目次

# Ⅰ基礎操作


1 長さの測定 …… 35
2 時間の測定 …… 37
3 温度の測定 …… 39
4 質量・重さの測定 …… 43
5 体積の測定 …… 48
6 電流の測定 …… 51
7 電圧の測定 …… 53
8 デジタルメーターの使い方 …… 56
9 気圧の測定 …… 57
10 測定値と誤差 …… 59
11 グラフのかき方 …… 61


# Ⅱ力と運動

## 1カ


12 力には直達力と遠達力があることを調べる 中1 …… 63
13 力のはたらきを調べる 中1 3 …… 65
14 いろいろな物がどれくらいの力で切れるかをはかる 中 …… 66
15 摩擦の力を利用したおもちゃを作る 中3 …… 68
16 針金のたわみ方と力の関係を調べる 中1 …… 69
17 ばねはかりで力の大きさをはかる 小6 中1 …… 70
18 2力のつり合いを調べる 中3 …… 72
19 3力のつり合いを調べる 中3 …… 75
20 斜面上の力のつり合いを調べる 中3 …… 78
21 てんびんを作る 小4 …… 80
22 てこのつり合いを調べる 小6 …… 85
23 静止摩擦力・動摩擦力の測定 中3 高 …… 89
24 毛管現象の実験 中 …… 91
25 シャボン玉を作る 小 …… 94
26 表面張力の実験 中 高 …… 95

## 2圧力


27 圧力の表し方 中1 …… 97
28 圧力の実験 中1 …… 98
29 水の深さと圧力の関係を調べる 中1 …… 99
30 パスカルの実験 中 …… 101
31 連通管(水圧器)の実験 中1 …… 102
32 気体の圧力の実験 中 …… 104
33 大気の圧力の実験 中1 …… 106
34 気体の体積と圧力の関係を調べる 中 …… 109
35 液体中で受ける物体の浮力の測定 中3 …… 111
36 浮沈子を作る 小5 中 …… 114
37 空気中で受ける物体の浮力の測定 中 …… 115
38 大気圧と沸点の関係を調べる 高 …… 117


## 3運動


39 いろいろな運動の観察 中3 …… 118
40 輪ゴムで動くおもちゃを作る 小 中3 …… 122
41 運動の記録の方法 中3 …… 123
42 等速直線運動の観察 中3 高 …… 127
43 落下運動の実験 中3 高 …… 129
44 空気中と真空中での落下の様子を調べる 中3 高 …… 131
45 モンキーハンティングの実験 高 …… 133
46 加速度の実験 中 高 …… 135
47 斜面を降下する物体の運動 中3 高 …… 137
48 力と加速度の関係を調べる 中 高 …… 138
49 重力加速度gの測定 高 …… 141
50 質量と加速度の関係を調べる 高 …… 143
51 単振り子の実験 中 高 …… 144
52 フーコーの振り子の実験 高 …… 145
53 円運動の実験 高 …… 147
54 慣性の実験 中3 …… 149
55 コンピュータによる物体の運動の解析 高 …… 151

# Ⅲ仕事とエネルギー

## 1仕事


56 いろいろな仕事を調べる 中3 …… 153
57 道具と仕事の関係を調べる 小 中3 …… 155
58 仕事率を求める 中3 …… 156
59 仕事と熱の関係を調べる 中3 …… 157
60 光と仕事の関係を調べる 中3 …… 160
61 熱による仕事を調べる 中3 …… 161
62 電流による仕事を調べる 中3 …… 163


## 2力学的エネルギー


63 位置エネルギーの実験 中3 高 …… 164
64 台車のもつ運動エネルギーの実験 中3 高 …… 166
65 ばねのもつエネルギーの実験 中 高 …… 169
66 力学的エネルギーが保存されることを調べる 高 …… 172
67 コンピュータによる力学的エネルギー保存の法則の解析 高 …… 176


# Ⅳ熱

## 1熱と温度


68 熱の移動(熱平衡)を調べる 小6 中1 …… 178
69 物体の温度と色の関係を調べる 中1 高 …… 180
70 温度の違う水を混合したときの温度変化を調べる 中1 高 …… 181


## 2熱とは何か


71 固体の膨張を調べる 小6 …… 183
72 液体の膨張を調べる 小4 …… 185
73 気体の膨張を調べる 小4 中 …… 187
74 物質の温まり方の違いを調べる 中1 …… 189
75 水の沸点の測定 小4 中1 …… 191
76 氷の融点の測定 小4 中1 …… 193
77 物質の融解熱の測定 中1 高 …… 195
78 物質の気化熱の測定 中1 高 …… 197
79 水の三態変化を調べる 小4 中1 …… 199

80 物質の三態変化を調べる 中1 …… 201
81 放射熱の実験 小6 中 …… 203
82 断熱膨張と断熱圧縮の実験 中2 …… 205
3熱の移動
83 金属の熱伝導を調べる 小6 …… 207
84 物質による熱伝導の違いを調べる 小6 …… 209
85 対流の実験 小6 …… 211

# V光

1光
86 空気中の光の進み方を調べる 小 中1 …… 215
87 水中やガラス中での光の進み方を調べる 小 中1 …… 216
88 光の進み方を調べる 中1 …… 217
89 針穴写真機を作る 中1 …… 218
90 光の反射の実験 小3 中1 …… 221
91 レーザー光源装置で光の反射を調べる 中1 …… 224
92 鏡のはたらきや像の映り方を調べる 中1 …… 225
93 光の屈折の実験1 中1 …… 227
94 光の屈折の実験2 中1 …… 230
95 ガラスや水の屈折率を求める 中1 …… 231
96 プリズムによる光の分散を調べる 中 高 …… 233
97 紫外線と赤外線の実験 中 高 …… 235
98 光の色と温度の関係を調べる 中 高 …… 236
99 光の色を調べる 高 …… 237
2幾何光学
100 凸レンズの焦点距離の測定 中 …… 238
101 凹レンズの焦点距離の測定 中 …… 240
102 虫めがねの倍率の測定 中 …… 242
103 凸レンズによってできる像を調べる 中 …… 243
104 凹レンズによってできる像を調べる 中 …… 244
105 凸レンズにおける光の進み方を調べる 中 …… 245
106 凹レンズにおける光の進み方を調べる 中 …… 246
107 凸面鏡の反射の様子と像のでき方を調べる 中 …… 247

準備するもの

【A】ノギス　いろいろな試料①　【B】マイクロメーター　いろいろな試料②

①金属板(適当な厚さのもの)，金属円筒，穴がある金属板，金属球など。　②いろいろな太さの針金，薄い金属板など。

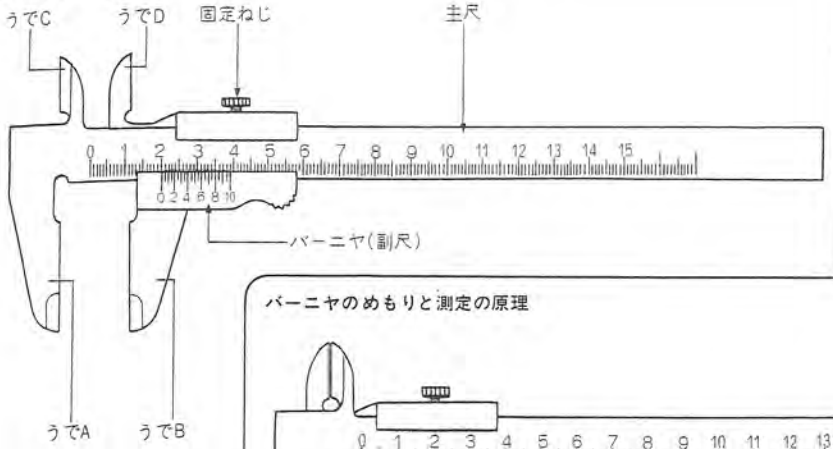
# 1 長さの測定

ねらい

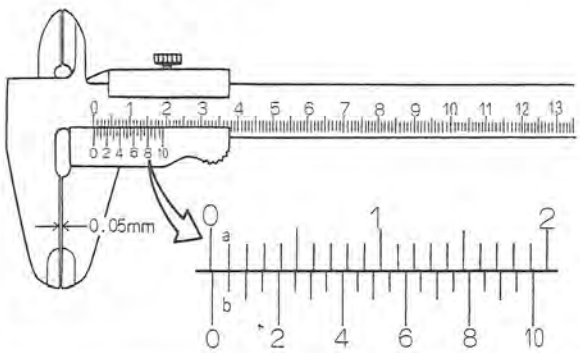
ノギスを使って，板の厚さ，円筒の外径・内径，球の直径などを1/20mmまで正確にはかることができる。
マイクロメーターを使って，針金の直径，薄板の厚さなどを1/1000mmまで精密にはかることができる。

## 【A】ノギスによる測定

### 1 ノギスの構造



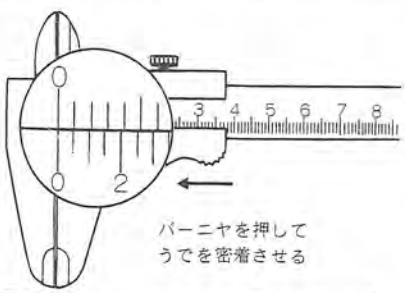

**バーニヤのめもりと測定の原理**




バーニヤのめもりは19mmを20等分して刻んであるので，1めもりは0.95mmとなっている。主尺の1めもりは1mmなので，その差は0.05mmである。したがって，いま，バーニヤを図のように0.05mm右に動かしたとすると，主尺とバーニヤの1番目のめもりａｂが一致することになる。このとき，うでＡＢの間隔も0.05mmとなっている。同様に，バーニヤを0.1mm動かしたとすると，主尺とバーニヤの2番目のめもりが一致することになり，うでABの間隔も0.1mmとなる。このような原理により，うでAB間に測定物を挟んで，主尺と一致するバーニヤのめもりを読みとれば，1mmの1/20(0.05mm)まで正確に測定することができる

### 2 測定の方法

①0点を確認する



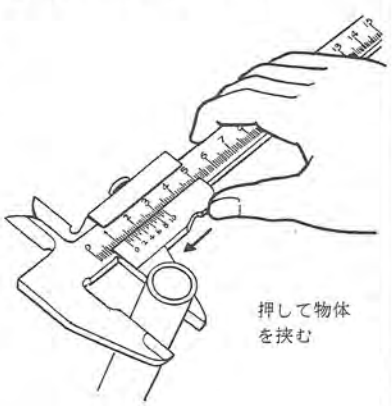

バーニヤを押してうでを密着させる

**0点が合わない場合**



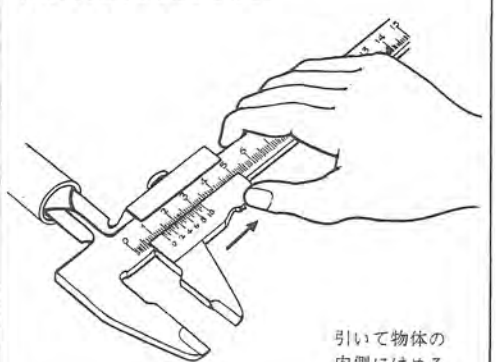

例えば左図のような場合，そのずれ(0.05mm)を読みとり，後で測定値を補正する

②測定するものをうでに挟む



押して物体を挟む

**円筒の内径などをはかる場合**

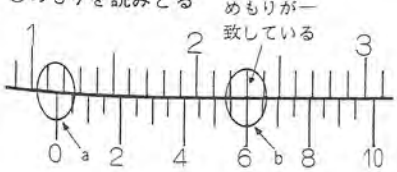


引いて物体の内側にはめる

②解説 円筒の外径，球の直径，板の厚さなどは，うでＡＢに挟んではかる。円筒や穴の内径などは，うでＣＤを内側に入れてはかる。

留意点 測定する物体の挟み具合によって測定値に違いが出るので，挟む強さは，物体がうでに接した状態で動く程度がよい。

③めもりを読みとる




主尺めもりの読みａ　11
バーニヤめもりの読みｂ　0.6
測定値　11.6mm
①の場合→0点のずれ－0.05
正しい値　11.55mm

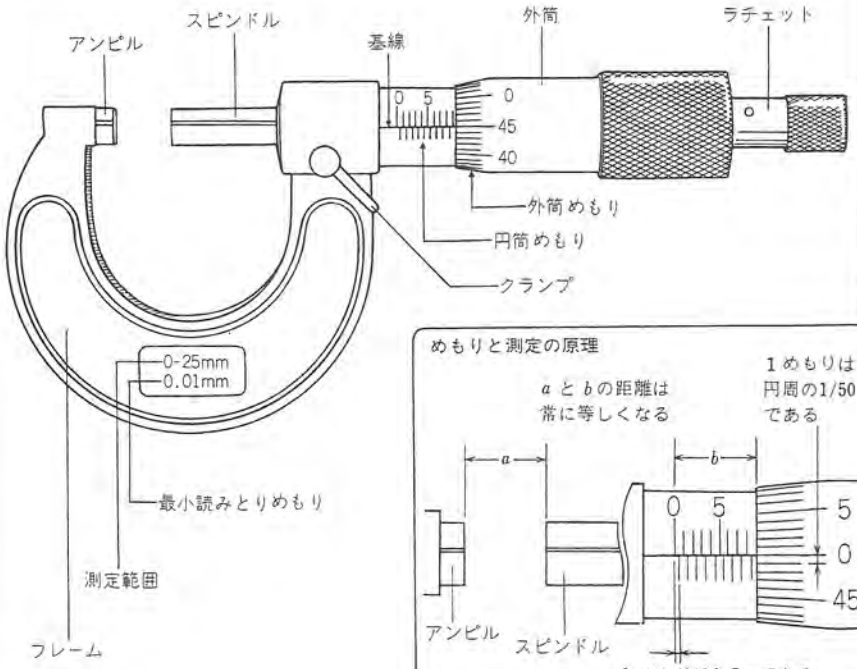
①バーニヤのめもり0が示している主尺のめもりを読みとって，概略値を求める（左図ａでは，11mmと12mmの間である）
②主尺の1めもり以下の端数を，主尺のめもりと一致しているバーニヤのめもりを読みとって求める（左図ｂでは，0.6mmである）
③0点がずれている場合は補正する

## 【A】ノギスによる測定

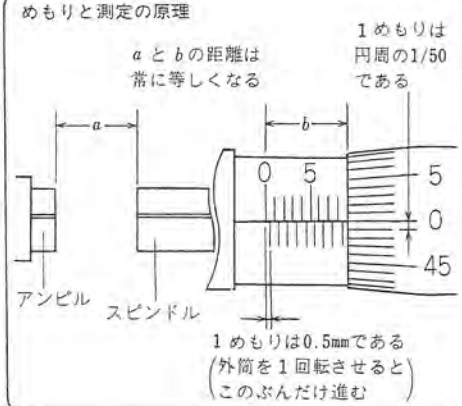
2 ① 留意点 うでを密着させたとき，0めもりが一致しない場合，測定値を補正する必要がある。このような狂いが生じるのを防ぐため，うでの合わせ面には，さびなどができないように時々，油を塗っておくとよい。

## 【B】マイクロメーターによる測定

### 1 マイクロメーターの構造




**めもりと測定の原理**

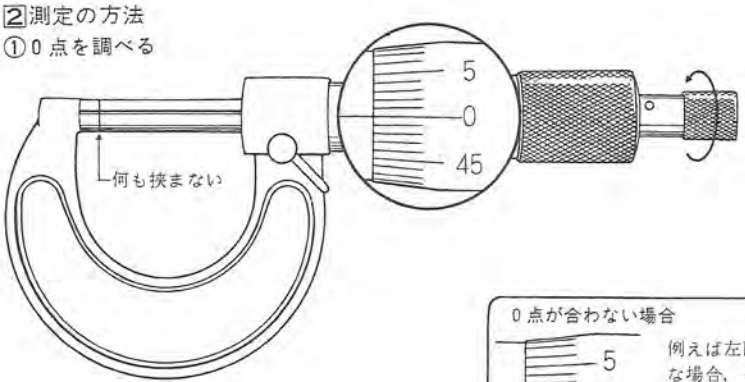



ねじを1回転させると，ねじ山とねじ山との間の距離（1ピッチ）だけ進む。いま，ねじの頭の円周上にめもりをつけ，ねじが何分の1回転したかをわかるようにしておけば，ねじが1ピッチの何分の1進んだかもわかる。この原理を利用し，長さを精密に測定できるようにしたものがマイクロメーターである。外筒・スピンドルとフレームが1ピッチ0.5mmのねじで接続してあるので，外筒を1めもりぶん回転させたとすると（1/50回転），外筒とスピンドルは，次のように1/100mm進むことになる

ピッチ(0.5mm)$\times\frac{1}{50}=\frac{1}{100}$mm

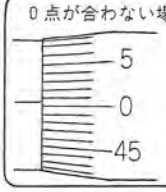
### 2 測定の方法

①0点を調べる



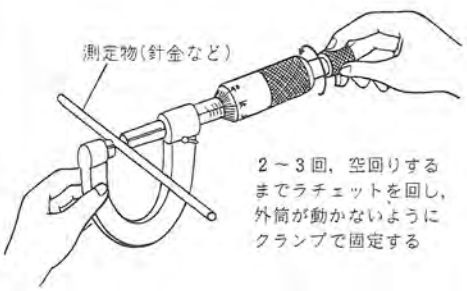

アンビルとスピンドルが密着し，2～3回，空回りするまでラチェットを回す。そして外筒めもりの0めもりが，基線と一致しているかどうかを調べる

**0点が合わない場合**



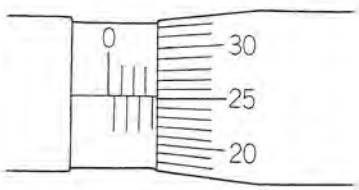

例えば左図のような場合，そのずれ（約0.004mm）を読みとり，後で測定値を補正する

②測定するものをアンビルとスピンドルの間に挟む




2～3回，空回りするまでラチェットを回し，外筒が動かないようにクランプで固定する

③めもりを読みとる




①まず円筒めもりを，外筒の左端で0.5mm単位まで読みとる。②次に外筒めもりを，円筒めもり中央の基線で1/100mmの単位まで読みとる。③さらに外筒めもりを，目分量で1/1000mm単位まで読みとる。④0点がずれている場合は補正する

| | | |
|---|---|---|
| 左図の場合 | 円筒めもりの読み | 3.5 |
| | 外筒めもりの読み | 0.25 |
| | 目分量の読み | 0.002 |
| | 測定値 | 3.752mm |
| ①の場合→ | 0点のずれ | −0.004 |
| | 正しい値 | 3.748mm |

## 【B】マイクロメーターによる測定

1 解説 マイクロメーターには，単にマイクロメーターと呼ばれている「ねじマイクロメーター」のほか，顕微鏡用の「対物マイクロメーター」や「接眼マイクロメーター」など各種のものがあるが，ここでは「ねじマイクロメーター」について説明する。

2 ① 留意点 アンビルとスピンドルを密着させたとき，めもりが0を示さない場合は，付属の工具で0点を補正するか，測定値を補正する必要がある。このような狂いが生じるのを防ぐため，アンビルとスピンドルの合わせ面には，さびなどができないように時々，油を塗っておくとよい。

② 留意点 スピンドルが測定物に触れる寸前までは外筒を操作してもよいが，最後は必ずラチェットを操作して挟みつける。外筒を直接回して針金を挟みつけると，強く挟み過ぎることになるので，測定値に誤差が出る。もし誤って強く挟み過ぎた場合は，外筒を少し戻し，ラチェットの操作により挟み直す。

③ 解説 外筒めもりの1めもりの間を，目分量で1/10まで読みとれば，1/1000mmまではかることができる。

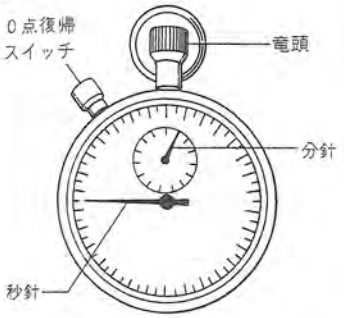
# 2 時間の測定

ストップウオッチ　電気式ストップウオッチ　記録タイマー　秒時計　砂時計　など

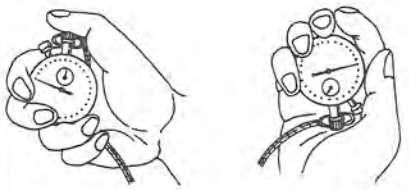
ねらい　ストップウオッチ，電気式ストップウオッチ，記録タイマー，秒時計，砂時計の構造や使い方が理解でき，また，それらを用いて時間を測定することができる。

## 1 ストップウオッチによる測定

①外観



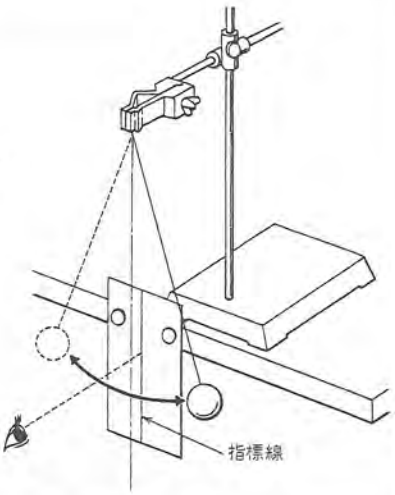

竜頭の押し方




②振り子の周期の測定（使用例）

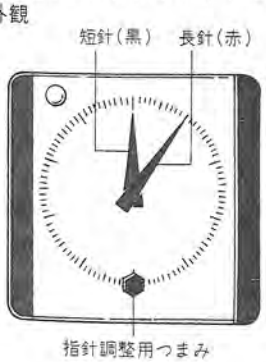


振り子が指標線を通過する回数を数えながら，数十回振れた時間をはかり，1回当たりの振れの時間を求める

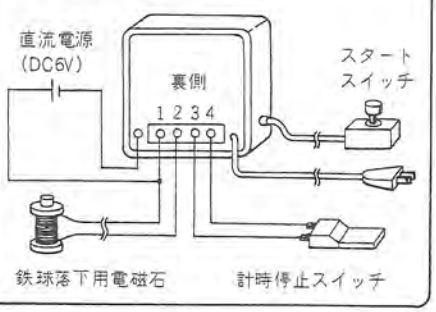



## 2 電気式ストップウオッチによる測定

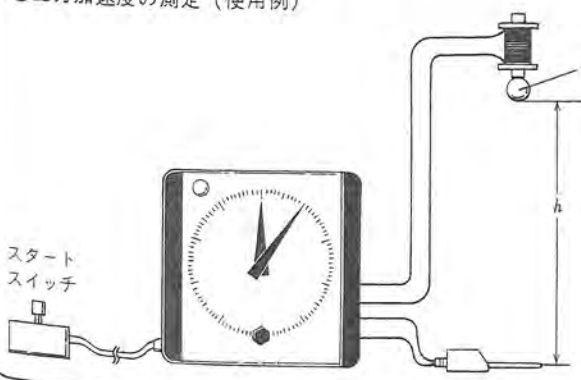
①外観




各装置の接続方法




②重力加速度の測定（使用例）



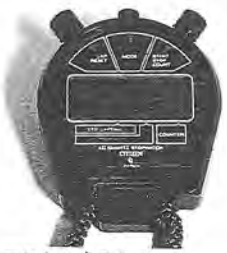

装置を図のようにセットし，距離 $h$ と鉄球の落下時間 $t$ を測定する。そして，その測定値を自由落下の公式

$$h=\frac{1}{2}gt^2 \quad \left(g=\frac{2h}{t^2}\right)$$

に代入し，重力加速度 $g$ を求める

1 ① 解説 ストップウオッチには，15分計(秒針1回転30秒，1/10秒めもり）と30分計（秒針1回転60秒，1/5秒めもり）とがある。構造的には，竜頭1個ですべての操作を行うものと，0点復帰スイッチが別についているものとがある。竜頭だけのものは，竜頭を押すごとに，始動→停止→0点復帰→始動，の動作を繰り返す。0点復帰スイッチのついているものは，竜頭を押すごとに，始動→停止→始動，の動作を繰り返す。

最近は，左図のようなアナログ式のもののほか，次の写真のようなデジタル式のものも多く使われるようになった。



デジタル式のもの

留意点 使用するときは，落としたりしないように，ひもをつけて首(または手首)にかけて操作する。また，ねじを十分に巻いて用いる。

使用後は，ぜんまいを緩めた状態に戻すため，針を動かしたままで保管する。

2 ① 解説 短針は10秒間で1回転し，長針は1秒間で1回転する。文字板が大きく，1/100秒まで測定できるので，演示実験に用いると有効である。

指針調整用つまみは，指針を0点に戻すためのものである。

50 Hz用と60 Hz用があるので，購入するときには，使用地域の電源周波数に合ったものを選択する必要がある。

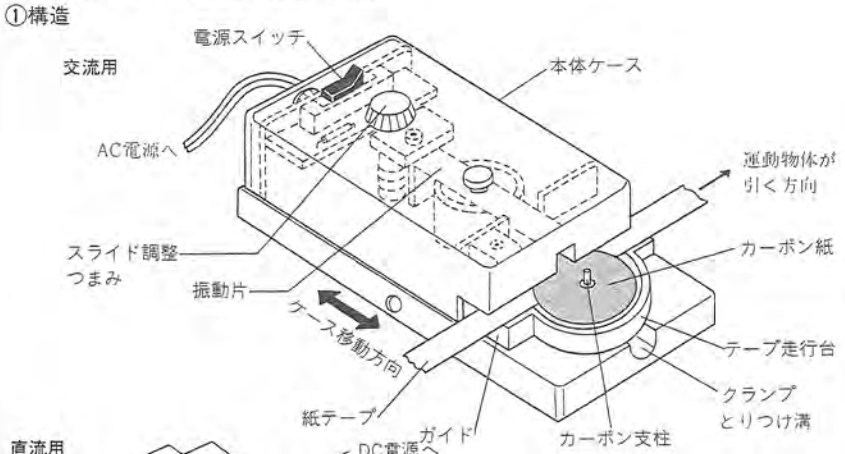
次の②の使用例のほか，水平面や斜面上の加速度の測定などにも，よく使用する。

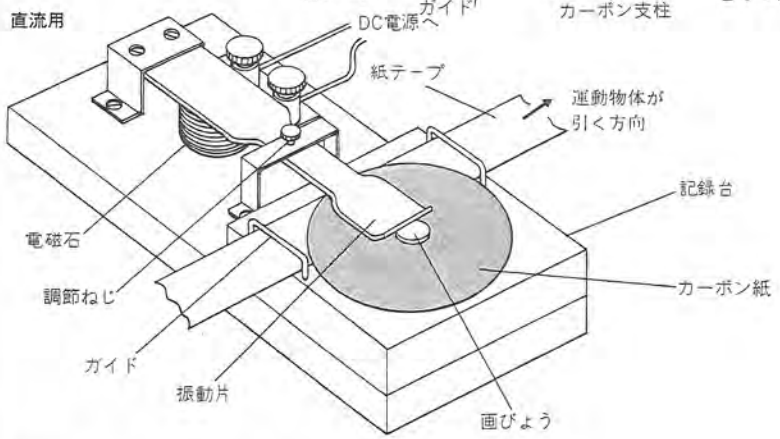
留意点 スタートスイッチの押し方により誤差が生じるので，スイッチのボタンは速やかに押し，測定誤差ができるだけ小さくなるようにする。

② 解説 スタートスイッチを押すと，電磁石の回路が切れ，鉄球が落下し始める。このとき，計時装置が作動を開始する。鉄球が計時停止スイッチに当たると，計時回路が切れ，時計が止まる。

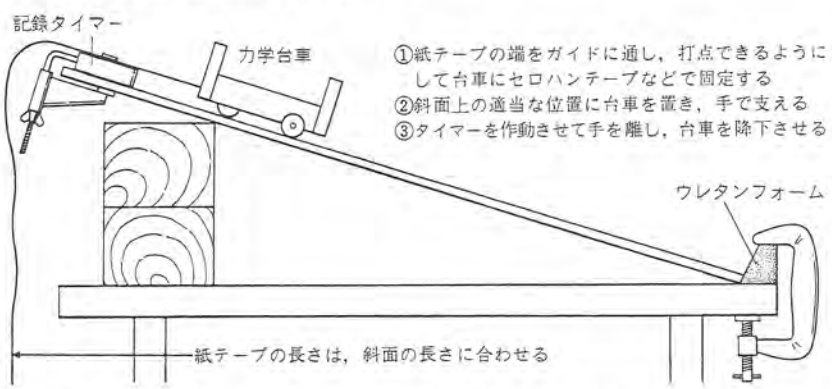
## 3 記録タイマー(電磁式)による測定

①構造

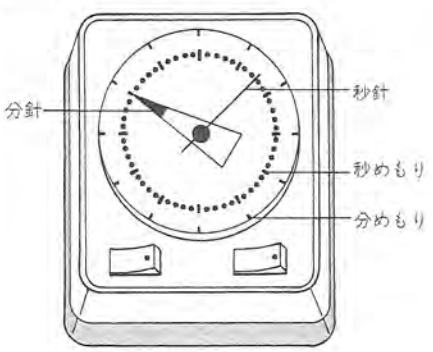


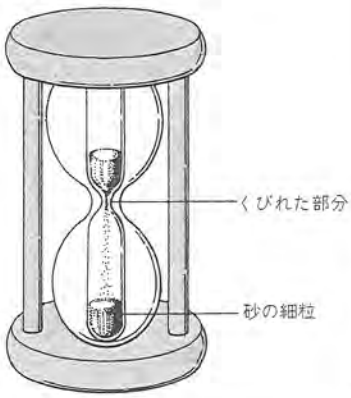

②斜面上の加速度運動を調べる（使用例）




## 4 秒時計(暗室時計)による測定




## 5 砂時計による測定




3① 解説 電磁式記録タイマーには交流用と直流用がある。いずれも，振動片を電磁石により規則的に振動させ，その打点を紙テープに記録する構造になっている。

打点時間間隔は，交流用は1/50秒か1/60秒（使用地域の電源周波数により決定する）で，直流用は1/30～1/35秒程度である。

交流用，直流用とも，使用電圧の違いにより各種のものがあるが，交流100V用のものがもっとも使いやすいといえる。これは，コンセントに直結できることと，電池のように消耗することもないので安定した打点間隔が得られる，という理由による。

留意点 カーボン紙は，カーボン面を下にし，その中心を画びょうで緩くとめる。カーボン紙は使っているうちに打点が薄くなるので，時々交換する。

テープは，ガイドの幅より1mmぐらい狭いものがよい。また，表面が滑らかな良質の白紙のほうが良好な打点記録が得られる。

② 留意点 斜面を降下してきた台車を止めるストッパーには，できるだけ衝撃を少なくする材質のもの（例えばウレタンフォームなど）を用いるとよい。

データの処理については 41 を参照。

4 解説 秒時計は，1時間以内の秒単位の計時に用いる。指針や文字盤に夜光塗料を塗ってあるものは，写真用の暗室時計として使用される。

秒針は60秒で1回転し，分針は60分で1回転する。

分めもりは，分針の進む方向と逆につけてある。つまり，計時を終了する残りの時間を示すようになっている。これは，次のように使うことを主な目的としているからである。例えば，分針を所要時間(フィルム現像時間など)にセットし，ブザー(またはベル)のスイッチを入れておくと，所要時間が経過したとき，ブザーが鳴りだす。したがって，時計を見ていなくても，所要時間が経過したことを確認できるのである。

留意点 ぜんまい式のものは，使用後，針を動かしたまま保管する。これは，ぜんまいを緩めた状態にしておくためである。

5 解説 砂時計は，中央部分がくびれたガラス管の中に，一定量の砂粒を封入したものである。この砂粒の落下時間が一定になるように作られており，その時間により，1分計，3分計，5分計，10分計などがある。

# 3 温度の測定

ねらい

液体温度計を使って温度をはかることができるとともに，温度補正の方法が理解できる。
サーミスタ温度計や熱電対温度計を使って温度をはかることができる。

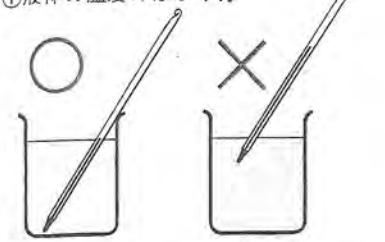
いろいろな温度計　ビーカー　丸底フラスコ　スタンド　加熱器具　かきまぜ棒　大型ろうと　ゴム管　ピンチコック　氷　蒸気発生装置など

①アルコール温度計，水銀温度計，サーミスタ温度計，熱電対温度計，デジタル温度計，赤外線放射温度計，携帯型放射温度計など。

## 【A】液体温度計による測定

### 1 温度のはかり方

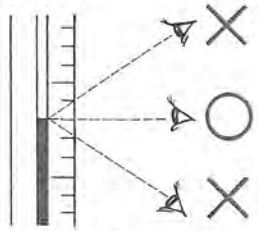
①液体の温度のはかり方



液柱の上った所まで入れてはかる

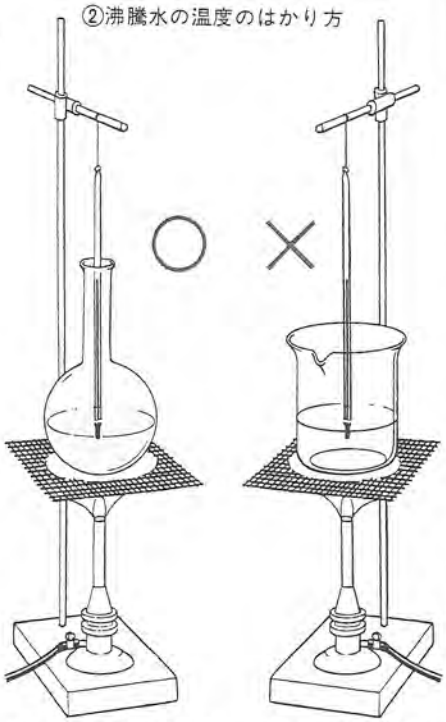
液柱が外に出ていると正確な温度がはかれない

めもりの読み方



視差がないように真横の位置から読む

②沸騰水の温度のはかり方



フラスコの首部で温度計の液柱を覆ってはかる

ビーカーだと正確な温度がはかれない

### 2 使用上の注意

①球部は弱いのでとり扱いに注意する



かきまぜ棒の代用としてはいけない

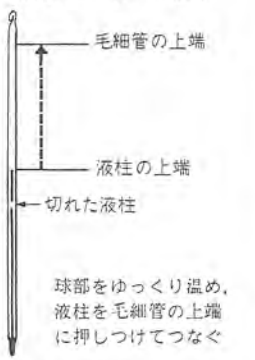
②測定温度範囲を守る



測定範囲を超えた高温の中に入れてはいけない

50℃用温度計

③液柱の切れた温度計は，液柱をつないで使う



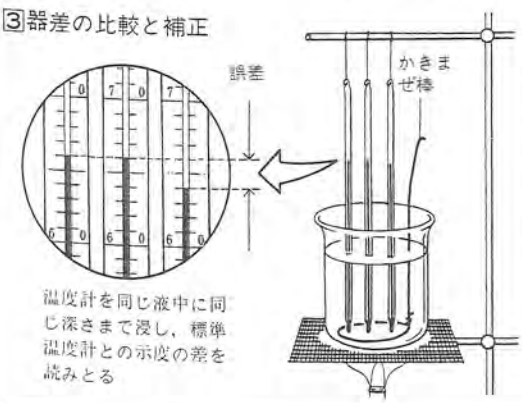
毛細管の上端

液柱の上端

切れた液柱

球部をゆっくり温め，液柱を毛細管の上端に押しつけてつなぐ

### 3 器差の比較と補正

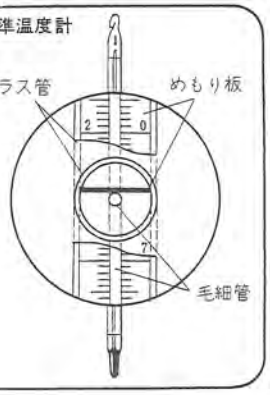


誤差

かきまぜ棒

温度計を同じ液中に同じ深さまで浸し，標準温度計との示度の差を読みとる

標準温度計



ガラス管

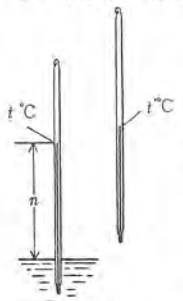
めもり板

毛細管

## 【A】液体温度計による測定

解説 液体温度計には，アルコール温度計と水銀温度計がある。アルコール温度計と呼ばれているものも，内部に封入されている液体はアルコールではなく，白灯油（ケロシン）を赤または青色に着色したものである。

1 ① 解説 温度計のめもりは，球部と液柱の部分が同温度のとき，正しい温度を示すように刻まれている。したがって，精密な測定で液の中に先端部分だけしか入れられない場合は，露出部の温度を次のように補正する必要がある。




水銀温度計の場合

$$\Delta t = \frac{n(t-t')}{6000}$$

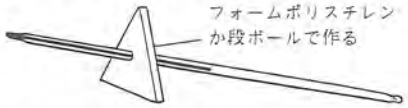
上式において，$\Delta t$は露出部の補正温度，$n$は露出部のめもり数，$t$は温度計の示度，$t'$は露出部の中間あたりの気温（別の温度計ではかる）である。また，1/6000はガラスと水銀の膨張率の差である

留意点 示度は，しばらく時間がたってから（1分程度）読みとる。気温をはかる場合も同様である。なお，気温をはかる場合はこのほか，息をかけたり，球部に手などを触れたりしないようにする必要がある。

② 解説 丸底フラスコを使った場合は，示度はほぼ 100℃となる。しかし，ビーカーを使った場合は，液柱が空気中に出ているため，示度は 100℃より低くなる。

2 注意 温度計の球部は，温度変化を敏速にとらえるために薄くしてあるので弱い。とり扱いには特に注意する。

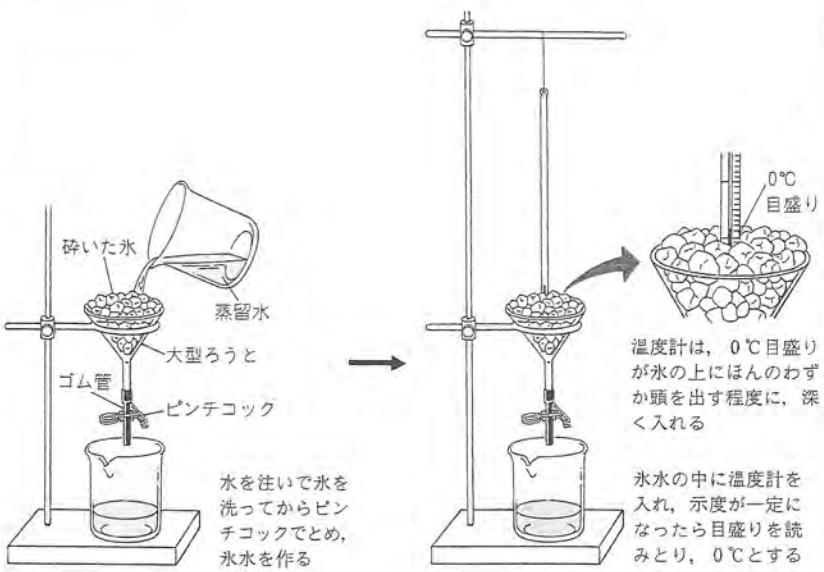
参考 温度計が机から転がり落ちて破損しないように，次のように工夫するとよい。



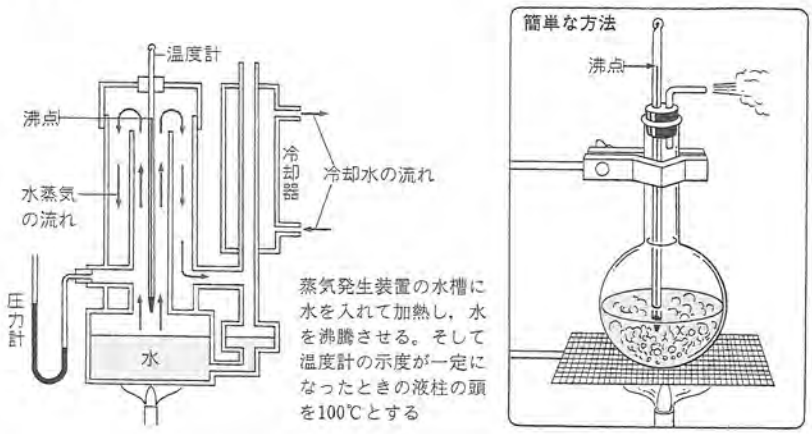

3 解説 毛細管の内径のわずかな違いや経年変化による収縮などにより，同一形式の温度計でも必ず器差がある。2本以上の温度計を使用するときには，図のような方法で示度の差を比べ，同一温度を示すものを選び出して使用するか，標準温度計で器差を測定し，補正する必要がある。標準温度計は，精密な温度の測定や一般の温度計の補正・検査に使用する透明な

④氷点と沸点の測定による補正法

①氷点を決める

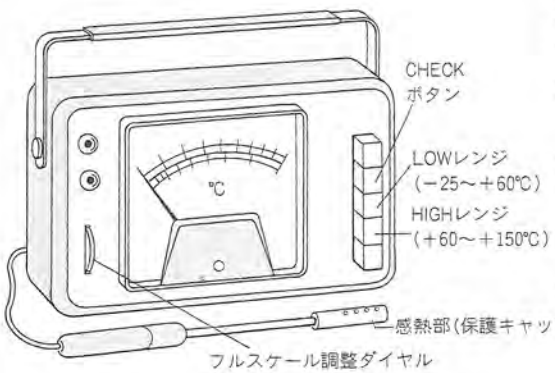



②沸点を決める




【B】その他の温度計による測定

1サーミスタ温度計による測定




①感熱部を本体にとりつける
②CHECKボタンを押し，指針を振らせる
③フルスケール調整ダイヤルで，目盛りをフルスケールの位置に合わせる
④60℃より低い温度のものを測定するときにはLOWボタンを押し，60℃より高い温度のものを測定するときにはHIGHボタンを押す
⑤温度を測定する

ガラス管の中に，水銀の入った毛細管と目盛り板が封入されており，2重管構造になっている。理振用の標準温度計は，測定範囲0〜100℃，最小目盛り0.1℃である。

参考 測定範囲−5〜105℃，最小目盛り1℃の温度計は，検定公差±1℃，使用公差±2℃と定められているので，これ以上の誤差のあるものは不良品である。

4 解説 補正する温度計で水の凝固点（氷点）と沸点を測定すれば，0℃と100℃に対する温度計の器差がわかる。毛細管の内径が一様だとすると，この器差を記録しておけば，その温度計を使用したときの示度に補正値を与えることができる。

① 留意点 氷は，冷蔵庫で作ったものをきれいな布で包み，金づちなどで砕けばよい。

② 留意点 沸点は，1気圧のときに水が沸騰する温度である。したがって装置内部の圧力が，1気圧でない場合は，次のような方法で補正する必要がある。

例えば，器内圧力765mmHg，温度計示度99.7℃とすると，圧力が1mmHg増すごとに沸点が0.037℃ずつ増すことから，正しい沸点は，

$100+0.037\times 5=100.185\fallingdotseq 100.2$〔℃〕

となる。したがって温度計の器差は次のようになる。

$100.2-99.7=0.5$〔℃〕

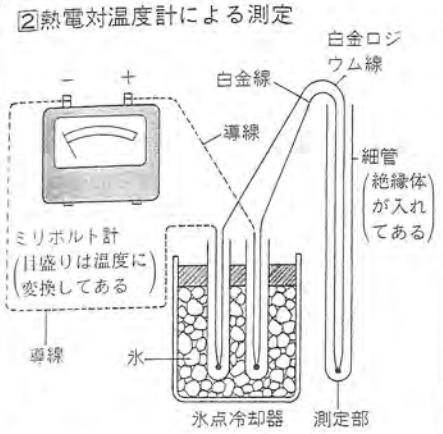
【B】その他の温度計による測定

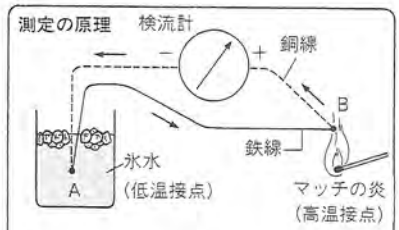
1 解説 サーミスタ温度計は，液体温度計では測定困難な場合にも使用できる。熱容量の小さい物体や微小部分の温度も測定でき，急激な温度変化や微小な温度差も正確に測定できる。

留意点 フルスケール調整ダイヤルを回してもフルスケール点まで指針が振れないときには，内蔵乾電池が消耗していることが多いので，新しい乾電池と交換する。

注意 測定範囲を超えた温度で使用しない。感熱部を急激に熱しない。

## 2 熱電対温度計による測定

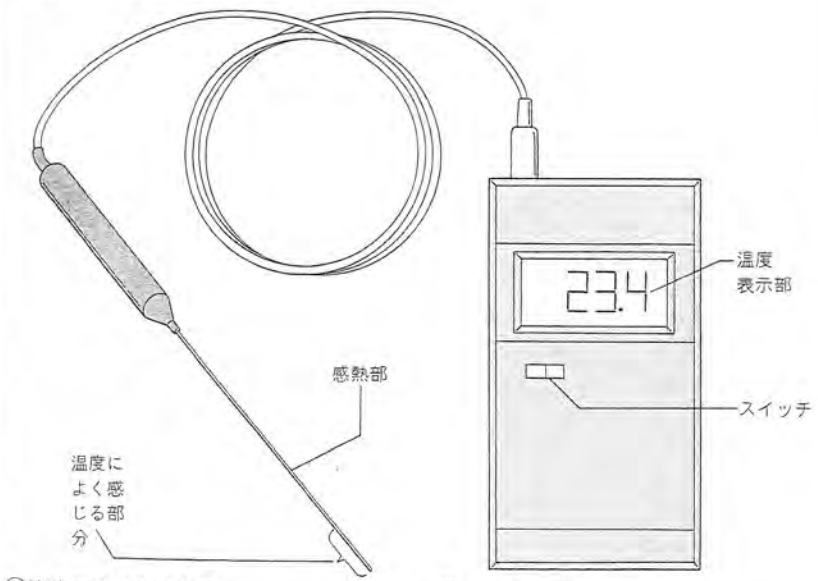


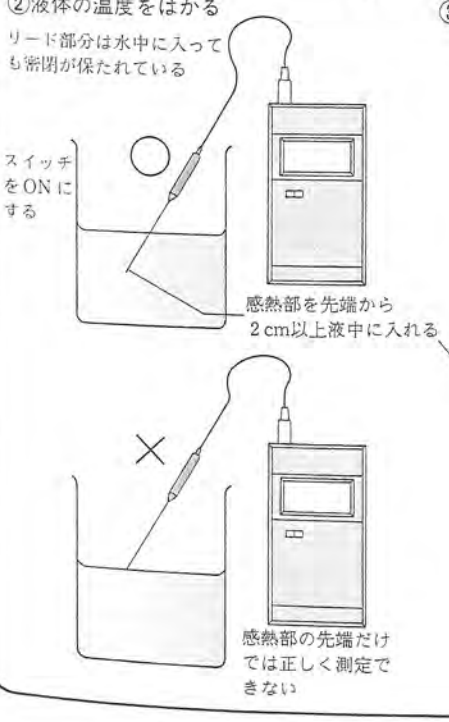

2種類の針金をつなぎ，Aを氷水(0℃)に入れ，Bを熱すると，接続した所に電位差が生じ，回路に電流が流れる。この電位差は，AとBの温度差により変化する。したがって，この電位差をはかることにより，温度がわかる

## 3 デジタル温度計による測定

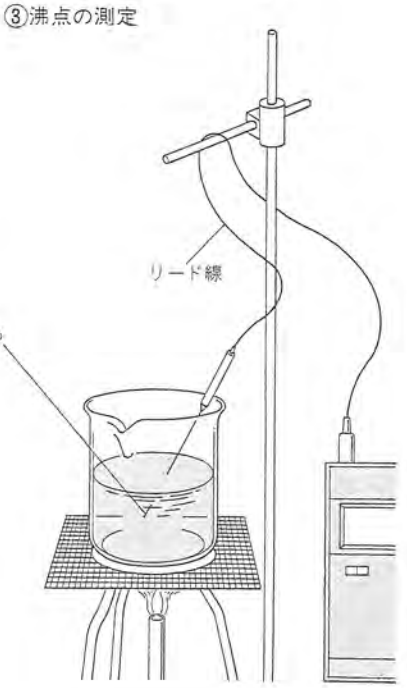
### ① デジタル温度計の構造




### ② 液体の温度をはかる




### ③ 沸点の測定




---

2 解説 熱電対温度計は，ろうそくの炎の各部の温度や，鉛の融点なども測定することができる。

代表的な熱電対の測定温度範囲は，次のとおりである。

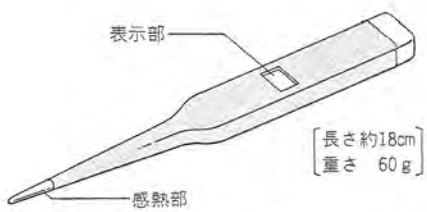
| 熱電対の種類 | 測定温度範囲 |
|---|---|
| 銅-コンスタンタン | −200～ 300℃ |
| アルメル-クロメル | −200～1200℃ |
| 白金-白金ロジウム | 0～1500℃ |

留意点 低温接点に0℃を用いず，熱電対を直接，ミリボルト計に接続して温度を測定することもできる。ただしこの場合は，室温が低温接点となるので，その分を補正する必要がある。

3① 解説 デジタル温度計には，左図のような形のものから，外形がもっと細く小さいものや下図のような形をしたものなど，いろいろな外形をしたものが市販されているが，すべて感熱部とデジタル表示部がある。

感熱部の内部には温度センサー(数種のタイプがある)があり，金属のシース(保護管)で保護されている。シースとリード線は気密を保つように作られているが完全とはいえない。

機種によって異なるが，それぞれ測定範囲がある。




② 留意点 気温を測定する場合には，感熱部をそのまま空気中にさらしておけばよい。液体の温度を測定する場合には，感熱部の先端を液に接するだけでは，正しい値が得られないので，感熱部を先端から2cm以上液中に入れる。デジタル表示の数値が安定したら数値を読みとる。

温度測定の応答性は，常温と測定温度との差にもより，また感熱部の太さにもよるが，室温⟶100℃の変化で平衡値の90％に達するまでに要する時間は，感熱部外径4.8mmのもので5秒程度である。

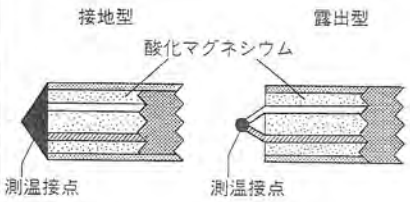
③ 留意点 液体を加熱しながら温度測定を行う場合は，リード線をバーナーの火で焼かないよう気をつける。

**温度センサの構造**

温度の測定方法には，バイメタル式や膨張式，電気式など種々あるが，温度の変化とともに変わる電気的な量を測定することにより温度を測定するのが電気式温度計である

電気式温度計には，熱起電力を利用する熱電対の温度センサと，電気抵抗を利用する測温抵抗体による温度センサを用いるタイプがある

熱電対型のものでは，先端部のつくりに，非接地型，接地型，露出型がある

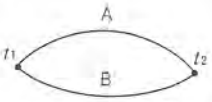


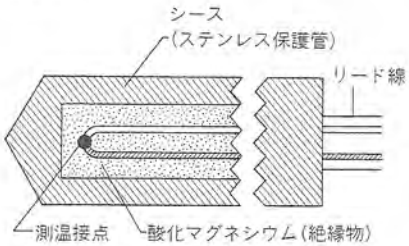

保護管の外径は，用途によりさまざまであるが，デジタル温度計の場合３～５㎜程度のものが多いようである

これらの温度センサから得られる信号をもとに測温をデジタル表示化したものが，デジタル温度計である

〈熱電対〉

２種の異なった金属線A，Bで閉回路を作り，２接点 $t_1$, $t_2$ を異なった温度に保つと温度差に対応した起電力が生じ回路に電流が流れる(ゼーベック効果)。これが熱電対である



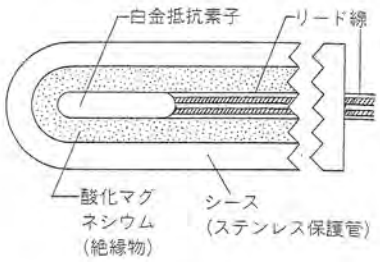




感熱部は，内部に熱電対の測温接点があり外側はステンレスの保護管でおおわれている

測温接点と保護管の間は，酸化マグネシウムMgOの絶縁物で満たされている

〈測温抵抗体〉

一般に金属の抵抗は温度変化に伴って変化する。この原理を利用した測温素子を測温抵抗体という。測温抵抗体の素材としては，白金，銅，ニッケルなどがあるが，白金が精度，安定度とも最もすぐれている

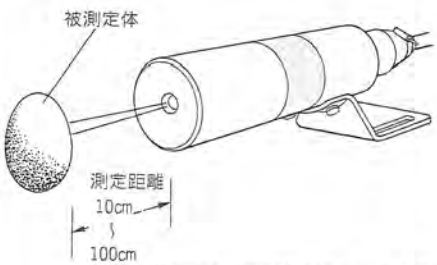



感熱部は，内部に抵抗体(白金など)測温素子があり，これにリード線(ニッケルなど)が接続されている。外側はステンレスの保護管でおおわれ，測温素子との間は酸化マグネシウムMgOの絶縁体で満たされている

測温抵抗体型のものには，セラミック半導体を用いたものもある

## 4非接触放射温度計による測定

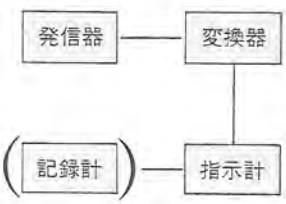
### ①赤外線放射温度計




中央部に赤外線吸収体があり，その周囲を接合された熱電対群がとり巻いている

赤外線の入射により中央部の温度が上がり，周辺との温度差が生じて熱電対に起電力が発生する。これを変換して，指針またはデジタル表示部で温度を表示する

**赤外線放射温度計の構成**




指示計には，デジタル型と指針計型とがある

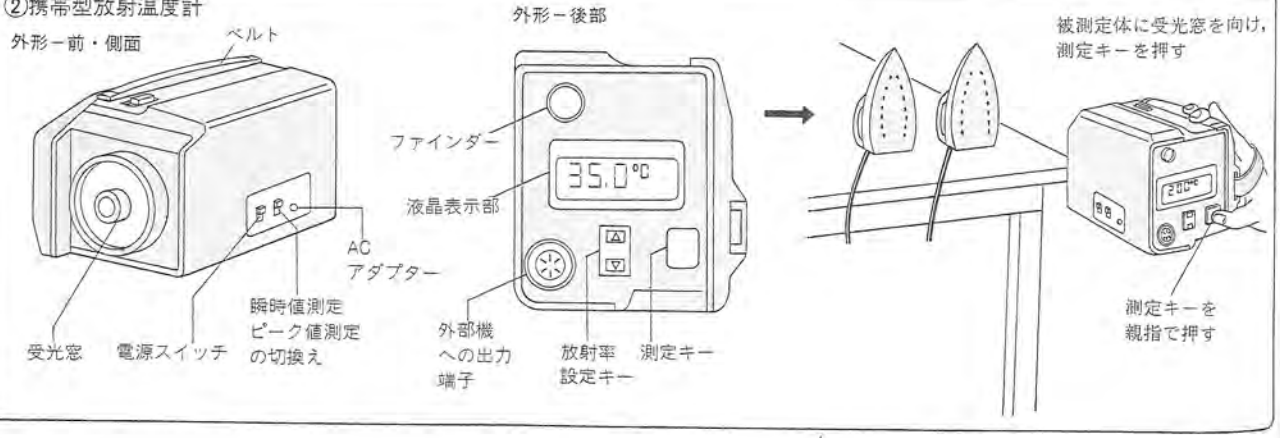
また，測定値を記録できる記録計つきのものもある

4 解説 温度計の種類には，接触方式と非接触方式がある。接触方式には，棒温度計をはじめサーミスタ温度計，温度センサを用いたデジタル温度計がある。

一般に物体は，その温度に相当する赤外線を放射している。放射温度計は，物体(被測温体)から放射される赤外線をキャッチして温度を測定する，すなわち非接触方式の温度計である。

放射温度計は，被測定体が回転している場合や，小熱容量物，接触することが難しい物体(食品など)，熱伝導率の小さい物体(ゴム，プラスチック)などの温度測定に便利である。応答速度も0.3～0.5秒と短く，ほとんど瞬時といってもよい。

### ②携帯型放射温度計

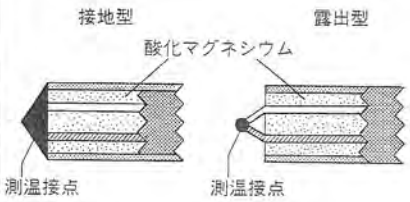


**温度センサの構造**

温度の測定方法には，バイメタル式や膨張式，電気式など種々あるが，温度の変化とともに変わる電気的な量を測定することにより温度を測定するのが電気式温度計である

電気式温度計には，熱起電力を利用する熱電対の温度センサと，電気抵抗を利用する測温抵抗体による温度センサを用いるタイプがある

熱電対型のものでは，先端部のつくりに，非接地型，接地型，露出型がある

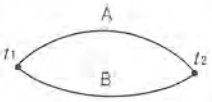


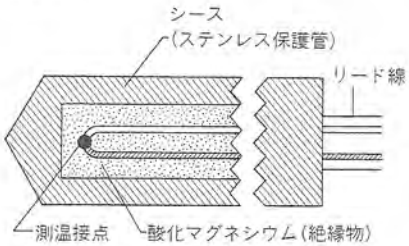

保護管の外径は，用途によりさまざまであるが，デジタル温度計の場合３～５㎜程度のものが多いようである

これらの温度センサから得られる信号をもとに測温をデジタル表示化したものが，デジタル温度計である

〈熱電対〉

２種の異なった金属線A，Bで閉回路を作り，２接点 $t_1$, $t_2$ を異なった温度に保つと温度差に対応した起電力が生じ回路に電流が流れる(ゼーベック効果)。これが熱電対である



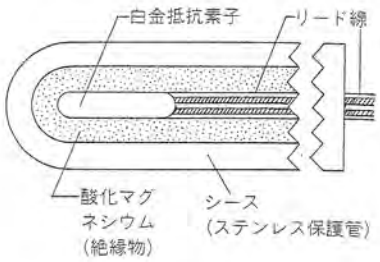




感熱部は，内部に熱電対の測温接点があり外側はステンレスの保護管でおおわれている

測温接点と保護管の間は，酸化マグネシウムMgOの絶縁物で満たされている

〈測温抵抗体〉

一般に金属の抵抗は温度変化に伴って変化する。この原理を利用した測温素子を測温抵抗体という。測温抵抗体の素材としては，白金，銅，ニッケルなどがあるが，白金が精度，安定度とも最もすぐれている

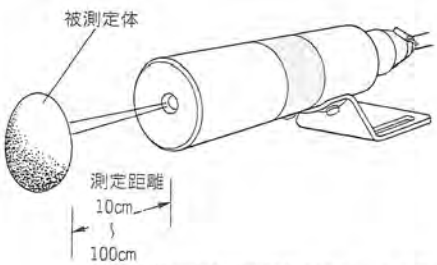



感熱部は，内部に抵抗体(白金など)測温素子があり，これにリード線(ニッケルなど)が接続されている。外側はステンレスの保護管でおおわれ，測温素子との間は酸化マグネシウムMgOの絶縁体で満たされている

測温抵抗体型のものには，セラミック半導体を用いたものもある

## 4非接触放射温度計による測定

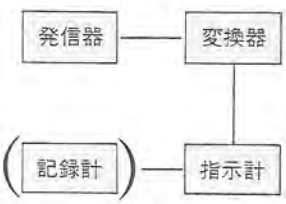
### ①赤外線放射温度計




中央部に赤外線吸収体があり，その周囲を接合された熱電対群がとり巻いている

赤外線の入射により中央部の温度が上がり，周辺との温度差が生じて熱電対に起電力が発生する。これを変換して，指針またはデジタル表示部で温度を表示する

**赤外線放射温度計の構成**




指示計には，デジタル型と指針計型とがある

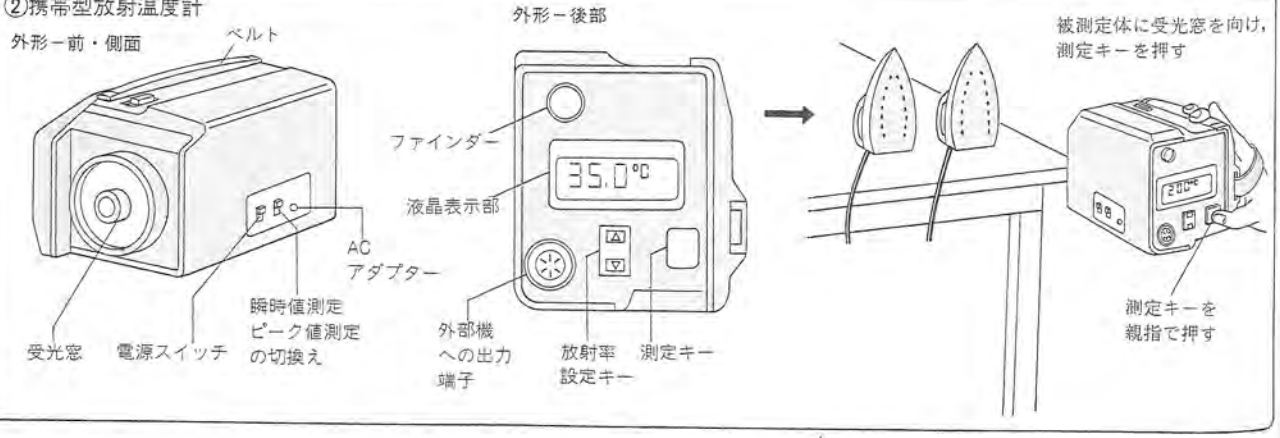
また，測定値を記録できる記録計つきのものもある

4 解説 温度計の種類には，接触方式と非接触方式がある。接触方式には，棒温度計をはじめサーミスタ温度計，温度センサを用いたデジタル温度計がある。

一般に物体は，その温度に相当する赤外線を放射している。放射温度計は，物体(被測温体)から放射される赤外線をキャッチして温度を測定する，すなわち非接触方式の温度計である。

放射温度計は，被測定体が回転している場合や，小熱容量物，接触することが難しい物体(食品など)，熱伝導率の小さい物体(ゴム，プラスチック)などの温度測定に便利である。応答速度も0.3～0.5秒と短く，ほとんど瞬時といってもよい。

### ②携帯型放射温度計



# 4 質量・重さの測定

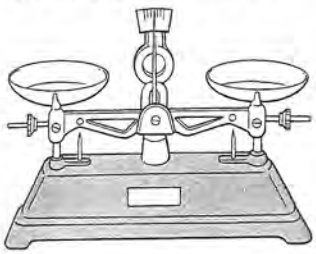
いろいろな液体・固体　上皿てんびん　自動上皿てんびん　物理てんびん　電子てんびん　ばね　はかり　自動上皿はかり　浮きはかり　ビーカー　メスシリンダー

ねらい　質量や重さを，各種のてんびん，ばねはかりなどを用いて測定することができる。

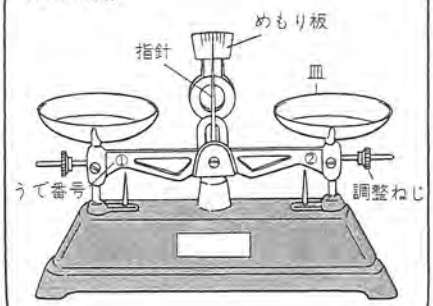
## 【A】質量の測定

### 1 上皿てんびんによる測定

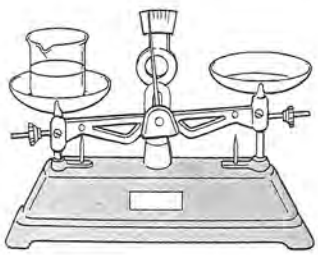
①指針が0点を中心に左右均等に振れるように，調整ねじで調整する



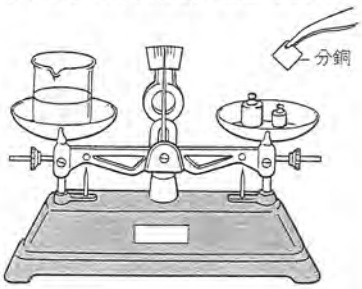
各部の名称



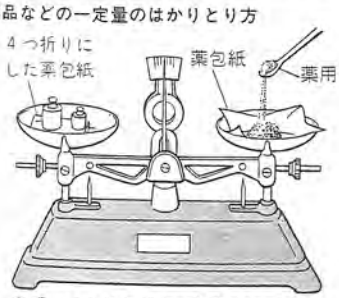

②測定するものを左側(右利きの場合)の皿に静かに載せる



③分銅を載せ，指針が左右均等に振れるようになったら，分銅の質量を読みとる

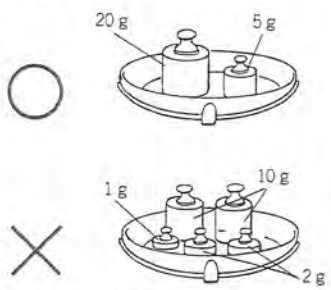



薬品などの一定量のはかりとり方



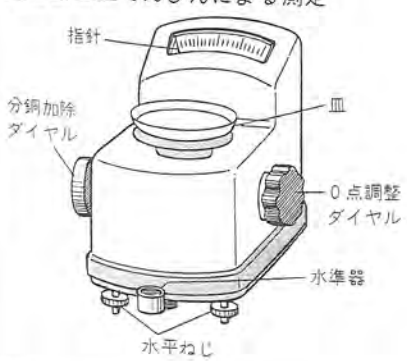

まず，はかりとりたい質量分の分銅を左側の皿に載せ，次に指針が0点に合うまで薬品などを少しずつ載せていく

分銅の載せ方




分銅の個数はできるだけ少なくする

### 2 自動上皿てんびんによる測定




①水準器を見ながら水平ねじを調節し，てんびんを水平にする
②分銅加除ダイヤルを0にし，指針が0点を示すように0点調整ダイヤルで調整する
③測定するものを皿の上に載せる
④指針がめもり板の指示範囲内にくるように，分銅加除ダイヤルを操作する
⑤分銅加除ダイヤルの指示値と指針の指示値を読みとり，数値を合算する

## 【A】質量の測定

1 ① 留意点 てんびんは水平な台の上に置く。皿番号とうで番号を一致させ，左右の皿を間違えないように載せる。
0点の調整は，左右どちらの調節ねじで行ってもよい。

③ 留意点 分銅を載せるときは，質量の大きいものを先に載せ，順次小さいものを載せていくようにする。
分銅を戻すときも，同じく質量の大きいものから，読みとった分銅の合計質量を確認しながら分銅箱の所定の位置に戻していくようにする。
使用後，両方の皿を重ねて保管する。これは，うでを支えているナイフエッジの部分を傷めないようにするためである。

解説 分銅を載せるとき，質量の大きいものを先に載せ，できるだけ個数を少なくするのは，誤差をできるだけ小さくするためである。
次の表は，分銅の個数と誤差の関係を示した一例である。

| とり方1 | とり方2 |
|---|---|
| 20g(±6mg) | 10g(±4mg) |
| 5g(±4mg) | 10g(±4mg) |
| | 2g(±2mg) |
| | 2g(±2mg) |
| | 1g(±2mg) |
| 25g(±10mg) | 25g(±14mg) |

( )内の数値はそれぞれの分銅の公差である

2 解説 自動上皿てんびんは，ふつうの上皿てんびんに比べて，敏速に秤量できるという利点がある。
秤量，感量，分銅の加除間隔，指針の指示範囲は，次のようなものが一般的である。

| | A | B | C |
|---|---|---|---|
| 秤量 | 60g | 120g | 240g |
| 感量 | 50mg | 100mg | 200mg |
| 分銅加除間隔 | 5g | 10g | 20g |
| 指示範囲 | 0～5g | 0～10g | 0～20g |

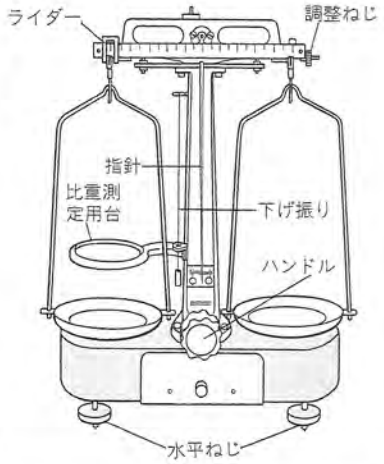
留意点 てんびんは，水平で振動の影響のない丈夫な台の上に置く。
分銅の加除は次のように行えばよい。



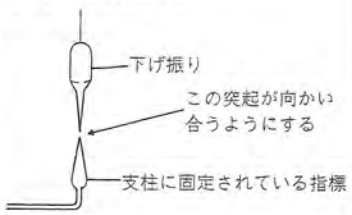

0以下を示した場合は分銅を加える　　右に振りきれた場合は分銅をとり除く

## 3 物理てんびんによる測定

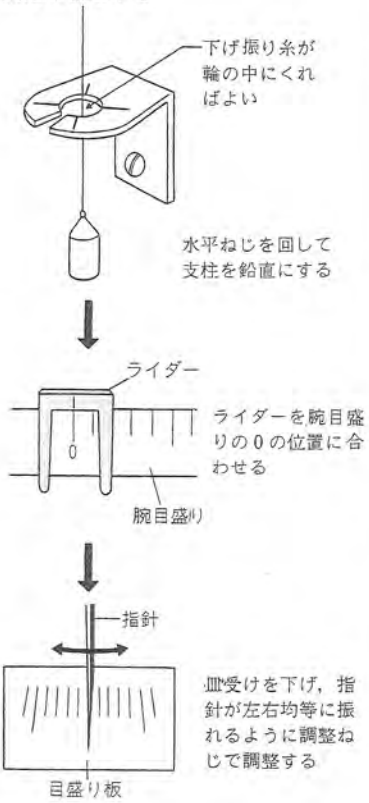
### ①構造



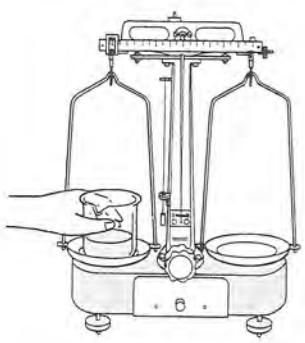

下図のようなタイプのてんびんもある。その場合は，支柱を鉛直にするとき，下げ振りが上向きの突起（指標）と向かい合うようにすればよい



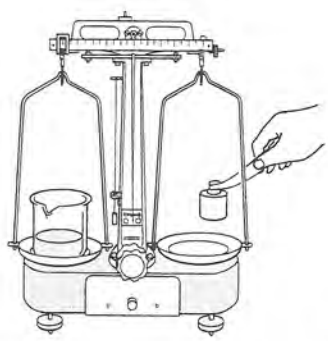

### ②測定準備をする



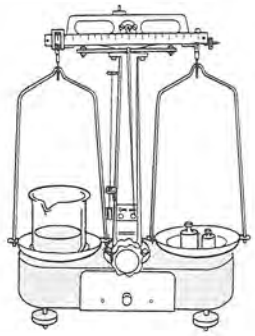

### ③皿受けで皿を支え，左の皿にはかりたいものを載せる



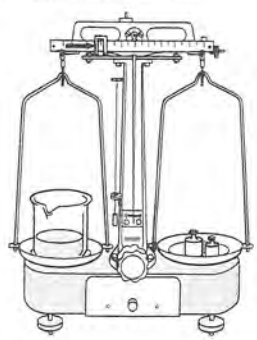
### ④右の皿に分銅を載せる



### ⑤皿受けを下げて指針を振らせ，左右のつり合いを調べる



### ⑥ライダーで10g以下の質量を調整してつり合わせ，ライダー目盛りの読みと分銅の質量を合算する



3①留意点 てんびんは，水平な台の上に置く。皿のほか，皿をつり下げる金具にも番号が記してあるので，これらの番号が一致していることを必ず確かめておく。皿のつり下げ金具が，ナイフエッジからずれていることがよくある。使用前に必ず点検する。

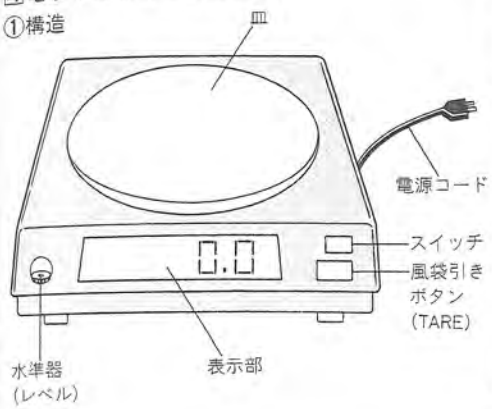
長期間使用した器具は，下げ振りの糸が切れることがある。そのときは同種の糸を求めて，交換すればよい。

皿受けは,ハンドルを操作して上下させる。

調整ねじは，さおの右側に2個あるタイプのものが多い。指針の振れが右に片寄っているときには右に移動させ，左に片寄っているときには左に移動させて調整する。

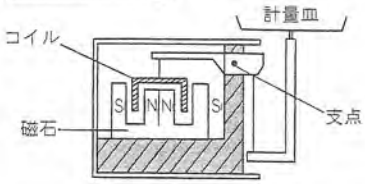
## 4電子てんびんによる測定

### ①構造



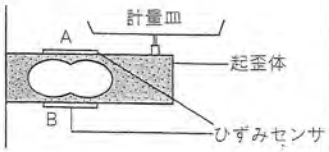

**荷重センサ**　電子てんびんの荷重センサには種々あるが，主なものは，電磁力平衡方式，ロードセル方式である。次にそれぞれの原理を簡単に示す

**電磁力平衡方式**




荷重によって傾いたさおの変位に対して変位量に応じた電流がコイルに流れてさおのバランスをとる。この電流値から荷重を求める

**ロードセル方式**

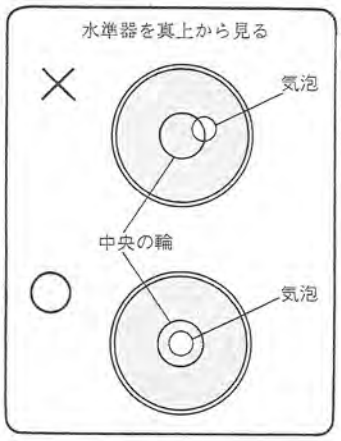



荷重により，起歪体がたわむと，表面にはってあるひずみセンサAとBでは，一方が伸び一方が縮む。そのとき，抵抗値が変わるので，その変化量から荷重を求める

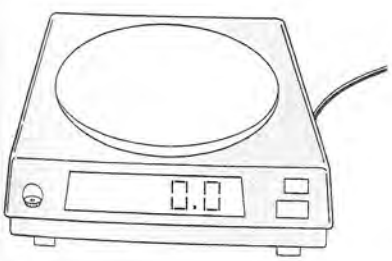
### ②電子てんびんを水平にする




水準器を真上からのぞき，水平調節ねじを回して，気泡が中央の輪の中に入るようにする。電源をつなぎ，スイッチを入れる

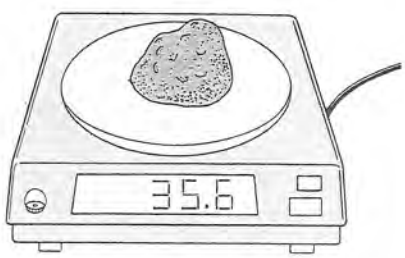



### ③表示部のデジタル表示を0.0にする



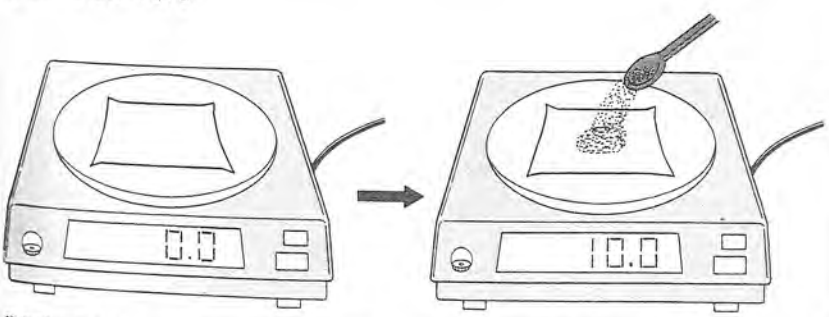

スイッチを入れ，表示が0.0にならないときは，ZEROかTAREを押すと0.0が表示される

### ④物体の重さを測定する。




重さをはかろうとする物体を皿を上に載せ，表示された数値を読みとる

### ⑤薬品をはかり取る




薬包紙を皿の上に載せ，TAREを押す。表示は薬包紙が載ったまま0.0となり，風袋が引かれたことが示される

薬用さじで薬品を加除しながら，決められた量の薬品をはかり取る

4 解説 電子てんびんの外形は，左図のように皿が円板状のものや次ページにあるように方形のもの，皿形のものなどがあるが，いずれも受け皿，表示部，スイッチ，風袋引きボタン(TARE)，レベル，水平調整ねじなどからできている。感度の高くないものでは，レベル，水平調整ねじなどのないものもある。

内部に沈みセンサがあり，皿のわずかな沈みをとらえて重さを測定するしくみになっている。最近では，皿を上からたたいても故障しない頑強なものが市販されている。

② 留意点 水準器は，できるだけ真上からのぞくようにする。感度の高くないものでは水準器がない。電子てんびんを置く位置が，やや水平を欠いてもそのための測定誤差のほうが，その電子てんびんの感度の誤差より小さいということである。

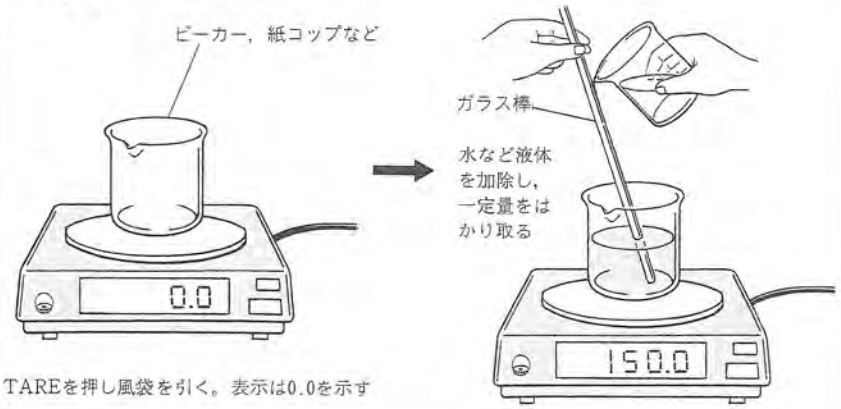
④ 留意点 表面積の大きい物体では，風圧を受けると，最下位の数値が変動し，正しい測定ができないので，風の影響を受けない場所に電子てんびんを置かなければならない。

物体を皿の上に載せると即時に数値が示されるので，化学変化の前後の質量変化を調べるのに便利である。

⑤ 留意点 薬品を一定量はかり取る場合薬包紙を皿に載せ，TAREを押して風袋引きをしてから，薬用さじで薬品を加除しながら行うが，薬品が皿の上にとび散らないように気をつける。

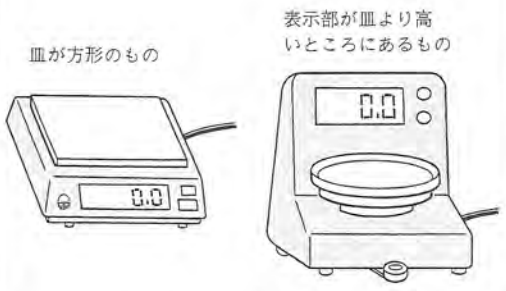
表示部に，重さが即時に示されるので，薬品を一定量はかり取る場合，上皿てんびんで行うより，はるかに便利である。

⑥一定量の液体をはかり取る



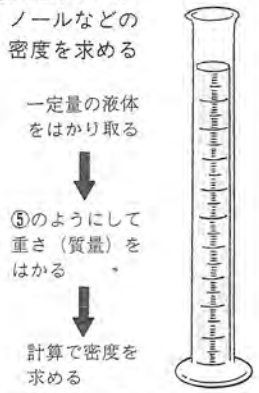

TAREを押し風袋を引く。表示は0.0を示す

電子てんびんのいろいろなデザイン




その他多くのデザインがある

⑦食塩水やエタノールなどの密度を求める




⑥留意点 風袋引きの後，液体の量をはかり取るときに液体を皿の上にこぼさないように注意する。皿の上に酸やアルカリの水溶液をこぼすと，皿が金属でできているため，腐食するおそれがある。したがって，液体の加除には，左図のように，ガラス棒を用いて行うか，駒込ピペットを用いて行うようにする。
もし皿の上に酸やアルカリの水溶液をこぼした場合，きれいな布などで十分ふきとっておく。

⑦解説 液体の密度は，測定値をもとに下の式で求めることができる。

$$密度[g/cm^3]=\frac{質量[g]}{体積[cm^3]}$$

留意点 質量（重さ）の測定は，電子てんびんにより，比較的正しく測定できるが，メスシリンダーによる体積の測定がラフになりやすいので（最小目盛りの1/10が読みとりにくい），細心の注意を払う。

## キログラム原器と分銅

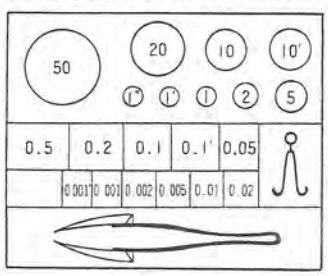
**キログラム原器** 質量単位kgの大きさを規定するための規準となるものがキログラム原器である。これは，純粋な水が1気圧で最大密度となる温度（3.945℃）において，水1000cm³と等質量になるように作られたものである。白金とイリジウムの合金製で，高さと直径が等しい円柱形をしている。
国際キログラム原器は，パリの国際度量衡局に保管されている。そして，この原器の質量を1kgとすることに定められている。1gは，こうして定められた1kgの1/1000である。
フランス以外の各国にも，この国際キログラム原器と同様のものが配られている。日本には原器No.6というものがきており，計量研究所に保管されている。
日本の原器の質量は1kg＋0.169mgである。
国際キログラム原器は，最大密度の純水1000cm³と等質量になるように作られたが，その後の精密測定の結果，わずかな差があることがわかった。最大密度の水1kgの体積は，1000.028cm³であることが判明したのである。逆にいえば，最大密度の水1000cm³は，0.999973kgであるといえる。
したがって，厳密には，1kgはキログラム原器の質量であり，最大密度の水1000cm³の質量ではない。

**分銅** 質量の測定に用いる分銅は，キログラム原器を基準にして作られている。てんびんの秤量と感量により異なった組み合わせになっているが，一般に次の質量の分銅で構成されたものがセットになっている。

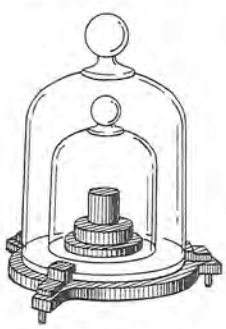
| 100 | 50 | 20 | 10 | 5 | 2 | 1 | 0.5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.2 | 0.1 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.005 | 0.002 | 0.001 |

単位：g

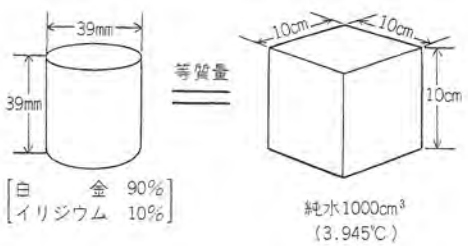
分銅箱に収められた分銅の一例（単位：g）




1g以上の分銅は，円柱形をしており，ピンセットでつまみやすいようにしてある。0.5g以下の分銅は正方形の板状で，ピンセットでつまむために一隅を少し折り曲げてある。



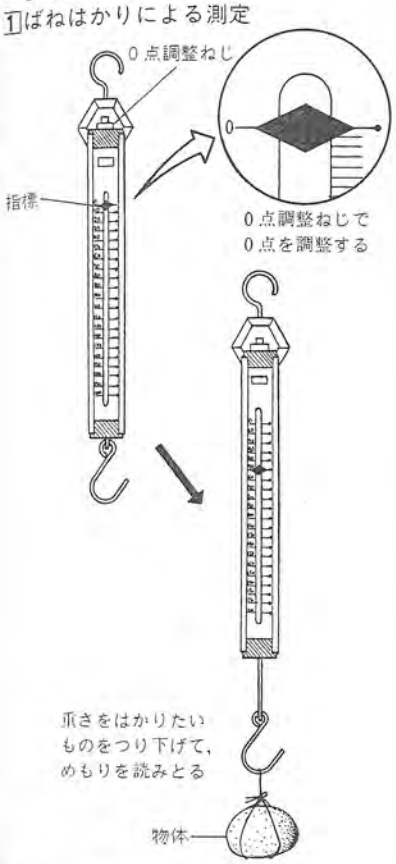
容器に保管されている原器



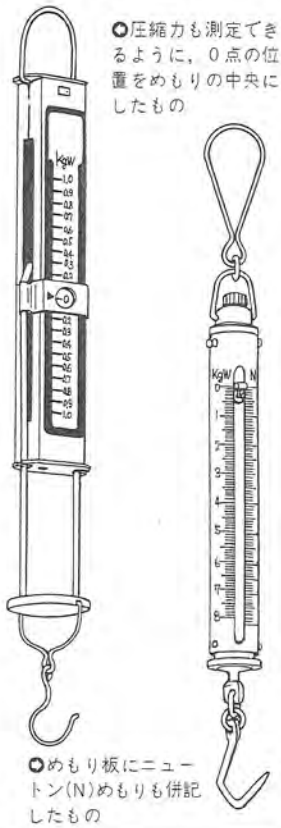

原器の寸法

## [B]重さの測定

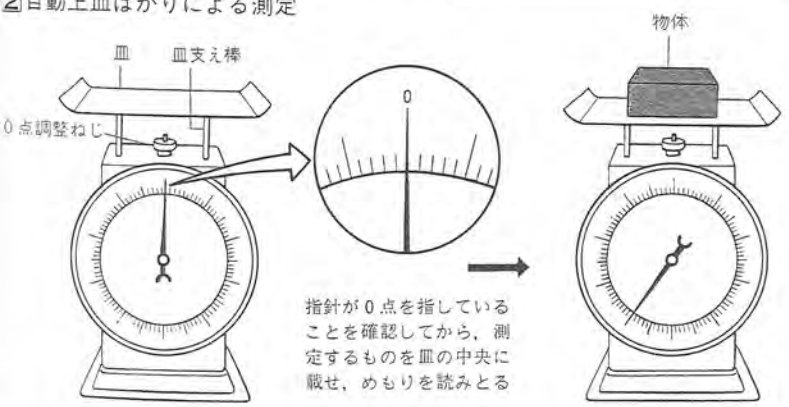
### 1 ばねはかりによる測定




**いろいろなばねはかり**

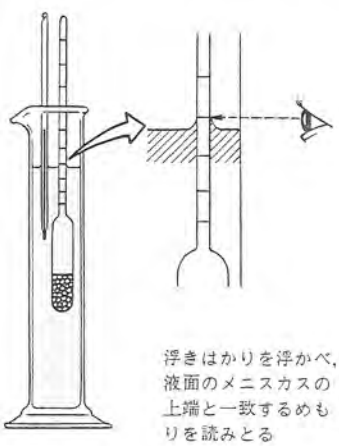



### 2 自動上皿はかりによる測定




### 3 浮きはかりによる測定


7本組みの浮きはかり




## [B]重さの測定

1 解説 ばねはかりは，つる巻きばねの弾性を利用して，物体の重さをはかる器具である。つり下げた物体の重さを，ばねの伸びで浮動する指標の示すめもりで読みとる。

めもり板が平面のものや円筒のもの，内部の構造が理解しやすいように透明ケースに入ったもの，圧縮力も測定できるようにしたものなど，各種のものがある。

留意点 0点調整ねじがついていないものもある。その場合は，めもり板が移動できるようになっているので，めもり板を動かして0点を調整する。

測定範囲以上の重さを測定しない。

測定が終わったら，すぐに物体をはずす。いつまでもつるしておかない。

つる巻きばねがさびるのを防ぐため，塩酸などの揮発性の薬品の近くや，湿気の多い場所は避けて保管する。

2 留意点 水平で振動の少ない台の上で使用する。

指針が0点を指していない場合は，0点調整ねじで調整する。

秤量の異なるいろいろな機種がある。秤量以上のものは，はからないように気をつける。

物体を載せたり下ろしたりするときは静かに行う。

両方の皿支え棒に同じ大きさの力がかかるようにするため，測定物は必ず皿の中央に載せるようにする。

めもりを読むときは，めもり板の正面から視差のないように読みとる。

3 解説 浮きはかりは，液体の比重を測定するときに用いる。軽液用と重液用の2本組みのものと，7本組みのものがある。

浮きはかりの測定範囲

| 2本組み | | 7本組み | |
|---|---|---|---|
| 軽液用 | 0.700～1.000 | No.1 | 0.700～0.850 |
| | | No.2 | 0.850～1.000 |
| 重液用 | 1.000～2.000 | No.3 | 1.000～1.200 |
| | | No.4 | 1.200～1.400 |
| | | No.5 | 1.400～1.600 |
| | | No.6 | 1.600～1.800 |
| | | No.7 | 1.800～2.000 |

留意点 液体中に入れるとき，はかりを底にぶつけて破損しないように注意しながら，静かに浮かせて手を離す。

液体は断面積の小さい，細長い容器に入れて測定するようにする。これは，アルキメデスの原理により，比重の小さい液体ほど深く沈むからである。

# 5 体積の測定

ねらい　固体・液体・気体の体積を，いろいろな器具を用いて測定することができる。

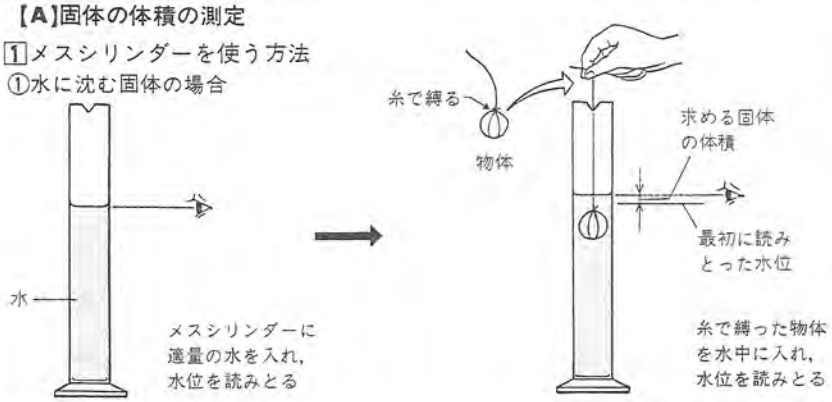
【A】いろいろな固体① メスシリンダー 糸 おもり ロ付き円筒 ビーカー 物理てんびん 温度計 【B】いろいろな液体 メスシリンダー ビペット ビュレット ろうと ビーカー 受け器 メスフラスコ 【C】いろいろな気体 ガスビュレット 気体導入管 メスシリンダー 水槽

①金属塊，コルク，石塊などがよい。

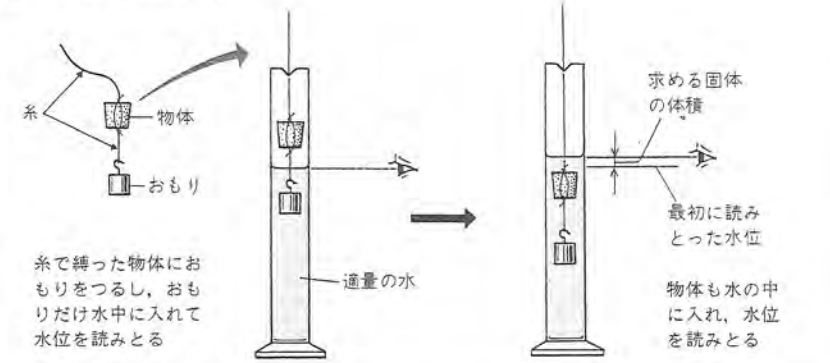
## 【A】固体の体積の測定

### 1 メスシリンダーを使う方法

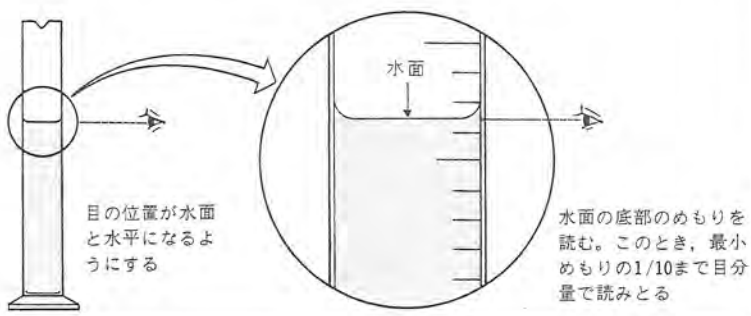
①水に沈む固体の場合



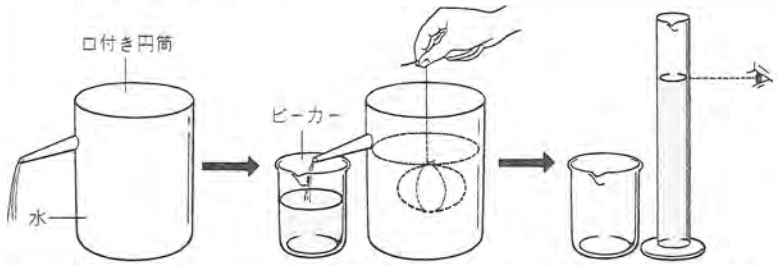

②水に浮く固体の場合




めもりの読み方




### 2 ロ付き円筒を使う方法




### 【A】固体の体積の測定

解説 次の1～3は，いずれも不規則な形状の固体についての体積測定の方法である。規則的な形状の固体の場合は，必要な箇所の長さをはかり，計算で求める。

また，これらの方法は，水に溶ける物体に対しては利用できない。その場合は，水の代わりに，その物体を溶かす性質のない適当な液体を用いる必要がある。

1 解説 これは固体の体積を，水の体積に置換して求める方法である。

メスシリンダーに入れた水の体積を $V_1$，物体を水の中に入れたときの体積を $V_2$ とすると，物体の体積 $V$ は次式により求められる。

$$V = V_2 - V_1$$

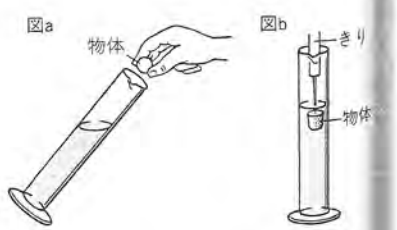
水に浮く固体の場合も，おもりだけを水の中に入れたときの体積を $V_1$，物体も水の中に入れたときの体積を $V_2$ とすると，上式で同様に求められる。

留意点 メスシリンダーは水平な台の上に置く。

物体を水の中に入れるときには，水がはね出さないように静かに入れる。

参考 物体を糸で縛るのがめんどうな場合は，次のような方法で測定してもよい。

①では，水の体積を測定後，メスシリンダーを傾けて物体を入れ，体積を読みとる(図a)。ただし，メスシリンダーの底部を破損しないように注意する必要がある。同様に②では，水の体積を測定後，きりなど先のとがったもので物体を水中に押しこみ，体積を読みとる(図b)。

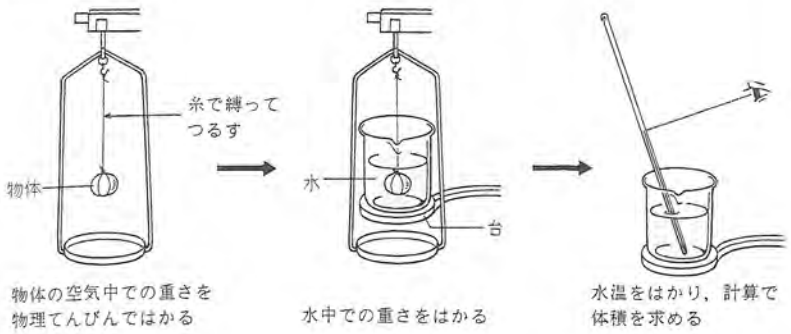



2 解説 これは，メスシリンダーに入らない大きな固体の体積を測定するときに用いる方法で，いわば1の別法である。

留意点 ロ付き円筒やメスシリンダーは水平な台の上に置く。

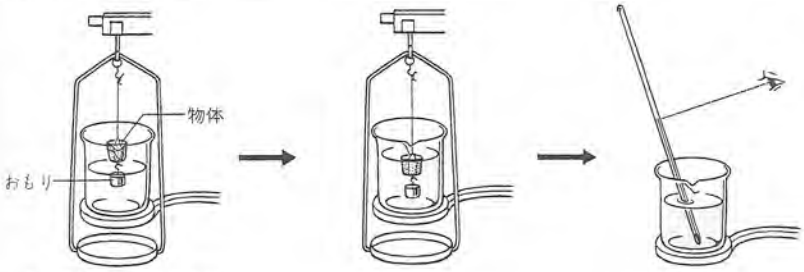
物体を水の中に入れるときには，水がはね出さないように静かに入れる。

3はかりを使う方法
①水に沈む固体の場合




物体の空気中での重さを物理てんびんではかる　水中での重さをはかる　水温をはかり，計算で体積を求める

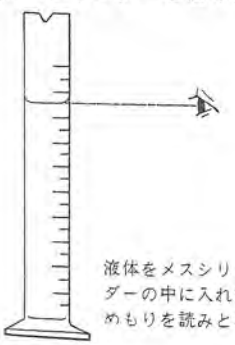
②水に浮く固体の場合




糸で縛った物体におもりをつるし，おもりだけ水中に入れて重さをはかる　物体も水中に入れて重さをはかる　水温をはかり，計算で体積を求める

【B】液体の体積の測定

1メスシリンダーを使う方法

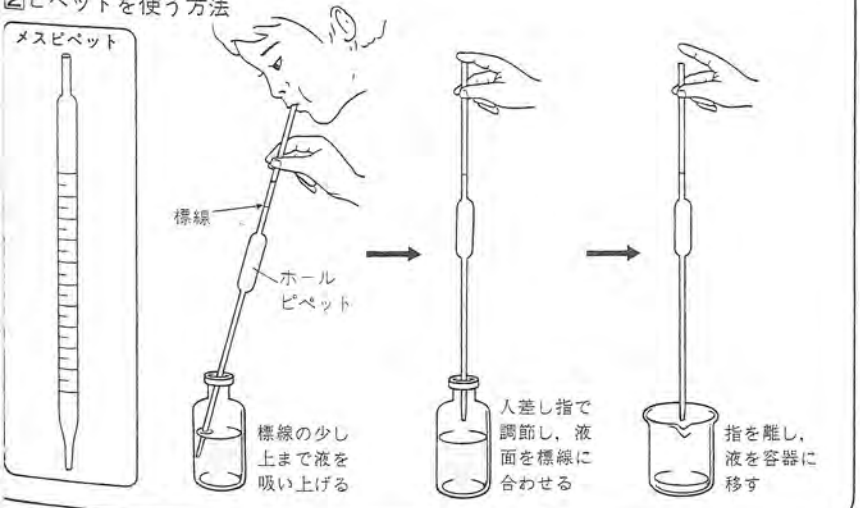


液体をメスシリンダーの中に入れてめもりを読みとる

その他の液量計




2ピペットを使う方法




3 解説 これは，アルキメデスの原理から浮力を求めて体積を測定する方法である。物体の空気中での重さを$W_1$，水中での重さを$W_2$，$t$℃における水の密度を$\rho_t$とすると，物体の体積$V$は次式により求められる。

$$V=(W_1-W_2)\times\frac{1}{\rho_t}$$

水に浮く固体の場合も，おもりだけ水に入れたときの重さを$W_1$，物体も入れたときの重さを$W_2$とすると，上式で同様に求められる。

留意点 糸は細くて丈夫なものを用いる。てんびんは，ビーカーを載せるための載物台付きのものがよいが，この台がないときには，つり手の金具や皿に触れないような台を作成して用いるとよい。

物体を水の中に入れるとき，物体や糸に気泡が残らないように気をつける。

ビーカーが，皿のつり手の金具に触れないように注意する。

②では，物体とおもりを結ぶ糸が長くなり過ぎて，おもりがビーカーの底に触れたりしないように注意する必要もある。

**【B】液体の体積の測定**

解説 液体の体積は，次の1～4のような各種の液量計を用いて測定する。

メスシリンダー，ピペット，ビュレット，メスフラスコなど検定付きのものは，正確な体積を測定することができるが，リットルますのように検定付きでないものは，正確な体積測定には適さない。

1 留意点 メスシリンダーには，10～1000cm$^3$用のものがある。容量により測定精度が異なるので，はかろうとする液量と大差のない容量のものを選ぶ必要がある。

めもりの読み方は，前ページの囲み図を参照。

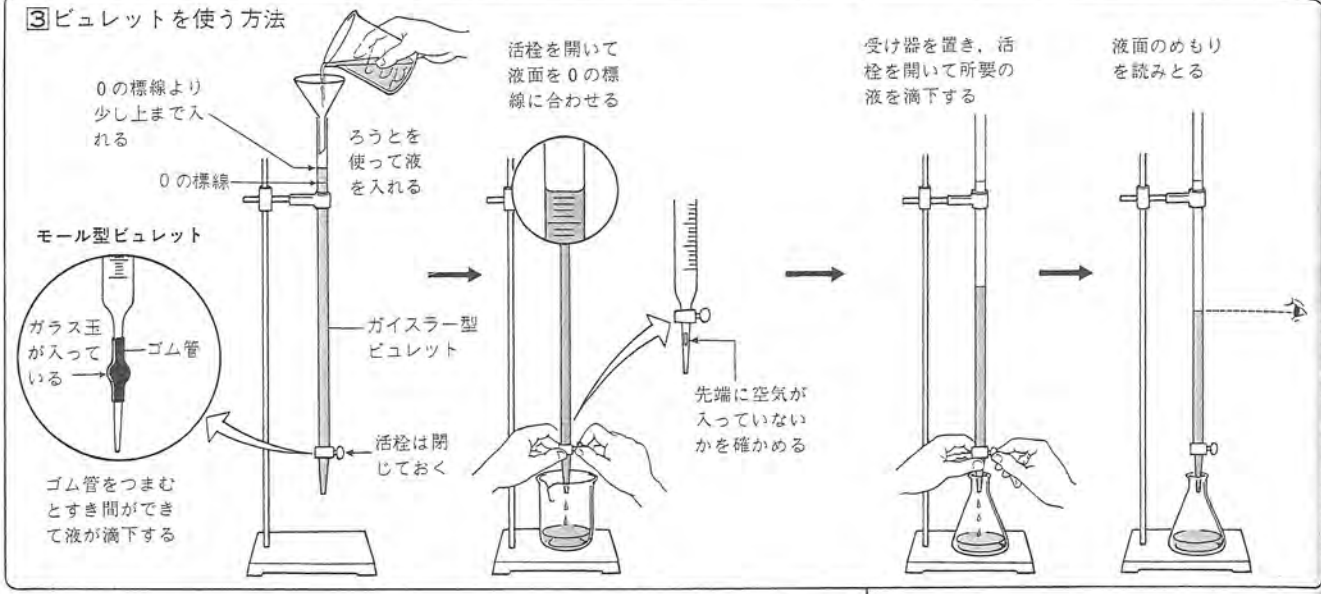
リットルますなど，その他の液量計の場合も，基本的な操作はメスシリンダーと同じである。ただし，取っ手付きのものは，取っ手を手で持ってめもりを読みとる。

2 解説 ピペットにはホールピペットとメスピペットがある。ホールピペットは，少量の液体を精密にとり出したり，加えたりするのに用いる。メスピペットは，少量の液体を必要なだけ滴下するのに用いる。使用法は両者とも同じである。

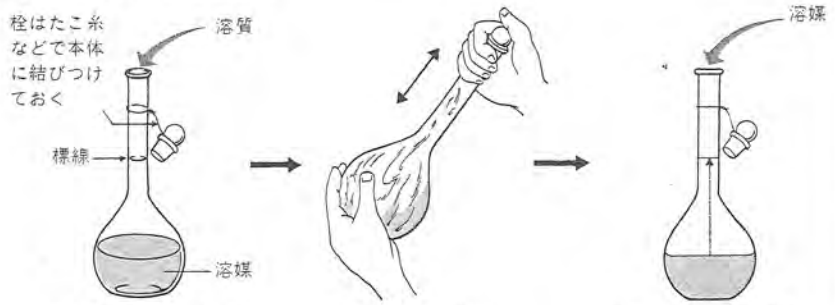
留意点 液を容器に移した後，ピペット上端を指で押さえながらホール部を握ると，最後の1滴まで押し出すことができる。

注意 液を吸うときは，ピペットの先端を深く液の中に入れるようにする。吸っているときに先端が液面から出ると，口の中に液を吸いこむ危険性がある。

3 ビュレットを使う方法

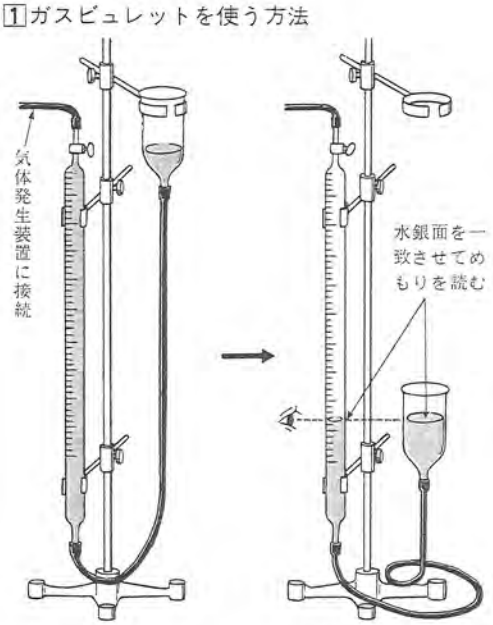



4 メスフラスコを使う方法

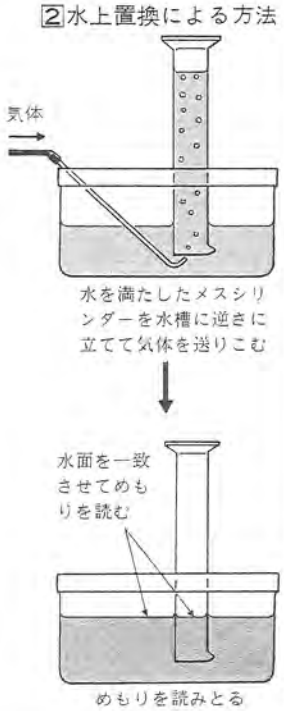



【C】気体の体積の測定

1 ガスビュレットを使う方法




2 水上置換による方法




3 解説 ビュレットは，正確な滴定に要する液量をはかるのに用いる。ガイスラー型ビュレットとモール型ビュレットがあり，ガイスラー型には酸，モール型にはアルカリを入れて用いる。
活栓部以外の操作法は，両者とも同じである。
留意点 ビュレットは，台に垂直に固定する。
めもりの読み方は，基本的にはメスシリンダーと同じである（前々ページの囲み図を参照）。
測定の際，温度変化がないよう特に気をつける。15℃で所定の容量となるように検定されているので，15℃前後でとり扱うと誤差が少ない。

4 解説 メスフラスコは，所要の濃度の溶液を一定量作るときに用いる。出用と受用の2種類ある。出用（記号A）は，標線まで入れた液を流し出したときの液量が表記の数値となるもので，受用(記号E)は，標線まで入れたときの液量が表記の数値となるものである。

【C】気体の体積の測定

1 解説 ガスビュレットは，気体の体積を正確にはかるのに用いる。

2 解説 これは，水素や酸素などのように水にほとんど溶けない気体にしか使えない方法である。

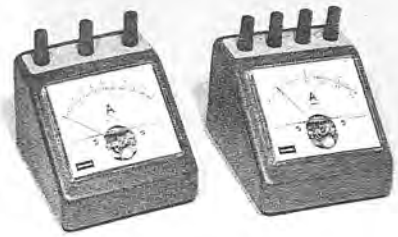
# 6 電流の測定

ねらい　電流計を正しく使って，電流を測定することができる。

電流計　乾電池　スイッチ　豆電球　導線　電球（100V用）　ソケット

## 【A】電流計についての基礎知識

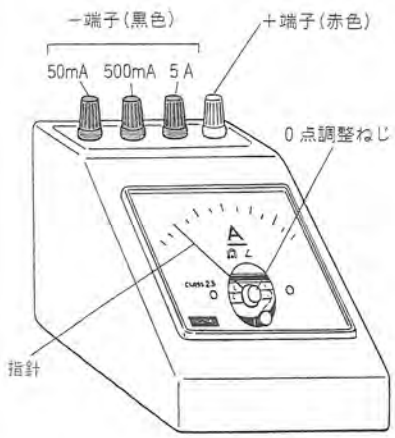
### 1 電流計の種類と各部の名称

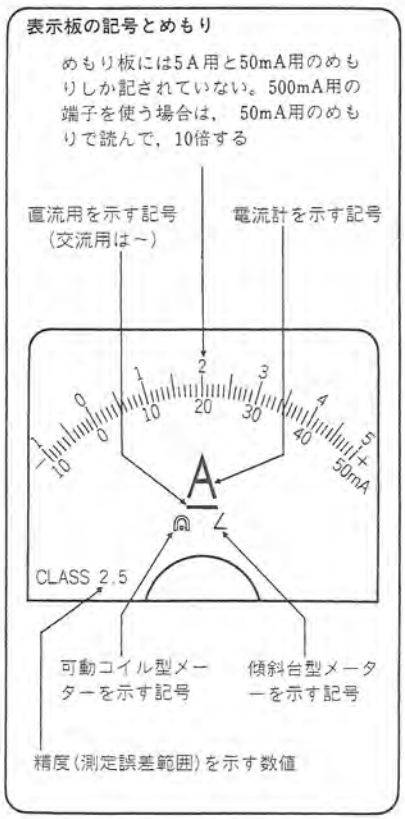


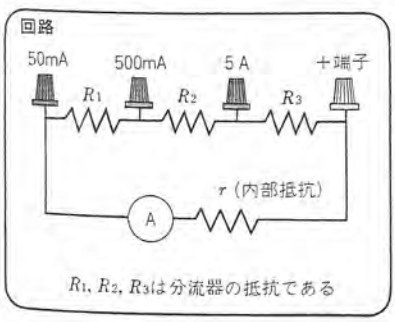
傾斜台型電流計（左は交流用，右は直流用）



OHP投映型電流計

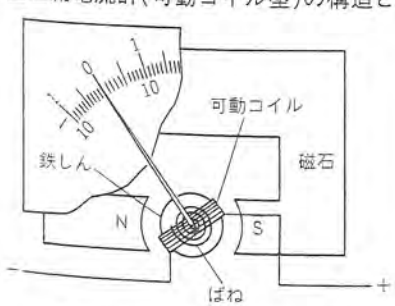


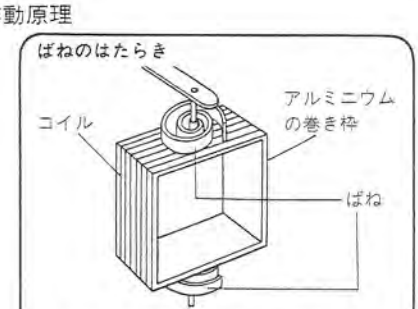




$R_1$, $R_2$, $R_3$は分流器の抵抗である

### 2 直流電流計（可動コイル型）の構造と作動原理




電流の大きさに比例してコイルが回転力を受けるので，指針が振れる




電流が流れなくなると，ばねの力で指針が0点に戻るようになっている

## 【A】電流計についての基礎知識

**1** 解説 電流計は，アンメーターとも呼ばれている。電源の種類により，直流用と交流用とがある。メーターの動作方式には可動コイル型と可動鉄片型とがあるが，ほとんどのものは可動コイル型である。また，測定範囲により，一定の範囲の電流しか測定できない単一型と，端子の接続によって測定範囲が切り換えられるユニバーサル型とがある。学校ではふつう，5A，500mA，50mAの3つの端子を持つユニバーサル型が使われている。ここでは，学校で使われる頻度がもっとも高いユニバーサル型の直流電流計を主体に説明する。

ユニバーサル型の電流計では，各端子間に分流器として抵抗が並列に入れてあり，端子に流れこんでくる電流の一部だけが電流計の中を流れるようになっている。一般に，内部抵抗$r$（Ω）の電流計の測定範囲を$n$倍に拡大するのに必要な分流器の抵抗$R$（Ω）は，次式で求められる。

$$R=\frac{r}{n-1}$$

表示板にあるCLASSはメーターの精度を示している。CLASS2.5（理振法の規格）とあれば，±2.5%の誤差があることを表している。この誤差は，測定範囲の最大値に対するものである。したがって，同一の電流計を使っても，使用端子が違えば，誤差も次のように違うことになる。

- 5A端子――±125mA
- 500mA端子――±12.5mA
- 50mA端子――±1.25mA

また，使用端子が同じであれば，測定値に関係なく誤差は一定である。例えば，500mA端子を使用したとすると，測定値が300mAであっても，100mAであっても，ともに±12.5mAの誤差を含んでいるということである。

**2** 解説 可動コイル型の直流電流計は，磁界の中に，可動コイルが保持されている。可動コイルの軸には指針がとりつけられていて，コイルの回転角，すなわち電流を指示するようになっている。

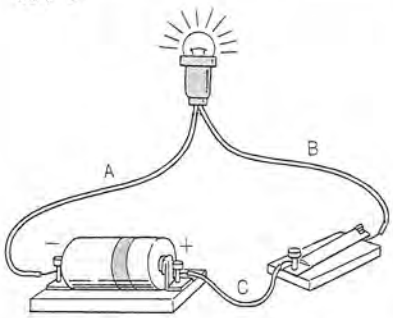
可動コイルの抵抗は，電流計の内部抵抗と呼ばれる。

参考 直流電流計において，コイルを細い線でたくさん巻いて，ばねを細くしたものを検流計という。

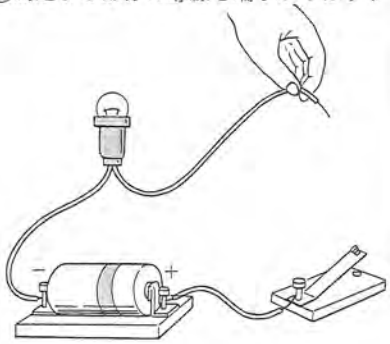
## 【B】電流計の使い方

1 豆電球を流れる電流をはかる（直流電流計の使用例）

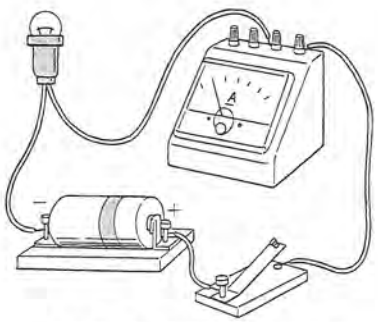
①回路のどの点の電流をはかるのかを確認する



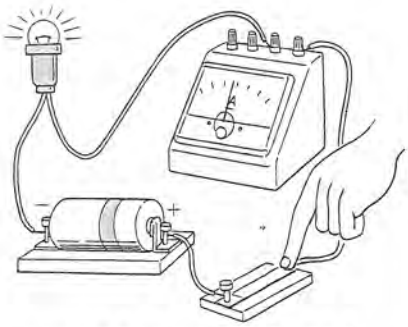

②測定する部分の導線を端子からはずす




③回路に電流計を入れて，電流を測定する

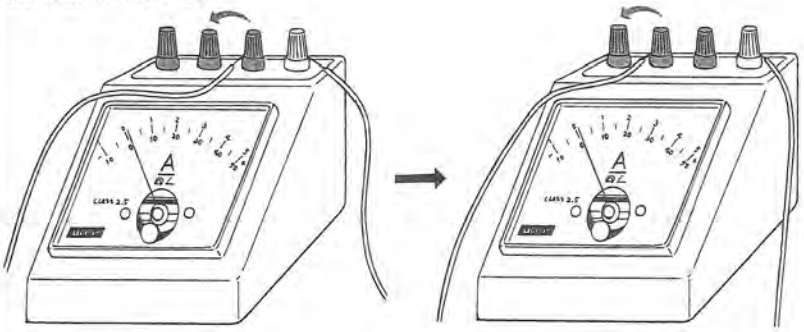



一側の端子を，まず5A端子につなぐ




スイッチを入れて，めもりを読みとる

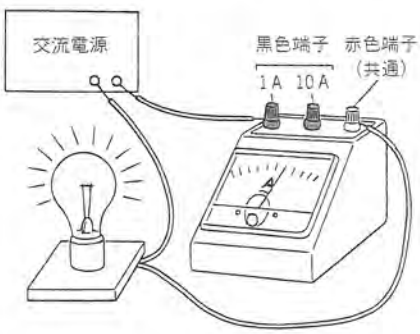
**指針の振れが小さい場合**

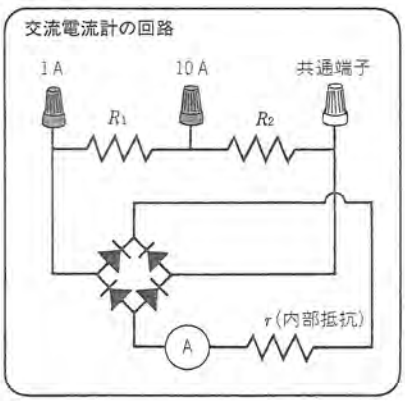



指針が0.5A以下を示した場合，一側の端子を500mA端子につないで測定し直す

さらに指針が50mA以下を示した場合，一側の端子を50mA端子につないで再度，測定し直す

2 電球を流れる電流をはかる（交流電流計の使用例）




## 【B】電流計の使い方

1①解説 電流計は，回路を流れる電流の大きさをはかる計器である。したがって，回路に対して直列に接続するので，図におけるA，B，Cのいずれの部分で測定しても同じである。

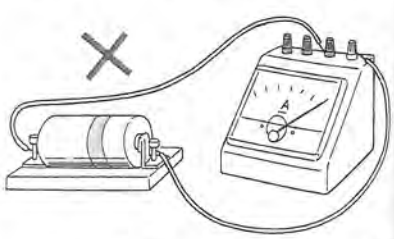
③留意点 電流計をつなぐ前に，直流用と交流用を間違えていないか，また，指針が0点を指しているかどうかを点検しておく。回路に電流計を接続するとき，端子の正負を間違えないようにする。正端子が電源の正極側，負端子が電源の負極側である。

負端子に導線を接続するときには，まず測定範囲の広い端子（5A端子）に接続する。そして指針の振れにより，必要に応じて，順次，測定範囲が狭くて精密な端子に切り換えていくようにする。

電流が変わる回路で電流の変化を測定するとき，実験途中で他の端子につなぎ変えると，電流計の内部抵抗が変わるため，回路を流れる電流も変化してしまう。したがって，このような場合は，実験途中で他の端子につなぎ変えることのないように，実験の最初から，全範囲が測定できるような適当な端子を見つけ，その端子に接続するようにする。

2 解説 交流電流計の使い方は，基本的には直流電流計と同じである。ただし，交流には正負の区別がないので，端子を接続する際，正負を考慮する必要はない。

注意 電流計の内部抵抗は非常に小さいので，電源に直接，並列につないではいけない。電流計に過大な電流が流れるので，分流器やメーターが破損することがある。




最近の電流計には，過電流防止のためダイオードが入れてあるものもある。

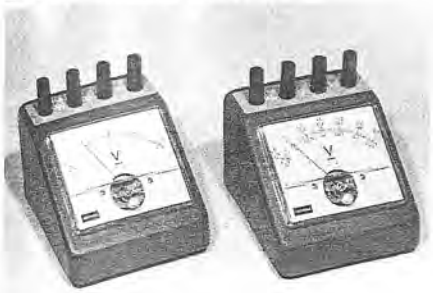
# 7 電圧の測定

電圧計　乾電池　豆電球　導線　電熱線

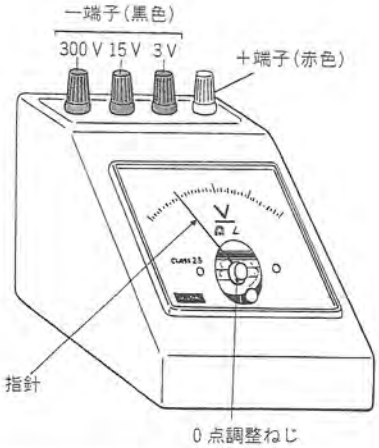
ねらい　電圧計を正しく使って，電圧を測定することができる。

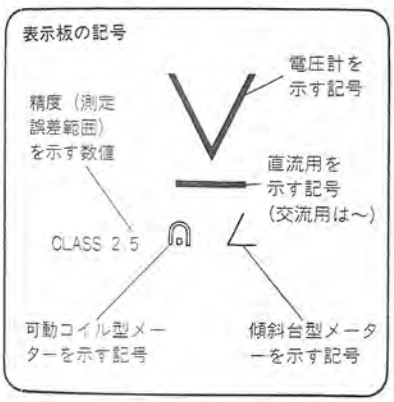
## 【A】電圧計についての基礎知識

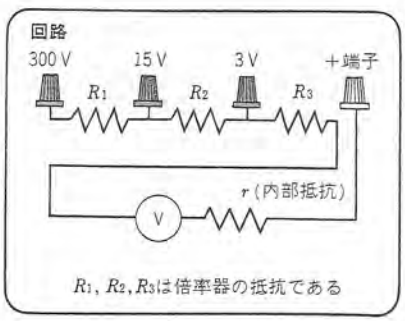
### 1 電圧計の種類と各部の名称



直流電圧計

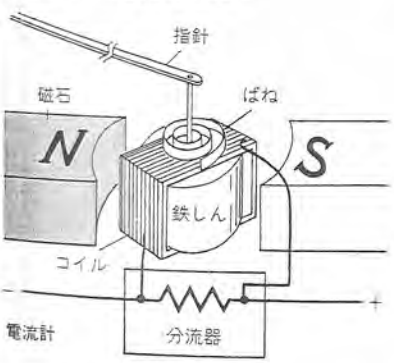


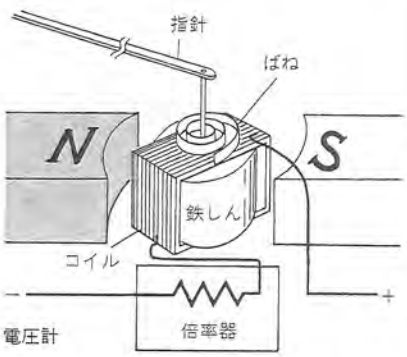




$R_1$, $R_2$, $R_3$は倍率器の抵抗である

### 2 電圧計と電流計の違い

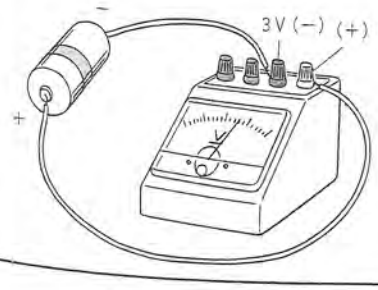


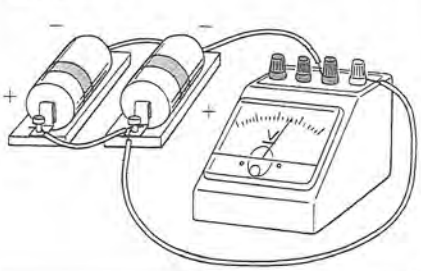




## 【B】電圧計の使い方

### 1 乾電池の起電力を測定する（直流電圧計の使用例）

①乾電池1個の起電力をはかる　　②乾電池を2個以上並列につないだときの起電力をはかる




## 【A】電圧計についての基礎知識

1 解説 電圧計は，ボルトメーターとも呼ばれている。電源の種類により，直流用と交流用とがある。直流電圧計には，ふつう可動コイル型のメーターが使われている。理振法によるものは，3 V，15 V，300 V の負端子を持ち，測定範囲が切り換えられるようになっている。ここでは，このような電圧計を主体に説明する。

このような電圧計では，各端子間に倍率器として大きな抵抗が直列に入れてある。したがって，電圧計を回路に並列につないでも，電圧計の中を流れる電流は，ごくわずかである。

精度(CLASS)の意味は，電流計の場合と同じである(6 を参照)。

2 解説 電圧計と電流計は，構造的にはまったく同じである。ただ，電流計の場合は，メーターに並列に小さな抵抗(分流器)がつながれているのに対し，電圧計の場合は大きな抵抗(倍率器)が直列につながれている点だけが異なる。したがって，電圧計は，計器内の内部抵抗が大きく，回路に並列につないでも，回路に流れる電流にほとんど変化を与えない。

なお，電圧計は，内部抵抗が大きいほど正確に電圧をはかることができる。

## 【B】電圧計の使い方

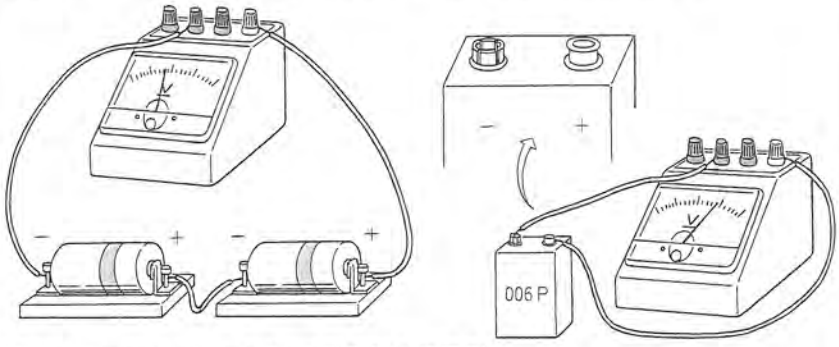
1 ① 留意点 電圧計をつなぐ前に，直流用と交流用を間違えていないか，また，指針が0点を指しているかどうかを点検しておく。また，電流計を電圧計と間違えて乾電池などに並列につなぐと，破損する場合があるので，V の記号を確認しておく。

導線をつなぐときには，端子と電池の正負を間違えないようにする。乾電池の正極側を電圧計の正端子につなぎ，負極側を負端子につなぐ。

電圧計の負端子は，3 V 端子を使用すればよい。乾電池の起電力は1.5Vなので，指針が振り切れることはない。

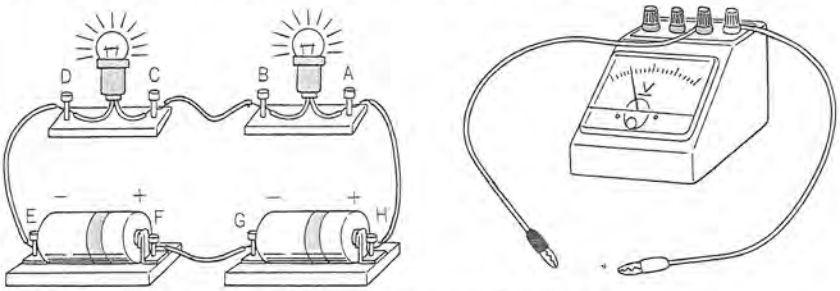
② 留意点 電圧計の負端子は，乾電池1個の場合と同じく3 V 端子を使用すればよい。

③乾電池を２個以上直列につないだときや，006P乾電池の起電力をはかる

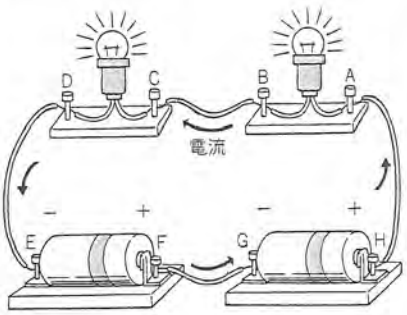


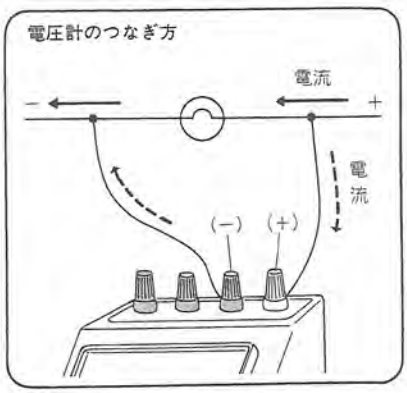

2回路の電圧を測定する(直流電圧計の使用例)

①乾電池と豆電球で回路を組み立てる　　②電圧計に導線をとりつける

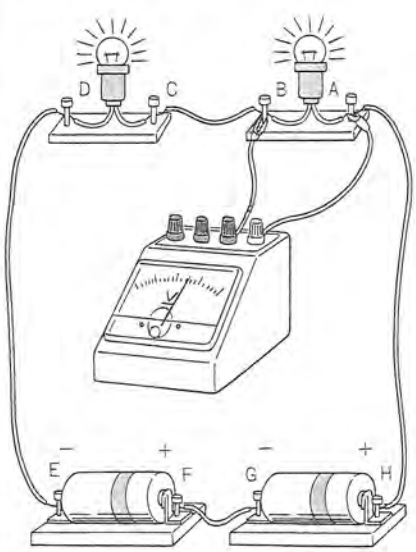



③回路を流れる電流の向きを考え，電圧計のつなぎ方を決める

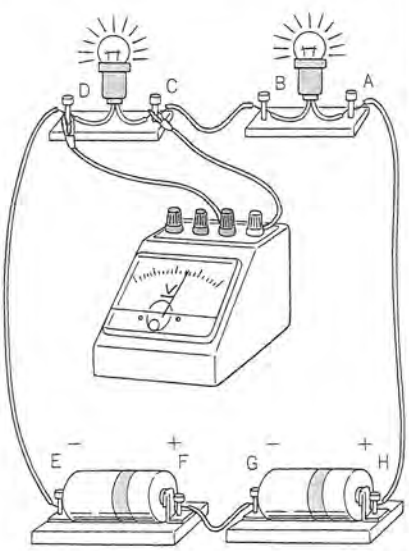



④A～B間の電圧をはかる




⑤C～D間の電圧をはかる




③ 留意点 マンガン乾電池の公称電圧は1.5Vであるが，これは豆電球などをつないで電流を流したときの両極間の電圧である。電流を流さないで，直接電圧計をつないだときは，起電力を測定していることになり，新しい乾電池の場合，1.6～1.65Vを示す。したがって，２個以上を直列につなぐ場合，15V端子を使う必要がある。
参考 電池では正極と負極の間に電位差が生じる。これが起電力である。しかし，電池には内部抵抗があるので，電流を流すと，その内部抵抗によって両極間の電位差が減少する。この電位差は起電力よりも小さい。このような２点間の電位差を電圧という。

2①解説 これは，乾電池２個と豆電球２個を使った直列回路である。乾電池を電源装置に，豆電球を電熱線に置き替えて考えてもよい。

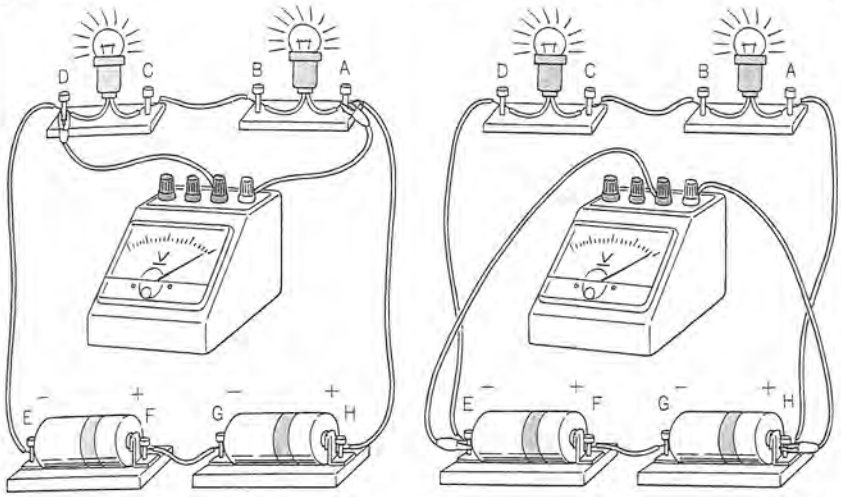
② 留意点 回路の電圧測定では，クリップ付きの導線を用いると便利である。乾電池２個の回路では，負端子として，3Vの端子を使う。乾電池の個数が多い場合や，電源装置を使うときには，それに見合った端子を使う必要がある。

③ 解説 電流は乾電池の正極から出て，豆電球を通り，乾電池の負極へと流れる。
留意点 電圧計のつなぎ方を決めるときには，次のように考えればよい。電圧計の中にも，ごくわずかではあるが電流が流れる。この電流が電圧計の正端子から負端子に向かって流れるようにつなぐ。

④ 解説 AとBの２点間では，電流がA→Bと流れているので，Aの点が正，Bの点が負となる。したがって，電圧計は，Aのほうに正端子を，Bのほうに負端子をつなぐ。

⑤ 解説 CとDの２点間では，電流がC→Dと流れているので，Cの点が正，Dの点が負となる。

⑥A～D間の電圧をはかる　　⑦E～H間の電圧をはかる

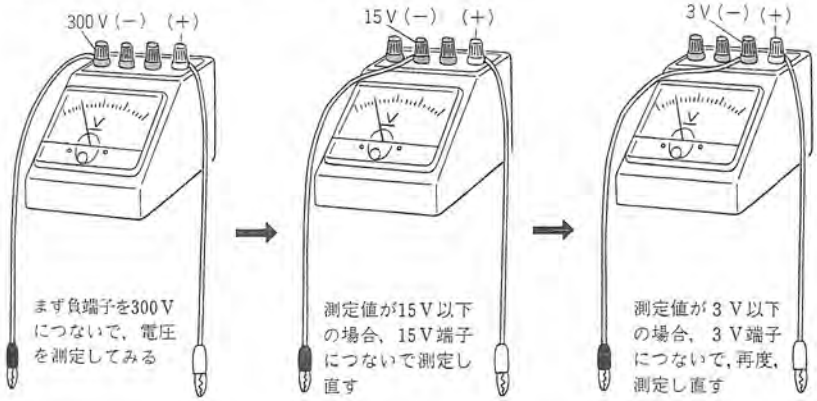



⑥ 解説 AとDの2点間では，電流がA→B→C→Dと流れるので，Aの点が正，Dの点が負となる。

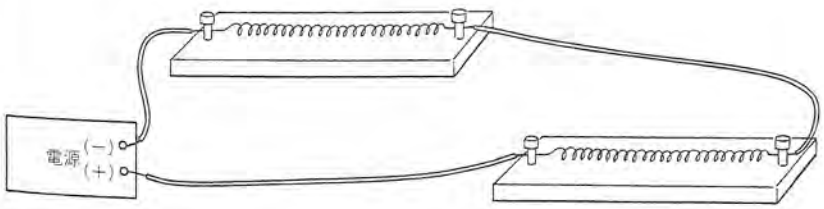
⑦ 解説 EとHの2点間では，電流がH→A→B→C→D→Eと流れるので，Hの点が正，Eの点が負となる。

参考 H～A間やD～E間のように導線だけで結ばれている2点間の電圧はごく少ないので，電圧計で測定しても0を示す。したがって，EとHの2点間の電圧は，⑥のAとDの2点間の電圧と等しくなる。しかし，厳密には，このように導線だけで結ばれている2点間でも，ごく小さな電圧を生じている。これは，どのような導線を使っても，その導線自体にわずかな抵抗が存在するからである。

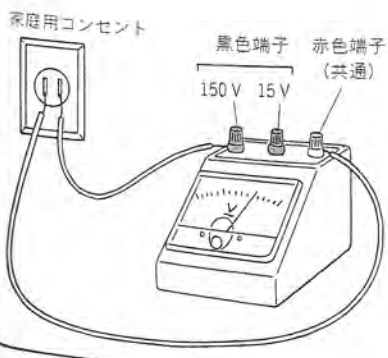
### 3 電圧の見当がつけられないときの測定法

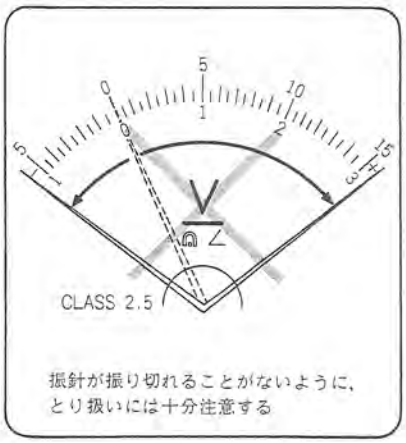



3 解説 回路の電圧は，ふつう電源の電圧より高くなることはない。したがって，回路の中の最大電圧は予測でき，使う端子も，ある程度の見当をつけられる。しかし，電源電圧がわからないときなど，電圧の見当をつけられない場合もある。このようなときには，まず測定範囲の広い端子（300 V端子）に接続して電圧を調べた後，必要に応じて，順次，測定範囲が狭くて精密な端子に切り換えていく。




### 4 家庭用コンセントの電圧を測定する（交流電圧計の使用例）




4 解説 交流電圧計の使い方は，基本的には直流電圧計と同じである。ただし，交流には正負の区別がないので，端子を接続する際，正負を考慮する必要はない。

留意点 電圧を調べる前に，電圧計が交流用であることを確かめる。
端子は，150 V端子を使用する。
導線がショートしないように気をつける。

注意 導線や端子などに手を触れて，感電しないように十分，注意する。

留意点 電圧計をつなぐときには，指針の振れに気をつける。そして，もし，針が振り切れたり反対側に振れたりしたら，すぐに接続をはずし，原因を考えるように習慣づけておく。
針が振り切れるのは，電圧計に測定範囲以上の電圧が加わったときである。また，端子の正負を間違えると針が反対側に振れるが，このとき電圧が高過ぎると針が振り切れてしまう。いずれにせよ，針が振り切れると，針が曲がったり，メーターが破損したりすることがあるので，十分気をつける必要がある。

