

渦電流による電磁誘導作用を計測を通して
体験的に学習する教具の開発と授業実践*山本利一^{*1}, 牧野亮哉^{*2}, 山口孝則^{*3}Development of Teaching Tool for Learning Eddy Current with
Electromagnetic Induction through Measurement
Experimentally and Lesson PracticeToshikazu YAMAMOTO^{*4}, Ryoya MAKINO and Takanori YAMAGUCHI^{**} Faculty of Education, Saitama University,
225 Shimo-okubo, Sakura-ku, Saitama-shi, Saitama, 338-8570 Japan

Various products which used a magnet have been developed, and it is necessary to learn about its practical use in Industry Arts Course at Junior High School. Then, three kinds of teaching tool for learning the mechanism of an eddy current experinmentally were developed as an example of practical use of magnet. Developed teaching tools as follows; ① it is a slide teaching tool that a magnet slip down on the slope made of various metals, ② it is a coin falling teaching tool that various coins slip down on the slope in which two magnets are set in parellel on the way, ③ it is a torque measurement teaching tool that the rotating speed of aluminum disk is deduced by applying the magnetic field, and its torque is measured. As these results, the work of an eddy current could be learned in experience and the concern about magnet or science of students was able to be raised.

Key Words: Electromagnetic Measurement, Educational Equipment, Engineering Education, Eddy Current, Industrial Arts Course

1. 緒言

平成14年度より小・中学校においては、新学習指導要領(平成10年告示)⁽¹⁾が、「学校5日制」、「絶対評価」、「総合的な学習内容」といった大きな柱のもと、完全実施された。それに伴い、学習内容が約30%削減される中で、体験的な学習を重んじる傾向が強まってきた。しかし、理科離れ・工学離れについては、歯止めがかからない状態が続いている。このことは、科学技術の発展に伴い生活様式が変化し、初等中等教育時期に工学・技術的な体験活動が減少していることがその主たる要因であると考えられる。工学に関する事柄

に興味・関心を向けさせるためには、できるだけ早い時期から、工学の基本的技術や最先端の技術に触れさせる場面を設定することが大切である。そこで、小・中学生に対して、新しい産業技術を、身近な素材(磁石)を通して体験的に学習する教材・教具の開発を試みた⁽²⁾。

日本の学校教育における磁石に関する学習は、小学校第3学年の「B 物質とエネルギー」の中で、“磁石を使い、磁石につく物や磁石の働きを調べ、磁石の性質についての考えを持つようにする。”の学習からスタートする。“物には、磁石に引きつけられる物と引きつけられない物があること。また、磁石に引きつけられる物には、磁石につけると磁石になる物があること。磁石の異極は引き合い、同極は退け合うこと”などを体験を通して学習する。また、小学校6年生で、電磁石についての学習が加わる⁽³⁾。中学校では、理科の第1分野で磁石や電流による磁界の実験や観察を通して、電流を流されたコイルの回りに磁界ができるこ

* 原稿受付 2003年4月17日。

^{*1} 正員, 埼玉大学教育学部(☎338-5870 さいたま市桜区下大久保255)。^{*2} 正員, 福井大学教育地域科学部(☎910-8507 福井市文京3-9-1)。^{*3} 信越化学工業(株)(☎915-8515 武生市北府2-1-5)。

