

コイルメーカーを用いた小学6年生の電磁石学習と授業評価

藤本登（生活健康講座）、宮崎秀信（福岡県糟屋郡宇美町立桜原小学校）、
石津朋顕（桜原小学校）、宮田哲郎（桜原小学校）

1. はじめに

本小単元は、電磁石の性質を学び、生活への利用実態を知ることで、学習者が身近な科学への理解を深めることをねらいとし、小学校6年生の理科における単元「物質とエネルギー」の電磁石の学習内容を深めるために、電流の働きを多面的に捉え、生活の中で活用されている科学技術への気づきと理解を促すために行った。ここで、電磁石の性質とは、①電磁石の強さはコイルに流れる電流の強さやコイルの巻き数によって変わること、②コイルに流れる電流の向きが変化すると電磁石の極が変わることを指す。しかし、実際に電磁石を製作する場合、コイルに使用する導線の太さや巻き数（長さ）、芯材に使用する材料の種類と太さや熱処理の有無によって、その強さは異なり、製作（学習）者はその特徴や科学的根拠について幅広い知識を持つことが必要になってくる。一方、近年、子どものものづくり離れによって、単純な電磁石の製作でさえ困難になっていることを考えると、補助教具の開発も重要であると考えられる。

そこで、本研究では、福岡県糟屋郡宇美町にある宇美町立桜原小学校で行った授業「めざせ！電磁石チャンピオン」⁽¹⁾における児童の科学的思考について考察し、学習活動との因果関係を探ることで、使用教具と授業形態の評価を行った。

2. 対象児童

同校の6年生を対象にした調査では、永久磁石の性質として、「鉄を引きつける」、「N極やS極がある」や「異極や同極は、引き付け合ったり退け合ったりする」を挙げ、95%の児童がその性質を理解している。また、電気や電流の性質・特徴として、「直列と並列」、「回路に電気を流せば、豆電球が明るく点灯する」や「電池の数を増やすと豆電球は、より明るくなる」ことを挙げ、90%の児童がその性質・特徴を理解している。この学習率の高さは、磁石が鉄を引き付ける時に味わった感動や興味、豆電球の明るさや回路のつなぎ方の実験で味わった「もっと明るくしたい」、「なぜ、つなぎ方で明るさが違うのか」などの知的欲求や疑問によって、科学的興味・関心が高められたためと考えられる。そして、授業前の調査から、「磁石と電流は、関係があるのか」や「磁石の引き付ける力と電流を使った実験をしたい」などの興味・関心があることが分かっている。一方で、自らの生活の中で磁石と電気が密接にかかわり合い、活用されていることを意識し、理解している児童はほとんどいない。

3. 学習内容

この小単元の目標として、以下を設定し、表 1 にある指導計画に基づいて、授業実践を行った。

1. 電磁石の導線に電流を流し、電磁石の強さの変化を調べ、電流の働きについて理解することができる。
2. ものづくり活動を通して、互いの見方や考え方を交流し合うことで、電磁石の性質についての見方や考え方を深め、広げることができる。

