

ARLISS2022 大会報告書

提出日：2022 年 11 月 21 日

- チーム情報

CanSat チーム名	Tokyo Manji Union
CanSat チーム 代表者情報	氏名：東 翼 メールアドレス： 1999tsubasa0210@gmail.com 電話番号：090-3273-3638
UNISEC 団体名	東京都立大学 宇宙システム研究室
UNISEC 団体 学生代表	安平 浩義
責任教員	氏名：佐原 宏典 メールアドレス： sahara@tmu.ac.jp 電話番号：090-6142-4169
CanSat クラス	Open Class

● 目次

第1章	ミッションステートメント	4
1.	メンバー	4
2.	背景	4
第2章	サクセスクライテリア	5
第3章	要求項目の設定	6
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）	6
2.	ミッションシーケンス	7
3.	ミッション要求	8
第4章	システム仕様	12
1.	機体の内観・外観	12
2.	機体の機構	14
3.	制御システム	18
第5章	試験項目設定	20
第6章	実施試験の内容	21
V1.	質量試験	21
V2.	機体の収納・放出試験	21
V3.	準静的荷重試験	23
V4.	振動試験	24
V5.	分離衝撃試験	26
V6.	落下試験	28
V7.	GPS データダウンリンク試験	29
V8.	通信機 ON/OFF 試験	30
V9.	無線周波数変更試験	31
V10.	End-to-End 試験	32
V11.	表面確認試験	32
V12.	ロングラン試験	33
V13.	データ保存試験	34
V14.	パラシュート分離試験	35
V15.	走行試験	36
V16.	スタック回避試験	37
V17.	0m ゴール試験	38
V18.	制御履歴レポート作成試験	40
第7章	WBS 及びガントチャート（工作管理）	41
第8章	責任教員による自己安全審査結果のまとめ	42
1.	安全基準審査	42
2.	責任教員所感	43
第10章	大会結果報告	44
1.	目的	44

2.	結果	44
3.	考察	47
第 11 章	まとめ	49
1.	工夫・努力した点	49
2.	課題点	50
3.	今後の展望	50

第1章 ミッションステートメント

球体型ローバーを用いて目標地点に到達する。

1. メンバー

チームメンバーとその役割を表1に示す。

表1 メンバー表

氏名	役割
東翼	PM
勝部駿	電装班リーダー
白井健太郎	構体班リーダー
指田春輝	電装班, 構体班

2. 背景

「CanSatをやってみたい。」や「ARLISSに参加したい。」といった強い思いが集まり、このチームが結成された。しかしメンバー全員が博士前期課程2年であり、研究や就職活動などを考慮すると難解なミッションは非現実的である。そこで我々は、既にノウハウがあり^{※1}実際の宇宙探査でも球体型が検討され始めている^{※2}「球体型ローバー」に着目した。球体型ローバーのメリットとしては、「分離機構（パラシュート）が絡みにくい」や「タイヤが轍にはまることがない」、「衝撃による横転の心配がない」などが挙げられ、これらのメリットは従来の二輪型ローバーがミッション失敗に陥る主な原因を回避できる。また今回は、前回メンバーが出場した際のミッション失敗原因である「モータ軸の破損」と「無線通信途絶によるロスト」の対策を十分に行い、ミッションの完遂を目指す。

さらに既にノウハウがあることと研究室に3Dプリンタがあることから、だいたいの仕様と要求がすぐに決まり、またすぐにでも機体製作に取り掛かれる環境であったため、我々はアジャイル開発^{※3}をCanSat開発に取り入れることにした。自団体の過去出場したチームが多くても4機程度の機体を製作していた中で、我々は最低でも7機もの機体を製作し、より多くの試験を行う計画である。多くの試験と失敗を繰り返すことによって、ミッションの成功に近づくと考えている。

※12018年度のARLISSにて、メンバーの勝部と指田が球体型ローバーを開発し、Comeback Competition部門に出場。

※2タカラトミーとJAXA等の共同開発による変形型月面ロボットが宇宙探査で活躍：

https://asset.watch.impress.co.jp/img/hbw/docs/1395/513/001_1.jpg

※3アジャイル開発：https://hnavi.co.jp/knowledge/blog/agile_software_development/

第2章 サクセスクライテリア

サクセスクライテリアを表 2 に示す.

表 2 サクセスクライテリア

レベル	項目	検証方法
ミニマム サクセス	球体型ローバーが 走行を開始する.	以下の両方を満たしていることをログから確認する. ・球体型ローバーが走行モードに移行している. ・球体型ローバーの位置座標が時間変化している.
フル サクセス	球体型ローバーが ゴールに到達する.	CanSat の <u>GNSS ゴール</u> ^{※3} をログから確認する.
アドバンスド サクセス	球体型ローバーで 0m ゴールを達成する.	以下の両方を満たす. ・ CanSat 本体がゴールコーンに接していることを目視 で確認する. ・ CanSat が <u>0m ゴール</u> ^{※4} したことをログから確認 する.

※3GNSS ゴール : CanSat の測位結果が, 目的地から半径” ~~GNSS の誤差~~2” [m]の円の範囲内へ到達していることを検知した状態

※40m ゴール : CanSat がカメラを用いてゴールしたことを検知し, 停止した状態

第3章 要求項目の設定

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）

システム要求を表3に示す。

表3 システム要求

要求番号	システム要求項目	仕様
S1	投下する機体の質量が基準を満たしていること。	・質量が 1050[g]以下である。
S2	容積がキャリア基準を満たしていること。	・大きさが直径 146[mm]，高さ 240[mm]以下の円柱に収まる。
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こと。	・準静的荷重 10[G]によって，安全基準を充足するための機能が損なわれない設計である。
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こと。	・ランダム振動 30～2000[Hz]で 15[Grms]によって，安全基準を充足するための機能が損なわれない設計である。
S5	ロケット分離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こと。	・ロケット分離時の衝撃荷重 40[G]によって，安全基準を充足するための機能が損なわれない設計である。
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こと。	・3～5[m/s]程度の終端速度になるパラシュートが搭載されている。
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こと（対策例：位置情報送信，ビーコン，蛍光カラーペイント等）。	・ロスト対策に有効な距離でも通信可能な無線機が搭載されている。 ・GPS 受信機が搭載されている。 ・GPS と無線機の電波を遮断しない構造である。
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こと（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）。	・打上時に電波を発さず，それが確認できる設計である。
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こと。	・【運】無線のチャンネル調整に応じる意思がある。 ・無線機の周波数チャンネルを変更可能な設計である。

要求 番号	システム要求項目	仕様
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こと，今後大幅な設計変更はないこと。	・【運】 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 試験を実施できる計画である。 ・【運】 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 試験後は，安全性に関わる大幅な設計変更をしない。
S11	全シーケンスにおいて，運用者がけがをしないこと。	・鋭利な端面を持たない設計である。 ・【地】 鋭利な端面を持たない設計である。 ・【運】 常に安全第一を心がける。
S12	キャリア放出後，キャリア内に CanSat の部品が残らないこと。	・キャリア内で CanSat が分離しない設計である。

【運】：運用者

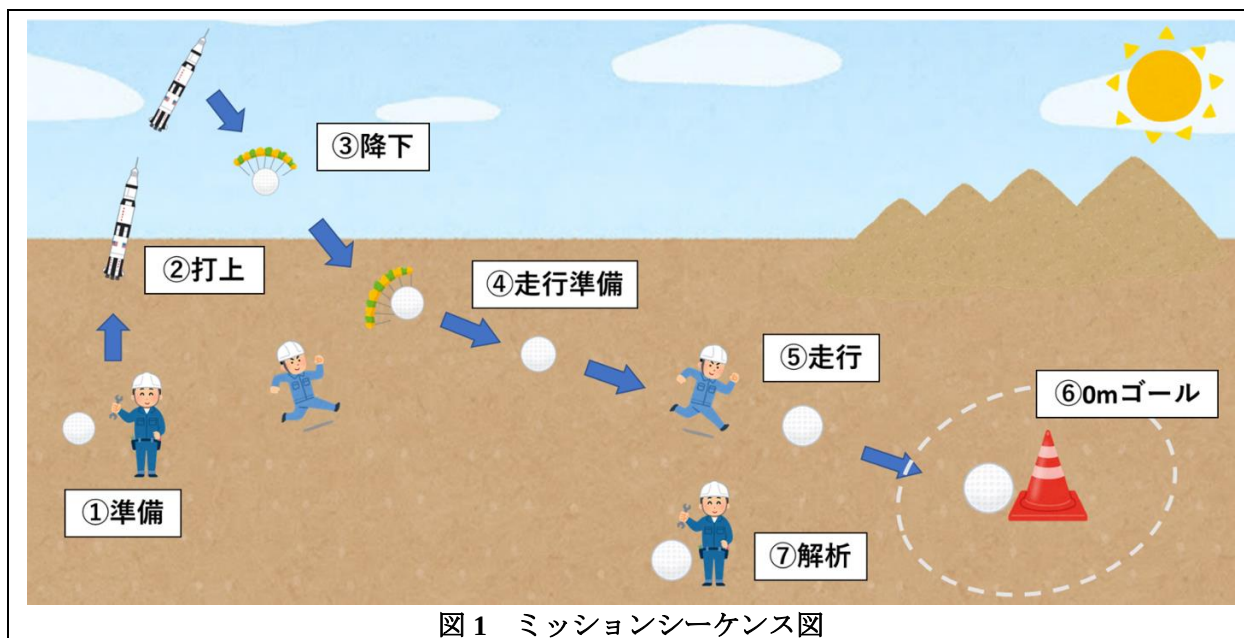
【地】：地上局

2. ミッションシーケンス

ミッションシーケンスを表4の①～⑦に分けた。これを図1に示す。また，以降のミッション要求とそれに関する仕様はこのシーケンス毎に記載している。

表4 ミッションシーケンス

シーケンス	内容
① 準備	組立からキャリア収納まで
② 打上	キャリア収納から放出判定まで
③ 降下	放出判定から着地判定まで
④ 走行準備	着地判定から走行開始まで
⑤ 走行	走行開始から GNSS ゴールまで
⑥ 0m ゴール	GNSS ゴールから 0m ゴールまで
⑦ 解析	CanSat 回収からデータ解析まで



3. ミッション要求

ミッション要求を表5に示す。

表5 ミッション要求

シーケンス	番号	要求内容	仕様
全体	M1	CanSat が、全シーケンスを正常に完了できる電力を供給できること。	・最大4時間の動作（待機1時間+ミッション3時間）が可能な電力を供給できる電池が搭載されている。
	M2	ミッション時に人間が介在しない自立自律制御を実施することを確認出来ていること。	・キャリアに収納された後は、人間が介在しない自立制御を実施する設計である。 ・【運】上記仕様を確認する試験を実施できる計画である。
	M3	CanSat が、HK データを保存できること。	・サクセスクライテリアの検証に必要なサンプリングレートで取得された HK データを保存できる記憶装置が搭載されている。
①準備	M4	CanSat の組み立てが、遅延なく完了できること。	・2時間以内に組み立てを完了する設計である。
	M5	CanSat に電源を投入できること。	・手の届く位置に電源スイッチが搭載されている。 ・電源が投入されたことを確認するための LED が搭載されている。
	M6	キャリアに CanSat を収納できること。	・S2 を満たす。

シーケンス	番号	要求内容	仕様
②打上	M7	CanSat がロケットの通信を妨害しないこと。	・シーケンス②の間で電波を発しない。
	M8	CanSat が放出判定を行えること。	・光センサと気圧センサ、タイマーを用いて放出判定を行う設計である。
	M9	CanSat が、打上にかかる負荷で ミッション遂行に必要な最低限の機能 ^{※5} を損なわないこと。	・準静的荷重 10[G]，ランダム振動 30～2000[Hz]で 15[Grms]を加えてもミッション遂行に必要な最低限の機能を損なわない設計である。
③降下	M10	運用者が、CanSat の位置座標を取得し追跡できること。	・GPS から自身の位置座標を取得する設計である。 ・地上局に位置情報を送信するための無線機が搭載されている。 ・【地】CanSat からの位置情報を受信する機能を有した携帯型地上局を用意する。
	M11	CanSat が、着地衝撃で ミッション遂行に必要な最低限の機能 を損なわないこと。	・3～5[m/s]の終端速度になるパラシュートが搭載されている。 ・3～5[m/s]の終端速度での着地衝撃を受けても、ミッション遂行に必要な最低限の機能を損なわない設計である。
	M12	CanSat が、減速時に生じる荷重で ミッション遂行に必要な機能 を損なわないこと。	・開傘衝撃を受けてもミッション遂行に必要な最低限の機能を損なわない設計である。
	M13	CanSat が着地判定を行えること。	・加速度センサと気圧センサ，タイマーを用いて着地判定を行う設計である。
④走行準備	M14	CanSat が機体と減速機構を分離できること。	・テグスによってパラシュートと機体を結合する設計である。 ・テグスを焼き切るニクロム線が搭載されている。
	M15	CanSat がゴールの位置座標を取得できること。	・ゴール座標をシーケンス①以前に入力するために，プログラムを書き換えられる設計である。

※5 ミッション遂行に必要な最低限の機能：走行できる，ゴールと CanSat の相対位置がわかる

シーケンス	番号	要求内容	仕様
⑤走行	M16	CanSat が、減速機構や轍などの障害物によって走行不能にならないこと。	・減速機構脱出モードが搭載されている。 ・轍脱出モードが搭載されている。
	M17	CanSat が、ゴールの方向を取得できること。	・GPS から自身の位置座標を取得する設計である。 ・自身の位置座標とゴールコーンの位置座標への相対方位角が計算できる設計である。
	M18	CanSat が、任意の方向に走行できること。	・0.05[Nm]以上の高トルクモータが搭載されている。 ・サーボモータで重心を移動できる設計である。
	M19	運用者が、CanSat の位置座標を取得し追跡できること。	・GPS から自身の位置座標を取得する設計である。 ・地上局に位置情報を送信するための無線機が搭載されている。 ・【地】CanSat からの位置情報を受信する機能を有した携帯型地上局を用意する。
	M20	CanSat の位置座標が、目的地から半径”GNSSの誤差2”[m]の円の範囲内へ到達していることを検知できること。	・GPS から自身の位置座標を取得する設計である。 ・自身の位置座標とゴールコーンの位置座標の直線距離と円の半径を比較し到達を検知できる設計である。
⑥0mゴール	M21	CanSat が、減速機構や轍などの障害物によって走行不能にならないこと。	・減速機構脱出モードが搭載されている。 ・轍脱出モードが搭載されている。
	M22	CanSat が、ゴールの方向を取得できること。	・カメラを用いて、ゴールコーンを認識する設計である。 ・自身の位置とゴールコーンの位置への相対方位角が計算できる設計である。
	M23	CanSat が、任意の方向に走行できること。	・0.05[Nm]以上の高トルクモータが搭載されている。 ・サーボモータで重心を移動できる設計である。
	M24	運用者が、CanSat の位置座標を取得し追跡できること。	・GPS から自身の位置座標を取得する設計である。 ・地上局に位置情報を送信するための無線機が搭載されている。 ・【地】CanSat からの位置情報を受信する機能を有した携帯型地上局を用意する。
	M25	CanSat が、0m ゴールしたことを検知し動作を停止できること。	・カメラを用いて、ゴールしたことを検知する設計である。 ・0m ゴール検知後、動作を停止する設計である。

