

直流電流による磁界と「フレミングの左手の法則」の理解の実態

— 教員養成大学大学生を対象にして —

On the Understanding of the Concept of the Magnetic Field
of Conductor Carrying Electric Current and Fleming's Left Hand Rule

— A Case of Students of a Teachers College —

佐藤 博* 白鳥 利恵†
SATO Hiroshi SHIRATORI Rie

要約: 中学校理科の教科書では、フレミングの左手の法則という言葉は出てこないが、電流と磁界と力の方向はあつまっている。モーターの原理を考察させるためには、この3つの関係が必要となる。直流電流による磁界(右ねじの法則)と直流電流・磁界・力の方向の関係(フレミングの左手の法則)について教員養成大学大学生がどのような理解をしているのか、その実態をアンケート調査し、その調査をもとに検討した。その結果、右ねじの法則は約5割のものしか理解していないが、電流・磁界・力の方向を理解しているものは、さらに少なく約2割のものしかいないことがわかった。これは、フレミングの左手の法則を正しく理解していないことはもとより、右ねじの法則すら理解していないものがかなり多いために誤答したと考えられる。

キーワード: 電流, 磁界, 磁石, 電磁石, 右ねじの法則, フレミングの左手の法則

I はじめに

小学校の理科では3学年で磁石を使い、磁石に付く物や磁石の性質についての考えをもつようにするとしている^[1]。磁石を自由に動くようにしておくと、いつも南北の向きに止まる。北の方向を指している端をN極、南の方向を指している端をS極と名付けて教え、N極とS極は引き合い、N極とN極またはS極とS極は反発し合うことをとらえるようにしている^[1]。小学校4学年で、乾電池の数やつなぎ方を変えてモーターの回り方の変化を調べ、電気の働きを教えている^[1]。小学校6学年で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の考えをもつようにするとしている。巻き線の電流の向きが変わると、電磁石の極が変わり、電流の強さや巻き数により電磁石の強さが変わることを教えている。

中学校の理科の第一分野では、磁界の中を流れる電流が磁界から力を受けることやコイルと磁石の相互運動で誘導電流が得られることを、観察、実験を通して見いだすことをねらい、電流が磁界から受ける力は電流の向きや磁界の向きとどのような関係にあるかを定性的な実験によって見いださせるとしている^[2]。実験の内容は、磁界や電流の向きが逆になると力を受ける向きが逆になることを見いだすこととするが、フレミングの法則は扱わないとしている。そして具体的に、電気ブランコなどの実験を行い、これをモーターの原理と関連付けて考察させ、その際、例えば、簡単なモーターの製作を通して、電流と磁界について理解を深めることも考えられるとしている。しかし、中学校理科の教科書では、フレミングの法則ということばはでてこないが、電流と磁界と力の方向はあつまっている^{[3] [4] [5] [6]}。モーターの原理を考察させるためには、この3つの関係が必要となる。

*技術教育講座, †技術教育専修, 現在甲府市立池田小学校非常勤

筆者らは、電流と磁界との関係が正しく理解されていれば、フレミングの法則を覚えていなくてもまたは教わっていなくても、中学生レベルの知識でモーターの回転する原理を十分理解できると考えている。直流電流による磁界(右ねじの法則)と直流電流・磁界・力の方向の関係(フレミングの左手の法則)について工学部大学生がどのような理解をしているのか、その実態をアンケート調査し、その調査をもとに検討した結果、右ねじの法則は約9割のものが理解しているが、電流・磁界・力の方向を理解しているものは、約4割しかいないことがわかった^[7]。そこで、直流電流による磁界(右ねじの法則)と直流電流・磁界・力の方向の関係(フレミングの左手の法則)について教員養成大学大学生がどのような理解をしているのか、その実態をアンケート調査し、その調査をもとに検討した。

II 調査方法

1 調査問題の形式

本研究においては、比較的短時間で多数の対象者から多くの事項について調査できること、また、それらの結果を数量化しやすいという理由から、質問紙法により調査を行った。具体的には、質問紙を用いて多肢選択と自由記述を併用するという方法で実施した。