# 8 デジタルメーターの使い方

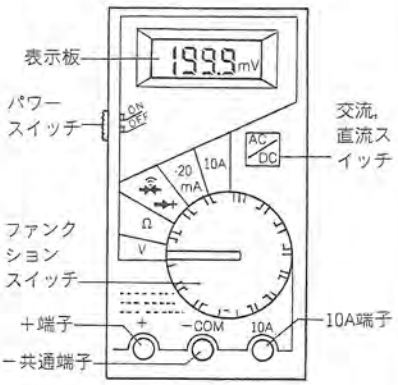
デジタルメーター　豆電球　導線　スイッチ　セメント抵抗

ねらい　デジタルメーターを使って電流，電圧，抵抗値を測定することができる。

1 デジタルメーターの構造

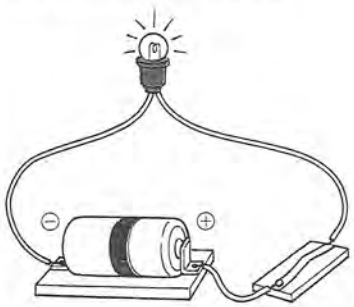


デジタルメーター

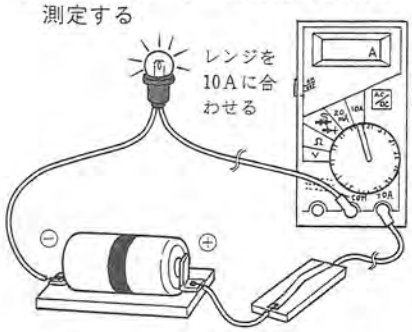



2 電流を測定する

①豆電球の回路を組み立てる

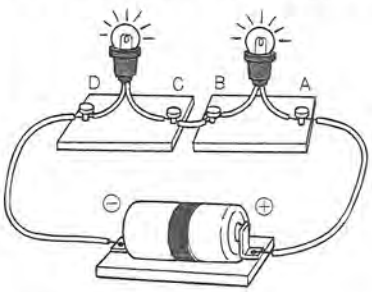


②デジタルメーターをつなぎ電流を測定する

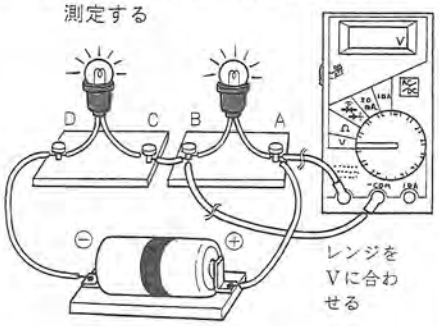



3 豆電球A～B，C～D間の電圧を測定する

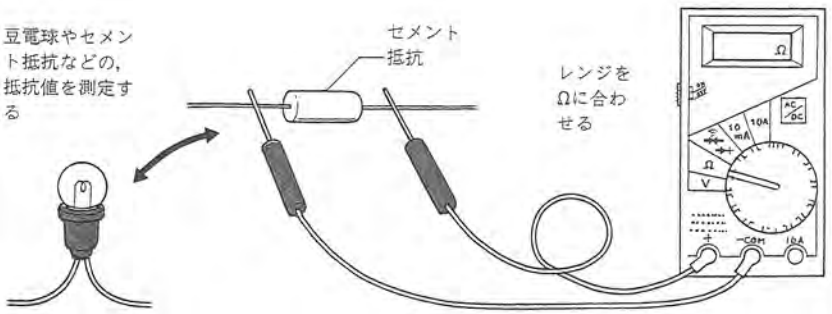
①回路を組み立て，電流の向きを考え，デジタルメーターのつなぎ方を決める




②デジタルメーターをつなぎ電圧を測定する




4 抵抗値を測定する




1 解説 デジタルマルチメーターとも呼ばれている。測定値は液晶表示板に最大1999まで表示される。測定値のほかに小数点，マイナス極性，入力オーバー，電池消耗などが表示される。

ファンクションスイッチでは，Vで電圧測定，Ωで抵抗測定，⇒◀，⇒|で導通試験およびダイオードチェック，電流測定は20mAレンジおよび10Aレンジがそれぞれ選択できる。AC/DCスイッチは，電圧(V)および電流(20mA，10A)測定時にAC(交流)，DC(直流)を選択する。ACで使用中に，パワースイッチをOFFにすると常にDCにセットされる。DCサインは表示されない。

2 留意点 電流を測定する場合，回路に対して直列に接続する。デジタルメーターをつなぐ前に，AC/DCスイッチをDCにし，ファンクションスイッチを10Aにする。＋端子を10A端子に，－端子を－COM端子につなぐ。電流の向きが反対のときは，－の表示が出る。

3 留意点 電圧を測定する場合回路に対して並列に接続する。デジタルメーターをつなぐ前にAC/DCスイッチをDCにする。ファンクションスイッチをVにする。＋端子を＋端子に－端子を－COM端子につなぐ。C～D間についても同様につなぐ。

解説 デジタルメーターの利点

- 操作が簡単である
- 1台で電流，電圧，抵抗などが読みとれる
- 測定値が数字で表示されるので読みやすい
- 軽量・小型であるため持ち運びやすく場所をとらない
- 操作を誤っても故障しにくい

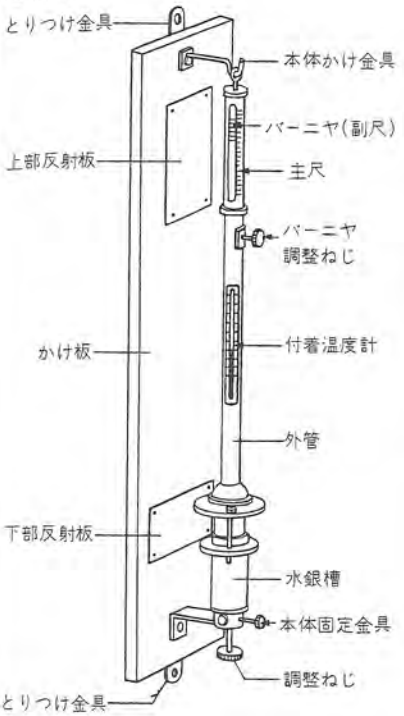
# 9 気圧の測定

水銀気圧計　アネロイド気圧計　記録気圧計

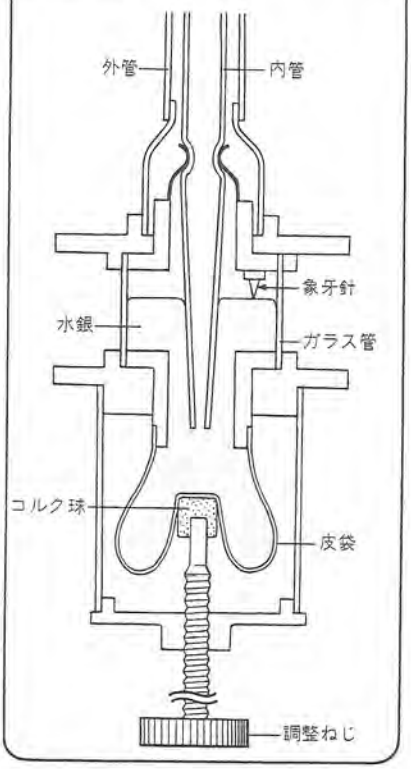
ねらい　水銀気圧計やアネロイド気圧計を用いて，大気圧を測定することができる。

## 1 水銀気圧計(フォルタン気圧計)による測定

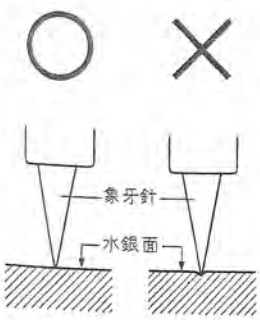
### ①構造



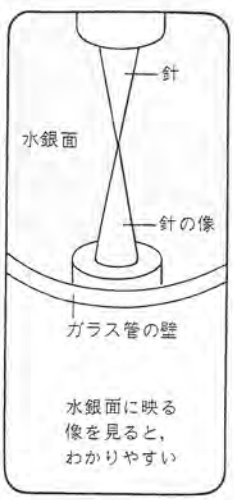

水銀槽の構造



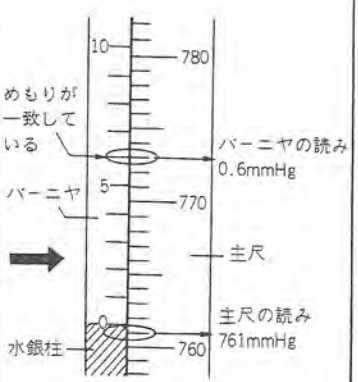

### ②使用法




付着温度計で気温を測定してから，調整ねじを回して水銀面を象牙針の先端に軽く触れさせる




水銀面に映る像を見ると，わかりやすい




バーニヤ調整ねじで，バーニヤを水銀柱の上端と一致させてめもりを読みとる。そして再び気温をはかり，平均気温で温度補正する

**測定例**

| | |
|---|---|
| 測定前の気温 | 15.5℃ |
| 測定後の気温 | 15.7℃ |
| 平均気温 $t$ | 15.6℃ |
| 水銀の体膨張率 $\alpha$ | 0.000182 |
| 黄銅の線膨張率 $\beta$ | 0.000019 |
| 見かけの気圧 $H$ | 761.6mmHg |
| 温度補正値 $\Delta H$ | −1.9mmHg |
| 補正後の気圧($H+\Delta H$) | 759.7mmHg (≒1013mbar) |

1 ① 解説 フォルタン気圧計は，フランスのフォルタン(1750～1831)が作った水銀気圧計である。上端が閉じているガラス製内管と水銀槽などからできている。水銀槽の底部は皮袋になっていて，気圧が変化したとき，水銀槽内の水銀面をめもりの原点である象牙針の先端に合わせて気圧を測定するのが特徴である。

留意点 気圧計をとりつけるときには，建物の柱や壁に，鉛直になるように固定する。次の手順でとりつければよい。

①かけ板を鉛直に固定する。②気圧計を逆さにし，調整ねじを手ごたえがあるまで締めた後，静かに正立させる。③気圧計の下端を，下部の固定金具にはめこんでから，上部のかけ金具をかける。④下部固定金具の3本のねじを締めて，鉛直に固定する。

設置する場所は，温度変化の少ない部屋がよい。日射，暖房，外部の振動の影響を受けやすい所は避けるようにする。

② 留意点 水銀面を象牙針に触れさせるときには，強く触れ過ぎないようにする。強く触れているときは，水銀面に映っている針の像がゆがんで見える。

めもりを読むときは，目の位置を水銀柱の上端と同じ高さになるようにする。

解説 気圧は0℃の水銀柱の高さで示すことになっているので，読みとった気圧に対しては温度補正をする必要がある。

水銀の体膨張率を $\alpha$ とすると，$t$℃における水銀の密度は，0℃のときの密度に対して，$1/(1+\alpha t)$倍となる。また，水銀柱のめもりは，0℃のときに正しいmm単位の長さを示すように作られているので，めもり尺の線膨張率を $\beta$ とすると，$t$℃のときのめもりの読み $H$〔mmHg〕の本当の長さは，$H(1+\beta t)$ となる。したがって温度補正後の気圧 $H_1$〔mmHg〕は，

$$H_1=\frac{H(1+\beta t)}{1+\alpha t}\fallingdotseq H\{1-(\alpha-\beta)t\}$$

となる。ゆえに，温度補正値 $\Delta H$ は次のようになる。

$$\Delta H=H_1-H=-H(\alpha-\beta)t$$

参考のため，左に測定例を示しておく。

注意 測定後は，象牙針を必ず水銀面から離しておく。針の先端が水銀で汚れるのを防ぐためである。

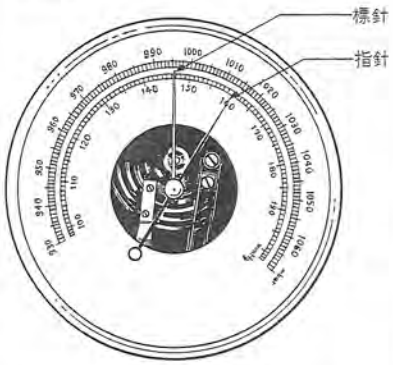
参考 補正には，温度補正のほかにも，毛管補正と重力補正がある。

ガラス管（内管）内の水銀柱は，毛管現象のため，本当の値よりやや低くなる。これを補正するのが毛管補正である。

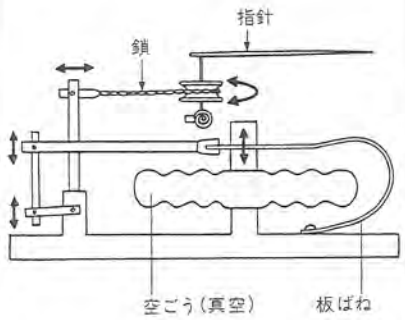
重力補正は，水銀柱の高さが測定地の重力加速度 $g$ に関係することから，重力の標準値 $g=980.665\text{cm/s}^2$ に対応する気圧に換算するための補正である。

## 2 アネロイド気圧計による測定

### ①構造




内部の構造

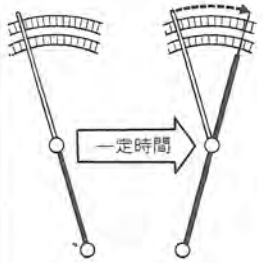



### ②使用法

柱かけ用は，柱に垂直にかけてめもりを読み，卓上用は机の上に水平に置いてめもりを読む



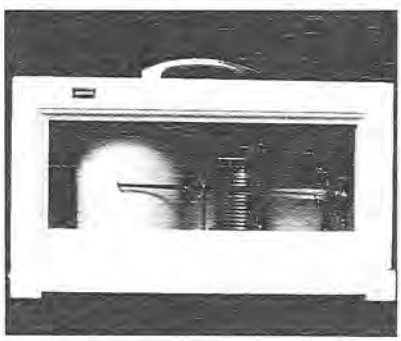
標針の使い方



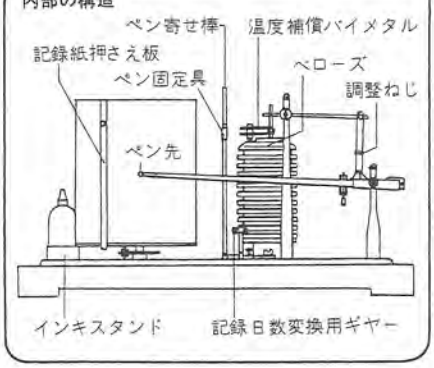

ある時刻での指針の位置に重ねておき，時間経過に伴って変化する気圧の状態を調べたいときに用いる

## 3 記録気圧計（アネロイド型自記気圧計）による測定

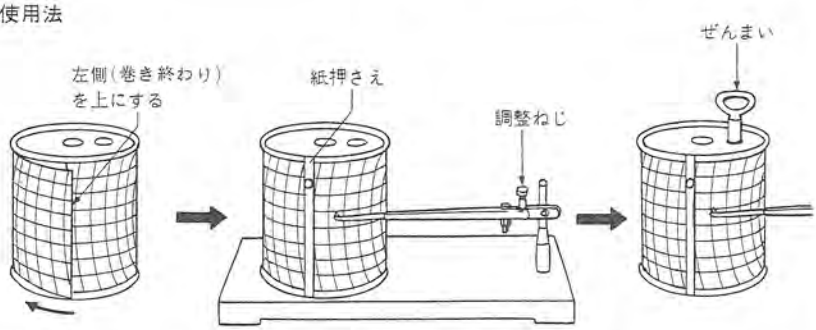
### ①外観



内部の構造




### ②使用法




記録用紙を円筒に巻きつけ，用紙の上部に日付を記入する

調整ねじで自記ペンの接触の程度を調整し，ペン先のインキだめに8分目ぐらいインキを入れる

自記時計のぜんまいをいっぱいに巻き，記録紙の時刻を現在の時刻に合わせる

2①解説 アネロイド気圧計は，金属の弾性を利用して作られたもので，名称はギリシア語の「液体ではない」という意味に由来している。

感部は，同心円波状の薄い金属板を2枚合わせて，内部の空気を抜いたものである。内部が真空状態になっているため，大気圧により，へこもうとする力がはたらくが，強い板ばねで支えてこの力につり合わせてある。したがって，気圧が高くなると縮み，低くなると膨らむ。感部のこのような変化を見やすくするため，てこで拡大して指針の振れとしたものが，アネロイド気圧計である。

留意点 平地で使用するものは，測定範囲920～1080mbar(690～810mmHg) 程度のものがよい。

②留意点 設置場所は，温度変化が少ない場所が望ましい。日射，暖房，外部の振動の影響を受けやすい所は避ける。

衝撃を与えるようなとり扱いをしてはいけない。

卓上用と柱かけ用の使用法を間違えないようにする。

3①解説 記録気圧計は，自記気圧計とも呼ばれ，気圧の変化を連続的に自記記録するように作られたものである。

アネロイド気圧計の一種なので，基本的原理は2と同様である。2において，指針の先にペン先をとりつけ，気圧の変化を，時間とともに回転する円筒に巻きつけた記録用紙に記録するようにしたものである。

留意点 記録用紙には，円筒の回転速度により，1日用と7日用がある。学校で使用するのには7日用のものがよい。

記録用紙は専用のものを使うようにし，毎週月曜日の朝9時か10時に交換する。

②留意点 記録用紙を円筒に巻くときには，用紙の左端を紙押さえの穴の右端に合わせるようにし，巻き終わりの合わせ目は左側を上にする。また，左右のめもり線がずれないように気をつける。

ペン先が記録用紙を押しつける力が強過ぎると気圧変化と記録とのずれが生じ，弱過ぎると線がとぎれることがある。

自記時計のねじ（ぜんまい）は，用紙を交換するたびに，いっぱいに巻くようにする。

時刻を合わせるときは，円筒を回転方向と逆に回しながら，ペン先の位置をよく確かめて合わせるようにする。

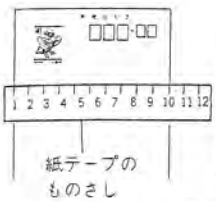
# 10 測定値と誤差

はがき　紙テープ　ものさし(mmめもり)　長方形の紙

ねらい　測定に伴う誤差の処理を通して，測定値の表し方や有効数字の扱い方が理解できる。
測定値の四則計算ができるようになる。

## 1 測定値の表し方

データ




紙テープのものさし

はがきの縦・横の長さをcmめもりのものさしではかったもの

5人の測定値

| 人 | 縦〔cm〕 | 横〔cm〕 |
|---|---|---|
| ア | 14.7 | 10.1 |
| イ | 14.8 | 10.0 |
| ウ | 14.9 | 10.1 |
| エ | 14.7 | 9.9 |
| オ | 14.8 | 10.0 |

### ①ばらつきの範囲を示す表し方

『はがきの縦の長さは
14.7cmより大きく
14.9cmより小さい』
14.7cm＜縦の長さ＜14.9cm

『はがきの横の長さは
9.9cmより大きく
10.1cmより小さい』
9.9cm＜横の長さ＜10.1cm

### ②平均値による表し方

| 縦の長さ | 横の長さ |
|---|---|
| 14.7 | 10.1 |
| 14.8 | 10.0 |
| 14.9 | 10.1 |
| 14.7 | 9.9 |
| ＋ 14.8 | ＋ 10.0 |
| 5) 73.9 | 5) 50.1 |
| 14.78 | 10.08 |
| 8 | |

平均値＝14.8cm　　平均値＝10.0cm

### ③平均値に誤差を加えて示す表し方

平均値が本当の値にもっとも近いとみなし，測定値の散らばり方から誤差の大きさの見当をつける。
②の場合の誤差は±0.1cmである

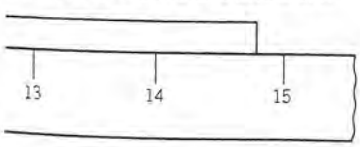
はがきの縦の長さ
14.8±0.1cm

はがきの横の長さ
10.0±0.1cm

## 2 有効数字の表し方と計算の方法

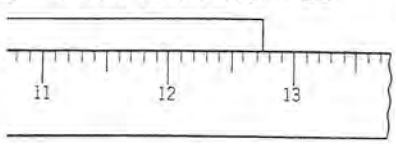
### ①有効数字の表し方

㋐cmめもりのものさしで読んだ場合




測定値＝14.8cm
信用できる数　確かでない数
有効数字3けた

㋑mmめもりのものさしで読んだ場合




測定値＝12.74cm
信用できる数　確かでない数
有効数字4けた

### ㋒平均値の表し方

例えば，1②のはがきの長さの平均値を，14.78cmではなく，14.8cmと表したのは，次の理由による

14.78
8　意味のない数字

有効数字3けた

### ②10ⁿを用いた表し方

例えば，測定値が280cmとすると，このままでは有効数字が2けたなのか3けたなのかはっきりしない。そこで，もし有効数字が2けたなら次のように表す

$2.8\times10^{2}$cm

単位をkmにとれば$2.8\times10^{-3}$kmとなる

---

1 解説 データは，紙テープでcmめもりのものさしを作り，0.1cmまでの詳しさではかったものである。ふつうはmmめもりのものさしで0.1mmの詳しさではかるのが通例であるが，測定値の処理の方法を示すため，cmめもりのものさしによる例を示した。

5人の測定データ例からもわかるように，一般に，測定者の癖，器具の使い方（ものさしの当て方など），器具のめもりの細かさなどによって，測定値に「ばらつき」ができる。このため，測定値と本当の値の間に食い違いが起こる。この食い違いの大きさが誤差である。

誤差＝測定値－本当の値

本当の値にできるだけ近く，誤差の小さい値を得るためには，測定を何回も繰り返し，それらの平均値を求める。

① 解説 この表し方は，縦・横それぞれの長さを，一つの値として表したのではなく，一定の幅で表したものである。

② 解説 平均値は，誤差を含む最初のけたまで表す。例えば，cmめもりのものさしで読めば0.1cmの詳しさまで目分量で読みとることになるが，この目分量で読みとった数値が誤差を含むけたということである。

③ 解説 ここで示している誤差は，絶対誤差である。この表し方のほか，次のように平均値に相対誤差を加えて示す表し方もある。

はがきの横の長さ＝10.0cm±1％

2 ① 解説 有効数字とは，信用できる数に誤差を含む確かでない数を1けた加えた数字である。したがって，もし，cmめもりのものさしを使って読みとった数字が，ちょうど10cmであったときに，測定値は10.0cmと記すのが正しい。10cmという測定値と10.0cmという測定値では，有効数字が1けた違うのである。

② 解説 科学では，非常に大きい値や小さい値をとり扱うことがよくある。この場合，有効数字を小数で表し，それに$10^{n}$を乗じた形で数値を表すと計算や表記に都合がよい。

例えば，地球の赤道半径を$6.37\times10^{3}$ kmとして赤道の長さを求めると次のようになる。

$6.37\times10^{3}\times2\times3.142=4.00\times10^{4}$km

### ③有効数字の計算の方法

㋐足し算（引き算）

データ

| | |
|---|---|
| cmめもりものさしの読み | 6.2 cm |
| mmめもりものさしの読み | 3.48cm |
| マイクロメーターの読み | 0.162cm |

そのまま行う方法

$$\begin{array}{r} 6.\dot{2} \\ 3.4\dot{8} \\ +\ 0.1\dot{6}\dot{2} \\ \hline 9.\dot{8}\dot{4}\dot{2} \end{array}$$

有効数字　無効数字

（誤差の中に含まれてしまう）

けたをそろえる方法

$$\begin{array}{r} 6.\dot{2} \\ 3.\dot{5} \\ +\ 0.\dot{2} \\ \hline 9.\dot{9} \end{array}$$

有効数字

㋑掛け算（割り算）

データ

〈長方形の各辺の測定値〉

| | |
|---|---|
| cmめもりものさしの読み | 2.3 cm |
| mmめもりものさしの読み | 14.75cm |

そのまま行う方法

$$\begin{array}{r} 14.7\dot{5} \\ \times\quad 2.\dot{3} \\ \hline 4\,4\,2\,\dot{5} \\ 2\,9\,5\,\dot{0} \\ \hline 3\dot{3}.\dot{9}\,2\,\dot{5} \end{array}$$

4

有効数字

けたをそろえる方法

$$\begin{array}{r} 14.\dot{8} \\ \times\quad 2.\dot{3} \\ \hline 4\,4\,\dot{4} \\ 2\,9\,\dot{6} \\ \hline 3\dot{4}.\dot{0}\,\dot{4} \end{array}$$

有効数字

### ③測定値の計算の方法

データ

4.6±0.1cm

12.4±0.1cm

長方形の紙の辺ＡＢとＡＤの長さをはかったときの最大値と最小値

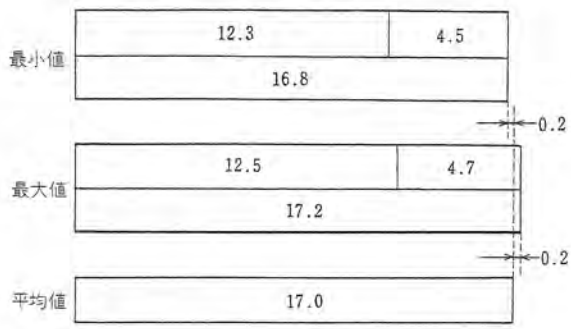
| | 最小値〔cm〕 | 最大値〔cm〕 |
|---|---|---|
| ＡＢ | 12.3 | 12.5 |
| ＡＤ | 4.5 | 4.7 |

#### ①足し算と引き算

㋐足し算

2辺の和(AB+AD)を求める

最小値＝(ABの最小値)＋(ADの最小値)
最大値＝(ABの最大値)＋(ADの最大値)




16.8cm＜(AB＋AD)＜17.2cm

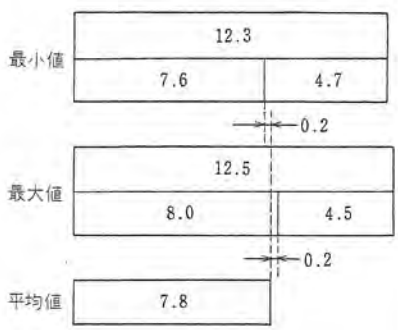
(AB+AD)の誤差は，平均値と最小値・最大値との差であるから，± 0.2cmとなる。したがって(AB+AD)は次のようになる

(AB＋AD)＝17.0±0.2cm

㋑引き算

2辺の差(AB−AD)を求める

最小値＝(ABの最小値)−(ADの最大値)
最大値＝(ABの最大値)−(ADの最小値)




7.6cm＜(AB−AD)＜8.0cm

足し算の場合と同様，(AB−AD)の誤差は，±0.2cmとなるので，(AB−AD)は次のようになる

(AB−AD)＝7.8±0.2cm

#### ②掛け算（割り算）

長方形ABCDの面積を求める

最小面積＝(ABの最小値)×(ADの最小値)
最大面積＝(ABの最大値)×(ADの最大値)

最小面積

$$\begin{array}{r} 12.\dot{3} \\ \times\quad 4.\dot{5} \\ \hline 6\,1\,\dot{5} \\ 4\,9\,\dot{2} \\ \hline 5\dot{5}.\dot{3}\,\dot{5} \end{array}$$

最大面積

$$\begin{array}{r} 12.\dot{5} \\ \times\quad 4.\dot{7} \\ \hline 8\,7\,\dot{5} \\ 5\,0\,\dot{0} \\ \hline 5\dot{8}.\dot{7}\,\dot{5} \end{array}$$

9

55cm²＜(AB×AD)＜59cm²

誤差は，平均値 57cm² とのばらつきであるから，±2cm² となる。したがって長方形ABCDの面積は次のようになる

(AB×AD)＝57±2cm²

このときの相対誤差と，それを用いて表した面積は，次のようになる

$\frac{2}{57}\times 100 = 3\%$（相対誤差）

(AB×AD)＝57cm²±3%

③解説 左の計算例において，上に・印をつけてある数字は，誤差を含む位の数である。

有効数字の計算を行うには，測定値を同一単位で表す。

けた数の異なる数値の計算には，そのまま計算して無効数字を四捨五入して求める方法と，けた数をそろえてから計算する方法がある。

左の掛け算の計算例では，測定値の有効数字はそれぞれ2けたと4けたであるが，積の有効数字は2けたとなっている。積(または商)の有効数字は，掛け算（または割り算）を行う前の，測定値の有効数字のうち，けた数の小さいほうに等しくなる。

引き算や割り算における有効数字のとり扱いも，足し算や掛け算における有効数字のとり扱いと同じである。

③①解説 測定値の和(または差)の誤差は，それぞれの誤差の和となる。したがって，和(または差)の計算は，次のように，測定値の部分の和(または差)を求め，誤差の部分にはその絶対値の和を当てるようにすればよい。

$$\begin{array}{r} 12.4\pm0.1\cdots AB \\ +)\,4.6\pm0.1\cdots AD \\ \hline 17.0\pm0.2 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 12.4\pm0.1\cdots AB \\ -)\,4.6\pm0.1\cdots AD \\ \hline 7.8\pm0.2 \end{array}$$

②解説 辺ABとADの相対誤差は，ABが1%，ADが2%である。また，左で求めた長方形ABCDの面積における相対誤差は，3%である。このことからもわかるように，測定値の積(または商)の誤差は，それぞれの相対誤差の和である。

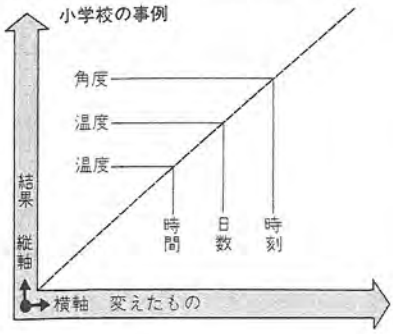
# 11 グラフのかき方

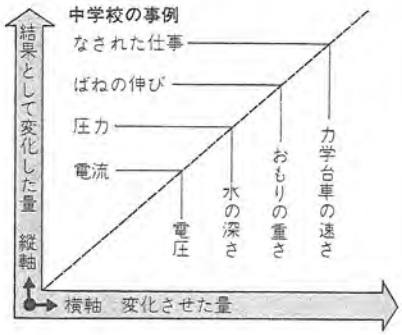
方眼紙　鉛筆　定規

ねらい　グラフを正しくかくことができる。
グラフを正しく読みとり，測定結果を考察することができる。

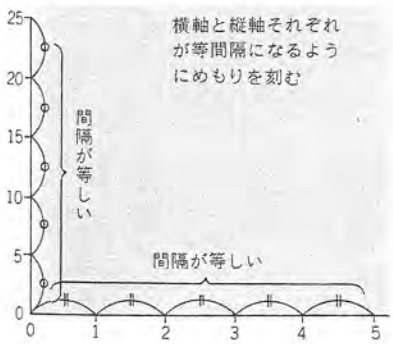
## 1 グラフのかき方

### ①横軸と縦軸にとる量を決める

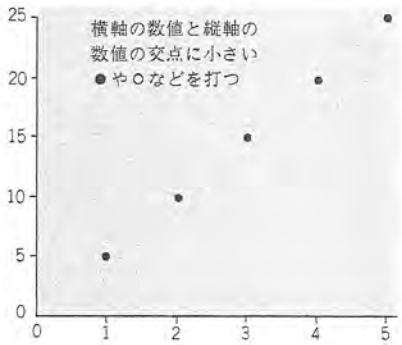



### ②めもりを刻む

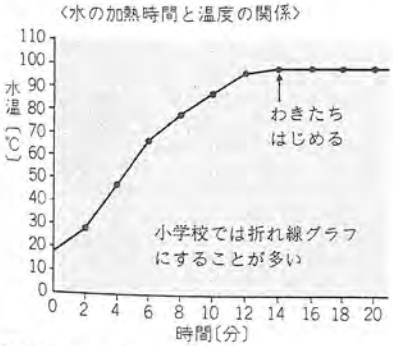



### ③測定値をかきこむ

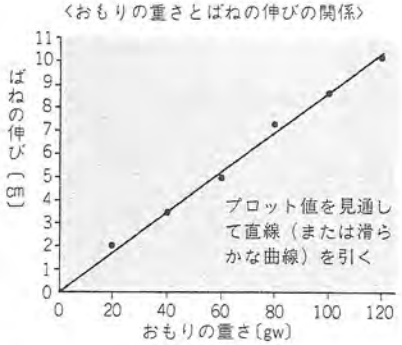



### ④線を引く

小学校の事例
〈水の加熱時間と温度の関係〉



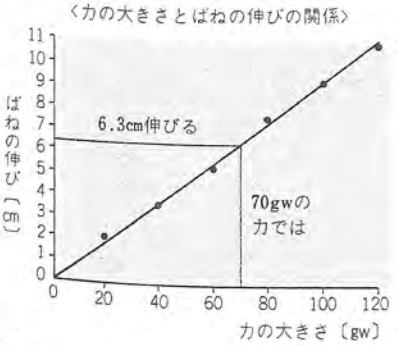

中学校の事例
〈おもりの重さとばねの伸びの関係〉




## 2 グラフの解釈(1)

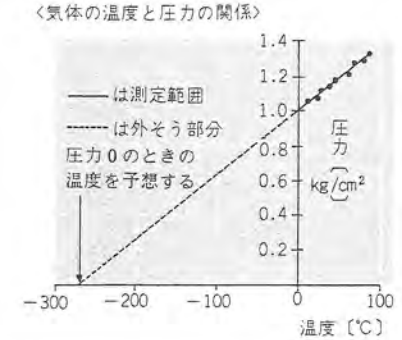
### ①内そう法（補間法）

〈力の大きさとばねの伸びの関係〉




### ②外そう法（補外法）

〈気体の温度と圧力の関係〉



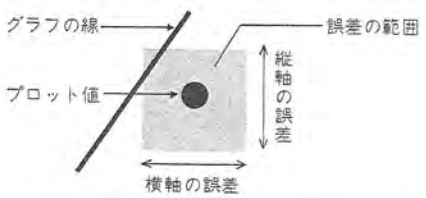

---

1 ①解説 小学校では，時間，日数，時刻など変えていくものを横軸にとり，その結果（時間変化につれて上昇する水温など）を縦軸にとって表す。
中学校では，変化させた量を横軸にとり，そのために変化した量を縦軸にとる。

② 留意点 めもりは，測定値をよく検討し，最大値がグラフからはみ出さないように刻む。

③ 留意点 点が小さ過ぎると，線を引いたときに，隠れて見えなくなってしまう。点が大き過ぎるのもよくないが，大きさはある程度考慮する必要がある。
必要に応じて，●や○のほか，△や×なども使うとよい。

④解説 小学校では必要ないが，中学校ではそれぞれの点からなるべく離れないように，直線か滑らかな曲線にする。これは，測定値には必ず，次のように誤差が含まれているからである。



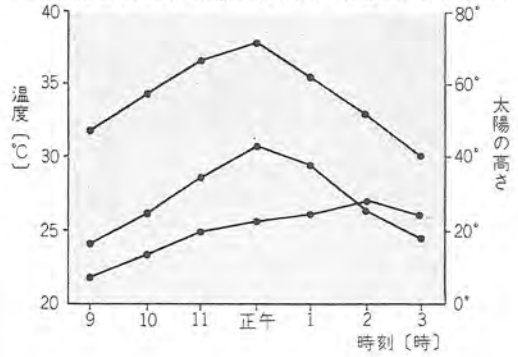

留意点 原点付近では，原点を通るかどうかを考慮して線を引く必要がある。

2 解説 測定値と測定値の間で，測定していない部分の値を予想することを，グラフを内そうするといい，内そうにより値を求めることを内そう法（補間法）という。
測定値の外側の値を，グラフを延長して予想することを外そうするといい，外そうにより値を求めることを外そう法（補外法）という。測定が困難（または不可能）なときには，しばしば用いられる方法である。その代表例が，左図の「気体の温度と圧力の関係」である。

## 3 グラフの解釈(II)

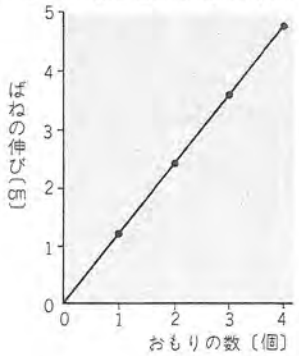
### ①いろいろな変化をまとめたグラフから，それぞれ何の変化を表しているかを読みとる

〈気温，地面の温度，太陽の高さの1日の変化〉 5月(東京)



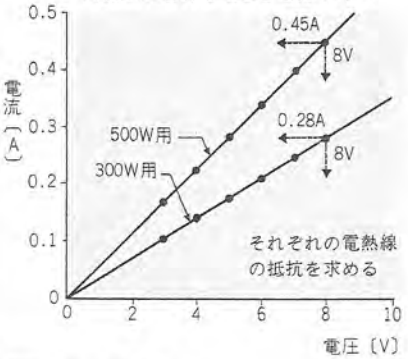

### ②横軸の量と縦軸の量との関係を読みとる

〈おもりの数とばねの伸びの関係〉

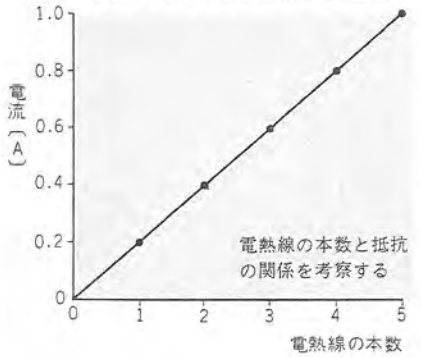



### ③測定結果の考察

〈電熱線における電圧と電流の関係〉



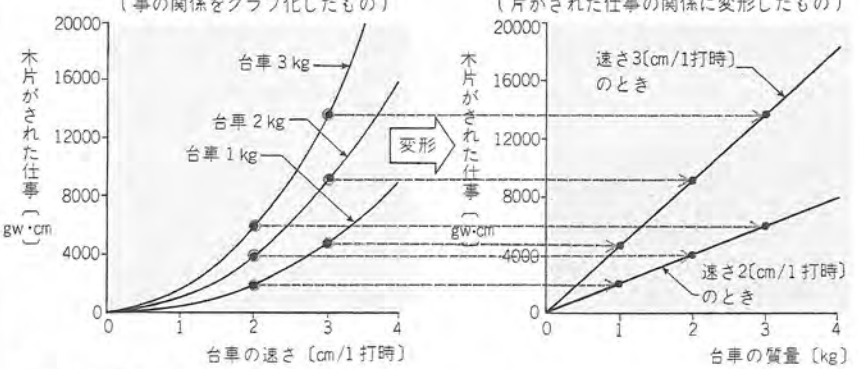

〈電圧一定のときの電熱線の本数と電流の関係〉




## 4 グラフの変形

〔台車の速さと木片がされた仕事の関係をグラフ化したもの〕

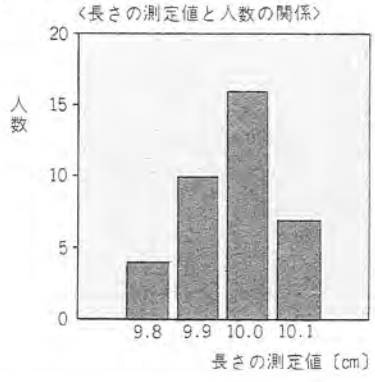
〔速さが一定のときの，台車の質量と木片がされた仕事の関係に変形したもの〕




### 【参考】ヒストグラムによる表し方

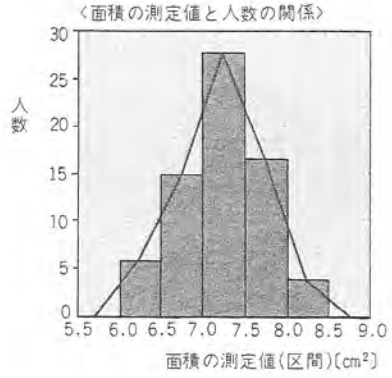
#### 1 測定値と度数のヒストグラム

〈長さの測定値と人数の関係〉




#### 2 区間の値と度数のヒストグラム

〈面積の測定値と人数の関係〉




---

3 ①解説 このグラフは，小学校6年の学習内容を例示したものである。

②解説 グラフを読みとり，規則性を見いだす。

このグラフは中学校1年の学習内容を例示したものであるが，この場合，グラフの線が原点を通る直線となっているので，2つの変数の間に比例関係が成り立つことを理解する。

③解説 左のグラフ〈電熱線における電圧と電流の関係〉では，次のことがわかる。

電圧8.0Vのとき，500W用電熱線には，0.45A，300W用電熱線には0.28Aの電流が流れることが読みとれる。したがって，300W用電熱線のほうが電流が流れにくいこと，つまり抵抗が大きいことがわかる。また，$V=IR$ の関係から，各電熱線の抵抗を求めることもできる。

右のグラフ〈電圧一定のときの電熱線の本数と電流の関係〉では，電流が電熱線の本数に比例していることから，抵抗はその断面積に反比例することがわかる。

4 解説 一般に，ある量 $y$ が2つの変数 $x$ と $z$ により変化する場合，$y$ と $x$ との関係を表すグラフから第2の変数 $z$ の変化量を求め，$y$ と $z$ の関係を示すグラフにかき直すことができる。これにより，$y$ と，$x$ および $z$ との関係が考察できる。

左の例では，変形前のグラフから，台車の運動エネルギーは速さと比例関係にない（速さの2乗に比例する）ことがわかる。また，変形後のグラフから，台車の運動エネルギーは質量に比例していることがわかる。

**【参考】ヒストグラムによる表し方**

解説 ヒストグラムは，「度数棒状図」「棒グラフ」ともいわれる。例えば，同じものの長さをクラス全員ではかったときの，その測定値の分布状態を知るときなどに利用される。

横軸に測定値やその区間などをとり，縦軸に人数や度数をとって表す。

横軸に測定値の区間をとった場合，それらの各区間の中央値を直線で結んだグラフで表すこともある。これを「度数多角形」という。同様に，各区間の中央値を滑らかな曲線で結んだものを「度数曲線」という。

# 12 力には直達力と遠達力があることを調べる

ねらい 田1 力には，2物体が直接，接触して力を及ぼし合う直達力と，離れていても力を及ぼし合う遠達力とがあることが調べられる。

【A】木片① 糸 鉛筆 扇風機 紙切れ 風車②
水車③ 水道ホース 【B】U形磁石2 鉛筆(数本)
ドーナツ形フェライト磁石④ 丸棒⑤ ストロー2
まち針 消しゴム ふうせん2 糸 化繊の布

①フック付きのもの。5×10×15cm程度のものが扱いやすい。②折り紙で作ったものでよい。③自作のものでよい。④両面磁化のもの。⑤ドーナツ形磁石の穴に通せるもの。

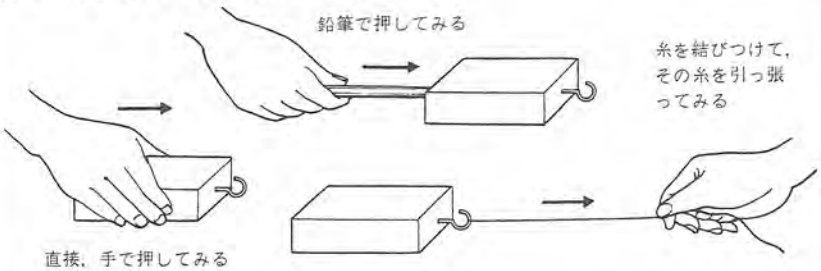
## 【A】直達力について調べる

1 手の力について調べる

①木片を机の上に置き，手を使って動かすにはどうすればよいかを考えてみる




②いろいろな方法で木片に力を加えてみる




1 ① 解説 小さい物体を動かすときには，ほとんどの場合，力を意識することはない。そこで，このように，どうすれば木片を動かすことができるかを考えることにより，何らかの外力を加えないと動かないことがわかる。つまり，力というものを意識することが，ここでのねらいである。

② 留意点 なぜ木片が動いたのかを考えてみる。

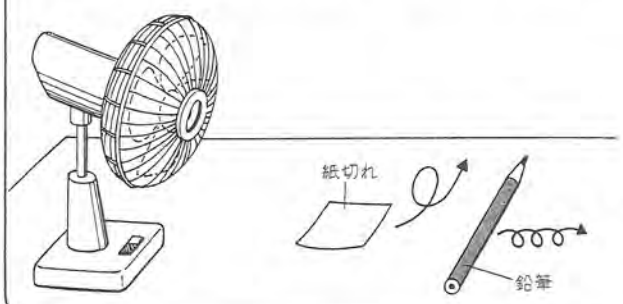
解説 鉛筆や糸を使っても，木片を動かすことができるのは，手の力が，棒や糸を通して木片に伝わるからである。

2 解説 空気が直接，他の物体に当たると，物体を動かすことができる。この実験は，このことを確認するためのものである。

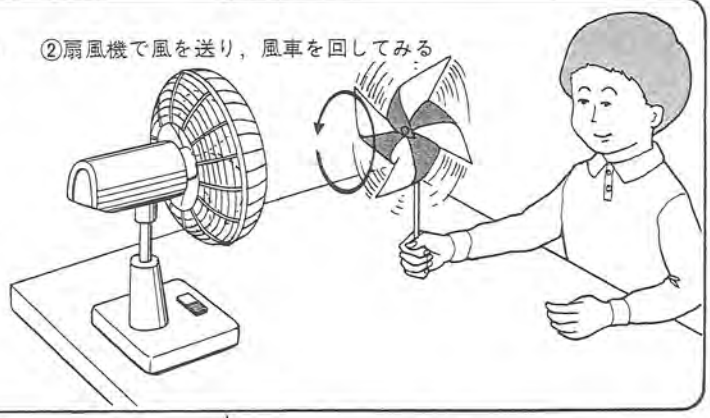
留意点 目には見えないが，空気も物質の一つであることを，実験前によく理解しておく。

2 空気の力について調べる

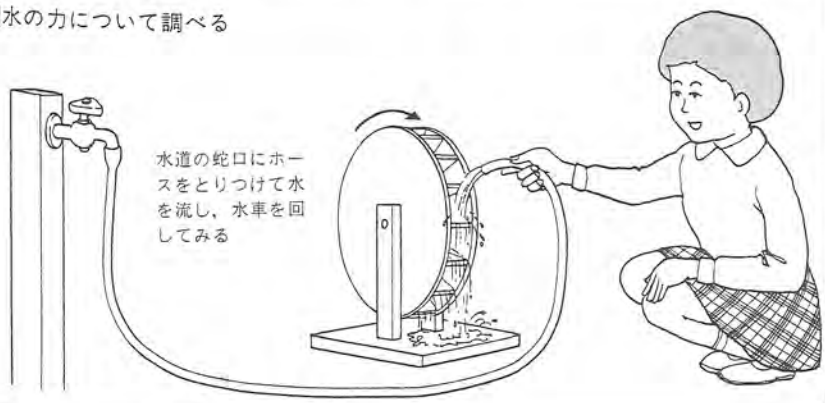
①机の上に紙切れや鉛筆などを置き，扇風機で風を送ってみる




②扇風機で風を送り，風車を回してみる



3 水の力について調べる



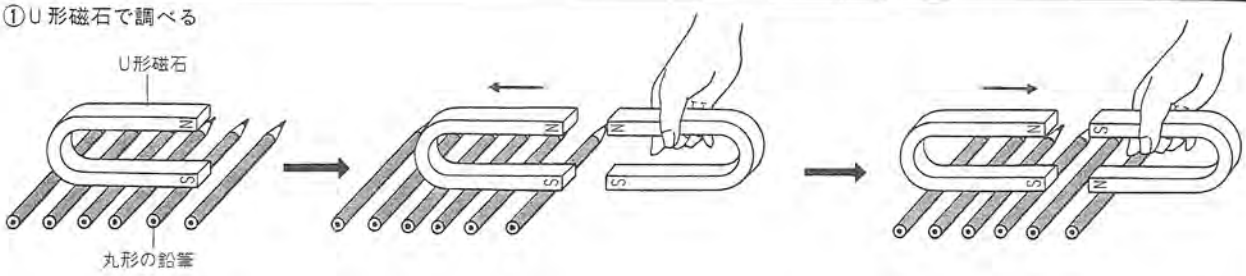

3 解説 水は目に見える物質であるが，低学年の子どもにはとらえどころのない物質である。したがって，水そのものが他の物質に力を及ぼすことは理解しにくい。この実験は，流れている水が力を及ぼすことを調べるためのものである。

解説 力は2物体の相互作用のことであり，物体の変形や運動状態の変化の原因である。2物体が直接，接触して，互いに及ぼし合う力が直達力である。

## 【B】遠達力について調べる

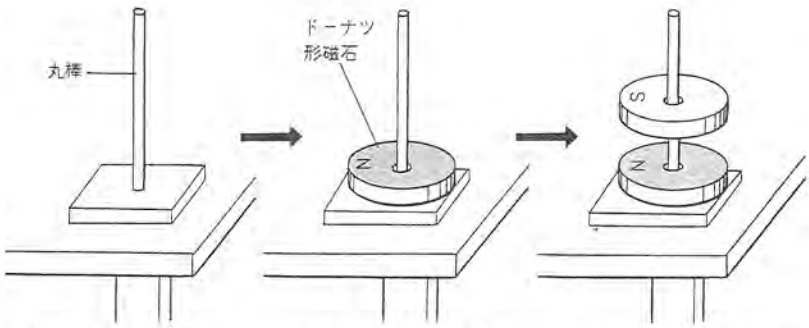
### 1 磁石の力について調べる

#### ①U形磁石で調べる




U形磁石をころの上に置く　同極が向かい合うように同形の磁石を近づけてみる　近づける磁石の極を逆にしてみる

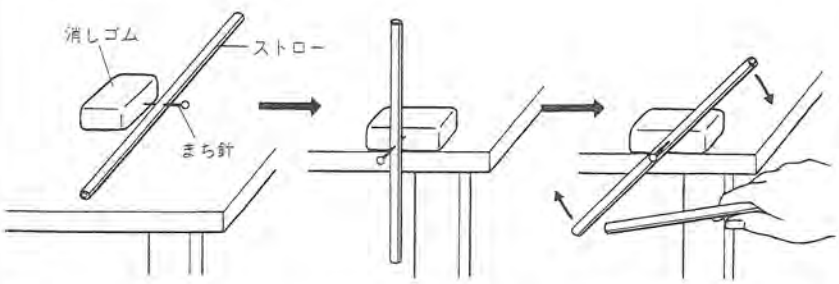
#### ②ドーナツ形磁石で調べる




垂直になるように机の上に棒を立てる　ドーナツ形フェライト磁石を棒に通す　同極が向かい合うように同形の磁石を通してみる

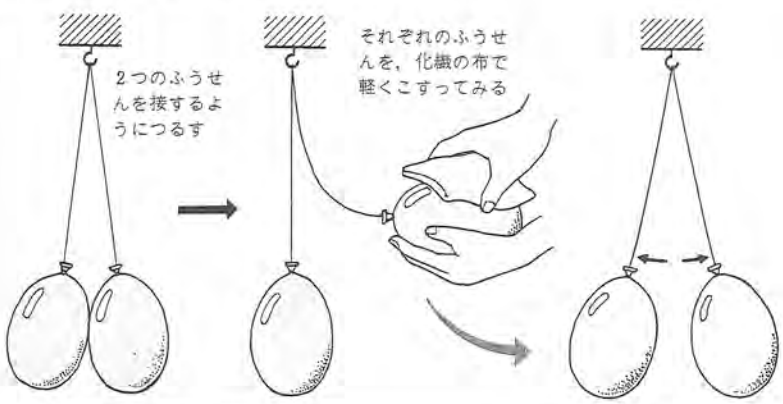
### 2 静電気の力について調べる

#### ①2本のストローで調べる




ストローの中央に針を通し，消しゴムに突き刺す　ストローを頭髪で軽くこすり，机の上に置く　他のストローを頭髪で軽くこすり，近づけてみる

#### ②2つのふうせんで調べる




1① 留意点 U形磁石は，できるだけ強力なものがよい。
ころは，丸形の鉛筆に限らない。適当な棒状のものがあれば何でもよい。置くときには，磁石の前後にも置くようにする。磁石を2個とも，ころの上に置いてもよい。この場合，磁石を近づけるときには，動きださないように，2個とも手で押さえておく必要がある。そして，近づけた後，両手を同時に磁石から離すようにする。

② 留意点 垂直に立てる棒は，直径が磁石の穴の大きさよりやや小さい程度のものがよい。極端に小さ過ぎると，磁石が傾いたりして，うまくいかない。
棒は，板に打ちつけて立てるとよい。

2① 留意点 ストローに針を突き刺したら，針を回しながら穴を大きくしておくとよい。ストローが回転しやすくなる。
針で消しゴムにとりつけたストローを机の上に置くときには，ストローの回転面が鉛直になるようにする。回転面が水平になるように置くと，ストローが直接，消しゴムと接触するので，回転しにくくなる。このように置くときには，ストローと消しゴムの間に，ビーズ玉を2個ぐらい入れるとよい。

② 留意点 ふうせんは，膨らませたとき，周囲が30～40cmぐらいになればよい。
ふうせんをつるしたら，できるだけ動かないようにする。空気が揺れ動くと，ふうせんが静止しにくくなる。

解説 2物体が離れていても力を及ぼし合うとき，これらの力を遠達力という。重力，電気力，磁気力などは，すべて遠達力である。

# 13 力のはたらきを調べる

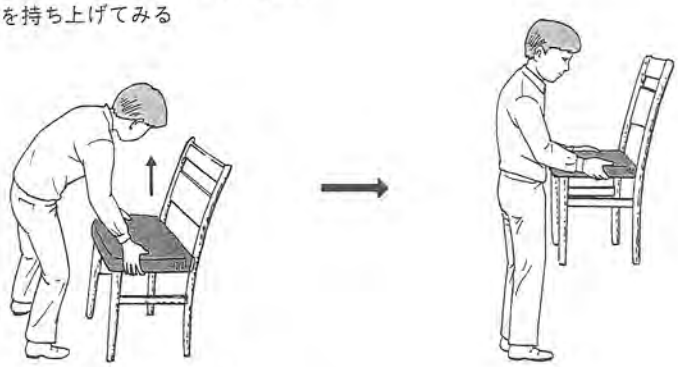
ねらい 中13　静止している物体に力を加えると，力の向きに移動し，動いている物体に力を加えると，運動の向きや速さが変化することが調べられる。
弾力性のある物体に力を加えると，変形することが調べられる。

いす① プラスチック定規　ボール

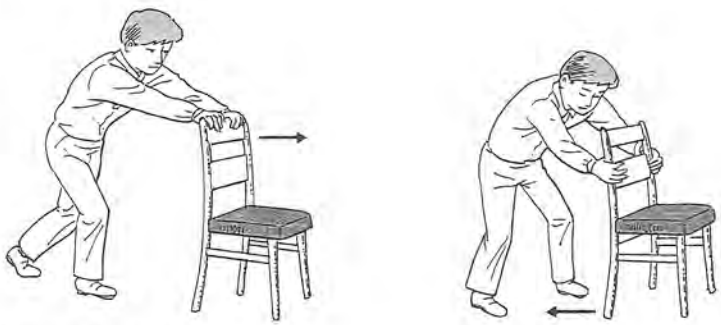
①いすのほか，机，水を入れたバケツなど，適度な重量のものなら何でもよい。

1 静止している物体を動かしてみる

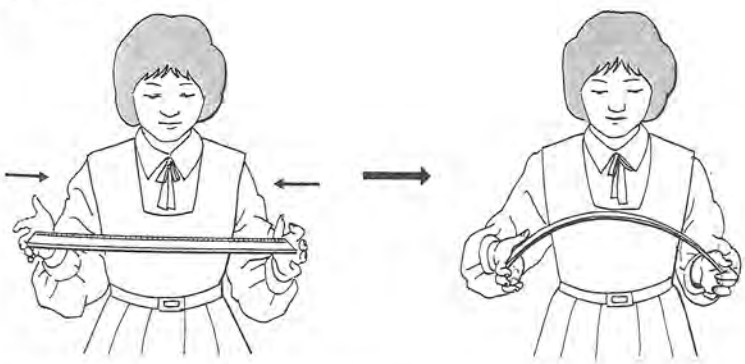
①物体を持ち上げてみる



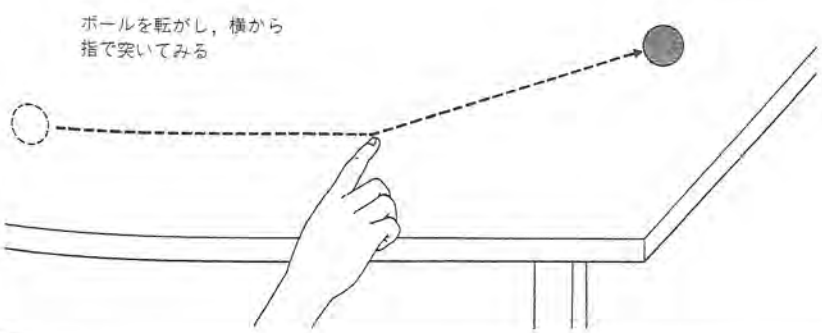
②物体を押したり引いたりしてみる



2 定規に力を加えてみる



3 動いているボールに力を加えてみる




1 解説 物体を持ち上げるにしろ引きずるにしろ，動かしたい向きに力を加えなければならない。この実験は，このことをからだを通して理解するためのものである。

① 留意点 いす，机，水を入れたバケツなど，いろいろなもので試してみるとよい。ただし，物体は，適度な重量のものを選ぶ必要がある。鉛筆や消しゴムなどの軽い物体だと，力を意識しないで持ち上げることができるので，力を明確に意識することができない。

② 留意点 いすや机など，いろいろなもので試してみるとよい。
力を加えるときには，徐々に加えるようにする。

2 留意点 定規のほか，軟式テニスボールなどについても実験してみるとよい。
解説 弾力性のある物体に力を加えると，物体は変形し，力をとり去るともとの形に戻る。
注意 定規に力を加えるとき，力を入れ過ぎないようにする。定規が折れて，破片が顔に当たると危険である。

3 留意点 ボールは，机や床の上などを，できるだけゆっくり転がすようにする。
横，後ろなど，いろいろな向きから力を加えてみるとよい。
解説 横から力を加えると，ボールの転がる向きが変化する。
後ろから力を加えると，ボールの速さが変化する。
参考 ボールの代わりに力学台車を使う方法も考えられる。ただし，力学台車を使った場合，速さの変化は観察できるが，運動の向きの変化は観察しにくい。

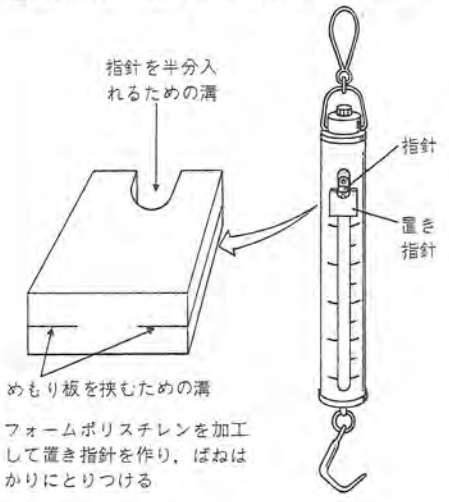
# 14 いろいろな物がどれくらいの力で切れるかをはかる

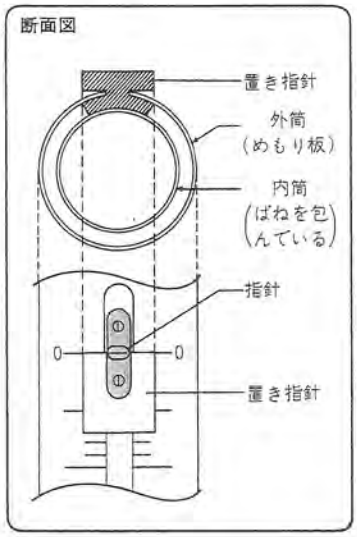
ねらい 田 ヒューズ，牛乳びんの包装テープ，紙などをばねはかりで引っ張り，切れるときの力をはかることができる。

ばねはかり(秤量5～7kgw)　フォームポリスチレン　カッターナイフ　スタンド　C形クランプ2　ヒューズ(5A)　おもり①　紙②　牛乳びんの包装テープ　セロハンテープ

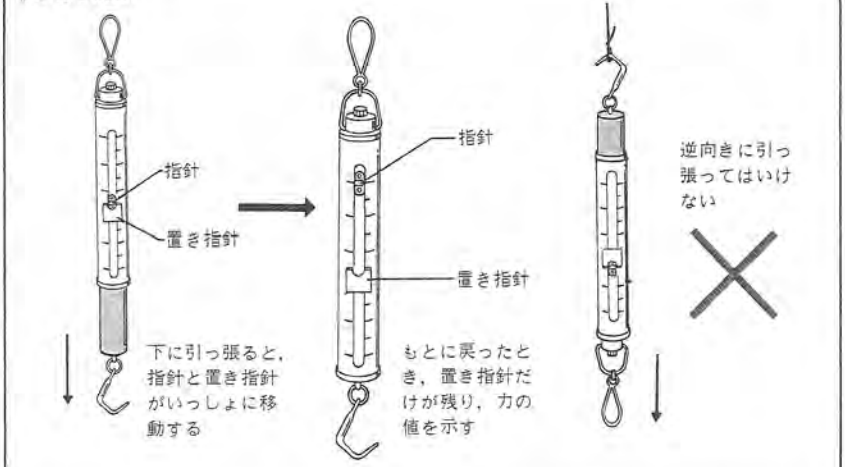
①500 gのもの数個と100 g程度のもの4個。ビニル袋に砂を入れて作ってもよい。②ざら紙(ワラ半紙)，上質紙，新聞紙など。

1 ばねはかりに置き指針をとりつける



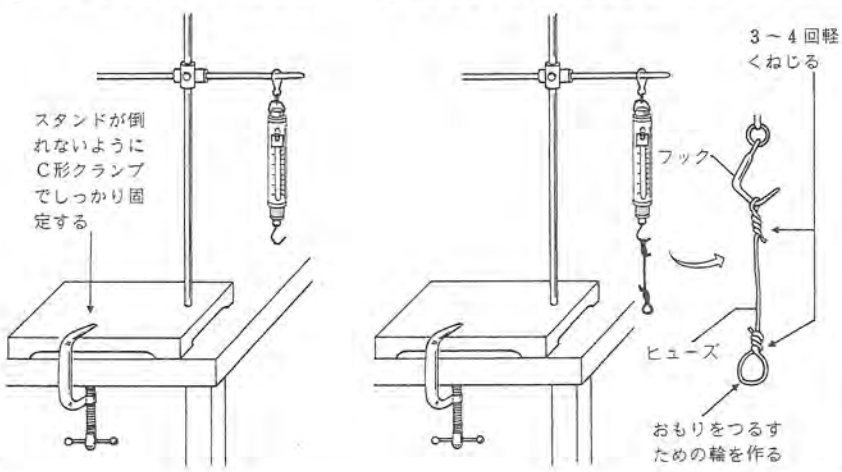




使い方と原理




2 ヒューズの一端を引っ張り，ヒューズが切れるときの力の大きさをはかる

①ばねはかりをスタンドにつるす　②ばねはかりのフックにヒューズをとりつける




解説 ヒューズに徐々に力を加えていくと，やがてヒューズは切れる。このときの力の大きさをはかる実験である。ヒューズの代わりに糸を使うことも可能であるが，この場合，糸の強度は意外に大きいので，たくさんのおもりが必要になる。また，切れたときの衝撃も大きいので，安全には十分注意する必要がある。

1 留意点 ばねはかりは，秤量5 kgw以上のものを用いる。秤量が小さいと誤差が大きくなる。

置き指針は，フォームポリスチレンで作るとよい。入手しやすく，加工も容易である。また，適度の摩擦と弾力があるので都合がよい。

大きさは，使用するばねはかりによっても異なるが，だいたい1×1 cm程度である。あまり小さくすると，壊れやすくなる。また，指針と平行にならなくなったりする。

めもり板を挟むための溝は，カッターナイフで切りこみを入れるだけで十分である。切りこみの間にめもり板が入り，フォームポリスチレンの弾力で止まるようになる。

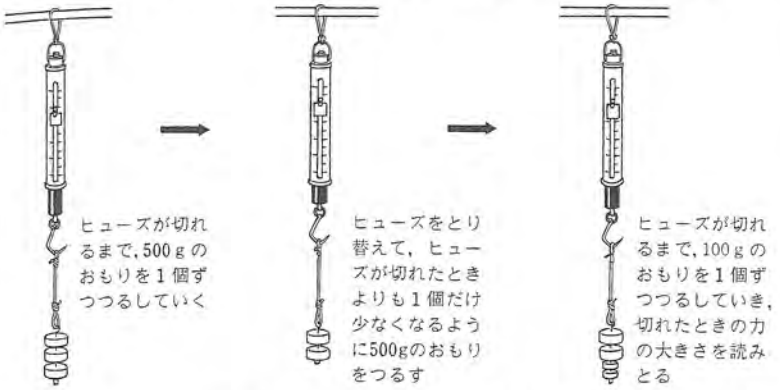
注意 ばねはかりを使うとき，逆向きにしないように注意する。ヒューズが切れた瞬間，ばねはかりが手のひらの上に落ちるので危険である。

2① 注意 ばねはかりは，必ずスタンドなどに固定する。手で持って実験すると，ヒューズが切れたとき，おもりが足の上に落下するおそれがあり，危険である。

スタンドの台は，C形クランプで机に固定しておく。スタンドが倒れると危険である。

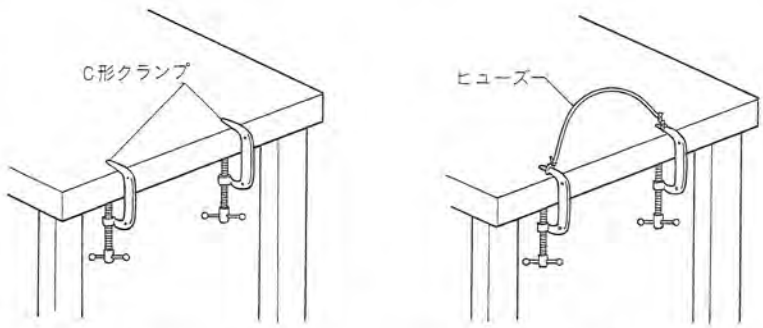
② 留意点 ヒューズをフックにとりつけたり輪を作るときには，軽くねじるようにする。強くねじると，その部分が切れやすくなる。

③ヒューズにおもりをつるし，ヒューズが切れるときの力の大きさをはかる

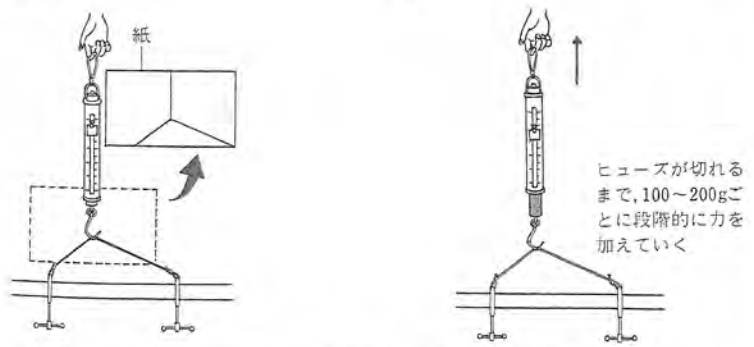



3 ヒューズなどの中間部分を引っ張り，切れるときの力の大きさをはかる

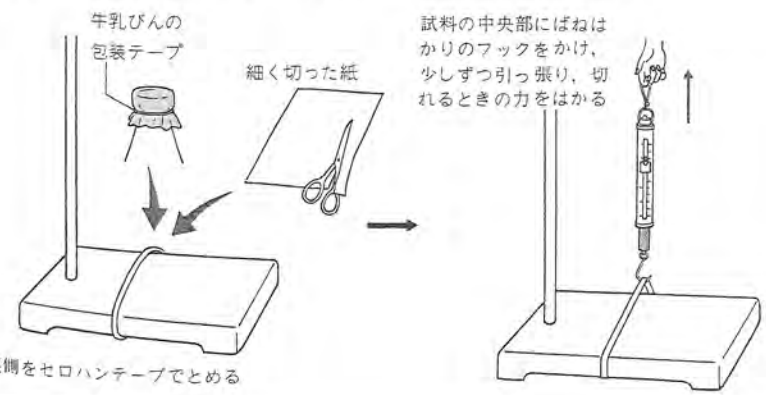
①C形クランプ２個を机に固定する　　②クランプにヒューズをとりつける




③ヒューズにばねはかりのフックをかけて軽く引っ張り，ヒューズのなす角度を紙に写しとる　　④ばねはかりを少しずつ引っ張っていき，ヒューズが切れるときの力の大きさをはかる




⑤スタンドに牛乳びんの包装テープ，細く切った紙などをとりつける




③ 留意点 ヒューズは，おもりをつるした直後には切れない。したがって，おもりを１個つるすごとに30秒～１分ぐらい様子を見る。そして，切れなかったら，次のおもりをつるすようにする。

１度使ったヒューズはもろくなるので，切れた後，必ず新しいヒューズととり替えるようにする。

500gw以内の力をはかるときには，100gのおもりの代りに200gのおもりを使ってもよい。

解説 ヒューズが切れるとき，その直前にヒューズが伸びるのが見られる。

５Ａヒューズが切れるときの力は，だいたい１～1.5kgw程度である。

3 ② 留意点 ヒューズをクランプにとりつけるときは，２～３回軽くねじるようにする。

③ 解説 ヒューズのなす角度を紙に写しとっておくのは，後の学習に役立てるためである。

④ 留意点 ヒューズに力を加えるごとに30秒～１分ぐらい様子をみる。そして切れなかったらさらに力を加えるようにする。

⑤ 留意点 ざら紙，上質紙，新聞紙などは，それぞれ，縦を５mm幅に切って帯状にしたもの，横を５mm幅に切って帯状にしたものを用いる。

縦に切ったものと横に切ったものを比較すると，ざら紙，新聞紙などでは結果に大きな違いがあることがわかる。

解説 大きい力がかかる側のヒューズが切れる。つまり，ばねはかりからクランプまでの距離が短い側が切れる。

牛乳びんの包装テープでは，フックにかける部分を中央でない部分にすると，短い側のほうが，こよりのようになってその後切れるので，短い側のほうに大きな力が加わっていることが視覚的にとらえられる。

上質紙(幅５mm)，牛乳びんの包装テープでは約１kgwの力で切れる。

# 15 摩擦の力を利用したおもちゃを作る

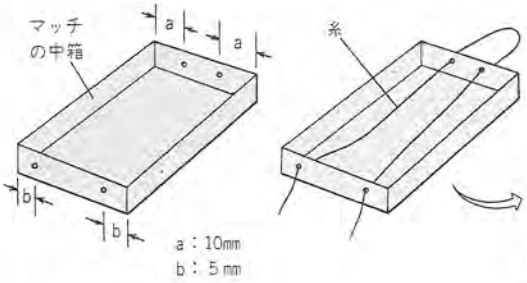
ねらい 田3 マッチの空箱や糸ハンダなどを使って，摩擦の力を利用したおもちゃを作ることができる。

【A】マッチの空箱① 糸② きり③ 【B】竹ひご④ 消しゴム⑤ 糸ハンダ⑥ 棒⑦

①家庭用の小型のものが扱いやすい。②たこ糸がよい。タバコ用の小さいマッチ箱を用いる場合は，木綿糸のほうがよい。③千枚通してもよい。④直径1㎜程度のもの。ボールペンのインキが入っているパイプでもよい。⑤台にするためのもの。なので，ゴム粘土などでもよい。⑥直径0.8㎜ぐらいのものを15cm。⑦竹ひごの直径より0.1㎜ぐらい太いもの。

## 【A】マッチ箱を利用したおもちゃを作る

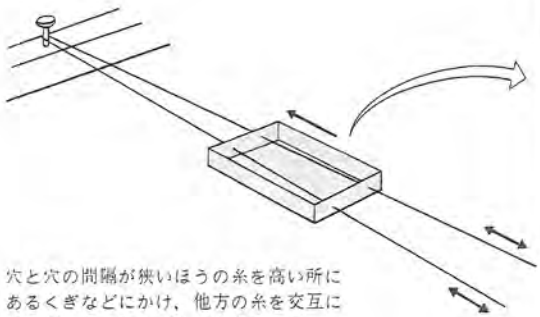
1 マッチの中箱に穴をあける　2 穴に糸を通す



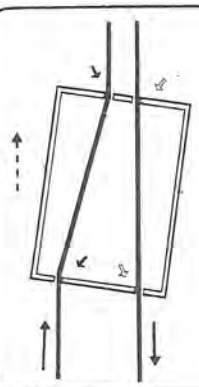

糸をクロスさせる方法



3 遊んでみる



穴と穴の間隔が狭いほうの糸を高い所にあるくぎなどにかけ，他方の糸を交互に引っ張ると，箱はどんどん上昇する



右側の糸を引っ張っても左側の糸を引っ張っても，マッチの中箱は上昇する。これは，強く引っ張っている側の穴の部分が滑り，緩められている側の穴の部分が滑らないからである。左図は，右側の糸を引っ張ったときのものであるが，⇨の部分が滑り，→の部分が滑らないことになる。

糸は，引っ張られると，まっすぐになろうとするが，途中に障害物があると折れ曲がる。このときの曲がり方は，糸の張力に関係する。また，箱の穴の部分の摩擦力は，この糸の折れ曲がり方と張力に関係する。これらの関係を説明すると複雑になるので，ここでは省略するが，左図において，⇨の部分より→の部分の摩擦力のほうが大きくなるので，⇨の部分が滑り，箱が上昇するのである

### 【A】マッチ箱を利用したおもちゃを作る

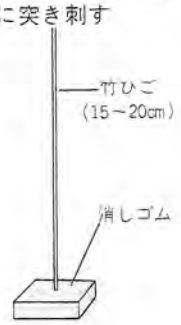
1 留意点 穴は，きりか千枚通しであけるとよい。穴の大きさは，糸がスムーズに通る程度にする。
図におけるa，bの寸法は厳密なものではないが，穴と穴の間隔を上下で違える必要がある。

2 留意点 まっすぐ糸を通しても，クロスさせて通してもよい。

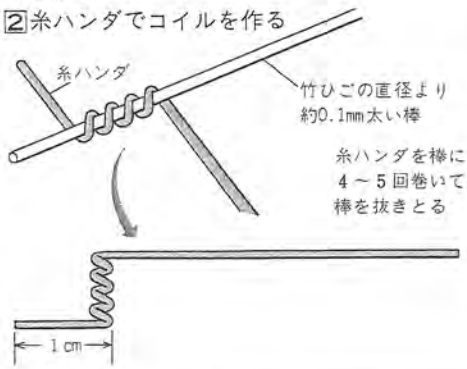
留意点 マッチ箱以外の材料で，おもしろいものをいろいろ作ってみるとよい。

## 【B】糸ハンダを利用したおもちゃを作る

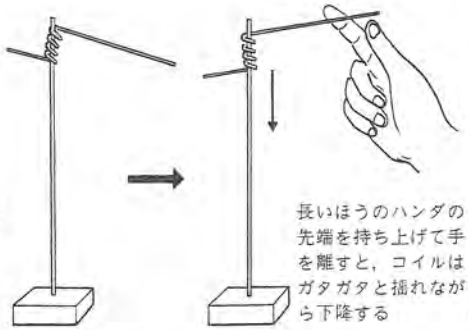
1 竹ひごを，消しゴムに垂直に突き刺す

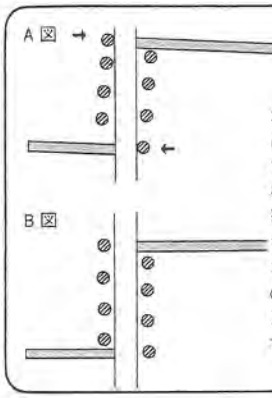



2 糸ハンダでコイルを作る




3 遊んでみる




コイルを竹ひごに通したとき，長い部分のハンダの重さにより，A図のようになる。このとき，→の部分の摩擦力で，コイルは静止したままとなる。長い部分のハンダを手で持ち上げると，コイルはB図のようになるため，落下する。しかし，長い部分のハンダの重さにより，直ちにA図の状態に戻って静止する。ただし，このときは，コイルに弾みがついているので，すぐB図の状態に戻るので，コイルは再び落下する。コイルはこの後，A図とB図の状態を繰り返すため，ガタガタと揺れながら落下するのである

### 【B】糸ハンダを利用したおもちゃを作る

1 留意点 竹ひごは，ナイフなどで滑らかに丸く削っておく。太さが一様でないと，途中で引っ掛かるおそれがある。また，先端を鋭くし，消しゴムに突き刺しやすいようにしておく。

2 留意点 コイルには，多少のすき間があってもよい。

3 留意点 うまく作動しない場合は，長いほうのハンダを折り曲げて調節するとよい。

留意点 糸ハンダ以外の材料で，おもしろいものをいろいろ作ってみるとよい。

# 16 針金のたわみ方と力の関係を調べる

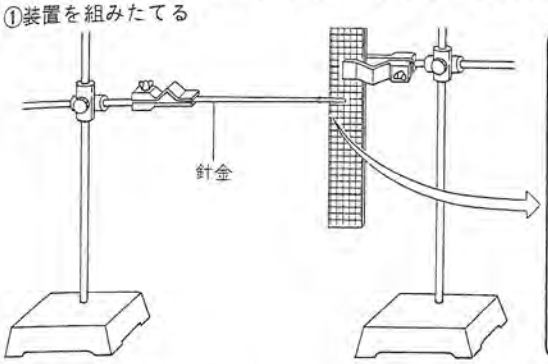
ねらい 田1 針金におもりをつるし，たわみ方と力の関係を調べることができる。

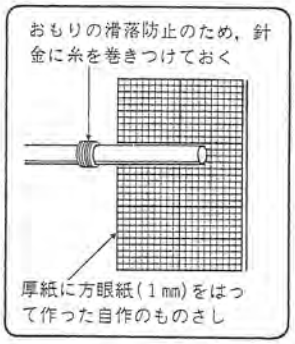
針金① 糸 ものさし② スタンド3 おもり

①鉄，黄銅，アルミニウム，銅など，いろいろなものを用意するとよい。②厚紙に方眼紙(1 mm)をはって自作したもの。

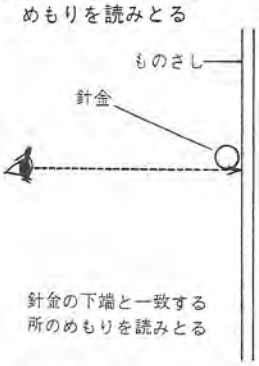
1針金の一端を固定して，他端におもりをつるしたときのたわみを調べる

①装置を組みたてる

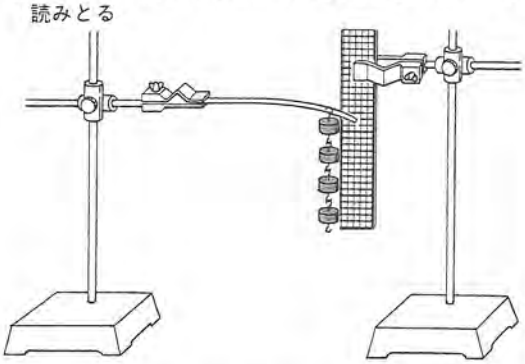



②おもりをつるさないときのめもりを読みとる

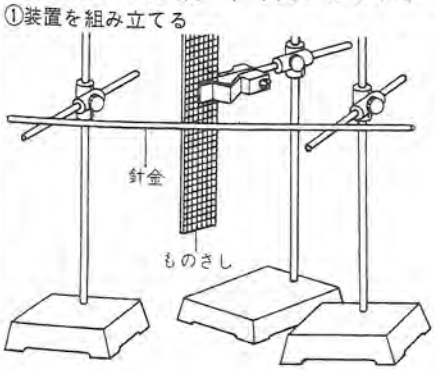



③おもりを1個ずつつるしていき，その度にめもりを読みとる

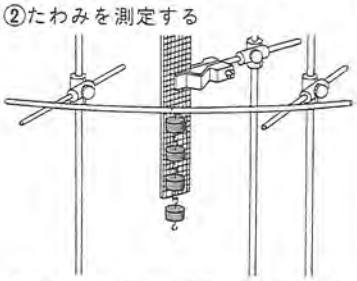


2針金の両端を支持し，中央におもりをつるしたときのたわみを調べる

①装置を組み立てる




②たわみを測定する



おもりをつるさないときのめもりを読みとってから，おもりを1個ずつつるしていき，その度にめもりを読みとる

1の実験データ例

| 荷重〔gw〕 | 鉄 たわみ〔cm〕 荷重増 | 鉄 たわみ〔cm〕 荷重減 | 黄銅 たわみ〔cm〕 荷重増 | 黄銅 たわみ〔cm〕 荷重減 | アルミニウム たわみ〔cm〕 荷重増 | アルミニウム たわみ〔cm〕 荷重減 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.11 | 0.00 | 1.82 |
| 50 | 0.13 | 0.10 | 0.22 | 0.35 | 0.30 | 2.45 |
| 100 | 0.20 | 0.28 | 0.43 | 0.61 | 0.68 | 2.88 |
| 150 | 0.45 | 0.42 | 0.69 | 0.89 | 1.05 | 3.30 |
| 200 | 0.58 | 0.58 | 0.95 | 1.15 | 1.49 | 3.68 |
| 250 | 0.75 | 0.71 | 1.30 | 1.40 | 1.90 | 4.00 |
| 300 | 0.95 | 0.88 | 1.51 | 1.67 | 2.30 | 4.35 |
| 350 | 1.10 | 1.03 | 1.78 | 1.90 | 2.85 | 4.70 |
| 400 | 1.22 | 1.20 | 2.01 | 2.13 | 3.42 | 5.00 |
| 450 | 1.38 | | 2.30 | 2.38 | 4.40 | 5.30 |
| 500 | | | 2.61 | | 5.60 | |

針金の直径0.35cm

2の実験データ例

| 荷重〔gw〕 | 銅 たわみ〔cm〕 荷重増 | 銅 たわみ〔cm〕 荷重減 |
|---|---|---|
| 0 | 0.00 | 0.00 |
| 50 | 0.02 | 0.18 |
| 100 | 0.24 | 0.28 |
| 150 | 0.30 | 0.35 |
| 200 | 0.38 | 0.39 |
| 250 | 0.40 | 0.48 |
| 300 | 0.45 | 0.55 |
| 350 | 0.59 | 0.60 |
| 400 | 0.67 | 0.68 |
| 450 | 0.70 | 0.71 |
| 500 | 0.77 | |

針金の直径0.15cm

1①留意点 針金は，クランプで強く締めつけて固定する。締め方が弱いと，実験中に針金が左右に振れてしまう。
ものさしは，垂直になるようにセットする。スタンドの下までなくてもよい。また，針金との距離を，できるだけ近づけるようにする。間隔があり過ぎると，めもりを読みとるとき，目の位置が少しずれただけでも読みが違ってくるので，誤差が大きくなる。

②留意点 めもりを読みとるときには，目線が水平になるようにする。水平でないと誤差が大きくなる。
めもりは，1めもりの1/10まで目分量で読みとる。

③留意点 おもりは，上下にフックがついていて，針金に直接つり下げることができるものがよい。このようなおもりがないときには，針金に皿などをつるし，その皿の上におもりを載せていくようにする。この場合，糸や皿が荷重に耐えるものであるかどうか，また，皿にたくさんのおもりを載せることができるかどうか，などについて配慮する必要がある。
おもりを加えていくときのたわみだけでなく，おもりを減らしていくときのたわみについて測定してみるとよい。たわみが，ひずみとして残ることがわかる。

2①留意点 針金は，つり棒やクランプなどの上に載せておくだけにする。クランプなどで固定してはいけない。
ものさしは，できるだけ針金と平行になるようにする。

②留意点 針金の太さや種類によって，たわみ方は異なるが，10 g程度のおもりではたわみ量が少ないので，変化量を読みとるのは難しい。したがって，おもりは，1個50 g程度のものを使ったほうがよい。
その他については，1の②③の留意点を参照。

結果 針金に力を加えると，力の大きさに応じて針金がたわむことがわかる。
また，そのときのたわみ方は，針金の種類や支え方によって異なることがわかる。
実験データ例の一部を左に示す。

# 17 ばねはかりで力の大きさをはかる

ねらい 小6中1 つる巻きばねは，つり下げたおもりの重さや加えた力の大きさに比例して伸びることが理解できる。
ばねはかりで力の大きさをはかることができる。

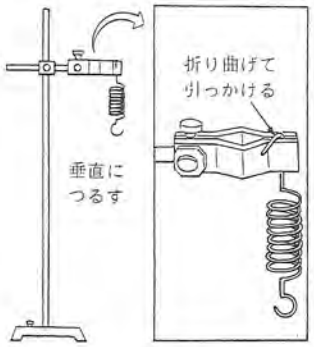
【A】つる巻きばね　スタンド2　棒①　紙テープ　おもり6②　セロハンテープ　ばねはかり　【B】ばねはかり　風車　糸　落下傘　板　電磁石　電池　くぎ　実験用てこ　おもり　実験用輪軸

①1mの竹のものさしがよい。②つる巻きばねに合った重さのものを用いる。

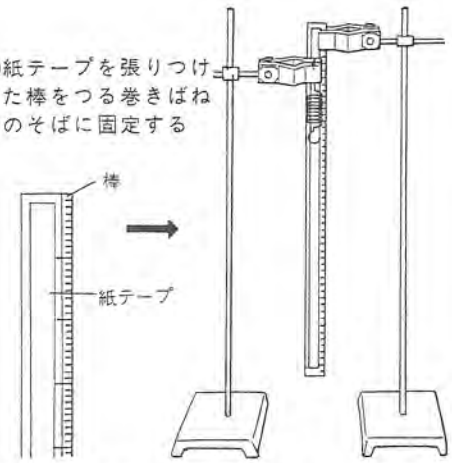
## 【A】ばねはかりの原理を知る

1 つる巻きばねの性質を調べる

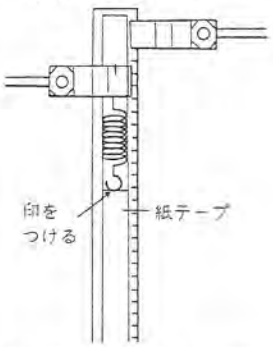
①つる巻きばねをスタンドに固定する



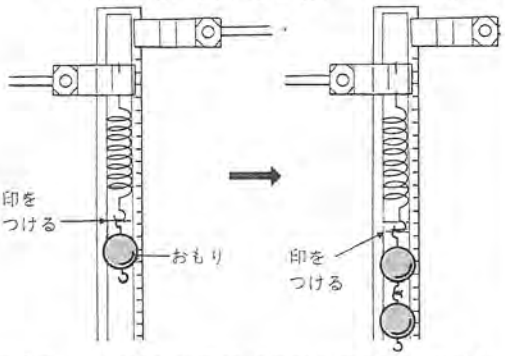

②紙テープを張りつけた棒をつる巻きばねのそばに固定する



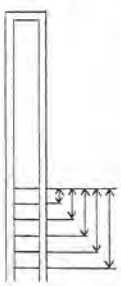

③つる巻きばねの最下端の印を紙テープにつける




④おもりを1個ずつつり下げてゆき，その度につる巻きばねの最下端を紙テープに記録する




⑤それぞれの印と初めの印の間の長さをはかり，表にまとめる



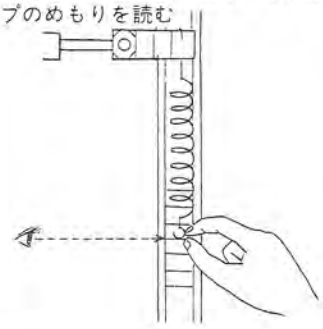
| おもりの数〔個〕 | 伸びた長さ〔cm〕 |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | |

⑥おもりの個数とつる巻きばねの伸びとの関係をグラフ化する

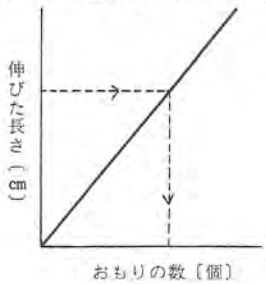



2 つる巻きばねで力の大きさをはかる

①つる巻きばねを指で引っ張り，紙テープのめもりを読む



②グラフから，つる巻きばねを引いた力はおもり何個分の重さに等しいか考える




### 【A】ばねはかりの原理を知る

解説 ばねはかりの原理を知るために，まず，つる巻きばねの性質を調べる。
ばねの伸びている様子を実際に目で見ることができ，理解しやすいからである。

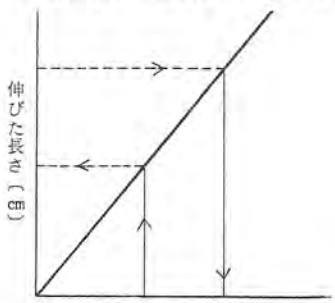
1 ① 注意 つる巻きばねは，クランプに挟んだだけでは抜け落ちることがあり，危険である。必ず，端を折り曲げて，引っかけるようにする。

② 留意点 紙テープはセロハンテープで張りつけるとよい。
つる巻きばねと紙テープは，触れ合わない程度に，なるべく接近させる。③で印をつけやすくするためである。

③ 留意点 紙テープに印をつける場合の基準は，ばねの最下端のフックの部分とする。巻いている部分の最下端でも理論的にはかまわないが，印をつけるときや読みとるときにやりにくい。

④ 留意点 当然のことながら，紙テープに印をつける場合は，③で基準とした所，すなわちばねの最下端のフックの部分の位置に合わせる。

⑤ 留意点 グラフを作ったら，伸びた長さからおもりの個数を，またおもりの個数から伸びの長さを読みとる練習をする。

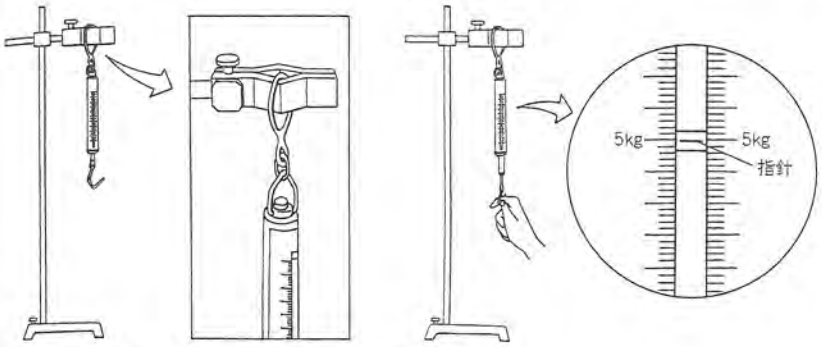



2 留意点 1で用いたつる巻きばねと紙テープをそのまま用いるが，力をかけないときのつる巻きばねの最下端と初めにつけた印とが一致しているか，再度確認してから，力を加えるようにする。
自由に引っ張ってみればよいが，紙テープのいちばん下の印より下まで引っ張らないようにする。あまり引っ張り過ぎるとばねが伸びきってしまうおそれがある。

解説 つる巻きばねは，指で引っ張っても伸びるというのは，きわめて当然のことのようであるが，これによって，力は重さではかれるということを，改めてはっきりと認識したい。

3実際にばねはかりで力をはかってみる

①ばねはかりを鉛直につり下げる　②指で引っ張った力の大きさをめもりで読みとる

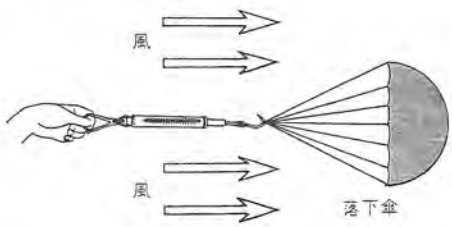



**【B】いろいろな力をばねはかりではかる**

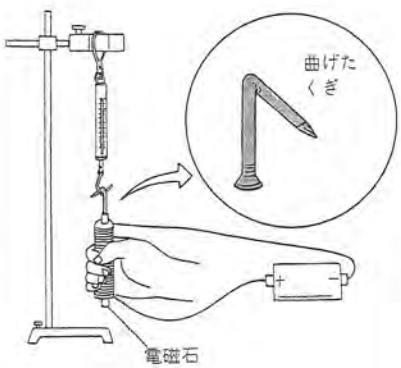
1風車の回転力をはかる



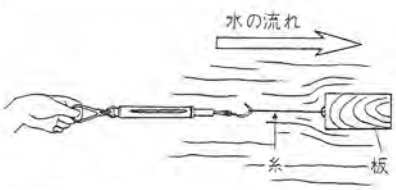

2風の力をはかる

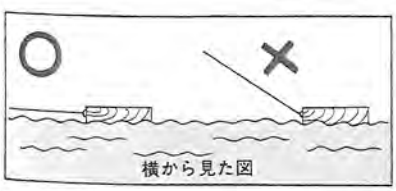



4電磁石の磁力をはかる



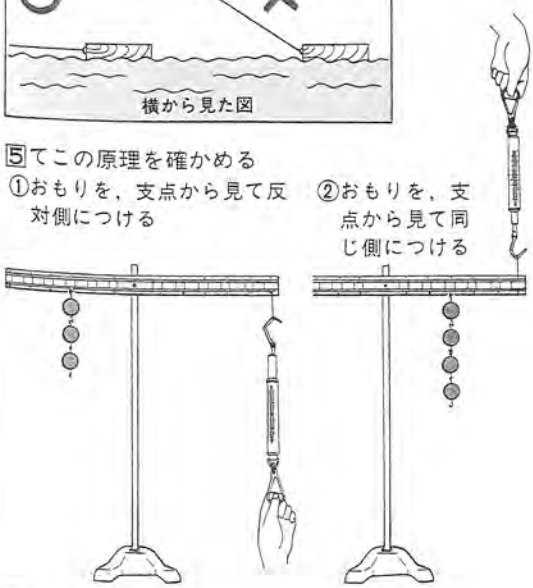

3水の流れの力をはかる




5てこの原理を確かめる

①おもりを，支点から見て反対側につける　②おもりを，支点から見て同じ側につける



6輪軸を用いると支える力はどうなるか調べる



3 解説 1，2でばねの伸びと重さの関係や力は重さではかれるということが理解できたら，実際にばねはかりを用いて，加えた力の大きさを測定してみる。

留意点 ばねはかりは，20kgぐらいまではかれる大きなものがよい。

参考 ほかにもばねを使った測定器具があれば，それを用いた測定を行ってみるとよい（例，握力計，背筋力計など）。

注意 スタンドが倒れたり，ねじが緩んで押さえが落ちてこないように注意する。

**【B】いろいろな力をばねはかりではかる**

1 解説 糸が風車の軸にだんだん巻きとられていくにしたがって，ばねが伸ばされる。ある点までくると回転が止まる。

そのときの値が，回転力の大きさである。軸の太さによって，糸を引く力の大きさは違ってくるので，比較する場合は同じ太さの軸棒で比べなければいけない。

2 留意点 落下傘の大きさを大きくすれば，風から受ける力は大きくなるので，風の強さや，ばねはかりの強さによって落下傘の大きさを調節するとよい。

3 留意点 板によって，糸を引く力の大きさは違ってくるので，ばねはかりの強さに合うように板の形や大きさを調節するとよい。

ばねはかりを水面近くまで下げて，糸と水面とが平行になるようにしてはかる。

4 留意点 くぎの重さ分だけ測定値から差し引くか，くぎをつるしてからばねの0点を調整しておく。

5 解説 てこ板が水平になった時がつり合った状態である。

①では，ばねはかりのフックの棒が軽い場合はフック棒の重さを無視できるが，二重管形のばねはかりでは，内側の管の重さを加えなければならない。

6 解説 回転が止まっているときが，輪軸がつり合っている状態である。

参考 ばねはかりのめもりの単位は，g（グラム）またはkg（キログラム）と書いてあるが，正確には重さを表すgw（重量グラムまたはグラム重）またはkgw（重量キログラムまたはキログラム重）である。したがって，100 gを示したときの力の大きさは，100 gwである。なお，最近は，めもりをSI単位系の力の単位N（ニュートン）で表示したばねはかりもある。

# 18 2力のつり合いを調べる

ねらい 田3　2力をつり合わせ，そのときの力の向きや大きさがどうなっているかを調べることができる。

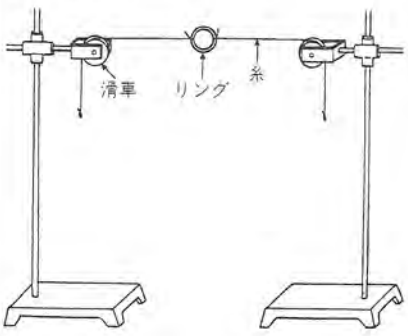
【A】滑車2　スタンド2　糸　リング①　おもり②　つる巻きばね③　ばねはかり(200gw 2)　【B】綱④　ばねはかり(20kgw 程度のもの2)　リング⑤

①できるだけ軽くて，小さいもの。②10～20ｇのものを10個程度。③できるだけ軽くて，まったく同じものを2本。④中学生が数人で引いても切れないような丈夫なもの。⑤大きくて丈夫なもの(綱を結べる程度のもの)を1個と，小さくて丈夫なもの(鉄製ナットなど)を1個。

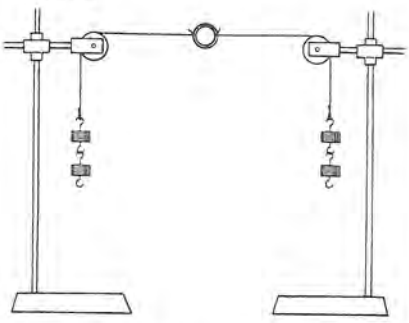
## 【A】おもりによる2力のつり合いを調べる

1 滑車にかけた糸の両端におもりをつるして，つり合わせてみる

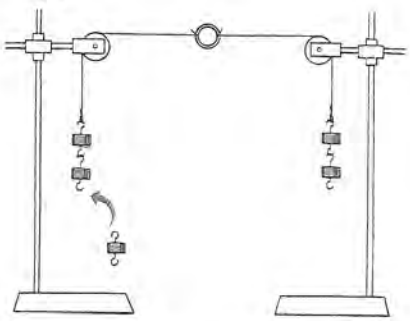
①装置を組み立てる



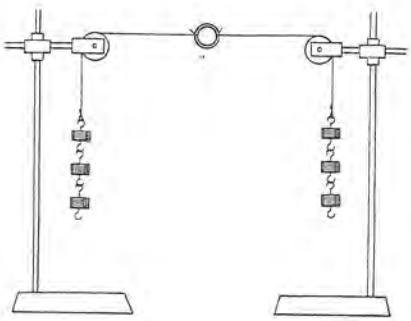

②糸の両端に，2個ずつおもりをつるしてみる



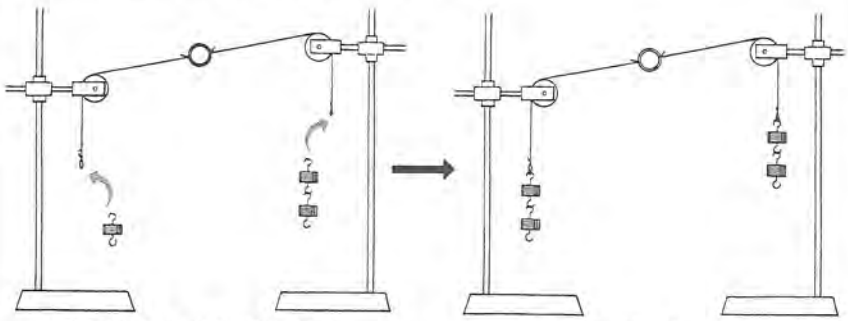
③左右いずれかに，おもりを1個加えてみる



④左右のおもりを同数にしてみる

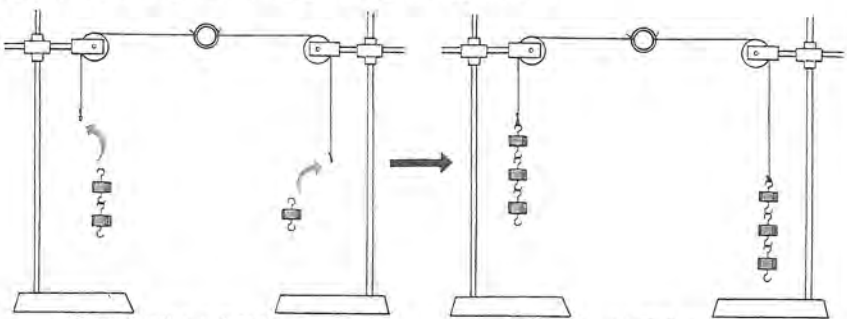


⑤一方の滑車の高さを変えて，つり合わせてみる



図のようにおもりをつるしてみる　　左右のおもりを同数にしてみる

⑥滑車の高さを同じにし，左右の糸の長さを変えてみる



図のようにおもりをつるしてみる　　左右のおもりを同数にしてみる

**【A】おもりによる2力のつり合いを調べる**

1① 留意点 滑車は，滑らかに回転するように，同一平面内にセットする。
リングは，できるだけ軽いものを用いる。
糸の両端には，おもりをつり下げるための輪を作っておく。
糸を滑車にかけたら，次の②でおもりをつるすまで，リングを手で支持しておく。支持しておかないと，リングが下がって，滑車から糸がはずれてしまう。

⑤ 解説 滑車に高低をつけると，リングは低いほうに動くと考える生徒がいる。この実験は，このような考えを修正するためのものである。

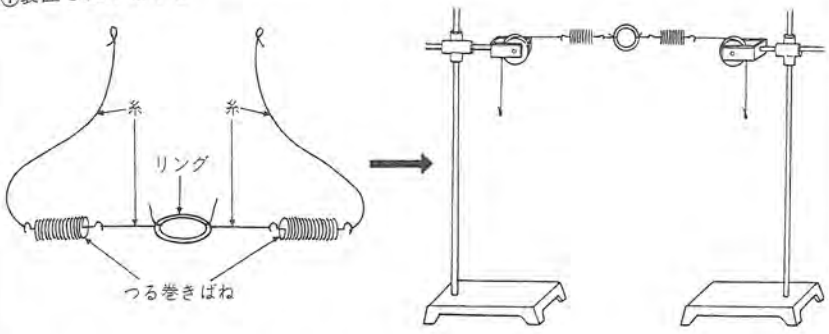
⑥ 解説 滑車にかけた左右の糸の長さを変えると，リングは長いほうに動くと考える生徒がいる。この実験は，このような考えを修正するためのものである。

留意点 以上の②～⑥の実験を通して，次の事項について考察してみる。

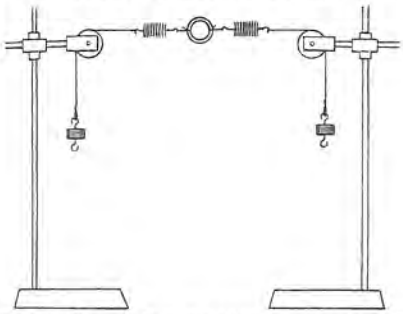
- リングが動くときは，どちらに向かって動くか
- リングの動きは，滑車の高低や糸の長短に関係あるか
- リングが動かないとき，おもりの数はどうなっているか
- リングが動かないとき，リングを引っ張る2つの力の向きは互いにどうなっているか
- リングが動かないとき，リングの両側の糸が水平となす角度はどのようになっているか（2本の糸が一直線上にあるかどうか）

2 つり合っているときの力の大きさを，ばねの伸びで調べる

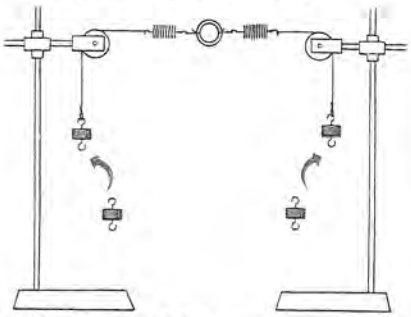
①装置を組み立てる




②糸の両端に1個ずつおもりをつるしてつり合わせ，ばねの伸びを観察する

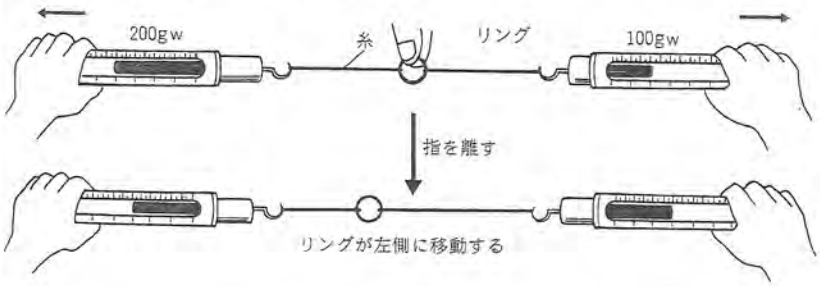


③両側に同時に1個ずつおもりを加えていき，ばねの伸びを観察する

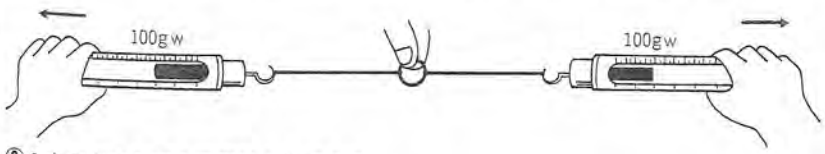


3 2力がつり合っていないときには，物体が移動することを調べる

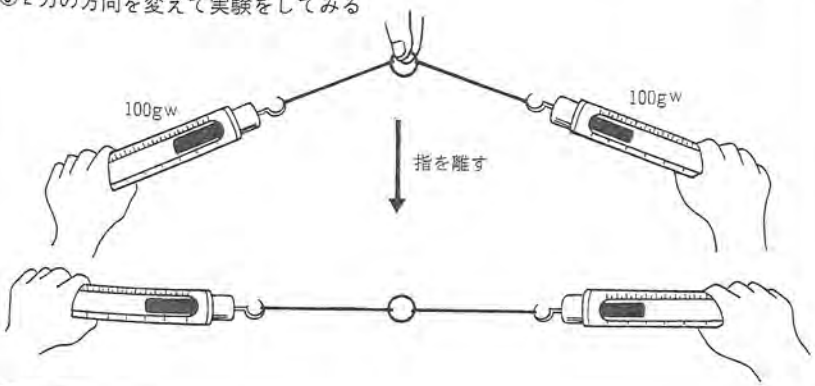
①リングを指で押え，一方のばねはかりに200gw，他方に100gwの力を加えて，一直線上を左右に引っ張る。つぎに，押えていた指を離す




②両方のばねはかりに100gwの力を加えてリングを引き，押えていた指を離す




③2力の方向を変えて実験をしてみる




2 解説 この実験は，2力がつり合っているときの力の大きさを，ばねの伸びで調べるものである。1においても，この実験と同様の結果は得られるわけであるが，1の場合，「力の大きさ＝おもりの個数」ということを理解しにくい生徒もいるので，あえてこのような実験を行うのである。

① 留意点 前ページの1①の留意点を参照。

②③ 結果 2力がつり合っているとき，2力は一直線上にあり，力の向きが互いに反対で，力の大きさが等しいことがわかる。

3① 結果 リングを指で押えておき，一方を200gw，他方を100gwで引き指を離すとリングが移動する。リングが移動することから2つの力はつり合っていないことがわかる。ばねはかりを水平の状態で用いているが，両方条件が同じなので，補正は無用である。

つぎに，200gw，100gwの力を加えるばねはかりを交代して同じ実験をする。リングは前と反対の方向に移動する。

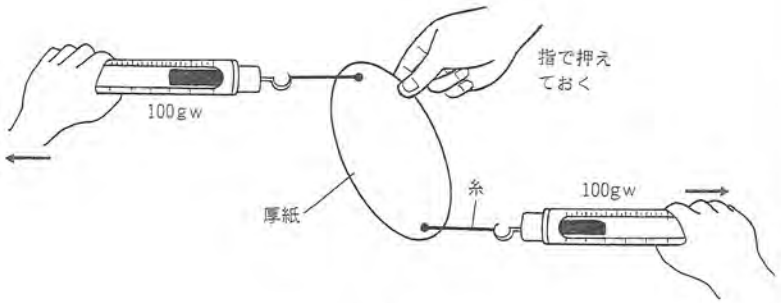
② 結果 両方のばねはかりに加える力の大きさを同じにしてリングを押えていた指を離すと，リングは動かない。

このように，リングが動かないときには，リングに加わる力は，つり合っているという。

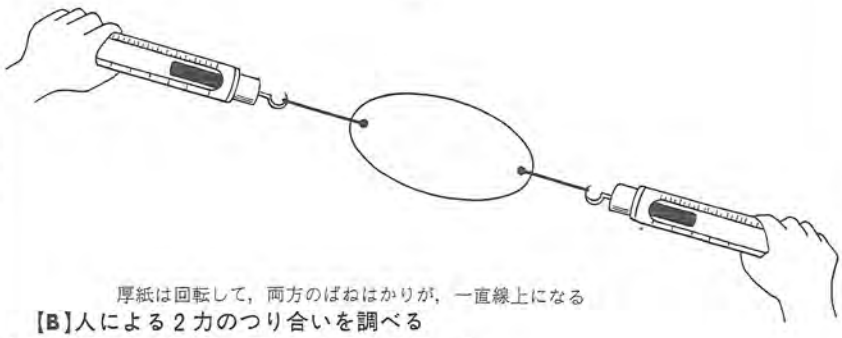
参考 ばねはかりに器差がある場合は，リングを押えていた指を離すと，リングがごくわずかに動くことがある。このようなときは，器差について説明すれば，生徒は納得するであろう。

③ 結果 図のように両方のばねはかりの向きを少し変え，一直線上でない状態にして，それぞれ同じ100gwの力を加えて，リングを押えていた指を離すと，リングの位置がずれて移動する。①と同様に，リングが移動するので，2つの力はつり合っていない証拠である。

④2力の大きさが等しく，方向が反対でも一直線上にない場合



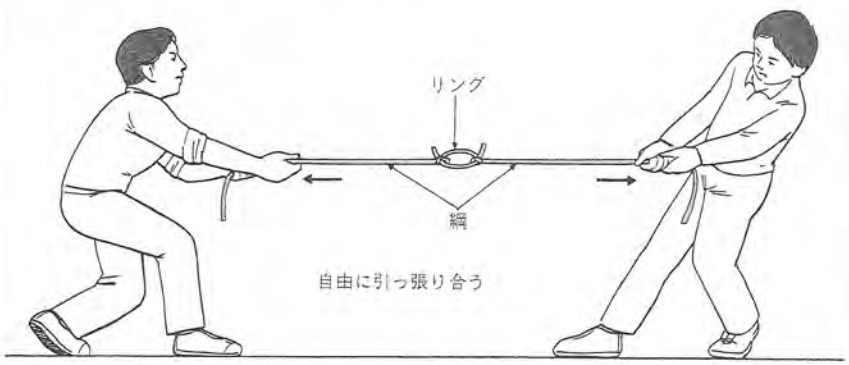

指を離す



厚紙は回転して，両方のばねはかりが，一直線上になる

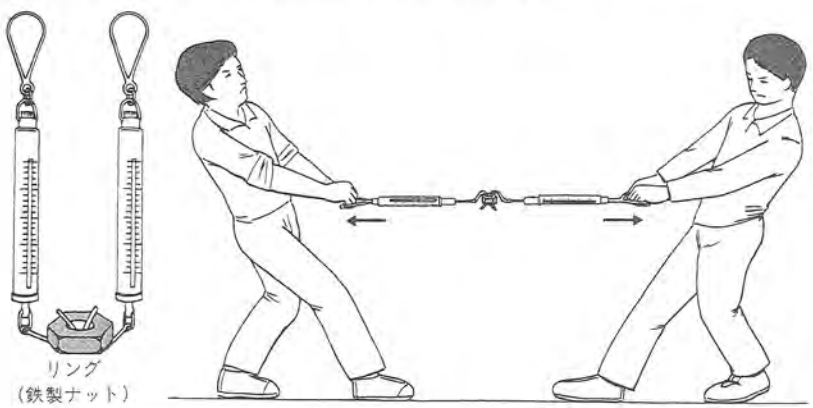
**【B】人による2力のつり合いを調べる**

1 2人で綱を引っ張って，つり合わせてみる




2 つり合っているときの力の大きさを，ばねはかりではかる

①リングに2つのばねはかりをとりつける　②2人で同時に引っ張って，リングが動かないようにし，ばねはかりの指針を読みとる




④留意点 この実験は，リングではわかりにくいので，図のように，厚紙かベニヤ板などで両端に小さな穴をあけたものを作って使用する。

解説 ばねはかりが一直線になるまで（作用線が一直線になるまで）厚紙が回転する。回転も動いたことになるので，この2力はつり合っていなかったことになる。生徒には，2力がつり合うための条件として，大きさが同じで向きが反対，そして，2力が一直線上にあることをしっかりとらえさせる。

**【B】人による2力のつり合いを調べる**

1 留意点 力は，徐々に加えるようにする。引っ張り合いながら，次のことを考えてみる。

- 中央のリングが動かないとき，2人の力の大きさはどうなっているか
- 中央のリングがどちらかに動いたとき，2人の力の大きさはどうなっているか

注意 床が滑りやすい所や，周囲に障害物がある所で実験してはいけない。危険である。

また，どちらか一方が急激に力を入れてはいけない。必ず，2人の準備ができてから，徐々に力を入れていくようにする。

2 解説 この実験は，2力がつり合っているときの力の大きさを，ばねはかりを使って測定するものである。

① 留意点 ばねはかりは，秤量20kgw程度のものがよい。このように秤量が大きいものだと摩擦による誤差を無視できるが，秤量が小さいと，摩擦による誤差が大きくなるので好ましくない。

リングは，丈夫なものを用いる。鉄製のナットがよい。

② 結果 【A】2と同様のことがわかる。

# 19 3力のつり合いを調べる

ねらい 中3　3力をつり合わせ，そのときの力の向きや大きさがどうなっているかを調べることができる。

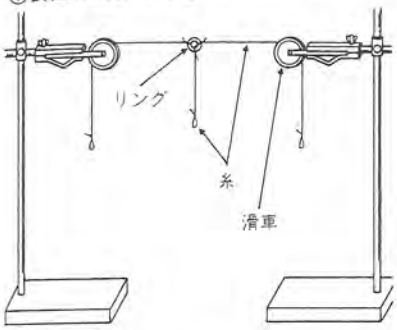
【A】滑車2　スタンド2　糸　リング①　おもり②　紙(ノートなど)　鉛筆　定規　全円分度器　【B】糸　リング③　ばねはかり(200gw程度のもの3)　紙(ノートなど)　鉛筆　三角定規　全円分度器　【C】物体④　たこ糸　ばねはかり(20kgw程度のもの3)　紙⑤　スタンド2　鉛筆　三角定規

①できるだけ軽いもの。②10～20gのものを15個程度。③ワッシャーがよい。④10～20kgw程度の砂を詰めた袋がよい。⑤わら半紙などを板にはり付けたものがよい。

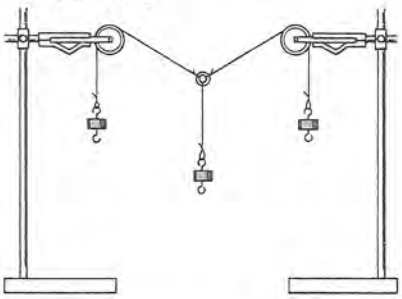
## 【A】おもりによる3力のつり合いを調べる

### 1 3力のうち2力の大きさが等しいときの3力のつり合いを調べる

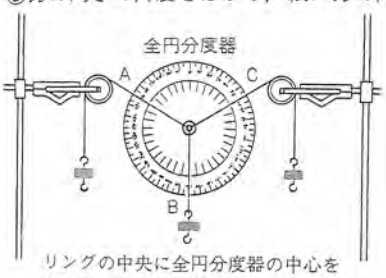
①装置を組み立てる



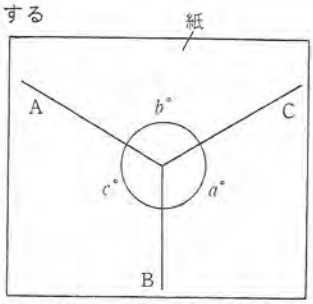

②糸の両端と中央に，おもりを1個ずつつるしてみる



③力の向きの角度をはかり，紙に力の向きを作図する

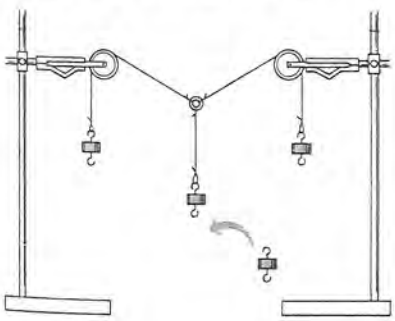



リングの中央に全円分度器の中心を合わせ，A，B，Cそれぞれの力の向きの角度を読みとる

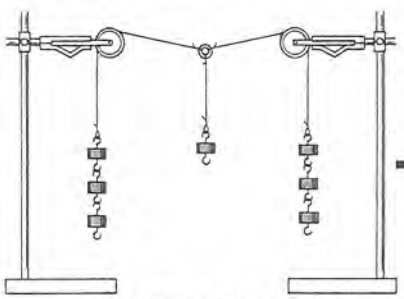



はかった角度をもとに，3力の向きA，B，Cを作図する

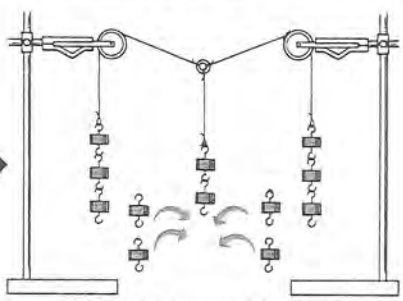
④中央におもりを1個加えてみる



⑤両端のおもりを3個ずつにし，中央のおもりの数を変化させてみる

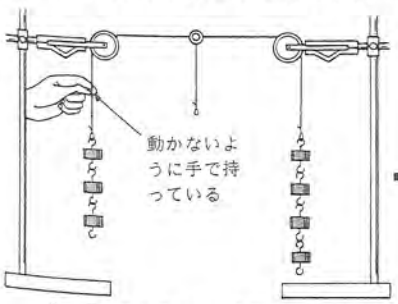


おもりを，両端に3個ずつ，中央に1個つるしてみる

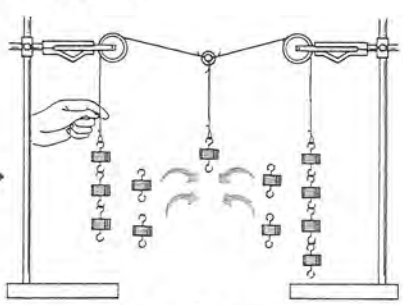


中央に1個ずつおもりを加えていってみる

### 2 2力の大きさが異なるときの3力のつり合いを調べる




糸の両端それぞれに，3個と4個のおもりをつるす



つり合うまで，中央に1個ずつおもりをつるしていく

### 【A】おもりによる3力のつり合いを調べる

1 ①留意点 滑車は，滑らかに回転するように同一平面内にセットする。正しくセットしないと，滑車の溝から糸がはずれることもあり，実験がうまくいかない。
リングは，できるだけ軽いものを用いる。
リングに結びつけた糸の他端には，おもりをつり下げるための輪を作っておく。
スタンド間の距離を決めて実験したほうがよい。
糸を滑車にかけたら，次の②でおもりをつるすまで，リングを手で支持しておく。支持しておかないと，リングが下がって，滑車から糸がはずれてしまう。

③留意点 全円分度器はできるだけ大きい方がよい。どれか1つの糸を全円分度器の0°の線に合わせ，他の2本の糸のなす角度の目盛りを読みとるとよい。

④解説 つり合わない。中央のおもりが床まで落下するか，両端のおもりが滑車にぶつかるまで上昇する。

⑤留意点 中央におもりを1個つるすごとに，③と同様の方法で，力の向きを紙に写しとり，それぞれの角度をはかってみる。
中央のおもりが床につくか，両端のおもりが滑車に引っかかったときには，つり合ったことにならないので気をつける。

2 留意点 両端のおもりの数の和と中央のおもりの数とが，どのような範囲にあるときにつり合うかを考えてみる。

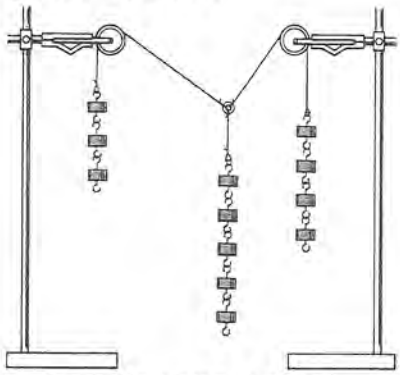
解説 左側のおもりの数を$X$個，右側のおもりの数を$Y$個，中央のおもりの数を$Z$個とすると，つり合いの条件は次のようになる。

$X+Y>Z$（つり合う）

$X+Y\leqq Z$（つり合わない）

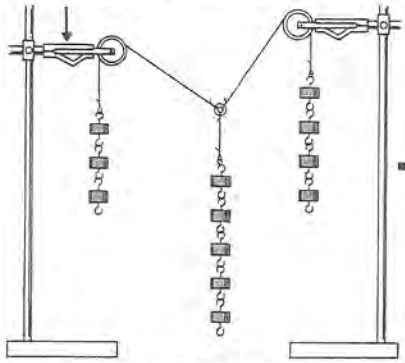
3 3力がつり合っているとき，滑車の高さや間隔を変えてみる

①3力をつり合わせる

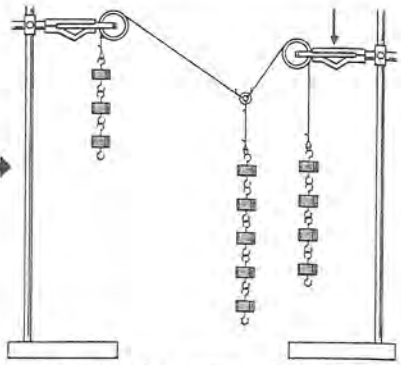


おもりを図のようにつるしてつり合わせる

②滑車の高さを変えてみる

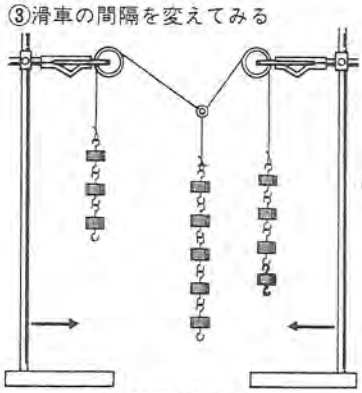


左の滑車を下げてみる

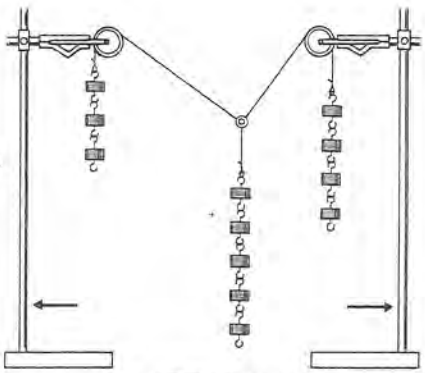


左の滑車を戻し，右の滑車を下げてみる

③滑車の間隔を変えてみる



滑車の間隔を狭くしてみる

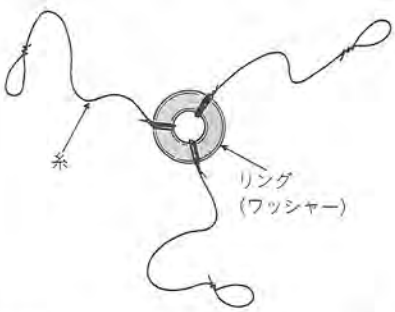


滑車の間隔を広くしてみる

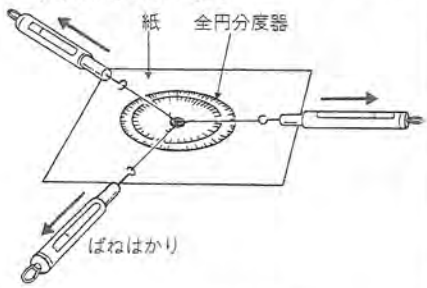
**【B】3 力のつり合いの条件を調べる**

1 3力をつり合わせ，力の大きさと3力のなす角度をはかる

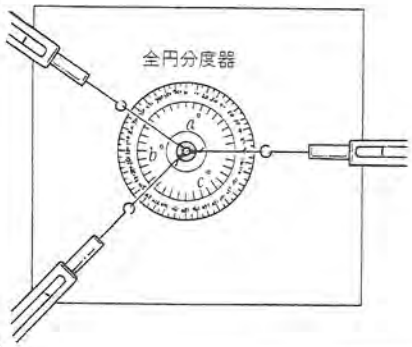
①リングに糸を3本結びつける



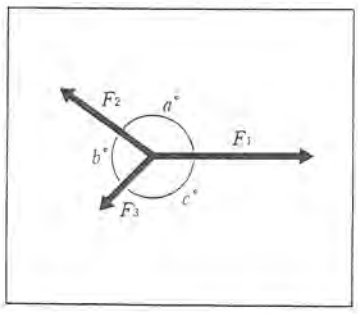

②3力がつり合ったとき，リングの中心と全円分度器の中心が合うように全円分度器をセットする




③糸の方向を全円分度器の目盛りで読みとる




④紙に力の大きさと向きを作図し，それぞれの力を$F_1$, $F_2$, $F_3$とする




3 ①留意点 次の②で，滑車を上下に移動させるので，クランプが滑らかに動くように点検しておく。また，滑車を下に移動させたとき，おもりが床につかないように，滑車の高さには十分配慮する。

②留意点 滑車を動かすときには，静かに行う。乱暴に動かすと，おもりを落としてしまうことがある。

1の③と同様の方法で，滑車の高さを変えるごとに力の向きを紙に写しとり，それぞれの角度をはかってみる。

③留意点 スタンドの下に薄い布を敷いておくとよい。スタンドを移動させるとき，その布を引くと，簡単に移動させることができる。

結果 3力のつり合いでは，力の大きさが変化しないかぎり，互いの力の角度，つまり力の向きに変化がないことがわかる。

**【B】3 力のつり合いの条件を調べる**

1 留意点

①強い力を加えるときは，リングは鉄製ナットがよいが，数百gwの力の場合は，ワッシャーでよい。

リングに糸を結びつけるときには，糸がリングの周囲を自由に移動できるように緩く巻きつけるようにする。また，糸のもう一方の端は，ばねはかりのフックがかけられるように輪にしておく。

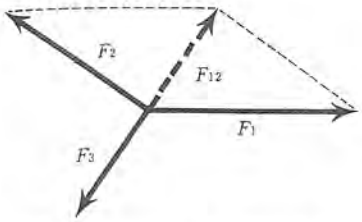
②ばねはかりは，補正値の必要のない器種を用いるとよい。または，同質の力学用つる巻きばねを用い，ばねの伸びを力の大きさとしてもよい。

糸の方向とばねはかりの軸の方向が一直線になるようにしないと，力の大きさの測定時に誤差が大きくなるので注意する。

③どれか1本の糸と，分度器の0°の線とを合わせると，後で作図をしやすい。

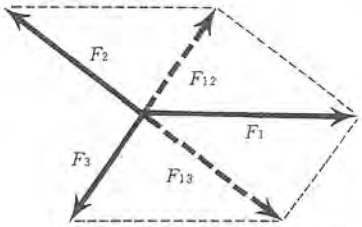
2作図して，つり合いの条件を考える

①$F_1$と$F_2$の合力と$F_3$を比較してみる



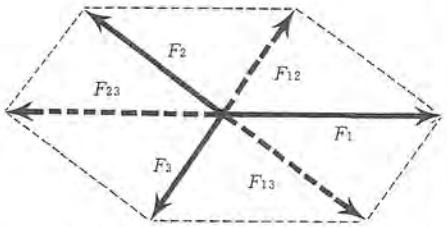

①$F_1$と$F_2$の合力を作図し，$F_{12}$とする
②$F_{12}$と$F_3$の長さをはかって比較する
③$F_{12}$と$F_3$の向きを比較する

②$F_1$と$F_3$の合力と$F_2$を比較してみる




①$F_1$と$F_3$の合力を作図し，$F_{13}$とする
②$F_{13}$と$F_2$の長さをはかって比較する
③$F_{13}$と$F_2$の向きを比較する

③$F_2$と$F_3$の合力と$F_1$を比較してみる




①$F_2$と$F_3$の合力を作図し，$F_{23}$とする
②$F_{23}$と$F_1$の長さをはかって比較する
③$F_{23}$と$F_1$の向きを比較する

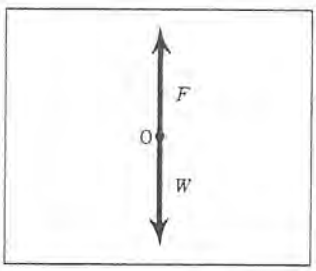
**【C】1つの力を2つの力に分解する**

1物体の重さをばねはかりではかり，紙に作図する

①物体の重さをはかる




②地球が物体を引く力を$W$，ばねはかりが支えている力を$F$として作図する

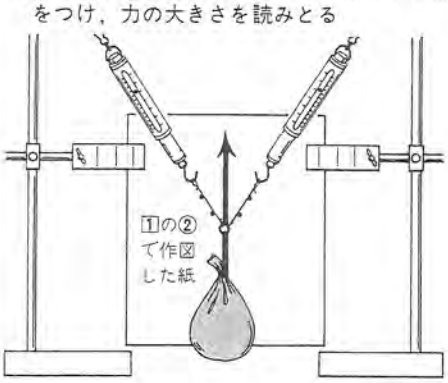



2 2本のばねはかりで物体を支え，力の向きと大きさを紙に記入する

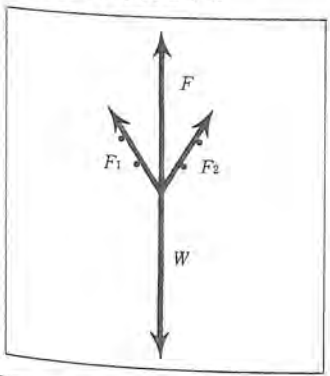
①2本のばねはかりで物体を支える



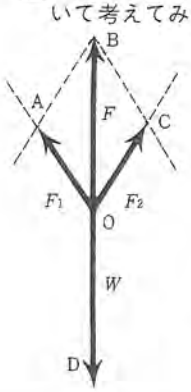
②紙に，それぞれの糸に沿って2ヵ所ずつ印をつけ，力の大きさを読みとる




③紙に，力の大きさと向きを記入し，それぞれを$F_1$，$F_2$とする




3作図して，それぞれの力の関係について考えてみる




①図のように点A，B，C，D，Oを定める
②$F_1$と$F_2$の延長線をAとCの方向に引く
③Bから，$F_1$と$F_2$に平行な線を引く
④このときできる四角形の形を調べる
⑤$F_1$と$F_2$の合力はどうなっているかを調べる
⑤$F$を$F_1$方向と$F_2$方向に分けたときの分力はどうなっているかを調べる

2 留意点 作図の際，2枚の三角定規を使って，正確な平行四辺形を描く必要がある。作図が不正確だと，正しい結論を導き出すことはできない。

結果 作図することにより，3力がつり合っているとき，任意の2力の合力と他の1力は，次の関係にあることがわかる。

- 同一直線上にある
- 力の向きは逆である
- 力の大きさは等しい

これは，2力のつり合いの条件と同じである。

**【C】1つの力を2つの力に分解する**

1① 留意点 物体は，10～20kgぐらいの重いものがよい。

物体にとりつけるたこ糸は，切れないように3～5重ぐらいにする。

注意 物体が硬いと，足の上に落としたりすると危険である。袋に砂を詰めたものなどを用いるとよい。

② 留意点 紙は，ノートではなく，わら半紙などを板か厚紙にはりつけたものを用いたほうがよい。これは，次の2②で，力の向きを写しとるとき，正確に写しとれるようにするためである。

2① 留意点 2本のばねはかりの角度は，あまり大きくしないほうがよい。角度が大きいと，引っ張る向きとばねはかりの向きが一直線にならなくなる。

② 留意点 紙は，スタンドで固定したほうがよい。手持ちで行うと，不安定になり，力の向きを正確に写しとるのは困難である。

紙に印をつけるときには，次のことに注意する。

- 紙に作図してある$W$の線と物体をつり下げている糸を一致させる
- 紙に作図してある$W$と$F$の交点と3本の糸の交点を一致させる

留意点 2本のばねはかりの角度をいろいろ変化させて，何回か実験してみるとよい。

# 20 斜面上の力のつり合いを調べる

ねらい 中3　いろいろな傾きの斜面に物体を置き，その物体がつり合っているときの力の大きさを調べることができる。

【A】ミニカー（100～200g程度のもの）針金　ひも　輪ゴム①　板②　ものさし（50cm）　スタンド　ばね　はかり　竹ひご　方眼紙　【B】力学台車　ひも　ばねはかり③　板②　滑車　ものさし（50cm）　皿　おもり

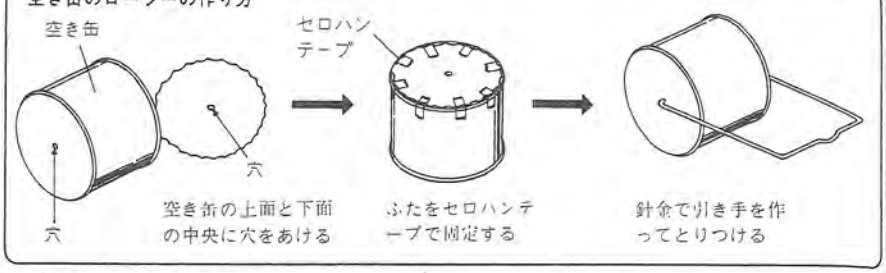
①細くて伸びのよいもの。②100×20×7cm程度のもの。③1kgw以上の重さをはかれるもの。

## 【A】車を支える力を輪ゴムで調べる

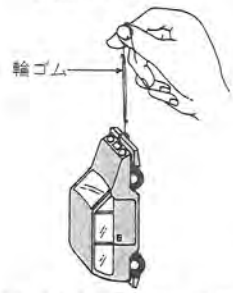
1 ミニカーにひもをとりつける



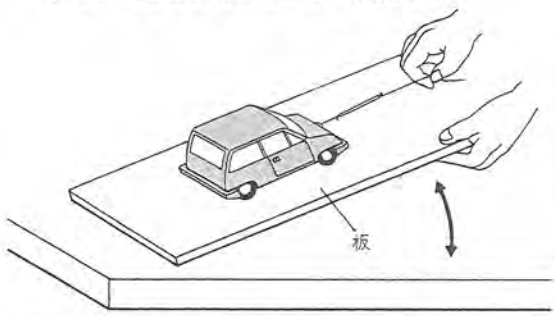

空き缶のローラーの作り方



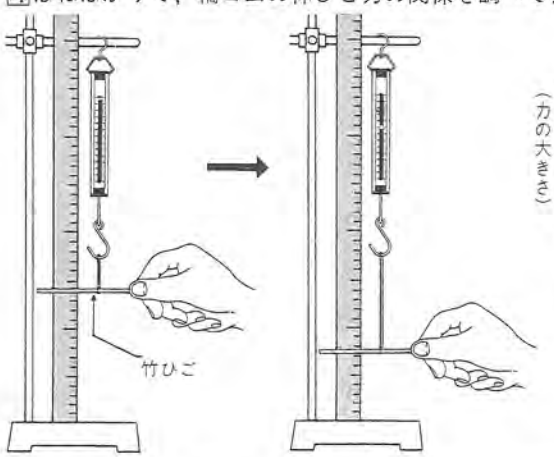

2 ミニカーを輪ゴムでつるして，輪ゴムの伸びを観察する

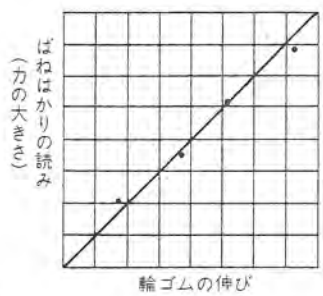



3 ミニカーを板の上に置き，板の傾きをいろいろ変えて，輪ゴムの伸びの違いを観察する



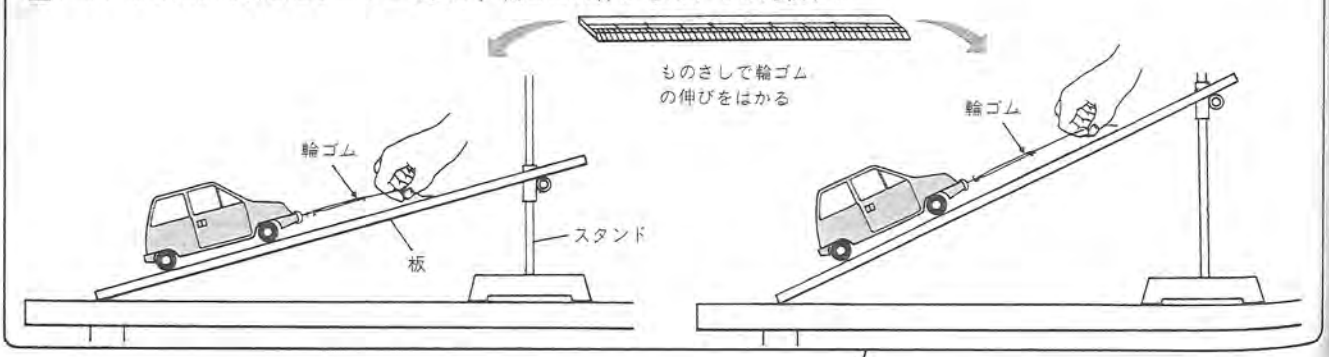

4 ばねはかりで，輪ゴムの伸びと力の関係を調べてグラフ化する




輪ゴムの伸びと力の関係を3～4ヵ所について測定し，グラフ化する

5 いろいろな傾きの斜面にミニカーを置き，輪ゴムの伸びをはかって比較する




## 【A】車を支える力を輪ゴムで調べる

1 留意点 ここではミニカーを使うが，必ずしもミニカーである必要はない。空き缶でローラーを作って調べてもよい。
空き缶のローラーを作る場合は，必ず円の中心に穴をあけるようにする。また，その穴に針金を入れるわけであるが，空き缶が回りやすいようにしておく。

