

能代宇宙イベントハイブリッドロケット報告書

団体名：CORE —Challengers Of Rocket Engineering—

Project Manager 玉越 大資

1. 実験目的

「到達高度 300m の能力を持つハイブリッドロケットの飛行実験を行う」ことを本実験の目的とし、ミッションステートメントを以下のように定めた。

ミッションステートメント

基本的技術はこれまでのものを引き継ぎ、新入部員の技術・知識の向上を目指す。
その上で、次の 4 項目を第一の目標とする。

- 円滑な点火シーケンスの実施
- 安定した飛行
- 軟着陸
- 飛行データの回収とその評価

また着陸後の搜索を容易にするため、ロケットから音を発する。

2. 実験概要

到達高度 300m の能力を持つハイブリッドロケットを 1 機打ち上げ、頂点付近で降下用パラシュートを放出、飛行中の各種データを回収する。またロケットに搭載したカメラにより上空での動画撮影を行い、同時にそのカメラの耐衝撃性能を確かめる。

ロケットの仕様

全長：1447mm

離陸重量：5960g

目標到達高度：300m

使用エンジン：Hypertek J-115

搭載物：①各種計器(表 2.1 参照)、②デジタルカメラ(OLYMPUS 製 Tough TG-810)、③12V 大音量ブザー

| センサ | 計測対象 |
|-------------|---------|
| LSM303DLHC | 加速度、地磁気 |
| SCP1000-D01 | 気圧 |
| L3GD20 | 角速度 |

表 2.1

3. 実験結果

3.1 打上げ結果の詳細

2013年8月24日15時40分、UNISONランチャを使用し打ち上げを行った。当初の予定では同日9:30打ち上げ予定であったが、ロケットとフィンの結合部に構造上の欠陥が見つかり延期した。

打ち上げられたロケットは高度約250m(推定)あがり、頂点を過ぎたあたりで分離機構が動作してパラシュートを放出した。しかしその後、パラシュートと機体をつなぐショックコードが切れ、ロケットは弾道落下した。以下3.2~3.5にてその詳細を各コンポーネントに分けて記述する。

3.2 機体

3.1.1 構造系

全長:1447mm

最大直径:89.0mm

燃料充填時質量:5960g

燃焼終了時質量:5030g

エンジン無し質量:4025g

空力中心位置:871mm

重心位置:729mm

設計ソフトはOpenRocketを使用した。

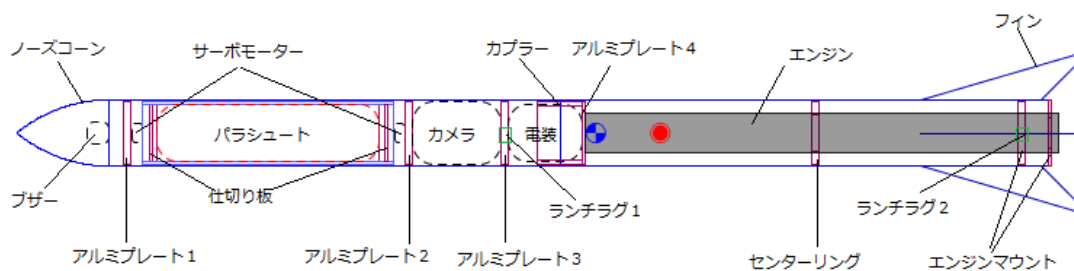


表 3.1.1.1

以下に機体の各部品について述べる.

(1) ノーズコーン

材質:PET

長さ:125mm

ベース部分直径:89.0mm

厚さ:1.87mm

接続方法:エポキシ系接着剤(以下エポキシ)を用いてブザーを固定している塩化ビニル製の板(以下塩ビ板)と接着する.

結果:上昇時, 開放時, 落下時にボディチューブからとれてしまうことは無かったものの, 墜落の衝撃により割れてしまった. 損傷し, 一部回収不能.

(2) ブザー

高さ:30.0mm

直径:30.0mm

質量:55.0g

接続方法:ボディチューブに塩ビ板を接着させ, 塩ビ板に L 字金具で締結.

結果:墜落後にタイマーにより正常に作動した.