2 調査対象

対象者は、山梨大学教育人間科学部の大学生(1～4年生:以下大学生と略す)である。アンケート調査人数の内訳を表1に示す。アンケート調査問題をやる前に、高校での物理の履修状況を調査した。高校時代に物理を履修したものは44%であった。学習した内容については、物理Iが40%、物理IIが31%、総合理科が0%であった。この中で、物理IとIIを両方履修したというものは27%で、物理Iだけが13%、物理IIだけが4%で、物理Iだけというものの方が多かった。

表1 アンケート調査対象(単位:人)

性別\学年	1年	2年	3年	4年	合計
男子	12	14	15	15	56
女子	11	15	12	6	44
合計	23	29	27	21	100

3 調査時期

調査は、2005年4月から11月にかけて実施した。

4 調査問題

問1 図1のように、黒い矢印の向きで直線の導線に電流を流した場合、そのまわりにできる磁界の向き（白抜き矢印）はどのようなになりますか。①～⑥の中から選んで○をつけて下さい。

図1

問2 図2のように、導線を円形にして電流を流すと、導線の近くや円の中心付近では、どのような磁界ができますか。①～⑥の中から選んで○をつけて下さい。白抜き矢印は磁界の向きを示します。

図2

① この平面は磁界の方向をわかりやすくするために示したものです。中心に磁界はない。

② この平面は磁界の方向をわかりやすくするために示したものです。中心に磁界はない。

③ 中心の磁界は、中心線に平行でa方向に向かう。

④ 電流の向きと同じ方向に磁界ができる。

⑤ 電流の向きと逆の方向に磁界ができる。

⑥ 中心の磁界は、中心線に平行でb方向に向かう。

問3 図3のようなコイルに、黒い矢印の向きで電流を流すと、磁界の向き（白抜き矢印）はどのようなになりますか。①～④の中から選んで○をつけて下さい。

図3

①

②

③

④

問4 図4のように、U字型磁石のNとSの間に太い銅線がくるようにセットして、電流を流したとき銅線はどのようなになりますか。①～⑩の中から当てはまるものをすべて選んで○をつけて下さい。+、-は電源のプラス、マイナスを示します。

図4

① a方向に動く

② b方向に動く

③ a方向に動く

④ b方向に動く

⑤ 動かない

⑥ a方向に動く

⑦ b方向に動く

⑧ a方向に動く

⑨ b方向に動く





⑩ 動かない




問5 図5のように、2本平行な位置に導線があります。図5-a、bのように、黒い矢印の向きで電流を流したとき、aの場合とbの場合で、それぞれ導線はどのようなになるか、①~⑦の中から選んで〔 〕に番号を書いてください。(2つの○は2本の導線を電流の流れに沿って真横から見た図で、電流が自分に向かっている場合は○、自分と反対に向かっている場合は⊗となっている。)

図5

図5-a

図5-b


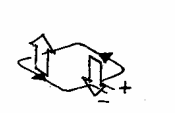
①  ②  ③  ④ 

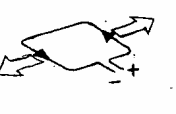

⑤  ⑥  ⑦ 

①~⑥は矢印の方向に動くことを示している。⑦は動かない。

問6 図6のように、磁石のN極とS極の間に、導線を輪にしたもの(コイル)を置いて電流を流したとき、導線はどのような力を受けますか。①~④の中から選んで○をつけて下さい。

図6

①  ② 

③  ④ 

問7 図6のままでは、導線は力を受けて動いても、回転はしません。そこで、導線(コイル)が回転するように、図7のXの部分に入るしくみを図示してください。また、この回転するしくみを文章や図を用いて説明して下さい。

図7

図1 アンケート調査問題

調査問題を図1に示す。調査問題は、1~7の計7題から構成されている。問題1は「電流のまわりの磁界」について、問題2は「円形の導線に流れる電流と磁界」について、問題3は「コイルに流れる電流と磁界」について、問題4は「直流電流が磁界からうける力の向き」について、問題5は

