で受け取ることができず、マイコンはRaspberryPiの再起動を複数回実施していた。その再起動に関しても再起動に失敗した場合は走行を開始するといった対策はしていなかったため、そのループに入ったまま走行には至らなかった。その間に着地時にz方向に180deg回転していたためMultiIMUを用いた姿勢推定で機体を元の姿勢に直そうとしていたものの、前日の雨のぬかるみとパラシュートで引きずられた際のモータの破損で機体を完全に元に姿勢に戻すことはできなかった (図7.4)。



図7.4 打上1回目の着地後の様子

第7.2.2節 打上2回目

現地での機体調整や降雨のため大会最終日の9月12日(JST)に2回目の打上げを実施した。当日は予備日ということもあり、Flyerさんは自身のロケットの準備のためCanSat打上用ロケットは少なくプログラムを起動してから約2時間後に打ち上げるようになった。2回目の打上げにおいても現地審査前に搭載機器の動作確認とMultiIMUのキャリブレーションを実施した。以下の図7.5にCanSat搭載の高衝撃加速度センサで計測したロケットからの分離衝撃とパラシュートの開傘衝撃を示す。分離衝撃の測定値は8.5[G]で開傘衝撃は6.7[G]であった。ロケットからの分離衝撃は1回目の打上げと同等レベルであったものの開傘衝撃の測定値は小さいため加速度のピークを捉えられなかった可能性があると考えている。

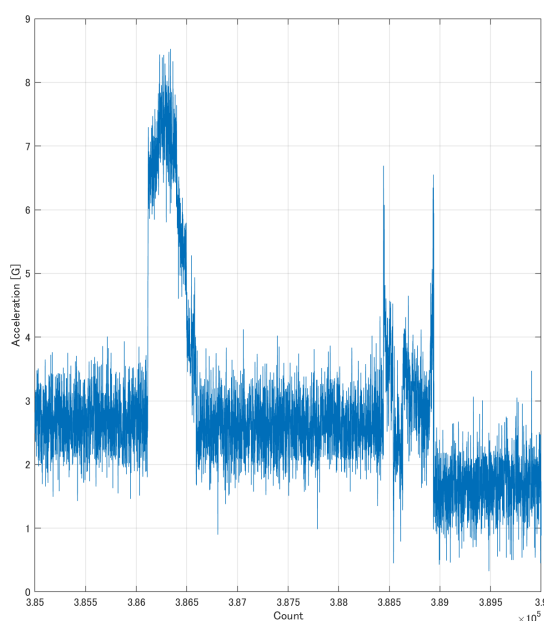


図7.5 打上げ2回目における分離衝撃と開傘衝撃

以下の図7.6にロケット分離から着地までの気圧のログから求めた高度の推移を示す。ロケットで高度約3,700[m]まで打ち上げられた後に580[s]かけてパラシュートで地表まで降下した。高度3,000~2,500[m]にかけて機体が急激に降下している期間があり、上空の気流による影響だと考えられるが、その際のパラシュートの挙動などについてはログを記録していないため不明である。着地時には1回目と同様に気圧・温度・湿度センサであるBME280の値から多数決で着地判定を実施した。

