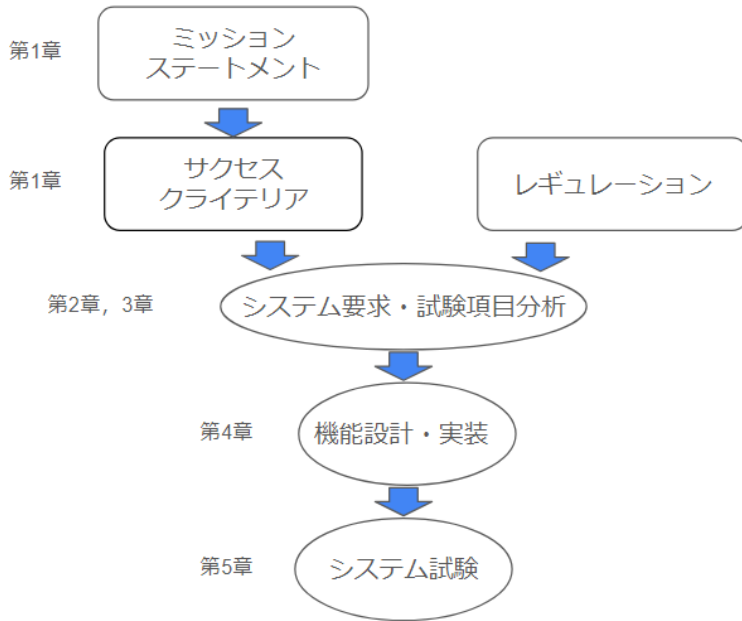


# ARLISS2025大会報告書

提出日：2025年08月28日



## 開発審査書構成\_ARLISS2024

- 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
  - 第1.2節 ミッション内容
  - 第1.3節 サクセスクライテリア
- 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
  - 第2.2節 ミッションを達成するためのシステム要求
- 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
  - 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
- 第4章 システム仕様
  - 第4.1節 機体概観
  - 第4.2節 機体機構
  - 第4.3節 搭載機器
- 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
  - 第5.2節 ミッションを達成するためのシステム試験
- 第6章 工程管理
- 第7章 責任教員による確認

## チーム情報

CanSatチーム名	TMU beacon
CanSatチーム代表者情報	古内幹人 fmikito2021@gmail.com, 090-4043-1202
UNISEC団体名	さはらかん
UNISEC団体学生代表	古内幹人
責任教員	佐原宏典 sahara@tmu.ac.jp
CanSatクラス	Open Class

# 目次

第1章	ミッション定義	3
第1.1節	ミッションステートメント	3
第1.2節	ミッション内容	3
第1.3節	アルゴリズム	4
第1.3節	第1.4節 サクセスクライテリア	6
第1.3.1項	MI-1	6
第1.3.2項	MI-2	7
第2章	システム要求	8
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	8
第2.2節	ミッションを達成するためのシステム要求	9
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4.1.1項	ビーコン	13
第4.1.2項	ローバー	15
第4.2節	機体機構	16
第4.3節	搭載機器	16
第5章	システム試験	18
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	18
第5.2節	ミッションを達成するためのシステム試験	22
第6章	工程管理	25
第7章	大会結果報告	26
第7.1節	目的	26
第7.2節	結果	26
第7.3節	考察	28
第8章	まとめ	29
第8.1節	工夫点・努力した点	29
第8.2節	課題点	30
第8.3節	今後の展望	30

## 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

#### ビーコンシステムの構築，及びビーコンシステムで指定した地点へのローバーの誘導

CanSatを意中の地点へ到達させるには，誘導制御が必要不可欠である．現在，多くのCanSatミッションにおいては，誘導手段としてGNSSが使用されている．しかし，月や火星といった惑星探査では，GNSSを用いた自己位置の推定ができない．そのため，実際の惑星探査をより忠実に模擬するために，CanSatにおいてもGNSSを用いない誘導方式の開発を考案した．

過去のCanSatミッションにおいては，GNSSを使用しない誘導手法として，タイヤの回転数から座標を推定するホイールオドメトリや，周囲の景色の変化を利用するビジュアルオドメトリなどが提案されている．しかし，これらはいずれも簡便さや精度の面で課題を抱えている．

そこで私たちは，信号を発信するビーコンを用いた新たな誘導手法を提案する．複数のビーコンをローバーとともに投下し，ビーコン間で相互通信を行うことで，取得したRSSI値（受信信号強度指標）から機体間の距離を推定し，相対座標を算出するというものである．この手法を，本ミッションのステートメントにおいて「ビーコンシステム」と定義する．

この方式では，ビーコンの数を増やすことで冗長性を確保できるほか，他の誘導手法と組み合わせることでさらなる精度向上も期待される．さらに，惑星探査の観点から見ると，一度設置されたビーコンはその場に残り続けるため，後続の探査機による再利用も可能となり，長期的な運用にも有効である．本ミッションでは実際の惑星探査をより忠実に模擬するためにビーコンを事前に設置せず，すべてのシーケンスを人の介在なしで実行する．

過去のCanSatミッションでは，打ち上げ前に構造物をフィールドにあらかじめ設置する例も見られた．

### 第1.2節 ミッション内容

本ミッションのシーケンス図を図1-1に示し，これに基づいて以下説明する．

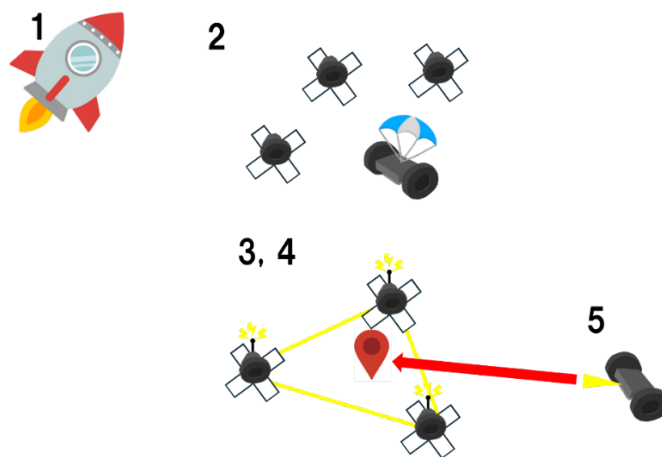


図 1-1 サクセスクライテリア

1. キャリアから放出  
キャリアにビーコン3機，ローバー1機を搭載する．ロケットから，ビーコン及びローバーを同時に放出する．
2. 減速機構展開  
ローバーの減速機構であるパラシュートと，ビーコンの減速機構であるオートローテーション用の羽を展開する．
3. 着地

着地する。ローバーはパラシュートを切り離し、走行可能な状態に遷移する。ビーコンは直ちにビーコンシステム構築シーケンスに移行する。

#### 4. ビーコンシステム構築

ビーコン間、及びビーコン・ローバー間で、相互通信を開始する。各機体において、各通信での受信信号強度 (RSSI : Received Signal Strength Indicator) を測定し、ビーコン間、及びビーコン・ローバー間の距離を推定する。これを基に、ビーコン及びローバーの相対座標を算出する。

