

H-42号機の開発記録



写真1 H-42号機の発射（撮影：林麻優美）

1. 計画決定～予備検討

1.1. 開発ロードマップの見直し

2015年12月18日に行われたプロジェクト会議において Cesaroni Technology 社製 HyperTEK-5478cc N2O タンクが生産終了に伴って入手困難となったことで2016年度夏期打上機体を当初案から見直すべきではないかと意見が上がり、新規案として音速を超えて飛翔する際の各種データ取得を行う超音速飛翔実験計画が提案された。当初案と新規案についてトレードオフを行い、当初案の実施根拠となっている開発ロードマップそのものを再検討する必要があると判断された。

表1 2016年度夏期機体トレードオフ結果

	当初案	新規案
概要	Φ180 級機体と M 型モータを使用した 3km 以上の高高度打上げ	Φ120 級機体と L 型モータを使用した 超音速飛翔実験
得られる成果	今後の大型 (φ180) 機体の海打ち実証 バルブシステムの海打ち実証 M 型フライト試験 10 m ランチャでの打ち上げ実績取得	超音速飛翔 (M1.13) 時のデータ取得 → 今後の大型化に必要な音速飛翔の知見が 得られる → シミュレーションとの比較ができる 高度記録が大幅に更新される
現状の問題点	5500cc タンク入手困難により高度があまり 伸びない (2900 m くらい) チャレセンからの評価が悪いかもしれない → 今年に「来年に大幅に高度を伸ばす機体 を打ち上げるため」といったから 当初に予定していたチューニングでは打ち 上げられない OPS が大きいため不知火の改造が必要にな る	浮力を稼ぐのが難しい → 計器部のみ回収を計画 モータの軽量化 → FRP シリンダの開発かシリンダの 1 本化 等で対処 → 間に合ってもぎりぎり 分離が正常動作するかわからない → 不知火Ⅲ,Ⅳを設計で意図していない使い 方をするため

※ 当初案と新規案の2機とも打上げる計画についても議論されたが、各種リソースを鑑みて現実的でない判断された。

開発ロードマップの再検討においては、現状の技術レベルで中期目標である高度10km機の詳細仕様を固めるのは困難であるとし、「この技術がなければ確実に到達高度を伸ばすのは不可能だ」という項目を列挙していくことから始めた。

各班に持ち帰って検討を重ねた上で2016年1月15日に行われたプロジェクト会議で新ロードマップを決定し、2016年度夏期打上機体については今後の開発に対しての重要度が高く、早期の実験を求められていることから新規案の超音速飛翔実験を行うこととなった。

表2 新開発ロードマップ

	2015年度		2016年度		2017年度	
	夏	冬	夏	冬	夏	冬
打上計画		Φ180級機体 新バルブシステム ----- Φ150教育機体 新K型モータ	超音速飛翔実験機	自作タンク 歪みゲージ ----- 新分離機構 ダウンリンク	高度5km以上 (今後の発展性を重視した機体)	未定
開発		2016年度夏機体 基本設計	高高度用新回収システム 自作タンク/大型モータ ダウンリンクシステム シミュレーションの精密化	高高度用新回収システム 自作タンク/大型モータ ダウンリンクシステム シミュレーションの精密化 ----- 2017年度夏機体 基本設計	高高度用新回収システム 自作タンク/大型モータ ダウンリンクシステム シミュレーションの精密化	未定
水面下検討			最適化設計手法の検討 LoX化検討(推力室周り) 音速機の高度測定手法		LoX化検討(供給系)	

1.2. 予備検討

上で挙げた経緯によって超音速飛翔実験機(HX-42号機)の開発が決定されたが、超音速飛翔という高い目標は技術的に相当の困難が付き添うと考え、2015年度冬期打上予定のH-40号機の開発中ではあるが、1月～3月の3ヶ月をかけて予備検討を行うこととした。具体的には以下の項目について議論を行い検討を進めることとした。

