

ACTS報告書

提出日：2021年 12月 26日

- チーム情報

CanSatチーム名	防衛大学校 Sunrise
CanSatチーム 代表者	東 滯 , 090-5361-9138
UNISEC団体名	防衛大学校コンピュータ研究同好会 CanSat班
UNISEC団体 学生代表	東 滯
責任教員	田中 宏明 tanakah@nda.ac.jp

- メンバー

役割	名前 (学年)
PM	東 滯 (B4)
構造	原田 晶子 (B4)
構造	古木 健慈 (B4)
電装	林 周瑚 (B4)
電装	炭澤 菜々 (B3)
電装	牧野 由依 (B3)

- CanSatの製作目的・大会参加理由
防衛大学校コンピュータ研究同好会 CanSat班のCanSat製作の技術基盤の確立及び
投下試験において、問題点や難点を洗い出すため。

目次

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	7
1.	CanSat外観	7
2.	CanSat内観・機構	7
3.	システム図(CanSat搭載計器仕様一覧)	7
4.	アルゴリズム	7
第5章	試験項目設定	8
第6章	実施試験内容	9
1.	システム要求を満たすための試験内容	9
2.	ミッション要求を満たすための試験内容	10
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)	11
	各担当(ハード・ソフト・全体などの進行状況を記入)	11
第8章	大会結果報告	12
1.	目的	12
2.	結果	12
3.	考察	12
第9章	まとめ	12
1.	工夫・努力した点(ハード、ソフト、マネジメント面すべて)	12
2.	課題点	12
3.	今後の展望	12

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)

なぜそのミッションを設定したのか、ミッションの目的を明記してください。

これは、様々なプロジェクトで求められるものなので、しっかりと考えて記述してください。洗練されたミッションステートメントを作成することで、チーム内の目的意識の統一へ繋がります。

1. パラシュートの開傘
 2. 着地判定からのパラシュートの切り離し
 3. GPS情報をもとに走行を開始
- 以上、3項目の確実な実証
4. 目標地点までの自律走行
- 以上、1項目の実証試験

月や火星表面において、一般的に探査を行うロボットはローバー型であるそのため、初めてのCanSatをローバー型とした。また、チームとしての初めてのCanSat開発のため、基礎技術がなく、0からの開発である。私たちは、ローバー型CanSatにおいて、ミッションを実施する際に、最小限の必要な技術があると判断した。それが先にあげた3項目である。しかし、私たちには、これら3項目を確実に実施できる技術を保持していない。そのため、基本的な技術(固有のミッションを行うために最低限必要な技術)を確実に実証し、技術を継承することを最優先の目標とした。また、次の段階として、多くのミッションにつながる技術と考えられる「指定された目標地点までの自律走行」するための実証試験を実施する。

太陽光発電を実施し、発電量の記録を行う。また、照度センサにより、影ではないと判定した場所で、3箇所停止することによる発電量の変化を調査する。

火星探査においては、太陽光発電が主として使用されている。しかし、NASAの探査機オポチュニティが砂嵐に巻き込まれ、太陽光パネルに砂が蓄積した。その結果、太陽の光が遮られてしまい、発電ができなくなり、通信が途絶えてしまった。この事例から、最終目標として、太陽光発電の電力を使用して、太陽光パネルに蓄積された砂を除去するための機構(傘を展開する等)を製作することで、探査機の寿命を長くすることができるのではないかと考えた。今回は、最初の段階として、CanSatが着地してから、指定した目標までに行く際の発電量の計測。また、照度センサが影ではない(15ルクス以上)と判定した場所を3箇所程度において、20秒間停止し、発電量の変化を調査する実験を行う。この実証実験の目的は、将来的に、砂を除去する機構を3回動作させることを念頭に置いた試験を実施することにある。

2. ミッションシーケンス

機体がどのようにミッションを達成するのかを順序だてて、具体的に図や文書を用いて説明してください。

1. CanSat本体をキャリアに収納
2. 気球のキャリアからCanSat本体を放出
3. CanSat本体のパラシュートを開き、落下速度を減速

4. 地上に着陸
5. パラシュート付きのCanSat保護ケースを本体から切り離し、パラシュートと本体を分離
6. GPS情報をもとに、ゴールに向かって走行及び太陽光発電を実施
7. ゴールまでの道筋でフォトダイオードにより影ではないと判断したところで20秒間間停止
8. 障害物を認識した場合及びスタックした場合、回避動作
9. GPS情報をもとにゴール判定を行い、停止

以上のミッションシーケンスをFig 1-2-1に示す

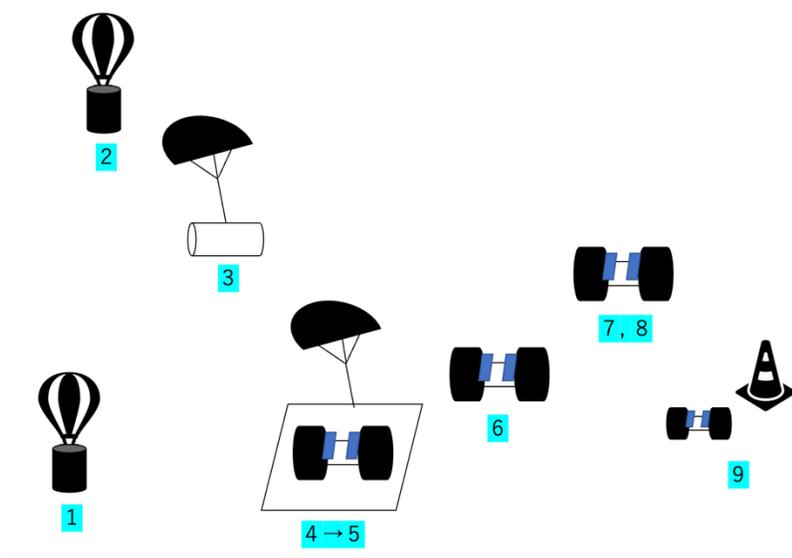


Fig 1-2-1 ミッションシーケンス

第2章 サクセスクライテリア

- ・審査対象となるため、この表は行などを追加せず、このまま記入してください。追記したい内容がある場合には、この表より下に説明を書いてもらって構いません。
- ・ミッションステートメントに対して一つ及び複数のミッション項目があり、それらの成功段階を述べたものがサクセスクライテリアとなります。

フルサクセス: 予定していた要求を満たし、計画通りの成果を得ること

ミニマムサクセス: 挑戦的なミッション目標を設定するため、独立した複数ミッション機器を搭載する場合等では、その一部の機能喪失が生じた場合でもクリアできる最低限の目標として設定することができる。なお、過剰に保守的な目標にならないよう注意が必要である。

(参考資料: 成功基準(サクセスクライテリア)作成ガイドライン)

ミニマムサクセス	<ul style="list-style-type: none">・パラシュートの開傘・パラシュートの切り離し・着地地点からゴールまで走行開始
フルサクセス	<ul style="list-style-type: none">・太陽光発電を実施し、影ではないと判定した3箇所で停止し、電流を測定し記録する・目標(ゴール)地点までGPS誤差(3m以内)に到達

今回が防衛大学校チームとしての初のCansatであるため、ローバーの基本的な技術達成をミニマムサクセスに設定した。

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)

本番の打ち上げ実験に向けての安全面の要求項目とレギュレーションを満たすための要求項目です。これらの要求項目が満たされていない場合は、原則打ち上げを認めません。カムバックコンペティションに参加しない場合はR11とR12を削除してください。

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試験を実施できている。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入しない 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)

各チームでミッションを実現するための要求分析をしてください。ミッションによって、要求が大きく異なってきます。しっかりと分析して記載をお願いします。

※ここでは、システムの仕様を記述するものではありません。例えば、「1000mAhのバッテリーを搭載」と記述するのは間違いで、下記のM2のように記述することが正しいです。

要求番号	自己審査項目 (ミッション実現要求項目)
M1	例) 走破性をもちスタックしない
M2	例) ○○を実施するために十分な電力を供給できること
M3	パラシュートが開傘できること
M4	パラシュートの切り離し機構が正常に動作し、CanSatとパラシュートが分離できること
M5	轍等の走行が困難な場所で、走行続行が可能であること
M6	着地時に横転及び反転しないこと
M7	キャリアから自重でCanSatが落下すること
M8	着地時にかかる衝撃に耐えうること
M9	落下中にパラシュートが切り離されないこと
M10	着地判定ができること
M11	GPSをもとに目的地へ走行できること
M12	ゴール判定できること
M13	フォトダイオードが15ルクス以上だと判断した場所3箇所まで20秒間停止し太陽光発電の電流を記録できること

