

子どもの科学的な学びを創造する理科授業に関する研究 (3)

—「電気の利用」の単元を事例として—

三田 幸司 山崎 敬人 柴 一実 升岡 智子
風呂 和志
(研究協力者) 杉山 雅俊

1. 問題の所在と研究の目的

自然環境の改善や化石燃料枯渇への対応のために、代替エネルギーの開発と実用化が地球規模で進められてきている。日本では、ソーラー発電やハイブリッド車などの利用が増え始めており、日常生活において利用しているエネルギーへの意識が今後さらに高まっていくと考えられる。一方、学校教育に目を向けると、平成20年改訂の小学校学習指導要領解説理科編¹⁾では、「A物質・エネルギー」の内容区分において「エネルギー」、「粒子」といった科学の基本的な見方や概念を柱とした内容の系統性が図られており、「エネルギー」については、さらに「エネルギーの見方」、「エネルギーの変換と保存」、「エネルギー資源の有効利用」の3つに分けられている。平成10年改訂の小学校学習指導要領解説理科編²⁾における「B 物質とエネルギー」の内容区分ではそれらのような細かな分類が明示されていなかったことからすれば、小学校理科教育においてエネルギーについての学習を一層充実させることが求められていると考えられる。

平成20年改訂の小学校学習指導要領解説理科編³⁾における「エネルギー」を柱とした内容の構成の項では、第6学年に「電気の利用」の単元が新設されており、その内容にはエネルギーの変換が含まれている。しかし、この単元の授業において教科書に記載されている内容を実践してみたところ、子どもの学びに次のような課題があることが分かった。それは、LEDや豆電球、電子オルゴール、モーターを手回し発電機につないでハンドルを回す実験についてである。この実験では、電気は光や音、運動に変換できることを学ばせようとするのだが、子どもによっては、手回し発電機を回すと「LEDや豆電球が光った」、「電子オルゴールが鳴った」、「モーターが回った」という現象をとらえることにとどまり、電気が光や音、運動に変換されたという

見方や概念をもつことが難しいことが明らかになった。シップストン(1985)は、オズボーンをはじめとする調査研究の分析から、学校教育での正式な指導が始まる段階の子どもたちには「電池のような電気を供給するものがあり、電球やモーターのようなそれを消費するものがある」というとらえ方が潜在し、子どもの多くがそのとらえ方をもち続けると述べている⁴⁾。このことからすれば、先のような子どもは、LEDや豆電球、電子オルゴール、モーター内においてエネルギーである電気は消えてなくなるととらえていると考えられる。また、LEDや豆電球、電子オルゴール、モーターが光ることや鳴ること、回することはそれらの「動作」としてとらえており、光や音、運動をエネルギーとして認識できていないと推察される。

さらに、エネルギー変換についての学びを検討するうえで留意が必要であると考えられる点がある。それは、各々のエネルギーを区別することについてである。坂元・武村他(1977)⁵⁾、平野(1999)⁶⁾、三田(2009)⁷⁾、三田・佐伯(2010)⁸⁾の調査結果から、小学生の中には、永久磁石の両磁極に豆電球を接続すると明かりがつくという考えをもっている者がいることが明らかになっている。また、三田(2009)⁹⁾は、乾電池の電極に方位磁針を近づけると針が引き寄せられると考えている子どもがいることも明らかにしており、それらの子どもの回答理由の分析から、電気エネルギーと磁気エネルギーの区別が曖昧であると考えられる子どもがいると述べている。エネルギー変換とは、文字どおり、あるエネルギーが別のエネルギーに変わることであり、子どもが各々のエネルギーを区別することができていなければ、エネルギー変換についての見方や概念を育むことは難しいと考えられる。