「2本の導線にはたらく力」について、問題6は「直流電流を流したコイルが磁界から受ける力の向き」について、問題7は「モーターの原理」について大学生がどのように認識しているかを調べる問題である。

問題1は、直線の導線に電流を流した場合、そのまわりにできる磁界の向きについて問う問題であり、回答方法としては多肢選択法をとった。

問題2は、導線を円形にして電流を流すと、導線のまわりや円の中心付近にはどのような磁界ができるかを問う問題であり、回答方法としては多肢選択法をとった。

問題3は、ソレノイドコイルに電流を流したときにできる磁界の向きについて問う問題であり、回答方法としては多肢選択法をとった。

問題4は、磁界の中に導線を置いて、電流を流したとき導線はどのようになるかを問う問題であり、回答方法としては多肢選択法をとった。ここでは磁界の向き、電流の向き、導線の動く向きを変えたものから、4つの正答を選択するようにした。

問題5は、2本平行な位置にある直線の導線にそれぞれ電流を流したとき、導線はどのようになるかを問う問題であり、回答方法としては多肢選択法をとった。

問題6は、磁石の磁界の中に、1巻きの長方形のコイルを置いて電流を流したとき、コイルはどのような力を受けるかを問う問題であり、回答方法としては多肢選択法をとった。

問題7は問題6の続きで、力を受けた1巻きの長方形のコイルが回転するためにはどのようなしくみが必要かを問う問題であり、回答方法としては自由記述法をとった。

III 調査結果

1 問題1の結果

問題1の結果を図2に示す。正答の①を選択したものは67%であった。正答の逆回り方向の②を選択したものが27%あった。⑤を選択したものが3%、④を選択したものが2%、⑥を選択したものが1%あった。

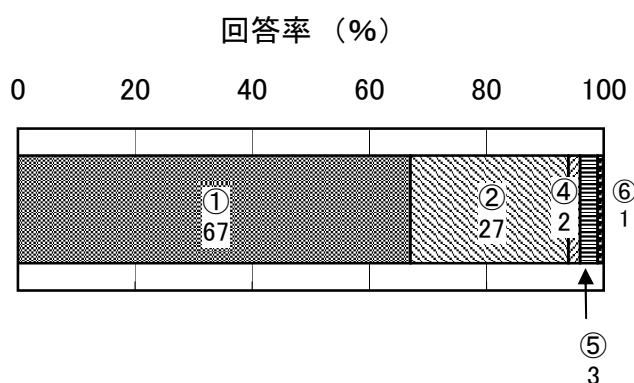


図2 問題1の回答結果

2 問題2の結果

問題2の結果を図3に示す。正答の③を選択したものは69%であった。そして、正答と逆回り方向の⑥を選択したものが21%、②を選択したものが6%、④を選択したものが2%、①、⑤を選択したものがそれぞれ1%ずつであった。直線の導線に生じる磁界の方向はわかっているが、導線を円形にした場合に生じる磁界の方向をわからないものが約2割いることがわかった。

