

ARLISS2022 開発審査書

提出日：2022年10月28日

- チーム情報

CanSatチーム名	慶應義塾大学 Keio Team Wolve'Z
CanSatチーム 代表者情報	高橋実宏 mitsuhiro.takahashi@keio.jp, 090-1159-0380
UNISEC団体名	慶應義塾大学 高橋研究室
UNISEC団体 学生代表	高橋実宏
責任教員	高橋正樹 takahashi@sd.keio.ac.jp, 090-3573-4005
CanSatクラス	Open Class

- メンバー

役割	名前（学年）
プロジェクトマネージャー	高橋実宏 (M1)
ソフト班長・回路班長	福井稔基 (M1)
ハード班長	吉成萌夏 (M1)
ハード班	小西美優 (M1)
ソフト班	藤井崇史 (M1)
ソフト班	井上将利 (B4)
ハード班	進藤ありさ (B4)
ソフト班	林出和之 (B4)
ハード班、回路班	村山新悟 (B4)

- CanSatの製作目的・大会参加理由

我が研究室がCanSatを作る目的は、チーム開発を通して協調性と技術力を上げることである。最終目的はARLISSでのミッション成功とし、目標を達成するために能代大会にも参加した。

目次

第1章	ミッションステートメント（簡潔に文章でミッション定義）
第2章	サクセスクライテリア
第3章	要求項目の設定
第4章	システム仕様
第5章	試験項目決定
第6章	実施試験の内容
第7章	ガントチャート（工程管理）
第8章	責任教員による自己安全審査結果のまとめ
第9章	大会結果報告
第10章	まとめ

第1章 ミッションステートメント

自律探査のための適応型スタック回避ローバー

着陸後、GPS情報を用いてランバックで定められたゴール地点を目指して走行する。その際、学習フェーズと経路計画フェーズの2つの段階を設ける。

学習フェーズでは、機体前方に取り付けられたカメラを用いて複数の地形画像を撮影しながら切り替え点まで走行する。撮影した画像それぞれに対しエッジ画像、RGBからRedなど1,2色を抽出した画像などといった様々な特徴画像を取得し比較することにより、学習フェーズで走行した経路との類似度、および重要な特徴画像の種類同定を可能とするスパースモデルの獲得を行う。

経路計画フェーズでは、各地点で撮影される画像に対し同様の処理を行い、スパースモデルを用いて学習フェーズで走行した地形と類似した経路、すなわち走行可能な地形画像の特徴量と一致した経路を選択しながら、ゴール地点を目指して走行する。

以下、ミッションの意義と目的を述べる。

近年、月や火星探査が活発化しており、ローバーを用いた探査も行われている。ローバーの走行における課題として、通信遅延が挙げられる。火星は地球から非常に離れており、20分程度の通信遅延が生じる場合があるうえ、信号の通信可能な時間が限られている。このため、ローバーは自律的に経路計画することが求められる。しかし、軟弱地盤や岩などの障害物によりスタックし走行不能になる可能性があるため、自律的なスタックの回避が重要となる。

スタックを回避し安全なルートを走行するためにはローバー周囲の環境を認識する必要があるが、CanSatと同様の小型ローバーを想定した場合、消費電力や重量などの制約から低スペックなCPUにより画像などの情報を処理し環境認識する必要がある。また、深層学習を用いた場合の課題として、現地で十分量のデータセットを取得困難である点や、学習された制御器がブラックボックスとなり出力に至る計算過程の説明ができないため、失敗した場合の原因究明ができないといった点が挙げられる。

そこで、「スパースモデリング」という手法を用いる。スパースモデリングとはあらゆるものごとに含まれる本質的な情報はごくわずか＝すかすかであるという仮定（スパース性）に基づき、入力から出力に対して「どこが本当に必要な情報なのか」を見極め、抽出する手法である。本手法がCanSatに適していると思われる点として3点あり、1点目は、学習とは異なりデータの関係性に注目するため大量のデータが不要であること、2点目は大量のデータが不要であるため、高速&低消費電力であること、3点目は計算過程の説明が容易であることである。深層学習では、大量のデータから特徴を抽出するという特性上、計算の過程が非常に複雑となる。対してスパースモデルは、入出力関係をなるべくシンプルに表現するものであるため、計算過程の説明が可能となる。このため、思ったような結果が得られなかった場合に原因の究明が可能である。

今回のミッションでは、ローバーにカメラを搭載し、得られた画像に対し処理を行うことにより安全な経路選択を目指す。具体的には、図1.1に示すような学習フェーズと経路計画フェーズの2つの段階を設ける。学習フェーズでは走行しているルートがある程度安全なものだという仮定のもとで画像を撮影し、スパースモデルの作成を行う。仮にスタックした場合でも、スタック回避を行い、その後画像の収集を継続する。回避動作中は撮影を行わないので、収集した画像の大部分はある程度安全なものとなるはずである。経路計画フェーズでは、学習フェーズで得られたモデルと現在の撮影画像を比較し、より特徴が似ているルート、すなわち学習フェーズですでに走行できたルートに似た、より安全性が高いルートの走行を目指す。

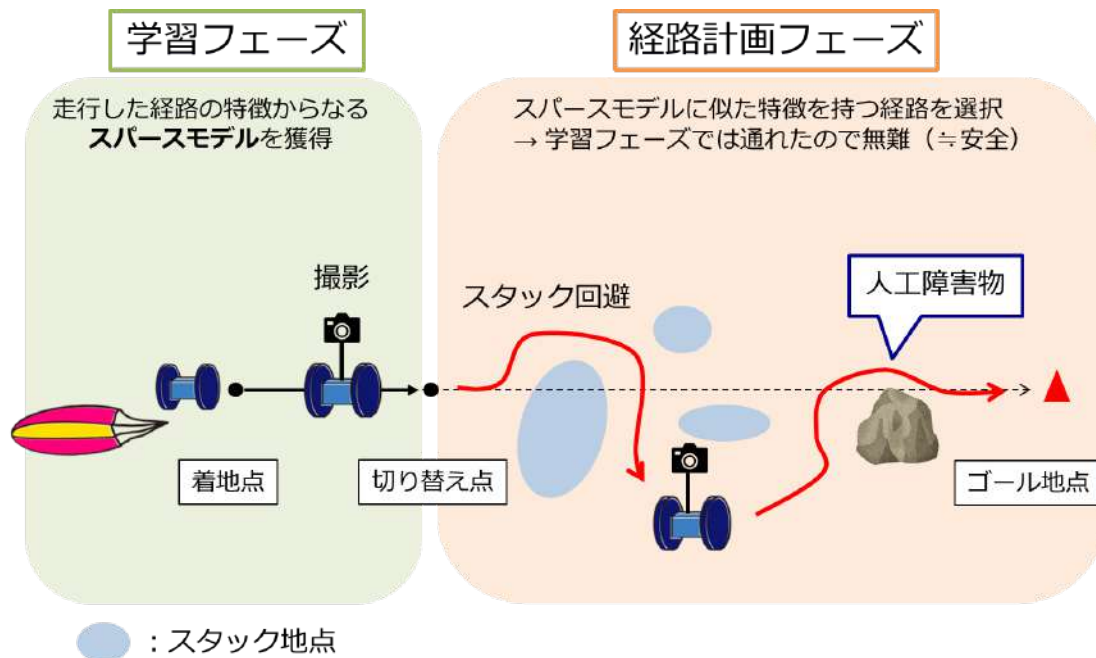


図1.1 ミッション概要

第2章 サクセスクライテリア

2.1 サクセスクライテリア

ミニマムサクセス	画像を1枚撮影し、その画像からエッジ画像, RGBからRedなど1,2色を抽出した画像といった様々な特徴画像を取得する。
ミドルサクセス	ローバーは複数の画像を撮影しながら切り替え点まで走行する。撮影した画像に対し特徴画像を取得し、ミニマムサクセスで得た特徴画像を基準として比較することにより、基準との差が小さい経路の選択、及び重要な特徴画像の種類同定を可能とするスパースモデルの獲得を行う。
フルサクセス	経路選択を行いながらゴール地点へ向かって走行する。スタックした場合再学習を行い、スパースモデルを更新する。カンサットと人間が合流できた場合、適切な経路選択ができていることを確認するため、走行中に人間が機体前方に設置した障害物を回避する。合流できなかった場合には、轍などの障害物を回避する。
アドバンスドサクセス	獲得したスパースモデルにおいて、何の特徴量が重視され、障害物が視野に入ることによって危険度が適切に変化していることを示す制御履歴により、フルサクセスにおける回避動作の根拠を示す。また、10 m以内にゴールする。

2.2 ミッションシーケンス

キャリア収納からミッション達成までの流れを図に示す。ここで、人が行う作業を点線の枠で囲んだ。④の回避走行フェーズにおいて人間が障害物を設置する必要があるが、③の学習フェーズに15分程度時間がかかるため、特別に人が合流する時間は設定しない。仮に合流できなかった場合には、轍などの自然障害物に対し回避動作を行うことができたかを確認する。

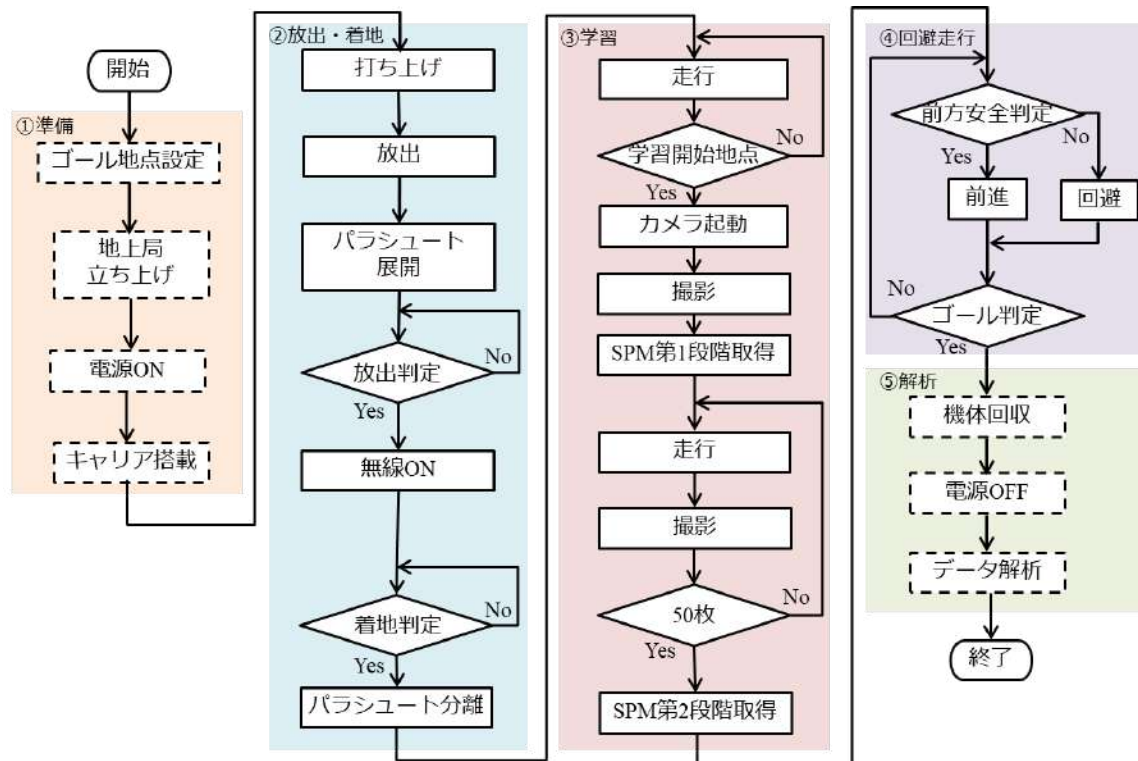


図2.2.1 ミッションシーケンス

2.3 原理

(A) スパースモデリングの原理

この節ではスパースモデリングの原理について示す。スパースモデリング(Sparse Modeling)とは、機械学習の一種であり、「少ない(Sparseな)情報から物事の全体を推測 (Modeling)する」ことが特徴である。

具体的に式を用いて考える。一般的な最適化問題は以下の式で表される。

$$\text{Minimize } E(w) = \sum_i (y_i - w_i x_i)^2 \quad (2.1)$$

$$\text{真値: } y = [y_1 \ y_2 \ \vdots \ y_n] \quad \text{重み行列: } w = [w_1 \ w_2 \ \vdots \ w_n], \quad \text{特徴量: } x = [x_1 \ x_2 \ \vdots \ x_n] \quad (2.2)$$

上記のような最適化問題は、目的関数を最小化するような重み行列 w を求めるが、スパースモデリングではこれに加えて、重み行列 w のできるだけ多くの成分 w_i を0とすることを目標とする。そのために、目的関数 $E(w)$ を次のように与える。

$$\text{Minimize } E(w) = \sum_i (y_i - w_i x_i)^2 + \alpha |w|_{L_0} \quad (2.3)$$

ここで上式第2項における $|w|_{L_0}$ は、重み行列 w の中で、0ではない成分の個数を表しており、これをL0 ノルムという。これが目的関数に組み込まれることで、重み行列 w の非零成分をできる限り少なくする方向で学習が進む。非零成分が少なければ少ないほど、値が0となる重み行列成分 w_i が増え、目的関数全体の中で実質的に使用する特徴量成分 x_i が減る。これがスパースモデリングの基本的概念である。なお、このL0ノルムの係数 α が大きければ大きいほど、目的関数 $E(w)$ の中で非零成分を少なくしようとする働きが強くなる。

