

一画用紙火薬ロケット

本教材は宇宙とのつながりを軸として科学を身近に感じてもらうために作った科学教材です。本教材の利用による事故等については一切責任を持ちかねますので、本教材の利用は、経験のある指導者の指導の下に行ってください。



●教材提供●
日本宇宙少年団
福岡分団 麻生茂氏

2005年3月31日発行
2012年4月1日改訂

★A型エンジンに限っては、国内では玩具扱いなので、自由に打ち上げることができます。ただし、安全には十分気をつける必要があります。なお、場合によっては周辺地域への説明・連絡や消防署への届出も必要になります。このロケットの製作と打ち上げは「活動教材集（2006年度版）」69～82ページをよく参照して行って下さい。
★B型エンジン以上を用いたモデルロケットの製作と打ち上げは、安全面からモデルロケット協会のライセンス取得者が実施しています。

目標とねらい

火薬を使う模型ロケットは、本物のロケットと全く同じ原理で飛行します。ロケットが飛ぶ原理を知り、安定して飛行するための方法を学び、最後に自分で作った模型ロケットが空高く飛翔することで達成感を得られ、宇宙への夢を育むことができます。

対象学年	小学校中学年以上	所要時間	工作：2～3時間、打ち上げ：5～10分（1回）
指導者の資質	ロケット打ち上げについては、火薬を扱うので必ず経験者が必要。模型ロケット打ち上げのライセンスを持った人や日本モデルロケット協会認定ライセンス4級所持者などが望ましい。		

1 画用紙火薬ロケットの工作

●工作に使う材料と道具

【ロケット本体の材料】

- 色画用紙 310g / m²程度、A3判（例：カラー方眼ボール紙）：ロケット本体（ボディ）、ノーズコーン、ノーズ結合部、フィン（尾翼）
- ゴムひも 幅5mm×長さ30cm×1本
- タコ糸 4m×1本
- リボン（長さ約30cm 幅約2cm）：パラシュート（落下傘）の代用
- ビニールテープ
- セロハンテープ
- 両面テープ（幅2cm）
- ストロー（直径5mm 長さ50mm）×1本
- 速乾性接着剤
- 油粘土（幅6mm×長さ6mm×奥行き20mm）×1個
- 不燃紙（リカバリーワディング）
- ロケットモーター（火薬エンジン）一式：（市販品：A8-3エンジン、イグナイター、プラグ）

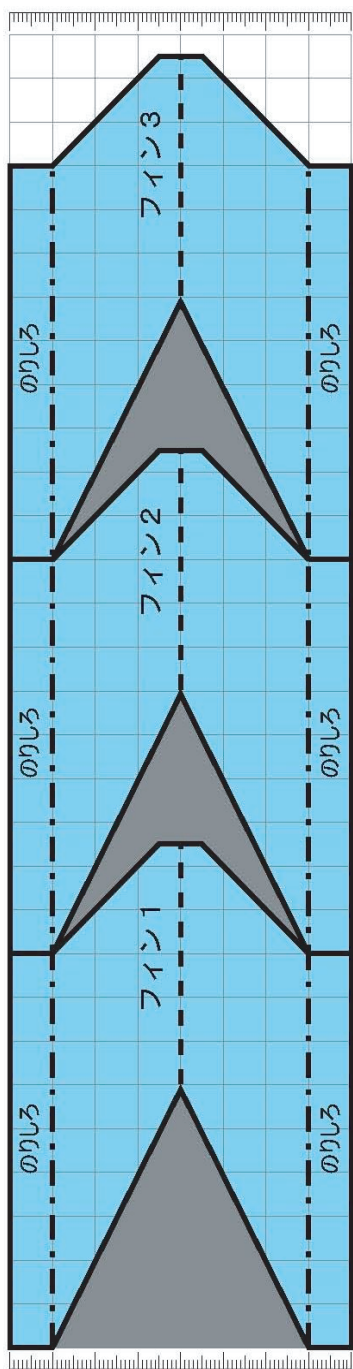
【打ち上げに使うランチャー（発射台）】

使い易さと安全面から、市販のランチャーを購入する事をお勧めする。
*ロケット 5-3 ページ「ランチャー、モーターなどの入手問い合わせ先」参照

【工具・道具】

- （指導者は刃物や工具の安全な使い方を事前に指導すること）
- 定規
 - はさみ
 - 筆記具
 - 机上保護板（カッターマット、段ボールなど）

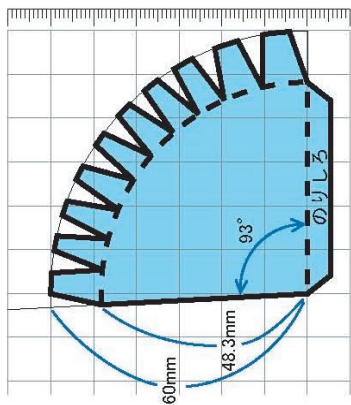
画用紙火薬ロケット設計図 (単位 mm)



