

SUWA 小型ロケットプロジェクトで開発したハイブリッドロケットの 打ち上げ実験

中山 昇^{*1}, 堀田 将臣^{*1}, 関 啓亮^{*1}, 小平 裕也^{*2}, 松原 洋一^{*3}, 榎 和彦^{*1}

Development and operation of hybrid rocket with SUWA Rocket Project

Noboru NAKAYAMA^{*1}, Masaomi HORITA^{*1}, Keisuke SEKI^{*1}, Yuya KODAIRA^{*2}, Yoichi MATSUBARA^{*3},
Kazuhiko SAKAKI^{*2}

ABSTRACT

In this project, we develop "educational research program" for hybrid rocket, and develop "proposal type technicians" who can think and propose themselves. Here we report on the result of demonstration experiment of its performance with the hybrid rocket engine developed in this project. As a result of clarifying the relationship between wind speed and altitude, it turned out to be a linear relationship.

Keywords: SUWA Rocket Project, hybrid rocket, wind speed

概要

ハイブリッドロケットを対象にした教育研究プログラムを開発し、自ら考え提案することができる「提案型技術者」を育成している。ここでは、本プロジェクトで開発したハイブリッドロケットエンジンを搭載し、その性能の実証実験を行った結果について報告する。風速と高度の関係を明らかにした結果、線形の関係であることがわかった。

1. はじめに

諏訪圏の精密工業の発展を支える人材育成を目的として、ハイブリッドエンジンを搭載した小型ロケットを対象にした教育研究プログラムを開発し、自ら考え提案することができる「提案型技術者」を育成している。また、本教育研究プログラムの成果として、諏訪圏における宇宙機器の技術力向上につなげることも目的としている。これまで3回のロケット打ち上げ実験を実施してきた。

ここでは、本プロジェクトで開発したハイブリッドロケットエンジンを搭載し、その性能の実証実験を行った第3回目の打ち上げ内容について報告する。

2. ロケット打ち上げ実験計画

2.1. ロケットの概要

2.1.1. ロケットの設計と製造

燃焼実験により得られたエンジンの仕様によって図1のロケットを設計した。また、その仕様を表1に示す。

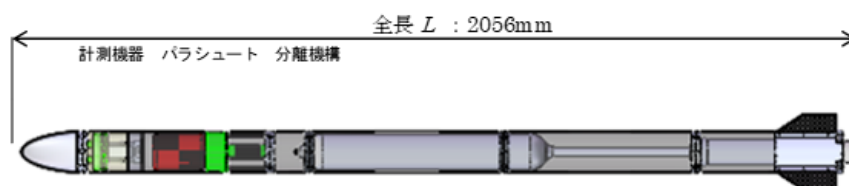


図1 機体の構成と機体寸法

表1 ロケット概要

名称	SRP003-01A
全長[m]	2.056
直径[mm]	Φ102
質量[kg]	11.9 (機体 8.5, 酸化剤 3.4)
モータ	自作モーター
燃焼前重心位置[m]	1.202
燃焼後重心位置[m]	1.154
到達高度[m]	3,156
回収方法	軌道頂点付近でパラシュート放出後落下, その後テレメトリと視認での追跡, 機体の位置を特定, 回収を行なう.
搭載物	ハイブリッドロケットエンジン, 分離機構, パラシュート, 加速度センサ, ジャイロセンサ, 高度センサ, GPS, 無線通信器, ひずみ計測器, カメラ

2.1.2. 実験日程

実験期間は平成30年3月16日(金)～平成30年3月19日(月)を予定していた。詳細な日程を表2に示す。

表2 日程

3月16日(金)	午後: 機材搬入(能代市子ども館, 落合海岸(能代海水浴場跡地))
3月17日(土)	午前: 機器組立, ランチャー設置
	午後: ロケット組立
3月18日(日)	打ち上げ実験(日出～9:30 および 10:10～12:00 まで)
	(打ち上げた場合, 片付け)
3月19日(月)	打ち上げ実験予備(日出～9:30 および 10:10～12:00 まで)
	午後: 片付け・能代発