表 1. 既習事項や経験を駆使し、身近な生活事象の解明へと向かう単元計画

過程	知る段階（2 時間）	調べる段階（4 時間）	広げる段階（3 時間）
活動と内容	<p>1. 電磁石について知る。</p> <p>(1) 磁石と電磁石①を使った「魚釣りゲーム」をやる。</p> <p>○永久磁石は、常に鉄を引きつけることを理解させる。</p> <p>○電磁石は、電流が流れたときだけ鉄を引きつけることを理解させる。</p> <p>(2) 電磁石の特徴を知る。</p> <p>○方位磁石を使い、極の向きと変化について理解させる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・方位磁石の利用と極の向きが分かること。 ・電流の向きで極が変化することが分かること。 	<p>2. 電磁石の働き（強さ）について、調べる。</p> <p>(1) 乾電池の数を増やし、電流を大きくしたときの磁力の強さを調べる。</p> <p>○電流を大きくすると電磁石の磁力が強くなること分かること。</p> <p>(2) 巻き数の違うコイル（100 回巻と 200 回巻）を変えたときの電磁石①, ②の強さを調べる。</p> <p>○巻き数を増やすと電磁石の磁力が強くなること分かること。</p>	<p>3. より強い電磁石を作る。</p> <p>(1) 電磁石の性質を整理し、より強力な電磁石を製作するための方法を考え、新たな課題に取り組む。</p> <p>○日常生活の中で生かされている電磁石について理解すること。</p> <p>(2) グループごとに最強電磁石を製作する。方法は以下の 3 種類。</p> <p>○巻き数、芯の太さ、導線の太さ</p> <p>(3) 製作した電磁石を用いた釘の吊り上げ「重さ比べコンテスト」の実施。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・巻き数や芯、導線の関係で電磁石の磁力が変化することが分かること。
支援	<p>※グループ分の永久磁石と電磁石①（100 回巻）、電磁石②（200 回巻）を準備し、全員が活動できるようにする。</p>	<p>※教具・教材の準備</p> <p>※イメージ図の作成と教具の取り扱い方法の説明。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・表や絵図などの活用を促す。 ・実験器具の適切な使用を理解させ、見通しのある活動にする。 	<p>※課題の追求</p> <ul style="list-style-type: none"> ・基礎的なことをより確かめられる電磁石を製作させる。 <p>※GT の活用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・学びの価値付けと学習の評価（特に良い点、改善点）。

4. 使用教具（コイルメーカー）と予備実験

4.1 コイルメーカーの仕組みと実験手順

電磁石における児童・生徒の学習では、従来から、クリップや釘にエナメル線を手巻きにより巻き付けて児童が製作していた。しかし、近年、子どものものづくり離れによって、このような電磁石の製作でさえかなりの時間が必要なことから、補助教具の開発が求められていた。そこで、市販の材料を用いて、一般教員でも製作が可能なコイル巻き機（コイルメーカーと称する。図1）を試作し、授業での使用と評価を行った。ここでは、その構成と使用方法について記す。まず、ギアボックス1（（株）タミヤ製：遊星ギアボックスセット ITEM72001）は電源2（単1乾電池2本）で駆動され、その回転数は手作りのスイッチ4とカウンター3（FORCE製：万歩計）によって計測される。そして、ギアボックスに付属された真鍮棒には、芯材固定用のビス12とスイッチ駆動用の割ピン13が取り付けられており、真鍮棒が1回転するごとに割ピンがスイッチの銅板（厚さ0.5の板を加工）を叩いて、ステンレス製のフックに接触することで、カウンター（図1のように内部のスイッチからリード線を出し、スイッチに結線してある）が起動する仕組みになっている。そして、先端の真鍮棒には芯材である釘11（外径3.8mm、長さ90mm）が固定ネジ12で固定できるまで差し込んであり、他端に切り込みを入れた赤ゴム栓6を介してボールベアリング（日本鋼管（株）製、6001CM、内径12mm）に固定されている。なお、芯材にボルト（外径6～12mm）を使用するときは、その頭を中心に3.8mmのドリルで穴あけ加工（深さ10mm）後、長さ15mm程の釘を蝋接した。そして、ボルト外径が12mm未満の場合は、ボルト固定後にボールベアリングの位置にくるボルトの外周にテープを巻き付けることで、ベアリングとのがたつきを防止した。そして、このベアリングより左側に突き出した芯材の部分にドラム10より引き出したエナメル線を数回巻き付けて、エナメル線の固定を行った。また、金属丸棒8には、滑りを良くするためのワックスが塗布した。これらの部材は市販の木材（板材厚さ20mm、角柱の一辺は25mmを使用）に木ねじで固定されている。なお、小学4年生でも1度の説明