シーケンス	番号	要求内容	仕様
⑦解析	M26	運用者が，サクセスライテリア検証のためのログを回収できること．	・地上局にデータを移行できる設計である． ・保存された HK データが削除されず上書きされない設計である．
	M27	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こと．	・運用者が以下の項目について運営者に報告できる設計である． 1. 制御の仕組みやアルゴリズム 2. CanSat の位置軌道と制御コマンドの関係を明確に視覚化したもの 3. CanSat の位置軌道が，能動的な自立制御の結果であることの説明 4. 制御開始時刻と位置 5. 制御終了時刻と CanSat が自律的に停止した位置（何らかのトラブルによって停止した場合はそのときの制御終了時刻と位置） 6. 制御開始位置座標とゴール座標の直線距離 7. 制御終了位置座標とゴール座標の直線距離 8. 制御開始位置と制御終了位置の直線距離

【運】：運用者

【地】：地上局

第4章 システム仕様

1. 機体の内観・外観

図2と図3に CanSat 機体の CAD 図を、図4には CanSat 機体の俯瞰図を示す。片軸モータの先端にセットカラーを装着し、セットカラーと球殻をネジで固定している。モータの反対側にある軸安定装置は、球殻とは固定せずにブッシュを用いて球殻に接している状態である。図2や図3に記したコンポーネントの球殻以外はアルミ板に固定している。

球殻案として、「3D プリンタを用いて PLA や TPU といったフィラメントで制作したもの」や「オーナメントボール」、「ハムスターボール」などが挙げられた。それらの中から球殻を選定する際に、機体の質量を 900[g]にし、終端速度が 5[m/s]の速度になる高さ約 1.3[m]の位置から自由落下させる実験を行った。破損度合いやコストなどを考慮した結果、外径 ϕ 140[mm]のハムスターボールを採用した。

構体について、機体は EM 機程度のものは製作済みであるが、パラシュートはまだ製作しておらず、7/16 の落下試験までに製作する計画である。そこで、現段階での機体のみの諸元を**エラー! 参照元が見つかりません。**に示す。今後はこれに、パラシュートやサーボホーン先端に装着する重りなどの質量などが加わる予定だが、レギュレーションを超えることはないと考えられる。

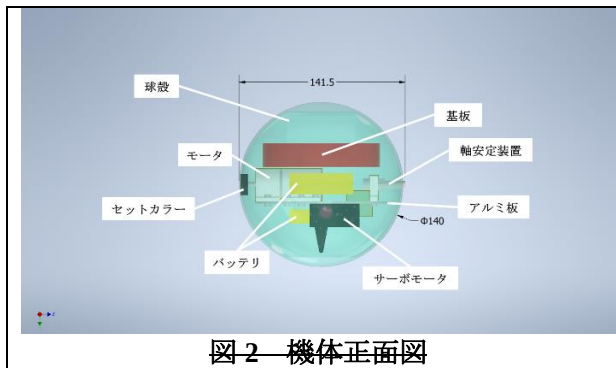


図2 機体正面図

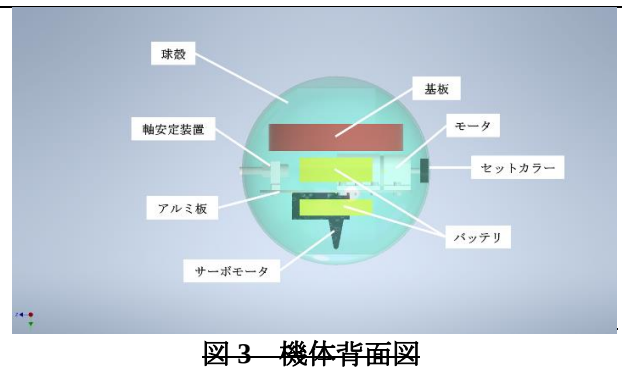


図3 機体背面図



図4 機体俯瞰図

表6 CanSat 機体のみの諸元

直径[mm]	141.5
高さ[mm]	140
質量[g]	561.1

球殻は、「組立任意性の観点から半球同士を組み合わせられること」と「走破性の観点から走行中の球殻の変形を防ぐことができること」の2点を考慮し、ボルトで半球同士を固定できるものを採用した。また着地衝撃耐性を持たせるため、走破性に影響しない程度の柔軟性を持つハムスターボール（外径：140[mm]）を採用した。このハムスターボールにシャフトやブッシュを取り付けることで、最大直径が141.5[mm]となっている。さらに、発生する応力集中による破損を防ぐため、隙間部や取付境界部にテープを貼っている。

図2と図3に CanSat 機体正面の外観図と内観図を、図4と図5には CanSat 機体背面の外観図と内観図を示す。さらに、図6に機体俯瞰図を示す。

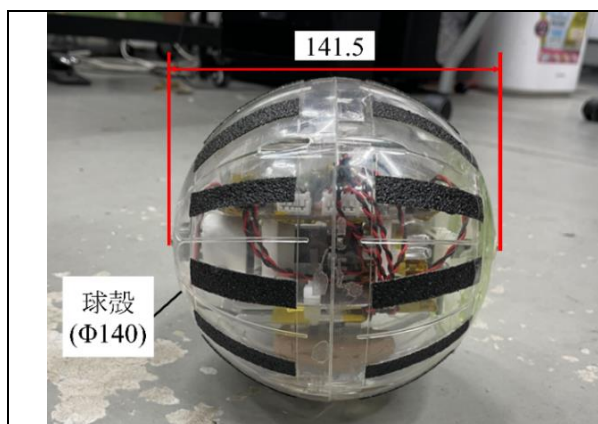


図2 機体正面図（外観）

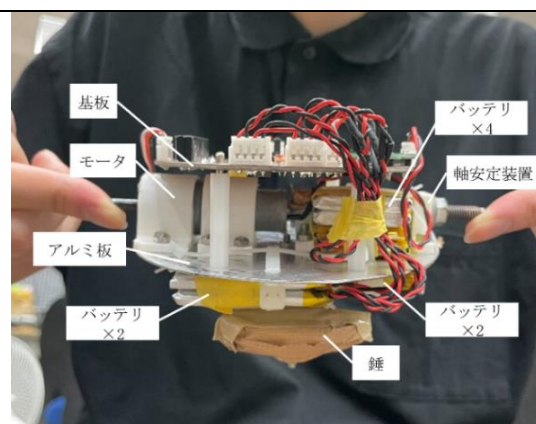


図3 機体正面図（内観）



図4 機体背面図（外観）

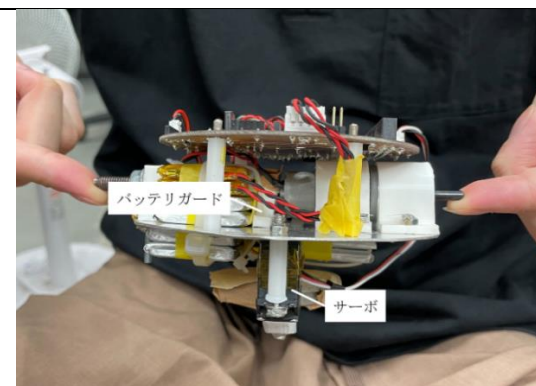


図5 機体背面図（内観）

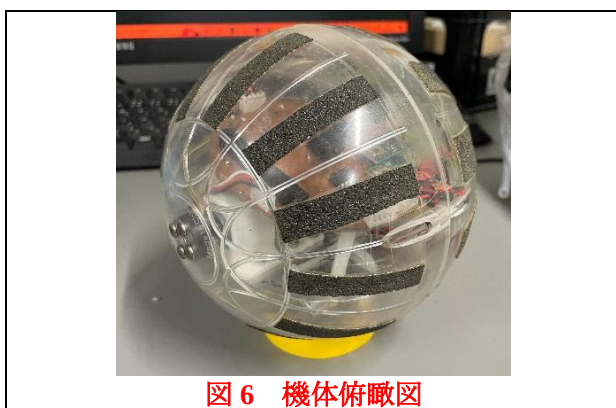


図6 機体俯瞰図

球殻にセットカラーを取り付け、セットカラーにモータのシャフトを固定する(図 7)．回転軸を安定させる目的で取り付ける軸安定装置(図 3)は、走破性の向上や走行時および落下時の軸の外れを防止する目的で、ブッシュを用いて球殻に固定せずに接している状態とする(図 8)．さらに、構体内部中央側のモータシャフトの回転によって Li-Po バッテリが破損することを防ぐため、バッテリーガードを設置する．また、機体における球殻以外のコンポーネントはアルミ板と固定させている．機体の全てのボルト締結部およびブッシュと球殻の接続部、基板の接続部には、衝撃および振動耐性を付与する目的でポッティングを施す．

CanSat 機体のみの諸元を表 6 に示す．

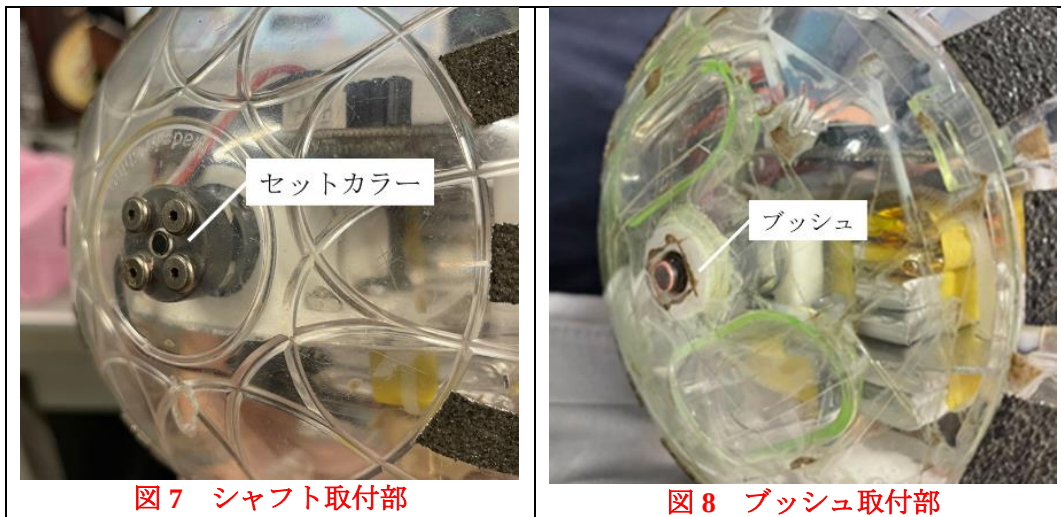


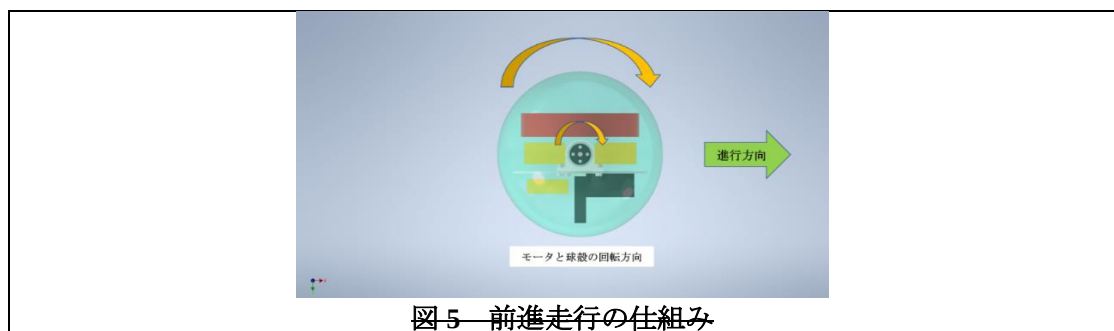
表 6 CanSat 機体のみの諸元

直径[mm]	140 (最大 141.5)
高さ[mm]	140
質量[g]	658.2

2. 機体の機構

➤ 走行

— 片軸モータの先端と球殻は固定しているが、反対方向の軸安定装置を球殻とは固定させていないため、モータが駆動しても球殻が回転するだけで、中のアルミ板は回転せずにほぼ水平を保つ。その球殻の回転を利用して機体が走行する仕組みである。図 5 に前進走行する場合の簡易的な仕組みを示す。—



前進走行の仕組みを図9に示す。モータのシャフトはセットカラーで球殻と固定されており、セットカラーを通して駆動力を球殻に伝達する。機体内部の慣性モーメントが球殻の慣性モーメントよりも大きいため、機体内部は回転しづらい。よって、球殻のみがモータの駆動力によって回転し、CanSat 機体が前進走行する仕組みである。機体内部はほぼ水平を保ちながら前進する。



図9 前進走行の仕組み

➤ 方向転換

図6のサーボホーン先端に重りを装着し、サーボモータを回転させることで、機体の重心位置を移動する。重心の移動方向に機体が傾き、機体の走行方向が変化する仕組みである。また、サーボモータの回転角によって方向転換する角度も制御できる。

