

ACTS報告書

提出日：2021年 12月 26日

- チーム情報

CanSatチーム名	東京都立大学 さはらかん TMU NEBULA
CanSatチーム 代表者情報	伊藤奨真 ito-shoma@ed.tmu.ac.jp / 070-3365-0517
UNISEC団体名	さはらかん
UNISEC団体 学生代表	堀光太郎
責任教員	佐原宏典 sahara@tmu.ac.jp /090-6142-4169

- メンバー

役割	名前（学年）
PM, 回路	伊藤奨真(学部2年)
C&DH, 機体	山本拓(学部2年)

- CanSatの製作目的・大会参加理由

CanSatの製作目的は、ものづくりを通してシステムエンジニアリング、プロジェクトマネジメントを学ぶことである。弊団体は、例年ARLISSに参加しているが今年度は中止となったため、その代替大会である本大会に参加した。

目次

第1章	ミッションについて	3
1.	ミッションステートメント(ミッションの意義と目的)	3
2.	ミッションシーケンス	3
第2章	サクセスクライテリア	4
第3章	要求項目の設定	5
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)	5
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)	6
第4章	システム仕様	8
1.	CanSat外観	8
2.	CanSat内観・機構	9
3.	システム図(CanSat搭載計器仕様一覧)	10
4.	アルゴリズム	14
第5章	試験項目設定	15
第6章	実施試験内容	16
1.	システム要求を満たすための試験内容	16
2.	ミッション要求を満たすための試験内容	26
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)	34
	各担当(ハード・ソフト・全体などの進行状況を記入)	34
第8章	大会結果報告	35
1.	目的	35
2.	結果	35
3.	考察	36
第9章	まとめ	37
1.	工夫・努力した点(ハード、ソフト、マネジメント面すべて)	37
2.	課題点	37
3.	今後の展望	38

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)

<ミッションステートメント>

「0.000mゴールを達成する。」

ミッションの意義と目的

惑星探査ローバーにおいては、目的地に正確に誘導することが求められている。近年、ALISSや国内大会においても0mゴールを達成する団体が増えてきたものの、未だカラーコーンとCanSatが完全に密着した状態での0mゴールを達成した団体は少ない。そこで、本ミッションでは、CanSatとコーンの距離が0m0cm0mmのコーンと完全に密着する0.000mゴールをミッションとして設定した。0.000mゴールを実現するために、カメラと距離センサの双方を用いた誘導を行うことで0.000mゴールを目指す。また、本団体ははらかんは0.000mゴールを未だ達成したことはないため、本団体初の0.000mゴールを達成することも本ミッションの目的である。

2. ミッションシーケンス

1. 放出後、パラシュートが開傘される。
2. 開傘と同時にフライトピンが抜かれ、フライトモードに移行する。
3. 着陸後、気圧センサを用いて着地判定を行う。
4. パラシュートとCanSatを結ぶテグスとそれに接しているニクロム線に電流を流し、CanSat本体からパラシュートを含む減速機構を分離する。
5. 走行時に現在地からゴール地点までの距離、緯度と経度の差、方位角を計算し、目標地点に接近する。
6. ゴール周辺半径4m以内に入るとCanSatが検知すると、終端誘導フェーズに移行する。カメラを用いてコーンを認識し、コーンに接近する。
7. CanSatとコーンとの距離が0.2m以内となった時に距離センサでの誘導を開始。
8. CanSatがコーンと密着した状態で静止する。

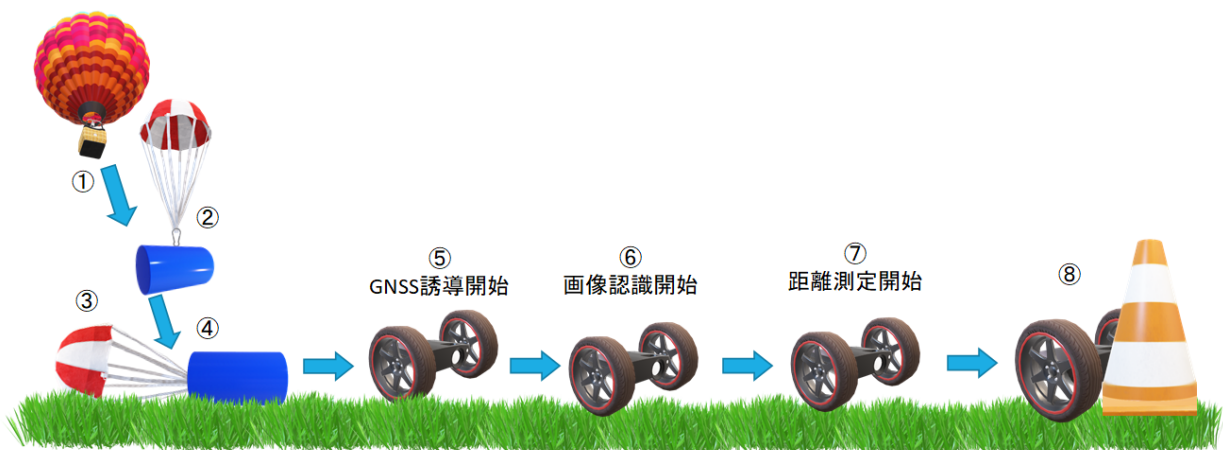


図1. ミッションシーケンス図

第2章 サクセスクライテリア

ミニマムサクセス	機体が無事に着地する.
フルサクセス	0.000mゴールを達成する.

本ミッションのサクセスクライテリアは、以上のミニマムサクセス、フルサクセスの他に、ミディアムサクセス、アドバンスドサクセスを設定している.

	評価内容	評価方法
ミニマムサクセス	機体が無事に着地する.	着地時に全センサからのデータを取得し、ログを確認する.
ミディアムサクセス	GNSSセンサを用いた誘導を終了する.	誘導を終了したかどうかを、CanSatに搭載したLEDから判断する. 搭載SDに記憶されたログも確認する.
フルサクセス	0.000mゴールを達成する.	コーンに密着した状態を目視で確認する. CanSatのゴール判定後には、LEDの点灯を行いそれを目視で確認する. ゴール判定のログも確認する.
アドバンスドサクセス	2回フルサクセスを達成する.	フルサクセスを二回達成したかどうかで判断をする.

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	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
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（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 減速機構 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 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
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
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
R7	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（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
	カムバックコンペティションルールの充足
R11	ミッション時に人間が介在しない 自律制御 を実施することが確認できている（注：2014年のレギュレーション改定以降、地上局設備に計算機能を持たせてアップリンクしても良い）
R12	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（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
M1	落下地点からゴール付近周辺まで誘導できるためのセンサ，アルゴリズムが必要である．
M2	ミッション完遂に必要な電力量をまかなうことができるバッテリーが必要である．
M3	待機モードから落下モードに移行するための放出判定をする必要がある．
M4	パラシュートは，開傘衝撃で切断や破損されない必要がある．
M5	CanSatとパラシュートの接合部が開傘衝撃に耐える必要がある．
M6	CanSatは減速機構を有し，十分な減速をすることが必要である．
M7	着地時に減速機構が絡まない構造が必要である．
M8	落下モードから着地モードに移行するための着地判定が必要である．
M9	着地衝撃で，CanSatの胴体が破損しない構造が必要である．
M10	CanSatのタイヤが着地衝撃に耐えられる構造が必要である．
M11	CanSatが着地時にパラシュートを即座に分離する必要がある．
M12	GNSS誘導でTBDmまで誘導するようなアルゴリズムが必要である．
M13	CanSatのタイヤがぬかるんだ土の上でも走行を維持する必要がある．
M14	スタック時に脱出可能なタイヤの構造が必要である．
M15	スタック時に脱出可能なアルゴリズムが必要である．
M16	ゴール周辺でより精密な誘導ができるセンサ，アルゴリズムが必要である．
M17	ゴール付近において，ゴールと密着できるような終端誘導を行う必要がある．
M18	CanSatがコーンを追跡するアルゴリズムが必要である．
M19	CanSatがコーンを認識できるような角度を維持する必要がある．
M20	CanSatがカラーコーンをどんな天気でも認識する必要がある．
M21	CanSatによるゴール検知が行われているか否かを確認する必要がある．
M22	CanSatはロスト対策機能を有し，有効性が試験により確認する必要がある．
M23	CanSat搭載する無線機の周波数変更ができる必要がある．

M24	ミッション時に、人が介在しない状況で自立制御ができること.
M25	ミッション後、本部に走行履歴提出できる用にログを保存する必要がある.
M26	待機時間を含むミッション実行時間に十分な電力量を確保する必要がある.

第4章 システム仕様

1. CanSat外観

図2, 3はCanSatの前方から見た外観図である. 機体の胴体は2段構造とし, 1段目の上部に電装関係部品を搭載した基板を載せる構造とした. 2つあるLi-Poバッテリーのうち, モーター電源用のバッテリーを基板と胴体の間に設置した.他のマイコン・センサ用のLi-Poバッテリーは1段目と2段目の間に設置した.

図4,5はCanSat後方の構造を示す. 1段目と2段目の間には, パラシュート切断用のニクロム線に電気を流すための乾電池を搭載する. 2段目の下には, 機体走行を安定させるためのスタビライザーを搭載する.

