

ワイヤレス充電器の仕組み

～手作り電磁誘導装置を作る～

開邦中学校 2年1組23番
関根 栞彩

1. 研究の動機

私はいつも夜になると、自分のスマートフォンを家族で共有する充電コーナーでケーブルに接続する。そうすれば朝になると充電が満タンになっている。

一方で、父が持っているワイヤレス充電器は、充電器をコンセントに繋いでスマートフォンを上に乗せるだけでスマートフォンが充電されるというものである。スマートフォン自体は何も線に繋がれていない。

この不思議な『無線の』充電器には、理科で習った『電磁誘導』の原理が応用されていると知り興味を持った私は自分用のワイヤレス充電器が作れるかもしれないと考え、この研究をすることにした。

2. 研究の目的

ワイヤレス充電器における電磁誘導の応用技術を理解することを目的に、電磁誘導およびワイヤレス充電器の構造について学習し、基本的な構造を自作する。

3. 仮説

ワイヤレス充電器にはコイルが使われており、交流電流が流れることで磁界が発生・変化する。この磁界の変化によってスマートフォン内部のコイルに電流が誘導される（＝電磁誘導）。

このことから、送電側と受電側のコイルをそれぞれ準備し、送電側に電力を供給することで、受電側に誘導電流を流すことができると考えた。また、送電側の電流を増強することで、受電側に誘起される電流も強くなるのではと予想した。

これらの仮説立証のため、以下のことに取り組んだ。

【調べ学習】 ワイヤレス充電器の仕組みについて調べ、電磁誘導の原理がどのように利用されているかを理解する。

【実験】 装置を自作し、ワイヤレス充電器の仕組みを簡易的に再現する。

【発展的実験】 作成した装置を改良することで、より効率的な電力供給の条件を見つける。

4-1. 【調べ学習】電磁誘導とワイヤレス充電器の仕組みについて

実験の前に、理科の教科書およびインターネットでワイヤレス充電器の原理について学習した。

- **電磁誘導の定義**…コイルと棒磁石が近づいたり遠ざかったりすることで、コイル内の磁界が変化し、その変化に応じた電圧が生じて、その結果コイルに電流

が流れる。このような現象を電磁誘導といい、この時流れる電流を誘導電流という。

- **ワイヤレス充電器の仕組み…ワイヤレス充電器によるスマートフォンの充電には次の3つのステップが存在する。**
 - (ア) **送信側（充電器）**：充電器内部にはコイルがあり、ここに交流電流（AC）が流れることで、コイルの周囲に変動する磁場が発生する。
 - (イ) **受信側（デバイス）**：スマートフォンやその他のデバイスにもコイルが内蔵されており、このコイルが充電器から発生した磁場に反応し、磁場の変動を受けて電流を誘起する = 「電磁誘導」。
 - (ウ) **電力転送**：受信側のコイルに誘導された電流は、整流されて直流（DC）電流に変換され、バッテリーに充電される。

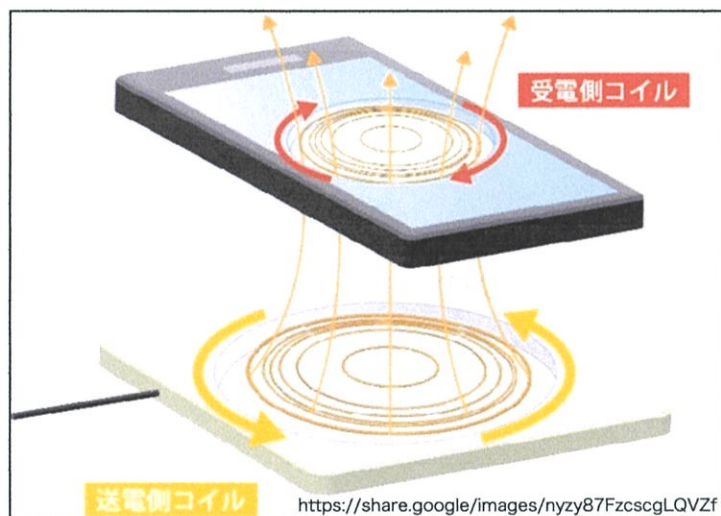


図 1. ワイヤレス充電器によるスマートフォン充電の仕組み

4-2. 【実験】装置を自作し、ワイヤレス充電器の仕組みを簡易的に再現する。

4-2-1. 材料・道具

- | | |
|----------|----------------|
| ・ 単一乾電池 | ・ 検流計 |
| ・ 電池ボックス | ・ 方位磁針 |
| ・ ケーブル | ・ クリップ |
| ・ スイッチ | ・ サランラップの芯（紙製） |
| ・ 銅線 | ・ 棒磁石（永久磁石） |
| ・ 鉄釘 | |

