

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：11101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2012

課題番号：22650187

研究課題名（和文）電磁誘導にもとづくエネルギー変換教材の開発

研究課題名（英文）Development of Teaching Materials for Energy Transform based on Electromagnetic Induction

研究代表者

櫻田 安志（SAKURADA YASUSHI）

弘前大学・教育学部・准教授

研究者番号：70280922

研究成果の概要（和文）：本研究では、電磁誘導を学習するために四つの教材を提案した。これらの教材は、①手作りカレントトランスフォーマー、②手回し交流発電機、③コマ状モーターと発電機、④非接触給電灯である。これらの教材には、すべてに生徒たちが自作する部分が含まれている点に特徴がある。結果として生徒たちには、自分たちの作った教材を使ってエネルギー変換を学習することで高い学習成果が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we proposed four teaching materials to learn electromagnetic induction. These teaching materials are as follows: handmade current transformer, hand drive AC generator, top-formed motor and generator, and non-contact feeding light. These teaching materials have the characteristic properties that students create by themselves. Students learn energy conversion with their teaching materials which they made. As a result, high learning result is expected for this method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	500,000	0	500,000
2011年度	400,000	120,000	520,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
総計	1,400,000	270,000	1,670,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・科学教育

キーワード：電磁誘導、交流、トランスフォーマー、発電機、電動機

### 1. 研究開始当初の背景

近年、環境問題への取り組みが必要とされる中で、学校教育分野においても、様々な教科や総合的な学習の時間などを通して、エネルギー・環境問題についての教育を行うことが求められてきている。その中で、平成20年度の学習指導要領の改訂により、中学校技術家庭科技術分野（技術科）は、これまで以上に幅広い分野の多くの内容を学習する科

目となった。しかし、技術の授業時間数は少なく、エネルギー・環境問題などに力を入れた授業を行うには授業の効率的展開への工夫が求められている。

### 2. 研究の目的

本研究では、中学校技術科において「エネルギー変換を利用したものづくり」を行うことを通して設計・製作の体験をするとともに

エネルギー・環境問題に対する生徒の意識向上を目指した教材の開発を行うことを目的としている。特に本研究では、電気エネルギーの変換の基本原則である電磁誘導現象に注目し、電磁誘導現象の実験・体験的理解を促す教材を開発する。

電磁誘導現象は、難しさが強調されがちな現象であるが、①手作りの教材で簡単に実現できる点、②自作することにより現象の体感的な理解が可能である点、③多くの機器に用いられており生活に密着した現象である点などから、学習上、実用上、きわめて重要な現象である。本研究では、電磁誘導現象について「ものづくり」を通して理解させることで、エネルギー変換の基本原則の理解を促し、エネルギー・環境教育の発展につなげたい。

### 3. 研究の方法

#### (1) 手作りカレント・トランス (自作 CT) を用いた電力測定教材

本研究では、中学生がものづくりと計測を通して、交流電気の学習と計測に関する学習を行うための教材として、自作 CT による交流測定教材を開発する。

磁性体コアの周りにコイルを巻くことで、カレントトランスを自作することができるが、1) 授業の中で実現させるための条件、2) 作製した素子が日常生活において活用できるようにする点、などに課題がある、そこで、コアの材料、巻き数などのパラメータへの計測結果の依存性などを理論および実験に基づいて検討する。

理論的な解析では、自作 CT を理想的なトランスによってモデル化することで、生徒の自作時のパラメータが、どのように生徒の手による計測結果に影響するかを理論的に見積もる。

次に、実験を通して、自作 CT による測定の有用性を確認するとともに、自作時に現実的と考えられるパラメータを模索していく。

さらに、この教材を用いて測定装置の作製および測定を行うことで、エネルギー学習に関する動機付け、および省エネルギーに関する学習を行う方法を検討する。これに加えて、磁性体コアとコイルの組み合わせを交流磁場の発生に使用する方法についても併せて検討する。

