

# 東京工業大学 CREATE

## 第 8 回伊豆大島ロケット共同打上実験報告書

### C-05J プロジェクト

2015 年 4 月 5 日

東京工業大学ロケットサークル CREATE

構造班 大村 徹

電装班 齊藤 誠

後藤 公太

菊谷 侑平

推進班 中村 吉秀

#### 1 実験目的

- ・ HyperTEK J250 でのキロメートル級打上実証
- ・ 高速度移動体の姿勢解析用高速データ取得, 解析

#### 2 実験概要

本打上実験では, CFRP および GFRP の併用構造を採用し, 到達高度 1km のハイブリッドロケットの打上を行う.

#### 3 実験日時

2015 年 3 月 20~24 日

CREATE 製作 C-05J 打上実験 : 3 月 20 日

#### 4 実験場所

東京都大島町三原山噴火口周辺(裏砂漠, 奥山砂漠一帯)

実験場所周辺の地図を図 4.1 に示す.

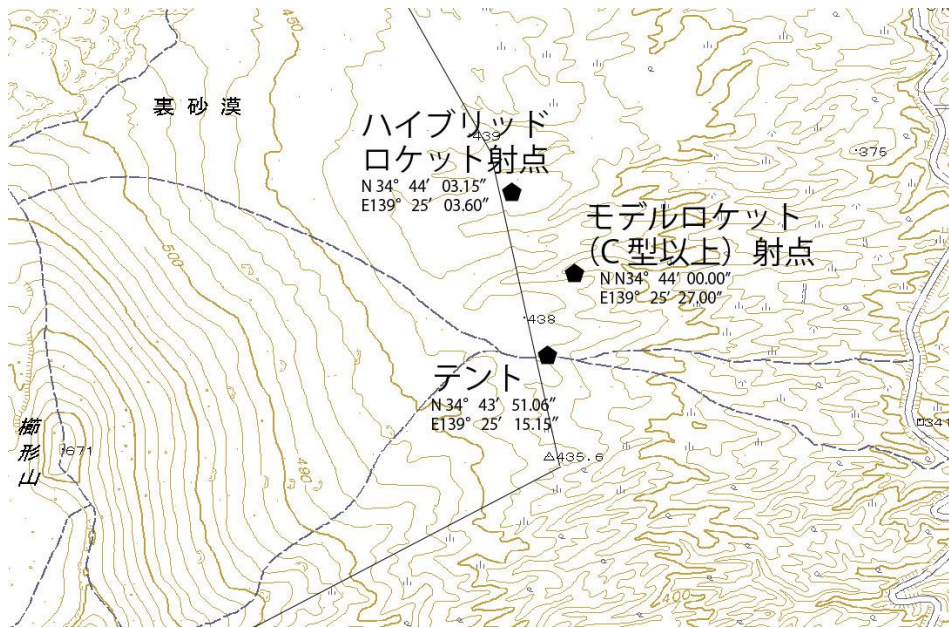


図 4.1 打ち上げ場周辺地図

## 5 機体概要

5.1 機体名： C-05J

5.2 機体諸元

機体外観を図 5.1 に示す。





図 5.1 機体外観

機体概要図と機体寸法図をそれぞれ以下図 5.2 および図 5.3 に示す。

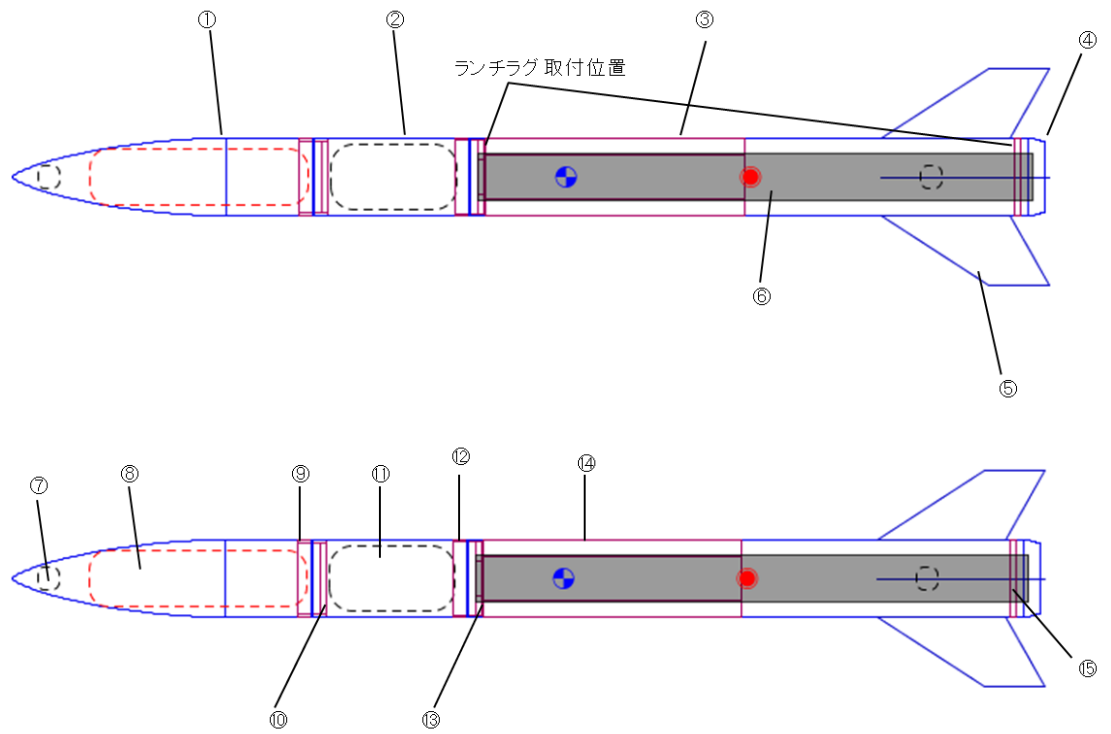


図 5.2 機体概要

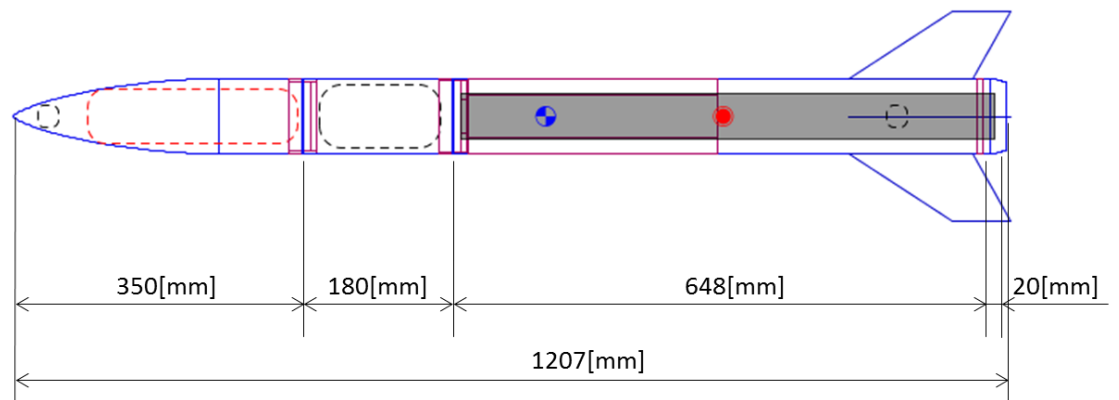


図 5.3 機体寸法

諸元表を表 5.4 に示す.

表 5.4 機体諸元

機体全長	1209[mm]
乾燥重量	2752[g]
離陸時重量	3290[g]
燃焼終了時重量	2347[g]
目標到達高度	1115[m]

図 5.2 及び図 5.3 における各部品の名称と寸法・材料等を表 5.5 に記載する.

表 5.5 主要部品表

	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(99[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](71[g])
③	エンジンチューブ	CFRP 製, 内径 90[mm], 外径 91[mm], 長さ 648[mm](160[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](15[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(55[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(70[g])

⑩	パラシュート固定板	アルミ(a6062)製(90[g])
⑪	電装	ロガー, 無線機, 解放電装(400[g])
⑫	カプラー	アルミ(a5056)製(60[g])
⑬	エンジン受け(上)	アルミ(a6062)製(80[g])
⑭	エンジンブロック	スタイロフォーム(青)製(35[g])
⑮	エンジン受け(下)	アルミ(a6062)製, 寸法図は図 4.9(85[g])

### 5.3 使用エンジン

型番                                   HyperTEK J250 440/54-125-J  
 燃焼時間                               3.0[s]  
 トータルインパルス                 744.5[Ns]  
 最大推力                               453[N]

