

風力発電型電磁誘導実験装置「ウインディー」

を用いた授業実践の試み

島根県立矢上高校 福田 豊
島根大学教育学部 秋重 幸邦

電磁誘導を教えるための教材として、市販の四極磁石とソレノイド型円形コイルを用いて、風力発電型電磁誘導実験装置を開発した。地元企業との共同で「ウインディー」という名の理科教材として製品化し、販売することとなった。大学や高校で教育実践活動を行い、この装置の理科教育やエネルギー・環境教育のための教材としての有効性を確認した。

1. はじめに

21世紀の人類に科せられた最大の課題である地球環境問題を解決するためには、資源・エネルギー問題を含むエネルギー・環境教育の進捗が急務である。その実践面においては、エネルギー環境教育を推進に役立つ適切な教材やそれを用いた教育プログラムを開発することは極めて重要である。

発電の根幹をなす電磁誘導現象に関しては、中学校理科、高等学校物理 IA、物理 II などで行きわたっているものの、十分な定着をみない、分かりづらい物理現象の一つになっている。電磁誘導実験装置は市販品を含め数多くのもが提案されている。高橋は、¹⁾ 文献にある方法・装置を調査分類した結果、どの方法も永久磁石の磁場を用いているために、その強さを自由に換えられず、また定量化も簡単でないとして、大型のヘルムホルツコイルで磁場を発生させ、その中央でコイルを回転させる発電機型の電磁誘導実験装置を試作した。可変磁場や持続した交流起電力が得られ、測定結果と理論との比較も容易であるなど、完成度の高いすばらしい装置となっている。しかし、装置が比較的大掛かりで、整流子等の加工技術が微細であるなど、素人には簡単には作れない。そこで、理論的説明の複雑さは増すものの、市販の磁石やコイルを使って、もう少し手軽に作れる発電型の電磁誘導実験装置ができないものかと考えた。2002年、我々は市販の四極磁石回転子とソレノイド型円形コイルを用いて風力発電型電磁誘導実験装置を開発し、応用物理教育誌に発表した。²⁾ その試作機を元に、県下の企業である(有)清友エンジニアリングや島根電工 KK との共同開発で風力発電型電磁誘導実験装置「ウインディー」を製品化することができた。本報告は、このウインディーを用いての教育実践活動を紹介したものである。

1) 高橋成和：物理教育 33 巻(4号) 293 頁 (1985).

2) 福田豊、秋重幸邦：応用物理教育 26 巻(1号) 9 頁 (2001).