第4章 システム仕様

1. CanSat外観

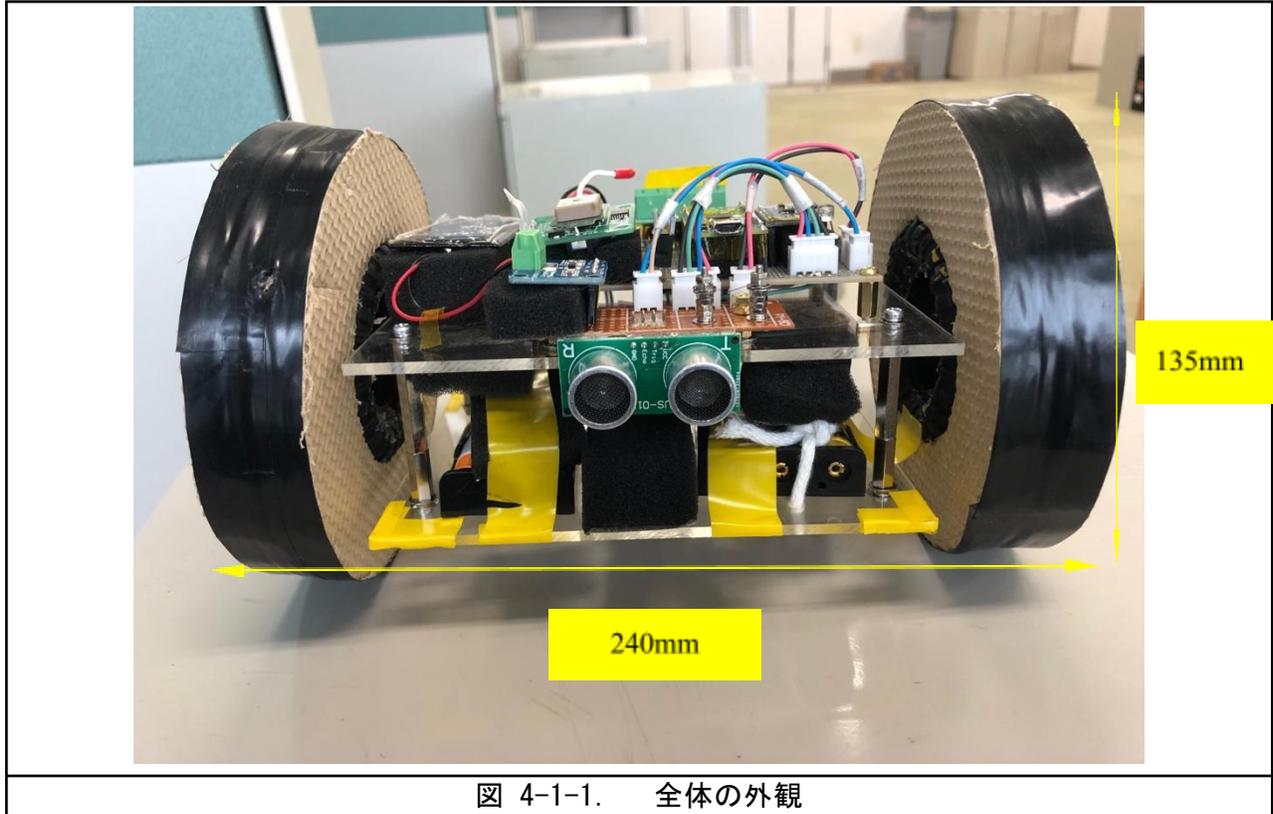


図 4-1-1. 全体の外観

図4-1-1がCanSatの外観である。本体全体の大きさについては、図4-1-1のとおりである。本体部分はアクリル板を2段構成とし、M3規格のステンレス製長ねじとスペーサーを用いて接続してある。アクリル板のサイズは縦11cm、横15cmで、厚さ3mmである。また、若干後ろ重心とし、さらに後ろ側にスタビライザーを接続することで、盛り上がった地面を乗り越えた際に前方に転倒し、上下がさかさまになるのを防ぐ機能が有してある。

2. CanSat内観・機構

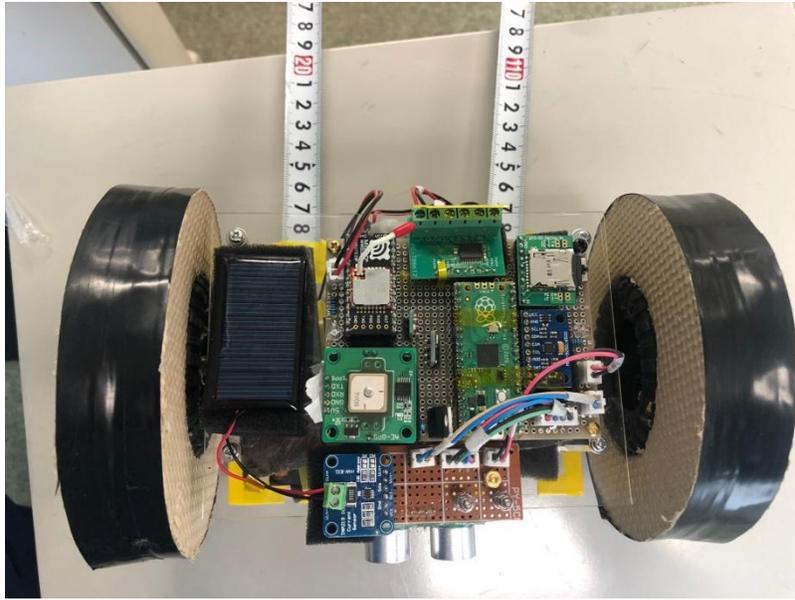


図 4-2-1. CanSat内観（上から見た図）

図4-2-1が本体を上から見た図である。2段目にはミッションに用いるソーラーパネルが設置されている。

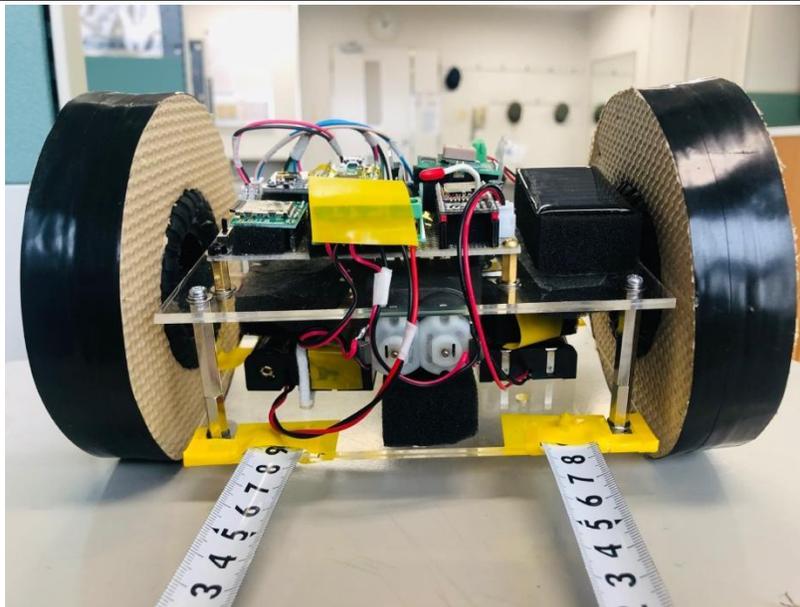


図 4-2-2. CanSat内観（後ろから見た図）

図4-2-2は後ろから見た図である。1段目にはバッテリーが搭載されている。



図 4-2-3. パラシュートの構造

図4-2-3はパラシュートの構造である。本体にパラシュートのついた保護フィルムを巻いて紐で閉じ、着地した際に閉じた部分をニクロム線で焼き切って保護ケース付きパラシュートを展開させる。パラシュートのサイズは外接円の直径が1.1mの正八角形であり、紐の直線部分は1.2m、また、落下直後に絡まりづらくするために、紐をまとめた部分を1m作っている。

3. システム図 (CanSat搭載計器仕様一覧)

Raspberry pi Picoをマイコンとして利用し、AE-GYSFDMAXBで位置情報を取得し現在位置と目標位置の角度を計算し、AE-TB6612のモータードライバに目標位置への旋回PWM制御値を出力し、モーターに出力する。

S13948-01SBで照度を、MPU9250で加速度を、US-15で距離、BMP180で高度を取得する。照度センサはローバーがキャリアから放出されたかを判別し、加速度センサは水平方向及び垂直方向の加速度及び角速度を取得し、CanSat本体の態勢を把握するのに用いる。距離センサはローバー前方の障害物までの距離を計測し、障害物の有無判定を行う。高度センサは、着地判定に用いる。

ソーラーパネル及び電流測定センサは、太陽光発電を行い、電流を記録するのに用いる。

Twelite REDは無線通信に用いる。無線通信はロスト対策に用い、GPSデータを送信する。

マイクロSDカードスロットDIP化キットを用いてログを記録する。

図4-3-1にシステム図を示す。また、実際に使用している電子部品の一覧を表4-3-2に示す。

図4-3-1 システム図

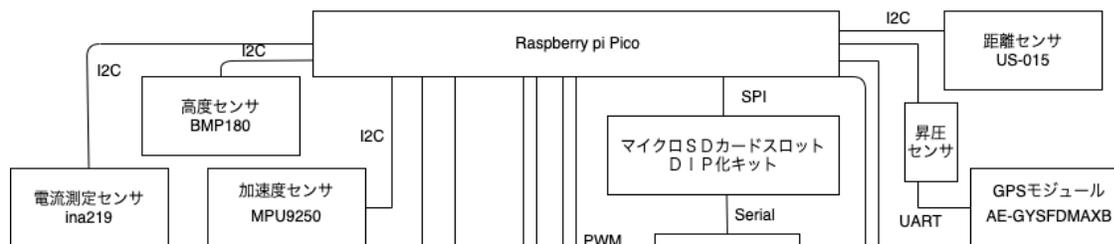


表 4-3-2 使用部品一覧

分類	名称・型番	入手先
GPS	AE-GYSFDMAXB	秋月電子
マイコン	Raspberry pi Pico	秋月電子
加速度センサ	MPU6050	Amazon
高度センサ	BMP180	秋月電子
モータドライバ	AE-TB6612	秋月電子
無線	Twe-Lite RED	秋月電子
フォトダイオード	S13948-01SB	秋月電子
モーター	タミヤ ツインギヤモータボックス	Amazon
SDスロット	マイクロSDカードスロットDIP化キット	秋月電子
距離センサ	US-15	Amazon
ソーラーパネル	NUZAMAS ソーラーパネル4組 5V	Amazon
バッテリー	Panasonic HHR-P104	秋月電子
バッテリー	アルカリ電池	Amazon
電流測定センサ	ina219	Amazon
昇圧センサ	5V出力昇圧DCDCコンバーター	秋月電子
トランジスタ	TIP120	秋月電子