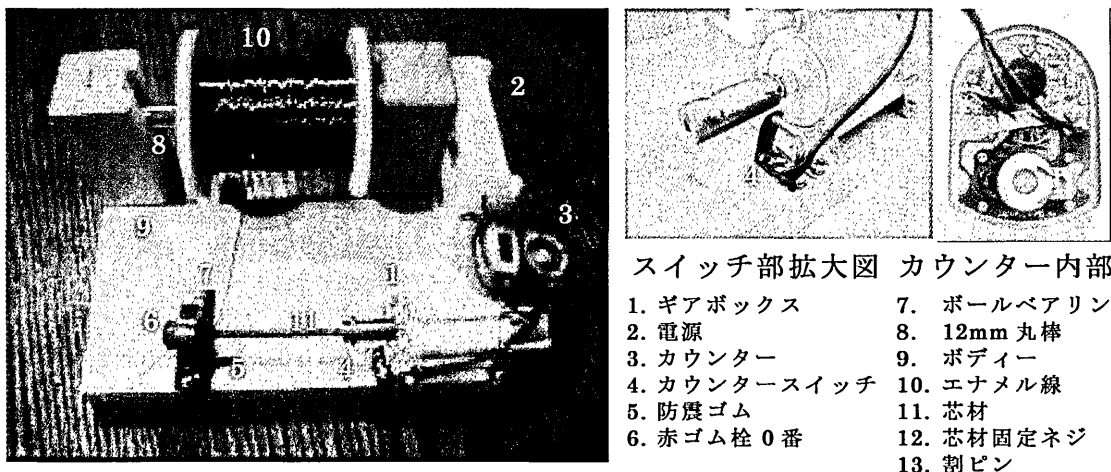


図1. コイルメーカー概観図

と練習で、使いこなせることを確認した。

このコイルメーカーを用いて、以下の方法で、電磁石の製作とその電磁石を用いた評価実験を行った。評価方法は、決められた乾電池を用いて、釘(長さ 19mm)の吊り上げ実験を行い、吊り上げられた釘の重量を測定した。

【実験手順】

- ① 芯材をコイルメーカーに取り付け、カウンターの動作確認をする。
- ② エナメル線を空回りしないように取り付ける。(芯材に両面テープを巻くなどの工夫)
- ③ コイルメーカーを起動し目的の巻き数までエナメル線を巻き、終わったら、コイルメーカーから電磁石を外し(エナメル線を折り返すときは、セロハンテープなどで固定・補強するとよい)、エナメル線の両端の被服を剥ぐ。
- ④ 釘の入ったトレイに電磁石を置き、その上に釘を均等に載せ、電池ボックスと結線・通電する。(検流計等を使用して導通を確認すること)
- ⑤ その状態で電磁石を持ち上げ、別のトレイに静置後、電気を切り、電磁石を取り除く。(注意:コイルの巻き数が少ない程、導線の発熱量が増加するため、事前確認が必要)
- ⑥ トレイに残った釘を計量カップに移し、電子天秤等で計量する。
- ⑦ ④から⑥を3回以上繰り返し、吊り上げた釘の重量の平均値を算出する。

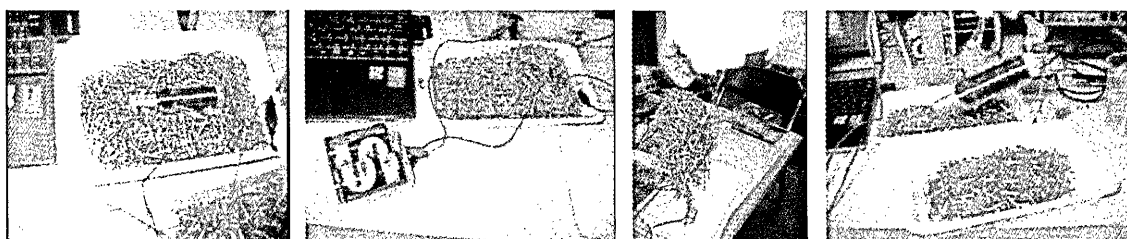


図2. 作業風景

4.2 電磁石製作での留意点

電磁石の強さ: F は、コイルの巻き数: n とそのコイルを流れる電流値: I の積 ($F=nI$) で表されるので、単純に、巻き数を増やすか電流を大きくするために接続する乾電池数を増やすことが考えられる。しかし、導線の抵抗 R [Ω] は、 ρ を抵抗率 [$\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$], L を長さ [m], S を断面積 [mm^2] とすると、

$$R = \rho \times L / S$$

で表されるので、長くなるほど、或いは線径が細くなるほど抵抗が大きくなる。従って、オームの法則より、電圧が一定ならば、抵抗が大きくなるほど、電流は小さくなるので、磁力は低下する。例えば、図3は、外径 12mm のボルト (850°C で1時間の熱処理を行ったものとないもの) に、素線形 0.5mm のエナメル線を 50~900 回巻き付けた場合の釘における吊り上げ実験結果を示す。○印が熱処理なし、●印が熱処理あり、実践が実際に吊り上げた釘の重さ、破線がその時のコイルの巻き数 n と電流値 I の積を示す。図から分かるように、計算値と実測値に