4-2-2. 送電装置と受電装置の作製

鉄釘に銅線を巻き付けて送電用コイルと受電用コイルを作製した。送電側には電源として乾電池を、受電側には検流計を繋いだ回路を作製し、受電コイルに流れる電流を検流計で測定した（図 1）。

【送電装置】

電源（乾電池：単一電池 1 個）

コイル：0.55mm 銅線、鉄釘に 200 回巻き

【受電装置】

コイル：0.55mm 銅線、鉄釘に 100 回巻き

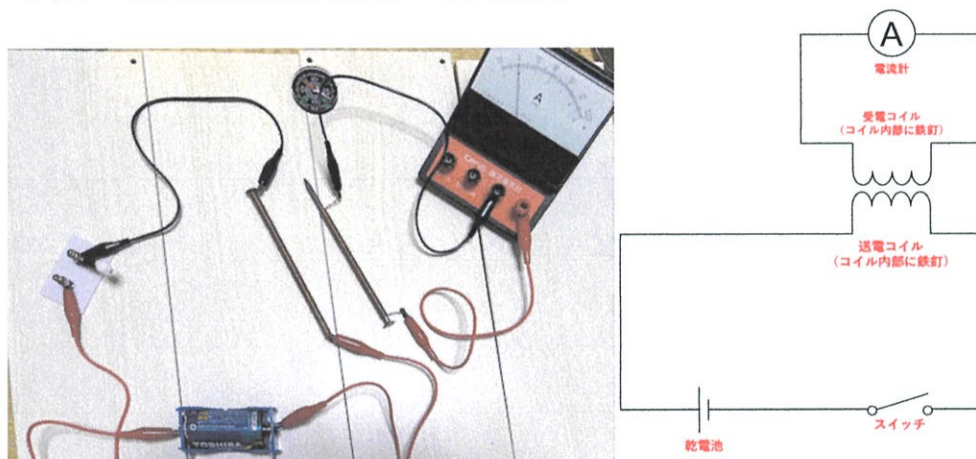


図 2. 送電装置・受電装置の構成

結果）誘導電流による検流計の針の振れは観察できなかった。しかしながら、送電コイルの周囲において、方位磁針を用いて磁界の発生を確認することはできた。さらに、受電コイルの鉄釘は、送電回路のスイッチを切った後も磁力を帯びたままだった。

● 送電装置の改良

実験 4-2-2 で送電コイルに磁界が発生していたにも関わらず、受電コイルに電流は検出されなかった。その結果を解決するために、送電コイルに生じる磁界の強さを上げることが目的として、A) 流れる電流の大きさ、B) コイルの巻き数、C) 銅線の太さと磁界の強度の関係について調べた。

<A: 電流の大きさを変える>

● 方法

単一乾電池を1個つないだ時、または2個を直列につないだ時に流れる電流値を測定し、同時にコイルを巻いた鉄釘に引きつけられるクリップの数をそれぞれ3回ずつ数えた。いずれの場合も、直径5.2 mm/長さ15 cmの鉄釘に直径0.55 mmの銅線を100回巻いたコイルを使用した。

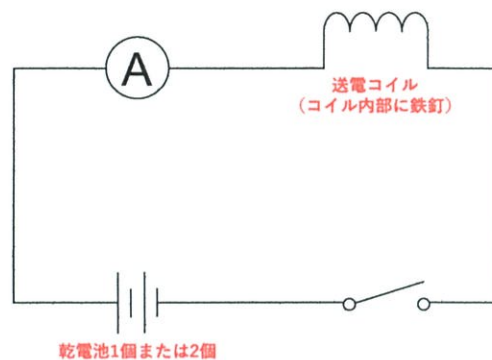


図3. 実験Aで使用した回路

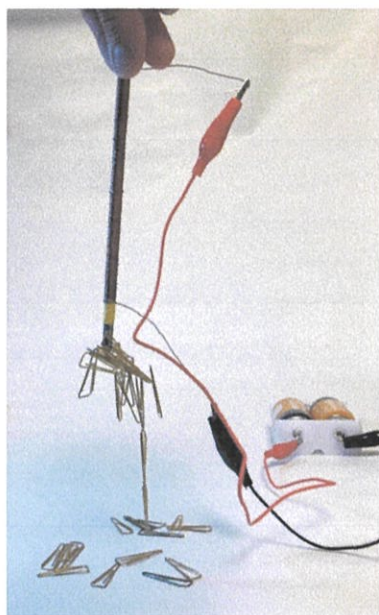


図4. 電流を流したコイル（鉄釘）に発生した磁力でクリップが釣り上げられる様子

● 結果

3回の計測値は次のようになった（表1）。

表1. 乾電池の数と電流値およびクリップの数

乾電池の個数（個）	1	1	1	2	2	2
電流の大きさ（A）	1.8	2.2	2.1	2.9	3.1	3
電流値平均（A）	2.03			3		
クリップの数（個）	10	11	10	17	15	18
クリップの数平均（個）	10.3			16.7		