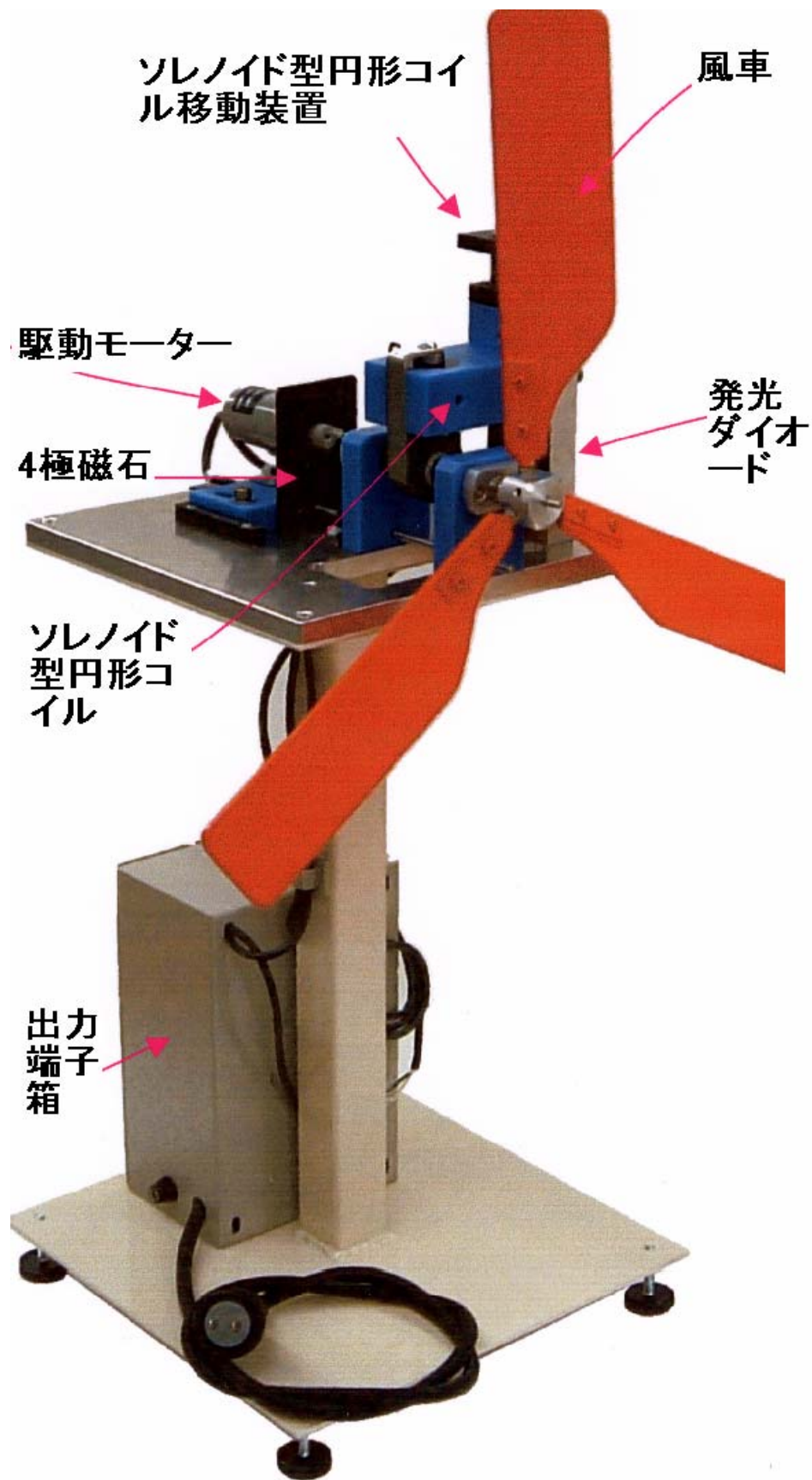


図1 風力発電型電磁誘導実験装置「ウインディー」

2. 実験装置の紹介

図1にウインディーの写真を示す。本装置は、風車の回転による発電と駆動モータの回転による発電ができ、演示実験および実験装置としての利用が可能な多目的実験装置である。主な構成は、①風車部分、②電磁誘導に関する発電実験の部分、③風力による発電部、④安全装置からなる。各部分の特徴を簡単に紹介する。

- ① 風車部分：(1) 装置に取り付けられた風車は実験者が羽根の角度を任意にダブルナットで固定し実験できる。(2) 実験者の創意工夫した羽根の取り付けが可能である。
- ② 電磁誘導に関する発電実験部分：(1) 四極磁石回転子の回転数を駆動モーターで制御する事で、連続的に任意の回転数に対する発電の実験ができる。(0～500 rpm)。(2) 四極磁石回転子とソレノイド型円形コイルとの距離を変えることで、発生電圧の変化を調べる事ができる。上下操作はネジ機構で、0.01mmの精度である。(3) ソレノイド型円形コイルの中心部分に、金属材料を挿入する事ができ、金属の種類による発生電圧の比較が可能である。(4) オプションのコイルを2個付加すれば、三相交流の発電実験ができる。(5) オシロスコープ用の端子を備えているので、手持ちのオシロスコープに接続すると波形観察が、簡単にできる。
- ③ 風力による発電部分：駆動モーターによる回転と風車による回転の切り替えは、クラッチ機構により簡単にでき、風力発電実験ではLEDが点灯する。
- ④ 安全装置：実験者が、風車を取り付けたままで、誤って駆動モーター利用の電磁誘導実験ができないように、風車のロック機構が備えられている。

3. 授業実践に向けて

本実験装置を使用して、高校で実際に授業を行うことを想定し、①授業前のアンケート調査用紙、②実験指導書、③授業後のアンケート調査用紙などを作成した。この内容について説明する。

- ① 授業前のアンケート調査用紙：中学校理科第1分野で電磁誘導に関しては教科書の中で取り扱われており、一応の理解はなされていると考えられるが、念の為に授業前にどの程度の理解がなされているかを調査して授業に入るために、2種類のアンケート用紙、アンケート調査(1)付¹⁾、アンケート調査(2)付²⁾、を作成した。実際の調査用紙には図を入れているが、ここでは省略している。

付1) アンケート調査 (1)