以上のことからすれば、LEDや豆電球、電子オルゴール、モーターなどについてのとらえを「電気を消

費するもの」から「電気を他のエネルギーに変換するもの」へと高めるとともに、各々のエネルギーを区別できるようにする科学的な学びを創造するために、学習内容を開発することが必要であると考え。「電気の利用」の単元は、エネルギーについての学習を一層充実させるうえで大きな役割を担って新設されたと考えられる。しかし、新設されたばかりであるために、子どもの学びの課題を解決する指導方略に関する研究はまだ少ない。よって本研究では、先に述べた課題を解決するために学習内容を開発して授業実践し、子どもの見方や概念の変化を検討することを目的とする。

2. 研究の方法

(1) 学習内容の開発

エネルギー変換に対する子どもの見方や概念を育むための教材として、図1の実験装置を開発した。この実験装置では、2つの模型用モーターの回転軸が金属製のスプリングジョイントでつないであり、左側のモーターの回転が伝わることによって右側のモーターが発電し、豆電球に明かりがつく。

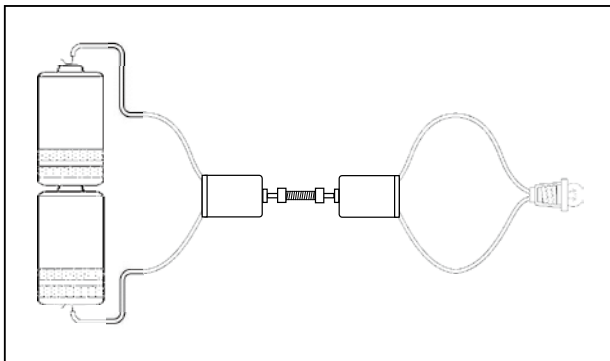


図1 開発した実験装置

この実験装置を用いて、単元「電気の利用」の教科書の内容を学習した後の子どもに対し、次のような学習内容を計画した。まず、図1の実験装置を子どもに提示して、豆電球が点灯する理由を尋ねる。この実験装置全体におけるエネルギー変換は、モーター内の磁気を見無視した場合、左側から「電気→運動→電気→光」となるが、子どもの中には、乾電池の電気が伝わって豆電球が点灯すると思う者がいることが予想される。また、それまでの発電実験での学習から、右側のモーターが回されて発電すると思う子どもがいることも予想されるため、2つのモーターの回転軸の間を伝わっているのは電気エネルギーか運動エネルギーかを確かめていくことを学習課題として設定する。そして、それら2つの子どもの考えを検証する実験方法を学級全体で検討し、グループごとに仮説を立てたうえ

で検証実験を行わせる。実験後は、三田(2010)の「フリータイム」⁹⁾によってグループ間の交流を行わせ、軸間を伝わっているのは運動エネルギーであるという結論を学級全体で導き出す。以上の学びをとおして、モーターは、「電気⇔運動」というように双方向にエネルギー変換ができる物であることや、運動もエネルギーの一つであるが、電気とは異なるエネルギーであることについて理解を深められるようにする。

加えて、LEDに光を当てるとつないだ電子オルゴールが鳴るが、豆電球に光を当てても鳴らないことや、MDプレーヤーを外部スピーカーとテスターにつなぐと音楽とともに針が振れたり、テスターをつないだスピーカーに太鼓の音や子どもの声を当てると針が振れたりすることを確かめさせる。これらのことによって、光や音もエネルギーであるが、電気とは異なるエネルギーであることや、LEDやスピーカーは光や音と電気の間での双方向のエネルギー変換ができる物であるが、豆電球のように一方向にしかエネルギー変換できない物があることをとらえられるようにする。なお、単元計画は次のとおりであり、本研究で開発した学習内容は第3次にあたる。

- ・第1次 発電と蓄電（3時間）
- ・第2次 電気による発熱（3時間）
- ・第3次 軸間を伝わるエネルギー調べ（4時間）
- ・第4次 モーター作り（2時間）

(2) 授業実践の時期と対象

該当単元の授業は、平成24年10月から11月の間に広島県内の小学校の第6学年2クラスにおいて実施した。

(3) 子どもの見方や概念の変化に関する調査

授業を実施した2クラスの6年生76名を対象として、該当単元実施前と第3次終了後に、三田(2009)¹¹⁾が用いた質問紙による調査を行った。質問内容は次のとおりである。

