

8の字型電磁コイルで「ノイズ・キャンセル」の原理体験  
—SSH 高校での教育実践等を通して—

八木 一正 ・ 高橋 葉月 ・ 佐々木 尚子 ・ 重松 公司

岩手大学教育学部研究年報 第74巻 別刷  
平成27年3月

Reprinted from the Annual Report of  
the Faculty of Education, Iwate University, Vol.74  
March 2015

## 8の字型電磁コイルで「ノイズ・キャンセル」の原理体験

—SSH 高校での教育実践等を通して—

八木 一 正\* ・ 高橋 葉 月\* ・ 佐々木 尚 子\* ・ 重松 公 司\*

(2014年9月30日受付, 2014年12月22日受理)

二つのコイルを使った相互誘導を音声で体感する実験は広く知られ実践されている。筆者らも長く使用してきたが、装置が大掛かりであるなどの理由で意外に使い勝手が悪く十分な教育効果が得られず困っていた。そこで、より小型で使い勝手のいいものに少しずつ改良していった。中でもコイルをフレキシブルにすることで、8の字型電磁コイルなど、これまでと異なる消音の原理を体感させる装置も開発できた。それらは理科教育の新しい眼目である「実感を伴った理解」に適うもので、多くの人に体験してもらったところ、SSH 高校等での教育実践がたいへん好評だったので報告する。

キーワード；電磁誘導、ノイズ・キャンセル、ワイヤレス給電、8の字コイル、実感を伴った理解

### 1. 研究の目的

電磁誘導の原理の理解を図るための実験は、既に数多く開発されたり市販されたりしている<sup>1~3)</sup>。中でも、二つのコイルの相互誘導の大きさを音声で体感させる実験も、以前から行われている。筆者らも30年来やってきたが、ラジカセの音声電流を一次側のコイルに流し変動磁界を作り、二次側のコイルでその変動磁界を拾いその微弱電流をアンプ・スピーカーで増幅して離れた場所でその音声を聞くというものである。これは装置が少し大掛かりで、配線等が面



(図1) 「8の字コイル」での電磁実験装置  
(左；SONY・ICF-P21、右；NEW ONLINE・N74)

\* 岩手大学教育学部

倒で意外と使い勝手が悪く困っていた。それを、よりコンパクトに、より使い勝手が良く、電磁誘導のより本質的で多様な一面を学生に示せる装置に改良することを目的に教育実践を行ってきた<sup>4~6)</sup>。

その経緯の中で、使用するコイルを細く柔らかく変形しやすいものにした。特に一つのコイルを振じった8の字にすると、今までできなかった新しい原理の学習指導が上手く行くようになったので、報告する。この電磁コイルをここでは“8の字コイル”あるいは“メガネコイル”と呼ばせて頂く。