① 4月上旬までに決定する項目

- ・機体：搭載物確定/仕様決定/概念設計完了
- ・空力：問題点の洗い出し
- ・モータ：使用モータ決定

② 上記項目のためにおこなう検討

- ・機体/分離：全機回収型と部分回収型の比較/分離機構の検討
- ・バルブ：注水制御、もしくはタンク閉鎖についての検討
- ・モータ：FRPモータの検討、コンフィグ検討(目標 6400N・s)
- ・電装：テレメータの検討、タイマー回路の検討

1.3. 仕様策定会議

2015年度冬期打上実験にて H-40 号機、H-41 号機の打上げが成功裏に終わり、春休み明け間近の 2016 年 4 月 1 日に主担当者間で HX-42 号機仕様策定会議を行った。会議の目的は以下のとおりである。

1. HX-42 号機 の概念設計完了
2. HX-42 号機 という「ロケットシステム」の意識共有
3. 開発方針、方法の決定

まず、各担当者が進めてきた予備検討結果を全体で共有し、各コンポーネントの担当者、搭載物、搭載位置を決定した。予備検討での大きな成果は既存開発品である L 型モータ「THR-E/F210L 改」に Hyper-TEK4630cc N2O タンクを使用できる可能性が示唆されたことである。これにより、機体への軽量化要求が当初よりも緩和されたため開発リスクの大きい FRP シリンダは見送られ、既存品であるアルミシリンダを使用することにした。また、全機回収か部分回収か、については部分回収の場合において投棄するモータ部が確実に沈むことを保証するのが難しいとされ、前述したモータ側の努力もあり、全機回収を行うこととした。分離機構は難しいところであったが、確実な回収が求められていることから実績を優先して信頼性の高い不知火ⅢとⅣで 2 段回収を行うこととした。ただ、音速飛翔時の振動等によりノーズコーンが脱落してしまうことが懸念されたため、H-21 号機において実績のあるボールプランジャを使用することで対策とした。電装系は回収の信頼性を上げるために共通計器を慣性計測装置と分離制御回路に分離することとし、ブラックボックスとして市販品の「ちょっとすごいロガー」をモータ直上に搭載することとした。また、テレメータは開発期間が短いことからダウンリンクデータは従来通り GPS データのみに留め、探知範囲を拡大するために回収船にも地上局を設置することが決定された。

このような各コンポーネントの仕様のみならず、輸送形態や現地での運用、設計ツールや開発の進め方についても仕様策定会議にて議論を重ねたことは、本プロジェクトの特徴の一つであり、開発速度を上げるのに大いに役に立った。以下に仕様策定会議にて決定した事柄の一例を挙げる。

- ・ 設計には Autodesk 社の AutoCAD2016 並びに Inventor Professional2016 を用いる
- ・ Inventor についてはフォルダ構造並びにファイル命名規則の規格化を試験的に導入する
- ・ 現地への輸送は全機組立した状態で行い、現地での輸送には 2t トラックを使用する
- ・ DR はコンポーネントごとに日程を調整して行う

