

5. 電磁誘導による無線電力伝送の研究

静岡県立科学技術高等学校 理数科
3年 高橋冬馬 向井昂志 望月敬太

1 研究の動機

図1や図2のように、電動歯ブラシやスマートフォンなどの電子機器において、ワイヤレスで充電する方法がある。その充電方法を調べたところ、相互誘導を利用して充電していることが分かった。一般に、その方法は無線電力伝送とよばれる。

そこで、私たちは、図3のように簡単なコイルをつくり、1次コイルに交流電圧をかけ、2次コイルに豆電球をつなぐと、その豆電球が光った。しかし、豆電球の光り方が弱いことから、豆電球にかかる電圧の大きさに興味をもった。そこで、1次コイルにかける電圧を変えて2次コイルで発生する電圧の大きさ、電流の大きさを調べた。



図1



図2

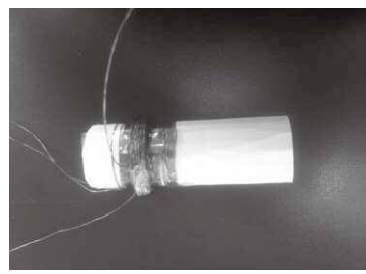


図3

2 電気を発生させる方法

電気を発生させる方法は次のような4つの方法がある。

- ① 静電気・・・塩ビ棒をティッシュでこする。
- ② 化学電池・・・2種類の金属を電解質につける。
- ③ 光電池・・・半導体素子に光を当てる。
- ④ 電磁誘導・・・コイルに磁石を近づけたり、遠ざけたりする。

今回はこのうち、電磁誘導を利用した方法に着目した。

3 研究の目的

相互誘導において、1次コイル側の電圧と電力、2次コイル側で発生する電圧と電力について比較する2つの実験、実験1、2を行った。

実験1では、図4のように、鉄心に1次コイルと2次コイルを巻き、1次コイルにかける交流電圧を変化させて、2次コイルで発生する電圧を調べる。また、1次コイルと2次コイルの巻数の比と、電圧の比について調べる。平成19年度のセンター試験物理Iでは、実験1と同様な、図5の問題が出題された。

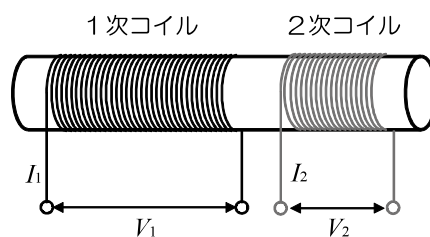


図4

問1 図1のように、鉄心に1次コイルと2次コイルが巻かれている。1次コイルと2次コイルの巻き数の比は2:1である。1次コイルに周波数50Hz、電圧10Vの交流電圧をかけるとき、2次コイルにはどのような交流電圧が生じるか。その周波数と電圧の組合せとして正しいものを、下の①～④のうちから一つ選べ。

☐ ①

1次コイル 2次コイル

図5

実験2では、図6のように、1次コイルと2次コイルとの間のズレによる電力の伝送効率を調べる。その際、エナメル線の太さ、コイルの形状、ズレの大きさを覚えて実験を行い、伝送効率の変化を調べる。

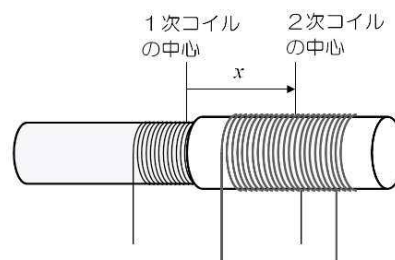


図6

4 実験1

(1)実験方法

図7のように、直径22mmの鉄心に1次コイルと2次コイルをつくり、1次コイル、2次コイルともに50巻にし、1次コイルに交流電圧をかけるとき、2次コイルに発生する電圧を測定する。同様にして、2次コイルを100巻、150巻に変化させる。