(3) ボディチューブ

材質:ポリ塩化ビニル

規格:VU-75

外径:89.0mm

内径:83.0mm

前方部長さ:590mm

後方部長さ:700mm

前方部質量:687g

後方部質量:727g

締結方法:2つの管はカプラーを用いて接続する. 詳細は「(8) カプラー」の項を参照.

結果:上昇時, 開放時, 下降時における機体の損傷は目視では確認できていないが, 墜落時の衝撃により, カメラ側のサーボモータの位置で破損し折れ曲がった.



表 3.1.1.2

(4) アルミプレート1

サーボモータを固定するためのプレート

材質:アルミニウム

直径:82.9mm

厚み:10.0mm

質量:156g

固定方法:周囲 M5 ネジ×4 本

結果:墜落後も損傷はみられなかった.

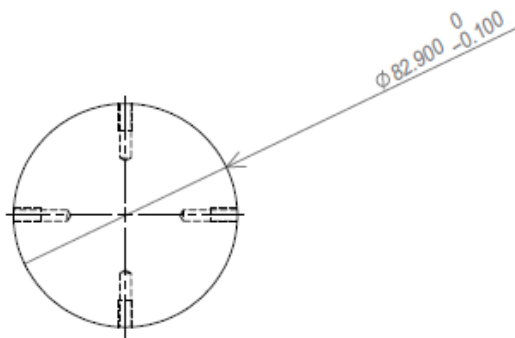


表 3.1.1.3

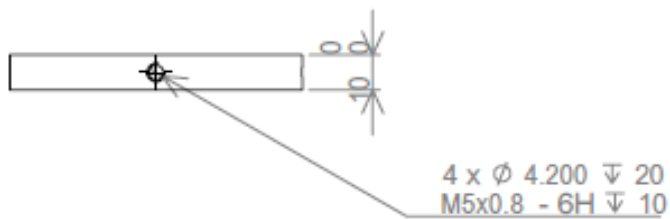


表 3.1.1.4

(5) 仕切り板

パラシュートとサーボモータの干渉を防ぐための仕切りとして用いる。

材質:ポリ塩化ビニル

直径:83.6mm

厚さ:5mm

(6) パラシュート

材質:ナイロンタフタ(傘)