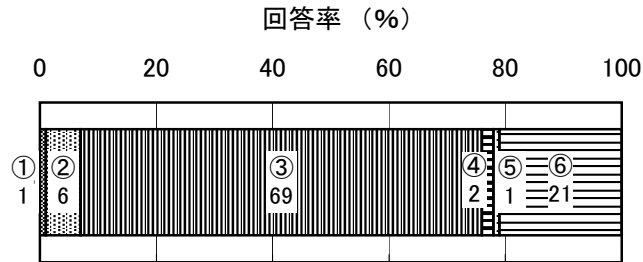


図3 問題2の回答結果

3 問題3の結果

問題3の結果を図4に示す。正答の④を選択したものは85%であった。正答と逆回り方向の③を選択したものは12%、残りの3%は②を選択している。

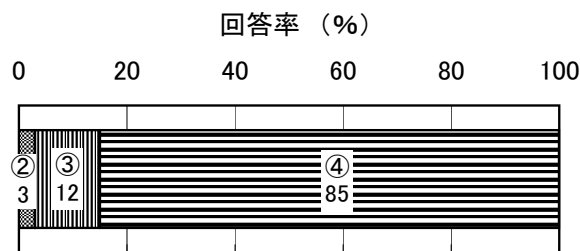


図4 問題3の回答結果

4 問題4の結果

問題4の結果を図5に示す。正答は②③⑥⑨となっている。選択した割合は、①27%、②52%、③52%、④26%、⑤3%、⑥47%、⑦30%、⑧29%、⑨46%、⑩2%となっていて、正答の②③⑥⑨を選択したものがそれぞれ5割くらい、誤答の①④⑦⑧を選択したものが3割くらいであった。「動かない」の⑤を選択したものが3%、⑩を選択したものが2%あった。無記入のものも1%あった。正答の4つすべてを選択したものは36%、4つすべて正答の逆向き方向を選択したものは16%あ

た。他には、5つ選択して2つ正答のものが1%，4つ選択して3つ正答のものが2%，2つ正答のものが3%，1つ正答のものが3%，3つ選択して3つ正答のものが2%，2つ選択して2つ正答のものが8%，2つ選択して1つ正答のものが10%，正答なしのものが7%，1つ選択して正答のものが4%，誤答のものが5%あった。

「なぜ正しく選択できなかったのか」というその後の聞き取り調査によると、「フレミングの法則の考え方が間違っていたからだと思う」「電流の向きと磁界の向きの関係について詳しく知らなかった」「レンツの法則、左手の法則も右ねじの法則もしっかり覚えていたはずだが、自分もわからない」「右手定則と左手定則がよくわかりませんでした」などがあり、電流・磁界・力の方向すなわちフレミングの左手の法則を間違えて覚えていたことが原因であることがわかる。

