

2015年8月

第11回能代宇宙イベント

CYCLOPS

プロジェクト報告書



Project Manager		佐藤亮太	
班	機体班	電装班	燃焼班
班長	岩崎愛樹	新井久旺	日永田尚哉
班員	児玉太志	小野優子	竹澤遼
	仁木 智哉	川島陽太	原田直輝
	弓野智史	真壁健二	
	松本宗弘	坪井星磨	
	古本航亮	伊藤優	
	鈴木晴樹	水野誓也	
	大野友利恵	三川航	
	松本恭弥	平山健太	
	藤本剛史		

目次

1.	ミッション計画	5
1.1	ミッション設定の背景	5
1.2	全体ミッション	5
1.2.1	ミッションステートメント	5
1.2.2	サクセスクライテリア	5
1.2.3	サクセスクライテリアの成否の検証計画	5
1.3	燃焼班ミッション	5
1.3.1	ミッションステートメント	5
1.3.2	サクセスクライテリア	6
2.	設計(機体班)	6
2.1	機体概要	6
2.2	設計	8
2.2.1	開放機構	8
2.2.1.1	構造	8
2.2.1.2	分離方法	10
2.2.2	リーフィング機構	13
2.2.3	パラシュート	16
2.2.4	浮力機構	19
2.2.5	エンジン部	22
2.2.6	ボディチューブ	29
2.2.7	カプラ	30
2.2.8	ランチラグ取り付け位置	30
3.	設計(電装班)	31
3.1	航法計器	31
3.1.1	概要	31
3.1.2	システムブロック図	31
3.1.3	プログラムフローチャート	32
3.2	開放・フロート計器	34
3.2.1	ミッションから設計が決まるまでの過程	34
3.2.2	システムブロック図	35
3.2.3	プログラムフローチャート	35
3.2.4	コマンド	36
3.3	水密ケース	37
3.4	地上局	38
4.	設計(MM 班)	38
4.1	概要	38

4.2	機体設計	38
4.3	回路図	44
5.	燃焼班	44
6.	チームロゴ・機体デザイン	47
6.1	チームロゴ	47
6.2	機体デザイン	47
7.	シミュレーション結果	48
7.1	落下分散域	48
7.2	気象等制限値	50
8.	試験計画・結果	51
8.1	試験計画	51
8.1.1	機体班	51
8.1.2	電装班	52
8.1.3	MM 班	54
8.1.4	燃焼班	54
8.1.4.1	試験計画概要	54
8.1.4.2	試験計画詳細	54
8.2	試験結果	55
8.2.1	機体班	55
8.2.2	電装班	56
8.2.3	MM 班	57
8.2.4	燃焼班	58
9.	予算計画	59
9.1	予算計画	59
9.2	執行済み予算	59
10.	実験結果・考察	60
10.1	実験結果	60
10.1.1	機体班	60
10.1.1.1	開放機構	60
10.1.1.2	浮力機構	66
10.1.2	電装班	66
10.2	実験結果を受けての考察	68
10.2.1	機体班	68
10.2.1.1	開放機構	68
10.2.1.2	パラシュート	70
10.2.1.3	浮力機構	70
10.2.2	電装班	70
10.2.3	燃焼班	71

11.	サクセスクライテリアの達成度.....	71
12.	謝辞	72
13.	参考文献	72

1. ミッション計画

1.1 ミッション設定の背景

CORE ではさらなる高重量、高高度化を目指しているため、L 型エンジンを用いた打ち上げを行うこととした。しかし、能代の陸打ちには高度 400m 制限があるため、海打ちを行うこととした。海打ちを行う上で新たに水密や浮上機構、回収方法について考慮する必要があるため、まず回収する技術を得るべくミッションはロケットの回収とした。また、サブミッションとして海中の動画撮影を行った。

1.2 全体ミッション

1.2.1 ミッションステートメント

1. L 型エンジンを用いた打ち上げを行い、打ち上げたロケットを回収すること
2. 海中の動画を撮影すること

1.2.2 サクセスクライテリア

Advanced Success	海中で撮影した動画,機体(ボディーチューブと再利用可能なエンジン)と解析可能なデータ(加速度,角速度,姿勢,速度)を回収すること
Full Success	機体(ボディーチューブと再利用可能なエンジン)と解析可能なデータ(加速度,角速度,姿勢,速度)を回収すること
Minimum Success	再利用可能なエンジンを回収すること

1.2.3 サクセスクライテリアの成否の検証計画

Advanced Success	海中の動画,ボディーチューブ全て,再利用可能なエンジン,解析可能なデータを回収できたら成功
Full Success	ボディーチューブ全て,再利用可能なエンジン,解析可能なデータを回収できたら成功
Minimum Success	再利用可能なエンジンを回収できたら成功

1.3 燃焼班ミッション

1.3.1 ミッションステートメント

- ・ GSE を管理し,安全に運用すること.
- ・ 打ち上げシーケンスを作成し,実行すること.
- ・ ロケットに点火すること.

- ・ 人員の安全¹を確保すること。

1.3.2 サクセスクライテリア

Minimum Success	<ol style="list-style-type: none"> 1. 打ち上げシーケンスを作成し、実行する 2. 物品リストを作成し、これを用いて物品を管理する 3. ロケットに点火する 4. 人員の安全¹を確保する
Full Success	
Advanced Success	

1.3.3 サクセスクライテリアの成否の検証計画

Minimum Success	<ol style="list-style-type: none"> 1. タイムスケジュール通りに行動ができていること 2. 不足しているものが無いこと 3. エンジンが燃焼しロケットが飛翔すること 4. 当日に人員に怪我をさせないこと
Full Success	
Advanced Success	

2. 設計(機体班)

2.1 機体概要

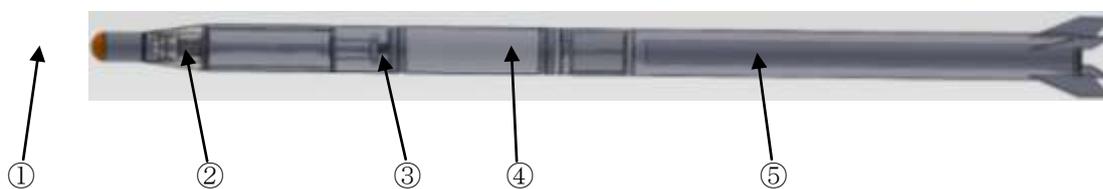


図 2.1.1 機体全体図

このロケットは次の 5 つのモジュールで構成される。

- ① ミッションモジュール(MM)
- ② 開放機構

¹ 人員に怪我をさせないこと

- ③ 電装搭載部
- ④ 浮力機構
- ⑤ モータ搭載部

頂点付近で開放機構が動作し、パラシュートと同時にミッションモジュールが放出される。放出されたミッションモジュールは着水後に海中へ沈み、水中の動画を撮影する。なお、今回のロケットの重量が大きいことを考慮して、パラシュートには開傘衝撃を緩和するために昨年 11 月の伊豆大島ロケット共同打ち上げ実験で使用実績のあるリーフィング機構を搭載している。また、リーフィング解除後に終端速度に達すると海で機体回収を容易に行えるよう浮力機構を展開するが、より大きな浮力を確保するためにエンジン部のボディチューブにスタイロフォームを積載した。

機体諸元を次の表にまとめる。

表 2.1.1 機体諸元

機体名称	CYCLOPS
全長	3226mm
乾燥重量	15610g
CG 位置	1605mm
CP 位置	2060mm
使用エンジン	HyperTEK L575
目標到達高度	1231m

2.2 設計

2.2.1 開放機構

2.2.1.1 構造



図 2.2.1.1.1 開放機構外観

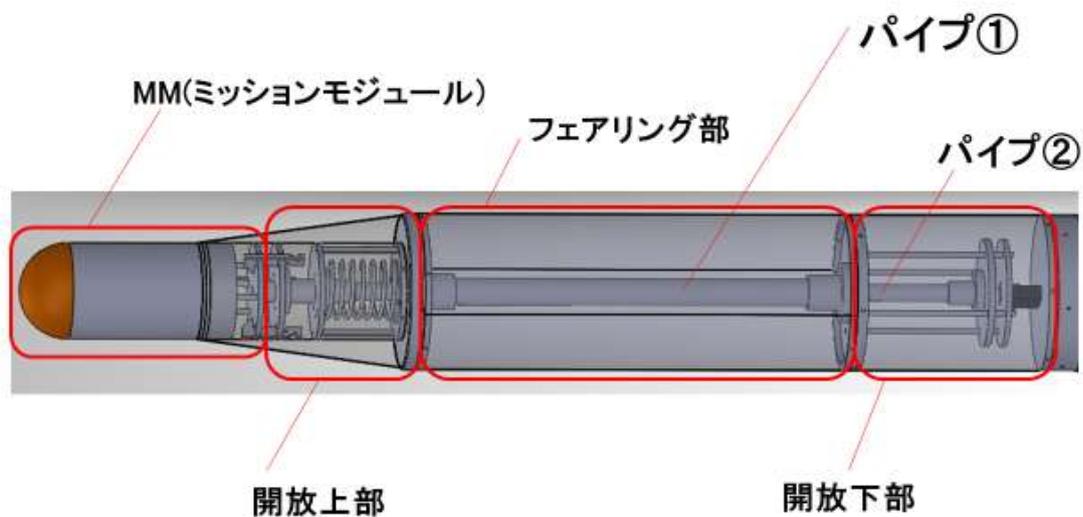


図 2.2.1.1.2 開放機構各部名称

分離機構の構造として、中心の軸となっている 2 種のパイプ外径 $\phi 25.4$ のステンレス (SUS304) 製パイプ①中には、一回り小さな外径 $\phi 16$ のアルミ (A6063) 製パイプ②が通っており、パイプ①は、開放上部板とアイボルト固定板を接続している、パイプ②は、MM 保持板、上部ロック改、開放下部パイプ固定を接続している。

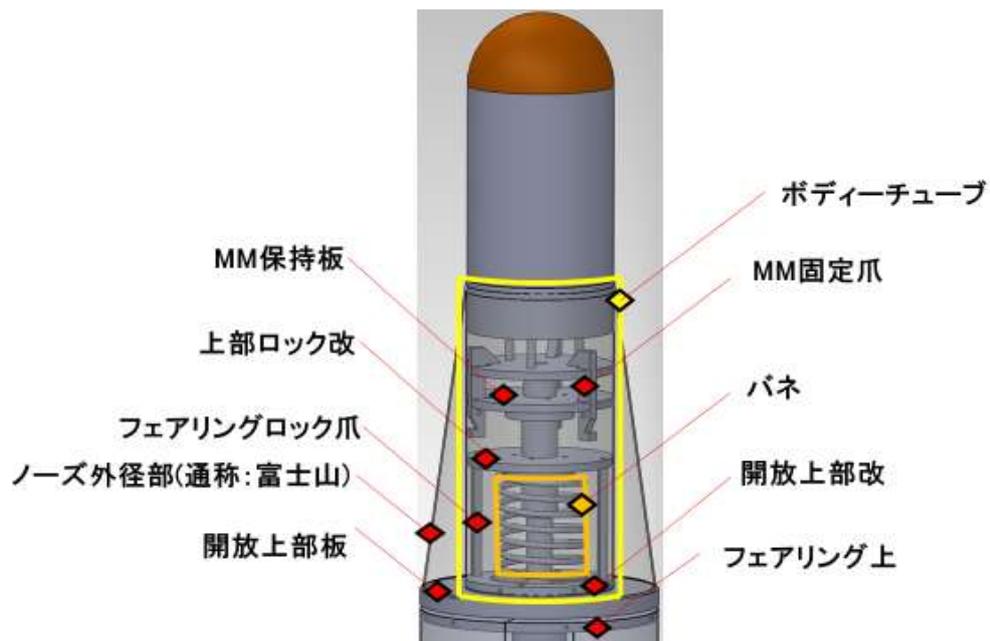


図 2.2.1.1.3 開放上部模式図

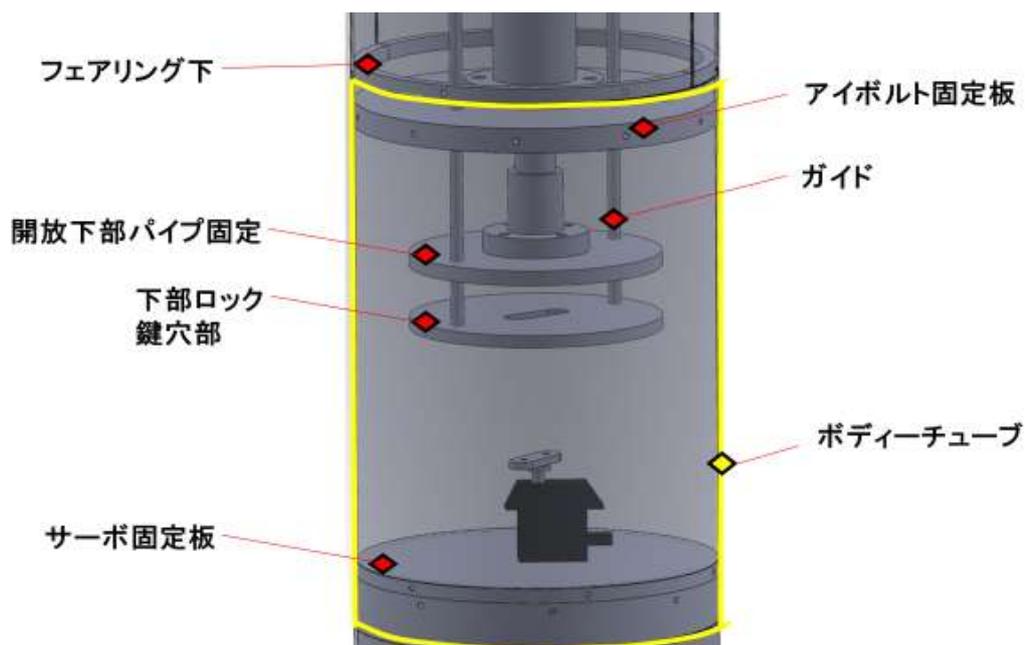


図 2.2.1.1.4 開放下部模式図

開放機構の構成部品は以下である。

- (1) 開放上部
 - 1. ボディーチューブ(MM 保持用)
 - 2. ノーズ外径(通称：富士山)

3. MM 保持板
4. MM 固定爪
5. 上部ロック改
6. フェアリングロック爪
7. バネ
8. 開放上部改
9. 開放上部板

(2) フェアリング部

1. ボディーチューブ(フェアリング部)
2. フェアリング上
3. フェアリング下

(3) 開放下部

1. ボディーチューブ(開放下部)
2. アイボルト固定板
3. リーフイングロック機構
4. 開放下部パイプ固定
5. 下部ロック 鍵穴部
6. ガイド
7. サーボ固定板

2.2.1.2 分離方法

今回、「CYCLOPS」打ち上げに際し、分離機構として縦解放機構を採用している。また、同時に MM の放出機構も兼ねた構造となっている。さらに、落下分散域を抑えるために、リーフィング機構を搭載している。分離方法は以下に図を用いて説明する。

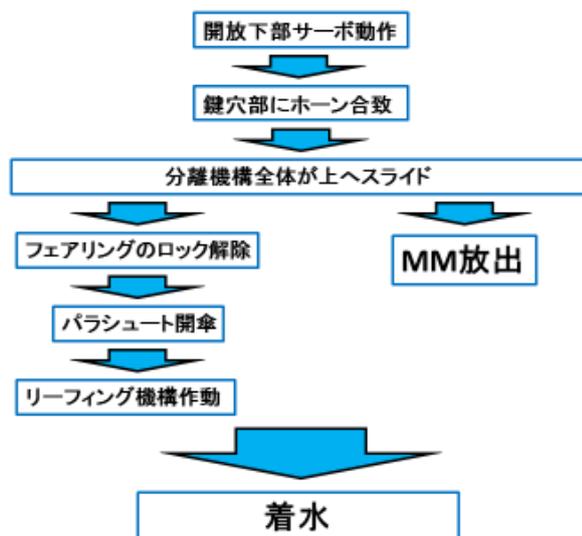


図 2.2.1.2.1 開放の流れ

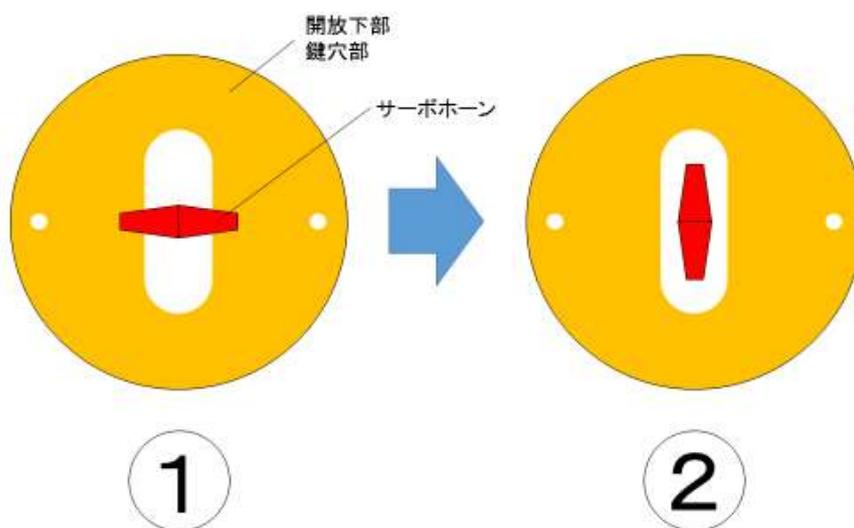


図 2.2.1.2.2 ロック状態とアンロック状態

打ち上げ時サーボホーンは図 2.4.1.2.2 の①の位置にあり、ホーンにより可動部全体(バネにより常にノーズ方向に力が加わっている)がノーズ側へスライドするのを止めている。ロケットが頂点に到達すると、開放下部のサーボが動作し図 2.4.1.2.2 の②の位置にホーンが回転する。それにより分離機構のロックが外れ可動部全体がノーズ側にスライドする。

図 2.4.1.2.3 に可動部について示す。

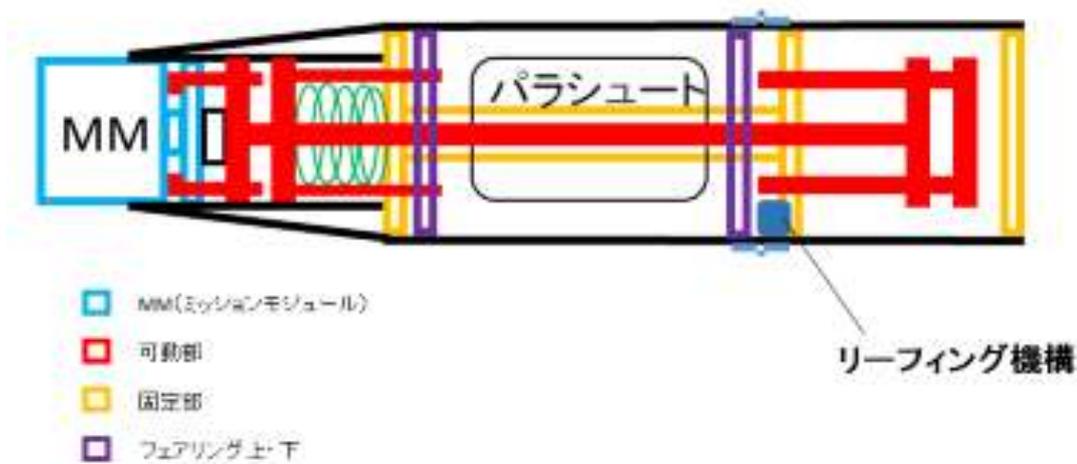


図 2.2.1.2.3 ロック時の分離機構模式図

その後、フェアリングのロックが解除されパラシュートを放出。それと同時に、MM も機体から離れ、図 2.4.1.2.4 のようにワイヤーでのみ接続された状態になる。またこの時、MM 固定爪は図 2.4.1.2.5 のようにゴムによる力が常に加わっている。それによって、ボディーチューブ(MM 保持用)の外に爪の支点が出ると自動的に開くようになっているため、可動部がスライドしただけで図 2.4.1.2.4 や図 2.4.1.2.5 のように MM が放出されるようになっている。

