

ACTS 報告書

提出日：2021年 12月 26日

● チーム情報

CanSat チーム名	東京工業大学 Onigiri
CanSat チーム 代表者情報	永井 和希 nagai.k.ao@m.titech.ac.jp, 090-1706-9915
UNISEC 団体名	東京工業大学 動設計学研究室 (CanSat チーム代表者の所属団体)
UNISEC 団体 学生代表	小池 修平
責任教員	中西 洋喜 nakanishi.h.af@m.titech.ac.jp, 03-5734-2644

● メンバー

役割	名前 (学年)
PM、チームリーダー、構造班	永井 和希 (B4)
チーム副リーダー、構造班、電装班	三木 晴太 (B4)
構造班リーダー	野村 昇冨 (B4)
構造班	田村 真也 (M1)
車輪班リーダー	小林 大輝 (B4)
車輪班	徳安 彰大 (B4)
車輪班	竹田 有希 (M1)
電装班リーダー	安田 萌恵 (B4)
電装班	鷺 優希 (M1)

※構造班…機械部品や機構の開発を行う班

※車輪班…車輪やモータなど駆動系の開発を行う班

※電装班…電気回路や制御に関する開発を行う班

- CanSat の製作目的・大会参加理由

衛星開発と同じ開発プロセスの一連の流れを短期間で行う事で、人工衛星の開発に必要な技術の向上・知識の体得を目的とする。また、投下試験を目標として一連のミッションを行う非修理系の機械開発に必要な技術と知識を得るため、本大会へ参加する事にした。

目次

第1章 ミッションについて	5
1. ミッションステートメント（ミッションの意義と目的）	5
2. ミッションシーケンス	6
第2章 サクセスクライテリア	9
第3章 要求項目の設定	111
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）	12
2. ミッション要求（ミッションを実現するにあたり要求される性能）	13
第4章 システム仕様	14
1. CanSat 外観図	14
2. CanSat 内観・機構	15
低圧車輪	15
(1)スタビライザー	18
(2)モーター・ギアボックス	19
(3)砂地走行実験	21
構造	25
(1) タイヤを中心とする低圧で変形してしまい小さくなった規定の体積内に部品を 干渉せず収納する構造	26
(2) 積載部分がずれ落ちないように支持部を作る構造	28
(3) 積載状態でひずまないように十分な強度の積載面が用意できる構造	28
(4) 着地衝撃により車軸が変形しない構造	30
(5) ミッション的に必要な正立を目指す機構	31
(6) 溶断機構	32
(7) 開傘衝撃に耐えうる構造	33
3. システム図（CanSat 搭載計器仕様一覧）	36
システムダイアグラム	36
CanSat 搭載計器一覧	36
4. アルゴリズム	38
5. 回路	39
1. メイン基板	39
2. フライトピン基板	41
3. モーター基板	42
4. 溶断基板	42

第 5 章	試験項目設定	44
第 6 章	実施試験内容	45
1.	システム要求を満たすための試験内容	45
	(V1) 質量試験	45
	(V2) 機体の収納放出試験	46
	(V3) GPS データダウンリンク試験	48
	(V4) パラシュート投下試験	51
	(V5) 静荷重試験	53
	(V6) 振動試験	58
	(V7) 開傘衝撃試験	62
	(V8) 通信機電源 OFF, ON 試験	66
	(V9) 周波数変更試験	70
	(V10) End to end 試験	74
	(V11) 制御履歴レポート作成試験	80
2.	ミッション要求を満たすための試験内容	87
	(V12) 着地衝撃試験	87
	(V13) 電力耐久試験	92
	(V14) OBC 起動試験	95
	(V15) パラシュート分離試験	98
	(V16) 正立試験	100
	(V17) 走行試験	101
	(V18) 積載走行試験	104
第 7 章	工程管理、ガントチャート（スプレッドシートを推奨）	110
	各担当（ハード・ソフト・全体などの進行状況・予定を記入）	111
第 8 章	大会報告結果	111
1.	目的	111
2.	結果	111
3.	考察	116
第 9 章	まとめ	116
1.	工夫・努力した点（ハード、ソフト、マネジメント面すべて）	116
2.	課題点	117
3.	今後の展望	118

第1章 ミッションについて

1. ミッションステートメント（ミッションの意義と目的）

「低圧車輪の CanSat への適応とその車輪を利用した月面における重量物運搬システムの検証」

低圧車輪とは、剛体の車輪では途中で車輪が埋まってスタックしてしまうような月面のレゴリスのような不整地において、剛体のタイヤよりも埋もれずに走行が可能な車輪のことである。こうした利点があるものの、CanSat における事例はあまり存在しない。

その理由として考えられるのは低圧車輪という技術自体の難しさ、想定される将来の宇宙ミッションにおける地形と投下試験の実施場所の地形との違いによる適応性の評価の難しさが挙げられる。

低圧車輪の設計は通常の剛体車輪の設計と比べ不確定要素が非常に強く出る。例えば車輪の接続部品の締結の仕方やスポーク形状とその素材、CanSat 機体全体としてのゆがみなどで大きく走行性能に影響を与えるため、低圧車輪単体の設計では完結せず、機体全体のシステムとしての調整を何度も行うような設計・開発が必要である。

我々は本ミッションの意義は、CanSat に低圧車輪を適応するという挑戦を行い、その上で CanSat に剛体車輪を使うより低圧車輪を使う方が良いということを示すことであると考えている。今回我々は低圧車輪を CanSat に適応するという試みを行った。しかし単に低圧車輪を使用するだけでは ACTS 会場において CanSat に低圧車輪を使用する意義を示しきることができないと考えられる。

その理由は、低圧車輪はレゴリスのような軟弱地盤において性能を発揮する車輪であり、ACTS のような地面においてはかえって走行抵抗が大きくなってしまい、低圧車輪を使用するだけでは剛体車輪よりも低圧車輪を CanSat に適応した方が良いということを示せない可能性があると考えたからである。したがって、重量物積載であれば事前に実験を行い、CanSat に剛体車輪と低圧車輪を用いて明確な軟弱地盤における車輪の比較のための走行を行い、低圧車輪の方が性能を発揮できていることを確認し、ACTS の地盤においても同様のことが出来れば剛体車輪を使うよりも低圧車輪が有用であると言えるため、重量物積載での走行を行うことにした。

そのため、CanSat サイズでの低圧車輪が適応され得るケースとして重量物積載を想定し、低圧車輪を適応した CanSat ローバによって重量物積載走行というパフォーマンスを CanSat ミッションとして行うこととした。

重量物積載走行システムは、CanSat サイズで行うことで少量、高重量の運搬物や、CanSat を複数機体用いての利用をすることで小体積・小質量における高重量、高体積の物体を運搬することに役立つ。例えば、将来の月面における大量輸送網形成や、大量のサンプルを運搬することができ

る超小型ローバ, マニピレータや太陽光発電パネルなどを積載し動き回ることが出来るようにする共通台車などが将来目標として挙げられる.

したがって, 本ミッションでは重量物積載走行を前提とした低圧車輪の設計を行うこととする. ここで取り扱う重量物積載走行のミッションにおいては, 積載質量, 走行速度, スタック可能性, 積載物が落ちない事, 積載方法など様々な検討事項があるが, 今回我々は開発期間の短さから達成できる検討事項を絞り込み, 積載質量を最優先事項として重量物積載走行を定義した.

以上のことをまとめると, 本ミッションは低圧車輪という難しい技術を CanSat に適応するという事. また, その低圧車輪を重量物積載走行という想定ミッションに適応するために構造, 電氣的にシステムの統合を成立させ, 投下試験会場において走行が可能であることを確認するというミッションである.

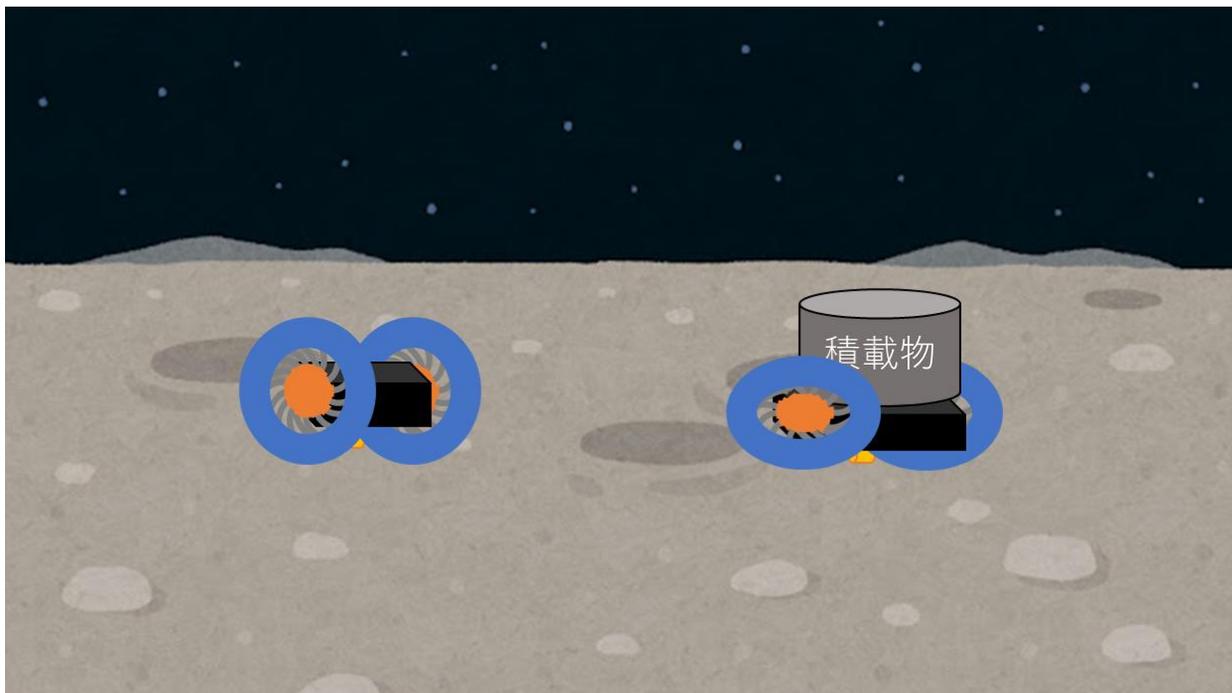


図1.1.1 想定される宇宙ミッションの様子

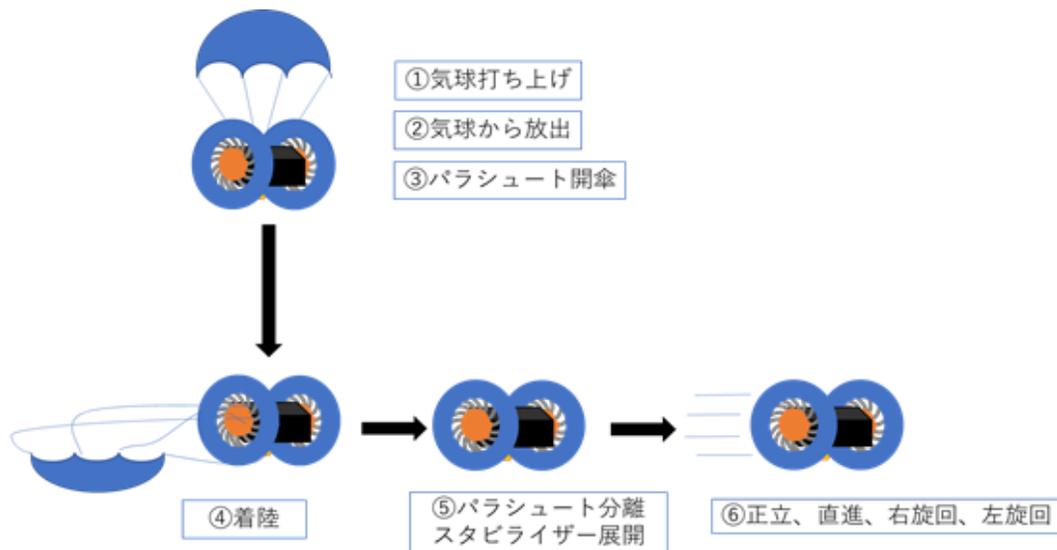
2. ミッションシーケンス

我々の掲げる重量物運搬ミッション実証のため, 運搬に必要な一連の動作をローバが重量物を搭載した状態にて行う. ローバは前進, 右旋回, 左旋回ができれば任意の地点に向かうことが可能と考え, これらの動作が可能であることを確認する.

また、ローバに重量物を載せる機械があることを前提としているため人間の手で錘を載せレゴリスが積載された状態を模擬して作ってから運搬ミッションを開始する。

ミッションシーケンスの詳細は以下の通りである。また、ミッションシーケンス実行中の概念図を図 1.1.2 に示す。

1. 気球打ち上げ
2. 気球から機体を放出
3. パラシュート開傘
4. 着陸
5. 溶断によるパラシュート分離, スタビライザーの展開
6. 着陸判定し一定時間経過後, 正立
7. 正立判定し前進, 前進, 右旋回, 左旋回し停止
8. 一定期間の停止中に人の手により 2.5kg の錘を載せる
9. 前進, 右旋回及び左旋回
10. 一定期間の停止中に人の手により 4.0kg の錘を載せる
11. 前進, 右旋回及び左旋回
12. 停止



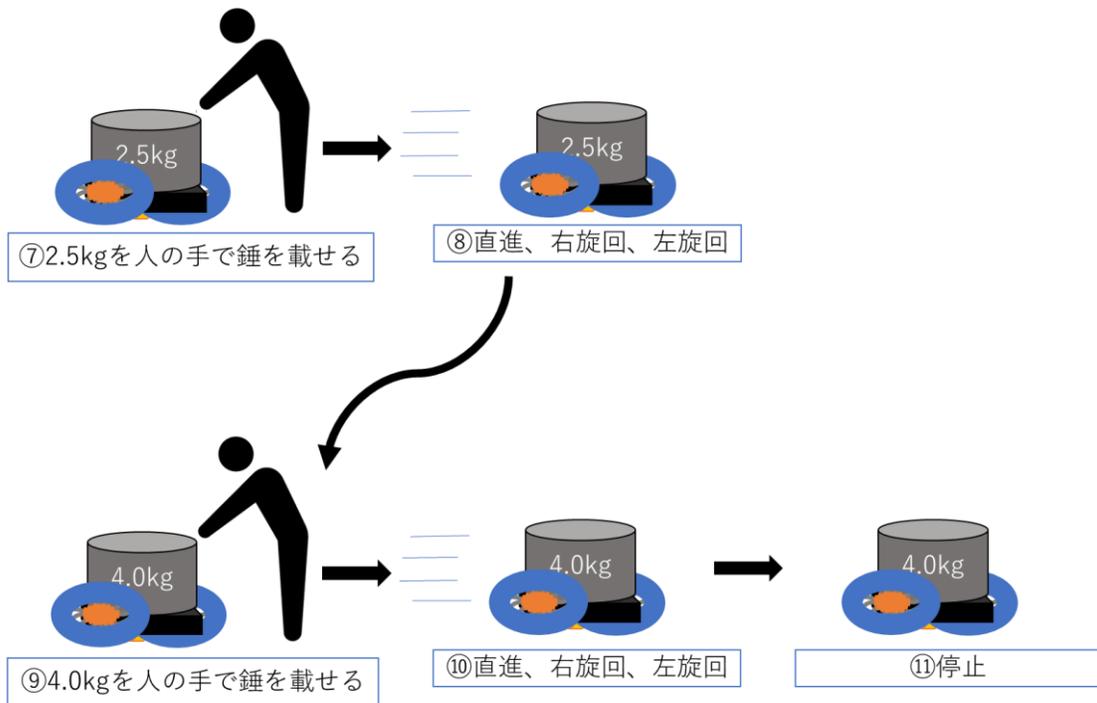


図 1.1.2 ミッションシーケンス実行中の様子

第2章 サクセスクライテリア

ミニマムサクセス	CanSat として低圧車輪を用いたローバとして前進, 左旋回, 右旋回の機能を有することを確認
フルサクセス	CanSat として低圧車輪が有用であると判断出来る重量 2.5kg の積載物を積載した状態で ACTS 会場でも移動操作が可能であることを示し, 低圧車輪の有用性を確認する

追記：現時点でサクセスクライテリアとしてアドバンスドサクセスまで考えたものも以下に載せる。

	内容	評価内容	評価方法
ミニマムサクセス	低圧車輪を用いても走行が可能であることを確認する。	着地衝撃で車輪が破損せず, 重量物の積載無しで前進 1m 以上, 右旋回 90 度以上, 左旋回 90 度以上が可能であることを確認する。	車輪の破損状態は目視, 走行・旋回しているかは目視とメジャーによる距離の測定, スマートフォンのコンパス機能による角度の測定により確認する。
フルサクセス	事前に低圧車輪が有用であると判断した質量を積載した状態で, 低圧車輪として機能し, 走行が可能であることを確認する。	質量 2.5kg の錘を積載し, 前進 1m 以上, 左旋回 90 度以上, 右旋回 90 度以上が可能であることを確認する。 低圧車輪として機能していることを評価するために, 錘を積載した状態での車軸-接地面間距離が 37 mm 以上 63.7mm 以下であることを確認する。	走行・旋回しているかは目視とメジャーによる距離の測定, スマートフォンのコンパス機能による角度の測定により確認する。 車軸-接地面間距離は地面と車軸間距離を定規で測定し確認する。

アドバンスドサクセス	事前に低圧車輪の限界積載量であると判断した質量を積載した状態で、低圧車輪として機能し、走行が可能であることを確認する。	質量 4.0kg の錘を積載し、前進 1m 以上、左旋回 90 度以上、右旋回 90 度以上が可能であることを確認する。 低圧車輪として機能していることを評価するために、錘を積載した状態での車軸-接地面間距離が 37 mm 以上 56.6mm 以下であることを確認する。	フルサクセスと同様。

上記の各値の設定理由について以下に記す。

まず、フルサクセスとアドバンスドサクセスにおける重量の値の決定理由について説明する。

今回用いた低圧車輪の技術は理想的な軟弱地盤でない場合、非常に非線形性が高く、理論からの設計、計算が難しい技術である。したがって、我々は低圧車輪を用いた初期実験を行い、その実験の結果からサクセスクライテリアを立てている。今回の我々の CanSat の意義は CanSat に低圧車輪を適応するという挑戦を行い、その上で CanSat に剛体車輪を使うより低圧車輪を使う方が良いということを示すことである。我々はフルサクセスにおいて、剛体車輪を使うより低圧車輪を使う方が良いということを示すことにしている。この剛体車輪を使うより低圧車輪を使うほうが良いというラインを決めるために、剛体車輪との比較のための軟弱地盤における走行実験を初期実験として行い、低圧車輪が剛体車輪より良いパフォーマンスを出せる重量として 2.5kg という値を見つけ出し、その重量を ACTS における地盤でも積載して走行することが出来れば、フルサクセスを満たすということが言えると判断した。したがって、フルサクセスにおける積載重量は 2.5kg としている。

次に、アドバンスドサクセスの 4.0kg という重量に関して説明する。アドバンスドサクセスではミニマムサクセスとフルサクセスにおいて、本ミッションの意義である、CanSat に低圧車輪を適応するという挑戦を行い、その上で CanSat に剛体車輪を使うより低圧車輪を使う方が良いということを示せた上で、さらなる目標として月面での運搬を想定してどれくらいの積載重量まで積載した状態で走行できるかの挑戦をする事を目標とした。

地球上において 4.0kg を積載して走行できるという事から、月面においては 29kg の重量を積載して走行することが出来ると考えられる。

例として、29kg の重量を積載して月面を走行することが出来るということは、例えば月面において、たった 1 機体の CanSat で 29kg 分のレゴリスを運搬することで、大型の運搬機を用いなくても複数台の CanSat を使用し大量のレゴリスの運搬し、将来の月面基地建設のための資源を集める事に用いることなどが可能だと考えられる。

また、有人の月面探査などを想定すれば、宇宙飛行士の用いる宇宙服が 100kg というオーダーの重さの中で、生命維持装置（アポロ計画で使用された生命維持装置の重量は 26kg）などをバックアップとして本 CanSat に積載することで有人探査を補佐するためにも用いることが出来ると考えられる。

以上の理由から、4.0kg という重量を決定することで本 CanSat がさらなる重量を積載して走行できることで実際に CanSat が月面に行って運搬するという可能性を検証する事になっている。

次に車軸-接地面間距離の値の決定方法について説明する。なお、以下で説明する値の詳細はシステム仕様の項目で計算をしているため、必要があれば参照すること。

車軸-接地面間距離の 63.7mm については、図 4.1.2 低圧車輪変形モデルにおいて、目標値である 2.5 kg を積載した際にスタックしない目安となる条件の面圧 10kPa 以下を元に設計を行った。実際にこの設計値通りに変形を行っており目標を達成できているかどうかの判断基準として設定をした。

車軸-接地面間距離の 56.6mm については、図 4.1.2 低圧車輪変形モデルにおいて、目標値である 4.0 kg を積載した際にスタックしない目安となる条件の面圧 10kPa 以下を元に設計を行いました。実際にこの設計値通りに変形を行っており目標を達成できているかどうかの判断基準として設定をした。

車軸-接地面間距離については、構造部が地面と擦らないラインを最低距離と設定し、フルサクセスである積載重量 2.5kg では、37.0mm 以上 63.7mm 以下、アドバンスサクセスである積載重量 4kg では、37.0mm 以上 56.6mm 以下と設定する。

車軸-接地面間距離が 37.0mm 以上 63.7 mm 以下であれば 2.5 kg 積載してスタックせず、37.0mm 以上 56.6mm 以下であれば 4.0 kg 積載してスタックしないということが出来る。

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）

要求番号	自己審査項目
	ACTS 安全基準
R1	<u>質量と容積</u> がレギュレーションを満たすことが確認できている
R2	<u>ロスト対策</u> を実施しており、有効性が試験で確認できている（例：地上局にダウンリンクする場合、ACTS で十分な通信距離が実現できるだろうと推測できる根拠が明確に示されていること。）
R3	地表近くで危険な速度で落下させないための <u>減速機構</u> を有し、その性能が試験で確認できている
R4	打ち上げ時の <u>準静的荷重</u> 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ことが試験で確認できている
R5	打ち上げ時の <u>振動荷重</u> 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ことが試験で確認できている
R6	分離時の <u>衝撃荷重</u> 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ことが試験で確認できている
R7	打ち上げ時の <u>無線機の電源 OFF</u> の規定を遵守できることが確認できている（FCC 認証かつ 100mW 以下の機器は OFF しなくて良い。また、スマートフォンを用いる場合は FCC 認証かつソフトウェアまたはハードウェアスイッチで off にできること（2017 年追加））
R8	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
R9	R1-R8 の充足を確認した設計の機体によって、ロケットへの装填から打ち上げ後の回収までを模擬した End-to-end 試験を実施できており、今後、安全性に関わる大幅な設計変更はない
R10	CanSat の収納・投下準備が 5 分以内でできている
R11	ミッション後、規定された <u>制御履歴レポート</u> を 運営者へ提出 する準備ができている（以下の根拠の項に 制御履歴レポートの例 を添付すること。ダミーデータを使用しても良い）

2. ミッション要求（ミッションを実現するにあたり要求される性能）

要求 番号	自己審査項目（ミッション実現要求項目）
M1	着地時の衝撃荷重によって、ミッションを実現するための機能が損なわれていないことが試験で確認できている
M2	シーケンスを実施するために十分な電力を供給できる
M3	OBC の起動が正常に行われる
M4	パラシュートが分離できる
M5	正立機構が正常に動作する
M6	運搬のための走行制御のための機能（前進、左旋回、右旋回）が成立する
M7	重量物積載状態での運搬のための走行制御のための機能（前進、左旋回、右旋回）が成立する事

第4章 システム仕様

CanSat 外観図

図 4.1.1 に今回開発した CanSat の外観図を示す。

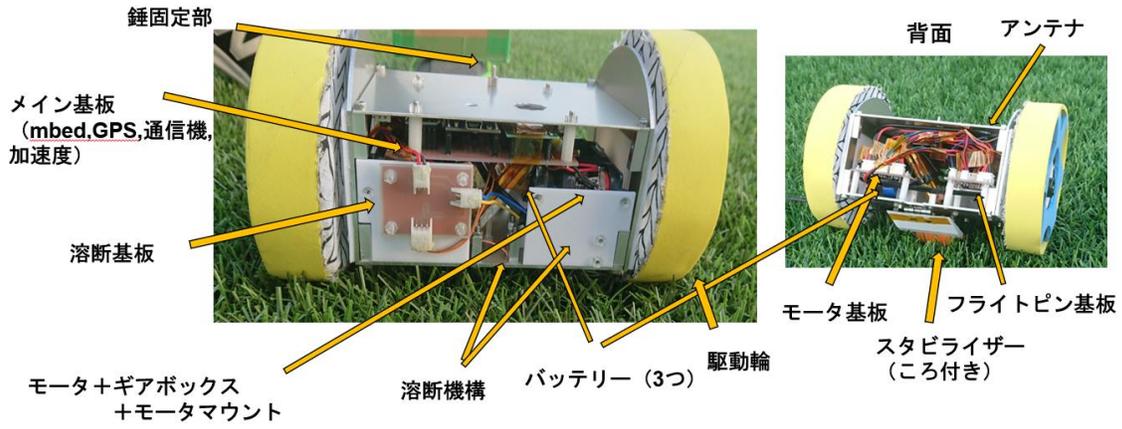


図 4.1.1 CanSat 外観

CanSat 内観・機構

低圧車輪

本ミッションにおける低圧車輪に対する要求として、重量物を積載した際に車輪が変形することで接地面圧が減少し、スタック現象を生じにくくすることが挙げられる。積載する重量物の重量目標値を 4000g に設定し、CanSat 本体 1050g とあわせて総重量 5050g を想定した。スタックを生じないための接地面圧条件として、参考文献[1]より 10kPa 以下となることを目安として設計を行った。

接地面圧を減少させるためには、車輪の接地面積を増加させる必要があるため、車輪外径はできる限り大きく取る必要がある。CanSat レギュレーションであるキャリア外径 146mm より 6mm のマージンを取り、車輪外径は 140mm を設計値とした。車輪幅に関しても接地面積を増加させるために大きく取る必要がある。しかし、重量物積載部の幅とのトレードオフにより、キャリア高さに収まるよう車輪幅は 20mm を設計値とした。

想定する総重量である 5050g に対して、スタックしないための目安である面圧 10kPa 以下を達成できるような車輪の変形量を求める。荷重が 2 つの低圧車輪と 1 つのスタビライザーで等分されると仮定する。また、接地部の圧力が等分布であり、車輪の変形が図 4.1.2 のようになると仮定する。

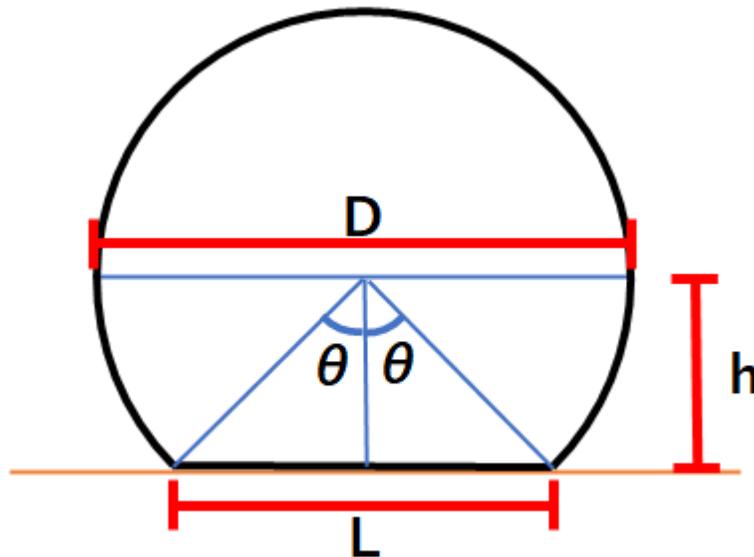


図 4.1.2 低圧車輪変形モデル

必要な車輪の接地長さを求めると、

$$L = \frac{Mg}{n_{pb}} = \frac{5.05 \times 9.8}{3 \times 1.0 \times 10^4 \times 2 \times 10^{-2}} = 8.25 \times 10^{-2} [m]$$

$$= 82.5 [mm] L: \text{接地長さ} M: \text{総重量} [kg] g: \text{重力加速度} [m/s^2] n: \text{車輪数} P: \text{接地面圧} [Pa] b: \text{車輪幅} [m]$$

となる. これを達成するためには図 4. 1. 1 から直径 140 mm に対して接地長さが 82. 5 mm 以上であるので

$$D \sin \theta > L = 82.5 [mm] \theta > \arcsin\left(\frac{L}{D}\right) \theta > 36.10 [deg] D: \text{直径} [mm]$$

これを車軸から接地面までの距離で表すと

$$h = \frac{D}{2} \cos \theta = 56.56 [mm] h: \text{車軸 - 接地面距離} [mm]$$

よって設計方針としては 4. 0 kg を積載した時に車軸-設置面距離が 56. 56mm になるようにする.