#### 5. ローバー誘導

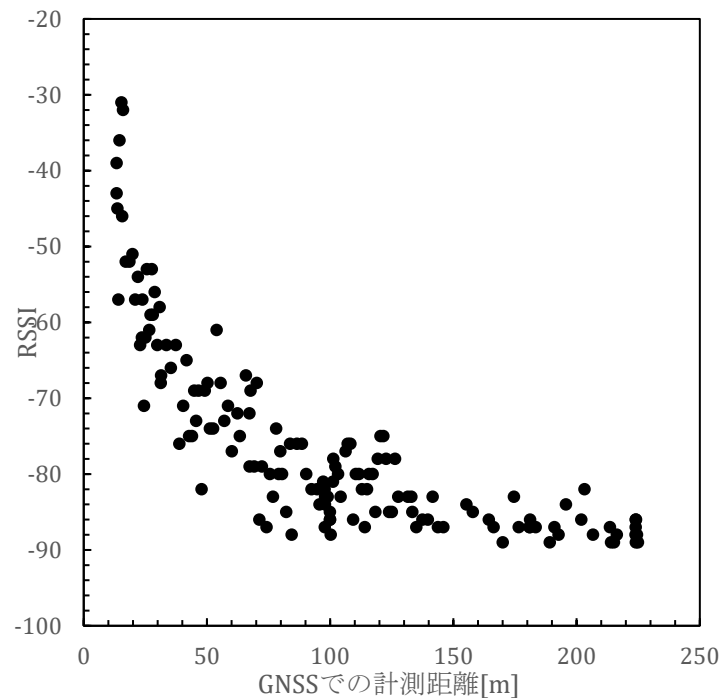
算出した相対座標を基に任意の地点を定める。ローバーは、その地点を目標に誘導制御を行い走行する。本ミッションでは、ビーコンを3機使用するため、通信可能なビーコンの数に応じて目標地点を定める。1個の場合はビーコン自体、2個の場合は2つのビーコンの midpoint、3つの場合は3つのビーコンを頂点とする三角形の重心を目標地点とする。

### 第1.3節 アルゴリズム

図1-2に、ローバー誘導シーケンスにおけるローバー制御のフローチャートを示し、当該シーケンスの詳細について説明する。

ローバー誘導シーケンスの開始時、ローバーはビーコンとの通信を行い、RSSI値を用いて相対距離を取得する。シーケンス開始時のローバー位置を原点として、まず各ビーコンと通信しRSSI値を記録する。その後、ローバーは直進し、再度RSSI値を取得する。次に、反時計回りに90度回転して進行方向を変更し、再度直進したのち、同様にRSSI値を測定する。ここで規定する直進移動時間の長さは、ビーコンとローバー間の大まかな距離によって変化する。グラフ1-1に示すように、RSSI値に基づく距離分解能はビーコンとローバー間の距離が短いほど指数関数的に向上するため、距離が離れている場合には有意差を得るために比較的長距離移動する必要がある。

これら3地点で得られたRSSI値を、グラフ 1-1に示すように事前に取得しておいたRSSI値とGNSSでの計測距離の対応関係 (フィッティング曲線) に基づき、距離に変換する。これにより、3地点からそれぞれのビーコンへの距離が求まり、三辺測量 (三角測量) の要領でビーコンの位置を推定することが可能となる。



グラフ 1-1 RSSIとGNSSでの計測距離の対応関係の一例

しかし、RSSI値には環境ノイズや反射などの影響による誤差が含まれるため、単純な幾何的

手法では精度の高い位置推定は困難である．そこで，本ミッションでは数値解析手法の一つであるLevenberg-Marquardt法（以下，LM法）を用いて，最適なビーコンの座標を推定する．LM法は，非線形最小二乗法の代表的手法であり，ニュートン法と最急降下法の中間的な手法として広く用いられている．

本ミッションでは，ビーコン位置の初期推定値を与えたうえで，以下のような目的関数を定義する．

$$E(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^3 (d_i - |\mathbf{x} - \mathbf{p}_i|)^2$$

ここで， $\mathbf{x}$  は推定したいビーコンの座標， $\mathbf{p}_i$ は各測定点のローバー座標， $d_i$ はRSSIから変換した各測定点における推定距離である．この目的関数 $E(\mathbf{x})$ を最小化することで，観測距離との誤差が最も小さくなる位置が推定される．LM法では，勾配とヘッセ行列の情報を用いることでパラメータ空間内を効率的に探索し，目的関数の局所最小値へと収束する．

ビーコンの相対座標が求まった後，次に通信可能なビーコンの個数に応じて，ローバーの目標地点を動的に変更する．通信可能なビーコンが3個の場合は，それらの重心を目標とし，2個の場合は2点の midpoint，1個の場合はそのビーコン自体を目標地点とする．いずれのビーコンとも通信できない場合は，ローバーが通信を試みながら周囲を探索し，徐々に移動範囲を広げていく．目標地点に到達した後も通信可能ビーコン数に変化がない場合は，その地点をゴールとして誘導走行を終了する．

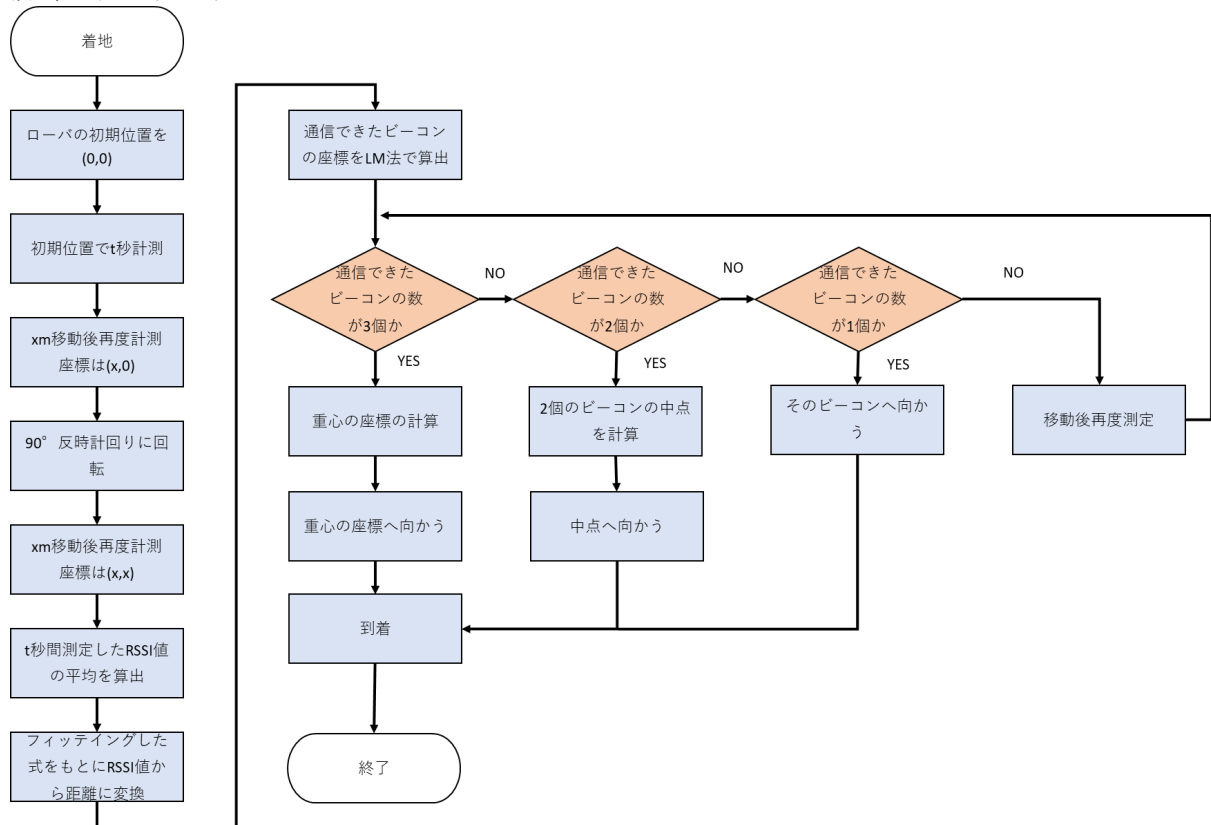


図 1-2 フローチャート

## 第1.4節 サクセスクライテリア

ミッションアイテムを以下の表1-1に示す。

表1-1 ミッションアイテム

番号	ミッションアイテム
MI-1	RSSI値を用いて距離測定を行い、相対座標を算出する。
MI-2	算出された相対座標上の任意の地点へ、ローバーを誘導制御する。