4. アルゴリズム

電源を入れた後、上昇モードを開始する。

上昇モード

上昇モードでは、キャリアから放出されたかを判定し、キャリアからの放出を確認した後に落下モードに移行する。キャリアからの放出は、フォトダイオードの値を測定し、ルクス値が40以上であるかどうかで判定する。

落下モード

落下モードでは、無線機の電源をオンにした後、着地判定を行う。その後、着地を確認した後にパラシュートを切り離し、復帰モードに移行する。着地判定は、高度が3回以上変化なしかどうかとする。また、このあと5秒待機する。パラシュートの切り離しは、ニクロム線に電流を0.8秒間加える過程を2回繰り返すことで確実性を増加させる。

復帰モード

復帰モードでは、前方に障害物がないか確認する。障害物がない場合は、走行モードに移行する。障害物に衝突し前に進まなくなった場合、後進し、右または左旋回を行った後、前進する。この過程を障害物が前方にある間繰り返す。

走行モード

走行モードでは、GPS位置情報から走行制御を開始し、距離センサにより走行方向の障害物の有無を確認しながらゴール方向へ進み、GPSにより現在位置が目的地と一致すると停止する。走行制御では、GPS位置情報から走行方向とゴール方向の角度を計算し旋回する。障害物を確認した場合、復帰モードと同じ要領で回避を行う。また、目的地へ向かう際にフォトダイオードが50ルクス以上だと示した場所3箇所、20秒間停止し太陽光発電の発電量を記録する。

フローチャートを図4-4-1に示す。

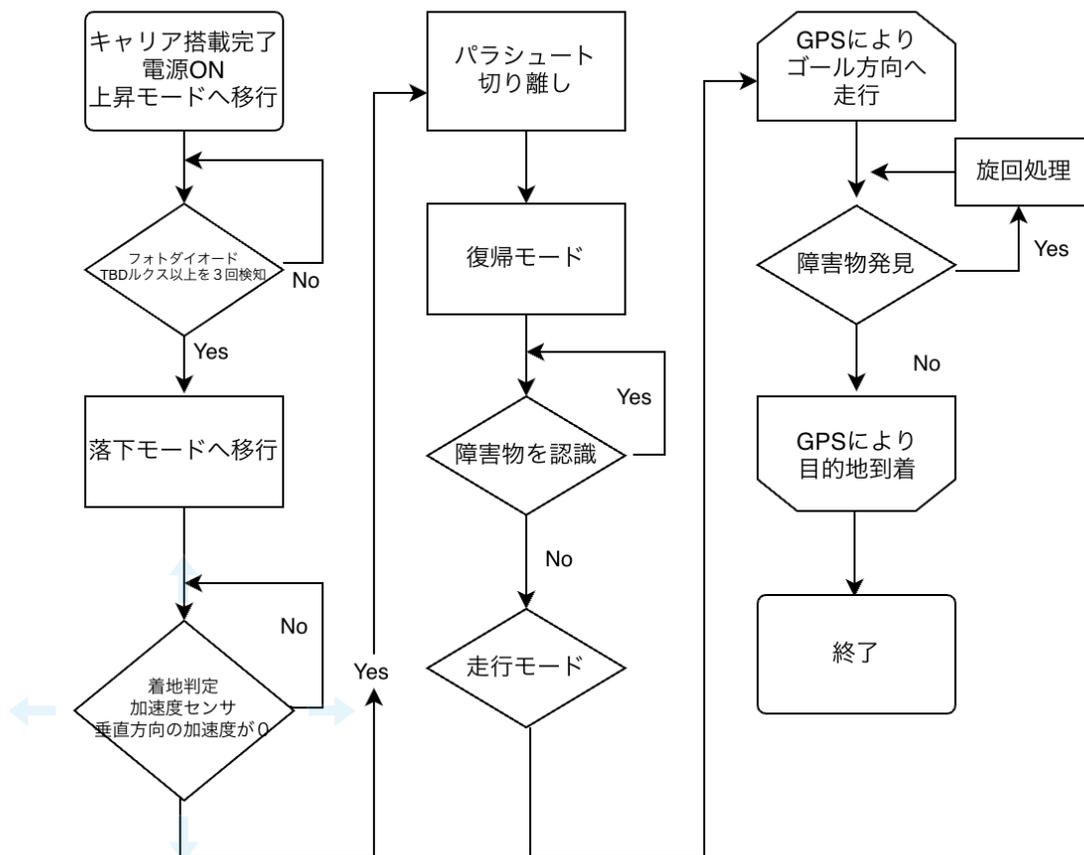


図4-4-1 フローチャート

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）	実施予定日
V1	通信試験	R2, R7, R8	7/31
V2	落下試験	R3, M3, M6, M8, M9, M10	8/21
V3	準静的荷重試験	R4	9/6
V4	振動荷重試験	R5	8/24
V5	衝撃荷重試験	R6	8/19
V6	収納・投下準備試験	R1, R10	8/23
V7	バッテリー試験	M1	8/21
V8	太陽光発電試験	M2	8/20
V9	パラシュート切り離し試験	M4	9/6
V10	走行試験	R11, M5, M11, M12, M13	10/21, 23
V11	自重落下試験	M7	8/18
V12	制御レポート記録試験	R12	10/23
V13	End to End試験	R9	10/19, 20

V5については、コロナ過の中、実施が厳しいため、任意とのことなので、今回は断念する。

第6章 実施試験内容

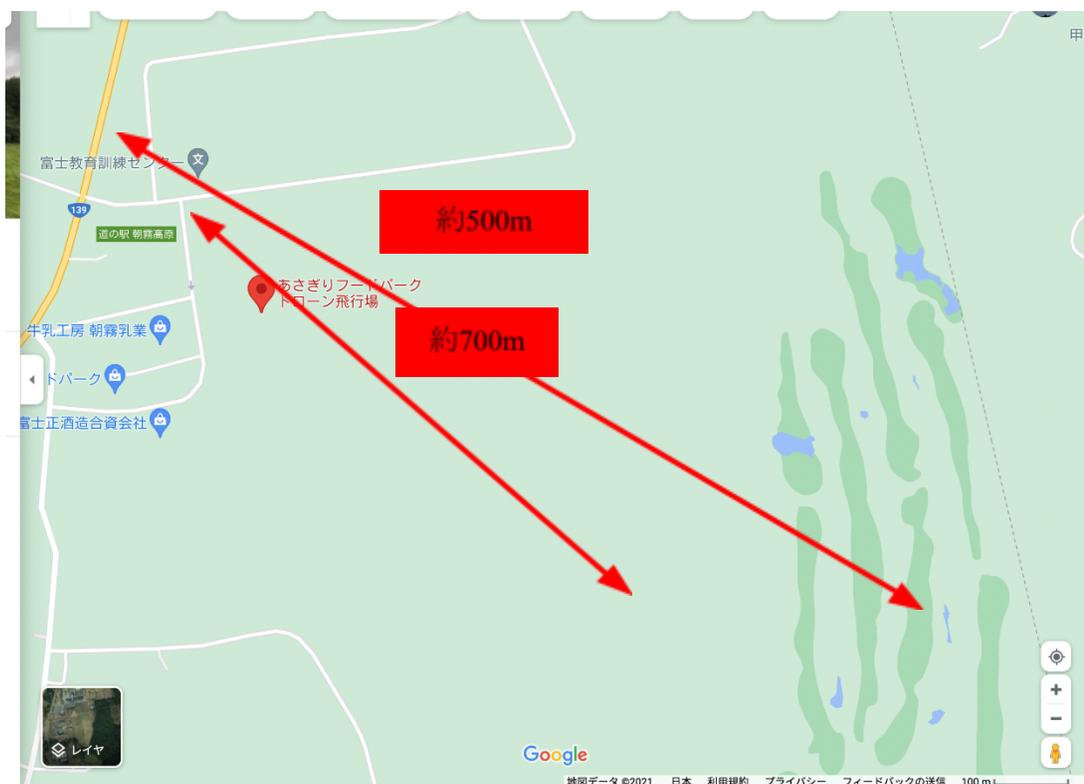
(未実施の場合でも目的、内容まではできる限り記入してください)

1. システム要求を満たすための試験内容

(V1) 通信試験

○ 目的

1. ロスト対策のためにGPS情報を1km先に無線によりデータを送信できるかを確認する。1kmにした理由は、以下の図から、今回実験するあさぎりフードパークのドローン飛行場の端と端を結んだ距離が1km以内であると判断したためである。



2. 無線機の電源をOFFにした後に、プログラムによりONにできることを確認する。
3. 無線機のチャンネルを変更できることを確認する。

○ 試験/解析内容

1. Googleマップの1km以上離れている2点の片方にCanSatと無線、もう片方にパソコンと無線を設置し、GPS情報が届くかどうかを確認する。
2. 1の実験をする際に、電源をONにした後に、プログラムにより、無線をOFFにすることができるかを確認する。
3. 無線機のチャンネル方法の変更が5分以内に行えることを確認する。

○ 結果

1. 図6-(V1)-1-2の通りGPS情報が届くことを確認できた. 図6-(V1)-1-1は試験の様子である.



