

# ARLISS2024 報告書

提出日：2024年10月19日

## チーム情報

CanSat チーム名	東京情報大学 斎藤研究室 Noah's Ark
CanSat チーム 代表者情報	柴田涼平 cansat.tuis@gmail.com , 070-4088-7125
UNISEC 団体名	東京情報大学 斎藤研究室
UNISEC 団体 学生代表	柴田涼平
責任教員	斎藤卓也 takuya@toki.waseda.jp, 043-236-4637
CanSat クラス	Open Class

メンバー

役割	氏名 (学年)
PM	柴田涼平 (B3)
プログラム班	佐藤彰真 (B3)
機体班	滝沢大知 (B3)

CanSat の製作目的・大会参加理由

○CanSat製作の目的

初心者でも製作が簡単で、理解しやすいCanSatを目指して開発を行った。

○大会参加の理由

入門用のCanSatが大会で問題なく動作し、ゴールまで到達できれば、より多くの人がCanSatに興味を持ち、参加しやすくなると思ったため。

## 目次

第1章	ミッション定義	4
第1.1節	ミッションステートメント	4
第1.2節	ミッション内容	4
第1.3節	ミッションアイテム	6
第1.4節	サクセスクライテリア	8
第2章	システム要求	9
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	9
第2.2節	ミッションを達成するためのシステム要求	10
第3章	システム試験項目の設定	11
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	11
第3.2節	ミッションを達成するためのシステム試験項目	12
第4章	システム仕様	13
第4.1節	機体概観	13
第4.2節	機体機構	14
第4.3節	搭載機器	16
第4.4節	アルゴリズム	20
第5章	システム試験	22
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	22
RV1	質量試験	22
RV2	機体の収納試験	24
RV3	GPS データダウンリンク試験	26
RV4	落下試験	31
RV5	準静的荷重試験	33
RV6	振動試験	35
RV7	分離衝撃試験	42
RV8	通信周波数 ch 変更試験	44
RV9	通信 ON/OFF 試験	46
RV10,CRV1	End to end 試験	47
CRV2	制御履歴レポート試験	49
第5.2節	ミッションを達成するためのシステム試験	53
第6章	工程管理	61
第7章	責任教員による確認	エラー! ブックマークが定義されていません。

## 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

私たちは下記のようなミッションステートメントを考案した。

理由については次の第1.2節に詳細を示す。

簡易且つ簡便な機能を有する入門用 CanSat にて高精度誘導を行う

### 第1.2節 ミッション内容

ミッションステートメントよりミッションの内容を(背景・目的・正常な動作の条件・提案手法・最終目標)の5つに分類し下記に示す。

#### 【背景】

・近年の CanSat は機械学習や画像認識を用いた高度な機体製作が増加  
→初学者にとって新規参入の難易度が上昇

#### 【目的】

・新規参入者向けの CanSat 基盤「Potentia」を提案  
→Potentia：ラテン語で「可能性」、CanSat の無限の可能性を示す

#### 【正常な動作の条件】

・CanSat とパラシュートの分離  
・障害物や轍を乗り越えて GPS 座標を基に指定地点やゴールへ向かう  
・指定地点からゴールに向かいゴール地点から 10m 以内に近づくこと  
→上記の3点を満たすことを正常な動作をしたと判断する

#### ※指定地点とは

- ・ゴール以外に何か所か指定した地点を自分たちで定義
- ・その指定した地点を巡る中で、正確なゴール地点を測定する

#### 【提案手法】

##### ◆プログラミング言語

- ・Python を採用

→理由：簡易な構文、可読性、豊富なライブラリ、機械学習の拡張機能

##### ◆機構部品

- ・3D プリンタで作成

→利点：複雑な形状もプリント可能、創造性と自由度の高いデザイン

##### ◆回路部品

- ・モータや GPS 等の部品は容易に入手可能で信頼性の高いものを選択
- 必要最低限の回路部品で構成し、拡張性を持たせる

◆機能

- ・初心者向けの入門用 CanSat を目指す
- GPS 情報とセンサ、簡易なアルゴリズムを用いたゴール検知を実装
- 複雑な機能（モータ制御や画像認識）は極力用いない

【最終目標】

◆オープンソース化

- ・設計図やソースコードを公開
- 初心者でも簡単に組み立てる環境を提供
- CanSat への参入ハードルを下げる

◆期待される効果

- ・Potentia を利用した CanSat 作成、改良、拡張の促進
- コミュニティの共有や協力で技術と知識の普及、新たなイノベーションの創出

◆多様性と進化

- ・利用者が自身のアイデアや改良を共有
- 様々なバージョンや派生型の誕生

◆最終目標

- ・多くの人々が楽しみながら学び、自分のアイデアを実現できる環境を創出
- 新しい参加者や研究者の参入、さらなる進歩とイノベーションの促進
- ・ミッションのイメージを Fig.1-2-1 に示す。

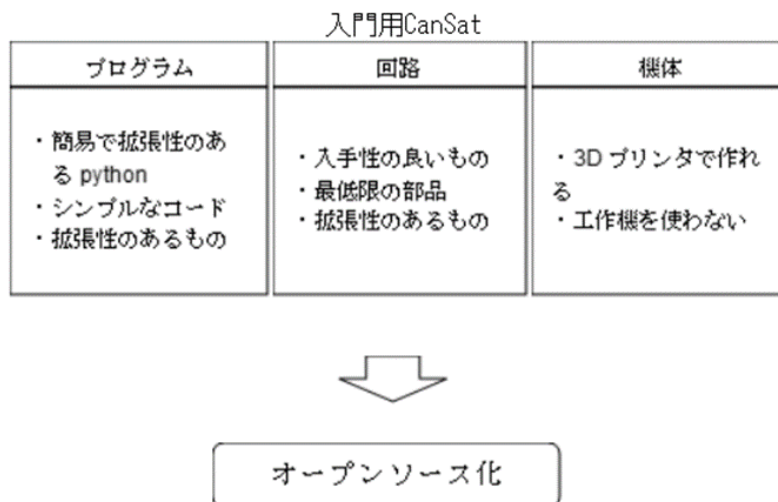


Fig.1-2-1 ミッションイメージ図

### 第 1.3 節 ミッションアイテム

ミッションアイテムとしてミッション目標とアウトプット目標を下記に示す。

ミッション目標	アウトプット目標
機体が目標へ向かって走行し 10m 以内に到着する	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.CanSat をキャリアに収納する.</li> <li>2.キャリアから CanSat 本体を放出する.</li> <li>3.CanSat のパラシュートを開き、落下速度を減速させる.</li> <li>4.機体が破損無しで着陸する.</li> <li>5.CanSat 保護ケースを CanSat 本体から切り離し、パラシュートと分離する.</li> <li>6.スタックになりそうな大きい草をタイヤで乗り越え、轍にスタックしたと判定した時、轍脱出動作を行い、轍からの脱出を行う.</li> <li>7.GPS 情報により指定した地点まで走行を行う。</li> <li>8.複数の指定地点からセンサやプログラムを用いてゴール地点を測定する。</li> <li>9.ゴールを検知した場合はその方向に検知した距離分走行して停止する。もし、すべての指定地点の範囲内を測定してもゴールが検知できなかった場合は、GPS 情報でゴールまでの距離が 1.5m 以内になるとゴール判定を行い、停止する.</li> </ol>
10m 以内のゴールを達成した場合 CanSat のオープンソース化をする	CanSat が損傷なく 10m 以内に到達した場合ホームページ等に作成方法や内部プログラムを公開する。そこで改良の共有を行う。

以下に Fig.1-3-1 としてミッションアイテム図を示す。

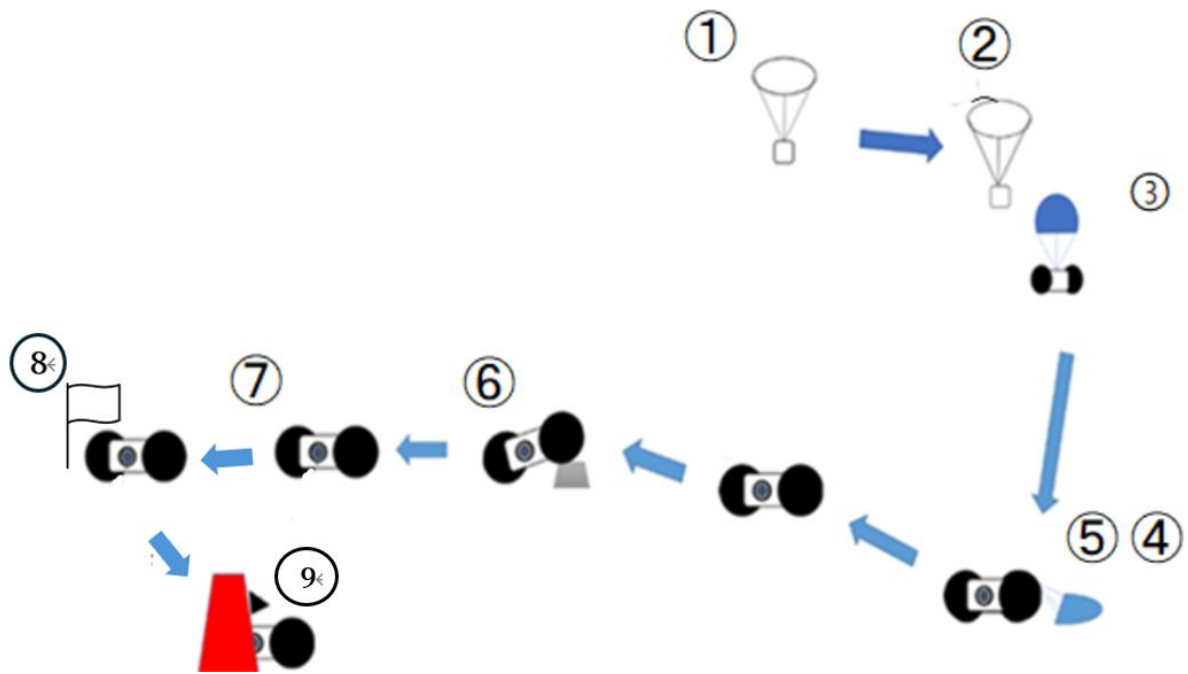


Fig.1-3-1 ミッションアイテム図

#### 第 1.4 節 サクセスクライテリア

サクセスクライテリアとして、私たちはミニマムサクセス、フルサクセス、エクストラサクセスの3つのサクセスに分類することにした。下記に内容と評価方法を示す。

	内容	評価方法
ミニマムサクセス	パラシュートから正常に分離し GPS を用いてゴールに向かい 5m 以上走行することができる。 キャリアから放出されたかを判定する気圧センサが正常に動作できる。	<ul style="list-style-type: none"><li>・ CanSat を回収する際に目視で確認</li><li>・ ログデータを SD カードから確認する</li><li>・ キャリアから放出されたことを気圧センサが判断し、焼き切りを開始する</li></ul>
フルサクセス	指定地点を巡り、そこからゴールに向かって走り出す。GPS の精度は約 10 メートルであるため、実際のゴール地点から 10 メートル以内に到達すればフルサクセスとする。	<ul style="list-style-type: none"><li>・ GPS データから確認する。</li><li>・ ゴール地点の位置情報から距離を測り確認する。</li><li>・ ログデータを SD カードから確認する。</li></ul>
エクストラサクセス	指定地点を巡り、ゴール位置を測定する。そこからゴールに向かって走り出す。GPS の測位誤差を克服し正確なゴール地点から 0m に到達する。	<ul style="list-style-type: none"><li>・ GPS データから確認する。</li><li>・ ゴール地点の位置情報から距離を測り確認する。</li><li>・ ログデータを SD カードから確認する。</li><li>・ ログデータからゴール地点を測定したことを確認する。</li></ul>



## 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

システム要求はミッションアイテムとサクセスクライテリア、ARLISS2024のレギュレーション ver2 より定義した。今年度から「全ての無線機はロケット搭載時に無線の送波を停止すること」が加わっているため、R5をシステム要求に加えている。システム要求の根拠については、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に示す。

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。

Comeback Competition のレギュレーションについての詳細は、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に示す。

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

## 第 2.2 節 ミッションを達成するためのシステム要求

第 1.3 節のミッションアイテムのアウトプット目標として「4.機体が破損無しで着陸する」を達成するために M1 を定義した。また、大会が行われるアメリカのブラックロック砂漠では、轍のような道が続くため、その道が走破できるのを確かめるために M2 を定義した。

番号	ミッションを達成するためのシステム要求
M1	着地時の衝撃荷重によって、ミッションを実現するための機能が損なわれていないことが試験で確認できている
M2	環境の悪い地面における走行性能を試験で確認できている

### 第3章 システム試験項目の設定

#### 第3.1節 レギュレーションを満たすためのシステム試験項目

システム試験項目について①~⑩の試験を設定した。

- ①RV1の質量試験はR1に対応して質量が1050g以下であることを確認する。
- ②RV2の機体の収納試験はR1,R8に対応している。質量に問題がなく、ロケットを損傷させる物質がないことを確認する。
- ③RV3のGPSデータダウンリンク試験は、R2に対応している。CanSatの位置を把握するために行う。通信には、interplan株式会社のim920slを使用する。
- ④RV4の落下試験は、R3,R9に対応している。規定の終端速度の範囲内であることと制御されることなく着地していることを確認する。
- ⑤⑥⑦RV5,6,7の準静的荷重試験、振動試験、分離衝撃試験はR4に対応している。それぞれの試験はCanSatがロケットでの打ち上げからパラシュートで落下し着地するまでに加わる衝撃を受けた場合でも問題なく動作することを確認する。
- ⑧RV8の通信周波数ch変更試験はR6に対応する。全ての無線機は要求に応じて周波数の変更できることを確認する。
- ⑨RV9の通信ON/OFF試験はR5に対応する。ロケット搭載時に通信を行わず、ロケットから放出された後に通信を開始することを確認する。
- ⑩RV10のEnd to end試験はR7に対応する。搭載後メンテナンスなしにミッションを維持することを確認する。

下記に実施予定日も含めた表を示す。

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	6月3日
RV2	機体の収納試験	R1、R8	6月4日
RV3	GPSデータダウンリンク試験	R2	6月28日
RV4	落下試験	R3、R9	(7月21日)
RV5	準静的荷重試験	R4	6月7日
RV6	振動試験	R4	(7月22日)

RV7	分離衝撃試験	R4	7月8日
RV8	通信周波数 ch 変更試験	R6	7月2日
RV9	通信 ON/OFF 試験	R5	(7月8日)
RV10	End to end 試験	R7	(7月23日)

Comeback Competition を満たすための試験を下記に示す。

①CRV1 の End to end 試験は CR1 に対応する。CanSat は完全に自律的に制御されなければならないことを確認する。

②CRV2 の制御履歴レポート作成試験は CR2 に対応する。レギュレーションで指定されたコントロールレコードであることを確認する。

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月23日
CRV2	制御履歴レポート作成試験	CR2	7月23日

### 第 3.2 節 ミッションを達成するためのシステム試験項目

ミッションを達成するための試験を下記に示す。

①MV1 の着地衝撃試験は M1 に対応する。機体が着地の衝撃に対して問題ないことを確認する。

② MV2 の走行性能確認試験は M2 に対応する。轍のような道でスタックしてしまっても問題なく走行できることを確認する。

番号	試験項目名	対応するシステム要求番号	実施予定日
MV1	着地衝撃試験	M1	(7月9日)
MV2	走行性能確認試験	M2	(7月9日)

## 第4章 システム仕様

### 第4.1節 機体概観

本目的のために設計した CanSat の諸元の実測値を Table4-1 にまとめる。

また、機体構造と測定方法についても下記に示す。

Table.4-1 CanSat の実測値

直径 [mm]	220
高さ [mm]	160
質量 [g]	747

※質量はパラシュートも含む Fig5-1-2 に合計質量の画像あり

#### ◆機体構造

- ・2 輪のタイヤの間に電子回路を設置

#### ◆測定方法

- ・全長：左右のタイヤの外側に物差しを置いて測定 (Fig.4-1-1)
- ・高さ：タイヤの上下間に物差しを置いて測定 (Fig.4-1-2)

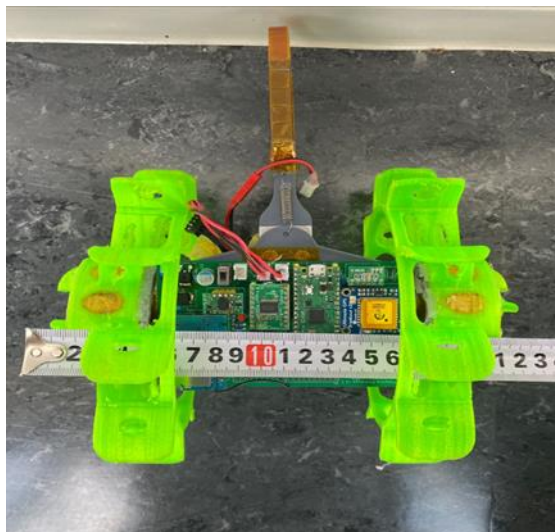


Fig.4-1-1 CanSat 全長

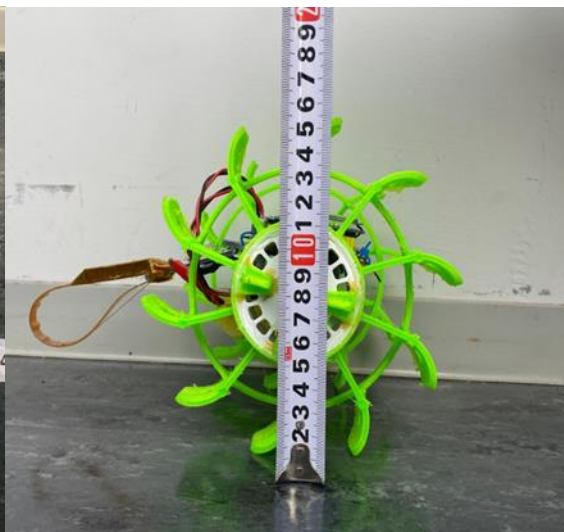


Fig.4-1-2 CanSat 高さ

## 第 4.2 節 機体機構

機体機構、パラシュート構造について下記に示す。

### 【機体】

#### ◆機体構造

- ・モータの裏側に電子回路を搭載

#### ◆タイヤ設計

- ・能代宇宙イベントの草地でスタックしないよう、草を乗り越えられる空洞設計のタイヤを使用

#### ◆図示

- ・ 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 を上から見た図を Fig.4-2-3 に示す
- ・ CanSat を下から見た図を Fig.4-2-4 に示す