パラシュート面積:1.7m²

ライン長さ:2.5m

抗力係数:0.76

結果:パラシュートの開放はタイマーで制御したが、頂点到達から少し遅れて開放したために想定より大きな開傘衝撃がかかり、ショックコードが切れた。

パラシュートは機体から分裂し、風に流されて回収不能となった。



表 3.1.1.5

(7) カメラ

高さ:109mm

横幅:66.5mm

奥行き:28.4mm

質量:214g

結果:墜落後の確認したところ、損傷や故障はみられなかった。動画の撮影に成功したが、機体の roll が大きくきれいな動画は撮れなかった。

(8) アルミプレート 2

サーボモータおよびパラシュート接続用のアイナットを固定する。

材質、直径、厚さ、固定方法、結果はアルミプレート 1 と同じである。

(9) アルミプレート 3

重りと電装部の仕切りとなる。

材質、直径、厚さ、固定方法、結果はアルミプレート 1 と同じである。

(10) カプラー

電装を保護するとともに、2つのボディチューブを接続する。

材料:アルミニウム

外径:83mm

内径:75mm

高さ:60mm

質量:146g

固定方法:周囲 M5 ネジ×12 本

結果:墜落後も損傷はみられなかった。

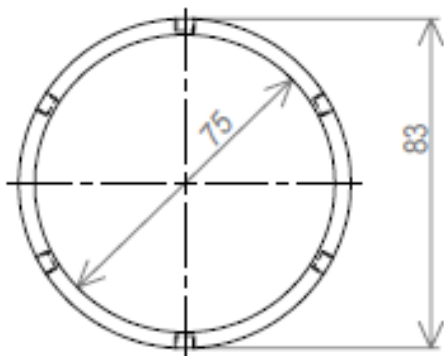


表 3.1.1.6

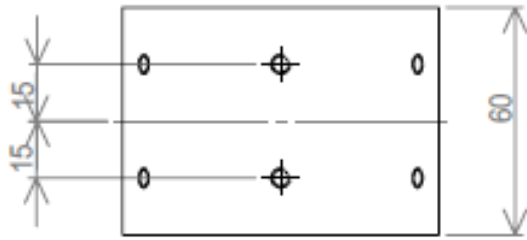


表 3.1.1.7

(11) アルミプレート4

電装を収納する部分の底であり、エンジンからの推力をうける部位。

材質:アルミニウム

外径:83mm

内径:54mm

質量:143g

結果:墜落後も損傷はみられなかった。

(12) センターリング

エンジンタンクを機体に水平に挿入するための部品である。

材質:アルミニウム

外径:83mm

内径:54mm

質量:107g

固定方法:M4×4

結果:墜落後も損傷はみられなかった。

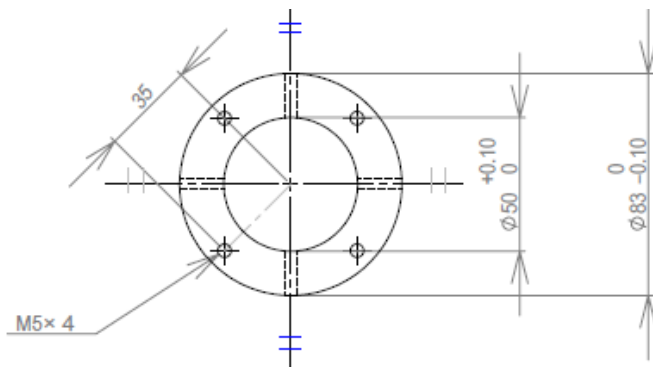


表 3.1.1.8

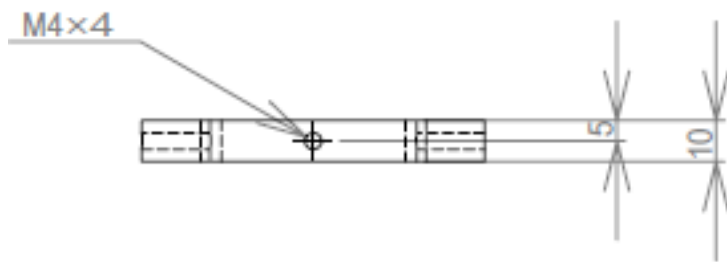


表 3.1.1.9

(13) エンジンマウント(上)

エンジンを固定する.

材質:アルミニウム

外径:83mm

内径:54mm

質量:95.0g

固定方法 :M5×4本を用いてボディチューブと締結. さらに M5 の六角ボルト 4本を用いてエンジンマウント(下)と連結している.

結果: 墜落後も損傷はみられなかった.

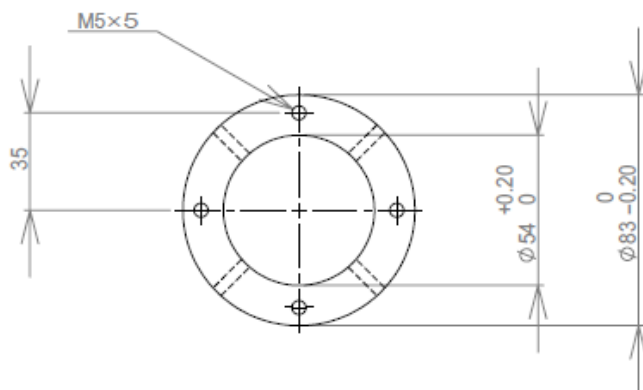


表 3.1.1.10

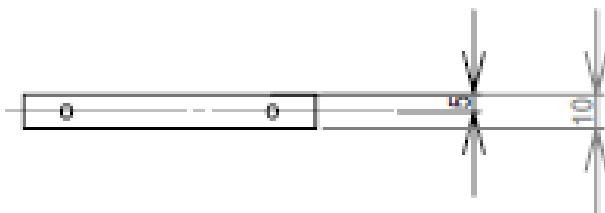


表 3.1.1.11

(14) エンジンマウント(下)

材質:アルミニウム

外径:89mm

内径:44mm

厚さ:5mm

質量:66.4g

固定方法:M5 ボルト×4本をエンジンマウント(上)に締結.

結果: 墜落後も損傷はみられなかった.