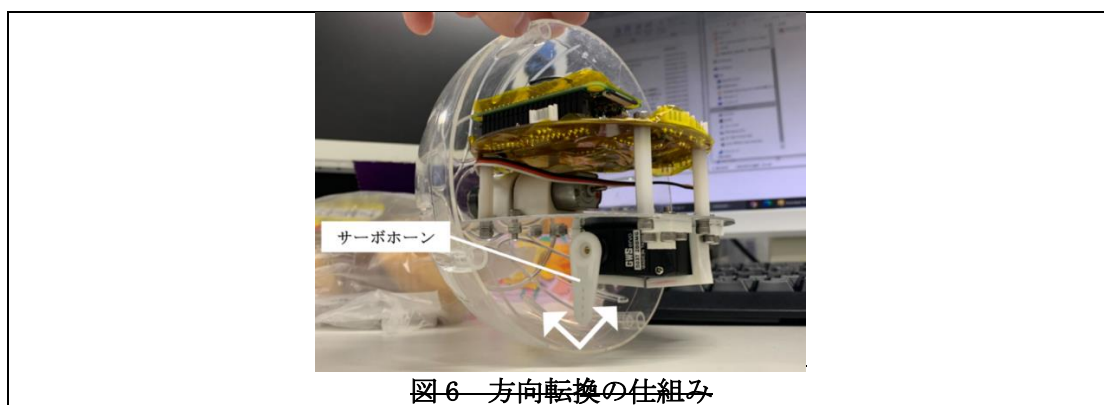
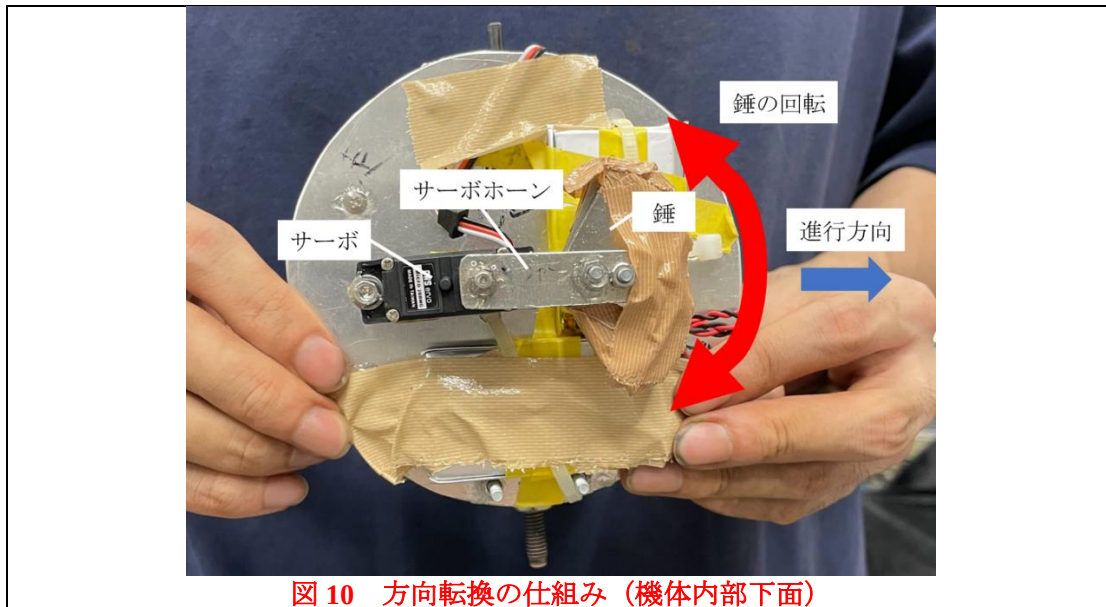


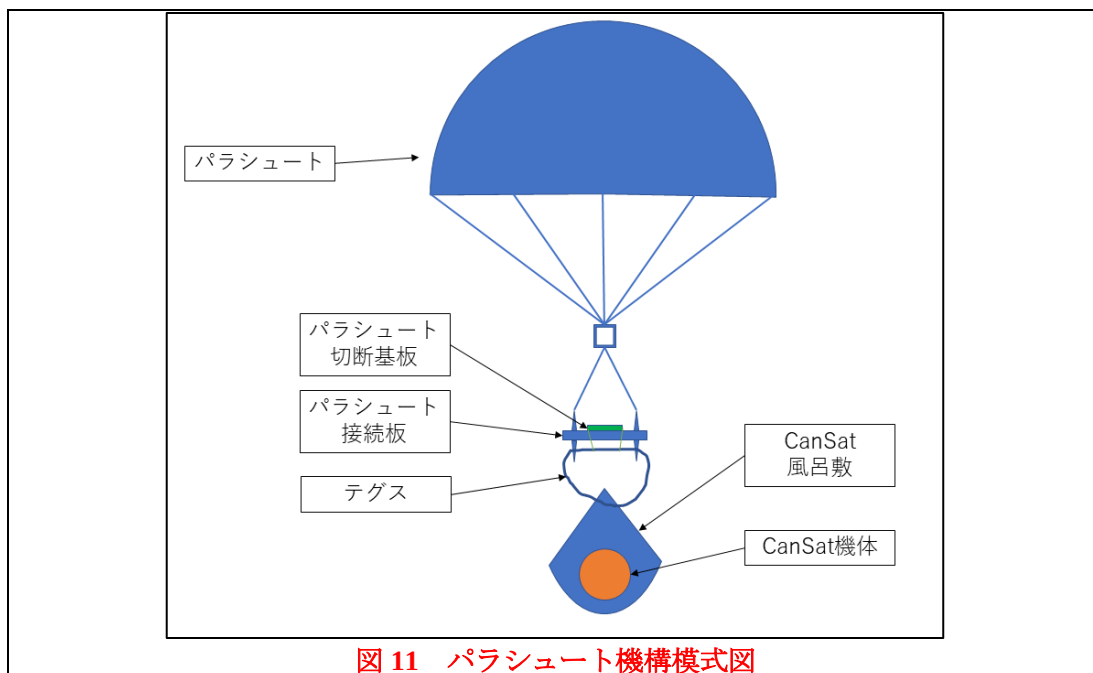
図6 方向転換の仕組み

サーボホーン先端に、球殻およびLi-Po バッテリと干渉しない最適形状に近づけた錘を取り付けた(図10)。サーボモータを左右に回転させることで機体の重心位置を移動させる。それによって、サーボモータが回転した方向に機体が傾き、機体の走行方向が変化する仕組みである。また、サーボモータの回転角の大きさによって方向転換する角度も制御できる。錘の材質に高密度かつ低コストである SUS304 を採用したことで、理想的な方向転換を可能にした。



➤ パラシュート機構

パラシュート機構は、パラシュートとパラシュート接続板、パラシュート切断基板、CanSat 風呂敷の 4 つから構成される。パラシュート機構の模式図を図 11 に示す。パラシュートはパラシュート接続板に接続される。パラシュート接続板には、パラシュート切断基板が搭載されており、それがパラシュート接続板と CanSat 風呂敷を接続しているテグスを切断する。実際の写真を図 12 に示す。テグスの切断にはパラシュート接続基板に搭載されているニクロム線を用いる（第 4 章 3. 制御システムと V14 パラシュート分離試験を参照）。また、CanSat 機体は球体のため、直接パラシュートを接続することができない。そこで、図 13 に示す CanSat 風呂敷で包むことにより、パラシュートと接続している。



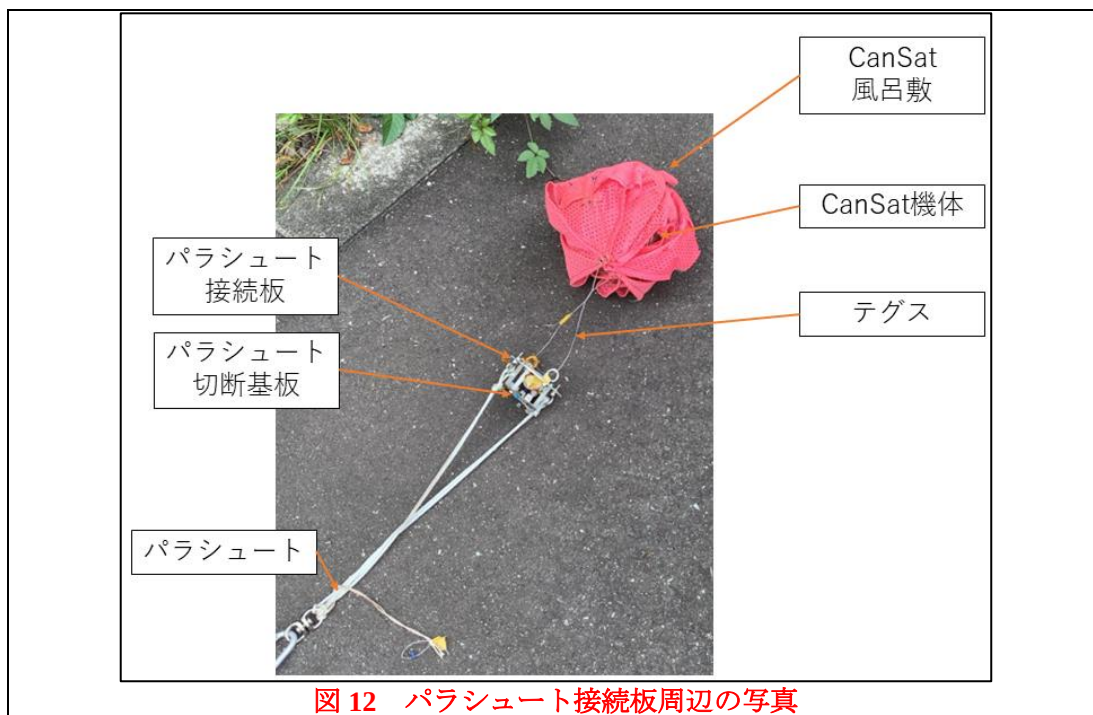


図 12 パラシュート接続板周辺の写真

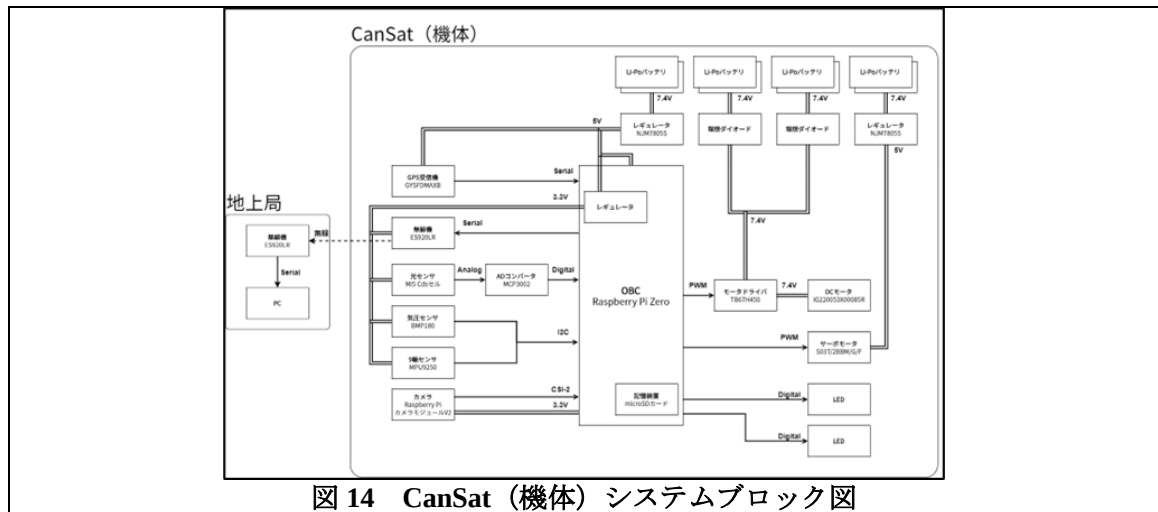


図 13 CanSat風呂敷の写真

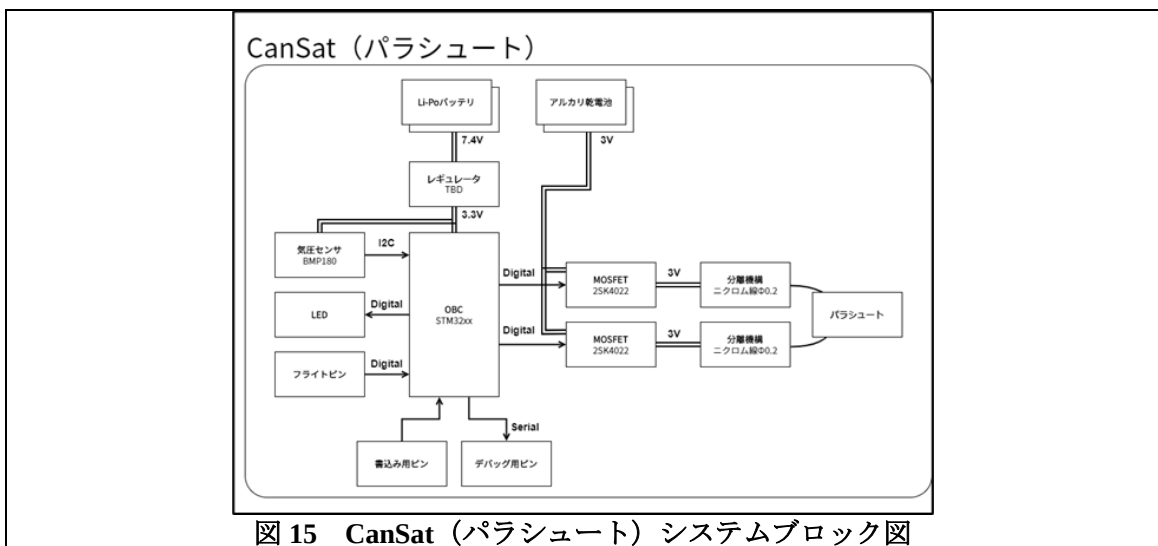
3. 制御システム

➤ システムブロック図

CanSat (機体) のシステムブロック図を図 14 に示す. カメラによる画像処理がミッションに含まれることから, OBC に RaspberryPi ZeroWH を採用した. 電源には容量 1000[mAh] リチウムポリマー2 次電池を 8 セル使用する. 電池は個体ごとに電圧管理を実施し, 防火バックに入れて持ち運ぶなど, 安全には十分に注意する. 無線機は 920[MHz] 帯の特定小電力無線機である ES920LR を使用する. カタログスペックでは通信可能見通し距離 10[km] であるため, ミッションの遂行に十分であると考ええる. また, ES920 の Sleep ピンを LOW にすることで, RF 部への電源が遮断され, 送受信ができない(停波する) 仕様である.



パラシュート分離機構回路のシステムブロック図を図 15 に示す. パラシュートと CanSat は直径 1[mm] の釣り用テグス (ナイロン) で接続し, 着地後にニクロム線でテグスを焼き切ることによって CanSat (機体) とパラシュートを分離する. この機構は ARLISS2018 の都立大チーム (TMU_MAG.) によって実証済みである.



