

日本の教育事情に即した STEM教育による深い学びを実現する研究指導

— 高校生のための課題研究「永久ゴマ」の実践を事例として —

山岡武邦* 山田哲也**

1. はじめに

STEM “Science, Technology, Engineering and Mathematics” 教育は、教科、校種、学年の枠組みを超え、生涯学習の要素を含んだものである。STEM教育の実践手法は、米国のSTEM教育の理論的支柱である“K-12科学教育のためのフレームワーク（以下、「K-12」という。）”に示されている（National Research Council of the National Academies, 2012）。「K-12」によれば、学習とは、領域コア概念、領域横断概念、プラクティスの3つの次元を持つものである。具体的には、図1に示すように理科・技術科における断片的領域コア概念を結合させる道具としての数学を用いながら反復練習を行うことで、領域横断概念として結合させた知識を獲得する過程のことであると示されている。領域横断概念を結合させる道具としての数学は、新たな疑問を生じさせる契機になると考えられる。なお、基本的な探究としての学習過程は、学校種によって大きな違いはない。そこで、この図1を基にした図を学校種ごとに描き、従来の学びを示したものが図2、「K-12」の学びを示したものが図3である。

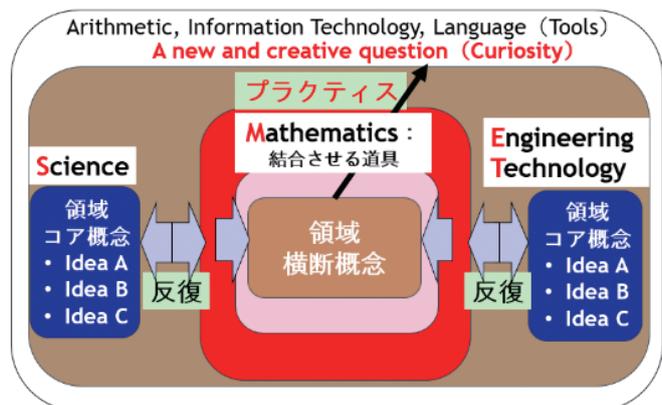


図1 「K-12」のプラクティス

従来の学びは、図2に示すように、小学校、中学校、高等学校の各学校種で学ぶとともに、入試や考査などの刺激を行ってきた。ただ、この図はあくまでも模式的に示したものであり、教育現場には様々な工夫がみられた。例えば、1950年代から1970年代に先進諸国でなされた科学教育のカリキュラム改革運動や、1980年代から1990年代にかけて大いに進展した学習論としての構成主義を取り入れてきたSTS教育、1990年代のクロス・カリキュラムを志向したエネルギーと環境に関する教育などが挙げられる。また、それぞれの学習場面で、学習者は「楽しかった」という感想を持つような報告は枚挙に暇がない。ただ、梶田（1983）は、上級校入試の圧力のために実際の教授・学習活動はバランスを失っていると指摘しているように、入試に代表される教育評価が教師や生徒一人ひとりの思考を制約する重要な要因となっていたことが考えられる。小川（2006）は、科学現象自体の楽しさと、現象の背後に潜む規則性・法則性といったものに対する楽しさというように質の異なる「楽しさ」

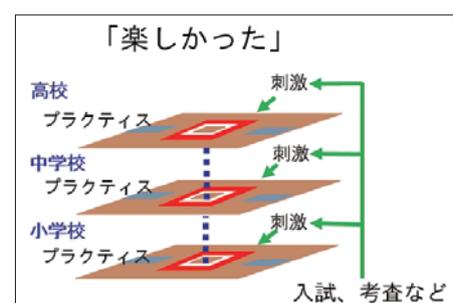


図2 従来の学び

* 東海学園大学教育学部 ** 湊川短期大学人間生活学科

が2種類あることを指摘している。つまり、「楽しい」の先にある知的好奇心が刺激され、新たに生成された疑問が次の学習にある「楽しさ」へと繋がっていく学習になっていたかどうかは別問題であると考えられる。

一方、「K-12」は、図3のように、新たな疑問が生起され、自学を含めた継続的学習により、高い総合的概念を獲得できる教育を提案するとともに、科学的思考を促進させる教師の発問の重要性について述べている。探究活動の中で議論を深めながら、子ども達自身が新たな疑問を生じ、次の学習へとつなげる実践は大変意義深いものであると考えられる。学問としての美しさを追究する数学ではなく、領域コア概念を領域横断概念へと結合させる道具としての数学を使いこなすことが創造的で新たな疑問を生成させると考えられる。このようにSTEM教育は、自学を含めた継続的学習で、総合的概念を獲得できる教育なのである。

平成30年告示の高等学校学習指導要領（文部科学省，2019）では、平成21年告示の高等学校学習指導要領（文部科学省，2009）において新設された科目「理科課題研究」の内容を踏まえて、共通教科「理数」が発展的に新設されたという経緯

がある。つまり、これまで以上に生徒の高次思考を促進する探究活動を通じた深い学びが求められている。この探究過程を通じた深い学びは、探究としてのプラクティスにおけるSTEM教育の学習過程の文脈に通じるものがある。そのため、プラクティスに関する理論的解明や実践的研究は大変意義深いと考えられる。

2. 研究目的

本研究では、欧米で実績のあるSTEM教育に着目し、「K-12」における探究活動の手続きに従い課題研究指導を行うことで、日本の教育事情に即したSTEM教育による深い学びを実現する教育について検討することにした。具体的には、永久ゴマの作成とその過程で出てきた疑問を手掛かりに、1年間を通じて実践してきた理科課題研究活動に焦点化して、研究指導について検討することにした。