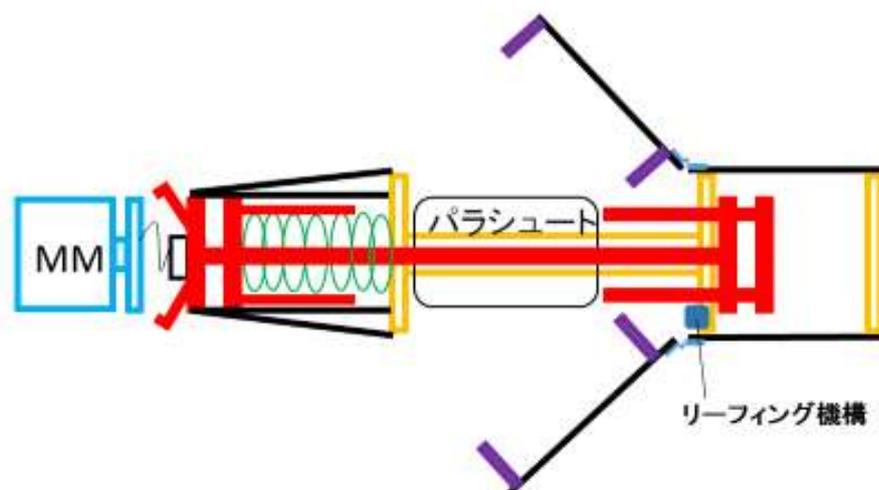


図 2.2.1.2.4 アンロック後の分離機構模式図

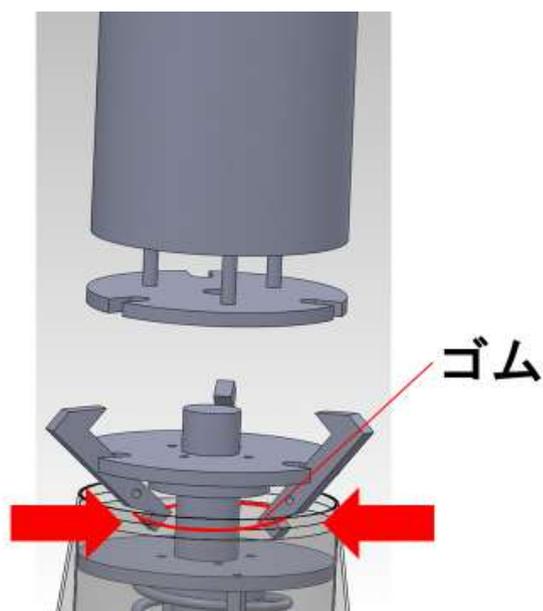


図 2.2.1.2.5 開放上部 MM 放出部

そして高度 200m に達するとリーフィング機構が作動，パラシュートが完全に開傘し，目的の終端速度まで減速する．詳しいリーフィング機構の動作については後述する．

その後 MM を吊るした状態で海面に着水する．

2.2.2 リーフィング機構

今回パラシュートの仕様として開傘衝撃の抑制と落下分散域の減少のため，CORE で 2014 年度 11 月と 3 月に使用実績のあるリーフィング機構を採用した．この機構は，パラシュートを開傘する際に，開口部をリーフィングラインという紐で引っ張った状態でロック機構にこの紐を固定することによっ

て、開口部が狭まった状態で開傘させる。その後高度 200m に達した時点でリーフィングラインの固定を外して開口部を広げ、目的の終端速度に減速することが出来る。以下にリーフィング機構の概観を示す。

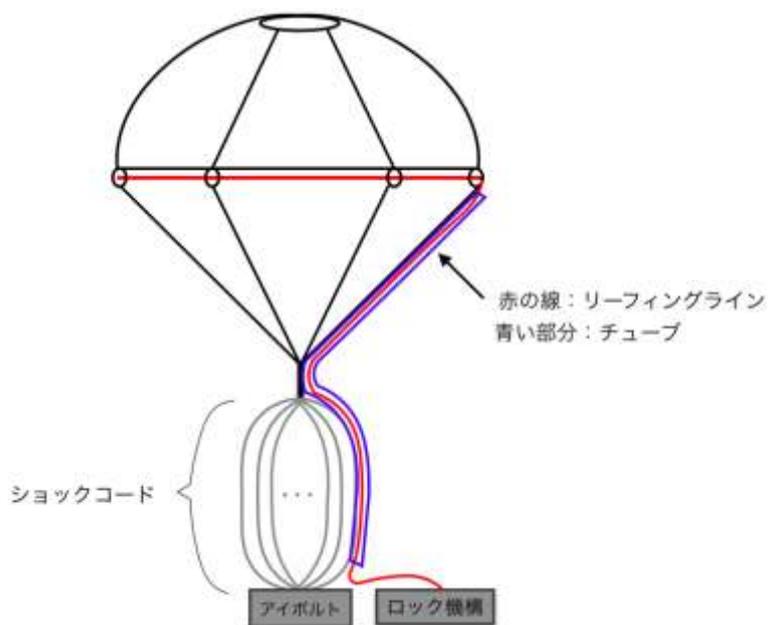


図 2.2.2.1 リーフィング機構 概要

また、ショックコードやシュラウドラインに合わせたチューブの中にリーフィングラインを通すことでリーフィングラインがショックコードやシュラウドラインと絡まることを防ぐ。

リーフィングの紐が引っ掛けてあるロック爪は、バネ蝶番によって常に開こうとする力がかかっている。この爪をサーボホーンで開かないよう固定しておき、ロック解除の信号を受けるとホーンが回転し、爪が開き紐が外れる。

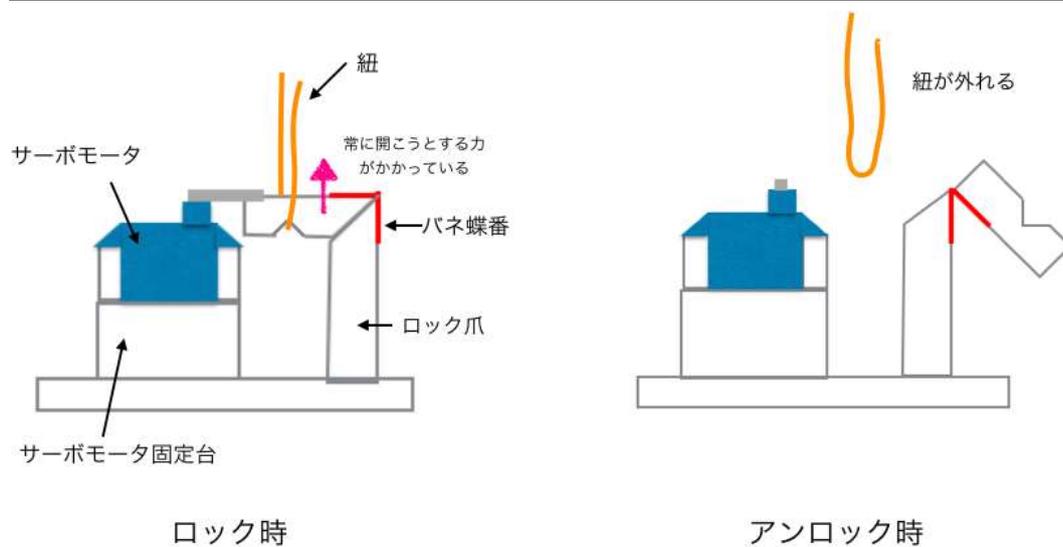


図 2.2.2.2 リーフィングロック機構 概略図

次にリーフィングラインを取り付ける方法について記す。

下の図のようにシュラウドライン取り付け用の PP ベルトにワイヤー用カシメを両面テープで固定しカシメの筒をリーフィングラインが通るようにした。



図 2.2.2.3 キャンopies用リーフィングガイド

またシュラウドラインにもカシメをアルミテープで固定することでリーフィングラインがシュラウドラ

インを伝うようにガイドとした。



図 2.2.2.4 リーフイングガイドの固定

2.2.3 パラシュート

今回はより搭載機構が多く、大きな推力を得る為にL型エンジンを採用したが、これを用いる事で到達高度が増加し落下分散域が拡大する.. また機体重量の増加の為必然的に開傘衝撃が大きくなるなどの問題が現れた。

これらの問題に対処すべくリーフイングライン付きパラシュートを使用することとした。

リーフイングライン付きパラシュートとはパラシュートの開口部の縁にリーフイングラインと呼ばれる釣り糸を通し開口部を絞ってあるパラシュートを指す。パラシュートの投影面積の減少によりパラシュートの落下速度は増しパラシュートの開口部が全開している時に比べ横風にあおられる時間は短くなる。簡略のためこれ以降リーフイングラインが投影面積を絞っている状態をリーフイング状態と呼ぶ。

あとは適当な高度にてリーフイングラインを固定しているロックを解除すればリーフイングラインが外れパラシュートの投影面積はもとに戻る。これにより終端速度が増加しロケットの軟着陸が可能となる(ロックの詳細は後述のリーフイング機構を参照)。

使用するに至った理由を以下に述べる。

同じく落下分散域の減少及び開傘衝撃の軽減に役立つパラシュートとしては 2 段パラシュートが候補として挙げられたが、2 段パラシュートでは 2 つのパラシュートを時間差で開放するため、分離機構が 2 つ必要となる。2 つの分離機構をさらに用意することは今回機体の収容積や時間的な問題から非常に困難であった。

これに比べリーフイング方式では使用するパラシュートは 1 つのため分離機構は一つでよいし収容積も圧迫しない。

まずパラシュートのラインの各名称、配置を図にて示す。

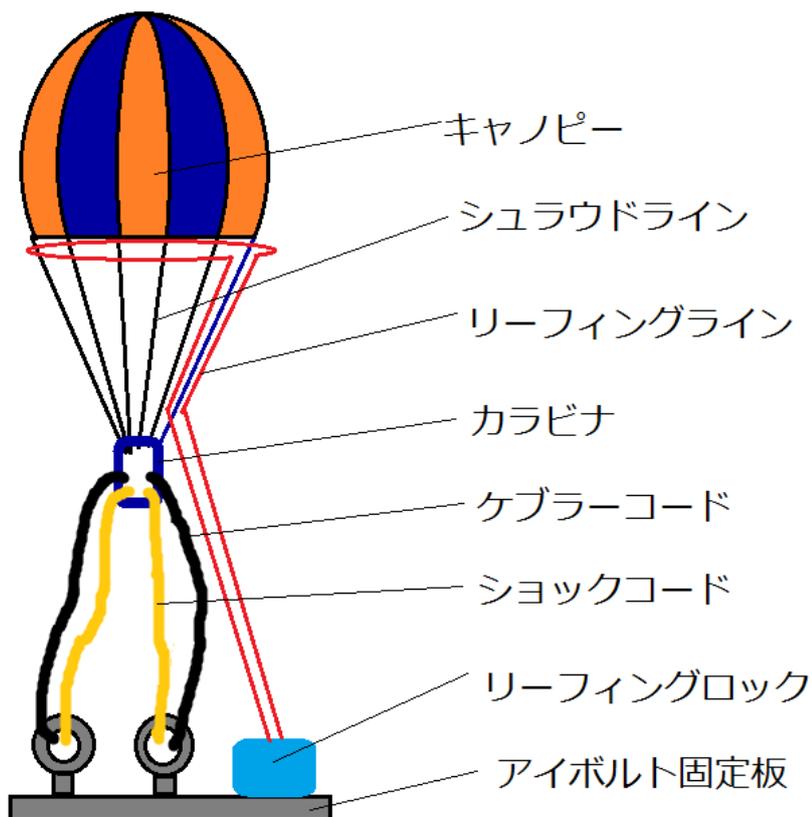


図 2.2.3.1 パラシュート関連部の名称、配置

表 2.2.3.1 パラシュート設計

形状	半球形
生地	シルナイロン
色	オレンジ,紺
抗力係数 C_D	1.14
投影直径	1.55m
ゴア数	8
終端速度(リーフィング状態)	20[m/sec]
終端速度(リーフィング解除時)	10[m/sec]

(1) 形状,生地,投影直径の決定

パラシュートの形状は加工経験と成功例が豊富である半球形を用いた。

ゴアの設計図は以下の通りで数字は全て mm 単位となっている。8 枚のゴアを縫合すると投影直径が 1.55m の半球形となるよう各長さを決めている。

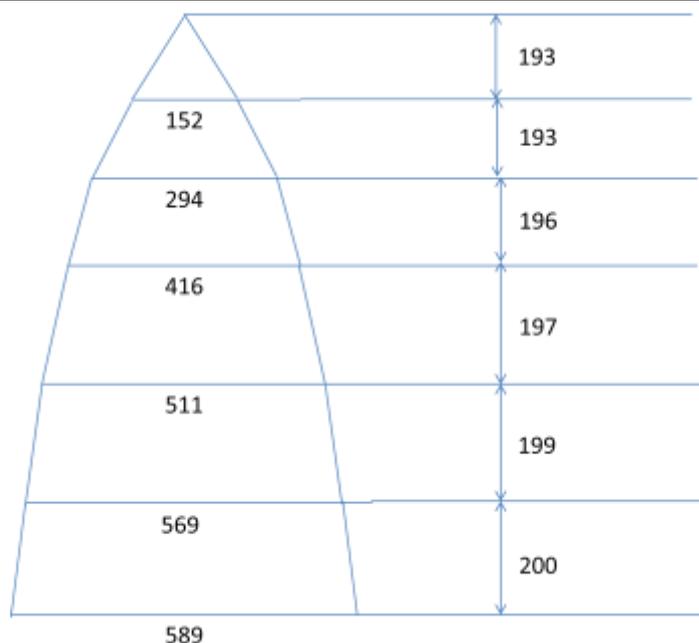


図 2.2.3.2 パラシュートゴア設計

乾燥重量 15.6kg の機体の自由落下により生じる開傘衝撃に対応すべくパラシュートはより小さく丈夫である必要があった。これらの解決策として生地は強度が高さかつ薄さにも定評があるシルナイロンを採用、終端速度も 10m/sec と従来の CORE のパラシュートに比べ速めに設定し、さらに抗力係数も理論値ではなく実測値 1.14 を用いた。これによりパラシュート直径は乾燥重量 13kg、終端速度 7m/sec、抗力係数 0.76 とした初期設計時の 2.6m からの小型化に成功した。

(2) 終端速度の決定

リーフィング状態時の終端速度 20m/sec は特にこだわって決定したわけではないが、出来るだけ早く降下しかつ開傘衝撃が大きくなりすぎないようにとした。

(3) コード関連

以下ではパラシュートまわりのコード、ライン等の設計について述べる。

表 2.4.3.2 コード、ラインの長さ

シュラウドライン	1.6m×8 本
シュラウドライン 1 本あたりの破断強度	140kg
ケブラーコード	2.0m×2 本
ケブラーコード 1 本あたりの破断強度	600kg
ショックコード長さ	1.0m×2 本
リーフィングライン円周長さ	1.7m
リーフィングライン破断強度	24kg

シュラウドライン長さはパラシュート直径の約 1 倍となるようにした。ライン本数は従来の 6 本から 2

本増やす形をとったが仮に数本切れてしまっても開傘の状態に支障がないようにする意図があった。破断強度も開傘衝撃に対して 8 本あれば十分耐えられるようになっている。

今回ショックコードとは別にケブラーコードを使用している。リーフィングライン取り付けの特性上ショックコードのみでは開傘衝撃発生の際、どの程度伸びるかの判断が難しく完全に伸びきった状態ではリーフィングラインに直接不可が掛かってしまう恐れがある。またショックコードの伸縮によってリーフィングラインの円周の長さつまりは投影面積が定まらず、終端速度を一定に保つことができず何かと都合が悪い。この対策としてケブラーコードを取り付けショックコードが 2m 以上伸びないようにとした。

ショックコード 1 本は試験によって 1m から 2m の長さになるとき約 5kg の荷重を要することが分かった。これを 2 本使用することで乾燥重量 15.6kg 取り付け時には確実に 2m の長さになる。

2.2.4 浮力機構

浮力機構とは機体着水後の浮力を維持することを目的とした機構のことであり、管体側面に設けた扉から炭酸ガスを用いライフジャケットを展開することで機体の浮力を担保する。設計ではエンジン部と水密部で必要な浮力を満たす。しかし思わぬ機体重量の増加やミッションモジュールの潜水による機体の姿勢の不安定さへの対策として用いることになった。

(1) ライフジャケット展開方法

以下では浮力機構の展開方法について記述する。管体に設けた扉の片端にはばね蝶番が取り付けられておりそれを支点到に扉が開閉する。

下図が浮力機構開放扉の構造である。

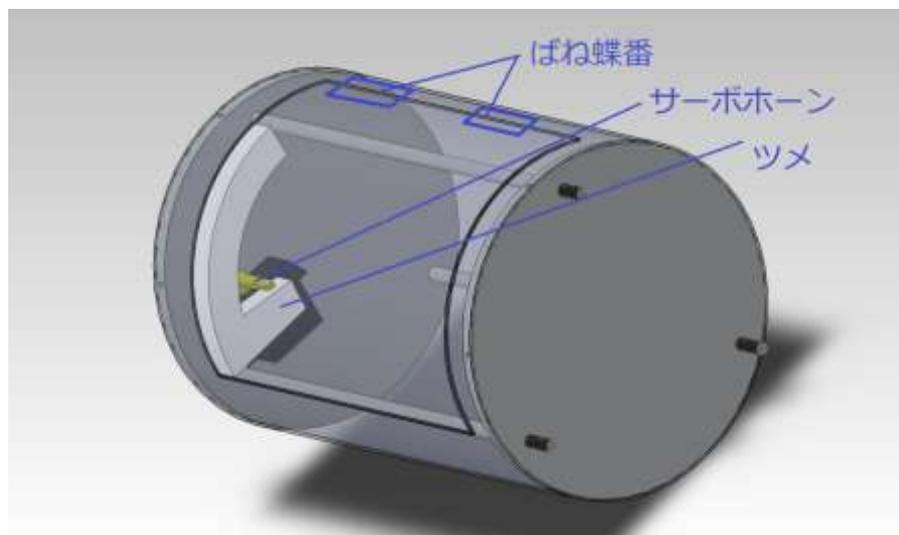


図 2.2.4.1 浮力機構開放扉の構造

まず開放扉の固定解除はサーボホーンの回転によって行う。扉の固定は図のようにサーボホーンで扉についた ABS のツメを固定することで、開こうとしているばね蝶番を固定している。