注意

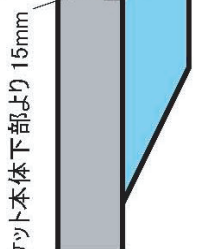
- 1) 許可なく複製することを禁じます
- 2) 本図の使用によるいかなる損害賠償にも応じられません

--- 山おり
- - - 谷おり



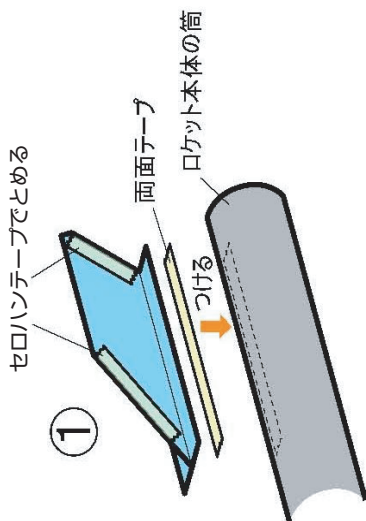
ノーズコーン

エンジンは 10mm 出す

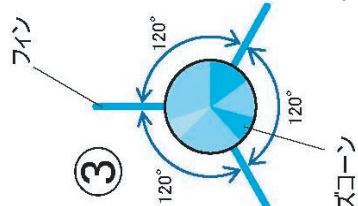


②

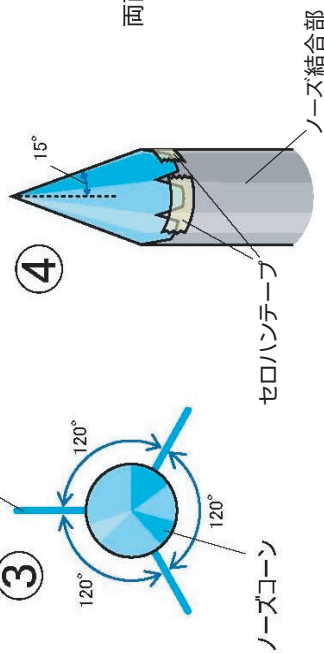
フィンの下端はロケット本体下部より 15mm



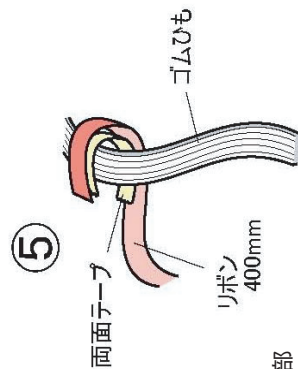
①



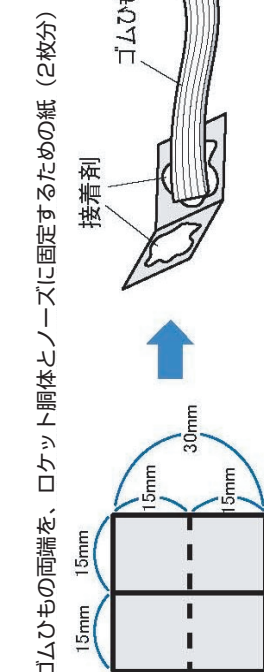
③



④



⑤



⑥

ゴムひもの両端を、ロケット胴体とノーズに固定するための紙 (2枚分)

