

平成 28 年度 修士論文

マッチ棒ロケットづくりをテーマとした
探究プロセスの開発と実践
～飛翔メカニズムの検討を通じて～

京都教育大学 大学院 教育学研究科
教科教育専修 理科教育専攻

直川 和樹

指導教員：村上 忠幸

指導教員：中野 英之

目次

はじめに	4
背景	4
目的	5
第1章 研究の概略	6
1. マッチ棒ロケット	7
(1) 原理	7
(2) 起源	7
(3) つくりかた（基本のかたち）	8
(4) かたちの変化	9
2. マッチ棒ロケットの背景	12
(1) マッチ棒ロケットの起源 NASA の文献	12
(2) 日本各地で実施された記録	18
第2章 探究プロセスの開発	28
1. 自由研究的手法による探究プロセスの開発	28
2. 卒業研究時に実施した探究プロセスの概要	29
3. 探究プロセスの改良点と背景	31
(1) 改良した探究プロセス	31
(2) 探究プロセスの改良点	33
(3) 探究プロセスを改良させた背景	34
(4) 探究プロセスを改良した結果と考察	34
第3章 探究プロセスの実践	36
1. 実践校一覧表	36
2. 授業実践	38
(1) 京都教育大学附属高校	38
(2) 愛知県立一宮高校 SSH 教員研修	40
(3) 京都教育大学（2015）	40
(4) 京都教育大学附属桃山中学校	41
(5) 京都橘中学校	41
(6) 京都教育大学（2016）	42

第4章 実践の分析について_____ 43

1. はじめに..... 43
2. アンケート分析 44
 - (1) アンケート対象校 一覧 44
 - (2) アンケートの集計方法と結果 45
3. 映像について 48
 - (1) 撮影対象..... 48
 - (2) 自由試行の撮影方法 49
4. 映像分析の方法 50
 - (1) 映像の着眼点 51
 - (2) 自由試行の分類 51
 - (3) 場面に分けた分析（場面分析） 54

第5章 場面分析の考察_____ 58

1. 各実践における映像分析のまとめ 58
 - (1) 京都教育大学 2015 58
 - (2) 京都橘中学校 59
 - (3) 京都教育大学 2016 59
2. 場面分析の考察 60
 - (1) 自由試行を分類項目に分けた結果 60
 - (2) 大きくくりな場面構成 61
 - (3) 全9グループの場面構成 62

第6章 飛翔メカニズムの検討_____ 67

1. 飛翔の要素となる変数について 68
 - (1) 経験的に得ていた最適条件..... 68
 - (2) 定量的な研究のため、改めて考慮した要素 69
 - (3) 条件制御が可能と考えた変数について 70
2. 火薬部分（燃焼時）の影響を受けない要素 71
 - (1) マッチ棒ロケット全体の質量 71
 - (2) 発射する角度 73
 - (3) ロケット先端部の形状 76
 - (4) アルミホイル 77

(5) 重心と圧力中心	79
3. 火薬部分（燃焼時）の影響を受ける要素	81
(1) 噴射口の直径	81
(2) 噴射口の長さ	85
(3) 噴射口の長さ（その2）	86
(4) 発射台について	92
(5) マッチ 1 本の火薬の質量	93
4. 変数の単位がない要素	97
(1) マッチの火薬の形状	97
(2) 火薬の燃焼スピード	97
5. 飛翔メカニズムを検討した成果	99
(1) 検証結果から得た最適条件	99
(2) 真っすぐ飛翔させるためのアプローチ	99

はじめに

学部時代から、大学院へ進学するにあたり、修了研究のことを意識することが少なからずあった。修士課程は2年間あるため、研究を深める時間も卒業研究よりかなり長くなる。そのため、私は卒業研究で取り組んでいた“マッチ棒ロケット”について、もう一度考え直すつもりでいた。

結果として、大学院での修了研究もマッチ棒ロケットのことをさらに深めることとなった。

大学院への進学が決まってから、修士論文をはじめとする2年間の修士課程に向けての意気込みや、卒業研究で心残りだったことなど、私自身が修了研究に対する思いが膨らむには様々な背景があった。背景には、私自身と私を取り巻く環境、卒業研究から修了研究への移行について、思いの変化も詳細に記した。

背景

私が大学院へ進学したいと思い始めたところから話を始める。私は学部の4回生になり、理科教育研究室に所属してから、大学院生の先輩方と同じ部屋・実験室で過ごす日々を送ることになった。正直、そうなるまでは大学院というものの存在すらよく知らない状態で、自分は大学を卒業したら地元の和歌山の教員になるとしか思っていなかった。そもそも研究というものの自体、当時はよく理解していなかったと思う。そんな私が理科教育研究室になぜ入ることにしたのか、そこまで話を遡ると卒業研究以前の話になってしまうので、その点は卒業論文に書いてあるのでここでは割愛した。

今では、マッチ棒ロケットの研究をさらに深めることができよかったと思っている。今に至るまで、苦戦して迷うことも多々あった。それを支えたのは、学部時代に大学院生の先輩方と生活を共にすることで、楽しく過ごしやすい環境で研究に取り組む姿勢を経験していたことであった。

また、卒業研究でマッチ棒ロケットをテーマとしてきた私は、マッチ棒ロケットをつくるというもののづくりの魅力や意味について研究を通して考えてきた。その過程には、私がマッチ棒ロケットと初めて出会ったときから卒業論文を提出するまで、共に過ごしてきたような気持ちで思い入れがあった。私はマッチ棒ロケットをひとつの実験材料や実験道具としては見ていなかったの、教材として用いるために何とかするというよりも、もっと飛ばせせるようになりたいという思いを糧に、自分の思うままに試行錯誤してきた。後にこの過程は自由研究的手法と名付けられるが、このようにしてマッチ棒ロケットづくりの探究プロセスを確立した。そこには指導教員をはじめ理科教育研究室の先輩方の支えがあつてこそのものだと、卒業研究を終えてから強く感じた。結果としては、感覚的にうまく飛ばせることが多くなったものの、飛翔率100%の夢はほど遠く、飛翔距離も伸び悩んだまま終わりを迎えることとなった。それほどまでにマッチ棒ロケットの飛翔に関する変数は多く、それぞれがとても難しいものであったことから、当時はその段階まで至れたことに大きな満足感を得られていた。しかし、大学院での研究があと2年間できるなら、せっかく卒業研究で1年間やり続けたことをもっと深めたいという思いは残っていた。

そして、卒業研究発表会から研究室へ帰ってくる途中、先生と以下のような会話をしたことがマッチ棒ロケットを続ける決定打となった。

村上「直川くんすごくよかったよ！このまま修論にも引き続いてマッチ棒ロケットしようよ！」

直川「・・・はい！やりましょう！」

このとき、私の中で満足感の傍にあった思い残した気持ちに急に火がついたような気がした。それでも一瞬、悩みは解決せず返事に困っていたが、それ以上に喜びとやる気が満ち溢れてきた。

目的

本研究の目的は、以下の3点である。

- **探究プロセスの改良**
- **自由試行の分析**
- **飛翔メカニズムの検討**

それぞれ解説を加えて以下に示した。

● **探究プロセスの改良**

私が卒業研究で確立したマッチ棒ロケットづくりの探究プロセスを改良することを目的とした。

探究プロセスとは、探究学習をするためのプロセスを様々な手法で開発したものである。本研究論文で取り扱うマッチ棒ロケットづくりをテーマとした探究プロセスは、自由研究的手法により、開発したものである。

● **自由試行の分析**

マッチ棒ロケットづくりの探究プロセスの中で、受講者が自由試行している様子を分析し、内容を明らかにすることを目的とした。

● **飛翔メカニズムの検討**

マッチ棒ロケットがどのようにして飛翔しているのか、その飛翔メカニズムを検討することで、飛翔に影響している条件を見出すことを目的とした。

条件を見出すことができれば、それを変数として調整することで、飛翔率 100%を維持したまま飛翔距離が最大となる条件（以下、最適条件とする。）を求められると考えた。

第1章 研究の概略

本研究は，“マッチ棒ロケット”を自由研究的手法で探究してきた自分自身の経験をベースにしてきた。そのプロセスを探究テーマ“マッチ棒ロケットづくり”という活動として，私が所属する理科教育研究室が持つ数多くの探究活動シリーズの中に組み込んでいただくことになった。私が行ってきた研究の概要とその手法・対象を以下の表にまとめた。

表 1-1 研究概要・手法・対象と各章の対応表

行った研究の概要	対応した章	手法・対象，等
マッチ棒ロケットづくり	1	自由研究・探究
探究プロセスの開発	2	自分自身の自由研究ベース
探究プロセスの実践	3	中学・高校・大学・教員研修
実践の分析	4,5	アンケート・ビデオ
探究プロセスの改良	2	実践・自由研究から
飛翔メカニズムの検討	6	自由研究ベース，定量的な研究
飛翔メカニズムの実践	6	飛翔メカニズムの研究を実践

表 1-2 各章の概要

第1章 研究の概略	研究の概略を述べ，マッチ棒ロケットの原理・起源・つくりかた等を示し，各地の実施記録をまとめた。
第2章 探究プロセスの開発	自由研究的手法による探究プロセスの開発について，改良点や背景を示した。
第3章 探究プロセスの実践	探究プロセスの授業実践をまとめた。いくつかの実践について，詳細な記録を示した。
第4章 実践の分析について	アンケート分析と映像分析についてまとめた。アンケート結果，自由試行の分類方法を示した。
第5章 場面分析の考察	場面分析について示すため，自由試行の分類から場面構成まで順に示した。場面分析した結果と考察を述べた。
第6章 飛翔メカニズムの検討	飛翔の条件となる変数について，定量的な実験を通して得られた最適条件を示した。それぞれの条件に対する定量的なアプローチと，試した実践もまとめた。
おわりに	本研究を振り返り，感じたことをまとめた。また，自由試行することの大切さなども示した。

1. マッチ棒ロケット

マッチ棒ロケットとは、右の材料（マッチ棒、アルミホイル、ゼムクリップ）を用いて作成されたロケットであり、マッチ棒の火薬を燃料としていることから、“マッチ棒”の“ロケット”ということからその名がついた（図 1-1）。

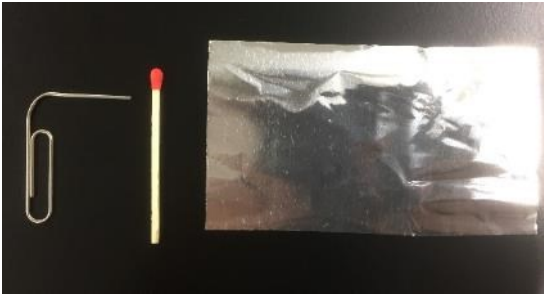


図 1-1 マッチ棒ロケットの材料

(1) 原理

“ロケット”という名称がつけられているものは、燃料を噴射させながら、そのエネルギーを作用とした反作用を推進力として飛翔する。マッチ棒ロケットでは、マッチの火薬部分が燃料となり、アルミホイルでつくられた胴体部分が燃焼室のはたらきをする。発火温度に達すると火薬は燃焼し、煙を噴射し始める。

マッチ棒の火薬部分に含まれている成分と、それらの役割を表にまとめた（表 1-3）。

表 1-3 マッチの成分と役割

成分	塩素酸カリウム	硫黄・松脂・膠など	ガラス粉・雲母・クレイ粉など	膠
役割	酸化剤	燃焼剤	調節剤	接着剤

しかし、通常のマッチに含まれる硫黄は、擦った時に二酸化硫黄が発生され危険である。

環境基本法の大気汚染に係る環境基準において、二酸化硫黄の環境上の条件は、1 時間値の 1 日平均が 0.04ppm 以下であり、かつ、1 時間値が 0.1ppm 以下である。6 畳の閉め切った部屋で 3 本使用した場合には、この基準値をオーバーしてしまう。（中外燐寸社 HP 参照）



図 1-2 鎖虎

そのため、本研究では硫黄を使用していない脱硫（ノンサルファ）マッチを用いることにした。株式会社中外燐寸社が販売している鎖虎（くさりとら）を採用した（図 1-2）。硫黄を使わない製法は特許を取得しており、代替りの物質は記載されていなかった。

(2) 起源

マッチ棒ロケットの起源は、アメリカ航空宇宙局（the National Aeronautics and Space Administration）（以下、NASA とする）である。現在、確認されている最古の文献は、2000 年に NASA が“match rockets”として掲載したものである。その文献は 2. マッチ棒ロケットの背景に示した。よって、日本で実施されているものは、NASA が“match rockets”を日本に持ち込んだ、もしくは、NASA が発信した情報を見た日本人が“マッチ棒ロケット”と訳したものと考えられる。

(3) つくりかた（基本のかたち）

マッチ棒ロケットのつくりかたとしては、最もシンプルなかたちであり、誰でも容易につくりやすいことから、私が卒業研究で定義した基本のかたちを示した（表 1-4, 1-5）。

表 1-4 つくりかたの手順

① マッチ棒をアルミホイルで包む＝ロケット本体となる ② ゼムクリップで発射台をつくり、セロハンテープで固定する ③ 手順①でつくったロケット本体を手順②でつくった発射台に装着する ※ 条件（注意事項） ● マッチ棒 1 本分の火薬を燃料とすること ● ロケット本体が煙を噴射しながら飛翔すること
--

表 1-5 つくりかたの手順の説明

① マッチ棒をアルミホイルで包む＝ロケット本体
下の写真のように切り出したアルミホイルにマッチ棒を置き、くるくると回してアルミホイルを巻きつける。これがロケット本体となる。 
② ゼムクリップで発射台をつくり、セロハンテープで固定する
ゼムクリップを右の写真のように手の力で変形させ、自立できるようなかたちにする。自立できてロケットを装着するところがあればどんなかたちでもよい。 

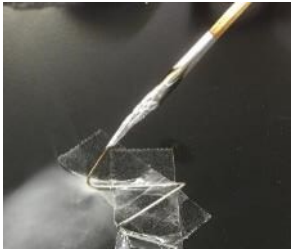


これを左の写真のように、セロハンテープで机に貼り付けてしっかりと固定する。

安定させるために、ゼムクリップを2カ所もしくは3カ所テープで貼り付けられるとよい。

③ 手順①でつくったロケット本体を手順②でつくった発射台に装着する

以下の写真左のロケット本体を写真右の発射台に装着すると、右の写真のようになる。

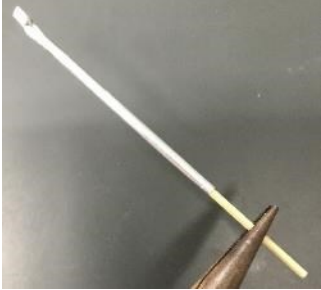


(4) かたちの変化

マッチ棒ロケットのかたちは、(3)で示した基本のかたちをもとに、私が本研究で自由研究的手法を用いて試行錯誤した結果、以下のように変化していった。変化した理由や背景も添えて順に示した（表 1-6）。

表 1-6 マッチ棒ロケットのかたちの変化とその理由と解説

マッチ棒ロケットのかたちの変化とその理由と解説	
かたちの変化	理由と解説
	もともになった基本のかたち (3) つくりかたで示したものである。 上側に隙間ができてしまい、そこから煙が漏れてしまうことが多かった。改善すべきポイントであった。
	マッチ棒全体を包み込むかたち アルミでマッチ棒の全体を包み込むことで、上側の煙の漏れを防いだ。 重すぎてすぐに落下してしまった。

	マッチ棒半分を包み込むかたち 重すぎてすぐに落下してしまったので、マッチ棒の軸を半分切り落として軽量化した。上側が破裂してしまうことが多かった。
	マッチの火薬部分だけ使うかたち さらなる軽量化のため、マッチ棒の軸をすべて切り落とした。筒状にするため、切り落とした軸を添え木にしてアルミを巻いた。抜き取った軸のところが噴射口の役割をするが、軸によってかたちがばらばらでよくなかった。
	竹串を添え木にして巻くかたち きれいな円柱状の機体と噴射口と確保するため、マッチの軸の代わりに竹串を用いてアルミを巻いた。うまく竹串から抜ければ非常によく飛んだが、凝縮したエネルギーを爆発させて飛んでいるため、ロケットであるのか疑問になった。
	噴射口をクリップで絞ったかたち 竹串できれいな円柱状にアルミを巻いた後、クリップを使って噴射口を細くした。うまく飛び出せば煙を噴射しながらきれいな軌道が残り、ロケットであると判定できた。

以上、マッチ棒ロケットのかたちの変化について、本筋の流れは示した通りである。しかし、この変化の過程には、数多くの試行錯誤がなされており、その途中段階では様々なかたちを試してきた。その中から、いくつか区別できたかたちを以下に示した。順不同、サイズは無視することとし、写真とその解説文として一言のみ示した（表 1-7）。

表 1-7 様々なマッチ棒ロケットのかたち

2. マッチ棒ロケットの背景

誰でもアクセス可能であった範囲の文献と記録を以下の順に示した。

- (1) マッチ棒ロケットの起源 NASA の文献
- (2) 日本各地で実施された記録

マッチ棒ロケットの起源は NASA であるが、日本各地でも実施された記録を見つけることができたので、何らかのかたちで日本にやってきたことは確かである。

しかし、先行研究がなく、誰が何の目的で日本に持ち込んだかは定かではない。

(1) マッチ棒ロケットの起源 NASA の文献

NASA の人的資源教育事務局教育部は「ロケット教室活動」という Web ページを作製している。内容項目は以下にまとめた。文章は翻訳されたものを引用しており、誤字・脱字を修正したのみである。引用元が Web ページであるため、そのまま引用して載せるだけでは文字が羅列して見にくいため、分かりやすいように表にまとめて示した。

※ マッチ棒ロケットの記載があるところは下線を引き、色付けした（表 1-8）。

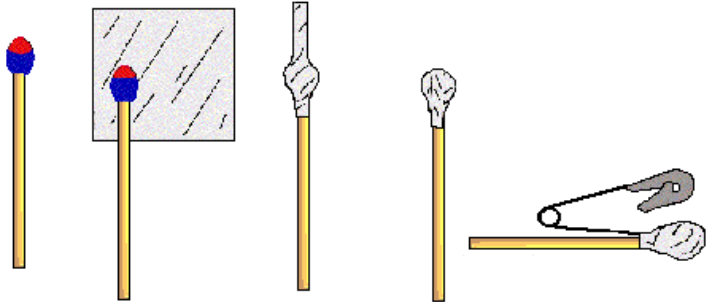
表 1-8 NASA 人的資源教育事務局教育部「ロケット教室活動」

NASA TEACHER'S RESOURCE CENTER ROCKET ACTIVITY  NASA ロケット教室活動
導入および、指導ガイダンス
ロケットの歴史
推進原理
ロケット工学 - 気力計（Hero 機関） - 空き缶エンジン - ロケット風車

ロケット自動車
水ロケット
ボトルロケット
液体燃料ボトルロケット
ニュートンカー
錠剤レース
紙ロケット
鉛筆ロケット
<u>マッチ棒ロケット</u>
2 段式風船ロケット
高度測定
アートワーク

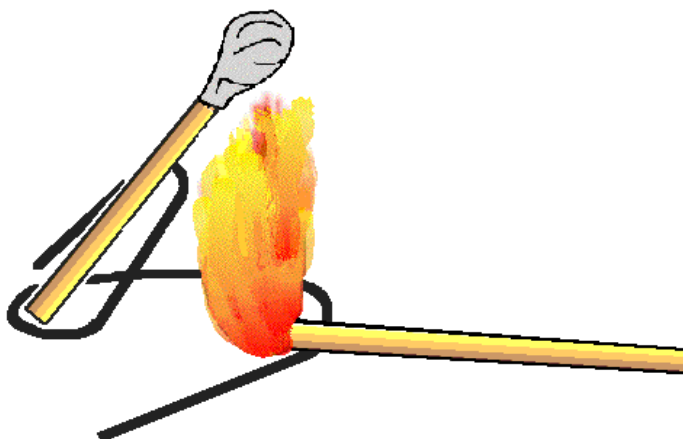
下線・色付けしたように、「ロケット工学」の項目に「マッチ棒ロケット」が含まれていた。その内容を以下に示した。こちらと同じく分かりやすいよう表にまとめた。（表 1-9）

表 1-9

マッチ棒ロケット
目的：ロケット工学
論題：推進
説明：マッチとアルミニウム箔を使って、小さな固体ロケットを作る。
寄稿：Steve Culivan(KSC)
編集者：Roger Storm(NASA グレン研究センター)
材料と用具：マッチ 2 本，アルミニウム箔，ペーパークリップ，安全ピン 

手順：

- 1, 1本のマッチをとって、薬品の部分をアルミ箔で包む。きっちりと包み込むこと。
- 2, マッチの薬品の部分に安全ピンを刺して、包んだアルミ箔の先端を少し穴を開ける。
- 3, 図示したように、クリップを曲げて発射台を作る。台の上にマッチ棒ロケットを建てる。台が載っているテーブルが、理科実験用のようにマッチロケットの噴射で焦げないような材質であることを確認する。アルミ箔をテーブルに敷いても良い。
- 4, マッチの燃焼室が発火温度に達するまで、2本目の火のついたマッチであぶる。



警告：

マッチロケットは、人々や可燃物から離れて実験すること。消化用水か消火器を準備しておくこと。ロケットのアルミ箔は非常に高温になっている。

討議：

マッチ棒ロケットはニュートンの運動法則がロケットに結びつくことを、デモンストレーションする。第三法則は、「あらゆる作用が大きさが同じで方向が反対の反作用が存在する」ことを述べる。燃えているマッチからの燃焼物（煙とガス）の噴射は「作用」である。そしてその反対方向へのマッチロケットの運動が『反作用』である。マッチが囲まれた環境で燃焼すると、作用（推力）が作り出される。アルミニウム箔は、ロケットの燃焼室の働きをする。箔の開口部が小さいので、燃焼室のなかで煙とガスは高い圧力を発生し、速い流れとなって噴射する。

学習要点と質問：

実験の変化形のひとつとして、噴出口の径を変えて、噴射速度が変わることを実験する。開口部が大きいと、圧力が高まる前に、煙とガスを流出させてしまう。よって噴射速度は小さいものと比較して、より遅い速度となる。ニュートンの運動第二法則では、ロケットの力または推力が、噴射ガスの質量と速度の積に等しいとされる。この比較実験で、煙とガスはどちらの場合でも同じ質量である。違いは、噴射の速度である。2つの実験で、マッチロケットが飛行する距離を比較する。

警告：

子供は、火を使った遊びが好きである。家庭内や子供たちだけで、この実験を行わないように注意をすること。また実験する部屋は、あらかじめ窓を開けたり、換気装置を始動してから始めること。マッチを燃やすので、強い刺激がある排気ガスが発生する。

基本的な準備物は私の卒業論文と同じだが、つくrikataは 1.(3)に示した基本のかたちのつくrikataと異なっていた。この文献のつくrikataは、NASA 方式と呼ぶことにした。

また、「導入および、指導ガイダンス」の項目について、マッチ棒ロケットを含むすべての活動にかかっているため、同じく表にまとめて示した。(表 1-10)

表 1-10

NASA TEACHER'S RESOURCE CENTER ROCKET ACTIVITY 
物理教師のための学習と活動のガイド
アメリカ航空宇宙局 (NASA) 人的資源教育事務局教育部
本書は開放資料であり著作権による保護を受けない。 また複製を制限しない。
参考 本書は、アメリカ航空宇宙局の教育プログラムのために、オクラホマ州立大学をはじめ多くの教育者の協力によって製作されたものである。
作者：Gregory L.Vogt 教育学博士 (NASA ジョンソン宇宙センター，宇宙教育プログラム)
編集者：Carla R.Rosenberg (NASA 本局，宇宙教育プログラム)，Loger (NASA グレン研究センター・クリーブランド，オハイオ)
訳者：久下洋一 (ロケット雑伎団)

このガイドの活用

ロケットは現存する自己内蔵型輸送機のもっとも古い形式である。2000 年以上前に登場する。そして長く劇的な歴史をたどって、長い筒に火薬をいっぱい詰めただけの単純なものから、遠く銀河系の外にまで宇宙船を運ぶ輸送機にまで発展した。他にロケットほど興奮をもたらす乗り物はない。大人にも子供たちにも、ロケットによる遠い世界への飛行の夢は、壮大な想像力や夢をもたらせる。

少々の単純で安い材料があれば、たとえあまりロケットについて専門的な知識がなくても、子供たちのために非常に刺激的で建設的な自然科学体系を教えることができる。図画工作・化学・歴史・数学・理科など単体科目教育のための使用も可能である。この教育ガイドの活動は、「手作り」を強調している。あなた自身を専門家にしてしまうような、ロケット工学と歴史の基本的な背景情報を包括した。

このガイドはロケットの歴史的背景・ロケット推進原理・実際のロケット仕組みの概要からはじめる。ロケットの原理では、ニュートン運動力学第3法則に基づく。ロケットがなぜ飛行するか、より効率的にするためにどうするか説明する。

そのほか、ロケット実験を多く取り上げて説明した。それぞれの実験は、身の回りの材料、で安く簡単にできることを配慮した。実践の参考になるよう、各章ごとに必要材料や工具リストをあげた。実験活動・それによって得られる概念のディスカッション・指導要点と設問、という構成でまとめている。

これらの実験活動はひとつひとつが複数の学習テーマにまたがるので、科目と実験をマトリックス表にした。生徒の疑問やより深い理解につながるように、柔軟応用的にデモンストレーションや実験活動として行うとよい。

所要時間は生徒の年齢や発達水準によるが、高度測定以外の項目では、デモンストレーションであれば数分、生徒自身の実験としても1時間以内で完了するだろう。

使用単位についての注意

材料表は一般に使われている、英式単位表記とした。本文および計算式などでは物理計算において世界標準であるメートル法を用いた。米国では木材やネジ・釘などの規格表記についてメートル法は英式表記より一般的でない。よって材料入手に配慮して英式表記を用いた。(以下訳者注) 表記はすべてメートル法とした。

学習内容－実験活動，マトリックス表

Activities and Demonstrations by Subject Area and Relationship to Newton's Laws of Motion								
	Chemistry	History	Mathematics	Physical Science	Technology	Science Education	Newton's Laws of Motion	Page
					1	2	3	
Hero Engines		●		●	●	●	●	21
Rocket Pinwheel				●		●	●	23
Rocket Car			●	●	●	●	●	24
Water Rocket			●	●		●	●	25
Bottle Rocket				●	●	●	●	27
Newton Car			●	●	●	●	●	29
Antacid Tablet Race	●		●	●			●	31
Paper Rockets				●	●			32
Pencil "Rocket"				●	●	●	●	33
Balloon Staging		●		●	●	●	●	35
Altitude Tracking			●		●			36

「導入および，指導ガイダンス」の項目も，「マッチ棒ロケット」の項目と同じように詳しく述べられていたが，引用元が Web ページであるため，こちらも表にまとめた方が見やすくなった。この項目では，「物理教師のための学習と活動のガイド」というタイトル通り，実施にあたり教員側の立場へのガイドとなっていた。しかし，「学習内容－実験活動，マトリックス表」に載せられていた英語表記の表だが，いくつか記載されていない項目があり，マッチ棒ロケットも記載されていなかったことが非常に残念である。本研究論文の執筆にあたり，これらの NASA の情報を示すため改めて熟読したのだが，マトリックス表にマッチ棒ロケットが記載されていないなら，本研究を通して，マッチ棒ロケットがニュートンの運動 3 法則を体現していること，また，どの教科に位置する学びを含んでいるか，合わせて示しておきたいと考えた。

(2) 日本各地で実施された記録

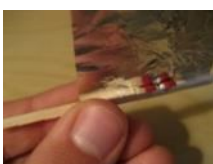
次に、日本各地で実施されてきたマッチ棒ロケット関連の記録を示した。本研究論文の執筆にあたり、改めて多数の先行研究・事例を検索・調査していると、ゼミやサークルの定例会、サイエンスイベントでのワークショップなど、様々なかたちで実施されてきていたことが分かった。本研究は、先行研究となる論文が存在しないため、自由研究的手法でいちから作りあげてきたのだが、改めて Web 検索してみると、参考文献もいくつか見られた。しかし、マッチ棒ロケットの認知度はまだかなり低い。実際に私が実践を重ねてきても、実践する前にすでに知っていた受講者は全くと言っていいほど存在しなかったのが現状である。

以下の表 1-11 は、マッチ棒ロケットが実施されてきた記録を一覧表にまとめたものであり、年代の古いものから順に並べ、その年月日を分かる範囲で記載した。左から出典・タイトル・内容の順に示した。一番右側の備考欄は、私がその文献を視聴したのみ、もしくは実際にやってみた等の説明と、それらを実行した年月を記載した。視聴年月はおおよそ 2 回に分かれており、1 回目は卒業論文執筆時の 2014 年であり、2 回目が本研究論文執筆にあたる 2016 年である。

本研究は、マッチ棒ロケットの実践や研究の中で、特に詳細な研究をしたものであると位置付けられることも分かった。

表 1-11

マッチ棒ロケットが実施された記録 一覧表				
年代	出典	タイトル	内容	備考
2006	Web 記事 ブログ 3/22	高1ゼミ「飛行物 体の研究」報告	隣の学校にもありますが、私の学校でも「高1ゼミ」という授業があります。 10年くらい前から希望者を対象に行っていたが、今は「総合」の授業の一環として全員必修の時間となりました。 このゼミで行ってきたことを紹介しましょう。一部はすでにこのブログでも紹介しています。 1. 回転落下（くるくるまわって落ちていく）から回転浮遊へ 2. ブーメラン 3. 折り紙飛行機 4. ペーパーグライダー 5. プロペラ飛行機 6. スカイ・スクルー 7. 凧・カイト ラジコン飛行機、ラジコンヘリコプター マッチ棒ロケット ペットボトルロケット、 100メートルもとぶロケット あたりも考えていたのですが、これは残念ながら時間	視 聴 のみ 2016 .12

			切れでした。		
2007	Web 記事 GIGAZINE (動画)	7m 飛ぶマッチ棒 ロケットの作り方 と実際に飛ばして いるムービー	マッチ棒を使って簡単にロケットを作る方法です。手軽にそろ材料で 22 フィート(約 7m)も飛ばせるらしい。 詳細は以下の通り。 マッチ棒ロケットを飛ばす。最後の一発はマッチ棒の頭を入れすぎて重量オーバーしたのか、飛ばずに炎上。 <u>rakieta z zapalek match rocket - Google Video</u> これは大成功。 <u>YouTube - Match Rocket #1</u> 別の作り方をしたロケット。 <u>YouTube - Match Rocket</u> 作り方は以下のような感じ。 <u>Match Rocket</u> 材料はマッチ棒 2 本, アルミホイル, 針金。使う道具はハサミ。 まずハサミでマッチ棒の頭を切り取る。 アルミホイルを両辺がマッチ棒の長さぐらいになるようにカット。 図のようにアルミホイルを折り曲げ, その真ん中にマッチ棒の先端を頭同士が隣り合うようにそろえて置く。そして軸をあてがう。 軸を中心にアルミホイルをまいて, 軽くねじる。 軸を抜き, そこに針金の台を刺す。このとき, アルミホイルを針金に強く巻き付けてはいけない。 あとはマッチ棒の頭がまかれているあたりを加熱するだけ。	      	視聴のみ 2016 .12
2009	例会速報 2009/05/17 多摩大学附属聖ヶ丘中学・高等学校	マッチ棒ロケット 車田さんの発表	マッチ棒ロケットの歴史はかなり長いらしい。Web 検索するとさまざまな情報が得られる。ここでは, 「マッチ棒自身を加工せず, マッチ棒 1 本の火薬の発火を利用して飛ばす飛翔体」をマッチ棒ロケットと定義して話を進める。 薬部をアルミホイルで包んで燃焼室およびノズルとするタイプが一般的だ。		視聴 試行 2014 .11

