

第 10 回伊豆大島共同打上実験報告書

東京工業大学 CREATE

C-11J プロジェクト

2016 年 3 月 28 日

PM 大村 徹

1. 実験目的

本打上実験では、機体径 90mm 級の機体に J 型モータを搭載し、高度 1km に到達することを目標とした。これは、仮に 1kg の CanSat を搭載しても高度 900m を達成しうる能力で、多くの CanSat を安価に高高度からの投下を実現するために十分な能力といえる。C-11J では、低コストでの高高度へのペイロード輸送能力を実証するために上記の目標を設定した。

2. 実験概要

本打上実験で使用した機体の概要を以下に示す。

ノーズコーン、ボディーチューブ、フィン、テールを自作する機体となる。J 型モータを用いた 1km 級打上の 3 度目の挑戦ということでより小型化・軽量化を加えた機体である。CFRP 製ノーズコーンにはパラシュートと解放機構が、GFRP 製ボディーチューブにはロガーや電池及び無線機が、CFRP 製ボディーチューブにはエンジンを搭載する。機体諸元は以下表 2.1 の通りである。

表 2.1 機体諸元

機体全長	1077[mm]
機体外径	91[mm]
乾燥重量	2.05[kg]
最大到達高度	1130[m]
機体色	オレンジ
パラシュート色	青

実験の実施日時と場所、実験時の風向風速は以下の通りである。

点火日時 2016 年 3 月 20 日 09 時 00 分 40 秒

ランチャー場所 伊豆大島三原山裏砂漠(N34° 44' 09.3" , E139° 25' 14.9")

風向風速 北東, 3~5[m/s]

機体外形の寸法図を図 2.1 に示す。

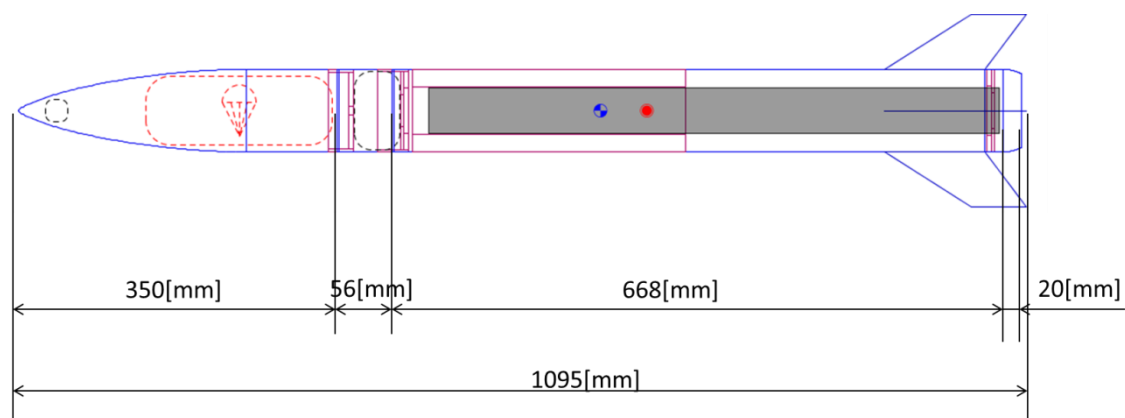


図 2.1 機体寸法

機体中の構成部品の対応図と部品表を以下図 5.2, 表 5.3 に示す.