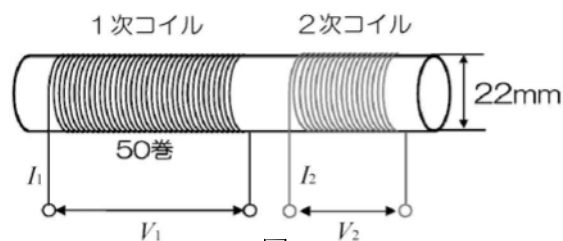


図7

1次コイルの巻数を N_1 、加える電圧を V_1 、流れる電流 I_1 、2次コイルの巻数を N_2 、生じる電圧を V_2 、流れる電流 I_2 とすると、

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

の関係が成り立つ。また、エネルギーや電力の損失がない変圧器では、

$$I_1 V_1 = I_2 V_2 \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

となる。

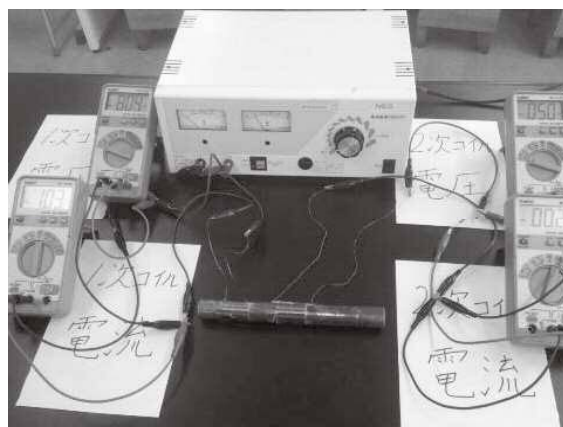


図8

(2)測定方法

図8のように、1次コイルと2次コイルの両端にテスターをつなぎ、それぞれの交流電圧の実効値を測定する。

(3)実験結果

表1は、実験1の結果を示したものである。表1から、2次コイルの電圧と1次コイルの電圧の比が、1次コイルと2次コイルの巻数の比にならず、非常に小さい値となることが分かる。このことから、1次コイルと2次コイルにかかる電圧の比は、理論値のように、巻数の比にはなっていない。

表1

	1次コイル	2次コイル		
巻き数	50巻	50巻	100巻	150巻
巻き数の比	1	1	2	3
理論値 (実効値)	5.0[V]	5.0[V]	10[V]	15[V]
測定値 (実効値)	5.0[V]	0.7[V]	1.3[V]	1.9[V]

5 実験 2

(1) 実験方法

図9のように、1次コイルに中空2次コイルを重ねて、1次コイルに交流電圧をかけるとき、2次コイルに発生する電圧とそれに流れる電流を測定する。また、導線の太さ、鉄心の太さ、コイルの形状、ズレの大きさを変えて実験を行った。

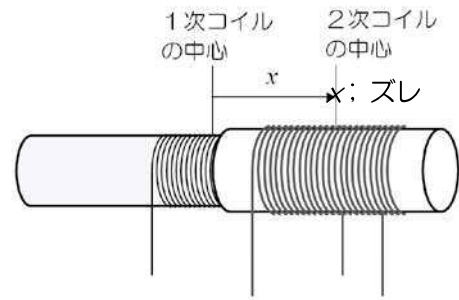


図9

(2)測定方法

図10のように、1次コイルに中空2次コイルを重ね、1次コイルと2次コイルにかかる電圧とそれに流れる電流をそれぞれテスターで測定する。また、1次コイル側の電圧を変化させたときの伝送効率と、ズレによる変化を調べた。ただし、伝送効率は

$$\text{伝送効率} = \frac{\text{2次コイルの電力}}{\text{1次コイルの電力}} \times 100 = \frac{I_2 V_2}{I_1 V_1} \times 100$$

