

理数探求 中間報告

モデルロケット班

伊藤 聰一郎 石田 佑介
一ノ瀬 賢斗 加藤 汎一

1.概要

近年、宇宙開発の進歩が目覚ましい。私たちは、急成長するこの分野に興味を持ち、高校生に可能な範囲の探求活動をすることにした。そこで目をつけたのが、モデルロケットだ。モデルロケットとは、実物のロケットをそのまま小型化したような機能を持つ模型のロケットである。世界中の教育機関などで、宇宙教育の教材として利用されている。推進装置は、黒色火薬を使用しているので、玩具煙火（花火）として問題なく購入、消費できる。また、価格も一本1000円程度で比較的安く入手できる点も経費面で有利である。

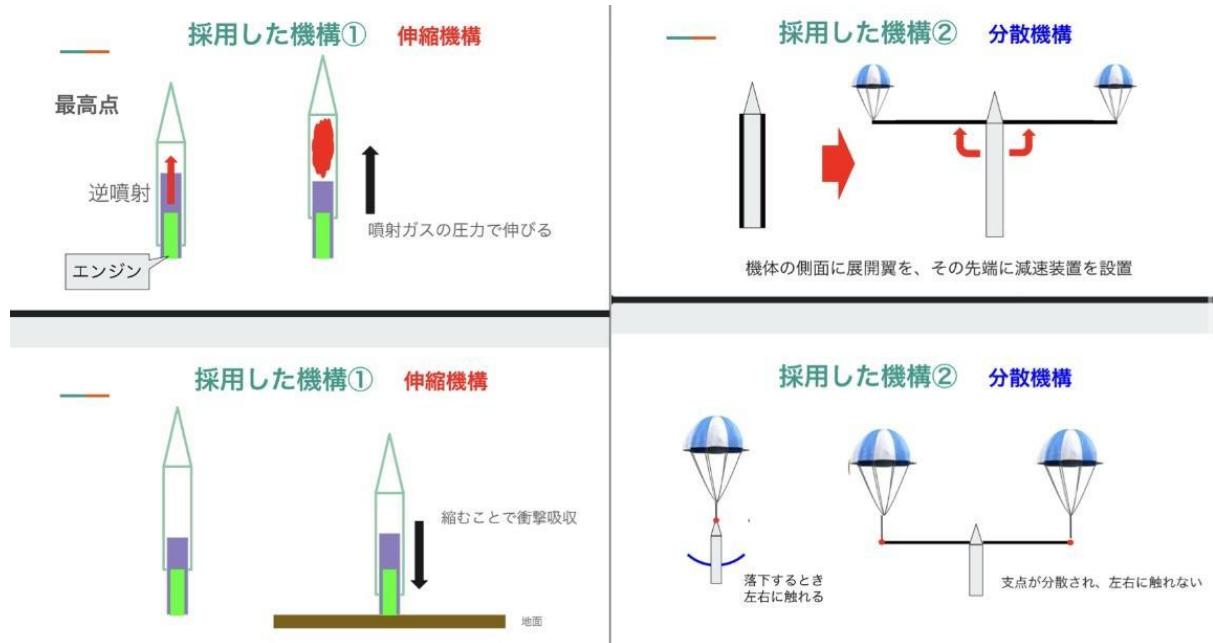
探求活動のテーマ決定に先立ち、情報収集をする中で、ロケットの抱える普遍的な問題に辿り着いた。それは、コストの問題である。例を挙げると、日本の主力ロケットであるH2Aロケットは、一度の打ち上げに100億円ほどかかるといわれている。このような問題を解決するため、ロケットの再利用技術の開発がSpaceXなどによって試みられ、実際に活用されている。この技術の肝は、無事打ち上がり、役目を終えたロケット（ブースター）を再び地上に垂直に着陸させるという部分にある。しかしこの技術はその難度ゆえ、世界規模でみても日本も含め実用化に漕ぎ着けていないところが多い。私たちは、この技術について、私たち独自の機構を搭載したモデルロケットを用いて、検討することにした。