図6-(V1)-1-1 試験の様子

```
23:03:41 34.801044 135.425270
23:03:47 34.801202 135.425258
23:03:55 34.801388 135.425234
23:04:00 34.801507 135.425186
23:04:03 34.801576 135.425138
23:04:11 34.801762 135.425091
23:04:15 34.801862 135.425067
23:04:25 34.802079 135.424972
No data
No data
23:05:45 34.803147 135.424638
23:05:51 34.803147 135.424602
23:05:52 34.803147 135.424638
23:08:42 34.804795 135.424101
23:09:00 34.805213 135.423123
23:09:48 34.806012 135.422233
23:11:28 34.807387 135.422107
23:12:02 34.808170 135.421316
23:13:17 34.809012 135.421125
23:14:23 34.809648 135.420753
23:14:27 34.809648 135.420753
23:14:35 34.809648 135.420753
23:14:39 34.809648 135.420753
23:14:47 34.809648 135.420753
No data
23:15:02 34.809648 135.420753
23:15:06 34.809648 135.420753
23:15:10 34.809648 135.420753
23:15:18 34.809648 135.420753
```

図6-(V1)-1-2 データが届いている様子

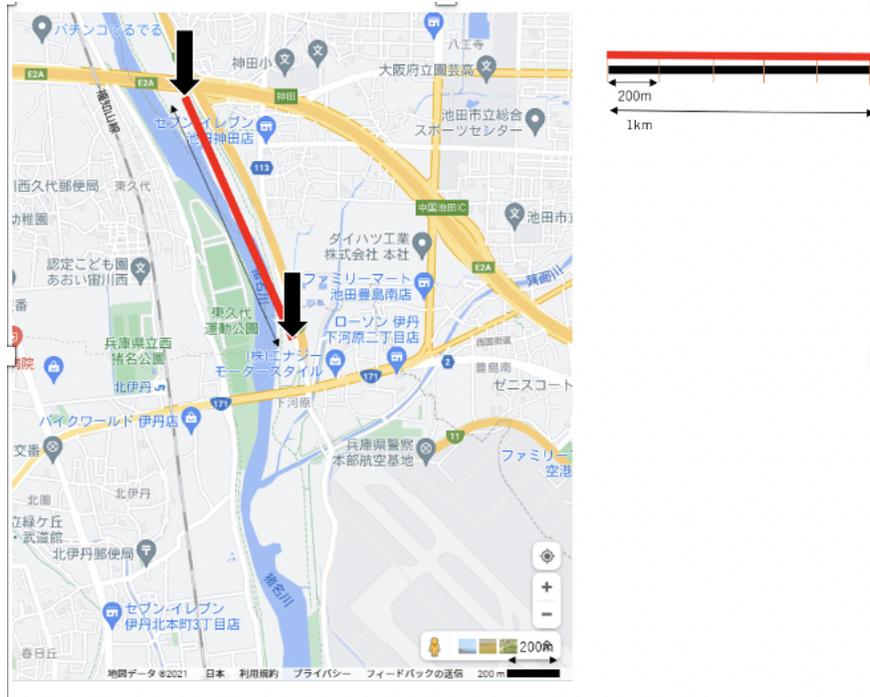


図6 - (V1)- 1 - 3 データをGoogle Map上にプロットした様子

2. 図6 - (V1)- 2 - 1 及び図6 - (V1)- 2 - 2の通り，無線機の電源をOFFにした後に，プログラムによりONにできることを確認できた。

```

counter = 0
vcc.value(0)
def led_light(self):
    led.value(1)
    utime.sleep(0.5)
    led.value(0)
    utime.sleep(0.5)

while True:
    counter += 1
    uart.write(str(counter))
    print(counter)
    if counter >= 20:
        vcc.value(1)
        led_light(led)
        uart.write("radio on"+"\\n")

```

図6 - (V2)- 2 - 1 プログラム



図6 - (V2)- 2 - 2 counterが20以上で無線がONになっている様子

3. 図6 - (V2)- 3の通り，無線機のチャンネルを変更できることを確認できた。



図6 - (V2)- 3 - 1チャンネルを変える前

```
--- CONFIG/TWE UART APP V1-04-1/SID=0x82019233/LID=0x00 -E ---
a: set Application ID (0x67720103)
i: set Device ID (121=0x79)
c: set Channels (11)*
x: set RF Conf (3)
r: set Role (0x0)
l: set Layer (0x1)
b: set UART baud (9600)
B: set UART option (8M1)
m: set UART mode (D)
k: set Tx Trigger (sep=0x0a, min_bytes=8 dly=30[ms])
h: set handle name []
C: set crypt mode (0)
o: set option bits (0x00000100)
---
S: save Configuration
R: reset to Defaults
```

図6 - (V2)- 3 - 2チャンネルを変えた後

- 結論
目的が達成でき、異常はなかった。

(V2) 落下試験

- 目的
 1. パラシュートの開傘とパラシュートによる減速が可能であり、減速機構として機能することを確認する。
 2. 着地時の衝撃に耐えられることを確認する
 3. 着地判定できることを確認する。
- 試験/解析内容
 1. 10m以上の場所からパラシュート付きのCanSat本体を落下させ、着地するまでの秒数を計測し、減速機構が動作することを確認する。
 2. 1を満たした際に、CanSatが壊れていないことを確認する。
 3. 無線により、着地した場合にlandと表示されるかどうかで判定する
- 結果
測定結果は以下の通り。落下高さ10.15m

1回目	3.19s
2回目	2.67s
平均	2.93s

パラシュートが完全に開いた状態からは速度は一定となると仮定する。パラシュートが完全に開いてから着地までにかかった時間は、それぞれ、

1回目	2.09s
2回目	1.91s
平均	2.00s

また、パラシュートが完全に開くまでに、おおよそ2.0m落下した。これらのことから、平均落下速度は、

$$V = \frac{10.15 - 2.0}{2.00} = 4.075(m/s)$$

であると推測された。

実際にはパラシュート開傘後、徐々に減速し終端速度になるが、平均速度は減速前の速度を含んだ平均のため、終端速度より大きい。よって、平均速度で評価することで安全側の評価となる。

また、落下後も問題なくプログラムが作動し、壊れている部分を見当たらなかった。

動画：落下試験1回目 <https://youtu.be/gmkfYVBrvCM>

落下試験2回目 <https://youtu.be/7oQYjQMh6yl>

○ 結論

落下速度は4.075m/sと計算された。よって、減速機構が動作することが確認できた。また、着地時の衝撃に耐えられること、及び着地判定ができることが確認できた。

(V3) 準静的荷重試験

○ 目的

ロケットの打ち上げにかかる想定される大きさの静荷重を CanSat に与えることで、CanSat がそれに耐えられることを実証する。

○ 試験/解析内容

長いロープを取り付けた袋の中に入れ、その取手を持ちトートバッグを回転させることで、遠心力で大会の推奨値である10Gの加速度を与える。また、この10Gを与えることができたかは加速度センサによって確認する。

○ 結果

キャリアに搭載した加速度センサの値を無線通信で PC 画面により確認し、10G を超えた時点から力を緩めずに10秒間回転運動を継続し、連続的な遠心力による加速度をかける。その後、CanSat をキャリアから放出し、各種センサが正常に動作することで CanSat が静荷重に耐えられることを確認した。また、その後走行させることでモーターも異常がないことを確認した。また、図6-(V3)-1が実施時の様子である。



図6 - (V3)- 1 実施時の様子

動画 : https://youtu.be/U_dEcj6GWQQ

- 結論
動画の通り、10G の荷重を与えた後、CanSatが問題なく動作し、準静的荷重に耐えられることが確認できた。

(V4) 振動荷重試験 コロナの影響により実施できなかった

(V5) 衝撃荷重試験

- 目的
CanSatがパラシュートの開傘衝撃に耐えられるかどうかを確認する。
- 試験/解析内容
パラシュートを閉じた状態から落下させ、パラシュートとCanSatが上空で分離しないことを確認する。
- 結果
実験の様子については、(V3) の落下試験の通りである。
パラシュートを閉じた状態から落下させたが、パラシュートが開くまで、約2.0m落下し、パラシュートが開傘した。このとき、パラシュートとCanSatが上空で分離せず、問題なくプログラムも作動していた。
- 結論
CanSatは衝撃荷重に耐えられることを確認できた。