などなど…

2. 設計～製造

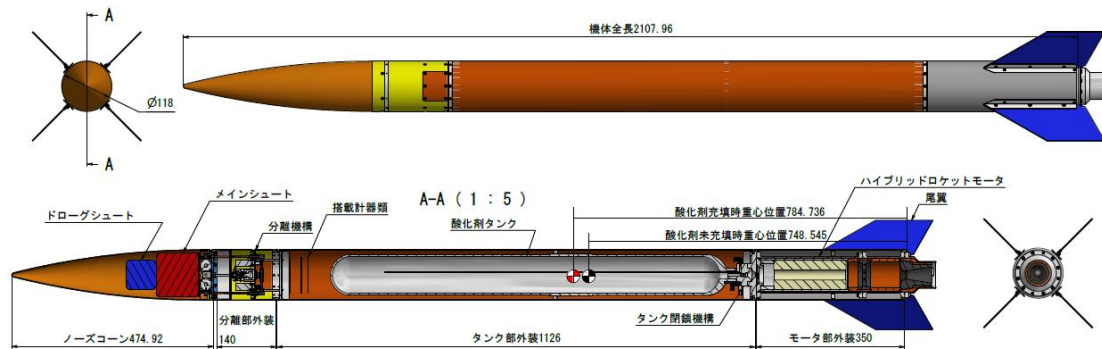


図1 H-42号機初期設計案

このように、綿密な事前準備を経て4月8日にキックオフ MTG を行い、正式にプロジェクトが開始された。H-42号機の機体設計上、最もクリティカルなのはモーターである。THR-E/F210L改は開発時に3500ccタンクまでを想定として設計されており、ワンクラス上となる4630ccタンクに耐えるかどうかは、理論計算上は確認出来ていても実際のところは未知数であった。そのため、早期に動作確認を取るため5月10日に第一回目の燃焼実験を実施し、内部構造の損耗率や耐久性の確認等を行った。燃焼実験の結果は良好であり、4630ccタンクを使用する方向で開発が進められた。



写真2 THR-E/F210L改-Heavy 第一回燃焼実験の様子

ここまで、開発は順調に進んでいたが、機体重量が想定よりやや過大となってしまうことが判明した。飛行シミュレーションの結果、事前に決定した目標値である Mach 1.1 に満たないことが分かり、各コンポーネントで軽量化のため最大限の努力を行うこととなった。

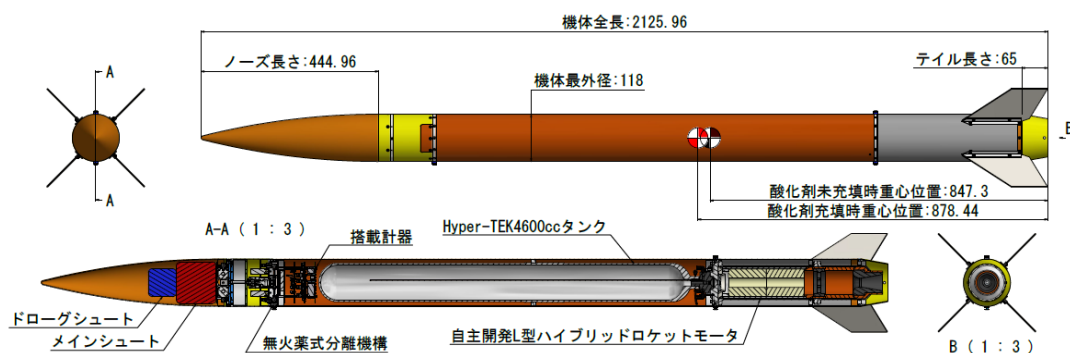


図3 軽量化対策後の H-42 号機



写真3 軽量化のため推力伝達用の機体部品とモータ構造部品を一体化した部品

可能な限りの対策をした結果、各担当者の努力のせいもあり、目標値に大幅に近づいたものの超えることは出来なかった。しかし、スケジュールが逼迫していたこともあり、目標値に達していなくても Mach 1.0 は超えているためこれ以上の対策は止め、製造に移行することになった。

3. 打上げ～回収

現地での運用で特筆すべきは、作業所にてランチシステム(酸化剤供給配管)挿入まで行った後に機体を射点に搬入したことである。これにより、射点での作業が大幅に削減され、大変円滑にシーケンスを進めることが出来た。全組状態だと機体全長の関係上、普段使用しているハイエースで輸送することが困難となるが、物品・機体輸送専用2tトラックをレンタルすることでこれに対処した。余談であるが、2tトラックは屋根付きの所謂“箱車”を選択したため、簡単な整備作業なら荷台の中で行うことが可能である。



写真4 2tトラックに積載したH-42号機

打上げは当初8月23日を予定していたが、悪天候のため1日延期し、8月24日の早朝6時となった。当日、機体チームは深夜0時過ぎに起床し2時に作業所での最終整備を開始、地上設備チームも3時に射点での設営作業を開始した。機体・地上設備チームは共に滞り無く作業を進め、予定通り打上げ1時間前の午前5時にシーケンスが開始された。シーケンスは驚くほど順調に進み、総員退避でややトラブルがあったものの、H-42号機は6時24分40秒に点火された。