(B) CanSatにおけるスパースモデリングの使用法

本節では、本年度のミッションにおいてどのようにスパースモデリングを使用していくかについて示す。本年度のCanSatでは、複数枚の画像を学習し、その場で機体がスタックする可能性があるか否かについて判定する必要がある。しかし、スタックの可能性の判別を行うために従来の機械学習を用いた場合、スタックするときの画像とスタックしないときの画像を大量に用意し、学習させる必要がある。学習に用いる大量の画像や学習に要する計算コストは宇宙探査において用意することが難しいため、少ない画像・少ない計算量で学習を完了させるためのアルゴリズムを応用することが必要であると考えた。

そこで着目したのがスパースモデリングである。これには大きく分けて事前学習と現場学習の2つの学習が存在する。事前学習においては、機体が正常に走行している際の車載カメラ画像と、機体がスタックする地点が写っている画像を用意し、それぞれ「スタックする事例」と「スタックしない事例」としてラベリングを行う。現場学習においては機体を走行させながら適宜周辺の様子を車載カメラで撮影する。撮影された時点で映っていた地点において機体がスタックしなかった場合、その画像を「スタックしない事例」として学習する。発進してから一定枚数画像の蓄積を行い、終了した時点で先述した画像のラベリング・学習を行う。この学習で獲得したモデルを用いると、任意の走行中の画像において、スタックする可能性を推論でき

る。今回のCanSat機体においては、撮影画像の下半分の領域に着目し、その領域を半分に分割し、その上側の領域を更に3分割することによって得られる画像を用いて各ウィンドウごとにモデルを学習させ、走行中に撮影した画像をリアルタイムで推論する。3つのウィンドウそれぞれで推論を行うことで、よりスタックの可能性が低い経路を選択できるようになる。

上記原理の実装に際し、我々は画像からスタックの危険性を求めるプロセスを2段階に分け、それぞれの段階においてスパースモデリングの原理を活用した。第1段階では、撮影した画像から特徴量を抽出し、第2段階では特徴量からスタックの危険性（以後、「危険度」と呼ぶ）を算出する。次節においてこれらを説明する。

(C) 第1段階のスパースモデリングの原理

第1段階では、撮影した画像からその画像を特徴づける、ひいてはスタックの可能性を示唆する特徴量を算出する。これに際し、スパースモデリングの実用例の1つである異常検知のアルゴリズムを応用した。

スパースモデリングにおける異常検知の概要について述べる。まず学習を行う。ここでの学習の本質は与えられた画像をパッチに分割し、その画像群に共通する基底ベクトルとその係数を求めることである。ここでの基底ベクトル1つ1つは重み行列の1成分に相当し、基底ベクトルの個数を制限すること（または抽出行列のL0ノルムを削減すること）は重み行列の非零成分を削減することに対応している。本段階においては、基底ベクトルの集合行列を辞書と呼び、基底ベクトルの係数の集合行列を抽出行列と呼ぶ。

$$Y = D^T X \quad (2.4)$$

Y: 辞書作成用画像の1パッチ, D: 辞書, X: 抽出行列

$$D = [d_1 \ d_2 \ \dots \ d_n], \ X = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]$$

d_i : 基底ベクトル $\in R^2$, x_i : 基底ベクトルの係数 $\in R$

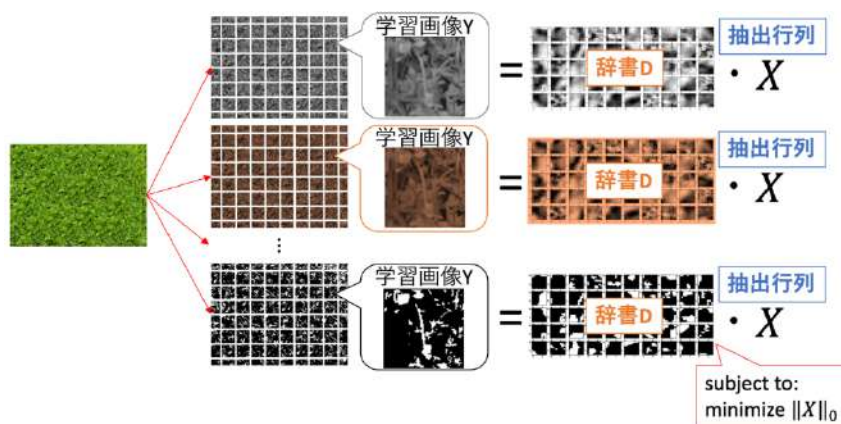


図2.3.1 元画像と辞書の関係

ここで辞書の作成に用いる画像はスタックしない地形画像としている。また本ミッションにおいては、限りある画像からより多くの要素を学習・推論するために、扱う全ての画像に対し画像処理（R成分抽出・エッジ抽出など現時点では未加工画像を含め10種類程度を想定）を施している。本段階においてもこれら10種類程度の画像を元画像として学習を行い、辞書とス

パース表現に分解する。これは、それぞれの特徴画像が辞書と呼ばれる典型的なパターンが少数組み合わせることで表現できるはずだという仮定に基づいた手法である。

次に推論を行う。ここでの推論の本質は、導出された辞書を用いて推論対象の画像を復元することである。推論対象の画像から、学習時と同様に辞書とその係数行列を求める。次に、ここで用いた係数行列と学習により得られた辞書を組み合わせることで画像の再構成を試みる。推論対象の画像と学習に用いた画像が完全に同一なものであれば辞書も係数行列も同一であるから、推論対象とした元画像が完全に復元されるはずである。しかし、推論対象の画像と学習に用いた画像に相違があればあるほど、再構成の精度が低下し、推論対象の画像と再構成された画像の相違が増加する。これが異常検知の原理であり、作成できる基底ベクトルの個数に制限を加える点や辞書を介して推論を行う点がスパース性であると考えられる。

本ミッションにおいて具体的に考えると、撮影した画像に対し、正しく再構成できれば辞書学習に使用した正常な画像と同じ特徴が含まれている、すなわちスタックしない地形と考えることができる。これは学習時の画像をスタックしない地形画像として与えているためである。逆に差異が大きければ異常、すなわちスタックする危険がある地形だと考えることができる。このように、学習時の元画像と、推論時に撮影した画像に対する再構成画像との差分の大きさによって正常・異常を判定するが、単に差分を考えるだけではなく、差分を様々な切り口から評価することで、信頼性の高い評価を行うことが必要である。

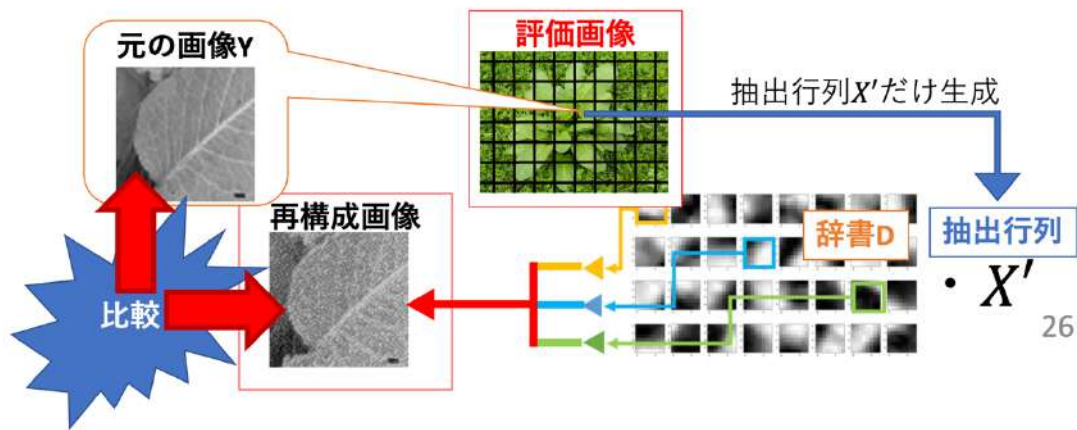


図2.3.2 再構成とは

本ミッションにおいては、推論対象の画像とそれを学習済み辞書によって再構成された画像の各画素値についての差分を求め、その分布の特徴量（平均値・中央値・分散・尖度・歪度・最頻値）を画像の特徴量としている。なお、前述の通り特徴量の数を確保するため、推論対象の画像に対してエッジ抽出等の10種類の加工を施しており、第2段階へ出力される特徴量は合計60種類としている。ただし画像処理や特徴量の種類については変更の可能性はある。

(D) 第2段階のスパースモデリングの原理

本節では、スタックの危険性を求めるプロセスにおける後半の第2段階のアルゴリズムについて示す。第2段階ではまず、第1段階で出力された60種類の特徴量に対して、ミッションに有用なもののみを抽出し、その後、スタックの危険性を算出する。これにより、ある時点で撮影した画像に対して危険度を算出するようなモデル（関数）を作成することができ、このモデルを使用して経路計画を行う。

これは前述の第1段階で導出した再構成誤差の特徴量を入力、スタックの危険度を出力としたLasso回帰モデルの学習および推論を行うことで実現できる。本段階において平均値、分散などの特徴量に対しては標準化を行った上で進める。推論を行うことでミッションに有用な特徴量のみを抽出することができる。

学習は、事前に撮影した動画から切り出されたフレームを用いて合計250枚の画像で行う。うち200枚はスタックせずに走行している画像、50枚は障害物が機体の前に置かれている画像とする。

スタックしていない画像のラベルは-100、スタックしている画像のラベルは100とする。ラベルの値を0~1に標準化された特徴量より十分に大きくすることによって重み行列の値のスケールを大きくし、Sparse性の評価をしやすくした。推論においては特徴量を入力とし、学習済みの重み行列を用いて推定値を導出する。推定値が-100に近ければ近いほど、特徴量はスタックしない場合の特徴量に近いことが示唆されスタックの危険性が低いとの結論に至る。逆に推定値が100に近ければ近いほど、特徴量はスタックした場合の特徴量に近いことが示唆されスタックの危険性が高いとの結論に至る。

上記のスパースモデリングを通じて、各画像において着目する3ウィンドウそれぞれに対して危険度が算出され、大きな負の値であるほど安全、大きな正の値であるほど危険であると考えることができる。そして本ミッションでは、一枚の画像に対して危険度を行列形式で計算できるようにしており、この危険度行列を経路計画において使用する。なお、ラベルの値はその中間点が0となるように意図的に決定した。学習の失敗によって重み w の成分が全て0となってしまった場合に、算出される危険度は $y=0$ となるが、これをスタックの可能性が判断できなかったことを示唆するようにしたからである。

2.4 アルゴリズム

ミッション開始から終了までのアルゴリズムについて詳細を述べる。ミッションシーケンスにもフローを示したが、ここでは全体をステートに分類し、ステートの遷移について図2.4.1に示す。

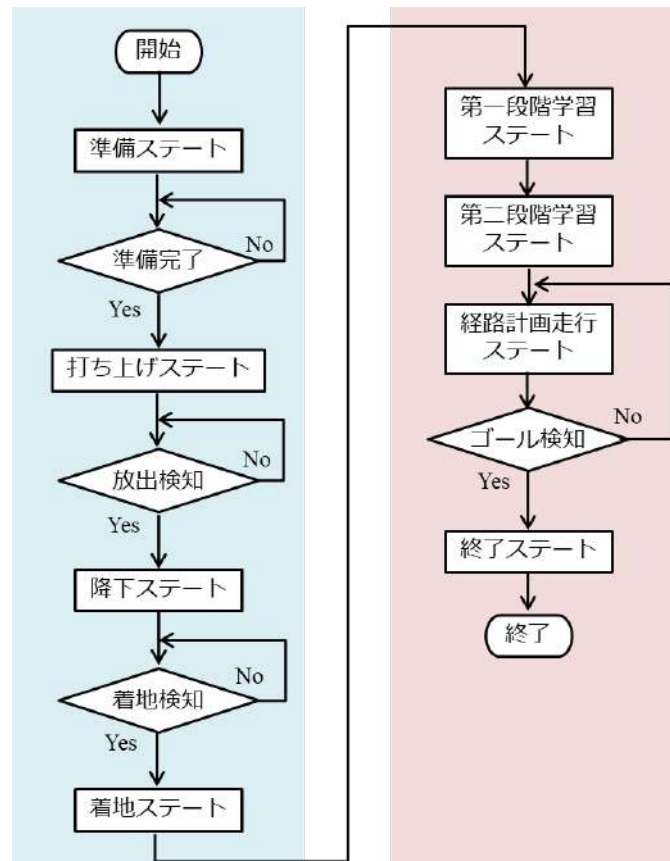


図2.4.1 全体アルゴリズム

1. 準備ステート

プログラムを実行すると無線通信を開始する。フライトピンが挿入されると、CanSatがキャリアへの収納を検知して次のステートへ移行する。

2. 打ち上げステート

無線通信を停止する。キャリアからCanSatが放出されてパラシュートが開傘すると、回路基板からフライトピンが抜けてマイコンのGPIOピンにかかる電圧が変化する。この電圧変化を検知することで放出判定が行われ、放出を検知すると次のステートへ移行する。

3. 降下ステート

無線通信を開始する。CanSatが着地して加速度センサから取得される3軸加速度の合計値が、200制御周期連続で 1 m/s^2 より小さいとき、着地とする。なお、加速度については静止時を 0 m/s^2 としている。着地判定が行われたとき、次のステートへ移行する。

4. 着地ステート

パラシュート分離機構を用いてテグスの焼き切りを行い、シートを本体から分離する。その後、シート上からモータを回転させ走行することにより脱出し、ゴール方向へ姿勢を修正する。