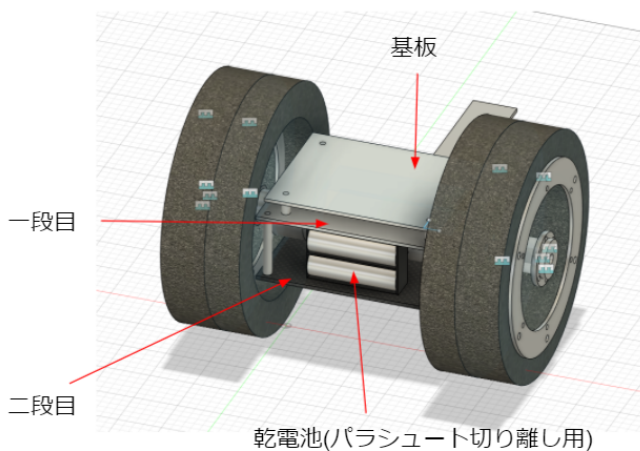


図2. CanSat外観図1 (CAD)

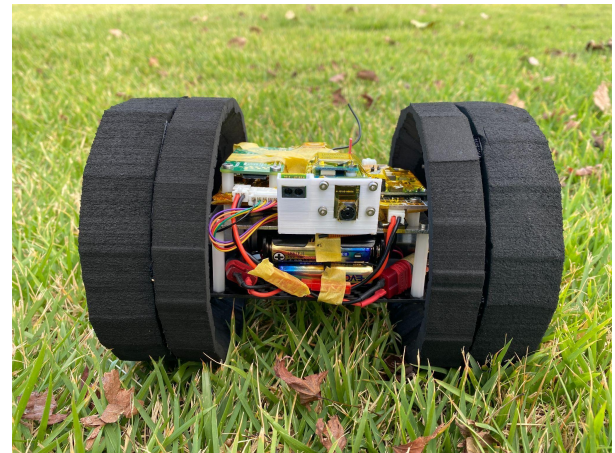


図3. CanSat外観図2

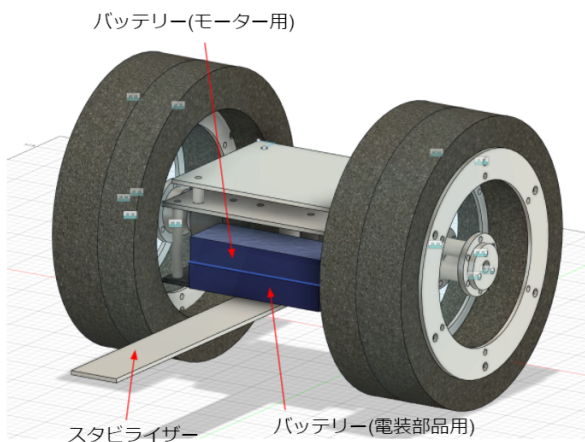


図4. CanSat外観図3 (CAD)

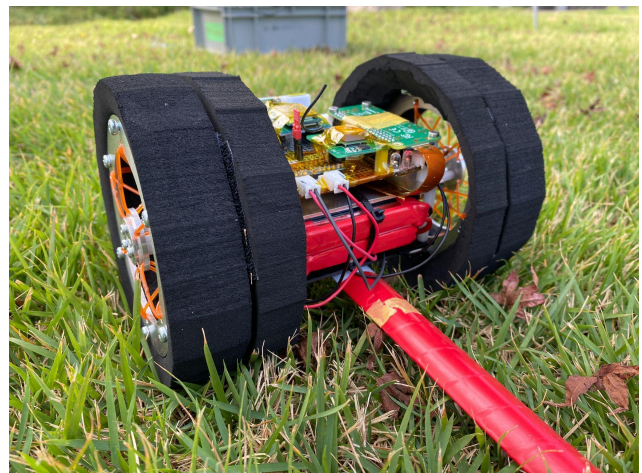


図5. CanSat外観図4

2. CanSat内観・機構

図6にタイヤの機構を記載する. タイヤの構造は, 着地時や走行時の衝撃を吸収する目的としてサスペンション機構を搭載している. タイヤの内周部分の穴と軸受けにあけた穴を弾性のあるウレタンベルトで結合することで, 機構を維持することを実現した.



図6. バンパー機構 (側面)

3. システム図 (CanSat搭載計器仕様一覧)

図7は、CanSat搭載機器のシステムブロック図の概要である。CanSatのメインのマイコンには Raspberry Pi Zero WHを使用する。Raspberry Pi Zero を中央制御機器として各センサからのデータを集め、目的地周辺までの制御を行う。気圧センサは着地判定に使用する。着地判定後、DCモーター、モータードライバとGNSSセンサを用いてゴール周辺まで誘導を行う。ゴールを中心とした半径4mの円内に到達したところで、赤外線距離センサとカメラを用いて終端誘導を開始する。LEDは、フェーズ移行時、ゴール判定時に観測者にCanSatの状態を示すために使用する。ニクロム線は、パラシュートの分離に使用する。

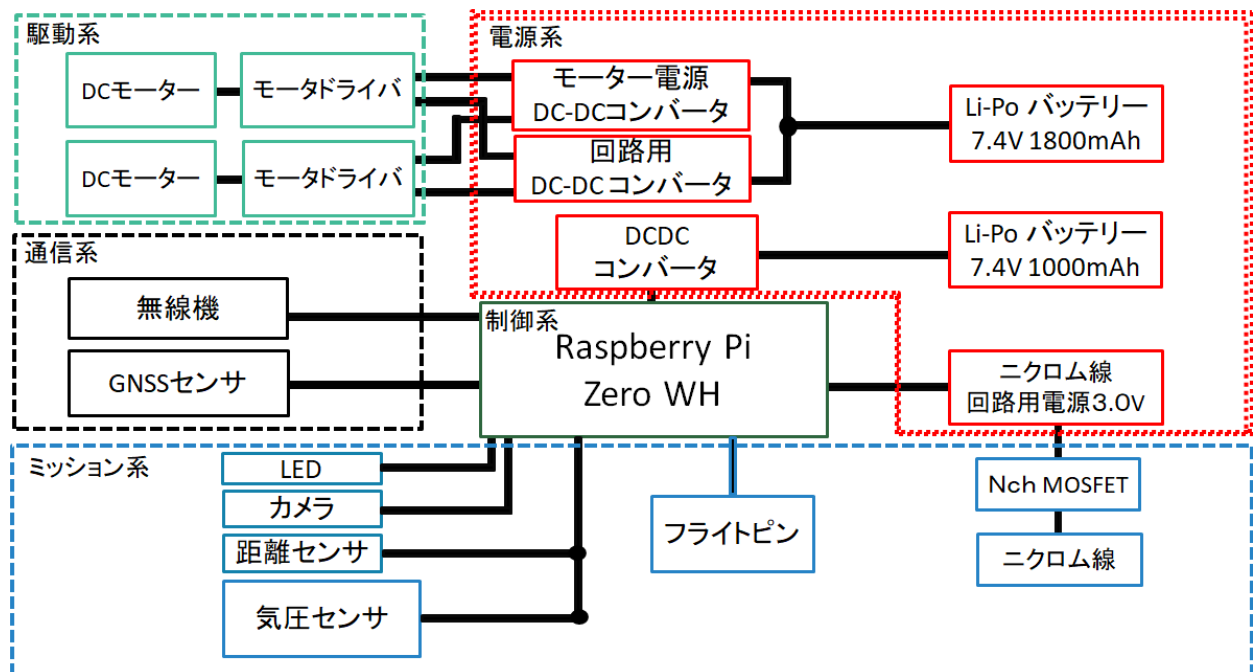


図7. システムブロック図 (概要)

図8では、電源系・通信系についての詳細を記載した。電源は3つ搭載する。1つ目はモーター電源用のLi-Poバッテリーである。モータードライバのロジック電源とモーター電源の二つにDCDCコンバータで降圧させてから入力を行う。2つ目はマイコンやセンサ用のLi-Poバッテリーである。Raspberry Pi Zero WHの入力電源は5Vであるため、DCDCコンバータで5Vに降圧させてから入力を行う。3つ目はパラシュート切断用のニクロム線に電気を流すための乾電池である。マイコンからMOSFETを制御することにより、乾電池からニクロム線に電気を流す。

図8のGPIOと書かれた箇所はマイコンのGPIOピンを、HIGHかLOWにすることにより、LED、MOSFETを制御する。フライトピンにおいても、マイコンのGPIOピン2本を用いて放出判定を行う。メインタイヤ用のモーターの制御には、GPIOピンからPWM制御を行い、モーターの回転数を制御する。