			右の写真は、従来型である。マッチの薬部をロケットの先端とし、薬部のすぐ下に針で噴射口をあける。このタイプは成功率10～20%で歩留まりが悪い。アルミホイルでの薬部の包み加減や噴射口の開け方に微妙なコツがある。  下の写真が車田さんが改良した YPC バージョンのマッチ棒ロケットである。マッチ棒の薬部をゼムクリップを加工したランチャーの先と共にアルミホイルで包んでしまい、ゼムクリップが抜けた穴をそのまま噴射口にする。隙間ができないようにしっかりと周りを固める。  上の写真と逆に軸を先にして飛ぶが、それも本物のロケットっぽい。これなら方向も定めやすく初心者でも90%以上の成功率が得られる。飛距離も4～5mで煙の飛跡と火薬の香り残り、ミニモデルロケットの気分が味わえる。飛翔の動画はここ。ただし、火のついたマッチが飛ぶので、火災には十分気をつけて、自己責任で実験をすること。大量に束ねたり、薬部のみを集めることは大変危険なのでやってはいけない。 	
2009	Web 記事 Cloud9science@ wiki 2009-06-27 動画 (現在閲覧不可)	 横浜物理サークル (YPC) のホームページ で、マッチ棒ロケットを知りました。	ロケットという名前を聞くだけで、男の子の冒険心をくすぐる、甘く危険な香りがします。本当に火薬の燃焼するにおいが充満します。 というわけで、さっそくチャレンジしてみました。 材料と作り方 マッチ、ライター、ゼムクリップ、アルミホイル (3×6cm) ゼムクリップを上の写真のように伸ばし、発射ランチャーとします。ランチャーの角度は60度くらいにします。  	視聴のみ 2016.12 動画の視聴不可

			マッチの頭薬部分をアルミホイルで巻きます。3cmの幅のうち、5mm 程度を残し、2.5cm の幅で巻きます。残した 5mm の部分にランチャーの先端を差し込み、指でつぶして密着させます。アルミホイルがマッチ棒とランチャーに完全に密着するように、よく押さえておきます。 遊び方 火のついたマッチが飛びます。打ち上げる前に周囲の状況をよく確認してください。 ライターで頭薬部分（赤い矢印）をあぶります。しばらくすると煙が出てきます。そのままあぶり続けると、プシュッという音とともにロケットが発射されます。うまくいけば 4～5m ほど飛びます。回収するときは、木軸部分を持ってください。アルミホイル部分を持つとやけどします。 注意点 ケガをすることもありうる、とても危険な実験です。実施する場合は自己責任で。飛距離を伸ばすために、火薬の量を増やすことは絶対にしないでください。爆発して火が飛び散ることがあります。 マッチの科学 マッチの軸はおもにポプラ属の木を使っています。これらの木は柔らかいので建築材やパルプには向かず、特筆すべき利用方法はないそうです。成長が早い木なので、マッチの軸は目的にあった利用方法といえそうです。 マッチの頭薬部分にはさまざまな化学物質が含まれています。燃焼に関わる成分としては、燃焼剤として硫黄が、酸化剤として塩素酸カリが含まれています。酸化剤を含むので、アルミホイルで密封しても燃えるわけです。 https://www3.atwiki.jp/cloud9science/pages/146.html	   
2009	Web 記事 PDF	Make:Tokyo Meeting 03 5 月 23 日（土）24 日（日） 展示ブース ▶r-man 工房	時間： 23 日 12:00-18:00 24 日 10:00-17:00 入場： 無料 会場： デジタルハリウッド大学 八王子制作スタジオ 東京都八王子市松が谷 1 番地 交通： 多摩都市モノレール「松が谷駅」徒歩 1 分	視 聴 の み 2016 .12

		マッチ棒ロケット:315円(税込み)から始めるロケット開発	京王線・小田急線 多摩センター駅 徒歩 10 分 主催：株式会社オライリー・ジャパン 共催：多摩美術大学 情報デザイン学科 協力：デジタルハリウッド大学 東京工芸大学 メディアアート表現学科 [展示] マッチ棒ロケットの打ち上げ実演（ダンボール箱の前面に透明なシートを張りその中で打ち上げを行います）とマッチ棒ロケット作成方法の説明および作成方法を記載した冊子の販売を行います。またワークショップの受付を行い、参加者にマッチ棒ロケットを作成していただきます。 [ワークショップ] 屋外にて、展示スペースで受付を行った参加者によるマッチ棒ロケットの打ち上げを行います。 ftp://ftp.oreilly.co.jp/make/MTM03_program_0521_2.pdf	
2010 以降		「東京とびもの学会」 3/20 開催	「東京とびもの学会」で「マッチ棒ロケット」関係イベントを色々やりますが、その元ネタは「315円(税込み)から始めるロケット開発」 サークル名は「r-m-a-n 工房」です。 「マッチ棒ロケット開発講座」というマッチ棒ロケットの作り方講座と「マッチ棒ロケット開発史」を配布 http://niwatori.haun.org/tobimono/	視 聴 のみ 2016 .12
2011 2012 ～	JST サイエンスアゴ ラ HP 2012 2011	[屋外プロムナード] (Da-901) 飛べ！ マッチ棒ロケット	文字通り、マッチ 1 本分の火薬を使ったロケットを作って飛ばそうという企画。日本科学未来館関係者の有志も手伝っていたとか。 http://www.jst.go.jp/csc/scienceagora/	視 聴 のみ 2016 .12
2011	Web 記事 PDF	【第 15 回全国私立大学附属・併設中学校・高等学校教育研究集会】	対 象：私立大学附属・併設中学校・高等学校 日 時：平成 23 年 11 月 12 日（金） ①目的 教育研究集会の分科会の一つで「スーパーサイエンスハイスクール指定による教師の取組と役割」を題としたワークショップを開催した。玉川学園ではSSHの研究課題の一つ に、IB（インターナショナルバカロレア）のカリキュラムを導入した理科授業の研究がある。今回は、導入する際の実験方法の立て方とその評価方法などを主題にして、実際の導入過程と、参加された先生方による実験講座を行うことで、その評価法の普及活動を	視 聴 のみ 2016 .12

			行う。 ②内容 ア) 概要説明 玉川学園高等部理科主任の小林より、I Bの実験課題の設定の仕方などの説明と、実際に本校の普通クラスに応用した大学生の実習・マッチ棒への点火・実験の説明・代表例の説明がなされた。 イ) ワークショップ 概要を学んだ後は、参加された先生方に「マッチ棒ロケット」を題材として、実験方法を班毎に作成していただきまし。その際、実験方法を評価する部分を、評価表と照らし合わせ、作成していく。 マッチ棒の先の火薬の量は？、アルミホイルの巻き方？、そして測定条件としての独立変数、従属変数の設定？など、I Bの評価表を見ながら、漏れなく実験方法を組み立てる。参加された先生方の班毎に実験方法は異なっていたが、どの班も上手にアルミホイルをとばしていた。その後他の班が作成した実験方法で実際に実験可能かを検証し、実験方法部分だけの評価をつける作業を行った。 ③ 成果と課題 短い時間であったが、生徒が課題に対して実験方法をオリジナルに組み立て、厳密な評価方法と対応させ課題設定をクリアしているか自己採点および教員側としての採点等を体験 することができた。参加された先生方のアンケート結果からも、大変好評である分科会であったと考えられる。(別添資料 1, 2)	
2013	Web 記事 PDF	平成 22 年度指定スーパーサイエンスハイスクール「探究Ⅱ」論文集 第3年次 平成 25 年 3 月	平成 25 年 前期 大阪府生野高校 SSH 目的 前期に行った探究ではマッチ棒の火薬を推進力に使用したロケットの研究を行ったが、まっすぐ飛ばず飛距離が出なかった。まっすぐ飛ばなかった原因を考えた結果、ロケットの表面が不規則に凸凹しているため不規則な空気抵抗を受け運動が不安定になるという結論に至った。そこで表面が滑らかなペットボトルロケットを次の題材として選び、どうすれば飛距離が伸びるかを研究した。	視聴のみ 2016 .12
2014	YPC 例会 (5/18 多摩大学附属聖ヶ丘中学・高等学校)	マッチ棒ロケット 2 (車田さんの発表)	写真左はおなじみのマッチ棒ロケット(標準サイズ)。車田さんはダイソーで「長軸マッチ」を手に入れた(写真右)。箱は約2倍。マッチの長さも2倍以上で軸も太い。当然頭薬の量も多い。これで大型マッチ棒ロケットを作れないか試してみた。 従来のマッチと同じ方法で作ってみると、頭薬の量が多いため、ア	視聴のみ 2016 .12

			ルミホイルで覆った部分は簡単に破裂してしまった。燃焼のガスが漏れないようにアルミホイルの量を増やし、従来どおりの方法で試行すると放物線を描きながら飛翔した。動画 (mov ファイル 3.0MB) はここ。 車田さんは、今後、頭薬の量、マッチ全体の質量を測り、軸が長い分フィンをつけて姿勢制御をするなど、火薬取締法に抵触しない範囲でマッチ棒ロケットの可能性を追求したいと抱負を語る。 www2.hamajima.co.jp/~tenjin/ypc/ypcalbum.html	 
2014	CiNii 論文 PDF	マッチ棒ロケット づくりから学ぶもの づくりの魅力 (直川 和樹)	日本理科教育学会 近畿支部大会 (ポスター発表, 研究発表) 日本理科教育学会近畿支部大会(大阪大会)発表要旨集 2014, 62, 2014-10-15	
2014	Web 記事 11/15	超簡単, 誰でもできる「マッチ棒ロケット」の作り方	身近なアイテムでササッと作れて楽しい「マッチ棒ロケット」の作成方法。海外掲示板の Reddit にとても分かりやすいステップ・バイ・ステップのインストラクションが投稿されていたので紹介します。 用意するもの: ■ アルミホイル ■ マッチ (どこでも擦れる万能マッチがベスト) ■ ペーパー・クリップ 2つ ■ 定規 ■ マジックマーカー ■ はさみ 1. アルミホイルを切る 定規で 2.5 x 5cm を測ってアルミホイルを切り抜きます。 2. ペーパー・クリップの片側を伸ばす このペーパー・クリップは噴出口を作るのに使用します。 3. ペーパー・クリップを設置 ペーパークリップをマッチ棒に沿って頭の先端から半分下くらいのところに設置します。この時, 利き腕を使うと持ちやすいで	    

			しょう。 4. マッチをアルミホイルの上に設置 次のステップで、アルミホイルをマッチ&クリップに巻きつけます。アルミホイルの端から少し離れた位置にマッチを置くのがベストです。 5. アルミホイルをマッチに巻き付ける マッチの頭の部分はアルミを破らないように気をつけながら、できるだけきつく巻いてください。 6. ロケットの頭部を閉じる マッチの頭からはみ出ているアルミホイルの先をひねって封をします。完全に閉じられていることを確認してください。先端がちゃんと閉じられていない場合、そこからガスが逃げ出しロケットが上手く発射しないことがあります。 例： 先端を封した後はこのような見た目になります。 7. ペーパークリップを外す クリップを外してからは、噴出口を押しつぶさないように気を付けてください（画質が悪いですね） 8. 発射台の作成 もう一つのペーパークリップを折り曲げて、ちょうど良いアングルを作ってください。 8.5. まだ発射台の作成 発射台の底を 45 度くらいに曲げると、さらに安定感が増します。 9. 発射準備！ マッチ棒ロケットを発射台に設置します。ここまで来たらカウントダウンを始めてもらっても構いません。どのタイミングで発射するのは予想が難しいですけどね。 10. リフト・オフ！ マッチロケットの頭の少し下くらいにライターの火を当ててください。直接ロケットに火を当てても構いま         
--	--	--	--

			せんが、少し離れたほうが上手くいく場合が多いような気がします。 http://estorypost.com/picture/how-to-make-match-rocket-easy/	
2014	卒業論文	マッチ棒ロケットから見えるものづくりの意味 (直川 和樹)	2014 年度 直川 卒業論文	
2015	CiNii 論文 PDF	マッチ棒ロケットをテーマとしたものづくりの魅力 (直川 和樹)	日本理科教育学会 全国大会 (総合的な学習, 一般研究発表(口頭発表)) 日本理科教育学会全国大会要項 (65), 416, 2015-08-01	
2016		マッチ棒ロケットづくりにおける自由試行の分析 (直川 和樹)	日本理科教育学会 全国大会 (総合的な学習, 一般研究発表(口頭発表)) 日本理科教育学会全国大会要項 (66), , 2016-08-0	
2016	Web 記事 ブログ 動画 2016.12.07	マッチ棒ロケットで危険な現象の背後にある科学を実践的に理解する Text by Gareth BranwynTranslated by kanai	「マッチで遊ぶな!」とよく子どものころに親に言われた。マッチで遊ぶな、火で遊ぶな、自分でロケットを作るな……,と言われてもやった。内緒で、大人の見てないところで、だからなおさら危険だった。 火で遊ぶのは危険なことではない。ただ、火のことをよく知らずに遊ぶこと、科学的物理的的反应について知らずに遊ぶこと、安全対策を取らずに遊ぶことは、非常に危険だ。子どもたちと火やロケットや花火で遊ぶのは、素晴らしいことだ。火から学べる科学的な事柄は多く、火の力やその正しい扱い方も教えることができる。 火の教育として、また火遊びの入門編として最適なものが、マッチ棒ロケットだろう。簡単に作れて、簡単に飛ばせて、比較的安全だ。この「Make:」でも、以前、Steve Hoefer のビデオでその<u>基本</u>を紹介している。 YouTube チャンネルの「BrainfooTV」では、より念入りのマッチ棒ロケットの作り方を見せている。彼らは長い時間をかけて、いろいろなデザイン、重量、材料などを試し、最適化されたロケットは最大で 18 メートルもの距離を飛行した。アルミホイルを型紙にそって切り出し、マッチは頭だけを使う。小さな尾翼	視 聴 のみ 2016 .12 挑 戦 したが 日本 では 困難

			を作る方法も教えてくれる。必要ないんだけどね。ランチャーのデザインも紹介している。大きな磁石とロウソクと金属のペグでできている。ロケットが点火したときに、ちょっとした反動も見せてくれる。 この「Brainfoo」の動画では、もっとシンプルなマッチ棒迫撃砲を紹介している。マッチ棒の先にアルミホイルを巻きつけただけだ。 そして最後に、この動画ではマッチ棒ロケットの発射の瞬間と、失敗の瞬間をスローモーションで見せてくれる。小さいながらも、パワフルな衝撃がある。 火と燃焼について子どもたちに教えることで、危険をとまなう現象の背後にある科学を実践的に理解させることができる。子どもたちはその現象についてある程度の知識を持ち、火を安全に扱えるようになるだろう。ここでは、とってもシンプルで、安全で、楽しいロケット打ち上げによって火について学べる。 http://makezine.jp/blog/2016/12/forbidden-match-head-rocket-fun.html 原文(英語) http://makezine.com/2016/07/15/forbidden-match-head-rocket-fun/	
--	--	--	--	--

第2章 探究プロセスの開発

この章では、マッチ棒ロケットづくりを探究プロセスとして確立するために、マッチ棒ロケットづくりをテーマとした探究プロセスの概要を示した。

本章の構成を以下に示す。

1. 自由研究的手法による探究プロセスの開発
2. 卒業研究時に実施した探究プロセスの概要
3. 探究プロセスの改良点と背景

1. 自由研究的手法による探究プロセスの開発

マッチ棒ロケットづくりを自由研究的手法で行うことにより、探究プロセスを開発した。ここで示した探究プロセスとは、本研究のように、自由研究的手法によって見出し深めた事象を、1~2時間程度の探究活動として実施できるようにしたものである。自由研究では、その事象について探究的なアプローチを繰り返し行っている。そうして、長い時間かけて検討してきたことを、1~2時間という短い時間に濃縮しているため、これを受講者が経験すると、自由研究の探究内容を擬似経験できる。

実際、本研究ではマッチ棒ロケットに対して探究を繰り返してきた。そうして試行錯誤した結果、うまく飛ばすことはできるようになったものの、そこまで至るのにかなり長い期間を要した。また、うまく飛ばせるようになるまでの期間、数多くの壁が立ちはだかったが、検討すべき要点を見出すことにより、少しずつ課題は解決されていった。そして、マッチ棒ロケットをうまく飛ばせたときや、飛翔距離が前より伸びたとき、喜びや達成感があった。よって、初めは全くと言ってよいほど飛ばすことができなかったが、試行錯誤を繰り返してうまく飛ばせるようになる。このように私自身が自由研究してきて得た経験を、そのプロセスをもって1~2時間の探究プロセスにしようと開発を試みた。

私が所属する理科教育研究室では、これまでも卒業研究や修了研究で数多くの探究プロセスが開発されてきた。それらを実際に受講者として経験してきた私は、自分も探究プロセスを開発して、理科教育研究室が持つ探究プロセスの一端を担いたいと思っていたことが、本研究に取り組む背景にあった。

2. 卒業研究時に実施した探究プロセスの概要

2014 年に、卒業研究の一環として理科教材論実験で実施した探究プロセスを示した。自由試行を基本とした約 2 時間の活動であり、詳細は以下に示した。(表 2-1)

※ 指導案については、実践のために作成したものを巻末資料に添付した。

表 2-1

自由試行を基本とした 2 時間の内容。
＜導入＞
・マッチに親しむ（マッチのつけ方，長時間燃焼チャレンジ） ・マッチ棒ロケットづくりの概要を説明する ・マッチ棒ロケットの飛翔の様子を前で演示する ・準備物の配布を行う
＜自由試行＞
自由試行している間に、支援に入っているものが受講者の進行にともなって以下のヒントを促す ・ヒント①：ロケット本体のつくりについて ・ヒント②：よく飛ぶ工夫について
＜まとめ＞
・班対抗で飛翔距離対決を行う ・振り返り（自由記述）アンケート等

次に、解説を加えて詳細情報を述べた。(表 2-2、2-3、2-4)

表 2-2

＜導入＞	解説
・マッチに親しむ（マッチのつけ方，長時間燃焼チャレンジ） ・マッチ棒ロケットづくりの概要を説明する ・マッチ棒ロケットの飛翔の様子を前で演示する ・準備物の配布を行う	・マッチそのものに親しむため，マッチ数本と空箱をひとつずつ配布する。何度かマッチを擦る練習をした後，全員で一斉に点火し，できるだけ火を消さないよう持ち方などを工夫する。時間を計ってどれだけ長く火を灯し続けられるか挑戦する。 ・“マッチ棒を使ってロケットをつくる”という説明をし，マッチ棒のほかに使うものを示し，基本のかたちのつくりかたを見せる。 ・事前につくっておいたものを前で飛翔させる。飛んだ後に残る煙が軌跡となり，ロケットであることを伝えられる。 ・各班に準備物を配布し，抜けていないか確認する。

最近では学校でマッチを使うことが少なく，うまく擦れない生徒や擦ったことがない生徒がいた。本探究ではマッチをうまく擦ることも基本スキルとして組み込まれているため，うまく擦れ

るようになる，もしくは慣れてもらう必要がある。そのため，チャレンジを通して各自で練習し，この過程でマッチを擦るという基本スキルと，火の燃焼に親しみをもってもらいたいと考えた。
(表 2-2)

表 2-3

＜自由試行＞	解説
自由試行している間に，支援に入っているものが受講者の進行にともなって以下のヒントを促す ・ヒント①：ロケット本体のづくり ・ヒント②：よく飛ぶ工夫	・マッチ棒ロケットづくりを始めるが，基本のかたちを示しただけなので，真似してつくっても簡単には飛ばせず，試行錯誤し始める。授業者を含め支援に入る者は，受講者が自由試行している様子を見て交流し，考えたり取り組んだりしている話を聞き，ヒントに触れる。 班の中で次のステップへ近づいている者の意向をピックアップして，班内で共有できるようにサポートするなど。

自由試行の時間が長く用意されているので，実践先の学校の先生方には，「生徒の集中力がそれだけ長い時間持つか気になる」と言われることがあったが，最後に飛翔距離を競う大会を設けており，マッチ棒ロケットづくりそのものが楽しめる活動であるため，終わってからは「生徒が最後までずっと集中してやり込んでいたことに驚きました」とよく言われた。(表 2-3)

表 2-4

＜まとめ＞	解説
・班対抗で飛翔距離の対決を行う ・振り返り（自由記述）アンケート等	最後のまとめとして行っている飛翔距離を競う大会は，受講者が「より遠くに飛ばせるロケットをつくろう」という目標を持つことができ，そのモチベーションが探究的な意欲や集中力の継続につながっていると思っている。 また，まとめでは飛翔距離を競う大会と合わせて，振り返りとして今日やったことを紙に書いてもらっている。自由記述として，アンケート質問紙の中に組み込んでおり，「飛ばすために工夫したこと」や「もっと遠くへ飛ばすために工夫したこと」など大まかな項目に分けて問うている。さらに感想の欄を設け，率直に感じた想いを書いてもらっている。

以上，卒業研究時に実施していた探究プロセスの全容である。次に，改良された（2015 年 10 月時点）の探究プロセスと，改良した過程や背景を示した。(表 2-4)

3. 探究プロセスの改良点と背景

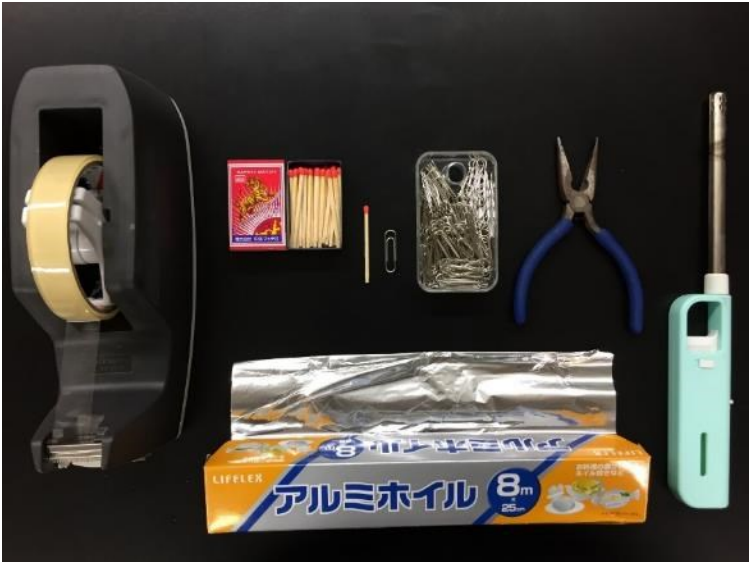
2015 年 10 月から，探究プロセスは改良されてきた。改良したあと，理科教材論実験をはじめ中学校・高等学校で実施してきた探究プロセスを示した。また，探究プロセスを改良した背景を示した。

- (1) 改良した探究プロセス
- (2) 探究プロセスの改良点
- (3) 探究プロセスを改良させた背景
- (4) 改良についての結果と考察

(1) 改良した探究プロセス

以下に示すのは，改良後の探究プロセスである。自由試行を基本とした約 2 時間の活動である。2.と同じように表にまとめて示した。改良前の探究プロセスと同じところは，2.で解説したので，今回は解説を省略した。(表 2-5)

表 2-5

実践内容 自由試行を基本とした 120 分	
準備物	マッチ棒，アルミホイル，クリップ，  セロハンテープ，ペンチ※¹，チャッカマン

導入 (15 分)	・ マッチに親しむ（燃焼チャレンジ） ・ マッチ棒ロケットの飛翔を演示※²
展開 (90 分)	・ 自由試行 ヒントを 3~4 回ジグソー法的手法※³で伝える ヒント① マッチの火薬に含まれる酸化剤のはたらき ヒント② 噴射口の必要性 ヒント③ 噴射エネルギーのコントロール ・ 班対抗の飛翔距離対決 各班のマッチ棒ロケット

※1 受講者が自由試行の途中で必要と感じ、欲しいと言えば提供した。

※2 実践によっては演示しない場合もある。

※3 ジグソー法的手法については、次の（2）④に示した。

(2) 探究プロセスの改良点

主に改良したポイントは、自由試行している展開の約 90 分間のところである。他にもマイナーチェンジしているところがあるため、変更点を以下にまとめた。

① 準備物にペンチを追加した

→機体の成型時に、アルミホイルをしめて密閉するため

② クリップを数種類（サイズが違うもの）準備した

→噴射口の大きさ・発射台の工夫のため

③ 飛翔距離を競う大会をまとめから自由試行へ移動した

→自由試行の成果として飛翔距離大会を開催するため

④ 約 90 分間の自由試行の際にジグソー法的手法を用いてヒントを伝えた

→誤概念の解消、データの解釈について共有するため

⑤ 開始時・自由試行中において、発射台（クリップ）の使い方を指定しない

→発射台のかたちは探究の過程で決めるため

⑥ 模範演示としてマッチ棒ロケットの飛翔を見せない場合もある

→演示によるロケットが先入観になることがあるため

続いて、順番に解説を加えて示した。

① 準備物にペンチを追加した

改良前は、マッチ棒ロケットをつくるのに最低限必要な「マッチ・アルミホイル・クリップ」だけを準備していた。それらはすべて材料であって、つくるときに使う道具は示していなかった。ペンチは必ず使うものではないが、使いたい場合にすぐ使えるよう、準備しておくことにした。

② クリップを数種類（サイズの違うもの）準備した

ホームセンターで市販されていたクリップが 4 種類あり、私自身は自由研究するときに使っていたので、実践でも準備しておくことにした。それぞれサイズ（大きさや直径）が異なっている。

③ 飛翔距離を競う大会をまとめから自由試行へ移動した

改良前は、全体のまとめとして飛翔距離大会を開催していたが、自由試行の最後につくったマッチ棒ロケットで飛翔距離を競うため、それがよく飛んだかどうか見届けるまで、自由試行という判断にした。

④ 約 90 分間の自由試行の際にジグソー法的手法を用いてヒントを伝えた

改良前は、受講者が自由試行している間に、特にこちら側から招集をかけて指示することはなかったが、ジグソー法的手法を用いて自由試行中に 3~4 回、ヒントを伝えることにした。

ジグソー法的手法とは、ジグソー法を参考にして、各班から 1 人ずつ代表者を出して、前に招集するという方法である。招集はもちろん強制ではなく、ヒントを聞きたい班、もしくは聞きたい人が、自主的に集まって来る。ほとんどの班から 1 人ずつヒントを聞きに来る。招集しても、あくまでヒントを情報共有するのみであって、答えになることは言わない。このように、受講者の自由試行をサポートするという支援の理念は変えず、効率よくヒントを伝えられるよう手法だけを改良した。

⑤ 開始時・自由試行中において、発射台（クリップ）の使い方を指定しない

クリップの使い方として、基本のつくりかたで示したように、「変形させて発射台に使う」といった指定はしないようにした。この指定はヒントではなく、答えを指示したことになるため、理念に反するからである。また、指定しない方が、受講者の自由な発想が活かされてクリップの使い道が多かった。

⑥ 模範演示としてマッチ棒ロケットの飛翔を見せない場合もある

マッチ棒ロケットの飛翔を演示として見せないこともあると記載したが、実際はほとんど見せることがなかった。あえて見せないことに明確な理由があり、それについては 3. 背景で詳しく述べた。

(3) 探究プロセスを改良させた背景

実践を重ねていくにつれ、受講者が自由試行している様子を何度も見るようになった。初めの頃、ティーチングアシスタント（以下、TA）として支援に入っていることが多く、すぐ近くで受講者の試行内容や過程を見ていた。その中で、受講者がマッチ棒ロケットづくりにおいて、基本のかたち（第 1 章 1. (3)）に至るまでのプロセスがおもしろいと感じることが多々あった。

改良前は、飛翔している様子を演示としてはじめに見せていたので、その様子を見てなんとなく真似したようなものがつくられることが自然な試行だった。

しかし、あるとき演示の飛翔がうまくいかず、受講者は用意されている準備物から“ロケットとはなにか”という基本のかたち以前の発想があった。そのときに基本のかたちにまで到達するのが難しく、全く別のものをつくっている様子も見られた。またそれがおもしろい点であり、受講者が持っているロケットに対する素朴概念・誤概念が明らかになった。

そこで、基本のかたちを示すことをやめ、演示としての飛翔の様子も見せないことで、受講者が日常の中で持っている“ロケット”の概念に従ってマッチ棒ロケットづくりを進めていってもらうことに重点をおいた。

(4) 探究プロセスを改良した結果と考察

探究プロセスを改良したことで、受講者が持つ“ロケット”の素朴概念・誤概念（4. ③参照）をより反映した活動になった。それぞれの改良点から以下の結果が得られた。

- ① 班の進捗状況がそろい、最後にはほとんどの班が飛ばせるようになった
- ② 今までにない新しいかたちのマッチ棒ロケットに行きつく姿が見られた
- ③ 受講者の素朴概念や誤概念があらわになった
- ④ 探究プロセスを経たことで、ロケットの概念が構築されていた

次に詳細を添えて示す。

① 班の進捗状況がそろい、最後にはほとんどの班が飛ばせるようになった

これまでは、支援によるサポートであったことから、班によって自由試行の進捗状況に大幅な違いがあり、飛翔距離大会になってもまだ飛ばすことができていない班もあった。しかし、ジグソー法的手法を用いるよう改良したことで、形式的かつ定期的にヒントを伝えることができ、班の進捗状況がある程度そろうようになった。おかげで、最後の飛翔距離大会までに、ほとんどの班が飛ばせるようになっていた。

② 今までにない新しいかたちのマッチ棒ロケットに行きつく姿が見られた

発射台（クリップ）の使い方を指定しないことで、受講者の豊かな発想から今までに見たことのないかたちのマッチ棒ロケットに行きつくことがあった。

マッチ棒ロケットづくりの探究プロセスでは、“基本のかたちに到達すること”や“受講者全員が同じ過程でマッチ棒ロケットをつくり、飛ばせるようになる”といった決められた道筋は用意していない。もともと班のメンバーが持っていた知識や経験を合わせて試行錯誤し、そこにヒントというサポートが加わることで、少しずつ飛ばせるようになっていく。という場面構成（詳細は第5章）の中で、新しいかたちのマッチ棒ロケットがいくつも生み出されてきた。

③ 受講者の素朴概念や誤概念があらわになった

受講者の中には、つくりはじめた当初、ロケットからは程遠いものになっている者が多くみられた。彼らがつくったものに着目してみると、熱気球のようなものから、火炎放射器のようなものまであった。その背景には、彼らの素朴概念や誤概念があったことに気付いた。代表的な素朴概念・誤概念としては、マッチの火薬が“酸素に触れている状態でないと点火しない”と思っていたことで、これは“酸素があったらよく燃える”という素朴概念と、“ものを燃やすには空気中の酸素に触れていないといけない”という誤概念があった。

④ 探究プロセスを経たことで、ロケットの概念が構築されていた

最初つくっていたものは素朴概念・誤概念によるものが多かったが、この探究プロセスを経ることによって、徐々にロケット本来のかたちに近づいていき、最終的にはマッチ棒ロケットをつくって飛ばせるようになることから、ロケットの概念を構築できていることは明らかだった。場面分析については第5章にまとめた。

第3章 探究プロセスの実践

この章では、第2章で示した探究プロセスの授業実践を示した。これまでに実践したのは、中学校、高等学校、大学、教員研修、合わせて16回である。その全容を一覧表にまとめた。また、その中のいくつかをピックアップし、具体的な実践記録を示した。

1. 実践校一覧表

2015年～2016年に実施した実践校を校種ごとに一覧表にまとめた。(表3-1, 3-2, 3-3, 3-4) 実践対象は高校生・大学生・教員研修・中学生であり、実施した年月日の順に示した。左から実践校・授業者・日時・受講者数とした。

表 3-1 実践記録 対象：高校生

実践校	授業者	日時	受講者数
兵庫県立宝塚北高校	村上	2015/2/17	39
京都教育大学附属高校	直川	2015/6/16	40
兵庫県立洲本高校	村上	2015/9/29	10
兵庫県立八鹿高校	村上	2015/10/7	40
兵庫県立山崎高校	村上	2015/11/10	40
京都府立南丹高校	村上	2015/11/30	40