とする。

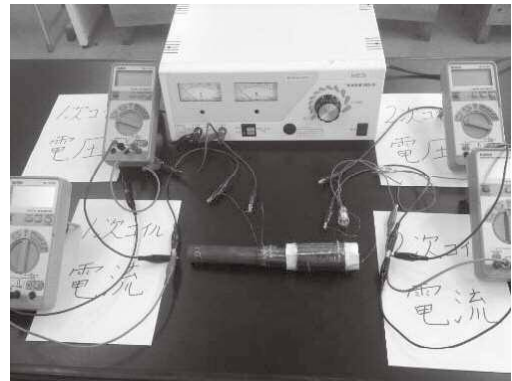


図10

(3)実験結果

ア 1次コイルと2次コイルの 電圧・電力を測定する

1次コイルは、図11のように鉄心の太さを22mmにし、0.5mmの導線を4重に巻いたものを使用した。また、2次コイルは、図12のように0.5mmの導線を同じように4重に巻いた筒型コイルを使用した。

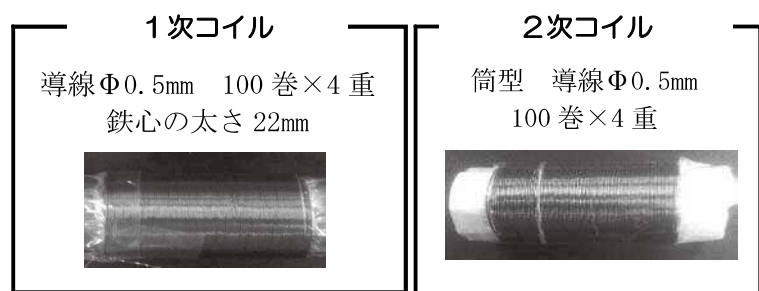


図11

図12

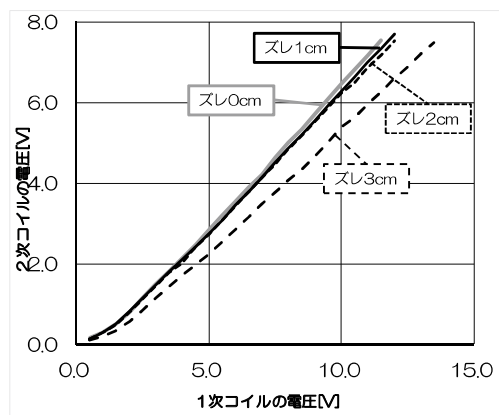


図13

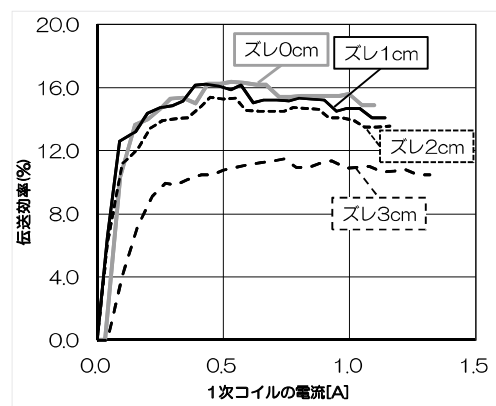


図14

図13から、1次コイルの電圧と2次コイルの電圧は比例していることがわかった。また、図14から、1次コイルの電圧を大きくしても、伝送効率がほとんど変わらず、ズレが3cmになると、伝送効率が大きく減少することがわかった。

イ 1次コイルの導線の太さを変えて比較する。

図15のように、1次コイルは ϕ 22mmの鉄心に0.5mmの導線を100巻し、それを4重に巻いたものと、0.4mmの導線を巻いたものの2つのコイルを使用した。また、図16のように、2次コイルには0.5mmの導線を4重に巻いた筒型コイルを使用した。

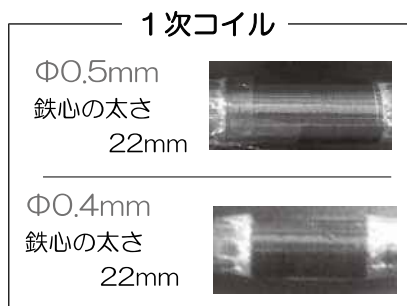


図 15



図 16

図17は1次コイルに0.5mmの導線を、図18は0.4mmの導線を用いたとき、実験結果を示したものである。図17、図18から、導線の太さを0.5mmから0.4mmに変えて行くと、0.4mmの方が伝送効率はわずかに増加していることがわかった。