(V6) 収納・落下準備試験

- 目的
 1. 質量が1050g以下であることを確認する。
 2. CanSatを5分以内に収納できるようにする。
 3. キャリアの中に収納できることを確認する。(容積がレギュレーションを満たしているかを確認する。)
- 試験/解析内容
 1. パラシュートを含めたCanSatを計りに載せ、質量を計測する。
 2. CanSatを5分以内に収納し、投下準備ができることを、動画に撮って示す。指定されているキャリアと同じサイズの紙筒を作り、その中にCanSatが収納できることを確認する。
- 結果
 1. 図6- (V6)- 1の通り、全体を含めた質量は896.5gであった。



図6- (V6)- 1 CanSat質量の計測

- 以下の動画の通り2分40秒で収納することができた。また、図6 - (V6) - 2キャリアの中に収納できることが確認できた。また、キャリアの規格がレギュレーションに則っていることについては、図6 - (V11)- 2において示した。



図6 - (V6) - 2 キャリアに収納した様子

動画 : <https://youtu.be/BVoJByuau-g>

○ 結論

- 機体とパラシュート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できた。
- 5分以内にCanSatを収納し放出することができた。

(V7) バッテリー試験

○ 目的

本体バッテリーが競技終了までに問題なく動作することを確認する。また、モーターバッテリーについても、競技時間が15分のため20分間走行可能かを確認する。

○ 試験/解析内容

本体バッテリーについては、今回使用するセンサをONにした状態で、1時間以上動作することを確認する。モーターバッテリーについては、前進状態を20分以上動作することを確認する。

○ 結果

図6 - (V7) - 1及び図6 - (V7) - 2は試験の様子である。

本体バッテリーについては、今回使用するセンサをONにした状態で、1時間以上動作することを確認できた。不具合は確認されなかった。また、モーター

バッテリーについても、20分以上動作することが確認できた。

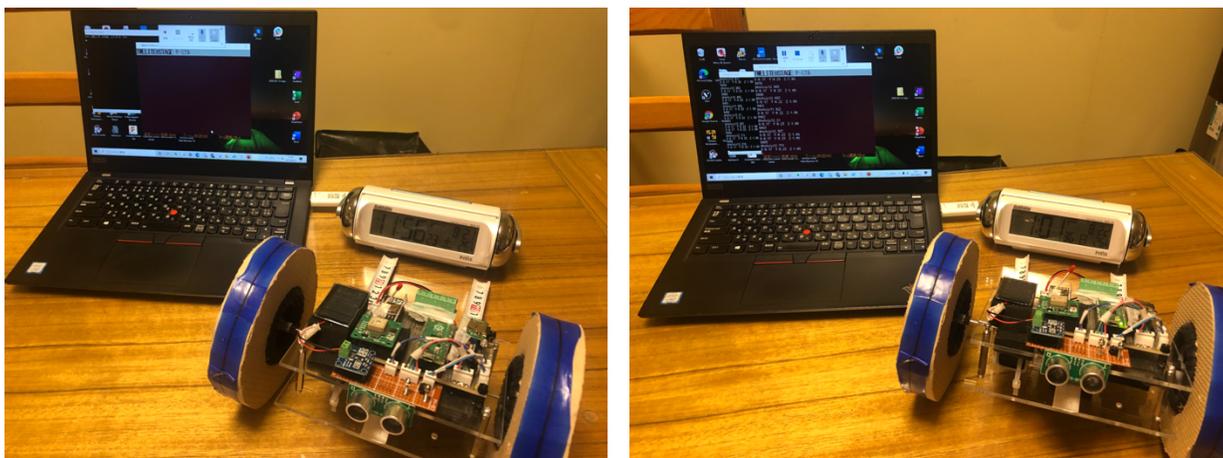


図6 - (V7) - 1 本体バッテリー試験開始及び終了時の様子



図6 - (V7) - 2 モーターバッテリー試験開始及び終了時の様子

動画： <https://youtu.be/jVsZ3rEFOrE> (本体バッテリー)
<https://youtu.be/j5Xab3767QU> (モーターバッテリー)

- 結論
本体バッテリー及びモーターが競技終了まで問題なく動作することを確認できた

(V8) 太陽光発電試験

- 目的
太陽光発電による発電が可能なこと、及び、その際の電流を計測し記録できることを確認する。
- 試験/解析内容
ina219というセンサを用いて太陽光パネルに太陽光をあて、太陽光発電で得られた電流の値を調べる。太陽が当たっているとき、当たっていない時の計測を実施する。
- 結果

実験の様子は図6 - (V8) - 1の通りである.



図6 - (V8) - 1 実験の様子

動画 : <https://youtu.be/BVoJByuau-g>

太陽が当たっていない時の電流の値は図6 - (V8) - 2の結果となり, 0.195mAとほとんど流れていないことがわかる.

```
TWELITE@STAGE ターミナル
Power: 0.000 mW
Power: 0.000 mW
Current: 0.195 mA
Power: 0.000 mW
Current: 6.098 mA
Power: 5.122 mW
Current: 6.000 mA
Power: 5.122 mW
Current: 6.000 mA
Power: 5.122 mW
Current: 6.000 mA
Power: 5.122 mW
設定(+++)/長押し:MENU   ゲーム/折返[ON]   マウス操作/リセット
```

図6 - (V8) - 2 太陽光が当たっていない時の電流の様子
続いて, 太陽光を当てると下の結果となり, 6mAほどの電流が流れた.

```
TWELITE@STAGE ターミナル
Current: 7.000 mA
Power: 6.098 mW
Current: 6.902 mA
Power: 6.098 mW
Current: 6.902 mA
Power: 6.098 mW
Current: 6.805 mA
Power: 6.098 mW
Current: 6.695 mA
Power: 6.098 mW
Current: 6.695 mA
Power: 6.098 mW
Current: 6.598 mA
Power: 6.098 mW
Current: 6.500 mA
Power: 5.610 mW
Current: 6.500 mA
Power: 5.610 mW
設定(+++)/長押し:MENU   ゲーム/折返[ON]   マウス操作/リセット
```

図6 - (V8) - 3 太陽光が当たっている時の電流の様子

- 結論
太陽光に当たっていない場合ほとんど発電されず，また，当たっている場合は約7mA 発電している様子から，太陽光発電による発電が可能なこと及びセンサより電流が記録できることが確認できた。

(V9) パラシュート切り離し試験

- 目的
パラシュート入りケースが問題なく， CanSat本体と分離できるかどうかを確認する。
- 試験/解析内容
プログラムからニクロム線に電圧を与えることで，パラシュートとCanSat本体を繋いでいる紐が切れるかを確認する。
- 結果
図6 - (V9) - 1及び図6 - (V9) - 2より，ニクロム線に電圧を加えることによって，本体とパラシュート入りケースを分離できた。

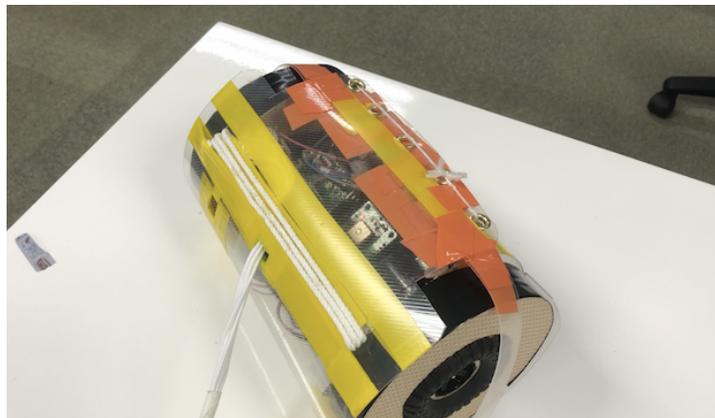


図6 - (V9) - 1 分離前

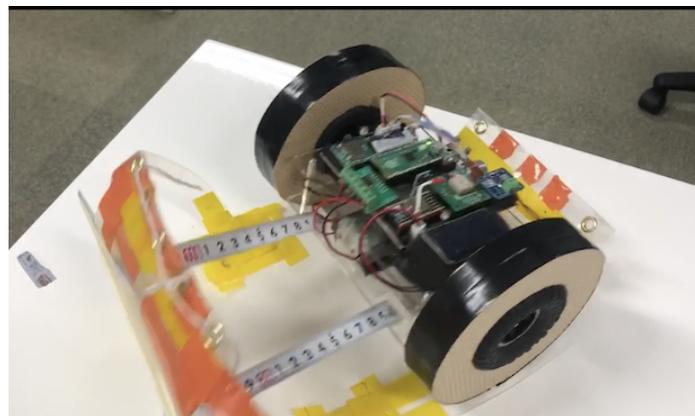


図6 - (V9) - 2 分離後

動画 : <https://youtu.be/xDollylzNF0>

- 結論
パラシュート入りケースが問題なく、CanSat本体と分離できることを確認した。

(V10) 走行試験

- 目的
轍等の走行が困難な場所で、横転及び反転せずに走行できることを確認する。また、GPS情報をもとにゴール判定ができることを確認する。
- 試験/解析内容
走行モードのプログラムを動作させ、横転及び反転せずに走行することを確認する。また、指定する目的地の3m以内に到達できるかを確認する。
- 結果
轍等の走行が困難な芝生の場所で、図6 - (V10) - 1及び図6 - (V10) - 2の様な低木や高木がある場所でも走行できた。