E-mail: tyamamot@tech.edu.saitama-u.ac.jp

とを学習する⁽⁶⁾。さらに高等学校の物理では、「電界と磁界」や「電流による磁界」で現象を裏付ける理論の学習を行う⁽⁶⁾。つまり義務教育の段階では、磁石に関する現象を体験を通して学習し、高等学校でその理論について学ぶ学習カリキュラムになっている。渦電流については、高等学校の「物理Ⅱ」で初めて学習する内容で、簡単な原理と現象を学習する程度で、用途などについては学習しないことが一般的である。しかし、近年渦電流を利用した工業製品として、IHクッキングヒーターや電磁ブレーキなど、私たちの生活の中の身近なものにも利用されるようになってきている⁽⁶⁾、⁽⁷⁾。そこで、生活技術や生産技術を学習する中学校の技術・家庭科で、渦電流の性質を利用した工業製品や家電製品の現象面を実験を通して学習する授業実践を試みた。磁石を使った教材・教具は多種多様なものがあるが⁽⁸⁾、⁽⁹⁾、渦電流を活用した教材は見あたらない。そこで、渦電流の性質を活用して、各種の機械材料の特性を体験的に学習する教具の開発を行い、授業で活用することにより、科学技術に対して興味・関心を向けさせる取り組みを行った。

2. 開発した教具

各種の機械材料の特性を体験的に学習するため、渦電流を活用した3つの教具を開発した。磁石と各種の機械材料の関係を定量的に測定する実験を通して、理

解を深めることを目的としている。

2.1 斜面教具

図1に示す斜面教具は、銅、黄銅、アルミニウム、非磁性のステンレス(SUS316)の4種類の板材をステージに取り付け、それぞれの金属表面に磁石を置いて、ステージを傾けて斜面を作り、その同一角度の斜面を磁石が滑り落ちる時間を比較する単純なものである。4種類の板材(長さ500mm×幅30mm×厚さ5mm)は、隣り合う板材への磁力の影響を与えないように、木材(長さ500mm×幅40mm×厚さ40mm長)で挟み込んでいる。ステージに取り付けた各種の機械材料は、取りはずしが可能で、材料の質感や質量を手で触れて確認することも可能である。また、ステージは任意の傾斜角度に調整できるようにしてあり、磁石の滑り落ちる速度の調整ができるようになっている。4種類の機械材料の表面性状は同一状態に研磨してあるが、腐食や酸化により表面粗さに変化が生じると、磁石表面と材料の摩擦力が異なるので、厚さ0.5mmの無色透明の塩化ビニール板を取り付け、表面性状を統一した。各機械材料の上を滑り落ちる磁石にはNd(Neodymium)系磁石を用いている。表1に100回の落下時間の平均を、表2に本教具に活用した磁石の特性を示す。