#### (2) 直流モーターを用いた交流発電機の作製と変圧器による変圧の提示教材

生徒が教室で活用する発電教材は、太陽電池や、直流モーターが内蔵された手回し発電機を用いるものが一般的である。しかし、いずれも出力が直流であるため、電気エネルギー

一源としては有用でも、交流現象に関わる実験の電源には用いることができない。

ここでは、モーター中の電機子を回転させたときの出力を、整流子を介さずに出力することで、回転に伴って交互の方向に生じる誘導起電力を取り出す方法について検討する。

さらに、市販の手回し発電機の仕組みを活用することを検討し、生徒にとって使いやすい教材になるような工夫を行う。

これに加えて、交流出力を用いた交流の特徴を理解させやすい教材についても検討する。例としては、作製した発電機とともに模型用の変圧器を用いて、波形変化などを観察する。さらに、変圧器の自作についても検討する。

#### (3) 手作りコイルを用いた動力と電力の間のエネルギー変換教材

回転運動と発電の関係をより明確に印象付けることができる教材として、自転車のホイールを利用した発電機をヒントとして、コマ状の回転構造を用いた電動機および発電機について検討する。

まず、ホイールなどの回転構造に自作コイルを取り付けて発電を行う発電機を作製し、その特徴や問題点について考える。次に、アクリル板で作成したコマ状の構造に磁石を取り付けて、土台に取り付けた自作コイルとの間で発電を行う教材について検討する。その際に、中学生に作製が可能であることと、作製を通して発電原理 (エネルギー変換) の学習を行うことができることが重要となる。

さらに、作製時に生徒に創意工夫を行わせることを重視し、設計・製作を生徒みずからの手で行わせるための方策についても検討する。例えば、同様の仕組みを使って、電動機として活用するだけでなく、発電機としても活用できるようにするための構造にして、発電機に使用する際に、生徒に工夫を生かすことも考えられる。

#### (4) 電磁結合を利用した非接触でのエネルギー授受教材

電磁誘導を用いてエネルギー供給を行う仕組みは身近なところで数多く使われている。この研究では、手巻きのコイルを用いて、非接触なエネルギー供給を行う仕組みを簡易的に実現する教材について検討する。

特に、非接触なエネルギー供給の教材を、生徒の手で自作することで、技術的な意味だけでなく、現象の物理的な意味での理解が可能となる教材を検討する。

さらに、手巻きのコイルに磁性体のコアを併用した場合のエネルギー授受についても、生徒の自作教材としての利点が生じるかに

についての検討を行う。

これに加えて、安価な低周波発振器を交流電源とした際の使用条件や問題点などについても検討する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 手作りカレント・トランス (自作 CT) を用いた電力測定教材

磁性体のコアに手巻きでコイルを取り付けて、自作のトランス (自作 CT) を作製した。この自作 CT の 1 次側に、測定対象となる VFF ケーブルを通過させて、その VFF ケーブルを介して電球などの負荷による電力消費を行い、その電流をモニターした。図 1 に、その概念図を示す。

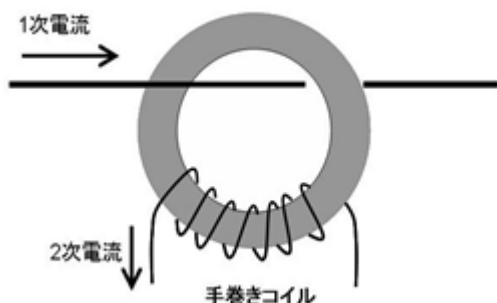


図 1 自作 CT の概念図

結果の一例として、図 2 に 100 ターンを巻いたコイルを用いた電流測定 (電流を電圧の形で検出) の結果を示す。また、自作品との比較対象として、市販品による電流測定の結果を併せて示す。

