

ACTS報告書

提出日：2021年 12月 26日

- チーム情報

CanSatチーム名	東京大学 A-sat-te
CanSatチーム 代表者	大橋奈央 ohashi-nao053@g.ecc.u-tokyo.ac.jp, 070-5642-2019
UNISEC団体名	東京大学中須賀船瀬研究室
UNISEC団体 学生代表	大橋奈央
責任教員	中須賀真一 nakasuka@space.t.u-tokyo.ac.jp, 080-1131-8217

- メンバー

役割	名前 (学年)
プロジェクトマネージャー (構造班)	大橋 奈央 (3年)
サブプロジェクトマネージャー (回路班)	摂待 陽生 (3年)
会計 (回路班)	草野 湧貴 (3年)
制御班(リーダー)	中村 陸希 (3年)
制御班	工藤 丈 (3年)
制御班	岡本 椋聖 (3年)
構造班(リーダー)	小川 巧海 (3年)
回路班(リーダー)	下村 俊介 (3年)

- CanSatの製作目的・大会参加理由

学科B3の有志プロジェクトであり、Cansatの制作を通してプロジェクトマネジメントやものづくりの難しさを学ぶことが目的である。その集大成としてACTSに参加した。

目次

ミッションについて	3
ミッションステートメント(ミッションの意義と目的)	3
ミッションシーケンス	3
サクセスクライテリア	7
要求項目の設定	8
システム要求(安全確保、レギュレーションのための要求)	8
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)	9
システム仕様	10
CanSat外観	10
CanSat内観・機構	13
システム図(CanSat搭載計器仕様一覧)	21
アルゴリズム	23
試験項目設定	24
実施試験内容	25
システム要求を満たすための試験内容	25
ミッション要求を満たすための試験内容	35
工程管理、ガントチャート(スプレッドシートを推奨)	39
大会結果報告	40
目的	40
結果	40
考察	42
まとめ	45
工夫・努力した点(ハード、ソフト、マネジメント面すべて)	45
課題点	46
今後の展望	47

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)

固定翼機でのフライバックにおいて機体搭載のGPSが示すゴール位置に着陸する

本学では、数年前にランバックにおいて0mを達成したため、それ以降はフライバックに挑戦している。我々もその流れを引き継ぎ、固定翼機によるフライバックに挑戦することにした。しかし、フィールドが狭いACTSにおいて、比較的長距離移動が得意な固定翼機は、細かい位置制御がしやすいローバーやドローンに比べて不利になりかねない。それにも関わらず固定翼機に挑戦する理由は、今後、固定翼機を用いた探査が増えていくと考えられるからである。

実際、火星などの大気のある惑星の探査に固定翼機を用いることが検討されている。固定翼機を使うメリットとしては、長距離を移動できる点、地形に左右されない点などが挙げられるが、一方で、ピンポイントの場所の探査が難しいなどの欠点もある。しかしながら、ACTSのフライバックにおいて、狭いフィールド内でも素早く展開し、フィールド外に出ないように制御しつつゴールにたどり着くことができれば、固定翼機であってもローバーやドローンと同様に狭い範囲の探査が可能であることを示すことができる。

したがって、固定翼機の探査の可能性を広げるという意味で、ACTSにおいて固定翼機のフライバックに挑戦することは非常に有意義なことであると考えられる。

2. ミッションシーケンス

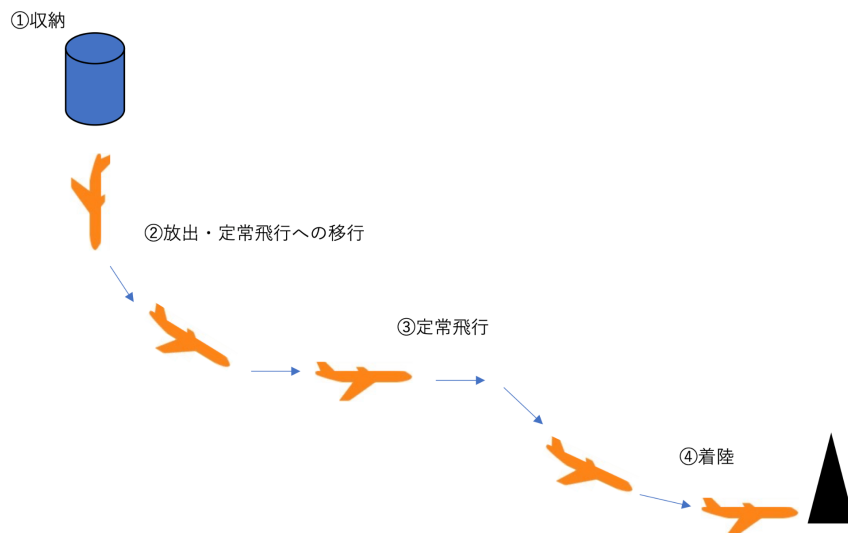


図1.1 シーケンス図

①機体をキャリアに収納する

この時、ケーシングは用いず、機体自体に展開機構を取り付ける。展開機構は、コンベックスで機体を一周巻き、その紐の先を輪っかにして門を通し、キャリアから放出されるとバネによってその門が外れ機体が展開する仕組みにする。

また、放出して飛行を開始する際、気球の係留ロープと当たらないよう、キャリアに入れる際に機体の向きを調整する。

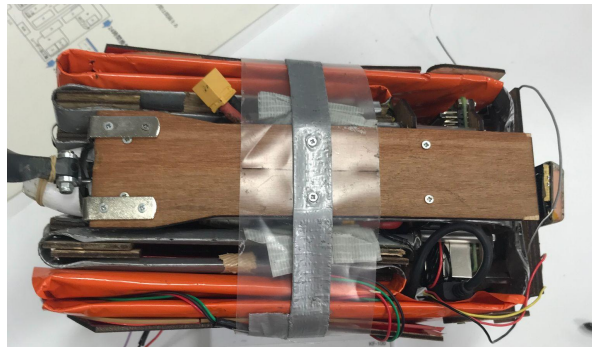
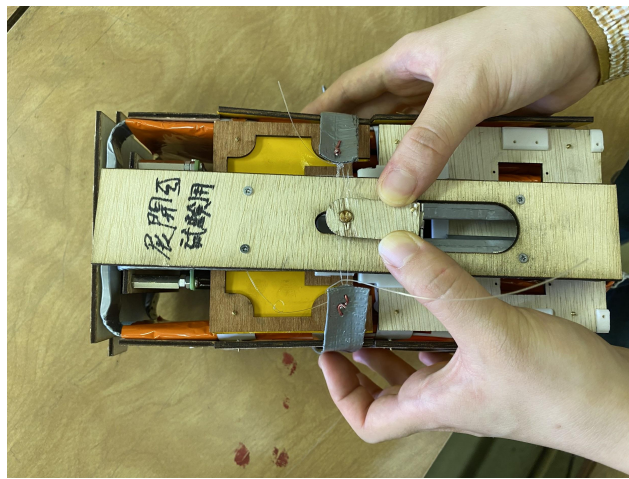
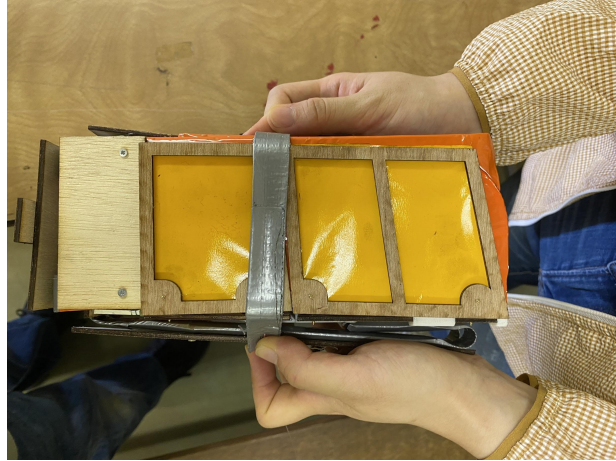


図1.2 機体写真(収納状態)



図1.3 展開機構写真

②キャリアから機体を放出する

キャリアから放出直後、機体が展開し、頭下げの状態で行飛行を開始する。エレベータを上げ、スロットルを回すことで機首上げを行い、水平飛行に移る。

③気球位置からゴールまでの飛行

PX4というオープンソースのソフトウェアを利用し、それに対応するハードウェア(pixhawk4)と合わせて、設定したwaypointに向かって飛行するような制御をさせる。

(放出地点からゴールまでに通過する最適なwaypointを自動生成させるプログラムを組み、そのwaypointを通過させる。)

④ゴールへの着陸方法

最後に設定されたwaypointに向かう時は、水平飛行時とは異なるLandモードというフライトモードを利用する。これはPX4の制御内容に含まれており、徐々に高度を下げながら着陸する制御が行われる。

⑤フィールドから出そうになった時の対策

今回のレギュレーションでは、機体がフィールド外に出てはいけないというルールがあるため、もし機体がフィールド外に出そうになった場合の緊急対策方法を述べる。

1. PX4による制御によって、予め設定したジオフェンスに対しその範囲に近づきそうになったら高度を落としスロットルを落とすようなシステムを利用する。
2. フィールド外に出そうになったら手動制御に切り替えて操作する(この場合、レギュレーションに反するため記録は残らないが安全を優先する)

第2章 サクセスクライテリア

ミニマムサクセス	m1 機軸・主翼を展開する m2 高度を保って飛行する m3 ログを残すことができる
フルサクセス	f1 放出後5秒以内に展開する f2 機体のGPSデータを通信できる f3 上昇・下降・旋回ができる f4 推力のコントロールができる f5 フィードバック制御により機体の姿勢を復元できる f6 9軸データ(加速度, 地磁気, 角速度)を取る f7 地上局と通信できる f8 機体に搭載されたGPS座標における0 mに着地する

(f1)5秒以内に展開するというのは、レギュレーションにおいて指定された値である。

エクストラサクセス	e1 記録上の0mを達成する e2 着陸時の破損を防ぐ
-----------	--------------------------------

評価方法を以下に示す。

m1 目視で確認
m2 目視とログで確認
m3 ログで確認

f1. ログで確認
f2,7 地上局にて確認
f3 目視とログで確認
f4,5,6,8 ログで確認

e1,2 目視で確認

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
	<u>ACTS安全基準</u>
R1	<u>質量と容積</u> がレギュレーションを満たすことが確認できている
R2	<u>ロスト対策</u> を実施しており、有効性が試験で確認できている（例：地上局にダウンリンクする場合、ACTSで十分な通信距離が実現できるだろうと推測できる根拠が明確に示されていること。）
R3	打ち上げ時の <u>準静的荷重</u> によって、安全基準を充足するための機能が損なわれないことが試験で確認できている
R4	打ち上げ時の <u>振動荷重</u> によって、安全基準を充足するための機能が損なわれないことが試験で確認できている
R5	分離時の <u>衝撃荷重</u> によって、安全基準を充足するための機能が損なわれないことが試験で確認できている
R6	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
R7	R1-R6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
R8	CanSatの収納・投下準備が5分以内でできている
	<u>カムバックコンペティションルール</u> の充足
R9	ミッション時に人間が介在しない <u>自律制御</u> 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）
R10	ミッション後、規定された <u>制御履歴レポートを運営者へ提出</u> 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）

減速機構に関してはフライバックの場合、機体の翼自体が抵抗となり、減速機構となるため消去した。（メールで確認済み）

無線機のオフに関して、今年は任意項目であるため消去した。

2. ミッション要求(ミッションを実現するにあたり要求される性能)