図6 - (V10) - 1 想定した低木



図6 - (V10) - 2 想定した高木

動画 : <https://youtu.be/luuw8lQ2B1Y> (低木)
<https://youtu.be/iXdIjYxTEk0> (高木)

また、下動画の通り、GPS情報をもとに走行を行い、目的地とした点の2m50cm程離れた場所(図6 - (V10) - 3参照)で停止することができた。この時の制御の様子を(V12)の制御レポート記録試験において示す。

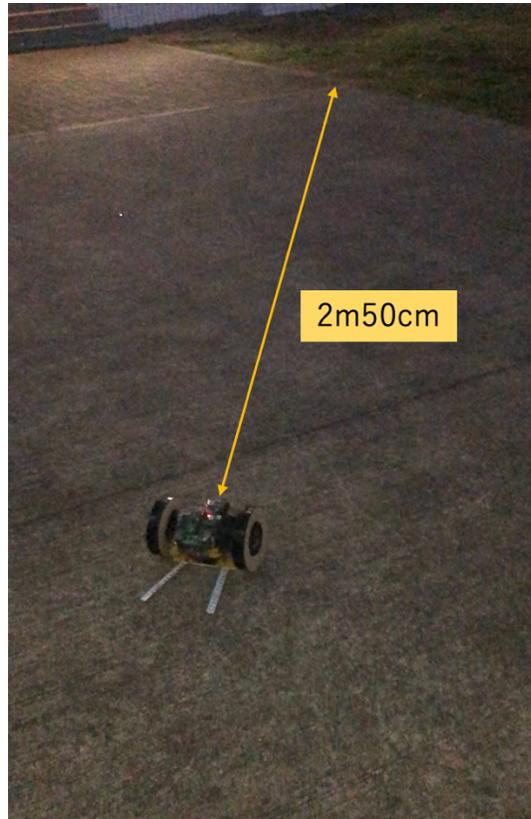


図6 - (V10) - 3 目的地から2m50cm離れた場所で停止した様子

動画 : <https://youtu.be/LxuLuxKj09A>

- 結論
轍等の走行が困難な場所で、横転及び反転せずに走行できることを確認できた。また、GPS情報をもとに走行し、目的地から3m以内の場所で停止することを確認できた。

(V11) 自重落下試験

- 目的
キャリアからCanSat本体の自重により、落下できるかどうかを確認する。
- 試験/解析内容
キャリアを模擬した紙筒を用意し、CanSat及びパラシュートを入れ、自重で落下できるかを確認する。
- 結果
図6 - (V11)- 1の通り、自重で落下した。



図6 - (V11)- 1 試験の様子

また、この際使用したキャリアは図6 - (V11)- 2の通り、レギュレーションの規格（内径：146mm，高さ：240mm）と一致している。

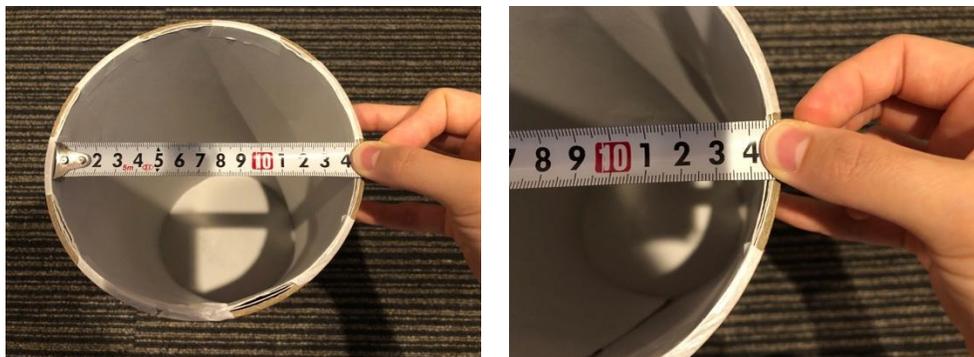


図6 - (V11)- 2

キャリア

の測定の様子



- 結論
自重で落下することが確認できた。

(V12) 制御レポート記録試験

- 目的
走行試験のデータから作成し、大会終了後の大会報告書で制御履歴の提出できることを確認する。
- 試験/解析内容
走行試験をもとに、SDカードに入っているデータから制御レポートを作成できることを確認する。
- 結果

実際に(V10)の走行試験の時に記録したデータを用いて、制御レポートを作成した。表6-(V12)-1はSDカードに記録したデータをExcelを用いることによってわかりやすくしたものである。また、これをもとに図6-(V12)-1及び図6-(V12)-2を作成した。

表6-(V12)-1 走行データ

latitude	longitude	direction_of_goal	goaldir_latitude	goaldir_longitude	distance
35.259058	139.718477	unknown	0.000608	0.001962	0.002054047
35.259058	139.718477	unknown	0.000608	0.001962	0.002054047
35.259098	139.718204	left	0.000568	0.002235	0.002306046
0	0	unknown	35.259666	139.720439	144.1008158
35.25911	139.717813	right	0.000556	0.002626	0.002684215
35.25919	139.717936	straight	0.000476	0.002503	0.002547859
35.25919	139.717936	unknown	0.000476	0.002503	0.002547859
35.25927	139.718008	left	0.000396	0.002431	0.002463042
0	0	unknown	35.259666	139.720439	144.1008158
0	0	unknown	35.259666	139.720439	144.1008158
35.259324	139.717935	right	0.000342	0.002504	0.002527248
35.259324	139.717935	unknown	0.000342	0.002504	0.002527248
35.259348	139.71852	straight	0.000318	0.001919	0.00194517
35.259364	139.718801	left	0.000302	0.001638	0.001665607
35.259427	139.718714	right	0.000239	0.001725	0.001741478
0	0	unknown	35.259666	139.720439	144.1008158
35.259451	139.71906	left	0.000215	0.001379	0.00139566
35.259516	139.719084	straight	0.00015	0.001355	0.001363277
35.259557	139.719143	right	0.000109	0.001296	0.001300576
35.259545	139.719592	left	0.000121	0.000847	0.000855599
0	0	unknown	35.259666	139.720439	144.1008158
35.259615	139.71967	right	5.1E-05	0.000769	0.000770689
35.259609	139.72003	Navigation completed	5.7E-05	0.000409	0.000412953

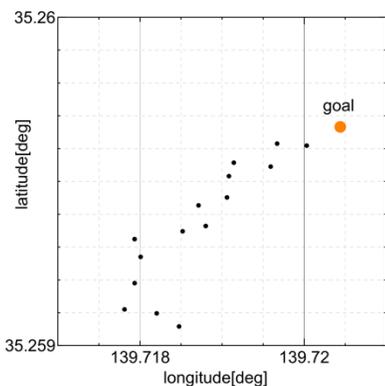


図6-(V12)-1 走行軌跡

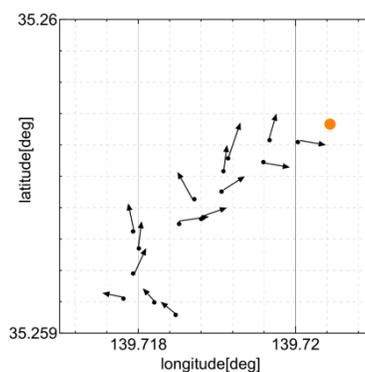


図6-(V12)-2 走行軌跡及び進行方向

○ 結論

制御履歴から、制御レポートの作成が可能であり、これにより制御履歴レポートを運営者に提出できることを確認した。

(V13) End to End試験

- 目的
CanSatの動作を本番と同じ手順で行い、問題がないかを確認する。
- 試験/解析内容
キャリアからCanSatが放出→着地→パラシュートの切り離し→自律走行開始→ミッションの実施
以上の一連の流れを通してできるか確認する。また、ゴールまでの自律走行に関しては、実験場所がGPS受信できなかつたため、Endを自律走行開始までとする。
- 結果
図6 - (V14) - 1および動画より、キャリアからCanSatが放出→着地→パラシュートの切り離し→自律走行開始→ミッションの実施が確認できた。