5. 第一段階学習ステート

第一段階学習ステートでは、画像から特徴画像を作成し、学習を行うことで辞書を獲得し、画像の再構成を行い、差分を求める。第一段階の学習ステートでは走行を行わないため、スタックしない。

まず、カメラを起動し画像を1枚撮影する。その画像に対し処理を行うことで、特徴画像（現在の想定では10種類）を取得する。その後、これらの特徴画像に対してスパースモデリングの考え方をを用いて辞書行列 D と、辞書の小数の組み合わせ方を示すスパース表現 X に分解する。

$$Y = D^T X \quad (2.5)$$

次に、得られた辞書行列 D を使用して、ある別の画像 Y' に対し元画像と特徴が似ているかどうかを推論する。そのために、再度画像の撮影を行い、第一段階の学習で獲得した辞書行列 D を用いて再構成する。

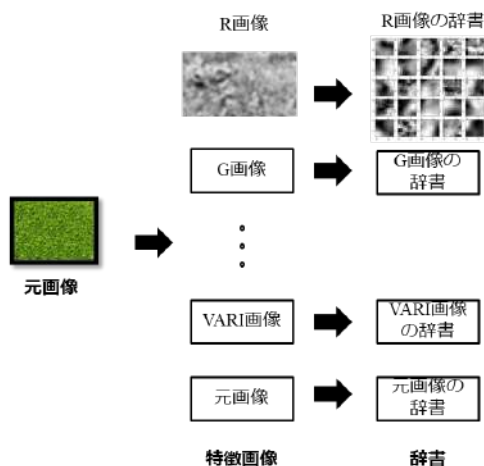


図2.4.2 スパースモデル第1段階：辞書の獲得

次に、再構成画像と元画像の差分をヒストグラムとして表現し、得られたヒストグラムの平均値・中央値・分散・尖度・歪度・最頻値という6種類の特徴量を抽出する。これにより、再構成画像と元画像との差分を6つの切り口から評価する。

以上より、10種類の特徴画像に対して6種類ずつ特徴量を抽出し、計60個の特徴量を獲得できた。次のステートでは、これらの特徴量の中からミッションに有用な特徴量のみを抽出する。

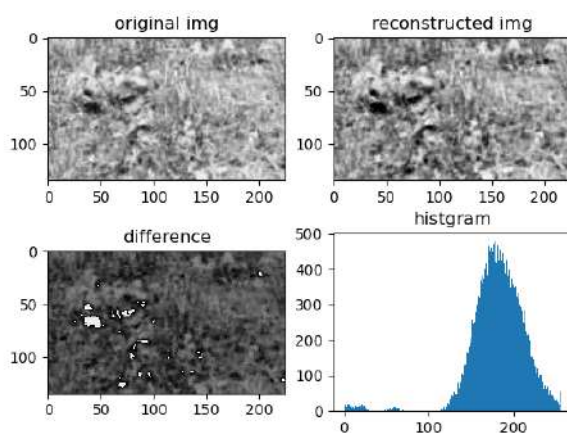


図2.4.3 スパースモデル第1段階

6. 第二段階学習ステート

本ステートでは、これらの特徴量にそれぞれ重みをつけ、その和を求めることで危険度を算出できるようなモデル（関数）を獲得することを目的とする。具体的な手法を以下に述べる。

まず、ゴール方向へ画像を取得しながら走行し、画像を一定枚数取得し、一定枚数取得した直後の地点を切り替え点としておく。その後、切り替え点において停止し、取得した画像すべてに対し前項の画像再構成を行い、60個の特徴量を算出する。本ステートにおいてスタックした場合、スタック回避動作を行う。この際、回避動作中は撮影を行わないので、収集した画像の大部分はある程度安全なものとなるはずである。

その後、ミッションに有効な特徴量のみを抽出すべく、再構成誤差の特徴量を入力、スタックの危険度を出力としたLasso回帰モデルの学習および推論を行うことを行う。これにより、各画像に対して危険度を算出することができるようになる。

危険度は、-100~100の値として表現することとする。このとき、値が小さいほど安全であることを示す。本ステートで得られた画像はスタックしていないことを前提としているため、それぞれの画像に対応した教師データとして“-100”を与える。重みをつけた特徴量の合計が教師データと一致するように、各特徴量に重みをつけ、寄与度の低い特徴量の重みは0として脱落させる。

さらに各画像に対して、危険度は複数個算出される。これは、画像をいくつかの小領域（現在の想定では地面を6分割したもの）に分割し、その小領域それぞれに対して危険度を算出するためである。また、危険度が何らかの理由により-100以下ないし100以上になる事例が生じたとしても、学習に恣意的要素を混入させないため推論値の補正等を行わず、値の大小がスタック危険性の有無に合致するものとする。

7. 経路計画ステート

獲得したスパースモデルを用いて、危険度を算出しながら走行する。具体的な手順を説明する。

まず、走行中の前方を撮影する。撮影した画像についていくつかの領域（現在の想定では地面を6分割したもの）に分けて、スパースモデルにより選択された必要な特徴画像を取得し、再構成誤差の特徴量を算出する。これにより各領域に対する危険度を算出する。算出された危険度は以下のように一つの行列として表現される。

$$risk = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

上記の危険度を表す行列（以下、危険度行列とする）に対して、経路計画を行う。本ミッションでは、そのためにまず、ゴール方向を算出する。GPSセンサによって自己位置の緯度・経度を取得し、事前に与えるゴール位置の緯度・経度から、ゴール方向の方位角（北をゼロ度として東側を正とした角度）を算出する。さらに、角速度センサから、CanSat自身の方位角も算出しておく。これら、ゴール方向の方位角とCanSat自身の方位角から、CanSatの前方からみたゴール方向の角度を算出することができる。

ゴール方向が分かったのち、対応する方向の危険度を危険度行列から抽出し、について閾値以下（現在の想定では70以下）であるかどうか判定する。閾値以下であればゴール方向が安全であると判断し、その方向に走行する。

ゴール方向の危険度が閾値以上である、つまり安全ではないと判断された場合、それ以外の方向についての危険度が閾値以下であるかどうか判断する。閾値以下であるものが存在していた場合、その方向に走行する。ただし、すべての方向において危険度が閾値以上である場合にはCanSatの姿勢角をある一定以上（現在の想定では90度）変化させ、再度危険度行列を計算し、経路計画を行う。

このように、ゴール方向を算出したうえでその方向の危険度が閾値以下であるかどうかを判断し、それに応じて走行することで、常にゴール方向に向かいながら、危険であればその場所を避ける、という走行が可能になる。

8. 終了ステート

ゴール地点に到達したことを判定したら走行を終了する。7の経路計画ステートにおいて、毎回ゴール地点の方位角を確認しているが、その際に自己位置とゴール位置の距離も算出される。この距離がゼロに近くなったらゴールとして判定する。

第3章 要求項目の設定

3.1 システム要求（安全確保、レギュレーションのための要求）

要求 番号	自己審査項目（ARLISS打ち上げ安全基準）
S1	投下する機体の質量が基準以下を満たす
S2	容積がキャリア基準以下であることを満たす
S3	キャリアから自重で落下可能であることを満たす
S4	キャリアからの放出を検知可能であることを満たす
S5	打ち上げ時の準静的荷重によって、安全基準を充足するための機能が損なわれていないことが試験で確認できている
S6	打ち上げ時の振動荷重によって、安全基準を充足するための機能が損なわれていないことが試験で確認できている
S7	ロケット分離時（パラシュート開傘時）の衝撃荷重によって、安全基準を充足するための機能が損なわれていないことが試験で確認できている
S8	地表近くで危険な速度で落下させないための減速機構を有し、その性能が試験で確認できている
S9	ロストへの対策を実施しており、有効性が試験で確認できている
S10	キャリア内で通信機能が停止することを確認できている
S11	キャリアからの放出検知後、無線通信を開始可能であることを満たす
S12	無線通信を指定されたチャンネルに変更できることを満たす
S13	ミッションを遂行するために十分な電力が供給可能な電源を有することを満たす
S14	ロケットへの装填からミッションの開始、打ち上げ後の回収までを模擬したEnd-to-end試験を実施できしており、今後、安全性に関わる大幅な設計変更はない
S15	ミッション後、規定された制御履歴レポートを運営及び審査員へ提出しログ・取得したデータについて説明が可能な状態である
S16	ミッション時に人間が介在しない自立制御を実施することを確認出来ている

3.2 ミッション要求

番号	要求項目
M1	着地時の衝撃荷重によって、ミッションを実現するための機能が損なわれていないことが確認できている
M2	着陸を検知できることが確認できている
M3	分離指令により、パラシュートを分離できることが確認できている
M4	パラシュート分離時にカメラが上方向へ持ち上がることが確認できている
M5	CanSatの姿勢を検知できることが確認できている
M6	反転・横転したとき復帰できることが確認できている
M7	回路基板が機体上部にくるように姿勢を変更できることが確認できている
M8	現在地のGPS情報を取得できることを確認できている
M9	ゴール地点のGPS情報を認識できることを確認できている
M10	段差や草地でスタックせずに走行できることが確認できている
M11	スタックの検知ができることが確認できている
M12	カメラを用いて画像を撮影できることが確認できている
M13	撮影した画像から特徴画像を算出できることが確認できている
M14	スパースモデルが獲得できることを確認できている
M15	スパースモデルを用いて無難な経路を選択できることを確認できている
M16	経路選択によりゴール方向へ走行できることを確認できている

第4章 システム仕様

4.1 機体外観

機体諸元を以下の表 4.1に示す。また、今回質量試験で用いた機体を図4.1.1, 4.1.2に示す。質量測定時には、機体・パラシュートを含む、投下時に搭載するすべての部品を合計したものを計測した。また、今年使用するセンサ、マイコン、回路基板を取り付けて質量試験を行った。これより、機体がレギュレーション範囲内に収まることが確認できた。

表 4.1 機体諸元

	収納時	シート分離後
全長[mm]	215	215
高さ[mm]	135	190
重量[g]	966	-



正面図



正面図



鳥瞰図



鳥瞰図



側面図
(a) 収納時

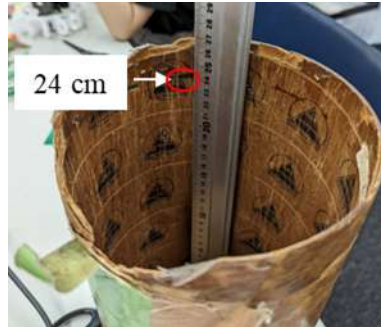


側面図
(b) シート分離後

図4.1.1 機体



(a) 収納された様子



(b) ボイド缶の高さ



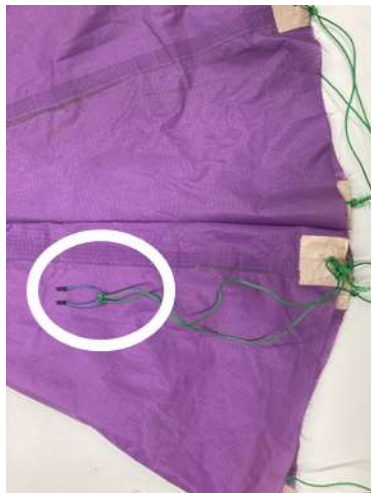
(c) ボイド缶の直径

図4.1.2 収納された機体の様子

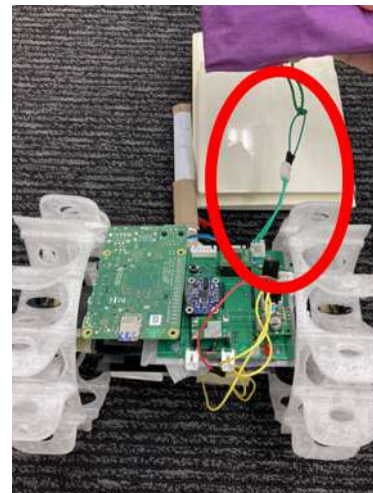
4.2 機体内観・機構

(A) 放出検知機構

フライトピンを用いて放出検知を行う。図3.3(a)に示すように、先端にフライトピンが取り付けられている紐をパラシュートの裾に結び付ける。そしてフライトピンは、図3.3(b)に示すように、回路基板のコネクタに取り付ける。実際にパラシュートが開傘すると、紐が引っ張られて回路基板のコネクタからフライトピンが抜ける。このとき、Raspberry Pi 4 Model BのGPIOピンにかかる電圧が変化して放出を検知する仕組みとなっている。



パラシュートに結びつけられたフライトピン



フライトピンを接続した様子

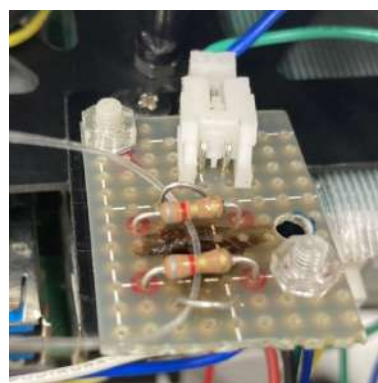
図4.2.1 放出検知機構

(B) パラシュート分離機構

パラシュートの分離については、テグスを抵抗の熱によって焼き切ることにより機体の周囲に巻き付けたシートの固定が外れ、弾性力によりシートと機体が分離するものとした。焼き切り回路では、テグスを抵抗2つとニクロム線2つに通すことで一点に力が集中しないようにしている。張力は分離シートの3か所の穴で受け持つ設計となっており、実際に開傘衝撃など全ての試験を通して一度も故障していないことから十分な強度であると考えられる。