3 留意点 右手で輪ゴムを支え，左手で板の傾きを変えるようにするとよい。
輪ゴムと板が平行になるようにして伸びを観察する。

4 解説 このように，輪ゴムの伸びと力の関係を調べてグラフ化するのは，次の5の実験の資料にするためである。

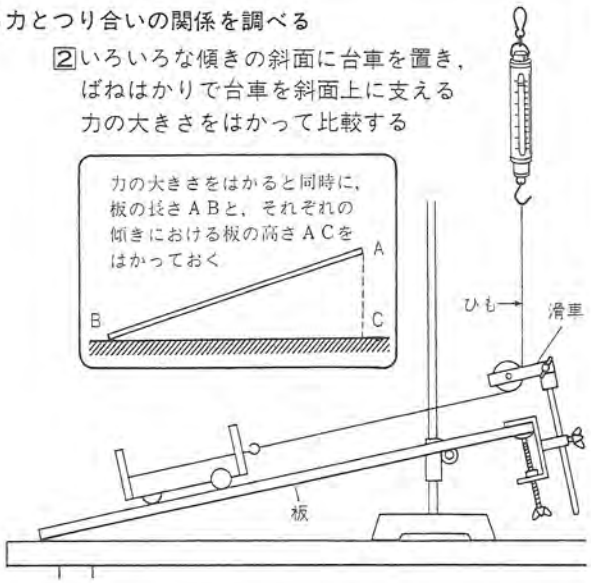
5 解説 輪ゴムの伸びをものさしではかれば，4で作成したグラフから，そのときの力の大きさを求めることができる。
結果 板の傾きが大きいほど，輪ゴムの伸びは大きくなる。つまり，車を支える力は大きくなることがわかる。

## [B]力学台車を支える力とつり合いの関係を調べる

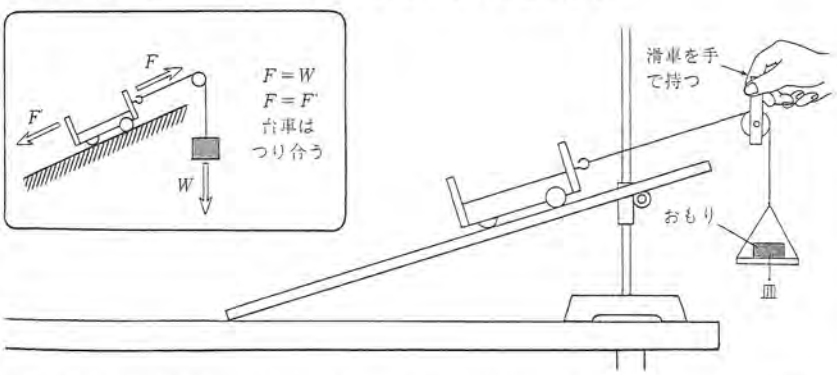
1 ばねはかりで，力学台車の重さをはかる



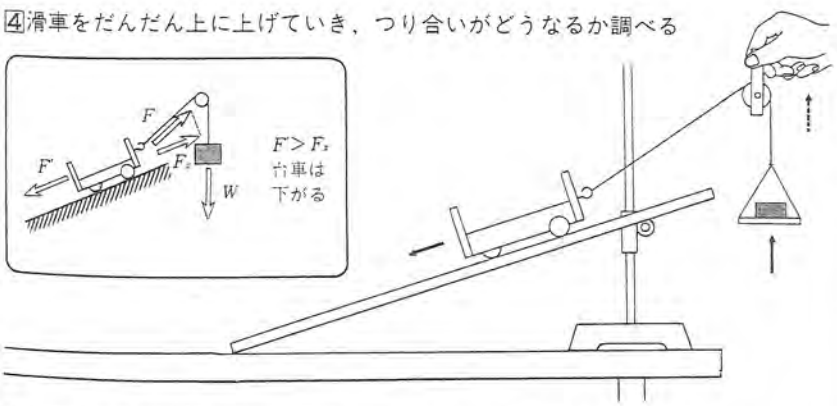
2 いろいろな傾きの斜面に台車を置き，ばねはかりで台車を斜面上に支える力の大きさをはかって比較する



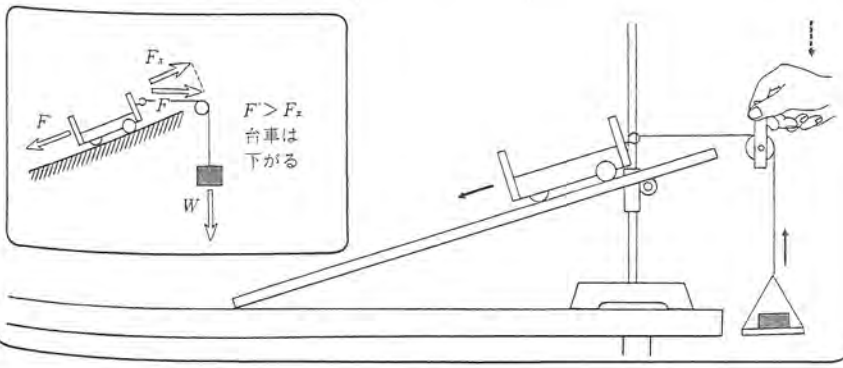

3 台車を支える力を斜面に平行にし，台車をつり合わせる




4 滑車をだんだん上に上げていき，つり合いがどうなるか調べる




5 滑車をだんだん下に下げていき，つり合いがどうなるかを調べる




### [B]力学台車を支える力とつり合いの関係を調べる

1 留意点 理振規準の台車は約1 kgwである。したがって，ばねはかりは，それ以上の重さをはかれるものを用いる。

2 留意点 板は，できるだけ摩擦の小さいものがよい。

滑車をとりつける方法はいろいろ考えられるが，取りつけやとりはずしが簡単な方法を用いたほうがよい。

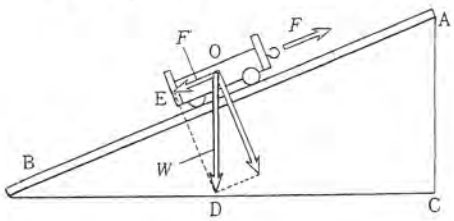
台車や滑車には油をさして，滑らかに回るようにしておく。

解説 次図において，△ABCと△ODEの関係を考えると，斜面の高さAC，斜面の長さABと，台車を降下させようとする力$F'$（台車の重さの斜面に沿う分力），台車の重さ$W$との間には次の関係が成り立つ。

$$\frac{AC}{AB}=\frac{F'}{W}$$

$$F'=W\times\frac{AC}{AB}$$

したがって$F'$が，台車を糸で引く力$F$と等しければつり合うことになる。




4 結果 滑車をだんだん上に上げていくと，台車が下に向かって滑りだすことがわかる。

5 結果 滑車をだんだん下に下げていくと，4の場合と同様，台車が下に向かって滑りだすことがわかる。

# 21 てんびんを作る

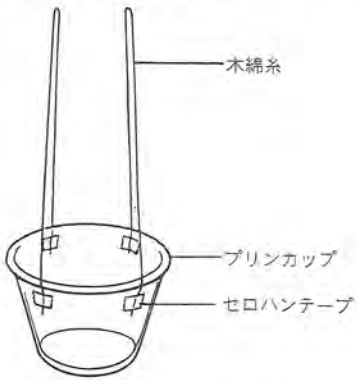
ねらい 小4　身近な材料を使って，てんびんを作ることができる。
作ったてんびんを使って，物の重さ比べをしたり，物の重さをはかったりできる。

【A】牛乳パック（1ℓ）① 模型用角材（5㎜角，長30cm） プリンカップ2② 木綿糸③ 砂 モール 竹ひご④ ガムテープ セロハンテープ 接着剤 はさみ 千枚通し 油粘土

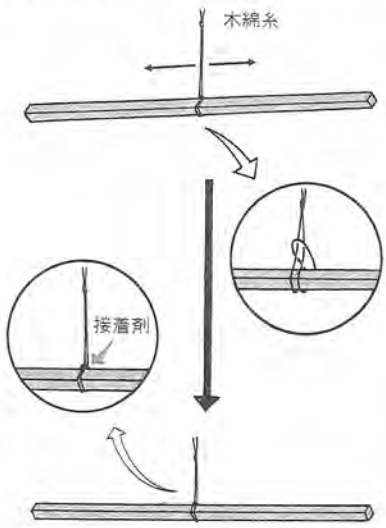
①しょうゆパック（1ℓ）でもよい。その場合，線香も必要。②マッチ箱や小箱などでもよい。③できるだけ太いものがよい。④直径2㎜程度の太めのものがよい。
＊【B】【C】については，別掲の準備するものを参照。

## 【A】簡単なてんびんを作り，それを使ってみる

### 1 プリンカップに糸をつける



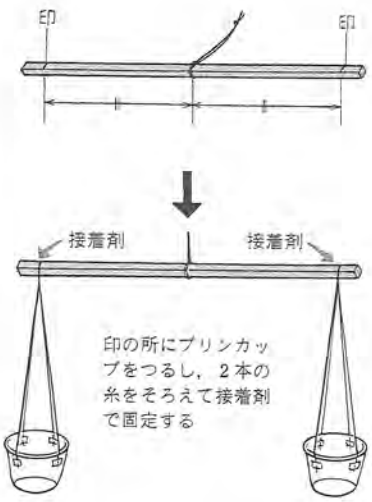

### 2 棒を糸でつるし，つり合わせる




棒の中央付近を糸でつり，左右に動かして棒が水平につり合ったら，糸を締めて接着剤でとめる

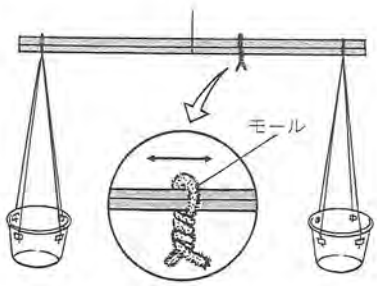
### 3 支点から等距離の所にプリンカップをつり下げる

糸から左右に等距離の所に鉛筆などで印をつける



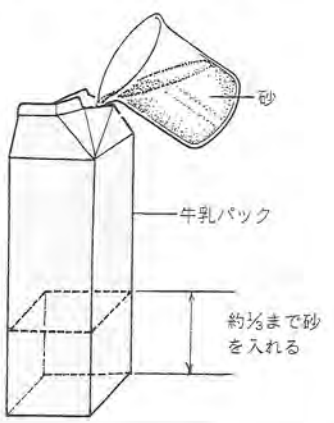

印の所にプリンカップをつるし，2本の糸をそろえて接着剤で固定する

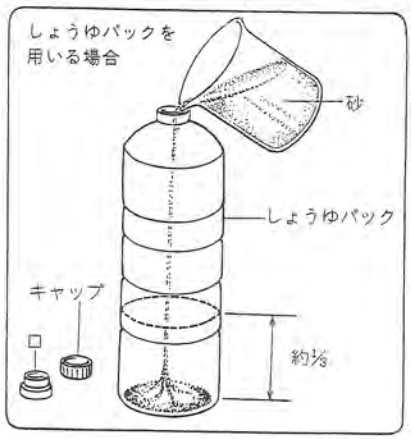
### 4 つり合うように調節する




軽いほうにモールをねじってつけ，左右に移動させてつり合わせる

### 5 牛乳パックに砂を入れる




**【A】簡単なてんびんを作り，それを使ってみる**

1 留意点 木綿糸は，同じ長さに2本切っておく。
木綿糸をプリンカップにつけるときは，できるだけ，互いに等間隔になるようにセロハンテープではりつける。また，糸に結び目を作っておき，その部分をセロハンテープでつけると，とれにくい。

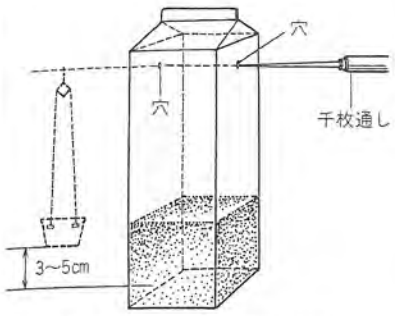
2 留意点 あらかじめ，棒の中央に印をつけておき，そこをつるすとよい。棒がつり合わずに傾いたら，左右に少しずつずらしてつり合わせる。
2本の糸が離れて広がらないように，そろえて結びつける。

3 留意点 糸を棒の印の部分に固定するときは，プリンカップが傾かないように注意する。また，2本の糸が離れないように，そろえて固定する。

4 留意点 棒をつり合わせるには，必ずモールなどを用いて行う。カップをつり下げる位置を移動させてつり合わせてはいけない。支点からの距離が異なると，左右のカップに同じ重さのものを載せてもつり合わなくなってしまうからである。

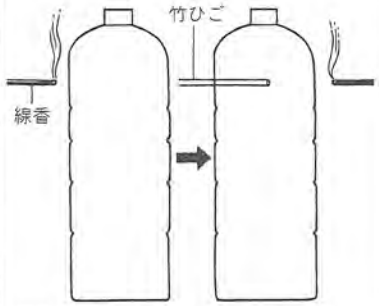
5 解説 砂は，おもりとして用いるのであり，下から1/3ぐらいまで入れるとよい。牛乳パックやしょうゆパックに限らず，台所用洗剤の容器など，利用できるものであれば何でもよい。

### 6牛乳パックに穴をあける



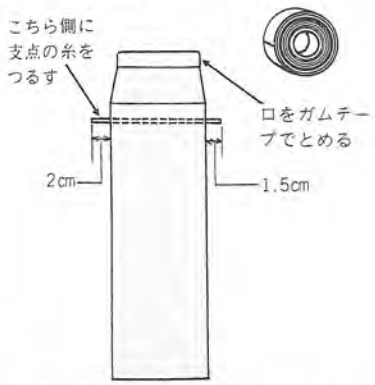

同じ高さに，両側から穴をあける

しょうゆパックの穴のあけ方

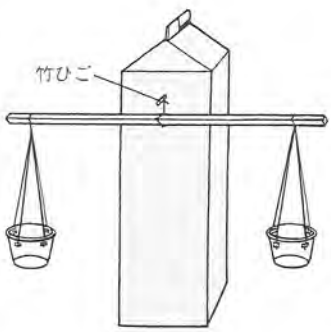



線香の火で穴をあけ，それに竹ひごを差しこみ，竹ひごに合わせて反対の穴をあける

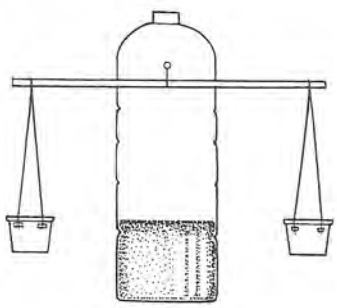
### 7穴に竹ひごを通す



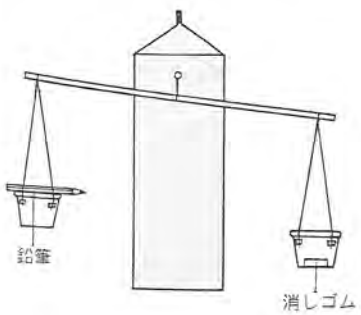

### 8支点の糸を竹ひごにかけて完成する



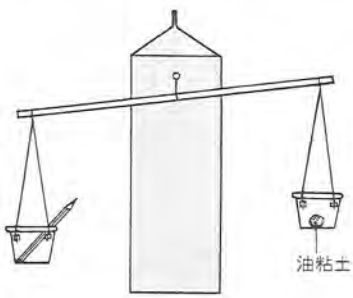

しょうゆパックのてんびん



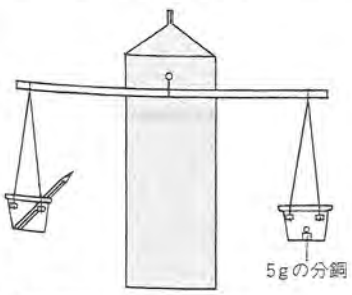
### 9いろいろなものの重さを比べる



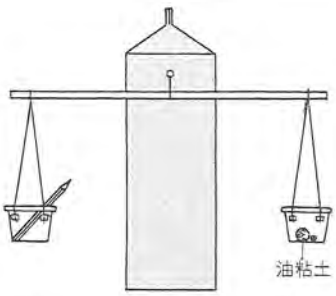

### 10油粘土を用いてつり合わせてみる




### 11分銅や，他の重さのわかっているものを載せて重さをはかってみる




5gの分銅を載せてつり合えば鉛筆は5gである




油粘土を少しずつ載せて，つり合わせる

6 留意点 穴の高さは，てんびんが完成したときに，プリンカップの下に3～5cmぐらいのすき間ができるぐらいとする。あまり高すぎると，つり合いが崩れたときに，棒が傾き過ぎて扱いにくくなる。2つの穴は，そこに竹ひごを通したときにそれが水平になるように，必ず同じ高さとする。

千枚通しで片側から反対側の穴まであけてしまうのではなく，片側をあけたら，次に反対側からもう一方をあけるようにする。穴の大きさは，竹ひごがきついぐらいの大きさとする。

7 留意点 竹ひごは，糸をつるすほうを長く（2cmぐらい）する。穴を大きくし過ぎて竹ひごが抜けそうなときは，竹ひごにモールをねじってつけるとよい。

8 留意点 棒が牛乳パックに触れないように，少しすき間をあける。

9 解説 いろいろなものの重さ比べをしてみる。図では消しゴムのほうが重いことがわかる。

10 解説 油粘土を少しずつ載せてつり合わせてみる。図では，鉛筆の重さはどれだけの油粘土の重さと等しいかがわかる。

11 解説 分銅とか，その他の重さのわかっているものを用いれば，物の重さをはかることができる。

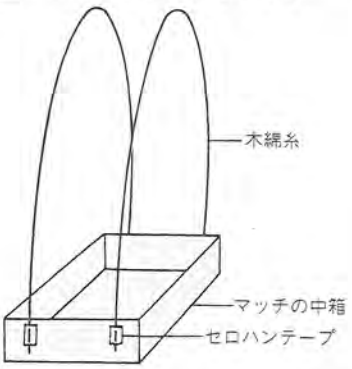
参考 分銅の代わりに用いることのできる身近なものの重さを次にあげておく。

- 100円硬貨――4.8g
- 50円硬貨――4.1g
- 10円硬貨――4.5g
- 5円硬貨――3.75g
- 1円硬貨――1.0g
- ゼムクリップ(No.3) 10本――2.9g

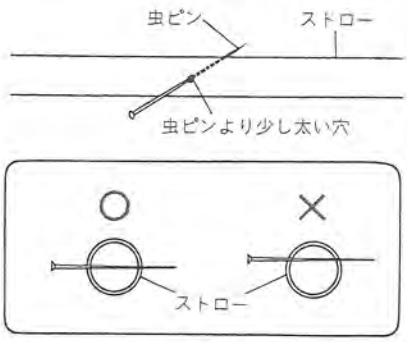
以上のほか，王冠や乾電池など様々なものが考えられる。ただしこれらは，メーカーや規格によって重さが違うので，例示するのは省略した。

## 【B】軽いもの用のてんびんを作る

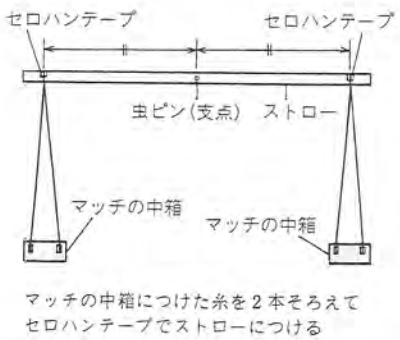
1 マッチの中箱に糸をつける




2 ストローの中央に虫ピンを差しこむ

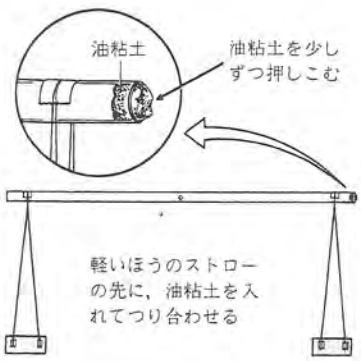



3 支点から等距離の所にマッチの中箱をつり下げる

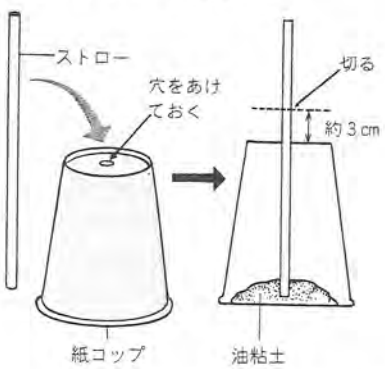



マッチの中箱につけた糸を2本そろえてセロハンテープでストローにつける

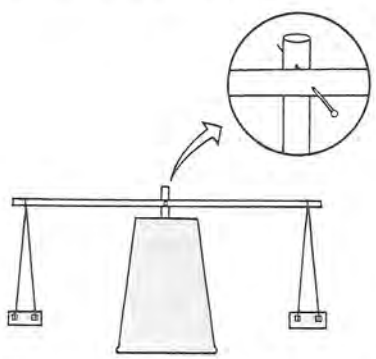
4 つり合うように調節する



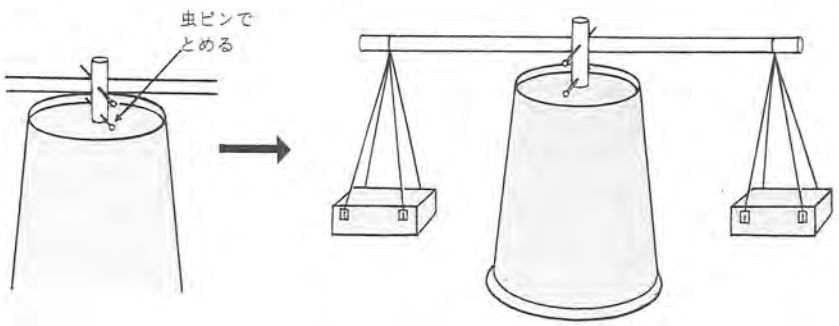

5 紙コップに穴をあけ，ストローを差しこんで粘土で固定する




6 紙コップに立てたストローに支点となる虫ピンを差しこむ



7 紙コップから抜けないように，軸のストローに虫ピンを差しこみ，完成する




## 【B】軽いもの用のてんびんを作る

準備するもの 紙コップ　ストロー2　マッチ箱2①　油粘土　虫ピン②　セロハンテープ

①できるだけ小型のものがよい。②待ち針でもよい。

解説 ここでは，やはり身近な材料を用いて，小さくて軽いものをはかるのに適したてんびんを作る。【A】と同様に，完成したら，実際に使ってみるとよい。

1 留意点 木綿糸の切り方，つけ方などについては，【A】1の留意点を参照。

2 留意点 虫ピンは，端のほうに刺すとストローが折れやすくなるので，中央に刺すようにする。
虫ピンを刺しただけでは，穴が小さく，ストローが自由に回軸しないので，千枚通しなどで少し穴を大きくする。あまり大きくし過ぎると折れやすくなるので注意する。

3 留意点 支点から左右に等距離の所に，糸を2本そろえてセロハンテープでとめる。

4 留意点 油粘土は，ストローに押しこんでしまうと，とるのはめんどうなので，入れ過ぎないよう注意して，少しずつ入れる。

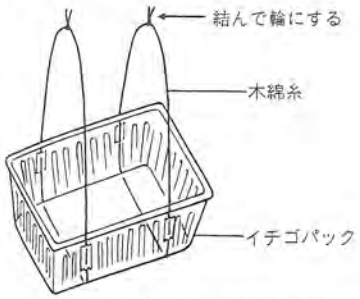
5 留意点 紙コップにあける穴の大きさは，ストローがぐらぐらしないように，きつめがよい。
油粘土は，その重さでてんびん全体を支えることになるので，少し多めに使ったほうがよい。

6 留意点 立てたストローに虫ピンを差しこむときは，一度で差しこむようにする。失敗して何度も刺し直したりすると，穴が大きくなってしまい，ぐらぐらして，てんびんが扱いにくくなるばかりでなく，不正確になってしまう。

7 留意点 出来上がったてんびんを持ち運ぶときは，紙コップの部分を持つようにする。そのために最後の虫ピンを刺すのである。

## 【C】より精密な測定のできるてんびんを作る

### 1 イチゴパックに糸をつける



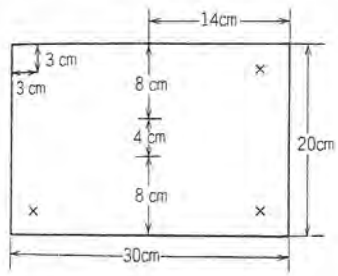

糸を輪にしてイチゴパックの底にかけ，セロハンテープでしっかりとめる

### 2 角棒を切る




| | | |
|---|---|---|
| 2cm角 | 45cm…… | 2本（柱――中央） |
| 〃 | 42cm…… | 4本（柱――端） |
| 〃 | 約3cm…… | 2本（柱の補強） |
| 1cm角 | 16cm…… | 2本（ストッパー） |
| 〃 | 約2cm…… | 4本（支点） |

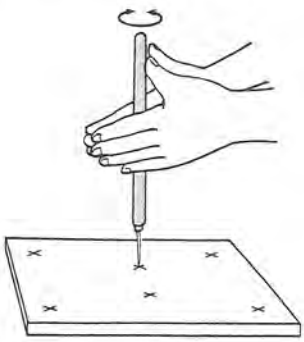
### 3 台板と角棒にくぎ穴の印をつける



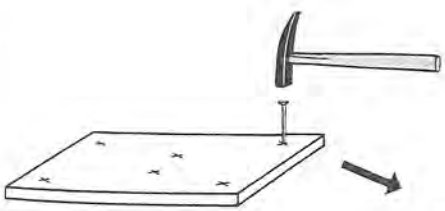


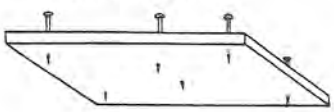


### 4 印の所にきりで穴をあける



### 5 台板にくぎを打つ

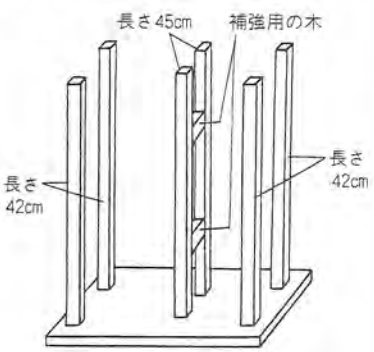





### 6 台板に角棒をとりつける




### 7 補強用の木をつける




補強用の木を接着剤でつける

---

**【C】より精密な測定のできるてんびんを作る**

**準備するもの** 角棒① 板（30×20×1cm） カッターの刃② L字形ヒートン（長さ約3cm）4 くぎ③ 針金 接着剤④ ノコギリ きり（四つ目） 金づち カッター ペンチ 木綿糸 モール

①1cm角，長さ90cmのもの2本。2cm角，長さ90cmのもの3本。②9枚分がつながったままのもの。③長さ4cmのもの6本，長さ1.6cmのもの4本。④2液タイプのもの。

**解説** 支点部分にナイフエッジを使うので，【A】，【B】に比べて敏感であり，精密な測定ができる。しかも大型なので，大きなものでもはかれる。ただし，材料費が少し高くつき，また，製作に手間もかかる。

完成したら，【A】と同様に，実際に使ってみるとよい。

1 **留意点** つり下げたときにイチゴパックが傾かないように，糸の長さはきっちりそろえる。

2 **留意点** 柱をまっすぐに立てるためには，柱の側面と切った底面が直角になっていなければならない。そのためには，図のように，別の角棒の端を当てて切るとよい。

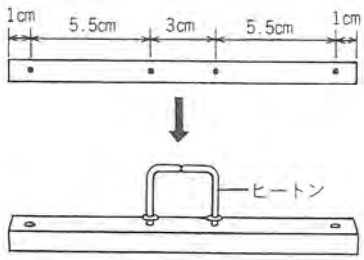
4 **留意点** きりは，四つ目ぎりを使う。三つ目ぎりでは穴が大きくなり過ぎる。
穴は板に垂直に（角棒の場合は底面に垂直に）なるようにあける。
角棒の穴は，深さ1cmぐらいになるようにあける。

5 **留意点** くぎは長さ4cmぐらいのものを用いる。

6 **留意点** くぎを打ちこむとき，棒の根もとがぐらぐらしやすいので，しっかりと押さえて打ちこむ。

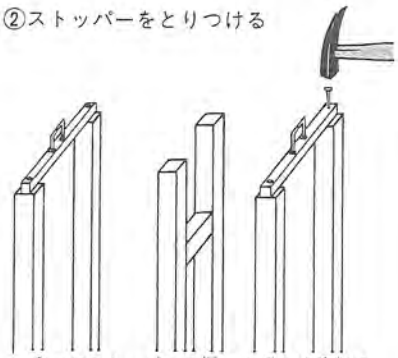
## 8 ストッパーをつける

①ストッパーを作る




ストッパー用の2本の角棒に，きりで浅い穴を4つあけ，まん中の2つの穴にヒートンを浅くねじこむ

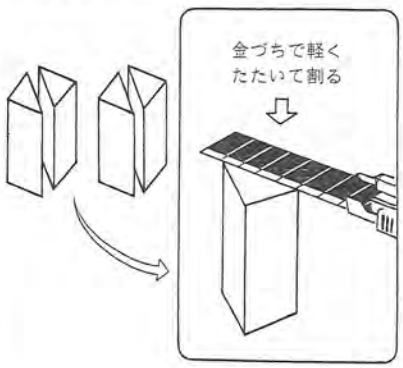
②ストッパーをとりつける



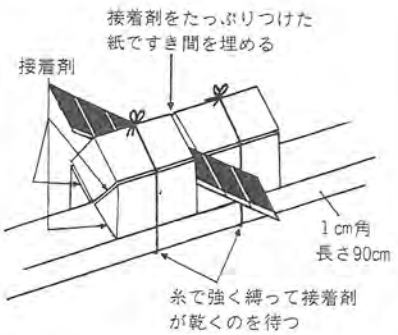
2つのストッパーを短いくぎと接着剤で柱にとりつける

## 9 支点を作る

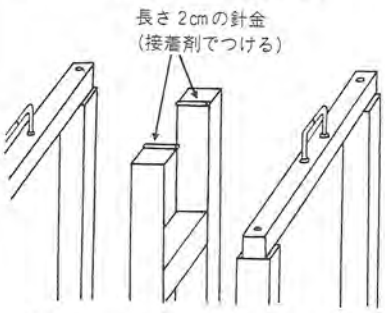
①支点用の木のうち2本を半分に割る




②角棒にカッターの刃をとりつける

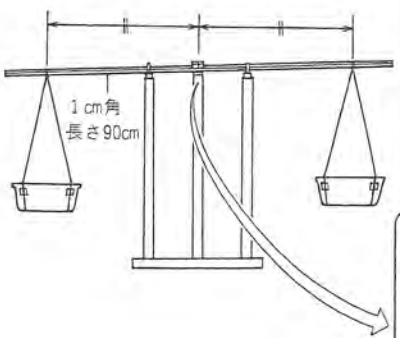


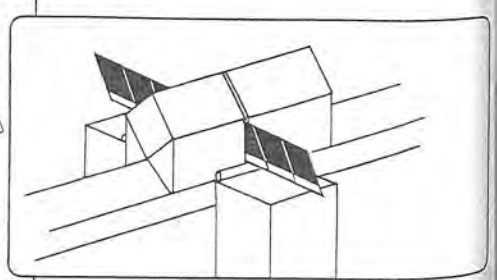

③中央の柱2本の頭に針金をつけ，角棒につけたカッターの刃を載せる




針金がしっかりついてから，角棒を載せる

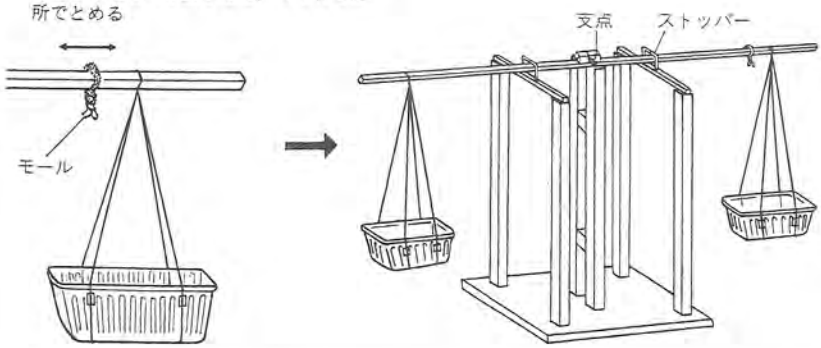
## 10 支点から等距離の所にイチゴパックをつり下げる



## 11 モールでつり合わせて完成する

モールを左右に移動させて，つり合った所でとめる




**8 留意点**

①ヒートンは，浅くねじこめばよい。強くねじこまないこと。

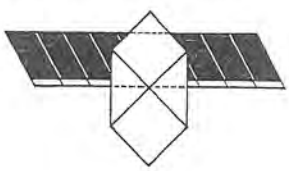
②柱とストッパーの間に接着剤を入れておき，さらにくぎでとめる。くぎは，長さ1.6cmぐらいのものを用いる。

**9 留意点**

②とりつけるカッターの刃は，コンクリートや硬い金物の角などにこすりつけて，刃を少しつぶしておく。

各木片の間には十分に接着剤を入れて，しっかりと固める。

この部分の断面図は下図のようになる。



③針金より硬いピアノ線を用いれば，なおよい。

接着剤は，2液タイプの強力接着剤を用いる。

角棒を載せるときは，ストッパーのヒートンをそれぞれ1/4回転させればよい。つまり90°回転させればよい。

# 22 てこのつり合いを調べる

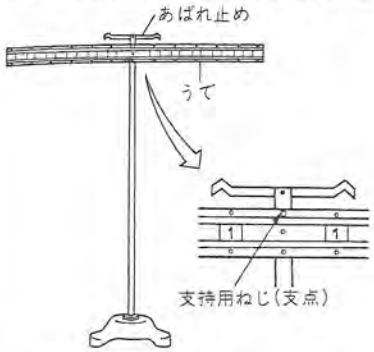
ねらい 小6 左回りの力のモーメントと右回りの力のモーメントが等しいとき，てこはつり合うことが確かめられる。

実験用てこ　力学実験用おもり① ばねはかり2② 実験用定滑車　スタンド　【別法】丈夫で軽い棒③ 木綿糸④ ばねはかり2② 定規　くぎ

①同じ重さのものを8個用意する。10gか20gのものがよい。②秤量200gぐらいで0点調整のできるものがよい。③長さ40cmぐらいのものがよい。④たこ糸など，太いものがよい。

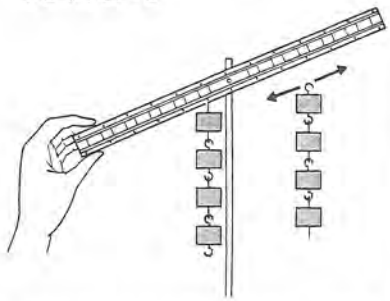
1 支点が中央にあるてこのつり合いを調べる

①支持用ねじにうでの中央上部の穴を入れ，うでが水平になることを確認する

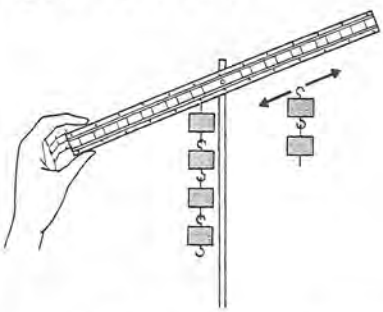



②左の距離1の位置におもりを4個かけて調べる

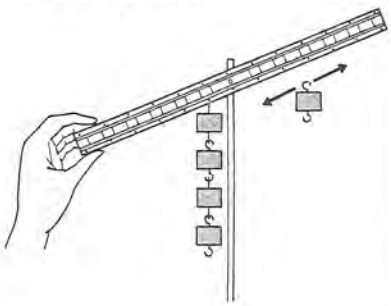
㋐右にも4個かける場合，どの位置ならつり合うか調べる



㋑右には2個かける場合，どの位置ならつり合うか調べる

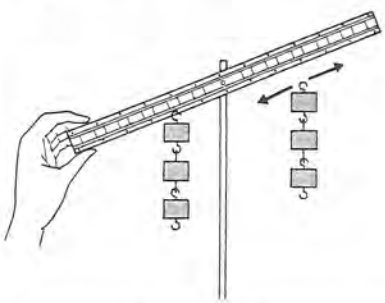


㋒右には1個かける場合，どの位置ならつり合うか調べる

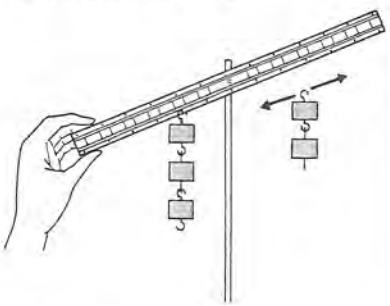


③左の距離2の位置におもり3個をかけて調べる

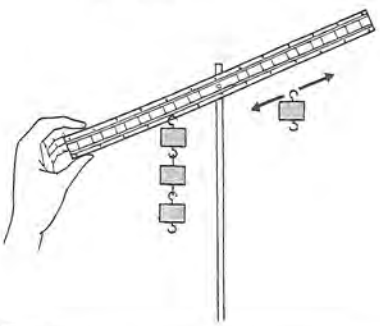
㋐右にも3個かける場合，どの位置でつり合うか調べる



㋑右には2個かける場合，どの位置ならつり合うか調べる



㋒右には1個かける場合，どの位置ならつり合うか調べる



④以上の結果を表にまとめる

| 左 | | | 右 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| おもりの数 | 支点からの距離 | おもり×距離 | おもりの数 | 支点からの距離 | おもり×距離 |
| 4 | 1 | 4 | 4 | 1 | 4 |
| | | | 2 | 2 | 4 |
| | | | 1 | | |
| 3 | 2 | 6 | 3 | | |
| | | | 2 | | |
| | | | 1 | | |

1 留意点 実験用てこを扱う場合，おもりを穴にかけてすぐに手を離してはいけない。つり合わなかったときに，いきおいよくうでが重いほうに下がり，おもりがはずれたり，器具自体を傷めたりするおそれがあるからである。うでを手で支えておもりをつけ，静かに，様子を見ながら手を離すようにする。おもりをはずす場合も同様である。

①うでの中央には穴が3個あいているので，中央上部の穴を使ってうでが水平になることを確認する。確認後は，支持用ねじを中央の穴につけ替えておく。

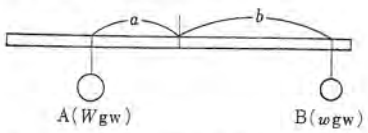
②㋒では，㋐，㋑の結果から，だいたい見当がつくはずであるから，なるべく一度でつり合わせるようにしたい。

③㋒では，②と同様，一度でつり合わせたい。

④実験を始める前にこのような表を作っておき，実験の進行につれて結果を書きこんでいくようにする。

結果 支点の左側の「おもりの数×支点からの距離」と支点の右側の「おもりの数×支点からの距離」とが等しいとき，てこはつり合うことがわかる。

参考 下図において，おもりAは棒を左に回そうとし，Bは右に回そうとしている。




この棒を回そうとするはたらきは，「重さ×支点からの距離」または「力×支点からの距離」であるから，

左に回そうとするはたらき：$W \times a$

右に回そうとするはたらき：$w \times b$

である。したがって，棒が水平になろうとするのは

$W \times a = w \times b$

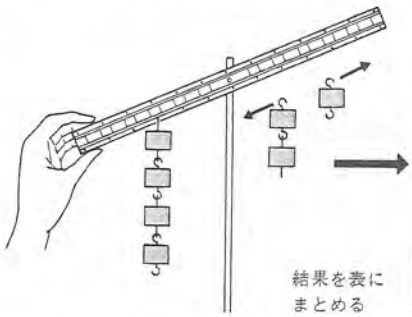
のときである。このとき，棒を回そうとするはたらきはつり合っている。これをてこの原理と呼んでいる。

なお，このような回そうとする力のはたらきを「力×支点からの距離」で表し，力のモーメントという。したがって，てこの原理を力のモーメントで表すと，

左回りの力のモーメント＝右回りの力のモーメント

ということになる。

**2** 左の距離3の位置におもりを4個かけ，右には2個のおもりと1個のおもりを別々に2ヵ所にかけるとき，どことどこの位置ならつり合うか調べる

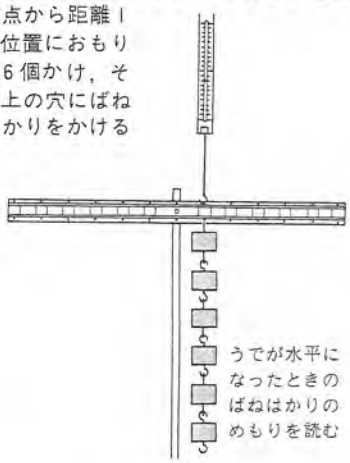


結果を表にまとめる

| 左 | | | 右 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| おもりの数 | 支点からの距離 | おもり×距離 | おもりの数 | 支点からの距離 | おもり×距離 | |
| 4 | 3 | 12 | | | | |
| | | $A$ | | | $B$ | $A+B$ |
| 2 | 3 | 6 | 1 | 6 | 6 | 12 |
| 2 | | | 1 | | | |
| 2 | | | 1 | | | |

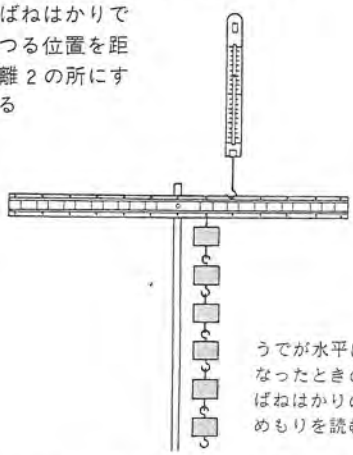
**3** 支点が端にあるてこのつり合いを調べる（ばねはかりを用いる場合）

①支点から距離1の位置におもりを6個かけ，その上の穴にばねはかりをかける



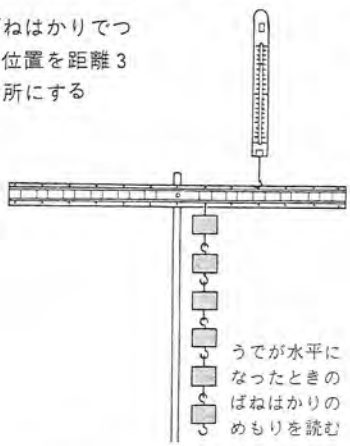
うでが水平になったときのばねはかりのめもりを読む

②ばねはかりでつる位置を距離2の所にする



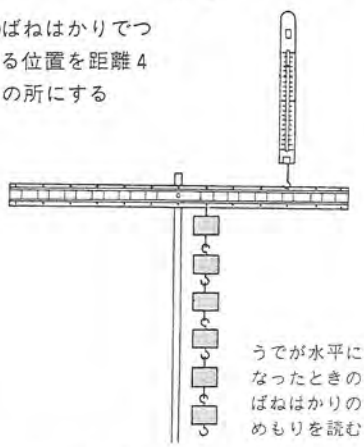
うでが水平になったときのばねはかりのめもりを読む

③ばねはかりでつる位置を距離3の所にする



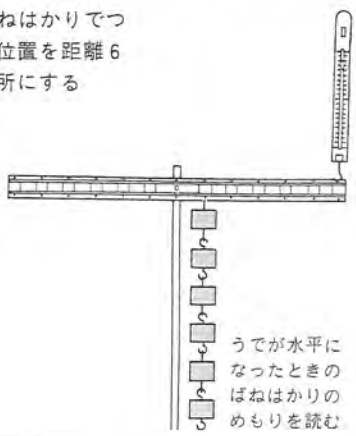
うでが水平になったときのばねはかりのめもりを読む

④ばねはかりでつる位置を距離4の所にする



うでが水平になったときのばねはかりのめもりを読む

⑤ばねはかりでつる位置を距離6の所にする



うでが水平になったときのばねはかりのめもりを読む

⑥以上の結果を表にまとめる

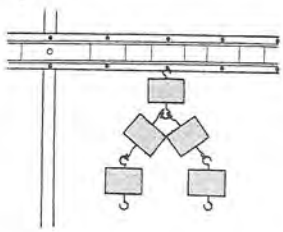
| おもり | | | ばねはかり | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 支点からの距離 | おもりの重さ | 距離×重さ | 支点からの距離 | ばねはかりのめもり | 距離×めもり |
| 1 | 120 | 120 | 1 | 120 | 120 |
| | | | 2 | | |
| | | | 3 | | |
| | | | 4 | | |
| | | | 5 | | |
| | | | 6 | | |

おもりが20 g の場合

**2** 留意点 これも，1と同様，支点が中央にあるてこのつり合いの例であるが，内容が若干発展的なものとなっている。したがって，留意点としては，1にほぼ同じである。

結果 つり合っている場合には，左回りの力のモーメントと，右回りの2ヵ所の力のモーメントを加え合わせたものとが等しくなることがわかる。すなわち，左回りの力のモーメントの総量と右回りの力のモーメントの総量が等しければ，てこはつり合うということがわかる。

**3** 留意点 おもりが長くなり過ぎて下についてしまう場合には，下図のようにすればよい。



実験前に，ばねはかりに直接おもりをつけて，おもりの重さとばねはかりのめもりが一致するかどうかを確認しておく。意外に誤差や狂いがあるものである。

ばねはかりは，必ず，てこのうでに直角になるように引く。

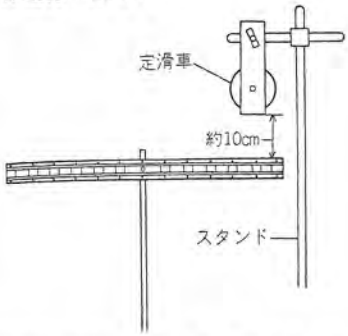
⑥おもりの欄は，おもりの個数ではなく，重さの合計を書きこむ。ばねはかりのめもりというのは，ばねはかりのめもりの示す値のことである。したがって，どちらも単位はgwである。

結果 やはり，てこが水平につり合っているときには，左右の力のモーメントが等しいことがわかる。

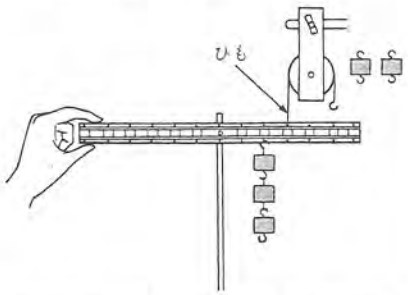
参考 支点が端にあるてこでは，おもりは，うでに対して下向きに力を加えている。ばねはかりを引く力は，上向きの力である。つまり，おもりはうでを右に回そうとはたらき，ばねはかりは，左に回そうとはたらいている。そのはたらきは，それぞれの力のモーメント（前ページの参考を参照）で決まり，等しいときにつり合う。

4支点が端にあるてこのつり合いを調べる（定滑車を用いる場合）

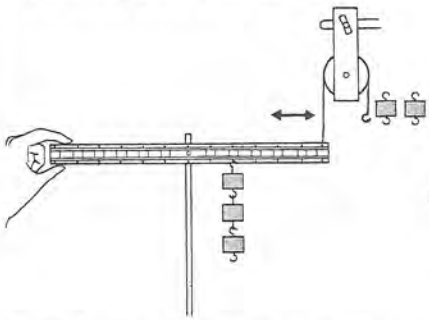
①スタンドを用いて定滑車をてこのうでの上方に固定する



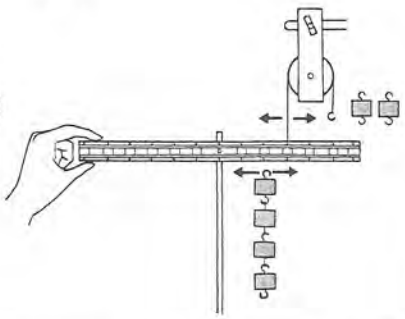

②おもり3個を距離2に，滑車の糸を距離3につけ，糸におもりをいくつつければつり合うか調べる




③滑車の糸をつける位置を変えて，おもりいくつならつり合うか調べる



④おもり・糸をつける位置をいろいろ変えて，つり合いのきまりを調べる

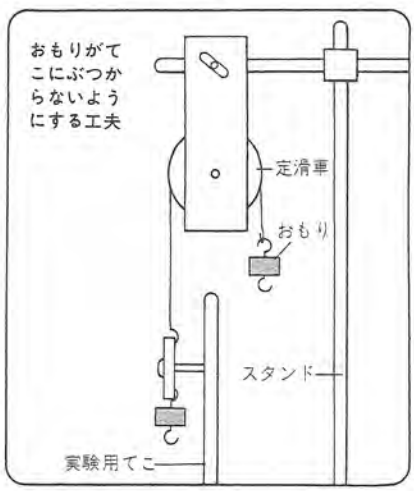


5支点が端にあるてこのつり合いを調べる（ばねはかりを2つ用いる場合）

①てこの支持用ねじに，うでの端の3つの穴のうちの中央の穴をかける

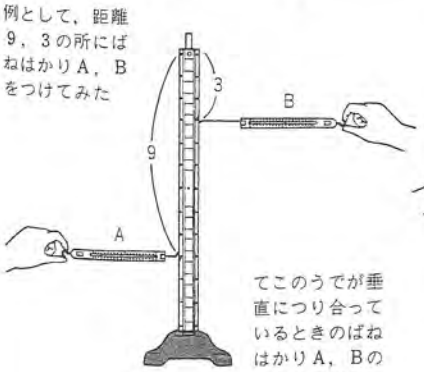



おもりがてこにぶつからないようにする工夫



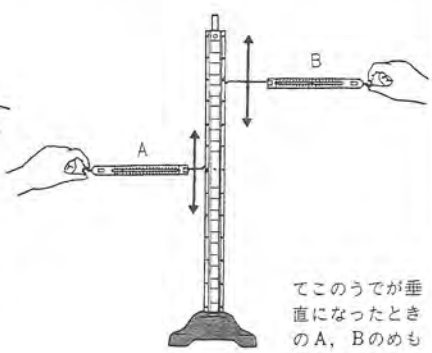

②2つのばねはかりを2ヵ所に，反対向きにとりつけ，左右に引っ張る

例として，距離9，3の所にばねはかりA，Bをつけてみた




てこのうでが垂直につり合っているときのばねはかりA，Bのめもりを読む

③ばねはかりの位置や引く力をいろいろに変えて，つり合いのきまりを調べる




てこのうでが垂直になったときのA，Bのめもりを読む

4 留意点 定滑車は，滑車用のスタンドか鉄製の大型スタンドで，てこのうでの約10cm上方に固定する。

定滑車にかけるひもは，定滑車の付属品のフック付きのひもを用いればよいが，ない場合には，太めの糸にゼムクリップなどで作ったフックをつけて用いる。フックがないと，おもりのつけはずしがとてもめんどうになる。

定滑車のひもは，必ず，てこのうでに垂直になるよう，スタンドの位置に注意してつける。

定滑車にかけたひもの一方におもりをつけたとき，おもりがてこのうでにぶつかってしまって実験が思うようにできない場合，④の下の囲み図のように，定滑車をてこのうでに直角にとりつけるようにする。

結果は，1～3と同様，表にまとめる。

結果 やはり，「おもりの数×支点からの距離」＝「定滑車のひもの先につけたおもりの数×定滑車のひもの他方の先をとりつけた位置までの支点からの距離」となるとき，てこはつり合うことがわかる。

5 留意点 片方のばねはかりだけ強く引くと実験用てこが倒れてしまうので，少しずつ両方のばねはかりに力を加えるようにする。

てこのうでが垂直になっているかどうかは，支点軸棒を基準として，正面から見て確認する。

ばねはかりの秤量以上の力を加えないように注意する。

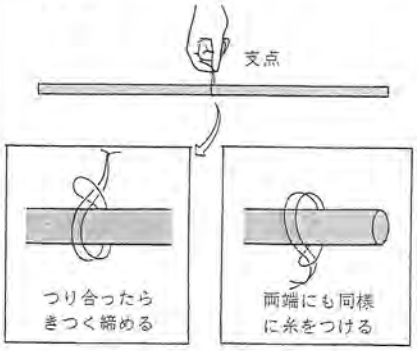
結果は，1～3と同様，表にまとめる。

結果 ばねはかりAの「支点からの距離×引く力」＝ばねはかりBの「支点からの距離×引く力」のときつり合うことがわかる。

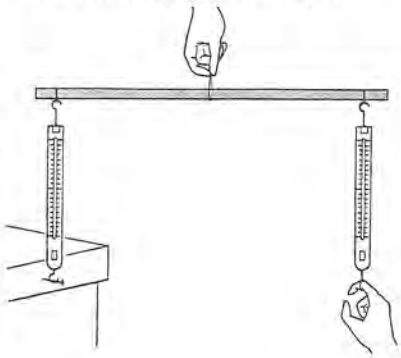
## 【別法】実験用てこを用いない方法

1 支点が中央にあるてこのつり合いを調べる

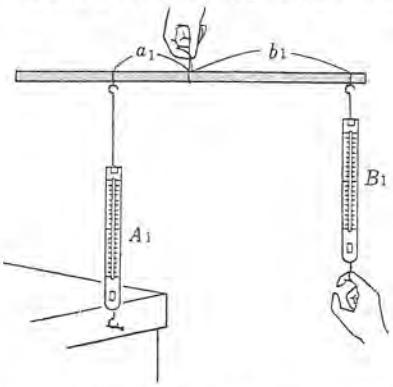
①棒の中央に糸をかけ，手で支えて支点にする



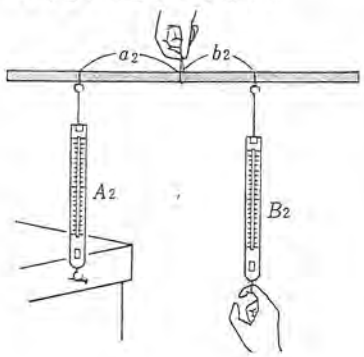

②両端にばねはかりをつけ，一方はくぎなどにかけて，他方は手に持つ



③ばねはかりの位置を一定にして，ばねはかりを引く力をいろいろ変えてみる

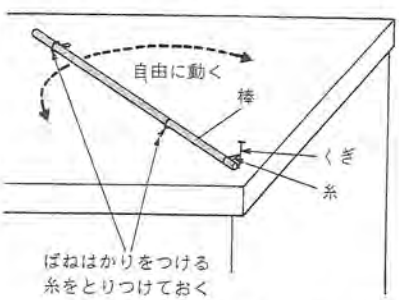



④ばねはかりの位置をいろいろに変えて，つり合いのきまりを調べる

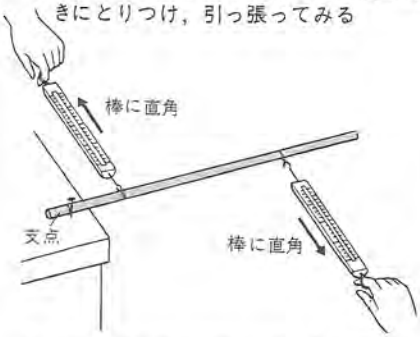



2 支点が端にあるてこのつり合いを調べる

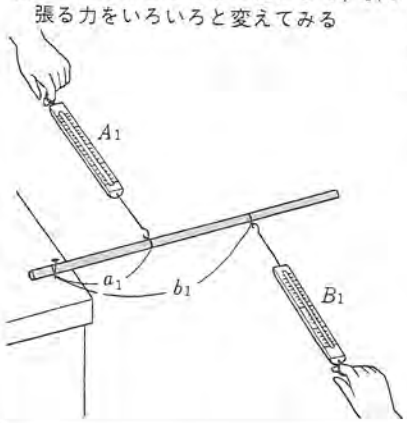
①棒の一端を糸で結び，自由に動くようにくぎなどにとりつける



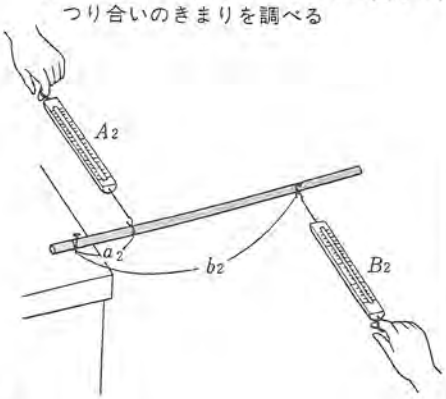

②2つのばねはかりを2ヵ所に，反対向きにとりつけ，引っ張ってみる




③ばねはかりの位置を一定にして，引っ張る力をいろいろと変えてみる




④ばねはかりの位置をいろいろと変えて，つり合いのきまりを調べる




### 【別法】実験用てこを用いない方法

解説 ここでは，実験用てこを使わずに，てこのつり合いのきまりについて調べてみる。ただし，糸のつけ方（ずれないように），2の棒の端をくぎにとりつけるところなどに，多少工夫が必要である。

1 留意点

①定規ではかって棒の中央に糸をかけても必ずつり合うとは限らない。つり合わなかったら糸を少し左右に動かし（棒が下がったほうに動かす），つり合ったら，ずれないように，糸をきつく締める。棒の左右の端にも，ばねはかりをかけるための糸を，支点の糸と同様につける。

ばねはかりをかける糸は，ばねはかりを引くときには，糸がずれないようにきつく締めておき，位置を変えるときには緩める。

③距離$a_1$，$b_1$は定規ではかるか，あらかじめ棒にめもりをつけておいてもよい。いずれにしても正確でなければならない。

支点にかかる力がもっとも大きくなるので，しっかり糸を支えること。

ばねはかりは，棒に対して常に直角になるように引かなければならない。

結果 左の「支点からの距離×引く力」＝右の「支点からの距離×引く力」のとき，てこはつり合うことがわかる。すなわち，

$a_1 \times A_1 = b_1 \times B_1$

$a_2 \times A_2 = b_2 \times B_2$

ただし，$A_1$，$B_1$，$A_2$，$B_2$は，それぞれのばねはかりのめもりの値。

2 留意点 棒のくぎに引っかけてないほうの端が下がってやりにくい場合は，下がらないように台の上に載せてもよい。

ただし，ばねはかりのめもりを読む場合は，棒が台に触れていないようにしたほうがよい。棒が台に触れていると，摩擦の影響があるからである。

糸のつけ方は1を参照。

この実験は，1人ではやりにくいので，2人一組で行うとよい。

結果 一方の「支点からの距離×引く力」＝他方の「支点からの距離×引く力」のとき，つり合うことがわかる。すなわち，

$a_1 \times A_1 = b_1 \times B_1$

$a_2 \times A_2 = b_2 \times B_2$

ただし，$A_1$，$B_1$，$A_2$，$B_2$は，それぞれのばねはかりのめもりの値。

# 23 静止摩擦力・動摩擦力の測定

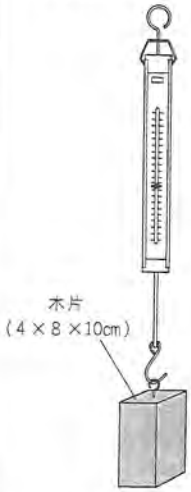
木片① 板② 糸③ ばねはかり 滑車 スタンド おもり④ ガラスや紙など⑤ 画びょう セロハンテープ

①4×8×10cm程度のもの。ラワンや杉など。②1×20×70cm程度のもの。厚手のベニヤ板がよい。③丈夫なもの。④20～50gぐらいのものを10個程度。フィルムケースに鉛や砂を入れたものでもよい。

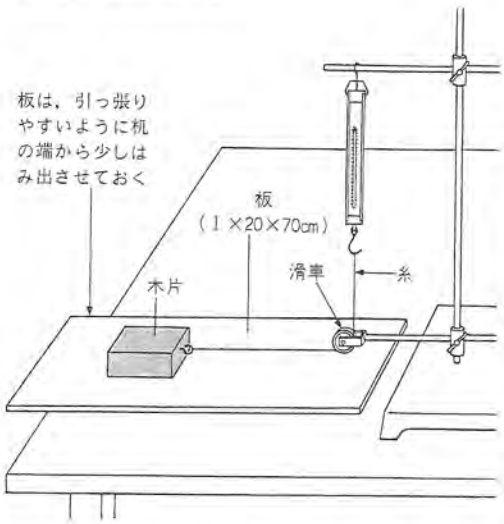
ねらい 中3高 静止摩擦力(最大静止摩擦力)と動摩擦力を測定することができる。
物体の重さと摩擦力の関係や物体の接触面と摩擦力の関係を調べることができる。

## 【A】最大静止摩擦力について調べる

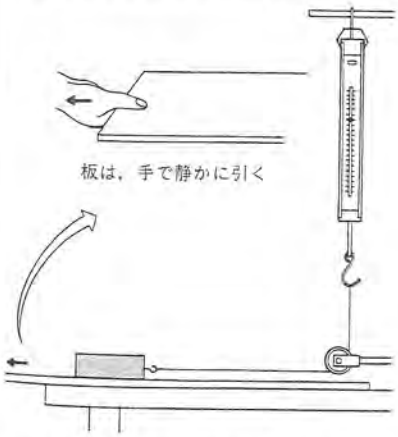
1 ばねはかりで木片の重さをはかる



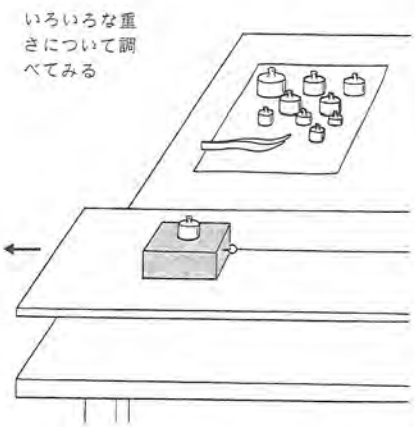

2 装置を組み立てる



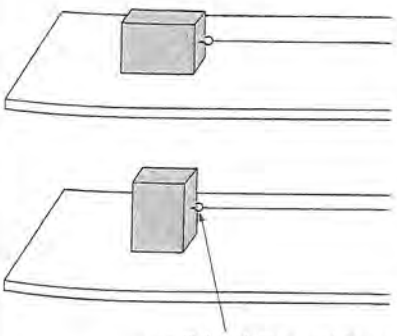

3 板を引き，木片が滑りだす直前のばねはかりのめもりを読みとる



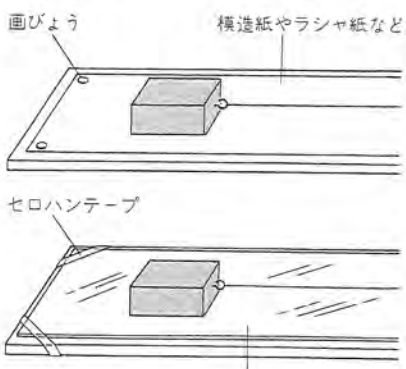

4 木片の上におもりを載せ，3と同様の実験を行う




5 木片の置き方を変えて（接触面積を変えて），3と同様の実験を行う




6 板の上に模造紙などをはって接触面の性質を変え，3と同様の実験を行う




### 【A】最大静止摩擦力について調べる

2 留意点 装置は水平な机上にセットする。
滑車の高さを調節して，木片側の糸と板が平行になるようにする。
ばねはかりの位置を調節して，ばねはかり側の糸が鉛直になるようにする。

3 留意点 板は，できるだけ静かに，ゆっくりと引く。
木片の動きを観察しながら，ばねはかりのめもりを正確に読みとるのは，極めて困難である。したがって，実際には，ばねはかりのめもりを見ながら板を引き，めもりがもっとも大きい値を示したときの数値を読みとればよい。
実験は5回ぐらい行い，平均値を求めるようにする(4～6も同様)。

5 留意点 木片の置き方を変えると，糸の高さが変わるので，滑車の高さを調整し直す必要がある。

6 留意点 模造紙，ラシャ紙，ガラス，プラスチックのほか，いろいろなものを使ってみるとよい。これらのものを板に固定するには，画びょうやセロハンテープなどを使えばよい。
ガラスの上に水や油を塗ったときについても調べてみるとよい。ただしこの場合，次の実験を行うには木片を乾かす必要があるので時間がかかる。また，水を乾かすことは容易だが，油を乾かすことは困難である。したがってこの実験は，【B】の実験後に行ったほうがよい。

結果 3と4で得られたデータから，最大静止摩擦力は重さにほぼ比例することがわかる。このことは，データをグラフ化するとわかりやすい。また，最大静止摩擦力$F$は，物体と面が垂直に押し合う力$N$（重さに等しい）と静止摩擦係数$\mu$との間に

$$F=\mu N$$

の関係があることから$\mu$を求めると，静止摩擦係数はほぼ一定であることがわかる。実験データ例を次に示す。

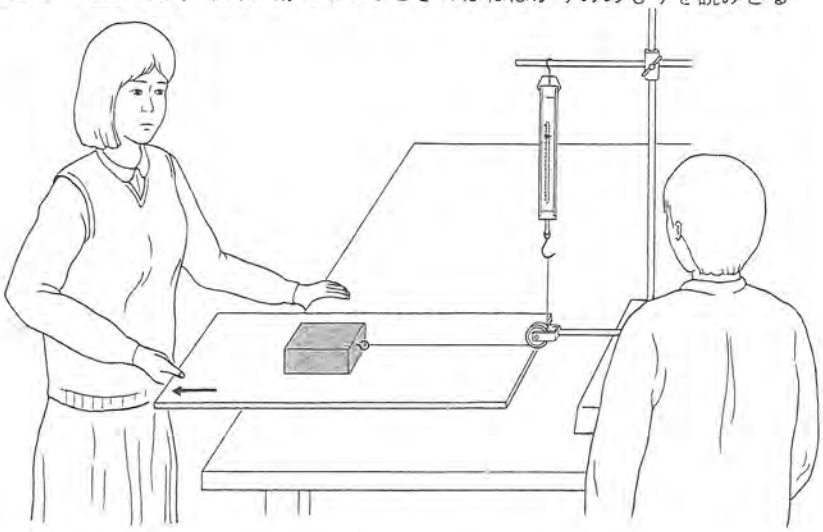
| 重さ[gw] | 115 | 135 | 175 | 275 | 325 |
|---|---|---|---|---|---|
| 最大静止摩擦力[gw] | 59 | 72 | 100 | 155 | 185 |
| 静止摩擦係数 | 0.51 | 0.53 | 0.57 | 0.56 | 0.57 |

木片の重さ：115gw

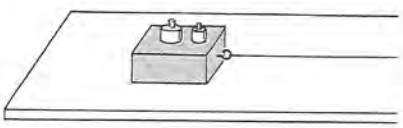
5では，最大静止摩擦力は接触部分の面積に関係なく一定であることがわかる。
6では，物体の重さが一定でも，接触面の物体が変わると最大静止摩擦力が違うことがわかる。

## 【B】動摩擦力について調べる

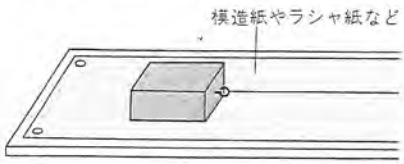
1 静かに板を引き，木片が滑っているときのばねはかりのめもりを読みとる



2 木片の上におもりを載せ，1と同様の実験を行う



3 板の上に模造紙などをはって接触面の性質を変え，1と同様の実験を行う

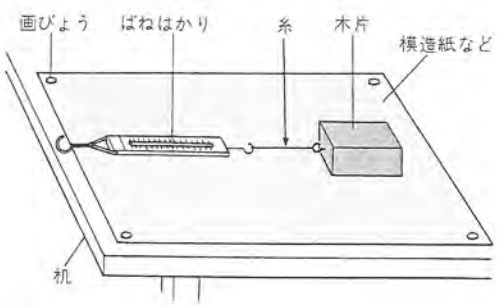


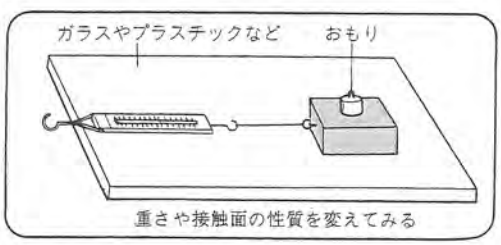

## 【別法】簡単に摩擦力を調べる方法

1 ばねはかりで木片の重さをはかる



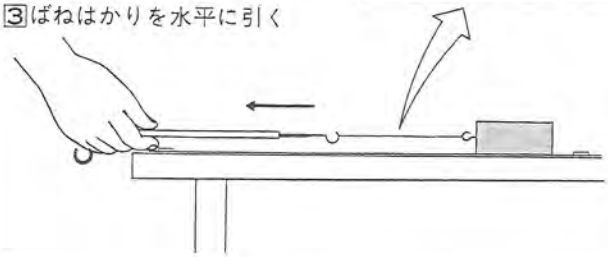
2 装置をセットする




重さや接触面の性質を変えてみる

3 ばねはかりを水平に引く



①ばねはかりを静かに引いて，木片が動きだす直前のめもりを読みとる（最大静止摩擦力）
②木片が滑っているときのめもりを読みとる（動摩擦力）

## 【B】動摩擦力について調べる

1 留意点 装置については，【A】2を参照。
板を引く距離は，板の長さを考えれば20～50cmぐらいなので，めもりは，その間に読みとる必要がある。
実験を5回ぐらい行い，平均値を求めるようにする（2，3も同様）。

2 留意点 【A】4の場合と同様，いろいろな重さについて調べてみる。

3 留意点 【A】6の場合と同様，いろいろなものを使って接触面の性質を変えて調べてみる。

結果 1と2で得られたデータを【A】のデータと比較すると，動摩擦力は，最大静止摩擦力よりも小さいことがわかる。また，動摩擦力$F'$，物体と面が垂直に押し合う力$N$，動摩擦係数$\mu'$の間に，

$$F' = \mu' N$$

の関係があることから$\mu'$を求めると，動摩擦係数はほぼ一定であることがわかる。
実験データ例を次に示す。

| 重さ[gw] | 115 | 135 | 165 | 215 | 315 |
|---|---|---|---|---|---|
| 動摩擦力[gw] | 35 | 40 | 45 | 65 | 90 |
| 動摩擦係数 | 0.30 | 0.30 | 0.27 | 0.30 | 0.29 |

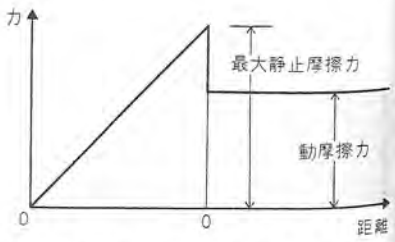
木片の重さ：115gw

3では，動摩擦力も最大静止摩擦力と同じく，物体の重さが一定でも，接触面の物体が変わると，摩擦力が違うことがわかる。実験データ例を次に示す。

| 物体 | 動摩擦力〔gw〕 | 最大静止摩擦力〔gw〕 |
|---|---|---|
| 杉材 | 36～40 | 120 |
| 模造紙 | 50～55 | 104 |
| ガラス | 80～90 | 90 |

木片の重さ：160gw

参考 物体を他の物体と接触させて，力を加えて動かすとき，力，移動距離，最大静止摩擦力，動摩擦力は，次図の関係にある。




## 【別法】簡単に摩擦力を調べる方法

2 留意点 ばねはかりを横にして使うので，はかりの補正値を求めておく。

3 留意点 木片の上におもりを載せて重さを変えたり，模造紙の代わりにいろいろなものを使って接触面の性質を変えたりしてみるとよい。

# 24 毛管現象の実験

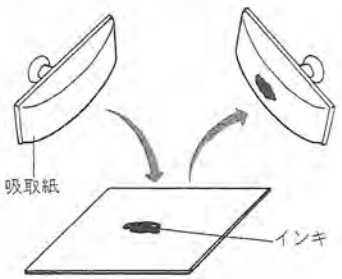
ねらい 中 いろいろな毛管現象を観察することができる。
毛細管がぬれる場合は液面が上がり，ぬれない場合は液面が下がることが調べられる。また，毛細管の太さによって液面の上がり方や下がり方が異なることが調べられる。

吸取紙　赤インキ　墨汁　毛筆　すずり　バケツ　ぞうきん　メスシリンダー　ビーカー　細いガラス管　白い花　試験管2　スポンジ　洗剤　ロウ　加熱器具　いろいろな太さの毛細管①　板②　セロハンテープ　小型水槽③　スタンド　ガラス板2　はけ　マッチ　輪ゴム

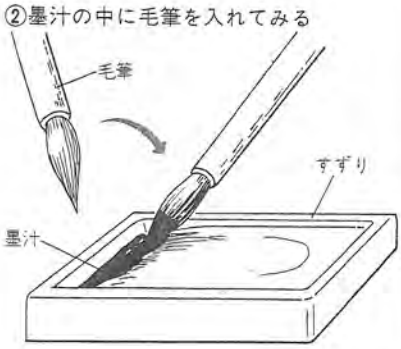
①ガラス管で作ればよい。作り方は次ページの囲み図を参照。
②ガラス板でもよい。③透明の小さな空き容器でもよい。

1 いろいろな毛管現象を観察する

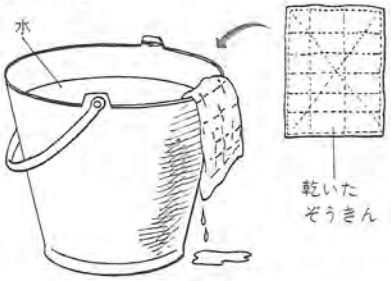
①吸取紙にインキをつけてみる



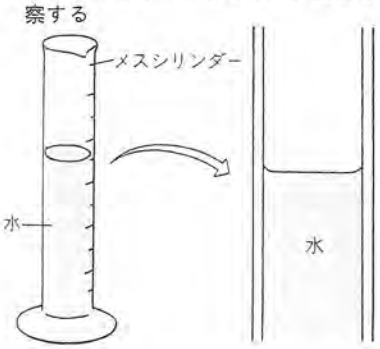

②墨汁の中に毛筆を入れてみる



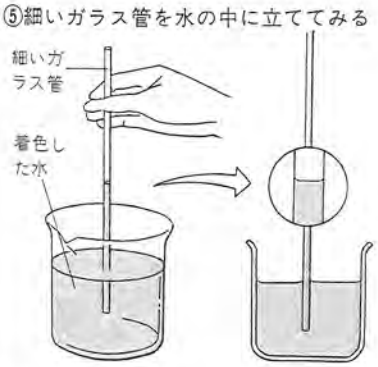

③水を入れたバケツの縁にぞうきんをかけてみる



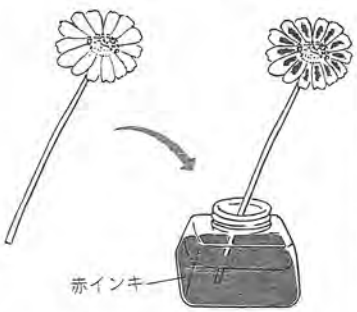

④メスシリンダーに水を入れ，壁面を観察する




⑤細いガラス管を水の中に立ててみる




⑥赤インキの中に白い花を差してみる



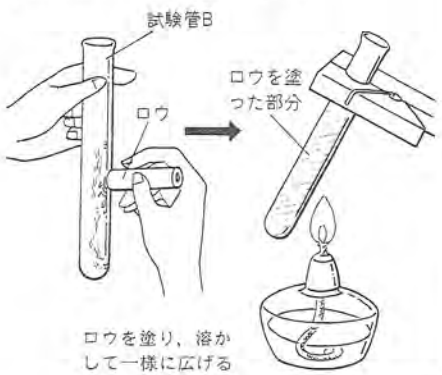

2 水にぬれるものとぬれないものを水の中に入れ，壁面を観察する

①試験管Aの外側をきれいに洗う




洗剤をつけたスポンジで洗ってから，よく水洗いする

②試験管Bの外側にロウを塗る

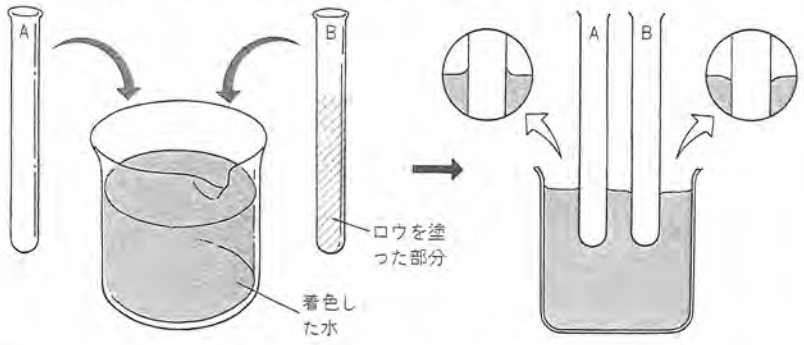



ロウを塗り，溶かして一様に広げる

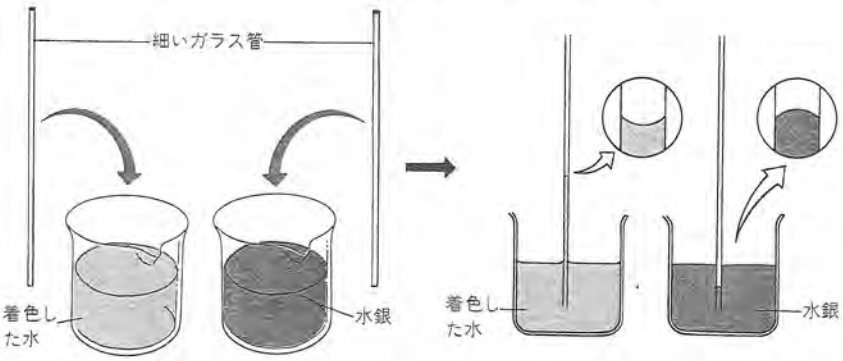
1 留意点 ④では，よく洗ってきれいにしたメスシリンダーを用いる。
⑤で水を着色するときには，水の中に少量の赤インキを滴下すればよい。滴下後，水をよくかき混ぜておく。このように水を着色するのは，観察しやすくするためである（2～5も同様）。
解説 ①では，吸取紙がインキを吸いとる。これは，吸取紙の繊維の間にインキが吸い上げられていくためである。
②では，毛筆が墨汁を吸い上げる。
③では，しばらくするとバケツの中の水がぞうきんを伝わって，バケツの外にこぼれだす。
④では，水面の中心付近は水平になるが，ガラスに接触している部分は盛り上がって見える。
⑤では，ガラス管内の水位が上昇する。
⑥では，しばらくすると白い花が赤く染まりだす。
これらは，いずれも毛管現象（毛細管現象ともいう）によるものである。毛管現象とは，液体中に細い管(毛細管)を入れたとき，管内の液面が管外の液面より上がったり下がったりする現象をいう。狭いすき間の内部を，液面が上がったり下がったりするのも，毛管現象の1つである。

2① 留意点 できるだけ丁寧に洗い，油汚れなどを完全に落としておく。
② 留意点 ロウを溶かした後，ロウが付着していない部分がないかどうかをよく点検してみる。

③水の中に試験管AとBを立て，壁面の様子を比較する

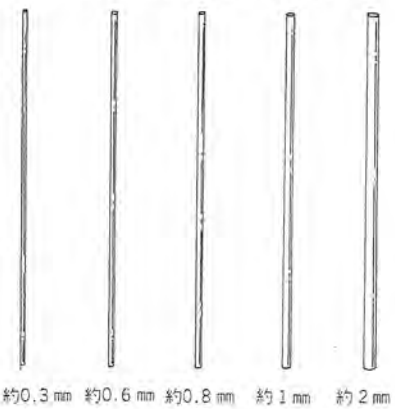



3 細いガラス管を水と水銀の中に立て，管内の様子を比較する

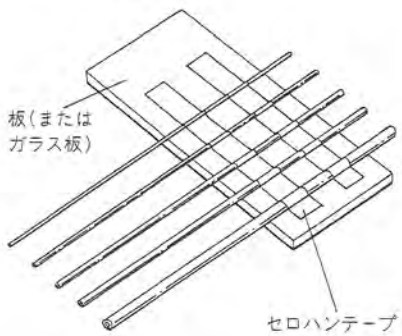



4 毛細管の太さの違いによる液面の高さの違いを調べる

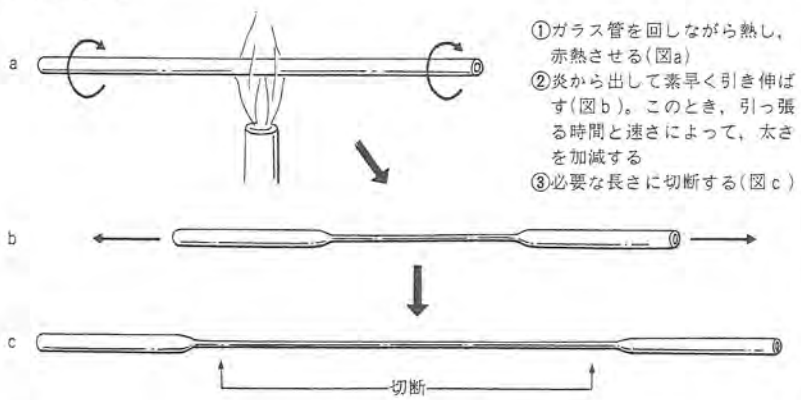
①いろいろな太さの毛細管を用意する




②太さの異なる毛細管をセロハンテープで板に固定する




**毛細管の作り方**




①ガラス管を回しながら熱し，赤熱させる(図a)
②炎から出して素早く引き伸ばす(図b)。このとき，引っ張る時間と速さによって，太さを加減する
③必要な長さに切断する(図c)

③ 解説 よく洗って水にぬれるようにした試験管Aは，水と接する部分の水面が上がるが，ロウを塗って水にぬれないようにした試験管Bは，水と接する部分の水面が下がる。このように，液面が上がるか下がるかは，物体がぬれるかぬれないかによって決まる。

一般に，物体がぬれるかぬれないかは，つまり液面が上がるか下がるかは，液体分子相互の凝集力と液体と管壁などの間の付着力の大小で決まる。ここでの凝集力とは，液体内の分子どうしが引き合って固まろうとする力のことで，付着力とは，液体の分子とガラスなどを構成している分子とが引き合う力のことである。

この実験で，試験管Aのまわりの水面が上がるのは，水の凝集力よりも水とガラスとの付着力のほうが大きいからであり，試験管Bのまわりの水面が下がるのは，水の凝集力のほうが，水とロウとの付着力よりも大きいからである。

3 留意点 水銀の中に毛細管を立てるときには，管内の水銀面が観察できるように，ビーカーの壁面に押しつけるようにする。

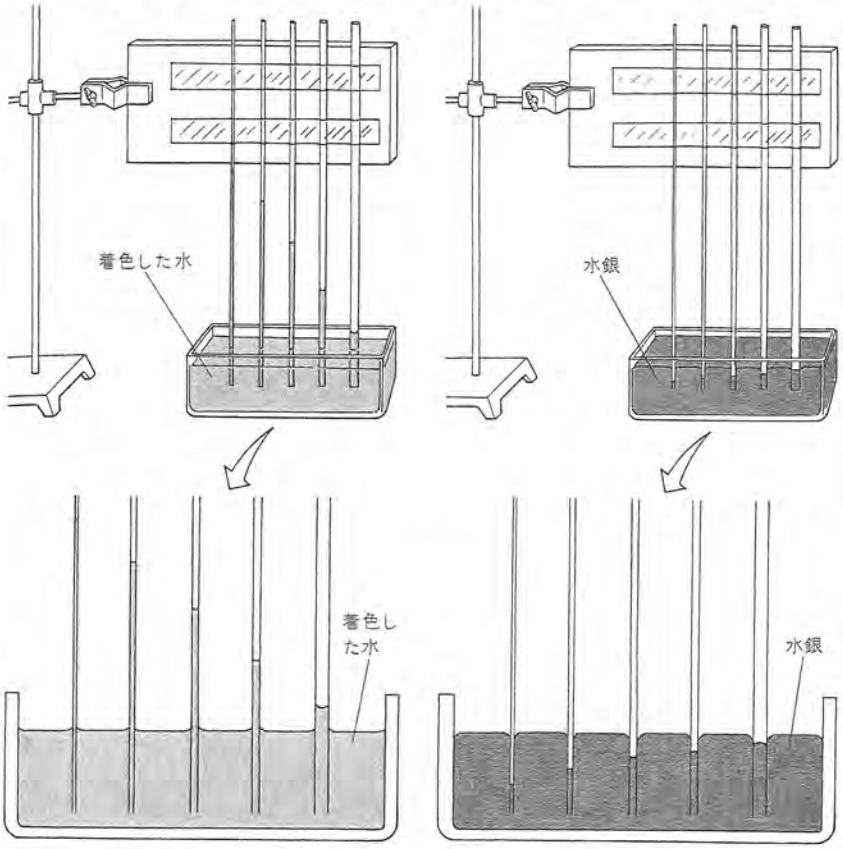
解説 細いガラス管を水の中に入れた場合，毛細管中の水面は上がるが，これは，水の凝集力よりも水とガラスとの付着力のほうが大きいからである。

また，水銀の中に入れた場合は水銀面が下がるが，これは，水銀とガラスの付着力よりも水銀の凝集力のほうが大きいからである。

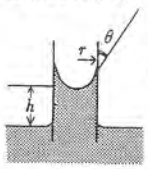
4① 留意点 毛細管の太さは，厳密なものではないが，図に示した程度のものが適当である。図における寸法は，いずれも内径である。

② 留意点 それぞれの毛細管を太さの順に並べ，それぞれが平行になるように，また左右に動かないようにしっかり固定する。

③毛細管を水や水銀の中に立て，液面の高さを観察する




③ 留意点 水銀の中に毛細管を立てるときには，管内の水銀面が観察できるように，小型水槽の壁面に押しつけるようにする。
解説 太さの異なる毛細管を同時に水の中に入れると，細い管ほど水が高く上がる。また，水銀の中に入れると，細い管ほど水銀面が下がる。このように毛管現象の現れ方は，毛細管の内径によって異なる。
参考 液体が毛細管中を上昇するときの高さ $h$ は，毛細管の半径 $r$ に反比例し，液体の表面張力 $T$ に比例する。液体の密度を $\rho$，液体と毛細管の接触角を $\theta$ とすると，$h$ は次式で与えられる。




$$h=\frac{2T\cos\theta}{\rho g r}\cdots\cdots(1)$$

（$g$：重力加速度）

(1)式において，水とガラスの場合は $\theta$ が5～9°なので，$\cos\theta$ を1とみなして(2)式のように省略してもよい。

$$h=\frac{2T}{\rho g r}\cdots\cdots(2)$$

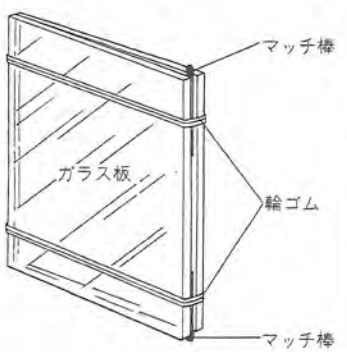
(2)式から，$h$ を測定することにより，液体の表面張力 $T$ を求めることもできる。

5ガラス板のすき間の広さの違いによる液面の高さの違いを調べる

①2枚のガラス板をきれいに洗う

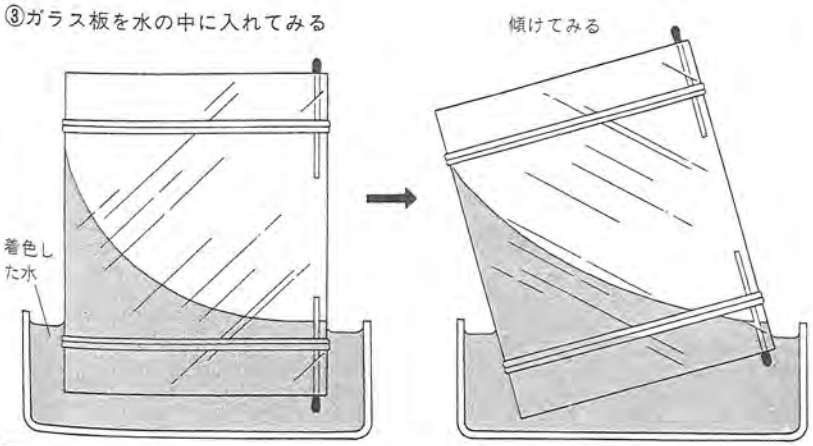



②2枚のガラス板の一端にマッチ棒を挟んで，輪ゴムでとめる

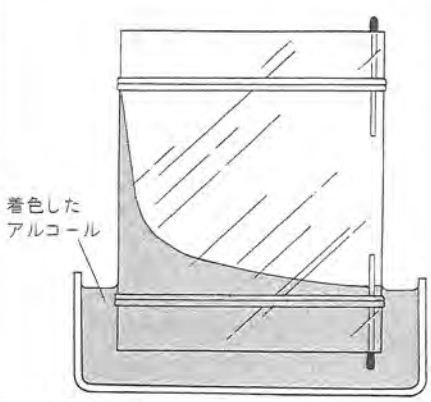



5 ① 留意点 できるだけ丁寧に洗い，油汚れなどをしっかり落としておく。洗った後，手の油などがつかないように気をつける。
② 留意点 ガラス板がずれたりしないように，しっかり固定しておく。
③ 解説 すき間が狭いほうの水面は高くなり，広いほうの水面が低くなる。そして，水面がきれいな双曲線を描く。このガラス板を傾けると，双曲線の形が変わる。
④ 解説 アルコールの中に入れると，水の場合とは違った双曲線となる。これは，液体の種類によってガラスとの付着力が異なるからである。

③ガラス板を水の中に入れてみる




④ガラス板をアルコールの中に入れてみる

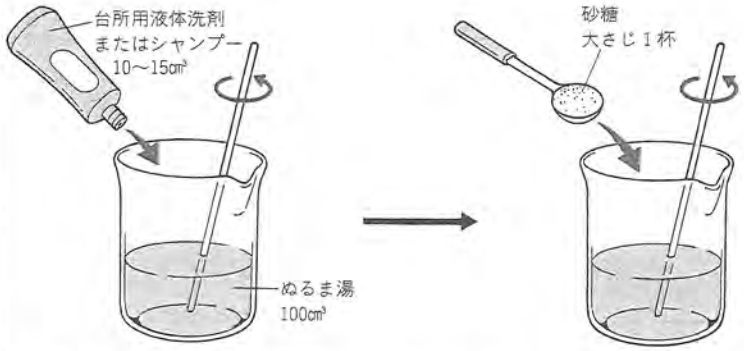


# 25 シャボン玉を作る

台所用液体洗剤　砂糖　ビーカー　ガラス棒　ストロー　ガラス板(または鏡，透明な下敷き)　消しゴム　針金　カップめんの容器　木綿糸　フラフープ

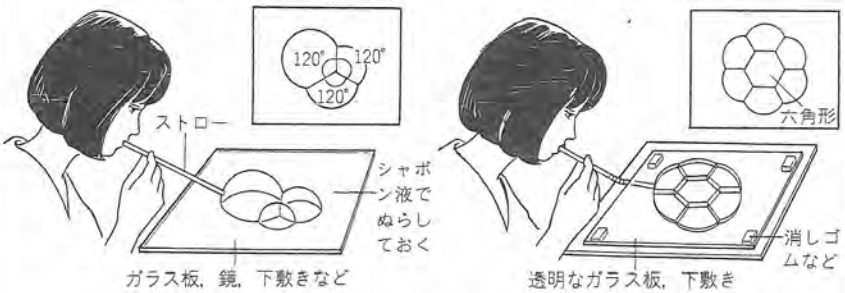
ねらい　小　いろいろなシャボン玉を作ることができる。
表面張力によって，シャボン玉ができることが理解でき，シャボンの薄膜で光が干渉し，様々な色が現れることを観察できる。

1 シャボン液を作る

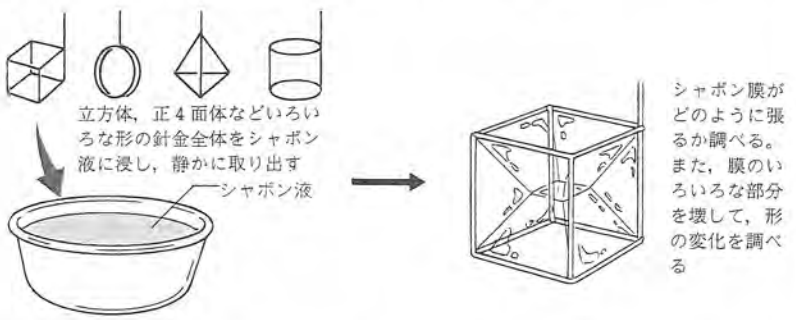



2 ガラス板，下敷きなどの上でシャボン玉を作る

①シャボン玉の形，膜の色を観察する。また，3個のシャボン玉をくっつけて，接する部分の角度を調べる　②同じ大きさのシャボン玉をつないでシャボン玉の並び方を調べる




3 針金でいろいろな形をした枠を作り，シャボン膜を張る




4 できるだけ大きなシャボン玉を作る

①カップめんの容器に穴をあけた道具を使う　②ストローと糸で作った枠を使う　③フラフープを使う　シャボン膜を張ったフラフープを真上に持ち上げる




1 参考 台所用の液体洗剤の代わりに粉セッケンまたは削ったセッケンを約大さじ1杯溶かしてもよい。砂糖の代わりに洗濯のりやグリセリンを加えてもよい。グリセリンの場合は，表面に白い膜ができるまで置き，それをとり除いてから使う。
解説 シャボン液は，表面張力が弱く，薄い膜になって広がろうとしてシャボン玉ができる。球形になるのは薄い膜の表面積が小さくなろうとするからである。砂糖，洗濯のり，グリセリンを加えるとシャボン液の粘度が高くなり，大きく割れにくいシャボン玉ができる。

2 留意点 シャボン液でガラス板や下敷きをぬらしておくとシャボン玉が割れにくい。黒い面上に半球状のシャボン玉を作って観察すると色が見やすい。

① 解説 同じ体積で最小の面積になるような形(半球)になる。
シャボン玉の薄い膜で光が干渉されて色がつく。
シャボン玉の薄い膜が表面張力によりお互いに小さくなろうとして，120°になる。

② 結果 蜂の巣のようになる。
解説 シャボン玉が3個以上交わることがなく，3個のシャボン玉が120°で接するので六角形になる。

3 解説 最初は各面にシャボン膜が張るが，しだいに隣どうしの膜がくっつく。しばらくするとどの膜も3個以上は決して交わらず，それらの交わる角はすべて等しく120°になる。

4① 留意点 ゆっくり同じ速さで吹く。長い容器を使ったほうがうまくいく。

②③ 留意点 手はシャボン液で十分ぬらしておく。
フラフープの中に人を入れて，シャボンの柱を作ることもできる。

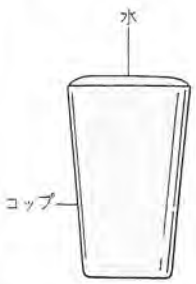
# 26 表面張力の実験

**ねらい** 表面張力によるいろいろな現象を観察することができる。
水の表面張力と温度の関係を調べることができる。

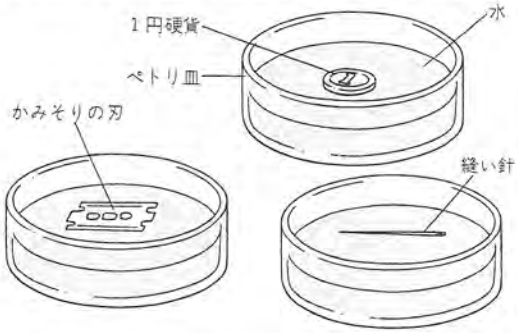
**用意** コップ　1円硬貨　かみそりの刃　縫い針　油　ピンセット　ペトリ皿　ガラス　ロウ　スポイト　ビーカー　金網　コルク栓　加熱器具　ろうと　せっけん水　針金　糸　スライドガラス　カバーガラス

## 1 表面張力によるいろいろな現象を観察する

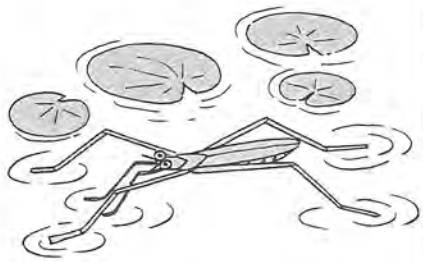
①コップに水を入れ，水面の形を観察する



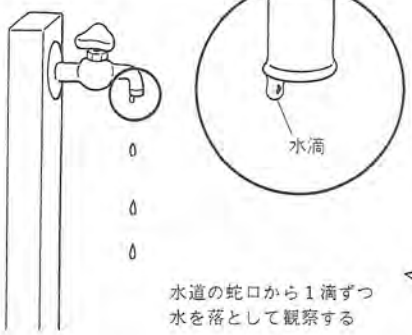

②水より比重の大きい物体を水に浮かせてみる



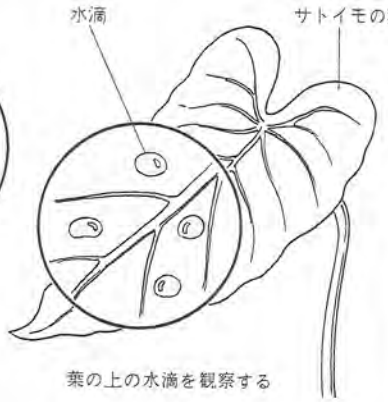

③水面を歩き回るアメンボを観察する



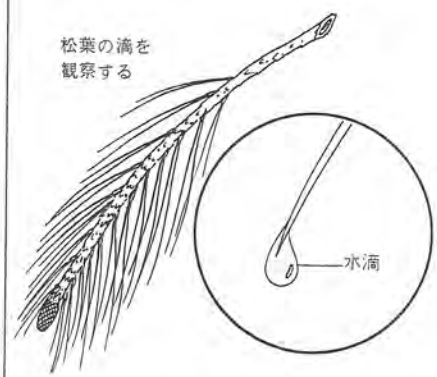
④水滴の形を観察する



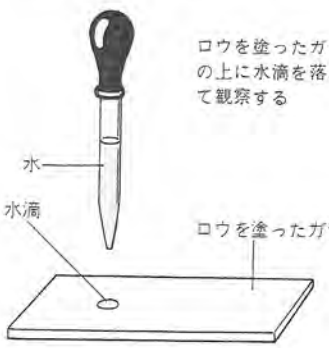

水道の蛇口から1滴ずつ水を落として観察する




葉の上の水滴を観察する

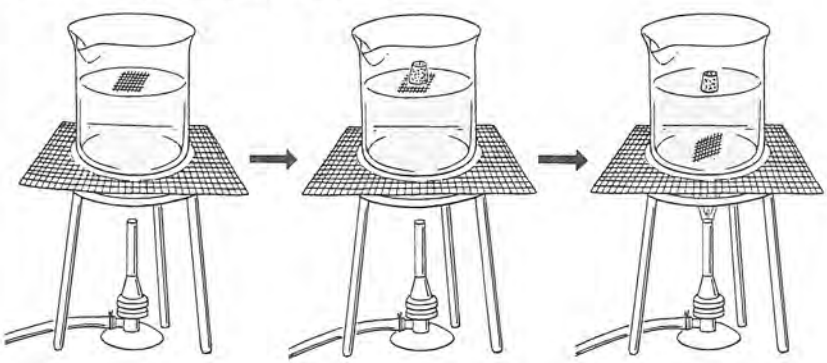



松葉の滴を観察する




ロウを塗ったガラスの上に水滴を落として観察する

## 2 水の表面張力と温度の関係を調べる



水面に金網を浮かせる　金網の上にコルク栓を置く　穏やかに加熱してみる

1 ① 留意点 水は，コップからあふれ出す寸前まで入れる。
解説 コップの縁より高く水面が盛り上がるが，これは，水の表面張力のためである。

② 留意点 1円アルミ硬貨，かみそりの刃，縫い針などはぬれやすいので，油を塗っておくようにする。
それぞれの物質を浮かべるときには，表面がぬれないように静かに操作する。縫い針を浮かべるときには，ピンセットを用いるとよい。
解説 水より比重の大きい物体でも，場合によっては，水面に浮くことがある。このような現象が起きるのも，水の表面張力のためである。

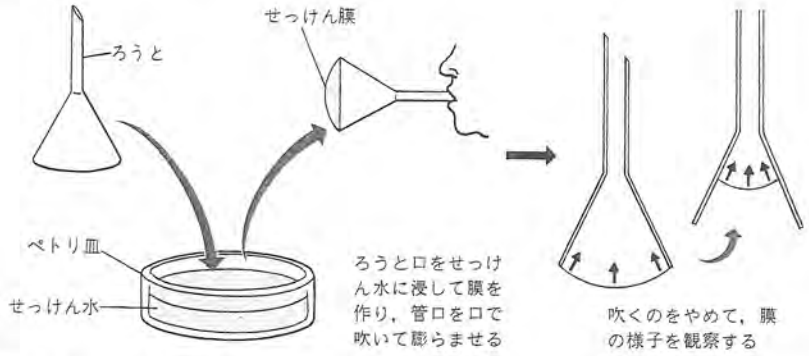
③ 留意点 足の先端部分，つまり，アメンボが水と接している部分を，よく観察する。
解説 アメンボが水面を歩き回れるのも，水の表面張力のためである。アメンボは，足の先端部分が毛のようになっているため，水と接する部分の面積が見かけよりかなり大きい。つまり，水の表面張力を受けやすくできている。

④ 留意点 図のような水滴以外についても，いろいろ観察してみるとよい。
解説 水滴は球形になろうとする。これは水滴ができるだけ表面積を小さくしようとするからである。このような性質も表面張力によるものである。

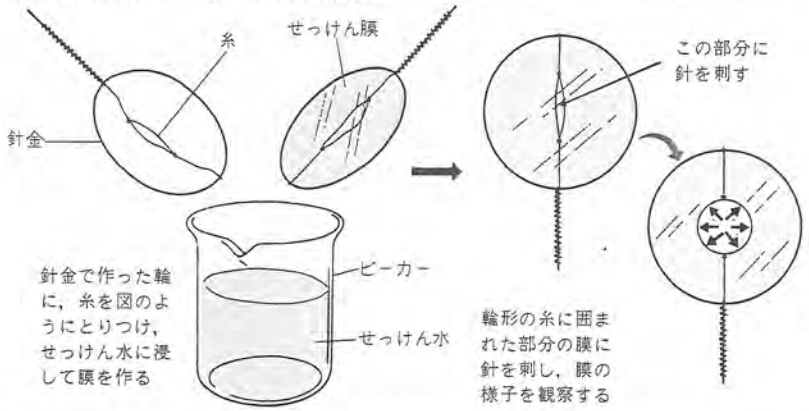
2 解説 金網は，加熱前には水面に浮いているが，水温を上げると水中に沈む。これは，温度を上げると，水の表面張力が小さくなるからである（温度が上がると，水の分子運動が盛んになり，分子間引力は小さくなる。次ページを参照）。

## 3 液体の膜には縮まろうとする性質があることを調べる

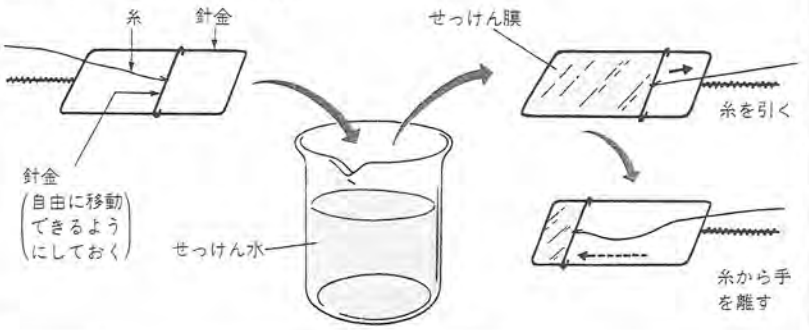
### ①ろうと口にせっけん膜を作って調べる



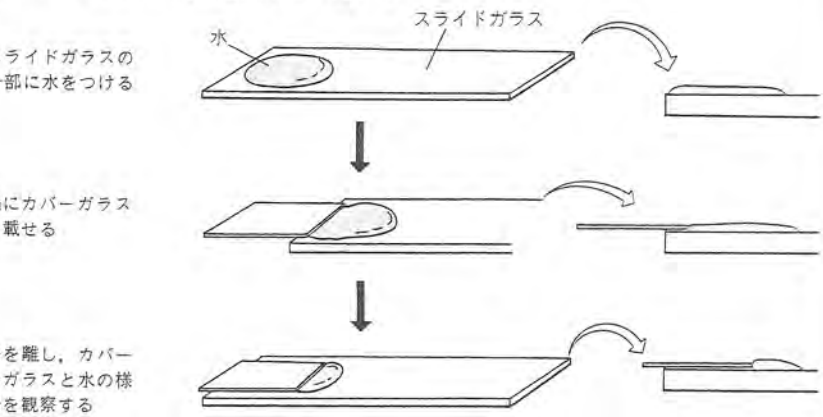

### ②針金の輪にせっけん膜を作って調べる




#### 糸の代わりに移動金具を用いる方法




### ③スライドガラスに水の膜を作って調べる




3 ① 解説 ろうと口のせっけん膜は，脚のほうから静かに吹くと，内部の圧力が高くなるので球形に広がる。吹くのをやめると，せっけん膜は縮まってくる。さらにそのままにしておくと，ろうとの中の空気を押し出して，しだいにろうとの中に入りこんでくる。このように，膜が縮まろうとするのも，表面張力のためである。

② 留意点 針金で作る輪の直径は，5～8 cm程度がよい。

糸は，中央の輪が広がって円形になったときに，ぴんと張るようにする。したがって，針金に糸をとりつけたときには，少したるませておく必要がある。

解説 輪形の糸に囲まれた部分の膜を針で破ると，破られた部分が円形に広がる。すなわち，円形の糸と針金とに囲まれた部分の膜が縮まる。これも，①と同様，表面張力のためである。

参考 糸の代わりに移動金具を用いる方法もある。この場合，移動金具が自由に動けるように，針金の輪を角形にする必要がある。輪の大きさは，5×10 cm程度がよい。

せっけん水に浸して糸を引くと，せっけん膜は広がり，手を離すと膜は縮まる。

③ 解説 スライドガラスの隅に載せたカバーガラスから手を離すと，カバーガラスは，スライドガラス上に引きこまれる。そして，スライドガラス上の水は盛り上がる。これも，表面張力によるものである。

参考 表面張力とは，液体の表面が縮まろうとするために，液体表面に沿ってはたらく張力のことである。

表面張力は，液体の分子間引力により生じる。液体内部では，互いの分子が分子間の引力で引き合う結果，それぞれの分子のまわりに他の分子がとり巻いている状態になる。ところが，液体表面の分子を考えると，液体内部の側や側面には他の分子が存在するが，外側には液体分子が存在しないことになる。そこで，このような分子，つまり，他の分子で完全に囲まれていないような分子の数を，できるだけ少なくしようとする。それには，液体の表面をできるだけ小さくすればよいわけで，これが表面張力となって現れるのである。また，この分子間引力に逆らわないと，液体を蒸発させて蒸気にすることはできない。蒸発熱は，そのために必要な熱を外から供給するものである。このように，表面張力も蒸発熱も分子間引力と関係が深いので，一般的に，蒸発熱の大きい液体は表面張力も大きいということができる。

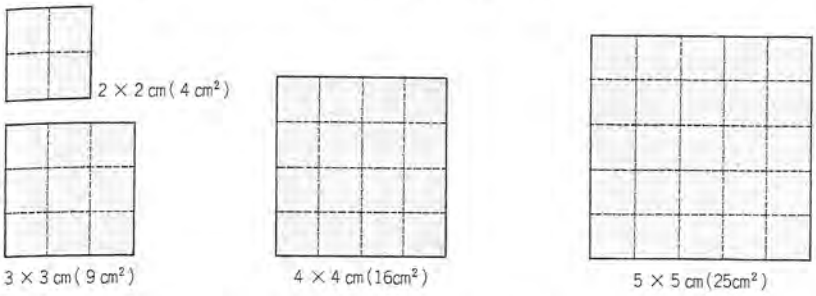
# 27 圧力の表し方

**ねらい** 田1 圧力は，単位面積(1cm²)当たりの，面を垂直に押す力の大きさで表されることが理解できる。

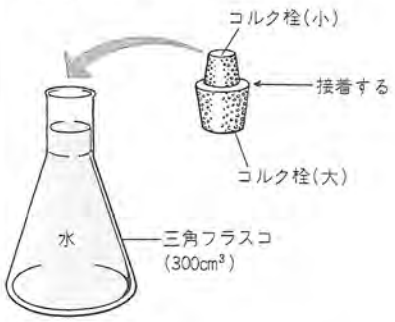
プラスチック板① 三角フラスコ(300cm³) コルク栓② 接着剤 自動上皿はかり スポンジ③ ものさし(30cm，15cm) スタンド

①2×2cm，3×3cm，4×4cm，5×5cmと面積を違えたものを各1枚ずつ準備する。厚さは2mm程度がよい。②三角フラスコに合うものと，それよりも小さいものを各1個。③弾性に富むもの。目の細かい台所用スポンジたわしがよい。

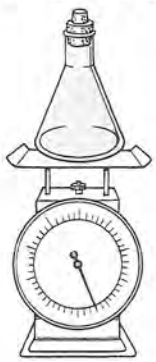
1 面積の異なるいろいろなプラスチック板を用意する




2 三角フラスコに水をいっぱい入れ，コルク栓をする

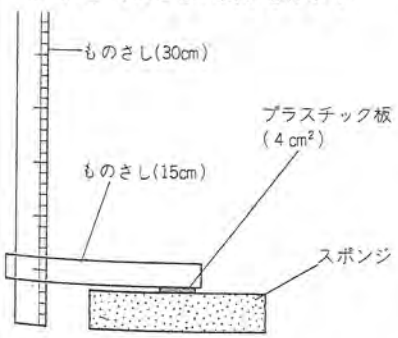



3 三角フラスコ全体の重さをはかる

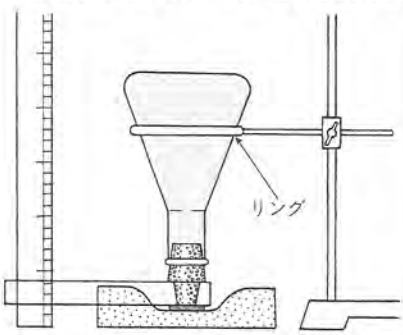


4 三角フラスコの重さが加わる面積とスポンジのへこみの関係を調べる

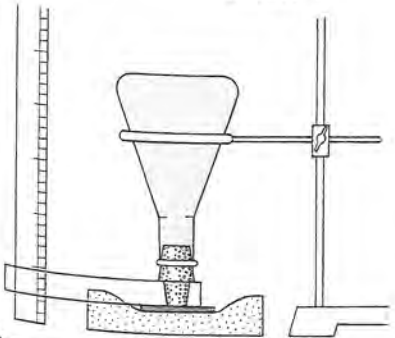
①スポンジの上に4cm²のプラスチック板を載せ，そのときの高さをはかる



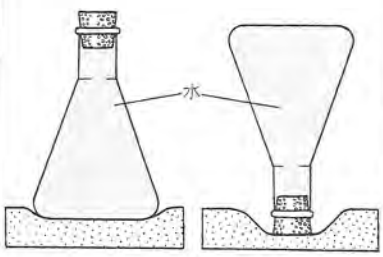

②三角フラスコを載せ，そのときの高さをはかってスポンジのへこみを求める




③面積の異なるプラスチック板についても①②と同様の測定を行い，それぞれのスポンジのへこみを比較する



簡単な方法




スポンジの上で三角フラスコを正立させたときと倒立させたときのへこみの大きさを求め，比較する

1 留意点 プラスチック板は，薄いものを使用した場合，局部的に変形することもあるので，厚めのものを使用する。
板には，1cmの方眼をつけておくとよい。大きさが一目でわかるので便利である。

2 解説 300cm³のフラスコにコルク栓をとりつけ，それを逆さにすると，底面の面積が4cm²より大きくなる。このように逆さにしたときに底面の面積が4cm²より大きくなるのを防ぐため，フラスコにとりつけるコルク栓の頭に，小さめのコルク栓をとりつけるのである。

4 留意点 プラスチック板は，できるだけ手前に置いて，へこみの大きさが測定しやすいようにする。
フラスコを逆さに立てるとき，フラスコが傾かないように，プラスチック板の中央にコルクがくるようにする。また，このとき，フラスコが倒れないように，フラスコをリングで支えておく。

解説 プラスチック板がスポンジに加える圧力についても計算で求め，比較する。
プラスチック板の重さを無視すると，圧力を求める式は次のようになる。

$$\text{圧力}[\text{gw/cm}^2] = \frac{\text{三角フラスコ全体の重さ}[\text{gw}]}{\text{プラスチック板の面積}[\text{cm}^2]}$$

結果 実験データ例を次に示す。

| 面積 [cm²] | 4 | 9 | 16 | 25 |
|---|---|---|---|---|
| へこみ [cm] | 2.4 | 1.9 | 1.4 | 0.9 |
| 圧力 [gw/cm²] | 117.5 | 52.5 | 29.4 | 18.8 |

フラスコ全体の重さ：470gw

参考 プラスチック板を使わずに，左の囲み図のようにすれば，簡単に実験することもできる。この場合，圧力を算出するため，フラスコの底面積とコルクの頭の部分の面積を求めておく。
また，圧力の大きさを体感的にとらえる実験としては，次のような方法もある。

- 校庭の砂場に面積の異なる数枚の板を置き，その上に人が乗る。そして，砂にめりこむ深さを比較する。また，圧力を求めて比較してみる
- 自動上皿はかりの上に，一定の大きさ(厚さを等しくし，面積を変える)に切ったとうふ(または寒天)を置き，その上にプラスチック板を載せる。そして上から静かに力を加えて押しつぶし，そのときの力の大きさを読みとる。また圧力を求めて比較してみる

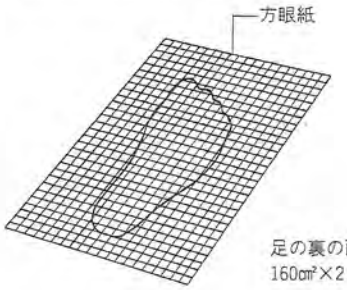
# 28 圧力の実験

方眼紙　体重計　ゆで卵　針　発泡スチロール
偏光板2（立体映画用めがね）　デスクマット（透明なもの）　セロハンテープ　板

ねらい　中1 圧力の大きさを力の効果の大きさで考えることができる。
圧力を力の分散で説明できる。
圧力を偏光板を用いて観察することができる。

1 足の裏の圧力を調べる

①方眼紙の上に足を載せ，足の形をとり，足の裏の面積を求める

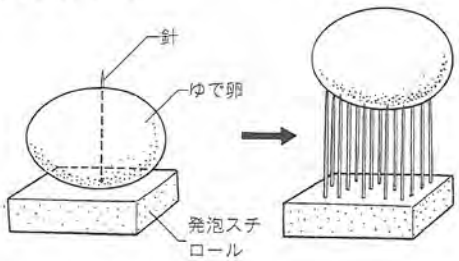



②足の裏にかかる力の大きさを調べるために体重をはかり，足の裏の圧力を計算する



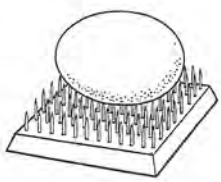

2 針を何本集めればゆで卵が載るか調べる

発泡スチロールの台に針を1本立て，からをむいたゆで卵を載せてみる　　ゆで卵が載るまで，針を増やしてみる



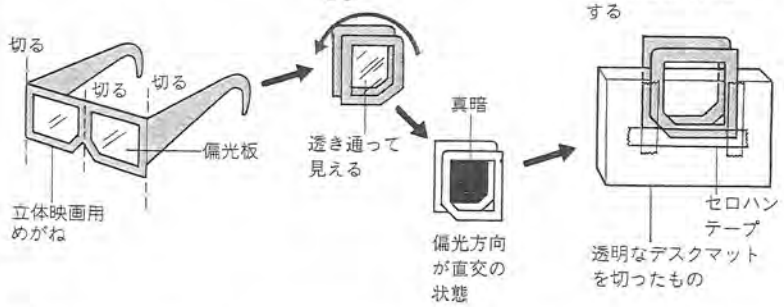

剣山を使用する方法

剣山の上にからをむいたゆで卵を載せてみる

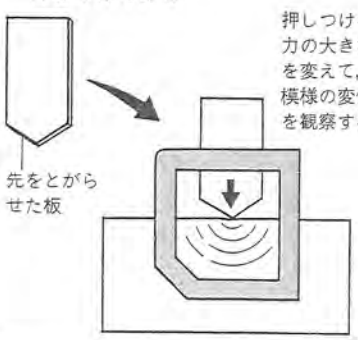


3 圧力を目で見る

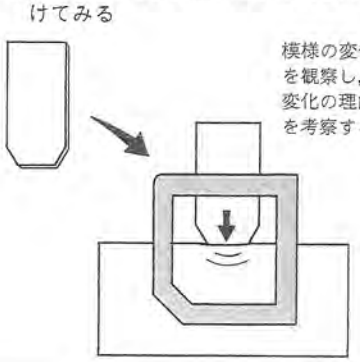
①装置を製作する



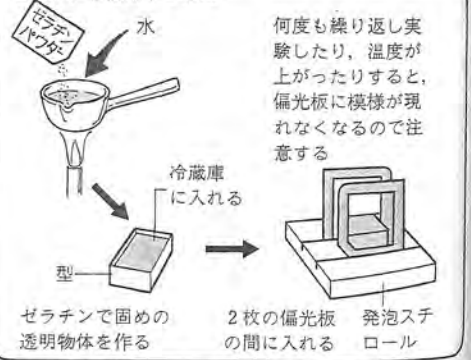

②デスクマットに，先をとがらせた板を押しつけてみる




③②と同様に先を平らにした板を押しつけてみる




ゼラチンを使用する方法




1 解説 各自の足の裏の圧力を計算すると，体重が重い人が必ずしも大きくないことがわかる。イヌやネコの場合と比較させるなど，いろいろな工夫をすることができる。足の裏の圧力は以下の式で求められる。

$$圧力[gw/cm^2]=\frac{足の裏にかかる力の大きさ[gw]}{足の裏の面積[cm^2]}$$

実験データ例

$$\frac{46400[gw]}{320[cm^2]}=145[gw/cm^2]$$

2 参考 針の代わりに，くぎなどを用いてもよい。

解説 1本の針の上にゆで卵を置いたときには突き刺さる。針を増やしていくと，力が分散され1本当たりの力が小さくなって，上に載せることができるようになる。この実験を通して圧力を力の分散で説明することができる。

3 留意点 偏光板を用いた立体映画用のめがねを加工するとよい。デスクマットの代わりにアクリル板を使ってもよいが大きな力を加えなければ模様が現れない。変形が大きくなると模様が大きくなる点を指導する。

結果 先をとがらせた板を押しつけると，変形が大きくなり，模様が大きく美しく現れる。先を平らにした板では，模様が小さくなることから，同じ力を加えても変形の度合いが小さくなることがわかる。接する面積が大きくなると圧力が小さくなり，変形の度合が小さくなったためである。

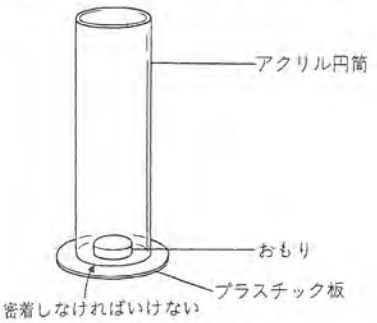
# 29 水の深さと圧力の関係を調べる

ねらい 由1 水の圧力は深さに比例して大きくなることが調べられる。ある深さにおける水の圧力の数値は，単位を，水の圧力gw/cm²，深さcmとすれば，深さの数値と等しいことが理解できる。

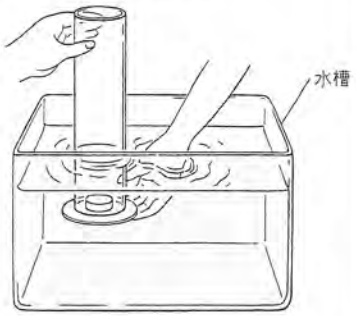
プラスチック板　おもり①　アクリル円筒②　水槽　ものさし　フェルトペン　【別法】ゴム膜③ ゴム栓（No.12）　ガラス管　フィルムケース　ろうと　接着剤　方眼紙　ものさし　水槽

①50gまたは100gのものを5～6個用意するとよい。鉛塊を溶かして適当な大きさの缶のふたなどに流しこみ，円板状に作ったものがよい。②ガラス円筒でもよい。③できるだけ薄いもの。

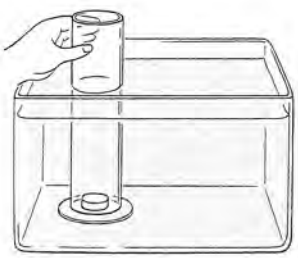
1 プラスチック板の中央部におもりを載せ，アクリル円筒をかぶせる



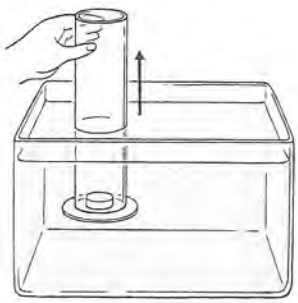

2 プラスチック板を手で支え，アクリル円筒を水槽に沈める



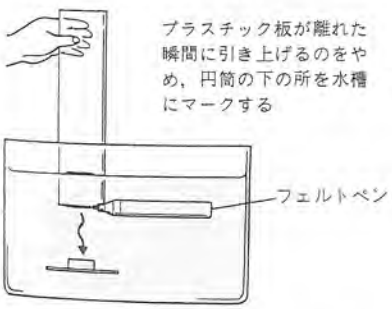

3 水槽の底近くまで沈めたら，プラスチック板を支えた手を静かに離す



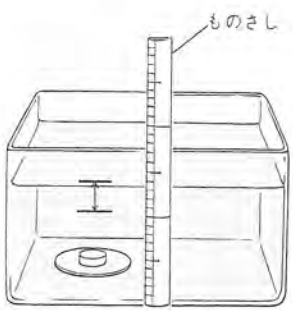
4 円筒を静かに上に上げる



5 プラスチック板が円筒から離れた瞬間の深さを水槽に記録する




6 水槽に記録した深さをはかる




7 おもりの重さを変えて1～6と同じことをする



重さの違うおもりを使ったり，おもりを2つ，3つと載せてみて，1～6と同じことをする

8 表にまとめて，水の深さと圧力の関係を調べる

実験データ例

| 円筒の断面積 | 40.7cm² | | | |
|---|---|---|---|---|
| おもりの重さ〔g〕 | 110 | 215 | 345 | 455 |
| 板が離れたときの水の深さ〔cm〕 | 2.9 | 5.5 | 8.2 | 12.0 |
| おもりによる圧力（＝水の圧力）〔g/cm²〕 | 2.7 | 5.3 | 8.5 | 11.2 |

1 留意点 アクリル円筒とプラスチック板が密着するかどうか，おもりを載せないで2のように水の中に入れ，右手を離して確かめておくとよい。もし水が入りこんできたら，密着しないのであるから，紙ヤスリや研磨剤などで磨いてアクリル円筒の底の部分を滑らかにする。

4 留意点 円筒を上に上げるときは，5でプラスチック板の離れる瞬間を見落とさないよう，また，正確にその場所を水槽にマークできるよう，できるだけ水槽の手前の内壁に近い所で行う。

5 留意点 プラスチック板が離れた瞬間からマークするまで，円筒を支えている手を動かさないよう，十分に注意する。

7 留意点 おもりの数を増やすときには，プラスチック板の中央に重ねるようにする。

解説 プラスチック板が離れる瞬間は，プラスチック板を上から押す力と下から押す力とが等しい。したがって，

おもりがプラスチック板に与える圧力＝その深さでの円筒外の水の圧力

である。ところで，おもりが与える圧力〔gw/cm²〕は，

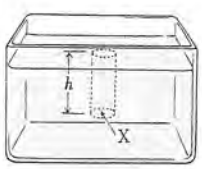
$$\text{おもりによる圧力}=\frac{\text{おもりの重さ〔gw〕}}{\text{円筒の断面積〔cm}^2\text{〕}}$$

であるから，そのときの水の圧力が求められる。そこで，8で，実験データ例のように表を作ってみると，水の深さと圧力の関係について調べることができる。

結果 水の圧力は，その深さに比例することが，だいたいわかる。また，単位を水の深さcm，圧力gw/cm²とすると，その数値はほぼ等しくなることもわかる。

参考 **水の圧力の求め方**

圧力とは単位面積当たりの力のことであるから，右図の破線のような円柱を考えると，X点の水の圧力$P$は，




$$P=\frac{\text{円柱分の水の重さ}}{\text{円柱の断面積}}$$

である。ところで，水1cm³当たりの重さは1gwであるから，X点の深さを$h$，円柱の断面積を$S$とすれば，

$$P=\frac{S\text{〔cm}^2\text{〕}\times h\text{〔cm〕}\times 1\text{〔gw/cm}^3\text{〕}}{S\text{〔cm}^2\text{〕}}$$

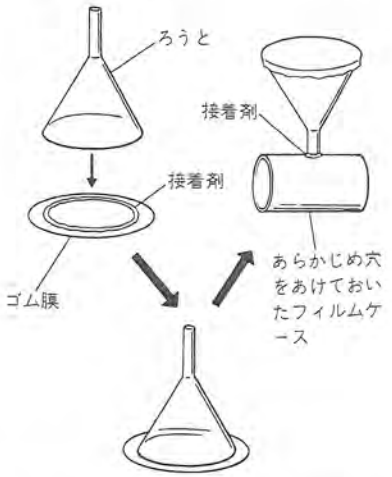
$$=h\times 1\text{〔gw/cm}^2\text{〕}$$

となる。

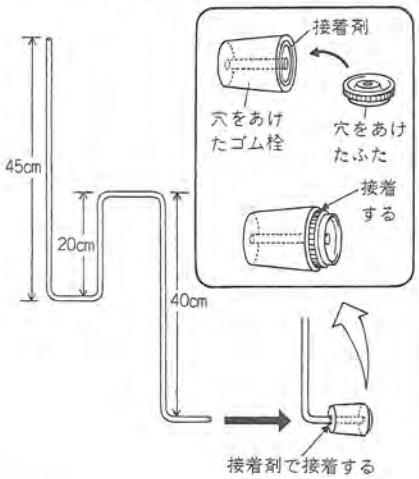
【別法】ゴム膜を用いて調べる方法

1 装置を作る

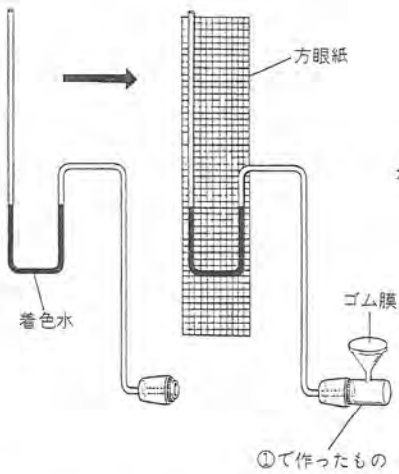
①ろうとにゴム膜をはり，フィルムケースにとりつける



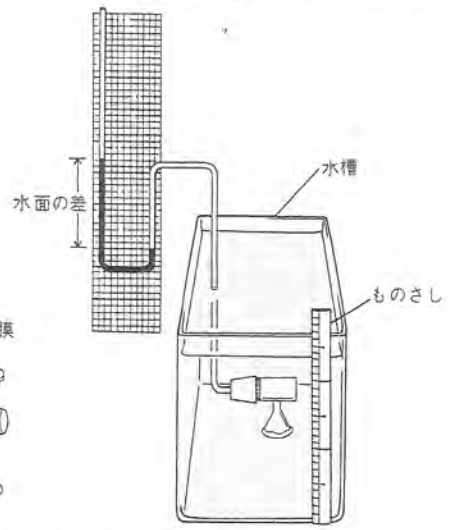

②ガラス管を曲げてゴム栓とフィルムケースのふたをとりつける



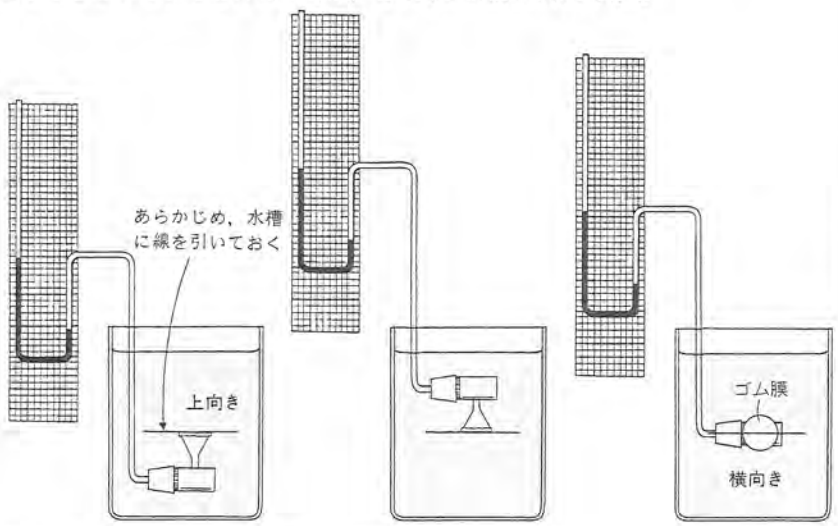

③ガラス管に着色水を入れ，フィルムケースをはめて，方眼紙をはる




2 ろうとを水中に入れ，その深さと着色水の水面の差との関係を調べる




3 ろうとをいろいろな方向に向け，同じ深さの所に入れてみる




【別法】ゴム膜を用いて調べる方法

解説 前ページの実験では，ある点にはたらくいろいろな方向からの圧力を比較することはできなかったが，この実験は，すべての方向からの圧力の大きさを調べられる。また，いろいろな深さでの水の圧力の違いを，簡単に目で見ることができる。

ただし，装置の組み立てがめんどうであるという欠点がある。

1 留意点

①ゴム膜をはるときは，ゴム膜を平らな所に置いて接着剤をつけ，ろうとを載せて，上方から強く押さえるようにする。

ゴム膜は，たるまない程度に緩く張る。強く張り過ぎてはいけない。

②それぞれあらかじめ穴をあけておいたゴム栓とフィルムケースのふたを接着し，その穴に，フィルムケースのふたの裏側に少しその先が出るぐらいまでガラス管を通し，接着する。

③フィルムケースとそのふたは接着しないで，自由に動くようにしておく。

方眼紙は適当な大きさに切り，主要めもりを水面の位置に合わせてはる。

2 留意点 水槽には，セロハンテープなどでものさしを固定しておく。

結果 深くなれば水の圧力が大きくなることが一目でわかる。また，その圧力は深さに比例することがわかる。

実験データ例

| ゴム膜部分の深さ | 5 | 10 | 15 | 20 |
|---|---|---|---|---|
| 着色水の水面の差 | 5.2 | 10.0 | 15.0 | 19.8 |

単位：cm

参考 ゴム膜の弾力性を無視すれば，ゴム膜を押す水の圧力が着色水の水面の差となって現れるわけである。ここで，ゴム膜の水面からの深さを$h_1$，着色水の水面の差を$h_2$とすれば，実験データ例からもわかるように（ただし，実験データは実験誤差が多少あるが），

$$h_1 = h_2$$

となる。したがって，水槽にものさしを固定したりしなくても，着色水の水面の差から，直ちにゴム膜のある深さの水の圧力$P$がわかる。

$$P[\mathrm{gw/cm^2}] = h_2[\mathrm{cm}] \times 1[\mathrm{gw/cm^3}]$$

3 留意点 あらかじめフェルトペンなどで水槽に線を引き，それにゴム膜の位置を合わせる。

ただし，横向きの場合は，ゴム膜の中心をその線に合わせるようにする。

結果 ある一定の深さにおける水の圧力は，どの方向も同じであることがわかる。

# 30 パスカルの実験

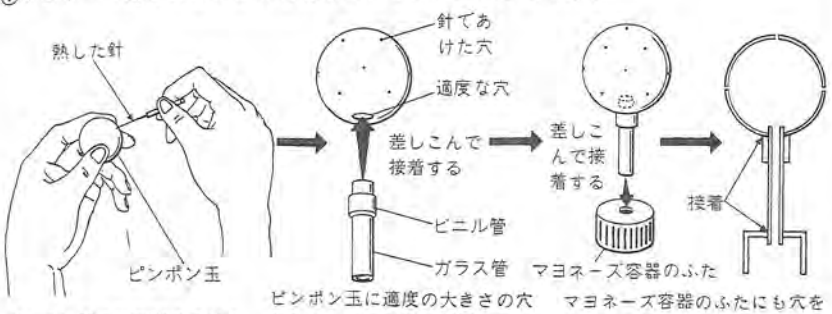
ねらい 甲 容器に閉じこめられた液体の一部に圧力を加えると，その圧力は，液体のすべての部分に同じ大きさで伝わることが確かめられる。

マヨネーズ容器① ピンポン玉 針 ガラス管 ビニル管② 接着剤 注射器 ゴム栓

①大きいほうが使いやすい。②例えば用いるガラス管の内径が5mmの場合，内径6mmのものを使う，など，ガラス管との関連で適当な太さのものを選ぶ。

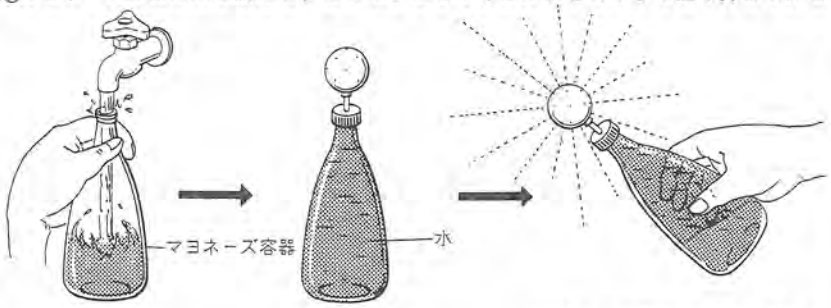
## 1 容器からの噴水を観察する

### ①マヨネーズ容器のふたに穴をあけたピンポン玉をとりつける



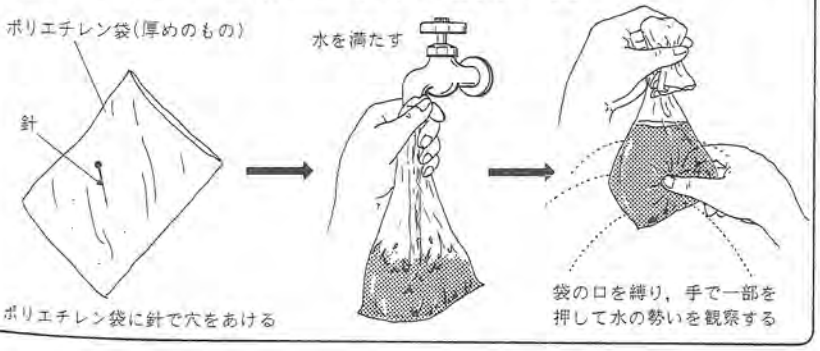

ピンポン玉に針で穴をあける　ピンポン玉に適度の大きさの穴をあけ，ガラス管を接着する　マヨネーズ容器のふたにも穴をあけ，ガラス管を接着する

### ②マヨネーズ容器に水を満たし，ピンポン玉をつけたふたをして手で強く押してみる



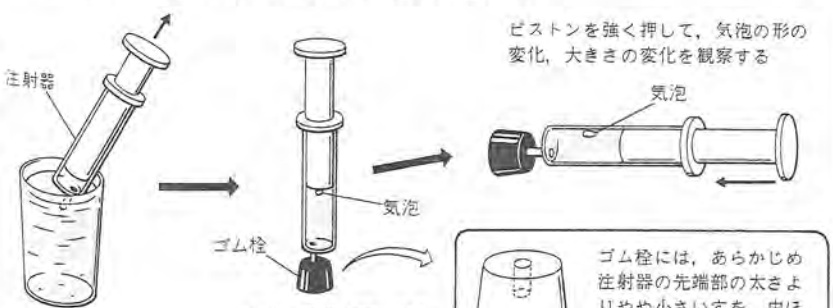

マヨネーズ容器に水を満たす　ピンポン玉をつけたふたをする　マヨネーズ容器を手で強く押して，噴出する水の勢いを観察する

**マヨネーズ容器とピンポン玉の代わりにポリエチレン袋を用いる場合**

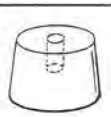



ポリエチレン袋に針で穴をあける　袋の口を縛り，手で一部を押して水の勢いを観察する

## 2 注射器のピストンを押して水中の気泡を観察する




注射器に水を吸いこむ　水中に気泡を残して先端をゴム栓でふさぐ



ゴム栓には，あらかじめ注射器の先端部の太さよりやや小さい穴を，中ほどまであけておく

---

1 ①留意点 針でピンポン玉にあける穴は，大きさが一様でなければならない。穴は，炎などで熱した針を用いれば，わりあい簡単にあけることができる。
ピンポン玉とガラス管を接着する場合，図のように，ガラス管にビニル管をかぶせてやるとよく密着させることができる。ガラス管を接着するためにピンポン玉とマヨネーズ容器のふたにあける穴は，少しきつめにするほうがよい。

②留意点 マヨネーズ容器に水を満たした後，①で作ったピンポン玉つきのふたをする。

結果 噴き出す水の勢いは，どの穴からのものもほぼ同じであり，また，噴き出す水の方向は，どれもその噴き出す面にほぼ垂直であることが観察される。したがって，容器に閉じこめられた液体の一部に加えられた圧力は，液体の各部分に同じ大きさで伝えられることがわかる。

参考 ポリエチレン袋を用いて行った場合にも同じことが観察されるが，ピンポン玉のほうがわかりやすい。特にポリエチレン袋の場合，噴き出す方向が観察しにくい。

2 留意点 ゴム栓の穴は，注射器の先端部にピッタリとはまるよう，注射器の先端部の太さより小さめにあける。さらに，ピストンを押すときには，ゴム栓を手で押さえるようにする。
ピストンを押すときには，観察しやすいよう，図のように気泡が中央にくるようにする。そのためには注射器を水平に保たなくてはならない。注射器を少しでも傾けたりすると，気泡はすぐに一方へ寄ってしまう。

