

ARLISS大会報告・技術詳細報告書

提出日：2019年 10月 15日

文責：田所 優和

- チーム情報

CanSatチーム名	電気通信大学 Sirius
CanSatチーム 代表者	田所 優和
UNISEC団体名	電気通信大学 高玉研究室
UNISEC団体 学生代表	前川 佳幹
責任教員	高玉 圭樹
CanSatクラス	Open Class

- メンバー

役割	名前（学年）
リーダー／ソフトウェア	田所 優和(M1)
ハードウェア	長谷川 智(M2)
ハードウェア	桃原 明里(M2)
ハードウェア	前川 佳幹(M1)
ソフトウェア	坂本 充生(B4)
回路	河野 航大(B4)
ハードウェア	藁谷 由香(B4)

- CanSatの製作目的・大会参加理由

弊団体はチーム開発を通して協調性を上げること、開発に必要な技術力を身につけること、および研究室におけるCanSatに関する技術向上を目的にCanSat開発およびARLISS大会参加を行っている。

目次

ミッションについて	4
ミッションステートメント	4
ミッションシーケンス	4
サクセスクライテリア	5
要求項目の設定	6
システム要求（安全確保のために満たすべき要求）	6
ミッション要求（ミッションを実現するためのシステム要求）	6
システム仕様	8
CanSat外観/質量/サイズ	8
CanSat内観・機構/電力	12
設計図	16
使用部品	22
プログラム・アルゴリズム	24
会計	29
試験項目設定（項目別試験、結合試験、EndtoEnd試験）	30
実施試験内容	31
工程管理、ガントチャート（スプレッドシートを推奨）	86
チーム内・審査会等	86
各担当（ハード・ソフト・全体などの進行状況・予定を記入）	86
大会結果	88
能代宇宙イベント	88
目的	88
結果	88
取得データ	89
故障原因解析・解決手段等	90
ARLISS	91
目的	91
結果	91
取得データ	93
故障原因解析・解決手段等	98
まとめ	99
工夫・努力した点（ハード、ソフト、マネジメント面すべて）	99
チームのマネジメント等、プロジェクト全体での良かった点、反省点	101

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

惑星探査においては故障したセンサを取り替えることは困難であるが、そのような状況においてもミッションを続行できることが求められる。本ミッションでは、2つの探査機のGPSセンサとカメラが故障した状況を想定し、GPSセンサ搭載・カメラ非搭載のCanSatと、カメラ搭載・GPSセンサ非搭載のCanSatという異なる機体同士が、互いに情報を補い合いながら目的地に到達することを目的とする。本目的達成のために、他機体の状況把握に必要な通信技術と、2機間の距離が離れたときの通信復帰技術を確立し、ARLISSの場においてこれらが有効に作用することを実証する。

2. ミッションシーケンス

ミッション全体の流れは以下の通りである。図2.3.1はこれらの項目を模式的に表したものである。

1. CanSatをキャリアに収納し、待機状態とする。
2. キャリアからCanSatが放出され、放出判定を行う。
3. パラシュートが開傘し、着地したかどうかの判定が開始される。
4. 着地判定したら、パラシュートを切り離す。
5. GPSセンサ搭載のCanSatからGPSセンサ非搭載のCanSat(カメラ搭載CanSat)へゴール方位を通信により情報共有し、2機ともにゴール方向へナビゲーションする。ゴール方位への制御は2機ともに地磁気センサの方位情報を用いる。
6. ゴール付近に達したら、カメラ搭載CanSatが画像処理によりゴールを探索し、0mまで近づきゴール判定する。
7. GPSセンサ搭載CanSatは、既にゴールに達したカメラ搭載CanSatとの通信強度をもとにゴール方位を探索し、進行する。これにより、2機ともにゴール地点へ到達する。

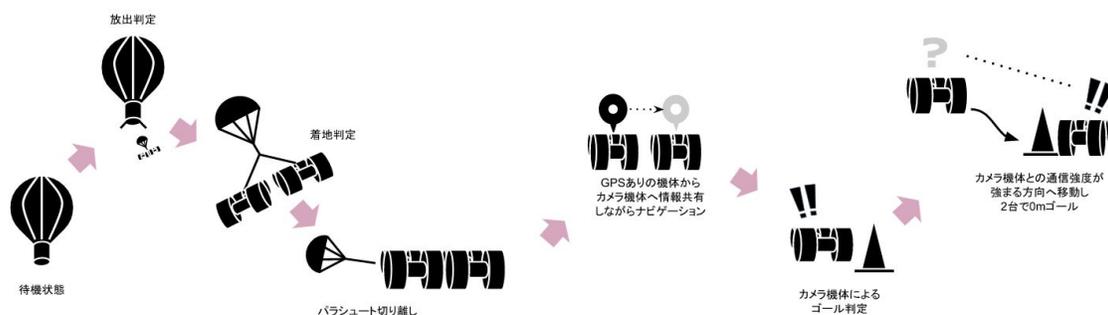


図2.11.1 ミッションシーケンスの流れ

第2章 サクセスクライテリア

ミニマムサクセス	GPS搭載CanSatがカメラ搭載CanSatへゴール方位を通信することにより、2機で走行を開始する。
ミドルサクセス	CanSat同士が離れずにゴール方向へ走行し、距離が離れた場合には接近動作アルゴリズムにより機体間の距離を縮めることができる。具体的には、ミニマムサクセスを満たした上でミッション終了時点での機体間の距離を25m以内とする。
フルサクセス	2機のCanSatがともにゴール地点から50m以内へ到達する。
アドバンスドサクセス	カメラ搭載CanSatがカラーコーンを検出して0mゴールを達成した上で、他方のCanSatへ通信を行い、2機ともに0mゴールを達成する。

第3章 要求項目の設定

1. システム要求（安全確保のために満たすべき要求）

要求番号	自己審査項目（ARLISS打ち上げ安全基準）
S1	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
S2	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
S3	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
S4	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
S5	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
S6	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
S7	パラシュートが開傘する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
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
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
S10	S1-S9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試験を実施できている、今後、安全性に関わる大幅な設計変更はない

2. ミッション要求（ミッションを実現するためのシステム要求）

要求 番号	自己審査項目（ミッション実現要求項目）
M1	着陸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ないことが試験で確認できている
M2	着地後にパラシュートを切り離し、絡まらずにミッションを開始できることを試験で確認できている。
M3	ミッションを実現するために十分なバッテリーがあることを試験で確認できている
M4	着地地点からゴール地点へ走行するための人の手を介さない自律ナビゲーションシステムを有することが試験を通じて確認できている
M5	カメラ画像によりゴール地点のカラーコーンを認識し、0mゴールできることが確認できている
M6	他方のCanSatへ通信することにより情報伝達できることが確認できている
M7	走行中にCanSat同士の通信が切れないよう互いに接近しながら走行でき、通信強度が低下した場合も接近動作により通信強度を維持できていることが確認できている
M8	カメラ搭載CanSatによる0mゴール後、他方のCanSatへ通信することで2機ともに0mゴールできることが確認できている
M9	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る

第4章 システム仕様

1. CanSat外観/質量/サイズ

【外観】

CanSatの正面と背面の画像を図4.1.1, 図4.1.2に示す. 図4.1.1において左側のCanSatがGPSを搭載しており, 右側のCanSatがカメラを搭載している. 図4.1.2においては左側のCanSatがカメラを搭載しており, 右側のCanSatがGPSを搭載している. 本ミッションにおいては, 2機のCanSatをゴール付近へと導くことをフルサクセスとしているため, 悪路に対する安定した走破性能が求められる. そのため, それぞれのCanSatのスポンジタイヤには木製のスパイク(6mm x 6mm x 6mm)を接着し, タイヤの空転を抑えることによってその走破性能を高めている. 同時に, 轍にスタックした際の脱出性能を向上している. それぞれのCanSatの動力には2つのモータを使用しており, タイヤを回転させている. 中央部に取り付けられているサーボモータはスタックからの脱出・パラシュート切り離しの役割を併せもつ.

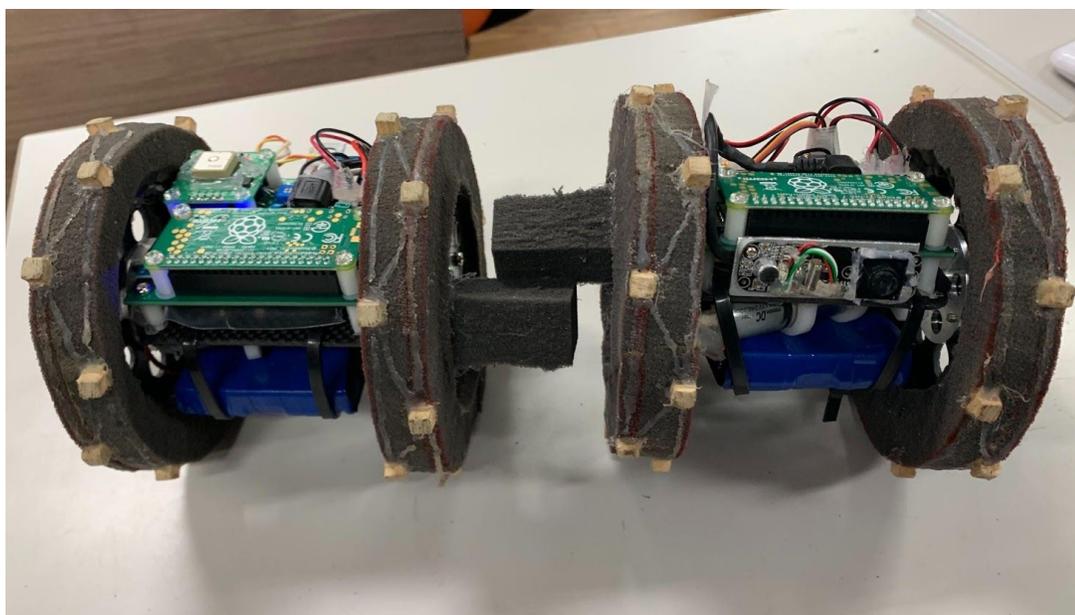


図4.1.1 CanSat外観写真 正面 (左:GPS搭載CanSat, 右:カメラ搭載CanSat)

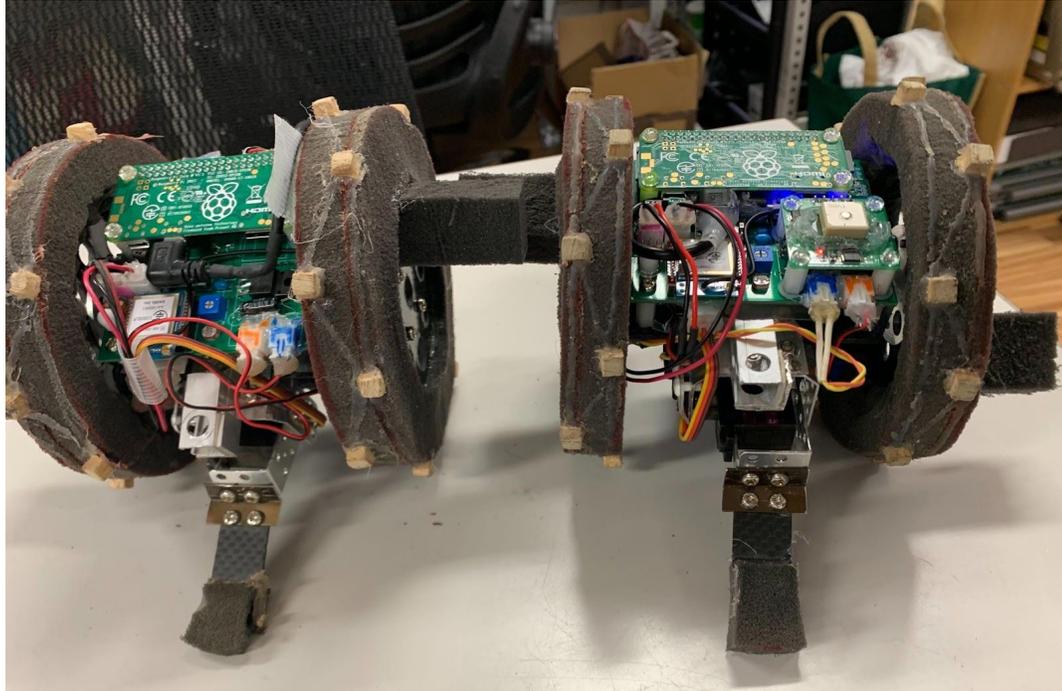


図4.1.2 CanSat外観写真 背面 (左:カメラ搭載CanSat, 右:GPSセンサ搭載CanSat)

図4.1.3, 図4.1.4にパラシュート切り離し機構を示す。パラシュート切り離し機構では、CanSatのサーボモータを動かすことでパラシュートと本体を繋ぐピンを抜いている。また、パラシュート側の部品にバネを仕込むことで、ピンが抜けた際にスムーズにパラシュートとCanSatが分離できるようになっている。実際のパラシュート切り離しの様子は動画(<https://youtu.be/F2JHWL9NWCw>)から確認できる。また、切り離しの際にパラシュート側の部品がスムーズに分離していることも確認できる。

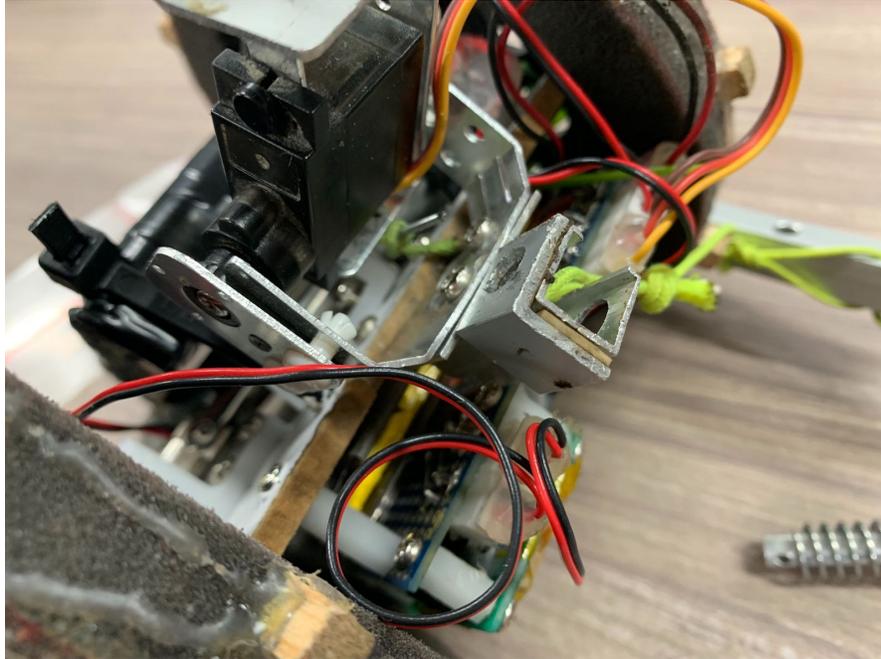


図4.1.3 パラシュート切り離し機構(未装着)

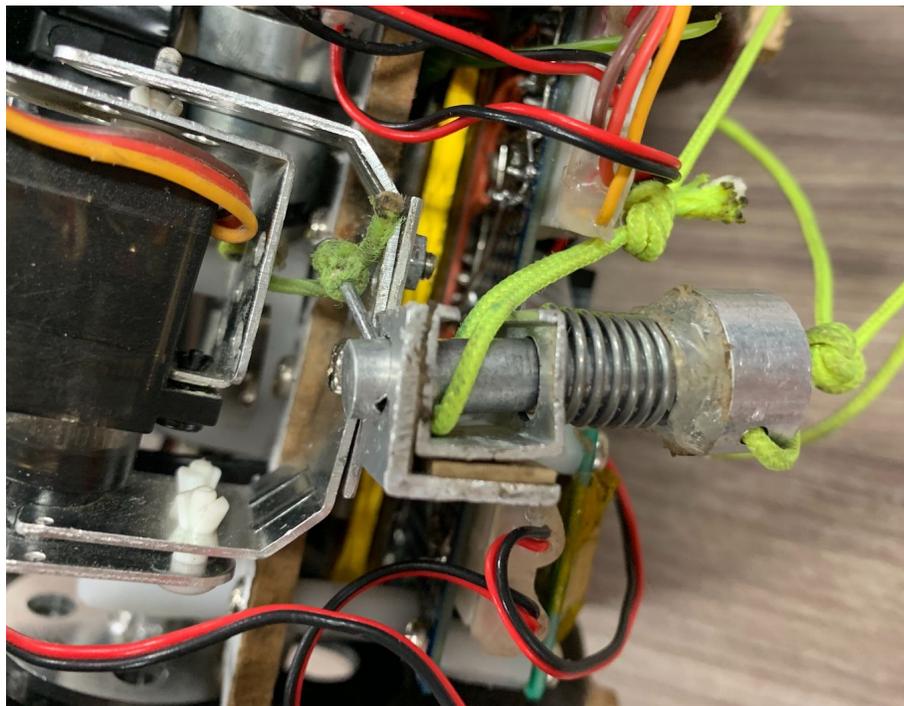


図4.1.4 パラシュート切り離し機構(装着済み)

【質量】

CanSatの質量については、以下の通りである。

CanSat, パラシュート, ホットボンドの合計質量 [g]	1030
CanSatの質量 [g]	901
パラシュートの質量 [g]	125
ホットボンドの質量[g]	4

【サイズ】

図4.1.5, 図4.1.6にCanSatのキャリア収納時の断面図を示す。図4.1.5では、タイヤのスポンジ部分が120mm, パラシュートが23mmで収納されている。木スパイクの高さは6mmである。また、図4.2の緑色の部分はCanSatの横転時に復帰するために用いるスポンジである。収納時は図4.2のようにタイヤのホイールとスポンジの間に入るように曲げている。

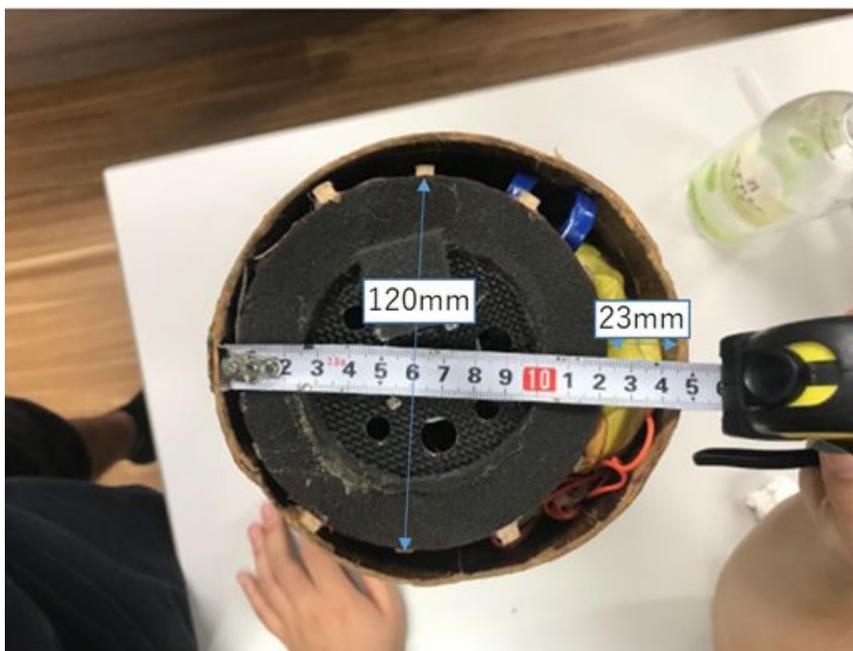


図4.1.5 キャリア上部からの断面図



図4.1.6 キャリア側面からの断面図

2. CanSat内観・機構/電力

- システム図

ミッションシーケンスの各フェーズにおいて、次のフェーズに移行するために9軸センサ（加速度，ジャイロ，地磁気）と気圧センサ，光センサ，GPSセンサ，カメラ，LoRa通信モジュールから得られる値を入力としてCanSatの状態を判定する。本ミッションでは，GPSセンサ，カメラをそれぞれ1台のCanSatのみに搭載し，それらの情報はCanSat間の通信により共有される。以上の情報をもとにゴールまで自律走行させる。図4.2.1にGPSセンサ搭載CanSatのシステム図，図4.2.2にカメラ搭載CanSatのシステム図を示す。

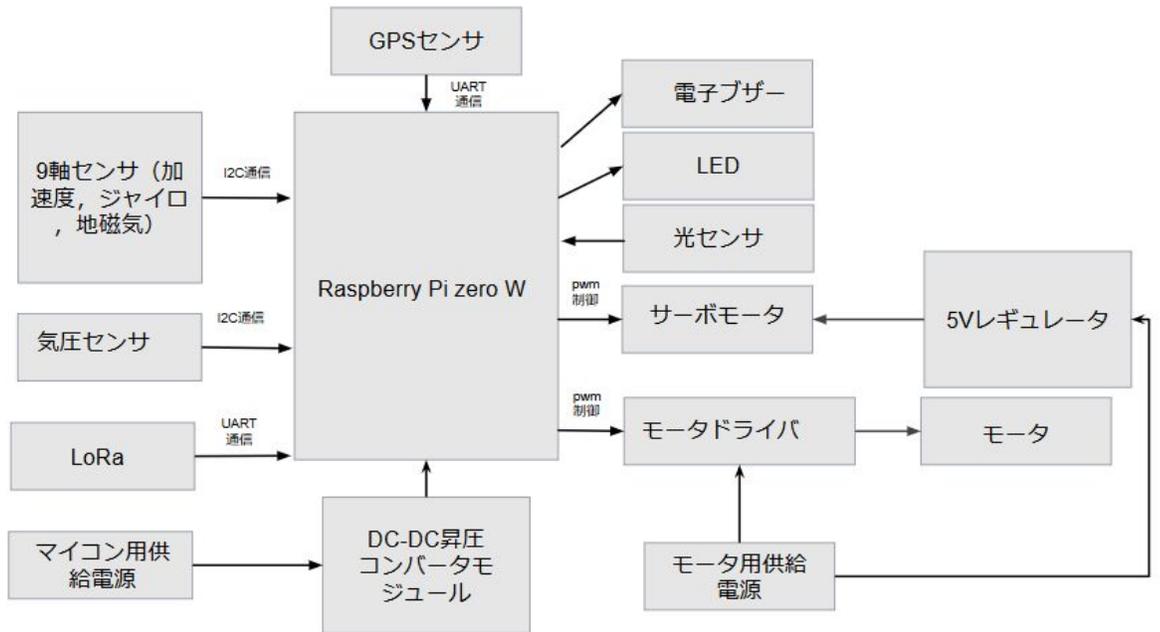


図4.2.1 GPSセンサ搭載CanSatのシステム図

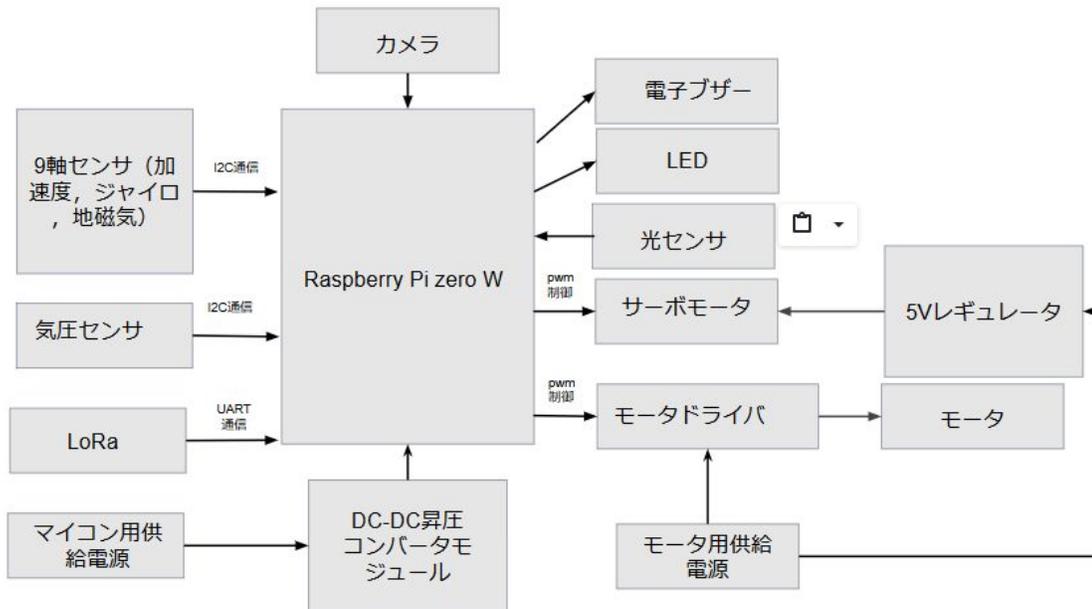


図4.2.2 カメラ搭載CanSatのシステム図

分類	名称・型番	使用目的	入手先URL・参考情報等
マイコン	Raspberry Pi Zero-W	入出力値の計算, ログデータの記録	https://www.switch-science.com/catalog/3646/
GPSセンサ	GMS-G9, PA6H	着地地点座標の取得	http://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-09991/
モータドライバ	DRV8835	モータの出力制御	http://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-09848/
モータ	maxon DC - max B7A17F24E22D	タイヤの回転	https://www.maxongroup.co.jp/maxon/view/catalog
サーボモータ	MG90S	パラシュート切り離し, 姿勢制御	http://akizukidenshi.com/catalog/g/gM-13227/
モータ用供給電源	Energizer単3×4本	モータ及びサーボモータへの電源供給	https://www.walmart.com/search/?query=Energizer%20Ultimate%20lithium
マイコン用供給電源	リチウムイオンポリマー電池 3.7v 2000mAh	マイコン及びセンサ類への電源供給	https://www.marutsu.co.jp/pc/i/836419/
DC-DC昇圧コンバータ	TSP61230A	電源電圧を5Vに昇圧	https://strawberry-linux.com/catalog/items?code=16123
5vレギュレータ	TA4805S	モータ電圧をサーボモータの許容電圧範囲まで降圧する	http://akizukidenshi.com/catalog/g/gM-06350/
9軸センサ	モジュールモデル : GY-9250 チップ : MPU-9250	加速度, 地磁気, ジャイロの値取得	https://www.amazon.co.jp/KHMF-MPU-9250-9アクセスセンサーモジュール-GY-9250-Arduino用/dp/B019C0MHOU/ref=sxbs_sxwds-stvp
気圧センサ	AE-BME280	着地判定	http://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-09421/
電子ブザー	PB04-SE12HPR	光検知中であるかどうかの把握	http://akizukidenshi.com/catalog/g/gP-04497/
光センサ	MI527/MI5527	キャリア放出判定	http://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-00110/
フルカラーLED	OSTA5131A-R/PG/B	実行中シーケンスの把握	http://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-02476/

カメラ	HD Webcam C270	他方のCanSatの検知とゴール検知	https://www.amazon.co.jp/Ls_OGICOOL-ウェブカム-HD画質-120万画素-C270/dp/B003YUB660/ref=as_li_ss_tl
LoRa	ES920LRA1B	機体間の通信, ロスト対策としての地上局との長距離通信	https://tokyodevices.jp/items/252

- 電力

満充電時の電圧は以下の通りである.

