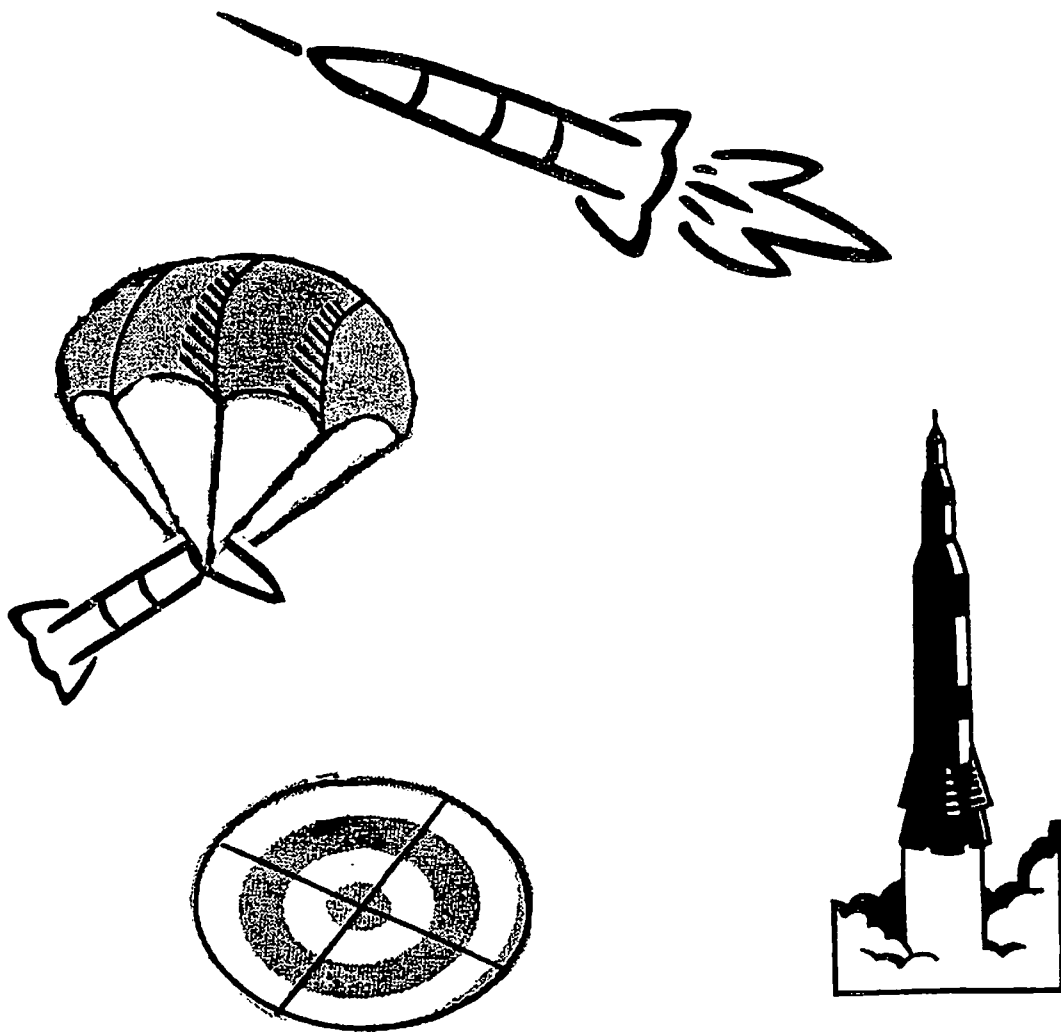


ロケットを 飛ばそう！



特定非営利活動法人

日本モデルロケット協会

モデルロケット工学の基礎知識

★ モデルロケットの推進原理

モデルロケットが飛ぶわけを簡単に説明しますと、いま仮に、体重が同じA君とB君がローラースケートをはいて、平らな所で向い合っていたとします。そこでA君が力いっぱいB君を押したら、当然B君は後ろにさがります。この時、同時にB君を押したA君もB君と同じだけ後ろにさがります。これはB君を押した力と全く同じ力が、逆方向に働くからです。これをニュートン運動力学の第3法則、『作用・反作用』といいます。

モデルロケットでは、エンジンの燃焼によって放出ガスが高速で地表に向けて噴射されます。この時、ロケット本体は『作用・反作用』の原理で正反対の方向に同じ力を受けますので、大空に向かって飛んでいくのです。

モデルロケットの推進原理のもっとも単純なものはゴム風船です。風船に空気を吹きこみ大きくふくらませてから手をはなすと、空気を噴き出しながら飛んで行きます。風船の中の空気は、とても軽いようでも質量があります。しかも圧縮され、高密度の状態になっています。この質量をもった空気を後方に噴出することが作用であり、その反作用で風船は進みます。

★ 空気抵抗（抗力）について

風船をふくらましてから飛ばすとくるくる回ったり、あちらこちらとどこへ飛んで行くのか見当が付きません。これは風船が飛ぶときにそれを妨げる大きな力として、空気抵抗による抗力が発生するからです。この抗力は物体の形状と空気の密度に比例し、速度の2乗にも比例して大きくなります。

これを数式で表わしますと

$$D = 1/2 C_D \rho V^2 A$$

になります。

D：抗力 (N)

C_D ：抗力係数

ρ ：大気密度

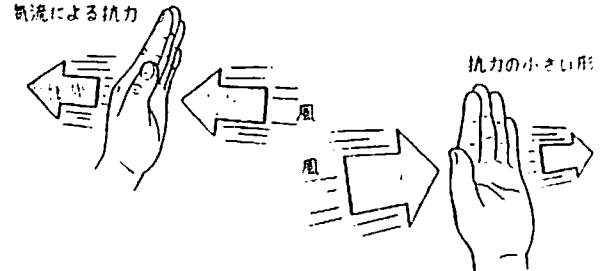
V：速度 (m/s)

A：代表面積 (m²)

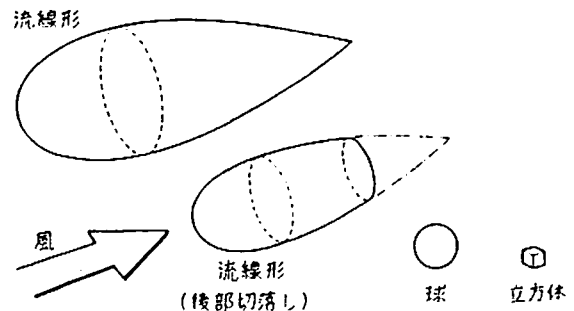
右図のように手の平を立てたりねかせたりして、腕を振ってみます。ゆっくり振るときはあまり違いを感じませんが、速く振ると手の形によって抵抗の大きさが変わることが分かります。これは抗力は物体の代表面積（投影面積）に比例し、さらに速度の2乗に比例して大きくなるからです。