要求番号	自己審査項目 (ミッション実現要求項目)
M1	フライバックを実施するために3分以上飛行できる電力を供給できること
M2	キャリアからの放出を検知できること
M3	放出から1秒以内に機体を展開すること
M4	展開してすぐに飛行に移れること
M5	機体のプロペラの回転数を制御できること
M6	機体のラダーの動きを制御できること
M7	機体のエレベータの動きを制御できること
M8	機体のエルロンを制御できること
M9	機体の位置をGPS座標として取得できること
M10	機体の姿勢を把握できること
M11	機体の位置からオンラインで経路設計できること
M12	機体側が無線信号を地上に送信できること
M13	制御履歴を記録できること
M14	飛行経路を記録できること
M15	機体が水平飛行できること
M16	機体が旋回飛行できること
M17	機体がGPSの示すゴール位置に着陸できること
M18	機体がフィールド外に出ないように制御できること
M19	緊急時に機体をフィールド内に落下できること
M20	ロケット打ち上げ、分離を想定した振動に機体が耐えられること

第4章 システム仕様

1. CanSat外観

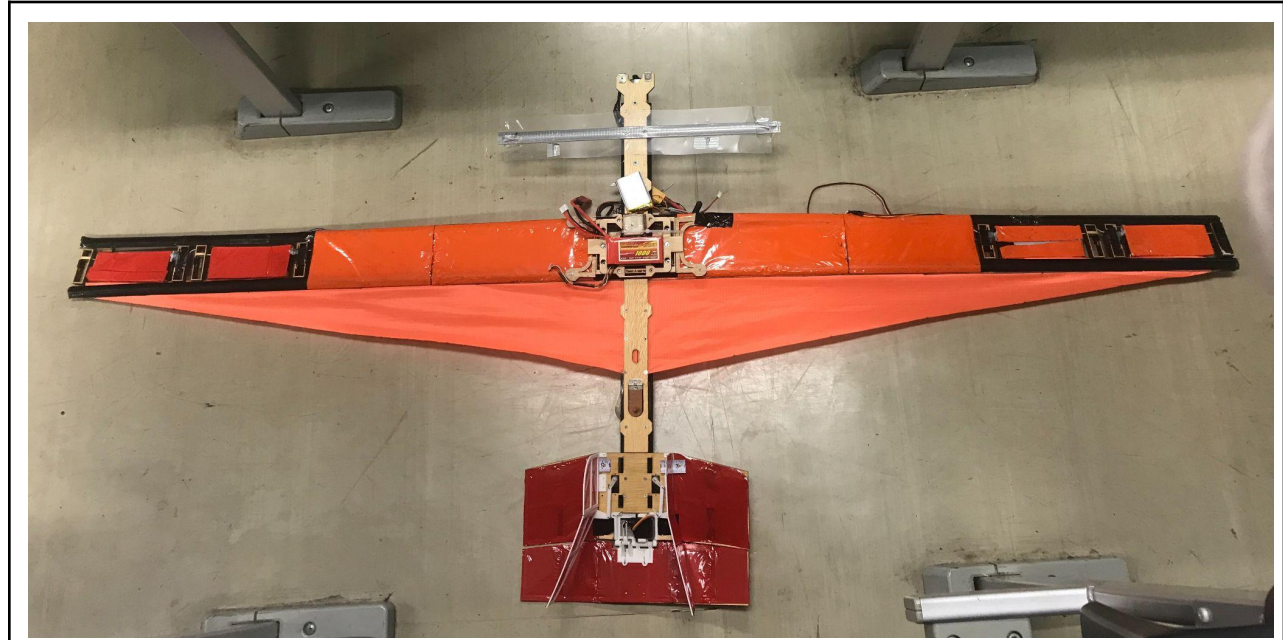


図 4.1 機体写真(展開状態)

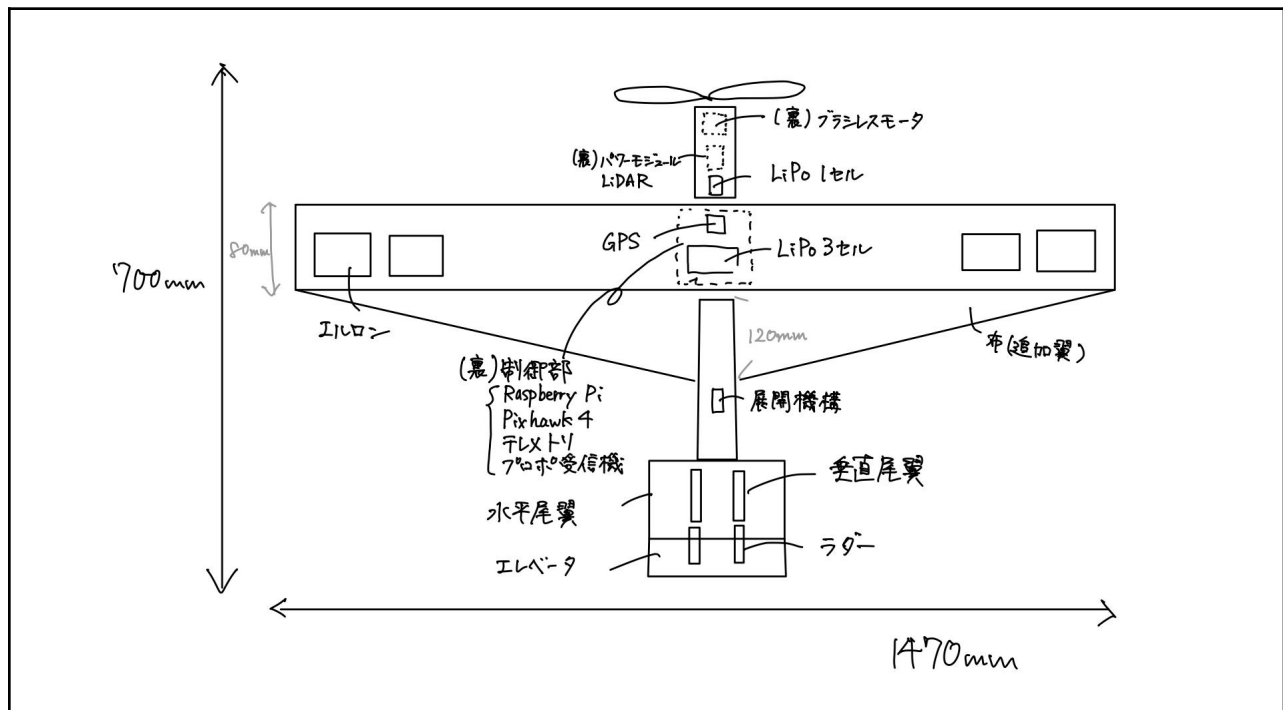


図 4.2 機体図(展開状態)

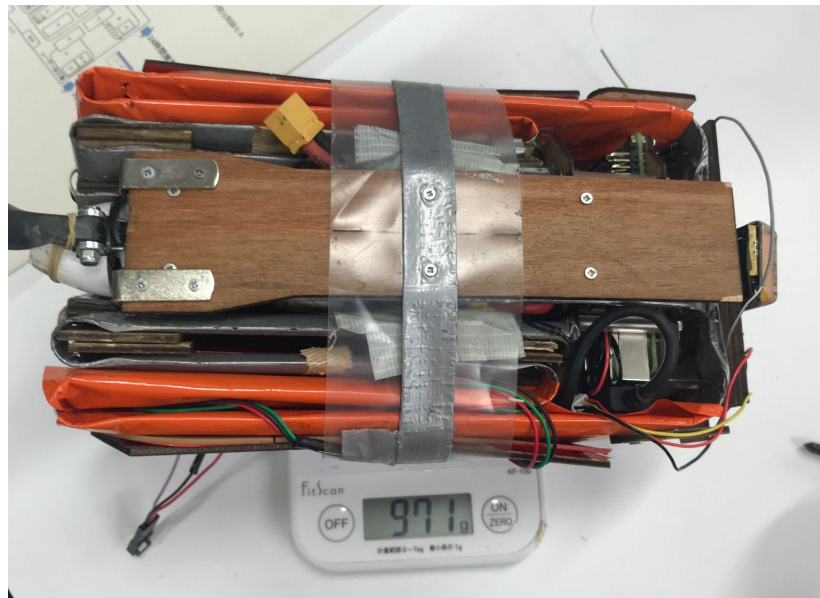


図 4.3 機体写真(収納状態)

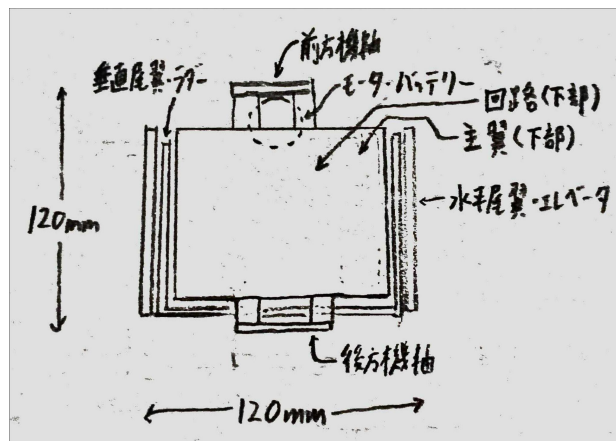


図 4.4 機体図(収納状態)(上から)

機軸および主翼の展開と保持には、コンベックスメジャーを2枚貼り合わせ、間に5mm角のバルサ棒を入れたもの(以下強化コンベックスと呼称)を使用している。主に機体下部にあるため図4.1や図4.3では見えづらいが、合板を強化コンベックスにねじ止めすることで機体を形作っている。

機軸・尾翼の素材としては合板をレーザーカッターで切り出したものを主に使用し、垂直尾翼など一部形状が複雑な部分は3Dプリンター(素材 PLA)を用いた。主翼は強化コンベックスに加え、形状保持のための発泡スチロールと、表面保護のためのオラカバフィルムを用いている。また、より低速で飛行できるように、主翼の後ろに三角形の布を追加し翼面積を増加させている。

機体制御に用いるpixhawk4、RaspberryPi4、LiDARは、合板とねじで組んだ制御モジュール内にねじ止めすることで、強固に固定するとともに、放出展開時や着陸/墜落時の強い衝撃から精密機器を保護している。制御モジュールは機軸中央下部に位置する。

機軸を計3箇所、主翼を左右4箇所ずつ折り曲げることによって、展開後の機体の大きさに比べて収納状態ではコンパクトに収めることができている。

なお強化コンベックスは、のちに述べるような構造の都合上、曲げる位置がある程度自由なため、収納状態では各パーツの位置に自由度があるので、図4.4の寸法は目安の値である。また、図4.1,4.4中の点線や、図4.4中の(下部)は、他パーツに隠れて見えないことを表している。

軽量化および展開時間の関係でケーシングは用いない。

表4.5 機体諸元	
主翼面積	1600 cm ²
コード長	20 cm (翼根)
翼幅	147 cm
水平尾翼面積	400 cm ²
垂直尾翼面積	105 cm ² (2つ)
モーメントアーム長	35 cm
機軸の全長	70 cm (プロペラ・エレベータ等を含む)
エルロン面積	45cm ² (4つ)
エレベータ面積	150 cm ²
ラダー面積	70 cm ² (2つ)
機体総重量	約 1000 g
飛行速度	約 10 m/s (対気速度)
重心位置	主翼前縁から25%コード長程度