制御回路用電源	4.07 [V]
モータ用電源	7.02 [V]

制御が停止する電圧は以下の通りである.

制御回路用電源	3.76 [V]
モータ用電源	2.44 [V]

● 設計図

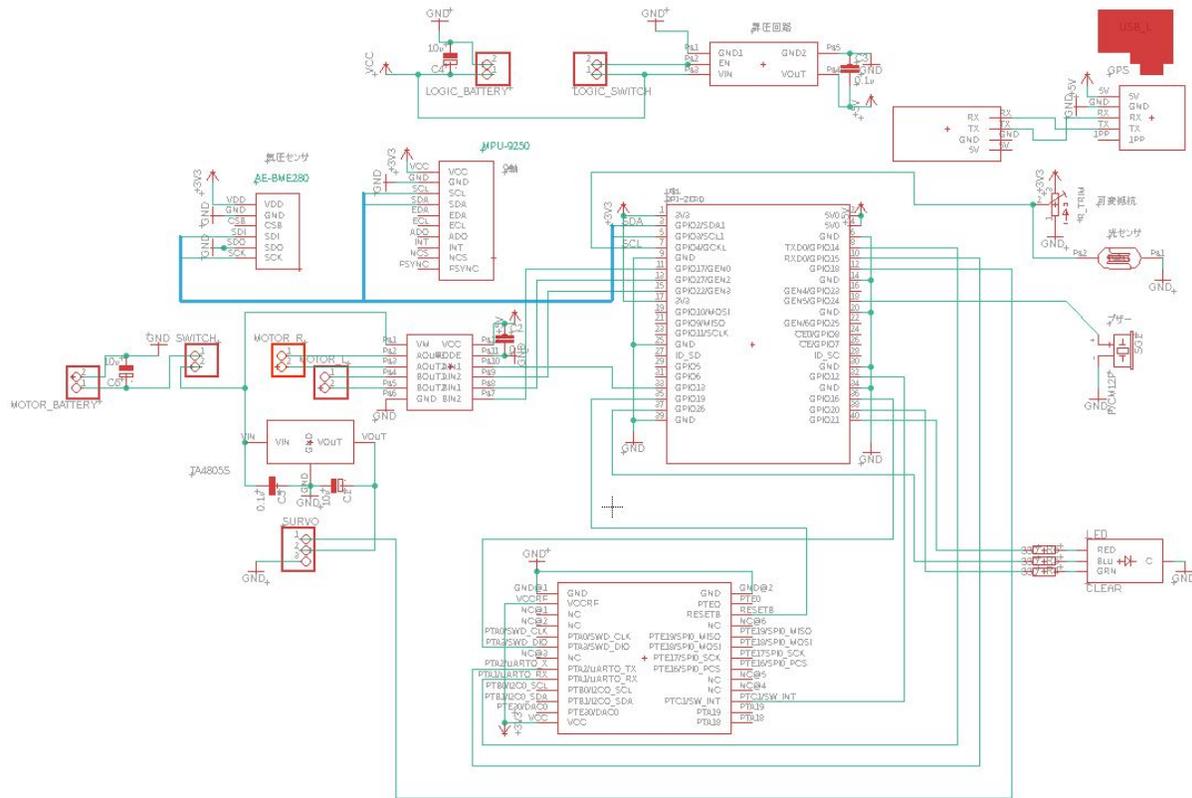


図4.2.3 回路設計図

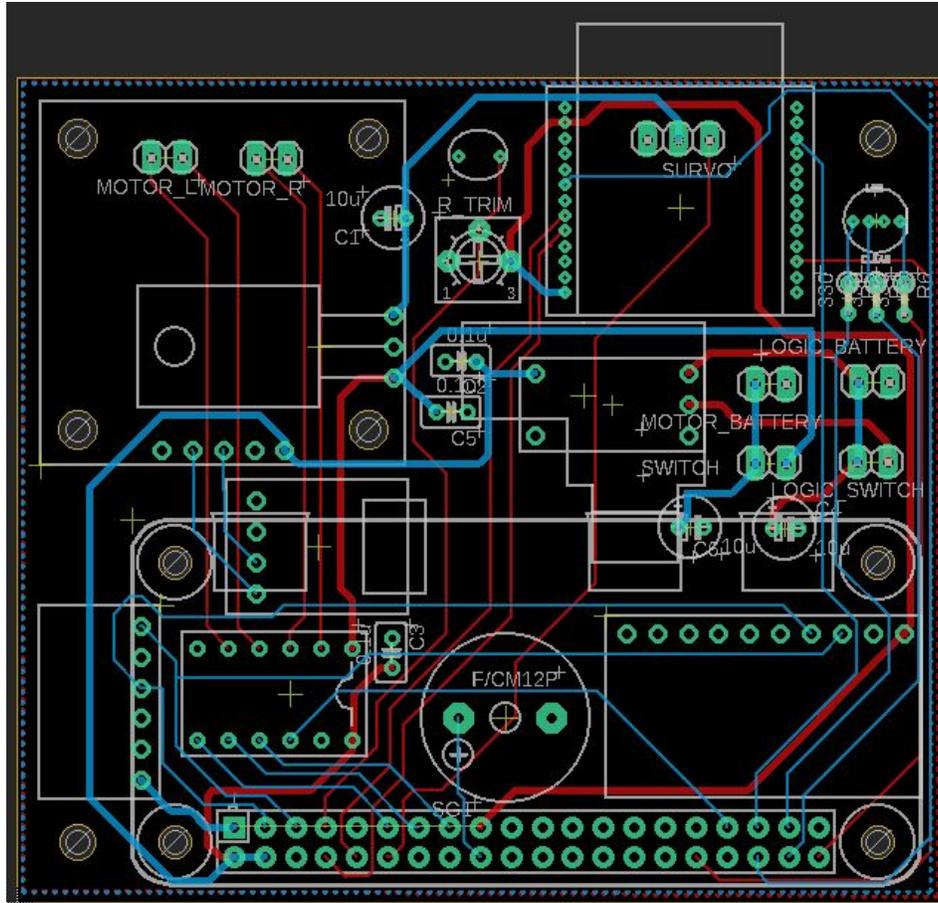


图4.2.4 基板設計图

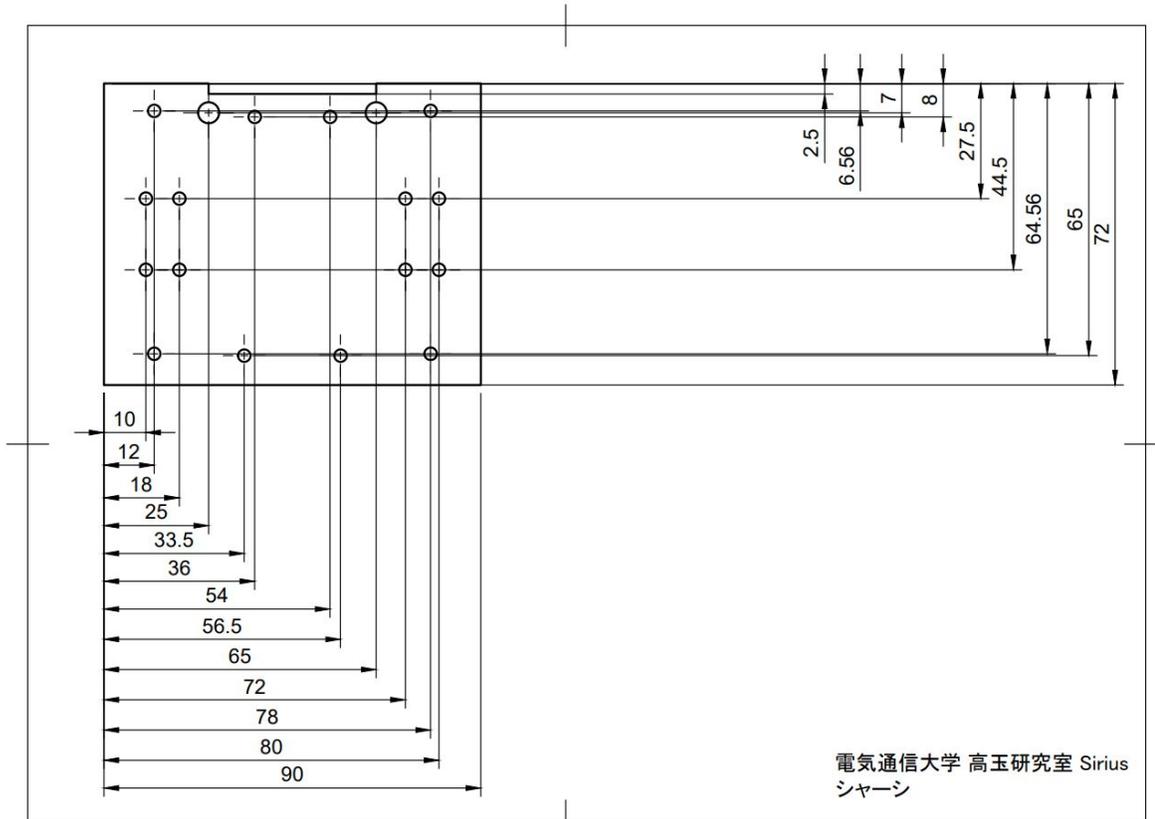


図4.2.5 シャーシ設計図

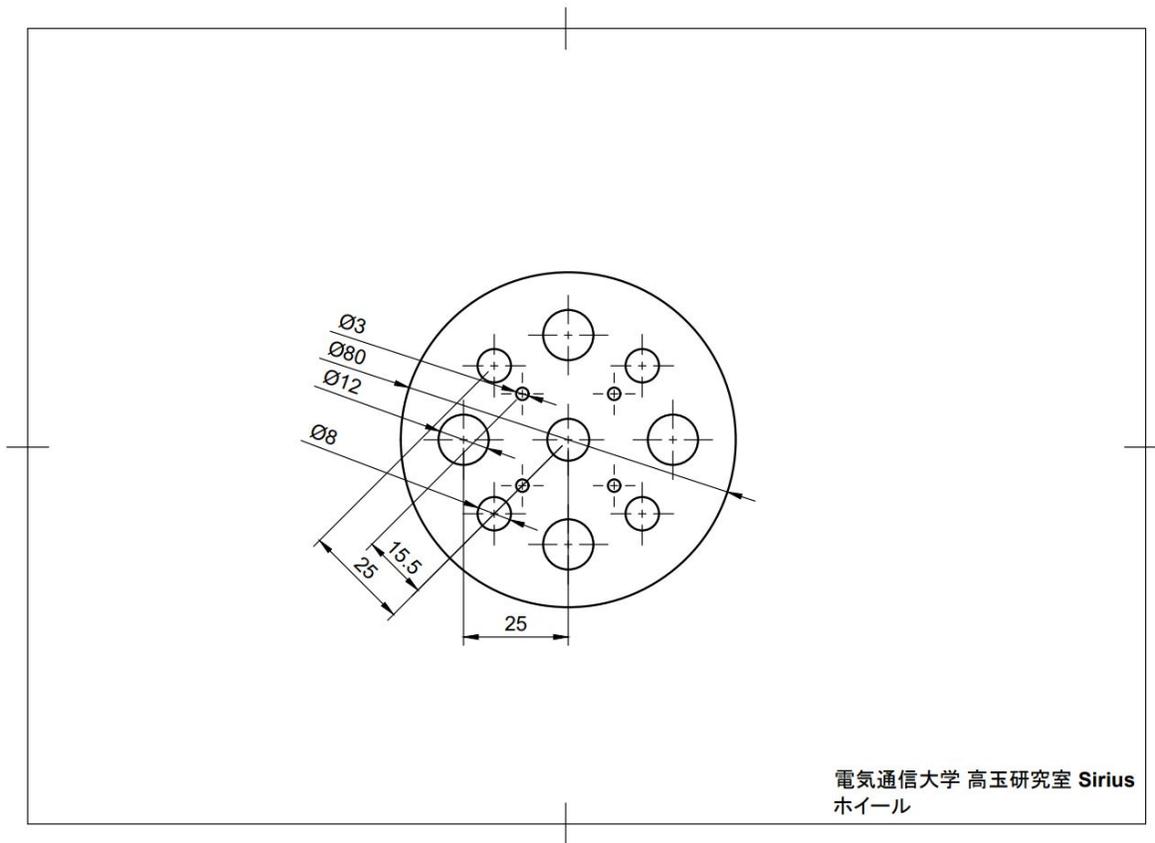


図4.2.6 ホイール設計図

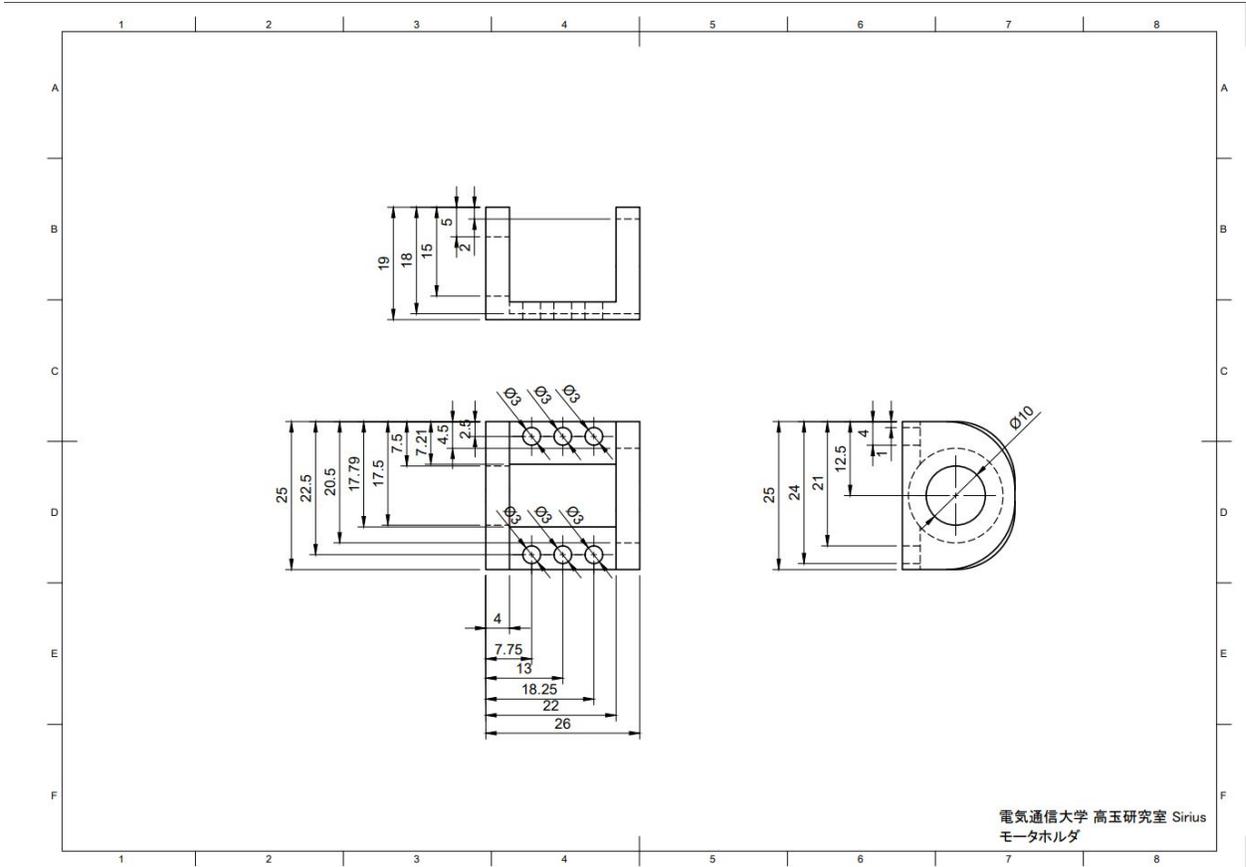


図4.2.7 モータホルダ設計図

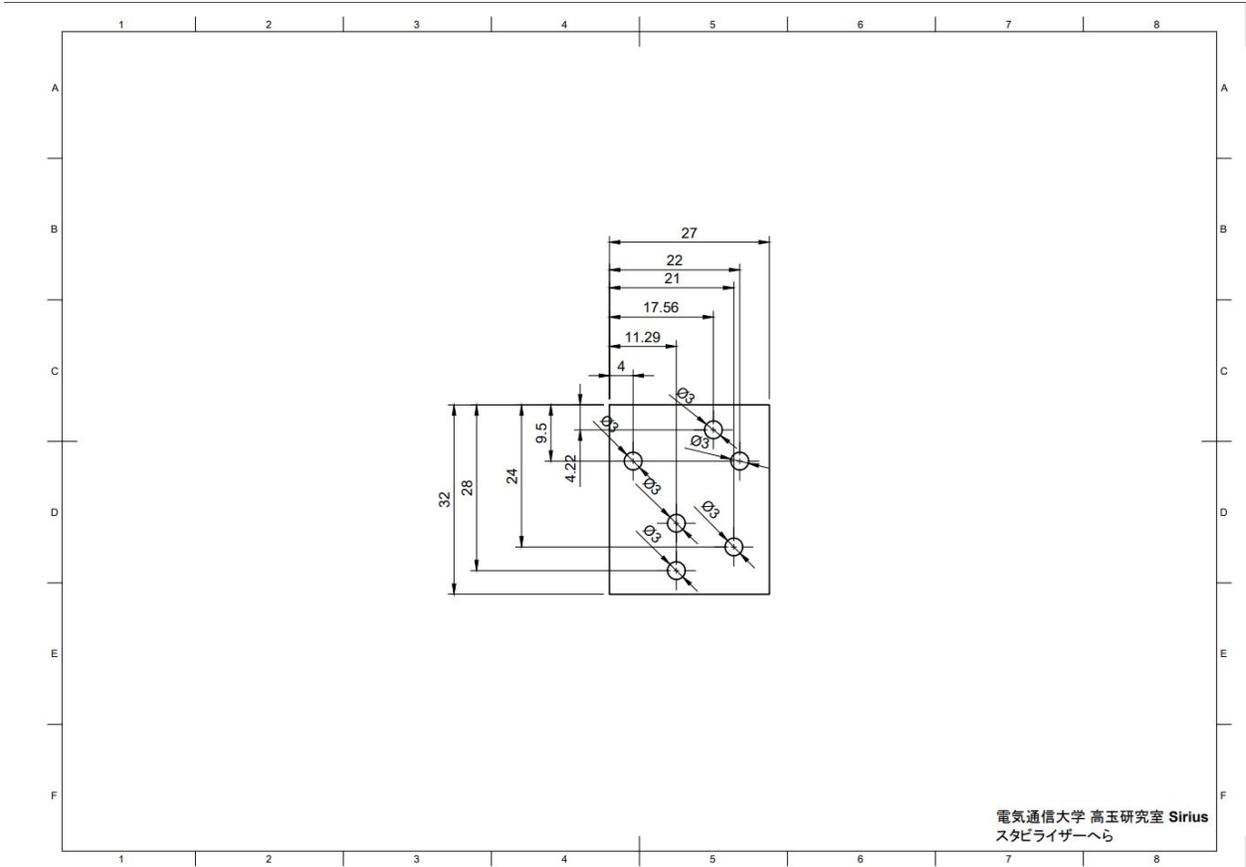


図4.2.8 スタビライザーへら設計図

3. 使用部品

<<電子系>>

分類	名称・型番	入手先・参考情報等	備考
マイコン	Raspberry Pi Zero-W	Marutsu	
プリント基板	2 layers PCB 1.6mm	Elecrow	
GPSモジュール	GMS-G9, PA6H	秋月電子	
9軸センサ	KKHMF MPU9250	Amazon	
気圧センサ	AE-BME280	秋月電子	
光センサ	MI527/MI5527	秋月電子	
モータドライバ	DRV8835	秋月電子	
DC-DC昇圧コンバータ	TSP61230A	strawberry linux	
5vレギュレータ	TA4805S	秋月電子	
LED	OSTA5131A-R/PG/B	秋月電子	
電子ブザー	PB04-SE12HPR	秋月電子	
Webカメラ	UCAM-C0220FBNBK	Amazon	
LoRaモジュール	ES920LRA1B	東京デバイスズ	

<<動力系>>

分類	名称・型番	入手先・参考情報等	備考
モーター・ギアヘッド	DC-max16S+ GPX16A	マクソン・ジャパン	ギア減速比 35:1
サーボモーター	WR-MG90S- SET	共栄プロダクツ	

<<構造系>>

分類	材質・型番	入手先・参考情報等	備考
ホイール	CFRP t2.0mm (ABC HOBBY)	amazon	
タイヤ	ハイビウレタン フォーム QA黒5	東急ハンズ	
車軸	ジュラルミン 丸 棒φ40mm*38mm 6本	とくきん	
ベアリング	688-H-ZZ	misumi-nova	
モータホルダ	POM板 t20	とくきん	
シャーシ	CFRP t1.5mm (ABC HOBBY)	amazon	
ジョイント	ユニバーサルジョ イント 3mm x 4mm	レインボープロダクツ	

4. 製作時に使用した機材・サービス

分類	名称・型番	入手先・参考情報等	備考
特殊機材	3D切削機	電通大施設	
特殊機材	フライス盤	電通大施設	
特殊機材	旋盤	電通大施設	
特殊機材	ボール盤	電通大施設	
特殊機材	バンドソー	電通大施設	

5. プログラム・アルゴリズム

使用言語: C++

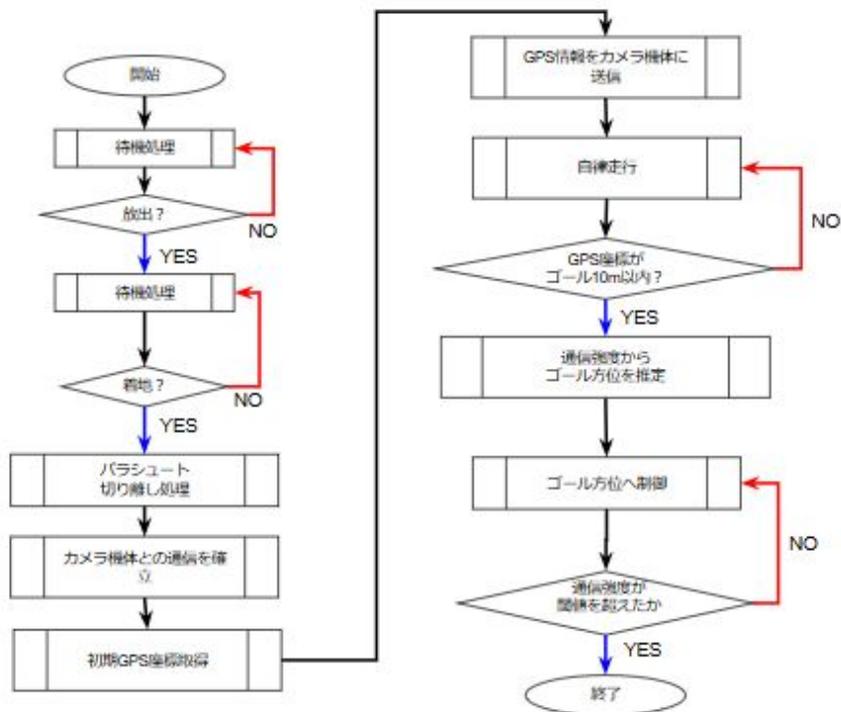


図4.5.1 GPS搭載CanSatのアルゴリズムのフローチャート

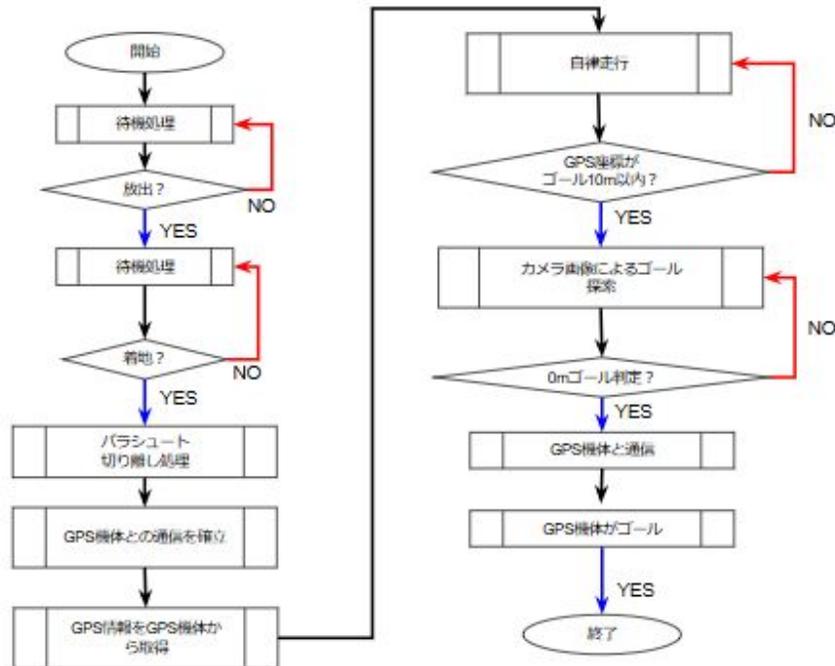


図4.5.2 カメラ搭載CanSatのアルゴリズムのフローチャート

本ミッションでは、搭載センサが異なる2機のCanSatを用いる。両CanSatは共通の部品として光センサ、気圧センサ、9軸センサ、LoRaを搭載している。さらにこれに加え、1台のCanSatにはGPSセンサ、もう1台のCanSatにはカメラを搭載している。

