

ロックーン方式によるモデルロケット打ち上げへの試み

○菅沼 佳祐¹, 藤原 裕己¹, 宇都宮 大地¹, 鈴木 梨々花¹, 桐山 春香²,
坂 功弥¹, 那須 俊矢¹, 松永 一汰¹

¹ 早稲田大学, ² 日本女子大学

Attempt to launch a model rocket using the Rockoon method

Keisuke SUGANUMA¹, Yuki FUJIHARA¹, Daichi UTSUNOMIYA¹, Ririka SUZUKI¹, Haruka KIRIYAMA²,
Koya SAKA¹, Toshiya NASU¹, Ichita MATSUNAGA¹

¹Waseda University, ²Japan Women's University

Abstract

WASA (Waseda univ. Aeronautics and Space Association) has been carrying out research on rockoon : a rocket launched from an stratospheric balloon since 2017. The 2nd Ehime-Nannyo Joint Balloon Experiment was our 3rd balloon experiment following Miyakojima Space Balloon Contest held in 2019 and 1st Ehime-Nannyo Joint Balloon Experiment. The purpose of this experiment was to gain experience in launching rockets in the sky and to improve proficiency in stratospheric balloon operations. The experiment was canceled due to an accident just before the ball was released, so this paper reports on the outline of the experiment that was scheduled to be conducted and future 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, 第 1 回えひめ南予共同気球実験に続き, 今回の第 2 回えひめ南予共同気球実験は我々にとって 3 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経験を獲得することと, 成層圏気球運用の熟練度向上を目的としている。実験は放球直前の事故により中止となったため, 本稿では実施予定であった実験の概要と今後の展望について報告する。

2 ロックーンについて

ロックーンについて説明するために, 弊団体が発表した昨年度の資料を引用する。

「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。」[1]

3 実験目的

本実験の目的はロックーン方式の有用性を示す事である。前章で述べたように, 地上で発射するよりもロックーン方式を用いることで効率的に飛行距離を伸ばすことができると言われている。成層圏気球からセンサを搭載したロケットを射出することで飛行距離を記録し, 地上で打ち上げた際の飛行距離と比較することで目的を達成する。また, ロックーンに関わる研究を継続して行うために成層圏気球の運用練度を高めることも目的の一つである。

4 実験概要

実験の概要を示すために, 「目的達成のためのミッション」と, 「実験の全体像」についてそれぞれ記述する。

4.1 ミッション

今回の実験では, 「ロケットの発射」「安定通信の実現」「空気をスラスタの性能評価」をミッションに掲げていた。最も優先するのはロケットの発射であり, ロケットの飛行データを回収することが最重要である。加えて, 機体の回収を確実にを行うために上空と地上で安定した通信を行うこと, 今後の研究に向けて圧縮空気による自作スラスタの性能を評価することをミッションに設定した。

4.2 実験の全体像

機体準備から放球、発射、回収までの一連の流れを示す。機体準備時、機体の組立作業と同時にロケットをランチャーに装填し、点火装置をロケットに接続する。ちなみに、点火装置は地上局からの発射許可コマンドを受信するまで起動しないようプログラムされている。各コンポーネントを吊り下げロープに締結し、気球にヘリウムを充填したのちに気球にロープを締結し放球する。放球後に発射許可コマンドを送信し、気圧高度が 20km に達した時点で点火シーケンスに移行する。スラストによる姿勢制御を行った後にエンジンに点火し、ロケットが発射する。ロケットはテザーによってランチャーと繋がれており、単独で落下することはない。

放球地点と漁船それぞれに配置した 2 つの地上局を用いて機体との通信を行い、追跡する。高度 30km 前後で気球が破裂すると、パラシュートで減速して降下し海面に着水するので、漁船で回収する。