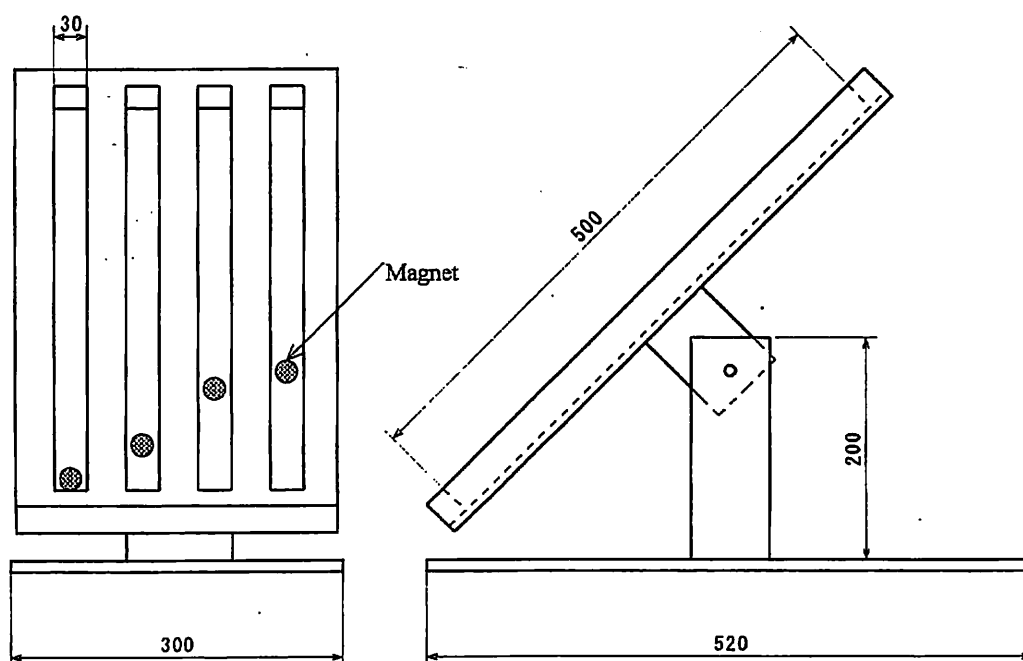


Fig. 1 Appearance of slide teaching tool

Table. 1 Average of falling time of magnet

	Copper	Brass	Aluminum	Stainless steel
Falling time	6.93	2.46	3.76	0.91

(Measuring unit : second)

Table. 2 Characteristic of magnet

Size	φ 15.00mm × H8.00mm ± 0.200mm		
Br (T)	1.308	bHc (KA/M)	1011
(G)	13080	(OE)	1271
iHc(KA/M)	1252	(BH) max. (KJ/M ³)	334.3
(OE)	15730	(MGOE)	42.0

2.2 硬貨落下教具

図2に示す硬貨落下教具は、厚さ2mmの無色透明なアクリル板材2枚で硬質の塩化ビニール板(340mm×15mm×2mm)を挟み込み、その2mmの隙間に硬貨を転がり落とす斜面を作った単純な構造の教具である。硬貨が転がり落ちる斜面の途中に磁石を取り付け、硬貨が磁力線を遮るときに渦電流が生じ、硬貨の転がり落ちる速度が硬貨の種類(材質)によって異なることを視覚的に観察し、硬貨の落下する跳距離を測定するものである。硬貨の持つ位置エネルギーと渦電流によるブレーキ力の関係で、100円硬貨が最も遠くまで跳び落ち、次に10円硬貨、1円硬貨の順となるものである。特に1円硬貨については、磁力線を遮るときに、転がり落ちる速度が急速に落ちることを視覚的に確認できる。表3に各硬貨の100回の跳距離の平均を示す。

Table. 3 Average of jumping distance of coins

	¥1 coin	¥10 coin	¥100 coin
Jumping distance	94	172	227

(Measuring unit : cm)

2.3 トルク測定教具

図3に示すトルク測定教具は、アルミニウムの角柱のプレナムにアルミニウム製の円盤(φ300mm×t10mm)をベアリングで取り付けた単純な構造のものである。円盤軸に取り付けたハンドルでアルミニウム円盤に人力で回転を与え、その円盤に磁石を近づける(磁力線を当てる)ことにより、アルミニウムの円盤内部

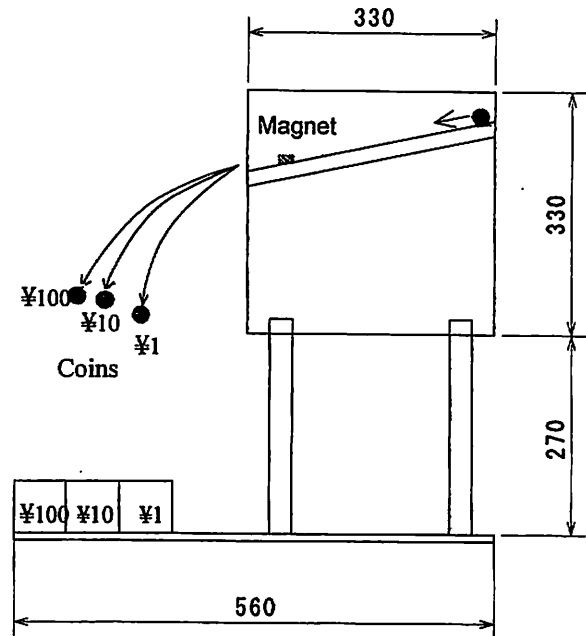


Fig. 2 Appearance of coin falling teaching tool

に渦電流が生じて、電磁ブレーキ作用が生じることを体験的に学習するものである。磁石と円盤は図4に示すように非接触として、その隙間間隔は約1mmに設定した。本教具は、上記の2つの教具とは異なり、観察することだけでなく、生徒自らが電磁ブレーキ作用による力をハンドルを回転させることにより体験的に感知することが可能になっている。また、回転トルクがどの程度変化したかを、トルクレンチを活用して定量的に測定することも可能としている。表4に、磁石の取付け数による円盤を回転するために必要なトルク値を示す。