これが特定高度を検知し電装によりサーボホーンが 90° 回転することで固定が外れ、ばね蝶番によって扉が開放する。

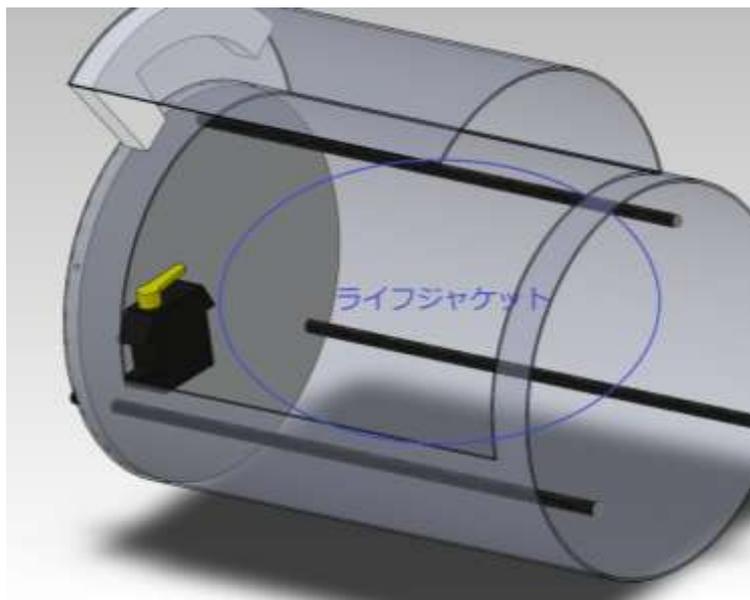


図 2.2.4.2 扉開放後

扉の開放後はライフジャケット付属部品について紐を DC モーターで巻き取ることで炭酸ガスボンベの栓に針が刺さり、ライフジャケット内にガスが満たされる。



図 2.2.4.3 ライフジャケット付属部品

以下が完成させた浮力機構のライフジャケット展開試験後の写真である。



図 2.2.4.4 ライフジャケット展開後

(2)構造

上記の通り浮力機構の展開には GFRP のパイプに扉を設けるが、この方法は GFRP 本来の強度を大幅に損なうことになり、発射後最大加速度が生じたとき浮力機構への応力の集中が予想された。この対策のため以下の図に長ねじの支柱を等間隔に 3 本配置した。

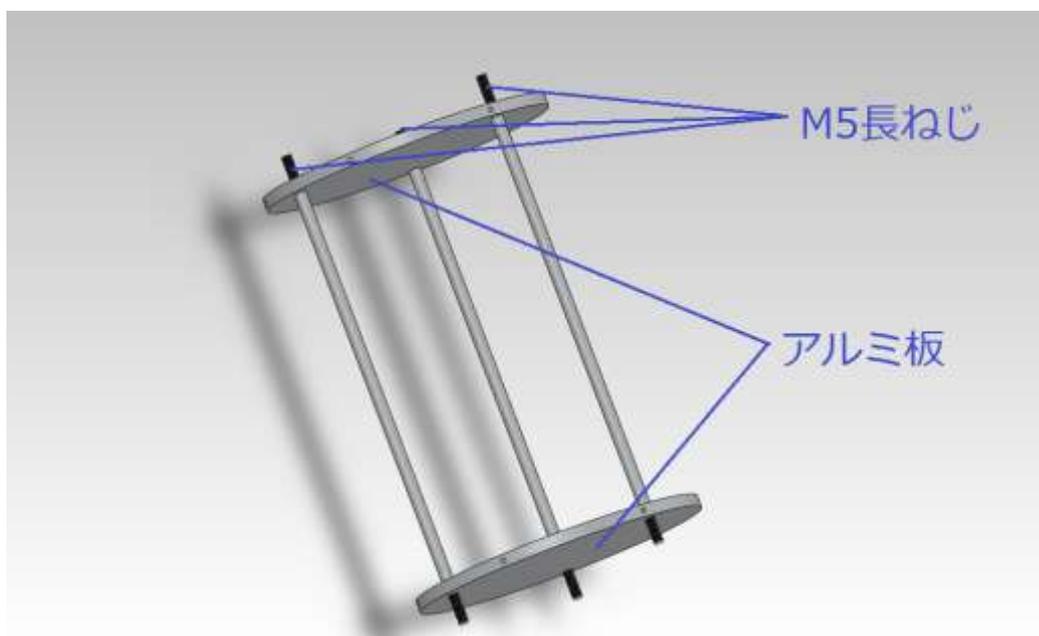


図 2.2.4.5 浮力機構構造内部

以下が実際に完成した浮力機構の構造の写真である。

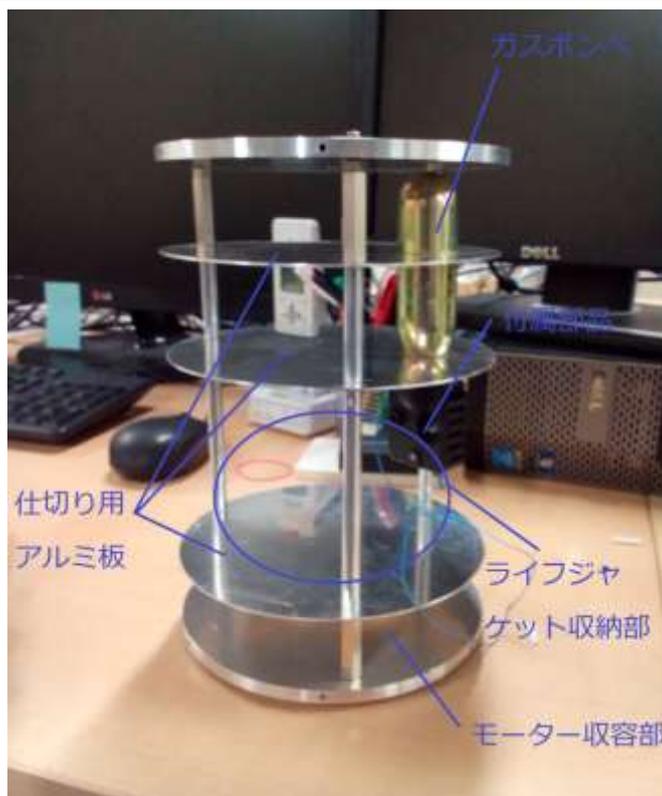


図 2.2.4.6 浮力機構の構造完成図

ガスボンベを支えるためアルミ板 2 枚で挟み、モータ、開放扉と畳んだライフジャケットとの干渉を防ぐ為に 1 枚用意し計 3 枚の仕切り用のアルミ板を内蔵した。

(3)発生する浮力

ライフジャケット用のボンベには 8g, 18g, 33g のように内蔵されているガスの重量が異なるものが存在する。今回の実験では発生するガス量やボンベそのものの大きさを考慮し 18g のライフジャケット用炭酸ガスボンベを 1 本使用することとした。これは 6 リットルの体積を発生させる。よって炭酸ガスによって発生する浮力は以下ようになる。

$$1000[\text{kg}/\text{m}^3] \times 0.006[\text{m}^3] \times 9.8[\text{m}/\text{s}^2] = 58\text{N}$$

浮力機構の体積を高さ 200mm 内径 143mm の円柱として、内部を水密にした場合の浮力

$$1000[\text{kg}/\text{m}^3] \times 0.071[\text{m}] \times 0.071[\text{m}] \times \pi \times 0.2[\text{m}] \times 9.8[\text{m}/\text{s}^2] = 31\text{N}$$