3. 研究方法

(1) 時期及び調査対象

愛媛県内の国立高等学校総合学科2年生4名（進学希望者）が受講した「理科課題研究」の授業の中で、著者らは、電磁気に関する課題研究を行った生徒1名の指導に年間を通じて関わった。なお、授業は、週1回の連続した2時間授業であり、2018年4月から2019年3月にわたり1年間実施された。対象生徒が同定した課題研究のテーマは、永久ゴマの作成を通して、その仕組みを理解したうえで、コイルの巻き数やコイルに流れる電圧等に着眼し、永久ゴマが速く回る条件を探究するというものであった。

(2) STEMの実践について

STEM教育の実践手法は、「K-12」における探究活動の手続きに記載されている。科学的探究（科学的プラクティス）についてまとめると表1のようになる。

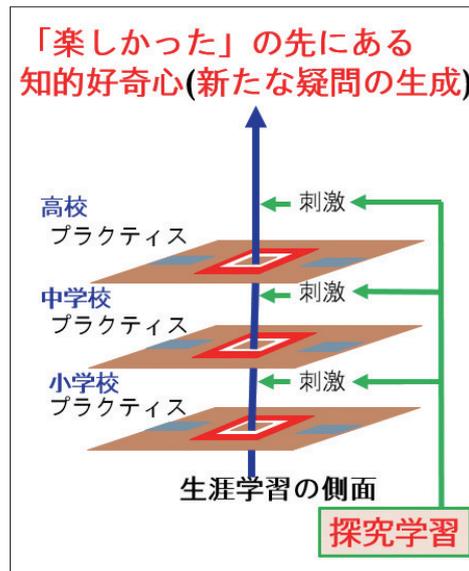


図3 「K-12」の学び

表1 STEM教育における科学的探究（プラクティス）の実践手法

プラクティス	NRCフレームワーク	各州共通基礎スタンダード ^{注1)}
第一段階	発問する。 問題を定義する。	科学者の基礎的探究は、既知の現象で経験的に回答可能な質問を作る能力と、満足のいく方法で回答できない現象に潜む課題を決定する能力である。
第二段階	モデルを創り、使用する。	科学では、自然現象の説明を発展させる目的で、モデルやシミュレーションの構築と使用がよく行われる。
第三段階	調査を計画、実行する。	科学者の主要な探究は、変数を必要とし、収集したデータを明らかにするための体系的な科学的探究の計画を立てて、実行することである。
第四段階	データを分析、解釈する。	科学的探究は意味を導き出すための分析データを創出する。科学者はデータに潜む重要な特徴やパターンを特定するため、様々なツールを使用する。
第五段階	数学、数学的思考をする。	科学、数学、計算は、物理的変数と関係を表現する基本的ツールである。
第六段階	説明を構築する。	科学の目的は、物質世界の説明を提供する理論の構築である。
第七段階	証拠に基づき議論する。	科学の世界では、推論と議論は、証拠の長所と短所を明らかにし、自然現象の最善の説明をするために不可欠なものである。
第八段階	情報を入手し、評価する。 情報を基に話し合う。	科学者が自分の発見を明確かつ説得力のある形で伝えたり、他の人の発見について学んだりすることができなければ、科学は進歩しない。

(3) コイルの電圧の測定方法の手続きについて

永久ゴマの仕組みを理解したうえで、コイルの巻き数やコイルに流れる電圧等に着目し、永久ゴマが速く回る条件について探究する研究指導の検討を行った。コイルの電圧測定は、図4のPico Technology社のデータロガーであるDrDAQを用いて探究することにした。具体的には、次の①から⑤の手続きに従い、永久ゴマが最速で回り続ける条件について検討することにした。

- ① 永久ゴマを製作する。
- ② 永久ゴマが回っているときのコイルの電圧の大きさを測る。
- ③ 一定の速度でコマを回しコイルの電圧を測る。
- ④ コイルの密度を同じにしてサイズを変えたときの電圧を測る。
- ⑤ サイズを同じにしてコイルの巻き数を変えて電圧を測る。

コイルの電圧を測定するため、図5に示したようにDrDAQの機器のV (Volt) 端子と、Do (Digital Output) 端子に鉄製の釘を差し込み、ワニ口クリップで挟み込むようにした。

実験では、図6に示すように、ワニ口クリップを用いて、コイルを接続し、コイルの電圧を測るようにした。なお、コイルの芯として、図7に示した市販の六角ボルト (M8×100; ねじ部分の直径8mm, ねじ部分の長さ100mm) を使用した。

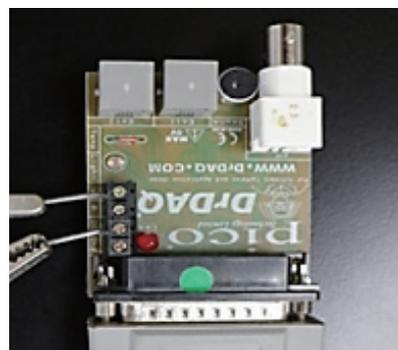


図4 データロガー



図5 電圧測定

実際に、コイルとして使用できるのは鉄製の六角ボルトだが、比較用として同一規格のステンレス製の六角ボルトも用意した。もっとも、ステンレス製の六角ボルトにエナメル線を巻いても永久ゴマは回転しない。Yamaoka et al. (2017) は、敢えてステンレス製の芯を用いることで、コイルであることと条件を考える一つの良い契機となる効果が期待できると述べている。本実践でも、ステンレス製を活用するようにした。