焼き切り回路の取り付け位置



焼き切り回路の拡大図

図4.2.2 焼き切りによるパラシュート分離機構



分離シートの穴

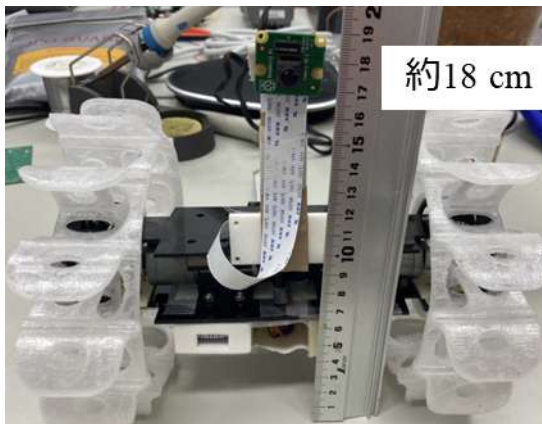


テグスの通り道

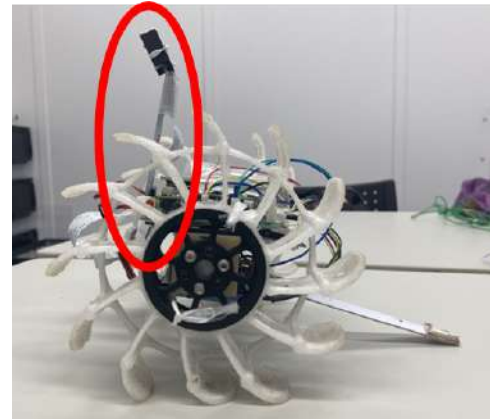
図4.2.3 分離シート

(C) カメラ進展機構

本ミッションでは、カメラにより撮影した周囲の地形画像を用いた処理を行う。周囲を撮影する際に手前の小さい障害物にかかわらず、遠くまで画角に入ることが好ましいので、メジャーを用いてシート分離後に機体上方に受動的に進展する機構とした。また、地形画像を取得するために、伸展時にカメラが斜め下向きとなるようにした。



正面



側面

図4.2.4 カメラ進展機構

4.3搭載機器

(A) システム図

システム図，使用機器について以下に示す。

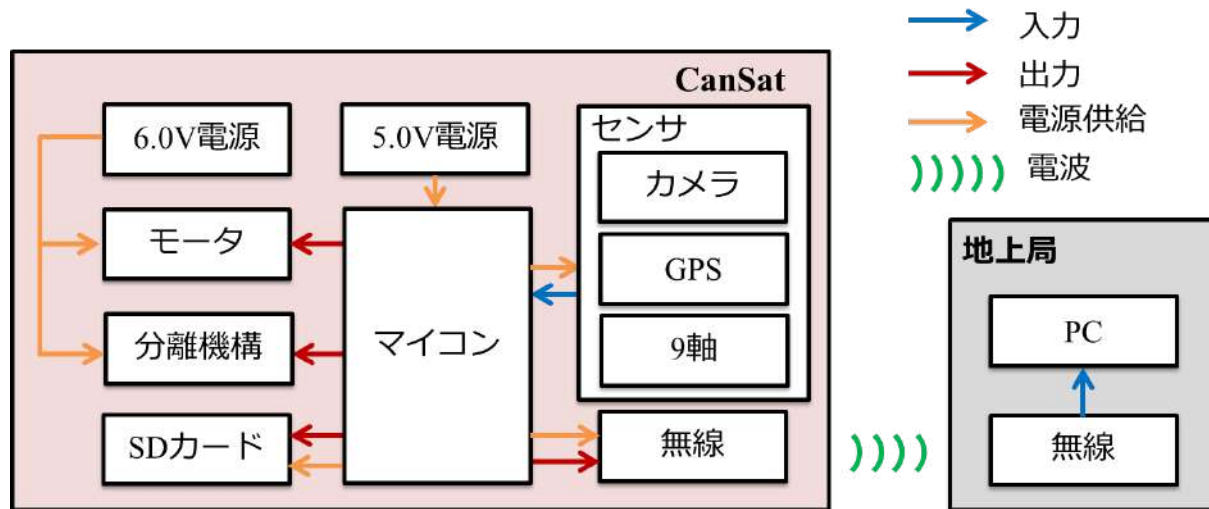


図4.3.1 システム図

表4.3.1 使用機器

機器	型番	仕様
マイコン	Raspberry Pi 4 Model B	DC5V / 1.7A (Max) ※GPIO除く
GPS	GYSFDMAXB	DC5V / 40mA, シリアル通信
7.4 V → 6 V 降圧 (モータ用)	D36V28F6	ブランド : Pololu
3.7 V → 5 V 昇圧 (マイコン用)	詳細不明	入力電圧 : DC 6.3V-50V
9軸加速度センサ	Bno055	出力電圧 : DC 6V (精度4%)
カメラ	Raspberry Pi Camera Module V2	出力電流 : 3A(長期推奨値2.5A)
モータ	C1S605800014503	変換効率 : 85-95%
モータードライバ	TB6612FNG	ブランド : IS
無線通信モジュール	ES920LR	入力電圧 : DC 2.5V-5.0V

(B) 使用電源

使用した電源とその安全対策について以下に示す。なお、大電流が流れるモータ用のコンバータについては、最大40Vの逆電圧保護、出力の低電圧と過電圧保護、過電流保護、短絡保護機能があるPololu社のD36V28F6を採用した。

表4.3.2 使用電源

使用用途	品名	型番	個数
マイコン	リチウムイオンポリマー電池 3.7V 3000mAh	HXJNLDC 103665	1個
モータ	リチウムイオンポリマー電池 7.4V 900mAh	SIGP 900-2S1P-7.4V-25C	1個

表4.3.3 安全対策

状況	安全対策
運送	電池を傷つけないよう、専用の電池収納ケースに収納する
保管	高温となる場所に保管しない
使用	電池の外側の被膜が傷ついていないか、確認する
	テスターで頻繁に電圧を測り、過充電や過放電の状態にならないよう注意する
	発火時には近寄らず、あらかじめ用意した大量の水で消化する。

第5章 試験項目設定

番号	検証項目名	対応する自己審査項目の 要求番号(複数可)	実施日 (予定日)
V1	質量試験	S1	6/29
V2	機体の収納放出試験	S2, S3	6/29
V3	準静的荷重試験	S5	8/25
V4	振動試験	S6	7/11
V5	分離・パラシュート開傘衝撃試験	S7	8/25
V6	パラシュート投下試験	S8, M1, M2	7/12
V7	着地衝撃試験	M1	6/29
V8	無線ON/OFF試験	S4, S10, S11	7/6
V9	無線CH変更試験	S12	7/6
V10	通信距離試験	S9	7/1
V11	地上局記録試験	S15	7/4
V12	SDカード記録試験	S15	7/15
V13	GPSセンサ精度試験	S9, M8	7/4
V14	9軸センサ試験	S11	7/4
V15	センサ統合試験	S9, S15	7/4
V16	電池試験	S13	8/26
V17	パラシュート分離試験	M3, M4	7/7
V18	姿勢変更・保持試験	M5, M6, M7	7/7
V19	走破性能試験	M10	7/8
V20	スタック検知試験	M11	7/10
V21	スパースモデル獲得試験	M12, M13, M14, M15	7/10
V22	走行試験	M8, M9, M10	7/10
V23	End-to-end試験	全項目（主にS14, S16）	7/15
V24	障害物回避試験	M15	8/27

第6章 実施試験の内容

(V1) 質量試験

- 目的
CanSatとパラシュートを合わせた質量が規定質量以下であることを確認する.
- 試験内容
CanSatとパラシュートを質量計で計測を行い, 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.
- 結果
CanSatとパラシュートの総重量は965gであり, レギュレーションの1050g以下であることを確認した. 図7.1.1に質量測定の結果を示す.



図6.1 質量試験

- 考察
パラシュートの質量を含めたCanSatの総重量が, レギュレーションを満たしていることがわかった.

(V2) 機体の収納放出試験

- 目的
CanSatがキャリアに入ること, CanSatがキャリアから自重で落下可能であることを確認する.
- 試験内容
内径146 mm, 高さ240 mmのボイド缶にCanSatを入れ, 入ることを確認する.
キャリアを下向きにし, CanSatがキャリアから自重で落下することを確認する.
- 結果
表7.2.1に示すように, CanSatを収納後, 自重で放出することが2回中2回確認できた.

表7.2.1 キャリア放出実験の結果

回数	実験動画	放出判定
1	https://youtu.be/Hc6CsqrTq8	自重で放出できた
2	https://youtu.be/PhcK_0DhZD4	自重で放出できた

- 考察
動画から, CanSatがキャリアに収納できること及び自重で落下することが確認できた.

(V3) 準静的荷重試験

- 目的
ロケット発射時の準静荷重に耐えられることを確認する。
- 試験内容
機体をキャリアに収納した状態で、キャリアをロープにつなぎ、ハンマー投げのように人を中心とした等速円運動によりロケット内部での静荷重を実現する。ここで、ロケットの静荷重は10 Gであり、遠心力は $(mv^2)/r$ と表せる。ここで、 m は1050gである。回転半径、回転速度を調整することで機体に10 Gを加える。また、値を取得する際に用いたセンサはATR社のAMWS020Bを用い、機体の上面に固定し、回転円の遠心力方向と機体上面から下面へ方向と加速度センサのZ軸方向が一致するようにした。



図6.3.1 センサの固定位置

- 結果
以下に、試験時の様子の動画をURLに示し、センサによって取得したZ軸方向の加速度値を図として示す。
URL1 : <https://youtu.be/TgUvt72Q7Sw>
URL2 : <https://youtu.be/TgUvt72Q7Sw>

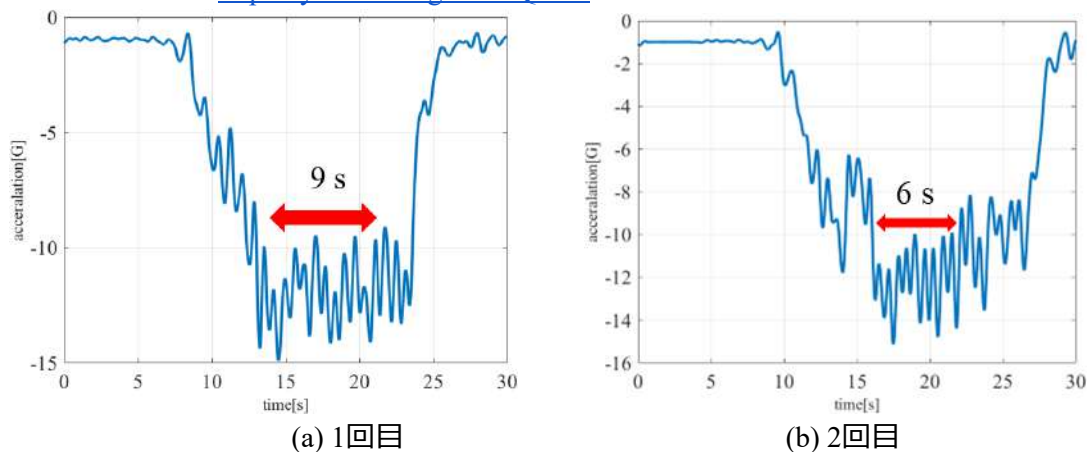


図6.3.2 準静的荷重試験の加速度Z

加速度波形より、1回目は9秒間、2回目は6秒間10Gを加えていたことがわかる。動画より、CanSat回転による遠心力により10Gの荷重を加えている最中また加えたのちにもCanSatが取得したセンサの値及びカメラから得られた情報を取得することが出来ており、CanSatの破損も確認されなかった。

- 考察
CanSatが打ち上げ時の準静的荷重に耐えられることが確認できた。

(V4) 振動試験

- 目的
ロケット搭載時の振動に耐えられることを確認する。
- 試験内容
加振機に機体を直接取り付け、加振動実験を行う。今回の試験では推奨されている試験条件を超えた1 Hz～2300 Hzの振動数と最大15Gの加速度を加振機で機体に与えた。また、値を取得する際に用いたセンサはATR社のAMWS020Bを利用し、機体と加振機台の二か所に取り付けた。機体側は、機体の上面に固定し、振動の方向と加速度センサのX軸方向が一致するようにした。また、加振機台側も、加振機台の側面に固定し、振動の方向と加速度センサのX軸方向が一致するようにした。
- 結果
試験時の様子の動画を以下のURLに示し、振動時の加振器及び期待の振動荷重の図について以下に示す。

URL (1回目) : <https://www.youtube.com/watch?v=xIA0tbq5I9s>

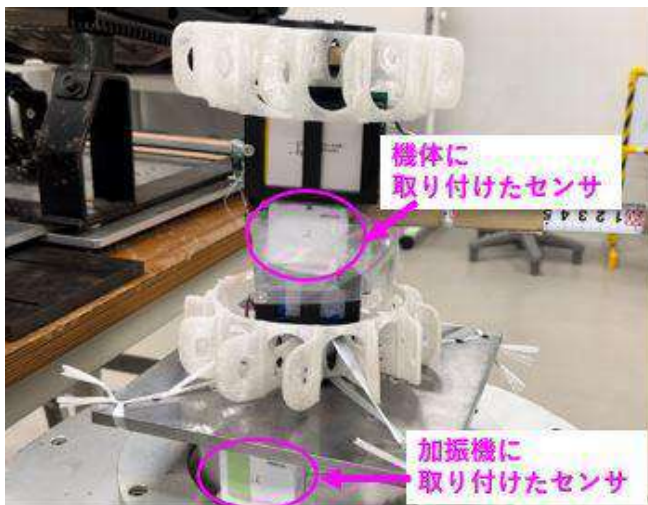
URL (2回目) : <https://youtu.be/xIA0tbq5I9s>