2.研究内容

2-1.着陸機構

私たちは、ロケットを垂直に着陸させるために必要な要素として、降下時の機体バランスの維持と、着地時の衝撃吸収を挙げた。これら2つの要件を満たす装置として、伸縮・分散機構（図1）を開発した。伸縮機構とは、ロケットを二重構造にして空中で伸ばし、接地時に縮ませることでその衝撃を吸

収する機構である。分散機構は、パラシュート等の減速装置を機体から腕を伸ばし複数個設置することで横風に対する安定性の確保と、受動的な姿勢制御を可能にする機構である。



(図1)

これら二つの機構をどのようにして組み合わせて、一つのメカニズムとするか、ここが、本研究の一番の山場であった。行き詰ったため、インターネットで、モデルロケットについて検索し、世界中の様々な機体を調査することにした。そして、モデルロケットに何らかの動的な機構を備え付ける場合、モデルロケットエンジンのパラシュート放出火薬を動力源にする場合が多いということに気が付いた。パラシュート放出火薬とは、筒状であるモデルロケットの中に収納してある、パラシュート等の落下速度減速装置を外へ放出するために使われる、ロケット内部向きの小規模な噴射を起こすための火薬である。この噴射圧を利用してピストン等の機械を動かすというである。モデルロケットはその小規模さゆえに、徹底的な軽量化がはかられる。そこには機構を動作させるための電源やアクチュエータを載せる余裕はない。そこで、この内部へのガスの噴射を二重構造ロケットの筒を伸ばすために使用し、それによりストッパーを動かして、分散機構用の腕（以下展開翼と呼称する）のロック解除を行うという機構を考えついた。