表1-1に示した2つのミッションアイテム毎に個別にサクセスクライテリアを設定する。また、各サクセスクライテリアの達成の指標と、達成の確認方法についても併記する。

### 第1.3.1項 MI-1

MI-1のサクセスクライテリアを、以下の表1-2に示す。

表1-2 MI-1サクセスクライテリア

ミニマムサクセス	ビーコン間の通信を確立する。
フルサクセス	ビーコン間の相対座標を算出する。
エクストラサクセス	3つのビーコンで相対座標を算出する。

MI-1のサクセスクライテリアの達成の指標を、以下の表1-3に示す。

表1-3 MI-1サクセスクライテリア達成指標

ミニマムサクセス	ビーコン間の通信を確立する。
フルサクセス	GNSSによる座標との誤差をTBD%以内100m以内にする。
エクストラサクセス	GNSSによる座標との誤差をTBD%以内30m以内にする。

MI-2のサクセスクライテリアの達成の確認方法を、以下の表1-4に示す。

表1-4 MI-1サクセスクライテリア達成確認方法

ミニマムサクセス	ログの確認
フルサクセス	ログの確認
エクストラサクセス	ログの確認

### 第1.3.2項 MI-2

MI-2のサクセスクライテリアを、以下の表1-5に示す。

表1-5 MI-2サクセスクライテリア

ミニマムサクセス	ビーコンシステムを用いて誘導を開始する。
フルサクセス	ビーコンシステム上で最後に設定した範囲にローバーを到達させる。
エクストラサクセス	3つのビーコンを頂点とした三角形の重心に移動する。

フルサクセス項における「ビーコンシステム上で最後に設定した範囲」とは、ローバーが最終的に通信を確立できたビーコンが1機の場合はビーコン位置を、2機の場合はビーコン間を直線で結んだ中点を意味し、3機の場合はエクストラサクセスが該当する。

MI-2のサクセスクライテリアの達成の指標を、以下の表1-6に示す。

表1-6 MI-2サクセスクライテリア達成指標

ミニマムサクセス	誘導を開始する。
フルサクセス	GNSSによる座標との誤差を4BD%以内100m以内にする。
エクストラサクセス	GNSSによる座標との誤差を4BD%以内30m以内にする。

MI-2のサクセスクライテリアの達成の確認方法を、以下の表1-7に示す。

表1-7 MI-2サクセスクライテリア達成確認方法

ミニマムサクセス	ログの確認
フルサクセス	ログの確認
エクストラサクセス	ログの確認

表1-3及び、表1-6のサクセスクライテリアの達成指標については、RSSIの減衰に関する試験から実現が見込まれる数値を設定した。

## 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

本ミッションでは、電波を発信するビーコン、走行機能を有するローバー、およびローバーを梱包するエンベロープ、この3つの構造物を作成する。以降、これら3要素を一体としたものをCanSatと呼称する。

大会全般におけるレギュレーションを満たすためのシステム要求を以下の表2-1に示す。

表2-1 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は質量が1050gであり、直径146mm、高さ240mmの円柱に収まるサイズであること。
R2	CanSatはロケットから放出後位置が特定されること。
R3	CanSatは終端速度が4~6 m/s 以下であること。
R4	CanSatは打ち上げ荷重、振動、分離衝撃、パラシュート開傘衝撃に耐えること。
R5	CanSatはロケットに搭載時、無線の操作をしないこと。
R6	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。
R7	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。
R10	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。

## 第2.2節 ミッションを達成するためのシステム要求

システム要求を、表1-1に示したミッションアイテムごとに設定する。  
MI-1に対するシステム要求を、以下の表2-2に示す。

表2-2 MI-1システム要求

番号	ミッションを達成するためのシステム要求
M1	RSSI値を取得できる通信装置が必要である。
M2	信号を送受信するビーコンが複数機必要である。
M3	相対座標の精度検証のために、絶対座標を知る必要がある。
M4	降下中任意のタイミングでビーコンを分離可能な機構を搭載する必要がある。
M5	ビーコンが分離後減速する必要がある。
M6	放出時に減速機構が絡まらない必要がある。
M7	ビーコンの姿勢が通信に影響を及ぼさない必要がある。
M8	着地後、静止している必要がある。
M9	ロケットからの放出判定を行う必要がある。
M10	通信装置を搭載する必要がある。
M11	周波数チャンネルが可変である通信装置を搭載する必要がある。
M12	各サブシステムに合わせて、適宜電源電圧を昇降圧できる機能が必要である。
M13	ログを保存し、確認できる記憶装置を搭載する必要がある。
M14	各サブシステムを制御するマイコンが必要である。
M15	マイコンは、各サブシステムの通信方式に沿ったポートを備えている必要がある。
M16	RSSI値から相対座標を算出する仕組みが必要である。

MI-2に対するシステム要求を、以下の表2-3に示す。

表2-3 MI-2システム要求

番号	ミッションを達成するためのシステム要求
M1	ロケットからの放出判定を行う装置が必要である。
M2	ローバーがキャリアから放出後減速する必要がある。
M3	振動や衝撃などで電源が落ち、再度復帰してもミッションを行える必要がある。
M4	パラシュートは分離の際絡まらない必要がある。
M5	着地の衝撃を受けてもローバーが破損しない必要がある。
M6	ローバーは十分な距離を走行できる必要がある。
M7	ローバーがスタックしない必要がある。
M8	ローバーが着地時、減速機構を分離することが必要である。
M9	RSSI値を取得できる通信装置が必要である。
M10	地面への着地判定を行うために、機体高度を取得するセンサが必要である。
M11	自己姿勢を取得するセンサが必要である。
M12	電源装置を搭載する必要がある。
M13	各サブシステムに合わせて、適宜電源電圧を昇降圧できる装置が必要である。
M14	ログを保存し、確認できる記憶装置を搭載する必要がある。
M15	CanSatがゴールを判定し、走行を止める必要がある。
M16	各サブシステムを制御する装置が必要である。
M17	制御装置が、各サブシステムの通信方式に沿ったポートを備えている必要がある。
M18	RSSI値からビーコンとローバーの座標系上での相対座標を算出する仕組みが必要である。
M19	相対座標上の指定した地点へローバーを誘導する必要がある。

### 第3章 システム試験項目の設定

#### 第3.1節 レギュレーションを満たすためのシステム試験項目

レギュレーションを満たすためのシステム試験項目を、以下の表3-1に示す。

表3-1 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	検証項目名	対応するシステム要求番号	実施予定日
RV1	質量試験	R1, R7	7/14
RV2	キャリア収納, 放出試験	R1	7/14
RV3	GNSSデータダウンリンク試験	1-M3, R2	7/14
RV4	減速機構試験	R3, R4, R9	7/16
RV5	振動試験	R4	7/29
RV6	周波数切り替え試験	R11	7/17
RV7	無線機電源ON/OFF試験	R2	7/18
RV8	準静的荷重試験	R4	7/21
RV9	対ロケット完全性確認試験	R7	7/15
RV10	自立着陸性確認試験	R9	7/15
RV11	長時間動作試験	R6	7/27

