

2005/9/23～9/24

2005年度 本郷祭

本郷中学：高等学校
科学部

科学部ホームページ <http://hongo-sci.hp.infoseek.co.jp>

目次

光、屈折とスペクトルについて	2
燃料電池	6
スターリングエンジン	10
誘導レール	14
リニアモーターカー	16
空気砲	18
竜巻	21
ホバークラフト	22

～光、屈折とスペクトルについて～

1～実験内容

光の性質の1つである「屈折」と「スペクトル」についてその現象を実験によって表し、原理を説明します。

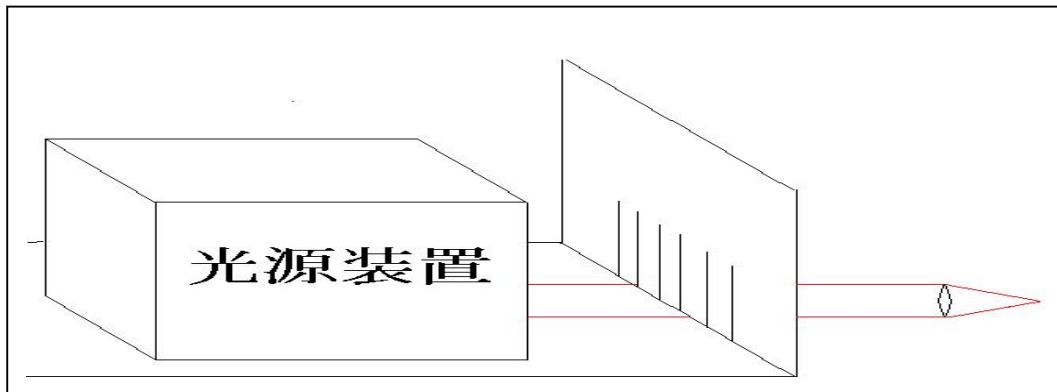
2～必要なもの

粉寒天（4g）、水500g、ペットボトル500ml（ファンタのような円筒形）、三角プリズム（大きさ問わず）、黒画用紙

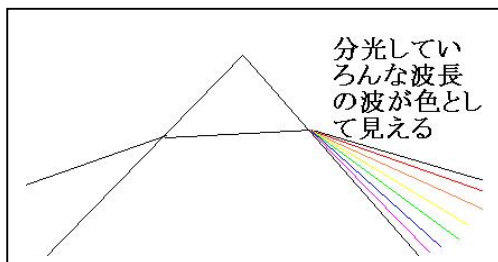
3～実験方法

- ①まず、水500mlに対し、粉寒天4gをよく溶かします。
- ②寒天が固まる前に、ペットボトルを丸い円形の部分を切り、同じ長さでさらに切り取り、レンズ状に重ね合わせ、レンズの形にします。
- ③それをプラ板のようなものを貼り付け、型をつくり、そこにまだ固まっていない寒天をいれて冷蔵庫で固めます。
これで1時間ほど固まらせると完成します。
- ④次に、光源を用意し（電球など）、黒画用紙でスリットを作り、そこから出た光を寒天レンズに当てると、屈折します。

完成図



- ⑤また、この光を三角プリズムに当てて角度を調節すると、虹のようなものができます。



4～原理について

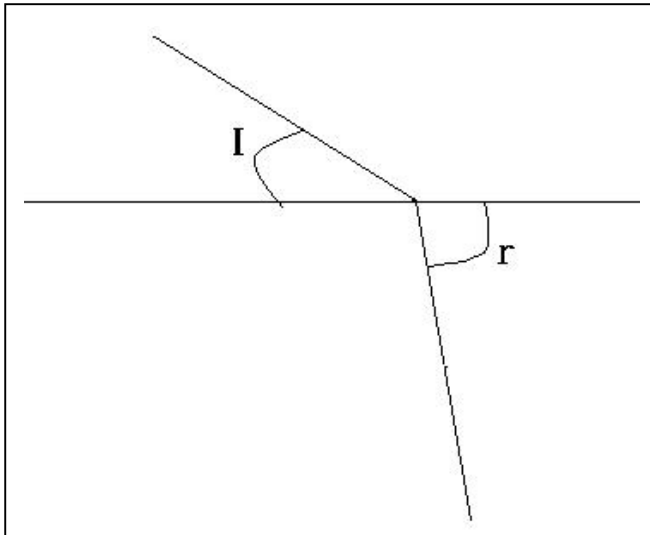
屈折について

そもそも屈折という現象は、光が空気や水などの異なる媒質中を進むとき、その境目で進む向きが変わることをいいます。

ではなぜ異なる媒質中を進むときに光が曲がるのでしょうか。それは異なる媒質中では光速度が異なるためです。

これによって、異なる媒質中では光の速度が変わるため、進む向きが曲がります。

曲がる時の屈折の角度について



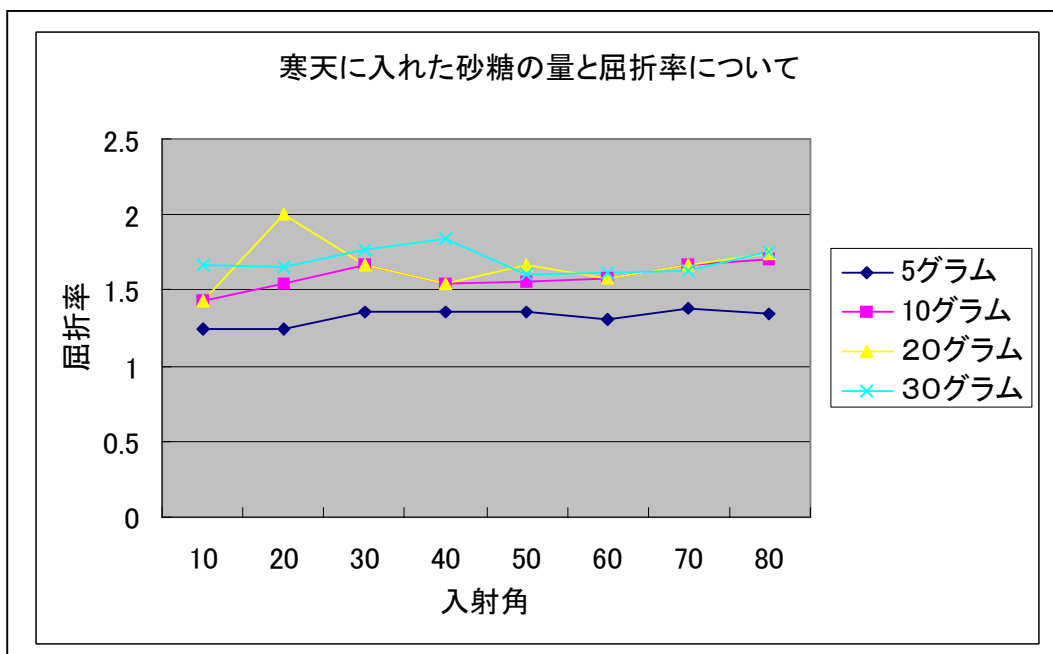
I を入射角、r を屈折角としたとき、屈折率 N は

$$\frac{\sin(i)}{\sin(r)} = N$$

と表すことができます。

今回、寒天に砂糖を加え、寒天内の密度を変えて実験してみました。

	10	20	30	40	50	60	70
5 グラム	1.25	1.25	1.36	1.35	1.35	1.3	1.38
10 グラム	1.43	1.54	1.67	1.54	1.56	1.58	1.67
20 グラム	1.43	2	1.67	1.54	1.67	1.58	1.67
30 グラム	1.67	1.66	1.76	1.84	1.61	1.62	1.63



