

ARLISS2025 大会報告書(一般枠)

提出日：2025 年 11 月 21 日

チーム情報

| | |
|---------------------|--|
| CanSat チーム名 | 東京情報大学 SuperNOVA |
| CanSat チーム 代表者情報 | 秋山実穂 supernova.cansat@gmail.com , |
| UNISEC 団体名 | UNISEC 登録時の団体名 (個人の場合記入不要) |
| UNISEC 団体 代表 | 秋山実穂 |
| 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 | 3 |
| 第 1.3 節 サクセスクライテリア | 12 |
| 第 2 章 システム要求 | 13 |
| 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 | 13 |
| 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 4 章 システム仕様 | 15 |
| 第 4.1 節 機体概観 | 15 |
| 第 4.2 節 機体機構 | 16 |
| 第 4.3 節 搭載機器 | 19 |

| | |
|--------------------------------------|----|
| 第 4.4 節 アルゴリズム..... | 21 |
| 第 5 章 システム試験..... | 24 |
| 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..... | 24 |
| RV1 質量試験..... | 24 |
| RV2 機体収納・放出試験..... | 25 |
| RV3 GPS データダウンリンク試験..... | 27 |
| RV4 落下試験..... | 31 |
| RV5 準静的荷重試験..... | 34 |
| RV6 振動試験（本審査で実施）..... | 37 |
| RV7 分離衝撃試験..... | 43 |
| RV8 通信 ON/OFF 試験..... | 46 |
| RV9 通信周波数 ch 変更試験..... | 48 |
| RV10,CRV1 End to End 試験（本審査で実施）..... | 50 |
| CRV2 制御履歴レポート作成試験（本審査で実施）..... | 55 |
| 第 6 章 工程管理..... | 63 |

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

ゴール付近に設置された複数の ArUco マーカーを読み取り、暗号化された情報から正しいゴール座標を特定し、自律走行でゴールを目指し、Object Detection と LiDAR を用いて 0m ゴールを目指す。

第1.2節 ミッション内容

ミッション概要

1. ミッション前半 1 「ArUco マーカーの解読」

本ミッションは、惑星探査における自律的な情報収集と意思決定、そしてゴールへの到達を模擬した課題である。CanSat は、事前にゴール座標を知らされていない状態でスタートし、複数の ArUco マーカーを探索・読み取ることでゴール座標を推定・解読し、自律走行によってゴールを目指す。ミッションのイメージ図を Fig.1-2-1 に示す。

各 ArUco マーカーは、あらかじめ既知の座標に配置されており、それぞれに暗号化 (base64) されたゴール座標情報が記録されている。暗号をデコードすると、ゴール座標に ArUco マーカーの ID を乗じた値が得られるが、ID は現地でマーカーをカメラで読み取らないと判明しない。ローバーは実際にマーカーを読み取って ID を取得し、得られた値を ID で割ることでゴール座標の候補を算出する。

ただし、すべてのマーカーが正しい情報を持つわけではなく、一部には誤ったゴール座標が含まれている。そのため、ローバーは複数のマーカーから得られた情報を比較・照合し、同一のゴール座標が複数回導かれた場合に、その座標が正しいと判断する。

宇宙探査において、衝撃や宇宙線等によりデータが化けて不正確なデータになってしまっている場合を想定し、その場合でも他の ArUco マーカーを認識し、2 つ以上の解読結果が同じであればデータ化けがなく、正しいデータである、と判断する状況を表現する。

2. ミッション後半 2 「Object Detection と LiDAR を用いた 0m ゴール」

ゴール座標の解読後、ローバーは自律的にその地点まで走行し、到達を目指す。ゴール 10m 以内の位置に到達後カメラ画像から Object Detection によりゴールを検知し約 1m 以内まで接近し、LiDAR により物体距離を測定しながら、0m ゴールを行う。

ArUco マーカー解読ミッションは鳥取ローバチャレンジのエントリー部門決勝「探査総合ミッション」を模したものであり、広大な ARLISS 環境においてのミッションを検証する。

引用：鳥取ローバーチャレンジ Web ページ掲載大会要項より [<https://www.tottori-rover->

本ミッションは、複数の ArUco マーカーの場所へ正確にローバを誘導し、そこにある ArUco マーカーをカメラで確実に認識し、さらに偽情報を含んでいる情報をデコードした上で、本当のゴール座標を求め、ゴール地点へも正確に誘導し、最終的に 0 m ゴールを実現する、という難易度の高いものである。

また本ミッションはカムバックとして競技を行う。ArUco マーカーはゴール地点を解読するために利用するため、基本的にはカムバックとして競技を行う。カムバック中にミッションを行う形を想定している。

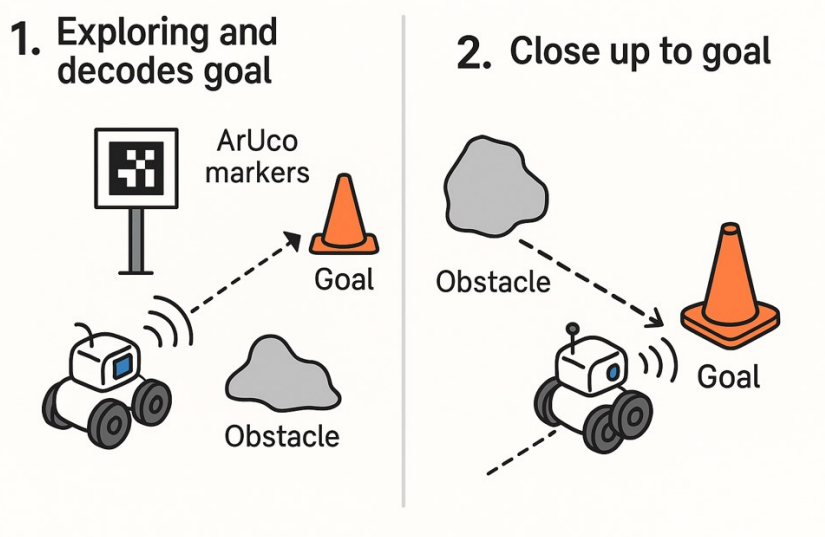


Fig.1-2-1 ミッションのイメージ図

以下にミッションの詳細を示す。

- ① ミッション前半 1 「ArUco マーカーの解読」の詳細
 - 1-1 背景
 - 1-2 ArUco マーカーの解読方法の流れ
 - 1-3 具体例

- ② ミッション後半 2 「Object Detection と LiDAR を用いた 0m ゴール」の詳細
 - 2-1 背景
 - 2-2 Object Detection のゴール認識方法
 - 2-2-1 Object Detection の機能
 - 2-2-2 Object Detection の認識速度と認識距離
 - 2-2-3 Object Detection の仕様詳細
 - 2-3 LiDAR を用いたゴール判定方法

1. ミッション前半1「ArUco マーカーの解読」の詳細

2-1 背景

惑星探査における無人建設を想定し、本ミッションでは通信技術、自律走行、経路設計、障害物認識といった、実際の惑星探査で求められる基礎技術の確立を目指す。

そこで、ローバーはカムバック機能を備えた上で、ゴール付近に設置された複数の ArUco マーカーを読み取り、暗号化された複数のゴール座標情報の中から、誤情報（各マーカーごとに1つ）を含む中で正しいゴール座標を特定し、ゴール地点まで自律的に走行する。

この一連のミッションを通じて、惑星探査に必要な基礎的な判断・制御機能の習得を図る。

2-2 ArUco マーカーの解読の流れ

以下に、ArUco マーカーのミッション内容を以下の 1-7 のリストに簡潔にまとめる。

1. ゴール座標は事前に不明

→ ローバーは自力でゴール座標を解読する必要がある。

2. 複数の ArUco マーカーが設置されている（例：5 個、各 10-20m 離す）

→ 各マーカーの設置位置は事前に知らされている。

3. マーカーには暗号化されたゴール座標情報が含まれている

→ base64 でエンコードされており、デコードすると「座標×ArUco ID」が得られる。

→ ArUco ID は実際に現地でマーカーを読み取るまで分からない。

4. マーカーを読み取ることで ID が判明し、正しいゴール座標を算出可能

→ デコード値 ÷ ID = ゴール座標候補。

5. ただし、一部のマーカーには偽の情報が含まれている

→ どのマーカーが本物かは不明。

6. 複数のマーカーで算出されたゴール座標が一致した場合

→ それが本当のゴール座標であると判断する。

7. 正しいゴール座標が判明したら、そこへ走行してゴールを目指す

→ 以降は通常の誘導制御を行う。

1-3 具体例

以下は鳥取ローバーチャレンジで実際に競技直前に与えられたデータの一部である。

| aruco_id | next_latitude | next_longitude | goal_secret |
|----------|---------------|----------------|--------------------------------------|
| 828 | 35.53708 | 134.21115 | MzA3MzkuNjE3NDUsIDExNjA5Mi42OTY2NQo= |
| 846 | 35.53713 | 134.21132 | MzA0NTUuMzlwNDEsIDExNTAxOS4wMDY5Nwo= |
| 849 | 35.53707 | 134.21127 | MzExNjYuMDYzMDEsIDExNzcxMy4yMzExNwo= |
| 852 | 35.53705 | 134.21111 | MzA1MjYuMzk0NjcsIDExNTI4Ny40MjkzOQo= |
| 854 | 35.53722 | 134.2112 | MzEzNzkuMjg1NzksIDExODUwOC40OTg0Mwo= |

goal_secret は base64 で暗号化されているため、最初に base64 でデコードすると以下のようになる。

| aruco_id | next_latitude | next_longitude | goal_secret |
|----------|---------------|----------------|---------------------------|
| 828 | 35.53708 | 134.21115 | 30739.61745, 116092.69665 |
| 846 | 35.53713 | 134.21132 | 30455.32041, 115019.00697 |
| 849 | 35.53707 | 134.21127 | 31166.06301, 117703.23117 |
| 852 | 35.53705 | 134.21111 | 30526.39467, 115287.42939 |
| 854 | 35.53722 | 134.2112 | 31379.28579, 118508.49843 |

最初はどこに行けば良いのかわからないので、表の next_latitude, next_longitude の中からどれか一つを選ぶ。我々は現在座標から最も近い座標へ向かうようにしている。

例えば1行目の aruco_id 828 に書いてある next_latitude, next_longitude の 35.53708, 134.21115 が一番近い場合、その座標に向かう。

その場所でカメラで ArUco マーカーを読み取ったら 854 だったとする。その場合 aruco_id が 854 の行の goal_secret を、854 を next 座標としていた aruco_id の値 828 で割ると、ゴール座標が解読される。ただし、このゴール座標は本物か偽かは分からない。

Aruco id が 854 の行には次に行くべき座標が next_latitude, next_longitude 35.53722, 134.21120 と書かれているので、その座標へ行く。

そこでカメラで aruco_id を読み取ったら 849 だとする。849 の行を見ると、そこには goal_secret に 31166.06301,117703.23117 と書いてあるので、これを 849 に来る前の aruco id 854 で割ると、ゴール座標が解読される。

この解読されたゴール座標が先ほど解読された座標と同じなら、本当のゴール座標が解読されたことになる。違っていた場合、どちらかが（あるいは両方とも）偽のゴール座標の可能性があるため、次の座標へ向かう。

というのを繰り返し、最終的に2つ以上同じゴール座標が解読されたら、その座標は本当のゴール座標であると判断してゴール地点へ向かう。

2. ミッション後半2「Object Detection と LiDAR を用いた 0m ゴール」の詳細

2-1 背景

本ミッションでは、カメラ画像による Object Detection と LiDAR による距離情報の2つの手法を組み合わせ、長距離からの認識と近距離での正確なゴール判定を実現する。

0m ゴールを行う手法には、カメラから撮影した画像から機械学習を行いゴールを認識する手法や、深度カメラや距離センサを用いてゴールからの距離を測定する方法などがある。過去様々な手法で0mゴールミッションを行った結果、今回行う Object Detection + LiDAR を用いた手法にて、従来手法よりも確実性のある0mゴールを目指す。

また従来手法と定性的評価を行った表を Table 2-1 に示す

Table 2-1 各手法における定性的評価

| 手法\可能な機能 | 長距離認識 (約 10m) | 近距離測定 (約 30cm 以内) | 直射日光に 影響が少ない | 低消費 電力 | 写真撮影 |
|---|------------------|----------------------|-----------------|-----------|------|
| ① Object Detection | ○ | × | ○ | ○ | ○ |
| ② ToF 深度画像 | × | ○ | × | ○ | × |
| ③ ステレオカメラ+ カメラ | ○ | × | ○ | × | ○ |
| ④ Object Detection + Multizone ToF | ○ | ○ | × | ○ | ○ |
| ⑤ Object Detection + LiDAR [今回のミッション] | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

④Object Detection + Multizone ToF センサにおける従来手法では、Multizone ToF センサは室内向けであるため、直射日光下では環境光が強すぎて、15cm 以内など近づかないと距離が測定できない問題があった。

そこで、今回は LiDAR を利用することで、従来手法よりも確実なゴール判定を目指す。直射日光は最大で 100k LUX であるが、YDLiDAR GS2 は 25k LUX の環境光まで対応可能であるため、近距離では従来の室内向け Multizone ToF よりも環境光に強いと考えられる。また 25.6 × 23.6 × 10.8 mm と小型で、検知距離が 25 mm~300 mm の近距離測定が可能であるため、ゴール判定に適している。

Object Detection + LiDAR を用いて、従来の 0m ゴール手法よりも確実な 0m ゴールを目指す。

2-2 Object Detection のゴール認識方法

2-2-1 Object Detection の機能

Object Detection(物体検知)では 1 枚の画像から物体を複数検知でき、画像中どこにあるかがわかる。CanSat において 1 枚の画像でゴールの他にも人や気球なども同時に複数検知でき、それぞれ物体がどの位置にあるのかも座標情報で取得できる。またゴールと同じ赤色の服を着た人や赤い気球が同じ画像内に写ってもゴールと識別することができ、同色物体の認識精度の向上ができる。

別の手法である Image Classification(画像分類)手法では、1 枚の画像全体を分類する手法であるため、ゴールを探すのに画面を分割する ROI(Region Of Interest)を 3 分割、5 分割や、さらに上下移動などを行う必要があるが、画像中どの位置においても物体を検出することができる。特に CanSat のチルト方向の傾きに強くなる。Fig. 1-2-2 に Object Detection のゴール発見の例を示す。

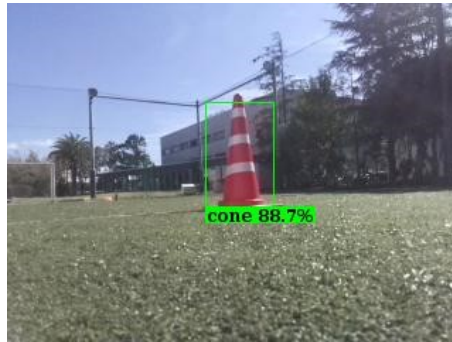


Fig. 1-2-2 Object Detection でのゴール発見の例

2-2-2 Object Detection の認識速度と認識距離

認識速度においては、Raspberry Pi Zero W と Raspberry Pi AI Camera で YOLO v8 モデルで 0.3 秒以下で認識可能である。走行は 1s ごとにステアリングを制御するため、画像認識中は停止せずに走行しながらの走行制御が可能である。

Object Detection による長距離のゴール認識では能代宇宙イベント 2021 において 15m からゴールを認識でき、長距離においてゴール認識が可能であることがわかった。Fig. 1-2-3 に 15m からの実際の認識画像を示す。



Fig. 1-2-3 NSE2021 で 15m 地点から Object Detection でゴール認識した画像

2-2-3 Object Detection の仕様詳細

Object Detection 仕様詳細を以下に示す.

- モデル : YOLO v8n
- 入力サイズ : 300×300pixel,RGB3 チャンネル
- 学習方法 : coco 90 objects で学習済みモデルを約 5000 枚のゴール画像で cone, ground の 2 種類にアノテーションされたデータで転移学習を行った. 学習は 1500 ステップ行った.

また, アノテーションの例を Fig.1-2-4 に示す.

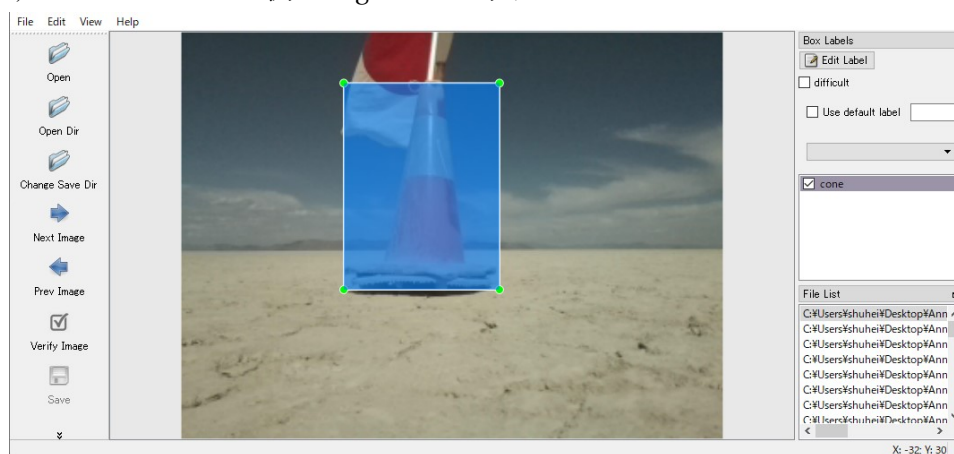


Fig.1-2-4 Annotations (ゴール学習) の例

2-3 LiDAR を用いたゴール判定方法

今回ゴール判定に用いる YDLIDAR GS2 は、YDLIDAR 社が開発した超小型・高精度の固体型（ソリッドステート）LiDAR センサーである。主にロボットにおける障害物回避や経路計画、段差やエッジの検出といった近距離測距を必要とする用途に最適化されている。

GS2 の測距範囲は 25mm から 300mm であり、最大 100 度の視野角（FOV）を持ち測定距離ではゴール判定を測定できる距離に適している。角度分解能は 0.6 度と高精度で、最小検出物体のサイズは直径 3mm と非常に小さい点も特長である。測定頻度は約 28Hz で、距離 100mm 以下では±3mm、100～200mm では±3%、200～300mm では±8%の相対誤差が仕様である。使用されているレーザー波長は 808nm または 850nm であり、FDA クラス I に準拠した安全性（出力 25mW 未満）を確保している。

本体サイズは 25.6mm×23.6mm×10.8mm、重量はわずか約 4.2g と非常に軽量で、CanSat の搭載にも適する。電源仕様は 3.2V～3.4V、動作電流は 100mA、起動時には最大 240mA であり、CanSa におけるバッテリーの消費も少ない消費電力である。25,000Lux まで耐えうる設計がなされており、ToF等の距離センサよりも直射日光下の強い環境光下においても動作する可能性が高い。

YDLIDAR GS2 の使用と CanSat への適応理由を Table 2-3 に示す。

Table 2-3 YDLIDAR GS2 の使用と CanSat への適応理由

| 特性 | 内容 | CanSat への適応 |
|--------------|---|-------------------------|
| 測距範囲 | 25 mm～300 mm (dfrobot.com) | ゴール判定距離に適す |
| 視野角 (FOV) | 最大 100° | |
| 角度分解能 | 0.6° | |
| 最小検出物体 | 直径 3 mm | |
| 測定頻度 | 約 28 Hz | |
| 精度 (相対誤差) | 距離 ≤ 100 mm : ±3 mm , 100 ~ 200 mm : ±3% , 200～300 mm : ±8% | |
| 光子波長 | 808 nm または 850 nm の 2 種類 | |
| 出力電力 | FDA クラス I 安全基準（レーザー強度 25 mW 未満） | |
| 寸法・重量 | W25.6 × H23.6 × D10.8 mm, 約 4.2 g | 小型で搭載可能 |
| 電源仕様 | 3.2 - 3.4 V, 動作時電流 100 mA, 起動時 240 mA | 低電力である |
| 環境耐性 | 動作温度 -10～40 ° C, 環境光 25,000 Lux 耐性 | 近距離なら直射日光でも動作可能な環境光耐性あり |

第 1.3 節 サクセスクライテリア

参考資料：成功基準（サクセスクライテリア）作成ガイドライン

| | |
|-----------|---|
| ミニマムサクセス | CanSat が放出落下後に破損なく着地し、パラシュートから分離し、ArUco マーカーの地点まで走行し、一つ以上の ArUco マーカーの読み取りに成功する。 |
| フルサクセス | 複数の ArUco マーカーを読み取り、ゴール座標を解読し、ゴール地点へ向かい、ゴール地点から 10m 以内でゴール判定し停止する。 |
| エクストラサクセス | ゴール座標を解読しゴールへ走行後、ラズパイカメラを用いて Object Detection によりゴールを認識し接近し、LiDAR によってゴールまでの距離を cm 単位で測定し、ゴールに CanSat 本体が接触し距離 0m でゴールする。 |