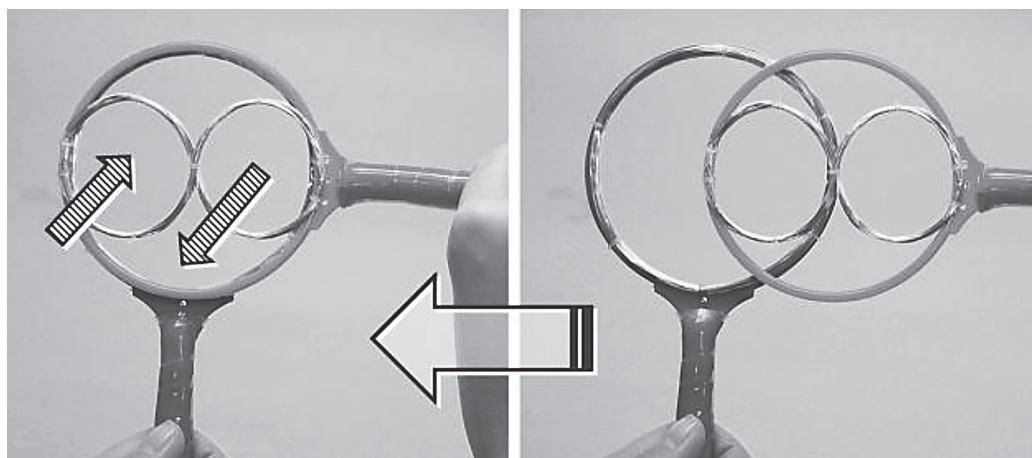
## 2. “8の字コイル”による「消音原理」

本装置は図1で、相互誘導の一次側に簡易ラジオを置き、イヤホンから出る低周波の音声電流を一次側の丸型コイルに流す。そして、2次側のコイルを通過する磁束変化を、安価なアンブとスピーカーで増幅し音声の大小として、耳で体感するというものである。この実験は、線を繋がないワイヤレスで音が聞けるために、生徒や学生から「ウォー！」という歓声が聞こえてくる感動ものである。

コイルの仕様は直径8cm、0.3mmφエナメル線40回巻。コイルの基台は金魚すくいの輪を使用した。各々はリード線の先にジャックを付けてワンタッチ結線できる。これによって、これまで導線の錆びや折れ易さなどで結線に苦労していたが、画期的に改善された。

図2は、二つのコイルの重ね具合を示したものである。この実験で、2次側に8の字コイルを置いて、二つが完全に重なると、音量はどうかという問題でもある。正答は、丸型コイルを振じて作った8の字コイルに起こる誘導磁場の向きは、二つの小丸コイルで逆あるいは逆位相で、それらの重ね合わせの結果、打ち消し合い「音が消える」というものである。

そして、この原理は逆位相の重ね合わせを利用した消音原理で、ノイズ・キャンセラー、ノイズ・フィルターの原理にも繋がるものである。



(図2) “8の字コイル”を重ねるとどうなる？

### 3. 本装置開発の当初の狙い

本装置開発の当初の狙いは、コンパクトにして使い勝手を向上させることである。つまり、これまで表面的な面白さだけでなく、電磁誘導の本質的要素一式を一つ一つ丁寧に子どもや学生に実感を伴った体験をさせる装置の改良である。その正確な狙いを以下、詳しく述べる。

一般的に電磁誘導の公式は以下の通りである。

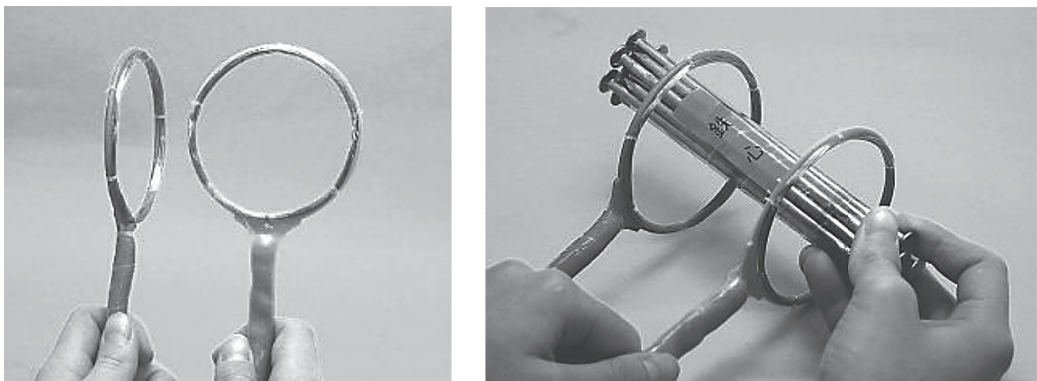
$$V = -n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -n \frac{\Delta\mu HS}{\Delta t}$$

ここに含まれているいくつかの本質的要素の意味合いを実験的に一つ一つ考えさせることが狙いである。つまり、マイナス（-）は誘導磁界の向き、 $n$ はコイルの巻き数、 $\Delta t$ は時間変化、 $H$ は磁場、 $S$ は断面積、 $\mu$ は透磁率である。