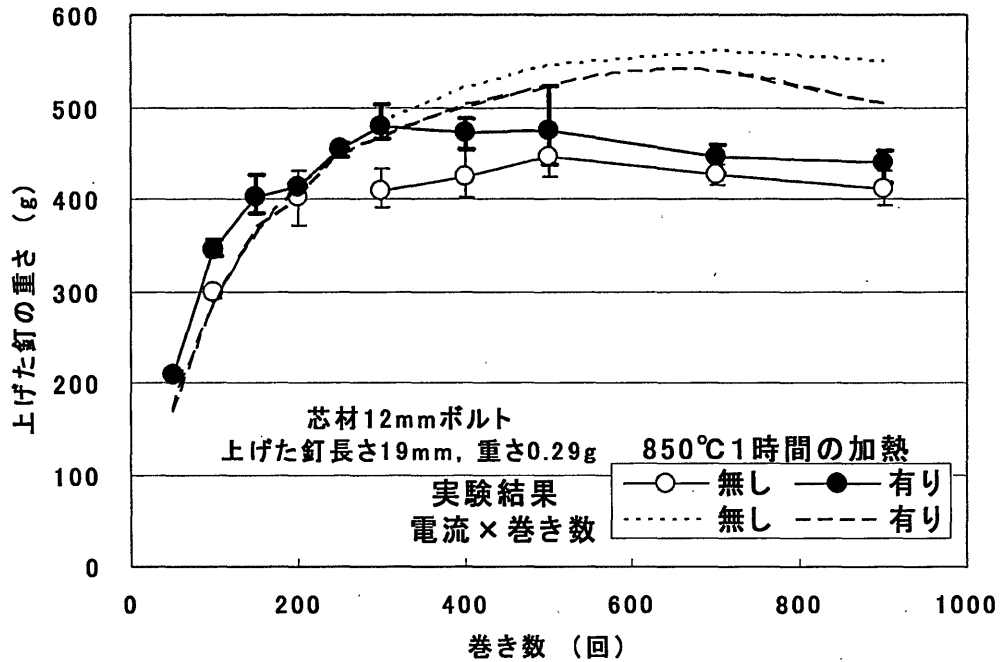


図 3. コイル巻き数が電磁石の強さに与える影響

差はあるものの磁力が最大となる巻き数が存在することが分かる。これは、導線を巻くほど抵抗が増加するため電流が低下したためである。

また、芯材に使用する材料も材質により透磁率が異なり、また熱処理の有無（キュリー温度以上に事前加熱を行うことで常磁性化を図るかどうか）によって、電磁石の性能も異なる。例えば、芯材には直径 3.8mm、長さ 90mm の釘に直径 0.5mm のエナメル線を 200 回巻いた場合、その芯材の熱処理（850℃で 1 時間加熱：釘のキュリー温度は 770℃）の有無によって、図 4 のように、熱処理を施していない図 (a) のように、電源を切っても電磁石の釘は強磁性のために錘の釘が引っ付いたままになっているが、熱処理を施した図 (b) の方は、電源を切ると電磁石には釘は引っ付いていない。従って、今回と同様に、芯材に金属を用いた電磁石の実験を行う場合は、芯材の熱処理を行う必要があることが分かる。従って、本授業で芯材と使用する釘やボルトは、電気炉を用いて、850℃で 1 時間の加熱を施した。