2. CanSat内観・機構

① 強化コンベックス

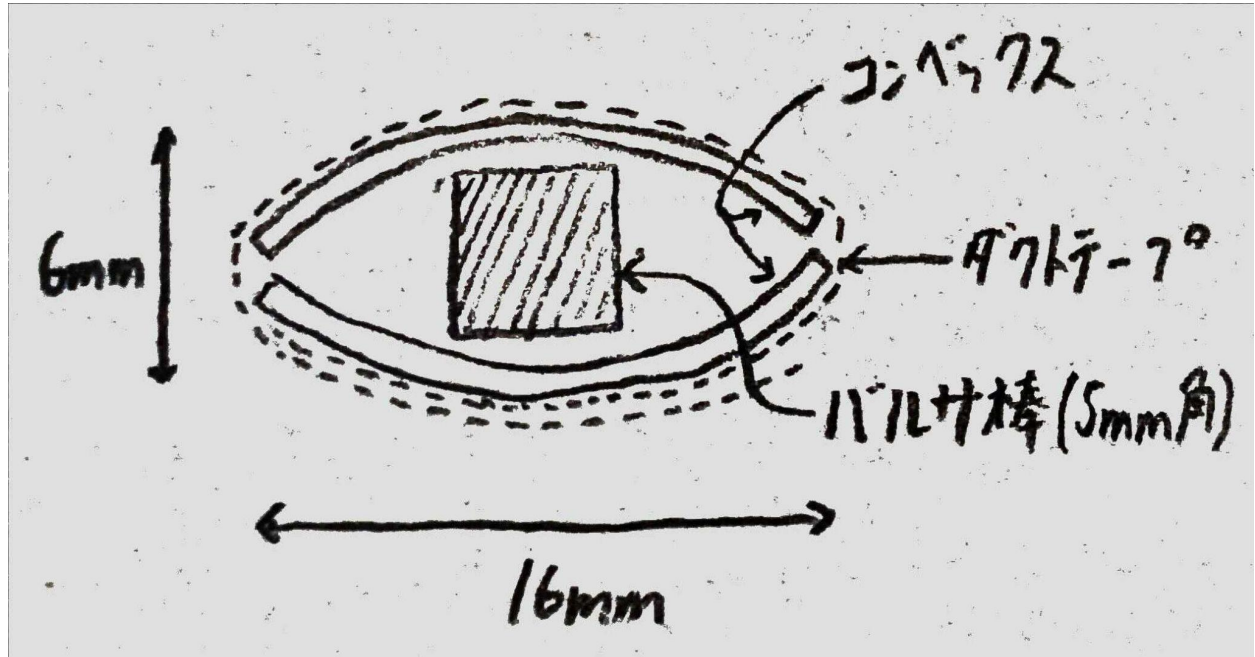


図 4.6 強化コンベックス断面図



図 4.7 強化コンベックス製作写真

強化コンベックスは、先ほども少し述べたが、2枚のコンベックスの間に5mm角のバルサ棒を入れ、ダクトテープで貼り合わせたものである。バルサ棒はコンベックスが潰れて変形することを防ぐためのものであり、直接曲げモーメントを受けないので、バルサ棒でも強度は十分である。

折り曲げる位置の前後にはバルサ棒を入れないことによって、その間の部分で折り曲げることができるが、その前後部分のコンベックスが形を保とうとするため、展開状態の折り曲げ位置も十分な強度がある。前述の通り、折ることのできる位置には多少の自由度がある。

展開する際の復元力と構造保持能力が必要な、主翼付け根部分および機軸中央付近に関しては、コンベックスを上下2枚ずつにして貼り合わせることによって対応している。

② 展開機構



図 4.8 展開機構(ロック状態)



図 4.9 展開機構(展開途中)



図 4.10 展開機構(展開途中_2)

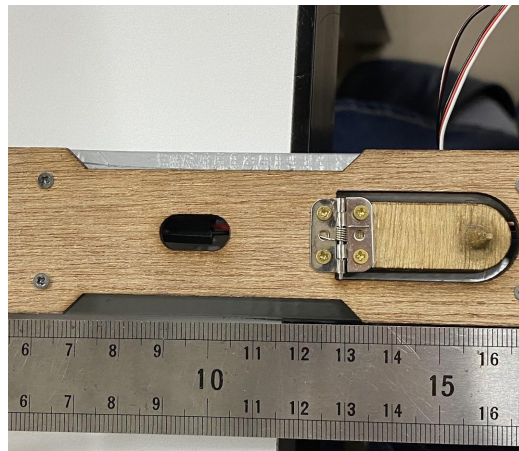


図 4.11 展開機構(解放状態)

前方機軸と後方機軸をコンベックスを用いたバンドで左右からつなぐことで展開するのを押さえ、キャリア放出時にバンドの後方機軸側を外すことによって展開する。展開自体は強化コンベックスの復元力によって行う。

キャリアから放出されたことの検知は、図4.8～11のように、後方機軸との間がバネ蝶番でつながれた板を用いて、キャリアから放出されるとその板が回転し、バンドを留めているロックが機械的に解放されるようにしている。

次の動画も参考のこと。→ <https://youtu.be/EUs4Y4oWc3c>

この動画では、金属製の定規でロック板を押さえているが、本番ではキャリアの壁面がロック板を押さえるため、キャリアから放出されると同時にロックが解放される。

③ 展開箇所・方法

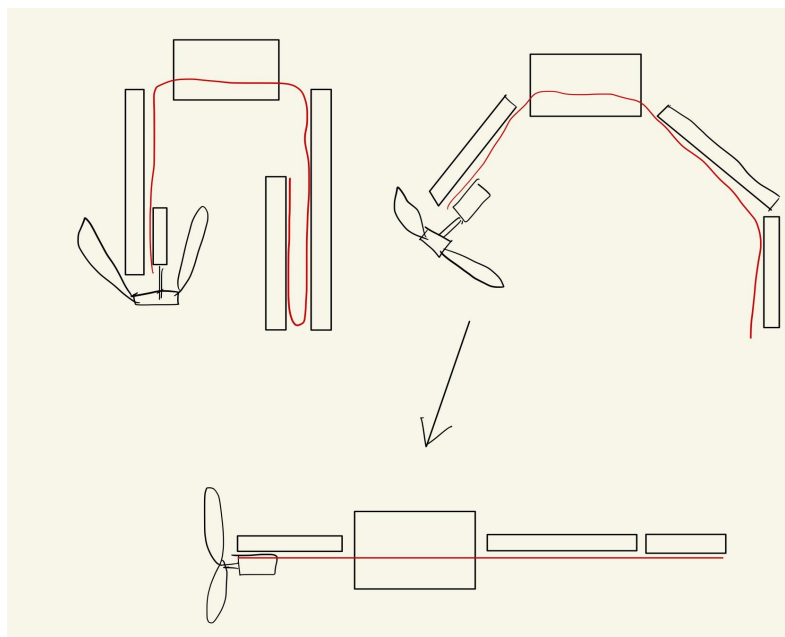


図 4.12 展開過程(機軸・プロペラのみ)

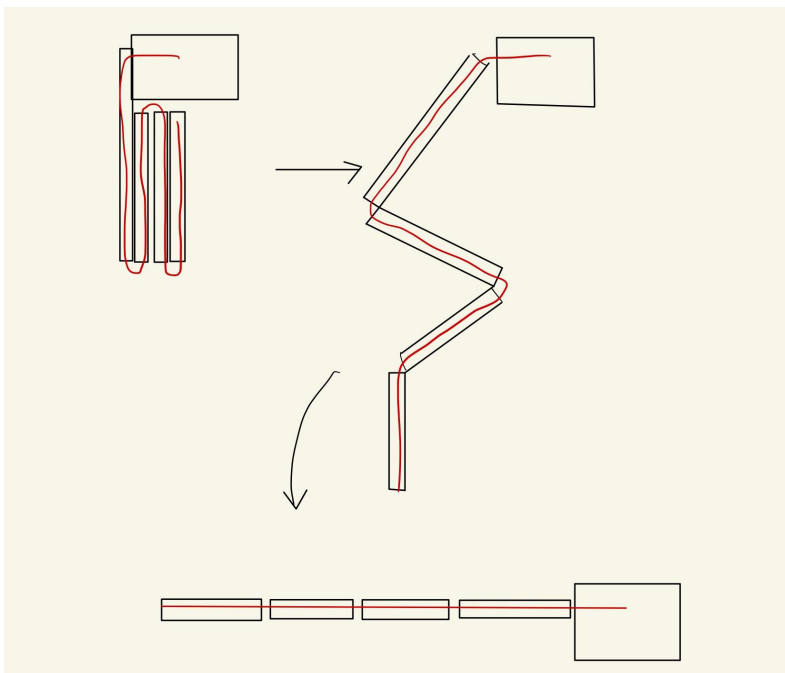


図 4.13 展開過程(主翼片側のみ)



図 4.14 プロペラ軸付近拡大図

機軸は、主翼付け根部の前方と後方、尾翼の前方の計3箇所折り曲げる。折り曲げ方向は、展開後の機体向きを基準として、すべて下向きである。展開機構のロックが外れると、これらが強化コンベックスの復元力により、一列に並ぶ。展開の様子は図4.12も参照。

主翼は、付け根で下向きに1回折り曲げた後、スパン方向に4分割して蛇腹に折り曲げている。なお4分割したうちの端の2つの部分は、エルロンになっている。こちらも同様に、展開機構のロックが外れると、強化コンベックスの復元力により翼が一列に並ぶ。展開の様子は図4.13も参照。

図4.12、4.13共通で、最も大きい黒色の四角形が制御系の積まれている機軸中央部を表し、赤い線が強化コンベックスを表している。

プロペラは折り畳み可能なものを用い、輪ゴムの復元力で展開を行う。

これらの展開は、それぞれほぼ同時に、一瞬のうちに終わる。

尾翼の展開に関しては⑤の尾翼の項を参考。

④ 主翼・エルロン

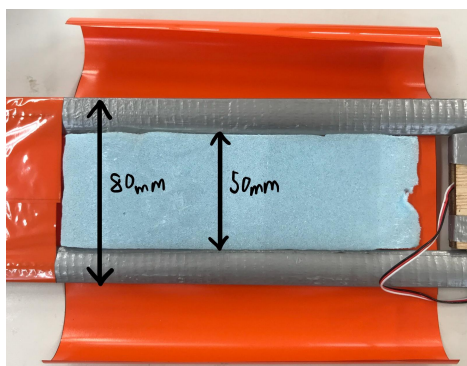


図 4.15 主翼写真

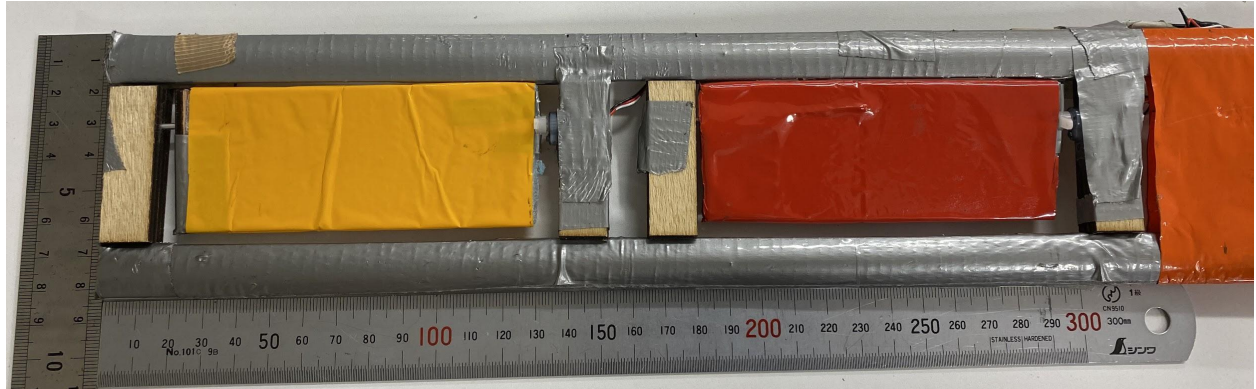


図 4.16 エルロン写真

主翼は、二本の強化コンベックスの間を発泡スチロールで埋め、その周りをオラカバフィルムで覆った構造になっている。

エルロンは、発泡スチロールの板の片側の側面につけたサーボホーンをサーボモータに直接差し込み、もう一方の側面に針金を通すことによって回転軸を決めている。図4.16では、各板の右側のダクトテープに隠れたところにサーボモータがある。

