

物理の授業における探究能力の育成

—モノづくりを通じた取り組み—

理科 林田香織 平野純一 小野航 岸上歩森

科学技術の進歩は近代社会発展において重要な役割を果たしてきた。今後、複雑化する社会の中でより多角的に物事をとらえ、他者と協働し、新たな創出を行う人材の育成が求められている。そのために、生徒自らが課題を設定し、解決に向けて情報を収集・整理・分析し、周囲の人と意見交換・協働しながら進めていく探究能力の育成が重要である。本取組においては、計画・実験・修正計画の作成・再実験とグループで協働して課題に取り組むことで探究能力の育成を試みた。

<キーワード> 探究活動 協働学習 STEM 教育

1. はじめに

2022 年度より新たな高等学校指導要領に基づいた新教育課程が実施される。新指導要領では、自然の事物・現象に関わり、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、自然の事物・現象を科学的に探究するために必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。①自然と人間生活との関わり及び科学技術と人間生活との関わりについての理解を深め、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する技能を身に付けるようにする。②観察、実験などを行い、人間生活と関連付けて科学的に探究する力を養う。③自然の事物・現象に進んで関わり、科学的に探究しようとする態度を養うとともに、科学に対する興味・関心を高める。と 3 点があげられた。

2009 年アメリカ合衆国のオバマ前大統領が STEM 教育に力を入れると発表した。STEM 教育とは科学、技術、工学、数学の分野を統合的に学び、将来、科学技術の発展に寄与できる人材を育てることを目的とした教育プランのことである。

Science (科学)・・・実験・観察をもとに法則性を見つけ出すこと

Technology (技術)・・・最適な条件・しくみを見つけ出すこと

Engineering (工学)・・・しくみをデザインし、社会に役立つモノづくりをすること

Mathematics (数学)・・・数量を論理的に表したり使いこなしたりすること

これらは便宜上分類されているが、いずれも科学技術に必要なものであり、互いの分野を総合的に学ぶことが必要である。このような世界の流れを受け、2016 年に経済産業省と文部科学省が共同して「理工系人材育成に関する産学円卓会議」を開催し、「理工系の人材は、特に産業界において、イノベーション創出に欠くことのできない存在として、人材需要の高まっている状況であり、産学界で活躍する理工系の人材を戦略的に育成する方策」の検討が行われた。

本校はほとんどの生徒が大学進学を希望しており、学習に対してまじめに取り組む姿勢が認められる。しかし、指示された内容をこなすに留まり、発展的に考察するに至っていない。またすでに学んできた知識を生活と結び付けて考えることができず、表面的な理解で問題を解いており、学習内容やその現象に対して科学的に探究し、新たな創出を行う能力が育っていないと思われる。

そこで本研究では「他者と協働し試行錯誤を重ねることで、学習内容を総合的に扱い、探究能力を育成」することを試みた。

2. 実態研究

(1) アンケート調査

生徒の実態を把握し授業計画を立てる上での基礎資料及び研究仮説を検証する資料とする。

1) 対象 2 年生 4, 5 組 物理選択者 計 54 名 (男子 30 名, 女子 24 名)

2) 実施日：事前アンケート 令和3年10月27日

3) 事前アンケートの結果と考察 (図10)

物理の内容は日常生活で活用されていると思うかの問いに、大いに思う26%、思う36%、どちらかと思う21%と合計83%の生徒が物理が日常生活で活用されていると考えていることが分かった。また、自分は物理で学んだことを日常生活に活用しているかの問いに対しても、大いに思う5%、思う17%、どちらかと思う34%と合計56%の生徒が物理で学んだことを日常生活に活用していると答えた。さらにモノづくりは好きかという問いにも、大いに思う13%、思う40%、どちらかと思う32%と合計85%の生徒がモノづくりを好きだと答えた。物理選択者が対象ということで、物理に対する意識は高いことが示された。しかし、実生活中でモノづくりを行っているかの問いにはどちらかと思うと思わない39%、思わない21%、全く思わない17%と否定的な回答が多く、意識は高く、好意的には捉えているものの、実践面では消極的な様子が認められた。

3. 構想立案

(1) 仮説検証の方法

1) 検証の観点

- ① 理論に基づいて計画・立案ができたか。
- ② 班のメンバーと協力して装置を作成することができたか。
- ③ 探究活動を繰り返したことで、科学的に探究する能力は育成されたか。

2) 検証の場面・方法

- ① 事後のアンケート調査
- ② 行動分析
- ③ レポート分析

(2) 実践計画

- 1) 実施日 第1回 10月27日 (個人ワーク&グループ計画)
第2回 11月4日 (グループ検証・装置の作成)
第3回 11月18日 (装置の作成・トーナメント)