結果 気泡は，形を変えずに小さくなることが観察される。形がゆがんだりせず，そのままの形で縮むということは，気泡に対してどの方向からも同じ圧力が作用していることであり，その圧力は，ピストンを押すことによってもたらされたものであるから，やはり容器に閉じこめられた液体に加えられた圧力は，液体の各部分に同じ大きさで伝わることがわかる。

解説 このような液体中の圧力の伝わり方を発見したのはパスカル（フランス，1623～1662年）であり，したがって，これをパスカルの原理という。この原理は，液体だけでなく，気体についても成立する。

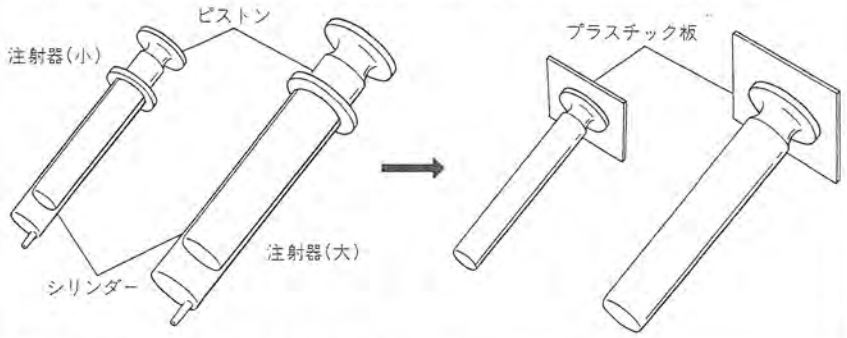
# 31 連通管(水圧器)の実験

注射器① プラスチック板 接着剤 ビニル管 ビーカー スタンド2 おもり② ものさし

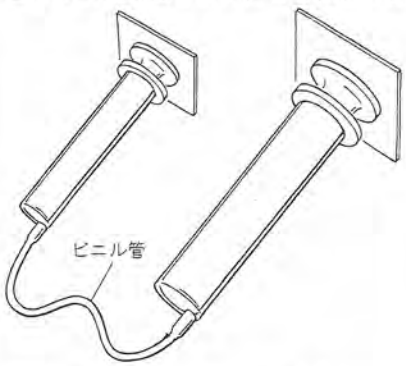
ねらい 田1 連通管(水圧器)は，パスカルの原理を応用したものであることが理解できる。

①30～100cm³のものから，容積に適度の差があるものを2本用意する。②1個の重さが0.5～1kgw程度の鉛を数個用意する。
*【別法】では，上記のほか，底を切りとった試薬びん（ニクロム線の切断器で切りとる），ビニルシート，輪ゴム，ガラス管，ゴム栓，おもり(分銅など)を用意する。

1 大小2本の注射器のピストンそれぞれに，プラスチック板を接着する

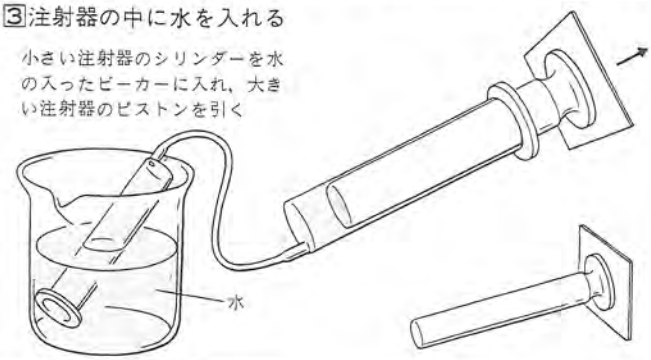



2 2本の注射器をビニル管で連結する

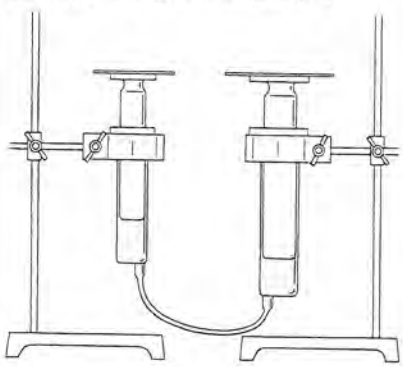



3 注射器の中に水を入れる

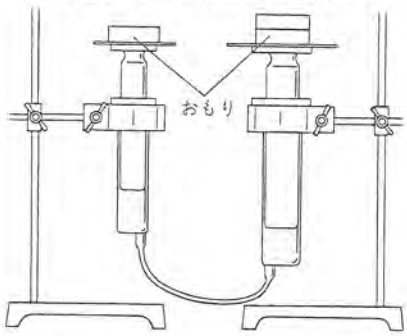
小さい注射器のシリンダーを水の入ったビーカーに入れ，大きい注射器のピストンを引く



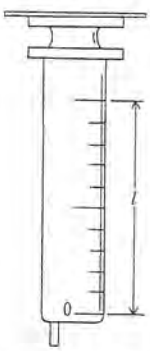

4 注射器をスタンドに固定する



5 ピストンの上におもりを載せてつり合わせ，おもりの重さを記録する




6 それぞれの注射器のピストンの断面積を求め，圧力を計算して比較する




注射器の容積を$V$，めもりの部分の長さを$l$とすると，ピストンの断面積$S$は，

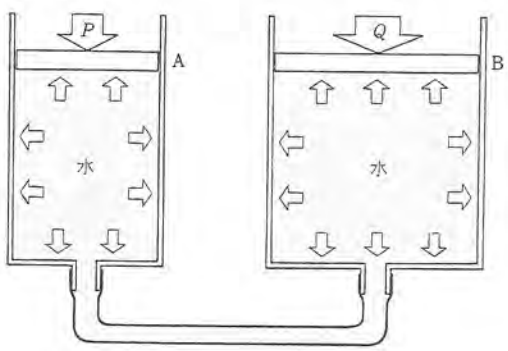
$$S=\frac{V}{l}$$

となる。また，おもりの重さを$W$とすると，圧力$P$は，

$$P=\frac{W}{S}$$

となる。以上の式から，それぞれのピストンが，注射器内の水に及ぼす圧力を求め，比較する

水圧器の原理




注射器Aと注射器Bのピストンが動かずにつり合っているということは，AとBの内部の水の圧力が等しいということである。これは，AとBのピストンに載せたおもりをそれぞれPとQとし，ピストンとプラスチック板の重さを無視して考えると，PとQがピストンに及ぼす圧力が等しいということである
したがって，AとBそれぞれのピストンの断面積を$a$，$b$とすると，これらの間には次の関係式が成り立つことになる

$$\frac{P\text{の重さ}}{a}=\frac{Q\text{の重さ}}{b}$$

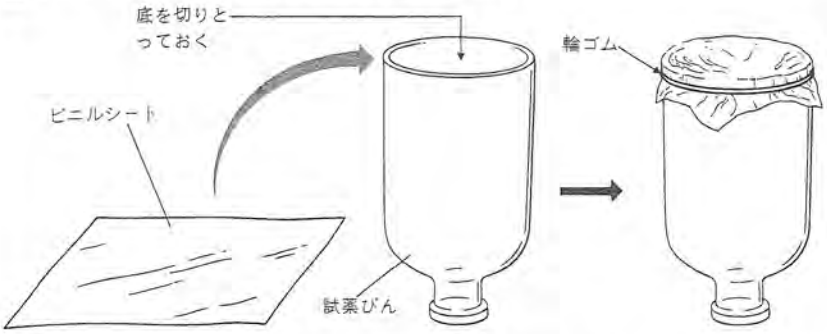
1 留意点 注射器のピストンとシリンダーの摩擦が大きいときには，ピストンに少量のシリコンオイルを塗っておくとよい。
4 留意点 注射器を固定したら，片方のピストンを軽く手で押し下げ，手を離した後，それぞれのピストンがひとりでに動いてつり合う所を調べておく。
5 留意点 ピストンの上に載せるおもりの重さを変えたときについても，実験してみるとよい。
6 解説 この実験では，ピストンとシリンダーの摩擦を考慮して，極めて重いおもりを用いているので，ピストンとプラスチック板の重さを無視して計算しても差し支えない。
結果 ピストンの上におもりを載せてつり合わせ，それぞれのピストンが注射器内の水に及ぼす圧力を求めると，それらはほぼ等しいことがわかる。

実験データ例

| | 注射器A | 注射器B |
|---|---|---|
| 力を加える面積〔cm²〕 | 5.0 | 9.6 |
| おもりの重さ〔gw〕 | 500 | 1000 |
| 圧力〔gw/cm²〕 | 100 | 104 |

【別法】試薬びんを用いる方法

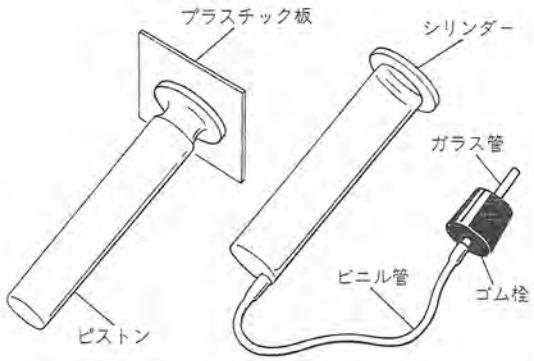
1 底を切りとった試薬びんにビニルシートを張る




2 ビニルの中央にプラスチック板を接着する



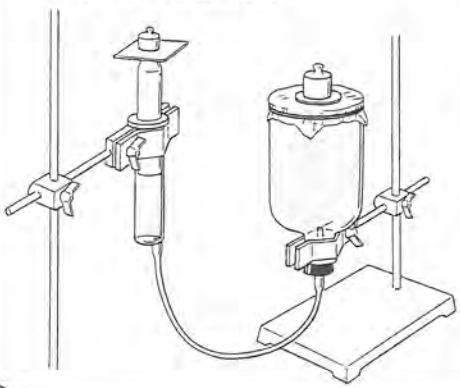

3 注射器(小)のピストンにプラスチック板を接着し，シリンダーにビニル管などをとりつける



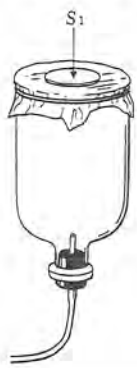

4 試薬びんと注射器に水を入れ，それらを連結する




6 ピストンと試薬びんのプラスチック板の上におもりを載せてつり合わせ，おもりの重さを記録する



7 注射器のピストンの断面積と試薬びんのプラスチック板の面積を求め，圧力を計算して比較する




ビニルシートに接着したプラスチック板の面積を$S_1$，その重さを$W_1$，その上に載せたおもりの重さを$W_2$とすると，プラスチック板が試薬びん内の水に及ぼす圧力$P_1$は，

$$P_1=\frac{W_1+W_2}{S_1}$$

となる。この$P_1$とピストンが注射器内の水に及ぼす圧力$P_2$を求め，$P_1$と$P_2$を比較する

【別法】試薬びんを用いる方法

解説 前ページの方法のように2本の注射器を連結した場合，ピストンとシリンダーとの摩擦が大きく影響し，小さいおもり(分銅)による実験は無理である。そこで，小さいおもりでも実験できるようにしたのが，この方法である。大きいほうの注射器の代わりに，底を切りとった試薬びんにビニルシートを張ったものを用いるのだが，この方法だと摩擦を小さくすることができ，よい結果が得られる。
ただし，装置の組み立てや実験操作が少し複雑になる。

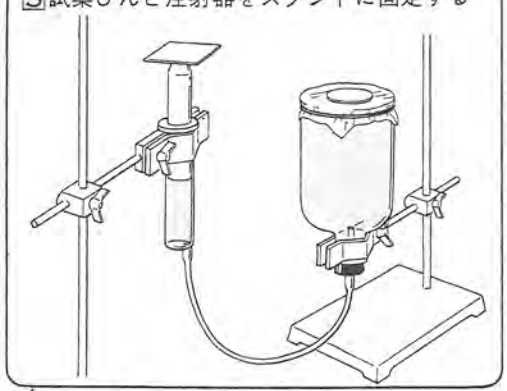
1 留意点 ビニルシートを試薬びんの底に張るとき，輪ゴムを幾重にもして，しっかり縛るようにする。その際，水圧によるビニル面の上下の動きがよくわかるように，少したるませておく。

2 留意点 ビニルシートにプラスチック板を接着する前に，プラスチック板の重さをはかっておく。

3 留意点 ピストンにプラスチック板を接着した後，「ピストン＋プラスチック板」の重さをはかっておく。

4 留意点 水を入れた試薬びんと注射器を連結するとき，中に気泡が入らないように気をつける。

5 試薬びんと注射器をスタンドに固定する



5 留意点 試薬びんと注射器を固定したら，注射器の高さを調節して，ビニルが極端に盛り上がったり，あるいは逆にへこみ過ぎたりしないようにしておく。

6 解説 つり合うということは，ビニルが極端に盛り上がったり，あるいは逆にへこみ過ぎたりするのではなく，ある程度緩んだ状態になるということである。
留意点 おもりの重さを変えたときについても，実験してみるとよい。

7 解説 $P_2$の求め方は，基本的には前ページ6と同じである。ただし，この実験ではおもりの重さに，ピストンとプラスチック板の重さを加えて計算する必要がある。

# 32 気体の圧力の実験

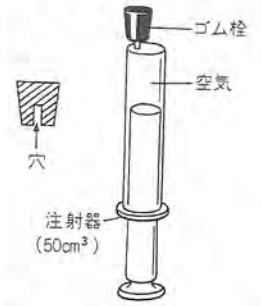
**ねらい** 容器に閉じこめられた気体の圧力は，体積や温度によって変わることが調べられる。

**準備** 注射器(50cm³，30cm³)　ゴム栓　自動上皿はかり　プラスチック板　接着剤　丸底フラスコ(300～500cm³)　ガラス管　ビニル管　ビーカー(500～1000cm³)①　温度計　スタンド　加熱器具　分銅
【別法】気体分子運動モデル実験器　電源装置　導線

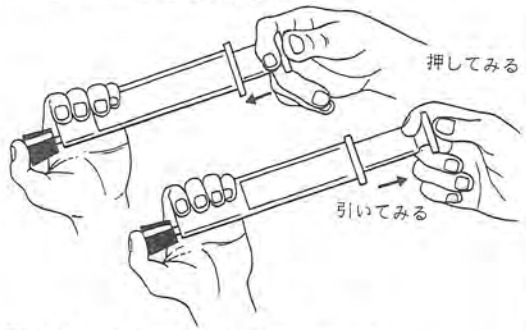
①フラスコの大きさに応じて選ぶ。アルマイトの容器でもよい。

## 1 気体の圧力と体積の関係を調べる

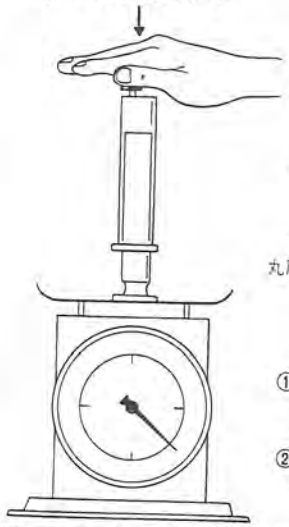
①注射器に空気を入れ，ゴム栓をする




②ピストンを押したり引いたりして，手の力を変えたときの空気の体積変化を観察する

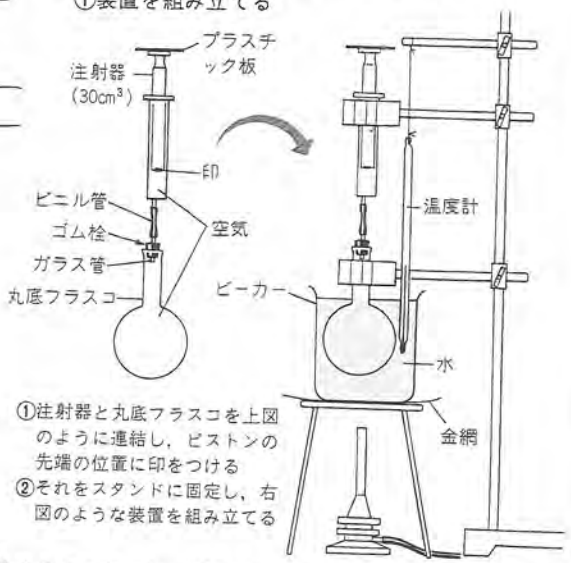



③自動上皿はかりの上で力を加え，力の大きさと空気の体積を測定する



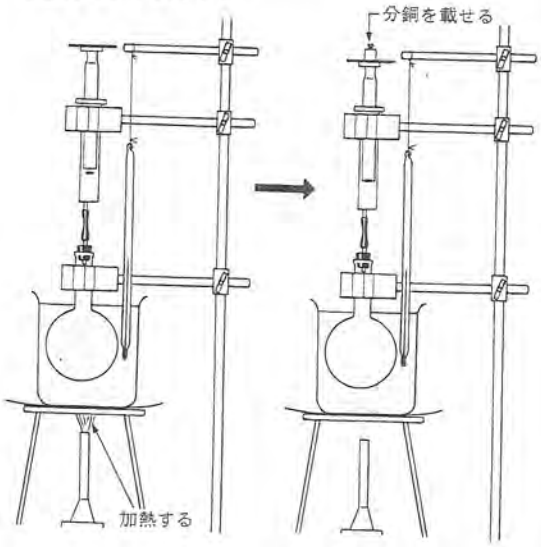
## 2 気体の温度と体積の関係を調べる

①装置を組み立てる

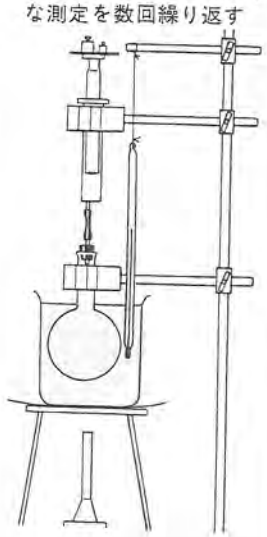



①注射器と丸底フラスコを上図のように連結し，ピストンの先端の位置に印をつける
②それをスタンドに固定し，右図のような装置を組み立てる

②ピストンが押し上げられ始めるまで加熱し，ピストンの先端が印と一致するように分銅を載せ，水温と分銅の重さを記録する




③さらに水温が数℃上昇するまで加熱し，②と同様の実験を行う。このような測定を数回繰り返す



### 1 留意点

①注射器には，ピストンとシリンダーの滑りをよくするため，水(またはシリコーンオイル)をつけておくとよい(2も同様)。ゴム栓には，注射器の先端が入る程度の途中までの穴をあけておく。

②ピストンを押すとき，ゴム栓がはずれないように，親指などでしっかり押さえておく。

③力は，垂直に加えるようにする。力の大きさをいろいろ変えて実験してみる。

結果 手で加える力を大きくすると，注射器内の空気の体積が小さくなる。ここで，加える力を大きくするということは，注射器内の空気の圧力が高くなるということであるから，空気は，圧力が高くなると，体積が小さくなるということがわかる。

実験データ例

| 空気の体積〔cm³〕 | 50 | 45 | 40 | 35 | 30 |
|---|---|---|---|---|---|
| 加えた力〔kgw〕 | 0 | 0.7 | 1.4 | 2.4 | 3.8 |

### 2 留意点

①注射器のピストンの上には，分銅を載せるためのプラスチック板を接着しておく。注射器と連結したフラスコを水の入ったビーカーの中に入れる前に，直接フラスコを両手で温めて，ピストンが押し上げられるのを確かめておくとよい。
フラスコを水の中に入れるとき，フラスコの球形の部分がすべて水の中に浸るようにする。

③水温の上昇につれて，ピストンとシリンダーの間が乾きやすくなるので，それらの間を湿らせながら実験するとよい。
一様な条件の下で実験ができるように，できるだけ短時間で行うようにする。

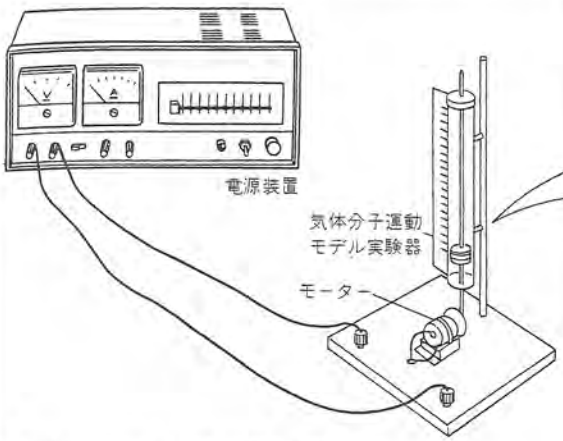
結果 水温（フラスコと注射器内の空気の温度）を上げると，空気の体積を一定にするための分銅の重さが大きくなる。1と同様，分銅の重さが大きくなるということは，フラスコと注射器内の空気の圧力が高くなるということであるから，空気は，体積が一定のとき，温度が高くなると，圧力も高くなることがわかる。

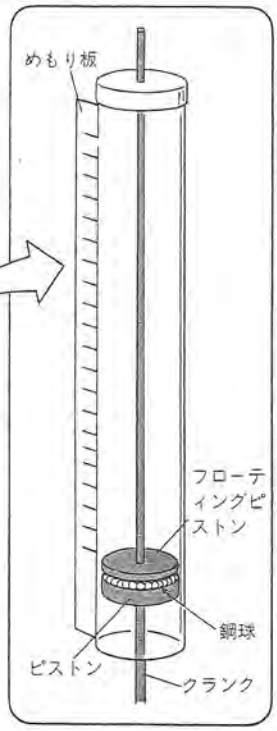
実験データ例

| 水温（空気の温度）〔℃〕 | 16 | 23 | 25 | 28 |
|---|---|---|---|---|
| 分銅の重さ〔gw〕 | 0 | 30 | 50 | 85 |

【別法】気体分子運動モデル実験器を用いる方法

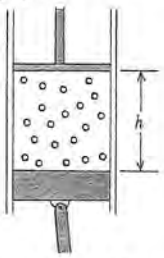
1 気体分子運動モデル実験器を電源装置に接続する



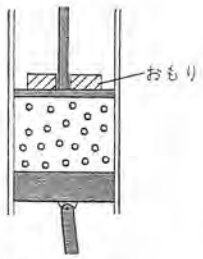




2 気体の圧力と体積の関係を調べる

①おもりを載せずにモーターを回転させ，高さ $h$ をはかる

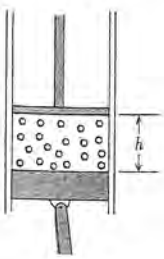



②おもりを載せ，①と同様高さ $h$ をはかる

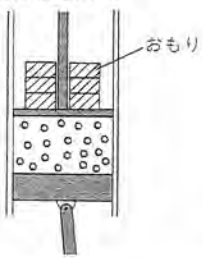



3 気体の温度と圧力の関係を調べる

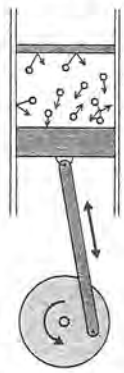
①電圧を1Vぐらいにしてモーターを回転させ，高さ $h$ をはかる




②電圧を少し上げて，高さ $h$ が①と同じになるようにおもりを載せ，おもりの数を記録する




鋼球が飛び跳ねる原理



モーターで回転板を回すことにより，クランクを上下させる。このクランクの上下動がピストンを振動させるので鋼球が飛び跳ねる

このモデル実験で，電源電圧を一定にするということは，モーターの回転数(ピストンの振動数)を一定にするということで，これは，気体の温度を一定にするということである。

このようなモデル実験器で，体積変化による圧力変化を調べる際，一応の傾向(関係)はつかめるが，ボイルの法則のような正確な関係をとらえることはできない。つまり，モデル実験器自体のモーターの回転などがそもそも不安定なので，得られたデータをグラフ化しても，反比例の関係はとらえにくいということである。

結果 電源電圧を2Vにして実験したときの実験データ例を次に示す。

| おもりの数〔個〕 | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| 高さ $h$〔cm〕 | 40 | 30 | 20 | 15 |

3 留意点

①ここでは，フローティングピストンの上におもりを載せる必要はない。

②電源電圧を1.5V，2Vと0.5Vずつ増やしたときのそれぞれについて実験してみる。

解説 このモデル実験で，電圧を上げてモーターの回転数を上げることは，気体分子に熱を与えることに相当する。つまり，気体分子に熱を与えると，それだけ分子運動が激しくなり，壁に当たる回数が増えるので圧力が増すことになる。

このようなモデル実験器の場合，おもりの数を増やしていったとき，途中までは鋼球が飛び回る空間も変わるが，1個が1.5g程度のおもりの場合，3～4個が限度のようである。

結果 実験データ例を次に示す。

| 電源電圧〔V〕 | 0.6 | 1.0 | 1.5 |
|---|---|---|---|
| おもりの数〔個〕 | 0 | 3 | 6 |

【別法】気体分子運動モデル実験器を用いる方法

解説 この方法は，気体の分子モデルを使うので，直接には見ることのできない気体の分子運動を観察することもできる。したがって，気体の圧力が生じる原因や，温度や体積の変化に伴う圧力の変化の様子を調べることもできる。ただし，あくまでもモデル実験なので，それぞれの事実関係の通りにいかない面もある。

1 解説 気体分子運動モデル実験器では，鋼球を気体の分子と考える。そして，装置の各部の動きを，次のように実存気体と対応させて考える。

- 気体の体積――ピストンとフローティングピストンとの間の距離
- 気体の圧力――フローティングピストンとその上に載せるおもりの重さ
- 気体の温度――ピストンの振動数（電源電圧を変えることにより，モーターの回転数を変えて調節する）
- 気体の質量(モル数)――円筒内の鋼球の数

留意点 鋼球を入れ過ぎないようにする。下のピストンの上に水平にならしていっぱいになるぐらいがよい。

2 留意点

①電源電圧は2V程度がよい。

②おもりの数を1個，2個，3個と1個ずつ増やしていき，それぞれの場合について実験してみる。

解説 気体の圧力は，自由に運動している気体分子が壁に衝突することによって生じている。このモデル実験では，飛び回る鋼球がピストンに当たり，ピストンを持ち上げることが，これに相当する。また，ピストンにおもりを載せることは，前ページ1の注射器の場合，手で力を加えること，すなわち外から力を加えることに相当する。

# 33 大気の圧力の実験

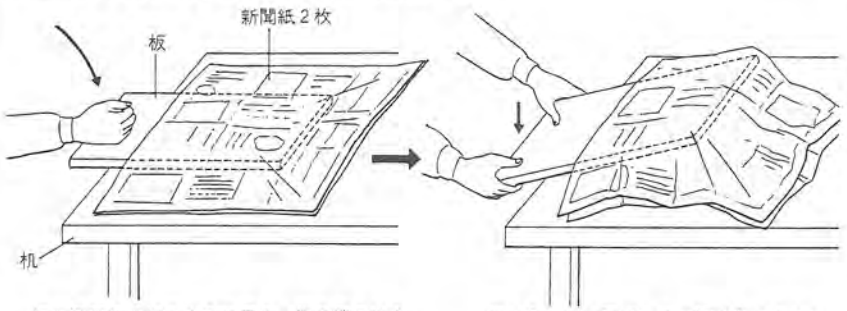
ねらい 由1 地上には，大気による圧力が存在していることが調べられる。
大気圧は，水銀柱76cmの圧力と等しいことが調べられる。

【A】板 新聞紙① コップ はがき 石油缶 ゴム栓 加熱器具② 吸盤 おもり ものさし プラスチック板(透明なもの) 空きびん(中が見えないもの) コップ ハンカチ ろ紙 マッチ 【B】分液ろうと 活栓付きろうと ガラス管(内径2mm) ビニル管(内径3mm，内径4mm) 接着剤 角材 スタンド2 ものさし

①ビニルのふろしきでもよい。②ガスコンロがよい。

## 【A】大気圧の存在を調べる

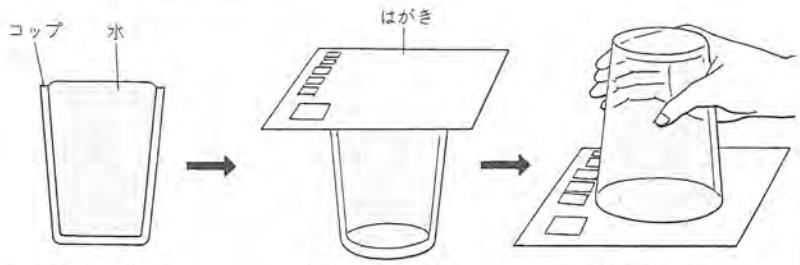
### 1 大気の下向きおよび横向きの圧力を調べる




板と新聞紙を図のように置き，板の端をいきおいよくたたいて，板の動きを観察する

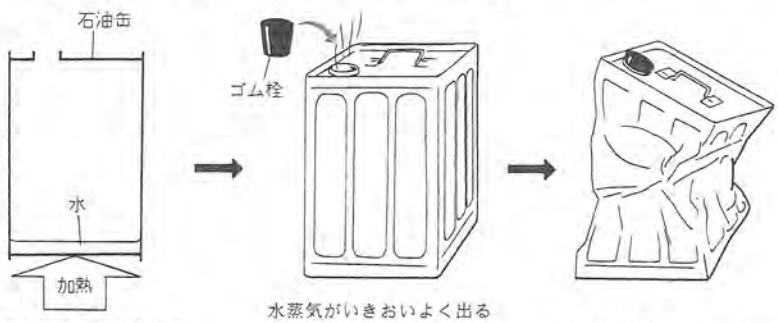
板を急に押し下げ，その板を急に止めたときの新聞紙の変化を観察する

### 2 大気の上向きの圧力を調べる




コップに水を満たす　はがきでふたをする　倒立させてみる

### 3 水蒸気の凝縮による減圧を利用して大気圧を調べる

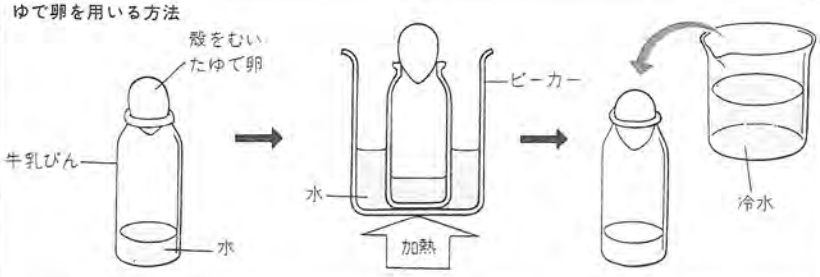



石油缶の中に少量の水を入れて加熱する

水蒸気がいきおいよく出るようになったら火を止め，素早くゴム栓をする

しばらく放置し，石油缶の変化を観察する

**ゆで卵を用いる方法**




牛乳びんの中に少量の水を入れ，ゆで卵でふたをする

牛乳びんの中が水蒸気でいっぱいになるまで加熱する

びんをとり出し，しばらくしてから冷水をかけてみる

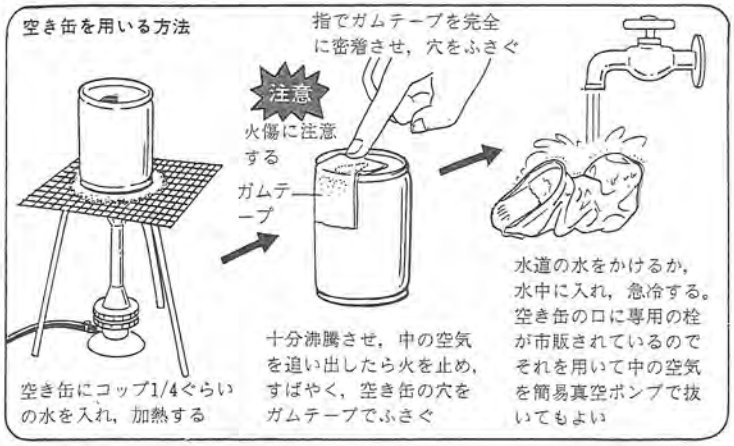
### 【A】大気圧の存在を調べる

1 留意点 板は，長さ40～60cm，幅15～20cm程度の大きさのものが実験しやすい。
新聞紙2枚の代わりに，ビニルのふろしきを用いてもよい。
板を机の上に置くときには，板の1/3ぐらいが机からはみ出すようにする。
板の端をたたくとき，手の代わりに木づちを用いてもよい。
解説 板の端を急にいきおいよくたたいても，板はほとんど動かない。これは，新聞紙の全面にかかっている大気圧が，板を押さえつけているからである。
また，急に押し下げた板を急に止めると，板の下に新聞紙がめりこむ。これも大気圧が，新聞紙に対して横向きに作用したからである。

2 留意点 コップを倒立させるとき，実験が失敗しないように，念のためはがきに手を添えたほうがよい。このようにはがきに手を添え，倒立させてから手を離すのなら，必ずしも水をいっぱい入れる必要はない。
解説 倒立させても，はがきやコップの中の水は落ちない。これは，大気圧が，はがきに対して上向きに作用しているからである。

3 留意点 ゴム栓は，大きめのものを用いる。そして，きつく栓をする。
火を止めてゴム栓をした後，そのまま放置しておいてもよいが，冷水をかけると，短時間で変化を観察することができる。
解説 石油缶は内側にへこむ。これは，水蒸気の凝縮により，石油缶内部の圧力が小さくなったからである。缶の内部の圧力が小さくなったためにへこむということは，缶の外部に大気圧がかかっているということである。
参考 左の囲み図のように，ゆで卵を用いて調べる方法もある。加熱後，ビーカーから牛乳びんをとり出して冷水をかけると，びんの内部の圧力が小さくなるため，ゆで卵がびんの内部に吸いこまれる。
この実験を行う場合，卵をゆでるときには，やや固めにゆでたほうがよい。軟らか過ぎると，殻をむくとき，中の卵を崩してしまうことがある。

空き缶を用いる方法




清涼飲料のペットボトルを用いる方法

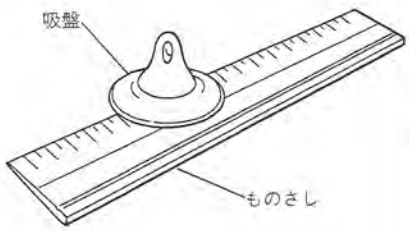



4吸盤を使って大気圧を測定する

①吸盤を平らな板につけ，おもりをつり下げ，吸盤が離れたときの力の大きさを調べる




②吸盤の直径をはかり，吸盤の面積を求め，①の結果と合わせて，吸盤1 cm²にはたらく力(大気圧)を計算する

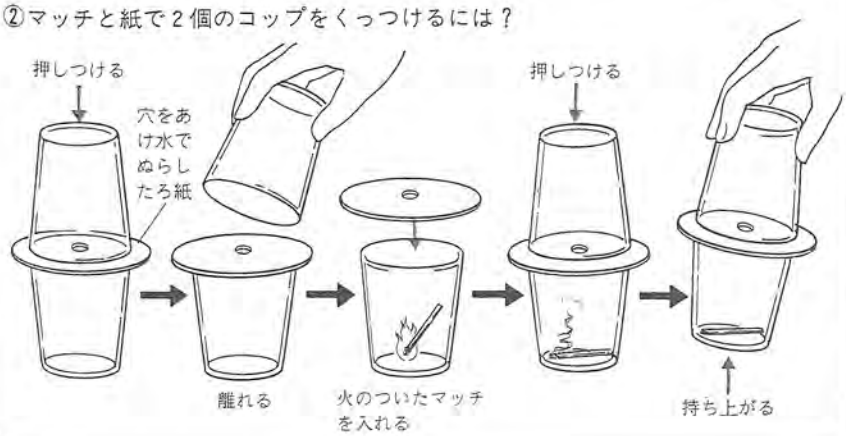



5大気圧を利用した手品

①空きびんから水が？




②マッチと紙で2個のコップをくっつけるには？




参考上の囲み図のように，空き缶，清涼飲料のペットボトルを用いる方法もある。缶を使ったほうがつぶれるときの音が大きいが，ペットボトルのほうが，操作が楽で，大きく変形し，再利用も可能である。

注意空き缶に水を入れて沸騰させるときや，空き缶をおろして穴をふさぐときに火傷をしないように十分注意する。火傷をしたら10分ぐらい流水で冷やし，医師に見せる。

4留意点吸盤を何回も使っていると吸着力が小さくなる。熱湯に5分ぐらい浸し乾燥させるともとに戻る。

実験データ例

| 吸盤の直径(cm) | 力の大きさ(kgw) | 大気圧(kgw／cm²) |
|---|---|---|
| 6 | 13 | 0.5 |
| 4 | 6 | 0.5 |

解説理論値に比べ測定結果が小さくなる。吸着面が理想的な状態でなく，力が加わると引っ張られて吸着面積が小さくなるためである。

注意吸盤が離れたとき，吸盤や板が思わぬ方向に飛ぶので十分注意する。

5①留意点種が見えないように，生徒からやや離れたところで行う。理科室の教卓で行うとよい。大気圧の導入実験として実施する。

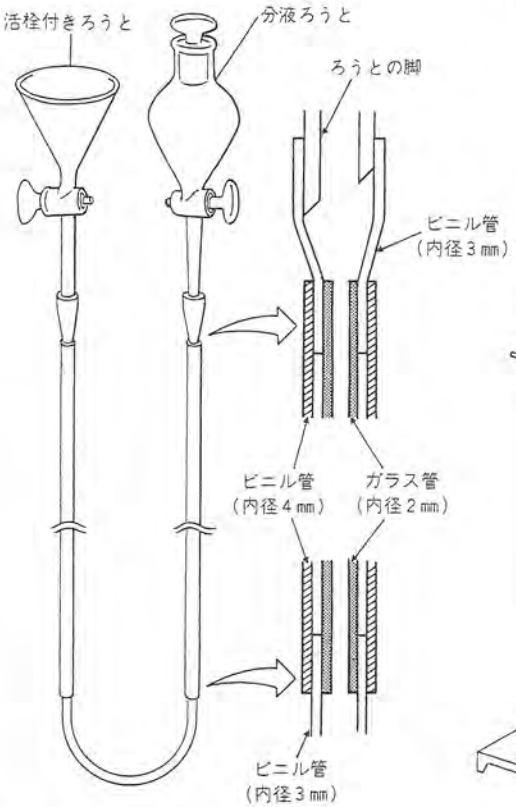
解説びんを傾けても水が出ないのは，プラスチック板を大気圧が押しているためである。

②参考マッチの代わりにろうそくを使ってもよい。また，集気びんに火のついたマッチを入れ，水で濡らしたガラスでふたをしても，集気びんとガラスがつく。

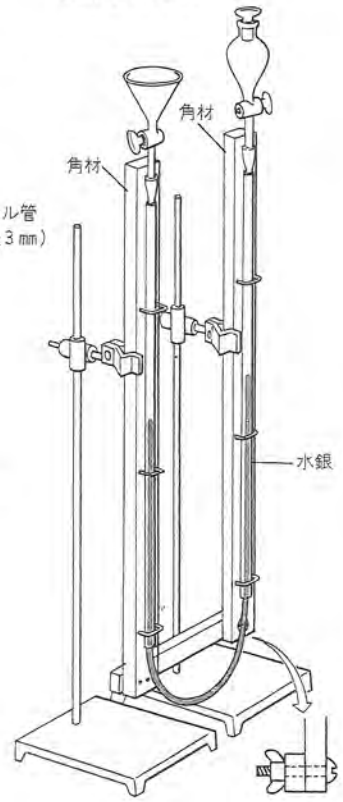
解説マッチの熱でコップの空気が膨張し，空気が追い出される。上のコップをかぶせ冷やすとコップ内の気圧が下がり，2個のコップが大気圧で押されてつく。

## 【B】大気圧の大きさを調べる(トリチェリの実験)

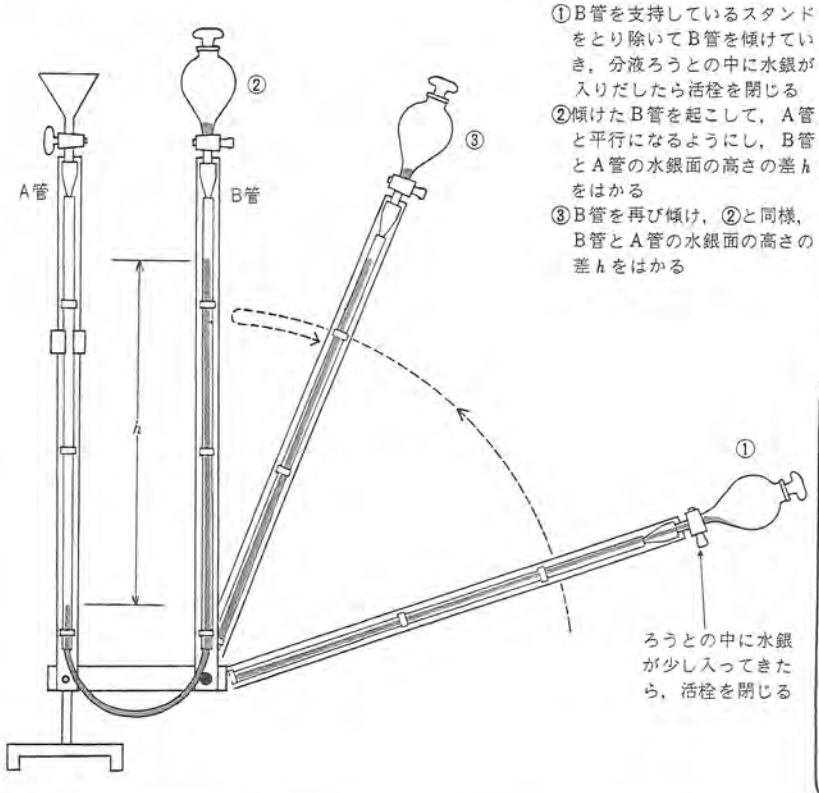
1 装置を組み立てる




2 装置を角材で補強してスタンドに固定し，ガラス管の中に水銀を入れる




3 大気圧を調べる




①B管を支持しているスタンドをとり除いてB管を傾けていき，分液ろうとの中に水銀が入りだしたら活栓を閉じる
②傾けたB管を起こして，A管と平行になるようにし，B管とA管の水銀面の高さの差 $h$ をはかる
③B管を再び傾け，②と同様，B管とA管の水銀面の高さの差 $h$ をはかる

### 【B】大気圧の大きさを調べる

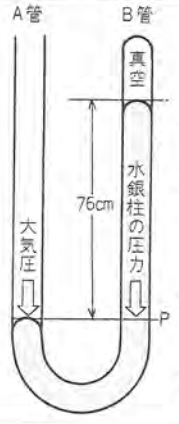
1 留意点 ガラス管やビニル管などは，清浄かつ，よく脱水したものを用いる。
水銀の量をできるだけ少なくするため，ガラス管は，内径の小さいものを使ったほうがよい。しかし，内径の小さいガラス管は破損しやすいので，このようなガラス管を用いる場合は，ガラス管の外側をビニル管で覆って補強する。
ビニル管とガラス管や，ビニル管どうしの接合部分には接着剤を塗り，しっかり接合しておく。
分液ろうとの活栓には真空グリースを塗り，十分気密が保てるようにしておく。

2 留意点 補強用の角材に装置をとりつけるときには，ステーブルなどを使ってしっかり固定する。
水銀は，表面にあるゴミなどを除去したものを用いる。ろ紙の底に2～3ヵ所小さな穴をあけ，その中に水銀を流しこんで，ろ過と同じ要領でゴミを除去すればよい。
ガラス管の中に水銀を入れるには，ろうとの活栓を両方とも開いた状態にし，活栓付きろうとの口から水銀を流しこめばよい。このとき，水銀の中に気泡が入らないように注意しながら，静かに流しこむようにする。もし，水銀の中に気泡が閉じこめられたときには，管を軽くたたいて，気泡を上部へ追い出せばよい。
注意 水銀には，直接手を触れないようにする。ゴム手袋などを用いるようにするとよい。
水銀をこぼさないように注意する。

3 結果 実験データ例を次に示す。

| B管の傾き | 垂直 | 小 | 大 |
|---|---|---|---|
| 水銀面の高さの差 $h$〔cm〕 | 75 | 75 | 75 |

参考 A管とB管の水銀面の高さの差と大気圧の大きさの関係は，次のように説明される。




左図のような状態で水銀がつり合っているということは，A管の水銀面にかかっている大気圧とB管の76cmの水銀柱が加えている圧力が等しいということである
位置Pにおける B管の水銀の圧力は，1cm²当たり，
76×1×13.6(水銀の密度)
=1033.6g
の水銀が加えている力であるから，1033.6gw/cm²ということになる。つまり，この圧力が大気圧と等しいということである

# 34 気体の体積と圧力の関係を調べる

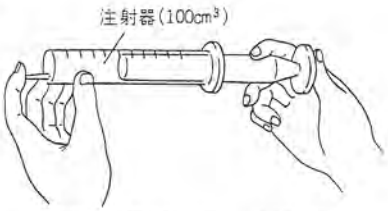
注射器① 自動上皿はかり② オリーブ油③ ゴム栓④
コルクボーラー ばねはかり⑤ ひも⑥

①50または100cm³ぐらいのものを使用する。かん腸器でもよい。②秤量8～12kg程度のもの。③グリセリンでもよい。④注射器の径に合わせる。⑤秤量8～12kg程度のもの。⑥10kgwぐらいの張力をかけても切れないような丈夫なもの。

ねらい 閉じこめられた一定量の空気などの気体は，外部から力を加えて体積を小さくすると圧力が増し，体積を大きくすると圧力は小さくなることが調べられる。
気体の体積と圧力との間に規則性があることが調べられる。

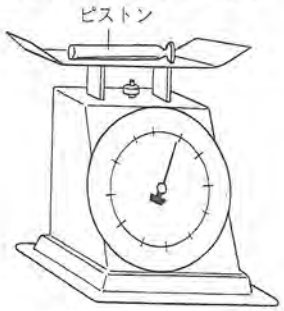
1 注射器のピストンを押して調べる

①気体の圧力を体感する




注射器の先端を指先でしっかり押さえ，ピストンを押してみる

②ピストンの重さをはかる




③ピストンとシリンダーの摩擦のぐあいをみる

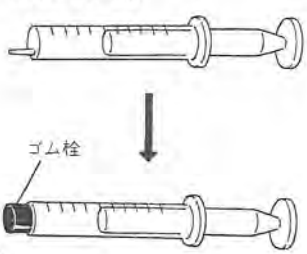


注射器を立て，シリンダーが自然に下がればよい



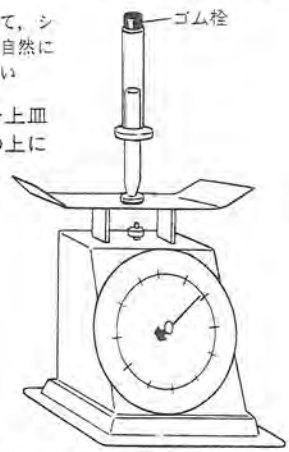

ぐあいの悪い場合，ピストンにオリーブ油を1滴，滴下する

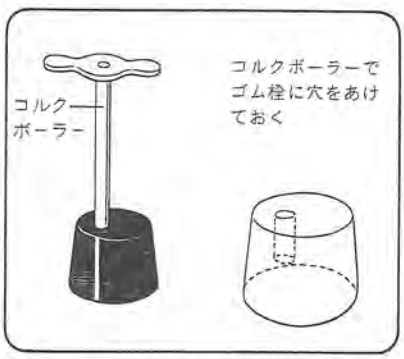
④シリンダーにゴム栓をとりつける



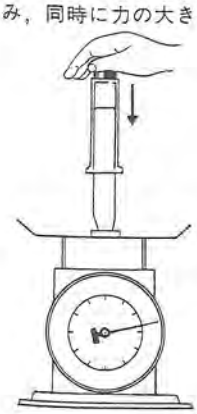

シリンダーの口にゴム栓をつけ，空気の漏れるのを防ぐ

⑤注射器を上皿はかりの上に立てる



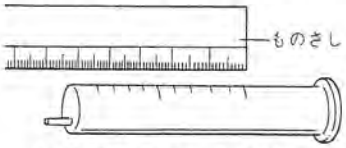




⑥手で上から押して，気体の体積を読み，同時に力の大きさを読む



ゴム栓の上から力を加え，気体の体積をきりのよい数値に合わせ，力の大きさを読む

⑦シリンダーの断面積を求めて気体の圧力を求め，表にまとめる




シリンダーの先端から最大めもりまでの長さをはかり，その最大めもりの数値〔cm³〕を測定した長さ〔cm〕で除して，断面積〔cm²〕を求める。圧力は，⑥で測定した力の大きさから②で測定した重さを減じた値を断面積で除したものに大気圧を加えて求める。また，表には，圧力と体積の積も書き入れる

1 ①解説 気体の体積の減少に伴う圧力の増加を体感し，体積と圧力との関係について予想してみる。

②解説 ⑥で上皿はかりのめもりから得る力の大きさは，空気の圧力による力とピストンの重さとの合計である。したがって，ここでピストンの重さをはかっておく。

③留意点 ピストンとシリンダーのすき間から空気が漏れていたり，摩擦が大き過ぎてシリンダーが自然に落下しないような場合には，ピストンとシリンダーをよく水洗いした後，完全に水気をふきとり，摩擦面にオリーブ油を塗る。塗り方は，ピストンの先端近くに1滴付着させてよく延ばせばよい。

④留意点 ピストンの先端をきりのよいめもりに合わせればよいが，2の実験（減圧実験）のことを考えれば，中央付近のめもりに合わせたほうがよい。

⑥留意点 上から手で押さえるので，上皿はかりは指針が振れてめもりが読みにくいので，2人一組で行うとよい。すなわち，1人が力を加えつつ気体の体積を読み，同時に他の1人が振れている指針のだいたいの平均値を読むようにする。測定は，力の大きさを変えて最低でも4回は行いたい。その場合，体積のほうを決めて，そのときの力の大きさを読むようにする。例えば，最初の気体の体積を25cm³としたなら，次は22.5cm³に，その次は20cm³，次いで17.5cm³，15cm³というようにして，それぞれの場合の上皿はかりのめもりを読む。また，それぞれ測定は，数回行って平均値を求める。
当然のことながら，シリンダーの断面積が大きい場合には，秤量の大きな上皿はかりを用いなければならない。
なお，より正確な値がほしい場合，スタンド等で固定した板などを用いて力を加えることも考えられるが，力が大きくなると不安定になるので十分に注意しないと危険である。

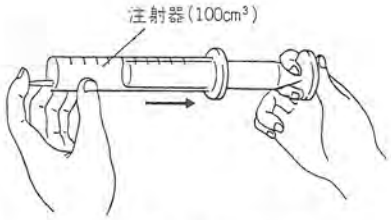
⑦解説 断面積，圧力は次式によって求める。

$$\text{断面積〔cm}^2\text{〕} = \frac{\text{シリンダーの最大めもり〔cm}^3\text{〕}}{\text{先端から最大めもりまでの長さ〔cm〕}}$$

$$\text{気体の圧力〔kgw/cm}^2\text{〕} = \frac{\text{(⑥の力の大きさ－②の重さ)〔kgw〕}}{\text{断面積〔cm}^2\text{〕}} + \text{大気圧〔kgw/cm}^2\text{〕}$$

## 2 注射器のピストンを引いて調べる

### ①気体の圧力の減少を体感する

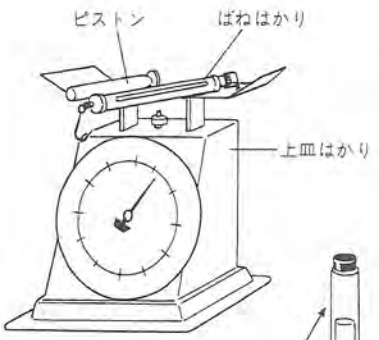



注射器の先端を指先でしっかり押さえ，ピストンを引いてみる

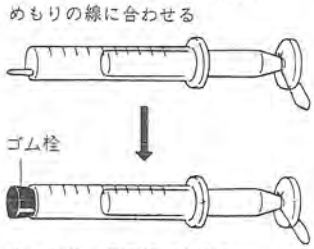
### ②ピストンの後端にひもをつける




### ③ピストンとばねはかりの重さをはかる




### ④シリンダーにゴム栓をとりつける




シリンダーの口にゴム栓をつけ，空気の漏れるのを防ぐ




⑤ピストンにつけたひもに，ばねはかりを下げる

ばねはかりをつり下げたときの変化を観察する




⑥ばねはかりを手で引いて気体の体積を読み，同時にばねはかりで力の大きさを読む

測定値をもとに，1の計算と同様に計算して，表にまとめる

実験データ例

〈ピストンを押した場合(1)〉

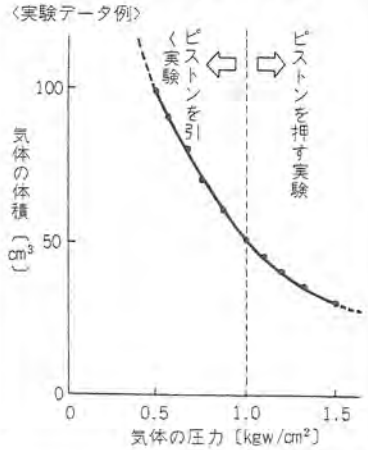
| 気体の体積〔cm³〕 | 力の測定値〔kgw〕 | ピストンにかかる力〔kgw〕 | 気体の圧力〔kgw/cm²〕 |
|---|---|---|---|
| 50 | 0 | 0 | 1.000 |
| 45 | 1.05 | 0.9 | 1.098 |
| 40 | 2.30 | 2.15 | 1.234 |
| 35 | 3.70 | 3.55 | 1.386 |
| 30 | 5.70 | 5.55 | 1.603 |

〈ピストンを引いた場合(2)〉

| 気体の体積〔cm³〕 | 力の測定値〔kgw〕 | ピストンにかかる力〔kgw〕 | 気体の圧力〔kgw/cm²〕 |
|---|---|---|---|
| 60 | 1.3 | 1.57 | 0.829 |
| 70 | 2.3 | 2.57 | 0.721 |
| 80 | 3.1 | 3.37 | 0.634 |
| 90 | 3.7 | 3.97 | 0.568 |
| 100 | 4.2 | 4.47 | 0.514 |

### 3 1と2の結果をグラフ化する

〈実験データ例〉




2①解説 気体の体積の減少に伴う圧力の減少を体感し，1の場合と対比させながら，体積と圧力との関係を予想してみる。

②留意点 このひもは，ばねはかりのフックを引っかけて引っ張るためのものであるから，10kgw近くの力をかけても切れないような丈夫なものを，しかもしっかりと結ばなければならない。

③解説 1の②ではかったピストンの重さが1の⑦の計算で必要になったように，このピストンとばねはかりの重さは，⑥の計算において必要になるので，はかっておく。

④留意点 ピストンの先端を合わせる位置は，きりのよいめもりの位置であればよいが，1との関係で考える上で，1の④で合わせた位置と同じにするとわかりやすい。なお，この操作を行う前に1の③と同様，摩擦のぐあいをみるべきであるが，1を行って引き続きこの2を行う場合には，不要であろう。

⑤解説 ばねはかりをつり下げたときに，ピストンが少し下に動くことを観察しておくと，⑥での計算が理解しやすい。
注射器は垂直に保つ。

⑥留意点 1の⑥と同様，測定は2人一組で行う。すなわち，1人がシリンダーを持ってばねはかりを引き，気体の体積をシリンダーのめもりで読む。同時に他の1人が，ばねはかりのめもりで力の大きさを読む。そのほか，1の⑥の留意点を参照する。
体積の目安は，初め25cm³であれば，30，35，40，45cm³ぐらいで行うのが適当である。
また，シリンダーをスタンドなどに固定することも考えられるが，手のほうが調節がきくので，器具を壊さない。
解説 計算は1の計算と同様であるが，ここでは，ピストンを引っ張っている力は手の力とピストンの重さとばねはかりの重さの合計であるから，圧力は，

圧力〔kgw/cm²〕
＝大気圧〔kgw/cm²〕
$-\frac{(⑥の力の大きさ+③の重さ)〔kgw〕}{1の⑦で求めた断面積〔cm^2〕}$

である。

3解説 横軸を圧力，縦軸を気体の体積として，グラフ化してみる。実験データ例におけるシリンダーの断面積は9.20cm²，大気圧は1kgw/cm²として計算してある。グラフから，気体の体積は，加わる力に反比例することを読みとる。

# 35 液体中で受ける物体の浮力の測定

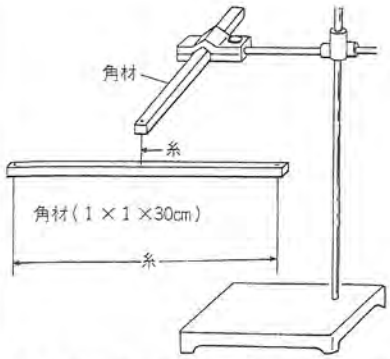
ねらい 田3　物体は液体中では浮力を受けて軽くなることが調べられる。液体中での浮力の大きさは，浮力を受ける物体の体積と同体積のその液体の重さに等しいことが調べられる。

角材(1×1cm)　糸　スタンド　金属物体①　ビーカー3　太い針金　ものさし　セロハンテープ　輪ゴム　ふうせん　大形ガラス円筒　底を切りとった空きびん②　ガラス管　ゴム栓　ばねはかり　メスシリンダー　フィルムケース　食塩　卵　上皿てんびん

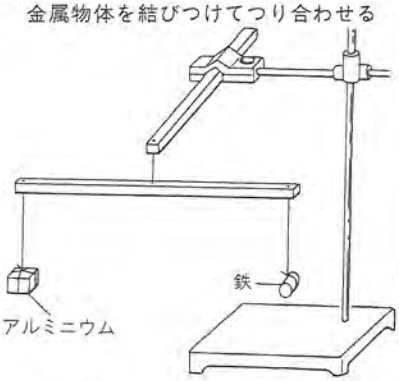
①同じ重さのいろいろな金属物体。密度測定用物体を用いるのがよい。②切断の方法は3①の留意点を参照。

1 物体は水中では軽くなることを調べる

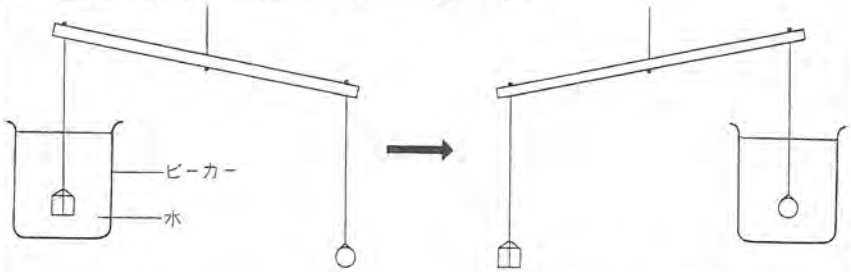
①角材と糸でてこを作る




②糸の先に，重さが等しく種類が異なる金属物体を結びつけてつり合わせる

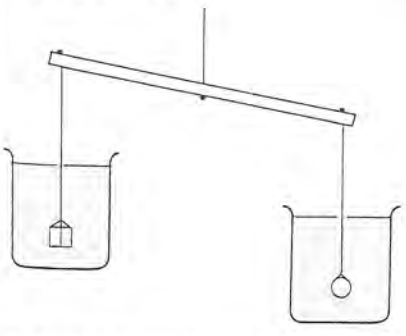



③金属物体を片方だけ水の中に入れ，つり合いを調べる



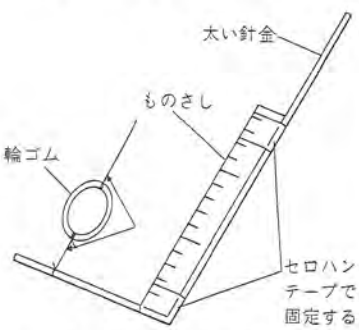

一方の金属物体を水の中に入れてみる　　他方の金属物体を水の中に入れてみる

④金属物体を両方とも水の中に入れ，つり合いを調べる

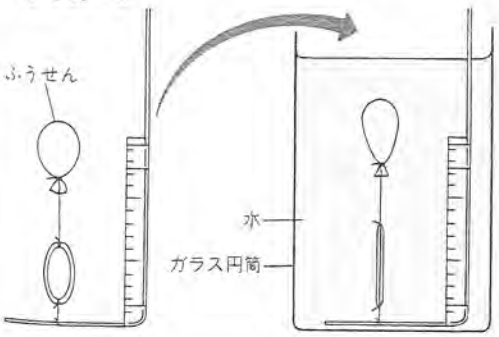


2 浮力の大きさと向きを調べる

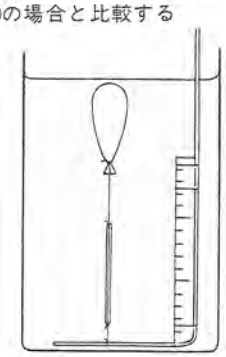
①ゴムはかりを作る




②ゴムはかりにふうせんをとりつけて水の中に入れて，ふうせんが浮く方向とゴムの伸びの大きさを調べる




③ふうせんを②の場合より大きくし，輪ゴムの伸びの長さを②の場合と比較する



1①留意点 てこのうでに用いる角材の中心と，両端(中心から等距離の所)に穴をあけ，それぞれに糸をつけて，つり合わせる。

②留意点 金属物体の代わりに，身近な消しゴムや石などを用いてもよい。ただし，同じ重さにするのに工夫が必要である。

③留意点 体積の大きいほうの物体を水中に沈めると，バランスが大きく崩れる。そのため，ビーカーを手で持ち，そのビーカーを持ち上げるようにして，物体が完全に水中に沈むようにする（④の場合も同様)。

結果 てこのバランスが崩れることから，物体は水中に入れると軽くなることがわかる。

④結果 物体を水中に入れたときの軽くなる度合いは，物体により異なることがわかる。

2①留意点 ものさしは，15cm程度のものがよい。

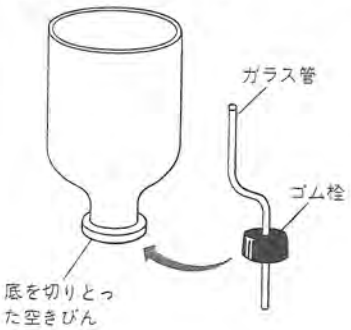
②留意点 ふうせんは，ガラス円筒の大きさに合わせ，適当な大きさに膨らませる。大形のガラス円筒の代わりに，1升びんの上部を切断したものや，底の深い水槽を用いてもよい。

結果 ゴムはかりにとりつけたふうせんを水の中に入れると，まっすぐ上に向かって浮き上がろうとすることから，ふうせんにはたらく力(浮力)は上向きであることがわかる。

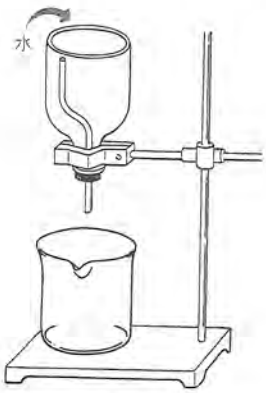
③結果 ふうせんを大きくすると，輪ゴムの伸びも大きくなることから，物体が大きくなると浮力も大きくなることがわかる。

## 3 浮力の大きさについて調べる

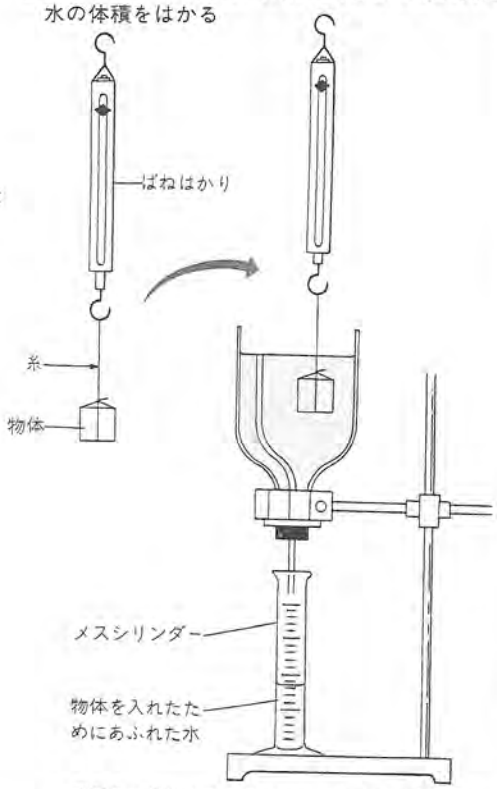
①体積測定装置を作る




②体積測定装置をスタンドに固定し，水を入れる

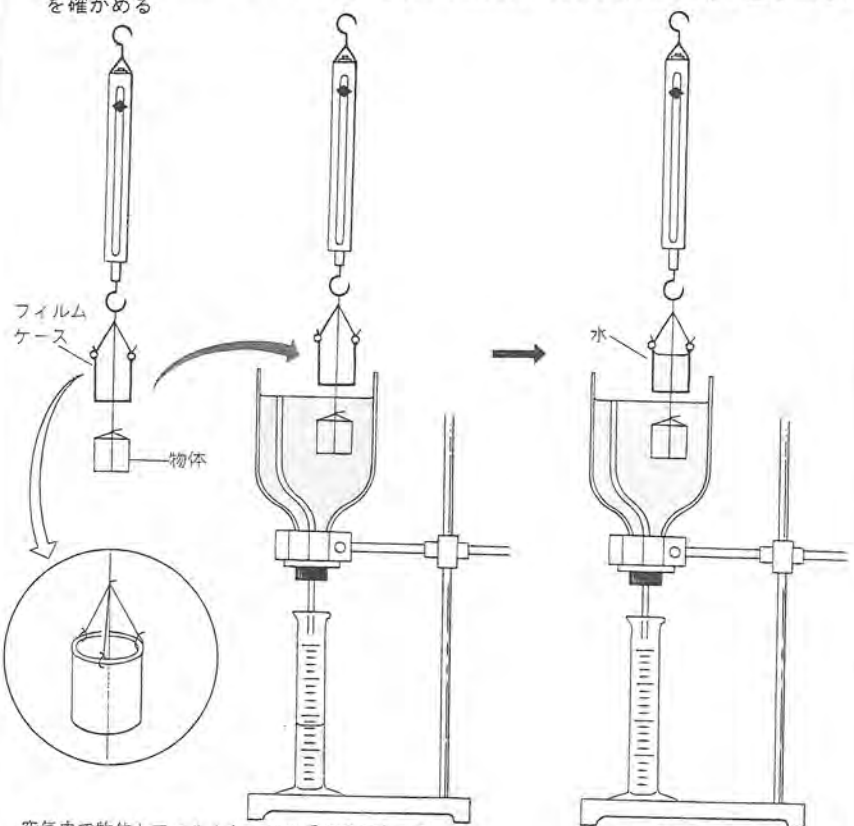



③物体を水の中に入れ，浮力の大きさとあふれた水の体積をはかる




空気中で物体の重さをはかってから水の中に入れ，重さとあふれた水の体積をはかる

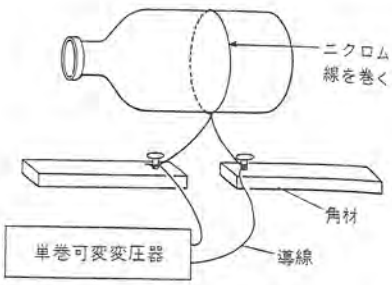
④フィルムケースをとりつけた物体を水の中に入れ，浮力とあふれた水の重さの関係を確かめる




空気中で物体とフィルムケースの重さをはかってから物体だけを水の中に入れ，重さをはかる

あふれた水をフィルムケースの中に入れて，重さをはかる

3①留意点 空きびんを切断するときには，びんの外側に円状の印をつけ，その印に沿って4～5ヵ所ほどヤスリで傷をつけた後，下図のようにニクロム線を当てて電流を流して切る。



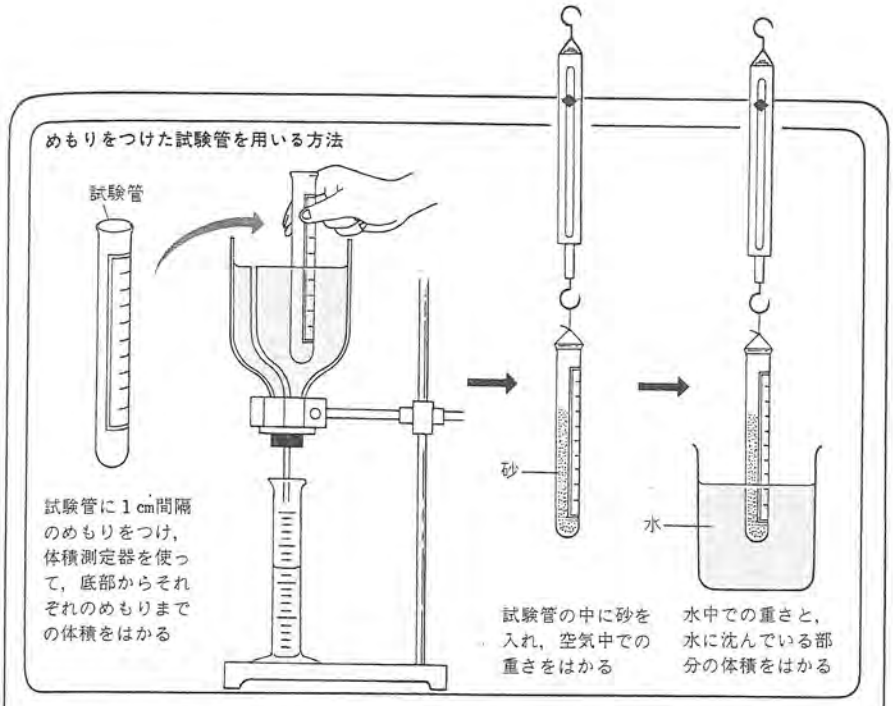

②留意点 水は，ガラス管の先端からあふれ落ちるまで入れる。ガラス管の先端と水面の高さがそろって，水が落ちなくなったら，その後，振動を与えないように十分注意する。

③留意点 測定が終わったら，浮力の大きさ（空気中での重さ－水中での重さ）とあふれた水の重さを比較してみる。
あふれた水の重さは，読みとった体積から，密度を1g/cm³として求めればよい。
結果 実験データ例を次に示す。

| | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 空気中での物体の重さ〔gw〕 | 22.0 | 24.0 | 100.0 |
| 水中での物体の重さ〔gw〕 | 14.0 | 21.0 | 88.0 |
| 物体が受けた浮力〔gw〕 | 8.0 | 3.0 | 12.0 |
| あふれた水の体積〔cm³〕 | 8.2 | 3.2 | 11.9 |
| あふれた水の重さ〔gw〕 | 8.2 | 3.2 | 11.9 |

④留意点 フィルムケースを糸でつるすときには，ケースの周囲に穴をあけて，糸で縛るとよい。このとき，安定性をよくするため，穴を3ヵ所にする。また，ケースに物体をつるすため，ケースの底部中央に穴をあけて糸を通した後，穴から水がもれないように接着剤で固めておく。
結果 実験データ例を次に示す。

| | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 空気中での全体の重さ〔gw〕 | 26.0 | 29.0 | 104.0 |
| 水中での全体の重さ〔gw〕 | 18.0 | 26.0 | 92.0 |
| 物体が受けた浮力〔gw〕 | 8.0 | 3.0 | 12.0 |
| あふれた水の体積〔cm³〕 | 8.3 | 3.1 | 12.0 |
| 水を加えたときの重さ〔gw〕 | 26.2 | 29.0 | 104.0 |




参考 浮力の大きさについて調べるには，めもりをつけた試験管を用いる方法もある。この方法だと，物体の水中に沈んでいる部分の体積を変化させることにより，体積の変化と浮力の変化とを連続的に調べることができる。ただし，いろいろな物体の浮力の大きさを測定することはできない。

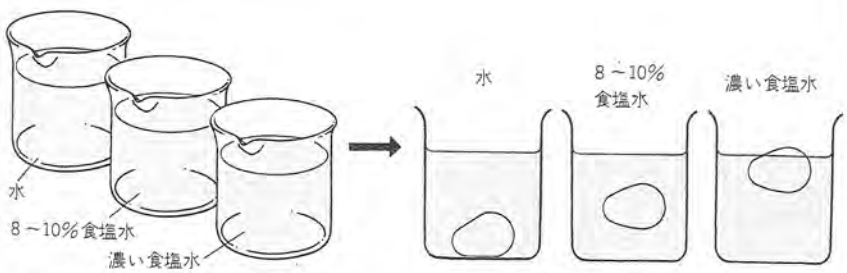
試験管にめもりをつけるときには，めもりを記入した紙をセロハンテープではりつけてもよいし，油性フェルトペンで直接書いてもよい。

参考のため，この方法における実験データ例も次に示す。

| | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 空気中での物体の重さ〔gw〕 | 55.0 | 55.0 | 55.0 |
| 試験管の体積めもり | 3.0 | 5.0 | 7.0 |
| 水中での物体の重さ〔gw〕 | 47.0 | 43.0 | 37.0 |
| 物体が受けた浮力〔gw〕 | 8.0 | 12.0 | 18.0 |
| 水に沈んだ部分の体積〔$cm^3$〕 | 7.4 | 12.4 | 18.2 |
| 沈んだ体積分の水の重さ〔gw〕 | 7.4 | 12.4 | 18.2 |

**4** 液体の種類により浮力の大きさが違うことを調べる

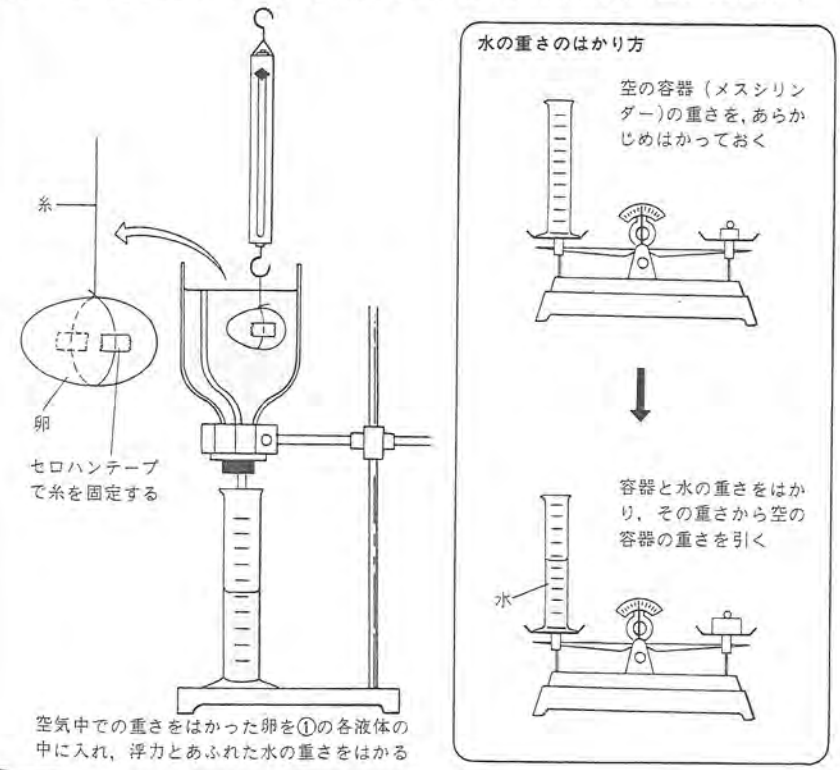
①水と食塩水の中に卵を入れてみる




4①留意点 濃い食塩水は，水に食塩を溶けるだけ溶かしたもの(飽和食塩水)がよい。8～10%食塩水は，濃い食塩水の一部を他のビーカーにとり，それを薄めて作ってもよい。

結果 水の中に入れた卵は沈むが，8～10%食塩水の中に入れた卵は浮遊する。また，濃い食塩水に入れた卵は浮く。これらのことから，同じ物体を液体の中に入れても，液体の種類により浮力の大きさは異なることがわかる。

②卵を水や食塩水の中に入れ，浮力の大きさと卵と同体積の液体の重さを比較する



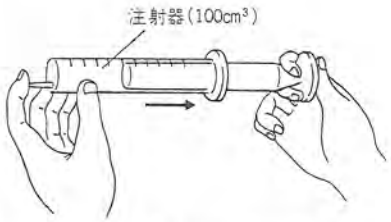

② 留意点 卵を糸で結ぶのは容易ではないので，糸の上からセロハンテープで固定するとよい。

結果 実験データ例を次に示す。

| | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 空気中での卵の重さ〔gw〕 | 54.0 | 54.0 | 54.0 |
| 液体中での卵の重さ〔gw〕 | 2.5 | 0 | 0 |
| 卵が受けた浮力〔gw〕 | 51.5 | 54.5 | 58.5 |
| あふれた液体の体積〔$cm^3$〕 | 52.0 | 52.0 | 52.0 |
| あふれた液体の重さ〔gw〕 | 52.0 | 54.5 | 58.5 |

## 2 注射器のピストンを引いて調べる

### ①気体の圧力の減少を体感する

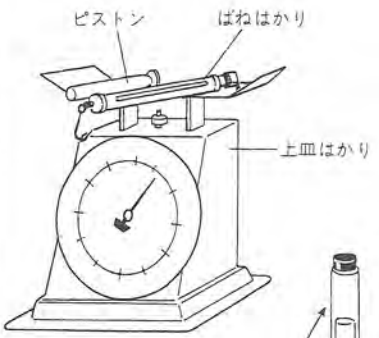



注射器の先端を指先でしっかり押さえ，ピストンを引いてみる

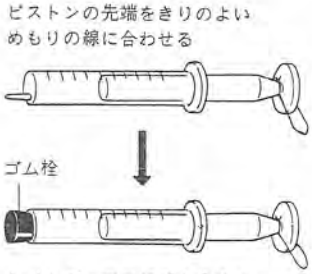
### ②ピストンの後端にひもをつける




### ③ピストンとばねはかりの重さをはかる




### ④シリンダーにゴム栓をとりつける




シリンダーの口にゴム栓をつけ，空気の漏れるのを防ぐ




### ⑤ピストンにつけたひもに，ばねはかりを下げる

ばねはかりをつり下げたときの変化を観察する




### ⑥ばねはかりを手で引いて気体の体積を読み，同時にばねはかりで力の大きさを読む

測定値をもとに，1の計算と同様に計算して，表にまとめる

実験データ例

〈ピストンを押した場合(1)〉

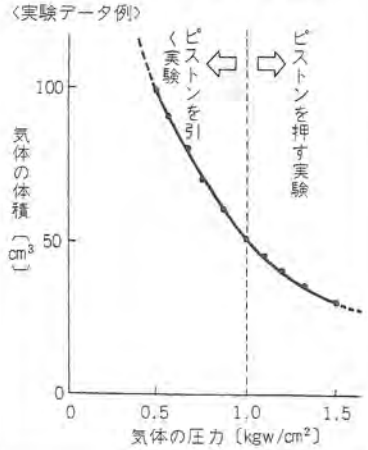
| 気体の体積〔cm³〕 | 力の測定値〔kgw〕 | ピストンにかかる力〔kgw〕 | 気体の圧力〔kgw/cm²〕 |
|---|---|---|---|
| 50 | 0 | 0 | 1.000 |
| 45 | 1.05 | 0.9 | 1.098 |
| 40 | 2.30 | 2.15 | 1.234 |
| 35 | 3.70 | 3.55 | 1.386 |
| 30 | 5.70 | 5.55 | 1.603 |

〈ピストンを引いた場合(2)〉

| 気体の体積〔cm³〕 | 力の測定値〔kgw〕 | ピストンにかかる力〔kgw〕 | 気体の圧力〔kgw/cm²〕 |
|---|---|---|---|
| 60 | 1.3 | 1.57 | 0.829 |
| 70 | 2.3 | 2.57 | 0.721 |
| 80 | 3.1 | 3.37 | 0.634 |
| 90 | 3.7 | 3.97 | 0.568 |
| 100 | 4.2 | 4.47 | 0.514 |

## 3 1と2の結果をグラフ化する

〈実験データ例〉




2①解説 気体の体積の減少に伴う圧力の減少を体感し，1の場合と対比させながら，体積と圧力との関係を予想してみる。

②留意点 このひもは，ばねはかりのフックを引っかけて引っ張るためのものであるから，10kgw近くの力をかけても切れないような丈夫なものを，しかもしっかりと結ばなければならない。

③解説 1の②ではかったピストンの重さが1の⑦の計算で必要になったように，このピストンとばねはかりの重さは，⑥の計算において必要になるので，はかっておく。

④留意点 ピストンの先端を合わせる位置は，きりのよいめもりの位置であればよいが，1との関係で考える上で，1の④で合わせた位置と同じにするとわかりやすい。なお，この操作を行う前に1の③と同様，摩擦のぐあいをみるべきであるが，1を行って引き続きこの2を行う場合には，不要であろう。

⑤解説 ばねはかりをつり下げたときに，ピストンが少し下に動くことを観察しておくと，⑥での計算が理解しやすい。
注射器は垂直に保つ。

⑥留意点 1の⑥と同様，測定は2人一組で行う。すなわち，1人がシリンダーを持ってばねはかりを引き，気体の体積をシリンダーのめもりで読む。同時に他の1人が，ばねはかりのめもりで力の大きさを読む。そのほか，1の⑥の留意点を参照する。
体積の目安は，初め25cm³であれば，30，35，40，45cm³ぐらいで行うのが適当である。
また，シリンダーをスタンドなどに固定することも考えられるが，手のほうが調節がきくので，器具を壊さない。
解説 計算は1の計算と同様であるが，ここでは，ピストンを引っ張っている力は手の力とピストンの重さとばねはかりの重さの合計であるから，圧力は，

圧力〔kgw/cm²〕
＝大気圧〔kgw/cm²〕
$-\dfrac{(⑥の力の大きさ+③の重さ)〔kgw〕}{1の⑦で求めた断面積〔cm^2〕}$

である。

3解説 横軸を圧力，縦軸を気体の体積として，グラフ化してみる。実験データ例におけるシリンダーの断面積は9.20cm²，大気圧は1kgw/cm²として計算してある。グラフから，気体の体積は，加わる力に反比例することを読みとる。

# 35 液体中で受ける物体の浮力の測定

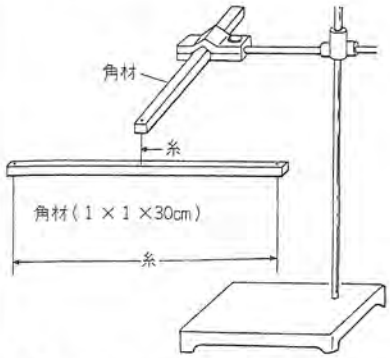
ねらい 田3　物体は液体中では浮力を受けて軽くなることが調べられる。液体中での浮力の大きさは，浮力を受ける物体の体積と同体積のその液体の重さに等しいことが調べられる。

角材(1×1cm)　糸　スタンド　金属物体①　ビーカー3　太い針金　ものさし　セロハンテープ　輪ゴム　ふうせん　大形ガラス円筒　底を切りとった空きびん②　ガラス管　ゴム栓　ばねはかり　メスシリンダー　フィルムケース　食塩　卵　上皿てんびん

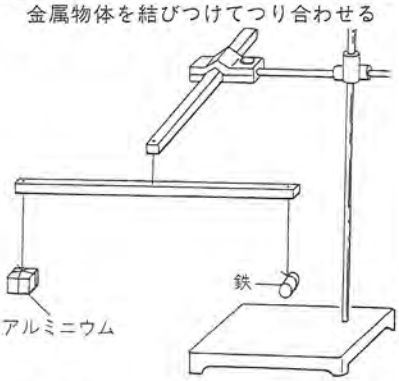
①同じ重さのいろいろな金属物体。密度測定用物体を用いるのがよい。②切断の方法は3①の留意点を参照。

1 物体は水中では軽くなることを調べる

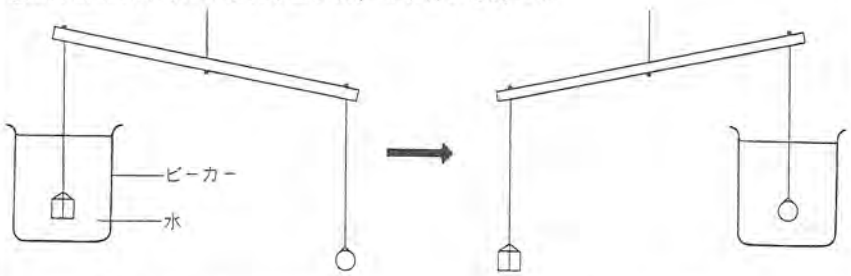
①角材と糸でてこを作る




②糸の先に，重さが等しく種類が異なる金属物体を結びつけてつり合わせる

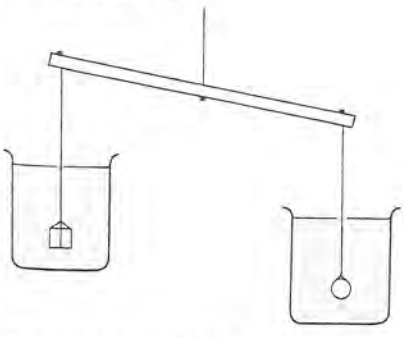



③金属物体を片方だけ水の中に入れ，つり合いを調べる



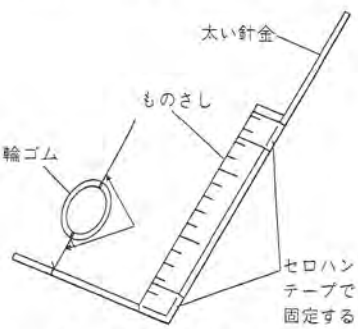

一方の金属物体を水の中に入れてみる　　他方の金属物体を水の中に入れてみる

④金属物体を両方とも水の中に入れ，つり合いを調べる

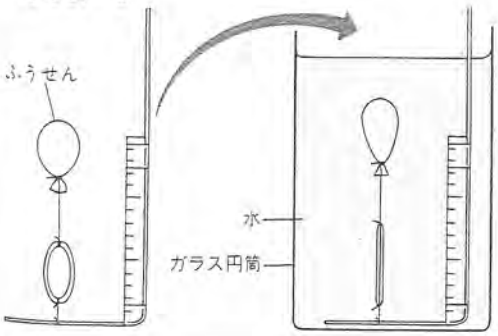


2 浮力の大きさと向きを調べる

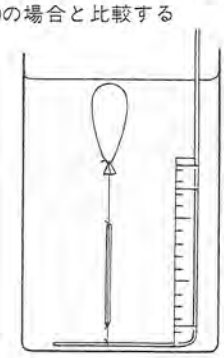
①ゴムはかりを作る




②ゴムはかりにふうせんをとりつけて水の中に入れて，ふうせんが浮く方向とゴムの伸びの大きさを調べる




③ふうせんを②の場合より大きくし，輪ゴムの伸びの長さを②の場合と比較する



1①留意点 てこのうでに用いる角材の中心と，両端(中心から等距離の所)に穴をあけ，それぞれに糸をつけて，つり合わせる。

②留意点 金属物体の代わりに，身近な消しゴムや石などを用いてもよい。ただし，同じ重さにするのに工夫が必要である。

③留意点 体積の大きいほうの物体を水中に沈めると，バランスが大きく崩れる。そのため，ビーカーを手で持ち，そのビーカーを持ち上げるようにして，物体が完全に水中に沈むようにする（④の場合も同様)。

結果 てこのバランスが崩れることから，物体は水中に入れると軽くなることがわかる。

④結果 物体を水中に入れたときの軽くなる度合いは，物体により異なることがわかる。

2①留意点 ものさしは，15cm程度のものがよい。

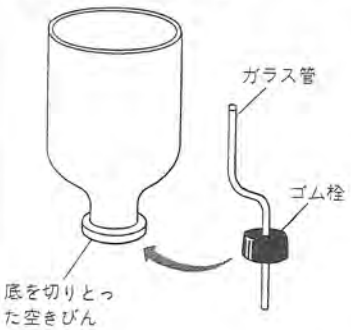
②留意点 ふうせんは，ガラス円筒の大きさに合わせ，適当な大きさに膨らませる。大形のガラス円筒の代わりに，1升びんの上部を切断したものや，底の深い水槽を用いてもよい。

結果 ゴムはかりにとりつけたふうせんを水の中に入れると，まっすぐ上に向かって浮き上がろうとすることから，ふうせんにはたらく力(浮力)は上向きであることがわかる。

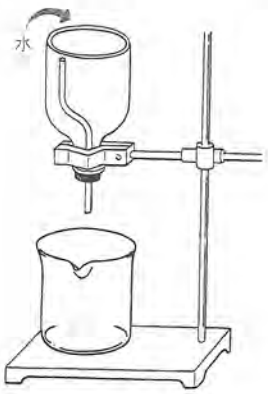
③結果 ふうせんを大きくすると，輪ゴムの伸びも大きくなることから，物体が大きくなると浮力も大きくなることがわかる。

## 3 浮力の大きさについて調べる

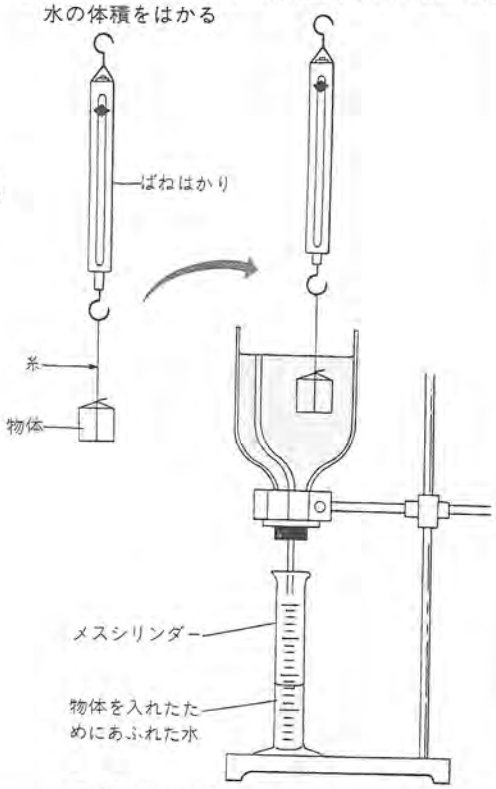
①体積測定装置を作る




②体積測定装置をスタンドに固定し，水を入れる

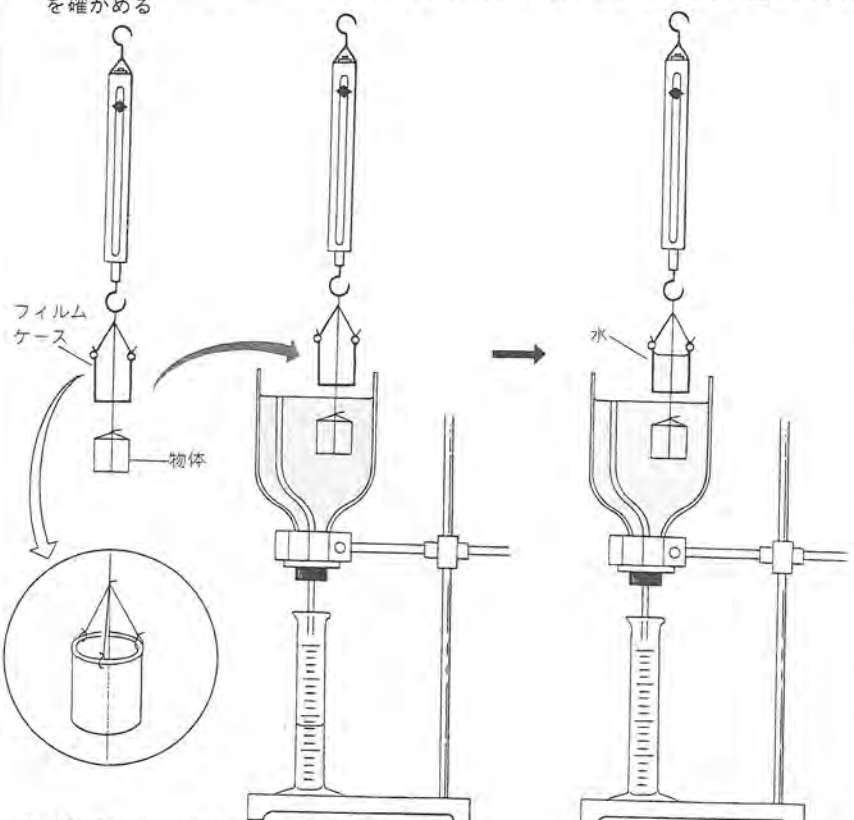



③物体を水の中に入れ，浮力の大きさとあふれた水の体積をはかる




空気中で物体の重さをはかってから水の中に入れ，重さとあふれた水の体積をはかる

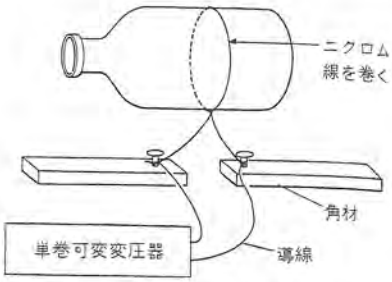
④フィルムケースをとりつけた物体を水の中に入れ，浮力とあふれた水の重さの関係を確かめる




空気中で物体とフィルムケースの重さをはかってから物体だけを水の中に入れ，重さをはかる

あふれた水をフィルムケースの中に入れて，重さをはかる

3①留意点 空きびんを切断するときには，びんの外側に円状の印をつけ，その印に沿って4～5ヵ所ほどヤスリで傷をつけた後，下図のようにニクロム線を当てて電流を流して切る。



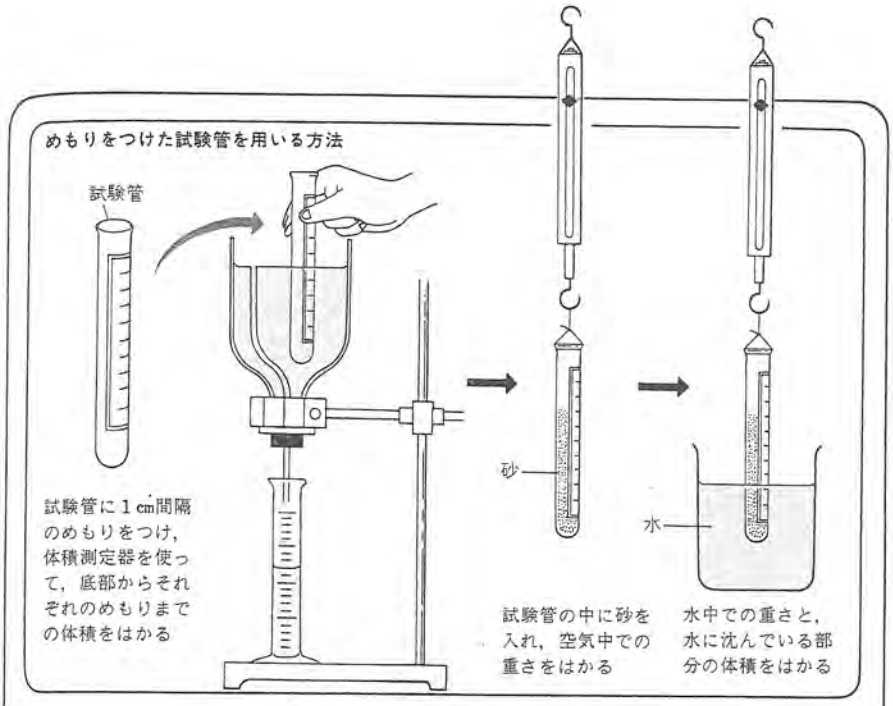

②留意点 水は，ガラス管の先端からあふれ落ちるまで入れる。ガラス管の先端と水面の高さがそろって，水が落ちなくなったら，その後，振動を与えないように十分注意する。

③留意点 測定が終わったら，浮力の大きさ（空気中での重さ－水中での重さ）とあふれた水の重さを比較してみる。
あふれた水の重さは，読みとった体積から，密度を$1g/cm^3$として求めればよい。
結果 実験データ例を次に示す。

| | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 空気中での物体の重さ〔gw〕 | 22.0 | 24.0 | 100.0 |
| 水中での物体の重さ〔gw〕 | 14.0 | 21.0 | 88.0 |
| 物体が受けた浮力〔gw〕 | 8.0 | 3.0 | 12.0 |
| あふれた水の体積〔$cm^3$〕 | 8.2 | 3.2 | 11.9 |
| あふれた水の重さ〔gw〕 | 8.2 | 3.2 | 11.9 |

④留意点 フィルムケースを糸でつるすときには，ケースの周囲に穴をあけて，糸で縛るとよい。このとき，安定性をよくするため，穴を3ヵ所にする。また，ケースに物体をつるすため，ケースの底部中央に穴をあけて糸を通した後，穴から水がもれないように接着剤で固めておく。
結果 実験データ例を次に示す。

| | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 空気中での全体の重さ〔gw〕 | 26.0 | 29.0 | 104.0 |
| 水中での全体の重さ〔gw〕 | 18.0 | 26.0 | 92.0 |
| 物体が受けた浮力〔gw〕 | 8.0 | 3.0 | 12.0 |
| あふれた水の体積〔$cm^3$〕 | 8.3 | 3.1 | 12.0 |
| 水を加えたときの重さ〔gw〕 | 26.2 | 29.0 | 104.0 |




参考 浮力の大きさについて調べるには，めもりをつけた試験管を用いる方法もある。この方法だと，物体の水中に沈んでいる部分の体積を変化させることにより，体積の変化と浮力の変化とを連続的に調べることができる。ただし，いろいろな物体の浮力の大きさを測定することはできない。

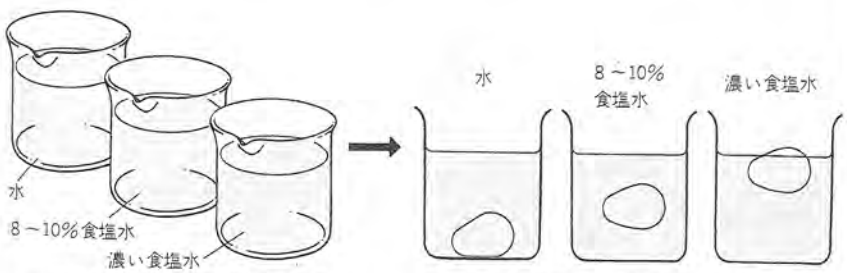
試験管にめもりをつけるときには，めもりを記入した紙をセロハンテープではりつけてもよいし，油性フェルトペンで直接書いてもよい。

参考のため，この方法における実験データ例も次に示す。

| | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 空気中での物体の重さ〔gw〕 | 55.0 | 55.0 | 55.0 |
| 試験管の体積めもり | 3.0 | 5.0 | 7.0 |
| 水中での物体の重さ〔gw〕 | 47.0 | 43.0 | 37.0 |
| 物体が受けた浮力〔gw〕 | 8.0 | 12.0 | 18.0 |
| 水に沈んだ部分の体積〔$cm^3$〕 | 7.4 | 12.4 | 18.2 |
| 沈んだ体積分の水の重さ〔gw〕 | 7.4 | 12.4 | 18.2 |

**4**液体の種類により浮力の大きさが違うことを調べる

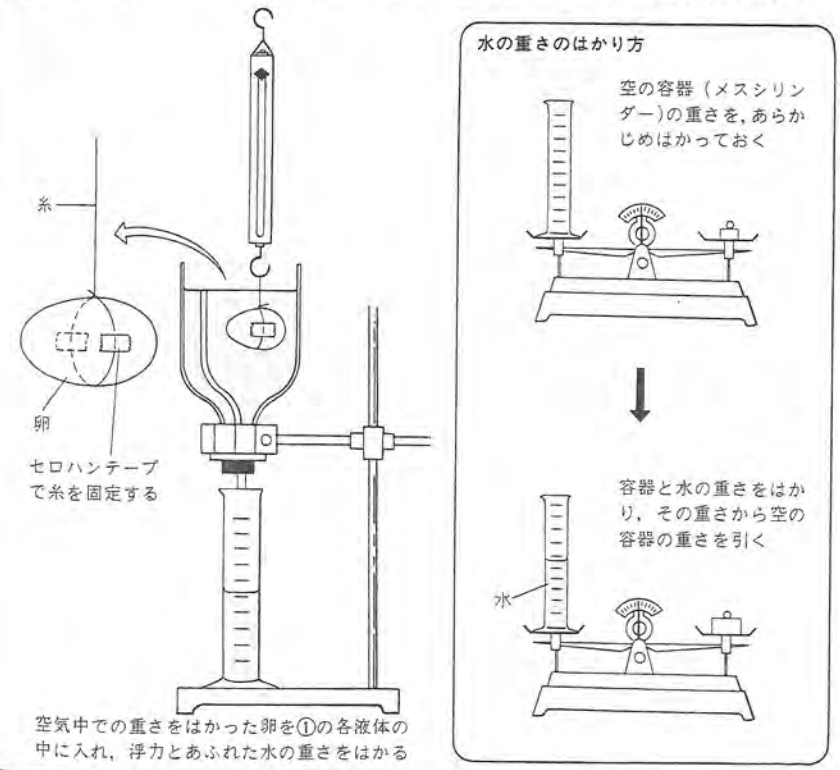
①水と食塩水の中に卵を入れてみる




4①留意点 濃い食塩水は，水に食塩を溶けるだけ溶かしたもの(飽和食塩水)がよい。8～10%食塩水は，濃い食塩水の一部を他のビーカーにとり，それを薄めて作ってもよい。

結果 水の中に入れた卵は沈むが，8～10%食塩水の中に入れた卵は浮遊する。また，濃い食塩水に入れた卵は浮く。これらのことから，同じ物体を液体の中に入れても，液体の種類により浮力の大きさは異なることがわかる。

②卵を水や食塩水の中に入れ，浮力の大きさと卵と同体積の液体の重さを比較する




② 留意点 卵を糸で結ぶのは容易ではないので，糸の上からセロハンテープで固定するとよい。

結果 実験データ例を次に示す。

| | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 空気中での卵の重さ〔gw〕 | 54.0 | 54.0 | 54.0 |
| 液体中での卵の重さ〔gw〕 | 2.5 | 0 | 0 |
| 卵が受けた浮力〔gw〕 | 51.5 | 54.5 | 58.5 |
| あふれた液体の体積〔$cm^3$〕 | 52.0 | 52.0 | 52.0 |
| あふれた液体の重さ〔gw〕 | 52.0 | 54.5 | 58.5 |

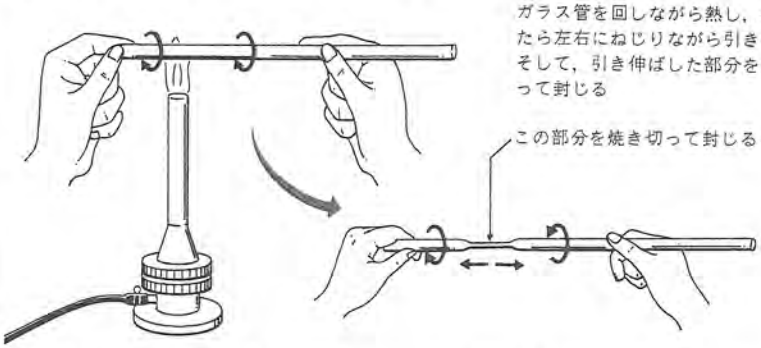
# 36 浮沈子を作る

ねらい 小5㊦ 浮沈子を作ることができる。
浮沈子が浮き沈みする原理を調べることができる。

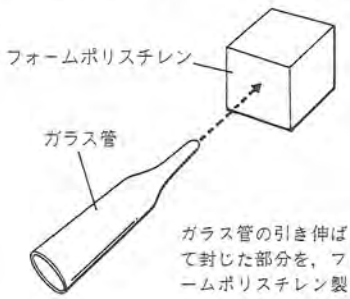
ガラス管　フォームポリスチレン　ガスバーナー　カッターナイフ　ビーカー　メスシリンダー(200 cm³以上のもの)　アクリルパイプ①　ゴム栓2　プラスチックの空きびん(しょうゆびん，1l)

①直径3cm以上て，長さが1m以上のもの。

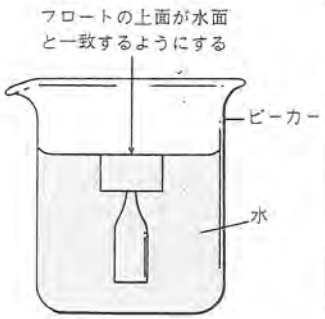
1 ガラス管を引き伸ばして切断し，先を封じる



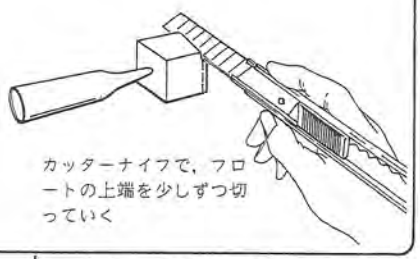

2 ガラス管にフロートを取りつける



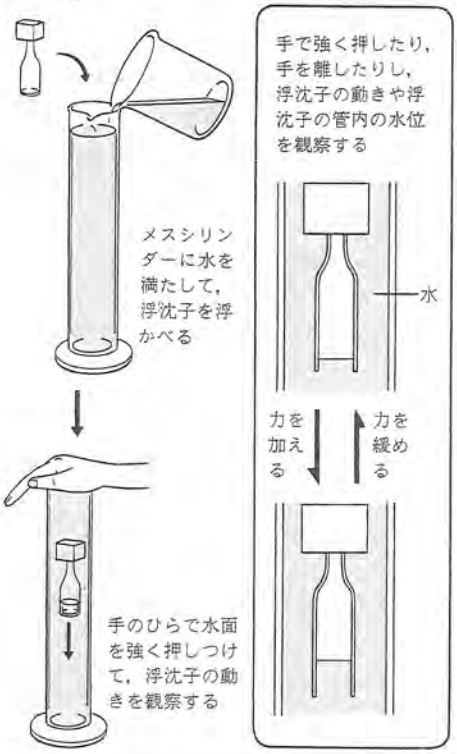

3 浮沈子を水に浮かべて，フロートの大きさを調節する



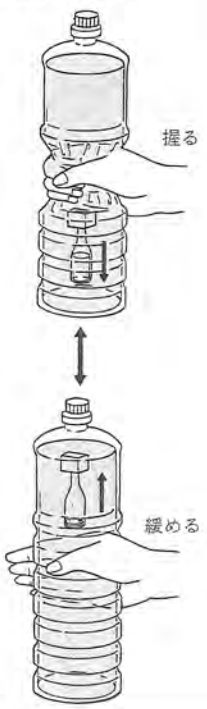

フロートの調整法




4 浮沈子を水に浮かべて，水に圧力を加えてみる




5 しょうゆびんを使い，びんの側面から力を加えて，浮き沈みの原理を考える

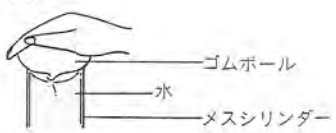



1 留意点 加熱の際，熱し過ぎて軟らかくし過ぎないように気をつける。軟らかくし過ぎると，引き伸ばしたときに長くなり過ぎて，肉厚が薄くなるため，引き伸ばした部分が弱くなる。

2 留意点 フロートは，後で大きさを調節するので，少し大きめのものをつけておく。緩くなった場合は，フロートをつけ替える。

3 解説 フロートの上部が少しでも水面から出ていると，浮沈子が沈むのは，フロートを上から押したためであると，生徒が誤解するおそれがある。

4 留意点 手のひらで水に圧力をかけたり，手を離したりし，何度も試してみるとよい。
手のひらでうまく圧力がかけられない場合は，ゴムボールなどを利用してみるとよい。




グループではなく，生徒が個別に実験する場合は，メスシリンダーの代わりに試験管を用い，浮沈子も小さなものを作って実験するほうがよい。この場合，水に圧力を加えるときには，親指の腹を用いる。

解説 水に圧力をかけると，浮沈子は沈む。また圧力をかけるのをやめると，浮沈子は浮き上がる。浮沈子の中の水量と浮き沈みの関係を考えさせる。

5 留意点 しょうゆびんの側面が凸凹なため浮沈子の内部の水位の上下が見えない。ここでは，加えた力の方向と直角に浮沈子が動くことを考えさせるとよい。

# 37 空気中で受ける物体の浮力の測定

ねらい 中 気体中の物体は，液体中の場合と同様，その物体が押しのけた気体の重さと等しいだけの浮力を受けていることが理解できる。

ガスライター　ポリ袋①　輪ゴム　電子てんびん　メスシリンダー　水槽　気体入りボンベ　石灰石　塩酸(6mol/l)　小型試験管　ポリ容器②

①18×28cmぐらいのもの。②400cm³ぐらいの台所用中性洗剤の空き容器。

1ガスライターを用いて空気の浮力を調べる

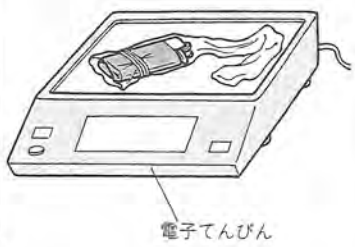
①装置を作る



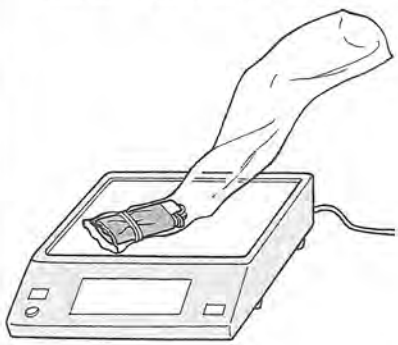

ポリ袋の中の空気を十分押し出して，輪ゴムで，空気が漏れないよう密封する




②装置の重さをはかる




③ガスライターのバルブを押し，ガスでポリ袋が膨らんだら重さをはかる



④水上置換法で気体の体積をはかる




2気体のボンベを用いて空気の浮力を調べる

①装置を作る



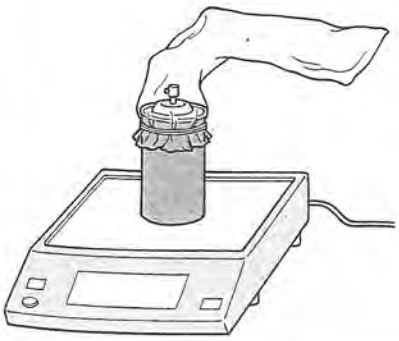




②装置の重さをはかる




③ボンベのバルブを押し，ガスでポリ袋が膨らんだら重さをはかる



④水上置換法で気体の体積をはかる




1 注意 この実験は，火気のない所で行うようにする。

結果 ライターからガスを出してポリ袋を膨らませると，重さが軽くなることが確認される。

実験データ例

| | |
|---|---|
| もとの重さ(質量) | 14.22g |
| ガスを出したときの重さ | 13.86g |
| 浮力の大きさ | 0.36gw |
| ガスの体積 | 240cm³ |
| 空気の密度×ガスの体積 | 0.31g |

2 留意点 説明の際，生徒に理解させやすくするため，用いる気体は本来空気より重い二酸化炭素を用いたほうがよい。しかし，体積測定を水上置換で行う場合には，酸素など，水に溶けにくい気体を用いたほうがよい。

結果 1の場合と同様に，気体を出すと重さが軽くなることが確認される。

実験データ例

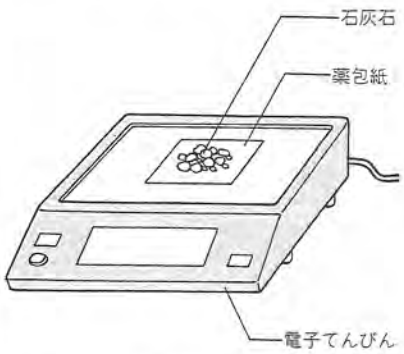
| | |
|---|---|
| もとの重さ(質量) | 130.8g |
| ガスを出したときの重さ | 130.4g |
| 浮力の大きさ | 0.4gw |
| ガスの体積 | 320cm³ |
| 空気の密度×ガスの体積 | 0.41g |

解説 空気中にある物体には，液体中にある物体のように空気による浮力がはたらくが，一般には物体の重さに比べて小さいので無視されている。上皿てんびんで測定した100 g の木片の質量は，正しくは100 g より大きい。それは100 g の分銅と木片では木片の体積のほうが大きいから，木片にはたらく浮力は分銅にはたらく浮力より大きいためである。

液体中にある物体にはたらく浮力は空気中での物体の重さから液体中ではかった重さの差として求めることができる。しかし，空気による浮力はこの方法を用いることができない。そこで，質量保存の法則が理解できていれば，同じ質量でも体積が異なると浮力の大きさが異なることを利用して，空気による浮力があることを理解させることができる。

## 3 化学反応による気体の発生を利用して空気の浮力を調べる

①石灰石をはかり取る




②塩酸をはかり取って試験管に入れる




③ポリ容器に石灰石と，塩酸入りの試験管を入れる



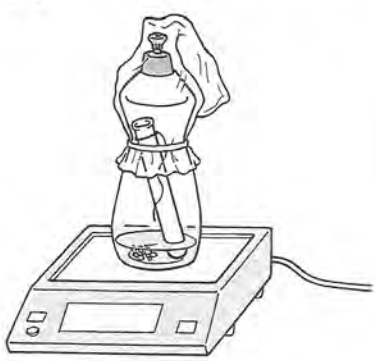

④ポリ容器にポリ袋をかぶせ，容器全体の重さをはかる



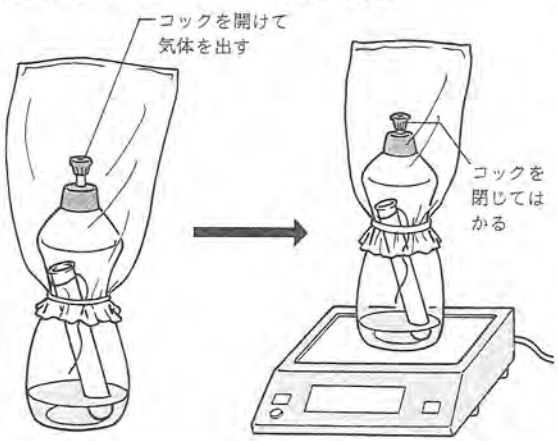

⑤塩酸と石灰石を反応させる




⑥容器が二酸化炭素で膨れたら重さをはかる



⑦ポリ袋内に気体を出して重さをはかる




実験データ例

| | |
|---|---|
| 石灰石の重さ | 5.10g |
| 容器全体の重さ | 76.55g |
| 反応後の重さ | 75.01g |
| 物体の受けた浮力 | 1.54g |

石灰石$CaCO_3$5.10g 中に含まれる$CO_2$の重さは2.24gなので，それが気体になったときの体積は1.14$l$である。したがって，上記のデータにおける浮力の理論値は，1.14$l$の空気の重さであるから，1.63gである

3 解説 ここでは化学反応による気体の発生を利用する。この実験は，質量保存の法則を理解した上でないと，浮力の意味をとらえにくい。また，体積増加に伴う重さの減少を，できるだけ単純にとらえられるように，発生させる気体は，空気より軽い水素ではなく，二酸化炭素にする。

① 留意点 重量変化(浮力)を1gぐらいと考えた場合，二酸化炭素は700cm³以上発生させなければならない。したがって，石灰石は，4～5g程度を使用する。

② 留意点 6 mol/$l$の塩酸で，4～5gの石灰石すべてを反応させるには，14～20cm³が必要である。塩酸の量は，石灰石の量によって決める。

③ 留意点 塩酸がこぼれないように，試験管は，糸の部分を持って静かに入れる。

④ 留意点 ポリ袋は，できるだけ空気を抜いておく。

⑤ 留意点 容器を逆さにする前に，コックが閉じているかどうかを点検する。

⑥ 解説 容器内の圧力が高くなると，容器の口から気体が少しずつ漏れることもあるが，ポリ袋にかかる圧力が小さいうちは外部に逃げる心配はない。
この測定は，容器が膨張するだけでも少し浮力を受けることを確かめるためのものである。省略しても差し支えない。

⑦ 留意点 容器の負担が大きくなり過ぎる前にコックを開く。
重さは，石灰石と塩酸を十分に反応させた後，コックを閉めてからはかる。
解説 ④ではかった容器全体の重さを$W_1$，⑦ではかった反応後の重さを$W_2$とすると，この物体が体積増加によって受けた浮力は，$W_1-W_2$である。

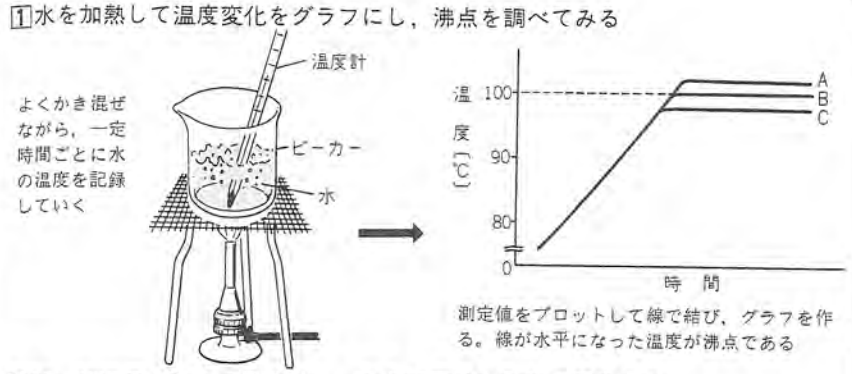
# 38 大気圧と沸点の関係を調べる

ねらい 高 沸点は気圧によって変化すること，すなわち，気圧が低ければ沸点も低くなり，気圧が高ければ沸点も高くなることが調べられる。

ビーカー3　加熱器具　温度計2　真空鐘① 真空ポンプ

①排気鐘でもよい。

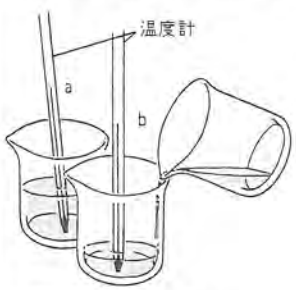
## 1 水を加熱して温度変化をグラフにし，沸点を調べてみる




測定値をプロットして線で結び，グラフを作る。線が水平になった温度が沸点である

## 2 35～40℃の水を2つに分け，一方を真空鐘に入れて観察する

①35～40℃の水を2つに分ける　②一方を真空鐘に入れて観察する




1の実験後の湯に冷水を入れて，35～40℃にし，2つに分ける

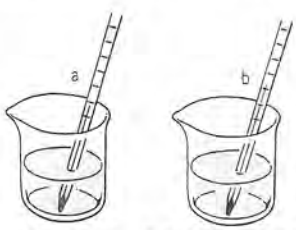



bのビーカーは，室温に放置して一定時間ごとに温度を読む



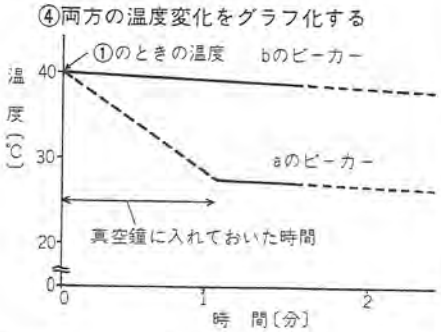

aのビーカーを真空鐘に入れ，真空ポンプで徐々に空気を抜きながら観察する

③真空鐘からとり出して温度をはかる

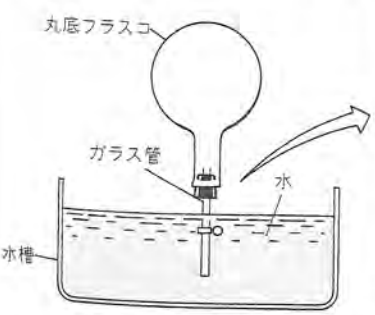



2つのビーカーの水温を，一定時間ごとの同じ時間にはかる

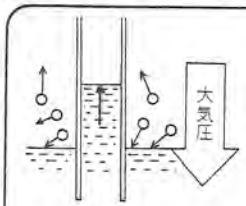
④両方の温度変化をグラフ化する




### 【参考実験】真空のイメージをつかむ




真空ポンプで空気を抜いた丸底フラスコを，水中に立てる




大気圧によって管の外の水面だけが押されるので，丸底フラスコ内に激しく水が上昇してくる

丸底フラスコ内の空気を抜いてない場合は，ガラス管の内外で同じように空気の分子が水面を押す（気圧）ので水は上昇しない。このほかに，真空鐘に空気を少し入れたゴムふうせんを入れて，空気を抜いたり，戻したりしてみるのもよい

**1** 留意点 一定時間ごとに温度を読み，記録しておいてグラフ化する。

解説 この実験は，2の導入実験である。このようにすると，左のA，B，Cのうち，いずれかのグラフになる。つまり，湯の表面ではかればC，たっぷりの湯に浸せばB，たっぷりの湯で容器の底に温度計の球部をつければAのようになる。沸点は気圧によっても変化するわけだが，この実験の場合，上のようにはかり方による差に比べれば無視できるほど小さい。したがって実験室の気圧が1気圧，あるいはその付近であれば，100℃付近で沸騰が始まり，それ以後は温度の変化がないということが確かめられる。

**2** 留意点 100℃よりずっと低温の水であることを示すには，指を突っこんでみせるとよい。

短い温度計があれば，aのビーカー内に温度計を入れたまま真空鐘の中に入れるとよい。aのビーカー内の水の温度変化を見ながら沸騰の様子を観察することができる。

結果 真空鐘の空気を抜いてゆくと，水蒸気が盛んに出，やがて激しく沸騰するのが見られる。したがって，気圧が低ければ低い温度で沸騰すること，すなわち，沸点は気圧によって異なることがわかる。また，沸騰後は水温が急激に下がっていることがわかる。

解説 真空鐘からとり出した水の温度が，室温に放置してあった水の温度に比べて極端に低くなっているのは，沸騰によって熱が消費されたためであり，沸騰中は加熱を続けても温度が上がらないのと同じことである（1のグラフ参照）。

高山ではふつうのかまではご飯が炊けないこと，圧力がまのこと，粉末ジュースの作り方などについて，生徒に話してやるとよい。

参考 沸騰とは，内部からも蒸気（水の場合であれば水蒸気）が出てくる状態をいい，これは，飽和蒸気圧が大気圧に等しくなったときに起こる。水の場合であれば飽和蒸気圧は100℃で1気圧に等しくなるのである。したがって大気圧が低ければより低い蒸気圧のときに，すなわち温度が低いときに，沸騰が起こるのである。

# 39 いろいろな運動の観察

ねらい 田3 物体にいろいろな運動をさせ，その様子を観察することができる。物体の運動を観察することにより，運動には向きと速さがあることが説明できる。
互いに運動している物体の相対的な運動について説明ができる。

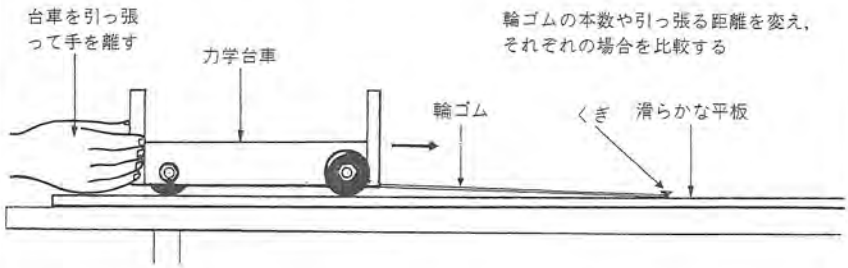
【A】力学台車　滑らかな平板①　ラシャ布　輪ゴム　くぎ（または画びょう）　台　【B】振り子3　糸　スタンド2　クランプ2　棒（割りばしなど）　【C】バケツ　ロープ　振り子　【D】ピンポン玉②　板ガラス（30×45cm）　ガラスビーズ（直径0.01~0.05cm）　ガーゼ　ワッシャー　【E】荷物搬送用台車2

①デコラ張りの板がよい。ないときには厚さ9mm程度のベニヤ板でもよい。②スーパーボールでもよい。

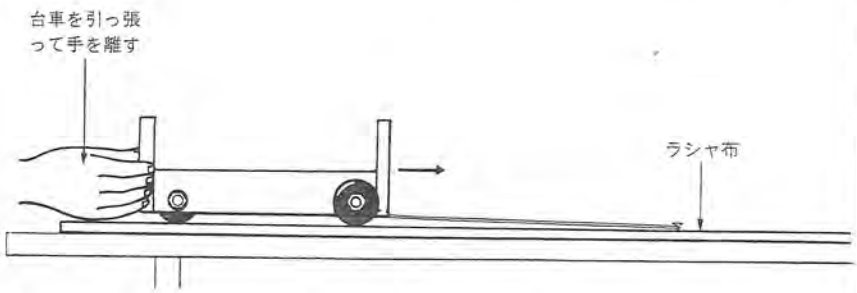
### 【A】力学台車の運動を観察する

1 平面上の運動を観察する

①滑らかな平面上で台車を動かしてみる

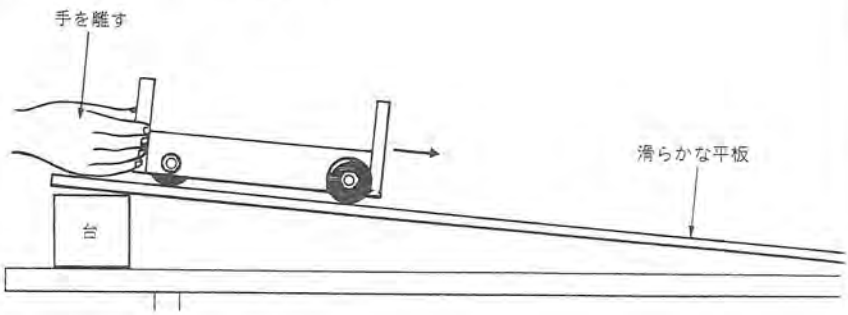



②ラシャ布を敷いた平面上で台車を動かし，滑らかな平面上の場合と比較する

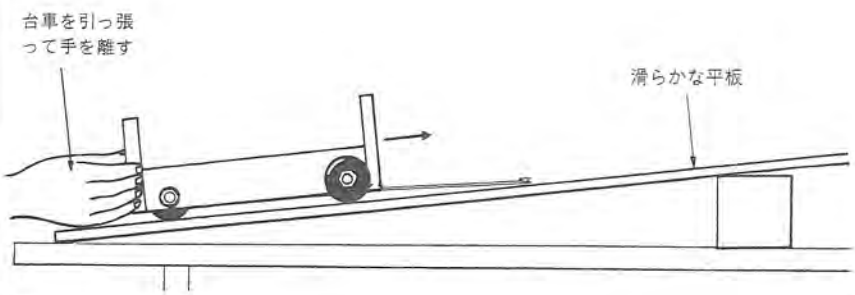



2 斜面上の運動を観察する

①下り斜面で台車を動かしてみる




②上り斜面で台車を動かしてみる




### 【A】力学台車の運動を観察する

1 ① 解説 まず，輪ゴムを伸ばす距離（台車を引っ張る距離）を決めておき，輪ゴムの本数を変えたときに速さが変わることを観察する。次に，輪ゴムの本数を一定にしておき，輪ゴムを伸ばす距離を変えたときの台車の運動を観察する。
ここでは定量的に扱う必要はない。

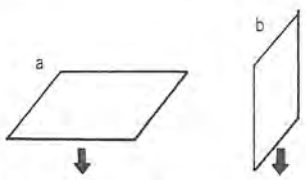
② 解説 ここでは，滑走面の状態が変わることによって運動に違いが起こることを観察する。

2 解説 斜面上では，運動の速さが変化することを観察する。

参考 この実験の目的は，速さが変化する運動と向きが変化する運動を観察することである。したがって力学台車の代わりに，ビー玉やゴムボールなどを用いてもよいし，紙を自由落下させて，その様子を観察してもよい。

**紙の自由落下運動の観察**　次のようないろいろな方法で紙を落下させ，落下途中の様子（ひらひら～直線的）に伴う速さの変わり方を観察する。

- 開いたままの1枚の紙を，下図のaやbのようにして落としてみる




- 紙を軽く丸めて落としてみる

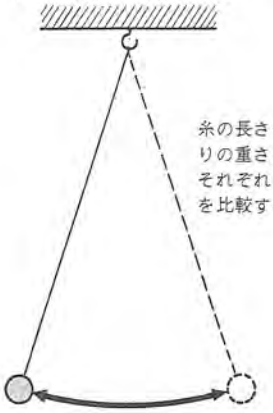


- 紙を固く丸めて落としてみる

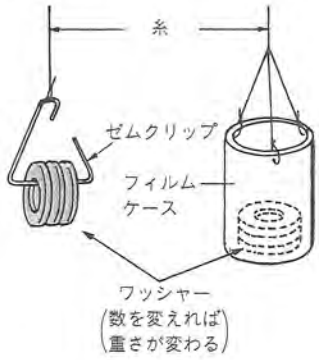


## 【B】振り子の運動を観察する

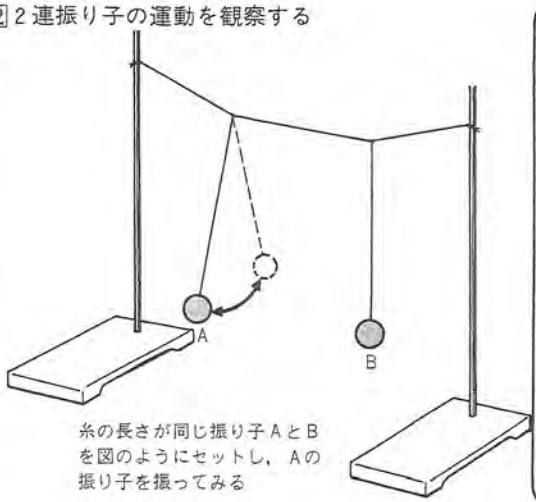
### 1 単振り子の運動を観察する




身近なものを使ったおもり

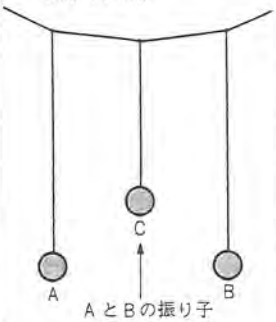



### 2 2連振り子の運動を観察する



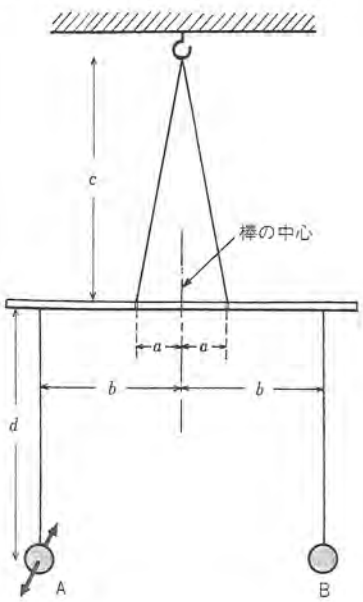

糸の長さが同じ振り子AとBを図のようにセットし，Aの振り子を振ってみる

下図において，Aの振り子を振ったときについても調べてみる



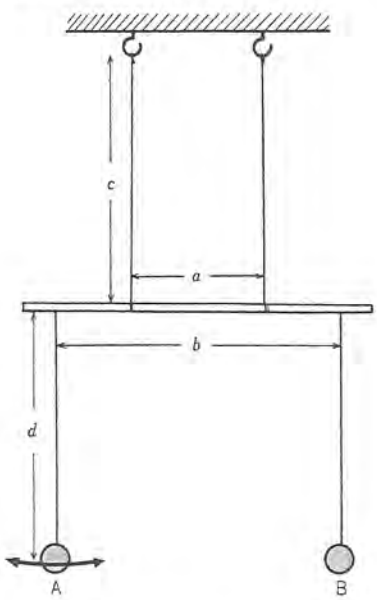

AとBの振り子の間に，糸の長さの違う振り子Cを入れる

### 3 ねじれ振り子の運動を観察する




糸の長さと重さが同じ振り子AとBを図のようにセットし，Aの振り子を振ってみる

### 4 2段振り子の運動を観察する




糸の長さと重さが同じ振り子AとBを図のようにセットし，Aの振り子を振ってみる

## 【B】振り子の運動を観察する

留意点 振り子の糸の長さや重さ，振幅などを変えたとき，おもりの速さがどのように変わるかを観察する。

1 留意点 運動の観察に興味を持てるように，単振り子は，できれば教室の天井からおもりを下げるぐらいの，スケールの大きいものにしたい。

おもりは，身近なもので，いろいろ工夫して作るとよい。左図は一例である。フィルムケースを使うと，中にゼムクリップや画びょうなど，いろいろなものを入れることができる。定量的な測定を行うときには，ワッシャーや硬貨を用いると便利である。

2 留意点 スタンドは，クランプでしっかり台に固定する。

振り子は，支えのひもに対して垂直になるように振る。

解説 Aの振り子だけを振り，Bの振り子はそのままにして様子を見る。エネルギーの変換が行われ，やがてBの振り子が動きだす。そして，Bの振り子の振れ幅が最大になったとき，Aの振り子は静止する。その後，再びBの振り子の運動がAの振り子に伝わっていき，これらの運動の変換が繰り返される。

また，これらの振り子の間に，糸の長さの違う振り子Cを入れて同様の実験を行ってみる。AとBの振り子の間では振れの変換が起こるが，Cの振り子は動かない。しかし，このように振り子を3つ並べた場合でも，Cの振り子の糸の長さをAやBの振り子と同じにすると，Cの振り子は動きだす。

3 解説 いろいろな運動の一つとして，ねじれる運動を観察する。

留意点 振り子は，棒に対して垂直になるように振る。

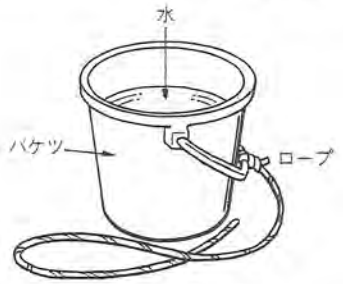
図において，$a$ や $b$ の距離を変えたとき，ねじれの運動の速さがどのように変わるかを確かめてみるとよい。また，$c$ や $d$ の距離を変えてみるのもよい。

4 留意点 運動の観察に興味を持てるように，3と同様，図の $a$ ～ $d$ のどれかを変えてみるとよい。そして，そのとき，Aの振り子の振れが，Bの振り子にどのような影響を与えるかなどを調べてみる。

参考 3や4の振り子をもとにして，さらにいろいろな振り子を考え出すことも可能である。

## 【C】円運動を観察する

### 1 水を入れたバケツの円運動を観察する



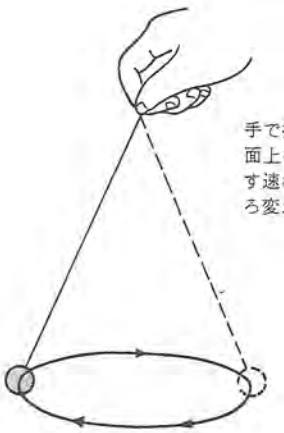

バケツにロープを結びつけ，中に水を8分目ほど入れる



少し揺らせてはずみをつけてから，一気に鉛直方向に回す

### 2 振り子の円運動を観察する

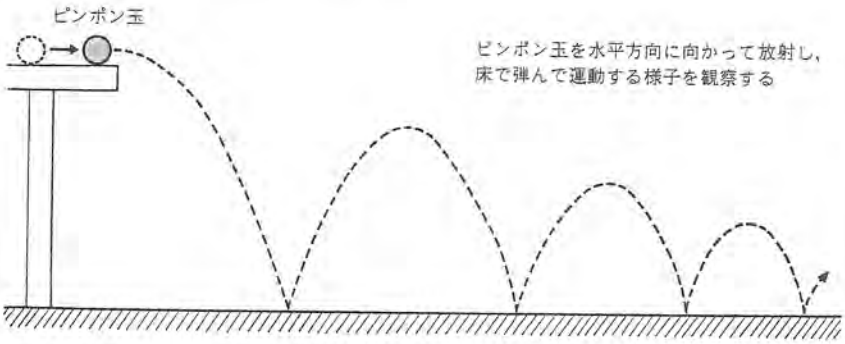




手で持って水平面上を回し，回す速さをいろいろ変えてみる

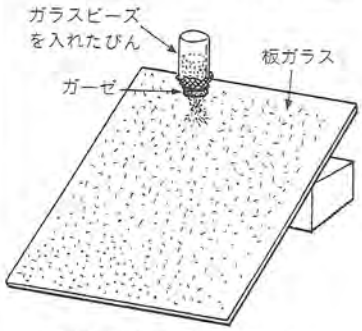
## 【D】放物運動を観察する

### 1 ピンポン玉の放物運動を観察する

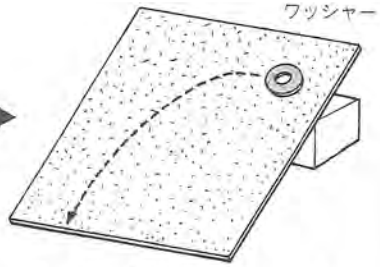



ピンポン玉を水平方向に向かって放射し，床で弾んで運動する様子を観察する

### 2 斜面上のワッシャーの放物運動を観察する




板ガラスで斜面を作り，その上にガラスビーズを一様にまく




ワッシャーを水平方向に向かって指ではじき，その運動の様子を観察する

**【C】円運動を観察する**

1 解説 これは，円運動を鉛直面内でやってみようというのである。バケツの中に水を入れるのは，興味を引くためである。

留意点 コツは，初めはゆっくり揺らしながら徐々に振れ幅を大きくしていき，弾みがついたら思いきって一気に回すことである。止めるときには，バケツが下にきたときにロープを伸ばし，円運動を直線運動に変えるようにする。

注意 ロープは，しっかりした丈夫なものを使用する。また，バケツに結ぶときにも，しっかりと結び，途中でほどけてバケツが飛んでいかないようにしておく。

2 留意点 振り子の支点を固定して回すときには，手を離したときに自然に戻る方向に対して直角の方向におもりを放つ。

解説 手で持って回す速さを変えたとき，振り子のおもりが描く円すい形がどのように変わるかを見る。おもりを速く回すと，円すい形はひしゃげた形となり，ほとんど水平面上を回るようになる。