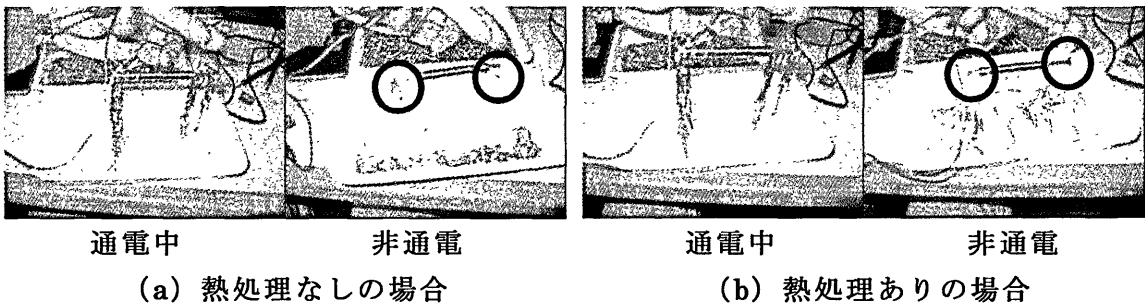


図 4. 熱処理の有無による磁化の違い

5. 授業実践結果

5.1 授業実践の概略

表 1 の授業案に沿った実践授業の概略を、図 5 に授業風景を示す。まず、知る段階では、磁石と電磁石①（表 1 参照）を使った「魚釣りゲーム」（図（a））を行った。この活動を通して児童は、永久磁石が常に鉄を引きつけること、電磁石は電流が流れたときだけ鉄を引きつけることを理解し、電磁石学習への意欲と関心を高めた。そして、電磁石の特徴を知るために、方位磁石を使い（図（b））、永久磁石には S 極と N 極があることを復習し、電磁石は電流の向きを変えることで極の向きが逆転（図（c）、（d））することを理解した。次いで、調べる段階では、乾電池の数を 1 本から増やすことで、電流が大きくなり、電磁石の磁力が強くなることを釘の吊り上げ実験で学習した。そして、巻き数の違う電磁石（100 回巻と 200 回巻）を用いた同様の実験から、児童は巻き数を増やすと電磁石の磁力が強くなることを理解した。更に、広げる段階では、電磁石の性質を整理し、より強力な電磁石を製作するための方法を考える最強磁石を製作する課題に児童を取り組ませた。まず、児童の課題への興味・関心を高めるために、図 6 のような画像資料を用いて、日常生活の中で使用されている電磁石を紹介し、世の中には非常に強い電磁石が存在し、それが私たちの生活に役立っていることを学習し



図 5. 授業風景

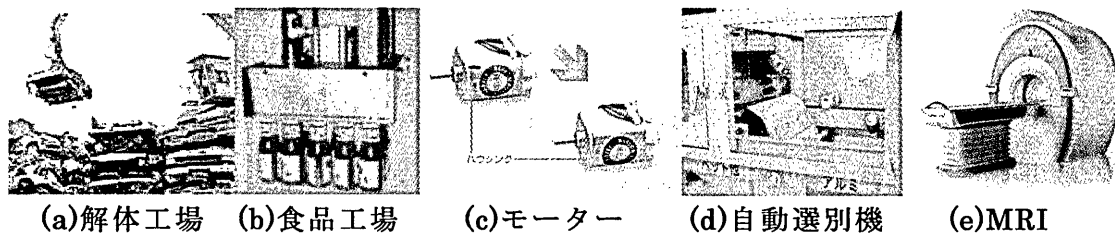


図 6. 身近な電磁石の活用例

た。そして、「巻き数」、「芯の太さ」、「導線の太さ」をパラメータとして、14 グループ毎に最強電磁石を製作させ、製作した電磁石を用いた釘の吊り上げ「重さ比ベコンテスト」を実施した(図 5 (f))。この製作過程では、製作の練習を兼ねた予備実験(芯材の熱処理なし)と本製作の予備実験(芯材の熱処理あり)を行った。そして、本製作した電磁石を用いて、釘の釣り上げ実験を 3 回行い、その平均値を実験結果とした。最後に、学習のまとめとして、各グループが 3 パラメータの選択理由と実験結果を発表し、それらを比較検討・まとめることで、巻き数や芯、導線の関係で電磁石の磁力が変化することを理解した。