また抗力係数（ C_D 値）は、物体の形状、表面の状態で変化しますが、次に4つの形状をした物体に対する抗力係数を示します。

形 状	抗力係数
立 方 体	1. 0 5
球	0. 4 7
流線形 (後部切り落し)	0. 1
流 線 形	0. 0 5



物体の形状によって抗力は異なります。



抗力が等しいときの物体の大きさの比較

モデルロケットを高く飛ばすには、それを妨げる力、空気抵抗（抗力）を出来るだけ減らす必要があります。この抗力は、発生仕方によって摩擦抗力、形状抗力、誘導抗力、干渉抗力の4種類に分けられますが、ここでは個々の説明は省略します。ただ抗力を減少させるには、まずロケット本体やフィン（尾翼）の形状を空気抵抗の少ない形にして全体をなめらかにしたり、出来れば後部を流線形にします。また表面を塗装したり、つるつるにみがかくのも効果があります。

★ 重心と圧力中心について

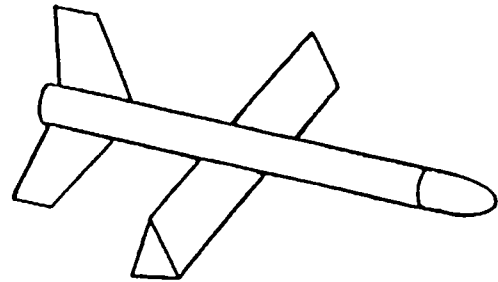
モデルロケットが空中を飛行するとき、重心と圧力中心とのバランスがおかしいとロケットはまっすぐ飛びません。そこで次にこの重心と圧力中心の意味と簡単な求め方を説明します。

◇ 重心 (CG) とその求め方

エンジンをふくめたモデルロケットの質量の中心のことです。全体の質量・運動量・位置エネルギー・重力が集中している点と考えることができます。ロケットが進んだり、回転するときもこの点が中心となります。エンジンは後方に付いていますが、この重心に働き、動力飛行中は燃料が燃焼するにつれて前方に移動します。

重心 (CG) の簡単な求め方は右図のように完成したモデルロケットをくさび状のものの上に置いてバランスをとります。そこで水平状態になった点が重心です。

(このときロケットには、エンジン、リカバリーワディング、パラシュートなどを装着し、打ち上げ状態で測ること。)

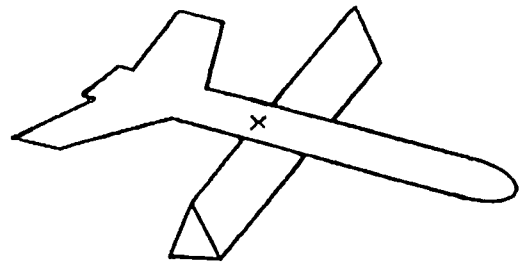


◇ 圧力中心 (CP) とその求め方

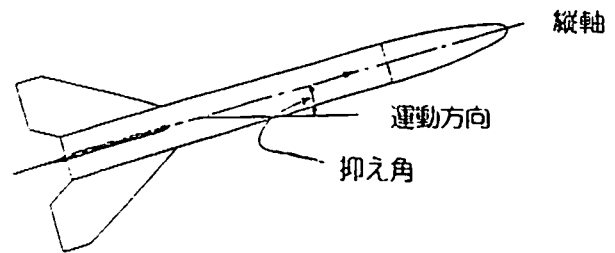
飛行中のモデルロケットには、各部分にそれぞれ空気の圧力がかかっています。質量を重心で総合して取り扱ったように、この圧力をまとめて一つの力として扱える点を圧力中心といい、機体の迎え角によって前後します。90度でもっとも前方になり、小さな迎え角で最後方となります。

圧力中心 (CP) は機体形状のデータから計算で求められますが、ここでは右図のようにロケットのシルエット (投影図) の型紙を用意し、バランスのとれた点が圧力中心になります。

この方法のことを“カードボード・カットアウトメソッド”といいます。



一般的なモデルロケットのキットの圧力中心は迎え角90度で設計されており、圧力中心はもっとも前寄りになっています。多少、風向性は大きくなりますが、安定飛行が行なえます。



— 迎え角の図式定義 —

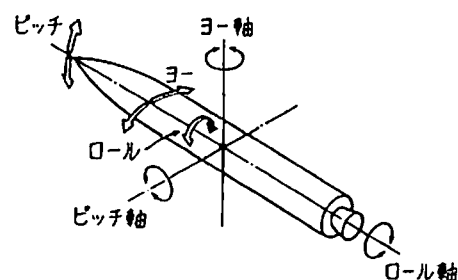
★ ロケットの安定飛行

ロケットは発射されたあと何の支えもなく空中を飛行します。ロケットの重心がその中心軸にあったとすると、エンジン推力の集まった線が中心軸と一致していなければなりません。少しでもずれると首振り運動が始まり、正しい軌道から外れてしまいます。

モデルロケット製作時に、正確にエンジンマウントをロケットの中心軸線に合わせなければなりません。

しかしエンジンの噴射をノズルの断面全体にわたって均等にすることは困難ですから、推力の集まった線が、いつも中心軸線と一致するという事は不可能です。

その動きを右図のように、ロール、ピッチ、ヨーの3つの軸の運動に分けています。



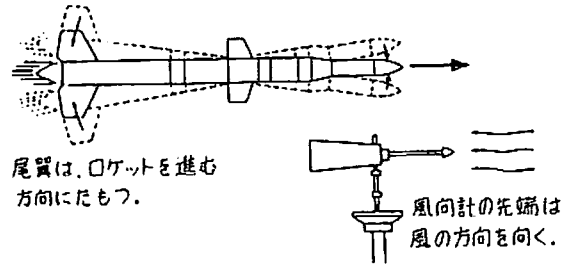
ロケットの運動 (ロール、ピッチ、ヨー)

本物のロケットでは、噴射の方向を自動的に変えて方向を調整しますが、モデルロケットのような小さなロケットでは、空気の力が重心の後方に離れたところで働くように後部にフィンをつけることで安定させることができます。