を十分満たす。

2.2.5 エンジン部

エンジン部の構造は下図のようになっている。

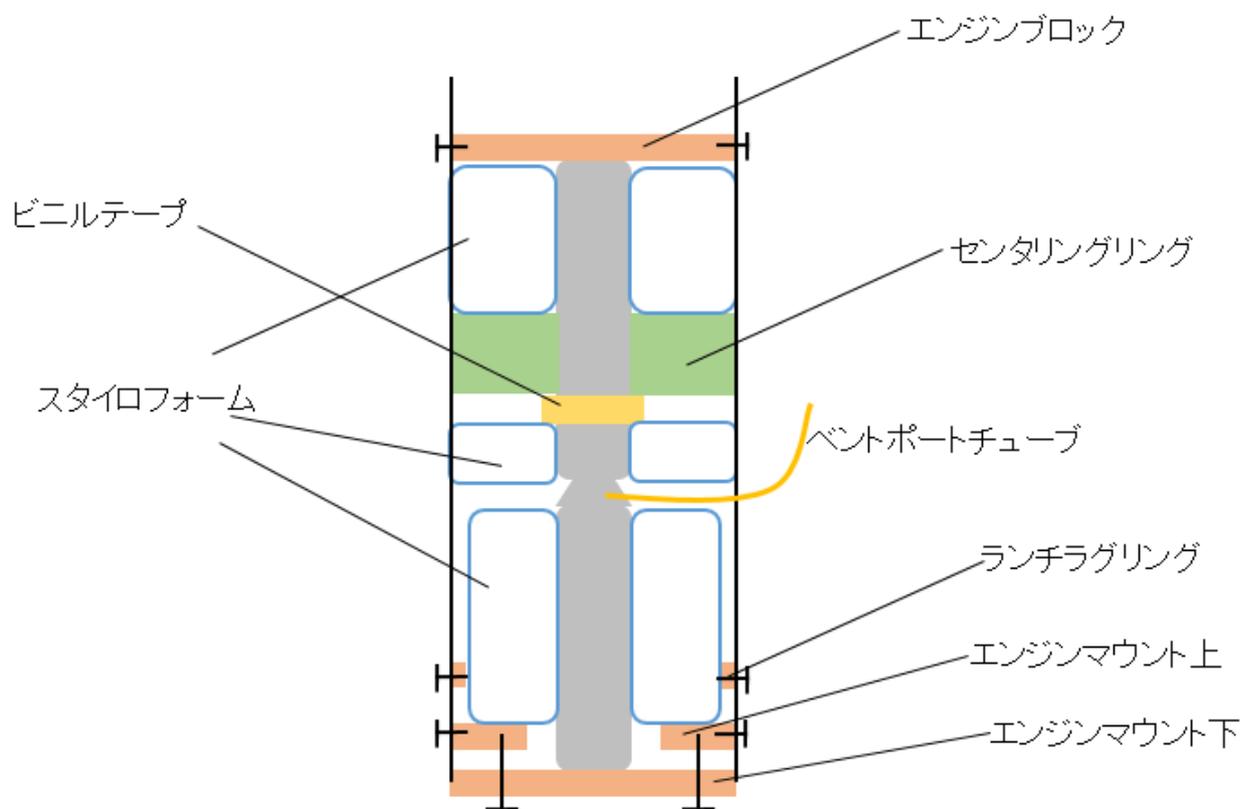


図 2.2.5.1 エンジン部模式図

エンジンマウント下の位置を調整することによってエンジンブロックとエンジンマウント下でエンジン全体を挟んで固定する。

エンジン部の部品の詳細を以下に示す。

① エンジンブロック

材質：A2024

固定方法：周囲 10 か所を M3 のねじでボディーチューブと固定

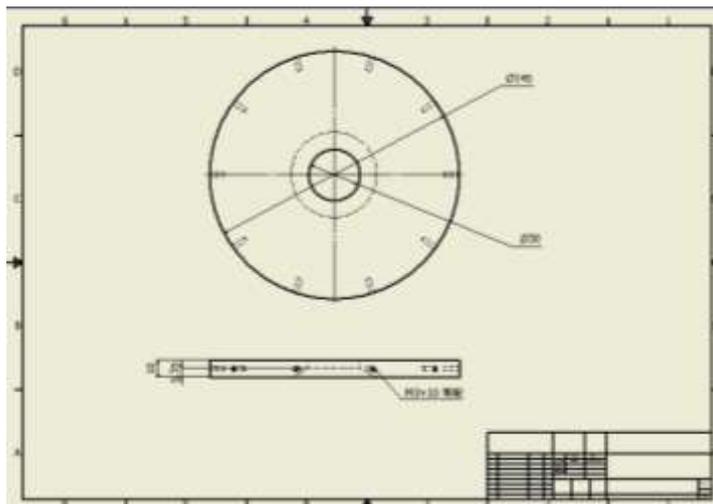


図 2.2.5.2 エンジンブロック図面

② センタリングリング

材質：アクリル樹脂 t1mm

固定方法：タンクに巻き付けたビニルテープに引っかかるようにして下に落ちないようにした。

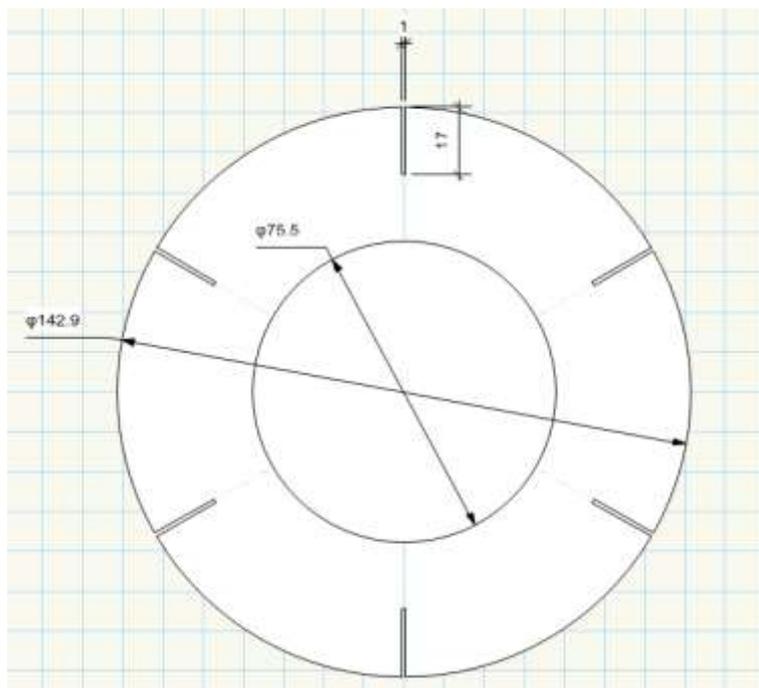


図 2.2.5.3 センタリングリング①

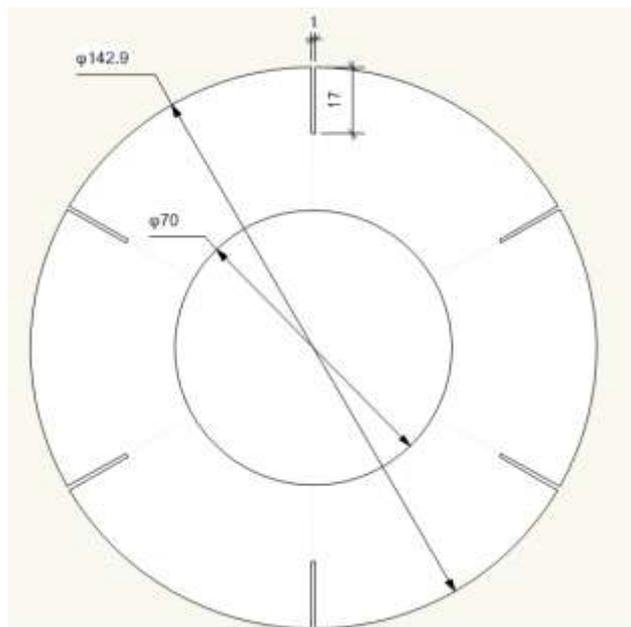


図 2.2.5.4 センタリングリング②

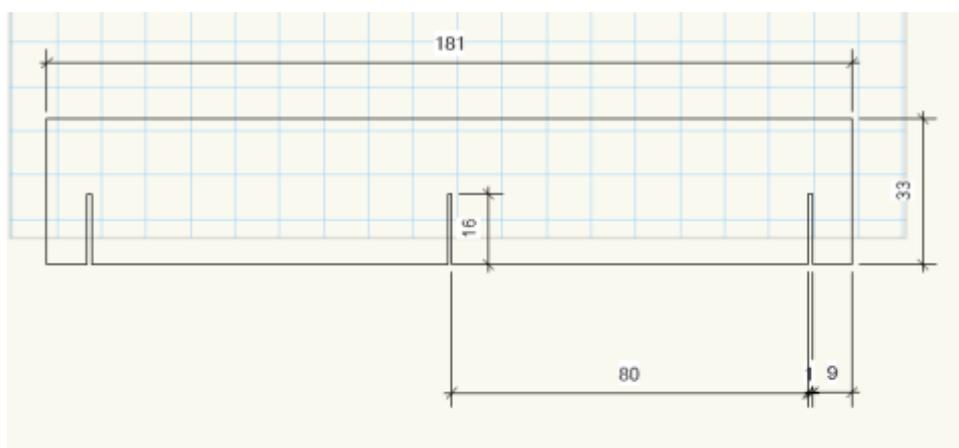


図 2.2.5.5 センタリングリング③

上図のパーツを組み立ててひとつのセンタリングリングとしている。



図 2.2.5.6 センタリングリング全体図

③ エンジンマウント上

材質 : A2024

固定方法 : 周囲 10 か所を M3 のねじでボディーチューブと固定

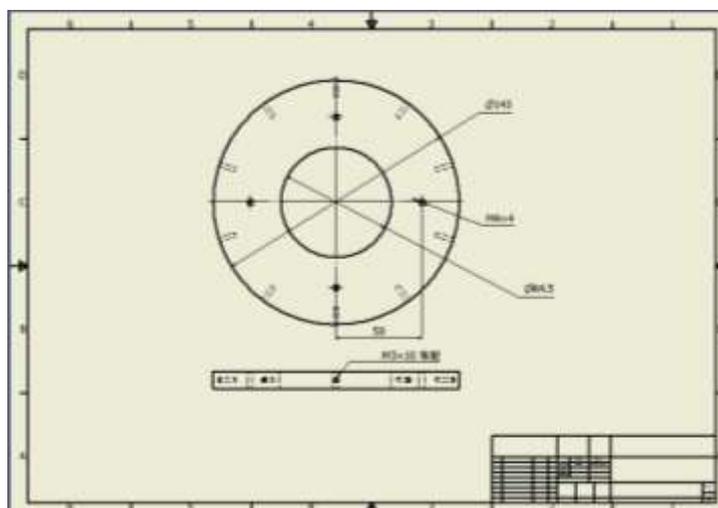


図 2.2.5.7 エンジンマウント上図面

④ エンジンマウント下

材質 : A2024

固定方法 : 4 か所を M4 のねじでエンジンマウント上と固定

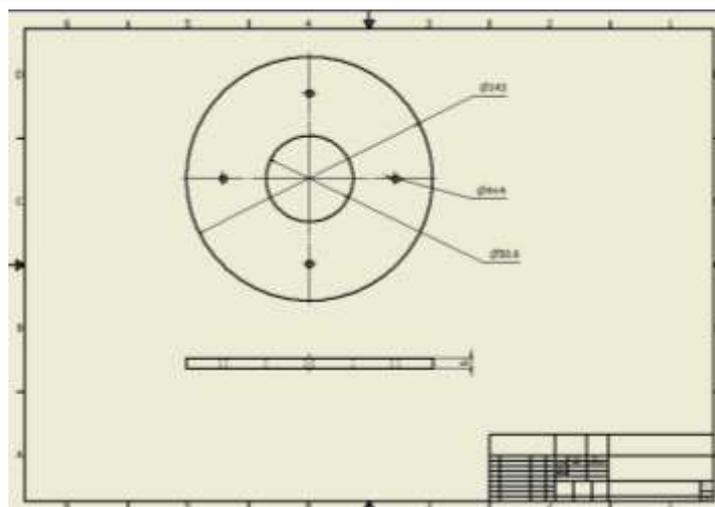


図 2.2.5.8 エンジンマウント下図面

⑤ フィン

材質：アクリル樹脂 t3mm

固定方法：アルミアングル(10mm*10mm)でフィンを挟み、ねじとナットで留める。アルミアングルはボディチューブにねじとナットで留める。

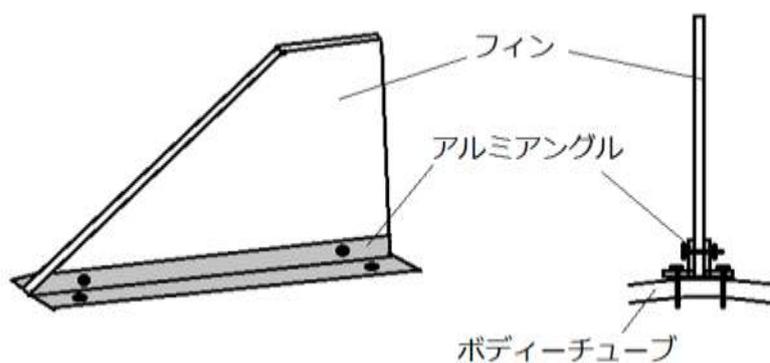


図 2.2.5.9 フィン固定方法

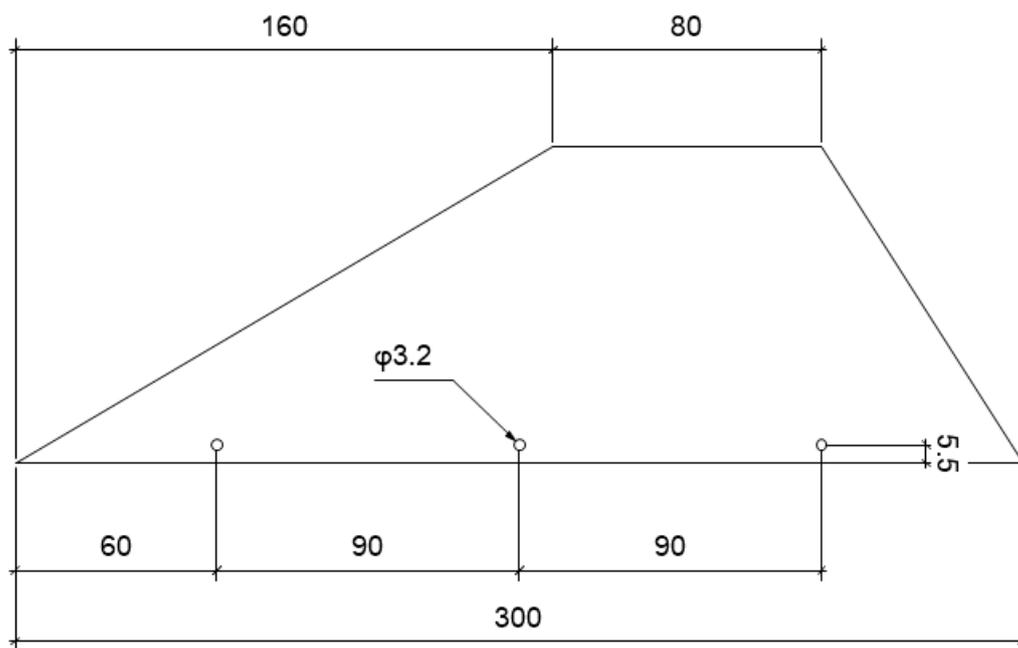


図 2.2.5.10 フィン形状

当初フィン在设计したときは、機体の慣性モーメントが大きいことを考慮して F_{st} が比較的大きい 15 になるようにした。しかし、ロケットの完成後に実測した結果 CG 位置が想定と異なっていたため F_{st} が小さな値となってしまった。

表 2.2.5.1 機体の F_{st}

	CG[mm]	CP[mm]	F_{st}
酸化剤充填時	1698	2060	11.2
酸化剤未充填時	1605	2060	14.1

⑥ スタイロフォーム

ロケットの着水後に浮力を確保するためにエンジン部にはスタイロフォームが詰められている。センタリングリングの隙間にも同様に詰めた。



図 2.2.5.11 エンジン部に詰めたスタイロフォームの形状

⑦ ランチラグリング

材質：A5056

固定方法：周囲 10 か所を M3 のねじでボディチューブと固定

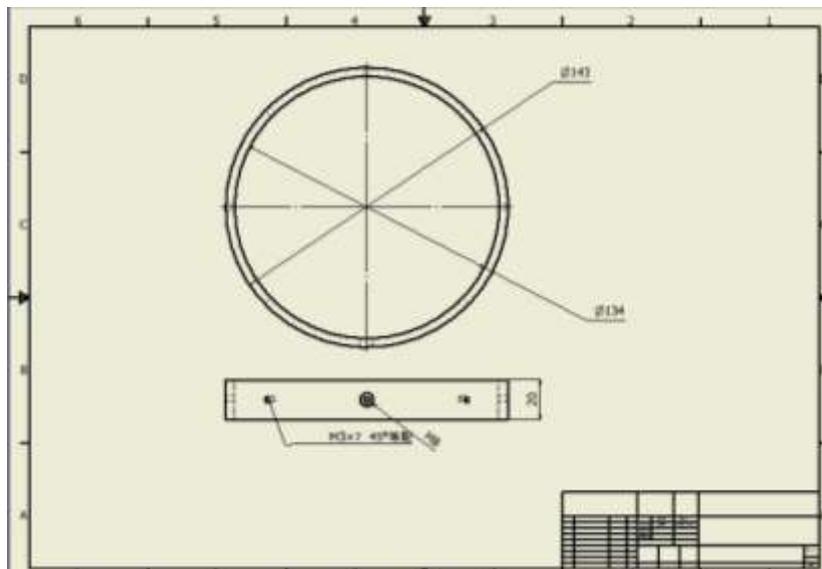


図 2.2.5.12 ランチラグリング図面

2.2.6 ボディチューブ

ボディチューブ

① ミッションモジュール搭載部

材質：GFRP

外径：89mm

内径：91mm

② 開放部

材質：GFRP

外径：143mm

内径：145mm

③ 電装部

材質：GFRP

外径：143mm

内径：145mm

④ エンジン部

材質：GFRP

外径：143mm

内径：145mm

2.2.7 カプラ

カプラはボディチューブどうしを接続するための部品である。カプラは開放部と電装部、電装部とエンジン部の接続に用いた。

材質：A5056

固定方法：それぞれのボディチューブに周囲 10 か所ずつを M3 のねじで固定

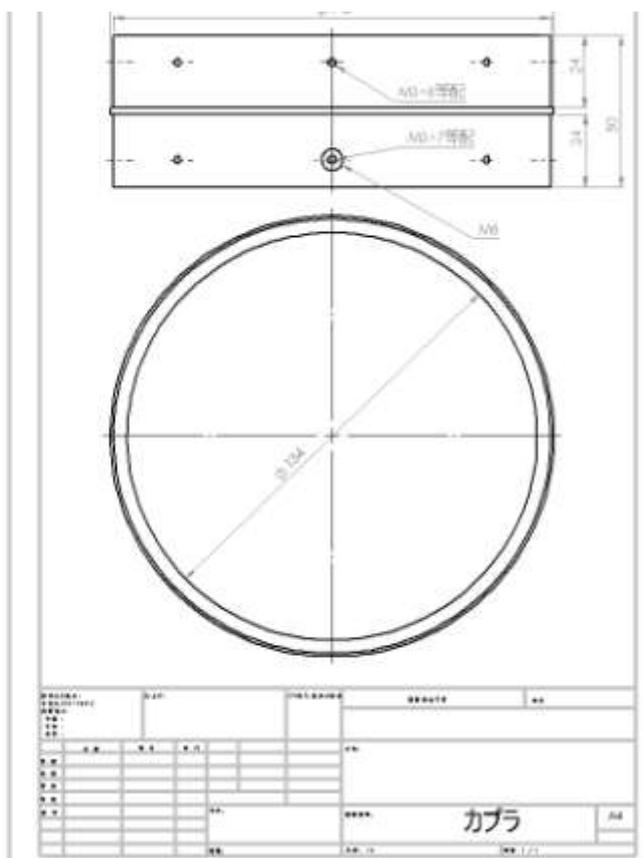


図 2.2.7.1 カプラ図面

2.2.8 ランチラグ取り付け位置

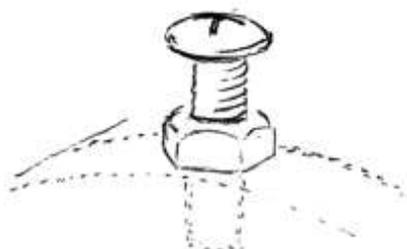


図 2.2.8.1 ランチラグ模式図

ランチラグには M8 のステンレス製のねじとナットを用いた。

ランチラグはカプラ上とランチラグリングに置いた。

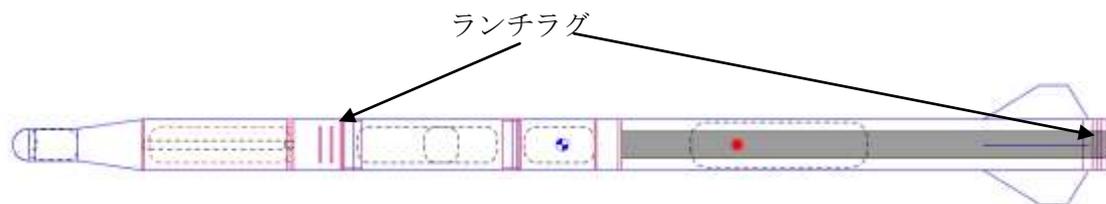


図 2.2.8.2 ランチラグ位置

3. 設計(電装班)

3.1 航法計器

3.1.1 概要

航法計器はロケットの飛行状況をセンサで用いて測定し、回収時に漁船の地上局に位置を送信することで、回収を補助する。また、当初は複合航法計算を行い飛行中の位置・速度・姿勢状況を地上局に送信する計画であった。しかし、3月大島で使用した基板を使いまわしたところ、加速度センサのエラー率が1%近く(航法計算を行うには致命的)あることが8月に入ってから発覚したが、基盤に直付けされたセンサの交換が時間的・人的リソースの関係で不可能であった。また、シーマーカーを搭載していない初の機体であったことが、能代到着後に発覚した。これらのことから、ロケットの回収を最優先にするため、航法計算は行わず、地上への送信データは位置情報と飛行シーケンス情報のみにした。

当初海上での遠距離の通信をするためにアマチュア無線機をロケット内部に搭載し、データの伝送を行うつもりでいたが、使用目的がアマチュア業務に違反していたため残念ながら使用することは出来なかった。

そのため、地上局は受信機を mbed と nucleo を用いてそれぞれ一台ずつ製作し、両方に TWE と SD カードを搭載し送信側端末から送られてきたデータを PC で表示させるとともに SD カードに保存するというを行った。二台の地上局端末は、mbed を船に、nucleo を地上に設置した。船に搭載するものは水飛沫を防ぐため、ハードケースに入れた。なお、mbed の受信側端末には GPS を搭載し、ロケットの緯度経度の差から距離と角度を算出し、ロケット探索に役立つ予定であった。

3.1.2 システムブロック図

以下にシステムブロック図を示す。

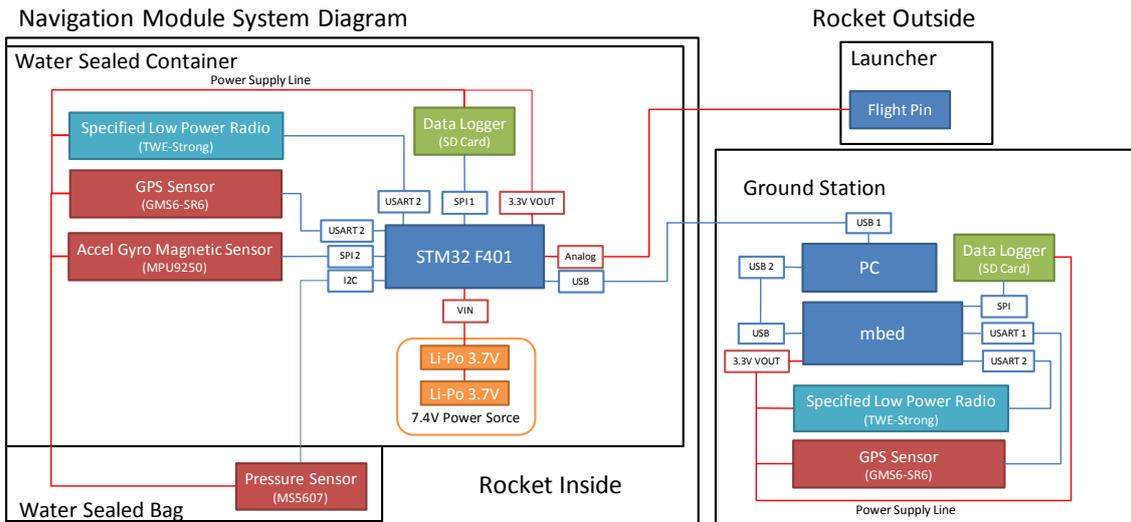


図 3.1.2.1 システムブロック図

3.1.3 プログラムフローチャート

以下に打ち上げ時の Main 関数のフローチャートを示す。

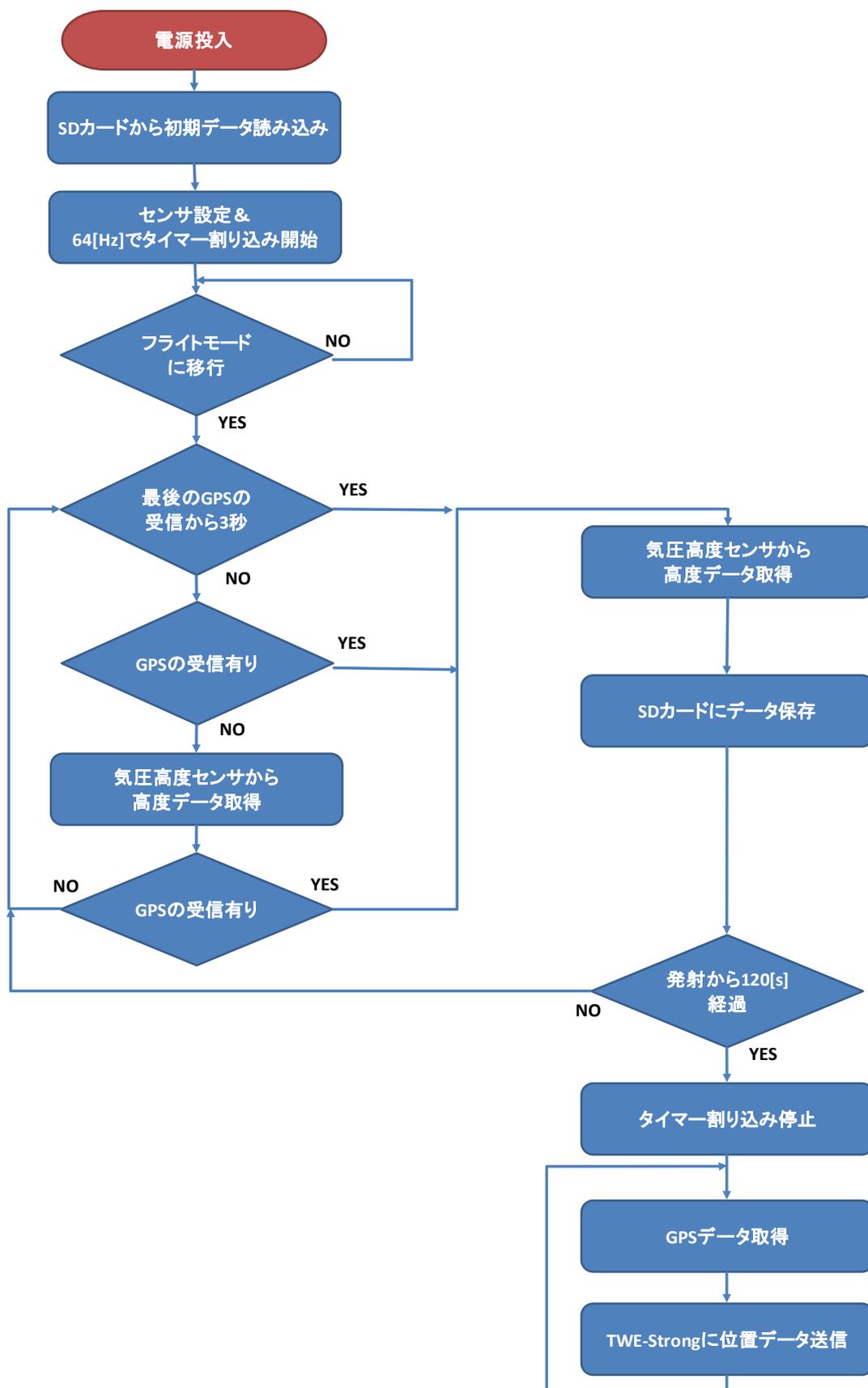


図 3.1.3.1 Main 関数のフローチャート

以下に打ち上げ時のタイマー割り込み関数のフローチャートを示す。

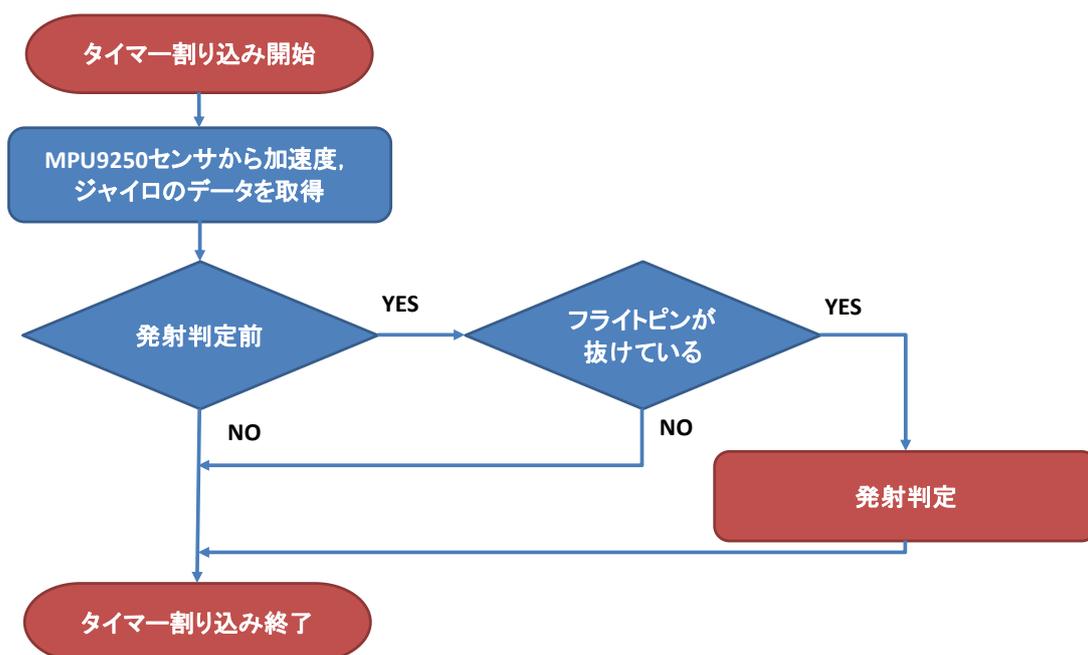


図 3.1.3.2 タイマー割り込み関数のフローチャート

3.2 開放・フロート計器

3.2.1 ミッションから設計が決まるまでの過程

機体の完全回収、飛行データ(加速度、角速度、気圧等の各判定に用いたデータ)の回収を電装のミッションとし、これらのミッションを成功させるべく以下の設計を決定した。

機体の完全回収については、加速度センサ(MPU9250)、気圧センサ(MS5607)を使用し、開放判定を行いパラシュートの開放、リーフィング解除、フロート機構の解除を行うこととした。