第2章 システム要求

第2.1節 レギュレーションを満たすためのシステム要求

| 番号 | レギュレーションを満たすためのシステム要求 |
|----|--|
| R1 | CanSat は規定のサイズと質量以内でなければならない。 |
| R2 | CanSat はロケットから放出後、位置が特定できなければならない。 |
| R3 | CanSat は規定の終端速度の範囲内で降下しなければならない。 |
| R4 | CanSat は打上げ時、パラシュート開傘時の衝撃を受けた後もその機能を維持しなければならない。 |
| R5 | CanSat はロケット搭載時に無線の送波を停止しなければならない。 |
| R6 | CanSat に搭載する全ての無線機は要求に応じて周波数の変更を行えなければならない。 |
| R7 | CanSat はロケットに搭載後メンテナンスなしにミッションを維持しなければならない。 |
| R8 | CanSat はロケットに損傷を負わせる可能性のある機構や物質を搭載してはいけない。 |
| R9 | CanSat は制御されることなく着地しなければならない。 |

| 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。 |

※ランバックタイプなので UAS 関係の試験は行わない

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

第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

| 番号 | 試験項目名 | 対応するシステム要求番号 | 実施(予定日) |
|------|-----------------|--------------|---------|
| RV1 | 質量試験 | R1 | 7/1 |
| RV2 | 機体の収納・放出試験 | R1, R8 | 7/1 |
| RV3 | GPS データダウンリンク試験 | R2 | 5/16 |
| RV4 | 落下試験 | R3, R9 | 6/28 |
| RV5 | 準静的荷重試験 | R4 | 6/30 |
| RV6 | 振動試験 | R4 | 7/25 |
| RV7 | 分離衝撃試験 | R4 | 7/2 |
| RV8 | 通信 ON/OFF 試験 | R5 | 5/30 |
| RV9 | 通信周波数 ch 変更試験 | R6 | 5/30 |
| RV10 | End-to-end 試験 | R7,CR1 | 7/27 |

| 番号 | 試験項目名 | 対応するシステム要求番号 | 実施予定日 |
|------|---------------|--------------|-------|
| CRV1 | End-to-end 試験 | R7,CR1 | 7/27 |
| CRV2 | 制御履歴レポート作成試験 | CR2 | 7/27 |

※ランバックタイプなので UAS 関係の試験は行わない

第4章 システム仕様

第4.1節 機体概観

| | |
|---------|-----------|
| 直径 [mm] | 210 |
| 高さ [mm] | 150 (展開時) |
| 質量 [g] | 926 |

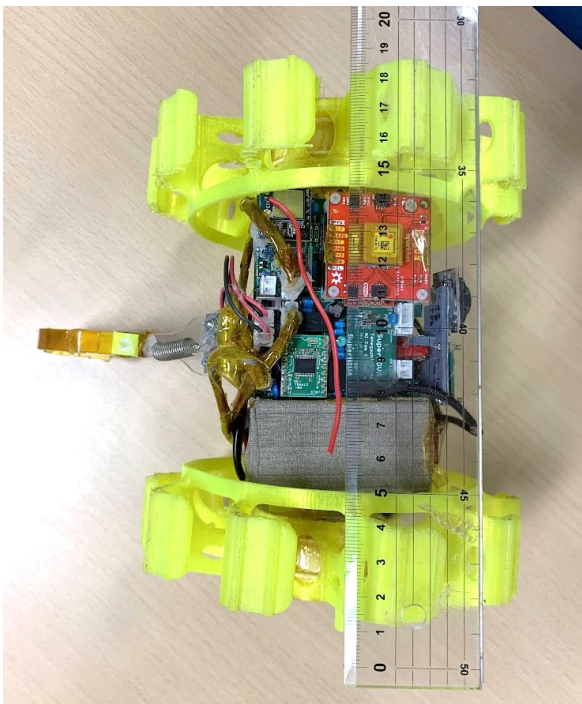


Fig.4-1-1 CanSat 全長

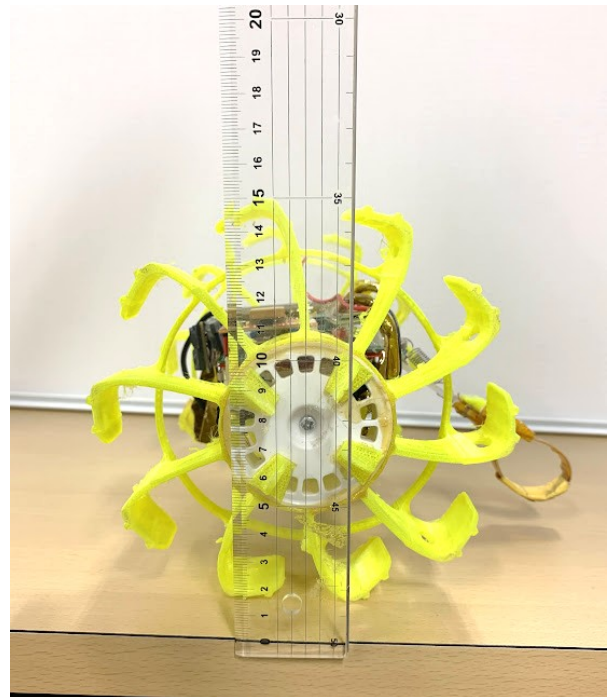


Fig.4-1-2 CanSat 高さ

第 4.2 節 機体機構

【機体】

機体はポリカーボネート 1 枚の板に左右モータを取り付け、モータの裏側は電子回路を搭載している。また能代宇宙イベント等のスタックしやすい草地でもスタックしないように、草を乗り越えられるタイヤ内側に空洞になる形の設計のタイヤを取り付けた。グリップとの隙間に草が食い込む形となり大きい草等を乗り越えられる構造となっている。CanSat を斜めから見た図を Fig.4-2-1 に示す。CanSat を正面から見た図を Fig.4-2-2 に示す。CanSat を上から見た図と下から見た図を Fig.4-2-3 に示す。

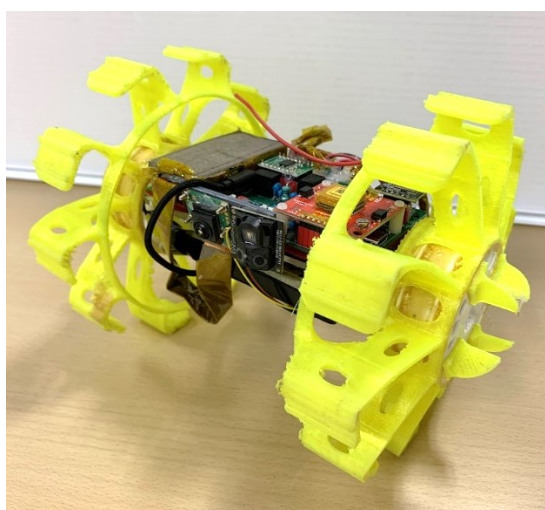


Fig.4-2-1 CanSat を斜めから見た図

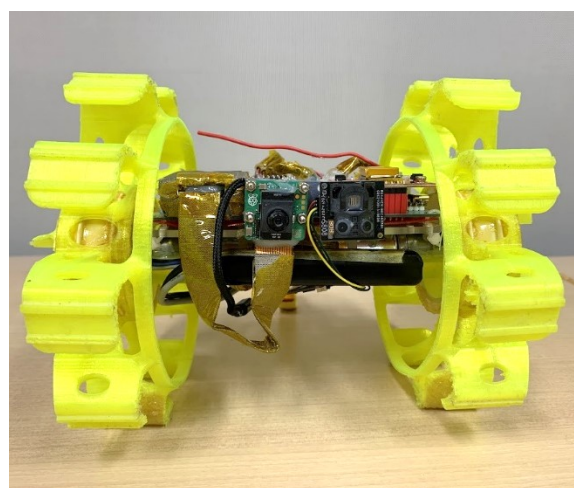


Fig.4-2-2 CanSat 正面から見た図

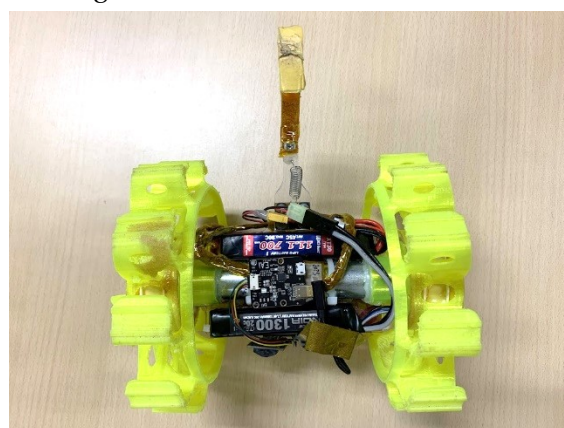
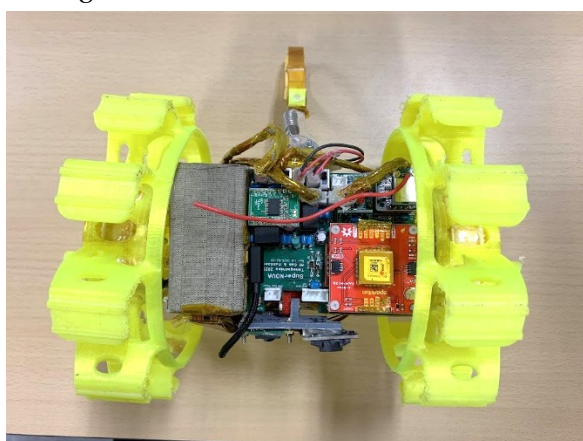


Fig.4-2-3 CanSat を上から見た図 (左) , CanSat を下から見た図 (右)

従来のタイヤには天然ゴムスポンジを利用することで着地衝撃に耐え、着地時に衝撃吸収を行う仕様となっていた。3Dプリンタの中でもゴムのような柔らかさを持つTPU素材(熱可塑性ポリウレタン)を利用することで、天然ゴムスポンジより複雑な造形ができる3Dプリンタを利用することにより機体への衝撃緩和と草へのスタック防止ができるタイヤを作成した。また、その柔らかさからキャリア収納のサイズも容易に小型化することができる。従来使用していたNRスポンジ素材と比較し、TPUタイヤが柔らかいことがわかる図をFig.4-2-4に示す。

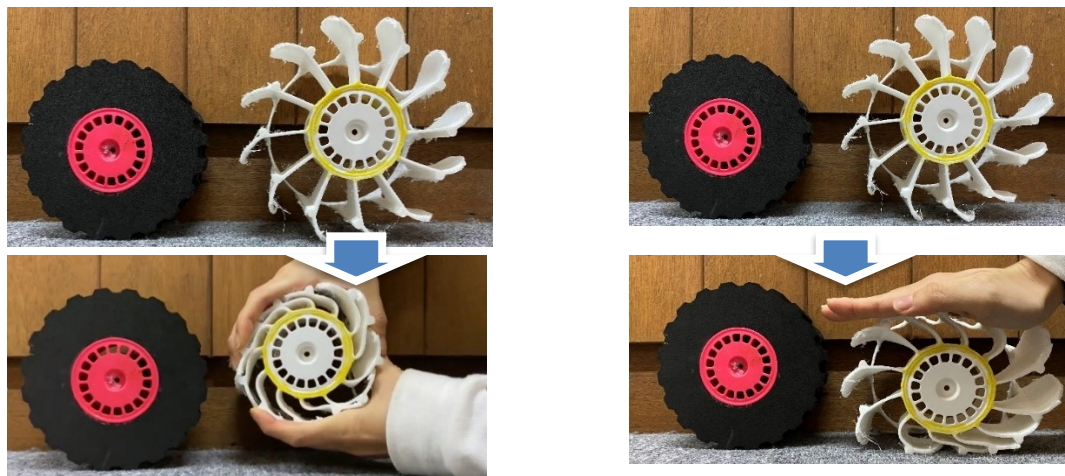


Fig.4-2-4 TPUタイヤ(右)の収納性, TPUタイヤ(右)の柔らかさ

機体にはプラスチックの中で最も硬い素材のポリカーボネートを利用し、着地時に衝撃で少し曲がることにより衝撃吸収を行う仕様となっている。ポリカーボネートの柔らかさがわかる図をFig.4-2-5に示す。

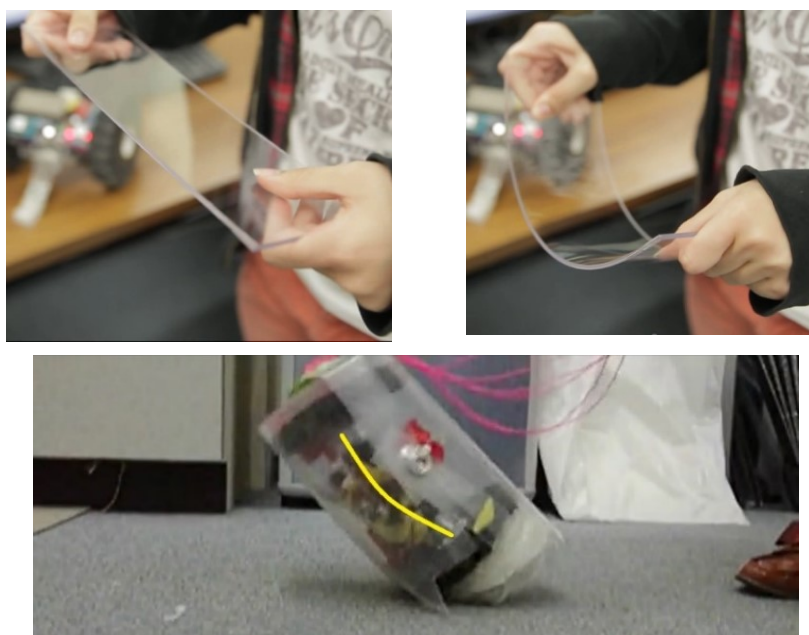


Fig.4-2-5 ポリカーボネート衝撃吸収

【減速機構パラシュート】

減速機構のパラシュートには CanSat との絡まり防止のための素材や構造を取り入れているパラシュートの図解画像を Fig.4-2-6 に示す。

● パラシュート生地

衝撃に耐えられるよう破れにくく、固くさらさらとした生地で CanSat が上を走行してもタイヤに巻き付きにくくした。

● ひも 1

曲がりにくい素材である金属ワイヤーを利用し、機体に巻き付くことを防いだ。生地との接続部は6つでクランプカンによる頑丈な圧着がしてある。

● ひも 2

強い力を加えないと曲がらない金属メジャーを利用することで、CanSat 上にパラシュートが落下せず、CanSat と遠ざかって着地ができる構造により、絡まり防止をした。

● CanSat ケース

機体上へパラシュートが落下しても開いたとき弾かれることで直接の絡まりを防止した。

また、CanSat とパラシュート紐との接続部と、分離機構部分をケース越しに2か所設けたことにより、開傘衝撃が CanSat 分離部分へ加わらないようにし、衝撃緩和を行った。

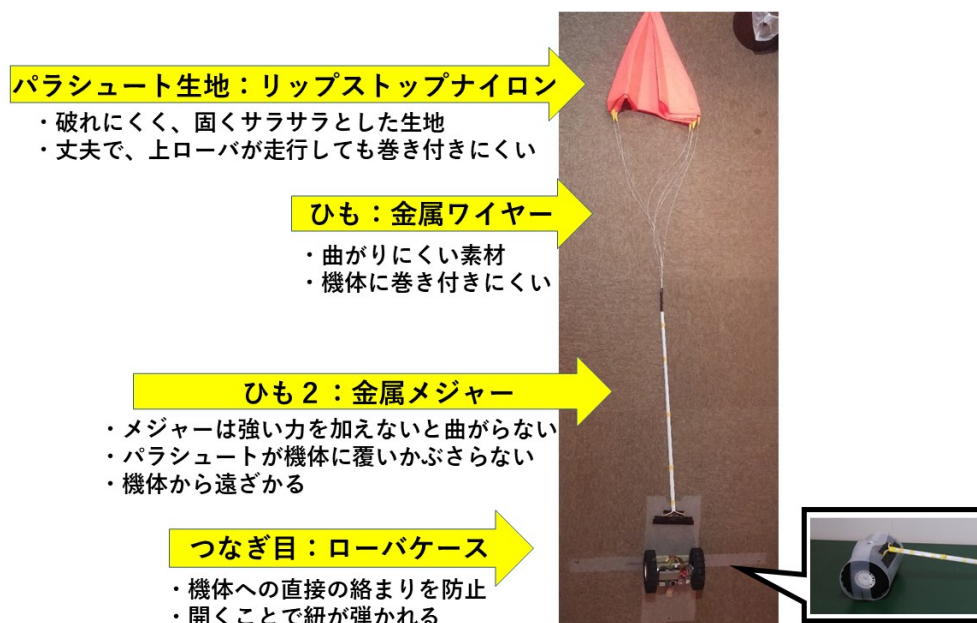


Fig.4-2-6 パラシュート

第 4.3 節 搭載機器

● マイコン、モータ、電源

RaspberryPi Zero 2 W をマイコンに利用し、SAM-M10Q 搭載 GPS で位置情報を取得し現在位置と目標位置の角度を計算し、TB6612 の Dual Motor Driver に目標位置への旋回 PWM 制御値を出力し、モータに出力する。またバッテリーは 3S 11.1V をモータ用電源、2S 7.4V をコンピュータやセンサ用電源の 2 つを利用する。

● センサ類

BNO055 で±16G の加速度・ジャイロ・磁気を取得し、H3LIS331DL で 200G の加速度を取得、BME280 で気圧・気温を取得。加速度・ジャイロは CanSat の衝撃値や CanSat が上下反転して走行しているときに上下を戻すために用いて、気圧・温度は CanSat の高度とコンピュータに加わる熱の温度の参考に使っている。

また、気圧センサが故障時には Photo IC Diode で放出されたかどうか明るさを MCP3208 A/D Converter で A/D 変換し測定している。

● 長距離通信無線

また、長距離地点へ落下した際に LoRa を用いて位置情報を送信し、現在位置特定に利用している。

● カメラ

ミッションの ArUco マーカー検出及び、ゴールより数 m 接近後に機械学習による画像認識で誘導制御を行うために、Raspberry Pi AI Camera から写真を撮影しゴールのパイロンが写っているか判定し誘導を行う。ゴール判定に YDLIDAR GS2 でゴール距離を計測し、ゴール判定を行う。

Fig.4-3 にシステム図を示す。また、実際に使用している電子部品の一覧を Table 4-3 に示す。

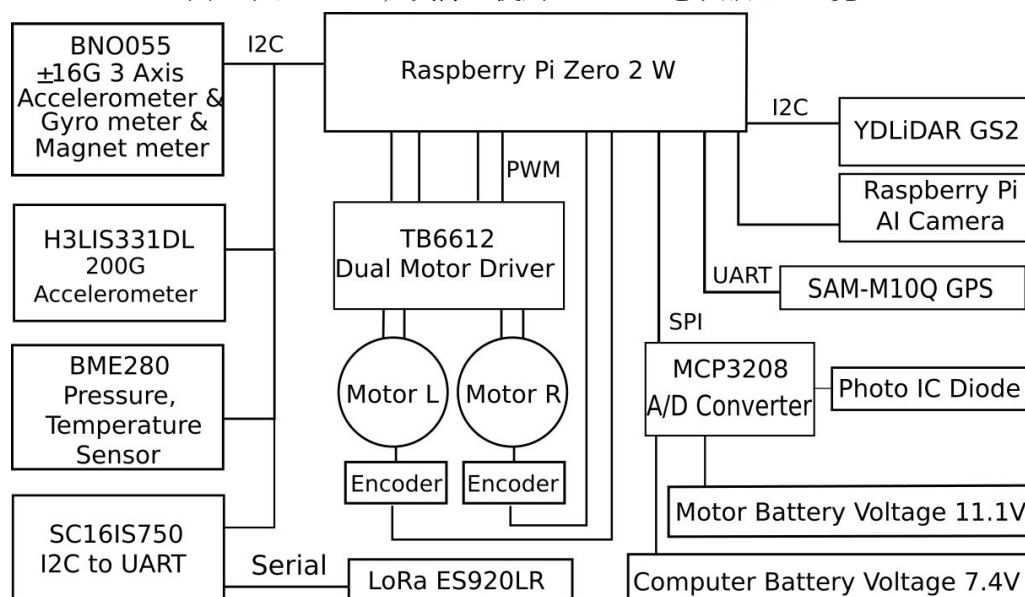


Fig.4-3 システム図

Table 4-3 使用部品

| 分類 | 名称・型番 | 入手先・参考情報等 | URL |
|---------------------------|--|----------------|---|
| GPS | SAM-M10Q GPS | SWITCH SCIENCE | ssci.to/8918 |
| マイコン | Raspberry Pi zero 2 W | SWITCH SCIENCE | ssci.to/7600 |
| Raspberry Pi AI Camera | Raspberry Pi AI Camera | SWITCH SCIENCE | ssci.to/9813 |
| YDLIDAR GS2 | YDLIDAR-GS2- 850 | SWITCH SCIENCE | ssci.to/8125 |
| 200G 加速度センサ | H3LIS331DL | SWITCH SCIENCE | ssci.to/3628 |
| 16G 加速度センサ | LSM9DS1 | SWITCH SCIENCE | ssci.to/2405 |
| 加速度・ジャイロ・ 地磁気 9 軸センサ | BNO055 | 秋月電子 | https://akizukidenshi.com/goodsaffix/AE-BNO055-BO_20220413.pdf |
| 気圧センサ | AE-BME280 | 秋月電子 | http://akizukidenshi.com/download/ds/bosch/BST-BME280_DS001-10.pdf |
| A/D コンバータ | MCP3208 | 秋月電子 | http://akizukidenshi.com/download/MCP3208.pdf |
| I2C シリアル変換 | SC16IS750 | SWITCH SCIENCE | ssci.to/2310 |
| 無線通信機 | LoRa | SWITCH SCIENCE | ssci.to/8516 |
| モータドライバ | TB6612 | 秋月電子 | http://akizukidenshi.com/download/ds/Toshiba/TB6612FNG_datasheet_ja_20141001.pdf |
| モータ | POLOLU ギアード モータ 47:1 | POLOLU | https://www.pololu.com/product/4865 |
| 5 V 3 端子レギュレ ータ | NJM7805SDL1 | 秋月電子 | https://akizukidenshi.com/goodsaffix/NJM7805S_J.pdf |
| 3.3V3 端子レギュレ ータ | NJM2845DL1- 33 | 秋月電子 | https://akizukidenshi.com/goodsaffix/NJM2845.pdf |
| バッテリー (モータ用) | Hyperion G5 3S 850mAh LiPo 25C | Hyperion | https://hyperion-world.com/en/p2601952-hp-g550-0850s3 |
| バッテリー (computer 用) | Bos Lipo リポバ ッテリ ー 7.4V 1100mAh 2S 25C | Amazon | https://www.amazon.co.jp/gp/product/B09TF32517/ref=ox_sc_act_title_1?smid=A2RF2YPOTPHH3L&th=1 |

