

第1回えひめ南予共同気球実験におけるロックーン技術の検証

○宇都宮 大地¹, 藤原 裕己¹, 江利川 透磨¹, 澤井 太郎¹, 中塚 颯人¹, 桐山 春香¹,
菅沼 佳祐¹, 鈴木 梨々花¹, 鈴木 瑛介¹, 前田 恵介²

¹早稲田大学, ²千葉工業大学

The technical verification of rockoon in the 1st Ehime-Nannyo Joint Balloon Experiment

Daichi UTSUNOMIYA¹, Yūki FUJIHARA¹, Tōma ERIKAWA¹, Tarō SAWAI¹, Hayato NAKATSUKA¹,
Haruka KIRIYAMA¹, Keisuke SUGANUMA¹, Ririka SUZUKI¹, Eisuke SUZUKI¹, Keisuke MAEDA²

¹Waseda University, ²Chiba Institute of Technology

Abstract

WASA (Waseda univ. Aeronautics and Space Association) has been carrying out research on rockoon : a rocket launched from an stratospheric balloon. The 1st Ehime-Nannyo Joint Balloon Experiment was our 2nd balloon experiment following Miyakojima Space Balloon Contest held in 2019. Purposes of the experiment are accumulating knowledge about rocket launch at high altitude and operation of stratospheric balloons. We report the outcome of the experiment and our prospects.

1. はじめに

早稲田大学宇宙航空研究会(WASA)では2017年よりロックーン(気球発射式ロケット)に関する研究を実施している。2019年の宮古島スペースバルーンコンテストに続き、今回の第1回えひめ南予共同気球実験は我々にとって2回目の成層圏気球実験であった。本実験は上空でのロケット発射に関する知見と成層圏気球運用ノウハウの獲得を目的としている。本稿では実験で得られた成果と今後の展望について報告する。

2. ロックーンについて

ロックーン(rockoon)とはロケット(rocket)と気球(balloon)の合成語であり、気球による空中発射式ロケットを指す。高高度からロケットを発射することで、ロケット単体での到達高度に気球での上昇分が上乗せされるほか、空気密度低下による空気抵抗の減少と推力の向上が期待され、小型・低コストのロケットでもより高い高度に到達することが可能となる。WASAでは高度100km到達を目標としてロックーンの研究を進めている。

3. 実験目的

ロックーンの要素技術の検証のため、高度20km付近でのモデルロケット発射実験を行う。

上空におけるランチャーやロケットの挙動を解析し、高高度での安定したロケットの発射が可能であるかを検証する。また弊団体は成層圏気球の運用経験に乏しく、今後の継続的な実験のためにも気球の運用ノウハウを獲得する。

4. 機体概要

4.1 全体構成 上からバルーン、パラシュート、ランチャー、アンテナ用フロートの順にラインで直列に接続されている。ロケットとバルーンの接触を防ぐため、ランチャーは鉛直軸に対して20°傾斜しており、バルーンーランチャー間は約40mの距離を確保している。

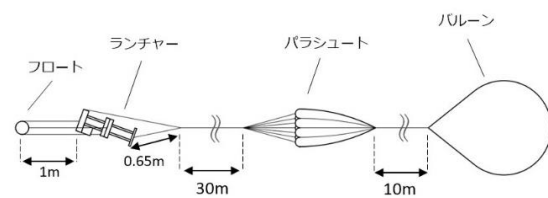


図1 全体構成

表1 システムの諸元

気球区分	軽気球
気球名称	コスモブレン 1500
全重量	g 6000
ペイロード重量	g 3700
ペイロード数	1

4.2 ランチャー ガントリー式のモデルロケット発射機。ロケットを取り囲むように3本のアルミ製レールが取り付けられている。また、ロケットとランチャーを同時に回収するために両者はナイロンラインで接続されており、その送出機構には釣り竿用リールを流用している。また電装を格納した水密ケースが側面に配置されている。

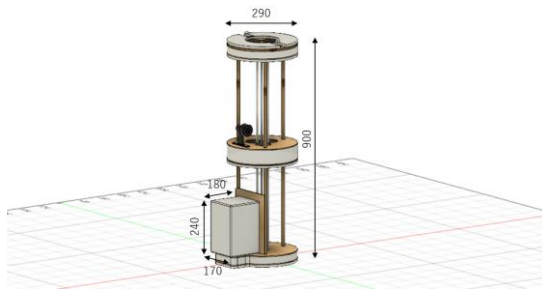


図2 ランチャー

表2 ランチャーの諸元

重量	g	2900
寸法	mm	φ290x900
材質		発泡樹脂素材, ベニヤ板, ステンレス
外装色		オレンジ, 白
搭載機器		モデルロケット, 電装, テザー送出機構

