

回れ！ペットボトル

富山県立入善高等学校自然科学部物理班
3年

1. 動機および目的

1.5 リットルペットボトルに穴をあけ、ストローを取り付けて放水口とする。このペットボトルを水で満たし、天井から糸でつり上げて手を離す。すると、放水口から水が流れ出し、ペットボトルは回転する。さて、どのようなストローを配置すれば1.5リットルという限られた水の量で多く回転する装置を作れるだろうか（図1）。

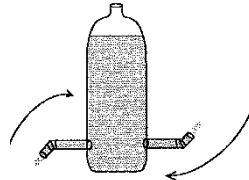


図1 製作の一例

なお、本研究はとやま科学オリンピックの高校物理部門の問題を参考にした。競技では最大138回、回転させたチームがあったそうである。成績的には振るわなかった出場者（30回転）の話聞き、どのようにストローを配置すればペットボトルがより多く回るのかを調べてみることにした。

2. 方法

実験Ⅰ 流れ出す水の速さの測定

ストローから流れ出る水の速さが速ければ、ペットボトルをより多く回転させることが出来るのではないかと考えた。そこで、穴の大きさや位置を変えてペットボトルから流れ出る水の速さを測定した。

ペットボトルから流れ出る水の速さは、水流の水平到達距離から求める。図2のように流出の初速度を V_0 とし、ほかの文字を図のように定義すると、 V_0 は

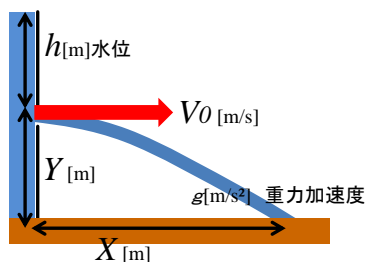


図2 水位と水の速さの関係

$$V_0 = \sqrt{\frac{2Y}{g}}x$$

により計算できる。

このことを利用して穴から測った水位 h の変化

によって水の速さ V_0 がどのように変化するかを調べた。また、放出口の大きさで水の放出速度が変化するのか、放出口の位置が変化すると水の放出速度が変化するのかの2点についても調査した。

実験Ⅱ ストローの付け方と回転回数

ペットボトルを実際に回転させ、どのような条件でペットボトルがより多く回転するのかを調べる。使ってよいストローの本数などは科学オリンピックの条件で実験する（図3）。



図3 実験に使用した道具

ペットボトルには1.5リットルの水を注ぎ、2号の糸でつるして回転の回数（以下、回転回数）を計測する。多く回転するものを製作するために、次のような実験をした。

- (1) 直径4mmのストローを用いて、ペットボトルに装着するストローの長さを5cm、10cm、15cmと変えたとき、回転回数がどのように変化するかを調べた。計測は3回行い、その平均を値とした。
- (2) 実験Ⅰの結果を踏まえて、流れ出る水の速さが速ければ回転回数が増えるかを調べる。具体的には、直径7mmのストローを4本束ねてペットボトルの底面に装着し、ストローをなるべく下の部分につければ、回転の回数は増すかを実験した。
- (3) 直径4mmの同じ長さのストローを用いて、ペットボトルの水の放出口の数（4つまで）を変化させたとき、回転回数がどう変化するかを調べた。計測は3回行い、その平均を値とした。
- (4) 実験において、水が残った状態では、水流が止まってもペットボトルが慣性で回り続けることが予想される。そこで、水を残して慣性を利用すれば、回転回数は増えるかを実験した。計測は3回行い、その平均を値とした。

3. 結果と考察

実験Ⅰ

まず、ペットボト

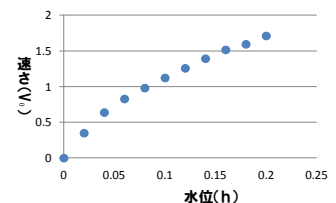


図4 水位と水の速さの関係

ルの底から 5cm の位置に直径 3mm の穴をあけて水を流出させた。水位 h (穴の位置から水面までの高さ) の変化に伴い、流出する水の速さ V_0 は、図 4 のように変化した。水位 h が高ければ、流出する水は速く、 V_0 は h の 1/2 乗に比例することが分かった。