Fig.4-2-1 CanSat を斜めから見た図



Fig.4-2-2 CanSat を正面から見た図



Fig.4-2-3 CanSat を上から見た図



Fig.4-2-4 CanSat を下から見た図

◆従来のタイヤ

- ・天然ゴムスポンジを使用
- ・着地衝撃に耐え、衝撃吸収を行う仕様

◆新しいタイヤ設計

- ・TPU 素材（熱可塑性ポリウレタン）を使用
- ・3D プリンタで複雑な造形が可能
- ・機体への衝撃緩和と草へのスタック防止を実現
- ・柔らかさによりキャリア収納サイズの小型化が可能

◆比較図

- ・NR スポンジ素材と TPU タイヤの柔らかさを比較した図を Fig.4-2-5 に示す

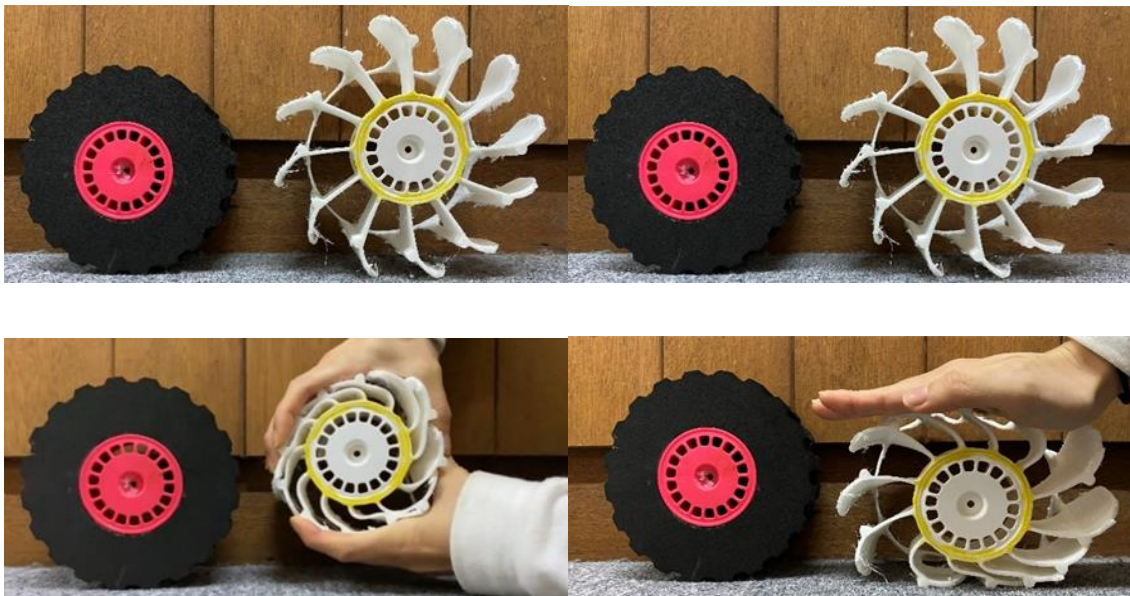


Fig.4-2-5 TPU タイヤ(左)の収納性,TPU タイヤ(右)の柔らかさ

【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。

パラシュートの画像を Fig.4-2-6 に示す。

#### ◆パラシュート生地

- ・ 衝撃に耐える破れにくい素材を使用
- ・ 固くて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い

#### ◆ひも 1

- ・ 曲がりにくい金属ワイヤーを使用して機体に巻き付くことを防止
- ・ 生地との接続部は 6 つのクランプカンで頑丈に圧着されている

#### ◆ひも 2

- ・ 曲がらない金属メジャーを使用して CanSat との絡まりを防止
- ・ 強い力を加えないと曲がらず、CanSat 上にパラシュートが落下せず遠ざかって着地できる構造

#### ◆CanSat ケース

- ・ 機体上へパラシュートが落下しても、開いたときに弾かれることで直接の絡まりを防止
- ・ CanSat とパラシュート紐の接続部と分離機構部分をケース越しに 2 か所設け、開傘衝撃が CanSat 分離部分へ加わらないようにし、衝撃緩和を行う

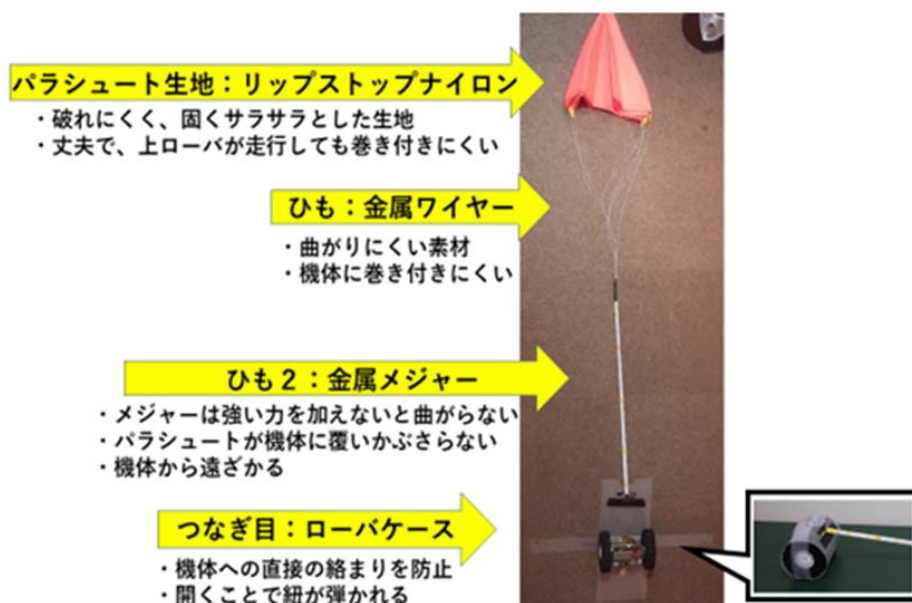


Fig.4-2-6 パラシュート

#### 第 4.3 節 搭載機器

CanSat に搭載する回路構造を以下に示す。



## 【マイコン, モータ】

- ・マイコン: Raspberry Pi Pico を使用
  - ・GPS モジュール: Adafruit Ultimate GPS を使用して位置情報を取得
- 計算処理:現在位置と目標位置の角度を計算
- ・モータ制御:TB6612 の Dual Motor Driver を使用して目標位置への  
旋回 PWM 制御値を計算
- 計算した制御値をモータに出力

## 【センサ類】

### ◆センサの取得

- ・BNO055 の 9 軸センサで加速度(3 軸)・ジャイロ(3 軸)・地磁気(3 軸)を取得
- ・BME280 で気圧・気温を取得

### ◆センサの利用

- ・加速度・ジャイロ: CanSat の衝撃値や上下反転時の姿勢補正に利用
- ・気圧・気温: CanSat の高度と熱の温度の参考に利用

### ◆ゴール検知

- ・距離センサを使用してゴールを検知する予定
- ・検知したゴール方向に走行できるように制御

## 【長距離通信無線】

### ◆位置情報の送信

- ・IM920sL ワイヤレス通信を使用して、長距離へ落下した際に位置情報を送信
- ・送信した位置情報を利用して現在位置を特定

◆システム図: Fig.4-3-1 にシステム図を示す

◆使用電子部品一覧: Table 4-3-1 に実際に使用している電子部品を示す

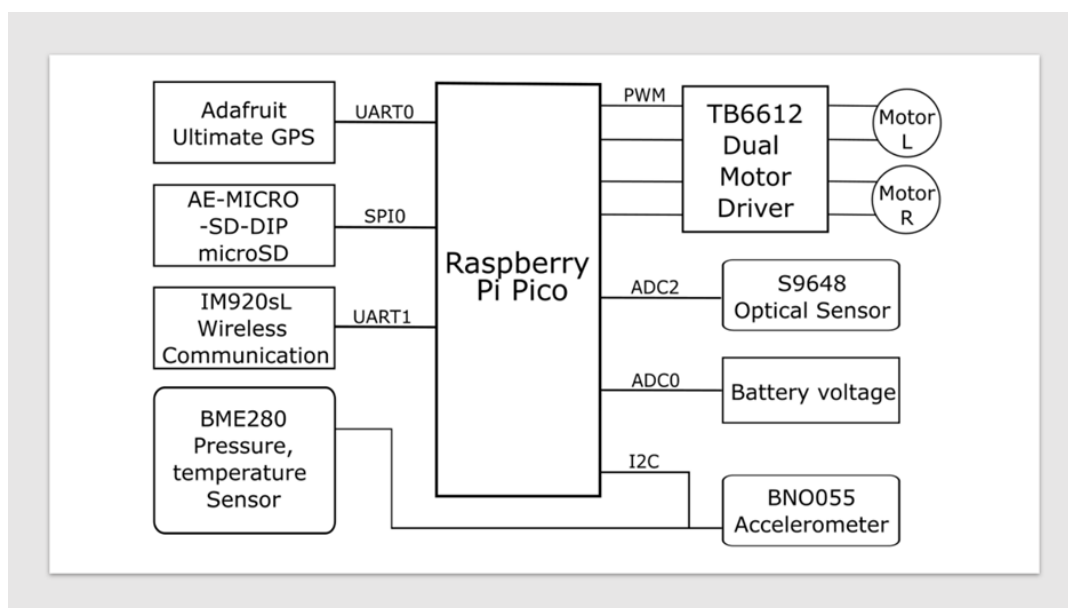


Fig.4-3-1 システム図

Table 4-3-1 使用部品

分類	名称・型番	入手先・参考 情報等	URL
GPS	ADA-746	SWITCH SCIENCE	<a href="https://www.switch-science.com/products/1085">ssci.to/1085</a>
マイコン	Raspberry Pi Pico	SWITCH SCIENCE	<a href="https://www.switch-science.com/products/6900?_pos=1&amp;_sid=b852904f1&amp;_ss=r">https://www.switch-science.com/products/6900?_pos=1&amp;_sid=b852904f1&amp;_ss=r</a>
マイクロ SD	AE- MICRO- SD-DIP	秋月電子	<a href="https://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-05488/">https://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-05488/</a>
16G 加速度 センサ	AE- BNO055- BO	秋月電子	<a href="https://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-16996/">https://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-16996/</a>
200G 加速 度センサ	H3LIS331D L	SWITCH SCIENCE	<a href="https://www.switch-science.com/products/3628">https://www.switch-science.com/products/3628</a>

モータドライバ	TB6612	秋月電子	<a href="https://akizukidenshi.com/catalog/g/g116947/">https://akizukidenshi.com/catalog/g/g116947/</a>
5V3端子レギュレータ	NJM2845D L1-05	秋月電子	<a href="https://akizukidenshi.com/catalog/g/g11298/">https://akizukidenshi.com/catalog/g/g11298/</a>
気圧センサ	AE- BME280	秋月電子	<a href="http://akizukidenshi.com/download/ds/bosch/BST-BME280_DS001-10.pdf">http://akizukidenshi.com/download/ds/bosch/BST-BME280_DS001-10.pdf</a>
無線通信機	IM920sL	interplan	<a href="https://www.interplan.co.jp/solution/wireless/im920sl/">https://www.interplan.co.jp/solution/wireless/im920sl/</a>
モータ	POLOLU ギアードモータ 75:1	POLOLU	<a href="https://www.pololu.com/product/3230">https://www.pololu.com/product/3230</a>
バッテリー (モータ用)	Hyperion 550mAh 3S 11.1V	Hyperion	<a href="https://www.hs-alfa.com/menew/batt/hp-batt/0850s3.htm">https://www.hs-alfa.com/menew/batt/hp-batt/0850s3.htm</a>
超音波センサ	超音波距離センサ TCT40	SWITCH SCIENCE	<a href="https://www.switch-science.com/products/9749">https://www.switch-science.com/products/9749</a>

#### 第 4.4 節 アルゴリズム

アルゴリズムの流れについて大きく 3 つに分類し内容を下記に示す。

##### 1. 落下判定～パラシュート離脱

- ・プログラム開始後、気圧センサの値を測定
- ・高度を基に上空に上がったことを判定
- ・地面に落ちてきたことを高度で判定
- ・パラシュートを切り離す

##### 2. 走行開始～指定地点

- ・GPS 位置情報から走行制御を開始
- ・スタックした場合、バック動作や回転動作で脱出動作を行う
- ・指定地点に到着した場合、「3」の処理に移行

##### 3. 指定地点～ゴール

- ・指定地点からゴールの検知を行う。
- ・ゴールを検知した場合、その方向に検知した距離分走行して停止
- ・指定地点からの範囲内でゴールが検知できない場合、

GPS 情報でゴールまでの距離が 1.5m 以内になるとゴール判定して停止

フローチャートを Fig. 4-4-1 に示す.

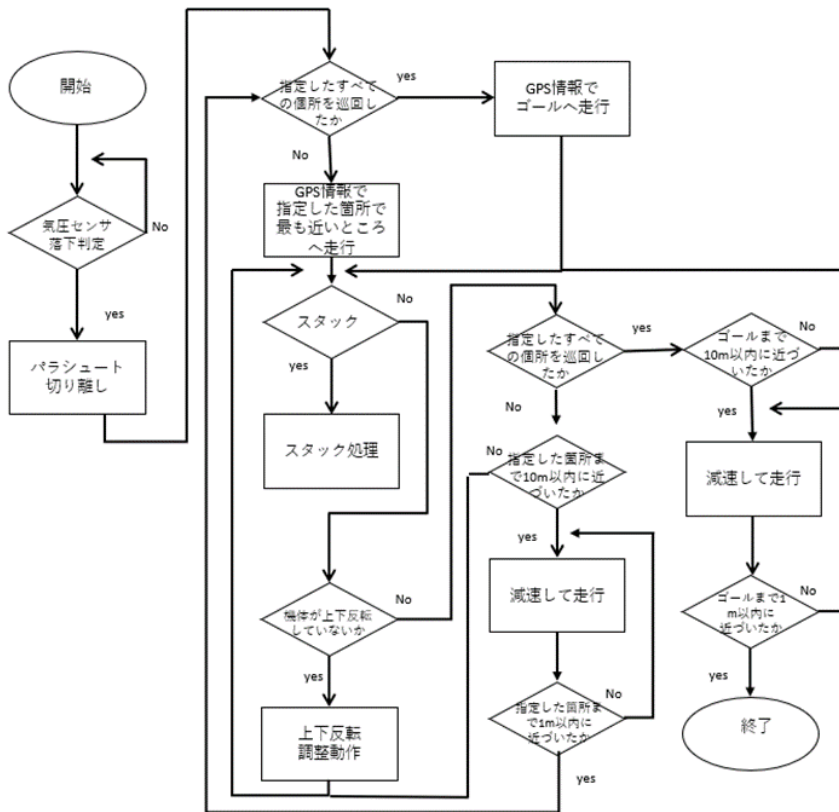


Fig.4-4-1 フローチャート

## 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 とパラシュートを合わせた質量が規定質量である 1050g 以下であることを確認する。
- 試験内容
  - 大会当日にキャリアへ収納する機材（CanSat 本体、回路部品、パラシュート）の質量を計測する。  
規定の質量（1050g 以下）を満たしているか確認する。  
計測は、CanSat が保護ケースに覆われた状態で行う。  
保護ケースにはパラシュートも含む。  
大会当日も同様に保護ケースを覆った状態でキャリアへ収納する。

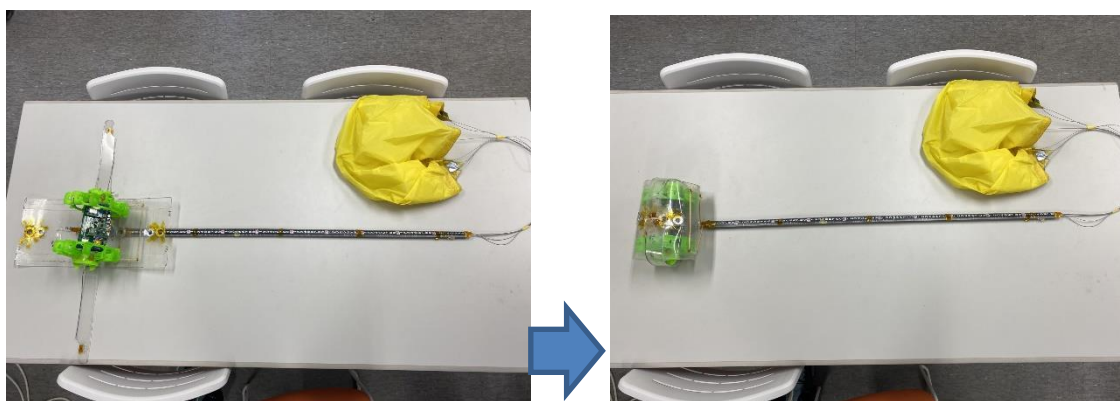


Fig.5-1-1 保護ケースへ収納させた CanSat

- 試験結果
  - CanSat とパラシュートの総重量が 747g でありレギュレーションの 1050 g 以下であることを確認できた。 Fig. 5-1-2 に質量測定結果の様子を示す。



