

[教育特集研究ノート]

静電気を利用した発電装置

田口 功*

An Electricity Generator Using Static Electricity

Isao TAGUCHI

Students are cognizant of the generated quantity of force and the work of electrified objects in lower secondary school. After celluloid causes friction with wool, it is electrified and attracts hair. This means the electrified celluloid has energy for work. The ways of making electrified objects are by applying direct voltage and generating static electricity by friction. Although a pistol-type generator of static electricity has been developed recently, its structure is not easy. There is no generator of electricity using static electricity in the electric equipment used by students in elementary and lower secondary school. From these considerations, a simple electric equipment is developed that generates electricity by electrostatic induction. The use of this equipment was able to make the following experiments:

* たぐち・いさお : 敬愛大学国際学部教授 ニューロ・コンピューティング

Professor of Computer Science, Faculty of International Studies, Keiai University;
Neurocomputing.

- (1) An experiment to emit L.E.D (Light Emitted Diode)
- (2) An experiment of electromagnetic induction with L.E.D.

1. はじめに

本実験装置製作では、生活上、誰でもが経験している静電気を利用し、静電気エネルギーを動電気のエネルギーに変換する装置を学生と共に作成した。小学校、中学校の電気を使った実験では、負荷は、豆電球、モーター、検流計、電磁石などである。本作成実験では、負荷として、電気エネルギーが小さくとも、光を発する発光ダイオードおよび電磁石を用いた。発光ダイオードは、断線の心配が豆電球に比較して非常に少ないという利点を持っている。

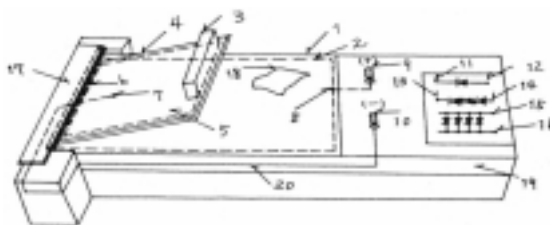
2章では、発電装置の構成や発電方法およびその操作方法について報告を行う。3章の前半では、電磁石作成と基礎的実験について述べ、後半で電磁誘導実験を行った回路図と実験結果を示す。4章は、まとめである。

2. 発電装置の基本的な作成方法および操作方法

2.1 構成

第一に、2枚の固定電極板と可動電極板があり、その間に塩化ビニル板が挟まれているというのが基本である。両電極板は、家庭でよく用いられているアルミ箔から作られる。アルミ箔を木の板に固定するために、紙テープを使い、しわが生じないようにしっかりと固定する。しわのできないように固定することが大切である。図1に発電装置の構成と、その基本構成回路図の各部位の名称を示す。

図 1 発電装置の構成



- 1：帯電板 2：金属箔 3：取手 4：アクリル板 5：可動電極 6：アルミニウム筒
7：金属箔出力端子 8：金属箔出力端子 9：電極 10：電極
11～16：ダイオード接続端子 17：固定板 18：絹布 19：台 20：導線

2.2 作成方法

- (イ) 帯電板（木の板でもアクリル板でもよいが今回は木の板を使用）にアルミ箔を同程度の大きさに切り紙テープでしっかり張り付け、固定したものを、台の上に載せ固定し、固定電極板とする。そして、金属箔出力端子(8)と+電極(9)を電氣的に接続する。
- (ロ) アクリル板の上に絶縁性の高い木材で作った取手を接着剤で取り付ける。アクリル板の裏に固定電極板と同様にアルミ箔を同程度の大きさに切り、紙テープでしっかり張り付け、はがれないように固定する。取手を持って上下運動しやすいように、固定電極板の先と可動電極板の先は、紙テープで接続し、左右に動かないようにした。紙テープの代わりに、図1の17番に示すような固定板を使ってもよい。学生の発電装置では、固定板は使用しなかった。
- (ハ) 7の金属箔出力端子は、1の帯電板の上に金属箔（アルミ箔）を5cm×1cm程度に切って置いたもので、可動電極が上から下に動いたときに接触するようになっている。接触したときの出力は、導線で電極(10)に電氣的に接続される。5cm×1cm程度に切ったアルミ箔は、可動電極板が上下運動するたびに、可動電極のアルミ箔に接触するように、しかも切れないように、帯電板に軽く紙テープで貼り付けてある。