**【D】放物運動を観察する**

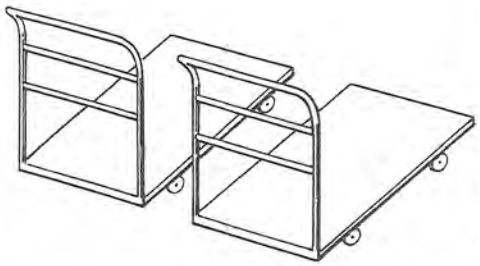
1 解説 板の上を転がしたりしてピンポン玉やスーパーボールなどを水平方向に放射し，床に弾む様子を観察する。このとき，ピンポン玉の弾む様子を撮影したストロボ写真を用意しておき，これと併せて観察すると放物運動がよくわかる。

2 留意点 ガラスビーズは，ガーゼの目を通るぐらいの小さいものを用いる。そして板ガラス一面に，一様になるようにまく。

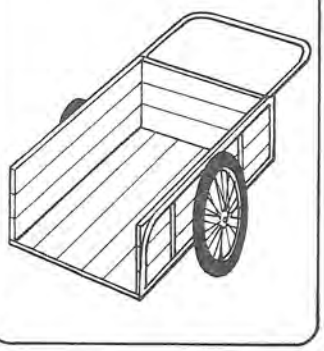
解説 ワッシャーなどの円板形の物体を，図のように水平方向に指ではじくと，ガラスビーズの上を滑るようにして放物運動を示す。斜面を緩くしたり急にしたりし，それぞれの運動の様子を観察する。

【E】相対的な運動を観察する

1 荷物運搬用台車を2台用意する

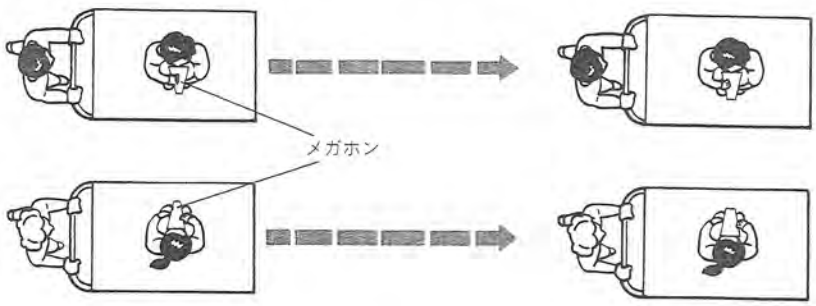


リヤカー

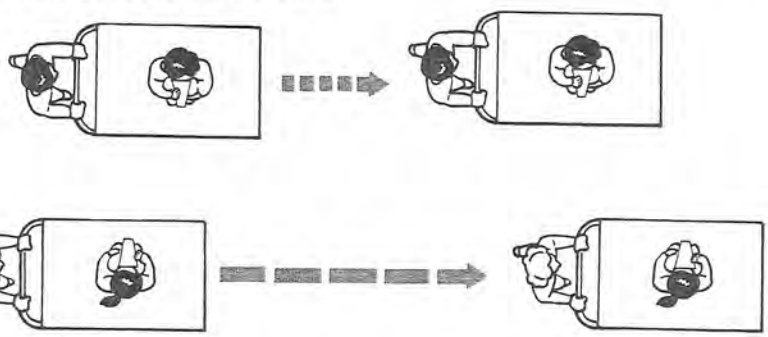


2 2台の台車を走らせ，台車に乗っている者が互いに観察し合う

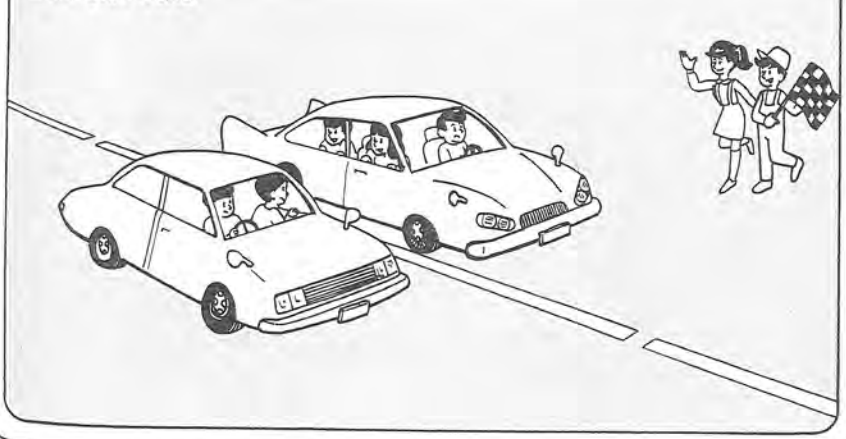
①2台の台車を同じ速さで走らせてみる




②2台の台車を違う速さで走らせてみる



自動車を用いる方法



【E】相対的な運動を観察する

解説 【A】～【D】は，物体の様々な運動をとりあげたものであるが，ここでは，運動している物体同士の相互間では互いにどのように見えるか，ということをとりあげる。

1 留意点 台車は，体育科などでマットや跳び箱などの搬送に使っているものを利用するとよい。

校庭などで行う場合は，台車よりもリヤカーのほうがよい。ただしリヤカーは，引くときにどうしてもかじ棒が上下するので，できるだけかじ棒が上下しないように注意する必要がある。これは，できるだけ単純な運動にするためである。

2 留意点 実験場所は，体育館のような広い所を選ぶ。

台車に乗っている者は，もう一方の台車に乗っている者に注目する。体育館の壁面や校舎の様子が目に入ると，基準を変えた感じが得られない。台車に乗る者は，目にメガホンを当てるなど視野を狭くするような工夫をすると感じがよくつかめる。

台車に乗って走り回ることにのみ興味を持たないようにする。

台車を押す速さは，①の場合は歩く程度にし，②の場合は一方が歩く程度で，もう一方がゆっくり走る程度にする。さらに②の場合，台車をできるだけ遅くしたときについても試してみるとよい。

参考 台車の代わりに自動車を用いる方法もある。教師が運転する2台の自動車に生徒を乗せるのである。

自動車を動かすときには，車輪からの振動がほとんど感じられないような速さにする。また，車をできるだけ近づけ，乗っている生徒には隣の自動車だけが目に入るようにする。このようにして実際に実験したところ，走っているのに止まっているように感じたり，隣の自動車がゆっくりバックし，自分の自動車が止まっているときに，自分の車が進行しているように感じたりした。

この方法の難点は，①多数の生徒が一度に体験できない，②二人の教師が必要である，③自動車を走らせられる場所の確保が困難，などである。

# 40 輪ゴムで動くおもちゃを作る

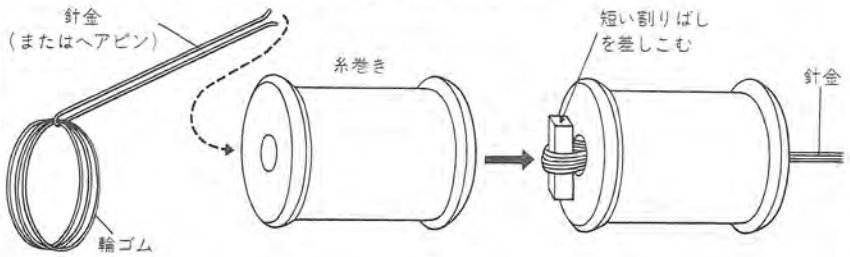
ねらい 小中3 糸巻き車を作り，よく動くようにするためには，何をどうすればよいかを工夫することができる。
糸巻き以外のもので，同じようなおもちゃを作ることができる。

ミシン用糸巻き[1] 輪ゴム(数本)[2] ろうそく(太いもの)[3] 針金[4] 割りばし

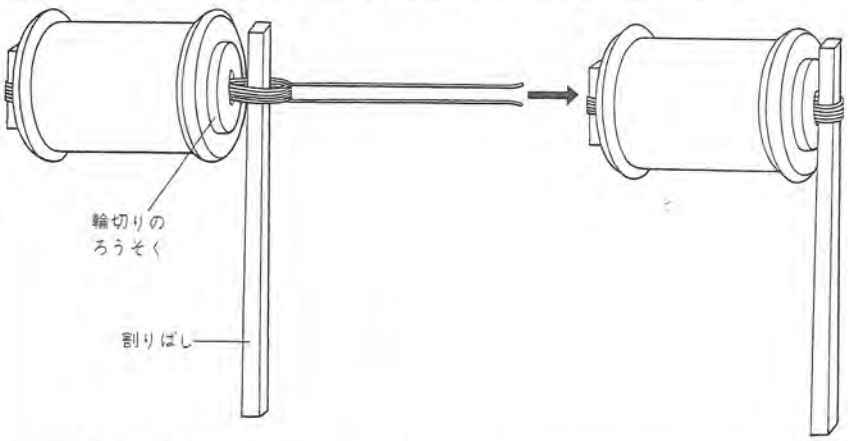
①フィルムケースでもよい。②新品がよい。③糸巻きの穴より大きいもの。座金(ワッシャー)でもよい。④細いもの。10cm程度あればよい。ヘアピンでも代用できる。

## 1 糸巻き車を作る

①糸巻きの穴に輪ゴムを通し，短い割りばしでとめる



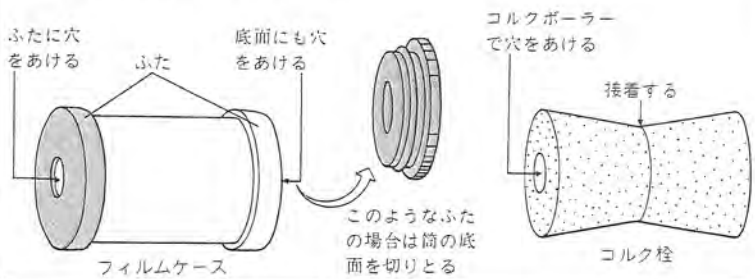

②輪切りのろうそくを通してから割りばしをとりつけ，針金を抜きとる



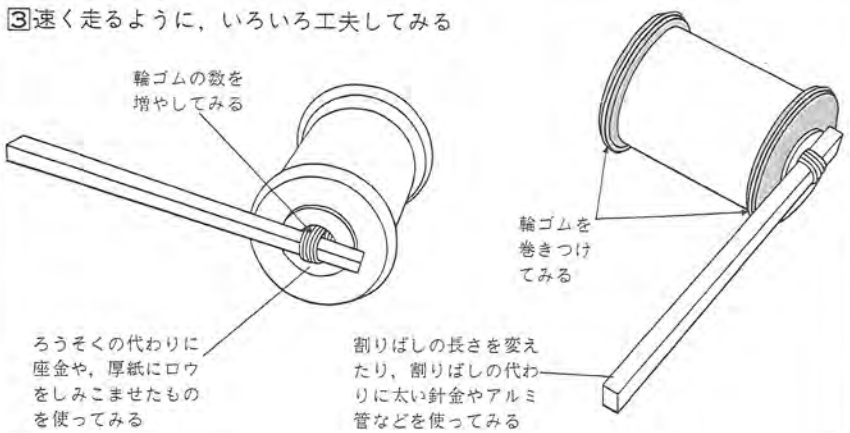

## 2 糸巻き車を走らせる




フィルムケースやコルク栓を用いる場合




## 3 速く走るように，いろいろ工夫してみる




1 留意点 糸巻きの穴に輪ゴムを通すとき，針金などを利用すると簡単である。
輪ゴムの大きさは，糸巻きの長さを考えて決める。一度使ったものや古いものは，切れやすくなっているので，新しいものを使うほうがよい。
短い割りばしと糸巻きの摩擦をできるだけ大きくするため，短い割りばしが糸巻きにぴったりつくようにする。セロハンテープで固定してもよい。
輪切りのろうそくは，割りばしと接するほうを滑らかにしておく。輪切りにした後，一方を机の面に押しつけてよくこするなど，いろいろ工夫してみる。
参考 糸巻きの代わりに，フィルムケースやコルク栓など，いろいろなものを利用することもできる。
フィルムケースに穴をあけるには，まず三つ目きりで穴をあけ，次に丸ヤスリで穴を広げる。穴は必ず中央にあける。片寄ると性能が落ちる。穴そのものの形は整っていなくてもよいが，割りばしの当たる面は，凹凸がないようにしておく。きりではなく，太目の針金を熱してあけてもよい。
フィルムケースの形にはいろいろあるので，底面にふたをするとき，筒の底を切りとらなければならないものもある。

3 解説 糸巻き車の速さは，車の重さ，ゴムの本数，車と床の摩擦，割りばしの摩擦など，いろいろな要素で決定される。
コルク栓2個を接着し，割りばしの摩擦を減らすために座金を用いたものでは，かなり速く動くものができた。同様にゴム栓を使ったものでは，コルク栓に比べて重過ぎるため，良好な結果が得られなかった。

# 41 運動の記録の方法

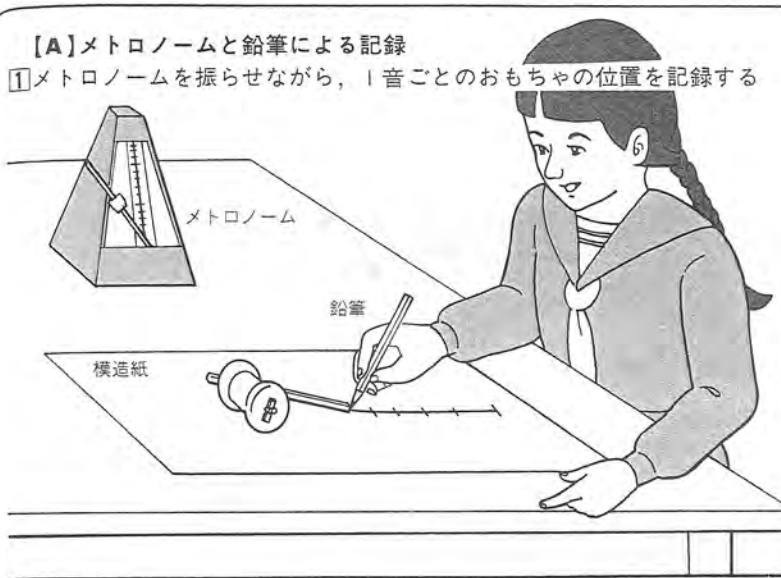
ねらい 田3 運動の速さ(時間と距離)を記録することができる。
運動の記録から，時間ー距離，時間ー速さのグラフをかき，変化を調べることができる。

【A】メトロノーム 動くおもちゃ① 記録用紙(模造紙) 鉛筆 方眼紙 ものさし 【B】記録タイマー 紙テープ 力学台車 セロハンテープ おもり 丸形クリップ 糸 スタンド クランプ 【C】ストロボ装置 カメラ 反射板など

①糸巻き車がよい。

## 【A】メトロノームと鉛筆による記録

1 メトロノームを振らせながら，1音ごとのおもちゃの位置を記録する




記録例




2 記録を表にまとめ，グラフ化する

おもちゃが動いた距離を，ものさしを使って1秒ごとに測定し，表にまとめる。次に，その表をもとにしてグラフ化する

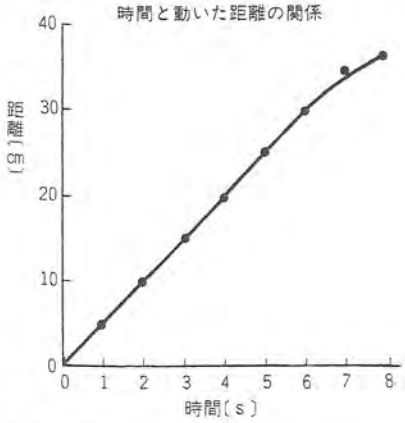
時間と動いた距離の関係

| 時　間〔s〕 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 距　離〔cm〕 | 5.0 | 10.0 | 14.8 | 19.8 | 25.0 | 29.9 | 34.1 | 36.4 |

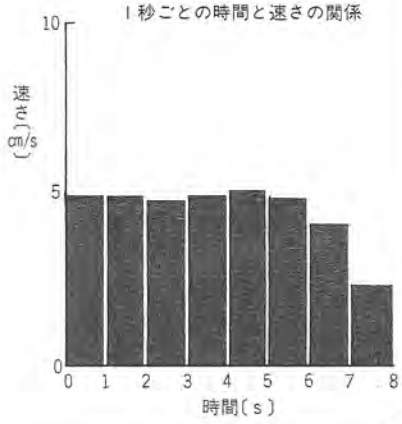
時間と速さの関係

| 時　間〔s〕 | 0~1 | 1~2 | 2~3 | 3~4 | 4~5 | 5~6 | 6~7 | 7~8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 速さ〔cm/s〕 | 5.0 | 5.0 | 4.8 | 5.0 | 5.2 | 4.9 | 4.2 | 2.3 |

時間と動いた距離の関係




1秒ごとの時間と速さの関係




### 【A】メトロノームと鉛筆による記録

1 解説 メトロノームには，約15cmの棒（振り子）の下端におもりがあり，上方には棒に沿って移動できるおもりがある。このおもりを上下させて棒の振動周期を変える。棒の表面には，1分間の振動周期が記してある。

留意点 メトロノームは1秒か0.5秒ごとに1回音が出るように調整しておく。記録しやすい速さなら，どのような速さに調整してもよいのだが，このように日常の時間に合わせておいたほうが便利である。記録に慣れるまでは，おもちゃの動きが速過ぎないようにし，記録の点(印)が8~10回ぐらいとれるようにする。

記録する前に，おもちゃを2~3回動かして観察し，動いている間にも速さが変化していることを確かめておく。

おもちゃの動きを記録したら，速かった所や遅かった所の点(印)がどうなっているかを見ておく。

2 留意点 動いた距離をはかるとき，おもちゃが曲がった動きをしているときには，動いた線に沿って距離をはかる。

グラフをかいたら，実際のおもちゃの動きが速かった所や遅かった所がどのように表れているかを確かめてみる。

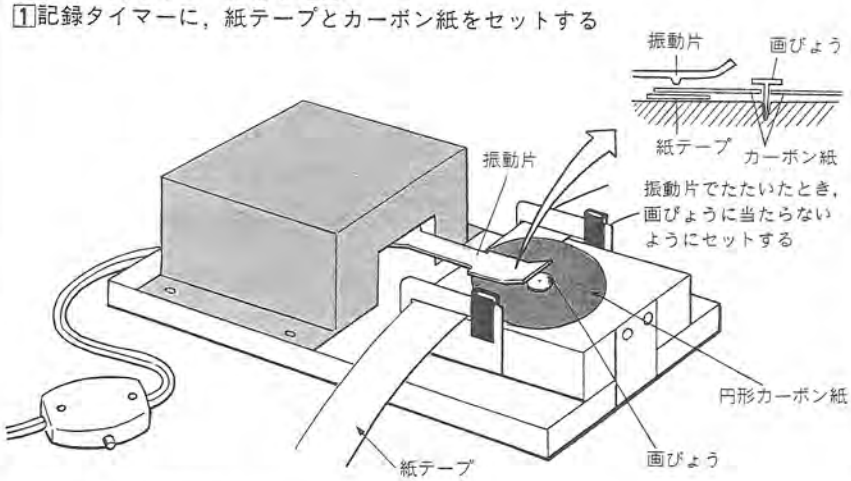
解説 「時間と動いた距離の関係」を示すグラフでは，おもちゃの動きが速い所では傾きが急になり，遅い所では傾きが緩やかになる。

「時間と速さの関係」を示すグラフでは，おもちゃの動きが速い所では横軸から離れ，遅い所では横軸に近づく。

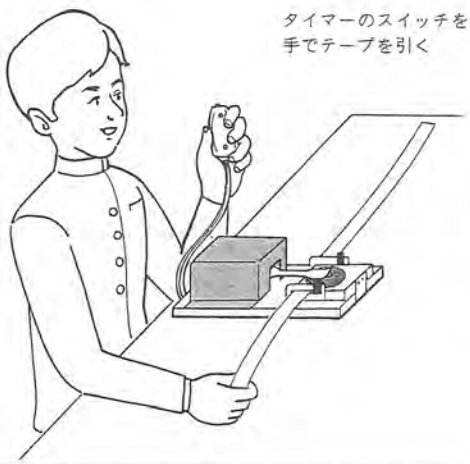
ちなみに模造紙の記録の上では，おもちゃの動きが速いときには点(印)と点の間隔が広がり，遅いときにはその間隔が狭くなる。

## 【B】記録タイマーによる記録

### 1 記録タイマーに，紙テープとカーボン紙をセットする

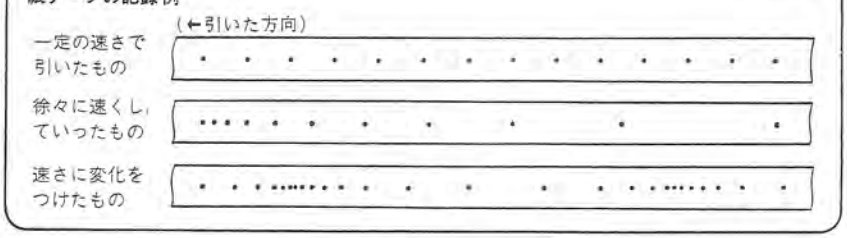



### 2 手の運動を記録する

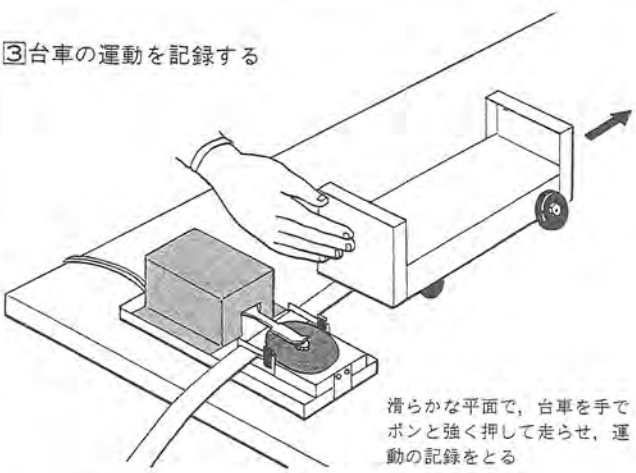



テープを引く速さを次のようにいろいろ変えてみる
①一定の速さで引く
②最初は遅く，しだいに速くしていく
③最初は速く，しだいに遅くしていく
④速くしたり遅くしたり，変化をつける

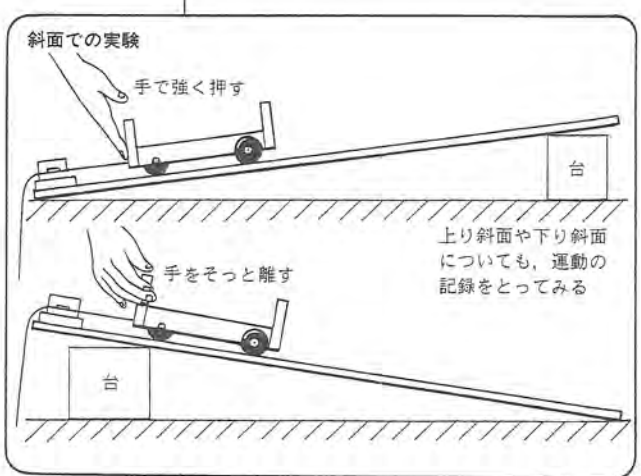
**紙テープの記録例**




### 3 台車の運動を記録する




**斜面での実験**




## 【B】記録タイマーによる記録

1 留意点 円形カーボン紙を画びょうでとめるときには，回転しやすいように軽くとめる。このとき，振動片がカーボン紙をたたいたときに画びょうに当たらないようにする。

テープは，テープガイドを通し，カーボン紙の下を通す。

タイマーには交流用と直流用があるので，電源を間違えないようにする。また，使用電圧もタイマーによって違うので，使うときには表示に気をつける。

電池を使うものは，何回も使っているうちに電池の電圧が下がってしまうことがある。したがって，簡単に電圧が下がらない電池（平角3号，平角5号など）を使用したほうがよい。

タイマーの電源を電源装置からとる場合，電流が大きいと振動片が2重，3重に打ってしまう現象が起こる。また，打点がはっきりしないほど弱くてもいけない。

**電流が強すぎる例**



2 解説 この実験の目的は，タイマーのとり扱いに慣れることと，テープの打点間隔と速さの関係を認識することである。

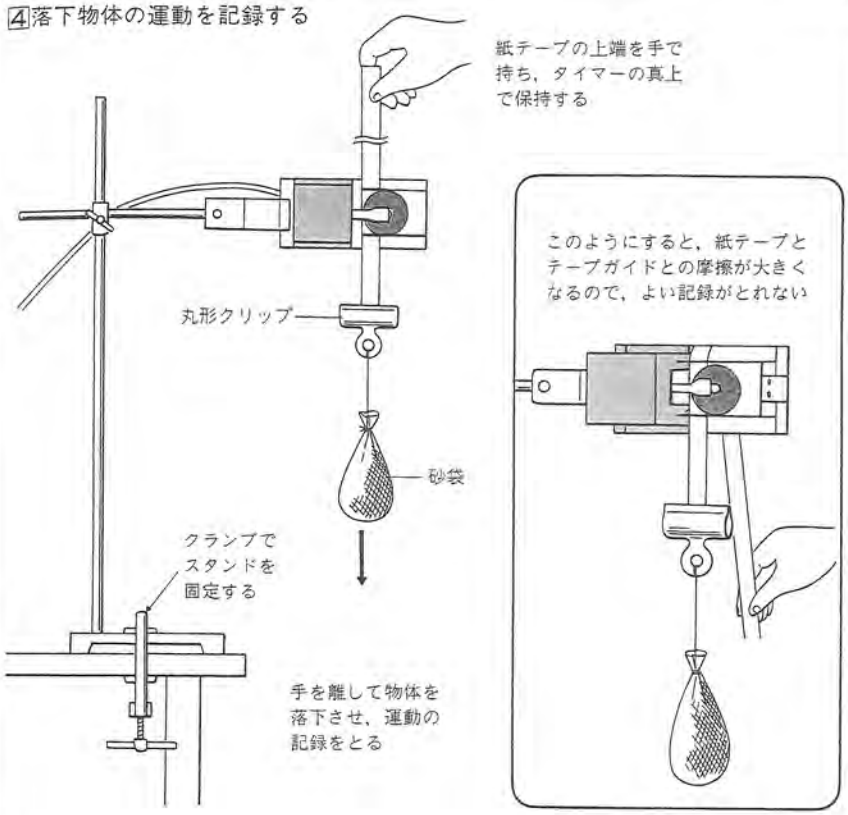
留意点 テープの長さは，1m程度でよい。

参考 直流用記録タイマーの1秒間の打点数を調べるときには，次のようにすればよい。手でテープを引きながら，一定時間タイマーに電流を流す。そして総打点数を数えて時間で割る。これを3～4回行って平均を求めると，より正確な数値が得られる。

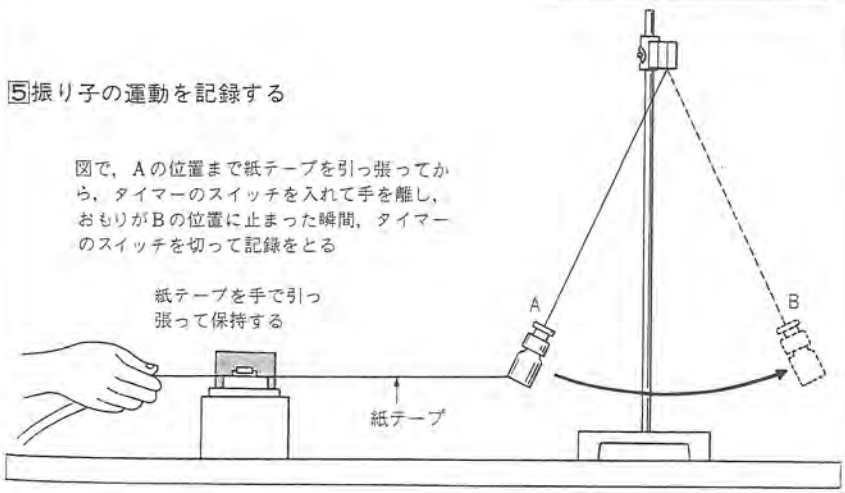
3 留意点 紙テープは，一端を台車にセロハンテープでとめる。

テープに記録された打点から，【A】2のようにグラフをかいてみる。

## 4 落下物体の運動を記録する




## 5 振り子の運動を記録する




4 留意点 タイマーは，スタンドにしっかり固定する。また，スタンドの台は，実験机にクランプで固定する。

おもりには，砂袋を用いるとよい。

おもりの質量が50 g 以下だと，タイマーの振動片がカーボン紙をたたいたときの摩擦の影響で，よい記録がとれない。この心配をなくするため，おもりの質量を100 g 以上にするとよい。

おもりと紙テープの接続は，おもりをつけた丸形クリップで紙テープを挟めばよい。

5 解説 振り子のように曲線を描きながら，しかも往復運動するものは，往復とも記録することはできない。しかし，片道だけの記録をとることはできる。

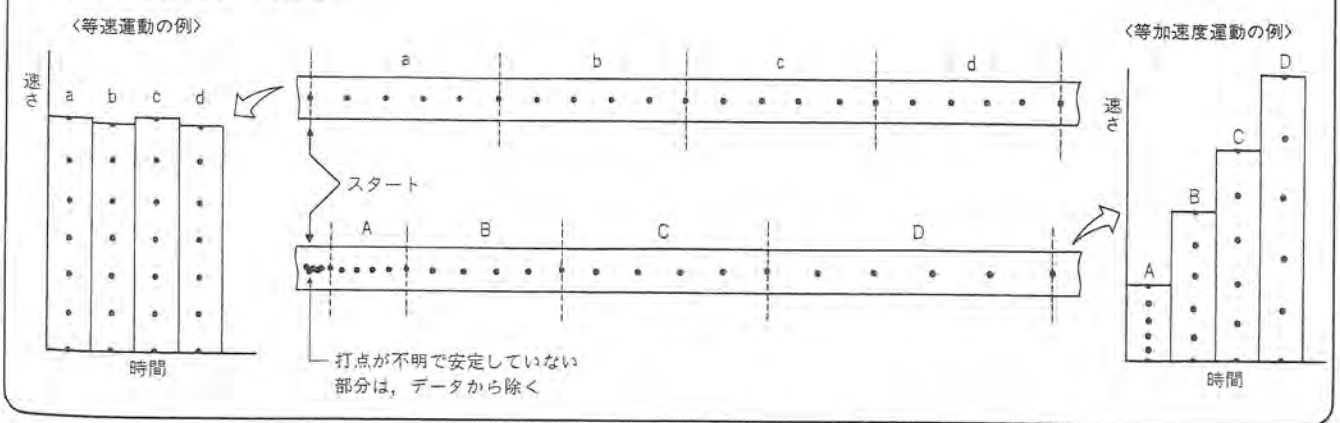
参考 振り子の糸の長さを25cmか 1 mにすると，片道動くときの所要時間はそれぞれ，0.5秒，1秒となる。

参考 紙テープに記録したデータは，次のように処理するとよい。

紙テープを 5 打点ごとに切って，順番に並べて台紙にはると，一種のグラフになる。横軸を時間，縦軸を速さにしたグラフである。これを読みとれば，運動の法則性を見いだすことができる。

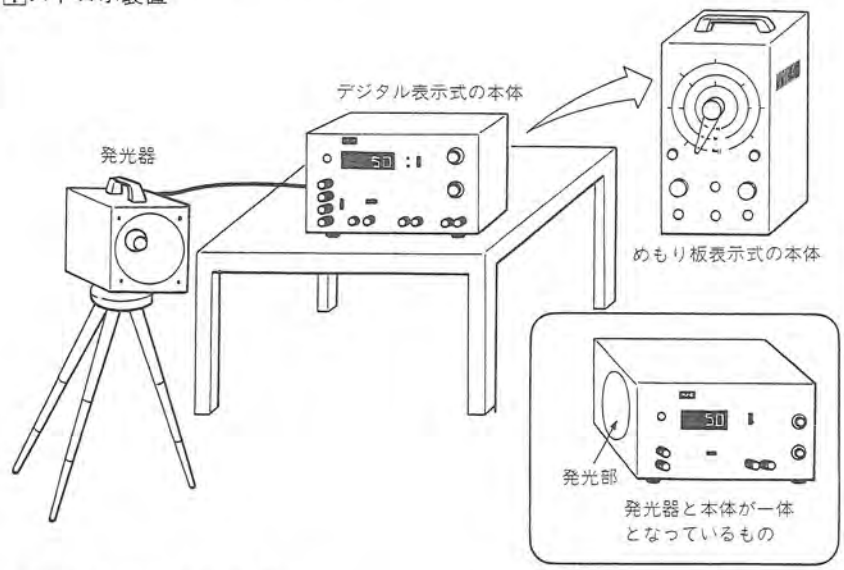
5 打点ごとにテープを切るのは，次の理由による。50Hzの地域で交流タイマーを用いた場合，打点数は 1 秒間に50回である。そこで，テープを 5 打点ごとに切ると，台紙にはったテープ 1 枚の幅が0.1秒となるからである。したがって，60Hzの地域なら，6 打点ごとにテープを切ったほうがよいことになる。

### 記録タイマーにおけるデータの処理法

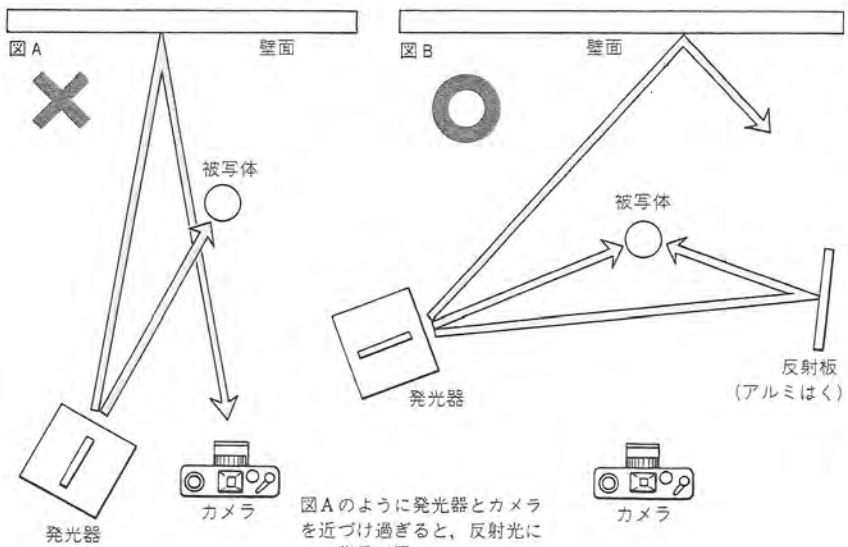


## 【C】ストロボ写真による記録

1 ストロボ装置




2 発光器とカメラの位置関係




図Aのように発光器とカメラを近づけ過ぎると、反射光により背景が写ってしまうので、図Bのようにして写す

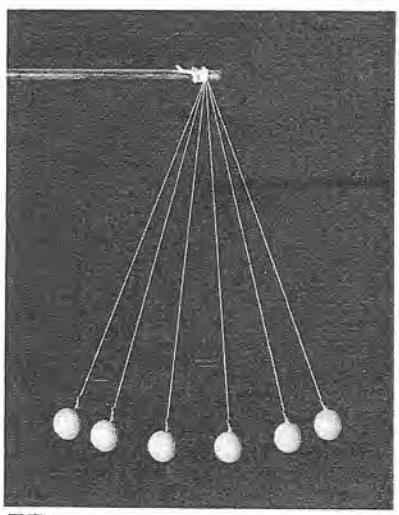


写真1

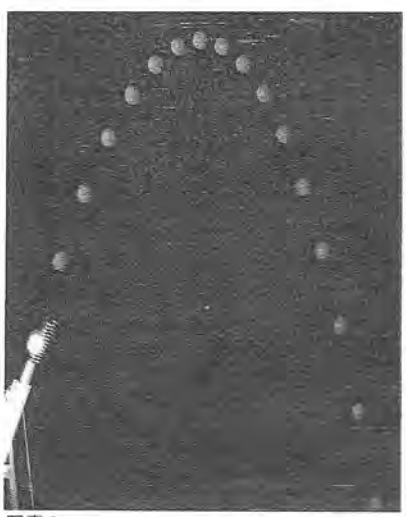


写真2

### 【C】ストロボ写真による記録

1 解説 ストロボ装置には，発光間隔の調整法と表示法により，次の2種類がある。一つはダイヤルで発光間隔を調整し，それをデジタル表示するものである。もう一つは，発光間隔をめもってある表示板に，ダイヤルを合わせて調整するものである。

また，外部形態では，発光器と本体が分かれているものと，これらが一体になっているものとがある。発光器と本体が分かれているものは，本体をそのままにしておき，発光器の向きを変えることができる。

いずれにしろ，使い方は同じである。

留意点 振り子の運動や物体の落下運動を撮影するときには，0.1～0.05秒間隔で発光するように調節する。それより発光間隔を短くする必要はほとんどない（下の写真参照）。

2 留意点 撮影は暗室で行う。

ふつうの物体を撮影するときもそうであるが，球形の物体を撮影するときには，発光器とカメラの位置関係に，特に注意する必要がある。図Aのように発光器とカメラを近づけると，被写体は球形に写るが，ストロボ光の壁面の反射（黒く塗ってあっても）により，背景が写ってしまい，データ処理などのとき，邪魔になる。したがって図Bのように，壁面の反射光がカメラに入りにくい位置に発光器を置く必要がある。しかし，このままだと，球が約半分しか写らなくなる。そこで発光器の反対側に，アルミはくなどで作った反射板を置き，球形に写るようにする。この場合でも，撮影に入る前にカメラをのぞいて，壁面からの反射光がないことと被写体が球形に見えることを確認しておく必要がある。

参考 ストロボ写真2点を，参考のため示しておく。

写真1はゴルフボールをおもりにした振り子を，発光間隔0.1秒で撮影したもの，写真2はゴルフボールを，ばねで空中に斜めに打ち上げたものである。

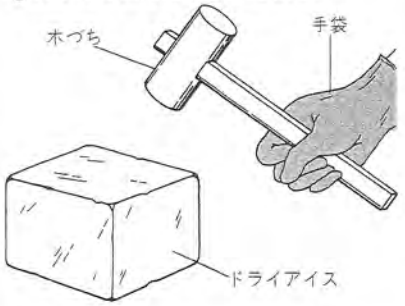
# 42 等速直線運動の観察

ドライアイス　木づち　手袋　木の板①　滑走板②
ストロボ装置　カメラ

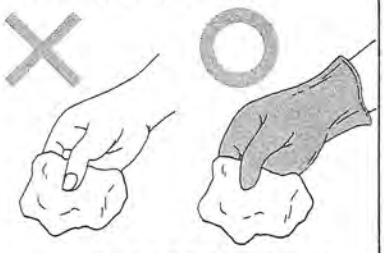
ねらい 田3高 ドライアイスや力学滑走台を用いて，等速直線運動を観察することができる。

①ベニヤ板のように表面がやや粗い板がよい。②表面が滑らかで平板な板を用意する。デコラ張りの板やガラス板など。
＊【別法】では，以上のほか，力学滑走台(エアトラック)が必要である。

1 ドライアイスの滑走体を作る
①木づちで適度な大きさに割る




ドライアイスとり扱い上の注意

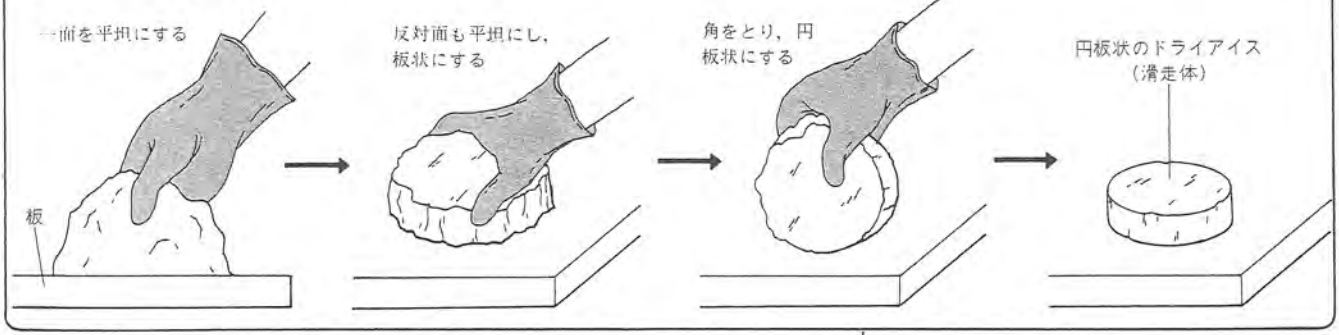


ドライアイスを素手で持ってはいけない。必ず手袋をはめてとり扱う

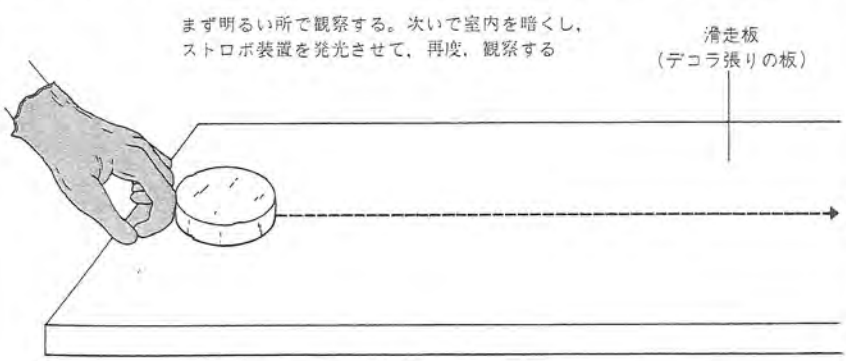
注意 ドライアイスには，直接手を触れてはいけない。必ず手袋をはめてとり扱うようにする。ドライアイスは気化するとき，まわりから熱を奪うため，凍傷（やけどのような炎症）にかかるおそれがある。

1 2 留意点 3 で，ストロボ写真をとるときには，円板形より，やや細長い円筒形にしたほうがよい。

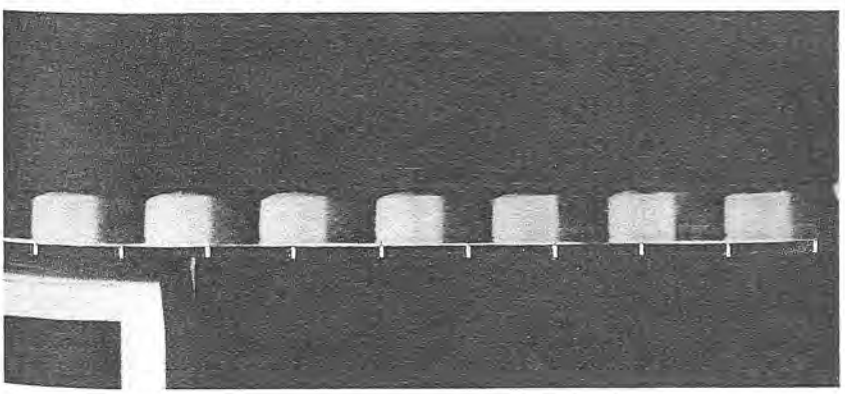
②木づちで割ったかけらを板にこすりつけて形を整える




2 ドライアイスを指ではじいて滑走板上を滑走させ，その運動を観察する



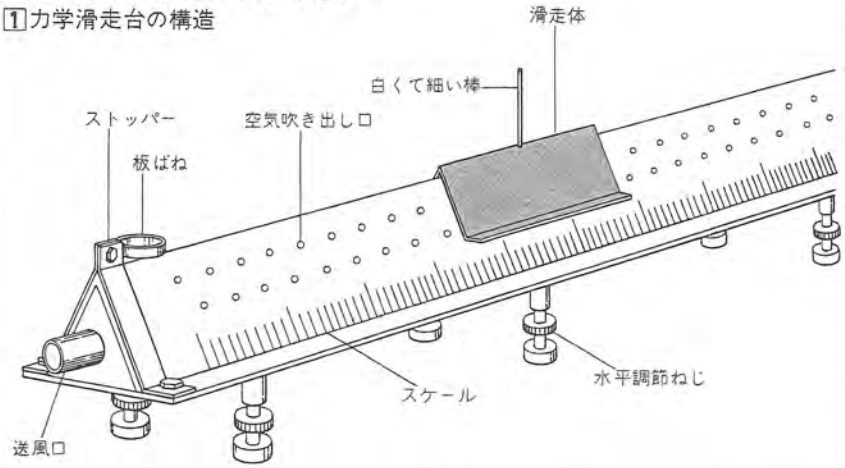

3 ストロボ写真を撮影してみる



3 解説 ストロボ写真をもとにして，発光間隔ごとの移動距離を割りだして記録する。そして，その記録から，等速直線運動をしていることを確認する。

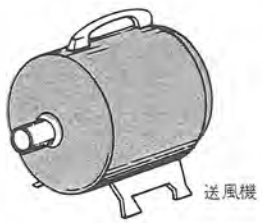
## 【別法】力学滑走台を用いる方法

### 1 力学滑走台の構造

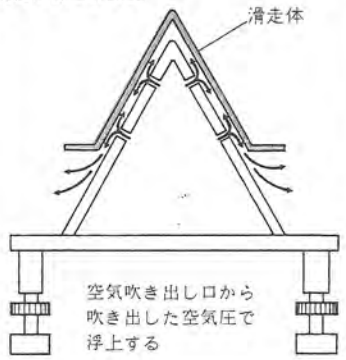




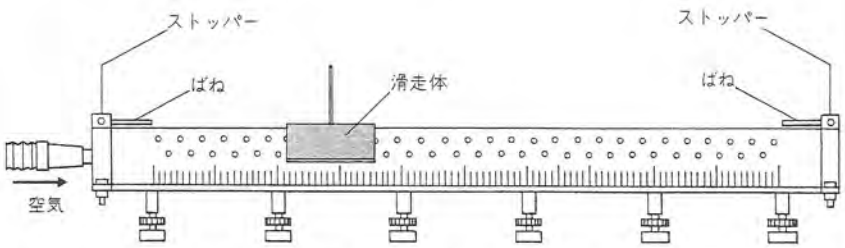





**滑走体浮上の原理**

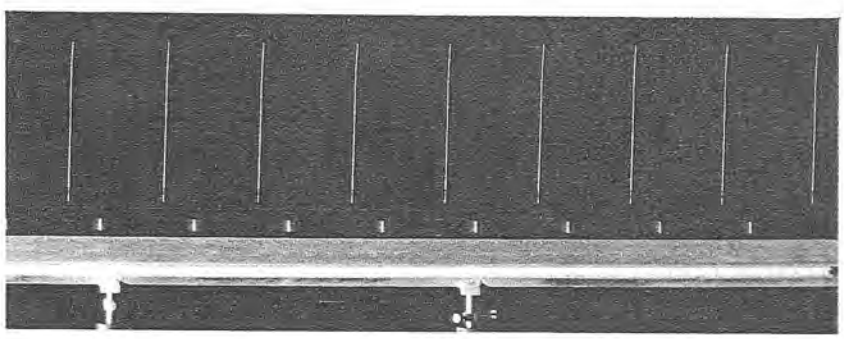



### 2 滑走台の水平調整を行ってから，滑走体を滑走させ，その運動を観察する




①送風機で空気を送りながら滑走体を静かに載せ，左右に移動しないように，水平調節ねじで調整する
②滑走体を動かし，途中でつかえることなく滑らかに滑走することを確認する
③明るい所で滑走体の運動を観察する
④室内を暗くし，ストロボ装置を発光させて，再度，観察する

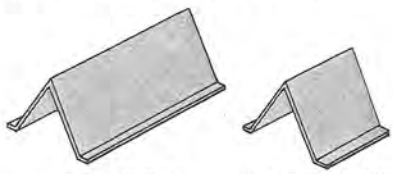
### 3 ストロボ写真を撮影してみる



---

**【別法】力学滑走台を用いる方法**

1 解説 力学滑走台（エアトラック）は，等速直線運動（または等加速度直線運動）を調べるための装置である。滑走台にたくさんの小穴をあけ，そこから吹き出す空気圧により滑走体を浮上させ，できるだけ摩擦をなくすように工夫されている。
滑走台の送風口に送風機を接続し，滑走台内に空気を送りこんで用いる。
送風機は，掃除機程度の能力のものが必要である（市販の力学滑走台には，送風機もついている）。
留意点 滑走体は，次のように大きさを変えたものも用意しておくとよい。




保管するときは，空気吹き出し口が目詰まりしないように，ほこりを避けるようにしておく。また，滑走体を落としてゆがみなどを作らないように十分注意する。

2 留意点 調整の際，滑走体が左右に移動しないことを，数ヵ所で確かめる。本体が長いため，本体そのものの直線性が狂っていることもあるからである。

3 解説 ストロボ写真から，等速直線運動をしていることを確認する（前ページ3の解説を参照）。

# 43 落下運動の実験

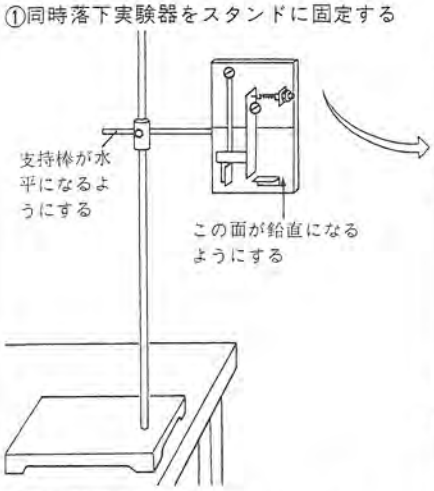
ねらい 中3高 水平に投げられた物体は，水平方向には等速運動をし，鉛直方向には自由落下していることが調べられる。

同時落下実験器① スタンド 慣性実験器① 直流電源(12V) OHP② スクリーン ストロボ写真

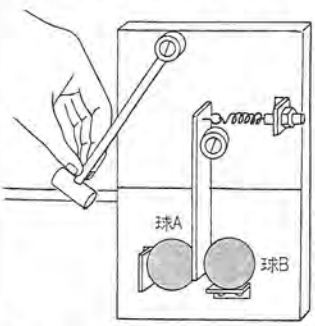
①付属のプラスチック球も用意する。②TPシート，TP方眼シート，TP用ペンも用意する。

## 1 自由落下と水平投射における物体の落下について調べる

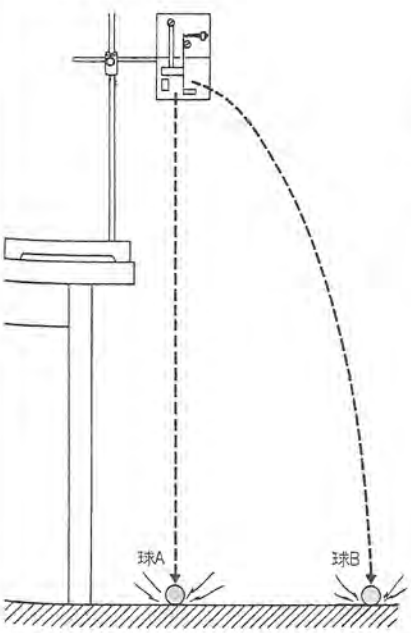
①同時落下実験器をスタンドに固定する



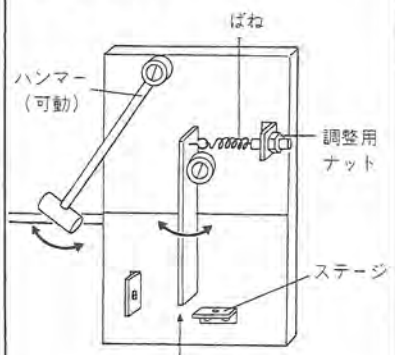

②実験器に2個の球をセットする



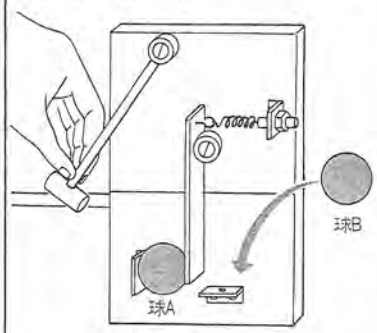

③2個の球を落下させ，床に落ちるときの音を聞く



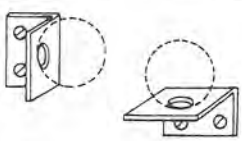

**同時落下実験器**



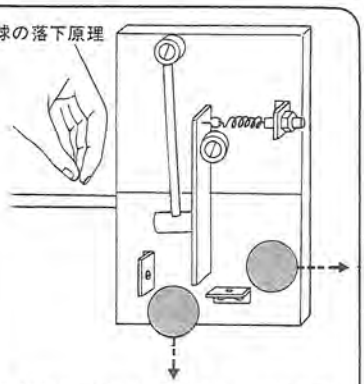

**球のセットのしかた**




片手でハンマーを引き上げて支えながら，もう一方の手で球Aを押さえ板で挟む。次に，球Bをステージに載せる




**球の落下原理**



支えていたハンマーを放すと，ハンマーが押さえ板をたたくので，球Aは自由落下し，球Bは水平に打ち出される

1①解説 同時落下実験器は，物体の自由落下と水平投射を同時にスタートさせ，落下の様子を比較する装置である。

ハンマーを適当な高さまで持ち上げて放すと，ハンマーが下りてきて，中央にある押さえ板に衝突する。この衝撃で押さえ板が右に動く。このため，それまで押さえ板上部のばねの力で支えられていた左の球は，支えがなくなるため自由落下する。同時にステージ上にあった右の球は，押さえ板により水平方向にはじかれる。以上が，同時落下実験器のしくみである。

留意点 装置をスタンドに固定するとき，装置の角度に気をつける。必ず図のように，支持棒が水平になるようにし，背面部が鉛直になるようにする。

③留意点 球Bは遠くまで飛ぶので，十分広い所で実験する。

実験を始める前に，2個の球が同時に落下するかどうかを試しておく。同時に落下しない場合は，押さえ板上部のばねの強さを調整用ナットで調整する。

ハンマーを持ち上げる高さを変えたり，スタンドの高さを変えたりし，いろいろな条件で実験してみる。

解説 2個の球が床と衝突する音が，ほとんど同時に聞こえる。これは，ハンマーを持ち上げる高さを変えたり，スタンドの高さを変えたりしても同じである。

球Bは，ハンマーを高く持ち上げるほど遠くへ飛ぶ。これは，ハンマーを高く持ち上げるほど，球Bが水平に打ち出されるときの初速度が大きくなるからである。

2①解説 落球保持装置は電磁コイルと可動鉄しん(プランジャ)でできている。球をばねの力で保持しておき，電流が流れて電磁コイルがはたらくと，球を支えていたプランジャが動き，球が落下する。

留意点 台車が静止しているときに落球スイッチを押し，球が受け器に入るように調整しておく。

台車に油をさしてスムーズに動くようにしておく。

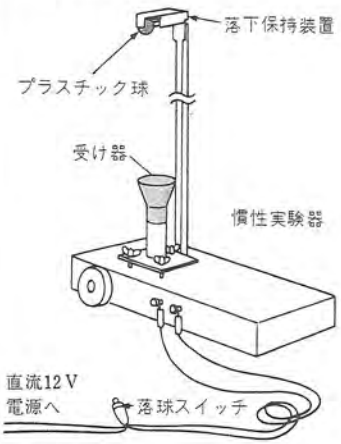
②留意点 実験は，水平で滑らかな机上で行う。

電源コードを引きずらないように注意する。

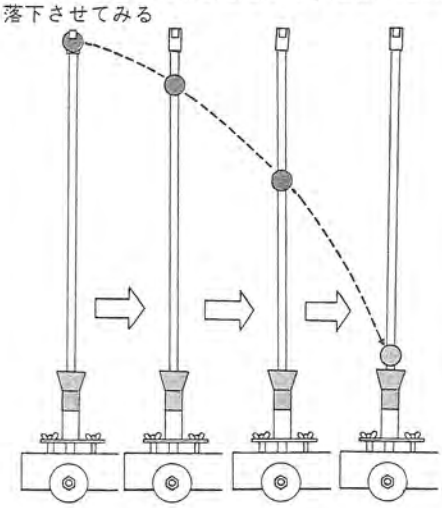
解説 水平方向に等速運動している台車上で球を落下させると，球は台車の受け器

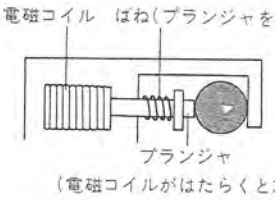
## 2 等速運動している台車から球を落としてみる

①慣性実験器の落球保持装置に球をセットする




②台車を手で押して等速運動させ，運動中に球を落下させてみる



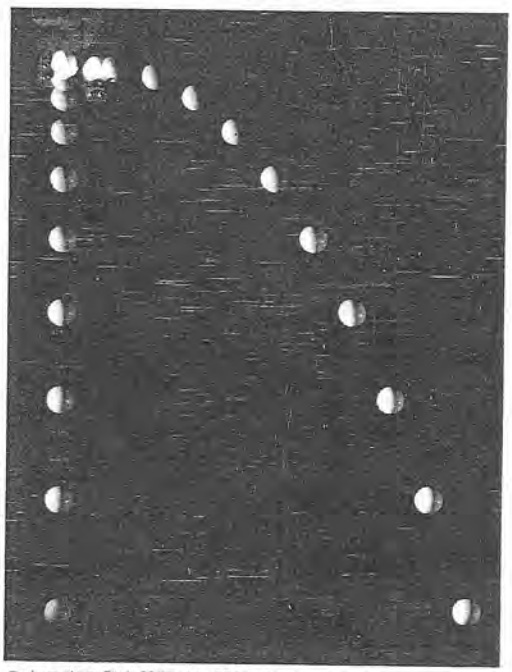



に入る。落下前の球は，台車と同様，水平方向に等速運動していることになるので，球を落下したときには，球を水平方向に投げたのと同じといえる。その球が等速運動している台車の受け器に入るということは，水平方向に投げられた物体は，水平方向に等速運動しているということである。

3②留意点 スクリーンとOHPの向きや高さを調整し，投影した像がなるべくゆがまないようにしておく。しかし，多少のゆがみは気にすることはない。次の③でTP方眼シートを重ねるが，この方眼シートの線も同様にゆがむからである。

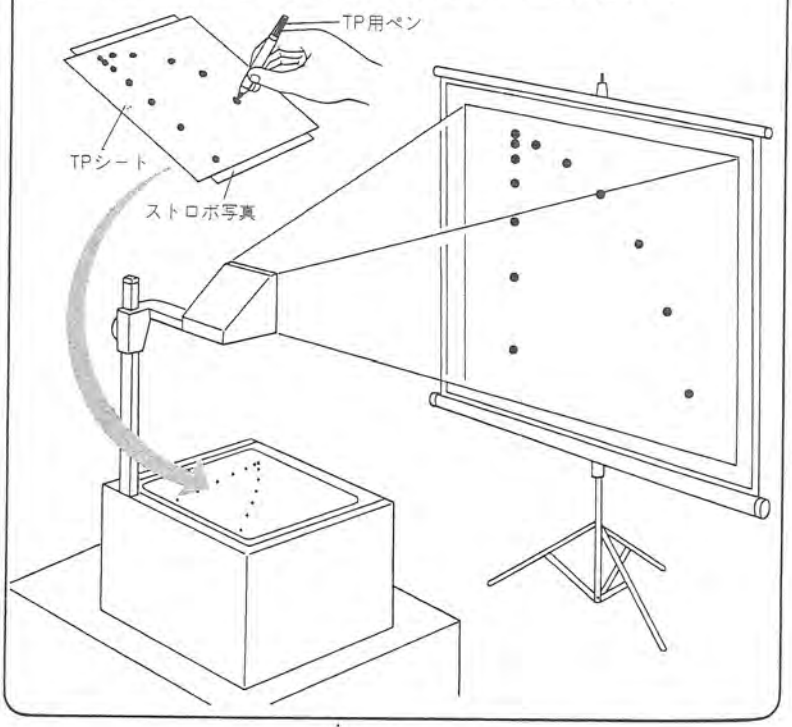
## 3 ストロボ写真を解析する

①同時落下のストロボ写真を用意する

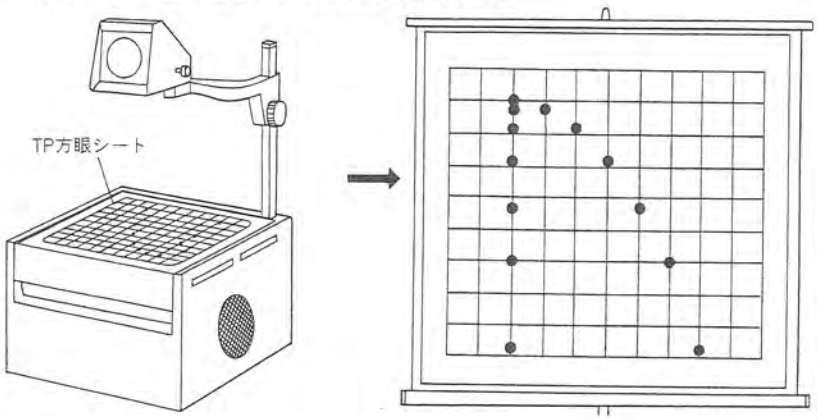


ストロボの発光間隔は1/30秒である

②写真をTPシートに写しとり，OHPを用いてスクリーンに投影する




③ＴＰ方眼シートを上に重ね，２つの球の変位を調べる




③解説 ＴＰ方眼シートを重ねることにより，２個の球の垂直方向の変位，つまり高さがほぼ同じになることや，水平方向に打ち出された球の水平方向の間隔が等しくなることがわかりやすくなる。

参考 ＯＨＰを用いる方法のほか，スライドを方眼紙に映写する方法もある。その場合，像だけがゆがむので，適切な位置から投影する必要がある。

# 44 空気中と真空中での落下の様子を調べる

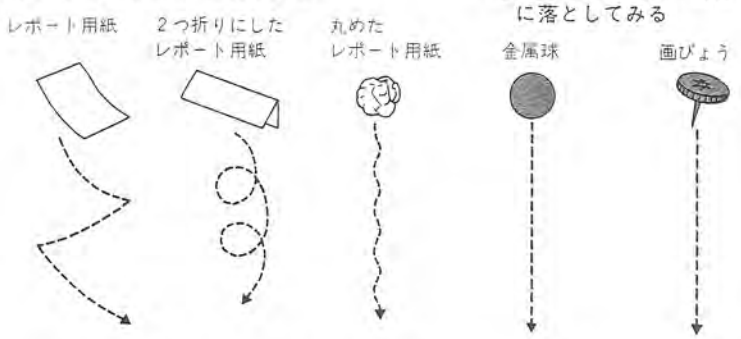
ねらい 中3高 物体の落下運動は，空気中と真空中とで様子が異なることが観察できる。
空気中でも，空気の抵抗が無視できるときの落下運動は，真空中とほとんど差がないことが調べられる。

レポート用紙　金属球　金属小片[1]　真空落下実験器　金属板　紙片　羽毛　真空ポンプ　肉厚ゴム管　ボール[2]　ストップウオッチ(数個)　巻き尺　方眼紙　筆記用具　ストロボ写真　トレーシングペーパー

①画びょうやゼムクリップなど。②ソフトボール，ゴルフボールなどがよい。

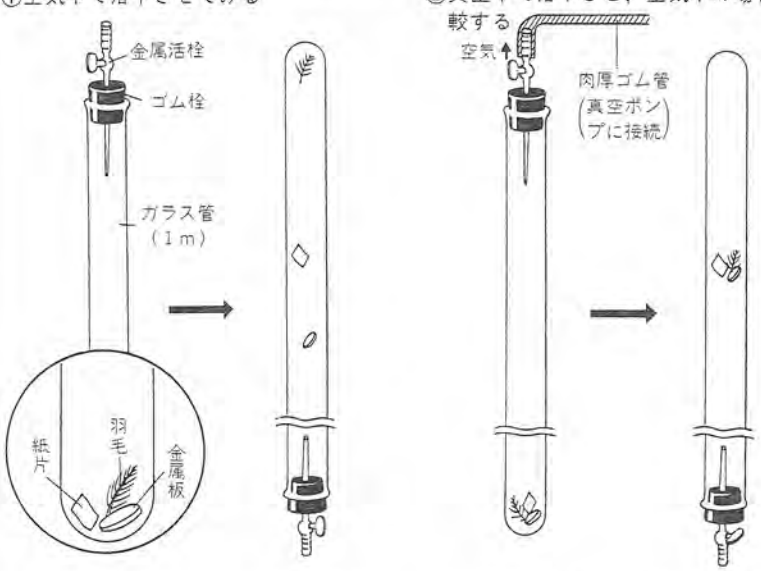
## 1 空気中でいろいろなものを落とし，落下の様子や速さを観察する

①いろいろな形の紙を落としてみる　②金属球と金属製小物体を同時に落としてみる




## 2 いろいろな物体の空気中と真空中での落下の様子を観察する

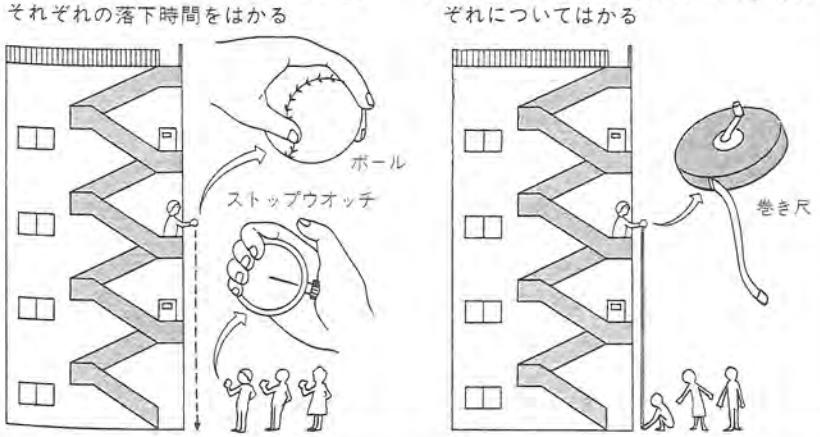
①空気中で落下させてみる　②真空中で落下させ，空気中の場合と比較する




真空落下実験器の中に物体を入れる　素早く倒立させて観察する　管内の空気を真空ポンプで吸引する　素早く倒立させて観察する

## 3 自由落下における距離と時間の関係を調べる

①いろいろな高さからボールを落とし，それぞれの落下時間をはかる　②ボールを手放したときの高さを，それぞれについてはかる




1 ① 留意点 紙の形は図のようなものに限らない。いろいろな形にして試してみるとよい。
同じ形の紙でも，持つ所をいろいろ変えて試してみる。
解説 紙の形によって空気抵抗の受け方が違うので，落ち方も違う。

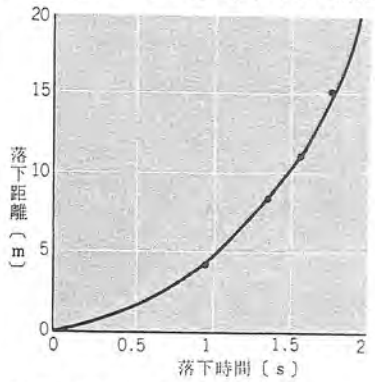
② 留意点 金属製小物体は，画びょうのほか，ゼムクリップなど，いろいろなもので試してみるとよい。
解説 金属製小物体と金属球はほとんど同時に落ちる。空気中でも，空気の抵抗が無視できるときには，真空中と同じように落下する。

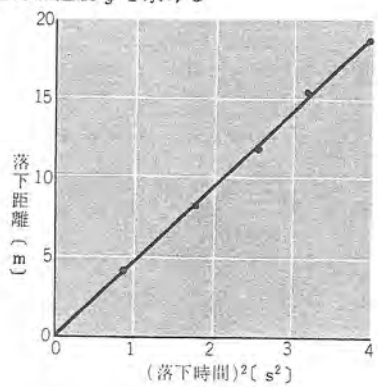
2 ① 留意点 ガラス管を倒立させるときには，ガラス管を両手で持って，素早く行う。
解説 各物体の落下速度は，質量と空気抵抗の関係で異なる。

② 留意点 ガラス管内の空気を抜くときには，肉厚ゴム管の接続部分にグリースを塗布し，空気漏れが生じないようにする。
また，管内の空気を吸引していく途中で真空ポンプを止め，この操作を行うと，空気抵抗が減少していく様子を段階的に理解させることができる。

3 ① 留意点 実験は，校舎の非常階段など途中に障害物のない場所で行う。
ボールは，ある程度小さくて重いものを用いる。ソフトボールやゴルフボールなどがよい。
落下時間の測定は，複数のものが同時に行うようにする。さらに，同一の高さについて何度か測定し，それらの平均値を求めるようにする。
2階，3階，4階，屋上というぐあいに，いろいろな高さについて測定する。
注意 ボールが人に当たらないように，安全を確かめてからボールを落下する。また，落下の際，階段の手すりなどから体を乗り出さないようにする。
参考 各階に人がいて，屋上から落としたボールの通過時間をはかる方法もある。しかし，この方法は，反射神経がよほど発達していないと，その瞬間を見逃してしまうことが多い。

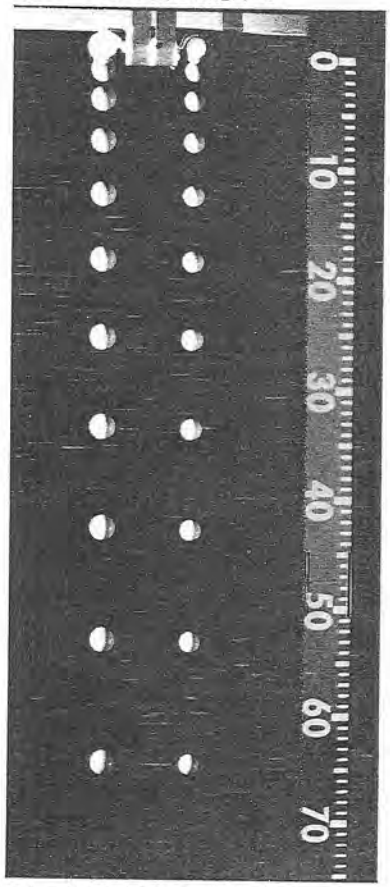
③測定値をグラフ化し，グラフの傾きから重力加速度 $g$ を求める



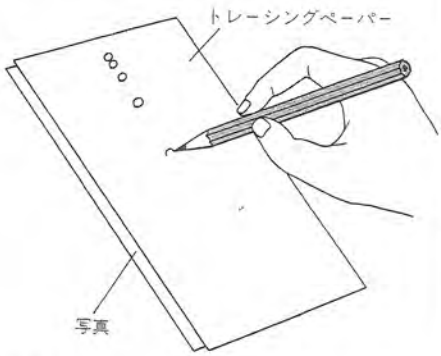

④ストロボ写真を解析する

①ストロボ写真を用意する



ストロボの発光間隔は1/30秒である

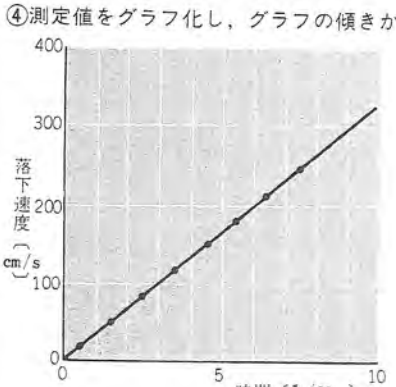
②写真にトレーシングペーパーを重ね，丁寧に写しとる




③球の落下距離を横のめもりを用いて読みとり，各区間の平均の速さを求める

| | 距　離〔cm〕 | 間　隔〔cm〕 | 速さ〔cm/s〕 |
|---|---|---|---|
| 0 | 0.0 | | |
| | | 0.5 | 15 |
| 1 | 0.5 | | |
| | | 1.6 | 48 |
| 2 | 2.1 | | |
| | | 2.8 | 84 |
| 3 | 4.9 | | |
| | | 3.8 | 114 |
| 4 | 8.7 | | |
| | | 4.9 | 147 |
| 5 | 13.6 | | |
| | | 6.1 | 183 |
| 6 | 19.7 | | |
| | | 7.0 | 210 |
| 7 | 26.7 | | |
| | | 8.1 | 243 |
| 8 | 34.8 | | |

④測定値をグラフ化し，グラフの傾きから重力加速度 $g$ を求める






③ 解説 まず縦軸に落下距離，横軸に落下時間をとってグラフ化する。グラフは2次曲線となる。そこで，横軸を(落下時間)$^2$に変換すると，落下距離と(落下時間)$^2$の間には比例関係があることがわかる。
図中のグラフは，次の実験データ例によるものである。

実験データ例

| | 距離〔m〕 | 時間〔s〕 | (時間)$^2$〔s$^2$〕 |
|---|---|---|---|
| 屋上 | 15·4 | 1.78 | 3.17 |
| 4階 | 11·9 | 1.60 | 2.56 |
| 3階 | 8·3 | 1.33 | 1.77 |
| 2階 | 4·6 | 0.98 | 0.96 |

次に，グラフから重力加速度 $g$ を求める。落下距離 $s$ は，重力加速度 $g$ と時間 $t$ との間に，次の関係がある。

$$s=\frac{1}{2}gt^2$$

上式を $g$ を求める式に変換すると，

$$g=2\times\frac{s}{t^2}$$

となる。この式における $s/t^2$ は，変換したグラフにおける傾きである。したがって，グラフ上の任意の点から，縦軸と横軸に垂線を下ろしてグラフの傾きを求めることにより，$g$ が求められる。
実験データ例による計算例を次に示す。

$$\frac{s}{t^2}=\frac{14.2}{3}\fallingdotseq 4.73$$

$$g=2\times 4.73=9.46〔\mathrm{m/s^2}〕$$

④② 解説 写真をトレーシングペーパーに写しとるのは，写真を何度も用いることができるようにするためである。

③ 留意点 落下距離を読みとるときには，それぞれの球の下端で読みとるようにするとよい。

解説 各区間の平均の速さは，ストロボの発光間隔をもとにして計算で求める。

④ 解説 落下速度 $v$ は，重力加速度 $g$ と時間 $t$ との間に，次の関係がある。

$$v=gt$$

上式を $g$ を求める式に変換すると，

$$g=\frac{v}{t}$$

となる。この式における $v/t$ は，左のグラフにおける傾きである。したがってグラフの傾きを求めることにより，$g$ が求められる。

次に計算例を示す。

$$g=\frac{245〔\mathrm{cm/s}〕}{7.5\times\frac{1}{30}〔\mathrm{s}〕}=980〔\mathrm{cm/s^2}〕$$

$$=9.8〔\mathrm{m/s^2}〕$$

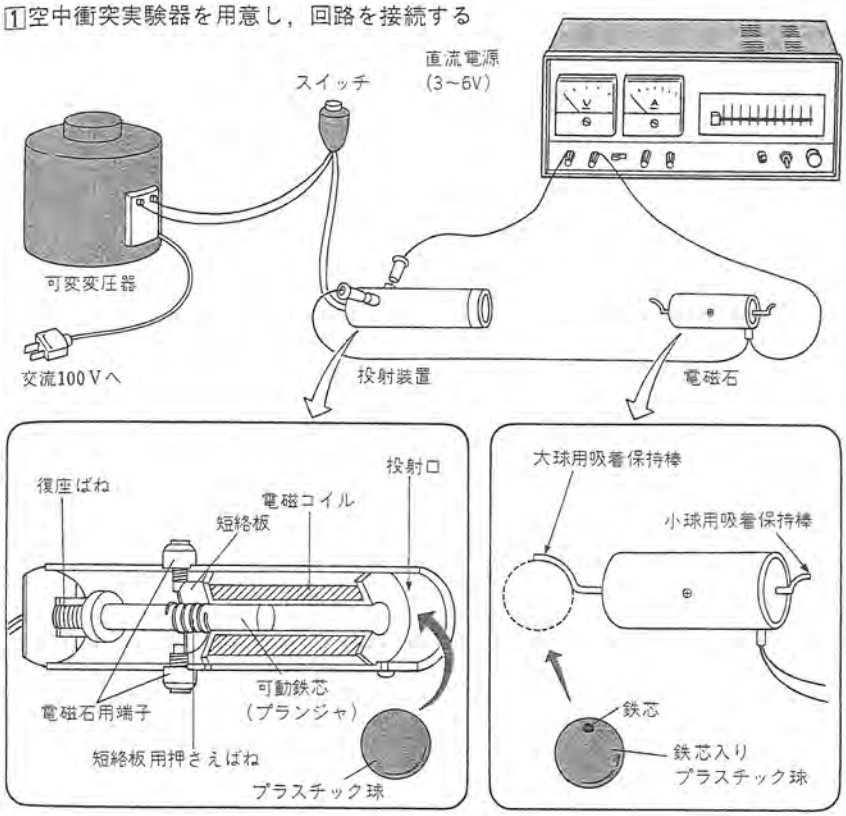
# 45 モンキーハンティングの実験

ねらい 標的に向かって投射された物体は，初速度に関係なく，投射と同時に標的から自由落下する物体と衝突することが調べられる。放物運動では，水平方向には等速運動し，鉛直方向には自由落下していることが調べられる。

空中衝突実験器① 可変変圧器 直流電源② 導線
木綿糸 おもり(50 g程度) スタンド2 ストロボ写真 OHP③ スクリーン

①付属の投射用プラスチック球，落下用鉄芯入りプラスチック球（大・小）も必要である。②電源装置か，3～6V が得られる電池。③TPシート，TP方眼紙，TPペンも必要である。

1 空中衝突実験器を用意し，回路を接続する




1 解説 空中衝突実験器の投射装置には，ばねの弾性力を利用して球を放射するスプリング式のものと，電磁コイルにより可動鉄芯(プランジャ)を動かして球を放射する電磁式とがある。ここでは電磁式を用いる。

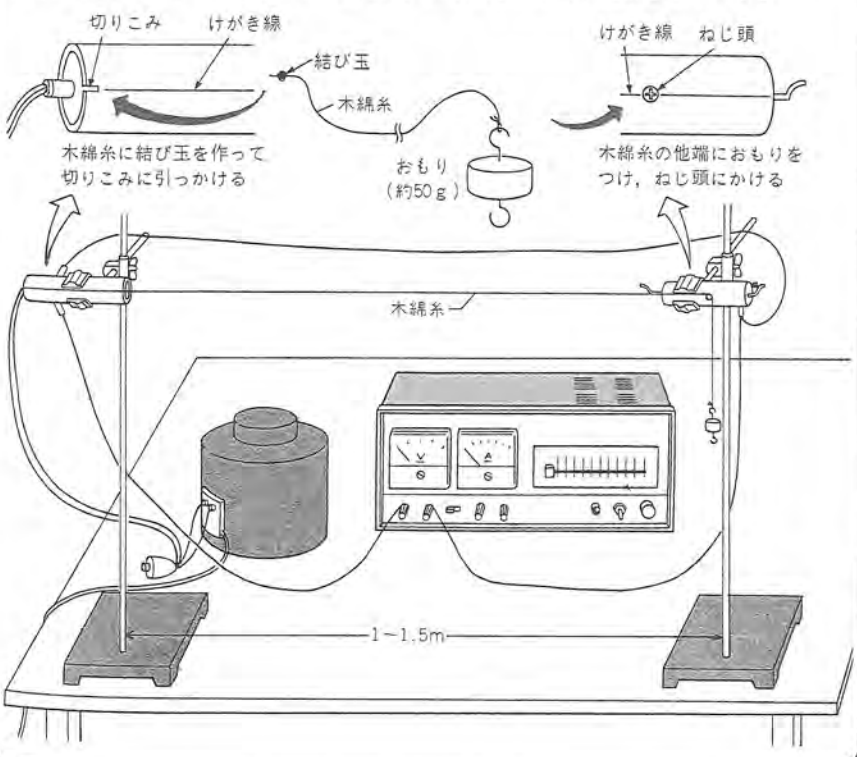
電磁式投射装置では，スイッチを押すと電磁コイルに電流が流れるので可動鉄芯が動き，投射口にあるプラスチック球を打ち出す。このとき，可動鉄芯が動くと同時に電磁石用端子を短絡していた短絡板が動き，電磁石の回路を開く。したがって，電磁石の吸着保持棒で支えられていた鉄芯入りプラスチック球は落下する。

留意点 投射装置の電磁石用端子と電磁石，直流電源(電源装置または電池)を直列につなぐ。

投射装置の電源コードは，可変変圧器の出力端子につなぐ。

2 装置をセットする

①投射装置と電磁石をスタンドに固定し，おもりをつけた木綿糸をとりつける




2① 留意点 投射装置と電磁石をスタンドに固定するときには，側面に刻まれたけがき線が手前にくるようにし，それぞれの装置の高さをほぼ同じにする。

2つのスタンド間の距離を1～1.5 mぐらいにする。

投射装置後部の切りこみに木綿糸を引っかけるとき，結び玉が切りこみより大きくないと簡単に糸が抜けてしまうので気をつける。

② 留意点 木綿糸とけがき線が，上下，左右に少しでもずれていると，うまく衝突しないので，完全に一致するように十分時間をかけて，丁寧に調整する。

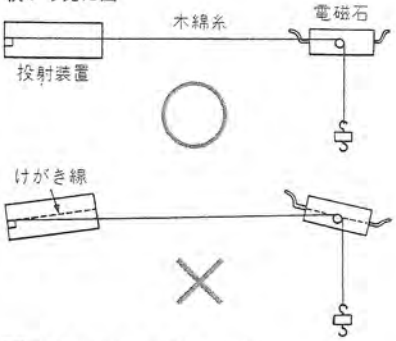
調整後，スタンドを動かしたりしないように気をつける。

参考 投射装置の標的を定めるには，投射装置と電磁石をまっすぐな棒にしっかり固定する方法もある。

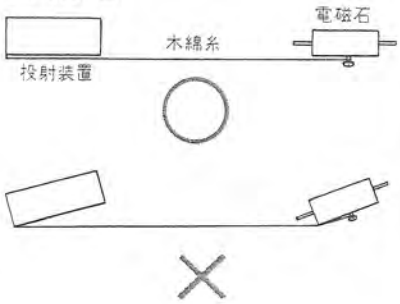


②木綿糸とけがき線が一致するように，投射装置と電磁石の向きを調整する。

横から見た図

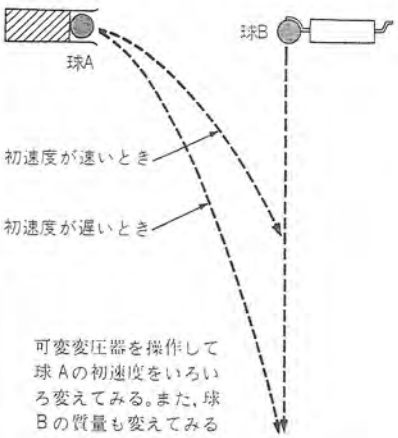



上から見た図



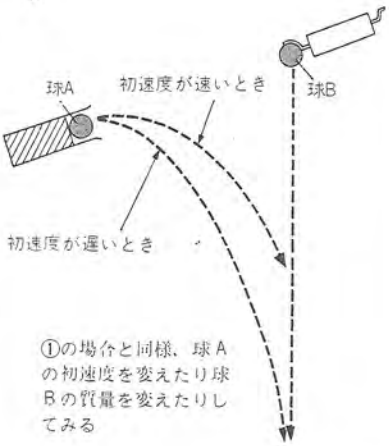

3 空中衝突の実験を行う

①2個の球の高さを同じにして衝突させてみる




可変変圧器を操作して球Aの初速度をいろいろ変えてみる。また，球Bの質量も変えてみる

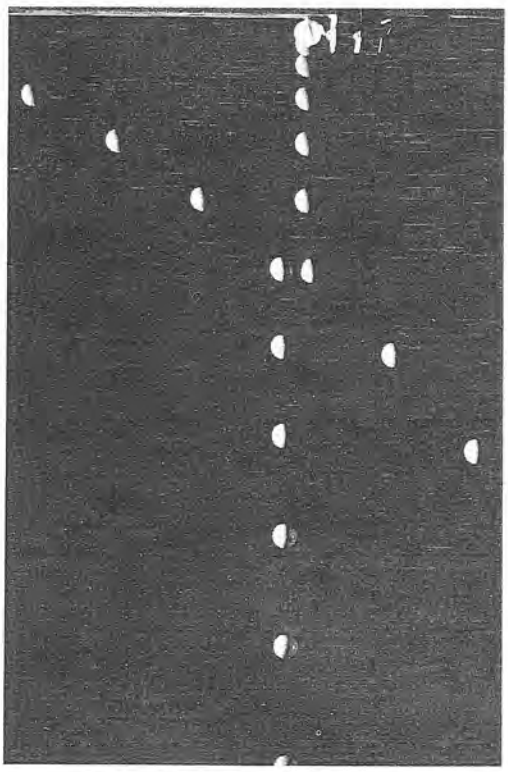
②2つの球の高さを変えて衝突させてみる



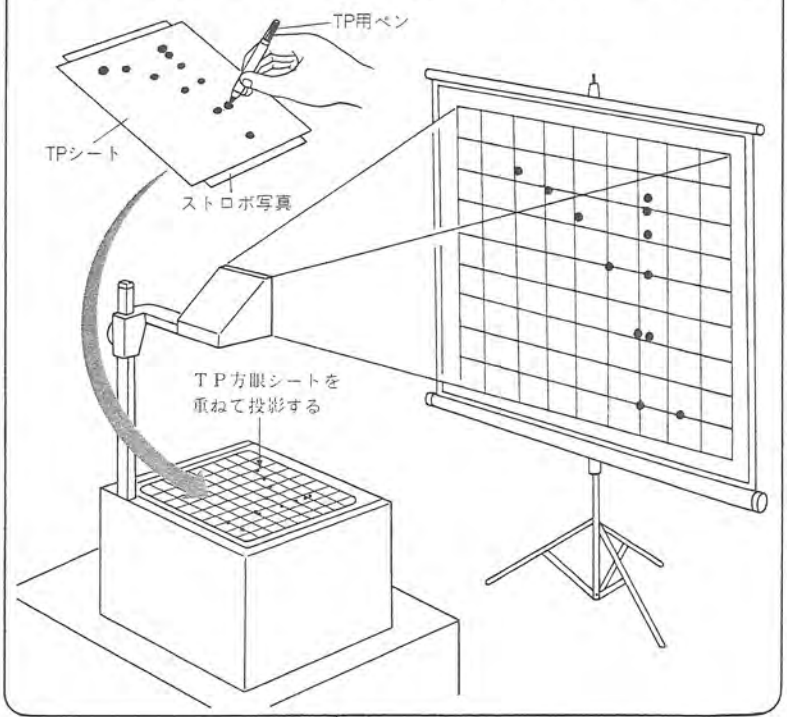

①の場合と同様，球Aの初速度を変えたり球Bの質量を変えたりしてみる

4 ストロボ写真を解析する

①ストロボ写真を用意する



②ストロボ写真をＴＰシートに写しとり，OHPを用いてスクリーンに投影する




3 留意点 鉄しん入りのプラスチック球Bを電磁石にセットするときには，球の鉄しん部分を吸着保持棒に触れさせる必要がある。

電磁石の残留磁気の影響を防ぐため，電磁石の電流は，できるだけ小さくする。

吸着棒と球の間に薄い紙片を挟むのもよい。

投射装置の電圧を変化させるときには，投射装置の使用電圧範囲（30～100 V）を超えないようにする。

球Bの質量を変えるには，球の大きさを変えればよい。

②で投射装置と電磁石の高さを変えるときにも，2②と同様，うまく衝突するように，丁寧に調整する。

解説 球Aの初速度や球Bの質量に関係なく，2球は衝突する。ただし，球Aの初速度が違うと，衝突地点が異なる。

これは，球Aを斜めに打ち上げた場合も同様である。

4 留意点 [43] 3を参照。

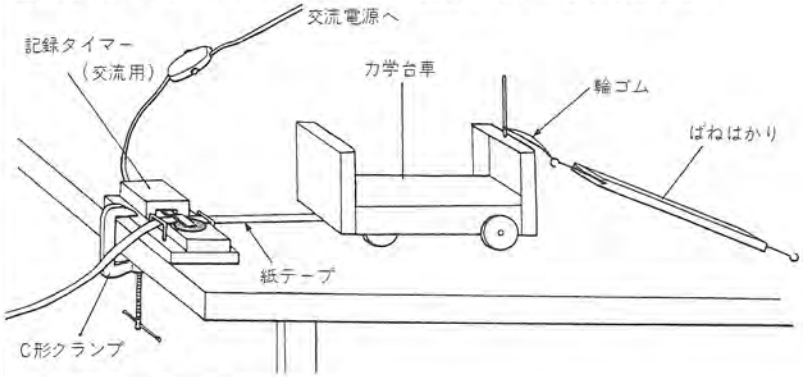
# 46 加速度の実験

ねらい 由高　加速度運動の中で，一定時間ごとに速さが変化する割合が一定である等加速度直線運動の特徴を調べることができる

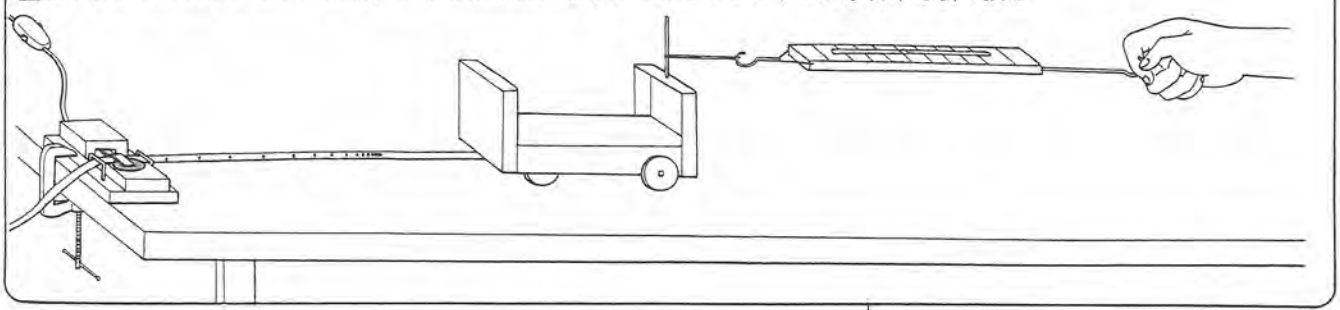
【A】記録タイマー（交流用）　紙テープ　力学台車　C形クランプ　セロハンテープ　ばねはかり　輪ゴム　方眼紙　【B】ポリエチレン容器（100cm³程度）　ゴム栓　注射針　力学台車　セロハンテープ　方眼紙

## 【A】正の加速度について調べる

1 力学台車にばねはかりをとりつけ，記録タイマーをセットする



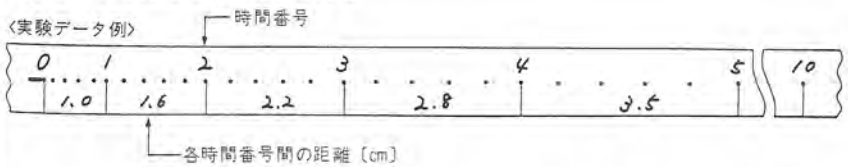

2 記録タイマーのスイッチを入れ，ばねはかりのめもりが一定になるように力学台車を引っ張る



3 紙テープを処理し，運動の特徴を調べる

①紙テープを処理し，表にまとめる

〈実験データ例〉




①打点がはっきりわかる所を「0」とし，5打点ごとに時間番号（0，1，2，……10）を記入する
②各時間番号間の距離をものさしではかって記入する．また，0からの距離もはかる
③各区間の平均の速さを次式より求める

$$速さ=\frac{移動した距離（区間距離）}{移動に要した時間（5打時=0.1\,s）}\ [cm/s]$$

④各区間の平均の速さの1区間ごとの変化量を求める

〈実験データ例〉

| 時間番号〔×0.1s〕 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 「0」からの距離〔cm〕 | 0 | 1.0 | 2.6 | 4.8 | 7.6 | 11.1 | 15.3 | 20.1 | 25.5 | 31.5 | 38.1 |
| 区間距離〔cm〕 | | 1.0 | 1.6 | 2.2 | 2.8 | 3.5 | 4.2 | 4.8 | 5.4 | 6.0 | 6.6 |
| 平均の速さ〔cm/s〕 | | 10 | 16 | 22 | 28 | 35 | 42 | 48 | 54 | 60 | 66 |
| 速さの変化量〔cm/s〕 | | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 | |

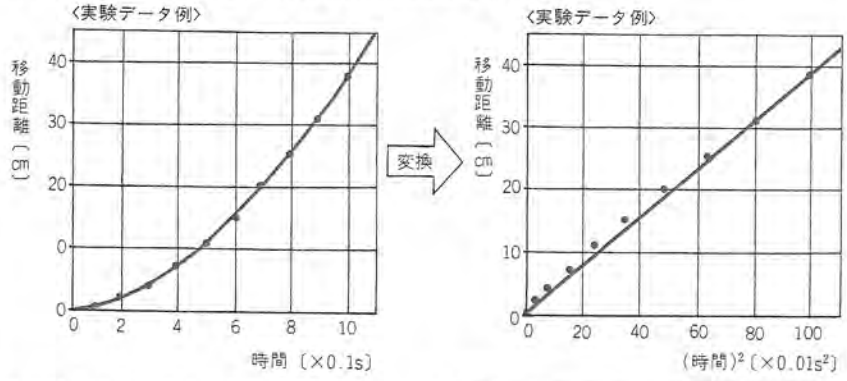
## 【A】正の加速度について調べる

1 留意点 紙テープは，一端を台車の底面にセロハンテープではりつける。
記録タイマーは，C形クランプを使って机に固定しておく。

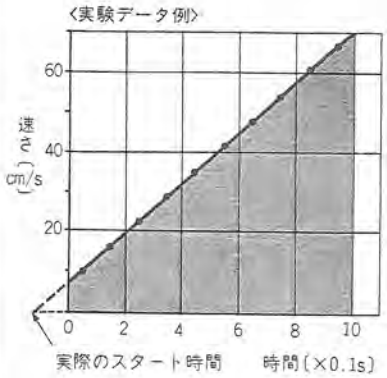
2 留意点 台車をスタートさせると同時にばねはかりのめもりを一定（例えば100gw）にするのは難しい。そこで次のようにして台車をスタートさせるとよい。
左手で台車を押さえて動かないようにしておき，右手でばねはかりを引っ張ってめもりが100gwを示す状態にしておく。そして補助者に記録タイマーのスイッチを入れてもらい，左手を離して台車をスタートさせる。台車が動きだすとばねが縮んで力が減少してしまうので，台車をスタートさせたら，常に一定の力が加わるように，台車の動きに合わせてからだを移動させながら引っ張り続けるようにする。

3①解説 記録されたテープを1打点ごとに解析する方法もある。しかし，この実験では各打点間の間隔が小さいので，誤差を小さくし，また計算もしやすくするため，5打点ごとか10打点ごとに解析する。ここで，5打点（または10打点）ごとに解析するというのは，電源周波数が50Hzの地域の場合であり，電源周波数が60Hzの地域の場合には6打点ごとか12打点ごとに解析する必要がある。このようにすると，それぞれの地域における5打時や6打時は0.1秒となるので，時間番号を0.1倍するだけで「0」からの経過時間が秒単位で求められる。5打時や6打時というのは，打点を5回（または6回）打つ間の時間のことである。
ここでは，ある点の速さを求めるとき，その点の前後の速さから，平均の速さを求める。つまり，ある区間では速さが一様であったと仮定して，その区間の平均の速さを求め，それをその区間の中央の点の速さとするのである。
テープに記録された打点をよく見ると，台車が1打時の間に進んだ距離が，わずかずつではあるが増していることがわかる。つまり，速さが刻々と変化している加速度運動を示していることがわかる。

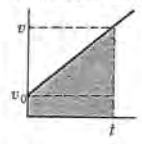
②時間と移動距離(「0」からの距離)の関係をグラフ化する




③時間と速さの関係をグラフ化する




**等加速度直線運動の一般式の導入**




初速度を$v_0$，速度を$v$，時間を$t$とすると，加速度$a$は，左図におけるグラフの傾きなので，

$$a=\frac{v-v_0}{t}$$

となり，これを$v$を表す式に変形すると，

$$v=v_0+at \quad \cdots\cdots(1)$$

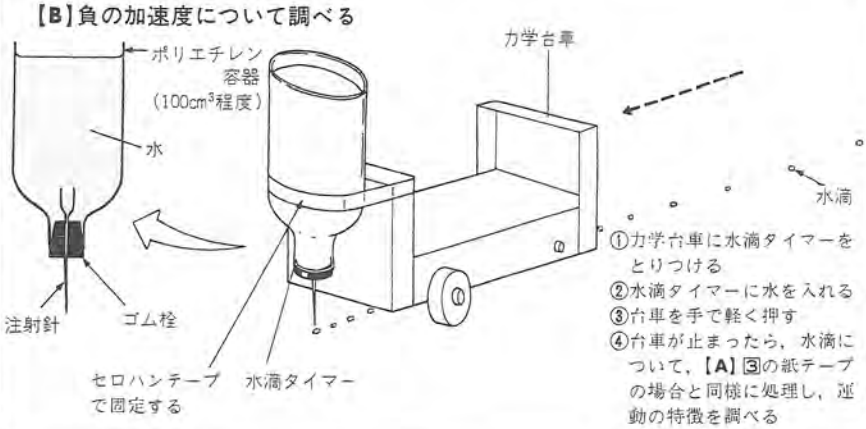
となる。また，物体の移動距離$S$は■部分の面積であるから，

$$S=\frac{1}{2}(v+v_0)t$$

となり，$v$に(1)式を代入すると，次の(2)式のようになる

$$S=v_0t+\frac{1}{2}at^2 \quad \cdots\cdots(2)$$

**【B】負の加速度について調べる**




①力学台車に水滴タイマーをとりつける
②水滴タイマーに水を入れる
③台車を手で軽く押す
④台車が止まったら，水滴について，【A】③の紙テープの場合と同様に処理し，運動の特徴を調べる

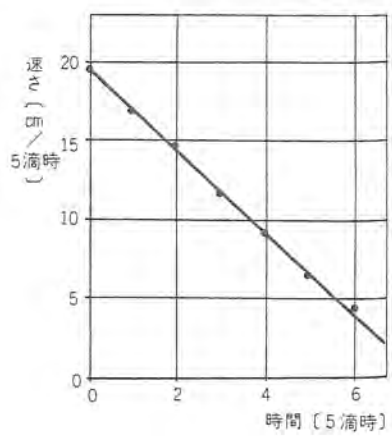
となり，この面積は，①における時間番号0～10までの移動距離と等しいことがわかる。

参考 グラフの傾きが加速度を示していることと，■部分の面積が移動距離を示していることが理解できれば，一般式を導入することができる(囲み部分を参照)。(1)式は，物体の$t$秒後の速さ$v$を表す式で，(2)式は，物体が$t$秒間に移動する距離を表したものである。

**【B】負の加速度について調べる**

解説 加速度には，【A】のように正の場合だけでなく負の場合もある。これは，物体の速さが徐々に減少する運動である。ここでは力学台車を机の上で動かし，机と車輪の摩擦により，台車の速度が徐々に減少するときについて調べる。

この実験では，記録タイマーの代わりに，水滴を同じ時間間隔で落下させる水滴タイマーを用いる。水滴タイマーが等しい時間間隔で水滴を落としていくとすれば，【A】の場合と同様，速さなどを求めることができる。次のグラフは，水滴が5滴落ちる間の時間(5滴時)を時間単位とし，速さと時間の関係を表した実験データの一例である。




②解説 時間と移動距離の関係をグラフにすると，2次曲線($y=ax^2$)のグラフによく似ている。そこで，横軸を時間の2乗にすると，グラフはほぼ直線となる。つまり，台車の移動距離は時間の2乗にほぼ比例することがわかる。

ただし，この実験では，時間番号「0」のとき，すでに台車が動いているので，初速度が0でなく，左の囲み部分の一般式(2)のように表されるため，厳密には比例しない。もちろん，測定のスタートが台車のスタートと一致すれば(一般式(2)において初速度$v_0=0$のとき)，等加速度直線運動であるかぎり，比例する。

③解説 グラフから，時間番号が「0」のときでも，すでに速さがあることがわかる(実験データ例では7 cm/s)。この速さを初速度という。また，グラフの直線を延長すると横軸の延長線と交わるが，このときの時間が実際の台車のスタート時間ということになる(実験データ例では0.12秒前)。

次に，グラフが直線になることに注目する。グラフが直線になるということは，一定時間ごとの速さの増加量が一定であるということである。単位時間当たりの速さの変化量を加速度というから，このように台車を一定の力で引き続ける運動は，加速度が一定の等加速度直線運動ということになる。そして，加速度を求める式は

$$\text{加速度}=\frac{\text{速さの変化量}}{\text{変化に要した時間}}$$

で表されることから，グラフの傾きが加速度を示していることがわかる。

また，グラフの■部分の意味について考えてみる。実験データ例における数値を代入して面積を求めてみると，

$$\text{面積}=\frac{1}{2}(10\times0.1)\text{〔s〕}\times(7+69)\text{〔cm/s〕}$$
$$=38.0\text{〔cm〕}$$

# 47 斜面を降下する物体の運動

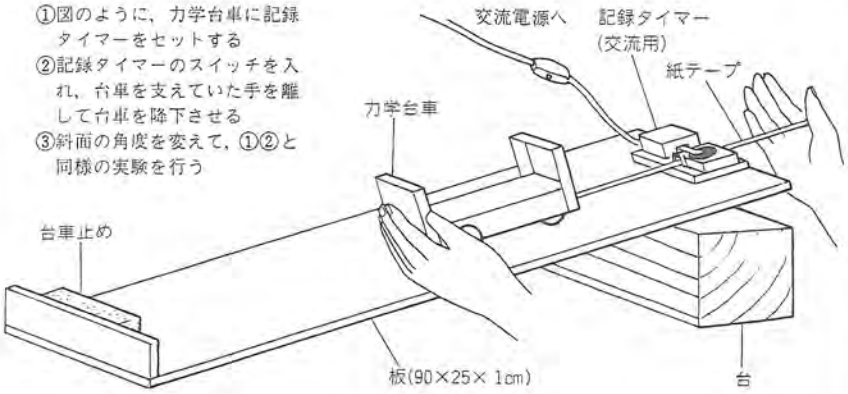
ねらい 田3圖 斜面を降下する力学台車の運動の特徴を調べることができる。

記録タイマー(交流用)　紙テープ　力学台車　C形クランプ　セロハンテープ　板①　台車止め　台②　はさみ　のり　方眼紙

①斜面にするもの。90×25×1cm程度のものがよい。②斜面を支えるもの。スタンドでもよい。

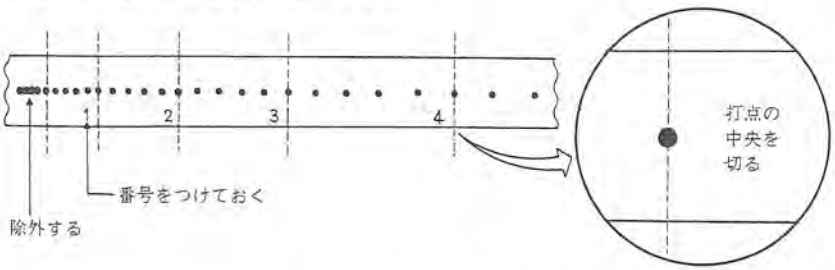
## 1 力学台車に記録タイマーをセットし，斜面を降下させる

①図のように，力学台車に記録タイマーをセットする
②記録タイマーのスイッチを入れ，台車を支えていた手を離して台車を降下させる
③斜面の角度を変えて，①②と同様の実験を行う



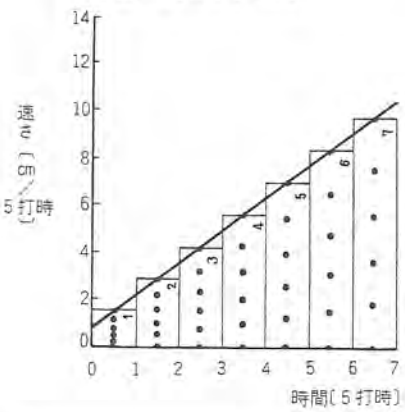

## 2 紙テープを処理し，運動の特徴を調べる

①紙テープを5打点ごとにはさみで切る

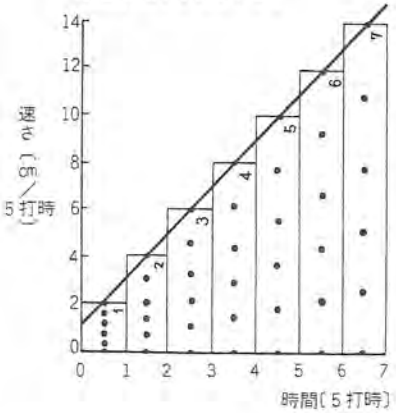



②紙テープを方眼紙にはって，グラフを作ってみる

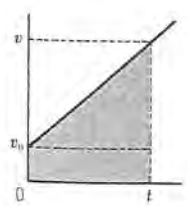
斜面の傾きが小さいとき




斜面の傾きが大きいとき




### 等加速度直線運動の一般式の導入




初速度を$v_0$，速度を$v$，時間を$t$とすると，加速度$a$は左図におけるグラフの傾きなので，

$$a=\frac{v-v_0}{t}$$

となり，これを$v$を表す式に変形すると次の(1)式のようになる

$$v=v_0+at \cdots\cdots(1)$$

また，物体の移動距離$s$は□部分の面積であるから，

$$s=\frac{1}{2}(v+v_0)t$$

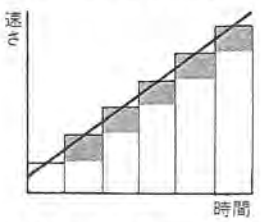
となり，$v$に(1)式を代入すると次の(2)式のようになる

$$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2 \cdots\cdots(2)$$

1 留意点 紙テープは，一端を台車の底面にセロハンテープではりつける。また，適当な長さに切って使うようにする。長過ぎると，紙テープのたるみで摩擦が大きくなるので，誤差が大きくなる。
記録タイマーは，C形クランプを使って板に固定しておく。
斜面の傾きをいろいろ変化させて調べてみるとよい。

2① 留意点 5打点ごとに切るのは，電源周波数が50Hzの地域の場合なので，60Hzの地域の場合は6打点ごとに切る。
紙テープには，5打点ごとに，小さいほうから順に1，2，3，4，……と番号をつけておくとよい。グラフを作るとき，紙テープをはりつける順番の間違いがなくなる。

② 解説 このグラフの横軸は時間を意味し，テープの幅が5打時(5打点を打つ時間)に相当する。また，縦軸は，単位時間(5打時)に進んだ距離，つまり速さを意味している。したがって，このグラフは，時間と速さの関係を表していることになる。よって，各テープの頭の中心を結ぶと，図のような直線になる。
結果 グラフをよく観察すると，単位時間に変化する速さの量は，次のように一定になっていることがわかる。




□部分の面積が等しいことから，単位時間に一定の割合で速さが増加していることがわかる

このことは，各テープの頭の中心を結んだ線が直線になることでもわかる。このことから，斜面を降下する台車の運動は，等加速度直線運動であることがわかる。
また，加速度は，グラフの直線の傾きから求められることから，斜面の傾きが大きいほど加速度も大きいことがわかる。
参考 グラフの傾きが加速度を示していることと，グラフの線と横軸に囲まれている部分の面積が移動距離を示していることから，一般式を導入することができる(左の囲み部分を参照)。
(1)式は，物体の$t$秒後の速さ$v$を表す式で，(2)式は，物体が$t$秒間に移動する距離を表したものである。

# 48 力と加速度の関係を調べる

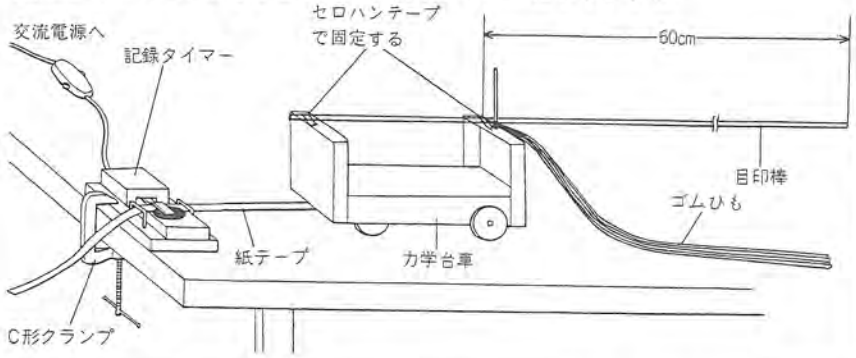
**ねらい** 物体に一定の力を加え続けると，一定の加速度で運動をすることが調べられる。
物体の質量が一定のとき，力と加速度が比例関係にあることが調べられる。

**【A】記録タイマー(交流用)　紙テープ　力学台　ゴムひも　細い棒(80cm程度)　セロハンテープ　C形クランプ　台車止め　ものさし　方眼紙**

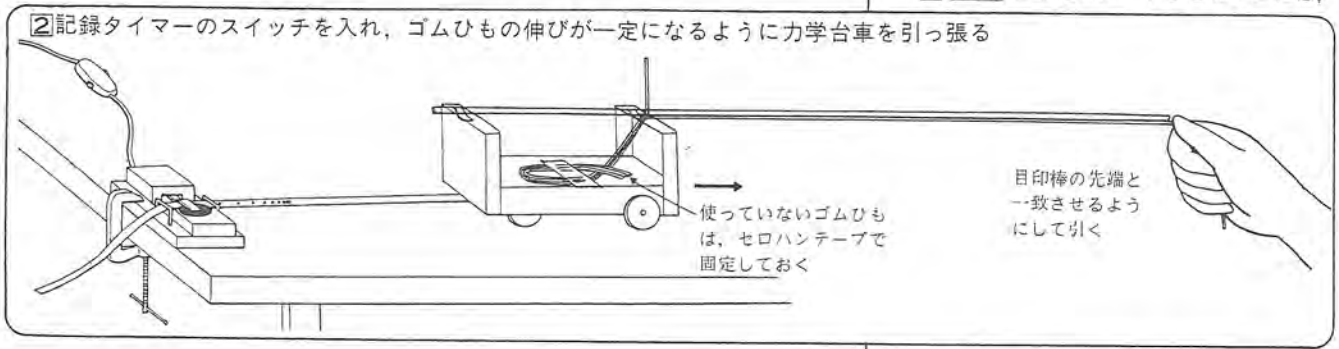
＊以上のほか【別法】では，プリー付き支柱装置，ばね，毛筆，紙，ついたて，【B】では，タオル，【C】では，糸，くぎが必要である。

## 【A】一定の力が進行方向に加わる運動

1 力学台車にゴムひもをとりつけ，記録タイマーにセットする

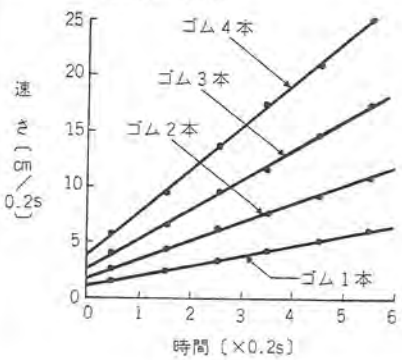



2 記録タイマーのスイッチを入れ，ゴムひもの伸びが一定になるように力学台車を引っ張る



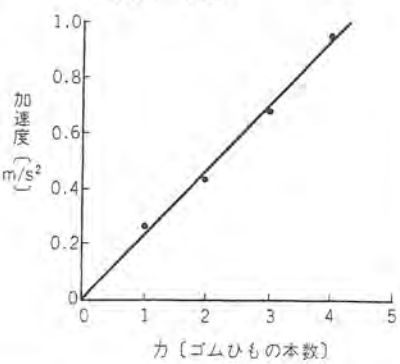

3 時間と速さの関係をグラフ化する

〈実験データ例〉




4 力と加速度の関係をグラフ化する

〈実験データ例〉




この際，使わないゴムひもは，台車の上にセロハンテープで固定しておくとよい。

3 留意点 紙テープを処理するときには，電源周波数が50Hzの場合は5打点間隔で処理し，60Hzの場合は6打点間隔で処理するとよい。しかし，ゴムひもの太さや強さにより打点間隔は多少異なるので，5打点間隔(または6打点間隔)で処理することにこだわる必要はない。その他の処理法については，46を参照。

解説 上の実験データ例は，使ったゴムひもが細く，紙テープの打点間隔が狭くなったため，10打点間隔で処理したものである。また，速さの単位には〔cm/0.2s〕を使ってあるが，これは10打点，つまり0.2秒当たり何cm移動したかを示すものであり，1秒当たりの移動距離を示す単位に直すと，〔×5cm/s〕となる。

結果 台車を一定の力で引き続けると，等加速度直線運動になり，引く力が大きくなるにつれてグラフの傾きが大きくなること，つまり加速度が大きくなることがわかる。

4 留意点 加速度は，3のそれぞれのグラフにおける傾きから49の重力加速度と同様の方法で求めればよい。

ここでは，定性的な関係を調べればよいので，横軸にとる力の単位としては，ゴムひもの本数をとるだけでよい。力の大きさを，ニュートン〔N〕などの単位できちんと求めたいときには，ゴムひもの弾性定数を求めて，ゴムひもの伸びた長さから力の大きさを計算するとよい。

結果 グラフが原点を通る直線になることから，加速度は，ゴムひもの本数，つまり力の大きさに比例することがわかる。

### 【A】一定の力が進行方向に加わる運動

1 留意点 紙テープは，一端を台車の底面にセロハンテープではりつける。記録タイマーは，C形クランプで机に固定しておく。ゴムひもは，1本の長さが40cmぐらいのものを4本とりつける。

ゴムひもを引き伸ばすときの長さの目安にするため，細くて軽い目印棒を台車にとりつけておく。目印の長さは，60cm(ゴムひもの自然長の1.5倍程度)にする。

台車を引く方向の机の端には，C形クランプで台車止めを固定しておくとよい。

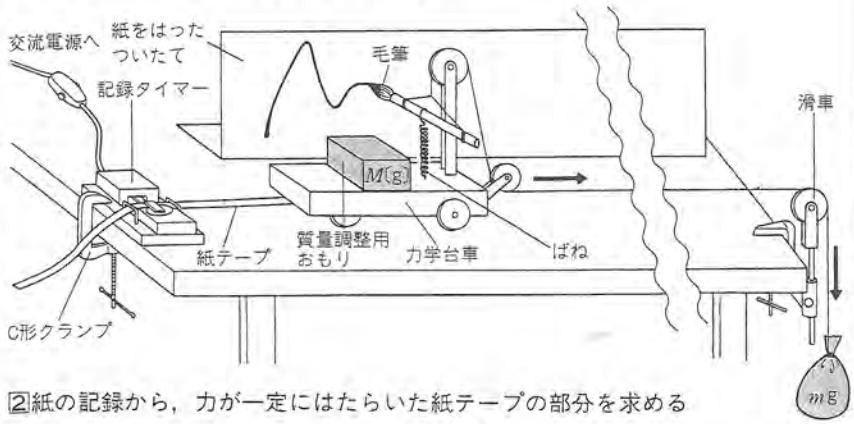
2 留意点 台車をスタートさせるときには，スタートと同時にゴムひもの伸びが一定になるようにするため，片手で台車を押さえ，もう一方の手でゴムひもを目印の長さ(60cm)になるまで引き伸ばした後，台車を押さえていた手を離してスタートさせるようにするとよい。

台車をスタートさせたら，ゴムひもをつまんでいる指の先と目印棒の先端が常に一致するように，目で確かめながら引くようにする。これをしっかりやらないと，よい結果が得られない。

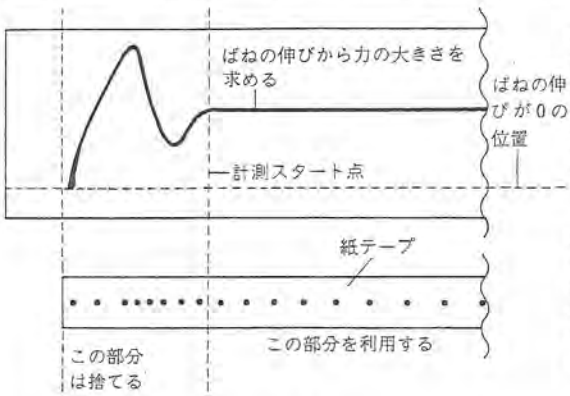
台車を引っ張るときの力の大きさを，いろいろ変化させて実験してみる。つまり，ゴムひもの本数を変えて実験してみる。

【別法】毛筆を利用した方法

1 装置を組み立て，力学台車を走らせる




2 紙の記録から，力が一定にはたらいた紙テープの部分を求める




実験を行ったら，台車にかかる加速度$a$が2，3，4倍に変化するように力学台車全体の質量$M$〔g〕と落下用おもりの質量$m$〔g〕を下式から求め，おもりを代えて実験してみる

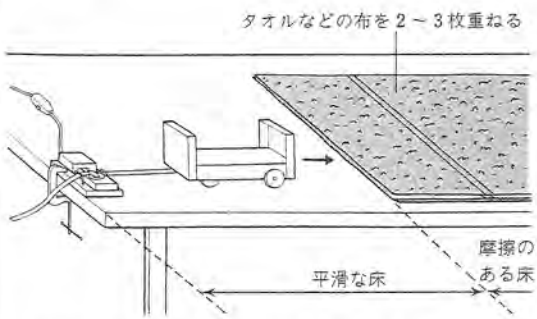
$$a=\frac{m}{M+m}$$

摩擦力のため，上式だけではうまく2，3，4倍を設定することはできないので，予備実験を行い$M$を加減する

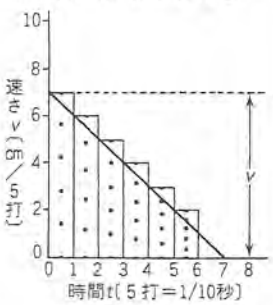
得られたデータは【A】3 4と同様にグラフ化する

【B】摩擦力がはたらく運動を調べる

1 力学台車を平滑な床から，摩擦のある床へ走らせる

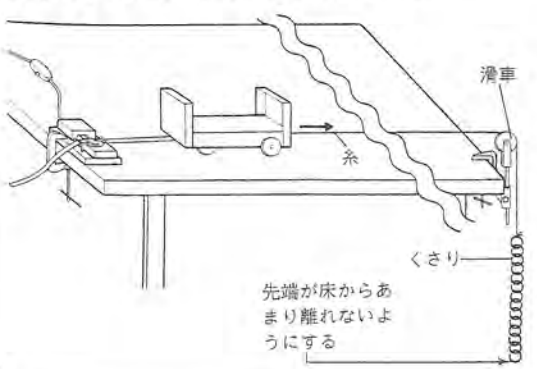



2 台車が布上を走った部分の紙テープを5打間ごとに切り，グラフを作る

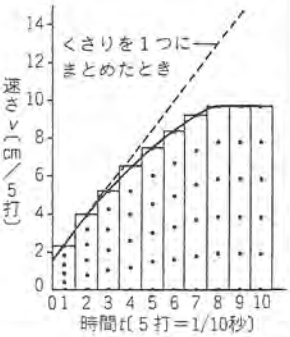



【C】加わる力が変化する運動を調べる

1 装置を組み立て，力学台車を走らせる




2 紙テープを5打間ごとに切り，グラフを作る




【別法】毛筆を利用した方法

留意点 走り始めた当初は，加わる力が一定しないが，その分のテープを無視して作業を進める。

【B】摩擦力がはたらく運動を調べる

1 留意点 負の加速度がはっきりわかるように，表面の凹凸のはっきりしているタオルなどを2～3枚重ねて用いるとよい。減速の効果がはっきりわかるように，力学台車を走らせる速さをいろいろ変えて予備実験をしておく。

2 留意点 紙テープは，力学台車が布の上を走っている部分のものを使用する。

グラフを作ったら，加速度$a$を求める。加速度$a$は，時間$t_0$～$t_1$における速度$v_0$～$v_1$の単位時間当たりの変化である。

したがって下式より求めることができる。

$$a=\frac{v_1\sim v_0}{t_1\sim t_0}$$

実験データ例

$$a=\frac{0-7.1}{0.7-0}\fallingdotseq -10.1\text{〔cm/S}^2\text{〕}$$

5打点ずつ区切るのは，電源周波数50Hzの地域の場合なので，電源周波数が60Hzの地域の場合は6打点ずつ区切るようにする。

解説 グラフは時間とともに速さが減少していくものとなる。このことから，力学台車に負の加速度(減速)が生じていることがわかる。

【C】加わる力が変化する運動を調べる

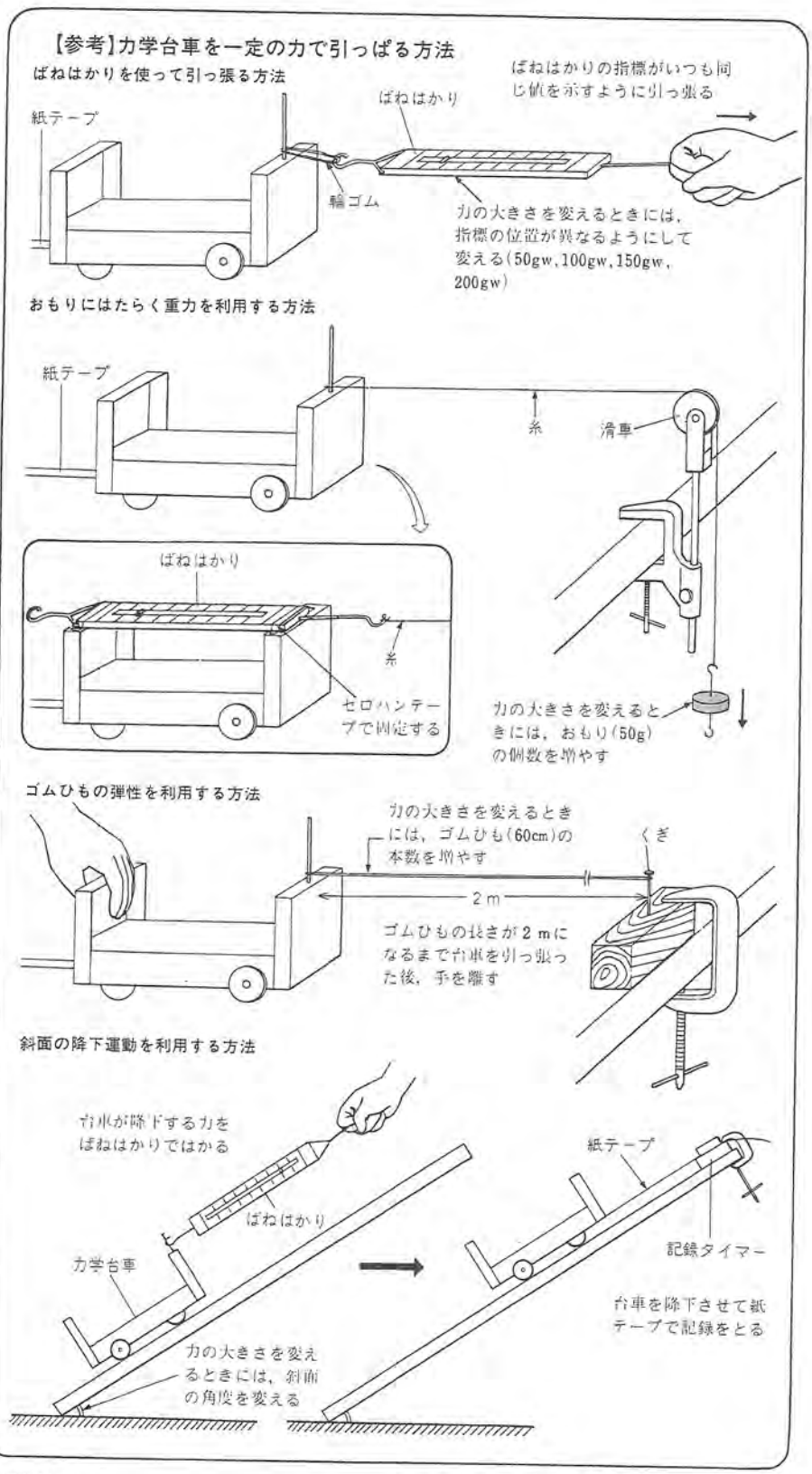
1 留意点 実験に入る前，「台車に加わる力がだんだん小さくなると，台車はどんな運動をするだろうか」と問いかけると，生徒には結果が推測しにくいので実験意欲が起きる。

台車を走らせる距離が短いので，くさりは，太さ3～4mm，1駒の長さが3cm前後のものが適している。

くさりの重さを変えてみたり，くさりをひとまとめにして同じ実験をして比較するとよい。

解説 くさりが台車を引く力は，くさりの下端が床面についたときから減少をはじめ，くさりの上端が床面についたときにゼロになる。

2 結果 グラフから加速度がだんだん小さくなる運動の様子がわかる。加わる力が小さくなっても，速さは増加している。




速度を求める。

自然長1 mのゴムひもを4 m程度まで引き伸ばして実験し，最初の15cmだけの紙テープを解析すると，誤差はかなり減少する。しかし生徒実験の場合は，机の長さから2 mが限度である。

仮定が入ってはいるが，データの精度はかなり高い実験である。

**斜面の降下運動を利用する方法**　これは，台車が斜面を降下するときの運動が，等加速度運動であることを利用する方法である。安定したデータが得られ，グラフの直線性もよいが，グラフはほとんど原点を通らない。それは，台車を降下させようとする力が，静止しているときと動いているときとで異なることに原因があるものと思われる。つまり，静止摩擦力と動摩擦力が異なることや，動いているときには，車輪の回転によって回転エネルギーが失われることなどに原因があると思われる。

**【参考】力学台車を一定の力で引っぱる方法**

解説 力学台車を一定の力で引っぱるには，様々な方法が考えられるが，そのうちのいくつかの方法を紹介する。

**ばねはかりを使って引っ張る方法**　前ページのゴムひもを引っ張る方法に比べて極めて簡便である。しかし，ばねはかりのめもりを一定にしながら引き続ける必要があり，操作には熟練を要する。また，データのばらつきも大きくなる。

輪ゴムを通してばねはかりを引くのは，めもりの値が不安定にならないように，輪ゴムの弾性を利用して小さな衝撃を和らげるためである。

**おもりにはたらく重力を利用する方法**　人間の手で台車に一定の力を加え続けるのは難しく，正確さに欠ける。そこで，このようにおもりにはたらく重力を利用すると，実験しやすく，安定したデータが得られる。

しかしこの方法は，重大な問題を抱えている。つまり，運動している物体の質量は，台車の質量$M$とおもりの質量$m$の和になるということである。詳しい計算によると，重力加速度を$g$とすると，加速度$a$を求める式は次のようになる。

$$a=\frac{mg}{M+m}$$

上式からもわかるように，$M$に対して$m$が小さければ無視できるが，その場合，逆に$a$が小さくなるため，データの解析が難しくなる。

このような問題を解決するには，左の囲み図の部分のように，台車にはたらく力を，台車に固定したばねはかりで直続すればよい。この方法は，台車が加速されて速度が大きくなったとき，めもりの値を直読しにくいという欠点はあるが，成功すれば，かなりの精度のデータが得られる。

**ゴムひもの弾性を利用する方法**　この方法だと，スタート後，ゴムひもの伸びが小さくなるため，台車を引く力は次第に小さくなる。そこで，最初の15cm程度ではその変化が微小であると仮定し，記録された紙テープを解析するときには，最初の15cm程度について細かく解析して加

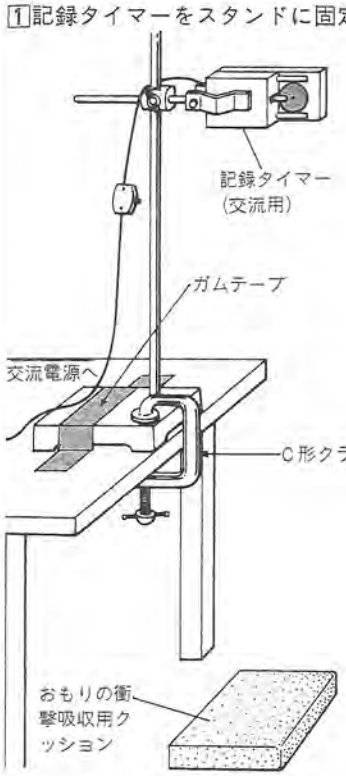
# 49 重力加速度$g$の測定

ねらい 高　記録タイマーを使って，重力による物体の加速度を測定することができる。
落下の加速度が質量の大小に関係なく一定であることを確かめることができる。

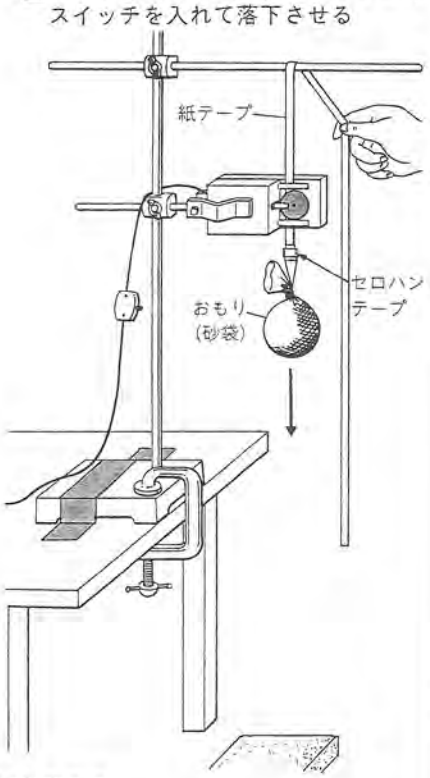
記録タイマー(交流用)　紙テープ　スタンド　C形クランプ　衝撃吸収用クッション　おもり①　セロハンテープ　ものさし　方眼紙　のり　はさみ　【別法】分液ろうと(300～500cm³程度のもの)　スタンド　バケツ　巻き尺　ストップウオッチ

①1kg程度のものと0.5kg程度のものを1個ずつ。砂袋や粘土で作った球などがよい。

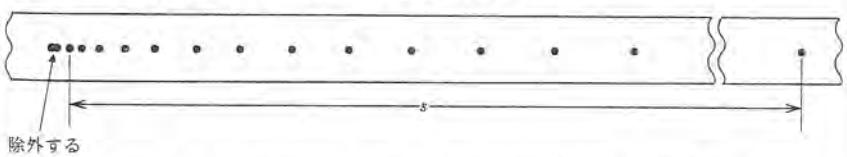
1 記録タイマーをスタンドに固定する




2 おもりをセットし，記録タイマーのスイッチを入れて落下させる




3 紙テープと自由落下式から重力加速度$g$を求める

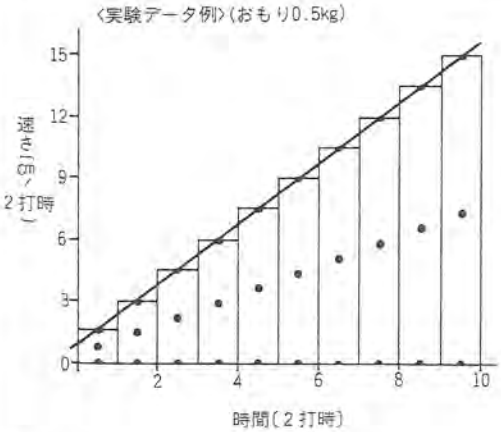



①打点がはっきりしない所を除外し，最初と最後の打点間の距離$s$をはかる
②距離$s$の間の打点の数から，おもりが$s$だけ落下する時間$t$を求める
③$s$と$t$を次の自由落下式に代入し，重力加速度$g$を求める

$$s=\frac{1}{2}gt^2 \longrightarrow g=\frac{2s}{t^2}\ [\mathrm{m/s^2}]$$

4 紙テープでグラフを作り，その傾きから重力加速度$g$を求める

〈実験データ例〉(おもり0.5kg)




①紙テープを2打点ごとにはさみで切りとり，方眼紙にはりつけてグラフを作る
②切りとった各紙テープの上端の中心を結ぶ直線を引き，その直線の傾きから重力加速度$g$を求める

$$g=\frac{\text{速さの変化量}}{\text{変化に要した時間}}$$
$$=\text{グラフの傾き}$$

1 留意点 床からおもりまでの高さが1m以上になるように，記録タイマーの高さを調整しておく。スタンドは，C形クランプなどで机に固定しておく。
おもりの落下場所には，衝撃吸収用のクッションを置いておく。

2 留意点 紙テープの長さは，1mぐらいにする。
紙テープにおもりをとりつけるときにはセロハンテープを用いればよい。
おもりを落下させるとき，紙テープが記録タイマーから離れたら，記録タイマーのスイッチを直ちに切る。
おもりが1kg程度のときと，0.5kg程度のときのそれぞれについて実験してみる。

3 留意点 おもりの質量を変えたときのそれぞれについて重力加速度$g$を求め，比較してみる。

4 解説 左のグラフは，0.5kgのおもりを落下させたときの実験データ例であるが，このときの計算例を次に示す。
速さが3〔cm/2打時〕から15〔cm/2打時〕の区間では，速さの変化量は，(15－3)〔cm/2打時〕となり，このときの変化に要した時間は，(9.5－1.5)〔2打時〕となる。また，1打時(記録タイマーが1打を打ってから次の1打を打つ間の時間)は，電源周波数が50Hzの地域では1/50秒(60Hzの地域では1/60秒)，つまり0.02秒である。したがって，これらの数値から，グラフの傾きを求めて単位を整理すると，重力加速度$g$は，次のように求められる。

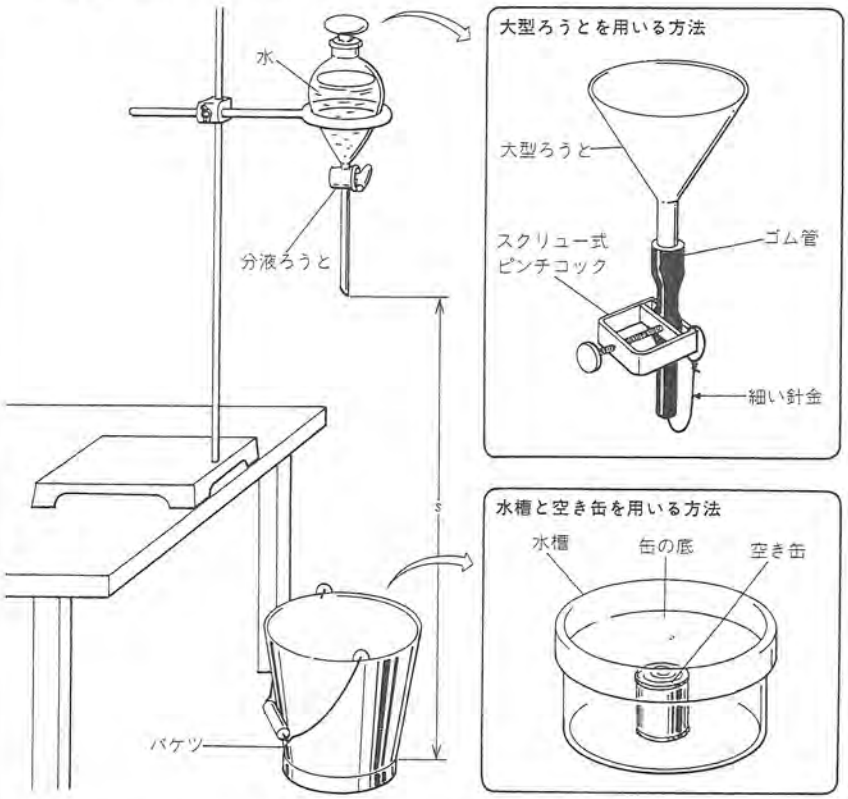
$$g=\frac{(15-3)\text{〔cm/2打時〕}}{(9.5-1.5)\text{〔2打時〕}}$$
$$=\frac{12\times0.01\text{〔m〕}}{8\times(0.04)^2\text{〔s²〕}}$$
$$=9.4\text{〔m/s²〕}$$

留意点 おもりの質量を変えたときのそれぞれについてグラフを作って重力加速度$g$を求め，比較してみる。また，3で求めた値とも比較してみる。

解説 一般に物体の落下距離が短いときには物体が受ける空気抵抗を無視することができる。このように空気抵抗が無視できるとき，落下の加速度は，物体の大きさや質量に関係なく一定であることがわかる。重力加速度$g$の計算値は，必ずしも正確な値9.8〔m/s²〕と一致しないが，これは紙テープと記録タイマーの摩擦などの影響によることが多い。

## 【別法】水滴を落下させて測定する方法

1 水を入れた分液ろうととバケツを図のようにセットし，バケツの底からろうとの下端までの距離 $s$ をはかる




2 水滴の落下時間 $t$ を求める




①水滴を1滴ずつ滴下させ，落下した水滴がバケツに落ちる音がすると同時に次の水滴がろうとの先端から落ち始めるように，活栓を調整する
②ストップウオッチで，水滴が20滴落下する間の時間をはかる
③水滴1滴の落下時間 $t$ を求める

3 自由落下式から，重力加速度 $g$ を求める

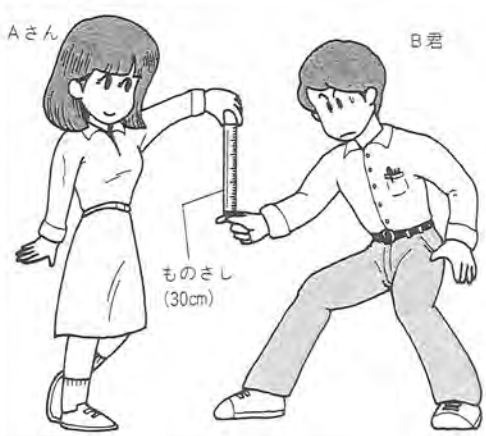
1 ではかった落下距離 $s$ と 2 で求めた落下時間 $t$ を自由落下式に代入し，重力加速度 $g$ を求める

$$s=\frac{1}{2}gt^2 \longrightarrow g=\frac{2s}{t^2}\ [\mathrm{m/s^2}]$$

実験データ例

| 落下距離 $s$ [m] | 20滴落下するのに要した時間[s] | | | | | 落下時間 $t$ [s] | 重力加速度 $g$ [m/s²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 平均 | | |
| 1.5 | 11.0 | 11.1 | 11.2 | 11.4 | 11.2 | 0.56 | 9.6 |