なお、ここで扱った電磁石の身近な例⁽²⁾は、電磁石の特長(小学校の内容)を活かしたものや電流と磁界の関係を利用したもの(中学校の内容)、渦電流を利用したもの(高等学校の内容)がある。例えば、自動車の解体工場や食品工場などで見られる搬送クレーン(図 6 (a), (b))やスイッチ, MRI(図 (e))や CT スキャン, リニアモーターカーの軌道などは電磁石の直接的な使用である。一方、モーター(図 (c))や変圧器, テレビのブラウン管などはフレミングの左手の法則を、電磁波が少ないとされるホットカーペットは右ネジの法則を利用しており、アルミ缶の選別機(図 (d))や電力計は渦電流が使用されている。ここでは、これらの詳しい説明は省略して、単に電磁石の身近な活用例として紹介した。

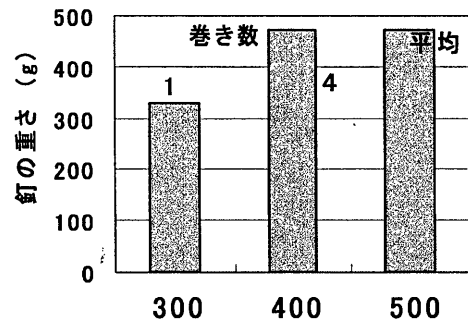
5.2 児童の学習結果

一般に、授業実践の調べる段階までは、電磁石の小単元で行われていると考えられることから、ここでは広げる段階についてのみ考察する。表 2 に児童のパラメータ選択理由と実験結果、図 7 にパラメータ毎の傾向を示す。児童は最強磁石を作るために、巻き数を増やしたが、芯材は太(外径 12mm)を選ぶグループ(理由:面積が大きくなるから)と中(10mm)を選ぶグループ(理由:最適値があると考えた)があった。また、導線径は 1 割が細(0.3mm)を(理由:電気を流れやすくするため)、2 割が中(0.5mm)を(理由:細いと流れにくく、太いと無駄・流れ方が分からない・最適値だと思う)、7 割が太(0.8mm)を(理由:電線やホースを例として挙げ、電流が流れやすいと考えた)選択している。これらの結果から、基礎的な学習内容である電磁石の強さと巻き数の関係は良く理解しているが、巻き数の最適値の有無を意識している児童とそうでない児童がいることが分かる。このことは、他の芯材や導線の太さの選択でも言えることであり、

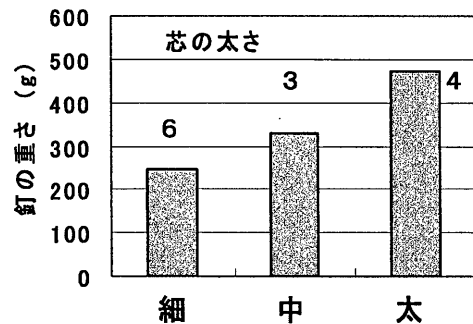
表 2. 児童のパラメータ決定理由と実験結果 (Aクラス)