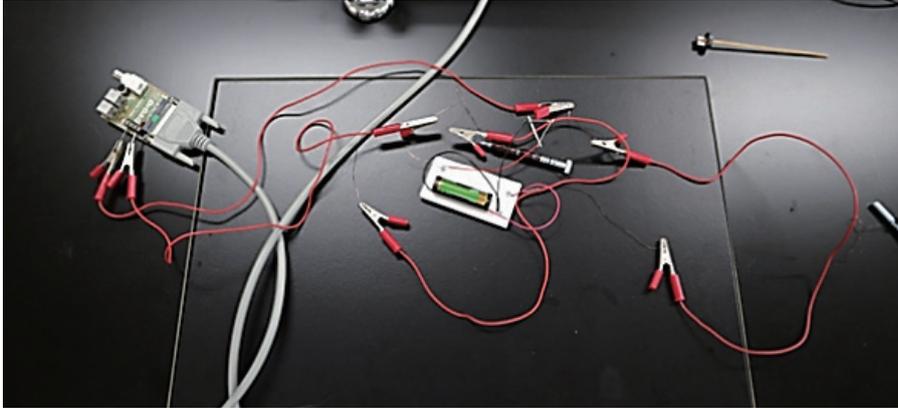


図6 実験の回路



図7 六角ボルト

これらの六角ボルトにエナメル線を、100回、200回、300回、…といったように100回単位で巻いていき、その都度、コイルにかかる電圧を計測することにした。その結果、どこで最大値となるのか、実験結果を基に検討していくことにした。また、コイルにかかる電圧が最大となる時のコイルの巻き数との電圧の関係などについても検討することにした。

実際の計測にあたっては、フェライト磁石注2)を、エナメル線を巻いたコイルと、図8のように回路上に電気が流れているのか確認するためのLEDを付けたリードスイッチ注3、4)とに近づけ、図9のコマを用いて実験した。電池は、市販の1.5Vの単3乾電池を使用することにした。

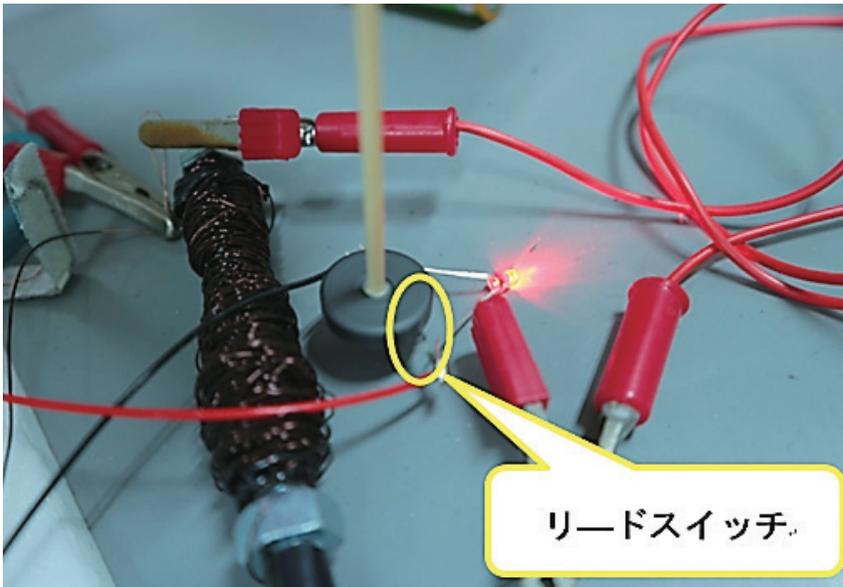


図8 LEDがフェライト磁石で光る様子



図9 実験で用いたコマ

4. 結果と考察

授業実践にあたっては、表1の「K-12」を参考に、永久ゴマに関する課題研究の計画を立てることにし

た。以下、この手続きに従って、実践の結果を報告する。

(1) 第一段階（発問する。問題を定義する。）

第一段階は、「何故、永久ゴマはバランスを崩さずに回り続けているのだろうか。」という生徒の疑問から始まる。対象生徒が書いた記録について、若干長くなるが引用する。

『放課後、先生からずっと回り続ける永久ゴマ（図10）を見せてもらった。「何故、永久ゴマはバランスを崩さずに回り続けているのだろうか。」私は、永久ゴマが回り続ける様子を不思議に思い、永久ゴマについてより深く知りたいと思った。その後、永久ゴマの不思議を解明するために、いろいろと調べてみたところ、コイルとコマの磁力の反発によってコマが加速しているのではないかという考えに至った。私は、中学生の時に理科で習った「磁界の強さは、コイルの巻き数が多ければ多いほど、コイルに流れる電流が大きくなる。」ということと関連するのではないかと思った。

つまり、コイルの巻き数が大きいほど磁界は強くなり、結果的に永久ゴマが速く回るのではないかと思った。なお、コイルとは、IH“Induction Heating”等の技術で用いられる身近な部品である。一般的に電流を安定させたり、電圧を変換させたりできる（伊藤，2008）。私は、コイルに着目した研究を行ってみたいと思った。』

以上のように、きっかけは教師が与えているが、その後、永久ゴマが回り続ける様子を不思議に思い、より深く探究したいと考え、生徒自らがこのテーマを同定している点が重要である。