飛行データの回収(加速度、角速度、気圧)は、加速度センサ(MPU5607)、気圧センサ(MS6050)、SDカードを使用し、回収、保存を行い、後にデータの解析を可能にすることとした。

3.2.2 システムブロック図

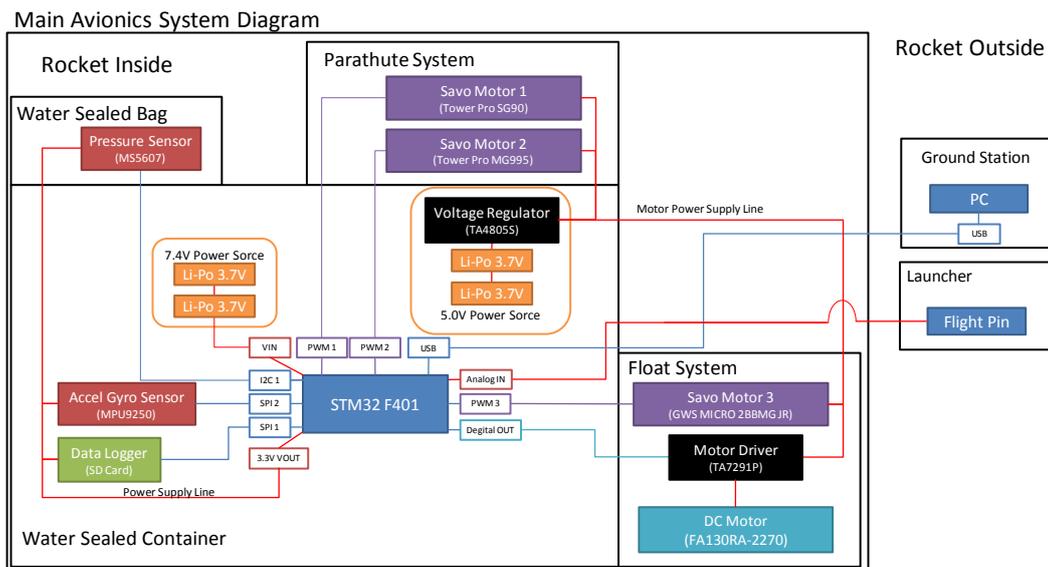


図 3.2.2.1 開放・フロート計器のシステムブロック図

3.2.3 プログラムフローチャート

以下にプログラムフローチャートを示す。発射判定はフライトピンのみで行い、各種機構の動作判定は気圧センサとタイマーを用いる。ランチャー立ち上げ時やシステム挿入時に万が一フライトピンが外れても、開放機構が誤動作するのを防ぐため、最初の発射判定はフライトピンが抜けている状況が 15[s]間継続した際に、初めてフライトピンが抜けていた時刻を事後認証する形で行われる。このような仕様になったのは、本来はランチャー立ち上げ後に脚立を用いてロケット上部の電装にアクセスし、フライトモードに切り替える予定であったが、能代到着後にランチャー立ち上げ後のロケットへのアクセスが不可能であることが発覚したために、急遽設計を変更したためである。このようにすることで、万が一フライトピンが外れても、15[s]以内に差し直すことで開放機構が動作することを防ぐことができる。

以下に打ち上げ時の main 関数のフローチャートを示す。

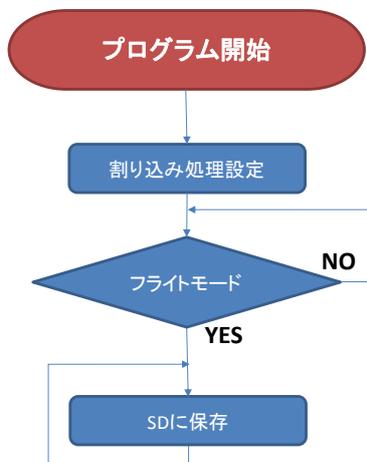


図 3.1.3.1 Main 関数のフローチャート

次に、打ち上げ時のタイマー割り込み関数のフローチャートを示す。

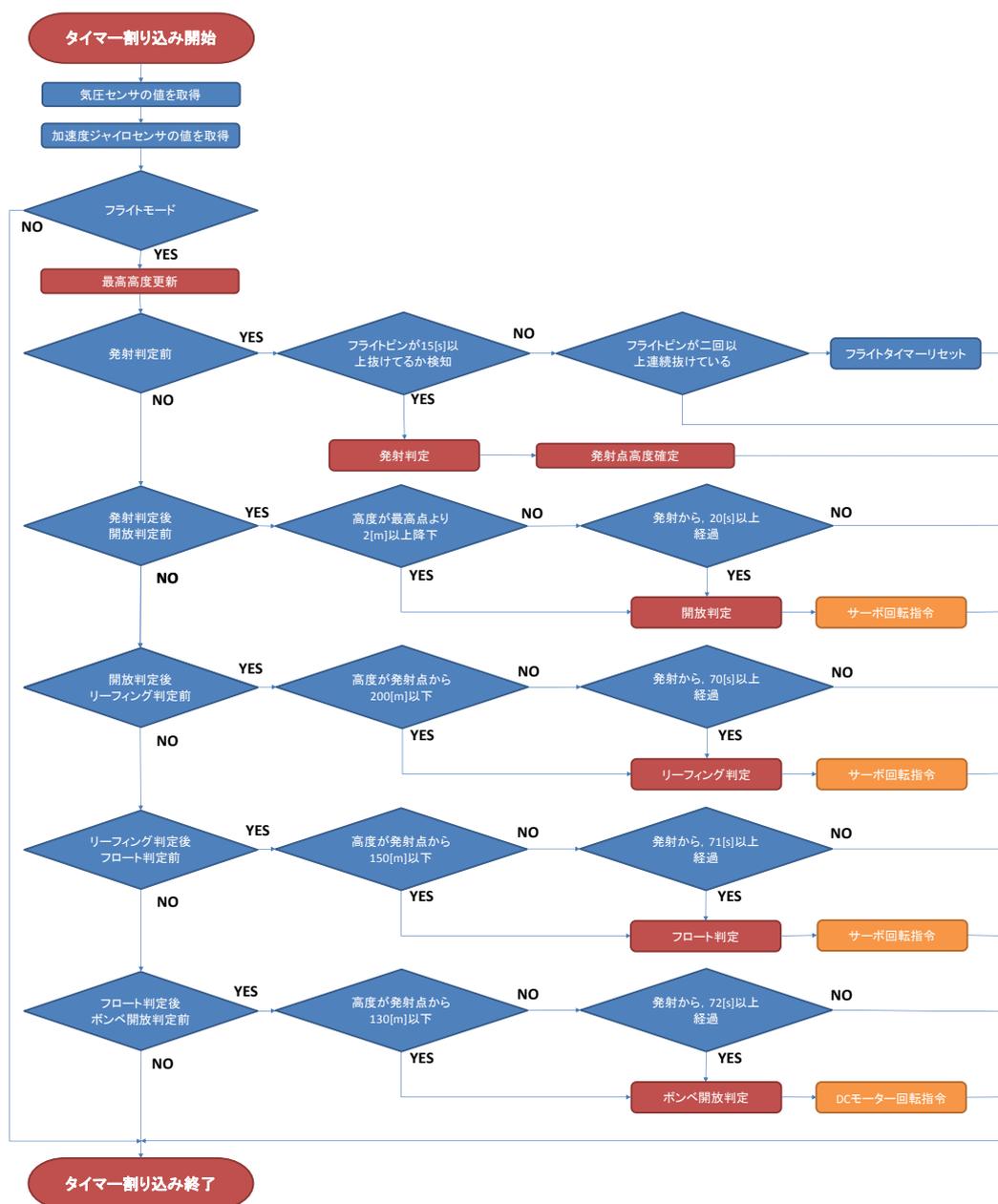


図 3.1.3.2 タイマー割り込み関数のフローチャート

3.2.4 コマンド

書式	説明
\$CFM#	フライトモードに切り替える。
\$WSM1-0#	フェアリング開放機構をロックする
\$WSM1-90#	フェアリング開放機構のロックを解除する
\$WSM2-0#	リーフィング機構をロックする
\$WSM2-90#	リーフィング機構のロックを解除する

\$WSM3-0#	フロート開放機構をロックする
\$WSM3-90#	フロート開放機構のロックを解除する
\$SSM1#	フェアリング開放機構のサーボを停止
\$BOMB-2#	フロートのポンペを開放するモータの停止

3.3 水密ケース

図 3.3.1 は当初の水密ケースの概要図であり，図 3.3.2 は無線を載せなかった実際の水密ケースの概要図である．当初の図 3.3.1 の水密ケースと実際に搭載した図 3.3.2 のケースの違いは無線のための部分の有無だけである．（図 3.3.1 にも内外部接続用のペットボトルのフタは付いている．）

基板と固定板はスペーサーで固定した．気圧センサで気圧を測定するとき，体積が可変な状態である必要があり容器内にセンサを入れることができないため，センサは容器の外に出し水密を保てるようにビニール袋で覆った状態で固定板に載せた．そして，固定板に開けた穴からコードを伸ばし気圧センサと内部の電装基板を接続した．また，ケースによって隔てられている基板間等はコネクタを用いることで水密を保ちながら容易に接続できるように設計した．

打ち上げ直前に PC と基板を接続するため容器に穴を開けペットボトルのキャップにより栓をすることで水密を保つことができるようにした．加えて，キャップにはネジ山をつけてドライバーによりキャップを開めることができるようにしてボディーチューブに開ける穴を小さくした．

電装固定板は，他と同様にφ124のABS樹脂で6箇所をボディーチューブと固定できるようにM5のネジ穴を開けた．

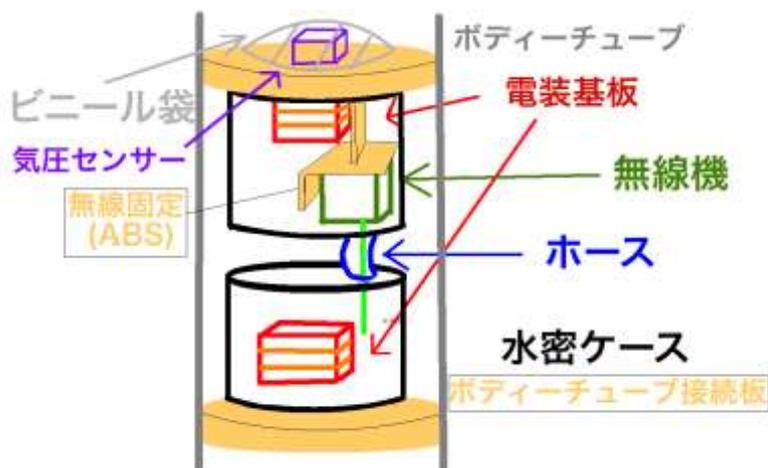


図 3.3.1 水密ケース概要図

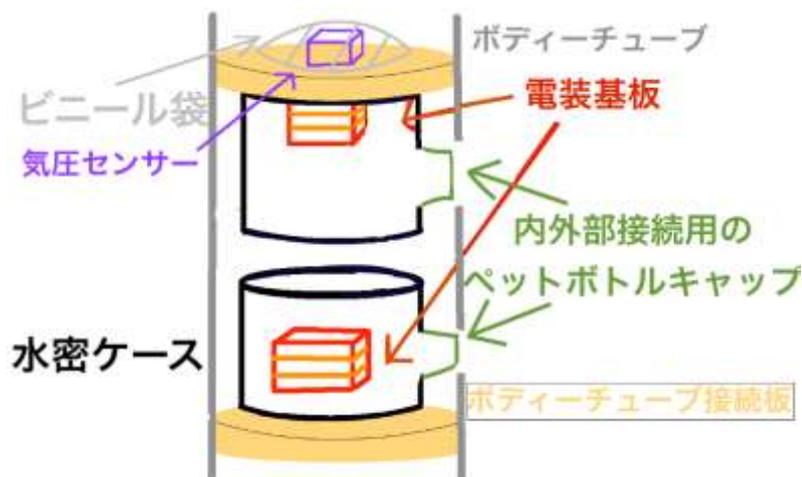


図 3.3.2 製作した水密ケースの概要図

3.4 地上局

3月大島でも用いた「TWE-strong」を用いて地上局を用意した。今回はロケットの内部に送信側端末を搭載しGPSで得られた緯度と経度、また開放電装のmodeを送信し続けさせた。ほかに受信機をmbedとnucleoを用いてそれぞれ一台ずつ製作し、両方にTWEとSDカードを搭載し送信側端末から送られてきたデータをPCで表示させるとともにSDカードに保存するというを行った。二台の地上局端末は、mbedを船に、nucleoを地上に設置した。船に搭載するものは水飛沫を防ぐため、ハードケースに入れてアンテナに固定した。なお、mbedの受信側端末にはGPSを搭載し、ロケットの緯度経度の差から距離と角度を算出しロケット探索に役立つ予定であった。用いたプログラムはmbedの「CORE2015noshiro」アカウントにあり、送信側は計器プログラムの一部として、受信側は「TWEbed」と「TWEcleo_receive」として保存してある。

4. 設計(MM班)

4.1 概要

ミッションモジュール(以下MM)は、海中のあらゆる方向を撮影するというサブミッションを果たす為に設計製作する。MMはロケット先端に頭部が露出する形で搭載され、ロケットの開放機構により、パラシュートの展開と同時に放出される。また、電装や機体の設計は、開放接続部を除いてはロケット本体とは独立しており、ペイロードとして扱うことができる。缶サット班などと違い、MM班が機体班に所属している理由は、格納時にMMの先端が露出する設計になっており、MMの先端がロケットのノーズとしての役割も果たすからである。MM班のメンバーは、班長：藤本剛史、以下、機体班所属：松本宗弘、松本恭弥、電装班所属：小野優子、三川航の5名である。

4.2 機体設計

MMの概略図を以下に示す。

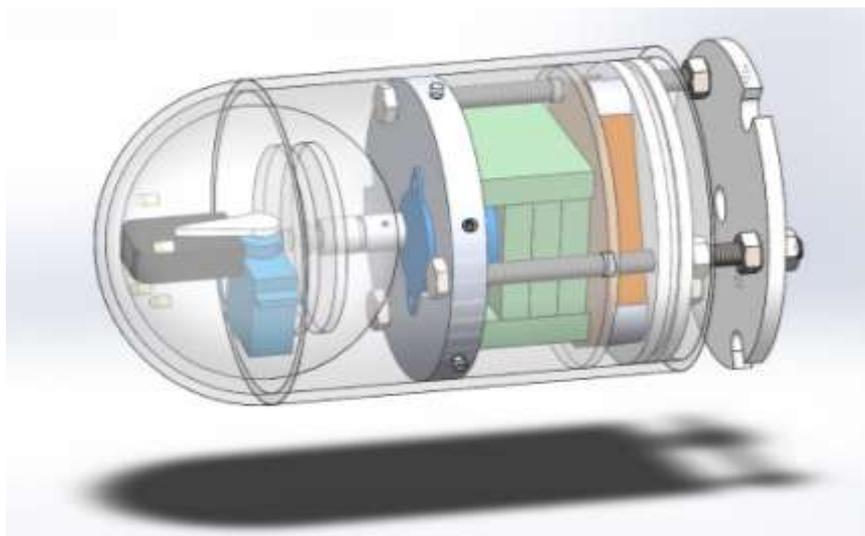


図 4.2.1 MM 全体(CAD 図)

以下に各部分の概要を示す.

- (1) 外郭 (先端部)

先端部は、水中撮影をするため、透明なアクリル樹脂を使用する。
撮影動画の屈折を防ぐため、半球状のものを使用する。
- (2) 外郭 (ボディ部)

塩ビ管 (VP 管) を使用する。
- (3) 2 自由度カメラ

市販の小型カメラ、サーボモーター、ステッピングモーターを使って 2 自由度カメラを制作する。また、光源には、LED を使用する。
- (4) バッテリー

カメラ駆動用、LED 点灯用、電装用として、LiPo 電池 (3.7V) を 5 つ使用する。
- (5) 電装

カメラの制御に使用する。
- (6) 構造材

ABS プレートと、ボルトを用いて制作し、機体の耐圧、部品の固定、ロケット本体との接続用に使用する。
- (7) おもり

浮力、モーメント調整用に重りを積む。2 自由度カメラの余剰領域に積載する。

次に、今回自作した 2 自由度カメラの概要を示す。

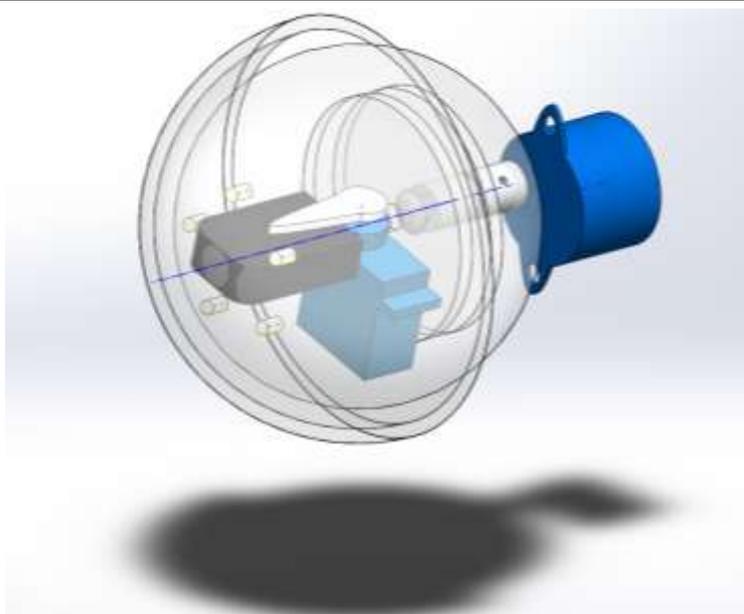


図 4.2.2 2自由度カメラ(CAD 図)

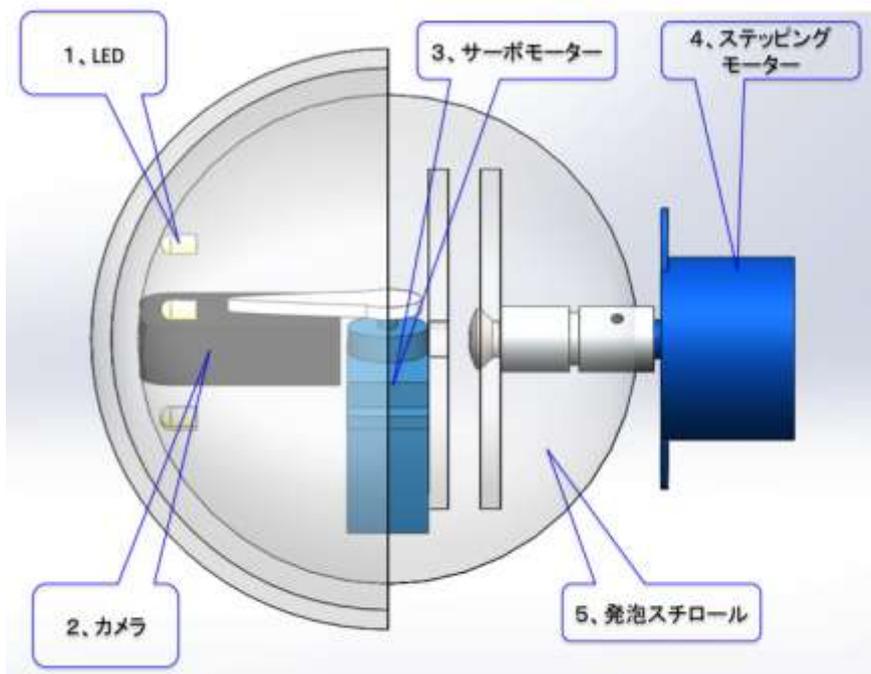


図 4.2.3 2自由度カメラ(側面 CAD 図)

以下に各部分の概要を示す.