➤ 制御フロー

プログラムのフェーズ移行図を図 16 に示す。各フェーズは表 7 の通りの動作をするようにプログラムを行う。プログラムは製作途中であり、走行試験等繰り返しブラッシュアップを行う。また、各フェーズ間の移行は表 8 の判定を行う。フェーズ移行の判定に用いるしきい値については、今後の各種試験を通じて最適な数値を設定する。

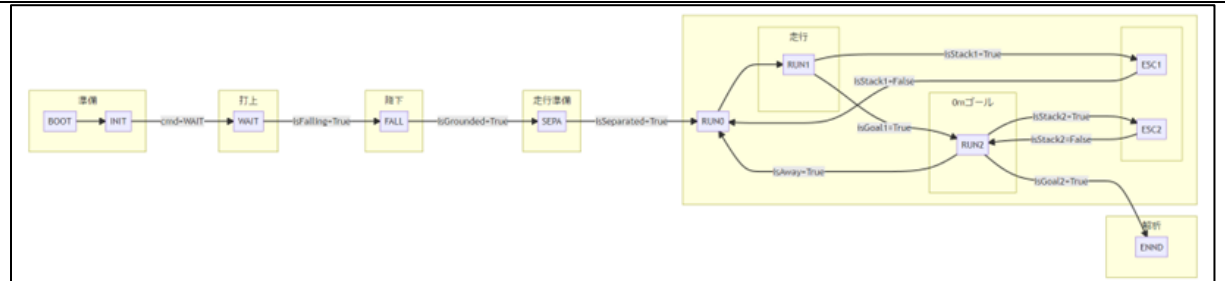


図 16 フェーズ移行図

表 7 フェーズ定義

フェーズ名	内容
BOOT	各プログラムの初期化処理を行う。
INIT	各センサの動作確認を行う。
WAIT	キャリア収納から放出判定まで、レギュレーションに従い、無線機の送波を停止する。
Fall	放出判定から着地判定まで、現在の高度、位置を無線機で送出する。
SEPA	着地判定の後、パラシュート分離のための動作を行う。
RUN0	パラシュート分離の動作を行ったあと、モータの出力を徐々にあげていく。
RUN1	GPS から自身の位置座標を取得し、ゴールとの距離と方位角を計算する。計算結果に基づいて、方向転換用サーボモータを動作させ、ゴールに向かって走行する。
ESC1	スタックした場合、モータをランダムに動作・停止を繰り返し、スタック状態から抜け出す。
RUN2	画像処理によりゴールコーンを検知し、走行する。
ESC2	カメラを起動しているときにスタックした場合、対処する。
ENND	プログラムの終了処理を行い、ログファイルを保護する。

表 8 フェーズ移行判定

Method 名	フェーズ移行の判定に用いるデータ
isFalling	光センサによる明るさ、気温・気圧センサによる高度、タイマーを用いて放出判定を行う。
isGrounded	気温・気圧センサによる高度、タイマーを用いて着地判定を行う。
isSeparated	タイマーを用いてパラシュート分離判定を行う。
isStack1	GPS による移動速度を用いてスタック判定を行う。
isGoal1	GPS による位置座標を用いてゴール判定を行う。
isStack2	未定 RaspberryPi カメラによる画像処理によってスタック判定を行う。
isGoal2	RaspberryPi カメラによる画像処理によって 0m ゴール判定を行う。
isAway	GPS による位置座標を用いて、ゴールから離れすぎたかどうかの判定を行う。

第5章 試験項目設定

試験項目と対応する自己審査項目の要求番号，実施試験日を表9に示す．

表9 試験表

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）	実施予定日
	《システム要求に関する項目》		
V1	質量試験	S1	7/21
V2	機体の収納・放出試験	S2, M4, M5, M6, M8	7/21
V3	準静的荷重試験	S3, M9	7/22
V4	振動試験	S4, M9	7/22
V5	分離（パラシュート開傘）衝撃試験	S5, M12	7/22
V6	落下試験	S6, M11, M13	7/16 →8/6
V7	GPS データダウンリンク試験	S7, M10, M19, M24	6/30
V8	通信機 ON/OFF 試験	S8, M7	7/12
V9	無線周波数変更試験	S9	7/12
V10	End-to-End 試験	S10, M2	7/22 →8/2
V11	表面確認試験	S11	7/21
	《ミッション要求に関する項目》		
V12	ロングラン試験	M1	7/14
V13	データ保存試験	M3, M26	7/22 →8/2
V14	パラシュート分離試験	M14	7/14
V15	走行試験	M15, M17, M18, M20	7/16 →8/2
V16	スタック回避試験	M16, M21	7/28 →8/2
V17	0m ゴール試験	M22, M23, M25	7/28 →8/6
V18	制御履歴レポート作成試験	M27	7/28 →8/2

第6章 実施試験の内容

V1. 質量試験

目的	CanSat の質量が，レギュレーションを満たしていることを確認する．
試験内容	パラシュートも含めた FM 機全モジュールの質量を計りで計測する．
結果	未実施のため，試験を行い次第記入予定． キャリアの質量を図 17 に示す．また図 17 のキャリアに，パラシュートも含めた CanSat 全てを入れた際の合計の質量を図 18 に示す．図 17 と図 18 から，ロケットに収納する CanSat 全モジュールの質量は 969.27[g] と計測された． $1442.34 - 473.07 = 969.27 \text{ [g]}$  図 17 キャリアの質量  図 18 CanSat とキャリア合計の質量
考察	ロケット収納前に，部品の補強のために接着剤によるポッティング作業を行う予定だが，それを考慮してもレギュレーションの 1050[g] を許容できるだけの質量のマージンが取れていることを確認した．

V2. 機体の収納・放出試験

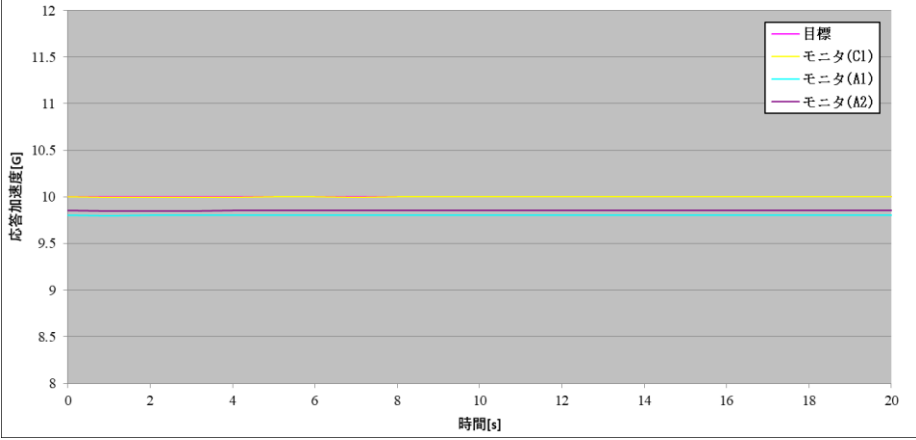
目的	以下の 5 つを確認する． ● 2 時間以内に組み立てが完了できること． ● CanSat に電源を投入できること． ● CanSat の寸法が，レギュレーションを満たしていること． ● キャリアに収納された CanSat が，自重でキャリアから落下すること． ● 光センサと気圧センサ，タイマーを用いて放出判定が行えること．
試験内容	1. CanSat を組み立てる． 2. CanSat に電源を投入する． 3. 機体の寸法を計測する．その後キャリアに収納する． 4. CanSat が収納されたキャリアを持ち上げた後キャリアをひっくり返すことで，自重で CanSat をキャリアから落下させる． 5. 放出判定が行われているかをデータから確認する．

結果	未実施のため、試験を行い次第記入予定。 CanSat の組み立てと CanSat に電源を投入する作業を約 25 分で完了した。その様子を以下の URL の動画に示す。 パラシュートも含めた CanSat の寸法を計測した結果を図 19～図 21 に示す。計測より CanSat の寸法は、幅：145[mm]、高さ：228[mm]とわかった。 CanSat が収納されたキャリアを持ち上げた後、キャリアをひっくり返すことで CanSat を自重でキャリアから落下させた。そして、データから放出判定が行われていることを確認した。その様子を以下の URL の動画に示す。  図 19 CanSat の幅  図 20 CanSat の高さ (①)  図 21 CanSat の高さ (②) ● 動画 URL (組み立て) : https://youtu.be/uNmrMCYXnRk ● 動画 URL (放出) : https://youtu.be/Ykl04iZ06s8
考察	● 組み立て ロケット収納前に、部品の補強のために接着剤によるポッティング作業を行う予定だが、その作業を考慮しても CanSat に電源を投入でき、かつ 2 時間以内に組み立てが完了できることを確認した。 ● 収納・放出 CanSat の寸法がレギュレーションを満たしており、キャリアから自重で落下することから、CanSat が収納・放出できることを確認した。また、光センサと気圧センサ、タイマーを用いて CanSat が放出判定を行えることも確認した。

V3. 準静的荷重試験

目的	打上時における準静的荷重によって、CanSat が「安全基準を充足するための機能」と「ミッション遂行に必要な最低限の機能」を損なわないことを確認する。
試験内容	1. CanSat に正弦波加振 20[Hz], 10[G], 20[s]を加える。 2. 以下の 7 つを確認する。 安全基準を充足するための機能 ● 3～5[m/s]程度の終端速度になるパラシュートが搭載されていること。 ● ロスト対策に有効な距離でも通信可能な無線機が搭載されていること。 ● GPS 受信機が搭載されていること。 ● GPS と無線機の電波を遮断しないこと。 ● 打上時に電波を発さず、それが確認できること。 ミッション遂行に必要な最低限の機能 ● 走行できること。 ● ゴールと CanSat の相対位置がわかること。 3. 使用した試験装置を図 22 に示す。

図 22 試験装置

結果	未実施のため、試験を行い次第記入予定。 目標の応答加速度 10[G]となるよう 20[s]間、正弦波加振を実施した準静的荷重試験の結果を図 23 に示す。図 23 から、A1 と A2 で目標値に近い値を確認できる。 V3～V5 の試験を通して実施した後、CanSat を数秒間動作させた。正弦波加振と CanSat の動作それぞれの動画を以下の URL に示す。  図 23 準静的荷重試験の結果 ● 動画 URL（正弦波加振）：https://youtu.be/cdhPFQPfZfk ● 動画 URL（CanSat の動作）：https://youtu.be/qjfASn6UNPE
考察	A1 と A2 で目標値に近い値を確認したことから、この試験は打ち上げ時の準静的荷重を再現できていると考えられる。 その後の CanSat の動作も考慮することで、打上時における準静的荷重によって、CanSat が「安全基準を充足するための機能」と「ミッション遂行に必要な最低限の機能」を損なわないことを確認した。

V4. 振動試験

目的	打上時の振動荷重によって、CanSat が「安全基準を充足するための機能」と「ミッション遂行に必要な最低限の機能」を損なわないことを確認する。
試験内容	- CanSat にランダム加振 30～2000[Hz]，15[Grms]，60[s]を加える。 - 以下の 7 つを確認する。 安全基準を充足するための機能 ● 3～5[m/s]程度の終端速度になるパラシュートが搭載されていること。 ● ロスト対策に有効な距離でも通信可能な無線機が搭載されていること。 ● GPS 受信機が搭載されていること。 ● GPS と無線機の電波を遮断しないこと。 ● 打上時に電波を発さず、それが確認できること。 ミッション遂行に必要な最低限の機能 ● 走行できること。 ● ゴールと CanSat の相対位置がわかること。 - V3 と同様の試験装置（図 22）を使用した。

結果	未実施のため、試験を行い次第記入予定。 目標の波形データを 15[Grms]とし、目標の波形になるよう加振周波数 30～2000[Hz]、60[s]でランダム加振を実施した振動試験の結果を図 24 に示す。図 24 から、C1（制御用ピックアップ）では目標数値に近い応答 PSD を、A1（モニタ用ピックアップ）では 1200[Hz]以上の周波数帯で目標値から乖離している応答 PSD を確認した。 V3～V5 の試験を通して実施した後、CanSat を数秒間動作させた。ランダム加振と CanSat の動作それぞれの動画を以下の URL に示す。 図 24 振動試験の結果 ● 動画 URL（ランダム加振）：https://youtu.be/uVFZVTkxgNI ● 動画 URL（CanSat の動作）：https://youtu.be/qjfASn6UNPE
考察	C1 では目標値に近い応答 PSD を確認したが、A1 では 1200[Hz]以上の周波数帯で目標値から乖離している応答 PSD を確認したことから、この試験中に治具の共振があったことがわかる。したがって、この試験中において、CanSat は打上時を模擬した振動環境よりさらに過酷な振動環境下に晒されており、目的を満たすのには十分な環境下であったと考えられる。 その後の CanSat の動作も考慮することで、打上時における振動荷重によって、CanSat が「安全基準を充足するための機能」と「ミッション遂行に必要な最低限の機能」を損なわないことを確認した。

V5. 分離衝撃試験

目的	分離衝撃荷重によって、CanSat が「安全基準を充足するための機能」と「ミッション遂行に必要な最低限の機能」が損なわれないことを確認する。また、パラシュート開傘衝撃荷重によって、パラシュート機構が「安全基準を充足するための機能」を損なわれないことを確認する。
試験内容	- CanSat に正弦波半ショック加振最大 40[G]として 60%, 80%, 100%の振動を加える。 - 以下の 7 つを確認する。 安全基準を充足するための機能 3~5[m/s]程度の終端速度になるパラシュートが搭載されていること。 - ロスト対策に有効な距離でも通信可能な無線機が搭載されていること。 - GPS 受信機が搭載されていること。 - GPS と無線機の電波を遮断しないこと。 - 打上時に電波を発さず、それが確認できること。 - ミッション遂行に必要な最低限の機能 - 走行できること。 - ゴールと CanSat の相対位置がわかること。 - V3 と同様の試験装置 (図 22) を使用した。 - パラシュート開傘時を、CanSat 放出時のロケットの速度が 100[km/h]で、放出後 5 秒でパラシュートが開き約 1[kg]の CanSat が 10[m/s]まで減速すると想定する。力積の式$F \cdot \Delta t = M \cdot \Delta V$より、この時に生じる荷重$F$は約 3.6[N]と分かる。そこで 4[kg]程度の重さのものを用いて、パラシュートとカラビナ、テグスなどの耐久性を確認する (パラシュート開傘衝撃試験)。
結果	未実施のため、試験を行い次第記入予定。 目標の加速度を 100%の 40[G]、80%の 32[G]、60%の 24[G]とし、正弦波半ショック加振を実施した分離衝撃試験の結果を図 25 に示す。図 25 から、A1 (モニタ用ピックアップ) では目標値を下回る応答加速度を、C1 (制御用ピックアップ) および A2 (モニタ用ピックアップ) では目標値に近い応答加速度を確認できる。 V3~V5 の試験を通して実施した後、CanSat を数秒間動作させた。正弦波ショック加振と CanSat の動作それぞれの動画を以下の URL に示す。 図 25 分離衝撃試験の結果 図 26 にパラシュート開傘衝撃試験の様子を示す。2[L]の水が入ったペットボトル 2 本をパラシュート機構のテグス部につなぎ、パラシュート布部を持ち、ペットボト

ルを持ち上げた。結果として、パラシュートとカラビナ、テグスなどに異常は見られなかった。さらに、テグス部につないだ2[L]のペットボトル2本を持ち上げた状態から落下させ、パラシュートとカラビナ、テグスなど全体に衝撃を加えた様子を以下のURLに示す。この時も、パラシュートとカラビナ、テグスなどに異常は見られなかった。



図 26 パラシュート開傘衝撃試験の様子

- 動画 URL (正弦波ショック加振) : <https://youtu.be/M-3BGZdR5uQ>
- 動画 URL (CanSat の動作) : <https://youtu.be/qjfASn6UNPE>
- 動画 URL (パラシュート開傘衝撃試験) : https://youtube.com/shorts/XUmAy_0jUgo

考察

A1 では目標値を下回る応答加速度を確認したが、C1 および A2 では目標値に近い応答加速度を確認したことから、この試験はロケットの分離衝撃荷重を再現できていると考えられる。その後の CanSat の動作も考慮することで、打上時における分離衝撃荷重によって、CanSat が「安全基準を充足するための機能」と「ミッション遂行に必要な最低限の機能」を損なわないことを確認した。