打ち上げ後、各CanSatは一定時間光センサが光を検知した場合に放出判定する。その後、気圧センサおよび9軸センサを用いて着地判定を行う。着地判定では、一定時間気圧変化が観測されず、かつ9軸センサのジャイロの値が一定時間しきい値を下回っている場合に着地したとみなす。着地判定後、サーボモータを駆動しパラシュートを切り離す。以降の処理は以下の通りである。

1. パラシュートから離れた場所で旋回し、地磁気センサのキャリブレーションを行う。
2. 両機体がナビゲーションを同時に開始するため、地磁気センサのキャリブレーションが完了した時点で他方のCanSatへ開始命令を送信する。
3. 他方のCanSatから開始命令を受信するまで待機する。ただし、カメラ搭載CanSatが故障した場合でもミッションを続行できるよう、GPSセンサ搭載CanSatは開始命令を10分間受信しなかった場合に1機のみでナビゲーションを開始する。

4. 以下の動作を繰り返す.
 - 4.1. GPSセンサ搭載CanSatがGPS座標を取得し、カメラ搭載CanSatへ送信する.
 - 4.2. GPS座標からゴール地点までの方位を算出し、地磁気センサの方位をもとに算出されたゴール方位へ走行する.
 - 4.3. 通信強度がしきい値を下回った場合は、接近動作アルゴリズム(後述)を開始する.
 5. GPS座標とゴール座標の距離が10m以内であればGPSセンサ搭載CanSatがゴール判定する.
 6. カメラ搭載CanSatが機体前方の様子を撮影し、ゴールコーンの色(赤色)が存在するかを調べる. 存在しない場合は赤色が検出されるまでその場で旋回する.
 7. ゴールコーンの色(赤色)が検出された方向に向けてカメラ搭載CanSatが走行する.
 8. カメラ搭載CanSatが取得した画像における赤色(ゴールコーンの色)の割合が一定値を超えた場合、カメラ搭載CanSatは0mゴールしたと判定する.
 9. 0mゴール判定したことをカメラ搭載CanSatからGPS搭載CanSatへ通信により共有する.
 10. 接近動作アルゴリズム(後述)により、GPS搭載CanSatはカメラ搭載CanSatとの通信強度が上昇する方向へ走行する.
 11. 機体間の通信強度が一定値を超えた場合に2機ともに0mゴールしたと判断し、ミッションシーケンスを終了する.
- 接近動作アルゴリズム

本ミッションでは、ナビゲーション中に機体同士が離れた(LoRa通信モジュールの通信強度が低下した)際、またはカメラ搭載CanSatがゴール地点のカラーコーンを発見した際に、機体間の距離を小さくするために以下の動作を実行する. なお、状態の複雑化を避けるため、接近動作中は片方のCanSatのみが移動し、もう一方のCanSatはアルゴリズム終了まで停止を続ける. 以下、接近動作中に移動するCanSatのことを「接近する側のCanSat」、停止するCanSatのことを「接近される側のCanSat」と表記する.

1. (ナビゲーション中の場合のみ) 接近する側のCanSatは接近される側のCanSatへ停止命令を送信する。 接近される側のCanSatは停止命令を受け取り、走行を停止する。
2. 接近する側のCanSatは、現在方位へ直進を開始する。
3. 1秒おきに通信強度を測定する。 具体的には、接近される側のCanSatは接近する側のCanSatへ無意味な信号を送信し、接近する側のCanSatがその信号の通信強度を取得する。
(GPSセンサ搭載CanSat) 通信強度とGPS座標の対応を記録する。
(カメラ搭載CanSat) 通信強度と各方位への走行履歴をもとに求められる推定座標との対応を記録する。
4. (3秒分の通信強度平均が2回連続で低下した場合) 接近する側のCanSatは、以下のルールに従って進行方位を変更する。

- 1回目の判定の場合: 現在方位から+180度の方位へ変更
 (※1回目の時点で通信強度が低下する場合、機体間の距離が離れる方向であることが想定されるため、走行方位を反転する。)
 ただし、2回連続でこの判定を行った場合には+90度の方位とする。

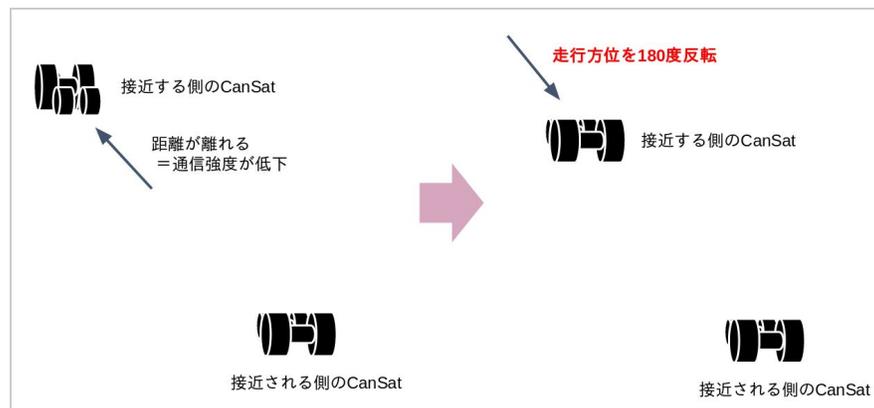


図4.5.3 接近動作中の走行方位変更(+180度)

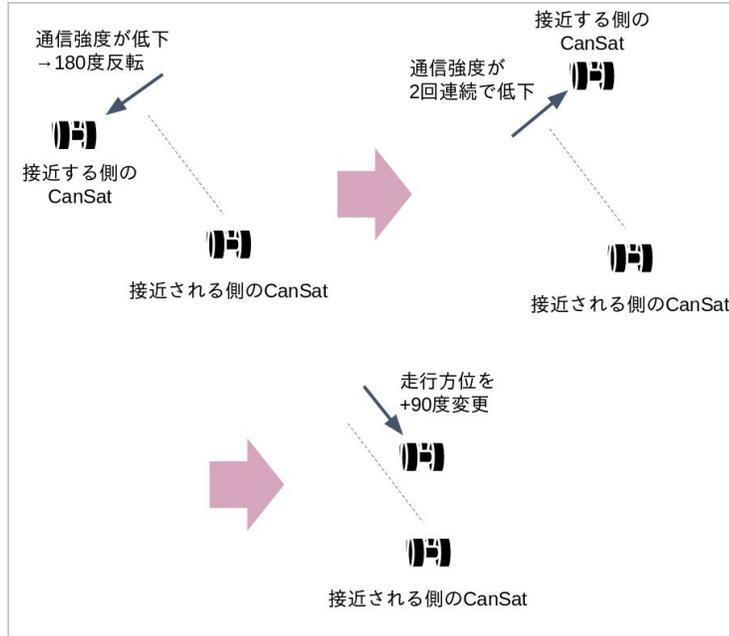


図4.5.4 接近動作中の走行方位変更(+90度)

- 2回目以降の判定の場合: 現在方位から ± 135 度の方位へ変更.

ただし、方位差分の符号については、それまでに記録されたGPS座標と通信強度の対応関係のうち最も通信強度が高い地点の方位を調べ、その方位に近づくような符号を選択する。

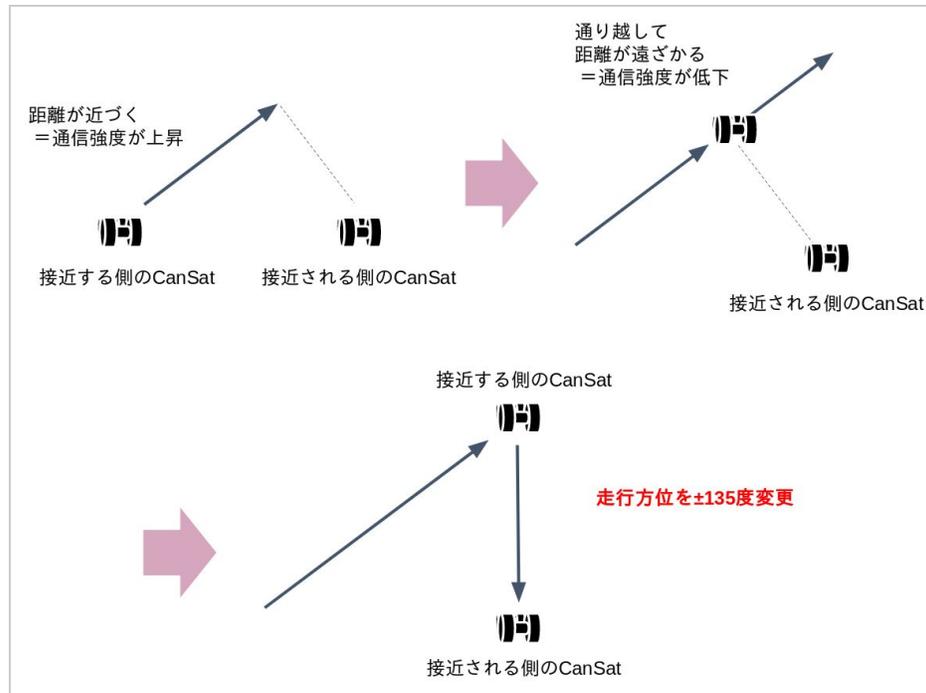


図4.5.5 接近動作中の走行方位変更(± 135 度)

●上記の条件にかかわらず、それまでに記録されたGPS座標と通信強度の対応関係のうち最も通信強度が高い地点からの距離が20m以上離れている場合、走行方位を最も通信強度が高い地点への方位へ変更する。

5. 通信強度がしきい値を超えるまで、2～4を繰り返す。

6. **(GPSセンサ搭載CanSat)** 一定時間接続が確立しなくなった場合は、これまで記録された通信強度のうち最も高い値を示したGPS座標へ走行する。走行完了後、2～4を繰り返す処理へ復帰する。これを一定回数再試行しても通信が復帰しない場合は1機のみでミッションを継続する。

(カメラ搭載CanSat) 一定時間接続が確立しなくなった場合は、これまで記録された通信強度のうち最も高い値を示した推定座標へ走行する。通信が復帰した場合は2～4を繰り返す処理へ復帰し、通信が復帰しない場合は1機のみでミッションを継続する(最後にGPS座標を受信した地点からゴール方位への方位・距離をもとにGPSセンサなしでナビゲーションする=MICHIBIKIモード)。

6. 会計

開発した機体（5機分+予備部品）と、購入の際の手数料及び送料等の金額とその総額を以下に示す。

ハード	回路	モータ	合計
39,834円（税込）	98,243円（税込）	176,925円（税込）	315,002円（税込）

第5章 試験項目設定（項目別試験、結合試験、EndtoEnd試験）

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	S1	7/5, 8/20
V2	キャリア収納試験	S1	7/3
V3	長距離通信試験	S2	7/25
V4	落下試験	S3	6/29, 8/8, 8/16, 8/18
V5	静荷重試験	S4	8/3, 8/4, 8/5
V6	振動試験	S5	8/2
V7	分離衝撃試験	S6	8/2
V8	開傘衝撃試験	S7	7/1, 7/20
V9	通信機電源ON/OFF試験	S8	8/20
V10	通信周波数変更試験	S9	8/20
V11	着地衝撃試験	M1, M2	8/20, 8/21
V12	電力耐久試験	M3	7/7
V13	GPS単体ナビゲーション試験	M4, M7	8/18, 8/19
V14	カメラ単体ゴール検知試験	M5	7/7
V15	機体間通信ナビゲーション試験	M4, M6, M7	8/18, 8/21
V16	機体間接近動作試験	M7, M8	8/20
V17	End-to-End試験	S10, M2, M4, M5, M6, M9	8/20
V18	制御履歴レポート作成試験	M9	8/20

第6章 実施試験内容

(V1) 質量試験

- 目的
CanSatとパラシュートの合計質量がレギュレーション(1050g)を満たしていることを確認する.
- 試験/解析内容
CanSatとパラシュートの合計質量を電子ばかりで計測し, 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とパラシュートの合計質量はレギュレーションに記載されている1050g以下を満たしていることを確認した.

CanSat, パラシュート, ホットボンドの合計質量 [g]	1029
CanSatの質量 [g]	901
パラシュートの質量 [g]	125
ホットボンドの質量[g]	4

それぞれ図6.1.1にCanSatとパラシュートとホットボンド, 図6.1.2にCanSat, 図6.1.3にパラシュート, 図6.1.4に補強用ホットボンドの質量を計測したときの様子を示す.



図6.1.1 CanSat, パラシュート, ホットボンドの質量



図6.1.2 CanSatの質量



図6.1.3 パラシュートの質量



図6.1.4 ホットボンドの質量

- 結論
以上の結果より、CanSatはレギュレーションである1050g以下を満足している。

(V2) キャリア収納試験

- 目的
CanSatがレギュレーション(高さ240mm, 直径146mm)を満たすこと, 及びキャリアに収納可能であり, 円滑に放出可能であることを確認する.
- 試験の内容
タイヤの直径と機体の全長をメジャーを用いて計測し, その結果がARLISSのレギュレーションを満たすこと, 及びCanSatがキャリアに収納・放出可能であることを確認する.
その際の計測結果は画像として保存する. キャリア収納・放出は合計5回実施する.
- 結果
以下に計測結果を示す.

全長 [mm]	240
直径 [mm]	145

次に, 記録した画像を示す.

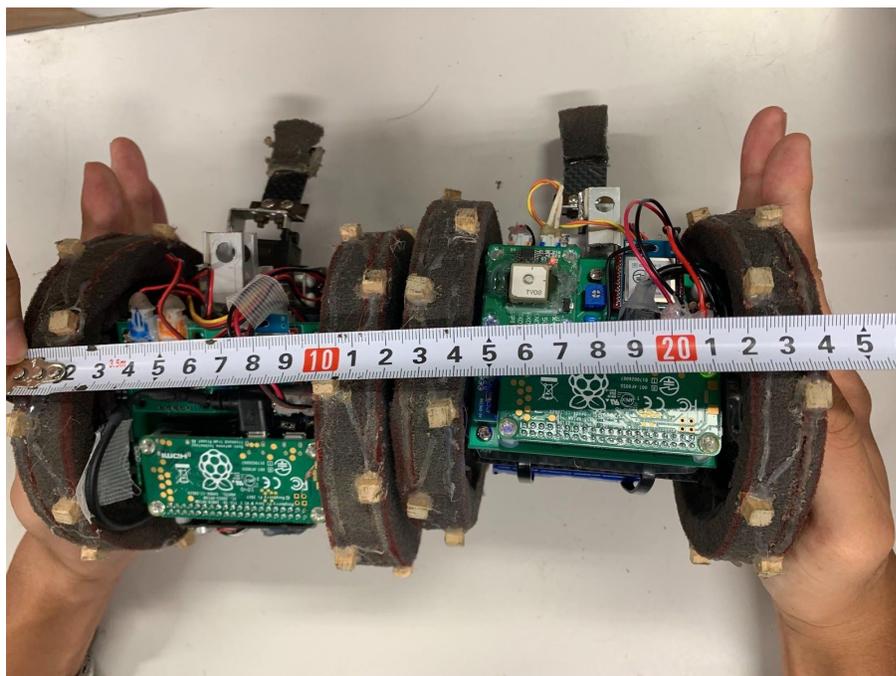


図6.2.1 CanSatの全長



図6.2.2 CanSatの直径

次にキャリア収納, 及び放出までの一連の様子を記録した動画のリンクを示す.

試行回	キャリア収納	キャリア放出	YouTubeリンク
1回目	成功	成功	https://youtu.be/VyM_QAtWMHs
2回目	成功	成功	https://youtu.be/SGyRBSa6mSc
3回目	成功	成功	https://youtu.be/PrGaTyqgr88
4回目	成功	成功	https://youtu.be/lPAK-DKxWiY
5回目	成功	成功	https://youtu.be/mWEIh8TZxv4
成功率	100% (5/5)	100% (5/5)	

- 結論

以上の結果より, 全長と直径に関するレギュレーションを満たすことが分かった. また, 円滑にキャリア収納・放出が可能であることを確認した.

(V3) 長距離通信試験

- 目的
CanSatとの通信可能な最大距離を測定し、放出後もCanSatが補足可能であることを確認する。
- 試験内容
PCにLoRaモジュールを接続し、CanSatが構築しているネットワークに接続する。その後CanSatをPCから徐々に離し、通信が切断される地点のGPS座標を記録する。開始地点とネットワークが切断される地点のGPS座標からCanSatとPCが通信できる距離を導出する。
- 結果
PCと通信切断時のCanSatの座標を地図上にプロットしたものを図6.3.1に示す。またそれぞれのGPS座標と通信可能距離を示す。

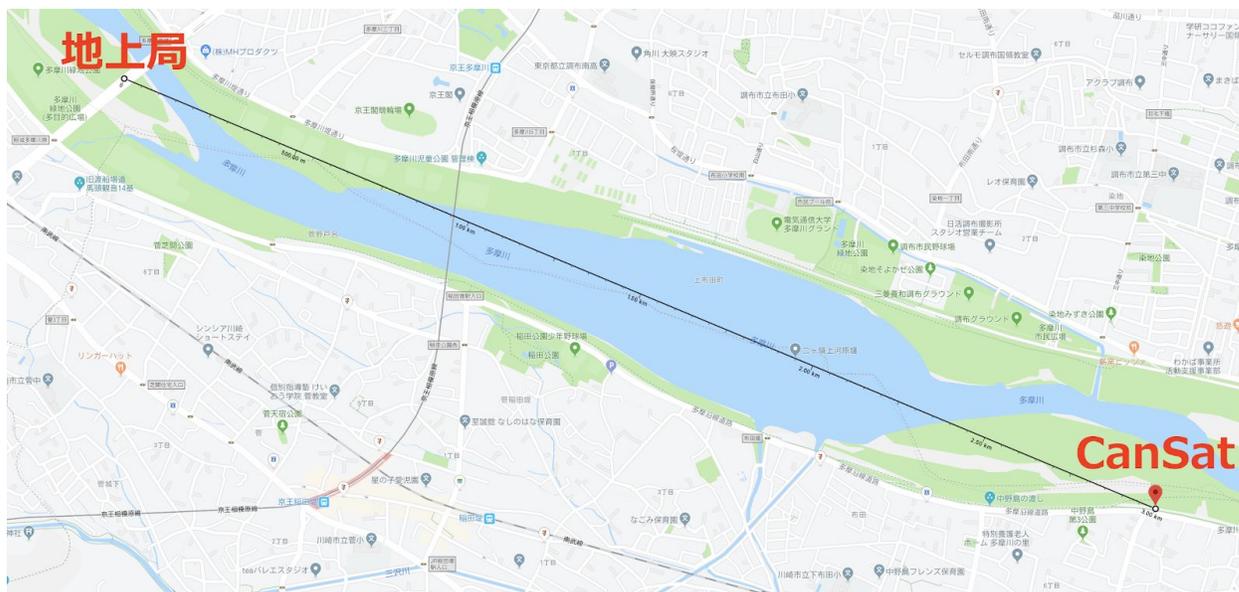


図6.3.1 PCとCanSatとの通信可能距離

PC側の座標	35.6425,139.52348
CanSat側の座標	35.633578, 139.555896
通信可能距離	3.0km

- 結論

PCとCanSatの通信可能距離が3.0kmであったことから、CanSatをロケットから放出した後に、GPS座標を受信することで追跡するための十分な時間を確保できるため、ロスト対策ができていているといえる。

(V4) 落下試験

- 目的

CanSatがキャリアから放出された際パラシュートが正常に開傘し、減速できることを示す。

- 試験内容

キャリアに収納したモックアップ機体を電気通信大学西6号館7階(高度27.3m)から放出し、放出から着地までの間でパラシュートが正常に開傘することを確認する。

図6.4.1にパラシュートおよびモックアップ機体、図6.4.2にその質量を示す。本試験で使用したモックアップ機体とパラシュートの質量は図6.4.2が示す通り1073gであった。



図6.4.1 パラシュートおよびモックアップ機体



図6.4.2 パラシュートおよびモックアップ機体の質量

本試験における終端速度を以下手順に従って導出する.

1. 記録した映像をもとに, 電気通信大学西6号館2階(4.215m)から着地までの時間を試行ごとに計測する.
2. 計測した時間 t から, 終端速度 v を次式に従って導出する.

$$v = \frac{h}{t}$$

ここで h は高さ[m]であり, $h = 4.215$ である.

3. 各試行で導出した終端速度の平均値を本試験で得られた終端速度とする

また上記試験に加えて, モックアップではなく本番同様のCanSatによる落下試験として合同気球試験での上空約30mの高さからの気球による投下試験と能代宇宙イベントでのドローンによる投下試験から, パラシュートが正常に開傘し, 減速していることを確認する.

- 結果

以下の表で実験の結果と記録映像のYouTubeリンクを示す.