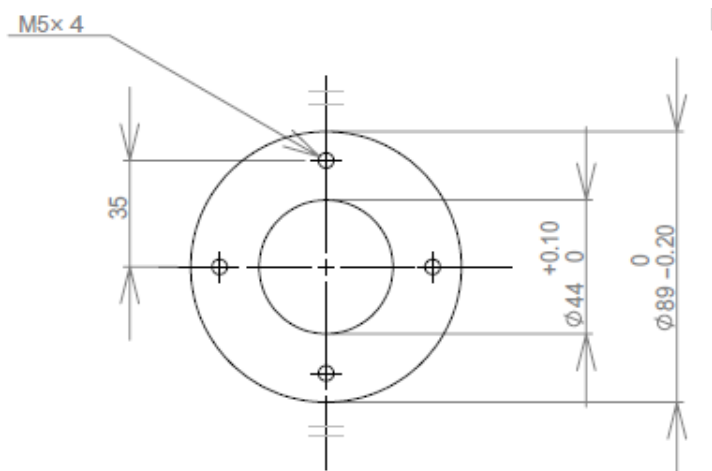


表 3.1.1.12

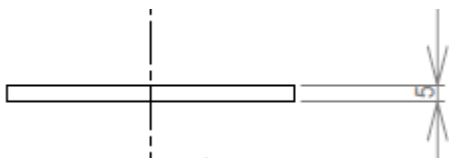


表 3.1.1.13

(15) フィン(Figure12)

材質:アクリル

厚さ:3mm

根本長さ:162mm

端部長さ:14.5mm

高さ:209mm

後退角:74° (ボディチューブ法線方向からの角度)

枚数:4枚

固定方法:図のように、アルミニウムチャンネルとボディチューブを M3 のねじ各 2 本(計 8 本)を用いて固定し、更にアルミチャンネルとフィン(図の青色のもの)をエポキシを用いて接着した。

結果:初回の打上準備時に一枚のフィンがランチャの台座に干渉し、フィン後部の締結部分がボディチューブからとれてしまった。原因は、フィンの後部のネジ止めをその部分だけ接着剤を用いていた事とみられる。本来ならば、ナットでしっかりと締めなければならないのだが、ナットを締める空間的な余裕が無く、代わりに接着剤を用いていた。二回目の打上準備までにその問題を克服しナットを締めることが出来た。

上昇中、開放時、下降時でフィンが外れるなどの問題は起こらなかった。墜落による衝撃によって、フィンの 2 枚が割れて、一部回収不能となった。

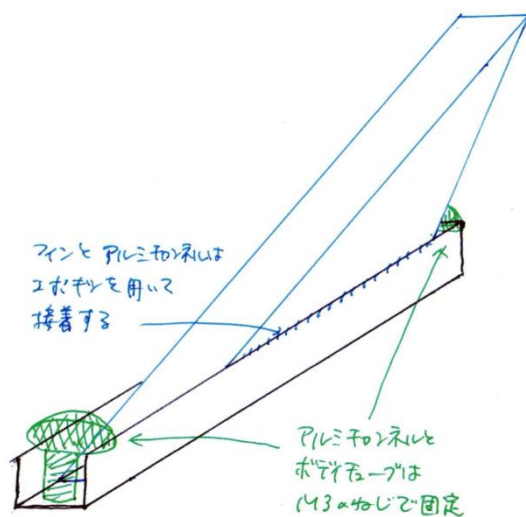


表 3.1.1.14

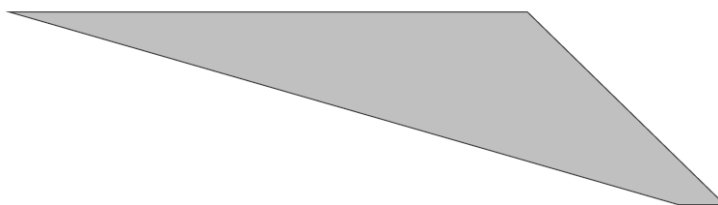


表 3.1.1.15



表 3.1.1.16

(16) ランチラグ

材質:ステンレス

M5 の低頭ネジを使用した。

結果:現地での安全審査時に、M5 のトラスネジをランチャレールに試しに通して見たところ滑らかにレールを滑らなかった。低頭ネジに変更したところレールを滑らかに滑ったので、打上本番もこれを用いた。墜落後に、ネジの損傷とランチャレールの傷はみられなかった。