### 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システム試験項目を、以下の表3-2に示す。

表3-2 ミッションを達成するためのシステム試験項目

番号	検証項目名	対応するシステム要求番号	実施予定日
MV1	パラシュート分離試験	2-M8	7/21
MV2	ビーコン着地試験	1-M5, 1-M8	7/22
<del>MV3</del>	<del>ビーコン分離試験</del>	<del>1-M4</del>	<del>7/22</del>
<del>MV4</del> MV3	ビーコン通信試験	1-M7, 1-M8, 1-M10, 1-M11, 1-M12, 1-M13 1-M14, 1-M15, 1-M16	7/23
<del>MV5</del>	<del>ローバー着地試験</del>	<del>2-M5, 2-M8</del> 2-M10	<del>7/24</del>
<del>MV6</del> MV4	ローバー走行性能試験	2-M6, 2-M7	7/25
<del>MV7</del> MV5	ローバー誘導試験	2-M9, 2-M11 2-M12, 2-M13 2-M14, 2-M15 2-M16, 2-M17 2-M18, 2-M19	7/25
<del>MV8</del> MV6	E to E 試験	すべてのシステム 要求番号	7/30

## 第4章 システム仕様

### 第4.1節 機体概観

ビーコンとローバーとを分けてそれぞれ説明する。

#### 第4.1.1項 ビーコン

図4-1-1, 図4-1-2, 図4-1-3にビーコンの概観を示す。尚、ビーコンの上面図は羽を搭載していないCADデータにて示す。



図 4-1-1 鳥観図



図 4-1-2 上面図

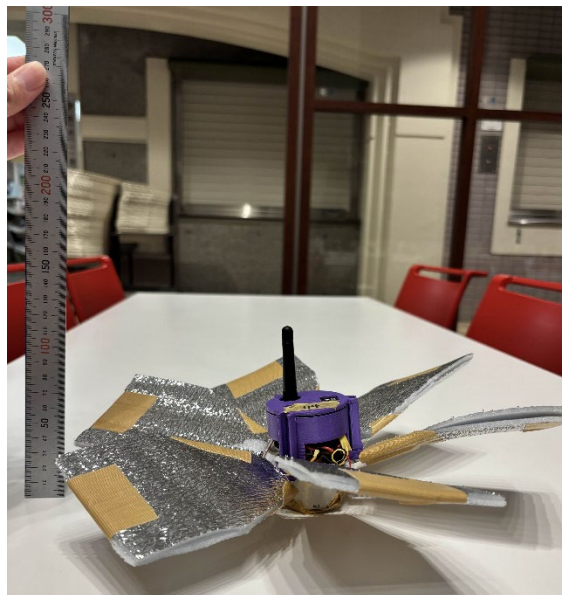


図4-1-3 側面図

ビーコンの寸法を，以下の表4-1に示す

表4-1ビーコン寸法

直径 [mm]	310
高さ [mm]	119
質量 [g]	143

また，ビーコンがキャリアに収納時の概観を図4-1-4，図4-1-5に示す.



図 4-1-4展開前直径

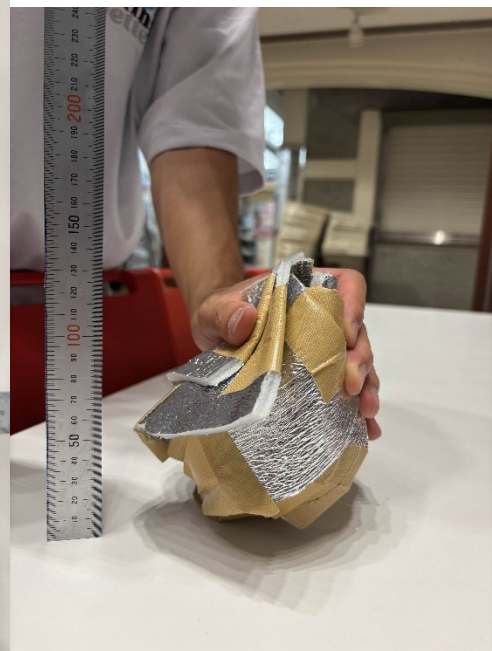


図 4-1-5展開前高さ

展開前のビーコンの寸法を，以下の表4-2に示す.

表4-2 展開前ビーコン寸法

直径 [mm]	110
高さ [mm]	148
質量 [g]	143

#### 第4.1.2項 ローバー

ローバーの機体外観を、以下の図4-1-6. 図4-1-7, 図4-1-8に示す.