- ・問1-1) 永久磁石のN極S極に豆電球をつなぐと明かりはつくと思うか
 - 2) そのように考えた理由
- ・問2-1) 乾電池に方位磁針を近づけると針は引き付けられると思うか
 - 2) そのように考えた理由

回答方法は、問1-1)が「つく」「つかない」の二者択一であり、問2-1)は選択肢「+極にも-極にも引き付けられる」「+極にだけ引き付けられる」「-極にだけ引き付けられる」「+極にも-極にも引き付けられない」から一つを選ばせた。また、各問の2)は自由記述とした。分析にあたっては、前後2回の調査結果を比較して、各問の1)への回答が変化した子

どもを中心に、それぞれの問の2)への回答内容を検討する。

3. 結果と考察

(1) 授業の実際

以下では、第3次のうち、図1の実験装置を用いた学習場面について述べる。各グループに実験装置を配布して、モーターが回ると豆電球が点灯することを確認できるようにした後、明かりが見つかる理由を子ども一人ひとりにワークシートへ記述させたり学級全体で交流させたりした。その結果、本授業を実施した2クラスでは、予想していた「電池の電気が伝わるから」「右のモーターが発電するから」の他にも、「実験装置全体が一体化するから」という考えがあることが分かった。そこで、2つのモーターの回転軸の間は何が伝わっているのかを確かめていくことを学習課題として設定し、「実験装置全体が一体化するから」とする子どもの考えを明確にしていくとともに、それぞれの考えを検証する実験方法を検討させた。最終的には、両クラスとも、軸間を伝わっているのは電気エネルギーか運動エネルギーであろうということにまとまった。また、検証実験については、両クラス合わせると下の11とおりの方法が出された。

- ①右側のモーターを外して左側のモーターの回転軸に豆電球の導線をつなぐ
- ②ジョイントを、電気を通さない物にかえる
- ③左半分の回路と右半分の回路の電流の強さと方向を調べる
- ④ジョイントの回転を止める
- ⑤ジョイントに電気が通っているか調べる
- ⑥右側のモーターを電気無しで回す
- ⑦手回し発電機の中を調べる
- ⑧ジョイントが電気を通すか調べる
- ⑨モーターの導線と回転軸の間に電気が通るか調べる
- ⑩乾電池を1個または2個並列にする
- ⑪豆電球を外す

これらのうち、②、⑤、⑥、⑦については、より具体的にする必要があったため、学級全体へ問いかけたり教師側からアイデアを提示したりしたところ、子どもは表1の方法を選択した。これらの実験方法を、両クラスとも9つのグループで2つずつ分担して検証することにした。検証実験にあたっては、課題解決への見通しを明確にもたせるために、各グループが担当する2つの実験方法について、「電気エネルギーなら、」「運動エネルギーなら、」を書き出しとする2つの仮説を立てさせておいた。

表1 子どもが選択した実験方法

②	ジョイントをゴム管にかえる
⑤	ジョイントを外して ・軸間に導線をあてる ・軸間に検流計を入れる
⑥	右側のモーターに ・プーリーをつけて糸で回す ・プロペラをつけて扇風機で回す ・模型タイヤをつけて自転車で回す ・棒をつけてキリのように回す ・水車をつけて水で回す
⑦	手回し発電機の中をモーターにかえて回す