第 4.4 節 アルゴリズム

フローチャートを 3 つに構成し、
 プログラム開始からパラシュート離脱と GPS を用いた走行までを Fig.4-4-1 に、
 Aruco マーカ発見と解析からゴールまでの走行を Fig.4-4-2 に、
 ゴール発見からゴール判定でプログラム終了までを Fig.4-4-3 に示す。

システムの流れの説明は第 1 章ミッション定義に記載を参考とする。

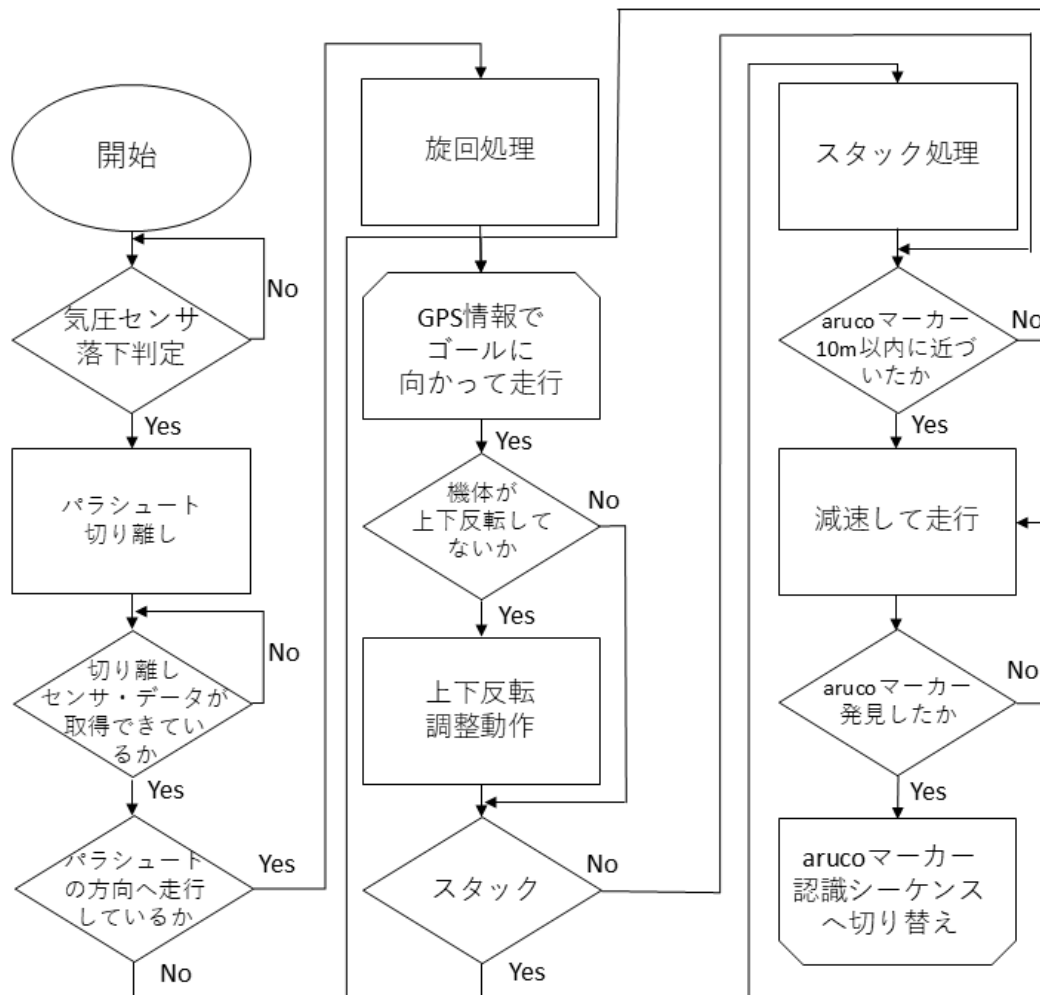


Fig.4-4-1 フローチャート 1 (プログラム開始から GPS を用いた走行まで)

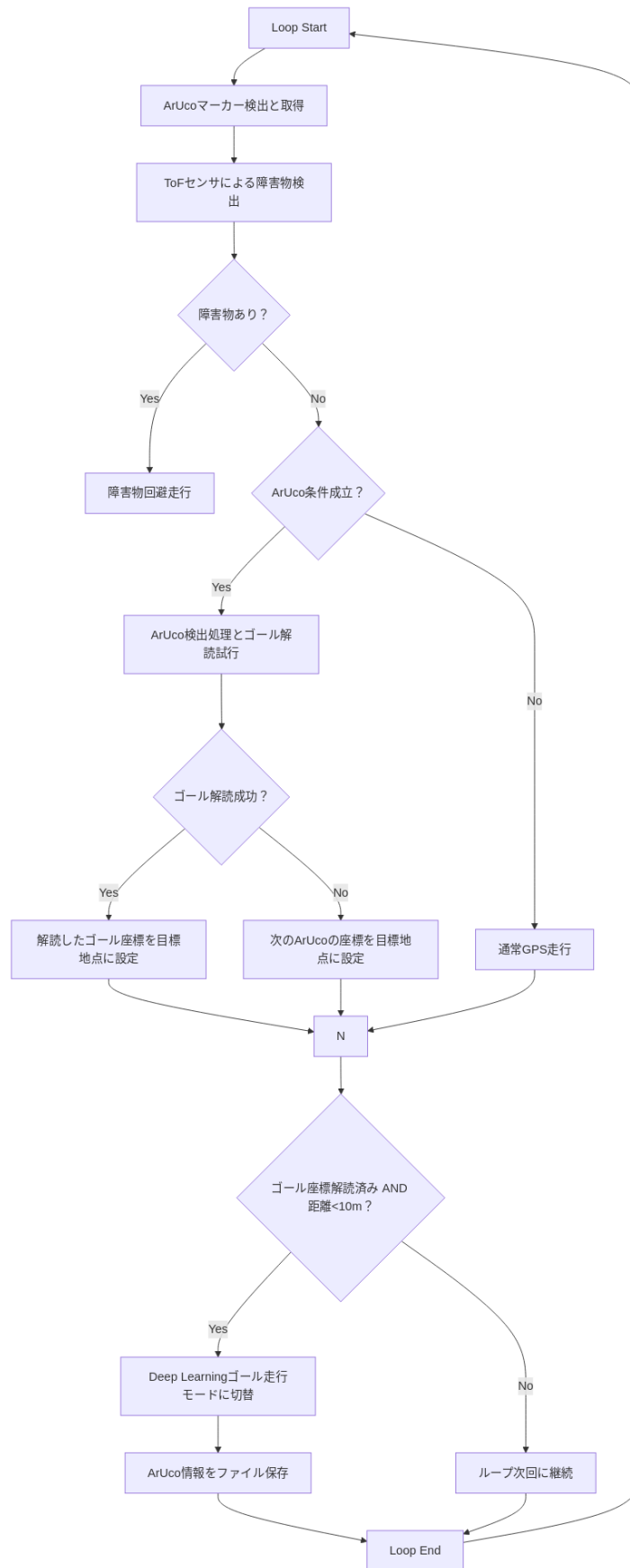


Fig.4-4-2 フローチャート 2 (Aruco マーカ発見と解析からゴールまでの走行)

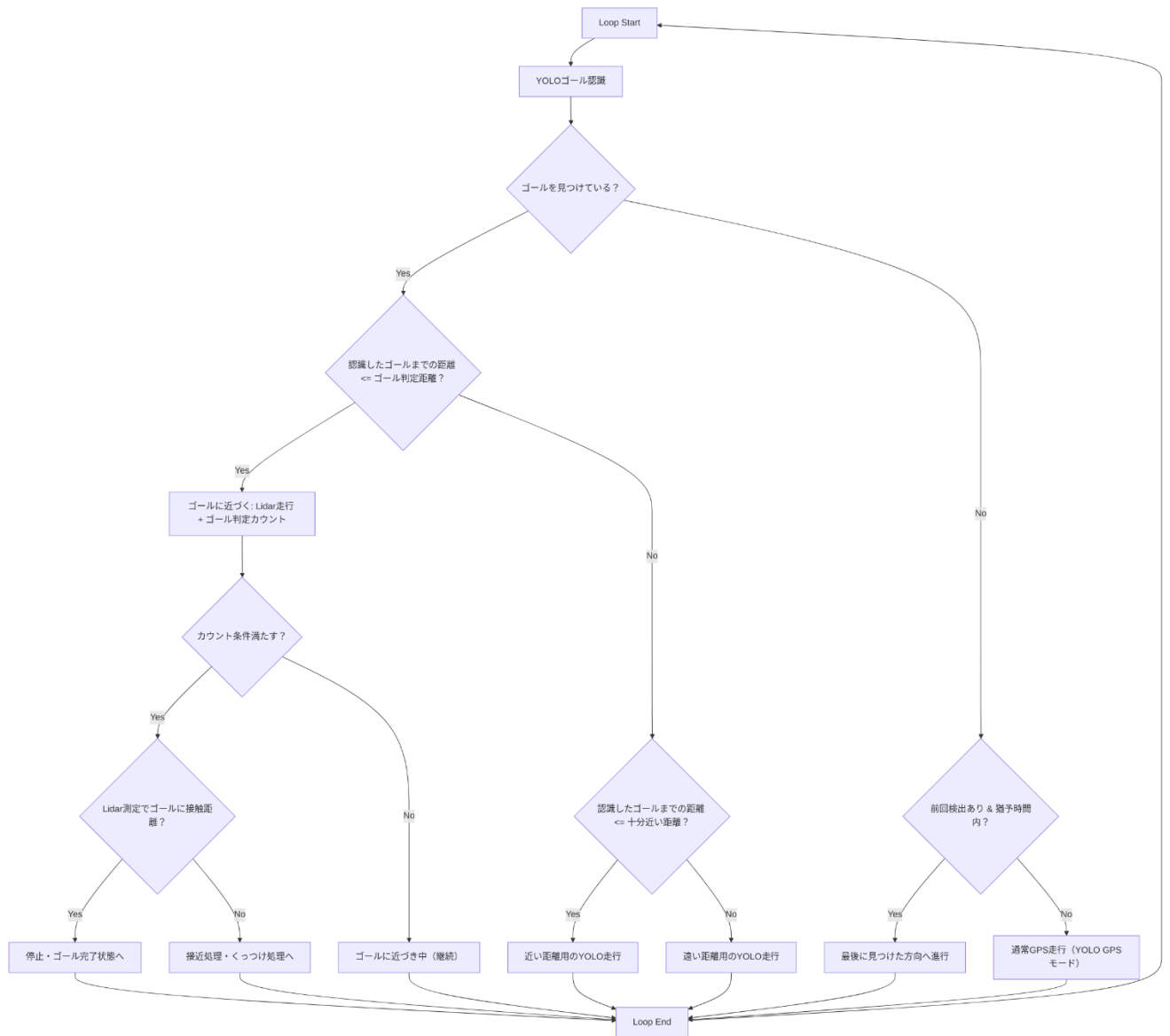


Fig.4-4-3 フローチャート 3 (ゴール発見からゴール判定のプログラム終了)

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 とパラシュートを質量計で計測をし、レギュレーションに記載されている質量 (1050g)以下であることを確認する。
- 試験結果
 - CanSat 本体とパラシュートの合計質量は **926[g]**であった。



Fig.5-1-1 CanSat 本体とパラシュートの合計質量

- 結論
 - CanSat はキャリア格納時にレギュレーションを満たす。

RV2 機体収納・放出試験

- 目的

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

- 試験内容

- CanSat 本体とパラシュートを、本番同様の状態でレギュレーションサイズの寸法のキャリア（ARLISS ロケット提供団体 AeroPac から購入した原品）に収納後、自重で落下することを3回確認する。キャリアの寸法奥行きを Fig.5-2-1、外径を Fig.5-2-2 に示す。

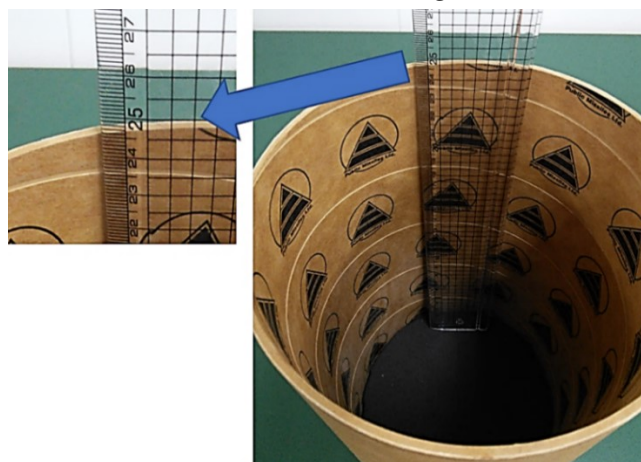


Fig.5-2-1 キャリア収納ケースの奥行き寸法

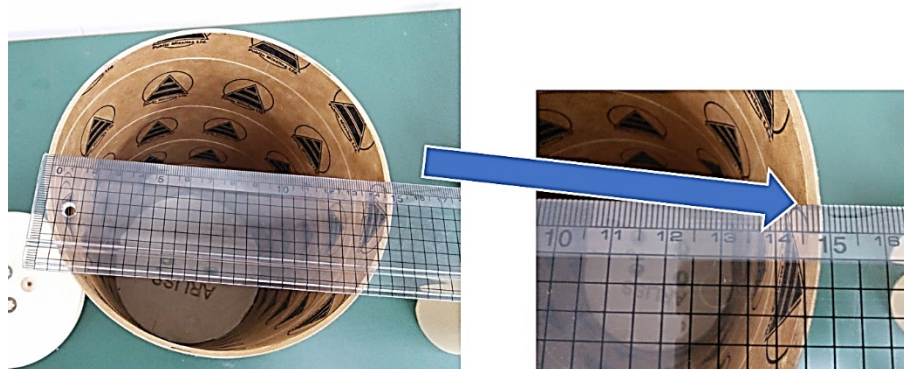


Fig.5-2-2 キャリア収納ケースの外径寸法

Fig.5-2-1, Fig.5-2-2 から、キャリアが規定の奥行き 240mm 外径 146mm であった。Fig.5-2-1 では目盛りは奥行き 245mm を指しているが、定規の余白が 5mm あるため、キャリアの奥行きは 240mm である。

また、CanSat は保護ケースで覆った状態で、キャリアに収納するため、保護ケースに覆った状態で計測する。

- 試験結果

- 試験結果及び実験動画を Table 5-2 に示す。また放出時の映像を切り抜いた画像を Fig.5-2-3 に示す。CanSat を収納後、自重で放出することが3回中3回確認できた。



(a)1回目放出



(b)2回目放出



(c)3回目放出

Fig.5-2-3 キャリア放出時

Table 5-2 機体収納・放出試験結果

| 回数 | 放出判定 | 実験動画 |
|----|----------|---|
| 1 | 自重で放出できた | https://youtu.be/QNpiSFrRFgg |
| 2 | 自重で放出できた | https://youtu.be/keDxWmOhHNI |
| 3 | 自重で放出できた | https://youtu.be/X8ociUwMro4 |

- 結論

- 機体は既定のキャリアに収納可能であること確認でき、レギュレーションを満たす。

RV3 GPS データダウンリンク試験

- 目的
 - ロスト対策として、CanSat の位置情報を長距離通信で受信可能であることを確認する。
- 試験内容
 - LoRa（周波数：920MHz 帯）を使用し、長距離での無線の受信を行い、CanSat の位置の特定が可能か確認した。

CanSat に搭載した LoRa(送信機)からの電波を、LoRa で受信したログを液晶ディスプレイで表示させる装置(受信機)で受信し、位置情報の受信データを表示することで長距離に離れている CanSat の位置を特定する。

実験では 4km 以上の通信を目標とした。打ち上げ高度は 4km であるため、ロケットとの分離後に追跡ができることを目標としている。
またパラシュート色はオレンジ色であり、おおよその位置情報を特定後に空中で目視にて放出後の CanSat 方角を追跡した後に、そこから搜索をすることを目的に、打ち上げ高度である 4km 以上の追跡距離を目指す。

実験に使用した、LoRa 搭載の受信機の写真と LoRa を搭載した送信機 CanSat の写真を Fig.5-3-1 に示す。

また、実際に距離測定を行った位置座標を Table 5-3 に示す。

Table 5-3 受信機と送信機の位置座標表

| 通信距離 | 送信機(CanSat)座標 | 受信機(受信専用装置)座標 |
|---------|----------------------------|----------------------------|
| 約 4.9km | 緯度 34.794257 経度 137.130746 | 緯度 34.769438 経度 137.169546 |

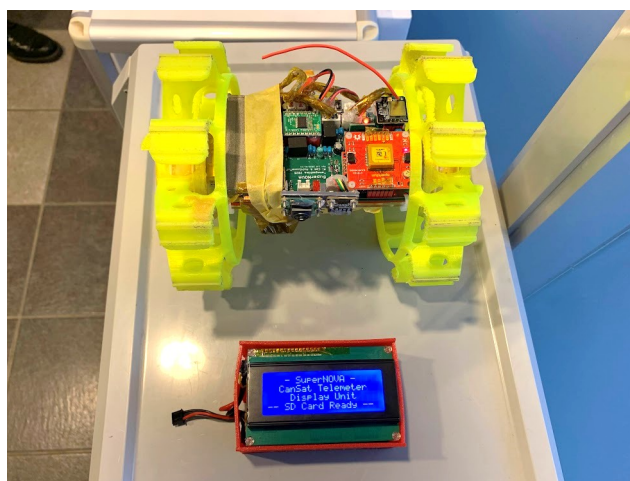


Fig.5-3-1 LoRa 受信機(受信専用装置)と送信機(CanSat)

- 試験結果

- CanSat に組み込んだ送信機位置を【緯度 34.794257 経度 137.130746】に配置し、受信機を【緯度 34.769438 経度 137.169546】に配置し無線通信を試したところ、無線通信が成功した。

送信機位置写真を Fig.5-3-2, 受信機位置写真を Fig.5-3-3, 受信～送信位置の Google MAP を Fig.5-3-4, 受信機で送信機の位置座標が実際に取得できたデータの写真を Fig.5-3-5 示す。



