

# クリップモータによる回転と発電の原理を学ぶ教材の検討

山口 静夫  
九州共立大学総合研究所

An Examination for a Teaching Material as the Principles of the Rotation and the Generation Concerning a Motor using Paper Clips

Shizuo YAMAGUCHI

## Abstract

As countermeasures of the energy deficiency based on an atomic plant accident caused by the 2011 Tohoku earthquake and tsunami, the wind power and the water power have been interested in renewable energies such as an inexhaustible clean energy. In the operating on a wind turbine and a water turbine, a motor is used to as a generator. This paper proposes a teaching material as the principles of the rotation and the generation concerning a clip motor suitable to address schoolchildren's. As a result, schoolchildren are understood about the rotation of a clip motor based on appearance of the N-pole and S-pole for a solenoid, generating current caused by the rotation of a solenoid is measured using an electronic galvanometer further.

**Keywords:** Clip motor, Solenoid, Neodymium magnet, Principle of rotation, Generating electricity  
クリップモータ, ソレノイド, ネオジウム磁石, 回転の原理, 発電

## 1. はじめに

最近, 2011年3月11日に発生した東日本大震災の起因による原子力発電所の停止に伴う電気エネルギーの不足に対して, 再生可能エネルギーである自然エネルギーが再認識され, その利用法に関心が集まっている<sup>1,2)</sup>. この種方法では, 太陽光発電を除いた風車や水車などにおいて, 主にモータが発電機として用いられている.

平成21年4月から新しく実施された理科の小学校学習指導要領においては, 3年生では磁石の働き, 4年生では電池による電気の働き, 5年生では電流による電磁石の働きおよび6年生では発電を含めた電気の利用法について学習する<sup>3)</sup>.

本研究では, 上記小学校学習指導要領に基づいて主に小学校の5~6年生を対象に, モータの回転の仕組みと発電についての理解を目的としている. 具体的には, 簡易なクリップモータの作成とその動作を通じて, 電磁石のN, S極の吸引と反発の作用を基礎として説明を試みた<sup>4)</sup>.

## 2. ソレノイドのN極とS極の発生

Fig.1 を用いて電磁誘導によりソレノイドの両

端に発生するN, S極について以下に述べる. (a)に示す①ソレノイドに電流Iを②左側から③右側の方向に流すと, 電磁誘導によってその両端にN, S極が発生する. ここで, ①ソレノイドの両端に現れる磁極を調べるために2つの④コンパスを置くと, その磁針S, Nの吸引作用から①ソレノイドの左側にN極, 右側にS極が現れているのが分かる. さらに(a)に示す①ソレノイドを縮めて(b)のクリップモータの①ソレノイドとした場合もN, S極の方向は同様となる. またコイルに流す電流Iを逆方向にするとN, S極が反転する.

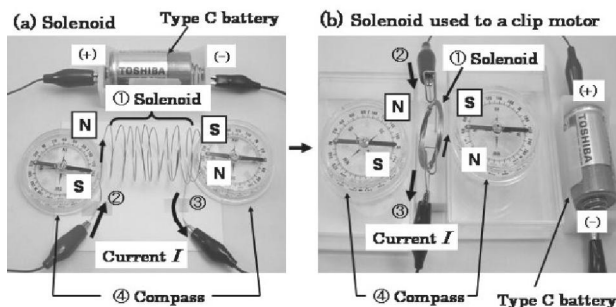


Fig.1 Appearance of the N-pole and the S-pole for a solenoid based on electromagnetic induction

参考までにソレノイドに現れる **N**、**S** 極は、コンパスを用いることなく右手親指の法則から容易に知ることができる<sup>5)</sup>。具体的には、右手の親指を除いた4本の指をソレノイドに添える形にし、親指は左側もしくは右側の真横方向とする。ここで、親指の向きがソレノイドの中を貫く磁束(磁力線)の方向となり、その他の4本の指先の向きがソレノイドに流れる電流の方向となる。すなわち(a)の場合は、親指の方向が左側となり、ソレノイドの中の磁束が右側から左側に貫き、さらにこの磁束が空間を介してソレノイドの左側から右側へループ状に分布する。その結果、空間的な磁束の方向から(a)に示すようにソレノイドの左側に **N** 極、右側に **S** 極が発生することになる。

### 3. クリップモータの回転する原理

本研究におけるクリップモータのソレノイドは、単2電池の25φの円筒に直径0.5mmのホルマル線を時計方向に10回程度巻いて作成した。

次いでソレノイドの両端の線を振ってシャフトとして、これを2個のクリップで支持している。ここで左側に出ている線のポリエステル被覆は紙ヤスリなどで全部取り除き、同様に右側の場合も上側もしくは下側半分を取り除くようにする。