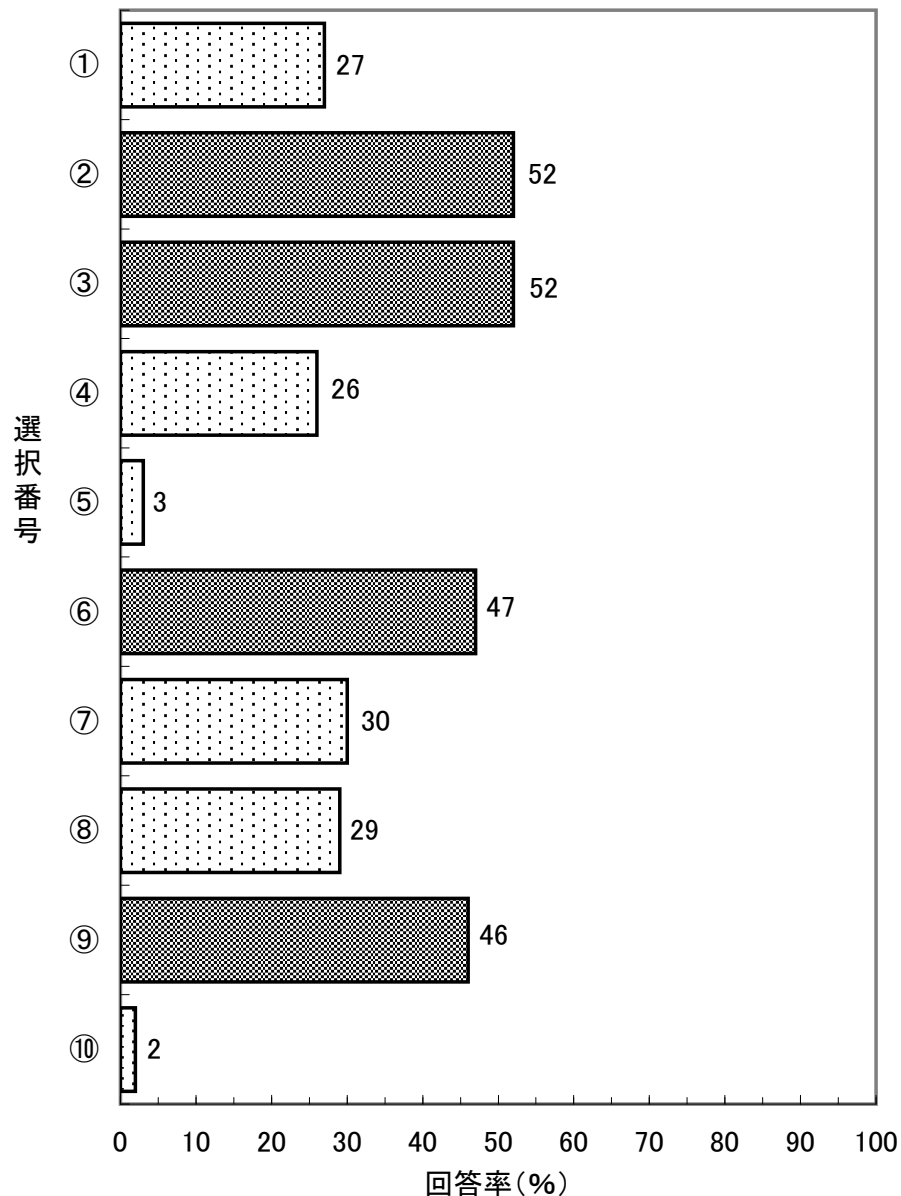


図5 問題4の回答結果

5 問題5の結果

問題5の結果を図6と図7に示す。図6の問題5-aについては、正答の⑥を選択したものは16%であった。これと逆向き方向に動く⑤を選択したものは33%と、⑥を選択したものより約2倍多かった。①⑦を選択したものは、正答の⑥を選択したものとほぼ同じくらいあった。②を選択したものは9%、③を選択したものは7%、④を選択したものと無記入のものはそれぞれ3%あった。

図7の問題5-bについては、正答の⑤を選択したものは23%で、問題5-aで正答の⑥を選択したものよりも少し多かった。これと逆向き方向に動く⑥を選択したものは34%で、問題5-aで逆向き方向に動く⑤を選択したものとほぼ同じくらいあった。①を選択したものが3%、②を選択したものが1%、③を選択したものが15%、④を選択したものが7%あった。問題5-aと同じく、⑦の動かないを選択したものは14%、無記入のものは3%あった。問題5-aとbの両方の正答を選択したものは12%、aだけ正答したものが4%、bだけ正答したものが11%あった。aとbでそれぞれの正答の向きと逆向き方向に動く、すなわちaで⑤、bで⑥を選択したものが26%あり、電流・磁界・力の方向の関係を正しく理解していなかった。両方とも誤答を選択したものが73%であった。aで⑦を選択したものは14%、bで⑦を選択したものは14%あったが、aとbで両方とも⑦を選択したものは6%であった。このことから導線に電流を流すと磁界ができ、力が働くという考えをしっかりと理解できていないものが多いことがわかった。

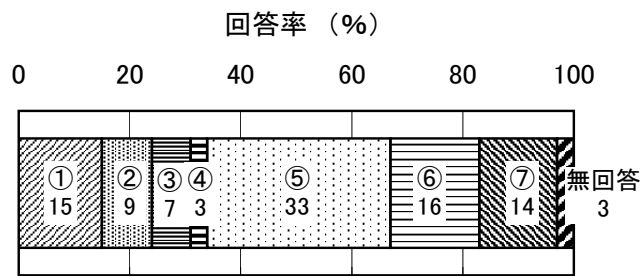


図6 問題5-aの回答結果

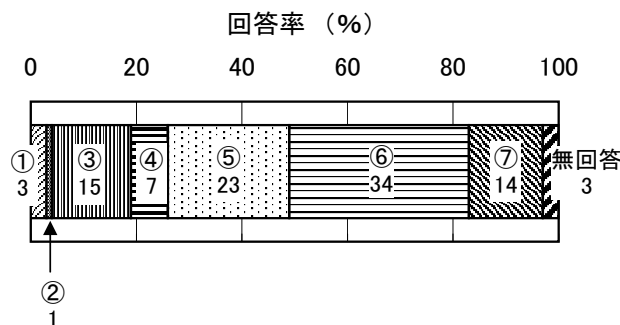


図7 問題5-bの回答結果

6 問題6の結果

問題6の結果を図8に示す。正答の②を選択したものは51%で、②と逆向き方向の①を選択したものは36%であった。③を選択したものが7%、④を選択したものが6%があった。③と④を選択した13%のものは、コイルが受ける方向は、回転方向であることを理解していないことがわかった。