2) 班決め

班のメンバー構成は、乱数を用いてランダムなメンバー構成とした。ただし、空き時間での相談等がしやすいように、同一クラスの生徒が同じ班になるようにのみ配慮した。

3) 方法

- i 2クラス合同で行う (生物は大学教員における合同講義)。
- ii 第1回 10月27日 (個人ワーク&グループ計画)
 1. 事前アンケート 記入 (5分)
 2. 個人ワークシート 記入 (10分)
 - ・ エントリーシート (図1~4) の四つの基本構造を見て1位から4位の予想を記入
 - ・ 1位と4位にはそれぞれ理由も書く
 3. グループで計画書①を作成 (35分)
 - ・ 物理的な理論に基づいて計画書①を作成する
 - ・ 教室の前後のスベリン台 (机を斜めに立てかけたもの) を使って実験をすることが可能
 - ・ 計画書①には機体に必要な材料を明記して、一週間以内に提出する
- iii 第2回 11月4日 (グループ検証・機体の作成)
 1. 前回作成した計画書①をもとにサンプル機体を作成する (40分)
 2. 次回に向けてサンプルをもとに改良した計画書② (図5) を作成する (10分)
- iv 第3回 11月18日 (機体の作成・トーナメント)
 1. 計画書②をもとにスベリンピックに出場する機体を作成する (35分)
 2. スベリンピックの会場設営を全員で協力して行う (10分)

3. スペリンピック本番 (15分)
 - ・スペリン台を用意してそれぞれ工夫ポイントと意気込みを述べてスタート
 - ・予選 A グループ (2-4) , 予選 B グループ (2-5) の上位 2 チームずつが決勝戦へ
 - ・決勝戦 (4 チーム) で一番早くスペリン台を滑り降りたチームが優勝
4. 会場片付けを全員で協力して行う (10分)
5. まとめプリント (図 7) の記入 (20分)
 - ・優勝チームの"勝因"と, 自チームの改善点を考察する
 - ・上記を踏まえて改良された機体の計画書を作成する
6. 事後アンケートの記入 (5分)

スペリンピック競技規定

<課題> 斜面を早く滑り降りる機体を作成する

- <ルール>
- ・回転運動を機体に取り入れてはいけない
 - ・斜面の加工は認めない
 - ・人力による初速を与えてはいけない
 - ・一回で破損する機体は認めない (同じ機体でトーナメントを戦う)
 - ・マスクを機体に取り付ける

4. 実践

(1) 第 1 回 10 月 27 日 (個人ワーク&グループ計画)

事前に個人ワークシートを記入したことから, 積極的に意見を交換することができた。また, 様々なサンプルを用意しておいたことで, 実際に滑らせながら機体の構想を練ることができた。実際に手を動かし, 試すことでイメージを膨らませ, 挑戦したいことが次々と浮かんだ班が多かった。そのため, こちらの準備した物品以上の要望があり, 時間内に教員が調達に走る場面が多くなった。



(2) 第 2 回 11 月 4 日 (グループ検証・機体の作成)

前回の企画書の物品を班ごとに準備したことでスムーズに機体作成に取り組むことができた。理論に基づき作成したものの, 実際に滑らせてみると想定通りの結果が得られない班が多くあった。

例) 理 論 炭酸水を振ってから噴射させることで推進力となる。

実験結果 炭酸水を推進力にできるように噴射させることができない。

理 論 テレビ番組でローションで滑る画を見ることから, ローションにより摩擦を減らす。

実験結果 摩擦をコントロールできるように安定してローションをたらずることが難しい。

理 論 摩擦を減らすために軽くすることで垂直抗力を小さくする。

実験結果 推進力も小さくなる。安定感もなくなる。

理 論 ドライアイスを用い気化させることで装置を浮かせて滑らせる。

実験結果 空気中の水蒸気の凝結により張り付いてしまう。

以上の結果を受け、新たな企画書を作成した。前回のものより現実に即した設計が行われた。



(3) 第3回 11月18日（機体の作成・トーナメント）

前回の結果を受け機体を改良・完成させた。球形の氷を用いたいと前日より自宅で氷を作成し朝一番で職員室冷凍庫に預けに来た班や、油を購入し加工して臨んだ班など、積極的に取り組む姿勢が認められた。

トーナメントはビデオ判定による最終審査を経て優勝チームが決定した。



5. 検証

(1) 理論に基づいて計画・立案ができたか。

1) 行動分析

理論に基づき機体作成を行い、実験を経験として、より現実に即した理論の構築を行った。その際、班の仲間との意見交換により、理論を深めることができた。

2) レポート分析

既習理論を用いて機体設計を行うことができた。また、実験結果を受け、複合的な理論により現実の現象が生じていることに気付き理論の上書きを行い計画・立案することができた。（図6, 8）

(2) 班のメンバーと協力して装置を作成することができたか。

1) 行動分析

班を代表して機体説明を行う際、班員が協力していた。また、トーナメントにおいては機体の整備や、終点での受け取りまで、協力して取り組む姿が認められた。また、積極的に取り組む少数の生徒が引っ張って活動したグループより、班員全員が意見を出し合い積極的に取り組んだ班のほうが良い機体を作成し、トーナメントでも上位入賞していた。

(3) 探究活動を繰り返したことで、科学的に探究する能力は育成されたか。

1) 事後のアンケート調査

「他者と協力して学ぶことは有意義であると思う」という問いに対して、事前アンケートより大いに思うが6%、思うが3%増え、全体的により肯定的な意見が増え、合計で98%が肯定的に捉える結果となった。「今回の取組に積極的に取り組むことができたか」という問いに対して、大いに思う