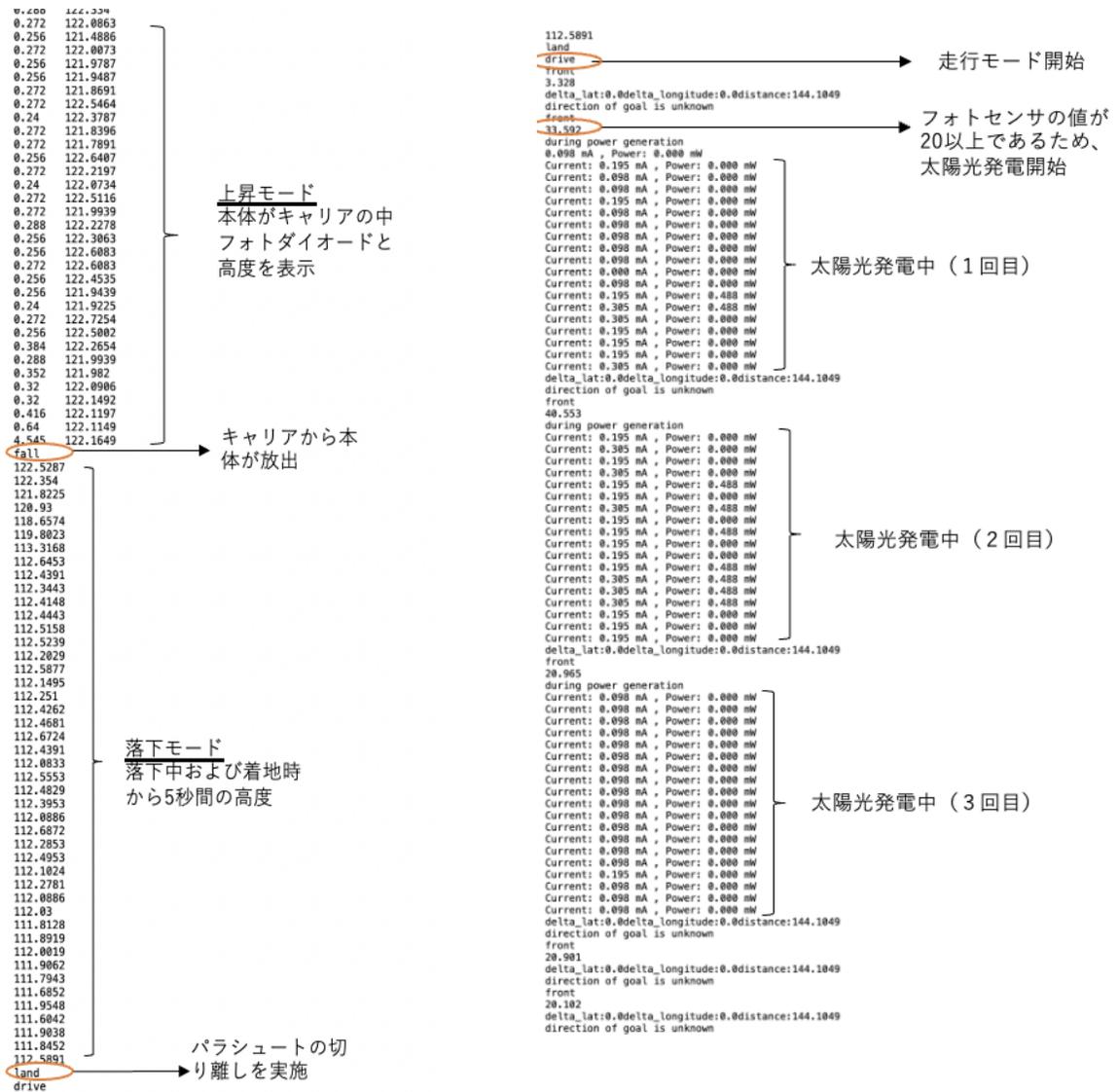


図6 - (V13)- 1 ログデータ (1回目)

動画 : <https://youtu.be/7PX41z7SqtC> (1回目)

<https://youtu.be/5NtooNavjLE> (2回目)

○ 結論

動画の通り、自重落下から着地した後、問題なくパラシュートを切り離し、ミッションを実施することができた。また、競技一連の流れに安全上の問題がないことを確認できた。

第8章 大会結果報告

1. 目的

ACTS投下試験においての目的は、ローバー型CanSatにおいて、目的地に辿り着くまでに必要な技術の確立である。具体的には、パラシュートの開傘、パラシュートの切り離し、着地地点からゴールまでの走行開始及び目標地点近くまで到達及び太陽光発電の発電量の計測を行うことである。

2. 結果

投下試験を行ったときに目視で確認できたこと、計器類より取得できたデータ、動画など総じて投下試験で得られたものを示す。投下機会ごとに分けてください。

1投下目

- ・パラシュートの開傘 → 成功(目視により判断)
- ・落下判定 → 成功(フォトセンサのデータが設定値より超えたときに落下判定を行っていたことから判断(図9-(2)-2を参照))
- ・パラシュートの切り離し → 成功(目視により判断)
- ・太陽光発電の実施 → 発電には成功したが、異なる3地点で20秒間計測の予定が、本体がスタックしたことにより、同地点で3回の計測となった。
- ・GPSによる走行開始 → 成功(データにより判断)
- ・スタック判定 → 成功(目視により判断)
- ・目標地点に到達 → 競技時間の超過により目標地点まで39mで競技終了

1投下目取得データ

- ・高度データ

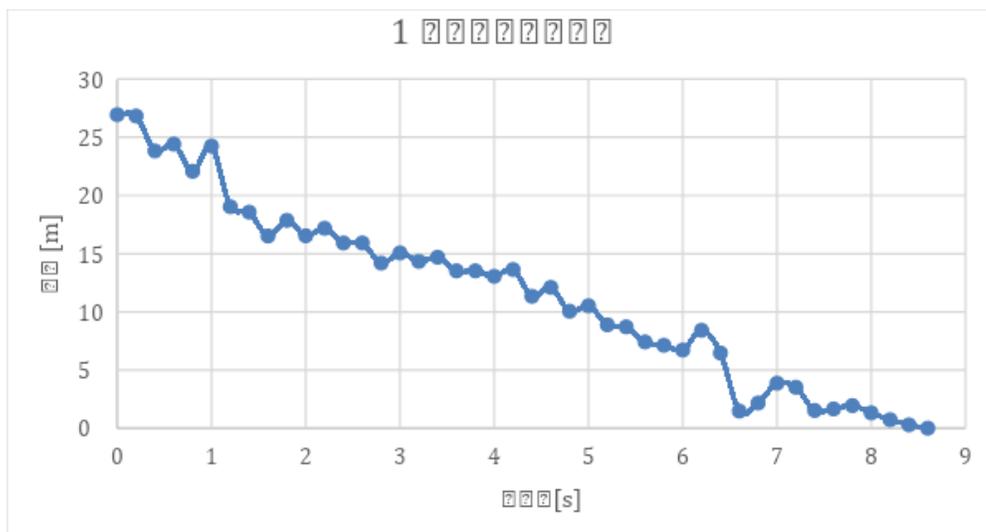


図9-(2)-1 1投下目 高度記録

気圧センサのデータより、1投下目は高度26mの地点から8.6秒落下したことがわかった。これより、落下平均速度は、3.02m/sであったことがわかる。

- ・落下判定に使用したフォトセンサデータ

0.272

0.288

0.272

0.288

0.368

図9 - (2) - 2 1投下目 落下判定までのフォトセンサデータ

図9 - (2) - 2 より、フォトセンサデータがこの日に設定した10という閾値を超えたため、落下判定を行ったことが確認できる。

・太陽光発電の発電量データ

Fig 9 - (2) - 1 1投下目 各地点での平均発電量

1回目	1.805 mA
2回目	8.805 mA
3回目	5.305 mA

Fig 9 - (2) - 1より、本体がスタックしたことにより、3回の計測が全て同地点となってしまったものの、スタック判定を行い、本体の体制が3回とも異なっていた(フォトセンサの値が異なっており、また、発電量が大きいところでフォトセンサの値が大きかった)ため、平均発電量に大きな差があった。

2投下目

- ・パラシュートの開傘 → 成功(目視により判断)
- ・落下判定 → 成功(データから判断)
- ・着地判定 → 成功(データから判断)
- ・太陽光発電の実施 → 発電には成功したが、異なる3地点で20秒間計測の予定が、本体がスタックしたことにより、同地点で3回の計測となった。
- ・GPSによる走行開始 → 成功(データにより判断)
- ・スタック判定 → 成功(目視により判断)
- ・目標地点に到達 → 目標地点から23mの地点でゴール判定を行い競技終了

・高度データ

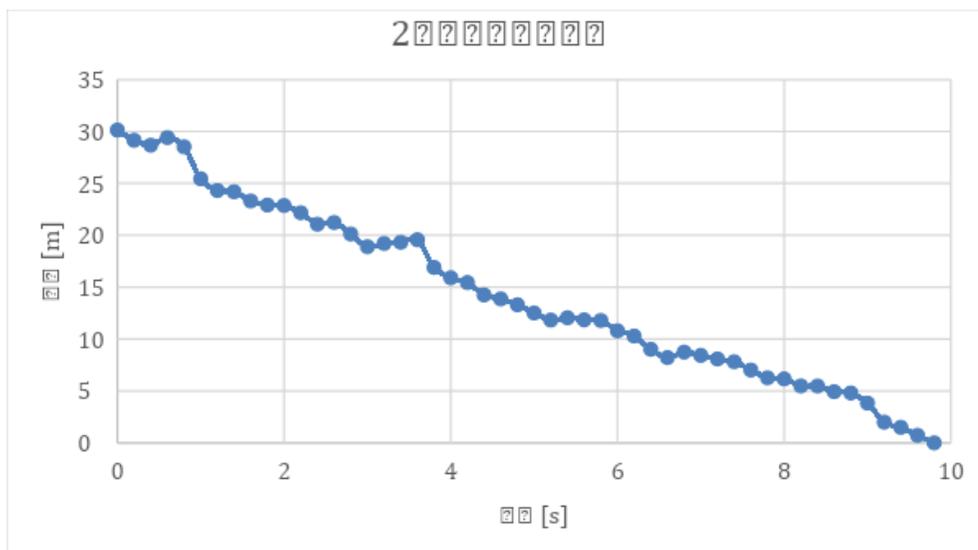


図9 - (2) - 3 2投下目 高度記録

気圧センサのデータより、2投下目は高度30mの地点から9.8秒落下したことがわかった。これより、落下平均速度は、3.06m/sであったことがわかる。

・落下判定に使用したフォトセンサデータ

0.272
0.272
0.256
0.272
0.224
0.272
0.512
0.448
8.93
42.858
fall

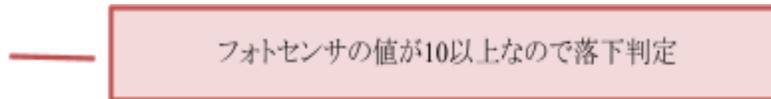


図9 - (2) - 4 2投下目 落下判定までのフォトセンサデータ

図9 - (2) - 4 より、フォトセンサデータがこの日に設定した10という閾値を超えたため、落下判定を行ったことが確認できる。

・太陽光発電の発電量データ

Fig 9 - (2) - 2 2投下目 各地点での平均発電量

1回目	1.902 mA
2回目	5.902 mA
3回目	1.000 mA

Fig 9 - (2) - 2より、本体がスタックしたことにより、3回の計測が全て同地点となってしまったものの、スタック判定を行い、本体の体制が3回とも異なっていた(フォトセンサの値が異なっており、また、発電量が大きいところでフォトセンサの値が大きかった)ため、平均発電量に大きな差があった。また、2投下目は1投下目に比べ、曇っていたため、1投下目よりも発電量が少なかったことが推測できる。