表 3-2 実践記録 対象：大学生

実践校	授業者	日時	受講者数
大阪府立大学	村上	2015/8/27	40
神戸大学	村上	2015/9/8	40
京都教育大学	村上	2015/12/10	26
大阪府立大学	村上	2016/8/25	40
神戸大学	村上	2016/9/8	40
京都教育大学	村上	2016/12/1	17

表 3-3 実践記録 対象：教員研修

実践校	授業者	日時	受講者数
愛知県立一宮高校	村上・直川	2015/6/23	60
京都教育大学	村上	2016/8/12	30

表 3-4 実践記録 対象：中学生

実践校	授業者	日程	受講者数
附属桃山中学校	直川	2016/6/18	39
京都橘中学校	直川	2016/7/20	24

この中から、私が授業者として授業したものと、私がTAとして支援に関わったものをピックアップして以下にまとめた。それぞれピックアップした実践校について、実践の背景・概要・記録を示した。

2. 授業実践

(1) 京都教育大学附属桃山高校

① 背景

京都教育大学附属桃山高校は、スーパーサイエンスハイスクール（以下、SSH とする）に指定されており、その科目としてベーシックサイエンス（以下、BS）がある。

BS は、高等部 1 年生を対象とした授業科目であり、今回、私はその科目内でマッチ棒ロケットづくりの探究プロセスを授業することになった。そのとき、BS としては物理・化学・生物・地学・家庭の 5 つの分野に当てはまる授業を組み、それぞれ大学から授業者を招いて実施するというシステムであった。

マッチ棒ロケットづくりは、他の授業者との兼ね合いもあり、今回は化学分野として実施した。本来、マッチ棒ロケットづくりを物化生地にはめるなら、物理でも化学でも可能である。



図 3-1 京都教育大学附属桃山高校の開始時

② 概要

日時：2015 年 6 月 16 日

受講者：1 クラス 38 名・10 班

授業時間：50 分授業の 2 時間分と、間の休憩時間 10 分を合わせた 110 分

授業者：直川（TA 3 名）

③ 記録

他分野の授業との兼ね合いで、耐火机のある実験室を使用することができなかった。そのため、班の机は長机となり、班員が机を囲んで協力するには難しい環境だった。また、机の性質と配置（図 3-3）により、自由試行中に各班が机から飛ばすと危険性が高いという判断のもと、飛ばすときは前の教壇まで持ってきて、黒板の方に向けて行うという制限が設けられた（図 3-2）。



図 3-2 教壇から黒板の方向へ飛ばすところ



図 3-3 机の配置

普段、実験室の耐火机で班員が囲むように座り協力している姿に比べると、受講者がマッチ棒ロケットづくりを満喫しきれていないような印象を受けた（図 3-4）。現場の教員からは非常に良かったとの報告を受けたが、私自身はもっと良い環境でマッチ棒ロケットづくりの探究プロセスを経験させてあげたかったと思う。

最高のパフォーマンスではなかったことは、実施したアンケート結果からも垣間見えた。他の実践に比べると少し満足度が低かった（第 4 章 2. (2) アンケート結果参照）。



図 3-4 自由試行している様子

(2) 愛知県立一宮高校 SSH 教員研修

① 背景

愛知県が実施している SSH 指定校の教員研修に、村上が講師として招かれた。その研修の中で、いくつかの探究プロセスを実施したのだが、その中にマッチ棒ロケットづくりも含まれていた。また、教員研修の参加者が 60 人を超えていたため、探究は 2 組に分かれて同時進行することになった。そのため、片方の集団を私が授業者として担当することになった。私が担当した方の集団について、概要・記録を示した。

② 概要

日時：2015 年 6 月 23 日

受講者：30 名・8 班

授業時間：120 分

授業者：直川（TA 2 名）（もう 1 グループは、同様の授業を村上が行った）

③ 記録

実験室が使用でき、耐火机もあったため、各班の机から自由に飛翔させることができた。危険性についてははじめに説明し、自己責任でお願いすることにしたが、受講者が全員、現職教員であるため安心できた。しかし、現職教員に対して私が授業することは恐れ多く、「こんなもの」と怒られたらどうしたものかと少し気にしていた。

結果的に、マッチ棒ロケットづくりを満喫し、満足して頂いたようで安心した。現職教員を対象に授業したことは初めてだったが、マッチ棒ロケットづくりの魅力を信じて果敢に挑んでよかった（第 4 章 2. (2) アンケート結果参照）。また、「高校生はもっと楽しんでやれると思う」「科学部でもできる」等のコメントをいただき、マッチ棒ロケットづくりの魅力を伝えられたと感じることができた。

ただ、自由試行の途中では、大砲型に行きついた班があり、私が「ロケットをつくらないといけない」と伝えたが少し反論され、“ロケット”というものを示すのに苦戦した。これが背景となり、マッチ棒ロケットが“ロケットであること”を確実に示すため、さらに自由研究を深めることになった。

(3) 京都教育大学（2015）

① 背景

京都教育大学で大学生（主に理科領域の学生）が受講する講義に、村上が担当している理科教材論実験がある。その授業では、理科教育研究室が持つ数多くの探究プロセスを実施しており、2014 年からその中にマッチ棒ロケットづくりも加わった。私はその授業に TA として関わり、映像を撮影した（第 4 章、第 5 章）。

② 概要

日時：2015 年 12 月 10 日

受講者：大学生 26 名・7 班（主に 2, 3 回生）
授業時間：90 分の授業を 2 時間分
授業者：村上（TA 直川含む 3 名）

以下，第 5 章に示したので省略した。

(4) 京都教育大学附属桃山中学校

① 背景

私自身が授業者として実践する経験から，探究プロセスの改良に向けて研究を深めるため，実践を依頼した。また，これまで高校生・大学生・教員を対象に実践してきたが，中学生を対象にしたことはなく，マッチ棒ロケットづくりに対する中学生の反応を知りたいという思いから，対象を中学生に選んだ。

附属桃山中学校では，2015 年度 2 学期に非常勤講師として理科の授業を担当した経験があり，私と同じ理科教育研究室を修了した先輩教員もおられたため，依頼することができた。

② 概要

日時：2016 年 6 月 18 日

受講者：1 年生 1 クラス・38 名・10 班

授業時間：45 分授業を 2 時間分と大休憩 20 分の 110 分

授業者：直川（TA 3 名）

③ 記録

実践した指導案から本時の展開を抜粋し，記録とした。（巻末資料 p ）

(5) 京都橘中学校

① 背景

2015 年度から本学の大学院生となった向井が，前年度まで京都橘中・高等学校で講師をしていた経緯から，京都橘中学校の理科の授業として，探究的な活動を実施してほしいという依頼がきた。そこで我々理科教育研究室から 3 つの探究テーマを実施することになり，そのうちの 1 つにマッチ棒ロケットづくりが含まれた。



図 3-5 京都橘中学校の受講者，教室は本学 A 棟 1 階化学実験室

② 概要

日時：2016 年 7 月 20 日

受講者：1 年生 2 クラスを 3 つのグループに分けたうちの 24 名

授業時間：120 分

授業者：直川（TA 2 名）

③ 記録

実践した指導案から本時の展開を示し，記録とした。（巻末資料 p ）

この実践で映像を撮影することができたので，それを分析して第 5 章に示した。

(6) 京都教育大学（2016）

① 背景

（3）に示した通りである。ここでは 2016 年度の詳細を示す。

② 概要

日時：2016 年 12 月 1 日

受講者：大学生 17 名・4 班（主に 2，3 回生）

授業時間：90 分の授業を 2 時間分

授業者：村上（TA 直川含む 3 名）

以下，第 5 章に示したので省略した。

第4章 実践の分析について

1. はじめに

この章では、授業実践の分析について示した。第 3 章で示した実践校一覧表の中から、分析の対象にした実践を以下の表にまとめた（表 4-1）。

表 4-1

日時	対象	分析方法	受講者数
2015/2/17	兵庫県立宝塚北高校	アンケート	39
2015/6/16	京都教育大学附属高校	アンケート	39
2015/6/23	SSH 教員研修	アンケート	60
2015/12/10	京都教育大学（理科教材論実験）	ビデオ	26
2016/6/18	附属桃山中学校	アンケート	38
2016/7/20	京都橘中学校	アンケート・ビデオ	24
2016/12/1	京都教育大学（理科教材論実験）	ビデオ	17

分析の方法として、アンケート分析と映像分析の 2 つのアプローチを行った。本研究のメインは映像分析である。本章の構成を以下に示す。

- 2. アンケート分析について
- 3. 映像について
- 4. 映像の分析方法

また、場面分析については、続いて第 5 章にまとめた。

※ 使用したアンケート質問紙は、巻末に添付した（p ）。

2. アンケート分析

卒業研究で実施した延長として、実践後、受講者にアンケートを記入してもらっていた。

アンケート質問紙は、本研究当初に改定したもの（巻末資料参照）を使用し、そこには4件法の質問項目と自由記述の質問、感想の欄を用意した。

アンケート分析について、以下の順に示す。

- (1) アンケート対象校 一覧
- (2) アンケートの集計方法と結果

(1) アンケート対象校 一覧

アンケートを実施した対象を年月日の順に一覧表にまとめた（表 4-2）。

左から日時・対象・受講者数・集計数とした。

表 4-2

日時	対象	受講者数	集計数
2015/2/17	兵庫県立宝塚北高校	39	37
2015/6/16	京都教育大学附属高校	39	39
2015/6/23	SSH 教員研修	60	60
2016/6/18	附属桃山中学校	39	38
2016/7/20	京都橘中学校	24	21

※ 後日、回収したところは、集計数が受講者数に満たない場合があった。

(2) アンケートの集計方法と結果

調査したアンケートの集計方法と結果を示した。

はじめに、アンケート質問紙にある 4 件法の質問項目を集計し、回答選択数とそのパーセンテージを円グラフに示した。表 4-2 の順に示す。

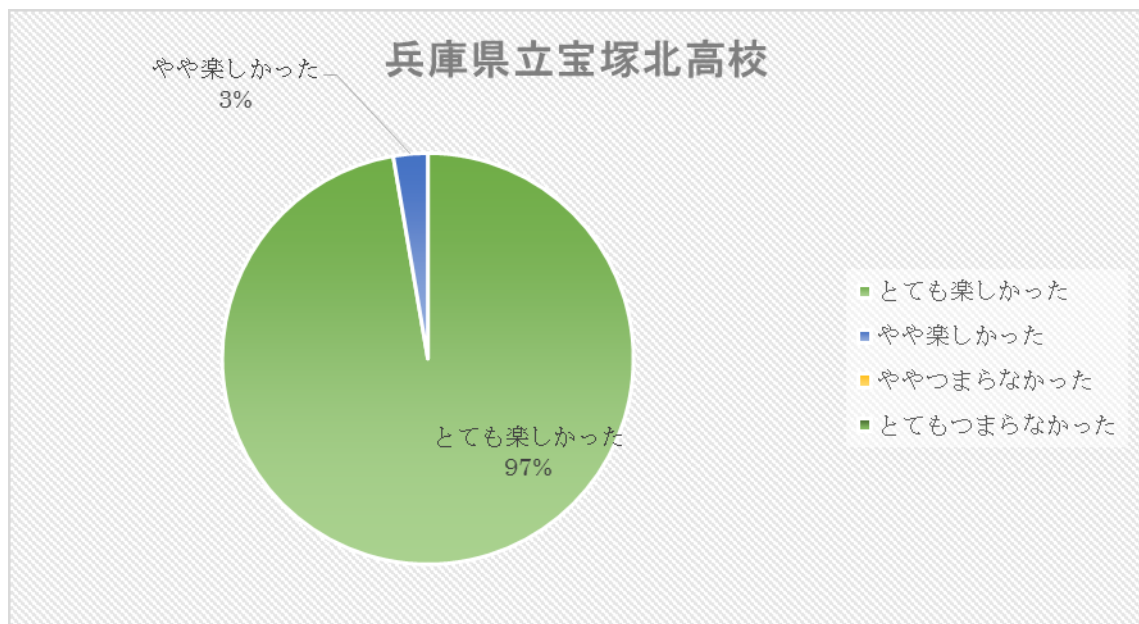


図 4-1 質問項目：マッチ棒ロケットづくりは楽しかったですか。

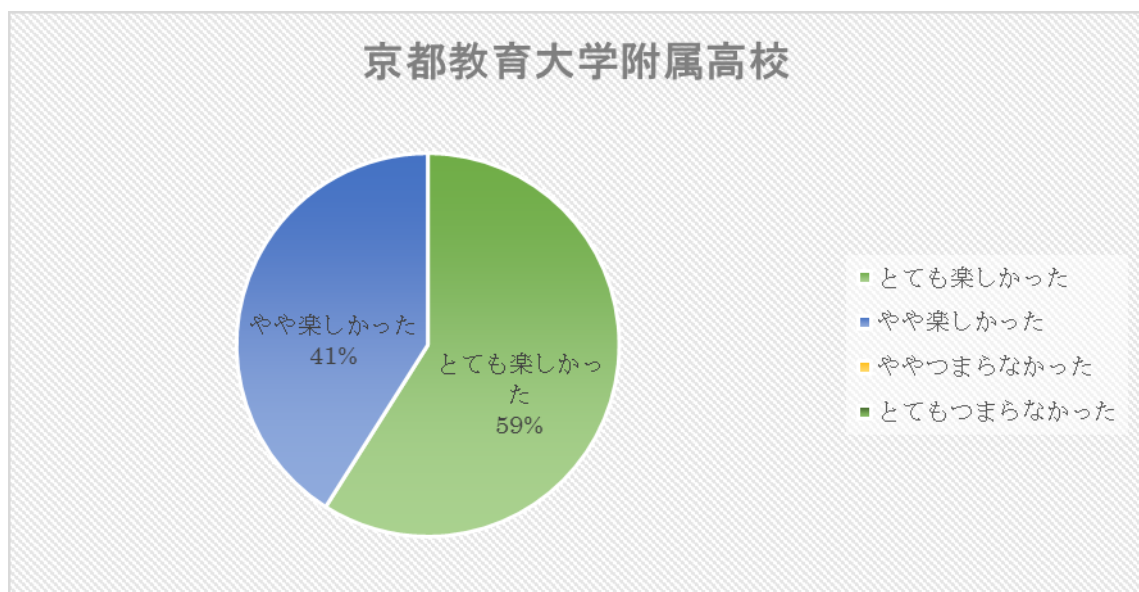


図 4-2 質問項目：マッチ棒ロケットづくりは楽しかったですか。

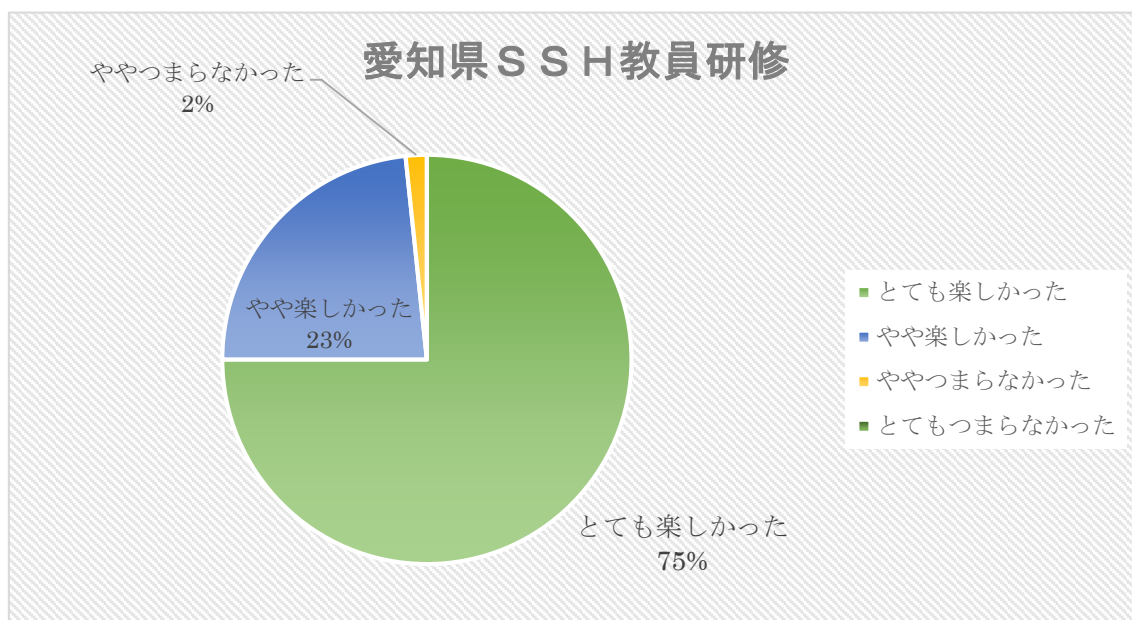


図 4-3 質問項目：マッチ棒ロケットづくりは楽しかったですか。

これ以降は、アンケート質問紙を改良したため、4 件法の質問項目が 2 つある。まとめて示した。

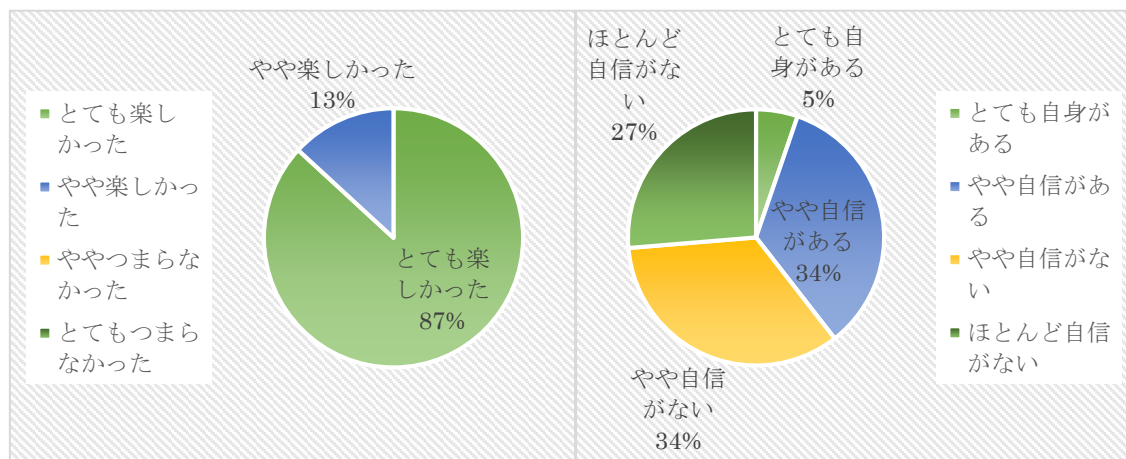


図 4-4 アンケート結果 京都教育大学附属桃山中学校

質問項目：① マッチ棒ロケットづくりは楽しかったですか。

② 今後、ひとりでマッチ棒ロケットを飛ばせる自信がありますか。

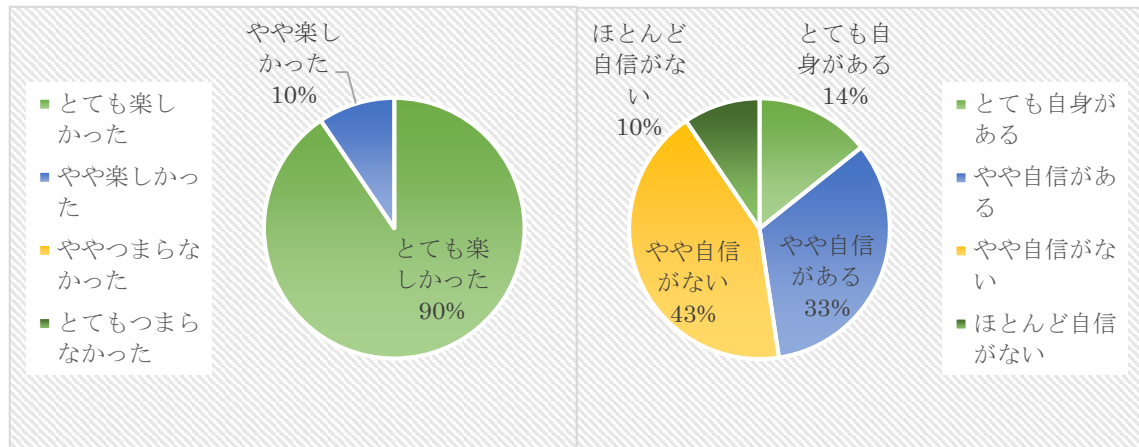


図 4-5 アンケート結果 京都橘中学校

質問項目：① マッチ棒ロケットづくりは楽しかったですか。

質問項目：② 今後、ひとりでマッチ棒ロケットを飛ばせる自信がありますか。

3. 映像について

第 2 章 4. 探究プロセスを改良させた結果と考察の中で述べた背景から，受講者の自由試行を明らかにするという課題が生じた。そのため，マッチ棒ロケットづくりの探究プロセスにおいて，受講者が自由試行している様子を映像に収めた。撮影対象とその撮影方法について，以下の項目に分けて示す。

- (1) 撮影対象
- (2) 自由試行の撮影方法

(1) 撮影対象

受講者が自由試行している様子を分析するため撮影を実施した。それを以下の表 4-3 に時系列に沿ってまとめた。左から順に，実施した日時・対象・撮影時間・授業者・受講者数・全体の班の数・撮影した班の数とした。

表 4-3

日時	対象	授業者	撮影時間	受講者数	班	班
2015/12/10	京都教育大学	村上	約 90 分	26 名	7	4
2016/ 7 /20	京都橘中学校	直川	約 80 分	24 名	6	1
2016/12/1	京都教育大学	村上	約 120 分	17 名	4	4

京都教育大学については，本研究室の実験室で行われている講義の中での実践であり，授業者が村上であるため撮影の許可が得られた。また，京都橘中学校においても，カメラ 1 台分しか撮影できなかった。

実践によって撮影時間が異なっているのは，自由試行している様子を撮影しているため，その時間が各実践で異なっていたからである。ただ，同じ実践でも班によって数分の誤差があるため，おおよその時間を示した。班ごとの詳細な時間については，巻末資料の分析シート（p ）に記載した通りである。

(2) 自由試行の撮影方法

① 撮影方法について

受講者が自由試行しているところを撮影することにしたが、昨今プライバシー等の問題も厳しく、動画の撮影は写真を撮るよりもハードルが高く困難ではないかと思われた。私自身その点において少しはばかれる思いもあり、本学の学生でかつ村上の講義以外の実践では難しいのではないかと考え、撮影方法を選んだ。

② 撮影方法

撮影方法としては、本研究室が所有しているアクションカム（SONY, HDR-AZ1）を各班の1人の頭部に取り付けてもらうことにした。図 4-6 のカメラで撮影した映像を図 4-7 でリアルタイムに視聴することもできる。取り付け方などは、実際に取り付けた写真を用いて示した。



図 4-6



図 4-9



図 4-8

この撮影方法の特徴は以下の通りである。

- 広角で、班全体の活動が撮影者の視点でカバーできる
- 1人1人の行動が把握できる
- 装置が容易で、撮影されている意識が高くない
- 言動・表情まで捉えることができる

しかし、デメリットもあった。頭部に取り付けた者が何らかの理由で席を外した場合、その間の映像が撮影できていないことである。もし、受講者の真上に設置できる定点カメラなどがあれば、実験机の上の様子は確実に撮影できると考えられる。

4. 映像分析の方法

撮影した映像の分析方法についてまとめた。手順を以下の項目に分けて詳細に示す。

- (1) 映像の着眼点
- (2) 自由試行の分類
- (3) 場面に分けた分析（場面分析）

映像（図 4-8, 4-9 等）を何度も繰り返し見て、受講者が自由試行している様子から、具体的にどのようなことをしているか明確にすることを目的としており、以下に分析手順を（1）～（3）を示す。分析事例として、2015 年 12 月 10 日、京都教育大学の授業を対象とした。



図 4-10 受講者が自由試行している様子（大学生）

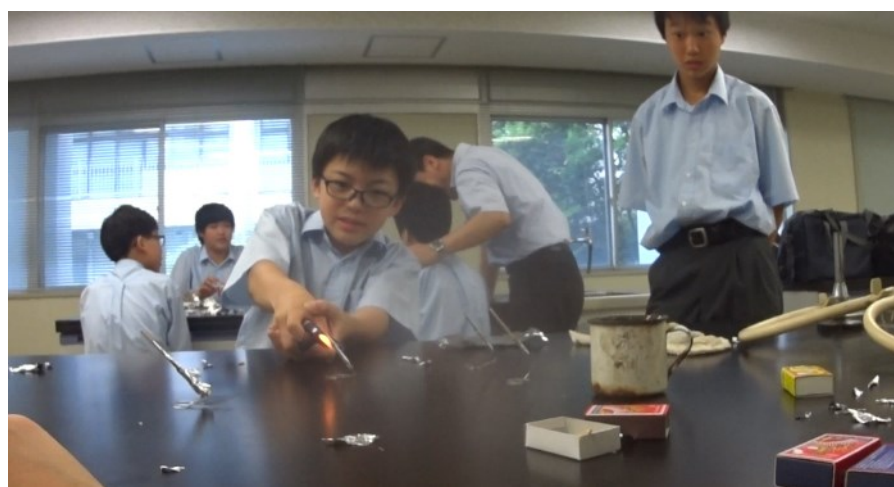


図 4-11 受講者が自由試行している様子（中学生）

(1) 映像の着眼点

映像分析をするにあたり、映像のどこに着目して見ればよいか、映像をはじめて見たときは判断することが難しかった。受講者が自由試行の中でしていることを明らかにしたかったので、それぞれの行動に着目していくことにした。

すると、マッチ棒ロケットをつくろうとして行動しているため、映像を見る回数を重ねていく度に、どんなロケットをつくっているか把握できるようになってきた。その結果、以下の項目を抽出して記録することが、自由試行の様子を捉えるために最も適しているとした。それに対応した項目名を表 4-4 にまとめた。

表 4-4

記録すること	項目名
取り組んだ回数	試行回数
つくり始めた時間	開始時間
つくったマッチ棒ロケット（どんなかたち・つくrikた等）	試行内容
点火して成果を確認した時間	終了時間
マッチ棒ロケットに点火したときの成果（飛翔したか等）	成果
その他、気づいたことメモ	備考

これらの項目に着目して映像を記録していくと、巻末資料（p ）に示したような表ができあがる。この表を見れば映像の内容が分かるようになっている。この表を「分析シート」と呼ぶ。以下にその例の一部を示す（表 4-5）。

表 4-5 分析シートの一部

回数	開始時間	試行内容	終了時間	成果	備考
1	1:02	火薬部をアルミで包む	3:20	燃えた	…
2	1:50	火薬部をアルミで包む	3:58	燃えた	…
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
72	68:26	二つ折りに包んで穴を開ける	70:22	飛んだ	…
73	70:24	二つ折りに包んで穴を開ける	72:09	飛んだ	…

このような分析シートを見ながら映像を捉えていくと、主に試行内容と成果から、それぞれの自由試行を分類することができた。次にその分類方法を示す。

(2) 自由試行の分類

完成した分析シートを見ながらもう一度映像を見てみると、どこで何が起きるか把握できているため、自由試行している受講者の反応が手に取るように分かる。

映像分析では、このような手法で自由試行の内容を明らかにし、いくつかのまとまりに分類した。いくつかのまとまりを考えた結果、自由試行の内容は以下の A~E の 5 項目に分類することができた。それぞれ解説（具体例，等）を添えた表にまとめた（表 4-6）。

表 4-6

自由試行の分類項目	解説（具体例，等）
単純試行	前回までと同じことをする（変化のない繰り返し作業）
確認	検証・再現している（うまくいったことを再現しようとする等）
思考	前回までの成果から何か考えている（発言している）
共有	班の中で共有している（工夫したところ・うまくいったところ等）
工夫	前回までの成果から試行錯誤して工夫している

これらの項目は、それぞれの試行回数について当てはまるものを選択してきたが、複数項目が当てはまる場合も存在した。

例えば、試行回数 30 回目の試行内容が行われているときに、前回の成果からよくなかった点を思考して工夫してみた。というケースや、思考して工夫したうえで、さらに班内のメンバーに共有した場合などがあった。

このような例にもあるように、思考と工夫が複合しているケースは多く存在していた。以下に、分析シートと映像の発言から、自由試行を分類した一例を示す（表 4-7）。

表 4-7

回数	試行内容	成果	発言	分類
1	火薬部をアルミで包んで点火	燃えた	→	単純試行
2	火薬部をアルミで包んで点火	燃えた		単純試行
⋮	⋮	⋮		⋮
72	二つ折りに包んで穴を開ける	飛んだ		思考・工夫
73	二つ折りに包んで穴を開ける	飛んだ		思考・工夫

この表の見方について示すため、以下に具体的な分類の過程を述べた。

試行回数 1, 2 とともに、マッチ棒が燃えるだけで終わった。受講者から「とりあえずやってみよう」という発言もあったので、これは単純試行にあてはまる。

次に、試行開始 72, 73 を見てみると、どちらも自由試行の中で最後のチャレンジになるため、それまでの過程で得たことを活かしたつくりになっていた。具体的には、先端から煙が漏れてしまわないように、アルミホイルを二つ折りにして折り目を先端側にするという工夫が見られた。

後方部にはシャープペンシルの芯を用いて穴をあける加工をすることで、そこから煙が出るよう考えられており、噴射口を確保できていた。

このようにしてつくられた2機は、飛翔距離を競う大会用のものであったため、つくりにかたが今までの集大成のように感じられ、結果的にうまく飛ばすことができていた。

以上のような手法を用いて、試行回数 1~73 までの自由試行をひとつひとついねいに分類していった。

試行全 73 回すべてを分類すると、以下のようになった（表 4-8）。

表 4-8

回数	分類項目	回数	分類項目	回数	分類項目
1	単純試行	25		49	
2	単純試行	26	思考・工夫	50	単純試行
3	単純試行	27	単純試行	51	単純試行
4	単純試行	28	単純試行	52	単純試行
5	確認・思考	29	単純試行	53	単純試行
6	単純試行	30	思考・共有・工夫	54	単純試行
7	単純試行（偶然）	31		55	単純試行
8	単純試行	32	単純試行	56	単純試行
9	単純試行	33		57	
10	工夫	34	共有	58	単純試行
11	単純試行	35	確認	59	
12	単純試行	36	単純試行	60	単純試行
13		37		61	単純試行
14		38	単純試行	62	単純試行
15	思考	39	単純試行	63	工夫
16	単純試行	40	思考・工夫	64	思考・工夫
17	単純試行	41	単純試行	65	単純試行
18	単純試行	42	単純試行	66	確認
19	単純試行	43	確認	67	思考
20	単純試行（偶然）	44	単純試行	68	
21	単純試行	45		69	単純試行
22		46	共有	70	思考・工夫
23		47	単純試行	71	
24		48	単純試行	72	思考・工夫
				73	思考・工夫

※ 表の分類項目に空白部分が点々としているが、それらは以下のような理由で分類を判定できなかったためである。

- アクションカムをつけた受講者が席を外したことで映像が途切れていた。
- 試行内容または成果のどちらかが撮影範囲外に出て正確に映っていなかった。
（撮影範囲外でつくったものを撮影範囲内で点火する、もしくはその逆など）

また、単純試行（偶然）は、同じかたちを同じつくりにかたでつくっていた単純試行の中で、偶然なにかが以前と変わったことにより、たまたま飛翔した場合である。

(3) 場面に分けた分析（場面分析）

(2) の分類項目を見ていくと、それらをいくつか合わせて大きな場面としてくくることができる考えた。つまり、映像を見ているだけでも、場面が大きく移り変わる場所をいくつか感じていたのだが、自由試行を細かく分類していくことによって、明らかな場面展開のポイントが浮かび上がった。以下に、大くくりの場面の分け方を示し、それぞれの手順の解説を表にまとめた。

- ① 分類した項目の単純試行以外のところに着目する。
- ② 特に大きな変化をもたらした項目をピックアップする。
- ③ ピックアップした項目から、場面のはじまりと終わりを示す。
- ④ 大くくりした場面の内容をもとに、名称と色をつけて分類する。