右図のように(図省略)、コイルに検流計を接続して磁石をコイルに近づけたり遠ざけたりすると検流計の針が振れました。この事について、下記の質問の答えを一つ選んでください。

質問1. 磁石をより早く動かすと検流計の振れはどうなると思いますか。

- 1) 大きく振れる、2) 変わらない、3) 小さく振れる。(理由)

質問2. 磁石をコイルからさらに少し遠ざけて動かすと検流計の振れはどうなると思いますか。

- 1) 大きく振れる、2) 変わらない、3) 小さく振れる。(理由)

質問3. コイルの巻数を多くして磁石を動かすと検流計の振れはどうなると思いますか。

- 1) 大きく振れる、2) 変わらない、3) 小さく振れる。(理由)

② 実験指導書：実験指導書「風力発電と電磁誘導に関する実験」は、1.目的、2.原理、3.装置、4.準備するものと配線図、5.実験方法、6.実験結果、7.課題、8.感想、等の項目からなる。実験指導書の詳細についてはここでは紹介しないが、大学では180分間(90分×2)授業用で、最初の90分は、教師が電磁誘導の解説を行い、オシロスコープの使用方法、ウインディーを用いての演示実験などを行う。後半で、実際に学生たちがウインディーに触れ、「回転数と起電力の関係」や「磁石とコイルの距離と起電力の関係」をオシロスコープの波形を見ながら指導書に従い測定する。この実験指導書には、レポート作成のための課題や磁場強度の補正法に関する詳しい記述もあり、家に帰ってからもう一度勉強し直すことができるように配慮されている。高等学校においては、200分間(50分×4)を想定した内容である。

付2) アンケート調査 (2)

右図のように(図省略)、コイルに検流計を接続して四極磁石を回転させたら、検流計の針が振れました。この事について、下記の質問の答えを一つ選んでください。

質問1. 磁石の回転をより早くすると検流計の振れはどうなると思いますか。

- 1) 大きく振れる、2) 変わらない、3) 小さく振れる。(理由)

質問2. 磁石をコイルからさらに少し遠ざけて回転させると検流計の振れはどうなると思いますか。

- 1) 大きく振れる、2) 変わらない、3) 小さく振れる。(理由)

質問3. コイルの巻数を多くして磁石を回転させると検流計の振れはどうなると思いますか。

- 1) 大きく振れる、2) 変わらない、3) 小さく振れる。(理由)

③ 授業後のアンケート調査および個人面接の内容：授業を行った後の感想などを含めて4項目についてアンケート(3)^{付3)}で確認する。又、高校生は文章力がなく紙面には書けない生徒もいるので、個人面接や全体討論で意見を聞く必要があると考える。

4. 授業展開と結果

上記教材を用いて、松江工業高校全日制電気科1～3年生で、実際に授業を行った。アンケート（1）及びアンケート（2）の結果を集計してみると、^{付4）}正解率は70%～80%であった。アンケート後、聞き取り面接を行ったところ、確実に理解している生徒はほとんどいなかった。しかし感覚的には何となく理解する事ができている事がつかめた。従って、本教材を使用しての実験は最も基本的な事を説明してから、実験に入る必要がある。

付3）アンケート調査（3）

質問1. 風が電気に変換される事を実験で確認できましたか。

質問2. 実験したことで風力発電と環境問題を考える事ができましたか。

質問3. 電磁誘導という現象について実験する前と後でどのように変わりましたか。

質問4. 全体の感想

付4）アンケート調査結果

松江工業高校電気科1年

	調査人数	（1）磁石の上下運動		（2）磁石の回転運動	
		正解者数	正解者の割合	正解者数	正解者の割合
質問1.	38	26	68.4%	30	78.9%
質問2.	38	26	68.4%	28	73.7%
質問3.	38	25	65.8%	29	76.3%

松江工業高校電気科2年

	調査人数	（1）磁石の上下運動		（2）磁石の回転運動	
		正解者数	正解者の割合	正解者数	正解者の割合
質問1.	39	27	69.2%	28	71.8%
質問2.	39	33	84.6%	30	76.9%
質問3.	39	28	71.8%	25	64.1%

松江工業高校電気科3年

	調査人数	（1）磁石の上下運動		（2）磁石の回転運動	
		正解者数	正解者の割合	正解者数	正解者の割合
質問1.	35	28	80.0%	30	85.7%
質問2.	35	26	74.3%	24	68.6%
質問3.	35	25	71.4%	23	65.7%