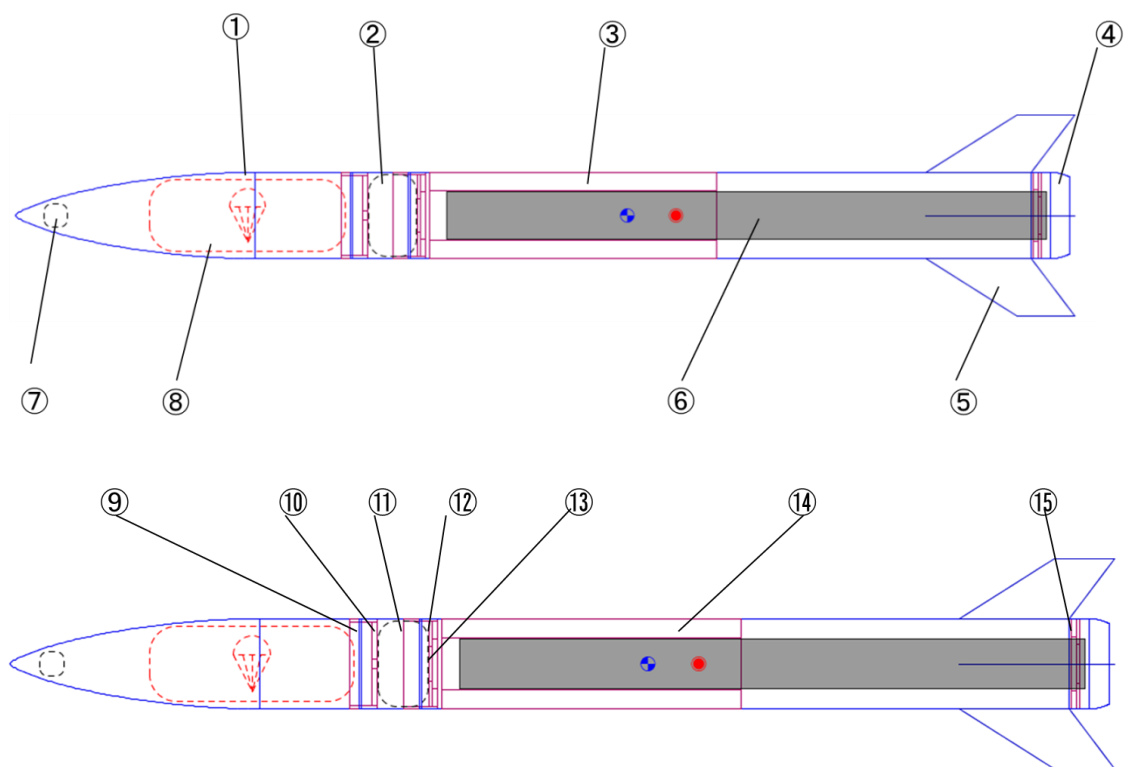


図 2.2 部品対応図

表 2.2 部品表

	部品名	説明
①	ノーズコーン	CFRP 製, Haack series(形状係数 0.333), 曲線長さ 250[mm], 直線長さ 100[mm], 直線部外径 91[mm], 肉厚 1[mm], パラシュート解放で軸方向に二つに開頭 (100[g])
②	ボディーチューブ	GFRP 製, 内径 89.5[mm], 外径 91[mm], 長さ

		180[mm](16[g])
③	エンジンチューブ	CFRP 製， 内 径 90[mm]， 外 径 91[mm]， 長 さ 648[mm](145[g])
④	テール	CFRP 製， Haack series(形状係数 0.333)， 前方直径 91[mm]， 後方直径 80[mm]， 肉厚 0.6[mm]， 長 さ 20[mm](20[g])
⑤	フィン	CFRP・バルサ材サンドイッチ(1 枚当たり 15[g])
⑥	エンジン	HyperTEK J250(440/54-125-J)(充填前 1294[g]， 酸化剤 426[g]， 燃焼終了時 889[g])
⑦	解放機構	分離部サーボモータ等(60[g])
⑧	パラシュート	解放を行うパラシュート(150[g])
⑨	ノーズ根元リング	アルミ(a5056)製(72[g])
⑩	パラシュート固定板	アルミ(a6062)製(70[g])
⑪	電装	ロガー， 無線機， 解放電装(100[g])
⑫	カプラー	アルミ(a5056)製(50[g])
⑬	エンジン受け(上)	アルミ(a6062)製(60[g])
⑭	エンジンブロック	スタイロフォーム(青)製(40[g])
⑮	エンジン受け(下)	アルミ(a6062)製， 寸法図は図 4.9(50[g])

機体外観を図 2.3 に示す.



図 2.3 機体外観

3. 結果

3.1 打ち上げ準備

GSE 準備は午前 4 時から開始し，午前 8 時ごろに GSE の展開が完了した.