2-2. 機体作成①

上述の機構を搭載して、それを動作させるのに足るように最高高度が25~30mになるロケットの設計をした。着陸用の脚と、ロケットの軌道を安

定させる空力フィンを共用とし、着地時の衝撃に耐えるためにフィンは分厚めの設計（通常紙やプラ板を使うところ、5mmの発泡樹脂を使用）とした。

また、減速装置はパラシュートより横風の影響を受けにくいとされるストリーマー（薄いフィルム製の帯）を採用した。

ロケットの詳細



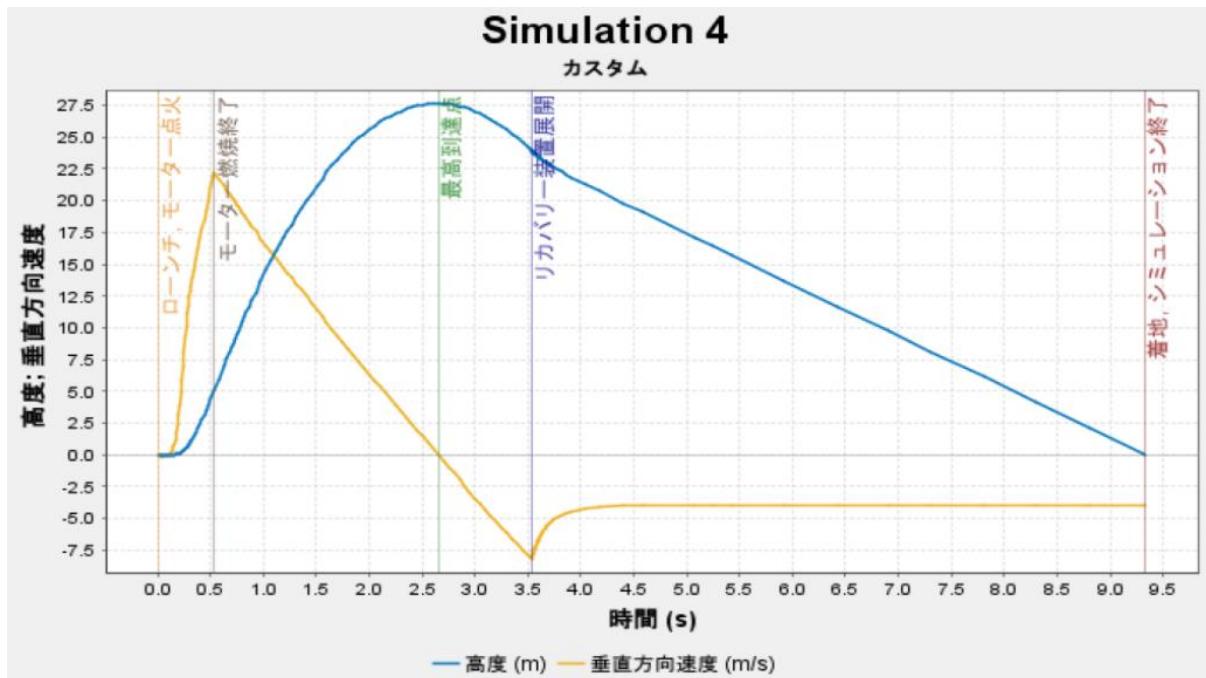
素材

ロケット本体	: ポリ乳酸、ABS、紙
羽根	: 低発泡硬質塩化ビニール
エンジン	: A8-3
全長	: 32.5cm
直径	: 2.1cm(展開翼込み 3.5cm)
重量	: 80g

この機体の最大の特徴は、伸縮・分散機構を搭載していることである。他に工夫した部分は、身近なもので代用することが難しい複雑な形をした部品である、ノーズコーン（ロケットの先端部）及び、減速装置展開用のヒンジ部分をFusion 360という3D CADソフトを用いて設計し、高校の備品の3Dプリンターで出力したことである。

また、模型制作などで使われる、紙に接着剤を染み込ませて硬化させ、樹脂のように仕上げるという技法を使い、軽さと強度を両立させた。

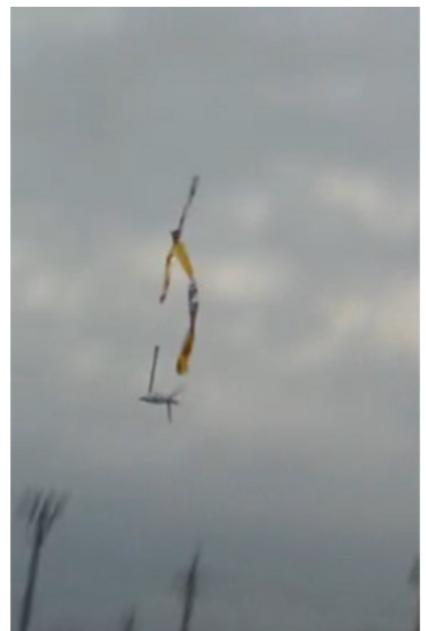
この機体の諸元を、OpenRocketSimulatorというソフトに入力して打ち上げシミュレーションを行った。以下がその結果である。



この表で注目すべき部分は、到達高度だ。あくまでもシミュレーションなので、理想的な環境下の結果ということに留意する必要があるが、青い線の最大値を見ると、27.5mとある。設計目標である25~30mを達成した。尚、着陸機構についてはシミュレーション結果に反映されていない。

2-3.打ち上げと考察①

令和6年1月15日、高校グラウンドで、1回目の打ち上げ実験を行った。実験では、十分な高度までの機体の上昇(高度約30m)、伸縮機構の動作、ストリーマーの展開(3個中2個)が確認することができた。しかし、一部のストリーマーや展開翼の不展開によって、降下時に機体が下向きに地面と垂直になり、機体の中心を軸に回転してしまった。原因としては、機体に磁石を搭載する際に、誤って展開翼と一緒に機体も接着してしまっていたため、最高到達点で展開翼の展開に至らなかったからだと考えられる。そのため、機体の製作の際だけでなく、打ち上げ前にも厳密なチェックを行うこととした。



(左:上昇する機体) (右:落下時の機体)

2-4. 機体作成②

前回と基本の機体設計は共通だが、ストリーマーの固定方法を変更した。前回までは円柱状に丸めたストリーマーを展開翼と機体でサンドイッチするような構造だったが、それでは打ち上げ時の加速度で下に抜けてしまう可能性があるので展開翼の下端部分にフックを設けて、抜けることがないようにした。