4.3 フロート 地上局とペイロードの安定した通信のためには常にアンテナが上方を指向している必要がある。しかし浮力試験の結果、着水したランチャーがどの面を上に向けるかが定まらなかったことが判明したため、アンテナを取り付けた球形フロートをランチャーから吊り下げる設計に変更した。フロートにはアンテナ以外にもアクションカム, Spot Trace (GPS 発信機), 本体側電装用のGPS 受信機, レゴ人形を搭載している。

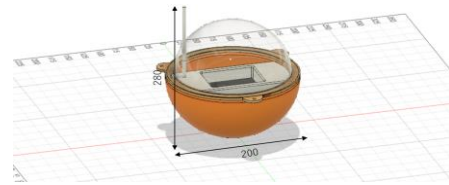


図3 フロート

表3 フロートの諸元

重量	g	400
寸法	mm	φ200の球体
材質		発泡スチロール, PET, ベニヤ板
外装色		オレンジ
搭載機器		GPS 発信機/受信機, LoRa アンテナ, アクションカム

4.4 ロケット B6-4 モデルロケット用エンジンを使用する。ボディには紙筒, フィンにはシナ合板を使用しており, ノーズコーンは3Dプリンターを用いてABS樹脂で製作した。バルーンに衝突する可能性を考慮し, 先端部には発泡スチロール製の被帽を有している。ペイロード部にはデータロガーを搭載する予定であったが, 開発が間に合わなかったため本実験では搭載していない。ロケットは金属ワイヤーとナイロンラインを介してランチャーと接続されている。一部に金属ワイヤーを使用しているのは, ロケットに近い部分では噴射炎によりナイロンラインが溶断される可能性があるためである。

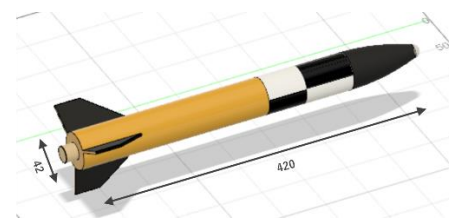


図4 ロケット

表4 ロケットの諸元

重量	g	130
寸法	mm	φ42x420
材質		紙, ABS, シナ合板
外装色		オレンジ, 白, 黒
搭載機器		なし

4.5 地上局 LoRa 規格を利用している。アップリンクとダウンリンクの両方に対応しており、テレメトリ発射許可/中止コマンドの送信やテレメトリの受信を行う。受信したデータは Wi-Fi を経由してタブレット上の Web ベース UI に表示される。高度・位置情報・気圧のほかバッテリー電圧や発射ステータスなどを取得している。



図 5 地上局

5. 実験結果と反省

5.1 実験概要 実験概要は以下の通りである。

表 5 実験概要

放球日時	2022 年 9 月 24 日 11 時 14 分
放球場所	土佐西南大規模公園(高知)
飛行時間	約 1 時間 30 分
最高高度	23450m (気圧高度)
着水予定地点	土佐湾沖 12km 付近
設定上昇速度	7.44m/s
設定降下速度	11.4m/s
充填 He ガス量	13000L (7m ³ ボンベ 2 本)

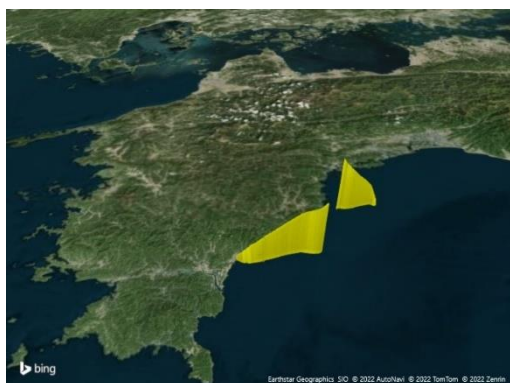


図 6 気球の飛行経路

2022 年 9 月 24 日 11 時 14 分頃に高知県の土佐西南大規模公園から放球した。ヘリウムガスの充

填や全長 40m のラインの送り出しに手間取り、予定より遅れての打ち上げとなってしまった。上昇中、高度 12100m を境に 2 系統の GPS の内の 1 つで座標が取得できなくなった。ただし GPS 座標以外のデータは問題なく受信できていた。高度 23100m 付近で点火装置の作動を確認し、放球から約 1 時間後に最高高度 23450m に到達した。降下の途中、高度が 12100m 以下になると再び GPS 座標が取得できなくなった。放球から約 1 時間 30 分後に土佐湾上に着水し、無事回収に成功した。点火装置は作動したもののモデルロケットへの点火には失敗した。しかしながら飛行の大部分で通信を維持することができた。

