

高等学校理科における生徒の主体的な実験・観察での「ものづくり」の活用についての実践的研究

—米国 STEM 教育におけるエンジニアリング・デザインの視点から—

奥村仁一

(静岡大学 STEAM 教育研究所, 静岡市立清水桜が丘高等学校)

Practical Study of Utilization of “Engineering Design” in Experiments and Observations Conducted by Students Own in High School Science Classes.

Jin-Ichi Okumura

Abstract

本実践研究では、高等学校理科において生徒が主体的に課題を見出し探究的に実験・観察を行う授業を行い、STEM 教育のエンジニアリング・デザインの視点から生徒により実践されたものづくりの活用状況について調査した。またアンケートによりものづくりに対する生徒の意識の変容について調査を行った。その結果、生徒のものづくり学習への好意と有用感が増加したが、ものづくり学習の効果について「適切な素材を選べる」「粘り強く取り組める」「自分なりの工夫ができる」「美的センスを養うことができる」「問題を解決する力を養える」は有意に変化しなかった。ものづくりが行われた実験・観察においては全てで試行錯誤や創意工夫が見られ、生徒が書いた実験・観察デザインシートからも確認された。生徒が主体的に考えたものづくりの実験・観察では、生物基礎よりも物理基礎の方がものづくりによる課題解決が多く行われ、生徒達は生物基礎の実験・観察の考案の方が難しいと感じていたことがわかった。

キーワード： 高等学校理科 ものづくり エンジニアリング・デザイン 主体的 STEM 教育

1. 研究の背景と目的

高等学校学習指導要領解説(平成 30 年告示)理科編 理数編(文部科学省)では、改訂の要点として観察・実験を通して科学的に探究する学習の充実や日常生活や社会との関連を重視したことを述べている。これは、PISA2015 国際調査において、日本の児童生徒は「理科学習に対する道具的な動機付け」の指標値が OECD 平均値を下回ったことが報告されたことを受けている。高等学校学習指導要領解説(平成 30 年告示)理科編 理数編においても「国際調査において、日本の生徒の、理科が「役に立つ」「楽しい」との回答が国際平均より低く、理科の好きな子供が少ない状況を改善する必要がある。」との記載が見られる。そして「生徒自身が観察、実験を中心とした探究の過程を通じて課題を解決したり、新たな課題を発見したりする経験を可能な限り増加させていくことが重要であり、このことが理科の面白さを感じたり、理科の有用性を認識したりすることにつながっていくと考えられる。」と述べている。さらに米国の STEM 教育に言及し、「STEM 教育においては、問題解決型の学習やプロジェクト型の学習が重視されており、我が国における探究的な学習の重視と方向性を同じくするものである。」(第 1 章 総説, 第 2 節 理科改訂の趣旨及び要点, 1 理科改訂の趣旨, (2)理科の具体的な改善事項)とある。

米国においては、次世代科学スタンダード(Next Generation Science Standards : NGSS)が策定され、科学、技術、工学、数学等を教科横断的に学習する STEM 教育が進行している。米国 STEM 教育においては実社会の中の課題を見出し、課題解決に向けて科学と工学の体験的経験的活動(Science and Engineering Practices)を行うことが示されている(熊野, 2013)。STEM 教育においてはものづくりも重要視されており、NGSS にエンジニアリング・デザイン(Engineering Design)として位置付けられている。エンジニアリング・デザインは、エンジニアの手法を用いた課題解決型のものづくり活動による探究的学習(堀田, 2011)とされており、「生徒が解決可能な形で問題を提起し、いくつもの可能な解決策を考案し、その中から最善の解決策を評価する場面を伴う、問題解決型のものづくりである」(木内・藤田, 2021)ことが示されている。

日本の理科教育におけるものづくりについては、中学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説では「原理や法則の理解を深めるためのものづくりを、各内容の特質に応じて適宜おこなうようにすること」とあり、ものづくりの主たる目的を原理や法則の理解としている。高等学校学習指導要領(平成 30 年告示)解説 理科編 理数編においては、第 2 章 理科の各科目, 第 1 節 科学と人間生活, 3. 内容とその範囲, 程度 において光の

性質とその利用についての学習の説明に「簡易分光器、カメラ、望遠鏡などのものづくりを通して理解を深めさせることも考えられる」とあり、性質の理解のためのものづくりを示しているが、「考えられる」と表現しておりものづくりを行うことを明確に位置付けているとは理解しがたい。また科学と人間生活以外の科目において、ものづくりについての記述は見られない。

濱保(2012)は、「これまでのものづくりは、与えられた設計図を元に作品を作らせ、作る楽しさや達成感を味あわせることを目的としたものが多い」と指摘しており、柚木・片平(2016)は、「生徒が主体的に創意工夫を行う「ものづくり」活動は十分に行われておらず、その学習効果に関する調査も不十分であるということが理科における「ものづくり」活動の課題として推定される」と述べている。