(1) LED

水中撮影時の視界確保のため, 使用する.

(2) カメラ

市販の小型カメラを使用する.

(3) サーボモーター

カメラを 1 平面において回転させるために使用する.

(4) ステッピングモーター

サーボモーターを含むカメラを乗せた台を回転させるために使用する。

(5) 発砲スチロール

カメラ全体を覆う。

また、構造全体の詳細なデータを以下に示す。

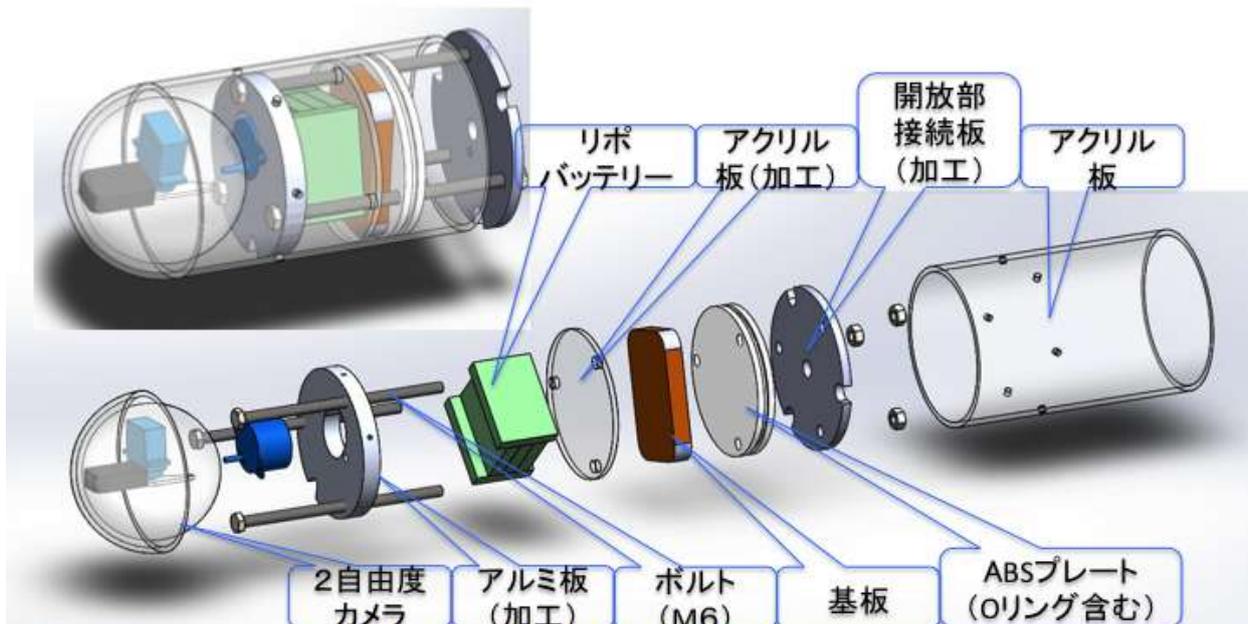


図 4.2.4 (ご参考) MM の機体詳細 CAD 図

水密構造について

ペイロードが海中に沈むためにはある程度の水密を確保する必要がある (対応する要求: 機体 R5,R6, 電装 R3,R15)。以下に、水密構造をなす二つの部品を示す。

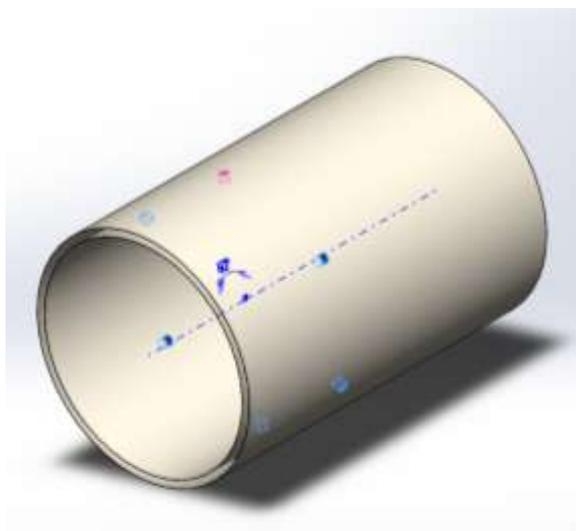


図 4.2.5 水構造をなす塩ビ管 (VP 管)

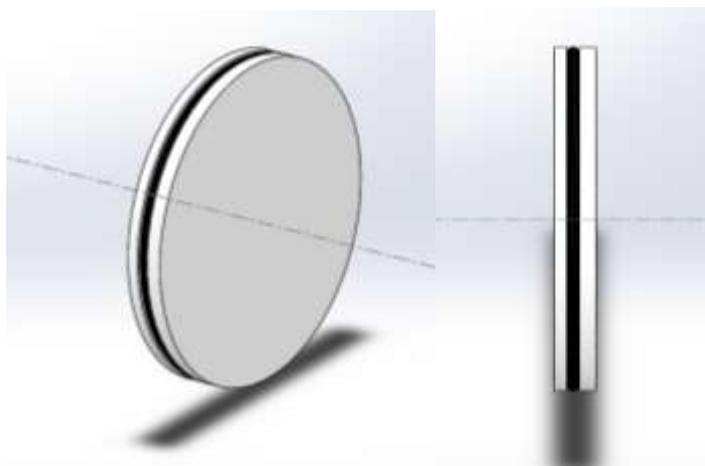


図 4.2.6 水密構造をなす ABS プレート

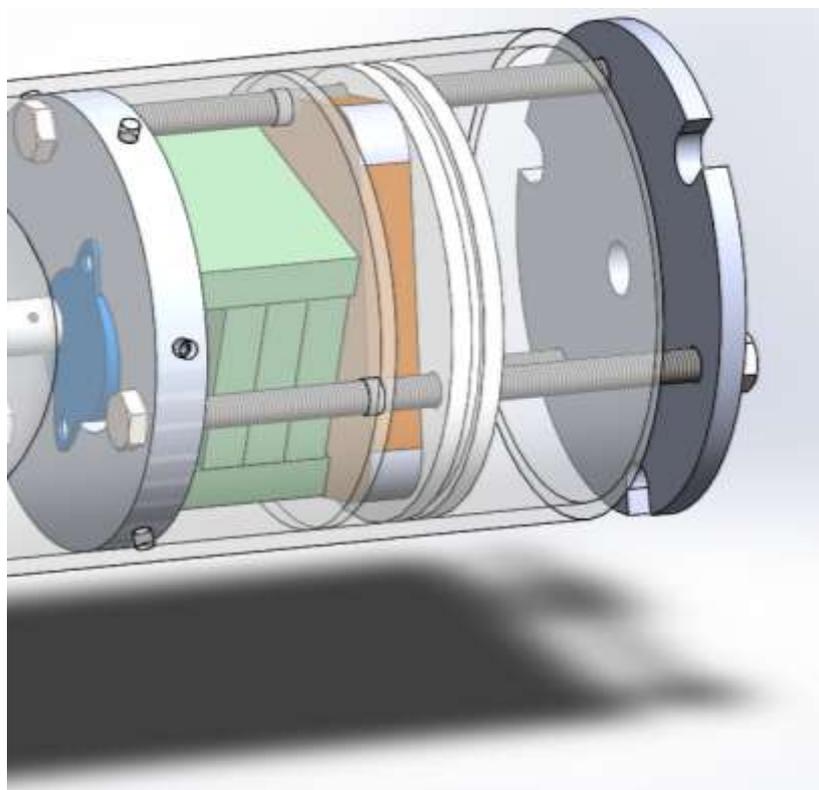


図 4.2.7 取り付け後の様子

円柱状（ $\phi 83$ ）の ABS プレートの側面に溝を掘り、O リングを取り付ける。その後、外郭である塩ビ管(内径 $\phi 83$)に差し込むことで水密を確保する。

重心と浮力について

MM は、カメラ側を進行方向に海中に沈む必要があるため、おもりを積載することにより、重心の位置と重量を調整し、要求を満たすようにする必要がある。以下に示すグラフは、重心、浮力それぞれの大きさと作用点を算出したグラフである。

表 4.2.1 重心と浮力のモーメント算出表

<基準点 0mmはサーボモーターの軸中心にしている>

部品名	重量(g)	重心座標(z 座標)(mm)	モーメント(z)
カメラ	5.0	37.5	187.5
サーボモーター	10.0	0.5	5.0
ステッピングモーター	35.0	-42.0	-1470.0
スチロール球	2.5	37.5	93.8
柱(*3)	48.3	-110.0	-5307.5
アルミ板	119.6	-47.0	-5621.3
Li-Po バッテリー(*5)	130.0	-69.0	-8970.0
Li-Po バッテリー(*5)	0.0	0.0	0.0
基盤	30.0	-100.5	-3015.0
ABS 版	56.5	-119.8	-6759.9
アクリル板(*2)	38.0	-11.0	-417.6
ABS 板(一番底)	49.6	-154.5	-7663.2
塩ビ管	125.6	-63.5	-7975.6
アクリル半球	31.0	27.6	855.6
M3 ナット(*6)	2.0	-47.0	-93.1
M3 ボルト(*6)	4.6	-47.0	-214.3
M6 ナット(*3)	0.0	0.0	0.0
M5 ボルト	2.8	-17.5	-48.5
M5 ナット	1.2	-30.0	-35.7
M2 ナット(*4)	0.8	-0.5	-0.4
M2 ボルト(*4)	1.2	-0.5	-0.6
エンドネジ(メス)3mm	4.0	-28.5	-114.0
LED(*5)	10.0	21.5	215.0
照度センサ(*3)	3.0	13.0	39.0
M6 ナット(左端)	2.0	-42.0	-84.0
M6 ナット(左)	2.0	-80.0	-160.0
M6 ナット(右)	2.0	-130.0	-260.0
M6 ナット(右端)	2.0	-135.0	-270.0
おもり	380	20.0	7600.0

総重量	1098.5
重心位置(z 座標)	-35.9

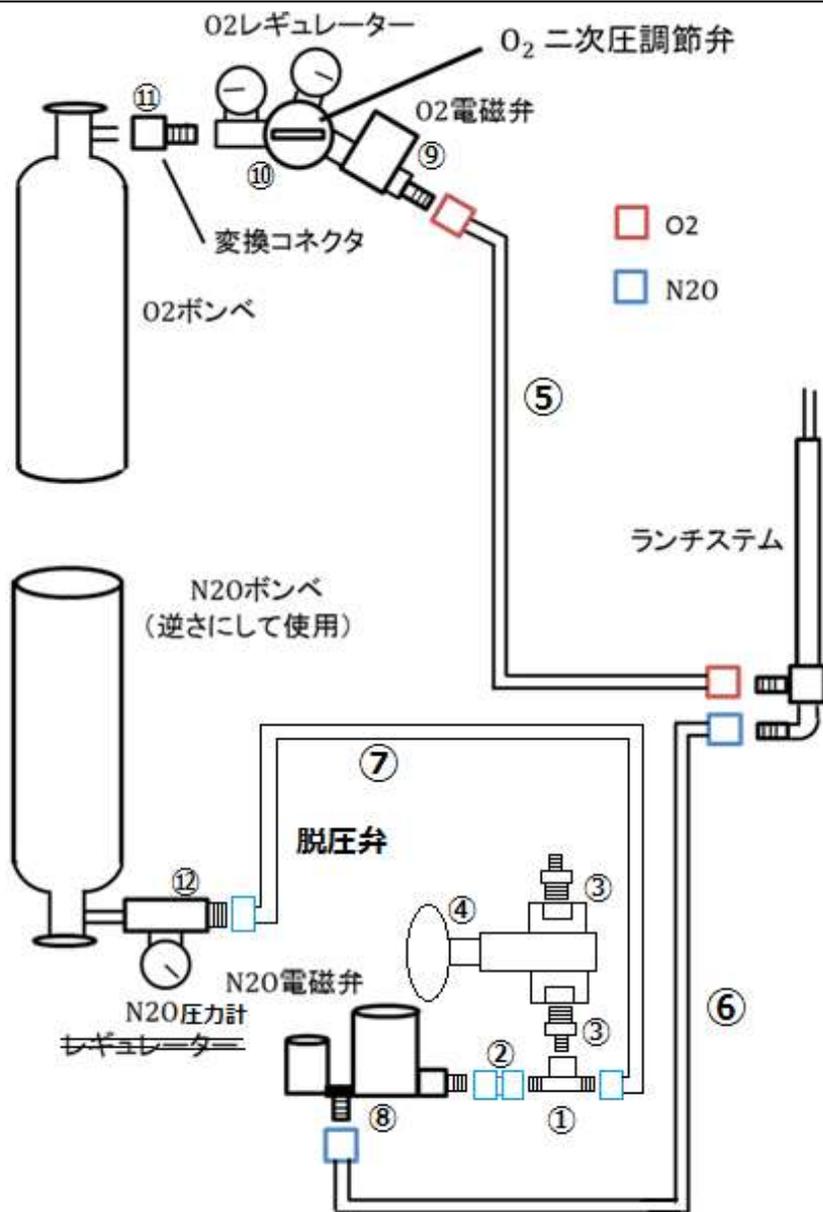


図 5.1 GSE 配管接続図

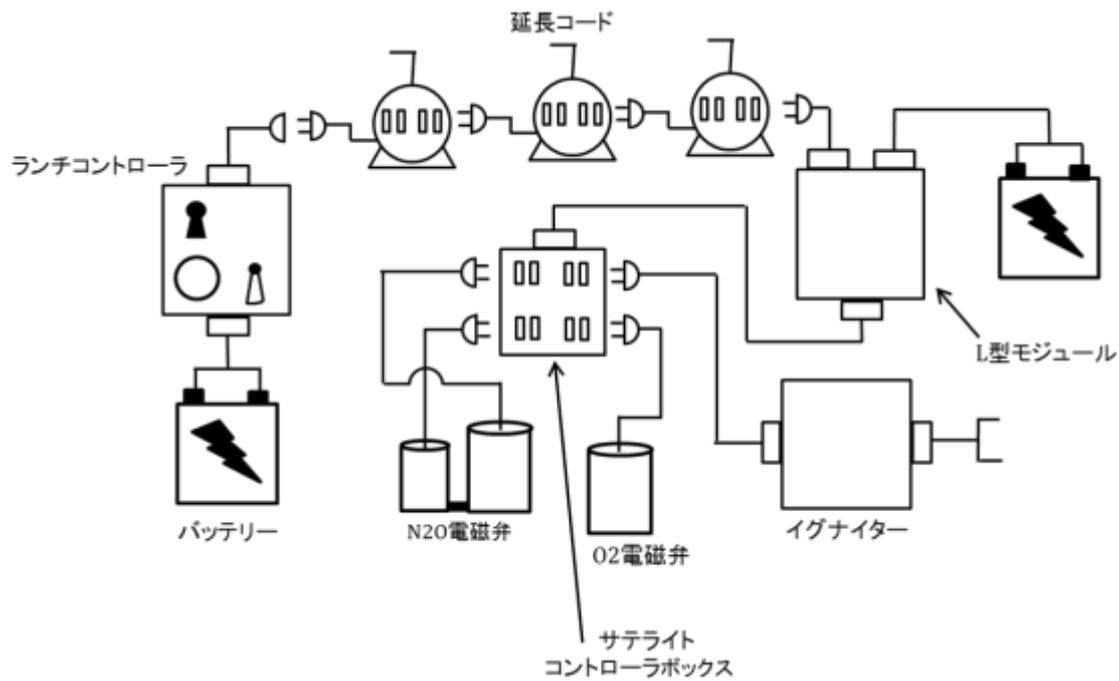


図 5.2 電気系統接続図

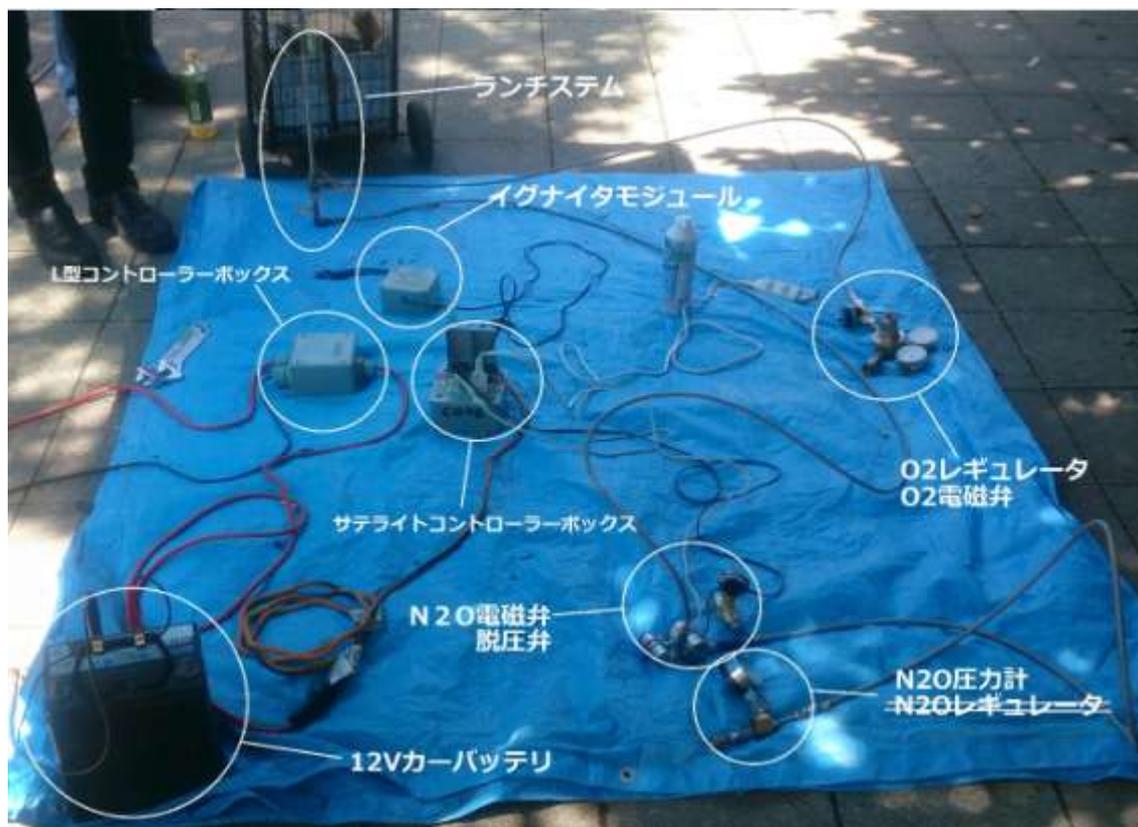


図 5.3 GSE 展開時の全体図

ボンベの冷却方法について

N2O ボンベにゴミ袋を巻きつけ、ゴムバンドで 2 か所を留め、袋を 3 つの層に分離する。袋に冷水を入れ、各層に貯めることでボンベを冷却した。

ボンベと圧力計の間にステンレスホースを挟むことによって圧力計を地面に固定できるようにした。これによって配管への負担を減らし、また圧力を確認しやすくした。

6. チームロゴ・機体デザイン

6.1 チームロゴ



図 6.1.1 CYCLOPS ロゴ

6.2 機体デザイン



図 6.2.1 機体外観

機体は赤が基調で、ボディチューブや扉の縁を白くなぞった。また、統合時に位相がわかりやすいように機体を縦に通る白い線を入れた。



図 6.2.2 MM 外観

MM は目玉を模したデザインにした。先端のカメラを搭載した部分が動くことで目が周りを見回しているように見える。

7. シミュレーション結果

7.1 落下分散域

ランチャは東を 0° , 北を 90° としたときの 160° の角度で計算をした。ランチャ仰角は 80° とした。Open Rocket のフライトシミュレーションには問題があり、条件によっては機体が滑空し正しくシミュレーションを行えなかった。そこで新たに「FROGS」と「東海大学シミュレーション」を用いてシミュレーションを行った。ふたつのシミュレータはほぼ同じ計算結果を示したため、計算結果の信頼度は高いと判断できた。