⑤ 尾翼・ラダー・エレベータ

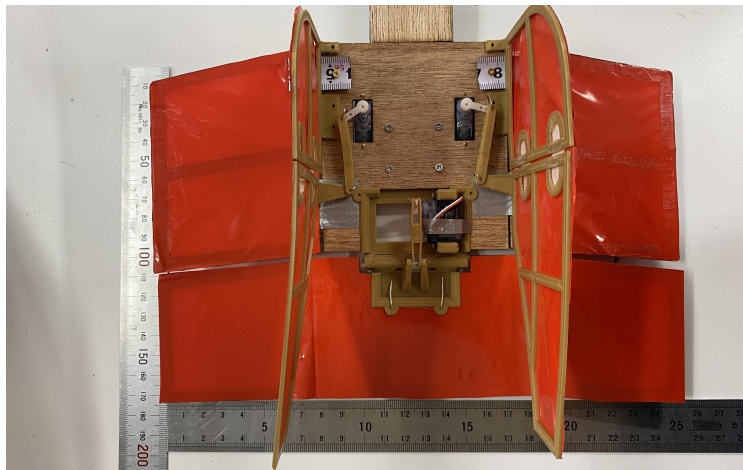


図 4.17 尾翼写真(表)

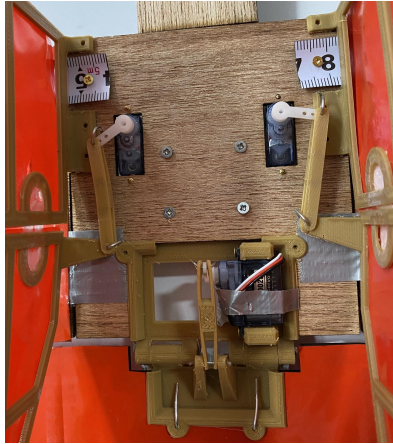


図 4.18 尾翼写真(拡大)

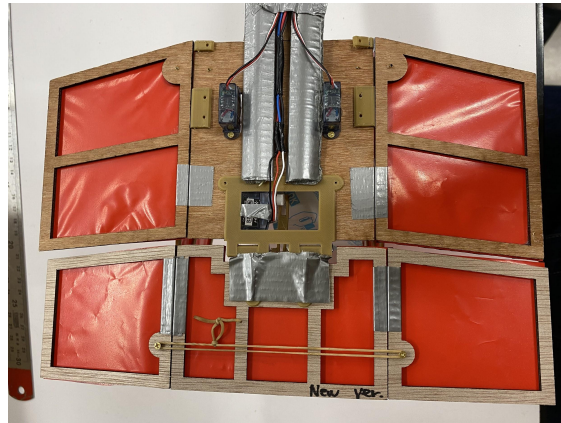


図 4.19 尾翼写真(裏)

水平尾翼、エレベーター共に、左右1回ずつ折り曲げて収納する。

中央部と左右部分の接合方式として、水平尾翼前方では短く切ったコンベックスをネジ止めしており、水平尾翼後方とエレベーターではダクトテープで貼り合わせている。

図 4.19を見ると分かる様に、合板裏面のダクトテープは中央部と左右部分で繋がっておらず、合板のおもて面側のみダクトテープで貼り合わせている。これにより、上側にのみ折れ曲がるようになっている。

⑥ 制御モジュール

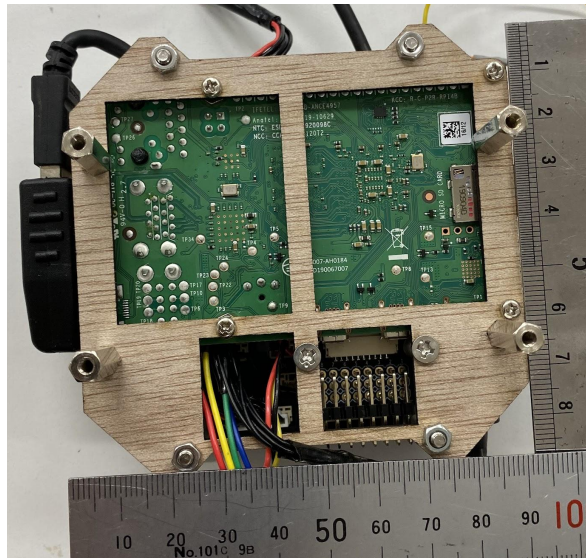


図 4.20 制御モジュール(上から)

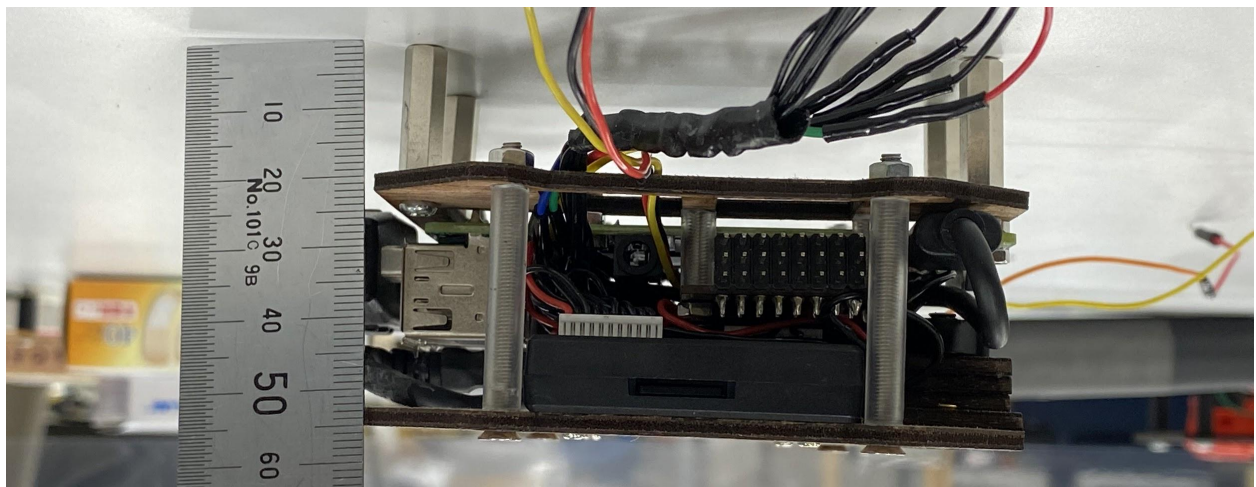


図 4.21 制御モジュール(後ろから)

制御モジュールは、主翼の付け根部分から吊り下げる形で固定されており、簡単に取り外しが可能で、整備性を向上させている。図 4.21 の上部に見えている4本の長ナットで主翼下部と接合する。

制御モジュール上部の板にはRaspberryPi4およびサーボ線接続用端子を、制御モジュール下部の板にはpixhawk4をそれぞれボルトで固定しており、スペーサーを通したボルトで2枚の板を接合している。

また、写真を撮る際の都合上、上記の写真では取り外してあるが、下側の板にはテレメトリ通信機とプロポ受信機を接着している。

3. システム図 (CanSat搭載計器仕様一覧)

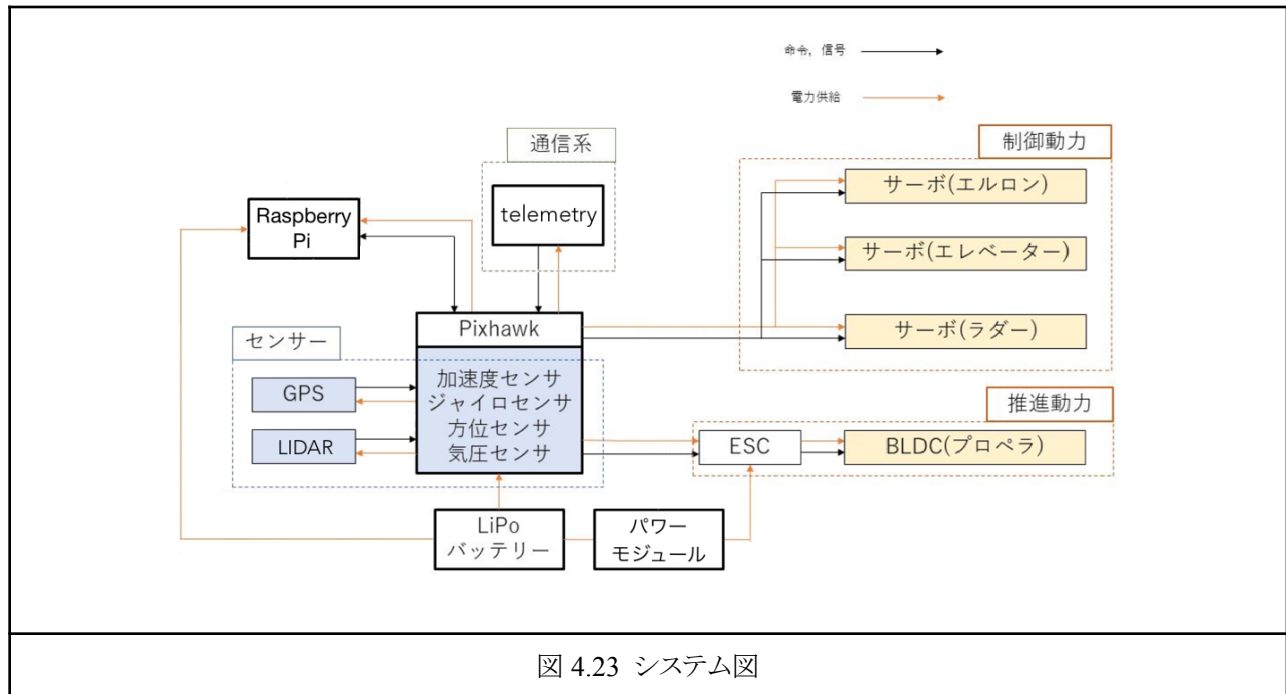


表4.24 搭載機器一覧表

搭載機器	データシートなど
Raspberry pi 4B	Raspberry Pi Zero WH (ラズベリーパイゼロ ダブルエイチ) 本体: マイコン関連 秋月電子通商-電子部品・ネット通販
Pixhawk4	3DR Pixhawk 1 Flight Controller (Discontinued)
GPS	太陽誘電製・小型高感度 GPS モジュール [GYSFDMAXB] 使用 GPS 受信機キット
サーボモーター	K power P0025 2.5G/0.8KG/0.07Sec Analog High Speed Coreless Micro/Mini Servo for RC Airplane Parts & Accessories
BLDC	デュアルスカイ ECO 2316C-V2 アウトランナーブラシレスモーター (880RPM/368W) 株式会社リトルベランカ ラジコン飛行機専門店
ESC	controleur brushless 18a v2 - xc1812ba dualsky - XC1812BA
パワーモジュール	パワーモジュール28V 90A適用Pixhawk APM2.8 APM2.6 APM フライトコントローラ対応 Power Module for Flight Controller