試行回	パラシュートの開傘	YouTubeリンク
1回目	成功	https://youtu.be/22loWgYFOhU
2回目	成功	https://youtu.be/leT9x0YavFw
3回目	成功	https://youtu.be/5BBqc5ixpw0
4回目	成功	https://youtu.be/5mYRT7eHok8
5回目	成功	https://youtu.be/jR4q0uA9HN8
気球試験1回目	成功	https://youtu.be/fzofp_xLL4E
気球試験2回目	成功	https://youtu.be/DjHiGdE0ajM
能代1回目	成功	https://youtu.be/xlyR1Mt5yEo
能代2回目	成功	https://youtu.be/LLcEn2qnDj4
成功率	100% (9/9)	

次に、各試行における終端速度とその平均値を以下の表で示す。

試行回	落下時間 t [s]	終端速度 v [m/s]
1回目	0.645	6.53
2回目	木に絡まったため測定不能	測定不能
3回目	0.697	6.05
4回目	0.66	6.39
5回目	0.715	5.90
平均値	0.68	6.22

- 結論

記録映像の示す通り試行全てにおいてパラシュートは正常に開傘することを確認した。また終端速度が6.22m/sであることから、パラシュートが減速機構としての役割を果たしていることが分かる。

(V5) 静荷重試験

- 目的

打ち上げ時の準静的荷重によってCanSatのハードウェア・ソフトウェア共に問題が発生せず、正常に動作することを確認する。

- 試験内容

ロケット搭載状態を想定した機体を紐を繋いだ袋に入れハンマー投げの要領で回すことでロケットによる静荷重を再現する。静的荷重はレギュレーションの1.4項に記載されている通り、CanSatの高さ方向に10Gを10秒間機体に与える。その後、ハードウェアが破損していないことを確認する。また、放出判定からパラシュート切り離しまでの各シーケンス動作が正常に動作するかを確認することで、モータやサーボモータに損傷がないことを確認する。また、以下のセンサ類についてセンサ値を個別にチェックする。

- 大気圧センサ
- 9軸センサ
- 光センサ

なお、本試験は屋根のある場所で行ったためGPSセンサが衛星と通信することは困難である。そのため、試験後にGPSセンサが正常にGPS座標を衛星から取得することを個別に確認する。

本試験は合計で5回実施し、それぞれの試行についてCanSatにかかっている加速度の大きさを時系列データとして取得する。取得したデータはGPSセンサ搭載CanSat、カメラ搭載CanSatそれぞれについてグラフ化する。また、静荷重の負荷開始時点からシーケンス動作の確認までの一連の動作を映像で記録する。

- 結果

以下の表に、本試験の試行ごとの結果を示す。

試行回	機体の損傷	センサ類	モータ類	シーケンス動作	YouTubeリンク
1回目	なし	正常	正常	正常	https://youtu.be/-VwGRnLgh5M
2回目	なし	正常	正常	正常	https://youtu.be/UoFiWzkPgxA

3回目	なし	正常	正常	正常	https://youtu.be/bCwTDexKEVM
4回目	なし	正常	正常	正常	https://youtu.be/29i3mKPPDRQ
5回目	なし	正常	正常	正常	https://youtu.be/fajPhYwhn4g
成功率	100%(5/5)	100%(5/5)	100%(5/5)	100%(5/5)	

CanSatにかけた静荷重の大きさのグラフを以下に示す。横軸は経過時間[s]、縦軸は加速度の大きさ(ノルム)が重力加速度 9.8m/s^2 の何倍であるか[G]を示す。

1回目

GPSセンサ搭載CanSat

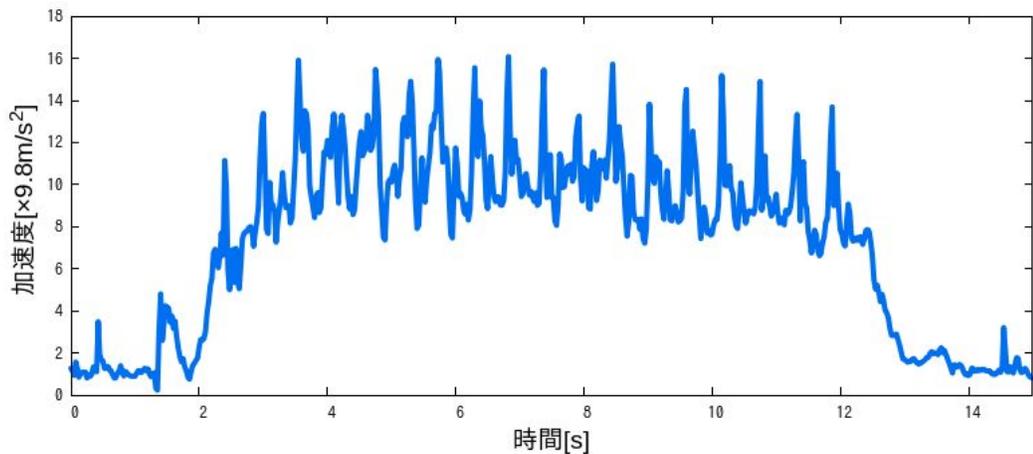


図6.5.1 静荷重試験1回目の加速度グラフ

カメラ搭載CanSat

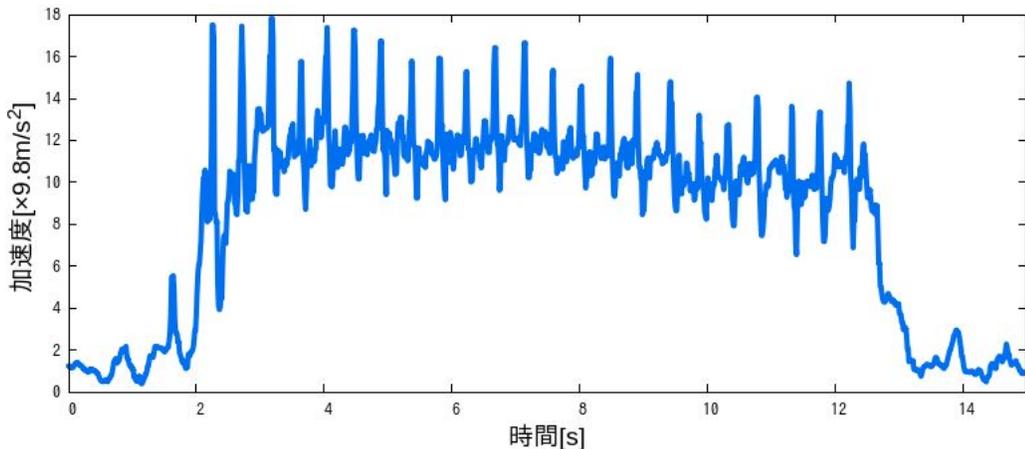


図6.5.2 静荷重試験1回目の加速度グラフ

2回目
GPSセンサ搭載CanSat

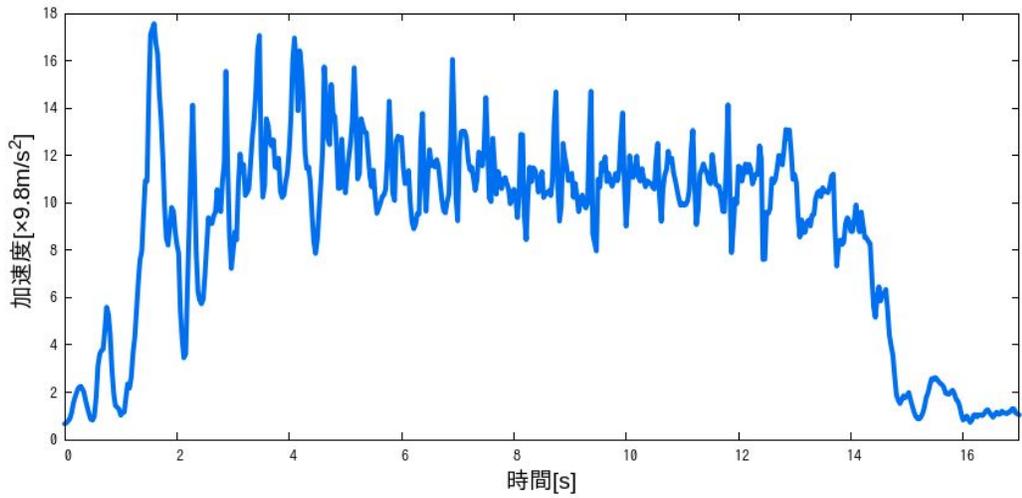


図6.5.3 静荷重試験2回目の加速度グラフ

カメラ搭載CanSat

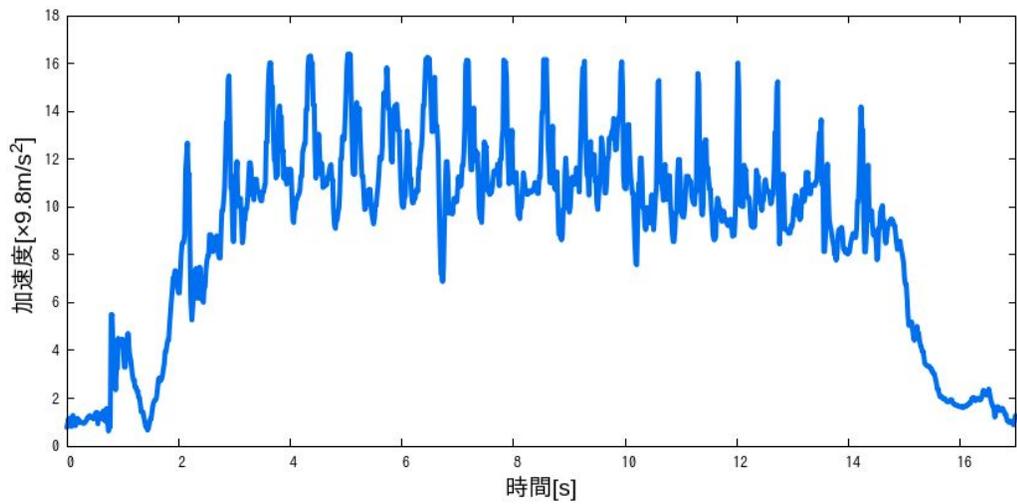


図6.5.4 静荷重試験2回目の加速度グラフ

3回目

GPSセンサ搭載CanSat

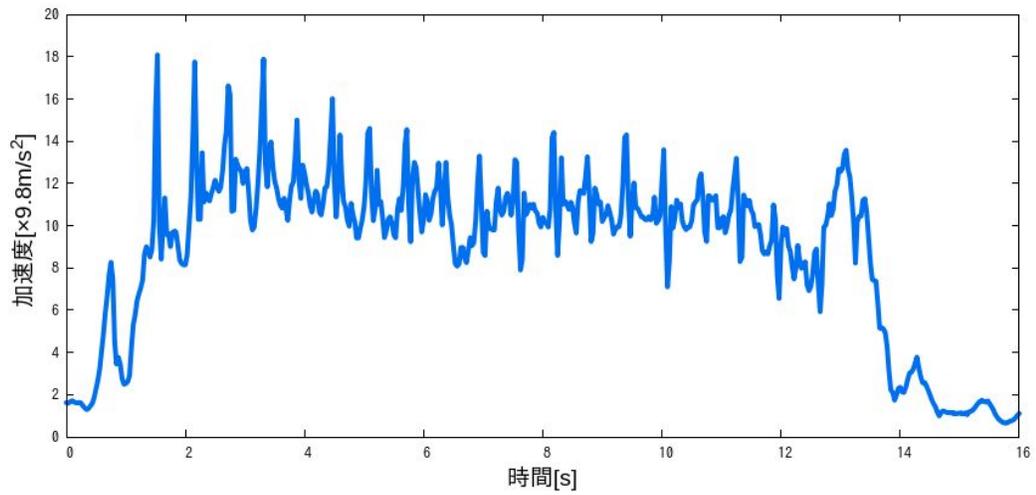


図6.5.5 静荷重試験3回目の加速度グラフ

カメラ搭載CanSat

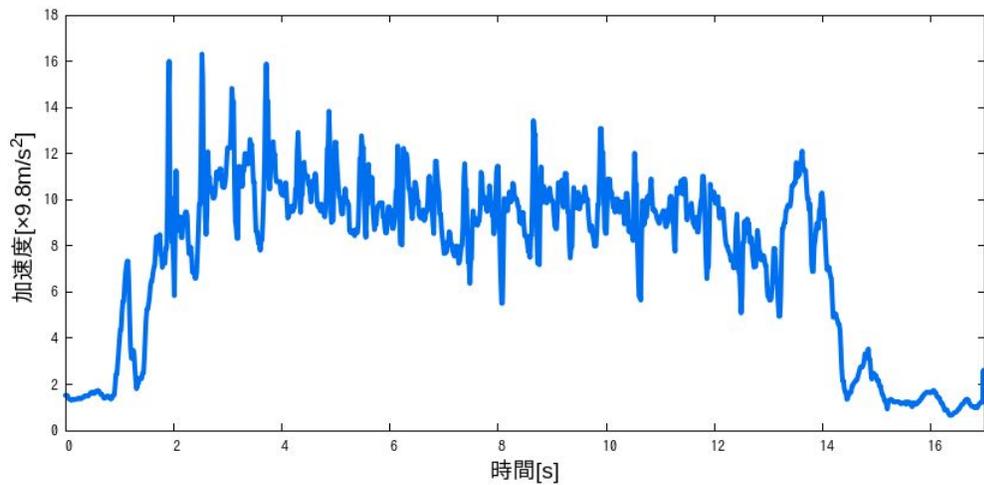


図6.5.6 静荷重試験3回目の加速度グラフ

4回目

GPSセンサ搭載CanSat

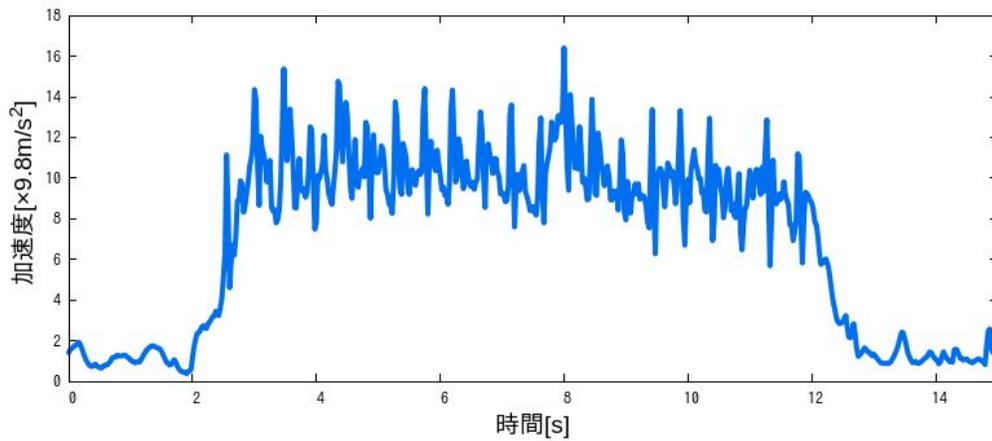


図6.5.7 静荷重試験4回目の加速度グラフ

カメラ搭載CanSat

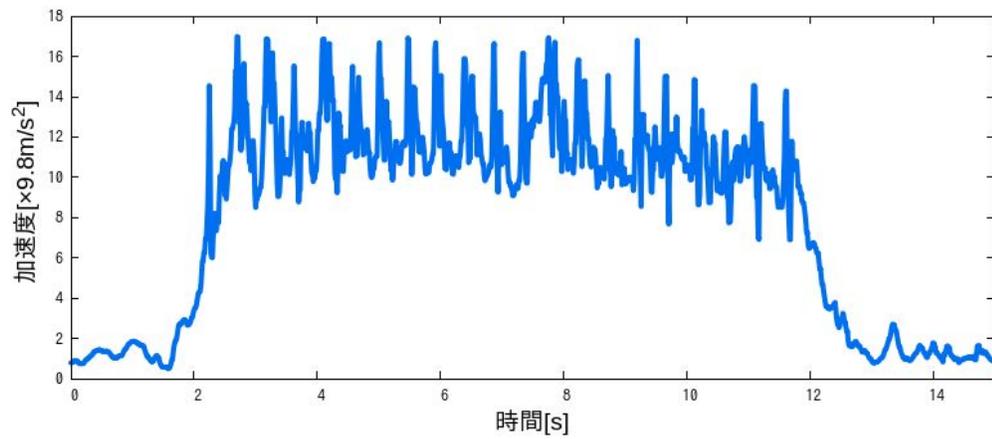


図6.5.8 静荷重試験4回目の加速度グラフ

5回目 GPSセンサ搭載CanSat

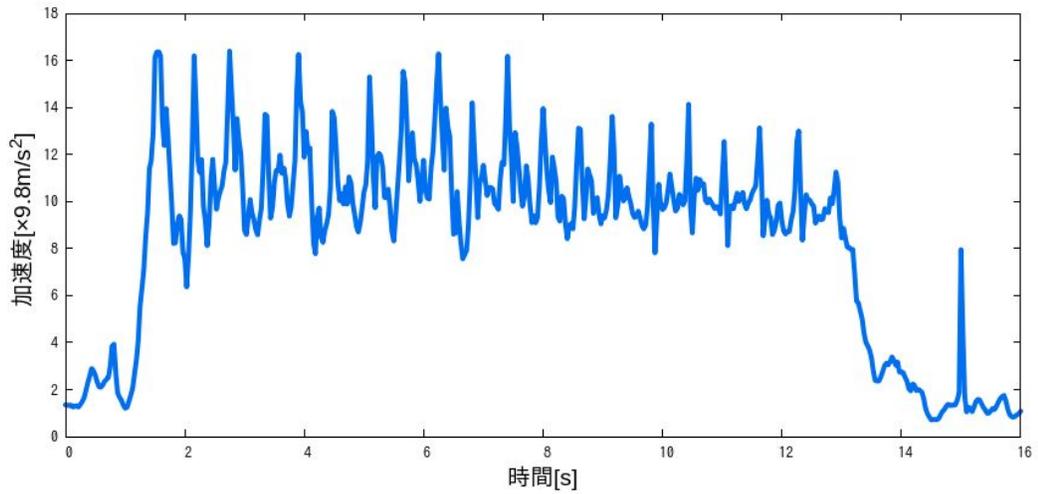


図6.5.9 静荷重試験5回目の加速度グラフ

カメラ搭載CanSat

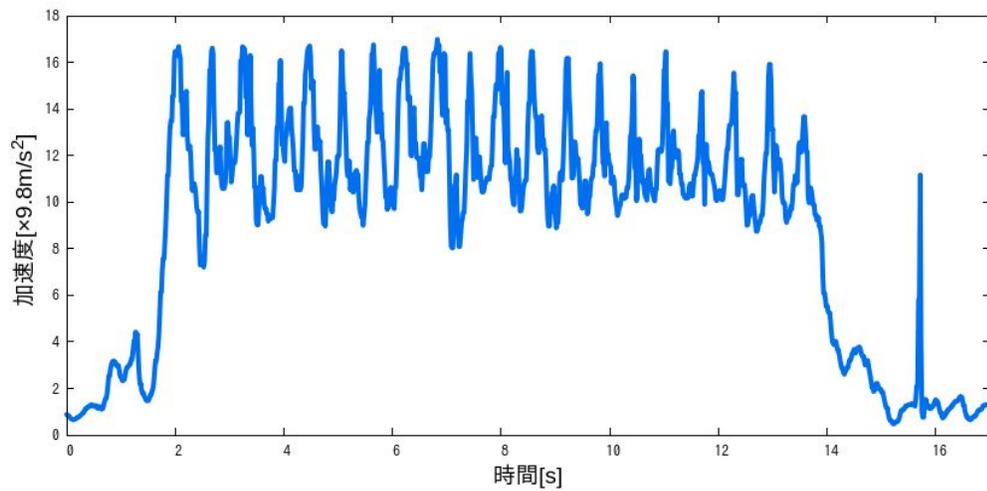


図6.5.10 静荷重試験5回目の加速度グラフ

- 結論

以上の結果より、2機のCanSatは10Gの準静的荷重に耐久可能であるため、ロケットからの準静的荷重に耐久可能であると考えられる。

(V6) 振動試験

- 目的
ロケット打ち上げ時の振動に対してCanSatが耐久可能かどうかを確認する
- 試験内容
東京大学中須賀研究室の加振機にCanSatとパラシュートを収納し、30Hzから2000Hzの範囲で15Gの衝撃をランダムに付与する(これは、レギュレーション1.4項に記載されている通りである)。振動を負荷した後、放出判定からナビゲーションの開始までが正常に動作することを確認する。また、機体のハードウェアに損傷がないことを目視で確認する。
- 結果
以下の表に、本試験の結果を示す。

	放出判定	着地判定	パラシュート切り離し	ナビゲーション	センサ類の動作	モータ及びサーボモータの動作
結果	成功	成功	成功	成功	正常	正常

ランダム振動を与えたときの加速度の推移を図6.6.1に示す。グラフの横軸は時間、縦軸は加速度[G]を表している。表のとおり振動試験後に機体に損傷はなく、各種センサ、モータ、サーボモータが正常に動き、放出判定からナビゲーションまで正常に動作した。

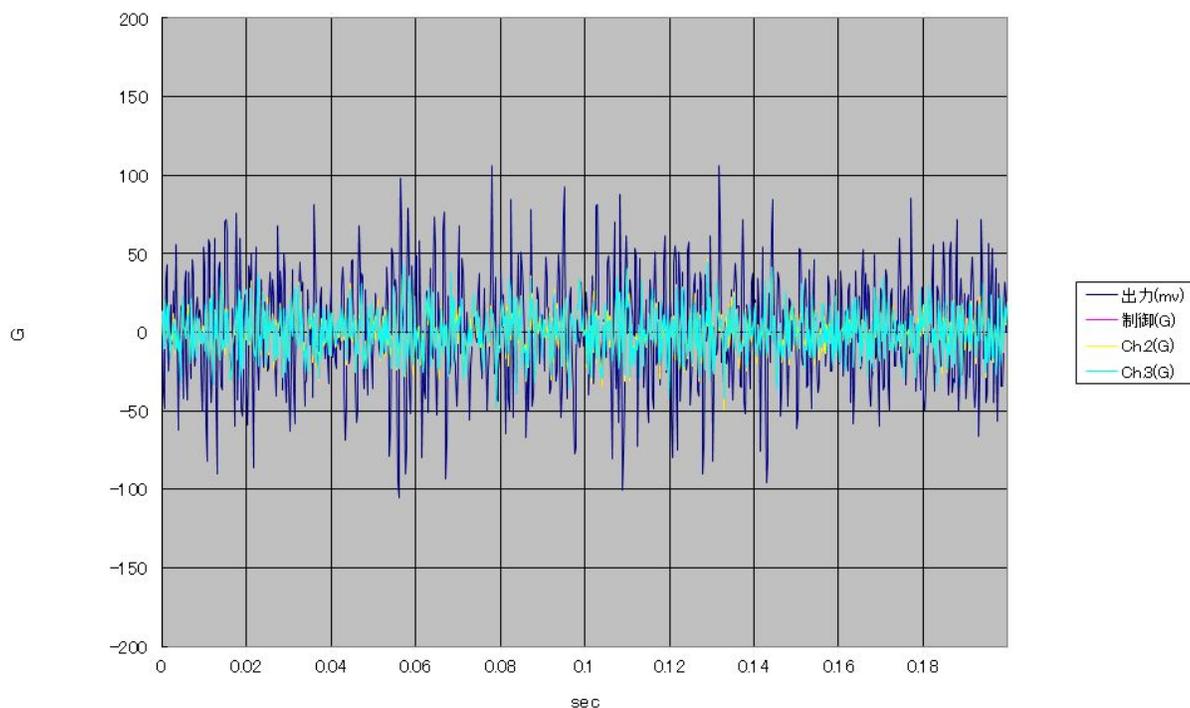


図6.6.1 ランダム振動を与えたときの加速度[G]の推移

また、実験動画のURLを以下に示す。

<https://youtu.be/R SXCR4XftUc>

- **結論**

上記の結果から、ロケット上昇時の振動を加えたCanSatは放出判定から着地判定、パラシュート切り離し、ナビゲーションまでのシーケンスを行い、CanSatが正常に動作することを確認した。また、ハードウェアの破損がなく、センサ値も問題なく取得でき、アクチュエータ類が問題なく機能することを確認した。以上から、ARLISSのレギュレーションに記載されたロケット打ち上げ時のランダム振動にCanSatが耐えうるといえる。

(V7) 分離衝撃試験

- **目的**

CanSatがロケット分離時と同等の衝撃を与えた際に、正常に動作することを確認し、CanSatが分離衝撃に耐えうることを示す。

- **試験内容**

加振機を用いてレギュレーションに記載されている40Gを与える。その後、放出判定、着地判定、パラシュート切り離し、ナビゲーションまでの

各シーケンスを行い、CanSatが正常に動作することを確認するとともに、ハードウェアの破損が無く、センサ値に異常がなく、モータおよびサーボモータが問題なく機能することを確認する。

■ 結果

分離衝撃試験の動画は(V6)振動試験と同一のものである。図6.7.1にショック振動時の重力加速度の推移を示す。グラフの横軸は時間、縦軸は加速度を表している。振動試験後に機体に損傷はなく、各種センサ、モータ、サーボモータが正常に動き、放出判定からナビゲーションまで正常に動作した。

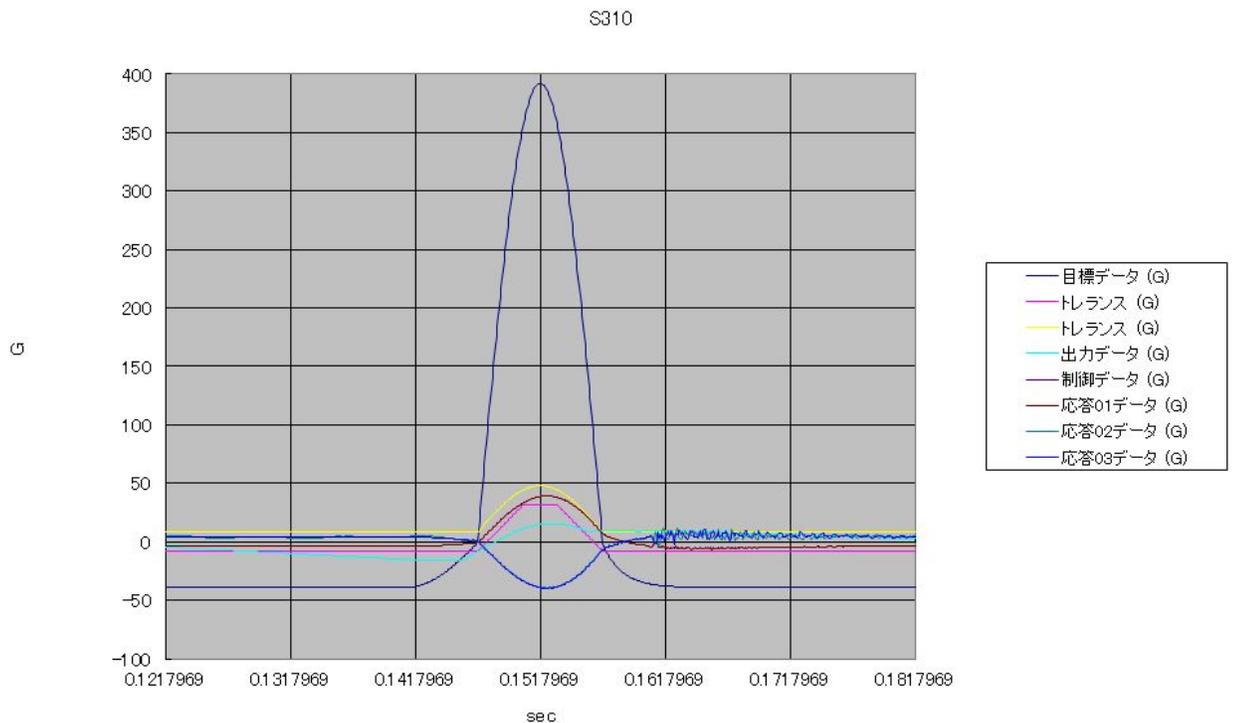


図6.7.1 ショック振動時の加速度[G]の推移

また、実験動画のURLを以下に示す(振動試験と同時に実行).