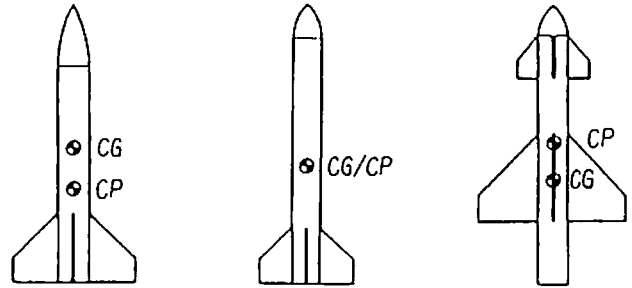
この重心と圧力中心の位置関係には、右図のように3通り考えられます。①はポジティブ、②はニュートラル、③はネガティブと呼ばれています。

モデルロケットは重心が圧力中心よりも必ず前方に存在していなければ安定飛行しません。つまり①のポジティブの状態がベストです。

参考までにモデルロケットを自作する場合のポイントとして、全長対直径の比は10 : 1以上にします。また重心と圧力中心との間隔は直径と同等かそれ以上にします。



ロケットの安定はフィンによって保たれる。



①ポジティブ ②ニュートラル ③ネガティブ
ロケットの重心と圧力中心の位置関係

★ スイングテスト

これらの安定性を確認するには、実際に重心や圧力中心を前述した方法や計算式を用いて求めるか、風洞実験をすれば正確に測定できますが、ここではもっと簡単にロケットの飛行安定性を確認できる“スイングテスト”について説明します。

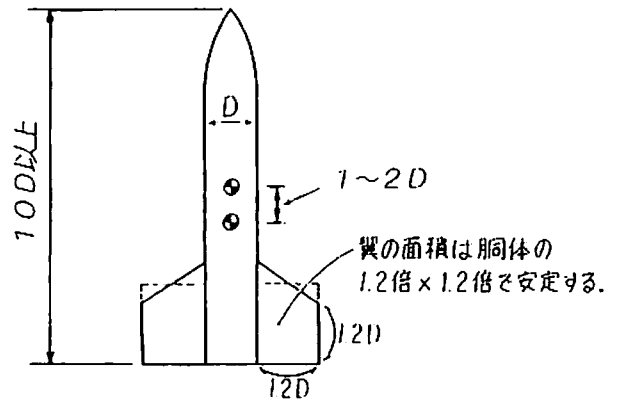
ロケットにエンジン、パラシュートなどを取り付け、ロケットが水平になるように重心位置に3mほどの風糸などの丈夫な糸で結び、テープで固定します。

糸の片方を持って、大きく円を描くように振り回します。

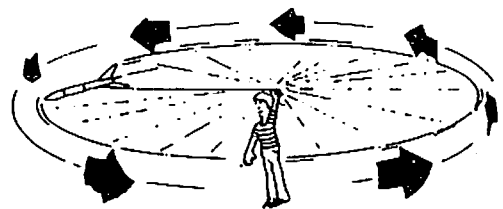
この時、多少スピードを変えても、上下に波打たせてもロケットが進行方向に正しく向かうようなら、安定性（ポジティブ）が確認されます。

もしぐるぐる回るようならニュートラル、ロケットの前後が逆になるようでしたらネガティブです。このような場合は、フィンを大きくしたり、ノーズコーンに粘土をつめるなどしてから、もう一度テストして下さい。

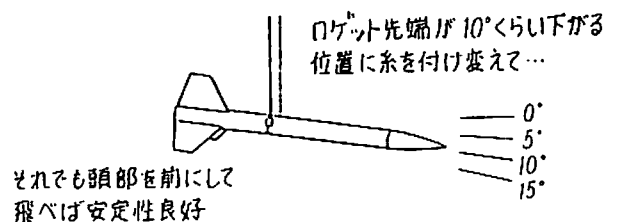
安定性が確認されたら、糸の位置を少しずつ後方に下げ、ノーズコーンが10度くらい下を向くような位置に固定しなおし、同様に振り回します。それでも安定して進行方向に向かうようでしたら、十分な安定性をもっているといえます。



モデルロケットを自作する場合のポイント



スイングテスト



モデルロケットの安定性のテスト

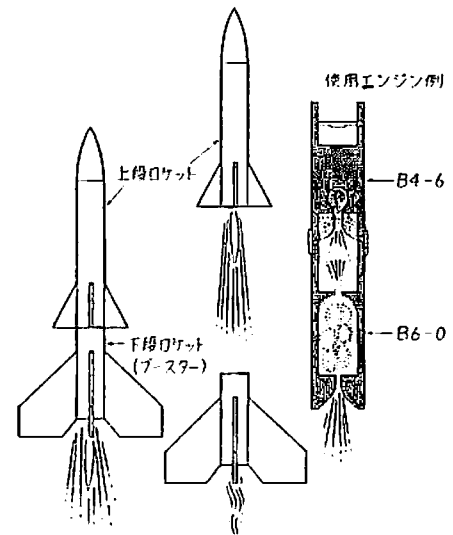
★ 多段方式（マルチステージ）について

モデルロケットをより高い高度まで飛行させるには、多段方式のロケットを使います。1段目の燃焼が終わると同時に2段目に点火し、その噴射ガスで1段目を切り離し、さらに飛行を続け、より高い高度で回収装置（ストリーマ）を作動させ、地上に戻します。

この1段目のことをファーストステージといい、これに用いられるエンジンがブースターエンジンで、延時薬と放出薬はありません。エンジン・レイティング・システムは最後の延時時間が0と表示され、A10-0T・B6-0・C6-0の3種類があります。

また2段目のことはセカンドステージといい、これに用いられるエンジンがアッパーステージエンジンで、ロケットを回収しやすくするために延時時間が5～7秒の長いものを使用します。