28%, 思う 35%, どちらかというと思う 30%と合計 93%の生徒が積極的に取り組むことができたことが示された。「このような取組をまた行いたいと思う」という問いに対しては、大いに思う 44%, 思う 37%, どちらかというと思う 15%と合計 96%の生徒がさらなる意欲を示し、探究する態度を示した。

2) 行動分析

物理現象の実生活との関わりについての理解を深め、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する技能を身に付けていった。また、観察、実験を繰り返し、実生活の現象と関連付けて科学的に探究する力を養うことができた。積極的に課題に取り組むことで、科学的に探究しようとする態度を養うとともに、科学に対する興味・関心を高めることができた。

3) レポート分析

第1回, 2回, 3回と失敗の原因を分析し、新たな計画を立案することができた。取組を通じて、「課題の設定(計画・立案)」、「情報の収集(制作・実験)」、「整理・分析(話し合い)」、「まとめ・表現(レポート)」を繰り返し試行錯誤を重ねることで、探究する姿勢を身に付けていったことがレポートに現れた。(図6, 8)

6. 考察

オリンピックイヤーであることから「スベリンピック」と銘打ち、競技方式で行うことで、楽しみつつ探究能力を育成する試みを行った。

今回はモノづくりに対する自由な発想や発見を促すため、材料や条件の制限をほぼかけなかった。そのため、より良いと考える素材を求め工夫することで、自らの中にあるイメージと実験による結果との乖離をより実感することができた。また、日常生活の中で機体に用いられる材料をそれぞれの班で工夫することができた。試行錯誤を繰り返し、実験結果を受け機体を改善する姿勢が見られたことで、探究能力の育成にこの取組が一定の成果を上げたと考える。また、生活の中で用いられる素材を物理的に捉える姿勢を養うこともできた。しかし、自由な発想をサポートするための材料調達や安全確保等、指導者側への負担が大きく、今後は材料や条件を絞った中での取組を検討したい。

取組に対する生徒の評価は高く、一定の成果が上げられたと考えている。グループ学習では積極的に取り組み探究能力を伸ばすことができた生徒とできなかった生徒に差が出てしまうとの指摘もあるが、今回の行動分析から、本取組においては積極的に取り組む少数の生徒が引っ張って活動したグループより、班員全員が意見を出し合い積極的に取り組んだ班のほうが良い機体を作成し、トーナメントでも上位入賞していた。これは、モノづくりにおいては様々な要素を含みながらバランスのよい機体を作ることが重要で、そのためには多くの意見を取り入れることが大切であることを示している。この結果を生徒にフィードバックすることで、他者とのかかわりの中で深い学びを得ることを体感として習得して行ってほしい。

今後、グループ活動と個人活動を適切に教育活動に取り入れることで、すべての生徒の科学的探究能力を育成することを目指したい。

<参考文献>

- ・文部科学省 「高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編(平成21年12月)」

<参考URL>

文部科学省

平成29・30年改訂 学習指導要領, 解説等(mext.go.jp)

- ・高等学校学習指導要領の改訂のポイント

(https://www.mext.go.jp/content/1421692_2.pdf)

- ・学習指導要領改訂の考え方(https://www.mext.go.jp/content/1421692_6.pdf)

- ・育成すべき資質・能力の三つの柱(https://www.mext.go.jp/content/1421692_7.pdf)

- ・主体的・対話的で深い学びの実現(「アクティブ・ラーニング」の視点からの授業改善)について(https://www.mext.go.jp/content/1421692_8.pdf)

図 2 Prototype 2

Prototype 02	P.E.T	設計：小野抗 開発：平野屯一
装置設計		
開発チームのコメント	※批判的に見て、実験立案や順位を考える参考にする	
	<p>私たちが注目したのは、接地面積です。摩擦力は、地面と接している部分で発生します。そこで、ビー玉によって地面と接する面を小さくすれば、摩擦力も小さくなると考えました。</p> <p>また、水入りのペットボトルを用いることで、装置の質量を大きくしました。これは、位置エネルギーの式 $U=mgh$ より、同じ高さから滑らせる場合に質量が大きい方がエネルギーが大きくなるからです。</p>	
構造に対するネット上の批判的意見	※各班で取捨選択し、使えそうなものは実験立案などの参考にする	
	<ul style="list-style-type: none"> ・摩擦力の公式 $F=\mu N$ より、質量が大きいと摩擦力も大きくなることを知らないのは、あたまがわるい方ですか？ (44歳 ひ〇ゆき) ・スパイクシューズって、ピンで接地面積を小さくすることで滑らずに走れる仕組みなので、ビー玉は逆効果じゃないですかね？ (24歳 陸上部員) ・ビー玉はどうやってくっつけるの？ (9歳 坊や) 	