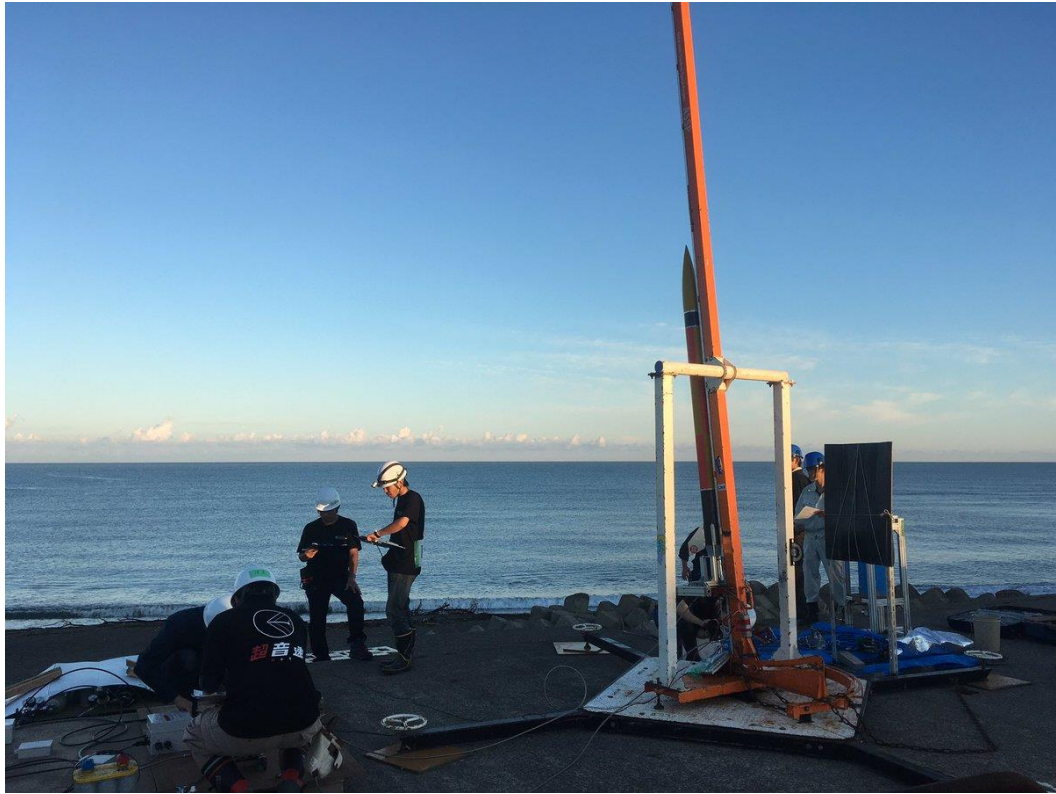


写真5 射点の様子



写真6 飛翔する H-42 号機

ランチクリア後しばらくは正常に飛行を続けたように見えたが、離床 8 秒後に機体から分離物が発生したことを肉眼で確認、その 70 秒後に複数の物体に別れてバラバラに落下・着水した。状況から見て飛行中に空中分解したものとする。

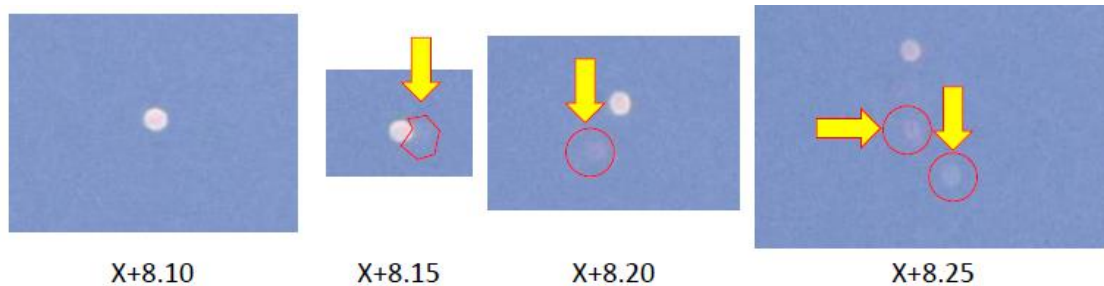


写真7 空中分解時の写真



写真8 落下した物体の1つ

確認出来た落下物は全部で4つだが、内3つは着水後に発見することは出来なかった。唯一タンク以下の部分のみが着水後しばらく海面上に浮かんでおり、防波堤の内側に落下したため船による回収は困難かと思われたが、漁師さん達のおかげで回収することが出来た。回収後にブラックボックスのデータを吸い出したところ、点火直後までしか記録されていないことが判