ノーズ結合部

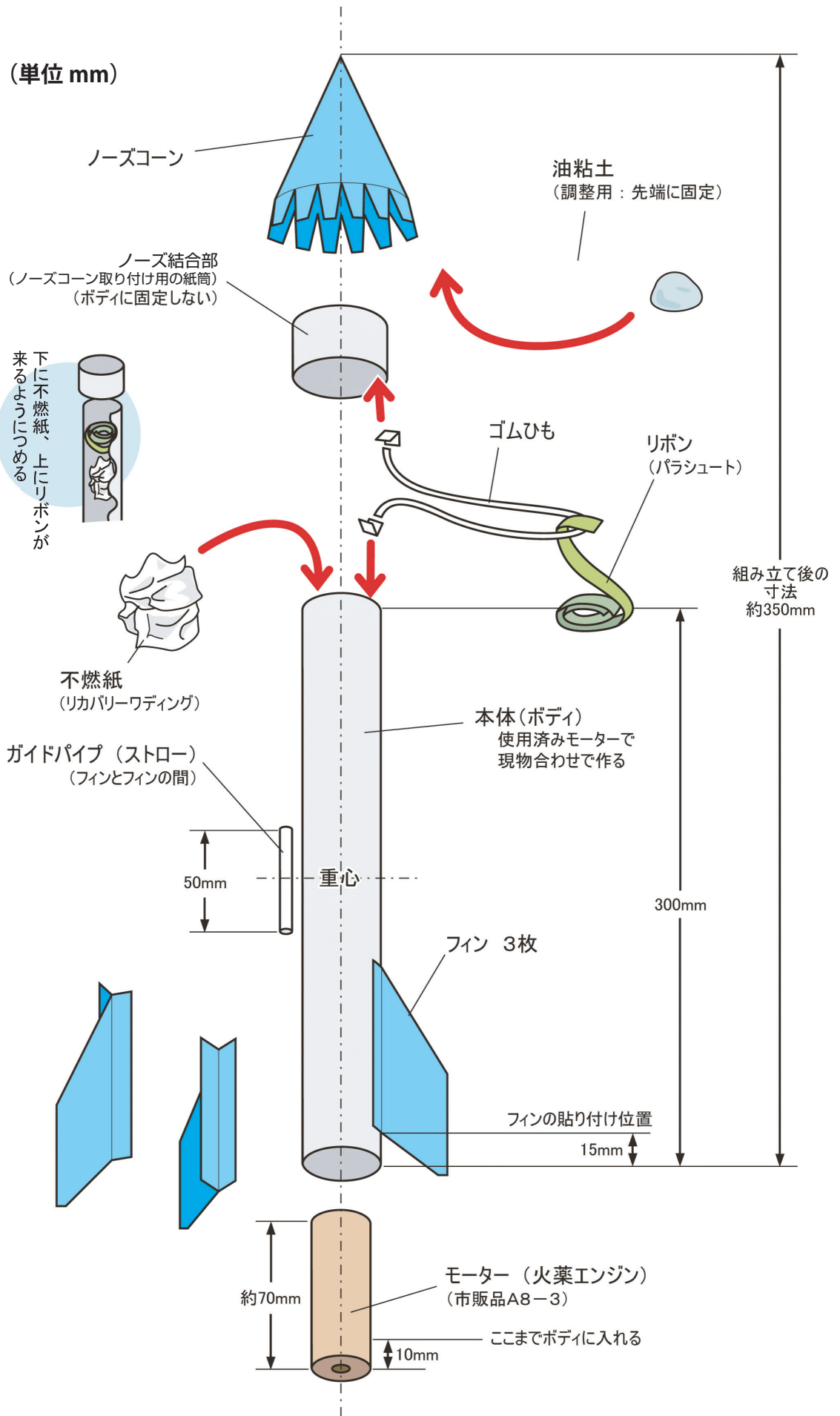
リボン 400mm

ゴムひも

接着剤

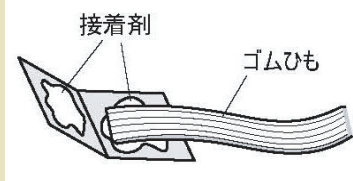
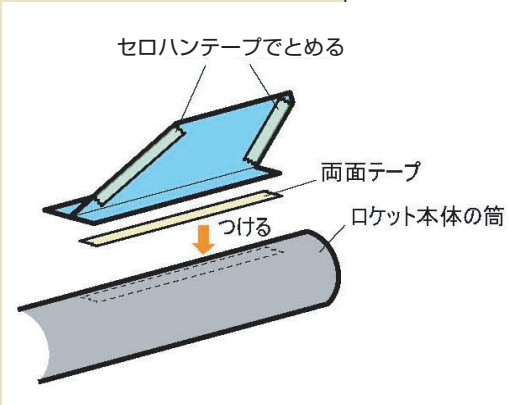
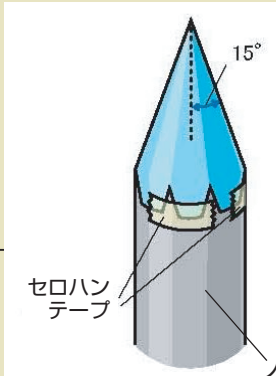
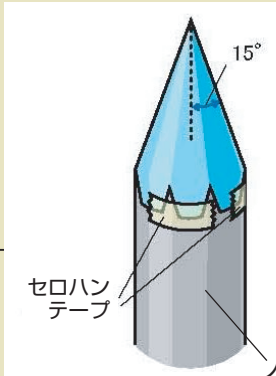
ゴムひも