**Fig.5-1-2 CanSat 本体とパラシュートの合計質量**

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

## RV2 機体の収納試験

- 目的
  - キャリア内(内径: 146mm 高さ: 240mm)に収納可能かを確認
  - CanSat が自身の重さでキャリアから放出されることを確認
  - CanSat の収納が5分以内で完了することを確認
- 試験内容
  - ARLISS で購入したキャリアを使用して、CanSat が規定の寸法内に収まるかを確認
  - キャリアの寸法についての確認 奥行き寸法: Fig. 5-2-1 外径寸法: Fig. 5-2-2 に示す

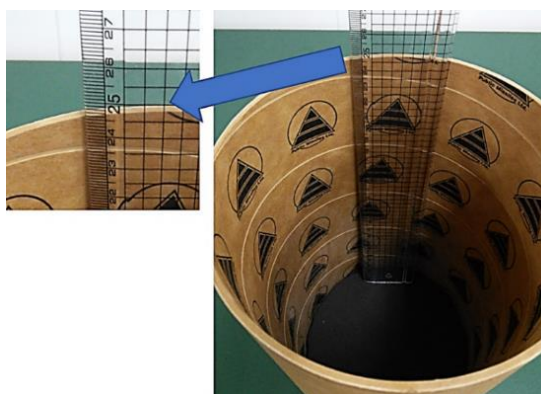


Fig.5-2-1 キャリア収納ケースの奥行き寸法

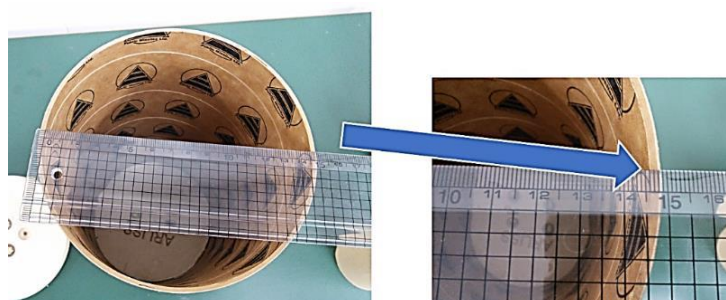


Fig.5-2-2 キャリア収納ケースの外径寸法

### ○キャリアの寸法

Fig. 5-2-1: キャリアの寸法 (奥行き 240mm)

Fig. 5-2-2: キャリアの外径 (146mm)

### ○奥行き寸法の計測

Fig. 5-2-2 では定規が奥行き 245mm を指しているが、定規の余白が 5mm あるため、実際のキャリアの奥行きは 240mm

### ○保護ケースでの収納

CanSat は保護ケースに覆った状態でキャリアに収納する。

保護ケースも含めた状態での寸法を確認する。



○自重での放出確認

規定サイズ内のキャリア収納ケースに CanSat を収納した後、CanSat が自重で落下できることを確認する。

○収納時間の確認

キャリアへの収納が5分以内で完了することを確認する。

● 試験結果

- Table 5-2-1 に示すように、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

Table 5-2-1 キャリア放出実験の結果

回数	実験動画	放出判定
1	<a href="https://youtu.be/2NZ-dKR3o6g">https://youtu.be/2NZ-dKR3o6g</a>	自重で放出できた また動画時間は2分56秒であり キャリア収納が5分以内
2	<a href="https://youtu.be/oKLjzOPoSZI">https://youtu.be/oKLjzOPoSZI</a>	自重で放出できた また動画時間は3分26秒であり キャリア収納が5分以内
3	<a href="https://youtu.be/IS7F7E4y6so">https://youtu.be/IS7F7E4y6so</a>	自重で放出できた また動画時間は3分13秒であり キャリア収納が5分以内

● 結論

- 寸法測定結果より機体は既定のキャリアに収納可能であること 機体収納 5分以内であることが確認できた

### RV3 GPS データダウンリンク試験

- 目的
  - CanSat がロケットから放出された後、ロストせずに、無線機 IM920sL を使用して長距離において GPS データにより現在位置を特定できることを確認する
- 試験内容
  - 目標: 高度 4000m から CanSat を放出した後、見通しの良い 4km の距離で無線通信が可能であることを確認する。  
送信機: CanSat に搭載された Interplan IM920sL (親機)  
受信機: PC と接続された Interplan IM920sL (子機)  
データ確認: 受信データは Tera Term 上で表示される。  
通信距離目標: 5km  
理由: Interplan IM920sL の中距離モードでのテストレポートで 5.3km の通信が確認されているため、5km を目標とする。  
高度の根拠: 打ち上げ高度が 4km であり、5km での通信が可能であれば 4km での通信も可能と判断。  
試験場所: 蓮沼海浜公園の展望台  
特記事項: 公共施設であるため、観光者の迷惑を避けるためにモータ動作を行わないテストモードでの起動とする (モータ以外の基板部分、センサ、マイコンは起動)。  
受信機 (Interplan IM920sL): Fig. 5-3-1  
送信機 (Interplan IM920sL) を搭載した CanSat: Fig. 5-3-2



Fig 5-3-1 interplunIM920sL (受信側)



Fig.5-3-2 interplun IM920sL を搭載した CanSat(送信側)

- 試験結果

- 送信側の位置

- CanSat の位置: 北緯 35.5889239, 東経 140.5022390
    - 蓮沼海浜公園の展望台からの眺め: Fig. 5-3-3
    - 蓮沼海浜公園の展望台の GPS 座標: Fig. 5-3-4

- 受信側の位置

- PC の位置: 北緯 35.5523427, 東経 140.4727273
    - 受信側からの眺め: Fig. 5-3-5
    - 受信側の GPS 座標: Fig. 5-3-6

- 確認方法: 5km の距離があるかどうかは Google Maps で確認。

- 地図の様子: Fig. 5-3-7
    - 通信試験の結果: 無線通信は成功し、CanSat の位置情報データを受信できた



Fig. 5-3-3 蓮沼海浜公園の展望台からの眺め

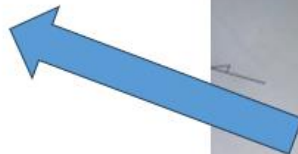


Fig. 5.3.4 蓮沼海浜公園の展望台の GPS 座標



Fig. 5-3-5 受信側からの眺め

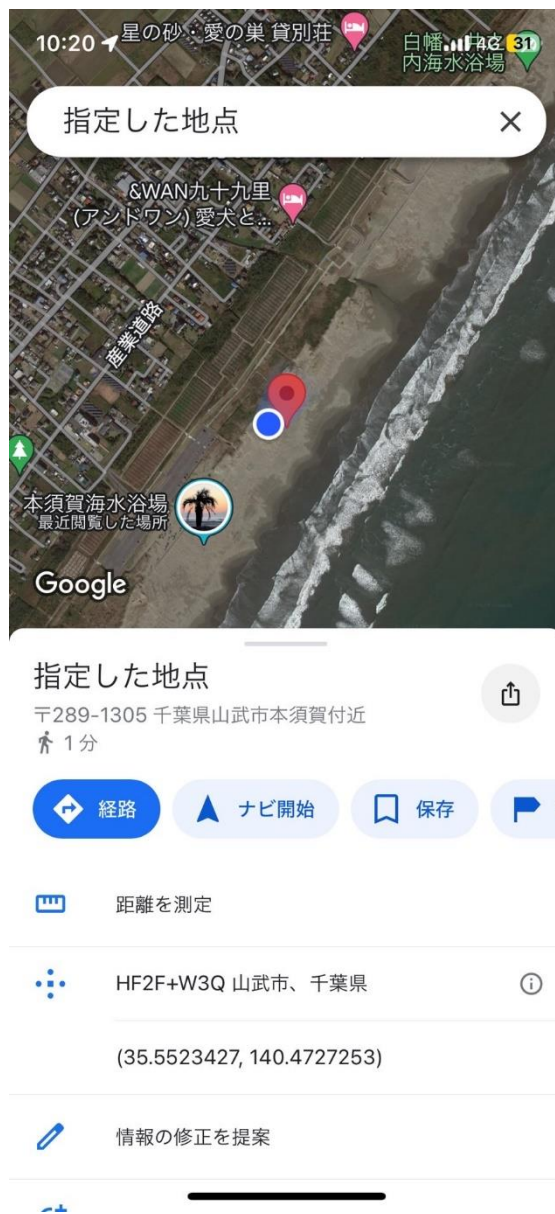


Fig. 5.3.6 受信側の GPS 座標



Fig. 5-3-7 5Km 地点を示す Google Map 図

また試験を行った動画（受信機視点）を以下のリンクから確認できる。

動画 URL : <https://youtu.be/9z4V51XHczU>

結果として 5km の長距離通信が可能であることを確認できた

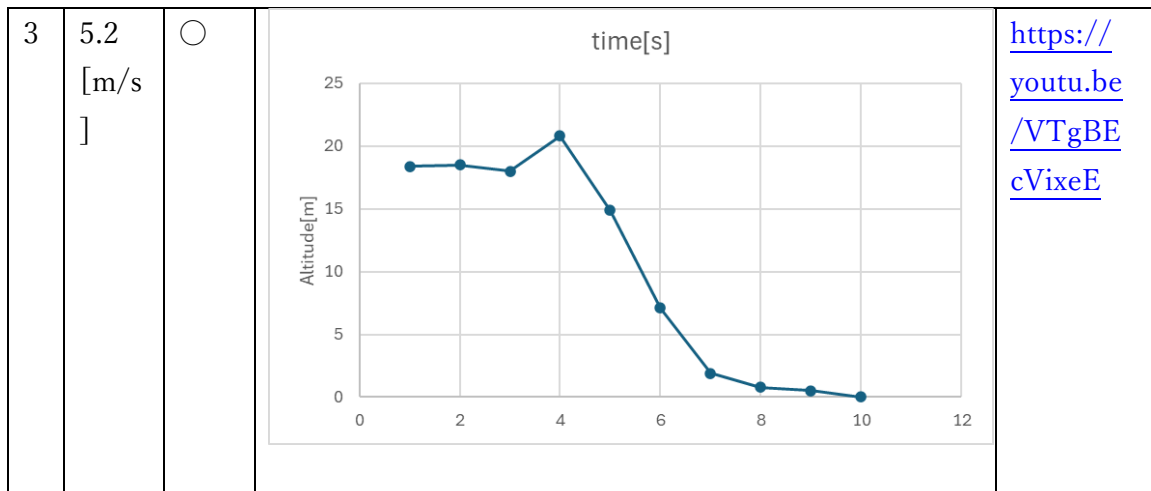
- 結論
  - IM920sL の性能確認
    - IM920sL を CanSat に搭載し、目標である 5km の通信が可能であることを実証。
  - 試験モード
    - 今回の試験では、中距離モードでの通信のみを使用。
    - 中距離モードでの 5km 通信が成功した。

## 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 5m/s 程度であることを確認する。
- 試験内容
  - CanSat をつけたパラシュートを落下させ、開いて数秒経過した後から測定した加速度が 5m/s 程度減速して終端速度になっているか確認した。
- 試験結果
  - 実験結果を Table5-4-1 にまとめた。

Table5-4-1

回数	終端速度	5m/s 以上か	実験データグラフ	動画 URL																						
1	5.3 [m/s]	○	<p>time[s]</p> <table border="1"> <caption>Data for Trial 1 Graph</caption> <thead> <tr> <th>time[s]</th> <th>Altitude[m]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>18.5</td></tr> <tr><td>2</td><td>18.0</td></tr> <tr><td>3</td><td>17.5</td></tr> <tr><td>4</td><td>19.0</td></tr> <tr><td>5</td><td>19.5</td></tr> <tr><td>6</td><td>14.5</td></tr> <tr><td>7</td><td>6.0</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>9</td><td>-0.5</td></tr> <tr><td>10</td><td>-0.5</td></tr> </tbody> </table>	time[s]	Altitude[m]	1	18.5	2	18.0	3	17.5	4	19.0	5	19.5	6	14.5	7	6.0	8	0.5	9	-0.5	10	-0.5	<a href="https://youtu.be/Txoymgc_0vo">https://youtu.be/Txoymgc_0vo</a>
time[s]	Altitude[m]																									
1	18.5																									
2	18.0																									
3	17.5																									
4	19.0																									
5	19.5																									
6	14.5																									
7	6.0																									
8	0.5																									
9	-0.5																									
10	-0.5																									
2	5.0 [m/s]	○	<p>time[s]</p> <table border="1"> <caption>Data for Trial 2 Graph</caption> <thead> <tr> <th>time[s]</th> <th>Altitude[m]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>19.0</td></tr> <tr><td>2</td><td>19.0</td></tr> <tr><td>3</td><td>23.0</td></tr> <tr><td>4</td><td>19.5</td></tr> <tr><td>5</td><td>20.0</td></tr> <tr><td>6</td><td>17.5</td></tr> <tr><td>7</td><td>9.5</td></tr> <tr><td>8</td><td>4.5</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.5</td></tr> </tbody> </table>	time[s]	Altitude[m]	1	19.0	2	19.0	3	23.0	4	19.5	5	20.0	6	17.5	7	9.5	8	4.5	9	0.5	10	0.5	<a href="https://youtu.be/-wBhE4F0nlA">https://youtu.be/-wBhE4F0nlA</a>
time[s]	Altitude[m]																									
1	19.0																									
2	19.0																									
3	23.0																									
4	19.5																									
5	20.0																									
6	17.5																									
7	9.5																									
8	4.5																									
9	0.5																									
10	0.5																									



**【1回目】**

グラフ中 7s で 5.9m と 8s で 0.6m の間 1s 間の落下高度は 5.3m であり、 $5.3\text{m}/1\text{s} = 5.3\text{m/s}$

**【2回目】**

グラフ中 7s で 9.9m と 8s で 4.9m の間 1s 間の落下高度は 5.0m であり、 $5.0\text{m}/1\text{s} = 5.0\text{m/s}$

**【3回目】**

グラフ中 6s で 7.1m と 7s で 1.9m の間 1s 間の落下高度は 5.2m であり、 $5.2\text{m}/1\text{s} = 5.2\text{m/s}$

となり、3回  $5\text{m/s}$  以上の終端速度であることが確認できた。

● **結論**

➤ パラシュート減速の終端速度が平均で、 $5[\text{m/s}]$ 以上であることが確認できた。



## RV5 準静的荷重試験

- 目的
  - 耐荷重試験: CanSat がロケット打ち上げ時に想定される静荷重 (10G) に耐えられることを実証する。
- 試験内容
  - 目標: ロケット打ち上げに伴う準静的荷重に CanSat が耐えられるかを確認する。  
静荷重設定: 準静的荷重を 10G とし、CanSat に 10 秒間かける。  
参考データ: 荷重をかける時間と大きさの設定には、ARLISS2019 のロケット打ち上げデータを参考にする  
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]  
荷重の選定: ARLISS2019 のデータによると、準静的荷重の最大値は 9.78G であり、持続時間は 10 秒以内である。  
試験の荷重設定: これを踏まえ、より安全を見込んで 10G の準静的荷重を 10 秒間与える試験を行う。  
耐久性の確認: CanSat が 10G の準静的荷重に 10 秒間耐えることで、ロケット打ち上げ時の荷重にも耐えられると判断する。  
共同開発団体が ARLISS 2019 にて測定した準静的荷重を以下に示す