クリップモータの回転する原理の概要図を Fig.2 に示す。これから (a)と(b)に示す電流  $I$  は、ソレノイドのアーム a の角度  $\phi$  が反時計方向に  $0 \sim 180^\circ$  のときに左側のクリップからソレノイドを通して右側のクリップへ流れる。

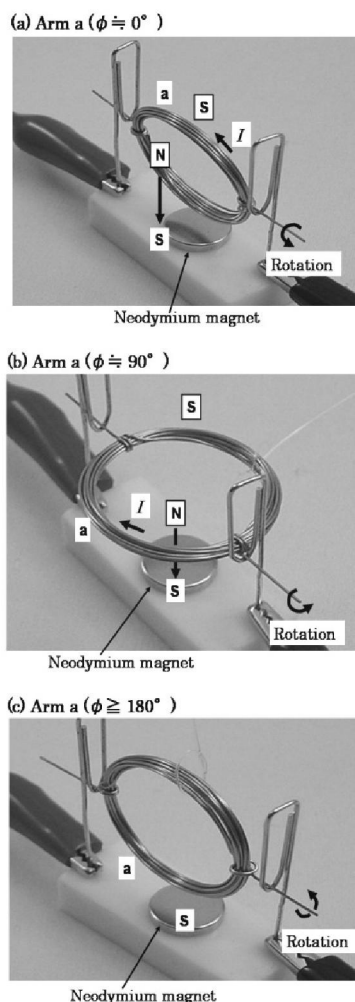


Fig.2 General view of the principle for the rotation as the clip motor

(a)は、ソレノイドのアーム a を少し指で反時計方向に動かしたほぼ  $0^\circ$  に相当する場合で、電流  $I$  は矢印のように反時計方向に流れている。このときネオジム磁石は **S** 極が上側のソレノイド側になるように配置してある。これからソレノイドには、Fig.1(b)に示したようにその左側に **N** 極、右側に **S** 極が発生し、ソレノイドの **N** 極がネオジム磁石の **S** 極に矢印のように引かれる。さらにソレノイドの **S** 極とネオジム磁石の **S** 極がお互いに反発する。その結果、ソレノイドのアーム a が矢印に示すような反時計方向に回り始める。

(b)は、ソレノイドのアーム a が反時計方向に  $90^\circ$  程度回転した場合で、電流  $I$  が同様に流れることによりソレノイドの下側の **N** 極がネオジム磁石の **S** 極に矢印のように引かれてアーム a の回転が持続する。

(c)は、アーム a が反時計方向に  $180^\circ$  以上まで回転するとソレノイドに電流が流れないので、ソレノイドには **N**、**S** 極が発生しない。そのため磁極による吸引と反発が生じないので、これ以降アーム a は頂点のスタート位置 ( $\phi \approx 0$ ) まで惰性で回り、順次これを繰り返して連続的に回転する。

### 4. クリップモータの動作

Fig.3 にクリップモータのソレノイドの左側に ①(+), 右側に ②(-) の単2電池(1.5V)を加えたときのソレノイドが回転する動作風景を示す。ここで、③ソレノイドの仕様はすでに述べてある。直方体の④消しゴムの上に円形の磁力が 0.2T 程度の⑤ネオジム磁石を上方が **S** 極になるようにマウントしている。図から矢印で示すように⑥反時計方向に回転している様子がわかる。

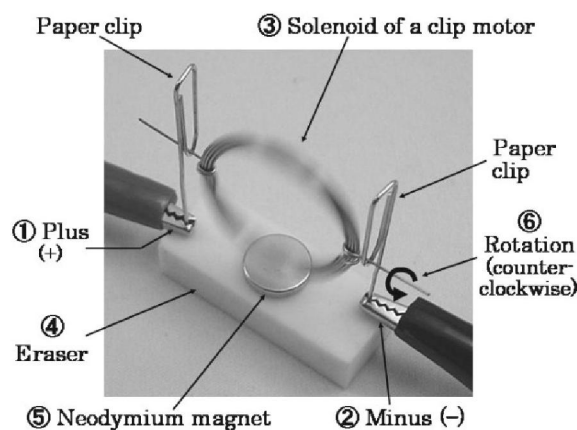


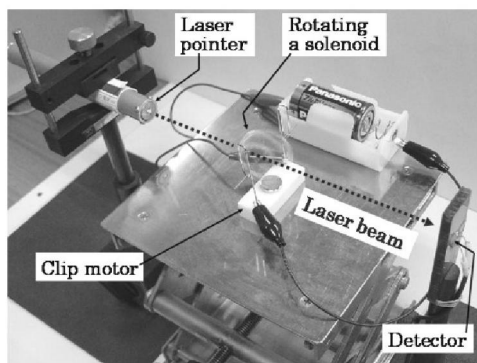
Fig.3 A view of operating as a clip motor rotating to counterclockwise