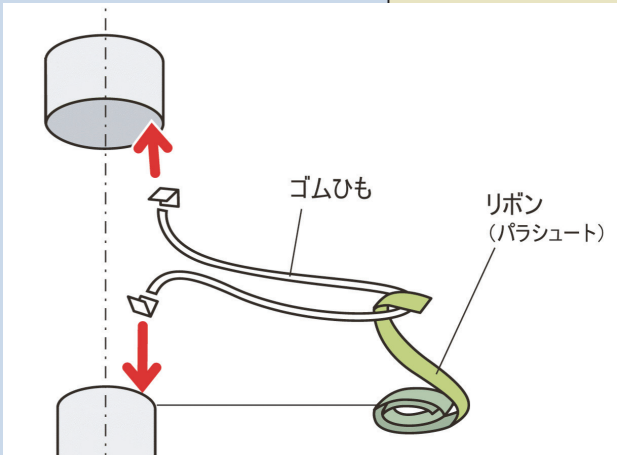
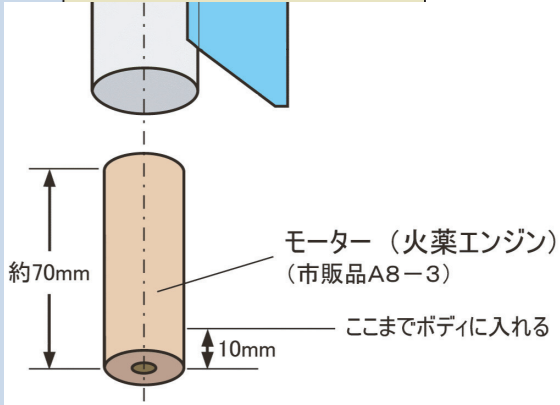

●概略寸法図 (単位 mm)



*ランチャー、モーターなどの入手問い合わせ先
 日本モデルロケット協会
 〒 356-8691 埼玉県ふじみ野市上福岡 1-5-23 青柳ビル 4 F
 電話 049-266-5188 FAX049-266-5198

●工作の順序と指導 (2～3時間)

子どもの作業内容	指導内容	備考
<p>①ゴムひもの両端に、設計図の⑥の通りに紙を2枚切り取ってそれぞれを二つ折りにし、中に速乾性接着剤を盛り上げるようにぬり、ゴムひもの両端を接着する。</p>		
<p>②フィンを作る ・色画用紙に設計図からフィン（尾翼3枚）の形を写し切り取る。</p>		
<p>③フィンを3枚組み立てる。 ・色がついたほうが表になるようにする。 ・フィンの先端（風があたるところの斜面）とその反対側をセロハンテープでカバー（補強）する。 ・のりしろの部分に両面テープを貼る。</p>		
<p>④フィンを装着する ・ロケット本体の下部（お尻のほう）から15mmのところを鉛筆で目印をつける。（概略寸法図「フィンの貼り付け位置」の部分） ・設計図の③の120度ごとに分割した紙をロケットの筒の下に置き、3分割する線をロケット本体に書く。 ・3つのフィンをその線にしたがって120度ごとに両面テープで装着する。 ・フィンののりしろ部分を、上からセロハンテープでおさえる。</p>		
<p>⑤ノーズコーンを作る ・設計図の通りにノーズコーンを切り取り、コーン状に丸める。 ・色画用紙を円筒状に丸めて、長さ3cmのノーズ結合部（ノーズコーン取り付け用の紙筒）は円筒状に丸める。このとき、ノーズ結合部はロケット本体の筒からスムーズに抜けるように直径を調整する。</p>		
<p>⑥ノーズコーンを装着する ・ノーズコーンをノーズ結合部にセロハンテープで装着する（設計図④）。 ・ロケット本体の先端とノーズ結合部をゴムひもで結ぶ。ゴムひもの両端につけた紙を、ロケット本体とノーズ結合部に速乾性接着剤で接着する。</p>		