明し、ミニマムサクセスである飛行データの回収は達成出来なかった。



写真8 回収した H-42 号機の一部

空中分解に至った詳細な経緯は現在解析中であるが、飛行中に何らかの原因によりパラシュートを格納しているノーズコーンが脱落、パラシュートが不時放出されてしまったため設計荷重を超える開傘衝撃が発生し機体の分解に至ったと思われる。打上げ後に当日の風向風速を元にシミュレーションを行った結果、分解が起こったと思われる離床後 8 秒時に機体の速度は Mach 1.03 であり、シミュレーション通りであるならば音速を超えていたことになる。しかし、飛行中の計測データが残っていない以上、音速を超えたかどうかに関しては疑問の残る結果となった。

一方、今回のプロジェクトで得られた成果も数多くある。今後は得られた成果をしっかりと次に繋げ、より確実でより完成度の高いロケットの開発を行っていきたい。

4. 付録：写真集—H-42 号機の開発現場から—



◁システム共有会の様子。
H-42 号機の開発では必要に応じてこのような会議が開かれ、問題点への対策や設計思想の共有を行った。

燃焼実験用の供試体を準備する 2 年生の担当者。▷
実際の設計は上級生が中心となって行ったが、製造や運用には下級生も主体的に関わった。



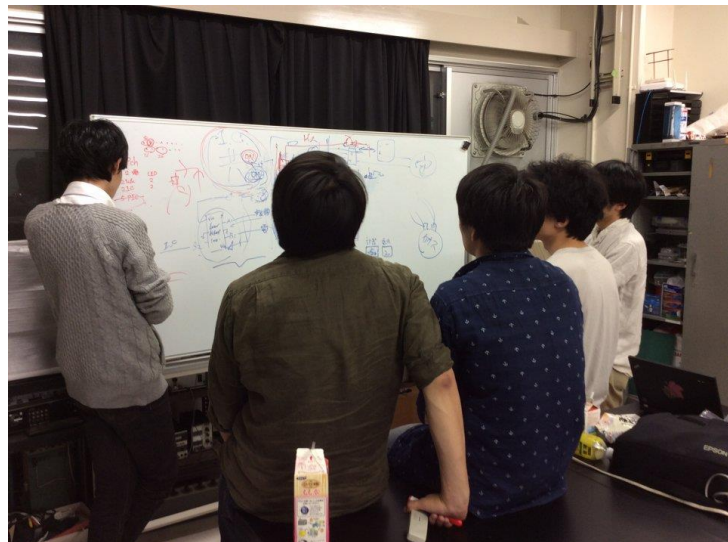


◁軽量化のため材料を
ステンレスからチタン
に変更した部品。



△軽量化対応後の推進系。元の構造から大幅に手が加えられた。

搭載計器への外部給電について▷
話し合う様子。





△領収試験にて焼け焦げたポートテイル。この後、燃焼終了後の延焼対策を行うこととなった。



△学内で実施した打上げリハーサル。当日は深夜から作業を行うため夜に行うことで実際の環境を模擬した。



△打上げ当日。地上設備を展開する GSE 隊。



△打上げ直前の H-42 号機。

参考資料

1. 第 14 期 HR プロジェクト会議議事録 PROC-15-PJ-14
2. 第 14 期 HR プロジェクト会議議事録 PROC-15-PJ-15
3. 第 15 期 HR プロジェクト会議議事録 HX-42 号機仕様策定会議 PROC-16-PJ-01

H-42 号機の開発記録

発行 平成 28 年 9 月 17 日

編集 安 晋一

発行 東海大学学生ロケットプロジェクト広報班

〒259-1292

神奈川県平塚市北金目 東海大学 湘南校舎

印刷所 六棟印刷

落丁・乱丁本はお取り替えします