同様の計算をフルサクセスの 2. 5 kg でも行う. すると

$$L = \frac{Mg}{n_{pb}} = \frac{3.55 \times 9.8}{3 \times 1.0 \times 10^4 \times 2 \times 10^{-2}} = 5.79 \times 10^{-2} [m]$$

$$= 57.9 [mm] L: \text{接地長さ} M: \text{総重量} [kg] g: \text{重力加速度} [m/s^2] n: \text{車輪数} P: \text{接地面圧} [Pa] b: \text{車輪幅} [m]$$

となる. これを達成するためには図 4. 1. 1 から直径 140 mm に対して接地長さが 57. 9 mm 以上であるので

$$D \sin \theta > L = 57.9 [mm] \theta > \arcsin\left(\frac{L}{D}\right) \theta > 24.43 [deg] D: \text{直径} [mm]$$

これを車軸から接地面までの距離で表すと

$$h = \frac{D}{2} \cos\theta = 63.73[\text{mm}] \quad h: \text{車軸 - 接地面距離}[\text{mm}]$$

これを踏まえて設計した車輪の全体像および外枠部を取り外した内部構造を図 4.1.3 に示す.

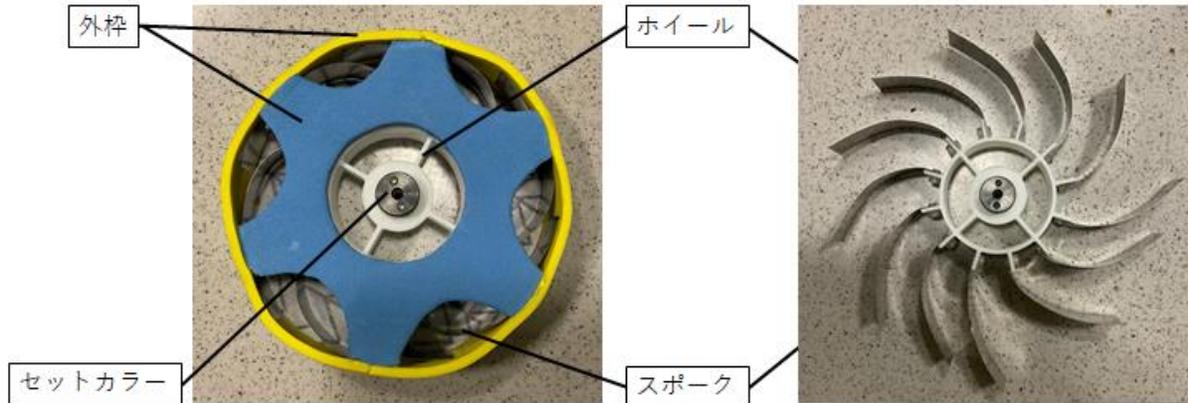


図 4.1.3 車輪(左:全体像, 右:内部構造)

低圧車輪はスポーク・外枠・ホイール・セットカラーから構成される.

スポーク材料には SUS304 を用いる. 変形により生じるばね力により積載物の荷重を受ける必要があるため, 実際に板バネの材料として用いられている SUS304 材は低圧車輪のスポーク材料に適している.

外枠素材には EVA を用いる. やわらかく, ある程度の強度があるため, スポークの変形にあわせて自由に変形して接地面積を増加させ, 走行によって生じる地面とのせん断力などにより破れてしまうことがない. スポークによる弾性力を一様に分布させ, 面圧を一定にする方針とした.

ホイール材料には PLA を用い, スポークを半径方向に取り付けられるよう歯車のような形状になっている. 裏面には筐体との接続のためのベアリングを取り付ける窪みが設けられている. また, セットカラーにより車輪と車軸の接続を行う.

低圧車輪の設計要求としては,

- ①スポークのバネ力が接地面に荷重をかけられる
 - ②外枠の EVA がたわみ, 走行抵抗になることがない
 - ③回転角度にかかわらず一定の荷重を保持することができる
- と設定した. 設計した車輪では各要求について,

①に対してはスポークを半径方向に取り付けることで大きいバネ力が半径方向にかかるようにした.

②に対しては低圧車輪が変形するのに伴って外枠が変形する必要がある。これを達成するために外枠部の EVA をスポークに固定せず自由回転するようにした。これによって低圧車輪の変形がそのまま伝わるようになり、設置面積が回転角度にかかわらず一定にできた。これによって走行時に外枠が外れてしまうという問題が発生したため、抑えとして外枠側面にも EVA を貼り付けて対応している。

③に対しては回転角度にかかわらず一定の荷重を保持できるように②の EVA に加えて点対象の形状にした。これにより回転角度による荷重のかかり方、接地面長さを一定にすることができた。

(1)スタビライザー

低圧車輪 2 輪だけでは走行時のバランスが取れないため、スタビライザーにより車体を支える。スタビライザーの設計要求は、

- ① 重量物を乗せた時にバランスを保つことができ、かつキャリアの中に収納が可能である
- ② 低圧車輪が走行する際に抵抗となりづらい
- ③ 低圧車輪が凹んだ際に積載物が地面に水平になる

と設定した。各設計要求について、

① について設計値を設定した。CanSat のレギュレーションを考慮すると荷台部の重心は円柱の中に存在する。重量物を運搬するため、安定した運搬が可能な三点設置の間の三角形の領域を広げることが目標とした。そのため、スタビライザーの設置位置は CanSat 機体よりなるべく遠くに位置するようにした。その上、バランスをとるためにスタビライザーを点接触ではなく線接触になるようにした。

② ①においてバランスを保つために線接触にしたため抵抗が大きくなってしまった。これに対して走行する際に抵抗となりづらいように接触摩擦ではなく転がり摩擦にすることにした。そのため「ころ」を用いることとした。

③ 低圧車輪を使用することによる問題として、低圧車輪が凹んだ際に積載物が地面に水平にならないと積載物がずり落ちてしまうことになる。そのため、車輪が沈んだ位置で地面と水平になるようにスタビライザーの高さを調整した。

これらの要求を満たして設計したスタビライザーの全体像を図 4.1.3 に示す。



図 4.1.4 スタビライザー

先端にころをつけた. ヒンジで展開後の固定は形状的な拘束を行うことにした.

(2) モーター・ギアボックス

低圧車輪は変形により接地面積が増加するため, 剛体車輪と比較して大きな駆動力を生み出すことができるが, 走行抵抗についても増加してしまう. また, 本ミッションにおいては重量物を積載した状態での走行をおこなうため, 大きな駆動力が必要となる. したがって, 大きな駆動トルクを生み出すことができるモーターおよびギアボックスの選定が重要である. その際に, レギュレーションを考慮し重量および体積についても考慮が必要である.

選定したモーターおよびギアボックスを以下の図 4.1.5 に示す.

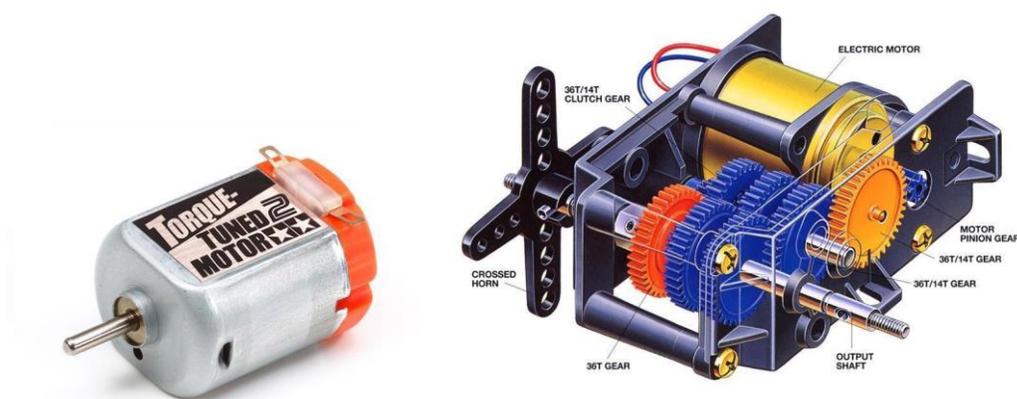


図 4.1.5 タミヤトルクチューン 2 モーターとタミヤテクニクラフトシリーズ 6 速ギアボックス HE

タミヤトルクチューン 2 モーター

(<https://www.tamiya.com/japan/products/15484/index.html>)

タミヤテクニクラフトシリーズ 6 速ギアボックス HE

(<https://www.tamiya.com/japan/products/72005/index.html>)

モーターおよびギアボックスの性能を以下の表 4.1.1 に示す。

表 4.1.1 モーター・ギアボックス性能

モーター性能	
適正電圧	2.4~3.3[V]
推奨負荷トルク	1.6~2.0[mN・m]
回転数	12300~14700[rpm]
推奨負荷トルク時消費電流	1.7~2.0[A]
ギアボックス性能	
減速比	1300.9:1

車輪の設計値から駆動力は平ギアのみで構成されているギアボックスの伝達効率 0.6 とすると片輪あたり,

$$1300.9 * 2.0 * 0.6 * 10^{-3} / 54.8 * 10^{-3} [N] = 28.4 [N]$$

よって両輪で,

$$28.4 * 2 = 56.8 [N]$$

の駆動力を出すことができる。

ここで, 車輪が転がり摩擦であることも考慮して摩擦係数が 1 以下であると仮定すると CanSat 総重量 5 kg の走行抵抗は最大で,

$$5 * 9.8 * 1.0 = 49.0 [N]$$

となる. よって選定したモータとギアボックスを用いると走行が可能であると判断した. 実際に走行可能であるかは (V17) 積載走行試験で確かめた.

(3) 砂地走行実験

- 目的

月面を模した砂地で低圧車輪および剛体車輪を用いた機体を走行させ, 低圧車輪の剛体車輪に対する優位性を確認する. また, スポークの枚数および厚さを変えた低圧車輪の走行性能比較を行い, 実際のミッションで使用する低圧車輪のスポークの枚数および厚さを実験的に決定する.

- 実験日

2021/8/27

- 実験場所

桑の木児童公園

- 実験方法

- 実験対象

- 低圧車輪(無負荷時の直径 140mm)

- 16 枚, 0.2mm 厚
- 16 枚, 0.15mm 厚
- 12 枚, 0.2mm 厚

- 剛体車輪(直径 140mm, PLA で製作)

実験系を以下の図 4.1.6 と図 4.1.7 に示す.



図 4.1.6 実験用 CanSat 模擬機体(左: 前面, 中: 側面, 右: 背面)



図 4.1.7 砂地を模擬した砂入り段ボール

○ 実験器具

■ 実験用 CanSat 模擬機体

- 実験用スタビライザー
- 実験用外枠
- 乾電池・電池ボックス

■ 段ボール

■ ふるい(目の粗さ)

■ おもり

- 1500g(トレーニング用ウェイト)
- 1300g(トレーニング用ウェイト)
- 500g(水入りペットボトル)
- 200g(分銅)
- 100g(分銅)

■ 養生テープ

○ 実験条件

- 砂地における車輪の比較を行う目的であるため、機体は実際の機体を模擬した実験用機体を用いる。スタビライザーは砂に埋まることで抵抗が大きくなりすぎることが無いよう実験用のソリ形状のものを用いる。外枠は砂地での牽引力を増加させる加工を行った実験用のものを用いる。
- モーターの電源は乾電池を用い、電池ボックスの on/off で走行/停止を切り替える。
- 砂場の砂をふるいにかけて、細かい砂のみを段ボールに集める。
- 砂の深さは 3cm 以上とする。
- 100g 単位で積載するおもりの質量を変更する。
- スタビライザー先端が段ボール側面に接した状態から、機体の一部が反対側の側面に接するまで走行した場合、成功と判定する。
- スタック（車輪が砂に沈み空転している状態）やストール（車輪が完全に停止している状態）に陥りそれ以上の走行が難しい、あるいはギアを破損する危険性があると判断した場合、失敗と判定して除荷する。
- 実験は 1 つの車輪・重量の組み合わせにつき最大で 2 回行う。1 回でも成功した場合、その重量は積載できる可能性があるとして判定する。2 回失敗した場合、積載不可能であると判定する。
- 各車輪について積載可能性がある最大重量を決定する。

○ 実験手順

1. スタビライザー先端が段ボール側面に接するように機体を置く。
2. おもりを積載する。必要があればおもりが落ちないように養生テープで固定を行う。
3. 電池ボックスのスイッチを on にし、走行させる。
4. 成功/失敗を判定する。
5. 1~4 の手順を車輪および積載する重量を変えて繰り返し行う。

● 結果

実験結果を表 4.1.2 に示す。積載可能性を 1 度目で成功の場合○、二度目で成功の場合△、2 回とも失敗の場合×とし、△または○の場合、積載可能性があるとして、最大の重量を最大積載可能重量と定義した。

表 4.1.2 砂地走行実験結果

車輪	重量 [g]	動画	成功/失敗	積載可能性
剛体		https://youtu.be/QUOZRmotJZo	失敗	△

	1500	https://youtu.be/RB2DgMEdM4o	成功	
	1600	https://youtu.be/NtEiAw-Nr98	成功	○
	1700	https://youtu.be/p5wL7HXOp8M	失敗	×
		https://youtu.be/H_IIGkcTLpU	失敗	
低圧 16枚 0.20mm厚	1700	https://youtu.be/ILBsLJ881u8	成功	○
	2000	https://youtu.be/l11NRL6hbZQ	成功	○
	2600	https://youtu.be/GrjwFQHQ9Ds	成功	○
	2700	https://youtu.be/InaxYF88tAQ	失敗	×
		https://youtu.be/4pMis000hi8	失敗	
低圧 16枚 0.15mm厚	1700	https://youtu.be/hHo_hvh5ez4	成功	○
	2600	https://youtu.be/FXswZDIe-gQ	失敗	△
		https://youtu.be/TIjSIhi4Jek	成功	
	2700	https://youtu.be/gZfFeAHSIZM	失敗	×
		https://youtu.be/ufza0eMGc8g	失敗	
低圧 12枚 0.20mm厚	1600	https://youtu.be/IHZ8cq_qK3Q	成功	○
	2600	https://youtu.be/M5LoIS8I3eI	成功	○
	2700	https://youtu.be/VNYecXyINQw	失敗	△
		https://youtu.be/NHDcMCe46BQ	成功	
	2800	https://youtu.be/CkDVfxCIVWk	失敗	×
		https://youtu.be/wnZf8c77dcw	失敗	

実験結果より、各車輪の最大積載可能重量を表 4.1.3 に示す。

表 4.1.3 各車輪の最大積載可能重量

車輪	最大積載可能重量 [g]
剛体	1600
低圧 (16 枚, 0.20mm 厚)	2600
低圧 (16 枚, 0.15mm 厚)	2600
低圧 (12 枚, 0.20mm 厚)	2700

剛体車輪の最大積載可能重量が 1600g であったのに対し、変形車輪はそれぞれ 2600g, 2600g, 2700g であり、砂地走行においては低圧車輪の方が剛体車輪より 1000g 程度多く積載可能である。また、わずかではあるが 12 枚, 0.20mm 厚のスポークを用いた車輪の走行性能が他の車輪に対して高い。

● 結論

砂地走行において、低圧車輪の剛体車輪に対する優位性が確認できた。また、12 枚, 0.20mm 厚のスポークを用いた車輪の走行性能が他の車輪と比較して高いことが確認できたため、実際のミッションでもこの車輪を使用することとする。

参考文献

[1] 伸一郎, 成田. 軟弱地盤上における低圧車輪のけん引力評価. 日本機械学会 第 12 回「運動と振動の制御」シンポジウム講演論文集, 29 6 2011.

構造

まずは、この CanSat における構造部の全体像を下図 4.2.1 に示す。

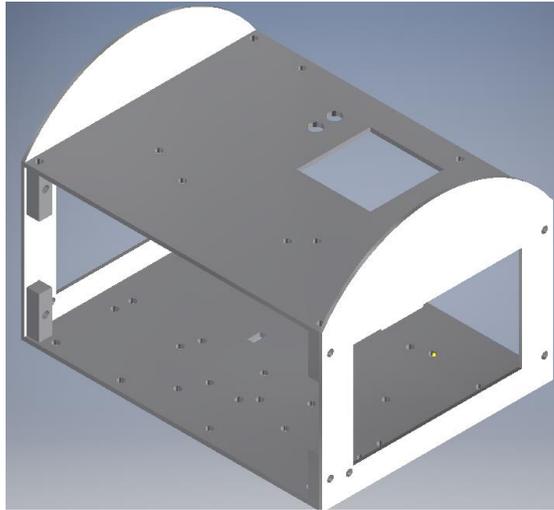


図4.2.1 全体構造

全体構造に求められる要求は、

- (1) タイヤを中心とする低圧で変形してしまい小さくなった規定の体積内に部品を干渉せず収納する構造
- (2) 積載部分がずれ落ちないように指示部を作ること
- (3) 積載状態でひずまないように十分な強度の積載面が用意できること
- (4) 着地衝撃により車軸が変形しないこと
- (5) ミッション的に必要な正立を目指す機構
- (6) パラシュート分離機構・スタビライザー展開機構周りの溶断が必要な構造
- (7) 開傘衝撃に耐えうる構造

の7つである。

- (1) タイヤを中心とする低圧で変形してしまい小さくなった規定の体積内に部品を干渉せず収納する構造

図4.2.2にて赤色のラインより下部にタイヤの縁があるとき、構造部は地面にこすれ

る

ことがない。

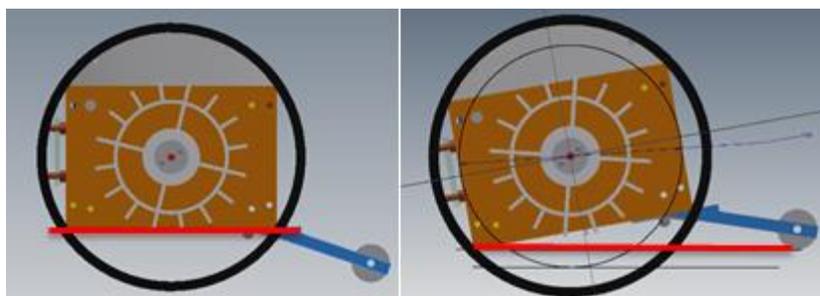


図 4.2.2 構造部が地面にすらないライン（赤色）

下図 4.2.3 にて、緑のラインは黒丸から 15mm 上方方向にある、すなわち、それ以上タイヤが凹むことはない。よって、左の車体が傾かなかった場合、右の車体が傾いた場合、どちらにかかわらず構造部は地面に当たらないように設計した。

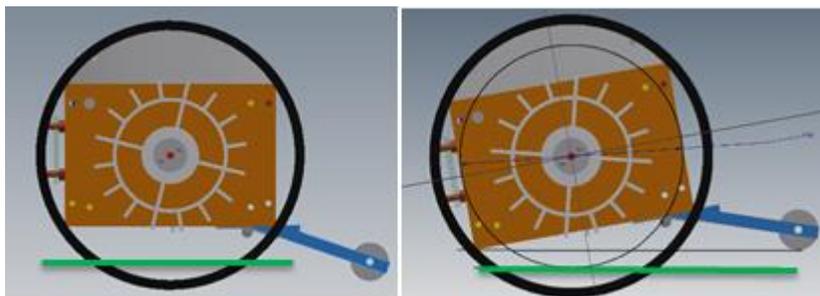


図 4.2.3 タイヤが 4kg 積載された時にへこむライン（緑色）

- (2) 積載部分がずれ落ちないように支持部を作れる構造

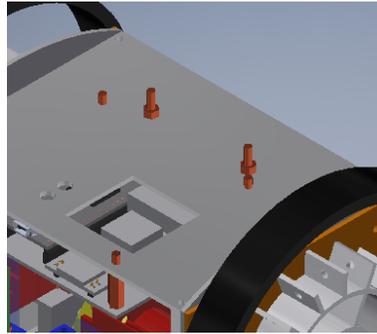


図 4.2.4 積載部の錘支持部

図 4.2.4 のようにスペーサーを板の上部に 2 か所設置し、それに箱を設置する。側面部の扇状の壁とその 2 か所のスペーサーで箱を拘束する。

- (3) 積載状態でひずまないように十分な強度の積載面が用意できる構造
積載面は下図 4.2.5 である。

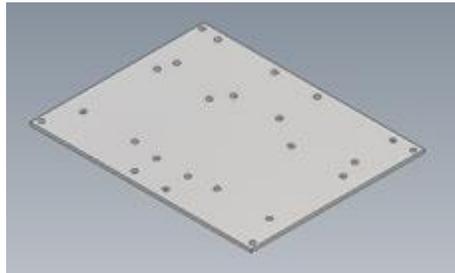


図 4.2.5 積載面

この積載面にて、図 4.2.6 側面との設置面と四隅の穴を固定した時にこの底面に 4kg を積載した時にかかる集中荷重 40N をかけ、この時の安全率が 10 以上、変位が 1mm 未満であるように設計した。

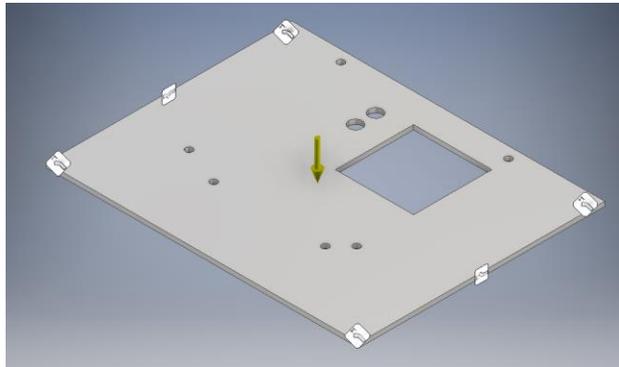


図 4.2.6 積載面の固定と集中荷重

これを Inventor で解析したところ, 図 4.2.7 と図 4.2.8 の結果を得た.

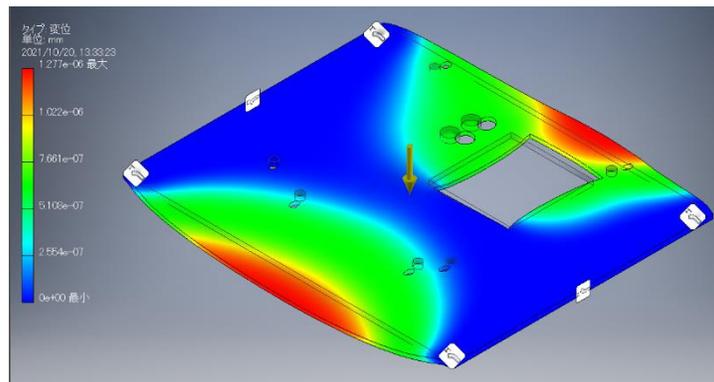


図 4.2.7 解析結果 (変位)

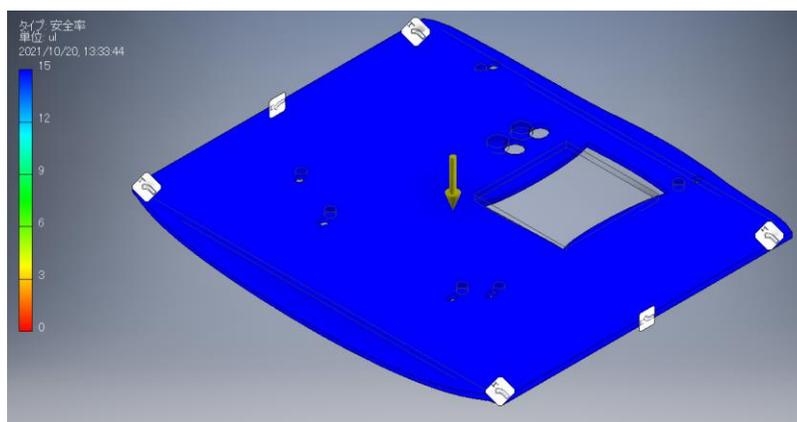


図 4.2.8 解析結果 (安全率)

以上より、積載部に積載物を載せても問題ない構造を設計した.