図 1 Prototype 1

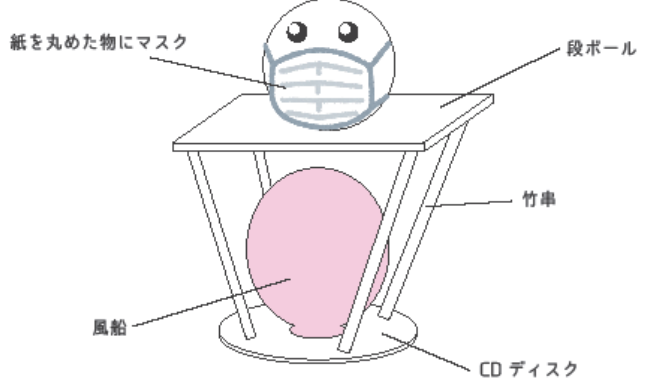
Prototype 01	Hover	設計：平野純一 開発：岸↑歩森
装置設計		
開発チームのコメント	※批判的に見て、実験立案や順位を考える参考にする	
	<p>私たちが注目したのは、摩擦力の公式 $F=\mu N$ です。</p> <p>私たちは、摩擦力 F を小さくできれば、物体が速く滑り降りることができると考えました。そこで、CDディスクと風船を用いて下向きに空気を噴射し、装置を少しだけ、浮かせる ことで、垂直抗力 N を実質 ゼロ にできると考えました。摩擦力の公式から、垂直抗力 N がゼロになれば、摩擦力 F もゼロになるので、理論上この装置より速い構造はありません！</p>	
構造に対するネット上の批判的意見	※各班で取捨選択し、使えそうなものは実験立案などの参考にする	
	<ul style="list-style-type: none"> ・摩擦力って、静止摩擦と動摩擦どっちなん？ (35歳 会社員) ・垂直抗力 N は分かったけど、摩擦係数 μ はどうなっているのですか？ (26歳 公務員) ・構造のバランスが弱点。すぐに転倒して終わりじゃない？ (43歳 設計士) ・滑りきる前に風船の空気が尽きたらヤバくない？ (17歳 高校生) 	

図 4 Prototype 4

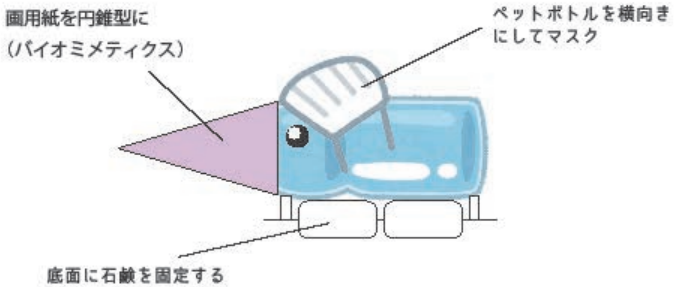
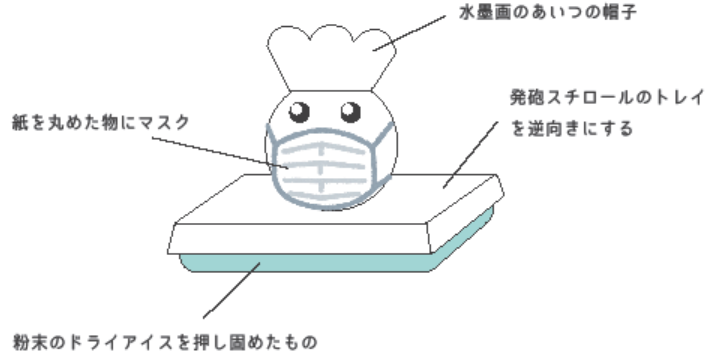


Prototype 04	Kingfisher	設計 : Ono Studio Inc. 開発 : Junchi Lab
装置設計		
開発チームのコメント	※批判的に見て、実験立案や順位を考える参考にする	
	<p>私たちのテーマは、科学と自然の融合です。まず、科学分野は、石鹼 です。石鹼は、人類の公衆衛生史の救世主であり、滑ることに関しても最高の性能を誇ります。</p> <p>また、自然分野では、私たちは バイオミメティクス (生物模倣) を取り入れました。例えば、新幹線の先端がとがっているのは、カワセミという鳥の形を模倣して 空気抵抗 を減らす工夫です。私たちもそれに倣い、先端を 円錐形 にして空気抵抗を減らしました。科学と自然の融合に、死角はありません。</p>	
構造に対するネット上の批判的意見	※各班で取捨選択し、使えそうなものは実験立案などの参考にする	
	<ul style="list-style-type: none"> ・石鹼って濡れてない場合は滑らなくない？ (78歳 石鹼職人) ・今回みたいに速度が遅い場合は、空気抵抗はそんなに関係なくない？ (35歳 機長) ・ひろ○きが質量が重いと摩擦が大きいつて言ってたからダメじゃない？ (14歳 中学生) ・マスクの向きw (16歳 高校生) 	