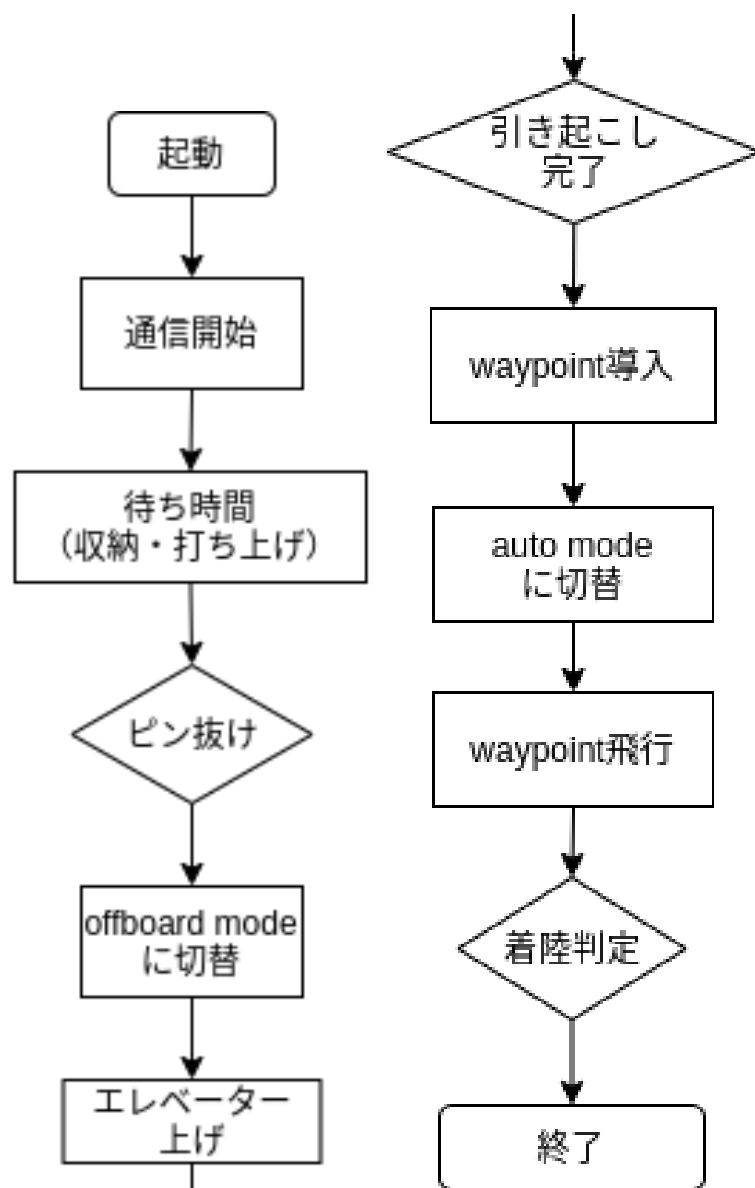
LiPo(3セル)	DINOGY ダイノジー リポバッテリー 11.1V1000mAh 30C (LC-3S1000D) 株式会社リトルベランカ ラジコン飛行機専門店
LiPo(1セル)	https://www.sengoku.co.jp/mod/sgk_cart/detail.php?code=EEHD-4YZN
LiPo SHIM	https://www.switch-science.com/catalog/3216/
折りプロペラ	AN CAMカーボン折ペラ 12x6 (723436)【メール便可】株式会社リトルベランカ ラジコン飛行機専門店 (little-bellanca.com)
折りペラ固定用スピナー	AN725903 折ペラ用スピナーコンプリート 30/3.17mm (little-bellanca.com)
telemetry通信機	Holybro 100mW Transceiver Telemetry Radio Set V3 (915Mhz) (getfpv.com)
Lider	TFmini-S 12m cost-effective distance sensor

使用電源に関して

3S LiPo(11.1V, 1000mAh, 30C)、1S LiPo(3.7V, 1000mAh)を使用予定。

安全対策として、機体の起動時以外はLiPoサックの中にバッテリーを必ず入れ、直射日光、衝撃、荷重などがLiPoバッテリーにかからないように注意を徹底する。

4. アルゴリズム



(図4.4)実行するアルゴリズムのフローチャート

上に、飛行に関するプログラムとして書くアルゴリズムの内容を記載する。「ピン抜け」は機体がケースから放出されたあと展開する際に、RaspberryPiのピンに予め挿しておいたワイヤが抜けることで電圧変化の検知がされて次のシーケンスに移るということである。そして、そのあとOffboard mode(他のフライトモードと違ってそれぞれの補助翼の傾きを姿勢や位置に依らず指定することができるモードのこと)に移る。次にエレベータをあげることで機首上げを行い、PX4によって自動生成されたwaypointを辿り、着陸する。着陸はGPS、加速度センサ、気圧センサによる座標の静止確認や高度によって判定される。

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	質量試験	R1	8/22
V2	サイズ測定	R1	8/14
V3	キャリア収納試験	R1, R8	8/15
V4	通信試験	R2	8/28
V5	飛行性能試験	M5~M10, M15	6/26
V6	旋回性能試験	M5~M10, M16, M18	8/13, 8/21
V7	通信周波数変更試験	R6	8/28
V8	展開放出試験	M3	8/20
V9	展開性能試験	M2, M3, M4	8/18
V10	機首上げ試験	M4	8/12
V11	GPSのロック確認	M9	8/13
V12	WP飛行試験	R9, M5~M10, M18	8/28
V13	着陸試験	M17	8/28
V14	緊急着陸試験	M19	8/13
V15	制御履歴レポート作成試験	R10	8/28
V16	準静的荷重試験	R3, M20	10/2
V17	振動試験	R4, M20	8/20
V18	分離衝撃試験	R5, M20	8/20
V19	End to end 試験	R7, R8, R9, R10, M1~M19	8/28

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) 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/解析内容
全モジュールを秤で計測し、1050g以下であることを確認する。
- 結果
8/22に実施。機体を秤で計測し、971gであることを確認した。

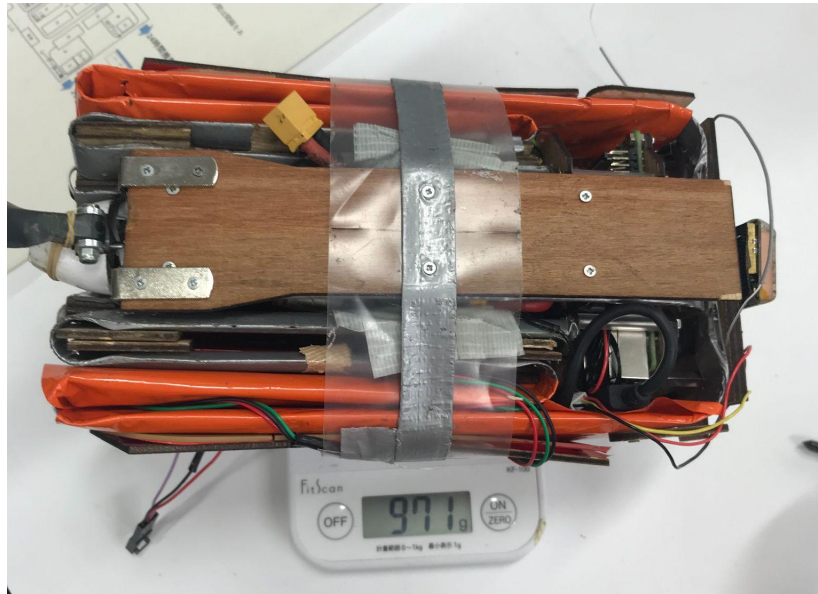


図6.1.1 質量写真

(V2) サイズ測定試験

- 目的
レギュレーションのキャリアに機体が収納できることを確認する。
- 試験/解析内容
機体が直径146mm、高さ240mm以下となることを確認する。
- 結果
8/14に実施。本番と同じサイズのキャリアに収納できることを確認した。



図6.1.2 キャリア収納写真

(V3) キャリア収納試験

- 目的
機体がキャリアに収まり、キャリアに5分以内に収納できることを確認する。
- 試験/解析内容
キャリアに5分以内に機体を収納する。
- 結果
8/15に実施。展開状態から機体を折り畳み、2:14で収納できることを確認した。

表6.1.3 キャリア収納試験の結果

回数	実験動画	判定
1	https://youtu.be/Nsz9Aw6lXtM	2:14で収納できた

(V4) 通信試験

- 目的
ロスト対策のため、ミッション遂行に耐える距離で通信が行えることを確認する。
- 試験/解析内容
8月28日に松戸にて実施。機体上のフライトコントローラと手元のパソコンにそれぞれテレメトリを繋ぎ、通信が切断される距離まで徐々にはなれることで試験を行った。接続されているかの確認はフライトコントローラ用の管制ソフトウェアから行った。
使用した機器は100mWのHolybro社のFPV Radio Telemetry。
- 結果
試験場所 松戸駅周辺の江戸川河川敷。



200mあたりまで安定した通信が可能であった。

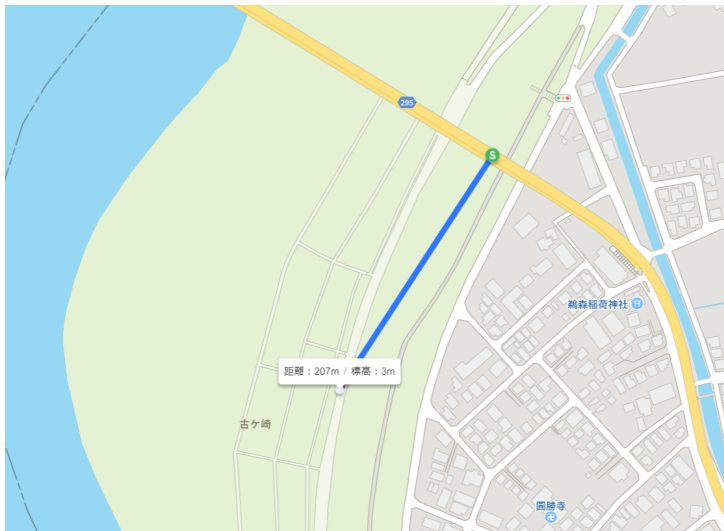


表6.1.4 通信試験の結果	
実験動画	結果
https://youtu.be/_DddBa6XKco	200m程度まで通信可能 (間に障害物が少なければ500m程度まで通信可能であることを確認、後に追記)