(4) 着地衝撃により車軸が変形しない構造

CanSat 投下の際に車輪部から着地することが多いと想定され、その場合衝撃荷重により車軸が変形してしまうことが考えられる。よって、車軸のみに衝撃荷重がかかることの無いよう、荷重を筐体分散する構造をもつ必要があるため、この要求を満たすよう車輪-筐体接続部の設計を行った。図 4.2.9 に車輪-筐体接続部を示す。



図 4.2.9 車輪-筐体接続部（左：車輪側、右：筐体側）

車輪側のホイール部にはベアリングが埋め込まれており、矢印で示すように筐体側の突起部にはまるようになっている。ベアリングにより車輪側と筐体側は自由回転することができ、この構造によって車輪の回転が阻害されることはない。図 4.2.10 に車輪-筐体接続状態の全体像を示す。

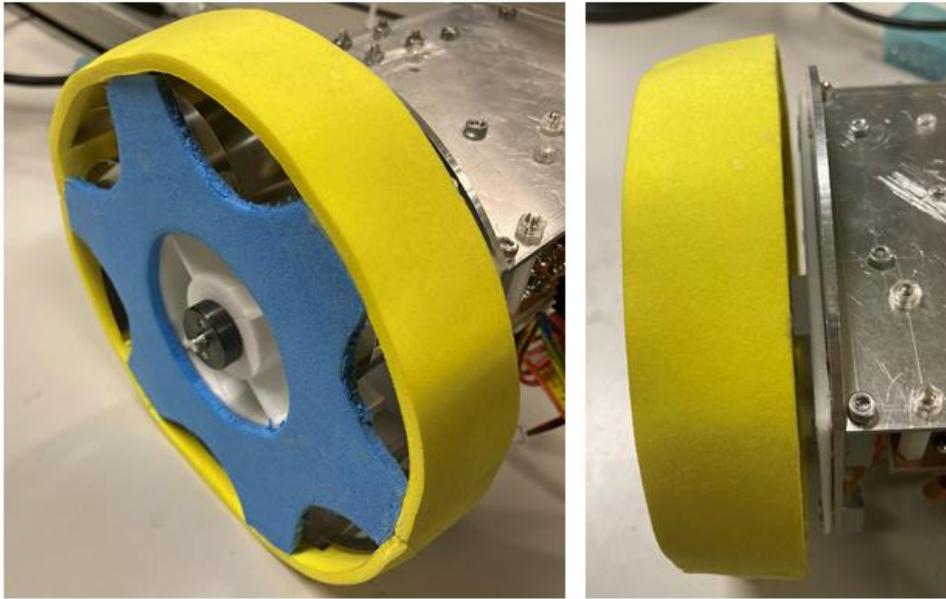


図 4. 2. 10 車輪-筐体接続状態全体像

車輪にかかる荷重はベアリングを通して筐体側の突起部に分散するようになっている。以上より、着地衝撃により車軸が変形しない構造が設計できた、また、実際に着地衝撃により車軸が変形しないことを (V16) 着地衝撃試験で確認した。

(5) ミッション的に必要な正立を目指す機構

本ミッションでは『錘を積載した状態での走行』を目指すため、ミッション中常に錘積載部分が上方を向いて固定されている必要がある（正立状態）。

Cansat 着地後の機体の向きに関わらず、正立状態へ移行するために図 4.2.11 のようなスタビライザー機構を用いた。機体投下時はテグスによって固定され、着地後に溶断機構によってテグスを溶断してスタビライザーを展開する。その後、車輪を回すことで筐体部分を回転させて、正立状態になった際に、スタビライザーによって筐体の回転が止められる。以上により、ミッション的に必要な正立を実現した。

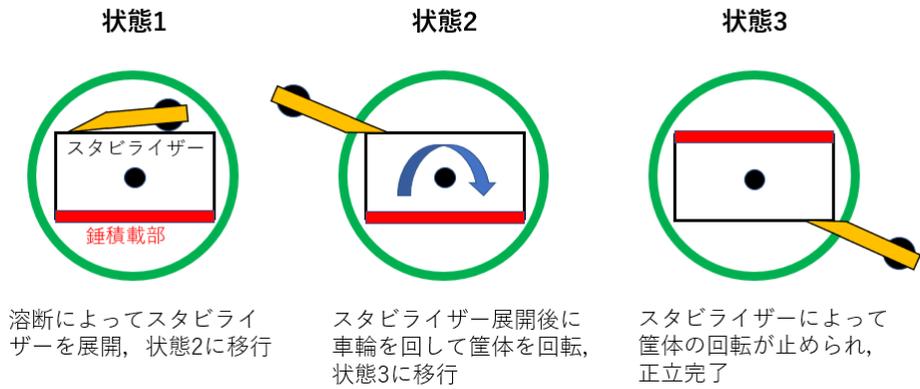


図 4. 2. 11 スタビライザー展開機構

(6) 溶断機構

本 Cansat では図 4. 2. 12 に示す溶断機構を有する。伝熱線であるニクロム線は、ワッシャとナットで挟むことで固定した。テグスは、一方の端を固定シャフトに結び、もう一方をネジに結びつけて固定した。

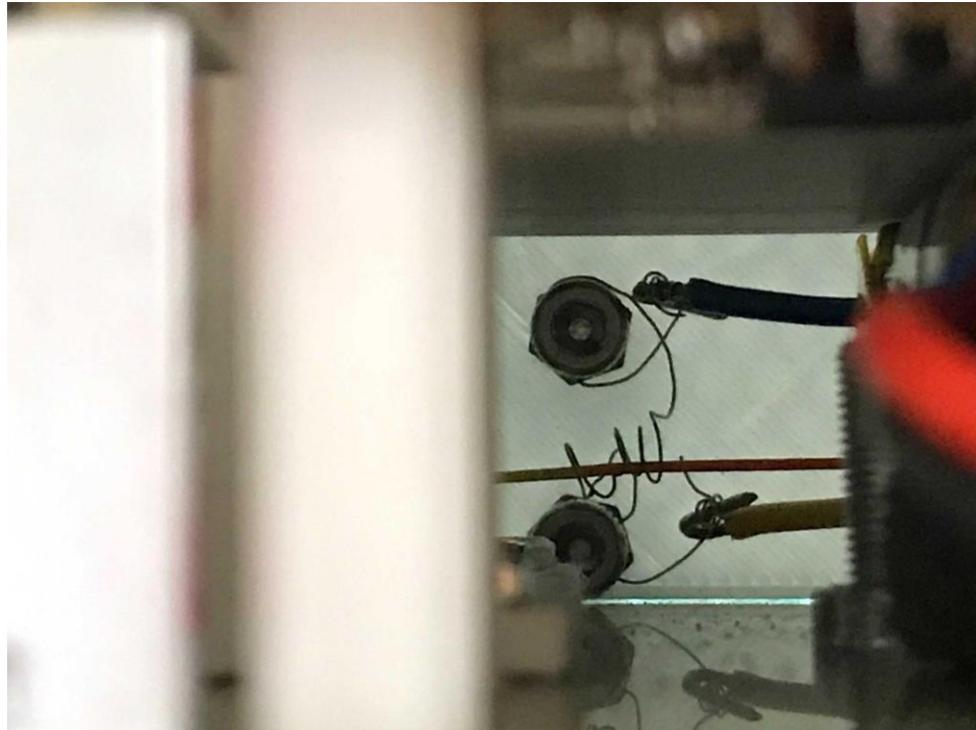


図 4. 2. 12 溶断機構

・パラシュート分離機構

パラシュートの分離機構を図 4. 2. 13 に示す。固定シャフト筐体上面に取り付けられてパーツに通し、固定シャフト（パーツ間の隙間）にパラシュート紐を取り付ける。テグスの溶断により固定シャフトが抜けて、パラシュートが Cansat から分離する。

- ・スタビライザー展開機構

スタビライザー展開機構を図 4.2.13 に示す。パラシュート分離機構にも用いられている固定シャフトに、固定用の紐の一端を結び、もう一端をスタビライザー開けた穴通して筐体に結びつけて固定する。パラシュート分離機構同様に、テグスの溶断により固定シャフトが抜けることで、スタビライザーが展開する。

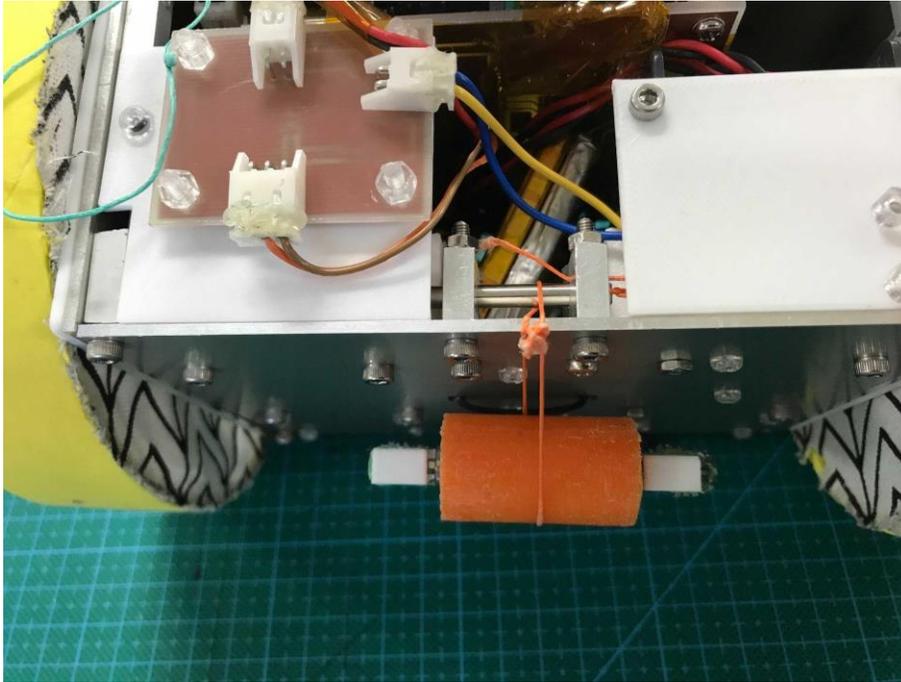


図 4.2.13 パラシュート分離機構、スタビライザー展開機構

(7) 開傘衝撃に耐える構造

要求として、40G の解散衝撃がかかった際に、安全率 5 以上、変位 0.1mm 以下とした。これは、下図 4.2.11 において真ん中のステンレス棒が問題なく抜き差しできる範囲として定めた。

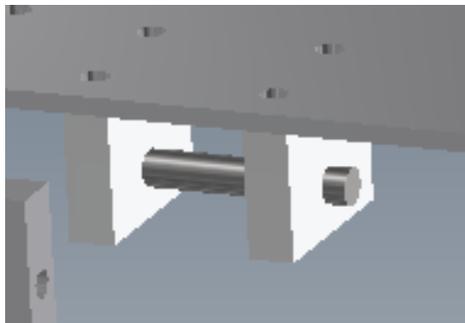


図 4.2.14 開傘衝撃を受ける部分

図 4.2.15 のように固定し、荷重 392N をかけた。その結果図 4.2.12 と 4.2.13 を得た。

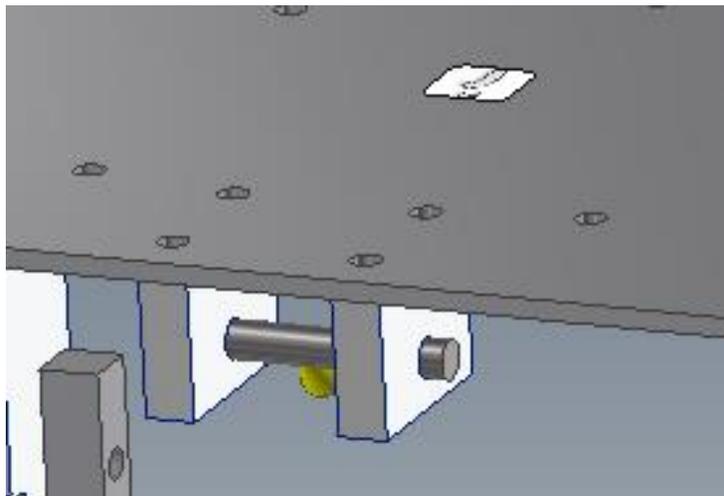


図 4.2.15 解析における固定場所と荷重負荷場所

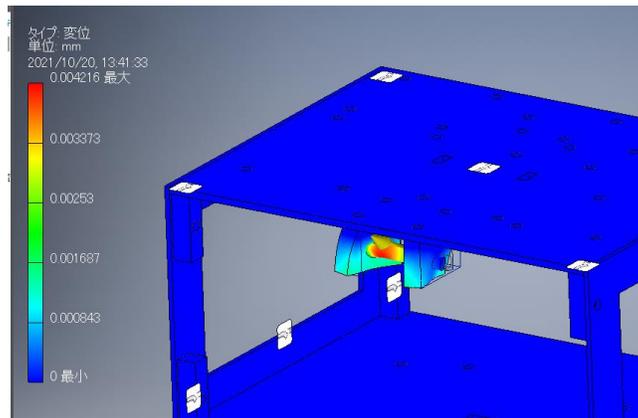


図 4.2.16 解析結果 (変位)

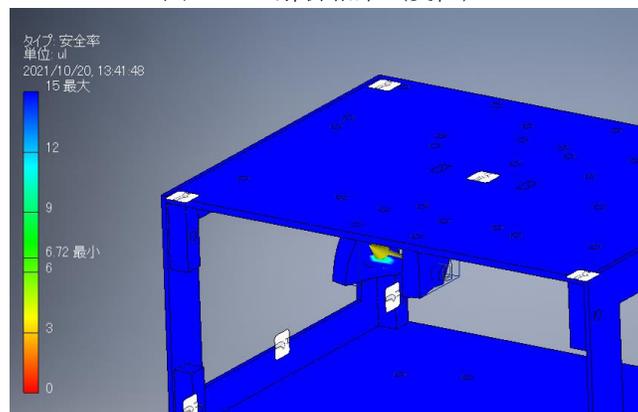


図 4.2.17 解析結果 (安全率)

以上より図 4.2.14 のような構造は要求を満たした設計といえる

システム図 (CanSat 搭載計器仕様一覧)

システムダイアグラム

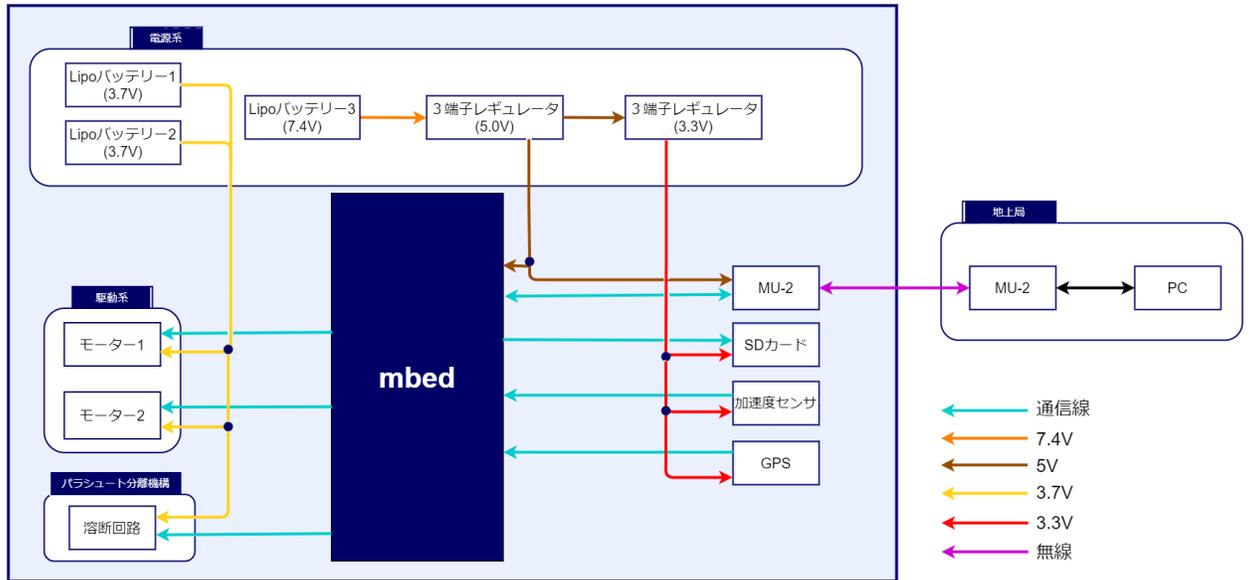


図 4.3.1 システムダイアグラム

CanSat 搭載計器一覧

電子系

計器名	詳細	搭載基板
mbed	CanSat に搭載する各計器への命令を行う	メイン基板
GPS センサ (GMS-G6 Breakout)	CanSat 機体の位置情報を取得するために用いる.	メイン基板
加速度センサ (MMA8452Q)	着地判定を行うために用いる. また, 着地時の機体本体の向き判定に用いる.	メイン基板
無線機 (MU2-429)	地上局との通信に使用する. GPS 位置情報, 加速度センサ情報, シーケンスのダウンリンクを行う.	メイン基板
microSD	制御ログ (GPS 位置情報, 加速度センサ情報, シーケンス, duty 比) の保存を行う.	メイン基板

LiPo バッテリ ×3	レギュレータを通して、各コンポーネントに電力を供給する。(3.7V, 2つ, 7.2V, 1つ)	
熔断機構	パラシュートの分離及びスタビライザー展開のために用いる。ニクロム線でテグスの熔断を行う。	熔断基板

動力系

モータ	低圧車輪を駆動するために用いる。
ギヤボックス	低圧車輪を駆動するために用いる。

バッテリーはスペースの観点から小さくて容量の大きいLipoバッテリーを使用することをまず初めに決定した。Lipoバッテリーは1セル単位で使い、その電圧は1セルあたり3.7Vと決まっている。OBCは5Vの電源供給が必要であり、無線機はOBCと電源電圧を揃える必要がある。GPS受信機、加速度センサ、SDカードスロットは3.3Vで動作する。これらの電源を賄うために2セル7.4VのLipoバッテリーを用意し、一つの基板上で5.0Vと3.3Vに降圧させた。

一方で、モータの定格電圧は3.0V程度であるため1セル3.7VのLipoバッテリーを用意し、PWM制御にて所望のトルクが出力できる電圧を模擬する手法を取った。

熔断回路に関して、テグスを熔断するための熱を発生させるために大電流が必要であり、OBC等が載っている基板と同じ電源を使用した場合OBCが瞬断してしまう可能性が考えられる。そのためモータに用いる3.7Vの電源から電気を流すように決定した。

通信内容に関しては、mbedから命令を実行するため、GPSからは緯度経度の値、加速度センサからは三軸の加速度の値をmbedで受け取り、MU-2とSDカードにそれらセンサ情報とミッションシーケンスの実行段階、また現在モータを制御しているduty比を送信し、地上局でのダウンリンクとSDカードへのログの保存を行っている。

アルゴリズム

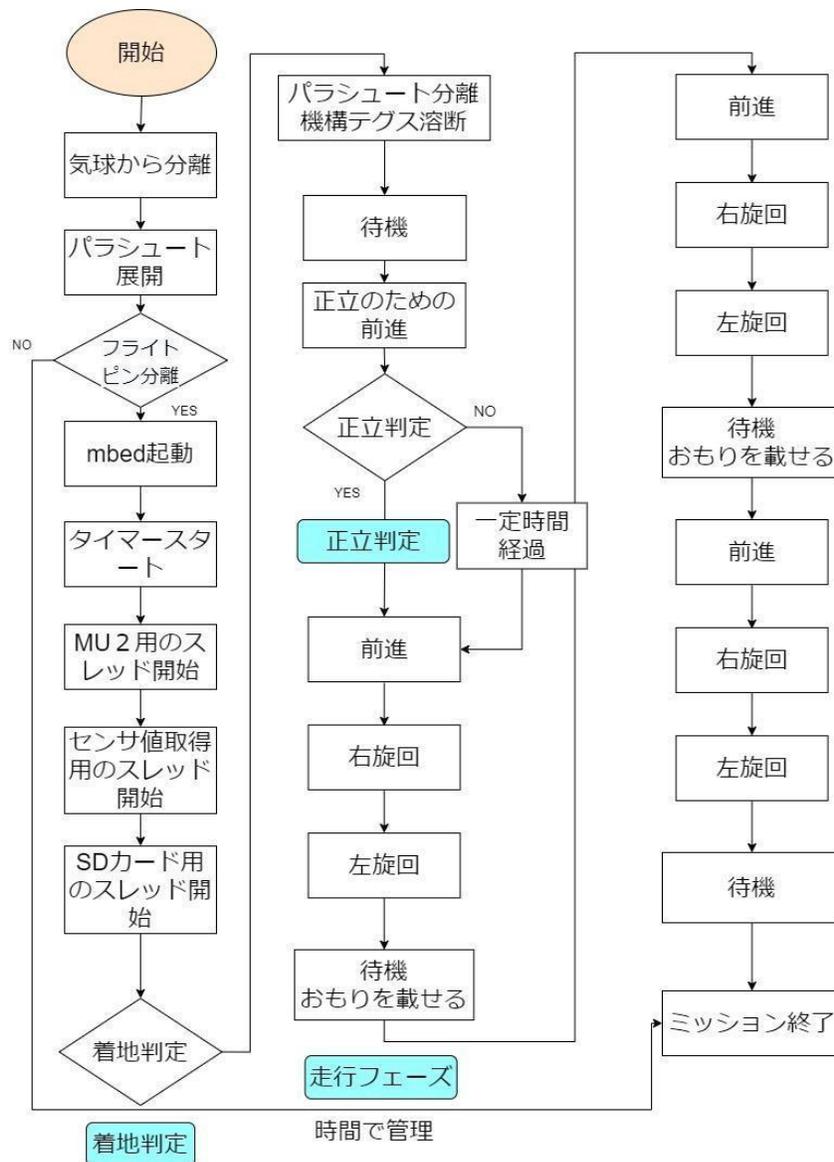


図 4.4.1 ミッションシーケンスアルゴリズム

ミッションシーケンスのアルゴリズムは図 4.4.1 の通りである。CanSat 本体が気球から分離されたのち、パラシュートが展開しフライトピンが分離、mbed が起動しプログラムの動作が開始する。その後着地判定を行い、パラシュート分離を行ったのち正立判定を行った後走行を開始する。

フェールセーフ設計に関しては、フライトピンが抜けなかった場合はリカバリー不能と判

断し、ミッション終了とする。また、正立判定ができなかった場合には、一定時間経過後にミッション続行とする。

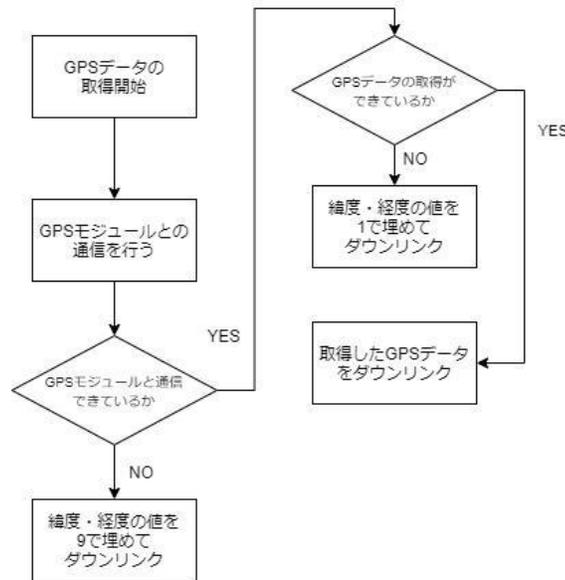


図 4.4.2 GPS データダウンロードフローチャート

GPS データダウンロードフローチャートは図 4.4.2 の通りである。GPS データの取得開始後、GPS モジュールとの通信を行った後にデータのダウンロードを行う。

また、

- (i) GPS モジュールとの通信が確認され、GPS データの取得ができている場合には取得した緯度・経度をダウンロード
- (ii) GPS モジュールとの通信が確認され、GPS データの取得ができていない場合には 1 をダウンロード
- (iii) GPS モジュールとの通信が確認されない場合には 0 をダウンロードするものとする。

回路

以下に Cansat に搭載した基板の回路図及び配線図を示す。但し、実際の基板では GND はベタパターンの処理を行っているが視認性の観点から省略する。

1. メイン基板

図 4.5.1 にメイン基板の回路図を示す。また、図 4.5.2 にメイン基板の配線図を示す。mbed, 加速度センサ, GPS, MU2, SD カードを搭載している。

7. 4V の電源を三端子レギュレータを用いて 5.0V と 3.3V に降圧している。

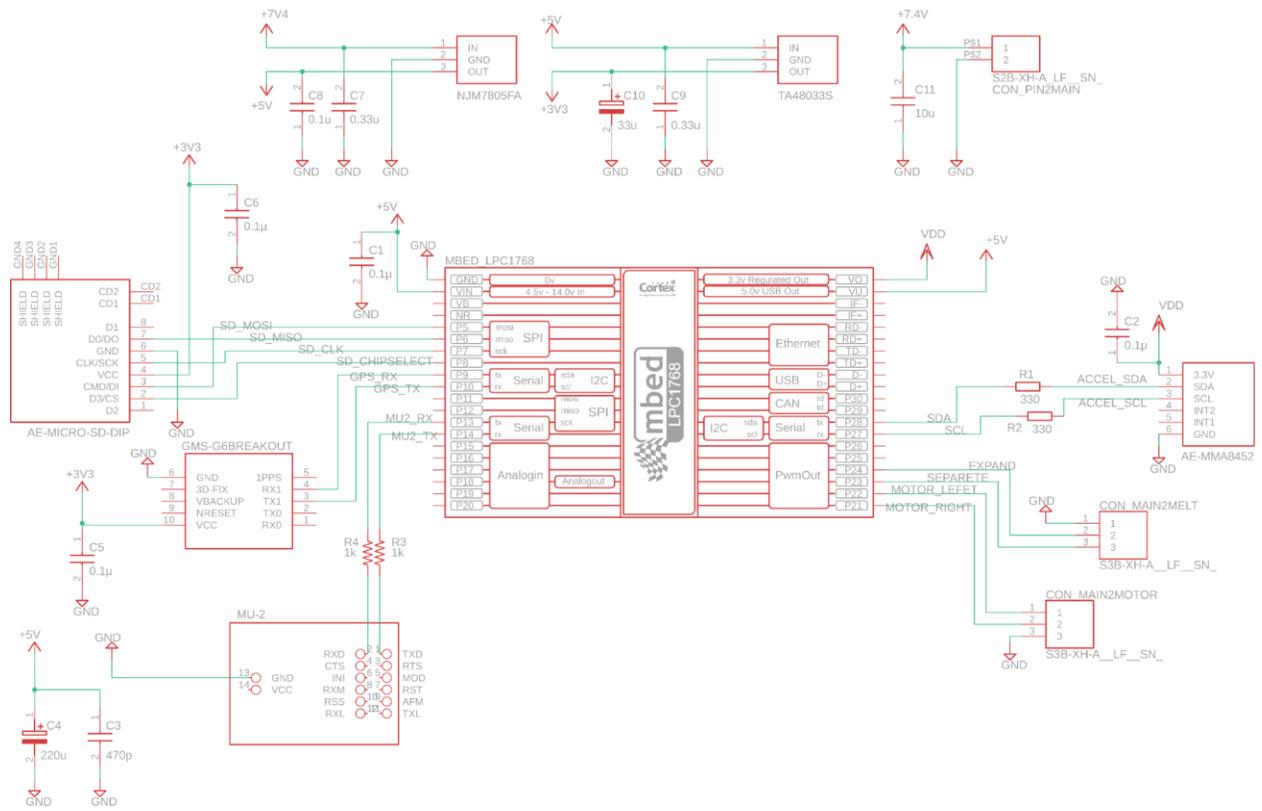


図 4.5.1 メイン基板の回路図

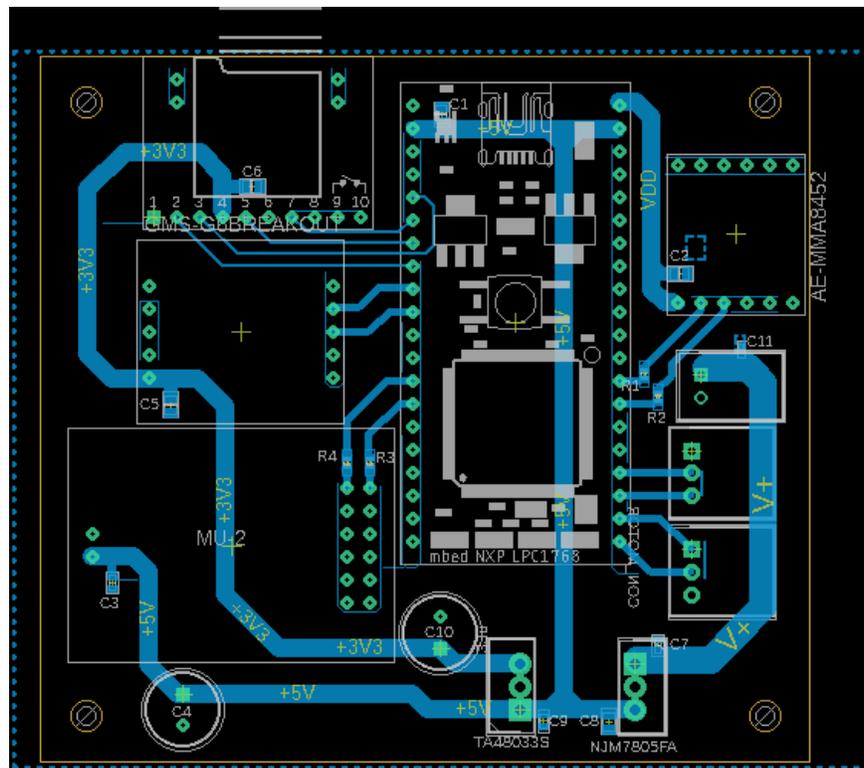


図 4.5.2 メイン基板の配線図

2. フライトピン基板

図 4.5.3 にフライトピン基板の回路図を示す。また、図 4.5.4 にフライトピン基板の配線図を示す。PchMOSFET を用いたスイッチにて、パラシュートが開傘する衝撃でジャンピンが抜けるとメイン基板に電源投入される。3.7V のバッテリーはパラシュート分離用溶断回路とモーター駆動回路に分配している。