### 人間の反応時間の測定




①Aさんは，ものさしの一端を指で挟んでつり下げる
②B君は，ものさしの下端の位置で，それに触れないように指で挟む準備をする
③Aさんが予告なしにものさしを落とす。それを見たB君は素早くものさしを指で挟む
④ものさしの下端から，B君がものさしを挟んだ位置までの距離 $s$ をはかる
⑤ $s$ と重力加速度 $g$(9.8[m/s²]) を自由落下の式に代入し，B君の反応時間 $t$ を求める

$$s=\frac{1}{2}gt^2 \qquad t=\sqrt{\frac{2s}{g}}$$

### 【別法】水滴を落下させて測定する方法

解説 水滴の自由落下運動が等加速度直線運動であることを理解しているときには，この方法で実験したほうが簡単である。このほか，単振り子の周期から求める方法などもある。

1 留意点 距離 $s$ は，1.5m 程度(床に立ったときの目線の高さ)がよい。
分液ろうとがないときには，大型ろうとなどの適当な容器の先にゴム管をつなぎ，スクリュー式のピンチコックで調整するようにするとよい。この際，ゴム管の中に細い針金を通しておくと，さらに調整しやすくなる。針金をゴム管の中に通すときには，針金の先端の位置がピンチコックの位置よりも高くなるようにしておく。
バケツの代わりに，水滴の落下音がよく聞こえるように水槽の中に空き缶を逆さにして入れておいてもよい。

2 留意点 水滴が等時間間隔で落下するようにうまく調整できないときには，分液ろうとの代わりに大型ろうとを使った装置(1 を参照)で行ってみるとよい。

解説 1滴の落下時間を簡単に，かつ正確にはかるのは難しいので，このように20滴分の落下時間をまとめてはかった後，1滴分の落下時間を求めるのである。

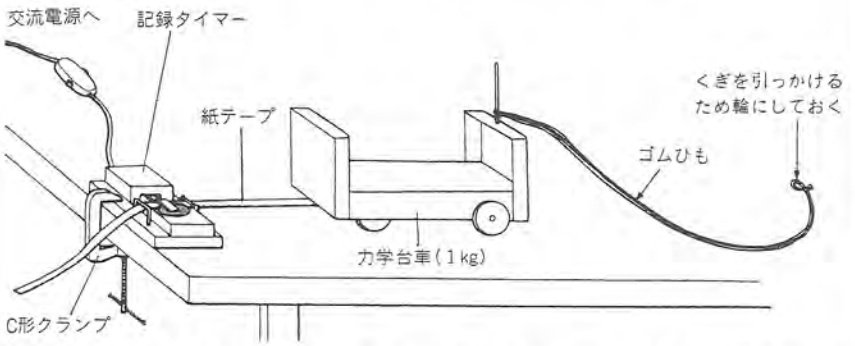
参考 自由落下式の身近な問題への応用例として，人間の反応時間を測定する方法がある。生徒の反応時間は，一般に0.2秒前後ある。
日ごろの実験では，必ず測定誤差を生じるが，その中には，このような反応時間が原因で生じた誤差もある。

# 50 質量と加速度の関係を調べる

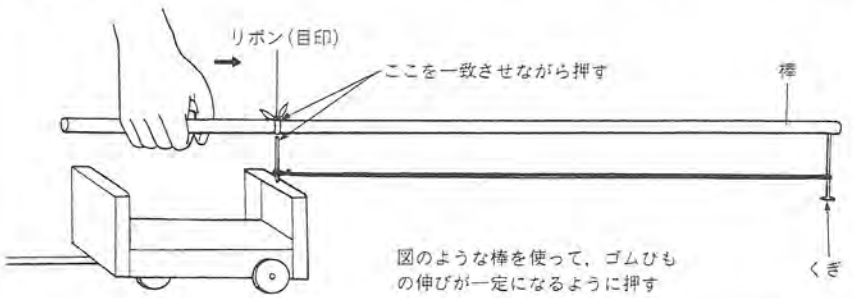
記録タイマー(交流用)　紙テープ　ゴムひも　力学台車(1kg)　おもり(1kg3)　棒(80cm程度)　くぎ　リボン　C形クランプ　台車止め　ものさし　方眼紙

ねらい　物体にはたらく力を一定にして，物体の質量を変えていくと，物体の加速度がどうなるか調べることができる。
加速度と質量の関係をグラフにする方法が理解できる。

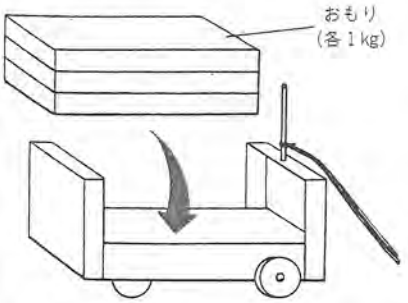
1力学台車にゴムひもをとりつけ，記録タイマーにセットする




2記録タイマーのスイッチを入れ，ゴムひもの伸びが一定になるように力学台車を押す

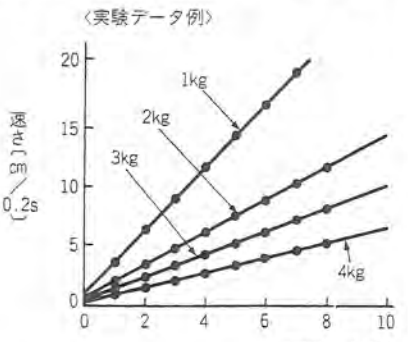



3台車におもりを載せて質量を変え，2と同様の実験を行う



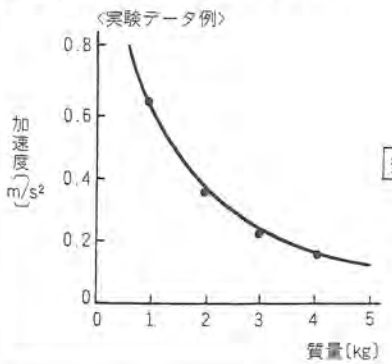

4速さと時間の関係をグラフ化する

〈実験データ例〉



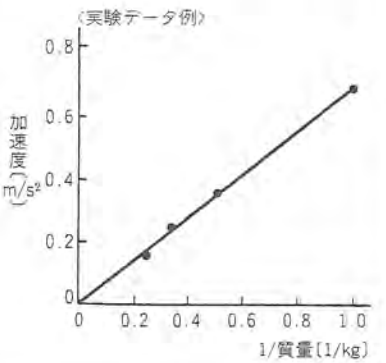

5加速度と質量の関係をグラフ化する

〈実験データ例〉




変換

〈実験データ例〉




1 留意点 紙テープは，一端を台車の底面にセロハンテープではりつける。
記録タイマーは，C形クランプで机に固定しておく。
ゴムひもは，1本の長さが40cmぐらいのものを2～3本用いる。1本だと，台車の上におもりを3個載せたとき，動かなくなることがある。
台車の移動方向の机の端には，C形クランプで台車止めを固定しておくとよい。

2 留意点 台車をスタートさせるときには，スタートと同時にゴムひもの伸びが一定になるようにするため，片手で台車を押さえ，もう一方の手でゴムひもを所定の長さになるまで引き伸ばした後，台車を押さえていた手を離してスタートさせるようにするとよい。
台車をスタートさせたら，リボンと台車の先端が常に一致するように，目で確かめながら押すようにする。これをしっかりやらないと，よい結果が得られない。

3 留意点 おもりを1個載せた場合，2個載せた場合，3個載せた場合のそれぞれについて実験してみる。
解説 ここでの物体の質量とは，台車の質量におもりの質量を加えたものである。

4 留意点 紙テープの処理法については，46 を参照。
解説 紙テープを一定打間隔ごとにはさみで切り，それを方眼紙にはりつけてグラフを作る方法もある。しかし，この実験のように紙テープの本数が多い場合は，区間距離を直接，方眼紙に記入してグラフを作るほうが簡単である。
左の実験データ例では，速さの単位に，〔cm/0.2s〕を使ってあるが，これは10打点，つまり0.2秒当たりに何cm移動したかを示すものであり，1秒当たりの移動距離を示す単位に直すと，〔×5cm/s〕となる。

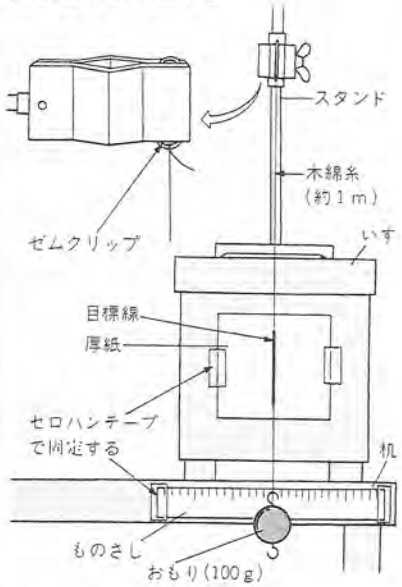
5 解説 加速度と質量の関係をグラフにすると，これらは反比例の関係にあるらしいということがわかる。そこで，もし反比例するのなら，加速度と質量の逆数は比例するはずであるから，横軸に質量の逆数をとってグラフを変換するのである。
結果 変換したグラフは，原点を通る直線となることから，物体に一定の力を加えたとき，加速度は物体の質量に反比例することがわかる。

# 51 単振り子の実験

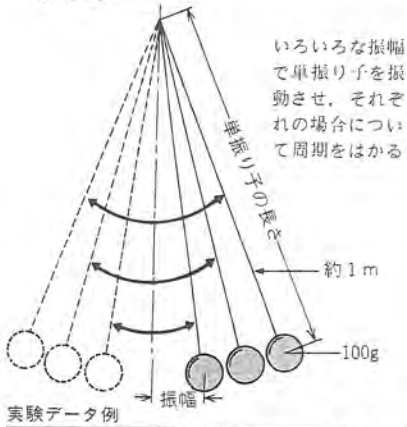
**ねらい** 単振り子の物理的性質(長さ・おもりの質量・振幅と周期の関係)を調べることができる。

おもり(100g, 25g, 5g)　木綿糸　ゼムクリップ
スタンド　厚紙　ものさし(1m, 30cm)　セロハンテープ　ストップウオッチ　など

### 1 装置を組み立てる




### 2 振動の周期が振幅に関係あるかどうかを調べる

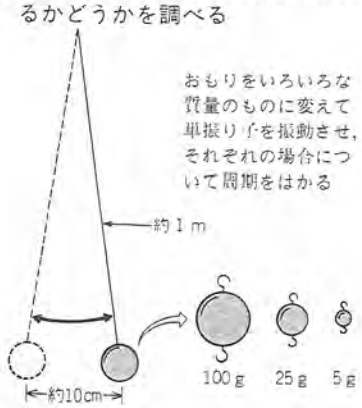



実験データ例

| 振　　幅〔cm〕 | 2.0 | 5.0 | 15.0 |
|---|---|---|---|
| 10往復の時間〔s〕 | 19.5 | 19.6 | 19.7 |
| 周　　期〔s〕 | 1.95 | 1.96 | 1.97 |

単振り子の長さ：95cm

### 3 振動の周期がおもりの質量に関係あるかどうかを調べる

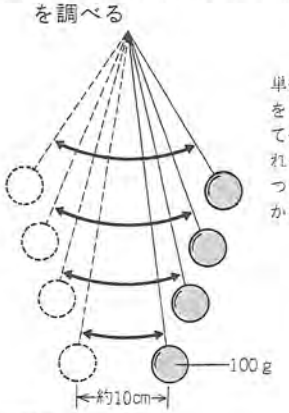



実験データ例

| おもりの質量〔g〕 | 5 | 25 | 100 |
|---|---|---|---|
| 10往復の時間〔s〕 | 19.6 | 19.7 | 19.6 |
| 周　　期〔s〕 | 1.96 | 1.97 | 1.96 |

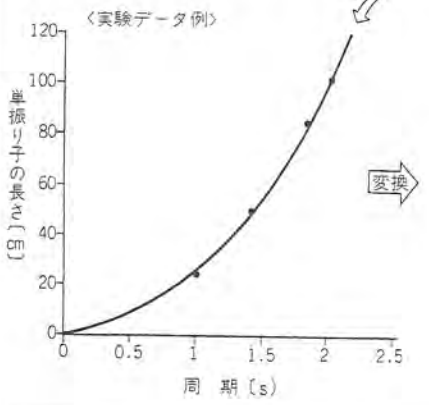
単振り子の長さ：95cm

### 4 振動の周期と単振り子の長さの関係を調べる

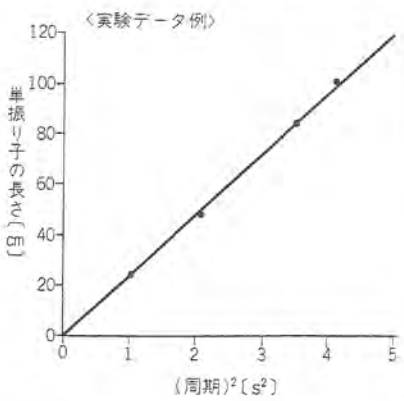



実験データ例

| 単振り子の長さ〔cm〕 | 101 | 85 | 50 | 25 |
|---|---|---|---|---|
| 10往復の時間〔s〕 | 20.2 | 18.7 | 14.4 | 10.1 |
| 周　　期〔s〕 | 2.02 | 1.87 | 1.44 | 1.01 |
| (周　期)$^2$〔s$^2$〕 | 4.08 | 3.50 | 2.08 | 1.02 |




変換




**1** 解説 いすに目標線を書いた厚紙をとりつけておくのは，周期をはかるときの目安にするためである。
机にものさしをとりつけておくのは，振幅をはかるためである。

**2** 留意点 単振り子を振動させるときには，振動面がものさしに対して平行になるようにする。また，振動面が同一平面を描くようにする。
周期は，単振り子が1往復する時間をはかればよいわけだが，このようにしてはかるのは，実際には難しい。そこで，単振り子が10往復する時間をはかり，それを10で割って求めるようにする。
単振り子の振動は，両端で止まり，中央で最も速くなる。そこで，より正確に周期を測定するため，振動の中央，つまり目標線を通過したときに計時を始めるようにする。
結果 振幅があまり大きくないとき，単振り子の周期は，振幅の大小に関係ないことがわかる。

**3** 留意点 **2**の留意点に同じ。
結果 単振り子の周期は，おもりの質量の大小に関係ないことがわかる。

**4** 留意点 **2**の留意点に同じ。
結果 単振り子の長さと周期の関係をグラフにすると，2次曲線($y=ax^2$)に似た形となる。そこで，周期の2乗を求めて，グラフを変換すると，グラフは原点を通る直線となることから，周期の2乗は，単振り子の長さに比例することがわかる。
解説 以上の結果から，周期は，単振り子の長さだけに関係し，振幅の大小には関係しないことがわかるが，このことを「振り子の等時性」と呼んでいる。
参考 単振り子の長さ $l$ と周期 $T$ の関係は，詳しい理論によると，次の関係式で表される。

$$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\quad\left(\begin{array}{l}\pi：円周率\\ g：重力加速度\end{array}\right)$$

したがって，単振り子の長さ $l$ と周期 $T$ を正確に求めれば，重力加速度 $g$ を求めることができる。$l$ と $T$ を正確に測定するためには，次のようにするとよい。

- $l$ ——実験前の長さと実験後の長さの平均とする
- $T$ ——連続して190回以上振動させ，10往復ごとの時間を19回以上はかり，それらの平均から求める

# 52 フーコーの振り子の実験

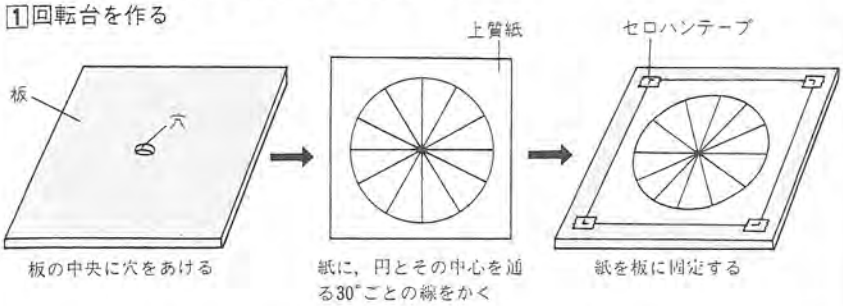
ねらい 高　振り子の振動面は，回転台の回転方向に対しては，見かけ上，逆向きに回転し，空間に対しては変化しないことが調べられる。単振り子を使って，地球が自転していることが調べられる。

板(40×40cm程度)　上質紙　コンパス　分度器　鉛筆　セロハンテープ　おもり[1]　糸[2]　ゼムクリップ　スタンド(小型のもの)　わら半紙　鋼球(パチンコ玉)

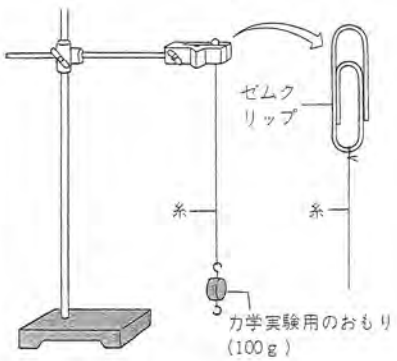
①力学実験用(100g)を1個と，単振り子実験用（直径4cm，300g）を1個。②単振り子実験用おもりに使うものは，よじれの生じないもの。

## 【A】振り子の振動面を回転台から観察する

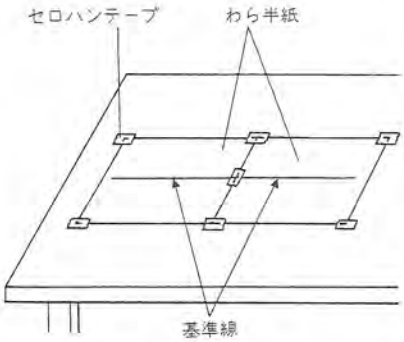
### 1 回転台を作る



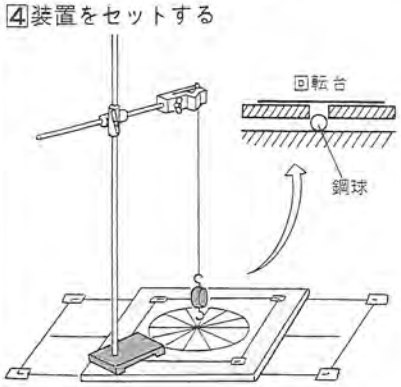

### 2 振り子をスタンドにとりつける



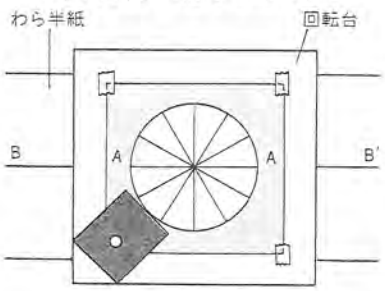

### 3 机の上に紙をはり，基準線を引く



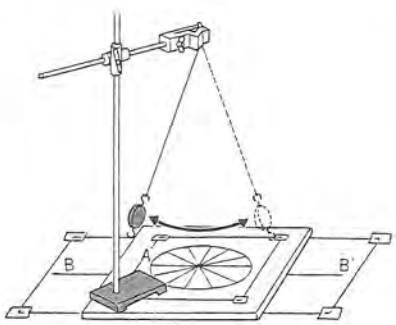

### 4 装置をセットする



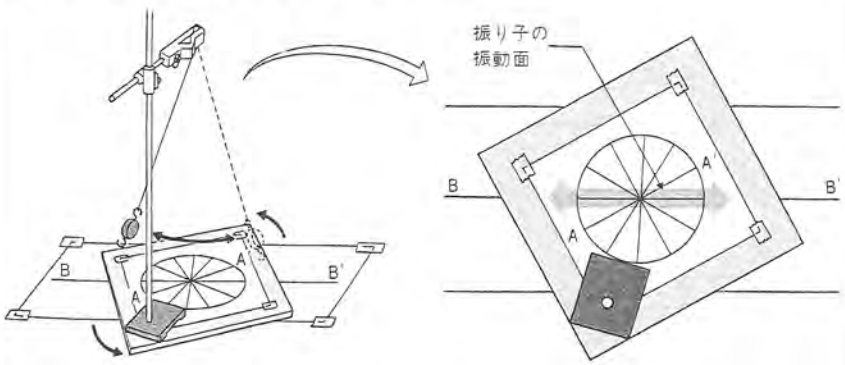

### 5 回転台の線を基準線と一致させ，A，A′，B，B′の記号を記入する




### 6 振り子を振動させる




### 7 回転台を反時計回りに30°回転させてみる




## 【A】振り子の振動面を回転台から観察する

1 留意点 穴は，鋼球の直径より少しだけ小さくする。パチンコ玉を使うなら，直径8mm程度である。
紙に描く円は，直径10cm程度にする。
紙を板に固定するときには，紙に描いた円の中心を，板にあけた穴の中心と一致させる。

2 留意点 振り子の糸の長さは40cm程度にする。
糸の端にはゼムクリップをとりつけ，スタンドのはさみでしっかり固定する。

3 留意点 紙は，わら半紙で十分である。2枚の紙を並べて，基準線ができるだけ長くなるようにする。

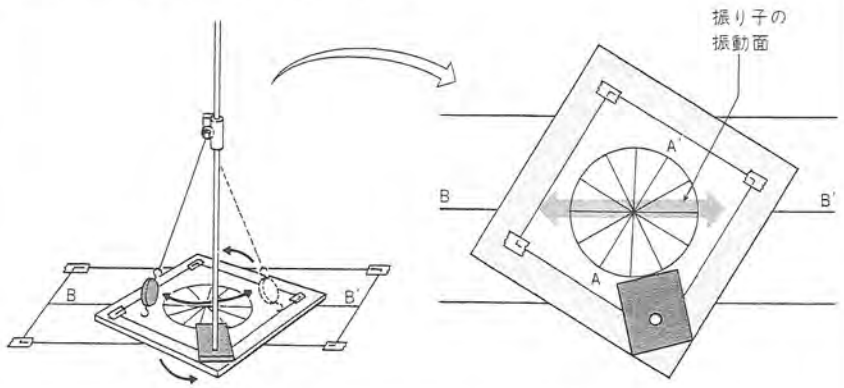
4 留意点 回転台をわら半紙の上に載せるとき，回転台の穴に鋼球を挟みこむ。そして，鋼球が基準線と一致するように載せる。
スタンドを回転台の端に載せた後，振り子の中心と回転台の円の中心が一致するように，振り子の位置を調整しておく。

5 留意点 基準線と一致させる回転台上の線は，どの線でもよい。

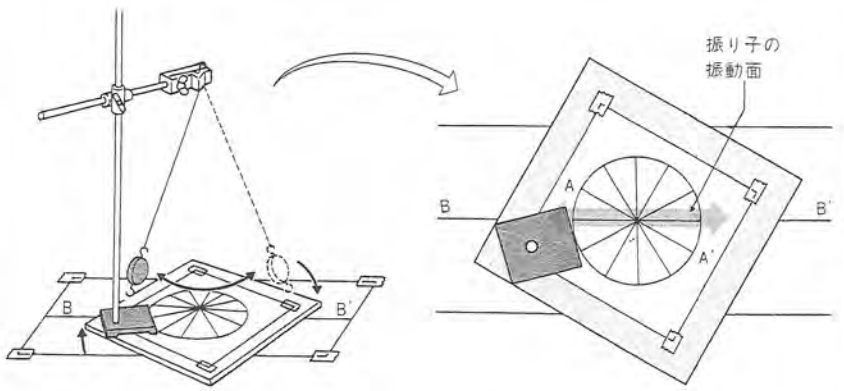
6 留意点 回転台を水平に保つようにし，振り子の振動面をAA′(BB′)の線と一致させるように，静かに振動させる。

7 留意点 水平を保ちながら，ゆっくりと回転させるようにする。
振り子の振動面が，回転板上のAA′の線に対して，どの向きに何度回転したかをよく観察しておく。また，わら半紙上の基準線BB′に対して変化したかどうかについても観察しておく。

8 回転台を反時計回りに，さらに30°回転させる

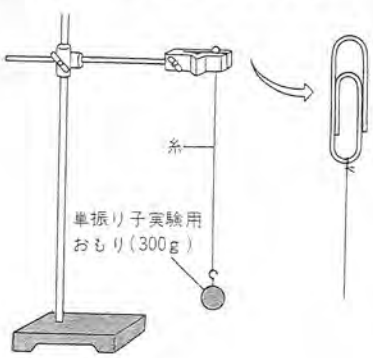



9 AA'とBB'を一致させた後，今度は時計回りに回転台を30°回転させてみる

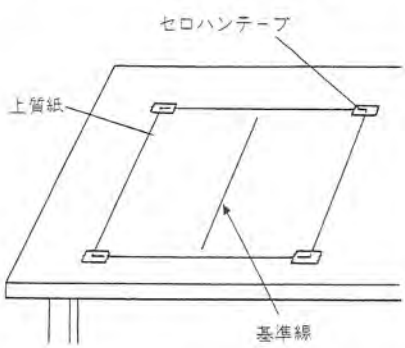



【B】地球が自転していることを証明する

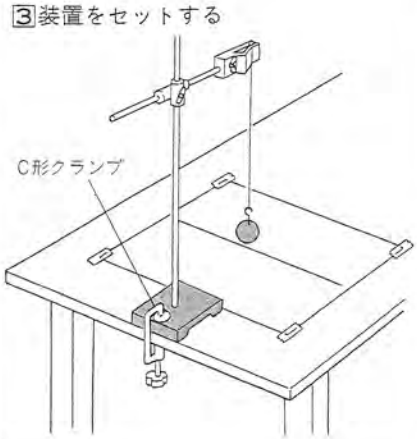
1 振り子をスタンドにとりつける



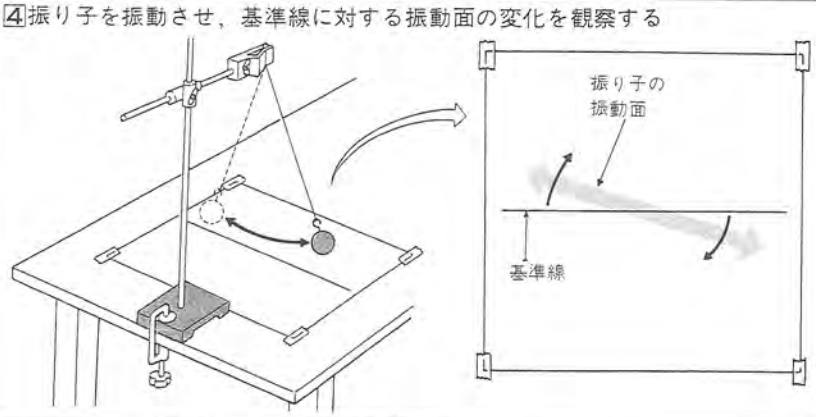

2 机の上に紙をはり，基準線を引く




3 装置をセットする




4 振り子を振動させ，基準線に対する振動面の変化を観察する




8 留意点 7の留意点を参照。

9 留意点 7の留意点を参照。

結果 振り子の振動面が，回転台に対して，回転台の回転方向とは逆向きに，同じ角度だけ回転することがわかる。また，わら半紙上の基準線に対しては，変化しないこと，すなわち，空間に対しては変化しないことがわかる。

以上のことから，回転している物体上から振り子の運動を観察すると，振動面は見かけ上，物体の回転方向と逆向きに回転していくように見えることが理解できる。

**【B】地球が自転していることを証明する**

1 留意点 振り子の糸は，よじれの生じないものを用いる。糸の長さは，60cm程度にする。

3 留意点 スタンドは，C形クランプで机にしっかりと固定する。

振り子の中心が，基準線上にくるように，振り子の位置を調節しておく。

4 留意点 振り子の振動面を基準線と一致させるように，静かに振動させる。

振り子の振動面が，基準線に対して，どのように変化していくかを，よく観察する。変化がはっきりわかるまでには，20～30分程度は必要である。

結果 振動面が，基準線に対して，時計回りにゆっくりと回転していく。このことと【A】の実験結果から，地球が自転していることがわかる。

# 53 円運動の実験

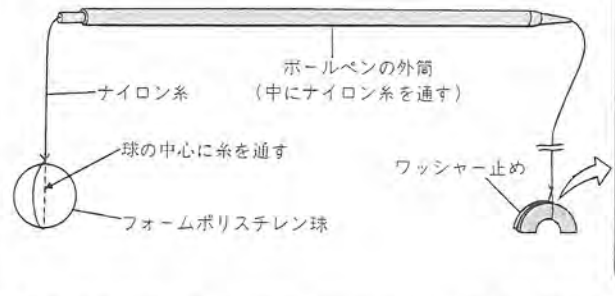
ねらい 高　円運動における向心力の大きさは，周期の2乗に反比例していることや回転半径に比例していることが調べられる。
回転板上におけるいろいろな物体の運動について調べることができる。

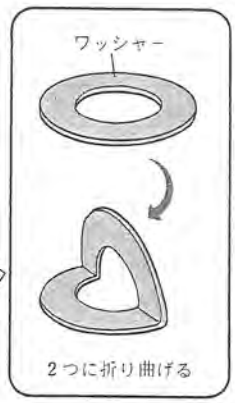
【A】フォームポリスチレン球(約10g) ナイロン糸 ワッシャー[1] 使えなくなったボールペン 色ビニルテープ 【B】不用になったレコードプレーヤー板 円形水槽 ピンポン球 ゴム栓 ビーカー ろうそく ガムテープ 上質紙 カーボン紙 画びょう 鋼球(直径2～3cm)

①2.4g程度のもの11枚。そのうち10枚はおもり用で，残りの1枚は，そのおもりを固定するためのものである。

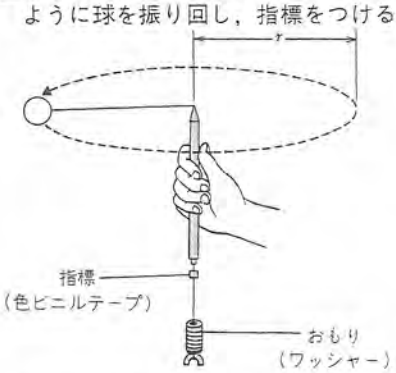
## 【A】向心力について調べる

### 1 向心力実験器を作る

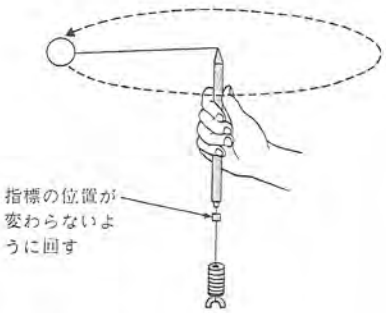



### 2 おもりを下げて半径 $r$ が一定になるように球を振り回し，指標をつける




### 3 半径 $r$ が一定になるように球を振り回し，1分間の回転数を数える




### 4 半径 $r$ を変えて，3と同様の実験を行う




実験データ例($r$：35cm)

| ワッシャーの数 $W$〔枚〕 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1分間の回転数 $n$〔回〕 | 87 | 83 | 79 | 75 | 71 |
| $n^2$($\times 10^3$) | 7.6 | 6.9 | 6.2 | 5.6 | 5.0 |

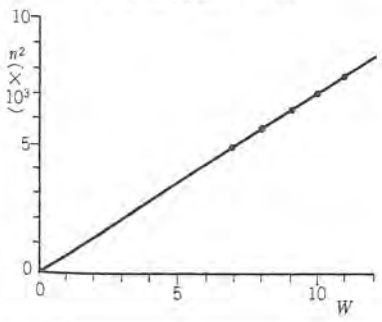
実験データ例($W$：10枚)

| 回転半径 $r$〔cm〕 | 35 | 30 | 25 | 20 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|
| $1/r$($\times 10^{-2}$) | 2.9 | 3.3 | 4.0 | 5.0 | 6.7 |
| 1分間の回転数 $n$〔回〕 | 83 | 90 | 99 | 113 | 128 |
| $n^2$($\times 10^3$) | 6.9 | 8.1 | 9.8 | 12.8 | 16.4 |

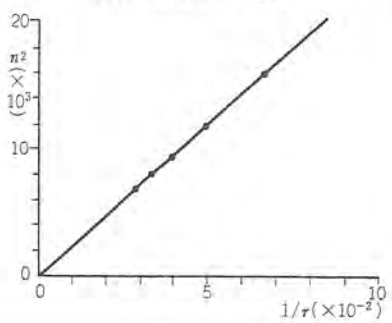
フォームポリスチレン球の質量は9.9g，ワッシャー1枚の質量は2.4gである

### 5 得られたデータをグラフ化する

グラフA〈実験データ例〉




グラフB〈実験データ例〉




## 【A】向心力について調べる

1 留意点 フォームポリスチレン球は，10g程度のものがよい。
ナイロン糸の長さは，70cmぐらいにする。

2 留意点 おもり用ワッシャーは，10枚ともつるしておく。
指標は，半径 $r$ を一定にした後，ボールペンの下端から約5mmの位置にはりつけるようにする。

3 留意点 球を振り回すとき，ボールペンの外筒をあまり大きく振らないようにする。また，おもりも，できるだけ動かないようにする。
しばらく回し続け，調子が出てきてから回転数を数えるようにする。
ワッシャーの数を変えたときについても調べてみる。この際，ワッシャーを1個ずつ減らすようにする。

4 留意点 半径 $r$ を，35cm，30cm，25cm，……と少しずつ変化させて調べてみる。
半径 $r$ を変えるとき，その都度指標の位置をずらすことを忘れないようにする。

5 留意点 3の測定結果については，横軸にワッシャーの数，縦軸に1分間の回転数の2乗をとり，グラフ化してみる。このとき，横軸のワッシャーの数が向心力の大きさを示していることと，縦軸の回転数の2乗が周期の逆2乗であることに注目する。
4の測定結果については，横軸に回転半径の逆数，縦軸に1分間の回転数の2乗をとり，グラフ化してみる。このとき，グラフから，向心力が一定のとき，回転半径 $r$ と周期の2乗の逆数（回転数の2乗）との積が一定であること，すなわち，

$n^2 \propto 1/r \longrightarrow r \cdot n^2 =$一定

となることに注目する。

結果 グラフAから，向心力の大きさは，周期の2乗に反比例していることがわかる。
グラフBとAから，向心力の大きさは，回転半径に比例していることがわかる。

解説 この実験から，向心力の大きさが質量に比例していることを，直接導くことはできない。

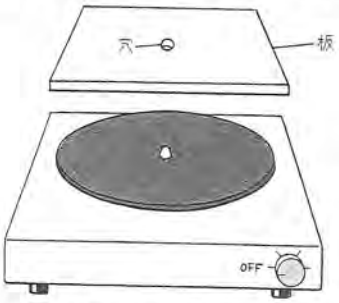
参考 向心力の大きさ $F$ は，質量を $m$，半径を $r$，周期を $T$，円周率を $\pi$ とすると，

$$F = mr\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$$

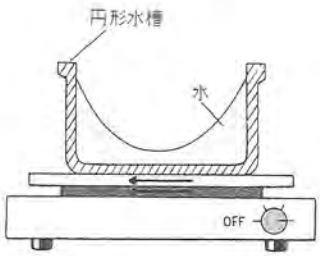
と表すことができる。

## 【B】回転板上の物体の運動について調べる

### 1 水槽に水を入れて回転させ，水の様子を観察する

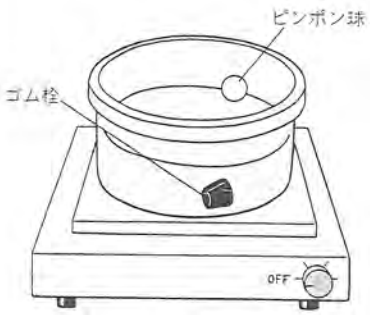



レコードプレーヤーのターンテーブルの上に板を載せる

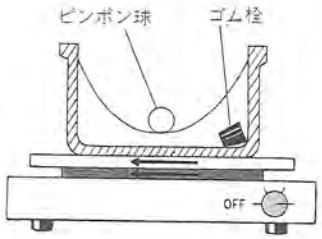



板の上に水を入れた水槽を載せ，ターンテーブルを回転させてみる

### 2 水槽の水の中にピンポン球とゴム栓を入れて回転させ，それらの様子を観察する

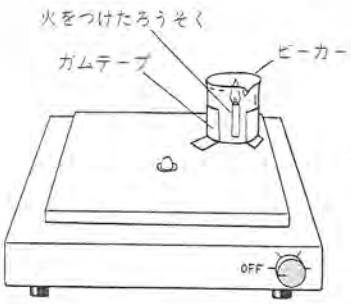



水を入れた水槽の中に，ピンポン球とゴム栓を入れる

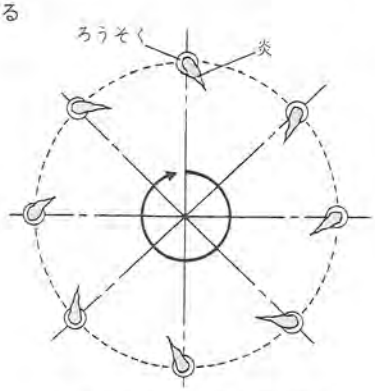



ターンテーブルを回転させてみる

### 3 ろうそくを回転させ，炎の様子を観察する

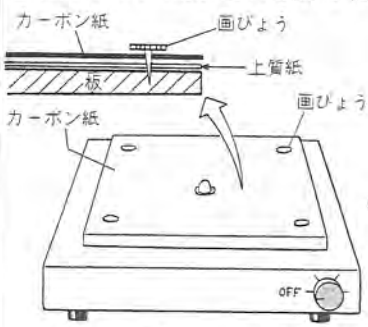



板の隅にろうそくを固定する

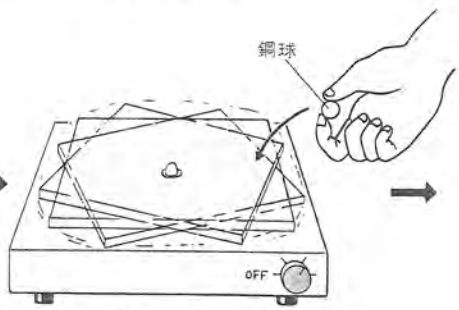



ターンテーブルを回転させてみる

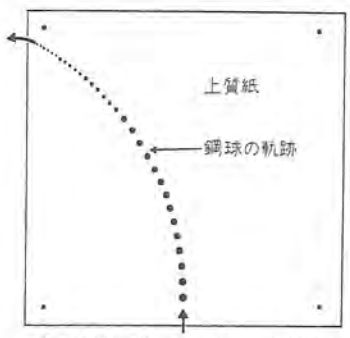
### 4 回転している板の上に鋼球を転がし，その軌跡を観察する




板の上に上質紙とカーボン紙を固定する




ターンテーブルを回転させ，中心に向けて鋼球を転がす




ターンテーブルを止めて，上質紙に記録された鋼球の軌跡を観察する

---

**【B】回転板上の物体の運動について調べる**

1 留意点 水槽を載せるとき，水槽の中心とターンテーブルの中心(板の穴)を一致させる。
プレーヤーの回転速度は，78回/分がよい。この速度で回せないプレーヤーの場合は，45回/分でもよい。
解説 水が水槽の縁に押しやられるが，これは水にはたらく遠心力のためである。

2 留意点 プレーヤーの回転速度については，1の留意点を参照。
解説 ゴム栓は水槽の縁に押しやられるが，これはゴム栓にはたらく遠心力のためである。また，ピンポン球は水槽の中心，つまり水面のへこんだ部分にくるが，これはピンポン球にはたらく遠心力，浮力，重力の合力が，水槽の中心に向かうためである。

3 留意点 ビーカーは，ガムテープなどで，板にしっかり固定する。
プレーヤーの回転速度は，33⅓回/分がよい。
解説 ろうそくの炎が回転方向の内側に向かってなびくが，このとき炎にはたらく力の上向きの成分は空気の浮力のためであり，横向きの成分はコリオリの力のためである。

4 留意点 プレーヤーの回転速度は，45回/分がよい。
鋼球を転がしたとき，鋼球の転がっていった方向をよく観察しておく。
解説 回転板上ではまっすぐ転がっていったはずの鋼球が(ただし，回転板の中心に向けて投げても，中心からそれてしまう)，記録紙上ではカーブした軌跡となる。これは，コリオリの力のためである。

# 54 慣性の実験

荷物運搬用台車　だるま落とし　コップ　画用紙
硬貨　ボール　布　運動マット　自転車　C形クランプ　木片　くぎ　力学台車　糸

ねらい 甲3

静止している物体には，力がはたらかない限り，いつまでも静止していようとする性質があることが調べられる。
運動している物体には，力がはたらかない限り，その運動をいつまでも続けようとする性質があることが調べられる。

1 静止物体の慣性について調べる

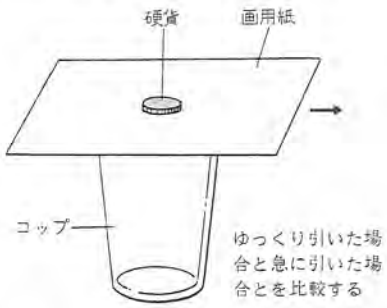
①台車の上に人を載せて調べる



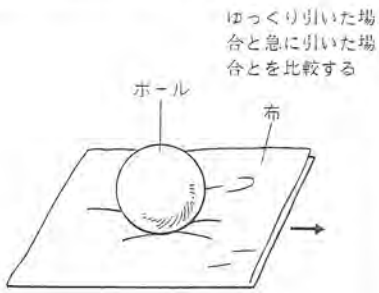

②だるま落としを用いて調べる




③画用紙の上に硬貨を載せて調べる

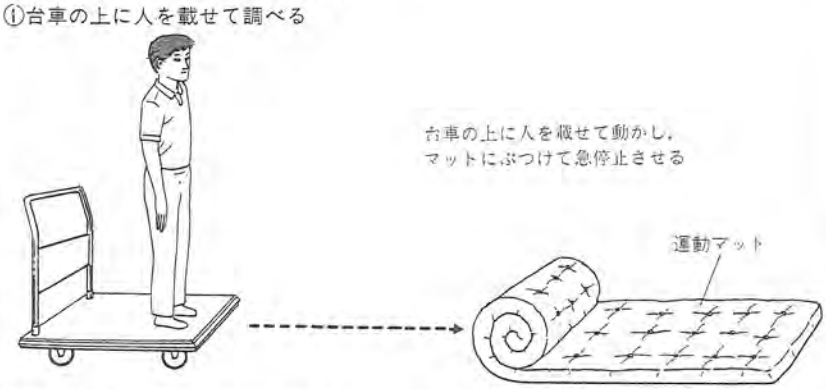



④布の上にボールを載せて調べる

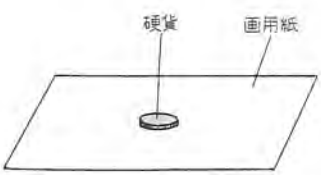



2 運動物体の慣性について調べる

①台車の上に人を載せて調べる




②画用紙の上に硬貨を載せて調べる




画用紙の上に硬貨を載せて引っぱり，画用紙を急に止めてみる

③自転車を用いて調べる




1 ① 解説 台車に，物ではなく人を載せるのは，台車に乗った生徒が体でわかるようにするためである。
留意点 台車に乗る生徒は，台車を引く方向に対して後向きになる。これは，台車を引くタイミングをわからなくするためと，倒れたときにけがをしないようにするためである。
注意 危険が伴うので，ふざけ合わないように十分注意する。

② 留意点 模造紙やラシャ布などを用意し，それらを机の上に敷いたり木片一つ一つの間に挟んだりして，いろいろ条件を変えて試してみるとおもしろい。

③ 解説 小学生の間で，よく手品として遊んでいる方法である。

④ 留意点 布地をいろいろ変えて試してみるとよい。

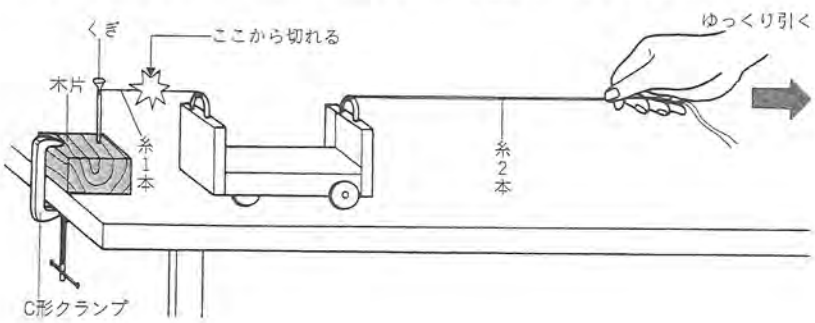
2 ① 注意 台車が急停止したとき，台車に載っている生徒がけがをしないようにするため，台車を停止させるための物体には運動マットを利用する。これには，物体に衝突したときのショックで，台車を傷めないようにする意味もある。
留意点 マットの巻きこんだ部分はあまり高くせず，台車上の生徒の足が引っかからない程度にしておく。
台車に乗る生徒は，進行方向を向くようにする。

③ 解説 この実験は，走行中の自転車を急停止させたとき，運転者だけが運動を続けようとして，前のめりになることを調べるものである。走行中の電車や自動車の中でも，同様のことを体験しているはずである。このほか，自転車にある程度の速度がついたら，こぐのをやめて，自転車が走り続けることを確かめてみるのもよい。
注意 スピードを出し過ぎると，急ブレーキをかけたとき危険なので十分注意する。

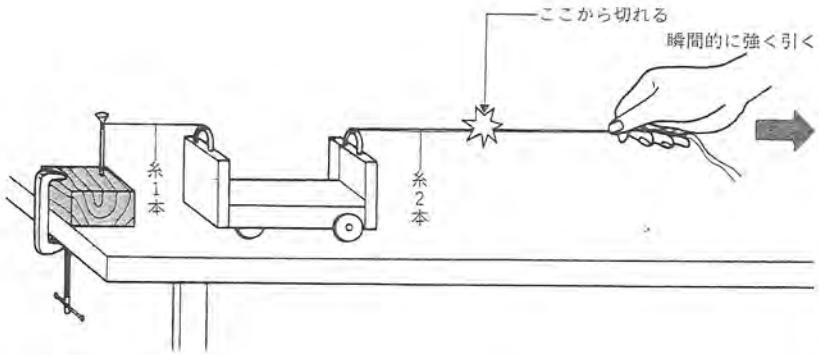
解説 1 の実験から，静止の状態にあるものを急に動かそうとしても，静止の状態を続けようとすることがわかる。また，2 の実験からは，運動の状態にあるものを急に止めようとしても，運動の状態を続けようとすることがわかる。これらの性質を慣性という。

3力学台車を使って，慣性について調べる

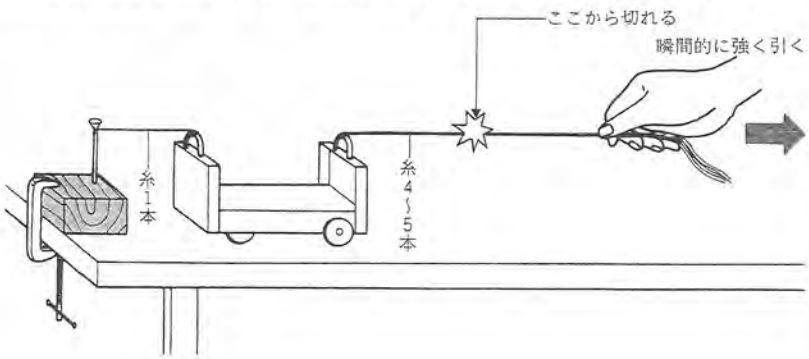
①力学台車を固定されたくぎに1本の糸で結び，2本の糸でゆっくり引く



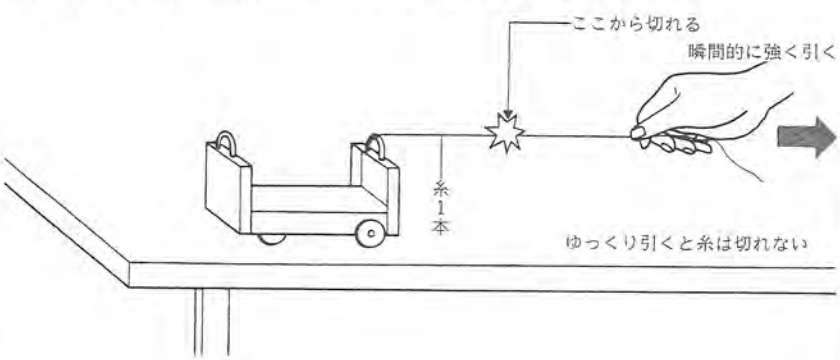

②①と同じ装置を作り，2本の糸を瞬間的に強く引く




③力学台車を固定されたくぎに1本の糸で結び，4～5本の糸で瞬間的に強く引く




④力学台車をくぎにつながずに，1本の糸で瞬間的に強く引く

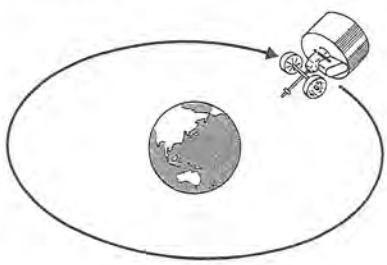



3① 留意点 糸はしっかり結ぶ。力学台車の両側の糸が，机の面に平行に同じ高さになるようにする。くぎはできるだけ太いものにし，力を入れてもたわまない程度に木片に打ち込む。木片はC形クランプで机にしっかり固定する。
糸を引く前にどうなるかを予想させてから，できるだけゆっくり引く。

② 留意点 力学台車を引くとき，1本の糸のほうは緩めないである程度の張力をもたせると良い。
台車を引く前に「今度は①よりもっと強く，もっと速く2本の糸を引くとどうなりますか」と予想させるとほとんどの生徒は，1本の糸のほうが切れるにきまっていると言うはずである。
実演後，「ふしぎ！」という声が出ることは間違いなしである。

③ 留意点 ここで失敗なく実演するためには，できる限り速く糸を引く。場合によっては力学台車の上に砂袋やおもりを載せて，いろんな場面を設定すると楽しい実験ができる。

④ 留意点 ゆっくり引くと糸は切れないが，勢いよく引くと糸が切れる。このことと②や③で糸の多いほうが切れることを結びつけて考えさせる。
人工衛星がエネルギーを使わずに，長期にわたって地球のまわりを周回できるのは力が加わらない限り，物体はその運動をし続けるという，いわゆる慣性があるためである。



# 55 コンピュータによる物体の運動の解析

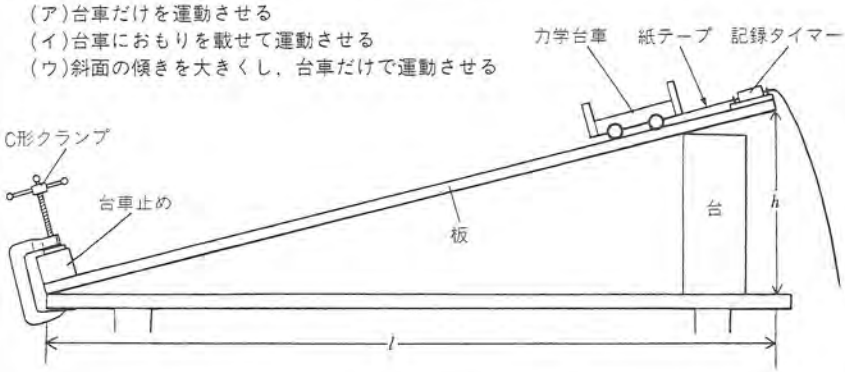
ねらい 高　斜面を降下する力学台車の運動の測定結果をコンピュータで処理することにより，めんどうなデータ処理やグラフ化を短時間で正確に行うことができる。
コンピュータの便利な点を知ることができる。

記録タイマー(交流用)　紙テープ　力学台車　力学台車用おもり①　板②　台　台車止め　コンピュータ　【別法】　力学台車　力学台車用おもり①　板②　カーテンレール　台　コンピュータ　超音波距離センサー実験キット③　金属球(大・中・小)

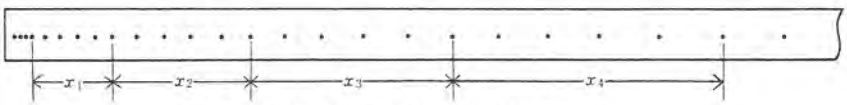
①1kg程度のもの。砂袋やレンガなどでもよい。②斜面として用いるもの。③東京前川科学製。

## 1 斜面上で台車を運動させ，記録タイマーでテープに記録をとる

(ア)台車だけを運動させる
(イ)台車におもりを載せて運動させる
(ウ)斜面の傾きを大きくし，台車だけで運動させる




## 2 紙テープに記録された打点の間隔をはかる

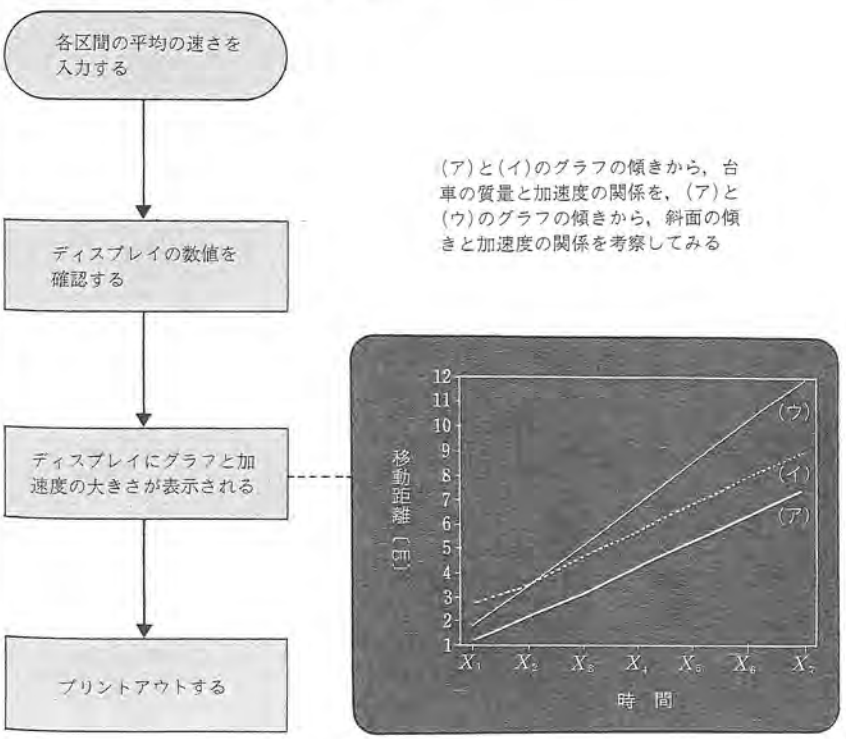



ものさしで5打点ごとの長さ$x_1$～$x_n$をはかる

実験データ例（単位：cm）

| | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | $x_7$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (ア)台車のみ | 1.2 | 2.2 | 3.2 | 4.3 | 5.3 | 6.3 | 7.4 |
| (イ)台車＋おもり | 2.7 | 3.5 | 4.7 | 5.7 | 6.8 | 7.9 | 8.9 |
| (ウ)台車のみ(傾き大) | 1.8 | 3.5 | 5.2 | 6.9 | 8.5 | 10.2 | 11.9 |

## 3 コンピュータを使ってデータを処理する



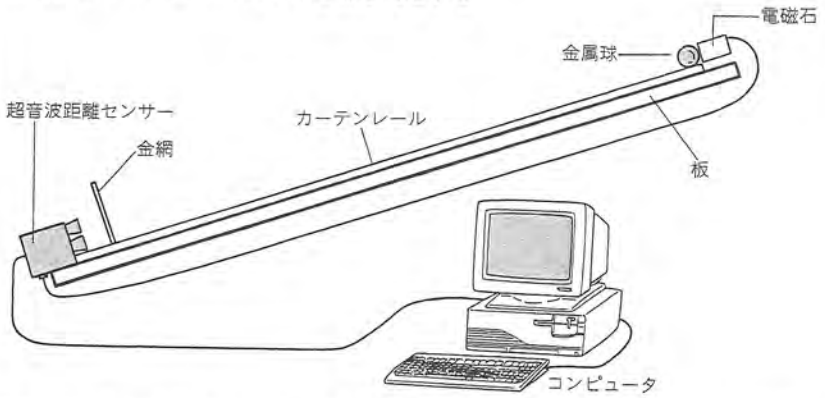

1 留意点 台車が滑らかに動くように，車輪に注油しておく。
紙テープは，80cm程度あればよい。
紙テープが記録タイマーから摩擦や抵抗を受けないように注意する。
斜面の傾きを知るため，(ア)と(ウ)のそれぞれの場合について，図の$l$と$h$の長さを記録しておくとよい。
台車をスタートさせるとき，台車に力を加えないように静かに手を離す。

2 留意点 打点の間隔をはかるとき，最初のはっきりしない打点は除外する。
5打点ずつ区切るのは，電源周波数50Hzの地域の場合なので，電源周波数が60Hzの地域の場合は6打点ずつ区切るようにする。

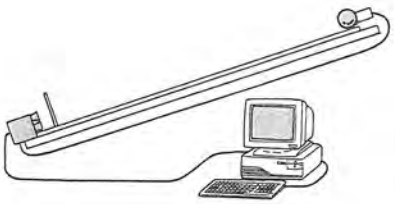
3 解説 左のグラフは，表計算ソフトとしてロータス1-2-3を使用して処理したものである。
単位時間(0.1秒)あたりの移動距離を平均の速度として処理している。5打点ごとにテープを切り離し，そのテープをグラフ用紙にはりつける処理法と併用すると，より生徒の理解を深めることができる。
使用ソフトは，このほかに，桐，ワークス，ハーモニーなどのグラフ処理可能なものなら何でもよい。ロゴなどでプロシジャーを自作してもよい。

## 【別法】超音波距離センサーを用いた方法

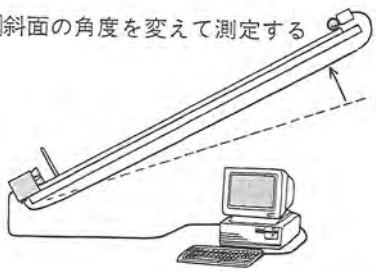
1 装置をセットして金属球の運動を測定する




2 金属球の大きさを変えて測定する

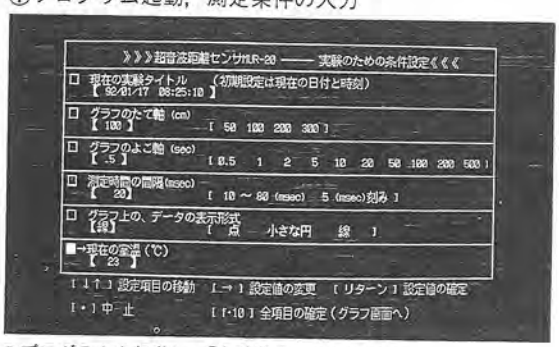


3 斜面の角度を変えて測定する



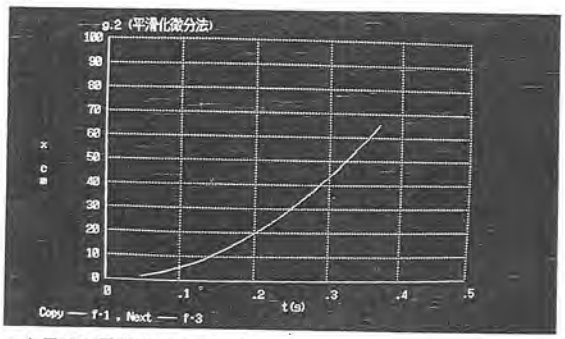
### コンピュータの操作手順

①プログラム起動，測定条件の入力



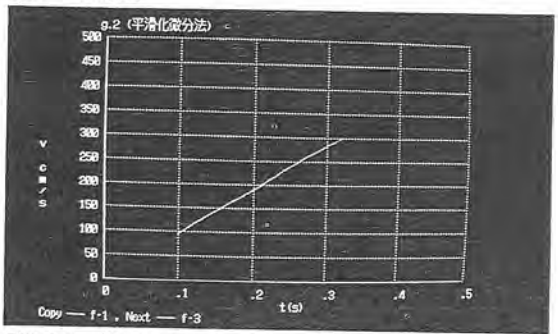

a プログラムを起動し，「条件設定」を選択する
b 測定時間間隔の設定をミリ秒単位，測定時間の設定を秒単位で選択する
c 測定する最大の距離をcm単位，室温を℃単位で入力する（音速は温度によって異なるため）
d 実験名や測定条件，測定日時などをデータとともに保存したい場合はキーボードから文字入力する

②測定




a 金属球を電磁石にくっつける
b 測定開始のキーを押すと，電磁石の電流が切れ金属球が落下する
c 時々刻々の金属球の位置が超音波距離センサーによって測定され，上図のような位置と時間のグラフが画面に表示される

③データ処理




| 時間 | 速さ |
|---|---|
| 秒 | cm／秒 |
| 0.14 | 131 |
| 0.16 | 146 |
| 0.18 | 166 |
| 0.20 | 190 |
| 0.22 | 211 |
| 0.24 | 226 |
| 0.26 | 239 |

測定後は，位置のデータをもとにして自動的に微分処理が行われ，速度や加速度の値が計算される。「位置と時間」，「速さと時間」，「加速度と時間」のグラフが表示できる。上の2図は「速さと時間」のグラフと表である。必要に応じて画面のハードコピーをとるようにする

### 【別法】超音波距離センサーを用いた方法

1 留意点 この実験は，生徒のデータ処理能力を支援し，より運動の学習を深めるために行うのであって，はじめから行うのはかえってマイナスである。
金属球がなめらかに動くようにカーテンレールは板に固定する。落下してきた金属球がセンサーに衝突しないように保護用の金網をカーテンレールにとりつける。
超音波距離センサーの接点出力には，リレーの接点が接続されていて，コンピュータによって電磁石と同期させることができる。

3 留意点 斜面の角度は15°，20°，25°，30°ぐらいがよい。

# 56 いろいろな仕事を調べる

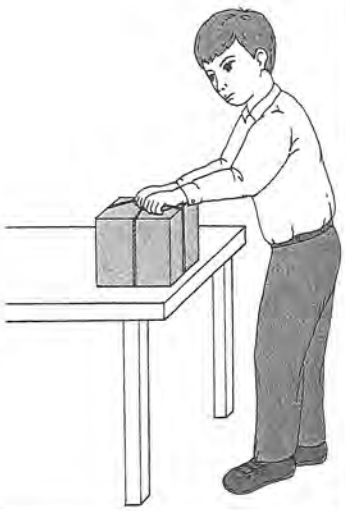
ねらい 由3　いろいろな仕事について調べることができる。
仕事量を求めることができる。

ダンボールの箱① ビニル袋 ロープ② ばねはかり③ ものさし いろいろな自作装置④ つる巻きばね 固定金具 おもり⑤ 砂袋⑥ 台車⑦ 金属製定滑車

①落しても壊れないような，適当な重さ（10kgぐらい）のもの。②丈夫なもの。③それぞれの用途に合わせて各種用いる。④それぞれの図を参照して自作する。⑤1個25g のものを5～6個用意する。⑥布袋に砂を入れて作る。10kgぐらいがよい。⑦木の板に自在車を4個とりつけた自作台車でも，力学台車2個の組み合わせでもよい。

## 1 荷物を運び上げてみる

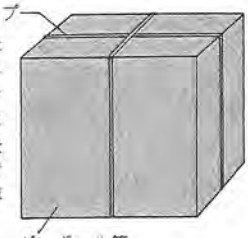




荷物を水平に移動させてみるのもよい

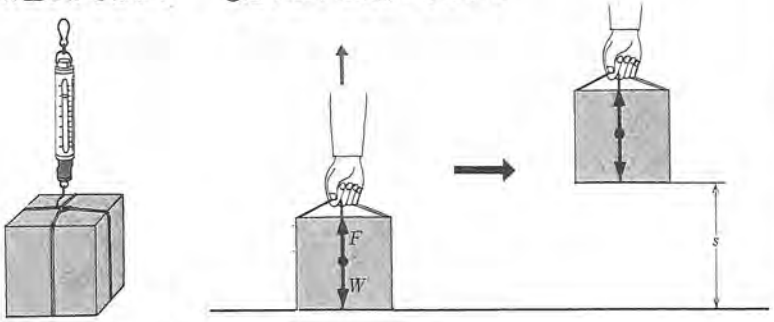



荷物の作り方



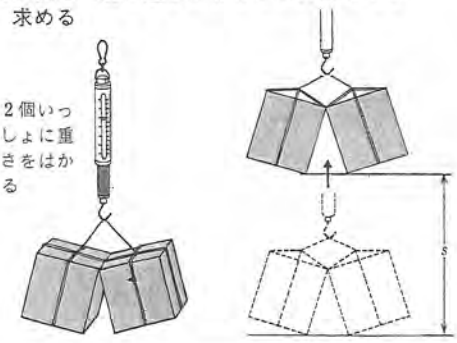

## 2 荷物を運び上げる仕事量を求めてみる

①荷物の重さ$W$をはかる　②運び上げた距離$s$をはかる




## 3 2個の荷物を運び上げる仕事量について調べる

①2個を一度に運び上げるときの仕事量を求める　②1個ずつ運び上げるときの仕事量を求める




**1** 解説 理論的にこれは仕事であるといわれても，理解しにくい。そこで，体で感じとってみようという実験である。すなわち，このように荷物を運び上げることを何度か繰り返すと疲れる。体力を要したということで，仕事をしたのではないだろうかということが想像できるわけである。

参考 荷物を台車（自作台車または力学台車2個）に載せて水平に移動して，比較してみると，さらによくわかる。台車の摩擦をできるだけ小さくするように工夫してやると，動かすのにほとんど力がいらないので，体力を要せず，仕事をしたという気がしないだろう。理論上，摩擦を0と仮定すれば，確かに仕事ではないのである。

ただし，この場合，台車という道具を用いているので，道具を用いていない垂直移動と単純に比較することに対して疑問が発せられるかもしれない。

**2** 解説 持ち上げる力の大きさ$F$は，荷物の重さ$W$（すなわち，ばねはかりの読み）に等しい。すなわち，仕事量$E$は，

$E = F \cdot s = W \cdot s$

$s$：荷物が力の方向に動いた距離（すなわち，運び上げた距離）

で求められる。

この関係をグラフ化してみると，下図のようになる。アミ部分が仕事量$E$を示している。




**3** 解説 荷物の重さをそれぞれ$W_1$，$W_2$とし，運び上げた距離を$s$とすると，①の場合の仕事量$E_1$は，

$E_1 = (W_1 + W_2) \cdot s$

である。②の場合の仕事量$E_2$は，

$E_2 = W_1 \cdot s + W_2 \cdot s = (W_1 + W_2) \cdot s$

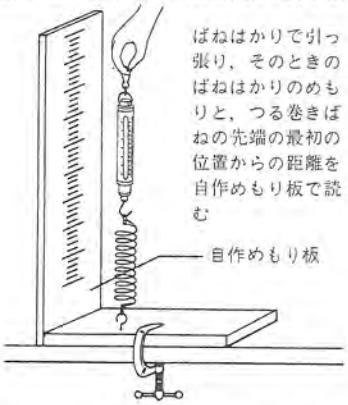
である。したがって

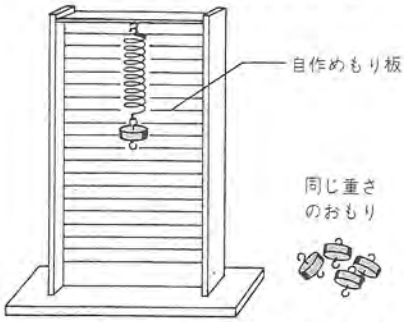
$E_1 = E_2$

すなわち，一度に運び上げても，1個ずつ運び上げても，結果として仕事量は等しくなるのである。

## 4 つる巻きばねを引っ張ったときにする仕事を調べる

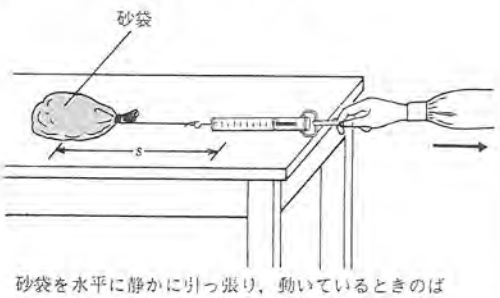
①ばねはかりをつけて静かに引っ張る　　②つる巻きばねの伸び方を調べる



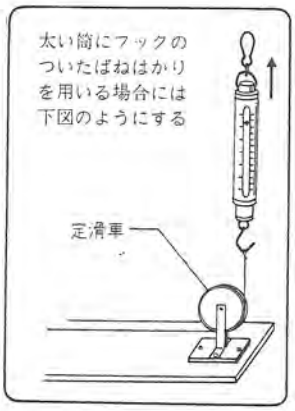



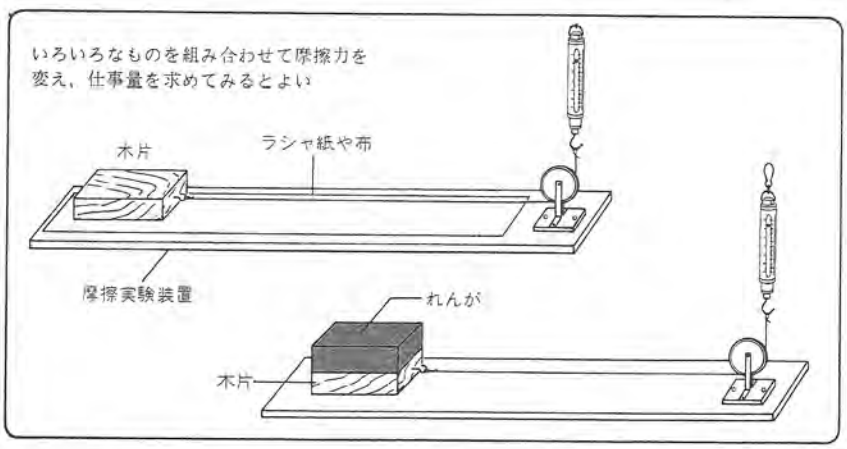

おもりを1個つるして伸びを読み，さらに1個つるして伸びを読む，というようにして，重さと伸びの関係を調べる

## 5 摩擦に抗してする仕事を調べる

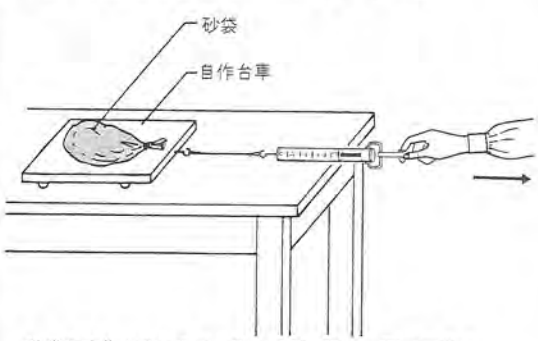



砂袋を水平に静かに引っ張り，動いているときのばねはかりのめもりを読み，動いた距離 $s$ についての仕事量を求めてみる

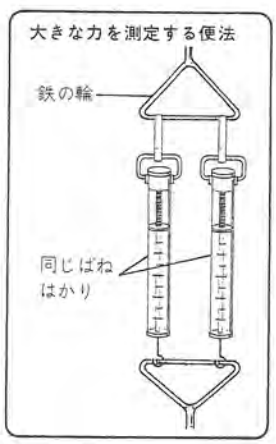


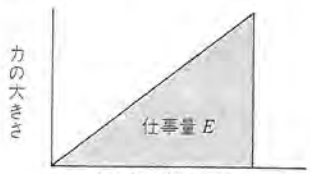

## 6 転がり摩擦に抗してする仕事を調べる




砂袋を自作台車に載せて静かに引っ張り，5と同様にして，動いた距離 $s$ についての仕事量を求めてみる

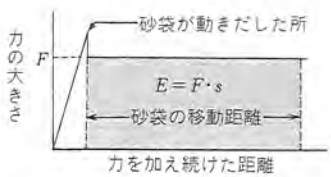



**4 解説** つる巻きばねを伸ばすのも仕事である。この場合，ばねはかりの読み，すなわち力の大きさは一定せず，つる巻きばねが伸びるにしたがって大きくなる。それゆえ，単純に $E = F \cdot s$ という式から仕事量を求めることはできない。ところで，②のように，つる巻きばねの伸びと引っ張る力との関係を調べてみると，ある限度内では比例することがわかる。そこで，引っ張る力とつる巻きばねの伸びとをグラフ化して仕事量を考えてみる。仕事量は，下図のアミ部分の面積で表される。




**5 留意点** ばねはかりは原則として鉛直に用いるものである。特に太い筒にフックのついたものの場合には，誤差が大きくなるので，定滑車を用い，鉛直に使用する。

**解説** 砂袋を距離 $s$ だけ動かしたときの仕事量 $E$ は，その動いているときのばねはかりの読み（すなわち力の大きさ）を $F$ とすると，$E = F \cdot s$ である。ただし，ばねはかりに伸びがあること，最大静止摩擦力のほうが動摩擦力より大きいことから，グラフは下図のようになり，$E$ はアミ部分となる。つまり力を加え続けた距離と移動距離 $s$ とは一致しない。




また，引っ張る方向と砂袋の動く方向とが完全に一致していないと $E = F \cdot s$ とはならない。すなわち，$E = F_H \cdot s$ （下図参照）となる。




**参考** 動かすものや，下の台の材質を変えてやると，摩擦力の違いによる仕事量の違いがわかる。

**6 解説** 転がり摩擦力は5の滑り摩擦力より小さいので，当然仕事量は小さくなる。その他は，5の解説に書いてあることが，そのまま当てはまる。グラフも，力の値は小さくなるが，形は同じである。

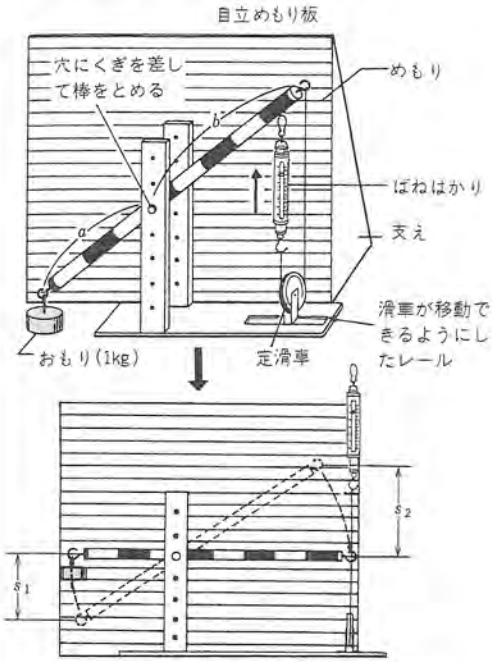
# 57 道具と仕事の関係を調べる

てこ① 自立めもり板② おもり③ ばねはかり④ めもり板付き輪軸⑤ 定滑車付き斜面⑥ 力学台車⑦ 動滑車⑧

①作り方は1を参照。くぎと棒との摩擦をできるだけ小さくするように工夫する。②作り方はそれぞれ1 4 5を参照。③1では1kg，2では25gのもの3個，4 5では25gのもの数個用いる。④1では200g～5kg用ぐらいのもの，3では200g～2kg用ぐらいのもの，4では200g用ぐらいのものを用いる。⑤作り方は2を参照。⑥作り方は3を参照。⑦摩擦の少ない1kgぐらいのものを用いる。⑧それぞれ4 5を参照。

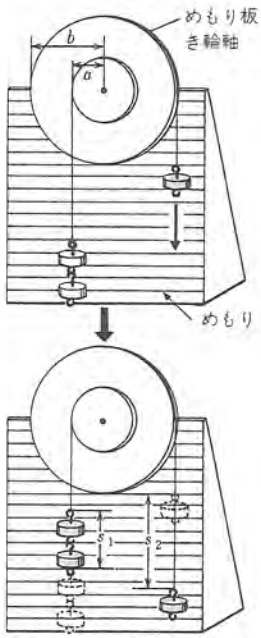
ねらい 小中3 道具を用いても，道具に与えた仕事量以上の仕事をさせることはできないということが調べられる。

### 1 てこの両端の動く距離を調べる



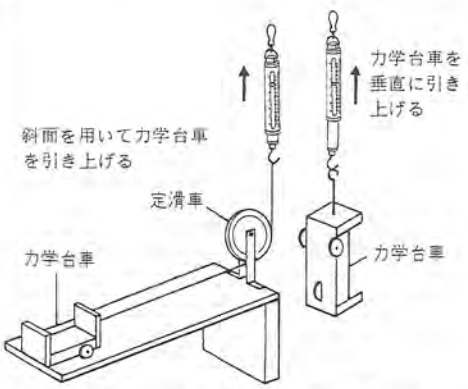

ばねはかりのめもりを読み，距離$s_1$，$s_2$を読む

### 2 輪軸を用いた場合の仕事について調べる

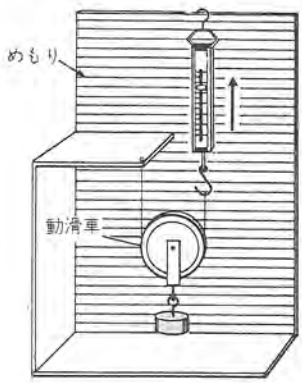



距離$s_1$，$s_2$をめもりで読む

### 3 斜面と仕事との関係について調べる




### 4 動滑車と仕事との関係について調べる



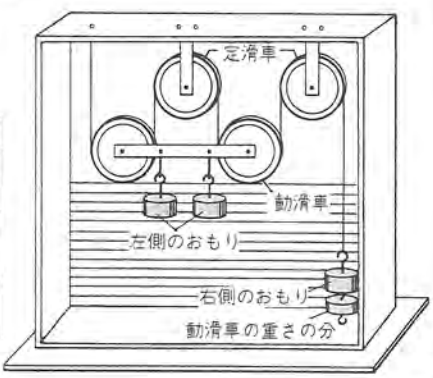

### 5 滑車をいろいろと組み合わせて調べる

例えば，右のような装置を自作してそれぞれのおもりの重さと移動距離を調べる。ただし，動滑車の重さを考慮する

実験データ例

| 左側のおもり | | 右側のおもり | |
|---|---|---|---|
| 全重さ〔gw〕 | 移動距離〔cm〕 | 全重さ〔gw〕 | 移動距離〔cm〕 |
| 100 | 2 | 25 | 8 |
| 100 | 5 | 25 | 20 |
| 200 | 3 | 50 | 12 |
| 400 | 4 | 100 | 16 |

右側の重さの数値は動滑車の分を引いてある




**1** 解説 棒のばねはかりをつけたほうの先端部が動いた垂直距離$s_2$と，おもりを下げたほうの先端部の動いた垂直距離$s_1$とをめもりで読むと，ほぼ

$$s_1 : s_2 = a : b$$

となっていることがわかる。ところで，おもりは1kgであるから，ばねはかりは，てこの原理から$a/b$〔kgw〕を指示しているはずである(実際には少し誤差が出る)。したがって，おもりを垂直距離$s_1$だけ持ち上げるのにばねはかりのなした仕事量$A$は，

$$A = \frac{a}{b} \cdot s_2 = \frac{a}{b} \cdot \frac{b}{a} s_1 = 1 \cdot s_1$$

となり，てこを使っても仕事量には変化がないことがわかる。

**2** 解説 1と同様に距離$s_1$，$s_2$をめもりで読みとると，やはり仕事量に変わりはないことがわかる。

**3** 解説 高さ$h$だけ斜面を利用して力学台車を引き上げた場合の「引き上げる力×力の方向にばねはかりを動かした距離」と，斜面を用いずに垂直に同じ高さだけ力学台車を引き上げた場合の「引き上げる力×力の方向にばねはかりを動かした距離」との関係を調べると，両者は等しくなることがわかる。すなわち，斜面を用いれば確かに小さい力ではすむが，動かす距離がそれに反比例して大きくなるわけである。斜面を利用することも仕事量には無関係であることがわかる。

**4** 解説 動滑車も仕事量には無関係であることがわかる。

定滑車は力の向きを変えるだけで，力の大きさには関係しないから，仕事量にも無関係であることは容易に想像されよう。しかし，実際に実験で確かめてみるのがよい。

**5** 解説 どんなにいろいろと滑車を組み合わせてみても，仕事量を変えることはできないことがわかる。

結果 どんな道具を用いても，道具に与えた仕事量以上の仕事をさせることはできない，すなわち，道具を用いることによって小さな力で仕事をすることはできても，仕事量を得することはできない，ということがわかる。

参考 日常使う道具，例えばドライバー，缶切り，自転車のハンドルなど，てこや斜面をいかにうまく利用しているか考えてみるとよい。

# 58 仕事率を求める

ねらい 田3　仕事率を実際に求めることができる。
仕事率は，道具を用いても同じ値になることが調べられる。

ビー玉(100個ぐらい)① プラスチック容器 秒時計 自作巻きとり器② 力学台車 定滑車 ものさし スタンド おもり③ 自作モーター巻きとり装置④ 1/100秒計⑤ 交流電流計 交流電圧計 実験用減速装置付きモーター⑥

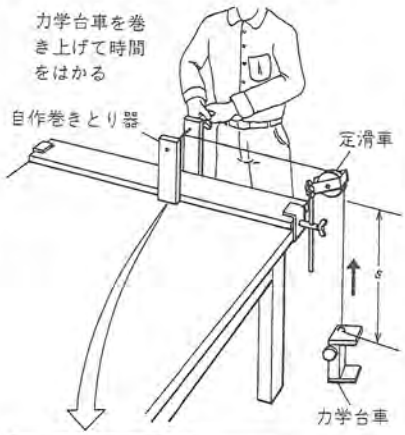
①パチンコ玉や小石でもよい。②作り方は2参照。③25gのものを3～4個用意する。④作り方は3参照。⑤電気式のスイッチの連動するものを用意する。⑥2種類ぐらい用意する。

## 1 仕事の能率ということを考える



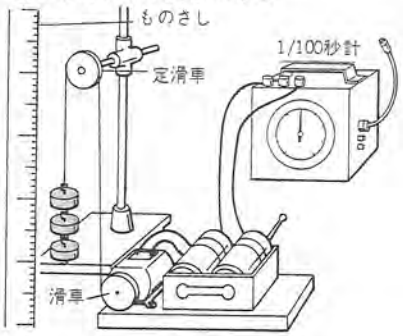

ビー玉を1個ずつ，全部上の容器に移し終わるまでの時間を測定する

## 2 各人の仕事率を比較してみる

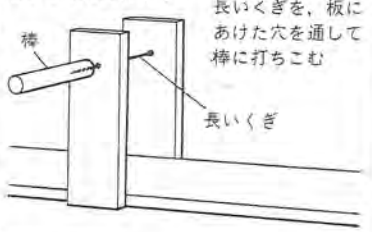



## 3 モーターの仕事率を計算してみる

### ①直接おもりを引き上げる

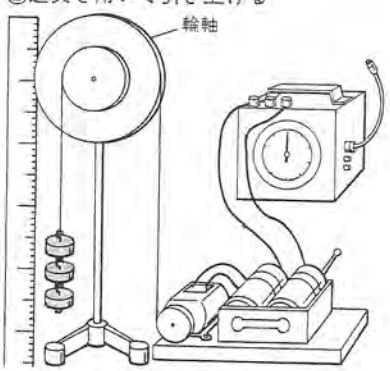


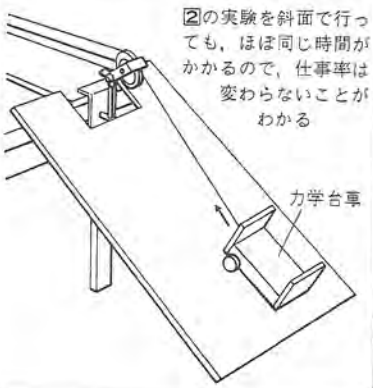

**巻きとり器の作り方**




長いくぎを，板にあけた穴を通して棒に打ちこむ

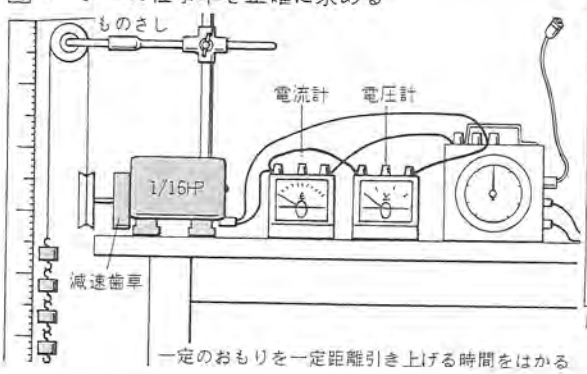
### ②道具を用いて引き上げる




2の実験を斜面で行っても，ほぼ同じ時間がかかるので，仕事率は変わらないことがわかる

## 4 モーターの仕事率を正確に求める




一定のおもりを一定距離引き上げる時間をはかる

実験データ例

| モーター | 1/32HP | 1/16HP |
|---|---|---|
| 電　圧〔V〕 | 100 | 100 |
| 電　流〔A〕 | 0.21 | 0.43 |
| 時　間〔秒〕 | 5.02 | 2.49 |
| おもり〔gw〕 | 100 | 100 |
| 距　離〔cm〕 | 120 | 120 |

HP：モーターの馬力を示す

1 留意点 ビー玉ではなくても，ぶつかり合ったときに割れにくいものであればよい。2～3人が実験して，その所要時間を秒時計などではかって比較してみる。

解説 各人の所要時間を比較するとそれぞれ異なることがわかる。各人の仕事の能率が違うわけである。ところで，仕事に対する所要時間が違うということは，単位時間にできる仕事量が違うということである。この単位時間にできる仕事量のことを仕事率という。

2 留意点 力学台車を持ち上げるのに必要な力$F$は，あらかじめばねはかりで測定しておく。力学台車のひもをとりつけた部分から滑車までの距離$s$も，あらかじめものさしなどで測定しておく。

巻きとり装置は，図に示したようなできるだけ単純で壊れにくいものを自作する。

解説 仕事量は$F \times s$であるから，これを各人の所要時間で割れば，各人の仕事率が得られるわけである。

ここでは，実際に仕事率を求めてみる。力学台車を用いるのは，斜面を利用した場合との仕事率の比較に便利であるためである。

3 留意点 より正確に測定するには，図のように時計のスイッチと電池のスイッチを連動させるとよい。

解説 仕事率は，おもりを持ち上げるのに必要な力$F$（すなわち，おもりの1個の重さ×おもりの個数），おもりを持ち上げた距離$s$，要した時間$t$から求められる。

仕事率$= Fs/t$

①で，おもりの個数(つまり重さ)をいろいろと変えて実験してみても，求めた仕事率はいつも等しくなる。したがって，あるモーターの仕事率は，電圧を変えたりしなければいつも一定の値であることがわかる。また②でも常に仕事率は等しくなり，その仕事率は①で求めた値に等しい。すなわち，道具を用いても仕事率に変化はないことがわかる。

4 留意点 モーターは模型用モーターでもよいが，回転が速過ぎると計測が難しいので，減速装置付きの実験用モーターがよい。時計は，モーターが回ると同時に動きだす電気式1/100秒計がよい。

解説 いろいろなモーターの仕事率を計算してみる。モーターの出力とは仕事率のことである，ということを理解したい。

# 59 仕事と熱の関係を調べる

ねらい 中3 仕事をすることにより，熱を発生させることができる。

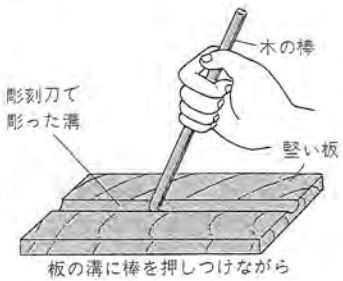
【A】堅い木① 火おこし押しぎり ドリル サーモカップ(フォームポリスチレンカップ2) 砂(またはビーズ玉) 温度計 片刃かみそり アルミニウムパイプ(径10～15mm，長さ15cm程度) 断熱材② ゴム栓 丈夫な綿布 アルミニウム粉末(銅粉でもよい)

①板，丸い棒，角材が必要。②水道管の凍結防止用がよい。
＊【B】【C】については，別掲の準備するものを参照。

## 【A】物を摩擦する仕事と熱の関係を調べる

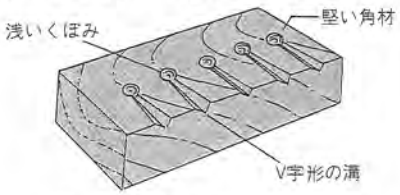
### 1 木と木を摩擦することにより，熱が発生することを調べる

①木を往復運動で摩擦してみる

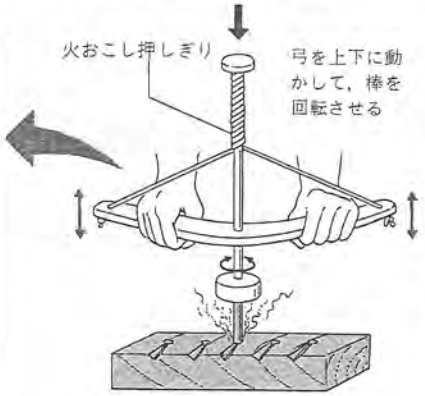



板の溝に棒を押しつけながら前後にこする

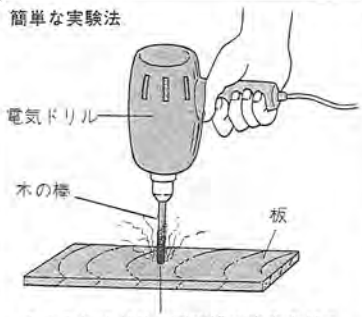
②木を回転運動で摩擦してみる




堅い角材に浅いくぼみをつけ，木の粉がたまりやすいようにV字形の溝を作る。くぼみに棒を強く押しつけながら回転させると火がおきる




**簡単な実験法**

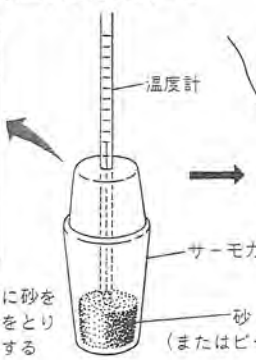



あらかじめドリル刃で浅く穴をあける

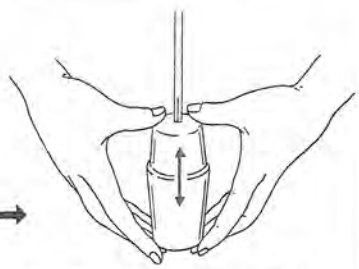
### 2 砂などを摩擦したときの温度変化を調べる




回転させて切る

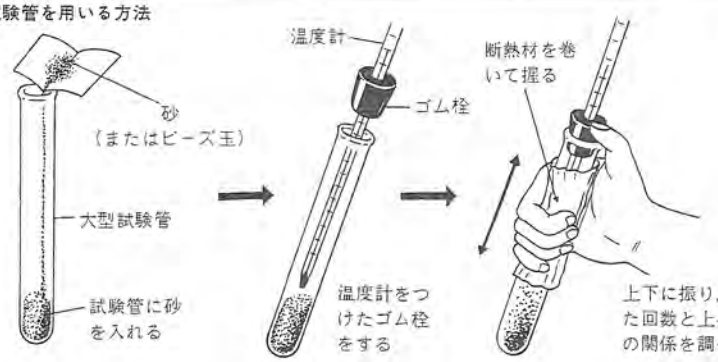



サーモカップに砂を入れ，温度計をとりつけたふたをする



上下に振り，振った回数と上昇温度の関係を調べる

**試験管を用いる方法**



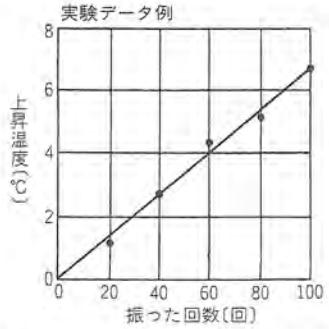

## 【A】物を摩擦する仕事と熱の関係を調べる

1 ①解説 森の木が大風に吹かれ，木の幹と幹がこすれて山火事になることがある。このように，木の棒と板をこすり合わせると，熱が発生する。
板に彫刻刀でU字形の溝を彫り，溝を棒でこすると高温になる。
注意 溝の部分に不注意に触れると，やけどするので気をつける。

②解説 昔の人は火をおこすとき，木の棒を手でもむように回して板を加熱し，その熱で枯葉などを燃やして火をおこした。そして，この方法がさらに改良され，図のような火おこし道具ができた。
参考 この実験を，もっと能率的に速く行うには，電気ドリルに，ドリル刃の代わりに木の棒をとりつけ，この棒を板に押しつけながら回転させる方法がある。

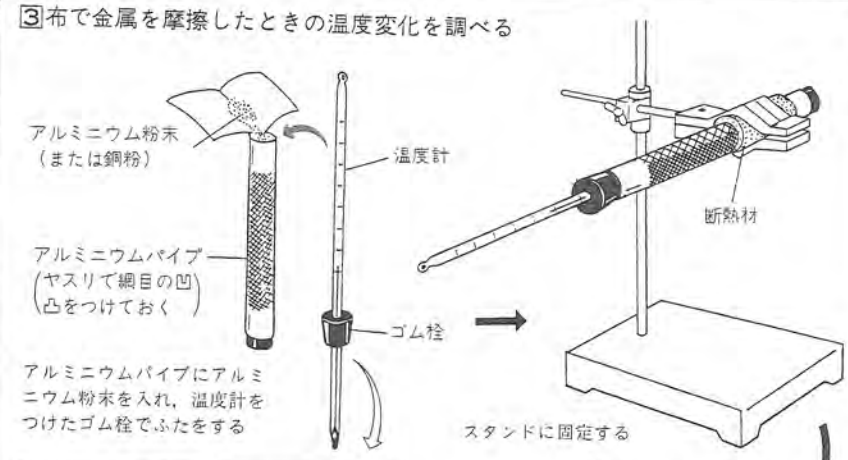
2 留意点 砂は粗いものがよい。
砂の代わりにビーズ玉を用いてもよい。
砂，ビーズ玉，どちらを使う場合でも，量は，カップ1/3程度がよい。振るときには，ふたをしっかり押えるようにする。
注意 振るとき，温度計を破損しないように気をつける。
結果 得られたデータをグラフ化することにより，振った回数(仕事量)と上昇温度(発熱量)の間には，比例関係があることがわかる。

実験データ例



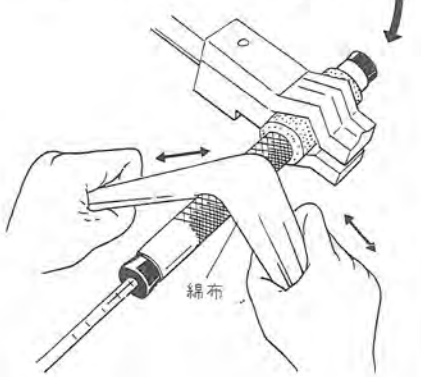

参考 サーモカップの代わりに試験管を用いてもよい。サーモカップより容器としてはしっかりしていることと，容器が長いので振りやすいという利点がある。現在は，プラスチックのいろいろな容器が多種類出回っているので，いろいろなものを使って工夫してみるとよい。

### 3 布で金属を摩擦したときの温度変化を調べる





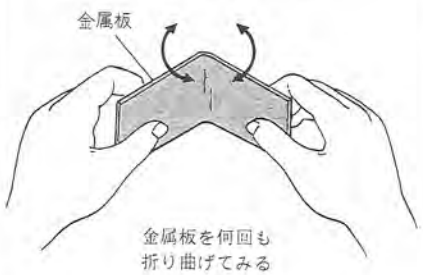


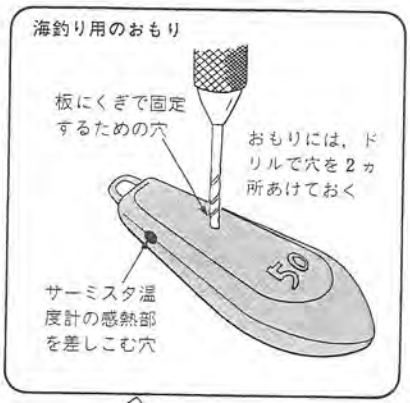



布でパイプをこすり，こすった回数と上昇温度の関係を調べる

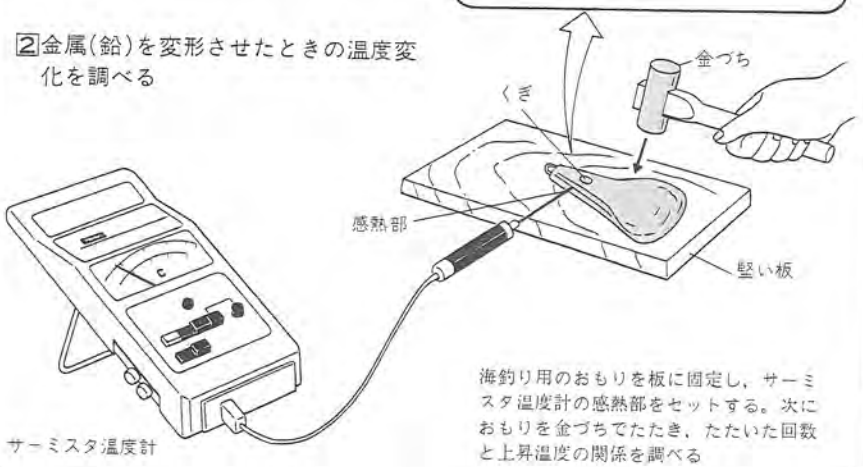
### 【B】金属を変形させる仕事と熱の関係を調べる

1 金属板などを折り曲げることにより，熱が発生することを調べる




2 金属（鉛）を変形させたときの温度変化を調べる




海釣り用のおもりを板に固定し，サーミスタ温度計の感熱部をセットする。次におもりを金づちでたたき，たたいた回数と上昇温度の関係を調べる

3 留意点 アルミニウムパイプは，外側に凹凸をつけ，綿布でこすったときに摩擦が大きくなるようにしておく。
パイプの中にアルミニウム粉末を入れるのは，摩擦熱が温度計によく伝わるようにするためである。したがって，温度計を差しこむときには，粉末をよく詰めて，熱が伝わりやすいようにしておく。アルミニウム粉末の代わりに銅粉を用いても効果は変わらない。
棒温度計の代わりに，サーミスタ温度計を使用してもよい。この場合は，感熱部をできるだけパイプ内部へ，深く差しこむようにする。
スタンドに固定するときには，熱がスタンドに逃げないように，断熱材を使用する。
解説 2の場合と同様こすった回数（仕事量）と温度変化（発熱量）の間には比例関係が成り立つ。

**【B】金属を変形させる仕事と熱の関係を調べる**

準備するもの 金属板① 海釣り用おもり ドリル 堅い板 くぎ サーミスタ温度計 金づち

①アルミニウム板（厚さ1.5～2㎜程度），ブリキ板，太い針金など。

1 解説 金属を何回も折り曲げると，その部分に熱が発生する。
留意点 金属としては，アルミニウム板，ブリキ板，太い針金などを用いればよい。何回も折り曲げると，板が切れたり折れたりするので，長さ15cmぐらいのものを多数用意しておく。
注意 意外に高温になるので，やけどに注意する。

2 解説 金属をたたいたりして変形させると，その部分に熱が発生する。
留意点 海釣り用のおもりには，板に固定するためと，サーミスタ温度計の感熱部を差しこむための，2ヵ所の穴をあけておく。
注意 金づちでたたくとき，サーミスタ温度計の感熱部をたたかないように注意する。また，おもりを板に固定しないでたたくと，おもりが動いて，感熱部を破損することがある。

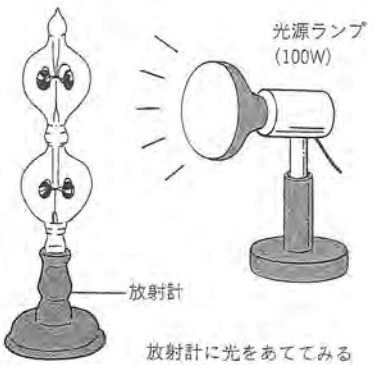
# 60 光と仕事の関係を調べる

放射計　光源ランプ(100W)　太陽電池①　小型モーター　小型プロペラ　糸　おもり②

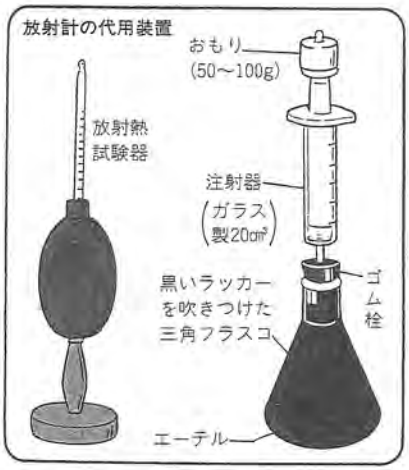
ねらい　由3　光も仕事をすることが調べられる。
光が強くなると，その仕事率が大きくなることが調べられる。

①太陽電池セルを何枚も組み合わせた5～6Vぐらいのもの。
②5gぐらいの軽いもの。

1 光が熱に変わることによってする仕事を調べる

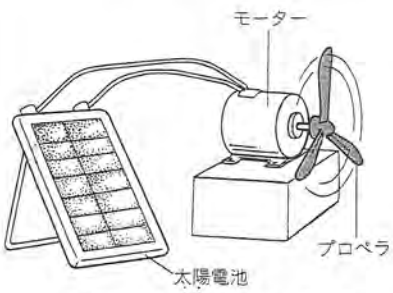


放射計に光をあててみる



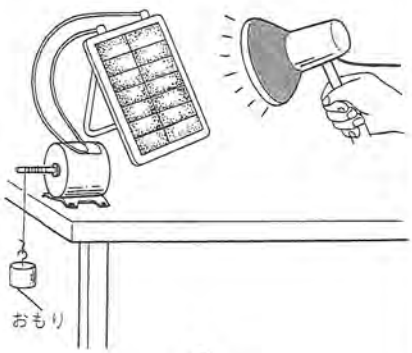

2 光が電流に変わることによってする仕事を調べる

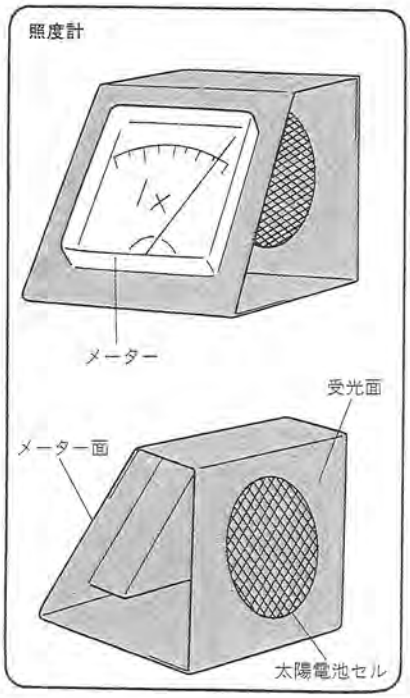
①モーターを回転させてみる

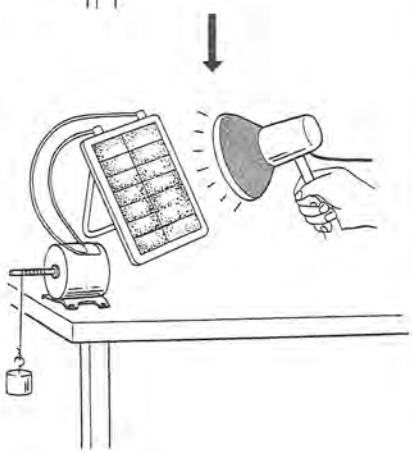


太陽電池に光を当ててモーターを回す

②光の強さと仕事率の関係を調べる





光源ランプが遠い場合と近い場合で，モーターがおもりを一定距離持ち上げるのに要する時間をそれぞれ測定し，比較する

1 解説 放射計に光を当てると，中の羽根車が回る。光が羽根の黒いほうの面に当たると熱に変わる。その熱が黒い面のすぐ近くの空気を温めるので，分子運動が盛んになり，その分子が羽根の黒い面を押して羽根車を回すのである。すなわち，光が熱に変わり，仕事をするのである。光の位置を放射計から遠ざけたり，近づけたりすれば，光の強さと仕事の大きさについてわかるであろう。
なお，放射計の代わりに，放射熱試験器や三角フラスコを用いた図のような装置を用いても，光が熱に変わり仕事をすることや，光の強さと仕事の関係について，理解できる。すなわち，放射熱試験器の場合には，光が熱に変わることによって温度計のアルコールを膨張させ，三角フラスコを用いた装置では，ピストンを押しておもりを持ち上げる仕事をする。なお，三角フラスコに入れるのは，エーテルのほか，アルコールでもよい。

2 留意点 光源ランプを近づけ過ぎると，熱で太陽電池が傷むので，注意する。

①解説 光が電気に変わり，モーターを回す。この装置を軽く走るおもちゃの自動車に載せれば，プロペラの力でその自動車を走らせることができる。

②解説 電球が遠い場合より近い場合のほうが，要する時間は短い。すなわち，光が強いほうが仕事率が大きいということがわかる。

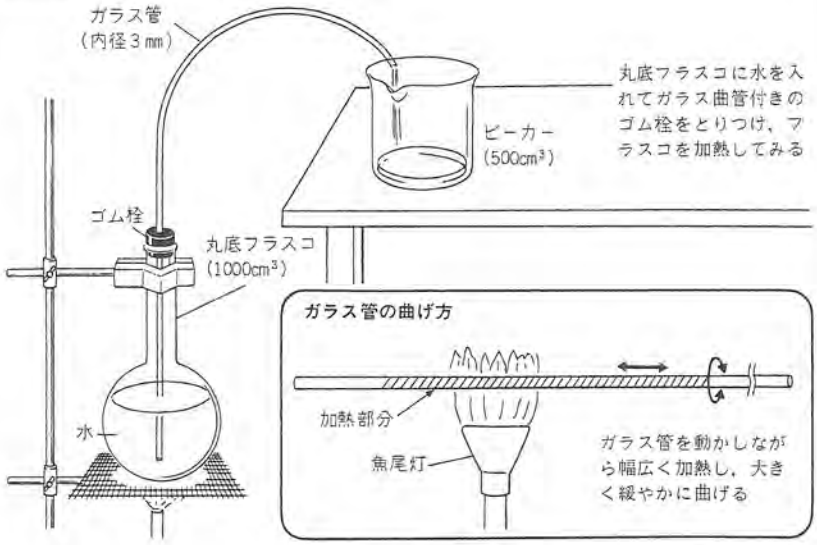
# 61 熱による仕事を調べる

ねらい 田3　熱が仕事をすることを，いろいろな方法で調べることができる。

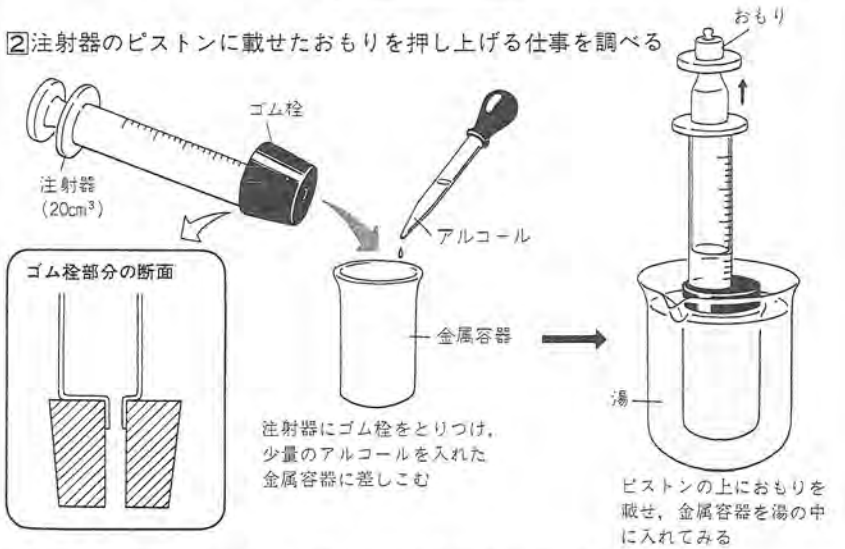
アルコール　エーテル　ビーカー(500cm³)　丸底フラスコ(1000cm³,100cm³2)　注射器(20cm³)　蒸気タービンの模型　回り灯籠①　バイメタル②　ガラス管　ゴム栓　ビニル管　スタンド　加熱器具③　おもり　糸　沸騰石　ろうそく　木の板と支柱　接着剤　など

①5×5mm程度の角材，ケント紙，厚紙，薄い紙，板などで自作する。②鉄板，銅板，アルミニウム板などで自作してもよい。③ガラス細工をするときにはガスバーナーが必要。

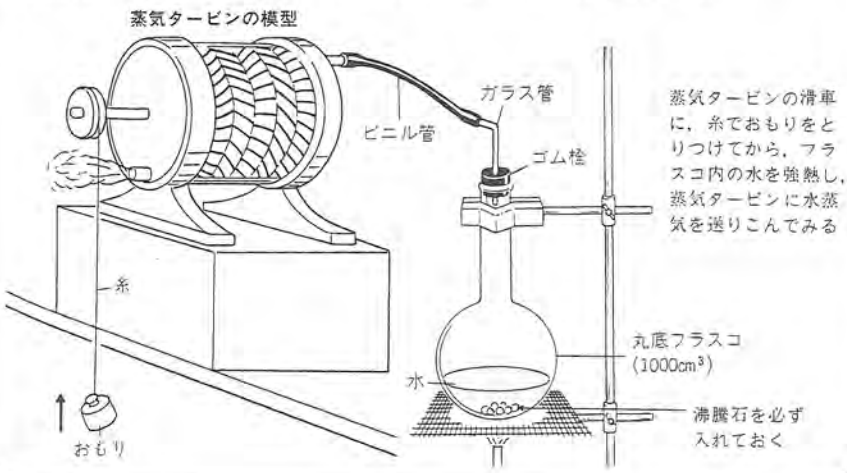
## 1 水を押し上げる仕事を調べる




## 2 注射器のピストンに載せたおもりを押し上げる仕事を調べる




## 3 蒸気タービンの模型を用いて，おもりをつり上げる仕事を調べる




**1** 留意点 ガラス管は，内径3mmぐらいの太さのものがよい。加工が楽だし，水が上がる量も適当である。太ければ，フラスコ内の水が早くなくなる。長さは，50cmでも150cmでも水が上がることには変わりはないが，熱によって水が押し上げられる仕事を調べるには1mぐらいが適当である。

フラスコは必ず，圧力に強い丸底フラスコを用いる。

フラスコにゴム栓を差しこむとき，ガラス管の先をフラスコの底まで入れる。

解説 フラスコを温めると，フラスコ内の水や空気が膨張することなどから，水がガラス管内を通って押し上げられる。つまり，熱が，フラスコ内の水を高い所に押し上げる仕事をしたことになる。

**2** 留意点 注射器にゴム栓をとりつけるときには，空気が漏れないようにしておく。接着剤を使って，ゴム栓を接着してしまうとよい。

金属容器は，早めに使い終わった単1乾電池の亜鉛容器が手ごろである。電池の外装をとり去り，炭素棒や中の薬品をとり出して使用する。ほかには，小さいジュースの空き缶を使うことなどが考えられる。

ただし，フィルムのプラスチック容器のように，熱や圧力で変形しやすいものはよくない。

アルコールの量は，2〜3滴程度でよい。

解説 金属容器を温めると，容器内のアルコールが気化して内部の圧力を高めることなどから，注射器のピストンやおもりを押し上げる。つまり，熱が，ピストンやおもりを高い所に押し上げる仕事をしたことになる。

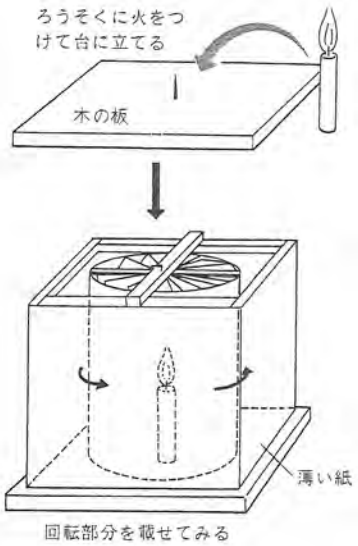
**3** 留意点 蒸気を送るホースは，ゴム管よりビニル管のほうがよい。また，長さは短いほうがよい。

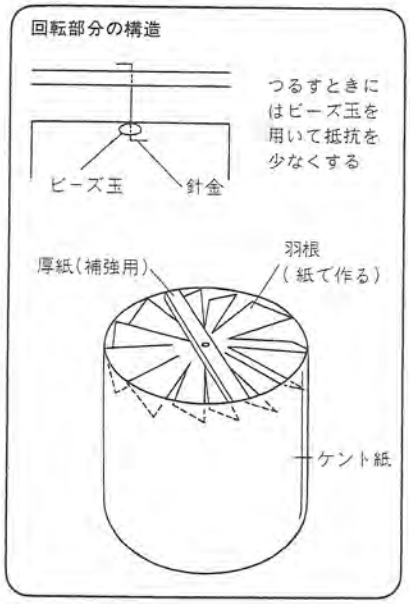
ビニル管をとりつけるときには，蒸気が漏れないように両端をしっかり差しこむ。

解説 フラスコ内の水を加熱して蒸気をタービンに送りこむと，タービンが回転しておもりを引き上げる。つまり，熱が，おもりを高い所に引き上げる仕事をしたことになる。

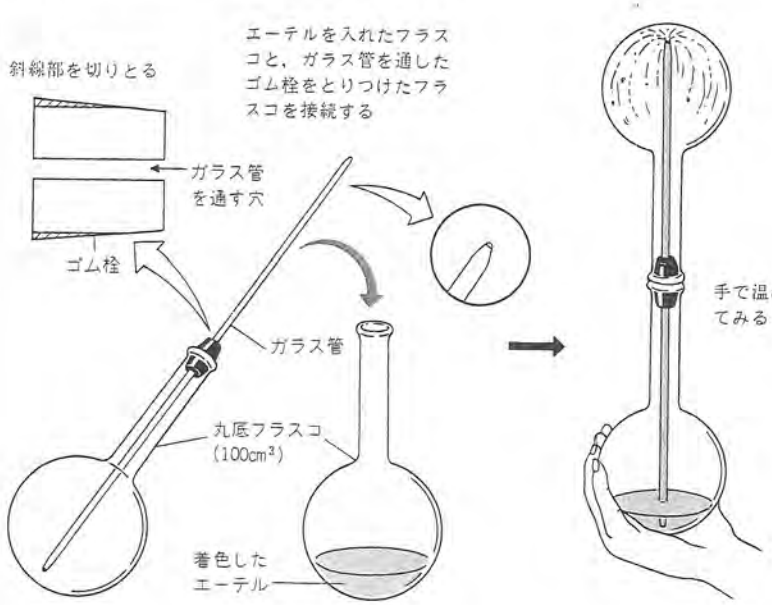
参考 蒸気機関車の模型を走らせる実験もおもしろい。ただし，熱が仕事をしたことを理解するのが難しい。

## 4 回り灯籠を回す仕事を調べる

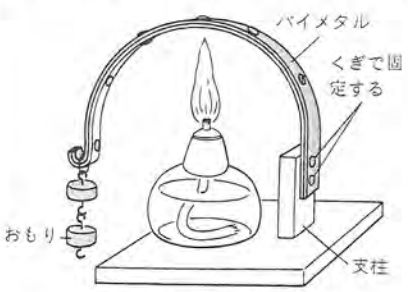


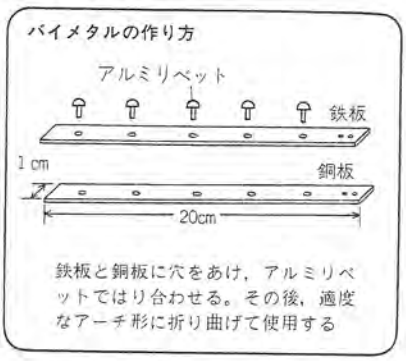




## 5 体温でエーテルを押し上げる仕事を調べる




## 6 バイメタルを利用し，おもりをつり上げる仕事を調べる



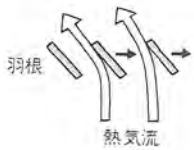

**4** 留意点 回り灯籠を自作する際，寸法などについては自由に決めればよいが，基本的には次のことに留意する。

- 回転部分はできるだけ軽くする
- 回転部分を上部の支柱につるすときには，摩擦を小さくするため，ビーズ玉などを用いる
- 回転部分の円筒には，回転の様子をわかりやすくするため，絵や縦の線を描いておく
- 羽根の傾きは，何度か試して，いちばん回りやすい状態にすればよい

ろうそくの長さは，灯籠の回転部分の高さを考慮して決める必要がある。

解説 回り灯籠の中にろうそくを入れると，空気が温められて上昇し，灯籠の回転部分が回る。つまり，熱が，灯籠の回転部分の摩擦や空気抵抗に対して仕事をしたことになる。

参考 回り灯籠が回るのは次図の原理による。




**5** 留意点 ガラス管は，両端を細くしておく。また2つのフラスコを接続したとき，両端がそれぞれ，フラスコ底部から3～5mmの位置にくるようにする。つまり，必要な長さをあらかじめ正確にはかって加工する。

エーテルの量は，30～50cm³程度がよい。赤などに着色しておくと観察しやすい。

内部をエーテル蒸気で一杯の状態にしてから，2つのフラスコをゴム栓で接続する。接続の際，接着剤で接着してしまうとよい。

解説 下のフラスコを温めると，エーテルがガラス管内を上っていき，やがて噴水となって上のフラスコにたまる。つまり，手の熱が，エーテルを上のフラスコに移す仕事をしたことになる。

**6** 留意点 バイメタルは，膨張率の違う2枚の金属板をはり合わせたものである。アルミニウム(線膨張率$\alpha=23\times10^{-6}$)，鉄($\alpha=12\times10^{-6}$)，銅($\alpha=17\times10^{-6}$)などをはり合わせて簡単に自作できる。はり合わせるときには，アルミリベットか熱に強い接着剤を用いればよい。

バイメタルを支柱に固定するときには，膨張率の大きい金属を下にする。

解説 バイメタルを加熱すると，おもりが上に引き上げられる。つまり，熱が，おもりを高い所に移動する仕事をしたことになる。

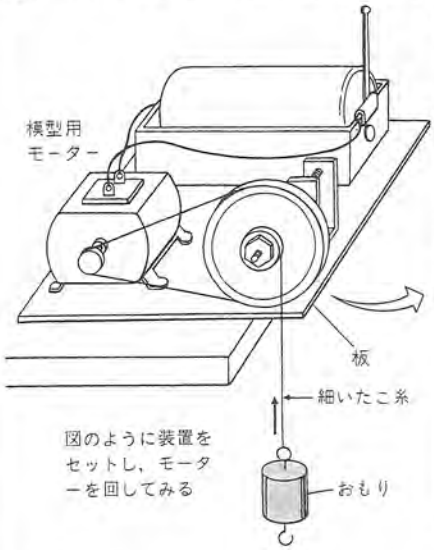
# 62 電流による仕事を調べる

ねらい 中3 電流が仕事をすることを，いろいろな方法で調べることができる。

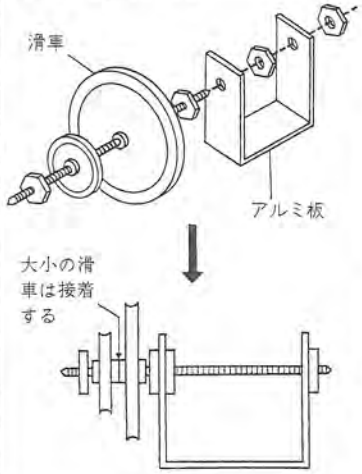
模型用モーター　乾電池①　滑車②　長尺ビス　ナット　アルミ板　板　細いたこ糸　木片　プラスチック円筒③　電磁石④　電磁石用電源　強力磁石　両面磁化磁石　糸

①電池ボックス(スイッチ付き)もあったほうがよい。②小型輪軸でもよい。③直径2～3cm，長さ20cm程度のもの。ガラス円筒でもよい。④プラスチック円筒の内径に合うもの。自作してもよい。

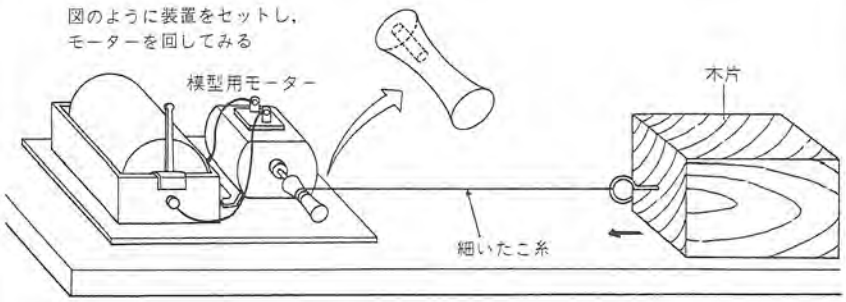
## 1 モーターでおもりを引き上げる仕事を調べる



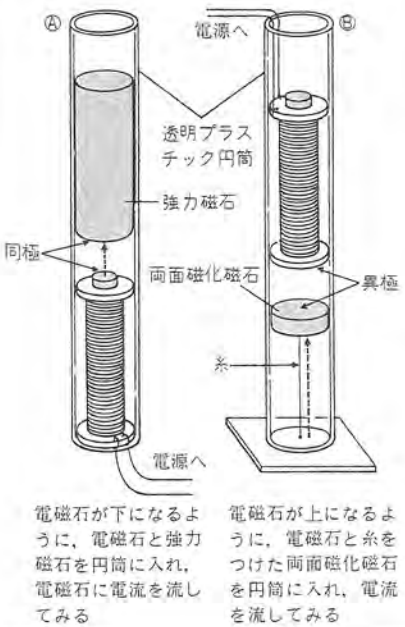

巻きとり装置の作り方




## 2 摩擦に対して電流がする仕事を調べる



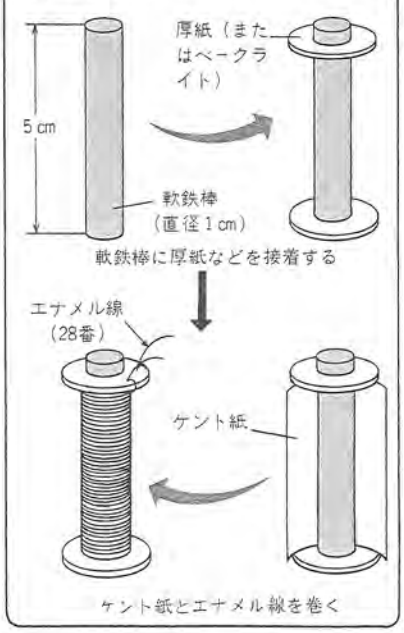

## 3 電磁石がする仕事を調べる




電磁石が下になるように，電磁石と強力磁石を円筒に入れ，電磁石に電流を流してみる

電磁石が上になるように，電磁石と糸をつけた両面磁化磁石を円筒に入れ，電流を流してみる

電磁石の作り方




**1** 留意点 エネルギー変換実験器があれば，それを利用してもよいが，装置の自作も簡単である。

巻きとり装置を自作するとき，大小の滑車は接着剤でつける。そして，ナットで強く固定しないで，滑車だけが空回りするような装置にする。装置は，図のようにナットを何個も使って，軸をしっかり固定する。

解説 モーターに電流を流すと，おもりが巻き上げられる。つまり，電流が，おもりを高い所に引き上げる仕事をしたことになる。

**2** 留意点 モーターの回転軸には，図のように，中央がくびれた円筒状に加工した木を，強力接着剤で固定する。

解説 モーターに電流を流すと，木片が引き寄せられる。つまり，木片と接触面の摩擦に対して，電流が仕事をしたことになる。

**3** 留意点 プラスチック円筒は，他の用途に使ったものを廃物利用すればよい。ガラス管を用いてもよい。

電磁石に用いる軟鉄棒は，実験用のものを金ノコで5 cmに切って用いる。永久磁石の磁力が弱いときには，長めの電磁石を作る。

エナメル線の巻き数は，できるだけ多くする。巻き数が少な過ぎると，電流が流れ過ぎるので気をつける。

電磁石と円筒の直径をしっかり合わせる。電磁石と永久磁石を円筒にセットするときには，磁石の極性を間違えないようにする。

解説 電磁石に電流を流すと，Ⓐの場合は強力磁石が押し上げられ，Ⓑの場合は両面磁化磁石が引き上げられる。つまり，電流が，それぞれの永久磁石に対して仕事をしたことになる。

参考 以上の**1**～**3**は，電流が仕事をすることを調べる実験である。この逆に，仕事により電流をとり出せることを調べてみるのも意義のあることである。

例えば，①模型用モーターに手回し装置を接続して豆電球を点灯させる，②自転車の発電機を回してヘッドライトを点灯させる，③手回し発電機を回して豆電球を点灯させる，などが考えられる。装置は 50 【C】を参照。違うのは，熱量計の代わりに電球を接続することだけである。

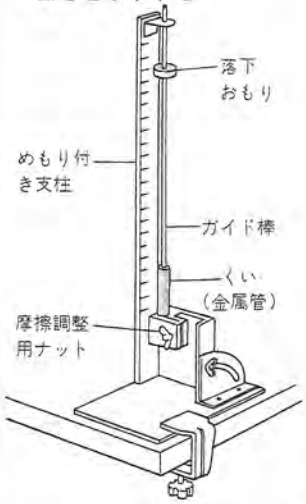
# 63 位置エネルギーの実験

**ねらい** 中3高 重力による位置エネルギーは，物体の高さと質量に比例することが調べられる。
位置エネルギーは，物体が落下したときにする仕事の量ではかれることが理解できる。

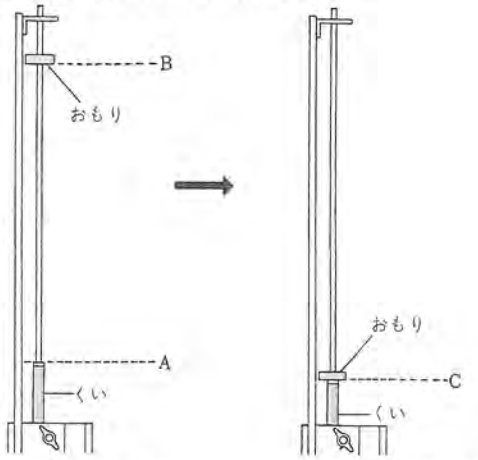
力学的エネルギー実験器(くい打ち実験器)　C形クランプ　方眼紙　【別法】角材(2～3cm角)　レール①　木片　鋼球②　工具類　方眼紙

①配線用カバーの接着剤付き(両面テープ付き)のものがよい。例えば，デンケンVFモール，Dモール特号など。手に入らない場合は，プラスチックのカーテンレールを使ってもよい。
②質量が10g，14g，22g 程度のものを3種類用意する。

### 1 力学的エネルギー実験器をセットする



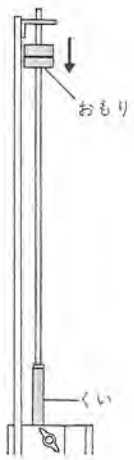

### 2 おもりを落下させ，くいを打つ




おもりを持ち上げ，くいの位置Aとおもりの位置Bを記録する

おもりを落下させ，くいとおもりの位置Cを記録する

### 3 おもりの数を変え，2と同様の実験を行う

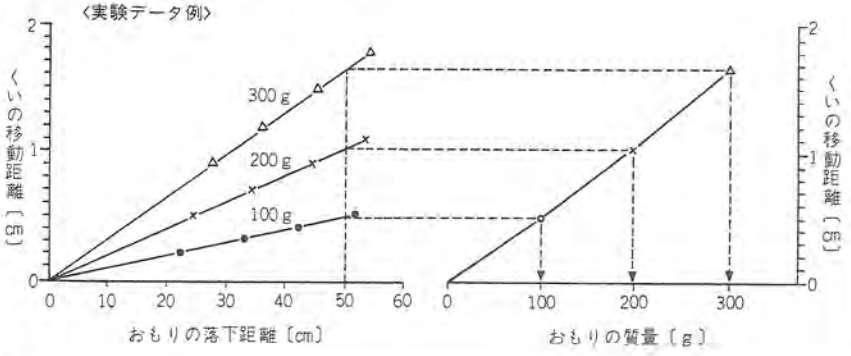



実験データ例（単位：cm）

| おもりの数 | | A点のめもり | B点のめもり | C点のめもり | おもりの落下距離(B－C) | くいの移動距離(A－C) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 8.0 | 60.0 | 7.5 | 52.5 | 0.5 |
| | 1個 | 7.5 | 50.0 | 7.1 | 42.9 | 0.4 |
| | (100g) | 7.1 | 40.0 | 6.8 | 33.2 | 0.3 |
| | | 6.8 | 30.0 | 6.6 | 23.4 | 0.2 |
| | | 8.0 | 60.0 | 6.9 | 53.4 | 1.1 |
| | 2個 | 6.9 | 50.0 | 6.0 | 44.0 | 0.9 |
| | (200g) | 6.0 | 40.0 | 5.3 | 34.7 | 0.7 |
| | | 5.3 | 30.0 | 4.8 | 25.2 | 0.5 |
| | | 8.0 | 60.0 | 6.2 | 53.8 | 1.8 |
| | 3個 | 6.2 | 50.0 | 4.7 | 45.3 | 1.5 |
| | (300g) | 4.7 | 40.0 | 3.5 | 36.5 | 1.2 |
| | | 3.5 | 30.0 | 2.6 | 27.4 | 0.9 |

### 4 得られたデータをグラフ化する

〈実験データ例〉




1 留意点 実験器は，C形クランプで机にしっかりと固定しておく。
摩擦調整用ナットでくいを締めつける前に，くいを手で押し，滑らかに動くかどうかを点検しておく。滑らかに動かないときは，くいをとりはずして，ガーゼなどの布で，表面に傷をつけないように注意しながら，よくふいてみる。黄銅製などで表面が酸化したものは，金属磨きなどを使ってさびをとる。このとき，さびをとった後の液を，ガーゼなどの布で，よくふきとっておく。滑らかに動かないからといって，油をつけてはいけない。くいが滑らかに動くかどうかは，この装置を使っての実験の最大のポイントなので，十分に調整しておく。
くいを締めつけるときには，実験中，くいが落ちてしまわない程度の適度な強さにする。

2 留意点 おもりを持ち上げるときの位置Bを，60cm，50cm，40cm，30cmと，いろいろ変えて実験してみる。
実験中は，くいの締めつけ加減を一定にするため，摩擦調整用ナットを動かさないようにする。
おもりの落下距離は(B－A)ではなく，(B－C)であることに気をつける。

3 留意点 おもりの数を，2個，3個と変化させて実験してみる。
くいは，摩擦調整用ナットを緩めて，もとの位置にセットし直す。このとき，くいの締めつけ加減が2の場合と同じになるようにする。つまり，ナットの位置を，2の場合と同じにする。

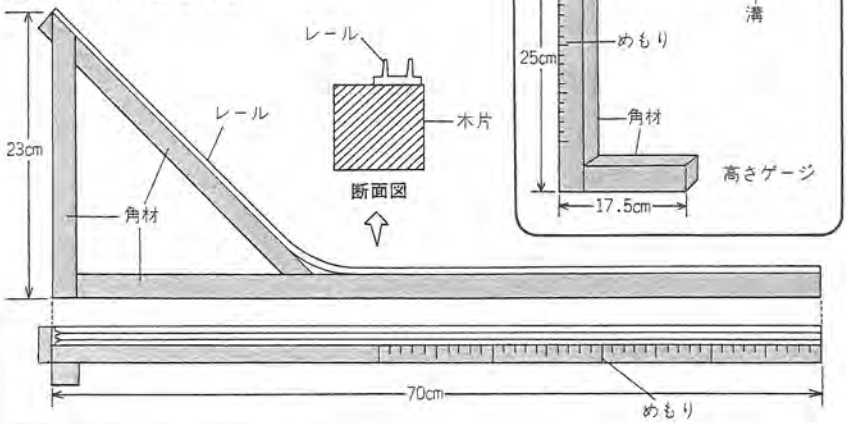
4 留意点 横軸におもりの落下距離，縦軸にくいの移動距離をとり，測定結果をグラフ化してみる。次いで，このグラフをもとに，横軸におもりの質量をとったグラフに変換してみる。
結果 グラフから，位置エネルギーは，おもりの落下距離と，おもりの質量に比例することがわかる。

参考 一般に，高い位置にある物体に作用する重力がなし得る仕事の能力を，重力による位置エネルギーという。この位置エネルギー$U_P$〔J〕は，物体の質量を$m$〔kg〕，基準の位置からの物体の高さを$h$〔m〕，重力加速度を$g$〔m/s²〕とすると，次式のようになる。

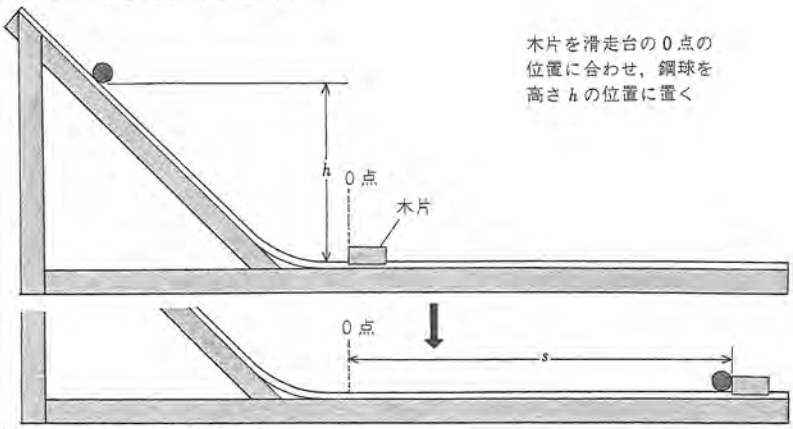
$$U_p = mgh$$

## 【別法】自作のレール実験器で調べる方法

### 1 レール実験器を作る




### 2 鋼球を滑走させ，木片を動かす

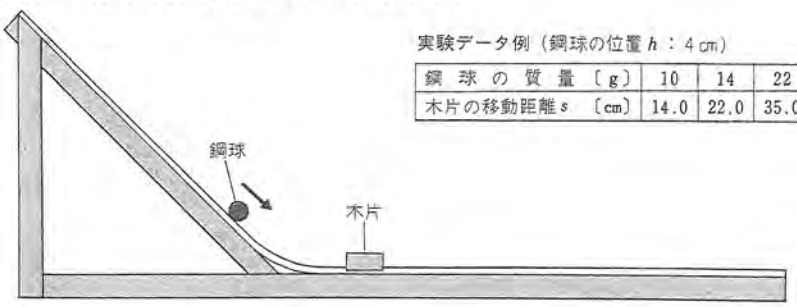



実験データ例（鋼球の質量：10 g）

| 鋼球の高さ $h$ 〔cm〕 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 木片の移動距離 $s$ 〔cm〕 | 7.0 | 14.0 | 19.0 | 25.0 | 30.0 | 36.0 |

鋼球を滑走させ，木片が移動した距離 $s$ をはかる

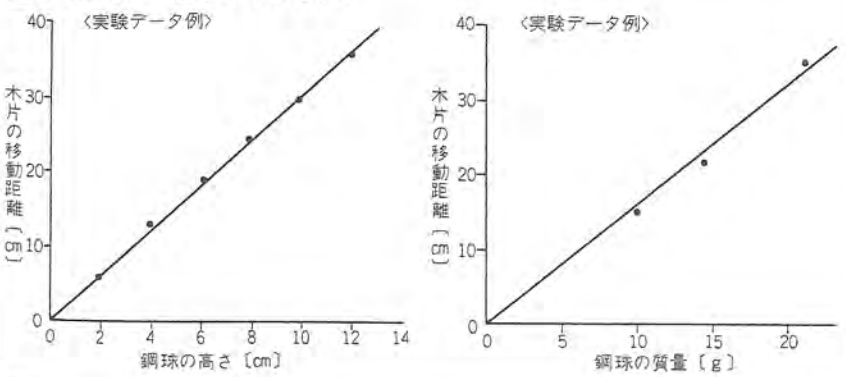
### 3 鋼球の大きさを変え，2と同様の実験を行う




実験データ例（鋼球の位置 $h$：4 cm）

| 鋼球の質量〔g〕 | 10 | 14 | 22 |
|---|---|---|---|
| 木片の移動距離 $s$ 〔cm〕 | 14.0 | 22.0 | 35.0 |

### 4 得られたデータをグラフ化する

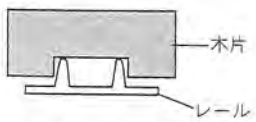



## 【別法】自作のレール実験器で調べる方法

解説 この方法は，前ページの方法に比べて，調整の手間がかからず，測定のばらつきも少ない。また，データの処理も楽である。

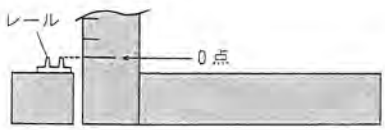
1 留意点 角材は，反っていないものを用いる。

木片の溝は，ノコギリで引いた後，平ヤスリで平らに削りとればよい。木片が滑走台の床に接触しないようにするため，あまり溝を深くしないようにする。




高さゲージと滑走台の水平部分に入れるめもりは，1 cm間隔にする。

高さゲージのめもりの0点は，レールの上端と一致させる。




2 留意点 鋼球は，いちばん小さいものだけを使用すればよい。

鋼球の高さ $h$ を決めるときには，高さゲージを用いる。このとき，鋼球の底の部分をゲージのめもりに合わせるようにする。

鋼球の高さ $h$ を，いろいろ変えて実験してみる。

木片の移動距離 $s$ は，同一の高さで3回ぐらい実験を行い，その平均値とする。

1回の測定が終わるごとに，木片を0点に戻すようにする。

3 留意点 鋼球の大きさ，つまり質量をいろいろ変えて実験してみる。このとき，鋼球の高さ $h$ は一定にしておく。$h$ は，4 cm程度がよい。

鋼球の質量は，上皿てんびんではかればよい。

4 結果 グラフから，位置エネルギーは，鋼球の高さと質量に比例することがわかる。

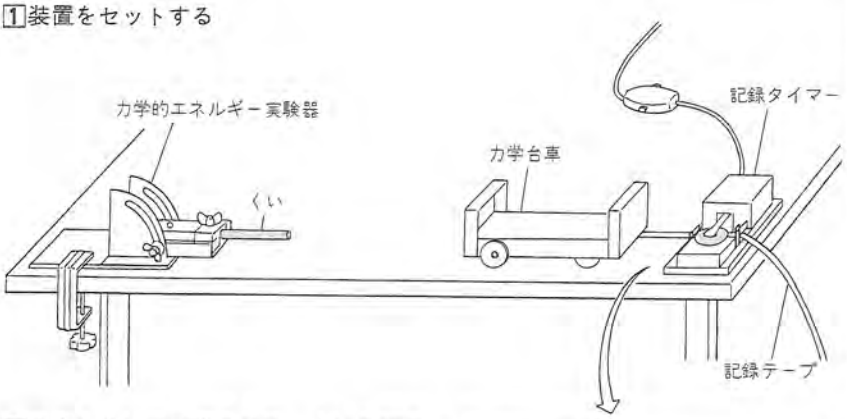
# 64 台車のもつ運動エネルギーの実験

**ねらい** 中3高　台車のもつ運動エネルギーは，台車の速さの2乗と質量に比例することが調べられる。
運動エネルギーは，運動している物体が静止するまでにする仕事の量ではかられることが理解できる。

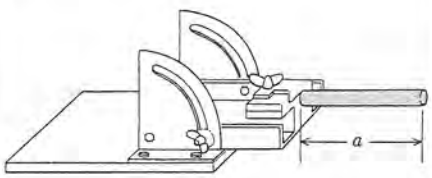
力学的エネルギー実験器(くい打ち実験器)　C形クランプ　記録タイマー　力学台車3　セロハンテープ　上皿指示はかり　ものさし　方眼紙