多段方式で打ち上げる場合、下記の参考基準薬量でエンジンの組み合わせ合計薬量が20gをこえないようにします。



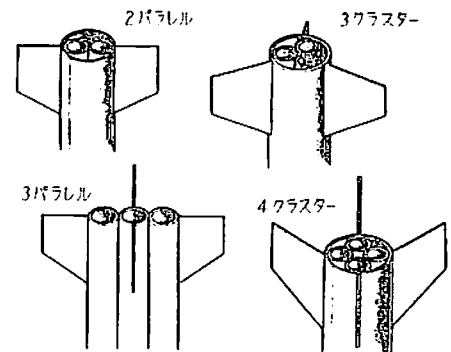
多段（2段）方式とエンジン使用例

★ クラスター方式について

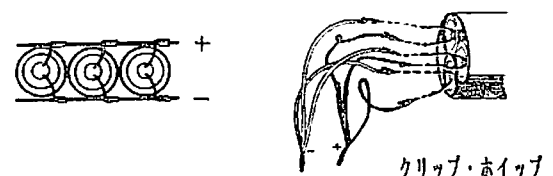
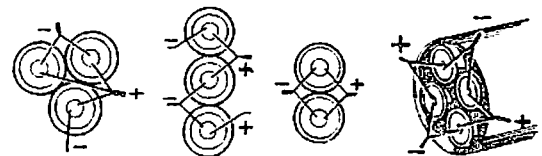
多段方式がより高い高度を目指すものなら、より重いものを打ち上げるのがクラスター（束ね）、もしくはパラレル（並べ）方式といい、右図のようなものがあります。この方式は瞬間的な推力が増しますので打ち上げ時の最大重量を増加させるには有効ですが、シングルエンジンでも飛行する機体では構造効率の点で不利になり効果が低いものとなります。またクラスター方式は、複数のエンジンを同時点火させるので電流容量の小さい6Vのコントローラーは使用できません。コンデンサチャージ式のものか、12Vの電流容量が大きいコントローラーを使用して下さい。

クラスター方式で打ち上げる場合は、必ず同じ形式のエンジンで、合計薬量が20gをこえないようにして組み合わせて下さい。

クラスターする時のイグナイターの接続方法と、それを同時点火させるのに使うクリップ・ホイップ（マイクロ・クリップの組み合わせ品のこと）を右図に示します。



クラスター（パラレル）方式



★ 参考基準薬量（日本モデルロケット協会認定）

エンジン形式	火薬量 ^g	エンジン形式	火薬量 ^g	エンジン形式	火薬量 ^g
A3-4T	4.9	B6-0	6.5	B8-5	8.8
A10-0T	4.0	B6-2	7.7	C5-3	14.5
A10-3T	4.9	B6-4	8.4	C6-0	13.0
1/2A6-2	3.5	B4-2	9.1	C6-3	14.2
A8-3	5.6	B4-4	9.8	C6-5	14.9
A8-5	6.3	B4-6	10.5	C6-7	15.6

※がん具煙火に該当するエンジンは、FAI規格のC型までのもので一回の打ち上げで合計薬量（イグナイターも含む）が20g以下のものに限られます。

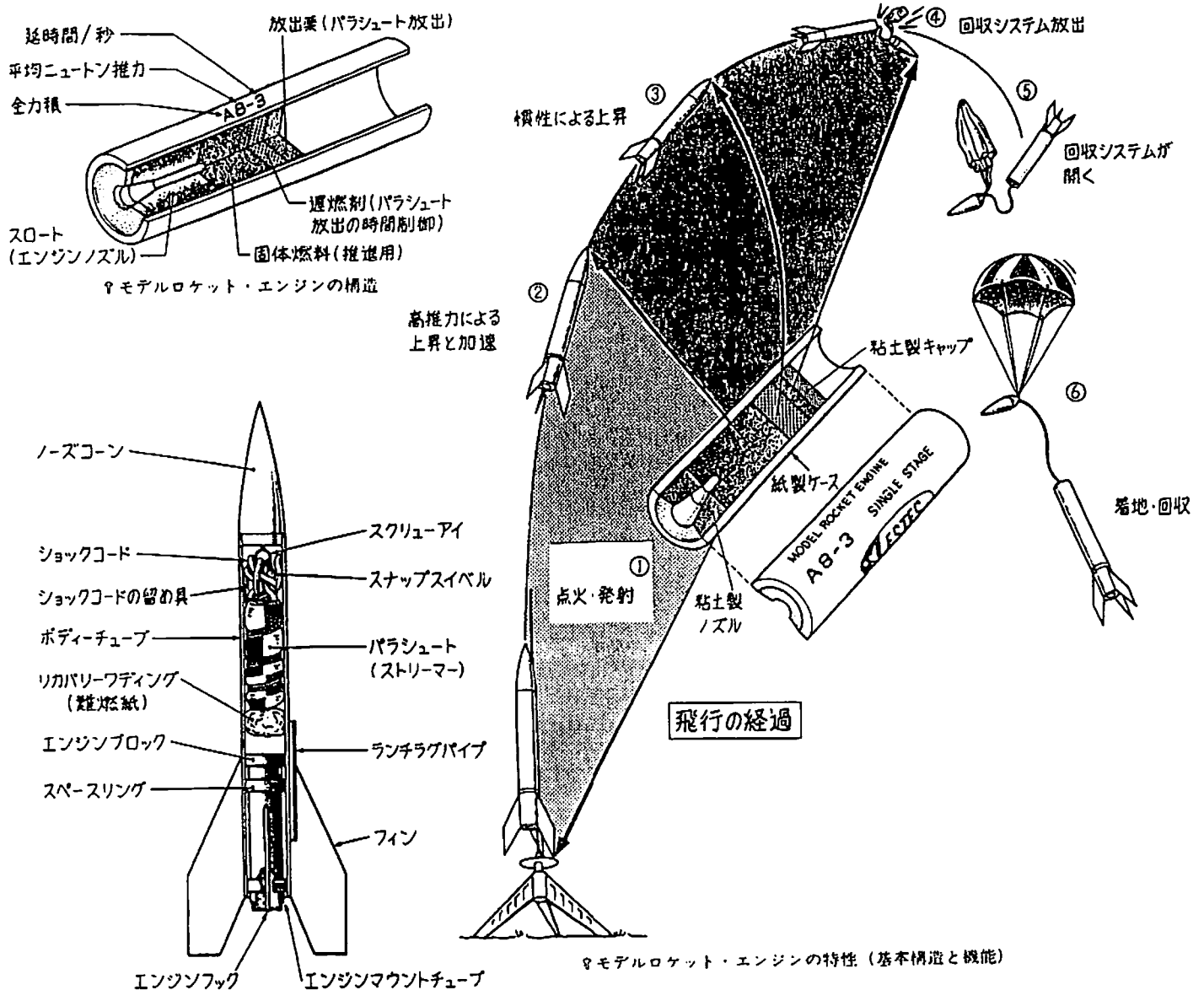
※エンジンの火薬量とは、推進薬、延時薬、放出薬及びブースターエンジンの着火薬の火薬量を合計したものです。イグナイターの火薬量は0.02gです。