追記

10月16日、機体を操縦するためのプロポ、再度テレメトリの通信試験を行った。

プロポはFutaba社の8J、テレメトリは上に同じ。

プロポから入力し、遠く離れた機体のサーボが動くかどうかにより通信の可否を判断した。

プロポ



約750mまで通信可能であることを確認した。もう少し距離が長くてもつながりそうであったが、十分な距離通信できることが確認したのでこの距離で引き揚げた。

テレメトリ



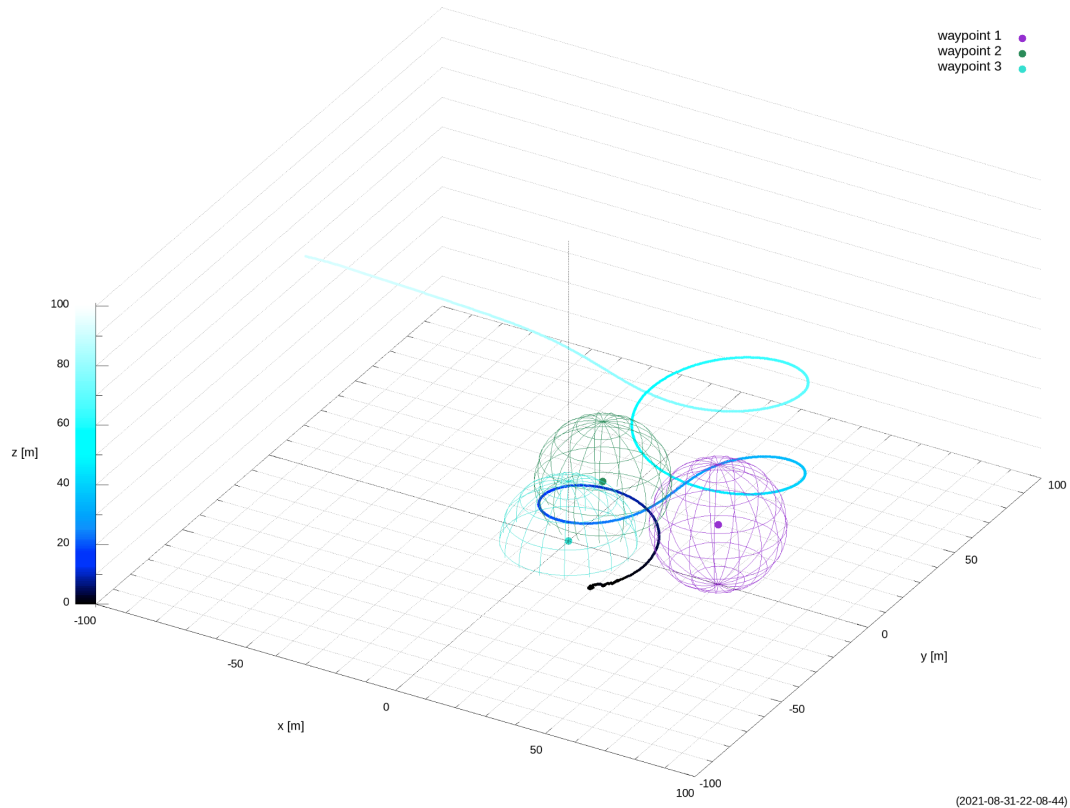
間に障害物が少なかったこともあり、前回の試験から通信可能距離が伸び、500m程度と なった。

(V7) 通信周波数変更試験

- 目的
レギュレーションに従って、周波数を変更できることを確認する。
- 試験/解析内容
周波数を変更し、通信が可能かどうかを確認する。
- 結果
8/28に試験を実施した。コンピュータとtelemetryを接続し、以下の画面から周波数を変更し、通信ができることを確認した。

Flight Trajectory

University of Tokyo
A-sat-te



```
[ INFO] [1630415326.146549676]: [field] the goal is set to (40.141302_deg,
139.98633_deg, 0_m)
[ INFO] [1630415326.575391105]: [pixhawk] connected successfully
[ INFO] [1630415328.582462897]: [pixhawk] set to MANUAL mode
[ INFO] [1630415328.582517968]: [pixhawk] trying to lock GPS...
[ INFO] [1630415328.582532337]: [pixhawk] GPS locked successfully
[ INFO] [1630415328.582548417]: [sequence] Are you sure to arm? [y/n]
y
[ INFO] [1630415334.433888211]: [pixhawk] armed successfully
[ INFO] [1630415334.433943585]: [sequence] Please enter "y" if folding completed
y
[ INFO] [1630415341.683889019]: [sequence] waiting for launch...
[ INFO] [1630415361.684045604]: [sequence] launched
[ INFO] [1630415361.684086703]: [sequence] waiting for release and deployment...
[ INFO] [1630415361.684100170]: [sequence] released and deployed
[ INFO] [1630415361.685207958]: [pixhawk] set to OFFBOARD mode
[ INFO] [1630415361.685249916]: [sequence] tilted elevator up
[ INFO] [1630415361.685268569]: [sequence] pitch up completed
[ INFO] [1630415361.686249021]: [waypoint] 1: (50_m, 0_m, 20_m)
[ INFO] [1630415361.686278497]: [waypoint] 2: (0_m, 20_m, 10_m)
[ INFO] [1630415361.686375809]: [waypoint] 3: (0_m, 0_m, 0_m)
```



```
[ INFO] [1630415361.694376627]: [waypoint] 3 waypoints uploaded successfully
[ INFO] [1630415361.695912999]: [pixhawk] set to AUTO.MISSION mode
[ INFO] [1630415418.296405084]: [waypoint] reached 1
[ INFO] [1630415423.916402427]: [waypoint] reached 2
[ INFO] [1630415427.336443114]: [waypoint] reached 3
[ INFO] [1630415427.336520194]: [sequence] mission completed
[ INFO] [1630415438.556392559]: [sequence] landed
[ INFO] [1630415438.557740391]: [pixhawk] set to OFFBOARD mode
[ INFO] [1630415438.567742086]: [pixhawk] disarmed successfully
[ INFO] [1630415438.569242812]: [pixhawk] set to MANUAL mode
```

(V16) 準静的荷重試験

- 目的
ロケットによる打ち上げを想定した際に打ち出しにかかる準静的荷重に機体が耐えられることを確認する。
- 試験/解析内容
10Gの荷重を機体を与え、機体が耐えられることを確認する。
- 結果
10/2に実施。4.5mの紐の先にキャリアに収めた機体を結びつけ、腕の長さを合わせて回転中心から半径5.2mで回転させた。動画の0:08~0:18の10秒間でおおよそ7回転しており、この10秒間の回転速度は0.7回転/sと見積もれる。この時の角速度は $\omega=2\pi\times0.7=4.398[\text{rad/s}]$ であるから、遠心力の加速度は $r\omega^2=100.58[\text{m/s}^2]$ となり、おおよそ10Gの荷重を再現できている。その後機体を展開し、正常に動作することを確認した。

表6.1.16 準静的荷重試験の結果	
準静的試験の様子	https://youtu.be/FCpiFwV4S7M
動作確認	https://youtu.be/q8OpTDvlXHk

(V17) 振動試験

- 目的
ロケットによる打ち上げを想定した際に打ち出しにかかる振動に機体が耐えられることを確認する。
- 試験/解析内容
正弦波振動30Hz~2000Hzまで15G、または同等のランダム振動に機体が耐えられることを確認する。
- 結果
8/20実施。V17の分離衝撃試験と同時に行った。大学の振動試験機器でランダム荷重をかけ、その後問題なく展開し、機体の破損がないことを確かめた。振動の出力は以下のファイルに載っている。

https://drive.google.com/drive/folders/1mkHY-XkjmSL4OrfP6rhhW-ZZeZ9_hKOE?usp=sharing



図6.1.17 容器への収納写真

表6.1.17 振動試験の結果	
振動試験の様子	https://youtu.be/UTg0aG59ELI
機体確認	https://youtu.be/X2tNoazk090

(V18) 分離衝撃試験

- 目的
ロケットによる打ち上げを想定した際にロケットからの分離時にかかる撃荷重に機体が耐えられることを確認する。
- 試験/解析内容
撃荷重に機体が耐えられることを確認する。

○ 結果

8/20実施。V16の振動試験と同時に実験を行った。大学の振動試験機でショック荷重をかけ、その後問題なく展開し、破損がないことを確認した。振動の出力は以下のファイルに載っている。

https://drive.google.com/drive/folders/1vJg1tFHw_EKaWGbj_-Q5yl3T7_VcOGFB?usp=sharing

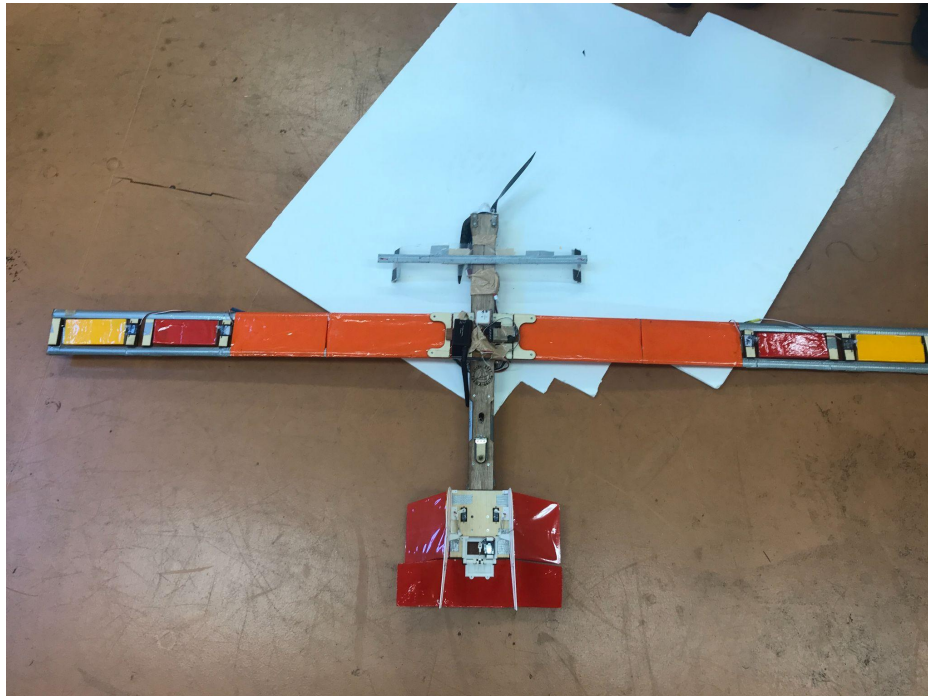


図6.1.18 振動試験後の機体

表6.1.18 分離衝撃試験の結果	
分離衝撃試験の様子	https://youtu.be/6dtK6lq-_Dg
機体確認	https://youtu.be/X2tNoazk090

(V19) End to end 試験

○ 目的

ミッションシーケンス一連の流れを円滑に実行できることを確認する。

○ 試験/解析内容

ドローンから機体を放出し、展開→機首上げ→安定飛行→着陸の流れを実験する。結果

8/12~8/28に実施。キャリアから展開して機首上げを行うこと、水平飛行を行えること、着陸ができることをそれぞれ確認した。これらを合わせればミッションシーケンスを実行できると判断しEnd to end試験とした。

表6.1.18 End to end試験の結果	
キャリアから放出→展開→機首上げ(8/12に実	https://youtu.be/gaZzPePptik

施)	
水平飛行(8/28に実施)	https://youtu.be/Kgthk3VJSCE
着陸(8/28に実施)	https://youtu.be/T_D2AzLVIKY

2. ミッション要求を満たすための試験内容

(V5) 飛行性能試験

- 目的
機体が実際に飛べる機体であることを確認する。
- 試験/解析内容
地上から勢いをつけて機体を飛ばし、手動制御で飛行できることを確認する。
- 結果
6/26に実施した。

表6.2.5 飛行性能試験の結果		
回数	実験動画	飛行判定
1	https://youtu.be/_WtYbjU_ZvY	飛行できた
2	https://youtu.be/PlcX-iW-uKo	飛行できた

- 結論
機体が飛行性能を有することを確認した。

(V8) 展開放出試験

- 目的
展開機構がきちんと作動することを確認する。
- 試験/解析内容
機体をキャリアに入れて放出する。機体がキャリアから自重で落下し機体の展開が始まることを確認する。
- 結果
8/20の振動試験後に確認した。キャリアから自重で落下したあと展開機構が作動することを確認した。

表6.2.8 展開放出試験の結果	
実験動画	判定
https://youtu.be/X2tNoazk090	自重で落下し展開を開始した

(V9) 展開性能試験

- 目的
上空でキャリア放出した際に、きちんと展開することを確認する。
- 試験/解析内容
ドローンから機体を放出させた際に、機体が展開し飛行に移れることを確認する。
- 結果
8/12に試験を実施した。ドローンに機体を収納し、5mの高さから放出した。この時機体は4.5mほど落下する間に展開されて落下した。