今回の実験では、砂糖を加え、密度を変化させることで、屈折率が高くなることがわかりました。

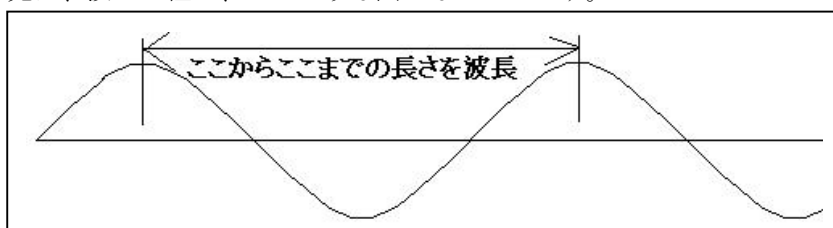
今後の課題は

- ・ ほかの物質でも同じことが言えるのか
 - ・ 30度から40度の時点での屈折率低下の原因
- の2点です。

スペクトルについて

太陽光線などを三角プリズムに入射させると、光線はプリズムの二つの面で屈折し、出てきます。この光線を白いスクリーンに当てると、赤、橙、黄、緑、青、紫の順に並んだ光の帯が見えます。この光の帯をスペクトルという。

光は、波の一種で、このような図になっています。



光は、それぞれ波長が違い、その波長の違いを色として認識します。



今回は分光プリズムで有名な三角プリズムを使用しました。
すると波長によって屈折率は変わるので、光が分光され、色が分かれます。

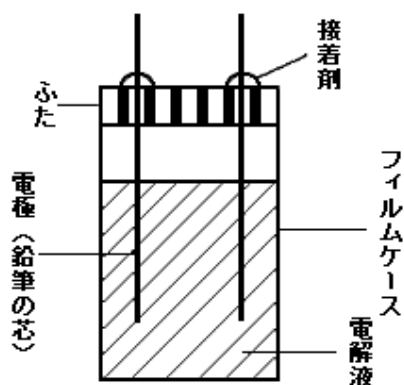
燃料電池

実験目的…今、未来のエネルギー技術として注目されている燃料電池を実際に作り、原理を理解する。

材料…フィルムケース、鉛筆の芯、電解液（コーヒー、紅茶など）、電池（9V）、導線

作り方…まず、フィルムケースのふた（きちんと閉まる物）に、キリで2ヶ所鉛筆の芯が通る大きさの穴を開けます。次に、木の部分をむき、適当な長さに切った鉛筆の芯をその穴に差し込み電極とし、穴を接着剤でふさぎ固定します。最後に中に電解液を注ぎ、ふたをすれば完成です。

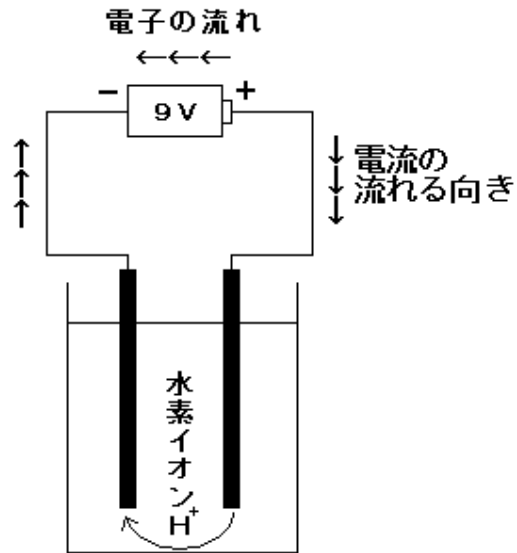
< 完成図 >



燃料電池を充電する

燃料電池から電気を発生させるためには**水素 (H₂)** と **酸素 (O₂)** という物質が必要です。水素と酸素は、水に電気を流すことで水が分解されて発生します。（しかし、水はそのままでは電気を流しにくいので、**電解液**を入れると反応が起りやすくなります。）これを、「**水の電気分解**」といいます。（ちなみにこの反応は **水→水素+酸素** または **2H₂O→2H₂+O₂** と表せます。）水の電気分解を行うには次のような回路を作ります。

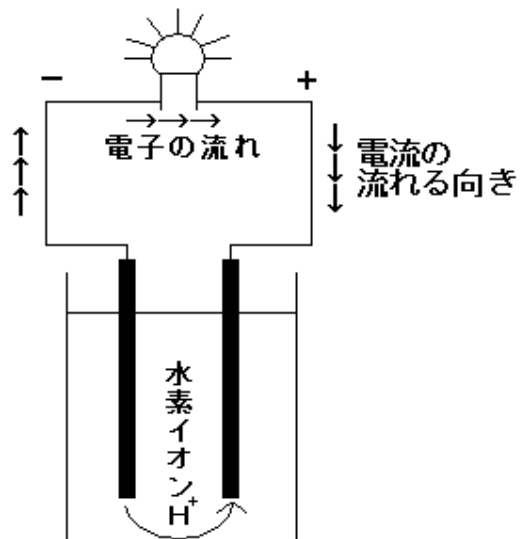
<電気分解の回路>



燃料電池で発電する

水の電気分解を数分間行くと、+極側の電極（陽極）には酸素の泡が、-極側の電極（陰極）には水素の泡が発生します。電気の発生を確かめるために次のような回路を作ります。

<電気の発生を確かめる回路>



このとき、水素と酸素が反応し**電気**と**水**ができます。(ちなみにこの反応は **水素+酸素→水** または $2\text{H}_2+\text{O}_2\rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ と表せます。) これを見ても、水の電気分解と燃料電池の反応は**正反対**の反応であるということがわかります。