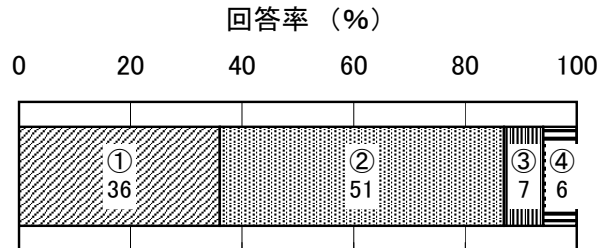


図8 問題6の回答結果

7 問題7の結果

問題7の結果を図9に示す。回答結果をtype I～Vに分類した。図も描け説明も書けていた (type I) ものは1%であった。図は描けているが説明が不十分 (type II) のものが0%、図は描けているが説明が書けていない (type III) ものが3%、図は描けていなくて説明が不十分 (type IV) のものが4%、図も描けず説明も書けていない (type V) ものが92%であった。したがって99%ものが誤答であった。「説明が不十分」というものは、コイルに流れる電流の向きが半回転ごと逆になればいいということには触れていても、それに伴う磁界の関係について書かれていなかった回答で、正答とはしなかった。

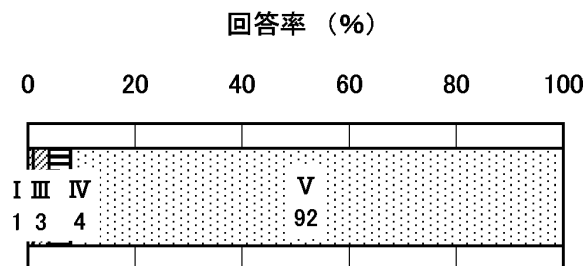


図9 問題7の回答結果：typeI 図も描け説明も書けている，typeII 図は描けているが説明は不十分，typeIII 図は描けているが説明が書けていない，typeIV 図は描けていなくて説明が不十分，typeV 図も描けず説明も書けていない

IV 考察

図10に、問題1から問題7までの正答したものの回答を示す。この図で、問題7を正答したものは全問題(問題1-7)を正答していることになる。前問題の正答者が何を選擇したのかわかるようにしてある。問題1, 問題2は共に導線に電流を流したときに、そのまわりにできる磁界について問うたものである。しかし、問題1では67%の正答率であったものが、問題2では12%減少し55%になった。この12%のうち⑥を選擇したものが8%で、導線が直線の場合は正答したのも、導線が円形になってしまうと、磁界の向きが逆になったものがあった。問題3の正答率は、図4に示したように85%であったが、問題1から問題3まで正答したものの割合は49%であった。問題1-2を正答しているのにもかかわらず、問題3で逆向きの磁界である③を選擇しているものもあった。なぜ選擇したのかは不明である。問題1-3を通して電流と磁界の関係は、約5割のものしか理解できていなかった。