無線機、GNSSセンサとマイコン間の通信にはUARTを使用する。気圧センサ、距離センサとマイコン間の通信にはI2Cを用いる。

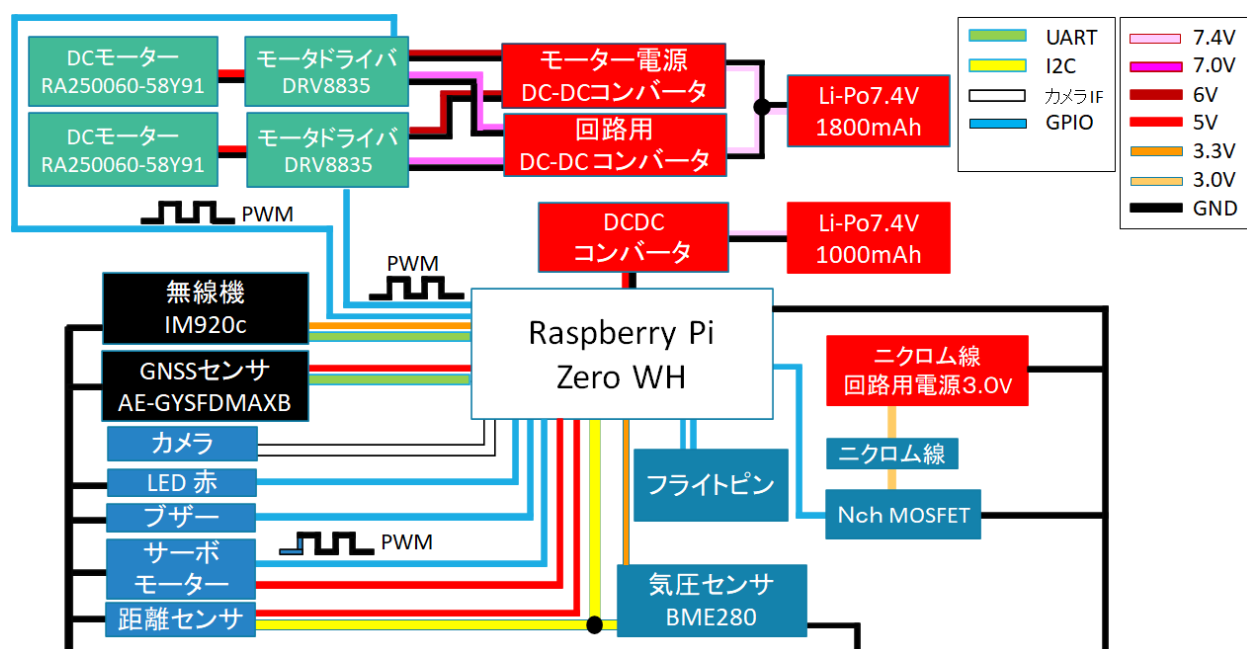


図 8. システムブロック図(電源・通信系詳細)

以下にCanSatに搭載する機器の一覧を掲載する、

分類	名称・型番	使用目的	リンク
Raspberry pi zero wh	RPI-ZERO-WH	データ処理, 保存, 制御を行う.	https://www.switch-science.com/catalog/3646/
カメラモジュールV2	913-2664	ゴール検知用.	https://akizukidenshi.com/catalog/g/gM-10518/
カメラケーブル	RPI-A-003	カメラとマイコンとのインターフェース用.	https://www.switch-science.com/catalog/2519/
microSD	KIOXIA 32GB	データの保存用としてラズパイに搭載.	https://akizukidenshi.com/catalog/g/gS-15844/
GPSモジュール	AE-GYSFDMAXB	ゴール周辺までの誘導を行う.	https://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-09991/
気圧センサモジュール	AE-BME280	着地判定を行う.	https://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-09421/
フライトピン	2228GG-RD	放出判定を行う.	https://akizukidenshi.com/catalog/g/gP-03888/
無線モジュール送信側	IM920c	CanSatの位置情報を送信する.	https://akizukidenshi.com/catalog/g/gM-10138/
IM920c ピッチ変換アダプタ	IM920c-ADP	PCB用に搭載するためのピッチ変換用.	https://akizukidenshi.com/catalog/g/gM-10139/
DCモーター	RA250060-58Y91	タイヤの回転に使用.	https://www.sengoku.co.jp/mod/s_gk_cart/detail.php?code=EEHD-0SE4
モータードライバ	DRV-8835	モーターの出力制御.	https://www.switch-science.com/catalog/1637/
モーター用DCDCコンバータ	SC87212	モーター入力電圧を適正電圧に降圧する.	https://strawberry-linux.com/catalog/items?code=18721
モーター用電源	KYPOM K6 7.4V 1800mA 35C-70C	モーターへの電源供給.	https://www.kkhobby.com/SHOP/BT114.html
回路用DCDCコンバータ	AE-LXDC55-5V	マイコンへの電源電圧を5Vに降圧.	https://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-09981/
回路用電源	KYPOM K6 7.4V 1000mA 35C-70C	マイコンとセンサ類への電源供給.	https://www.kkhobby.com/SHOP/BT191.html
距離センサ	GP2Y0E03	ゴール周辺での精密誘導に使用.	https://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-07547/
乾電池ケース	BH-321-2A150	パラシュート分離用.	https://akizukidenshi.com/catalog/g/gP-10196/
LED赤	OS5RPM5B61A-GR	ゴール判定用, モード変更を示す.	https://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-01318/

LED白	OSW54K5B61A	ゴール判定用, モード変更を示す.	https://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-04764/
LED青	OSUB5111A-ST	ゴール判定用, モード変更を示す.	https://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-01321/
ニクロム線 0.26mm×5mm	ELPA ニクロム線 5m HK-NK05H	パラシュート分離用.	https://www.amazon.co.jp/gp/product/B00288GIYE/ref=ppx_od_dt_b_asin_title_s00?ie=UTF8&psc=1
単三電池	LR6EJ/8SW	パラシュート分離用.	https://www.amazon.co.jp/gp/product/B0016JUS10/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o06_s00?ie=UTF8&psc=1
Nchパワー MOSFET	2SK4017(Q)	パラシュート分離用.	https://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-07597/

上の表は, 本計画で使用した主なコンポーネントであるが, 以下に部品の詳細を共有する.
https://docs.google.com/spreadsheets/d/1LMQxCdxvW7S0uDw9sOe93ozzqtZMAHzdU_tPGTHP0uA/edit?usp=sharing

4. アルゴリズム

CanSatの一連のアルゴリズムを以下に示す。

放出判定はフライトピンを用いて行う。パラシュート展開時にフライトピンが抜けるようになっている。着地判定については気圧センサを用いて、気圧の変動を計測することにより行う。不具合が生じ判定が行われない場合については降下速度を考慮した一定時間経過によって着地判定を行う。着地判定後ニクロム線でパラシュートに取り付けられたテグスを焼ききることでパラシュートの切り離しを行う。

ゴール4m外ではGNSSを用いて誘導を行いゴールへと近づく。誘導方法として機体の進行方向と目的地の進行方向の差を割り出し修正し走行する手法を用いる。機体のGNSSの緯度・経度のデータ、機体の速度のデータがゴール4m外であるにもかかわらず変化しなくなった場合にはスタックしたと判断し、スタックの回避行動を行う。

ゴール4m内では画像認識を用いてゴールの検出を行う。ゴールの検出ができなかった場合、機体を回転させて再びゴールの検出を行う。さらにゴールと機体の密着を目指して赤外線センサーによる誘導を最後に行い、機体をコーンに密着させゴールとする。

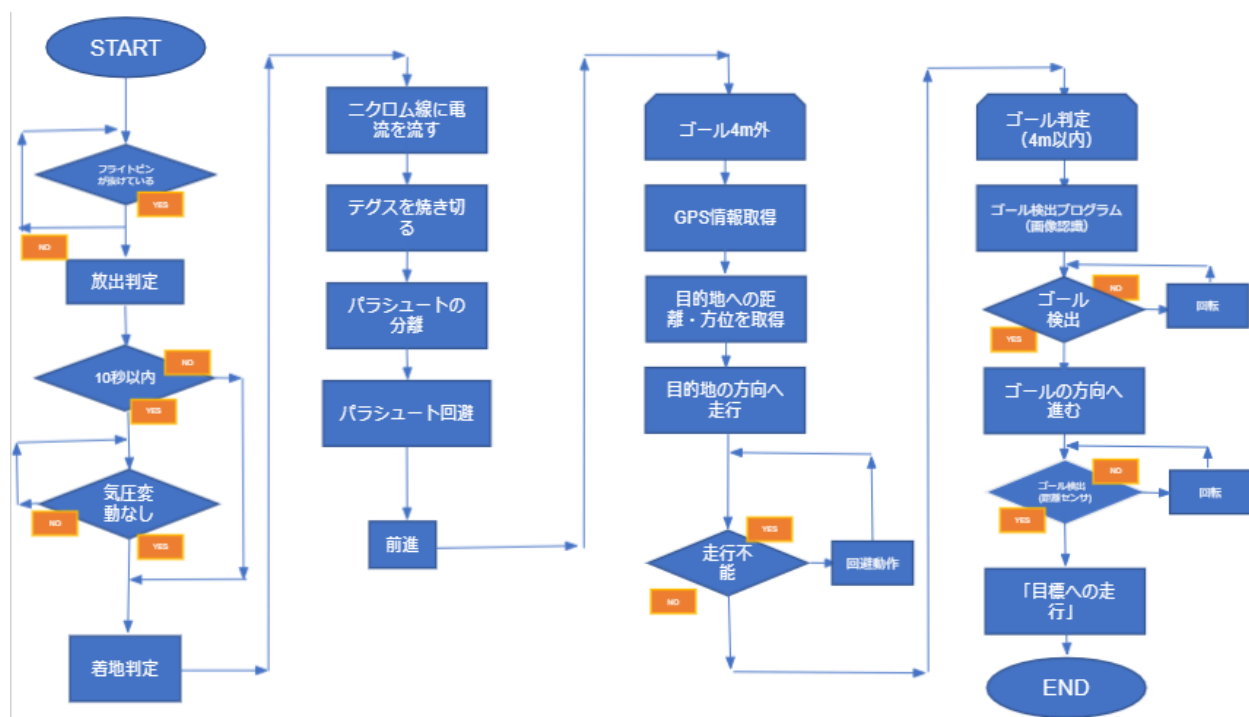


図9. フローチャート

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	パラシュート開傘試験	R3	8/5
V2	パラシュート分離試験	M11	10/21
V3	遠距離通信試験	R2	8/7
V4	通信ON/OFF試験	R7	8/7
V5	通信周波数変更試験	R8	8/7
V6	キャリア格納試験	R1	10/21
V7	質量試験	R1	10/19
V8	落下試験	M9	10/21
V9	終端誘導試験	M21	10/20
V10	電力耐久試験	M2	8/16
V11	芝生走行試験	M13	8/16
V12	悪路走行試験	M13	8/16
V13	制御レポート作成試験	R12	10/21
V14	End to End 試験	R11	10/21