(2) 第二段階（モデルを創り、使用する。）

第二段階では、実際に永久ゴマを作製した。ここで、永久ゴマの原理を学習した。コイルとリードスイッチは、磁石に近いほど反応する。図11のように、リードスイッチは、磁力に反応し、スイッチを開閉させている。本研究では、このように近接センサーとして使用している。

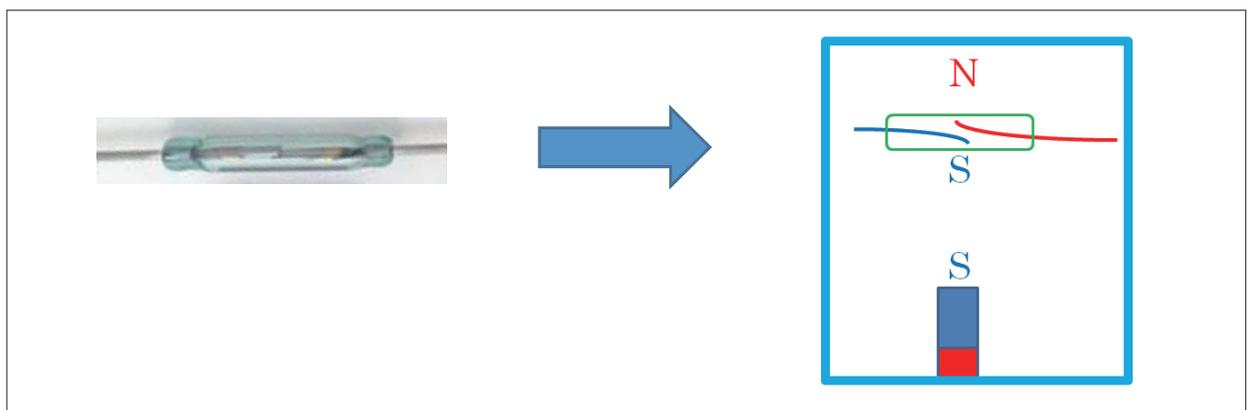


図11 リードスイッチの原理

なお、永久ゴマのコマとして使用する磁石は、片面2極型フェライト磁石である。図12のように、磁石が一回転した際に、つまり、N極とS極が一度切り替わるときの磁力の変化が、リードスイッチとコイルの両方に伝わるようにすることが重要なのである。ここで、リードスイッチが本当に反応しているのかを視覚化させる目的でリードスイッチには、図13のようにLEDをつけてチェックすることにした。

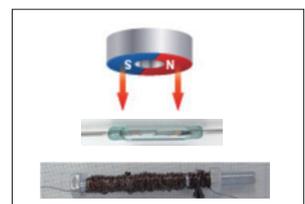


図12 フェライト磁石

ただ、このLEDは、あくまでもリードスイッチの動作確認用という機能しか果たさないなので、回路上は、LEDが無くても問題は無い。これを踏まえたうえで、対象生徒は、実験を行う際の回路図を図14のように書いた。この回路図に従って、回路を制作することにした。

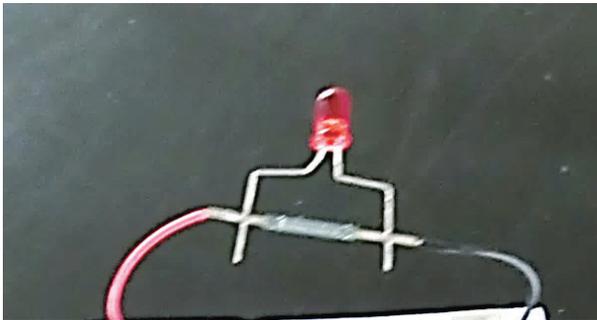


図13 動作確認のためのLED

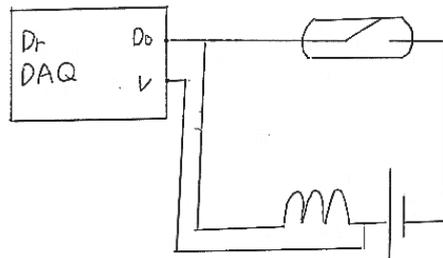


図14 実験の回路図

(3) 第三段階（調査を計画、実行する。）

永久ゴマが最速で回り続ける条件について検討できる計画を立てることにした。コイルの芯にエナメル線を、100回、200回、300回、…といったように100回単位で巻いていき、その都度、コイルにかかる電圧を計測することにした。その際、コマを手で回す場合と回転ドリルを用いて一定の回転数で回した場合を比較するようにした。

(3-1) 手でコマを回したときのコイルにかかる電圧の大きさ（ステンレスをコイルの芯とした場合）

今回の実験では、「① ステンレス」、「② 鉄」の2種類の材質をコイルの芯として測定した。

まずは、「① ステンレス」の芯を用いて基礎的な性質を検討した。図15のように、手でコマを回しても横軸に波形が動かないことからコイルの中に電流が流れていないことがわかった。グラフは、図16のとおりである。