片道の掃引速度については以下のようにして算出する。

$$s[\text{oct/min}] = \frac{\log_2(2300\text{Hz}/1\text{Hz})}{4\text{min}} = 2.5 [\text{oct/min}]$$

図より、試験条件を超える加速度を加えられていることがわかる。また動画より、加振器の振動によってCanSatへ1～2300Hz、最大15Gの正弦波振動を加えた後も、CanSat機体は正常に動作し、破損がないことも確認出来た。

- 考察
CanSatが打ち上げ時の振動の荷重に耐えられることが確認できた。

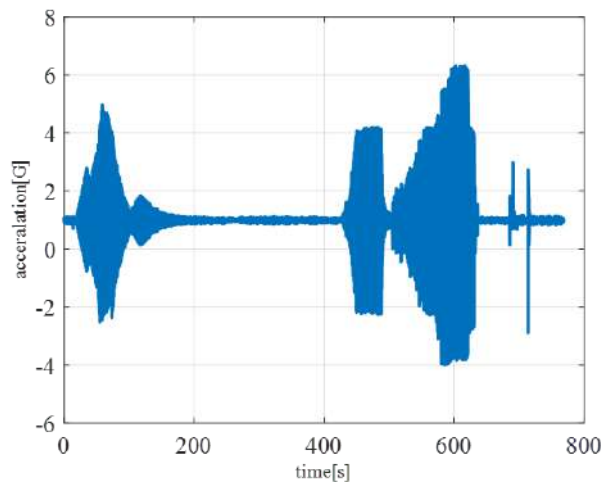


(a) 加振機への固定とセンサの固定位置

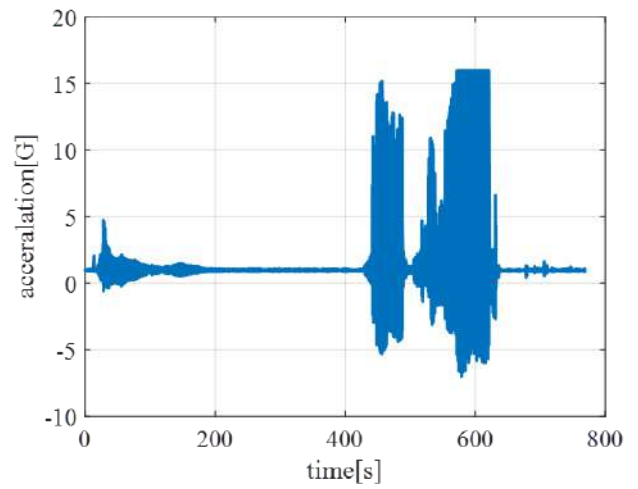


(b) 加振機への固定位置

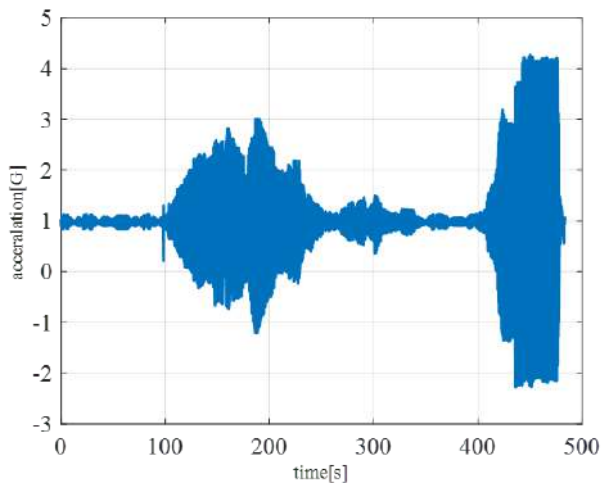
図6.4.1 実験環境



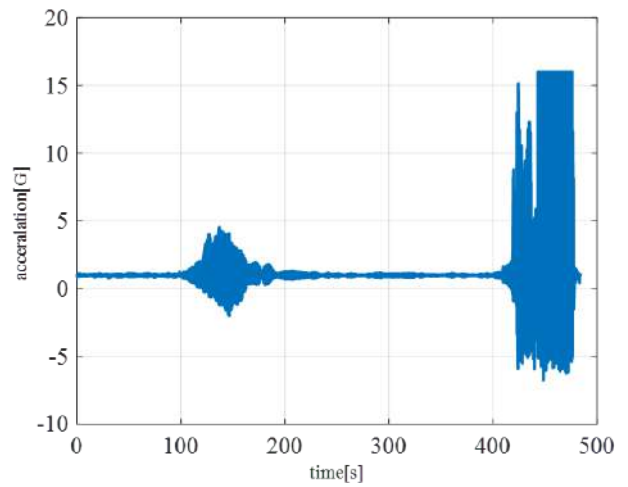
振動台にかかる加速度X (1回目)



機体にかかる加速度X (1回目)



振動台にかかる加速度X (2回目)



機体にかかる加速度X (2回目)

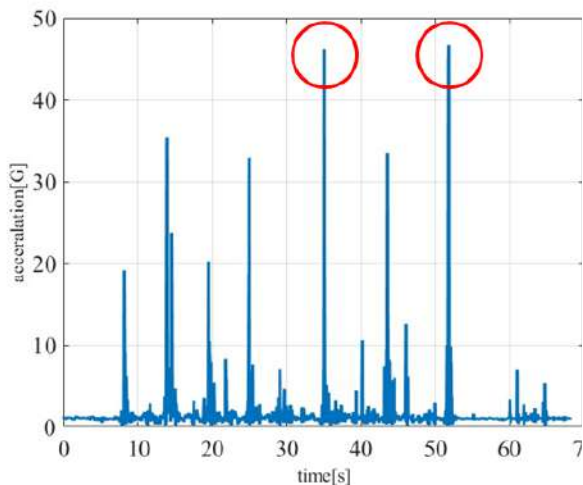
図6.4.2 振動試験の加速度X

(V5)分離・パラシュート開傘衝撃試験

- 目的
ロケット搭載から放出される際の衝撃，またパラシュートが開く際の衝撃に分離シートと機体が耐えられることを確認する。
- 試験内容
ロケットに寄る打ち上げを想定した際にロケットからの分離時にかかる撃荷重に耐えうることを確認する．ここでは推奨の40 Gに耐えることとする．パラシュートが開く際の衝撃も同様とした．機体及びパラシュートとの接続部がこれに耐えうることを示す．
機体とパラシュートの接続部を紐で接続し，高所から力を下向きにかけて落下させ，紐が張り合った時に紐方向に40 Gがかかるようにする．値を取得する際に用いたセンサはATR社のAMWS020Bを用い，機体の上面に固定した。
- 結果
試験時の様子の動画，実際にCanSatに加えた撃力の合成加速度について以下に示す．40Gを超える劇力を2回加えたことがわかる．

URL： https://youtu.be/xwXZ-LhN_4Q

動画より，撃力加えてもパラシュートとCanSatは接続された状態であり，破損は見られなかった．さらに，センサ値の取得も正常に行われていた。
- 考察
CanSatがキャリアから放出される際の衝撃及びパラシュートが開傘する際の衝撃に耐えられることが確認できた。



合成加速度



センサの固定位置

図6.5.3 分離・パラシュート開傘衝撃試験

(V6) パラシュート投下試験

- 目的
パラシュートが開傘して減速することを確認する。
- 試験内容
パラシュートを付けたCanSatをキャリアに収納し、約19mの高さからキャリアを下向きにして落下させる。パラシュートが開傘してから着地するまでの高さ h と時間 t を計測し、落下速度 v を算出する。パラシュートは最終落下速度が6m/s以下になるように設計している。そこで試行を5回繰り返して、平均終端速度 \bar{v} を算出し、 \bar{v} が5m/s以上6m/s以下であることを確認する。
- 結果
試験時の様子の動画を以下のURLに示す。
試験時の動画から、終端速度になっていると考えられる、地面から4m地点（動画内においては、壁にある横線の地面から数えて2つ目）を通過したときを時刻 t_0 とし、地面に落ちた時刻を t_1 として計測する。その後、以下の計算式から終端速度を計算する。
$$v_f = 4/(t_1 - t_0) \text{ [m/s]}$$

その後、5回の試験から算出した終端速度の平均値を求め、その値が5m/s以上6m/s以下であることを確認した。
URL（1回目）：<https://youtu.be/nB3F5uFzJeI>
URL（2回目）：<https://youtu.be/FHyPsV4-8iQ>
URL（3回目）：<https://youtu.be/F7FKxiMvnxc>
URL（4回目）：https://youtu.be/_qcOSrCD8M4
URL（5回目）：<https://youtu.be/TNjBmRy6BwQ>
- 考察
パラシュートが開傘して減速できることが確認できた。終端速度の平均値は5.57m/sであり、正しく減速できていることが確認できた。

表6.6 パラシュート投下試験の結果

	結果	高さ h [m]	時間 t [s]	終端速度 v_f [m/s]
1回目	開傘成功	4	0.71	5.63
2回目	開傘成功	4	0.70	5.71
3回目	開傘成功	4	0.73	5.47
4回目	開傘成功	4	0.75	5.33
5回目	開傘成功	4	0.70	5.71
平均値				$\bar{v} = 5.57$

(V7) 着地衝撃試験

- 目的
落下衝撃でCanSatが故障しないことを確認する。
- 試験内容
パラシュートの終端速度と同等の落下速度となるようにCanSatを自由落下させた後、CanSatが正常に動作するかを確認する。終端速度を5.0 m/sと仮定し、この終端速度となるには $v = \sqrt{2gh}$ より1.3 mから自由落下させればよいことがわかる。これにより、着地時の衝撃力が再現できている。
- 結果
試験時の様子の動画を以下のURLに示す。落下後も通信を継続し、センサが動作していることを確認した。また、機体にも損傷がないことを確認した。

URL (1回目) : <https://youtu.be/JV6V3o0gHfE>
URL (2回目) : https://youtu.be/rOliKP_voeM
URL (3回目) : <https://youtu.be/TtBqD1N72Wo>
URL (4回目) : <https://youtu.be/8hCL3UKXKTI>
URL (5回目) : <https://youtu.be/KGI-V6n0gl4>
- 考察
落下後も故障せず動作していることを確認した。

(V8) 無線ON/OFF試験

- 目的
一定時間経過すると無線通信モジュールがONからOFFの状態となること、さらにその後フライトピンを抜くことによってOFFからONの状態となることを確認する。
- 試験内容
本ミッションでは、打ち上げ時の無線機の電源OFFの規定に基づき、プログラムを実行すると無線通信が開始され、一定時間経過すると無線通信を停止する。これは、打ち上げ中にロケットの無線通信との緩衝を防ぐためである。打ち上げ後、CanSatがキャリアから放出されてCanSatの回路基板に取り付けられていたフライトピンが抜けたことを検知すると、無線通信を再開する。本試験では、プログラムを実行した後無線通信を行い、その通信データが受信できていることを地上局で確認する。そして、CanSatがキャリアから放出されたと仮定してフライトピンを抜いた後、無線通信が再開されて通信データが再度受信できていることを地上局で確認する。
- 結果
試験の動画を以下の URL に示す。
URL (1 回目) : <https://youtu.be/7Bpo8LY8sP0>
URL (2 回目) : <https://youtu.be/EGUwNEab6Os>

動画より、プログラムを実行して一定時間が経過すると無線通信モジュールがONからOFFの状態になって無線通信が停止し、フライトピンを抜くとOFFからONの状態になって無線通信が再開することが確認できた。
- 考察
無線通信モジュールをソフト的にONからOFFの状態にすること及びOFFからONの状態にすることが確認できた。

(V9) 無線CH変更試験

- 目的
通信の妨害や混線を防ぐため、無線通信モジュールのチャンネルを変更できることを確認する。
- 試験内容
本ミッションでCanSatに搭載する無線通信モジュールとしてLoRaを使用している。そこで、LoRaのチャンネルが変更可能であることを確認する。本試験では、TeraTerm上でLoRaのチャンネルを変更し、同じチャンネル同士のLoRaはつながり、違うチャンネル同士のLoRaはつながらないことを確認する。
- 結果
試験の動画を以下の URL に示す。
URL (1 回目) : https://youtu.be/FYYu8QZRR_M
URL (2 回目) : https://youtu.be/zPDDBU7EN_I

動画より,LoRa のチャンネルが変更可能であることが確認できた.さらに,同じチャンネル同士の LoRa は通信できるが,違うチャンネル同士の LoRa は通信できないことが確認できた。
- 考察
通信の妨害や混線を防ぐため,無線通信モジュールのチャンネルを変更できることが確認できた。

(V10) 通信距離試験

- 目的
ロスト対策のため、CanSatと地上局 (PC) の通信できる最大距離を測定する。
- 試験内容
地上局 (PC) とCanSatそれぞれに無線通信モジュール (LoRa) を接続し、通信を行う。その後、CanSatを持って多摩川沿いを徒歩で移動し、地上局からCanSatを離していく。そして、地上局の設置地点と通信が途切れる直前の地点間の距離を算出する。
- 結果
結果を図7.10に示す。左上の点が地上局の接地地点、右下の点が通信が途切れる直前の点を表している。2点間のGPS座標をもとにGoogle mapの距離計測機能を用いて算出したところ、4.9 km の通信が可能であることがわかった。