3.1.2 シミュレーション系

OpenRocket を用いて落下位置を計算し、そのデータを Excel にまとめて可視化した。

ランチャの方向は変えられないと聞いていたため、ランチャの方位角を 160° に固定させ、風向き 8 方向に対する落下位置を計算していた。結果、本番でのランチャの設定に事前に用意していたシミュレーション結果はあまり役に立たなかった。

打上時の状況

風向き:東

風速:約 3m/s

ランチャ方位角: 180° (南向き)

ランチャ角度: 88°

風が 3m/s ということもあり、準備所や射点や風車に落ちないように、風見効果を考慮して方位角を 160° から 180° に変更したが、予想よりも準備所の近くに弾道落下してしまった。ランチャの方向を変えた場合のシミュレーションも実行する必要がある。

3.3 分離機構

3.3.1 打ち上げ実験の予測

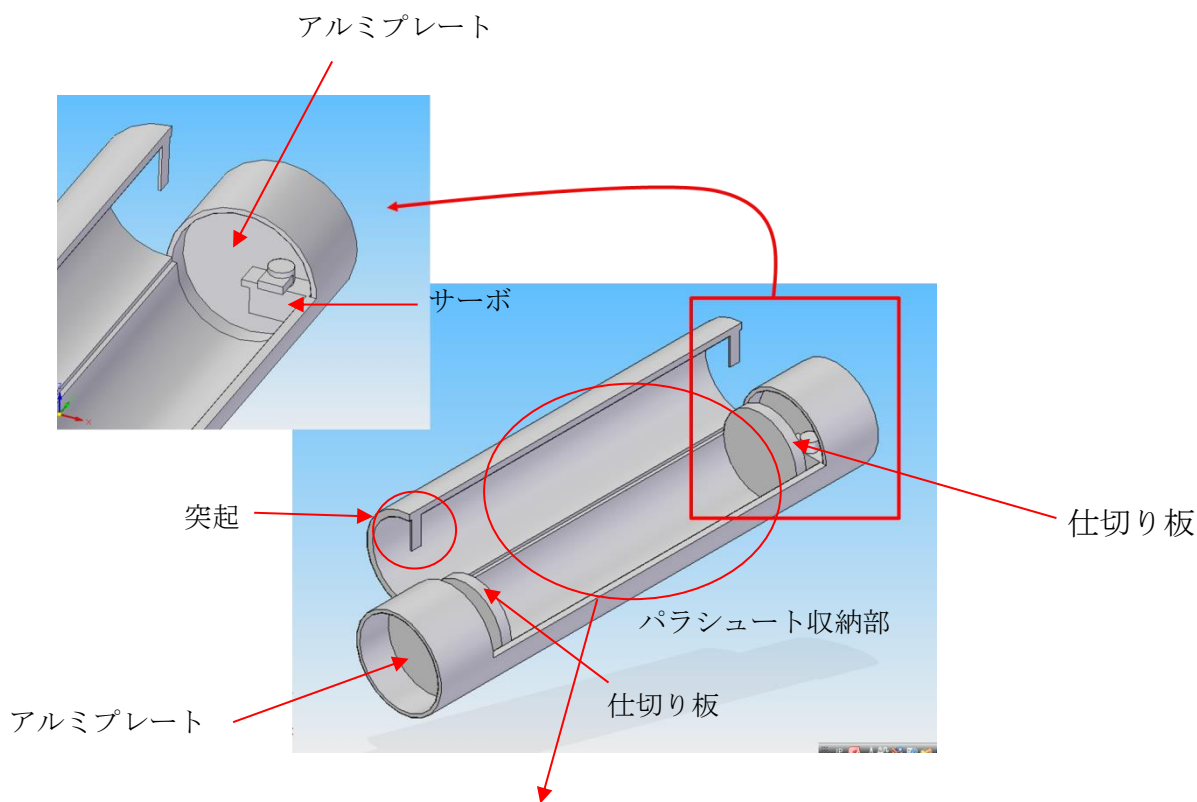


表 3.3.1.1

ふたに取り付けた突起を，サーボの回転部分にひっかけてふたを閉めておく．打ち上げ後，搭載機器が頂点を検知するとサーボが作動し，突起部分の引っ掛かりが取れる．そして，内側に取り付けた塩ビシートでふたを開き，またパラシュートを押し出す．サーボやふたの突起にパラシュートが引っかからないように仕切り板で，パラシュート収納部分を区切っておいた．また，ふたとして取り取った部分について強度を補強するために塩ビを二重にした．