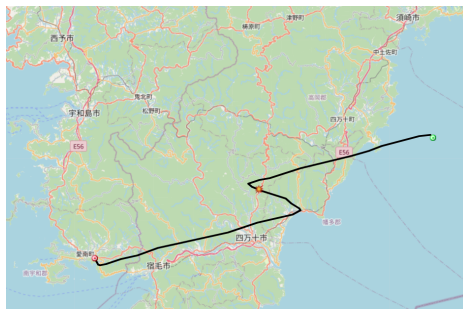


図 1 飛行ルートシミュレーション

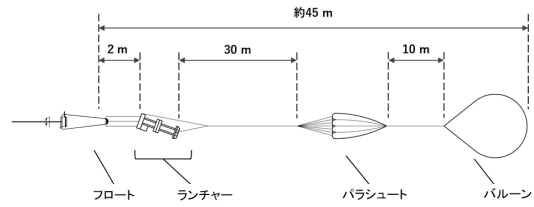


図 2 機体の概観

表 1 機体全体の諸元

気球区分	中気球
気球名称	コスモプレן 2000
全重量 [g]	5480
ペイロード合計重量 [g]	4824
ペイロード数 [個]	3

トに締結されたテザーは発射口の周囲に巻き取られており、発射するとほどけていくようになっている。

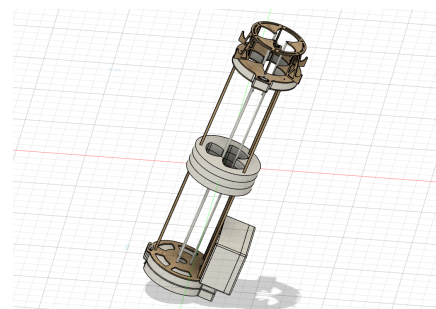


図 3 ランチャー

5 機体概要

5.1 全体構成

機体は 3 つのペイロードから構成される (図 2)。ランチャーとフロート、ランチャーとロケットはそれぞれナイロン製のパラコードとナイロンテグスにより繋がっている。それぞれのペイロードに関する諸元と機能を述べる。

5.2 ランチャー

発射台の役割を果たす (図 3)。ロケットはランチャー中央部の 3 本のアルミパイプに沿って発射される。点火装置・スラスト制御機構を含む電装を搭載する。また、ロケットがバルーンに衝突しないようにランチャーは発射口が鉛直軸から 25° 傾くように 3 本のロープで支持される。ロケッ

表 2 ランチャーの諸元

重量 [g]	2636
寸法 [mm]	φ 250 × 1030
材質	発泡樹脂, カバ合板
搭載機器	モデルロケット, 電装, 空気スラスト

5.3 フロート

地上との通信を行う (図 4)。また、構造にペットボトルを採用し、空気スラストのタンクとしての役割を果たす。着水後も通信を行うために重心を偏らせて、海面で起き上が

り、アンテナが海面の上に来る設計になっている。アクションカメラを搭載し、ランチャーの様子を撮影できるようになっている。

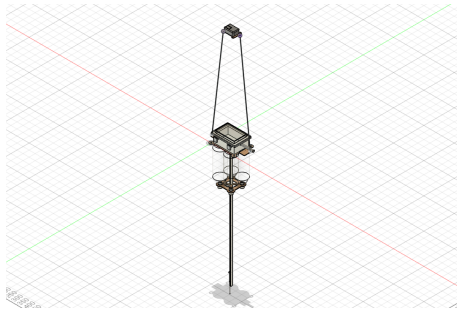


図4 フロート

表3 フロートの諸元

重量 [g]	1968
寸法 [mm]	300 × 260 × 1050
材質	PET, シナ合板, 塩化ビニル
搭載機器	通信用アンテナ, 電装, スラスタタンク アクションカメラ

5.4 ロケット

ランチャーから発射されるモデルロケット (図5)。機体上部の水密区画内に電装を搭載し、各種飛行データの測定・記録を行うほか、ランチャーおよび地上局にデータを送信する機能を有する。ランチャーとは100mのテザーで接続されており、着水後はランチャーとともに回収される。ちなみに地上で発射した場合の最高高度は約60m (C11-5 使用時) であり、高度20kmでも、最高高度は70mの見込みである。