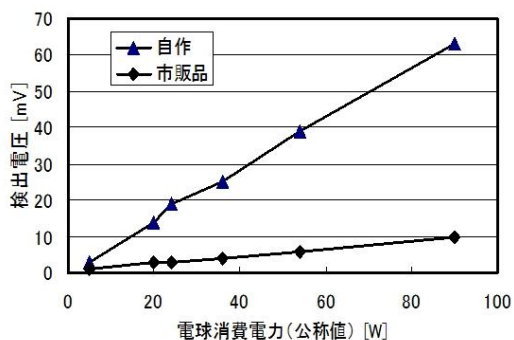


図 2 自作品と市販品による測定結果

この実験では、日常に使う電気機器の消費電力の範囲では、自作の CT で直線性の高い電流 (消費電力に対応) の観察が可能であることが分かった。ここでコイルの巻数は、変圧比にも関わるため、適切な数がある。この巻数はコアの形状および材料の透磁率によることも理論結果より分かっている。なお、

私たちの用いたコアで理論計算をした結果は数 10 ターンから 100 ターン程度であった。

生徒に自作させるという観点から考えると、中学生に授業中に数 10 ターンから 100 ターンもの巻き数のコイルを巻かせるのは巻数が多く、授業を行う上では問題となる。そこで、少ない巻き数での実現性についても併せて検討した。その結果、数ターンほどの巻き数でも、低感度ではあるが電流測定が可能であることが明らかとなった。

2 次側の出力を計測する仕組みとしては、マルチメータとそのコンピュータへのデータ送信機能を活用することや、マイコンなどの A/D 変換機を用いる方法などでも実現が可能である。

また、感度は悪くなるが、作製時の負担をさらに軽くする方法として、磁性体のコアを分割して使用する方法についても検討した。

分割したコアを用いた自作 CT による電流測定の結果を図 3 に示す。図 3 より明らかなように、分割したコアを用いても 1 次側の消費電力 (電流で表示) に対して直線性の高い検出値が得られている。ただし、検出値は小さい。

結果として、分割した磁性体コアを自作 CT に使用することで、以下の問題が解決された。  
① 児童・生徒の手による作成が容易になった。  
② 分割したコアでクランプ型にすることで、作成した CT の取り付けおよび取り外しが容易となり、使いやすい教材となった。

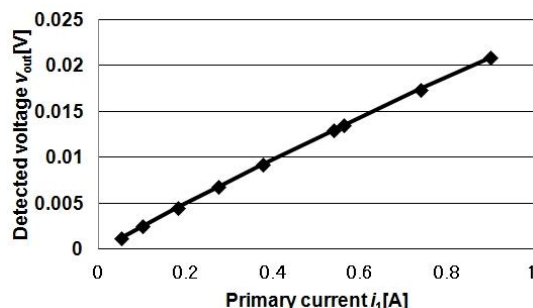


図 3 分割型コアを用いた自作 CT による測定

さらに、自作 CT の仕組みを活用して、コアの一部を欠損させてギャップを作製し、ギャップ空間中の交流磁場の変化を磁性流体の動きとして観察する教材も作製した。この教材では、磁場の時間変化が確認できるが、教材として用いるには微小であった。今後は、磁場変化をさらに見やすく表示する方法について、引き続き検討をしていく必要がある。

##### (2) 直流モーターを用いた交流発電機の作製と変圧器による変圧の提示教材

直流モーターの改造により交流出力を取り出すために、一つの電機子の回転運動から

得られる電力だけを取り出す改造について検討した。

まず、交流と直流との変換に使われる整流子の働きを無効にするために、すべての整流子を導線でつなぎ等電位にした。整流子はブラシを介してモーターの電気端子とつながっているため、電機子の片側は電気端子とつながることになる。

これに対して、電機子のもう片側の導線は、整流子から切り離し、先端の被覆を剥いてからシャフトに取り付ける。このようにするとシャフトを介してモーターのカバーが導通することになる。したがって、モーターのカバーに導線を取り付けてやることでもう片側の端子となる。このようにして、一つの電機子の出力を取り出すことができるようになる。

以上の改造を、手回し発電機のモーターに対して行い、モーターからの出力を、手回し発電機の出力端子につないでやることで、一つの電機子の回転運動による起電力（正弦波）を手回し発電機の出力端子から取り出せるようになった。