今回の実験では，開放部はシミュレーションの結果から頂点に到達すると思われる時間にタイマーをセットし，それによってサーボを作動させた．

3.3.2 結果，トラブルの原因とその対策

結果，目視の頂点到達から 1 秒ほどで開放しパラシュートを放出できた．頂点よりも 1 秒ほど遅れた理由としては，点火してからの時間と，フライトピンが抜けてタイマーが作動するまでの時間に誤差があったからと考えられる．このような誤差を除外するためにも，次回はタイマー以外のセンサーを使つての頂点判定を目標としていくべきだと考えられる．

3.4 燃焼系

3.4.1 打ち上げ実験の予測

シーケンスに書かれた予定を前倒しできるようにしながら正確に GSE を展開，その後チェックリストを用いて GSE の配管・配線のチェックや電磁弁等の動作チェックを行う。

また，ポンベの温度管理も確実にいき，いつでもロケットが打ち上げられるようにスタンバイしておく。

3.4.2 結果

打ち上げ実験における反省点として以下の3点が挙げられる。

1) 物品管理が甘く，レンチ等が一時行方不明になったり無くしたりした。そのため作業が遅延した。

2) O₂ のリークテストを行った際ポンベとホースの接続部からリークが確認されたため，急遽他団体から借りることとなった。

3) 作業をした人がチェックを行っており，第三者がチェックを行っていなかった。

また1, 2により作業に遅延が発生した。ただし，マージンにより打上シーケンス自体の遅延はなかった。

良かった点としては，リハーサルでの失敗を生かし，作業そのものは正確に行うことができたことである。

3.4.3 トラブルの原因とその解決策

1) 物品の紛失・行方不明について

原因：・作業に使った後物品を元の場所に戻さなかった。

・物品の責任の所在を明らかにしていなかった。

・前日のチェックが甘かった。

解決策：・物品を使用後は元の場所に戻すことを徹底する。できない場合は各自が所有するポーチに仕舞う。

・各物品の管理責任者を決めておく

2) O₂ のリーク

原因：・リハーサルで O₂ のリークテストが行えなかったため，配管が壊れていることに気づけなかった。

解決策：予備の配管を準備しておく。

3) ポンベの温度管理

原因：・当日の状況をシミュレートしていなかった。

・事前に行った燃焼試験でポンベの冷却方法を確立していなかったから。

解決策：・事前に当日のことをよくシミュレートし，物品リストを正確に作成する。

- ・ポンベの冷却方法を確立しておくこと.
- ・燃焼試験を全員が当日を意識して行う.

4) チェックリスト使い方の不備

原因：・チェックする人が作業も行っていた.

解決策：・チェックを行う第三者を事前に決めておく.

- ・チェックリストを用いた練習を行う.

3.5 搭載計器

3.5.1 打ち上げ実験の予測

点火から約 9.1 秒でパラシュートを開放, 点火前から取得している気圧, 加速度, 地磁気, 角加速度のデータを機体回収まで記録する. 点火の三分後から機体に搭載されているブザーを鳴らし, 着陸地点を知らせる.

3.5.2 結果

パラシュートの開放, ブザーを鳴らせるミッションは達成した. 但し点火からの正確な経過時間に関しては確認手段がないため未確認である.

また気圧, 加速度, 地磁気, 角加速度のデータを回収することはできなかった.

破損状況としては, データ記録用 micro SD カードが破損していた. micro SD カード自体に外傷は無かったがコンピューター上でカードを認識することができなかった. マイコン, センサー, 基板等に破損は見られず, 機体回収後の動作試験でも正常に機能することが確認された.

3.5.3 トラブルの原因とその解決策

電装部全体に外傷が無かったことから, micro SD カードの破損は電氣的なダメージを受けたが原因である可能性が高い. 解決策としてサージ電圧を吸収するためのコンデンサを取り付けることが挙げられる.