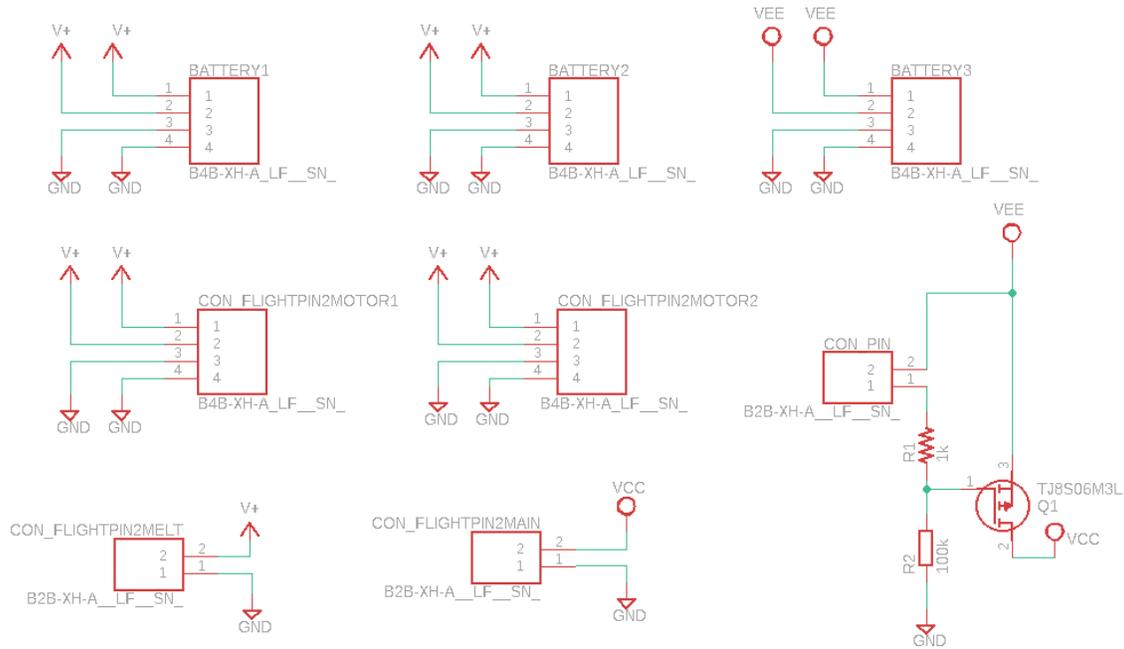


図 4.5.3 フライトピン基板の回路図

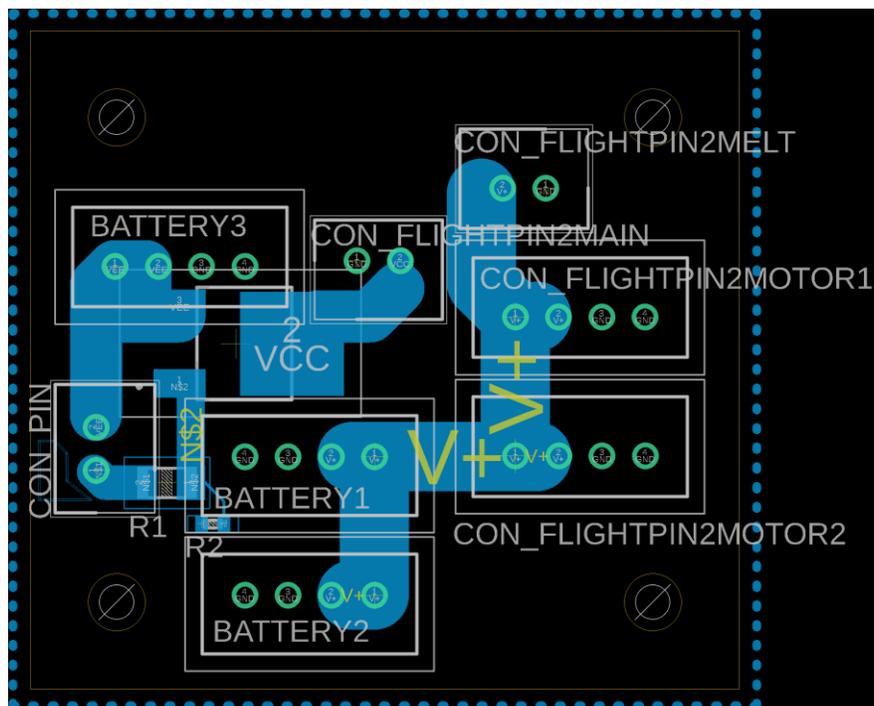


図 4.5.4 フライトピン基板の配線図

3. モーター基板

図 4.5.5 にモーター基板の回路図を示す。また、図 4.5.6 にモーター基板の配線図を示す。左右 2 つのモーターを駆動するための電源がフライトピン基板からコネクタを通じて投入される。また、メイン基板の mbed から PWM 制御を行う信号が送られる。

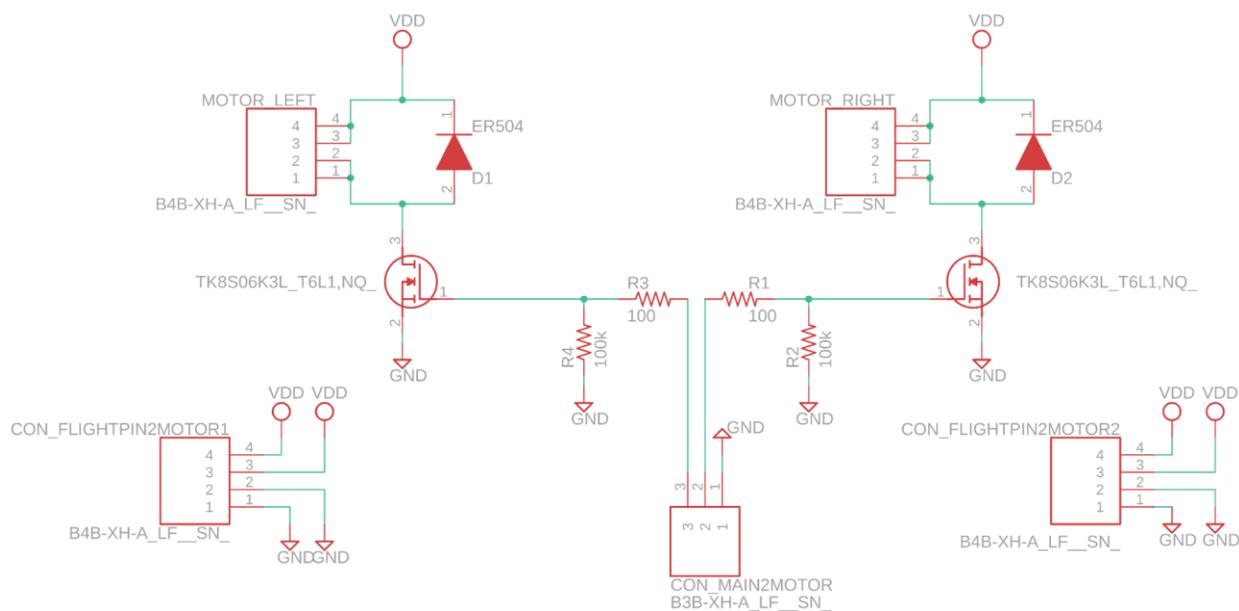


図 4.5.5 モーター基板の回路図

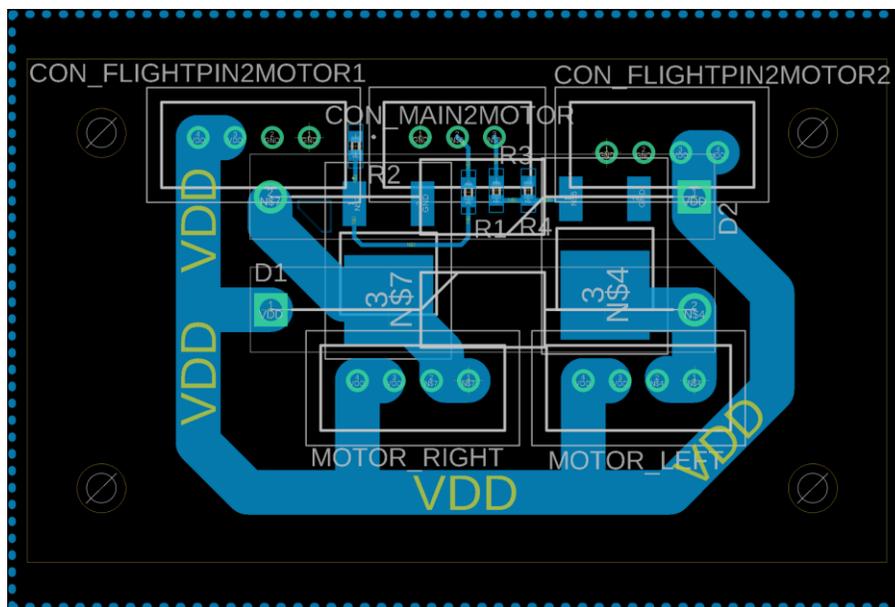


図 4.5.6 モーター基板の配線図

4. 溶断基板

図 4.5.7 に溶断基板の回路図を示す。また、図 4.5.8 に溶断基板の配線図を示す。NchMOSFET を用いたスイッチにてニクロム線への電源投入を制御する。スイッチが押されるとコネクタの先に

繋がれたニクロム線に電気が流れ発熱する, この熱を利用してパラシュートが結びつけられたピンを固定するテグスを熔断し, パラシュートを筐体から分離する.

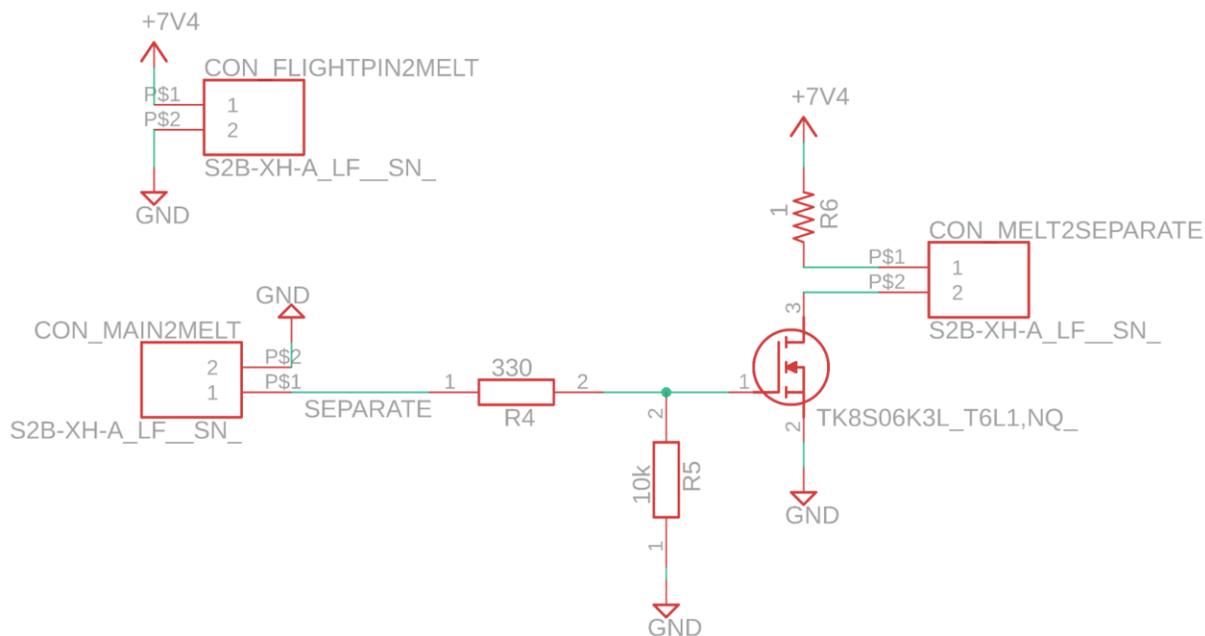


図 4.5.7 熔断基板の回路図

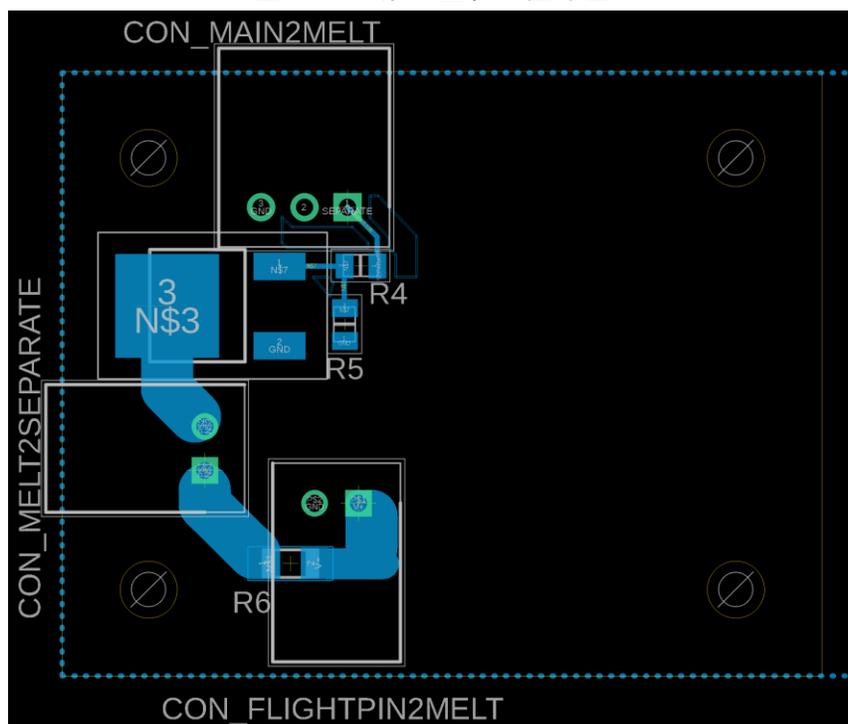


図 4.5.8 熔断基板の配線図

第5章 試験項目設定

番号	検証項目名	対応する自己審査項目の 要求番号（複数可）	実施日
V1	質量試験	R1	10/18
V2	機体の収納・放出試験	R1, 10	10/18
V3	GPS データダウンリンク試験	R2	8/27
V4	パラシュート投下試験	R3	8/19
V5	静荷重試験	R4	10/23
V6	振動試験	R5	9/25
V7	開傘衝撃試験	R6	9/26
V8	通信機電源 OFF/ON 試験	R7	8/25
V9	周波数変更試験	R8	10/23
V10	End to End 試験	R9	10/16
V11	制御履歴レポート作成試験	R11	10/18
V12	着地衝撃試験	M1	9/26
V13	電力耐久試験	M2	10/17
V14	OBC 起動試験	M3	8/27
V15	パラシュート分離試験	M4	9/7
V16	正立試験	M5	10/16
V17	走行試験	M6	8/28
V18	積載走行試験	M7	8/28

第6章 実施試験内容

システム要求を満たすための試験内容

(V1) 質量試験

作成者 永井 和希

システム要求 R1	質量と容積がレギュレーションを満たすことが確認できている。
--------------	-------------------------------

- 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 以下を満たすことを確認する。

 - 試験日程
 - 試験期間
2021/10/18
 - 試験場所
東京工業大学大岡山キャンパス
 - 参加者
永井 和希
竹田 有希

 - 試験方法
 - 試験対象
 - CanSat
 - パラシュート
- 試験系を図 6.1.1 に示す。



図 6.1.1 試験系

○ 試験手順

1. CanSat およびパラシュートを質量計に載せる.
2. レギュレーションに記載されている質量(1050g)以下であることを確認する.

● 結果

CanSat とパラシュートの総重量は 1002.32g であり, 1050g 以下であることを確認した。図 6.1.2 に質量測定結果の様子を示す。なお、パラシュートとハーネスはキャリアの底に入れて測定した。



図 6.1.2 質量測定結果

● 結論

パラシュートを含めた CanSat の総重量がレギュレーションを満たしていることが確認できた。

(V2) 機体の収納放出試験

作成者 永井 和希

システム要求 R10	CanSat の収納・投下準備が 5 分以内でできている
---------------	------------------------------

● 目的

CanSat とパラシュートを合わせた容積がキャリア(内径 146mm, 高さ 240mm)に収納でき, さらに, 自重でキャリアから放出できることを確認する

● 試験日程

- 試験期間
2020/10/18
- 試験場所
東京工業大学大岡山キャンパス

- 参加者
永井 和希
竹田 有希
- 試験方法
 - 試験対象
 - CanSat
 - パラシュート

試験系を図 6.2.1 に、キャリアの寸法を図 6.2.2, 図 6.2.3 に示す。キャリアの直径は 146mm, 高さは 240mm である。

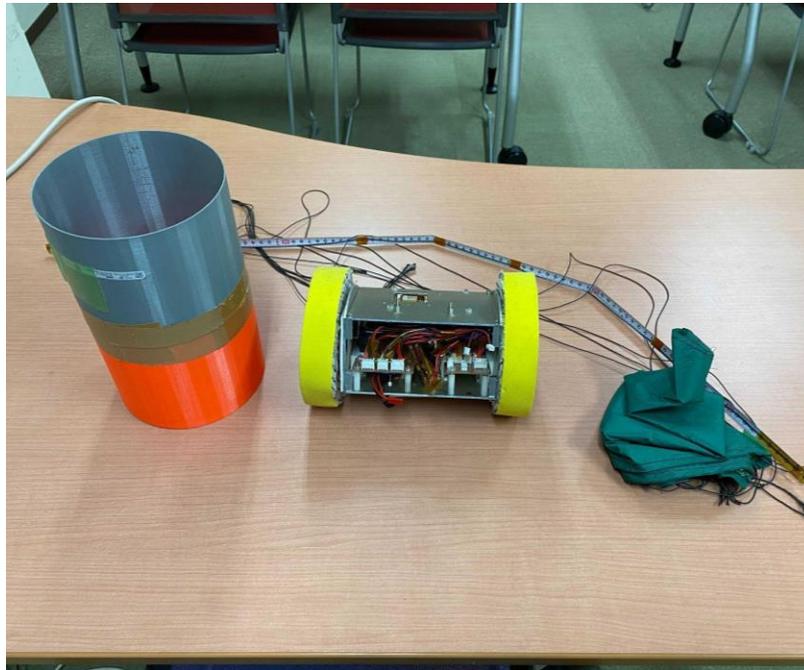


図 6.2.1 試験系



図 6.2.2 キャリア直径



図 6.2.3 キャリア高さ

- 試験条件

- キャリアが内径 146mm, 高さ 240mm であることを確認すること
- CanSat にパラシュートを取り付ける
- 試験手順
 - (1) キャリアが内径 146mm, 高さ 240mm であることを確認する (動画撮影前に実施)
 - (2) キャリア内に CanSat およびパラシュートを収納する
 - (3) キャリア内から CanSat を自重により放出する

● 結果

各工程にかかった時間を以下の表 6.2.1 に示す。

表 6.2.1 各工程に要した時間

工程番号	工程内容	所要時間
1	パラシュート・コンベックスをたたむ	01:37
2	キャリアに収納	00:35

試験時の動画を以下の URL リンク (YouTube) にアップした。

[収納・放出試験](#)

● 結論

CanSat とパラシュートを合わせた容積がキャリア (内径 146mm, 高さ 240mm) に収納でき、さらに、自重でキャリアから放出できることを確認できた。

(V3) GPS データダウンリンク試験

作成者 安田 萌恵, 鷲 優希

システム要求 R2	ロスト対策を実施しており、有効性が試験で確認できている
-----------	-----------------------------

● 目的

ロスト対策として Cansat に搭載された GPS モジュールと無線機を用いて位置情報を送信し地上局でそれを受信、表示できる性能が十分にあることを確認する。

● 試験日程

- 試験期間
2021/8/27 午前 6:00-9:00
- 試験場所
多摩川河川敷

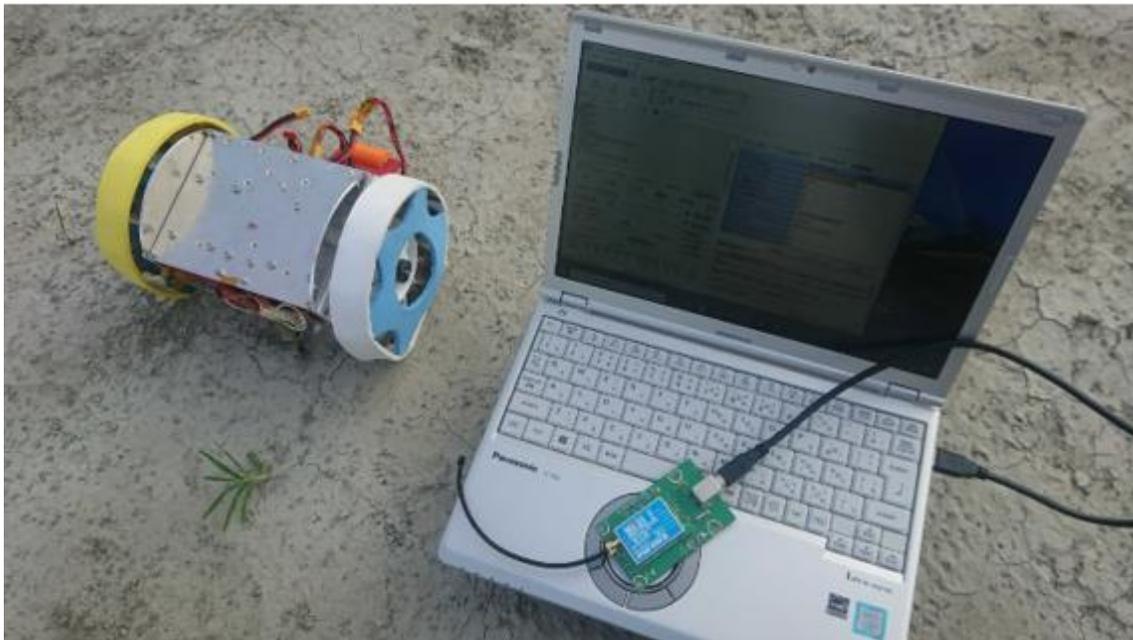
- 参加者
 - 竹田 有希
 - 徳安 彰大
 - 安田 萌恵
 - 鷲 優希

- 試験方法

- 試験対象

- CanSat 本体
- 地上局側 MU2 通信機

試験系を以下の図 6.3.1 に示す.



- 試験手順

1. CanSat と地上局の無線通信リンクを適切に設定する.
2. 地上局を設置する.
3. 信号を送るように設定した CanSat を持って川沿いを進む. また, 試験の際には CanSat を地面においてミッション実施時の状態を再現した.
4. 通信が途絶えた地点と地上局の GPS 取得値から通信可能距離を計算する.

○ 測定・確認項目

試験における測定・確認項目を以下の表 6.3.1 に示す。

表 6.3.1 測定・確認項目

No.	確認目的	対応する試験手順	測定・確認項目	測定・確認方法	判定基準
1	準備状況の確認	(1)	MU-2 の無線通信リンク設定	CanSat 側と地上局側の MU2 通信機のグループ ID, チャンネル, 目的局 ID, 機器局 ID, を適切に設定する。	行った設定で通信できること
2	地上局地点の GPS 記録	(1)	地上局地点の GPS 値	GPS モジュールからの値を確認	GPS の値が記録できること
3	MU-2 の通信状況を確認	(2)	MU-2 の通信が適切に行われていること	携帯電話により逐一通信状況を確認	地上局が CanSat 側からの通信を受信していることを確認すること
4	通信が途切れた CanSat の位置	(3)	地上局と通信が途切れた CanSat 位置の GPS	GPS モジュールにより GPS の値を記録	GPS の値が記録できていること

● 結果

通信試験は図 6.3.2 に示す地図の範囲内で実施した。

上丸子山王町少年野球場の端(地上局・図 6.3.2 の上側赤色ピン)から多摩川河川敷(図下側赤色ピン)を南西方向に進んだ。

GPS 値は CanSat 搭載の GPS モジュールで取得したものを用了。通信成功の判定基準は、CanSat 搭載の MU2 通信機からの送信データを地上局 MU2 通信機が受信することである。試験の結果、通信可能距離は 650m であった。地上局との通信が途切れた地点の間には木などの障害物があったが、実際の大会では 150m×150m のフィールドで障害物がないため、十分な距離で通信が可能であると考えられる。



図6.3.2 通信距離試験実施場所周辺の地図

● 結論

Cansat のロスト対策の有効性を確認できた。

(V4) パラシュート投下試験

作成者 三木 晴太

システム要求 R3	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
--------------	---

● 目的

- パラシュートが正常に展開することを確認する。
- 落下速度が 5.0m/s 以上になることを確認する。これは、ACTS での投下において横風を受けた際、機体がフィールドの外に出ないように落下速度であることを確認するためである。
- 降下によってパラシュートに破損がないことを確認する。

● 試験日程

- 試験期間
2021/8/19 午前 6 時～午前 8 時

- 試験場所
多摩川丸子橋
- 参加者
三木 晴太
安田 萌恵
竹田 有希
徳安 彰大
- 試験方法
 - 試験対象
 - パラシュート
 - 試験条件
 - 13m の橋の上から投下した。試験内容は以下の 2 種類である。
 1. パラシュートの開傘を確認するため、パラシュートを折りたたんだ状態で機体を模擬したダミーマスにつなぎ、自由落下させる。
 2. パラシュートの終端速度を確認するためにパラシュートを開いた状態で機体を模擬したダミーマスにつなぎ、自由落下させる。
 - 試験手順
 1. 周囲の安全を確認し撮影を開始する
 2. 試験対象を投下する
 3. 試験対象を回収する
 4. 1～3 を試験回数分繰り返す
 - 測定・確認項目
 1. パラシュート展開
 2. パラシュート展開後の落下速度
 3. 着地後のパラシュートの状態(破れ等がないか)
 - 終端速度測定方法
橋の上から 1m おきにするしをつけたひもをたらし、各地点の通過時刻を計測し落下速度を求めた。複数回の投下データから地上から 4m の地点では終端速度に達していると判断し、地上 0m から 4m までの速度の平均を終端速度として算出した。
- 結果
 - パラシュート展開確認
全 3 回実施した。試験の結果を以下の表 6.4.1 に示す。

表 6.4.1 各試験における試験対象の展開の様子と破損の有無

試行回数	展開の様子	破損の様子	動画 URL
1 回目	展開成功	なし	https://youtu.be/1G0qODRZWMs
2 回目	展開成功	なし	https://youtu.be/mkBtcTH0-zc
3 回目	展開成功	なし	https://youtu.be/RXJCyT5YkIw

- パラシュート展開後の落下速度
全 4 回実施した。試験結果を以下の表 6.4.2 に示す。

表 6.4.2 各試験における試験対象の終端速度

試行回数	終端速度 [m/s]	動画 URL
1 回目	5.66	https://youtu.be/Cj_Lv5PjgTo
2 回目	5.75	https://youtu.be/5P2DdQF_jjA
3 回目	5.36	https://youtu.be/wK9sYNzWB8k
4 回目	4.80	https://youtu.be/pEzoed42YMc

5 回の試験の平均終端速度は 5.39m/s であった。

- 気球試験での結果
 - 気球からの投下試験でも同じパラシュートを用いて 2 回の投下を行った。2 回とも展開に成功し、パラシュートに破損は見られなかった。以下に気球試験の動画 URL を示す。
 - 1 回目 : <https://youtu.be/oWdK39k-P1A>
 - 2 回目 : <https://youtu.be/-d2tbEmy4Fk>
- 結論
 - パラシュート展開確認
パラシュートは問題なく展開できた。また、パラシュートに破損は見られなかった。
 - パラシュート展開後の落下速度
パラシュートの展開により落下終端速度が減少し、平均して 5.39m/s になることが確認できた。大会本番での投下に関して、10m/s の横風が吹いたとしても、半径 100m の円内に落下すると考えられるため、フィールド外へ落下し、周囲に危険が及ぶ可能性は低いと考えられる。

(V5) 静荷重試験

作成者 竹田 有希

安全要求 R4	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ないことが試験で確認できている
---------	--

- 目的
 - ロケット打ち上げ時にかかる荷重に CanSat が耐えられるかを確認する。

- 試験日程
 - 試験期間
2021/10/23
 - 試験場所
東京工業大学大岡山キャンパス
 - 参加者
永井 和希
竹田 有希
- 試験方法
 - 試験対象
 1. CanSat 機体
 試験系を図 6.5.1 に示す。



図 6.5.1 試験系

- 試験条件
 1. CanSat に 10G 程度の準静的な加速度を負荷する
 2. 加速度センサには ADXL375 を用いる
- 試験手順
 1. 加速度計に計測する為のプログラムを書き込み、Cansat に貼り付ける。
 2. ロープが取り付けられたケースに CanSat を収納する。
 3. ヘルメットを着用し、周囲の安全を確認した後、加速度計のボタンを押してプログラムを起動する。その後ロープの他端を人が持ち、半径 2.5m で回転させる。回転させる時も周囲の安全を確認する。
 4. 回転後、加速度計を PC と接続し計測データを取得する。
 5. CanSat を容器から取り出し、CanSat が破損していないかを確認する。機能確認用プログラムの書き込みを行い、機能の確認を行う。
- 測定・確認項目

試験における測定・確認項目を以下の表 6.5.1 に示す。

表 6.5.1 測定・確認項目

No.	確認目的	対応する 試験手順	測定項目 確認項目	測定方法 確認方法	判定基準

1	準備状況の確認	1	加速度計の機能確認	プログラムを書き込み機能確認	正常に機能が動作すること
2	セットアップ状況の確認	2	CanSat の外観観察	目視	・変形、傷がないこと ・コネクタ類が奥まで差し込まれていること
			紐の取り付け	目視、手で確認	紐が引張により解けないこと
3	安全確認	3	ヘルメット着用	目視、手で確認	ヘルメットが脱げないように着用されていること
			周囲の安全	目視	周囲の通行人や車がないこと
4	静荷重の確認	3、4	試験条件の充足	加速度センサのデータを確認	10G 程度の加速度が 30 秒程度計測されていること
5	機能確認	5	CanSat の外観観察	目視	・変形、傷がないこと ・コネクタ類が奥まで差し込まれたままであること
			CanSat の動作確認	CanSat 機能確認用プログラムの起動	GPS と加速度データが正常に取得できる。

● 結果

試験時の動画を以下の URL リンク (YouTube) にアップした。試験前後で機体の損傷や、機能の損失は見られなかった。

<https://youtu.be/rv1US9DVH6Y>

1:50～静荷重負荷

3:10～:加速度の確認

4:30～:機体の外観に破損がないか確認

5:02～:GPS と加速度の値を取得開始

8:35～:GPS と加速度の値を取得完了・機能確認終了

静荷重試験の取得加速度を図 6.5.2 に示す。CanSat 回転速度が安定してから、回転を停止させるまでの 60[s]から 90[s]までのデータを図示すると以下の図 6.5.3 のようになる。図 6.5.3 より計測開始 60 秒から 90 秒の間に CanSat が平均 12.25G の静荷重が負荷されていることが確認できる。