想定したパラシュート開傘時に発生する衝撃を、4[kg]程度の水が入ったペットボトルを用いて再現した結果、パラシュートとカラビナ、テグスなどに異常が見られなかったため、また、パラシュート開傘衝撃荷重に対するパラシュート機構の耐久性が十分であり、想定しているパラシュート開傘衝撃でパラシュート機構が「安全基準を充足するための機能」を損なわないことを確認した。

V6. 落下試験

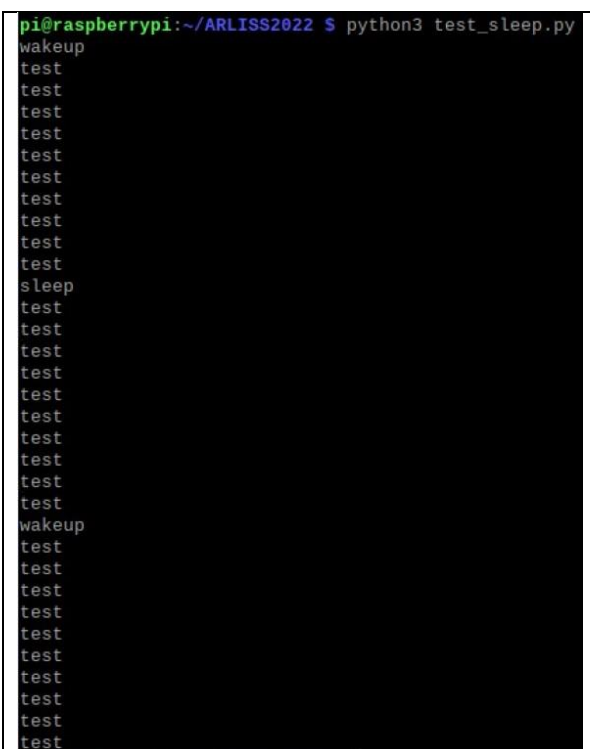
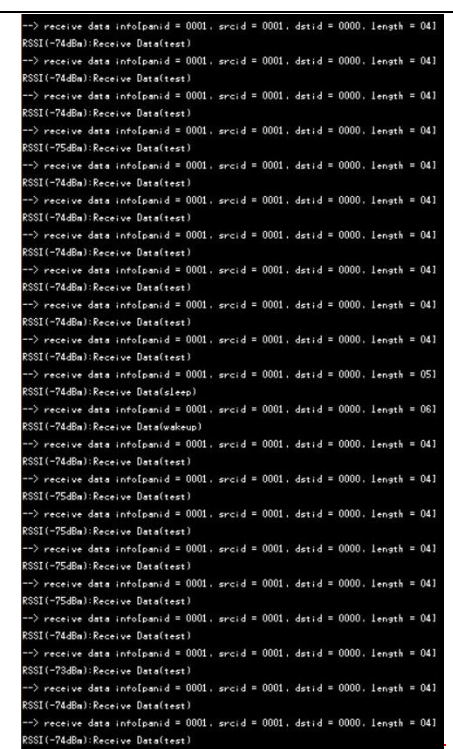
目的	以下の3つを確認する. ● CanSat の降下中にキャリア放出後に減速機構が作動し, CanSat の終端速度が 3 ~ 5[m/s]程度になること. ● 終端速度 5[m/s]での着地衝撃によって, ミッション遂行に必要な最低限の機能を損なわないこと. キャリア放出から着地判定までの間で, CanSat が「安全基準を充足するための機能」と「ミッション遂行に必要な最低限の機能」を損なわないこと. ● 加速度センサと気圧センサ, タイマーを用いて着地判定を行えること.
試験内容	1. 東京都立大学日野キャンパス 5 号館の屋上 (高さ 10[m]程度) から, キャリアに収納した CanSat を放出し降下させる. 2. これを撮影し, その動画から CanSat の終端速度を求める. 3. 以下の 76 つを確認する. 安全基準を充足するための機能 ● 3 ~ 5[m/s]程度の終端速度になるパラシュートが搭載されていること. ● ロスト対策に有効な距離でも通信可能な無線機が搭載されていること. ● GPS 受信機が搭載されていること. ● GPS と無線機の電波を遮断しないこと. ● 打上時に電波を発さず, それが確認できること. ミッション遂行に必要な最低限の機能 ● 走行できること. ● ゴールと CanSat の相対位置がわかること. 3. 着地判定を行えているかをデータから確認する.
結果	未実施のため, 試験を行い次第記入予定. 1 回目の落下試験の様子を以下の URL の動画に示す. CanSat はキャリアから自重で放出し, 降下中にパラシュートが開いた. しかし, パラシュートによる十分な減速が完了する前に着地した. 2 回目の落下試験の様子を以下の URL の動画に示す. 2 回目はキャリアから出した状態で落下させた. パラシュートが開くことで十分に減速して, 終端速度は約 3.3[m/s]となった. その後, CanSat は着地判定を行い, 数秒間 CanSat を動作させた. 落下試験中の地上局の受信ログと CanSat の動作ログを以下の URL に示す. ● 動画 URL (1 回目) : https://youtu.be/BUY-S79J12A ● 動画 URL (2 回目_落下試験) : https://youtu.be/LN7m0aCvtmw ● 動画 URL (2 回目_終端速度) : https://youtu.be/wp0foHcNPLY ● 地上局受信ログ URL : https://drive.google.com/file/d/1tQdhBtY_zXeJv01KE--uLISRQUmbKGB-/view?usp=sharing ● CanSat 動作ログ URL : https://drive.google.com/file/d/176fyBJkDY0vnd2dK4zpZURVsePEmAJ4C/view?usp=sharing

考察	1 回目の落下試験では、キャリアから放出した後、「降下中に減速機構が作動する（パラシュートが開く）こと」を確認した。しかし、減速機構（パラシュート）による CanSat の減速が十分でなかった。これは、十分に減速するまでの時間、つまり高度が足りなかったと考えられる。 2 回目の落下試験では、パラシュートが開くことで目標速度までしっかり減速し、CanSat の動作に問題ないことを確認するため、キャリアに収納せずに CanSat を降下させた。降下中に減速機構の動作が開始され、減速機構によって終端速度が約 3.3[m/s]まで減速されており、「降下中に減速機構が十分に機能し、CanSat の終端速度が 3~5[m/s]になること」を確認した。この結果に 1 回目の落下試験の結果を合わせることで、「キャリア放出後に減速機構が作動し、CanSat の終端速度が 3~5[m/s]になること」を確認したと考えられる。また、2 回目の落下試験の結果から「気圧センサとタイマーを用いて着地判定を行っていること」を確認した。さらに、着地後 CanSat が動作を正常に開始したことも考慮して、「キャリア放出から着地判定までの間で、CanSat が安全基準を充足するための機能とミッション遂行に必要な最低限の機能を損なわないこと」を確認した。
----	---

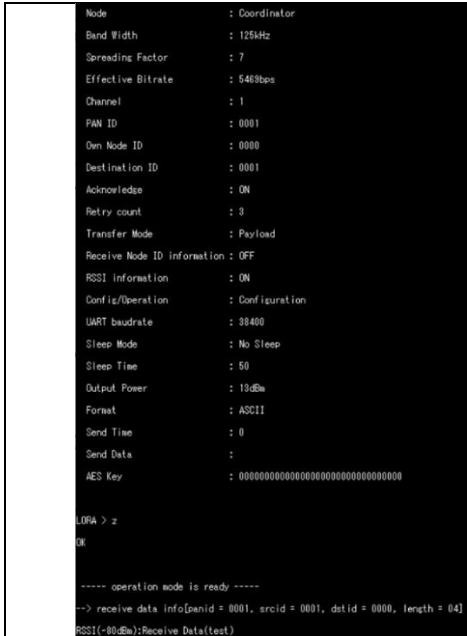
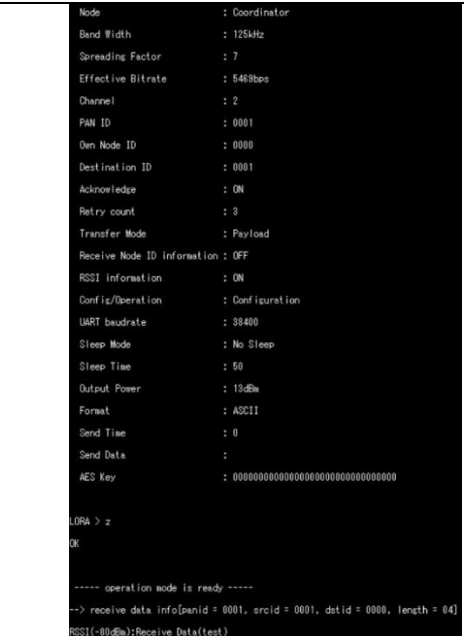
V7. GPS データダウンリンク試験

目的	CanSat に搭載する通信機が、ロスト対策に有用であることと地上局が受信できることを確認する。また、最大通信可能距離を得る。
試験内容	無線機 ES920LR を用いて東京都八王子市浅川の河川敷で以下の 2 つを行う。 1. 位置座標を無線送信し続ける CanSat を地上局から遠ざける。 2. 地上局は受信したデータをターミナルソフト上で確認しながら記録し、最大通信可能距離を得る。
結果	試験結果を図 27 に示す。地上局が CanSat の位置座標を取得できた最大の距離は 3.1[km]であった。 図 27 GPS データダウンリンク試験結果
考察	本試験で用いた無線機 ES920LR の最大通信距離は見通し約 10[km]であるが、今回は 3.1[km]という結果になった。これは、CanSat と地上局の間を通る電車や住宅などの障害物の影響や、CanSat と地上局の高低差が少ないためであると考えられる。ARLISS 会場であるブラックロック砂漠には通信を妨げる障害物が非常に少ないため、通信可能距離はさらに伸びると考えられる。 また、実際の打ち上げ時には、放出された CanSat を目視で確認した後、直ちに車を用いて CanSat を追跡するなどして、CanSat と地上局の距離が 3.1[km]以内の収まるよう努める。

V8. 通信機 ON/OFF 試験

目的	打上時に電波を発さないことを確認する。
試験内容	コンピュータ RaspberryPi Zero W を用いて無線機 ES920LR が有するスリープ機能を有効にし、CanSat から電波が発さないようにする。 1. CanSat は文字列を地上局に送信し続け、地上局側で文字列を確認する。 2. しばらく送信し続けた後、無線機のスリープ機能を有効にし、地上局側で文字列が途切れたことを確認する。 1. CanSat から”test”という文字列を10回送信し、地上局で受信していることを確認する。 2. CanSat に搭載された無線機をsleepモードに移行させる。 3. CanSat から”test”という文字列を10回送信し、地上局で受信していないことを確認する。 4. CanSat に搭載された無線機のsleepモードを終了する。 5. CanSat から”test”という文字列を10回送信し、地上局で受信していることを確認する。
結果	未実施のため、試験を行い次第記入予定。 図 28 図 28 に CanSat (RaspberryPi Zero W) 側の送信履歴、図 29 に地上局側の受信履歴を示す。CanSat がスリープモードに移行してから終了するまでの間（図 29 の”sleep”から”wakeup”まで）で、地上局が何も受信していないことを確認した。  図 28 CanSat の送信履歴  図 29 地上局の受信履歴
考察	CanSat が打上時に電波を発しないための機能を有していることを確認した。

V9. 無線周波数変更試験

目的	打ち上げ直前であっても対応できるように、CanSat に搭載する無線機の周波数を変更できることを確認する。															
試験内容	無線機 ES920LR は帯域幅 125kHz・拡散率 7 において、無線チャンネル番号設定（周波数設定、1ch～15ch）、送受信ノードネットワークアドレス設定(0x0000～0xFFFFE)をそれぞれ組み合わせることによって、無線通信を行う。表 10 にチャンネル番号と周波数の対応を示す。 1. TeraTerm を用いて CanSat と地上局に搭載する ES920LR のチャンネル番号とノードネットワークアドレスを変更する。 2. 周波数変更後の ES920LR を用いて CanSat から地上局に文字列が送信できることを確認する。															
	表 10 チャンネル番号と中心周波数[MHz]の対応 <table><tr><td>1ch:920.6</td><td>2ch:920.8</td><td>3ch:921.0</td><td>4ch:921.2</td><td>5ch:921.4</td></tr><tr><td>6ch:921.6</td><td>7ch:921.8</td><td>8ch:922.0</td><td>9ch:922.2</td><td>10ch:922.4</td></tr><tr><td>11ch:922.6</td><td>12ch:922.8</td><td>13ch:923.0</td><td>14ch:923.2</td><td>15ch:923.4</td></tr></table>		1ch:920.6	2ch:920.8	3ch:921.0	4ch:921.2	5ch:921.4	6ch:921.6	7ch:921.8	8ch:922.0	9ch:922.2	10ch:922.4	11ch:922.6	12ch:922.8	13ch:923.0	14ch:923.2
1ch:920.6	2ch:920.8	3ch:921.0	4ch:921.2	5ch:921.4												
6ch:921.6	7ch:921.8	8ch:922.0	9ch:922.2	10ch:922.4												
11ch:922.6	12ch:922.8	13ch:923.0	14ch:923.2	15ch:923.4												
結果	未実施のため、試験を行い次第記入予定。 図 30 にチャンネル番号 1 のとき、図 31 にチャンネル番号 2 のときの通信試験結果を示す。どちらのチャンネルでも、CanSat から送信した文字列を地上局が受信できていることがわかる。															
	 図 30 無線周波数変更試験結果（チャンネル 1）	 図 31 無線周波数変更試験結果（チャンネル 2）														
考察	無線機の周波数を変更した場合でも CanSat と地上局が通信可能であり、無線周波数の変更要請に対応できることを確認した。															

V10. End-to-End 試験

目的	以下の2つを確認する。 ● CanSat のモード遷移が、一連の動作で行うこと。 ● 人間による介入が無い状態で、CanSat がゴールに向かって自律自立自律制御走行でできること。
試験内容	シーケンス①～⑤を順に行う。ただし、実際の打上時の環境（ロケットや地理的環境など）を完全に再現するのは困難であるため、以下のことを宣言する。 ● シーケンス②と③でかかる荷重に対する CanSat の強度は、V3, V4, V5, V6 の試験で十分であると実証済であるので、この試験ではシーケンス②と③を再現しない。 ● シーケンス⑤は、10 秒間の走行とする。
結果	未実施のため、試験を行い次第記入予定。 シーケンス①から⑤を順にフェーズが自律的に推移・実行した。シーケンス⑤ではゴール判定をして CanSat が停止した。その時の動画 URL を以下に示す。 ● 動画 URL : https://youtu.be/BNbUvRDzNo8
考察	動画ではフライトピンを外したあと、フライトピンの再接続をしている。これは、複数回試験を行うことを想定したバッテリー容量の節約のためであり、パラシュートの位置や向きを変えないように行った。フライトピンの再接続によって CanSat の自律制御に介入はなく、再接続を行わなかったとしても問題はない。 これらのことから、試験結果から以下の2つを確認した。 ● CanSat のモード遷移が、一連の動作で行えること。 ● 人間による介入が無い状態で、CanSat がゴールに向かって自律制御走行でできること。