第6章 実施試験内容

1. システム要求を満たすための試験内容

(V1) パラシュート開傘試験

- 目的
CanSatに搭載するパラシュートが十分な減速を行えることを確認する.
- 試験/解析内容
CanSatと同じ質量である896gの重りを, CanSatを覆う保護ケースに入れ, それとパラシュートをキャリアに入れた状態から自由落下させる. 試験は東京都立大学日野キャンパス 4号館 (地面から16mの高さ) から投下をする. 本試験では, パラシュートの終端速度が, 約4.0(m/s)になっていること, キャリアに収納したパラシュートが正常に開傘することを確認する.



図10 試験に用いたパラシュート



図11 試験に用いたキャリア

- 結果
 - ・パラシュートをキャリアに収納した状態から, CanSatが自由落下をし, パラシュートが開傘した. .
 - ・全5回の投下すべてにおいて正常に開傘した.
 - ・同一のパラシュートで複数回の正常な開傘が行われた. .
 - ・搭載していた気圧センサからの気圧データを高度に変換し, パラシュートの終端速度を求めたところ, 第1回目開傘試験時のパラシュートの終端速度は, 終端速度3.97m/s, 第2回目は3.43m/s, 第3回目は3.98m/s, 第4回目は4.03m/s, 第5回目は3.61m/sであった.

以下に, 各回の高度変化を記す.

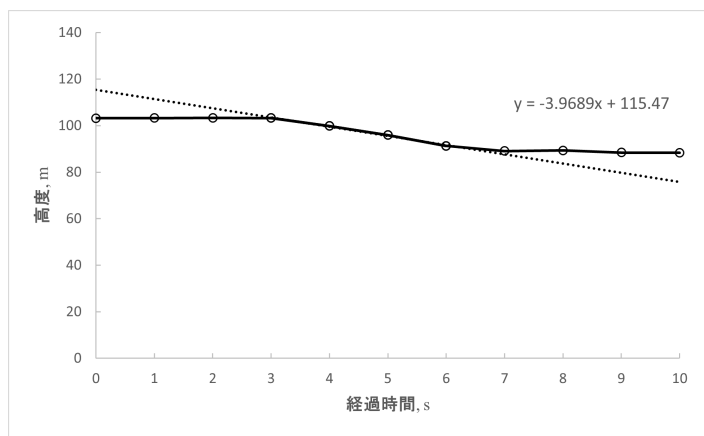


図12. 第1回パラシュート開傘試験結果

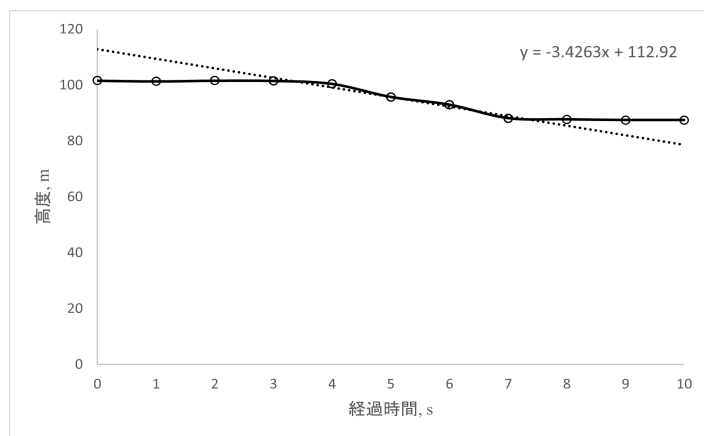


図13. 第2回パラシュート開傘試験結果

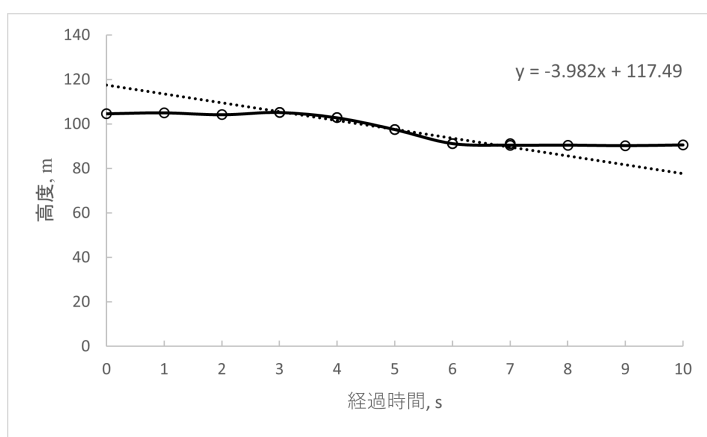


図14. 第3回パラシュート開傘試験結果

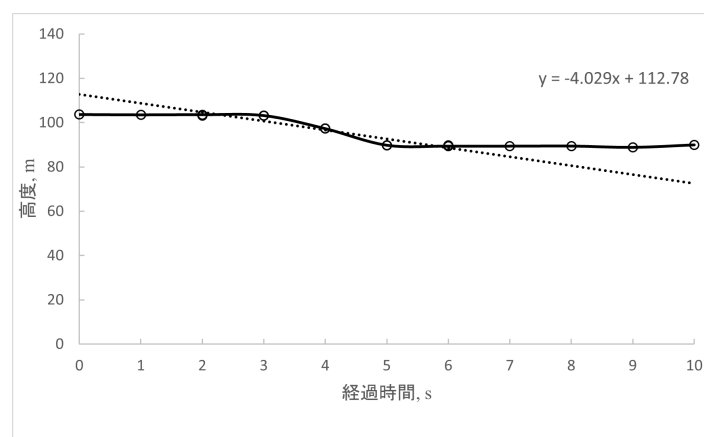


図15. 第4回パラシュート開傘試験結果

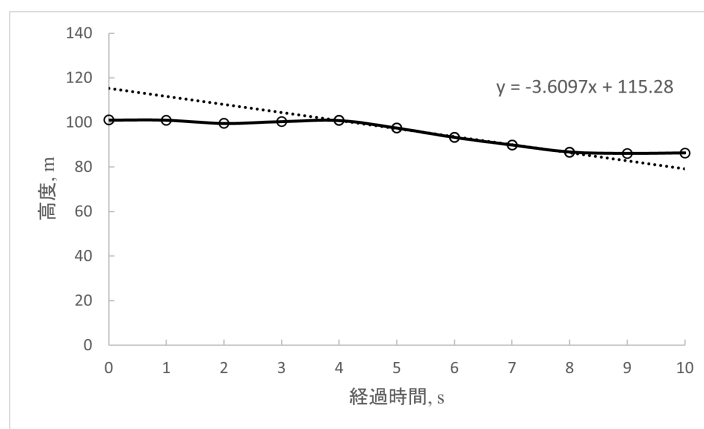


図16. 第5回パラシュート開傘試験結果

第1回投下試験映像のYouTubeリンクを以下に記す.

<https://youtu.be/WkDtSr5lauQ>

第2回投下試験映像のYouTubeリンクを以下に記す

<https://youtu.be/9QFAH-P0yhc>

第3回投下試験映像のYouTubeリンクを以下に記す

https://youtu.be/TK4Zg8K_QuU

第4回投下試験映像のYouTubeリンクを以下に記す

<https://youtu.be/ZwAOHjcZ4V0>

第5回投下試験映像のYouTubeリンクを以下に記す

<https://youtu.be/EaLNerLbAi8>

- 結論

CanSatに搭載するパラシュートが十分な減速を行えることを確認できた. キャリ
アに収納した状態からでも, 正常に開傘することが確認できた.

(V3) 遠距離通信試験

- 目的

長距離通信が可能で, CanSatのロスト対策として有効であることを確認する.