Fig.5-3-2 送信機位置写真と位置座標（【緯度 34.794257 経度 137.130746】）

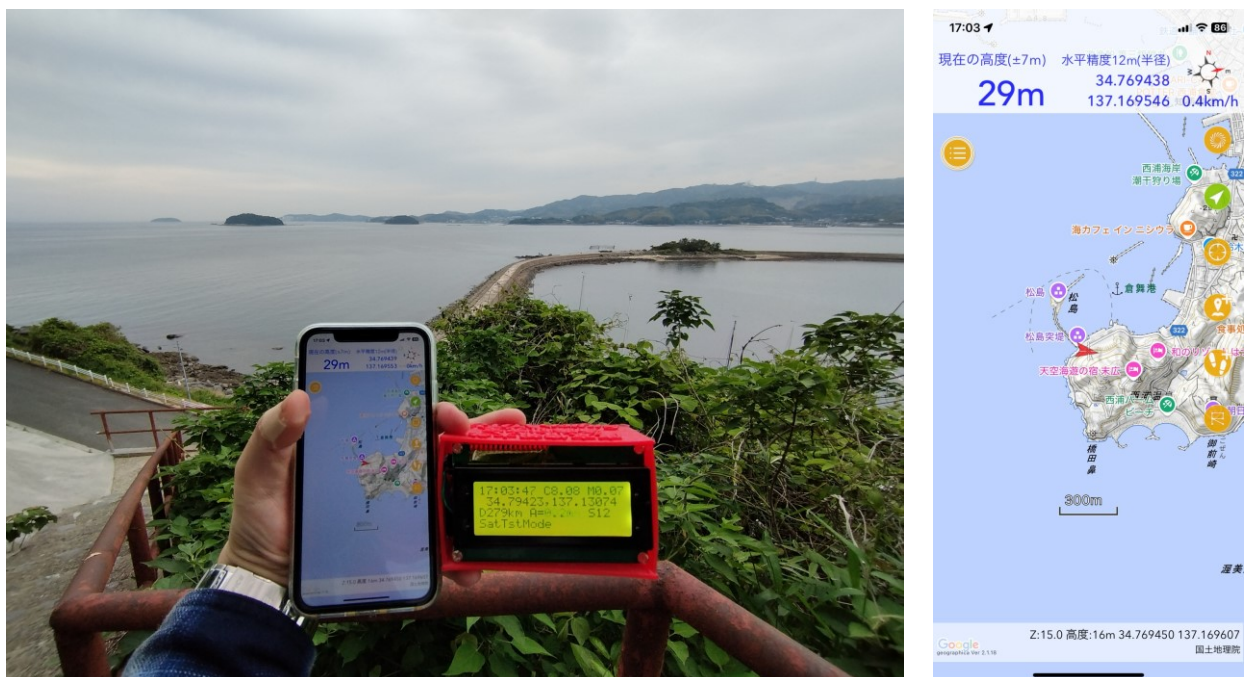


Fig.5-3-3 受信機位置写真と位置座標（【緯度 34.769438 経度 137.169546】）

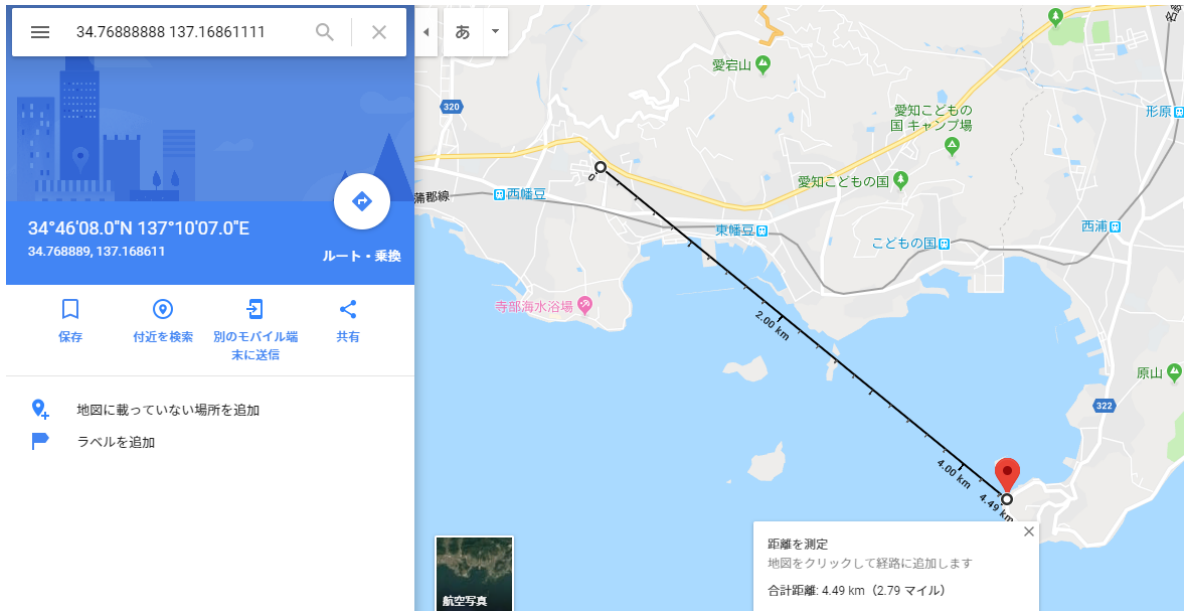


Fig.5-3-4 受信～送信位置の Google MAP (4.91km)



Fig.5-3-5 受信機で実際に取得した座標データ (右の受信機から、送信機座標が表示)

CanSat 位置情報の送信機から，受信した GPS データをリアルタイムで表示されている様子を撮影した動画を以下に示す．また実際に受信した位置座標のログファイルを以下に示す．

- GPS データダウンリンク試験の動画：https://youtu.be/_lZbpR8Zh-0
- 受信ログファイル：
<https://drive.google.com/drive/folders/1XTjhu2erab69MjIV8IvIVxicpXD937NT?usp=sharing>

実験を行った結果，約 4.9km の長距離通信が可能であることが確認できた．

- 結論
 - CanSat から約 4.9km 離れた地点から，CanSat の位置情報を受信でき，ロスト対策に CanSat の位置特定が有効であることを確認し，ロスト対策のレギュレーションを満たす．

RV4 落下試験

- 目的

- パラシュートの開傘と減速が可能で、終端速度が $4\text{m/s}\sim 6\text{m/s}$ で落下ができ、終端速度がレギュレーションのあることを確認する。また CanSat は制御されることなく着地し、レギュレーションを満たすことを確認する。

- 試験内容

- CanSat をつけたパラシュートをドローンから 3 回落下させ、その様子を動画に撮影し、その後落下させた際の気圧から求めた高度ログデータ(サンプリング 1s)から、終端速度を求める。その終端速度が $4\text{m/s}\sim 6\text{m/s}$ であることを確認した。

また落下試験後に CanSat の動作に問題がないか、機体故障部分がないかを確認した。実際に落下試験で投下させた様子を Fig.5-4-1 に示す。



Fig.5-4-1 落下試験のドローン投下

- 試験結果

- 落下実験において、約 20m 以上から落下させ、落下中に終端速度に到達した地点から約 0m 付近のデータまでの時間から、終端速度を求めた。

落下時の高度と時間のグラフを、1 回目落下グラフを Fig.5-4-2, 2 回目落下グラフを Fig.5-4-3, 3 回目落下グラフを Fig.5-4-4 に示す。

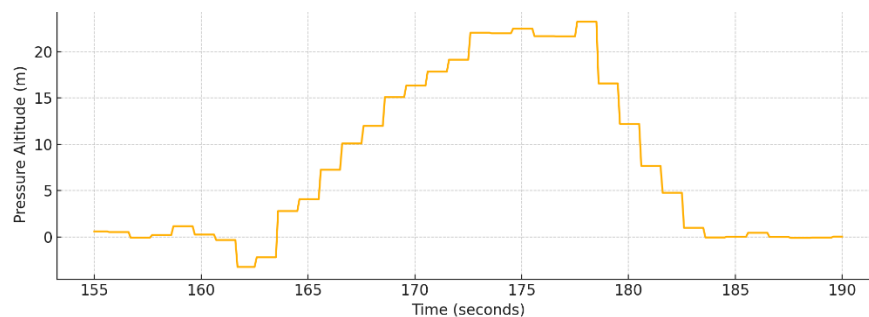


Fig .5-4-2 1 回目落下高度と時間のグラフ

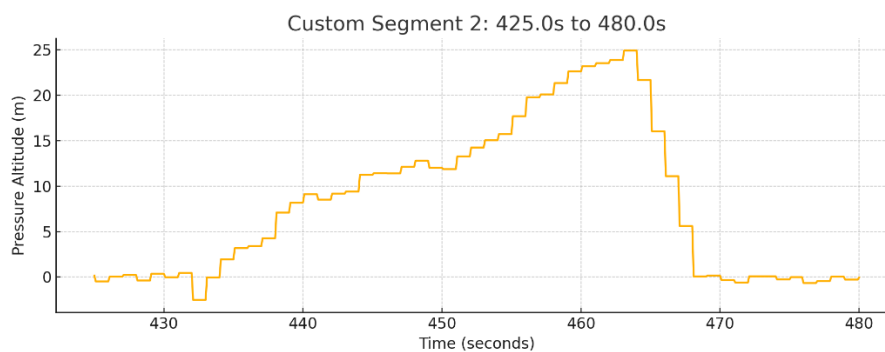


Fig .5-4-3 2 回目落下高度と時間のグラフ

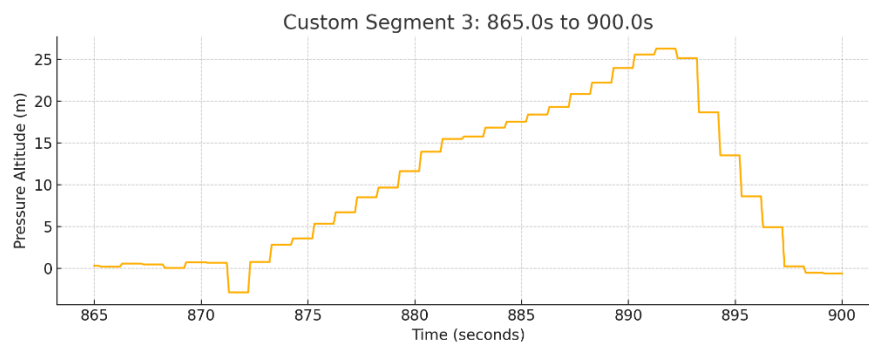


Fig .5-4-4 3 回目落下高度と時間のグラフ

実際に観測した高度[m]データと、経過時間[0.1s]のデータから終端速度を計算した。式 4-1 により、1 回目終端速度は 4.46[m/s]、式 4-2 により 2 回目終端速度は 5.40[m/s]、式 4-3 により 3 回目終端速度は 4.60 [m/s]であった。

【1 回目終端速度】

$$\text{終端速度} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] = \frac{\text{落下高度}[\text{m}]}{\text{経過時間}[\text{s}]} = \frac{8.91}{2.0} = 4.46[\text{m/s}] \dots 4-1$$

【2 回目終端速度】

$$\text{終端速度} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] = \frac{\text{落下高度}[\text{m}]}{\text{経過時間}[\text{s}]} = \frac{21.58}{4.0} = 5.40[\text{m/s}] \dots 4-2$$

【3 回目終端速度】

$$\text{終端速度} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] = \frac{\text{落下高度}[\text{m}]}{\text{経過時間}[\text{s}]} = \frac{18.40}{4.0} = 4.60[\text{m/s}] \dots 4-3$$

落下試験を 3 回行った結果を Table 5-4-2 にまとめた。

Table 5-4-2 落下実験結果

| 回数 | 終端速度 | 4-6m/s であるか○or× |
|------|-----------|-----------------|
| 1 回目 | 4.46[m/s] | ○ |
| 2 回目 | 5.40[m/s] | ○ |
| 3 回目 | 4.60[m/s] | ○ |

3 回の落下実験の結果、落下速度は 4.46[m/s]~5.40[m/s]であり、レギュレーションで指定された落下速度であることが確認できた。またパラシュートを開傘でき、減速機構として機能することを確認した。落下試験を撮影した様子を以下に示す。

- 落下実験動画：<https://youtu.be/ZI0afasiti8>
(02:40 1 回目落下試験, 07:25 2 回目落下試験, 14:38 3 回目落下試験)
- 結論
 - CanSat はレギュレーションで指定された落下速度で、パラシュートを用いて減速させることが可能である。

RV5 準静的荷重試験

- 目的
 - CanSat がロケットの打ち上げにかかる想定される大きさの準静荷重を CanSat に加え、CanSat が耐えられることを実証する。
- 試験内容
 -

【試験値の設定】

荷重をかける時間を設定するために、自団体が実際に ARLISS2019 にて測定したロケットの打ち上げ時間とその際の荷重を参考にする。ARLISS2019 で3回分の打ち上げにて実際にロケットの荷重がかかっている準静的荷重の値と時間はそれぞれ、

1 回目最大約 9.78[G]で 7[s],

2 回目最大約 8.93[G]で 8[s],

3 回目最大約 8.32[G]で 8[s]だった。

準静的荷重の値はレギュレーションの推奨値 10[G]を下回っており、時間は 10[s]以内であることから、試験ではレギュレーション推奨値の 10[G]の準静的荷重を 10[s]与えた。実際に荷重がかかっている ARLISS2019 グラフを、ARLISS 1 回目準静的荷重を Fig.5-5-1 に、ARLISS 2 回目準静的荷重を Fig.5-5-2 に、ARLISS 3 回目準静的荷重を Fig.5-5-3 に示す。

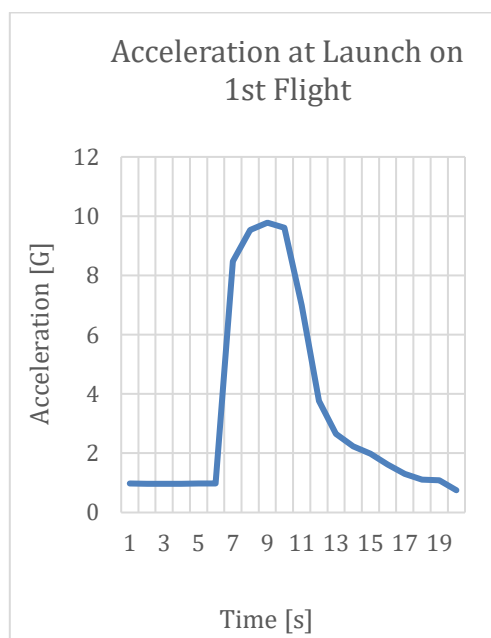


Fig.5-5-1 2019 打ち上げ 1 回目

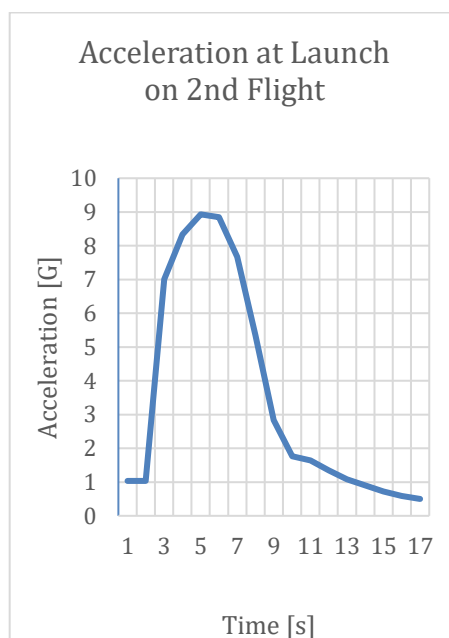


Fig.5-5-2 2019 打ち上げ 2 回目

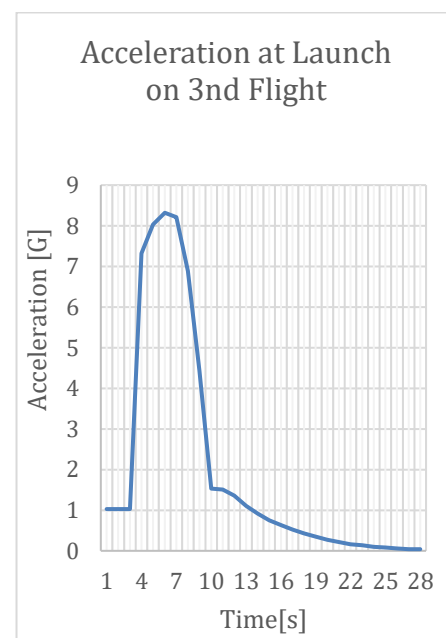


Fig.5-5-3 2019 打ち上げ 3 回目

【試験方法】

予めセンサや動力系が正常に動作することを確認し、その後 CanSat に搭載し、長いロープを取り付けたバッグに入れ、その紐を持ちバッグを振り回し回転運動の遠心力で 10G を 10[s]の加速度を 3 回与える。実際に荷重を加えている実験写真を Fig.5-5-4 に示す。



Fig.5-5-4 遠心力で 10G をかけた実験イメージ図

キャリアに搭載した加速度センサの値を無線通信で PC 画面により確認し、10G を超えた時点から力を緩めず 10 秒間回転運動を継続し連続的な遠心力による加速度を 3 回かける。

その後、CanSat をキャリアから放出し、各種センサと動力系が正常に動作することをもって CanSat が静荷重に耐えられることを確認した。

- 試験結果

- 10G を 10 秒以上 3 回繰り返しかけた後に CanSat に搭載するセンサ(光・加速度・ジャイロ・温度・気圧・GPS 等)は正常に動作し, その後問題なくパラシュート離脱動作を行い, 正常に走行することを確認した.

実際に 10G を 10 秒以上観測している加速度データログのグラフを Fig.5-5-5 に示す.

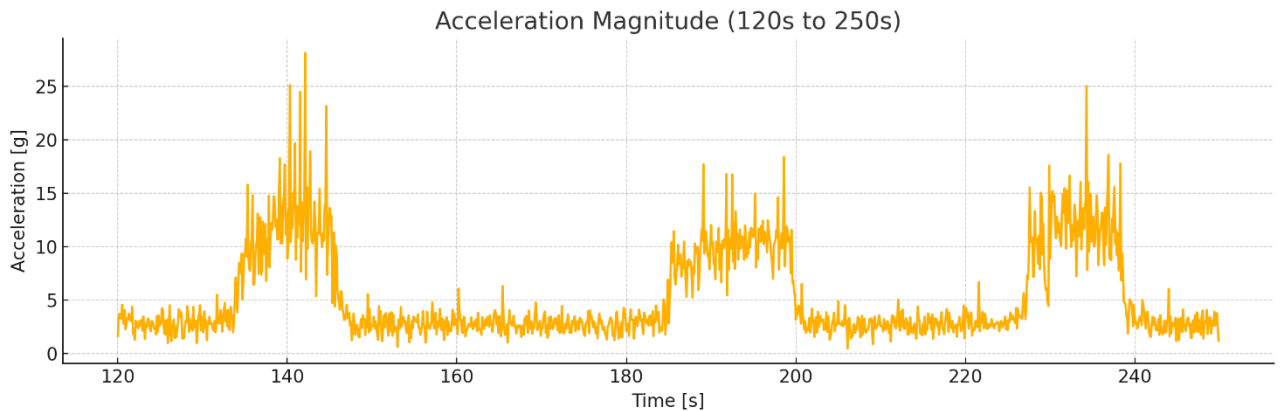


Fig.5-5-5 加速度センサの数値 (縦軸はかかった加速度[G], 横軸は時間[s])

静荷重試験の様子は動画に撮り, 異常の有無の確認を記録した結果からも, 機体の異常は見られなかった. (下記の URL を参照)

- 準静荷重試験の動画 URL : <https://youtu.be/St3IrLLnJUk>

- 結論

- CanSat は打ち上げ時の準静的荷重に耐えられ, レギュレーションを満たす.

RV6 振動試験

- 目的
 - CanSat がロケット打ち上げ時の振動を加えても問題がないことを確認し、レギュレーションを満たすことを確認する。
- 試験内容
 - ロケット打ち上げ時にかかる CanSat への振動条件として、ARLISS レギュレーションで推奨されているランダム振動をフラットパターンで 30Hz~2000Hz の 15G の振動を加える。

振動時間は準静的荷重試験の ARLISS2019 の 3 回分データでのロケット打ち上げ時間では 10 秒以下であることを確認したが、誤差や試験機のパラメータを確認するため考慮し多く設定した 1 分間の振動を設定し、CanSat を振動させた後、電子回路の動作、パラシュート離脱機構、モータ、機体に問題がないか確認する。

振動機は IMV 社 日本高度信頼性評価試験センターの振動機を利用した。実際の振動機写真を Fig.5-6-1、振動条件設定の PC 画面を撮影した写真の振動条件を Fig.5-6-2 に示す。また振動時間 1 分が設定されている振動条件設定画面を撮影した写真を Fig.5-6-3 に示す。