ロケットの組み立ては午前 7 時から開始し，複数回の開放試験を実施したのち午

前 8 時より待機状態に入った。待機中に伊豆大島共同打上実験運営委員会より打上時刻を 30 分早めて 9 時に点火しないかという打診があり、機体・GSE ともに準備が完了していたため 8 時 30 よりランチャ挿入を実施した。打ち上げ前の GSE の最終確認も問題なく行われ、総員退避も安全に実施された。

3.2 打ち上げ

点火は 09 時 00 分 40 秒に行われ、1 秒弱で離床(図 3.1)、ランチャレールを抜けてから 30m 程度上昇した位置で姿勢角が東向きに 10° 程度傾いて上昇を続けた。雲の中に入ったため解放機構の動作は目視では確認できなかったが、降下中に機体を目視で発見し、パラシュートが開傘していることが確認できた。(図 3.2)ただし、確認できた時にはパラシュート開放扉となっているノーズコーンの半分が機体につながっておらず、着地点の特定に至らなかった。機体着地を確認できた時刻は、09 時 03 分 08 秒であった。

着地確認後、GSE の脱圧を正常に行い安全確認が取れたため、9 時 10 分に退避を解除した。

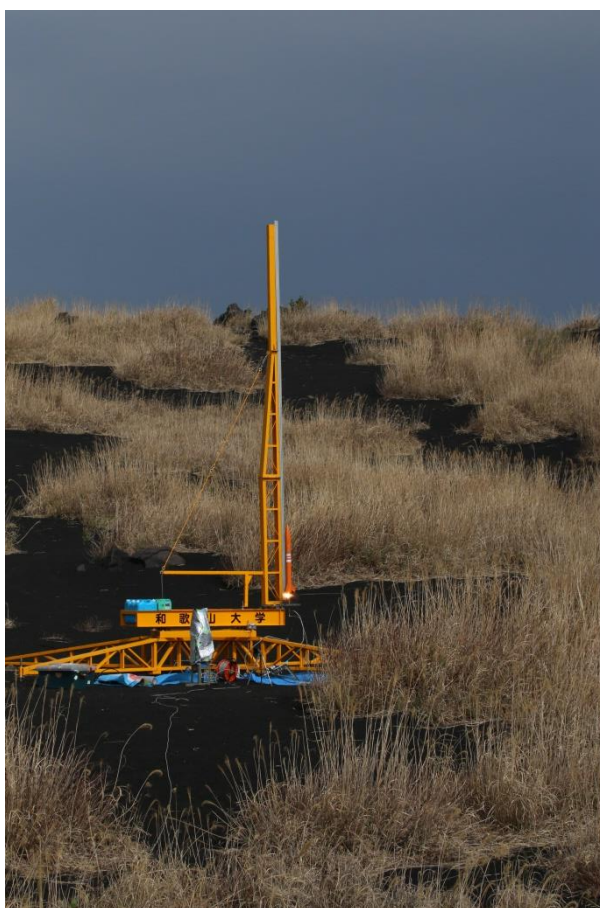


図 3.1 離床



図 3.2 降下中

3.3 回収

ロケットの落下地点はランチャーから南西に 800m 程度の位置に落下が目視で確認できたため、機体の回収は問題なく行われた。(図 3.3)ロケットは FRP 製テールの樹脂が火炎でとけて、炭素繊維のクロスが露出していた。(図 3.4)回収できなかったノーズコーンを機体につなげる金属ワイヤは、先端の圧着部が外れていた。そのほかには塗装が一部着地時に引きずられてはがれた以外には目立った損傷はなかった。



図 3.3 回収機体



図 3.4 回収機体(テール)

3.4 解析

回収した機体の micro SD HC カードに記録されていたデータは、電源投入から数分間であり、組み立て中に何らかの理由で書き込みが停止したと考えられる。今回は飛行中のデータが取得できなかったため、カメラの画像などから解析を行った。

確認できたものは以下の通りである。

- ・ランチャクリア速度(点火点での 30fps の連写画像より) 33[m/s]
- ・離床からランチャクリアまでの時間(連写画像より) 0.33[s]
- ・着地点座標(回収用カメラ GPS) N34° 43' 46.2"
E139° 25' 02.5"
- ・着地時刻 148 秒カウントアップ記録

まず、ランチャクリア速度と時刻よりを満たすような推力曲線を、過去の燃焼試験データを定数倍することで推定した。結果、2015 年 10 月に実施した燃焼試験データの推力曲線を 0.96 倍したものをシミュレーションに使用することにした。また、着地点はランチャーから方位角 203° 58' 23.5" (南南東)の方角に 778.4[m] の位置であり、三角関数をかけることでランチャを中心にした直交座標系での着地点座標を算出した。