以下、①～④について、説明した。

① 分類した項目の単純試行以外のところに着目する。

確認・思考・工夫・共有の4項目について、それぞれの試行内容で具体的に何が起きていたか、項目ごとに以下に示した点についてまとめた（表 4-9）。

分析シートからでは認識しきれないところについては、再度、映像を見て確認した。

表 4-9

確認	何を確認したのか、確認してどうだったのか、何を認識したのか。
思考	前回の成果の振り返りや解剖※をして、何を考えたのか。
工夫	何を変えるために工夫したのか、工夫してどうなったのか。
共有	何について共有したのか、共有してどうなったのか。

※ 飛んだマッパ棒ロケットを回収し、切り開いて中身を確認すること

② 特に大きな変化をもたらした項目をピックアップする。

(2) 自由試行の分類で示したように、自由試行を分類項目に分けた結果を用いて、区切りとなる分類項目を赤で示した（表 4-10）。

例

- 思考・工夫した結果うまく飛んだことにより、その回を機に試行内容が大きく変わった。
- よく飛んだときのつくりかたを思い出しながら、もう一度そのかたちをつくって飛ぶかどうか確認し、飛んだことによりそれ以降はそれと同じかたちを繰り返すつくり続けた。
- よく飛んだつくりかたを班内で共有することにより、班員がみな共有されたつくりかたを繰り返す行うようになった。など。

表 4-10 自由試行の分類項目で区切りとなる箇所（赤字）

回数	分類項目	回数	分類項目	回数	分類項目
1	単純試行	25		49	
2	単純試行	26	思考・工夫	50	単純試行
3	単純試行	27	単純試行	51	単純試行
4	単純試行	28	単純試行	52	単純試行
5	確認・思考	29	単純試行	53	単純試行
6	単純試行	30	思考・共有・工夫	54	単純試行
7	単純試行（偶然）	31		55	単純試行
8	単純試行	32	単純試行	56	単純試行
9	単純試行	33		57	
10	工夫	34	共有	58	単純試行
11	単純試行	35	確認	59	
12	単純試行	36	単純試行	60	単純試行
13		37		61	単純試行
14		38	単純試行	62	単純試行
15	思考	39	単純試行	63	工夫
16	単純試行	40	思考・工夫	64	思考・工夫
17	単純試行	41	単純試行	65	単純試行
18	単純試行	42	単純試行	66	確認
19	単純試行	43	確認	67	思考
20	単純試行（偶然）	44	単純試行	68	
21	単純試行	45		69	単純試行
22		46	共有	70	思考・工夫
23		47	単純試行	71	
24		48	単純試行	72	思考・工夫
				73	思考・工夫

③ ピックアップした項目から、場面のはじまりと終わりを示す。

表 4-10 でピックアップされている 4 カ所を区切りとして、場面が移り変わる。その項目までの場面と、その項目から始まる場面があった。それらを以下に示した（表 4-11）。

表 4-11 ピックアップした項目による区切りの仕方

場面	区切りについて
模索	開始からピックアップした項目まで続く
単純試行	ピックアップした項目の <u>次から始まり</u> 次にピックアップした項目の <u>前に終わる</u>
試行錯誤	ピックアップした項目から <u>始まり</u> 次にピックアップした項目で <u>終わる</u>

④ 大きくくりした場面の内容をもとに、名称と色をつけて分類する。

区切られてひとつのまとまりになった場面にそれぞれ名称をつけた。その場面の中で行われている自由試行の分類項目から、いくつかの名称をつけてまとめることができた。以下にまとめた表を示す（表 4-12）。

表 4-12

試行回数	区切りの仕方	場面の名称
1～15	15 の思考まで	模索
16～25	16 の単純試行から	単純試行
26～46	26 の思考・工夫から	試行錯誤
47～62	47 の単純試行から	単純試行
63～73	63 の工夫から	試行錯誤

また、それぞれの場面に色をつけた（表 4-12）。

表 4-11 で示した区切り箇所と場面の名称を、表 4-10 自由試行を分類項目に分けた結果に照らし合わせたものが表 4-13 になる。

表 4-13 自由試行を分類項目に分けた結果から、各場面に分けた

回数	分類項目	回数	分類項目	回数	分類項目
1	単純試行	25		49	
2	単純試行	26	思考・工夫	50	単純試行
3	単純試行	27	単純試行	51	単純試行
4	単純試行	28	単純試行	52	単純試行
5	確認・思考	29	単純試行	53	単純試行
6	単純試行	30	思考・共有・工夫	54	単純試行
7	単純試行（偶然）	31		55	単純試行
8	単純試行	32	単純試行	56	単純試行
9	単純試行	33		57	
10	工夫	34	共有	58	単純試行
11	単純試行	35	確認	59	
12	単純試行	36	単純試行	60	単純試行
13		37		61	単純試行
14		38	単純試行	62	単純試行
15	思考	39	単純試行	63	工夫
16	単純試行	40	思考・工夫	64	思考・工夫
17	単純試行	41	単純試行	65	単純試行
18	単純試行	42	単純試行	66	確認
19	単純試行	43	確認	67	思考
20	単純試行（偶然）	44	単純試行	68	
21	単純試行	45		69	単純試行
22		46	共有	70	思考・工夫
23		47	単純試行	71	

24		48	単純試行	72	思考・工夫
				73	思考・工夫

※ 単純試行の場面に黄色と青色が存在するように、試行錯誤の場面にも黄色と青色が存在する。この班（一例）には試行錯誤の黄色は現れなかったように、場面分析した班によって存在する場面は異なっていた。

このように大きくくりした場面、模索・単純試行（黄色・青色）・試行錯誤（黄色・青色）の5つについて、名付けた理由と解説を次に示す（表 4-14）。

表 4-14

場面の名称	名付けた理由と解説
模索	準備物とロケットをつくるという情報しか持っていない中で、何かしてみようと手探りで試行している姿が見られることから
単純試行	(2)で示した自由試行の分類項目「単純試行」に当てはまる試行を繰り返す作業であるから
単純試行(黄)	単純試行の場面と同じだが、まだ一度も飛翔していない段階、もしくは、ヒント等によりつくりかたが一変されたとき
試行錯誤	(2)で示した自由試行の分類項目「思考・工夫」が度々行われ、その間に「確認・共有」もされるなどして、一気にステップアップする場面であることから
試行錯誤(黄)	試行錯誤の場面と同じだが、まだ一度も飛翔していない段階、もしくは、ヒント等によりつくりかたが一変されたとき

このようにして、90分～120分の自由試行している間に行われていたことを、模索・単純試行・試行錯誤・単純試行(黄)・試行錯誤(黄)という5つの名称を付けた大きくくりな場面に分けることができた。この分け方を映像分析の基本アプローチとして、映像を撮影した全9グループの対象について分析した。

それぞれの分析について、第5章にまとめた。

第5章 場面分析の考察

この章では、第4章で示した場面分析について考察を述べた。以下に構成を示す。

1. 各実践における映像分析のまとめ
2. 場面分析の考察

※ 場面分析の考察を示すために用いた分析シートは、すべて巻末資料として添付した。

1. 各実践における映像分析のまとめ

場面分析の結果に移るにあたり、その参考資料となる各実践での映像記録について詳細情報をまとめた。各実践の分析結果はすべて分析シートとして巻末資料に添付したので、それも合わせて参考資料とした。

- (1) 京都教育大学 2015
- (2) 京都橘中学校
- (3) 京都教育大学 2016

この3項目の順に、撮影日時・撮影時間・授業者（TA）・対象者についてまとめて示した。

(1) 京都教育大学 2015

撮影日時：2015年12月10日（木）

撮影時間：約90分（自由試行している時間、班によって多少の前後あり）

授業者：村上（TA：直川含む、数名）

対象者：京都教育大学・理科教材論実験・受講者（主に理科領域専攻2,3回生26名・全7グループ）のうち、撮影できたのが4グループ（計14名）

特定されないよう、以下、A班・B班・C班・D班とした。

(2) 京都橘中学校

撮影日時：2016 年 7 月 20 日(水)

撮影時間：約 80 分（自由試行している時間）

授業者：直川（TA：1 名）

対象者：私立京都橘中・高等学校 中等部 1 年生（2 クラスのうち、3 つの選択肢の中から“マッチ棒ロケットづくり”を選択した受講者 24 名・全 6 グループ）のうち、撮影した 1 グループ（以下、J H 班とした）

(3) 京都教育大学 2016

撮影日時：2016 年 12 月 1 日(木)

撮影時間：約 120 分（自由試行している時間，班によって多少の前後あり）

授業者：村上（TA：直川含む，数名）

対象者：京都教育大学・理科教材論実験・受講者（主に理科領域専攻 2, 3 回生 17 名・全 4 グループ）のうち，すべてのグループ

特定されないよう，以下，E 班・F 班・G 班・H 班とした。

2. 場面分析の考察

映像分析を実施したことによって得られた大きくくりな場面構成を示す。まずは場面分析のもとになった自由試行を分類項目に分けた結果を示す。

- (1) 自由試行を分類項目に分けた結果
- (2) 大きくくりな場面構成

(1) 自由試行を分類項目に分けた結果

第4章で示したように、自由試行は以下の5項目に分けることができた（表5-1）。

表 5-1

自由試行の分類項目	解説（具体例，等）
単純試行	前回までと同じことをする（変化のない繰り返し作業）
確認	検証・再現している（うまくいったことを再現しようとする等）
思考	前回までの成果から何か考えている（発言している）
共有	班の中で共有している（工夫したところ・うまくいったところ等）
工夫	前回までの成果から試行錯誤して工夫している

ここから、自由試行の全体の傾向として、以下のような特徴があることも分かった。

- 基本的には単純試行を何度も繰り返していたこと
- 生き生きと楽しそうに探究に取り組んでいたこと
- 自分なりに考え、工夫を凝らしていたこと
- 班内で飛翔の成果や自分の理論を共有していたこと
- 確認するための実験を行い、検証を重ねていたこと

このように、アンケートでは概観しかできなかったことが、映像分析では自分の目で見て確認することができ、マッチ棒ロケットづくりの魅力を再認識できた。この90～120分の自由試行の間に、受講者は上の特徴に示されることをして学び、それが経験知として蓄積された。マッチ棒ロケットづくりでは、短時間で集中的にこのような活動ができることが分かった。

(2) 大きくくりな場面構成

また，自由試行を分類できたことによって，全体の場面構成（大きくくりな場面）も把握することができた。場面を分けた方法は第 4 章に示した通りである。そのように場面構成した一例（京都教育大学 2015）を示した（表 5-2）。

表 5-2

回数	1～15	16～25	26～46	47～62	63～73
場面	模索	単純試行	試行錯誤	単純試行	試行錯誤
時間	① 17 分 28 分 ② 49 分 ③ 61 分				

- ※ 上段は試行回数を示した。
- ※ 下段の①～③は，ヒントを入れた時間帯を示した。

このように，大きくくりな場面構成をすることで，行われていたことが大つかみに把握できるようになった（表 5-3）。

表 5-3

大きくくりな場面で行われていたと把握できたこと	場面の名称
示された準備物からロケットをつくるために，初期の情報が少ない間は 手探りで広範囲にわたる思考・工夫を絶えず行うこと (飛ぶ，または飛びそうになるまで続く)	模索
同じものを何度もつくる作業が頻繁に見られること。ただし，同じもの と言っても飛ぶものから飛ばないものまでそのかたちは様々である (黄色は飛ぶ前，青色は飛んだ後)	単純試行
「思考・工夫」を繰り返す，その間に「確認・共有」もすることで，特 に集中的に成長していく場面であること (黄色は飛ぶ前，青色は飛んだ後)	試行錯誤

(3) 全 9 グループの場面構成

(2) で示したように、全 9 グループを場面分析した。その結果を以下に示した (図 5-1)。各場面の名称の上に、その場面における試行回数を記した。また、その試行回数に応じて横幅を調整し、横幅と試行回数を比例させた。色分けも行った (第 4 章 4. (3) 参照)。

A	全 41 回					
回数	12	8	8	4	7	2
場面	模索	試行 錯誤	単純 試行	試 行 錯 誤	単 純 試 行	試 行 錯 誤
活動時間 (約 90 分)						

B	全 73 回				
回数	14	11	21	16	11
場面	模索	単純 試行	試行錯誤	単純試行	試行 錯誤
活動時間 (約 90 分)					

C	全 86 回					
回数	25	12	16	10	8	15
場面	模索	単純 試行	試行錯誤	単純 試行	単 純 試 行	試行錯誤
活動時間 (約 90 分)						

D	全 41 回			
回数	11	9	10	11
場面	模索	試行 錯誤	単純 試行	試行 錯誤
活動時間 (約 90 分)				

JH	全 81 回					
回数	14	8	6	17	12	23
場面	模索	単純 試行	試行 錯誤	単純試行	試行 錯誤	単純試行

活動時間（約 80 分）

E	全 72 回					活動時間（約 120 分）
回数	12	23	16	5	16	
場面	模索	試行錯誤	試行錯誤	単純 試行	試行錯誤	

F	全 109 回								
回数	9	12	21	6	14	10	16	12	10
場面	模索	単純 試行	試行錯誤	単純 試行	試行 錯誤	単純 試行	試行錯誤	単純 試行	試行 錯誤

G	全 86 回							活動時間 (約 120 分)	
回数	12	7	9	5	9	25	6		3
場面	模索	試 行 錯 誤	試行 錯誤	単 純 試 行	試行 錯誤	試行錯誤	単 純 試 行		試 行 錯 誤
									活動時間 (約 120 分)

H	全 52 回			
回数	22	9	7	14
場面	模索	単純 試行	試行 錯誤	単純 試行

活動時間（約 120 分）

図 5-1 全 9 グループの場面構成

図 5-1 から、様々なことが読み取れた。そこから、以下の 6 点に着目し、考察した。次の（4）にまとめた。

- ① 最初の場面について
- どのグループも最初の場面は模索だった
- ② 最後の場面について
- 試行錯誤で終わるグループが多いが、単純試行で終わるグループもあった

③ 場面の中盤について

→試行錯誤の場面に移る原動力を探った

④ 黄色の場面がなかったグループについて

→模索の途中で飛んだことで、模索を脱却したグループがあった

⑤ 試行回数が少ないグループについて

→他のグループに比べて試行回数が少なかった理由を探った

⑥ 試行回数と飛翔距離の関係

→この2つは比例関係にあるのか考察した

① 最初の場面について

どのグループも最初の場面は模索だった。受講者は、準備物として配布されたマッチ棒・アルミホイル・クリップを用いて“ロケットをつくる”ため、自分たちが持つあらゆる知識・経験を総動員して取り組んだ。その姿がまるで、暗闇の中を手さぐりで進んでいくように見えた。それを、模索していると判断し、模索と名付けた(第5章)。このように最初は、ロケットに対する概念を持っていないために、ロケットとはかけ離れたものをつくっていく。そのときに、受講者が素朴概念や誤概念を持っていたことが分かった。また、すべてのグループの受講者が模索からスタートしたことで、そういった素朴概念や誤概念を持っていた者がほとんどだったことも分かった。

② 最後の場面について

最後の場面は、試行錯誤のグループが非常に多かった。それらのグループはすべて、最後の飛翔距離を競う大会に向けて、今の自分たちの実力をさらに上回るマッチ棒ロケットをつくりたいという思いから動いていた。つまり、飛翔距離大会でより良い記録を残したいという自分自身の向上心や、他のグループに勝ちたいという競争心が原動力になっていた。

しかし、最後が試行錯誤ではなかったグループがあった。それはJHとHの2つだけだったが、それぞれ考察してわかった共通点は、最後の場面ですでに“飛ばせるようになったこと”への満足感でいっぱいだったことである。それぞれそうなったと考えられた背景を示す。

まず一つめ、JHは、全9グループ中、唯一の中学生であったことが大きな特徴だと考えた。彼らは単純試行の回数が多く、大学生に比べると単調な試行内容が続いた。当然、中学生は大学生に比べると知識も経験も少ない。ただ、①に示したように最初は同じ模索であったことから、素朴概念や誤概念は同じように持っていた。しかし、そこからロケットの概念を構築するに至るまで、中学生にとってはかなりの思考力・探究力を使ったと思われる。よってそこからさらに上を目指す余力は残っていなかったのではないかと考えられた。また、思考力・探究力を使い切ってロケットの概念を構築し、飛ばせるようになったからこそ、その達成感からくる満足感でいっぱいになっていたことが分かった。中学生も、大学生と同様に飛ばせるようにはなったものの、やはりその先へ向かう集中力や向上心は敵わないところがあった。

二つめ、Hは、大学生の5人グループであったが、自由試行のときは3人と2人に分かれて行っており、映像分析は3人の方だった。そのため試行回数が少なく、最後が試行錯誤でなかった理由としては、タイから来た交換留学生の存在が大きかったと考えられた。彼は3人の中でも中心的存在であり、かなり早い段階で飛ばすことができた(詳細は④)。

そして、早いうちに飛ばせた満足感に浸り、飛ぶ向きはひどくばらばらだったが、それを乗り越えた先まで思考が深まらなかったのではないかと。というより、むしろ飛ぶ向きがばらばらなことに「どこに飛んでいくか分からない」という楽しみさえ見出していたように感じた。飛ぶ向き

の検討については、第6章に示したが、この点は、私自身もとても苦戦した要素であり、自由試行中の短時間でその壁を超えるのは難しかった。ただ、アプローチはできたと思うので、彼は彼なりの力を発揮していたが、強いて述べるなら、そのグループに論理的な者がいて発言していれば、状況は違ったように思う。

総合的に、大学生は最後に試行錯誤できたように、やはり中学生に比べると、90分の自由試行をしてもまだ余力を残していたことが分かった。その集中力と粘り強さは素晴らしかった。

③ 場面の中盤について

場面の中盤では、単純試行と試行錯誤が互いに繰り返されることが多い。一部、単純試行から単純試行(C)、試行錯誤から試行錯誤(G)へと移る場面も存在するが、それらはすべて授業者やTAとのかかわりが起点になった場合であった。(第4章、参照)

つまり、そのような場合でない限り、単純試行と試行錯誤の場面が続いた。試行錯誤の場面は、マッシュ棒ロケットの質が向上するため、探究全体の中で変容していく様子がよく分かった。ただ、単純試行の場面は、いわゆる停滞(参考資料p)状態である。(単に同じかたちのものをひたすらつくり続けると言えば、完全に成長が止まっているように聞こえるが、その中から偶然なにかが見出されることもあり、同じものであっても続けてつくることは大切である。)

単純試行から脱却し、次のステップへと導くものはなにか、その点に着目して改めて映像を見てみると、ひとつ大きなことが分かった。それは、他のグループの影響であった。

自由試行している間、特に単純試行しているときは、そのグループの進行が停滞しているからか、他のグループの動向を気にする様子がよく見られた。他のグループが自分たちよりもよく飛ばせるようになっていたら、それを知った時点でやる気になり、自分たちもさらに上を目指す。けれども、よく飛ばせたグループが編み出したやり方を真似しようとはしない。そこには自分たちのポリシーがあり、その心意気には感動させられる。また、他のグループを特に気にしていなくても、同じ実験室で行っているため、どこかのグループがよく飛ばしたらすぐに分かる。そういったことが、試行錯誤の場面につなげる原動力となっていたことがうかがえた。

④ 黄色の場面がなかったグループについて

黄色の場面がなかったということは、早い段階で偶然の飛翔が起こったことなどにより、模索の場面を脱却したことである。黄色の場面がなかったグループは全部で3つ存在した。(A, D, H)つまり、黄色がないのは、模索の場面で手さぐりしていた結果、飛ばすことができたということである。模索中に飛ぶことは偶然でも起きる場合があり、模索した結果、早い段階できっかけをつかめた場合もある。ただ、どちらにしても、早い段階で飛ばせるようになったグループは、全体の試行回数が少ない傾向にあった。

それぞれ試行回数が少ない理由を具体的に考察していくと、A, Hはどちらも3人だったことが影響していた。人数が少ないため、総合的に行える試行回数も少ないことは考えられた。また、A, Hどちらも中心的な存在がいて、そこを起点に展開されていた。そのため、3人が協力体制にあり、試行回数の割には発展が早かった。ただ、デメリットを述べると、3人のうち中心人物以外の2人(特にそのうちの1人)の試行回数は少なかった。試行を重ねること以外で力を発揮していたととれるが、そうでない一面も見られた。このようなことから、結論として、やはり4人グループが適切な構成だと考えた。

次に、Dの試行回数が少ない理由を考察したが、こちらは4人グループであり、映像で試行内容を見た限りでは、他のグループとの大きな違いは見つからなかった。そこで、受講者に直接インタビューしてみたところ、そのとき別の用件で、グループ内の人同士が揉め事をしていました。

が分かった。それでその当人たちの間は口数も少なく、共有することもなかったと把握できた。当人以外の2人も重苦しい空気の中で試行していたのではないかと考えられたが、映像には見せないようにしていたのだろうか、映像から試行内容を分析しても、内面までは感じ取れなかった。

⑤ 試行回数が少ないグループについて

④で述べたように、黄色の場面がなかったグループは試行回数が少ない傾向にあった。早い段階で飛ばすことができていたことにより、飛ばすまでにかけた回数が少ないことは事実である。しかし、最後の飛翔距離大会でよく飛ばせたか考えると、その傾向は見られなかった。つまり、早い段階で飛ばせることができるようになったものの、そのときの達成感や、他のグループに対する優越感などから、その先へ進む試行に回数をかけなかったと判断した。逆に、最後の飛翔距離大会でよく飛ばせたグループの方が、試行回数は多い傾向にあった。そこで、試行回数と飛翔距離の関係を考察することにした。

⑥ 試行回数と飛翔距離の関係

⑤で述べたように、試行回数が多かったグループは、飛翔距離大会でよい記録を出していた。単純に考えると、自由試行の時間は同じであるため、より早い段階で飛ばせるようになった方が、その分飛翔距離の向上に時間を割くことができ、飛翔距離大会でもよい成績を収められるように思われるが、決してその通りにはなっていなかった。むしろ、飛翔距離大会でよい記録を出すために必要なことは、早く飛ばせるようになることではなく、飛ばせるようになってからいかに向上心を持って挑み続けられるかであった。実際に、Fは試行全109回とずば抜けた回数であり、飛翔距離大会でも断然トップの5.8mという記録を出した。これらのことから、試行回数と飛翔距離には関係性があると見てよいと判断し、飛ばせるようになってから何度も試行錯誤の場면을繰り返し、格段に質が向上していくことから、それに必要な向上心や集中力、粘り強さが肝心であると再認識した。Fグループの姿を見ていると、一筋縄では太刀打ちできない壁に向かい、粘り強く試行錯誤を続けたことで、よい記録を出すことができ、頑張った分よい記録が出たことへの達成感や満足感も大きかったように感じた。

以上、①～⑥をまとめると、次のようになった。

- ① 素朴概念・誤概念を持った学生がほとんどを占めた。
- ② 最後に試行錯誤を行うには、探究力・思考力の余力に加え、原動力がいる。
- ③ 試行錯誤によって変容し、成長していく。
- ④ 黄色の場面がない場合、飛んだあとの試行回数も少なかった。
- ⑤ 試行回数が少ない場合は、飛翔距離もよい記録を残せていなかった
- ⑥ 試行回数と飛翔距離には相関傾向があった

第6章 飛翔メカニズムの検討

授業実践を通じて、マッチ棒ロケットの飛翔に関する科学的な検討を並行して行ってきた。これまでの検討は経験的に行ってきたが、本章ではマッチ棒ロケットの飛翔メカニズムについて、定量的な検証実験を行った。飛翔の条件となっている事象をこれまでの経験からピックアップし、変数制御によって生じる飛翔率・飛翔距離を実測することでデータを集めた。飛翔率が高くなり、飛翔距離が長くなる変数の最適条件を見出すために行った。実験とその結果について検討した。以下のように実験を構成した。

1. 飛翔の要素となる変数について
2. 火薬部分（燃焼時）以外の要素
3. 火薬部分（燃焼時）の要素
4. 変数の単位がない要素
5. 飛翔メカニズムを検討した成果

変数の最適条件は、これまでの経験からおおよそ見当はついていたものの、実際に条件制御して測定すること非常に困難であった。

しかし、本研究では飛翔に関するあらゆる要素を考慮して、それぞれ試行錯誤して定量的に検証した結果、見出した最適条件について述べた。

1. 飛翔の要素となる変数について

経験的な検討，つまり定性的な研究をふまえ，変数となる要素を見出した。それをもとに，条件制御して変数をひとつだけ変えていくという定量的な研究にとりかかった。これまで経験的に得ていたことは，定量的な研究を行うにあたり，変数の選択肢を絞ることに大いに役に立った。

- (1) 経験的に得ていた最適条件
- (2) 定量的な研究のため，改めて考慮した要素（それを変数とする）
- (3) 条件制御が可能と考えた変数について

飛翔の要素となる変数について，以上の構成で順に示す。

(1) 経験的に得ていた最適条件

卒業研究から少しずつ自由研究を重ね，マッチ棒ロケットの飛翔について，経験的に以下の 3 つの要素に着目していた。

- ① マッチ棒の使用部分について
- ② アルミホイルについて
- ③ 噴射口について

これらは経験と感覚によって少しずつ洗練されていき，(1 章 1. (4) かたちの変化) で示した経緯の結果として，それぞれ以下のように進歩したところで落ち着いていた。①から順に示す。

① マッチ棒の使用部分について

マッチ棒の使用するところは，先端の火薬部分のみとした。(図 6-1) マッチ棒の軸の部分を増やすと，燃料の質量は大きくなるが，その分ロケット全体の質量も大きくなってしまうため，飛翔距離・飛翔率ともに低下し，効率的ではなかった。



図 6-1

② アルミホイルについて

アルミホイルは全体を包み込むように巻き，先端は自由研究的手法で編み出した独自の方法で密閉することにした。密閉方法は〇〇に示した。

また，アルミホイルの裏表については，つるつるした光沢のある面を内側にして巻いた方がよかった。(図 6-2) 内部の壁面が摩擦の少ない光沢面になるからだと考えた（詳細は本章 2. (4)）。

図 6-2 アルミホイルの裏表



③ 噴射口について

噴射口のかたちは，クリップの直径に合わせてしぼることにした。噴射口が太すぎると，噴射の際にエネルギーを一気に放出してしまい，“煙を噴射しながら飛翔するロケット”であるとは言えない。いわゆる大砲型的一种である（第 1 章 1. (1) 参照）。よって，たとえ飛翔距離が期待できてもロケットではないため不採用とした。

図 6-3 クリップで絞った噴射口



(2) 定量的な研究のため、改めて考慮した要素

定量的な研究を進めていくにあたり、条件制御する変数について改めてその視点に立って考えた。(1) で述べたように、マッチ棒・アルミホイル・クリップの使用については経験的な知見を反映し、その他の要素については、飛翔に影響しているものひとつひとつ洗い出した。その結果、以下のような 12 の要素が挙げられた。表にまとめて示す (表 6-1)。

表 6-1

ロケット本体の質量(g)	アルミホイル
発射する角度(°)	火薬の形状
噴射口の直径(mm)	火薬の燃焼スピード
噴射口の長さ(cm)	重心
発射台の径(mm)	圧力中心
火薬の質量(g)	ロケット先端部の形状

表 6-1 の左側は、単位がはっきりしている変数であるため、それぞれ単位も示した。右側は単位もなければ、本当に要素といえるほどの影響を与えているのか、また、その影響を検証できるものなのか、現時点では不安定な要素でもあった。

このように、マッチ棒ロケットの飛翔メカニズムを検討するにあたり、考慮すべき要素はとても多かった。そのため、変数に関する条件制御が可能かどうか検討し、いくつかの種類に分けてから、変数の幅（選択肢）を設定して検証に踏み出した。

(3) 条件制御が可能と考えた変数について

(2) で挙げた条件を変数として検証するにあたり、条件制御が可能であるか検討した結果、以下の3つに分けることにした。

- ① 火薬部分（燃焼時）の影響を受ける要素
- ② 火薬部分（燃焼時）の影響を受けない要素
- ③ 変数の単位がない要素

分けた理由としては、初めから火薬を使った要素で検証を開始してしまうと、火薬についての条件制御ができないため、変数が同時に2つ存在してしまうことになる判断したからである。経験的に火薬を目利きして選択している以上、マッチ棒の製造工程で生まれた異形な火薬や、極端に小さいものは除外されているため、それらが飛翔に与える影響は大きくない。しかし、燃焼スピードや燃焼の仕方が必ず同じであることは証明できない。

よって、火薬を用いなくても検証できる条件については、火薬を使わないで検証できるように工夫し、先に実験を進めた。その結果を参考に、火薬を用いた検証実験での要素を検討した。

以下に条件制御が可能と考えた変数と、その条件で考えられる選択肢をまとめた（表 6-2）。この表に示した選択肢をもとに変数を調整し、条件制御した定量的な実験を行った。

表 6-2

条件制御できる変数	条件下での選択肢				
ロケット本体の質量(g)	0.1	0.2	0.3	0.4	
発射する角度(°)	30	35	40	45	50
噴射口の直径(mm)	0.82	0.92	1.03		
噴射口の長さ(c m)	0.5	1.0	1.5	2.0	
発射台の径(mm)	0.82	0.84	0.92		
火薬の質量(g)	0.02	0.03	0.04	0.05	

また、単位がない変数の条件については、条件制御した定量的な実験はできないが、経験と検証実験をもとに最適解といえるものを見出した。その結果は 4.変数の単位がない要素にまとめた。

2. 火薬部分（燃焼時）の影響を受けない要素

マッチ棒ロケットの火薬部分，もしくはその燃焼時によって影響を受けない要素について，それぞれ定量的な実験による検証結果を示した。また，これまでの経験と重ねて判定した最適条件を述べた。

また，そのようにして編み出した最適条件は，他の変数に着目して検証する際に制御する条件としても活用した。

(1) マッチ棒ロケット全体の質量

① はじめに

改めて変数となる条件を考えたとき，はじめに検証したいと思ったのが，このマッチ棒ロケット全体の質量であった。この要素を早い段階で導き出しておくことで，その後につくるマッチ棒ロケットが無数のパターンからある程度の範囲内に絞られると考えた。そもそも，できるだけ軽いほうが良いという判断のもと，軽量化を目指すことはよくある傾向だった。

しかし，私は視点を変えて大きなマッチ棒ロケット，つまり必然的に重くなるマッチ棒ロケットをつくってみたところ，そのかたちでもよく飛んだ経験がある（1章1.（4）参照）。

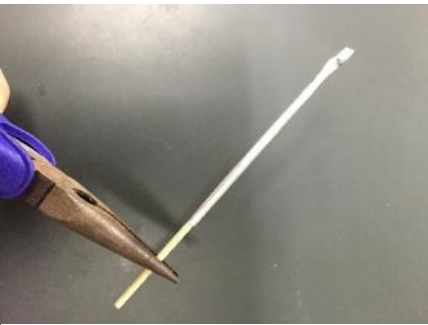


図 6-4

このかたちのマッチ棒ロケットの質量は0.3g~0.4gあった（図 6-4）。もっと小さく軽いかたちのマッチ棒ロケットでは，0.1g 台のものもあった。そのため，これまで自由研究としてつくってきたかたちや，実践を通して新しく発見されたかたちを改めて電子天秤を用いて測定した。その結果を以下にまとめた（表 6-3）。有効数字は1桁とした。各質量の出現頻度も合わせて記した。

表 6-3

マッチ棒ロケット本体の質量（g）と出現頻度			
0.1	0.2	0.3	0.4
多い	非常に多い	多い	少ない

この傾向から見ると，出現頻度が高いものが最適条件ではないかと考えられたが，実際に測定してみて「軽いほうがよく飛ぶ」という感覚はどうだったのか，試してみる必要があった。

