

能代宇宙イベント報告書項目

団体名：秋田大学学生宇宙プロジェクト

PM：飯田亮

1. 実験目的

2013年8月19～25日に開催された能代宇宙イベントにてハイブリッドロケットの打上実験を行う。本実験の目的は、L型ハイブリッドロケットエンジンを使用した打上実証である。

2. 実験概要

本実験は、2013年8月20日に秋田県能代市落合浜でL型のハイブリッドロケットエンジンを搭載したロケットを打ち上げる。去年よりも大型のエンジンを使用し、より高高度への打上となるため、機体設計の有用性と、機体に取り付けたセンサーの能力の実証を行う。

3. 実験結果

打上日時：2013/8/21 11:31

打上場所：秋田県能代市落合浜海水浴場跡地

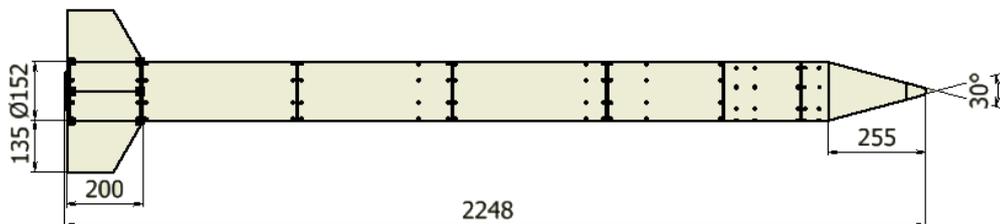
使用ランチャー：ASSP ランチャー

到達高度：622m(GPSにより取得)

3.1 機体

3.1.1 機体構造

機体仕様は、全長2248mm、直径152mm、重量11.1kg(エンジンを含む乾燥重量、エンジン重量は3.2kg)、使用エンジンはHyperTEK L575。また、離陸重量は14.9kg、機体重心位置は1068mm、圧力中心位置は1804mm、離床時安定比0.291、燃焼終了時安定比0.327、目標到達高高度は1040.39mであった。代表寸法は図1に示す。



(図 3.1.1 代表寸法)

結果、到達高度は622mであった。また大きな破損は、エンジンを固定する下端のプレートと、フィンに見られた(写真3.1.1)。



(写真 3.1.1 破損状況)

下端のプレートは M4 ネジ 8 本でボディと固定しており、構造設計では 0.153MPa まで耐えうるようにしてあった。エンジン重量は 3.2kg であるから、単純にオープニングショック 50G で計算してもこの部品にかかる圧力は 0.016MPa であり、十分耐えうるはずである。

ここで、フィンの破損について考える。フィンには飛行画像を解析すると、飛行中に 1 枚ずつ順に破損していった。フィンは上下 2 つの角度で固定していた。破損原因としては、ロケットの高スピード化に伴い、フラッター現象が発生してしまったことが考えられる。また、エンジン下端のプレートは画像解析より分離前に破損しているため、このフラッターにより同時にプレートも脱落してしまったといえる。

以上より、今後はフィンの固定法を強化するため、上下 2 つの角度だけでなく、全体を覆うような構造にするといった対策が必要である。また、フラッター現象を防ぐために、フィンの上下方向が、ロケットの軸と精度高く水平になるような製作も必要である。

3.1.2 空力

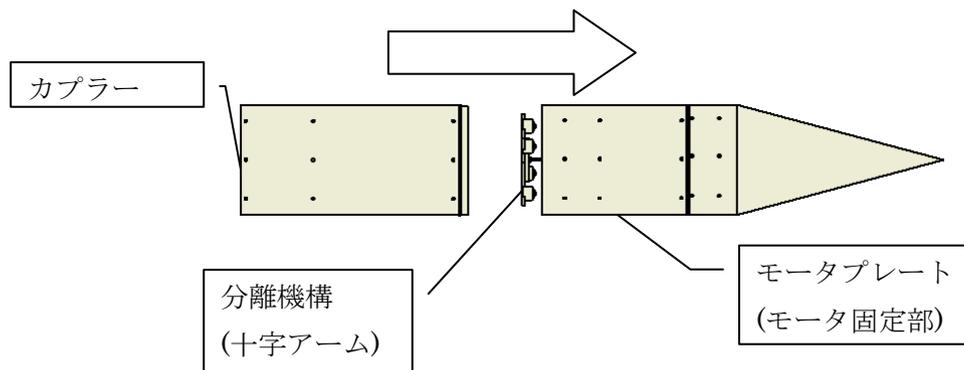
表 3.1.1 空力設計値

酸化剤重心位置	$X_{CG_{ox}}$	1.317	m
ペイロード重心位置	$X_{CG_{payload}}$	0.000	m
ノーズコーン圧力中心位置	$X_{CP_{nose}}$	0.187	m
ノーズコーン法線力係数	$C_{n\alpha_{nose}}$	2.00	-
フィン圧力中心位置	$X_{CP_{fin}}$	2.127	m
フィン圧力法線力係数	$C_{n\alpha_{fin}}$	10.00	-
静安定余裕(酸化剤充填時)	直径基準	0.872329	calibar
	全長基準	5.898313	%