2.1.3. 実験時間帯

平成30年3月18日(日)日の出～9:30および10:10～12:00の間に実験を行う。また、本期間中に実験が実施できなかった場合、予備日として設定した3月19日(月)日の出～9:30および10:10～12:00の間に実験を行うこととした。

第1回 打ち上げ目標時間 9:00

第2回 打ち上げ目標時間(天候等で1回目に打ち上げられなかった場合) 10:30

ただし、天候や状況によって時間を変更することとした。

3. ロケット打ち上げ実験の結果

3.1. 打ち上げ日時

平成30年3月18日(日)9:00にSRP003-01Aによるロケット打ち上げ実験を実施した。

打ち上げ直前に次のことを確認した。

- ① 警報、注意報、濃霧注意報などは出ていないことを確認。

- ② 気温4.6°C
- ③ 風向 南, 風速1.7m/s (風速制限: 平均5m/s以下)
- ④ 濃霧, 竜巻による視界 (目視による1km以内の観測が可能かどうか。)

3.2. 高度

テレメトリーシステムで収録した高度を図2に示す。図2の拡大図を図3に示す。打ち上げ後、約26秒で最高到達高度3,500mに達していることがわかる。

また、図3から打ち上げ後、約6秒の箇所で圧力が上がっている(図中では下がっている)が、衝撃波が発生していることを示しているため、マッハ0.8はを超えていると思われる。

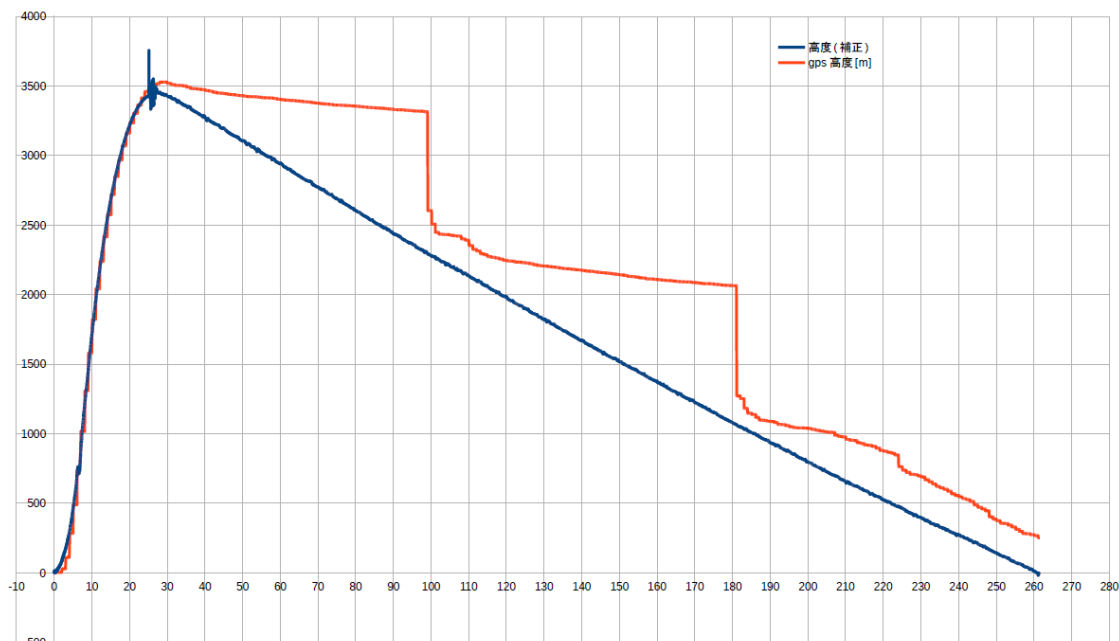


図2 高度 (打ち上げから着地まで)