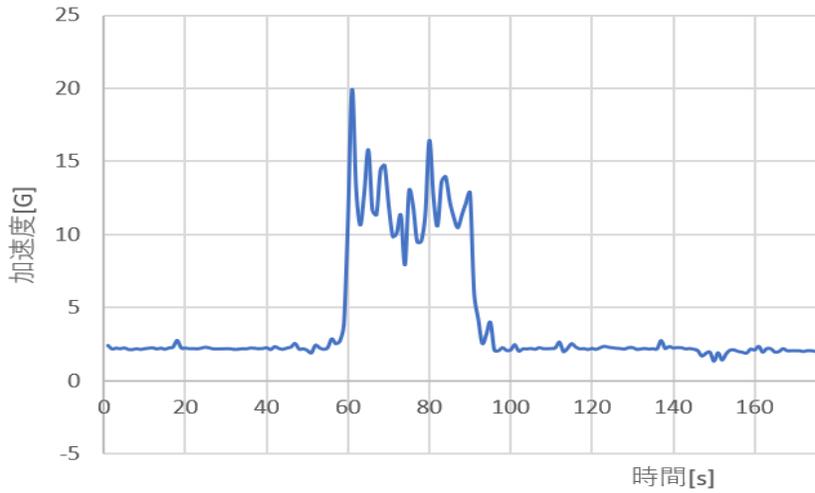


図 6.5.2 静荷重試験の加速度データ

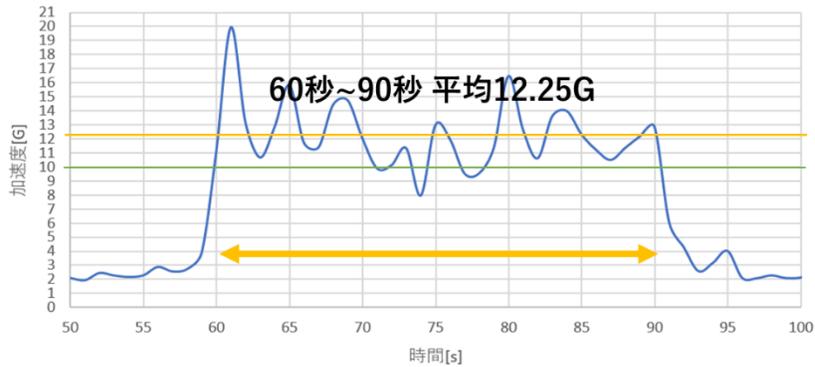
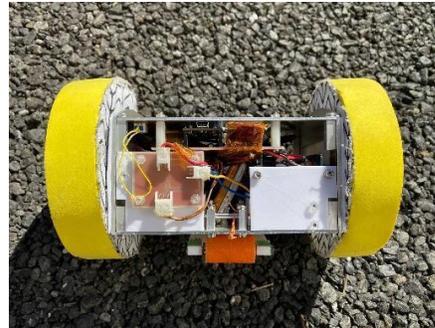


図 6.5.3 静荷重試験から抽出した加速度データ

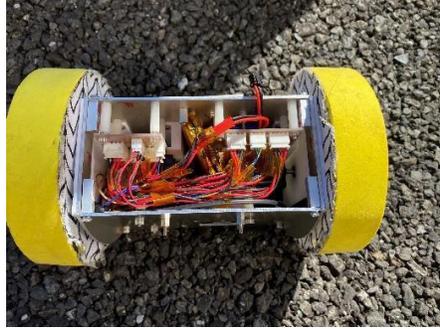
試験前と試験後の外観検査の様子を図 6.5.4 と図 6.5.5 に示す。静荷重を負荷した後、CanSat の外見に優位な変形や、ねじの緩み、テグスの緩み等は確認できなかった。また OBC の起動、GPS 値取得、加速度取得、通信機による地上局への通信という、バス部の機能を確認した。



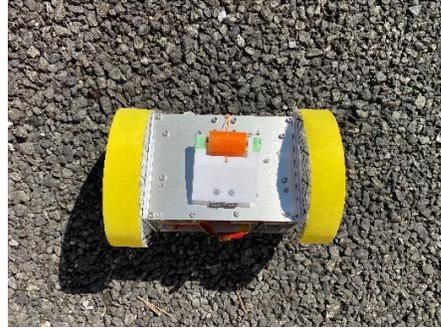
(a) 前面



(b) 上面



(c) 後面



(d) 裏面

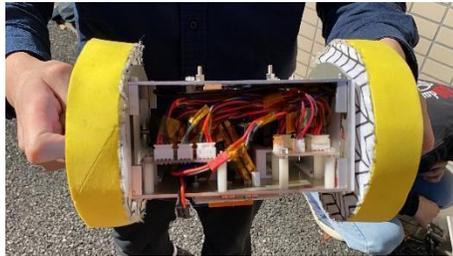


(e) タイヤ①

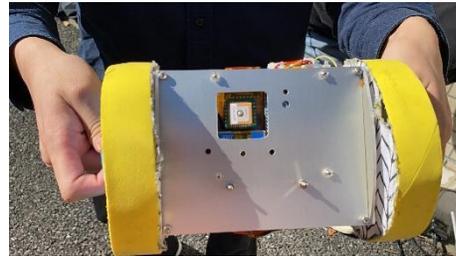


(f) タイヤ②

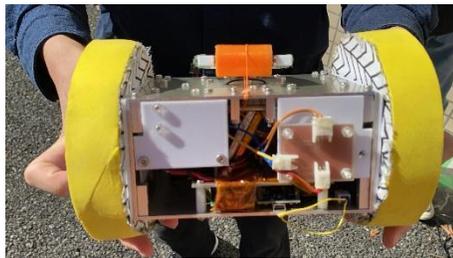
図 6.5.4 試験前外観検査



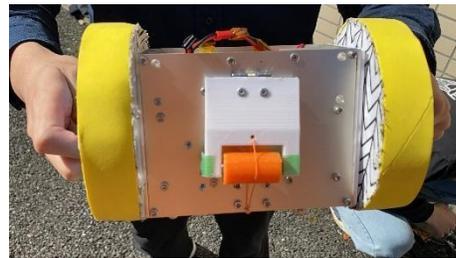
(a) 前面



(b) 上面



(c) 後面



(d) 裏面



(e) タイヤ①

(f) タイヤ②

図 6.5.5 試験後外観検査

● 結論

試験結果より、CanSat が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確認できた。

(V6) 振動試験

作成者 竹田 有希

システム要求 R5	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ないことが試験で確認できている。
--------------	--

● 目的

○ CanSat が打ち上げ振動環境に耐えうることを確認する。

● 試験日程

○ 試験期間
2021/9/25

○ 試験場所
東京工業大学大岡山キャンパス

○ 参加者
竹田 有希
田村 真也
鷲 優希
野村 昇冴

● 試験方法

○ 試験系
1. 加振機



図 6.6.1 加振機

2. 加振機コントローラ



図 6.6.2 加振機コントローラ

○ 試験対象

1. Cansat 機体

○ 試験手順

1. 加振前に CanSat に変形や傷、コネクタの抜け等がないか目視で確認。
2. 加振機に Cansat を固定する。
3. 加振機を使用し、打ち上げ振動(固有振動数 15G, 60s 加振)をかける。加振器から振動波形を取得し目的の振動状態を確認する。
4. 加振後、ナットの緩みがないか材料の破断がないかを試験前写真などから外観チェックを行う。
5. GPS や加速度の値を取り、通信機能が正常か確認を行う。

○ 試験条件

加振条件を表 6.6.1 に示す。

- 1) 30~500Hz にかけてのスweep加振により、Cansat の固有振動数を確かめる。(モーダルサーベイ試験)
- 2) 固有振動数にて 15G で 60 秒間加振を実施した。試験時の波形を図 6.6.3 に示す。図 6.6.3 中の赤線が±15G であり、図より 15G の出力が出ていることが確認できる。
- 3) 加振前後で CanSat の固有振動数に大きな変化がないことにより、破損が起きていないことを確認するため、もう一度モーダルサーベイ試験を行う。

○ 測定・確認項目

試験における測定・確認項目を表 6.6.2 に示す。

表 6.6.1 加振条件

No.	加振周波数[Hz]	加速度レベル[G]	加振時間[s]	掃引時間[s]
加振 1	30~500	5.0	N/A	60
加振 2	固有振動数	15.0	60	N/A
加振 3	30~500	5.0	N/A	60

表 6.6.2 測定・確認項目

No.	確認目的	対応する試験フロー	測定項目 確認項目	測定方法 確認方法	判定基準
1	準備状況の確認	(1)	各種機能確認	確認用プログラムを書き込む	SD のログ・目視
		(1)	外観検査	目視	<ul style="list-style-type: none"> ・変形, 傷がないこと ・コネクタ類が奥まで差し込まれていること
2	セットアップの状況確認	(2)	CanSat が加振器に適切に取り付けられていること	CanSat がぐらつかないことを手で押して確認	CanSat がぐらつかないこと
3	CanSat の固有振動数の確認	(3)	固有振動数が確認できること	加速度センサ波形から確認	固有振動数が到底できること

4	15G の加振に耐えられること	(3)	試験条件の充足	加速度センサ波形から確認	15G の加振に 60 秒間に耐えられること
			固有振動数の変動	加速度センサ波形から確認	加振 1 と加振 3 の固有振動数に変化がないこと
5	各種機能が損なわれていないこと	(4)	外観検査	目視	<ul style="list-style-type: none"> ・変形, 傷がないこと ・コネクタ類が奥まで差し込まれていること
			電氣的機能確認	確認用プログラムを確認	正常に機能が動作すること

● 結果

試験時の動画を以下の URL に示す.

<https://youtu.be/W4rDIT2Z-U8>

- 0:00~加振機の較正
- 1:20~固有振動数確認
- 3:00~固有振動数で加振
- 5:49~外観チェック
- 7:50~固有振動数確認 2 回目
- 9:50~機能確認

○ 加振試験結果

まずは, 30~500Hz にかけてのスweep加振により Cansat の固有振動数が 250Hz 付近であることを確かめた. 次に 250Hz にて 15G で 60 秒間加振を実施した. 試験時の波形を図 6. 6. 3 に示す. 図中の赤線が±15G であり, 図より 15G の出力が出ていることが確認できる. また, その後再度スweep試験を行い, 固有振動数が変わっていないことが確認できた.

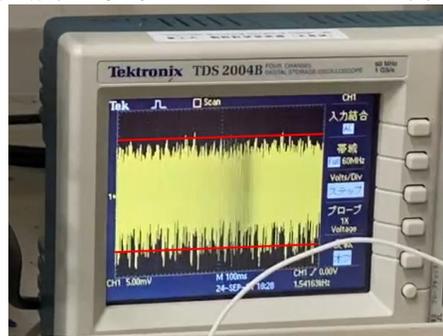


図 6. 6. 3 250Hz における 15G での加振時の波形

○ 外観・機能確認結果

加振後に目視で機体の損傷やコネクタ類が外れていないことを確認した。その後、通信機を起動し、GPSと加速度の取得により機能確認を行い、正常にデータを取得ができた。

● 結論

- 試験結果より、本 CanSat が打ち上げ時の振動荷重に対して耐えることが可能であり、レギュレーションを充足することが確認された。

(V7) 開傘衝撃試験

作成者 永井 和希

システム要求 R6	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ないことが試験で確認できている
--------------	--

● 目的

- パラシュート開傘時に想定される衝撃荷重 (25G) に CanSat およびパラシュートが耐えられることを確認する。なお、以下に記載した UNISEC 資料を参照し、耐えるべき衝撃荷重を 25G 以上と設定した。
http://unisec.jp/library/i-cansat/manual_CanSat_textbook_eng_v5.pdf

● 試験日程

- 試験期間
2021/9/26
- 試験場所
東京工業大学大岡山キャンパス
- 参加者
竹田 有希
永井 和希
野村 昇冴
鷲 優希

● 試験内容

- 試験対象
- CanSat 機体
 - パラシュート

● 試験条件

- CanSat に 25G 程度の衝撃加速度を与える。
- 加速度センサには ADXL375 を用いる。

● 試験手順(機体本体の開傘衝撃試験)

1. 加速度計にプログラムを書き込み，機体本体に取り付ける。
 2. ヘルメットを着用し，機体本体とパラシュートの紐，加速度センサが適切に取り付けられていることを確認する。
 3. パラシュートの紐(長さ 3m)を手すりなどに固定し，加速度計のプログラムを起動後，試験対象を投下する。投下の際に周囲の安全を確認する。
 4. 投下した試験対象を引き上げ，加速度センサを PC に接続し計測データを取得する。
 5. パラシュートの紐，及び機体本体の破損，機能確認を行う。
- 試験手順 (パラシュートの開傘衝撃試験)
 1. 加速度計にプログラムを書き込み，機体本体を模したダミーマスに取り付ける。なお，試験方法の都合上，試験失敗時の機体本体の破損のリスクを下げるため，ダミーマスに置き換え試験した。
 2. ヘルメットを着用し，ダミーマスとパラシュート，紐，加速度センサが適切に取り付けられていることを確認する。パラシュートとダミーマス間は紐でつなぎ，パラシュートのスピルホールのある内側にガムテープで固定した。
 3. 加速度計のプログラムを起動後，試験対象を投下する。投下の際に周囲の安全を確認する。
 4. 投下した試験対象を引き上げ，加速度センサを PC に接続し計測データを取得する。
 5. パラシュートの破損，機能確認を行う。
 - 結果 (CanSat 機体)



図 6.7.1 試験系

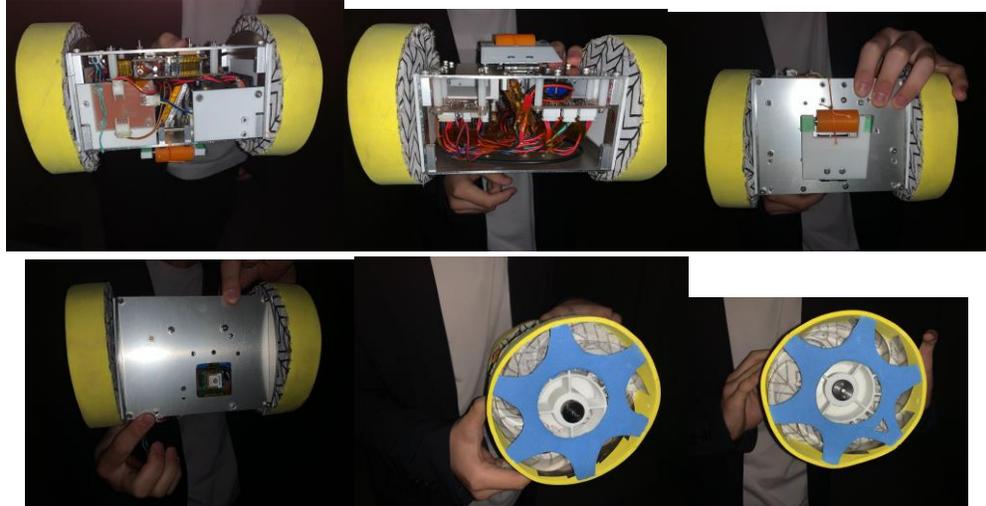


図 6.7.2 開傘衝撃試験後の機体外観

- 試験時の動画を以下の URL に示す.
 - [開傘衝撃試験 \(CanSat 機体\)](#)
 - 0:45～:開傘衝撃負荷
 - 1:28～:加速度計の確認
 - 2:07～:機体の外観に破損がないか確認
 - 4:08～:GPS と加速度の値を取得開始
 - 22:06～:GPS と加速度の値を取得完了・機能確認終了

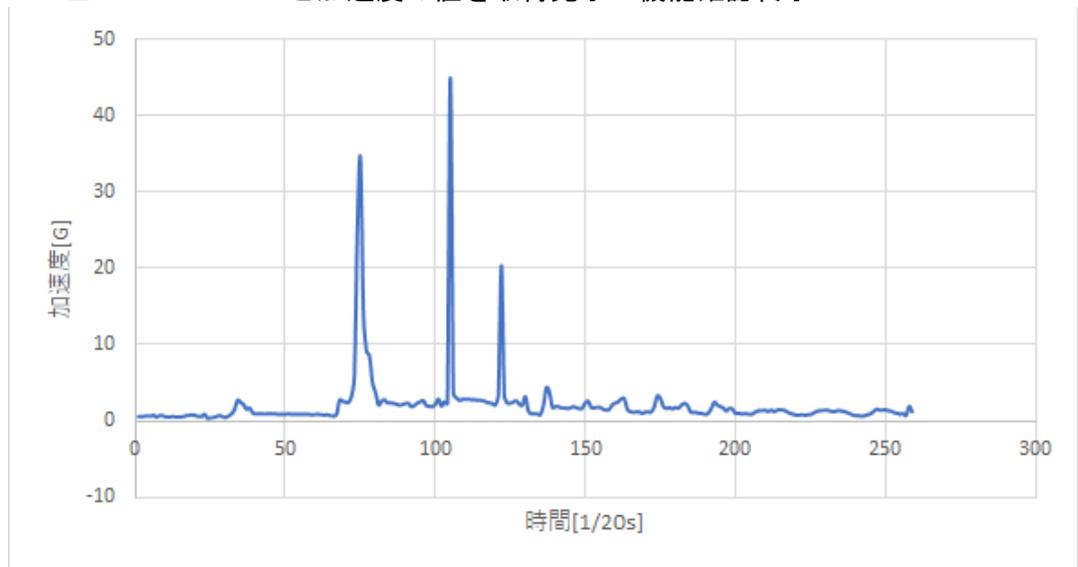


図 6.7.3 開傘衝撃試験時の加速度計の取得値

- 上図 6.7.3 より縦軸の加速度の値が 25G を上回っていることから、25G 以上の衝撃荷重がかかっていることが分かる.
 - 結果 (パラシュート)



図 6.7.4 試験系



図 6.7.5 開傘衝撃試験後のパラシュート

- 試験時の動画を以下の URL に示す.
 - [開傘衝撃試験（パラシュート）](#)
 - 1:12～開傘衝撃負荷
 - 1:48～：加速度の確認
 - 2:27～：パラシュートの外観に破損がないか確認

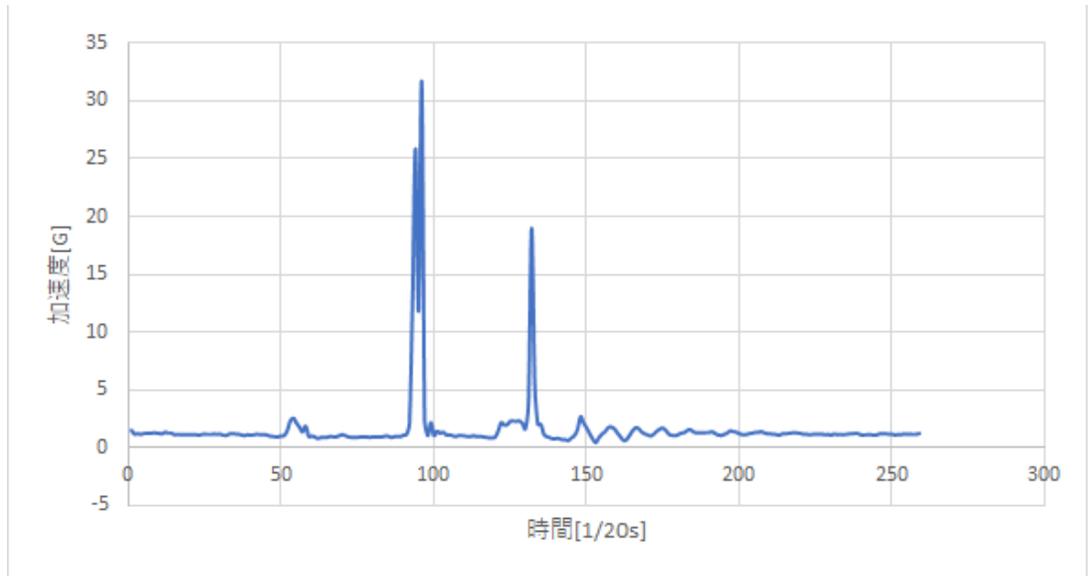


図 6.7.6 開傘衝撃試験時の加速度計の取得値

- 上図 6.7.6 より縦軸の加速度の値が 25G を上回っていることから、25G 以上の衝撃荷重がかかっていることが分かる。

○ 結論

パラシュート開傘時に想定される衝撃荷重 (25G) に CanSat およびパラシュートが耐えられることが確認出来た。

(V8) 通信機電源 OFF, ON 試験

作成者 鷲 優希

システム要求 R7	打ち上げ時に無線機の電源を OFF にできること
-----------	--------------------------

- 目的
 - 通信機がキャリア収納時は継続して電源 OFF 状態を維持し、キャリア放出後に正常に電源 ON 状態になることを確認する。
- 試験日程
 - 試験期間
 - 2021/08/27 午後 12:00-13:00
 - 試験場所
 - 東京工業大学 大岡山キャンパス
 - 参加者
 - 安田 萌恵

■ 鷲 優希

● 試験方法

○ 試験方法

■ 本試験は (V14) OBC 起動試験と同時に実施した

○ 試験対象

■ メイン基板

■ LiPo バッテリー

■ 地上局側 MU2 通信機

● 試験系を以下の図 6.8.1 に示す.

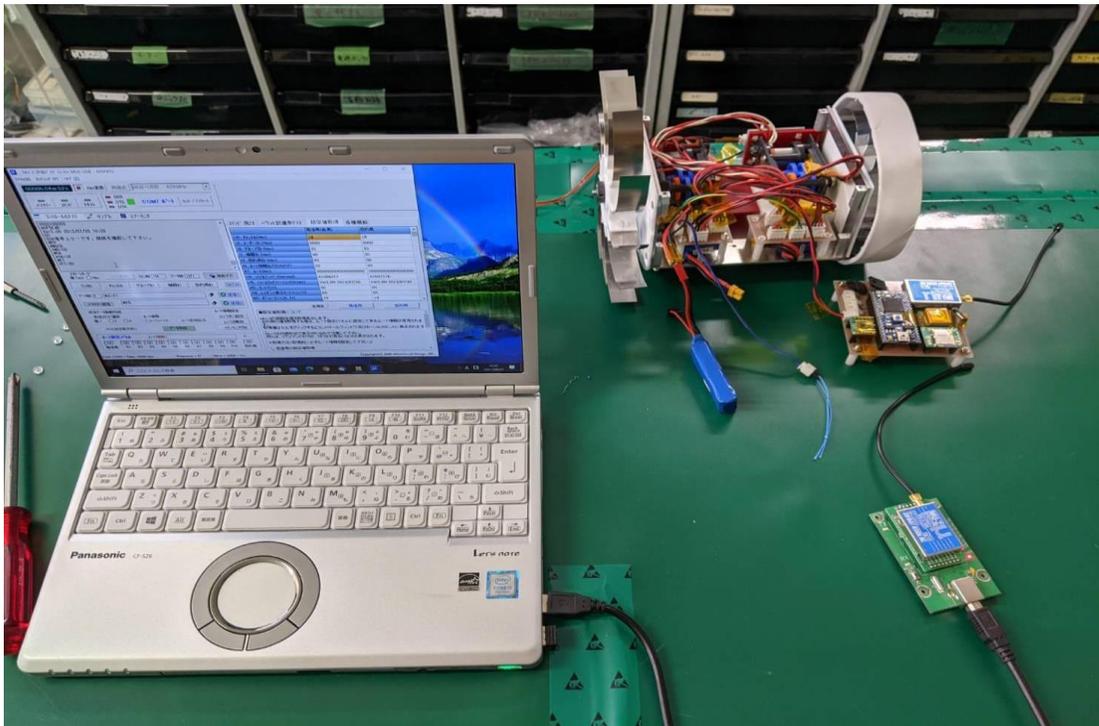


図 6.8.1 試験系

○ 試験手順

(1) フライトピンが挿入されている状態でテスターを用いて CanSat 搭載 MU2 通信機の電源電圧を測定し、電源が OFF であることを確認する。この試験を行う際、基板搭載の通信機の電源電圧を測定するために基板を CanSat 本体から取り外している。なお、基板と CanSat 本体の電気的接続はフライト時の状態と同じである。

(2) フライトピンを抜き OBC を起動させたのち、CanSat 搭載 MU2 通信機の電源電圧を測定し、電源が ON であることを確認する。

測定・確認項目

本試験の測定・確認項目を以下の表 6.8.1 に示す。

表 6.8.1 測定・確認項目

No.	確認目的	対応する試験手順	測定項目 確認項目	測定方法 確認方法	判定基準
1	フライトピンの確認	(1)	フライトピンが挿入されていること	目視	フライトピンが挿入されていること
2	MU2 の電源電圧の確認	(1)	MU2 の電源電圧	テスター	電源電圧が 0V であること
3	フライトピン取り外しの確認	(2)	フライトピンが取り外されていること	目視	フライトピンが取り外された状態であること
4	MU2 の電源電圧の確認	(2)	MU2 の電源電圧	テスター	電源電圧が MU2 の動作電圧であること

● 結果

フライトピンが挿入されている状態において MU2 通信機の電源電圧は 0V (図 6.8.2) であった。また、フライトピンを取り外した状態において MU2 通信機の電源電圧は 5.03V (図 6.8.3) であった。MU2 通信機の動作電圧は 3.0-5.0V、絶対最大定格電圧が 5.5V であることから、フライトピンが挿入されている状態では MU2 通信機の電源が OFF であり、フライトピンが取り外されている状態では電源が ON になることが確認できた。

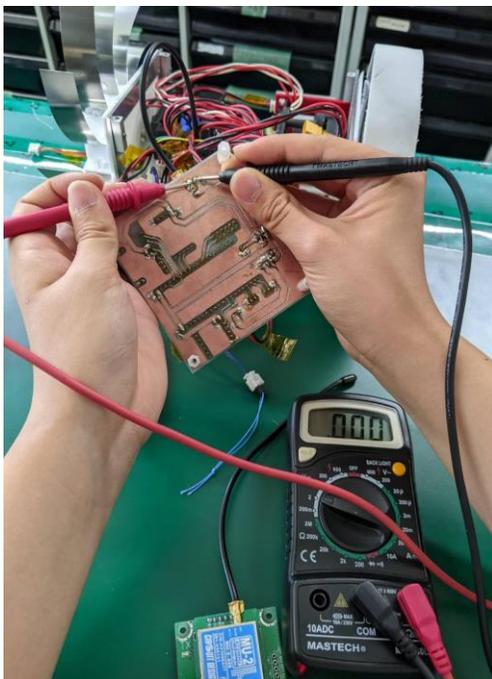


図 6.8.2 フライトピン挿入時の MU2 通信機の電源電圧測定

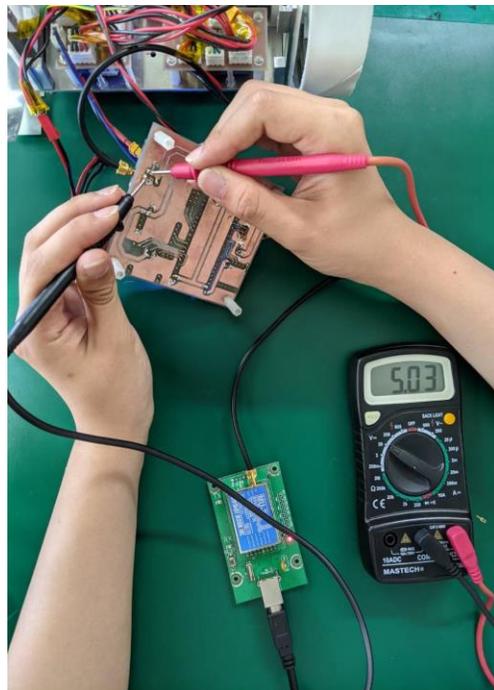


図 6.8.3 フライトピン取り外し時の MU2 通信機の電源電圧測定

上記試験を実施した際の動画は以下である.

[通信機電源 ON/OFF 試験](#)

- 結論
以上より, 打ち上げ時に無線機の電源が OFF にできることが確認できた.

(V9) 周波数変更試験

作成者 永井 和希

システム要求 R8	無線機のチャンネルが変更できること
-----------	-------------------

- 目的
CanSat 搭載の MU2 通信機がチャンネル変更機能を有し, また, 実際にチャンネル変更ができることを確認する.
- 試験日程
 - 2021/10/23
- 試験場所
 - 東京工業大学 大岡山キャンパス
- 参加者
 - 永井 和希
- 試験方法
 - 試験対象
 - CanSat 搭載側 MU2 通信機
 - 地上局側 MU2 通信機
 - 試験系を以下の図 6.9.1 に示す.