② 方法

大きさが同じで質量の異なる球をつかって飛ばした（図 6-6）。



図 6-6

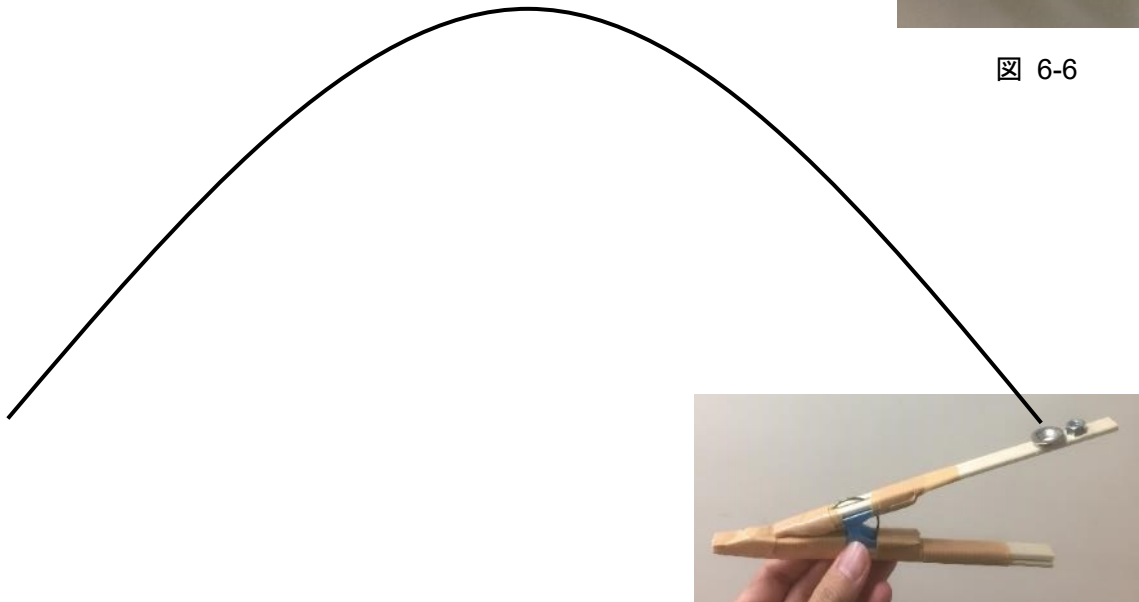


図 6-5 手づくりした発射装置と飛行の軌跡イメージ図

つくった球を同じ力・向きで飛ばすため、洗濯ばさみのばねを利用して飛ばすことができる発射装置を手づくりした（図 6-5）。これ以降に述べた測定実験では、すべて手づくりにこだわったものばかりだが、その精度はしっかりチェックした。今回の発射装置は、つくりながら既製品の球（図 6-7）を飛ばしてみて、発射の精度を高めるための調整を行った。



図 6-7 既製品の球

発射装置の精度の調整を終え、以下の選択肢で質量を変えて飛距離を測定した。各パターンの測定結果から得られた平均飛距離を示す。

表 6-4

質量(g)	0.2	0.3	0.4
平均値(cm)	166.82	183.85	175.55

③ 結果

表 6-4 をグラフ化した。

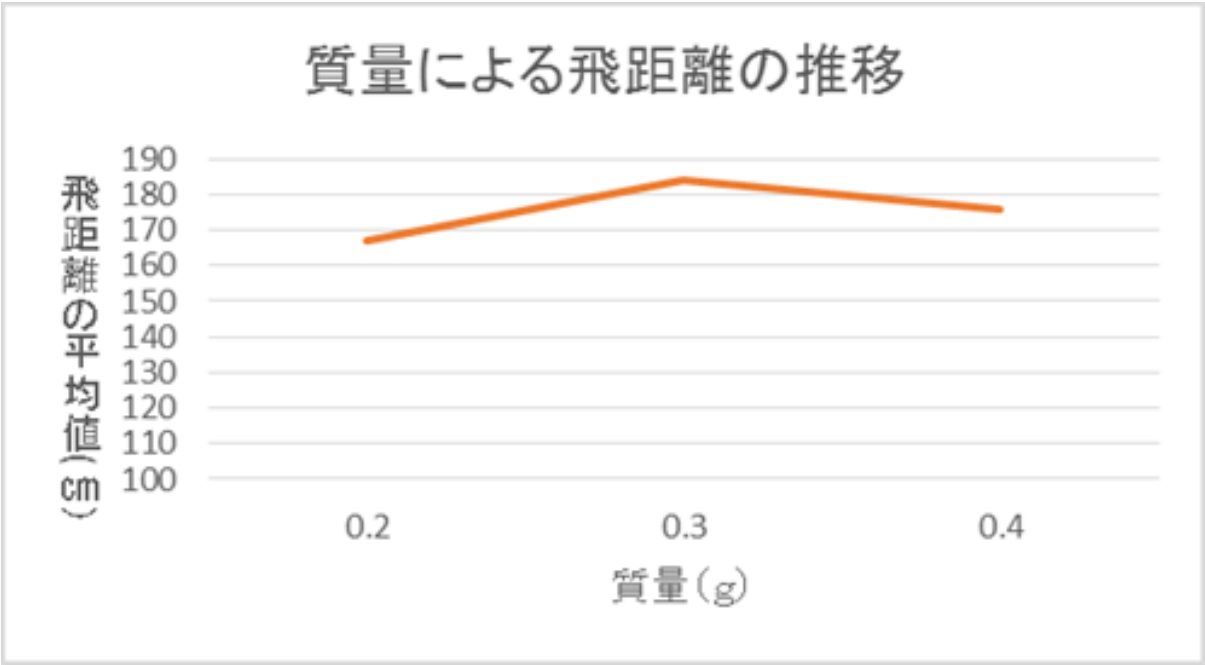


図 6-8

図 6-8 のグラフを見ると、ピーク値が出ているためそのあたりが最適条件ではないかと考えられた。では、厳密なピーク値は真ん中の 0.3g よりも軽い方か重い方か、経験をもとに推測した。

④ 考察

測定しているとき、重くしていけば飛距離が長くなるように思われたが、重くしていくと飛距離は短くなった。やはり重すぎではいけないということが分かった。今回は球の飛距離を測定してみたが、マッチ棒ロケットの場合は軽い方がよく飛ぶのではないかと考えられていた。しかし、空気抵抗との関係で重い方がよく飛ぶのではないかと、という意見もあった。

結果からは、重すぎても軽すぎてもいけないということは分かった。そして、重いよりは軽い方がいいため、0.3g から 0.2g に近いあたりが厳密なピークと推測した。この推測には、ロケット本体が重いと噴射時のエネルギーでは飛び出すことができず、煙を噴射するだけでその場に留まるという経験が最も大きな要因になった。

(2) 発射する角度

① はじめに

発射する角度についてだが、理想は 45° のはずである。しかし、経験的には 45° よりも小さい角度の方がよく飛び出していた。恐らく発射台との摩擦の関係によるものと考えられ、発射するためのエネルギーが微量であるために、反対方向にはたらく摩擦エネルギーの僅かな違いで、飛び立つか飛び立たないかが左右されていると考えてきた。

② 方法

発射する角度だけを変えた定量的な検証実験を行うため、火薬は使用せず、質量・かたち等の条件を統一できるよう、飛ばす棒は同じものを使用した。

“発射する角度”という条件だけを変えるためにつくったのが，以下の発射台の土台である。それぞれ書き込んだ角度に合わせて切った（表 6-5）。

表 6-5

発射する角度（°）				
30	35	40	45	50
				

この土台に発射装置を装着し，それぞれ 5 回ずつ測定した。発射装置の写真は以下に示したとおりであり，底面にはネオジム磁石を埋め込んだ。この強い磁力によって土台にしっかりと固定することができ，また外して別の土台に装着することも容易にできた（図 6-9）。

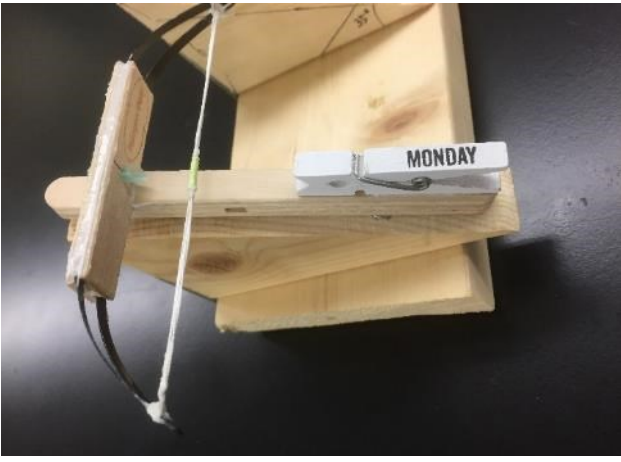


図 6-9 発射装置をネオジム磁石で固定した様子

③ 結果

このような発射装置を用いて飛ばした結果（cm）を，以下の表にまとめた（表 6-6）。

表 6-6

回数 \ 角度	30°	35°	40°	45°	50°
1	570	569	572	536	578
2	660	578	536	613	546

3	510	632	612	612	546
4	574	621	556	564	558
5	525	565	588	567	528

飛距離の差はあまり大きくなかったので、それぞれ 5 回ずつ測定して平均値を算出した。表 6-7 が各角度の飛距離の平均値であり、グラフ化して載せた。(図 6-10)

表 6-7

角度 (°)	30	35	40	45	50
平均飛距離 (c m)	551.55	593	572.8	578.4	551.2

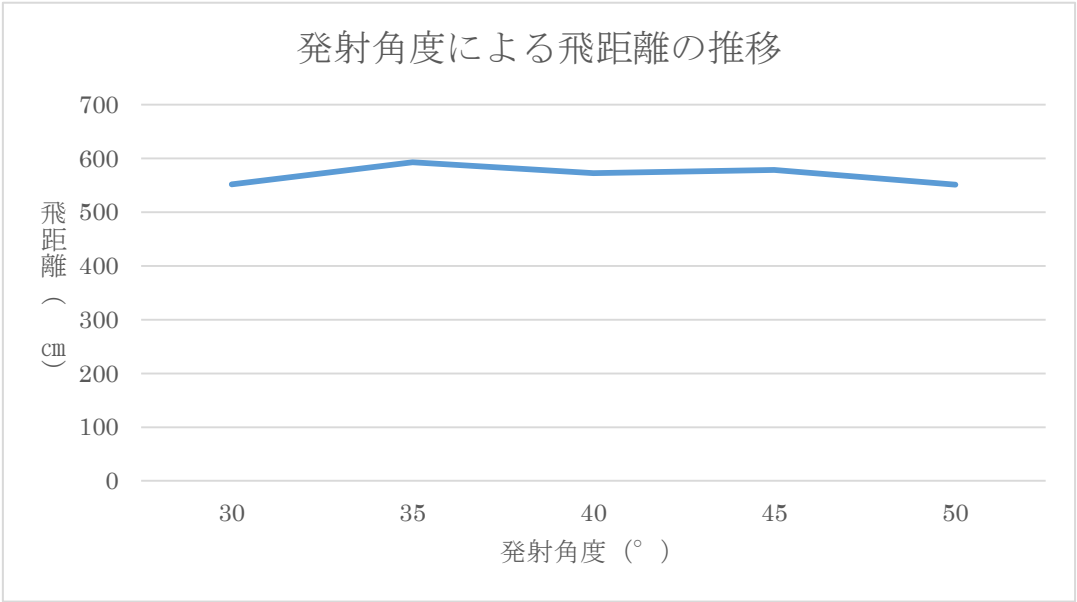


図 6-10

④ 考察

グラフは横ばいになった。つまり、結果として発射角度を変えても飛距離はそれほど変化しなかった。

細かく見ると、35° のところがピークになっているようにもとれるが、40° と 45° との差が確実なものはいえない。測定による誤差の範囲かもしれないが、40° よりも 45° の方が少し伸びており、35° をピークとしたというよりは、35° から 45° あたりまでが緩やかなピークになっていると考える方が理に適っていると判断した。

両端はこの先どんどん下がっていくと推定できることから、このピークの見当はおおよそ信頼できた。また、前述したように、空気抵抗がない条件での理論値は 45° であり、実際のところはそれよりも角度が小さい方がよいため、この検証結果に火薬という条件が追加されると、その燃焼によって噴射されるエネルギーと、反対方向にはたらく摩擦エネルギーの大小関係で、45° よ

りも少し小さい 35° から 40° あたりが最適条件になると推測できた。よってこの段階では見当をつけておき、他の最適条件が出揃ってから、火薬を入れてさらに検証を深めることにした。

(3) ロケット先端部の形状

① はじめに

(2) の実験に加えて、飛ばすロケット（火薬なし）の先端部分をいくつかの形状につくりかえて飛ばした。条件を変えるパターンとして、それぞれの条件の選択肢が最低 3 つは欲しいと思い、本物のロケットのように先端を尖らせたものに加え、平らに切ったものときれいに丸めたものを準備するつもりでいた。

しかし、手づくりすることにこだわった結果、先端をきれいに丸くすることが技術的に困難だった。そのため、先端を丸くすることに苦戦しつつも、準備できた 2 つのパターンを先に飛ばして比較した。本物のロケットや新幹線など、先端が尖っているような形状の方が高速移動する物体には適していると思っていたので、この 2 つのパターンでも飛距離にかなりの差が生じるのではないかと予想していた。

② 方法と結果

(2) の実験結果から 35° の発射台を選択し、その基準値を実測値 593 cm から、6m 弱とした（表 6-8）。先端部分を尖らせたものを何度か飛ばして、平坦な形状よりも飛距離が期待できると考え、試した。

表 6-8

ロケット先端部の形状		
尖らせる	丸める	平坦のまま
	断念	
変化なし		6m 弱

しかし、以上のような結果となり、先端部分を尖らせても、平坦との大きな差は見いだせなかった。この結果を見て、先端をきれいに丸くするアプローチは価値が低いと判断し、断念した。

③ 考察

つまり、この実験での検証結果から、ロケットの先端の形状は飛距離に大きな影響を与えないことが証明できた。よって、このまま検証を進めて火薬を使う段階に到達しても、先端部分の形

状は特に尖らせたりすることなく、同じかたちを量産しやすいようなスタイルにしようという目途が立った。基準値の 6m 弱を軽く上回る飛距離が出ると期待していたものの、変化が見られず残念であった。

この結果についてひとつ考察できるとすれば、実際のロケットと違い後部から噴射して推進力を得ていないため、弾き飛ばされたロケットはただの棒状の物体であり、先端部分に空気抵抗が大きいこともなく、棒は途中で回転運動して、あらゆるところに空気抵抗を受けていたと考えられる。よって今回の条件のように先端部分だけ形状を変えたとしても、飛距離にそれほど大きな差は見られなかったのだと考えることができる。

実際にロケットに火薬を入れて測定する段階に至れば、そのときは先端の形状についても考慮しなければいけないかもしれないが、特に差し支えなく、同じかたちが量産しやすいものを採用することにした。

(4) アルミホイル

① はじめに

マッチ棒ロケットにおいて、ロケットの質量を左右するのがアルミホイルの質量である。そのため、(1) ロケット全体の質量に大きく影響するが、ここではアルミホイルについて詳しく追究した。

まず、ロケットの質量を左右することについての詳細であるが、本研究では、最終的にアルミホイルの面積を基準として質量を調整する方法に至った。市販されているアルミホイルは、厚さが 12 マイクロメートルと一定しており、その精度は製造工程から見てもかなり高い。アルミホイルの圧延工程を日本製箔株式会社から引用した（図 6-11）。

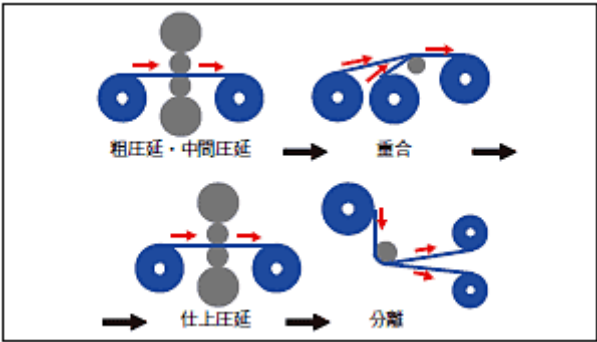


図 6-11 アルミニウム箔の圧延工程

② 方法と結果

市販されている家庭用アルミホイルは、このような製造工程によって均一な厚さにされていることから、面積で質量を割り出すことができた。

約 0.2g にするために必要なアルミホイルの面積と、実際に使用した面積を各条件について以下の表にまとめた（表 6-9）。

表 6-9

噴射口の長さ	1.0 cm まで	1.5 cm	2.0 cm	3.0 cm	4.0 cm
アルミホイルの面積	54 cm ²	54 cm ²	52.5 cm ²	52.5 cm ²	52.5 cm ²

③ 考察

また、ここでアルミホイルの特性についても示す。参考文献より、特性は全部で 7 項目あり、すべて引用して表にまとめた（表 6-10）。

表 6-10 アルミニウム箔の特性 7 項目

熱の伝導性	他の金属に比しよく熱を伝えます（鉄の 3 倍）。超低温でも材料特性が変化しないので、冷凍器具、冷凍食品の包装に適しています。
電気の伝導性	銅に次いで電気の伝導性がよく、磁気を帯びない特性により各種コンデンサー、シールド材、電線被覆、プリント基板など広く電気部材に使用されています。
断熱性	輻射熱を反射するので反射鏡、暖房器具の反射板に。他の材料と組合せて断熱材として使用されます。
遮光性	紫外線、赤外線を通さないので、光線により品質が低下する食品、医薬品、感光材料などの包装材として効果的です。
防湿性	水分やガスの非通気性がプラスチックフィルムに比し非常に優れているので、湿気や酸素ガスを嫌う食品類、その他の包装材料として広く使用されています。
衛生性	アルミニウムは無味、無臭で人体に無害で、食品、医薬品、飲料などの包装、容器類に適しています。
光沢性	光沢面、いぶし銀のマット面を圧延法や表面コート法により容易に得られます。

この 7 項目の中から、マッチ棒ロケットの材料として使用する際に関係のあるものは、「熱の伝導性」と「断熱性」である。

熱の伝導性については表裏に関係なく優れているが、断熱性は表の光沢面の方が高い。つまり、経験的に表の光沢面を内側にして巻いた方がよいというノウハウは、理にかなっていたということが分かった（本章 1. (1)）。

さらに、図 6-11 の圧延工程より、アルミニウム箔は光沢面の方が、裏のざらざらした面より摩擦が少ないことも分かった。噴射口を発射台に突き刺す方法をとる場合は、この面による摩擦の差がかなり影響を与えそうな気がするが、今回の検討ではその方法をとらないことにしたので、その検討については割愛した。

(5) 重心と圧力中心

ロケットの飛翔に欠かせない条件として、ロケットの重心と圧力中心の関係がある。本研究でもそれらを測定して関係を検証した。それぞれの測定方法と結果について、以下の順に示す。

- ① マッチ棒ロケットの重心の測定方法
- ② マッチ棒ロケットにかかる圧力中心の測定方法
- ③ 重心と圧力中心の関係

重心と圧力中心が測定できれば、それらの関係性の検証として、重心が圧力中心より前方にあれば問題ないポジティブな状態といい、反対に重心が圧力中心より後方になっていれば、問題のあるネガティブな状態であるという。

① マッチ棒ロケットの重心の測定方法

クリップを変形させて、一点を地面と垂直にした。(図 6-12) その一点にマッチ棒ロケットを水平に置き、前後に落ちないところを探した。うまくバランスが取れたところで静止し、その点の真上を重心としてマークした。

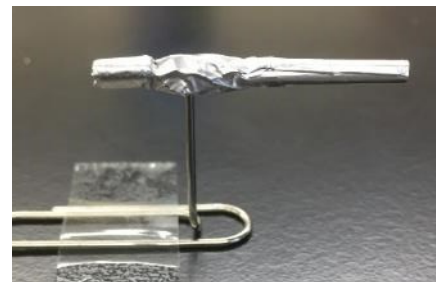


図 6-12

② マッチ棒ロケットにかかる圧力中心の測定方法

今回の測定方法として、カードボード法を採用した。ロケットの圧力中心を測定する方法は、このカードボード法とバロウマン法の2種類が存在する(参考文献 p)が、今回はカードボード法を活用して測定した(図 6-13)。

カードボード法は、マッチ棒ロケットの上からライトを照らして影をボード(厚紙)に映し、その影を切り取る。そして切り取ったボードを①と同じようにクリップに乗せてバランスが取れる点を探す。見つかった点が圧力中心である。影を切り取って圧力中心をマークした一例を示す(図 6-14)。



図 6-13

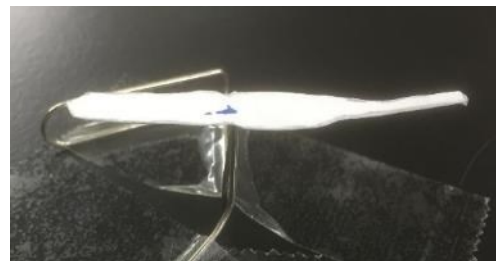


図 6-14

③ 重心と圧力中心の関係

上述したように、①で測定した重心の位置が、②で測定した圧力中心の位置よりも前方にきていればポジティブな状態である。結果の一例を示す（図 6-15）。

図 6-15 のように、重心と圧力中心の関係はポジティブであり、ロケットの飛翔に問題はなかった。

このかたちは何度か飛翔させてみた結果として、飛翔率 100%を誇っているため、ネガティブになる心配はしていなかったが、この測定によって、形状に加わる重心と圧力中心の課題について、明らかにすることが出来た。

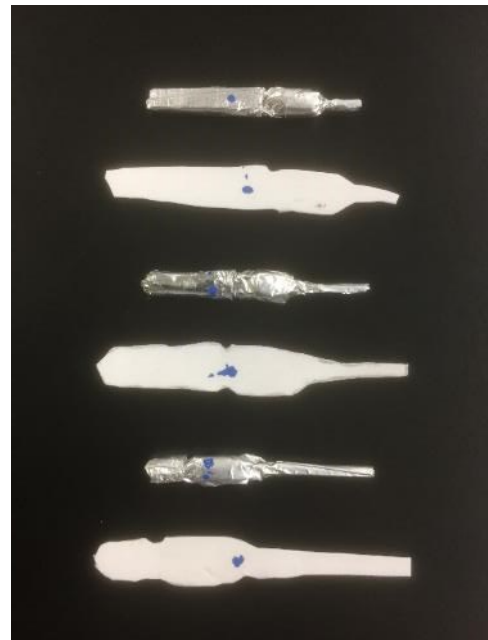


図 6-15

3. 火薬部分（燃焼時）の影響を受ける要素

2.の結果から、マッチ棒ロケット本体の質量と発射する角度について見当がつけられた。また、ロケット先端部分の形状についても、大きな差が見られなかったため、統一できて量産しやすいものを採用するに至った。

よって、それらの条件は統一したまま、火薬に点火し、噴射した条件で飛翔させる実験を行った。以下の要素について検討した。

- (1) 噴射口の直径
- (2) 噴射口の長さ
- (3) 発射台の径
- (4) 火薬の質量
- (5) 火薬の形状
- (6) 燃焼スピード

(1) 噴射口の直径

① 直径の条件設定の工夫

噴射口の直径を変数とした飛翔距離の検証実験を行った。本章 1. (3) の選択肢にあるように、以下の 3 種類の直径のゼムクリップを用いた（表 6-11）。

表 6-11

噴射口の直径（mm）		
0.82	0.92	1.03
		
A	E	F

※ 下段のアルファベットは、それぞれの測定表（表 6-12）に対応している。

市販されている全 7 種類のクリップについて、すべてマイクロメータを用いて直径を計測した (図 6-16)。

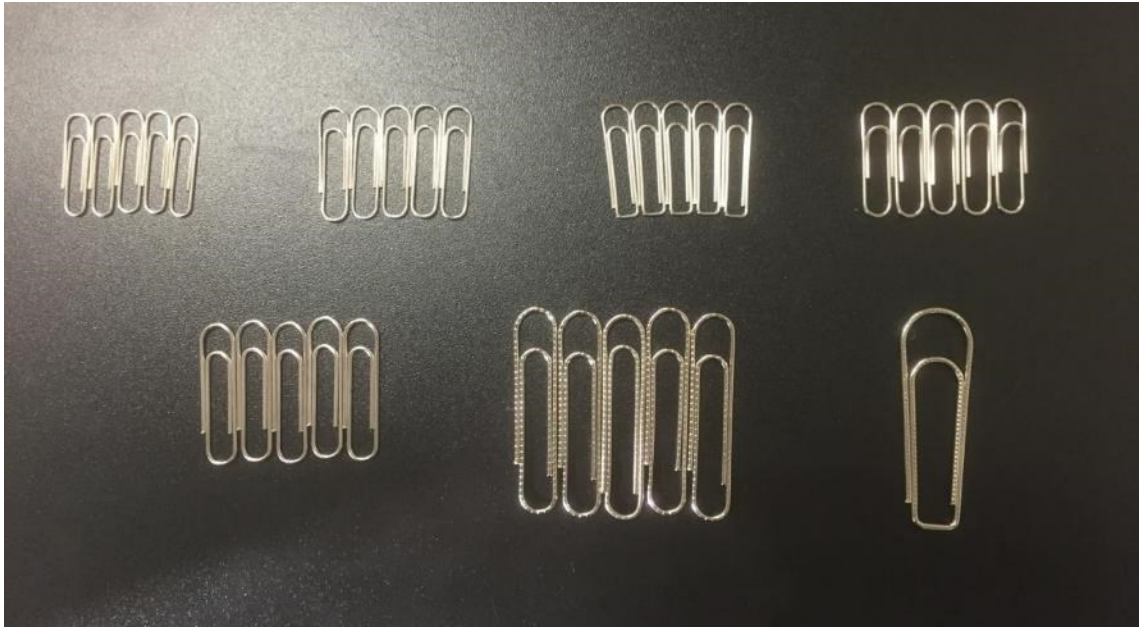


図 6-16 市販されている全 7 種類のクリップ

左上から順に A,B,C,D,E,F,G としており、見た目の大きさは左上の A が一番小さく、右下の G が一番大きくなるように並べた (表 6-12)。それぞれのクリップの直径を計測した記録は以下のとおりである。念のため、各クリップの外側と内側を別々のものとして計測した。

表 6-12 各クリップの直径を計測した記録

クリップの種類	A		B		C	
	外	内	外	内	外	内
	28	26	28	26.5	25	26
	26	26	27	26	24.5	25
	28	26	28	26.5	27.5	26
	27	26	26	26	26	25.5
	27	26	28	26	24.5	25
	27	26	27	26.5	28.5	24.5
	27	26	26	26	26	25
	27	26	28	26.5	26.5	25
	27	26	28	26	26	24.5
	28	26	28	26	25	25
平均メモリ	27.2	26	27.4	26.2	25.95	25.15
平均値(μ m)	82.2	81	82.4	81.2	80.95	80.15
直径(mm)	0.822	0.81	0.824	0.812	0.8095	0.8015

種類	D		E		F		G	
	外	内	外	内	外	内	外	内
	28	33	38	36	48.5	47	26	19
	33	29	37	36	48	46.5	19.5	18

	28	29	37	36.5	47.5	48.5	19	19
	28	31	37	36.5	47.5	47	20.5	21
	31	28	37.5	36	49	46.5	18.5	18.5
	31	29	36	36	47	49	22.5	23
	28	30	37.5	36	48	47.5	16	24
	29	32	36.5	36.5	49	47	23	18.5
	27	31	37.5	33	47	48	21	20.5
	28	28	37	33	48	48	21	18.5
メモリ	29.1	30	37.1	35.55	47.95	47.5	20.7	20
平均値	84.1	85	92.1	90.55	102.95	102.5	125.7	125
直径	0.841	0.85	0.921	0.9055	1.0295	1.025	1.257	1.25

測定結果から、A~G のクリップの直径を以下のようにまとめた（6-13）。

表 6-13 各クリップの直径まとめ（有効数字 2 桁）

クリップの種類	A	B	C	D	E	F	G
直径(mm)	0.822	0.824	0.8095	0.841	0.921	1.0295	1.257
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
有効数字 2 桁	0.82	0.82	0.81	0.84	0.92	1.03	1.26

選択した 3 種類のクリップの直径に色を付けた。

選んだ理由としては、A~C は値が近く、市販されている多くのゼムクリップはこの直径であったことから、一般的なクリップの代表として、A のクリップを用いることにした。E~G のクリップは見た目からも大きいことが分かるので、A のクリップの直径を基準に、約 0.1 mm ずつ大きさの違う E と F のクリップを用いることにした。G のクリップは大きすぎると判断し使いなかったが、凸凹があるため噴射口をつくるには適していなかった。これは経験から明らかだった。

② 結果と考察

選択した 3 種類のクリップを用いてつくった噴射口での飛翔距離の実測結果を示した（表 6-14）。次の（2）に詳細を述べたが、この実測では噴射口の長さも検証した。ここでは噴射口の直径に着目し、結果をグラフ化した（図 6-17）。

表 6-14 各直径による平均飛翔距離

各直径による平均飛翔距離（cm）			
直径 長さ	0.82	0.92	1.03
0.5	135.33	139.64	164.00
1.0	160.67	173.67	212.67
1.5	244.67	211.33	212.67
2.0	217.67	264.00	232.33

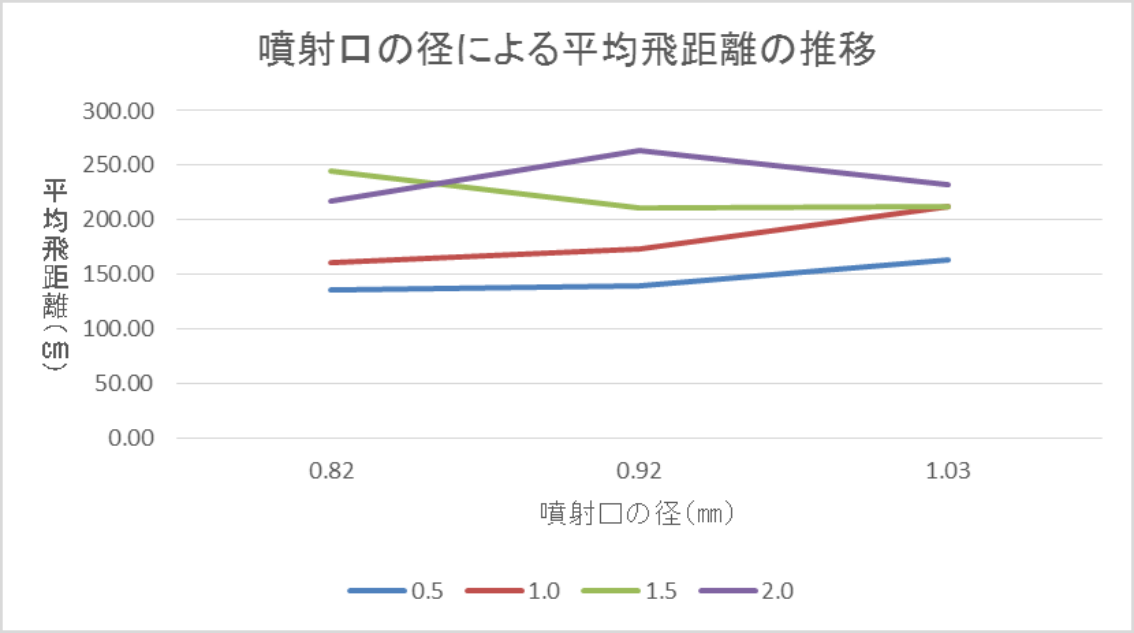


図 6-17 各直径による平均飛翔距離の推移

グラフから、最も飛翔距離が長かったのが、紫色で示した線の 0.92 mm であるため、噴射口の直径に重点を置くと、この条件が最適であることが分かった。同時に噴射口の長さについても、短いよりは長いほうが良いのではないかと推測できる傾向が見られた。この条件については (2) で詳細を追究した。