3.1.3 分離機構

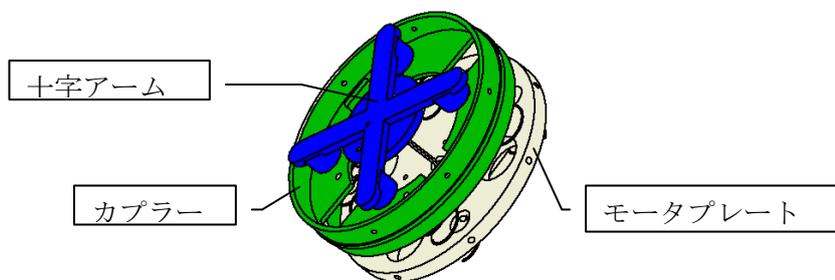
分離機構の仕様を以下に示す。

本分離機構は、DC モータを用いた回転機構と、ばねを組み合わせポップアップ形式(図 3.1.2)で行う。



(図 3.1.2 分離概要)

ロケットが頂点へ到達したら回路が分離信号を発信し、モータが十字アーム(図 3.1.3)を回転させる。アームが溝へ来るとロックがなくなり、4 か所に配置されたばねによりロケット上部が飛び出す。



(図 3.1.3 分離機構 モータ部)

今回の打ち上げでは、分離を行うことが出来た。しかしこれは、分離信号通りの正常な分離ではなく、前述のフラッター現象から発生した機体本体の回転により、分離機構の拘束が耐えきれず行われた分離である。また、機体回収後の分離モータを確認すると、モータ本体には破損はなかった。システム上分離信号が送信されていたかの確認はできないが、分離後も拘束部に破損がなければ動作を行うことが可能な状況にはあった。