ウインディーを用いて授業を実際やってみて感じたことは、学生それぞれに関心や知識に大きな差があることである。特に実験の原理などを説明するのに必要な言語、例えば周波数、周期の意味やヘルツ (Hz)、ミリボルト (mV) など知らない生徒もいた。生徒自身が、風の力を利用して回転子型四極磁石を回転させ、ソレノイド型円形コイルに発生した電圧をオシロスコープで確認してみると、風の力を弱くすると電圧値が下がり、周波数も減ることに気付く。そこで生徒自身が風の力の強弱で周波数や電圧値が変化する事を自分で確かめる事ができた。難解と思われる物理的用語と目に見えない電気との関係を自分自身の感覚として確かめられた事を感想として述べていた。アンケート (3) による調査結果をまとめると、下記のようなになる。但し 14~20 は実験後の個人面接や全体討論での発言内容である。

1. とてもあいまいな知識が実験を通して身近に感じる事ができた。
2. 手作りの風車で電気が起こり、クリーンエネルギーについて考えさせられた。風力以外のクリーンエネルギーについて考える機会を得た。
3. 電磁誘導については、今までは言葉でなんとなく知っているだけだったが、頭の中で四極磁石が回っているのが浮かんでくる。
4. 風車は簡単につくれる構造だが、それでも電気を作る事ができるのはすごいと思う。
5. 初めての事をたくさん実際に自分でやる事ができて楽しかった。
6. 実験をして物理の中の現象から自分の身近な現象へと変化して、より親しみを感じる事ができた。風車は地域にあったものが使用され、環境によりエネルギーを生み出している事を知った。
7. 電気基礎の授業時間よりわかりやすかった。
8. 風力発電に興味を持てた。
9. 自分の中で環境に優しいエネルギーについて考える事ができた。
10. 自分でエネルギーや環境問題を解決する方法を考える第1歩となった。
11. 以前よりも発電に対して関心を持てた。
12. 風力発電が環境に良いことがわかった。
13. 風で本当に電気ができるとは思わなかったのでびっくりした。
14. 空気汚染がない (風が環境問題に大切な循環型のエネルギーだと気付いた。)
15. 自然破壊をしていない (排気ガスの発生がない。)
16. 風力発電をきっかけとして他の発電方式との比較で環境問題を考えた。
17. 電気を作るためには電磁誘導で種々なエネルギーを電気に変換しなければならない。実際に発電をしてみて電気を作る事の苦勞が解ったので無駄な電気を使わないようにしたいと思った。
18. 風力発電で作った電気なら、空気を汚さない。風力発電機でバッテリーを充電しておいて自動車を走らせたなら排気ガスが出ないのだから自分で作って走ってみたい。
19. 実験をしてみて自分でも風力発電機が作れそうなので、自分で作った電気でも蛍光灯の光を灯して生活したい。

20. 電磁誘導の原理で発電する風力発電機で電気を発生させた。効率を考えて自分ならもっと材料などを工夫して大きい電圧を発生させられるような気がした。作り方の苦労した点などを教えてもらいたい。

5. まとめ

エネルギー・環境教育のための電磁誘導に関する教材開発を目的に、風力発電型電磁誘導実験装置を開発し、その教材化を図った。発電部をつかさどる電磁誘導の心臓部には回転子型四極磁石とソレノイド型円形コイルを用いた。地元の企業との協力で「ウインディー」という教材として製品化できた。さらに、高等学校、大学の授業で使用できる教材として使うために、実験指導書などを作成した。

実際に授業を行うと、生徒個人の環境問題やエネルギー問題に対する関心や知識に大きな差があった。日常生活で電気を使用している事に対する関心にも大きな差があることを実感した。ウインディーを経験した生徒は、風の強弱が電気の強弱として体感でき、オシロスコープで納得できるまで繰り返し確かめられる。目に見えて感覚的に知っている風と視覚的に捕らえずにわかりにくいとされている電気が同じエネルギーであることに気付いた。電気をより身近なものとして感じた事がアンケートや個人面接を通じて明らかになった。大学、高等学校用に「風力発電と電磁誘導に関する実験」という実験指導書を作成し、授業を实践した。アンケート調査、個人面接、学級討論を通じて分かった生徒の意識の変化を図2にまとめる。図2に示すように、生徒たちの意識が、ウインディーに触れながら実験する事で、電磁誘導や発電に関する知識の段階からエネルギーや環境問題を考える実践的段階へと展開した。電磁誘導実験用に開発したウインディーが理科教育用としてだけでなく、エネルギー・環境教育にも役立つ事を示した。生徒の意識を知識段階から実践的段階へと止揚する事ができた点に本教材の有効性を感じる。