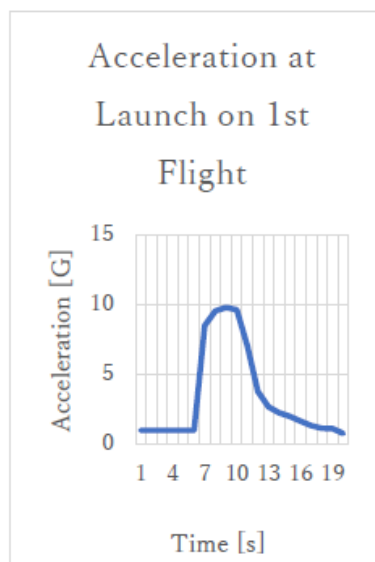


Fig.5-5-1 準静的荷重 1 回目

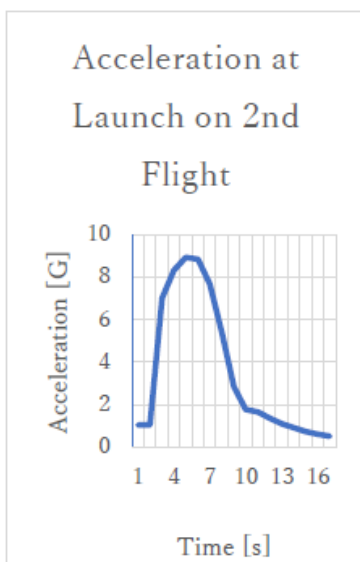


Fig.5-5-2 準静的荷重 2 回目

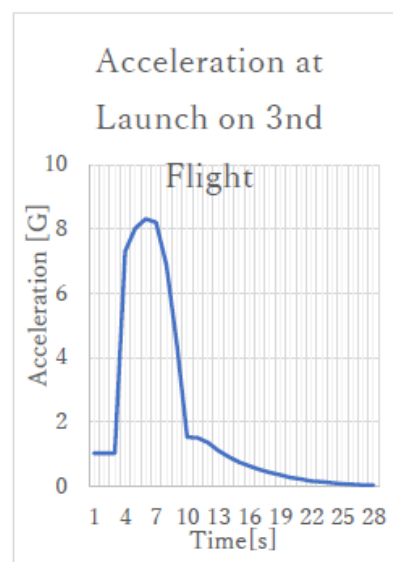


Fig.5-5-3 準静的荷重 3 回目

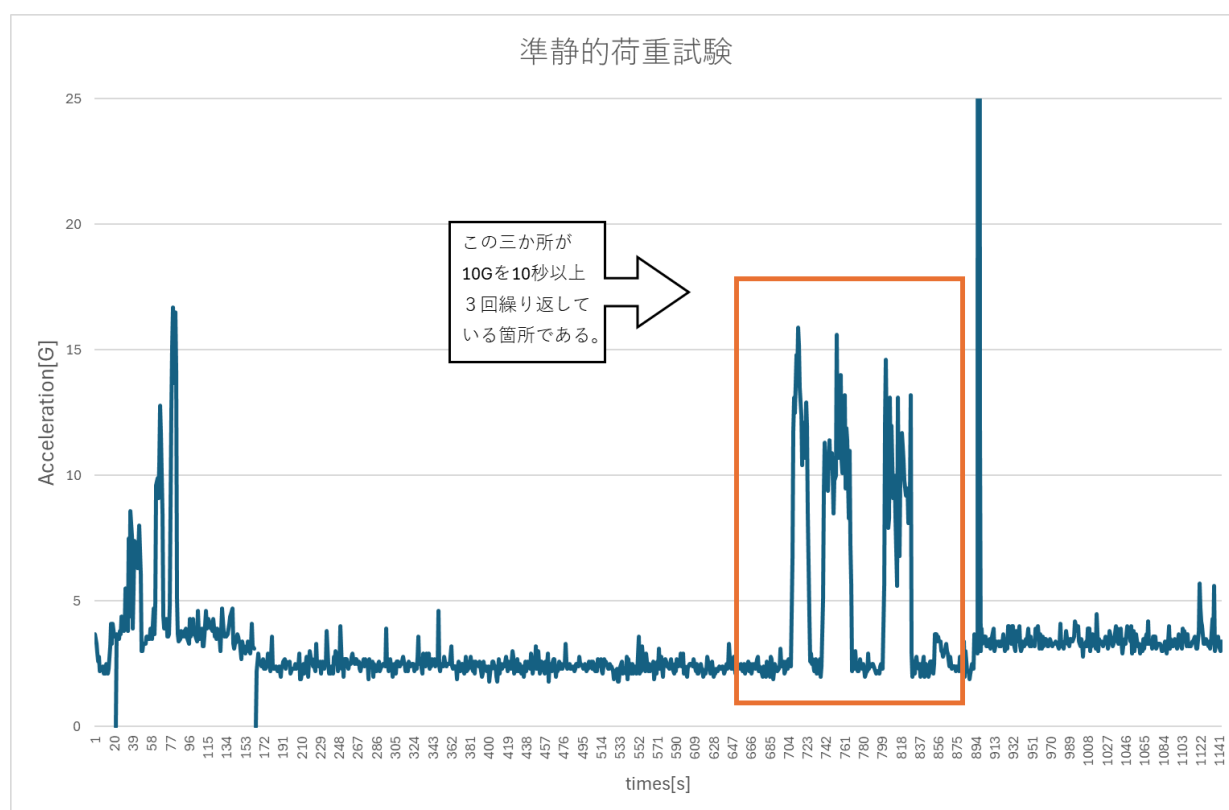
### ○10G の静荷重試験手順

- ① CanSat のセンサと動作系が正常に動作することを確認
- ② CanSat をキャリア (保護ケース) に収納
- ③ キャリアを長いロープでトートバッグに取り付け、トートバッグに収納
- ④ 方法: ロープを持ち、トートバッグを振り回して回転運動をさせる

- ⑤目標加速度: 遠心力で 10G の加速度を 10 秒間与える。
- ⑥監視方法: CanSat に搭載された加速度センサの値を無線通信で PC 画面に表示。
- ⑦操作: 10G を超えた時点から、力を緩めず 10 秒間回転運動を続け、連続的な遠心力による加速度を与える。
- ※⑤～⑦を 3 回繰り返す
- ⑧ CanSat の放出: 試験後に CanSat をキャリアから取り出す。
- ⑨動作確認: センサと動力系が正常に動作することを確認
- ※①～⑨を行って CanSat が静荷重に耐えうることを確認する

- 試験結果

- 実際に 10G を 10 秒以上観測している加速度データのログをグラフ Fig.5-5-4 に示す



**Fig. 5-5-4 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 [1s]**

準静的荷重試験の様子は動画に撮影し異常の有無を確認し、結果機体に異常は見られなかった下記の URL を参照

○準静的荷重試験の動画 URL : <https://youtu.be/wNVIDnCxDaE>

- 結論

- 実際の衛星さながらロケットの打ち上げに想定される大きさの静荷重を CanSat に与え、耐えられることが確認できた。

## RV6 振動試験

- 目的

- 実際の衛星さながらロケットによる打ち上げを想定して打ち出しにかかる機体が耐えうる確認する。

- 試験内容

- この試験ではロケットによる打ち上げを想定した際にかかる振動に機体が耐えられるか実際に振動を加える。

推奨試験条件：正弦波振動：20Hz～2,000Hz まで 6.8G

または同等のランダム振動：20Hz～2,000Hz まで 6.8Grms

となっているため今回 CanSat へ加える振動をランダム振動: フラットパターンで 30Hz30Hz～2000Hz の 15G として実験を行う。

CanSat への振動条件が定まったところで次は時間条件を示す。

今回は共同開発チームのデータを参考にすると ARLISS2019 の 3 回分データでのロケット打ち上げ時間では 10 秒以下であることが確認できる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。今回は 1 分間を時間条件とする。

振動を与えた後は CanSat の電子回路部品の動作確認、パラシュートの離脱機構、モータ、機体に問題がないかの確認を行う。

以上の条件の下で試験を行う。

振動機については日本高度信頼性評価試験センターの振動機を利用した。

試験に利用した振動機を Fig. 5-6-1 に

振動条件設定の制御条件のモニター写真を Fig.5-6-2 に

加振システム設定を Fig.5-6-3 に

制御目標、全体を Fig.5-6-4 に

入力チャンネルを Fi. 5-6-5 に示す。

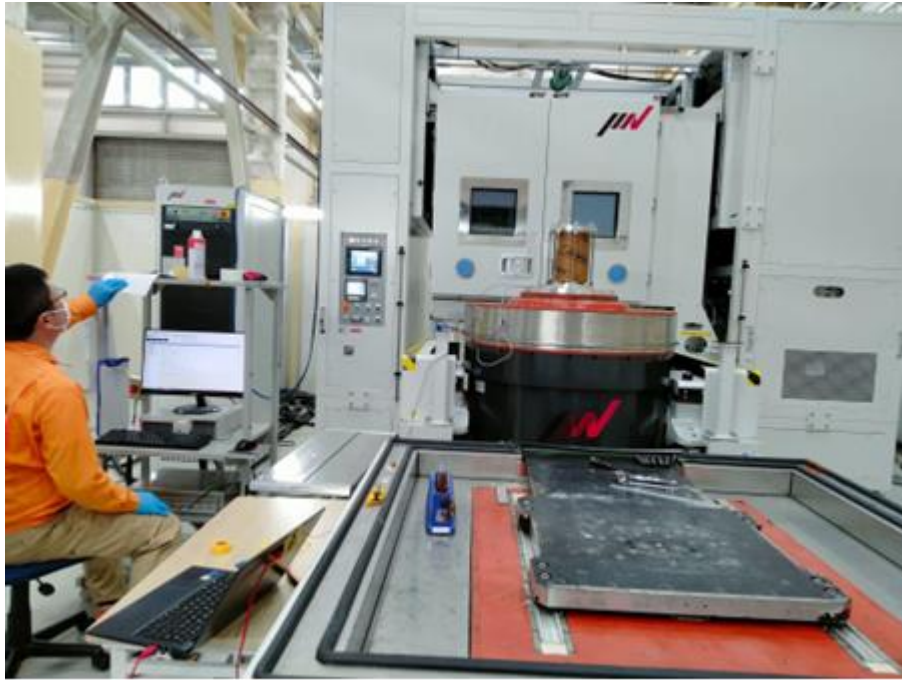


Fig. 5-6-1 実際の振動機（茶色筒の中に CanSat 収納）

制御単位	加速度 (G)
周波数レンジ	2200.00 Hz
制御ライン数	3200 lines
Δf 1.00 Hz フレームタイム 1000.00 ms	
最高観測周波数	2200.00 Hz
平均化パラメータ	M : 4, E : 0 [ 120 DOF ]
ループチェック	標準
環境ノイズの上限値	[ 40.0 x ]
初期加振中の伝達率変化チェック値	[ 70.0 x ]
テスト実行中の伝達率変化チェック値	[ 50.0 x ]
オーバーロードチェック値	[ 43.56 x ] (フルスケールに対するmsの比率)
イコライゼーションモード	標準
スペクトルのオーバーラップ分析	[ 50.0 x ]
初期90レベル増加抑制係数	[ 10.00 dB ]
初期90レベル減少抑制係数	[ 15.00 dB ]
伝達特性更新比率	[ 50.0 x ]
エラーによる制御失脱率	[ 50.0 x ]
過去の制御レベルの予備き比率	[ 4.00 dB ]
エラーによる制御上限(増加係)	[ 5.00 dB ]
エラーによる制御下限(減少係)	[ 5.00 dB ]
試験時間	0:01:00
加振中に移行する前に一時停止	しない
初期出力レベル	-12.00 dB
レベル増減値	3.00 dB
自動開始	実施しない
出力停止遷移時間	500.0 ms
2024/ 7/22 14:08:51 テスト定義を完了しました。	
2024/ 7/22 14:08:51 必要加振力 [00 MN rms]	

Fig. 5-6-2 基本・制御条件

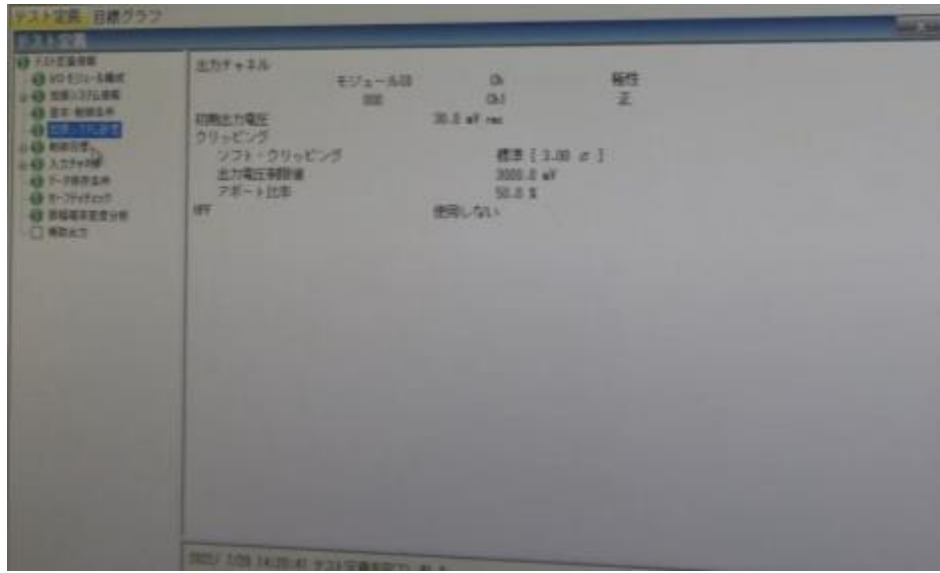


Fig. 5-6-3 加速システム設定

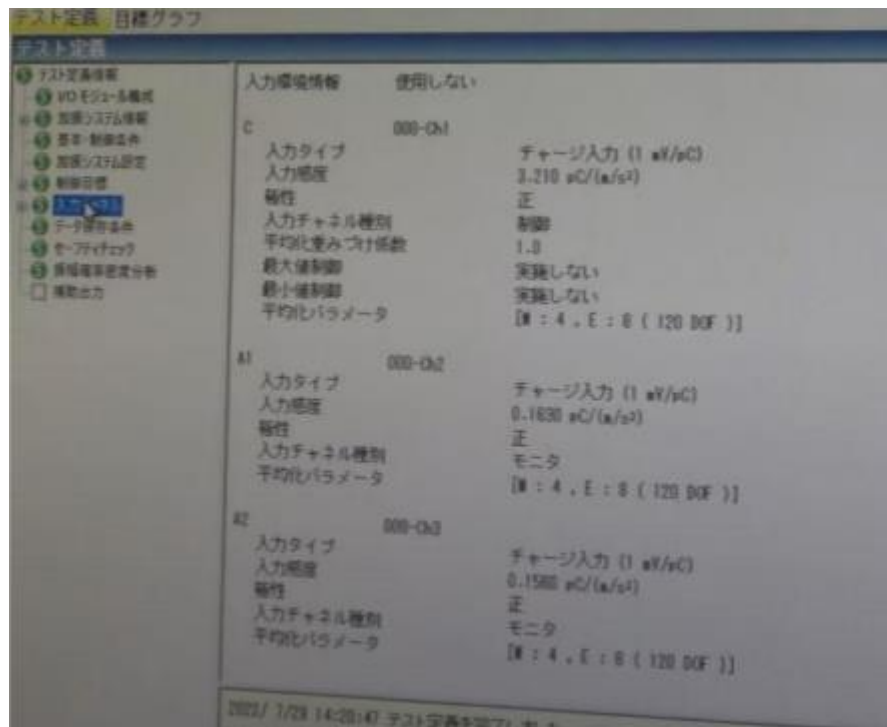


Fig. 5-6-4 制御目標\_全体

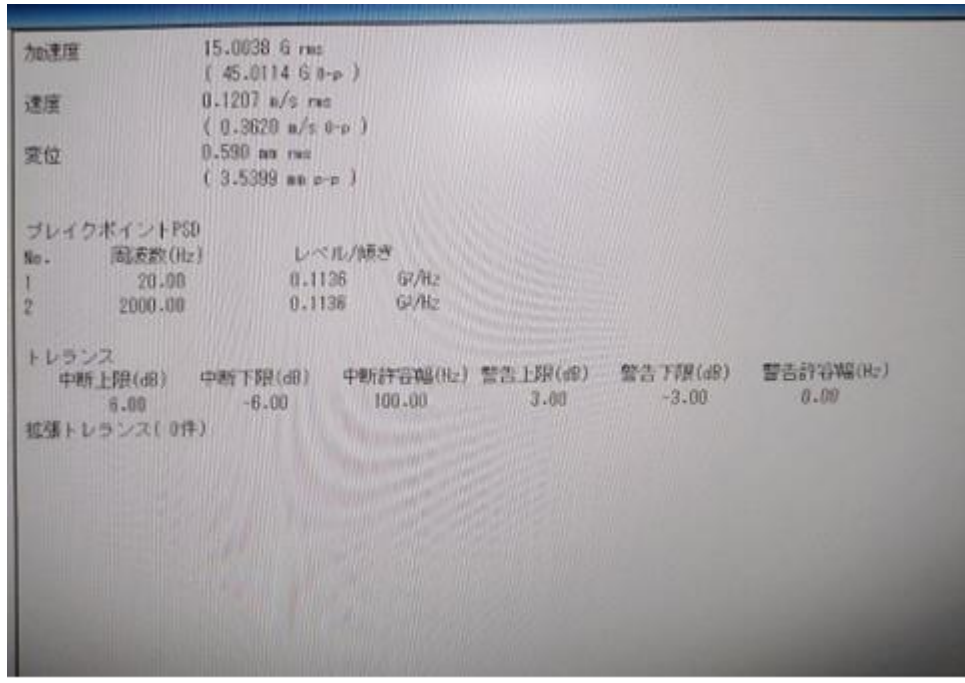


Fig.5-6-5 入力チャンネル

● 試験結果

- ▶ CanSat に振動を与え、その後電子回路の動作、パラシュート離脱機構の確認、モータ動作の確認、機体に異常が見られないかの確認を行ったところ問題はなかった。実際に動作を与えた振動機からの制御、及び出力データを示す。(IMV 社提供データを使用) 出力レベルを Fig.5-6-6 目標の G を Fig.5-6-7 に、制御応答の G を Fig.5-6-8 に、制御の m/s<sup>2</sup> を Fig.5-6-9 に示す。