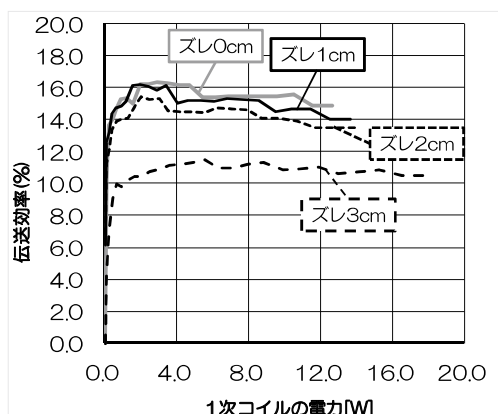


図17

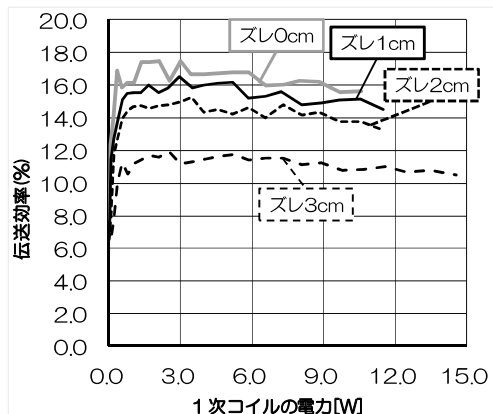


図18

ウ 2次コイルの形を変えて比較する。

図19のように、1次コイルは ϕ 22mmの鉄心に0.5mmの導線を4重に巻いたものを使用した。2次コイルには、図20のように、0.5mmの導線を用いた筒型のものと、0.5mmの導線を用いたドーナツ型のものを使用した。



図19

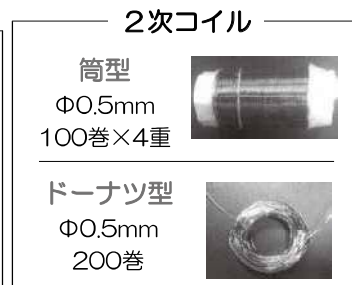


図20

図21は2次コイルに筒型を用いたときの結果であり、図22はドーナツ型を用いたときの結果である。図21、図22から、筒型とドーナツ型では伝送効率は筒型の方が高いことが分かった。ズレを大きくするにつれて、どちらも伝送効率は低下することが分かった。

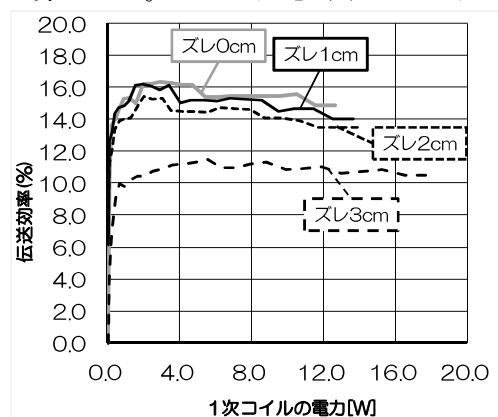


図 21

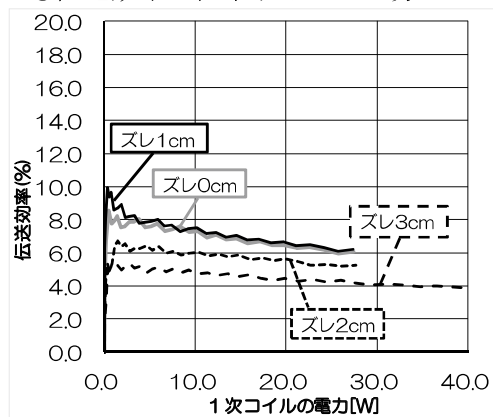


図 22

エ 1次コイルの太さを比べて比較する。

図23のように、1次コイルはφ22mmの鉄心、φ12mmの鉄心に0.5mmの導線を巻いたものを使用した。2次コイルには、図24のように、0.5mmの導線を用いた筒型のものを使用した。