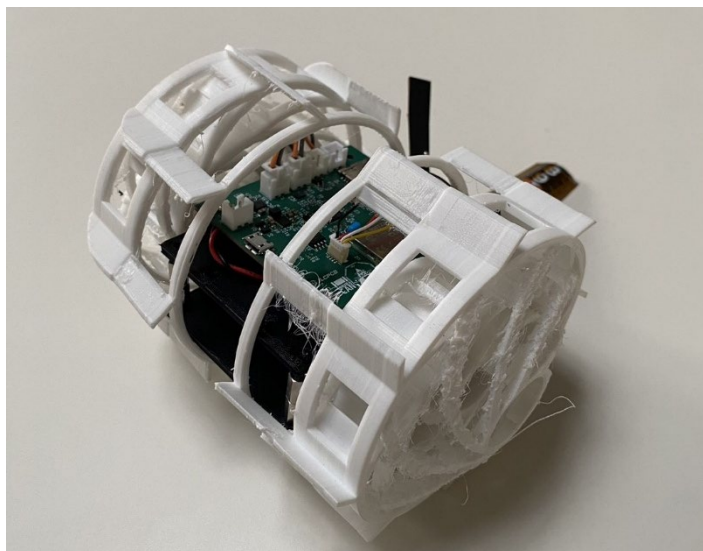


図4-1-6 鳥観図

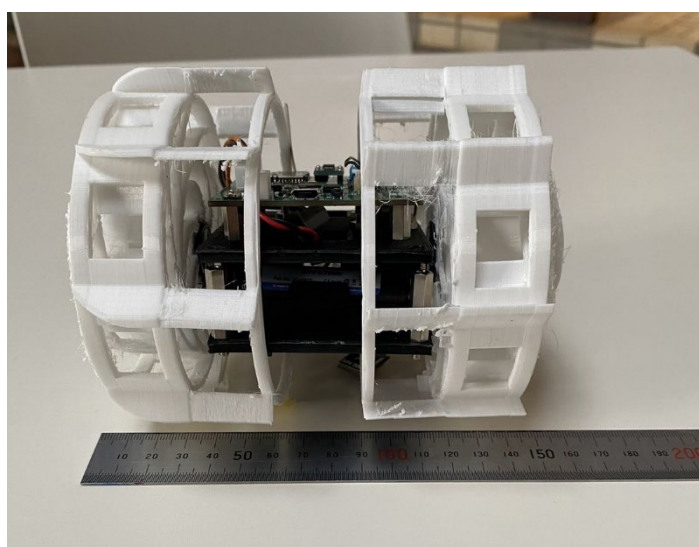


図4-1-7 正面図

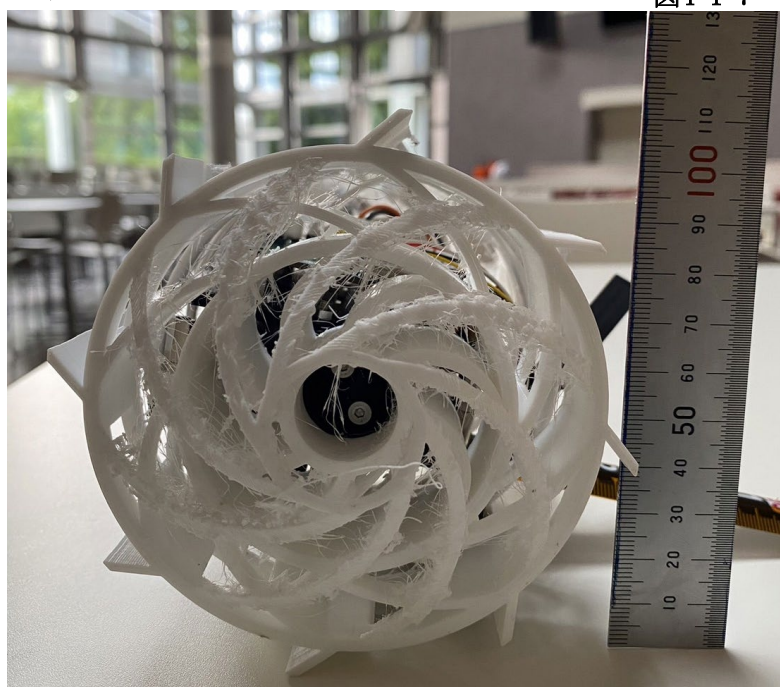


図4-1-8 側面図

ローバーの寸法を、以下の表に示す.

表4-3 ローバー寸法

直径 [mm]	110
高さ [mm]	153
質量 [g]	353

#### 第4.2節 機体機構

まず、ビーコンについて記述する。ビーコンの筐体はTPU素材によって作成し、ビーコン本体の外側にポリウレタン製の膜面構造物である羽を6枚接着する。

ビーコンはオートローテーションによる減速を行う。

ビーコンには羽を搭載しており、回転しながら落下することで、姿勢を保ったまま降下することが可能である。また、落下速度に関しては、軽量のビーコンであれば、羽の面積を調整することで容易に制御できる。さらに、パラシュートを搭載しない設計とすることで、パラシュート絡まりによるトラブルを回避し、ミッションへの影響を防ぐことができる。

続いて、ローバーについて記述する。ローバーのタイヤは柔軟性のあるTPU素材、胴体はPLA素材で作成する。

地面と接するタイヤはローバーの胴体に被さる構造とし、走破性に影響するタイヤ幅の確保と、基板の保護及びCanSatの省スペース化の両立を図っている。

また、タイヤの接地面に凹凸を設けることで、地面との摩擦を高め、モーターの動力をより効率的に地面へ伝達できるようにしている。モーターとの接合部であるホイールはPLA素材、タイヤ本体はTPU素材で作成している。

#### 第4.3節 搭載機器

搭載機器類はビーコンとローバーでそれぞれ図4-5、図4-6に示すシステム構成となっている。

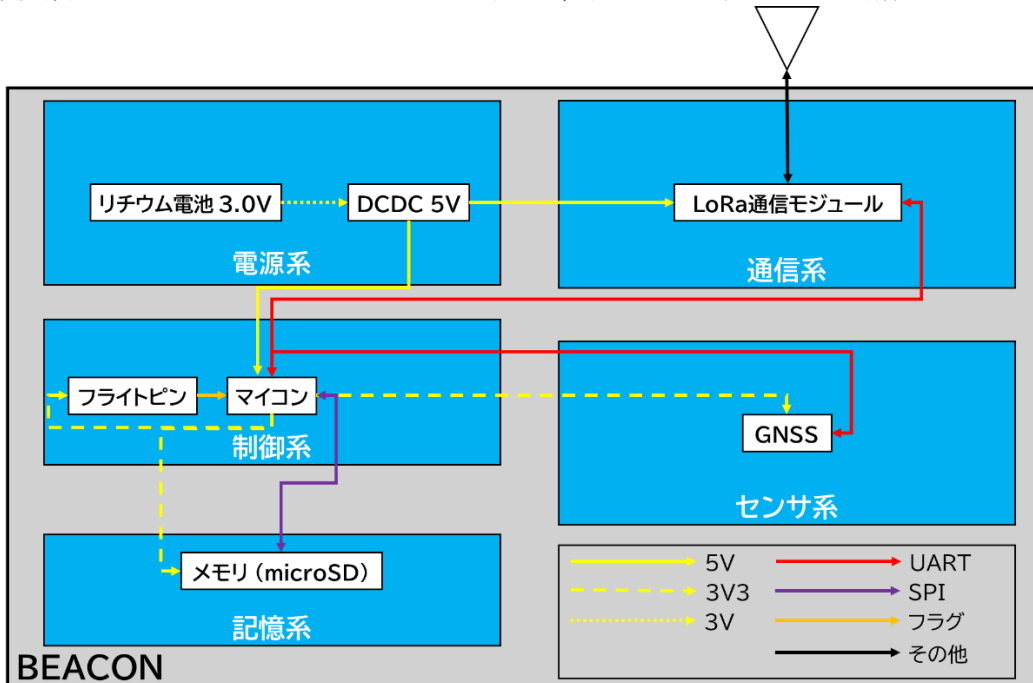


図4-5 ビーコンシステムブロック図

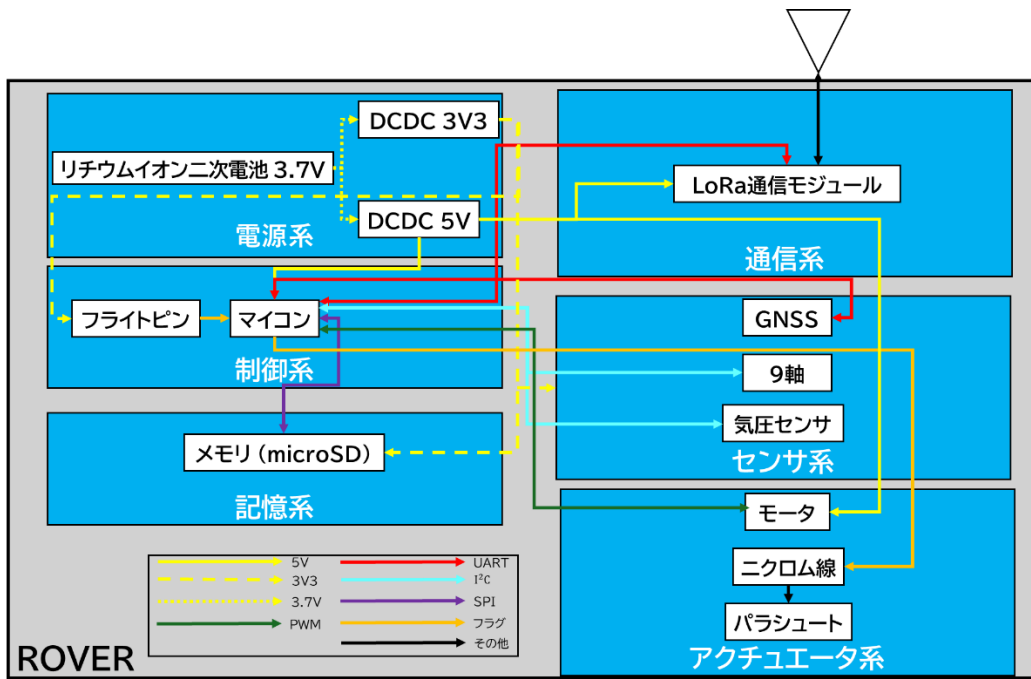


図4-6 ローバーシステムブロック図

## 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の質量が、レギュレーションで規定されている1050g以下であることを確認する。
- 試験内容
  - CanSat本体とパラシュートの合計質量を測定する。
- 試験結果
  - 測定した際の動画を以下のリンクに示す。  
試験動画：<https://youtube.com/shorts/83on0iiSsp4?feature=share>  
動画からロケットに収納する際のCanSatの合計質量は950[g]である。
- 結論
  - CanSat が Open Class のレギュレーションである1050 g以下を満たすことが確認できた。