本実践研究では、高等学校理科において生徒が主体的かつ探究的に実験・観察を行う授業を行い、STEM教育のエンジニアリング・デザインの視点から生徒により実践されたものづくりの活用状況と生徒の意識の変容について分析した。村山(2020)は、新学習指導要領において重要視されている主体性に着目し、授業において「課題を示す」等の重要な意思決定は教師が行っており、実験の授業においても予め疑問や仮説、方法や手順、記録方法や結論などが教師によって決められており学習者が主体性を発揮する機会がないと述べている。STEM教育の探究的な学習においては、生徒自らによる課題・問題(Driving Question)を設定することが重要視されている。本実践においては学習内容や与えられたテーマから生徒達自身が、疑問・課題を見出し、その解決に向けた実験・観察をデザイン(計画・設計)し実施する授業を行った。そしてエンジニアリング・デザインの視点から、どのくらいの頻度でどのようにものづくりがデザインされ疑問・課題解決に活用されたのかについて調査した。また、生徒が主体的に創意工夫を行うものづくり活動が行われていないとの指摘(柚木・片平, 2016)を受けて、生徒が主体的に試行錯誤や創意工夫しながら実験・観察をデザインしていけるよう記入式のデザインシートを用いて実験・観察を考案させた。デザインシートは授業後に回収し、記入内容を確認した。授業開始前の4月上旬と授業終了後の12月中旬にアンケートを行い、生徒のものづくりに対する意識の変容について比較分析した。

2. 実践の概要と研究の方法

2-1 授業実践の概要

公立の高等学校普通科1年生(3クラス, 合計120名)を対象とし、2022年4月～12月(1・2学期)の生物基礎、物理基礎で以下のような授業を奥村(2022)の実践方法を参考にして実施した。なお、使用教科書は、生物基礎は「改訂版 生物基礎」(数研出版, 104 数研 生/316),

物理基礎は「改訂版 物理基礎」(数研出版, 104 数研 物基/318)を用いた。

(1)年度初めの授業開始時に、8人で1班を構成した(各クラス5班)。また教科書の5つの章を各クラスの5つの班に割り振り、指定された章の学習内容に関連する疑問や課題の解決に繋がる実験・観察の考案を担当することを伝えた。そして考案した実験・観察を、担当した班の生徒が中心となりクラス全員で実施することを伝えた。

(2)教科書の各章の学習後に、振り返りシートを記入させた。その際に、各章の学習内容について「良く分からなかったこと」「もっと知りたいこと」などの疑問や新たな課題を記入させた。

(3)各章の学習後に、出された疑問・課題の中から、各生徒が一番興味・関心の高いものについて1つ選び、調べ学習することを宿題とした。次の授業で班(8名)内で発表後、1つを選びクラスで発表させた。

(4)年度初めに指示した実験・観察を担当する班には、クラスでの発表内容を踏まえ、章の内容に関連する疑問・課題を1つ選び、その解決や理解に繋がる実験や観察をデザインさせた。実験・観察を考える条件として、以下の5点を示した。①安全に実施できるもの、②章の課題・疑問の解決や理解に繋がるもの、③実験・観察に必要な材料や器具は身近に手に入る安価なものとし、なるべく生徒達自身が準備できるものとする、④1時間分の授業で完結する実験・観察とすること、また実験・観察の条件にはしないが、⑤可能な範囲でなるべく自分たちで何かを作り(ものづくり)、その成果物を利用・活用して疑問や課題の解決に繋げることを推奨した。併せて、ものづくりを伴わない実験・観察であっても評価には影響しないことも告げた。

実験・観察をデザインするにあたっては、デザインシートを活用するよう指導した。デザインシートは、課題・疑問の設定から、その解決のための実験・観察の考案、実施上の考えられる問題点やその解決法、予備実験の実施と改善すべき点等を段階的にまとめながら実験・観察のデザインができるようになっている。そして主体的に試行錯誤・創意工夫しながら実験・観察案の改善を記録できるようになっている。必要に応じて授業担当教員がシートを見ながらアドバイスした。(5)各章の最後に実験・観察の授業を実施した。各班の実験材料等は各班で準備させ、授業は担当する班の生徒8名が他の生徒達に説明しながら行った。授業の最後に振り返りと感想を書かせた。