- (二) 発光ダイオードの接続(11~16)は、ハンダ付けを行い、直列接続、並列接続、直並列接続できるようにした。図2に、釘、ハンダ、ハンダごて、木材およびカラー鉄線を使用し、木材の上に実際に学生が発光ダイオードを直列に接続した様子を示す。注意点としては、よけいなハンダをふき取り、ハンダを使いすぎないことと、電氣的にしっかり接着することである。
- (ホ) 注意点としては、アルミ箔は、たるみがないようにしっかり伸ばし、固定することである。アルミ箔を張り替えた班もいくつかあった。

2.3 発電装置の操作方法

- (ヘ) 最初に、絹布で1の帯電板(塩化ビニル板)を10回程度広い範囲にわたってこすり、塩化ビニル板を帯電させる。次に、発光ダイオード端子11と12を電極10と電極9にそれぞれ接続する。取手を手で握りゆっくりと上下運動させる。上から下に可動電極を動かしたとき、その可動電極が1の帯電板上の7の金属箔出力端子に接触する瞬間に発光ダイオードが光る。逆に、持ち上げる瞬間にも発光ダ

図2 発光ダイオードの直列接続

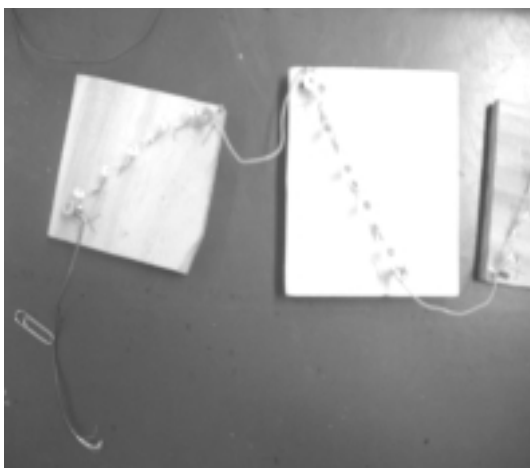


図3 取手を握って可動電極を上へ上げている状態



イオードが光る。絹布で1の帯電板を数十回まんべんなくこすれば、少なくとも1～2時間この静電気を利用して、ダイオードを発光させることが断続的ではあるが可能である。

3. 発電機を利用した実験

3.1 発光ダイオードの発光実験

この実験は、2章の操作方法の説明で述べたので省略するが、帯電板を帯電させ、出力端子と発光ダイオードを接続した後、取手を握り、上下運動するたびに発光ダイオードが発光することを確認する。発光ダイオードには、2個の端子があり、長いほうが電池のプラス極、短いほうがマイナス極につながれたときに発光する。今回は、安価な赤と黄色の発光ダイオードを使用した。実際に、実験を行うと、7の金属箔出力端子がなじまないために、発光ダイオードが発光しない場合があったが、しばらく実験を繰り返しているうちに、すべての班で出力が安定し、実験が可能となった。発光すると、こんなに簡単に発光ダイオードが光る実験は数少ないために、

急にやる気を起こし、夢中になる学生が多かったようである。

3.2 本発電機に適した電磁誘導実験

小学校理科6年では、磁石になる材料を選び出す授業がある。電磁誘導実験は、磁石（電磁石）を作成することから始まる。電磁石の作成は、釘に紙を巻き、その上にエナメル線を巻きつけていた。アルミニウムや銅、真鍮、ガラスは電磁石にはならない。電磁石になる材料は、基本的には、磁石に吸い付けられる材料である。また、かすかに磁石になるが、その大きさが非常に小さい磁性体は、電磁石にならない材料として扱われている（非磁性体）。鉄分を含まない石などは、電磁石にはならない。磁石を2個に切断すると、2個の磁石が出来るように、切断した後には必ず両端にN極、S極が出来る。切れれば切るほどN極とS極を持つ電磁石は増える。磁石は、小さな磁石の集まりなのである。