V11. 表面確認試験

目的	CanSat が、鋭利な端面を持たないことを確認する。
試験内容	目視と手触りで、CanSat が鋭利な端面を持っていないことを確認する。
結果	未実施のため、試験を行い次第記入予定。 目視で CanSat の表面を、図 32 の様に手触りでも CanSat の表面を確認し、CanSat が鋭利な端面を持っていないことを確認した。  図 32 手触りで CanSat の表面を確認
考察	CanSat に手で触れる際に、CanSat が鋭利な端面を持っていないことから、運用者がけがをすることはなく、安全に ARLISS に参加できることを確認した。

V12. ロングラン試験

目的

試験内容

結果

最大 4 時間の動作（待機 1 時間+ミッション 3 時間）が可能な電力を供給できることを確認する。

1. キャリア内待機を想定したモードで 1 時間動作させる。

2. バッテリ電圧を測定・動作状況を確認する。

3. 走行を想定したモードで 3 時間動作させる。

走行を想定したモード：モータを最大出力で動作，1 秒ごとのサーボ駆動，GPS 情報取得を指す。

4. バッテリ電圧を測定・動作状況を確認する。

未実施のため，試験を行い次第記入予定。

8 月 20 日に実施した試験結果を表 11 と以下の URL のログ，試験の様子を以下の URL の動画に示す。CanSat 機体に搭載する全てのバッテリーは，Li-Po バッテリ（3.7[V]，1000[mAh]）である。11:15 から 12:30 の待機モード 1 時間 15 分，12:30 から 15:59 までの走行モード 3 時間 29 分で問題無く動作することを確認した。

表 11 ロングラン試験電圧測定結果

測定時刻	ロジック①[V]	ロジック②[V]	サーボ①[V]	サーボ②[V]	モータ①[V]	モータ②[V]	モータ③[V]	モータ④[V]
13:00	4.18	4.19	4.06	4.08	4.19	4.16	4.08	4.23
14:00	3.96	3.97	4.05	4.04	4.19	4.16	4.08	4.24
17:00	3.64	3.63	3.79	3.79	4.03	4.02	3.99	4.07

表 11 ロングラン試験履歴

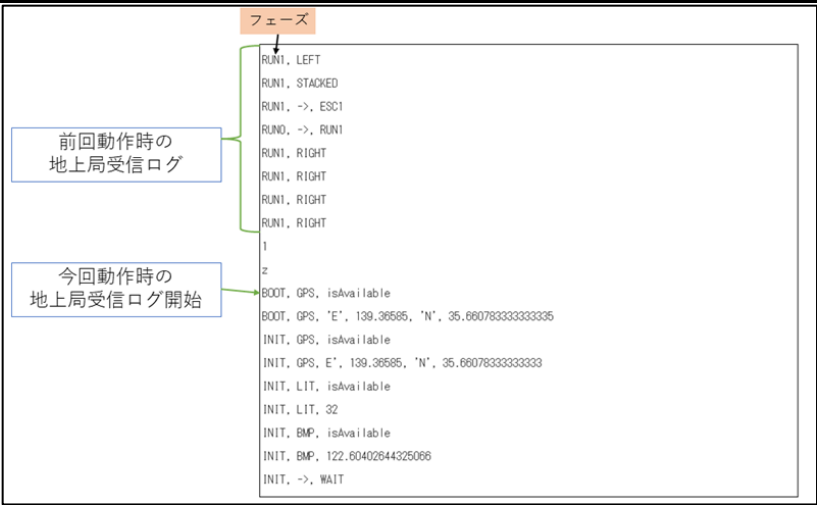
11:15	電源 ON
12:30	走行開始
12:40	走行停止
12:42	走行再開
12:57	モータ回転数最大
14:14	走行停止
14:19	走行再開
14:26	走行停止
14:29	走行再開
14:48	走行停止
15:07	走行再開
15:15	走行停止
15:18	走行再開
15:59	走行終了
16:15	バッテリー切れ

	● 動作ログ URL : https://drive.google.com/file/d/15uaSQTus_Ibv0PTY0HK3Gh9m0JPY6naC/view?usp=sharing ● 動画 URL : https://youtu.be/4tWw1NUGu6A
考察	CanSat に搭載した Li-Po バッテリは、最大 4 時間の動作（待機 1 時間+ミッション 3 時間）が可能な電力を供給できることを確認できた。

V13. データ保存試験

目的	以下の 3 つを確認する. ● サクセスクライテリアの検証に必要なサンプリングレートで取得された HK データを保存できる記憶装置が、CanSat に搭載されていること. ● 地上局にデータを移行できること. ● 保存された HK データが削除されず上書きされないこと.																																																																																																																																											
試験内容	1. 実験データ記録のために、メインシステム上に MicroSD カードを備えている. 2. CanSat を動作させ、MicroSD カードに次のデータを記録する. 3. データが記録できたことと上書きされていないことを確認する. ● 以下のデータを取得した時刻 ● CanSat の位置座標 ● CanSat のフェーズ																																																																																																																																											
結果	未実施のため、試験を行い次第記入予定. CanSat を動作させたときの MicroSD カードに保存されたログの一部と、地上局で受信したログの一部を図 33 と図 34 に示す. CanSat の動作ログが、前回動作時のログに上書きされずに保存されていることが確認できた. また、地上局でも同じデータログが保存されていることが確認できた. <table><thead><tr><th></th><th>時刻</th><th>フェーズ</th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th></tr></thead><tbody><tr><td rowspan="5">前回動作時の CanSatログ</td><td>1132</td><td>32:08.6</td><td>RUN1</td><td>-></td><td>ESC1</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>1133</td><td>32:24.2</td><td>RUN0</td><td>-></td><td>RUN1</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>1134</td><td>32:25.0</td><td>RUN1</td><td>RIGHT</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>1135</td><td>32:25.8</td><td>RUN1</td><td>RIGHT</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>1136</td><td>32:26.6</td><td>RUN1</td><td>RIGHT</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td rowspan="12">今回動作時の CanSatログ開始</td><td>1137</td><td>32:27.4</td><td>RUN1</td><td>RIGHT</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>1138</td><td>35:02.6</td><td>BOOT</td><td>GPS</td><td>isAvailable</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>1139</td><td>35:02.6</td><td>BOOT</td><td>GPS</td><td>'E'</td><td>139.36585</td><td>'N'</td><td>35.66078333</td></tr><tr><td>1140</td><td>35:07.0</td><td>INIT</td><td>GPS</td><td>isAvailable</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>1141</td><td>35:07.0</td><td>INIT</td><td>GPS</td><td>E'</td><td>139.36585</td><td>'N'</td><td>35.66078333</td></tr><tr><td>1142</td><td>35:07.4</td><td>INIT</td><td>LIT</td><td>isAvailable</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>1143</td><td>35:07.8</td><td>INIT</td><td>LIT</td><td>32</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>1144</td><td>35:08.2</td><td>INIT</td><td>BMP</td><td>isAvailable</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>1145</td><td>35:08.6</td><td>INIT</td><td>BMP</td><td>122.604</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>1146</td><td>35:13.0</td><td>INIT</td><td>-></td><td>WAIT</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>1147</td><td>35:14.6</td><td>WAIT</td><td>LIGHT</td><td>32</td><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table>		時刻	フェーズ							前回動作時の CanSatログ	1132	32:08.6	RUN1	->	ESC1				1133	32:24.2	RUN0	->	RUN1				1134	32:25.0	RUN1	RIGHT					1135	32:25.8	RUN1	RIGHT					1136	32:26.6	RUN1	RIGHT					今回動作時の CanSatログ開始	1137	32:27.4	RUN1	RIGHT					1138	35:02.6	BOOT	GPS	isAvailable				1139	35:02.6	BOOT	GPS	'E'	139.36585	'N'	35.66078333	1140	35:07.0	INIT	GPS	isAvailable				1141	35:07.0	INIT	GPS	E'	139.36585	'N'	35.66078333	1142	35:07.4	INIT	LIT	isAvailable				1143	35:07.8	INIT	LIT	32				1144	35:08.2	INIT	BMP	isAvailable				1145	35:08.6	INIT	BMP	122.604				1146	35:13.0	INIT	->	WAIT				1147	35:14.6	WAIT	LIGHT	32			
	時刻	フェーズ																																																																																																																																										
前回動作時の CanSatログ	1132	32:08.6	RUN1	->	ESC1																																																																																																																																							
	1133	32:24.2	RUN0	->	RUN1																																																																																																																																							
	1134	32:25.0	RUN1	RIGHT																																																																																																																																								
	1135	32:25.8	RUN1	RIGHT																																																																																																																																								
	1136	32:26.6	RUN1	RIGHT																																																																																																																																								
今回動作時の CanSatログ開始	1137	32:27.4	RUN1	RIGHT																																																																																																																																								
	1138	35:02.6	BOOT	GPS	isAvailable																																																																																																																																							
	1139	35:02.6	BOOT	GPS	'E'	139.36585	'N'	35.66078333																																																																																																																																				
	1140	35:07.0	INIT	GPS	isAvailable																																																																																																																																							
	1141	35:07.0	INIT	GPS	E'	139.36585	'N'	35.66078333																																																																																																																																				
	1142	35:07.4	INIT	LIT	isAvailable																																																																																																																																							
	1143	35:07.8	INIT	LIT	32																																																																																																																																							
	1144	35:08.2	INIT	BMP	isAvailable																																																																																																																																							
	1145	35:08.6	INIT	BMP	122.604																																																																																																																																							
	1146	35:13.0	INIT	->	WAIT																																																																																																																																							
	1147	35:14.6	WAIT	LIGHT	32																																																																																																																																							

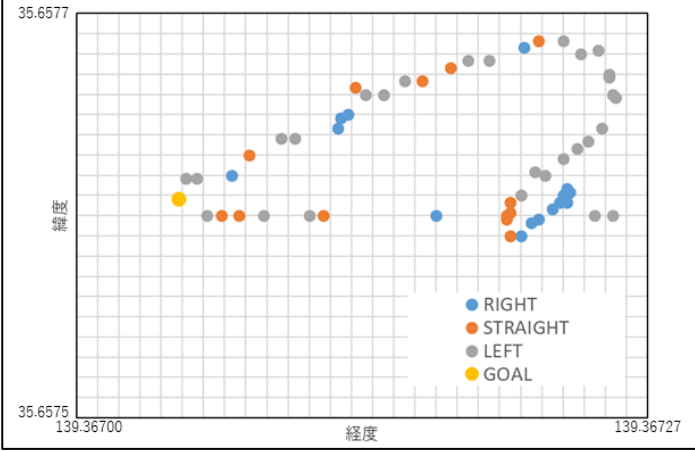
図 33 動作ログ (CanSat)

	 図 34 動作ログ（地上局）	
	● 動作ログ URL（CanSat）：https://drive.google.com/file/d/1ahXjIc3F0-1L-pD00z4sAmeINTJeJT8f/view?usp=sharing ● 動作ログ URL（地上局）：https://drive.google.com/file/d/1Hdzta2_QcBeyjlvxGyJRF0cLnOf46i3j/view?usp=sharing	
考察	● 結果より、MicroSD カード内に動作ログが保存できたことから、「サクセスクライテリアの検証に必要なサンプリングレートで取得された HK データを保存できる記憶装置が、CanSat に搭載されていること」を確認した。 ● 結果より、「地上局にデータを移行できること」と「保存された HK データが削除されず上書きされないこと」を確認した。	

V14. パラシュート分離試験

目的	パラシュートと機体を結合するテグスが、ニクロム線で焼き切れることを確認する。
試験内容	パラシュート分離機構に扇風機の強風を当てながらパラシュート分離フェーズを行い、ニクロム線によってテグスが切れることを確認する。また、その様子を撮影する。
結果	未実施のため、試験を行い次第記入予定。 パラシュート分離機構に扇風機の風“強”を当てながら、パラシュート分離フェーズを行い、ニクロム線によってテグスが切れた。その時の様子を、以下の URL の動画に示す。 動画 URL：https://youtu.be/ugHcYM3DNK4
考察	パラシュートと機体を結合するテグスが、ニクロム線で焼き切れることを確認した。

V15. 走行試験

目的	以下の 76 つを確認する. ● CanSat が, ゴール座標をシーケンス①以前に入力するために, プログラムを書き換えられること. ● CanSat が, GPS から自身の位置座標を取得できること. ● CanSat が, 自身の位置座標とゴールコーンの位置座標への相対方位角が計算できること. ● 0.05[Nm]以上の高トルクモータが, CanSat に搭載されていること. ● CanSat が, サーボモータで重心を移動できること. ● CanSat が, GPS から自身の位置座標を取得できること. ● CanSat が, 自身の位置座標とゴールコーンの位置座標の直線距離と円の半径を比較し到達を検知できること.
試験内容	1. CanSat を, 予め設定したゴール地点から数十[m]のところから自律的制御で走行させる. 2. CanSat が, ゴール地点に到達したことを目視で確認する. 3. CanSat の GNSS ゴールを, データから確認する. GNSS ゴール: CanSat の測位結果が, 目的地から半径” GNSS の誤差 2” [m]の円の範囲内へ到達していることを検知した状態
結果	未実施のため, 試験を行い次第記入予定. あらかじめ設定したゴール座標 (東経, 北緯) = (139.3670483, 35.6576083) より約 16[m]離れた地点から CanSat を自律制御で走行させた. CanSat がゴール判定を行った位置の座標は, ログによると (東経, 北緯) = (139.3670517, 35.6576183) であり, あらかじめ設定したゴール座標との差は 1.2[m]であった. 座標履歴のプロットを図 35 に示す. 図 35 中の “RIGHT” “LEFT” “STRAIGHT” は CanSat が自身の位置座標/走行方位角と, ゴールの位置座標から計算した進むべき方向の制御値である. 試験実施時の動画と自立走行時のログを, それぞれ以下の URL に示す.  図 35 CanSat 走行中の位置座標履歴 ● 動画 URL : https://youtu.be/MN-jLfGxD2M ● ログ URL : https://drive.google.com/file/d/1g-A_wHyqKedhV4zANyON2SGiSg20yEBh/view?usp=sharing

考察	● あらかじめゴール座標を設定したことから、「CanSat が、ゴール座標をシーケンス①以前に入力するために、プログラムを書き換えられること」を確認した. ● 図 35 から、CanSat がゴールに向かって走行と方向転換を繰り返していることが分かる. したがって、「CanSat が、GPS から自身の位置座標を取得できること」と「CanSat が、自身の位置座標とゴールコーンの位置座標への相対方位角が計算できること」, 「0.05[Nm]以上の高トルクモータが、CanSat に搭載されていること」, 「CanSat が、サーボモータで重心を移動できること」を確認した. ● CanSat はゴールから 1.2[m]の地点ゴール判定を行ったことから、「CanSat が、自身の位置座標とゴールコーンの位置座標の直線距離と円の半径を比較し到達を検知できること」を確認した.
----	--

V16. スタック回避試験

目的	CanSat に減速機構脱出モードと轍脱出モードが搭載されていることを確認する.
試験内容	10 秒間 CanSat が半径 2[m]の円から動かない場合、CanSat が自動で減速機構脱出モードと轍脱出モードに遷移することを、目視と撮影した動画で確認する.
結果	未実施のため、試験を行い次第記入予定. 走行中の CanSat を 5 秒間手で抑えて、自律的に減速機構脱出モード/轍脱出モードに遷移した. その後、正常に走行を開始したが、地面上の障害物に引っかかり、再び自律的に減速機構脱出モード/轍脱出モードに遷移した. 3 回スタック回避動作を行った後、正常に走行を再開した. その時の動画を以下 URL に示す. 動画 URL : https://youtu.be/ViXoonBXX3o
考察	試験結果から、CanSat に減速機構脱出モード/轍脱出モードが搭載されていて、それらがスタックを検知したのち動作し、動作終了後は通常走行に復帰することを確認した.