Table. 4 Relation between number of magnet and torque

Number of magnet	No magnet	1 magnet	2 magnet
Value of torque	1	6	10

(Unit of torque : N·cm)

3 実験授業

3.1 調査対象および日時

2001年11月に福井市内の公立中学校、第3年生2クラス(男子37名、女子34名、合計71名)を対象にして、本教具を使った実験授業を行った。実験校は公立中学校であり、中学生として平均的なレベルの生徒である。

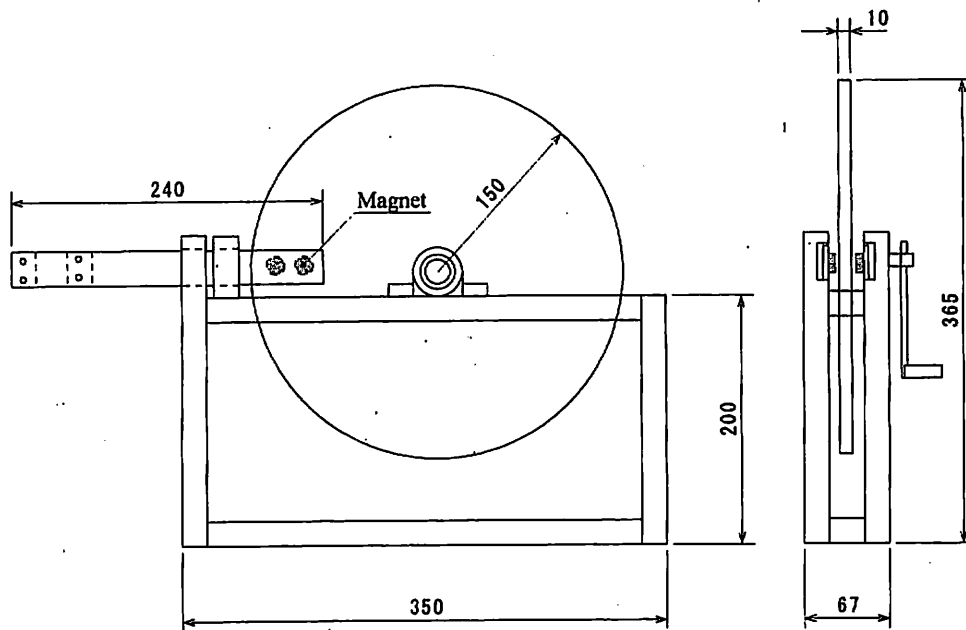


Fig. 3 Appearance of torque measurement teaching tool

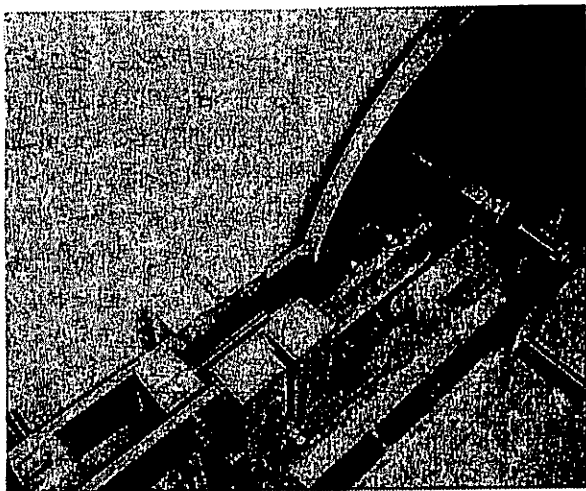


Fig. 4 Positional relation of disk and magnet

全被験者は、理科1分野で「磁界と電気」および、技術・家庭科の技術分野「技術とものづくり」で基本的な金属の性質や電気に関する事柄を履修している。生徒は、簡易モータの製作や電磁石の実験の経験があり、電気を流すと磁界が生じる現象面については学習している。しかし、磁石に関する知識は、物体の吸引と反発といった現象面の知識しか持ち合わせておらず、渦電流については既習していない生徒である。