子どもの作業内容	指導内容	備考
<p>⑦リボンをゴムひもの真ん中に、両面テープまたはホチキスで止める。</p> 		
<p>⑧リボンを丸めてたたみ、ロケット本体にしまい込み、ノーズコーンをかぶせる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> このとき、不燃性のティッシュペーパー（リカバリーワディング）を少しだけ先に詰め、それからリボン（パラシュート）をしまうと燃焼ガスによるリボンの損傷が少ない。 	
<p>⑨モーターを装着する</p> <ul style="list-style-type: none"> ロケット本体後端に、モーター（火薬エンジン）をビニールテープで1周以上しっかり巻いて固定する。 ※このとき、10mm出ているエンジンの端をつかんでロケットの筒内に強く押し込んでも、エンジンが動かないくらいにしっかり固定されていることを確認する。 		
<p>⑩タコ糸で輪を作り、ロケットを輪に通し水平になるところ（重心）を見つけ、重心位置にタコ糸を固定する。このタコ糸の先端を持ってロケットを約2～3mの半径でぐるぐる回してみる（スウィングテスト）。どのような向きから始めてもロケットの先端が前を向いて飛ぶことを確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 確認ができなかったら、ロケットの先端が前を向いて飛ぶまでノーズコーンに油粘土を詰める。 	<p>スウィングテスト</p> 	
<p>⑪重心の位置にガイドパイプとしてのストローをセロハンテープで固定する。（概略寸法図参照）</p> <ul style="list-style-type: none"> 50mmのストローの上と下の2ヶ所をセロハンテープで固定する。 	<ul style="list-style-type: none"> ただし、あまり強く固定しすぎてストローがつぶれないようにする。 	

子どもの作業内容	指導内容	備考
⑫名前やイラストを書く ・完成した模型ロケットに自分の名前を書く。 ・ロケットの名前や号機も書く。	・自分の好きな絵や言葉（夢や希望）を書かせても楽しい。	
⑬最終検査をして完成 ・部品の組み付け忘れはないか？ ・各部品はボディの中心線と合っているか？ ・左右対称についているか？ ・接合部はしっかり固定されているか？		

2 画用紙火薬ロケットの打ち上げ

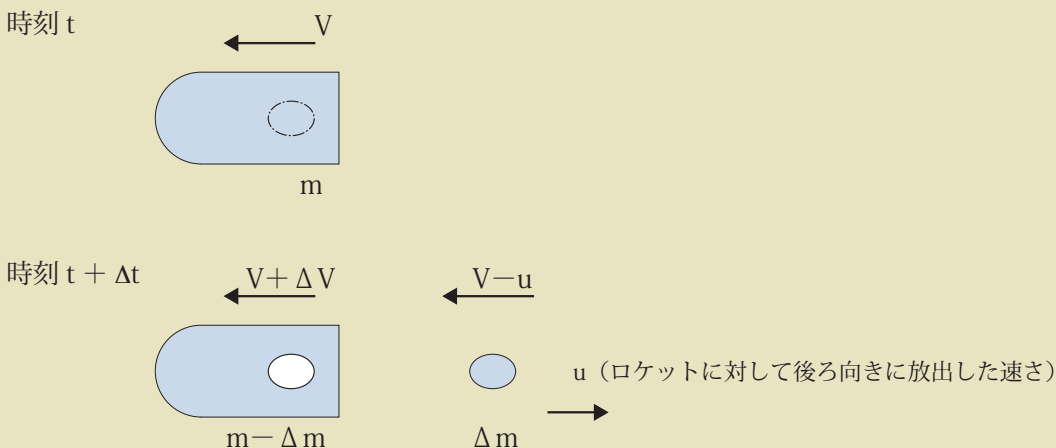
●打ち上げ前に準備するもの

用具・保護具	<input type="checkbox"/> ランチャー（発射台、発射コントローラー）一式／（市販品） <input type="checkbox"/> 乾電池 <input type="checkbox"/> 消火用水（バケツに水を入れて近くに置いておく）又は消火器 <input type="checkbox"/> セーフティコーン（射場区域の明示）、トラロープ、立ち入り禁止等の安全表示看板 <input type="checkbox"/> ドライバー、ペンチ等（ランチャーの修理等） <input type="checkbox"/> ヘルメット
--------	---

この画用紙ロケットの打ち上げについては模型ロケット打ち上げのライセンスを持った人、あるいは経験者（たとえば、日本モデルロケット協会認定ライセンス4級所持者など）の下に行うこと。

補足資料 ロケット方程式の導出と意味

時刻 t において速さ V で飛行しているロケット（質量 m ）が、時刻 $t + \Delta t$ において推進剤を Δm だけロケットに対して後ろ向きに速さ u で放出することにより、ロケットの速さが $V + \Delta V$ になったとする。ここで、ロケットには重力、空気抵抗は働かないと仮定する。