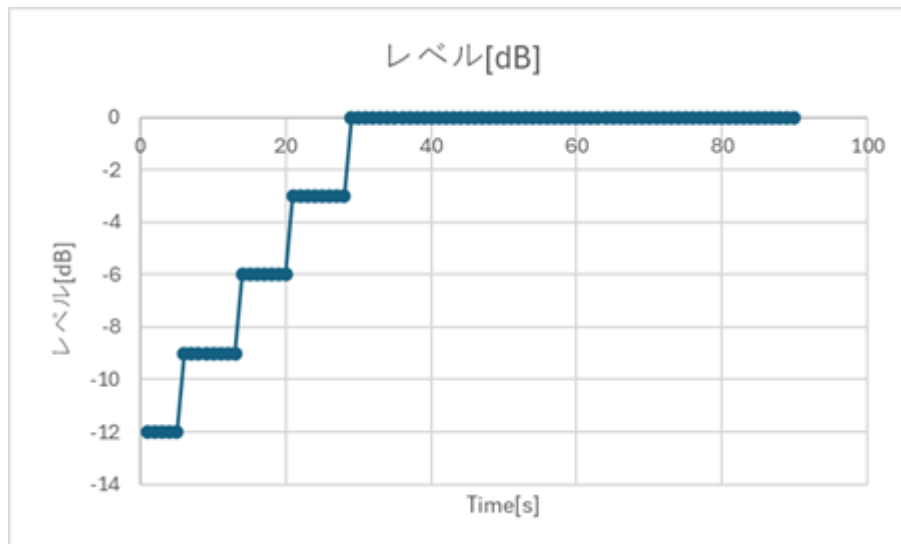


Fig.5-6-6 出力レベル

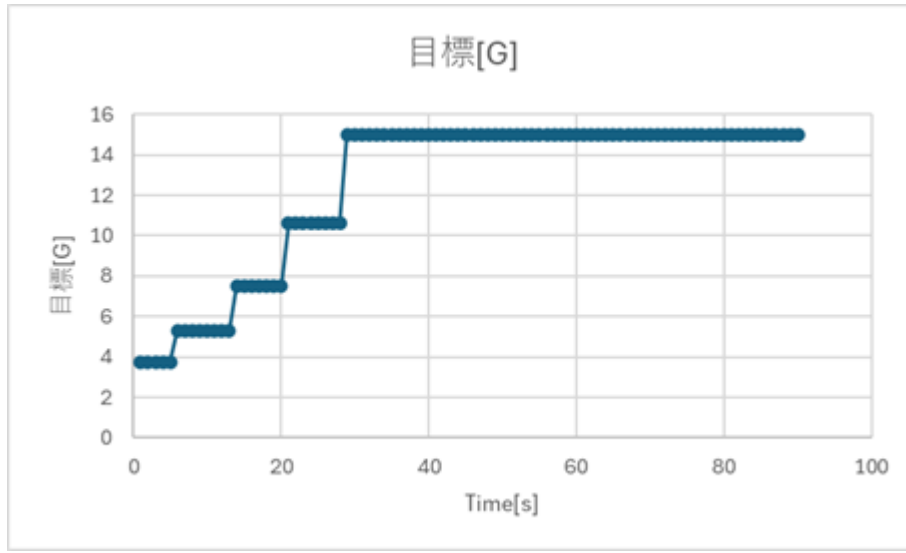


Fig.5-6-7 目標の G

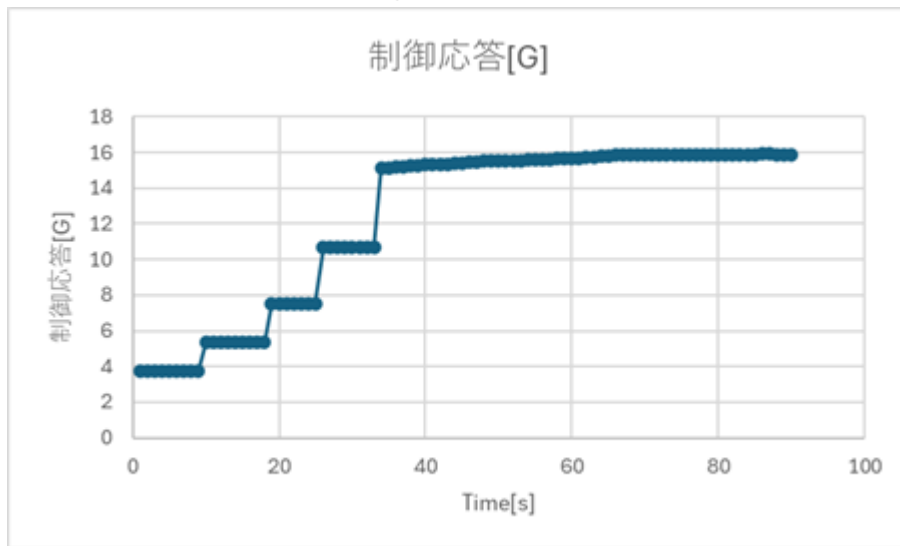


Fig.5-6-8 制御応答の G

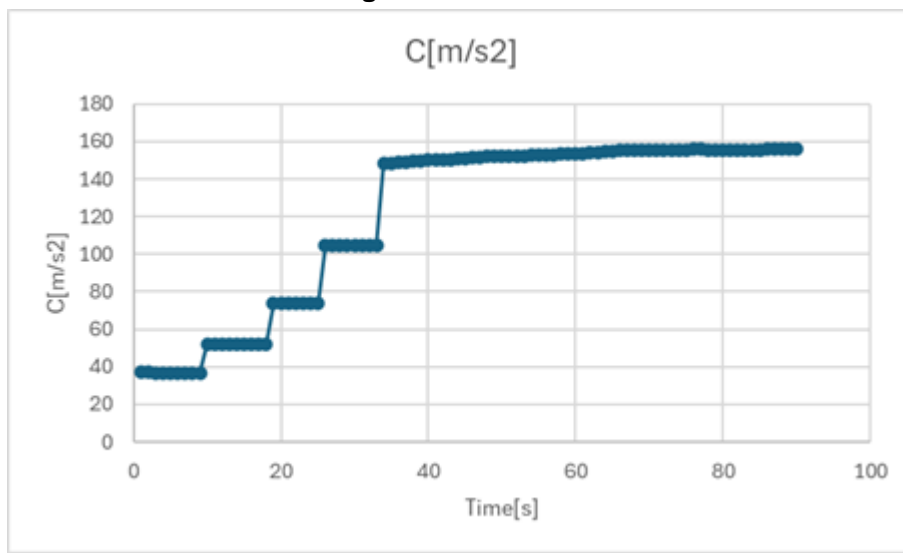


Fig.5-6-9 制御の m/s<sup>2</sup>

振動を与える際に IMV 社の加速度センサ A1,A2,A3 をそれぞれ機体の基盤前、基盤の裏側、タイヤの間に設置した。その際の加速度センサ A1 のデータを Fig.5-6-10 に、加速度センサ A2 のデータを Fig.5-6-11 に、加速度センサ A3 のデータを Fig.5-6-12 に示す。

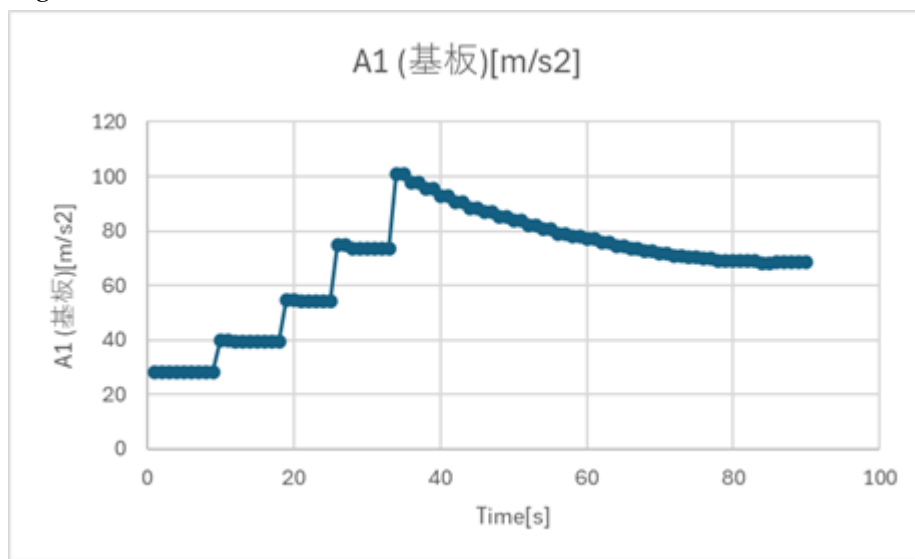


Fig.5-6-10 加速度センサ A1 のデータ

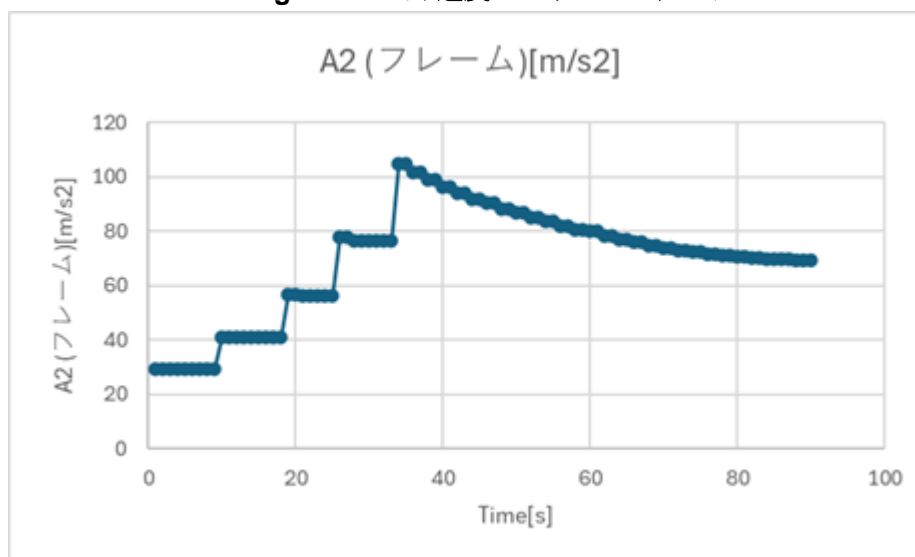


Fig.5-6-11 加速度センサ A2 のデータ



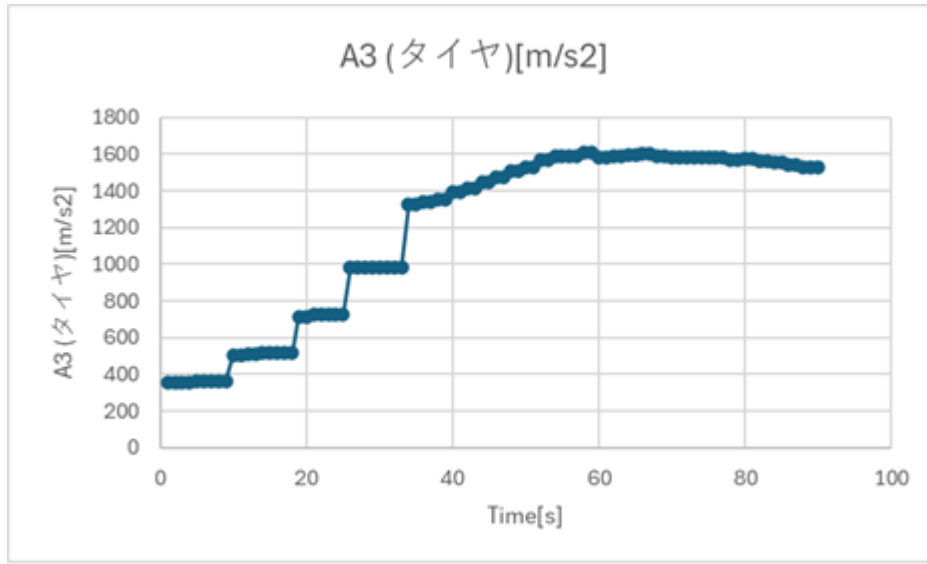


Fig.5-6-12 加速度センサ A3 のデータ

また、CanSat に搭載している加速度センサの振動時データを Fig5-6-13 に示す。

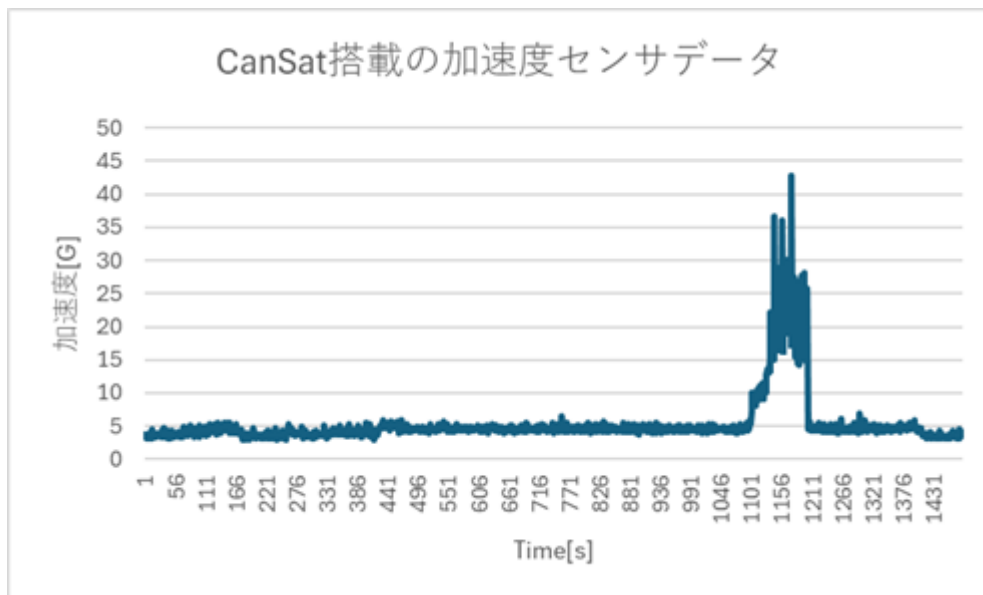


Fig.5-6-13 加速度センサの振動時データ

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：<https://youtu.be/AsTD7SrCj-s>

- 結論
  - CanSat が実際のロケットの打ち上げを想定してかかる振動に機体が耐えうることを確認した。

## 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する。
- 試験内容
  - この試験では機体がロケット分離時に生じる衝撃に耐えられ、パラシュート 開傘する際の衝撃にパラシュート、機体に損傷がないことを確認する。 CanSat がロケットから分離した後、パラシュートが開傘する際に生じる瞬間的な分離衝撃の大きさは共同開発団体が ARLISS2019 に行った 3 回の打ち上げ から得たデータから決定する。 ARLISS2019 3 回の打ち上げにて生じた分離衝撃はそれぞれ、1 回目 最大約 23.48[G] 2 回目 最大約 25.41[G] 3 回目 最大約 21.67[G] 3 回の分離衝撃はどれも 30[G]を下回っていることから、今回の試験では分離 衝撃の誤差を考慮したうえで最大 30[G]相当と想定し、評価試験を行う。 共同開発団体が 2019ARLISS にて測定した放出時の加速度データを以下の Fig. 5-7-1, Fig.5-7-2, Fig.5-7-3 に示す。

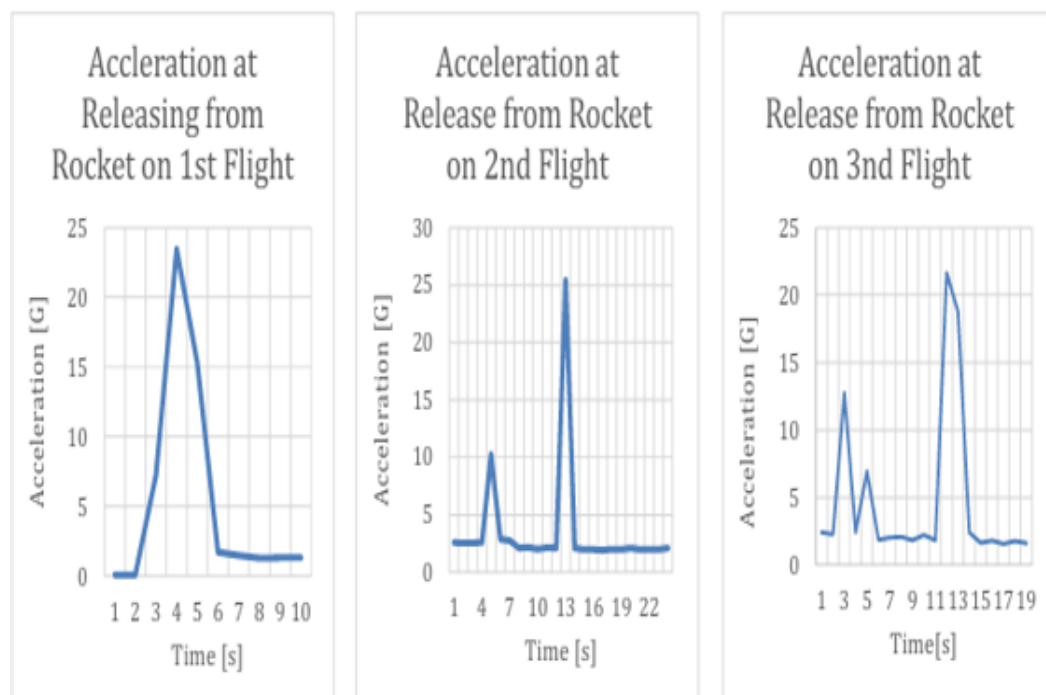


Fig.5-7-1 分離衝撃 1 回目 Fig.5-7-2 分離衝撃 2 回目 Fig.5-7-3 分離衝撃 3 回目

30[G]の加速度を基準値として CanSat のパラシュートを手で持ったまま、Can Sat を高い位置から自由落下させ、その際に CanSat の加速度センサが測定した値が 30[G]を超えた衝撃を観測できたとき、パラシュート、CanSat の状態 に異常がないか評価し、問題が確認されなければ、成功とし試験を行う。