図15 100回巻き（ステンレス芯）

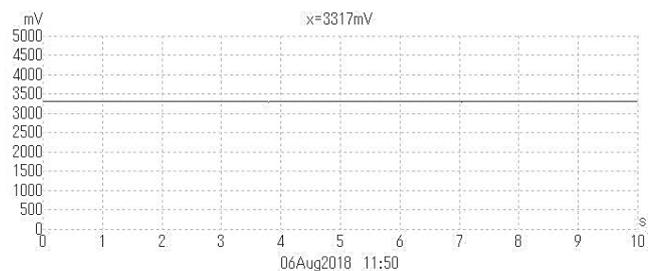


図16 実験結果

グラフのx軸は、時間を表している。1間隔で目盛りがあり、最大値が10秒である。グラフのy軸は、コイルにかかる電圧が3317mVであった。以下の実験では、この電圧3317mVを基準として考えることにした。基本的には、グラフの波形の密度が高い、即ち、周期が短い方が、リードスイッチの切り替わっている回数が多く、LEDが点滅する間隔が短くなるものと考えられる。コイルというのは電気と磁気を互いに作用させて色々な働きをしている。コンデンサ、抵抗器と合わせ、電子回路の基本となる部品であり、インダクタと言われることもある。このコイルで誘起される磁路に磁性体が含まれないと、インダクタンスは変わらないという基本的事項を確認することができた。200回巻きにしても同じようにコイルの電圧が変化しなかった。その結果、ステンレス製の芯はコイルにならないことがわかった。

(3-2) 手でコマを回したときのコイルにかかる電圧の大きさ (鉄をコイルの芯とした場合)

図17のように、鉄を芯として100回巻きにし、同様の実験を行った結果が図18である。最大電圧は4056mVであった。本研究において、電圧の基準値3317mVよりも、746mV高いので、100回巻きでは746mVとみなすことにした。以下、同様に電圧を記録していくことにした。

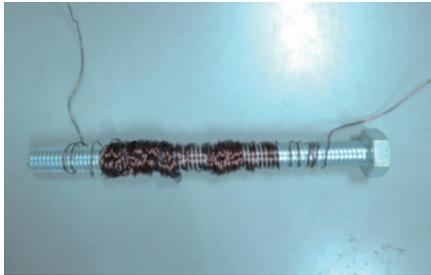


図17 100回巻き

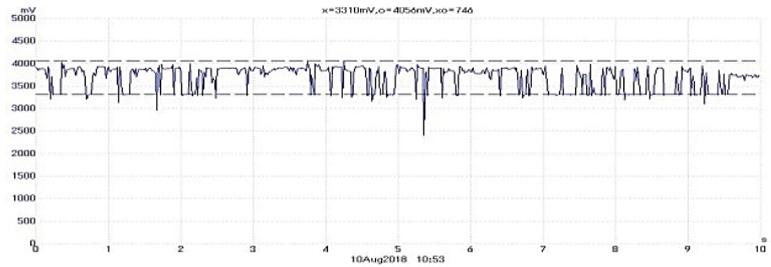


図18 実験結果

図18で示すように、電圧のグラフにおいて、ステンレスではみられなかった波形が鉄になるとみられるようになった。ただ、LEDは暗く、点滅した間隔が長かった。

また、図19のように、鉄を芯として200回巻きにし、同様の実験を行った結果が図20である。電圧は1024mVであり、100回巻きよりも大きな値を得ることができた。図20に示すように、コイルにかかる電圧は100回巻きのもの(図18)よりも波形が大きくなったのは明らかである。LEDもそれに比例して明るくなりつつあった。同様の方法で、1000回巻きまで実験した結果を整理すると、表2のようにまとめられ、その表をもとにグラフをかくと図21のようになる。



図19 200回巻き

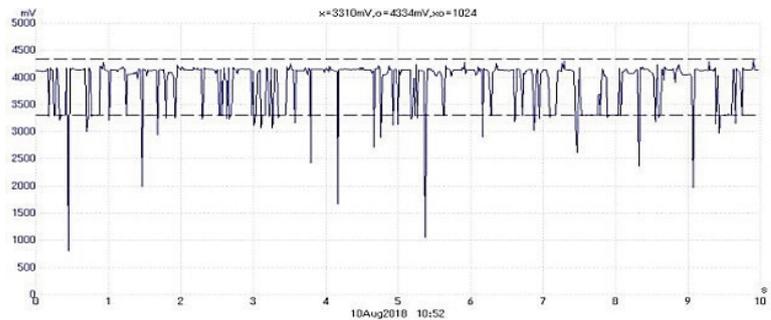


図20 実験結果

表2 鉄芯を用いたときのコイルにかかる電圧

巻き数 (回)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
電圧 (mV)	746	1024	1203	1195	1195	1213	1244	1244	1244	1244