(2) 噴射口の長さ

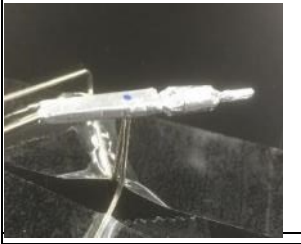
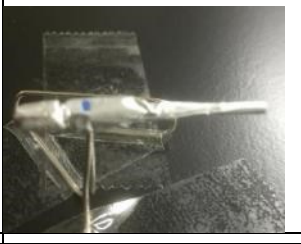
① 長さについて

噴射口の長さを変数として条件制御した検証実験について示した。選択肢として 0.5 cm から 2.0 cm まで挙げたが、この変数については、経験的にある程度の長さが必要であると分かっていたので、2.0 cm に近い方がよく飛ぶと予想していた。しかし、噴射口は短い方がいいのではないかと、という意見もあり、非常に検証結果が気になる問題であった。

それぞれの噴射口の長さのマッチ棒ロケットを下の表に写真を添えて示した（表 6-15）。

実際につくってみた経験から予測した見解として、長さについて一言で表現したものをそれぞれ写真の上に記載した。

表 6-15 各噴射口の長さのマッチ棒ロケット

噴射口の長さ（cm）			
0.5	1.0	1.5	2.0
短すぎ	短い	普通	普通
			

噴射口の長さによる平均飛翔距離の結果は、以下の表にまとめた（表 6-16）。(1) と同じく、15 回の測定を試みて、その平均値を算出した。

② 結果

表 6-16 噴射口の長さによる平均飛翔距離の結果

各長さによる 15 回の平均飛翔距離（cm）				
長さ 直径	0.5	1.0	1.5	2.0
0.82	135.33	160.67	244.67	217.67
0.92	139.64	173.67	211.33	264.00
1.03	164.00	212.67	212.67	232.33

最も平均飛翔距離が長かったところに色付けした。表全体を見たところ、右側の方が平均飛翔距離の値が大きくなっているため、噴射口の長さは短いよりも長い方がよい傾向にあった。

ただ、見事に同じ値が並んだところと、右側の方が大きいところが 1 カ所あった。次に、この結果をグラフ化したものを載せた（図 6-18）。そこから考察を深めた。

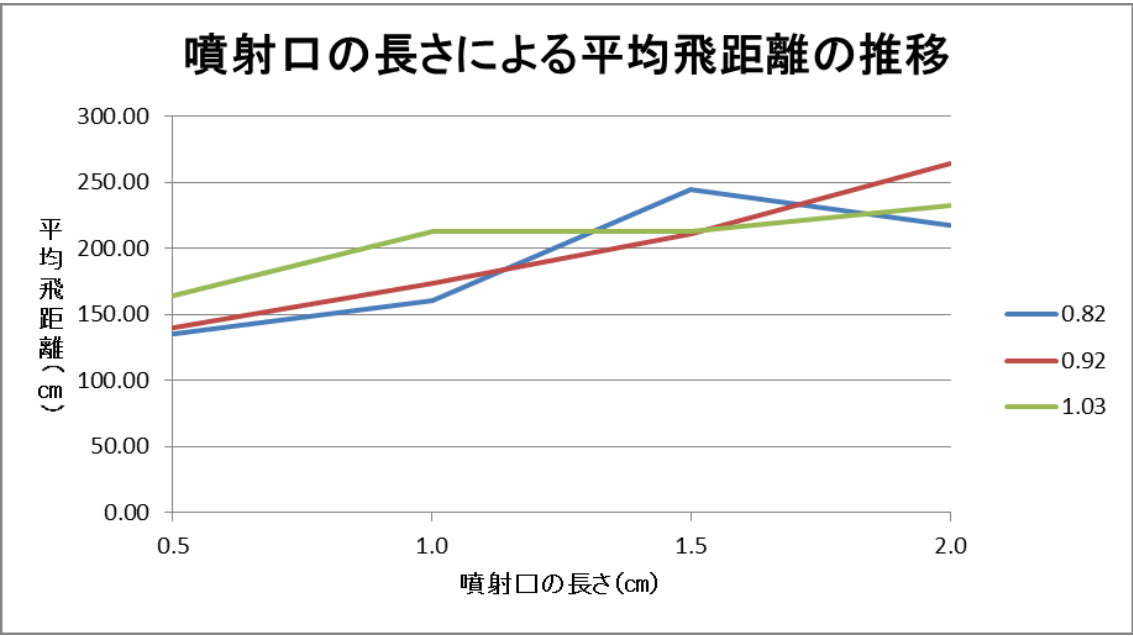


図 6-18 噴射口の長さによる平均飛翔距離の推移

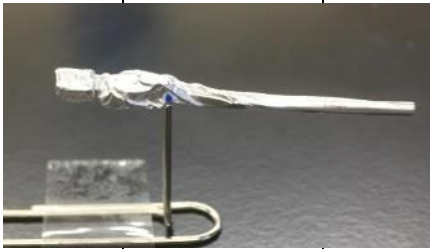
青色の線はピークが出たことから、噴射口の直径 0.82 mm の場合に限り、噴射口の長さが 1.5 cm で最大値を出すことが分かった。つまり、その値をさらに上回る 0.92 mm には勝てないことが証明された。(1) から噴射口の直径は 0.92 mm が最適条件である可能性が高いと出ていたが、この結果を見るとまだピークが見られていないことから、もっと右側にピークが存在すると推測できた。よって、さらに噴射口を長くして検証する必要が出た。

(3) 噴射口の長さ（その 2）

① 長さについて

噴射口の長さについて、当初の選択肢から追加することにした。今回は最適条件である噴射口の直径 0.92 mm に的を絞り、新しく 3.0 cm と 4.0 cm を追加した。変更後の表を以下に示す。3.0 cm と 4.0 cm にも、先程と同じように長さについて一言コメントを添えた（表 6-17）。さすがに噴射口 4.0 cm は長すぎる予想した。

表 6-17 各噴射口の長さ追加したマッチ棒ロケット

噴射口の長さ（cm）					
0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
短すぎ	短い	普通	普通	長め	長すぎ
					

※ 写真は左が噴射口の長さ 3.0 cm で、右が 4.0 cm である。

② 試行回数について

追加実験にあたり、実測する回数を 15 回として平均値が安定したのか、あるいは、15 回よりも少なくとも安定したのか、判定するため飛翔距離を順番に並べ替え、上位 2 回の平均値、上位 3 回の平均値、上位 4 回の平均値・・・と、全 15 回に至るまでそれぞれの平均値を算出した。

それぞれの平均値は以下の表にまとめた（表 6-18、6-19、6-20）。有効数字は 2 桁とした。

例、上位個数 5 の値は、飛翔距離の順に並べ替えて 1 位から 5 位までの値の平均値を示したものである。

表 6-18 上位〇〇個の平均飛翔距離（0.82 mm）

上位個数	0.82			
	0.5	1.0	1.5	2.0
1	450.00	310.00	490.00	410.00
2	345.00	280.00	480.00	390.00
3	345.00	280.00	480.00	390.00
4	263.75	245.00	415.00	327.50
5	247.00	232.00	398.00	310.00
6	235.00	222.50	383.33	295.00
7	218.57	215.00	371.43	284.29
8	203.75	208.13	353.75	276.25
9	191.11	201.67	334.44	266.67
10	179.00	196.00	318.00	258.00
11	169.09	189.55	301.82	250.00
12	159.17	183.75	287.50	242.50
13	150.77	177.31	274.62	235.00
14	143.57	170.00	261.43	226.79
15	135.33	160.67	244.67	217.67

表 6-19 上位〇〇個の平均飛翔距離（0.92 mm）

上位個数	0.92			
	0.5	1.0	1.5	2.0
1	435.00	430.00	440.00	840.00
2	432.50	390.00	425.00	705.00
3	432.50	390.00	425.00	705.00
4	328.75	330.00	370.00	537.50
5	303.00	300.00	346.00	492.00
6	275.83	278.33	328.33	460.00
7	252.14	262.86	314.29	431.43
8	233.13	248.13	302.50	397.50
9	217.22	235.00	293.33	368.89
10	203.50	223.50	282.00	345.00
11	192.27	213.18	271.82	325.45
12	181.25	202.08	255.83	308.33
13	171.92	192.69	242.31	291.54
14	163.93	183.93	225.71	277.14
15	156.33	173.67	211.33	264.00

表 6-20 上位〇〇個の平均飛翔距離（1.03 mm）

上位個数	1.03			
	0.5	1.0	1.5	2.0
1	390.00	490.00	570.00	560.00
2	385.00	465.00	495.00	550.00
3	385.00	465.00	495.00	550.00
4	347.50	445.00	415.00	467.50
5	324.00	414.00	384.00	446.00
6	298.33	390.00	360.00	413.33
7	272.86	370.00	341.43	388.57
8	252.50	351.25	321.25	360.00
9	236.67	322.22	304.44	333.33
10	222.00	299.00	285.00	311.00
11	208.18	277.27	267.27	291.36
12	196.67	259.17	251.67	273.75
13	185.38	242.31	238.46	258.08
14	175.00	227.14	225.71	244.64
15	164.00	212.67	212.67	232.33

実測値の項目が多いので、噴射口の長さに着目して、それぞれ噴射口の直径3パターンに分けて示した。グラフ化すると次のようになった（図 6-19）。

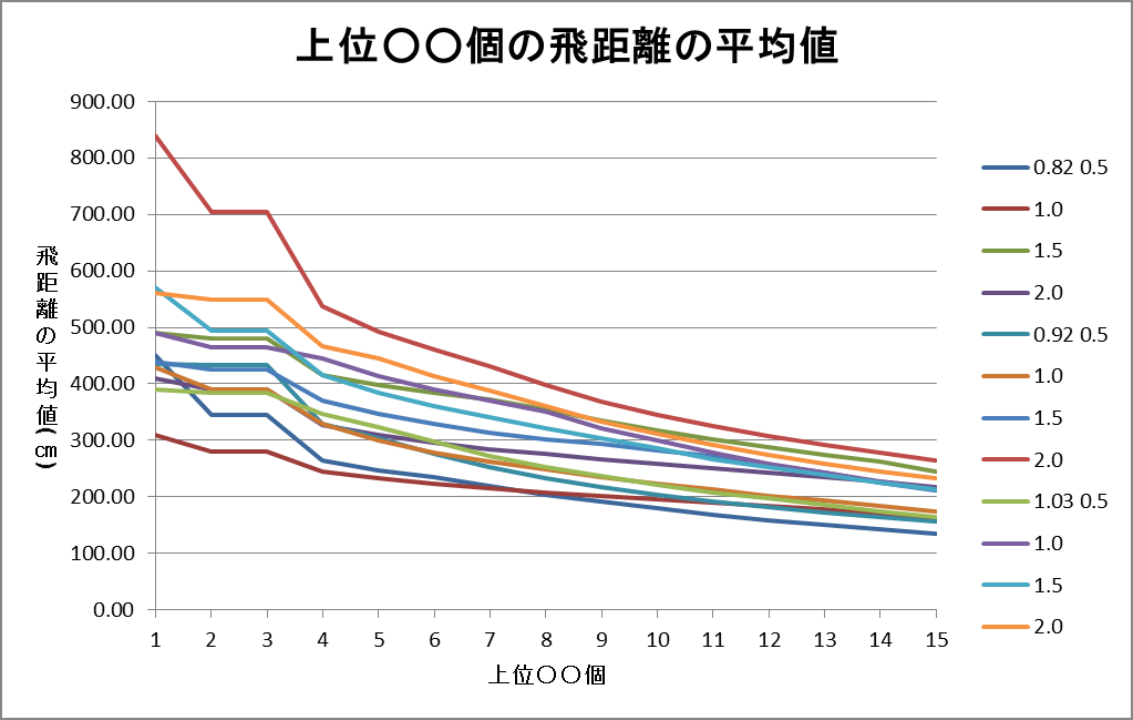


図 6-19 上位〇〇個の平均飛翔距離の推移

グラフを見ると、上位 5 回あたりから安定し始めていることが分かった。それ以降は回数を増やしていくにつれて平均値は安定して下がっていた。よって、次回から条件を変えて実測する場合は 5 回から 10 回くらいで十分かもしれない。

しかし、今回に限っては新しく追加した条件も以前と対等に比較したいため、同じように 15 個つくって実測することにした。ちなみに、以前までの条件で上位 5 回の平均値を比較すると、次のような値が出た（表 6-21）。グラフ化したものを合わせて示す（図 6-20）。

表 6-21 各噴射口の直径・長さの上位 5 個の平均飛翔距離

上位 5 個の平均値				
長さ 直径	0.5	1.0	1.5	2.0
0.82	247	232	398	310
0.92	303	300	346	492
1.03	324	414	384	446

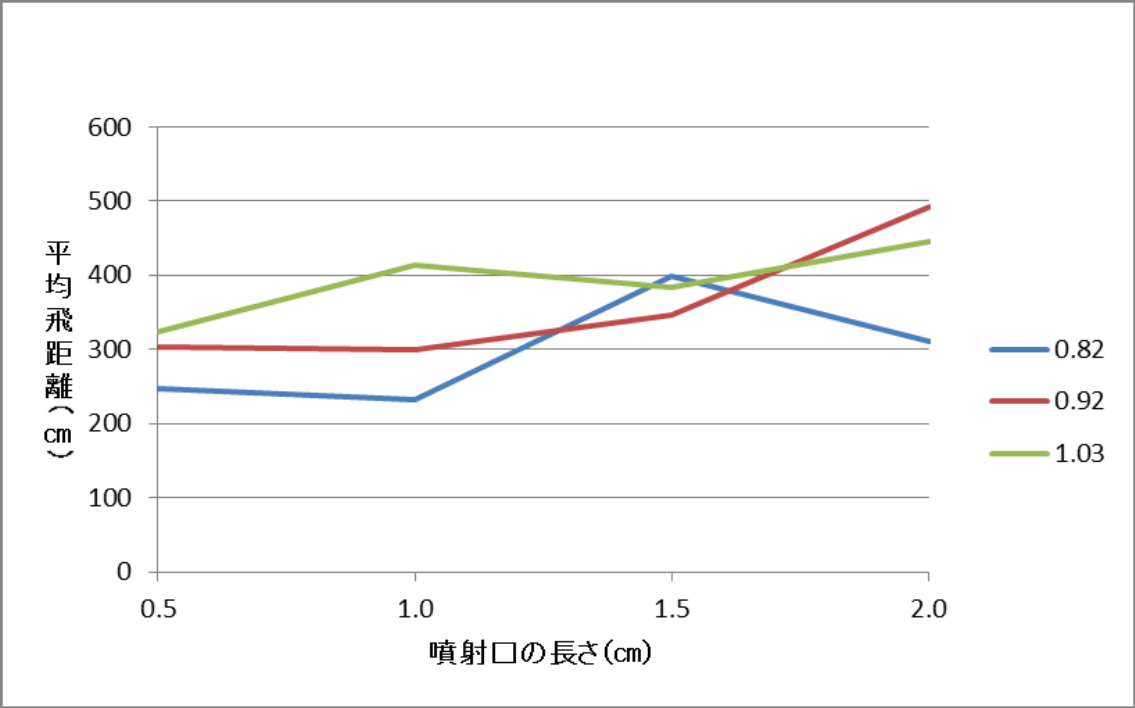


図 6-20 各噴射口の直径・長さによる上位 5 回の平均飛翔距離

先程のグラフより緩急が激しくなり、傾向が見やすくなった。しかし、安定しきっていない値であるため、正確な判断をしにくいという結論に至った。ただ、これでも最大値は変わっていないので、噴射口は直径 0.92 mm、長さは 2.0 cm がよいことに変化はなかった。

③ 噴射口の直径 0.92 mm について

噴射口の直径 0.92 mm についての測定結果をまとめた（表 6-22）。今回は同じ試行回数で比較したかったので、噴射口の長さ 3.0 cm と 4.0 cm についても、それぞれ 15 回ずつ測定して平均値を算出した。

表 6-22 噴射口の直径 0.92 mm についての測定結果

直径 (mm)	0.92					
長さ (cm)	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
1	435	430	440	840	320	220
2	430	350	410	570	540	260
3	240	290	360	400	330	180
4	210	250	270	340	160	140
5	200	180	250	310	580	130
6	140	170	240	300	160	160
7	110	170	230	260	140	170
8	100	145	220	160	200	240
9	90	130	220	140	300	210
10	80	120	180	130	570	290
11	80	110	170	130	180	170
12	60	80	80	120	70	140
13	60	80	80	90	100	220

14	60	70	10	90	290	290
15	50	30	10	80	150	180
平均値 (cm)	156.34	173.67	211.34	264	272.67	200

色付けした平均値のところを見てみると、この時点でピークが明らかになった。やはり噴射口の長さが 4.0 cm にもなれば、長すぎて飛翔距離に悪影響が出ていた。グラフ化するとさらに分かりやすく示すことができた（図 6-21）。

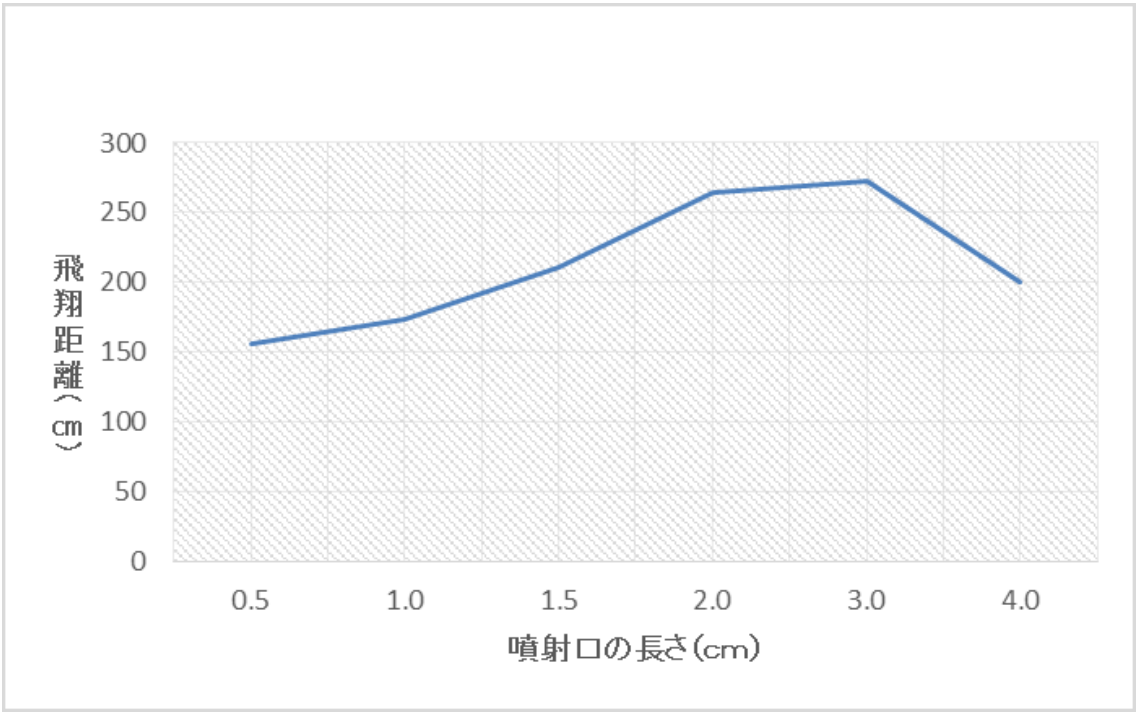


図 6-21 ノズル口の長さによる 15 回の平均飛翔距離の推移（ノズル口の直径 0.92 mm）

確実にピークが出ていることが分かり、最適条件は 2.0 cm から 3.0 cm の間であった。結論として、ノズル口については直径 0.92 mm、長さ 2.5 cm が最適とした。

(4) 発射台について

噴射口の直径に続いて、発射台の直径も大切な値になってくる。第 1 章 1. (4) で示したように、これまでは発射台を噴射口に突き刺すかたちで装着していたので、発射台の直径は噴射口の直径よりも小さくしなければならない。経験的には、噴射口をつくったときのクリップより一回り小さいものを発射台にする方法が主流になっていた。今回、私もその方法を採用しようと考え、(1) で示した噴射口の直径より小さい直径のクリップを用いることにした (表 6-23)。

表 6-23 発射台の直径 3 種類

発射台の直径 (mm)		
0.82	0.84	0.92
		

両端のクリップは、噴射口の直径をつくるときに用いたクリップと同じである。真ん中のクリップは、(1) で示した 7 種類のクリップのうちの D である (図 6-16 参照)。

しかし、結果的にこの選択肢は必要なくなった。発射台をマッチ棒ロケットの噴射口に突き刺すかたちをやめたからである。理由としては、噴射口に突き刺すとどうしても摩擦が生じてしまい、その影響が大きいからである。また、マッチの燃焼エネルギーをうまく噴射させるために確保した噴射口なのに、そこに障害となるものがあったてはいけない。当初は噴射口と発射台の直径の差に最適条件を見出そうとしていたが、その差によって毎回同じように装着できる保証もなかった。そこで考えた結果、以下のようなかたちの発射台にたどり着いた (図 6-22)。すると、以前より摩擦が少なくスムーズに発射できることが確認できた。



図 6-22 2 本のレールに乗せる発射台

しかし、このかたちの発射台にも難点があり、飛翔回数を重ねていくと噴射した煙の影響で、図 6-22 のように机やクリップの根元が傷んできた。この机は実験室の耐熱・耐火机であるため危険はないが、汚れが非常にひどかった。

そこで、噴射した煙が机に直接当たらないよう、少し高さを設けてつくり直した（図 6-23）。

マッチ棒ロケットは噴射したエネルギーの反作用で飛翔しているため、机と高さを設けてもロケットの飛翔には影響がない。



図 6-23 改良した発射台

クリップケースの上に発射台を固定することで、机からの高さも確保でき持ち運びも容易になった。

しかし、クリップケースの上に固定するにはコツが必要で、固定した後に角度を調整するのも難しかった。また、マッチ棒ロケットを乗せる 2 本のレールが、点火する度にチャッカマンの炎で炙られすすがついて黒くなった。そのすすがレールとマッチ棒ロケットとの摩擦を大きくしてしまい、その摩擦によって飛翔距離が低下する可能性あった（図 6-23）。

よって、最終形として、レールとの摩擦を軽減できるよう、極細のワイヤー（0.4 mm）を加工してつくった発射台を用意した（図 6-24）。この発射台を用いたことで、発射台の摩擦の問題は解決できた。



図 6-24 発射台（最終形）

(5) マッチ 1 本の火薬の質量

① はじめに

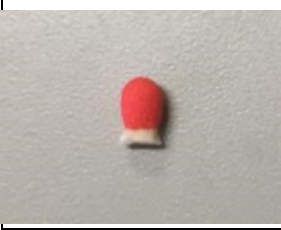
もともと火薬の質量については、マッチ棒の製造工程で生じた誤差の範囲内と考えており、飛翔に大きな影響が出るほどのものではないと判断していた。次の (5) で述べたが、製造工程で生じた誤差として、明らかに目で見て分かるものは除外してつくっていた。よって、使っていた火薬は質量が異なっていたとしても、見た目ではほとんど区別できない差であるため、追究することが遅れた。

そこに着目して追究することができた背景には、実際に (3) まで検証実験を進めた結果、数多くあった変数のうちからある程度の最適条件が出揃ったにもかかわらず、計 15 回の飛翔距離にかなりのばらつきがあったことからである。飛翔距離がばらつく理由として考えられた要因は他にもあったが、もしかしたら火薬の僅かな質量の差が影響しているのかもしれないという考えに至り、検証実験を実施した。

② 調査方法

検証実験を行うにあたり、まずは火薬部分の質量を測定した。結果はそれぞれ写真を添えて以下の表にまとめた（表 6-24）。それぞれの質量の出現頻度についても一言で述べた。

表 6-24 火薬部分の質量の測定結果

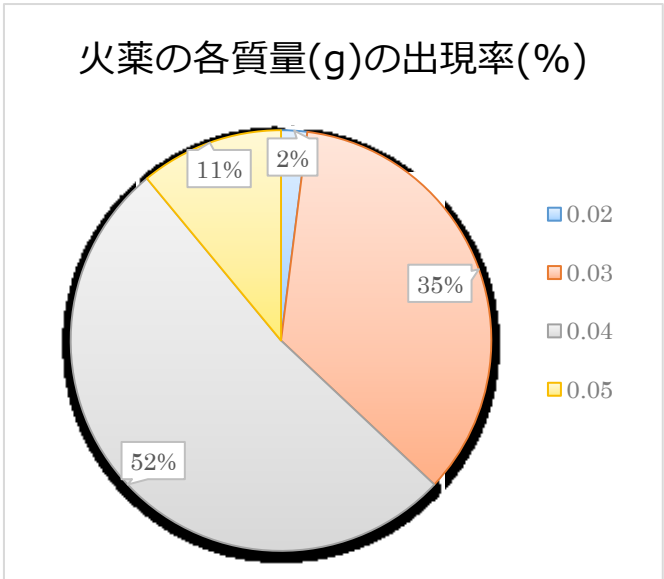
火薬の質量（g）			
0.02	0.03	0.04	0.05
極稀	そこそこ	ほとんど	少し
			

0.02g しかない火薬が極稀に現れるが、この小ささであれば見た目でも分かる範囲なので除外していた。そして、0.03g か 0.04g が大半を占めていたので、その差は誤差の範囲内であると判断した。ただ、0.05g のものが少しだけ存在しており、0.03g と比較すればその差は優位ではないかと考えられた。そこで、マッチ棒の火薬について詳細な出現率(%)を調査するため、新しいマッチ箱を無作為に 3 箱（約 100 本）選び中身を取り出した。すべて火薬がついているすぐ下のところで切断し、表 6-22 のように火薬部だけの状態にして質量を測定した。結果は次のようになった（表 6-25）。円グラフも添えた（図 6-25）。

③ 調査結果

表 6-25 火薬の質量と出現率

火薬の質量(g)	出現率(%)
0.02	2
0.03	35
0.04	52
0.05	11



④ 実験方法

この結果から、0.02g は除外したとしても、0.05g の火薬が 10 本に 1 本は存在していたことが分かった。そこで、0.05g の火薬は飛翔距

図 6-25 火薬の質量と出現率

離にどれだけ影響を及ぼしているのか検証するため、無作為に選んだ火薬の質量 n のマッチ棒ロケットと、火薬の質量 0.05g のマッチ棒ロケット（表 6-26）を用いて比較実験した。

表 6-26 火薬の質量による比較実験の条件

火薬の質量	n	0.05
噴射口の直径	0.92	0.92
噴射口の長さ	2.0	2.0

これまで同様、火薬の質量以外の条件は制御して行った。もちろん 2. で述べた燃焼時以外の条件もすべて統一した。比較実験のため、 0.05g の火薬を積み込んだマッチ棒ロケットを n と同じ 15 こつくって飛ばした。結果は以下のようになった。よく飛んだものから順に示した（表 6-27）。

⑤ 結果と考察

表 6-27 火薬の質量による比較実験の結果（飛翔距離 cm ）

火薬 上位	n	0.05g
1	840	870
2	570	610
3	400	440
4	340	440
5	310	430
6	300	400
7	260	330
8	160	290
9	140	270
10	130	210
11	130	150
12	120	150
13	90	110
14	90	60
15	80	50
平均値 (cm)	264	320.6667

平均値を見ると、火薬が 0.05g の方が飛翔距離は長く、影響があったことが明らかになった。最大値を見ても右の方が少し大きい、この差は僅かなものである。 n にも 0.05g の火薬が入ったマッチ棒ロケットが確立上 1~2 本は存在するので、左の最大値は火薬が 0.05g であったのではない、という推測ができた。

しかし、注目すべきは最小値付近である。左右どちらも最小値は小さく、最大値との差が大きいことが明白であるが、どちらも真っすぐ飛翔できなかったことが原因である。発射時や飛翔時に上下左右どこかの方向へ軌道が傾いてしまい、飛翔距離はとても短くなった。測定した結果、そこまでは分かったもののその要因までは分かっていなかった。ただ、今回火薬の質量に着目して検証実験したことによって、火薬の質量の僅かな差よりも、真っすぐ飛ぶかどうかの要因になっているものの方が、飛翔距離に大きく影響していることが分かった。

そのため、真っすぐ飛ぶかどうかの要因になっているものについて、検証を深めた。それについては、5.飛翔メカニズムを検討した結果に示した。

4. 変数の単位がない要素

(1) マッチの火薬の形状

① はじめに

マッチ棒の火薬部分については、その質量にも触れてきたが、製造工程で質量に微量の誤差が生じているのであれば、その形状にも誤差が生じることは不思議ではない。実際、マッチ棒の火薬は質量も違えば形状も違う。ここではその「火薬の形状」が飛翔にどれほど影響しているか考察した。結論を述べると、火薬の形状による影響はほとんど考えられなかった。

② 経験的な検討

そもそも私はマッチの火薬を使うとき、いかにも製造工程の問題でおかしな形状になったものは除外していた（図 6-26）。



図 6-26 製造工程で生じた不揃いなマッチ棒

除外した理由としては、ロケットの燃焼室の役割をしている部分にうまく収まらず、ロケット本体の形状を整える際に邪魔になったからであり、そこまで影響を与えてしまえば火薬の形状以外の変数も変わってしまうからである。

③ 考察

よって、それらを除いた以上、火薬の形状による影響はほとんど考えられない。もし考えるとしたら、その微小な形状の違いによって生じる燃焼の仕方の違いによることになる。

しかし、(2) の燃焼スピードでも述べたが、点火の仕方が確実に一定にできない以上、燃焼スピードは全く同じにはできないし、ならない。よってその差は、あらゆる視点でアプローチしてみたものの、考えにくいと判断した。

(2) 火薬の燃焼スピード

① はじめに

火薬の燃焼スピードについては、(1) でも述べたように、チャッカマンやマッチを使ってアルミホイルの外から炙るという燃焼の仕方であるため、スピードは統一することができない。アル

ミホイルの中で起きている現象については、知識として理解しているが、実際に目で見て確かめることはできない。

② 経験的な検討

マッチの火薬がどんなふうに燃焼しているか、経験的な検討により推測したイメージを示す。そのイメージの根拠としては、マッチの火薬部分が酸素のないところでも燃焼することを検証実験したとき、試験管の中で燃焼した様子からである。

実際に、火薬部をアルミホイルの外から炙っていると、噴射口から漏れ出した煙や、飛び出すときに多量に噴射した煙など、目に見えて分かる現象から、中で燃焼し始めたことや一気に燃焼が激しくなったことは推測できた。私はそのように目に見えた現象からも、燃焼のタイミングと煙が噴射するイメージは持っている。

空気中で、マッチを擦らずに熱で点火した場合は、以下のようなになる（図 6-27）。



図 6-27 マッチ棒を点火した瞬間の様子

空気中には酸素があるため、それらを取り込んで一気に燃焼した。硫黄が使われていない脱硫マッチでも、この炎であった。空気中でなければ、もう少し穏やかな燃焼になるものの、マッチに含まれる酸化剤（第 1 章 1. (1)）により、よく燃焼した。密閉した空間では、先に煙が少しだけ漏れてくるので、マッチの火薬に含まれる成分の何かが先に燃焼しはじめ、酸化剤に触れることで一気に爆発的な燃焼になると推測した。

5. 飛翔メカニズムを検討した成果

定量的な検証実験の結果から、マッチ棒ロケットの飛翔メカニズムについて、それぞれ最適条件を得ることができ、飛翔率は 100%を維持できた。

しかし、それでもなお真っすぐ飛ばなかった場合は、飛翔距離があまりよくないこともあった。そこで、真っすぐ飛ばすために追究した追加実験を行った。それらの条件と検証方法についてまとめた。また、ここまで追究したレベルで探究プロセスがつかれるか、大学生を対象に実践した。それぞれ以下の順に示す。

