

事例Ⅳ ものづくり「スターリングエンジンの仕組みを利用したおもちゃの製作」

1 準備

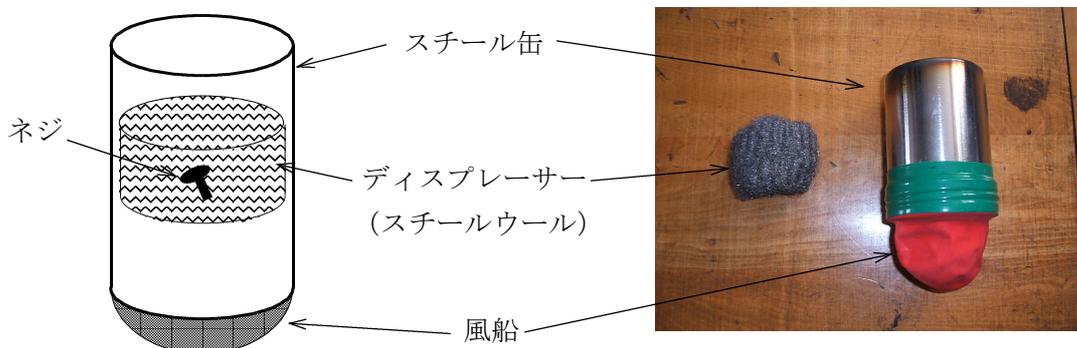
スチール缶(コショウ用の缶を利用)、風船、ビニールテープ、ステンレス板、スチールウール、プラモデル用タイヤまたはハンガー、トーチバーナー

2 ねらい

スチール製の空き缶を用いてスターリングエンジンを製作し、動作させることにより、熱機関に関する理解を深める。

3 製作の手順

- (1) スチール缶の中に入れるディスプレイサーをスチールウールで作る。スチールウールのサイズはスチール缶の内径より少し小さめにし、スチール缶内部でスムーズに運動できるようにする。また、スチールウールだけでは慣性が小さく、スチール缶に対する相対運動が起こりにくいので、スチールウールの中に小さなネジ等を入れる。
- (2) スチール缶の中にディスプレイサーを入れ、缶の蓋(プラスチック製)をする。缶の蓋には、空気が出入りできるような穴を開けておく。
- (3) スチール缶の蓋に風船をかぶせ、空気が漏れないようにビニールテープをしっかりと巻く。風船の口はそのままでは小さく缶にかぶせることができないので、はさみで口を広げておく。
- (4) 風船を取り付けたスチール缶を、写真のようにハンガーまたはタイヤの付いたフレームに固定する。



【タイヤを使用したタイプ】



【ハンガーを使用したタイプ】

4 動作原理

スチール缶の上部をトーチバーナー等で十分加熱してから、スチール缶を持ち上げ、手をはなすと、スチール缶は床と繰り返し衝突するが、ディスプレイサーであるスチールウールがスチール缶に対して相対運動を行うため、スチール缶内部の圧力が変動し、風船部の体積が変動する。この運動が持続するのは、スチール缶が床に衝突する際、その直後に風船部の体積が急激に増加し、スチール缶に対して正の仕事をするためである。なお、スチール缶に対してディスプレイサーが相対運動を行う理由として、以下の①、②が考えられる。

①スチール缶が床と衝突すると、スチール缶とディスプレイサーは共に上向き速度を得るが、スチール缶よりスチールウールの方がよく反発するため、ディスプレイサーはスチール缶に対して上に移動する。

②右の図のように、ハンガーやフレームを長さL、質量mの様な棒で表し、スチール缶を量Mの小物体で表したモデルとし、スチール缶に対するディスプレイサーの相対加速度について考える。床面と棒のなす角がθの瞬間の、棒の回転運動の運動方程式は、全体の慣性モーメントをIとすると、

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = mg \cdot \frac{L}{2} \cos\theta + MgL \cos\theta$$

となり、 $I = \frac{1}{3}mL^2 + ML^2$ を代入して角

加速度を求めると、

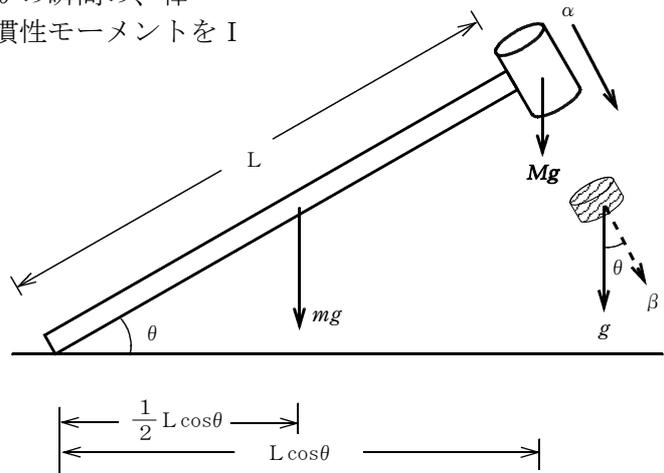
$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{\frac{1}{2}m + M}{\left(\frac{1}{3}m + M\right)L} g \cos\theta$$