乾電池の数を増やすことで流れる電流は大きくなった。また電流値が大きくなると、電磁石に引きつけられるクリップの数は増加した。

<B: コイルの巻き数を変える>

● 方法

直径 5.2 mm/長さ 15 cm の鉄釘に直径 0.55 mm の銅線を 100 回巻いたコイルと 200 回巻いたコイルを作製し、流れる電流値と引きつけられるクリップの数をそれぞれ 3 回ずつ測定した。いずれの場合も、電源として単一乾電池 1 個を使用した。

● 結果

3 回の計測値は次のようになった（表 2）。

表2. コイルの巻き数と電流値およびクリップの数

コイルの巻き数 (回)	100	100	100	200	200	200
電流の大きさ (A)	1.8	2.2	2.1	2.0	1.9	2.0
電流値平均 (A)	2.03			1.97		
クリップの数 (個)	10	11	10	18	18	20
クリップの数平均 (個)	10.3			18.7		

コイルの巻き数を増やしても流れる電流値は変化しなかった。しかし、電磁石に引きつけられるクリップの数は増加した。

<C: 銅線の太さを変える>

● 方法

直径 5.2 mm/長さ 15 cm の鉄釘に直径 0.55mm の銅線または直径 0.9mm の銅線を巻き付けたコイルを作製し、流れる電流値と引きつけられるクリップの数をそれぞれ 3 回ずつ測定した。いずれの場合も、電源として単一乾電池 1 個を使用し、銅線の巻き数は 100 回とした。

● 結果

3 回の計測値は次のようになった（表 3）。

表3. 銅線の太さと電流値およびクリップの数

銅線の太さ (mm)	0.55	0.55	0.55	0.9	0.9	0.9
電流の大きさ (A)	1.8	2.2	2.1	2.0	1.9	2.1
電流値平均 (A)	2.03			2.00		
クリップの数 (個)	10	11	10	10	15	18
クリップの数平均 (個)	10.33			14.33		

銅線の太さを太くすると流れる電流値は変化しなかったが、電磁石に引きつけられるクリップの数は増加した。

A, B および C より『乾電池は 2 個・巻き数は 200 回・銅線の太さは 0.9 mm』を送電側装置の最適条件とする。

● 受電装置の受電方法の改良

送電装置の条件が決定したので、次に受電装置について検討することにした。最初に作ったモデル（図 2）では、受電側のコイルにも鉄釘を入れた。しかし、送電コイルから誘導された磁束の変化が、受電コイルで検出されることで電流が誘導されるため、受電側の鉄釘は不要だと考えた。

また電磁誘導のメカニズムは『コイル内の磁界の変化→電位差が生じる→電流が流れる』であること、また実際のワイヤレス充電器は交流電源に接続して使用することから、今回の工作においても『磁界の変化』を手動で起こす必要があるのではないかと考えた。

< 永久磁石を使った検証 >

まずは受電用のコイルとして、0.9 mm 銅線を紙製のサララップの芯に巻きつけたコイルを作製した。コイルを検流計につなぎ、テーブルに固定した磁石に対して上下に動かした（図 5）。この時、上下運動に合わせて電流の向きが+/-と変化すると考えられるため、上下1往復を1セットとして、30 セットになるまで検流計の数値を記録した。