モデルロケットの構造と飛行の過程

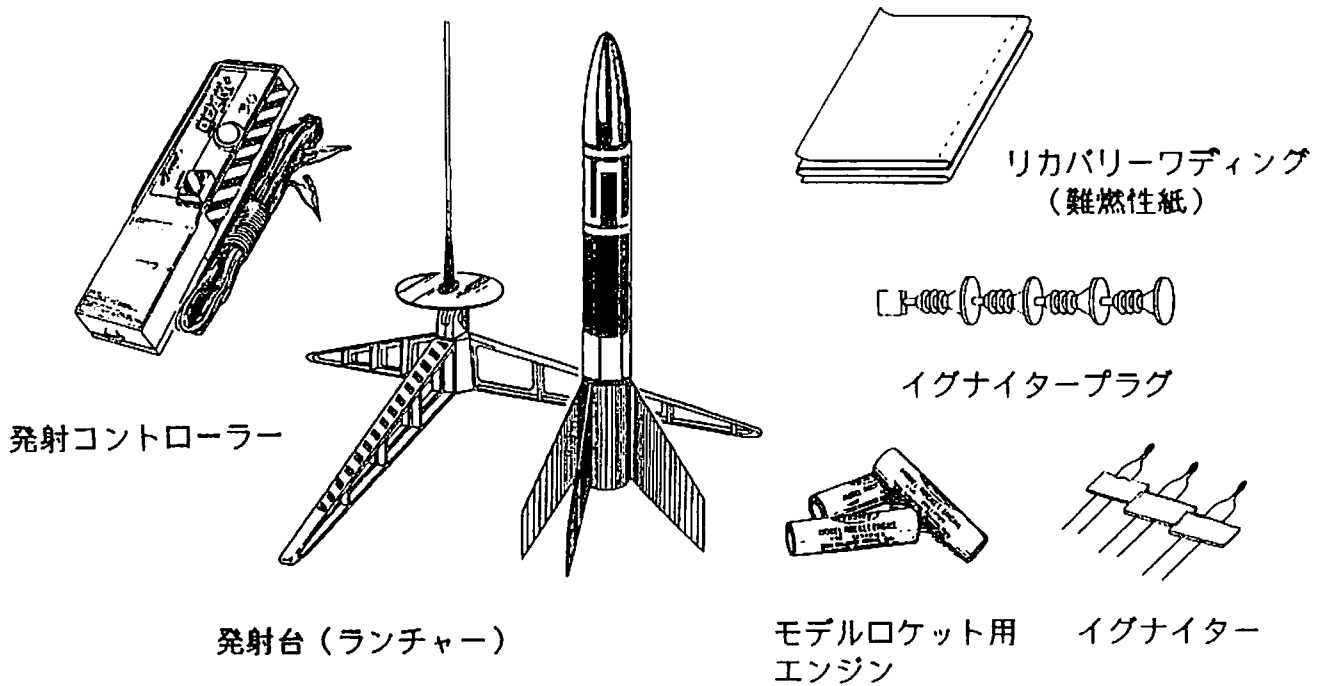
エンジンの構造は、推進薬、延時薬、放出薬の3層からなり、推進薬の燃焼後、指定時間の慣性飛行を行い、パラシュートを放出する火薬に点火される。このときの熱からパラシュートを護ためリカバリーワディングという難燃紙をエンジンとパラシュートの間にいれます。今回のカリキュラムを受けると、モデルロケットを使用するための第4級モデルロケットライセンスを取得することができます。

第4級モデルロケットライセンスで使用できるエンジン範囲例(通達第499号に基づく)

種類	全力積(Ns)	燃焼時間(秒)	延長時間(秒)
A8-3	2.5	0.32	3
B6-4	5.0	0.83	4
C5-3	10.0	2.10	3
C6-7	10.0	1.70	7



モデルロケットの打ち上げに必要なもの



モデルロケットの打ち上げ準備

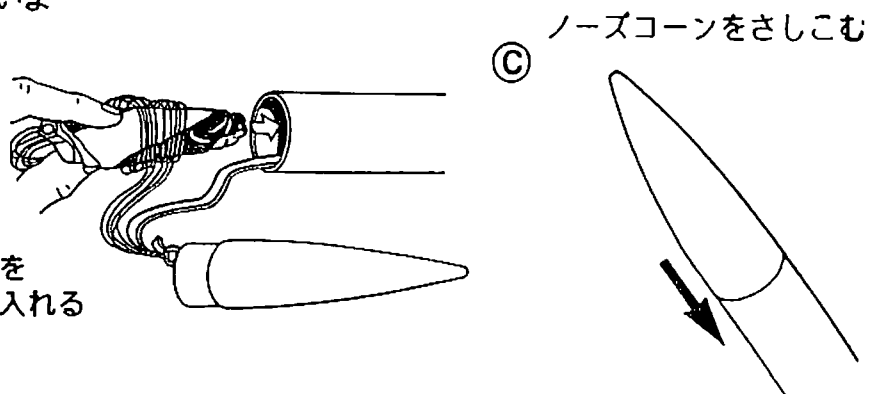
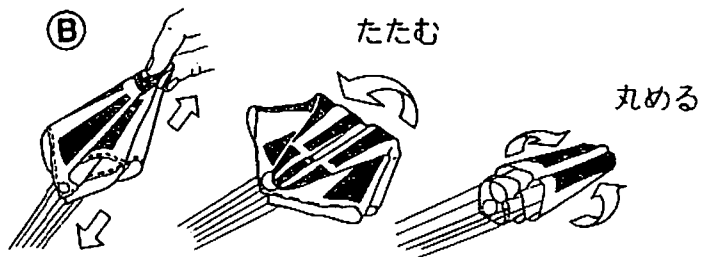
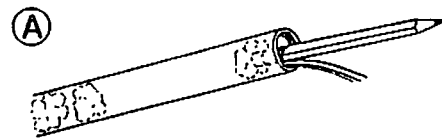
1. 回収装置のセットのしかた

A. リカバリーワディングを必要な枚数だけふんわりと丸めて、ボディチューブの中にかたく押しこみます。

（アルファスリーの場合は3枚）

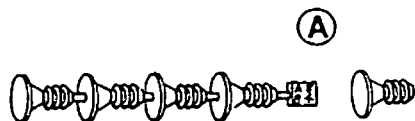
B. パラシュートはボディチューブの中をかたくすべるようにする。
もし、きつい時は最初からたたみなおして、入れなおして下さい。

C. ノーズコーンをボディチューブにさしこむときに、シュラウドラインやショックコードをはさみこまないように注意して下さい。



2. イグナイタープラグの取り付け

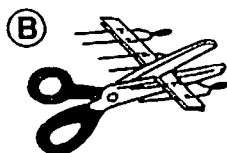
注意 イグナイターの先がエンジンノズルの推進薬にさわっていないければ点火しません。