表2 グループの仮説

電気エネルギーなら、 1)左モーターだけで軸に豆電球の導線をつなぐと、豆電球はつくはず。 2)ジョイントをゴム管にかえると、明かりはつかないはず。 3)検流計で左回路と右回路の電流の強さと方向を調べると、同じになっているはず。 5)ジョイントを外して軸間に導線をあてると、豆電球はつくはず。 5)ジョイントを外して軸間に検流計を入れると、針が振れるはず。 8)テスターでジョイントが電気を通すか調べると、通すはず。 9)テスターでモーターの導線と軸の間に電気が通るか調べると、電気を通すはず。 10)乾電池を1個または2個並列にすると、モーターが回るか豆電球が光るかのどちらかになるはず。 11)豆電球を外すと、モーターが速く回るはず。
運動エネルギーなら、 4)ジョイントの回転を止めると、豆電球はつかないはず。 6)右モーターにプーリーをつけて糸で回すと、豆電球はつくはず。 7)手回し発電機の中をモーターにかえて回すと、豆電球はつくはず。 9)テスターでモーターの導線と軸の間に電気が通るか調べると、電気を通さないはず。(電気なら通すはず。)

それぞれのクラスにおいて、各グループの子どもが立てた仮説は表2のとおりであった。

実験後、表2の8)、11)の仮説を立てていた2つのグループでは、回転軸の間を伝わっているのは電気エネルギーなのか運動エネルギーなのか判断に困っていた(表3参照)が、「フリータイム」を行って他グループのメンバーと互いの実験結果や考えを交流することをおして、運動エネルギーであると判断できていた。

それら以外のグループの子どもについても、「フリータイム」によって他グループと実験結果や考えを

表3 8)、11)の仮説を立てていたグループの実験結果

8)の仮説を立てていたグループ ・電気エネルギーなら、テスターでジョイントが電気を通すか調べると、通すはず。→通した ・運動エネルギーなら、右モーターにタイヤをつけて自転車で回すと、豆電球はつくはずだ。→ついた
11)の仮説を立てていたグループ ・電気エネルギーなら、豆電球を外すと、モーターが速く回るはず。→速く回った ・運動エネルギーなら、右モーターにプーリーをつけて糸で回すと、豆電球はつくはず。→ついた

交流しており、その後の学級の結論を出す場面では、回転軸の間を伝わっているのは運動エネルギーであることに全員が納得できていた。

(2) 子どもの見方や概念の変化

該当単元実施前と第3次終了後に行った、質問紙調査への回答を分析する。なお、今回は該当単元実施前と第3次終了後を比較するため、いずれかの調査日に欠席していた5名の子どもを除く71名の回答を集計した。また、問1-2)と問2-2)への回答は三田・佐伯(2010)の分類に合わせて整理する。

i) 問1について

問1-1)「永久磁石のN極S極に豆電球をつなぐと明かりはつくと思うか」への回答を集計すると、表4のとおり「つかない」を選択した人数の割合が10%以上増加していた。

表4 問1-1)への回答(人)

選択肢	単元実施前	第3次終了後
つく	29 (40.85%)	20 (28.17%)
つかない	42 (59.15%)	51 (71.83%)

また、単元実施前の調査では「つく」を選択したが、第3次終了後の調査では「つかない」を選択した子ども13名について、問1-2)への回答の変化を整理したものが表5である。ここでは、単元実施前の回答について分類を行っている。

三田・佐伯(2010)¹²⁾の分類は(ア)、(イ)の2つに大別されており、分類(ア)は「電気を通す物=起電力を持つ物」という見方・考え方を、分類(イ)は「磁気エネルギー≒電気エネルギー」という見方・考え方をもっていると推察される内容である。分類(イ)についてはさらに分類されており、(イ)-①は乾電池と磁石を同一視していると考えられる内容であり、(イ)-②は電極と磁極を同一視していると考えられる内容、(イ)-③は電流の方向や回路に基づくと考えられる内容、そして(イ)-④は磁石のN極とS極が異なる働きをもっているという考えに基づく推察される内容である。表5の単元実施前の欄では、それらの分類すべてに該当する回答が見られる。ところが、第3次終了後の回答では、「分からない」が1名いたものの、その他の12名は乾電池と永久磁石の働きを区別したり、電気エネルギーと磁気エネルギーを区別したりした内容を記述していることが分かった。以上のことから、本研究で開発した学習内容は、子どもが各々のエネルギーを区別できるようにするうえで一定の効果があると考えられる。