<https://youtu.be/RSXCR4XftUc>

■ 結論

分離衝撃試験後、各シーケンスを問題無く動作し、ハードウェアの破損が無く、センサが機能することを確認した。以上から、CanSatはARLISSレギュレーションで求められているロケット分離時の衝撃に耐えるものであると言える。

(V8) 開傘衝撃試験

- 目的
パラシュート開傘時の衝撃にCanSat本体とパラシュートとの結合部分が耐えられることを確認する。
- 試験内容
CanSatを固定し、パラシュートの紐を付けて自由落下させる。この時、加速度センサのログを確認しパラシュート開傘時の衝撃(12G)に耐えられたかを確認する。衝撃を加えた後、CanSatに損傷がないことを最後に確認する。なお、12Gという値は過去のARLISSでの開傘時の加速度ログをもとに独自に設定したものである。(本試験は弊団体が採用しているパラシュート切り離し機構が開傘時の衝撃に耐えられるかを確認するための独自の試験であり、レギュレーションに記載されているロケット分離時の衝撃(40G)による影響は分離衝撃試験で別途確認している点に注意されたい。)
- 結果
以下の表に試行ごとの結果を示す。

試行回	機体の損傷	加速度 (GPS機) [G]	加速度 (カメラ機) [G]	YouTubeリンク
1回目	無	16.62	19.78	https://youtu.be/mP3bdJglPbY
2回目	無	17.89	18.79	https://youtu.be/l9NYHmjPRjc
3回目	無	14.79	17.22	https://youtu.be/f5qhCvjsfyM
4回目	無	24.10	18.06	https://youtu.be/Sx4NqUpRnxQ
5回目	無	17.56	15.32	https://youtu.be/UOuvyQGwqxE
成功率	100% (5/5)	-	-	

次に各試行ごとにおけるグラフを以下に示す。横軸は経過時間[s]、縦軸は加速度の大きさ(ノルム)が重力加速度の何倍であるか[G]を示す。なお、グラフ作成に使用したログの記録タイミングと画面上の加速度値を更新するタイミングには若干のずれが生じる場合があるため、動画中で読み上げている加速度ノルムの最大値とグラフのピーク値は必ずしも一致しない。

1回目

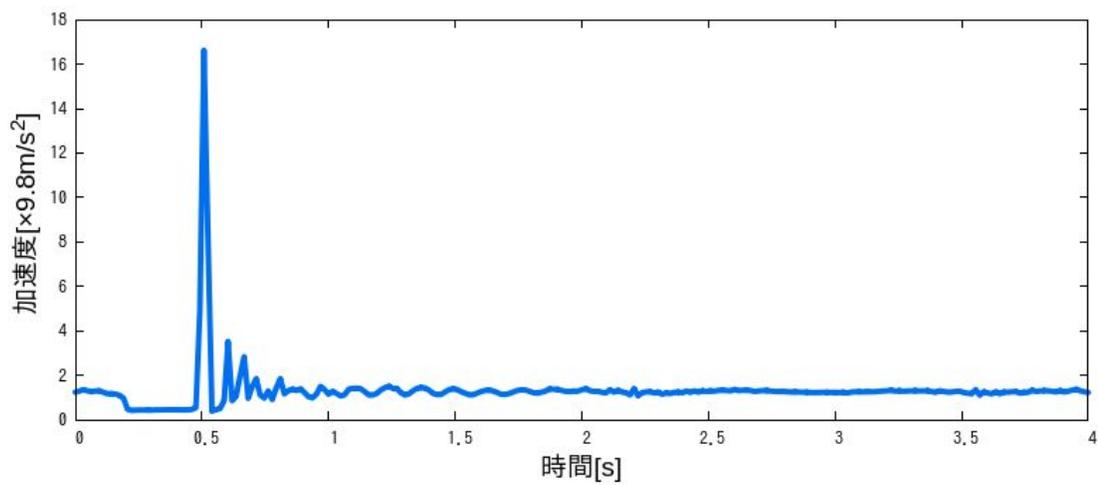


図6.8.1 開傘衝撃試験1回目（GPSセンサ搭載CanSat）

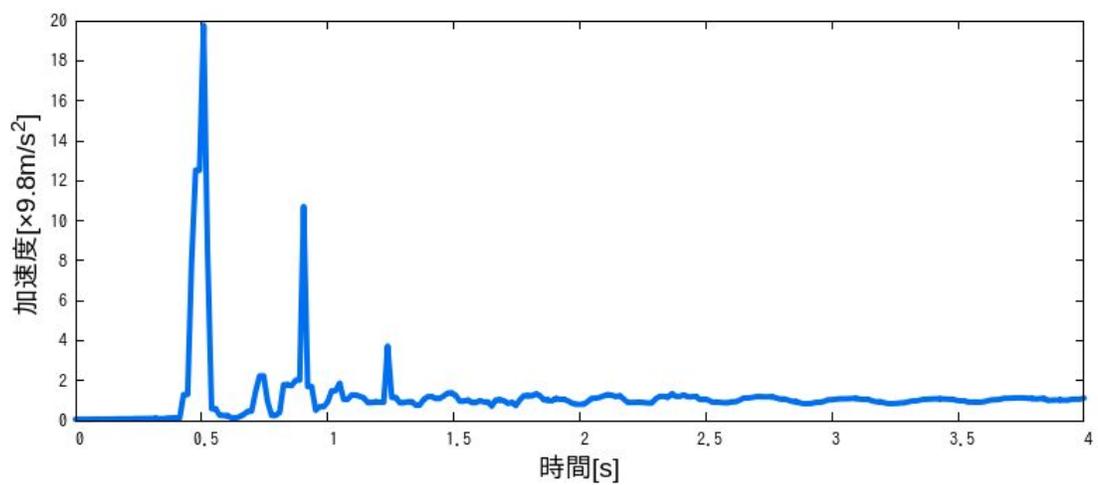


図6.8.2 開傘衝撃試験1回目（カメラ搭載CanSat）

2回目

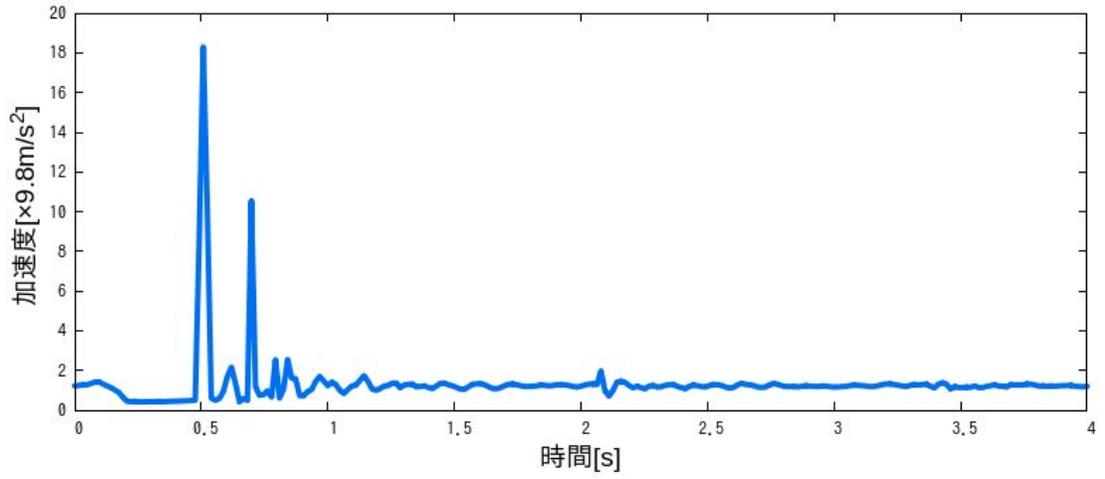


図6.8.3 開傘衝撃試験2回目 (GPSセンサ搭載CanSat)

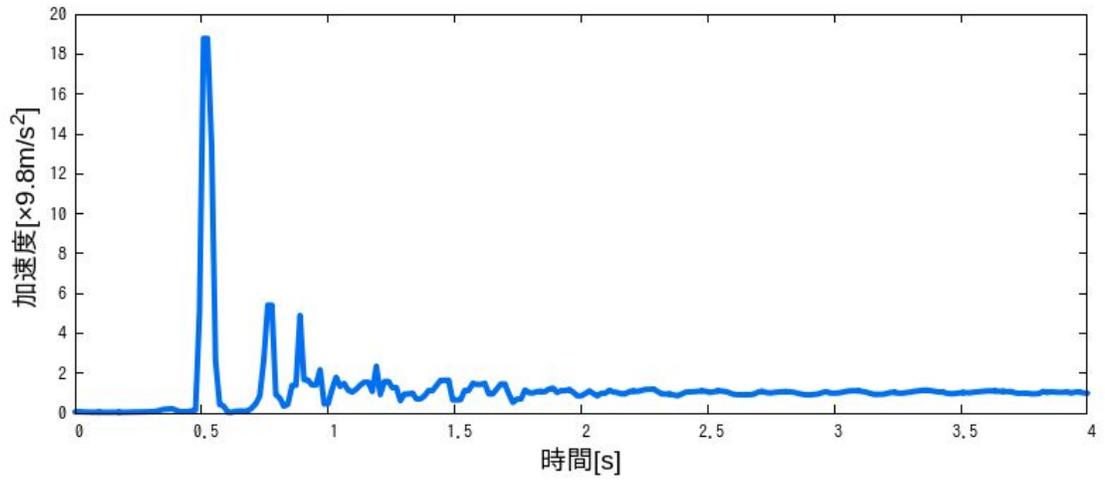


図6.8.4 開傘衝撃試験2回目 (カメラ搭載CanSat)

3回目

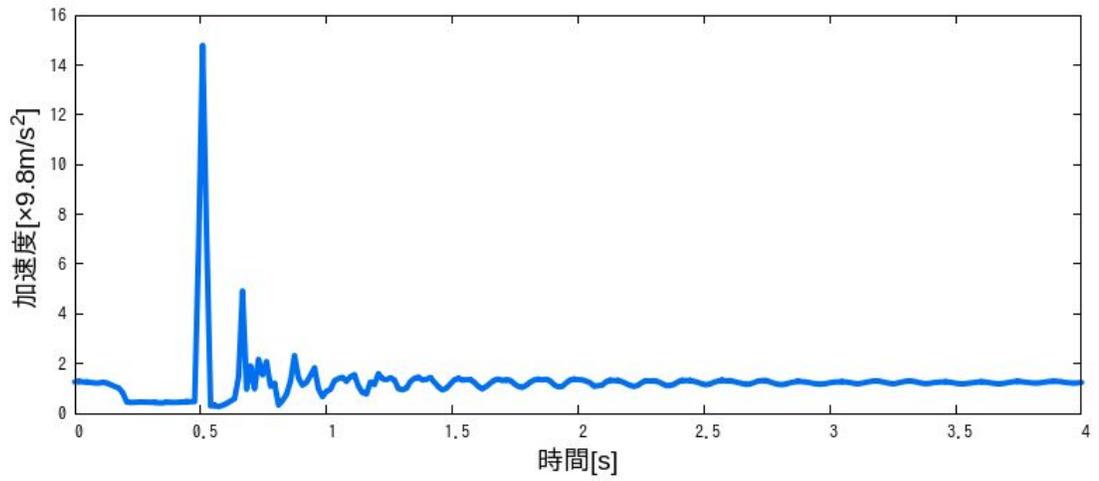


図6.8.5 開傘衝撃試験3回目 (GPSセンサ搭載CanSat)

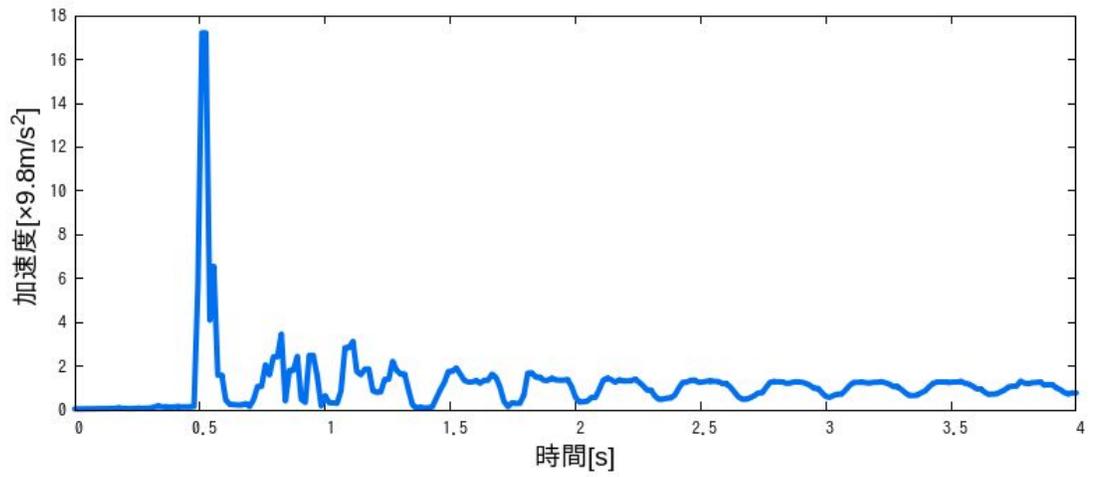


図6.8.6 開傘衝撃試験3回目 (カメラ搭載CanSat)

4回目

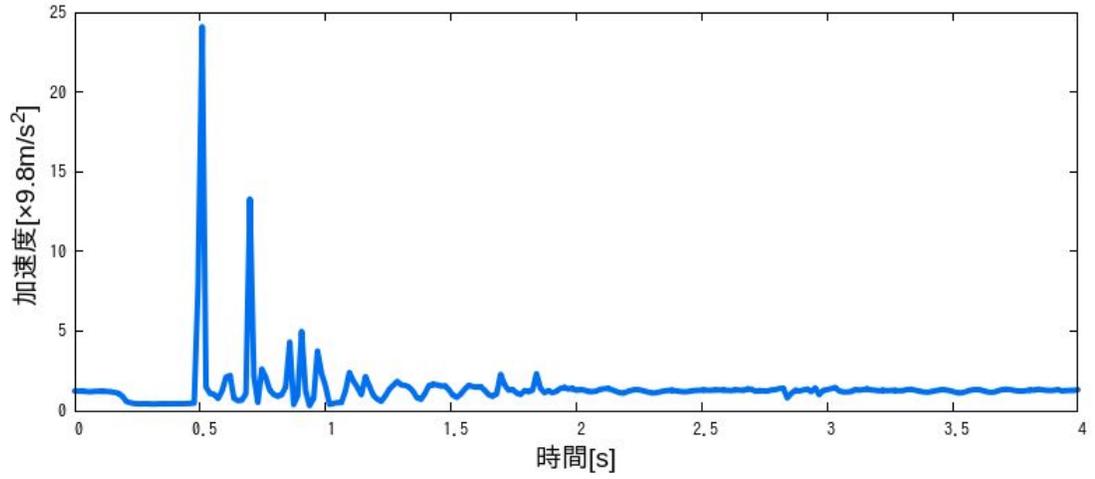


図6.8.7 開傘衝撃試験4回目 (GPSセンサ搭載CanSat)

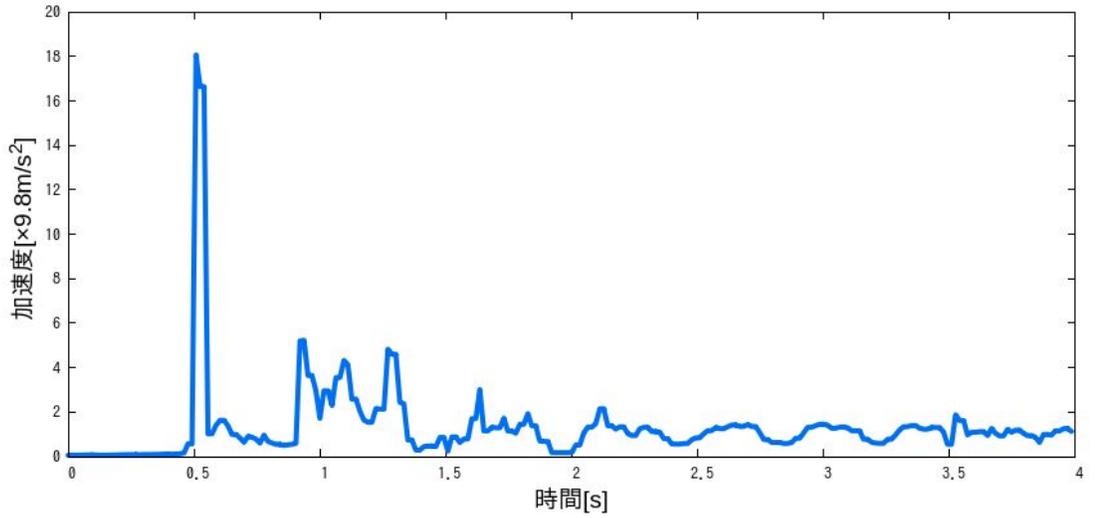


図6.8.8 開傘衝撃試験4回目 (カメラ搭載CanSat)

5回目

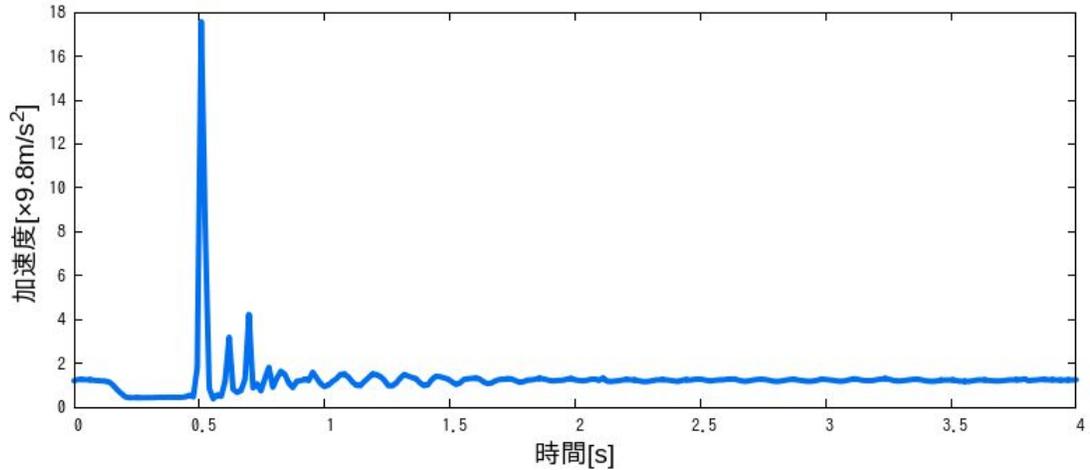


図6.8.9 開傘衝撃試験5回目（GPSセンサ搭載CanSat）

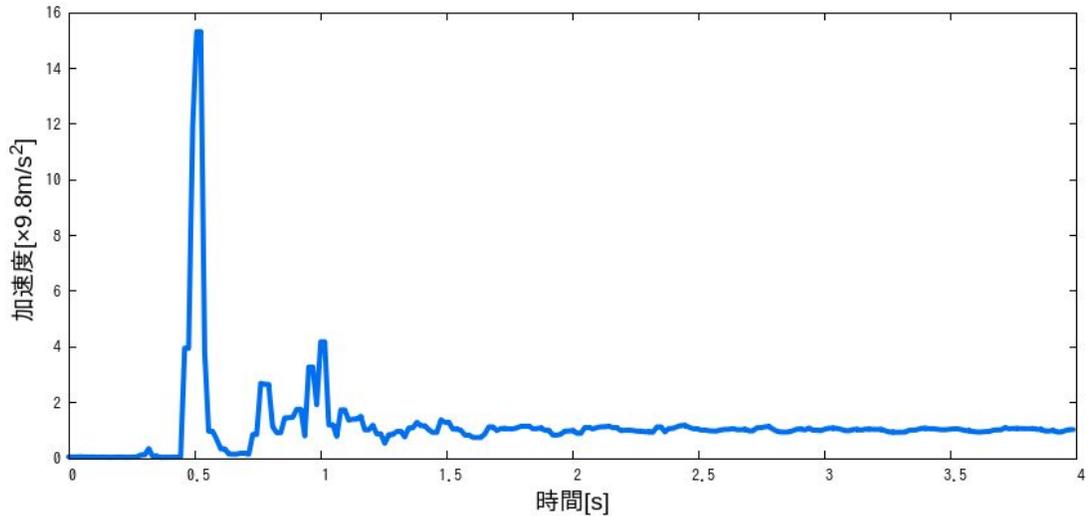


図6.8.10 開傘衝撃試験5回目（カメラ搭載CanSat）

- 結論

以上の結果より、2機のCanSatは少なくともパラシュート開傘時にかかる予想衝撃である12Gの衝撃に耐久可能であることが分かった。これにより、パラシュートの開傘による衝撃に対して、CanSatおよびパラシュートが耐えられることを確認した。

(V9) 通信機電源ON/OFF試験

- 目的

ロケットの通信機器に影響を与えないために、キャリア内で通信機器が電波を発しない状態になることを確認する。CanSatが同時に使用する2種類の通信方法(Wi-Fi, LoRa)について、それぞれ確認する。

- Wi-Fiに関する試験

- 試験内容

試験の複雑さを軽減するため、1機のCanSatで行う。まず、Raspberry Piによって作成したWi-Fiアクセスポイント「sirius_rover_〇〇」(〇〇は機体ごとに異なる)が存在し、電波を発していることを確認する。その後、キャリア内にCanSatを格納した状態でプログラムを開始する。この時点でノートPCとの通信が切断されることを確認するとともに、CanSatが作成するWi-Fiアクセスポイント「sirius_rover_〇〇」が消えることを確認する。最後にキャリアからCanSatを放出し、放出と判定されたタイミングでCanSatが作成するWi-Fiアクセスポイント「sirius_rover_〇〇」が再度表示されることを確認する。

- 結果

以下の表に本試験の結果を示す。

Wi-Fiアクセスポイントの初期状態	正常 (アクセスポイントが出ている)
キャリア内での通信機電源OFF	正常 (アクセスポイントが消えた)
キャリアからの放出後の通信機電源ON	正常 (アクセスポイントが出た)

また、実験動画のURLを以下に示す。

<https://youtu.be/qH43hhXtYHM>

- 結論

以上の結果により、Wi-Fi通信においてキャリア内で通信機器が電波を発しない状態になることが確認できた。

- LoRaに関する試験

- 試験内容

使用しているLoRaモジュールであるES920LRは、他のモジュールから通信を受信すると、受信できたことを送信側に伝えるため、ACK応答(確認応答)と呼ばれる電波を自動的に返送する。そのため、通信機の電源OFFを確認するためには、外部のLoRaモジュールからキャリア内のCanSatに対して通信を行い、ACK応答が返って来ないことが確認できればよい。

まず、片方のCanSatをキャリア内に格納した状態でプログラムを開始する。次に、ノートPCに接続された外部のLoRaモジュールからメッセージを送信する。ACK応答が返って来ない(正常に通信機電源をOFFにできている)場合はノートPC上に「ACK Timeout」と表示されるので、これを確認する。最後にキャリアからCanSatを放出し、放出と判定されたタイミングで再度メッセージを送信する。このとき、ACK応答が返って来る(正常に通信機電源をONにできている)場合はノートPC上に「ACK Timeout」が表示されないので、これを確認する。

- 結果

以下の表に本試験の結果を示す。

LoRaの初期状態	正常 (ACK応答を返している =電源ONの状態である)
キャリア内での通信機電源OFF	正常 (ACK応答を返していない =電源OFFできている)
キャリアからの放出後の通信機電源ON	正常 (ACK応答を返している =電源ONの状態である)

また、実験動画のURLを以下に示す。

<https://youtu.be/ZDpLpsc-yE0>

- 結論

以上の結果により、LoRa通信においてキャリア内で通信機器が電波を発しない状態になることが確認できた。

(V10) 通信周波数変更試験

- 目的
 - 他の無線通信と通信周波数が干渉する可能性がある場合に、使用する通信周波数が変更できることを確認する。

- Wi-Fiに関する試験
 - 試験内容
 - はじめの使用チャンネルを決めておき、ノートPC側からRaspberry Piが出すアクセスポイントへ接続しておく。また、外部からの確認として、他のノートPCでWi-Fiの電波状況を表示するソフトウェア(WiFi Analyzer)によってアクセスポイントの使用周波数を確認する。
 - その後、Raspberry Pi内の設定ファイル(/etc/create_ap.conf)の内容を変更し、Wi-Fiアクセスポイントのチャンネル番号を変更する。アクセスポイントを作成するためのサービス(create_ap)を再起動し、変更を反映する。その後、他のノートPCからアクセスポイントの使用周波数を確認し、外部から見てもアクセスポイントの使用周波数が変更されていることを確認する。

 - 結果
 - 実験動画のURLを以下に示す。
<https://youtu.be/QjSHoY-TjvA>

 - はじめ、アクセスポイント「sirius_rover_camera01」はチャンネル6(2437MHz)を使用していた。設定ファイルを変更・反映することで、チャンネル7(2442MHz)へ使用チャンネルを変更した。外部のノートPCからも、周波数帯が変更されたことを確認することができた。

 - 結論
 - 以上の結果により、Wi-Fi通信において他の無線通信と通信周波数が干渉する可能性がある場合に、使用する通信周波数を変更することが確認できた。

- LoRaに関する試験
 - 試験内容
 - はじめの通信周波数を決めておき、LoRa通信モジュールを搭載した2機のCanSatで端末を起動し、通信が確立することを確認する。その後、LoRaモジュールを設定モードに変更し、通信周波数を変更する。その上で再度端末を起動し、周波数が異なることで通信が確立しないことを確認