図 3 Prototype 3

Prototype 03	固形炭酸雪舟	設計 : アユキ (株) 開発 : アユキ (株)
装置設計		
開発チームのコメント	※批判的に見て、実験立案や順位を考える参考にする	
	<p>ドライアイス は、温度の高い床面に接すると即座に昇華し、気体になります。これによって、装置と床の間には 気体の二酸化炭素の層 ができ、床との摩擦が極限まで減らされ、最速で滑り降りることができます。</p> <p>今回、粉末 のドライアイススーパーで入手し、弊社の社員が必死に押し固めることで、安価で良質なドライアイスを用意しました。粉末は固体よりも効率よく 昇華 するため、他の追従を許さない最高の雪舟となります。</p>	
構造に対するネット上の批判的意見	※各班で取捨選択し、使えそうなものは実験立案などの参考にする	
	<ul style="list-style-type: none"> ・ドライアイスって押し固められるの？ (12歳 小学生) ・ドライアイスが小さくならトレイの縁が地面にこすれて止まる気がする (31歳 医者) ・粉末のドライアイスでは気体の層はできないのでは？ (43歳 スキー場勤務) ・雪の舟 (ソリ) と水墨画のあいつ (雪舟) をかけてるんですね笑 (16歳 実業家) 	

☑ 6 Day2 Worksheet

スベリンピック 企画書 (清書) 2021		2年 4 組 E グループ メンバー	
<p><装置の名称> 勇往 通進</p>			
<p><設計画> </p>			
<p><理論>  $\sin \alpha = \frac{a}{c}$ $\cos \alpha = \frac{b}{c}$ $\sin \beta = \frac{b}{c}$ $\cos \beta = \frac{a}{c}$</p> <p>斜角三角形の辺の長さ、角度の関係を調べる。 物体が斜面を下るとき、重力の成分が運動を引き起こす。 斜面の傾きによって、物体の加速度が変化する。</p>			
<p><デザインのポイント> (この作品に込める想い)</p> <p>コイル一号にマスを全カで届けて頂きたい。</p>		<p><自分たちで準備するもの></p> <p>板、コイル、マシ、マス、ストロ-</p>	
		<p><学校で準備するもの></p> <p>氷</p>	

☑ 5 Day2 Format

スベリンピック 企画書 (清書) 2021		2年 _____ 組 _____ グループ メンバー	
<p><装置の名称></p>			
<p><設計画></p>			
<p><理論></p>			
<p><デザインのポイント> (この作品に込める想い)</p>		<p><自分たちで準備するもの></p>	
		<p><学校で準備するもの></p>	

優勝 9 グループの装置

Q1. どうして優勝したのだろうか？

- ・ 切り口をした作りたがって、壊れなそうだからと
- ・ ビーズで地面と触れる面積が少いから合計が摩擦が少い。

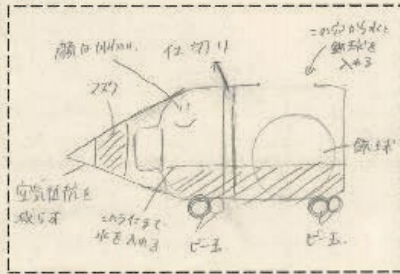
自分たちの装置

Q2. どうして優勝できなかった(できた)のだろうか？

- ・ 手が油を扱うとテープの粘着力がなくなってしまうビーズが取れてしまふ
- ・ 中に鉄球を入れるのはいいけどその位置がずれてしまふ
- ・ パラスティックが壊れている。またが装置を壊さなければいい。

Q3. 自分たちの装置が優勝するには、さらにどのような改良を施せばいいだろうか？

〈設計図〉



〈左の改良で速くなる根拠(理論)〉

- ・ U字溝で質量がスリットは減らして、切り口で水を入れた。
- ・ 鉄球で前に位置がずれないように、切り口をつける。→ ビーズの数を減らす。摩擦が少なくなる。
- ・ 空気抵抗を減らすために表面を滑らかにする。