#### RV2 キャリア収納試験

- 目的
  - CanSatをキャリアに収納することができ、寸法がOpen Classのレギュレーションである直径146mm、高さ240mm以下であることを確認する。
- 試験結果
  - CanSatをキャリアに収納した状態で寸法を測定する。以下、図5-1、5-2に試験の際使用したキャリアの写真を示す。計測結果、高さ238mm、直径144mmであり、レギュレーションを満たしている。



図 5-1キャリア側面



図 5-2キャリア上面

- 結論
  - 機体寸法がレギュレーションを満たすことが確認できた。

### RV3 GNSSデータダウンリンク試験

- 目的
  - ロスト対策として、ロケットから分離された後のCanSatの位置が地上局側で特定できることを確認する。加えて、通信が可能な最大距離を確認する。
- 試験内容
  - ビーコンとローバーにGNSSレシーバと無線機を搭載し、GNSSレシーバで取得した位置情報を無線機で送信し、そのデータを地上局で受信できることを確認する。加えて、通信が可能な距離から徐々に通信が途切れるまで離れていき、ログを検証することによって通信可能な最大距離を確認する。
- 試験結果
  - 以下に、試験の際の概観及び取得したデータのログの録画を示す。ローバーとビーコンそれぞれについて試験を行った。
    - ・ローバー  
試験動画：<https://youtu.be/Viix8myHL78>  
試験の概観：<https://youtube.com/shorts/15199AUT2W8?feature=share>
    - ・ビーコン  
試験動画：<https://youtu.be/H3DLq9Gjbp0>  
試験の概観：<https://youtube.com/shorts/lrmP7Lz3024?feature=share>
- 結論
  - CanSatから位置情報をダウンリンクすることができ、ロスト対策に有用と考えられる性能を有することが確認できた。

### RV4 減速機構試験

- 目的
  - 減速機構であるパラシュートとオートローションが落下の際に確実に機能し、レギュレーションで定められた終端速度（4m/s以上、6m/s以下）が遵守できているかを確認する。
- 試験内容
  - 実際に減速機構を搭載したビーコンとローバーを十分な高さから落下させる。落下試験中は動画を撮影し、機体が地上2メートルに差し掛かった時点での時刻 $t_0$ と着地時の時刻 $t_f$ を記録する。それにより、終端速度 $V_f$ は次式で求められる。
    - $$V_f = \frac{2}{t_f - t_0}$$
- 試験結果
  - 大学構内で行なった試験の様子を撮影した動画のリンクをビーコン、ローバーに分け以下に示す。  
試験動画 ビーコン：<https://youtube.com/shorts/j5zhaczyuXk?feature=share>  
試験動画 ビーコン：<https://youtube.com/shorts/09pZTXZZmQM?feature=share>  
試験動画 ローバー：<https://youtube.com/shorts/4PX14H0DXQc?feature=share>  
図5-3より、動画におけるフェンスの高さが2mである。ビーコンにおいて $t_0=8.21[s]$ 、 $t_f=8.55[s]$ よりビーコンの終端速度 $V_f$ は約5.9[m/s]である。ビーコンにおいて $t_0=3.32[s]$ 、 $t_f=3.72[s]$ よりビーコンの終端速度 $V_f$ は約4.9[m/s]である。また、ローバーにおいて $t_0=4.21[s]$ 、 $t_f=4.72[s]$ よりローバーの終端速度 $V_f$ は約4.0[m/s]である。以上から、ビーコンとローバーの落下速度はレギュレーション内に収まっていることが確認できた。  
また、ビーコンについては高さ4mから2mまでの落下時間を用いて速度を求めたところ、5.1m/sとなり、上記とほぼ同様の値を示した。このことから、ビーコンについてそれ以降にさらに加速して1 m/s増加し、レギュレーションを超えることはないと言える。

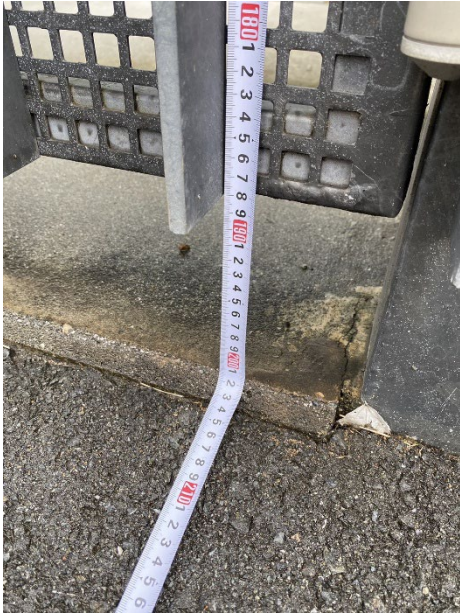


図 5-3 フェンス高さ



図 5-4 フェンス概観

- 結論
  - ローバー及びビーコンはレギュレーションの落下速度を満たすことが確認できた。

#### RV5 振動試験

- 目的
  - ロケット打ち上げ時の振動にCanSatが耐えられることを確認する。
- 試験内容
  - ランダム振動 (30 Hz - 2000 Hz, 15 G, 60 s) を加え、試験前後でCanSatの動作に相違ないことを確認する。
- 試験結果
  - ARLISS2025のレギュレーションに基づいて、CanSat に正弦波加振 20[Hz]で 10[G] を 10[s]加えた際の試験の様子を撮影した動画のリンクを以下に示す。ローバーの動作確認及び、ビーコンの動作確認の2つに動画を分けて示す。  
 試験動画1: <https://youtu.be/NMDnzPQpckM>  
 試験動画2: <https://youtu.be/6v1sJU2NGH4>  
 動画から、試験実施後も CanSat は正常に走行できることが分かった。よって、打ち上げ時と同等の振動によって CanSat が機械的、電氣的な破損及び異常をおこさないことが確認できた。
- 結論
  - 打ち上げ時の振動によって CanSat に機械的、電氣的な破損及び異常は生じないと考えられる性能を有していることが確認できた。

#### RV6 周波数切替試験

- 目的
  - 無線機のチャンネルが変更可能であることを確認する。
- 試験内容
  - CanSatと地上局が通信可能である状態から、CanSatの無線機のチャンネルを変更することで地上局へ通信できないことを確認する。その後、地上局の無線機のチャンネルをCanSat側の無線機と同じに変更し、通信可能であることを確認する。
- 試験結果
  - 以下に、試験動画のリンクを示す。  
 試験動画 : <https://youtu.be/J1hTUtRXc2E>

- 結論
  - CanSat に搭載する無線機の周波数を変更できることを確認できた。

#### RV7 無線機電源OFF/ON試験

- 目的
  - ロケット搭載時，機体は一切の電波を送出しないことがレギュレーションで規定されている．搭載する無線機が，任意のタイミングで電波を発しない状態に設定できることを確認する．
- 試験内容
  - 搭載する無線機E220-900T22S(JP)は，ソフトウェアによる制御で電波を送出できないスリープモードに設定できる．電波を発しない状態にすることが可能であることをすることで確認する．
- 試験結果
  - 無線機に設定を加え，状態を変化させた際の様子を以下の動画に示す．尚，ビーコン及びローバーに分けて示す．  
 試験動画（ビーコン）：<https://youtu.be/b0ZUuIktu1I>  
 試験動画（ローバー）：<https://youtu.be/50VGU0gzefg>  
 動画より，無線機をソフトウェアでスリープ状態にすることで電波を発しない状態にできることを確認できた．
- 結論
  - ロケット搭載時に無線機が電波を発しない状態にできることがわかった。