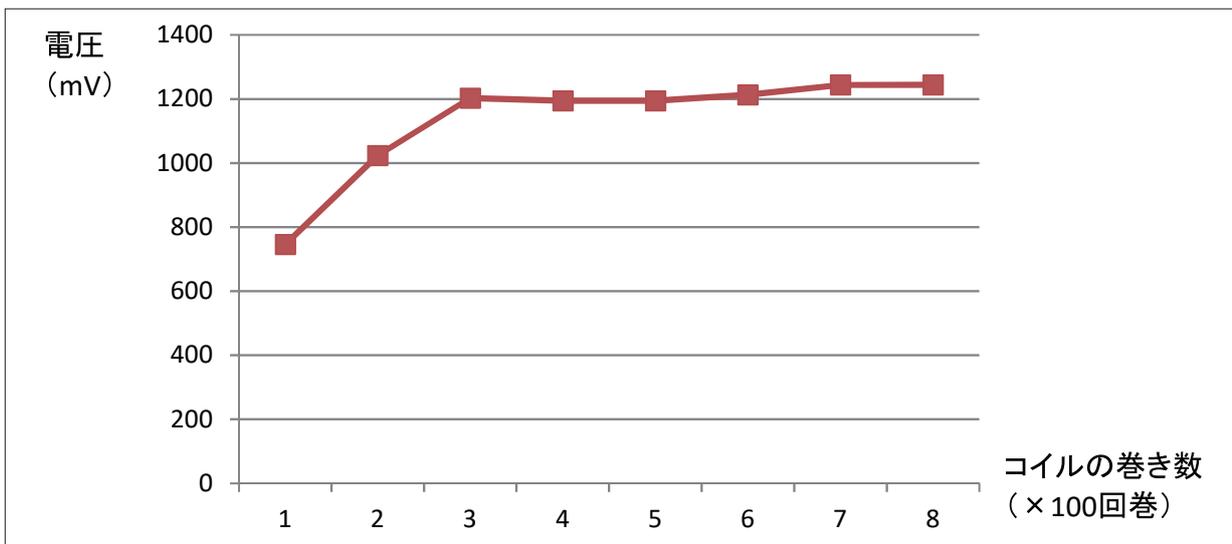


図21 鉄芯を用いたときのコイルにかかる電圧

コイルの巻き数を増やしていくにつれて波形の密度が高くなり、LEDが明るく光るといった一般的な傾向を確認することができた。しかし、図37より、電圧は300回巻いたときの1203mVからあまり変化がなかった。これは、一定ではない波形の最大値から値をとったことも原因の一つにあると考えた。つまり、手でコマを回すことに対する実験誤差から生じるものではないかと考えた。そこで、コマの回転を一定にすれば、電圧の最大値も安定するのではないかと考え、コマを機械で回す装置を検討し、実験計画のデザインを見直すことにした。このように、実際に実験を行い、再度、実験計画のデザインを見直すという試みは、普段の理科授業等でも取り入れていきたい試みの一つである。

(3-3) 一定の速度でコマを回すための工夫

機械を用いて、コマの回転速度を一定にした。具体的には、図22のような電動ドリルを用いることにした。9.6Vの電動ドリルを用いて、設定トルクは5とした。充電式の電動ドリルなので、充電は満充電としてから、実験を行うことにした。まずは、電動ドリルの回転数を測定することにした。回転数の測定をする際は、DrDAQのLightセンサーを用いて測定した。光センサーの検知器部分には、固定したレーザーポインターのレーザーを当てておき、電動ドリルに取り付けたフェライト磁石には、図23のように竹串を固定した。そして、レーザーを当ててあるLightセンサーの切られた間隔を測定するようにした。実験結果は、図24で、等間隔に、y軸の負の方向に下がっている様子が確認できる。これは、レーザーの光を、竹串が遮っている瞬間を表しており、その間隔がすべて一定であったことを示している。代表値としてXとOで区切り、その間隔を調べると、122.6msに一回の回転数であることがわかった。



図22 電動ドリル



図23 回転数測定の様子

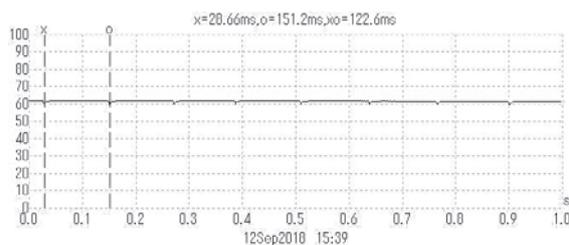


図24 回転数測定の実験結果

(3-4) 一定の速度でコマを回したときのコイルにかかる電圧の大きさ（鉄をコイルの芯とした場合）

一定の速度で回転する電動ドリルを用いて、これまでの実験と同様にコイルにかかる電圧を測定した。ただ、電動ドリルの回転数が一定であるため、グラフの最大値ではなく、グラフの安定した点で、電圧が一定となっているところに着目し、コイル巻き数の電圧の記録とした。

鉄を芯として100回巻きにし、電動ドリルを用いてコマの回転数を安定させた状態で、コイルにかかる電圧を調べる実験を行った結果が図25である。その結果、537 mVの電圧がかかっていることがわかった。手で回した時よりも安定した値がわかるようになった。なお、手で回した時の100巻きと比べて、電圧が下がっていることもわかった。

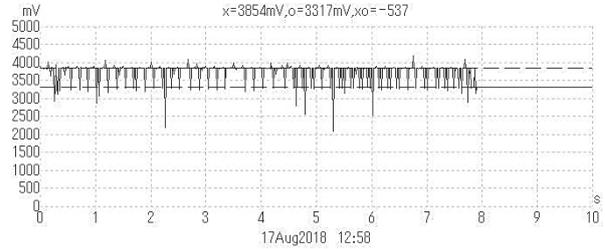


図25 100回巻きの実験結果

鉄を芯として200回巻きにし、コイルにかかる電圧を調べる実験を行った結果が図26である。回した時より波形が一定で電圧の値がわかりやすいのは明らかである。電圧も微増している。

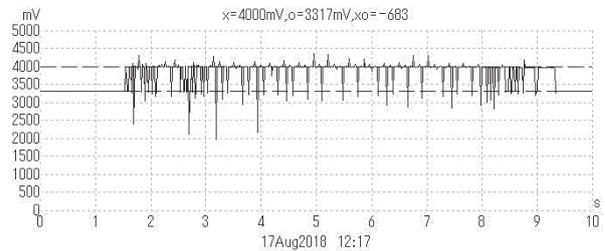


図26 200回巻きの実験結果

同様の方法で、1000回巻きまで実験した結果を整理すると、表3のようにまとめられた。表3で、最大値が最も巻き数の多い1000回巻きの時ではなく、800回巻きの時であった。また、この表をもとにグラフをかくと図27のようになる。対象生徒の記録には、「磁界の強さは、コイルの巻き数が多い