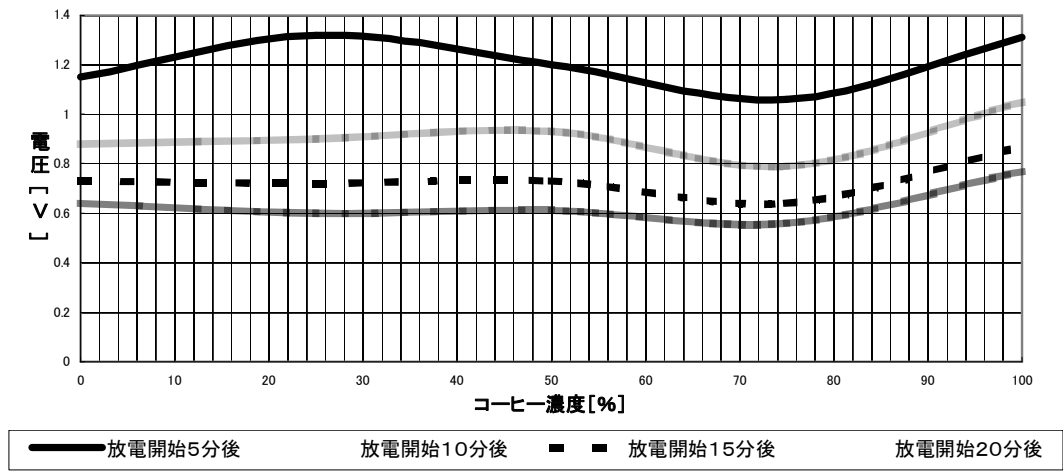
反応の詳しい原理

それでは、水の電気分解ではなぜ+極側に酸素が、-極側に水素が集まるのでしょうか。そもそも電流とは、**電子**という細かい粒子の流れのことです。実は電子は、-から+へ移動しているのです。物質は全て電子を持っているのです。電子を失ったり余計に持ったりしている物質を**イオン**と呼び、電子を失ったイオンを**プラスイオン**、電子を余計に持ったイオンを**マイナスイオン**といいます。電解液の中には、**水素イオン (H⁺)**、**水酸化物イオン (OH⁻)**などのイオンが混ざっています。このとき、水素イオンはプラスイオンです。電気を流すと、電子は-極側から出てくるので、水素イオンは-極で電子を受け取り、水素 (H₂) になります。よって、水素は-極側に発生するのです。それに対し、水酸化物イオンはマイナスイオンなので、水素イオンに電子を受け取られることで電子を失い、電子が流れ出る+極で酸素が発生するのです。

コーヒーの濃度と電圧の関係

科学部では、電解液であるコーヒーの濃度と燃料電池の性能の関係を調べる実験を行いました。まず、電解液として0% (水)、25%、50%、75%、100%の5種類の濃度が違うコーヒーと水を入れた燃料電池を用意しました。そして、それぞれの燃料電池を9Vで5分間充電。その後、LED (発光ダイオード) をつないで発光を始めてから5分、10分、15分、20分後の電圧とを調べました。この実験の結果が、次のグラフです。

コーヒー濃度と放電開始後の電圧



この実験から、電解液であるコーヒーの濃度は、25%、100%ほどが効率よく電気分解、発電が行え、また、75%ほどは燃料電池にはあまり適さないという傾向になることがわかりました。

スターリングエンジン

・ スターリングエンジンとは

1816年イギリスのロバート・スターリング牧師が発明した蒸気機関よりも安全なエンジンです。

蒸気機関はボイラーの中が高圧になるため、度々爆発事故を引き起こしていたもので、当時としては危険なものでした。最近では高い熱効率が実証され、再注目されています。

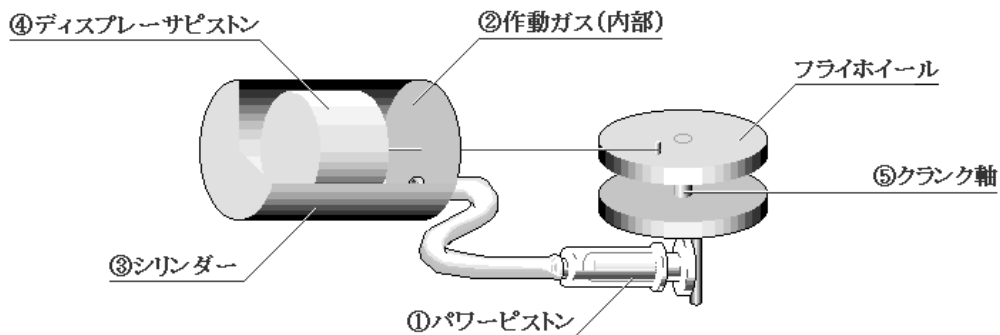
スターリングエンジンは密封されたガスを外部から加熱・冷却することにより、ガスの膨張・収縮を繰り返し動作します。その特徴には次のようなものが挙げられます。

- ・ 理論的に理想的な熱効率を有する
- ・ 外燃機関であるため熱源を選ばない（太陽熱・バイオマス・排熱等）
- ・ 排気ガスがきれいである

構造

スターリングエンジンは、

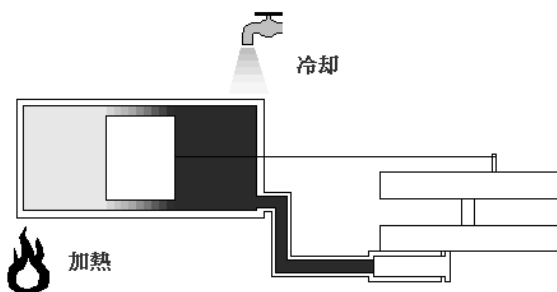
①主に作動ガスを膨張・収縮させる「パワーピストン」、②ピストンに仕事を与える「作動ガス」、③エンジン部の容器である「シリンダー」、④シリンダー内部で往復運動し内部の作動ガスを移動させる「ディスプレイサピストン」、⑤ディスプレイサピストンとパワーピストンを連結させる「クランク軸」、⑥作動ガスを加熱・冷却させるための「熱交換器」か



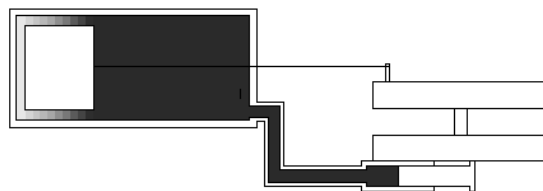
ら構成されています。

上記の構造をもつスターリングエンジンは次のような力の及ぼし合いをします。

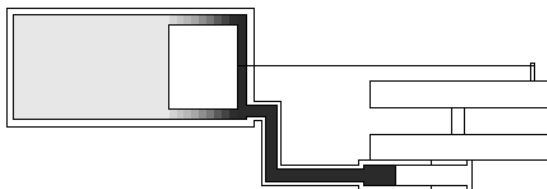
シリンダーの一方を加熱、一方を冷却する。



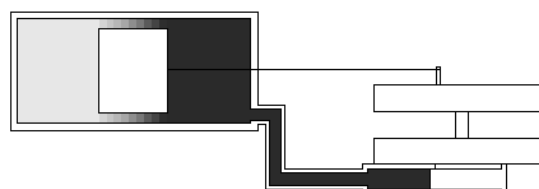
(1) 冷却部位の空気が加熱部位に移動し、温度が高温になり、それに伴い圧力が上昇する。