今後の対策として、分離機構の拘束部品を強化する必要がある。また、分離機構に不要な力がかからないよう、フラッターのような現象が発生しにくい本体構造にする。

3.1.4 落下位置

弾道落下時

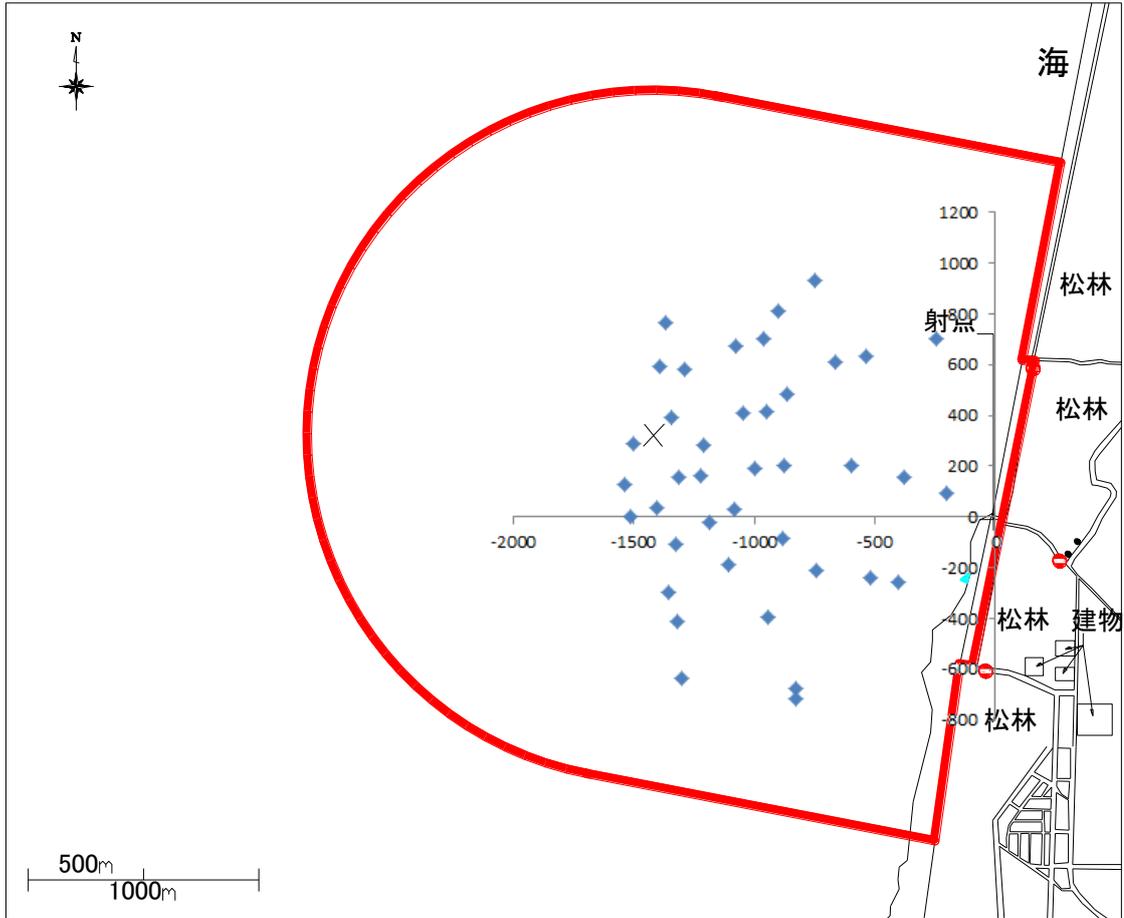


図 3.1.4 弾道落下時における落下分散

開傘時

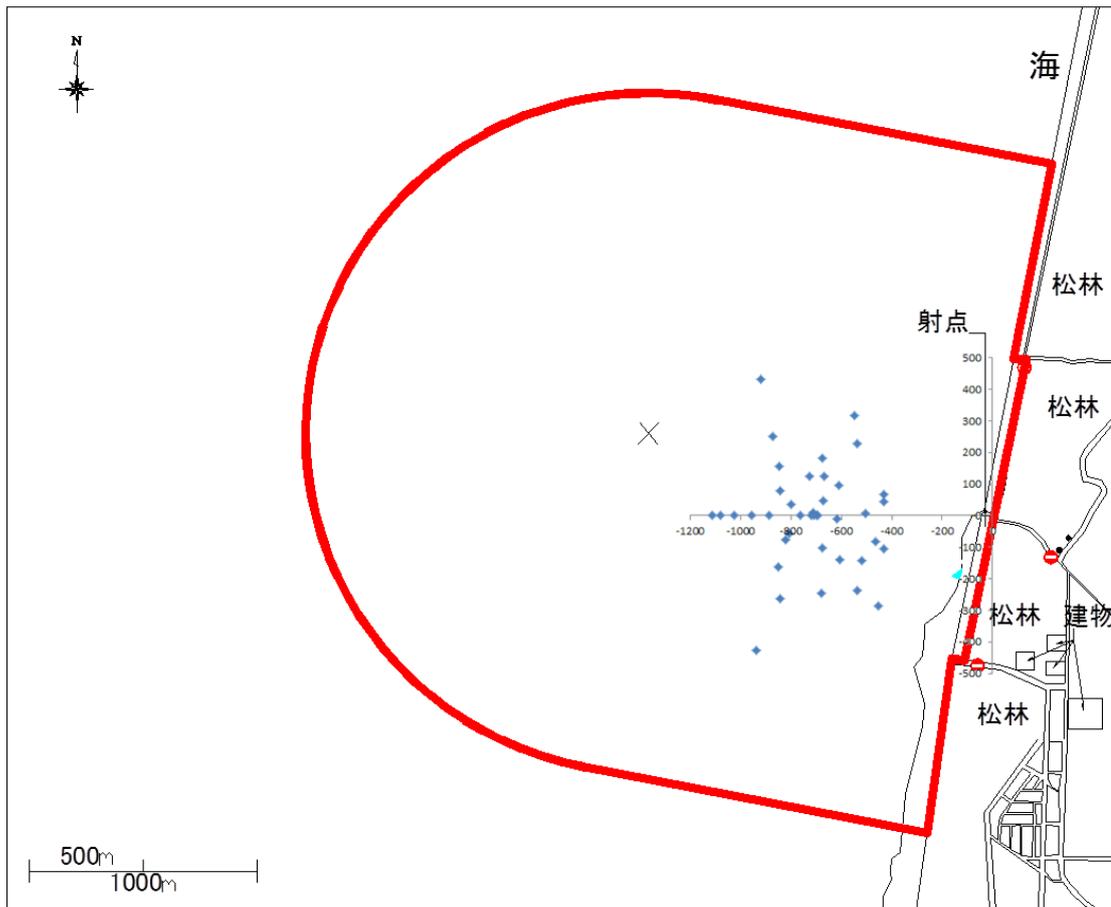


図 3.1.5 開傘落下時における落下分散

3.2 燃焼

3.2.1 エンジン

今回の打上では Hyper TEK L575 のエンジンを使用し,打上実験を行った.