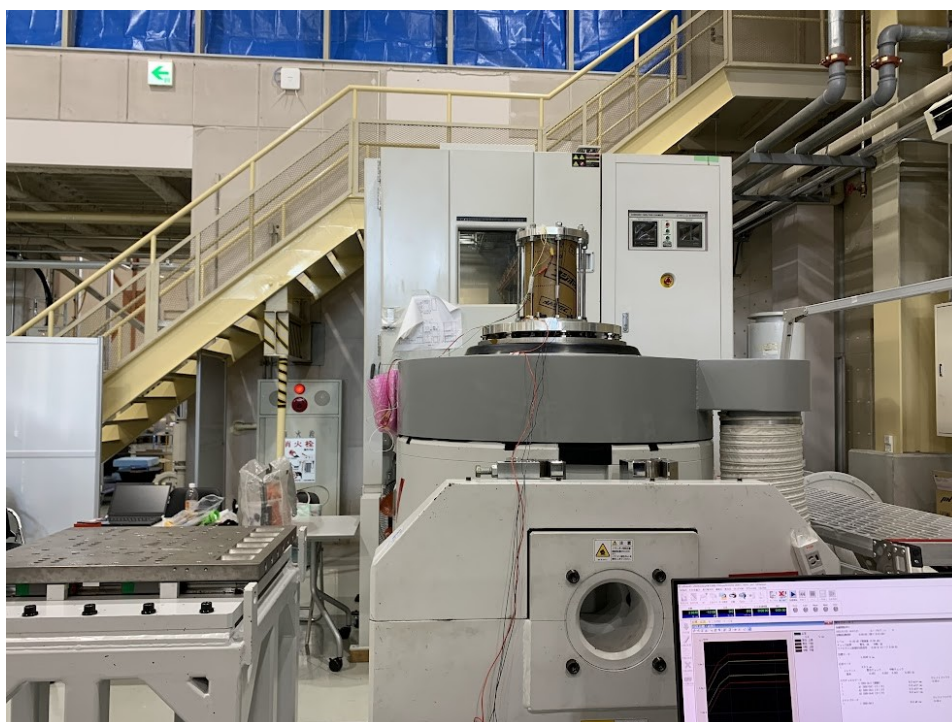


Fig.5-6-1 IMV 社振動機の写真

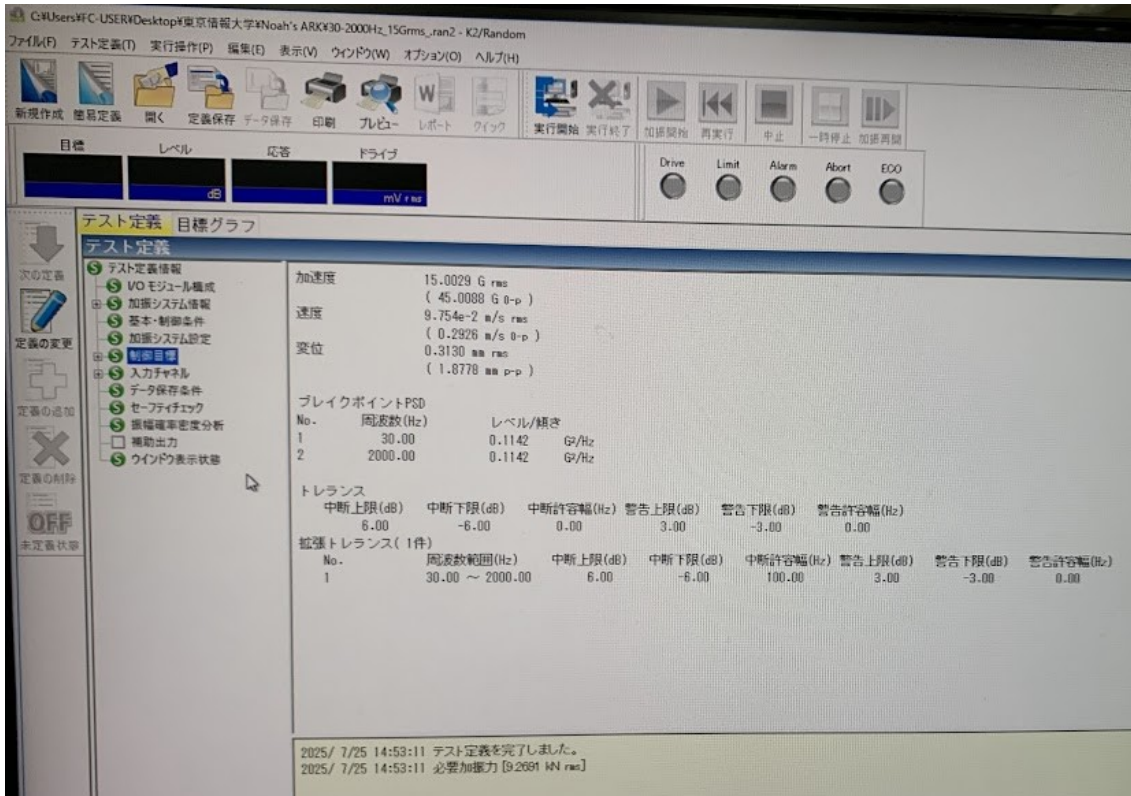


Fig.5-6-2 振動試験条件(加振) 15G,20-2000Hz

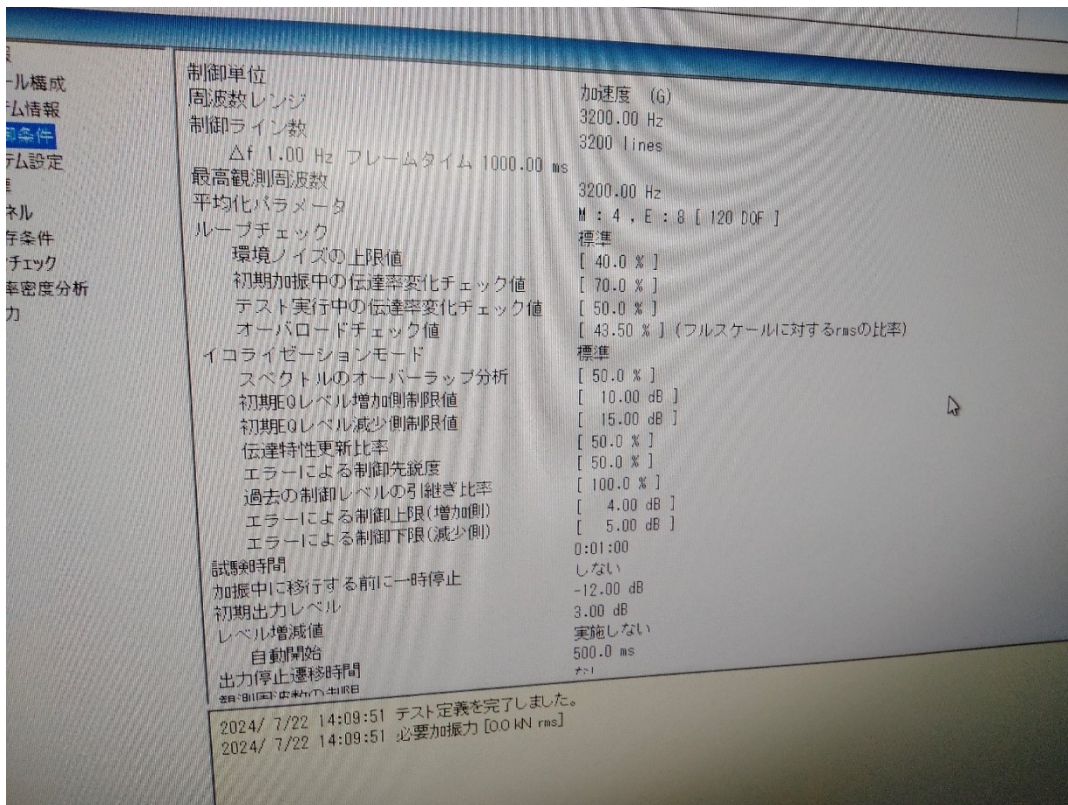


Fig.5-6-3 振動試験条件(時間) 画面下部分 1 分間

また振動試験では CanSat に IMV 社提供の加速度センサを 3 つ搭載し試験を行った。
加速度センサ設置箇所を下記の①—③に示す。

- ① 加速度センサ A1：基板上
- ② 加速度センサ A2：カメラ裏
- ③ 加速度センサ A3：タイヤ

また加速度センサ設置写真の A1 基板上を Fig.5-6-4, A2 カメラ裏を Fig.5-6-5, A3
タイヤを Fig.5-6-6 に示す。

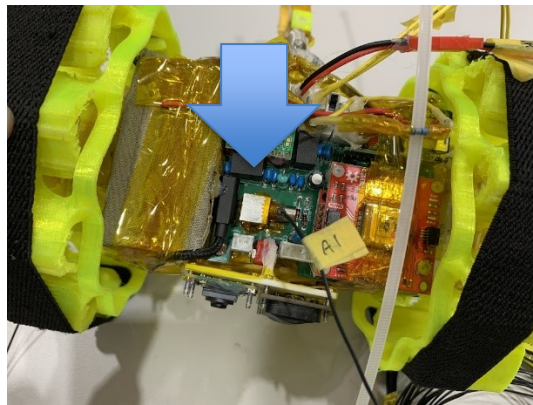


Fig.5-6-4 A1 基板上

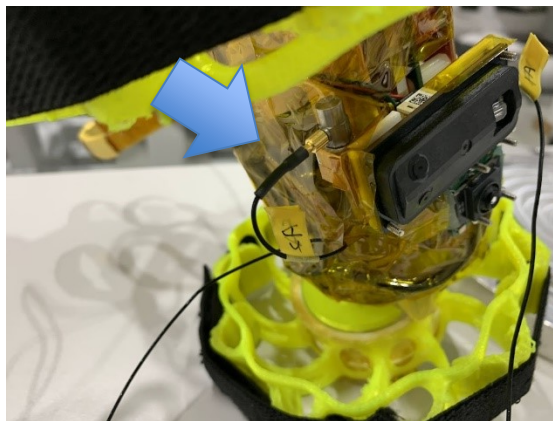


Fig.5-6-5 A2 カメラ裏

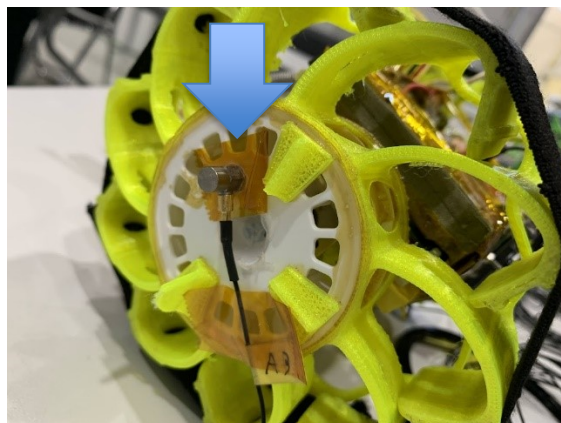


Fig.5-6-6 A3 タイヤ

- 試験結果

- CanSat に振動を与えた結果、電子回路動作、パラシュート離脱機構、モータ動作、機体に問題はなかった。

また、実際に振動を与えた振動機からの IMV 社提供データである制御及び出力データを示す。出力のレベルを Fig.5-6-7、目標の G を Fig.5-6-8、制御応答の G を Fig.5-6-9、制御の m/s² を Fig.5-6-10 に示す。

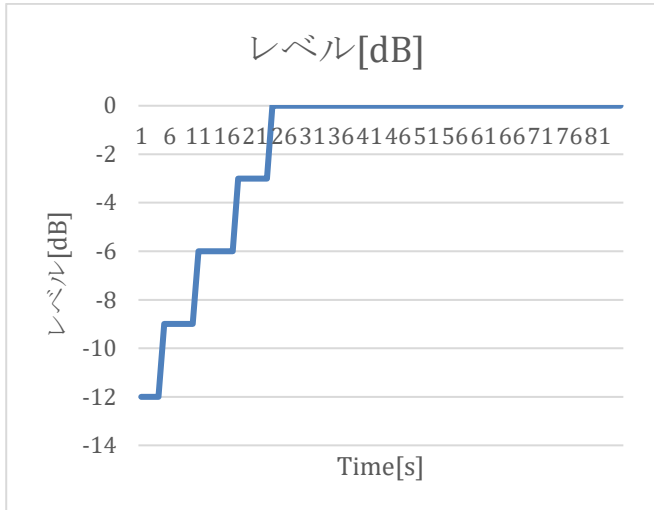


Fig.5-6-7 出力のレベル

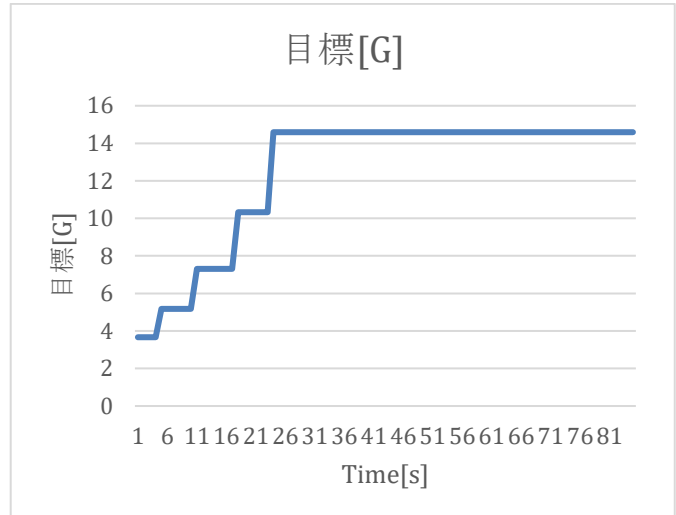


Fig.5-6-8 目標の G

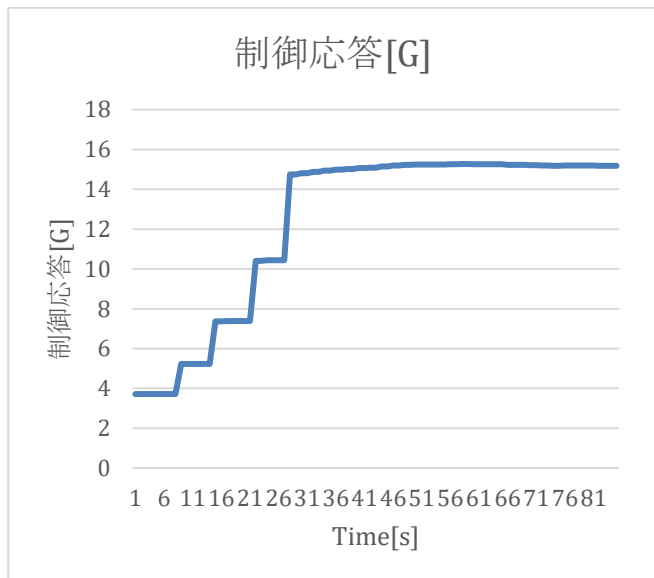


Fig.5-6-9 制御応答の G

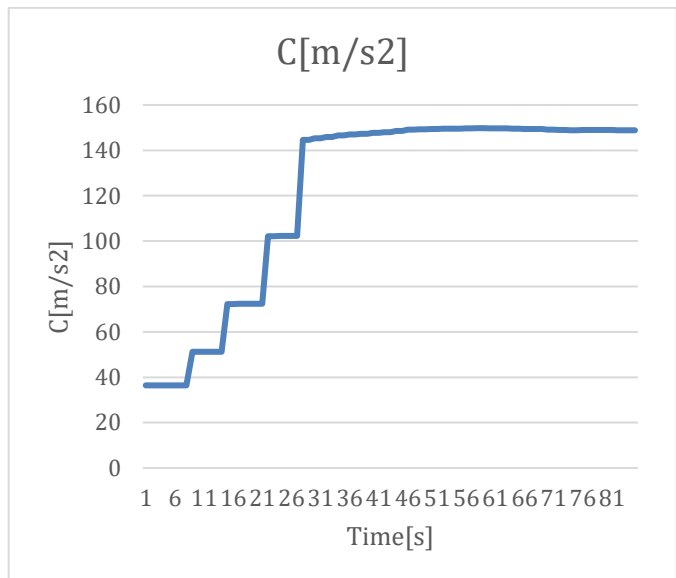


Fig.5-6-10 制御 m/s²

また振動試験時 IMV 社の加速度センサを基板上 A1, カメラ裏 A2, タイヤ A3 に設置した。その時の加速度センサのデータを, A1 加速度センサを Fig.5-6-11, A2 加速度センサを Fig.5-6-12, A3 加速度センサを Fig.5-6-13 に示す。

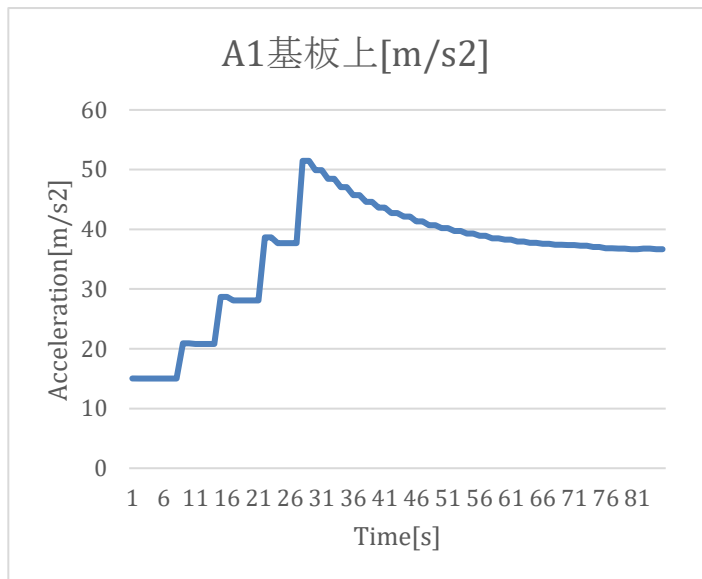


Fig.5-6-11 A1 加速度センサ

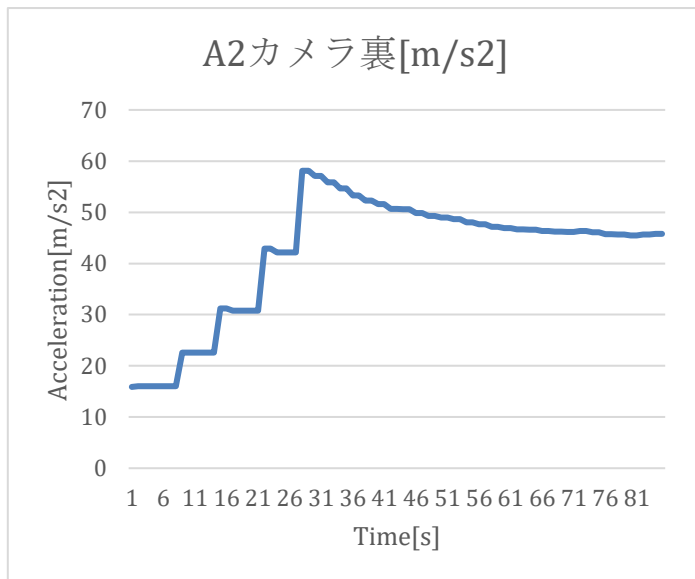


Fig.5-6-12 A2 加速度センサ

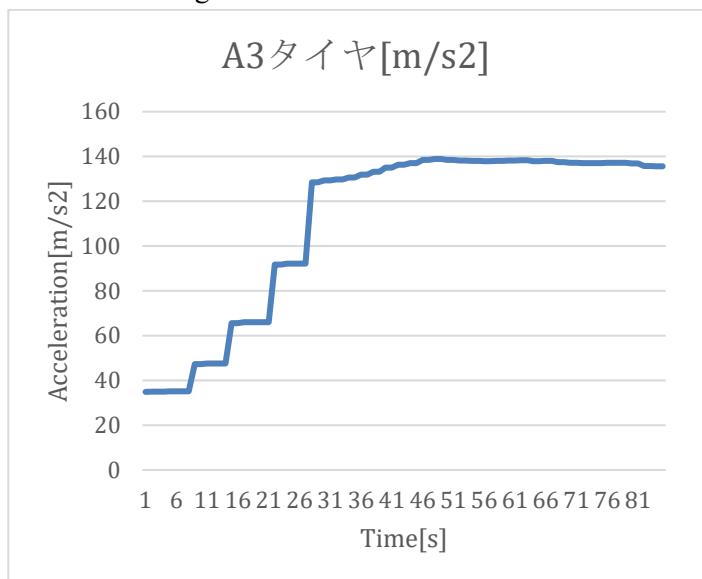


Fig.5-6-13 A3 加速度センサ

また、CanSat に搭載した自団体の加速度センサの振動時データを Fig.5-6-14 に示す。

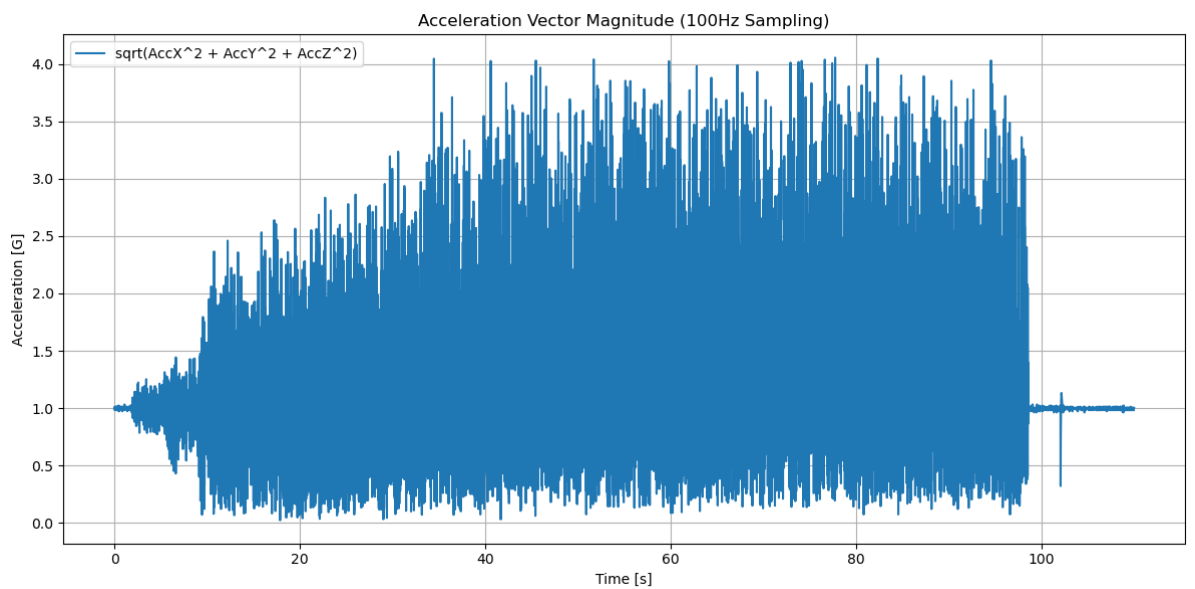


Fig.5-6-14 (自団体の)加速度センサデータ

また、実際に振動試験を行った様子を撮影した動画を下記 URL に示す。

- 振動試験動画： <https://youtu.be/cElvUgV0cvI>
- 結論
 - 振動試験により、CanSat がロケット打ち上げ時の振動に耐えられることを確認した。

RV7 分離衝撃試験

- 目的

- CanSat がロケットから放出される時の衝撃に機体が耐えるかを衝撃試験により確認する。また、ロケットから放出され、パラシュートが開傘する際の衝撃に結合部が耐えられ、パラシュートや機体に損傷がないことを確認し、レギュレーションを満たすことを確認する。

- 試験内容



【試験値の設定】

CanSat 機体がロケットから放出されパラシュートが開傘する際の瞬間的な分離衝撃の大きさを ARLISS2019 の打ち上げ 3 回分データから決定した。ARLISS2019 での分離衝撃はそれぞれ、

1 回目分離衝撃約 23.48 [G],

2 回目分離衝撃約 25.41 [G],

3 回目分離衝撃約 21.67 [G]であった。

3 回の分離衝撃では 30[G]を下回っていることから、分離衝撃は誤差を考慮し最大 30[G]相当と想定し、評価試験を実施した。今回使用するパラシュート及び機体とその重量も大きく変更がないため、2019 年度のモデルでの衝撃値を参考に実験を行った。

ARLISS2019 の放出時加速度データを、1 回目分離衝撃を Fig.5-7-1、2 回目分離衝撃を Fig.5-7-2、3 回目分離衝撃を Fig.5-7-3 に示す。