ここでの「8の字コイル」は、要素の一つ、誘導磁界の向きのマイナスが絡んで、重ね合わせで打ち消し合う場合に相当する。

図3左は、2次側のコイルを近づけたり回転させたりするのが容易である。それによって磁束 $\Phi$ を変化させたり、磁力線の通過断面積 $S$ を変化させたりするのに使える面白体感実験である。

図3右は、釘20本を束ねただけの鉄心で透磁率 $\mu$ を変化させるものである。コイル直径が大きすぎると磁場の密度が薄く、その変化を小さな鉄心ではその変化を音で感じにくかったが、コイルが比較的コンパクトにしたために、聞こえる音声の変化が極めて顕著になった。これによって、学校現場でほとんどやられていない透磁率の実験が極めて容易になった。透磁率はコイルを通過する磁界を強めたり弱めたりする効果を持つもので、目で実感しにくい空間の様子を推測するのに不可欠である。



(図3) 左；2次側の磁場 $H$ と断面積 $S$ の変化、右；束ねた釘の鉄心で透磁率 $\mu$ が変化

学校で学習する電磁誘導の演習問題や入試問題も、これらの要素を多く含んだもので作られている。つまり  $H$ 、 $S$ 、 $\mu$  などの変化するということはどういうことなのか、頭の中だけで追っかけるのでは理解が浅い。それを音声の大小で聞き分け、日常生活や社会との関連を図りながら理解させれば、物理嫌いも減り、教育効果も上がること必定である。

#### 4. 8の字コイルの実践授業等での反応

以下、8の字コイルの多様な意義を伝えるために、SSH 高校含めて3か所でのこの実験を実施した。いずれも、大変な驚きをもって歓迎される実験である。以下、体験者の反応等を紹介する。

① 1つは、本学教育学部の理科の20数名の学生に、図2左図の状態で音はどうか？を問うた。「音が消える」と正答した学生はほとんどいなかった。

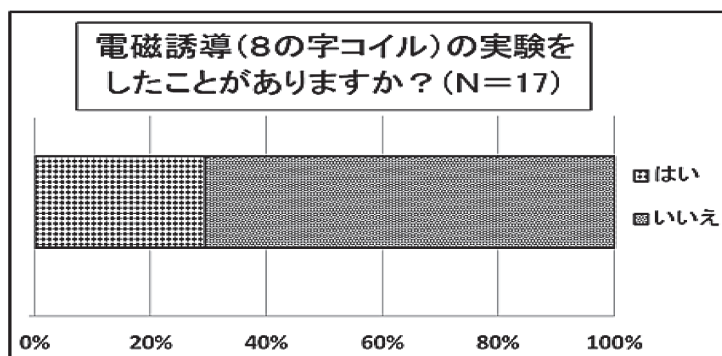
それは、この問の前に、二つの丸型コイルで様々な実験を学生に楽しませている内に、コイルを通過する磁束は変わらないから音量もさほど変わらないはずだという誤解を植付けてしまったのが原因と思われる。

これは、前に習ったことが邪魔して次を間違うという2次的素朴概念にもなった。したがって、コイルが振じられ「逆位相」という概念に巧く気付かせ、手順を踏んで考えさせないと、理科の学生にあっても正解には至らないということである。

② もう一つは、2013年11月に行われた日本物理教育学会の東北支部研究大会で、今回開発した実験道具を紹介した。そして、参加していた大学や高校の先生17名を対象に、「8の字コイルを使用した経験がありますか？」というアンケートを行った。結果は3割が経験あり7割が経験なしであった（図4）。

ただ、経験したことがあると答えた先生は、大学の理工学部の先生が多く、8の字コイルそのものを使ったのではなく、その原理を使ったノイズ・フィルターの実験をやったことがあるということが、後の意見交換で分かった。

そして、そこに来たほとんどの大学の先生が、ノイズ・フィルターやノイズ・キャンセルの原理を学生に伝えるために、この8の字コイルの実験を是非学生にやってみせたい、あるいは学生に考えさせる教材として使わせたいなどと、こちらの方が驚くほどの反響であった。この