3・2 学習課題および授業展開

学習課題は、「いろいろな金属と磁石の関係を調査

しよう」と設定した。実験授業は、技術・家庭科の技術分野「技術とものづくり」の学習の中で1単位時間（50分）を配当し実施した。

学習項目として、展開1：「磁石に吸着する金属と吸着しない金属」、展開2：「3つの実験を説明し、その結果がどうなるかを予想して学習プリントに記入する」、展開3：「斜面教具を使用して、金属による磁石の落下速度の違いから、発生する渦電流の大きさの違いを測定する実験」、展開4：「硬貨落下教具を使用して、硬貨の跳躍距離から、発生する渦電流の大きさの違いを測定する実験」、展開5：「トルク測定教具を使用して、電磁ブレーキによるトルクの変化を測定する実験」、展開6：「生活の中に利用されている渦電流の学習：IHクッキングヒーターや電磁ブレーキの仕組み」、展開7：「磁界中を通る導体に生ずる渦電流（まとめ）」を設定した。

3・3 調査の手続き

実験授業における学習効果を判定するために、授業に先立ち、表5に示す質問項目1～4を用いて、授業前の磁石に関する既習知識の調査を行った。

実験授業の途中で各種実験の予想（表6：質問項目5～7）を記入させた。授業終了段階で、授業の中での発見や磁石に関する知識の定着状態を調べる事後調査（表7：質問項目8～10）を行った。

各調査の結果は、各質問項目ごとに回答の度数を求

Table 5 Question items (before lesson)

Q. Mark a circle to the most nearest item to your thought in the following questions.

Q1. Have you an interest to the magnet?

【Yes, A little, Hard to say which, Not little, No】

Q2. Mark a circle to the metal which is adsorbed by the magnet. 【Steel, Copper, Aluminum, Brass, Plastic】

Q3. Mark a circle to the coins which is adsorbed by the magnet. 【¥1, ¥5, ¥10, ¥100, ¥500】

Q4. The magnet has many characteristics except to adsorb the metal. Write the characteristics of magnet you know. 【Free description】

Table 6 Question items (in lesson)

Q5. Using the slide teaching tool, the experiment that the magnet slips down on the sliding stage is done. The surfaces of sliding stages were all processed equally. Which material will be easy for the magnet to slip down? Please write the number of order you think the magnet slips down faster and its reason.

【Stainless steel, Copper, Brass, Aluminum, Same, Don't understand: Free description on the reason】

Q6. Using the coin falling teaching tool, which coin jumps most far away when the coin of ¥1, ¥10, ¥100 will be slipped down. Please write the coin you think to jump most far away. And please write the reason. 【Answer: _____ coin】

【Free description on the reason】

Q7. Do you think how changes the strength of force for the handle to turn if the number of magnet will be increased when you turn the handle of aluminum disk of torque measure teaching tool. Please write the reason.

【Become heavier, Become lighter, Hard to say which】

【Free description】

Table 7 Question items (after lesson)

Q8. Have you an interest to the magnet?

【Yes, A little, Hard to say which, Not little, No】

Q9. Please write the impression for the teaching tool.