〈改良点〉

- ・ 内部装置が壊れ、その位置で回転がなくなる。無難な装置品は必要。
- ・ 鉄球がスリットに位置がずれないように切り口をつける。

優勝 _____ グループの装置

Q1. どうして優勝したのだろうか？

自分たちの装置

Q2. どうして優勝できなかった(できた)のだろうか？

Q3. 自分たちの装置が優勝するには、さらにどのような改良を施せばいいだろうか？

〈設計図〉



〈左の改良で速くなる根拠(理論)〉

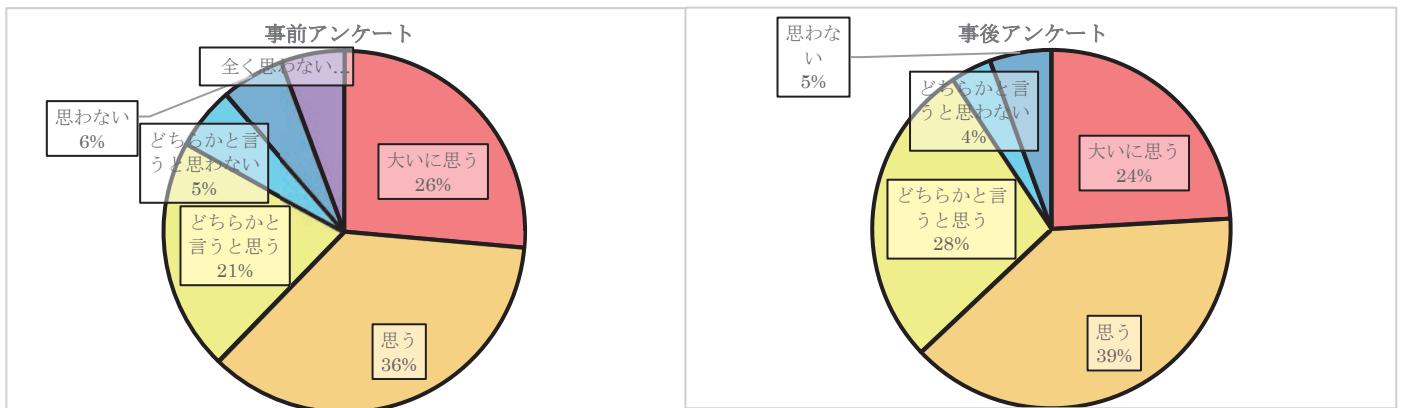
〈改良点〉