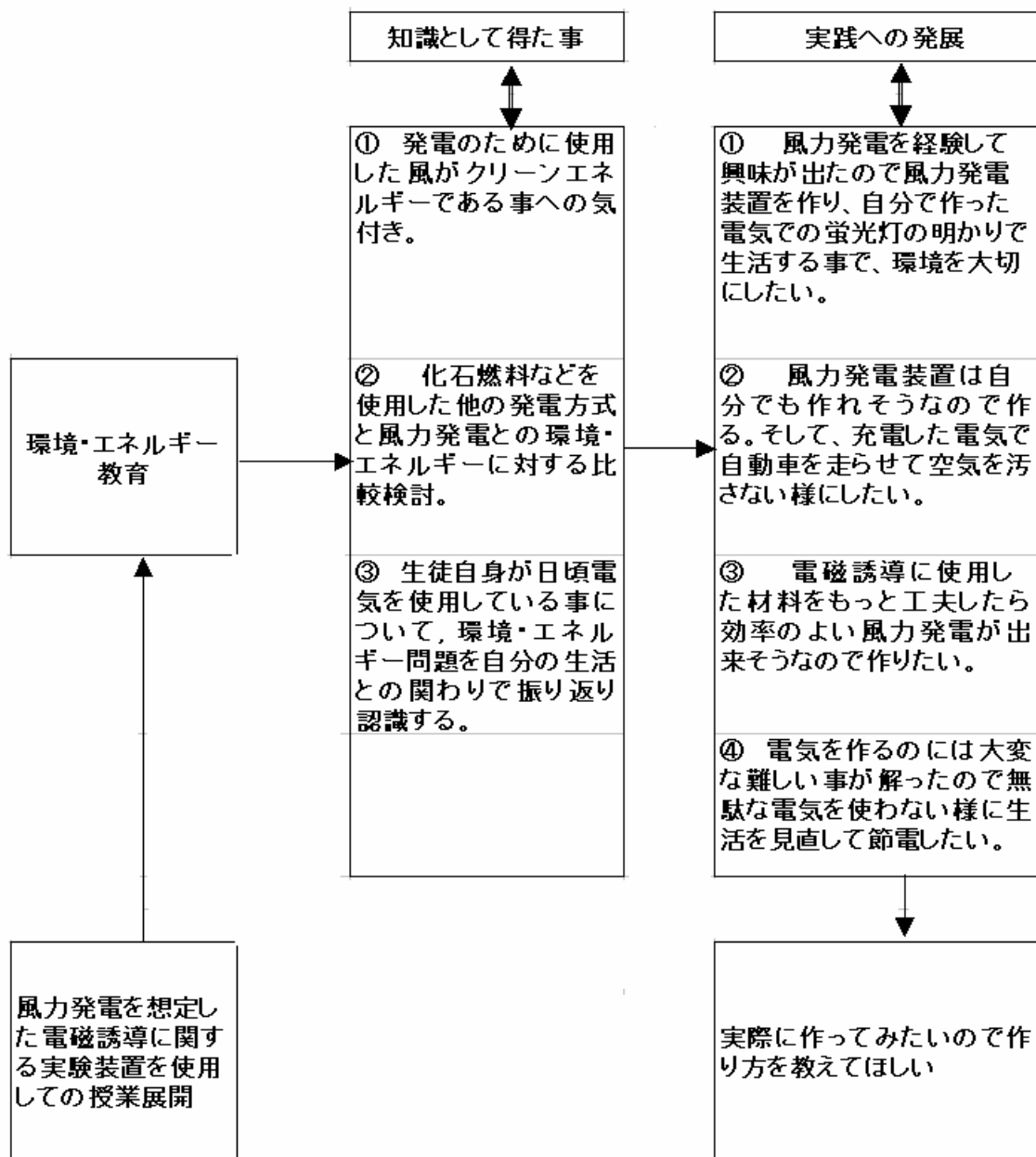


図2. 環境・エネルギー教育のための電磁誘導に関する教材開発の有効性