この運動量（運動量＝物体の質量 × 速度）は保存されるから

$$\begin{aligned} mV &= (m - \Delta m)(V + \Delta V) + \Delta m(V - u) \\ &= mV + m\Delta V - V\Delta m - \Delta m \cdot \Delta V + \Delta m \cdot V - \Delta m \cdot u \end{aligned}$$

$\Delta m \cdot \Delta V$ を 2 次の微量量として無視すると

$$m\Delta V = u \cdot \Delta m \quad (1)$$

これを微分形で書くと

$$\Delta V = \frac{dV}{dt} \Delta t, \quad \Delta m = -\frac{dm}{dt} \Delta t \quad \left(\frac{dm}{dt} < 0 \text{ より } \Delta m \text{ は正} \right) \text{ より}$$

$$m = \frac{dV}{dt} \Delta t = u \cdot \left(-\frac{dm}{dt} \right) \Delta t$$

$$\therefore m \frac{dV}{dt} = -u \frac{dm}{dt} \quad (2)$$

さらに、数式を得る。

$$\frac{dV}{dt} = -\frac{u}{m} \frac{dm}{dt}$$

ロケットが $t = 0$ から $t = t_f$ まで燃焼したとすると

$$\int_0^{t_f} \frac{dV}{dt} dt = - \int_0^{t_f} \frac{u}{m} \frac{dm}{dt} dt$$

$$\therefore \int_0^{t_f} dV = - \int_0^{t_f} \frac{u}{m} dm$$

$$\therefore V(t_f) - V(0) = - \int_{m(0)}^{m(t_f)} \frac{u}{m} dm \quad (3)$$

ここで $V(t_f) - V(0)$ はロケットの燃焼開始から終了までの速度の増分であるので ΔQ とおく。

また、 $u = \text{const.}$ とすると

$$\Delta Q = -u \int_{m(0)}^{m(t_f)} \frac{dm}{m} = -u \left[\ln m \right]_{m(0)}^{m(t_f)}$$

$$\Delta Q = -u (\ln m(t_f) - \ln m(0)) = u (\ln m(0) - \ln m(t_f))$$

$$= u \ln \frac{m(0)}{m(t_f)} = u \ln \frac{m_{\text{initial}}}{m_{\text{final}}} \quad (4)$$

この式を**ロケット方程式**という。(ロシアの科学者ツィオルコフスキーが導いたのでツィオルコフスキー方程式ともいう) この式の意味は、ロケットが燃焼を始めてから燃焼が終わるまでに得たロケットの速さの変化(増速という) ΔQ は、ロケットから出ていく質量(燃焼ガス)の速さ u とロケットが燃焼を始める前の質量 m_{initial} とロケットが燃焼を終了したときの質量 m_{final} で求められることを示している。

質量比 $\mu = \frac{m(t_f)}{m(0)}$ と定義すると以下のように表される。

$$\Delta Q = u \ln \frac{1}{\mu} \quad (5)$$

ここで u は、ロケットから出ていく質量(燃焼ガス)のロケットに対する相対速度であるので、ノズル出口での外気圧との圧力差から機体に働く推進力も含んだ有効排気速度 c で表すほうが一般的である。

$$\Delta Q = c \ln \frac{1}{\mu} \quad (6)$$

有効排気速度 c はロケットの性能を表す比推力 I_{sp} と重力加速度 g を用いて $c = g I_{sp}$ と表されるので、次式を得る。

$$\Delta Q = g I_{sp} \ln \frac{1}{\mu} = g I_{sp} \ln \frac{m_0}{m_f} \quad (7)$$

つまり ΔQ は I_{sp} と質量比 $\mu = \frac{m(t_f)}{m(0)}$ に関係することがわかる。

それでは1段式のロケットが打ち上げてから得られる速さを求めてみよう。

ケロシンを燃料とし、液体酸素を酸化剤とするロケットでは約 $I_{sp} = 350$ 秒であり、通常のロケットでは質量比 μ は0.2程度である。

(ここからは自分で計算してみよう)

まず、ロケットの有効排気速度 c は、

$$c = g \times I_{sp} = 9.8 \text{m/s}^2 \times 350 \text{sec} = 3430 \text{m/s}$$

ロケットが静止状態から発射した時にロケットが最終的に得る速さ ΔQ は

$$\Delta Q = 3430 \text{m/s} \times \ln \left(\frac{1}{0.2} \right) = 5520 \text{m/s}$$

(できたかな)

人工衛星が地球に落下しないで地球を回ることができる第1宇宙速度は $7.9 \text{km/s} = 7900 \text{m/s}$ なので、このロケットは人工衛星を打ち上げることができない。故に、ツィオルコフスキーは1段では人工衛星は打ち上げられないと判断した。でも、ツィオルコフスキーはがっかりせずに、どうしたら第1宇宙速度まで加速できるかを考えた。

(自分でも考えてみよう)

???????