公称推力曲線は図 5.6 のとおりである。

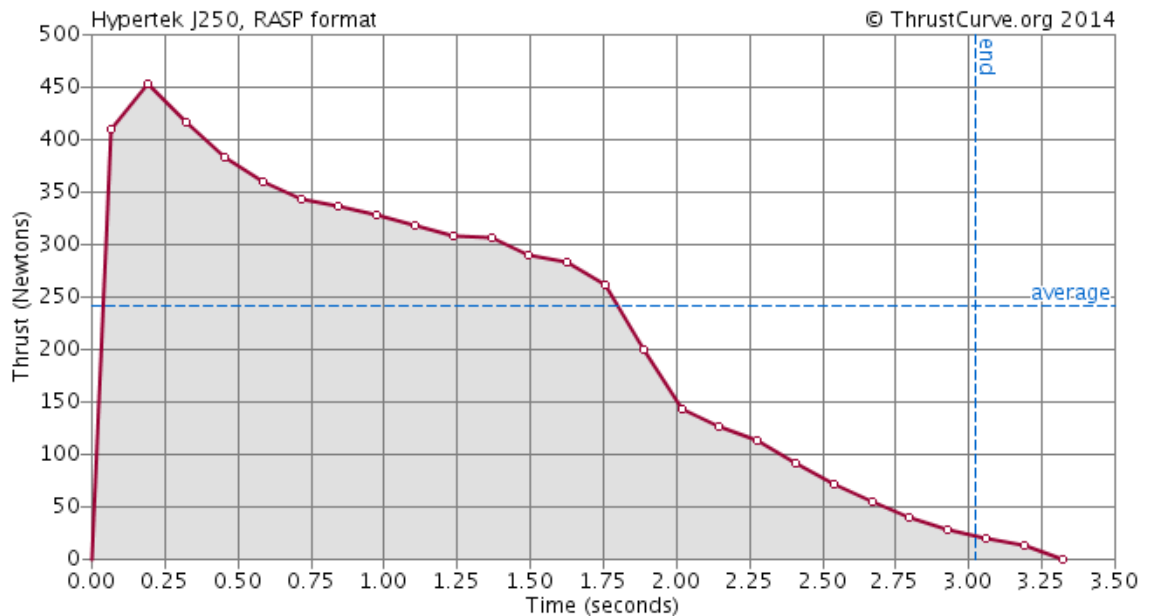


図 5.6 推力曲線(<http://www.thrustcurve.org/>)

### 5.4 電装諸元

#### 5.4.1 計器

##### 5.4.1.1 搭載ロガー

ロケットアビオニクスとして CREATE 製作のアビオニクスボード, “SAB”(Standard Avionics Board)をロケット本体に搭載する。

SAB は下記のセンサを搭載し, その計測データを micro SD カードに保存する。加速度のデータ取得は 1kHz で行う。

- 3軸加速度(小レンジ, 大レンジ各1)
- 3軸ジャイロ
- 3軸地磁気
- 気圧
- 気温
- GPS

また, 無線機を搭載し地上へのダウンリンクを行う。

#### 5.4.2 点火検知

LPFを通した加速度合成値(スカラ)が4Gを0.5s以上継続。

#### 5.4.3 パラシュート開放処理

SABで計測したデータを元に, 以下のとおりパラシュート開放時期の制御を行う。

- 気圧データを利用した最高到達点での自立開放処理。点火検知後, 気圧データが0.5秒以上上昇の時を最高点通過検知の基準とする。これの冗長系にはタイマーをトリガとした強制実行機能を用意する。具体的には, 点火検知から最高到達までの時間(+15.5[s])に加え1秒経過しても開放処理が行われていない場合, 強制的に開放処理を行う。
- 地上局からの無線による強制開放命令。

#### 5.4.4 無線通信

ロケット内/地上局に各1機ずつ配置するTOCOS社 TWE-Strong間で通信を行う。

通信内容にはセンサデータ, ロガーの内部状態, バッテリ残量などが含まれる。アンテナにはロケット機体内にTOCOS社 半波長ダイポールアンテナ(TWE-AN-P4208-1), 地上局には室内用半波長ダイポールアンテナ(TWE-AN-099)を使用した。地上局側アンテナはロードコーン用バーにテープで固定し, 地上およそ2.5[m]の位置で運用した。

#### 5.4.5 アンビリカルケーブル

給電用ケーブル(通称アンビリカルケーブル)をロケット飛翔前に電装に接続し, ロケット電装電源の長寿命化を図る。

## 6 結果

結果を各班(構造・電装・推進)にわけて記述する。

### 6.1 構造

#### 6.1.1 組立

構造の組立は電装と並行して10:30ごろから開始し, 問題なく行われた。

GSE 準備及びランチャー準備に伴う待機時間はあったが、一時的に組立を停止して最終セットアップのタイミングをずらすことで対応した。機体挿入時には特に問題は見られなかった。