- 試験結果

- 3回の自由落下をかけ約30Gの加速度をかかるとした。実際にかかった加速度データのログをグラフに示す。30G以上の数値を観測している部分が分離衝撃を与えた部分として捉える。

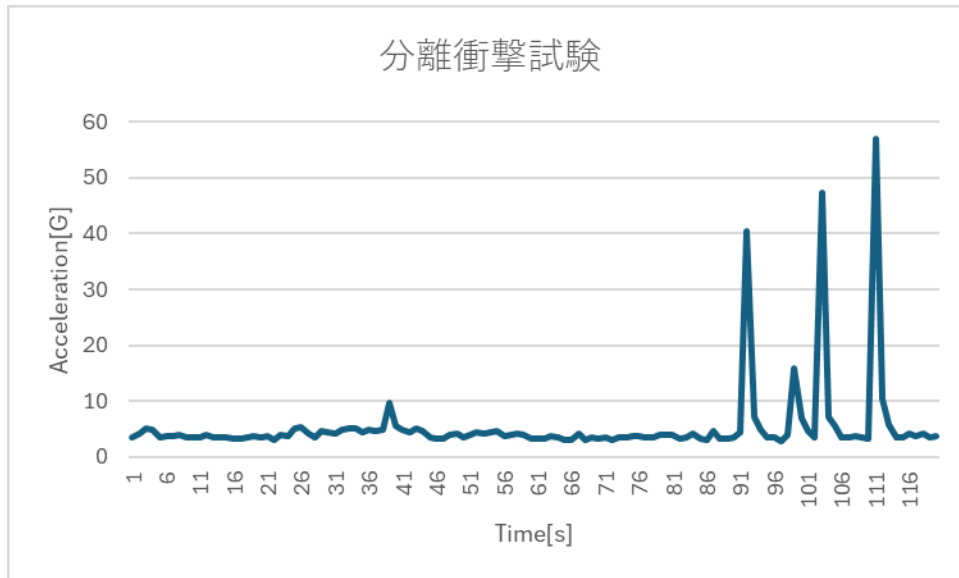


Fig.5-7-4 分離衝撃3回目

Fig.5-7-4 から3回与えた衝撃の値がそれぞれ40.4G、47.4G、56.9Gという結果になった。30G以上の衝撃を3回与えた後、パラシュートの結合部分、CanSat 保護カバーとの結合部分には異常はみられなかった。また機体、センサ等にも損傷が見られずその後のパラシュート焼き切りから機体の走行まで異常がないことが確認できた。(下記の URL を参照)

○分離衝撃試験の動画 URL : <https://youtu.be/fYc4Dklhhs8>

- 結論

- 試験結果より、基板や電子部品及び機体、モータ、バッテリーに損傷がないことが確認でき、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パラシュートとの結合部、パラシュート及び機体が耐えられると判断した。

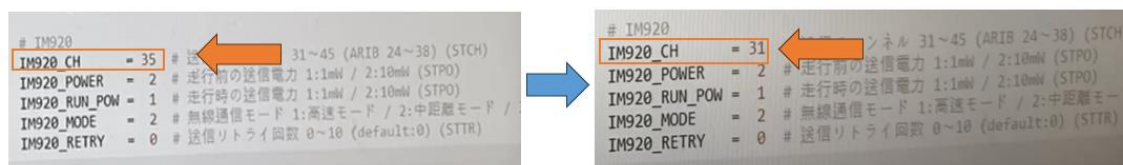
## RV8 通信周波数 ch 変更試験

- 目的
  - CanSat に搭載した無線通信機のチャンネル変更ができることを確認し、レギュレーションを満たすことを確認する
- 試験内容
  - 使用機器: CanSat に搭載された Interplan IM920sL 無線機。  
目的: 状況に応じて通信周波数チャンネルを切り替え、通信の継続性を確認する。  
操作: Tera Term 上で「stch チャンネル数」のコマンドを入力。  
結果: コマンドによりチャンネルが切り替わり、データを受信可能にする。  
プログラムの確認: 周波数チャンネルをプログラムで変更し、その動作を確認  
通信の確認: チャンネル変更後に、データが正常に受信されていることを確認  
結果: 無線通信の周波数チャンネルを切り替える機能が正常に動作することを確認。

### ○試験手順の簡単な流れ

- ①準備: Interplan IM920sL を CanSat に搭載。
- ②設定: Tera Term でコマンドを使ってチャンネルを変更。
- ③確認: データ受信が正常に行われることを確認。

- 試験結果
  - ①IM920 sl と接続された Raspberry Pi pico のパラムプログラム上でチャンネル数【IM920\_CH】の値を変更しメインプログラムでコンパイルすることでチャンネルが変更される。今回は 35 から 31 へ変更した。



```
# IM920
IM920_CH = 35 # 送信チャンネル 31~45 (ARIB 24~38) (STCH)
IM920_POWER = 2 # 走行前の送信電力 1:1mW / 2:10mW (STPO)
IM920_RUN_POW = 1 # 走行時の送信電力 1:1mW / 2:10mW (STPO)
IM920_MODE = 2 # 無線通信モード 1:高速モード / 2:中距離モード /
IM920_RETRY = 0 # 送信リトライ回数 0~10 (default:0) (STTR)
```

```
# IM920
IM920_CH = 31 # 送信チャンネル 31~45 (ARIB 24~38) (STCH)
IM920_POWER = 2 # 走行前の送信電力 1:1mW / 2:10mW (STPO)
IM920_RUN_POW = 1 # 走行時の送信電力 1:1mW / 2:10mW (STPO)
IM920_MODE = 2 # 無線通信モード 1:高速モード / 2:中距離モード /
IM920_RETRY = 0 # 送信リトライ回数 0~10 (default:0) (STTR)
```

Fig. 5-8-1 チャンネル変更のプログラム

- ② IM920 sl が接続された PC の TeraTerm 上で【STCH 31】とコンパイルすると、チャンネルが 31 になる。実際のデータログを Fig. 5-8-2 に示す。

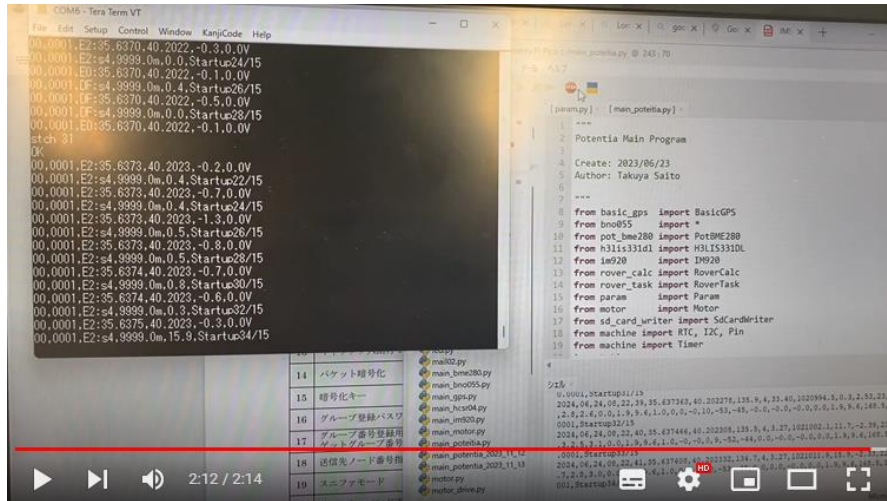


Fig. 5-8-2 実験でチャンネル変更したデータログ

無線(interplan IM920 sl)のチャンネル変更については、プログラムによりチャンネルを変更し実際に通信できることを確認した。

また、この試験の様子を動画にまとめた。(下記 URL を参照)

○通信周波数変更試験の動画 URL : <https://youtu.be/o3z-qUnV31s>

- 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。

## RV9 通信 ON/OFF 試験

- 目的
  - 通信システムの電源が、発射時には切れており、機体がロケットから放出された時点で通信が行われることを検証する。
  
- 試験内容
  - 本機体では、ロケットからの放出を光センサで感知する仕組みを採用している。そのため、機体をキャリア内に格納し、ロケット内部にある状態を再現して通信機能が停止していることを確認する。その後、キャリアから機体を取り出し、通信装置の電源が入り、信号の送受信が可能になるかを確認する。
  
- 試験結果
  - 光センサが放出を感知し、通信装置の電源が入り、信号の送信を開始したことを確認した。  
また、この試験の様子を動画にまとめた。（下記 URL を参照）  
○通信 ON/OFF 試験の動画 URL：<https://youtu.be/LfmDMmrS4EU>
  
- 結論
  - 放出の感知と通信電源の起動、そして通信の開始が問題なく行われたことを確認できた。

## RV10,CRV1 End to end 試験

- 目的
  - CanSat の投下、自重での落下、着地衝撃、GPS 走行、ゴール判定、データの取り出しまでを本番と同じ手順で行う。今回は高所での投下が難しいと判断したためパラシュートによるシーケンスを
    - 1:自重での落下できるか
    - 2:着地衝撃に耐えうるかという 2 項目に簡略化して試験を行った。
- 試験内容
  - この試験では本番の動作を実際に行い各シーケンスが自律で行えることを確認する。以下に各シーケンスを示す。
    - ① CanSat をキャリアへ収納
    - ② CanSat をキャリアから自重で放出
    - ③ CanSat に着地衝撃を与え、CanSat が衝撃に耐えられるか
    - ④ CanSat とパラシュートが正常に分離できるか
    - ⑤ ゴールまで GPS 位置情報を頼りに自律走行
    - ⑥ ログデータの取り出しを行えるか以上のシーケンスを通してできるかを確認する。
- 試験結果
  - 試験結果を Table5-10-1 に示す。

Table5-10-1 End to End 試験結果

回数	成功 or 失敗	詳細	URL
1	成功	【キャリア収納～パラシュート分離】	<a href="https://youtu.be/E4XGZcHPNS8">https://youtu.be/E4XGZcHPNS8</a>
2	成功	①キャリアへ収納 ②自重で落下 ③落下衝撃を与え、光センサの変動によってキャリアから放出したことを判定 ④パラシュートと分離 【GPS 走行～ゴール判定、ログの取り出し】 ⑤パラシュートと分離後はGPS 走行にてゴール位置まで走行 ⑥ゴール判定後ログデータの取り出し、走行軌跡のグラフ作成プログラムの実行させることができる。 無事すべてのシーケンスを通して行うことができた。	<a href="https://youtu.be/Yfmwc3TNcDs">https://youtu.be/Yfmwc3TNcDs</a>

またログデータ、ログデータから作成したグラフを制御履歴レポート試験に記載する。

- 結論
  - End to End 試験にて各シーケンスを通して行うことができ一連の流れに問題がないことを確認した。本番まで回数を重ねより精度が上がる手法の模索を行う。



## CRV2 制御履歴レポート試験

- 目的
  - End to End 試験にて得られたログデータがどのような内容なのか、またログデータから作成したグラフを示し、大会本番の制御履歴の提出ができることを確認する。
- 試験内容
  - この試験では End to End 試験により得られたログデータを SD カード経由で PC に保存し走行軌跡をグラフ化させるプログラムが正常に動作し制御履歴のレポートを作成できることを確認した。
- 試験結果
  - SD カードから PC へ正常に保存することができ、プログラムも正常に動作し、ログデータからグラフの作成を行うことができた。

走行軌跡のグラフログデータから得られた走行軌跡のグラフを End to End 試験 1 回目、2 回目をそれぞれ Fig.13-1, Fig13-2 に示す。

走行軌跡のグラフでは縦軸を緯度、横軸を経度とし、

右側の色の棒グラフではステアリングの値を示しており、最大値 0.2

最小値-0.2 となっていて各プロットの色でステアリング具合が

分かるようになっている。また、スタート地点、ターゲット地点

ストップ地点は矢印で示し、その緯度経度をわかるようにした。

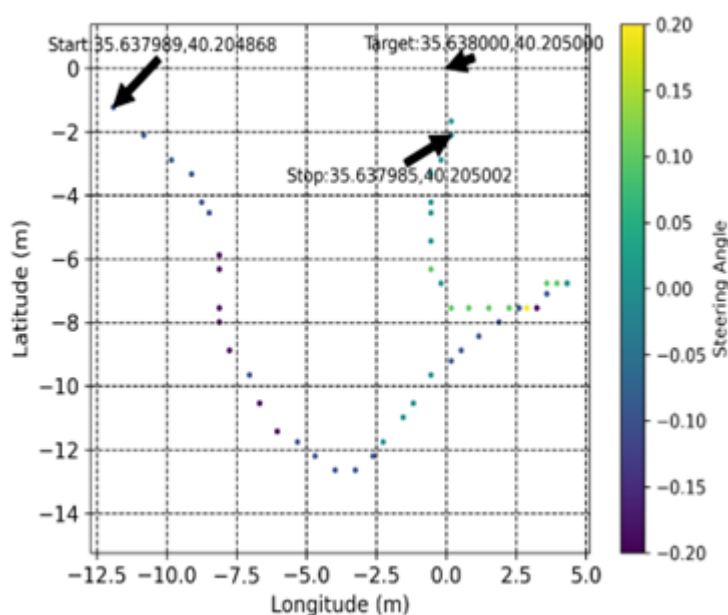


Fig5-11-1 End to End 試験 1 回目

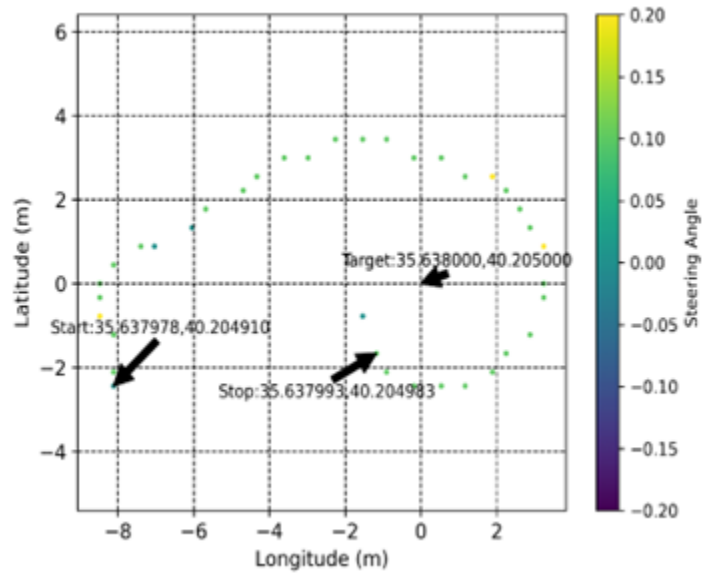


Fig5-11-2 End to End 試験 2回目

#### 制御履歴値

SD カードから取り出したデータログは拡張子が.txt となっているため.xlsx  
へ変換し見やすくまとめた。

それぞれの列に関して説明を行う。

A~F 列: 時系列に関するデータ

G~H 行: GPS より得られた緯度、経度に関するデータ

J~AV 列: CanSat の制御に関するデータ

AW 列: CanSat の状態に関するデータ

	A	B	C	D	E	F
1	Potentia Log File at 20230717_072924					
2	year	month	day	hour	minute	second

G	H
latitude	longitude

	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1											
2	satellite	hdop	goal dist	move dist	goal angl	light	batt volt	alt280	temp	pressure	humidity

U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
g200x	g200y	g200z	G200Max	accX	accY	accZ	GIMUMax	gyroX	gyroY	gyroZ

AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP
magX	magY	magZ	linAccX	linAccY	linAccZ	gravX	gravY	gravZ	upside dc	heading

AQ	AR	AS	AT	AU	AV
roll	pitch	qW	qX	qY	qZ

AU
Description

制御出力系データの項目の説明を下記に示す。

- ・ J 列 CanSat がキャッチしている衛星数
- ・ K 列
- ・ L 列 CanSat とゴールまでの距離
- ・ M 列 CanSat がどれくらい動いたか
- ・ N 列 ゴールと CanSat の向いている方向との角度(rad)ラジアン
- ・ O 列 光センサの値
- ・ P 列 バッテリーの電圧
- ・ Q 列 高度センサの値
- ・ R 列 温度
- ・ S 列 気圧
- ・ T 列 湿度
- ・ U~X 列 200G まで計測可能な加速度センサの値

- ・ Y～AB 列 通常の加速度センサの値
- ・ AC～AE 列 ジャイロセンサの値
- ・ AF～AH 列 地磁気センサの値
- ・ AI～AK 列 線形加速度の値
- ・ AL～AO 列 重力加速度の値
- ・ AP 列 地磁気センサより求めた自分の方角
- ・ AQ～AR 列 横、縦方向の角度
- ・ AS～AV 列 CanSat の向きを基準として対しての姿勢

なお AI～AK 列、AP～AV 列の値はプログラムでは使用していない。

## GPSによりゴール付近まで制御

- ・ GPSでローバの位置を求める
- ・ ゴールへの方向ベクトルを求め  
ローバの方向ベクトルは  
コンパスセンサで求めている
- ・ ローバの方向ベクトルとの  
なす角 $\theta$ から  
図のようにゴールの方向ベクトル  
より反時計回りのときは  
右にハンドルを切る制御
- ・ ハンドルを切る量は $\theta$ に比例