図10の問題4の回答は、「全問正答(22%)」は正答4つをすべて選擇したものを示し、「1つ正答(9%)」は1つだけ正答したものを示し、4つ選擇して1つ正答したものも、1つ選擇して1つ正答したものも「1つ正答」とした。同様に「2つ正答(4%)」は2つ正答したもの、「3つ正答(3%)」は3つ正答したものをそれぞれ示す。「4つ逆向き(5%)」は、電流と磁界の向きに対して、力の向きがすべて逆方向を選擇したものを示す。問題1から問題3までの正答が49%あったが、問題1から問題4まで正答したものが22%と減少した。また、電流と磁界の向きに対して、力の向きがすべて逆方向を選擇したものが5%あったが、これはフレミングの左手の法則を正しく理解していたものが少なく、またその関係を正しく理解していないために誤答したと考えられる。しかし、図11に示すように右ねじの法則がわかっていれば、電流と電流の回りに生じる磁界とを考えることにより、正しい力の方向がわかる。図11は、導線の磁界の方向と磁石による磁界を考え、磁界に密と疎ができ、疎の方向に力がかかることがわかることを示している。このように電流と磁界との関係が正しく理解されていれば、フレミングの左手の法則を覚えていなくても、または教わっていなくても、中学生レベルの知識でモーターの回転する原理を十分理解できると思われる。著者らは、フレミングの左手の法則で電流・磁界・力の方向の関係を覚えると、テストの時には、早く正確に電流・磁界・力の方向を記述することができるが、時間が経つとその関係を正確に思い出すことができなくなるのではないかと考えている。その一方で、右ねじの法則は一度覚えると忘れない。今後、このことについて検討していきたい。

図10の問題5の回答において、「正答」はaとbの両方正答したことを示す。「bのみ正答」は2本の導線に流れる電流の向きが、aで誤答、bで正答したことを示す。「aとbが逆向き」は2本の導線に流れる電流の向きが、aで正答の逆向き、bでも正答の逆向きの方向を選擇したことを示す。問題1から問題4まですべて正答したものが22%になり、問題1から問題5まで正答したものは5%とさらに少なくなった。「bのみ正答」を選擇したものの、aの回答として選擇したのは、②、④、⑤、⑦があった。導線が1本のときの、電流の向きと磁界の方向の関係がわかり、電流・磁界・力の関係もわかっていたのに、導線の磁界が他方の導線に及ぼすことに気がつかなかったものもいたと考えられる。

問題1から問題5まで正答したものは5%で、問題1から問題6まで正答したものは5%と変わらなかった。問題1から問題5を正答したものは、問題6もすべて正答したことがわかった。

問題1から問題6まで正答したものは5%であったが、問題1から問題7まで正答したものは1%と減少した。他のものは、図9で分類したtype IIが1%、type IIIが0%、type IVが0%、type Vが3%であった。正答した1%のものは、整流子とブラシとを正しく描き、文章でも説明してあ