図25は1次コイルにφ22mmの鉄心、図26はφ12mmの実験結果を示したものである。図25、26から、

1次コイルの電力が小さいとき伝送効率は高いが、電力を大きくすると伝送効率の低下が著しいことが分かった。

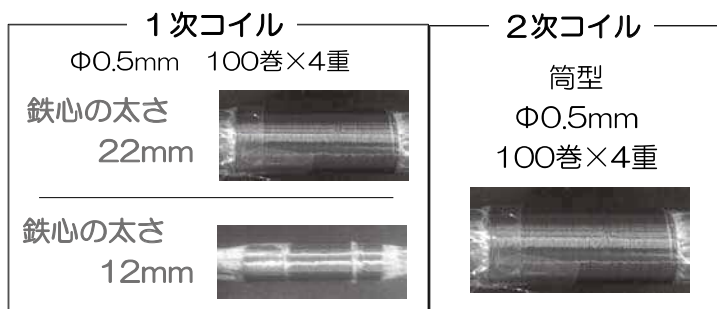


図23

図24

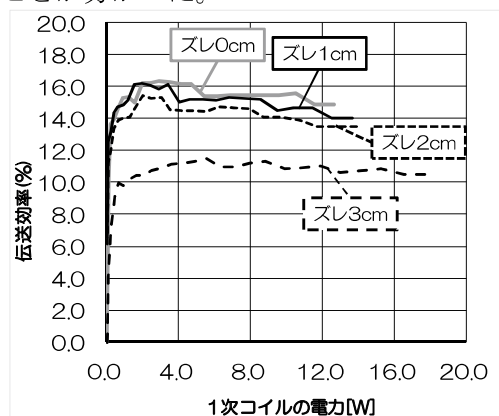


図 25

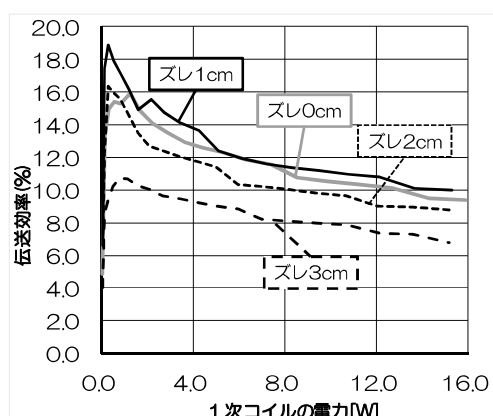


図 26

6 実験1と実験2の考察

(実験1)

2次コイルに発生する電圧は、2次コイルの巻き数の比にならないことがわかった。また、2次コイルに発生する電圧が低くなった原因として、コイルに使用した鉄心の磁界が逃げてしまっていること、コイルの抵抗でジュール熱が発生することが考えられる。

(実験2)

コイルのズレが大きいほど伝送効率の低下が起こったことは、コイルを貫く磁束が減ったためだと考えられる。また、ドーナツ型よりも筒型の方が、伝送効率が高くなったことに関しては、筒型はドーナツ型よりも鉄心に密着しているため、1次コイルの磁束の変化を受けやすかったと考えられる。

7 今後の課題

ロの字型の鉄芯や、渦巻き型などのコイルで実験をしたい。筒型とドーナツ型でグラフの特徴が違う理由を考察する。そして、コイルの相互インダクタンス $M = \frac{\mu_0 \mu_r N_1 N_2 S}{L}$ を理論的に計算して、実験値との誤差を測定する。また、可能であれば、電源の周波数を変更して実験を行ってみたい。

8 参考文献

- ・電磁誘導を用いた非接触送電の実験と応用 長岡工業専門学校 電気電子システム工学科3年 川上隼斗
- ・数研出版 改訂版 高等学校 物理Ⅰ・Ⅱ