#### RV8 準静的荷重試験

- 目的
  - ロケット打ち上げ時の準静的荷重にCanSatが耐えられることを確認する．
- 試験内容
  - CanSatに10Gの準静的荷重を10s加え，試験前後でCanSatの動作に相違ないことを確認する．
- 試験結果
  - 準静的荷重試験の様子を撮影した動画のリンクを再度以下に示す．ローバーの動作確認及び，ビーコンの動作確認の2つに動画を分けて示す．  
 試験動画1：<https://youtu.be/NMDnzPQpckM>  
 試験動画2：<https://youtu.be/6v1sJU2NGH4>  
 動画から，試験実施後も CanSat は正常に走行できることが分かった．よって，打ち上げ時と同等の準静的荷重によって CanSat が機械的，電氣的な破損及び異常をおこさないことが確認できた．
- 結論
  - 打ち上げ時の準静的荷重によって CanSat に機械的，電氣的な破損及び異常が生じないと考えられる性能を有していることが確認できた．

#### RV9 対ロケット安全性確認試験

- 目的
  - CanSatがロケットに損傷を負わせる可能性のある機構や物質を搭載していないことを確認する．
- 試験内容
  - CanSat本体を手で触りロケット内を損傷させるような突起物がないことを確認する．
- 試験結果
  - 試験の様子を撮影した動画のリンクを以下に示す．手でCanSatロケット内を損傷させるような突起物がないことを確認できた．ビーコン及びローバーで分けて試験動画を示す．

試験動画（ビーコン）：<https://youtube.com/shorts/4dIJrWsk-8?feature=share>

試験動画（ローバー）：<https://youtube.com/shorts/yHwd00k4AFA?feature=share>

- 結論
  - ロケット内を損傷させる形状はないことが確認できた。

#### RV10 自律着地性確認試験

- 目的
  - CanSatが制御されることなく着地することを確認する。
- 試験内容
  - 放出判定から着地判定までの間に、モーターが作動しないことを目視で確認する。
- 試験結果
  - 投下試験の際の動画から、放出判定から着地判定までの間にモーターが作動していないことが分かる。投下試験の際の動画のリンクをビーコンとローバーに分け再度以下に示す。  
試験動画（ビーコン）：<https://youtube.com/shorts/j5zhaczyuXk?feature=share>  
試験動画（ローバー）：<https://youtube.com/shorts/4PX14H0DXQc?feature=share>
- 結論
  - 制御されずに着陸していることが確認できた。

#### RV11 長時間動作試験

- 目的
  - ミッション達成に十分な電力があり、CanSatが長時間動作可能であることを確認する。
- 試験内容
  - 1時間待機させたのち、ローバーを1時間動作させ、その後バッテリーの残量を計測する。
- 試験結果
  - 以下に、動作中の概観と動作後のバッテリー残量の確認に関する動画を示す。  
試験概観：<https://youtube.com/shorts/-K03ZAU2NQQ?feature=share>  
試験動画：<https://youtube.com/shorts/8N2dDoGUXNs?feature=share>  
動画からバッテリー残量は80%あり、ミッションを遂行できるだけの動作が可能であることが確認できる。尚、ビーコンに関しては振動試験、通信試験において連続で同一の電池を使用しており、3時間以上の動作が確認できている。
- 結論
  - CanSatにミッション達成に十分な電源の容量があることが確認できた。

### 第5.2節 ミッションを達成するためのシステム試験

#### MV1 パラシュート分離試験

- 目的
  - ローバーの着地後に、パラシュートの分離が正常に行われるかを確認する。
- 試験内容
  - 落下後に正常にパラシュートがローバーから分離されることを目視で確認する。
- 試験結果
  - 以下に、試験の動画のリンクを示す。  
試験動画：<https://youtube.com/shorts/2uDEjGvwqZc?feature=share>  
投下後、ローバーからパラシュートを分離でき、正常に走り出していることが確認できる。
- 結論

- 着地衝撃に耐え，パラシュートを分離できることが確認できた。

#### キャリア放出時について

ビーコンとローバーは，ロケット搭載時にパラシュート，ローバー，ビーコンの順で収納する．キャリア収納時の概観を図5-5に示す．この収納方法により，絡まりが懸念されるビーコンとパラシュートはローバーによって物理的に分離される．また，放出時にはロケットからの衝撃によってビーコンが先に排出されるため，絡まりの問題は発生しない構造となっている．



図 5-5 キャリア収納時の概観

#### MV2 ビーコン着地試験

- 目的
  - 落下後に，ビーコンが正常に機能することを確認する。
- 試験内容
  - 落下後にビーコンが正常に動作し通信できることを確認する。
- 試験結果
  - 以下に，試験の動画のリンクを示す。  
試験動画：<https://youtube.com/shorts/j5zhaczyuXk?feature=share>  
尚，着地後，ビーコンに搭載されているGNSSレシーバのライトから，電源が入っているかを確認している。
- 結論
  - ビーコンが着地の衝撃に耐えることが確認できた。

#### MV3 ビーコン通信試験

- 目的
  - ビーコン間で，正常に相互通信できることを確認する。
- 試験内容
  - ビーコン複数機を用いて機体間を適当な距離に離れた状態で通信を行わせ，相互に通信ができているかを，ログを検証することで確認する。  
長距離通信試験における通信場所を図5-6に示す。



図 5-6 通信試験実施地点

- 試験結果
  - 以下に、ビーコンから約2.5km離れた位置における通信ログを再度示す。  
 試験動画：<https://youtu.be/H3DLq9Gjbp0>  
 試験概観：<https://youtube.com/shorts/lrmP7Lz3024?feature=share>
- 結論
  - 2km以上離れた地点間での通信の受信に成功したことを確認できた。

#### MV4 ローバー走行性能試験

- 目的
  - ローバーが走行可能かを確認する。
- 試験内容
  - ローバーが走行可能であるかを、ローバーを走らせることで確認する。
- 試験結果
  - 以下に、大学構内で行ったローバー走行試験の動画を示す。  
 試験動画：<https://youtube.com/shorts/a0W1xGQ8aTc?feature=share>
- 結論
  - ローバーは走行できることが確認できた。

#### MV5 ローバー誘導試験

- 目的
  - ビーコンシステム上の任意の地点へローバーを誘導できることを確認する。
- 試験内容
  - 3機ビーコンを配置してローバーを誘導し、GNSS測位から計算した位置との誤差がTBD mになるかを確認する。
- 試験結果



図 5-7 誘導試験概観

- 図5-7において、青色の矢印は3機のビーコン、橙色の矢印はローバーを指し示している。ローバーの誘導試験に関しては現在試行錯誤中であり、ミニマムサクセスは達成しているものの、フルサクセスの達成は実現できていない。
- 結論
  - 実施済みだがフルサクセスまで実現できていない。

#### MV8MV6 End-to-End試験

- 目的
  - ロケットへの装填から打上げ後の回収までを模擬した試験を実施し、ミッションが安全に遂行されることを確認する。
- 試験内容
  - 全モジュールを計測し、1050 g以下であることを確認するCanSat投下から減速機構の展開、目標地点へのゴール、ログの取り出しまでの一連の動作が正常に行われるかどうかの試験を行う。
- 試験結果
  - 上記に示したローバーの誘導の段階が達成できておらず、必然的にEtoEも達成できていない。しかし、ミッションシーケンスにおいて、ローバーの誘導の前の段階までは、これまでの試験から十分に達成が見込まれる。
- 結論
  - 未実施