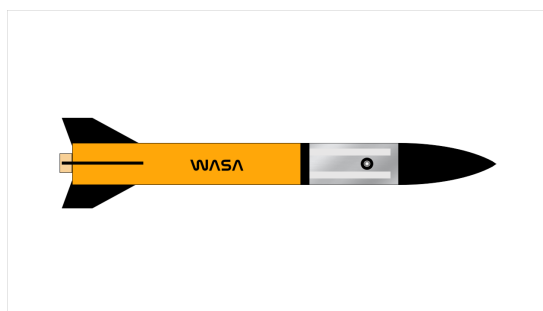


図5 ロケット

表4 ロケットの諸元

重量 [g]	220
寸法 [mm]	φ 50 × 610
材質	半紙 FRP, シナ合板, ポリカーボネート
搭載機器	火薬エンジン (C11-5), 電装, パラシュート

6 回収用装置

機体には含まれない、地上から機体追跡のために用いる装置について記載する。

6.1 地上局

機体との通信 (アップリンク・ダウンリンク両者対応) を行う (図6)。携帯端末からテザリングすることで、Web上のGUIを更新可能である。機体との通信にはLoRaを用い、テレメトリを受信する他、点火許可コマンドを送信可能である。地上局は2機用意しており、放球地点と漁船それぞれで保有する。

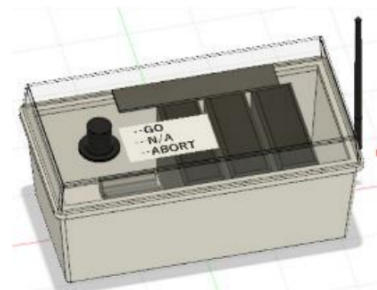


図6 地上局

6.2 八木アンテナ

受信専用であり、LoRaの周波数帯に最適化されている (図7)。手で持てる大きさと軽さであり、主に船上で機体と通信を行うために用いる。エレメントにはアルミパイプと銅パイプを用いている。

6.3 GUI

テレメトリを表示する (図8)。インターネットに繋がばどの端末からも接続することが可能なので、通話やメッセージで送らずとも、機体の位置や状況を共有することが可能となっている。機体位置、受信状況、機体電池電圧、地上局位置等を値・グラフ・地図などで表示する。

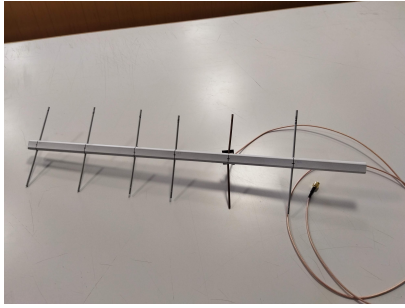


図7 八木アンテナ



図8 GUI画面

7 実験結果・事故概要

放球実験を行うことができなかったため、前述した発生事故について記述する。

7.1 事象

ペイロード準備中、イグナイタ（火薬エンジンの点火器）が予期せぬタイミングで点火、エンジンに着火したことでエンジン装填者の手に火炎が吹きかかり、右手中指、薬指にやけどを負った。

7.2 原因

遠隔点火モジュールでイグナイタに流す電流を制御するMOSFET素子がショートしており、故障を検知する機構が搭載されていなかったため故障に気が付くことができず、コネクタに挿入した瞬間にイグナイタが点火してしまった。

7.3 対処

負傷者は最寄りの病院の皮膚科にて処置後経過観察となり、現在はほとんど完治している。機体については飛翔後のロケットに炎上は確認できなかったが、念のためペットボトルで水をかけた。その後、電装の電源を切ってケーブルを抜き、保冷バッグに収納した。

7.4 総括

事故原因は電装の不良であったが、一番の原因は組織として安全に対する考え方が未熟であったことである。設計面、防具面、体制面、作業面それぞれから安全対策を講じて再発防止に努める。



図9 事故現場写真

8 今後の展望

今回の事故を重く受け止め、ミッションと安全対策に関して見直す必要がある。2年以上の長期的な視点で見て、安全に発射が実施できる体制を整える。一歩ずつ確実に技術を獲得していき数年後、今回の目的を達成できるようにするために今後活動していくつもりである。

9 謝辞

第2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。また、本事故でご迷惑をおかけした関係者の皆様に、心よりお詫び申し上げます。今後このような事故が起こることのないよう、安全対策を徹底します。

参考文献

- [1] 宇都宮 大地, [2022], 「ロックオン方式によるモデルロケット打ち上げへの試み」, 2022年度大気球シンポジウム会議発表用資料