表 3.2.1

燃焼時間(s)	8.114	平均酸化剤圧力(MPa)	2.622742379
平均推力(N)	485.2298888	最大酸化剤圧力(MPa)	4.467916808
最大推力(N)	1269.89422	燃焼燃料(kg)	0.3661
total impulse(N*s)	3937.155318	酸化剤質量(kg)	3.4216
比推力(s)	105.9590282	推進剤質量流量(kg/s)	0.466810451

打上で用いた燃焼実験時のエンジンの推力履歴

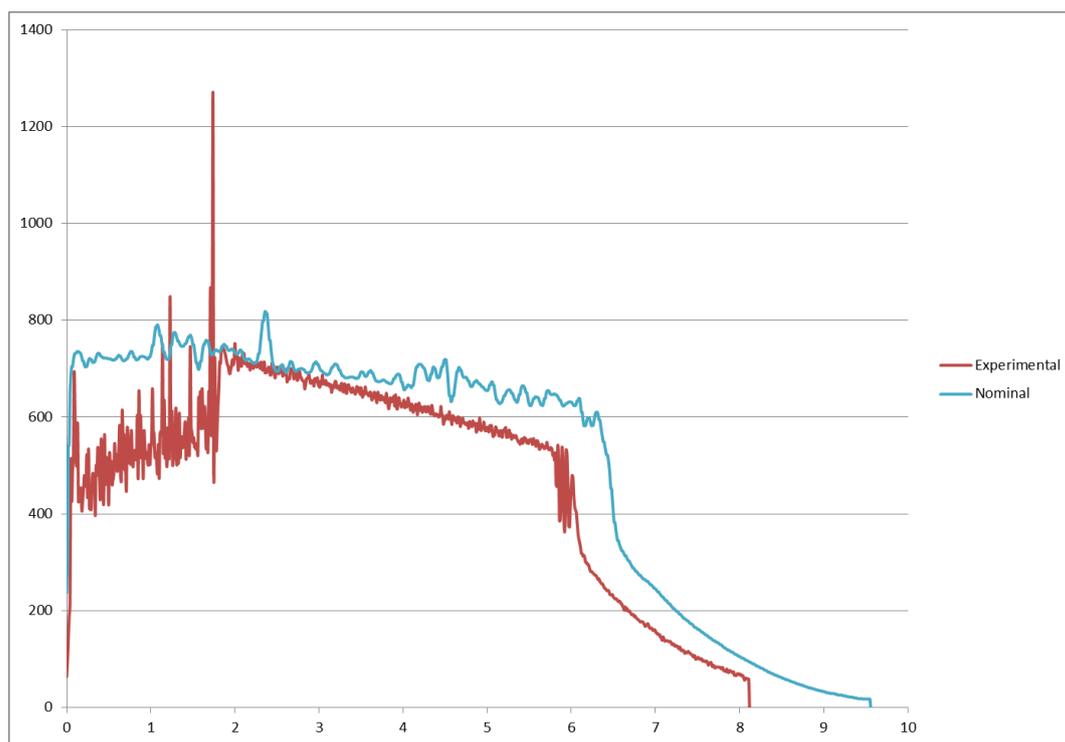


図 3.2.1 L575 エンジンの公称及び実験推力履歴

破損状況：

インジェクターベルの破損, ステムの破損



写真 3.2.1 インジェクターベルの破損状況

原因：

打上げの際ロケットがランチャーに居座ったことが原因でインジェクターベルが融解してしまい破損したと考えられる。

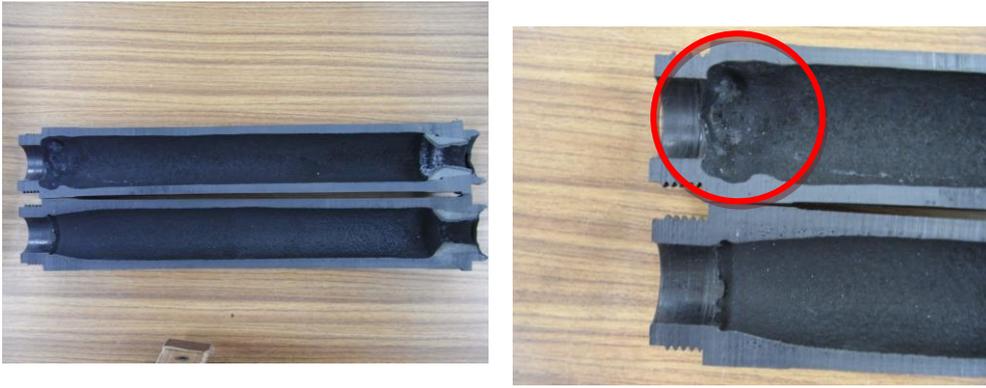


写真 3.2.2 グレインの状況(上：打ち上げに使用したもの,下：燃焼実験時のもの)

また図2を見るとわかる通り打ち上げに使用した方のインジェクター側の方が燃焼実験の時と比べてよく燃えていることがわかる(赤丸部分).

これはランチャーに居座っていた際に点火用の酸素で燃えたものと考えられる.