- (1) 検証結果から得た最適条件
- (2) 真っすぐ飛翔させるためのアプローチ
- (3) これまでの成果をすべて含んだ実践

(1) 検証結果から得た最適条件

定量的な検証実験から得られた最適条件を以下の表にまとめた。

表 6-28 得られた最適条件（単位の示せるもの）

要素	変数の最適条件
ロケット本体の質量	0.2~0.3 g
発射する角度	35° ~40°
噴射口の直径	0.92mm
噴射口の長さ	2.5 c m
火薬の質量	0.05 g

しかし、この最適条件をもってしても真っすぐ飛ばなければ最高のパフォーマンスができなかった。そのため、真っすぐ飛ばすためのアプローチが必要だった。次にそのアプローチと結果について示す。

(2) 真っすぐ飛翔させるためのアプローチ

(1) で示した最適条件でも、真っすぐ飛ばなかった場合は飛翔距離が少し劣った。その理由を検討した結果、ほんのわずかな形状の差が影響していることが考えられた。しかし、そのわずかな差を明らかにすることは難しく、とても苦戦した。成果が出たアプローチについて先に示すが、他のアプローチも良いきっかけを得ることができたので、それらのアプローチも順に示した。

追究したアプローチを以下にまとめた。

- ① 縦の重心の測定
- ② 風洞実験

① 縦の重心の測定

この方法を試した結果、マッチ棒ロケットがおおよそ真っすぐ飛ぶようになった。これまで、上下左右に曲がる軌道を描いていたことから、もしかしたらマッチ棒ロケットの機体そのものが完璧に真っすぐではないのかもしれない、と考えていた。つまり、マッチ棒ロケットの機体（縦軸）がほんのわずかに傾いていると、空気抵抗を受けてその方向に曲がってしまうと予想した。そこで、マッチ棒ロケットの縦の重心を測定しようと試みた。これまで重心といえば、クリップの先1点で測定してきた。(2. (6) 参照) しかし、その方法では縦も横もわからないので、新しい測定方法を実施した。以下に示す。

図 6-26 のように、厚紙を山折して測定器をつくり、その頂点にマッチ棒ロケットを乗せてバランスの取れる点を探した。それぞれ重心がとれているが、これではクリップを用いた測定方法と大差ない。これを横から見た重心とした (図 6-28)。



図 6-28 横から見た重心の測定結果

次に、同じ測定器にマッチ棒ロケットを縦向きに乗せた (図 6-29)。



図 6-29 縦から見た重心の測定結果

図 6-29 は、それぞれ重心がとれている。縦軸がしっかり直線になり、左右のバランスがとれていないと、このように測定器に乗せることはできない。これを縦の重心とした。

このようにして、測定器の上で安定した（縦の重心がとれた）マッチ棒ロケットを、そのまま回転させずに発射台に乗せると、おおよそ真っすぐ飛ぶようになった（図 6-30）（表 6-29）。



図 6-30

縦の重心を測定したマッチ棒ロケットと発射台は、図 6-30 のような位置関係がベストである。発射台の 2 本のレールによる摩擦が最小になると考えた結果である。

最適条件でつくり、縦の重心を測定して 10 回検証した結果を示した。

表 6-29 飛んだ方向と飛翔距離

回数	方向	飛翔距離(c m)
1	左	300
2	真っすぐ	天井
3	少し左	1040
4	少し右	540
5	少し右	460
6	真っすぐ	740
7	真っすぐ	860
8	少し左	460
9	少し右	500
10	少し左	560
11	少し左	670
平均値		613

※ 2 回目の測定時、天井に直撃したため正確な飛翔距離が測定できなかった

おおよそ真っすぐ飛んだと示したのは、この測定結果からである。真っすぐの表記したものは、測定するメジャーのレール上から数センチの範囲内に落下し、少し右や左と表記したものは、メジャーを中心とした左右 1 メートル以内に落下した。

さらに、飛翔したあとのマッチ棒ロケットの重心を測定した。

飛翔後、形状に変化がなく、横の重心・縦の重心ともにつりあったことを示した(図 6-31)。



図 6-31 飛翔後も横・縦ともにつりあった様子

図 6-30 のように、真っすぐよく飛んだマッチ棒ロケットは、飛翔した後も形状が安定しており、その程度の耐久性のあるものをつくらないと、内部からの燃焼エネルギーによって飛翔の途中で変形してしまうこともあった。

以下に示したマッチ棒ロケットは、噴射口に施した工夫が飛翔のパフォーマンスを向上させたことにより、飛翔距離は 10m を超えた(図 6-32)。本章で定量的に検討した最適条件をもとに、いくつかのアレンジを加えてみた結果、この工夫をしたかたちが一番よく飛んだ。

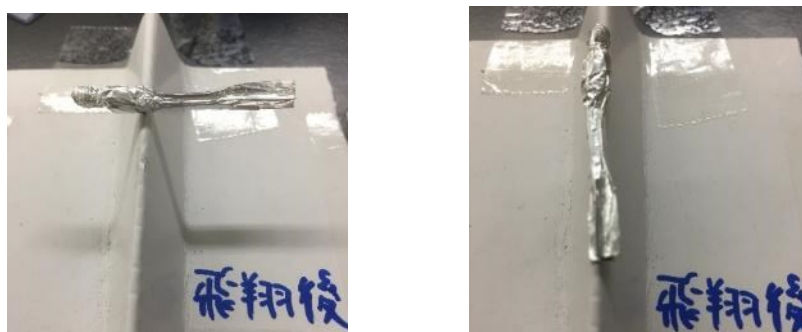


図 6-32 もっともよく飛翔したマッチ棒ロケットの飛翔後の様子

ただし、上述したように飛翔を終えるまで耐える強度が必要であり、アレンジを加えることによってその強度が損なわれる危険性が高い。実際、噴射口を工夫したいくつかのマッチ棒ロケットは、内部からの燃焼エネルギーによって噴射口が崩壊して火薬が飛び出した。

このような危険を伴うこと、また、定量的に調整できないことから、最適条件でつくったマッチ棒ロケットから、さらに噴射口を工夫することは、今回はオプション実験として扱うことにした。

これについての考察としては、噴射口を工夫することによって、マッチ棒ロケットの後方に軌道をコントロールできるような役割が施され、また、圧力中心(本章 2. (5))も変化することから、それらの要素が関係してくるのではないかと推測した。

② 風洞実験

マッチ棒ロケットのわずかな形状の差によって受ける空気抵抗の影響を調べるため、風洞実験を試みた。マッチ棒ロケットのサイズに合う風洞を手づくりし、蚊取り線香の煙を流して気流の変化を観察した（図 6-33, 6-34, 6-35）。煙がマッチ棒ロケットに当たって軌道を変えるのは一瞬であるため、ハイスピードカメラで撮影して確認した。



図 6-34

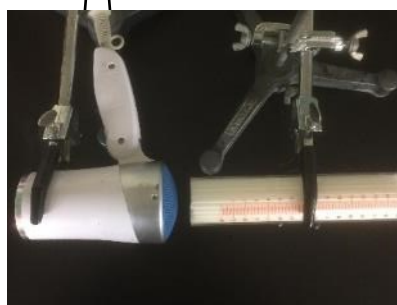


図 6-35



図 6-33

図 6-34 のドライヤーの吸い込み口から吸引することで、図 6-35 の蚊取り線香の煙を吸い込む仕組みにした。空気の流れを整えるために、アクリルパイプの両端にはストローを詰め込んだ。アクリルパイプ内の中央（固定したハイスピードカメラの真下）に対象となるマッチ棒ロケットを設置した（図 6-33）。

流れる煙は非常に観察しにくいですが、照明を消してLEDライトを当てると観察できた。また、速度が非常に速いため、ハイスピードカメラで撮影したものを分析した。

何度も検証を試みたが、マッチ棒ロケットに煙が当たった瞬間、その影響ですぐに軌道が変わり、マッチ棒ロケットを大きくかわすように弧を描いた軌道になってしまった。その一瞬の変化ではハイスピードカメラを用いても判断が難しく、ひとつの検証作業にかなりの時間がかかることから、飛行前に毎回チェックする方法としては適していなかった。ただ、マッチ棒ロケットの形状が常に気流を乱すほど悪くないことが示唆されたので、形状（特に先端部分の形状）や、マッチ棒ロケットそのものの軸の傾きに対して良いアプローチができた。

卷末資料

分析シート.....	105
指導案.....	130
修士論文中間発表 要旨 直川	134
理科教育学会 2015 要旨 直川	136
マッチ棒ロケット実践アンケート	137

分析シート

A

回数	開始	試行内容	終了	成果
1	00:07	火薬部を包む	1:53	燃えた
2		火薬部を包む	1:30	噴射した
3	2:12	火薬部を包む	3:05	煙が出た
4	3:21	火薬部を包む	5:12	燃えた
5	5:28	火薬部を包む	6:05	燃えた
6	6:25	火薬部を包む	7:49	煙が出た
7	8:34	同じ＋発射台を变形	10:18	燃えた
8		火薬部を包む	11:30	燃えた
9	13:08	同じ＋テープ	19:37	噴射した
10	13:29	火薬部を包む	14:15	燃えた
11		発射台を固定		
12	18:24	火薬部を包む	20:43	飛んだ
13	20:59	火薬部を包む	22:43	燃えた
14		火薬部を包む	21:14	燃えた
15		火薬部を包む	25:02	
16		火薬部を包む	25:34	
17	25:55	火薬部を包む	27:29	落ちた
18	25:59	火薬部を包む	26:28	燃えた
19	27:01	火薬部を包む	27:58	煙が出た
20	28:14	先端を露出させた	29:27	燃えた
21			44:23	燃えた
22			44:42	飛んだ
23	44:48	発射台に刺して穴をあける		

24	44:50	発射台に刺して穴をあける		
25			47:27	煙が出た
26			47:43	落ちた
27	47:35	発射台に刺して穴をあける	48:36	煙が出た
28	48:04	発射台に刺して穴をあける	50:49	煙が出た
29	51:03	発射台に刺して穴をあける	52:25	飛んだ
30		発射台に刺して穴をあける	51:49	燃えた
31		発射台に刺して穴をあける	52:14	煙が出た
32	53:17	発射台に刺して穴をあける		その他
33		発射台に刺して穴をあける	54:51	燃えた
34	55:47	発射台に刺して穴をあける	57:11	煙が出た
35		発射台に刺して穴をあける	56:23	燃えた
36		発射台に刺して穴をあける	56:57	燃えた
37	57:29	発射台に刺して穴をあける	58:57	燃えた
38	57:32	発射台に刺して穴をあける	59:12	燃えた
39	59:25	発射台に刺して穴をあける		
40	59:26	クリップで噴射口を確保	61:16	飛んだ
41	62:39	クリップで噴射口を確保	63:45	燃えた

B

回数	開始	試行内容	終了	成果
1	1:02	火薬部をアルミで包んで点火	3:20	燃えた
2	1:50	火薬部をアルミで包んで点火	3:58	燃えた
3	1:59	火薬部を包まず点火	8:29	煙が出た
4	4:25	火薬部をアルミで包んで点火	6:58	燃えた
5	5:01	火薬部をアルミで包んで点火	5:52	煙が出た

6	6:30	火薬部をアルミで包んで点火	8:52	燃えた
7	7:38	火薬部をアルミで包んで点火	13:40	飛んだ
8	8:10	火薬部をアルミで包んで点火	10:31	燃えた
9	9:47	火薬部をアルミで包んで点火	11:57	燃えた
10	12:14	火薬部をアルミで包んで点火	14:25	燃えた
11	14:47	火薬部をアルミで包んで点火	16:07	煙が出た
12	15:37	火薬側半分を包んで点火	16:38	噴射した
13		火薬側半分を包んで点火	17:03	飛んだ
14		火薬側半分を包んで点火	17:29	煙が出た
15	17:31	火薬側半分を包んで点火	18:37	飛んだ
16	17:45	火薬側半分を包んで点火		燃えた
17	19:02	火薬側半分を包んで点火	20:11	飛んだ
18	20:45	火薬側半分を包んで点火	22:01	飛んだ
19	20:48	火薬側半分を包んで点火	22:39	噴射した
20	22:10	火薬側半分を包んで点火	23:50	大砲型
21	22:55	火薬側半分を包んで点火		
22		火薬側半分を包んで点火	25:37	落ちた
23		火薬側半分を包んで点火	26:00	燃えた
24		火薬側半分を包んで点火	26:16	煙が出た
25		火薬側半分を包んで点火	26:43	飛んだ
26	27:15	火薬側半分を包んで点火	28:01	飛んだ
27	27:18	火薬側半分を包んで点火	29:18	燃えた
28	29:02	火薬側半分を包んで点火		
29		火薬側半分包んで噴射口をつくる	29:45	落ちた
30	33:45	火薬側半分包んで噴射口をつくる	35:21	飛んだ
31		火薬側半分包んで噴射口をつくる	34:43	燃えた

32	36:15	火薬側半分包んで噴射口をつくる	37:45	飛んだ
33			38:27	
34	38:55	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	39:43	飛んだ
35	38:55	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	40:14	飛んだ
36	39:50	火薬側半分包んで噴射口つくる	41:20	飛んだ
37		火薬側半分包んで噴射口つくる	41:14	
38	41:40	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	42:54	飛んだ
39	41:45	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	44:01	落ちた
40	41:55	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	44:55	落ちた
41	43:05	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	45:14	飛んだ
42	44:25	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	45:47	飛んだ
43	45:18	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	46:39	飛んだ
44	46:45	二つ折りにアルミを包んで穴開ける		
45		火薬側半分包んで噴射口つくる	49:30	飛んだ
46	47:55	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	48:41	飛んだ
47	48:55	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	49:31	飛んだ
48	49:39	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	50:51	飛んだ
49		火薬側半分包んで噴射口つくる	50:34	噴射した
50	50:40	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	54:38	噴射した
51	51:56	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	53:02	飛んだ
52	52:17	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	54:15	噴射した
53	53:14	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	54:53	飛んだ
54	55:02	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	55:49	飛んだ
55	55:22	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	59:54	煙が出た
56	55:58	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	57:15	飛んだ
57		二つ折りにアルミを包んで穴開ける	56:17	飛んだ

58	57:27	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	58:33	飛んだ
59		二つ折りにアルミを包んで穴開ける	58:52	飛んだ
60	59:01	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	60:18	飛んだ
61	59:12	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	61:59	噴射した
62	60:29	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	62:27	飛んだ
63	60:30	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	62:46	飛んだ
64	62:37	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	63:44	飛んだ
65	63:46	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	65:52	飛んだ
66	63:59	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	64:55	飛んだ
67	67:03	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	66:00	飛んだ
68		二つ折りにアルミを包んで穴開ける	65:28	煙が出た
69	66:08	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	66:56	飛んだ
70	67:06	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	67:50	飛んだ
71		二つ折りにアルミを包んで穴開ける	68:22	飛んだ
72	68:26	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	70:22	飛んだ
73	70:24	二つ折りにアルミを包んで穴開ける	72:09	飛んだ

C

回数	開始	試行内容	終了	成果
1	00:47	スカートタイプ	5:10	燃えた
2	00:51	火薬部を緩く巻く	4:25	燃えた
3	1:40	マッチをたてかける		その他
4	2:05	マッチをたてかける		その他
5	5:40	スカートタイプ	7:40	燃えた
6	5:41	王冠みたいなやつ	9:26	燃えた
7	6:05	二重巻き	10:07	燃えた
8	6:05		10:30	燃えた
9	7:50		9:10	燃えた
10	10:10	スカートタイプ	11:05	燃えた
11	10:15	火薬側半分を巻く	11:45	煙が出た

12	10:46	火薬側半分を巻く	12:40	噴射した
13	11:00			
14	11:30	三重巻き	13:35	噴射した
15	12:10	火薬側半分を巻く	14:50	噴射した
16	13:20	火薬側半分を巻く	17:17	燃えた
17	14:05	火薬側半分を巻く	17:45	煙が出た
18	14:22	火薬側半分を巻く	18:07	燃えた
19	14:40	マッチ全体を包む	19:00	煙が出た
20	16:35	火薬側半分を巻く	19:45	燃えた
21	18:50	全体を包み込む	16:40	噴射した
22	19:30	火薬側半分包む	21:05	煙が出た
23	19:40	全体を包み込む	21:38	燃えた
24		火薬側半分包む	20:25	燃えた
25	21:25	火薬側半分包む	22:22	飛んだ
26	21:40	火薬側半分包む	24:22	噴射した
27	22:51	火薬側半分包む	23:40	飛んだ
28	23:22	全体を包み込む	26:10	燃えた
29	23:53	火薬側半分包む	25:30	飛んだ
30	25:44	全体を包み込む		その他
31	25:50	火薬側半分包む	27:00	飛んだ
32			26:25	燃えた
33	27:10	火薬側半分包む	27:53	噴射した
34	27:25	全体を包み込む	28:30	燃えた
35	27:35	火薬側半分包む	29:05	飛んだ
36	28:49	火薬側半分包む	30:15	飛んだ
37	28:38	火薬側半分包む	29:20	飛んだ
38	29:03	火薬側半分包む	30:01	煙が出た
39	29:05	火薬側半分包む	30:22	煙が出た
40	30:43	火薬側半分包む	31:20	煙が出た
41	31:54	火薬側半分包む	31:23	燃えた
42	32:56	火薬側半分包む	31:54	煙が出た
43	32:57	火薬側半分包む	32:42	煙が出た
44	32:42	火薬側半分包む	33:43	煙が出た
45	33:29	火薬側半分包む	34:25	煙が出た
46	33:57	火薬側半分包む	35:43	煙が出た
47	35:28	火薬側半分包む	38:09	燃えた
48	37:52	火薬側半分包む	38:36	燃えた
49	37:54	火薬側半分包む	38:59	煙が出た
50	37:49	火薬側半分包む	39:51	煙が出た
51	38:33	火薬側半分包む	40:12	煙が出た

52	39:58	火薬側半分包む	41:17	燃えた
53	40:24	火薬側半分包む	41:58	燃えた
54	41:40	火薬部と周囲を巻く	42:45	飛んだ
55	42:58	火薬部と周囲を巻く	43:15	煙が出た
56	44:48	火薬側半分包む	44:37	飛んだ
57	45:21	火薬部と周囲を巻く	45:14	燃えた
58	47:53	火薬側半分包む	46:24	煙が出た
59	48:49	火薬側半分包む	49:21	飛んだ
60	48:37	火薬側半分包む	49:48	飛んだ
61	48:50	火薬側半分包む	50:17	燃えた
62	48:56	火薬側半分包む	51:23	燃えた
63	51:49	火薬側半分包む	51:52	噴射した
64	52:03	火薬側を半分巻いた後、噴射口を確保する	52:58	噴射した
65	52:05	火薬側を半分巻いた後、噴射口を確保する	53:55	燃えた
66	52:59	火薬側を半分巻いた後、噴射口を確保する	54:21	飛んだ
67	53:57	火薬側を半分巻いた後、噴射口を確保する	55:50	燃えた
68	54:31	火薬側を半分巻いた後、噴射口を確保する	56:12	噴射した
69	54:37	火薬側を半分巻いた後、噴射口を確保する	56:37	噴射した
70	55:56	火薬側を半分巻いた後、噴射口を確保する	56:51	噴射した
71	57:00	火薬側を半分巻いた後、噴射口を確保する	57:19	噴射した
72	57:45	火薬側を半分巻いた後、噴射口を確保する	57:57	飛んだ
73	57:49	火薬側を半分巻いた後、噴射口を確保する	59:20	燃えた
74	59:29	火薬側を半分巻いた後、噴射口を確保する	59:45	噴射した
75	60:03	火薬側を半分巻いた後、噴射口を確保する	61:30	飛んだ
76	61:51	火薬側を半分巻いた後、噴射口を確保する	61:56	噴射した
77	67:51	火薬側を半分巻いた後、噴射口を確保する	63:42	噴射した
78	67:53	火薬側を半分巻いた後、噴射口を確保する	64:58	煙が出た
79	69:09	火薬側を半分巻いた後、噴射口を細くする	66:42	飛んだ
80	70:35	火薬側を半分巻いた後、噴射口を細くする	71:54	煙が出た
81	73:54	火薬側を半分巻いた後、噴射口を細くする	73:15	噴射した
82	75:02	火薬側を半分巻いた後、噴射口を細くする	76:05	飛んだ
83	75:41	火薬側を半分巻いた後、噴射口を細くする	78:08	噴射した
84	77:40	火薬側を半分巻いた後、噴射口を細くする	79:02	飛んだ
85	81:38	火薬側を半分巻いた後、噴射口を細くする	81:53	噴射した
86	81:50	火薬側を半分巻いた後、噴射口を細くする	83:73	飛んだ

D

回数	開始	試行内容	終了	成果
----	----	------	----	----

1	00:01	マッチをたてかけて点火	01:17	燃えた
2	03:36	火薬部をアルミで包んで点火	04:54	燃えた
3	03:45	火薬部をアルミで包んで点火	05:10	燃えた
4	3:57	マッチ全体をアルミで包んで点火	5:17	燃えた
5	6:30	火薬部をアルミで包んで点火	6:43	燃えた
6	7:01	マッチ全体をアルミで包んで点火	7:48	燃えた
7	7:59	火薬部をアルミで包んで点火	9:11	燃えた
8	8:12	火薬側半分をアルミで包んで点火	9:45	噴射した
9	9:07	マッチ全体をアルミで包んで点火	10:42	落ちた
10	10:58	火薬側半分をアルミで包んで点火	15:20	大砲型
11	15:34	火薬側半分をアルミで包んで点火	16:21	飛んだ
12	18:46	密閉してクリップを刺す		落ちた
13	19:21	密閉してクリップを刺す	23:59	飛んだ
14	20:07	密閉してクリップを刺す	24:48	噴射した
15	22:58	密閉してクリップを刺す		燃えた
16	26:57	密閉してクリップを刺す	27:56	燃えた
17	27:01	密閉してクリップを刺す	29:28	飛んだ
18		密閉してクリップを刺す	30:28	飛んだ
19	30:58	密閉してクリップを刺す	33:26	その他
20	33:32	意図的に噴射口をつくる	36:49	燃えた
21	33:35	意図的に噴射口をつくる	39:04	飛んだ
22	33:38	意図的に噴射口をつくる		
23	37:08	意図的に噴射口をつくる		
24	37:49	マッチを燃やす	42:31	飛んだ
25	40:56	基本のかたち	45:36	飛んだ
26	44:02	基本のかたち	50:53	落ちた

27	46:29	基本のかたち		
28	47:21	基本のかたち	48:54	噴射した
29	51:30	基本のかたち	53:25	噴射した
30	52:12	基本のかたち	59:15	飛んだ
31	53:58	基本のかたちにねじる	55:15	飛んだ
32	54:17		58:26	飛んだ
33	56:28		59:02	落ちた
34	59:47		61:42	飛んだ
35	60:09	火薬部だけ使用	63:52	飛んだ
36	64:52	基本のかたち		
37	65:29	基本のかたち	68:11	飛んだ
38	66:12	基本のかたち		
39	70:19	基本のかたち	72:57	飛んだ
40	71:16	基本のかたち		落ちた
41	73:25	基本のかたち		飛んだ

E

回数	開始	試行内容	終了	成果
1	:27	火薬部を露出させたまま		燃えた
2	:53	アルミ巻く		煙が出た
3	1:22	火薬部を露出させたまま		燃えた
4	2:40	アルミ巻く		燃えた
5	3:10	アルミ巻く		燃えた
6	4:29	アルミ巻く		燃えた
7	4:45	火薬部を露出させたまま		燃えた
8	5:55	火薬部を露出させたまま		燃えた

9	8:02	アルミ巻く		燃えた
10	8:27	アルミ巻く		落ちた
11	8:45	アルミ巻く		燃えた
12	9:54	アルミ巻く		噴射した
13	10:34			煙が出た
14	10:48	スカートタイプ		燃えた
15	11:09	アルミ巻く		煙が出た
16	11:40	アルミ巻く		煙が出た
17	13:51			煙が出た
18	13:56	アルミ二重に巻く		煙が出た
19	14:07	アルミ巻く		燃えた
20	14:10	アルミ巻く		煙が出た
21	15:48	アルミ二重に巻く		燃えた
22	16:45			煙が出た
23	17:31	アルミで全体包む		噴射した
24	18:46	アルミで全体包む		その他
25	19:36	アルミ巻く		煙が出た
26	22:02	アルミで全体包む		燃えた
27	22:55	アルミで全体包む		
28	23:01	アルミ巻く		煙が出た
29	25:40	アルミで火薬部だけ包む		燃えた
30	27:42	アルミで火薬部だけ包む		噴射した
31	31:30	アルミで火薬部だけ包む		噴射した
32	37:17	アルミで全体包む		
33	41:01	アルミ巻く		燃えた
34	41:03	アルミで半分だけ巻く		噴射した

35	41:49	アルミ巻く		煙が出た
36	44:10	アルミで火薬部だけ包む		飛んだ
37	45:15	アルミ二重に巻く		燃えた
38	46:46	アルミで全体包む		煙が出た
39	47:34	アルミで半分だけ二重に巻く		噴射した
40	52:39	棒の部分は半分アルミで全体包む		噴射した
41	57:20	アルミで半分だけ巻く		噴射した
42	59:57	アルミで半分だけ巻く		噴射した
43	61:20	アルミで半分だけ巻く		燃えた
44	64:15	アルミで半分だけ巻く		飛んだ
45	67:24	アルミ巻く		噴射した
46	72:30	アルミで全体包む		噴射した
47	75:40	アルミで全体包む		煙が出た
48	76:08	アルミで全体包む		煙が出た
49	80:14	アルミ巻く		煙が出た
50	81:53	アルミで全体を包んで噴射口を確保する		
51	82:38	アルミ巻く		煙が出た
52	87:12	アルミで全体を包んで噴射口を確保する		その他
53	89:46	アルミで巻いて噴射口を確保する		その他
54	91:36	アルミで巻いて噴射口を確保する		燃えた
55	93:07	アルミで巻いて噴射口を確保する		飛んだ
56	93:14	アルミで火薬部だけ包む 頭薬だけ		飛んだ
57	96:10	アルミで火薬部だけ包む		飛んだ
58	96:13	アルミで火薬部だけ包む		飛んだ
59	99:08	アルミで火薬部だけ包む		飛んだ
60	99:09	アルミで巻いて噴射口を確保する		噴射した

61	100:05	アルミで巻いて噴射口を確保する		噴射した
62	101:30	アルミで巻いて噴射口を確保する 棒は半分		飛んだ
63	104:07	アルミ巻く		飛んだ
64	105:58	アルミで火薬部だけ包んで噴射口を確保する		燃えた
65	106:03	アルミで火薬部だけ包んで噴射口を確保する		煙が出た
66	106:37	アルミで火薬部だけ包んで噴射口を確保する		飛んだ
67	109:21	アルミで火薬部だけ包んで噴射口を確保する		燃えた
68	109:40	アルミで火薬部だけ包んで噴射口を確保する		飛んだ
69	115:09	アルミで火薬部だけ包んで噴射口を確保する		煙が出た
70	115:10	アルミで火薬部だけ包んで噴射口を確保する		燃えた
71	116:44	アルミで火薬部だけ包んで噴射口を確保する		飛んだ
72	119:06	アルミで火薬部だけ包んで噴射口を確保する		燃えた

F

回数	開始	試行内容	終了	成果
1	:21	アルミで半分だけ巻く	2:58	燃えた
2	3:50	アルミで半分だけ巻く	4:38	燃えた
3	4:01	アルミで半分だけ巻く	4:40	燃えた
4	4:43	アルミで半分だけ巻く	4:58	煙が出た
5	5:04	アルミで半分だけ巻く	6:26	噴射した
6	5:18	アルミで半分だけ巻く	7:38	煙が出た
7	5:27	アルミで半分だけ巻く	8:37	燃えた
8	5:35	アルミで半分だけ巻く	8:57	煙が出た
9	7:06	アルミで半分だけ巻く	9:14	飛んだ
10	7:15	アルミで半分だけ巻く	10:24	燃えた
11	8:02	アルミで半分だけ巻く	10:59	燃えた

12	8:14	アルミで半分だけ巻く	11:35	噴射した
13	9:11	アルミで半分だけ巻く	11:51	燃えた
14	9:34	アルミで半分だけ巻く	12:10	燃えた
15	9:36	アルミで半分だけ巻く	13:12	煙が出た
16	10:57	アルミで半分だけ巻く	13:13	燃えた
17	11:16	アルミで半分だけ巻く	13:35	燃えた
18	12:04	アルミで半分だけ巻く	13:49	噴射した
19	12:34	アルミで火薬部だけ巻く	14:18	燃えた
20	12:55	アルミで半分だけ巻く	14:19	噴射した
21	13:29	アルミで火薬部だけ巻く	15:26	飛んだ
22	13:29	アルミで半分だけ巻く	16:25	燃えた
23	14:11	アルミで半分だけ巻く	17:13	噴射した
24	14:53	アルミで半分巻いてテープを巻く	17:56	燃えた
25	15:31	アルミで半分だけ巻く	18:01	噴射した
26	16:44	アルミで半分巻いてテープを巻く	19:44	煙が出た
27	16:55	アルミで火薬部だけ巻いてテープを巻く	20:28	飛んだ
28	17:06	アルミで火薬部だけ巻いてテープを巻く	22:02	燃えた
29	18:09	アルミで半分だけ巻く	23:17	噴射した
30	20:06	アルミで火薬部だけ巻いてテープを巻く	24:25	燃えた
31	20:47	アルミで半分だけ巻く	25:28	噴射した
32	20:50	アルミで半分巻いてテープを巻く	28:18	燃えた
33	22:45	アルミで半分だけ巻く	29:11	噴射した
34	23:26	アルミで半分だけ巻く	30:35	飛んだ
35	23:58	アルミで半分巻いてテープを巻く	31:34	燃えた
36	26:00	アルミで半分だけ巻く	34:15	燃えた
37	26:06	アルミで半分巻いてテープを巻く	34:38	燃えた

38	27:47	アルミで半分巻いてテープを巻く	34:59	燃えた
39	28:35	アルミで半分巻いてテープを巻く	38:29	燃えた
40	29:47	アルミで半分巻いてキャップみたいに被せる	38:41	燃えた
41	31:11	アルミで半分巻いてテープを巻く	39:23	煙が出た
42	32:28	アルミで全部巻く	40:39	煙が出た
43	32:49	アルミで半分巻いてキャップみたいに被せる	41:35	燃えた
44	34:25	アルミで半分巻いてキャップみたいに被せる	41:58	煙が出た
45	36:01	アルミで半分巻いてキャップみたいに被せる	42:12	燃えた
46	36:16	アルミで半分巻いてキャップみたいに被せる	43:53	燃えた
47	38:59	アルミで半分巻いてキャップみたいに被せる	44:01	燃えた
48	39:06	アルミで半分巻いてキャップみたいに被せる	44:24	飛んだ
49	41:00	アルミで半分だけ巻く	45:18	飛んだ
50	41:58	アルミで半分だけ巻く	47:12	飛んだ
51	42:22	アルミで半分巻いて噴射口が偶然できた	47:46	煙が出た
52	42:58	アルミで半分だけ巻く	48:30	煙が出た
53	44:14	アルミで半分だけ巻く	48:56	煙が出た
54	44:46	アルミで半分だけ巻く	49:29	燃えた
55	44:53	アルミで半分だけ巻く	51:06	飛んだ
56	45:47	アルミで半分巻いて噴射口を確保	52:17	燃えた
57	47:28	アルミで半分だけ巻く	54:35	煙が出た
58	49:08	アルミで半分だけ巻く	56:04	飛んだ
59	49:49	アルミで半分巻いて噴射口を確保	57:13	噴射した
60	50:55	アルミで半分だけ巻く	58:16	飛んだ
61	51:36	アルミで半分巻いて噴射口を確保	59:46	飛んだ
62	53:00	アルミで半分巻いて噴射口を確保	60:48	飛んだ
63	55:15	アルミで半分巻いて噴射口を確保	61:04	煙が出た