する。その後、他方のCanSatの通信周波数も変更後の周波数になるよう設定を変更する。再度端末を起動し、変更後の通信周波数で通信が確立することを確認する。

■ 結果

実験動画のURLを以下に示す。

<https://youtu.be/GzxfUfmvSyg>

はじめ、両方のCanSatのLoRaモジュールはチャンネル1(920.6MHz)を使用していた。まず、片方のCanSatのLoRaモジュールについてのみチャンネル2(920.8MHz)へ変更したところ、周波数が異なることで通信が確立しないことが確認された。その後、もう一方のCanSatのLoRaモジュールもチャンネル2(920.8MHz)に変更したところ、両方のCanSatが変更後のチャンネルで通信を確立することが確認された。なお、通信に使用する帯域幅は125kHz、チャンネル間の周波数間隔は200kHzであり、通信チャンネルは1(920.6MHz)から15(923.4MHz)まで変更することができる。

■ 結論

以上の結果により、LoRa通信において他の無線通信と通信周波数が干渉する可能性がある場合に、使用する通信周波数を変更できることが確認できた。

(V11) 着地衝撃試験

● 目的

着地衝撃の付与後であっても、機体に損傷が無く各種センサ、モータともに正常に動作しCanSatがミッション継続可能であることを確認する。

● 試験内容

本試験ではARLISS本番で予想される終端速度を再現できる高さから自由落下させることにより、ARLISSと同等の着地衝撃をCanSatに与える。自由落下させる高さ h は終端速度を v 、重力加速度を g としたときエネルギー保存則から次式によって導出される。ただし、 $g = 9.84 \text{ [m/s}^2\text{]}$ である。

$$h = \frac{v^2}{2g}$$

終端速度には落下試験で得られた終端速度の理論値を用いる。以下に得られた終端速度と導出された落下開始高度の値を示す。

	終端速度 v [m/s]	落下開始高度 h [m]
落下試験で得られた理論値	6.22	1.97

以上の結果に基づいて、本試験では高度2mからCanSatを落下させる。

また、衝撃付与後に放出判定、着地判定、パラシュート切り離し、ナビゲーションを行い、機体の状態、センサ、モータが正常に動作するか確認する。

- 結果：3回中2回成功（成功率66.7%）
以下の表に本試験の結果とYouTubeリンクを示す。

試行回	機体	センサ	モータ	パラシュート切り離し	YouTubeリンク	備考
1回目	正常	正常	正常	失敗	https://youtu.be/8boYnrO-mF0	光検知による放出判定以降のシーケンス遷移によって着地衝撃耐性を確認していたが、あたりが暗く光検知が十分に行うことができない環境であったためスマホの光で補助した。
2回目	正常	正常	正常	成功	https://youtu.be/bc9Qw9KQikk	
3回目	正常	正常	正常	成功	https://youtu.be/Hq3Dke2E9SU	
成功率	100% (3/3)	100% (3/3)	100% (3/3)	67%(2/3)		

- 結論
上記結果より、機体、各種センサ、モータが着地時の衝撃に耐えうることを確認した。1回目のパラシュート切り離しについては、機体下部のモータ用供

給電源とサーボモータが干渉してしまい、十分に切り離し動作が行われず失敗となった。打ち上げ前に電源とサーボモータの干渉がないよう固定できているか確認する必要がある。

(V12) 電力耐久試験

- 目的

機体に搭載しているバッテリー容量が十分大きく、ミッション中に電池切れが発生しないことを確認する。

- 試験内容

円を描くように移動するようモータの強さの左右比を調整し、その場で機体を進行させる。制御開始のタイミングから制御が停止するまで(いずれか一方のバッテリーが切れるまで)の時間を計測する。

本番で使用するものと同じ以下の電池を使用する。二次電池は十分に充電したものを使用し、一次電池は未使用のものを使用する。

- 制御回路用電源

リチウムバッテリー(二次電池) x 1

- モータ用電源

「Energizer Ultimate Lithium」(リチウムイオン一次電池, 単3形) x 4

- 結果

動画URL: <https://youtu.be/vwMA-9LLmcg>

(動画時間が非常に長かったため、適宜途中の動画を省略した。)

制御開始前の電圧は以下の通りであった。

制御回路用電源	4.07 [V]
モータ用電源	7.02 [V]

試験後の電圧は以下の通りであった。

制御回路用電源	3.76 [V]
モータ用電源	2.44 [V]

試験の途中で9軸センサの回路が再初期化に失敗した旨のログが残り、その後は同一の無効な値が取得されるようになった。その後、最終的にはモータ用

電源の電圧降下によりモータ制御が停止した。経過時間は以下の表のようになった。

9軸センサ制御停止までの時間	3時間30分
モータ制御停止までの時間	4時間29分
Raspberry Pi動作停止までの時間	動作停止せず (少なくとも4時間29分動作)

なお、試験中にRaspberry PiとノートPCの接続が切れることは一度もなく、モータ制御停止後も9軸センサを除く各種センサ値の取得に成功した。

- 走行距離の推定

9軸センサが制御停止した3時間30分までの間に走行する距離を推定するために、電気通信大学多摩グラウンド内のサッカーゴール間の距離およそ107.86mを走行させ、かかった時間を計測した。なお、この計測に使用したモーター用電源は新品ではなく、ある程度消耗しており走行速度が遅くなっているものを使用した。



図6.12.1 速度計測のために走行させた経路

実験動画URLを以下に示す。

<https://youtu.be/niQz3n4g2Js>

走行には1分44秒(104秒間)かかった。これをもとに、以下の計算により3時間30分(3.5時間)の走行距離を見積もることができる。

$$(3.5 \text{ [時間]} \times 60 \text{ [分/時間]} \times 60 \text{ [秒/分]}) \times (107.86 \text{ [m]} / 104 \text{ [秒]}) \doteq 13067 \text{ [m]}$$

弊研究室の昨年度ARLISS大会参加時のログデータのうち、GPS座標の記録が残っていた2回について着地地点とゴール地点の距離を計測したところ、以下の通りであった。

MICHIBIKIチーム 投下2回目	ゴール地点から 3177 [m]
Aresチーム 投下2回目	ゴール地点から 3203 [m]

回路正常駆動時間の3時間30分の間の走行可能距離の見積もり 13067 [m] はこれらの4倍以上であり、キャリア搭載から打ち上げまでにかかる時間(約30分)やスタック時の抜け出し動作を含めても、ARLISSのミッションに十分な時間の制御が可能であることがわかった。

- 結論

試験の結果、CanSatは3時間30分間正常に動作した。この結果から、機体に搭載しているバッテリー容量が十分大きく、能代宇宙イベントおよびARLISSにおけるミッション中に電池切れが発生しないことが確認された。

(V13) GPS単体ナビゲーション試験

- 目的

GPSセンサ搭載CanSatが、着地地点からゴール地点へ走行するための人の手を介さない自律ナビゲーションシステムを有することを確認する。

- 試験内容

サレジオ児童公園(調布市)内にカラーコーンを設置してゴール地点とし、約20m離れた地点からナビゲーションを開始する。ゴール付近に到達したと判断するしきい値を5m(カメラ単体ゴール検知試験での機体-ゴール間の距離と同じ距離)とし、ゴール地点付近でナビゲーションが終了することを確認する。

結果から、GPSセンサの値からゴールまでの方位・距離の情報が正常に計算でき、地磁気センサの方位情報による制御およびゴール距離によるナビゲーション終了判定が可能であることを確認する。なお、より長距離でのGPSナビゲーションは機体間通信ナビゲーション試験で確認している。

- **結果**

以下の表に本試験の結果とYouTubeリンクを示す。

試行回	カラーコーンからの距離 (※理想値:5.00m)	YouTubeリンク	備考
1回目	6.30m	https://youtu.be/VymFXo8V_6Q	ゴール判定後、再取得した最新のGPS座標がゴール地点5mの範囲外になったため再度ナビゲーションに入った。しかし、実際のミッションではこの状況でもカメラ搭載CanSatのゴール検知の完了を待つ(再ナビゲーションを行わない)ため、最初に停止した地点を記録した。
2回目	2.00m	https://youtu.be/VIO5hcm43ZE	
3回目	1.35m	https://youtu.be/slKizG43Qb4	
4回目	2.00m	https://youtu.be/g6mB7tihzP0	
5回目	2.30m	https://youtu.be/eBDEqU9EDAq	

- **結論**

5回の実験において、いずれもCanSatはゴール地点から5m付近の位置で制御を停止した。この結果から、GPSセンサ搭載CanSatが着地地点からゴール地点へ走行するための人の手を介さない自律ナビゲーションシステムを有していることが確認された。

(V14) カメラ単体ゴール検知試験

- **目的**

カメラ搭載CanSatが、カメラ画像によりゴール地点のカラーコーンを認識し、0mゴールできることを確認する。

- **試験内容**

カラーコーンからおよそ5mの地点にカメラ搭載CanSatを配置し、ゴール検知シーケンスを開始する。シーケンス終了後、CanSatが0mゴールと判定した地点のカラーコーンからの距離を調べる。なお、カラーコーンはレギュレーションに記載されているゴール地点のカラーコーンの色と同じ色(赤色)のもの

を使用する.

- 結果

以下の表に本試験の結果とYouTubeリンクを示す. 表中のカラーコーンからの距離に関しては, CanSatがカラーコーンと接触している場合に0mとした.

試行回	カラーコーンからの距離	YouTubeリンク	制御終了時の様子
1回目	0m	https://youtu.be/Ool_1VNwDPE	
2回目	0m	https://youtu.be/oYgi9st-l5U	
3回目	0.10m	https://youtu.be/CJesMk1BqLE	
4回目	0.50m	https://youtu.be/1AVMjiiC4Rg	
5回目	0m	https://youtu.be/3p7IN3QSPsc	

- 結論

上記の結果より、カメラ搭載CanSatがカメラ画像によりゴール地点のカラーコーンを認識し、0mゴールできることが確認された。

(V15) 機体間通信ナビゲーション試験

- 目的
GPSセンサ搭載CanSatからカメラ搭載CanSatへ位置情報を伝達し、1機のGPS情報のみで2機のナビゲーションが可能であることを確認する。
- 試験内容
電気通信大学多摩グラウンド内のある地点にカラーコーンを設置してゴール地点とする。約100m離れた地点に2機のCanSatを並べて配置し、同時にナビゲーションシーケンスを開始する。このとき、2機両方が同じ方向へ進行することを確認する。
GPS単体ナビゲーション試験と同様に、ゴール判定のしきい値は5mとする。これに達したときGPSセンサ搭載CanSatがゴール付近でナビゲーションを終了するとともに、カメラ搭載CanSatがそれに続いてナビゲーションを終了し、カメラによるゴール検知を開始することを確認する。
- 結果
以下の表に本試験の結果とYouTubeリンクを示す。

試行回	2機ナビゲーション開始	GPS機のゴール付近判定	カメラ機のゴール検知開始	YouTubeリンク
1回目	成功	成功	成功	https://youtu.be/D79NX YvcWiE
2回目	成功	成功	失敗	https://youtu.be/864ww BgWx8w
3回目	成功	成功	成功	https://youtu.be/pVbsoj bdjfE
4回目	成功	成功	成功	https://youtu.be/OIMnz 0hY3yQ
5回目	成功	成功	成功	https://youtu.be/NV9uA XsAHU0

2回目のカメラ搭載CanSatのゴール検知開始については、GPS搭載CanSatのゴール検知後に、カメラ搭載CanSatに送られたGPS座標がぶれることにより、

しきい値である5mを上回ってしまったため、カメラ搭載CanSatが走り続けたことにより、ゴール判定に入らず失敗した。

- 結論

上記の結果より、GPSセンサ搭載CanSatからカメラ搭載CanSatへ位置情報を伝達し、1機のGPS情報のみで2機のナビゲーションが可能であることが確認された。また、本試験で確認する項目ではないが、走行速度の差により機体間が離れてしまう場合があることがわかった。通信強度が低下した際の機体間接近動作に加えて、走行中にシームレスに接近できるよう走行アルゴリズムを改良していく必要がある。また2回目の失敗からGPS搭載CanSatがゴール判定した際に、GPS座標ではなく、ゴール判定したことをカメラ搭載CanSatに伝えるよう改良する必要がある。

(V16) 機体間接近動作試験

- 目的

機体同士の距離が離れて通信強度が低下した場合に、機体間接近動作を行うことによって機体同士の距離と通信強度が維持できることを確認する。

- 試験内容

グラウンド内で2機のCanSat同士を約20m離れた位置(通信強度およそ-100dBm)に配置し、片方のCanSatで接近動作アルゴリズムを開始する。接近動作アルゴリズムにおいては、CanSat同士の通信強度の推移をもとに制御方位を決定し、通信強度が高まる方位へ走行する。このアルゴリズムによって通信強度がしきい値(-65dBm)以上になるまで接近できるかどうかを確認する。

- 結果

以下の表に本試験の結果とYouTubeリンクを示す。

試行回	機体接近結果	YouTubeリンク	備考
1回目	失敗	https://youtu.be/h2j2grN5LWM	一時的に至近距離に到達したものの接近動作が終了せず、障害物にぶつかって横転
2回目	成功	https://youtu.be/5GW8GplOQtE	
3回目	失敗	https://youtu.be/Nt5o-rSgKUA	一時的に至近距離に到達したものの接近動作が終了せず、グラウンド外にはみ出

			して草にスタック
4回目	成功	https://youtu.be/_x8p3txZaBQ	
5回目	失敗	https://youtu.be/IKDI_x-oH7o	一時的に至近距離に到達したものの接近動作が終了せず、グラウンド内の轍にスタック

- **結論**

以上の結果では、5回中2回において機体間接近動作を行うことによって一方の機体を他方の機体へ接近させることに成功した。一方で、通信強度に対するノイズ、および完了と判定する通信強度のしきい値が過度に厳格であったことから、かえって至近距離に到達した際に接近動作が終了せず、機体同士が離れてしまう現象が確認された。これについては、本番までに接近アルゴリズムおよび完了判定の改良を行う予定である。

(V17) End-to-End試験

- **目的**

CanSatがミッションを行う上での全シーケンスを一連の流れとして遂行できることを確認する。

- **試験内容**

CanSatがミッションを行う上で質量測定、キャリア収納、放出判定、着地判定、ナビゲーション、ゴール検知までの全シーケンスが正常に実行できることを確認する。

- **結果**

動画URL: <https://youtu.be/8oTKynlGU68>

準備と放出	<ul style="list-style-type: none"> ・ 質量計測: 1030 g (規定内) ・ キャリア収納: 成功 ・ 放出: 成功
待機中シーケンス (waiting)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 光検知: 成功
落下中シーケンス (falling)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 気圧変化判定: 成功 ・ ジャイロ判定: 成功
パラシュート切り	<ul style="list-style-type: none"> ・ パラシュート切り離し: 成功

離しシーケンス (para_separating)	
ナビゲーション シーケンス (navigating)	<ul style="list-style-type: none"> ・ GPSセンサによるナビゲーション: 成功 ・ GPS情報送信: 成功 ・ GPS情報受信: 成功 ・ 受信情報によるナビゲーション: 成功 ・ ゴール距離到達判定: 成功
ゴール検知サブ シーケンス (goal_detecting)	<ul style="list-style-type: none"> ・ カメラ撮影: 成功 ・ 赤色検知アルゴリズム作動: 成功 ・ 0mゴール: 0mゴールしたものの、 ゴールコーンにスタックして 0mゴール判定に失敗

フルサクセスに必要なとなる収納からナビゲーション・ゴール検知開始までの一連の流れに成功した。ナビゲーションシーケンスを通して、2機のCanSatがゴール地点付近へ到達した。最終的には0mゴールしたものの、ゴールコーンに引っ掛かりスタックしたために(図6.17.1), 0mゴール判定はできなかった。



図6.17.1 ゴールコーンへスタックしたカメラ搭載CanSatの様子

- **結論**
CanSatがミッションを行う上での全シーケンスを一連の流れとして遂行できることが確認できた。

(V18) 制御履歴レポート作成試験

- 目的
ミッション後，規定された制御履歴レポートを提出するため，得られたログデータから制御履歴レポートを作成する。
- 試験内容
End-to-End試験で得られた制御履歴に関するログデータから提出用の制御履歴レポートを実際に作成する。
- 結果
ここでは，2機のCanSatそれぞれの制御ログデータ，およびGPS搭載CanSatのGPS座標ログを地図上にプロットした画像を掲載する。なお，時刻合わせを行っていなかったため，制御ログ中の時刻表示は実際の時刻とは一致しない。

GPSセンサ搭載CanSatの制御ログデータ

```

> wait
= start waiting
Waiting Mode :light, 1
[09:43:13] Sequence: 'waiting' ←キャリア内待機シーケンス開始
Time: 09:43:14
Light count: 0/5 (LOW)

Time: 09:43:15
Light count: 0/5 (LOW)

Time: 09:43:16
Light count: 0/5 (LOW)

Time: 09:43:17
Light count: 0/5 (LOW)

Time: 09:43:18
Light count: 0/5 (LOW)

Time: 09:43:19
Light count: 0/5 (LOW)

Time: 09:43:20
Light count: 0/5 (LOW)

Time: 09:43:21
Light count: 0/5 (LOW)

```

Time: 09:43:22
Light count: 0/5 (HIGH) ←キャリアから放出され, 光検知

Time: 09:43:23
Light count: 1/5 (HIGH)

Time: 09:43:24
Light count: 2/5 (HIGH)

Time: 09:43:25
Light count: 3/5 (HIGH)

Time: 09:43:26
Light count: 4/5 (HIGH)

(5秒間連続で光検知し, 放出されたと判定)

[09:43:26] Sequence: 'falling' ←落下中シーケンス開始

Time: 09:43:27
Pressure count: 1/10 (1005.77 hPa)
Gyro count: 0/10
GPS position: 35.6405717, 139.5449900

Time: 09:43:28
Pressure count: 2/10 (1005.801 hPa)
Gyro count: 0/10
GPS position: 35.6405667, 139.5449767

Time: 09:43:29
Pressure count: 3/10 (1005.722 hPa)
Gyro count: 0/10
GPS position: 35.6405600, 139.5449650

Time: 09:43:30
Pressure count: 4/10 (1005.887 hPa)
Gyro count: 0/10
GPS position: 35.6405600, 139.5449600

Time: 09:43:31
Pressure count: 5/10 (1005.767 hPa)
Gyro count: 0/10
GPS position: 35.6405483, 139.5449483

Time: 09:43:32

Pressure count: 6/10 (1005.818 hPa)
Gyro count: 1/10
GPS position: 35.6405417, 139.5449400

Time: 09:43:33
Pressure count: 7/10 (1005.869 hPa)
Gyro count: 2/10
GPS position: 35.6405367, 139.5449333

Time: 09:43:34
Pressure count: 8/10 (1005.896 hPa)
Gyro count: 3/10
GPS position: 35.6405367, 139.5449250

Time: 09:43:35
Pressure count: 9/10 (1005.784 hPa)
Gyro count: 4/10
GPS position: 35.6405350, 139.5449183

Time: 09:43:36
Pressure count: 10/10 (1005.868 hPa) ←10秒連続で気圧変化がない
ことを検知
Gyro count: 5/10
GPS position: 35.6405317, 139.5449133

Time: 09:43:37
Pressure count: 11/10 (1005.832 hPa)
Gyro count: 6/10
GPS position: 35.6405300, 139.5449083

Time: 09:43:38
Pressure count: 12/10 (1005.857 hPa)
Gyro count: 7/10
GPS position: 35.6405267, 139.5449033

Time: 09:43:39
Pressure count: 13/10 (1005.884 hPa)
Gyro count: 8/10
GPS position: 35.6405250, 139.5449000

Time: 09:43:40
Pressure count: 14/10 (1005.859 hPa)
Gyro count: 9/10
GPS position: 35.6405250, 139.5448967

Time: 09:43:41

Pressure count: 15/10 (1005.893 hPa)

Gyro count: 10/10 ← 10秒連続で振動がない
(ジャイロセンサの値が一定以下である)
ことを検知

GPS position: 35.6405250, 139.5448950

[09:43:41] Sequence: 'para_separating' ← パラシュート切り離し
シーケンス開始

Para separating... (1/10)

Para separating... (2/10)

Para separating... (3/10)

Para separating... (4/10)

Para separating... (5/10)

Para separating... (6/10)

Para separating... (7/10)

Para separating... (8/10)

Para separating... (9/10)

Para separating... (10/10)

Para separating finished!

Warning: Duplicate subsequence name 'waking'

Warning: Duplicate subsequence name 'waking_from_rollover'

Warning: Duplicate subsequence name 'escaping'

[09:44:11] Sequence: 'navigating' > 'magnet_calibrating'
← 地磁気センサキャリブレーション開始

MagnetCalibrating: Turning right...

MagnetCalibrating: Turning left...

MagnetCalibrating: Turning stopped!

MagnetCalibrating has been finished!

[09:44:23] Sequence: 'navigating' ← ナビゲーションシーケンス開始

Waiting for 'NAVI_OK' message from camera rover...

← カメラ搭載CanSatの準備完了まで待機

Waiting for 'NAVI_OK' message from camera rover...

Waiting for 'NAVI_OK' message from camera rover...

Waiting for 'NAVI_OK' message from camera rover...

Received 'NAVI_OK' message from camera rover! Navigation started!

← カメラ搭載CanSatから準備完了信号を受信
したため、走行開始

GPS: (35.6404783, 139.5448617)

Target Azimuth: 220.221

Current Azimuth: 269.029

Goal Distance: 47.868 m

GPS: (35.6404800,139.5448633)
Target Azimuth: 220.215
Current Azimuth: 235.394
Goal Distance: 48.107 m

GPS: (35.6404817,139.5448650)
Target Azimuth: 220.210
Current Azimuth: 243.409
Goal Distance: 48.346 m

GPS: (35.6404833,139.5448667)
Target Azimuth: 220.204
Current Azimuth: 237.299
Goal Distance: 48.585 m

GPS: (35.6404850,139.5448667)
Target Azimuth: 220.064
Current Azimuth: 236.949
Goal Distance: 48.727 m

GPS: (35.6404833,139.5448633)
Target Azimuth: 219.932
Current Azimuth: 234.964
Goal Distance: 48.391 m

GPS: (35.6404817,139.5448583)
Target Azimuth: 219.659
Current Azimuth: 230.134
Goal Distance: 47.959 m

GPS: (35.6404800,139.5448550)
Target Azimuth: 219.523
Current Azimuth: 232.123
Goal Distance: 47.624 m

GPS: (35.6404767,139.5448500)
Target Azimuth: 219.385
Current Azimuth: 233.761
Goal Distance: 47.050 m

GPS: (35.6404750,139.5448433)
Target Azimuth: 218.956
Current Azimuth: 230.515

Goal Distance: 46.525 m

GPS: (35.6404717,139.5448367)

Target Azimuth: 218.662

Current Azimuth: 231.152

Goal Distance: 45.858 m

GPS: (35.6404700,139.5448283)

Target Azimuth: 218.063

Current Azimuth: 235.753

Goal Distance: 45.244 m

GPS: (35.6404650,139.5448217)

Target Azimuth: 217.893

Current Azimuth: 231.623

Goal Distance: 44.434 m

GPS: (35.6404600,139.5448133)

Target Azimuth: 217.560

Current Azimuth: 227.364

Goal Distance: 43.533 m

GPS: (35.6404567,139.5448067)

Target Azimuth: 217.223

Current Azimuth: 234.712

Goal Distance: 42.872 m

GPS: (35.6404500,139.5448000)

Target Azimuth: 217.181

Current Azimuth: 222.972

Goal Distance: 41.916 m

GPS: (35.6404450,139.5447950)

Target Azimuth: 217.147

Current Azimuth: 229.200

Goal Distance: 41.199 m

GPS: (35.6404400,139.5447900)

Target Azimuth: 217.113

Current Azimuth: 228.506

Goal Distance: 40.482 m

GPS: (35.6404367,139.5447833)

Target Azimuth: 216.743

Current Azimuth: 228.498
Goal Distance: 39.823 m

GPS: (35.6404333,139.5447767)
Target Azimuth: 216.361
Current Azimuth: 229.073
Goal Distance: 39.166 m

GPS: (35.6404300,139.5447683)
Target Azimuth: 215.783
Current Azimuth: 225.255
Goal Distance: 38.422 m

GPS: (35.6404250,139.5447600)
Target Azimuth: 215.346
Current Azimuth: 224.005
Goal Distance: 37.531 m

GPS: (35.6404200,139.5447517)
Target Azimuth: 214.888
Current Azimuth: 229.092
Goal Distance: 36.642 m

GPS: (35.6404150,139.5447433)
Target Azimuth: 214.408
Current Azimuth: 225.889
Goal Distance: 35.755 m

GPS: (35.6404117,139.5447367)
Target Azimuth: 213.938
Current Azimuth: 223.322
Goal Distance: 35.110 m

GPS: (35.6404067,139.5447283)
Target Azimuth: 213.411
Current Azimuth: 229.994
Goal Distance: 34.228 m

GPS: (35.6404033,139.5447200)
Target Azimuth: 212.684
Current Azimuth: 229.149
Goal Distance: 33.506 m

GPS: (35.6403983,139.5447100)

Target Azimuth: 211.873
Current Azimuth: 221.573
Goal Distance: 32.553 m

GPS: (35.6403933,139.5447033)
Target Azimuth: 211.479
Current Azimuth: 226.895
Goal Distance: 31.762 m

GPS: (35.6403883,139.5446983)
Target Azimuth: 211.304
Current Azimuth: 218.654
Goal Distance: 31.051 m