表 3.3.2 グレインの燃焼前後における質量変化

グレインの燃焼燃料	[g]
燃焼実験時	366.1
打上時	414.21



写真 3.2.3 インジェクターベルとグレイン

また図3.2.3のようにインジェクターベルをカットしたグレインにはめてみるとグレインの

大きくへこんでいる場所と、インジェクターベルに開いた穴の位置が一致するので酸化剤がこの穴から大量に流れ出していたことがわかる。

また居座りの原因としてはステムを図 3.2.1 のように固定していたことが挙げられる。

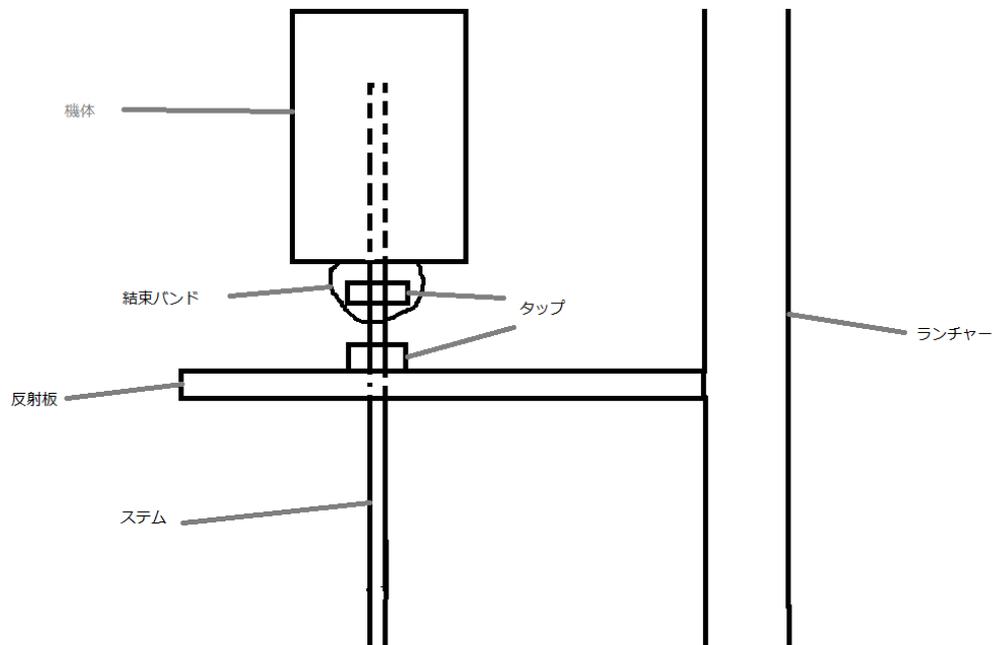


図 3.2.1 従来のステムの固定法

図 3.2.1 のように固定していたためステムが抜けるためには機体が持ち上がる必要があった。

しかし今回の機体は重かったため持ち上がるのに時間がかかり居座りが発生したと考えられる。

解決策：

ステムの固定法を今までの方式から図 3.2.2 のような落下式に変更することで結束バンドが焼き切れるとステムが抜けて酸化剤の流入が始まるのでランチャーでの居座りはなくなる。

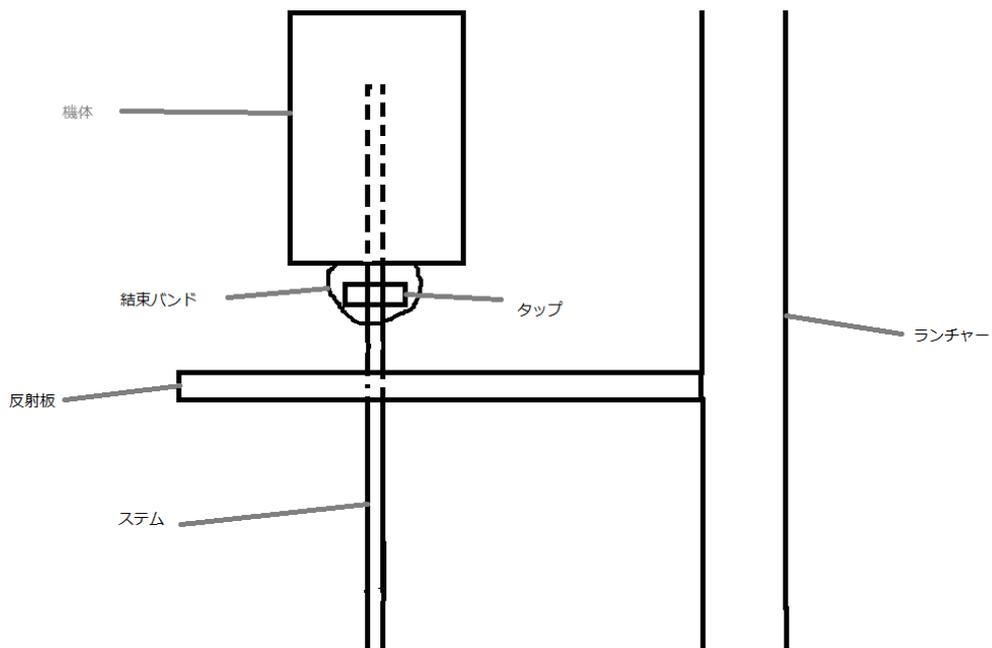


図 3.2.2 ステムの固定法(落下式)