生物基礎、物理基礎とも、各5回実験を実施した。

2-2 アンケートの実施と分析の方法

授業開始前(4月初旬, Aと記す)および授業終了後(12月中旬, Bと記す)にアンケートを実施し回答を比較した。庄山ら(2012)のアンケートを援用した。

・(1)「ものづくり学習」についての好意について、好意度を「とても好き」から「とても嫌い」の6段階で回答を求めた。

・(2)－(5)「ものづくり学習」の有用感について、「とても役に立つ」から「全く役に立たない」の6段階で回答を求めた。

・(6)－(25)「ものづくり学習」の効果について、「とてもそう思う」から「全くそう思わない」の6段階で回答を求めた。

・授業開始前(A)と授業終了後(B)のアンケートで、ものづくりについて思うことを自由記述で書かせた。

アンケートの回答について、(1)は庄山らに倣い、各回答の合計値を比較した。また各質問の回答は「とても好き」から「とても嫌い」を1点～6点として点数化し、AとBの平均値の変化をt検定(対応あり)で比較した。ものづくりについての自由記述(AおよびB)はKH-coder(樋口, 2012)を用いてテキストマイニングによる定量的分析を行った。

3. 結果と考察

3-1 生徒による実験・観察のデザインにおけるものづくり活用の実施状況

表1, 表2に、4月から12月までの授業内で生徒達自らが課題・疑問を見出しその解決のためにデザインし実施した実験・観察のタイトルを示した。なお、ものづくりを活用し課題・問題解決が行われた実験・観察は枠を着色して示した。但しものづくりが行われたが、ものづくり自体を目的としたものは、本実践研究においてはものづくりの活用事例から除外した。例えば、表1の12HR第4章「身近な植物観察」では、学校周辺の植物を観察し、タブレットを使った写真による植物図鑑が作成されたが、図鑑作りが目的とされていたため、ものづくりの活用事例からは除外した。

生物基礎(表1)では、課題・疑問解決のためにもものづくりを行い、その成果物を利用・活用して課題・疑

問解決に取り組むようデザインされ実施された実験・観察は、15回のうち2回(13.3%)であった。一方、物理基礎(表2)では、ものづくりの活用による実験・観察は12回(80.0%)行われた。生物基礎に比べ、物理基礎でもものづくりの活用による課題・問題解決学習が活発に行われたと考えられた。

実験・観察をデザインするにあたって活用を指導したデザインシートは、授業後終了後に生徒自らが主体的に試行錯誤や創意工夫してものづくり活動が行われたかの確認を行った。その結果、程度に差はあるものの、ものづくり活動が行われた14回の実験・観察の全てにおいて、試行錯誤や創意工夫が行われていたことが確認された。例えば「手作りカイロ」(13HR, 物理基礎: 第2章)では、アルミニウム粉末をアルミホイルを削って作り出す工夫や、アルミニウムの粉末量を調整して産熱量を変化させようと試行錯誤していた(図2)。また「電気パン作り」(13HR, 物理基礎: 第4章)では、極板をアルミホイルからステンレスのへらに変更したり、容器を紙コップから牛乳パックに変更したりなどの試行錯誤が見られた(図3)。また、授業内では、生徒から次々と疑問やアイデアが提起され実施された。例えば、「森が水をきれいにするしくみ」(13HR, 生物基礎: 第5章)(図1右上)では、ペットボトルに入れる石や土などの割合や順番を変えるとどうなるのかや、どのくらい繰り返しても効果が持続するかなどの疑問が出されて実験された。また「シャープ芯で電球作り」(13HR, 物理基礎: 第5章)(図1右下)では、実験に用いるシャープ芯の太さ(0.5と0.3mm)や濃さ(HBとBとH)を変えると光の明るさは変わるのか、とその理由はなぜか、等の発展的実験・学習が行われた。

一方、ものづくりの活用による実験・観察以外の16回の実験・観察のデザインシートからは、9回の実験・観察において試行錯誤や創意工夫が見られたが、7回においては見られなかった。

表1 生物基礎における実験・観察のタイトルとものづくりの実施状況(着色枠)

	章の学習内容	11HRの実験タイトル	12HRの実験タイトル	13HRの実験タイトル
第1章	生物の特徴	色素で見る光合成	手作り顕微鏡	目で見る光合成
第2章	遺伝子とそのはたらき	DNAを取り出す	DNAを見てみよう	DNAを取り出す
第3章	生物の体内環境	血液凝固の仕組み	自律神経と心拍数	脈拍の変化を知る
第4章	植生の多様性と分布	植物と環境要因の関わり(観察)	身近な植物観察	水の通り道を見てみよう
第5章	生態系とその保全	身近な川の水質を調べよう	川や池の水質調査	森が水をきれいにするしくみ

表2 物理基礎における実験・観察のタイトルとものづくりの実施状況(着色枠)

	章の学習内容	11HRの実験タイトル	12HRの実験タイトル	13HRの実験タイトル
第1章	運動とエネルギー	浮沈子の実験	摩擦のない世界	止まらないコマ
第2章	熱とエネルギー	熱対流風車	熱の伝わる速さを調べよう	手作りカイロ
第3章	波	消える人形	分光器を作る	虹、夕焼けを作ろう
第4章	電気	チャッカマンと電磁波	クリップモーター	電気パン作り
第5章	物理学と社会	コヒーラ	ジュール熱でゆで卵作り	シャープ芯で電球作り