図6.10 通信距離試験

- 考察
ARLISS大会において十分な通信可能距離であることを確認した。

(V11) 地上局記録試験

- 目的
CanSatが地上局へ情報を正しく伝達できることを確認する。GPSセンサからは時刻・緯度・経度が取得され、その情報を基地局に送ることができるようになっており、この一連の情報の伝達が正しくできているかを確認するための試験である。
- 試験内容
CanSatが自身のGPSセンサの値を地上局へ正しく送信できているか確認する。結果の妥当性については、試験項目(V13)のGPSセンサ精度試験で記述する。一連の試験を合計3回行った。
- 結果
試験は計3回行った。それぞれの試験時の様子の動画を、以下のURLに示す。

試験1回目URL:<https://youtu.be/Q91XMO-0YIo>
試験2回目URL:https://youtu.be/2KNp9B8_zLA
試験3回目URL: <https://youtu.be/VS5QB7t7s8A>

まず、1回目の試験の動画において、0:00~0:41で実験装置の各構成を説明している。その後、1:03からGPSセンサの値について説明しており、CanSatから地上局にGPSセンサの値として緯度・経度が表示されていることが確認できる。
さらに、2回目の試験の動画においては、0:00~0:25で実験装置の各構成を説明している。その後、2:11からGPSセンサの値について説明しており、CanSatから地上局にGPSセンサの値として緯度・経度が表示されていることが確認できる。
最後に、3回目の試験の動画において、0:00~0:35で実験装置の各構成を説明している。その後、2:16からGPSセンサの値について説明しており、CanSatから地上局にGPSセンサの値として緯度・経度が表示されていることが確認できる。
- 考察
合計3回の試験を行い、その全てにおいて、機体でGPSセンサを起動し、値を取得したうえで地上局に正しくその情報を伝達できていることを確認できた。

(V12) SDカード記録試験

- 目的
制御履歴からミッションの達成度合いが評価できることを確認する。具体的には、サクセスクリテリアの基準を満たしたか判定できるか確認する。
- 試験内容
Cansatに搭載されているセンサが取得した値をSDカードに保存する。その際、センサの値が正しくSDカードに保存されていることを確認する。また、制御履歴（学習 / 経路計画 / 走行履歴）として保存している画像やnpzファイルが正しくフォルダ内に保存されていることを確認する。

【SDカードに保存される内容】

- センサ取得履歴 (control_result.txt)
 - 下図のように保存される。カメラに関しては、カメラ非起動時は0, 起動時はCaptured!と表示させている。

ステート	GPS取得値 (時刻, 緯度・経度)	加速度
203672, state: 6, Time: 12:55:50, Lat: 35.55433167, Lng: 139.65552167, ax: -0.0622222222222222, ay: -0.5955555555555555, az: 0.5433333333333333		
q: 195.625, ±V: 80, 1V: 60, Camera: captured!		
姿勢角	モータ	カメラ

図6.12 センサ取得履歴

- 学習 / 経路計画 / 走行履歴 (camera_result)
 - first_spm
 - firstimg0.img
 - 第1段階の学習を行うための元画像を保存。
 - processed
 - 元画像に対して特徴処理を行った結果出力される画像を保存。
 - evaluate
 - 第2段階のスパースモデリングを行うためのnpzを作成するために撮影した画像を保存。
 - second_spm
 - 第2段階のスパースモデリングを行うための学習用npzファイルを保存。
 - planning
 - planning_pic
 - 学習済みモデルを用いて経路計画&走行する際に、経路計画するために撮影した画像を保存。
 - planning_npz
 - 学習済みモデルを用いて経路計画&走行する際に、第1段階のスパースモデリングにより逐一作成されるnpzファイルを保存。

- 結果
試験の動画を以下のURLに示す。
URL : <https://youtu.be/i9KblLmoVzw>
(V23) End-toEnd試験の動画, 該当箇所 : 5:30~7:12)
動画より, control_result.txtにセンサの値が保存されていることが確認できた。また, camera_resultフォルダに学習 / 経路計画 / 走行履歴が保存されていることが確認できた。

また, 本試験においてSDカードに保存された生データは以下のGoogle Driveを参照されたい。
<https://drive.google.com/drive/folders/1kVsXDjSwLKLDpyBzv2Mr4vigTzDrQMhm?usp=sharing>
- 結論
SDカードにデータが正しく保存できることが確認できた。

(V13) GPSセンサ精度試験

- 目的
GPSセンサから取得される値の精度を確認する。
- 試験内容
GPSセンサとスマートフォンから取得される時刻, さらにGPSセンサとGoogleマップから取得される緯度経度の値をそれぞれ比較し, 一致していることを確認する。ここで, Googlemapの緯度経度についてはスマートフォンのGPSセンサを用いずに, 地図上で周りの建物の位置関係から選択し取得している。
- 結果
試験時の様子の動画を以下のURLに示す。(該当箇所1回目, 2回目2:30~3:11)
GPSから取得している時刻と, PCの表示している時刻が一致していることが確認できる
また, 動画から動画中時点でのGPSから取得されて緯度経度が, Googleマップ上の緯度経度を四捨五入した場合の値と小数点以下第3位まで一致していることが確認できる。また, この誤差は以下に示すサイトで実際の距離に換算したところ9.03mと計算され(図7.11参照), 仕様を満たしていることが確認できる。

URL (1回目) : https://www.youtube.com/watch?v=2KNp9B8_zLA

URL (2回目) : <https://www.youtube.com/watch?v=VS5QB7t7s8A>

計算に使用したサイト : <https://keisan.casio.jp/exec/system/1257670779>

Aの経度 緯度 [Google Map](#)

Bの経度 緯度 [Google Map](#)

[地球半径 r km]

	計算結果	単位	
ABの距離d	0.02604	km	
方位角φ	220.124153	°	220°7'26.95"

図6.13.1 GPS誤差の距離換算結果(1回目)

Aの経度 緯度 [Google Map](#)

Bの経度 緯度 [Google Map](#)

[地球半径 r km]

[計 算](#) [クリア](#) [保存・呼出](#) [印刷](#)

	計算結果	単位	
ABの距離d	0.00903	km	
方位角φ	109.440527	°	109°26'25.9"

図6.13.2 GPS誤差の距離換算結果(2回目)

- 考察
CanSat機体の実用に支障ない精度で計測が可能であることが確認できた。

(V14) 9軸センサ試験

- 目的
加速度センサを揺らした際に取得された値が変動していることを確認し、加速度センサがCanSatの着地判定に利用できることを確認する。また、コンパスセンサが正しい方向を示すか確認し、ゴール方向を検知できるか確認する。
- 試験内容
本試験では加速度センサが設置された機体を揺らし、加速度センサから取れた値が変動していることを確認する。
- 結果
試験時の様子の動画を、以下のURLに示す。(該当箇所1回目1:15~2:15, 2回目1:35 ~ 2:30)加速度センサによって得られる値の単位はm/s²となっている。また本試験では重力加速度を除いた物体のみの加速度の値を加速度センサから得ている。このような重力加速度を除く処理は今回利用した加速度センサであるBno055内で行われている。
動画から加速度センサを揺らした際に、加速度センサから得られた値が最初の値から変動していることが確認できる。

URL (1回目) : https://www.youtube.com/watch?v=2KNp9B8_zLA
URL (2回目) : <https://www.youtube.com/watch?v=VS5QB7t7s8A>
- 考察
動画より、加速度センサを揺らした際にセンサの値が変動しており、CanSatの着地判定に利用できることを確認できた。

(V15) センサ統合試験

- 目的
GPSセンサ, 加速度センサ, 無線通信モジュール, モータを統合したときに正しく動作することを確認する.
- 試験内容
CanSatに搭載している全てのセンサの値を0.5秒おきに取得し, 画面出力にて確認する.これを2回繰り返す.
- 結果
試験時の様子の動画を,以下のURLに示す.本動画全編を通じて, 各種センサの同時動作を確認しており, 動画からGPSセンサ, 加速度センサ, 無線通信モジュール, モータを統合したときに正しく動作することが確認できる.
URL (1回目) : https://www.youtube.com/watch?v=2KNp9B8_zLA
URL (2回目) : <https://www.youtube.com/watch?v=VS5QB7t7s8A>
- 考察
2回いずれにおいてもGPSセンサ, 加速度センサ, 無線通信モジュール, モータを統合したときに正しく動作することを確認できた.

(V16) 電池試験

- 目的
ミッション遂行に十分な電源を有しているか確認する.
- 試験内容
CanSatの動作時間を確認する. 最初の30分を投下までの準備状態としてキャリアに収納された状態を模擬し, その後実際のミッションと同様にモータ出力とセンサ値の取得を行い, 合計の動作可能時間を調べる.
- 結果
試験の動画を以下のURLに示す. モーターの電源は65分 (モータ出力開始から35分) 持続した. また, センサ・マイコン用の電源については2時間以上持続することが確認できた.

URL : <https://www.youtube.com/watch?v=hdU3gdHCSkU>
- 考察
CanSat は約 1 時間動作しており, ミッション遂行に十分な電源を有することが確認できた. また, マイコン用電源については2時間以上持続し, 機体の搜索に十分な動作時間であることを確認した.

(V17) パラシュート分離試験

- 目的
焼き切りにより機体からパラシュートおよびシートを分離できることを確認する。
- 試験内容
焼き切りを行うことにより，横転および反転状態の機体からパラシュートおよびシートを分離できることを確認する。
- 結果
試験時の様子を以下のURLに示す。
横転
URL（1回目）：<https://youtu.be/yM63e1L9oI0>
URL（2回目）：<https://youtu.be/kvvGjqmeiUs>

反転
URL（1回目）：<https://www.youtube.com/watch?v=0dCSTGRGKkI>
URL（2回目）：<https://www.youtube.com/watch?v=CHx9WiVSSpY>
- 考察
焼き切りによってCansatからパラシュートおよびシートを分離できることを確認できた。

(V18) 姿勢変更・保持試験

- 目的
着地したときのCanSatの姿勢に関係なく，回路基板が機体上部にくるよう，CanSatが姿勢を変更できることを確認する。
- 試験内容
CanSatを反転及び横転させる．その状態から回路基板が機体上部にくるよう，CanSatが姿勢を変更できることを確認する。
- 結果
試験時の様子を以下のURLに示す．動画より，焼き切り後にタイヤを回転させることで機体の姿勢状態にかかわらず回路基板が機体上部にくるよう，CanSatが姿勢を変更した。
横転
URL（1回目）：<https://youtu.be/yM63e1L9oI0>
URL（2回目）：<https://youtu.be/kvvGjqmeiUs>

反転
URL（1回目）：<https://www.youtube.com/watch?v=0dCSTGRGKkI>
URL（2回目）：<https://www.youtube.com/watch?v=CHx9WiVSSpY>
- 考察
着地後の姿勢にかかわらず，回路基板が機体上部にくるよう，CanSatが姿勢を変更できることが確認できた。

(V19) 走破性能試験

- 目的
CanSatが走行するために必要な走破性能を有するか確認する。
- 試験内容
CanSatが様々な高さの段差に対し、乗り越えることができるかについて調べる。
また、CanSatを草地で走行させ、タイヤが草でスリップしないこと及び長い草に引っかからないことを確認する。
- 結果
試験時の様子を以下に示す。

段差乗り越え
5 cm 成功 : <https://youtu.be/XpQuFg7CHro>
6 cm 成功 : <https://youtu.be/BKgA8QXLOEQ>
8 cm 失敗 : <https://youtu.be/unEALUBSzT8>

草地での走行
1回目 : <https://youtu.be/-9LoAIItMEVw>
2回目 : https://youtu.be/P2bn5A_PHkg
- 考察
段差、草地での走行ともに問題なく、ミッションに必要な走破性能を有することを確認することができた。

(V20) スタック検知試験

- 目的
CanSatがスタックを検知できるか確認する。
- 試験内容
CanSatを故意にスタックさせ、加速度センサ情報によりスタックを検知できるか確認する。
- 結果
試験時の様子を以下に示す。
1回目 : <https://youtu.be/luaFDlG93p0>
2回目 : <https://youtu.be/luaFDlG93p0>
3回目 : <https://youtu.be/5GXoDsCNexw>

スタックを検知することができ、また誤検知はなかった。
- 考察
加速度センサを用いてスタックを検知できることを確認した。

(V21) スパースモデル獲得試験

- 目的
内部の処理が正しく行われ、スパースモデルを獲得できているかを確認する。
- 試験内容
元画像を一枚撮影し、それらに10種類の特徴処理を行う。次に、それぞれの特徴処理（RGB, r, g, b, rb, rg, gb, edge, edge emphasis, HSV）において第1段階のスパースモデリングを行い辞書を作成する。次に、走行しながら8枚撮影し、辞書を用いて画像の再構成を行う。それらの誤差をヒストグラムとして考え、ヒストグラムから6種類の特徴量（平均、分散、中央値、最頻値、歪度、尖度）を抽出する。これらの特徴量を用いて第2段階のスパースモデリングを行うことで、重要な特徴量のみが抽出されたモデルが獲得できることを確認する。また、モデルを用いて危険度のマップが作成されることを確認する。
- 結果
試験の動画を以下のURLに示す。
URL（1回目）：<https://youtu.be/Lf1Bzs28fxc>
URL（2回目）：https://youtu.be/FxKA_VT_LOA
動画より、元々1ウィンドウにあった60個の特徴量から、限定された特徴量のみが抽出されたスパースモデルを獲得できたことが確認できる。また、スパースモデルを用いて6ウィンドウで構成された危険度マップが作成できたことが確認できる。
- 結論
スパースモデルの獲得が正常に行われることが確認できた。