シミュレーションでは以下の手法を用いたが、パラメータの探索条件が不十分であるため 4 月中旬までに確定版のシミュレーション推定結果を算出予定である。

基本的には第 10 回能代宇宙イベント安全審査で展開された TSRP エクセルシミュレーションを基本としている。

ロケットを剛体として仮定し並進及び回転の 6 自由度運動を考える。空力係数は理論計算及び流体シミュレーション(Autodesk Simulation CFD)を用いて算出し、一定値として扱う。酸化剤および燃料の減少による重心及び慣性モーメントの変化は各計算ステップにおいて求める。推力は機体のロール軸方向にのみ加わり、空気が重心周りのモーメントとして加わるモデルを想定している。このとき減衰モーメントによる影響も計算に含んでいる。回転計算ではクォータニオンを用いて微分方程式を解くようにし、微分方程式の計算には 4 次のルンゲクッタ法を用いて補間している。

加速度、速度、位置の計算には台形積分を採用する。計算ステップはシミュレーション内時間で 600Hz とし着地判定(高度が 0m 以下)で計算を終了する。

風速モデルはべき法則モデルを使用し、高度分布係数は 4.5 とする。これは理科年表における地上の風速分布のデータと照らし合わせ、最小二乗法で最も近い分布が得られるパラメータを探索した結果である。

以上の手法で、考えられるパラメータを変化させ最も着地点に近いものを抽出した。変化させたパラメータは、ランチャ仰角(ランチャ担当者による PM への角度確認依頼がなかった)を 88.5° ～89.5° の間で 0.1° ごとに、ランチャ方位角を-1° ～1° の範囲で 0.1° ごとに、風速を 2.5[m/s]～5.5[m/s]の範囲で 0.1° ごとに、風向を 22.5° から 67.5° の範囲で 2.5° ごとに計算を実施した。

計算結果としてもっとも落下地点誤差が小さかった結果は以下の通りである。

ランチャクリア速度	33.3[m/s]
ランチャクリア時刻	0.362[s]
着地点誤差	4.25[m]
最大速度	196[m/s]
最高到達高度	1251[m]

ただし、現状の結果の問題点として以下のものが挙げられる。

- ・着地点がランチャよりも標高が 20[m]程高かったことが考慮されていない
- ・風速モデルとして用いているべき法則モデルの高度分布係数は「開けた場所」に相当する 7 のほうが適切と考えられる
- ・風速測定から点火まで 5 分ほど時間があつたため、煙の水平方向流速からも風速の探索範囲を考え直す
- ・連写画像から、上昇中のあるときにランチャ長を基準として高度が特定できた点があるため、それを推力曲線に反映する

以上の点を考慮すると今回のメインミッションに相当する高度の推定には現状大きく誤差が生じていると考えられる。4 月中旬までにより正確な値の探索を終える予定である。

4. 総括

サクセスクライテリアと達成状況を表 4.1 に示す。

本打上では電装系に関してデータの取得が出来ずほとんどが失敗となっている。

またノーズコーンの部分的なロストについては強度の見積もり不足であつた。

達成状況は決して良くはないため、今後の CREATE ではそれぞれに対する対策を実施していく予定である。

表 4.1 サクセスクライテリア

サクセスレベル	内容	達成度
ミニマムサクセス	パラシュート解放	成功
	主要センサデータの100Hz取得	失敗
	アンビリカルケーブルでの給電が出来、それが確認できる	失敗
フルサクセス	高度1000m到達	確認中
	ロケット100%回収	失敗
	主要センサデータの1kHz取得	失敗
	地上局へのデータダウンリンクが行えて1Hz以上のデータサンプリングが可能	失敗
アドバンスドサクセス	再打上可能状態での回収	失敗
	主要センサデータの2kHz取得	失敗

謝辞

ノーズコーンやテール、フィンの材料としてカーボクロスを提供してくださった NEWS COMPANY 様，日ごろから支援していただいている株式会社 MonotaRO 様，材料や工具の支援をくださった株式会社 ミスミ様，東京工業大学 OB の落合宏行様，J 型キロ打ちプロジェクトの 2 年間を見守り賛同・応援てくださったすべての方々，および伊豆大島での共同打上実験にお力添えくださった大島町役場の皆様，近隣住民の皆様に厚く御礼申し上げます。