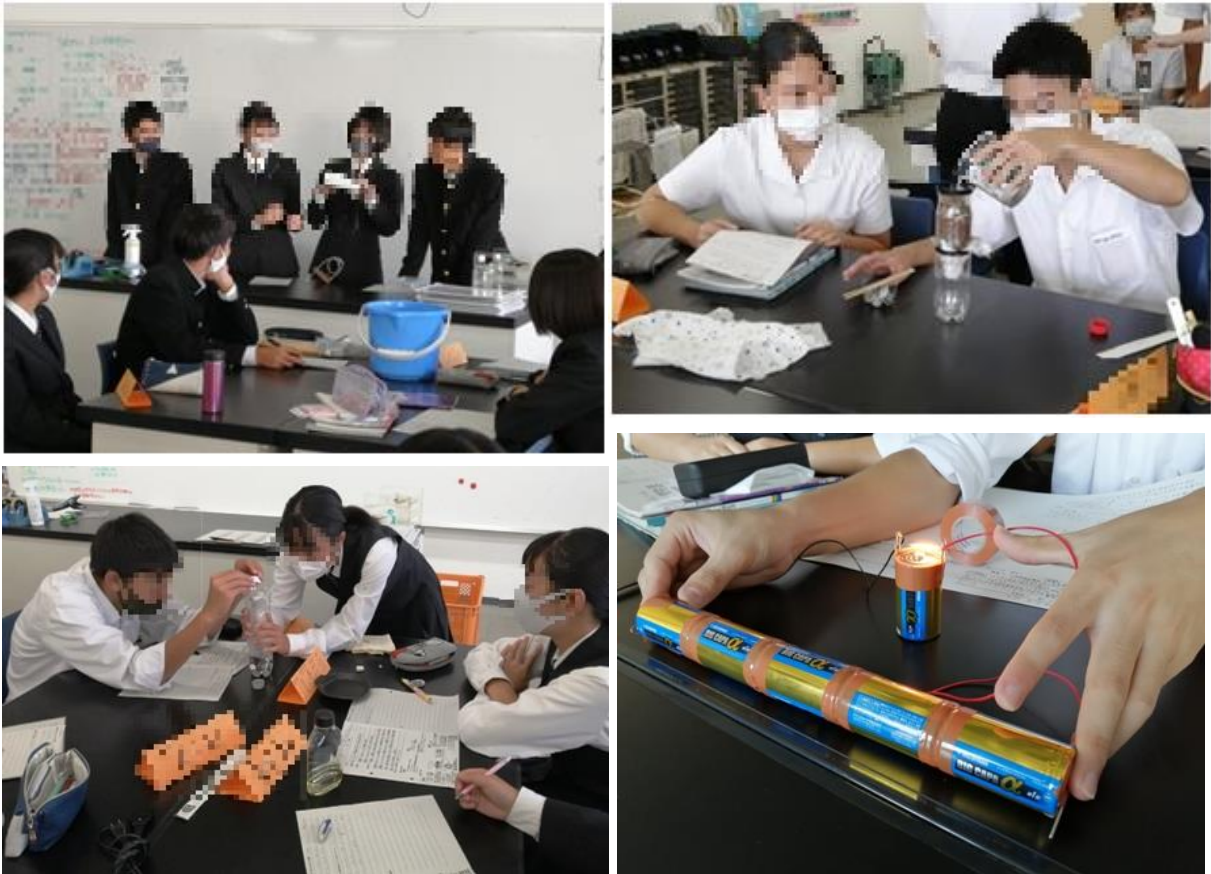


図1 実験・観察の様子(左上：生徒が実験方法等を説明, 右上：「森が水をきれいにするしくみ」の実験の様子, 左下：「熱対流風車」の実験の様子, 右下：「シャープ芯で電球作り」の実験の様子)

(3)【裏記入用】(最終案)の予備実験の記録
 ※本当にできるのか、実際に予備実験をして確認すること。班員で分担してやってもよいが、その場合は分担した箇所を分かるように書くこと、全員分の実験結果等を書くこと。

(A)予備実験実施計画
 ①実施日：10月25日(曜日)
 ②実施分担：

③実験状況(絵や図などで実験の手順がわかるように書くこと)
 ① 炭とまじわせたアルミニウムを紙ヤシロで削る。
 ② 毛糸の糸の削れた粉をホリ袋に入れる。
 ③ 沸かした湯水を染み込ませたティッシュを2、3切れ入れる。
 ④ 混ぜ合わせて、発熱が起きるのを待つ。