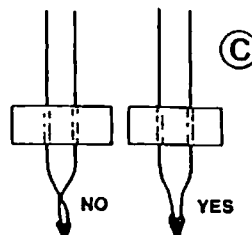
〈例〉A8-3エンジン ⇒ 黄色

A. イグナイタープラグはふだの表示と色で、使用できるエンジンがわかるようになっています。

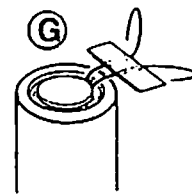
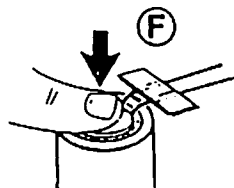
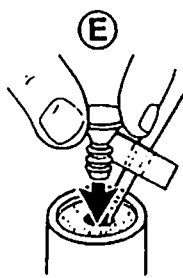
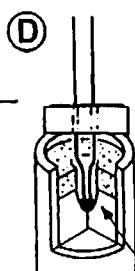
B. はさみで紙テープを切ってイグナイターを切りはなします。



C. イグナイターの電線がくっついてるのは、はなして下さい。また先がわれているものは使わないで下さい。



D. エンジンノズルの穴へイグナイターをまっすぐに入れます。



E. イグナイタープラグをさしこみます。

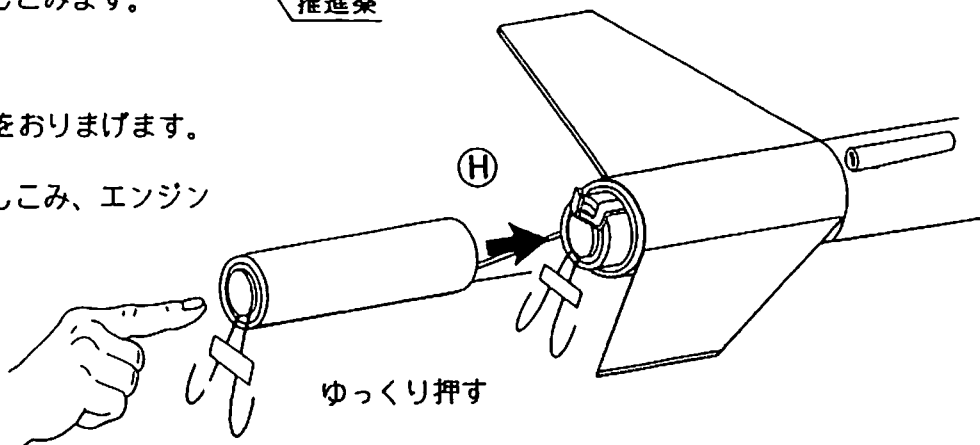
推進薬

おりまげる

F. ゆっくり押しこみます。

G. イグナイターの電線の先をおりまげます。

H. ロケットにエンジンをさしこみ、エンジンフックで固定します。



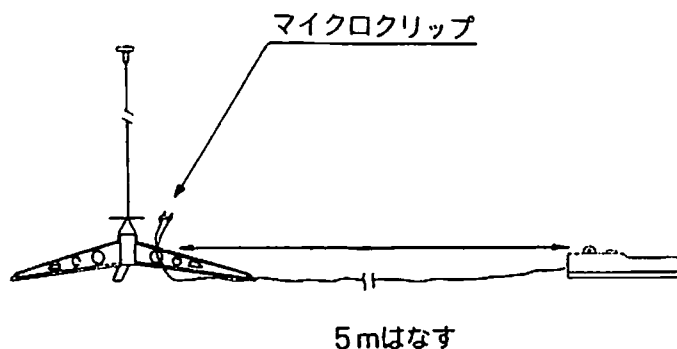
打ち上げと回収

A. 打ち上げ場所

☆発射台は民家、送電線、樹木等、障害物のない50m四方ほどの広い場所に設置します。

☆発射台を設置する場所にかれ草や燃えやすい物がないか確認します。

☆発射コントローラーは発射台から5mはなし、マイクロクリップのついた側のリード線を発射台の脚の穴に一回とおしておきます。

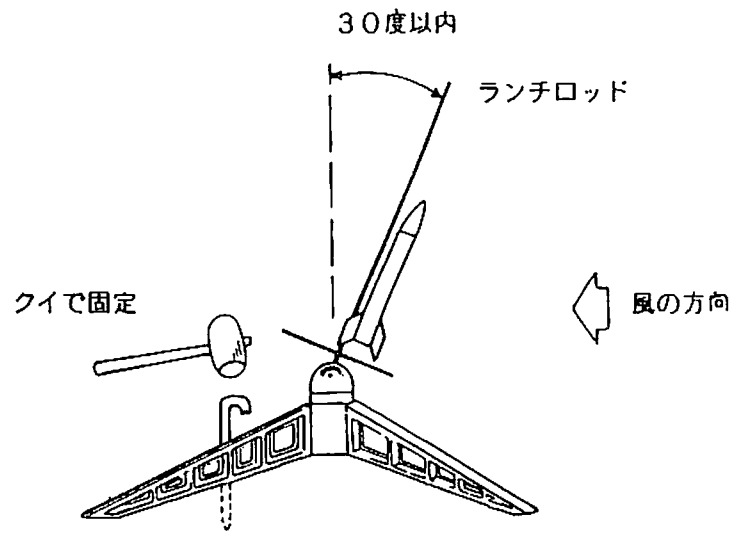


B. 発射台の設置

★発射台は風の方向に角度を調整できるように設置します。

★発射台はクイなどで固定してたおれないようにして下さい。

★ランチロッドは30度以上、かたむけないこと。



C. カウントダウンと打ち上げ

★発射コントローラーの安全キーが抜いてあるか確認すること。

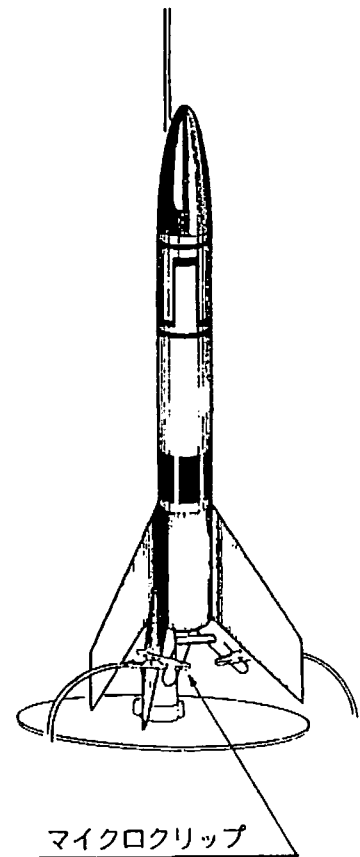
★ランチロッドから安全キャップをとり、ランチロッドにロケットのランチラグパイプをとおして下さい。