上述の交流化を行った手回し発電機の出力波形を図4に示す。図の出力例では、得られた出力電圧の振幅は5V程度、周波数は数十Hz程度である。

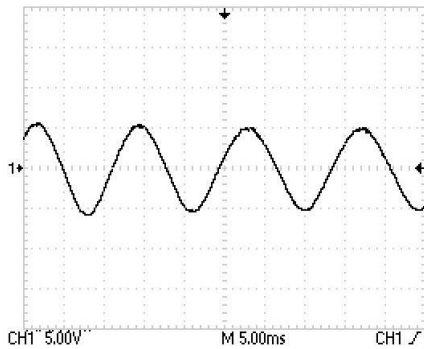


図4 出力電圧波形

手回し発電機を交流化した出力波形を、ダイオードによって全波整流した波形を図5に示す。

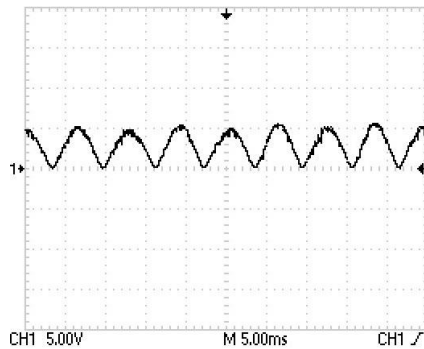


図5 全波整流後の波形

ダイオードのはんだ付けは中学生にも容易にできるため、手回し発電機のモーターの改造、実験回路の製作は、すべてを生徒が自分の手で行うことができる。

同様に、半波整流やコンデンサによる平滑化との組み合わせによる直流化を行うことも可能となる。また、変圧器との併用により、昇圧、降圧の実験も行うことができる。

特徴的なのは、生徒による自作や改造に基づく上述の実験には、ブラックボックス的な部分が無い点である。

### (3) 手作りコイルを用いた動力から電力へのエネルギー変換教材

複数の磁石を取り付けたアクリル板によるコマ状の回転構造に対して、手作りコイルを用いて、回転状況の検出および回転運動の駆動をするモーターを試験的に作製した。

図6に作製した電動機の模式図を示す。このモーターでは、コイルを手巻きするほか、検出信号の増幅回路、および増幅された信号に基づいて駆動コイルに電流を流す駆動回路によって回転の制御が行われている。

検出コイルからの誘導起電力による信号には正弦波が得られており、電動機としての動作をさせながらも、正弦波交流を出力可能な教材となった。

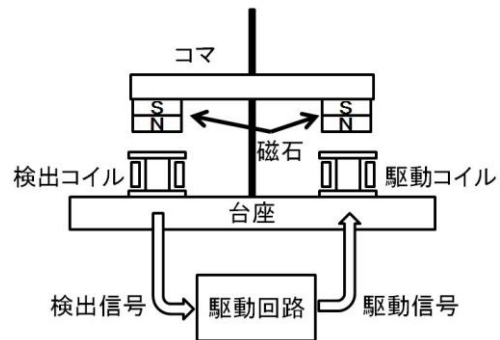


図6 コマ状構造による電動機の模式図

生徒の自作という観点で、このモーターを見た際の問題点としては、コマ構造の切り出しの部分が考えられた。そこで、アクリル板の代わりにプーリーを軸に取り付けて使用することで、加工の難しさが軽減されることになった。授業者は、加工用設備の状況や、生徒の技術的状況などに基づいて、アクリル板などの加工とプーリーなどの活用が選択できる。

この教材を発電機として用いることで、生徒による設計や工夫を生かす教材として活用することができるようになる。

図7は、コマ状の回転構造による発電機の様子を模式的に表現したものである。この教材を発電機として用いる際には、回転状態を



検出するコイルと回転を駆動するコイルの両方を、電磁誘導による起電力の検出コイルとして用いる。この交流出力をモニターすることで、発電の様子が分かる。ここに、生徒の設計や工夫の要素を加える。