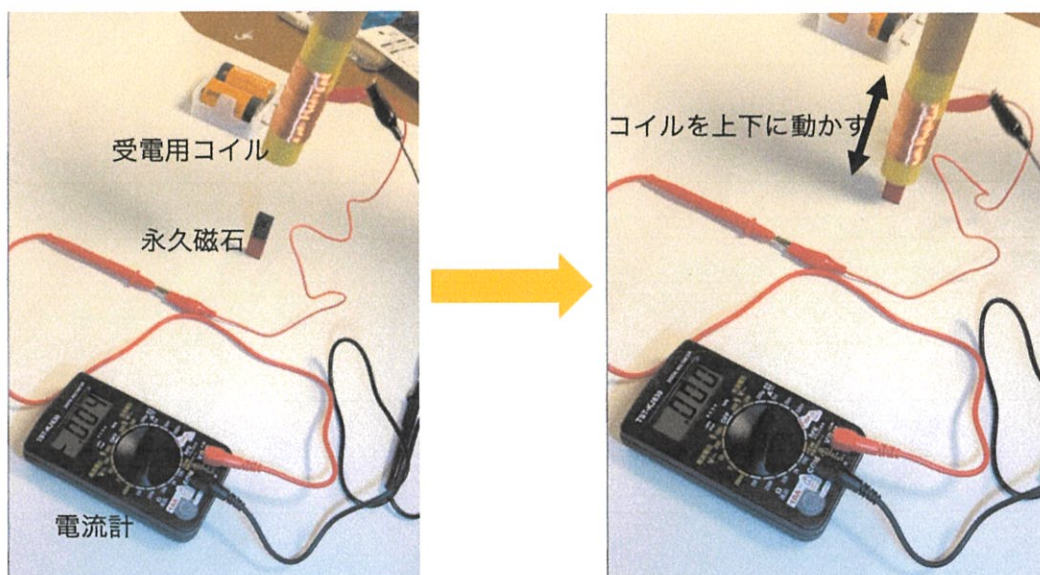


図 5. 永久磁石の磁界により発生する誘導電流の検出

(結果) 30 回の計測値は次のようになった (表 4)。

表 4. 永久磁石の磁界により発生する誘導電流の計測

セット番号	電流 (μA)	
	+側	-側
1 回目	0.4	0.5
2 回目	2.0	1.5
3 回目	0.3	1.6
4 回目	2.5	2.2
5 回目	2.3	1.1
6 回目	2.0	1.0
7 回目	2.4	2.2
8 回目	2.3	2.4
9 回目	2.3	0.9
10 回目	0.4	1.8
11 回目	0.4	0.0
12 回目	2.5	2.6
13 回目	0.7	0.8
14 回目	0.7	3.2
15 回目	2.0	0.7
16 回目	1.2	3.5
17 回目	0.4	3.6
18 回目	0.3	1.1
19 回目	0.4	2.8
20 回目	0.3	2.1
21 回目	1.7	2.3
22 回目	0.4	0.8
23 回目	0.2	1.4
24 回目	0.2	1.8
25 回目	2.6	0.6
26 回目	3.0	0.8
27 回目	2.2	3.0
28 回目	0.2	0.2
29 回目	0.5	0.5
30 回目	1.6	1.6
平均値	1.28	1.62

+側にも-側にもコイルの動きに合わせて電流値が検出され、作製したコイルで確かに電磁誘導が起こっていることが分かった。

次に、この受電側コイルを使って、先の実験で決めた最も強い磁力を発する送電装置 (単一乾電池 2 本・銅線直径 0.9 mm・コイル 200 巻き) との組み合わせで、誘導電流が検出されるかどうかを検討することにした。

ところが、準備した鉄釘の長さでは 0.9 mm の銅線を 200 回巻くことができなかったため、『送電装置：単一乾電池 2 本・コイル銅線直径 0.9 mm・巻き数 100』で実験を行うことにした。誘導電流の検出方法は先ほどと同様である。