ほど、コイルに流れる電流が大きくなるほど大きくなる、と中学生の時の理科で習ったが、それぞれコイルにも最適な巻き数があることがわかった。」としており、新たな発見があったことがわかる。

表3 電動ドリルでコマの回転数を一定にし、鉄芯を用いたときのコイルにかかる電圧

巻き数 (回)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
電圧 (mV)	537	683	976	1049	1049	805	1049	1439	1415	1293

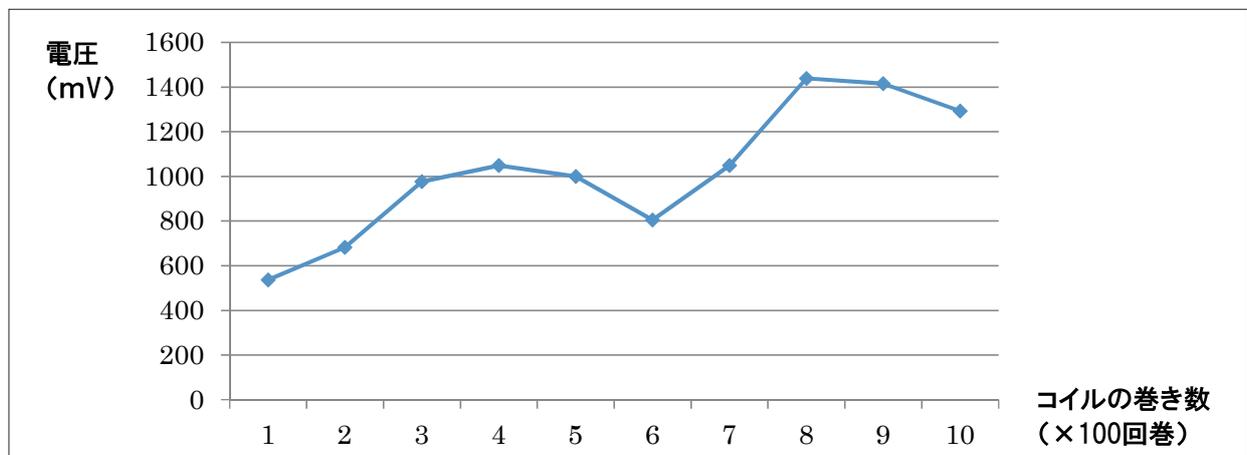


図27 電動ドリルでコマの回転数を一定にし、鉄芯を用いたときのコイルにかかる電圧

(4) 第四段階（データを分析，解釈する。）

電動ドリルを用いたことでそれぞれの最大値が一定となり，電圧の値の正確さが上がった。また，回すスピードが一定となったので，リードスイッチの切り替わった部分もわかりやすくなった。そして，手で回した時より一定でしたほうが，LEDが明るく連続で光っていたことにも気づくことができた。

(5) 第五段階（数学，数学的思考をする。）

長さ20mmの六角ボルトを用いた場合， x 回巻きで，電圧が最大とする。長さ80mmの場合，800回巻きが最大であったので，比例の関係があると仮定した場合の式を立てた。

$$80\text{mm} : 800\text{回巻き} = 20\text{mm} : x$$

$$\therefore x = 200\text{回巻き}$$

つまり，20mmの六角ボルトを用いると，200回巻きの結果が最大値になると考えられる。

(6) 第六段階（説明を構築する。）

第五段階で立てた仮説を検証するために，20mmの六角ボルトを用いて再び実験を行った。その結果，表4のようにまとめることができた。なお，図28のように，400回以上巻くのは六角ボルトの間隔に無理があり実施できず，300回巻きが限界であった。よって，コイルの芯の長さに応じてそれぞれの最大値があることがわかった。

表4 コイルにかかる電圧（20mmの鉄芯）

巻き数（回）	100	200	300
電圧（mV）	390	634	781



図28 300回巻きのコイル

(7) 第七段階（証拠に基づき議論する。）

コイルにエナメル線を巻く密度の問題ではないため，コイルの芯の重量の違いに着目したところ，次のような結果が得られた。

- ・長い六角ボルト（M8×80mm）は，21.2 gであった。
- ・短い六角ボルト（M8×20mm）は，11.4gであった。

つまり，質量は，約1.9倍であることがわかった。これを踏まえ，同様の実験を行った結果は，次のとおりである。

- ・長い六角ボルト（21.2 g）は800回巻きが最大であった。
- ・短い六角ボルト（11.4 g）は450回巻きが最大であった。

(8) 第八段階（情報を入手し，評価する。情報を基に話し合う。）

第七段階の結果を踏まえ，評価した結果，鉄1g当たり38.6巻きの時がコイルにかかる電圧の最大値となることが明らかとなった。以上より，永久ゴマが最速で回る条件としてコイルの芯を鉄 n [g]としたとき，より重い方が，電圧が大きくなり， $38.6 \times n$ 回巻きの時に最も電圧が大きくなることがわかった。数式で表すと式①のような式を得ることができた。

$$\text{最大値となるコイルの巻き数} = 38.6 \times n \text{ [g]} \cdots \text{①}$$

以上のように、STEM教育による実践手法に当てはめて課題研究を遂行することができる。第一段階で、生徒自身がテーマを同定しているが、山岡ら（2020）が述べているようにアイデアノート等を準備して、思いついたことを記録させる工夫が大切である。第三段階で、実験計画を立て、実際に実験を行い、再度、実験計画のデザインを見直す、といったような試行錯誤の結果、第五段階、第七段階で、実験結果を数式で表現することができた点は成果の一つである。つまり、学習者が生じた疑問から始まり、その疑問を解決した際に、それが新たな知識として獲得されるべきものということに留まらなかったのである。疑問を解決したと思ったときに、領域横断的知識が獲得されるが、その過程で、新たな疑問が生じ、再度、実験計画のデザインを見直すということにつながったのである。たとえるなら、図29のように、プラクティスとコンテンツの両輪をなすイメージがSTEM教育の実施方法の一つの形だと考えられる。