64	57:01	アルミで半分巻いて噴射口を確保	62:21	飛んだ
65	57:55	アルミで半分巻いて噴射口を確保	63:00	煙が出た
66	61:11	アルミで半分巻いて噴射口を確保	63:30	飛んだ
67	61:48	アルミで半分巻いて噴射口を確保	65:11	噴射した
68	62:20	アルミで半分巻いて噴射口を確保	65:25	燃えた
69	63:51	アルミで半分巻いて噴射口を確保	67:13	飛んだ
70	65:46	アルミで半分巻いて噴射口を確保	67:39	噴射した
71	67:02	アルミで半分巻いて噴射口を確保	68:30	噴射した
72	68:24	アルミで半分巻いて噴射口を確保	69:56	飛んだ
73	68:51	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようにする	71:14	噴射した
74	68:51	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようにする	71:52	噴射した
75	68:52	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようにする	72:09	飛んだ
76	68:53	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようにする	72:22	噴射した
77	70:28	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようにする	74:39	飛んだ
78	71:37	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようにする	75:03	飛んだ
79	72:39	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようにする	75:30	噴射した
80	73:05	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようにする	79:01	飛んだ
81	73:44	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようにする	80:02	飛んだ
82	74:59	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようにする	80:55	飛んだ
83	75:40	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようにする	81:40	燃えた
84	77:14	全部巻いて噴射口が燃焼時に空くようにする	83:25	飛んだ
85	77:33	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようにする	84:44	飛んだ
86	78:25	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようにする	85:53	飛んだ
87	80:19	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようにする	86:45	噴射した
88	81:25	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようにする	87:58	飛んだ
89	84:18	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようねじり切る	89:19	煙が出た

90	85:36	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようねじり切る	91:17	飛んだ
91	87:21	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようねじり切る	91:53	飛んだ
92	87:23	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようねじり切る	92:45	飛んだ
93	88:27	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようねじり切る	94:24	飛んだ
94	89:44	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようねじり切る	97:21	飛んだ
95	89:57	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようねじり切る	98:35	飛んだ
96	92:30	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようねじり切る	100:55	飛んだ
97	93:23	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようねじり切る	101:29	飛んだ
98	99:20	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようねじり切る	103:18	飛んだ
99	102:13	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようねじり切る	105:19	煙が出た
100	102:22	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようねじり切る	105:55	飛んだ
101	103:45	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようねじり切る	107:35	飛んだ
102	105:48	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようねじり切る	108:49	飛んだ
103	106:32	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようねじり切る	108:50	飛んだ
104	108:14	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようねじり切る	112:39	飛んだ
105	108:49	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようねじり切る	115:01	飛んだ
106	112:30	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようねじり切る	116:44	飛んだ
107	113:00	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようねじり切る		飛んだ
108	114:13	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようねじり切る		噴射した
109	116:02	半分巻いて噴射口が燃焼時に空くようねじり切る		噴射した

G

回数	開始	試行内容	終了	成果
1	1:37	アルミで半分巻く	6:56	燃えた
2	2:00	アルミで半分巻く	8:22	燃えた
3	2:04	NASA 方式	8:43	噴射した

4	2:05	アルミで半分巻く	8:44	煙が出た
5	2:59	アルミで半分巻く	10:11	燃えた
6	6:03	アルミで半分巻く	10:22	燃えた
7	6:17	NASA 方式	12:38	噴射した
8	9:33	アルミで半分巻く	13:21	煙が出た
9	11:05	アルミで半分巻く	14:36	燃えた
10	11:06	NASA 方式	15:42	噴射した
11	12:08	アルミで半分巻く	16:32	噴射した
12	12:20	NASA 方式	17:35	飛んだ
13	14:31	アルミで半分巻く	18:09	燃えた
14	15:55	アルミで半分巻く	19:18	噴射した
15	18:29	アルミで半分巻く	20:17	燃えた
16	18:44	NASA 方式	21:34	飛んだ
17	19:38	NASA 方式	24:23	飛んだ
18	20:07	アルミで半分巻く	24:43	噴射した
19	21:22	アルミで半分巻く	25:27	煙が出た
20	22:46	アルミで半分巻く	26:39	噴射した
21	25:04	NASA 方式	27:34	飛んだ
22	26:28	アルミで半分巻く		
23	26:49	アルミで半分巻く	33:56	煙が出た
24	28:46	アルミで半分巻く	35:00	噴射した
25		NASA 方式	36:10	煙が出た
			37:34	飛んだ
26	37:03	アルミで半分巻く 棒は半分	38:44	煙が出た
27	38:42	アルミで半分巻く	41:04	噴射した
28	39:33	アルミで半分巻く	41:50	煙が出た

29	41:05	NASA 方式	42:06	煙が出た
30	42:06	NASA 方式	44:07	煙が出た
31	42:56	NASA 方式	44:37	煙が出た
32	43:41	NASA 方式	48:05	飛んだ
33	45:48	NASA 方式	48:34	飛んだ
34	48:27	NASA 方式	50:08	煙が出た
35	49:22	NASA 方式 棒は半分	50:54	飛んだ
36	49:25	NASA 方式	51:22	飛んだ
37	50:26	NASA 方式	52:53	飛んだ
38	51:26	NASA 方式	53:26	飛んだ
39	51:33	NASA 方式	54:18	飛んだ
40	53:08	NASA 方式	54:22	噴射した
41	53:29		:45	飛んだ
42	53:40		1:12	煙が出た
43	53:42			煙が出た
44		アルミで半分巻く		飛んだ
45		アルミで半分巻く		燃えた
46		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		煙が出た
47		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		飛んだ
48		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		燃えた
49		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		燃えた
50		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		飛んだ
51		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		飛んだ
52		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		煙が出た
53		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		燃えた
54		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		噴射した

55		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		噴射した
56		アルミで全体を包む		飛んだ
57		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		噴射した
58		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		噴射した
59		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		飛んだ
60		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		煙が出た
61		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		飛んだ
62		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		飛んだ
63		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		飛んだ
64		アルミで半分巻く		飛んだ
65		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		噴射した
66		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		噴射した
67		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		噴射した
68		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		煙が出た
69		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		噴射した
70		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		飛んだ
71		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		飛んだ
72		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		飛んだ
73		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		噴射した
74		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		噴射した
75		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		飛んだ
76		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		飛んだ
77		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		飛んだ
78		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		噴射した
79		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		飛んだ
80		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		飛んだ

81		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		飛んだ
82		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		飛んだ
83		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		飛んだ
84		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		飛んだ
85		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		飛んだ
86		アルミで半分巻いて噴射口を確保する		噴射した

H

回数	開始	試行内容	終了	成果
1	1:44	火薬を露出したまま		燃えた
2	3:22	アルミで巻く		噴射した
3	4:21	火薬を露出したまま		
4	4:25	アルミで巻く		煙が出た
5	5:04	アルミで巻く		噴射した
6		アルミで巻く		煙が出た
7	10:12			煙が出た
8	10:20			噴射した
9		アルミで巻く		
10	12:28	アルミで巻く		燃えた
11		アルミで巻く		燃えた
12		アルミで巻く		噴射した
13		アルミで巻く		燃えた
14	14:37	アルミで火薬部だけ巻く		燃えた
15	15:52	アルミで火薬部だけ巻く		燃えた
16	16:55	アルミで巻く		
17	17:42	アルミで巻く		燃えた

18	19:43	アルミで巻く		燃えた
19	21:01	アルミで巻く		煙が出た
20	25:12	アルミで巻く		噴射した
21	25:49	アルミで巻く		煙が出た
22	27:02	アルミで巻く		飛んだ
23	28:26	アルミで巻く		噴射した
24	28:35	アルミで火薬部だけ巻く		飛んだ
25		アルミで半分だけ巻く		飛んだ
26	32:02	アルミで火薬部だけ巻く		飛んだ
27		アルミで火薬部だけ巻く		落ちた
28		アルミで火薬部だけ巻く		飛んだ
29		アルミで半分だけ巻く		飛んだ
30		アルミで半分だけ巻く		飛んだ
31		アルミで半分だけ巻く		飛んだ
32		アルミで半分だけ巻く		噴射した
33		アルミで半分だけ巻く		噴射した
34		アルミで半分だけ巻く		噴射した
35		アルミで半分だけ巻く		煙が出た
36		アルミで火薬部だけ巻く		飛んだ
37		アルミで半分だけ巻く		煙が出た
38				煙が出た
39		アルミで火薬部だけ巻く		飛んだ
40		アルミで半分だけ巻く		飛んだ
41		アルミで半分だけ巻く		飛んだ
42		アルミで半分だけ巻く		煙が出た
43		アルミで半分だけ巻く		飛んだ

44		アルミで火薬部だけ巻く		飛んだ
45		アルミで火薬部だけ巻く		飛んだ
46		アルミで半分だけ巻く		飛んだ
47		アルミで半分だけ巻く		燃えた
48		アルミで半分だけ巻く		煙が出た
49		アルミで半分だけ巻く		飛んだ
50		アルミで半分だけ巻く		飛んだ
51		アルミで半分だけ巻く		噴射した
52		アルミで火薬部だけ巻く		噴射した

JH

回数	開始	試行内容	終了	成果
1		火薬部を露出させたまま	1:09	燃えた
2		アルミを傘にする		
3	3:15	火薬部を露出させたまま		
4	3:16	火薬部を露出させたまま	4:02	燃えた
5	4:40	アルミで包む	5:35	煙が出た
6	6:12	アルミで包む	9:02	噴射した
7	6:52	スカートタイプ	10:34	煙が出た
8	11:20	アルミで包む	12:24	燃えた
9	12:24	アルミで包む	13:33	燃えた
10	12:50	スカートタイプ	15:14	噴射した
11	15:47	スカートタイプ	16:50	噴射した
12	17:20	アルミで包む	19:59	燃えた
13	17:58	アルミで包む	22:00	噴射した
14	19:12	アルミで包む	21:28	噴射した

15	22:25	アルミで包む	24:10	煙が出た
16	22:25	アルミで包む	24:57	煙が出た
17	22:45	アルミで包む	25:09	噴射した
18	24:28	アルミで包む	25:55	燃えた
19	25:55	アルミで包む	28:15	噴射した
20	26:10	アルミで包む	27:28	燃えた
21	26:25	アルミで包む	29:15	煙が出た
22	26:30	アルミで包む	27:42	噴射した
23	28:30	アルミで包む	29:27	噴射した
24	28:34	アルミで包む	30:15	噴射した
25	28:45	アルミで包む	32:56	噴射した
26	29:43	アルミで包む	31:47	燃えた
27	31:06	アルミで包む	40:32	噴射した
28		アルミで包む	33:21	燃えた
29	34:01	アルミで包む	36:49	噴射した
30	34:15	アルミで包む	38:36	燃えた
31	35:49	アルミで包む	39:05	燃えた
32		アルミで包む	40:58	噴射した
33	41:04	アルミで包む	44:08	噴射した
34	41:09	アルミで包む	45:12	燃えた
35	41:33	アルミで包む	42:42	燃えた
36	41:59	アルミで包む	45:32	煙が出た
37	42:54	アルミで包む	43:28	燃えた
38	43:40	アルミで包む	46:25	燃えた
39	45:23	アルミで包む	49:02	煙が出た
40	46:03	アルミで包む	50:26	噴射した

41	46:39	つぎはぎして包む	42:45	燃えた
42	48:37		49:25	燃えた
43	49:25		51:53	噴射した
44	49:30	アルミで包む	52:19	燃えた
45	50:14	アルミで包む	50:42	燃えた
46	51:00	アルミで包む	52:22	噴射した
47	51:35	アルミで包む	52:32	燃えた
48	52:45	アルミで包む	53:35	煙が出た
49	52:59	アルミで包む	53:56	飛んだ
50	54:28	アルミで包む	54:44	燃えた
51	54:29	アルミで包む	55:18	燃えた
52	54:59	アルミで包む	55:44	燃えた
53	56:19	アルミで包む	56:41	燃えた
54	56:19	アルミで包む	57:05	燃えた
55	56:19	アルミで包む		
56	57:30	アルミで包む	58:23	燃えた
57	57:31	アルミで包む	58:21	飛んだ
58	58:35	アルミで包む	59:39	燃えた
59	58:44	アルミで包む	60:44	燃えた
60	58:44	アルミで包む	60:33	噴射した
61	58:56	アルミで包む	64:10	燃えた
62	60:44	アルミで包む	61:16	燃えた
63	61:23	アルミで包む	61:54	燃えた
64	61:26	アルミで包む	62:34	噴射した
65	61:29	アルミで包む	63:05	飛んだ
66	62:09	アルミで包む	62:53	燃えた

67	63:09	アルミで包む	63:32	燃えた
68	63:34	アルミで包む	64:42	燃えた
69	63:44	アルミで包む	65:04	燃えた
70	64:30	アルミで包む	68:32	燃えた
71	65:51	アルミで包む	66:20	燃えた
72	65:51	アルミで包む	67:32	煙が出た
73	66:39	アルミで包む	67:39	燃えた
74	67:56	アルミで包む	68:16	噴射した
75	68:41	アルミで包む	69:16	煙が出た
76	68:45	アルミで包む	69:51	煙が出た
77		アルミで包む	70:06	煙が出た
78	70:24	アルミで包む	70:49	煙が出た
79	70:57	アルミで包む	72:26	燃えた
80		アルミで包む	71:25	煙が出た
81	72:30	アルミで包む	72:59	燃えた

指導案

マッチ棒ロケットづくり学習指導案

授業者 京都教育大学大学院 直川 和樹

指導教員 京都教育大学 村上 忠幸

日時 平成28年3月16日(水)第1、2校時(8:45~10:25)

対象 京都教育大学附属桃山中学校 1年2組 (40名・10班)

場所 京都教育大学附属桃山中学校 第1理科室

本時の展開

区分	授業の概要（生徒の活動）	補足・説明（教員の指示）	準備物
導入 (15 分)	「マッチに親しむ」 ・つけ方・・・確認 ・長時間燃焼・・・2回 (火が消えないように) 「マッチ棒ロケットづくりの概要説明」 ・準備物の提示 ・今日のテーマ「マッチ棒1本でロケットをつくる」を提示 「マッチ棒ロケットの飛翔」 ・飛んでいく様子を見る。(演示実験) 「準備物の配布・確認」	・各班、各実験機で行う。 マッチのつけ方は既習事項であるため確認する程度。 ・全員、前に集まって行う。 基本的に生徒が自由試行するため、概要説明はあえて最小限のみ行う。 事前に用意したマッチ棒ロケットを飛翔させる様子を演示する。(※ 手元は隠す) ・各班、各実験機に準備物を持ち帰る。	マッチ棒 アルミホイル クリップ セロハンテープ チャッカマン メジャー 安全メガネ
展開 (70 分)	「自由試行」 ・準備物と今日のテーマから、自分たちなりに手探りで行う。 ・ヒントはジグソー法的手法で行う。 (班の代表1人が各ヒントを得て、班内に持ち帰り共有する。) 「ヒント1」 ・アルミホイルでしっかりと包むこと。	・生徒が自由試行できるようにし、安全面にも配慮する。 ・ひとつのロケットに使用できるマッチ棒は1本のみ。 (折るのも可) ・各ヒントは班の代表1人を前に集めて提示する。 ・マッチ棒をアルミホイル	
約 15 分			

後	・マッチ棒の火薬は、空気に触れていなくても燃える。(酸化剤の存在)	でしっかりと包み、火薬部を火で炙り点火する様子を見せる。	
約 30 分 後	「ヒント 2」 ・エネルギーを出す方向を考える。 ・飛ばしたい方向と反対向きにエネルギーを出さないといけないことに気づかせる。(作用・反作用)	・火薬部をアルミホイルで密閉した状態で点火し、エネルギーが出ている方向を示す。 (生徒の進行度合いにより、噴射口の提示も考えられる)	
約 50 分 後	「ヒント 3」 ・エネルギーを出したい方向に意図的に工夫する。(噴射口の確保) ・噴射する勢いをより強くする工夫。 「班対抗の飛距離大会・準備」 ・各班、最高の 1 基を前に並べる	・噴射口を確実につくる様子を見せ、飛ばしてみる。それをもとに、さらに勢いよく噴射する工夫を考えさせる。 (ヒント 2 以降は TA が支援に入り、生徒が自由試行した良い例を班内で共有できるようにする) ・飛ぶために必要な要素を的確に押さえたロケットを持ってくるのが理想のかたち。	
まとめ (10 分)	「飛距離大会・発射」 ・1 班から順にこちらで点火して発射させる。 「振り返り」 ・自由記述アンケート	・飛距離を計測し、上位 3 班を決める。	

準備物

生徒：マッチ棒、アルミホイル、クリップ、セロハンテープ、チャッカマン、安全メガネ

教員：メジャー、マッチ棒ロケット (演示用)

ヒント提示用 (マッチ棒、アルミホイル、クリップ、セロハンテープ、チャッカマン)

マッチ棒ロケットづくり学習指導案

授業者 京都教育大学大学院 直川 和樹

日時 平成28年7月20日(水) 10:00~12:00

対象 京都橘中学校 1 年生 (23 名・6 班)

場所 京都教育大学 化学共通実験室

本時の展開

区分	授業の概要（生徒の活動）	補足・説明（教員の指示）	準備物
導入 (15分)	「マッチに親しむ」 ・つけ方・・・確認 ・長時間燃焼・・・2回 (火が消えないように) 「マッチ棒ロケットづくりの概要説明」 ・準備物の提示 ・今日のテーマ「マッチ棒1本でロケットをつくる」を提示 「マッチ棒ロケットの飛翔」 ・飛んでいく様子を見る。(演示実験) 「準備物の配布・確認」	・各班、各実験機で行う。 マッチのつけ方は既習事項であるため確認する程度。 ・全員、前に集まって行う。 基本的に生徒が自由試行するため、概要説明はあえて最小限のみ行う。 事前に用意したマッチ棒ロケットを飛翔させる様子を演示する。(※ 手元は隠す) ・各班、各実験機に準備物を持ち帰る。	マッチ棒 アルミホイル クリップ セロハンテープ チャッカマン メジャー 安全メガネ
展開 (90分)	「自由試行」 ・準備物と今日のテーマから、自分たちなりに手探りで行う。 ・ヒントはジグソー法的手法で行う。 (班の代表1人が各ヒントを得て、班内に持ち帰り共有する。) 「ヒント1」 ・アルミホイルでしっかりと包むこと。 ・マッチ棒の火薬は、空気に触れていなくても燃える。(酸化剤の存在)	・生徒が自由試行できるようにし、安全面にも配慮する。 ・ひとつのロケットに使用できるマッチ棒は1本のみ。 (折るのも可) ・各ヒントは班の代表1人を前に集めて提示する。 ・マッチ棒をアルミホイルでしっかりと包み、火薬部を火で炙り点火する様子を見せる。	
約15分後			

約 30 分 後	「ヒント 2」 ・エネルギーを出す方向を考える。 ・飛ばしたい方向と反対向きにエネルギーを出さないといけないことに気づかせる。(作用・反作用)	・火薬部をアルミホイルで密閉した状態で点火し、エネルギーが出ている方向を示す。 (生徒の進行度合いにより、噴射口の提示も考えられる)	
約 50 分 後 (小休憩 5 分取る 場 合 あ り)	「ヒント 3」 ・エネルギーを出したい方向に意図的に工夫する。(噴射口の確保) ・噴射する勢いをより強くする工夫。 「班対抗の飛距離大会・準備」 ・各班、最高の 2 基を前に並べる	・噴射口を確実につくる様子を見せ、飛ばしてみる。それをもとに、さらに勢いよく噴射する工夫を考えさせる。 (ヒント 2 以降は TA が支援に入り、生徒が自由試行した良い例を班内で共有できるようにする) ・飛ぶために必要な要素を的確に押さえたロケットを持ってくるのが理想のかたち。	
まとめ (15 分)	「飛距離大会・発射」 ・1 班から順にこちらで点火して発射させる。 「振り返り」 ・自由記述アンケート	・飛距離を計測し、上位 3 班を決める。	

準備物

生徒：マッチ棒、アルミホイル、クリップ、セロハンテープ、チャッカマン、安全メガネ

教員：メジャー、マッチ棒ロケット（演示用）

ヒント提示用（マッチ棒、アルミホイル、クリップ、セロハンテープ、チャッカマン）

探究プロセス開発における自由研究の意義

－マッチ棒ロケットづくりの分析を通じて－

教科教育専攻
理科教育専修
直川 和樹

指導教員 村上 忠幸
指導教員 中野 英之

索引語：マッチ棒ロケット、探究、自由研究、自由試行、理科教育

1. はじめに

筆者はこれまでに、マッチ棒ロケットづくりの自由研究から探究プロセスを開発した。^{1) 3)}そして、今日に至るまで高校生・大学生・現職教員に向けてマッチ棒ロケットづくりの授業実践が行われている。^{1) 2)}

マッチ棒ロケットとは、マッチ棒の火薬側をアルミホイルで包み、噴射口をクリップに装着したものであり、火薬部に点火することで発射して飛翔する。(基本形、直川 2014)³⁾

筆者はこの基本形をもとに、さらに自由研究を続けてきた。マッチ棒ロケットの飛ぶ確率を上げるための思考錯誤や飛距離を伸ばすための工夫など、マッチ棒ロケットづくりの探究プロセスを改良に向けて努力してきた。



図 1 基本形

しかし、授業実践を重ねるにつれて、受講者が基本形に至るまでのプロセスに苦戦していることに気づいた。また、そのプロセスで予想外の行動に出ることが多く見られたことから、「マッチ棒ロケットづくり」という探究活動の中で、基本形に至るまでのプロセスを解明してみたいと思うようになった。

そこで、本研究ではマッチ棒ロケットづくりの探究プロセスを撮影し、それらの映像から受講者の自由試行をまとめ、分析することによって自由研究の意義を追究することを目的とした。

2. 経過報告

(1) 実施概要

これまでに行ってきた授業実践は、高校 6 校、

大学 3 校、教員研修 1 回である。

(2) 実践内容

実践の内容を以下のようにまとめた。

表 1 実践内容 (120 分)

準備物	マッチ棒、アルミホイル、クリップ、セロハンテープ、ベンチ、チャッカマン
導入 (15 分)	・マッチに親しむ ・マッチ棒ロケットの飛翔を演示
展開 (90 分)	・自由試行 { ヒント① ヒント② ヒント③ ・班対抗の飛距離対決
まとめ (15 分)	・振り返り (自由記述)

自由試行の間に 3 度、ジグソー法を用いてヒントを提示した。班員を代表して 1 人がヒントを持ち帰り、班内で共有する。

3. マッチ棒ロケットづくりの分析

マッチ棒ロケットづくりにおいて、受講者が基本形に到達するまでのプロセスを分析するため、アクションカム (SONY 製) を各班の代表者 1 人の頭部に取り付けて撮影した。

(1) 概要

日時：2015 年 12 月 10 日 (木)

撮影時間：約 80 分 (自由試行している時間)

対象者：京都教育大学・理科教材論実験・受講生 (主に理科領域専攻 2, 3 年生 26 名) のうち、4 グループ (2, 4, 5, 7 班の計 14 名)

(2) 分析

① 映像を見ながら、受講者の自由試行として以下の 3 項目を取り上げた。(表 2)

I. 自由試行した実験内容

II. 各試行の開始と終了時間

III. 試行した成果

- ① 主に実験内容(表2中)をもとに各試行を分類した。(以下、小カテゴリとする。)
- ② 小カテゴリをもとに、探究の過程を場面分けした。(以下、大カテゴリとする。)
- (3) 結果
 - ① 先に示した3項目を以下のような表にまとめることができた。(表2)

表1 映像から取り上げた項目

	I 実験内容	II		III 成果	備考
		開始	終了		
1	火薬部をアルミで包む	1:02	3:20	燃えた	...
...	...	...	...	...	...
73	二つ折りに包んで穴を開ける	70:24	72:09	飛んだ	...

② 各試行の分類(小カテゴリ)

基本的に単純な試行が繰り返されているように見えるが、試行を重ねるうちに、単純試行ではなく思考をこらした工夫がなされていることや班内での共有、実験の確認をしている姿などが見られた。

この分析から、各試行は右の小カテゴリに分類することができた。試行の中には、小カテゴリの2つ以上が複合しているものも見られた。

- A) 単純試行
- B) 思考
- C) 工夫
- D) 共有
- E) 確認

③ 探究過程の場面分け(大カテゴリ)

各対象グループの探究の過程は、次の大カテゴリに分類できた。(例4班・試行回数73回)

表3 探究過程の場面分け(4班)

試行	1~14	15~25	26~46	47~62	63~73
場面	模索	単純試行	思考錯誤	単純試行	思考錯誤

自由試行のはじめに“模索”している場面はどの班からも確認でき、単純試行・思考錯誤を繰り返す場面がそれぞれの班で見られた。

4. まとめ

結果を小カテゴリに分類したことによって、受講者が行っていた自由試行の中身が明らか

になった。また、自由試行の初期に起こす受講者の予想外な行動は、準備物しか与えられていない状況から“ロケットをつくる”ために模索し、素直に試行した結果であるといえる。そこでは多くの受講者が火薬部を空気中に露出させていたことから、燃焼させるには空気中の酸素を取り込むはずという素朴概念が影響していると考えられる。

さらに、探究過程の各場面を明らかにしたことにより、受講者が模索時に抱いていた素朴概念が、自由試行を繰り返していくうちにロケットの概念に近づいていくプロセスが見られた。

つまり、このような探究プロセスを受講者自身が経験することにより、ロケットは空気中の酸素を取り込まずに燃焼しているなど、ロケットに対する概念構築がされていったと判断できる。これらは自由研究的に取り組むことにより育まれたものであるため、自由研究が有意義であることを示せるのではないだろうか。

また、本研究の成果をもとに、授業実践から探究プロセス開発における自由研究へとフィードバックできると考えている。

5. 今後の課題

これまで自分自身が自由研究を行ってきたが、本研究の分析で受講者の自由試行が明らかになり、ロケットに対する素朴概念があることも確認できた。これらのことから、今後はマッチ棒ロケットづくりにおける“模索”の段階に着目し、彼らの視点で考えた自由研究を試みたいと思う。そうすることで、分析から明らかになったことをマッチ棒ロケットづくりの探究プロセスの改良へフィードバックしたい。

また、現在、自分自身が取り組んでいる途中の自由研究もあり、ものづくりの視点における自由研究として有意義なものであるため、そちらも並行して行っていきたいと考えている。

マッチ棒ロケットのさらなる発展を目指して、これからも自由研究を続けていきたい。

<参考文献>

- 1) 直川和樹・村上忠幸・中野英之(2015) マッチ棒ロケットをテーマとしたものづくりの魅力、平成27年度日本理科教育学会第65回全国大会(京都大会)発表論文集p.416
- 2) 村上忠幸(2015) 新しい時代の理科教育への一考察(3) 京都教育大学教育実践研究紀要 第15号
- 3) 直川和樹(2014) マッチ棒ロケットから見えるものづくりの意味、2014年度卒業論文

マッチ棒ロケットをテーマとしたものづくりの魅力

○直川和樹, 村上忠幸, 中野英之

NOGAWA Kazuki, MURAKAMI Tadayuki, NAKANO Hideyuki

京都教育大学大学院, 京都教育大学, 京都教育大学

【キーワード】探究活動, マッチ棒ロケット, ものづくり, マルチプル・インテリジェンス

1. はじめに

マルチプル・インテリジェンス (村上, 2014) の視点を探究活動に活用したいと考えた。MI を用いて可視化した個々の潜在的な能力を, 探究学習において顕在化し, 能力に関する新たな知見・発見, また, 能力の育成につなげることができないかと考えた。そのための実践的な探究活動のテーマとして, “マッチ棒ロケット” を取り上げた。そして, マッチ棒ロケットづくりを自由研究の手法で実践し, その探究プロセスの開発を試み, そこから見えるものづくりの魅力を探った。

2. 探究プロセスの開発

自由研究の手法により, 実践に提供する探究プロセスを開発した (直川ら, 2014)。

(1) 準備物

- ① マッチ棒 (1人1箱)
- ② アルミホイル (1本)
- ③ クリップ (1人2~3個)
- ④ セロハンテープ (1つ)



図1 マッチ棒ロケット

(2) 基本のつくりかた

- ① マッチ棒をアルミホイルで包む=ロケット本体
 - ② クリップで発射台をつくり, テープで固定
 - ③ ①のロケットを②の発射台に装填する
 - ④ ロケットの火薬部分に炎をかざして点火する
- ※ 条件 (注意事項)
ロケット1つに用いるマッチ棒は1本のみ
煙を噴射し, ロケット本体が飛翔すること

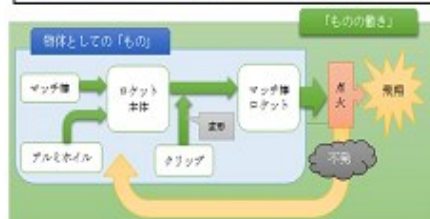


図2 探究プロセスの概念化

3. マッチ棒ロケットの実践

(1) 実践校 (日程, 人数)

- ・京都教育大学, 2014.10/30, 16人
- ・兵庫県立生野高校, 2015.1/19, 39人
- ・兵庫県立宝塚北高校, 2015.2/17, 40人
- ・京都教育大学附属高校, 2015.6/17, 40人

(2) 授業実践の概要

自由試行を基本とした2時間の内容。

<導入>

- ・マッチに親しむ (つけ方, 長時間燃焼)
- ・マッチ棒ロケットづくりの概要説明
- ・マッチ棒ロケットの飛翔 (演示)
- ・準備物の配布・確認

<自由試行>

- ・ヒント①: ロケット本体のつくりについて
- ・ヒント②: よく飛ぶ工夫について

<まとめ>

- ・班対抗の飛距離対決
- ・振り返り (自由記述)

(3) 調査内容

- ・探究活動の観察より, 学習者の思考を調査。
- ・探究的に行う様子を撮影し, 思考を調査。
- ・アンケートにて, 試行錯誤, 感想の調査。

(4) 結果

- ・アンケートをもとに, 分析を行ったところ, 以下のようなことがわかった。
- ・“楽しさ” のみならず “癒しさ” を感じたこと
- ・工夫した生徒が多く, よく考えられていたこと
- ・またしたい等, 生徒がとても魅了されていたこと

<参考文献>

- ・村上忠幸 (2014) 京都教育大学教育実践研究紀要 第13号 (2013年3月), 第14号 (2014年3月)
- ・直川和樹・村上忠幸・中野英之 (2014) マッチ棒ロケットづくりから学ぶものづくりの魅力, 平成26年度日本理科教育学会近畿支部大会 (兵庫大会) 発表論文集 p. 62
- ・NASA ロケット教室活動:
http://www.bekkoame.ne.jp/~yoichige/roc/2000_3_4/Edu/NASA_BOOK/htmls/Match_Stick_Rocket.htm

マッチ棒ロケット実践アンケート

授業アンケート

京都教育大学大学院
理科教育研究室
直川 和樹

マッチ棒ロケットづくり

あてはまる番号に○をつけて、選んだ理由を詳しく記入してください。

マッチ棒ロケットづくりは楽しかったですか。

- 1 とても楽しかった 2 やや楽しかった 3 ややつまらなかった 4 とてもつまらなかった

今後、ひとりでマッチ棒ロケットを飛ばせる自信がありますか。

- 1 とても自信がある 2 やや自信がある 3 やや自信がない 4 ほとんど自信がない

理由

以下の3点について、自由記述してください。(できるだけ詳しくお願いします)

1. 発射させるために考えたこと

2. 飛距離を伸ばすために工夫したこと

3. 感想

マッチ棒ロケット

マッチ棒ロケットづくり

あてはまる番号に○をつけて、選んだ理由を詳しく記入してください。

- 1 とても楽しかった 2 やや楽しかった 3 ややつまらなかった 4 とてもつまらなかった

選んだ理由：

以下の 3 点について、自由記述してください。（できるだけ詳しくお願いします）

1. 飛ばすために考えたこと

2. 遠くに飛ばすために工夫したこと

3. 感想