＊以上のほか，【別法1】では，木片(5×10×20cm程度のもの)，力学台車用おもりが必要である。また，【別法2】では，ばねはかり，スタンド，糸，力学台車用おもりが必要である。

1 装置をセットする




2 台車をくいに衝突させて，くいを打つ

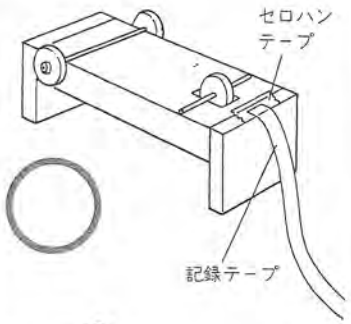


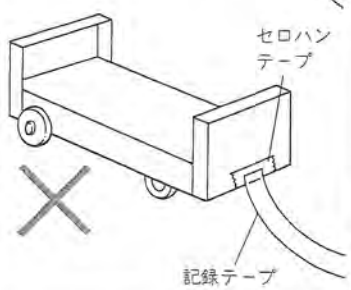

くいの長さ$a$をはかり，記録タイマーのスイッチを入れる。



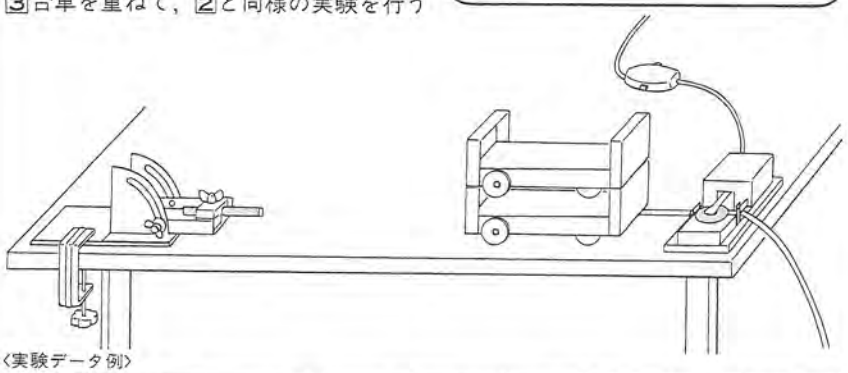

台車を手で押してくいに衝突させ，くいの長さ$b$をはかる

記録テープのとりつけ方




3 台車を重ねて，2と同様の実験を行う

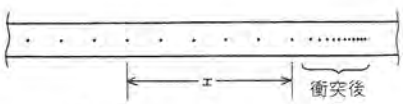


〈実験データ例〉

| 台車の質量 〔kg〕 | 1(1台) | | | 2(2台) | | | 3(3台) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 台車の速さの大小 | 小 | 中 | 大 | 小 | 中 | 大 | 小 | 中 | 大 |
| くいの移動距離 (a-b)〔cm〕 | 0.31 | 0.71 | 1.25 | 0.50 | 1.10 | 1.90 | 0.62 | 1.50 | 2.10 |
| 台車の速さ $v$ 〔cm/1打時〕 | 0.60 | 0.81 | 1.04 | 0.52 | 0.72 | 0.96 | 0.43 | 0.69 | 0.83 |
| 速さの2乗 $v^2$〔(cm/1打時)$^2$〕 | 0.36 | 0.66 | 1.08 | 0.27 | 0.52 | 0.92 | 0.18 | 0.48 | 0.69 |

1 留意点 力学的エネルギー実験器は，C形クランプで机にしっかりと固定しておく。また，実験器のくいが滑らかに動くように調整しておく。調整の方法やとり扱い方については，63 を参照。
記録テープは，セロハンテープを使って，台車の底面にとりつける。側面にとりつけてはいけない。

2 留意点 くいの長さ$a$や$b$は，ものさしではかればよい。
実験後，記録テープには，衝突前後のくいの長さ$a$，$b$と，台車の台数(質量)を記入しておく。
台車の速さを3段階ぐらいに変化させて実験してみる。
記録テープを解析するときには，衝突直前の5打点間の平均距離を求め，それを台車の速さ$v$〔cm/1打時〕(1打時とは，記録タイマーの振動片が1往復する間の時間)とする。



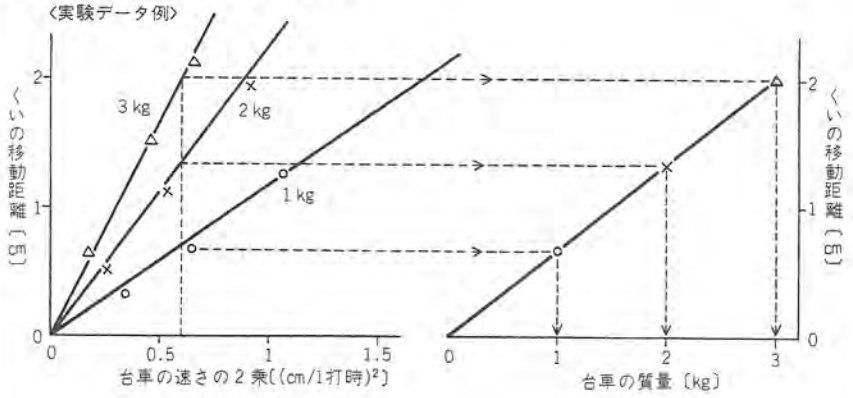

$$v=\frac{x\text{〔cm〕}}{5\text{〔1打時〕}}$$

3 留意点 台車を2台，3台と重ねて，つまり台車の質量を変えて実験してみる。

4 留意点 横軸に台車の速さの2乗，縦軸にくいの移動距離をとり，測定結果をグラフ化してみる。次いで，このグラフをもとに，横軸に台車の質量をとったグラフに変換してみる。

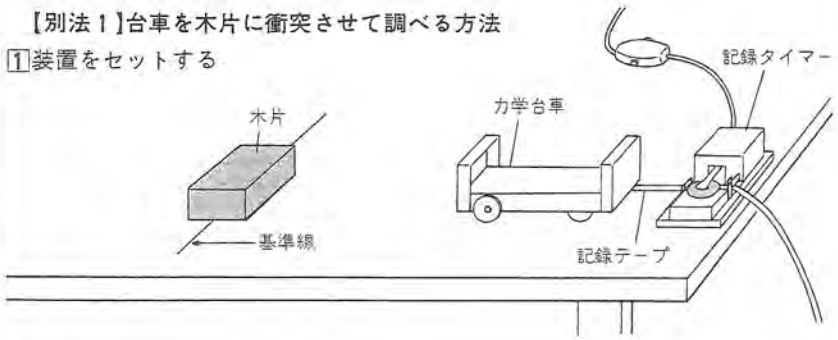
4得られたデータをグラフ化する

〈実験データ例〉



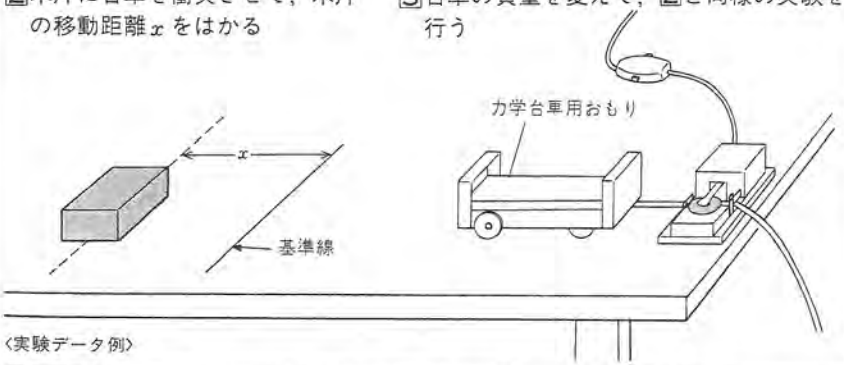

【別法1】台車を木片に衝突させて調べる方法

1装置をセットする




2木片に台車を衝突させて，木片の移動距離$x$をはかる

3台車の質量を変えて，2と同様の実験を行う

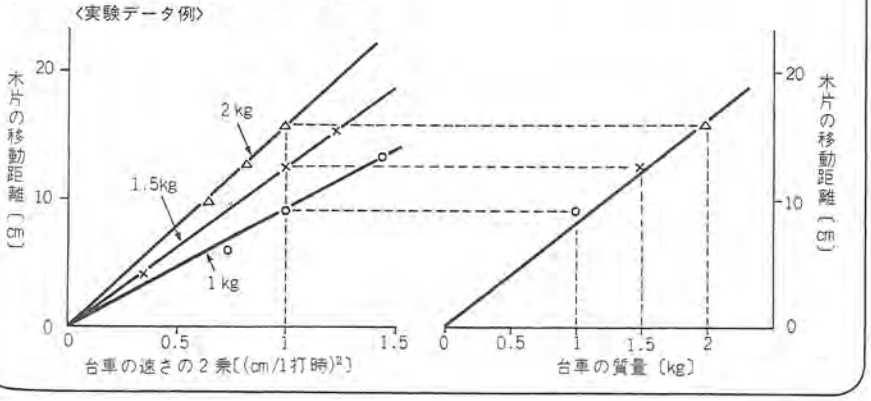



〈実験データ例〉

| 台車の質量〔kg〕 | 1（空台車） | | | 1.5(おもり0.5kg) | | | 2（おもり1kg） | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 台車の速さの大小 | 小 | 中 | 大 | 小 | 中 | 大 | 小 | 中 | 大 |
| 木片の移動距離$x$〔cm〕 | 6.2 | 9.1 | 13.0 | 4.0 | 12.5 | 15.1 | 9.9 | 12.6 | 16.0 |
| 台車の速さ$v$〔cm/1打時〕 | 0.85 | 1.0 | 1.2 | 0.60 | 1.0 | 1.1 | 0.80 | 0.90 | 1.0 |
| 速さの2乗$v^2$〔(cm/1打時)²〕 | 0.72 | 1.00 | 1.44 | 0.36 | 1.00 | 1.21 | 0.64 | 0.81 | 1.00 |

4得られたデータをグラフ化する

〈実験データ例〉




結果 グラフから，台車の運動エネルギーは，台車の速さの2乗と，台車の質量に比例することがわかる。

参考 一般に，速さ$v$〔m/s〕で運動する質量$m$〔kg〕の物体は，静止するまでに$mv^2/2$〔J〕の仕事をなし得る能力，すなわち，運動エネルギーを持っている。いま，運動エネルギーを$U_k$〔J〕で表すと，次式のようになる。

$$U_K=\frac{1}{2}mv^2$$

**【別法1】台車を木片に衝突させて調べる方法**

解説 この方法は，前ページの方法に比べて，実験器の調整を必要としないので，簡単である。測定値に多少のばらつきが出るが，ほぼ満足のいく結果が得られる。

1 留意点 木片は基準線に合わせておく。このとき，木片の重心の位置を基準線に合わせるようにするとよい。このようにすると，衝突後，木片が斜めになっても，移動距離を正確にはかることができる。
木片が小さ過ぎると，測定値のばらつきが大きくなり，不正確になるので気をつける。
机の上は，消しゴムのくずなどが無いように，きれいに掃除しておく。
記録テープのとりつけ方については，前ページ1の留意点を参照。

2 留意点 台車を手で押して木片に衝突させる前に，記録タイマーのスイッチを入れることを忘れないようにする。
木片の移動距離$x$は，ものさしではかればよい。
実験後，記録テープには，木片の移動距離$x$と台車の質量を記入しておく。
台車の速さを3段階ぐらいに変化させて実験してみる。
記録テープの解析方法については，前ページ2の留意点を参照。

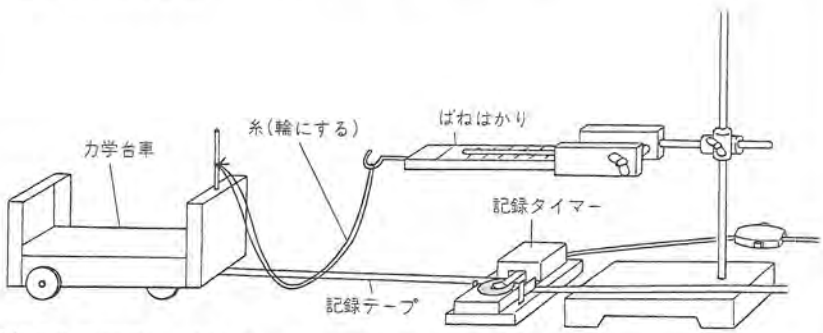
3 留意点 台車におもりを載せ，台車の質量を，1.5kg，2kgと変化させて実験してみる。
おもりは，力学台車用のものを用いる。
専用のおもりがない場合，適当なおもりを用いてもよいが，台車上で動かないように固定しておく必要がある。

4 留意点 横軸に台車の速さの2乗，縦軸に木片の移動距離をとり，測定結果をグラフ化してみる。次いで，このグラフをもとに，横軸に台車の質量をとったグラフに変換してみる。

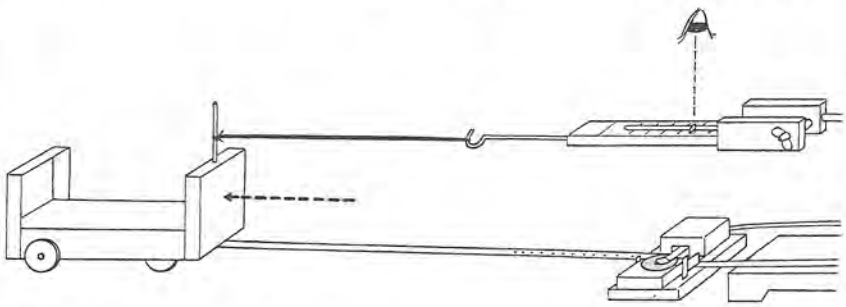
結果 グラフから，台車の運動エネルギーは，台車の速さの2乗と，台車の質量に比例することがわかる。

## 【別法２】台車でばねはかりを引っ張って調べる方法

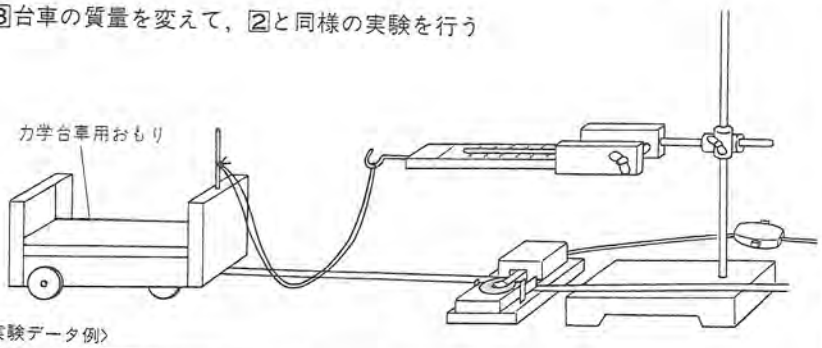
1 装置をセットする




2 台車を手で押し，ばねはかりの指針が最大値を示したときの値を読みとる



3 台車の質量を変えて，2と同様の実験を行う

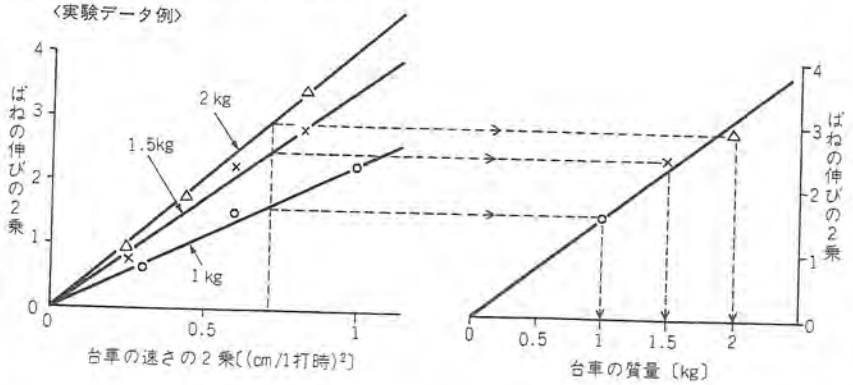



〈実験データ例〉

| 台車の質量 〔kg〕 | 1（空台車） | | | 1.5(おもり0.5kg) | | | 2（おもり1 kg） | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 台車の速さの大小 | 小 | 中 | 大 | 小 | 中 | 大 | 小 | 中 | 大 |
| 台車の速さ $v$ 〔cm/1打時〕 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 0.5 | 0.8 | 0.9 | 0.5 | 0.65 | 0.90 |
| 速さの2乗 $v^2$〔(cm/1打時)$^2$〕 | 0.36 | 0.64 | 1.0 | 0.25 | 0.64 | 0.81 | 0.25 | 0.42 | 0.81 |
| ばねの伸び $x$ (gw) | 80 | 120 | 150 | 85 | 150 | 170 | 95 | 130 | 185 |
| 伸びの2乗 $x^2$ ($\times 10^4$) | 0.64 | 1.44 | 2.25 | 0.72 | 2.25 | 2.89 | 0.90 | 1.69 | 3.42 |

4 得られたデータをグラフ化してみる

〈実験データ例〉




**【別法２】台車でばねはかりを引っ張って調べる方法**

解説 この方法は，ばねはかりの指針を正確に読みとるのが難しいので，測定値にばらつきが出やすい。

1 留意点 ばねはかりは，水平にした状態で，0点を調整しておく。
糸は，輪になるように台車に結び，他端をばねはかりのフックにかける。このとき，十分たるんだ状態にしておく。
記録テープのとりつけ方については，前前ページ1の留意点を参照。

2 留意点 台車を押す前に，記録タイマーのスイッチを入れることを忘れないようにする。
ばねはかりの指針が最大値を示すと同時に，記録タイマーのスイッチを切るようにする。ばねが最大に伸びたときにスイッチを切らないと，台車が後戻りし，記録テープに2重に打点されることがある。
秤量200gのばねはかりで実験するときには，台車にスピードをつけ過ぎないようにする。指針が振り切れてしまう。
実験後，記録テープには，ばねはかりの指示値と台車の質量を記入しておく。
台車の速さを3段階ぐらいに変化させて実験してみる。
記録テープの解析方法については，前々ページ2の留意点を参照。

3 留意点 台車におもりを載せて，台車の質量を，1.5kg，2 kgと変化させて実験してみる。
おもりは，力学台車用のものを用いる。専用のおもりがない場合，適当なおもりを用いてもよいが，台車上で動かないように固定しておく必要がある。

4 留意点 横軸に台車の速さの2乗，縦軸にばねの伸びの2乗をとり，測定結果をグラフ化してみる。次いで，このグラフをもとに，横軸に台車の質量をとったグラフに変換してみる。

解説 縦軸にばねの伸びの2乗をとるのは，ばねを引き伸ばすのに必要な仕事が，ばねの伸びの2乗に比例するからである。

結果 グラフから，台車の運動エネルギーは，台車の速さの2乗と，台車の質量に比例することがわかる。

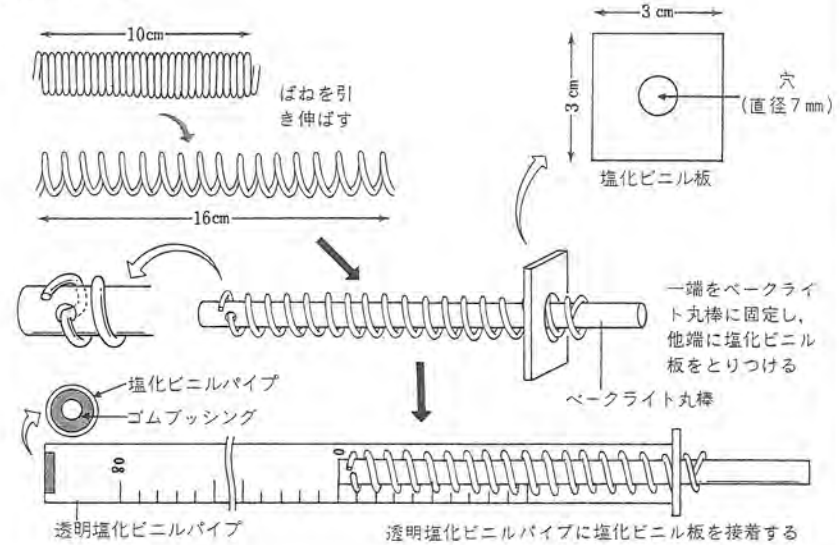
# 65 ばねのもつエネルギーの実験

ねらい 中高　ばねのもつエネルギーは，ばねの縮み(または伸び)の2乗に比例することが調べられる。
ばねのもつエネルギー(弾性エネルギー)は，ばねが自然な状態に戻るまでにする仕事をはかればよいことが理解できる。

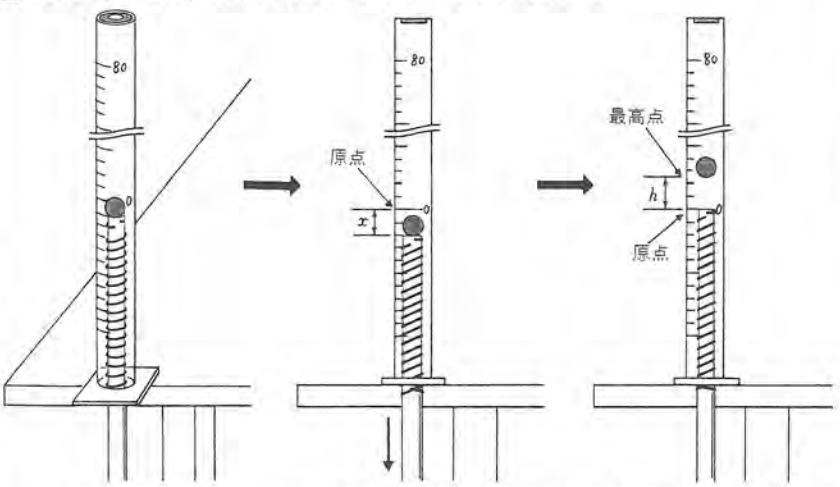
**ばね**(外径9mm，長さ10cm)　**ベークライト丸棒**(直径6mm，長さ27cm)　**透明塩化ビニルパイプ**(内径11mm，外径16mm，長さ1m)　**塩化ビニル板**(厚さ3mm)　**ゴムブッシング**(外径13mm程度のもの)　**鋼球**(パチンコ玉)　**塩化ビニル接着剤**　**方眼紙**

*【別法1】【別法2】については，別掲の準備するものを参照。

## 1 装置を作る




## 2 鋼球を打ち上げ，ばねのもつエネルギーについて調べる

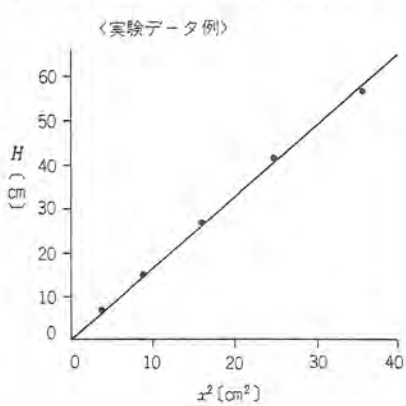



実験データ例

| $x$〔cm〕 | $x^2$〔cm$^2$〕 | $h$〔cm〕 | $H^*$〔cm〕 |
|---|---|---|---|
| 2.0 | 4.0 | 5.5 | 7.5 |
| 3.0 | 9.0 | 12.0 | 15.0 |
| 4.0 | 16.0 | 24.0 | 28.0 |
| 5.0 | 25.0 | 37.0 | 42.0 |
| 6.0 | 36.0 | 50.0 | 56.0 |

*$H$：鋼球が打ち上げられた高さ($h+x$)

## 3 得られたデータをグラフ化する




1 留意点 ばねをベークライト丸棒の先端に固定するときには，棒の先のほうに2mm程度の穴をあけ，その穴にばねを通して，ペンチなどで折り曲げるとよい。
ばねの一端に塩化ビニル板をとりつけるときには，塩化ビニル板の穴にベークライト丸棒を通すと同時に，ばねを2～3巻きぐらい挟みこみ，ばねの先端をペンチなどで折り返して抜けないようにしておけばよい。
塩化ビニルパイプには，塩化ビニル板を接着した後，めもりを刻んでおく。めもりは，ばねの自然の位置(ベークライト丸棒の先端)を原点(0点)とし，その両側に1cm間隔で刻む。

2 留意点 鋼球は，ゴムブッシングをいったんとりはずして入れればよい。ゴムブッシングをとりつけておくのは，鋼球が外に飛び出さないようにするためである。
装置は，机の側面を利用して，鉛直になるように手で押さえておく。
ばねの縮み $x$ をいろいろ変化させて，それぞれについて高さ $h$ を求めるようにする。$x$ を2～6cm程度の範囲で，1cmずつ変化させて実験するとよい。この際，同一の $x$ について2～3回実験し，その平均値を高さ $h$ にするとよい。
解説 鋼球が打ち上げられた高さ $H$（ばねが鋼球にした仕事に比例する）は，鋼球が最高点に達したときの高さ $h$ に，ばねの縮み $x$ を加えたものである。
参考 ばねが鋼球を打ち上げたとき，ばねが鋼球にした仕事 $W$ は，鋼球の質量を $m$，重力加速度を $g$ とすると，

$$W = mgH$$

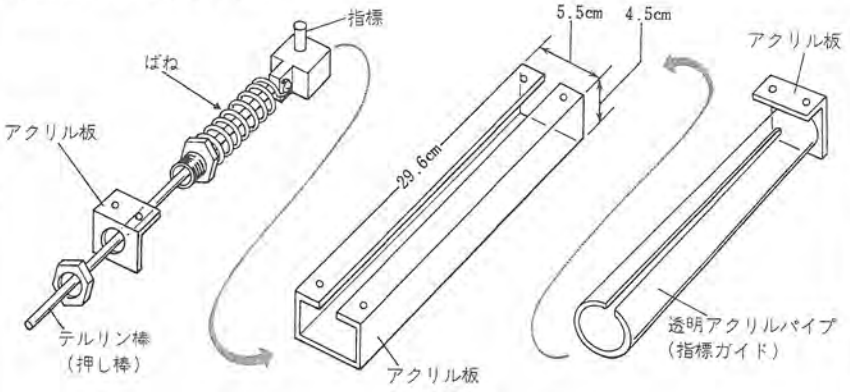
となる。上式において，$m$ と $g$ は一定であるから，鋼球が打ち上げられた高さ $H$ は，ばねが鋼球にした仕事 $W$ に比例するのである。

3 結果 グラフから，ばねのもつエネルギー(弾性エネルギー)は，ばねの縮みの2乗に比例することがわかる。

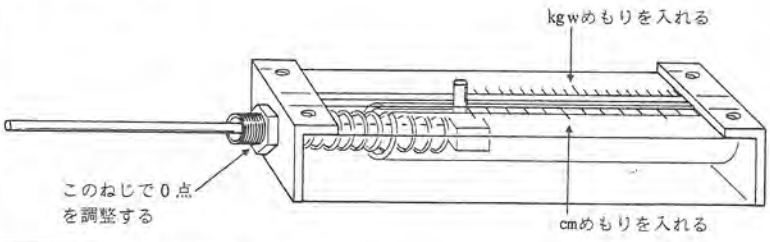
## 【別法１】自作の押しばねはかり実験器を用いる方法

1 装置を作る

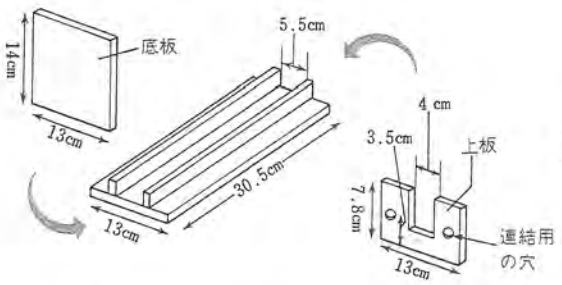
①押しばねはかりを作る



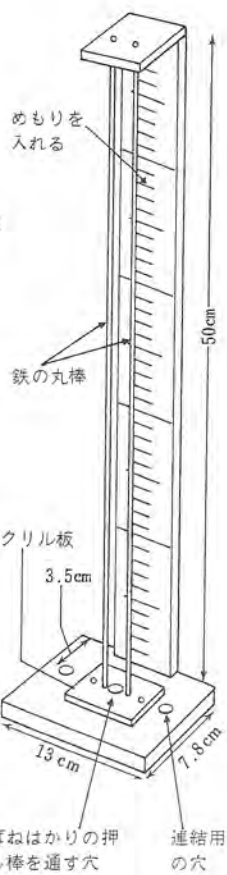

ばねはかりの完成図



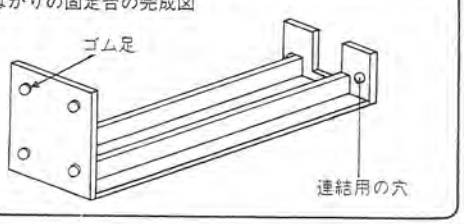

②ばねはかり固定台を作る



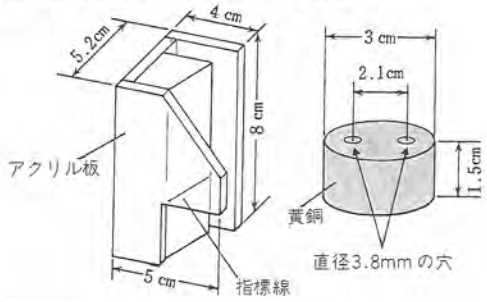

③おもり打ち上げ台を作る




ばねはかりの固定台の完成図




④位置読みとりゲージとおもりを作る




### 【別法１】自作の押しばねはかり実験器を用いる方法

準備するもの　**ばね**（外径９mm，長さ10cm）　**透明アクリルパイプ**（内径21mm，外径25mm，長さ25cm）　**透明アクリル板**（厚さ３mm）　**テルリン棒**（直径６mm，長さ30cm）　**鉄の丸棒**（直径３mm）　**黄銅円筒**（直径３cm，高さ1.5cm）　**板**（厚さ１cmのラワン）　**アクリル接着剤**　**ビス・ナット**　**木工ボンド**　**くぎ**　など

1 ①留意点 ばねは，引き伸ばして，間隔をわずかにあけておく。これは，ばねの伸びを外力に比例させるためである。

指標や０点調整ねじは，適当な材料で作ればよい。

アクリル板を折り曲げるときには，アクリル折り曲げ器を用いるとよい。このとき，折り曲げる線に沿って，外側を線状に加熱する。

外箱には，指標の位置を０点として，cmめもりを入れておく。また，この実験では必要ないが，cmめもりの反対側には，kgwめもりを入れておくとよい。

②留意点 材料は，すべてラワン材でよい。

上板には，おもり打ち上げ材を連結するための連結用の穴をあけておく。

木工ボンドとくぎを使って，しっかりと固定する。

底板には，ゴム足をつけておくとよい。

③留意点 おもりのガイド棒（鉄の丸棒）は，２本の中心から中心までの間隔が 2.1cm になるようにし，正確に２本が平行になるようにする。また，おもりをセットするときのため，上に動かせるようにしておく。

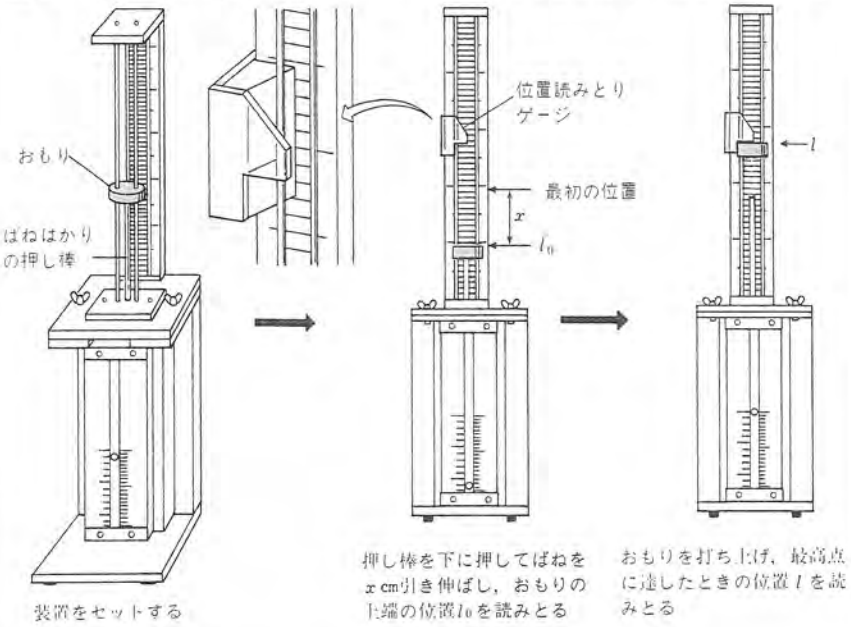
下板には，ばねはかりの押し棒を通す穴（直径８mm）をあけたアクリル板をとりつけておく。これは，押し棒との摩擦をできるだけ小さくするためである。したがって，下板には当然，これより大きい穴をあけておく必要がある。また，この押し棒を通す穴が，おもりの中心の位置にくるようにする。

2 留意点 おもりが最高点に達したときの位置 $l$ は，おもり位置読みとりゲージを使って読みとる。このため，おもりが上昇してきたとき，おもりがわずかにゲージに触れるように，あらかじめゲージをセットしておく。セットする位置は，３～４回打ち上げてみればすぐわかる。

ばねの伸び $x$ をいろいろ変化させ，それぞれについて $l_0$，$l$ を求める。

データが得られたら，横軸にばねの伸び $x$ の２乗，縦軸におもりが上昇した距離 $H(=l-l_0)$ をとり，グラフ化してみる。

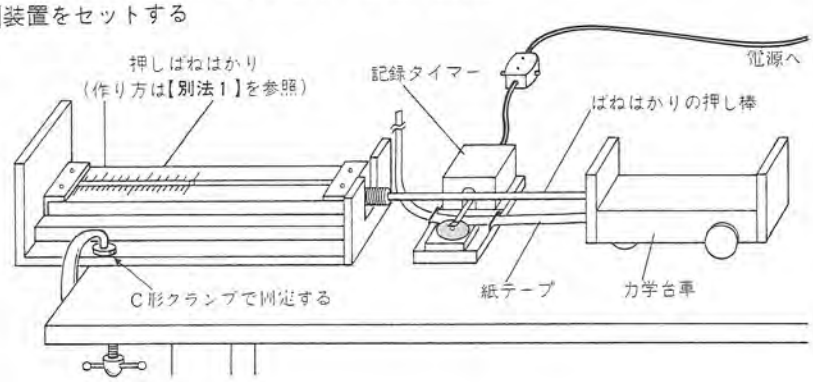
2装置をセットしておもりを打ち上げ，ばねのもつエネルギーについて調べる



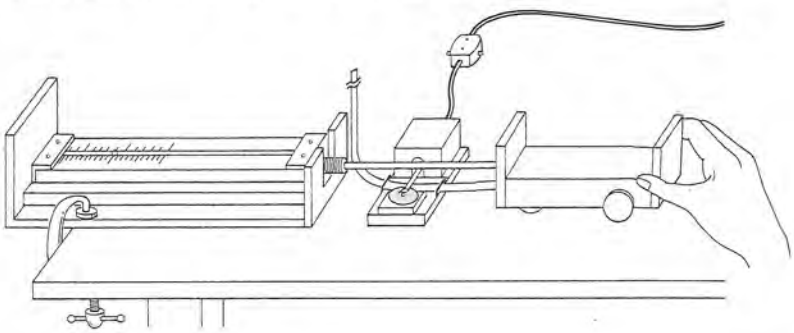

装置をセットする　　押し棒を下に押してばねを$x$cm引き伸ばし，おもりの上端の位置$l_0$を読みとる　　おもりを打ち上げ，最高点に達したときの位置$l$を読みとる

【別法2】力学台車と記録タイマーを用いる方法

1装置をセットする

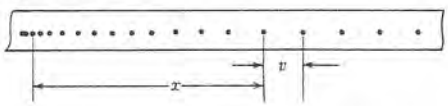



2台車を走らせ，ばねのもつエネルギーについて調べる



①台車を手で押してばねを$x$cm引き伸ばす
②記録タイマーのスイッチを入れ，しばらくしてから手を離して台車を発進させる
③紙テープを解析し，台車の最大速度$v$を求める

紙テープの解析




打点の間隔がいちばん広い所（スタートの位置から$x$cmの位置にある）の長さが最大速度$v$である

結果 グラフ化することにより，ばねの持つエネルギーは，ばねの縮みの2乗に比例することがわかる。

実験データ例

| $x$〔cm〕 | $x^2$〔cm$^2$〕 | $l_0$〔cm〕 | $l$〔cm〕 | $H$〔cm〕 |
|---|---|---|---|---|
| 6.0 | 36.0 | 13.4 | 19.9 | 6.5 |
| 7.0 | 49.0 | 12.4 | 21.6 | 9.2 |
| 8.0 | 64.0 | 11.4 | 23.5 | 12.1 |
| 9.0 | 81.0 | 10.4 | 25.4 | 15.0 |
| 10.0 | 100.0 | 9.4 | 27.5 | 18.1 |

**【別法2】力学台車と記録タイマーを用いる方法**

準備するもの **押しばねはかり**① **力学台車　記録タイマー　紙テープ　方眼紙**

①作り方は【別法1】を参照。

解説 この方法は，ばねのもっていたエネルギーを台車を走らせるエネルギーに変換し，台車が得た運動エネルギーから，ばねの弾性エネルギーについて調べるというものである。実験もデータの処理もきわめて簡単で，結果もほぼ満足のいくものが得られる。

1 留意点 C形クランプを使って，ばねはかりの固定台を机にしっかり固定しておく。紙テープは，台車の底面にセロハンテープではりつけて固定する。

2 留意点 台車を走らせる机の上は，きれいにしておく。消しゴムの粉などが落ちていると，正確なデータが得られないことがある。

ばねの伸び$x$をいろいろ変化させ，それぞれについて記録をとる。この際，紙テープには，それぞれのばねの伸び$x$を記入しておく。

データが得られたら，横軸にばねの伸び$x$の2乗，縦軸に台車が得た最大速度の2乗をとり，グラフ化してみる。

結果 グラフ化することにより，台車が得た速度の2乗は，ばねの伸びの2乗に比例することから，台車が得た運動エネルギーは，ばねの伸びの2乗に比例することがわかる。したがって，ばねのもつエネルギーは，ばねの伸びの2乗に比例することがわかる。

実験データ例

| $x$〔cm〕 | $x^2$〔cm$^2$〕 | $v$* | $v^2$ |
|---|---|---|---|
| 6.0 | 36 | 1.0 | 1.0 |
| 7.0 | 49 | 1.2 | 1.4 |
| 8.0 | 64 | 1.4 | 2.0 |
| 9.0 | 81 | 1.6 | 2.6 |

＊単位：cm　1打時（1打時は1打を打つ時間）

# 66 力学的エネルギーが保存されることを調べる

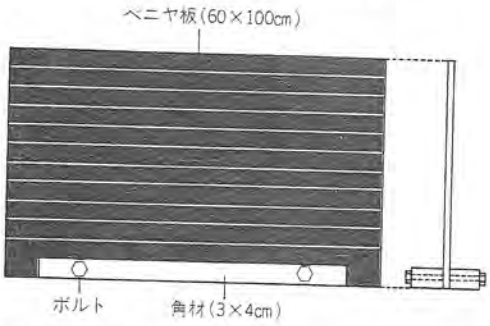
ねらい 高　位置エネルギーや運動エネルギーは，相互に移り変わっても，その総量は変化しないことが調べられる。

【A】ベニヤ板（厚さ3mm程度）　角材（4×3cm程度）
塗料（黒，白）　力学実験用おもり（100g）　糸
ゼムクリップ　スタンド　ビス・ナット　工具類

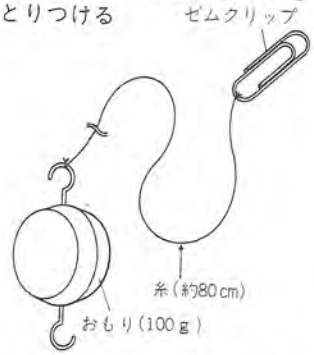
＊【B】，【C】，【D】については，別掲の準備するものを参照。

## 【A】振り子におけるエネルギー保存を調べる

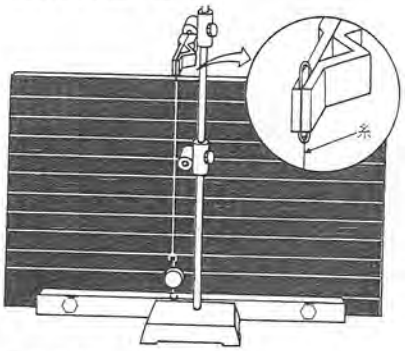
1 ベニヤ板で白線入りの黒板を作る



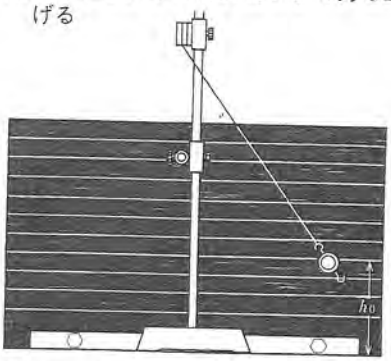

2 おもりに糸とゼムクリップをとりつける



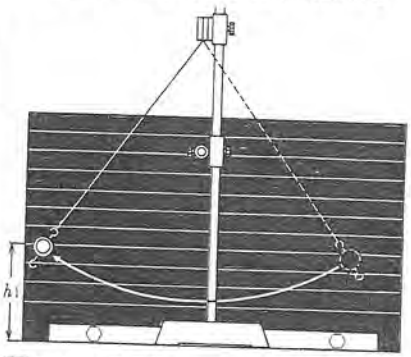

3 装置を組み立てる



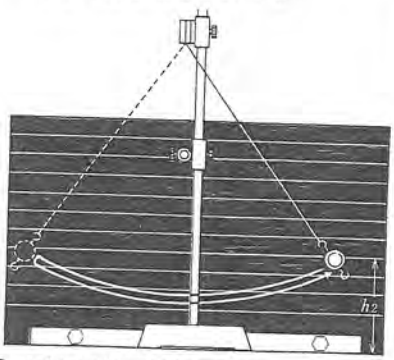

4 おもりを床から$h_0$の高さまで持ち上げる



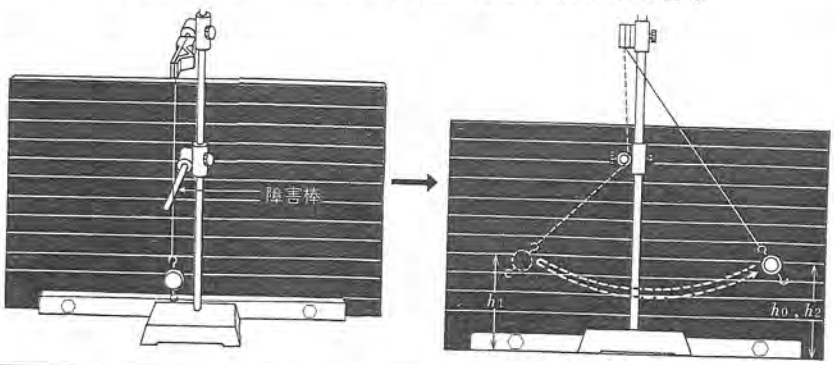

5 手を離し，おもりが反対側の最高点に達したときの高さ$h_1$を読みとる




6 戻ってきたおもりが最高点に達したときの高さ$h_2$を読みとる




7 スタンドの途中に障害棒をとりつけ，4～6と同様の操作を行う




**【A】振り子におけるエネルギー保存を調べる**

1 留意点 ベニヤ板には，片側の表面に黒色の塗料を塗り，水平になるように5cm間隔の白線を入れておく。黒のラシャ紙に白線を入れたものをはってもよい。

3 留意点 振り子は，ゼムクリップの部分をはさみで強く挟みつけるようにする。このとき，クリップの下端とはさみの下端をそろえるようにする。

ベニヤ板製の黒板は，スタンドのすぐ後ろに置くようにする。

スタンドの，床から約50cmの位置に，振り子用とは別のクランプをとりつけておく。これは，7で障害棒をとりつけるためのものである。

4 留意点 おもりを持ち上げるとき，糸がぴんと張るようにする。また，振り子の振動面が黒板と平行になるようにする。このときの振り子の高さ$h_0$は，黒板上の白線を用いて決めればよい。

5 留意点 振り子を振らせるとき，静かに手を離すようにする。

おもりが最高点に達したときの高さ$h_1$は，黒板上の白線を用いて読みとる（6の$h_2$についても同様）。

7 留意点 障害棒は，クランプのねじでしっかり固定する。

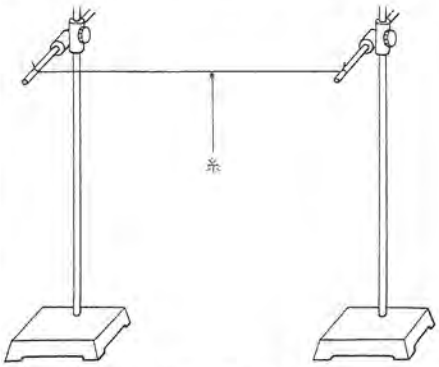
障害棒の位置をもっと下げたときについても，同様の実験を行ってみる。

解説 振り子の力学的エネルギーは，運動エネルギーと位置エネルギーの和として存在する。振り子が最高点に達して静止状態にあるとき，振り子のエネルギーはすべて位置エネルギーとなり，運動エネルギーは0となる。また，振り子が最下点に達したときには，静止状態のときとは逆で，すべて運動エネルギーとなる。これらの間の位置に振り子があるときには，運動エネルギーと位置エネルギーの変換が行われている。エネルギーの変換が行われているとき，これらのエネルギーの和は一定であるが，両エネルギーの比率は時々刻々と変化している。

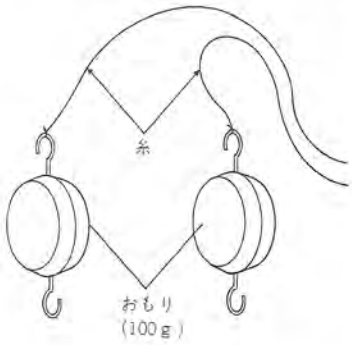
結果 $h_0=h_1=h_2$となる。これは，7のように途中に障害棒を入れても同じである。このことから，振り子を運動させても，エネルギー量には変化がないこと，つまりエネルギーが保存されていることがわかる。

【B】振り子の共振におけるエネルギー保存を調べる

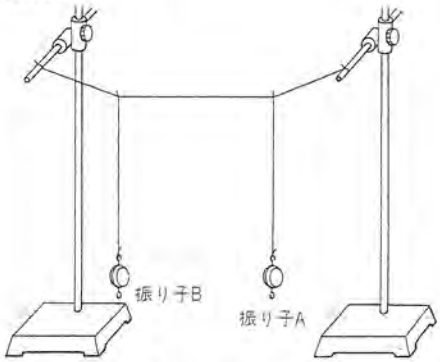
1 2台のスタンドに横糸を張る

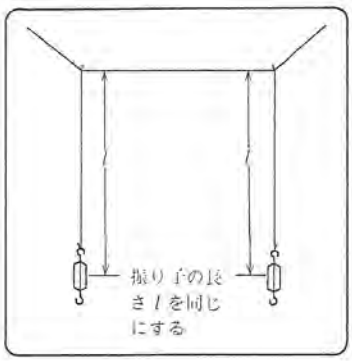



2 2個のおもりに糸をとりつける



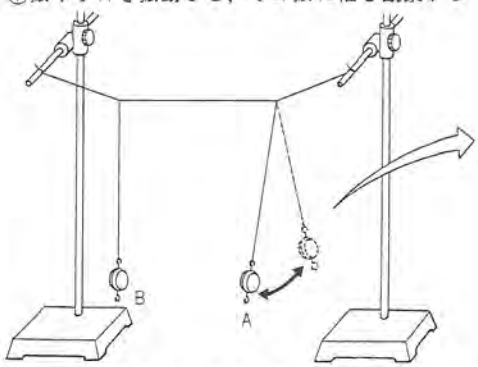

3 横糸に2つの振り子AとBをとりつける

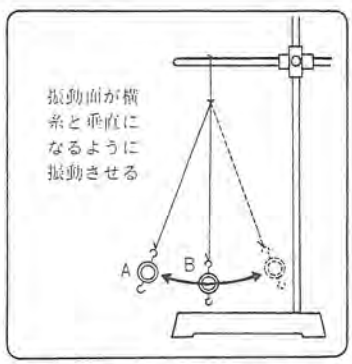


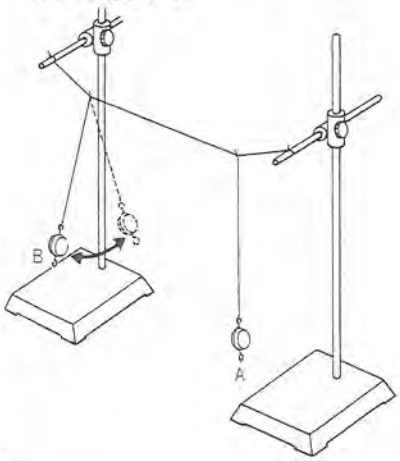

4 振り子Aを振動させ、振り子の様子を観察する

①振り子Aを振動させ、その振れ幅を観察する

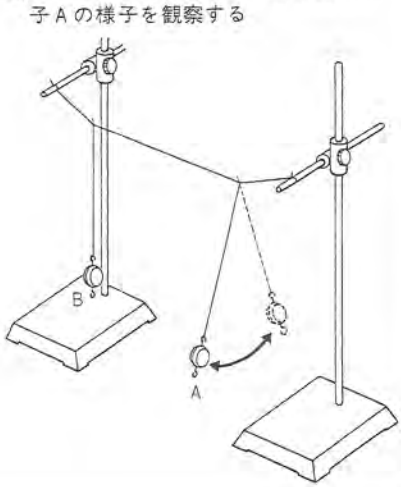



②振り子Aが静止したときの振り子Bの様子を観察する




③振り子Bが再び静止したときの振り子Aの様子を観察する




【B】振り子の共振におけるエネルギー保存を調べる

準備するもの 力学実験用おもり2　糸　スタンド2

1 留意点 糸が水平になるようにする。スタンド間の距離は60cm程度がよい。

2 留意点 おもりは，形状，質量ともに同じものを用いる。

3 留意点 振り子の長さは，必ず同じになるようにする。長さが違うと，うまく共振しない。

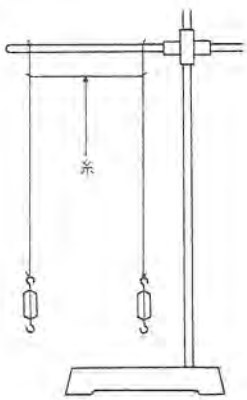
4 留意点 振り子の振動が，A→B→Aと伝わっていく様子をよく観察しておく。③以後も，しばらく観察を続けるとよい。このとき，それぞれの振り子の振幅をよく観察しておく。

結果 ②において振り子Aが静止したとき，振り子Bは，振り子Aが最初に振れていたのとほぼ同じ振幅で振れる。

③において振り子Bが静止したとき，振り子Aは最初に振れていたときとほぼ同じ振幅で振れる。

振り子の振動が，このようにA→B→Aと伝わるとき，その振幅が変わらないことから，最初に振動させたときの振り子Aのエネルギー（位置エネルギー＋運動エネルギー）量には変化がないこと，つまりエネルギーが保存されていることがわかる。

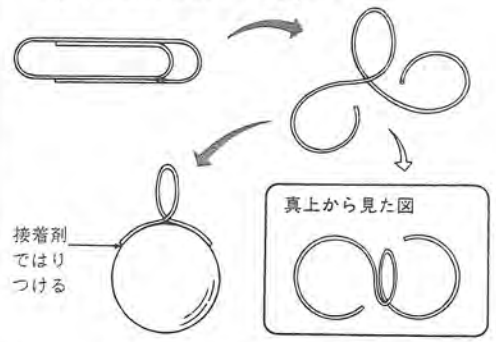
参考 横糸を水平に張る代わりに棒を使う方法もある。ただし，棒に2つの振り子をつり下げただけでは，共振が起こらないので，次図のように，振り子の間に横糸を渡す必要がある。横糸に振り子をつり下げたときに共振が起きるのは，振り子の振動が横糸のねじれ弾性で伝わるからである。




この場合ももちろん，振り子の振動面が横糸に垂直になるようにする。

## 【C】鋼球の衝突におけるエネルギー保存を調べる(その1)

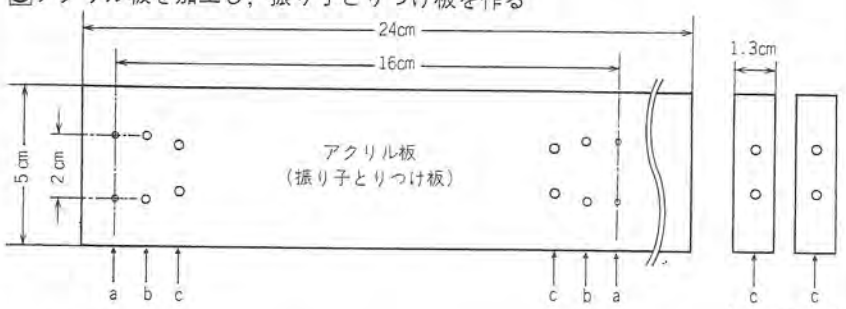
1 ゼムクリップを加工してフックを作り，鋼球にとりつけたものを2個作る




2 鋼球に糸をとりつける

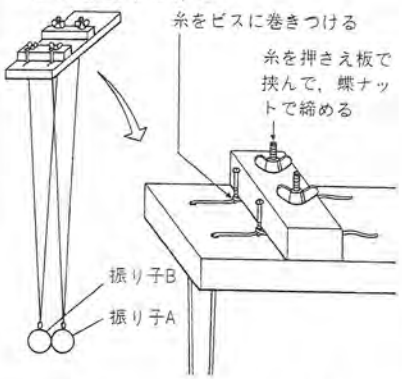



3 アクリル板を加工し，振り子とりつけ板を作る

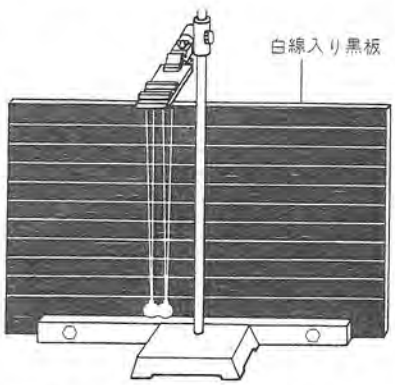



a：振り子の糸を通す穴(直径2mm程度)
b：糸を巻きつけるビスを立てる穴(直径2.6mmの穴をあけ，3mmのタップでねじを切る)
c：押さえ板固定用の穴(直径3mm)

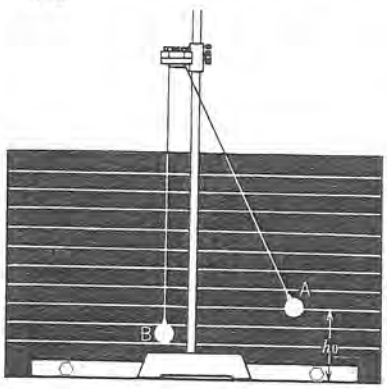
4 振り子とりつけ板に2つの振り子AとBをとりつける



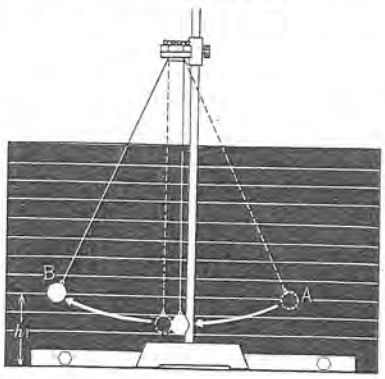

5 装置を組み立てる




6 振り子Aを床から$h_0$の高さまで持ち上げる




7 手を離し，振り子Bが最高点に達したときの高さ$h_1$を読みとる




## 【C】鋼球の衝突におけるエネルギー保存を調べる(その1)

準備するもの　鋼球(直径2cm程度のもの2)　ゼムクリップ　接着剤[1]　糸[2]　アクリル板(厚さ5～8mm)　ビス・蝶ナット(直径3mm)　工具類　スタンド2　白線入り黒板[3]

①エポキシ系接着剤がよい。②釣り糸(直径0.4mm)がよい。③【A】で自作したもの。

1 留意点 ゼムクリップの加工は，ラジオペンチなどを用いて行う。鋼球の面に一様に密着するようにする。
フックを鋼球に接着するときには，アルコールをしみこませたガーゼなどで，鋼球やフックの油汚れなどをきれいに落としておく。

2 留意点 80cm程度のV字形の振り子を作るので，糸をフックに通して縛った後，フックの両側の糸の長さを，それぞれ90cm程度にしておく。
鋼球は，材質，質量ともに，同じものを用いる。

3 留意点 アクリル板の代わりに，ベークライト板などを使ってもよい。

4 留意点 2つの振り子の長さが同じになるようにとりつける。また，このとき，それぞれの振り子の2本の糸の長さが同じになるように気をつける。

5 留意点 振り子とりつけ板は，はさみでしっかり固定し，水平になるようにする。黒板は，鋼球の運動方向と平行になるように置く。

6 留意点 鋼球を持ち上げるとき，糸がぴんと張るようにする。
鋼球の高さ$h_0$は，黒板上の白線を用いて決めればよい。

7 留意点 振り子を振らせるとき，静かに手を離すようにする。
振り子Bが最高点に達したときの高さ$h_1$は，黒板上の白線を用いて読みとる。

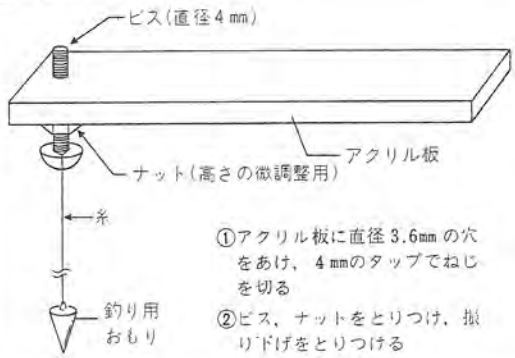
留意点 振り子Aを持ち上げる高さ$h_0$を変えて，何回か試してみるとよい。

解説 振り子Aが最下点にくると，振り子Bと衝突する。この衝突により，振り子Aは静止し，振り子Bが動きだす。振り子Bが最高点に達して戻ってくると，再び振り子Aと衝突し，今度は振り子Bが静止する。2つの振り子は，この運動を繰り返す。

結果 $h_0=h_1$となる。このことから，振り子Aの持っていた力学的エネルギーは，衝突を通して振り子Bに全部移されるが，全体としてのエネルギー量には変化がないこと，つまりエネルギーが保存されていることがわかる。

## 【D】鋼球の衝突におけるエネルギー保存を調べる（その2）

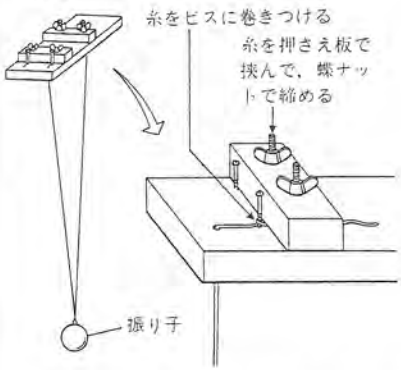
### 1 スタート台を作る



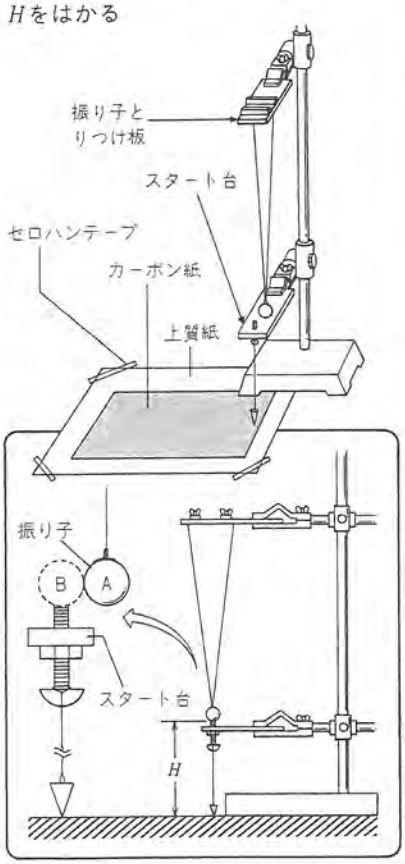

### 2 高さゲージを作る



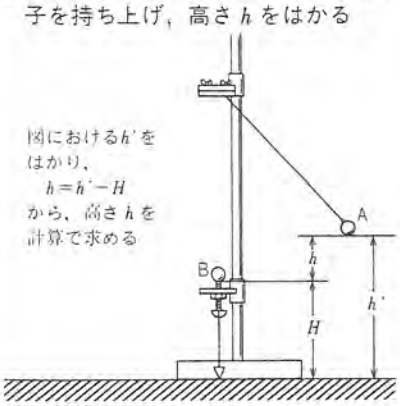

### 3 振り子とりつけ板に振り子をとりつける



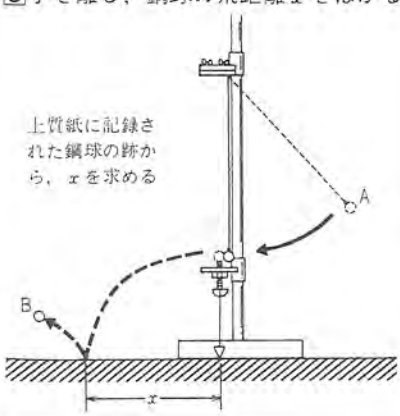

### 4 装置を組み立て，スタート台の高さ $H$ をはかる

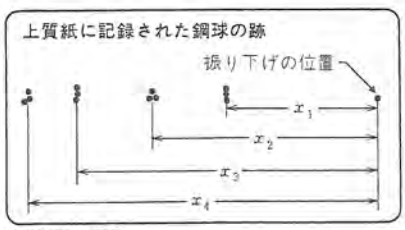



### 5 スタート台に鋼球を載せてから振り子を持ち上げ，高さ $h$ をはかる




### 6 手を離し，鋼球の飛距離 $x$ をはかる




実験データ例

| 振り子の高さ $h$〔cm〕 | 鋼球の飛距離 $x$〔cm〕 | $x$ の理論値〔cm〕 |
|---|---|---|
| 4.0 | 18.2 | 18.3 |
| 9.0 | 27.4 | 27.5 |
| 14.0 | 34.1 | 34.3 |
| 19.0 | 39.8 | 39.9 |

スタート台の高さ $H=21.0$cm

## 【D】鋼球の衝突におけるエネルギー保存を調べる（その2）

**準備するもの** アクリル板① ビス・ナット（直径4 mm） 糸② 釣り用おもり 角材（2×2cm程度） 振り子と振り子とりつけ板③ 鋼球 スタンド 上質紙 カーボン紙

①0.5×1.3×14cm程度のもの。②釣り糸（直径 0.4 mm）がよい。③【C】で自作したもの。

1 留意点 アクリル板の代わりに，ベークライト板などを使ってもよい。

3 留意点 振り子の長さは，60cm程度がよい。

4 留意点 スタート台の高さ $H$ は，21cm程度がよい。

振り子が最下点に達したとき，その中心とスタート台上の鋼球の中心が一致するように調整しておく。つまり，振り子と鋼球が，正確に正面衝突するように調整しておく。

上質紙は，セロハンテープで机上に固定しておく。

スタート台の高さ $H$ をはかるときには，2で自作した高さゲージを用いる（次の5で，高さ $h$ をはかるときも同様）。

5 留意点 振り子を持ち上げるとき，糸がぴんと張るようにする。

6 留意点 衝突により飛び出した鋼球が，カーボン紙の上でバウンドしたら，手ですくいとる。これは，上質紙に余分な点が記録されるのを防ぐためである。

実験を3回ぐらい行い，紙に記録された鋼球の跡の平均的な位置から，飛距離 $x$ を求めるようにする。

留意点 振り子を持ち上げる高さ $h$ を少しずつ変えて，何回か実験してみるとよい。この場合，1枚の記録紙に，すべての鋼球の落下の跡を記すようにする。

解説 振り子の高さ $h$ における位置エネルギー $U_p(=mgh)$ と最下点での運動エネルギー $U_k(=mv^2/2)$ とは等しいはずであるから，振り子の最下点での速度 $v$ は，

$$v=\sqrt{2gh} \quad \cdots\cdots(1)$$

いま，振り子Aの運動エネルギーが，すべて鋼球Bに伝達されたとすると，(1)式は鋼球についても成り立つことになる。したがって，鋼球Bが高さ$H$の距離を自由落下するときの(2)式と，距離 $x$ を水平飛行するときの(3)式から，(4)式が成立する。

$$H=\frac{1}{2}gt^2 \quad \cdots\cdots(2)$$

$$x=vt \quad \cdots\cdots(3)$$

$$x=2\sqrt{hH} \quad \cdots\cdots(4)$$

つまり，実験により(4)式が成り立てば，エネルギーが保存されていることになる。

# 67 コンピュータによる力学的エネルギー保存の法則の解析

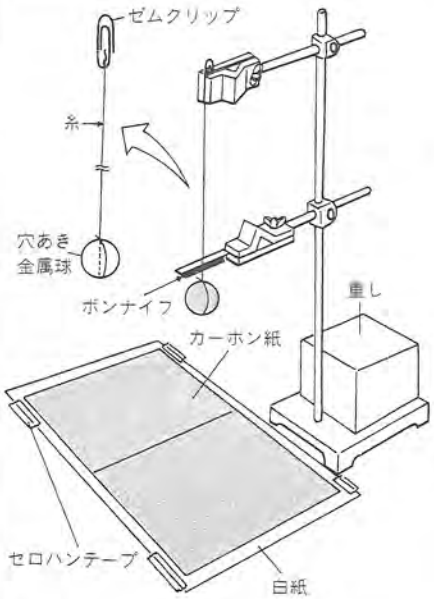
ねらい 高 力学的エネルギー保存の法則の測定結果をコンピュータで処理することにより，めんどうなデータ処理を短時間で正確に行うことができる。
コンピュータの便利な点を知ることができる。

金属球[1] 糸 ゼムクリップ 白紙 カーボン紙
セロハンテープ ボンナイフ[2] スタンド 重し
コンピュータ

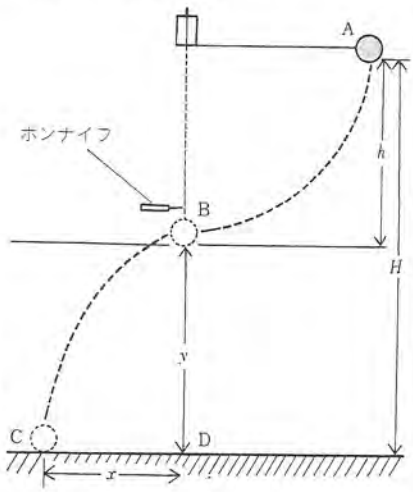
[1]中央に糸を通す穴をあけたもの。[2]かみそりの刃でもよい。

## 1 単振り子を用いておもりの高さと飛距離の関係を調べる

①装置をセットする




②おもりを持ち上げて手を離し，おもりの飛距離 $x$ をはかる



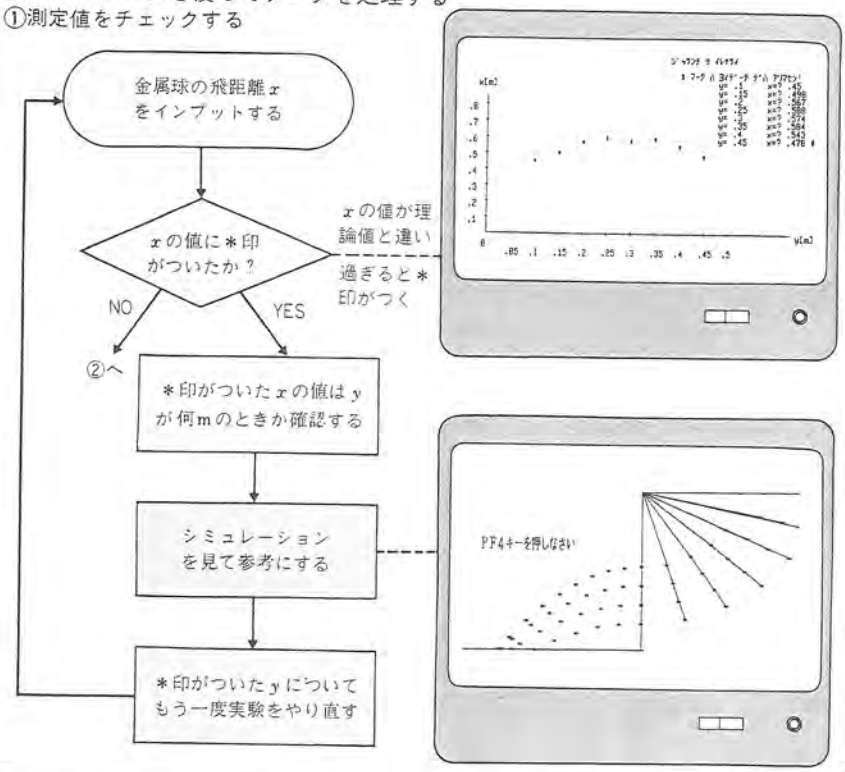

おもりをB点からA点まで持ち上げて手を離し，B点の真下の位置D点からC点（落下点）までの距離をはかる

実験データ例

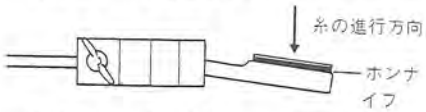
| 金属球の高さ $y$〔m〕 | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.45 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 金属球の飛距離 $x$〔m〕 | 0.450 | 0.498 | 0.567 | 0.588 | 0.574 | 0.584 | 0.543 | 0.478 |

## 2 コンピュータを使ってデータを処理する

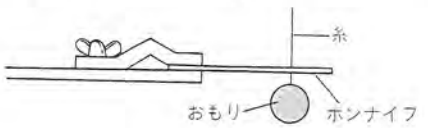
①測定値をチェックする




1①留意点 ボンナイフをクランプに固定するとき，糸がスムーズに切れるように，ナイフの刃を糸の進行方向に対して少し斜めにセットするとよい。




ナイフが，球の上端よりほんのわずかだけ上にくるようにする。




スタンドが動かないように，重しを載せておくとよい。

②留意点 実験を行う前に，記録紙にD点の位置をマークしておく。
おもりをセットするときの床からの高さ $y$ を少しずつ変化させ，何回か実験してみる。このとき，持ち上げたおもりの床からの高さ $H$ が常に一定になるようにする。つまり，振り子を支持しているクランプの位置を変えないようにする。$H$ を60cmにし，$y$ を10cmの位置から5cmずつ高くしていくようにするとよい。
$y$ の値を変えるたびに落下点が白紙に写っているかを確認し，落下点に $y$ の値を記入しておく。

注意 ナイフの刃でけがをしないよう十分注意する。使用しないときは，刃にカバーをしておく。

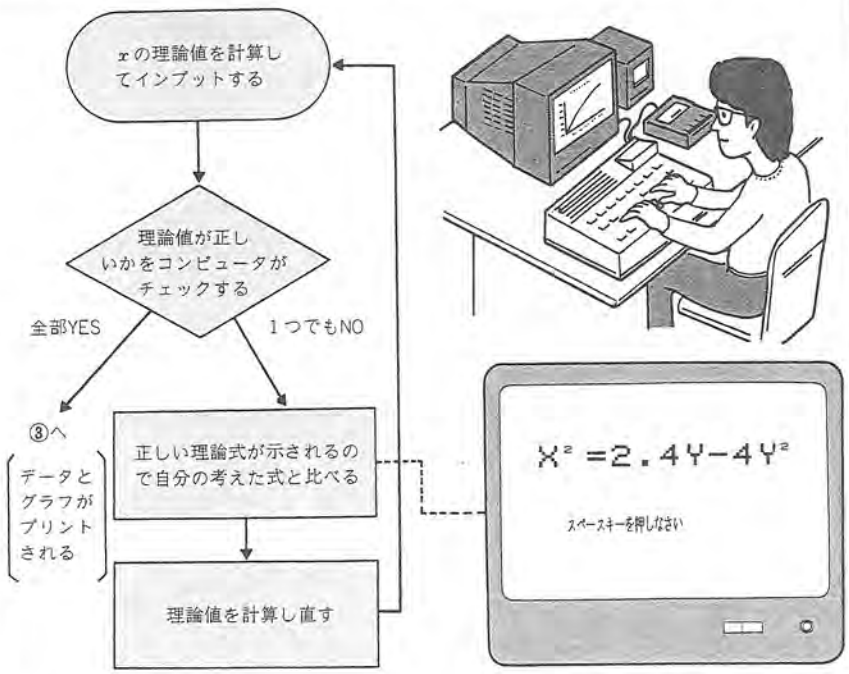
2①留意点 キーの押し間違いを防ぐため，データをインプットするときのキーボードの操作手順を書いたカードを作っておくとよい。このカードには，間違って操作したときの処理の仕方も示しておくようにする。

カード(例)

> $x$ の値を入れなさい。例えば0.11なら
> .1 1 とキーを押しなさい。
> ピーッと音がしたら押し間違いです。
> STOP とPF3を押すとやり直せます。

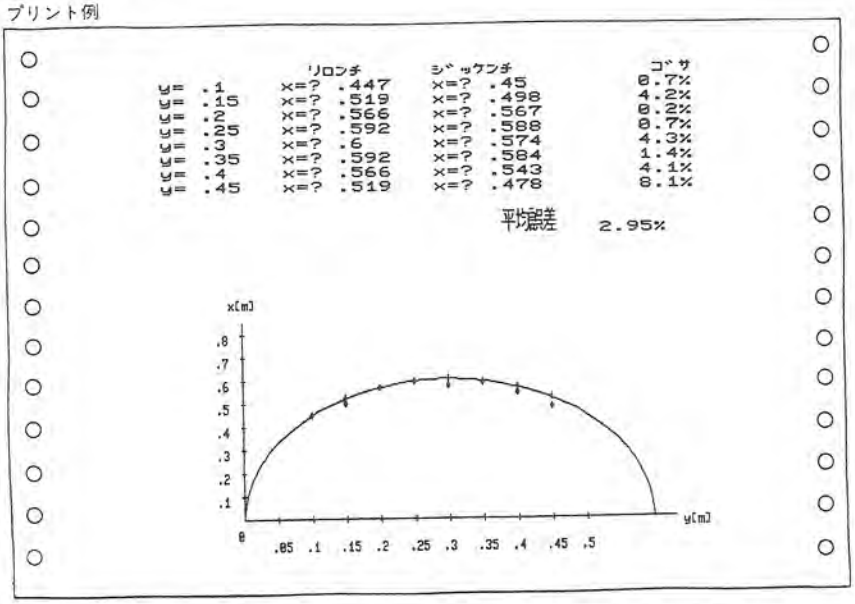
＊印は，理論値との誤差が5％を越えたらつく程度でよい。
シミュレーションを見るときには，$y$ の値に対して落下点がどのように変化するかを特によく見ておく。色別にすると，わかりやすい。

②$y$と$x$の関係式を考え，それぞれの$y$に対しての$x$の理論値を計算する




③プリントを参考にして，$y$が何mのとき$x$が最大になるか，またグラフはどのような曲線であるかを考える

プリント例




3 A点での位置エネルギー$U_P$とB点での運動エネルギー$U_K$を比較する

右式から$U_P$と$U_K$を求め，表にまとめて比較する

$U_P=mgh$

$U_K=\frac{1}{2}mv^2=\frac{mg}{4y}x^2$

実験データ例

| 金属球の高さ$y$〔m〕 | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.45 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 金属球の飛距離$x$〔m〕 | 0.450 | 0.498 | 0.567 | 0.588 | 0.574 | 0.584 | 0.543 | 0.478 |
| 位置エネルギー$U_P$〔J〕 | 0.50$mg$ | 0.45$mg$ | 0.40$mg$ | 0.35$mg$ | 0.30$mg$ | 0.25$mg$ | 0.20$mg$ | 0.15$mg$ |
| 運動エネルギー$U_K$〔J〕 | 0.51$mg$ | 0.41$mg$ | 0.40$mg$ | 0.35$mg$ | 0.27$mg$ | 0.24$mg$ | 0.18$mg$ | 0.13$mg$ |

②解説 理論式は次のように導かれる。

前ページ1②の図において，糸が切れてから金属球がBC間を飛行する時間$t$は

$\frac{1}{2}gt^2=y$より，

$t=\sqrt{\frac{2y}{g}}$

である。この間，金属球は水平方向に$x$だけ移動するわけだから，B点における金属球の速さ$v$は

$v=\frac{x}{t}=x\sqrt{\frac{g}{2y}}$

となる。そこで，金属球の質量を$m$とすると，B点での運動エネルギー$U_k$は

$U_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m\times\left(x\sqrt{\frac{g}{2y}}\right)^2=\frac{mg}{4y}x^2$

となり，この$U_k$がA点での位置エネルギー$U_p$($=mgh$)に等しいわけだから，

$\frac{mg}{4y}x^2=mgh$

$\therefore x^2=4yh$

となる。鋼球を持ち上げたときの床からの高さ$H$を0.60mとすると，$h=0.60-y$であるから，この$h$を上式に代入すると，理論式は次のようになる。

$x^2=4y(0.60-y)=2.4y-4y^2$

③解説 相対誤差は次式から求められる。

$$\text{相対誤差}〔\%〕=\left|\frac{\text{理論値}-\text{実験値}}{\text{理論値}}\right|\times100$$

グラフは，$y$が0.3mのときに$x$が0.6mで最大となる。

グラフの曲線は，だ円の一部となる。左のプリント例では，横軸と縦軸のめもりが等間隔ではないので横長のだ円の上半分になっているが，横軸と縦軸のめもりの間隔を等しくすると，縦長のだ円の上半分となる。

3 解説 位置エネルギー$U_p$と運動エネルギー$U_k$はほぼ等しくなる。実際には，糸の切断や空気抵抗などにより，$U_k$のほうが少し小さくなる。

解説 この実験でコンピュータで処理するのは次の4点である。

- 実験値のチェック
- 理論値の計算のチェック
- 誤差の計算
- グラフの作成（実験値のプロットと理論曲線）

これだけのめんどうな計算や作業が省かれるので，実験への興味が今まで以上に増すことであろう。また，コンピュータの利点もよく理解できるであろう。

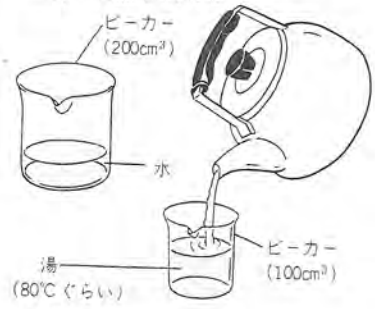
# 68 熱の移動(熱平衡)を調べる

フォームポリスチレンの板(10×15cm)　ガラスウール　ポリエチレン袋　糸　布　方眼紙　厚紙　ビーカー(100cm³, 200cm³, 300cm³, 500cm³)　温度計2(またはデジタル温度計)　試験管(径20mm)　加熱器具　熱量計　カッターナイフ　スタンド

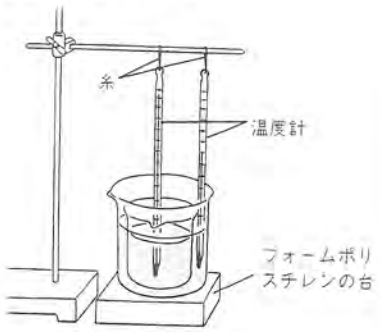
ねらい 小6由1 温度の高いものと低いものを接しておくと，温度の高いものから低いものへ熱が移動し，同じ温度になることが確かめられる。

**1** ビーカーを使って調べる

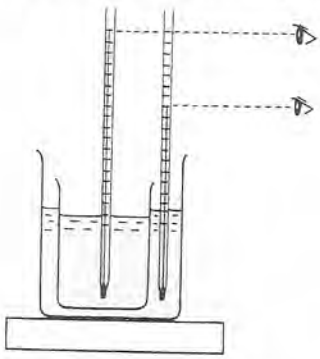
①大きなビーカーに水を入れ，小さなビーカーに湯を入れる



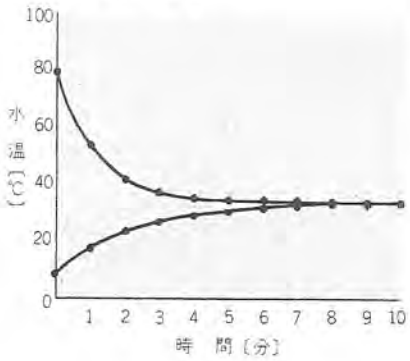

②装置を組み立てる




③1分ごとに温度計のめもりを読みとる

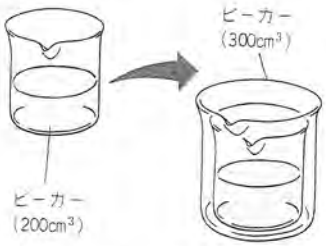


④グラフ化してみる

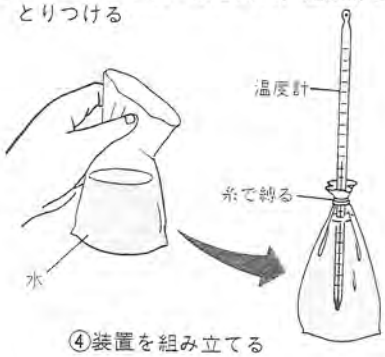



**2** 2重ビーカーを使って調べる

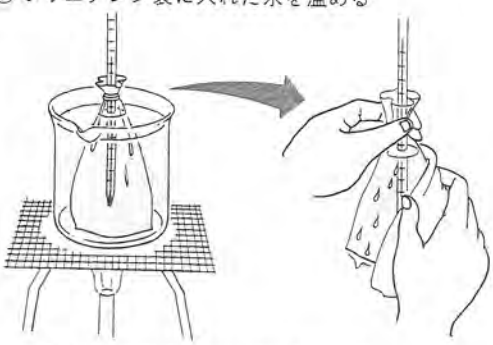
①小さなビーカーに水を入れ，大きなビーカーの中に入れる




②ポリエチレン袋に水を入れ，温度計をとりつける

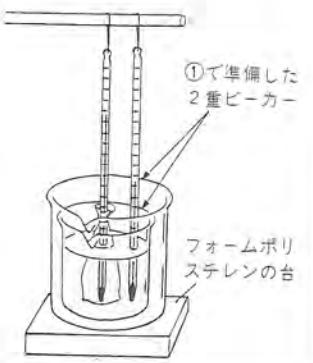



③ポリエチレン袋に入れた水を温める



水温が80～90℃ぐらいになったら，ビーカーの中からとり出し，布で水滴をふきとる

④装置を組み立てる




解説 湯と水を接しておくと，湯の温度はしだいに下がり，水の温度はしだいに上がる。そして，やがて両者の温度は等しくなり，平衡に達する。このとき，湯から水に移ったものが熱である。

この実験では，湯の熱が水を温める以外に使われたり，水に外から熱が入らないように工夫することが大切である。1の方法は，実験をできるだけ単純化するため，外からの熱の出入りを無視したものであるが，2～4の方法は，外からの熱の出入りをできるだけ少なくするように工夫したものである。

1 ① 留意点 湯の量は，ビーカーの8分目ぐらいがよい。量が少な過ぎると，ビーカーによって冷やされてしまう。

水の量は，大きなビーカーの中に小さなビーカーを入れたとき，湯の水位より少し上にくる程度がよい。あらかじめ，調べておくとよい。

② 留意点 温度計の球部がビーカーに触れないようにする。また，2本の高さがそろうようにする。デジタル温度計を用いてもよい。

③ 留意点 温度を測定し始めたら，温度計の位置を動かさないようにする。

④ 解説 測定値をグラフ化することにより，結果を視覚的にとらえることができる。左のグラフは，次の条件で測定したときの実験データ例である。

- 水――9.5℃，120cm³(200cm³ビーカー)
- 湯――80℃，100cm³(100cm³ビーカー)

2 解説 ビーカーを2重にするだけでも，ある程度の断熱効果が得られる。

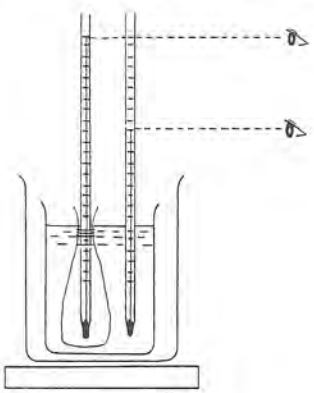
① 留意点 大小2つのビーカーは，内側に入れる小さなビーカーと外側の大きなビーカーの間に，わずかなすき間ができるようなものを選ぶ。

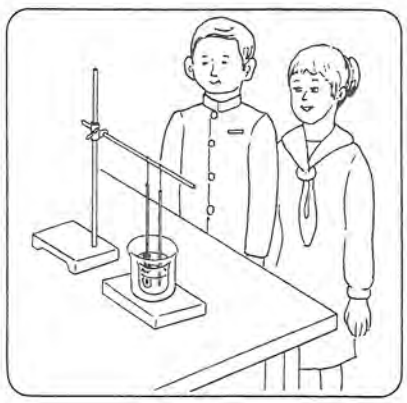
内側のビーカーに入れる水の量は，5分目程度がよい。

② 留意点 ポリエチレン袋は，最初から袋状になったものを使ってもよいし，シート状のものを使ってもよい。ただし，熱に弱いビニル袋などは不適である。

水の量は，①の水を入れたビーカーの中に入れたとき，ビーカーの水があふれ出ない程度にする。しかし，あまり少な過ぎても，結果がわかりにくいので気をつける。

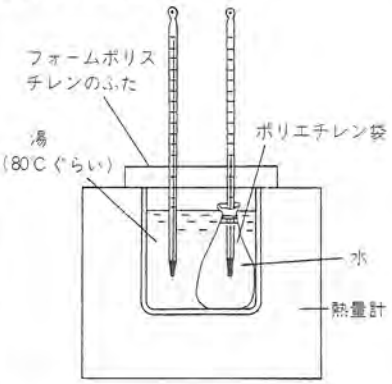
⑤30秒ごとに2つの温度計のめもりを読みとる





3 熱量計を使って調べる

①装置を組み立てる

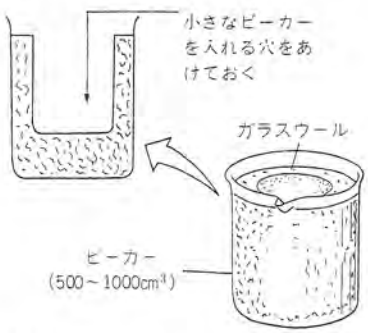



②30秒ごとに温度計のめもりを読みとる

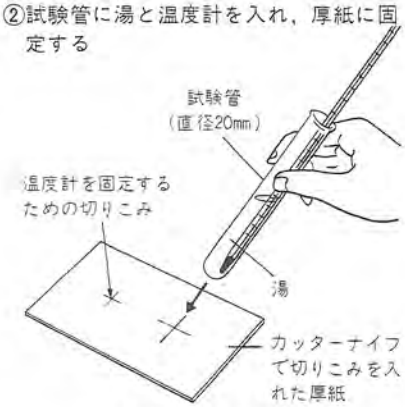


4 断熱材を使って調べる

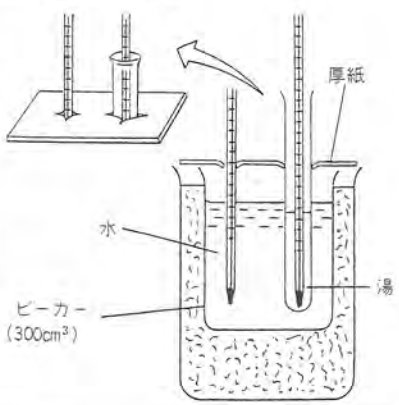
①大きなビーカーにガラスウールを詰める



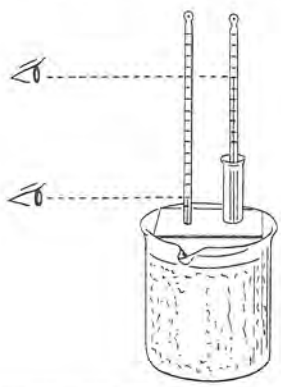

②試験管に湯と温度計を入れ，厚紙に固定する




③装置を組み立てる




④30秒ごとに温度計のめもりを読みとる



⑤ 留意点 1の場合より熱の移動が速いので，温度は30秒ごとに読みとる。

3 解説 熱量計は，銅製の容器が断熱材で覆われており，熱の出入りができるだけ少なくなるように工夫されている。この方法は外側に湯を入れるので，操作が簡単である。

① 留意点 ポリエチレン袋に水を入れるには，2②と同様の方法で行えばよい。そして，外に水が漏れないように，しっかり糸で縛る。

ふたは，熱量計そのもののふたは使えないので，フォームポリスチレンの板に穴をあけて使用する。

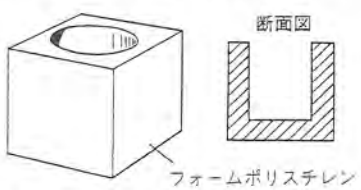
② 解説 外からの熱の出入りが少ないため，5～6分で水と湯の温度が同じになる。

4 解説 この方法は，水の量に比べて湯の量が少ないため，水の温度変化があまり大きくならないという欠点がある。

① 解説 ガラスウールの断熱効果は非常に大きい。家屋の断熱材としても使われている。

留意点 ガラスウールの代わりに，フォームポリスチレンのくずや，新聞紙を丸めたものを使用してもよい。

参考 ビーカーに断熱材を詰めるのではなく，大きなフォームポリスチレンを用意し，小さなビーカーを入れる穴をくり抜いて使用する方法も考えられる。




② 留意点 厚紙は厚手の丈夫なものを使い，試験管や温度計が落ちないようにする。

④ 解説 5～6分で水と湯の温度が同じになる。

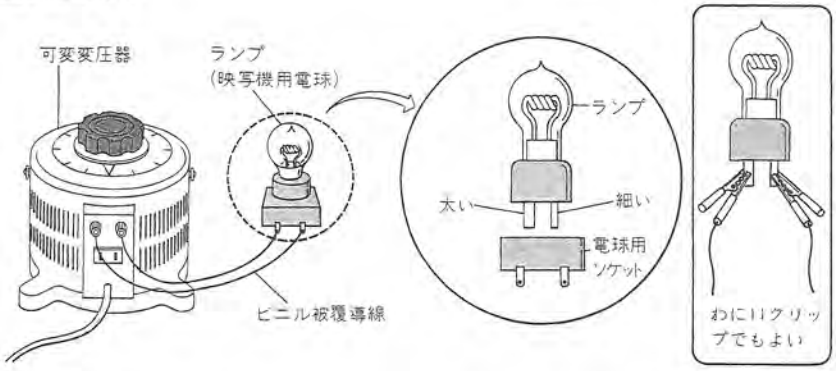
# 69 物体の温度と色の関係を調べる

ねらい 田1圖 物体の温度の上昇とともに物体が出す光の色も変化することが調べられる。
物体の温度は，その色を見ればだいたいわかるということが確かめられる。

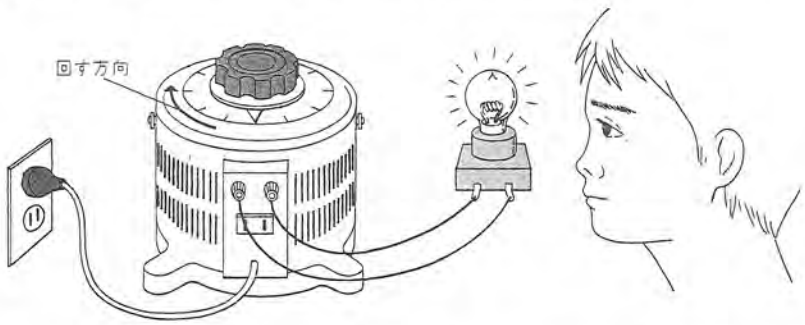
可変変圧器　ビニル被覆導線　映写機用電球[1]　電球用ソケット[2]　直視分光器　厚紙
【別法】シャープペンシンのしん　スタンド2　スライダック　交流電流計　導線

①650Wまたは1000Wを用いる。②なければ，わにロクリップでもよい。

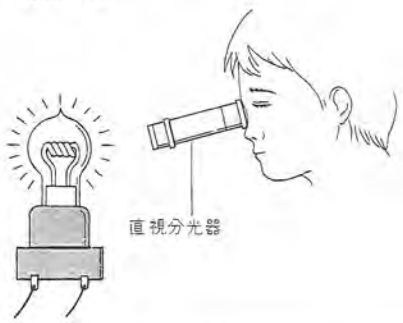
1 装置を作る



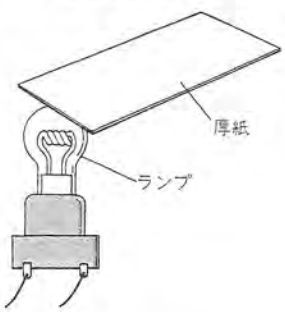

2 少しずつ電圧を上げ(0～100V)，フィラメントの色を観察する




3 2と同様にして，色を直視分光器で観察する




4 厚紙をランプに接触させておいて，少しずつ電圧を上げる




1 注意 導線は，ショートするおそれがあるので絶対にはだか線を用いてはならない。

2 留意点 フィラメントの色を観察しながら，0～100Vまで，少しずつ電圧を上げていく。

解説 フィラメントの色は，暗赤色から，赤，橙，黄，白と変化する。

3 留意点 色が変化するとスペクトルがどう変化するか観察する。

解説 赤色のときは，スペクトルの赤の部分ははっきり見えるが，青や紫などの波長の短い部分は暗く見える。電圧を上げて白色になったときには，青や紫がはっきりと見えるようになる。

4 留意点 ランプの温度が室温ぐらいにまで下がっていることを確かめてから行う。

解説 10Vを超えるあたりから焦げ始め，50Vを超えると発火する。したがって，光の色と温度との関係がだいたいわかる。ただし，ここでの温度はランプの温度であり，フィラメントそのものの温度ではないことに注意を要する。

参考 フィラメントの色と温度との関係は，一例としては次のようになる。

- 暗赤色——600℃
- 赤色——900℃
- 橙色——1100℃
- 黄色——1500℃
- 白色——2500℃

解説 別法として，152 の2と同様の実験を行ってもよい。

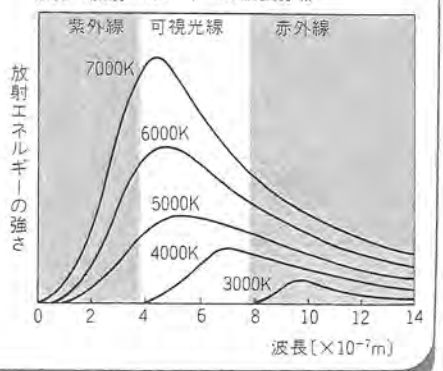
## 黒体の放射エネルギー

プランク(1858～1947)は，黒体(すべての波長の光を完全に吸収してしまうような理想的物体)の放射エネルギーの強さと波長との関係を右図のように示した(プランクの法則)。
図から，温度が高くなれば可視光線が強く出るようになり，さらに強くなれば紫外線も強くなることがわかる。
ふつうの物体でも黒体に近いはたらきを持つので，温度が高くなるほど出てくる光は青白くなる。温度が低い場合，可視光線の中でも波長の長い赤色が強くなる。
そして，さらに温度が低くなると，赤外線だけを出すようになるため，目には見えなくなる。この赤外線も，特殊な方法で写真に撮ることができる。
放射エネルギーが最大値をとるときの波長 $\lambda_m$ は，温度が高くなるにつれて短いほうに移り，

$\lambda_m T$ ＝一定( $T$ は温度〔K〕)

の関係にある。
これらの法則を利用して，高温物体の温度を測定することが可能である。

黒体の放射エネルギーの波長分布



# 70 温度の違う水を混合したときの温度変化を調べる

ねらい 田1画 水温の異なる水を混合したとき，温度の高いほうの水が失った熱量と，温度の低いほうの水の得た熱量は等しいことが調べられる。

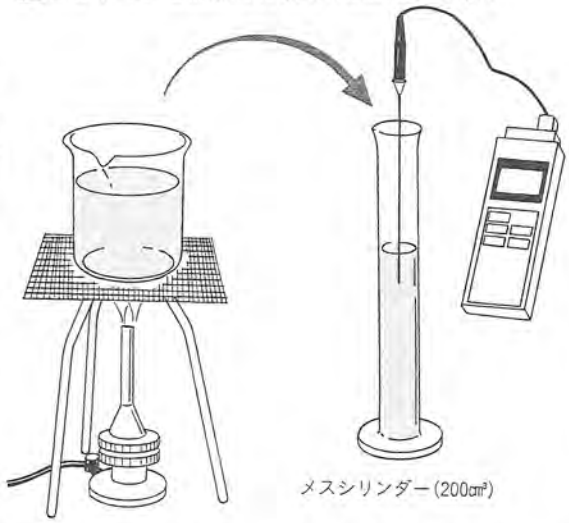
メスシリンダー　デジタル温度計　ビーカー
加熱装置　熱量計①

①自作のものでもよい。自作の熱量計の作り方は次ページの【参考】を参照。

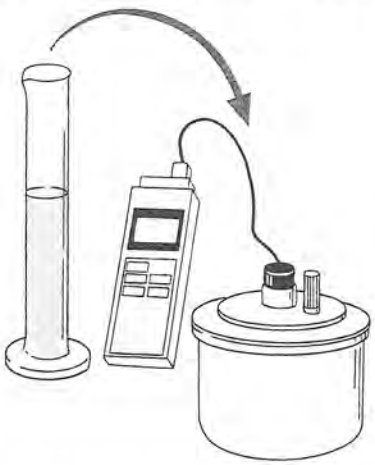
1 水を50cm³はかり取り，水温を測定する



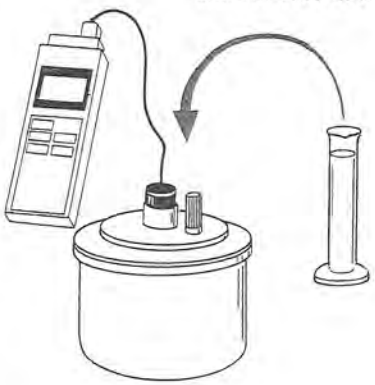

2 50℃ぐらいに加熱した水を150cm³はかり取る




3 加熱した水150cm³を熱量計に入れる

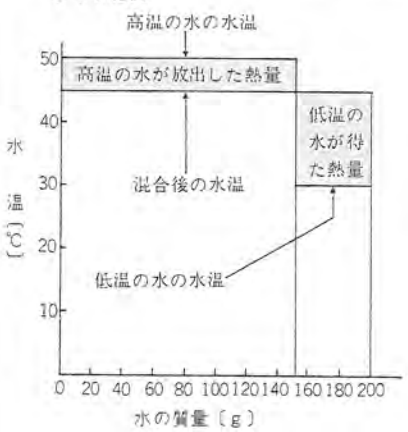


4 加熱した水の水温を測定した後，1の水と混合して，再び水温をはかる




5 温度の高いほうの水が失った熱量と低いほうの水が得た熱量を計算する

グラフ化例







1 留意点 使用する水は，水道水でよいが，あらかじめくみ置いたものを使用する。くみ置きの水であれば，気温に近いために，他の操作中にもほとんど水温が変化しないからである。

3 留意点 加熱した水の温度は，メスシリンダー内ではどんどん下がるから，この操作は手早く行う。ただし，水温の測定は熱量計に移した後，すなわち4で行うのであり，少しぐらい温度が下がることには何の問題もないので，慌てずに行うようにする。慌てて行って，水を熱量計の外にこぼしてしまったりすると，誤差が大きくなるからである。

結果 4で熱量計に入れて測定した水温を$t_2$，温度の低いほうの水と混合した後の水温を$t$とすると，質量が150 gであるから，温度の高いほうの水が失った熱量$q_2$は，

$$q_2=(t_2-t)\times 150$$

である。また，温度の低いほうの水が得た熱量$q_1$は，1ではかった水温を$t_1$とすると，質量が50 gであるから

$$q_1=(t-t_1)\times 50$$

である。これによって計算してみると，

$$q_1 \fallingdotseq q_2$$

すなわち，温度の高いほうの水の失った熱量と低いほうの水の得た熱量とはほぼ等しくなることがわかる。

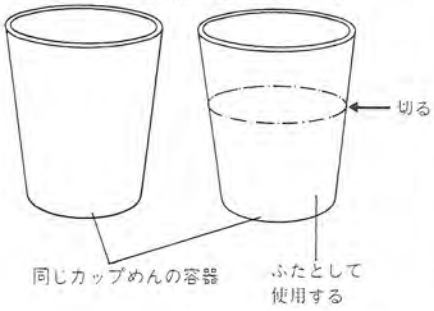
解説 熱量を計算するのに必要なのは質量であるから，水の質量をはかるべきであるが，水の密度は1g/cm³であるから，体積を測定すればよい。生徒には，この点をよく説明する。

正確には，熱量計の銅製容器や断熱材の水当量も考慮すべきであるが，この実験ではこの程度の誤差は無視している。むしろ水を移し替えたり，熱量計のふたの開閉などの際に水がこぼれないように注意しないと，誤差が大きくなってしまう。

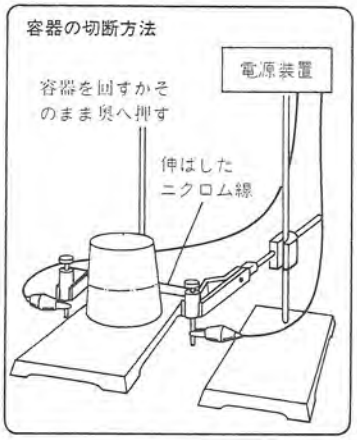
【参考】自作熱量計の作り方

1 カップめんの容器を利用して作る

①容器を2つ用意し，一方をまん中より少し上で切って底のほうをふたにする



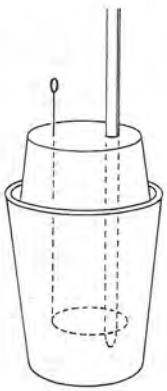

容器の切断方法




②ふたに2つ穴をあけ，温度計とかきまぜ棒をとりつける



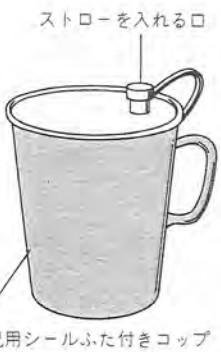

③熱量計を完成する






2 小児用のふた付きコップを利用して作る

①ふた付きコップを用意する




②液体の注入口を作る




③熱量計を完成する

注入口にゴム栓をし，ストローを入れる口に温度計を差しこむ




3 ポリエチレン袋を利用する

ポリエチレン袋を2枚重ねたものと，温度計，輪ゴムを用いる





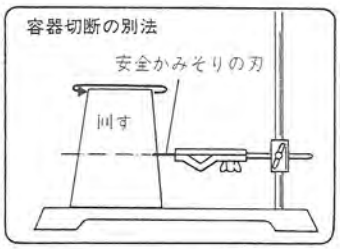


【参考】自作熱量計の作り方

1 留意点 カップめんの容器を切断する場所は，その容器の形状に合わせて適当に上下させる。

切断は，次のような方法で行ってもよい。

容器切断の別法




ふたに穴をあけるとき，温度計用の穴はコルクボーラーであけ，かきまぜ棒用の穴は熱した針金であければよい。

かきまぜ棒は，針金を曲げて作る。

2 留意点 ふた付きコップは，ストローを入れる穴と，にぎりのあるものを使うと，実際に実験を行ったときに，操作しやすい。ただし，ストローを入れる穴の太さに合う温度計がない場合，ふたに新たに穴をあけなければならない。あけた穴に温度計をとりつけるときには，ゴム栓に穴をあけて温度計を差しこみ，そのゴム栓をはめるようにする。

実験中にかくはんする場合は，コップ全体を，輪を描くように振り動かして行う。したがって，コップとふたとがしっかり密着していないと，中の液体が漏れるおそれがある。注入口をわざわざ作るのは，何回もふたを開閉することによって気密性を悪くすることを避けるためである。

3 留意点 実験中にかくはんをする場合には，袋の上部を手で持ち，ぶら下げるようにして，温度計でかくはんする。液体を入れてある部分を持ってはならない。

# 71 固体の膨張を調べる

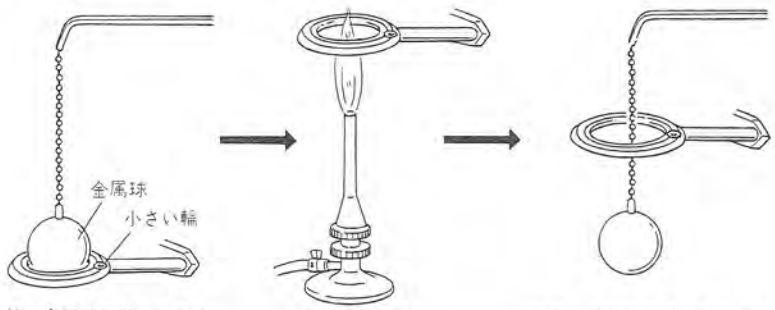
ねらい 四6　金属を温めると，体積が変わることが調べられる。

金属球膨張試験器　加熱器具　木片[1]　縫い針　ストロー　金属棒[2]　糸　おもり(100 g ぐらいのもの)　ステップル 2　接着剤[3]　金属線膨張試験器

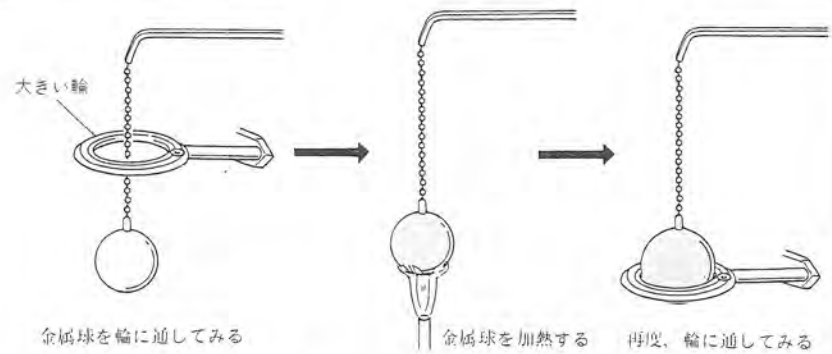
①25×7×1 cm程度のもの1枚と，10×7×3 cm程度のもの2枚。②直径8 mm程度のもの。できれば黄銅がよいが，なければ鋼か鉄でもよい。③木工用ボンドがよい。

1 金属球膨張試験器を使って調べる

①小さい輪を用いて調べる

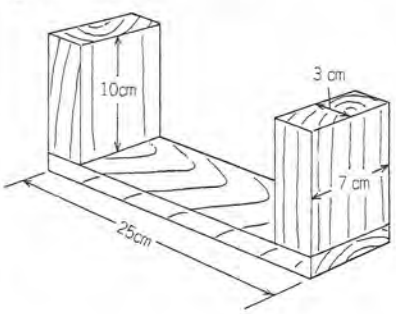



②大きい輪を用いて調べる

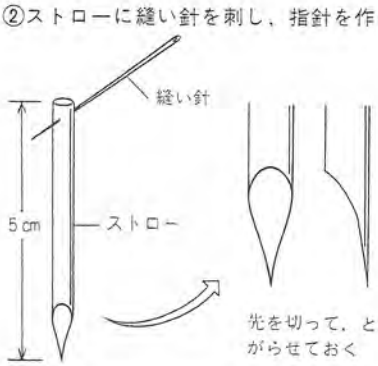



2 縫い針とストローで指針を自作して調べる

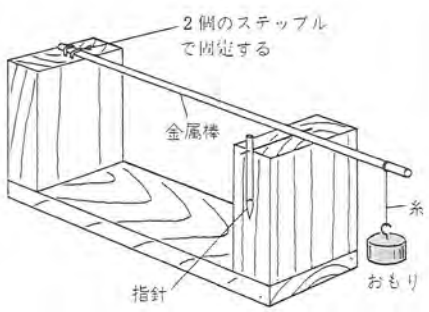
①木の台を作る



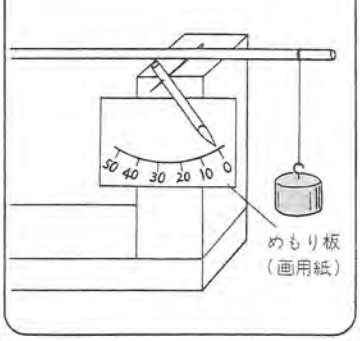

②ストローに縫い針を刺し，指針を作る




③金属棒を台にとめ，装置を組み立てる




めもり板付きの指針




1 解説 金属球膨張試験器は，金属球と大小2つの輪でできている。大きい輪は，常温で金属球を通すように作られているが，小さい輪は，常温で金属球を通さないように作られている。



金属球膨張試験器

① 留意点 輪を熱するときは，輪を動かしながら全体を一様に熱するようにする。赤くなるほど熱する必要はない。ガスバーナーなら，20～30秒も熱すれば十分である。

輪を熱してから金属球を通すとき，金属球を輪の所で止めると，輪が冷えて，後で金属球が抜けなくなってしまうことがあるので注意する。金属球が通るようになったことを確かめたら，速やかに金属球を抜きとる。

結果 熱する前は金属球を通さなかった輪が，熱すると金属球を通すようになることがわかる。これは，熱したため，輪が膨張したからである。

② 留意点 金属球を熱するときには，輪を熱するときよりも十分時間をかける。

結果 熱する前は輪を通り抜けた金属球が，熱すると輪を通り抜けなくなってしまうことがわかる。これは，熱したため，金属球が膨張したからである。

2① 留意点 木材は，ボンドで接着すればよい。

③ 留意点 金属棒は，膨張率の大きい黄銅がよい。しかし，銅や鉄などでも，よい結果が得られる。

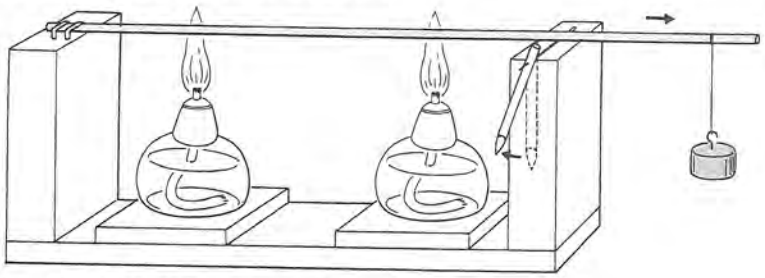
ストローが下を指すようにしておく。

解説 おもりをつるすのは，金属棒を縫い針に押しつけて，金属棒が伸びたときに縫い針を正確に回転させるためである。

参考 指針にめもり板をつけるのもおもしろい。画用紙に，縫い針を中心にした角度めもりをかき，台にのりではりつけるだけである。

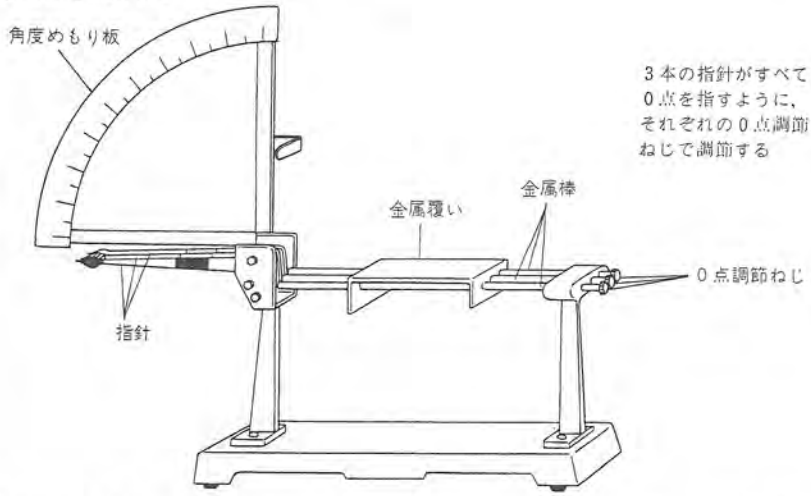
この場合は，指針がめもり板の0を指すようにしておく。

④金属棒を加熱し，指針の動きを観察する



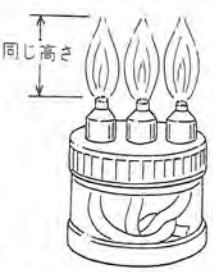
3 金属線膨張試験器を使って調べる

①0点を調節する

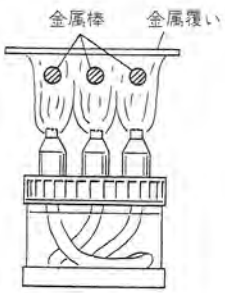



②3本の金属棒を加熱する



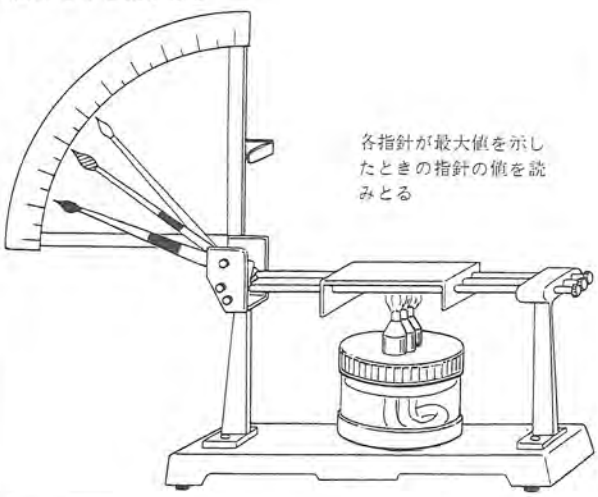




アルコールランプに火をつけ，炎の高さが同じになるように調節する



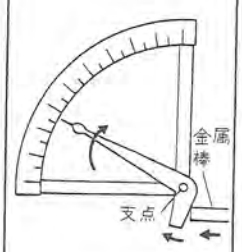

3本の金属棒に平等に炎が当たるようにして，金属棒を加熱する

③めもりを読みとる



各指針が最大値を示したときの指針の値を読みとる

金属の伸びと指針の振れ



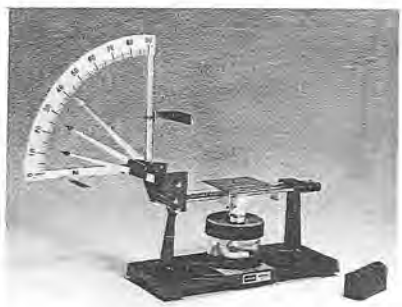

金属棒の伸びの変化を指針の振れに拡大して示すのが基本構造である

④ 留意点 アルコールランプの炎の外炎が金属棒に当たるように，ランプの高さを台などで調節して加熱する。

結果 金属棒を加熱すると，指針が回ることがわかる。加熱されて伸びた金属棒が針を回転させたのである。

加熱をやめると，金属棒は冷えてもとに戻るので，指針はもとの位置に戻る。

3 解説 金属線膨張試験器には，金属覆いの形状や，金属棒の伸びを指針の振れに拡大する機構にさまざまなものがあるが，基本的とり扱いは同じである。



金属線膨張試験器

① 留意点 金属棒の一端が0点調節ねじに触れており，他端が指針てこに触れていることを確認しておく。

② 留意点 炎の高さは，しんの出しぐあいで調節する。3本のしんのものでも，平らなしんのものでも同じである。

金属棒を熱するときには，炎の外炎が当たるようにする。場合によっては台などを用いて調節する。

3本の金属棒に平等に炎が当たるようにするには，アルコールランプの位置を調節し，各しんの真上に金属棒がくるようにすればよい。

③ 解説 金属棒を熱して温度を上げると，伸びて指針てこを押す。そのため，指針が振れて，めもり板に角度を示す。ある程度，指針が振れると，それ以上，指針は上がらなくなる。加熱をやめると，金属棒は冷えて，指針はもとに戻る。

結果 指針の振れの大きさは，黄銅がいちばん大きく，次いで銅，鉄の順になることがわかる。

# 72 液体の膨張を調べる

ねらい 小4 水を熱すると，体積が増えることが調べられる。
液体の膨張の割合は，液体の種類によって違うことが調べられる。

【A】赤インキ　画用紙　ビーカー(500cm³, 1000cm³)　スポイト　かきまぜ棒　丸底フラスコ(200cm³)　ゴム栓　ガラス管　温度計　フェルトペン　【別法】赤インキ　丸底フラスコ(500cm³)　ゴム栓　ガラス管　温度計　スタンド　加熱器具　水槽　フェルトペン　【B】エタノール　試験管2　ゴム栓2　ガラス管2　かきまぜ棒　温度計　ビーカー(1000cm³)　加熱器具　フェルトペン

## 【A】水の膨張について調べる

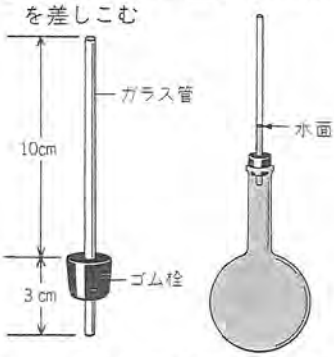
1 水を着色する



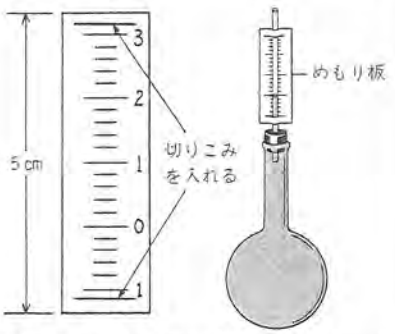

2 着色した水をフラスコに入れる



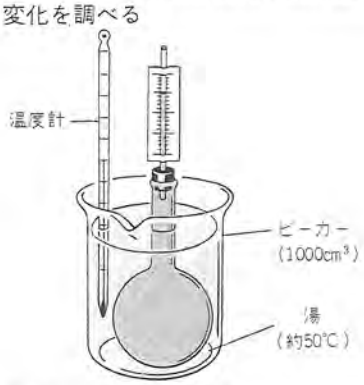

3 フラスコにゴム栓をつけたガラス管を差しこむ



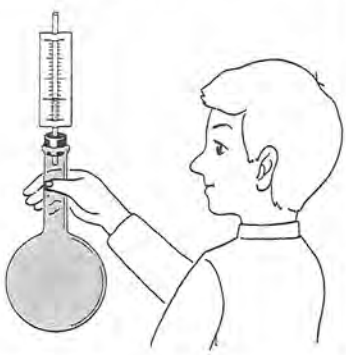

4 ガラス管にめもり板をとりつける




5 フラスコを湯の中に入れ，水の体積変化を調べる




6 フラスコを湯の中からとり出し，水の体積変化を調べる



### 【A】水の膨張について調べる

1 解説 水を着色するのは，水がガラス管の中を上がってきたときに，見やすくするためである。

2 留意点 ゴム栓付きガラス管を差しこんだとき，水がガラス管の中に上がってくるように，水をできるだけ多く入れる。

3 留意点 ゴム栓を静かに入れ，ゴム栓と水との間に空気が残らないようにする。
ガラス管内の水面が，ゴム栓より2～3cm上にくるようにする。うまくいかなかったら，何回かやり直してみる。

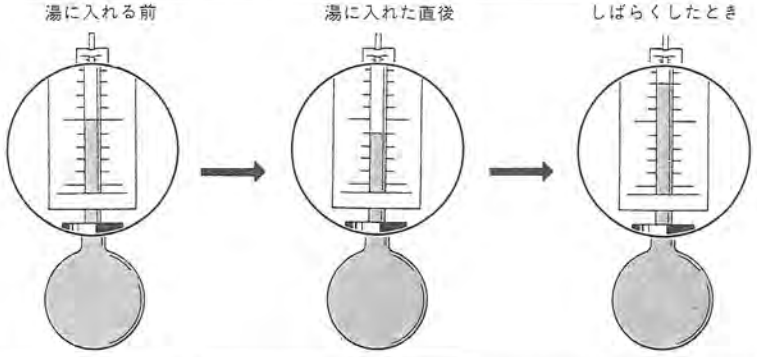
4 留意点 めもり板は，画用紙か厚紙などを適当な大きさに切りとって自作する。めもりを記入するときには，0点より下にも，いくつかのめもりを作る。
めもり板を，ガラス管にとりつけるときには，水面とめもり板の0点を一致させる。

5 留意点 湯の温度は，50℃ぐらいで十分である。湯の中に入れないで直接，加熱する場合も，あまり高い温度になるまで加熱する必要はない。
結果 湯に入れると，ガラス管内の水位が上がることから，フラスコ内の水が膨張したことがわかる。

6 結果 空気中で冷やすと，ガラス管内の水位が下がってもとの位置に戻ることから，フラスコ内の水が収縮してもとの体積に戻ったことがわかる。

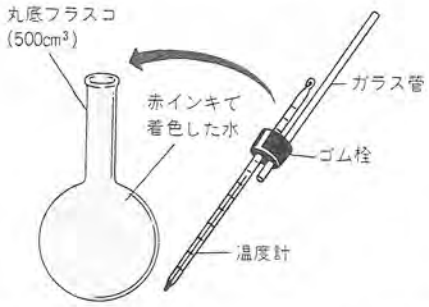
## 見かけの膨張

液体を容器に入れて湯の中に入れると，湯に入れた直後，いったん水面が下がるのが見られる。これは，湯に接している容器がまず膨張し，容積が増えるからである。このことからもわかるように，容器に入れた液体を熱したとき，容器も膨張するので，液体の膨張は実際のものより少なく見える。これを液体の「見かけの膨張」という。真の膨張は，見かけの膨張に容器の膨張を加味したものである。

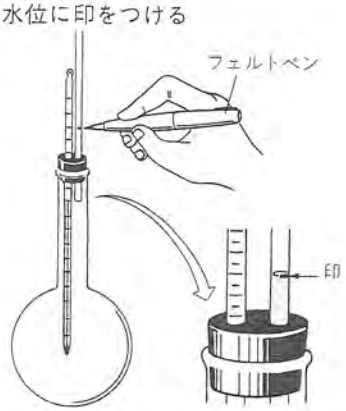


【別法】水位に印をつけて調べる方法

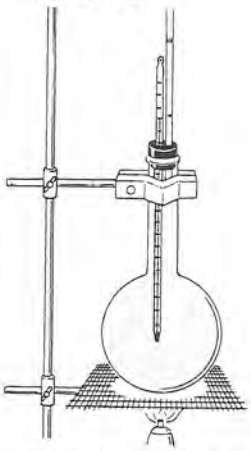
1 フラスコに水を満たし，温度計とガラス管をつけたゴム栓を差しこむ



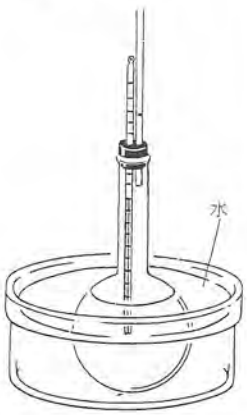

2 水位に印をつける



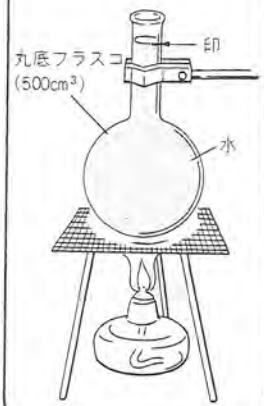

3 加熱して，水位の変化を調べる



4 水で冷やして，水位の変化を調べる

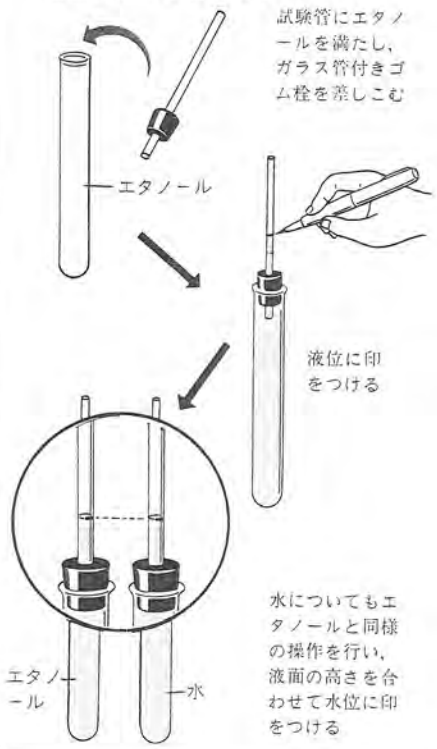



簡単な方法

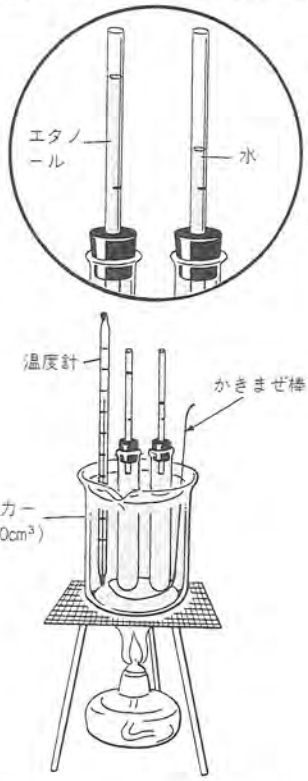



【B】水とエタノールの膨張の割合を比較する

1 2本の試験管にエタノールと水を入れ，液面の高さを合わせる




2 加熱して，体積変化を比較する




【別法】水位に印をつけて調べる方法

1 留意点 空気が残らないように丸底フラスコの口もといっぱいまで水を満たす。ガラス管の長さは，30cmぐらいがよい。温度計やガラス管をゴム栓に差しこむときには，水にぬらして差しこむようにすると入りやすい。

2 解説 印は，常温におけるものである。水面がこの印より上にいけば，水が膨張したことになり，この印より下にいけば収縮したことになる。

3 留意点 安全のため，水温が50℃ぐらいになったら加熱をやめる。

注意 温度を上げ過ぎると，フラスコの底から気泡が出て，ゴム栓を飛ばしたりすることがあるので危険である。

結果 加熱すると，ガラス管内の水位が上がることから，水が膨張したことがわかる。

4 結果 冷やすと，3で上がった水位が再び下がり，体積が減少することがわかる。

解説 気温より低い水温の水を使うと，印よりも水位が下がるのが観察される。

参考 簡単に調べたいときには，フラスコに水を入れた後，水位に印をつけて熱すればよい。印の位置より少し水位が上がる。

【B】水とエタノールの膨張の割合を比較する

解説 液体の膨張の割合は，液体の種類によって違う。この実験では，同体積の水とエタノールを同じ温度になるように加熱し，エタノールのほうが膨張の割合が大きいことを調べる。

1 留意点 この実験では，同じ大きさの試験管と，同じ太さのガラス管を使わなければならない。

試験管内に気泡が残らないように気をつける。

2 留意点 加熱は穏やかに行う。

ビーカー内の水をときどきかき混ぜて，水とエタノールが同じように温められるようにする。

加熱は60℃ぐらいまでにする。

結果 水よりエタノールの液面のほうが上になる。このことから，エタノールの膨張の割合は，水より大きいことがわかる。

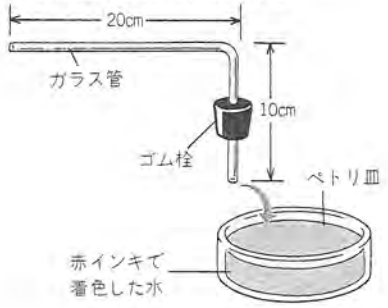
# 73 気体の膨張を調べる

ねらい 小4甲 空気を温めると，体積が増えることが調べられる。
空気の温度を下げると，体積が減ることが調べられる。

赤インキ　ペトリ皿　ガラス管(内径3mm)　ゴム栓　丸底フラスコ(500cm³)　スタンド　ビーカー(100cm³，500cm³，1000cm³)　試験管(直径15mm)　ビニル管　メスシリンダー(25cm³)　水槽　加熱器具

## 1 指標の移動により空気の膨張を調べる

①ゴム栓をつけたガラス曲管を，赤インキで着色した水の中に入れる




②ガラス管の一端を指で押さえて，着色水の中からとり出す



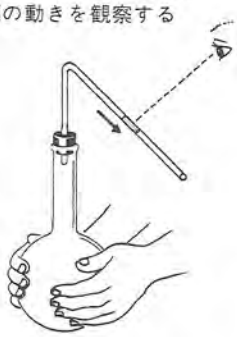

③指標をガラス管の水平な部分に移す




④装置を組み立てる




⑤フラスコを両手で温めて指標の動きを観察する



1 ① 留意点 ペトリ皿に入れる水の深さが指標の長さになる。したがって，ペトリ皿には1.5～2cmの深さになるように着色した水を入れる。

② 解説 指で押さえないと，着色水から上げたとき，ガラス管内の着色水がペトリ皿の中に落ちてしまう。

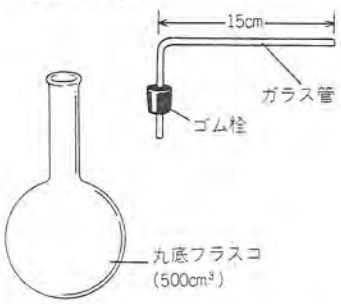
③ 留意点 ガラス管から指を離すときは，静かに行う。静かに離すと，着色水は柱状のまま静かに下に降りてくる。急に指を離すと，柱状にならないので注意する。着色水は，ガラス管水平部の，ゴム栓に近い部分に止めておく。

④ 留意点 ゴム栓を差しこむとき，フラスコを手で温めないようにする。また，着色水が移動しないように，ゴム栓を差し終わるまではガラス管の一端から指を離さないようにする。

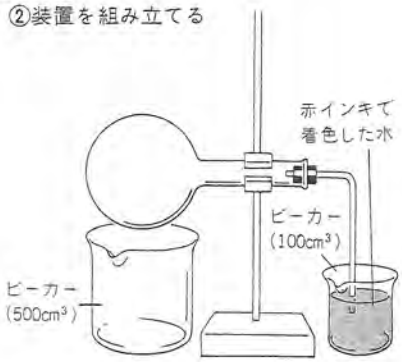
⑤ 結果 手で温め始めてからしばらくすると，指標がガラス管の先のほうに移動する。このことから，フラスコ内の空気が膨張したことがわかる。

## 2 水の移動により空気の体積変化を調べる

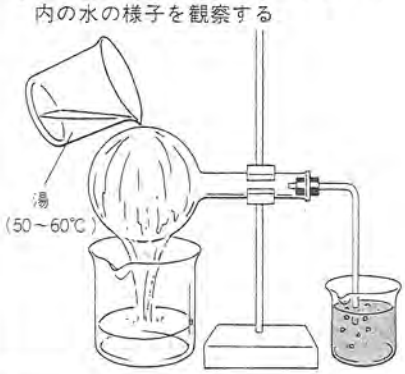
①ゴム栓をつけたガラス曲管をフラスコにとりつける



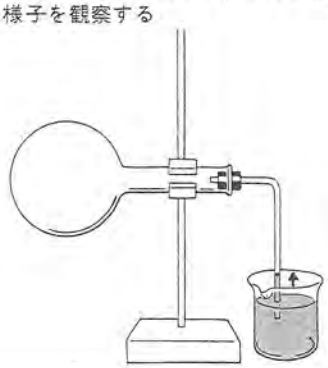

②装置を組み立てる




③フラスコの上から湯をかけ，ビーカー内の水の様子を観察する




④フラスコを空気中で冷やし，ガラス管内の様子を観察する



2 ① 留意点 フラスコは，内部のよく乾いたものを用いる。内部がぬれていると空気が十分に熱せられないため，良い結果が出ない。

② 留意点 ガラス管の先は，着色水の中にあまり深く入れないようにする。先が1cmぐらい入っていればよい。あまり水中深く入れると，水圧のため，気泡が出にくくなる。

③ 留意点 湯は，50～60℃ぐらいのもので十分である。

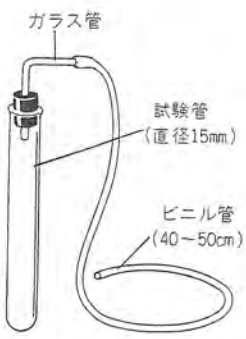
注意 湯でやけどをしないように気をつける。

結果 フラスコに湯をかけて温めると，着色水の中に入れたガラス管の先から，盛んに気泡が出てくる。このことから，フラスコ内の空気が膨張したことがわかる。

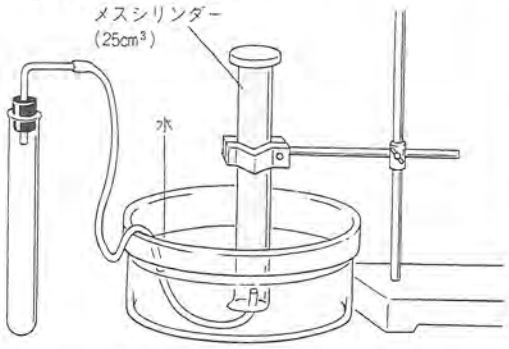
④ 結果 フラスコを空気中で冷やすと，着色水がガラス管の中に入ってくる。このことから，フラスコ内の空気が収縮したことがわかる。

## 3 空気の移動を実際に確かめる

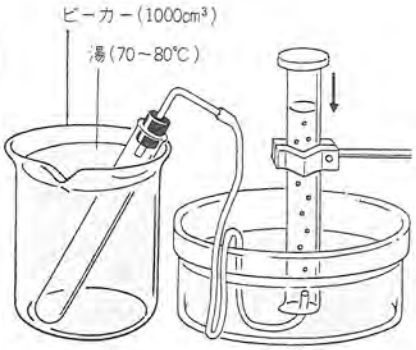
①試験管にビニル管をとりつける



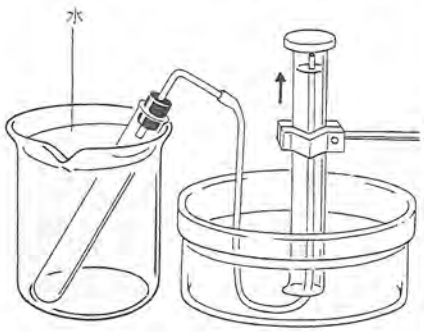

②メスシリンダーに水を満たして水槽内に倒立させ，ビニル管を差しこむ



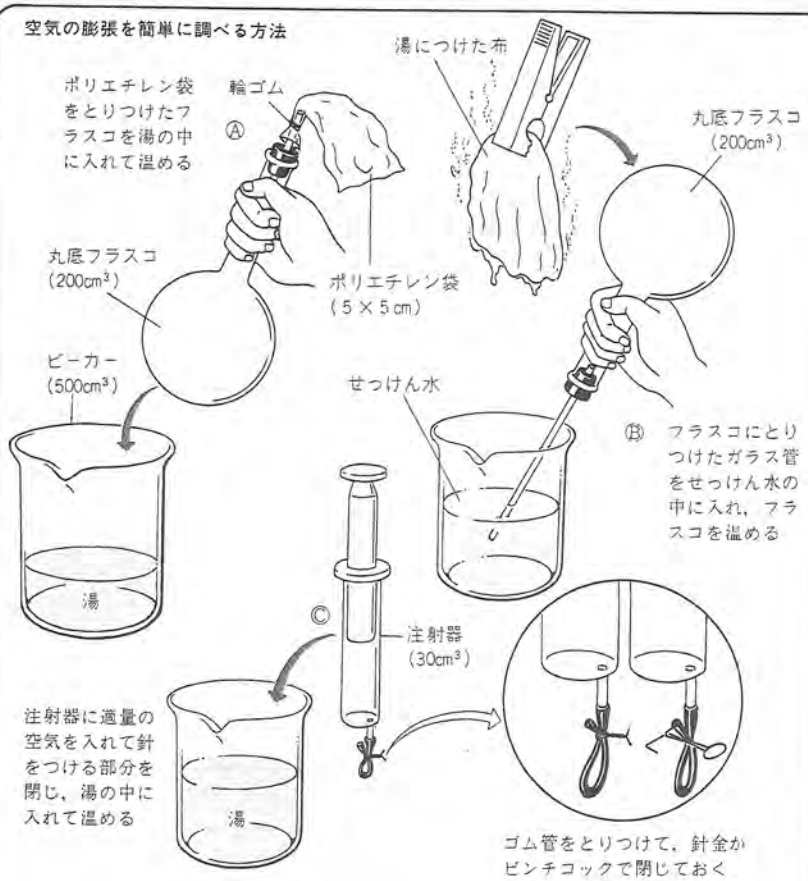

③試験管を湯の中に入れ，メスシリンダー内の様子を観察する




④ビニル管をメスシリンダーの底部まで差しこんでから試験管を水の中に入れ，メスシリンダー内の様子を観察する




### 空気の膨張を簡単に調べる方法




3 解説 これは，実際に膨張した空気の体積を測定できる方法である。

① 留意点 試験管は，内部のよく乾いたものを用いる。
ゴム栓のすき間などから，空気が漏れないことをよく確かめておく。

③ 留意点 試験管ができるだけ多く湯につかるようにする。
ビニル管が湯につからないように気をつける。
注意 熱湯でやけどをしないように注意する。試験管を湯の中に押さえておくとき，試験管ばさみを使用するとよい。
結果 メスシリンダー内に空気がたまることから，試験管内の空気が膨張したことがわかる。