★ランチロッドにそってロケットがスムーズに動くかどうか試してみます。

★マイクロクリップをイグナイターのリード線に接続します。この時、マイクロクリップが他の金属部分に接触しないように注意します。

★発射コントローラーに安全キーをさして豆電球がつくのを確認して下さい。押し続けるとランプが消えて発射ができません。

★すべての打ち上げ準備が完了したらカウントダウンを始めます。



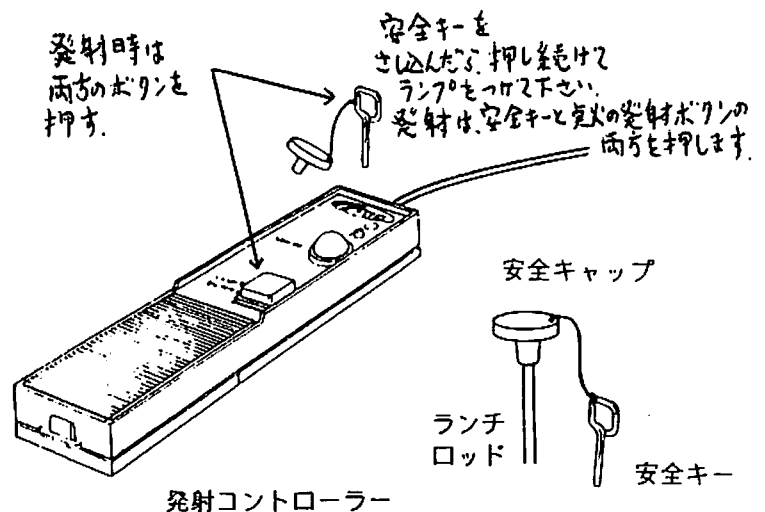
発射準備 完了！	オン・ザ・ランチ OK！	まわりに人がいないかを確認。上空をみまわして確認。
低空飛行物体なし！	ノー・ロー・フライイング	①安全キーを押し続ける。
秒読み開始！	エアークラフト ウェル！	②発射ボタンは瞬間的に押すのではなく、十分に押し続ける。
『5, 4, 3, 2, 1, 点火！』	スターティング・カウントダウン！	
	『Tマイナス、ファイブ、フォー、スリー、ツー、ワン、イグニッション！』	

D. 打ち上げ後

★打ち上げが終わったら、そのつど発射コントローラーから安全キーを抜いて下さい。

★抜いた安全キーは次の打ち上げまで発射台のランチロッドの先に安全キャップとしてさしこんでおいて下さい。

★安全キーと安全キャップはかならず一本のひもでつなげておくこと。



E. 不点火（発射しなかった）の場合

☆エンジンが点火しなかった場合は、発射コントローラーから安全キーを抜いて 30 秒間 待ってから原因を調べます。

☆イグナイターの先が燃えているのにエンジンが点火しなかったのは、イグナイターの先がエンジンの推進薬にふれていなかったからです。新しいイグナイターと交換して最初からやりなおします。

☆イグナイターの先が燃えていない時は、マイクロクリップの接触不良か発射コントローラーの電池の容量不足です。マイクロクリップは時々、表面を紙ヤスリでみがいて下さい。また電池の容量不足の時は、4 本とも同時に新品のアルカリ電池に交換して下さい。

☆不点火の9割以上が上記二つの原因によるものです。これ以外にもリード線のショート、断線なども考えられますが、経験者のアドバイスを受けて下さい。

F. 安全な打ち上げを楽しむ

☆ロケットが上空でパラシュートを開いてゆっくり降下してきたら、着地地点を確認してから回収して下さい。上をみながら追いかけると大変危険です。

☆もしロケットが池や川の中に落ちたり、高い樹木や電線にひっかかった場合は無理に回収しないであきらめなさい。

☆打ち上げ後の使用済みエンジンやイグナイターは必ず回収して、持ち帰って処分すること。

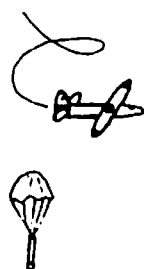
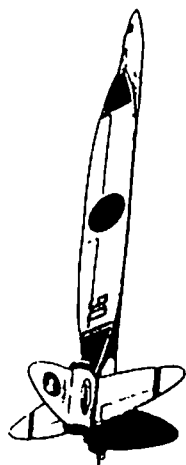
☆エンジンを改造したり、他の目的に使用することは法令で禁止されています。あなた自身の安全のためにも絶対にしないで下さい。

☆誤ってエンジンを傷つけたり、外見上、破損したエンジンが見つかった場合は十分に水にひたしてから廃棄（土中に埋める）して下さい。

☆雨が強く降りだしたり、雷が鳴りだしたら打ち上げをすぐ中断します。また風速 8 m/s 以上の風が吹いている間も同様です。しばらくようすをみて天候が回復しなければ、打ち上げを中止します。

☆打ち上げに際しては、モデルロケットの安全規則（自主消費基準 — 日本モデルロケット協会制定）を順守して下さい。

☆それでは打ち上げを楽しんで下さい。



シーザーウィング
トランスポート
(回転翼型グライダー)



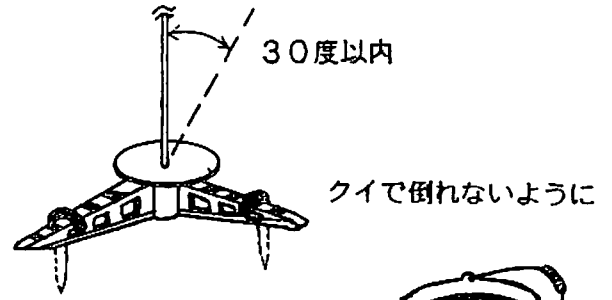
アストロカム110
(カメラ搭載型)



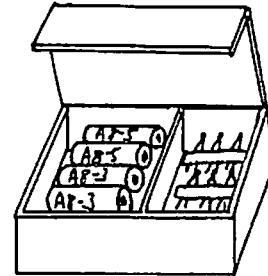
ヘラクレス
(2段式)