GPSデータを用いたナビゲーション

1投下目および2投下目のGPSデータおよび誘導判定記録を図9 - (2) - 5及び図9 - (2) - 6に示す。GPSモジュールにより取得した位置情報を、記録した順番に線をつないだ軌跡をtrailとして示す。ま

た、現在位置から見た進行方向を前方としたときの目標地点の方向をleft、right、back、straight、目標地点から半径16.67m以内をhereとし、それらの判定を行った座標上に示す。goalは目標地点の座標である。誘導判定はGPSモジュールにより4秒間隔に取得した2点とあらかじめ入力した目標地点の座標を用いて行った。図9 - (2) - 6において、goalとhere判定の座標はマーカーが重なっている。

図9 - (2) - 5 1投下目 GPS記録データおよび誘導判定記録

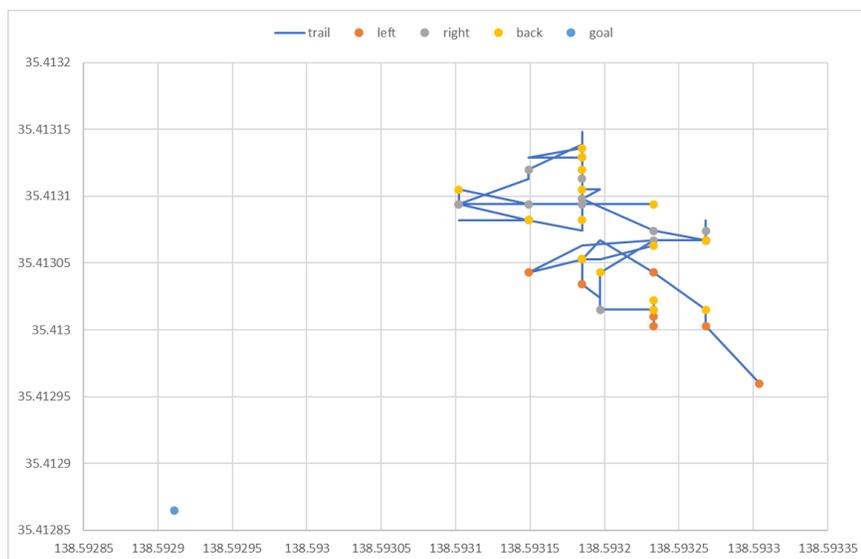


図9 - (2) - 6 2投下目 GPS記録データおよび誘導判定記録

3. 考察

結果で示したデータからサクセスクライテリアの達成度の評価をしてください。達成できなかった項目についてなぜ達成できなかったのかを開発計画などの準備期間も含めて原因究明をしてください。原因が究明出来たら、それを解決するためには何が必要だったかを具体的に示してください。

本体でのミニマムサクセス及びフルサクセスは以下のように設定していた。

ミニマムサクセス	<ul style="list-style-type: none"> ・パラシュートの開傘 ・パラシュートの切り離し ・着地地点からゴールまで走行開始
フルサクセス	<ul style="list-style-type: none"> ・太陽光発電を実施し、影ではないと判定した3箇所での停止し、電流を測定し記録する ・目標（ゴール）地点までGPS誤差（3m以内）に到達

結果より、ミニマムサクセスは達成できた。しかし、フルサクセスは、50%の達成率であった。達成率が50%だと判断した理由は、太陽光発電は実施でき、発電量も計測できたが、異なる地点ではなかったこと。また、ゴール判定はできたが、目標地点まで23mであったことから、達成率を50%とした。

フルサクセスの達成率50%であった原因としては、まず、太陽光発電に関しては、今回のシステムとしては、フォトセンサで影でないと判断した場所で20秒間停止し、計測し終わると、10秒以上開けて、また、フォトセンサで影でないと判断した場所で発電量を計測するというものであった。そのため、1度目の計測から10秒間隔さえ空けば、同じ場所で発電量を計測することができるシステムであった。投下試験等では、パラシュートケースから、スタックせずに走行できたこと。また、芝生が深くない場所であったため、頻繁にスタックすることがなかった。ACTS投下試験においては、パラシュートケースから本体が出るのに時間がかかったこと。また、芝生が深く頻繁にスタックしてしまったため、同地点で計測することとなった。

今回の事象を防ぐためには、異なる地点で計測するために、10秒間隔を空けるとするのではなく、GPS等の情報により、GPSの結果がTBD値を超えたら、再度計測をするというようにすればよかったのではないかと考える。

次に、目標（ゴール）地点までGPS誤差（3m以内）できなかった原因は、主に2点のことが原因であると考える。1点目は、足回りが弱かったことである。1投下目、2投下目のいずれについても、誘導判定について、開始直後は正しいが、その後は正しい判定と誤った判定が混在している。これは、2点間の十分な変位が得られれば正しい誘導判定が行えるが、草などの地形によりCanSatが停止した後、GPSの位置情報の誤差により誤った誘導判定を行ったためと考えられる。また、判定と移動方向が一致していない。これは、草などの地形障害によってCanSatが停止した際、誘導判定とは別に回避判定が行われるためと考えられる。ACTS会場は、予想していたよりも芝生が深く、頻繁にスタックを繰り返してしまったことが原因であると考えられる。そのため、モーターの馬力を上げる、走高を上げる及びタイヤの工夫が必要であると考えられる。2点目は、GPS情報の誤差を甘くみすぎたことである。本番において、GPSのゴール設定を3m以内ではなく、ゴール判定ができるかを確認したかったため、半径を16.67mとしていたのだが、1度のGPS誤差でゴール判定を行なってしまい、目標地点から23mの地点でゴール判定をしてしまった。これを防ぐためには、ゴール判定を実施するときには、3回のデータでどのデータもゴールに到達したと判断しない限りゴール判定をしないとす。また、画像認識を搭載するなどが必要であると考えられる。

第9章 まとめ

1. エフ・努力した点(ハード、ソフト、マネジメント面すべて)

ハード

- ・落下の衝撃を抑えるためにパラシュートの傘を大きくすると共に紐を長くした
- ・パラシュートと保護ケースの接続部分からおおよそ10cmのメジャーを付けることで、落下時にパラシュートの紐が本体の下敷きになることや、紐が絡まって保護ケース開放の障害になることを防止した
- ・本体の接続部分をダブルナットにすることで落下の衝撃に耐えることができるようにした。
- ・正確な保護ケースの開放機構
- ・タイヤにテープを貼って摩擦を増やし、小さいトルクを補った。
- ・重心を前にして転倒を防止した
- ・スタビライザーにメジャーを2重で使用するにより、強度を増強し復元力を上げた。
- ・タイヤの中に緩衝材を入れることでタイヤの変形を防いだ
- ・本体を2段構造にすることでより多くの電装の搭載を可能にした
- ・キャリアへの入れ方を研究し、落下の障害を妨げた

ソフト

- ・本体及びSDカードのデータが取得できなかった時のために、無線においても、解析に必要なデータを送るようにしていた

2. 課題点

ハード

- ・車高が低かったことにより、草にひっかかった
- ・モーターのトルク不足

ソフト

- ・ナビゲーションプログラムの改良
- ・GPSデータだけに頼りすぎないプログラム及びセンサの搭載

マネジメント

- ・大学内でのコロナ対策により一時活動できず、開発に遅れが出た
- ・全てが新規の技術の開発であり、どの技術にどれほどの時間がかかるかの見通しが甘かった
- ・失敗すること前提での開発、できたプログラムが1回の実験でうまくいくわけがないという認識を全体で認識統一を行った方が良い

3. 今後の展望

この資料をみる後輩たちに向けたCanSat開発における注意点やアドバイスもお願いします。

一番大切なことは、団体の中での技術の継承を行っていき、次の製作においては、何か1つ新しい機構や新しいアイデアを蓄積していくことだと思う。

今回のACTSが、防衛大学校として初めてのCanSat開発であった。まずは、難しいことに挑戦するよりも、技術基盤を作ることを目的に製作した。これを基盤にして、来年度以降新しい技術を生み出し、次に繋げていってほしいと思う。