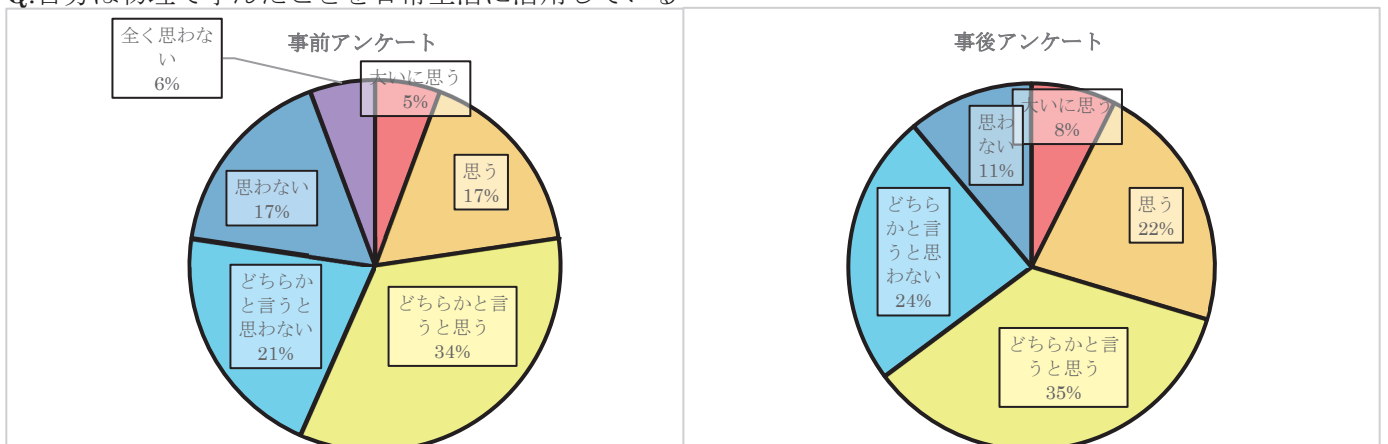
図 9 賞状

図 10 アンケート結果

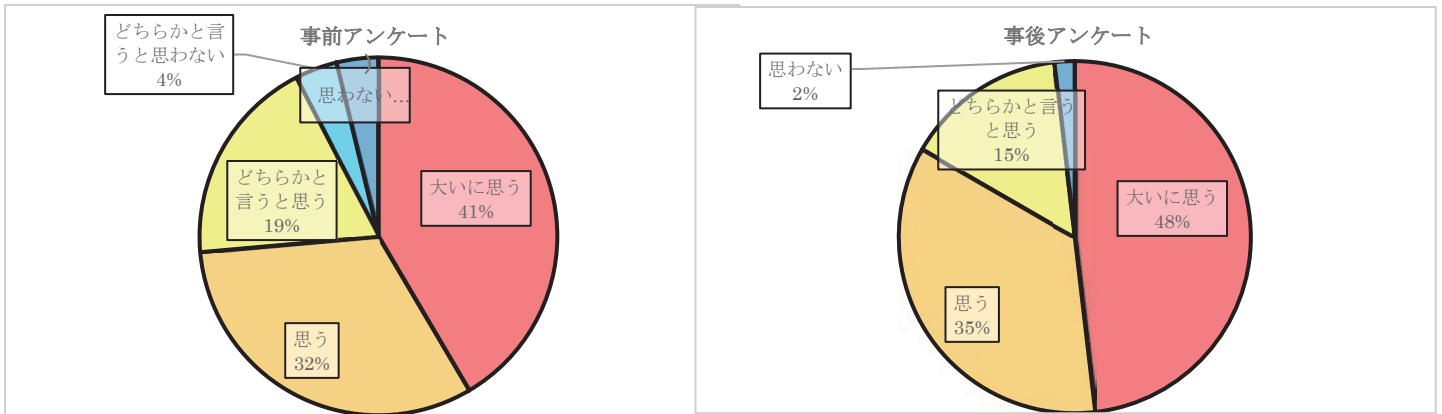
Q.物理の内容は日常生活で活用させていると思う



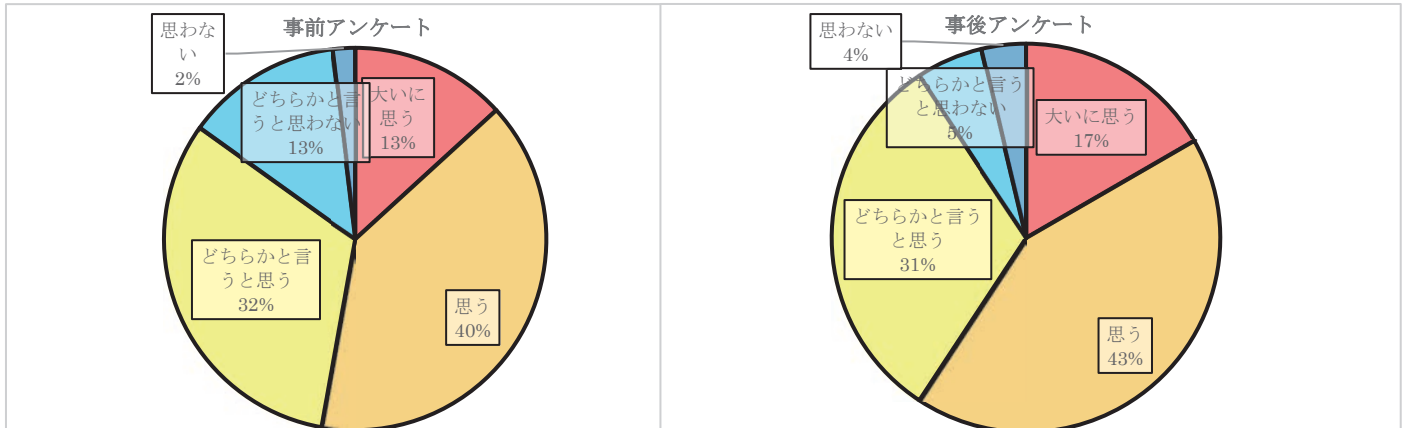
Q.自分は物理で学んだことを日常生活に活用している



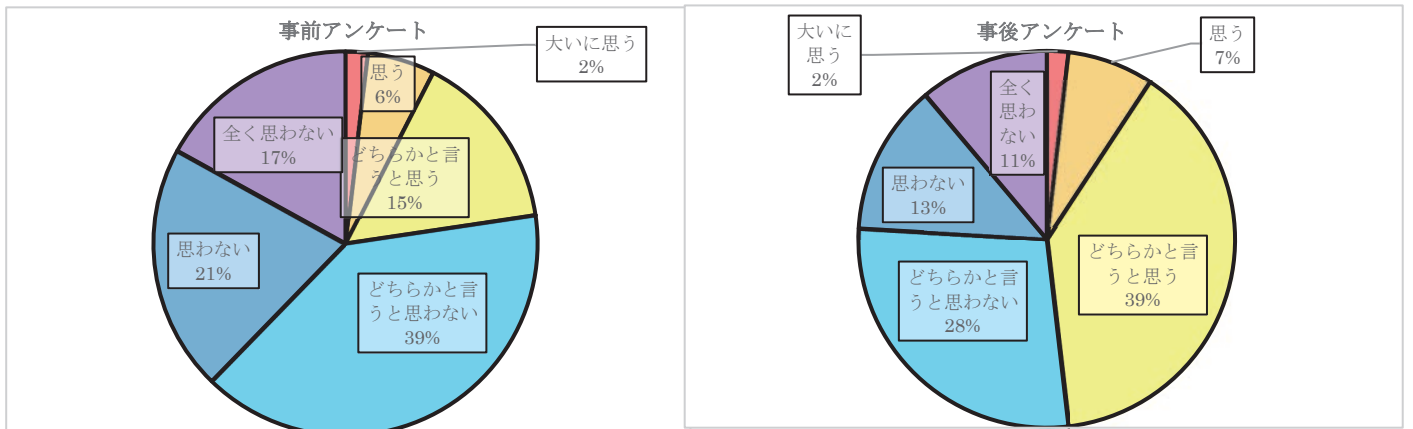
Q.他者と協力して学ぶことは有意義である