(2) 空気が膨張し、2つのピストンを押し、クランク軸を回す。



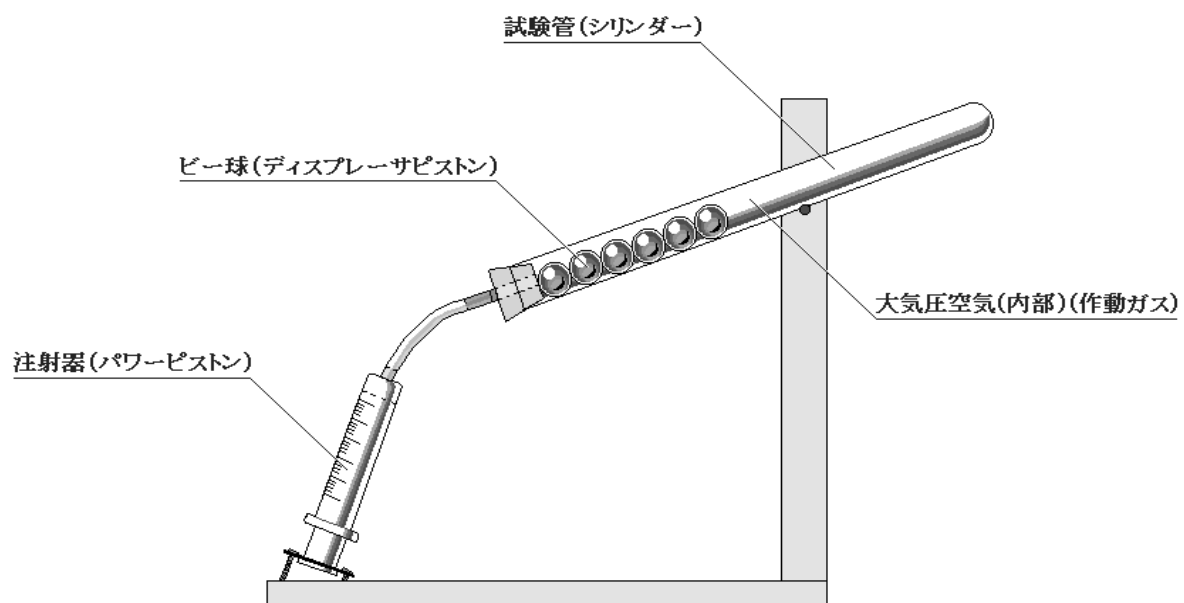
(3) 膨張した空気が低温の空間に移動、圧力が低下する。



(4) 空気が圧縮され、2つのピストンが元の位置に戻り、クランク軸を回す。

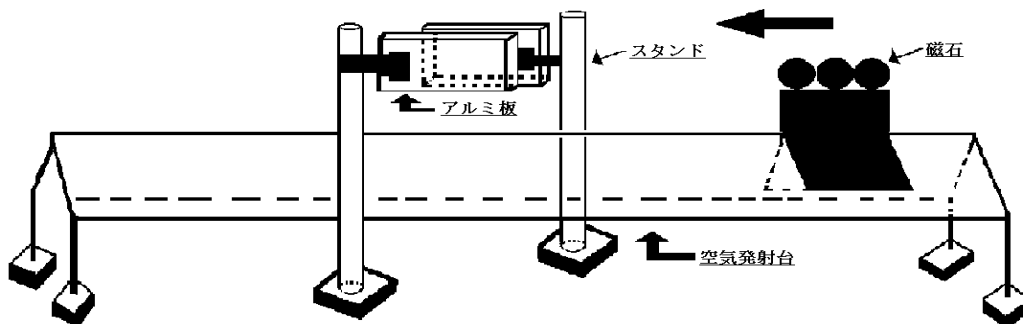
上に紹介したエンジンの構造は最も基本的なものです。そして大きく複雑なものでも、このような力の及ぼし合いになっています。