(図4) 8の字コイル体験の有無のアンケート結果

## 8の字型電磁コイルで「ノイズ・キャンセル」の原理体験

支部大会では、高校の先生も含めてこの実験の意外性で非常に盛り上がり、装置の活用の大きな可能性に余韻を残す発表になった。

当初、筆者らは単に「消音」ということしか考えていなかった。しかし、その先により一般的な「ノイズ・キャンセル」、つまり逆位相の波動をぶつけて打ち消し合うという応用に強く繋がっていることを教わり、その重要性を再確認した次第である。

③ 三つ目は、昨年2013年12月、栃木県のSSH高校の1年生202名を対象に実践授業を行った時の話である（写真1）。

授業では、まずスクリーンでパワーポイントを使い手順に従って実験の原理説明をした。その後、実際に実験装置5セット用意して全員が個別実験をする時間を設け、実感を伴った理解を図れるようにした。個別実験だけは音が外に出ないように、イヤホンで聞けるように特別に装置改良して、電磁誘導の本質的要素を一つ一つを各個人に確実に体験させた。

当初、前記の支部大会では、物理を学ぶ前の高校生1年生に8の字コイルを理解させるのは難しいのではと言われていた。しかし、8の字コイルは今回の研究では最も工夫した点の一つでもあるため、クイズなど交えながらできるだけ丁寧に説明しながら生徒たちに紹介した。

この実践の事前事後の理解度の変化や理解に必要な要素もアンケートで調べ、その結果を幾つかの統計分析にも掛けた。

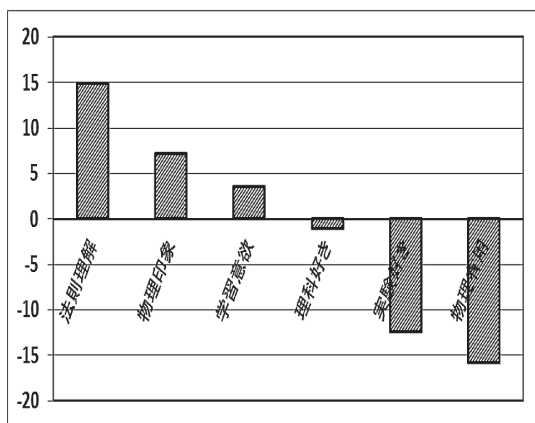
まず、事前アンケートに関する統計のCS（顧客満足度）分析<sup>7)</sup>で、(目的変数)電磁誘導の原理を高校生に理解させるためには、原理に用いられている法則を理解すること、物理に対するあまり良くないイメージを変えることが重要な改善すべき(従属変数)であるということが分かった(図5)。



(写真1) SSH高校での授業中の生徒の様子

<b>★事前アンケート項目(項目概要)</b>
①(理科好き)これまで理科は好きでしたか？
②(物理印象)これまで物理のイメージは良い方でしたか？
③(実験好き)これまで理科(物理)実験は好きですか？
④(物理有用)物理は将来役立つと思いますか？
⑤(学習意欲)物理はしっかり勉強した方が良いと思っていましたか？
⑥(法則理解)電磁誘導の実験では何の法則が使われているか分かりますか？
⑦(原理解)これまで電磁誘導の原理を理解していましたか？
<b>★事後アンケート項目(項目概要)</b>
①(実験面白)今回行った実験は面白かったですか？
②(道具使易)今回の電磁誘導の実験道具は使いやすかったですか？
③(説明適切)今回の実験の説明や原理の説明は分かりやすかったですか？
④(実験必要)今回の原理を理解するためには実験が不可欠だと思いますか？
⑤(学習意欲)今回の授業を通して物理をもっと学習したいと思うようになったか？
⑥(物理有用)今回の授業を通して物理は将来役に立つと思いますか？
⑦(原理解)今回の授業を通して電磁誘導の原理に関する理解が深まりましたか？

(表1) 事前・事後アンケートの項目



(図5) 事前のCS分析による改善度グラフ  
これは問題解決度の高い項目を指摘可 (≦.05)