表6.2.9 展開性能試験の結果	
実験動画	結果
https://youtu.be/1eu2GHS1Ibk	ドローンから投下され、きちんと展開されることが確認された

(V10) 機首上げ試験

- 目的
上空で展開後、素早く機首上げが行えることを確認する。
- 試験/解析内容
ドローンから機体を放出させた際に、展開から機首上げを行い、制御飛行に移れることを確認する。
- 結果
8/12に試験した。ドローンに機体を収納して50mの高さから投下した。この時機体が展開後機首あげを行い水平飛行に移行した。

表6.2.9 機首上げ試験の結果	
実験動画	結果
https://youtu.be/gaZzPePptik	展開後機首あげを行い水平飛行に移れることを確認した

(V11) GPSのロック確認試験

- 目的
キャリア収納から展開までに、GPSのロックが解除されないことを確認する。
- 試験/解析内容
機体のGPSをロックさせてからキャリアに収納し、それを上空で放出した際にGPSがロックされたままであることを確認する。
- 結果
8/12に試験を実施
12～18個のGPSを取得することができ、安定してGPSロックが確認できた

(V12) WP飛行試験

- 目的
機体が自動制御で飛行できることを確認する。
- 試験/解析内容
事前にWPを指定し、WP飛行できているかを確認する。WPをどれだけの誤差で通過しているのかも確認する。
- 結果
8/28に試験を実施。WPを指定し、飛行機がその通りの軌跡で飛行することを確認した。

表6.2.12.1 WP試験の結果	
実験動画	結果
https://youtu.be/Kgthk3VJSCE	WP飛行を行った

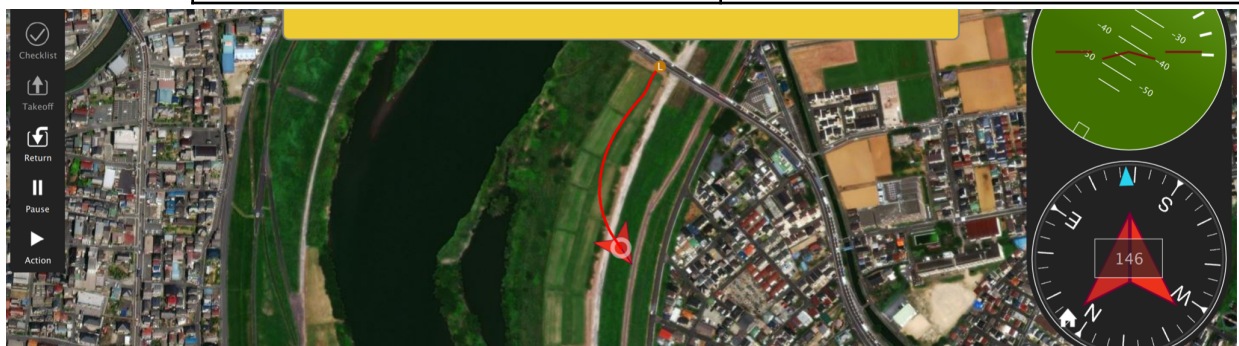


図6.2.12.2 飛行の軌跡

(V13) 着陸試験

- 目的
機体が目的地付近に着陸できることを確認する。
- 試験/解析内容
飛行試験において、機体が壊れることなく着陸できることを確かめる。
- 結果

8/28に実施。手投げで飛ばしたあと、水平飛行し、胴体着陸した。この時機体は壊れていなかった。万が一着陸時に破損があった場合でも、機体を機軸、主翼、尾翼、電源部、制御部にモジュール化しているため、壊れたところのみ取り替えて再度飛ばすことが可能である。

表6.2.13 着陸試験の結果	
実験動画	結果
https://youtu.be/T_D2AzLVIKY	機体が壊れることなく胴体着陸を行った

(V14) 緊急着陸試験

- 目的
フィールド外に機体が出そうになったときに着陸させられることを確認する。
- 試験/解析内容
飛行試験において、緊急事態を想定し、手動操作で機体を着陸させる。
- 結果
8/13に実施。手投げで飛ばしたあと、プロポからの手動操作で機体をフィールド内に着陸させられることを確認した。

表6.2.14 緊急着陸試験の結果		
回数	実験動画	結果
1	https://youtu.be/di445YDfk44	手動操作で機体を着陸させることができた
2	https://youtu.be/Yv_3nPyj5_w	手動操作で機体を着陸させることができた

第7章 工程管理、ガントチャート(スプレッドシートを推奨) 各担当(ハード・ソフト・全体などの進行状況を記入)

googleスプレッドシートにて管理

 A-sat-te_スケジュール.xlsx

色が塗られている部分が予定であり、>で書かれているところが実際作業した期間である。

第8章 大会結果報告

1. 目的

低高度からの放出・狭いフィールドという条件下でのフライバックにおける固定翼機の性能を評価する。

2. 結果

❖ 1回目

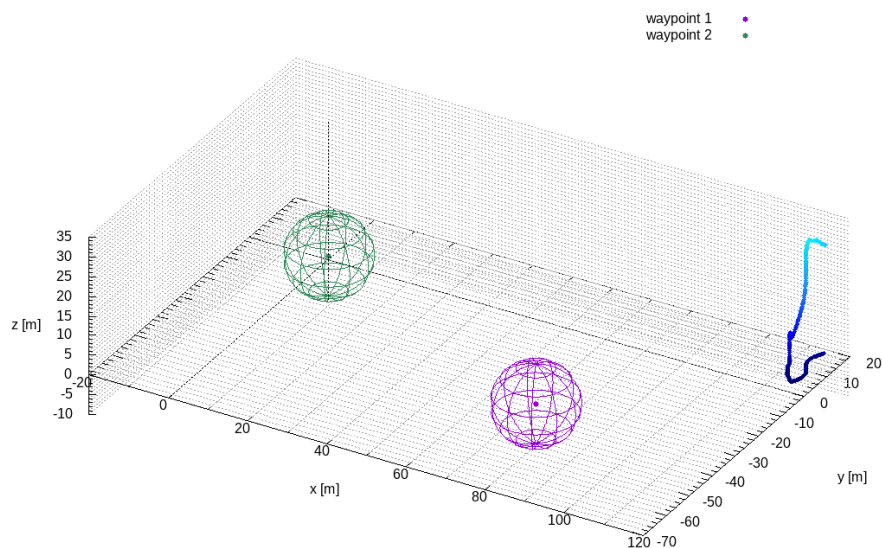
風が強かったため、気球が低いところにあるタイミング(22m)で投下せざるを得なかった。放出時、キャリアに引っかかってしまいうまく放出できなかったので揺さぶって落とした。その結果微妙な角度の時に放出されてしまい、機首上げが間に合わず地面に落下した。また、投下後に機体を確認したところ、ラズパイ給電用のLiPoの線が切れてしまっていた。

<取得データ>

● シーケンスログ

```
[ INFO] [1637390600.646779032]: [sequence] initializing...
[ INFO] [1637390600.688228366]: [field] ACTS
[ INFO] [1637390600.703647838]: [field] the goal is set to (35.4129611_deg,
138.5927401_deg, 0_m)
[ INFO] [1637390600.969025404]: [pixhawk] connecting...
[ INFO] [1637390618.406369757]: [pixhawk] connected successfully
[ INFO] [1637390619.570745277]: [sequence] initialized
[ INFO] [1637390619.572940508]: [pixhawk] set to OFFBOARD mode
[ INFO] [1637390619.577607636]: [pixhawk] trying to lock GPS...
[ INFO] [1637390619.580135496]: [pixhawk] GPS locked successfully
[ INFO] [1637390619.581584489]: [sequence] waiting for folding to be
confirmed...
[ INFO] [1637391736.343236003]: [sequence] folding completed
[ INFO] [1637391736.343473484]: [sequence] waiting for release and
deployment...
[ INFO] [1637391849.523238714]: [sequence] released and deployed
[ INFO] [1637391849.534453614]: [pixhawk] armed successfully
[ INFO] [1637391849.534699242]: [sequence] tilted elevator up
[ INFO] [1637391849.683298448]: [sequence] landed
[ INFO] [1637391849.683439929]: [sequence] finalizing...
[ WARN] [1637391849.683557743]: [pixhawk] current mode is already OFFBOARD
[ INFO] [1637391849.710470530]: [pixhawk] disarmed successfully
[ INFO] [1637391849.712175687]: [pixhawk] set to MANUAL mode
```

● 飛行経路



<動画>

https://youtu.be/TG8R5lteJ_M

❖ 2回目

展開時に、放出判定に用いていたピン抜け機構が引っかかってしまい、右翼の展開が遅れてしまった。また、展開後右翼が上側に折れ曲がってしまい落下した。

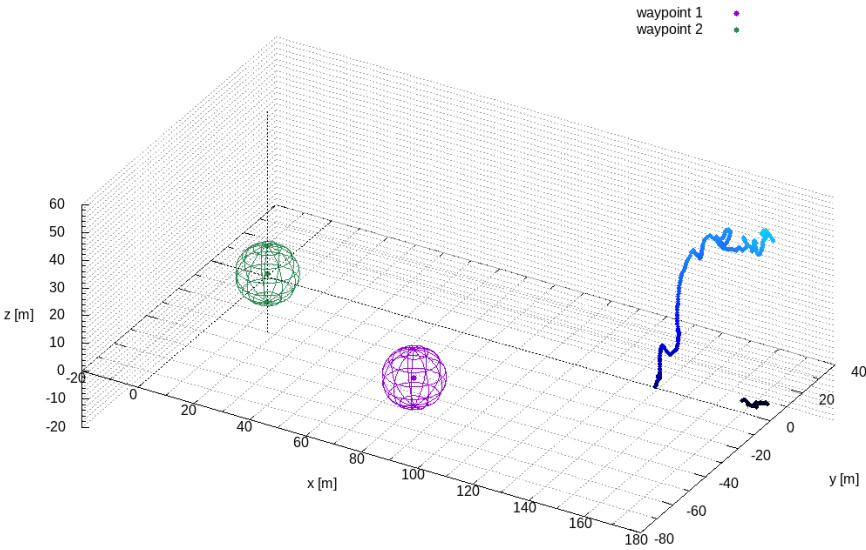
<取得データ>

● シーケンスログ

```
[ INFO] [1637464177.786974325]: [sequence] initializing...
[ INFO] [1637464177.834129967]: [field] ACTS
[ INFO] [1637464177.840622086]: [field] the goal is set to (35.4129677_deg,
138.5927458_deg, 0_m)
[ INFO] [1637464178.094861576]: [pixhawk] connecting...
[ INFO] [1637464199.924436725]: [pixhawk] connected successfully
[ INFO] [1637464202.041548525]: [sequence] initialized
[ INFO] [1637464202.043659742]: [pixhawk] set to OFFBOARD mode
[ INFO] [1637464202.043774666]: [pixhawk] trying to lock GPS...
[ INFO] [1637464205.264399825]: [pixhawk] GPS locked successfully
[ INFO] [1637464205.267283710]: [sequence] waiting for folding to be
confirmed...
[ INFO] [1637464831.284109568]: [sequence] folding completed
[ INFO] [1637464831.284417978]: [sequence] waiting for release and
deployment...
[ INFO] [1637465299.184271884]: [sequence] released and deployed
[ERROR] [1637465299.184455977]: [pixhawk] failed to arm
[ INFO] [1637465299.184645919]: [sequence] tilted elevator up
```

```
[ INFO] [1637465299.704062866]: [sequence] pitch up completed
[ERROR] [1637465299.704254640]: [pixhawk] failed to set AUTO.MISSION mode
[ERROR] [1637465299.704422241]: [pixhawk] failed to set STABILIZED mode
[ INFO] [1637465299.704587399]: [sequence] landed
[ INFO] [1637465299.705007392]: [sequence] finalizing...
[ERROR] [1637465299.705112118]: [pixhawk] failed to set OFFBOARD mode
[ WARN] [1637465299.705226671]: [pixhawk] already disarmed
[ WARN] [1637465299.705303522]: [pixhawk] current mode is already MANUAL
```