学生実験では、カラー鉄線の巻数を多くすると、同じ乾電池を使った場合に対して磁石の磁力が強くなることはみな理解する。

しかし、もともと、カラー鉄線を50回巻いて、電流が流れたときに釘が10本磁石につき、100回巻いたときには、20本つくという関係にはない。材料によっても異なるが、一般的には比例関係にはないためである。比例関係が成り立つという考えを持っている学生も多いようであるが、巻き数を増加させた場合、少し多めに電磁石の端につく釘の数が増加する程度であるとしたほうがよいと思われる。実際に巻き数を同じにして、電池の数を変えて電流を多く流すと釘のつく数が多くなっていくものの、比例関係にはない現象が起こる。徐々に電流値を多くしても、釘のつく数が比例しない場合もある。これは磁気には飽和現象というものがあるからである。また、一度磁石になると、すぐには元の磁化されていない状態に戻らない現象を残留磁気があるという。注意することは、一度磁化された釘は、やっかいで、磁化されていない状態にするには手間がかかるということである。交流電流を流し、しかも大きさを徐々に減少させ、消磁という操作を行う場合もある。

ここで、電磁石になる材料を使って、電磁誘導実験を行うための回路図を図4に示す。図4における ab 間（一次側）および cd 間（二次側）の楕円は、発光ダイオードを示し、赤、黒と書かれた楕円は、発電機からの出力をつなぐ場所を表わしている。 ab 間は発光ダイオードをつながなくともよい。学生実験では接続しなかった。

学生と共に作成した釘にピンクのカラー鉄線を巻いた電磁石は、図5の左側に示す。100回程度巻いたものである。注意点としては、釘にカラー鉄線を巻きつけるとき、しっかりとつめて巻くことと、回数を覚えておくことである。

図4 電磁誘導実験の回路概念図

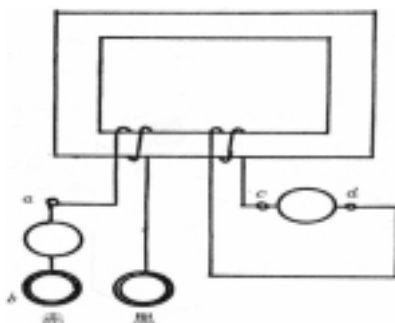
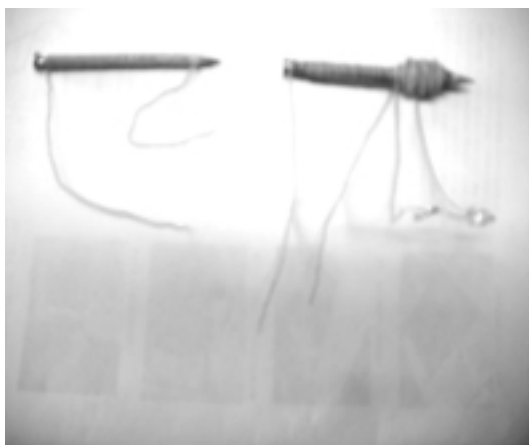


図5 カラー鉄線と釘を使った電磁石(左)と電磁誘導実験用器具



また、図5の右に、緑色のカラー鉄線を100回程度巻き、その上にピンクのカラー鉄線を100回程度巻いて発光ダイオードを接続したものを示した。一次側と二次側は、直接電氣的には、接続されていない。しかし、釘を介して磁氣的には接続されていることに注意する。図5の右の配線と図4の概念図は釘の磁氣的な役割を考えればわかるであろう。

発光ダイオードには、電池のプラスにつながらないと発光しないプラス端子と電池のマイナス側に接続しないと発光しない端子がある。発光ダイオードには、極性があり、基本的には、導体でも絶縁体でもなく、半導体から作られている。半導体の中の特殊な物質の中の電子またはプラスの電荷が、電池から基準以上のエネルギーをもらったときに、発光するのである。したがって、本発電装置の出力を一次側に接続したとき、磁氣的作用によって、二次側に電圧が発生する場合に、発光ダイオードが発光することになる。これを、電磁誘導によって二次側に電圧が発生したといい、これは電磁誘導の法則としてよく知られている。それを箇条書きし、以下にまとめると、