- 試験内容

無線機は, 地上局(PC接続)にはインタープラン社のIM920, CanSatにはインター
プラン社のIM920c搭載する. 本大会で使用するACTSのフィールドは70m四方であり,
投下予定場所はフィールド中央で投下高度は30mであることから, 本試験において
は, 100m以上の通信ができていることを確認する. 本試験は, 東京都立大学日野
キャンパス構内の芝生で行う. CanSatに搭載した無線機IM920cからサンプルデータ
を送信し, 地上局であるPCにIM920を接続し, Teratermを用いて, 通信データの欠損
なく100m以上距離が離れていても受信していることを確認する. 図10, 図11に示す
区間において試験を行った.

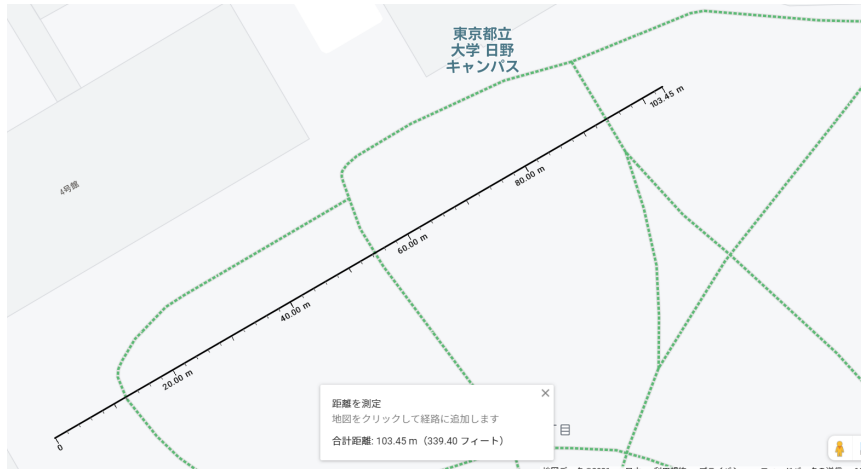


図17. Google Maps上での距離測定（地図）



図18. Google Map上での距離測定（空中写真）



図19. 送信側の様子（地点A）



図20. 受信側の様子（地点B）

- 結果

CanSatに搭載したIM920cからは、試験用のデータとして、11というデータを送信した後に1秒おいて、22というデータを送り、同様に33, 44, 55, 66というデータを1秒ごとに繰り返し送信した。図14から分かる通りそれらの数字が欠損することなく、複数回送られてきていることがわかる。よって、100m以上離れた区間において、データの欠損なく通信することが確認できた。

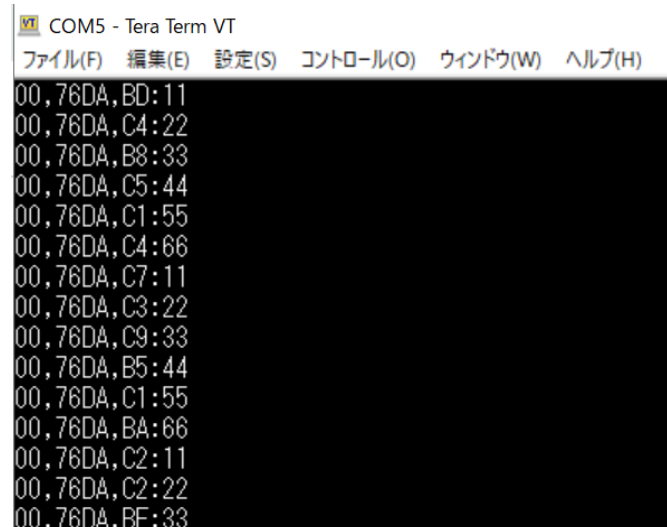


図21. CanSatから送られてきたデータ

- 結論

ACTSで必要とされている距離以上の区間において、通信を行えることを確認できた。ロスト対策とても有効であることを確認することができた。

(V4) 通信ON/OFF試験

- 目的

通信機電源のON/OFFをマイコンを用いて制御することを確認する。

- 試験/解析内容

CanSatに搭載する通信機はIM920cである。Raspberry PiとIM920の間にMOSFETを入れ、Raspberry Pi側のGPIOからMOSFETのゲートに電圧をかけることにより無線機の電源を入れる回路が機能するかどうかを確認をする。

- 結果

通信ON/OFF試験映像のYouTubeのリンクを以下に記す。

<https://youtu.be/RITiLojywVo>

実験動画から分かる通り、フライトピンが抜けたことを感知したRaspberry PiのGPIOピンからMOSFETのゲートに電圧をかけ、通信を開始することが確認できた。

- 結論

通信機のON/OFFをマイコンを用いて制御することが確認できた。

(V5) 通信周波数変更試験

- 目的

無線のチャンネル変更ができることを確認する。

- 試験内容

搭載する無線機はIM920cである。IM920cはチャンネル番号と周波数の関係は以下の表の通りである。この無線機を、TeraTermを用いたコマンド操作によってチャンネルを変更することを確認する。

図22. チャンネル番号と周波数の関係

CH 番号	周波数	CH 番号	周波数
01	920.6MHz	09	922.2MHz
02	920.8MHz	10	922.4MHz
03	921.0MHz	11	922.6MHz
04	921.2MHz	12	922.8MHz
05	921.4MHz	13	923.0MHz
06	921.6MHz	14	923.2MHz
07	921.8MHz	15	923.4MHz
08	922.0MHz		

本試験では、CanSatに搭載するIM920cのチャンネル03から02に変更を行った。地上局側のIM920のチャンネルは01から02に変更を行う。通信周波数の変更には、以下のコマンドを用いる。

図23. チャンネル変更に使用するコマンド

コマンド	機能
ENWR	パラメータ保存許可
RDCH	現在の無線チャンネル読み出し
STCH	無線チャンネル変更
DSWR	パラメータ保存禁止

- 結果

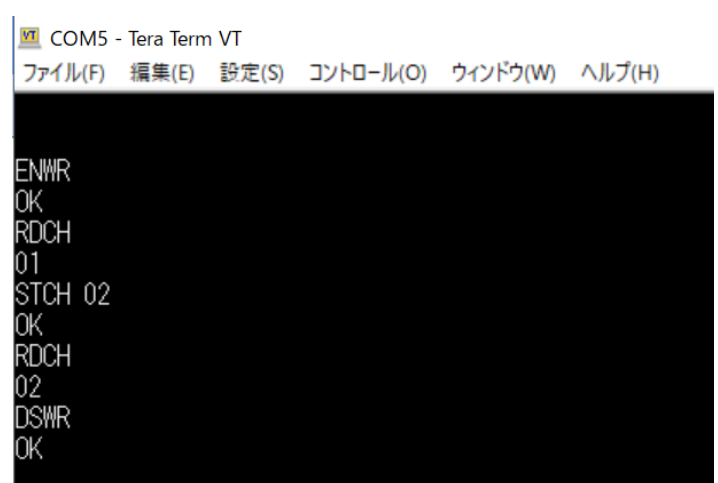
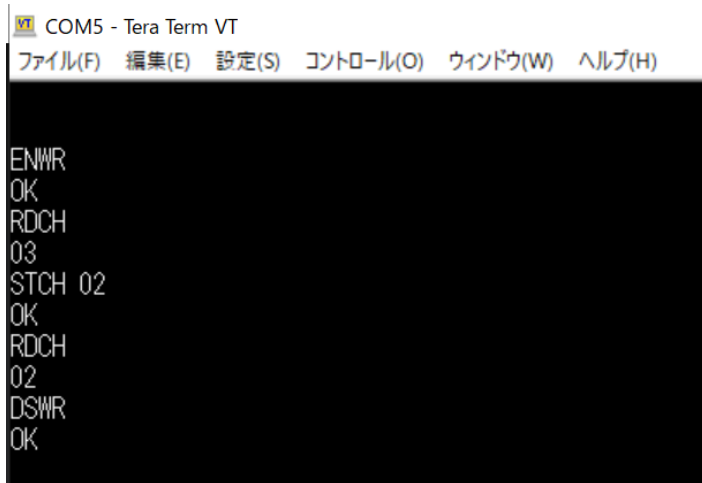
図17では、CanSatに搭載したIM920cの周波数変更の様子である。はじめに、ENWRコマンドを用いて、パラメータ保存の許可を行った。次に、RDCHコマンドで現在の周波数を確認し、無線チャンネル03が使われていることが確認できた。そしてSTCH

コマンドを用いて無線チャンネル02に変更を行った。そして、再度RDCHコマンドを用いて無線チャンネル02に変更されていることを確認し、DSWRコマンドでパラメータ保存禁止コマンドを送った。同様に図18で示す地上局の周波数変更試験も行った。

図17, 図18から分かる通り, CanSatに搭載するIM920 c のチャンネル03から02に変更を行うことができた。地上局側のIM920のチャンネルは01から02に変更を行うことができた。通信周波数の変更には, 以下のコマンドを用いる。通信のチャンネルを変更することができた。

図24. IM920 c の周波数変更の様子

図25. 地上局側IM920の周波数変更の様子



通信周波数変更試験映像のYouTubeのリンクを以下に記す。

<https://youtu.be/Tp6i9bjq8io>

- 結論
通信周波数変更が可能であることを確認できた。

(V6) キャリア収納試験

- 目的
 - ・ 寸法がレギュレーションを満たしていることを確認する。
 - ・ CanSatの収納・投下準備が5分以内に行えるかどうか確認する。
- 試験/解析内容