落下分散域は以下ようになった。

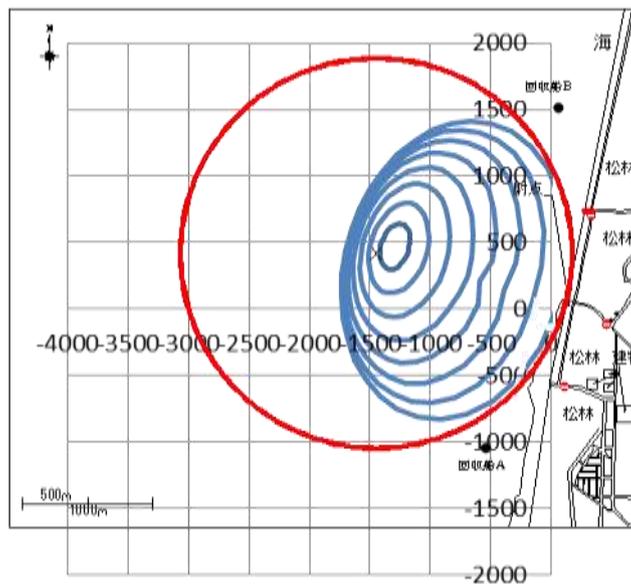


図 7.1.1 弾道落下時の落下分散(FROGS)



図 7.1.2 弾道落下時の落下分散(東海大学シミュレーション)

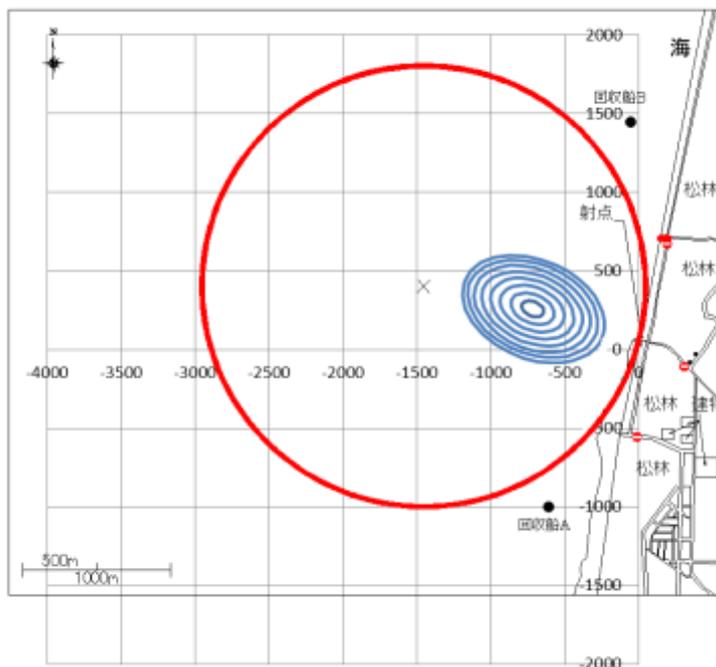


図 7.1.3 減速落下時の落下分散(FROGS)



図 7.1.4 減速落下時の落下分散(東海大学シミュレーション)

7.2 気象等制限値

次のように打ち上げを制限した。ただし小雨決行,雨天中止とする。

表 7.2.1 風速ごとの打上可否

	0	22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5	180	202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5
1m/s	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可
2m/s	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可
3m/s	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可
4m/s	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可
5m/s	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可
6m/s	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可
7m/s	可	可	可	可	可	不可	不可	不可								
8m/s	可	可	可	可	可	不可	不可	不可								

8. 試験計画・結果

8.1 試験計画

8.1.1 機体班

(1) 開放機構

Model	試験番号	対応要求番号	検証項目	試験予定日	実施場所
BBM	T1	R16	MM ロック爪解除の 動作確認	2015/7/1	神奈川大学
BBM	T2		リーフィングロック機構 の 動作確認	2015/6/22	KBIC
FM	T3	R13 R16 R17	開放機構 全統合試験	2015/7/26	KBIC
FM	T4		長ネジ部の干渉確認	2015/7/26	KBIC
FM	T5	R14 R20	開放機構 荷重負荷試験	2015/7/26	KBIC

(2) パラシュート

Model	試験計画	検証項目	実験手順	試験日
BBM	PT1	センサーを用いた高度,時 間データの取得	パラのおもりにセンサーを搭載し投下. 降下データから終端速度,パラの抗力係 数の実測値を算出する.	2015/06/21
EM	PT2	パラシュートの抗力係数の 算出	10kg おもりを実測したパラシュートの 終端速度から半球形パラの抗力係数の実 測値を算出する	2015/08/06
FM	PT3	終端速度の測定	パラシュートを投下し、連続写真を用い て終端速度を測定する。	2015/08/11
FM	PT4	リーフィング状態での終端 速度の測定	パラシュートにリーフィングラインを通 し 20m/sec となるようにライン長さを調 整する	2015/08/11

パラシュートの抗力係数は積載重量によってかなり差があるため実測値を用いた。

(3) 浮力機構

Model	試験番号	検証項目	手順	試験日
BBM	FT1	33g ガスポンベの気体容積の確認	33g ポンベを繋いだライフジャケットを展開して内部の炭酸ガスを水上置換法にてペットボトルで回収.使用したペットボトルの本数から炭酸ガス容積を確認する	2015/06/21
BBM	FT2	ライフジャケットの展開時間	ライフジャケット内に炭酸ガスを注入し浮き袋が展開するまでの時間を測定する.	2015/06/21
BBM	FT3	8g,18g ガスポンベの気体容積の確認	ビール用泡立て器を用いポンベのガスを袋に入れる.その袋を水を張ったバケツに入れ押しかけた水量を測定する.	2015/06/28
BBM	FT4	ガスポンベの穴あけ	ライフジャケット付属部品にポンベと紐を接続.紐をウォームギヤで巻き取りポンベが開栓するかを目視にて確認する	2015/07/05
EM	FT5	浮き袋の収容	浮き袋が収容できるか確認する	2015/07/19
EM	FT6	強度試験	機構に推力に相当する重力をかけて壊れないか目視にて確認する	2015/07/19
FM	FT7	電装統合試験	電装と統合しばね蝶番にて開放扉を動かせるか.さらに DC モーターでひもを巻き取りライフジャケットが展開されるか目視にて確認する.	2015/07/26
FM	FT8	ライフジャケットの持続時間	展開したライフジャケットが回収の約 1 時間展開状態を維持できるか観察する.	2015/07/26

8.1.2 電装班

(1) 航法計器

時間的, 人的なリソース不足から多くの試験計画において TBD を放置せざるおえない状態になってしまった. そのため多くの試験項目において試験の評価基準を示すことが出来ず, 試験は行われなかった. ただ, 飛行中にデータを取得・保存し, 位置を送信するという最低限の機能は試験することが出来た.

(2) 開放計器

一連の試験より, 発射判定からフロート機構のポンベの作動まですべての機構を正常に動作させられることを確認できた. しかし, これはランチャーでの待機時間がせいぜい数分間の状況しか再現できていなかった. ランチャー上で 1 時間以上待機してから計器が正常に作動し, 各種シーケンスを適切に実行できるかを確かめる試験は, バッテリーの持ち時間以外は試験項目に含まれていなかった.

また, 打ち上げ前日に新しいサーボに急遽変更した関係で, 開放用のサーボを作動し続ける設計に変更した. しかし, その設計に変更後は, 開放の動作試験しか行っていなかった.

(3) 水密ケース

Model	試験番号	検証項目	予定日	場所	対応要求番号
FM	T1	ボディーチューブへの収納試験	6/21	TUS(野田)	R1
BBM	T2	コード用の穴を開けてコードを通してパテで埋めた状態で、20[cm]程度手で水に沈めても水密が保たれている。	6/21	川島宅	R2
BBM FM	T3	T2の試験の深さを2[m]にして重りをつけて海に沈めても水密が保たれている。	6/21	葛西臨海公園	R2
BBM	T4	気圧センサー用の穴を開けて、ビニール袋でその部分を塞ぎ T2 の試験をする。	6/21	川島宅	R2
BBM FM	T5	T4の試験の深さを2[m]にして重りをつけて海に沈めても水密が保たれている。	6/21	葛西臨海公園	R2
BBM FM	T6	固定板とケースを固定した状態で 20[N]かかる重り(引っ張り、切断)を固定板に取り付け、手を離しても不備がない状態で分解されない。	6/21	川島宅	R3
BBM	T7	T6の試験で重りを持ち上げて手を離し、撃力をかけても不備がなく分解されない。	6/21	川島宅	R3
BBM	T8	ホースで2つのケースを接続して、T4の試験をする。	7/12	川島宅	R2
BBM FM	T9	T8の試験の深さを2[m]にして重りをつけて海に沈めても水密が保たれる。	7/12	葛西臨海公園	R2
BBM FM	T10	(ボディーチューブ)に取り付けたものについて T4 の試験をする。	7/12	川島宅	R2
BBM FM	T11	T10の試験の深さを2[m]にして重りをつけて海に沈めても水密が保たれる。	7/12	葛西臨海公園	R2
BBM FM	T12	(ボディーチューブ)に取り付けたものについて T6 の試験をする。	7/12	川島宅	R3
BBM FM	T13	T12の試験で重りを持ち上げて手を離し、撃力をかけても不備がなく分解されない。	7/13	川島宅	R3
BBM FM	T14	ケーブルを接続する部分(ペットボトルのキャップ)をケースに取り付けた状態で T4 の試験をする。	7/14	川島宅	R4
BBM FM	T15	T14の試験の深さを2[m]にして海に沈めても水密が保たれる。	7/15	葛西臨海公園	R4

(4) 地上局

通信試験 7/20

SD 保存試験 8/12

GPS 受信試験 8/12

二台同時通信試験 8/19

距離角度計算試験 8/19

8.1.3 MM 班

Model	試験番号	検証項目	予定日	場所	対応要求番号
FM	MT1	MM の水密が機能するか	8/3	横国	R29,R30
BBM	MT2	MM のカメラで動画撮影ができるか	8/2	KBIC	R32
FM	MT3	MM がカメラ側を先頭にして沈むかどうか	8/12	KBIC	
BBM	MT4	MM が自由落下した時に壊れないかを検証する。また、ワイヤー、ショックコードを使って強度がでる一番いい方法を検証する。	8/1	横国	

8.1.4 燃焼班

8.1.4.1 試験計画概要

Model	試験番号	検証項目	予定日	実施日	場所	対応仕様番号
	T1	GSE の実証			千葉工業大学 ビーチバレーコート	S1
	T2	L575 の出力検証,および GSE の実証	6/21	6/21	神奈川大学	S1
	T3	GSE の実証			神奈川大学	S1

8.1.4.2 試験計画詳細

T1

試験事項 : K 型タンクへ充填しエンジンを燃焼させること。

評価方法 : 点火シークエンスが正常に行えること,および配管などからリークがないことを確認する。

T2

試験事項 : L575 エンジンを燃焼させ、その推力をロードセルを用いて測定する。

評価方法：得られた推力データから推力の時間履歴とトータルインパルスを求めることができる

T3

試験事項：L575 エンジンを燃焼させること。

評価方法：点火シーケンスが正常に行えること,および配管などからリークがないことを確認する

8.2 試験結果

8.2.1 機体班

(1) 開放機構

試験番号	手順	結果	実施日
T1	パイプ中にステンボードにより製作した, 開放上部機構をゴムによる引っ張りが常にかけている状態で挿入し, セットする. その後, 下から手で押し, パイプの外に押し出し解除可能か確認する.	成功	2015/7/1
T2	ゴムにより常に開こうとしているロック材を, サーボにより抑え, 可変抵抗によりサーボを動作させロックが解除可能か確認する.	成功	2015/6/19
T3	MM, パラシュート, 開放制御電装, 開放下部のサーボ固定板より上の各部品・機構を取り付け, 気圧の変化とタイマーによりそれぞれで各部(MM ロック・フェアリングロック・リーフィングロック)が無事に動作するか確認する.	成功はしたものの, MM 放出のためにはバネの力が不十分だと感じ, 台座を設置し対処した.	2015/08/13
T4	開放上部ロック爪(M5長ネジ)・下部ガイドが引っかからずに動作するのか確認する.	成功はしたものの, フェアリング下との干渉が確認されたため, 溝を作り, 爪自体を短くした.	2015/7/26
T5	機体を横向きにし, MM に 2.0[kg]の重りを取り付け, 機体及び MM, 各ロック部に破壊が見られないかを確認する. また, 機軸方向に 10[kg]の重りを取り付け, 同様の確認をする.	成功	2015/7/26

(2)パラシュート

PT1→データの取得に成功

PT2→1.14 と判明

PT3→10m/sec と判明

PT4→1.7mの円周長さで 20m/sec になると分かった

(3)浮力機構

FT1→約 12L であることが判明

FT2→約 3 秒と判明

FT3→8g→2.5L, 18g→6.5L と判明

FT4→穴あけは成功した

FT5→収容可能

FT6→GFRP パイプに明らかな破損が見られない事を確認した, 詳細は下図を参照



図 座屈の有無の判定

FT7→展開に成功

FT8→3 時間は展開していた

8.2.2 電装班

開放計器

試験番号	結果・考察	実施日
T1	水密ケース内に収納でき, かつ適切に固定, 計測できることを確認した	8/13
T2		
T3	電源が入ることを確認	8/13
T4	コマンドを使用し開放、ロック、リセット可能を確認	8/13
T5	待機状態、フライトピンの正常な動作を確認	8/13
T6	階段を用いて上昇、降下判定を確認	8/13
T7	タイマーを用いて降下判定ができることを確認	8/9
T8	電装と機体の接続で開放機構の動作を確認	8/9

T9	階段を用いた降下試験でリーフィングの解除を確認	8/13
T10	電装と機体の接続でリーフィング機構の動作を確認	8/10
T11	階段を用いてフロートユニットの動作を確認	8/13

水密ケース

試験番号	結果	実施日
T1	成功	8/6
T2	成功	6/21
T3	成功	7/12
	成功	8/6
T4	成功	6/21
T5	成功	7/12
	成功	8/6
T6	成功	7/12
T7	成功	7/12
T8	成功	7/11
	無線の都合上必要なくなった	-
T9	失敗 (ホース接着部が重りによりねじれ水密を保てなかった)	7/11
	無線の都合上必要なくなった	-
T10	失敗 (T9 の失敗による)	7/11
	無線の都合上必要なくなった	-
T11	失敗 (T9 の失敗による)	7/11
	無線の都合上必要なくなった	-
T12	成功	7/11
T13	成功	7/11
T14	成功	7/11
T15	成功	7/11

地上局

通信試験→受信したデータをそのままパソコンに表示させるプログラムを用いて受信の可否を試験する。
成功。

SD 保存試験→受信したデータをそのまま SD カードに保存させ、保存の可否を試験する。成功。

GPS 受信試験→受信機に GPS 端末を接続し、GPS データの受信可否を試験する。成功。

二台同時通信試験→受信機を二台同時に作動させ、どちらでもデータを受信できることを確認する。成功。

距離角度計算試験→受信機と送信機を用い、どちらかが移動することによって距離計算の結果の変化とその妥当性を確認する。送信側の GPS の値の桁がずれることが多くあり、正確な試験は行えず。

8.2.3 MM 班

MT1: MM の水密が機能するか

1 回目の試験では、ネジ溝から浸水してきて失敗したが、M6 ネジにシールテープを巻きつけた後、2 回目の試験では成功した。

MT2: MM のカメラで動画撮影ができるか

MM の先端のみを実際に製作し、カメラを録画した。実験後、SD カードのデータを検証すると、確かに映像が記録されていた。

MT3: MM がカメラ側を先頭にして沈むかどうか

MM 本体の製作が追いつかなかったため、実験できなかった。

MT4: MM が自由落下した時に壊れないかを検証する。また、ワイヤー、ショックコードを使って強度がでる一番いい方法を検証する。

FM を自由落下させることは製作スケジュール上できなかったが、おもりを乗せての実験をした。おもりは、安全率をとって 2.5kg のおもりをのせて試験をした。ワイヤー 5m, ショックコード 3.5m をおもりにつけて試験をした。2 回実験して、両方成功した。その後、ワイヤーをケブラーコードに変更して、ケブラーコード 4m, ショックコード 3m におもり 2.5kg をつけて自由落下させた。1 回目はケブラーコードが絡まってしまい、うまく成功しなかったが、ケブラーコードの格納方法を変更し再実験すると、2 回連続で成功した。