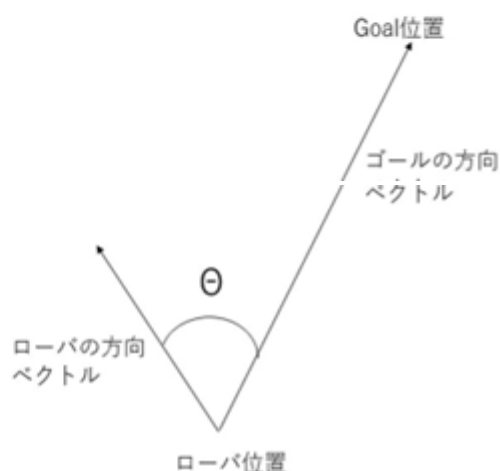


Fig5-11-3 GPS による制御方法

<https://drive.google.com/drive/folders/1FxqsbX9oN5jXMiojRdfpmMBD9sOELU6D?usp=sparing>

- 結論
  - CanSat が目的地まで自律走行が可能であり、グラフ作成プログラムも問題なく動作し、グラフとして制御履歴を表すことができた。

## 第 5.2 節 ミッションを達成するためのシステム試験

### MV1 着地衝撃試験

- 目的
  - 着地時に衝撃に機体が耐えられるかどうか実際にドローンを使用してパラシュートを投下して着地した際に機体に異常がないか確認する。
  
- 試験内容
  - この試験の落下試験を参考にする。その際に、着地衝撃が加わっても期待が損傷なく動作することを確認する。
  
- 試験結果
  - 着地衝撃を 3 回与え、実際に電子回路の GPS やセンサ類の値、パラシュート離脱機構、モータに異常がないか、CanSat 機体が破損していないかの確認を行い、故障無く CanSat に問題がなく正常に動作したことを確認した。  
着地衝撃試験は落下試験と同じ動画から、確認できる。  
○落下試験の動画 URL  
1 回目(1 分 3 0 秒頃): [https://youtu.be/Txoymgc\\_0vo](https://youtu.be/Txoymgc_0vo)  
2 回目(1 分 6 秒頃): <https://youtu.be/-wBhE4F0nIA>  
3 回目(1 分 5 0 秒頃): <https://youtu.be/VTgBEcVixeE>
  
- 結論
  - CanSat が着地衝撃に耐え、問題なく動作することを確認した。

## MV2 走行性能確認試験

- 目的
  - CanSat を本番のフィールドで問題なく走行できることを確認する
- 試験内容
  - この試験では ARLISS 本番を再現したフィールドにてタイヤの半径以下の轍、穴といったところでも走行できるか、実際に学内のグラウンドにて轍を再現し走破ができるかの試験を行った。実験での轍の画像の例を Fig.7-14-1 に示す。




Fig.7-14-1 実験にて使用した轍

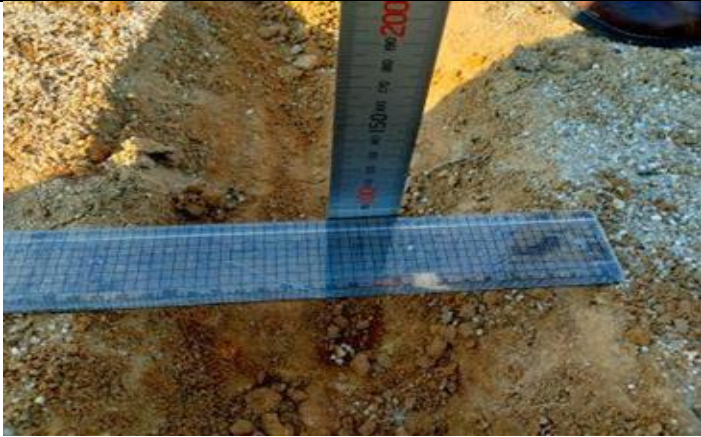
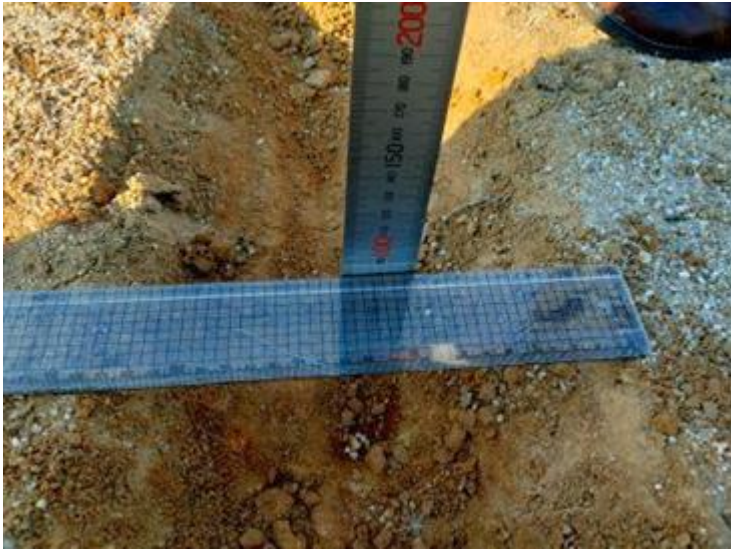
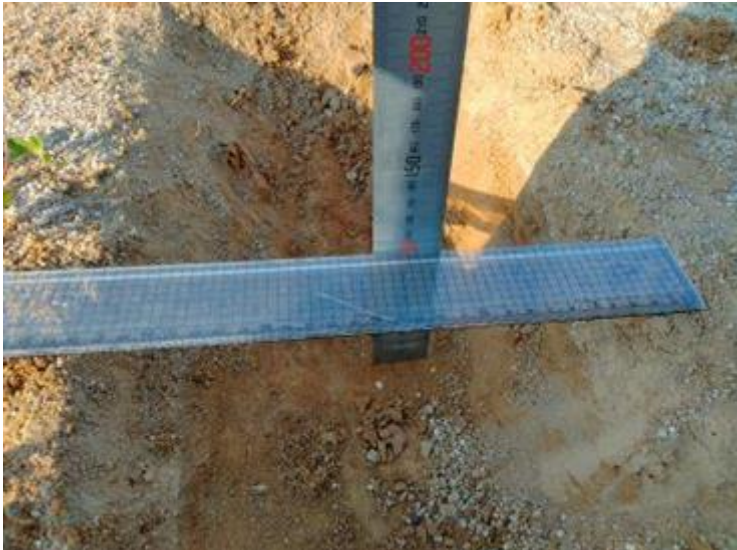
- 試験結果
  - ARLISS のような地面での轍を再現し、6cm-10cm の各深さの轍を、走行しながら轍内で停止させた状態からの走行で、轍を乗り越えられるか試験を行った。轍の走行性能確認試験の結果を、Table 5-14-1 に示す。走行性能確認試験を動画に撮り、YouTube にて確認できるようにした。実際の試験の様子を下の URL に示す。

○走行性能確認試験の動画 URL : <https://youtu.be/o29sBKmmFrM>

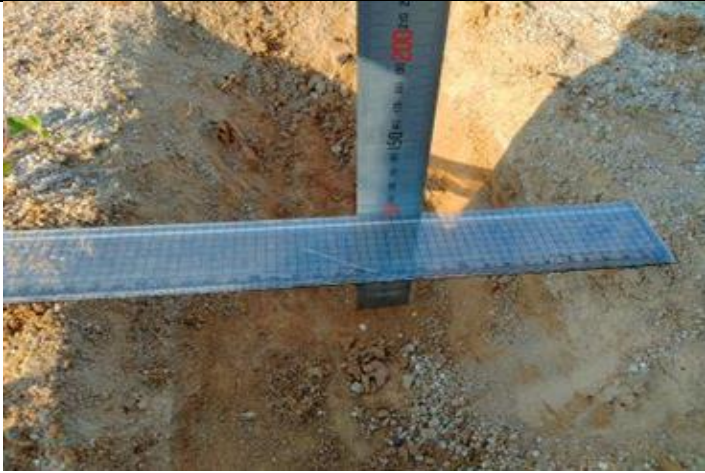


○轍内から走行を確認した URL : [https://youtu.be/080d\\_UFunZk](https://youtu.be/080d_UFunZk)

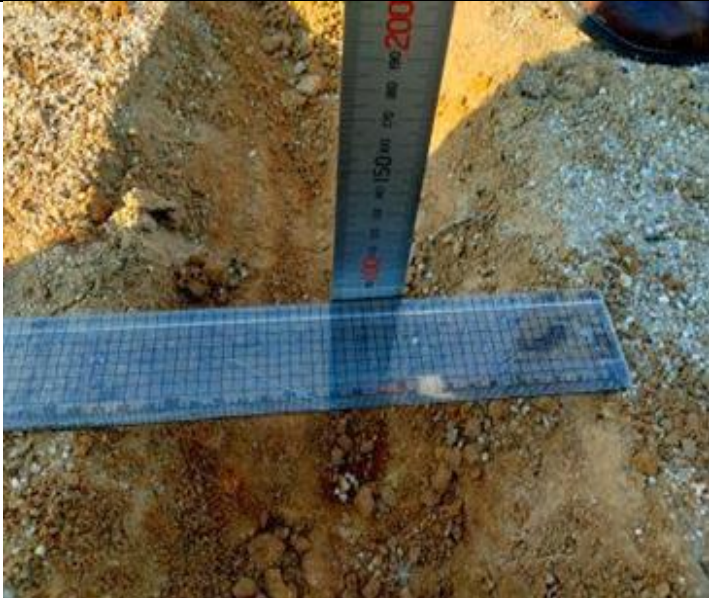
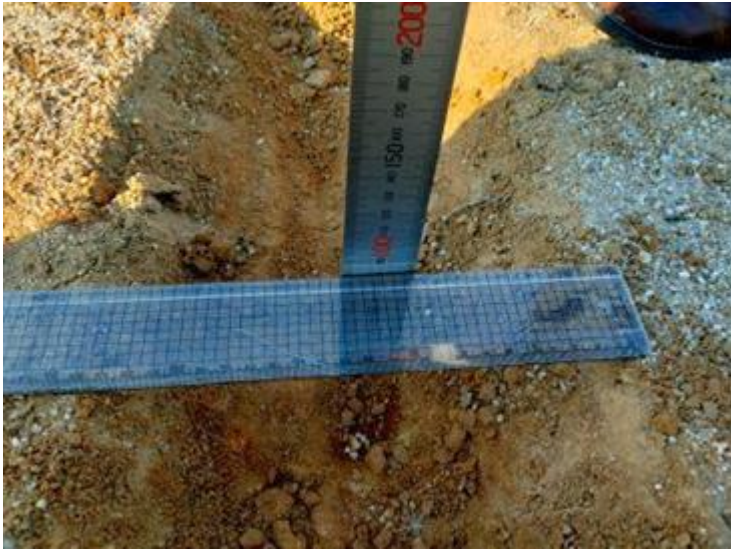

Table 5-14-1

試験回数	走破	轍の大きさ	結果詳細
1回目	○	深さ 6cm 幅 25cm 走行しながら乗り越え 	深さ 6cm 幅 25cm の轍を、走行しながら乗り越えた
	○	深さ 6cm 幅 25cm 走行しながら乗り越え(1回目逆方向から) 	深さ 6cm 幅 25cm の轍を、走行しながら乗り越えた(1回目逆方向から)
2回目	○	深さ 8cm 幅 25cm 走行しながら乗り越え	深さ 8cm 幅 25cm の轍を、走行しながら乗り越えた

			
	○	<p>深さ 8cm 幅 25cm 走行しながら乗り越え(2 回目逆方向から)</p> 	<p>深さ 8cm 幅 25cm の轍を、走行しながら乗り越えた(2 回目逆方向から)</p>
3 回目	×	<p>深さ 10cm 幅 25cm</p> 	<p>深さ 10cm 幅 25cm の轍を、走行しながら乗り越えることはできなかった</p>
	×	<p>深さ 10cm 幅 25cm 走行しながら乗り越え(3 回目逆方向から)</p>	<p>深さ 10cm 幅 25cm</p>



			の轍を、 走行しながら乗り越えることはできなかった(3回目逆方向から)
4回目	○	深さ 6cm 幅 25cm 轍の中から乗り換え 	深さ 6cm 幅 25cm の轍を、 轍の中から乗り越えた
	○	深さ 6cm 幅 25cm 轍の中から乗り換え(4回目逆方向から) 	深さ 6cm 幅 25cm の轍を、 轍の中から乗り越えた(4回目と逆方向から)
5回目	○	深さ 8cm 幅 25cm 轍の中から乗り換え	深さ 8cm 幅 25cm の轍を、

			轍の中から乗り越えた
	○	<p>深さ 8cm 幅 25cm 轍の中から乗り換え(5 回目逆方向から)</p> 	深さ 8cm 幅 25cm の轍を、轍の中から乗り越えた(5 回目と逆方向から)
6 回目	×	<p>深さ 10cm 幅 25cm 轍の中から乗り換え</p> 	深さ 10cm 幅 25cm の轍を、轍の中から乗り越えることはできなかった
	×	<p>深さ 10cm 幅 25cm 轍の中から乗り換え(6 回目逆方向から)</p>	深さ 10cm 幅

			25cm の轍を、 轍の中か ら乗り越 えること はできな かった (6 回目と逆 方向か ら)
--	--	--	--

また能代宇宙イベントの地形に似た大きな草の障害物のあるフィールドにて CanSat を走行させ CanSat がスタックしないかの確認をした。その結果を Table5-14-2 に示す

**Table 5-14-2**

回数	走破	草の大きさ	試験動画 URL
3	○	深さ 10~15cm の草 	<a href="https://youtu.be/uw5HgT7ygxE">https://youtu.be/uw5HgT7ygxE</a>
	○	深さ 30~40cm の草	

			
	○	<p>深さ 40~50cm の草</p> 	

- 結論

- タイヤ半径以下の轍での走破ができることが確認できた。  
 タイヤの半径を超えるような轍でも乗り越えることができるように今後タイヤの構造や、サイズなど検討する必要がある

## 第6章 工程管理

5月のプロジェクトの開始から大会までの工程をまとめる。

下記に全日程の概要と毎月の予定の詳細を示す。

### 【全日程の概要】

- ・祝日と土日を休み
- ・テスト期間は予備審査終了後
- ・スケジュールに余裕を持たせ、必要時間の倍程度の日程
- ・メンバーは2人で実施
- ・5-6月: プロトタイプ作成&テスト、予備審査試験&振動試験
- ・6月下旬: UNISEC 賞審査項目の審査試験
- ・7月上旬: ミッション試験
- ・7月中旬: End-to-End 試験とリカバリー
- ・7月下旬: 最終調整
- ・ガントチャートを Fig.9 に示す

※1 赤色の矢印: 前の工程が終了していない場合、次に進めない依存関係を示します。

※2 赤色の枠線: 日程は決めているものの、天候や急な予定により日程が変更可能な試験については、赤色の枠線で囲んで示します。この期間内であれば、問題なく工程が完了することを意味します。

※3 黄色の枠線: 能代宇宙イベントや ARLISS の準備、および大会期間は、黄色の枠線で囲んで示します。

### 【5月】

- ・5月: ミッションの考案&部品発注、プロトタイプ作成、テストと確認、改良
- ・第1週: ミッションの考案
- ・第2週: 部品や材料の発注
- ・第3-5週: テスト CanSat 作成、問題点の確認と改良 (NSE 予備審査書提出)

### 【6月】

- ・6月: プロトタイプ作成&確認終了、予備審査・衝撃耐久関係試験実施 (1週間約2試験)
- ・第1週: 質量試験・キャリア収納試験
- ・第2週: 準静的荷重試験・分離衝撃試験
- ・第3週: パラシュート投下試験・開傘衝撃試験
- ・第4週: 着地衝撃試験・走行性能確認試験
- ・第5週: 振動試験・GPS データダウンリンク試験



## 第7章 大会結果報告

### 第7.1節 目的

- ARLISS で得られた結果を来年度以降に生かしていくため。また、研究活動、学習のため

### 第7.2節 結果と考察

	ミッション内容	投下1回目	投下2回目
ミニマムサクセス	パラシュートから正常に分離しGPSを用いてゴールに向かい5m以上走行することができる。 キャリアから放出されたかを判定する気圧センサが正常に動作できる。	×	○
フルサクセス	指定地点を巡り、そこからゴールに向かって走り出す。GPSの精度は約10メートルであるため、実際のゴール地点から10メートル以内に到達すればフルサクセスとする。	×	○
エクストラサクセス	指定地点を巡り、ゴール位置を測定する。そこからゴールに向かって走り出す。GPSの測位誤差を克服し正確なゴール地点から0mに到達する。	×	×

全体を通して、フルサクセスは達成することができたため、今回掲げたミッションである「簡易且つ簡便な機能を有する入門用 CanSat にて高精度誘導を行う」というミッションは8割程度達成できた。エクストラサクセスで掲げた0mゴールは達成できなかったため、今後の課題となった。

○投下 1 回目

シーケンス	結果	詳細
CanSat をキャリアに収納する.	○	想定通りキャリアに収納できレギュレーションを満たした.
CanSat 本体がキャリアから放出される.	○	問題なくキャリアから放出はされた
CanSat のパラシュートを開き、落下速度を減速させる.	○	想定通り、パラシュートによる下降、落下速度の減速をおこなえた。
機体が破損無しで着陸する.	○	前シーケンスがうまく機能したおかげで着陸できた。
CanSat 保護ケースを CanSat 本体から切り離し、パラシュートと分離する.	×	CanSat に破損はなかったが、放出時に想定していた衝撃以上加わってしまってプログラムが停止してしまい、分離を行うことができなかった
パラシュートを分離した後、GPS を用いゴールに向かって走行する.	×	前シーケンスを達成できなかったため未達成.
スタックの原因になりそうな轍をタイヤで乗り越え、轍にスタックしたと判定した時、轍脱出動作を行い、轍からの脱出を行う.	×	前シーケンスを達成できなかったため未達成.
指定地点からセンサやプログラムを用いてゴール地点を測定する	×	前シーケンスを達成できなかったため未達成.
ゴールを検知した場合はその方向に検知した距離分走行して停止する	×	前シーケンスを達成できなかったため未達成.
もし、すべての指定地点の範囲内を測定してもゴールが検知できなかった場合は、GPS 情報でゴールまでの距離が 1.5m 以内になるとゴール判定を行い、停止する	×	前シーケンスを達成できなかったため未達成.