## 5. クリップモータの回転数の測定

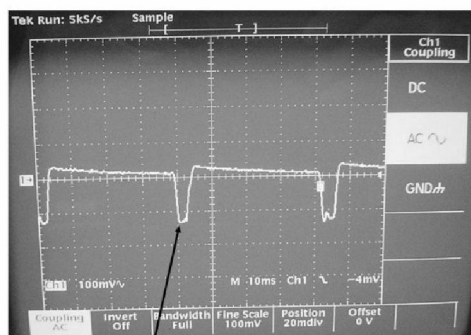
従来、主に小～中学生を対象とした「ものづくりの工作教室」などにおいては、工作テーマの作品が完成すると簡単な動作確認を行って工作教室は終了していた。しかしながら基本的なものづくりの観点から単に作品を完成させるだけでなく、参加者一人一人の作品の完成度としてその性能などを調べるのが重要といえる。具体的には工作テーマによって異なるが、動作に関する時間、速度、長さ(距離)、回転数、電圧および電流などの測定が想定できる<sup>6)</sup>。

本研究では、作成したクリップモータの性能評価として、ソレノイドが滑らかに回転しているか調べる目的でその回転数の測定を行った。

Fig.4(a)にレーザーポインタによるレーザー光を用いたクリップモータの回転数の測定系の一例を示す。これから光源としたレーザーポインタは波長 $\lambda=532\text{nm}$ の緑色のレーザー光を出射し、ビーム径が $2\phi$ 程度で出力が $P_0=0.6\text{mW}$ の半導体レーザーモジュールを用いた。破線で示す出射



(a) Measuring system of a rotation rate for a clip motor using a laser pointer



Chopping waveform of a solenoid

(b) Display for the chopping waveform of a solenoid using a digital oscilloscope

Fig.4 Measurement view of the chopping waveform of a solenoid based on the rotation rate of a clip motor

したレーザービームは、クリップモータの回転しているソレノイドを通過し、PIN フォトダイオードからなるデテクタ(検出器)に入力する。次に、デテクタから得られる出力信号をTektronix 製 TDS310 形のデジタルオシロスコープでモニタしている。

Fig.4(b)にクリップモータのソレノイドのチョッピング信号波形を示す。ここで、ソレノイドが1回転すると2つのアームによってレーザービームは2回のチョッピングが行われる。モニタ画面の目盛りは、縦軸の電圧が $100\text{mV/DIV}$ 、横軸の時間は $10\text{ms/DIV}$ とし、入力する際の信号の結合はACとした。これからチョッピング信号の周期は $T=40\text{ms}$ となるが、上記2回のチョッピングを考慮すると実際の周期は $T=80\text{ms}$ となる。1秒間あたりの回転数すなわち周波数 $f$ は、 $f=1/T$ に上記の実際の周期を代入して $f=12.5\text{Hz}$ となる。さらにこれを60倍して1分間あたりの回転数に換算すると $750\text{rpm}$ となる。

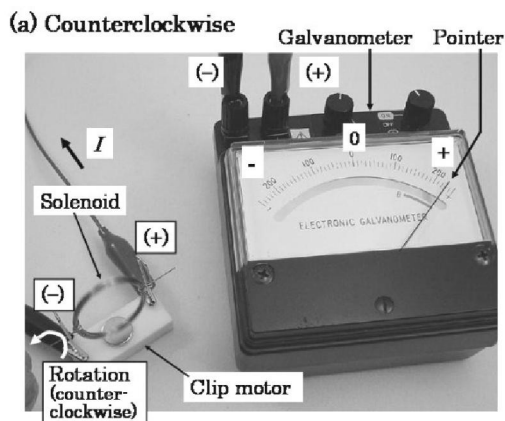
クリップモータの性能のよさは、ソレノイドが滑らかに回転するところの回転数の高さに対応している。すなわちその回転数を測ることは、参加者の工作テーマの内容の理解度も含めた取り組み状況や作品の完成度を知る1つの指針になると思われる。