④ 留意点 ビニル管をメスシリンダー底部に差しこむときには，試験管を湯の中に入れたままで行う。試験管が冷えると，ビニル管内に水が入ってくる。また，ビニル管を強く押さえたりしてはいけない。強く押さえると，ビニル管内の空気がメスシリンダーの中に出てしまうため，手を離したとき，ビニル管内に水が入ってくる。
参考 ビニル管内に水が入ることを防ぐためには，あらかじめ②の段階で，ビニル管をメスシリンダー底部まで差しこんでおくとよい。ただしこの場合，③では，試験管内の空気の膨張を「気泡の発生」という現象でとらえることはできない。メスシリンダーに空気がたまることでとらえるだけである。
結果 メスシリンダーにたまった空気が，再びなくなることから，試験管内の空気が収縮したことがわかる。

参考 気体の膨張を調べるには，様々な方法が考えられる。空気の膨張を簡単に調べる方法の一例を左に示しておく。
Ⓐでは，フラスコ内の空気の膨張に伴って，ポリエチレン袋が膨らむのが見られる。
Ⓑでは，フラスコ内の空気の膨張に伴って，せっけん水内に気泡が生じ，シャボン玉ができるのが見られる。水ではなく，せっけん水を用いるのは，視覚的な効果を大きくするためである。フラスコの球部を温めるとき，やけどをしないように注意する。
©では，注射器内の空気の膨張に伴って，ピストンが上がるのが見られる。
ゴム管を閉じた部分から空気が漏れないように，しっかり閉じておく。

# 74 物質の温まり方の違いを調べる

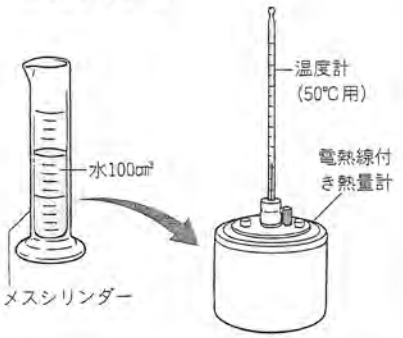
ねらい 由1 違う物質を加熱したときの温度の変化が同じか違うかを調べることができる。
物質と水の温まり方の違いから，比熱について理解することができる。

【A】 メスシリンダー 温度計① 電熱線付き熱量計② 電源装置 導線 プラスチック製コップ エタノール 電子てんびん 【B】 金属塊③ 電子てんびん メスシリンダー 温度計① 電熱線付き熱量計② 電源装置 導線

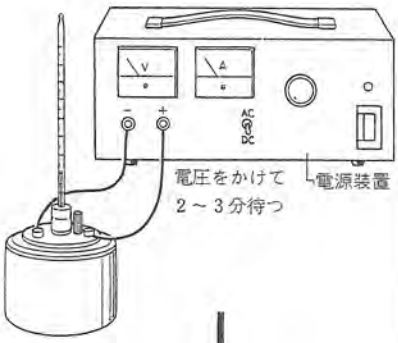
①50℃用1/5℃目盛りのものがよい。②銅容器製がない場合断熱材を兼ねたポリスチロール製などでもよい。③アルミニウム，銅，鉄，しんちゅうなど。比熱測定用物体を用いるとよい。

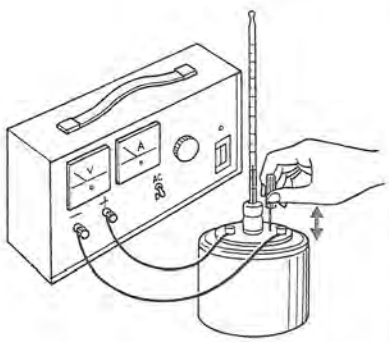
## 【A】エタノールと水の温まり方を調べる

1 電熱線付き熱量計に水100cm³を入れ，温度をはかる

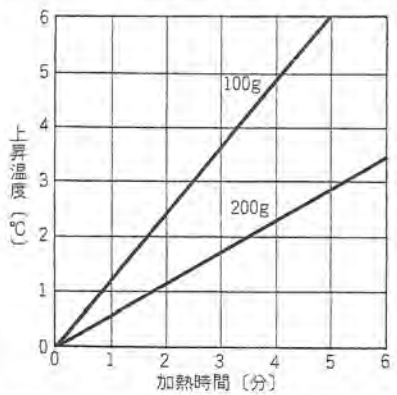



2 一定電圧で電流を流し，かくはんしながら，一定時間ごとの水温をはかる

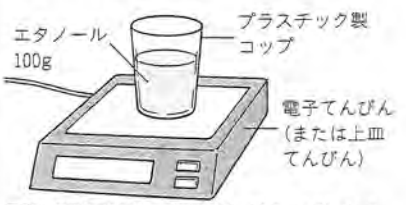


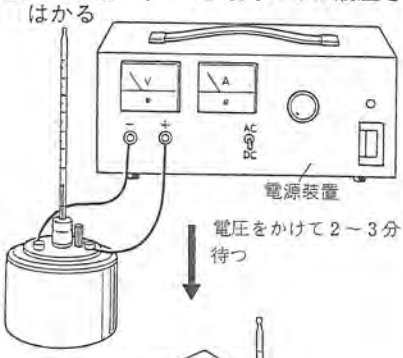
3 時間と温度の関係をグラフ化する

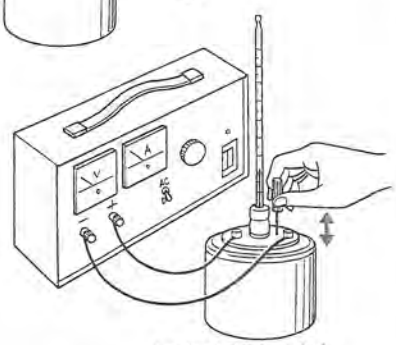



4 エタノール100gをはかり取り，熱量計に入れて温度をはかる

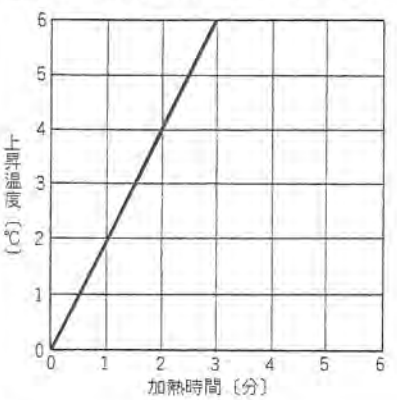



5 2と同様に，一定時間ごとの液温をはかる




6 時間と温度の関係をグラフ化する




### 【A】エタノールと水の温まり方を調べる

2 留意点 電源は交流・直流のいずれでもよい。安定した電圧の得られるほうを用いる。電圧はあまり高く設定しないほうがよい(6V程度)。温度上昇もあまり急にならないようにすること。
電圧を設定し終ったら，電圧調節つまみなどは，実験終了まで動かしてはいけない。電源スイッチのみを操作する。温度測定は，電圧をかけてすぐに開始してはいけない。必ず2～3分ほど経過して，安定した温度上昇が得られるようになってから，測定を開始する。よくかくはんすることが，よい結果を得られるか否かのポイントになる。しかし，かくはんする際には，かきまぜ棒が熱量計の中の電熱線に触れたりしないように注意する。

3 解説 電熱線の1分間あたり(毎分)の発熱量$q$は次式で示される。

$q = m_1 \cdot t_1$

ただし，$m_1$は水の質量であり，ここでは100gである。$t_1$は，1分間あたりの水温の上昇温度である。

4 留意点 エタノールの場合，気化熱の影響で誤差が大きくなる。エタノールは100gでなくてもよいが，1の水と同じ質量であるほうが比熱の概念を理解しやすい。エタノールはあらかじめ200cm³用のビーカーに150cm³程度をはかり取っておくと，手早く測定できる。液温は，はかり取って2～3分後の温度をはかる。

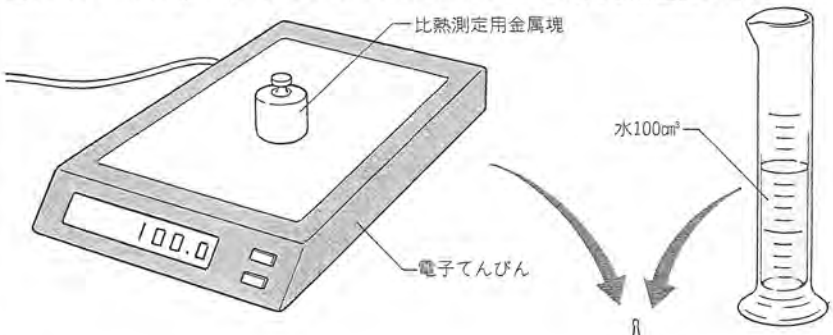
5 留意点 ここでは，2の電圧と全く同じ電圧をかけなければならない。したがって，2の測定の後，そのままの状態で電源スイッチだけを切った電源装置を，そのまま電源スイッチを入れて用いる。
その他，注意する点は2と同様である。

6 解説 物質の温まり方の相違は，グラフから1分間あたりの液温の上昇温度の大小で考察できる。

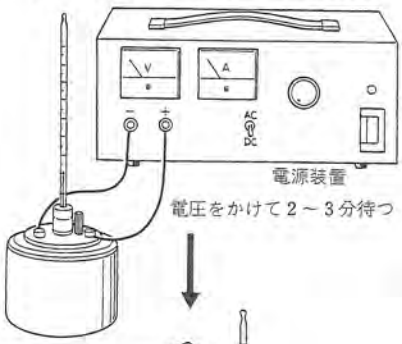
参考 熱量計の水当量は，実験する水やエタノールの量を多くすれば無視できるほどである。

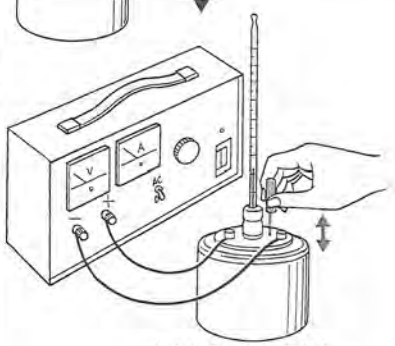
## 【B】水以外の物質の温まり方を調べる

1 水100cm³（100g）と，質量を測定した比熱測定用金属塊を熱量計に入れる

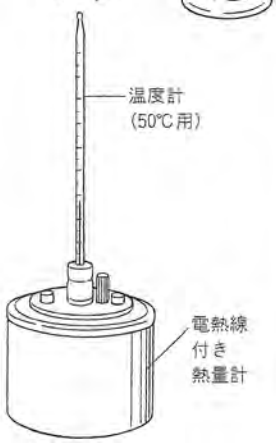



2 一定電圧で電流を流し，かくはんしながら，一定時間ごとの液温をはかる

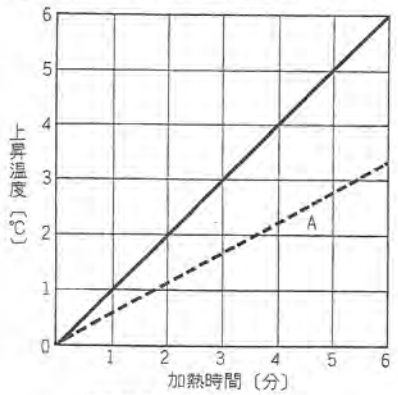


よくかくはんしながら，一定時間ごとの水温を読む

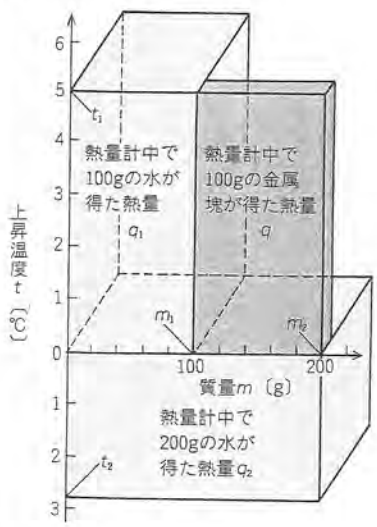



3 時間と温度の関係をグラフ化する




グラフAは，質量200gの水だけの温度変化のグラフである

4 金属の比熱を計算する




電熱線の発熱量＝(水＋金属塊)が得た熱量
＝同質量の水が得た熱量

である。2で測定した水と金属塊の温度を$t_1$，水の質量を$m_1$，金属塊の質量を$m$，それぞれが得た熱量を$q_1$，$q$とし，水の比熱は1〔cal／g・℃〕であるから，(水＋金属塊)が得た熱量($q_1+q$)は，

電熱線の発熱量＝$(q_1+q)=m_2\cdot t_2\times 1$

である。ただし，$m_2$は(水＋金属塊)と同質量の水の質量，$t_2$は電熱線の1分間あたりの発熱量による1分間あたりの水の上昇温度である

$m_2=m_1+m$

したがって，金属塊の比熱を$x$とすると，

$m_2\cdot t_2=(m_1\cdot t_1\times 1)+(m\cdot t_1\times x)=q_2$

ただし，$q_2$は質量$m_2$の水が得た熱量である

よって，$m\cdot t_1\cdot x=m_2\cdot t_2-m_1\cdot t_1$

$=q_2-q_1$となる

ゆえに，$x=\dfrac{q_2-q_1}{m\cdot t_1}=\dfrac{q}{m\cdot t}$(ただし，$t_1=t$)

より，金属の比熱が求められる

### 【B】水以外の物質の温まり方を調べる

1 留意点 金属塊は比熱測定用物体を用いれば質量がわかっているわけであるが，質量のわかっていないものを用いる場合は，あらかじめ質量を測定しておかなければならない。

熱量計に入れて水温が一定になるように2～3分放置し，温度を読み，全体の温度とする(数回よくかき混ぜるとよい)。

熱量計に浸ける温度計は，誤差を小さくするため，50℃用の1/5℃か1/10℃目盛りのものを用いる。

参考 生徒が1目盛りの1/10を正しく読めないときは，デジタル温度計を利用したほうが効果的である。

2 留意点 電源は交流・直流のいずれでもよい。安定した電圧の得られるほうを用いる。電圧はあまり高く設定しないほうがよい(6V程度)。温度上昇もあまり急にならないようにすること。

電圧を設定し終ったら，電圧調節つまみなどは，実験終了まで動かしてはいけない。電源スイッチのみを操作する。温度測定は，電圧をかけてすぐに開始してはいけない。必ず2～3分ほど経過して，安定した温度上昇が得られるようになってから，測定を開始する。水量は，最低でも金属塊を入れたときに完全に金属塊が沈むだけは必要である点も注意したい(100cm³以上は必要)。

3 解説【A】で得られた200cm³の水だけの温度の上がり方を調べたグラフと比べる。温度変化の値が大きいか小さいかを比較することで，物質(金属塊)が違う場合は温まり方に違いがあるといえる。

金属塊が1分間あたりに得た熱量$q$から，金属塊の比熱$x$は

$$x=\frac{q}{m\cdot t}=\frac{q_2-q_1}{m\cdot t}$$

によって求めることができる。ただし，$q_2$は水と金属塊が1分間あたりに得た熱量，$q_1$は水100gが1分間あたりに得た熱量，$m$は金属塊の質量，$t$は1分間あたりの金属塊の上昇温度である。

4 解説 実験データに基づく計算例を次に示す。

0～2分間

$x=\{(200\,[g]\times 1.1\,[℃]-100\,[g]\times 2.0\,[℃])\times 1\,[cal/g\cdot ℃]\}\div(100\,[g]\times 2.0\,[℃])$

$=0.10cal/g\cdot ℃$

となる。

0～5分間では$x=0.12cal/g\cdot ℃$

# 75 水の沸点の測定

ねらい
中1 温度計の100℃めもりが正しいかどうかを確かめることができる。
水の沸点を測定することができる。
小4 水が沸騰するときの温度を調べることができる。

蒸留水　丸底フラスコ(500cm³)　沸騰石　温度計
ガラス管　ゴム栓　スタンド　ゴム膜①　加熱器具

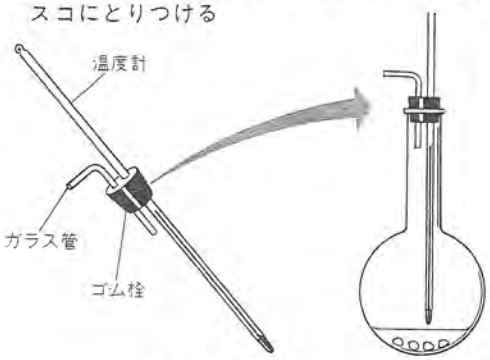
①3×7cm程度のチューブ片など。

**【A】温度計の100℃のめもりが正しいかどうかを調べる**

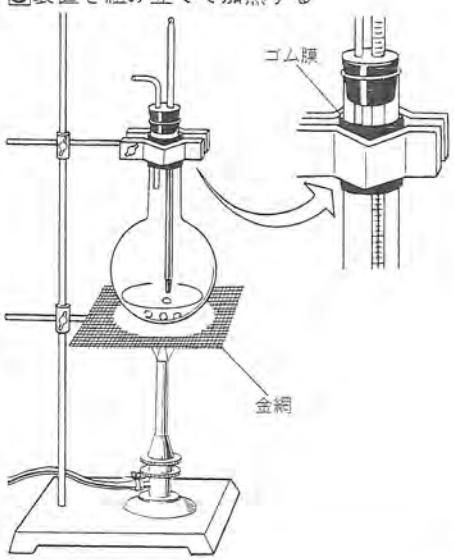
1 丸底フラスコに蒸留水と沸騰石を入れる



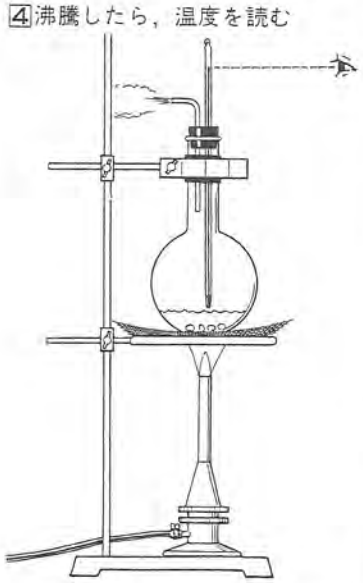

2 ゴム栓にガラス管と温度計を差しこみ，フラスコにとりつける



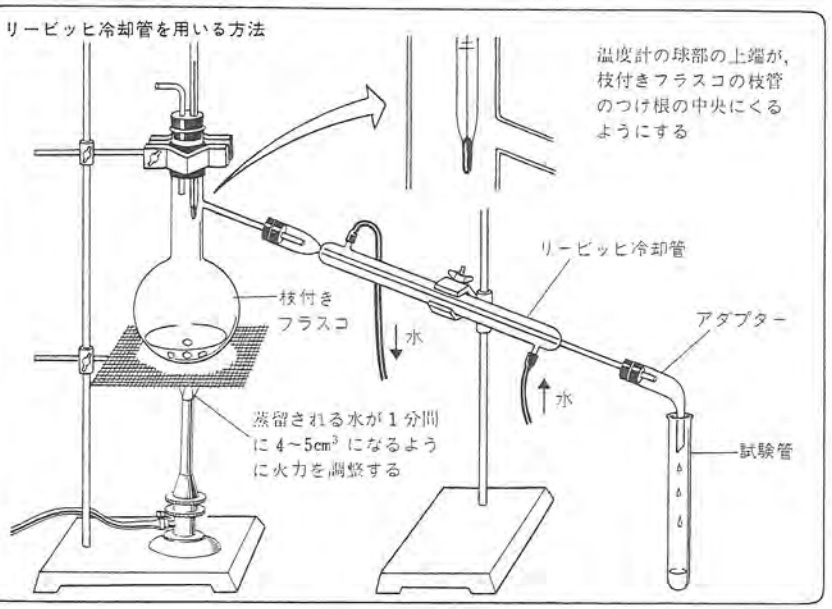

3 装置を組み立てて加熱する




4 沸騰したら，温度を読む



リービッヒ冷却管を用いる方法




**【A】温度計の100℃のめもりが正しいかどうかを調べる**

1 留意点 フラスコは，内部が高圧になるので，必ず丸底フラスコを用いる。
水は，必ず蒸留水を使用する。水に不純物が含まれていると，沸点が100℃より高くなる。
注意 突沸を防ぐため，必ず沸騰石を入れる。沸騰石を入れないで加熱すると，ゴム栓が飛んだりすることがあるので，危険である。
参考 **突沸** 液体を静かにゆっくり加熱すると，沸点以上になっても沸騰しないことがある。その液体に，外部から振動などの刺激を与えると，突然沸騰する。これが突沸である。これを防止するために入れるのが沸騰石である。
沸騰石がないときは，素焼きの瀬戸物のかけらか，ガラスの毛細管を入れる。
沸騰石には空気が含まれていないと効果がないので，よく乾燥したものを使う必要がある。

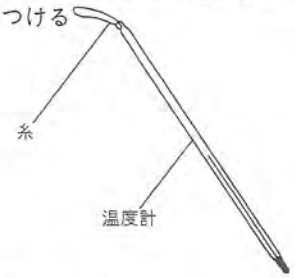
2 留意点 ゴム栓には，温度計やガラス管より，やや大きめの穴をあけるとよい。そして，温度計やガラス管に水をつけて差しこむと入りやすい。
水面上約1cmの所に温度計の球部がくるようにする。沸騰している水が水蒸気になった直後の温度も沸点，すなわち100℃を示すので，このように球部を水面上に設置して，温度をはかるのである。

3 留意点 フラスコを固定するとき，クランプを締め過ぎてフラスコを破損するのを防ぐため，クランプとフラスコの間にゴム膜(チューブ片など)を挟むとよい。

4 留意点 温度は，沸騰後，しばらくしてから読むようにする。この際，目線を温度計に垂直にし，1めもりの1/10まで目分量で読みとる。
解説 温度計が示す値が，100±0.5℃の範囲なら，その温度計は正確だと考えてよい。
参考 この方法で測定した場合，フラスコ内の圧力は，水蒸気圧のため，1気圧より高くなる。気圧が1mmHg増加するごとに，沸点は0.037℃の割合で増加する。したがって，温度計よりやや高めの値を示すことになるが，その範囲は0.5℃以内である。

## 【B】水が沸騰するときの温度を調べる

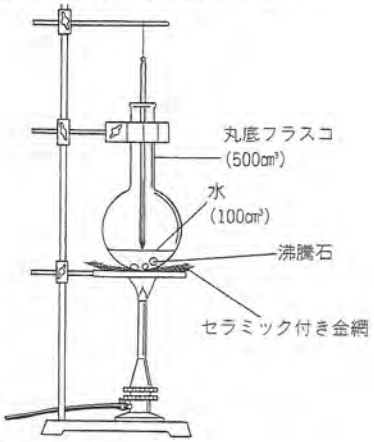
1 糸を温度計の上部に輪になるようにとりつける



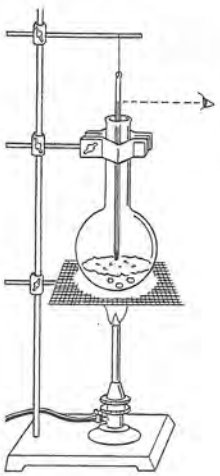

2 丸底フラスコに蒸留水と沸騰石を入れる




3 装置を組み立てて加熱する



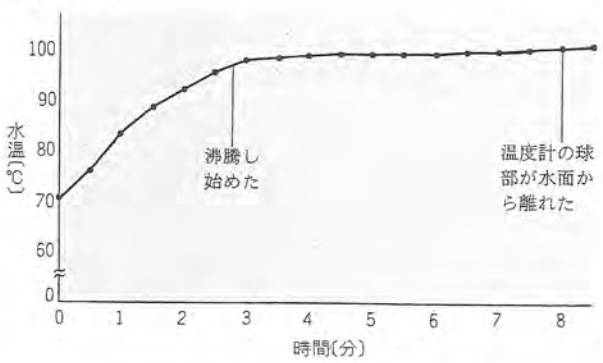

4 水温が70℃前後になったら，30秒ごとの温度を測定し，記録する



実験データ例

| 時間〔分〕 | 温度〔℃〕 |
|---|---|
| 0.0 | 70.1 |
| 0.5 | 76.2 |
| 1.0 | 83.0 |
| 1.5 | 88.6 |
| 2.0 | 92.2 |
| 2.5 | 96.1 |
| 3.0 | 98.0 |
| 3.5 | 98.5 |
| 4.0 | 99.4 |
| 4.5 | 99.8 |
| 5.0 | 99.9 |
| 5.5 | 99.9 |
| 6.0 | 99.9 |
| 6.5 | 100.0 |
| 7.0 | 100.0 |
| 7.5 | 100.1 |
| 8.0 | 100.3 |
| 8.5 | 100.5 |

実験データ例




**【B】水が沸騰するときの温度を調べる**

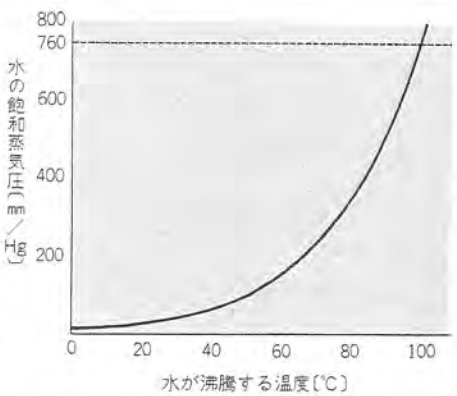
2 留意点 フラスコは，内部が高圧になるので，必ず丸底フラスコを用いる。水は，水道水よりも蒸留水のほうがよい。
注意 突沸を防ぐため，必ず沸騰石を入れる。

3 留意点 水面ぎりぎりの所に温度計の球部がくるようにする。沸騰している水が球部にかかり水蒸気になる瞬間の温度，すなわち水の沸点がはかれる。
注意 フラスコを固定するときは，しっかり固定されているか十分注意する。また，フラスコの表面に水滴がついていると，加熱したとき，破損することがあるので注意する。

4 注意 この実験を続けていくと，水が水蒸気になり，水の量が減って，温度計の球部に沸騰した水がかからなくなる。すると，温度計の目盛りは100℃を超えて上昇するので，温度計が破損しないように注意する。

## 蒸発と沸騰と沸点

液体が気体に変化することを気化というが，気化は蒸発と沸騰に分かれる。
蒸発とは，液体の表面で液体が気体になっていくことであるが，これは圧力や温度に関係なく起こる。例えば，水は100℃にならなくても蒸発する。この蒸発は，まわりの空気に含まれる水蒸気の量がそのときの飽和状態になるまで続く。
沸騰とは，蒸発と同時に液体の内部からの気化が起こる現象をいう。一定の圧力のもとで液体がある温度に達すると，液体内部から激しく気泡(その液体の蒸気)を発生するようになる。これを沸騰という。そして，この沸騰が起きるときの温度を沸点という。沸点は，まわりの圧力によって変化し，圧力が大きくなれば高くなり，圧力が小さくなれば低くなる。例えば，極めて正確な温度計を使って，極めて正確に水の沸点を測定したとすると，気圧が760mmHgなら100℃で沸騰するが，720mmHgでは98.5℃で沸騰する。このように沸点は気圧により変化するが，ふつう1気圧のもとでの沸点をその物質の沸点という。



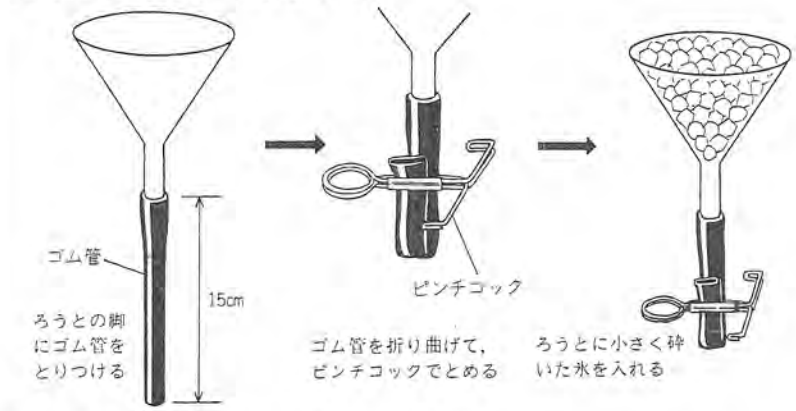
# 76 氷の融点の測定

ねらい 小4　温度計の0℃の決め方がわかる。
中1　氷の融点を測定することができる。

ろうと(直径8cm以上)　ゴム管(長さ15cmぐらい)
ピンチコック　氷①　ビーカー2　蒸留水　温度計
スタンド

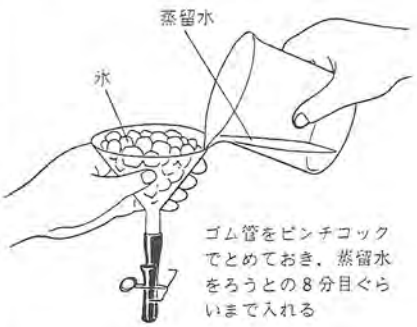
①氷は蒸留水を凍らせたものを用いる。

1 ろうとに小さく砕いた氷を入れる




2 氷を蒸留水に浸し，次いで蒸留水で洗う

①蒸留水を氷に注ぐ



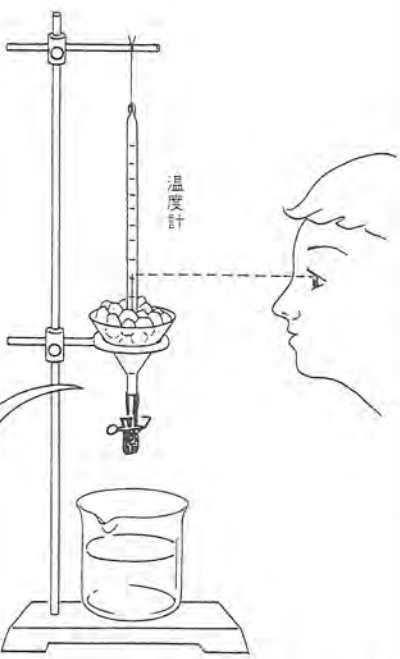

②蒸留水を流し出す




③ピンチコックを開いたまま上から蒸留水を注ぎ，氷を洗う




3 温度計を差しこみ，温度を読む



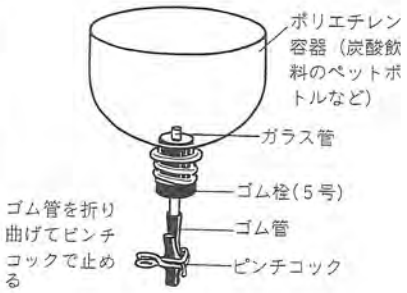

1 留意点 ろうとは直径8cm以上のもの，ゴム管は長さ15cmぐらいものを用いる。
ピンチコックは，ゴム管の上から2/3ぐらいの所を折り曲げてとめる。
氷は，蒸留水を凍らせて，小指の先ぐらいの大きさに砕いたものを使う。氷が大き過ぎると，3で温度計を差しこんだときに，氷と氷との大きなすき間に球部がきてしまい，正しくはかれないことがある。

2 留意点 必ず蒸留水を用いる。
③では，ろうと全体に万遍なく，すなわち全部の氷が洗えるように，蒸留水を注ぐ。
解説 ①と②は，氷の温度が融点より低いと，3で融点を測定できないので，温めるために行う。

3 留意点 温度計を差しこんで2～3分待って，温度計の示す値がこれ以上下がらなくなったら，温度を読む。
結果 温度計が0℃を示すことから，氷の融点は0℃であることがわかる。
解説 氷の融点をはかるには，この実験のように，氷といっしょにある水の温度をはかればよい。ただし，蒸留水でない水で行うと，誤差が大きくなる。不純物が融点を変化させてしまうからである。
参考 セ氏という温度単位は，水の氷点を0℃，水の沸点を100℃として，その間を100等分し，それを1°とした温度単位である。セ氏温度は，めもりがCめもりとして表されており，記号には，℃を用いる。

【参考】ポリエチレン容器を利用した方法

1 ポリエチレン容器を上から⅓ぐらいのところで切り，ゴム栓をする




2 容器に細かく砕いた氷を入れる




3 氷を蒸留水に浸し，次いで蒸留水で氷を洗う

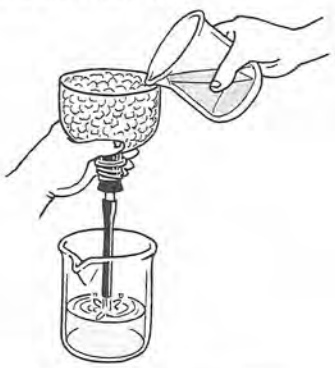
①蒸留水を氷に注ぐ




②蒸留水を流し出す




③ピンチコックを開いたまま，上から蒸留水を注ぎ，氷を洗う



4 温度計を差しこみ，温度をはかる




【参考】ポリエチレン容器を利用した方法

1 留意点 ゴム管は長さ15cmぐらいのものを用いる。ピンチコックは，ゴム管の上から⅔ぐらいのところを折り曲げてとめる。

2 留意点 氷は，蒸留水を凍らせて，鉄製乳鉢で，5mmぐらいの大きさに砕いたものを使う。または，かき氷製造器でシャーベット状にしたものでもよい。

3 留意点 必ず，蒸留水を用いる。
③では，ボトル全体にまんべんなく，全部の氷が洗えるように蒸留水を注ぐ。

4 留意点 温度計を差しこんで3分ぐらい待って，温度計の示す値が動かなくなったら，温度を読む。温度計は，デジタル温度計を用いるとよい。
結果 温度計が0℃を示すことから，氷の融点は0℃であることがわかる。

## 凝固点降下

純粋な水の融点は0℃であるが，食塩水は0℃になっても凍らない。一般に溶液の凝固点（融点）は純溶媒の融点よりも低くなる。この現象を凝固点降下という。アルコールやブドウ糖，ショ糖などのような非電解質の薄い溶液の凝固点降下については，次のような法則がある（ラウールの法則）。

きまった溶媒の一定量中に溶けている溶質が非電解質であって，そのモル数さえ等しければ，溶質の種類によらず，溶液の凝固点の降下は等しく，また，その降下度は一定量の溶媒中の溶質のモル数に比例する

いま，1kgの溶媒に溶質$n$モルを溶かした溶液の凝固点の降下度，すなわち溶液と純溶媒との融点の差を$k$，比例定数を$K$とすれば，次式のように表すことができる。

$$k = Kn$$

$K$は溶媒の性質だけによる値であり，凝固点の分子降下（あるいはモル凝固点降下）という。

分子降下の例

| 溶　媒 | 分子降下($K$) |
|---|---|
| 水 | 1.86 |
| ベンゼン | 5.12 |
| ナフタレン | 6.9 |
| ショウノウ | 40.0 |
| 酢　酸 | 3.90 |

# 77 物質の融解熱の測定

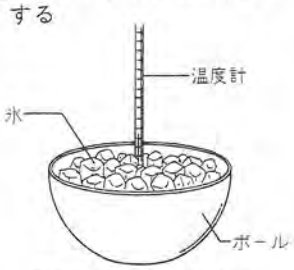
ねらい 田1高　氷の融解熱を調べることができる。
ナフタレンの融解熱(凝固熱)を調べることができる。

【A】氷　温度計2　ボール　メスシリンダー　ビーカー①　上皿てんびん　加熱プレート②　布　【B】ナフタレン　発泡ポリスチレンカップ　メスシリンダー　温度計③　アルミはく　小型ビーカー④　上皿てんびん　スタンド　加熱器具

①できるだけ質量に差がないものを2つ用意する。②1200W程度のホットプレートを用意する。温度調節機能のついたものがよい。③50℃用1/5℃目盛りのものを用いる。④30または50cm³用を用いる。

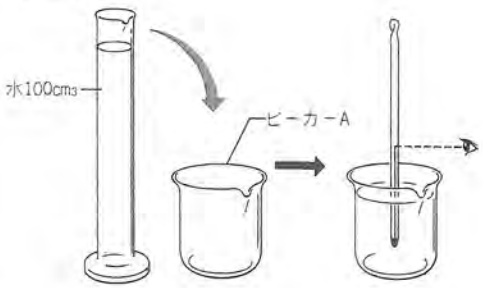
## 【A】氷の融解熱を測定する

1 氷を砕き，しばらく放置する

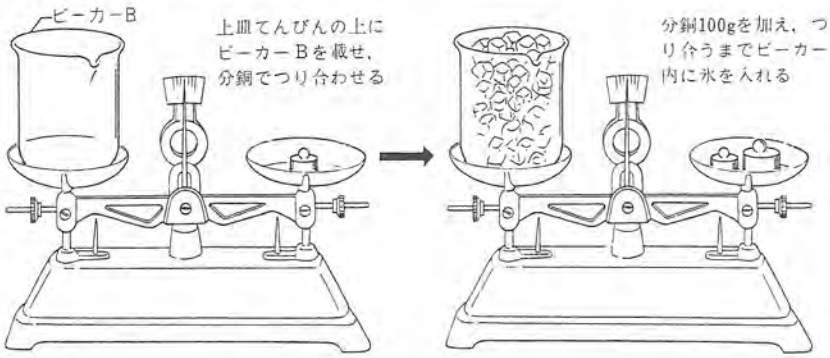



氷の表面に水がつき，ほぼ0℃になるまで放置する

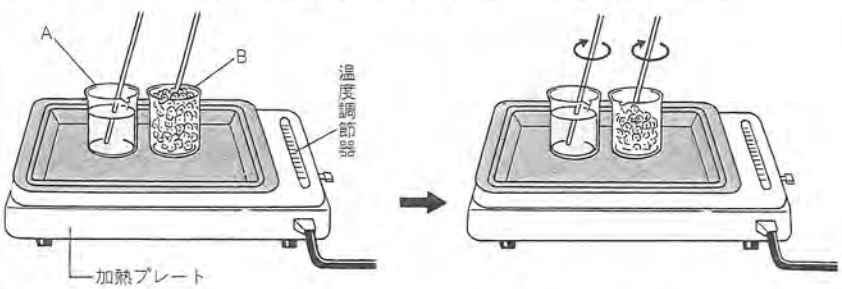
2 ビーカーAに水100g(100cm³)をはかりとり，水温を測定する




3 ビーカーBに氷100gをはかりとる



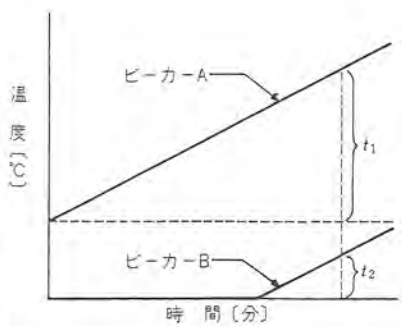

4 2つのビーカーを同時に加熱し，両方の温度を1分ごとに測定する




加熱プレートの上に，同じように加熱されるように2つのビーカーを載せる

かき混ぜながら加熱し，ビーカーBの氷が完全に溶けるまで測定を続ける

5 測定値をグラフ化し，氷の融解熱を求める




ビーカーAの水の質量を$m_1$，上昇した水温を$t_1$とすると，ビーカーBの氷が溶けきるまでに，ビーカーAの水が得た熱量$Q_1$は，

$Q_1 = m_1 t_1$

また，ビーカーBの水の質量(氷の質量)を$m_2$，上昇した水温を$t_2$とすると，ビーカーB内の水が0℃から$t_2$℃になるまでに得た熱量$Q_2$は，

$Q_2 = m_2 t_2$

となる。そこで，ビーカーAとビーカーBが得た熱量が等しいとすると，氷1g当たりの融解熱$x$は，次式より求められる

$$x = \frac{Q_1 - Q_2}{m_2}$$

### 【A】氷の融解熱を測定する

2 留意点 正確には，水の質量を測定すべきであるが，この実験では密度を1g/cm³と考えて差し支えない。

3 留意点 氷は固体なので，正確に100gをはかりとるのは難しい。なるべく正確にはかりとるべきではあるが，あまり時間がかかり過ぎても，氷が溶けだしたりして，かえって誤差が大きくなるので，だいたいつり合えばよい。ただし，あまりに違い過ぎると誤差が大きくなるのでよくない。

氷をビーカーに入れるときは，布などでその表面についた水をぬぐってから入れる。

4 留意点 着脱式のプレートの場合，プレートをはずすと電熱線の配線が見えるので，加熱が均一になる場所を探し，ビーカーを置く。氷を入れたビーカーの外壁には水滴がついているから，加熱する前に，布などでよくぬぐいとる。

温度の測定は一定時間ごとに行えばよいが，1分ごとが適当である。また，氷が完全に溶けたことが確認された後，最後の温度測定を行う。それまでの時間は，目安としては10分ぐらいである。

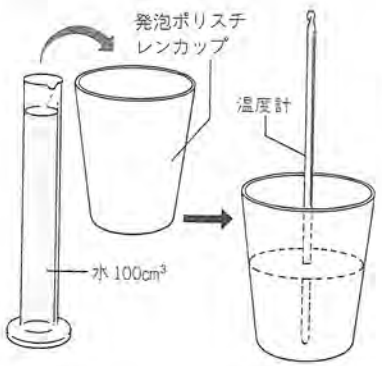
5 留意点 実際には，水を入れたビーカーのグラフも直線にはならない。これは，石綿付き金網やビーカーが温められるのに一定の時間を要するためである。しかし，これは両方のビーカーで同じ条件であるから，計算の際にそのための補正をする必要はない。

氷を入れたビーカーのほうの温度は，理論上は氷が溶け終わるまで0℃以上にはならないはずである。しかし，実際には，加熱が激しいために0℃以上になっていることが多い。これも，温度を正確に測定して左のように計算すれば，補正する必要はない。

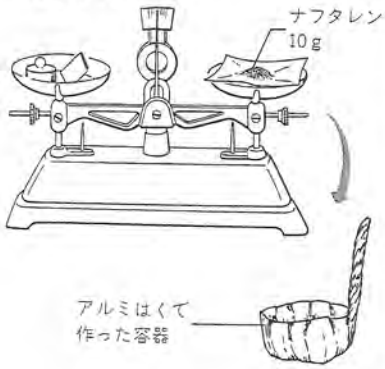
解説 この実験は，【B】に比べて精度は劣る。しかし，対象を直接加熱して融解させるため，実験の内容が理解しやすい。

## 【B】ナフタレンの融解熱を測定する

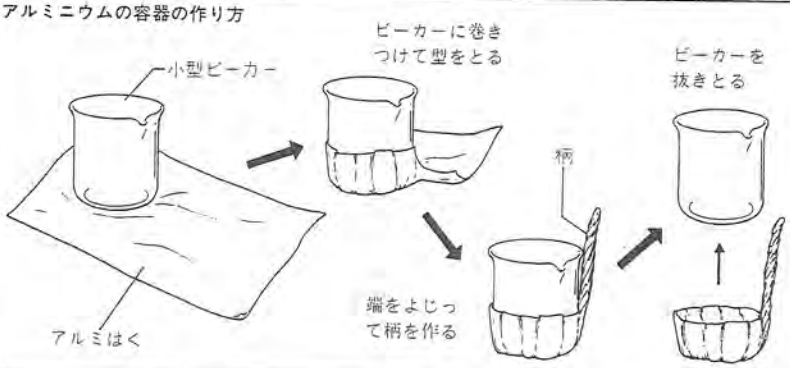
1 発泡ポリスチレンカップに水を100 cm³入れ，水温を測定する



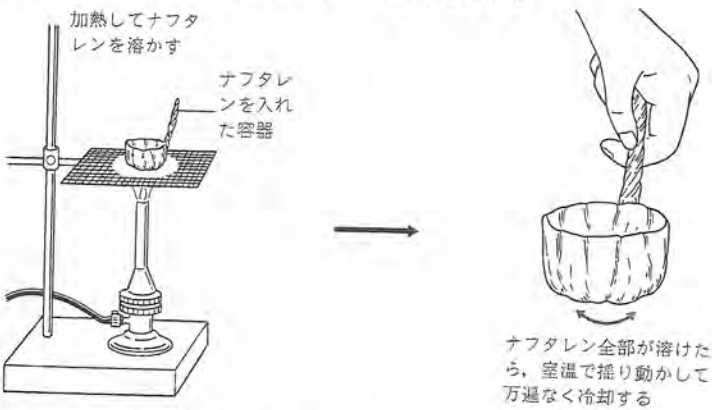

2 アルミニウムの容器にナフタレン10 g を入れる



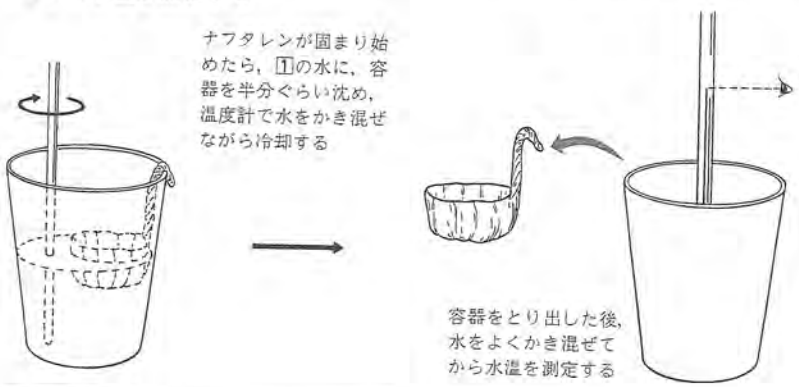

**アルミニウムの容器の作り方**




3 ナフタレンを加熱して溶かした後，室温で冷却する




4 ナフタレンを水につけて冷却し，ナフタレン全部が凝固したら，容器をとり出して水温を測定する




**【B】ナフタレンの融解熱を測定する**

1 留意点 水は室温に近いものを用いる。そうすれば，時間がたっても水温がほとんど変化しない。

2 留意点 アルミはくで容器を作れば，容器の質量が0.5g以下でできる。容器の質量が小さければ，容器の水当量も小さくなるから，水当量を考慮しなくても誤差を小さくすることができる。そのために，ここではアルミはくの容器を用いる。容器には図のように柄をつけておくと，操作が行いやすい。

3 留意点 ナフタレンの融点は80.5℃であるから，強く加熱する必要はない。あまり強く加熱すると，昇華する量が多くなり，ナフタレンの質量が減って誤差の原因となるから，加熱は最小限にとどめる。
溶けたナフタレンの入っている容器をいきなり水につけてはいけない。必ず室温で冷却し，凝固し始める瞬間に水につけるようにする。

4 留意点 ナフタレンが全部凝固したら，すぐに容器をとり出し，すばやく水をよくかき混ぜ，水温を測定する。凝固した後，いつまでも容器を水につけたままにしておいてはいけない。
この実験は短時間で行えるため，発泡ポリスチレンカップにふたをする必要はない。

解説 水が得た熱量$Q_1$は，1の水温を$t_1$，4の水温を$t_2$とすると，水の質量が100gであるから，

$$Q_1 = 100(t_2 - t_1)$$

である。ところで，水が得た熱量はナフタレンが与えたものであるから，ナフタレンが凝固を始めてから終わるまでに失った熱量も$Q_1$である。したがって，ナフタレンの融解熱(凝固熱)$x$は，ナフタレンの質量が10 g であるから，

$$x = \frac{100(t_2 - t_1)}{10}$$

によって求められる。

参考 同様の方法で，チオ硫酸ナトリウムの融解熱も測定できる。ただし，融点が48.5℃であるのと，凝固に時間がかかるため，発泡ポリスチレンカップにふたをするなど，断熱効果を高める必要がある。

# 78 物質の気化熱の測定

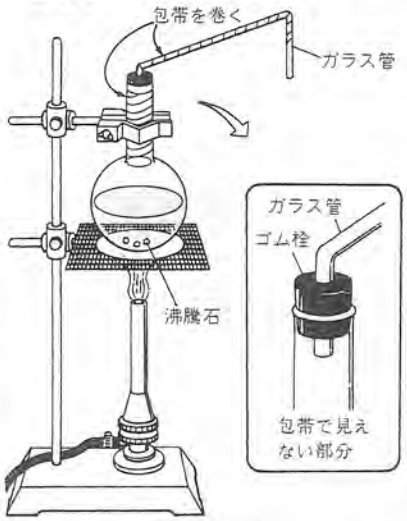
ねらい 田1高 水の気化熱（凝縮熱）を調べることができる。
エタノールの気化熱（凝縮熱）を調べることができる。

【A】丸底フラスコ（100～200cm³）　沸騰石　ゴム栓　ガラス管　包帯　スタンド　加熱器具　自作熱量計①　温度計　かきまぜ棒　電子てんびん　メスシリンダー（100cm³）

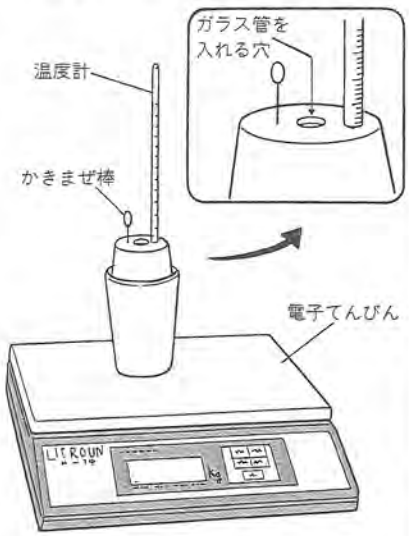
①熱量計の作り方は，[70]の【参考】を参照。
【B】では，上記のほか，ビーカー，布，4でビーカーを載せるために用いる台，試験管，エタノールを用いる。

**【A】水の気化熱を測定する**

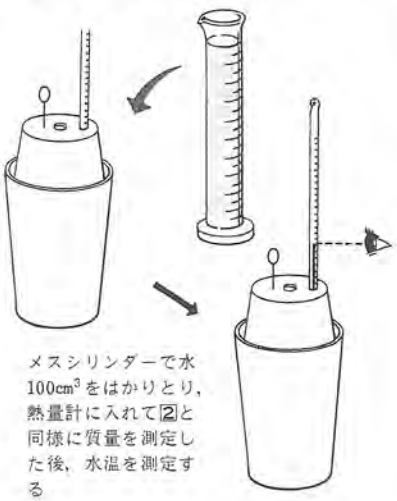
1 丸底フラスコに半分，水を入れ，沸騰石を入れて加熱する




2 ふたにガラス管を入れる穴をあけた熱量計を用意し，その質量をはかる



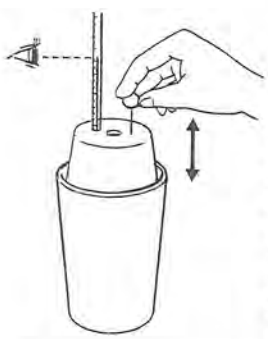

3 熱量計に水100cm³を入れ，質量と水温を測定する



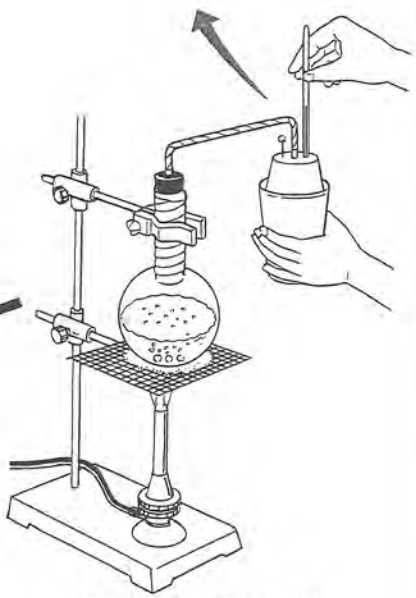
メスシリンダーで水100cm³をはかりとり，熱量計に入れて2と同様に質量を測定した後，水温を測定する

4 熱量計の水に水蒸気を吹きこませた後，水温と全体の質量を測定する



温度が20℃ぐらい上昇したらガラス管をはずし，よくかくはんして水温を測定し，ついで，2と同様にして熱量計全体の質量を測定する



ガラス管から水蒸気が勢いよく吹き出すようになったら熱量計内の水に吹きこませる

**【A】水の気化熱を測定する**

1 留意点 丸底フラスコの首の部分やガラス管には，それぞれ包帯を巻く。こうすると，保温されるので安定して水蒸気が得られやすい。
ガラス管に傾斜をつけてあるのは，管内で水蒸気が水の状態になった場合，それが熱量計内に流入するのを防ぐためである。
丸底フラスコ内には，突沸を防ぐため，必ず沸騰石を入れる。
この装置の代わりに，枝付きフラスコの枝の先にL字形のガラス管をつけたものを用いてもよい。ただし，枝付きフラスコの枝は下向きについているので，内部についた水が熱量計内に入らないように，よく注意しなければならない。

4 留意点 熱量計内の水に水蒸気を吹きこませるのは，丸底フラスコ内の水が十分に沸騰して，ガラス管から勢いよく水蒸気が吹き出すようになってから行う。
このとき，ガラス管は，その先が熱量計内の水につかるように差しこむ。先が水に没していないと，水蒸気の熱をすべて水に吸収させることができない。
なお，熱量計をひっくり返さないよう，熱量計と温度計をそれぞれ左右の手でしっかり支えるようにする。
注意 水蒸気でやけどをしないよう，十分注意する。特に，ガラス管を熱量計に差しこむときには注意が必要である。

解説 2で得た質量を$m$，3で得た質量を$m_1$，4で得た質量を$m_2$，3で得た水温を$t_1$，4で得た水温を$t_2$とすると，熱量計に初めに入れた水が得た熱量$q_1$は

$$q_1=(m_1-m)(t_2-t_1)$$

である。水蒸気が凝縮して100℃の水になるまでに失った熱量$q_2$は，気化熱を$x$〔cal/g〕とすると，

$$q_2=(m_2-m_1)x$$

となる。100℃の水になってから温度$t_2$になるまでに失った熱量$q_3$は，

$$q_3=(m_2-m_1)(100-t_2)$$

である。

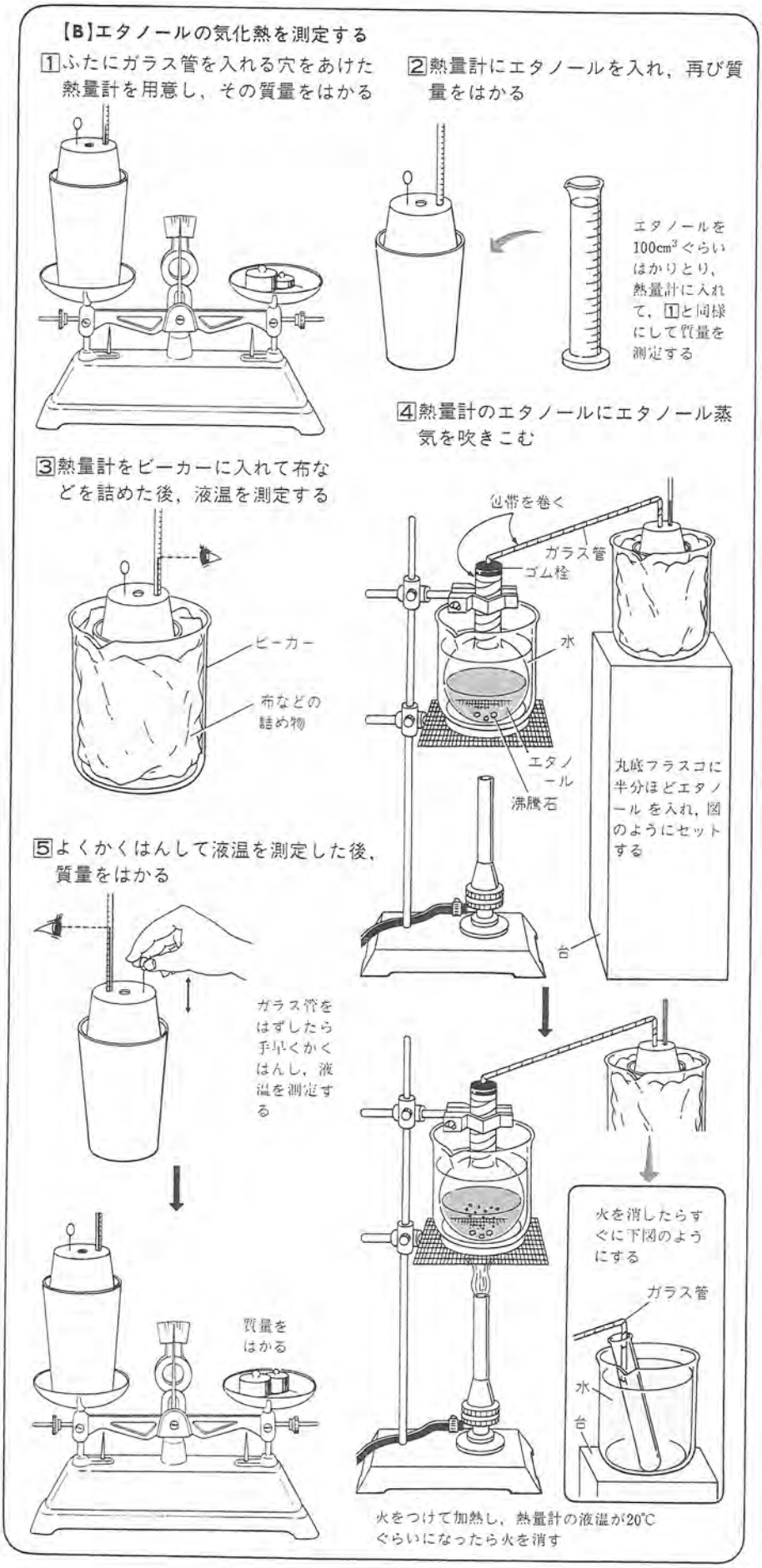
$q_1=q_2+q_3$であるから，$q_2=q_1-q_3$，

$(m_2-m_1)x=q_1-q_3$

したがって，気化熱$x$〔cal/g〕は，

$$x=\frac{q_1-q_3}{m_2-m_1}$$

より求められる。




**【B】エタノールの気化熱を測定する**

3 注意 布などの詰め物をするのは，保温のためばかりでなく，引火したときの用心のためである。万一引火したら，ビーカーの上からぬれたぞうきんで覆えばよい。

4 留意点 丸底フラスコの首の部分とガラス管にはそれぞれ包帯を巻き，保温する。ただし，丸底フラスコに巻く包帯はビーカーの水でぬれない部分のみ，また，ガラス管に巻く包帯は熱量計の穴に入れる所までにする。

注意 熱量計を入れたビーカーは，必ず台などの上に載せる。手で持つと，引火したときに危険である。

丸底フラスコを直接，加熱してはいけない。必ず水浴で加熱する。また，前もって加熱して，エタノール蒸気が出てくるようになってからガラス管の先を熱量計に差しこむという操作を行ってはならない。この方法は引火の危険が大きいからである。

熱量計に差しこむガラス管の先端は，必ず熱量計内のエタノールの中につっこむ。ガラス管の先端がエタノールの中に没していないと，誤差が大きくなるだけでなく，熱くて引火しやすく，危険である。

火を止めてガラス管を熱量計からはずしたら，ガラス管の先端を必ず水に入れた試験管の中に入れる。他に火を使っている場合に引火することを防ぐためである。ただし，ガラス管の先端が試験管内の液につかると，逆流するので，必ず液面より上にあるようにする。

解説 1で得た質量を$m$，2で得た質量を$m_1$，5で得た質量を$m_2$，3で得た液温を$t_1$，5で得た液温を$t_2$とすると，初めに熱量計に入れたエタノールの得た熱量$q_1$は

$$q_1=(m_1-m)(t_2-t_1)\times 0.55$$

である。ただし，0.55というのはエタノールの比熱〔cal/g·℃〕である。エタノールの蒸気が液化した後，温度$t_2$になるまでに失った熱量$q_2$は

$$q_2=(m_2-m_1)(78.3-t_2)\times 0.55$$

である。ここに78.3というのは，エタノールの沸点〔℃〕である。よって，気化熱$x$は

$$x=\frac{q_1-q_2}{m_2-m_1}$$

より求められる。

# 79 水の三態変化を調べる

ねらい 田1　水を冷却すると氷に，氷を加熱すると水になること，その際，体積は変化するが，質量は変化しないことが調べられる。
小4　水を加熱すると気化が盛んになることが調べられる。
水は昇華することが調べられる。

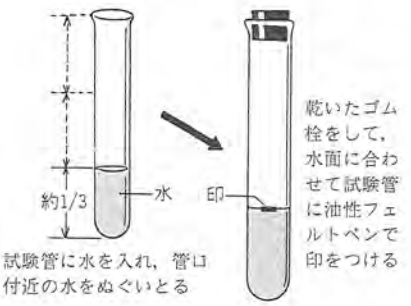
【A】氷　食塩　発泡ポリスチレンカップ　布ゴム栓　発泡ポリスチレン　試験管　電子てんびん　油性フェルトペン　【B】ビーカー(100，200，500cm³)　調理用フィルムシート　加熱器具　スタンド　丸底フラスコ　ガラス管　ビニル管　ゴム栓　試験管　沸騰石　【C】ドライアイス　新聞紙

## 【A】水の凝固と融解を調べる

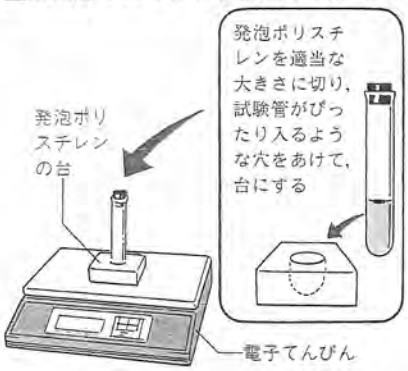
### 1 発泡ポリスチレンカップに氷と食塩を入れる(寒剤を作る)



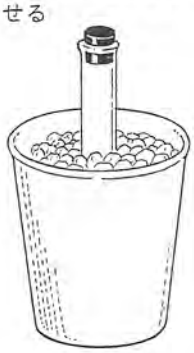

### 2 試験管に水を入れ，体積を調べるための印をつける




### 3 試験管を立てたまま質量を測定する

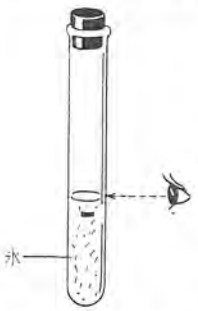



### 4 寒剤の中に試験管を入れて水を凍らせる



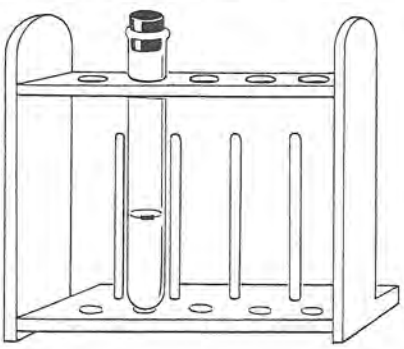
1で作った寒剤の中に試験管を差しこみ，しばらく放置して，試験管内の水を凍らせる

### 5 氷の最上部と2でつけた印とを比べ，続いて質量を測定する

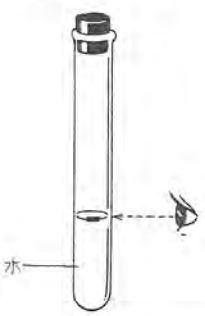



水全体が完全に凍ったら，氷の最上部と印との高さの違いを観察し，次いで，3と同様にして質量を測定する

### 6 氷が溶けるまで室温に放置する



### 7 氷が溶けたら水面と印を比較し，再び質量をはかる




氷全体が完全に溶けたら，水面と印とを比較し，その後，3と同様に質量を測定する

## 【A】水の凝固と融解を調べる

1 留意点 寒剤を作る際の氷と食塩の質量比は，ふつうは3：1であるが，2：1ぐらいの割合で入れたほうが能率がよい。この場合，食塩は溶けきらずにカップの底にたまるが，実験後にそれを集め，乾かして再使用するとよい。
細かく砕いた氷の代わりにかき氷を使用すると，冷却効果はよいが，すぐに溶けてしまうので，生徒実験としては適当でない。発泡ポリスチレンカップがないときはカップめんの容器でもよい。

2 留意点 試験管の管口付近がぬれていると，実験中にその水分が蒸発してしまうため，5や7で質量が減ってしまうことがある。そのため，管口付近についた水をよくぬぐっておく。

3 留意点 発泡ポリスチレン材に穴をあけた台を製作する時間がない場合は，小型ビーカーの中に立ててもよい。

5 留意点 質量を測定する際には，試験管の外側をきれいにぬぐい，結露しないうちに測定するようにする。

6 留意点 氷が溶ける時間を早めたいときは試験管を湯の中に入れてもよい。ただし，試験管内部の水面より上の部分に水滴が付着し，その水滴の分だけ，水面が低くなるので，体積の比較が難しくなる。
また，あまり熱い湯につけると，試験管内の空気が膨張して，ゴム栓が抜けてしまう。

結果 体積は，凝固したとき，すなわち5では増加し，再び融解すれば(6)もとに戻ることがわかる。また，質量には変化がないことがわかる。
水を冷却すると氷になり，氷を加熱すると水になることがわかる。

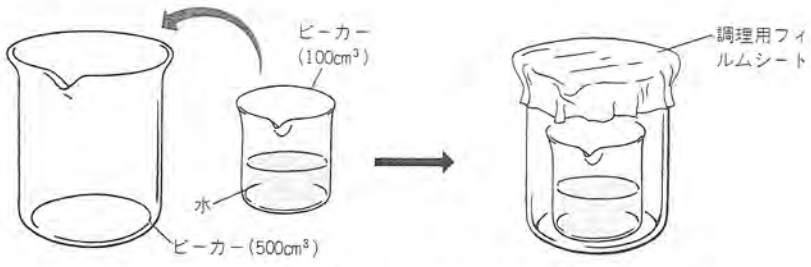
参考 **氷とともに寒剤に用いる物質の例**

| 物質名 | 質量〔g〕 | 最低温度〔℃〕 |
|---|---|---|
| 塩化ナトリウム（食塩） | 33 | −21.3 |
| 塩化カリウム | 25 | −11.1 |
| 塩化カルシウム（無水塩） | 42 | −55 |
| 塩化カルシウム（6水塩） | 100 | −29 |
| 硫酸アンモニウム | 61 | −19 |
| 塩化マグネシウム | 27 | −33.6 |
| 炭酸カリウム | 61 | −36.5 |

質量は，氷100gに対する値

## 【B】水の気化と液化を調べる

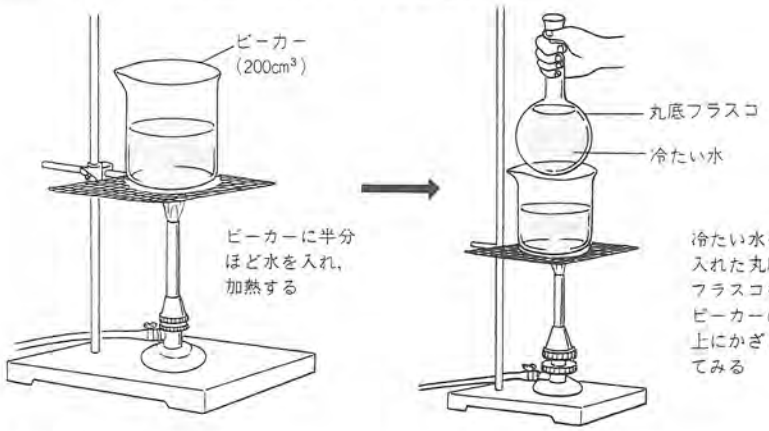
### 1 水の気化（蒸発）と液化を調べる




小さなビーカーに半分ほど水を入れ，それを大きなビーカーの中に置く

調理用フィルムシートでふたをしてしばらく放置し，内壁やふたの裏を観察する

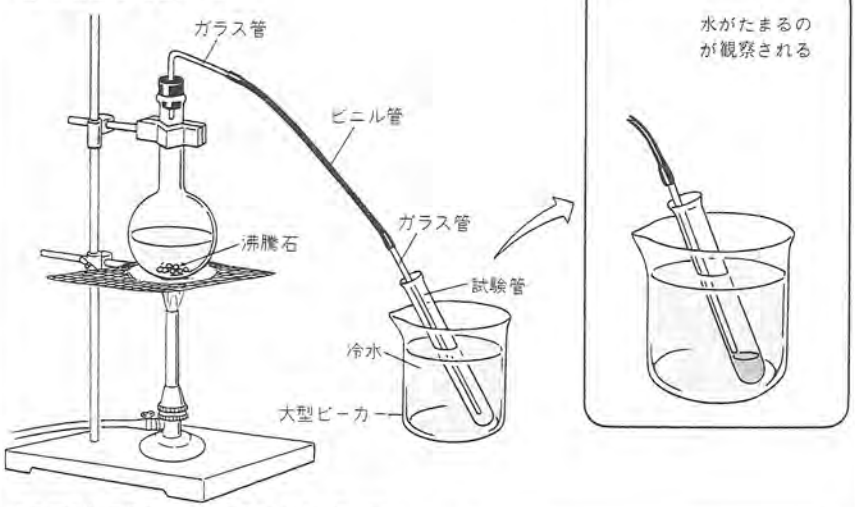
### 2 加熱すると気化（蒸発）が盛んになることを調べる




ビーカーに半分ほど水を入れ，加熱する

冷たい水を入れた丸底フラスコをビーカーの上にかざしてみる

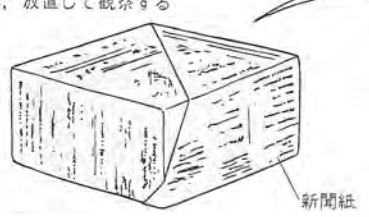
### 3 沸騰させて調べる



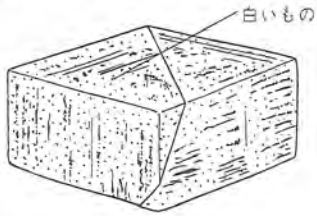

水を加熱して沸騰させ，水蒸気を試験管に導いて冷水で冷やす

### 【C】水の昇華を調べる

ドライアイスを新聞紙でくるみ，放置して観察する




しばらくすると，新聞紙の表面に白いものが付着するのが見られる




**【B】水の気化と液化を調べる**

1 留意点 放置する場所は，暖かい場所のほうが，実験に要する時間を短縮できる。

解説 しばらく放置しておくと，大きなビーカーの内壁やフィルムシートの内側に水滴がつくのが見られる。小さいビーカーに入れた水が一度蒸発し，ビーカーやフィルムシートの所で液化したわけである。すなわち，水は常温で気化，液化をしていることがわかる。

2 留意点 この実験では，水を沸騰させない。沸騰するようなら，火を止める。

注意 丸底フラスコの底をビーカーに近づけるとき，ビーカーをひっくり返さないよう，十分注意する。

解説 丸底フラスコの底(外側)にたくさんの水滴がつくのが見られる。水温が高いほうが気化(蒸発)が盛んなことがわかる。

3 留意点 沸騰石は，必ず新しいものを用いる。一度使用したものを再使用してはいけない。

冷水を入れておくビーカーは，大きければ大きいほどよい。水量が多ければ，それだけ温まりにくいからである。それでも温まってしまった場合には，冷水にとり替える。

火を止めるときには，ガラス管の先端を試験管内の水から出しておく。こうしないと，水が丸底フラスコのほうへ逆流する。

解説 試験管に水がたまるのが見られる。沸騰させるとたまる水の量が増えるので，気化量が極端に多くなることがわかる。

**【C】水の昇華を調べる**

注意 ドライアイスは，手で直接触ってはいけない。必ず手袋をして扱うようにする。ドライアイスは，完全密閉の容器に入れて保存しては，絶対にいけない。新聞紙などでくるみ，断熱性のよい容器に入れ，軽くふたを置く程度で保存する。これでもかなりの時間，保存できる。

解説 新聞紙の表面に付着する白いものは，空気中の水蒸気が昇華（気体→固体）したもの，すなわち氷である。水蒸気は急冷されると昇華することがわかる。

この白いものを集めてビーカーに入れ，溶かして，水であることを確認するとよい。

# 80 物質の三態変化を調べる

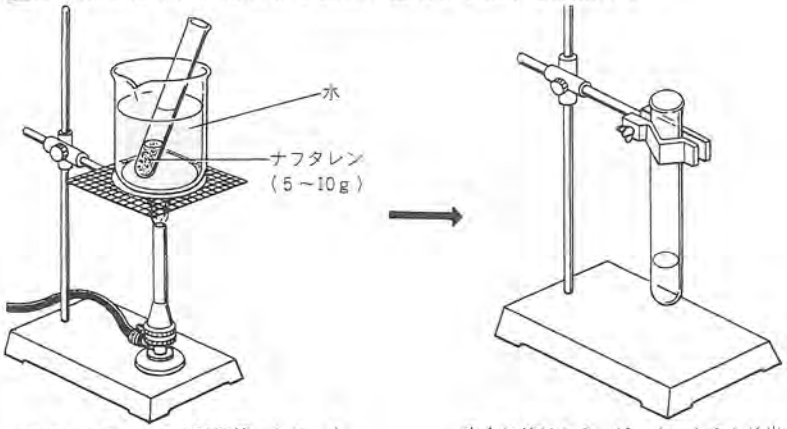
ねらい　固1　物質を加熱したり冷却したりすると，状態が変化することが調べられる。
状態が変化すると体積は変化するが，質量には変化がないことが調べられる。

【A】ナフタレン　試験管　ビーカー　沸騰石　スタンド　加熱器具　砂　砂皿　丸底フラスコ　乳鉢　なべ①　木片　【B】ヨウ素　スタンド　砂　砂皿　ビーカー　加熱器具　丸底フラスコ　【C】パラフィン　砂　砂皿　スタンド　加熱器具　小型ビーカー　フェルトペン　発泡ポリスチレンカップ　調理用ラップフィルム　電子てんびん

①なべに限らず，大型の容器であればよい。

## 【A】ナフタレンを用いて実験する

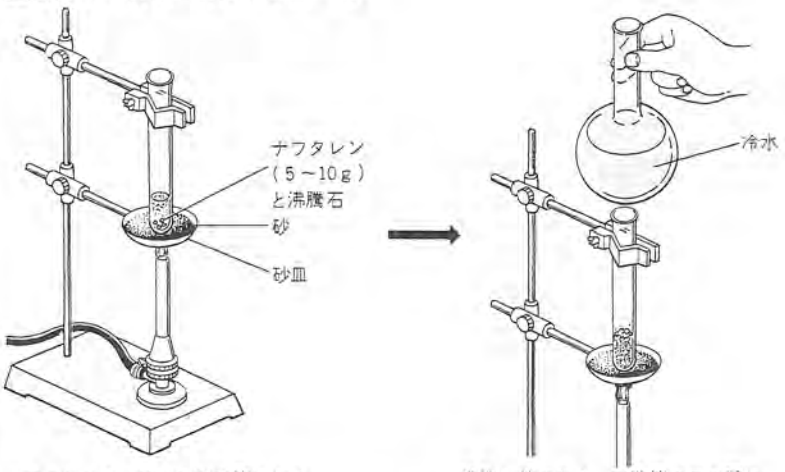
### 1 固体から液体に，液体から固体に変化する様子を観察する




ナフタレン5～10gを試験管にとり，水を入れたビーカーの中で加熱する

完全に溶けたら，ビーカーからとり出し，別のスタンドに固定して放冷する

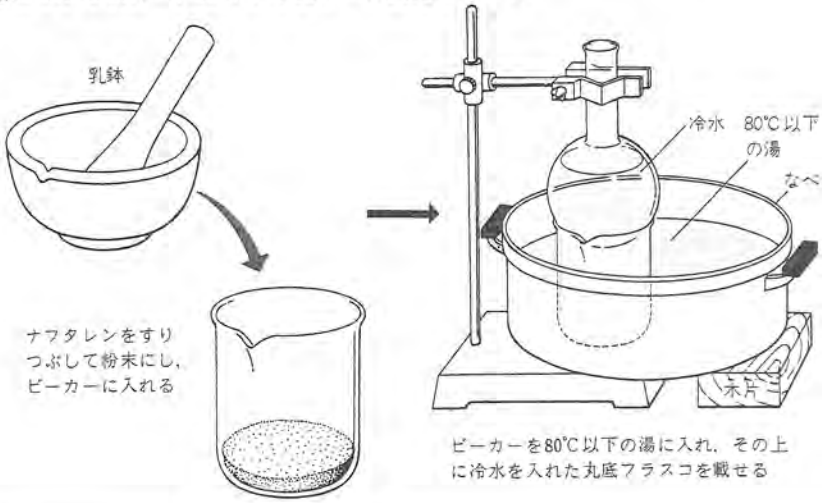
### 2 液体から気体への変化を調べる




ナフタレン5～10gを試験管にとり，沸騰石を入れて，砂浴で加熱する

沸騰し始めたら，試験管の口の所に，冷水を入れた丸底フラスコをかざす

### 3 固体から気体へ，気体から固体への変化を調べる




ナフタレンをすりつぶして粉末にし，ビーカーに入れる

ビーカーを80℃以下の湯に入れ，その上に冷水を入れた丸底フラスコを載せる

## 【A】ナフタレンを用いて実験する

**1** 留意点 ナフタレンの融点は80.3℃であるから，図のような水中での加熱でも十分に溶かすことができる。直接，バーナーの火で加熱する必要はない。バーナーで直接加熱する場合には，温度が上がり過ぎないよう，かえって十分な注意が必要となる。やむをえずバーナーの火で直接溶かすときには，試験管を振りながら，必ず弱火で熱するようにする。

注意 ナフタレンが溶け始めたら，無用に温度を上げてはいけない。

スタンドは，熱するときと冷却するときとでは，別のものを用いる。

**2** 留意点 砂皿の砂は，試験管の底が隠れる程度に入れなければならない。

注意 加熱は，突沸しないよう留意して行う。なお，ナフタレンの沸点は218℃である。

ナフタレンが沸騰し始めたら，あまり強く熱しないよう，注意する。

ナフタレン蒸気が室内に充満しないよう，特に換気には注意しなければならない。

解説 丸底フラスコの底に，ナフタレンの結晶が付着するのが見られる。このことによって，試験管内のナフタレンが液体から気体に変化したこと，すなわち気化したことがわかる。なお，気化したナフタレンが丸底フラスコの底に結晶となって付着するのは，ナフタレンがそこで急冷されて気体から固体に変化（すなわち昇華）したからである。

**3** 留意点 昇華の能率を高めるため，ナフタレンをすりつぶし，粉末にする。

この実験は昇華の実験であり，ナフタレンが固体の状態になければ意味がないから，湯は80℃以下のものを用いる。80℃以上の湯を用いると，ナフタレンが溶けて液体になってしまう。

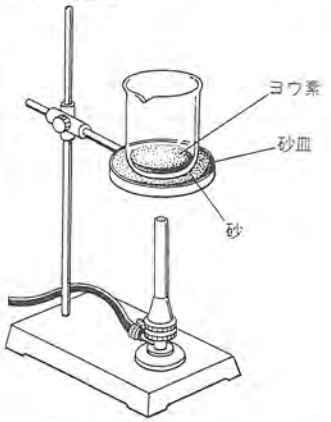
丸底フラスコは，ビーカーをなべに入れると浮き上がろうとするので，それを支えるようにセットする。

なべがスタンドの台に載らないときは，木片などで支える。

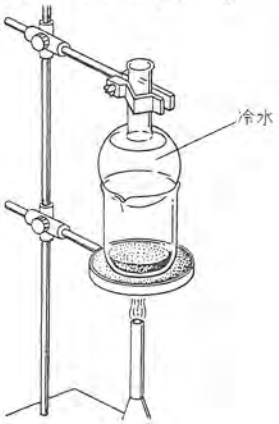
解説 ビーカー内で固体から気体になった（昇華）ナフタレンが，丸底フラスコの底で急冷され，再び固体になる（昇華）のが見られる。

## 【B】ヨウ素を用いて昇華を調べる

1 ヨウ素をビーカーに入れ，砂皿の上に載せる

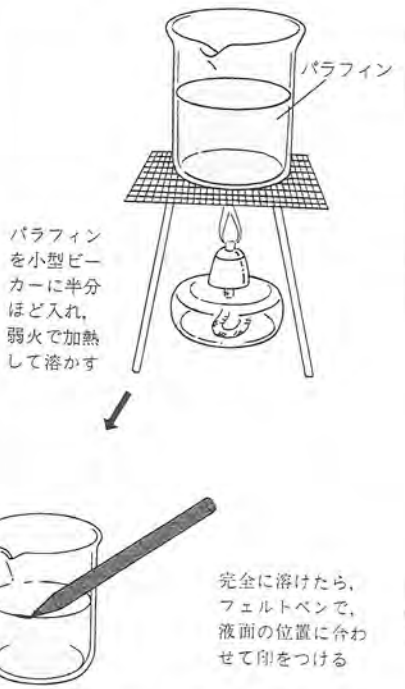



2 加熱して，ビーカーの上に冷水を入れた丸底フラスコをかざす




## 【C】パラフィンを用いて凝固における質量と体積の変化を調べる

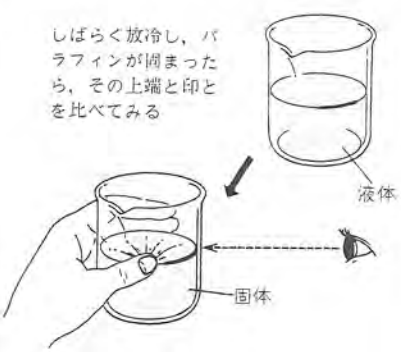
1 パラフィンを溶かし，液面を示す印をつける



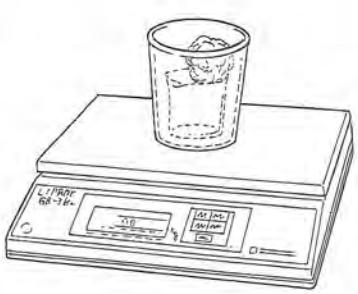

2 液体のときの質量を測定する




3 空気中で放冷し，固まったら体積を比較する




4 固体のときの質量を測定する



ビーカーと発泡ポリスチレンカップと調理用ラップフィルムとの質量を測定する

---

**【B】ヨウ素を用いて昇華を調べる**

留意点 ヨウ素の融点は113.6℃である。これ以上に熱すると，ヨウ素は液体になってしまう。この実験は昇華の実験であるから，液体になってしまっては意味がないので，あまり強く熱してはいけない。

注意 気体は有毒なので，換気に注意する。

解説 丸底フラスコの底にヨウ素が付着するのが見られ，ビーカー内で昇華して気体になったヨウ素が，再び丸底フラスコの底で昇華し，固体になったことがわかる。

**【C】パラフィンを用いて凝固における質量と体積の変化を調べる**

1 留意点 パラフィンの融点は50～70℃であるから，あまり強く熱する必要はない。

2 留意点 ビーカーをそのまま電子てんびんに載せると，ビーカーのまわりに上昇気流が生じ，実際の質量より軽く測定されてしまう。この上昇気流の発生を防ぎ，質量を正確に測定するため，ビーカーを発泡ポリスチレンカップに入れ，調理用ラップフィルムでふたをする。
ビーカーを熱し過ぎると，発泡ポリスチレンが溶けてしまうから，1で必要以上に加熱してはいけない。

4 留意点 ここでの質量測定には，発泡ポリスチレンカップも調理用ラップフィルムも必要ではないが，質量を比較するのであるから，2で用いた発泡ポリスチレンカップと調理用ラップフィルムも含めた質量を測定しなければならない。

解説 パラフィンが固体になると，中央部分がへこんで，液体のときより体積が小さくなることがわかる。また，2，4で測定した質量はだいたい同じである。したがって，パラフィンが液体から固体になると，体積は変化するが，質量には変化がないことがわかる。

# 81 放射熱の実験

ねらい 小6 甲

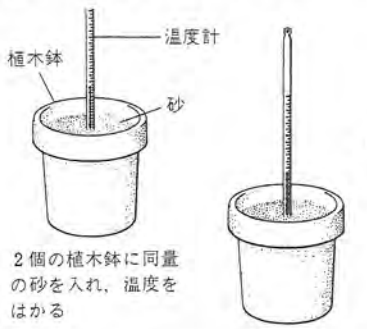
ひなたと日陰では，物の温まり方に違いがあることが調べられる。
放射熱のいろいろな性質について調べることができる。
太陽からの放射熱を測定することができる。

温度計2　砂　植木鉢　ビーカー(500cm³2)　いろいろな色の紙　黒い紙　はさみ　のり　セロハンテープ　透明な板①　木の板2　電気ストーブ②　電球③　放射計　アルミはく　放射熱量計　メスシリンダー

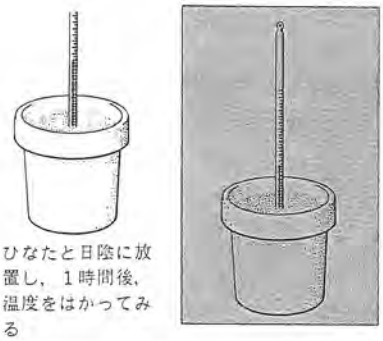
①ガラス板，プラスチック板など。②反射型の石油ストーブでもよい。③100W，60W，40W，20Wと各種のものを用意する。

## 1 ひなたと日陰では，温まり方に違いがあることを調べる

### ①砂の温まり方について調べる

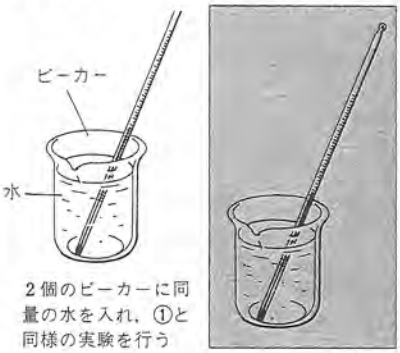



2個の植木鉢に同量の砂を入れ，温度をはかる



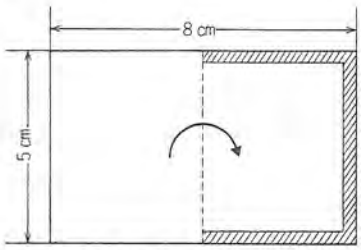
ひなたと日陰に放置し，1時間後，温度をはかってみる

### ②水の温まり方について調べる

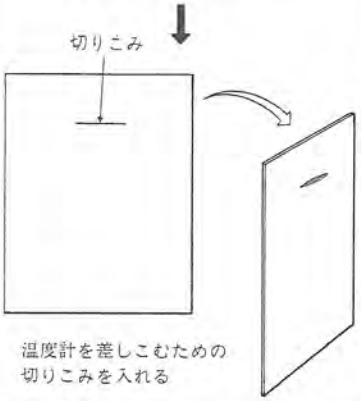



2個のビーカーに同量の水を入れ，①と同様の実験を行う

### 紙袋の作り方

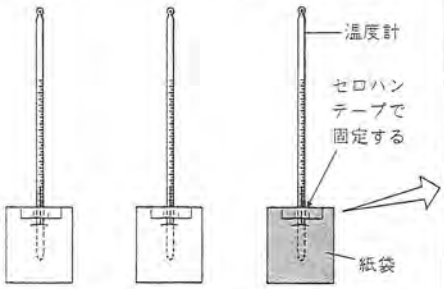



色紙を5×8 cmに切り，2つ折りにしてのりづけする

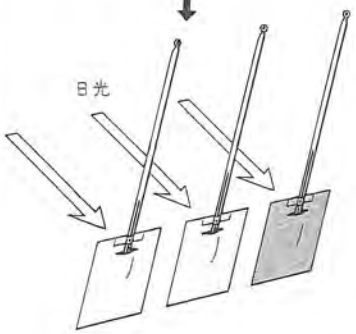



温度計を差しこむための切りこみを入れる

## 2 色による温まり方の違いを調べる




いろいろな色の紙で作った袋に温度計を差しこみ，温度をはかる



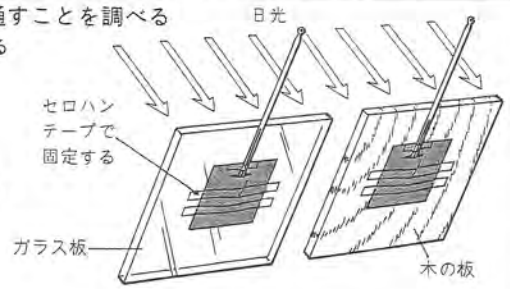

日光を当て，15分後，温度をはかってみる

## 3 放射熱は，透明なものを通すことを調べる

### ①日光の放射熱について調べる



2本の温度計に黒い袋をとりつける




透明な板(ガラスなど)と不透明な板(木の板など)を通して日光を当て，温度変化を観察する

---

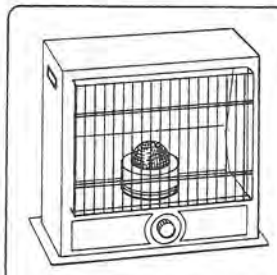
1 ① 留意点 アルコール温度計は，同じ状態にしておいても，示度に1～2℃の差がある。したがって，2本とも同じ示度のものを用いる必要がある（②の場合も同様）。
砂は，実験前日にとっておいたものか，日陰のものを使用する。ひなたにあったものをすぐに使用してはならない。
植木鉢は，同じ形で同じ大きさのものを用いる。
2個以上の植木鉢を用いて実験するときには，丸形のものを使ったほうがよい。日光の当たり方が同じになる。角形のものを使うときには，日光の当たり方が同じになるように，向きをそろえる必要がある。

② 留意点 水は，くみ置きのものを使用する。

2 留意点 袋用の色画用紙は，なるべく同質のものを用いる。
紙袋の中に温度計を差しこむときには，球部が袋の中央にくるようにする。そして動かないように，セロハンテープで固定しておく。
それぞれの装置には，同じ角度で日光が当たるようにする。その際，装置が風などで動かないように，きちんと固定しておく。

3 ① 留意点 黒い袋は，2と同様の方法で作ればよい。
透明な板として，プラスチック板やTPシートなど，ガラス以外のものを使ってもよい。
解説 透明な板だけでなく，不透明な板についても実験するのは，対比するためである。

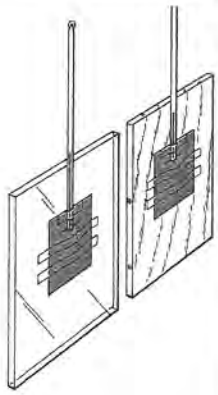
②ストーブの放射熱について調べる



反射型の石油ストーブを使ってもよい

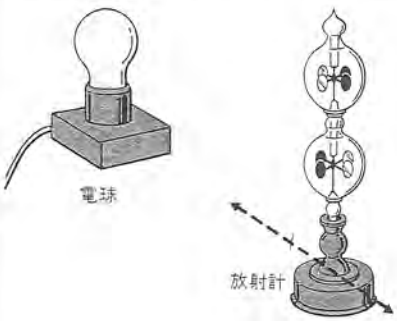



日光の代わりにストーブを使って，①と同様の実験を行う



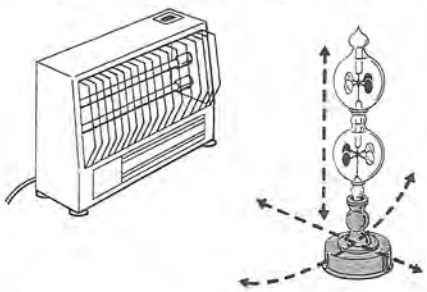
4電球やストーブからの距離と放射熱の関係を調べる

①電球の放射熱について調べる



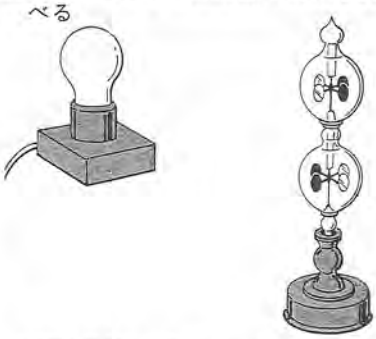

電球と放射計を図のように置き，放射計を電球に近づけたり遠ざけたりしてみる

②ストーブの放射熱について調べる



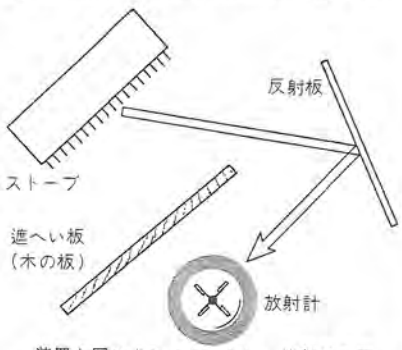
ストーブと放射計を図のように置き，放射計の位置をいろいろ変えてみる

5電球の明るさと放射熱の関係を調べる



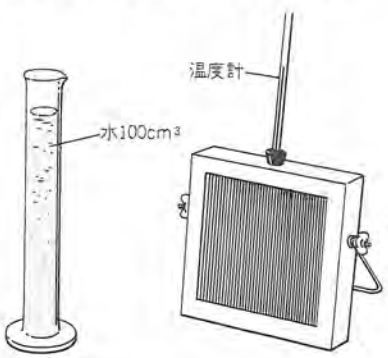
電球と放射計を図のように置き，電球の明るさを変えてみる

6放射熱は反射されることを調べる

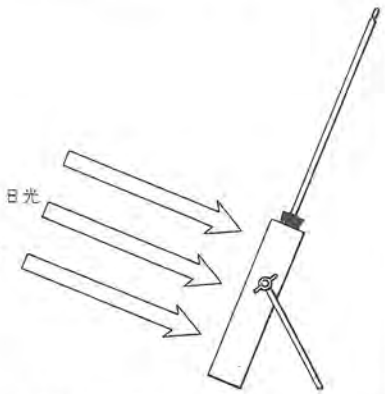



装置を図のようにセットし，放射計の羽根車が回るかどうかを調べる

7太陽からくる放射熱を測定する




放射温度計に水を入れ，水温をはかる




日光を当て，5分後，水温をはかる

②留意点 ストーブと温度計との距離は，あまり離さないほうがよい。しかし，近づけ過ぎると，板も加熱されるので注意する。熱可塑性のプラスチック板を使用するときには，特に注意する。

4①留意点 実験は，必ずしも暗室で行う必要はない。しかし，明るい部屋で行う場合，光を当てないときに放射計の羽根車が回転しないことを確かめておく（②や5，6の場合も同様）。

電球の明るさは一定にしておく。

放射計の位置を変えたとき，羽根車の回転速度がどう変化するかを，よく観察する（②の場合も同様）。

5留意点 電球の明るさを変えるには，電球を100W，60W，40W，20Wと，とり替えればよい。

電球と放射計の距離は，30cmぐらいで一定にしておく。

電球の明るさを変えたとき，羽根車の回転速度がどう変化するかを，よく観察する。

注意 電球をとり替えるときには，やけどをしないように注意する。それぞれの電球にソケットをつけておき，ソケットごととり替えるようにするとよい。

6留意点 反射板は，木の板にアルミはくをはって作ればよい。この際，アルミはくの光沢のある面を外側にする。

反射板として，印画紙を乾燥させるときに使うヘロタイプ板を使うと，放射熱を効率よく反射させることができる。

7留意点 水は，くみ置きのものを使用する。量は，放射温度計の容積の80%程度にする。容器いっぱいまで入れると，水を混ぜにくくなる。正確には質量ではからないといけないのだが，ここでは体積ではかって，1 $cm^3$ = 1 g として処理しても差し支えない。

水温をはかるときには，放射温度計をよく振って，水をかき混ぜるようにする。

日光を当てる時間は，5分間ぐらいがちょうどよい。10分間ぐらい当てると，温度計から熱が逃げるので，測定値の誤差が大きくなる。

解説 太陽からくる放射熱の量$Q$は，次式から計算で求める。

$$Q=\frac{m(\theta_2-\theta_1)}{S\cdot t}\ [\mathrm{cal/cm^2\cdot 分}]$$

$m$：水の質量〔g〕
$\theta_1$：最初の水温〔℃〕
$\theta_2$：日光を当てた後の水温〔℃〕
$S$：放射温度計の受熱面の面積〔$cm^2$〕
（寸法を測定し，計算で求める）
$t$：日光の照射時間〔分〕

# 82 断熱膨張と断熱圧縮の実験

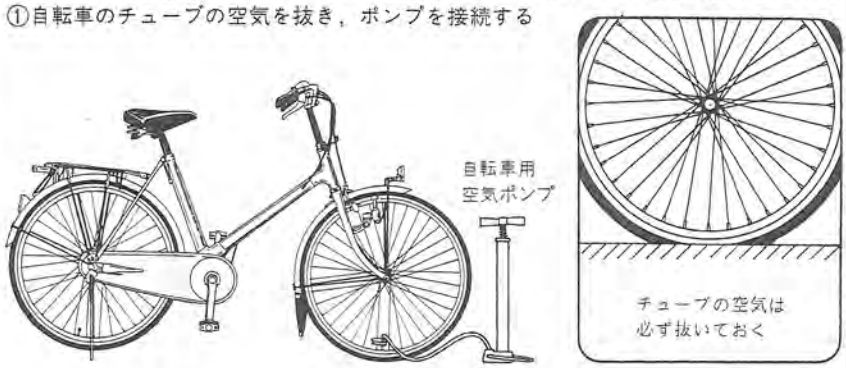
ねらい 由2　他からの熱の出入りを防いで気体を圧縮すると温度が上がり，膨張させると温度が下がることを，空気を例にとって調べることができる。

| 自転車用空気ポンプ　自転車　自転車用高圧空気ポンプ　スプレーの空き缶　サーミスタ温度計① 布　かん腸器(100cm³)　ビニル管　ガラス管　ゴム栓　丸底フラスコ(200cm³)　線香　プラスチック円筒(外径2.6cm，内径2cm，長さ10cm) |
|---|

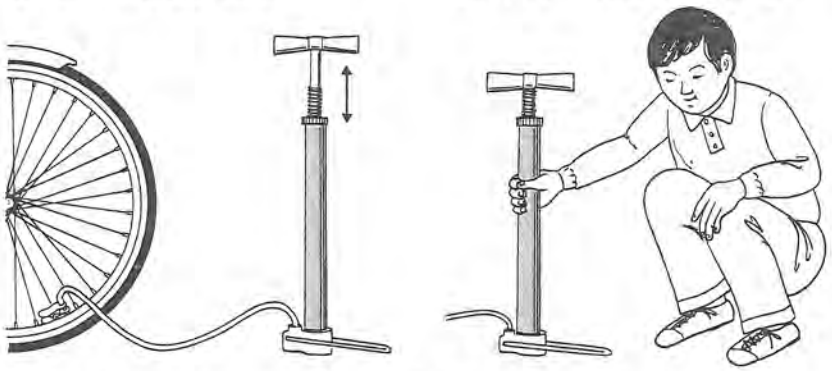
①デジタル温度計でもよい。

1 自転車用空気ポンプでチューブに空気を入れ，シリンダーの部分を触ってみる

①自転車のチューブの空気を抜き，ポンプを接続する




②チューブに空気を入れる　　③シリンダーの部分を触ってみる



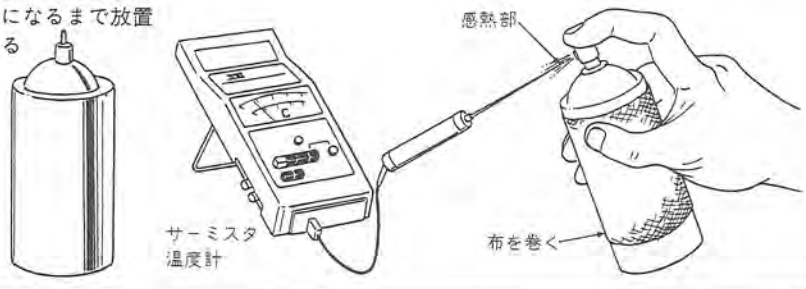
2 スプレーの空き缶に空気を入れ，缶に触ってみる

①スプレーの空き缶に空気を入れる　　②空気を入れた缶に触ってみる




3 スプレーの空き缶に空気を入れ，サーミスタ温度計の感熱部に吹きつけてみる

①スプレーの空き缶に2と同様の方法で空気を入れ，室温になるまで放置する　②サーミスタ温度計に缶内の空気を吹きつけ，温度の変化を調べる




1 ①解説 チューブの空気を抜いておくのは，空気を入れ過ぎてパンクするのを防ぐためである。

②留意点 できるだけ速く空気を入れるようにする。

空気を入れ過ぎないように，時々タイヤを押して点検する必要がある。このためには，2人で実験し，1人がポンプを押し，他の1人がタイヤを点検するようにするとよい。

③結果 空気を入れた後，ポンプのシリンダーに触ると，熱くなっていることがわかる。

2 ①留意点 この実験に使うスプレー缶としては，ラッカーなどの塗料が入っていたものは中味が全部出てしまわないため，不適当である。揮発性の物質が入っていたものを使用する。また，安全のため，さびていないものを使用する。

スプレーの空き缶に空気を入れる前に，キャップを押して中が空であることを確かめておく。

空気を入れるときには，スプレー缶のキャップをとり，ポンプの口金を押しつけながら注入する。

注意 あまり多量の空気を押しこむと，空き缶が破裂することがあり，危険である。破裂するときは，缶の上側か下側が飛ぶことが多い。したがって空気を入れているときは，缶の上方に顔を近づけないようにする。

また，空気を入れる際，缶の温度が上がっていることがわかったら，途中で注入を中止する。

②結果 スプレーの空き缶に空気を圧縮して入れると，缶が熱くなることがわかる。

3 ①留意点 内容物が出てこなくなったスプレー缶でも，新たに空気を入れると，空気といっしょに残留物が出てくる。したがって，何回か空気を出し入れし，内容物が完全に出てこなくなったスプレー缶を使用する。

その他については2①の留意点を参照。

注意 2①の注意を参照。

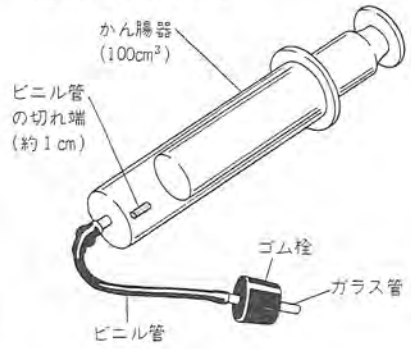
②留意点 空気を吹きつけるときには，スプレーのキャップをとりつける。

手の熱が缶内の空気に伝わるのを防ぐため，布を巻きつけて持つ。

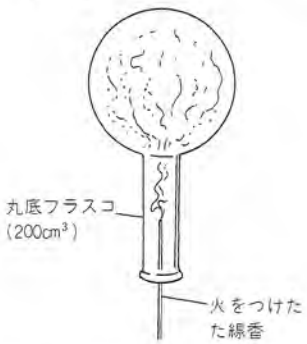
結果 スプレーのキャップを押して圧縮した空気を膨張させると，空気の温度が下がる(2～3℃下がる)ことがわかる。

4 煙と水を入れたフラスコ内の空気を圧縮したり膨張させたりしてみる

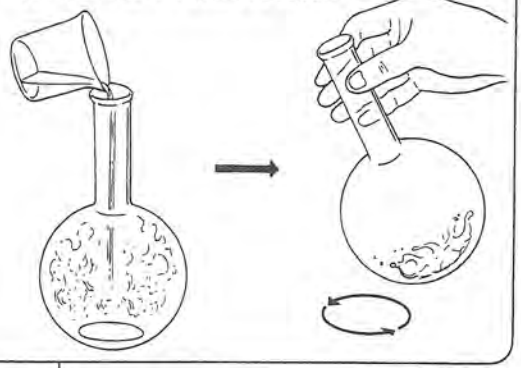
①かん腸器にビニル管，ガラス管，ゴム栓などをとりつける



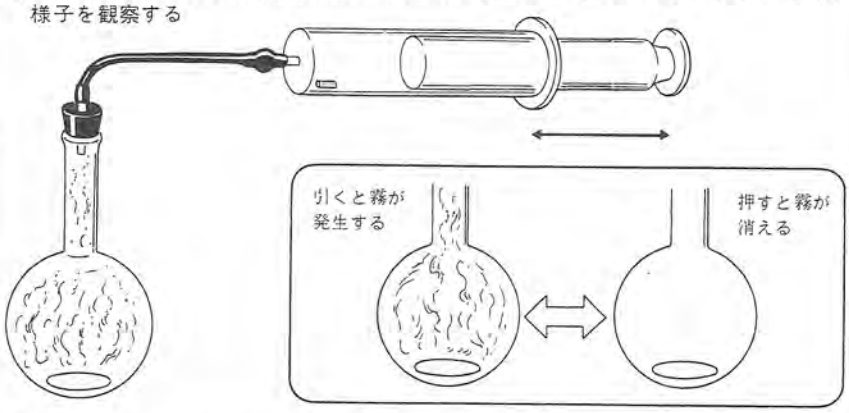

②丸底フラスコに線香の煙を入れる




③煙を入れたフラスコに約60℃の水を5 cm³ほど入れ，軽く振って水蒸気を充満させる

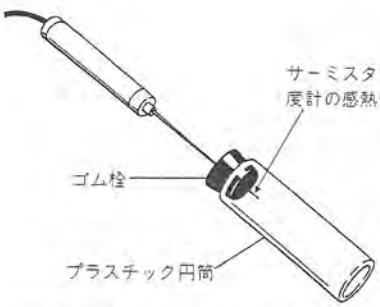


④かん腸器とフラスコを接続してからピストンを押したり引いたりし，フラスコ内の様子を観察する

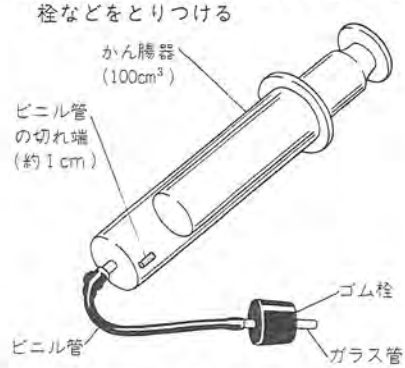



5 プラスチック円筒内の空気を圧縮したり膨張させたりし，温度変化を調べる

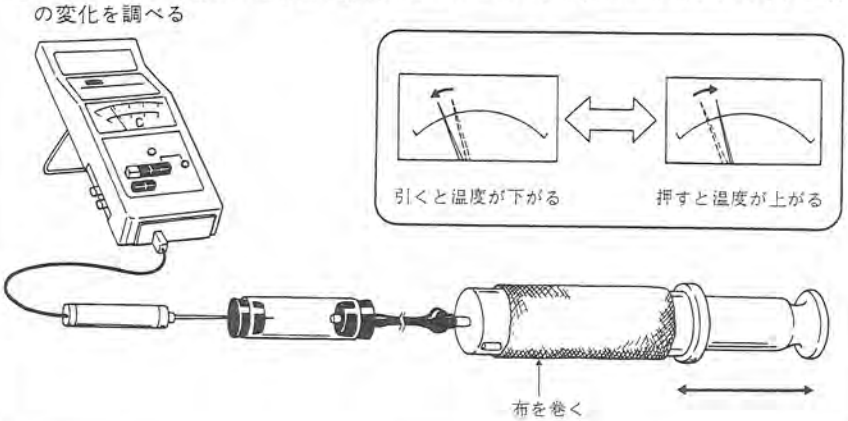
①サーミスタ温度計の感熱部にゴム栓，プラスチック円筒をとりつける




②かん腸器にビニル管，ガラス管，ゴム栓などをとりつける




③プラスチック円筒とかん腸器を接続してからピストンを押したり引いたりし，温度の変化を調べる




4① 解説 かん腸器のシリンダーの中にビニル管の切れ端を入れておくのは，ピストンを押したとき，シリンダーが破損するのを防ぐためである(5②も同様)。

留意点 ビニル管は，あまり長くしないようにする。

② 留意点 線香の煙を入れる代わりに，たばこの煙を吹きこんでもよい。

注意 フラスコの内部が減圧状態になるため，必ず丸底フラスコを使用する。

④ 留意点 かん腸器とフラスコを接続するとき，かん腸器のピストンは押しこんだ状態にしておく。また，ゴム栓が抜けたりしないようにしっかり差しこむ。

結果 ピストンを引くと霧が発生し，ピストンを押すと霧が消えることがわかる。

5① 解説 この実験では，サーミスタ温度計の代わりに，ふつうの棒温度計を使うことはできない。温度計内の液体の上昇速度や下降速度が遅いため，結果がわかりにくいからである。

留意点 ゴム栓をプラスチック円筒に差しこむときには，抜けたりしないようにしっかり差しこむ。

③ 留意点 かん腸器とプラスチック円筒を接続するとき，かん腸器のピストンの先端がシリンダーの中央付近にくるようにしておく。また，ゴム栓が抜けたりしないように，しっかり差しこむ。

かん腸器を手で持つときには，手の熱がシリンダー内の空気に伝わるのを防ぐため，布を巻きつけて持つ。

結果 ピストンを引いて内部の空気を膨張させると温度が下がり，ピストンを押して圧縮すると温度が上がることがわかる。温度の変化は，2℃程度である。

# 83 金属の熱伝導を調べる

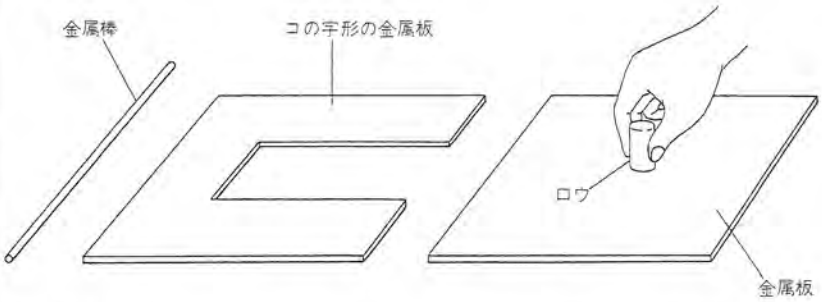
ねらい 小6　金属を熱すると，熱は熱した所から順に伝わっていくことが調べられる。

【A】金属棒と金属板① ろうそく（またはパラフィン） 加熱器具② スタンド 示温テープ（またはワープロ用感熱紙） 示温塗料 マッチ 【B】金属棒① 試験管 温度計 加熱器具②

①熱伝導率の大きい銅がよい。なければ，鉄や黄銅などでもよい。②アルコールランプかガスバーナー

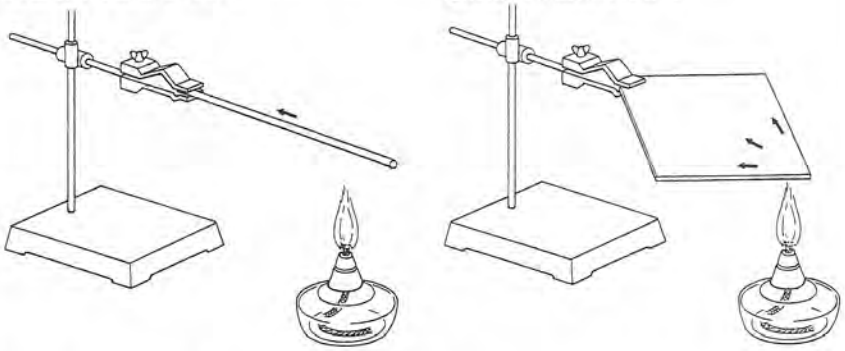
## 【A】金属板を熱が伝わっていく様子を観察する

1 金属棒や金属板を用意し，ロウを塗る



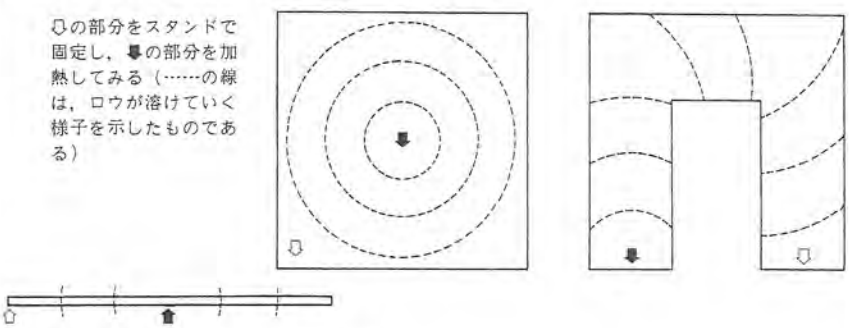

2 金属棒や金属板の一端を加熱し，ロウが溶けていく様子を観察する

①金属棒を加熱してみる　②金属板を加熱してみる

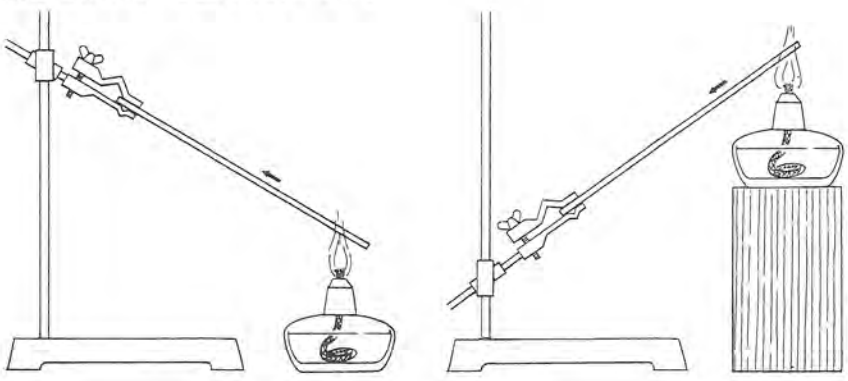


3 熱する部分や金属板の形を変えて調べてみる

⇩の部分をスタンドで固定し，⬇の部分を加熱してみる（……の線は，ロウが溶けていく様子を示したものである）



4 金属棒の傾きを変えて調べてみる



### 【A】金属板を熱が伝わっていく様子を観察する

1 留意点 ロウは，一様に塗るようにし，あまり塗り過ぎないようにする。金属を少し温めてから塗ると，塗りやすい。
また，ロウを塗ったあとで少し温め，ロウが溶けて均一になったら，それを冷やして使うのもよい。

2 解説 金属棒の実験を行ってから金属板の実験を行うようにする。これは線の熱伝導から，面の熱伝導へと理解を深めていくようにするためである。
留意点 熱源としてガスバーナーを使用するときには，熱源からの放射熱を遮るため，木の板などでついたてをしたほうがよい。

3 留意点 金属棒や金属板は，図のような形のものだけでなく，いろいろなもので試してみるとよい。
ロウが溶けていく速さについても，よく観察しておく。

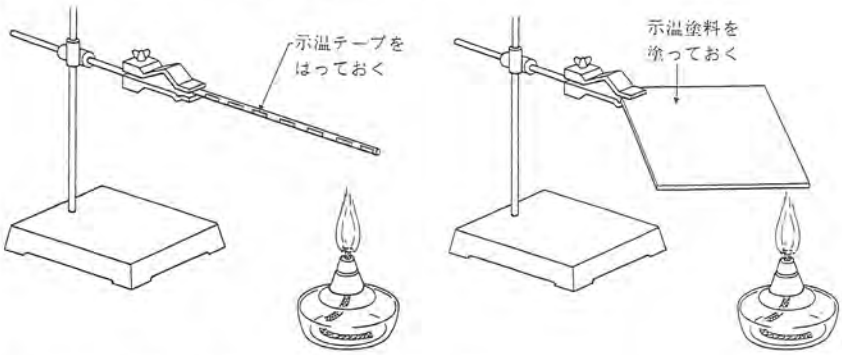
4 解説 金属の傾きによって，熱の伝わり方が違う，と考える生徒もいる。したがって，このような多様な実験をとり入れることが望ましい。

解説 金属に塗ったロウは，熱した部分から順々に溶けていく。つまり，熱が順々に伝わっていくのである。このような現象を熱の伝導という。

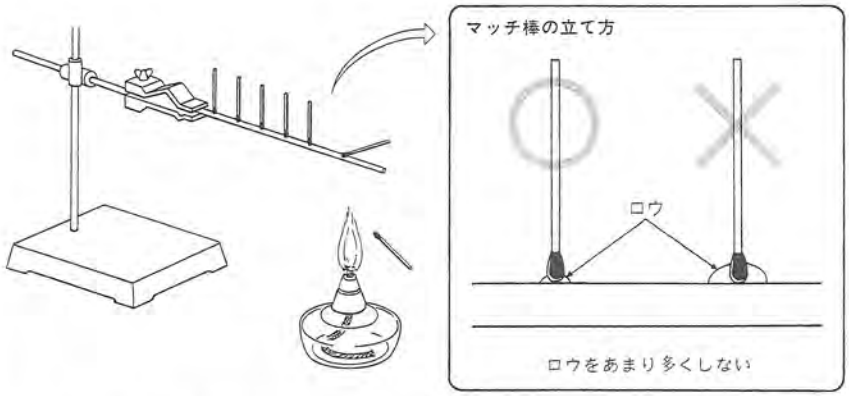
参考 金属の一部を熱すると，熱は温度の高い所から低い所に移動していく。そのため，金属全体の温度が上昇する。
しかしこのとき，放射などのため，金属表面から失われていく熱もある。熱源の温度を一定に保っておくと，金属がある温度に達したとき，金属が熱源から受ける熱量と金属表面から失う熱量が等しくなる。したがって金属は，一定温度を保つようになる。
このような理由から，熱伝導の実験では，伝導熱に対する放射熱の比率をできるだけ小さくすることが望ましい。つまり，熱源としては，火力の強いガスバーナーがよく，金属としては，熱伝導率の大きい銅がよいことになる。

【別法】視覚的にとらえやすくする方法

1 感熱剤を用いて，色の変化を観察する

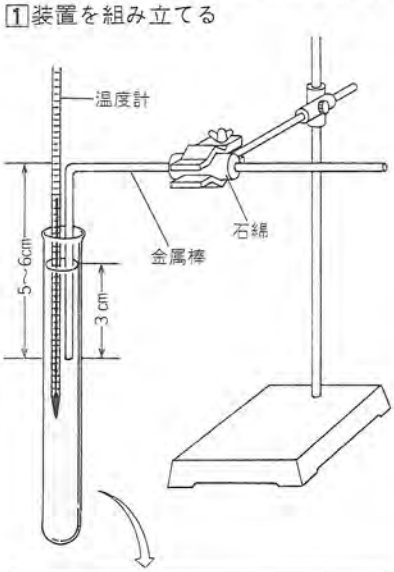



2 ロウでマッチ棒を立てて，倒れていく様子を観察する

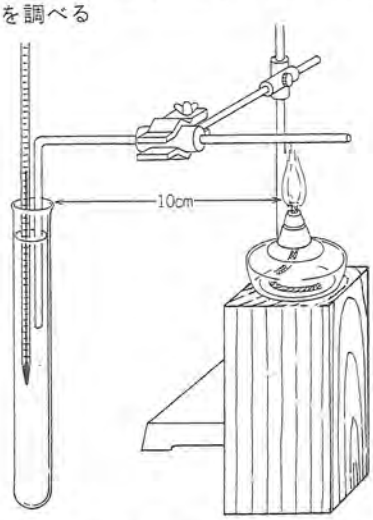



【B】水温上昇で金属棒の熱伝導を調べる

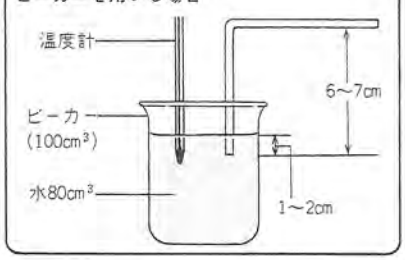
1 装置を組み立てる




2 金属棒の一端を加熱し，水温の変化を調べる




ビーカーを用いる場合




| 時間〔分〕 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 温度〔℃〕 | 30 | 34 | 40 | 46 | 56 | 64 | 70 | 74 | 80 | 85 | 87 | 88 | 90 | 90 | 90 |
| 試験管内の変化の様子 | | | | | | 泡がたくさんつく | | | | 上部が泡立つ | 上部2cmが沸騰 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 |

【別法】視覚的にとらえやすくする方法

解説 ロウが溶けていく様子も，もちろん目でとらえることができるが，次の方法は，より視覚的にとらえやすくしたものである。

1 解説 示温塗料や示温テープは，温度上昇とともに色が変化する。示温塗料や示温テープの，このような性質を利用したのが，この方法である。

留意点 示温テープは，細長く切って，所々にはるとよい。示温テープの代わりに，ワープロ用の感熱紙を用いてもよい。

参考 示温塗料調製の一例を次に示す。

塩化水銀(I)$Hg_2Cl_2$，ヨウ化カリウムKI，硝酸銀$AgNO_3$を次の重量比ではかりとる。

$Hg_2Cl_2$：KI：$AgNO_3$＝10：25：13

これを，①$Hg_2Cl_2$，②KI，③$AgNO_3$ の順に多量の水に溶かしていき，できた黄色の沈殿をデカンテーション（沈殿などの固形物を液体と分離するため，放置して固形物を沈降させたのち，容器を静かに傾けて上澄み液だけを流し去る操作）を用いてよく水洗いする。この沈殿物にのりを混ぜて紙や金属などに塗ればよい。約45℃で黄色から橙色に変わり，冷えれば，またもとの黄色に変わる。

2 留意点 マッチ棒をろうで固定するとき，ろうを多くつけ過ぎないようにする。多くつけ過ぎると，倒れる順序が不同になることがある。

【B】水温上昇で金属棒の熱伝導を調べる

1 留意点 金属棒は，温度変化を大きくして観察しやすくするため，なるべく太いものにしたほうがよい。

試験管の代わりにビーカーを用いてもよい。この場合，金属棒の水に浸す部分は，水面から2cm以内にしたほうがよい。

2 留意点 水温を調べるだけでなく，試験管内の様子も観察しておくとよい。

結果 実験データ例は別表のとおりである。ビーカーを用いた装置で，直径3mmの銅棒を約10分間加熱した場合，水温は4℃程度上昇する。

# 84 物質による熱伝導の違いを調べる

ねらい 小6　物質には，熱の伝わりやすいものと伝わりにくいものがあることが調べられる。

金属棒(銅または鉄)　ガラス棒　試験管　加熱器具　針金(銅と鉄)　木の台　ステンレス板　ロウ　マッチ

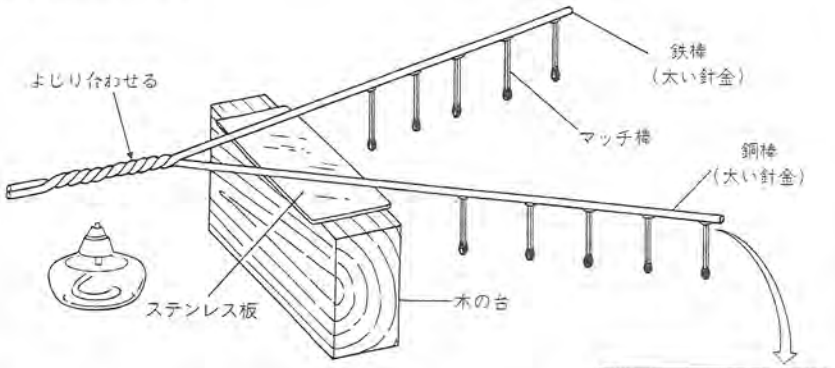
①アルコールランプがよい。②直径3mm以上のできるだけ太いもので，長さが30～40cm程度のもの。

1 金属棒，ガラス棒，試験管に入れた水を熱し，熱の伝わり方を比較する

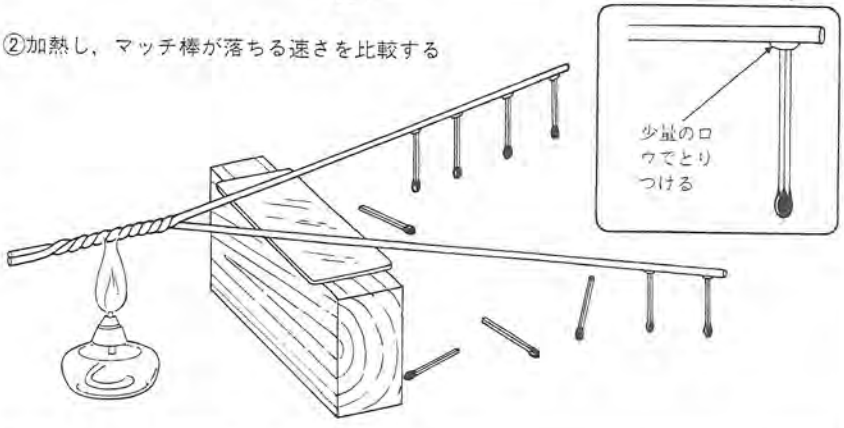



2 異種の金属棒の熱伝導の違いを調べる

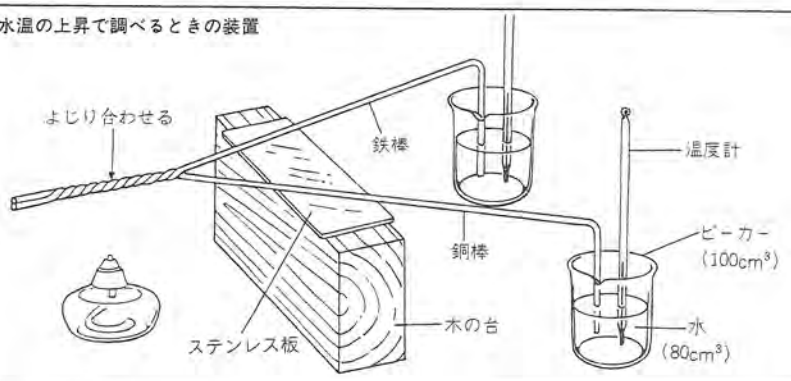
①装置をセットする




②加熱し，マッチ棒が落ちる速さを比較する




水温の上昇で調べるときの装置




1 注意 加熱の際，やけどをしないように注意する。特に金属棒を熱するときには，いつまでも熱していないで，熱くなったことがわかったら，熱するのをやめる。

結果 金属棒は熱すると間もなく熱くなるが，ガラス棒はしばらく熱していても熱くならない。また，試験管に入れた水は，上部だけが沸騰するようになっても底部はほとんど温まらない。このことから，熱の伝わる速さは，物質により異なることがわかる。

2 留意点 金属棒を支えるための台は，放射熱による影響を避けるため，図のような大きめのものを用いる。さらに，台に金属棒の熱が伝わるのをできるだけ防ぐため，台の上にはステンレス板を置く。

鉄棒と銅棒にマッチ棒をとりつけるとき，よじり合わせた所から，等距離等間隔になるようにする。また，このとき，ロウをあまり多くつけ過ぎないようにする。多くつけ過ぎると，実験がうまくいかないことがある。

結果 鉄棒よりも銅棒のほうが速くマッチ棒が落ちていく。このことから，鉄棒よりも銅棒のほうが，熱が伝わりやすいことがわかる。

参考 金属棒を伝わった熱が水温を上昇させることで，熱伝導の違いを調べることもできる。マッチ棒で調べる場合と同様の装置で，金属棒の先端を8cmぐらい直角に折り曲げ，ビーカーの中に入れた水の中に浸すだけである(左の囲み図参照)。この場合，1分ごとにそれぞれの水温をはかり，その記録をグラフ化する。

参考 **熱の良導体と不良導体**　熱の伝わり方は物質により異なるが，金属のように熱をよく伝える物質を熱の良導体といい，ガラスや陶器類，水銀以外の液体，気体のように熱を伝えにくいものを熱の不良導体という。

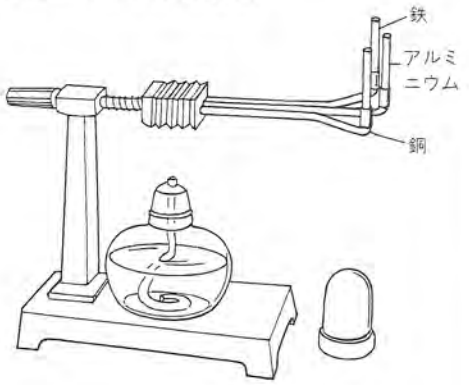
**温度上昇と熱伝導率**　金属棒の一端を熱したとき，他端の温度上昇は次式のような関係にある。

$$\text{温度上昇} \propto \frac{\text{熱伝導率}}{\text{比熱}\times\text{密度}}$$

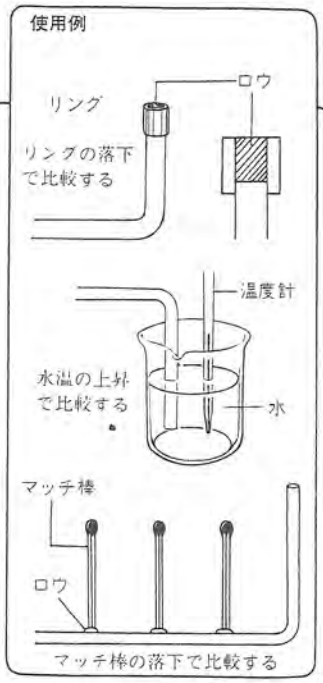
したがって，マッチ棒をとりつけて行う実験は，熱伝導率に比例している温度上昇を比較していることになる。同温に保たれた棒で行う水温上昇の比較実験が，本質的な熱伝導率の比較実験といえる。

【参考】市販の熱伝導比較装置

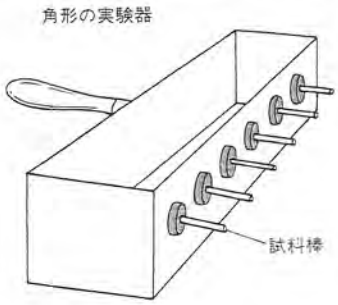
1 金属棒式熱伝導比較装置

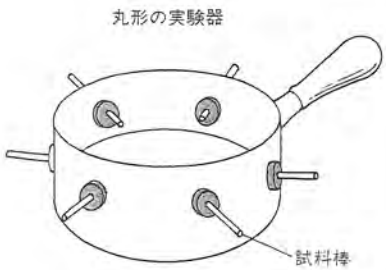



使用例




2 インゲンホース式熱伝導比較装置




【参考】市販の熱伝導比較装置

1 解説 試料は，銅，アルミニウム，鉄である。

留意点 加熱するときには，炎をあまり大きくしないようにし，炎の先端を加熱部に当てるようにする。

水温の上昇で調べるときには，放射熱を遮るためのついたてを忘れずにセットする。

2 解説 試料の先端にロウでマッチ棒を立て，容器に熱湯を入れて実験するための装置である。

試料は，銅，鉄，黄銅，アルミニウム，鉛，ガラスの6種である（メーカーによって少し違う場合もある）。

留意点 マッチ棒を立てるときには，ハンダごてで，ロウを米粒大ずつ溶かして立てるようにするとよい。ロウが多過ぎると，マッチ棒が正しい順序で倒れないことがある。

容器には，必ず80℃以上の熱湯を入れるようにする。容器を直接，加熱するようなことをしてはいけない。

## 熱の伝わり方を比ゆ的に説明する方法

熱は，高温度の物質から低温度の物質に移動する。この熱の移動には，伝導，対流，放射の3種がある。児童は，その違いをはっきりと理解できないことがある。熱は目に見えないものだけに，理解を困難にしているのかも知れない。そこで，これらの違いを説明するための一つの方法として，次のような説明法を紹介する






# 85 対流の実験

ねらい 小6 空気や水などの流体では，物質の移動により熱が伝わることが調べられる。

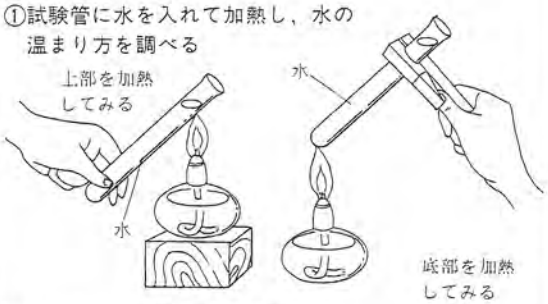
【A】試験管　加熱器具　Fケーブル　ニクロム線（300W用）　鳩目ピン　ビーカー　スタンド2　電源装置　温度計2　プラスチック板[1]　セロハンテープ　おがくず　丸底フラスコ　光源装置[2]　スクリーン　水槽　プリンカップ2　集気びん2　厚紙　ガラス棒

①温度計支持用と水槽用の透明のもの。②点光源に近いもの。
＊【B】については，別掲の準備するものを参照。

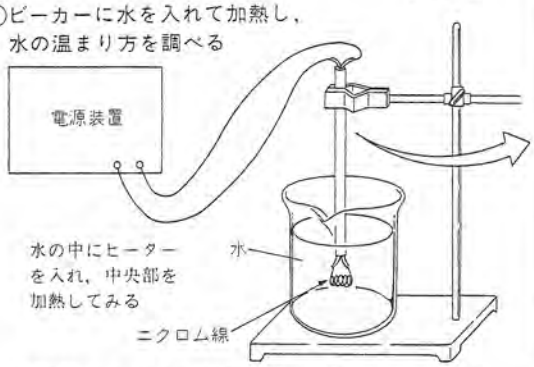
## 【A】水の対流を調べる

### 1 水の温まり方を調べる

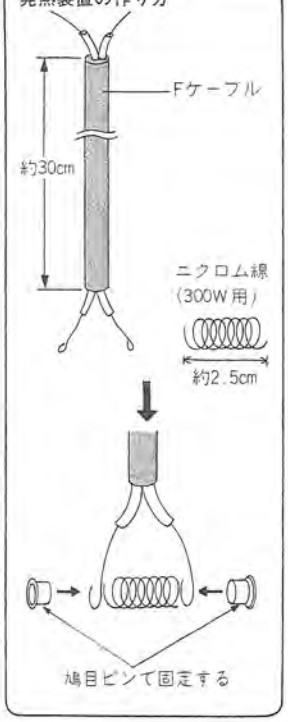
①試験管に水を入れて加熱し，水の温まり方を調べる




②ビーカーに水を入れて加熱し，水の温まり方を調べる

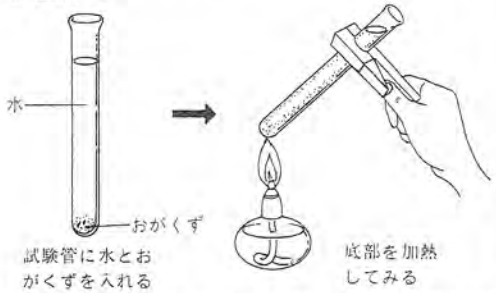



発熱装置の作り方

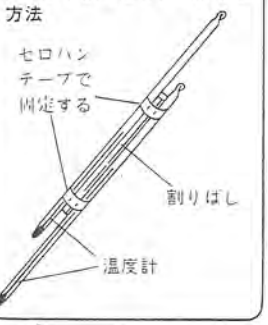



### 2 試験管の中の水の対流を調べる

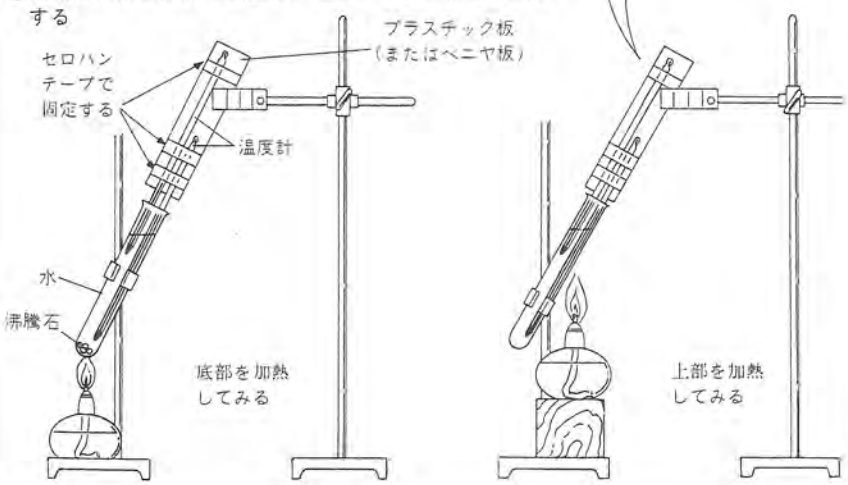
①試験管に水とおがくずを入れて加熱し，おがくずの動きを観察する




温度計を割りばしに固定する方法




②試験管に水を入れて加熱し，上部と下部の水温を測定する




## 【A】水の対流を調べる

1 解説 問題解決学習では，問題意識をどう醸成するかがかなめである。したがって，その場の構成が指導のポイントといえるだろう。ここに例示した2つの実験は，問題意識を醸成するためのものである。

① 留意点 加熱するときは，炎を小さくし，強く熱しないようにする。
突沸しない程度に熱したら，試験管の上部を熱した場合と底部を熱した場合の，水の温まり方の違いを比較してみる。温まり方を調べるには，熱するのを中止した後，しばらく放置し，手で触ってみればよい。

② 留意点 自作の発熱装置の代わりに，ハンダごてのヒーターを使用してもよい。
装置をセットしたら，しばらく放置し，水を静止させてから通電するようにする。
電流は，3～4A程度がよい。
通電後，ビーカーの上部と下部を手で触り，上部と下部が同時に温まるかどうかを確かめてみる。

2 ① 留意点 おがくずは，できるだけ細かいものがよい。そして，前もって水に浸し，十分水を含ませておく。
おがくずがない場合は，みそや水酸化カルシウム（消石灰）などを使ってもよい。
加熱するときは，炎を小さくし，強く熱しないようにする。
沸騰する前に，加熱をやめるようにする。

② 留意点 装置を組み立てるとき，温度計が試験管に触れないようにする。
加熱するときは，炎を小さくし，強く熱しないようにする。底部を熱するときには，沸騰石を入れておくとよい。
水温の測定は，20～30秒ごとに行うとよい。