で、缶の加速度の円周方向の成分をαとすると、

$$\alpha = L \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{3m + 6M}{2m + 6M} \cdot g \cos\theta$$

である。一方、ディスプレイサーの加速度の円周方向の成分βは、摩擦や空気抵抗を無視すると、 $\alpha > \beta$ であるから、 $\beta = g \cos\theta$ であり、缶に対するディスプレイサーの加速度の円周方向の成分は、反時計回りの向きであることが分かる。

次に、このエンジンのサイクルを示す。



(I) 膨張



○スチール缶が着地すると、ディスプレイサーも下部に移動する。



○空気の大部分が高温部に移動し、スチール缶内部の圧力が増加するため風船がふくらみ、その反動でスチール缶がジャンプする。



(II) 収縮



○スチール缶が上昇するとき、ディスプレイサーはスチール缶の上部へ移動する。



○空気の大部分が低温部に移動し、スチール缶内部の圧力が減少するため、風船がしぼむ。

その後は(I)、(II)を繰り返す。

5 市販のスターリングエンジンキットについて

(1) 概要

「大人の科学vol.10」(学研)の付録キットである「低温度差スターリングエンジン」を組み立て、演習実験で用いたところ、熱機関の原理を説明する際に大変効果的であった。

このスターリングエンジンは、容器の上部と下部に約20℃以上の温度差を与えることで動作し、寒い日であれば手で下部を暖めるだけで動作する。温かい教室においても、湯を入れたマグカップの上に置いて下部を加熱したり、上部を氷で冷却したりすることによって、長時間、勢いよく動作させることができる。