V17. 0m ゴール試験

目的	以下の73つを確認する. ● CanSat が, カメラを用いてゴールコーンを認識できること. ● CanSat が, 自身の位置とゴールコーンの位置への相対方位角が計算できること. ● 0.05[Nm]以上の高トルクモータが, CanSat に搭載されていること. ● CanSat が, サーボモータで重心を移動できること. ● CanSat が, GPS から自身の位置座標を取得できること. ● CanSat が, カメラを用いてゴールしたこと検知できること. ● CanSat が, 0m ゴール検知後動作を停止できること.
試験内容	以下の手順を5回行い, CanSat が0m ゴールを達成できる機能を有していることを確認する. 1. ゴールコーンから2mの位置にCanSatを置く. 2. CanSat の0m ゴールフェーズを実行する. 3. CanSat が0m ゴールするか確認する. カメラと CanSat に搭載する Raspberry Pi ZeroWH を用いて, 以下の項目を確認する. 1. カメラを用いてゴールコーンの位置を判断し, 直進・右折・左折の判定を行うことができる. 2. カメラを用いてゴールコーンとの近さを判断し, ゴール判定を行うことができる.

結果	未実施のため、試験を行い次第記入予定。 図 36～図 39 に判定結果を示す。左から、カメラから取得した画像・赤色を判定した画像・判定結果である。直進・右折・左折の判定とゴール判定をそれぞれ可能なことを確認した。ここで、ゴールと判定されるのは、赤色の見做される画素数が画面全体の画素数の 8 割を満たしたときとした。
	図 36 直進判定結果
	図 37 右折判定結果
	図 38 左折判定結果
	図 39 ゴール判定結果
考察	CanSat がカメラを用いてゴールコーンを認識し、CanSat とゴールコーンの位置関係から移動方向とゴールの判定を行えることを確認した。

V18. 制御履歴レポート作成試験

目的	規定された制御履歴を保存し、制御履歴の提出・分析ができることを確認する。																																																																																																																																																																																																												
試験内容	1. 予め設定したゴール付近から CanSat を走らせる。 2. ゴールするまでの CanSat の状態量（時間、緯度、経度、速度、進行方位、ゴールまでの距離、ゴールまでの方位角、ピッチ角）と制御量（モータの出力値、サーボモータの入力パルス値）を SD に保存する。 3. SD を取り出して解析する。																																																																																																																																																																																																												
結果	未実施のため、試験を行い次第記入予定。 シーケンス④、⑤を実施し、ログを取得した。ログの走行開始部分を図 40 に示す。パラシュート分離モードから走行フェーズに移行したこと、制御開始時の位置座標が取得・保存できている。走行開始後、右方向へ向かう制御をしていることが確認できる。 ログのゴール判定部分を図 41 に示す。GNSS ゴール判定を行ったこと、その時の位置座標が取得・保存されている。また、ログ全部は以下 URL に格納する。																																																																																																																																																																																																												
	<table><thead><tr><th></th><th>時刻</th><th>Phase</th><th></th><th></th><th></th><th></th></tr></thead><tbody><tr><td></td><td>158</td><td>0:34:12</td><td>SEPA</td><td>GPS</td><td>E'</td><td>139.3668933 'N' 35.65776333</td></tr><tr><td></td><td>159</td><td>0:34:13</td><td>SEPA</td><td>GPS</td><td>E'</td><td>139.3668933 'N' 35.65776333</td></tr><tr><td></td><td>160</td><td>0:34:14</td><td>SEPA</td><td>GPS</td><td>E'</td><td>139.3668933 'N' 35.65776333</td></tr><tr><td rowspan="2">パラシュート分離フェーズから走行フェーズへ移行</td><td>161</td><td>0:34:15</td><td>SEPA</td><td>SEPARATED</td><td>TIME</td><td></td></tr><tr><td>162</td><td>0:34:15</td><td>SEPA</td><td>-></td><td>RUN0</td><td></td></tr><tr><td></td><td>163</td><td>0:34:27</td><td>RUN0</td><td>-></td><td>RUN1</td><td></td></tr><tr><td></td><td>164</td><td>0:34:28</td><td>RUN1</td><td>RIGHT</td><td></td><td></td></tr><tr><td rowspan="2">制御開始位置の位置座標のレコード</td><td>165</td><td>0:34:28</td><td>RUN1</td><td>GPS</td><td>E'</td><td>139.3668933 'N' 35.65776333</td></tr><tr><td>166</td><td>0:34:29</td><td>RUN1</td><td>RIGHT</td><td></td><td></td></tr><tr><td rowspan="2">サーボモータの出力レコード RIGHT：右方向転換の出力</td><td>167</td><td>0:34:29</td><td>RUN1</td><td>GPS</td><td>E'</td><td>139.3668933 'N' 35.65776333</td></tr><tr><td>168</td><td>0:34:30</td><td>RUN1</td><td>RIGHT</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>169</td><td>0:34:30</td><td>RUN1</td><td>GPS</td><td>E'</td><td>139.3668933 'N' 35.65776333</td></tr><tr><td></td><td>170</td><td>0:34:31</td><td>RUN1</td><td>RIGHT</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>171</td><td>0:34:31</td><td>RUN1</td><td>GPS</td><td>E'</td><td>139.3668933 'N' 35.65776333</td></tr></tbody></table> 図 40 走行ログ（開始時） <table><thead><tr><th></th><th>時刻</th><th>Phase</th><th></th><th></th><th></th><th></th></tr></thead><tbody><tr><td></td><td>830</td><td>0:43:40</td><td>RUN1</td><td>RIGHT</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>831</td><td>0:43:40</td><td>RUN1</td><td>GPS</td><td>E'</td><td>139.36733 'N' 35.65752667</td></tr><tr><td></td><td>832</td><td>0:43:41</td><td>RUN1</td><td>RIGHT</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>833</td><td>0:43:41</td><td>RUN1</td><td>GPS</td><td>E'</td><td>139.367335 'N' 35.65751833</td></tr><tr><td></td><td>834</td><td>0:43:42</td><td>RUN1</td><td>RIGHT</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>835</td><td>0:43:42</td><td>RUN1</td><td>GPS</td><td>E'</td><td>139.367335 'N' 35.6575</td></tr><tr><td></td><td>836</td><td>0:43:43</td><td>RUN1</td><td>RIGHT</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>837</td><td>0:43:43</td><td>RUN1</td><td>GPS</td><td>E'</td><td>139.367335 'N' 35.6575</td></tr><tr><td></td><td>838</td><td>0:43:44</td><td>RUN1</td><td>RIGHT</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>839</td><td>0:43:44</td><td>RUN1</td><td>GPS</td><td>E'</td><td>139.3673317 'N' 35.65750167</td></tr><tr><td rowspan="2">ゴール判定を行い、CanSatが動作を停止</td><td>840</td><td>0:43:45</td><td>RUN1</td><td>RIGHT</td><td></td><td></td></tr><tr><td>841</td><td>0:43:46</td><td>RUN1</td><td>GPS</td><td>E'</td><td>139.367325 'N' 35.65750167</td></tr><tr><td rowspan="2">GOAL1レコードの一つ前のGPSレコードがゴール判定時の位置座標</td><td>842</td><td>0:43:46</td><td>RUN1</td><td>GOAL1</td><td></td><td></td></tr><tr><td>843</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table> 図 41 走行ログ（ゴール時）		時刻	Phase						158	0:34:12	SEPA	GPS	E'	139.3668933 'N' 35.65776333		159	0:34:13	SEPA	GPS	E'	139.3668933 'N' 35.65776333		160	0:34:14	SEPA	GPS	E'	139.3668933 'N' 35.65776333	パラシュート分離フェーズから走行フェーズへ移行	161	0:34:15	SEPA	SEPARATED	TIME		162	0:34:15	SEPA	->	RUN0			163	0:34:27	RUN0	->	RUN1			164	0:34:28	RUN1	RIGHT			制御開始位置の位置座標のレコード	165	0:34:28	RUN1	GPS	E'	139.3668933 'N' 35.65776333	166	0:34:29	RUN1	RIGHT			サーボモータの出力レコード RIGHT：右方向転換の出力	167	0:34:29	RUN1	GPS	E'	139.3668933 'N' 35.65776333	168	0:34:30	RUN1	RIGHT				169	0:34:30	RUN1	GPS	E'	139.3668933 'N' 35.65776333		170	0:34:31	RUN1	RIGHT				171	0:34:31	RUN1	GPS	E'	139.3668933 'N' 35.65776333		時刻	Phase						830	0:43:40	RUN1	RIGHT				831	0:43:40	RUN1	GPS	E'	139.36733 'N' 35.65752667		832	0:43:41	RUN1	RIGHT				833	0:43:41	RUN1	GPS	E'	139.367335 'N' 35.65751833		834	0:43:42	RUN1	RIGHT				835	0:43:42	RUN1	GPS	E'	139.367335 'N' 35.6575		836	0:43:43	RUN1	RIGHT				837	0:43:43	RUN1	GPS	E'	139.367335 'N' 35.6575		838	0:43:44	RUN1	RIGHT				839	0:43:44	RUN1	GPS	E'	139.3673317 'N' 35.65750167	ゴール判定を行い、CanSatが動作を停止	840	0:43:45	RUN1	RIGHT			841	0:43:46	RUN1	GPS	E'	139.367325 'N' 35.65750167	GOAL1レコードの一つ前のGPSレコードがゴール判定時の位置座標	842	0:43:46	RUN1	GOAL1			843				
	時刻	Phase																																																																																																																																																																																																											
	158	0:34:12	SEPA	GPS	E'	139.3668933 'N' 35.65776333																																																																																																																																																																																																							
	159	0:34:13	SEPA	GPS	E'	139.3668933 'N' 35.65776333																																																																																																																																																																																																							
	160	0:34:14	SEPA	GPS	E'	139.3668933 'N' 35.65776333																																																																																																																																																																																																							
パラシュート分離フェーズから走行フェーズへ移行	161	0:34:15	SEPA	SEPARATED	TIME																																																																																																																																																																																																								
	162	0:34:15	SEPA	->	RUN0																																																																																																																																																																																																								
	163	0:34:27	RUN0	->	RUN1																																																																																																																																																																																																								
	164	0:34:28	RUN1	RIGHT																																																																																																																																																																																																									
制御開始位置の位置座標のレコード	165	0:34:28	RUN1	GPS	E'	139.3668933 'N' 35.65776333																																																																																																																																																																																																							
	166	0:34:29	RUN1	RIGHT																																																																																																																																																																																																									
サーボモータの出力レコード RIGHT：右方向転換の出力	167	0:34:29	RUN1	GPS	E'	139.3668933 'N' 35.65776333																																																																																																																																																																																																							
	168	0:34:30	RUN1	RIGHT																																																																																																																																																																																																									
	169	0:34:30	RUN1	GPS	E'	139.3668933 'N' 35.65776333																																																																																																																																																																																																							
	170	0:34:31	RUN1	RIGHT																																																																																																																																																																																																									
	171	0:34:31	RUN1	GPS	E'	139.3668933 'N' 35.65776333																																																																																																																																																																																																							
	時刻	Phase																																																																																																																																																																																																											
	830	0:43:40	RUN1	RIGHT																																																																																																																																																																																																									
	831	0:43:40	RUN1	GPS	E'	139.36733 'N' 35.65752667																																																																																																																																																																																																							
	832	0:43:41	RUN1	RIGHT																																																																																																																																																																																																									
	833	0:43:41	RUN1	GPS	E'	139.367335 'N' 35.65751833																																																																																																																																																																																																							
	834	0:43:42	RUN1	RIGHT																																																																																																																																																																																																									
	835	0:43:42	RUN1	GPS	E'	139.367335 'N' 35.6575																																																																																																																																																																																																							
	836	0:43:43	RUN1	RIGHT																																																																																																																																																																																																									
	837	0:43:43	RUN1	GPS	E'	139.367335 'N' 35.6575																																																																																																																																																																																																							
	838	0:43:44	RUN1	RIGHT																																																																																																																																																																																																									
	839	0:43:44	RUN1	GPS	E'	139.3673317 'N' 35.65750167																																																																																																																																																																																																							
ゴール判定を行い、CanSatが動作を停止	840	0:43:45	RUN1	RIGHT																																																																																																																																																																																																									
	841	0:43:46	RUN1	GPS	E'	139.367325 'N' 35.65750167																																																																																																																																																																																																							
GOAL1レコードの一つ前のGPSレコードがゴール判定時の位置座標	842	0:43:46	RUN1	GOAL1																																																																																																																																																																																																									
	843																																																																																																																																																																																																												
	● ログ URL : https://drive.google.com/file/d/1PHES3Snm4okoVmI26VenZfYJhJzksk-e/view?usp=sharing																																																																																																																																																																																																												
考察	CanSat の状態量（phase と各種センサ出力値）と制御量（サーボモーターの出力モード）が走行開始から走行終了まで記録されていることを確認した。これらのデータを使って、規定された制御履歴レポートの提出が行えると考えられる。																																																																																																																																																																																																												

第7章 WBS 及びガントチャート（工作管理）

WBS 及びガントチャートを入力したスプレッドシートの URL を以下に示す。WBS 及びガントチャートは随時更新しており、最新のものを「WBS 及びガントチャート_最新版」という名前のシートに示している。また、WBS 及びガントチャートを画像化したものを最終ページに添付する。

WBS 及びガントチャートの URL :

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1lC5rctA9XKp0yk7iIYsNJVng0H6e9EUI/edit?usp=sharing&ouid=117101125820105959988&rtpof=true&sd=true>

現段階でも、「3D プリンタの故障」や「振動試験場と日程の変更」など初期段階では予測できなかった問題が起き、開発が 2, 3 週間程度遅れている。もともと 2, 3 週間程度のマージンを確保していたので何とか審査書類の提出などは間に合っている。本番まで残り約 2 ヶ月までしかないの、今後は開発が遅れないよう活動頻度も増やすなど、全力で CanSat 開発を行っていきたい。