8.2.4 燃焼班

T1: 失敗

酸化剤充填中に N2O ダンプ弁からリークが発生してしまった。

T2: 失敗

公称値の約 35%ほどしか推力を得ることができなかった。

表 8.2.4.1 総力積

トータルインパルス	1696.956	N・s
-----------	----------	-----

表 8.2.4.2 グレインの質量変化

	燃焼前	燃焼後
質量	1069g	949g

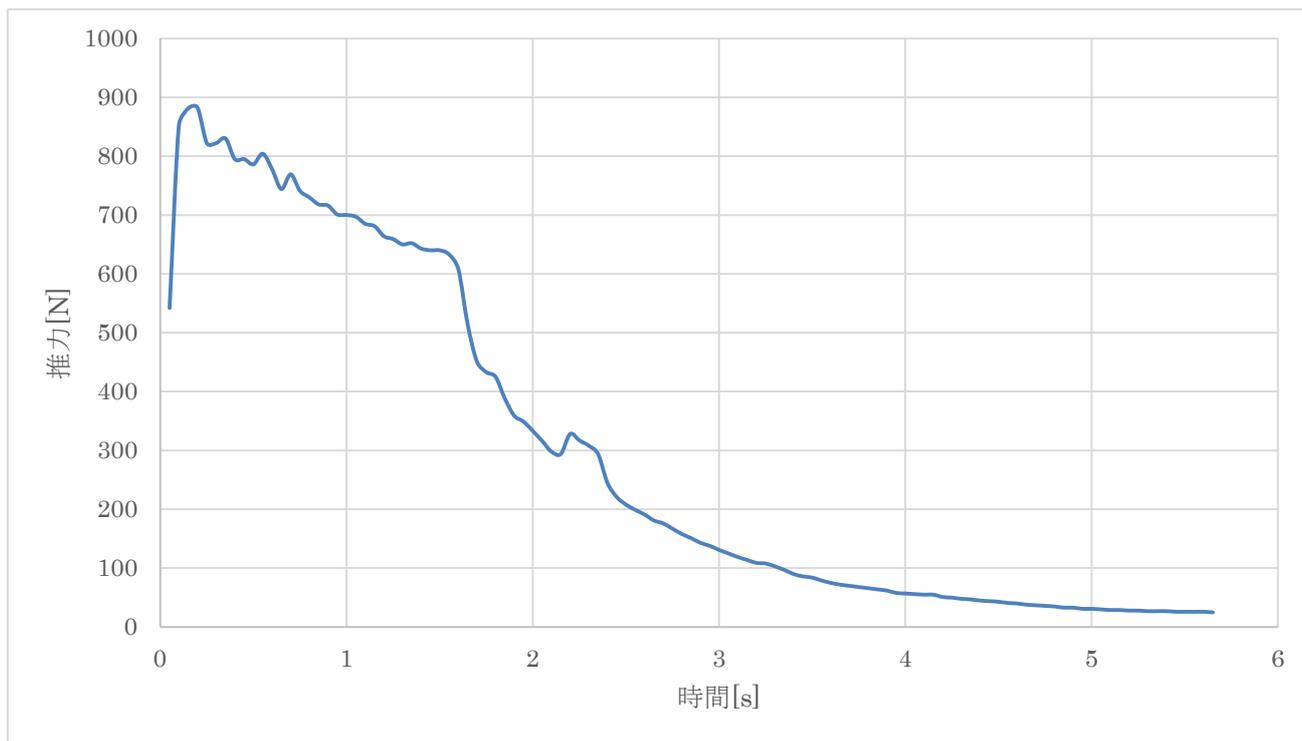


図 8.2.4.1 燃焼試験における推力履歴

T3:成功

配管からのリークもなく正常にシーケンスを完了させることができた。

9. 予算計画

9.1 予算計画

予算は CDR 時(7月5日)に決定し、そのときの予算は合計で 278884 円であった。

表 11.1.1 予算案

コンポーネント	予算[円]
機体	176917
MM	37897
航法電装	14925
開放・フロート電装	8620
無線	29730
水密ケース	10795
合計	278884

9.2 執行済み予算

執行済み予算は実験終了時に 295590 円となり、予算案より 16706 円大きくなった。

表 11.1.2 執行済み予算

		金額[円]	
予算	機体	176917	278884
	電装	101967	
執行済み予算	機体	229391	295590
	電装	66199	

電装は執行済みが小さくなっているが、これはアマチュア無線を用いなくなったこと、リポバッテリーをきちんと集めて余分に購入しなくて済んだことが影響している。機体の執行済み予算が大きくなっているのは、慶應の工場利用費が予算に含まれていなかったこと、細かなねじ類や予備物品の購入を考慮していなかったことが原因である。

10. 実験結果・考察

10.1 実験結果

10.1.1 機体班

- ・ ミッションモジュールの破損・データの損失
- ・ 開放機構が展開せず、機体が弾道落下
- ・ 点火時に浮力機構の開放扉のロックが解除され、飛行中の風圧で展開

10.1.1.1 開放機構

能代に到着後、開放下部のサーボが電装の制御により、ロック及びアンロックができないという不具合が確認された。この問題の解決に至っては、不具合はサーボ本体を分離機構として複数回動作させることによって起こるものだと考え、打ち上げ当日には動作試験のみを行った新たなサーボを用いることとなった。またこの時、サーボは電装のある1点の信号しか受け付けず、その1点と可変抵抗を用いることによってロックとアンロックを制御するための調整を行った。

しかし、分離機構内のパラシュート及びMMは放出されず、機体は弾道落下した。これは開放のフェアリングを開かないように保持していた長ねじが開放するときに持ち上がり、それに引きずられてパラシュートが開放上部板の穴に詰まったことによると考えられる。

回収した機体を確認すると、各部に下図のような破損が見られた。



図 13.1.1.1.1 回収後の分離機構 全体像



図 13.1.1.1.2 回収後 開放下部 ボディーチューブ ノーズ側から



図 13.1.1.1.3 回収後 開放下部 ボディーチューブ エンジン側から



図 13.1.1.1.4 回収後 サーボ及び固定板



図 13.1.1.1.5 回収後 開放下部 鍵穴部

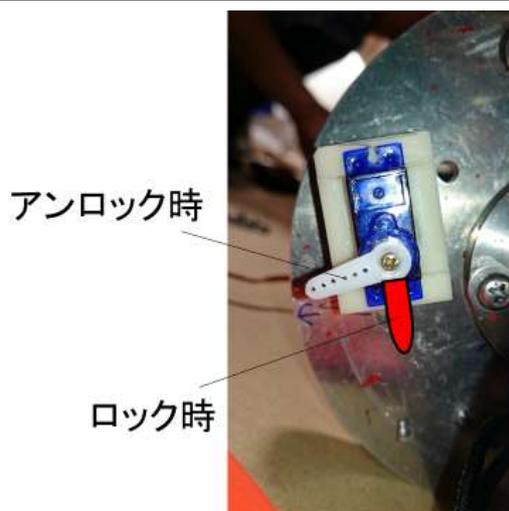


図 13.1.1.1.6 回収後 リーフリング機構



図 13.1.1.1.7 回収直後 分離機構内部



図 13.1.1.1.8 回収後 パイプ②



図 13.1.1.1.9 回収後 フェアリングロック部



図 13.1.1.1.10 回収後 フェアリング上



図 13.1.1.1.11 回収後 開放上部

機体は弾道落下したものの分離機構に関しては、図 12 からわかるようにフェアリング部・富士山以外の部品は回収することに成功した。

また、図 13.1.1.1.12, 13 から GFRP に亀裂が生じていることも確認でき、図 13.1.1.1.14, 15, 21 のような破損も確認された。

さらに、図 13.1.1.1.16 のようにリーフィング機構においてはアンロックされたことが確認でき、

ほかにも、図 13.1.1.1.17・18 からはパイプ②及びガイドが折れ曲がっていることが確認できる。また、フェアリング上及びパラシュートは図 13.1.1.1.19・20 からもわかるようにフェアリングロック爪にパラシュートが絡まっていることが確認できる。

10.1.1.2 浮力機構

ランチクリア直後浮力機構の扉が意図せず開放した。これは打上の衝撃または風圧に耐えられなかったことによると考えられる。

機体回収後ライフジャケットの浮き袋が開いておりサーボホーンの初期位置から外れているのを確認した。また浮力機構の支柱に曲がりが見られた。写真を以下に掲載する。



図 13.1.1.2.1 サーボホーンとアルミ板



図 13.1.1.2.2 長ねじの曲がり

10.1.2 電装班

10.1.2.1 航法計器

機体は弾道落下し、着水とともに計器は破壊された。その間無線の送信は行われ続け、どちらの受信側端末からも GPS データを受信することに成功した。受信タイミングとしては、データ送信開始からロケットが海に着水する瞬間までであることが確認できた。データを記録した SD カードは着水の衝撃で破損し、データの参照は行えなかった。また、飛行中に受信された GPS データも不明確な物が多かった。これは、高レートでタイマー割り込みを行っていた最中のデータであったからと考えられる。また、距離角度計算プログラムについては、携帯の電波が海上でも通じたことにより GPS の搭載を見送ったため用いていない。

10.1.2.2 開放計器

今回、開放機構は作動せず、ロケットは弾道落下するという結果に終わってしまった。

ロケット回収後、サーボの位置からリーフィング機構が動作していたことが判明した。また、フロート機構扉の開放用サーボと、ボンベ作動用の DC モーターの動作は確認できなかった。また、SD カードの接触不良の問題から、フライトモードに入ってから 42 分後に SD カードへのデータ保存が終了してしまった。

打ち上げから着水までの時間は 23[s]であり、頂点に到達した時刻はエンジン作動時にロケットが大きく加速することを考えると、打ち上げから 15[s]以内には頂点に到達していたと考えられる。発射判定はフライトピンが外れてから 15[s]後に事後認証する設計に変更してあったため、頂点到達時はそもそも気圧を用いた開放判定が作動していなかった。

そのため発射 15[s]後に発射判定と開放判定が行われ、既定の高度を下回ったところで各種機構を作動させる判定が発せられると考えられるが、実際に作動が確認できたのはリーフィング用のサーボのみであった。開放用のサーボは完全に破壊されており、作動したかは予想の域を出ないが、パラシュートが開放機構に詰まったことを考えると作動していた可能性が考えられる。また、フロート機構のサーボと DC モーターは作動した形跡が見られなかったが、この原因ははっきりとはわからない。配線の断線、あるいは開放用のサーボの作動による電圧不足が考えられる。

10.1.2.3 水密ケース

水密は保てなかった。理由は、弾道落下による水面からの力により水密ケースに用いた容器自体が破壊されたことである。

10.1.2.4 地上局

どちらの受信側端末からも GPS データを受信することに成功した。受信タイミングとしては、データ送信開始からロケットが海に着水する瞬間までであることが確認できた。また、距離角度計算プログラムについては、携帯の電波が海上でも通じたことにより GPS の搭載を見送ったため、用いていない。

10.1.3 MM 班

回収した MM の機体の写真を示す。



図 13.1.3 回収した MM の画像

ロケットが弾道落下して、MM の先端が海面に衝突して大破してしまった。先端に積んでいたカメラが破壊され、データが回収できなかった。

10.1.4 燃焼班

今回の能代では初めての海打ち上げを行った。打ち上げ本数は L 型 1 本であったが、X 通りに打ち上げることはできなかったが打ち上げには成功した。

10.2 実験結果を受けての考察

10.2.1 機体班

10.2.1.1 開放機構

着水時に破損が生じた過程の予想を下図に示す。

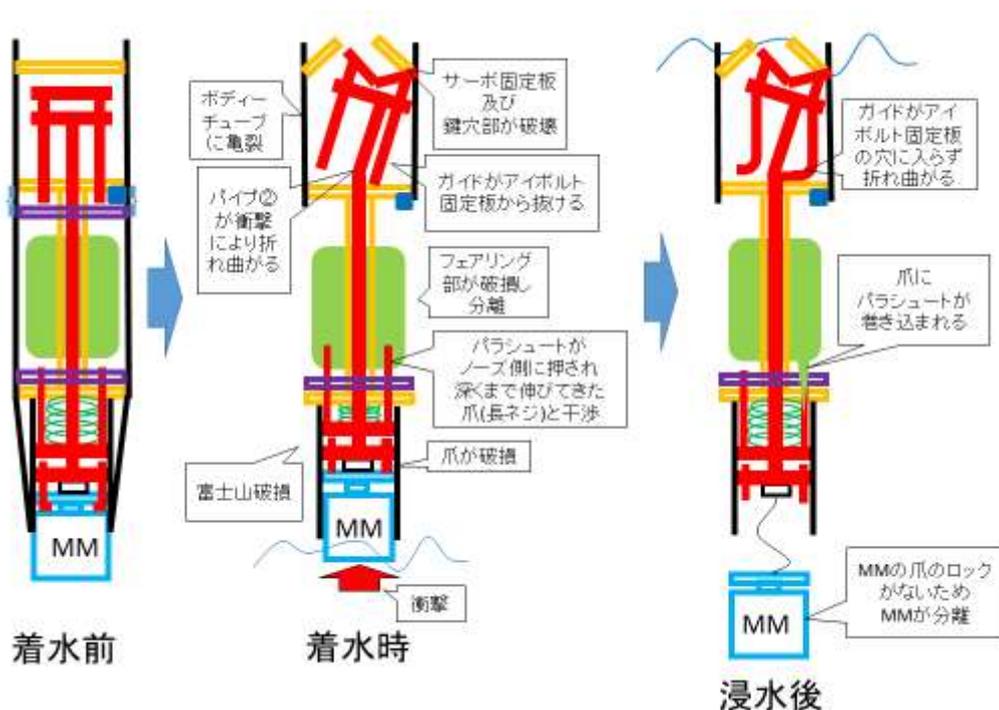


図 13.2.1.1.1 着水から浸水までの破損過程の予想

MM との統合時期が遅かったために、バネの張力により MM が放出できるかの確認が遅れ、急遽スタイロを用いた台座を用いて対処した。直接的に干渉する部位であるため、早期の統合が望ましかったと思われる。

分離機構は構成部品が多く組立が複雑だったため、オペレーションが難化してしまった。当日どんな状況にも対応できるよう組立練習を何回も行ったが、それによって ABS 樹脂を用いた部品のネジ穴が割れてしまい、本来の機能を果たせなくなっていた。この問題には予備の部品にネジ穴を開け、それを用いることで対処した。このことから、ネジ穴を開ける部品に関してはネジ穴がつぶれにくい材料を用いるべきであった。また、パイプ②の外径が、パイプ①の内径に沿っておらず、ぐらつくようになっていた。これが開放をロックするオペレーションの難化の原因になった。

試験時には問題なくタイマーと高度での開放が行えていたのだが、打ち上げ直前になってサーボモーターが回らないという不具合が発生した。電装によって信号を送ってもサーボが動かず故障したかと思われたため、動かなくなったサーボを解体して確認してみたところ、壊れやすい構造になっていることが判明した。このことから、開放下部のロックとしてサーボを用いることによって、サーボに負荷がかかりサーボ本体内で不具合が発生したのではないだろうかと推測された。だが、試しに可変抵抗と Arduino を用いた簡単な回路で動かしてみると動作することが確認された。このことから、サーボ自体に問題があるのか、プログラムに問題があるのか、基盤に問題があるのかわからなくなってしまった為、問題の解決が困難になってしまった。直前の判断としては、サーボ本体に関しては、予備のサーボは可変抵抗を用いた動作試験のみ行いそのサーボでは開放試験は行わず当日それを使用するという事になった。

次に問題となったのはサーボが電装によって動かさないことであった。この問題に関しては前夜の出発直前まで調整が続いた。解決法としては限られた時間を考慮して、電装によって唯一動く 1 点をアンロックの条件として設定し、ロックはオペレーションの最後に可変抵抗を用いて行うようにして、この問題を応急的に解決した。

10.2.1.2 パラシュート

回収後キャノピーが分離機構の長ねじに引っ掛かっていることを確認した。これは着水の衝撃で長ねじがパラ収容側に飛び出たためだと思われる。

10.2.1.3 浮力機構

打上時に扉が開いた原因として、打上の衝撃でボディチューブに歪みが生じたこと、風が扉の隙間から内部に入り、扉を開く方向に力がかかったことが挙げられる。しかし損傷が激しく、原因を特定することはできなかった。

サーボホーンの位置が初期から外れていた理由としては回収後確認したホーンの位置はサーボの設定した駆動域ではなかったため電装の不具合による回転だとは考えにくい。着水の衝撃で仕切りの 1mm アルミ板が変形しサーボホーンに干渉した為であると考えられる。

飛翔中扉が開放した理由としては以下の候補が挙げられた。

- (1) 開放扉の閉め忘れ
- (2) サーボの予期せぬ駆動
- (3) 飛翔時の空力による扉の破損

まず(1)はヒューマンエラーの代表であるが扉をサーボにて閉めていることを確認したため可能性は低い。(2)に関しては上記のようにサーボの回転が回転した兆候が見られないため可能性は低い。最後に(3)であるがどの部位が破損したことによるものなのか考える必要がある。薄いサーボホーンの破損が見られないため厚めに設計した ABS のツメそのものが破損し扉が開放したとは考えにくいし、ばね蝶番を止めていたネジが空力により回り外れたとも考えにくい。今回は空力が扉を開くよう作用した結果 ABS のツメと GFRP 繋げたねじが抜けたことが有力な候補だと考えた。ABS はねじ穴がつぶれやすく、またねじ止めは二箇所のみであったため一つでもねじが外れてしまえばもう一か所も力の集中によって容易に外れる。

ライフジャケットの浮き袋はアイロン圧着した部分が開いた状態で回収されたが、着水の衝撃で最も弱い部分である圧着部が開いたか水に浸されて開いたと考えられる。

回収後支柱の曲がりが見つかったがこれは着水の衝撃によるものと推察される。

10.2.2 電装班

今回、ロケットの製作と平行して新入生教育も同時に行った。新入生はロケットの製作を通して様々な事を学ぶ形になったが、これにかかる時間をミッション開始時に過小評価してしまい、多くの開発要素をミッションに含めてしまった。そのため、新入生教育の遅れから、新入生に与えたタスクに上級生が大きくかかわることになってしまった際に、当初の計画通りの設計を行なう時間的・人的リソースは

もはや残されていなかった。

そのため、開発の遅れを招き十分に試験を行なうことが出来ない要素や、開発が間に合わない要素があった。また初の海打ちという事で、実際の打ち上げ時の状況に関して不明確な事が多かったことから、能代到着後に設計の変更が生じてしまった。

これらの事が、航法計器のダウンリンクデータの大幅な縮小や、開放計器の SD カードの記録停止につながったと考えられる。そのため、結果論ではあるが初期のミッションはリソースに対して過大であったと考えられる。

10.2.3 燃焼班

(1) X 通りに打ちあがらなかったことについて

今回の原因は事前の情報収集不足にあった。今回の打ち上げでは当初 3 分間充填を行っても満充填が確認できない場合には Dump すると言う措置をとっていた。しかし、L 型エンジンは充填時間が長く天候によっては 5 分以上かかることもあるという事実は把握していなかった。このことにより実際には正常に充填されていたのにもかかわらず何かしらの異常があると誤った判断してしまい Dump を行った。以上の理由により、射点の排気作業、それに伴うステムの再挿入、およびボンベの交換作業を行う必要性が生じ、X の遅延へと繋がってしまった。

(2) 充填時の酸化剤放出について。

再充填を開始した際に GSE のどこからか酸化剤の放出が確認された。リークチェックではリークはなくまた放出量も多かったことから配管ではなく、Dump 弁からの放出であると予想される。しかし CORE の GSE の使用上 Fill と Dump を同時に行うことはできないので操作者のミスとは考えにくい。従って 1 回目の Dump 作業時に電磁弁が凍結した、もしくは電磁弁の動作不良ということが考えられる。

11. サクセスクライテリアの達成度

Advanced Success	海中で撮影した動画,機体(ボディーチューブと再利用可能なエンジン)と解析可能なデータ(加速度,角速度,姿勢,速度)を回収すること	失敗
Full Success	機体(ボディーチューブと再利用可能なエンジン)と解析可能なデータ(加速度,角速度,姿勢,速度)を回収すること	失敗
Minimum Success	再利用可能なエンジンを回収すること	達成

空になったタンクやエンジンに詰めたスタイロの浮力が機能して、機体のほとんどは回収できた。そのため minimum success は達成とする。しかし弾道落下して機体が激しく損傷し、データの回収も一部を除いて失敗したため、full success は失敗とする。

12. 謝辞

今回の実験を行うにあたって能代の皆様、先生方、イベントの運営をされた方々に多大なご協力をいただき、皆様のご支援により無事に打上を終わらせることができました。ミッションの達成はならなかったものの、参加したメンバーはそれぞれ多くのことを学ぶことができました。

最後に、本実験を行うにあたりご協力いただいた皆様に厚く御礼申し上げます。

13. 参考文献

[1]最新システムエンジニアリング情報館 <http://se.rdy.jp/> 2013/12/17 閲覧

[2] UNISEC SPindle for ARLISS2013

<http://www.mech.titech.ac.jp/~dosekkei/sakamoto/spindle/index.html#gaiyo> 2014/05/05 閲覧