図 6.1 機体挿入



図 6.2 ランチャー立ち上げ

### 6.1.2 打上

点火後正常に上昇し、ランチャーを離脱した(図 6.3)。ランチャー離脱後、ロケット本体は目視で確認できる限り全く触れることなく上昇を続けた。しかし、燃焼終了とほぼ同時にノーズの解放する側が取れてパラシュートが飛び出し、パラシュート開放時のショックに伴ってもう片側のノーズ、ノーズ先端部、分離機構、フィン(全4枚)の接着(アラルダイトスタンダード)がはがれて空中で飛散した。



図 6.3 ランチャー離脱



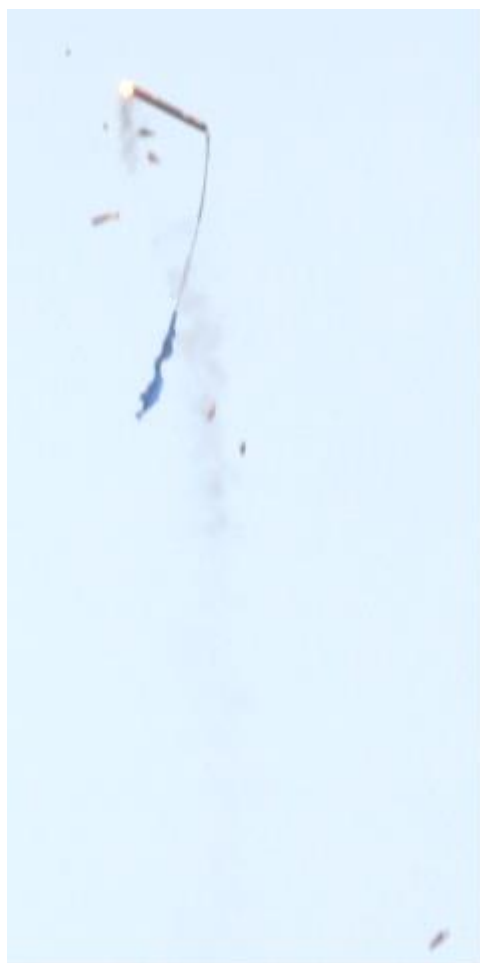


図 6.4 破壊時

### 6.1.3 回収

全部品が射点から約 200m 以内の場所に落下したため、なかなか見つからない部品もあったが打上から 30 分程度で全部品の回収に成功した。  
エンジンチューブの上部が落下時の衝撃で破壊していた。



図 6.5 回収した機体

#### 6.1.4 今後に向けて

機体挿入時の画像を拡大するとノーズコーンに隙間が見られた。(図6) 燃焼終了時(すなわち最大速度時)にこの隙間から空気が入り込んで内圧が高まり、ノーズの誤開放につながったと考えられる。

今後の機体ではノーズに空気が入ってこないような構造を採用することを検討する。

また、2015年11月に今回の反省を生かして再度J型モータでの1km級打上に挑戦する予定である。



図 6.6 ノーズコーン隙間

## 6.2 電装

### 6.2.1 回収状況

#### 6.2.1.1 データ

搭載ロガー”SAB”装着の micro SD カードより全飛行時間中のデータ正常回収を確認した。

#### 6.2.1.2 構造

落下時の衝撃により電装構造に以下の破損が生じた。

1. 電池ホルダー金具部分の変形
2. 電池ホルダー固定用アクリル板のタップなめ
3. GPS モジュール固定用タイの断裂

特に2については電池ホルダーの拘束が無くなりホルダーどうしが接

触可能になってしまうため、改善の必要がある。

しかしその他の部位は大きな破損もなく、正常飛行時の運用ならば問題の無い構造であったと評価する。

### 6.2.2 飛行解析

回収データより得られた飛行前・中・後ロケット状態の概要を下表に示す。

表 6.1. 飛行解析データ

項目	値
最高到達高度	330[m] <sup>1</sup>
燃焼開始時最大衝撃	23.0[G]
ランチャー離脱速度	35.4[m/s] <sup>2</sup>
機体破損時タイミング	X+2.1 [s]
機体破損時最大衝撃	少なくとも 42.8[G] <sup>3</sup>
機体破損時速度(最高速度)	146[m/s] <sup>4</sup>
無破損時推定到達高度 <sup>(5)</sup>	990[m]

### 6.2.3 無線送受信状況

前述の条件で運用した結果、飛行前に 100%、飛行中でも 80~90%のダウンリンク受信に成功した。

### 6.2.4 アンビリカルケーブルによる給電

運用、給電、給電確認共に成功した。ロケットのランチャー挿入時にケーブルの接続を行い、地上局で給電を確認した。ロケットの点火前には点火シーケンスに従いケーブルを接続解除した。