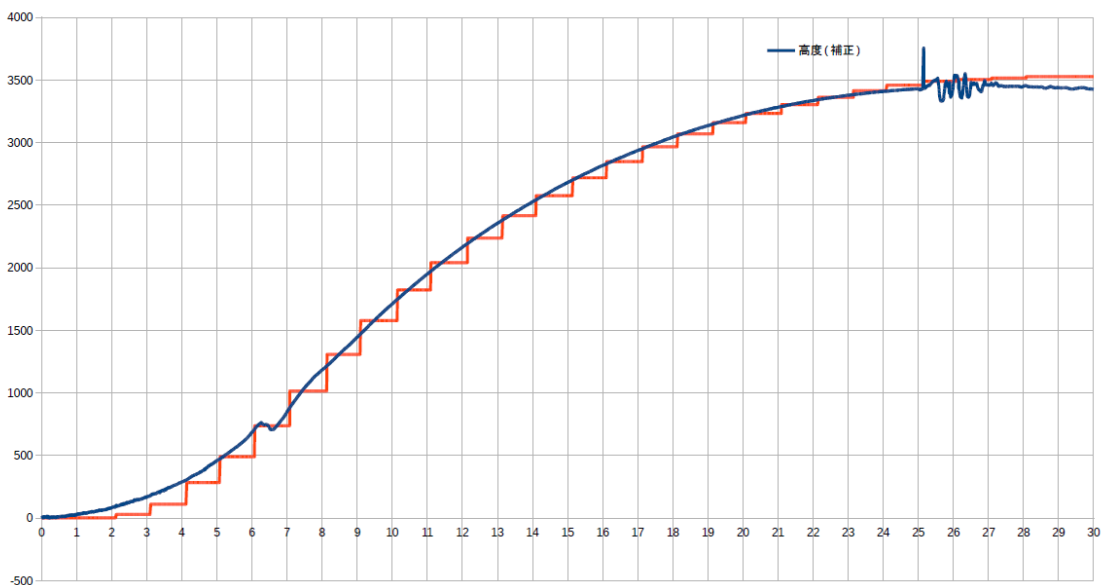


図3 高度 (打ち上げ0秒から30秒までの拡大図)