3.3 搭載計器

3.3.1 搭載計器概要

搭載概要 スマートフォン Xperia ray SO-03C

サイズ 111 × 53 × 9.4 mm

重さ 100 g

取得可能データ



図 3.3.1 搭載したスマートフォンの参考画像



図 3.3.2

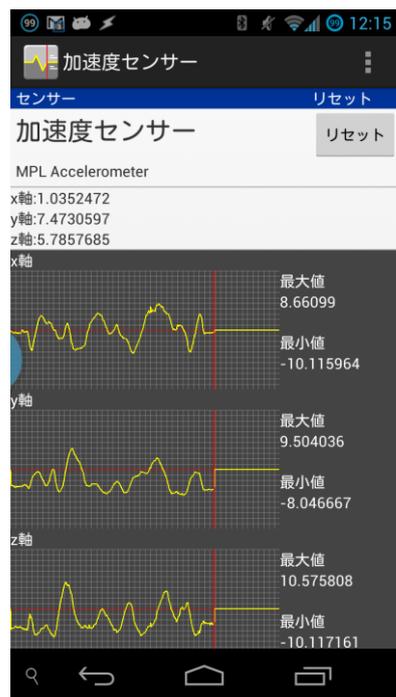


図 3.3.3

3.3.2 取得データ

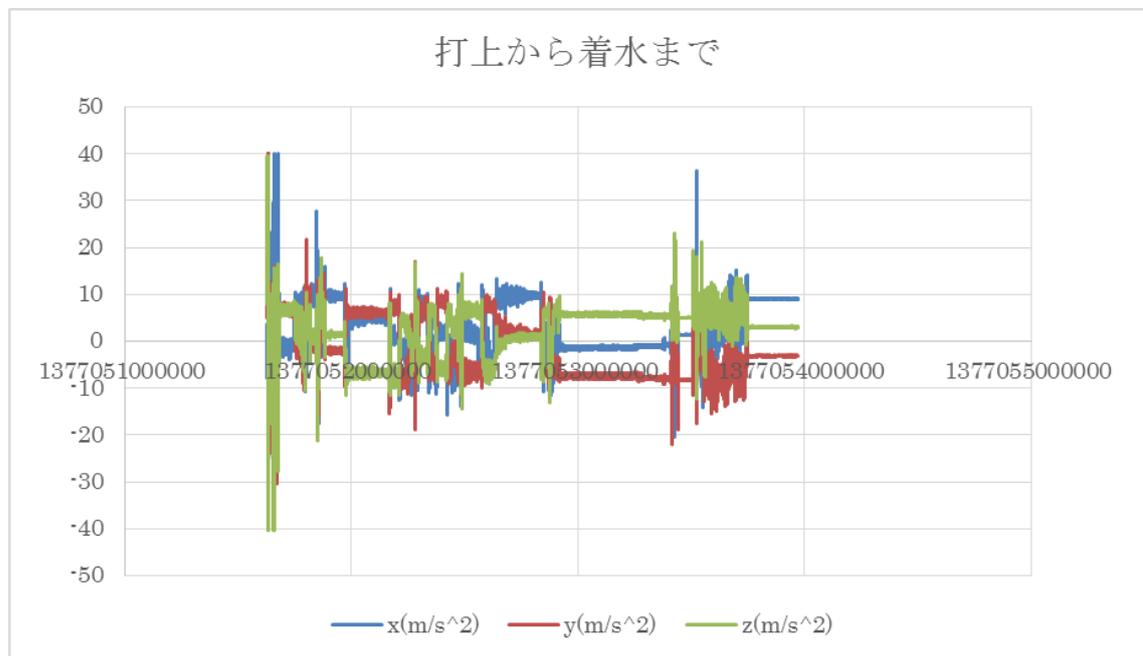


図 3.3.4 打上から着水までの加速度データ

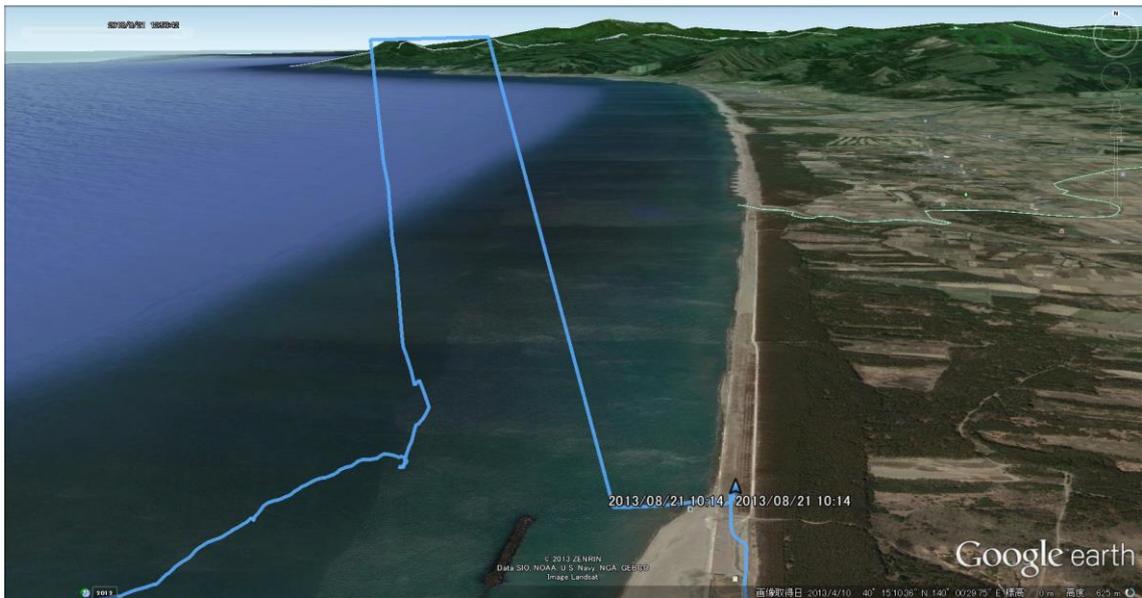


写真 3.3.5 打上時搭載したスマートフォンの GPS データの軌跡

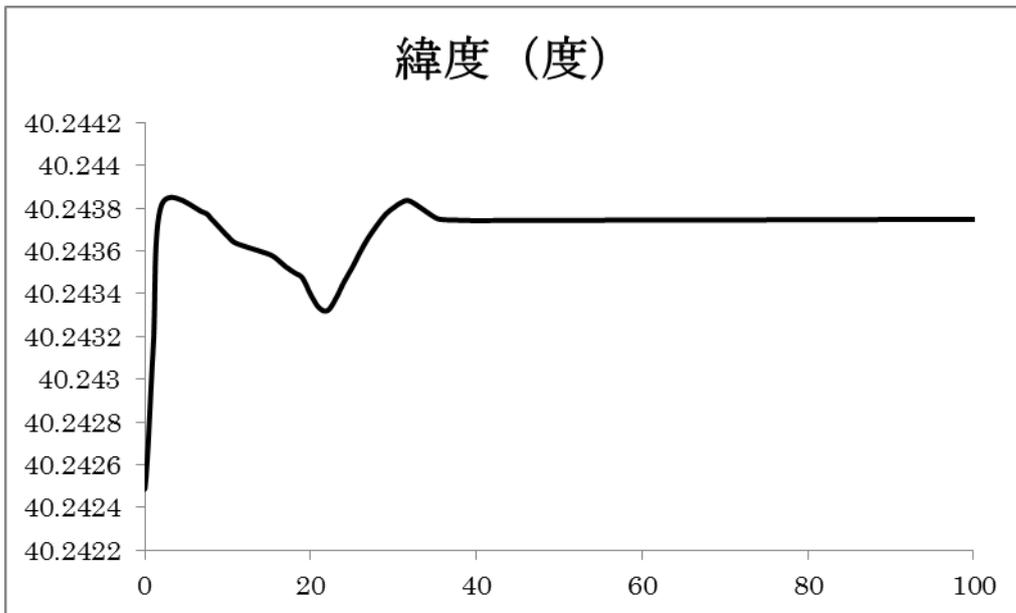