Acceleration at Releasing from Rocket on 1st Flight

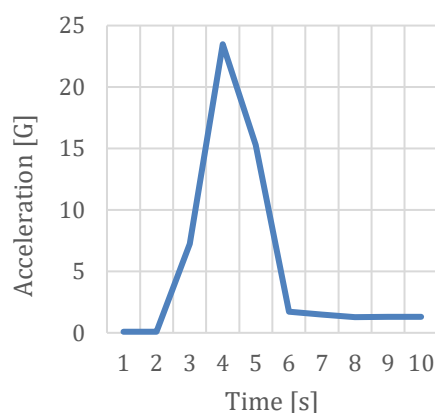


Fig.5-7-1 分離衝撃 1 回目

Acceleration at Release from Rocket on 2nd Flight

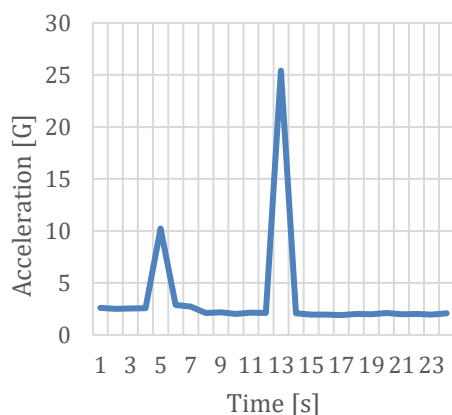


Fig.5-7-2 分離衝撃 2 回目

Acceleration at Release from Rocket on 3rd Flight

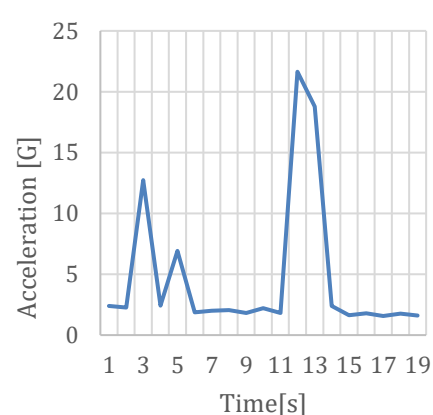


Fig.5-7-3 分離衝撃 3 回目

【試験方法】

30G の加速度を基準値として、CanSat と繋がっているパラシュートを手すりにくくりつけ、高い位置から勢いをつけて落下させ、CanSat の加速度センサを測定した結果 30G を超えた衝撃を 3 回以上観測し、CanSat やパラシュートの状態に異常が無いか確認し、問題が無ければ成功とする。実際の実験方法の図を Fig.5-7-4 に示す。



Fig.5-7-4 パラシュート先端固定し CanSat を落下させる分離衝撃のイメージ

- 試験結果

- 分離衝撃を 3 回与え、30G 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 Fig.5-7-5 に示した。30G 以上の数値を観測している部分が分離衝撃を与えている部分となっている。

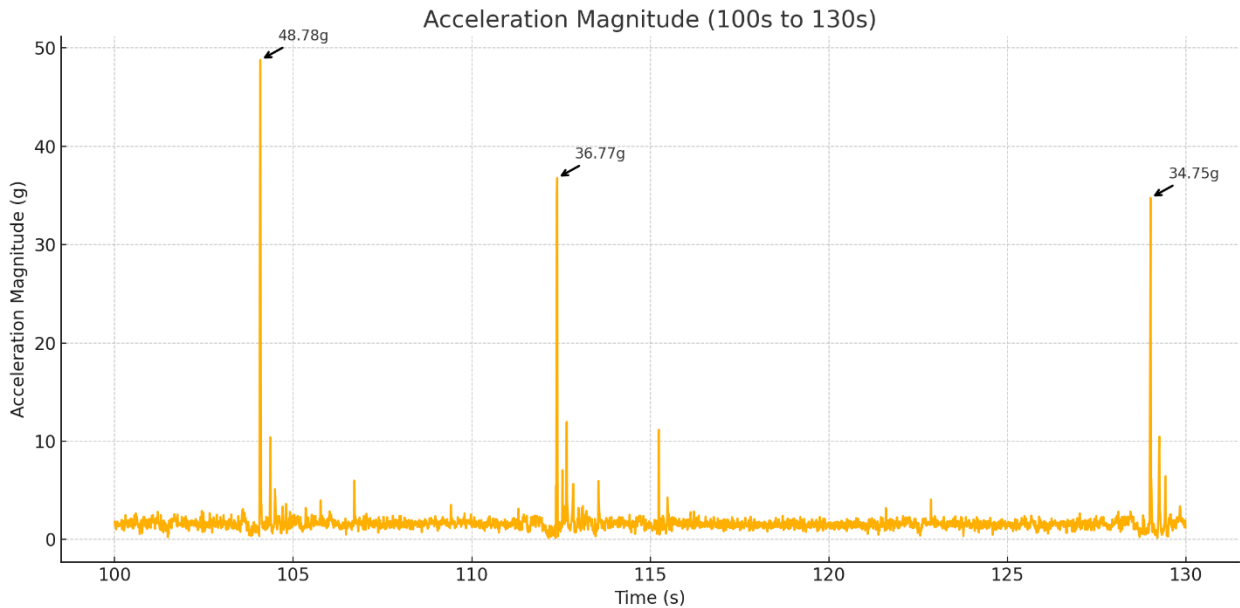


Fig.5-7-5 分離衝撃の数値グラフ

Fig.5-7-5 から 48.78G, 36.77G, 34.75G の 30G 以上の分離衝撃を 3 回与えた。30G 以上の衝撃を 3 回以上与えた後、パラシュート、機体・回路に損傷は見られなかった。また回路の動作や、パラシュート分離機構とモータ駆動も正常に動作したことが確認できた。

試験の様子は動画に撮り、分離衝撃を与えた後、CanSat やパラシュートの異常は見られなかった。(下記の URL を参照)

- 分離衝撃試験の動画 URL : <https://youtu.be/RAdgGiPvTO0>

- 結論

- 試験結果より、CanSat やパラシュートなどが損傷無く、回路動作や分離機構の動作も正常に動作したため、ロケットから放出されときの開傘衝撃にパラシュートと CanSat が耐えられ、レギュレーションを満たすことを確認した。

RV8 通信 ON/OFF 試験

- 目的
 - ロケット内で CanSat の無線通信を OFF にし、ロケットから CanSat が放出後にロスト対策の無線通信が ON にできることを確認する。
- 試験内容
 - CanSat の無線通信が最初 OFF の状態から、ロケットが上昇したときの高度を建物の 1F→4F へ上がることで上昇判定を行い、再び無線通信が ON になるかを確認した。実験手順を下記に示す。
 - ① 【通信 ON】プログラムスタート 10 秒間で動作していることを確認する。
 - ② 【通信 OFF】スタート 10 秒後、通信が OFF になることを確認する。
 - ③ エレベータで 1F→4F に上昇し、テスト用の上昇判定値 5m 以上を 10s 以上を検知する。
 - ④ 【通信 ON】上昇判定後、5 秒以上下降を検知したら、ロケット分離したとして、再びロスト対策のための通信を ON にできることを確認する。

試験に使用した受信機 LoRa を搭載した基板の小型受信機の写真と、送信機 LoRa を搭載した CanSat の写真を Fig.5-8-1 に示す。

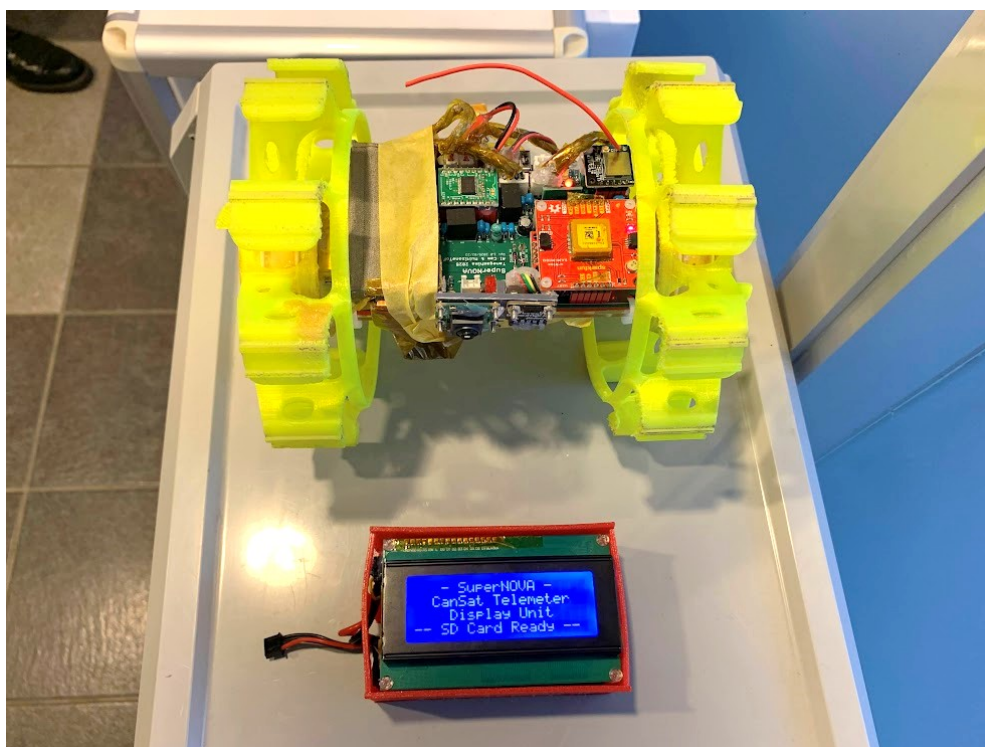


Fig.5-8-1 LoRa 受信機(受信専用基板)と送信機(CanSat)

- 試験結果

- CanSat はスタートから 10 秒後通信を OFF にし、エレベータで上昇後に高度による上昇判定を行い、上昇判定後に下降判定を行い、ロスト対策用の通信を ON にできることを確認した。

また、通信 ON/OFF 試験の様子を動画にまとめた。

○通信 ON/OFF 試験：<https://youtu.be/eRWfaLuWOJY>

- 結論

- ロケット内で CanSat からの無線通信が OFF にでき、放出後ロスト対策として無線通信が ON なるレギュレーションを満たすことを確認した。

RV9 通信周波数 ch 変更試験

- 目的
 - 電波干渉を避け、通信機の ch 変更が可能であることを確認する。
- 試験内容
 - チャンネル変更をすることで、CanSat に搭載された通信機 LoRa から送信したデータが、PC と接続された LoRa から受信できるか確認した。
チャンネルは 4ch→8ch に変更し、どちらでも受信ができるか、また片方を別の ch で設定後は通信ができなくなり電波干渉しないことを確認した。

実験の手順を下記に示す。

- ① 4ch 同士で通信の確認
- ② CanSat 側 LoRa を 4ch→8ch へ変更
- ③ 別 ch 同士で通信ができないことを確認
- ④ PC 側 LoRa を 4ch→8ch へ変更
- ⑤ 8ch 同士で通信がまたできるようになったことを確認

験に使用した受信機 LoRa を搭載した基板の小型受信機の写真と、送信機 LoRa を搭載した CanSat の写真を Fig.5-9-1 に示す。

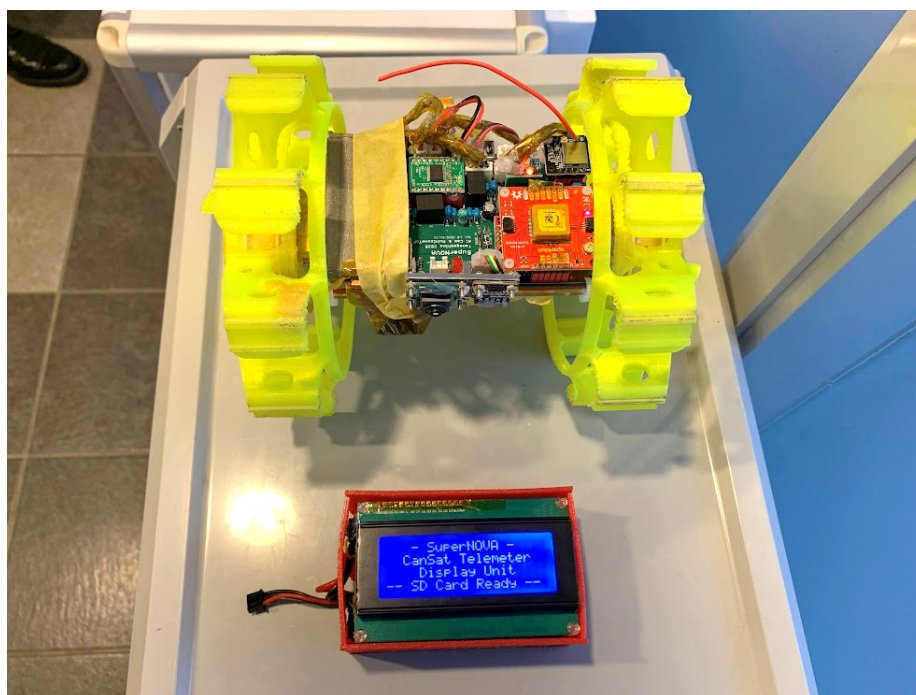


Fig.5-9-1 LoRa 受信機(受信専用基板)と送信機(CanSat)

- 試験結果

- 4ch→8ch チャンネル変更により，チャンネル変更後も通信できることが確認できた。実際にチャンネル変更試験を行った設定画面として，Fig.5-9-2 に LoRa 受信(PC 側)ch 変更画面，Fig.5-9-3 に LoRa 送信(CanSat 側)ch 変更画面を示す。

```
161 # 無線チャンネル設定 125kHz以下:1~3
162 u.write(b'channel 8\r\n')
163 print("channel 8", u.readline())
164
```

4ch→8ch へ変更 19

Fig.5-9-2 LoRa 受信(小型受信機側)ch 変更画面

```
[LoRa]
# LoRaのチャンネル (125kHz以下 1-15 (ARIE 24-38)) (default:1)
LORA_CHANNEL = 8
# 帯域幅設定 3:62.5kHz / 4:125kHz / 5:250kHz (default:4)
LORA_BANDWIDTH = 4
# 拡散率設定 5 - 12 (default:7)
LORA_SF = 7
# 送信出力を設定する -4~13 (dBm) (default:13)
LORA_POWER = 13
# 着地後 (パラシュート焼き切り前の待ちシーケンスの最初に変更) の送信出力 -4~13 (dBm) (default:13)
LORA_LANDED_POWER = -4
# Format: 1:ASCII (TeraTerm) / 2:Binary (Telemetry)
LORA_FORMAT = 2
```

Fig.5-9-3 LoRa 送信(CanSat 側)ch 変更画面

また，通信周波数 ch 変更試験の様子を動画にまとめた。

- 通信周波数 ch 変更試験：https://youtu.be/TtTw_d8zcow

- 結論

- 無線のチャンネル調整が可能であることが確認できた。

RV10,CRV1 End to End 試験（本審査で実施）

- 目的
 - CanSat の動作を本番と同じ手順で行う．各シーケンスを自律で行えることを確認できることを確認し，実施した動画を提出する．

- 試験内容
 - EndtoEnd の試験手順を以下の①-⑦に示す．
 - ① キャリアから CanSat が自重で放出
 - ② 着地衝撃(1.19m)
 - ③ パラシュートからの離脱
 - ④ ArUco マーカーまで GPS 位置情報で自律走行(ミッション)
 - ⑤ ArUco マーカーを解読し，ゴールの座標へ自律走行(ミッション)
 - ⑥ Object Detection でゴール誘導し，LiDAR の距離情報でゴール判定(ミッション)
 - ⑦ ログデータ取り出しまでの一連の流れを通してできるか確認する．

【②着地衝撃の落下高さの算出】

着地時の衝撃は、V4 落下分散試験におけるパラシュート終端速度から評価した。終端速度の平均値は、以下の3回の測定値に基づき、式10-1より算出した。

$$V = (4.46 + 5.40 + 4.60) / 3 = 4.82[\text{m/s}] \quad \dots 10-1$$

得られた終端速度 $V = 4.82 \text{ m/s}$ を用いて、パラシュートによって減速された CanSat の着地衝撃に相当する自由落下の高さを求めた。運動方程式は式10-2及び式10-3の通りである。

$$s(\text{m}) = v_0 t + \frac{1}{2} t^2 \quad \dots 10-2$$

$$v(\text{m/s}) = v_0 + at \quad \dots 10-3$$

ここで、 v_0 は初速度(m/s) , a は加速度(m/s^2) , t は時刻(s) , s は落下距離(m) 初速度 $v_0 = 0$ と仮定し、式10-3を時間 t について解くと式10-4が得られる

$$t = \frac{v - v_0}{a} \quad \dots 10-4$$

この式を式10-2に代入して整理すると、以下のように自由落下距離を速度と加速度から求める式が式10-5で得られる

$$s(\text{m}) = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \quad \dots 10-5$$

重力加速度 $a = 9.8 \text{ m/s}^2$, 終端速度 $v = 4.82 \text{ m/s}$, 初速度 $v_0 = 0$ を式(3)に代入すると、式10-6が得られる

$$s(\text{m}) = \frac{4.82^2 - 0}{2 \times 9.8} = 1.19(\text{m}) \quad \dots 10-6$$

したがって、着地衝撃を再現するには、**1.19 m** の高さからの自由落下に相当する条件を模擬し実験を行う。

【④⑤ArUco マーカーを解読方法の設定】

東京情報大学のフットサルコートに、GPS 座標に対応する 3 つの ArUco マーカー (ID: 77, 100, 333) を配置する。ローバーは、正しいゴール座標を特定するまで順にマーカーへ移動し、それぞれの ArUco マーカーを読み取って暗号化された座標情報を解読する。

同一の GPS 座標が 2 回以上出現した場合、その座標を「正解のゴール座標」と判断し、ローバーはその地点に向けて自律走行を行う。

End-to-End 方式の設定では、ID「77」と「333」から解読される座標が一致しており、これが正解のゴール座標【35.636999, 140.203812】である。一方、ID「100」から得られる座標は異なっており、不正解として認識される。不正解の座標は 1 つのみであるため、2 つのマーカーから同一の座標が得られた時点で、それをゴールと判定すればよい。

ArUcoID の配置図のイメージを Fig.10 に示す。

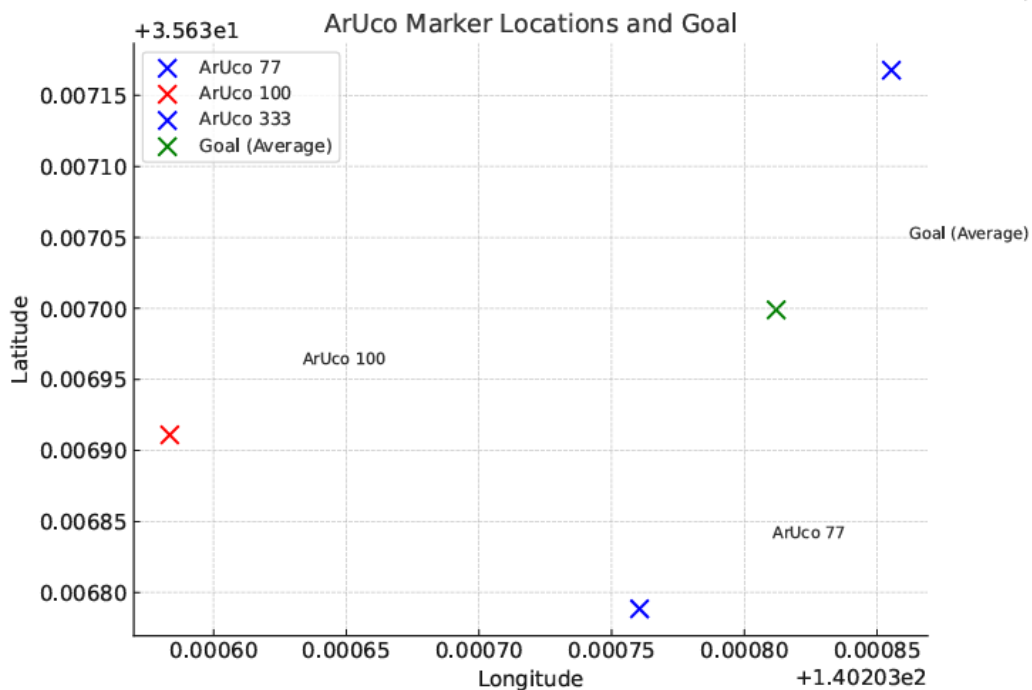


Fig.10 ArUcoID の配置図のイメージ

また実際の解読前の ArUcoID と暗号化された GPS 座標情報を Table 10-1 に示す。

ローバは最初、与えられた表から、現在 GPS 座標と next_latitude, next_longitude の中から最も近い地点へと向かうようにしている。今回は ArUco ID77 の座標が最も近いいため、そこへ向かう。実際にはその座標の ID 番号は ArUco マーカーを読み取らないと分からない。実際に行くと ID が 77 と初めてわかる。そこで、表の ID77 の goal_secret を base64 でデコードした座標を、77 に行く前の ArUco ID 51 で割るとゴール座標がわかる。次に ID77 の表の next_latitude, next_longitude に向かう。その地点に行き ArUco マーカーを読み取ると ID が 100 だとわかる。そこで ID100 の表の goal_secret を base64 デコードした数字を、100 に来る前の ID77 で割るとゴール座標がわかる。

この 2 つのゴール座標が同じであれば、それがゴール座標であると判断し、ゴールへ向かう。今回は id100 の goal_secret は偽のゴール座標にしているため一致せず、どちらがゴール座標かわからないため、id100 の next_latitude, next_longitude へ向かう。するとそこに合った ArUco ID は 333 であるため、表の ID333 の goal_secret を base64 でデコードした数字を 100 で割ると 77 のときに解読したゴール座標と一致する。2 つの座標が一致したため、これが本当のゴール座標と判断し、ゴール地点へ向かう。