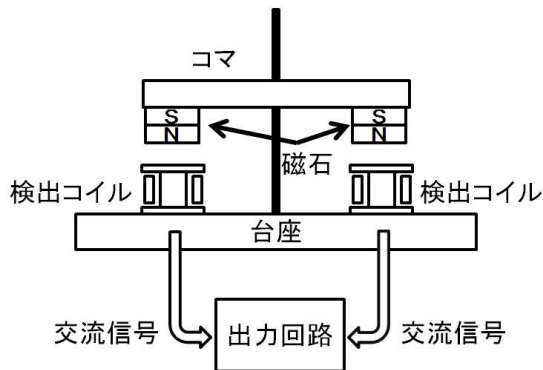


図7 コマ状構造による発電機の模式図

風力発電を例に考えると、このコマ状構造の上部に、各生徒が工夫して作製する風車の構造を取り付けてやることで、効率よい発電を目指すことも可能になる。

仮に、この発電機を生徒が自作せず、教員が作製して準備する場合でも、風車部分を各生徒の工夫で設計・作成させることも可能であり、作製物を使ってコンテスト形式で発電量を競うことも可能となる。

#### (4) 電磁結合を利用した非接触でのエネルギー授受教材

1MHz 程度の周波数の電源を用いることで、生徒が自作した二つのコイルの結合を通して、電気エネルギーを送り、2次側の負荷であるLEDの点灯を行う回路を実現した。

さらに、蓄電の要素を併せて考えるために、伝送した交流信号を整流して、コンデンサに蓄電し、スイッチの切り替えにより、逐電された電気エネルギーでLEDを点灯させる回路も作製した。その回路図を図8に示す。

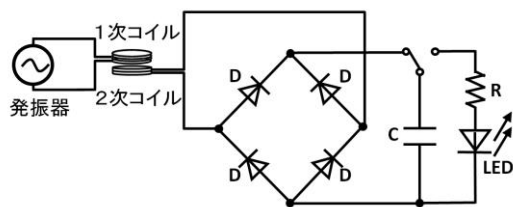


図8 非接触給電の自作学習用回路

このような単純な非接触給電回路の作製を生徒に行わせ、実際に照明として使用させる。このような教材を通して生徒が電磁誘導を、単なる物理現象としてではなく、生活に

密着した科学技術の基礎と捉えられることを期待したい。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計8件)

- ① 櫻田安志「電磁誘導に基づく交流学習教材Ⅲ」第60回応用物理学関係連合講演会、2013年3月27日、神奈川工科大学
- ② 櫻田安志「教材用クランプ型カレントトランスフォーマーの検討」第29回日本産業技術教育学会東北支部大会講演会 2011年12月4日、岩手大学
- ③ Yasushi Sakurada「Characteristic Properties of Current Transformers as Teaching Materials」International Conference on Technology Education 2011年11月4日、Nagoya College of Foreign Language
- ④ 櫻田安志「電磁誘導に基づく交流学習教材Ⅱ」第58回応用物理学関係連合講演会、2011年3月9日、2011年春季第58回応用物理学関係連合講演会講演予稿集
- ⑤ 櫻田安志「電磁誘導を実験的に学習するための教材開発」第28回日本産業技術教育学会東北支部大会講演会、2010年11月28日、仙北市角館広域交流センター
- ⑥ 櫻田安志「電磁誘導に基づく交流学習教材」第71回応用物理学学会学術講演会、2010年9月15日、長崎大学
- ⑦ 横山安弘、櫻田安志「電磁駆動コマの製作」日本産業技術教育学会第53回全国大会、2010年8月29日、岐阜大学
- ⑧ 櫻田安志「交流現象を可視化する教材の開発」日本産業技術教育学会第53回全国大会、2010年8月28日、岐阜大学

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

櫻田 安志 (SAKURADA YASUSHI)  
弘前大学・教育学部・准教授  
研究者番号：70280922

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：