今回演示したビー球エンジンは、次のようにそれぞれの部位の役割に対応しています。



誘導レール（電磁誘導について）

この実験では、磁石が動いてアルミ板に近づくことにより、アルミ板の受ける磁力線は変わり電磁誘導が起こります。下図のような実験装置を作り、数値を測りました。



アルミ板の受ける磁力線数の変化は、まず①図のようにアルミ板に極が発生します。

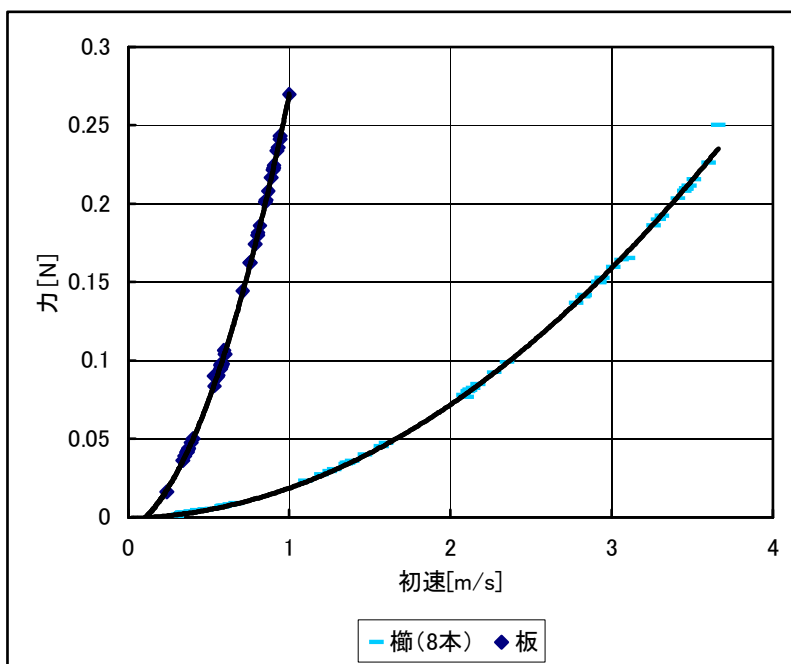
その後②図のように発生し、最終的に③図のように極が発生します。

①図の時、アルミ板の極と磁石の極が反発し、進行方向に対し力を受けます。

②図の時、磁石の前方からは反発する抵抗力を受け、磁石の後方からは引かれる力を受けます。

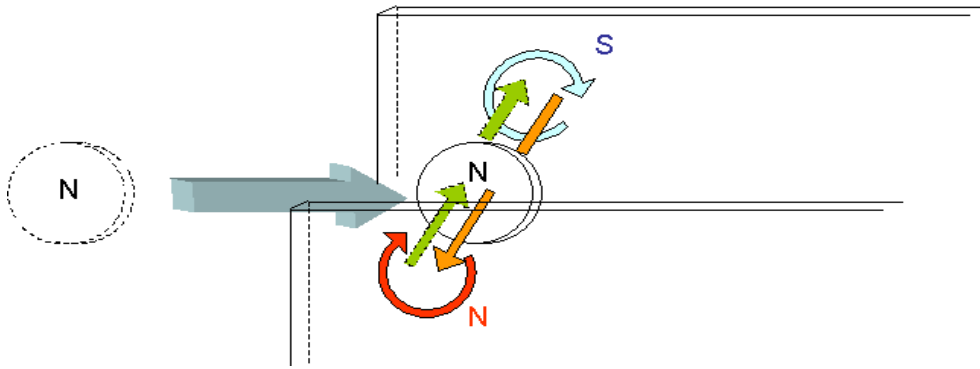
③図の時、アルミ板の極から引かれる力を受け、やはり力を受けます。

今回は、磁石の速さの変化を調べることで力の大きさを表しました。結果が下図です。



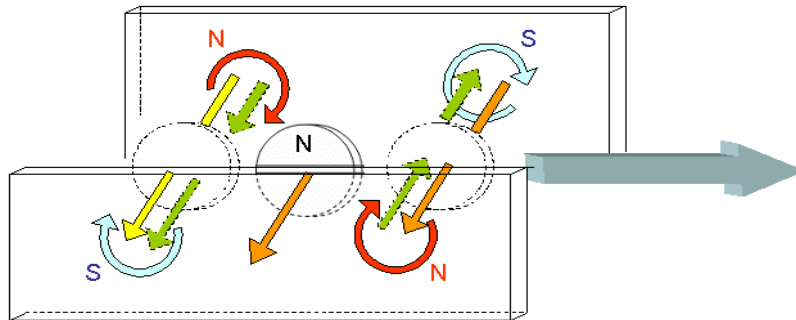
図①

← 磁石が動くことにより増える磁力線
 ← 電磁誘導による磁力線



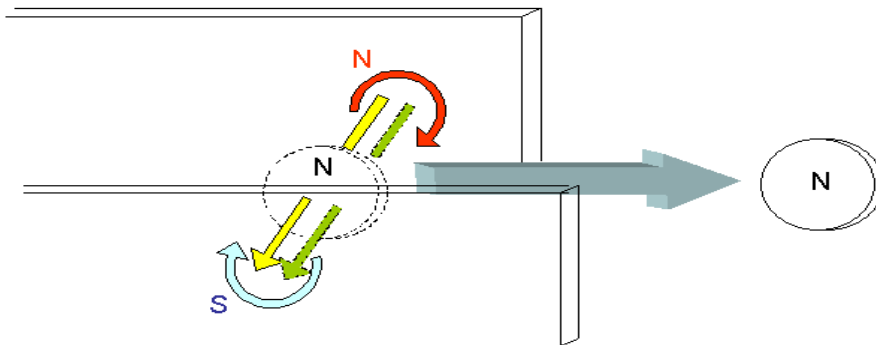
図②

← 磁石が動くことにより減る磁力線
 ← 磁石が動くことにより増える磁力線
 ← 電磁誘導による磁力線



図③

← 磁石が動くことにより減る磁力線
 ← 電磁誘導による磁力線



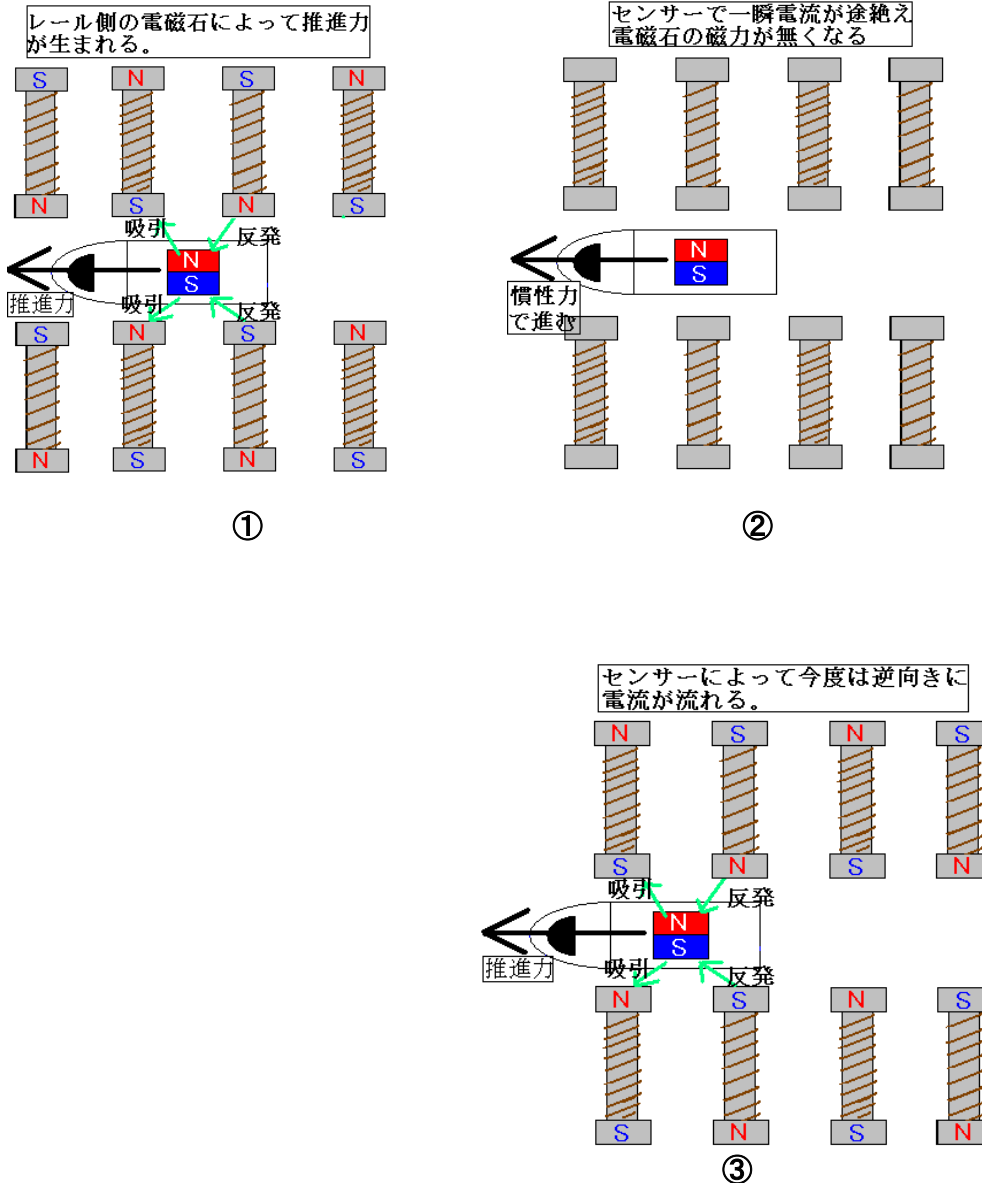
リニアモーターカー

・リニアモーターカーとは？

リニアモーターカーは、モーターを回転運動の代わりに、直線的(リニア)な運動をさせて動く乗り物(鉄道)のことです。

勘違いしている人が多いのですが、リニアモーターカーは必ずしも浮くものではありません(例: 地下鉄大江戸線など)。

モーターの回転運動を直線運動に変えるため、リニアモーターは回転式のモーターを直線状に引き延ばしたような形状になっています。



リニアの推進方法(本物のリニアの電磁石のNS切り替えはセンサーでやっています。科学部では、一号機は手動で、二号機は機械式で切り替えをしています。)