表5 問1-2)への回答の変化

分類	単元実施前	第3次終了後
(ア)	磁石が電気を通すから	豆電球につないだのが磁石だから
(イ)-①	磁石に電気が含まれているから?	分からない
	電池の力でつくと思います	磁石から電気の力が送られないと思うから
	S極とN極から磁力的な何かがビビッとくるから	電力、電気じゃないから。磁力だから。
	N極とS極は鉄を引き付けるから?	電気エネルギーが通っていないから?
(イ)-②	N極とS極を合わせたらそうなる	磁石にN極S極をつないでも電池をつないだ訳ではない
	乾電池にはN極・S極があって電気がついた。磁石にもN極とS極があるから。同じ性質だから。	電気が流れてないから。ただの磁石だから。
	+極と-極にN極とS極があると	電気が通っていないと思うから
	N極とS極につないでいるから	乾電池もつないでいないので明かりはつかないと思いました
(イ)-③	豆電球と磁石のN&Sをつないだら普通つくから。	磁力に電力は無いから
	N極S極にも回路のようにできると	磁石にただ豆電球をつないでいるだけなので電池や発電機を入れない限り明かりはつかない
	思うから(鉄だから)	
(イ)-④	N極はS極へ近づくと	電気?電力がないから
	N極S極をつなげるとくっつくので電球はつく	電池じゃないから

表6 問1-2)への回答(第3次終了後)

分類	記述内容
(ア)	・磁石に電気は通るから
(イ)-①	・磁石の電気エネルギーが豆電球に伝わるから ・磁石が電池代わりになると思うから
(イ)-②	・N極S極に豆電球をつないだら電気が働いてつくから ・N・S極には+- (電気の力)があるから(2) ・N極は+極、S極は-極の代わりになり乾電池の代わりになるから ・+極と-極はNとSのどちらかの役目をしているから
(イ)-④	・極が違うから(2) ・極が違う方にくっつくから豆電球も同じように考えるからつく
(ウ)	・無記入(3) ・明確な理由が記述されていない回答(6)
(エ)	・エネルギーによって違うからつく(反対にならないものもある)

(注)カッコ内の数字は、同様の回答者がいた場合の人数を表す。

一方、表6は、第3次終了後の調査において、問1-1)に対して「つく」を選択した子ども20名の、問1-2)への回答内容(複数回答)を分類したものである。無記入分や明確な理由が記述されていないものは(ウ)とし、三田・佐伯(2010)¹³⁾の分類に該当しないものを(エ)としている。

表6には、単元実施前の調査では「つかない」を選択していたが、第3次終了後の調査では「つく」を選択した子ども4名が含まれており、それらの子どもの回答は、分類(ア)の「磁石に電気は通るから」(1名)や、分類(イ)-②の「N・S極には+- (電気の力)があるから」(1名)、分類(ウ)に該当するもの(2名)であった。三田・佐伯(2010)¹⁴⁾の調査によれば、分類(ア)や(イ)-②に該当する回答は小学3年生

にも見られたことからすれば、小学校第3学年の学習内容である電気を通す物調べにおける指導や、電極と磁極を区別する指導を検討することが必要であると考えられる。

その他、表6中の分類(エ)「エネルギーによって違うからつく(反対にならないものもある)」という回答は、本研究で開発した学習の中で、豆電球などを「エネルギーを変換するもの」として扱ったことによる混乱であると推察される。よって、豆電球であれば「電気→光」というように、変換できるエネルギーが限定されていることを指導する必要があると考えられる。

ii) 問2について

問2-1)「乾電池に方位磁針を近づけると針は引き付けられると思うか」への回答を集計すると、表7のとおり「④」を選択した人数の割合が10%近く増加していた。

表7 問2-1)への回答(人)

選択肢	単元実施前	第3次終了後
①	24 (33.80%)	20 (28.17%)
②	3 (4.23%)	1 (1.41%)
③	0	0
④	44 (61.97%)	50 (70.42%)