大会で規定された寸法である高さ240mm, 直径146mmの円筒のキャリアに機体が収まることを確認する。そして, CanSat本体とパラシュート等を含めたすべての部品がキャリア内に収納完了できるまでの時間を計測する。
- 結果



図26. キャリア収納の様子①



図27. キャリア収納の様子②

CanSatとパラシュートを含むすべての部品がキャリアに収納することができた。幅146mmのキャリアに収納することができ、高さに関しても図21の通り、240mm以下に納めることができた。収納時間に関しては80秒程度であった。

キャリア収納試験映像のYouTubeリンクは以下の通りである。

<https://youtu.be/mz6bRLArFLY>

○ 結論

寸法がレギュレーションを満たしていることが確認できた。CanSatの収納・投下準備が5分以内にできることを確認できた。

(V7) 質量試験

○ 目的

質量がレギュレーションを満たしていることを確認する。

○ 試験内容

質量計で測定を実施し、機体、パラシュート、機体ケースを含めた全ての質量が、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。

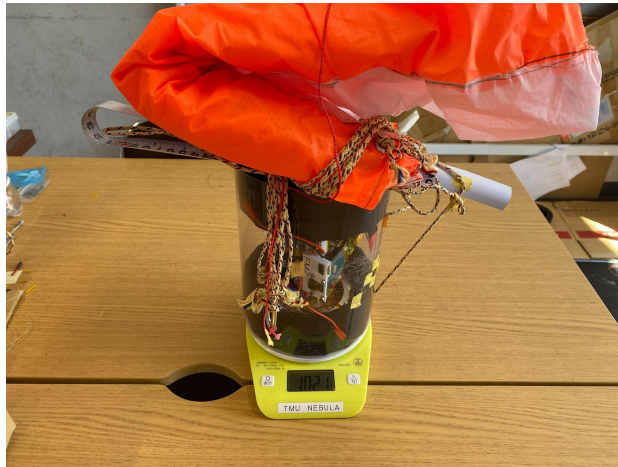


図28. 質量試験の様子1

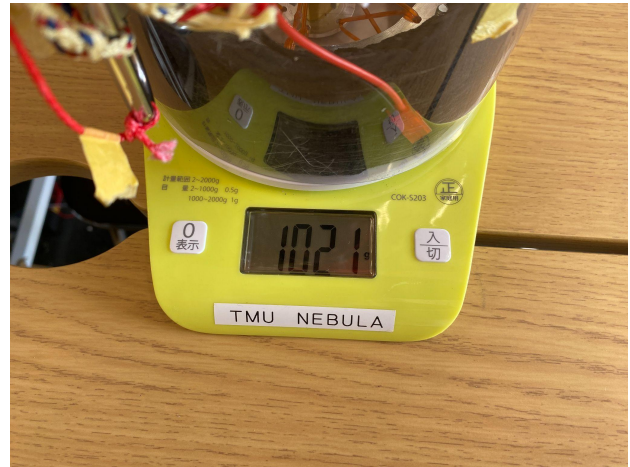


図29. 質量試験の様子1(拡大図)

- 結果
CanSat, パラシュート, 機体ケースなど, すべての部品を含めた質量は, 1021gであることが分かった.
- 結論
CanSatの質量は, 1050g以下でありレギュレーションを満たしていることが確認できる.

(V13) 制御レポート作成試験

- 目的
制御レポートを作成し, 運営に提出できる状態であるかを確認する.
- 試験/解析内容
ゴール地点を設定し, 実機を用いてそのゴール地点まで走行させる. その際, 位置情報をマイコン内のSDカードにcsvファイルとして保存を行い, その経路がどのように変化したかを表として表示できるかどうかを確認する.
- 結果
以下が制御レポート作成試験の結果である. 走行中に取得したログをマップや散布図にプロットすることを通して機体の移動の遷移が確認することができる. 図32では黄色の点でログの取得開始場所, 赤色の点で取得終了場所を示している. また図33では赤色の点でカラーコーンの位置を示している.

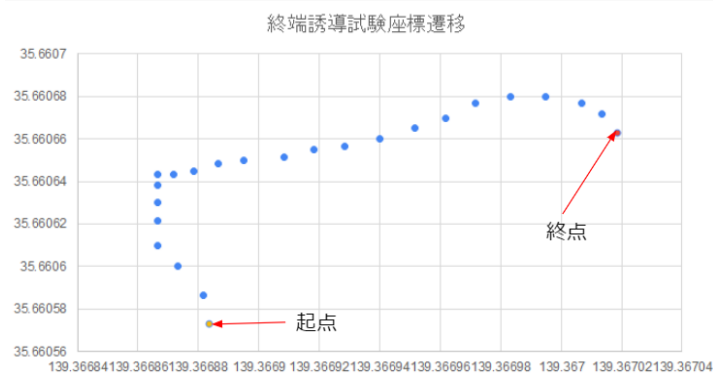


図30 機体座標の遷移



図31 航空写真にプロット

ToS165258.0	35.66057333	139.3668833
ToS165259.0	35.66058667	139.3668817
ToS165300.0	35.6606	139.3668733
ToS165301.0	35.66061	139.3668667
ToS165302.0	35.66062167	139.3668667
ToR165303.0	35.66063	139.3668667
ToR165304.0	35.66063833	139.3668667
ToR165305.0	35.66064333	139.3668667
ToS165306.0	35.66064333	139.3668717
ToS165307.0	35.660645	139.3668783
ToS165308.0	35.66064833	139.3668867
ToS165309.0	35.66065	139.366895
ToS165310.0	35.66065167	139.3669083
ToS165311.0	35.660655	139.3669183
ToS165312.0	35.66065667	139.3669283
ToS165313.0	35.66066	139.36694
ToS165314.0	35.660665	139.3669517
ToR165315.0	35.66067	139.3669617
ToR165316.0	35.66067667	139.3669717
ToR165317.0	35.66068	139.3669833
ToR165318.0	35.66068	139.366995
ToR165319.0	35.66067667	139.3670067
ToR165320.0	35.66067167	139.3670133
ToR165321.0	35.66066333	139.3670183

図32. 実際に取得したログ

- 結論

実験を通して機体の誘導中にログを記録し制御レポートを作成することが可能であることを確認することができた。

(V14) End to End 試験

- 目的

キャリアに収納した状態からゴールするまでの一連の動作を確認する。
- 試験内容

キャリアに収納した状態から、自由落下させ、モーターなど機体が破損することなく着地できるかどうかを確認する。その後、GNSSセンサを用いて誘導を行い、ゴール周辺では、画像認識と距離センサを用いた終端誘導ができるかを確認する。そしてゴール判定後にLEDの点滅を確認する。

- 結果

以下がEnd to End 試験の映像のYouTubeリンクである。

<https://youtu.be/Q6SH9ri9els>

- 結論

機体の降下後、着地、パラシュートの分離、走行、ゴール判定とフローチャートに沿った機体の誘導、フェーズの移行が可能であることを示すことができた。また本機体が「0.000mゴールを達成する。」というミッションステートメントを達成することができるということも確認することができた。

2. ミッション要求を満たすための試験内容

(V2) パラシュート分離試験

- 目的

パラシュートと機体を分離できることを確認する。

- 試験/解析内容

ニクロム線でパラシュートに取り付けられたナイロン糸を焼き切ることでパラシュートとCanSatを分離できることを確認する。

- 結果

ニクロム線に電流を流し発熱させテグスを焼き切ることにより内キャリアの展開、パラシュートの分離を行うことが可能であることが分かった。また、テグスのみを焼き切ることが可能であり、安全性に問題はないことを確認することができた。

以下がパラシュート分離試験映像のYouTubeリンクである。

第1回 パラシュート分離試験動画

<https://youtu.be/l-hf7XFcGRc>

第2回 パラシュート分離試験動画

https://youtu.be/_yfE2GXwNw8

- 結論

ニクロム線回路を用いることで内キャリアと接続しているパラシュートを切り離すことが可能であることが確認できた。

(V8) 落下試験

- 目的
CanSatがパラシュートによる減速後の着地の衝撃に耐えられることを確認する。
- 試験/解析内容
CanSatとパラシュートをキャリアに入れた状態から自由落下させる。試験は東京都立大学日野キャンパス 4号館（地面から16mの高さ）から投下をする。本試験では、パラシュートの終端速度が4.0(m/s)で地面に着地した後に、モーターが正常に機能することを確認する。この試験はパラシュート分離試験と同時に行う。
- 結果
CanSatは二回の落下試験を行った際に、パラシュートを用いた減速後の着地衝撃に耐えることができ、3秒走行させることによりモーターが損傷しないことが確認できた。

以下は第1回落下試験映像 YouTubeリンクである。
<https://youtu.be/l-hf7XFcGRc>
以下は第2回落下試験映像 YouTubeリンクである。
https://youtu.be/_yfE2GXwNw8
- 結論
ウレタンベルトを用いることにより着地衝撃を緩和することが可能であった。この機構を用いることによって、モーター、電装部品、構造部品などの部品を着地衝撃による破損から守ることができることが可能であると分かった。