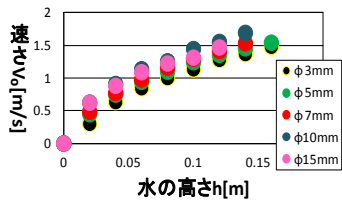


図 5 放出口の大きさの変化と速さの関係

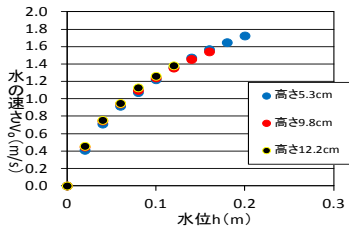


図 6 放出口の高さと水の速さの関係

次に、穴の直径を変えて測定した。結果を図 5 に示す。穴の直径を変化させても、その他の条件が同じ場合、流出する水の速さ V_0 はほとんど変化しないと言える。

さらに、ペットボトルの穴の高さによる水の速さ V_0 への影響を調べた。結果を図 6 に示す。穴の位置が変化しても、水位 h が同じであれば速さ V_0 は変化しないことが分かった。ペットボトルの太さは底面の高さによって一様ではないが、水の流出速度は穴からの水位によってほぼ決まり、穴より上にある水の体積にはよらないと言える。

実験 II

(1) ストローの長さ、回転回数は図 7 のようになった。ストローの長さが長いとモーメントが大きくなり、回転に有利にはたらくと予想したが、結果は逆だった。ストロー中を流れる水の速さが、摩擦で小さくなった

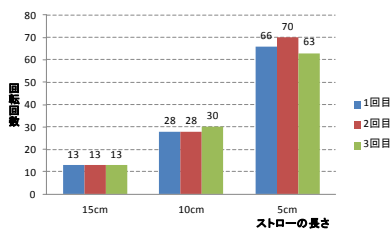


図 7 ストローの長さによる回転回数の変化

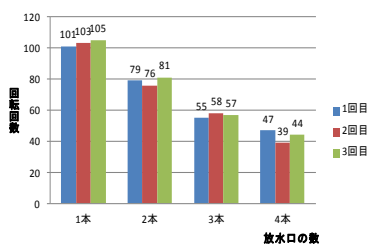


図 8 放水口の数と回転回数の変化

(2) ペットボトルの水位 +20cm だと 147 回転、ペットボトルの水位 +10cm だと 117 回転だった。

水位が高いほど多く回転することが分かった。

(3) ペットボトルと水の放出口の数と回転回数は図 8 のようになった。放水口の数が多いことで回転の速さが増す一方で、水の減りは早くなる。それぞれの効果が最大となる本数があると考えたが、結果的には水の減り方をゆっくりにした方が有利という結果だった。

(4) 表に示すように、水が多く残る慣性の大きいペットボトルに比べ、小さいペットボトルのほうが回転回数が多いという結果であった。

まとめ

実験 (1) ~ (4) より、ペットボトルを多く回転させるには、慣性を利用しない (水を使い切る)、水位を高くする (ストローを用いる)、水の放出口の数を 1 つとする、放水口となるストローの長さを短くするとよいことが分かった。その結果をふまえて実際に図 9 のようなペットボトルを製作したところ、最大で 242 回転させることができた。

4. 反省と課題

今回製作したものはあくまで一例であり、他にも底の部分につけるストローの太さなど、検討できる条件は多い。

また、とやま科学オリンピックの最後の問題には、「この装置を現実的にどのように応用するか」との問いがある。例えば雨樋に装着して、雨水を利用して発電することが考えられるが、ペットボトルにモーターを取り付けて、回転運動からエネルギーを得ようという試みは、モーメントが非常に小さくて上手くいかなかった。モーターが回るだけのものを作って 1.5L で、どれだけ発電ができるのかを確かめてみたい。

慣性	大きい	小さい
ストローの位置	17.9cm	6.1cm
形状		
回転回数	11 (± 2)	48 (± 3)

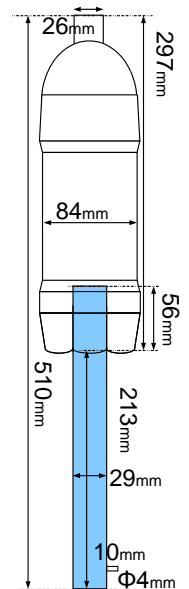


図 9 最も回転したペットボトル