5.2 放球について 放球が遅れてしまった主な原因は、ガス充填—放球の間の作業に関して事前に詳細に詰められていなかったことである。本来指示を出すべき人間がガス充填時のバルーン保持に回ってしまうなど、役割分担についても詰めの甘さが露呈した。またリフトオフ時に約 40m に渡るラインの扱いを想定し切れていなかったことも原因である。今回の実験で気球運用の知見を得られた上、より詳細な放球手順書を作成しリハーサルを入念に行うことで時間短縮に繋がれると考えられる。また最大の問題として人員の不足が挙げられる。今回の実験結果を PR に活用することで新入部員の増加に繋がれるものと期待している。

5.3 ロケットの不点火について 前述の通り今回の実験では上空でのロケットへの点火に失敗した。テレメトリにより点火装置の作動は確認しており、回収後のイグナイタ(火薬式点火器)は焼き切れていた。テレメトリでは点火回路の抵抗値を取得しており、この値が大きく跳ねあがれば点火装置が正常に作動して焼き切れたものと判断している。



図 7 回収後のエンジンとイグナイタ

不点火の原因として、(1) バッテリーの電圧不足、(2) 火薬の吸湿、(3) 低温低圧によるエンジン・イグナイタの不具合、(4) エンジンとイグナイタの接触不良、(5) エンジンまたはイグナイタの初期不良などが考えられる。ただしログではバッテリー電圧は常に規定値以上であったため(1)の可能性は低い。

電装システムに関しては事前に低温低圧試験を実施して問題が無いことを確認していたが、点火システムは安全上の問題により低温低圧環境での動作試験を行っていなかった。原因を特定するため、小型の真空チャンバーを用いたエンジンの燃焼試験を実施予定であり、現在実験装置の製作を進めている。

またイグナイタは通常のモデルロケットの打ち上げにも用いられているが、地上の打ち上げでも接触不良や回路のショートにより点火に失敗することがしばしば起こる。イグナイタがそもそも不確実性を孕んでいる可能性もあり、これを代替する高信頼性の点火システムとしてレーザー点火装置の導入を検討している。

5.4 電源について 点火装置を含めたメインシステム用バッテリーは問題なく動作していた一方、アクションカムは打ち上げ前に直射日光に晒されて温度が上昇し、放球直前で録画が停止してしまっていた。打ち上げ直前まで機体を日陰に置いておくなどの対策に加え、次回以降は機外搭載を検討している。熱の問題のみならず、カメラの機外搭載にはレイトアクセスが可能というメリットがある。今回の機体では、本体電装もカメラも一度カバーを取り付けると容易には外せない設計になっており、セットアップ後は一切物理的に操作できないという難点を抱えていた。最低限のスイッチを外部に露出させるなどの改善策が挙げられる。

6. 今後の展望

本実験を通して成層圏気球の運用に関する貴重な経験を積むことができたほか、解決すべき課題も多く発見することができた。今回の設計を踏襲しつつ上記の改善点を反映し、次回の実験でも引き続き上空でのモデルロケット発射に挑む。ロケット側にはデータロガーのみならず通信機能を付与し、将来的なロケットの単独回収への布石とする。今後半年は今回の実験データの分析とそれに基づく要素技術の開発に充てるものとする。2023年3月開催の種子島ロケットコンテストにてデータロガーと通信機能を有するモデルロケットの実験を予定しているほか、特に電装関連の技術継承を順次行っていく。また新入部員の確保も死活問題であり、今回の成果を広報にも最大限活用する。

7. 謝辞

今回の第1回えひめ南予共同気球実験を実施するにあたり多くの方のご協力を賜りました。千葉工大の前田先生を始めとする教員の皆様、愛媛県や愛南町の方々、ご協賛頂いた企業の皆様、回収

船を運航して下さった漁師の方々、そして共同実験の運営に携わった皆様にこの場を借りて御礼申し上げます。

8. 参考文献

- 1) 石井千尋著, ロクーンの放球について(ロクーン・第1号), <https://repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/record/23317/files/sk012003008.pdf>, 2022/07/10.
- 2) Cambridge University Spaceflight Landing Predictor, <http://predict.habhub.org>.