各 ArUco マーカーに埋め込まれている座標情報は Base64 形式で暗号化されており、該当する ArUco ID の数値で割ることで、元の GPS 座標を復号可能である。

Table 10-1 解読前の ArUcoID と暗号化された GPS 座標情報 (77 と 333 が正解座標となる)

| Aruco_id | next_latitude | next_longitude | goal_secret |
|----------|---------------|----------------|--|
| 51 | 35.63707533 | 140.2040273 | MTE4NjcuMTIwNjYzNjcsNDY2ODcuODY5Mzc5MzUK |
| 77 | 35.6367885 | 140.2037605 | MTgxNy40ODY5NDg0OSw3MTUwLjM5NDQwOTQ0OTk5OQo= |
| 100 | 35.636911 | 140.2035835 | MzU2My42OTk4OTksMTQwMjAuMzgxMTk0OTk5OTk4Cg== |
| 333 | 35.63716767 | 140.2038554 | MzU2My42OTk4OTksMTQwMjAuMzgxMTk0OTk5OTk4Cg== |

- 試験結果

- EndtoEnd を実施し、一通りの流れに問題がないことを確認した。
EndtoEnd の実験結果を Table 10-2 に示す。

規定寸法のキャリアから CanSat を自重で放出でき、その後 1.19m の高さから着地衝撃を加え、パラシュートからの離脱を行った。ミッションである ArUco マーカーのある地点へ自律走行し、3 つの ArUco マーカーから正解と不正解を解読し、ゴール座標を解読後ゴールまで自律走行した。ゴールを Object Detection によりゴールを認識し走行し、LiDAR の距離情報でゴール判定した。その後ログデータを取り出し、走行軌跡と ArUco マーカーを解読結果を取り出しができた。

またログの詳細は、制御履歴レポート試験に記載する。

Table 10-2 EndtoEnd 結果

| 順序 | 実験内容 | 実験結果 | 成功 |
|----|--|--|----|
| 1 | キャリアから CanSat が自重で放出 | 自重で放出できた | ○ |
| 2 | 着地衝撃(1.19m) | 着地衝撃後、正常に動作した | ○ |
| 3 | パラシュートからの離脱 | パラシュートから正常に離脱した | ○ |
| 4 | ArUco マーカーまで GPS 位置情報で自律走行 (ミッション) | ArUco マーカーまで自律走行できた | ○ |
| 5 | ArUco マーカーを解読し、ゴールの座標へ自律走行 (ミッション) | ArUco マーカーを解読し、ゴールの座標へ自律走行できた | ○ |
| 6 | Object Detection でゴール誘導し、LiDAR の距離情報でゴール判定 (ミッション) | Object Detection によりゴールを認識し走行し、LiDAR の距離情報でゴール判定した | ○ |
| 7 | ログデータ取り出し | ログデータ取り出し、走行軌跡と ArUco マーカーを解読結果を取り出しができた | ○ |

また、EndtoEnd の様子を動画にまとめた。

- EndtoEnd 試験： <https://youtu.be/ivruBBHlaLA>

- 結論

- End to End 試験により、競技一連の流れに問題がないことが確認できた。本番までに繰り返し試験を行い、精度を高めて行く。

CRV2 制御履歴レポート作成試験（本審査で実施）

- 目的
 - EndtoEnd 試験のデータから作成し，実験当日と大会終了後の大会報告書で制御履歴の提出できることを確認する．

- 試験内容
 - プログラムをスタートさせた時点からゴール判定するまでのデータを，マイコンのSDカードにファイルを保存する．
EndtoEnd 後，GPS や制御値等の text ファイルを Excel ファイルでまとめ見やすい形にして表示した．データはサンプリング 1s とサンプリング 0.1s ずつ取得した 2 つのデータを提出する．
また，GPS 位置情報とモータ回転値を，走行軌跡と色変化で画像化した．
また ArUco マーカーの解読結果と 0m ゴールをしたときの画像ログを提出する．

- 試験結果
 - 試験結果を以下のリストの EndtoEnd シーケンスの順序で記載する．

11-1 走行軌跡のグラフ
11-2 ArUco マーカーの解読
11-3 ゴール認識と判定
11-4 制御履歴 text ログデータ説明

11-1 走行軌跡のグラフ

EndtoEnd の結果から制御履歴提出に色付き及び矢印付きの走行軌跡図を作成した図を Fig.11-1 に示す。

走行軌跡図では、右旋回へのステアリング最大値 **0.20(黄色)**、左旋回へのステアリング最大値 **-0.20(紫)**として緯度経度から走行軌跡を色変化で示した。

また、スタート地点、ターゲット地点、ストップ地点を矢印で示し、その地点の緯度経度を示した。

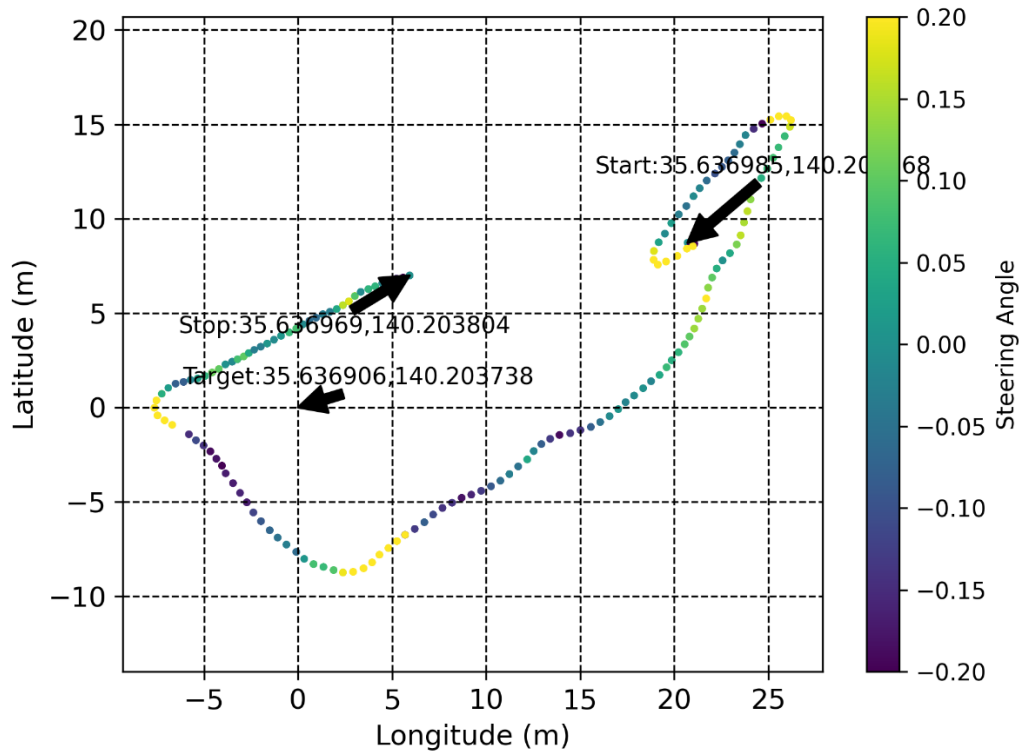


Fig.11-1 End to End 走行軌跡

11-2 ArUco マーカーの解読

EndtoEnd 試験の試験内容に ArUco マーカーの解読方法を示した。

解読前の ArUco マーカーと暗号化した GPS 位置座標情報を Table 11-2-1 に示す。今回「77」「333」が正解のゴール座標で、「100」が不正解のゴール座標である。表のオレンジ色セルで表記した goal_secret が正解の座標を暗号化したものである。

今回「51」は読み取っていないため、読み取り結果は表記されていない。

Aruco ID の番号ごとに座標の解読結果を示した表を Table 11-2-2 に示す。「100」が不正解のゴール座標は単一の座標となっており、「77」「333」が正解のゴール座標は同じ座標の解読結果となり、正解のゴール座標と判定し、その後ゴールへ自律走行後 0m ゴールを達成し、ArUco マーカーの解読に成功した。表のオレンジ色セルで表記した Goal Lat, Goal Lon が解読したゴール座標である。

ログによる解読結果の照合と、実際にゴールに向かって自律走行を確認したことから、ArUco マーカーの解読ミッションが正しく動作したことがわかる。

Table 11-2-1 解読前の ArUco マーカーと暗号化した座標情報

| Aruco_id | next_latitude | next_longitude | goal_secret |
|----------|---------------|----------------|--|
| 51 | 35.63707533 | 140.2040273 | MTE4NjcuMTIwNjYzNjcsNDY2ODcuODY5Mzc5MzUK |
| 77 | 35.6367885 | 140.2037605 | MTgxNy40ODY5NDg0OSw3MTUwLjM5NDQwOTQ0OTk5OQo= |
| 100 | 35.636911 | 140.2035835 | MzU2My42OTk4OTksMTQwMjAuMzgxMTk0OTk5OTk4Cg== |
| 333 | 35.63716767 | 140.2038554 | MzU2My42OTk4OTksMTQwMjAuMzgxMTk0OTk5OTk4Cg== |

Table 11-2-2 ArUco マーカーと座標の解読結果

| Aruco ID | Next Lat | Next Lon | Decoded Lat | Decoded Lon | Goal Lat | Goal Lon | Valid |
|----------|-----------|------------|-------------|-------------|-----------|------------|-------|
| 51 | 35.637075 | 140.204027 | 11867.12066 | 46687.86938 | 0 | 0 | NO |
| 77 | 35.636789 | 140.20376 | 1817.486948 | 7150.394409 | 35.636999 | 140.203812 | YES |
| 100 | 35.636911 | 140.203584 | 3563.699899 | 14020.3812 | 46.281817 | 182.082873 | YES |
| 333 | 35.637168 | 140.203855 | 3563.699899 | 14020.3812 | 35.636999 | 140.203812 | YES |

11-3 ゴール認識と判定

0m ゴールを行う画像認識ログの説明を行う。

11-3-1 LiDAR と Object Detection を組み合わせた 0m ゴール認識手法

LiDAR の距離情報と ObjectDetection で認識させた画像の例を Fig.11-3 に示す。

画像では、水色の四角領域に ObjectDetection ができた物体名が表記されている。LiDAR の距離情報は物体との距離を数値で表している。画像中のゴールがある部分の LiDAR の距離情報は、ゴールがない部分より距離に近い数値を表していることが確認できる。

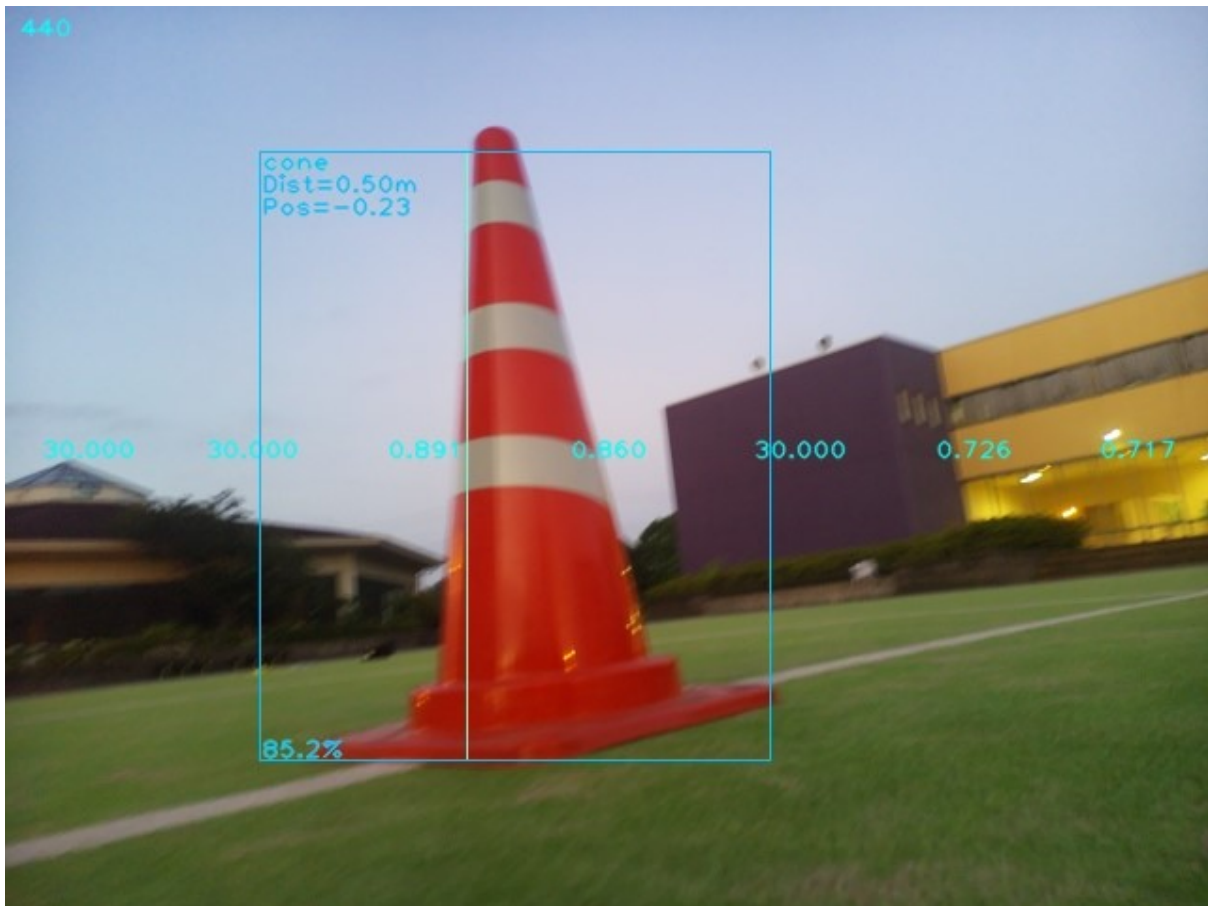


Fig.11-3 LiDAR の距離情報と ObjectDetection でゴール認識できた画像の例

11-3-2 実際の画像ログ

0m ゴールを行うための画像認識ログを Fig.11-4 に示す。

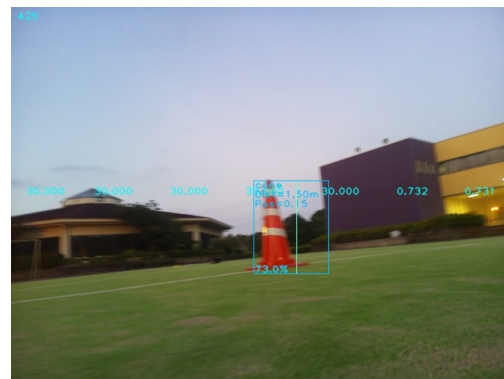
また実際の全てのログ画像を p.2 後の EndtoEnd 結論前に記載してあるドライブ URL にまとめた。

画像ログは pic00000-00442 の画像認識結果が存在するが、割愛しゴール判定まで行う際の 4 枚を表に記述する。

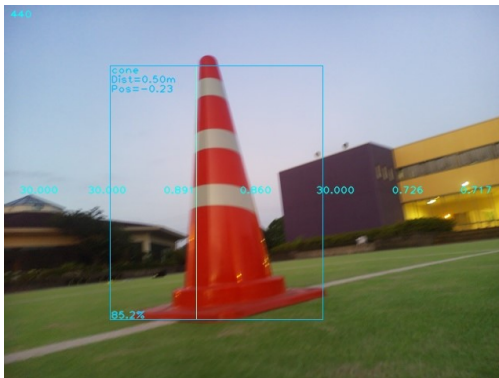
Fig.11-4 の画像中の水色の文字にて認識結果を示しており、(a)ではゴール認識を開始時に画像中心にゴールを認識している。(b)ではゴール方向に走行していき画面中心にゴール認識をしている。(c)では画面にゴール全体にゴールが写っており四角領域内にゴール認識をしている。(d)ではゴールが画像いっぱいに写り LiDAR での距離認識結果からゴール判定をしている。



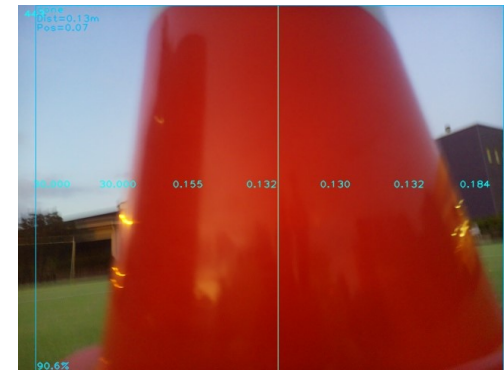
(a) pic00342 ゴール認識開始



(b) pic00424 ゴール認識途中 1



(c) pic00439 ゴール認識途中 2



(d) pic00442 ゴール判定

Fig.11-4 ゴール認識試験 結果

11-4 制御履歴 text ログデータ説明

制御履歴 text 生データを、Excel ファイルで見やすくまとめた。

基本的な制御出力系データを確認できる。制御履歴として提出する Excel ファイルは、1 ページ後のドライブ URL から確認できる。

制御項目は、

時系列データ：A～D 列

| A | B | C | D | E | F |
|------|-------|-----|------|--------|--------|
| Year | Month | Day | Hour | Minute | Second |
| 2019 | 8 | 15 | 7 | 22 | 10 |
| 2019 | 8 | 15 | 7 | 22 | 11 |
| 2019 | 8 | 15 | 7 | 22 | 12 |
| 2019 | 8 | 15 | 7 | 22 | 13 |

制御出力系データ：AH～AR 列

| AH | AI | AJ | AK | AL | AM | AN | AO | AP | AQ | AR |
|------------|-------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Goal Angle | Drive Speed | Speed Division | Steering Modify | Steering Angle | Steering Modify Angle | Actual Steering Angle | Target Motor Rev R | Target Motor Rev L | Actual Motor Rev R | Actual Motor Rev L |
| -1.58 | 0 | 9 | FALSE | 0 | 0 | 0 | 110 | 66 | 111 | 76 |
| -1.58 | 250 | 5 | TRUE | -0.504014 | -0.00504 | -0.127263 | 0 | 0 | 44 | 36 |
| -1.59 | 250 | 5 | TRUE | -0.505619 | -0.010096 | -0.128929 | 122 | 106 | 132 | 115 |
| 0 | 250 | 5 | TRUE | 0 | -0.010096 | -0.002524 | 122 | 106 | 127 | 108 |
| -0.88 | 250 | 5 | TRUE | -0.279795 | -0.012894 | -0.073172 | 122 | 122 | 124 | 113 |
| -0.39 | 250 | 5 | TRUE | -0.125159 | -0.014146 | -0.034826 | 122 | 113 | 114 | 119 |
| -0.69 | 250 | 5 | TRUE | -0.218401 | -0.01633 | -0.058683 | 122 | 118 | 144 | 93 |

GPS 位置情報値：I,J 列

| I | J |
|-------------|-------------|
| Latitude | Longitude |
| 40.14226333 | 139.9874683 |
| 40.14226333 | 139.98747 |
| 40.14226333 | 139.9874733 |
| 40.14226333 | 139.9874733 |

に記されています。

また、GPS による制御方法のアルゴリズムを Fig.11-4 に示す。

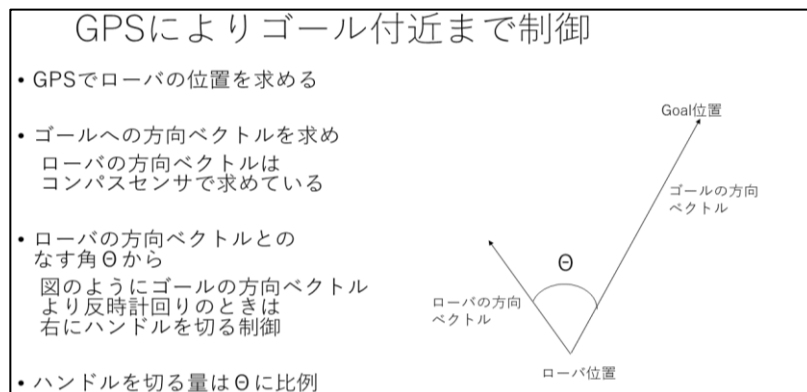


Fig.11-4 GPS による制御方法

制御出力系データの項目の説明を下記に示す。

・AH列 CanSat 進行方向とゴールとの角度[rad]

1秒前と現在の CanSat の位置から CanSat の進行方向とゴールとの角度をラジアン単位で求め、制御に反映しています。

・AI列モータ出力スピード(-255~+255)

モータに加える出力を-255~+255(右~左)で与えています。

・AJ列スピード分解能

GPS を 1 秒ごとで制御していますが、新しい速度にする際のノイズ対策として、指定時間(0.1秒)の線形変化でモータの出力を変換しています。(電圧の変化を少量ずつにする事で、ノイズ対策)

・AL列ステアリング補正(TRUE or FALSE)

制御値から CanSat にステアリング補正を与えるかどうかを判定し、TRUE か FALSE で表しています。

・AC列ステアリング角度(-1~+1)(-1:左,+1:右)

左旋回最大-1,右旋回最大+1として、-1~+1でステアリング角度を表しています。

・AM列修正舵(ステアリングI制御)

モータ損傷時を考慮し、制御が片方のステアリング角度が著しく大きい時、もう片方のステアリング角度を大きくするようI制御を与えています。

・AN列実際のステアリング角度(-1~+1)

AC列ステアリング角度をAD列修正舵に適応させた、実際にモータへ出力するステアリング角度を表している。

・AO列右モータ目標回転数(-255~255)

回転数制御による右モータステアリング目標回転数。

・AP列左モータ目標回転数(-255~255)

回転数制御による左モータステアリング実際の測定結果の回転数。

・AQ列右モータ目標回転数(-255~255)

回転数制御による右モータステアリング目標回転数。

・AR列左モータ目標回転数(-255~255)

回転数制御による左モータステアリング実際の測定結果の回転数.