## 6.3 推進

### 6.3.1 GSE の運用メンバーについて

推進班の人員が不足しているため運用は構造、電装の組み立てで必要な人員以外の全員で行った。前回の打上実験では正式な推進班員の不在、運用メンバーの習熟度不足によって展開に時間がかかり、トラブルも多く発生した。そのため、今回は打上実験に向けて燃焼試験と GSE の展開練習を複数回行

<sup>1</sup> 気圧計の記録データより算出

<sup>2</sup> 加速度計の記録データを積分して算出

<sup>3</sup> 加速度計全軸振切れのためこの値よりも大きな加速度と推定する。

<sup>4</sup> 加速度計の記録データを積分して算出

<sup>5</sup> HyperTEK J250 公称推力の定数(0.92)倍を用いたとき Openrocket より推測(このときランチャー離脱速度,燃焼開始時最大加速度, 最高速度, 最高速度を記録する時刻がすべて得られたデータから 4%以内の誤差になった)

い運用メンバーの習熟度の向上を計った。

### 6.3.2 運用結果

CREATE の他に芝浦衛生チーム、ASSP、Planet-Q、CRC に GSE の支援を行った。

- 3/20 CREATE C-05J ランチャー組立遅延、変換継手からのリークのため打上げ時刻遅延。充填確認、点火成功  
芝浦衛生チーム 機体トラブルのため打上げ延期
- 3/21 芝浦衛生チーム 充填を確認、点火時にグレインが破裂
- 3/22 ASSP 充填確認、点火成功  
PLANET-Q (L) 充填中にカラーがずれたため充填失敗  
CREATE C-03J 充填確認、点火成功  
PLANET-Q (J) 充填失敗  
CORE CRC 充填確認、点火成功 ステムが破損

2014年11月大島打上げ実験においてリークが発生していたN2レギュレータを新しいものに交換し、正常に動作することが確認できた。また、事前に展開練習を行い運用メンバーの習熟度を高めておくことで、スムーズにGSEの展開を行うことができた。

### 6.3.3 発生したトラブル

医療用N2Oボンベを使用するために変換継手を接続した際に、接続部からリークが発生し、増し締め、変換継手の再接続を行っても改善しなかった。このため、それ以降は使用するN2Oボンベを工業用ボンベに変更した。変換継手の接続部からリークが発生した原因としては、ねじ山に傷が入り継手の締付けが十分でなかったことが考えられる。

3/22 PLANET-Q(L)の充填中にステムがはずれ、充填中のN2Oが大気中に放出されるトラブルがあった。これは、カラーの締付けが甘かったため、N2Oの充填圧力に耐え切れずにカラーとステムがずれたことが原因であると考えられる。カラーの締付け力を大きくすることで以後この問題は発生しなかった。

3/22 CRCの打上げの際に、ステムの酸素用パイプがはずれ、ステムが破損した。カラーの締付け力を大きくしたため、燃焼開始時に酸素用パイプとステムとの間に大きな引張力が発生したことが原因であると考えられる。今後はステムを修理できる部品、交換用パイプを用意しておくことで対策とする。

## 6.4 総括

ミッションのサクセスクライテリアとその達成状況を表 6.8 に示す。

表 6.8 サクセスクライテリア

サクセスレベル	内容	達成状況
ミニマムサクセス	パラシュート解放	失敗
	打上時電装電池残量が十分にあり，それを確認できる	成功
	アンビリカルケーブルでの給電/充電ができ，それが確認できる	成功
フルサクセス	高度 1000m 到達	失敗
	ロケット 100%回収	成功
	地上局へのデータダウンリンクが行える	成功
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 1kHz 取得	成功

C-05J の打上実験では電装的トラブルは一切発生しなかったが，構造的な問題によって打上は失敗に終わった。今回の失敗の原因のほとんどは C-02J で成功した部分へのチェックの怠りであり，「壊れるとしたらここだろう」というあてがあったにもかかわらずその対処をしなかったところにあった。今回のように改良版の機体を製作するにあたって「前回うまくいったところが同じようにうまくいくとは限らない」ということを忘れずに製作していく必要がある。

#### 謝辞

ロケット構造材としてカーボンクロスを提供してくださった NEWS COMPANY 様，日ごろから支援をいただいている株式会社 MonotaRO 様，材料や部品の入手に当たって支援をいただいた株式会社ミスミ様，東京工業大学 OB の落合宏行様，大島町裏砂漠での打ち上げの計画と実行を許可して下さい，またお力添えも下さった大島町役場の皆様に，厚くお礼申し上げます。