図 3.3.6 GPS データの緯度

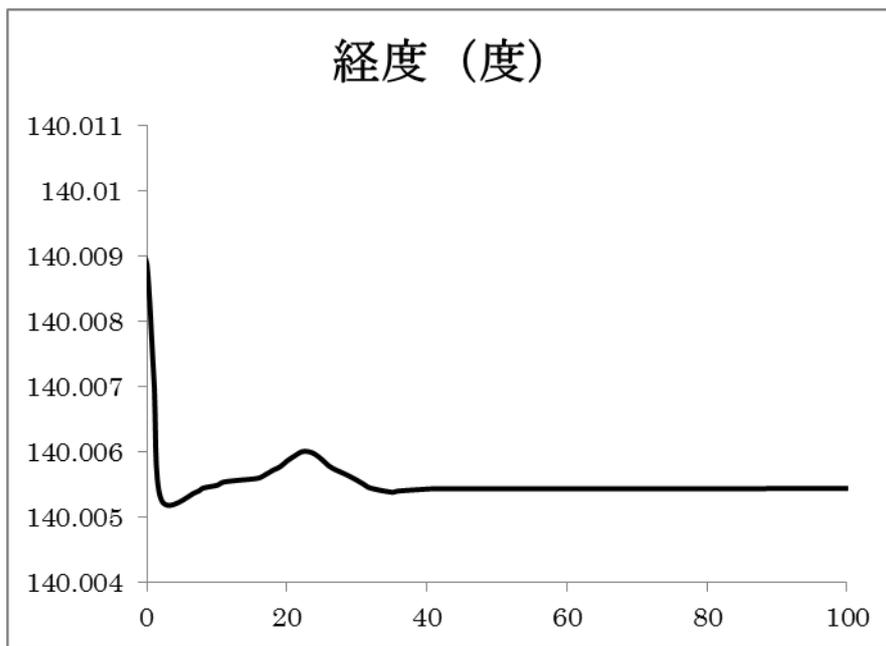


図 3.3.7 GPS データの経度

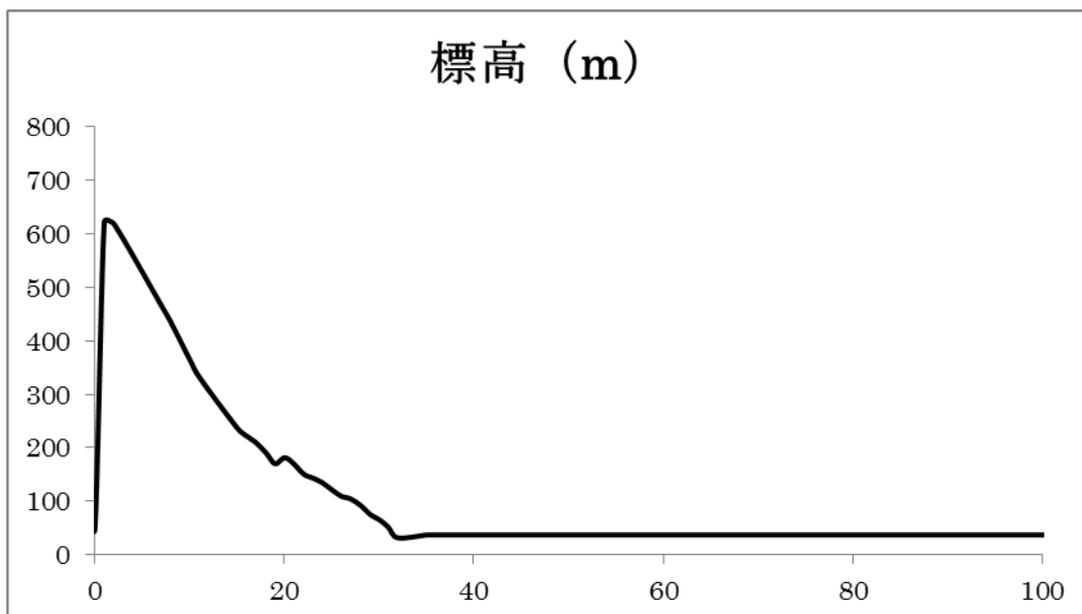


図 3.3.8 GPS データの標高

今回の打ち上げを通して去年の ARLISS 等で判明していたが,GPS だけでロケットのログを取得することは困難である.また,スマートフォンに搭載しているセンサーでは,値の頭打ちが発生するので改善の余地があると考えられる.

ただし開発に関しては,基本的にプログラムの構成だけで完成するため,非常に容易である.

今回の端末よりも適切な端末を選択すれば,より多くのデータ (気圧等) が取得出来ただろうと考えられる.

4. 今後の課題と展望

今回の打上実験にて特にシーケンスの管理に関して不足な点が多々見られた。このことに関しては今後の打上実験の経験を積むことで改善が図れると思われる。

また、機体に関しては機体加工の精度の向上、フィンの固定法、燃焼に関してはステムの固定法の改善、トラブルシューティングにかかる時間を最小限に抑える、といった改善が今後の課題として挙げられる。現状では機体製作にかかる時間の多くをパーツの加工に割かなければならないため設計に専念する時間が少なく、分離機構や機体の組立方法を最適化することが難しい状況である。加工時間の短縮のために、機体構造の簡略化や、一部加工が容易でないパーツの外注などを検討している。

来年度夏には M 型のエンジンを搭載したロケットを打ち上げることを目標としており、それに向けて、今後は二段分離機構の実証のための機体を製作していく方針である。