【Free description】

Q10. Please write the thing you could discover in this lesson. 【Free description】

め、要因間の独立性を検定した。

4 結果および考察

4・1 事前調査による生徒の実態

授業前に実施した事前調査の結果を表8に示す。質問項目2「磁石に吸着する金属について」の結果から、ほとんどの中学生はアルミニウム、銅、黄銅は磁石に吸着しないことを認識していることが明らかとなった。同様に、質問項目3「磁石に吸着する硬貨」の結果より、日本の硬貨が磁石に吸着しないことも、ほとんどの中学生は理解していることが示唆された。磁石の吸着、反発以外の知識として具体的に正答の得られたものは、「磁石が北を向くこと」、「コイルに磁石を近づけたり遠ざけたりすると、コイルに電流が流れること」、「釘などに磁石をこすりつけると釘が磁化すること」など、現象面の理解にとどまるもので、科学的認識を持っていないことが明らかとなった。

4・2 実験に関する生徒の反応

質問項目5の斜面教具を用いた磁石の滑り落ちる速度の最も速い硬貨の予想は、金属間による差が生じないという予想が62%と最も多かった。次に、アルミニウム15%、分からない12%の順であった。実験前に本教具に使用されているステンレスは、磁石に吸着しない非磁性のものであると説明したにもかかわらず、ステンレスの斜面を磁石が最も速く滑り落ちることを選択した生徒は1名も見られなかった。これは、ステンレスは磁石に吸着するという既成概念が働き、ステンレスの斜面を磁石が滑り落ちるスピードが遅いと予想したからだと推測される。生徒は、今までの生活経験を基に実験結果を予測していたことを伺い知ることができる。実験を行った結果を見て、滑り落ちる時間に予想以上に差が生じたことに驚きを示していた。実験を見た直後に、生徒の一部から、「金属の表面の状態（表面粗さ）が異なるため、滑り落ちる差が生まれた」という意見が出され、他の約半数の生徒もその意見に同調する場面が見られた。そこで、表面の状態を同一にするため、厚さ0.5mmの無色透明の塩化ビニール板を各金属板の上に取り付けて、同一の実験を行った。しかし、結果が同じあることに生徒はさらに驚きを感じていた。その原因を、正しく指摘できる生徒は見られなかった。

質問項目6の硬貨落下教具を用いた硬貨の跳距離の

Table. 8 Results of inquiries

Q2: Which metal in the next one is absorbed by the magnet ?						
(The proportion of the students who answered "yes")						
	Steel	Copper	Aluminum	Brass	Plastic	
Absorbed	95%	0%	2%	1%	0%	
Q3: Which coin in the next one is absorbed by the magnet ?						
	¥1	¥5	¥10	¥100	¥500	
Answered correctly	100%	100%	100%	97%	97%	
Q5: Which slope of metal the magnet slips off most fast on?						
Same, Stainless, Copper, Brass, Aluminum, Don't understand						
A	62%	0%	8%	10%	15%	12%
Q6: Which coin jumps most far away ?						
	¥1	¥10	¥100			
Answer	2%	52%	46%			
Q7: How changes the force which turns the handle of disk ?						
Same, Become heavier, Become lighter, Don't understand						
A	52%	18%	7%	23%		

予想では、10円硬貨が52%、100円硬貨が46%と多かった。その理由は、10円硬貨が「最も直径が大きい」、「硬貨の質量が大きい方が遠くまで跳ぶ」、「1円玉は軽いので遠くへ跳ばない」という意見が多かった。実験は、100円硬貨から実験をはじめた。100円硬貨は、磁石間を通過する際に、速度の変化をほとんど見ることができなかった。次に10円硬貨を磁石間を通過させると、硬貨の転がり落ちる速度がわずかに遅くなるのが視覚的に確認できる。最後に、1円硬貨を磁石間を通過させると、1円硬貨が止まる状態になるほどに速度が落ちることに、大きな驚きを示していた。磁石と各種硬貨が吸着しないか、実験で確認する生徒も見られた。本教具を利用した実験で硬貨の跳ぶ距離が異なることは、硬貨の質量以外にも磁力が関係していることは指摘できるが、その科学的原因を適切に指摘できる生徒は見られなかった。