素材

ロケット本体	: ポリ乳酸、ABS、紙
羽根	: 低発泡硬質塩化ビニール
エンジン	: A8-3
全長	: 32.5cm
直径	: 2.1cm(展開翼込み 3.5cm)
重量	: 84g

また、打ち上げ前に展開翼等の動作確認をして前回の反省点である誤接着の確認をした。

2-5.打ち上げと考察②

令和6年1月28日、愛知総合工科高校のグラウンドで2回目の打ち上げ実験を行った。実験では、伸縮機構の動作、ストリーマーの展開、展開翼の展開を確認することができた。しかし、機体の回転、ストリーマーの最高点での不展開により、今回も目標としていた結果を得ることが出来なかった。今回、機体の回転が起こってしまった理由としては、おもりの位置が中心から外れており、それを軸としてコマのように回転してしまったからだと考えられる。

また、展開翼が最高点で開かなかつた理由としては、機体を打ち上げるために必要なエンジンのパワーが足りなかつた、言い換えると、機体が設計上の重量を超過してしまい機体を押し上げきれなかつたためだと考えられる。そのため、おもりを中心などを確認しながら機体の中心に取り付け直すこと、部品の材質などを変更し機体の軽量化を図ること、以上2点を行うこととした。



(左:最高点に達した機体) (右:展開翼の動作不備により落下する機体)

2-6.打ち上げ実験まとめ

1回目、2回目の実験を振り返ると、機構の部分部分についてはしっかりと動作しているが、展開翼の展開については、そもそも十分に開かなかつたり、開いてもタイミングが遅かったりと課題が散見された。その理由としては主に、高度不足が挙げられる。

今後は、エンジンの出力を上げたり、軽量化を行って高度を稼いで、ストリーマーが作動する時間、姿勢を整える時間を確保できるよう工夫をしたい。

3.総括

今回、私たちが検討した着陸方法は、ストリーマー等を用いて空気の力だけに頼って減速する方法なのでどれだけ減速できても、その終端速度までである。これは、かなり重大な問題である。なぜなら、我々の口ケットは再利用するために着陸しようとしているが、完全に落下速度を0にすることはできず、拳旬、秒速數一十数m/sで地面に激突し壊れる運命にあることを意味するからだ。そのための衝撃吸収機構であったりするのだが、このような着陸は、最後に急減速するため、どうしても精密機械である口ケットを損壊するリスクがある。

冒頭に挙げたSpaceXでは、ロケットの着陸時に、逆噴射を用いて、能動的な減速を行う仕組みが用いられている。これを空力的な制御などと併用して着陸を実現させている。我々も逆噴射を検討したが、フィードバック制御など制御工学の学習の必要性や飛行中の姿勢、軌道を計算するための演算装置、センサー等電子機器をロケットに搭載し、それらを動かすプログラムを書く能力が必要、というように私たちにできる探求活動の範囲を大幅に超えていると判断したので研究テーマとして採用しなかった。逆噴射による着陸技術は現代工学の最先端であり、とても高度な技術なのだ。

しかし、完璧に見える逆噴射による着陸にも欠点がある。それは、逆噴射用の燃料を持って宇宙へ上がらないといけないということだ。ロケットを再利用することによるコスト減の効果の方が余分に燃料を持っていくことよりも大きいのかもしれないが、余分な燃料を抱えるということは、搭載できるペイロード（ロケットに搭載する衛星などの貨物のこと）の規模が小さくなるということである。ゆえに、逆噴射によらないロケットを着陸させる技術が求められるであろう。今は、この世界の誰も思いついていない技術。そんな未来を切り拓く鍵を私たちの今後の探求活動で手に入れたい。

参考文献

- ・ アマチュア・ロケッティアのための手作りロケット完全マニュアル 増補
久下 洋一（著）、日本モデルロケット協会（監修）

出版社：誠文堂新光 ISBN：978-4-416-30710-6