3.3. ロケットの軌跡と着地地点

テレメトリーによって計測したロケット打ち上げ時の軌跡を図4に示す。射点から東へ771m, 北へ210m, 高度3mに着地した。

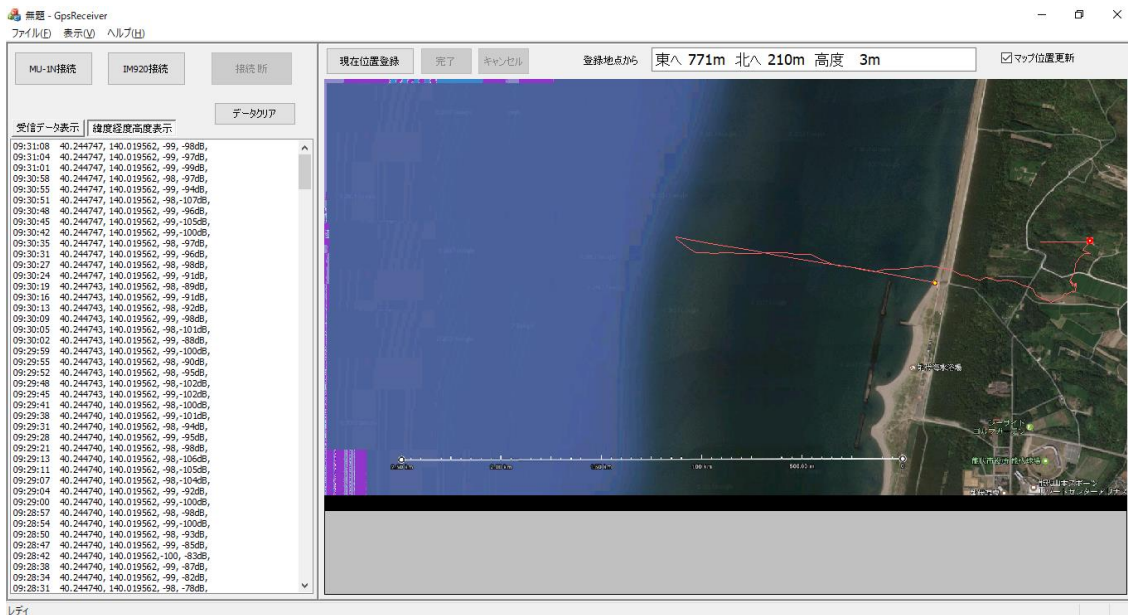


図4 ロケットの軌跡

4. 今回のロケット打ち上げ実験の問題点と対策について

4.1. SRP003 のロケット打ち上げ実験の問題点

ロケットの打ち上げに関しては、打ち上げ時間通りの実施（9時）、打ち上げ方向および高度、パラシュートの開傘については問題が無かった。しかし、着地点が東に771mとシミュレーションの結果と大きく異なった。

本プロジェクトで実施したシミュレーションは、通常、ハイブリッドロケットの打ち上げに用いられている『ロケットの落下範囲は航空宇宙技術研究所（旧NAL）の「地上付近の横風の影響による小型ロケットの方位角変化」及び「地上付近の風の影響による小型ロケットの姿勢角変化』を参考に落下地点を予想した。

打ち上げ直前には、図5に示すように東から西に向けて風が吹いていた。従って、通常であればパラシュートが解散すれば東から西に（海に）向かって落下するはずである。

地表では西向きの風であったが、上空は異なる風向きであったと考えられる。

『世界版リアルタイム風向きマップ（気象庁数値予報モデルGPVデータ）（<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/gpv/wind/>）』および気象庁観測データによると能代市付近は高度が高くなるに従って風速が増加し、風向きも変わっていることがわかった。図6に示すとおり、高度1,000mまでは、ほぼ地表と同じであるがそれ以上になると急激に風速は直線的に変化し高度3000mでは風速が約20m/sであった。



図5 打ち上げ時の写真（風は東から西に向かって吹いている）

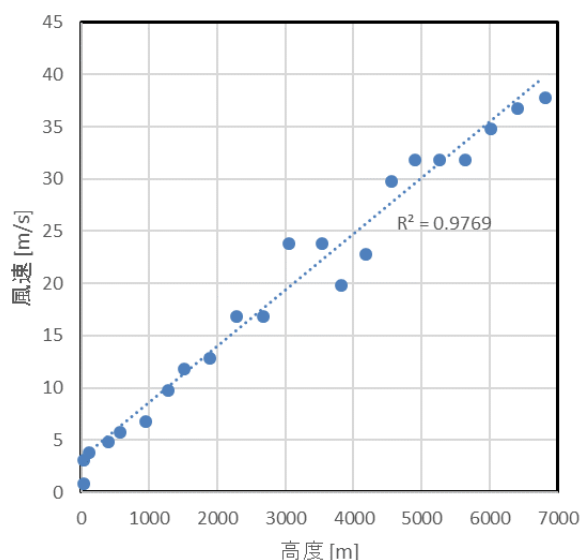


図6 高度と風速の関係（気象庁観測データ）

4.2. 風速に関する考察

能代宇宙イベントなどの安全審査では風速モデルに式(1)に示す「べき法則」を採用している。

$$V_Z = V_R \left(\frac{Z}{Z_R} \right)^{1/n} \quad (1)$$

V_Z : 地上からの高さ Z [m]における風速

V_R [m/s] : 基準高さ Z_R [m]における風速

n : 地表面の状態によって決定する値

式(1)で求めた高度と風速の関係と実測の関係を図7に示す。べき法則で使用したデータは、高度7mにおける風速3.3m/s, $n=8$ である。赤丸がべき法則で求めた結果であり、青丸が実測である。高度1000mまではべき法則で求めた風速と実測値はほぼ同じであることがわかる。

図8には高度7000mまでの実測値とべき法則で使用したデータ（高度7mにおける風速3.3m/s, $n=3$ ）を示す。高高度での風速は高度とともにほぼ線形の関係であることがわかる。従って、べき法則で計算した高度と風速の関係とは一致しないことがわかった。