④実験結果
 アルミニウムがうまく削れて、発熱するかな不安だったが、発熱はした。
 温度計の針も動いたが、普通のカイロと同じくらい熱かった。
 ⑤結果からわかること(授業で何をどのように説明するのか?) エネルギー差
 $4Al + 3O_2 + 6H_2O \rightarrow 4Al(OH)_3$ ← 熱エネルギー (反応熱)
 $Al_2O_3 + H_2O \rightarrow Al(OH)_3$ ← 熱エネルギー (反応熱)
 化学エネルギーが熱エネルギーに変化するというエネルギーのやり取り。
 ⑥改善点(本番で成功するように改善した方がよい個所について、どのような理由で何をどう変えるかを箇条書きすること)
 ・炭とアルミの量がもう少し多いと感じたので量を少し増やそう。

⑦本実験までにやらなければならないこと、準備しなければならないこと等
 紙ヤシロの購入

⑧予備実験をやってみての感想：
 アルミニウムの粉が高くて買えなくて、どうしようかと思っていたけど、アルミニウム削り代用できるのを見てわかった。やっぱり自分で発熱したので、感動した。アルミニウムは、うすく削ると削りやすくて、よし、成功するかなと思ったけど、成功してよかった。炭は、糸が汚れてしまうけど、ティッシュが7枚持てるおおうと、おそろい汚れず済んだ。湯水を染み込ませたティッシュを入れると、10秒~20秒くらいで温まり始めたからよしと思った。アルミニウムが熱を発生しているということが分かったので、アルミの量を増やしてみようかと思っ

⑨メモ(その他、実施したこと、準備で努力した事があったら書いて下さい。また予備実験の様子を撮った写真等があったら、貼って下さい。)

カイロは酸化反応の仕組みを利用している。
 鉄(アルミニウム)が酸化するときには熱が発生する。→酸化熱
 この酸化反応と一緒に大量に反応してより熱が発生。
 炭 → 空気中の酸素と集める } 鉄より早く
 湯水 → 鉄が熱くなるより早く } 酸化してより熱のものを

図2 デザインシートによる実験・観察の考案(手作りカイロ)

3-2 アンケート比較

3-2-1 「ものづくり学習」「ものづくりにかかわる学習」についての好意

ものづくり学習に対する好意(質問(1))について、授

業開始前(A)、授業終了後(B)の結果を表3に示す。年度始め(A)では肯定的な回答をした生徒が43%、否定的な回答をした生徒が57%であったが、授業終了後(B)では共に50%となった。「ものづくり学習」の好意

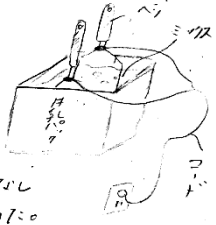
(3) (筆記入可) [最終案] の予備実験の記録
 ※本当にできるのか、実際に予備実験をして確認すること。班員で分担してやってもよいが、その場合は分担した箇所を分かるように書くことと、全員分の実験結果等を書くこと。

(A) 予備実験実施計画

①実施日：10月28日(曜日)と29
 ②実施分担：
 女子→仕せづくり
 男子→下準備と装置

③実施状況(絵や図などで実験の手順がわかるように書くこと)

- ①片乳ハコクにステンレスのヘラをつける
- ②粉は9.1gに片乳とミックスをまぜる。
- ③ヘラにコードをつける
- ④コンセントに差す



④実験結果

アルミオイル→1時間辺り行進が変化なし
 ステンレス→ヘラ回りがすこく焼けていた。

⑤結果からわかること(授業で何をどのように説明するのか?)

ヘラからおとした電気が熱に変わっている。
 ヘラが厚い方が熱がとおる。
 アルミとステンレスでは熱伝導率に差がある。

⑥改善点(本番で成功するように改善した方がよい箇所について、どのような理由で何をどう変えるかを箇条書きすること)

- より薄い厚めのヘラを用いる
- アルミオイルで7.7g熱がとおらずらちが明かれないのでステンレスを使用する。

⑦本実験までにやらなければならないこと、準備しなければならないこと等
 ・道具の準備と、順序の確認

⑧予備実験をやってみての感想：「予備実験をやってみると、やってみたいけど、分からなかった事が多々ありました。もし予備実験をしないまま本実験に臨んでいたら見当もつかないくらいで出ていると、怖いな」と思いました。片乳に、アルミオイルをやりやすいように最初アルミオイルを使用する予定でしたが、実際やってみると、アルミオイルが、こちらには火花が散ったり安全側でも危険な場面がいくつかあったので、片乳も含めてあらかじめ予備で実験を確認することが出来たようです。

⑨メモ(その他、実施したこと、準備で努力した事があつたら書いて下さい。また予備実験の様子を撮った写真等があつたら、貼って下さい。)

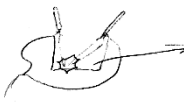
- ・アルミオイルからステンレスに変更した。(熱のとおりやすさに違いがあるため)
 - ・ステンレス同士は糸釣くっついてはいけい
- 
- ・糸釣コックの片乳ハコクがで「言式行金貨誤した。

図3 デザインシートによる実験・観察の考案(電気パン作り)