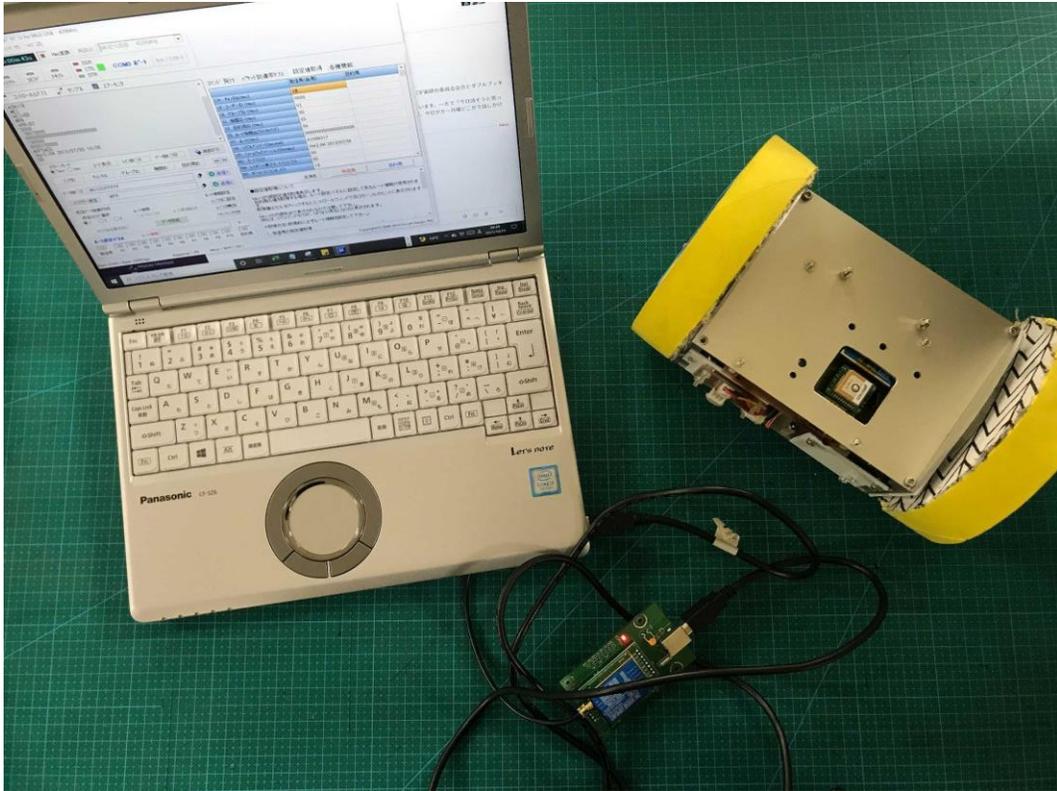


図 6.9.1 試験系

○ 試験手順

- (1) CanSat 搭載の通信機 MU-2, および地上局側の通信機 MU-2 のチャンネルを 1B(周波数 429.5000MHz)に設定する.
- (2) CanSat 搭載の通信機 MU-2 からデータを送信し, 基地局側 MU-2 で受信できることを確認する.
- (3) CanSat 搭載の通信機 MU-2, および地上局側の通信機 MU-2 のチャンネルを 2A(周波数 429.6875MHz)に設定する.
- (4) CanSat 搭載の通信機 MU-2 からデータを送信し, 基地局側 MU-2 で受信できることを確認する.

○ 測定・確認項目

- 試験における測定・確認項目を以下の表 6.9.1 に示す.

表 6.9.1

No.	確認目的	対応する試験手順	測定項目 確認項目	測定方法 確認方法	判定基準
1	準備状況の確認	(1)	CanSat 搭載 MU2 通信機の周波数確認	OBC に書き込むプログラムの確認	指定した周波数となるプログラムであること
			地上局側 MU2 通信機の周波数設定を確認	地上局 PC で確認	指定した周波数に設定されているかどうか
2	CanSat 搭載 MU2 通信機からのデータ受信	(2)	指定した周波数で地上局側 MU2 通信機が CanSat 搭載 MU2 通信機からのデータを受信できることを確認	地上局 PC で確認	指定した周波数で受信が可能であること
3	CanSat 搭載 MU2 通信機の周波数変更	(3)	CanSat 搭載 MU2 通信機の周波数設定をプログラムにより変更できることを確認	OBC に書き込むプログラムの確認	指定した周波数となるプログラムであること
4	CanSat 搭載 MU2 通信機から (2) と異なる周波数のデータ受信	(4)	試験手順 (2) とは異なる周波数帯で CanSat 搭載 MU2 通信機からデータを受信できることを確認	地上局 PC で確認	変更した周波数で受信が可能であること

● 結果

図 6.9.2 および図 6.9.3 に地上局 PC での受信結果を示す。

図内赤枠の発信局のチャンネルが周波数の違いである。MU2 通信機は 429.2500MHz~429.7375MHz までの 40ch が利用可能であり、地上局側と CanSat 搭載側のチャンネルをそろえた際に通信が行われる。

試験手順(1)および(2)では、CanSat 搭載側と地上局側の両 MU2 通信機のチャンネルを 2A に設定した状態で受信ができることを確認した(図 6.9.2)。

次に、試験手順(3)でチャンネルを 1B に変更したプログラムを OBC に書き込み、試験手順(4)で CanSat 搭載側と地上局側の MU2 通信機のチャンネルを 1B に揃えてデータの受信ができることを確認した(図 6.9.3)。

以上のことから、本 CanSat 搭載の MU2 通信機は周波数変更機能を有しており、実際に変更可能あることが確認できた。

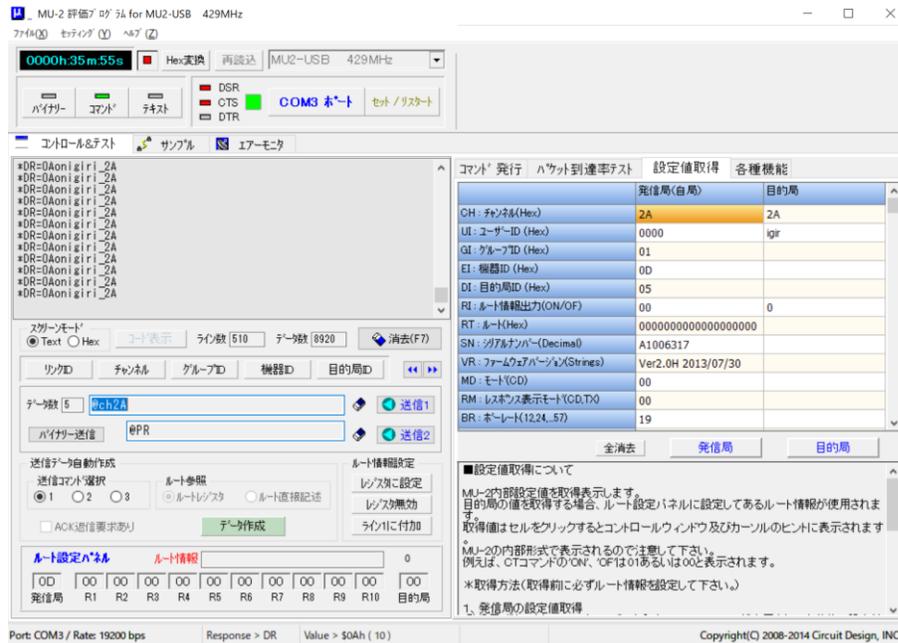


図 6.9.2 チャンネルを 2A に設定したときの地上局 MU2 通信機での受信確認

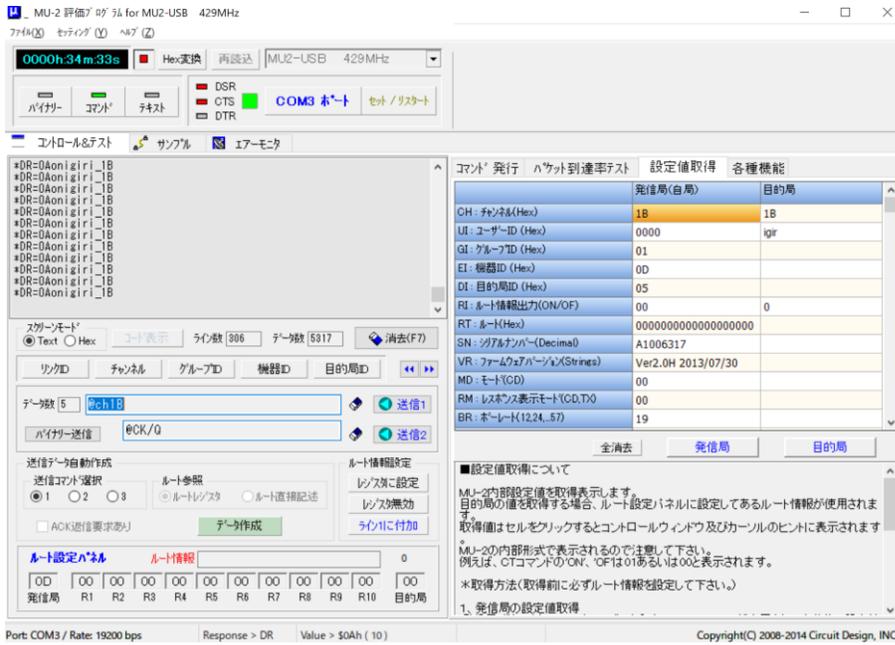


図 6.9.3 チャンネルを 1B に設定したときの地上局 MU2 通信機での受信確認

上記の試験を実施した際の動画は以下である。

[周波数変更試験](#)

● 結論

以上より、無線のチャンネルが変更できることが確認できた。

(V10) End to end 試験

作成者 永井 和希

システム要求 R9	S1-8 の充足を確認した設計の CanSat によって、ロケットへの装填から打ち上げ後の回収までを模擬した End-to-end 試験を実施できており、今後、安全性に関わる大幅な設計変更はない
--------------	---

● 目的

安全試験書類提出後の安全性に関わる大幅な設計変更を防止するため、安全審査に使用した機体を用いることでロケットによる打ち上げからミッション終了までを人の手を加えずに遂行できることを確認する必要がある。

打ち上げからミッション終了までを3つのフェーズに分けて実施することで End-to-End 試験とする。

図 6.10.1 において、フェーズ①は (V1) 質量試験、(V2) 機体の収納・放出試験で実施した、フェーズ②は (V4) パラシュート投下試験で実施した。したがって本試験ではフェーズ③のみ実施する。

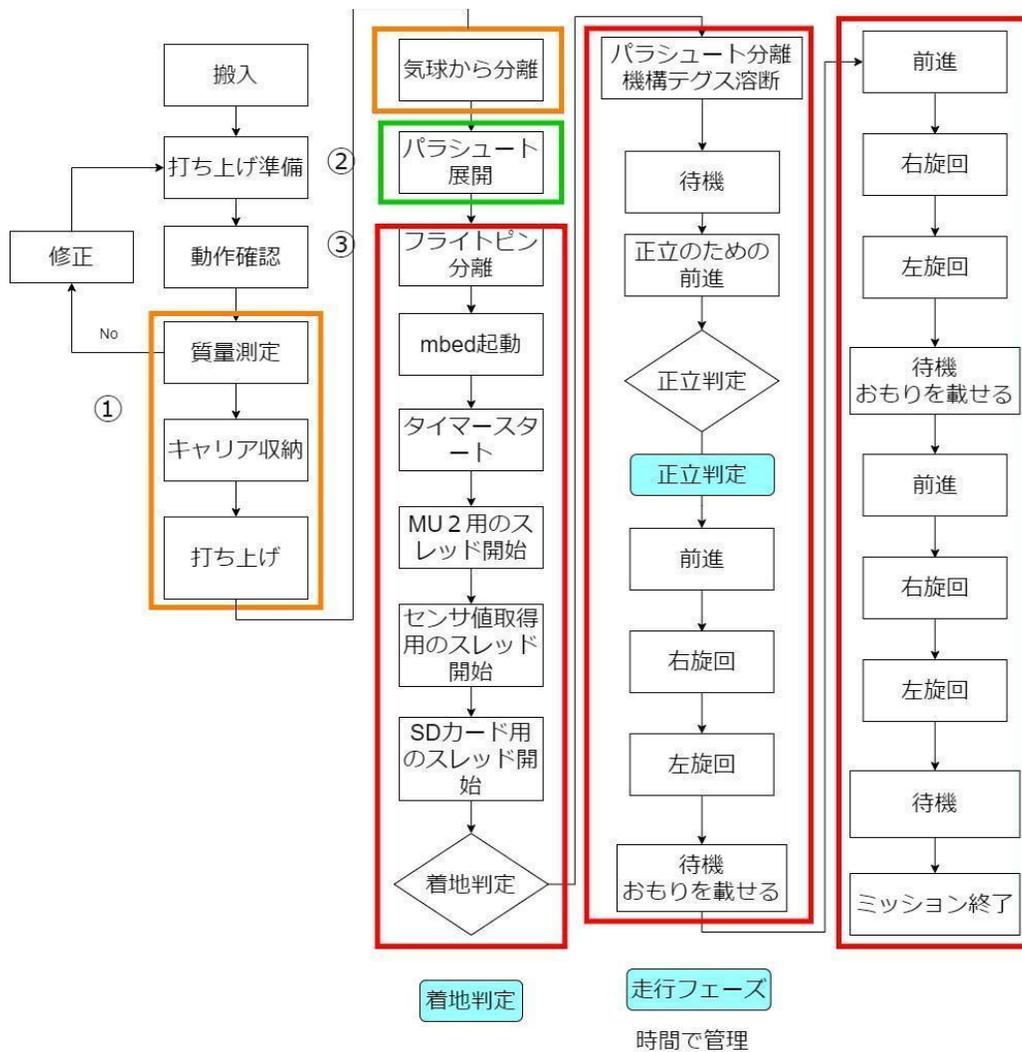


図 6. 10. 1 End-to-End 試験の内容

- 試験日程
 - 試験期間
2021/10/16
 - 試験場所
東京工業大学大岡山キャンパス
 - 参加者
永井 和希
安田 萌恵
小林 大輝
田村 真也
竹田 有希

- 試験方法
 - 試験対象
 - CanSat

- パラシュート
- 錘
- 試験系を図 6.10.1 に示す



図 6.10.1 試験系

- 試験手順
 - 試験における, 測定確認項目を以下の表 6.10.1 に示す.

表 6.10.1

1	セットアップ状況の確認	(1)	機体落下	目視	高さ 130cm から機体が落下した
2	フライトピン引き抜き	(2)	フライトピンが抜けたこと	目視	フライトピンが抜けている
3	シーケンス確認	(3)	OBC 起動	mbedLED 点灯を目視で確認	OBC が起動している
			CanSat からの GPS と加速度のダウンリンク	ダウンリンクしたデータ	衛星からのデータダウンリンクを地上局で受信できている
			パラシュート分離機構溶断	目視	パラシュート分離機構テグスが溶断されている

		スタビライザー展開	目視	パラシュート分離と同時にスタビライザーが展開される
		正立確認	目視	スタビライザーの展開によって CanSat が目標の面を上に向けて正立できる
		無積載状態で前進、左旋回、右旋回	目視、メジャーで測定	無積載状態で前進(1m 以上)、左旋回 (90° 以上)、右旋回 (90° 以上) が出来ている
		積載のため停止	目視	重量物積載のために停止する
		2.5kg 積載	目視	2.5kg の積載物が CanSat に積載出来ているか確認
		2.5kg 積載状態で前進、左旋回、右旋回	目視、メジャーで測定	2.5kg 積載状態で前進(1m 以上)、左旋回 (90° 以上)、右旋回 (90° 以上) が出来ている
		4kg 積載のため停止	目視	重量物積載のために停止する
		4kg 積載	目視	4.0kg の積載物が CanSat に積載出来ているか確認
		4kg 積載状態で前進、左旋回、右旋回	目視、メジャーで測定	4.0kg 積載状態で前進(1m 以上)、左旋回 (90° 以上)、右旋回 (90° 以上) が出来ている
		停止	目視	停止する

● 結果

○ 試験後に測定結果を以下の表 6.10.2 にまとめた.

表 6.10.2

無積載での走行	前進	193cm
	右旋回	186°
	左旋回	179°
2.5kg 積載での走行	前進	187cm
	右旋回	149°
	左旋回	175°

	車軸-接地面間距離	45mm
4.0 kg積載での走行	前進	163cm
	右旋回	100°
	左旋回	131°
	車軸-接地面間距離	43mm

- サクセスクライテリアの達成状況は以下の表 6.10.3 の通りであり, アドバンスドサクセスまで達成可能であることを確認した.

表 6.10.3

	内容	評価内容	評価方法
ミニマムサクセス→ 達成	低圧車輪を用いても走行が可能であること	着地衝撃で車輪が破損せず, 重量物の積載無しで前進 1m 以上, 右旋回 90 度以上, 左旋回 90 度以上が可能であること	車輪の破損状態は目視, 走行・旋回しているかは目視とメジャーによる距離の測定, スマートフォンのコンパス機能による角度の測定により確認する.
フルサクセス→ 達成	事前に低圧車輪が有用であると判断した質量を積載した状態で, 低圧車輪として機能し, 走行が可能であること	質量 2.5kg の錘を積載し, 前進 1m 以上, 左旋回 90 度以上, 右旋回 90 度が可能であること. 錘を積載した状態での車軸-接地面間距離が 37.0 mm 以上 63.7mm 以下であること.	走行・旋回しているかは目視とメジャーによる距離の測定, スマートフォンのコンパス機能による角度の測定により確認する. 車軸-接地面間距離は地面と車軸間距離を定規で測定し確認する.

<p>アドバンスドサクセス →達成</p>	<p>事前に低圧車輪の限界積載量であると判断した質量を積載した状態で、低圧車輪として機能し、走行が可能であること。</p>	<p>質量 4.0kg の錘を積載し、前進 1m 以上、左旋回 90 度以上、右旋回 90 度以上が可能であること。</p> <p>錘を積載した状態での車軸-接地面間距離が 37.0 mm 以上 56.6mm 以下であること。</p>	<p>フルサクセスと同様。</p>
----------------------------------	---	---	-------------------

○ 以下の URL に動画を載せた。

■ [End to end 試験](#)

● 結論

○ ミッション終了までの一連のシークエンスの実行が可能である事を確認出来た。また、サクセスクライテリアをアドバンスドサクセスまで達成することが可能であることを確認出来た

追記

質量測定→キャリア収納→キャリア放出→パラシュート展開→メインミッションの流れで問題が生じないかの確認は、キャリア放出→パラシュート展開→メインミッションの流れを気球を用いた投下試験において、正常に動作することを確認したため、最終のコンフィグにおいて質量測定→キャリア収納→キャリア放出→メインミッションの流れを確認する試験を行いました。以下、試験の詳細です。

以下の URL に動画を載せる。また、表 6.10.4 に End to end 再試験の結果をまとめた。

● [End to end 試験（再試験）](#)

表 6.10.4 End to end（再試験）の結果

無積載での走行	前進	184cm
	右旋回	285°
	左旋回	227°
2.5kg 積載での走行	前進	166cm
	右旋回	194°
	左旋回	191°
	車軸-接地面間距離	55mm

4.0 kg積載での走行	前進	106cm
	右旋回	94°
	左旋回	37° (失敗)
	車軸-接地面間距離	44mm

再試験ではフルサクセスまでの達成までしか行えなかった。原因としては車輪と車軸の力の伝達がうまくいっていないことが考えられる。これまでも車軸と車輪の接続が問題となり車軸との接続部に深めのDカットを入れ、力の伝達を良くするなど対策はしてきたが、今回のように4kgの錘を載せると、設計の限界積載量であることからうまく旋回行動を行えないことがある。今回は再提出締め切り前で急いで組み立てと試験を行っていたため、締結がきちんと行えなかった可能性がある。投下試験における対策としては投下前機体調整の確認リストでの締結確認を入れ込み完全な機体確認が行えるようにすることを対策とした。

また、補足の資料として以下のURLに気球試験の動画を載せる。

● 気球試験（東京工業大学グラウンド）

End to end 試験の全体を通した実験で CanSat システムが動くか投下に関しては事前に気球投下試験を行える機会があったため、そこで行った際の動作を見て、一連の動作をつつがなく実行できることを確認した。なお、本気球試験における投下高度は約50mとなっている。

なお、気球試験の動画においては放出・パラシュート展開・メインミッションの流れが滞りなく行えることが確認出来るが、気球試験後にサクセスクライテリアの評価のための測定方法を変更したため、両者の結果を統合して End to end としての流れが実行できそうであることを確認するとした。

(V11) 制御履歴レポート作成試験

作成者 永井 和希

システム要求 R11	ミッション後、規定された 制御履歴レポート を運営者へ提出する準備ができています (以下の根拠の項に制御履歴レポートの例を添付すること。ダミーデータを使用しても良い)
---------------	---

○ 目的

- ログの記録装置を正常に取り出せること、またログの記録が正常に行われることを確認する。
- 試験日程
 - 試験期間
2021/10/18
 - 試験場所
東京工業大学大岡山キャンパス
 - 参加者
永井 和希
- 試験内容
 - End to End 試験と同様に一連のシーケンスを実行する。
 - SD カードにログが保存されているか PC で確認。
- 結果
 - End to end でのシーケンスのログを以下に示す。
 - 1 列目が秒数であり、単位はミリ秒である。また、SD カードへの書き込みのレートは 4 秒である。
 - 2 列目が進行中のシーケンスのフェーズであり、このフェーズ番号は以下の通りである。フェーズ番号の出力によって進行中のミッションシーケンスの段階がプログラム上きちんと進行していることが確認出来る。なお、本試験におけるミッションシーケンスの段階とフェーズ番号の対応表を以下の表 6.11.1 に示す。

表 6.11.1

ミッションシーケンスのフェーズ番号	対応するミッションシーケンスの段階
0	着地判定
1	パラシュート分離, スタビライザー展開のための溶断
2	機体正立
3	無積載状態での走行
4	積載のための停止
5	2.5kg 積載状態での走行
6	4.0kg 積載状態での走行

- 3, 4 列目が GPS での緯度経度である。3 列目が緯度で、4 列目が経度である。
- 5, 6, 7 列目が加速度計の値である。5 列目が x 軸方向加速度, 6 列目が y 軸方向加速度, 7 列目が z 軸方向加速度である。
- 8, 9 列目がモータへの入力電圧の duty 比である。8 列目が左モータへの duty 比, 9 列目が右モータへの duty 比である。duty 比の出力によって入力電圧の変更の

命令が正しく行われていることを確認する. なお、今回は右旋回、左旋回時の duty 比は、以下のように事前に決定した.

- ・ 前進時/左モータ duty 比:右モータ duty 比=0.8:0.8
- ・ 右旋回時/左モータ duty 比:右モータ duty 比=0.8:0.5
- ・ 左旋回時/左モータ duty 比:右モータ duty 比=0.5:0.8

以下のログの値から正常にログの値が書き込まれていることを確認した.

経過時間	ミッション シーケン ス中の実行 段階	緯度	経度	加速度計の 取得値			モータにか ける電圧の duty比	
4033	0	0	0	0.005859	0.03418	0.988281	0	0
8038	0	0	0	0.004883	0.03418	0.988281	0	0
12038	0	0	0	0.006836	0.030273	0.988281	0	0
16038	0	0	0	0.004883	0.03125	0.987305	0	0
20038	0	0	0	0.006836	0.033203	0.990234	0	0
24038	0	0	0	0.004883	0.036133	0.985352	0	0
28038	0	0	0	0.004883	0.032227	0.985352	0	0
32038	0	0	0	0.004883	0.03418	0.987305	0	0
36038	0	0	0	0.004883	0.033203	0.988281	0	0
40038	0	0	0	0.005859	0.033203	0.984375	0	0
44038	0	0	0	0.004883	0.03125	0.981445	0	0
48038	0	0	0	0.00293	0.032227	0.985352	0	0
52038	0	0	0	0.003906	0.032227	0.989258	0	0
56038	0	0	0	0.00293	0.03418	0.985352	0	0
60038	0	0	0	0.00293	0.03125	0.983398	0	0
64038	0	0	0	0.004883	0.032227	0.986328	0	0
68038	0	0	0	0.003906	0.03418	0.984375	0	0
72038	0	0	0	0.007812	0.032227	0.982422	0	0
76039	0	0	0	0.003906	0.036133	0.985352	0	0
80038	0	0	0	0.005859	0.03125	0.981445	0	0
84038	0	0	0	0.001953	0.03418	0.983398	0	0
88038	0	0	0	0.005859	0.032227	0.987305	0	0
92038	0	0	0	0.004883	0.03125	0.982422	0	0
96038	0	0	0	0.00293	0.03125	0.984375	0	0
100038	0	0	0	0.00293	0.033203	0.986328	0	0
104038	0	0	0	0.001953	0.030273	0.990234	0	0
108038	0	0	0	0.003906	0.033203	0.983398	0	0
112038	0	0	0	0.004883	0.032227	0.990234	0	0
116038	0	0	0	0.005859	0.032227	0.985352	0	0
120038	0	0	0	0.00293	0.03418	0.984375	0	0
124038	0	0	0	0.004883	0.030273	0.986328	0	0
128038	1	0	0	0.005859	0.03418	0.985352	0	0
132038	1	0	0	0.004883	0.033203	0.987305	0	0
136038	1	0	0	0.006836	0.030273	0.986328	0	0
140038	2	0	0	0.005859	0.03418	0.989258	0	0
144038	2	0	0	0.004883	0.03418	0.990234	0	0
148038	2	0	0	0.004883	0.032227	0.984375	0	0
152040	2	0	0	-1	0.94043	1.087891	0.8	0.8
156038	2	0	0	-0.67773	0.373047	1.380859	0.8	0.8
160038	2	0	0	-0.60352	0.84668	1.008789	0.8	0.8
164038	2	0	0	-0.25391	-0.31152	0.989258	0.8	0.8
168038	2	0	0	-0.14453	-1.14648	0.945312	0.8	0.8
172038	2	0	0	0.418945	-0.93457	1.056641	0.8	0.8
176038	2	0	0	0.523438	-0.17383	0.94043	0.8	0.8
180038	2	0	0	0.021484	0.581055	1.140625	0.8	0.8
184038	2	0	0	0.338867	-0.24414	0.666992	0.8	0.8
188038	2	0	0	-0.53711	-0.31543	0.826172	0.8	0.8
192038	2	0	0	0.414062	-1.55176	0.768555	0.8	0.8
196038	2	0	0	-0.11621	0.373047	1.178711	0.8	0.8
200038	2	0	0	0.139648	0.005859	0.897461	0.8	0.8
204038	2	0	0	-0.10156	-1.37988	1	0.8	0.8
208038	2	0	0	0.313477	-0.50195	0.729492	0.8	0.8