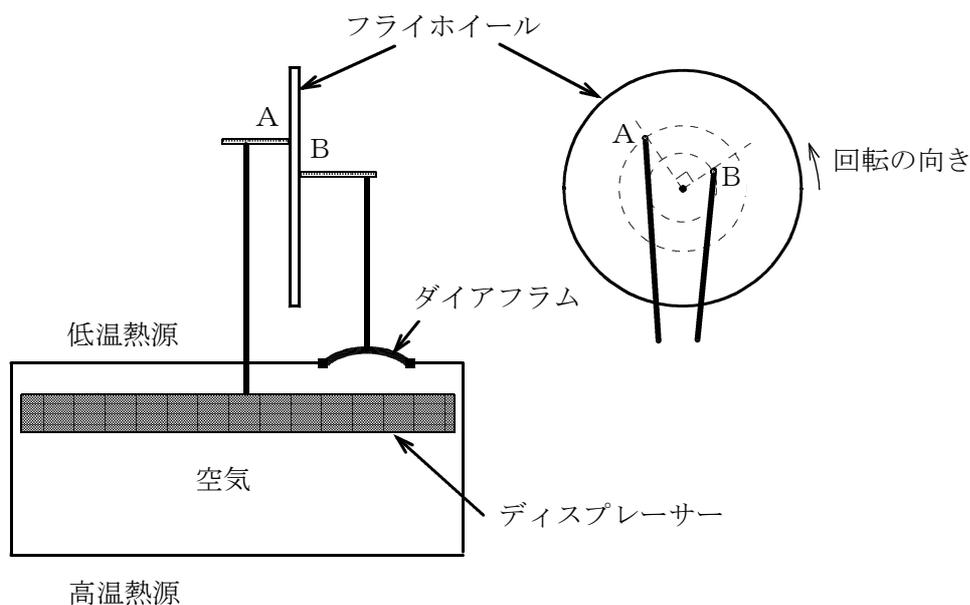
【マグカップの湯で下部を加熱】



【上部を氷で冷却】

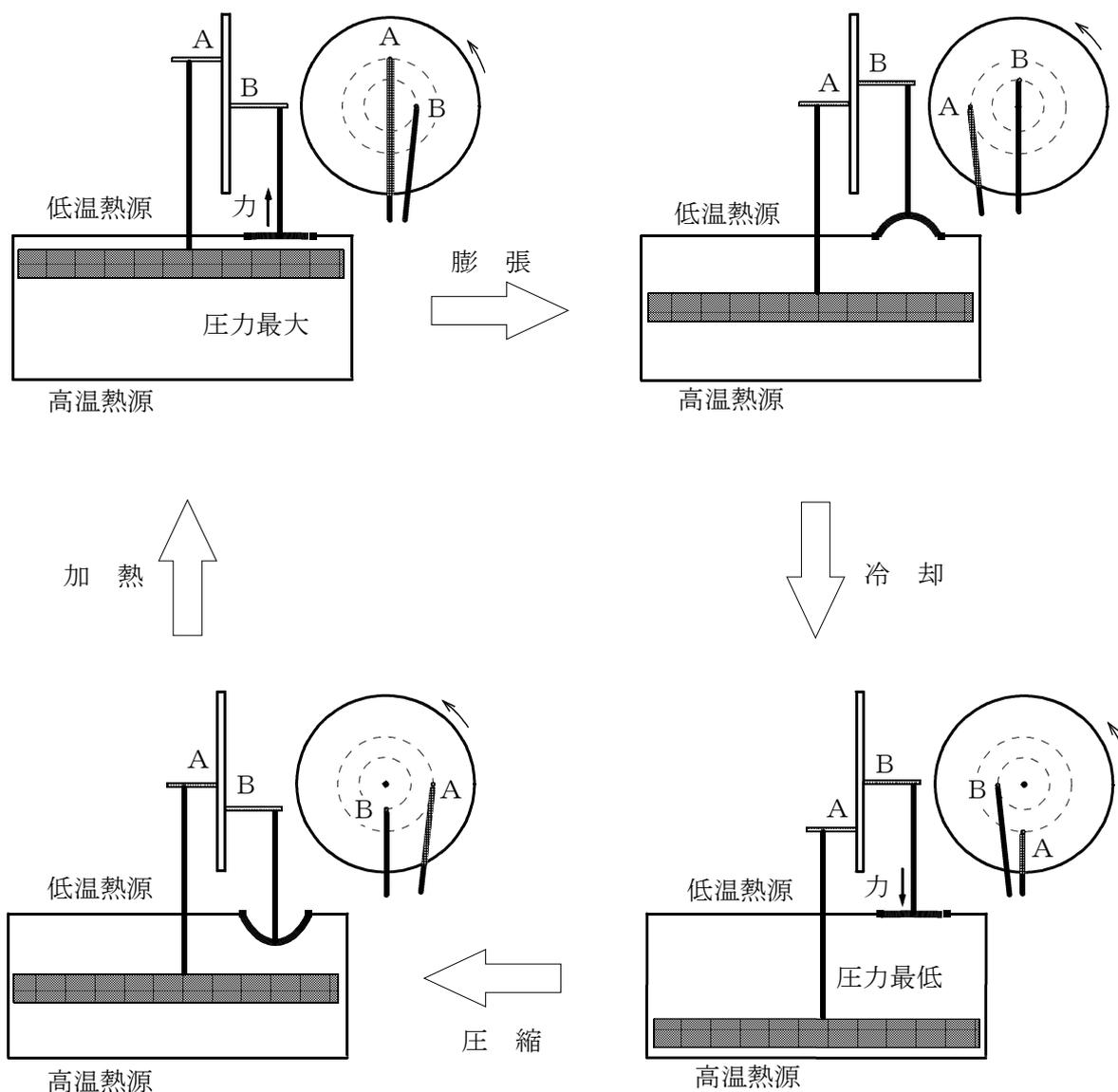
(2) 構造

このスターリングエンジンは、図のように、空気を閉じ込める容器、内部の圧力変化に応じて上下し、フライホイールにトルク(力のモーメント)を与えるダイアフラム(パワーピストン)、フライホイールの回転に連動して、空気を高温部と低温部の間で移動させるディスプレイサー(置換器)から成っている。ダイアフラムとディスプレイサーは位相差90°で上下するようにフライホイールに取り付けられている。



(3) 動作原理

図のように、フライホイールの回転に伴ってディスプレイサーが上下に動き、容器内の空気が高温部と低温部の間で移動を繰り返すことによって、圧力の変動が生まれる。ディスプレイサーと90°の位相差で上下運動するダイヤフラム（パワーピストン）は、この圧力変動を受け、フライホイールに常に同じ向きのトルクを与えるため、フライホイールの回転が持続するようになっている。



6 参考文献・URL等

- ・学研 大人の科学 vol.10
- ・<http://members.jcom.home.ne.jp/kobysh/experiment/Cooler/cooler1.html>
- ・<http://members.jcom.home.ne.jp/kobysh/experiment/P-can/pcan.html>
- ・テレビ東京「ロボつく 空想科学バラエティ」 2009年6月7日放送