表3 ものづくり学習への好意の回答の人数と割合

	授業開始前(A)							授業終了後(B)								
	とても好き	好き	やや好き	やや嫌い	嫌い	とても嫌い	有効回答	とても好き	好き	やや好き	やや嫌い	嫌い	とても嫌い	有効回答		
人数	0	11	41	54	12	2	120	2	18	40	49	10	1	120		
割合	0%	9%	34%	45%	10%	2%	100%	2%	15%	33%	41%	8%	1%	100%		
	肯定的			否定的				有効回答	肯定的			否定的				有効回答
人数	52			68				120	60			60				120
割合	43%			57%				100%	50%			50%				100%

表4 ものづくり学習の有用感(2)～(5)および効果(6)～(25)のt検定(対応あり)の結果

質問	A-B間	
	確率(p)	t値
(1)「ものづくり」は好きですか	0.00011 ***	4.01197
(2)「ものづくり」は、将来あなたが何かの職業に就くときに、役に立つと思いますか	0.00385 **	2.94788
(3)「ものづくり」は、日常生活をしていく上で役に立つと思いますか	0.00004 ***	4.28342
(4)「ものづくり」は、余暇を過ごしていく(休みの日などに趣味などをして楽しむ)上で役に立つと思いますか	0.00599 **	2.79860
(5)「ものづくり」は、あなたの感性を磨く(ものに対する感じ方や見方を充実させる)上で役に立つと思いますか	0.00063 ***	3.51148
(6)「ものづくり」では、つくるためのいろいろな技能(わざ)を身につけることができる(できた)	0.00615 **	2.78920
(7)「ものづくり」では、つくるものに応じて適切な素材を選ぶことができるようになる(なった)	0.15817	1.42019
(8)「ものづくり」では、計画を立ててものごとを進めることができるようになる(なった)	0.01195 *	2.55289
(9)「ものづくり」では、粘り強(粘り)ものごとに取り組むことができるようになる(なった)	0.08325	1.74679
(10)「ものづくり」では、自分なりの工夫ができるようになる(なった)	0.05181	1.96444
(11)「ものづくり」では、使いやすさを考えることができるようになる(なった)	0.00112 **	3.34010
(12)「ものづくり」では、デザイン(美しさやカッコよさなど)にこだわるようになる(なった)	0.00700 **	2.74438
(13)「ものづくり」によって、ものを大切にすることができるようになる(なった)	0.01195 *	2.55289
(14)「ものづくり」によって、ものに関わるときの安全意識が高まるようになる(なった)	0.00198 **	3.16327
(15)「ものづくり」により、ものを評価する力(もの良し悪しを判断する力)が高まるようになる(なった)	0.02472 *	2.27462
(16)「ものづくり」により、ものを見てその良さを楽しむことができるようになる(なった)	0.00132 **	3.28910
(17)「ものづくり」により、美的センス(美に対する感じ方や表現力)を養うことができるようになる(なった)	0.05846	1.91058
(18)「ものづくり」により、問題を解決する力を養うことができるようになる(なった)	0.09573	1.67926
(19)「ものづくり」により、リサイクルなど環境問題を考えることができるようになる(なった)	0.01195 *	2.55289
(20)「ものづくり」により、自分から何かしてみようと思うことが多くなるようになる(なった)	0.01899 *	2.37817
(21)「ものづくり」により、ものづくりが人々の暮らしに貢献していることがわかるようになる(なった)	0.00408 **	2.92847
(22)「ものづくり」により、ものづくりが科学技術の発展に貢献していることがわかるようになる(なった)	0.00408 **	2.92847
(23)「ものづくり」により、日本の文化について興味が高まるようになる(なった)	0.01181 *	2.55704
(24)「ものづくり」により、外国の文化について興味が高まるようになる(なった)	0.01950 *	2.36798
(25)「ものづくり」により、1人でできないことは他者と協力して取り組む大切さがわかるようになる(なった)	0.00350 **	2.98003

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

に対する回答(全体)を点数化し、AとBの平均値の変化をt検定(対応あり)で比較した(表4の質問(1)). その結果、AとBの平均値の変化では、p値が0.00011, t値が4.01197(df=119)となり、0.1%水準で有意差が認められた。本実践においては、「ものづくり学習」の好意について授業による実験・観察の経験は肯定感を向上させたと考えられた。

3-2-2 「ものづくり学習」の有用感と効果について

「ものづくり学習」の有用感(2)～(5)および効果(6)～(25)についての質問に対する回答について点数化し、AとBの平均値の変化をt検定(対応あり)で比較した(表4)。AとBの平均値の比較から、ものづくり学習の有用感についての質問(2)～(5)は全て1%水準以上で有意に肯定感が増加した。一方、「ものづくり学習」の効果についての質問(6)～(25)では、(7)(9)(10)(17)(18)を除く質問で有意に回答が変化し、効果について有意に変化しなかった質問は(7)「適切な素材を選ぶことができる」、(9)「粘り強く取り組むことができる」、(10)「自分なりの工夫ができる」、(17)「美的センスを養うことができる」、(18)「問題を解決する力を養うことができる」の、生徒の主體的なものづくりにより養われることが望まれる能力であり、授業体験の「ものづくり」からはこれらのスキルが身につくと生徒が感じられなかった可能性があると考えられた。