このように、電磁石の極性を次々と切り替えることで動かしていることがわかります。

基本的な動かし方は回転するモーターと同じなのです。

・リニアモーターであることの利点

レールと車輪によって走行する列車でも、動力としてリニアモーターが採用されているものがあります(地下鉄大江戸線など)。それは、次のような利点があるためです。

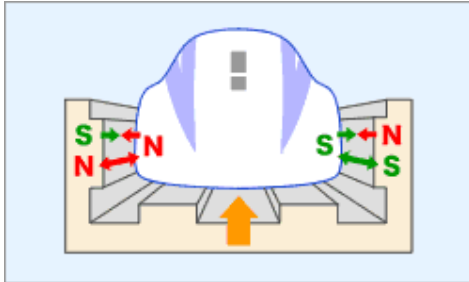
- > 車両断面を小型化できる。このためトンネル断面を小さくでき、建設費を削減可能。
- 駆動力を車輪とレールの摩擦に頼らないため、急勾配での走行性能が高い。

・浮上の原理とその有用性

マグレブ型(山梨リニア実験線タイプ)

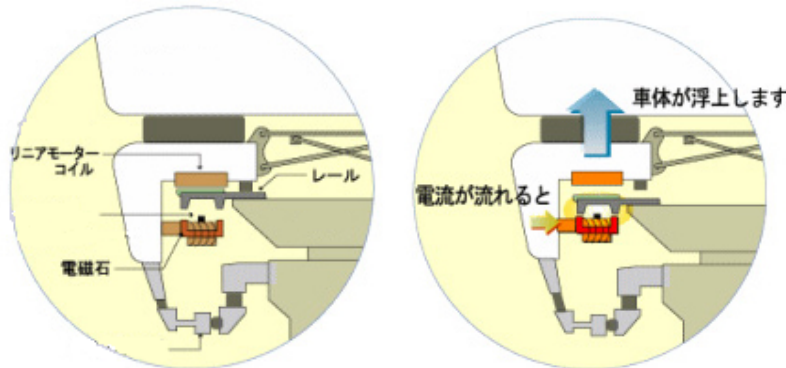
車両の**超伝導磁石**(超伝導状態では電気抵抗がないため、強力な電磁石を作れる。上の図の永久磁石の代わりにしている)が高速で通過すると地上の浮上・案内コイルに電流が流れ電磁石となり(電磁誘導の効果による)下図のように磁力が発生、上の電磁石による吸引力と下のコイルによる反発力によって浮上します。車両が中心からどちらか一方にずれると、自動的に車両の遠ざかった側に吸引力、近づいた側に反発力が働き、車両を常に中央に戻します。

ちなみに、リニアモーターカーというと「浮いて高速で走る」「超伝導」というイメージがあるのは、このタイプのリニアモーターカーが日本で一番有名なためです。



・HSST型(万博タイプ)

車体に取り付けられた電磁石に電流が流れると、磁力が発生し、鉄で出来たレールに向かって吸引力が生まれ、車体が浮きます。電磁石とレールとの間隔はギャップセンサーにより、常に一定の間隔を保つように制御されます。



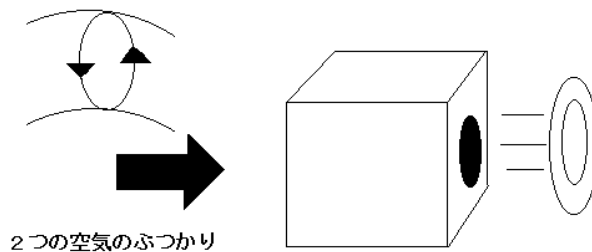
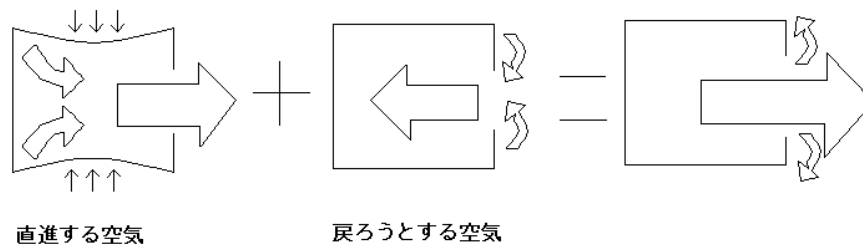
利点

- > 通常の鉄道のような車輪の摩擦を利用した加速でないため、**スピードの限界がない**。空気抵抗は速度の2乗に比例する。鉄車輪列車のレールと車輪の間の摩擦は速度に関係無く一定であるため、レールと車輪の摩擦力と空気抵抗が釣り合う速度が存在する。そのため、車輪を回しれ加速する方式ではそれ以上車輪を高速に回転させても空回りしてしまい、それ以上速度を上げることはできない。磁気浮上式鉄道ならば、加速を車輪の摩擦に頼る必要がないため、速度に限界がない。
- > 車輪とレールから発生していたような、甲高い騒音が発生しない。
- > 車輪やパンダグラフなどが無いため摩耗する部分少なく、保守・点検が楽。
- > 線路がないため鉄車輪車両のような**脱線事故がない**。往路と復路が独立しているため、**正面衝突の可能性もない**。

空気砲

空気砲とは、よく科学の実験で使われている非常に有名な実験です。たいていは、ダンボールで作られ、それをたたいて空気を飛ばすというものです。しかしこの簡単な空気砲の実験で、少し変わった現象が起こります。それは空気砲から出てくる空気がきれいなドーナツ型をしていることです。