(V22) 走行試験

- 目的
CanSatがGPS情報をもとにゴール方向へ自律で走行できることを確認する。その際、適切な経路選択を行っているかも確認する。
- 試験内容
CanSatが事前に与えたGPS情報をもとにゴール方向へ自律で走行できることを確認する。その際、適切な経路選択を行っているかも確認する。
- 結果
試験時の様子の動画を以下のURLに示す。
URL（1回目）：<https://youtu.be/aOxyN0eDg1Y>
URL（2回目）：<https://youtu.be/XEKMVIQXGjc>
動画より、プログラムが開始されるとCanSatはGPS情報を取得し、着地判定が行われた後取得したGPS情報をもとに通信開始地点付近まで自律で走行できることが確認できた。
- 考察
CanSatが事前に与えられたGPS情報をもとに通信開始地点付近まで自律で走行できることが確認できた。

(V23) End-to-end試験

- 目的
CanSatが全てのミッションシーケンスを自律的に遂行できることを確認する。
- 試験内容
投下を模擬した落下からゴール地点までの走行まで，ミッションシーケンスを自律的に遂行できることを確認する。
- 結果
試験の動画を以下のURLに示す。
URL（1回目）：<https://youtu.be/gfw0-T4AgOc>
URL（2回目）：<https://youtu.be/i9KblLmoVzw>

また，各ステートの試験内容及び結果を以下に示す。

表6.23 End-to-end試験結果の詳細

	ステート	試験内容	結果	該当箇所
1回目	準備	地上局との通信開始	成功	0:00~1:20
		GPSの取得情報	成功	
		収納検知により通信停止	成功	
		キャリアへ搭載	成功	
	放出・降下	放出検知により通信再開	成功	1:20~1:50
	着地	着地検知による パラシュート分離&離脱	成功	1:50~2:01
	第1段階 スパースモデリング	スパースモデリングによる 特徴量の抽出	成功	2:01~2:40
	第2段階 スパースモデリング	スパースモデリングによる 特徴量の限定	成功	2:40~2:46
2回目	経路計画&走行	獲得したスパースモデルを用いた経路計画&走行	成功	2:46~3:10
	準備	地上局との通信開始	成功	0:00~2:38
		GPSの取得情報	成功	
		収納検知により通信停止	成功	
		キャリアへ搭載	成功	
	放出・降下	放出検知により通信再開	成功	2:38~3:05

	着地	着地検知による パラシュート分離&離脱	成功	3:05~3:25
	第1段階 スパースモデリン グ	スパースモデリングによる 特徴量の抽出	成功	3:25~3:59
	第2段階 スパースモデリン グ	スパースモデリングによる 特徴量の限定	成功	3:59~4:06
	経路計画&走行	獲得したスパースモデルを 用いた経路計画&走行	成功	4:06~4:20

動画より、全ステートにおいて試験内容が行えていることが確認できた。

- 考察

ミッション全体を停止することなく実行できることが確認できたが、経路計画の結果はあまり高精度になっているとは言えない。何故かという、CanSatが回転しながら動作しており、目標方向になかなか進んでいないからである。ただし、これは学習時に砂地を走行した際に取得したnpzファイルを一部用いていることが原因だと考えられる。今回試験を行ったのはコンクリート上であるため、砂地と比較すると環境が大きく異なり、一帯が全て危険と判断されてしまったと考えられる。そのため、今後は大会に向けより砂地での実験検証を行い、コンクリート上ではなく砂地上だとより高精度の経路計画ができるのかどうか検討を重ねていく。

(V24) 障害物回避試験

- 目的

スパースモデリングにより障害物を検知し、回避したことを確認する

- 試験内容

- 事前学習

- 試験環境について250枚の事前学習用画像を撮影
- 辞書による画像再構成及び誤差ヒストグラムの解析
- 解析データをnpzファイルとして保存

- 障害物回避

- 学習済機体を事前学習では用いなかった新たな障害物の前に配置
- 障害物に向けて機体を発進させ、障害物を検知するまでは直進することを確認
- 障害物を検知した時点で、衝突を回避する方向へ進路を変更することを確認

- 試験場所

学内運動場（砂地）

- 結果

以下の動画に実験の様子及び結果を示す。

全体説明・事前学習（非スタック）の様子：<https://youtu.be/79O0NQhHhkI>

事前学習（スタック）の様子：<https://youtu.be/xVPxQ7FLUE8>

障害物回避走行 1回目：https://youtu.be/BGW_nlCK2yU

障害物回避走行 2回目：<https://youtu.be/sIheoky7vhQ>

障害物回避走行 3回目：<https://youtu.be/dxr1KAVhOnc>

障害物回避走行 4回目：<https://youtu.be/3LKAIUOLH-w>

上記4回の試行いずれにおいても、事前学習にはほぼ用いなかった未知の障害物を検知・回避することに成功した。

- 考察

スパースモデリングにより獲得されたモデルを用いて、画像の各部分において危険度を算出することができた。そして、算出された危険性の高い箇所を回避することで、実際の障害物を回避できることを複数回確認できたため、本試験の目的は達成された。

しかし、ARLISS本番においては、本試験で扱ったような障害物だけではなく、車両走行により生じる地面の轍なども障害物になることが予想されている。このような環境を用意することができなかったため本実験においては障害物を配置することとしたが、状況によっては轍ができやすい河川敷でデータを取得すること、インターネット等の資料画像から土壌の画像を抽出し事前学習にかけること、ARLISS現地到着後に事前学習を行うことなどを検討する必要がある。いずれにせよ学習枚数は高々250枚であり10分以内に学習が完了する。従来の機械学習に比べ簡便に学習モデルを獲得でき、更に障害物回避まで行えるということが本実験で確認できたことから、スパースモデリングを用いて経路計画を行う有用性が立証されたと言える。

第7章 ガントチャート（工程管理）

ガントチャートは休日や大学の試験期間を考慮し設定した。

ソフト班のガントチャートは以下のリンクに示した。

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1C_1jUWo3PLpPjGpk8Lxsy-iNEe2i63xG/edit?usp=sharing&ouid=108776090185371206503&rtpof=true&sd=true

ハード班のガントチャートは以下のリンクに示した。

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1walXvFJme9ZO64s9SVMCn-3hZjqIZIhx/edit?usp=sharing&ouid=108776090185371206503&rtpof=true&sd=true>

第8章 責任教員による自己安全審査結果のまとめ

安全基準審査

要求 番号	自己審査項目	自己審査 結果	責任教員コメント（特筆 すべき事項があれば）
	ARLISS2022安全基準		
S1	投下する機体の質量が基準を満たしている	<input checked="" type="checkbox"/>	
S2	容積がキャリア基準を満たしている	<input checked="" type="checkbox"/>	
S3	打ち上げ時の準静的荷重によって、安全基準を充足するための機能が損なわれていないことが試験で確認できている	<input checked="" type="checkbox"/>	
S4	打ち上げ時の振動荷重によって、安全基準を充足するための機能が損なわれていないことが試験で確認できている	<input checked="" type="checkbox"/>	
S5	ロケット分離時（パラシュート開傘時）の衝撃荷重によって、安全基準を充足するための機能が損なわれていないことが試験で確認できている	<input checked="" type="checkbox"/>	
S6	地表近くで危険な速度で落下させないための減速機構を有し、その性能が試験で確認できている	<input checked="" type="checkbox"/>	
S7	ロストへの対策を実施しており、有効性が試験で確認できている （対策例：位置情報送信，ビーコン，蛍光カラーペイント等）	<input checked="" type="checkbox"/>	
S8	打ち上げ時の無線機の電源OFFの規定を遵守できることが確認できている（FCC認証かつ100mW以下の機器はOFFしなくて良い。また，スマートフォンを用いる場合はFCC認証かつソフトウェアまたはハードウェアスイッチでoffにできること）	<input checked="" type="checkbox"/>	
S9	無線のチャンネル調整に応じる意思があり，また実際に調整ができることを確認できている	<input checked="" type="checkbox"/>	
S10	ロケットへの装填からミッションの開始，打ち上げ後の回収までを模擬したEnd-to-end試験を実施できている，今後，大幅な設計変更はない	<input checked="" type="checkbox"/>	
カムバックコンペティションに参加する場合は以下の項目を必ず満たしてください			

M3	ミッション時に人間が介在しない自律制御を実施することを確認出来ている	<input checked="" type="checkbox"/>	
M4	ミッション後、規定された制御履歴レポートを運営及び審査員へ提出しログ・取得したデータについて説明が可能な状態である	<input checked="" type="checkbox"/>	

責任教員所感

コロナ禍で活動制限がある中で例年以上に人数制限、活動時間など安全管理をしながら活動していました。そのような中でもミッションとして過去の活動に捉われず、独自のアイデアを含む学術的にも価値が高い技術提案とミッション提案ができたのではないかと考えています。コロナ感染者の数が増大している中ではありますが、開発した成果を現場で実証する経験を積んでほしいと考えております。

第9章 大会結果報告

1. 目的

チーム開発を通じて技術力と協調性を上げると共に、大会でミッションを成功させ成果を残すことである。

2. 結果・考察

【サクセスクライテリア】

ミニмумサクセス	画像を1枚撮影し、その画像からエッジ画像、RGBからRedなど1,2色を抽出した画像といった様々な特徴画像を取得する。
ミドルサクセス	ローバーは複数の画像を撮影しながら切り替え点まで走行する。撮影した画像に対し特徴画像を取得し、ミニмумサクセスで得た特徴画像を基準として比較することにより、基準との差が小さい経路の選択、及び重要な特徴画像の種類同定を可能とするスパースモデルの獲得を行う。
フルサクセス	経路選択を行いながらゴール地点へ向かって走行する。適切な経路選択ができていることを確認するため、走行中に人間が機体前方に設置した障害物を回避する。
アドバンスドサクセス	獲得したスパースモデルにより、フルサクセスにおいてなぜ障害物と判断するに至ったかを説明する。また、10 m以内にゴールする。

結果を簡潔に示す。

	ミニмумサクセス	ミドルサクセス	フルサクセス	アドバンスドサクセス
内容	特徴画像の取得	スパースモデルの獲得	ゴールへ向けて走行	ゴール10m以内
投下1回目	×	×	×	×
投下2回目	△	○	△	×

詳細な結果を以下に示す。

投下1回目は、着陸衝撃によりマイコン用電源が回路から外れて失敗した。失敗の原因は、マイコン用電源と回路の接触不良だった。投下1回目の失敗を受け、投下2回目はマイコン用電源と回路をコネクタを用いずはんだづけで直接接続した。これにより接触不良によるミッション失敗を防止した。

上記を対策を経て、投下2回目では電源の接触不良問題は解消され、フルサクセスまで概ね達成できた。しかし、一番最初に撮影した基準画像がカメラの不具合で白抜きの画像となってしまったためミニмумサクセスを△としている。ただし、真っ白キスタック可能性の

低い地面であったため、ミッションの遂行に大きな影響は出なかった。また、加速度センサが途中からバグり進行方向が大きく曲がってしまったこと、モータ用電源の容量が十分でなかったことが原因でアドバンストサクセスを達成する前にCanSatが停止した。