GPS: (35.6403850,139.5446917)
Target Azimuth: 210.696
Current Azimuth: 220.523
Goal Distance: 30.423 m

GPS: (35.6403783,139.5446867)
Target Azimuth: 210.677
Current Azimuth: 228.019
Goal Distance: 29.554 m

GPS: (35.6403733,139.5446800)
Target Azimuth: 210.209
Current Azimuth: 220.098
Goal Distance: 28.768 m

--- 135行分 中略 ---

GPS: (35.6402150,139.5445500)
Target Azimuth: 200.560
Current Azimuth: 210.575
Goal Distance: 7.728 m

GPS: (35.6402083,139.5445467)
Target Azimuth: 200.381
Current Azimuth: 210.804
Goal Distance: 6.928 m

GPS: (35.6402017,139.5445433)
Target Azimuth: 200.154
Current Azimuth: 211.899

Goal Distance: 6.126 m

GPS: (35.6401950,139.5445383)

Target Azimuth: 198.319

Current Azimuth: 212.031

Goal Distance: 5.276 m

GPS: (35.6401833,139.5445317)

Target Azimuth: 195.879

Current Azimuth: 203.382

Goal Distance: 3.858 m ←5m以内判定(1/5)

GPS: (35.6401750,139.5445267)

Target Azimuth: 192.229

Current Azimuth: 205.885

Goal Distance: 2.848 m ←5m以内判定(2/5)

GPS: (35.6401667,139.5445217)

Target Azimuth: 184.647

Current Azimuth: 206.047

Goal Distance: 1.865 m ←5m以内判定(3/5)

GPS: (35.6401600,139.5445200)

Target Azimuth: 180.000

Current Azimuth: 195.114

Goal Distance: 1.116 m ←5m以内判定(4/5)

Goal! ←5m以内判定(5/5) 5回連続で判定したため制御停止

カメラ搭載CanSatの制御ログデータ

> wait

= start waiting

Waiting Mode :light, 1

[15:17:58] Sequence: 'waiting' ←キャリア内待機シーケンス開始

Time: 15:17:59

Light count: 0/5 (LOW)

Time: 15:18:00

Light count: 0/5 (LOW)

Time: 15:18:01

Light count: 0/5 (LOW)

Time: 15:18:02
Light count: 0/5 (LOW)

Time: 15:18:03
Light count: 0/5 (LOW)

Time: 15:18:04
Light count: 0/5 (LOW)

Time: 15:18:05
Light count: 0/5 (LOW)

Time: 15:18:06
Light count: 0/5 (LOW)

Time: 15:18:07
Light count: 0/5 (LOW)

Time: 15:18:08
Light count: 0/5 (LOW)

Time: 15:18:09
Light count: 0/5 (LOW)

Time: 15:18:10
Light count: 0/5 (LOW)

Time: 15:18:11
Light count: 0/5 (HIGH) ←キャリアから放出され, 光検知

Time: 15:18:12
Light count: 1/5 (HIGH)

Time: 15:18:13
Light count: 2/5 (HIGH)

Time: 15:18:14
Light count: 4/5 (HIGH)

Time: 15:18:15
Light count: 5/5 (HIGH) ←5秒間連続で光検知し, 放出されたと判定

[15:18:15] Sequence: 'falling' ←落下中シーケンス開始

Time: 15:18:16

Pressure count: 1/10 (1005.89 hPa)

Gyro count: 0/10

GPS position: unknown

※カメラ搭載(GPS非搭載)CanSatなのでGPS座標はunknownで正常

Time: 15:18:17

Pressure count: 2/10 (1005.9 hPa)

Gyro count: 0/10

GPS position: unknown

Time: 15:18:18

Pressure count: 3/10 (1005.87 hPa)

Gyro count: 0/10

GPS position: unknown

Time: 15:18:19

Pressure count: 4/10 (1005.89 hPa)

Gyro count: 1/10

GPS position: unknown

Time: 15:18:20

Pressure count: 5/10 (1005.92 hPa)

Gyro count: 2/10

GPS position: unknown

Time: 15:18:21

Pressure count: 6/10 (1005.89 hPa)

Gyro count: 3/10

GPS position: unknown

Time: 15:18:22

Pressure count: 7/10 (1005.84 hPa)

Gyro count: 4/10

GPS position: unknown

Time: 15:18:23

Pressure count: 8/10 (1005.87 hPa)

Gyro count: 5/10

GPS position: unknown

Time: 15:18:24

Pressure count: 9/10 (1005.86 hPa)

Gyro count: 6/10

GPS position: unknown

Time: 15:18:25

Pressure count: 10/10 (1005.85 hPa) ←10秒連続で気圧変化がない
ことを検知

Gyro count: 7/10

GPS position: unknown

Time: 15:18:26

Pressure count: 11/10 (1005.91 hPa)

Gyro count: 8/10

GPS position: unknown

Time: 15:18:27

Pressure count: 12/10 (1005.87 hPa)

Gyro count: 9/10

GPS position: unknown

Time: 15:18:28

Pressure count: 13/10 (1005.94 hPa)

Gyro count: 10/10 ←10秒連続で振動がない
(ジャイロセンサの値が一定以下である)
ことを検知

GPS position: unknown

[15:18:28] Sequence: 'para_separating' ←パラシュート切り離し
シーケンス開始

Para separating... (1/10)

Para separating... (2/10)

Para separating... (3/10)

Para separating... (4/10)

Para separating... (5/10)

Para separating... (6/10)

Para separating... (7/10)

Para separating... (8/10)

Para separating... (9/10)

Para separating... (10/10)

Para separating finished!

[15:18:58] Sequence: 'navigating' > 'magnet_calibrating'
←地磁気センサキャリブレーション開始

[15:18:59] Sequence: 'navigating' > 'magnet_calibrating' > 'waking'
Waking finished!

[15:19:01] Sequence: 'navigating' > 'magnet_calibrating'
MagnetCalibrating: Turning right...

MagnetCalibrating: Turning left...
MagnetCalibrating: Turning stopped!
MagnetCalibrating has been finished!
[15:19:13] Sequence: 'navigating' ←ナビゲーションシーケンス開始
Received: (35.6405850,139.5449750) ←LoRaで受信したGPS座標
GPS: (35.6405850,139.5449750)
Target Azimuth: 220.366
Current Azimuth: 34.830
Goal Distance: 63.555 m

Received: (35.6404767,139.5448600)
GPS: (35.6404767,139.5448600)
Target Azimuth: 220.224
Current Azimuth: 218.377
Goal Distance: 47.632 m

Received: (35.6404783,139.5448617)
GPS: (35.6404783,139.5448617)
Target Azimuth: 220.227
Current Azimuth: 244.790
Goal Distance: 47.867 m

Received: (35.6404800,139.5448633)
GPS: (35.6404800,139.5448633)
Target Azimuth: 220.213
Current Azimuth: 228.645
Goal Distance: 48.105 m

Received: (35.6404817,139.5448650)
[15:19:17] Sequence: 'navigating' > 'waking' ←反転時の起き上がり
Waking failed! Retrying...
Waking failed! Retrying...
Waking failed! Retrying...
Waking failed! Retrying...
Waking finished!
[15:19:45] Sequence: 'navigating'
GPS: (35.6404817,139.5448650)
Target Azimuth: 220.207
Current Azimuth: 181.777
Goal Distance: 48.349 m

Received: (35.6403850,139.5446917)
GPS: (35.6403850,139.5446917)
Target Azimuth: 210.701

Current Azimuth: 235.994
Goal Distance: 30.424 m

Received: (35.6403783,139.5446867)
GPS: (35.6403783,139.5446867)
Target Azimuth: 210.685
Current Azimuth: 224.253
Goal Distance: 29.552 m

Received: (35.6403733,139.5446800)
GPS: (35.6403733,139.5446800)
Target Azimuth: 210.213
Current Azimuth: 224.012
Goal Distance: 28.765 m

--- 135行分 中略 ---

Received: (35.6402150,139.5445500)
GPS: (35.6402150,139.5445500)
Target Azimuth: 200.560
Current Azimuth: 219.736
Goal Distance: 7.728 m

Received: (35.6402083,139.5445467)
GPS: (35.6402083,139.5445467)
Target Azimuth: 200.415
Current Azimuth: 215.675
Goal Distance: 6.925 m

Received: (35.6402017,139.5445433)
GPS: (35.6402017,139.5445433)
Target Azimuth: 200.116
Current Azimuth: 215.620
Goal Distance: 6.129 m

Received: (35.6401950,139.5445383)
GPS: (35.6401950,139.5445383)
Target Azimuth: 198.288
Current Azimuth: 208.005
Goal Distance: 5.275 m

Received: (35.6401950,139.5445383)
GPS: (35.6401950,139.5445383)
Target Azimuth: 198.288

Current Azimuth: 228.775
Goal Distance: 5.275 m

Received: (35.6401833,139.5445317)
GPS: (35.6401833,139.5445317)
Target Azimuth: 195.936
Current Azimuth: 214.964
Goal Distance: 3.856 m ← **5m以内判定(1/5)**

Received: (35.6401750,139.5445267)
GPS: (35.6401750,139.5445267)
Target Azimuth: 192.287
Current Azimuth: 212.896
Goal Distance: 2.848 m ← **5m以内判定(2/5)**

Received: (35.6401667,139.5445217)
GPS: (35.6401667,139.5445217)
Target Azimuth: 184.729
Current Azimuth: 205.353
Goal Distance: 1.867 m ← **5m以内判定(3/5)**

Received: (35.6401600,139.5445200)
GPS: (35.6401600,139.5445200)
Target Azimuth: 180.000
Current Azimuth: 189.080
Goal Distance: 1.116 m ← **5m以内判定(4/5)**

(5m以内判定(5/5) 5回連続で判定したためゴール検知開始)
[15:20:23] Sequence: 'navigating' > 'goal_detecting'
← **ゴール検知シーケンス開始**

Goal not found! (rate: 0)
Initial Azimuth: 222
[15:20:26] Sequence: 'navigating' > 'goal_detecting' >
'accel_power_turning' ← **ゴール探索のための旋回動作開始**
Current Azimuth: 222 (relative:0)
Turning Power: 11 ← **モータの強さを増加させながら旋回**
Current Azimuth: 222 (relative:-0.741)
Turning Power: 12
Current Azimuth: 229 (relative:6.78)
Turning Power: 13
Current Azimuth: 233 (relative:10.4)
Turning Power: 14

[15:20:27] Sequence: 'navigating' > 'goal_detecting'
[15:20:28] Sequence: 'navigating' > 'goal_detecting' > 'waking'

Waking finished!
[15:20:30] Sequence: 'navigating' > 'goal_detecting'
Goal found! (rate: 0.00227)←カメラ画像内にカラーコーンを検出
Goal azimuth = 209 (current) + -2.24 (red area angle) = 207
←カラーコーンを検出した方位へ走行開始
Goal not found! (rate: 0.000273)
Initial Azimuth: 336
[15:20:37] Sequence: 'navigating' > 'goal_detecting' >
'accel_power_turning'
Current Azimuth: 336 (relative:0)
Turning Power: 11
Current Azimuth: 338 (relative:1.95)
Turning Power: 12
Current Azimuth: 333 (relative:-3.66)
Turning Power: 13
Current Azimuth: 334 (relative:-2.58)
Turning Power: 14
Current Azimuth: 331 (relative:-5.54)
Turning Power: 15
Current Azimuth: 335 (relative:-1.25)
Turning Power: 16
Current Azimuth: 328 (relative:-7.84)
Turning Power: 17
Current Azimuth: 333 (relative:-3.7)
Turning Power: 18
Current Azimuth: 328 (relative:-7.74)
Turning Power: 19
Current Azimuth: 329 (relative:-6.73)
Turning Power: 20
Current Azimuth: 327 (relative:-8.92)
Turning Power: 21
Current Azimuth: 326 (relative:-10.1)
Turning Power: 22
Current Azimuth: 324 (relative:-12.4)
Turning Power: 23
Current Azimuth: 324 (relative:-12)
Turning Power: 24

--- 12,777行分 後略 ---

(※0mゴール判定は行われず、ゴール探索が続いている)



図6.18.1 GPSセンサ搭載CanSatのGPS座標ログの地図上プロット

- 結論

以上の結果から， End-to-End試験で得られた制御ログをもとに制御レポート履歴を作成し， 運営に提出できることが確認できた。

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）

1. チーム内・審査会等

- チーム全体
 1. 定例MTG：毎週金曜
 2. PM完成：7/15
 3. 気球試験：7月末
 4. 分離衝撃試験：8/2
 5. 振動試験：8/2
 6. End-To-End試験：8/1~8/30
 7. 能代宇宙イベント：8/16~8/18
 8. FM完成：9/1
- 審査会
 - 開催なし

チーム全体の予定は下記URLのGoogleスプレッドシートのガントチャートで管理している。

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1kYFpWvK9Z-nrmpB5HdHWbJalp80FfjnVOYmpirK01Y/edit?usp=sharing>

2. 各担当（ハード・ソフト・全体などの進行状況・予定を記入）

制作スケジュールにおける実施予定および最終的な実施完了日は以下のとおりである。

- ハード
 1. PM用機体作成：7/8~7/15予定，7/15完了
 2. 開傘衝撃試験：7/20予定，7/20完了
 3. 着地衝撃試験：7/21予定，8/21完了
 4. 静荷重試験：7/23，7/24予定，8/5完了
 5. 落下試験：7/26，7/27，7/28予定，8/18完了
 6. 質量試験：7/26予定，8/20完了
 7. キャリア収納試験：7/26予定，8/20完了
 8. 量産：8/1~8/30
- 回路
 1. 決定版回路図設計：7/10予定 7/2完了 7/17修正
 2. プリント基板発注：7/11予定 7/17完了
 3. 回路量産：7/20予定 7/19~実施

- ソフト

1. GPSナビゲーション完成 : 5/30予定, 5/15完了
2. ゴール検知シーケンス完成 : 6/5予定, 6/18完了
3. 機体間通信ナビゲーション完成 : 6/10予定, 6/21完了
4. 機体間通信完成 : 7/1予定, 7/20完了
5. 通信機電源ON/OFF試験(Wi-Fi/LoRa) : 7/24予定, 8/20完了
6. 通信周波数変更試験(Wi-Fi/LoRa) : 7/24予定, 8/20完了
7. 機体間通信ナビゲーション試験 : 7/10予定, 8/21完了
8. 機体間接近動作試験 : 7/17予定, 8/20完了
9. 長距離通信試験 : 7/25予定&完了
10. 制御履歴レポート試験 : 8/1予定, 8/20完了

第8章 大会結果

1. 能代宇宙イベント

□ 目的

弊団体はチーム開発を通して協調性を上げること、開発に必要な技術力を身につけること、および研究室におけるCanSatに関する技術向上を目的にCanSat開発を行っており、最終目標であるARLISSでのミッション成功のための予行演習を行うことを目的に、能代宇宙イベントへ参加している。

□ 結果

	ミニマム サクセス	フルサクセス	アドバンスト サクセス
内容	GPS座標を通信し 2機で走行開始	接近動作による 通信復帰	2機両方の 0mゴール
投下1回目	×	×	×
投下2回目	×	×	×

■ 投下1回目

◇ 結果: リタイア

◇ 動画URL: <https://youtu.be/xlyR1Mt5yEo>

◇ 着地時、GPS機の右タイヤが脱輪し、直進走行不能となった。また、両機体とも着地衝撃により回路電源が瞬電した。カメラ機は再起動し、パラシュートの切り離しシーケンスに正常に移行したが、GPS機は復帰せずミッション続行不可能となった。

◇ GPS機の回路電源が入らないため、カメラ機へGPS情報の共有ができなかった。カメラ機はGPS情報を取得することでミッションを開始するようプログラムされていたため、ここでカメラ機もミッション続行不可能となりリタイア。

■ 投下2回目

◇ 結果: リタイア

◇ 動画URL: <https://youtu.be/LLcEn2qnDj4>

- 両機体とも、パラシュートを切り離すことに成功した。しかし、カメラ機のモータギアが破損してしまっていたため、モーターが空転し続けた。そのため、カメラ機は走行できず、ミッション続行が不可能となった。

- GPS機は走行を開始することができた。しかし、着地点が整備されていない場所だったため、雑草がタイヤに絡まってミッション続行不可能となりリタイア。

□ 取得データ

■ 投下1回目

◇ GPS機

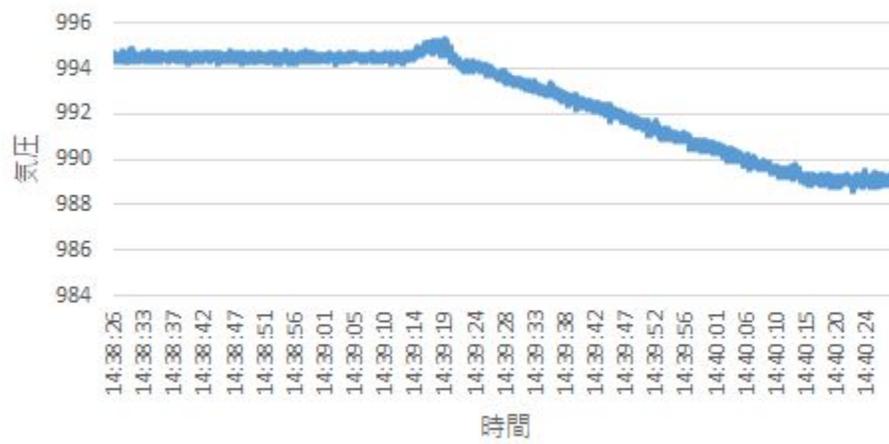


図8.1.1 GPS機 気圧ログ

◇ カメラ機

- SDカードのデータ破損のため記録なし

■ 投下2回目

◇ GPS機

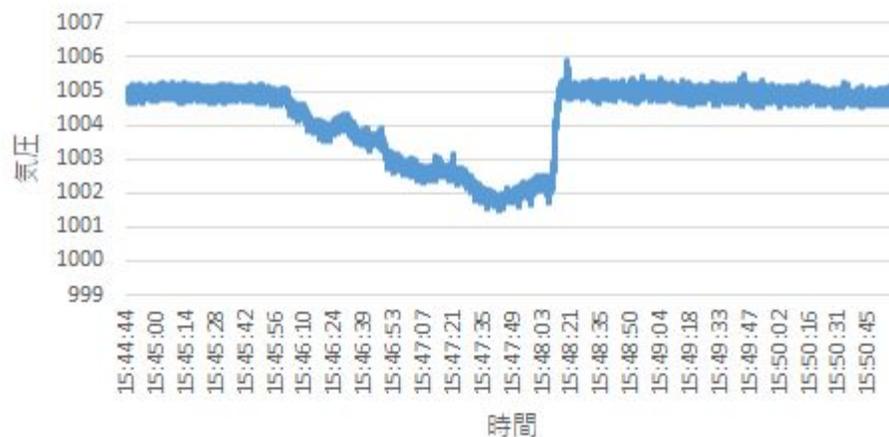


図8.1.2 GPS機 気圧ログ

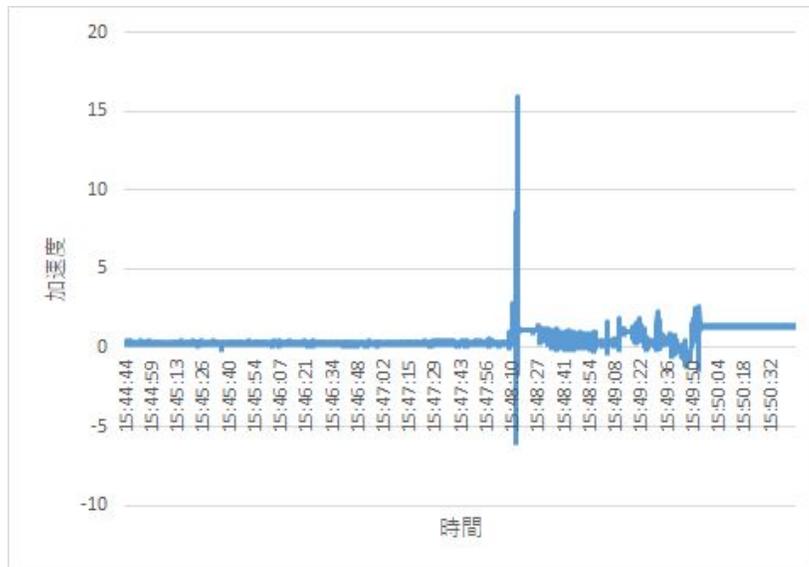


図8.1.3 GPS機 加速度ログ

◇ カメラ機

- SDカードのデータ破損のため記録なし

□ 故障原因解析・解決手段等

■ 投下1回目

故障箇所	原因解析
脱輪(カメラ機)	着地衝撃により、タイヤが車軸ごと機体から脱落。車軸と本体を固定しているイモネジ(ホーロー)が着地衝撃によりゆるんでいたことを確認。前日にネジロック剤でイモネジを固定していたが、乾燥時間が不十分であったため、着地時にゆるんだものと考えられる。2回目の投下ではネジロック剤により固定する時間を1回目よりも長くすることで、本故障を予防した。
瞬電(GPS機)	着地時、本体電源(LiPoバッテリー)コネクタの接触不良により瞬電。実験終了後コネクタに指で刺激を与えたところ、Raspberry Piの電源がついたことから、確認が取れている。

■ 投下2回目

故障箇所	原因解析
モータギアの故障(カメラ機)	1回目の投下の際にカメラ機のモータギアの故障を確認していた。使用したモータギアは、使用による劣化が早いことが事前実験で確認できていた。予備パーツがなかったため、現行のまままで実験を続行した結果でもある。

2. ARLISS

□ 目的

弊団体はチーム開発を通して協調性を上げること、開発に必要な技術力を身につけること、および研究室におけるCanSatに関する技術向上を目的にCanSat開発を行っており、これらがARLISS参加の目的である。

□ 結果

	ミニマム サクセス	ミドル サクセス	フルサクセ ス	アドバンスト サクセス
内容	GPS座標を 通信し 2機で走行開始	2機間の距離が ミッション終了時 20m以内	2機ともに ゴール50m 以内到達	2機両方の 0mゴール
投下1回目	×	× (接近動作によるもの ではないため)	×	×
投下2回目	○	×	△ (GPS機のみ 7m地点到達)	×

■ 打ち上げ1回目

◇ 記録: リタイア

◇ 動画URL: <https://youtu.be/kYaH5kQhXTU>

◇ 打ち上げ直後に砂嵐が発生し、機体が地面に打ち付けられながらパラシュートごと風に流されたことで、タイヤ・車軸・モーターなどの駆動系が大きく破損した。

◇ 2機とも回路およびソフトウェア自体は正常動作していたものの、GPS搭

載CanSatからカメラ搭載CanSatへのGPS座標の共有が行われず、2機ナビゲーションを開始することができなかった。

- これは、反転した状態で着地したGPSセンサ搭載CanSatが衝撃による変形が原因で反転復帰動作を完了できなかったためである。
- プログラム上で反転復帰動作中にGPS座標の共有を行わない仕様としていたため、ミッション続行に必要なGPS座標共有が行われなかった。

■ 打ち上げ2回目

◇ 記録: 7.07m

◇ 動画URL

- 着地～GPS機追跡: <https://youtu.be/to4MYXIUGh4>
- カメラ機追跡: <https://youtu.be/9LdZuhsmsJl>

◇ ミッション中、接近動作アルゴリズムは4回実行された。1～3回目は成功したが、4回目は通信が完全に切断されたことで通信強度を取得できず失敗し、2機それぞれが単体でミッションを続行することとなった。

- 1回目の接近動作は、GPS搭載CanSatが地磁気キャリブレーションに失敗していたため、再度キャリブレーションが行われるまでの4分間正常な方位への走行ができていなかった。
- 4回目の接近動作で通信が切断された原因は、GPS機の地磁気キャリブレーション時に送信されていた同期信号をカメラ機が受け取れなかったためである。
 - これにより、GPS機が地磁気キャリブレーションを行っている間もカメラ機はナビゲーションを継続し、次の接近動作までに2機間の距離が大きく離れていた。

◇ GPS搭載CanSatはゴール付近に到達して制御を終了した。

◇ カメラ搭載CanSatはゴールを通り過ぎ、約400m奥の地点に到達したところで制御を終了した。

- 途中でGPS搭載CanSatとの通信が完全に切れ、GPSなしナビゲーションモード(MICHIBIKIモード)が開始したためである。
 - これは、最後にGPS座標を受け取った地点からゴールまでの方位、およびゴールまでの距離から見積もった走行残り時間の推定値を使用してカメラ搭載CanSatのみでミッションを続行するモードである。
- 本年度のCanSatにはモータエンコーダを搭載しなかったため、MICHIBIKIモードにおける走行距離の見積もりは時間によって行った。そのために走行距離の精度が確保できず、実際のゴール距離よりも長く走行したことでゴールから離れた位置で停止した。
- 途中の地磁気キャリブレーションにより走行方位の精度が落ち、走行方位が右に大きくずれた。
 - そのため、たとえ走行距離の見積もりが正しかったとしても、2