212038	3	0	0	-0.22949	0.061523	0.955078	0	0
216038	3	0	0	-0.23145	0.064453	0.958984	0	0
220038	3	0	0	-0.23145	0.066406	0.955078	0	0
224038	3	0	0	-0.23438	0.05957	0.951172	0	0
228038	3	0	0	-0.23145	0.061523	0.955078	0	0
232038	3	0	0	-0.23438	0.061523	0.953125	0	0
236038	3	0	0	-0.2334	0.061523	0.952148	0	0
240038	3	0	0	-0.23438	0.063477	0.955078	0	0
244038	3	0	0	-0.23731	0.05957	0.957031	0	0
248038	3	0	0	-0.11621	1.407227	0.924805	0.8	0.8
252038	3	0	0	-0.57129	-0.39453	1.057617	0.8	0.8
256038	3	0	0	0.453125	-0.85254	0.953125	0.8	0.8
260038	3	0	0	0.251953	0.449219	0.945312	0.8	0.8
264038	3	0	0	0.219727	0.513672	0.930664	0.8	0.8
268038	3	0	0	-0.36816	0.053711	0.892578	0	0
272038	3	0	0	-0.41699	0.039062	0.882812	0	0
276038	3	0	0	-0.42188	0.039062	0.886719	0	0
280038	3	0	0	-0.41895	0.041992	0.881836	0	0
284038	3	0	0	-0.41895	0.040039	0.878906	0	0
288038	3	0	0	-0.37402	-0.25879	0.916016	0.5	0.8
292038	3	0	0	0.104492	0.376953	1.043945	0.5	0.8
296038	3	0	0	0.617188	-0.43652	1.155273	0.5	0.8
300040	3	0	0	-0.67578	0.414062	0.732422	0.5	0.8
304038	3	0	0	0.035156	1.65918	1.472656	0.5	0.8
308038	3	0	0	-0.125	0.013672	0.976562	0	0
312038	3	0	0	-0.13379	0.013672	0.972656	0	0
316038	3	0	0	-0.13672	0.012695	0.972656	0	0
320038	3	0	0	-0.13867	0.011719	0.97168	0	0
324038	3	0	0	-0.1416	0.012695	0.973633	0	0
328038	3	0	0	0.360352	-1.34766	0.946289	0.8	0.5
332038	3	0	0	0.244141	-1.03125	0.850586	0.8	0.5
336038	3	0	0	-0.00684	-0.13672	1.197266	0.8	0.5
340038	3	0	0	-0.57129	-0.68848	1.361328	0.8	0.5
344038	3	0	0	0.44043	-0.72461	0.808594	0.8	0.5
348038	4	0	0	-0.47656	0.037109	0.849609	0	0
352038	4	0	0	-0.47363	0.036133	0.852539	0	0
356038	4	0	0	-0.3877	0.022461	0.90918	0	0
360038	4	0	0	-0.04492	-0.00684	0.999023	0	0
364038	4	0	0	0.011719	0.016602	1.024414	0	0
368038	4	0	0	0.008789	0.011719	0.96875	0	0
372038	4	0	0	-0.0127	0.052734	0.99707	0	0
376038	4	0	0	-0.00977	0.003906	0.986328	0	0
380038	4	0	0	-0.00098	0.015625	0.984375	0	0
384038	4	0	0	-0.02832	0.018555	0.993164	0	0
388038	4	0	0	-0.0127	0.018555	0.987305	0	0
392038	4	0	0	-0.01563	0.017578	0.989258	0	0
396038	4	0	0	-0.01563	0.016602	0.984375	0	0
400038	4	0	0	-0.01856	0.018555	0.985352	0	0
404038	4	0	0	-0.01758	0.015625	0.985352	0	0

408038	5	0	0	0.283203	-1.07715	0.949219	0.8	0.8
412038	5	0	0	-0.05664	-0.86328	0.822266	0.8	0.8
416038	5	0	0	0.017578	0.282227	0.958984	0.8	0.8
420038	5	0	0	-0.19434	0.605469	1.046875	0.8	0.8
424038	5	0	0	0.091797	-0.60449	1.164062	0.8	0.8
428038	5	0	0	0.016602	0.017578	0.983398	0	0
432038	5	0	0	0.011719	0.017578	0.982422	0	0
436038	5	0	0	0.012695	0.018555	0.985352	0	0
440038	5	0	0	0.003906	0.013672	0.995117	0	0
444038	5	0	0	0.011719	0.016602	0.986328	0	0
448038	5	0	0	-0.0752	0.416016	0.875977	0.5	0.8
452038	5	0	0	-0.06641	0.3125	0.944336	0.5	0.8
456038	5	0	0	-0.30273	-0.35645	1.057617	0.5	0.8
460038	5	0	0	0.070312	-0.30859	0.799805	0.5	0.8
464038	5	0	0	0.074219	-0.81055	0.900391	0.5	0.8
468038	5	0	0	-0.02539	-0.00684	0.982422	0	0
472038	5	0	0	-0.03027	-0.00586	0.981445	0	0
476038	5	0	0	-0.0332	-0.00977	0.988281	0	0
480038	5	0	0	-0.03418	-0.00684	0.982422	0	0
484038	5	0	0	-0.0332	-0.00977	0.987305	0	0
488038	5	0	0	-0.19727	1.4375	1.056641	0.8	0.5
492038	5	0	0	0.117188	-0.60938	1.083984	0.8	0.5
496038	5	0	0	-0.09082	0.095703	0.84668	0.8	0.5
500038	5	0	0	0.094727	-2	1.158203	0.8	0.5
504038	5	0	0	0.393555	0.454102	1.277344	0.8	0.5
508038	5	0	0	-0.0332	0.033203	0.984375	0	0
512038	5	0	0	-0.03223	0.032227	0.983398	0	0
516038	5	0	0	-0.03125	0.030273	0.984375	0	0
520038	5	0	0	-0.03613	0.03125	0.980469	0	0
524038	5	0	0	-0.03418	0.032227	0.983398	0	0
528038	5	0	0	-0.03711	0.032227	0.985352	0	0
532038	5	0	0	-0.03809	0.030273	0.987305	0	0
536038	5	0	0	-0.03613	0.032227	0.986328	0	0
540038	5	0	0	-0.03516	0.027344	0.986328	0	0
544038	5	0	0	-0.03516	0.029297	0.984375	0	0
548038	5	0	0	-0.03613	0.03125	0.987305	0	0
552038	5	0	0	-0.03613	0.02832	0.985352	0	0
556038	5	0	0	-0.03418	0.030273	0.987305	0	0
560038	5	0	0	-0.03613	0.032227	0.986328	0	0
564038	5	0	0	-0.03809	0.030273	0.980469	0	0

568038	6	35.60159	139.6851	0.072266	-1.09277	0.514648	0.8	0.8
572038	6	35.60154	139.6851	0.024414	0.06543	1.407227	0.8	0.8
576038	6	35.60151	139.6851	-0.07715	1.354492	0.736328	0.8	0.8
580038	6	35.6015	139.6851	-0.03223	0.385742	1.228516	0.8	0.8
584038	6	35.60149	139.6851	0.418945	0.128906	0.579102	0.8	0.8
588038	6	35.60147	139.6851	0.06543	-0.00488	0.987305	0	0
592038	6	35.60146	139.6851	0.069336	-0.01074	0.983398	0	0
596038	6	35.60144	139.6851	0.070312	-0.00391	0.981445	0	0
600038	6	35.60143	139.6851	0.070312	-0.00488	0.983398	0	0
604038	6	35.60142	139.6851	0.069336	-0.00977	0.987305	0	0
608038	6	35.60142	139.6851	0.033203	0.844727	0.623047	0.5	0.8
612038	6	35.60142	139.6851	0.801758	-1.70117	0.827148	0.5	0.8
616038	6	35.60142	139.6851	-0.21582	-0.02734	0.943359	0.5	0.8
620038	6	35.60142	139.6851	-0.41016	1.121094	1.198242	0.5	0.8
624038	6	35.60142	139.6851	0.326172	0.265625	1.287109	0.5	0.8
628038	6	35.60142	139.6851	-0.00781	0.041992	0.983398	0	0
632038	6	35.60142	139.6851	-0.0127	0.040039	0.983398	0	0
636038	6	35.60132	139.6849	-0.0127	0.039062	0.987305	0	0
640038	6	35.60139	139.6851	-0.0127	0.041992	0.986328	0	0
644038	6	35.60136	139.6852	-0.0127	0.040039	0.983398	0	0
648038	6	35.60136	139.6852	0.328125	-1.09863	0.673828	0.8	0.5
652038	6	35.60138	139.6852	-0.03809	-0.08301	1.322266	0.8	0.5
656038	6	35.60141	139.6852	0.051758	-0.05176	1.076172	0.8	0.5
660038	6	35.60141	139.6852	-0.04102	0.642578	1.070312	0.8	0.5
664038	6	35.60141	139.6852	0.196289	0.167969	0.59375	0.8	0.5
668038	6	35.60141	139.6852	0.082031	-0.06055	0.976562	0	0
672038	6	35.60141	139.6852	0.092773	-0.05469	0.979492	0	0
676038	6	35.60141	139.6852	0.088867	-0.05371	0.987305	0	0
680038	6	35.60141	139.6848	0.09082	-0.04883	0.984375	0	0
684038	6	35.60143	139.6849	0.092773	-0.05273	0.979492	0	0
688038	6	35.60148	139.6851	0.089844	-0.04785	0.986328	0	0
692038	6	35.60148	139.685	0.09082	-0.04883	0.985352	0	0
696038	6	35.60149	139.685	0.086914	-0.04981	0.981445	0	0
700038	6	35.6015	139.685	0.086914	-0.05078	0.986328	0	0
704038	6	35.60149	139.685	0.088867	-0.05176	0.983398	0	0
708038	6	35.60149	139.685	0.089844	-0.05078	0.985352	0	0
712038	6	35.6015	139.685	0.089844	-0.05078	0.984375	0	0
716038	6	35.60149	139.685	0.086914	-0.05078	0.979492	0	0
720038	6	35.6015	139.685	0.089844	-0.05078	0.984375	0	0
724038	6	35.6015	139.685	0.088867	-0.05371	0.981445	0	0

○ 結論

以上の結果から、ミッションの状態が分かる制御ログが取れていることが確認出来た。

ミッション要求を満たすための試験内容

(V12) 着地衝撃試験

作成者 永井 和希

ミッション要求 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
------------	---

○ 目的

- 着地時に発生する衝撃に機体が耐えられるかどうかを確認する。

○ 試験日程

- 試験期間
2021/09/26
- 試験場所
東京工業大学 大岡山キャンパス
- 参加者
徳安 彰大
野村 昇冴
鷲 優希

○ 準備事項

- 試験対象
 - Cansat
- 図 6.12.1 に試験系の図を示す。



図 6.12.1 試験系

■ 試験方法

● 試験条件

CanSat を想定される速度 (5m/s) で落とす。

エネルギー保存則より，落下速度が 5m/s となる高度は

$$\frac{1}{2}v^2 = gh \rightarrow h = \frac{v^2}{2g} = 1.27\text{m}$$

したがって CanSat を高度 1.3m から落下させる

● 試験手順

- 周りの安全，身の安全を確認する。
- 所定の高さから落下させる。
- 落下によって CanSat が壊れていないことを確認する
- CanSat の電氣的機能が正常であることを確認する。
- 3, 4 をパラシュート試験後も確認する。

● 測定・確認項目

試験における測定・確認項目を以下の表 6.12.1 に示す。

表 6.12.1 測定・確認項目

No.	確認目的	対応する試	測定・確認項目	測定・確認方法	判定基準
-----	------	-------	---------	---------	------

		験フロー			
1	落下高さの確認	(2)	落下高さが 1.3m であることの確認	メジャーを用いた目視	落下高さが 1.3m であること
2	機能確認	(3), (4)	CanSat の外観観察	目視	変形・傷がないこと コネクタ等がきちんと奥まで装着されたままであること
			CanSat の動作確認	CanSat の機能確認用プログラムの起動	正常に機能が動作すること

○ 結果

以下に示す動画と落下後の外観図 6.12.2 により、着地時の衝撃荷重によって、ミッションを実現するための機能が損なわれていないことが確認できた。

動画リンク：[着地衝撃試験](#)

0:00～CanSat 落下

0:12～外観チェック

0:38～:GPS と加速度の値を取得開始

5:58～:GPS と加速度の値を取得完了・機能確認終了

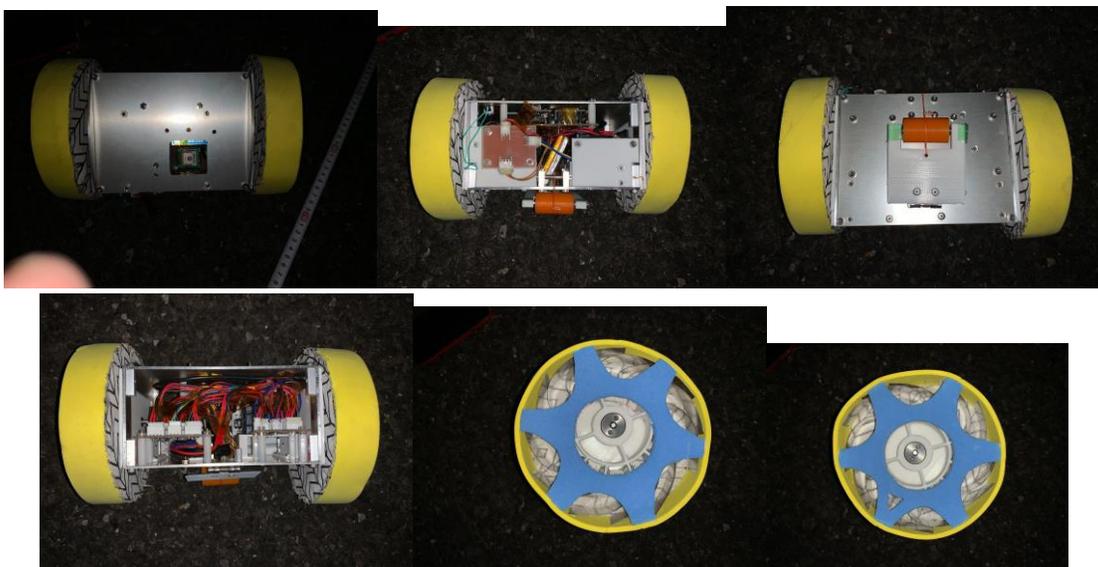


図6.12.2 着地衝撃試験,試験前機体外観

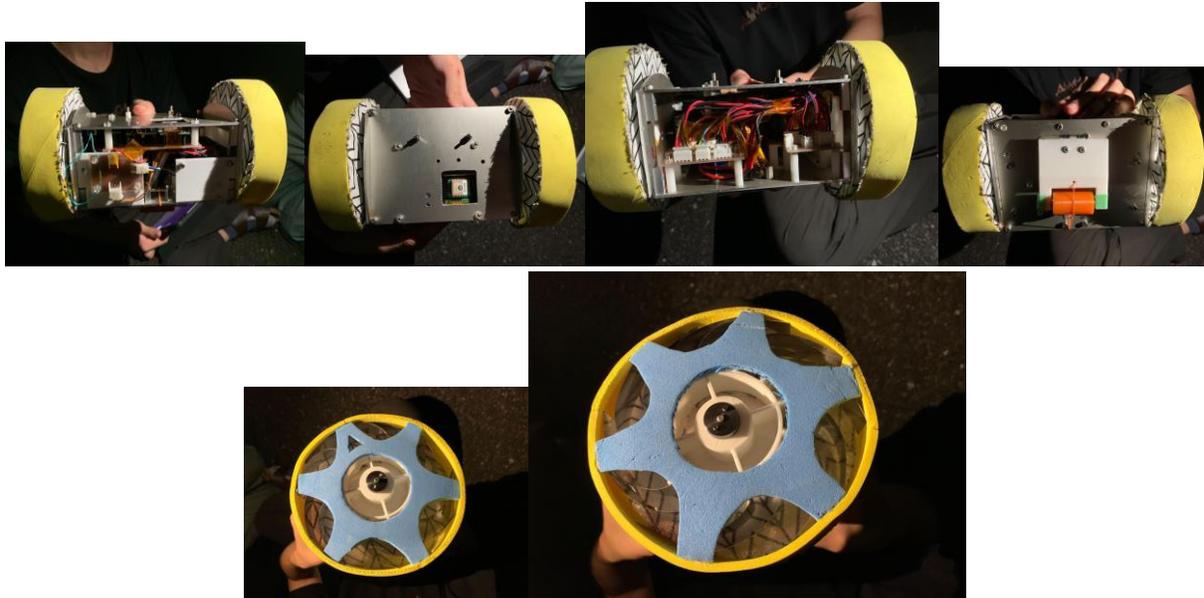


図6.12.3 着地衝撃試験,試験後外観

○ 結論

以上より、着地時の衝撃によってミッションを実現するための機能が損なわれていないことが確認できた。

追記

落下高さをパラシュート投下試験において確認された最大の落下速度である 5.75m/s となるような高さ 1.7m から落下させて着地衝撃試験の再試験を行った。

○ 試験方法

■ 同上のため、省略

○ 結果

以下に示す動画と落下前の外観図 6.12.4, 落下後の外観図 6.12.5 により、着地時の衝撃荷重によって、ミッションを実現するための機能が損なわれていないことが確認できた。

動画リンク : <https://youtu.be/0tNtC2zbWj0>

0:00~CanSat 落下

0:22~外観チェック

1:00~:GPS と加速度の値を取得開始

3:18~:GPS と加速度の値を取得完了・機能確認終了

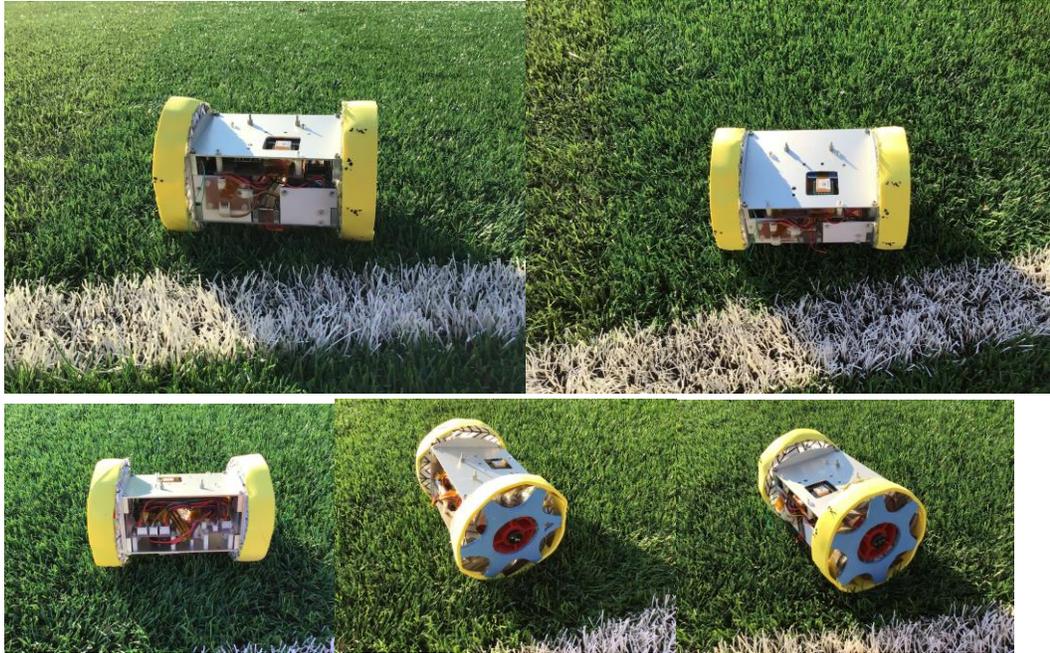


図 6.12.4 試験前の外観



図 6.12.5 試験後の外観

○ 結論

以上より、実際に投下試験に用いるパラシュートにおいて生じ得る着地時の衝撃を受けてもミッションを実現するための機能が損なわれないことが確認できた。

(V13) 電力耐久試験

作成者 永井和希

ミッション要求 M2	シーケンスを実施するために十分な電力を供給できる
------------	--------------------------

○ 目的

- メインボードに電力を供給し、衛星が活動を終了するまで連続して電力を安定供給できるかを確認する。バッテリーが活動に必要な電力を十分有している点を評価の対象とする。

○ 試験日程

- 試験期間
2021/10/17
- 試験場所
東京工業大学 大岡山キャンパス
- 参加者
永井 和希
小林 大輝
徳安 彰大
安田 萌恵
鷲 優希

○ 試験内容

- 試験手順
 - End to End 試験のシーケンスを行い、バッテリーが途中で切れることなくシーケンス終了まで実施できることを確認する。
- 各項目のトータル時間
 - 各シーケンス時間と累積時間を次の表 6.13.1 に示す。なお、シーケンス実施場所との間の移動時間は含まれていない。

表 6.13.1 シーケンス及びその時間

シーケンス番号	状態	時間	累計時間 (時:分:秒)
	投下前待機時間	90 分	1:30:00
0	放出～投下～着地判定	2 分	1:32:00
0	パラシュート溶断	20 秒	1:32:20
1	正立	1 分	1:33:20
2	待機	30 秒	1:33:50

3	無積載走行	1分40秒	1:35:30
4	待機	1分	1:36:30
5	2.5kg 積載走行・待機	2分40秒	1:39:10
6	4.0kg 積載走行・待機	2分40秒	1:41:50

○ 結果

- 以下の図 6.13.1, 図 6.13.2, 図 6.13.3 が電力耐久試験中の CanSat である。ミッションシーケンス終了までバッテリーは途切れることなく正常に動作した。

○



図 6.13.1 電力待機時間前

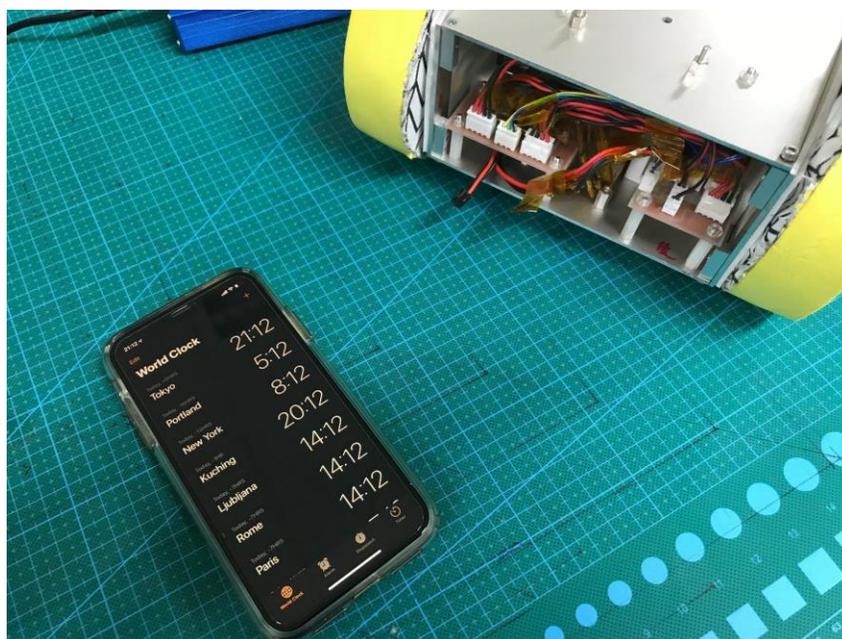


図 6.13.2 電力待機時間後

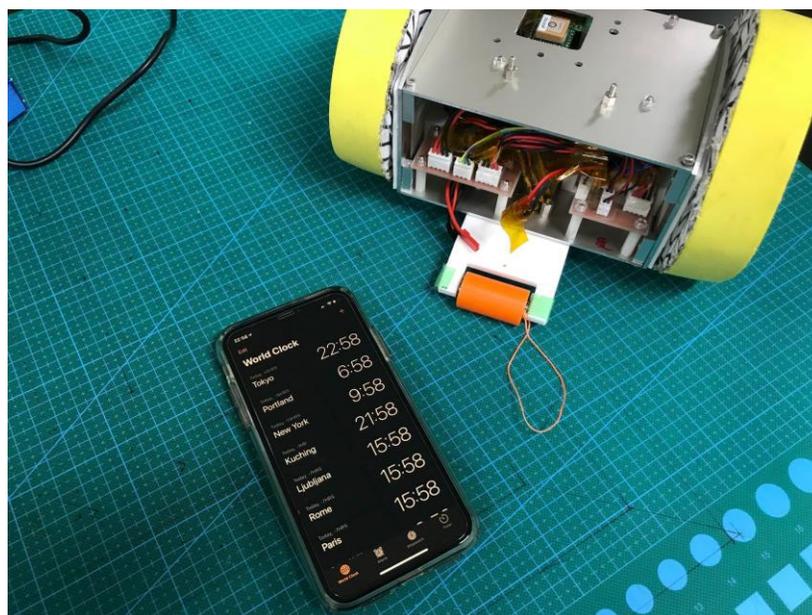


図 6.13.3 シークエンス実行後

○ 結論

- CanSat の活動開始から終了まで電力の供給が出来ることを確認出来た。

(V14) OBC 起動試験

作成者 鷲 優希

ミッション要求 M3	OBC の起動が正常に行われること
------------	-------------------

- 目的
OBC (mbed) が正常に起動できることを確認する.
 - 試験日程
 - 試験期間
2021/08/27 午後 12:00-13:00
 - 試験場所
東京工業大学 大岡山キャンパス
 - 参加者
安田 萌恵
鷲 優希
 - 試験方法
本試験は (V8) 通信機電源 OFF/ON 試験と同時に実施した.
 - 試験対象
 - メイン基板
 - LiPo バッテリー
 - 地上局側 MU2 通信機
- 試験系を以下の図 6. 14. 1 に示す.

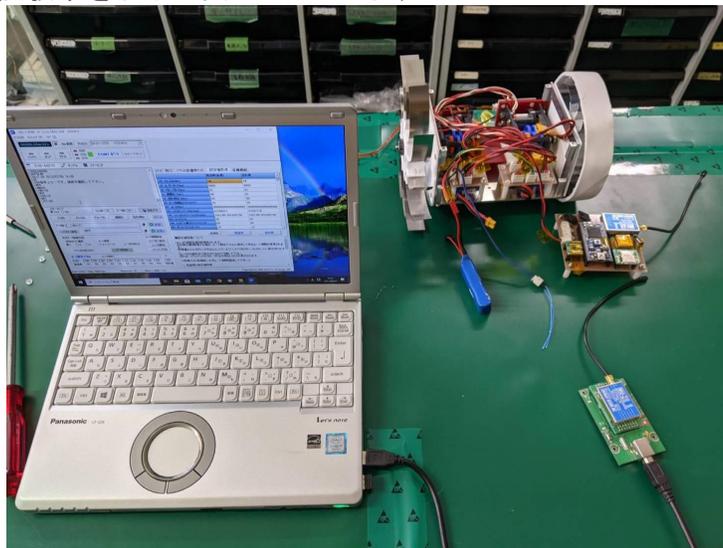


図6.14.1 試験系の様子

- 試験手順
 - (1) フライトピンが挿入されている状態でテスターを用いて

CanSat 搭載 MU2 通信機の電源電圧を測定し、電源が OFF であることを確認する。

(2) フライトピンを抜き OBC を起動させたのち、CanSat 搭載 MU2 通信機の電源電圧を測定し、電源が ON であることを確認する。

● 測定・確認項目

本試験の測定・確認項目を以下の表 6.14.1 に示す。

表6.14.1 測定・確認項目

No.	確認目的	対応する試験手順	測定項目 確認項目	測定方法 確認方法	判定基準
1	フライトピンの確認	(1)	フライトピンが挿入されていること	目視	フライトピンが挿入されていること
2	OBC の電源電圧	(1)	OBC の電源電圧	テスター	電源電圧が 0V であること
3	MU2 の電源電圧の確認	(1)	MU2 の電源電圧	テスター	電源電圧が 0V であること
4	フライトピン取り外しの確認	(2)	フライトピンが取り外されていること	目視	フライトピンが取り外された状態であること

5	OBC の起動確認	(2)	OBC の起動確認	目視およびテスターで5V 電源部分を測定	OBC が起動している
6	MU2 の電源電圧の確認	(2)	MU2 の電源電圧	テスター	電源電圧が MU2 の動作電圧であること

● 結果

フライトピンが挿入されている状態において OBC の電源電圧は 0V (図 6. 14. 2 左) であった。フライトピンを取り外した状態において OBC が起動したことを LED 点灯により目視で確認した。その後、テスターで OBC に 5V 電源が供給できていることを確認した (図 6. 14. 3 右)。

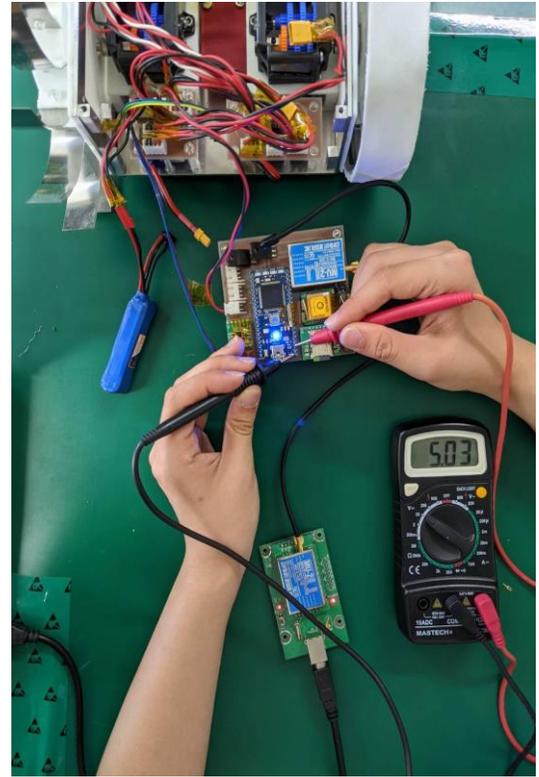
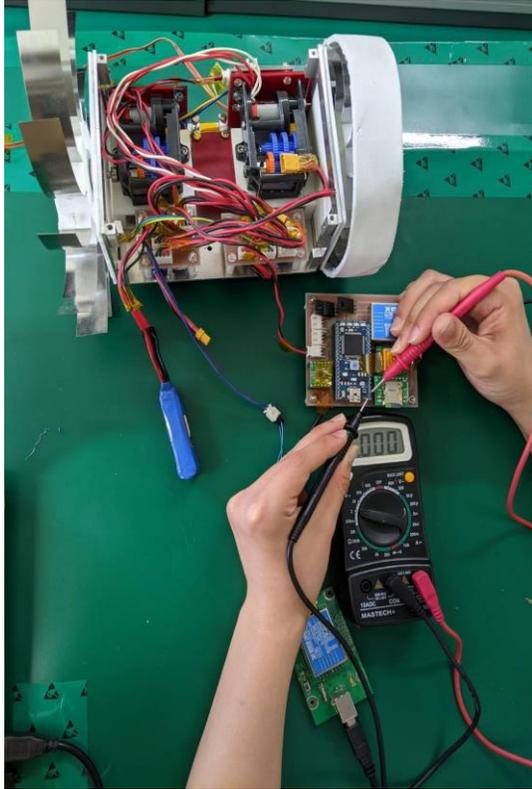


図 6. 14. 2 OBC の電源電圧測定 (左:フライトピン挿入時, 右:フライトピンを抜いた時)

上記試験を実施した際の動画は以下である.

https://youtu.be/4U2Nxi1_j0w

● 結論

以上より, フライトピンの引き抜きにより OBC の起動が正常に行われることが確認できた.