- **【End to End 制御履歴ファイル URL】**

text ログ(生データ), Excel 制御履歴ログ, 走行軌跡画像, ゴール画像認識ログ :

<https://drive.google.com/drive/folders/1Zpd6FJH3KBAEGGqPBxjXrNL9R-iFodg6?usp=sharing>

- 結論

- CanSat が目的地まで自律走行し, ゴール判定した後に停止するまでの詳細なデータを作成することが可能であり, 制御履歴を提出できることを確認した.

第6章 工程管理

全体的に祝日と土日を休みとして扱い、本来かかる時間の倍程度の日程で余裕を持ったスケジュールになっている。メンバーは1人、補助数名で行う。月ごとのスケジュールでは、

- 5月にプロトタイプ作成&テストを行う。
- 6月から審査書の試験を開始し、サイズ試験、通信関係試験、落下関係試験、ロケット衝撃試験を行う。
- 7月に振動試験、長距離通信試験、EndtoEndを行う。
- 8月からリカバリーと実験による調整を行い、ARLISS へ向け本番機作成を行う。
- 9月に最終調整や出発準備を行う。

ガントチャートを Fig.6 に示す。

【5月】考案，開発，テスト

5月はミッションの考案&部品発注を行い、プロトタイプを作成し、問題点などテストし確認し、改良を重ねる。

- 第1週は主にミッションの考案行う。
- 第2週は部品や材料の発注をする。
- 第3-5週にかけてテスト CanSat 作成及び問題点など確認し改良を重ねる。

【6月】審査書試験

6月はプロトタイプを作成&確認を終了し、予備審査・衝撃耐久関係試験を実施する。(1週間約2試験)

- 第1週は質量試験・キャリア収納試験、
- 第2週は通信機電源 OFF/ON 試験・通信周波数 ch 変更試験、
- 第3週は落下試験
- 第4週は分離衝撃試験・準静的荷重試験、

【7月】審査書試験

7月は振動試験、長距離通信試験、EndtoEnd とリカバリーを行う(1週間約2試験)。

- 第1週は GPS データダウンリンク試験、
- 第2週は振動試験、
- 第3-5週は End to End 試験・制御履歴試験、

【8月】リカバリーと実験・調整，本番機作成

8月は本番への最終調整し、本番へ向け準備を行う。

- 第1-3週はリカバリーと実験・調整
- 第4-5週は本番用 CanSat を作成する

【9月】最終調整や準備

最終調整や準備を行う。

第7章 大会結果報告

第7.1節 目的

【ミッションステートメント】

ゴール付近に設置された複数の ArUco マーカーを読み取り、暗号化された情報から正しいゴール座標を特定し、自律走行でゴールを目指し、Object Detection と LiDAR を用いて 0m ゴールを目指す。

【ミッション概要】

1. ミッション前半 1 「ArUco マーカーの解読」

本ミッションは、惑星探査における自律的な情報収集と意思決定、そしてゴールへの到達を模擬した課題である。CanSat は、事前にゴール座標を知らされていない状態でスタートし、複数の ArUco マーカーを探索・読み取ることでゴール座標を推定・解読し、自律走行によってゴールを目指す。ミッションのイメージ図を Fig.7-1 に示す。

各 ArUco マーカーは、あらかじめ既知の座標に配置されており、それぞれに暗号化 (base64) されたゴール座標情報が記録されている。暗号をデコードすると、ゴール座標に ArUco マーカーの ID を乗じた値が得られるが、ID は現地でマーカーをカメラで読み取らないと判明しない。ローバーは実際にマーカーを読み取って ID を取得し、得られた値を ID で割ることでゴール座標の候補を算出する。

ただし、すべてのマーカーが正しい情報を持つわけではなく、一部には誤ったゴール座標が含まれている。そのため、ローバーは複数のマーカーから得られた情報を比較・照合し、同一のゴール座標が複数回導かれた場合に、その座標が正しいと判断する。

宇宙探査において、衝撃や宇宙線等によりデータが化けて不正確なデータになってしまっている場合を想定し、その場合でも他の ArUco マーカーを認識し、2 つ以上の解読結果が同じであればデータ化けがなく、正しいデータである、と判断する状況を表現する。

2. ミッション後半 2 「Object Detection と LiDAR を用いた 0m ゴール」

ゴール座標の解読後、ローバーは自律的にその地点まで走行し、到達を目指す。ゴール 10m 以内の位置に到達後カメラ画像から Object Detection によりゴールを検知し約 1m 以内まで接近し、LiDAR により物体距離を測定しながら、0m ゴールを行う。

ArUco マーカー解読ミッションは鳥取ローバチャレンジのエントリー部門決勝「探査総合ミッション」を模したものであり、広大な ARLISS 環境におけるミッションを検証する。

引用：鳥取ローバチャレンジ掲載大会要項より [<https://www.tottori-rover-challenge.com/>]

本ミッションは、複数の ArUco マーカーの場所へ正確にローバを誘導し、そこにある ArUco マーカーをカメラで確実に認識し、さらに偽情報を含んでいる情報をデコードした上で、本当のゴール座標を求め、ゴール地点へも正確に誘導し、最終的に 0 m ゴールを実現する、という難易度の高いものである。

また本ミッションはカムバックとして競技を行う。ArUco マーカーはゴール地点を解読するために利用するため、基本的にはカムバックとして競技を行う。カムバック中にミッションを行う形を想定している。

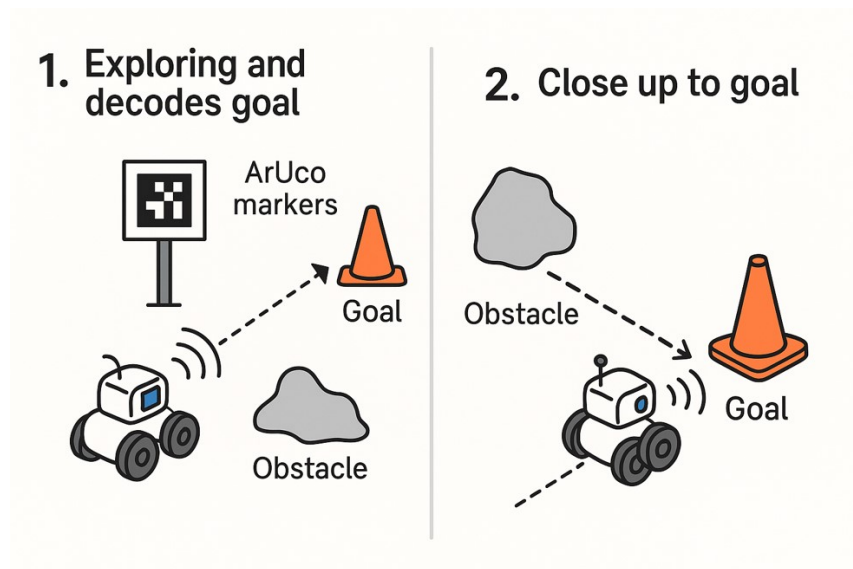


Fig.7-1 ミッションのイメージ図

第 7.2 節 結果

① 打ち上げ1回目

結果：柔らかい砂の轍へタイヤがのめり込み、スタック（記録 2.2km）

1回目打ち上げでは、ゴールから 3.7km の地点で落下した。パラシュートと正常に分離し、ゴールに向かって走行した。走行開始から 1.7km 走行した地点で、海岸の砂浜のような柔らかい砂地で大きな轍がある地点を走行した。轍との高低差で轍内に片輪がのめり込み横転した形となり、復帰ができずスタックした。スタック動作の場合両輪最大逆転になるが、CanSat の角度により横転への復帰操作として出力が強めの前進動作を行い、復帰ができない状態になった。何度かスタックし長い時間をかけて少しずつ形を変えて復帰を繰り返したが、バッテリーの残量からゴールまでは持たないとしてリタイヤした。記録は 2.2km だった。 CanSat がスタックした様子を Fig.7-2-1、走行軌跡を Fig.7-2-2 に示す。



Fig.7-2-1 CanSat はスタックした様子

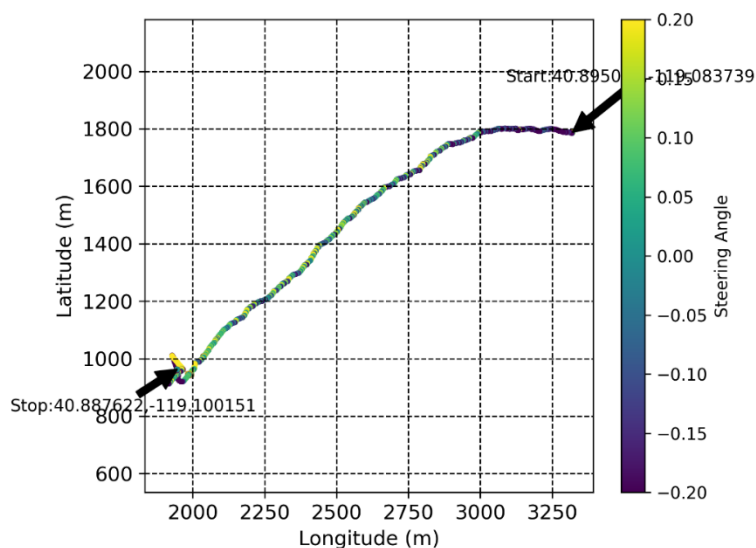


Fig.7-2-2 走行軌跡

② 打ち上げ2回目

結果：ArUco マーカを解読後、ObjectDetection による 0m ゴール (記録 0m)

受賞：Accuracy Award 1st (Legacy goal)

2回目の打ち上げではゴールから 1.8km 地点で落下した。パラシュートと正常に分離し、ミッションに ArUco マーカの設置場所へ走行した。走行時は片方のモータの異常により、左へ最大へ旋回しているが、右に強めに曲がっており、大きく左回りに走行した。

ArUco マーカは 5 つあり、2 個以上同じ GPS 座標情報を解読した時点で、その座標がゴールの座標として、ゴールへ向かう。しかしモータの異常により ArUco マーカの方向へうまく走行できず、ArUco マーカを中心に回り続ける走行になった。そのため ArUco マーカへカメラが向かず長時間の走行となったが、1 個目に ID10、2 個目に ID20 を解読した。3 個目を探す走行中に 20 分間に設けたタイムアウトにより、ゴール座標へ走行した。ID10 と ID20 の解読に成功した画像認識ログを Fig7-2-3 に示す。



Fig.7-2-3 ArUco マーカの認識ログ

ゴールへ走行し接近後、ゴールを ObjectDetection で検出しながら接近走行した。ゴールに接近し ObjectDetection でゴール判定サイズのゴールを検出し、0m ゴールした。0m ゴールした様子を Fig.7-2-4 に示す。また物体検出と LiDAR によるゴール認識の画像ログを Fig.7-2-5 に示す。



Fig.7-2-4 CanSat が 0m ゴールした様子

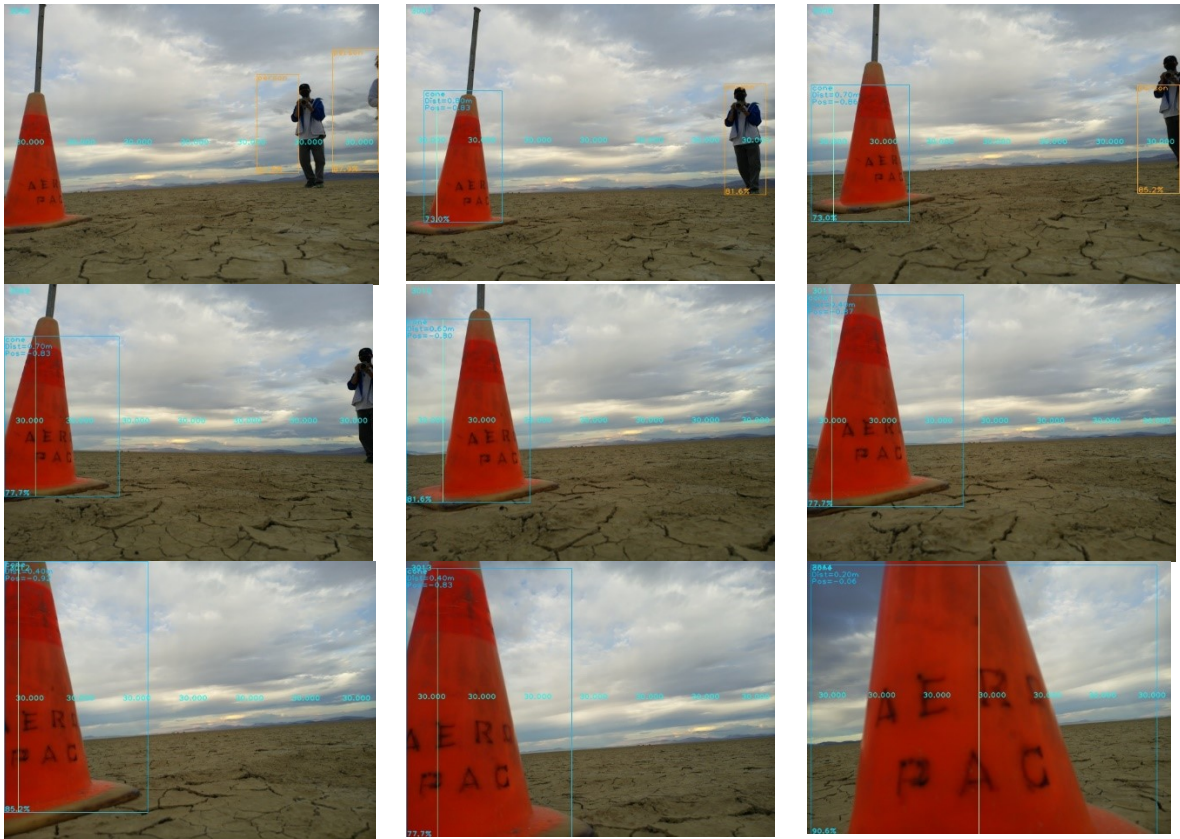


Fig.7-2-5 物体検出とLiDARによるゴール認識の画像ログ

走行軌跡を Fig.7-2-6 に示す。

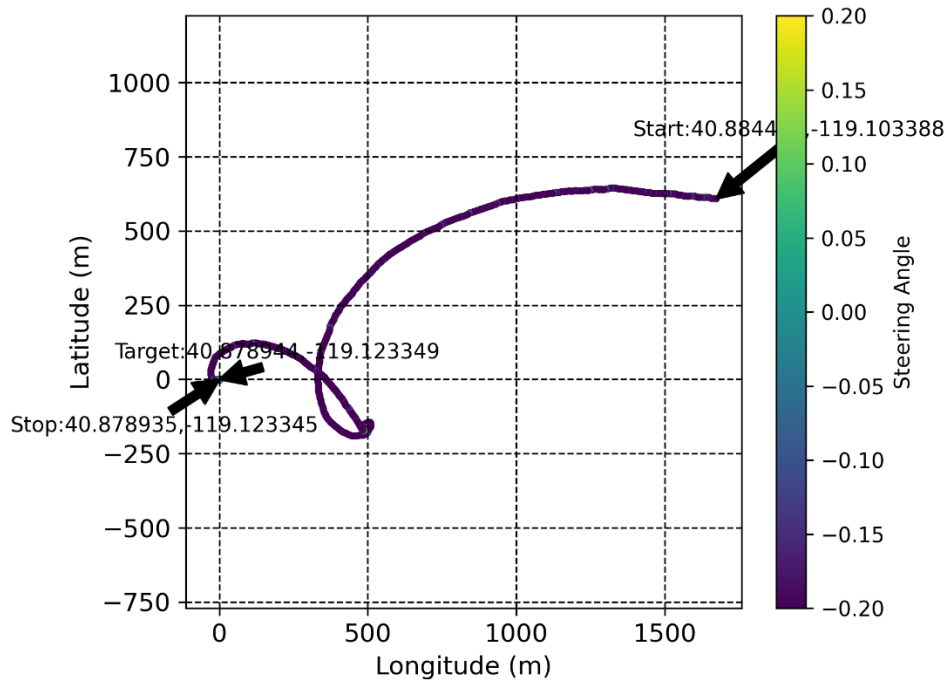


Fig.7-2-6 走行軌跡

第 7.3 節 考察

【サクセスクライテリアの評価】

| | | |
|---------------|---|-------------------------|
| ミニマム サクセス | CanSat が放出落下後に破損なく着地し、パラシュートから分離し、ArUco マーカーの地点まで走行し、一つ以上の ArUco マーカーの読み取りに成功する。 | ○ |
| フル サクセス | 複数の ArUco マーカーを読み取り、ゴール座標を解読し、ゴール地点へ向かい、ゴール地点から 10m 以内でゴール判定し停止する。 | ○ |
| エクストラ サクセス | ゴール座標を解読しゴールへ走行後、ラズパイカメラを用いて Object Detection によりゴールを認識し接近し、LiDAR によってゴールまでの距離を cm 単位で測定し、ゴールに CanSat 本体が接触し距離 0m でゴールする。 | △ (LiDAR でのゴール判定でない) |

打ち上げ 2 回目において、ArUco マーカーの解読と 0m ゴールにより、ミニマムサクセスとフルサクセスを達成した。

エクストラサクセスでは、「LiDAR によってゴールまでの距離を cm 単位で測定し、ゴールに CanSat 本体が接触し距離 0m でゴールする。」が LiDAR でなく、ObjectDetection におけるゴールサイズがゴール判定に十分に検出したとしてのゴール判定であり、LiDAR での距離検出はできなかったため、部分達成となった。

第8節 まとめ

第8.1節 工夫点・努力した点

1. ArUco マーカーの解読システムの構築

今回新ミッションである ArUco マーカーによる位置情報の解読ミッションは、構造が複雑でありシステム構築に力を入れた。ミッションの解読方法では暗号化された位置情報を前に読み取った ID の除算で複合するシステムである。そのためシステムの順序が複雑になり、実験においても ID と位置情報の場所や順序を間違えやすかった。

また鳥取ローバーチャレンジの競技内容を模したミッションであったが、CanSat はロケットとの分離判定やゴール認識もあるため、システムにそのまま組み込む形ではなく、システムを整合性を持ちながら構築することに力を入れた。

2. LiDAR と ObjectDetection のゴール認識の複合システム

今回のミッションでは ObjectDetection で遠くからゴールを検出しながら接近していき、ゴール判定は LiDAR で検出した距離で行うシステムだった。ObjectDetection をする範囲と、LiDAR との範囲の、位置合わせ角度合わせがズレないように調整することに力を入れた。

また LiDAR では前方水平に 5 段階の位置情報を取得するシステムであるが、誤検知の異常値を排除する正確な距離検出をするシステムの構築も力を入れた。十分に接近しているにも関わらず周囲の点で 1 つだけ認識している場合は誤検知として排除するように設計した。

3. モーターの選定

モーターは Pololu のモーターを使用していたが、より安価で似た設計のものを適応し、開発コストを下げるように尽力した。価格が安く、設計が同等のものを調査し、動作実験した。

4. カメラと LiDAR の固定部品の設計

Raspberry Pi AI Camera と組み合わせ、様々な LiDAR で距離検出精度の実験を行った。すぐに実験ができるようカメラと LiDAR の固定具を複数作成し多く実験を行った。

5. 審査書の試験の計画的な実施と仕事との調整

事前に計画していた審査書試験日程と、一般枠のため仕事をしながら進めているが割り込みで入る仕事もあり、調整しながら実施していくことに尽力した。空き時間があればすぐに試験を実施し、実施できるよう実験協力者にも事前連絡をなるべく早めに取り、実験実施した日に書類に結果をまとめるように心がけた。試験はべ切内に書類提出ができた。

第 8.2 節 課題点

1 回目において、柔らかい砂地へのスタックでは、硬めの砂地のみを想定していたため、タイヤ形状を見直す必要がある。また横転復帰の判定とスタック判定を条件を見直し、適切な動作を行うよう改良する必要がある。

2 回目において、モータの異常があったため、ロケットの衝撃でモータが故障しないよう衝撃を緩和する構造が必要である。LiDAR はレーザでの距離検出であり、今回使用した LiDAR は環境光 25,000 Lux 耐性ではあったが、日光下の検出が難しく、より環境光に耐えられる LiDAR での検出を必要である。

審査書の試験の実施では、試験実施計画が遅れがちであった。一般枠参加であるが割り込みで入る仕事との調整がうまく行かず、遅れを取った。試験の実施において、研究室での実施計画を行い、大人数で効率的にタスクを分散させ実施することが必要であった。またその方法の検討をより早めに行い伝達し計画的に大人数で実施するべきだった。

第 8.3 節 今後の展望

今後は柔らかい砂地へのスタック対策にタイヤの設計を見直し、スタック動作システムに横転防止にタイムアウトを設け適切な動作をできるようにする。またモータの故障をしないようにロケットに格納されているときにタイヤに衝撃が加わらない構造を設計する。LiDAR をより環境光に耐えうるものを選定する。

またパラシュート作成など時間がかかる作業は約 1 年前からコツコツ作業を進め、計画的な開発をこれからも行うようにする。審査書の試験実施は多く時間を使うため、計画的に大人数で効率的に行うよう、ガントチャート等を始めとしたシステム工学の視点から進行できるようにする。