## 1 回目詳細、考察

投下 1 回目は、キャリア収納からパラシュートでの着地はできていて大きな破損は見られなかった。しかし、無線の通信が途絶えてしまった。機体を発見後 15 分ほど様子を見たがパラシュートの分離が行われなかったため、リタイヤとなった。原因として考えられるのは、ロケットと CanSat の分離時の衝撃が想像以上にかかってしまい、プログラムに影響を与えてしまってプログラムが停止したと結論付ける。Fig7-2-1 では気圧変化から求めた高度変化が示されており、ロケットからの高度の変動が記録されている。Fig7-2-2 ではロケットから分離する際の加速度の変化がグラフとして示す。プログラムが停止してしまったため、Fig7-2-1 は高度約 3,000m の地点までのデータとなった。

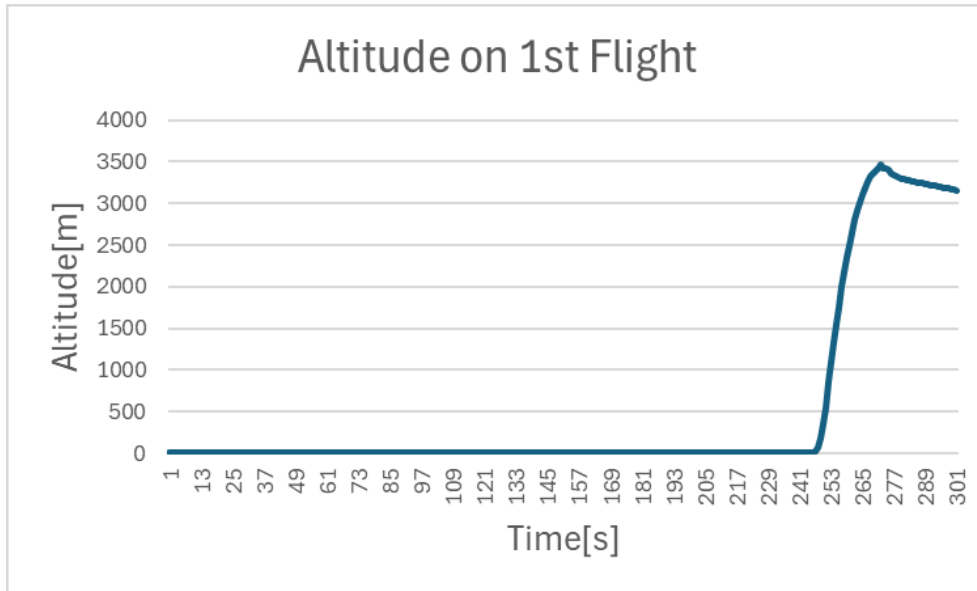


Fig7-2-1 気圧変化から求めた高度変化

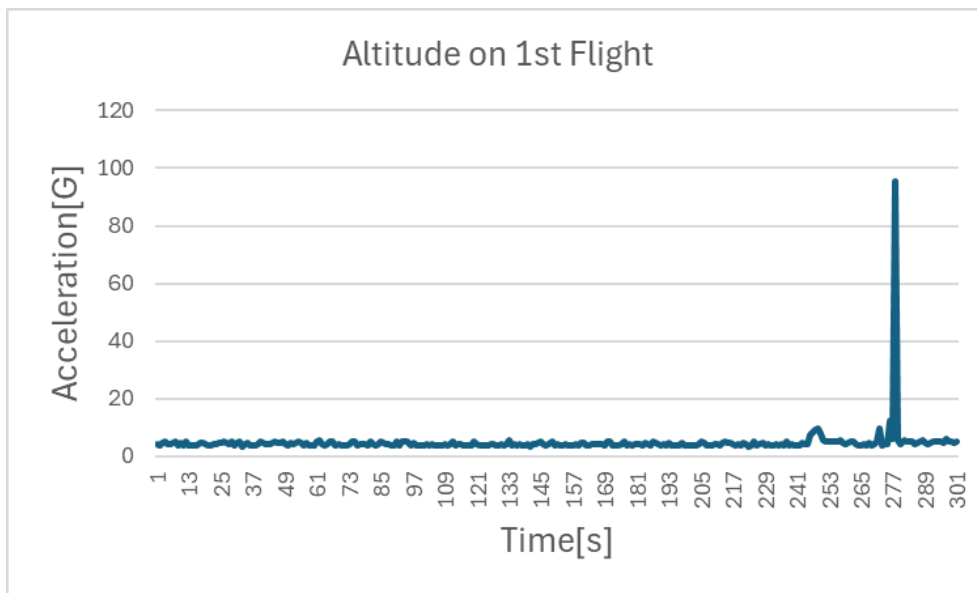


Fig7-2-2 ロケットから分離する際の加速度

○投下 2 回目

シーケンス	結果	詳細
CanSat をキャリアに収納する.	○	想定通りキャリアに収納できレギュレーションを満たした.
CanSat 本体がキャリアから放出される.	○	問題なくキャリアから放出はされた
CanSat のパラシュートを開き、落下速度を減速させる.	○	想定通り、パラシュートによる下降、落下速度の減速をおこなえた。
機体が破損無しで着陸する.	○	前シーケンスがうまく機能したおかげで着陸できた。
CanSat 保護ケースを CanSat 本体から切り離し、パラシュートと分離する.	○	想定通り、パラシュートとの分離を行うことができた。
パラシュートを分離した後、GPS を用いてゴールに向かって走行する.	○	想定通り、GPS 座標に向かって走行することができた。
スタックの原因になりそうな轍をタイヤで乗り越え、轍にスタックしたと判定した時、轍脱出動作を行い、轍からの脱出を行う.	○	タイヤを径が大きいかつ丈夫な作りであったため、問題なく轍を乗り越えた
指定地点からセンサやプログラムを用いてゴール地点を測定する	▲	センサは起動していたが、ゴール地点を測定することができなかった。
ゴールを検知した場合はその方向に検知した距離分走行して停止する	×	ゴールを検知できなかったため、未達成
もし、すべての指定地点の範囲内を測定してもゴールが検知できなかった場合は、GPS 情報でゴールまでの距離が 1.5m 以内になるとゴール判定を行い、停止する	○	センサでゴールの検知が行えなかったが、GPS 情報を元に止まることができた。

## 2 回目詳細、考察

2 回目の打ち上げは、天候や風向きの条件が良く、CanSat はゴールから約 2.2km の地点に着地した。着地後、すぐに CanSat を発見でき、パラシュートとの分離を待っている状態であった。無線通信も問題なく行われ、無事に CanSat とパラシュートの分離を完了し、ゴールに向けて走り出した。

走行中に 2 回ほど大きな轍に入ったが、スタックすることなく進み、約 1 時間でゴール付近までたどり着くことができた。GPS による誘導は完璧に機能しており、CanSat は目標地点に確実に到達した。超音波センサも動作していることが確認できたが、その検出範囲が狭いため、超音波による正確なゴールは実現できなかった。

最終的に、GPS 座標でゴールの 2m 以内に入るとカウントされる仕組みを用いており、20 回ほどそのエリアに入ったことで CanSat が停止した。この結果、計画通りにゴールまで誘導することができた。最終的には 3.8m でゴールしたため、フルサクセスまで達成することができた。

また、以下のデータを基に各種動作が分析されている。Fig7-2-3 では気圧変化から求めた高度変化が示されており、ロケットからの高度の変動が記録されている。Fig7-2-4 ではロケットから分離する際の加速度の変化がグラフとして示されており、分離時の振動や衝撃を確認できる。Fig7-2-5 には CanSat がゴールまで到達する際の軌跡が示されており、GPS 誘導が正確に機能したことがわかる。Fig7-2-6 にはゴール到達後のスタビライザーの状態が記録されており、壊れかけている様子が確認される。Fig7-2-7 では実際に測定された距離が表示されており、着地地点とゴールの関係が詳細に示されている。最後に、Fig7-2-8 では CanSat とゴールの位置関係が写真で確認でき、ゴールまでの誘導の正確性が視覚的に確認できる。

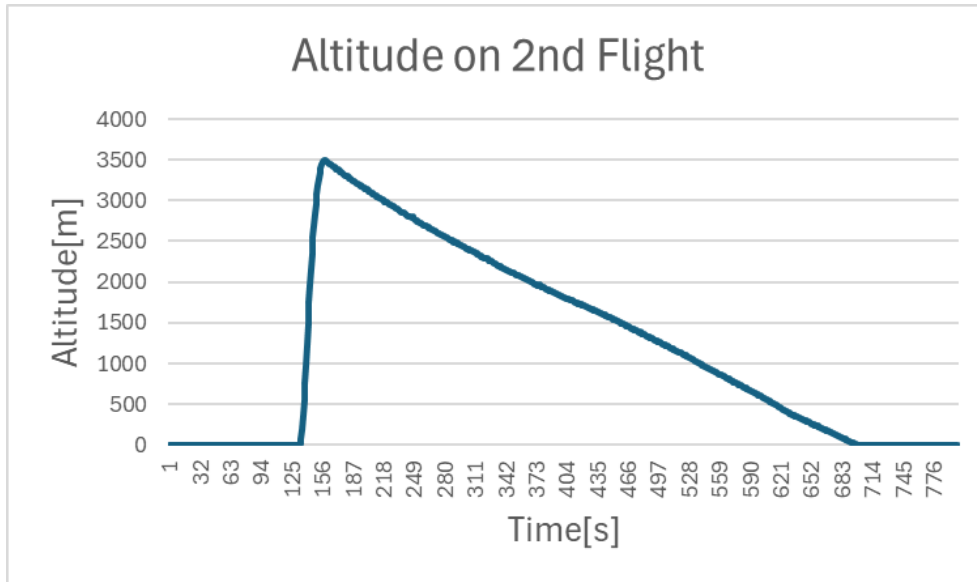


Fig7-2-3 気圧変化から求めた高度変化

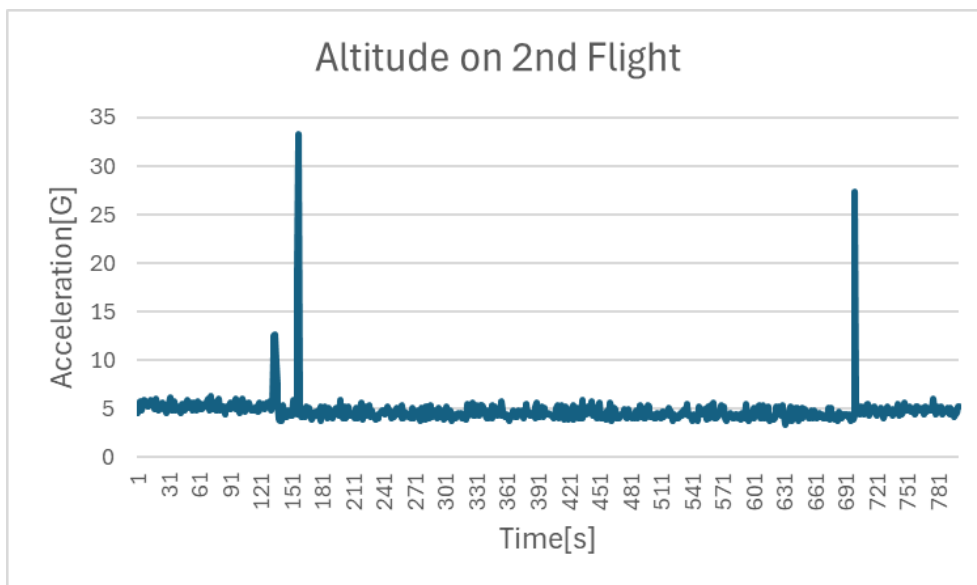


Fig7-2-4 ロケットから分離する際の加速度

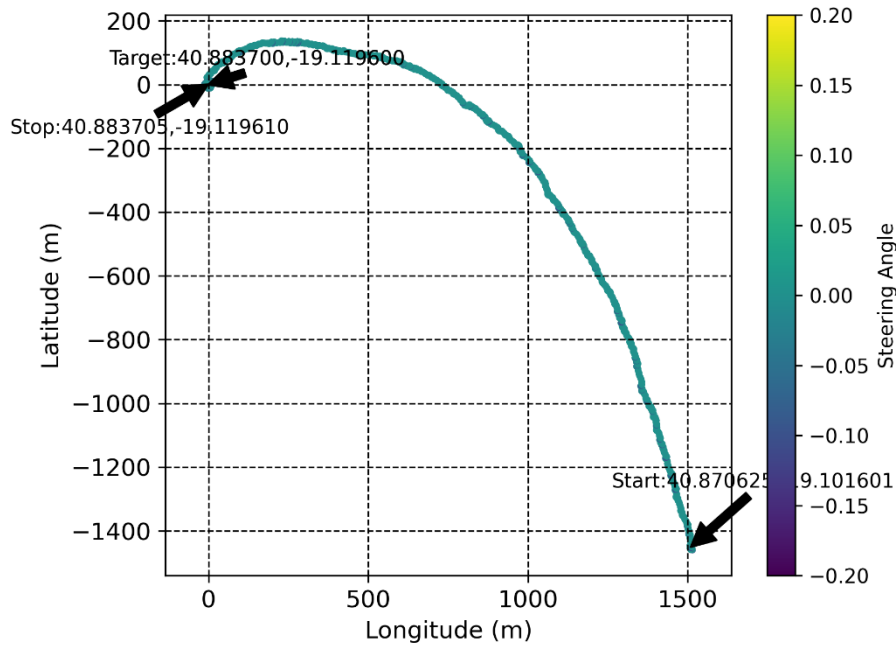


Fig7-2-5 ゴールまでの軌跡



Fig7-2-6 スタビライザーの破損の様子



Fig7-2-7 実際の測定時の距離



Fig7-2-8 CanSat とゴールの位置関係

## 第8章 まとめ

### 第8.1章 工夫点

大会前に工夫した点は、超音波センサを固定する部品の作成である。昨年の上打ちでは、超音波センサがロケットや着地の衝撃に耐えられず、上を向いてしまう問題が発生していたことを聞いていた。そのため、今回はセンサを確実に固定し、かつ壊れないようにすることを目標とした。また、超音波センサの位置によってゴールのコーンを正確に読み取れない問題も生じるため、センサの位置調整にもこだわった。機体班の滝沢が工夫を重ね、本番でも壊れないような超音波センサの固定部品を作り上げた。

大会中に工夫した点は、バッテリーを1つから2つに変更したことである。1回目の打ち上げが失敗した要因の1つとして、ロケットからの放出時に衝撃で回路に一瞬高電圧がかかり、トラブルが発生した可能性があった。そのため、2つのバッテリーを使うことで、一瞬の高電圧が発生しても機器に問題が起こりにくい仕組みとした。もともとの基板は1つのバッテリーしか接続できない仕様であったが、基板に新たにバッテリー用のコネクタをほんだ付けして、2つのバッテリーを使用できるように改良した。その結果、2回目の打ち上げでは問題なく機器が動作し、ゴールにたどり着くことができた。

### 第8.2章 課題点

超音波センサが現在の最大の課題である。現在のプログラムでは、5m×5mのエリアに入った場合のみ超音波センサが動作するように設定していた。しかし、GPSの誤差により、実際のゴールがその5m×5m エリアの端に位置していたため、予定通りに動作せず、別のプログラムに移行してしまった。その結果、超音波でゴールを発見することができなかった。改良案としては、エリアを5m×5m から10m×10mに広げることや、超音波センサの動作回数を増やすことを検討している。

また、大会後にはスタビライザーに問題があることも確認された。第7章のFig7-2-6に掲載されている写真でも示されている通り、スタビライザーは壊れる寸前でゴールに到達していた。以前より補強を施していたものの、まだ壊れる可能性があることが分かったため、今後はスタビライザー全体の設計を見直し、より壊れにくい仕組みを目指したいと考えている。



### 第 8.3 章 今後の展望

CanSat の開発は、予定通りに進まないことが多いということを知ってもらいたい。私たちも、様々な問題に直面した。たとえば、CanSat が壊れてしまい、予定していた日に実験ができなかったこと、審査書の提出直前に高熱を出してしまったこと、就職活動の影響でメンバーをうまく招集できなかったことなどが多々発生した。そのため、開発期間には十分な余裕を持つことが非常に重要であると考えている。

また、私たちは当初掲げていたオープンソース化に向けて現在準備を進めている。これにより、多くの人に CanSat を知ってもらい、学んでいける環境を作りたいと考えている。公開するプログラムには、私たちが使用したプログラムのベースとなる元プログラムを含める予定であり、それをもとに各開発者が自由に拡張できるようにするつもりだ。

拡張機能の例として、私たちは Qwiic の超音波距離センサ TCT40 を用いて開発を行った。大会では、実際にゴールに当たり、0m ゴールを達成する可能性を見せることができた。0m ゴールの実現については、今後各自の拡張機能に期待している。