2 次審査書に向けて最終調整をしていた 7 月末に、メンバーの一人が新型コロナウイルスに感染してしまった。だがメンバー間で協力し合うことで、期限内に FM 機と審査書を完成させることができた。今後は 9 月の ARLISS 本番に向けて、ミッションの成功率を少しでも上げていきたい。そのためにも、構体班や電装班で区分けせずにメンバー全員で何度も試験や議論を繰り返し行い、CanSat 全体の精度を向上させていく。

第8章 責任教員による自己安全審査結果のまとめ

1. 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こと.	☑	
S2	容積がキャリア基準を満たしていること.	☑	
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こと.	☑	
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こと.	☑	
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こと.	☑	
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こと.	☑	
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こと. (対策例：位置情報送信、ビーコン、蛍光カラーペイント等)	☑	
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こと（FCC 認証かつ100[mW]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）.	☑	

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こと．	☒	
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こと，今後，大幅な設計変更はないこと．	☒	
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			
M2	ミッション時に人間が介入しない自律制御を実施することを確認できていること．	☒	
M27	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こと．	☒	

2. 責任教員所感

このチームのカンサットは，2018 年に ARLISS に参加した「TMU-MAG.」の製作した球体ローバーに現地で顕在化した問題点を解決したものに位置付けられる．本チームメンバー4 人の内，2 人が「TMU-MAG.」であることから，カンサットの経験経験だけでなく球体ローバーそれ自体に熟練している．このように系統的にも人的にもシステムエンジニアリングとプロジェクトマネジメントの両方においてイタレーションを行いつつ，初参加の 2 人への技術伝承も果たしている．開発の各段階，各種試験なども順調に行っており，責任教員として非常に期待しているチームとカンサットである．

第10章 大会結果報告

1. 目的

我々は、「CanSat 製作を通して、チームでのプロジェクトマネジメントやシステムエンジニアリングを学ぶ」という大目的のもと、CanSat を製作し ARLISS に参加した。また、チームメンバーの2人が4年前の ARLISS に球体ローバーで参加したが、走行することなくミッションを失敗したため、そのリベンジも兼ねている。さらにミッションを通して、二輪ローバーに代わる新しい形状としての「球体ローバー」の有用性を検証する。

2. 結果

大会結果を表 12 に示す。我々は2回の打上を行い、全ての打上でミニマムサクセスを失敗した。1回目と2回目の詳細は以下に記す。

表 12 大会結果まとめ

	ミニマムサクセス	フルサクセス	アドバンスドサクセス
1 回目 (9/12)	×	×	×
2 回目 (9/15)	×	×	×

➤ 1 回目

1 回目の打上は、大会初日 9/12 の 14:00 頃に行った。午後ということもあり地上では強い風が吹いており、上空ではさらに強い風が吹いていると予想した。打上後 CanSat から位置情報を受信することができず、目視で追いかけていた降下中の CanSat を見失ったため、着地地点を把握することができなかった。その後も CanSat の探索が続けたが、その日の内に CanSat を発見することはできなかった。翌日も午前中から CanSat の探索を行い、他団体からの情報提供を基に 15:00 頃に CanSat を発見した。着地地点は、射点とロケットのノーズの落下地点の延長線上付近で、機体とパラシュート共に損傷なく、かつ分離できている状態だった（図 42、図 43）。しかし、周辺には CanSat が走行した形跡はなかったため、この打上ではミニマムサクセスを達成することができなかった。また、シーケンス毎の CanSat の動作結果を表 13 に示す。



図 42 発見地点の様子①



図 43 発見地点の様子②

表 13 1 回目打上におけるシーケンス毎の結果

シーケンス	分類	結果	失敗の詳細
①準備 (組立から キャリア収納まで)	機体	○	-
	パラ	○	-
②打上 (キャリア収納から 放出判定まで)	機体	△	打上後，地上局との通信が途絶えた．
	パラ	○	-
③降下 (放出判定から 着地判定まで)	機体	×	地上局との通信が途絶えていた．
	パラ	○	-
④走行準備 (着地判定から 走行開始まで)	機体	×	地上局との通信が途絶えていた．
	パラ	○	
⑤走行 (走行開始から GNSS ゴールまで)	機体	×	地上局との通信が途絶えていた．
⑥0m ゴール (GNSS ゴールから 0m ゴールまで)	機体	×	地上局との通信が途絶えていた．
⑦解析 (CanSat 回収から データ解析まで)	機体	×	地上局との通信が途絶えていた．

1 回目の CanSat の HK データを以下 URL に格納する．

- HK データ URL :
<https://drive.google.com/drive/folders/1s3twUeFwFAxic06Y2AzFaPZIRRborHv?usp=sharing>

➤ 2 回目

2 回目の打上は，大会最終日 9/15 の 9:00 頃に行った．午前中であったため地上の風は弱かった．打上何分後，CanSat から位置情報を受信することに成功し，車に乗り GPS を追跡した．追跡中に CanSat からの通信が途絶したため，最後に受信した位置情報が示す場所に向かい，風呂敷に包まれた機体を発見した．機体は走行不可能な状態であった（図 44，図 45，図 46）．また，機体から離れた場所にロケットのノーズのパラシュートと絡まった CanSat のパラシュートを発見した（図 47）．



図 44 着地地点での CanSat



図 45 着地後の CanSat 外観



図 46 着地後の CanSat の内部構造



図 47 絡まったパラシュート

表 14 2回目打上におけるシーケンス毎の結果

シーケンス	分類	結果	詳細
①準備 (組立からキャリア 収納まで)	機体	○	
	パラ	○	
②打上 (キャリア収納から 放出判定まで)	機体	○	
	パラ	○	
③降下 (放出判定から着地 判定まで)	機体	○	
	パラ	×	上空でパラシュート機構が機体と分離し機能せず.
④走行準備 (着地判定から走行 開始まで)	機体	×	落下衝撃で破損し走行できず.
	パラ	×	上空でパラシュート機構が機体と分離し機能せず.
⑤走行 (走行開始から GNSS ゴールまで)	機体	×	機体破損につき走行できず.
⑥0m ゴール (GNSS ゴールから 0m ゴールまで)	機体	×	機体破損につき走行できず.
⑦解析 (CanSat 回収から データ解析まで)	機体	×	走行していないためデータなし.

2 回目の HK データを以下 URL に格納する.

- HK データ URL :

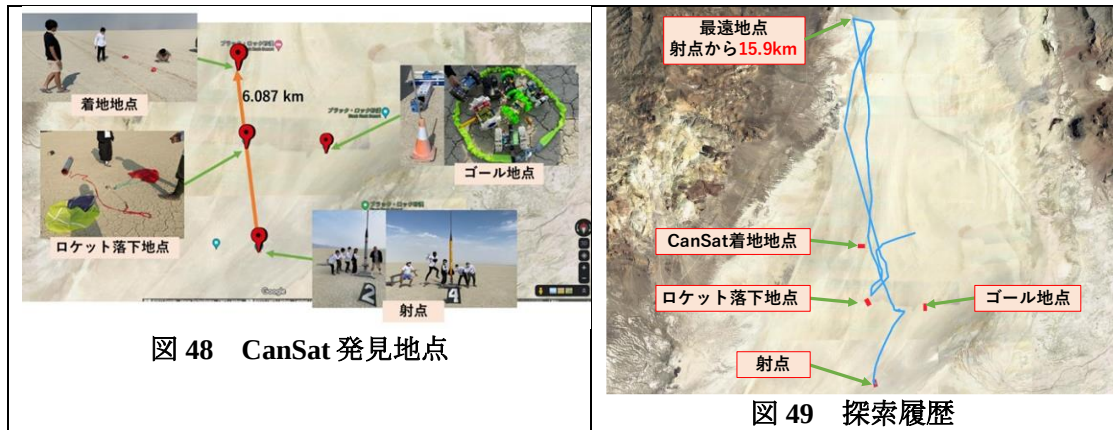
<https://drive.google.com/drive/folders/1s3twUeFwfAxic06Y2AzFaPZIRRborHv?usp=sharing>

3. 考察

➤ 1 回目

1 回目の投下で CanSat から位置情報が受信できなかった原因は、キャリア収納後にプログラムの動作が停止したことであると特定した。地上試験において、CanSat のプログラム開始は Tera Term を用いた SSH 接続を通して命令していたが、CanSat と Tera Term の接続が途切れると同時にプログラムの動作が停止するという問題が確認されていた。対策として、リモートサーバからログアウトしてもジョブを続行するコマンドを実行しており、投下 1 回目のキャリア収納後もダブルチェックを行っていたが、コマンドが正常に実行されていなかった。

CanSat の発見地点を図 48 に、探索の履歴を図 49 に示す。射点とロケットのノーズの着地点を結ぶ直線の延長線上約 6km の地点で CanSat を発見した。さらに、探索履歴から CanSat の着地点の近くを通過していたことが分かった。打上時強い風が吹いており、風でどの方向に流されたのかわからなかったが、この結果からどんなに風が強くても CanSat はロケットのノーズの延長線上に着地すると考えられる。



➤ 2 回目

投下 2 回目では対策として、Tera Term ではなく VNC を用いてプログラム開始を行うことに決定した。

自由落下という事象に対して、FTA を行った。その結果を表 15 に示す。故障の要因として 3 項目の可能性を挙げた。しかし、フライトで取得できたデータは気圧のみであり、自由落下したことは確実であるものの、故障要因の特定に至っていない。

表 15 自由落下についての FTA

事象	一次要因	二次要因	フライトデータ結果
自由落下	テグスの切断	パラシュート基板の異常	△ パラシュート分離に成功した 1 回目のフライトと全く同じ基板/プログラムだったため、誤作動の可能性は低いですが、排除できない。
		異常な荷重の印加	△ ロケットのパラシュートと CanSat のパラシュートが絡まったため、遠心力などの想定していない荷重がテグスにかかった可能性がある。
	テグスの解け	テグスの結びが緩い	△ 手作業で結び、テグスを留めるテープの指定を行ってなかったため、テグスがほどけやすかった可能性がある。
	風呂敷の隙間からの抜け	テグスを長く結んだ	× テグスの長さは事前に決めており、長いテグスは使わなかったため、隙間は発生しない設計であった。
		風呂敷のちぎれ	× 風呂敷はちぎれていなかった。
	パラシュート紐の切断	異常な荷重の印加	× パラシュート紐はちぎれていなかった。
	パラシュート紐の解け	パラシュート紐の結びが緩い	× パラシュート紐は解けていなかった。

第11章 まとめ

1. 工夫・努力した点

➤ 構体班（機体）

- 球殻には、軽量で衝撃耐性の高い柔軟性（走破性を損なわない程度の柔軟さ）を持ち、落下時および走行中に外れないように境界部をボルトで締結できる樹脂材料のものを選択した。
- 大きく3つのモジュール（球殻1,2と構体内部）に分け、本番時には分以内に組み立てができるように準備を行なった。
- 重心の調整は非常にセンシティブであったが、再現性が保てるような開発を行った。
- 方向転換用の錘を最適形状に近づけ、ほかのコンポーネントと干渉しないように且つ、走破性を満足させる方向転換を実現できた。

➤ 構体班（パラシュート）

- パラシュートの布を重ねて縫う際、開傘衝撃にも耐え得る様に最低でも糸を2周通した。さらに、衝撃を大きく受ける布の末端部は、折り返して布を分厚くすることで強度を持たせた。

→パラシュート開傘衝撃を受けてもパラシュートが破れることはなかった。

- キャンプなどでテントを張る際に用いる強度の高い糸を、パラシュートと機体とを結ぶ糸に用いた。

→CanSatの降下中に、パラシュートと機体とを結ぶ糸が切れることはなかった。

- パラシュートにパラシュートと機体とを結ぶ糸を通す際、開傘衝撃にも耐え得る様に、生地が厚いデニム質のものをパラシュートに縫い、そこに金属ハトメで穴を開けて糸を通した。

→パラシュート開傘衝撃を受けてもパラシュートが破れることはなかった。

➤ 電装班（機体）

- 打上当日に変更するパラメータは独立したファイルに記述することで、メインプログラムに予期せぬ変更が加えられることを防止した。

➤ 電装班（パラシュート）

- ニクロム線によるテグス溶断システムを2系統設けた。
- 1 ニクロム線用の電池を大放電容量のLiPoにしたことで、体積・重量の削減した。
- 1 飛行中にリセットがかかっても自動でフライトモードに入るようにした。

2. 課題点

➤ 構体班（機体）

- 開発期間においては、予算をあまり考慮せず製作と実験を繰り返して開発を進めたため、製作費や作業時間がかかりすぎてしまった。そこで数値解析で当たりをつけた上で製作および実験を行うことで、製作費や作業時間を削減すべきであった。
- 電源投入時、球殻を外した状態で行わなければならない、電源を入れた後 5～10 分程度の組み立て時間による電力ロスが発生してしまったので、なるべく組み立て終了後に電源を入れることが可能な開発を行えばよかった。

➤ 構体班（パラシュート）

- 2 回目の打上で、ロケットのノーズと我々の CanSat のパラシュートが絡まって落下した原因の 1 つとして、パラシュート糸が長すぎたのではと考えられる。
- 2 回目の打上で、CanSat 機体が自由落下してしまった原因の 1 つとして、パラシュート機構と CanSat 機体とを繋ぐのに用いていたテグスがほどけたか、もしくは絡まった際の遠心力でちぎれたのではと考えられる。
- テグスに大きな荷重がかかるのにも関わらず、シングルポイントとなっていた。
→テグスを 2 重にするなど、シングルポイントをできるだけ無くすよう工夫すべきだった。
- テグスは当日に人間が結んでいた。
→当日の人間のコンディションに左右されること（人が紐を結ぶなど）はなるべく減らす。どうしても行わなければならない場合は基準を決めておく。

➤ 電装班（機体）

- 1 回目の投下でダブルチェックを行ったにも関わらず、不具合が発生してしまった。手順の実行を完了したというチェックだけを行い、その手順が正常に動作したかを確認していなかったからである。また、十分な地上試験を実施していれば、防げた不具合でもある。
→今後は、手順の実行だけでなく、その手順が正常に動作したことを確認できるような運用手順や実装を行う。

➤ 電装班（パラシュート）

- ログが保存されないので、トラブルシュー트가不可能である。

3. 今後の展望

- 全チームが無事に大会に参加できるように、自分たちの事だけを考えて身勝手な行動をするのではなく、運営や周りのチームを思いやって行動する。
- 開発が予定通りに進むことはほぼないので、スケジュールは前後 1 週間以上のマージンを設定していく。
- 打上を行う時間帯は朝一を推奨する。午後に比べ午前は風が穏やかであり、特に朝一は無風に近いことが多く、CanSat の降下方向が予測しやすい。
- CanSat 有識者からのレビューは積極的に受けるべきである。先人たちの成功と失敗をよく学びましょう。