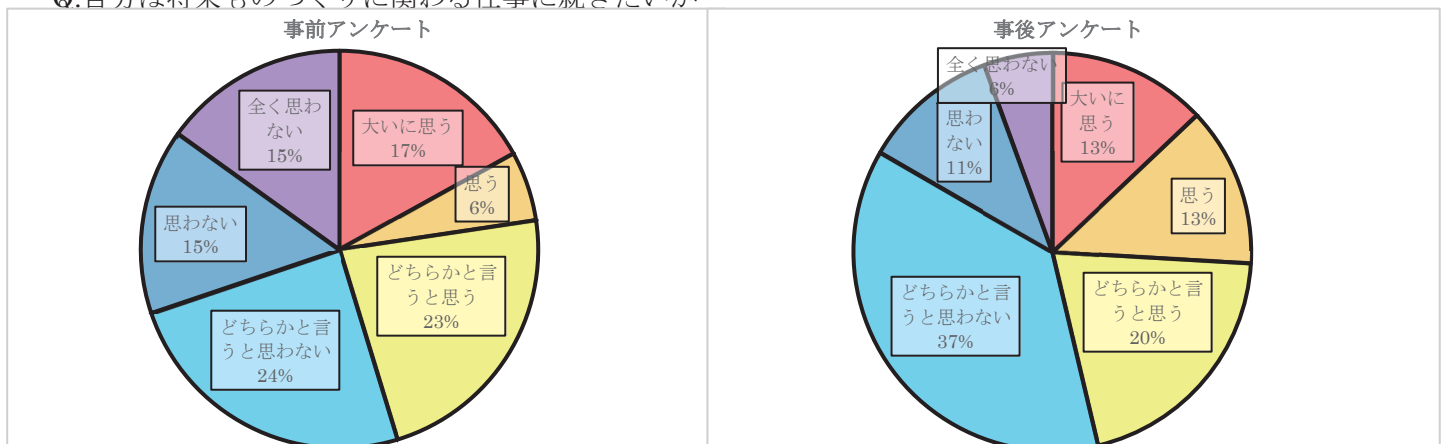
Q.ものづくりは好きか



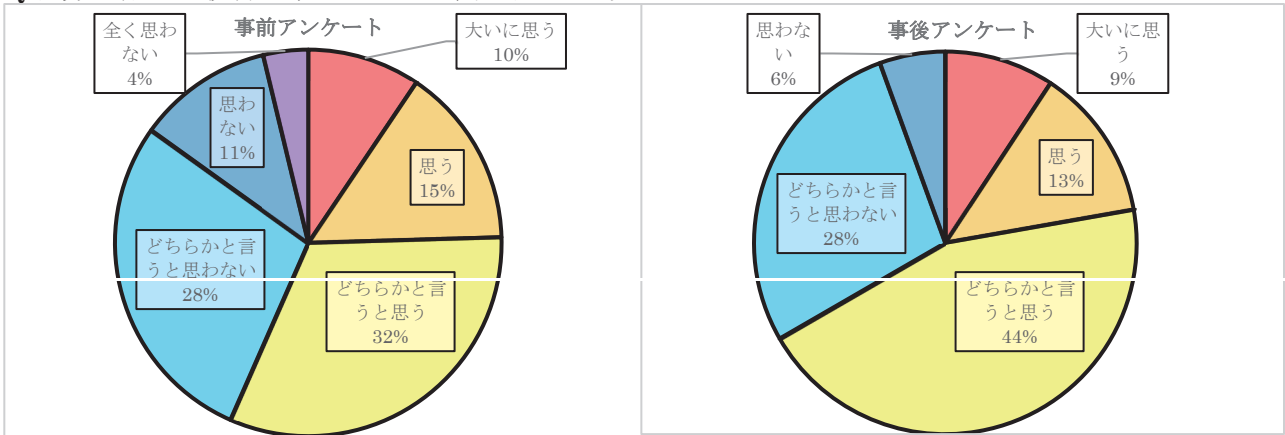
Q.日常的にもものづくりを行っているか



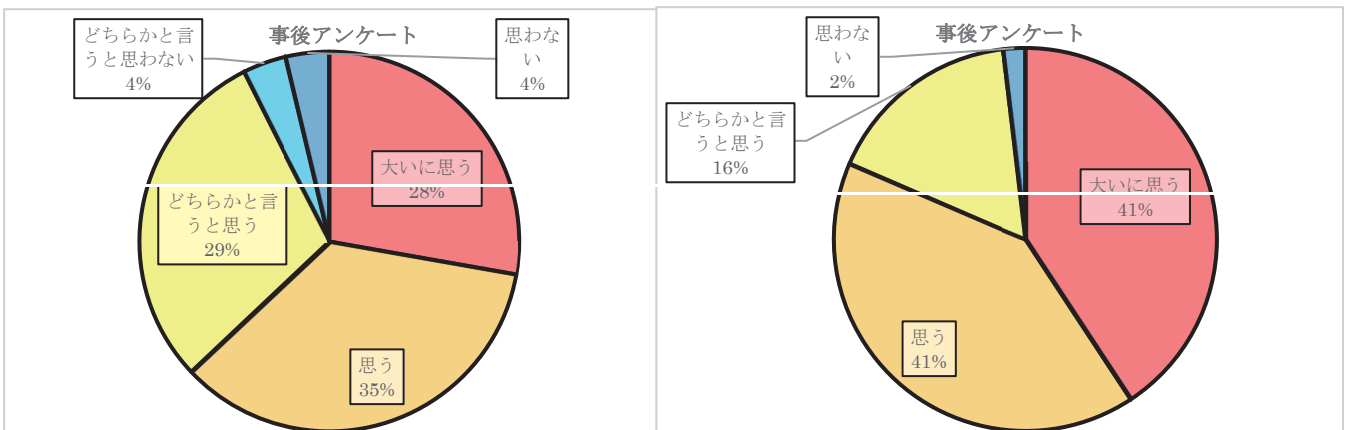
Q.自分は将来ものづくりに関わる仕事に就きたいか



Q.自分は様々な教科で学んだことを関連付けて考えている



Q.今回の取り組みに積極的に取り組むことができたか Q.今回の取り組みは楽しかったか



Q.このような取り組みをまた行いたいと思うか