3-2-3 ものづくり学習が行われた班と行われなかった班の「ものづくり学習」への好意と有用感の比較

生物基礎および物理基礎においてもものづくりが行われた班(a, 16人)と行われなかった班(b, 24人)について、授業前後におけるものづくり学習への好意と有用感(表4の質問(1)～(5))の生徒の意識変化を比較した(表5)。

ものづくり学習に対する好意(質問(1))は、(a)・(b)のいずれにおいても5%水準で有意な差が見られたが、ものづくりの有用感についての質問(2)～(5)では、両者とも有意な差は見られなかった。表4では質問(2)～(5)で有意な変化が見られたにもかかわらず本比較においては見られなかったため、生物基礎でもものづくりを行わなかった班(c, 計104人)と物理基礎でもものづくりを行った班(d, 計96人)についても比較したところ、両者で(2)～(5)の全ての質問の回答において

授業前後で有意差が見られた。ものづくり学習の効果についての質問(6)～(25)の回答においても、(2)～(5)と同様の傾向が示された。また表4において有意差が見られなかった質問(7)(9)(10)(17)(18)では、(a)～(d)の全てにおいて有意差は見られなかった。

3-2-4 テキストマイニングによる定量的分析

アンケートの授業でのものづくりについての自由記述について、授業開始前A(4月上旬)と授業終了後B(12月下旬)を定量的に分析し比較した。

Aでは総抽出語数456語・異なり語数117語、Bでは総抽出語数2309語・異なり語数277語で、授業終了後の語数が大きく増加していた。それぞれの頻出語を比較すると(表6, 7)、頻出上位語はA・B共に「楽しい」「作る」「思う」等が見られた。一方、Bの語数増加の原因となったと考えられるBにあってAでは見られない頻出上位語は、「実験(100回)」「考える(52回)」「難しい(15回)」「工夫(14回)」「生物基礎(11回)」等であった。Bは授業終了直後のアンケートであり「実験」「生物基礎」は授業や授業内での実験に関する感想等について書かれたものと考えられ、AにはないがBで新たに見られたことは理解できる。「考える」「難しい」「工夫」が新たに使われた理由を知るために、どのような語句と共に使われていたのかについて共起ネットワーク分析により調べた(図3)。その結果、「考える」は「実験」と強く結びついて使われており「難しい」は「実験」「考える」と共に使われていたため、「実験を考えるのは難しい」の文脈で使用されていたと考えられた。「工夫」は「上手い」「嬉しい」と共に使用されていたが文脈が不明瞭であったのでKWCIコンコーダンス分析を行い、「工夫」の前後の文脈を確認した(図4)。その結果、「実験や予備実験を工夫した結果、上手くいって嬉しかった」等の文脈で使用されていたことがわかった。実験や予備実験において、生徒達が実験を成功させるために自分たちで工夫していたと考えられた。さらに「難しい」と結び付きが見られ、新たに授業後の自由記述で使用されていた「生物基礎」「物理基礎」の使用のされ方について調べるために、「生物基礎」についてKWCIコンコーダンス分析を行った(図5)。その結果、「生物基礎の実験は物理基礎の実験に比べて考えるのが難しく困った」等の文脈で使用されていたと考えられた。

表5 ものづくりが行われた班と行われなかった班のものづくり学習への好意と有用感の変化

質問	(a)ものづくり(16人)		(b)ものづくりなし(24人)		(c)生物基礎でもものづくりなし		(d)物理基礎でもものづくり	
	確率(p)	t値	確率(p)	t値	確率(p)	t値	確率(p)	t値
(1)ものづくりは好きですか	0.04097 *	2.23607	0.04986 *	2.07007	0.000274 ***	3.75026	0.00085 ***	3.44601
(2)ものづくりは、将来あなたが何かの職業に就くときに、役に立つと思いますか	0.66923	0.43574	0.08296	1.81265	0.00247 **	3.09325	0.01558 *	2.46292
(3)ものづくりは、日常の生活をしていく上で役に立つと思いますか	0.16388	1.46385	0.10346	1.69558	0.00030 ***	3.72473	0.00017 ***	3.92072
(4)ものづくりは、余暇を過ごしていく(休みの日などに趣味などをたしなむ)上で役に立つと思いますか	0.18814	1.37892	0.32772	1.00000	0.01562 *	2.45296	0.00355 **	2.99000
(5)ものづくりは、あなたの感性を磨く(ものに対する感じ方や見方を充実させる)上で役に立つと思いますか	0.08253	1.86052	0.16167	1.44600	0.00343 **	2.98585	0.00191 **	3.19369