- a. 一次側の発電装置に発生した電圧が加えられ、その結果、巻き線の抵抗に左右される電流が流れる。
- b. 電流が一次側に流れた結果、磁石の原理から釘の中に磁界ができる。
- c. 釘の中に磁界ができるのに反し、それを打ち消すための磁界が二次側に発生する。
- d. 二次側に磁界が発生した結果、発光ダイオードに電圧がかかり、発光する。
- e. すなわち、一次側の磁界の向きと、二次側の磁界の向きは、短時間ではあるが、逆の向きになるように二次側に電圧が発生し、電流が流れることになる。
- f. 参考文献1)では、電磁誘導の法則が次のように述べられている。「磁束の変化に比例して、その変化を妨げる向きに起電力が生じる現象」。式的には、電圧をV、磁束を、時間をtとすると、

$$V = - d \quad /dt$$

図 6 発電機と電磁誘導器具の接続

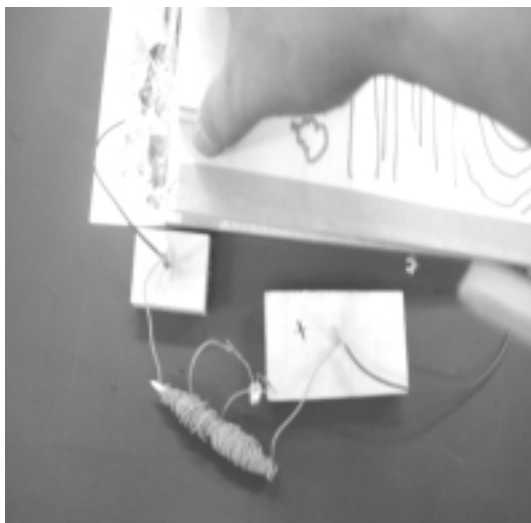


図 7 実際に学生が作成した発電装置と電磁誘導実験器具



となる。

実際に学生が作成した発電装置と、電磁誘導実験器具の様子を図7に示す。実際に、電磁誘導実験器具として作成すると、ただ単に概念的に説明してもわからない現象の理解には効果があるようであった。電磁石作成のあとに、電磁誘導実験を行うのが適しているのではないかとと思われる。少なくとも、電磁誘導ということばは理解できなくとも、なぜ二次側に電気

が流れるのという疑問の声が同時に上がるのである。疑問が出たときに、箇条書きした内容を説明することで、電磁誘導現象を理解する学生が多いように思われた。

4. おわりに

身近な材料を用い、手軽に発電できる静電気を利用した器具を学生と共に作成した。塩化ビニル板をこすると帯電することは、誰でも知っている。この現象をうまく利用し、発電装置を安価な材料で作し、発光ダイオードを発光させた。誰もが、こんなに簡単には発光しないのではないかと考えている装置で発光させることにより、電気というものが、ブラックボックス的な電池よりも身近に感じられるのではないか。はじめは、こんな発想で発電機を作成した。その応用として、電磁誘導実験を行った。一次側しか電源が接続されていないにもかかわらず、二次側が発光することで学生は疑問を持つ。電磁石がわかる学生には、疑問が生じると考えられる。まだまだ工夫が必要であると考えられるが、最初に作ってみることから入っていくという今回の実験を通して、少なくとも、高校で物理を勉強していない学生には、好結果をもたらしたのではないかと考えられた。ことばで説明する電磁誘導と式で説明する電磁誘導も、内容は当然同じである。どうも式的説明は、苦手な学生も多かったようであった。

(参考文献)

- (1) 木暮陽三『ゼロから学ぶ物理のことば』、講談社、2003年。
- (2) 田口功「静電誘導現象を利用した実験用発電装置の製作」『日本理科教育学会研究紀要』Vol. 26、No. 2、1985年。
- (3) 田口功「静電気を利用した簡単な発電装置」『日本物理教育学会誌』Vol. 35、No. 1、1987年。