		“原理解”				
		5.そう思う	4.少しそう思う	3.どちらとも	2.あまりそう思わない	1.そう思わない
事前		21	45	73	33	26
事後		86	70	33	6	3
		“物理有用”				
		5.そう思う	4.少しそう思う	3.どちらとも	2.あまりそう思わない	1.そう思わない
事前		61	69	53	7	8
事後		100	69	24	2	3
		“学習意欲”				
		5.そう思う	4.少しそう思う	3.どちらとも	2.あまりそう思わない	1.そう思わない
事前		14	47	85	33	19
事後		87	70	28	6	7

(表2) 事前・事後の3項目に関する変容比較 (N=198, ≦.05)

そのCS分析の結果を受けて、事前・事後のアンケート結果(表2)から、「電磁誘導の原理を理解させる」、「物理の有用性を感じさせる」、「物理に対する学習意欲を高める」という当初の目標は、統計のマン・ホイットニ検定<sup>8)</sup>で有意差があることが分り、ほぼ達成された。

これらの実践を通して、8の字コイルの実験をして本当に「音が消えた」などという体験は、後々の学習に大きな影響を及ぼすだろうという強い確信が持てた。

## 5. 終わりに

幾つかの教育実践を踏まえ、二つのコイルを使った相互誘導実験を音声の大小で聞き分け実感するという体験は、多様な「ワイヤレス給電」の時代に向かって、子どもには是非やらせたい実験である。

そのためにはコンパクトな使い勝手の良い装置で、一つ一つ確実な体験をさせることが重要であるということが分ってきた。

8の字コイルの反応は、筆者らも想定外であったが、あまりにも反響が大きかった。これからの未来を支える子供たちには、小学生でもよい、この面白いという体感実験を、今ぜひやらせたい。読者諸氏にもこの“8の字コイル”あるいは“メガネコイル”を製作して頂き、ぜひ普及に努めて下さるようお願いしたい。

最後に、“8の字コイル”という名のコイルは既にいくつかある。一つは、2本のソレノイドコイルを逆巻にして並べた双眼コイル<sup>9)</sup>でアンテナとして使用している。もう一つは、振動している金属板の磁化の具合を見る<sup>10)</sup>ことに主眼が置かれたもので、特殊応用的である。いずれも趣味的で教育的ではない。筆者らの目指すものは、電磁誘導の基本的要素の一つ、誘導電流の向き、公式ではマイナス(-)の理解を図るために、使い勝手のいい道具を開発し、個々の子どもに確実に伝え、その理解の効果を上げるというものである。その点で、基本的な教育の方向が異なるものであることを申し添える。

## 8の字型電磁コイルで「ノイズ・キャンセル」の原理体験

### 引用文献

- 1) Norihiro Sugimoto, Umbrella Coil, The Physics Teacher, Vol.46 No.7, Little Gems, October 2008
- 2) 平島由美子, 「小学校教員研修での『ものづくり～光通信と電磁誘導～』物理教育60-2, P.119-120, 2012
- 3) ナリカ理科機器, 「無接点給電実験セット」, 総合カタログ, Vol.52, P.374 B10-4112, 2011
- 4) 藤原優, 他6名, 「ラジオの音で実感する電磁誘導の実験装置開発 (I)」, 日本理科教育学会東北支部大会論文集P.4, 2013
- 5) 藤原優, 他6名, 「ラジオの音で実感する電磁誘導の実験装置開発 (II)」, 日本科学教育学会北海道東北支部大会論文集PP.41-42
- 6) 藤原優, 他5名, 「電磁誘導をラジオの音で実感する簡便な実験装置の開発」, 日本物理学会東北支部研究大会予稿集, PP.10-11, 2013
- 7) 菅民郎, Excel で学ぶ多変量解析入門, オーム社, 第5章CS分析, 2001
- 8) 柳井久江, 4Steps エクセル統計, OMS 出版, 1998
- 9) <http://blog.goo.ne.jp/jo7tcx/e/b00d500e746ee17f94b0e524de0d94a6>
- 10) 石川幸一, 「8の字コイルで鉄の響きを美しく」, いきいき物理わくわく実験3, PP.54-56, 日本評論社, 2011