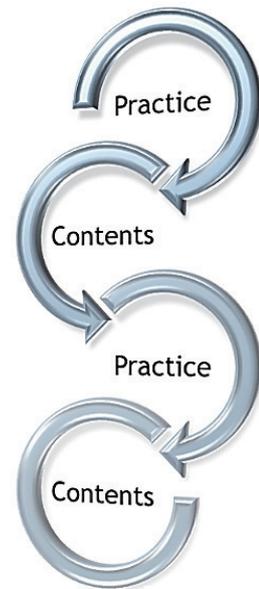


図29 STEM教育のイメージ

普段の授業では、例えば、理科の知識を追認しただけのことを行い、その結果、新たな疑問が生じていない、というパターンに陥っていないか、ということを確認しながら授業計画を立てることが重要である。実際に、「K-12」には「プラクティスだけなら活動に、コンテンツだけでは暗記になる。」とあり、両輪を意識することが、深い学びの実現のための第一歩であると考えられる。

5. まとめ

本研究では、米国のSTEM教育の理論的支柱である「K-12」における探究活動の手続きに従い、課題研究指導を行うことにした。その結果、生徒によるテーマの同定、新たな疑問を踏まえた実験計画の再構築など、プラクティスとコンテンツの両輪をなすイメージで実施することができた。このようにSTEM教育は、各領域に共通する知識を有機的に統合し、それをを用いて持続的な自学を促すような教育として捉えることができる。一方、STEM教育を、垣根なく、ある領域の事柄を行うために他の領域の知識を使用する教育だとするような考え方もある。換言すれば、前者のSTEM教育はビルドアップ型、後者はオンデマンド型である。前者のSTEM教育は「K-12」、つまり、科学教育のためのフレームワークと整合性がよく、後者のSTEM教育にはその数学的な取り扱いに限界があることが推察される。

本研究で実施されたように、実際に実験を行い、プラクティスとコンテンツの両輪をなすイメージで、再度、実験計画のデザインを見直すという試みの繰り返しによるビルドアップ型のSTEM教育について、今後検討を重ねていきたい。

謝辞

本研究の一部は、JSPS科学研究費助成事業 20K14121, 18K02602の助成を受けたものである。

附記

本論文は、下記の発表内容をもとに研究を深め、発表内容に加筆、修正を加えたものである。山岡武邦、山田哲也（2019）、「STEM教育における探究的な学びに基づく課題研究「永久ゴマ」の研究指導」『日本産業技術教育学会第32回九州支部大会講演要旨集』、67-68.

註

- 1) 米国の公教育では、各州共通基礎スタンダード“Common Core State Standards”が導入されている。具体的には、(ア) 共通到達目標“College and career readiness standards”と、(イ) K-12 “From kindergarten to 12th Grade”の2つのカテゴリーに区分されている。
- 2) 本研究で使用したフェライト磁石の大きさは、18.5φ×4.5mm、穴径2.5mmφである。磁束密度は、53mTである。今回は、コマとして使用するの、両面2極型を使用する必要性は無い。
- 3) 自作する際に必要なリードスイッチ、LED、電池ボックス等の部品は、株式会社 秋月電子通商のオンラインショップで購入した。<http://akizukidenshi.com/catalog/>（閲覧日2020年11月28日）。
- 4) 本研究で使用したリードスイッチは、SRC Devices社のDyadリードスイッチであり、小型、高耐久性、高速動作という点が特徴である。今回は、近接センサーとして使用した。

引用・参考文献

- Bybee, R. (2018), *STEM Education Now More Than Ever*, NSTA press, 87-98.
- National Research Council of the National Academies. (2012), *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*, The National Academies Press, 41-82.
- Yamaoka, T., Takeno, K., Okino, S., and Matsumoto, S. (2017), Developing and Evaluating Elementary-Level Teaching Materials Magnetic Top: An Analysis of Questionnaire Using Text Mining, *American Journal of Educational Research* 5 (2), 189-195.
- 伊藤 尚末 (2008), 『ゼロから理解する世界—簡単な抵抗・コンデンサー・コイルのきほん』 誠文堂新光社, 7-10.
- 小川 正賢 (2006), 『科学と教育のはざま—科学教育の現代的諸課題—』 東洋館出版, 38-43.
- 梶田 叡一 (1983), 『教育評価』 有斐閣双書, 44-47.
- 文部科学省 (2009), 『高等学校学習指導要領解説理科編理数編』 実教出版, 1-232.
- 文部科学省 (2019), 『高等学校学習指導要領解説理科編理数編』 東京書籍, 1-177.
- 山岡 武邦, 山田 哲也 (2020), 「高等学校理科課題研究における実践的理科教育モデルに基づいた研究指導の在り方—防除装置LEDライトトラップの開発を事例として—」『東海学園大学研究紀要:自然科学研究編』 第24巻, 1-18.