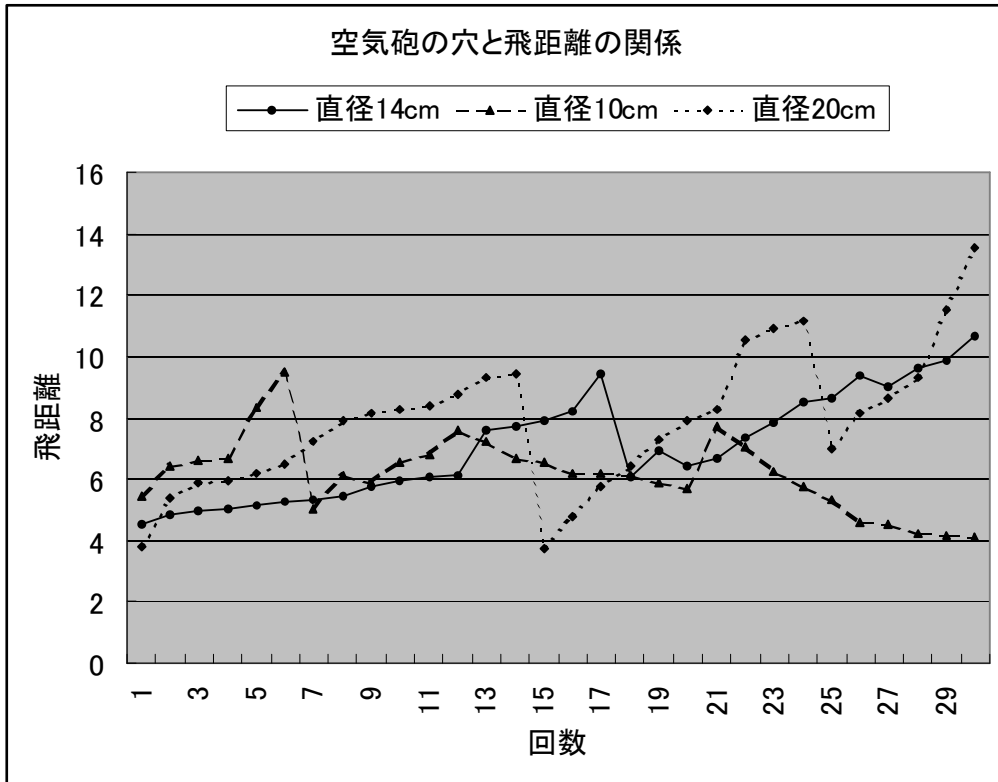
このドーナツ型の空気は、箱の両側面に力を加えることで発生するスピードの早い直進する空気と、ダンボール内から出て行った空気にため下った圧力を戻すために発生するダンボールに戻ろうとする空気がぶつかって抵抗を起こすことで生じ、ドーナツ型の空気の流れと同時に、ゆっくりと進む空気の流れも発生します。



このドーナツ型の空気は、周りの空気との空気抵抗が小さくなり、普通の空気よりも勢いよく遠くまで飛んでいきます。この空気の渦の規模を大きくしたのが竜巻です。

また、この空気砲の実験では、ダンボールにあける穴が大きすぎると、うまく実験を成功させることができません。

次のグラフは、穴の大きさの違う空気砲の飛距離を計測したものです。



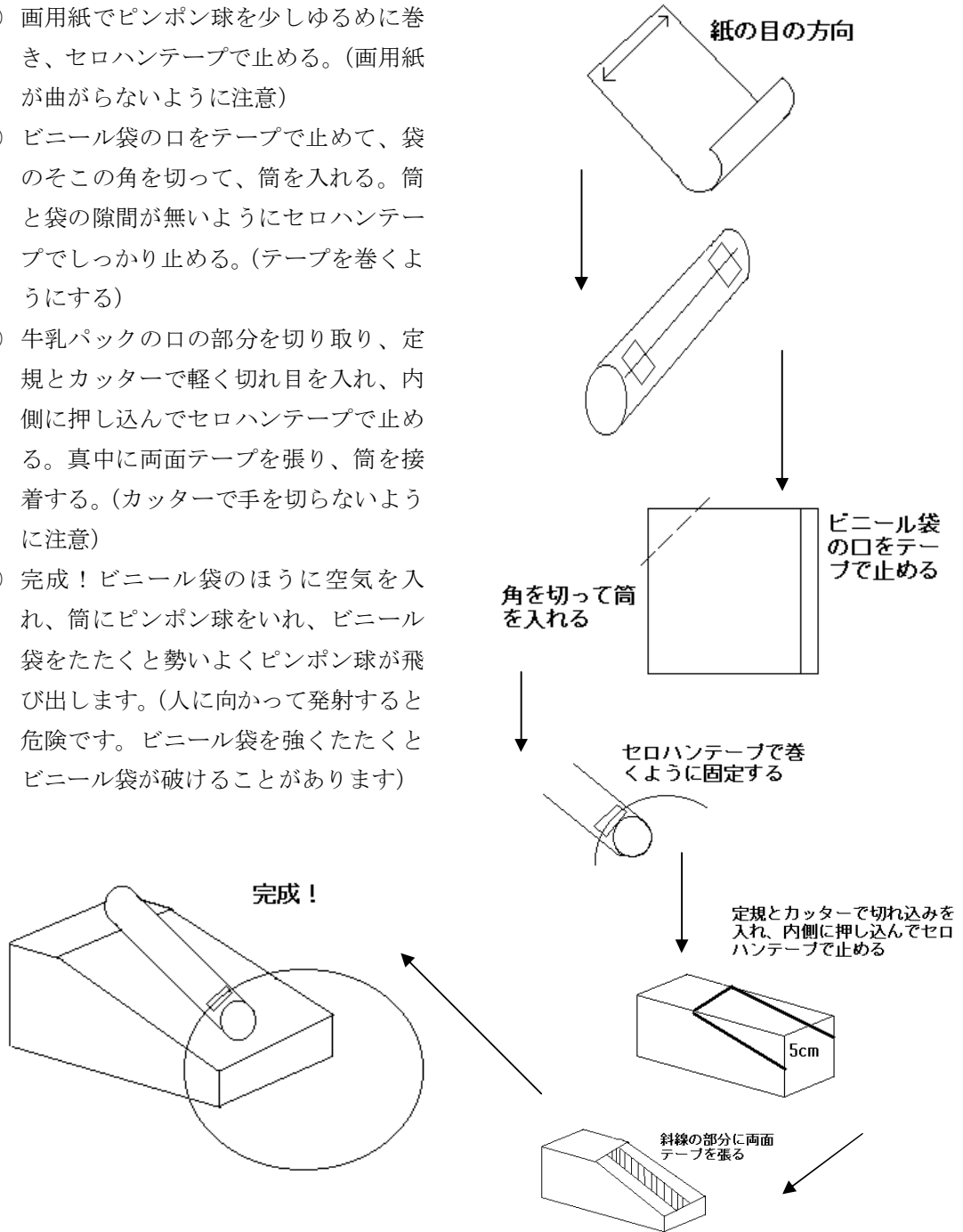
このグラフを見ると、穴の大きさが大きくなればなるほど最大飛距離と最小飛距離の値が極端になります。これは、穴の大きさが大きくなったため、戻ろうとする空気をふだんより大きく受けるため、直進する空気との力の均衡がとりづらくなっているからです。しかし、穴を大きくし、直進する空気と、戻ろうとする空気をうまくつりあわせることができれば、ドーナツ型の空気の飛距離を伸ばすことができます