(V15) パラシュート分離試験

作成者: 田村 真也

ミッション要求 M4	パラシュートが分離できること
------------	----------------

○ 目的

機体が着地後, 風により流されることを防ぐためにパラシュートを分離する. 本試験ではパラシュートと機体が, 機体に設けられたテグス溶断機構により分離することを確認する. また, 本機構を使用することにより, ミッション中の加熱時間である

10 秒以内にテグス溶断が完了することを確認する.

- 試験期間
2021/09/07/21:30~22:00
- 試験場所
東京工業大学 大岡山キャンパス
- 参加者
田村 真也
安田 萌恵
竹田 有希
小林 大樹
- 試験方法
 - 試験対象
 - Cansat
試験系を図 6.15.1 に示す

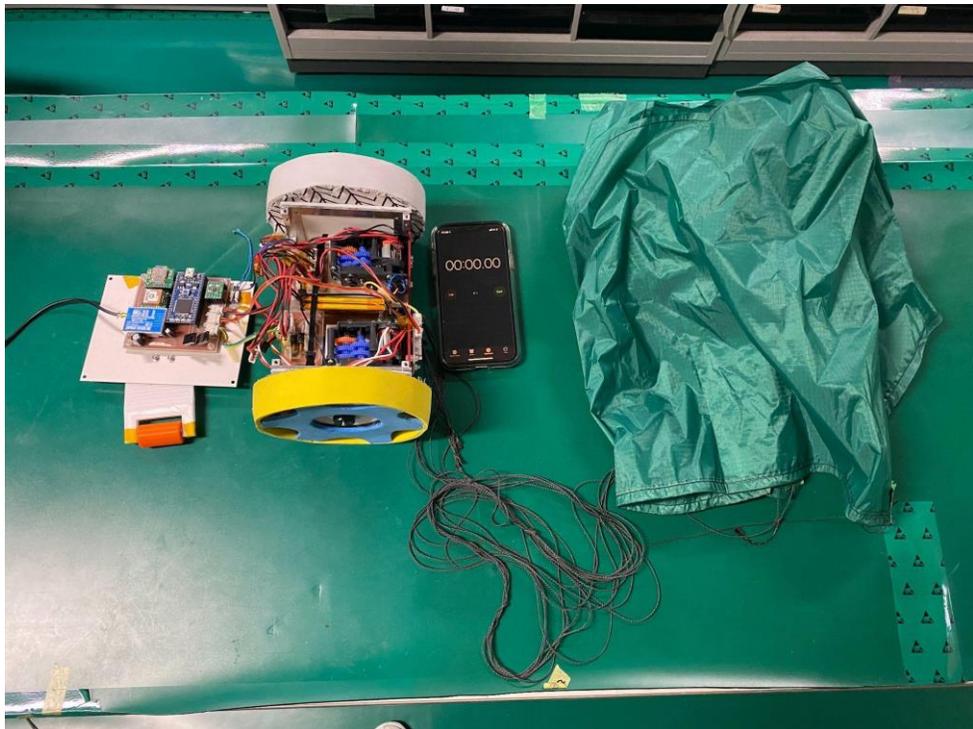


図 6.15.1 試験系

- 試験手順
 1. ニクロム線に電力供給, 溶断までの時間計測
 2. テグス溶断後にパラシュート紐が抜けることを確認
- 測定・確認項目

試験における測定・確認項目を表 6.15.1 に示す。

表 6.15.1 測定・確認項目

No.	確認目的	対応する試験フロー	測定項目 確認項目	測定方法 確認方法	判定基準
1	ミッション中の加熱時間である10秒以内にテグス溶断が完了すること	(1)	テグス	目視 溶断中の動画を撮影する（ニクロム線とテグスが接する部分） 時間の計測	テグスが溶断されていることが目視で確認できる
2	分離機構が正しく動作し、パラシュートが分離すること	(2)	分離機構のシャフト パラシュートの紐	目視 写真を撮影する（分離機構、パラシュート紐）	分離機構のシャフトが抜け、パラシュートの紐がシャフトから外れることを目視、手でパラシュート紐を引っ張って確認する

○ 試験結果

- OBC 起動後、溶断シーケンスに入ると 7.9 秒でテグスが溶断されることを確認した。
- テグス溶断後はシャフトが抜け、パラシュート紐を引っ張ることで筐体から分離できていることを確認できた。
- 試験時の動画を以下に示す。

[パラシュート分離試験](#)

○ 結論

以上から、パラシュートが分離できることが確認できた。

(V16) 正立試験

作成者 田村 真也

ミッション要求 M5	スタビライザーが展開し、筐体が積載部を上方へ向けた状態を維持すること
------------	------------------------------------

- 目的
 - スタビライザー展開により積載部が上方へ向けた状態に遷移することを確認する。また、その状態を維持できていることを確認する。
 - 試験対象
 - CanSat 本体
 - 試験内容
 - End to end 試験にて確認する
- 結果
 - (V10)End to end 試験を参照
- 結論
 - スタビライザーの展開により積載部が上方へ向いた状態へ遷移し、その状態を維持できていることを確認できた。

(V17) 走行試験

作成者 竹田 有希

ミッション要求 M7	運搬のための走行制御に必要な機能(前進、左旋回、右旋回)が成立する事
------------	------------------------------------

- 目的
 - Cansat が無積載状態で前進・旋回走行できるか確認する。
 - 走行により低圧車輪が破損しないか確認する。
- 試験日程
 - 試験期間
2021/8/28
 - 試験場所
東京工業大学大岡山キャンパス人工芝グラウンド



- 参加者

竹田有希
徳安彰大
小林大輝
田村真也
野村昇冴

○ 試験内容

■ 試験対象

CanSat 機体

図 6. 17. 1 に試験系の図を示す。



図 6. 17. 1 試験系

■ 試験条件

東京工業大学の人工芝グラウンド

■ 試験手順

1. Mbed に走行試験用のプログラムを書き込む。
2. Mbed に電源を投入し、プログラムを実行する。
3. 15 秒間、前進を行う。
4. 15 秒間、右旋回を行う。
5. 15 秒間、前進を行う。
6. 15 秒間、左旋回を行う。
7. 15 秒間、前進を行う。
8. 停止する。
9. 機体状態を確認する。

■ 測定・確認項目

本試験における測定・確認項目を以下の表 6. 17. 1 に示す。

表 6. 17. 1 測定・確認項目

No	確認項目	対応する試験フロ	測定項目	測定方法 確認方法	判定基準
		—			

1	走行プログラムの開始	(2)	フライトピンを抜き動作の開始を確認	目視	動作の開始を確認
2	Cansat 走行(前進、旋回)の確認	(3)～(7)	Cansat が前進走行できること。 左右の車輪の回転速度差によって左右旋回ができること。	目視	前進時は止まらずに前進フェーズ時間内を走り続けること。旋回走行時は、左右に約 90 度以上曲がっていること。
3	Cansat が走行停止することの確認	(8)	プログラム通り停止すること。	目視	動作の停止の確認
4	車輪の破損がないか確認	(9)	走行終了時に車輪に破損がないこと。	目視	スポークが塑性変形していない。軸が変形していない。外枠が取れていない。

○ 結果

- 走行試験の様子を収めた動画のリンクを以下に示す。

[走行試験](#)

- 走行試験前

1. 走行試験前の Cansat を図 6.17.2 に示す。



図 6. 17. 2 走行試験前

■ 走行試験後

1. 走行試験後の Cansat を図 6. 17. 3 に示す。
2. 走行前と比べて車輪の破損は見られなかった。



図 6. 17. 3 走行試験後

○ 結論

- Cansat が無積載状態で前進・旋回走行できることが確認できた。
- 走行により低圧車輪が破損しなかった。

(V18) 積載走行試験

作成者 小林 大輝

<p>ミッション要求 M8</p>	<p>重量物積載状態での運搬のための走行制御のための機能 (前進、左旋回、右旋回) が成立する事</p>
-------------------	--

○ 目的

- おもり積載時に適切な接地面積になっているか確認する。

- Cansat がおもり積載状態で前進・旋回走行できるか確認する。
- おもり積載状態での走行により低圧車輪および機体が破損しないか確認する。
- 試験日程
 - 試験期間
2021/8/28
 - 試験場所
東京工業大学大岡山キャンパス人工芝グラウンド
 - 参加者
竹田有希
徳安彰大
小林大輝
田村真也
野村昇冴
- 試験内容
 - 試験対象
 - 1. CanSat 機体



図 6. 18. 1 2. 5 kg 積載時



図 6. 18. 2 4. 0 kg 積載

■ 試験器具

1. 定規
2. おもり
 - 1. 25 kg × 2
 - 1. 5 kg



図 6. 18. 3 おもり重量実測値

■ 試験手順

1. Mbed に積載走行試験用のプログラムを書き込む。
2. Cansat におもり 2. 5kg 以上を積載する。

3. 車軸-接地面間距離を定規で測定する。
4. Mbed に電源を投入し、プログラムを実行する。
5. 15 秒間、前進を行う。
6. 15 秒間、右旋回を行う。
7. 15 秒間、前進を行う。
8. 15 秒間、左旋回を行う。
9. 15 秒間、前進を行う。
10. 停止する。
11. 機体状態を確認する。
12. 2~11 の手順をおもりの質量を 4.0kg 以上に変えて再度行う。

■ 測定・確認項目

本試験における測定・確認項目を表 6.18.1 に示す。

表 6.18.1

No.	確認項目	対応する試験フロー	測定項目	測定方法 確認方法	判定基準
1	重量物積載での車輪-接地面間距離測定	(3)	地面と車軸間距離を定規で測定	目視	おもりを積載した状態での車輪-接地面間距離が 54.8mm 以下であること。
2	走行プログラムの開始	(4)	フライトピンを抜き動作の開始を確認	目視	動作の開始を確認すること。
3	Cansat 走行(前進、旋回)の確認	(5)~(9)	Cansat が前進走行できること。 左右の車輪の回転速度差によって左右旋回ができること。	目視	前進時は止まらずに前進フェーズ時間内を両輪駆動で走り続けること。 旋回走行時は、左右に約 90 度以上曲がっていること。

4	Cansat が走行停止すること	(10)	プログラム通り停止すること。	目視	動作の停止を確認すること。
5	車輪の破損がない	(11)	走行終了時に車輪に破損がないこと。	目視	スポークが塑性変形していない。軸が変形していない。外枠が取れていない。

○ 結果

■ 重りを載せた時点での車軸-接地面間距離測定

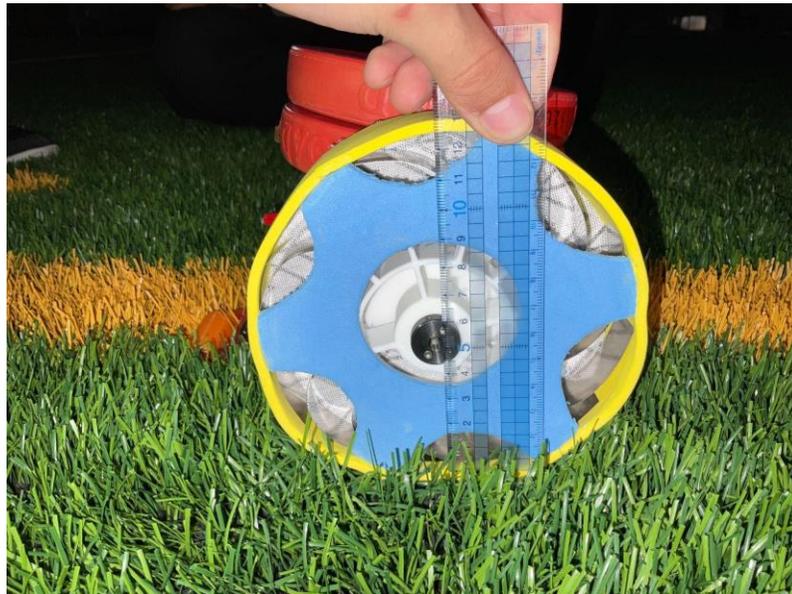


図 6.18.4 2.5 kg 積載時の車軸-接地面間距離

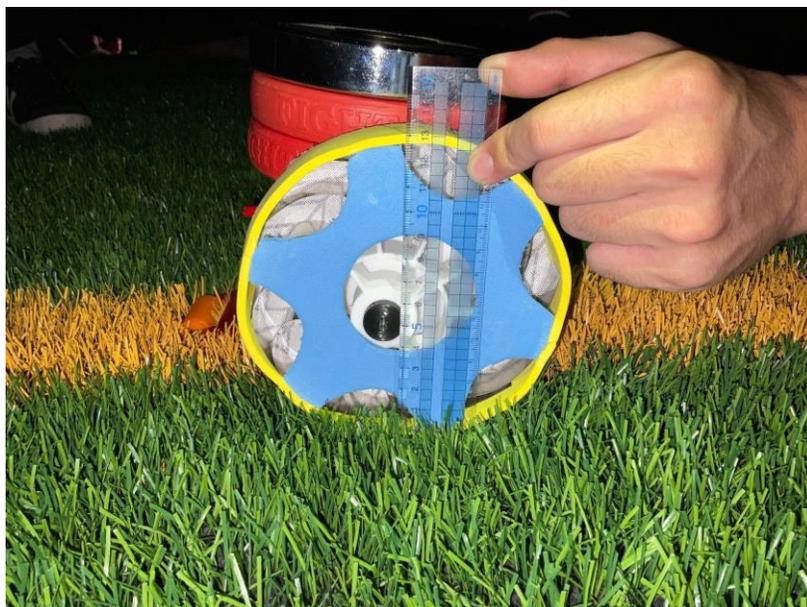


図 6.18.5 4.0 kg 積載時の車軸-接地面間距離

積載重量 (kg)	2.5	4.0
車軸-接地面間距離 (mm)	52	49

以上のように低圧車輪の設計値である車軸-接地面間距離をフルサクセスである 37.0 mm 以上 63.7 mm 以下、アドバンスドサクセスである 37.0 mm 以上 56.6 mm 以下を満たしていることを確認できた。

■ 重りを載せた状態での積載走行試験

積載走行試験の様子を収めた動画のリンクを以下に示す。

[積載走行試験 2.5kg](#)

[積載走行試験 4.0kg](#)

■ 車輪の破損確認

積載走行試験後の車輪の写真で確認を行った。

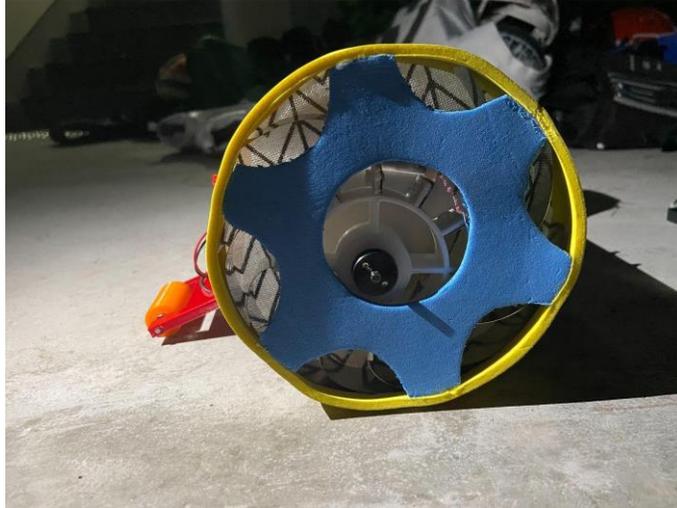


図 6.18.6 積載物走行試験直後の写真

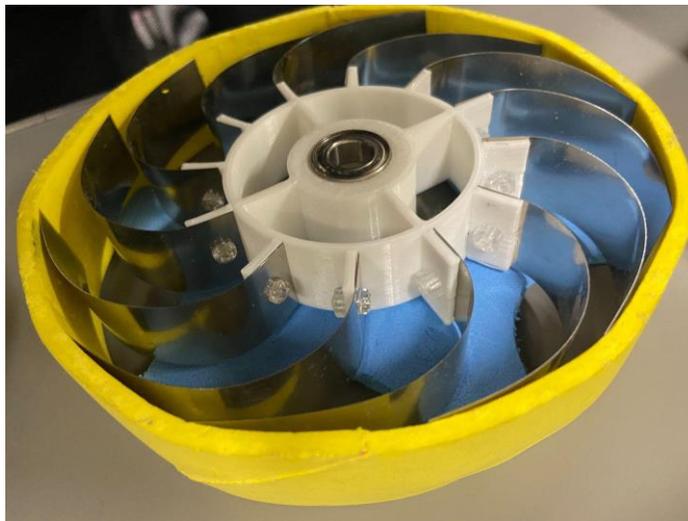


図 6.18.7 積載物走行試験後のスポークの様子

積載走行試験前後でスポークに変化はなく、塑性変形していないことが確認できた。

○ 結論

- おもり積載時に適正な接地面積になることが確認できた。また、Cansatがおもり積載状態で前進・旋回走行できることが確認できた。さらに、おもり積載状態での走行により低圧車輪が破損しないことが確認できた。

第7章 工程管理、ガントチャート（スプレッドシートを推奨）

各担当（ハード・ソフト・全体などの進行状況・予定を記入）

ガントチャート

第8章 大会報告結果

1. 目的

本投下試験では CanSat に適応可能な低圧車輪が重量物を載せた状態で設計通りの車輪の沈下量と走行トルクを発揮し走行する事が可能かを検証した。

2. 結果

サクセスクライテリアの達成状況は表 8.2.1 の通りである。

表 8.2.1 サクセスクライテリアの達成状況

	評価内容	評価方法	1度目の投下	2度目の投下
ミニマムサクセス	着地衝撃で車輪が破損せず、重量物の積載無しで前進1m以上、右旋回90度以上、左旋回90度以上が可能であることを確認する。	車輪の破損状態は目視、走行・旋回しているかは目視とメジャーによる距離の測定、スマートフォンのコンパス機能による角度の測定により確認する。	△ 車輪破損無しを目視で確認	△ 車輪破損無しを目視で確認
フルサクセス	質量2.5kgの錘を積載し、前進1m以上、左旋回90度以上、右旋回90度以上が可能であることを確認する。 低圧車輪として機能していることを評価するために、錘を積載した状態での車軸-接	走行・旋回しているかは目視とメジャーによる距離の測定、スマートフォンのコンパス機能による角度の測定により確認する。 車軸-接地面間距離は地面と車軸	×	×

	地面間距離が 37 mm 以上 63.7mm 以下であることを確認する.	間距離を定規で測定し確認する.		
アドバンスドサクセス	質量 4.0kg の錘を積載し, 前進 1m 以上, 左旋回 90 度以上, 右旋回 90 度以上が可能であることを確認する. 低圧車輪として機能していることを評価するために, 錘を積載した状態での車軸-接地面間距離が 37 mm 以上 56.6mm 以下であることを確認する.	フルサクセスと同様.	×	×

1 度目の投下

図 8.2.1 がミッション終了時の画像である. 一度目の投下ではパラシュートとの分離後に CanSat がパラシュートのひもを巻き取り, 離脱不可能となり, ミッションが終了した.

投下時の動画は次のリンクである. [ACTS2021_Onigiri_1 回目](#)



図 8. 2. 1 1 度目の投下におけるミッション終了後の CanSat

また, 1 度目の投下では SD カードにデータが書き込まれておらず, データが破損していた. この問題は SD カードをフォーマットし直したら解決したため, そのまま 2 度目の投下を行った.

2 度目の投下

図 8. 2. 2 がミッション終了時の画像である. 2 度目の投下では CanSat とパラシュートを分離するための溶断が上手くいかず, CanSat がパラシュートのひもを巻き取り離脱不可能となりミッションが終了した.

投下時の動画は以下のリンクである. [ACTS2021_Onigiri_2 回目](#)



図 8. 2. 2 2 度目の投下におけるミッション終了後の CanSat

図 8.2.3 が 2 度目の投下で SD カード内に保存されたデータである。1 度目の投下では SD カードへの保存が行われなかったが、2 度目の投下ではミッション終了時までのシーケンスの実行状況は正しく記録されていた。

経過時間	ミッション シークエン ス中の実行 段階	緯度	経度	加速度計の 取得値			モータにか ける電圧の duty比	
4011	0	0	0	0.734375	-2	-2	0	0
8016	0	0	0	0.295898	0.03418	-0.92285	0	0
12016	0	0	0	0.293945	0.036133	-0.92383	0	0
16016	0	0	0	0.292969	0.03418	-0.92578	0	0
20016	0	0	0	0.291992	0.033203	-0.92481	0	0
24016	0	0	0	0.289062	0.036133	-0.92481	0	0
28016	0	0	0	0.291992	0.038086	-0.92481	0	0
32016	0	0	0	0.286133	0.037109	-0.92578	0	0
36016	0	0	0	0.290039	0.035156	-0.92773	0	0
40016	0	0	0	0.28418	0.036133	-0.92773	0	0
44017	0	0	0	0.289062	0.037109	-0.92578	0	0
48017	0	0	0	0.28418	0.040039	-0.92871	0	0
52017	0	0	0	0.286133	0.037109	-0.92773	0	0
56017	0	0	0	0.28418	0.037109	-0.92969	0	0
60017	0	0	0	0.289062	0.038086	-0.92676	0	0
64017	0	0	0	0.28418	0.038086	-0.92578	0	0
68017	0	0	0	0.286133	0.040039	-0.92578	0	0
72017	0	0	0	0.287109	0.037109	-0.92676	0	0
76017	0	0	0	0.28418	0.036133	-0.92773	0	0
80017	0	0	0	0.287109	0.038086	-0.93066	0	0
84017	0	0	0	0.28418	0.040039	-0.92481	0	0
88017	0	0	0	0.285156	0.039062	-0.92773	0	0
92017	0	0	0	0.283203	0.036133	-0.92188	0	0
96017	0	0	0	0.280273	0.040039	-0.92773	0	0
100017	0	0	0	0.280273	0.037109	-0.92871	0	0
104017	0	0	0	0.282227	0.035156	-0.92773	0	0
108017	0	0	0	0.280273	0.036133	-0.92773	0	0
112017	0	0	0	0.27832	0.038086	-0.92871	0	0
116017	0	0	0	0.283203	0.039062	-0.93066	0	0
120017	0	0	0	0.283203	0.039062	-0.92773	0	0
124017	0	0	0	0.280273	0.036133	-0.92676	0	0
128017	1	0	0	0.279297	0.040039	-0.92773	0	0
132017	1	0	0	0.297852	0.041016	-0.92773	0	0
136017	1	0	0	0.295898	0.036133	-0.91992	0	0
140017	2	0	0	0.296875	0.038086	-0.92383	0	0
144017	2	0	0	0.298828	0.037109	-0.92188	0	0
148017	2	0	0	0.296875	0.037109	-0.91992	0	0
152017	2	0	0	-0.98633	-0.70898	-0.53809	0.8	0.75
156017	2	0	0	-0.51856	-1.27344	0.319336	0.8	0.75
160017	2	0	0	0.885742	-1.34277	0.979492	0.8	0.75
164017	2	0	0	-0.03223	-0.40918	1.079102	0.8	0.75

図 8. 2. 3 2 度目の投下時に SD カード内に保存されたデータ

3. 考察

1 度目の投下

1 度目の投下ではミニマムサクセスの一部である車輪破損無しのみ達成した。失敗の原因としてはコンベックスの強度不足と考えられた。1 度目の投下に使用したコンベックスは EM 開発時から使用し、各種試験を繰り返し行った後のものであり、ACTS での投下時点ですでに剛性が失われていた事が投下後の確認で分かった。

開発時からコンベックスの強度が劣化することを考えず、使用を続けてしまったこと、ACTS での投下前に本審査書の再提出等で時間を取れず、実際に投下しての試験をあまり行わなかったために今回のような失敗の原因の洗い出しが行えなかったことが問題であったと考えられる。

今回の失敗の原因を解決するために、投下前に各種試験を終えた後の実際の投下を伴った End to end 試験を十全に行い、失敗原因の洗い出しを行うという作業をするべきであった。また、その洗い出しの作業を余裕をもって行うためには、ミッション設計に費やす時間をより短くし、各種試験を早く行うようにするべきであった。

2 度目の投下

2 度目の投下ではミニマムサクセスの一部である車輪破損無しのみ達成した。失敗原因としてはパラシュートと CanSat を分離するための溶断が出来なかった事である。溶断が出来なかった原因としては溶断の方法として用いたニクロム線と溶断線の接触による溶断において、接触が不十分であったことが原因であると考えられる。この接触が不十分であった理由としては組み立て時に溶断部の確認が適切に行われなかった事が挙げられる。

今回の失敗の原因を解決するために組み立て時の溶断部確認を必ず行えるような組み立て時の確認項目のリスト化と、今回用いた溶断の方法が適切であったかを様々な条件を加味した上で溶断出来るかの試験を事前に行っておくべきであった。

第9章 まとめ

1. 工夫・努力した点（ハード、ソフト、マネジメント面すべて）

ハード面

- 本ミッションを達成するにあたり必要な要素をすべて既定のサイズに収め、かつ走行時の問題を解決できるように全体の配置を決めた点。
- 本ミッションの目標を達成するにあたり必要な要求仕様を満たす新しい形状の低圧車輪を一から作成した点。

- 月面の環境でも使用可能であり,かつ低圧車輪に必要な十分に柔らかく十分に硬いという条件を満たす材料を選定した点.
- 設計モデル通りの車輪を作成し,そのモデルと設計が正しいことを実際に砂地走行実験にて実証した点.
- この車輪をそのまま月面での砂地でも使用可能であるように砂地でも走行させ,剛体車輪と比較した有用性を実証した点.

ソフト面

- できる限りシンプルなプログラムにすることで,電装班以外のメンバーもプログラムの書き換えが可能になり,デバッグが容易になった点.
- オンラインコンパイラを使用することで誰でもどこでもプログラムを書き換えて使用することを可能にした点.

マネジメント面

- メンバーのタスク管理やスケジュール管理のためにアプリケーションを活用した事.
- ミッション設計時にアイデア出しのためにアプリケーションを活用した事.
- コロナ禍の中でメンバーが集まりにくい状況下でもオンラインで情報共有をするためにクラウドアプリケーションを活用した点.

2. 課題点

ハード面

- 雑草の背丈が高い草地に対しての走行力が乏しくなってしまった点.
- より頑丈かつ軽量な外骨格を模索しきれなかった点.
- SD カードへの書き込み動作が不安定になる原因やモーター作動中に通信ができなくなる原因を突き止めることができなかった点.
- 大電流を扱うため基板枚数が増加してしまっただ点.
- 溶断部の設計が後回しになったために安定した動作がしばらくの間所になってしまった点.
- スタックしないという点に集中して実証する目標は達成できたが,他の状況として滑りを考慮していなかった点.

ソフト面

- 宇宙でのミッションを想定した場合に必要な機能を完全に実装できていなかった点.

マネジメント面

- 本チームの PM が CanSat 初心者であり,かつ初めて PM としてプロジェクトを進めたため,スケジュール管理やタスクの分配などに難があった.
- BBM 開発後に CanSat 的制約により想定していた CanSat の開発が難しいことが分かり,ミッションの変更をしたため,BBM 段階で時間をかけすぎて後半のスケジュールが非常に詰まってしまった.

3. 今後の展望

チーム Onigiri としての活動は今年度で終了するが、各個人が今後進んでいく研究分野や実際の衛星開発において、本 CanSat の開発における教訓を糧に出来るようにしたい。