No.	巻き数	芯の太さ	線の太さ	理由			平均値 (g)	予備実験 (g)	
				巻き数	芯の太さ	線の太さ		古釘	新釘
1	300	中	中	今までより多くするため	付く面積を多くするため。太にしても同じ巻き数であれば変わらないと思うから	中電機を考えたとき、同じくらい太さと思ったから	329	426	349
2	500	太	細	今までの学習で、巻き数を増やすほど磁力が増すから	付く面積を大きくすると磁力が増すと思ったから	全てが大きかったら、電気の回りが遅くなったり、余計な所に行つてスムーズでなくなるから	365	296	320
3	500	中	中	今までの学習で、巻き数を増やすほど磁力が増すから	小さくても大きくても付く場所は同じだから	細いと電流が流れにくく、太いとムダがでてしまうから	318	315	280
4	400	太	中	今までより多くするため。ただし、300回では少ないと思ったから	付く面積を大きくすると沢山釘が吊れると思ったから	細いと電流が流れにくく、太い流れすぎるから。例えばホースの水と同	474	385	493
5	450	中	細	「巻き数を増やすと、電流が同じでも、磁力が強くなる」という性質から	鉄棒と同じで、適当な太さでないとい人は回りにくいので、電流も同じと	太かったら厚くて電流が通りにくいと	299	329	329
6	400	細	中	今までより多くするため。ただし、300回では少ないと思ったから	付く面積を大きくすると沢山釘が吊れると思ったから。また、太と中は余り変わらないと思うから	細いと電流の通る道が狭く、太いと電気の通る道は分からないから	247	273	284
7	550	太	太	巻けば巻くほど磁力が強くなるから	永久磁石と同じで、面積が大きいほど付ける力が強い。電磁石のクレーンも広いから	水道のホースと同じで、太いホースの方が水の流れる量が多いので、太いとながれる電気の量が増えると	492	502	487
8	500	太	太	巻けば巻くほど磁力が強くなるから	付く面積を広くするため	電気をなるべく多く流さないといけないため	501	544	558
9	500	太	太	「巻き数を増やすと、電流が同じでも、磁力が強くなる」という事が分かったから	引きつける面積が広い分、磁力が強くなるから	「細いより太い方が電流が流れやすい」と思ったから	455	401	497
10	500	太	太	「巻き数を増やすと、電流が同じでも、磁力が強くなる」という性質から	「引きつける面積が広い分、磁力も強くなる」と思ったから	「同じ巻き数でも電流を大きくすると磁力が強くなる」ことを学んだから。また、電線とエナメル線は同じようなものが使われていて、太い方が電流が大きくなると思ったから	540	831	675
11	500	太	太	「巻き数を増やすと、電流が同じでも、磁力が強くなる」という性質から	「引きつける面積が広い分、磁力も強くなる」と思ったから	「細いより太い方が電流が流れやすい」と思ったから	335	375	500
12	500	太	太	「巻き数を増やすと、電流が同じでも、磁力が強くなる」という性質から	太ければ磁力が多くなると思ったので	電線が太いので、太ければ多くの電流が流れると思った	479		335
13	500	太	太	「巻き数を増やすと、電流が同じでも、磁力が強くなる」という性質から	太い方が磁力が強いと考えたから	電話機は電磁石を使っているのだから、太いと音が良く聞こえると思うから、太くすると強い電磁石ができて	528		501
14	500	中	太	巻き数を増やすと、よくつくことを学習したから	生活に役立つ電磁石も適当な大きさがあるから	電柱の電線も太いから	354	401	399

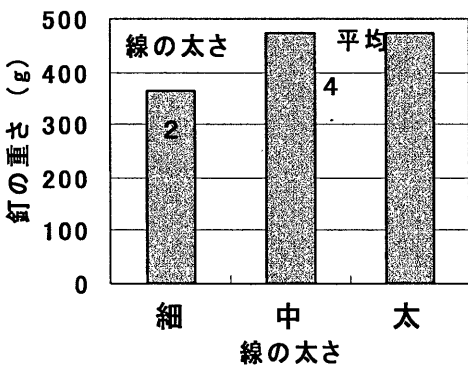
注) 電源は単三乾電池 2 個に統一



(a) 巻き数の影響



(b) 芯の太さの影響



(c) 線の太さの影響

パラメータ (mm)

	素線	芯
細	0.3	8
中	0.5	10
太	0.8	12

図 7. パラメータが釘の吊り下げ重さに与える影響 (Aクラス)

表 3. クラス間の成績の有意差
(a) 評価項目別の成績の平均値と標準偏差

組	N	知識・理解		表現・処理		思考・判断	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
A	29	24.5	5.2	23.4	7.5	37.9	5.6
B	28	26.8	5.4	19.3	7.0	36.4	6.2
C	26	27.8	4.4	27.7	3.8	39.6	2.0

(b) 評価項目別の t 検定結果

組	知識・理解			表現・処理			思考・判断		
	A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C
F 値	0.28	0.92	2.36	0.02	9.36	10.70	2.25	9.87	33.70
有意確率	0.60	0.34	0.13	0.89	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00
t 値	-1.66	-2.50	-0.70	2.16	-2.68	-5.40	0.96	-1.52	-2.50
自由度	55	53	52	55	42.4	52	55	35.5	52
有意確率 (両側)	0.10	0.02	0.49	0.04	0.01	0.00	0.34	0.14	0.02
有意差	傾向有り	有り	なし	有り	有り	有り	なし	なし	有り