空気圧ダーツの作り方

準備するもの 牛乳パック 1個 ピンポン球 1個 ビニール袋 1枚
画用紙 1枚 カッター セロハンテープ 両面テープ

発射台の作り方

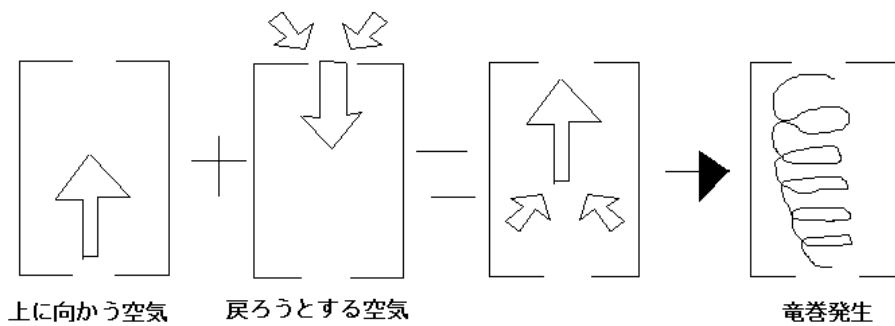
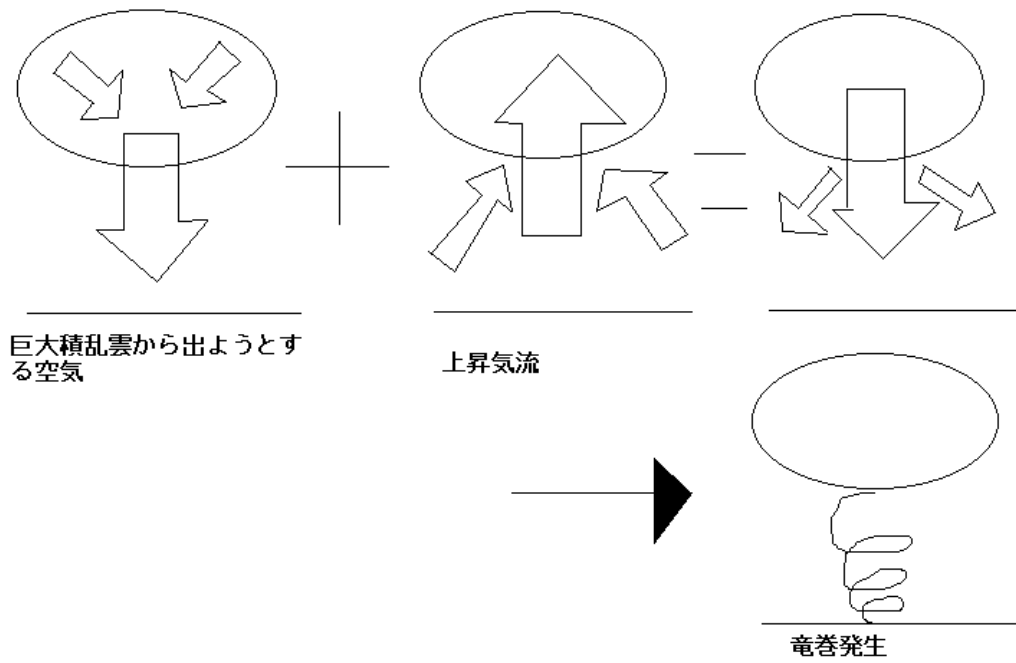
- ① 画用紙でピンポン球を少しゆるめに巻き、セロハンテープで止める。(画用紙が曲がらないように注意)
- ② ビニール袋の口をテープで止めて、袋のその角を切って、筒を入れる。筒と袋の隙間が無いようにセロハンテープでしっかり止める。(テープを巻くようにする)
- ③ 牛乳パックの口の部分を切り取り、定規とカッターで軽く切れ目を入れ、内側に押し込んでセロハンテープで止める。真中に両面テープを張り、筒を接着する。(カッターで手を切らないように注意)
- ④ 完成！ビニール袋のほうに空気を入れ、筒にピンポン球をいれ、ビニール袋をたたくと勢いよくピンポン球が飛び出します。(人に向かって発射すると危険です。ビニール袋を強くたたくとビニール袋が破けることがあります)



竜巻

竜巻は、巨大積乱雲（スーパーセル）下に回転のかかった上昇気流があると発生します。この巨大積乱雲がダンボールの、上昇気流が直進する空気の役割を果たします。

また、この竜巻発生装置の原理も同じもので、ペットボトルがダンボールの、上に向かう空気（上に上っていく霧と、掃除機に吸い込まれる空気）が直進する空気の役割を果たします。



ホバークラフト

【実験目的】 わずかな力で大重量の物体を動かせる「ホバークラフト」を作る。
そして、その原理を考察する。

【ホバークラフトとは】

ホバークラフトとは地面すれすれに上がり、地面との摩擦をなくして移動する乗り物である。

当科学部のホバークラフトは掃除機のモーターを使用している。

【浮く原理】

このホバークラフトの動力は掃除機の後ろから出る排気だ。

掃除機で人を浮かせることはできない。ではなぜホバークラフトは浮くのだろう。

それは「圧力」によって、掃除機の排気の何倍もの力を引き出しているからだ。

〈圧力〉

圧力とは、物がふれ合うとき、ふれ合う面の 1 cm^2 あたりを垂直に押し合う力。

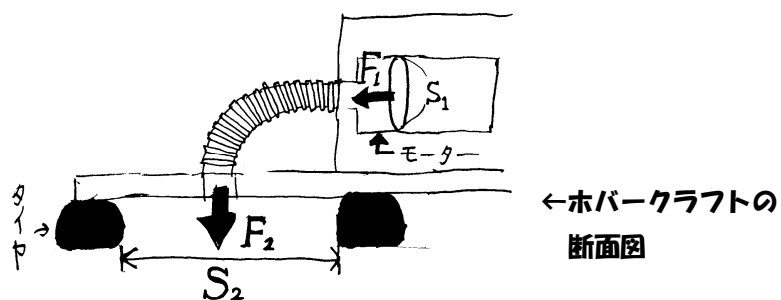
式で表すと以下のようなになる。

$$\text{圧力} = \frac{\text{面を垂直に押す力}}{\text{力がはたらく部分の面積}}$$

〈ホバークラフト〉

ホバークラフトの断面は下の図のようになっている。

ホバークラフトが浮くとき、モーターの部分とタイヤで囲まれた部分の圧力が同じになる。



その状態を前ページの式で表すと

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

両辺に S_2 をかけると

$$F_2 = \frac{S_2}{S_1} \times F_1$$

$S_2 > S_1$ なので $F_2 > F_1$ と言える。

よって、掃除機の排気よりも大きな力を取り出すことができるので、ホバークラフトは浮く。