質問項目7のトルク測定教具を利用した実験の予想では、52%の生徒が磁石を近づけても、ハンドルを回転させるトルクは変化しないと答えていた。正答の「重

くなる」と指摘できた生徒は18%であった。実験を通して、磁力によるトルクの増大は、ハンドルを回転させる力が増大する体験結果と、トルクレンチによるトルク変化の定量的測定の比較から、磁石に吸着しないアルミニウムと磁石の関係がどうなっているのか、教師に説明を求める生徒が見受けられた。

展開6では、教師より、日常生活の中で渦電流が利用された製品の具体的な例を示して説明を行った。

展開7で、渦電流の仕組みを、内部に抵抗力が働くことや発熱が生じることなど、基本的な現象面についての説明を行った。原理面に関する説明は、中学生が混乱するおそれがあるので“電気の導体に対して磁力線が働くと、導体にうず巻き状の電流が発生する。その影響で、各種の現象が起きる。”と言う簡単な説明に止め、深入りはさけた。しかし、生徒は目に見えない磁力が様々な働きをすることを学んでいた。

また、磁石に関する興味・関心は、授業前と授業後を経験した結果、有意差が見られた [$\chi^2(4)=15.77$ ($p<0.01$)]. このことから、磁石について関心が高まり、本実験授業が望ましい形で実施され、所与の学習効果が得られていたと判断された。

5. まとめ

我が国では、国際的に通用する技術者の養成が不可欠であり、日本技術者教育認定機構 (JABEE: Japan Accreditation Board for Engineering Education) が設立され、活動をはじめた。質の高い技術者を養成するためには、その基礎となる資質を初等・中等教育段階で適切に育成する必要がある。その時期に身につけた感性は、より高い教育を受ける段階で技術者の豊かな発想の原点となる場合が多い。そのためにも、最新の技術を身近な素材を通して体験的に学習する教材の開発は不可欠である。

磁石は、身近な素材であり、中学生たちも親しみを持っている。しかし、磁石についての知識は、“磁石の吸着と反発”、“指北性 (方位磁針)”、“釘などの磁化”と言った現象面での知識だけで、その他の性質や特性を知り得ていない。そこで、本実践では、渦電流の性質を学習する教具を開発し、体験的な学習を通して、磁石のより深い性質を学習する取り組みを行った。中学生は、磁石に吸着しない機械材料と磁石の関係が自分たちの予想に反する実験結果であったことから、磁力が機械材料に対してなんらかの作用を行っていることを実験を通して体験することができた。また、各種実験を通して渦電流の作用を学び、生活の中に利用

されている電気機器を知ることで、磁石と生活についての関わりがより深いものだという認識が育てられたものと考えられる。

今後はより多くの授業実践を行い、本教具の改善と授業での効果的な指導法について研究を進め、発想力豊かな生徒の育成に努めたい。

謝 辞

授業実践にあたり、福井市立社中学校（現在、松岡町立永平寺中学校）の白崎 清教諭からご協力をいただいたことに謝意を表します。

文 献

- (1) 文部省：中学校学習指導要領（平成10年12月）
解説一技術・家庭編一，東京書籍，1999
- (2) 山本利一，牧野亮哉，山口孝則：渦電流による電磁誘導作用を体験的に学習する教具の開発と授業実践，日本機械学会2002年度年次大会講演論文集，Vol. I，pp. 389～390，2001
- (3) 文部省：小学校学習指導要領（平成10年12月），東京書籍，1999
- (4) 文部省：中学校学習指導要領（平成10年12月）
解説一理科編一，大日本図書，1999
- (5) 文部省：高等学校中学校学習指導要領（平成11年3月）
解説一理科編一，大日本図書，2000
- (6) 吉岡安之：マグネットワールド [磁石の歴史と文化]，日刊工業新聞社，1998
- (7) 谷腰欣司：磁石とその使い方一第2版一，日刊工業新聞社，2000
- (8) たとえば，Mohammad Zafar，村田 守，小澤大成，西村 宏，山下伸典：総合的実験モジュール“磁石”，教育実践学論集，第1号，pp. 47～52，2000
- (9) たとえば，小林久理真：親しむ物理工学 したむ磁性，朝倉書店，1999