また、単元実施前の調査では「④」以外を選択したが、第3次終了後の調査では「④」を選択した子ども11名について、問2-2)への回答内容の変化を整理したものが表8、表9である。これら2つの表においては、単元実施前の回答内容について分類を行った。

表8 問2-2)への回答の変化(①選択者)

分類	単元実施前	第3次終了後
ア)	乾電池は磁石と同じ性質だから磁力も一緒だと思ったから	乾電池の極はただの金属だから電気は流れていないから
	電池にN極とS極があると思うから	方位磁針に電気は通っていないと思うから
	+極と-極には方位磁針の針を引き付ける性質があるから	+と-はNとSとは違うから
	磁石の力があるから	針にあるは磁石の力だから
イ)	多分+-だからなる	分からない
オ)	分からない	磁石じゃないから
	(無記入)	磁石じゃなくて乾電池だから
	(無記入)	ない

表9 問2-2)への回答の変化(②選択者)

	単元実施前	第3次終了後
カ)	方位磁針は磁石のN(+極)に引き付けられる	磁石には引き付けられるけど電池には引き付けられないと思う!
キ)	お母さんが+極から放電すると言ってたから	引き付けられないから
ケ)	(無記入)	磁石ではないから

三田・佐伯(2010)¹⁵⁾の分類では、表8中の分類エ)は、乾電池に磁力があるという内容や、電極と磁極を同一視した内容であり、分類イ)は、電気によって方位磁針が反応するという内容や、磁石に電気が流れていたり電極があったりするという内容である。また、オ)は明確な理由が記述されていない回答である。表9については、分類カ)は、方位磁針が南北を指すのはN極側が北に引き寄せられるからであり、S極側は作用しないと考えていると推察される内容である。そして、分類キ)は、小学校第4学年において電流が乾電池の+極側から出ることを学習したことに基づく内容である。分類ケ)は、明確な理由が記述されていない回答である。表8、表9の第3次終了後の回答からは、「分からない」「ない」と回答した子どもが2名いるものの、他の子どものほとんどは、乾電池と永久磁石や電極と磁極を区別したり、電気エネルギーと磁気エネルギーを別物としてとらえたりすることができていると考えられる。特に、表8中の「乾電池の極はただの金属だから電気は流れていないから」という回答をした子どもは、電気と磁気を区別したうえで、導線に電流が流れれば電気が磁気へとエネルギー変換されることを述べていると推察される。また、本学習内容では永久磁石を扱っていなかったにもかかわらず、単元実施前の回答では無記入や「分からない」であった子ども4名のうちの3名が、第3次終了後では乾電池と永久磁石の違いを回答したことは注目すべきであると考えられる。以上のことから、本研究で実践した学習内容は、子どもが各々のエネルギーを区別できるようにするうえで一定の成果があったと考えられる。

一方、表10は、第3次終了後の調査において、問2-1)に対して「④」以外を選択した子ども21名の、問2-2)への回答内容を分類したものである。

表10 問2-2)への回答(第3次終了後)

選択肢	分類	第3次終了後
①	ア)	・電池にも磁力があるから(3)
		・+極にも-極にも電池に磁石があると思う
		・乾電池の+-が磁石のNSの役割をするから(3)
	イ)	・+にも-にも磁石を引き寄せる力があるから(2)
	ウ)	・電磁石と同じ働きをしようから(2)
オ)	・明確な理由が記述されていない回答(8)	
	・無記入	
②	ケ)	・明確な理由が記述されていない回答

(注)カッコ内の数字は、同様の回答者がいた場合の人数を表す。

表10には、単元実施前の調査では「④」を選択していたが、第3次終了後の調査では「④」以外を選択した子ども6名が含まれており、それらの子どもの回答は、分類エ)の「電池にも磁力があるから」1名と、分類ウ)「電磁石と同じ働きをしようから」1名