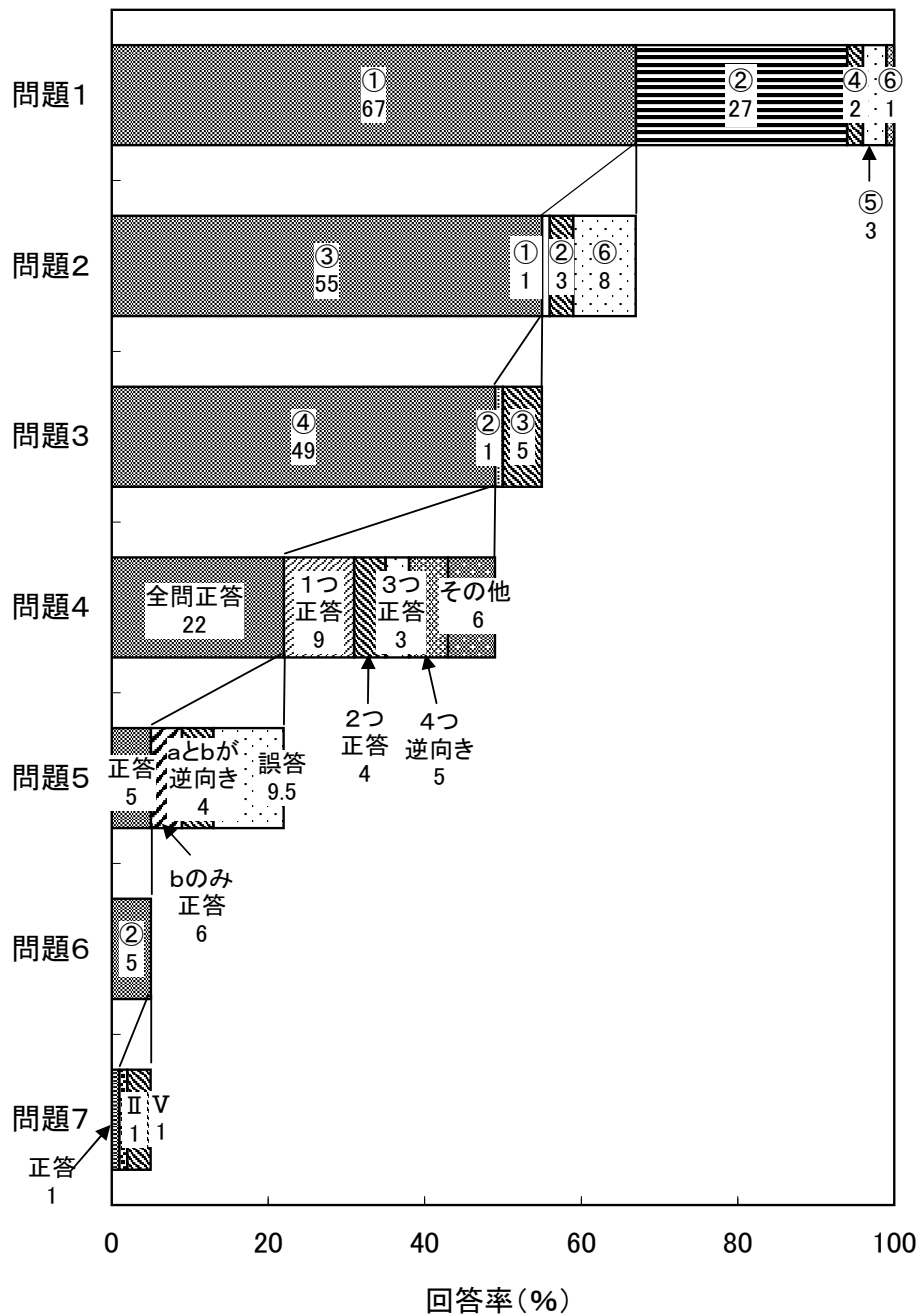


図 10 問題 1 から問題 7 までの正答者の回答結果

た. しかし他のものは, コイルが受ける力の方向はわかっている, 連続して回る仕組みがわかっていた.



図 11 磁石の磁界と導線の磁界により生じる電磁力の方向：(a) 実線は磁石により生じる磁力線，破線は導線により生じる磁力線，(b) 合力の磁力線と電磁力の方向

V おわりに

直流電流による磁界(右ねじの法則)と直流電流・磁界・力の方向の関係(フレミングの左手の法則)について教員養成大学大学生がどのような理解をしているのか，その実態をアンケート調査し，その調査をもとに検討した．その結果，右ねじの法則は約5割のものしか理解していないが，電流・磁界・力の方向を理解しているものは，さらに少なく約2割のものしかいないことがわかった．これは，フレミングの左手の法則を正しく理解していないことはもとより，右ねじの法則すら理解していないものがかなり多いために誤答したと考えられる．工学部大学生の結果と比べて，理解しているものがかなり少なかった．高校物理を履修していなくても中学校理科で右ねじの法則をしっかり学び，電流・磁界・力の関係をフレミングの左手の法則で覚えるのではなく，右ねじの法則から電流・磁界・力の方向を正しく導くようにすれば，中学生レベルの知識でモーターの回転する原理を十分理解できると考えられるので，そのような理解をさせるようにすることが重要である．

参考文献

- [1] 小学校学習指導要領解説－理科編－，pp.18-28, pp.57-70, 東洋館出版社, 1999
- [2] 中学校学習指導要領解説－理科編－，pp.30-36, 大日本図書, 1999
- [3] 新しい科学1分野上，pp.114-120, 東京書籍, 2002
- [4] 新しい科学1分野下，pp.46-75, 東京書籍, 1991
- [5] 中学校理科1分野下，pp.30-39, 大日本図書, 1997
- [6] 中学校理科1分野下，pp.30-38, 学校図書, 1996
- [7] 教育実践学研究，pp.39-59, 山梨大学教育人間科学部附属教育実践総合センター, 2006