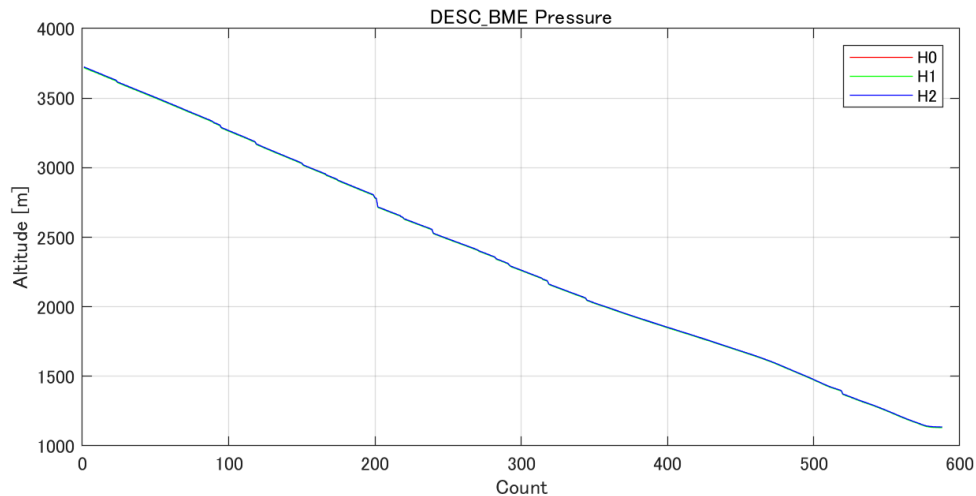


図7.6 打上げ2回目における高度推移

車での追跡中に目視で着地を確認した。今回は着地判定にかかるタイマーを見直し1回目より短時間で着地判定を行い、エンベロープの分離をおこなった。打上げから着地までに機体の破損はなかったものの、しかし、1回目の打上げと同様にマイコンとRaspberryPiとの間で通信することができず、リタイアとなった。1回目の打上げの反省からRaspberryPiと通信ができない場合、マイコン側で再起動するような対処を急遽実装したが、一度RaspberryPiの起動コマンドを確認してから、緊急時のモードに入るような対策となっていたため、RaspberryPiの起動を確認できないためその緊急時のモードに移行することはできなかった。機体に損傷がなかったためリタイア後に電源を入れなおし、再度同一のプログラムを走らせたところマイコンとRaspberryPiとの通信ができ、ゴール方向へ1,000[m]程度の誘導を実施することができた。以下の図7.7に打上2回目の着地後の様子を示す。



図7.7 打上2回目の着地後の様子

第7.3節 考察

以下の表7.1にサクセスクライテリアと達成状況を示す。2回の打上げともにミニ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ができなかった。

表7.1 サクセスクライテリアと結果

| | 評価項目 | 評価基準 | 打上1回目の結果 | 打上2回目の結果 |
|-----------|------------------------------------|--|----------|----------|
| ミニмумサクセス | MultiIMUを用いて自己位置推定をする。 | 自己位置推定して最終位置と真値との差が0.1[m]以下である。 | × | × |
| フルサクセス | MultiIMUを用いた誘導制御による複数ターゲットへの接近をする。 | MultiIMUから求めた最終位置と実際の位置が0.1[m]以内かつ0mゴールを達成したかを運営が測定した値を用いて達成or未達成で評価 | × | × |
| エクストラサクセス | 2個体でフルサクセスを達成する。 | 2個体（2回の打上で）フルサクセスを達成 or 未達成で評価 | × | × |

2回の打上げで共通してメインマイコンとRaspberryPiとの通信が失敗しており、その対策も急遽実施したため対策を十分に検証することができなかった。この事象に関しては現在も調査中であるが、開発の体制として、MultiIMUの開発に注力とそれに伴うインテグレーション後の試験時間の短縮が考えられる。インテグレーション後に様々な温度環境や長時間のエイジングを実施することができていなかった。また、MultiIMUを用いた自己位置推定においても温度を考慮したキャリブレーションが難しく、砂漠での現地調整でも温度環境が大きく変化したため調整に時間を要した。

第8節 まとめ

第8.1節 工夫点・努力した点

- CanSatにおいて高精度な自己位置推定をするためにMultiIMUを用いたミッションを提案することができたことは、今後のCanSatのミッションの可能性を広げる革新的なミッションであると考えられる。
- MultiIMUの開発は難航したが、最終的に精度よく複数の個体において自己位置推定ができるようになったことはチームとしての達成感があった。
- 従来であれば機体開発のスケジュールや試験設備のリソースからEM機体だけの振動試験でFM機体では振動試験を実施していない場合が多かったが、今回はFMまで振動試験を実施し、振動に関する問題は発生しなかった。これは本来あたりまえのことであるため今後もFM機体まで振動試験を実施できるようなスケジュール管理を実施したい。
- FM機体は3機作成した。これは現地への運搬や現地調整においての問題を想定して製作したが、今年はFM1機体目の動作確認用のLEDが常時点灯するといった問題が発生しており、打上げは他の2機体で実施した。
- 体調管理を徹底し、渡米するメンバーは全員渡米することができた。

第8.2節 課題点

- 機体開発は難航し、開発メンバーの疲労は常時溜まった状態であった。
- インテグレーション後の動作確認は、必要最低限で済ませてしまった項目もあり、日本国内での調整や試験内容、スケジュール管理の見直しは必須である。特に長時間のエイジングや様々な温度条件で試験を実施することは必須である。
- 輸出規制や法律に関しても渡米までに間に合うように申請等していたが、それでもギリギリであったため、もっとスケジュール管理を徹底すべきである。

第8.3節 今後の展望

- 搭載できるコンポーネントも高性能になり、面白く誰もやったことがないミッションが実施できるな環境であるため、今後も革新的なミッションについて検討を進めたい。
- 今回の開発をもとに研究や衛星開発に活かしていきたい。