## 第6章 工程管理

ガントチャートは、以下のリンク先に示す。

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1mtiFtHSNSNA8UwTuVg1cQZVnjoTFGdYutP2noyAJnG8/edit?gid=1115838130#gid=1115838130>

## 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の設定からシステム試験までの計画・実行・評価・改善を通してプロジェクトマネジメントを経験するとともに、人工衛星開発に必要な回路設計、CADの技術能力を向上させることが本大会に参加した目的である。

### 第7.2節 結果

打ち上げごとに結果を記す

表 7-1 1回目打ち上げ結果 (ビーコン)

項目	結果	判断方法
着地時の姿勢	×	目視
地上局での信号受信	○	ログ
ビーコン間での通信確立	×	ログ
ローバーへの信号送信	×	ログ



図 7-1 着地時のビーコン

図7-1より、ビーコンに搭載されるアンテナが地面を向いてしまっている。

表 7-2 1回目打ち上げ結果 (ローバー)

項目	結果	判断方法
パラシュート開傘	○	目視
放出判定	○	ログ
地上局での信号受信	○	ログ
着地判定	×	ログ
エンベロープ分離	×	目視
ビーコンとの通信	×	ログ
RSSI誘導	×	ログ



図 7-2 着地時のローバー

図7-2に示すように，エンベロープを分離することができていない．

以下に2回目の打上結果を示す．

表 7-3 2回目打ち上げ結果（ビーコン）

項目	結果	判断方法
着地時の姿勢	○	目視
地上局での信号受信	○	ログ
ビーコン間での通信確立	×	ログ
ローバーへの信号送信	○	ログ



図 7-3 着地時のビーコン

一回目の打ち上げから，羽の形状を見直し，羽の途中に折り目をつけた．その結果，図7-3より，アンテナを天頂方向に向かせることができた．

表 7-4 2回目打ち上げ結果 (ローバー)

項目	結果	判断方法
パラシュート開傘	○	目視
放出判定	○	ログ
地上局での信号受信	○	ログ
着地判定	○	ログ
エンベロープ分離	○	目視
RSSI誘導	×	ログ



図 7-4 着地後のローバー

図7-4に示すように、エンベロープを分離することができた。また、数mほどCanSatが自走した跡が確認できた。

### 第7.3節 考察

2回の打上の結果を以下表 7-5, 表 7-6に示すように評価した。

表 7-5 MI-1サクセスクライテリア達成度

項目	内容	1回目	2回目
ミニマム	ビーコン間の通信を確立する。	×	×
フル	ビーコン間の相対座標を算出する。	×	×
エクストラ	3つのビーコンで相対座標を算出する。	×	×

表 7-6 MI-2サクセスクライテリア達成度

項目	内容	1回目	2回目
ミニマム	ビーコンシステムを用いて誘導を開始する。	×	×
フル	ビーコンシステム上で最後に設定した範囲にローバーを到達させる。	×	×
エクストラ	3つのビーコンを頂点とした三角形の重心に移動する。	×	×

構造系の考察として、ビーコンが2回目の打ち上げで天頂を向いた点については、空力特性による安定と重心による安定の両方が働いた結果であると考えられる。

投下実験を重ねる中で、ビーコンに搭載する羽を地面と水平ではなく上向きに角度をつけると、空力的に安定することが分かった。しかし、羽を上向きにすると地上での安定性が低下し、倒れてしまう危険性が高くなるという問題があった。そのため、羽は落下姿勢の制御には用いず、落下速度の低減と地面での安定性を得ることを主目的とした設計とした。一方、落下姿勢の制御には、ビーコン内部の構造を工夫し、重心位置が常に下方向にくるようにすることで、重心による姿勢安定を利用する必要があった。対して、2回目の打ち上げでは、羽を折り返す構造としたことで、羽を上向きに保ちながらも地上での安定性を確保することができた。その結果、空力安定と重心安定の両方を得ることが可能となり、ビーコンの落下姿勢を適切に制御することができた。

電装系の考察として、2回目の打ち上げでビーコンとローバー間の通信を確立させることができた点について、信号の送受信機の送信バッファのオーバーフローを解消した結果であると考えられる。

1回目の打ち上げでビーコンとローバー間の通信を確立させることができなかった理由として、信号送信の間隔が狭すぎて、送受信機の送信バッファがオーバーフローしていたからだとして、1回目の打ち上げ後の原因究明で特定することができた。2回目の打ち上げでは、信号送信の間隔を10秒以上にすることで送信バッファのオーバーフローを解消し、ビーコンとローバー間での通信を確立することができた。

このような問題を事前に把握することができなかった理由として、End-to-End試験を実施できなかったことが挙げられる。送受信機単体の試験ではビーコンとローバー間の通信の確立を安定して確認することができていたが、End-to-End試験を実施できなかったことで本番の打ち上げに近い状況を模擬できず、このような問題を事前に把握できなかったと考える。試験計画の詳細化と、試験実施までに確実に試験機を完成させるまでの余裕を持ったスケジューリングが、このような試験不足による問題点の見落としの防止策になると考える。

## 第8章 まとめ

### 第8.1節 工夫点・努力した点

以下、プロジェクト、電装系、構造系に項目を分け羅列する。

#### プロジェクト

- ミッション設定を丁寧に行い、メンバー全員が納得できるミッションを選定した。
- 週1回のミーティングを欠かさず実施し、進捗の確認およびミッションの軌道修正を行った。
- 指導教員である佐原先生や先輩方に、進め方について疑問点が生じた際には積極的に質問し、多くの所見を得た。

#### 電装系

- ローバー、ビーコンと、複数機をキャリアに格納するために小型化する必要があったが、ミッション達成に必要なシステムを削がずに回路を小型化することができた。

●

#### 構造系

- ビーコンには、着地時にアンテナが天上を向くこと、落下時に減速すること、着地後に風などで動かされないことの3点が要求としてあった。これらを、羽を取り付けて回転させる構造を採用することで解決を図り、2回目の打ち上げではその実現に成功した。
- ローバーは小型である必要があったが、走破性を確保しつつ、ミッション達成が見込める

形で小型化を行うことができた。

### 第8.2節 課題点

- 開発は複数人で役割分担しながら進めていくものだが、ときにその負担が特定のメンバーに偏ってしまうことがあった。ARLISSへの意欲はメンバーによって異なり、その温度差が開発停滞の原因となった。しかし、意欲そのものを操作することは難しく、全員が同じ熱量で取り組むとは限らない。だからこそ、メンバーそれぞれの得意分野を把握し、その分野で力を発揮できるように役割を配分することが重要だと感じた。ARLISSは開発期間が短く、予算も限られているため、効率的に力を発揮できる体制づくりが求められる。しかし実際には、メンバーの得意分野の把握と役割分担の最適化が開発のかなり後半になってしまった。プロジェクトを円滑に進めるためには、技術的な作業だけでなく、メンバーとの良好な関係を築き、その内面を理解することが重要だと考える。
- CanSatのスタビライザー固定については、2回目の打ち上げでエンベロープの剛性不足により段差を超えることができなかったという問題があった。スタビライザーに使用していたメジャーを、形状を保ったまま曲げてしまい、本来の特性が失われたことが原因である。本番環境では意図しないミスが起こりうるからこそ、現場での判断に頼らず、大会前の余裕がある段階で十分な調整を行い、本番では余計な手を加えないことの重要性を実感した。

### 第8.3節 今後の展望

半年間という短い期間であったが、メンバーと共同しながら一つのものをつくる「ものづくり」という経験を、身をもって体験することができた。困難なことは大変多くあったが、大変有意義な活動だった。これから先の研究開発にもこの「ものづくり」の経験を生かし、積極的に活動していきたい。