機が合流して通信が復帰し、2機ナビゲーションが再開することはなかったと考えられる。

- 取得データ
 - ◇ 打ち上げ1回目
 - GPS機

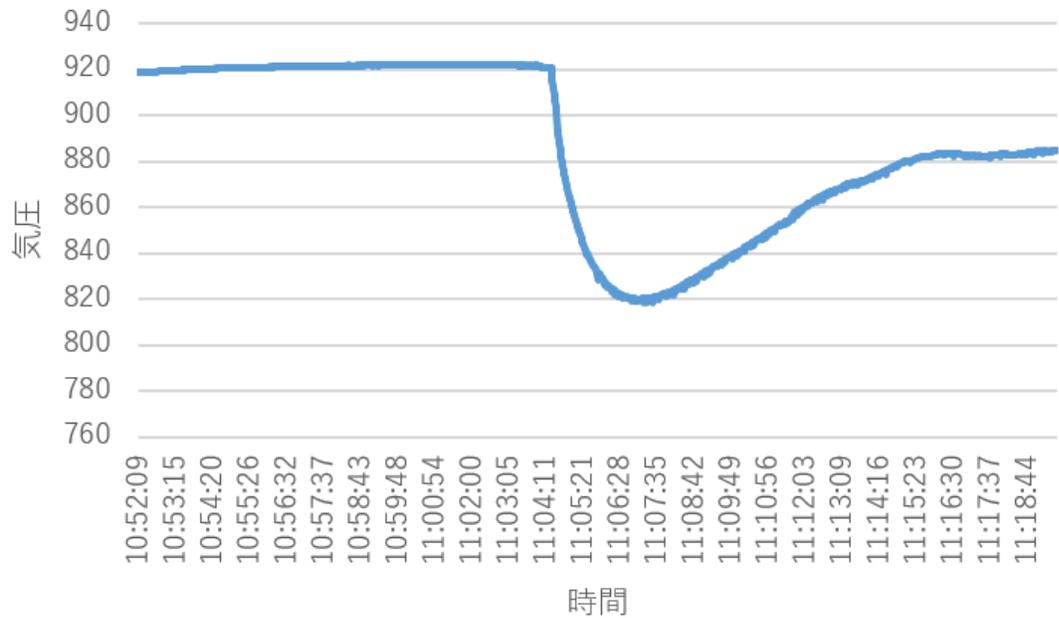


図8.2.1 GPS機 気圧ログ

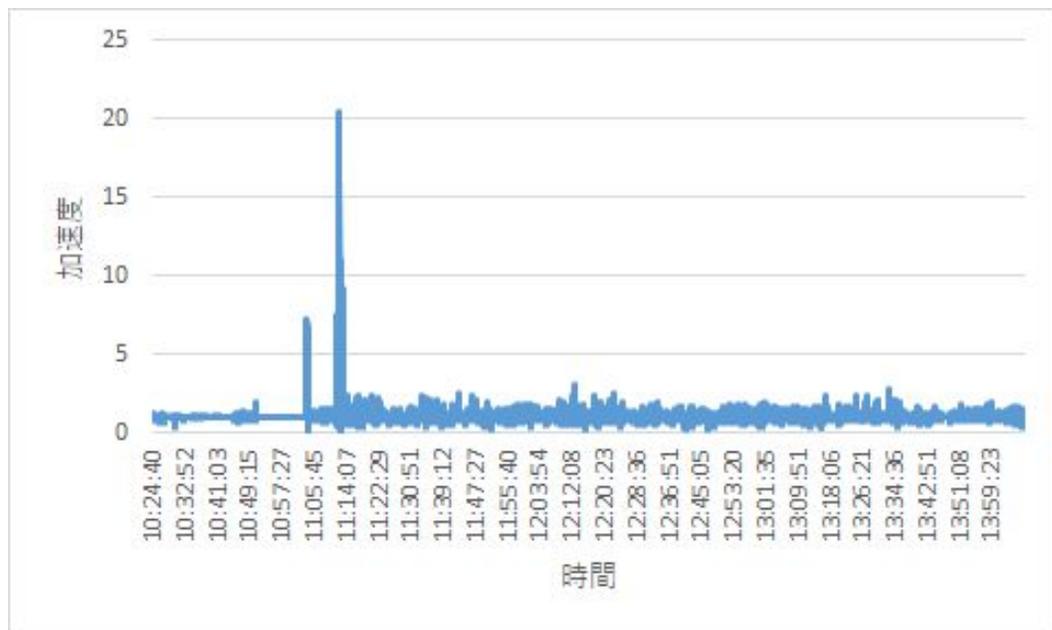


図8.2.2 GPS機 加速度ログ

- カメラ機

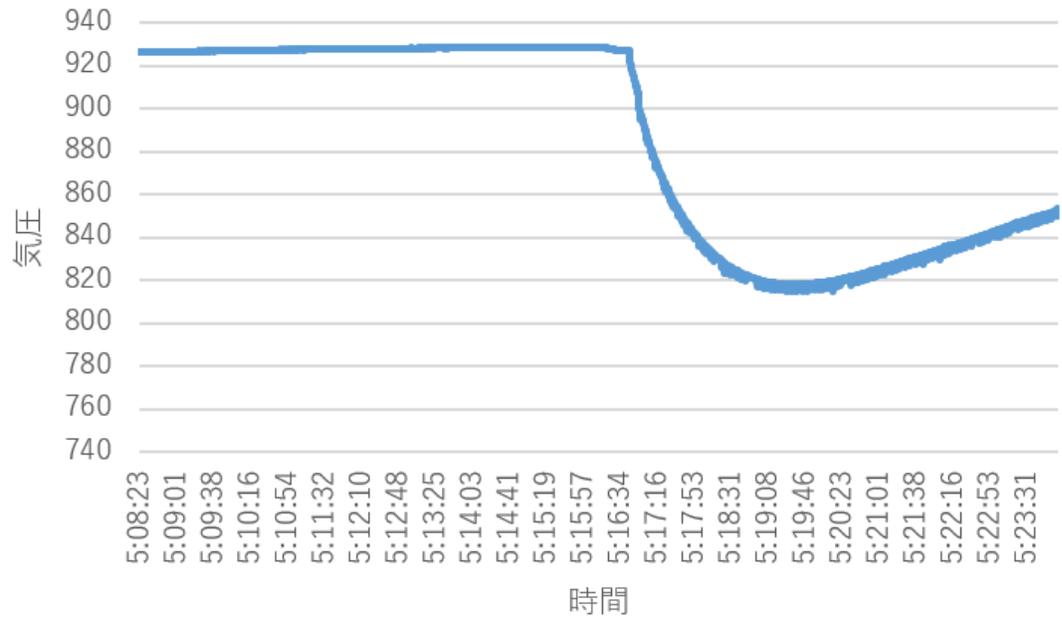


図8.2.3 カメラ機 気圧ログ

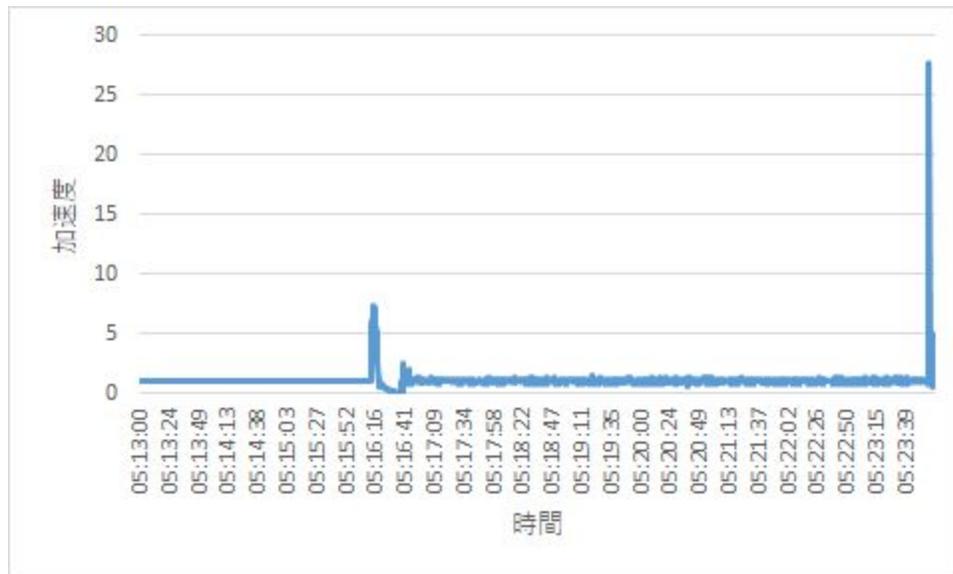


図8.2.4 カメラ機 加速度ログ

◇ 打ち上げ2回目

● GPS機

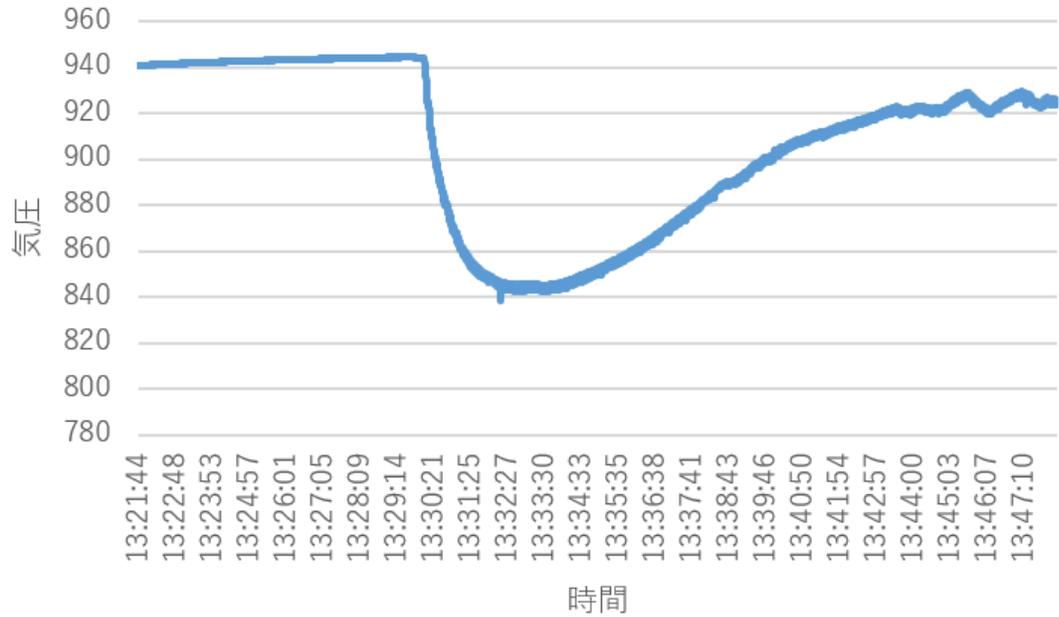


図8.2.5 GPS機 気圧ログ

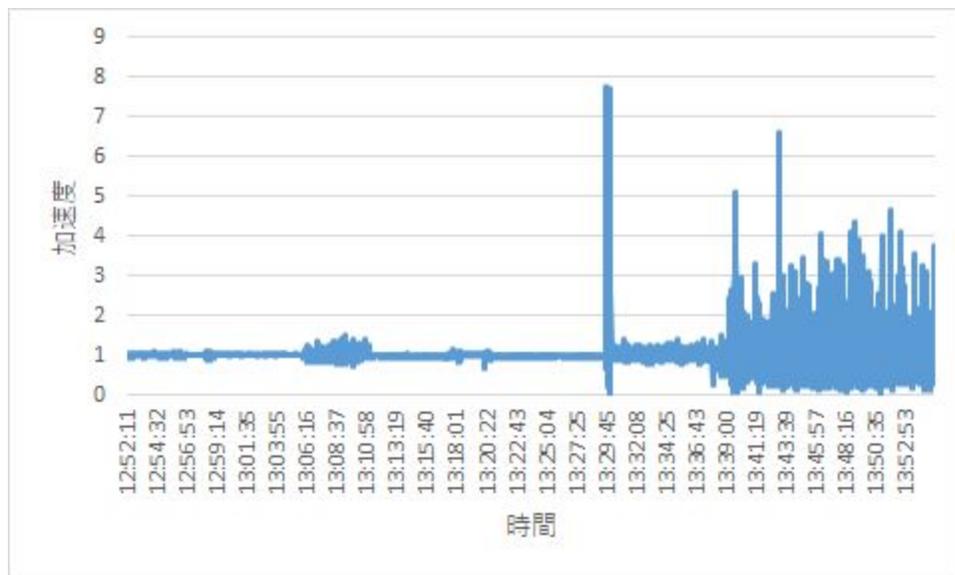


図8.2.6 GPS機 加速度ログ

- カメラ機

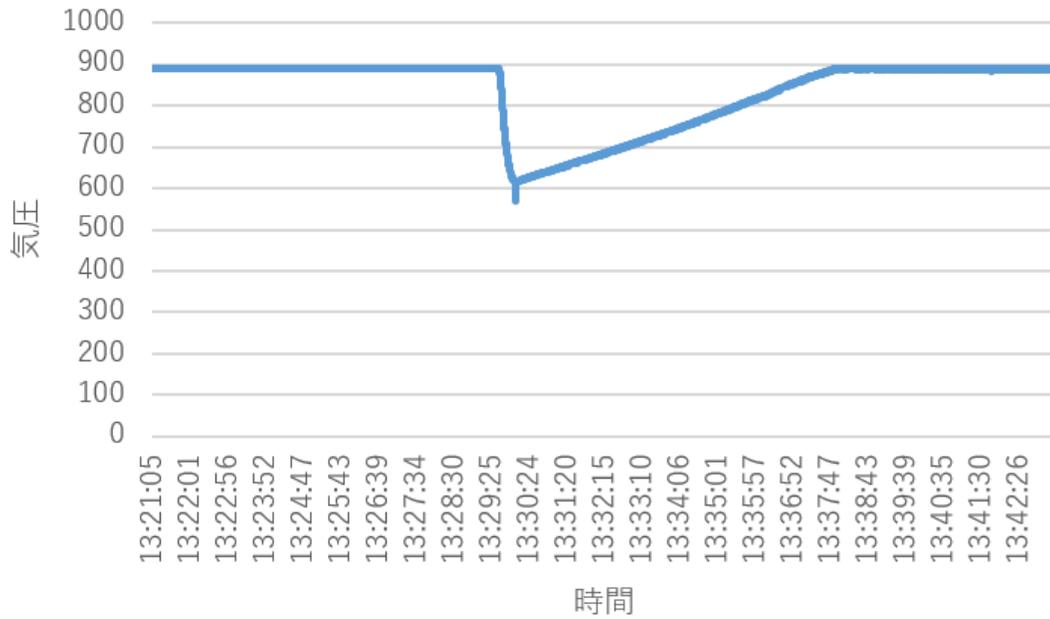


図8.2.7 カメラ機 気圧ログ

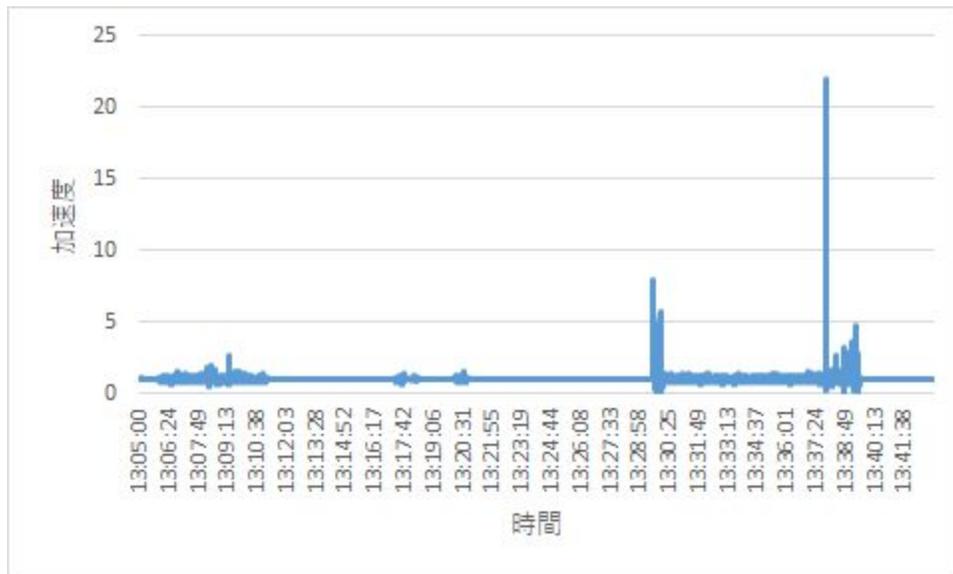


図8.2.8 カメラ機 加速度ログ

- 走行ルート of 軌跡

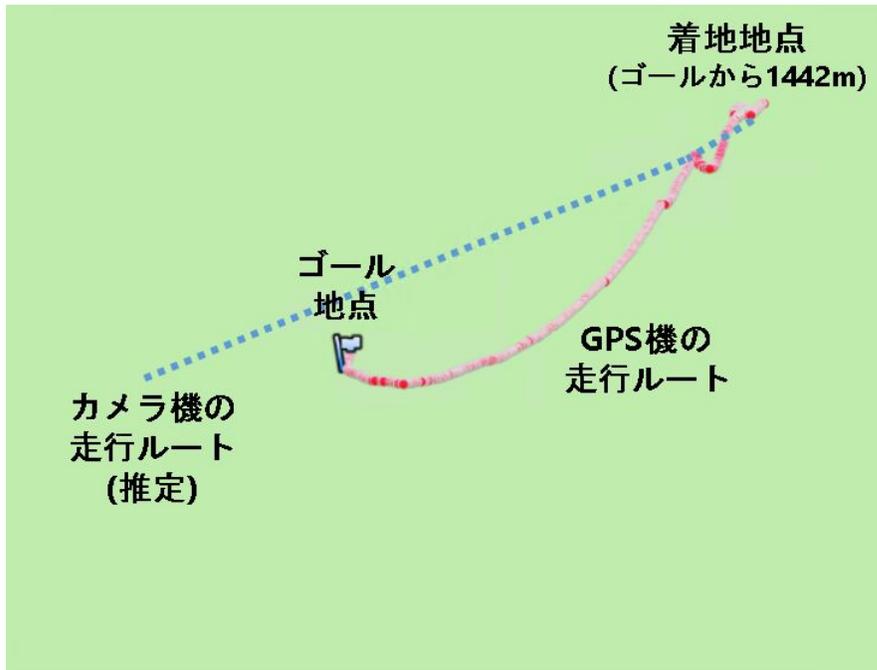


図8.2.9 打ち上げ2回目の走行ルート



図8.2.10 打ち上げ2回目 接近動作1回目の軌跡



図8.2.11 打ち上げ2回目 接近動作2回目の軌跡

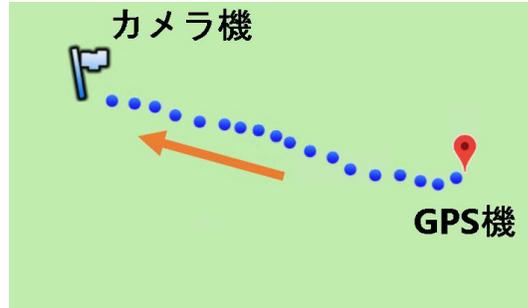


図8.2.12 打ち上げ2回目 接近動作3回目の軌跡

□ 故障原因解析・解決手段等

■ 打ち上げ1回目

- ◇ タイヤが押しつぶされ、スポンジに破れが生じた。タイヤのホイールより外側部分のスポンジがドーナツ状に外れ、機体の内側にめり込んだ。
 - ホイールとスポンジの接着面が薄く、衝撃によって接着が切断されたことが原因である。
 - これを踏まえ、ホイール部分にスポンジを追加し、接着面を大幅に広げる修正を加えた上で打ち上げ2回目に臨んだ。
- ◇ モーターの軸および車軸に変形が生じた。
 - 使用されている材質の強度が砂嵐による衝撃に耐えられなかったことが原因である。

■ 打ち上げ2回目

- ◇ ミッションに支障のある故障箇所なし

第9章 まとめ

ARLISS打ち上げ2回目の結果から、機体サイズ・重量を半分に削減してもゴール地点への到達が可能であることが示された。一方で、GPS機・カメラ機の2機での同時到達のための課題点が明らかとなった。

課題点:

1. より高精度の接近動作
2. 安定したシーケンス同期
3. 距離が離れても切断しにくい通信機の導入
4. 通信強度以外の情報(カメラ画像など)による接近動作の必要性

1. 工夫・努力した点（ハード、ソフト、マネジメント面すべて）

○ ハードウェア

- レギュレーションである2機体の合計重量を1050gに抑える必要があったため、重量削減と耐久性のトレードオフに対して多数回の実験を重ねつつ対処した。
 - 軽いモータだと投下の衝撃に弱くギアが壊れる。
 - 重いモータを使うためには重量を従来より100g削減する必要がある。
 - パラシュートの添え木部品(アルミニウム)に穴開けすると衝撃で折れる。
 - 電池ボックスに過剰に穴開けすると、電池ボックスに歪みが生じる。
- パラシュート切り離しを確実に成功させるための調整に苦戦した。
- スパイクタイヤにより走行の滑りを抑えた。

○ ソフトウェア

- 本ミッションにおける複雑なシーケンスフローを実現するため、昨年度以前のプログラムを再利用せず、一からシステムを開発し直した。
- 2機の様々なシナリオを考慮する必要があった。以下の様な状況にすべて対応できるようアルゴリズムを工夫して作成した。
 - GPS機がスタックした場合
 - カメラ機がスタックした場合
 - GPS機の電源が何らかの原因で切れた場合
 - カメラ機の電源が何らかの原因で切れた場合
 - 2機間の距離が離れ、通信強度が低下した場合
 - 2機間の距離が離れ、通信が切断された場合
- GPSを使用しない新たなスタック判定方法を開発した。
 - 地磁気キャリブレーション時のその場旋回を活用し、旋回に成功したかどうかを調べることでスタック判定を行う。

- LoRaモジュールの通信においてデータに欠損が生じることがあった。そのため、2機間の通信のための独自プロトコル(Siriusプロトコル)を作成し、チェックサムによる内容の正当性検証を導入した。
- 接近動作においては、通信強度のノイズに対応するため、数回分の平均値を使用した。
 - 通信強度を取得できる頻度は限られているため、平均をとる値の個数を上げると次の進行方位の決定が遅れるというトレードオフが存在した。そのため、多数回実験を行うことで最適な値を設定する必要があった。
- 接近動作アルゴリズムの改良の参考とするため、シミュレータを作成して接近にかかる時間の推定値を算出した。
- 地磁気センサの方位の精度向上のため、中央値フィルタを導入してノイズを除去した。

○ 回路

- 2機体運用という制約の中で、許容されるスペース内に収まるようにセンサの配置を工夫した。
- 共通のセンサについて、マイコンのピンとの対応を同じものとした。
 - ソフトウェアでのセンサに対するピン番号指定ミスの軽減
- 共通のセンサについて、回路基板上における配置を共通化した。
 - 回路基板作成時のミスを軽減
 - センサの測定する値における設置誤差の軽減
- カメラとGPSセンサをUSB接続にすることで同一基板で両機体に対応した。
 - プリント基板に関するコストの削減
- USBケーブルを加工して短縮し、接続部をtypeAからmicroBへ変更した。
 - 重量の軽減
- 光センサの配置はLEDや他のセンサ付属のランプを考慮した。
 - 外光以外の影響の削減
- RaspberryPiの配置を工夫し、SDカードとタイヤの干渉を防いだ。
 - SDカードの故障原因の削除
- ケーブルは必要最低限に少しのマージンを加えた長さとした。
 - ケーブル同士の絡まり、タイヤへの干渉の防止
 - コネクタ周りに圧がかかることによる接触不良の防止
- コネクタは色を塗り、メス口とオス口を対応付けた。
 - 電源コネクタ差し間違いによる故障の防止
 - モータコネクタ差し間違いによる意図せぬ動作の防止
- 各センサには絶縁テープを貼り付けた。
 - 意図せぬ箇所での通電による故障原因の削除
- 実験・本番の運用においてLoRaモジュールのアンテナの配置を確認した

- 通信におけるデータ欠損確率の軽減

2. チームのマネジメント等、プロジェクト全体での良かった点、反省点

○ 良かった点

- 「2機体での協調」という挑戦的な課題に取り組み、成果を残せた。
 - 一方で、2機体同時ゴールという最終目標は未だ達成できておらず、今後の課題である。
- ARLISS本番において積極的な意見交換をし、行動することができた。
- ARLISS本番、砂漠実験や1回目の打ち上げ結果から見つかった問題を受けて次の打ち上げまでに修正することができた。
 - 例えば、砂漠実験で見つかった「2機体間の通信が切れた時にGPS機の動作が無限ループしてしまう問題」を修正したことが、2回目の打ち上げでのGPS機のゴールという成果に直結した。
- 朝食ミーティングにおいて、ミッションの重要性や難しさを強調することができ、結果的にOverall Award 第2位を獲得することができた。

○ 反省点

- 4~6月の作業が滞っていた場面があり、開発後半の負担が大きくなった。
 - 指定された集合日時に来ないメンバーがいたことで、予定通りに作業が進まなかった。
- ハード班の負担が大きかったにもかかわらず、他の班のメンバーでそれをカバーすることができなかった。
 - ハード班の作業に関する知識不足が原因で、即戦力になれなかったことが直接的な要因である。
- 現地での実験計画が曖昧だったため、実験内容が場当たりのものになってしまった。
 - とりあえず実験するのではなく、確認すべき事項を定めた上でチーム全員がそれを認識できていることが重要である。
- 運営への実験連絡が不十分であった。
 - 実験開始、実験場所への到着および射点への帰着報告を忘れずに行う必要があった。
 - 打ち上げ本番、CanSatがゴール500m以内に到達した時点で運営に報告する必要があった。