## 6. クリップモータによる発電の実験

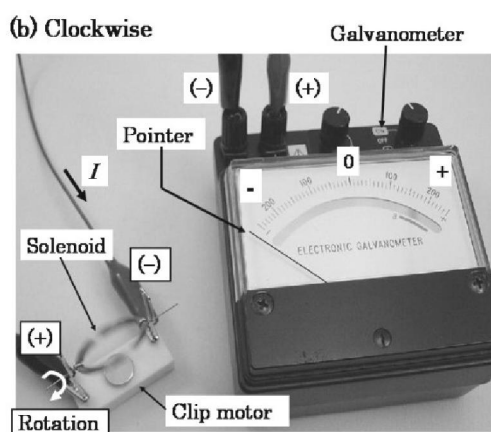
電流を流したソレノイドなどの導体を磁極の中に配置して動かしたときの発電の仕組みの説明には、親指を導線の運動の方向、人さし指を磁束の方向および中指を誘導起電力の方向と規定したフレミングの右手の法則が必要になる。

ここでは小学生を対象に、発電の仕組みよりむしろモータが発電機になることを体験し、発電について感覚的に理解するという目的でその実験を行った。具体的には、クリップモータに取り付けてあるソレノイドのシャフトを指で回したときに発生する $(+)$ 、 $(-)$ の微小な誘導起電力によって、この回路に流れる微小電流を電子式の高感度検流計であるYOKOGAWA 製2707-10形のガルバノメータを用いて観測した。ガルバノメータの感度は、任意に設定できるようになっている。この実験の様子をFig.5に示す。

(a)から、ソレノイドを図に示すように指で反時計方向に回転させると、メータの指針が+(プラス)側に大きく振れて発電していることが分かる。



(a) Indicating a plus as a pointer of the galvanometer based on rotating counterclockwise for the solenoid of a clip motor



(b) Indicating over scale of the minus as a pointer of the galvanometer based on rotating clockwise for the solenoid of a clip motor

Fig.5 Trial experiment of generating electricity based on rotating a solenoid of the clip motor

ここで用いたガルバノメータのスケールは、定量的に電流の大きさと対応していないが、その回転によってソレノイドの右側に(+)、左側に(-)の0.3mV程度の微小電圧が発生し、通常では測定が困難といえる0.03μA (30nA)程度と思われる微小電流  $I$  が矢印の方向に流れている。

(b)のソレノイドを時計方向に回転させるとメータの指針が-(マイナス)側に大きく振り切っている。これは反時計方向の場合とは逆に、ソレノイドの左側に(+), 右側に(-)となる微小電圧が発生し、図に示すような微小電流  $I$  が回路に流れることになる。さらにその電圧や電流の大きさは、反時計方向の場合に比べて同様といえる。

その結果、クリップモータに付いているソレノイドの回転方向によって、発電電圧の(+),(-)の方向が定まり、回転の速さ(例えば1分間あたりの回転数)によって電圧の大きさが定まるといって、小

学生にも分かりやすい内容となっている。

上記発電の実験を小学生が行う場合には、ソレノイドを回す指の力が一人一人異なるので、ガルバノメータの指示が直接に作品の完成度には反映しないと思われる。しかしながら、発電の実験をとまなう体験は有効といえる。

## 7. まとめ

本研究では小学生の高学年を対象に、モータの回転の仕組みと発電についての理解を目的に、工作テーマとして簡易な「クリップモータ」を作成し、これによる回転や発電などの実験を行った。その結果、以下の内容が得られた。

- (1) 導線をコイル状に巻いてソレノイドを構成してこれに電流を流したときに発生する磁極は、コンパスを用いて容易にN, Sが判明した。
- (2) クリップモータのソレノイドの回転の仕組みは、ソレノイドに発生するN, S極とネオジウム磁石のS極の吸引と反発により簡易に述べた。
- (3) 作品の完成度の指針となるクリップモータの回転数は、レーザー光とフォトダイオードの光学系を用いて、ソレノイドのチョッピング信号の周期をオシロスコープで観測して求めた。
- (4) クリップモータによる発電の実験では、ソレノイドのシャフトを指で回したときに微小な誘導起電力が発生し、それによって流れる微小電流をガルバノメータに指示させることにより、発電の体験を行うことができた。

## 参考文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁：“再生可能エネルギーについて” (2011年12月)
- 2) 経済産業省：“2012年版 エネルギー白書”，エネルギーフォーラム (2012年12月)
- 3) 文部科学省：“小学校学習指導要項 (理科編)” (2008年6月)
- 4) 山口静夫：“クリップモータの回転の原理と発電に関する教材への応用”，2013年春季第60回応用物理学会学術講演会，発表予定 (2013年3月)
- 5) 山口静夫：“電気回路応用入門”，コロナ社(2004年11月)
- 6) S.Yamaguchi：“A Model of Amusement Park in the Near Future Operated by Fuel Cell and Solar Cell”，Journal of Asian Electric Vehicles, Vol.7, No.2, pp.1261-1264, 2009.

(原稿受付 2013年1月18日)