(V9) 終端誘導試験

- 目的
画像認識を行った後、赤外線センサーによるゴール検知を行うことができることを確認する。
- 試験/解析内容
実際に大会で使用されるコーンを使用し、画像処理を用いてゴール判定することを確認し、同時に赤外線センサでコーンを検知することも確認する。
- 結果
終端誘導試験実施時の動画は以下の通りである。
<https://youtu.be/ozlM02sxxw8>

また以下に終端誘導試験時に撮影・処理し、カラーコーンの認識に利用した主な画像を掲載する。上から順にfase2, fase4, fase7, fase9の写真を利用している。



図33. fase2時に撮影した画像

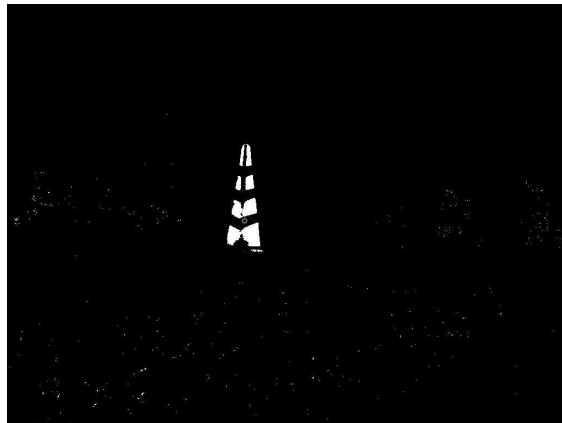


図34. fase2時の赤色と検知した範囲



図35. fase4時に撮影した画像



図36. fase4時の赤色と検知した範囲



図37. fase7時に撮影した画像

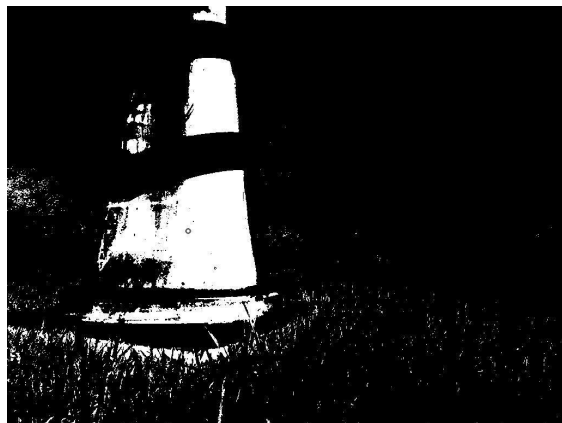


図38. fase7時の赤色と検知した範囲



図39. fase9時に撮影した画像



図40. fase9時の赤色と検知した範囲

以下に示すリンクに終端誘導試験で撮影した写真を時系列ごとにフォルダにまとめ掲載している.

fase1

<https://drive.google.com/drive/folders/1nzbnTwqQ3BN9r8fuTRAeXhE6md56n1Gw?usp=sharing>

fase2

<https://drive.google.com/drive/folders/1LgNJ0A3k35pbpi1JKwf2BcBJxuFMfNsf?usp=sharing>

fase3

<https://drive.google.com/drive/folders/1LgNJ0A3k35pbpi1JKwf2BcBJxuFMfNsf?usp=sharing>

fase4

<https://drive.google.com/drive/folders/1NbLBW7FnkxzWbV8IYfqI3jpgGqRran3q?usp=sharing>

fase5

https://drive.google.com/drive/folders/1ShCV1VTFFD_Z010dPe-EdI_PvbWQeK4j?usp=sharing

fase6

<https://drive.google.com/drive/folders/18bSWtt7-pl0laTLYi4JzjdYLNh72zUFF?usp=sharing>

fase7

<https://drive.google.com/drive/folders/1f-hZVa2Aozaw6M5ZMY-KJMxKu0sUDxc8?usp=sharing>

fase8

<https://drive.google.com/drive/folders/1AtoX3P8y0SNr9nXb1GTF5g77ztfSE4lp?usp=sharing>

fase9

<https://drive.google.com/drive/folders/1D0ztp18QS55YFQkpZ01w2Ae00x-7g43r?usp=sharing>

- 結論
GNSS誘導終了後、カメラを用いた画像認識での誘導と赤外線センサでの誘導を用いてコーンに機体を密着させることが可能であることが確認できた。

(V10) 電力耐久試験

- 目的
ローバーがミッション完遂に必要な十分な電力を持ち合わせているかを確認する。
- 試験/解析内容
大会ではミッション時間が15分と定まっているため、本試験においては、30分の間、マイコン、センサ類、無線系、カメラを同時起動させた状態で、走行を行い、ミッション完遂に必要な十分な電力量を待ち合わせているか検証する。
- 結果
30分間の走行を行うことが可能である電力量を確保できていることが確認できた。
.
以下は電力耐久試験映像のYouTubeリンクである。
https://youtu.be/72zxsev_hTY
- 結論
本番の投下試験は15分で予定されており、今回の試験ではその倍の時間の30分間走行することができた。これより電力的に耐久することが可能であることが分かった。

(V11) 芝生走行試験

- 目的
ローバーが本大会で求められる芝生上での走行を行うことができるか試験を行う。
.
- 試験/解析内容
芝生上で試験機を走行させ、走行時の速度・経路、芝生によるスタックの有無などを確認する。また、得られた情報をもとにしてより効率が良い走行を行えるようにプログラムを設定する。
- 結果
芝生走行試験①
草丈が5cm以下に整備された芝生において走行試験を行った。この試験は電力耐久試験と並行して行った。
前日に整備されていた草丈5cmの芝生上を30分間走行することができた。走行する間にスタックすることなく30分間走行し続け試験が終了した後もしばらく走行を続けることが可能であった。

以下が第1回芝生走行試験映像 YouTubeリンクである。
https://youtu.be/72zxsev_hTY



図41. 第1回芝生走行試験時の草丈の様子

2回目の試験は異なる草丈の芝生上で試験を行った。整備されてない芝生上の走行においてもスタックすることなく、CanSatの誘導に支障をきたさない走行を行うことが可能であることが分かった。

以下が第2回芝生走行試験映像 YouTubeリンクである

<https://youtu.be/SIDXWkLLCII>



図42. 第2回芝生走行試験時の草丈の様子

- 結論

本番の投下試験は15分で予定されており、今回の試験では倍の時間である30分間の走行をすることができた。これより機構的にも耐久することが可能である。また、舗装されている道ではない、芝生の上でも走行することが可能であった。

また、整備されてない雑草などが生えた芝生においても走行でき、ゴールまで走破することが可能な機体であることが分かった。

(V12) 悪路走行試験

- 目的

走行時にローバーがゴールする上で障害物を検知し、避けて通ることはプログラム上では困難である。より、悪路においてもスタックしないようなローバーであるか試験を行う。

- 試験/解析内容

スタックする可能性が減少するようなCanSatの構造であるかを確認し、走行プログラムのPWMのデューティ比を設定する。

- 結果

悪路として設定した14.38°の勾配を登ることができた。同様に悪路として設定した14.38°の勾配を下ることができた。

また、前日に雨が降った場合を想定しタイヤのスポンジを濡らして走行試験を行った。タイヤが水を含んだ場合においても走行することが可能であった。

以下は第1回悪路走行試験試験映像のYouTubeリンクである。

<https://youtu.be/3mMDKN-7A5Q>

以下は第2回悪路走行試験試験映像のYouTubeリンクである。

<https://youtu.be/eXGHF6VxBFA>

以下は第3回悪路走行試験試験映像のYouTubeリンクである。

<https://youtu.be/w6ZbPjUe2eQ>



図43. 悪路として設定した勾配の様子

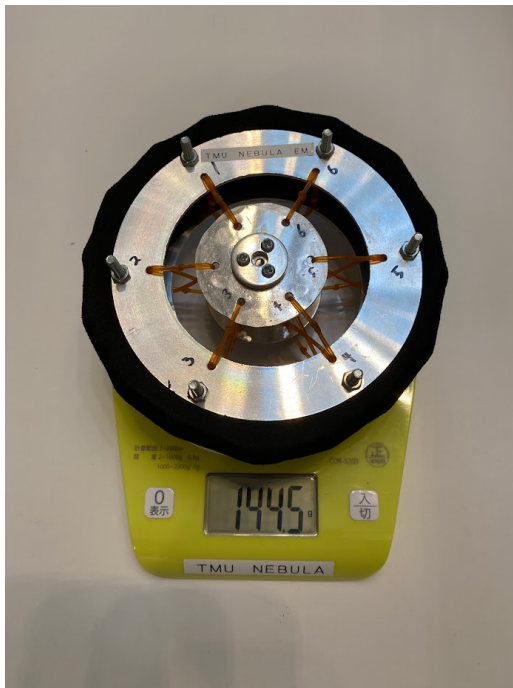


図44. 吸水前のタイヤの重さの様子



図45. 吸水後のタイヤの重さの様子

○ 結論

フィールド内に多少の起伏があった場合においては起伏に関係なく走行することが確認できた。

前日に雨が降るなどしてフィールドが湿った状態での投下試験となり、タイヤのスポンジが水を吸い込んだ場合においてもスタックなどすることなく走行することが可能であることが確認できた。

第7章 工程管理、ガントチャート

各担当(ハード・ソフト・全体などの進行状況・予定を記入)