モデルロケット 打ち上げで注意すること

- ★発射台をクイで固定し、垂直より30度以上かたむけない



- ★発射台の近くには消火器か水バケツを用意する。

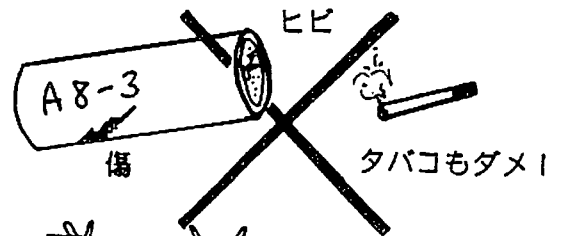


水の入ったバケツ

- ★エンジン・イグナイターは金属性のもの以外の箱に別々に保管する。

プラスチックやビニール製の箱に分けて入れる。

- ★エンジンに傷やヒビがないか調べて、不良品は使用しない。



- ★エンジンの近くで火気を使わない。

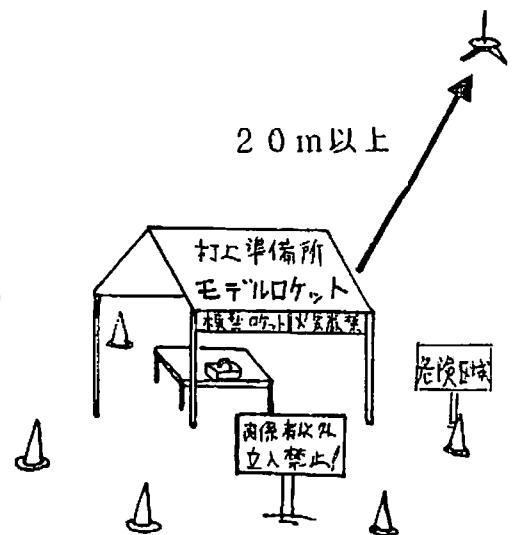


火気厳禁

- ★エンジンの置き場所は(打上準備所)発射台から20m離すこと。

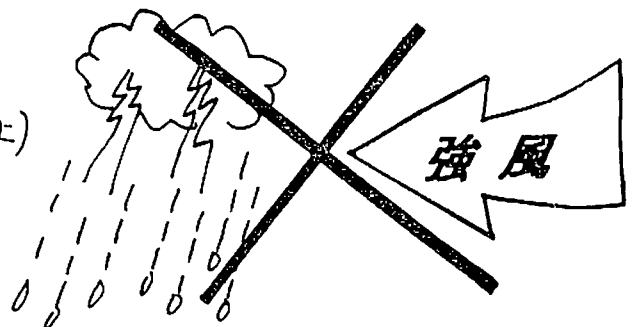
- ★発射台には一回の打ち上げに使うエンジン以外は持ちこまない。

- ★エンジンの置き場所は(打上準備所)打ち上げ関係者以外は立ち入り禁止にする。

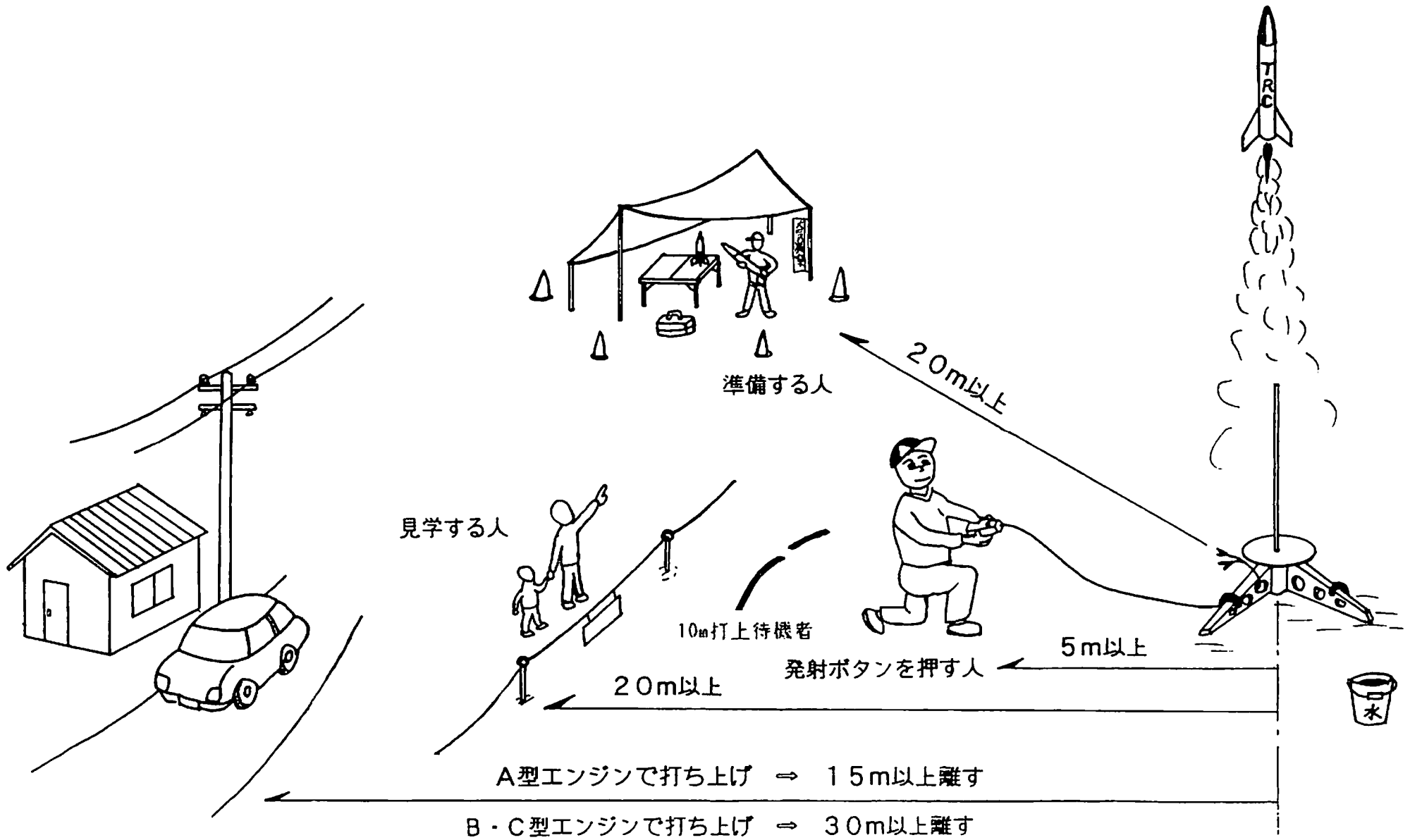


- ★エンジンを盗まれないように注意する。

- ★強風や雨、雷の時(風速8m/秒以上)は打ち上げない。



★発射台から離す距離



道路、建物、電線