日常生活での経験（水道のホースの例）や観察内容（電線や電話機の例）を科学的に分析しようと試みているかいないかの違いと考えられる。

これらの電磁石を用いた釘の吊り上げ実験結果を図 7 に示す。授業では、各グループが 3 パラメータの選択理由と実験結果を発表し、それらを比較したが、一般的な傾向を数値から児童が読み取るとは困難であった。そこで、TT である学習支援者が、それらの結果を図 7 のようにグラフ化することで、科学的な物事の考え方や表現の仕方を児童は学んだ。更に、図 3 のような結果（●印のみのデータ）や砂鉄を用いた磁力線の可視化の様子を写した写真や導線や芯材での電流や磁力の流れやすさを表した模式図などを活用することで、本単元のまとめが行われた。

これらの授業を評価するために、期末テストの結果を分析（SPSS13.0 を使用：t 検定の有意確率が 0.05 以下は 95% 有意水準で、0.05 より大きい場合は 90% 有意水準で評価）した。表 3 に、3 クラスの児童の観点別評価を示す。ここで、授業は、クラス B, C, A の順で行われた。また、観点別評価は、「知識・理解」、「表現・処理」、「思考・判断」の 3 項目であり、各々 30, 30, 40 点満点である。そして、B クラスはコイルメーカーを使用せず、調べる段階までの授業（一般的な授業に相当）を教員のみで、C, A クラスはコイルメーカーを使用して広げる段階までの授業（表 2 の結果の授業）を TT で行った。表より、B と C のクラス間の「知識・理解」、A と B 及び A と C のクラス間の「思考・判断」では、有意な差が認められなかったが、他では有意な差が確認できたことから、TT である学習支援者が授業に加わることで、「表現・処理」に良い影響を与えられられる。一方、「知識・理解」、「思考・判断」に対しては、学習支援者の効果は判定できなかった。なお、この成績評価については、分散統計も行ったが、同様の結果を得たことから、ここでは結果を省略する。今回の授業では 3 クラスの人数が A から

Cの順で少なくなっており、授業を行った教員の感想では、少ないクラスほど授業が行いやすく、指導もスムーズに行えたことが分かった。そのような影響が、平均点にも現れていると推察される。一方、今回使用したコイルメーカーは、製作時間の短縮が図れ、調べ学習や測定の時間を確保する上で、有効な教具であった。しかし、AとBクラスの「知識・理解」の結果から、コイルメーカーは「知識・理解」に大きな影響を与えないが、広げる段階の「重さ比べコンテスト」での学習プリントを見ると「表現・処理」と「思考・判断」に良い影響を与えていることが分かる。

6. おわり

小学6年生の電磁石の学習単元で、補助教具としてコイルメーカーを試作し、大学教員による学習支援を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 大学教員が学習支援者として授業に加わることで、「表現・処理」に良い影響を与える。
- 2) コイルメーカーを使用することで、「知識・理解」に有意な差は認められない。
- 3) コイルメーカーは、製作時間の短縮が図れ、調べ学習や測定の時間を確保する上で、有効な教具であり、学びを広げる段階での使用に効果があると考えられる。

謝辞

本教育活動には、宇美町立桜原小学校（福岡県糟屋郡）の理科部の先生方に協力を頂いた。また、授業実践や教材開発の一部は、日産科学振興財団理科／環境教育助成の支援を受けた。さらに、教材製作では、福岡教育大学大学院教育学研究科技術教育専攻森岡亮氏の支援を受けた。ここに記し、謝意を表す。

参考文献

- (1) 平成16～18年度 福岡県糟屋地区地教委連絡協議会研究指定・委嘱 研究発表会要録, P.32-33, 宇美町立桜原小学校, 平成18年12月4日.
- (2) 山川正光, トコトンやさしい磁石の本, 日刊工業新聞社, 2005.