本計画はミッション検討を今年の4月1日から開始し、佐原研究室での複数回の審査会を経て、ミッション選定や機体開発を行っている。以下は本計画の主なスケジュールである。

ミッション検討 ……2021年4月1日

佐原研究室でのMDR ……2021年4月21日

佐原研究室でのSDR ……2021年5月17日

BBM(機能試験)完了 ……2021年6月22日

佐原研究室でのPDR ……2021年6月25日

佐原研究室でのCDR ……2021年8月12日

10月22日現在、機体はほぼ完成しており現在は信頼性を向上すべく、試験を繰り返し実施している。FM機体の作成は終了しており、11月までに予備機を作成する予定である。

以下に本計画の詳細日程を記載したガントチャートを添付する。

https://drive.google.com/file/d/12GY7fLXr_0Lcm-VBHRqpsLiXzu6_PHjR/view?usp=sharing

第8章 大会結果報告

1. 目的

本チームの目的は、0mゴールを達成し、惑星探査ローバーにおける目標地点に正確に誘導をする技術の実証をすることが目的であった。本団体においては0mゴールを未だ達成したことがなく、初の0mゴールを達成することも本投下試験の目的であった。

2. 結果

今回の投下試験においては2回の試験で2回ともパラシュート展開には成功したが、着地後に不具合が発生し、走行させることはできなかった。しかし、2回の投下ともに30m程度の高度から放出でき、パラシュートの展開と減速、放出判定を確認できた。

(i) 第1回投下試験

1回目の投下ではパラシュート展開後着地し、着地判定を行ったもののキャリアの開放を行うためのニクロム線が切れておりテグスを切断できず走行することができなかった。原因を検討し、2つの要因が考えられた。1つ目はニクロム線の劣化である。ニクロム線は複数回使用すると酸化し、温度低下後には、変形し、もろくなることがあった。もろくなることも想定し、FMIには確認程度の時間しか流していなかったが、黒く酸化した状態で本番は使用してしまった。

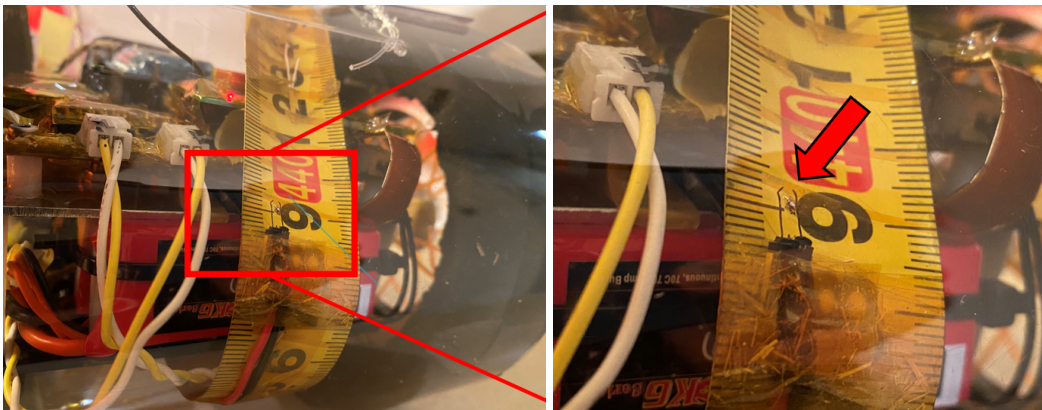


図46. 切断されたニクロム線

第1回目投下試験映像を次に記載する。 <https://youtu.be/o5juuW-nhoo>

(ii) 第2回投下試験

2回目の投下は、一回目と同様に投下後、パラシュート展開、着地、着地判定を行い一回目の反省を生かしてテグスの切断はできたもののパラシュートに取り付けていたコンベックスがキャリアに絡まってしまいキャリアの開放が行えず走行できなかった。タイヤの回転方向は手前のタイヤは時計回りに回転するため、タイヤが回転したとしても、さらに絡まる方向に進もうとしていた。



図47. 着地後のCanSatの様子

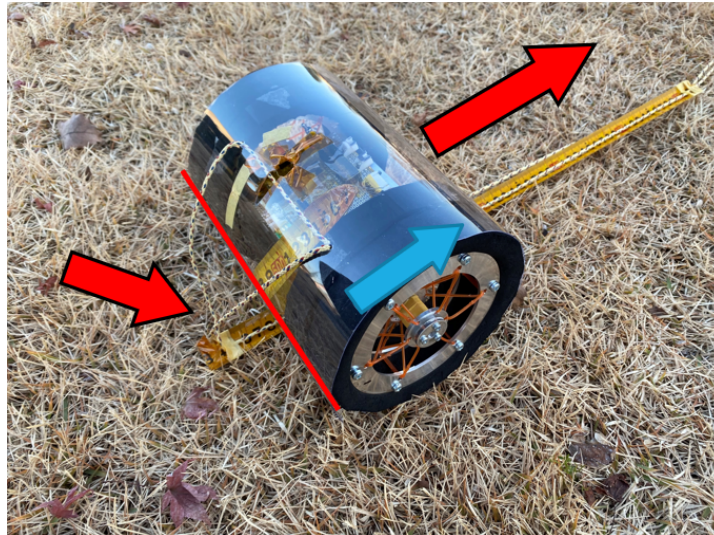


図48. 着地後のCanSatの様子

第2回目投下試験映像を次に記載する。 https://youtu.be/xzFE5mZvg_c

3. 考察

このような不具合は試験時には起こることがなく、深く考慮していなかった。また、フェーズごとの試験などを行い、それぞれのフェーズにおける問題は解決していたものの、本番ではフェーズ間の部分において不具合が発生した。よって、ミッションを達成できなかった理由としては、試験内容、試験状況の想定が浅く、また試験回数が少なかったことも原因だと考えている。

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)

(i) 構造

ハード面で工夫した点は、タイヤ部分に用いた衝撃吸収機構である。これは、さほらかん ARLISS2019のBlue RaspberryPi が使用した機構を改良したものであったが、大幅な軽量化や拡張を行い、走破性能を向上させた。拡張部分においては、草や障害物がCanSatの胴体部分に絡まることを防ぎ、安定した走行を実現した。カメラを設置するために台を3Dプリンタを用いて製作をした所も工夫点である。金属部品を使用、加工することがなかったため、製造期間の短縮やCanSatの軽量化を実現できた。また、電装面とも深く関係する場所であったため、カメラの設置角度の修正も迅速に行うことができた。

(i) 電装

電装部分には、重量や容積をあまり割くことができなかったため、回路設計を行う際に出来る限り基板が小さくなるように設計した。配線にも、引張りや圧縮の力がかからないように、XHコネクタの配置場所を工夫したり、長さの調整を徹底した。

プログラムにおいては、GNSS誘導フェーズと画像認識フェーズ間のフェーズ切り替えが確実にできるように、走行試験を大学構内だけではなく複数地点で実施した。また、スタック時に元の走行フェーズに戻れるようなコード、フライトピンが抜けなかったとしても気圧センサで着地判定を行えるような冗長性を持たせたコードとした。

(ii) マネジメント

B2の2人チームであったため1人あたりの仕事の量が多く、実務経験も浅かったため、計画通りにプロジェクトを進めるのは困難である時もあったが、研究室の先輩方、部活の先輩方に質問することや、2人の間でもslackやGoogle Driveを用いて積極的に議論をすることにより、その困難を打開してきた。コロナウイルスの影響もあり、大学への入構制限、活動時間制限もあったものの、オンラインを併用することにより効率を上げた。ものづくりにおいては、やはり対面での活動を通して学ぶことが多いため、今後CanSatの開発をオンラインでも行う場合は、より一層の工夫をする必要があるとも考えている。

2. 課題点

機体に関しては、事前の試験ではウレタンベルトが切れることはなかったものの、本番では切れてしまった。また、パラシュートを分離するために用いたニクロム線においても、試験では破損することがなかったものの、本番では破損してしまった。そのため、試験内容をより一層の検討する必要があると考えられる。試験方法、試験回数、試験場所に関しては出来る限り本番を想定した環境で行い、それらは当日の手順で行う必要があると考えられる。また、本番は時間の関係で焦ってしまったこともあり、ヒューマンエラーが発生した。毎回の手順は、二人係で確認していたものの、私たちの技量に任せている所が多くあったため、細かい内容に関しても手順書を作成し、また内容も定量的に書くなどの対策が必要だと考えている。

資金面においては、弊団体は部活動であるため大学に活動補助を申請し、さほらかんとして資金を調達しているが、本年度は申請書の提出ミスのため資金を獲得することはできなかった。そのため、

活動資金は2人で折半する必要があった。この点に関しては、大学の他の活動支援の活用や、企業の活動補助なども活用していく必要があると考えている。

3. 今後の展望

本プロジェクトを通し、システムエンジニアリングの基礎を学習、習得することができたと考えている。電装面、構造面においても機体を製造できるノウハウを習得することができたため、今後も行われるであろう他のプロジェクトでこの経験を活かしていきたいと考えている。弊団体さはらかんは学部2年時に引退するのが慣例であるが、今年はアメリカに行くことができなかったため、来年度の参加も視野に入れ今後も活動を継続していくつもりである。