以上の結果から、高度1000mmまではべき法則で予測することは有効であるかもしれないが、高高度の風速の場合、べき法則で予測することは困難であることがわかった。高高度の風速の場合、実際の風速でシミュレーションをすべきであることがわかった。

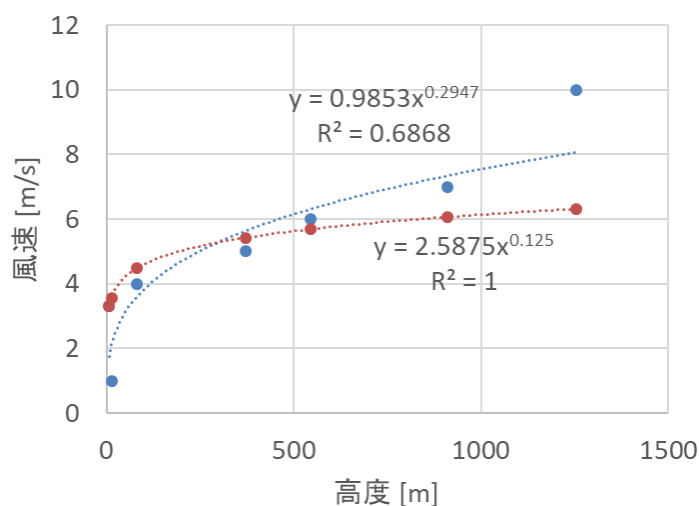


図7 ベキ法則で求めた高度と風速と実測の結果（高度1300mまで）
（青：実測，赤：ベキ法則で求めた結果）

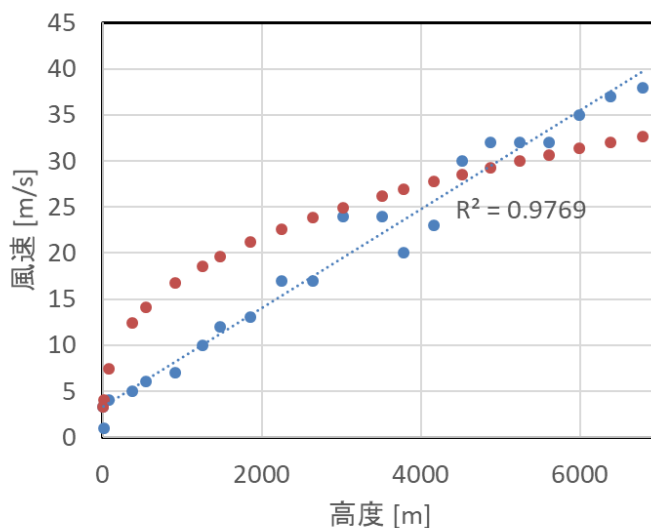


図8 ベキ法則で求めた高度と風速と実測の結果（高度7000mまで）
（青：実測，赤：ベキ法則で求めた結果）

5. まとめ

ロケットの開発をはじめから3年目で高度3,500mまで上昇するロケットを作製できたことは、諏訪の技術力の高さを証明することが出来たと考える。さらに、打ち上げ予定時刻9:00丁度にロケットを打ち上げる運用が出来たことは非常に意義が高いと思う。特にパラシュートを開傘するまではシミュレーション通りで有り、問題なく打ち上げることができたと考えられる。

さらに、高度と風速の関係について明らかにすることができた。

今後は、これらの結果を基にして安全にロケット打ち上げ実験を実施すること検討していきたいと考える。

謝辞

本プロジェクトは「地域活性化・地域住民生活等緊急支援交付金（地方創生先行型）先駆的事業分（タイプI）」の助成を受けたものです。

-
- *1 信州大学 (Shinshu university)
 - *2 太陽工業株式会社(Taiyo Industry Co.,LTD.)
 - *3 株式会社アイシスウェア (Isysware Co.,Ltd.)