取得データ

投下1回目は失敗に終わったため、以下に示す結果は全て投下2回目の結果である。

【走行経路とゴール地点までの距離】

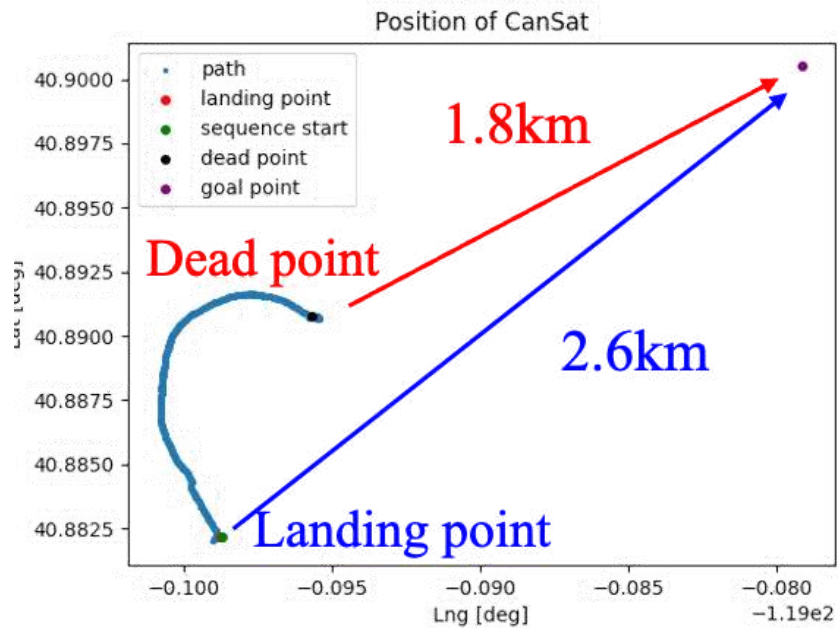


図9.2.1 走行経路とゴール地点までの距離

【加速度】

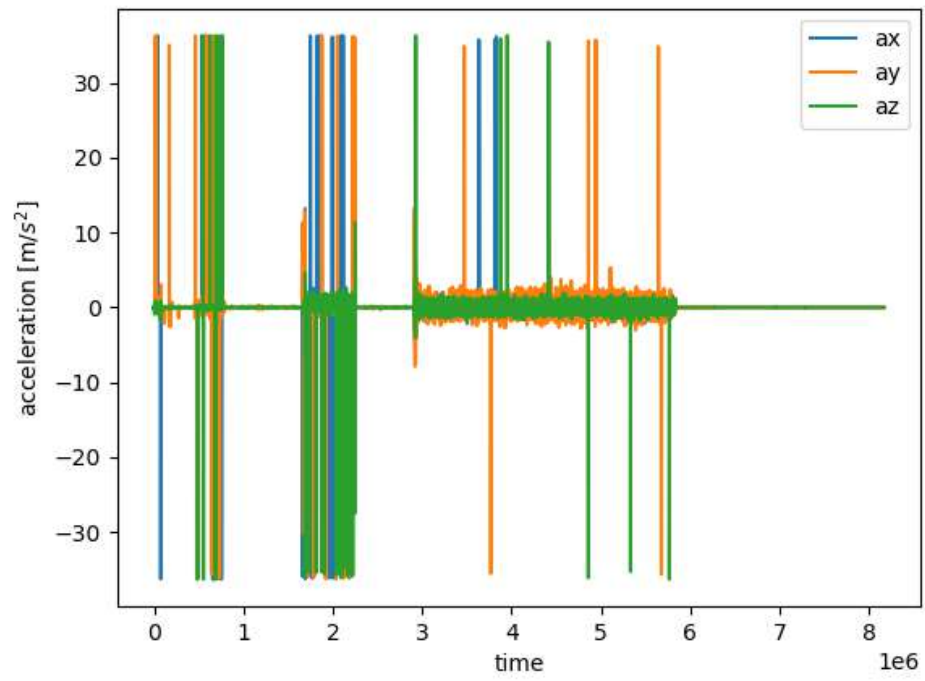


図9.2.2 加速度

【姿勢角】

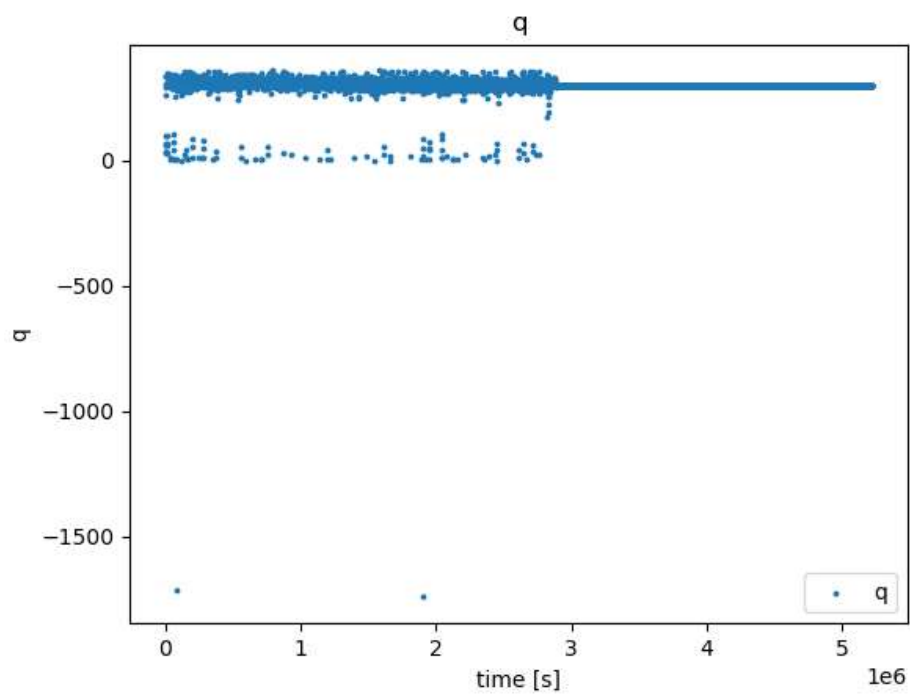


図9.2.3 姿勢角

【獲得したスパースモデル（選択された特徴量）】

- ○は選択された特徴量，×は選択されなかった特徴量を示す．

表 9.2.1 スパースモデリングによって選択された特徴量

	エッジ	RGB VI	IOR	HSV	b	g	黄	エメ ラルド	紫	r
中央値	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×
平均値	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×
最頻値	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×
分散	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
尖度	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
歪度	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

【算出した危険度】

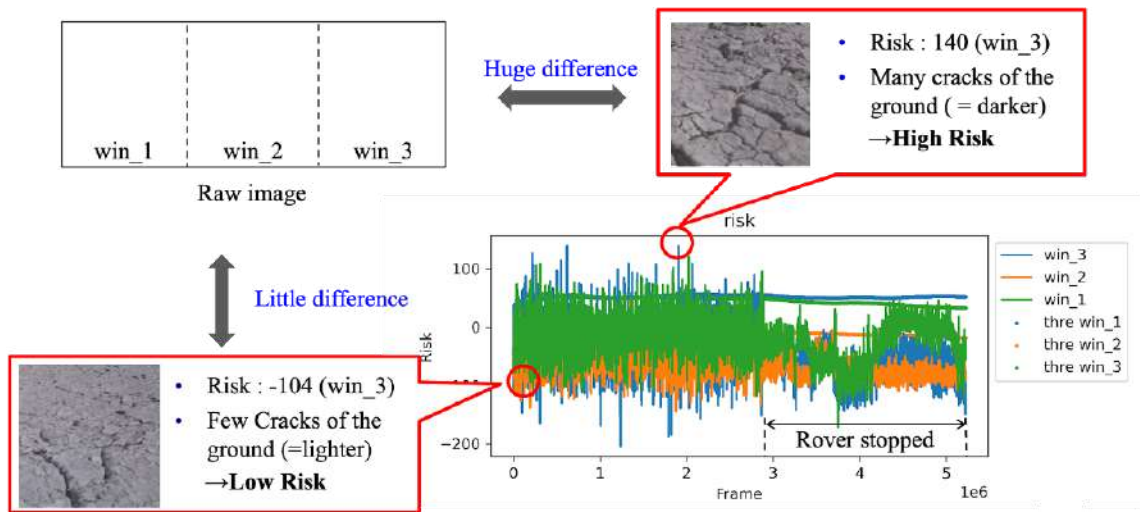


図9.2.4 ミッション遂行により算出した危険度の履歴

第10章 まとめ




- 工夫・努力した点（課題含む）
ソフト班・回路班

【マネジメント関連資料】

- RAM（赤ハイライトは開発タスク、青ハイライトは試験タスク）

タスク	高橋 PM	福井 ソフト 班長・ 回路 班長	藤井 ソフト	井上 ソフト	林出 ソフト	村山 ハード・ 回路
アルゴリズム 検討	I	R	C	C	C	
放出・着地 アルゴリズム検討	I	R				
GPSセンサ開発	I	R	R			
9軸センサ開発	I	R	R			
LED開発	I	R	R			
通信モジュール 選定&開発	I	R			C	
モータ開発	I	R	C			
パラシュート分離 アルゴリズム開発	I	R				
スパースモデリン グ第一段階開発	I	R		C		
スパースモデリン グ第二段階開発	I	R			C	
経路計画 アルゴリズム開発	I	R	C			
ミッション関数 開発	I	R	C	C	C	
概念設計 (BBM作成)	I	R				C
回路図作成	I	R				C
PCBレイアウト 作成	I	R				C

回路修正・受注	I	R				C
通信距離試験	I	R			C	
地上局記録試験	I	R				C
無線ON・OFF 試験	I	R				
GPS精度試験	I	R				C
9軸センサ試験	I	R				C
無線チャンネル 変更試験	I	R				
センサ統合試験	I	R				C
電池試験	I	R			C	C
パラシュート 分離試験	I	R	C	C	C	
姿勢変更・維持 試験	I	R	C	C	C	
SDカード記録 試験	I	R				
スパースモデル 獲得試験	I	R				
走行試験	I	R	C	C	C	
スタック検知 試験	I	R	C	C	C	
障害物回避試験	I	R	C	C	C	
EtoE試験	I	R	C	C	C	C

- ソフト班ガントチャート：  ソフト・回路班ガントチャート.xlsx
- ソフト班DSM：  ソフト・回路班DSM
- ソフト班PERT・クリティカルパス：  ソフト・回路班PERT・クリティカルパス.pptx

【役割/タスク分担の振り返り・反省】

- RAM
 - ガントチャートの段階では全員が試験を経験できるよう満遍なく割り振りを行っていたが、各人の都合（研究やバイト、試験など）やメンバーの新型コロナウイルス感染の影響で試験に全員が関わることができなくなってしまっ

た。特に今年は審査書の提出までかなり時間が逼迫しており、集中的に試験をこなすこととなってしまったことが原因と考えられる。来年以降の活動では全メンバーが満遍なく試験に関われるよう時間に余裕を持った活動が必要であると感じた。

- RAMだけを見ると、開発タスクに関して偏りがあるように感じた。ただし、本ミッションの内容的にスパースモデリング第1,2段階が最も重要かつ難しいポイントであったため、タスク割り当て的には問題なかったと考えられる。上記のことを踏まえると、開発タスクの割り当てに関してはメンバーそれぞれに明確に担当を割り振り、責任感を持って開発を進めることができたのではないかと感じた。
- ガントチャート
 - 良かった点
 - RAMを用いた振り返りでも述べたが、メンバーへの割り振り方は比較的上手く行えたのではないかと感じた。
 - 悪かった点
 - スケジュールがギリギリになってしまった。今後はスケジュール面での改善が必要であると感じた。
- DSM
 - 回路設計は全試験に関わる非常に重要な部分であることが分かった。そのため、完成した回路を用いて機体完成前に試験を繰り返すことで予め問題点を洗い出すべきだった。（本番ではモータの磁気の影響により9軸センサの値がバグったと考えられた。事前に何度も検証すべきだった。）
 - アルゴリズム検討の部分は全項目に関わる最も重要な部分だった。ミッションが高難易度だったこと、開発にかかる時間があまりなかったことが原因で、アルゴリズム検討と開発を同時並行で行った。この形はプロジェクト進行において一般的な方法かもしれないが、開発を進める前にもう少しアルゴリズム検討を深く行うべきだった。特に電池に関しては大会1ヶ月前に変更したりしたので、事前に深く検討を行うべきだった。前もってハード班の人を含め電池に関して議論していれば、電池の大きさ、重さに悩まされることはなかっただろうと感じた。
- PERT・クリティカルパス
 - ミッション関数の作成がミッション遂行のために最も重要だった。そして、ミッション関数の作成には全ての開発要素が含まれている必要があったため、ミッション関数作成に非常に苦労した。ミッション関数を作成するために、大きくパラ分離、センサ・回路開発、スパースモデリング開発と分割することで、同時並行に開発を進めることができた。しかし、結果的にクリティカルパスで遅れが生じてしまったため、全体としてのスケジュールが非常に厳しくなってしまった点は反省すべき点である。


● ハード班

タスク	高橋 PM	吉成 ハード 班長・ 会計	小西 ハード	進藤 ハード	村山 ハード・ 回路
概念設計(BBMモデル)	I	R	C	C	C
タイヤ素材選定	I	R	R		

バッテリー選定	I	R	C	C	C
紙ベースの構造設計	I	R	C	R	R
タイヤ設計	I	R	C	R	C
ハウジング設計	I	R	C	C	C
バッテリーケース設計	I	R	C	C	R
上下板設計	I	R	C	C	R
アセンブリによる安全 解析	I	R			
ハウジング製作	I	R	C	C	C
フランジ製作	I	R			
タイヤ製作（外部）	I	R	C	R	C
タイヤ製作（内部）	I	R	C	C	C
バッテリーケース製作	I	R	C	C	C
上下板製作	I	R			
焼き切り製作	I	R			R
パラシュート製作	I	R	R	R	C
部品の統合・機体の組 み立て	I	R	C	C	C
質量試験	I	R	C	C	C
機体の収納放出試験	I	R	C	C	C
準静的荷重試験	I	R	C	C	C
振動試験	I	R	C	C	C
分離衝撃試験	I	R	C	C	C
パラシュート投下試験	I	R	C	C	C
開傘衝撃試験	I	R	C	C	C

着地衝撃試験	I	R	C	C	C
走破性能に関する試験	I	R	C	C	C
End to End 試験	I	C	C	C	C
2機目製作	I	R	C	C	C

ハード班：  ハード班DSM

ハード班：  ハード班クリティカルパス

- 役割/タスク分担について
 - RAM(責任分担マトリクス)
 - 役割が曖昧なままタスクのスケジュールを組むとメンバーの参加状況や知識・経験に偏りが生まれ、作業の効率に支障が出てしまうため、役割の明確化は早い段階でメンバーと話し合いながら行うことが必要であると感じた。
 - DSM(Design Structure Matrix)
 - 質量試験は結果が設計のやり直しに影響するため、設計段階で慎重に質量の計算を行うべきであった。
 - PERT・クリティカルパス
 - 本体の設計や製作に遅れが生じた場合にパラシュート製作に取り組むことで、作業の停滞を減らすことができた。
- ガントチャートを見直して
 - タスクの詳細度合い
 - タスクは明確かつ詳細に記述されているが、問題が増えた際に新たなタスクが増え、その追加とスケジュールの更新ができなかった。設計の手戻りを考え、余裕を持ったスケジュールを設定すべきである。

2. 今後の展望

メンバーの半数は引退となるが、来年度もチームとしては宇宙的に意義のある新たなミッションに挑戦していく予定である。新規性に加え、実際の宇宙探査をより意識し、打ち上げ時に故障しない動作安定性を兼ね備えた機体の開発を、チーム一丸となって実現したい。