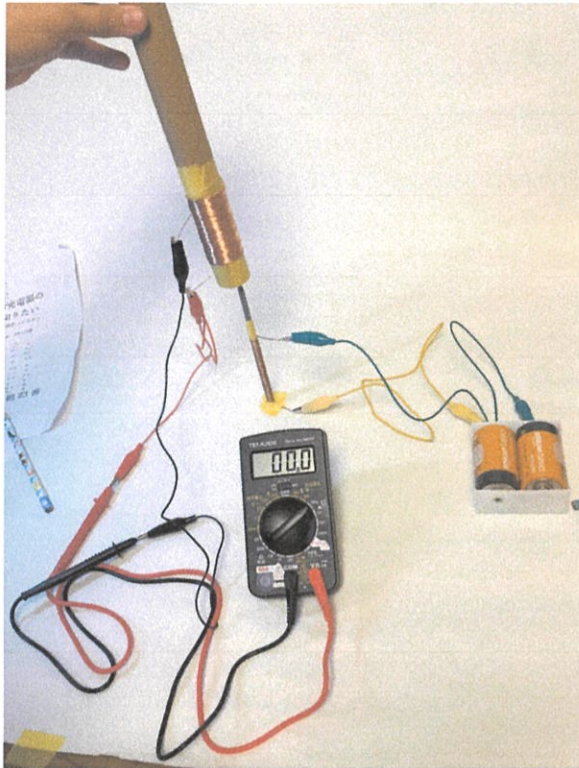


図 6. 電磁石の磁界により発生する誘導電流の検出

(結果) 30 回の計測値は次のようになった (表 5)。

表 5. 電磁石の磁界により発生する誘導電流の計測

セット番号	電流 (μA)	
	+側	-側
1 回目	0.3	0.2
2 回目	0.7	0.5
3 回目	0.7	0.6
4 回目	0.4	0.7
5 回目	0.3	0.5
6 回目	0.1	0.3
7 回目	0.4	0.3
8 回目	0.5	0.9
9 回目	0.2	0.4
10 回目	0.3	0.8
11 回目	0.4	0.7
12 回目	0.7	0.2
13 回目	0.5	0.4
14 回目	1.0	0.6
15 回目	1.3	0.5
16 回目	0.5	0.7
17 回目	0.1	0.5
18 回目	1.1	0.2
19 回目	0.7	0.3

20回目	0.3	0.2
21回目	0.4	0.2
22回目	0.1	0.5
23回目	0.4	0.2
24回目	0.2	1.0
25回目	0.1	1.1
26回目	0.5	0.1
27回目	0.7	0.4
28回目	0.7	0.9
29回目	0.4	1.1
30回目	1.0	0.7
平均値	0.50	0.52

最も磁力の強いコイルを用いた送電コイルに電流を流すことで発生する磁界でも、受電側コイルで電磁誘導の現象が確認できた。検出された電流値は永久磁石の 1/2 以下となった。

4. 考察と感想

今回の自由研究で、ワイヤレス充電器の仕組みについての理解を深めることができた。特に、電磁誘導が起きているのは充電器本体ではなく、スマートフォン側であることには驚いた。それと同時に、理科の知識や原理を応用して道具を発明する研究開発の仕事はとても面白いものなのだなと感じた。

最適化した送電装置と、最終版の受電装置の組み合わせでは、 $0.5\mu\text{A}$ という微弱電流ではあったが、無線で電流を起こすことができた。最初は全く電流計の針が触れなかったのですが、途中で諦めそうになったりもしたが、最後にははっきりと電流値が検出されてとても嬉しかった。流れたか流れていないか分からないくらいの弱い電流だったので、これで本当に実験が成功したのかどうか、少し不安ではある。

ふと思ったのは、実際のワイヤレス充電器はどのくらいの電流が流れるのかということだ。父の所有するワイヤレス充電器（カシムラ製、K221246PS）では iPhone の場合 7.5W の出力となっている。『 W (ワット) = V (ボルト) $\times$ A (アンペア)』なので、もし全くのロスがないとすれば、 $7.5 (W) \div 100 (V) = 0.075 (A) = 75 \text{ mA}$ がスマートフォンに流れると考えられる。それは今回検出できた $0.5\mu\text{A}$ の 150000 倍だ。充電器もスマートフォン本体もあんなに薄いのに、どうやってそんなに大きな電力を生み出しているのだろうと不思議に思った。

送電装置改良の実験（表 1）で、乾電池の数を増やすと電流値も磁力も大きくなると分かった。しかし、表をじっと眺めていると、

『乾電池：1（本）→2（本） 2倍』

なのに、

『電流（平均値）：2.03 (A) →3.0 (A) 1.5倍』

となっていた。0.5 倍の分はどこへ行ってしまったのだろうかと思い、調べてみるとコイルにも電池にも抵抗があるということが分かった。抵抗があると電力の一部が熱として消費され、その分の電流値が下がってしまうのだと思った。

その一方で、

『電流（平均値）：2.03（A）→3.0（A） 1.5 倍』

に対して

『クリップの数（＝磁力の強さ）：10.3（個）→16.7（個） 1.6 倍』

と、ほぼ 1:1 の正比例となっていたのは、とても面白いなと感じた。

また、乾電池のような直流電流を、交流に変換する電子工作もできるそうである。それが出来れば、手作業でコイルを動かさなくても受電可能になるのかもしれない。今回の送受電装置をさらにバージョンアップすることにも挑戦してみたいと思った。

今回の研究を通じて、学校で学ぶ理科が実際の生活の中に生かされていることを実感できた。研究開発やものづくりの面白さを少し味わうことができたような気がする。

6. 参考にした書籍やインターネットサイト

- 『未来へひろがるサイエンス2（啓林館）』
- 『置くだけで OK！ワイヤレス充電器の仕組みを解説！ ケーブル充電にはないメリット・デメリットとは？
(<https://share.google/images/nyzy87FzcscgLQVZf>) 』
- 『【解説】なぜケーブルなしで充電できるの？ スマホのワイヤレス充電の仕組み
(https://www.softbank.jp/sbnews/entry/20181017_01) 』