4. 今後の課題と展望

4.1 機体

4.1.1 構造系

今回の打上実験では, 現地での安全審査で機体の組み立てに時間がかかってしまったこ

とや、フィンが打上直前で外れたり、カメラのスイッチを入れる穴がランチャレールと重なりスイッチを入れることが出来なかつたりなど、主に機体の部品の統合段階や射点準備でのミスが目立っていた。これらに対する対策としては、組み立ての手順書及び綿密な打上シーケンスの打合せと作成、さらには現場での機体の損傷などを考慮したクリティカル・パスの作成が必要であると考える。

CORE の機体班は今回の打上が初めてであったり、2 回目であったりなど経験の浅いメンバーで構成されているため、実際に今回の打上実験を通して様々な失敗を経験できたという事は前向きに捉えたい。

4.1.2 シミュレーション系

シミュレーション系においては、今回、落下分散域の可視化が出来たということに関しては概ね満足をしている。しかし、実際に現地では、用意していたシミュレーション結果が応用出来なかつたことが悔やまれる。

落下分散だけを考えるには地上の二次元的な落下予測位置を見れば良いが、風車に当たらないようなシミュレーションや安定飛行を考えるには、3 次元的な軌道計算や機体の姿勢についてのより精密なシミュレーションが必要であると感じた。具体的な手法については模索中である。

4.2 分離機構

今回の打ち上げでは、開傘衝撃にパラシュートのショックコードが耐えられず切れてしまい自由落下したが、分離機構自体は地上での予定通りに動作したと考えられる。今後の改善点としては、より頂点に近いところで開放させるために、気圧センサーや加速度センサーなどを使った頂点の判定方法を導入することを考えている。

また、構造の改善点について、ふたと本体とを連結する蝶番を固定していたねじが緩まりやすいという問題点があった。大きな問題にはならなかったが、不安要素であるため、今後はナットをロックナットに変え、よりゆるみにくくすべきである。

4.3 燃焼

4.3.1 今後の課題

1) 物品管理

- ・物品管理を厳重化し、物をなくさない体制をつくること。そのために物品リストの作成、物品の整理、各物品の責任者を定めることをやっていく。

2) ボンベの温度管理

- ・ボンベの温度管理責任者を決めておく．冷却に必要な物品をそろえる．

3) チェックリストの扱う人間

- ・チェックリストを用いた人間を育てる．
- ・チェックリストを用いたリハーサルを行う．

4.3.2 今後の展望

上記の問題を解決するよう努めることで今後の打ち上げに関して予定通りに、そして正確な X 通りにロケットを打ち上げられるようにする．また今回起きた問題が二度と起こらぬように次世代を指導する、資料を残すことを行っていく．

4.4 搭載計器

今回の打ち上げではパラシュートの開放を行うというミッションは達成した．しかしながらこれはタイマーによる開放であるため、次回以降の打ち上げではより最高点に近い位置での開放を行うためにセンサーを用いた開放を行う必要がある．

また、無線通信によって常にデータを送り続けるなど、保存以外の方法でデータを取得することも検討する．

4.5 団体としての今後の方針

ミッションステートメントにあるように本実験の最大の目的は「新人教育」にある．実際、今回のロケットの設計・製作や射場運営は、先輩方のアドバイスや力を少しは借りながらも、入部して 1 年未満のものが中心になって行っている．こうした中で、実際に打ち上げまで行うことができたということ自体が一つの成果であるとプロジェクトマネージャーとして私は考える．ミッション定義から打ち上げまで一通りの流れを理解し、身を持って体感できたからである．そうした意味でこの実験は「成功」と言えるのかもしれない．

11 月、3 月の伊豆大島での打ち上げではこれらの経験を踏まえ、より高度なミッションに挑戦する．本実験では搭載していなかった CanSat を搭載し、高度 1km 到達を目標とする．

またシステムズエンジニアリングの考えを用いて今回の実験の失敗解析を行い次回以降の打ち上げに役立てていこうと考えている．

5.その他

11 月 23 日、24 日と 3 月(詳細未定)に伊豆大島裏砂漠にて打ち上げ実験を行う予定である．