の他は、無記入（1名）や明確な理由が記述されていない回答（3名）であった。「電池にも磁力があるから」と回答した子どもに対しては、分類エ）の他の2つの回答や分類イ）、オ）、ケ）の回答をした子どもも含めて、今回用いた調査内容である問1-1）と問2-1）を実際に試させてみることに有効であると考えられる。それらを試させてみる単元としては、第6学年の本単元のほかに、小学校第3学年の磁石を扱う単元と乾電池を扱う単元が考えられる。

その他、分類ウ）の「電磁石と同じ働きをしようから」については、第5学年の単元「電流の働き」の中の電磁石を扱う場面において、エネルギー変換に関する学習を充実させる必要があることを示唆していると判断できる。具体的な学習の内容としては、今回の調査で用いた問2-1）を試すと方位磁針は反応しないが、乾電池の両極を導線でつないで電流が流れるようにすると方位磁針が反応することを、比較しながら試させてみることに考えられる。なお、問2-1）を試させる際には、乾電池の電極部分に鉄が用いられていることから、その鉄の部分に方位磁針が反応すると考える子どもがいることや、乾電池を電磁石につないだ後では、その鉄の部分が磁化されて方位磁針が反応する可能性があることに留意が必要である。

4. 成果と課題

本研究では、新単元「電気の利用」においてエネルギー変換に対する子どもの理解を深めるために、新たな実験装置を用いた学習内容を開発し、授業を実践した。授業における問題解決活動やワークシートへの記述の分析から、子どもはモーターなどを「電気を他のエネルギーに変換するもの」としてとらえることができたことが分かった。また、質問紙調査への回答を分析した結果から、今回開発した学習内容は、子どもが各々のエネルギーを区別できるようにするうえで一定の効果が認められた。

一方、開発した学習内容の実施後にも、エネルギーの区別が曖昧であると考えられる子どもがいたことから、質問紙調査への回答やワークシートへの記述を精査して学習内容をさらに改善していく必要がある。また、各々のエネルギーを区別することについては、今

回研究の対象とした「電気の利用」以外の単元においても学習内容の開発が必要であると考えられる。今後も、子どもの学びの系統性を考慮しながら検討を行っていく。

引用（参考）文献

- 1) 文部科学省：「小学校学習指導要領解説 理科編」, 2008, 大日本図書.
- 2) 文部省：「小学校学習指導要領解説 理科編」, 1999, 東洋館出版.
- 3) 前掲書1)
- 4) D. シップストン：「単純な回路を流れる電気」, R. ドライヴァー, E. ゲスン, A. テインベルギエ（内田正男監訳）『子どもの達の自然理解と理科授業』, pp.49-71, 1993, 東洋館出版.
- 5) 坂元昂・武村重和 他：「内容・目標行動マトリクスおよび次元分けによる評価問題作成技法の開発（電磁気教材）」, 研究代表者 坂元昂, 『教育工学研究資料, 研究課題「授業システムの分析・設計と教材教具の開発」』, pp. 241-311, 1977.
- 6) 平野俊英：「学習者の初等電磁気概念の形成に関する研究—カリキュラムの構造が及ぼす影響—」, 広島大学大学院教育学研究科博士論文, 1999.
- 7) 三田幸司：「電気と磁気に対する小・中学生の見方や考え方に関する研究」, 第58回日本理科教育学会中国支部大会発表資料, 2009.
- 8) 三田幸司・佐伯英人：「電気と磁気に対する小・中・大学生の見方や考え方に関する研究」, 第59回日本理科教育学会中国支部大会発表資料, 2010.
- 9) 前掲書7)
- 10) 三田幸司：「理科学習におけるコミュニケーション活動に関する研究—「フリータイム」の導入による合意形成過程の検証を通して—」, 広島大学大学院教育学研究科博士論文, 2010.
- 11) 前掲書7)
- 12) 前掲書8)
- 13) 同上書
- 14) 同上書
- 15) 同上書