(わかったかな)

その答えは、多段式ロケットだった。2段式のロケットを作って、1段目のロケットも2段目のロケットも同じようにケロシンを燃料とし、液体酸素を酸化剤とするロケットでは約 $I_{sp} = 350$ 秒であり、通常の

ロケットでは質量比 μ は 0.2 程度とすると、それぞれ一段ごとにロケットの速さは 5520m/s ごとに速くなっていくから 2 段目では $5520\text{m/s} + 5520\text{m/s} = 11040\text{m/s} = 11.04\text{km/s}$ となり、第一宇宙速度（人工衛星が地球の地表すれすれに飛んだ時に人工衛星になるために必要な速度）よりも速くなる。

なお、正確には、

$$\text{速度増分} = c_1 \ln \frac{\text{打ち上げ前の全ての質量から1段目の推進剤のみを引いた質量}}{\text{打ち上げ前の全ての質量}} + c_2 \ln \frac{\text{1段目を切り離れた直後に残ったロケットの全ての質量から2段目の推進剤のみを引いた質量}}{\text{1段目を切り離れた直後に残ったロケットの全ての質量}} + \dots$$

となることに注意する。

実際には重力の影響、空気の抵抗などにロケットは減速されるのでこれくらい増速できるロケットがあってもやっと宇宙に行けたということになるだろう。ケロシンを燃料とし、液体酸素を酸化剤とするソユーズというロシアのロケットはこのようにして人工衛星などを打ち上げている。日本の H-IIA、H-IIB ロケットは液体水素、液体酸素を使っているので $I_{sp}=450$ 秒と高いので同じ質量比を大きく取れ、その分ペイロード（宇宙に持って行く質量（人も含めて））を大きくすることができる。

ここで

$$\text{第1宇宙速度 } V_1 = \sqrt{\frac{GM}{a}} = 7.9\text{km/s}$$

$$\text{第2宇宙速度 } V_2 = \sqrt{\frac{2GM}{a}} = 11.2\text{km/s}$$

G =重力定数、 M =地球質量、 $GM=3.986 \times 10^5 \text{km}^3/\text{s}^2$ 、 a (地球半径) = 6378km

参考文献

1) 日本モデルロケット協会関連資料

日本モデルロケット協会 〒356-8691 埼玉県ふじみ野市上福岡 1-5-23 青柳ビル 4F
TEL.049-266-5188 FAX.049-266-5198

2) 「飛ばせ！手作りロケット」日本モデルロケット協会編、誠文堂新光社 ¥1,890

3) 「水ロケットを飛ばそう」片岡鉄雄・竹前俊昭・福田研一・吉田讓共著、日刊工業新聞社

4) 「宇宙をめざすきみへ I・II」(宇宙開発事業団発行、財団法人日本宇宙少年団制作)

5) 「モデルロケット入門」(ラジコン技術 1993 年 1 月号臨時増刊) 電波実験社 ¥1,500

6) 刃物及び工具類の使い方 (日本宇宙少年団教材検討グループ編)

7) 危険予知訓練 (下記文献等を参考に各団体に訓練を実施して下さい)

i. 社団法人全国子ども会連合会 発行

「こうしてすすめよう！子ども会 KYT」(執筆・シート絵：伊藤昭彦)

「こうしてすすめよう！子ども会 KYT-2 みつけたキケンくん」(イラスト：伊藤昭彦／菊谷礼子)