● 飛行経路



<動画>
<https://youtu.be/Zo4jJVnYeGE>

3. 考察

❖ 1回目
<サクセスクライテリアの評価>

ミニマムサクセス	m1 機軸・主翼を展開する(成功) m2 高度を保って飛行する(失敗) m3 ログを残すことができる(成功)
フルサクセス	f1 放出後5秒以内に展開する(成功) f2 機体のGPSデータを通信できる(成功) f3 上昇・下降・旋回ができる(失敗)

	f4 推力のコントロールができる(失敗) f5 フィードバック制御により機体の姿勢を復元できる(失敗) f6 9軸データ(加速度, 地磁気, 角速度)を取る(成功) f7 地上局と通信できる(成功) f8 機体に搭載されたGPS座標における0 mに着地する(失敗)
エクストラサクセス	e1 記録上の0mを達成する(失敗) e2 着陸時の破損を防ぐ(失敗)

<原因究明>

- キャリアに引っかかってしまった
 - ← キャリアに入れた時に放出確認を怠った
 - 必ず放出確認を行ってから上空にあげるべきだった
 - ← 本番までキャリア内にネジが存在することを知らなかった
 - 事前に運営にきちんと確認しておくべきだった
 - ← ケーシングを使わない方法を選択したので機体の凹凸にネジが引っかかりやすかった
 - ← 機体で一番ケーシングに密着する部分とネジの位置が一致してしまった
- 機首上げが間に合わなかった
 - ← 投下高度が低かった
 - 気球の上下が大きく、気球が下にきたタイミングで投下してしまった
 - 風や運営的なタイムリミットの高度が高くなるのを待つことができなかった
 - 事前に運営に高度が必要なことを説明し、準備してもらう必要があった
 - ← キャリアに引っかかってしまったため揺さぶった結果、想定されていない角度で放出されてしまい、機首上げまでに時間がかかってしまった
- 給電用の線が1セルリポバッテリーの根元で切れていた
 - ← はんだで後から取り付けた部分が弱かった
 - ← コードをきちんと固定していなかったため、展開時に強い力がかかり切れてしまった可能性がある
 - コードは引っかかる可能性が高いため必ず固定しておくべきだった
- ケースに入れた時の想定してた向きと真逆(森の方向)だった
 - ← 投下前焦っていたためきちんと確認できなかった
 - 本番前こそ焦らないようにするべき。チェックリストを作っておく必要があった
 - ← 気球が風で回転してしまった
 - レギュレーションを読んで、キャリアが回転する可能性を考えておく必要があった

❖ 2回目

<サクセスクライテリアの評価>

ミニマムサクセス	m1 機軸・主翼を展開する(失敗) m2 高度を保って飛行する(失敗) m3 ログを残すことができる(失敗)
フルサクセス	f1 放出後5秒以内に展開する(失敗) f2 機体のGPSデータを通信できる(失敗) f3 上昇・下降・旋回ができる(失敗) f4 推力のコントロールができる(失敗) f5 フィードバック制御により機体の姿勢を復元できる(失敗) f6 9軸データ(加速度, 地磁気, 角速度)を取る(失敗) f7 地上局と通信できる(失敗) f8 機体に搭載されたGPS座標における0 mに着地する(失敗)
エクストラサクセス	e1 記録上の0mを達成する(失敗) e2 着陸時の破損を防ぐ(失敗)

<1日目の反省に基づく修正>

- キャリアとの干渉→機体の収納向きを90度回転させネジとの干渉を減らした
- 投下高度→運営の方と相談し、高い位置で投下してもらうことに
- 給電用コード→後から半田付けした部分を補強し、線を機体にきちんと固定した
- 収納時→一度キャリアに入れた後きちんと放出されるか確認した。収納向きも複数人で確認してから収納した

<原因究明>

- ピン抜け機構が引っかかり右翼の展開が遅れた
 - ← ピン抜けのテストで主翼を曲げすぎて、右側だけ展開力が弱まっていた
 - ピン抜けのテストの時に主翼を曲げてはいけない
 - ← ピン抜けよりバネの展開力が大きいだろうと過信して、きちんと試験をしていなかった
 - 展開まわりの試験を十分に行っておく必要があった
 - ← ピンが壊れていたので直前にピンを付け替えたが、付け替えたピンが若干硬く抜けにくかった
 - ピンを付け替えた時はきちんと展開するのか確認する必要があった
- 展開後右翼が上側に折れた
 - ← 展開が遅れた結果機速がつき過ぎてしまい、機首上げ時の荷重係数が大きく、主翼が折れてしまった
 - 翼が折れないように押さえをつけていたがそれが折れてしまっていた
 - 通常時の荷重よりも大きな荷重がかかる可能性も考えた上で翼押さえの設計をする必要があった
 - ← ピン抜けのテストで右翼を何度も折り曲げていたため強度が弱くなっていた
- キャリア内でラズパイ上のプログラムが一時的に停止した
 - ← ラズパイ自体は起動したまま

- ← プロセスも生きていた
- ← 投下直前に停止したと考えられる
 - プログラムの停止直前の時刻(ログより)と動画撮影時刻より判断
 - 投下直後に停止した可能性も否定はできない
- ← 落下して3分ほど経過後にプログラムが再開され、この直後にピン抜け判定がなされた
- ← 停止していた間に投下されたため、投下中のログが残せなかった
- ← プログラムが停止した原因は不明
 - もっと展開時の制御試験を行う必要があった

第9章 まとめ

1. 工夫・努力した点(ハード、ソフト、マネジメント面すべて)

- ハード
 - 投下高度が低く、放出から展開までの時間がないことがわかっていたため、ケーシングを使用せず、物理的な展開機構を機体に直接つけることにより展開にかかる時間を短縮させた。
 - 構造の骨組みに展開力を持つコンベックスを用いることで、複雑な展開機構を持たなくてもすぐに展開できる機体を作成できた。
 - 機軸、主翼、尾翼、制御部、電源部とモジュール化することにより整備性を上げ、修復にかかる時間を短縮させた。
 - 大きな機体をキャリアに収納するため、機器の配置や機体の折り方を工夫しデッドスペースができるだけ少なくなるようにした。
- ソフト
 - ラズパイと、QGC、プロポによる操作を組み合わせることで機体に対して確実に命令が通るように工夫した。
 - ピン抜け機構(詳細は4.アルゴリズムを参照)を用いて、回路内の電圧変化によって次のシーケンスに移る方法をとることで、機体の展開とメインプログラムを紐付けた。
 - QGCを利用して機体の制御に必要なPX4内のパラメータの設定をした。
 - ROSやPX4といったオープンソースを用いて高度な開発を行った。
 - 環境依存性を減らし信頼性を担保しつつ、独自開発のリソースを他に回すことができた。
 - Gazeboを用いたシミュレーション環境を構築できた。
 - スレッド分割が容易に実現できた。
 - 航法と誘導で分割してある。
 - ROSのフレームワークに準拠し、プログラムの実行中にもコマンドライン入力による命令を実行できるようにした。
 - C++でありながら、パラメータ変更時のコンパイルは不要。
 - 他方で、ROS特有の不便な点を解決した。
 - message等を直接扱わずにPixhawkと通信できるような、汎用的、user-friendlyなインターフェースを実現した。

- 各プロセスの実行やログの読み出しなどをスクリプト化した。
 - プロポからの入力に対して任意の動作を設定できるようにした。
 - ビジュアライザを用意した。
- マネジメント
 - コロナによる活動場所の制限があり同じ場所での作業が難しかったので、作業日誌をつけることによってお互いの進捗を確認していた。
 - 定期的にmtgを行うことで進捗や情報の共有をしていた。
 - Slackを用い、チャンネルを仕切ることで情報の錯綜を防いだ。

2. 課題点

- 全体
 - 飛行試験を行える場所が少なく、本番を想定した試験をあまり行うことができなかった
 - フィールドの狭さを若干甘く見ているところがあった
 - 機体を飛ばせる場所が少なく、本番を模擬した飛行試験が行えなかった
 - 飛ばすことに試験時間をかけすぎて、収納・展開あたりが疎かになっていた
 - 一応ゴールを見据えて計画をたてていたが、試験がうまく行かずどんどん延長した結果、制御的な試験をする時間がほとんどなかった
 - 作業量に個人差がでてしまった
 - 予算をオーバーしてしまった
 - 期間が延長したことで制作費が増えた
 - 買ったが使わなかった部品も多い
- 構造
 - 人数が少なく一人当たりの作業量が増えてしまった
 - 構造班以外の人に、設計の意図とか変更点とかがうまく伝わってなかった
 - 構造以外の人々が構造のアドバイスをしにくくなってしまった
 - 構造作業の手伝いでも、注意すべき点をすべて伝えきれなかった
 - バージョン管理が上手いかず、部品が混ざってしまっていた
 - 放出・展開の検知にセンサを使わないコンセプトは間違っていなかったと思うが、調整が難しく不具合が多かった
- 回路
 - 通信
 - 前の代のチームに習いIoraを使おうとしたが、pc to pcの通信はできたが、pc to arduino、pc to raspberry pi の通信がうまくいかず、結局テレメトリを使うことになってしまった。
 - 配線
 - 自分たちでかしめる線を最小限にし、付属の線のみで完結するようにしたほうがよかった。メンテナンス性・正確性の面でもそちらの方がよかった。
 - コードの配線の間違いが本番前に発覚
 - 作った時に必ず動作確認をしておく
 - 前日準備の時にも動作確認し、動くことを確認してから当日望む
- 制御

- 全体
 - ArduinoからRaspberry Piへの移行の決断が遅く、十分な時間がなかった
 - 機体が安定して飛ぶようになるまでに時間がかかったため、飛行状態で試す試験がほとんどできないまま本番になってしまった
- コーディング
 - 特定の人に全部任せてしまった
 - 結果的に使われなかった無駄な部分が多い
- QGC(PX4)
 - missionモードに入る条件が明確ではなかったため、入らなかった時の対処に苦戦した。
 - ラダーの向きの確認の仕方が確立されなかった。
 - パラメータが多すぎた。
 - わからないパラメータもあり、不明な点が残ったままだった。
 - waypointの通過判定の条件が不明瞭なまま本番を迎えてしまった。

3. 今後の展望

我々は固定翼機によるフライバックに挑戦したが、展開からの機首上げがうまくいかなかったため、制御飛行に移ることができなかった。今後は、安定して制御飛行に移行できるよう展開機構の見直しや追加の試験を行い、展開時の信頼性を高めたい。その上で、機体に搭載されたGPS座標における0mに着地するというミッション目的を達成したいと考えている。

フライバックにおいて最も難しかった点は飛行試験場所の確保である。航空法の制限もあるため気軽に試験をすることができず、その結果スケジュールの遅れに繋がってしまった。そのため、今後フライバックに挑戦するチームがあれば、試験項目を工夫し、できるだけ地上でできる試験を増やすことが重要であると考えます。