*社団法人全国子ども会連合会

本の杜「FAX サービス」FAX.03-3220-1829

または社団法人全国子ども会連合会事業開発部 (東京都文京区大塚 6-1-14) へ。

ii. 中央労働災害防止協会 発行

「KYT4 ラウンド法 イラスト・シート集②」

「短時間 KYT イラスト・シート集②」

iii. 労働基準調査会 編著

「安全作業シート集」

iv. ボーイスカウト愛媛県連盟・健康安全委員会 発行

「スカウトの安全 危険予知トレーニングシート」他

*財団法人ボーイスカウト連盟〈スカウト用品販売店一覧〉

<http://www.scout.or.jp/scoutshop/shoplist.html>

科学する心を 育てよう

- ① ロケットの進む原理を説明するにあたって、こんな問いかけをしてみる。「ふくらませた風船の口を放すと、風船はどこへ飛んで行くだろうか?」「風船を膨らませたときに入れた空気はどこにいったのか?」ロケット推進は、基本的には後ろにものを出したらその反動で前に進むものだとわかれればよい。
- ② 初めてロケットを飛ばしたとき、よく飛ぶのでびっくりする。その飛翔は、衝撃的でもある。この「最初の打ち上げ」を大切にしたい。どのくらい飛ぶか? うまくリボンが開いて軟着陸できるか? など、ドキドキ感を高めてから打ち上げに臨みたい。
- ③ なぜよく飛ぶのか(ロケットの原理)、もっと飛ばすにはどうしたらよいか(工夫)など、水ロケットとの違いを問いかけ、好奇心を高めていく。

安全対策

- ① A型エンジンはがん具扱いなので特にライセンスの必要はないが、モデルロケットの安全をよく知ってもらうために、日本モデルロケット協会4級ライセンスを取ることを推奨します。なお、モデルロケットの安全については、日本モデルロケット協会自主消費基準 (<http://www.ja-r.net/> から入り、メニュー→モデルロケット?→安全と進むと出てきます) をご覧ください。
- ② 工作の基本的な注意事項や打ち上げ時の注意事項は、その活動を始める前の落ち着いた状態で参加者及び指導者全員で確認し合う。必要な場合は保護者にも協力を呼びかける。
- ③ 打ち上げ手順を必ず守る。
- ④ 指導者は“限界”や“異常事態”を知っておく。
 - ア. モーター(火薬エンジン)の危険性(点火、燃焼、点火不良、燃焼不良ほか)
 - イ. 破裂や落下機体に当たったときの衝撃を防ぐ→ヘルメット
 - ウ. 飛行不安定機体及び部品の飛散から守る→打ち上げ場の広さを確保
- ⑤ そもそも危険が伴っていることをよく認識しておく
 - ア. 火薬を扱っている。
 - イ. 高速で飛ぶ。
 - ウ. 高いところから落下してくる。
 - エ. 当事者以外は誰も安全を保証してくれない。
 - オ. 事故が発生しても誰も損害を補償してくれない。
 - カ. 自主自律、自己責任の活動であることをしっかり認識することが必要である。
- ⑥ 火薬の恐ろしさを認識しておく。
 - ア. 突然の発火が起こりうる。
 - イ. 火傷の危険性がある。
 - ウ. 暴発の危険性がある。
- ⑦ 打ち上げ時には必ず管制官を配置する

子どもたちの安全確保のためには、安全管理責任者を決めてバラバラではなく一元化された状態で運営することが大切。そのため、安全確保のために訓練された管制官が必要である。
- ⑧ 火薬を使うロケットならでの安全対策
 - ア. 発射台をクイで固定し、垂直から30度以上傾けない。
 - イ. 発射台の近くには消火器か水バケツを用意する。
 - ウ. モーター、イグナイターは金属製のもの以外の箱に別々に保管する。
 - エ. モーターに傷やヒビがないか調べて、不良品は使用しない。
 - オ. モーターの近くで火気を使わない。
 - カ. モーターの置き場所は発射台から20m離すこと。
 - キ. 発射台には、一回の打ち上げに使うロケットモーター以外は持ち込まない。
 - ク. モーターの置き場所は、打ち上げ関係者以外は立ち入り禁止にする。
 - ケ. モーターを盗まれないようにする。
 - コ. 強風(8m/秒以上)や雨、雷の時には打ち上げない。

学習指導要領 との関連

小学校 3年	理科(粒子)	物と重さ
小学校 6年	理科(粒子)	燃焼の仕組み
中学校 1年	理科(エネルギー)	力と圧力
中学校 2年	理科(粒子)	化学変化
中学校 3年	理科(エネルギー)	運動の規則性
中学校 3年	理科(エネルギー)	力学的エネルギー
中学校 3年	理科(エネルギー・粒子)	科学技術の発展
小学校 4年	算数(量と測定)	角の大きさの単位
小学校 5年	算数(図形)	角柱、円柱

キーワード

加速度、加速度計、宇宙への出発時、反対向きの力、ロケット

教材提供 : 日本宇宙少年団福岡分団 麻生茂氏
発行 : 宇宙航空研究開発機構 宇宙教育センター

協力 : 財団法人日本宇宙少年団 YAC 株式会社学習研究社
財団法人日本宇宙フォーラム

©JAXA2012 無断転載を禁じます