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

表 6 授業前(A)の頻出語

抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
楽しい	15	形	3
作	14	大切	3
思う	8	意識	2
苦手	7	危ない	2
好き	7	技術	2
不器用	7	業	2
お金	6	残る	2
細かい	5	使える	2
難しい	5	出来る	2
ものづくり	4	人	2
時間	4	凄	2
自分	4	多い	2
上手い	4	大変	2
生活	4	達成	2
豊か	4	買う	2

表 7 授業後(B)の頻出語

抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
実験	100	出る	8
考える	52	いろいろ	7
楽しい	33	一生懸命	7
自分	26	協力	7
上手い	25	少し	7
難しい	15	成功	7
工夫	14	分かる	7
ものづくり	13	友達	7
作	13	予備実験	7
大変	12	解決	6
思う	11	主体	6
生物基礎	11	授業	6
嬉しい	10	人	6
疑問	10	生徒	6
結果	8	物理基礎	6

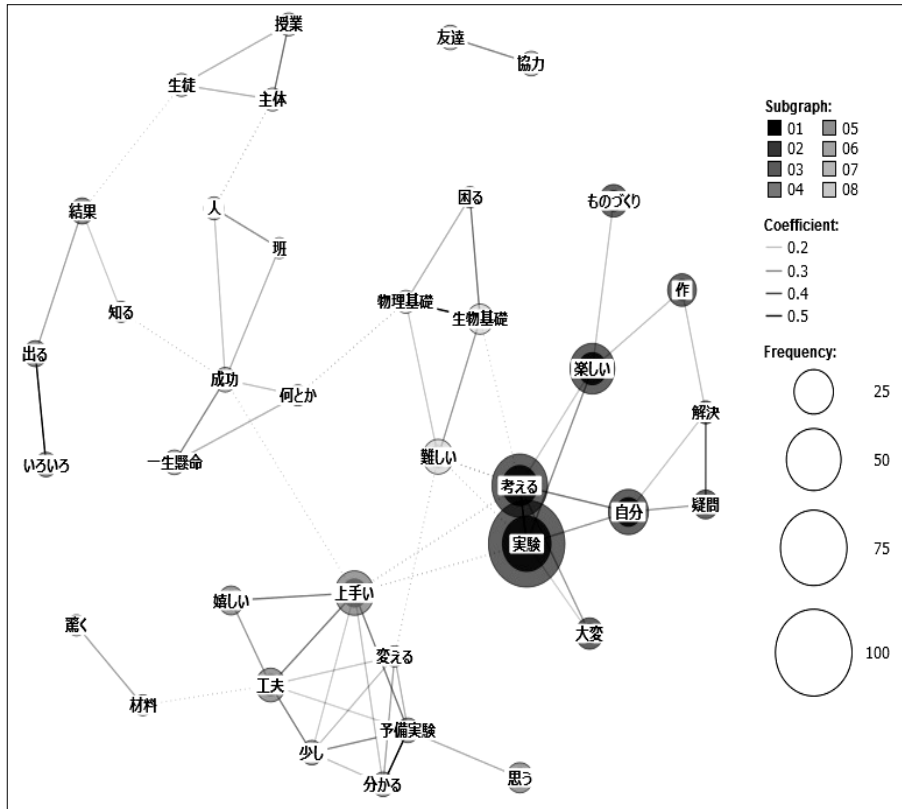


図 3 授業後のものづくりについての自由記述(B)の共起ネットワーク分析

KWICコンコーダンス

Search Entry

抽出語: 工夫 品詞: 名詞 活用形: 追加条件

ソート1: 出現順 ソート2: 出現順 ソート3: 出現順 (前後 24 語を表示)

Result

た。◇実験を考えるのは難しかった。ものづくりの実験では材料を変えたりして、動画を観て同じようにやっただけで、上手いかなかった。意見を出し合っ

---cell---</h5>実験を考えるのが難しかった。◇実験に使えるものに制限があったので、その通りにやっても上手いかなかった。大変だった。友達と改善のアイデアを出し合っ

---cell---</h5>実験を考えるのは難しかった。◇実験に使えるものに制限があったので、その通りにやっても上手いかなかった。大変だった。友達と改善のアイデアを出し合っ

図 4 授業後のものづくりについての自由記述(B)の「工夫」のKWIC コンコーダンス分析

KWICコンコーダンス (応答なし)

Search Entry

抽出語: 生物基礎 品詞: タグ 活用形: 追加条件

ソート1: 出現順 ソート2: 出現順 ソート3: 出現順 (前後 24 語を表示)

Result

◇実験を考えるのは難しかった。特に生物基礎の実験は探してもなかなかいい実験が無くて困った。物理基礎の実験はいろいろあって考えやすかつ

がに着くと。◇ものづくりをして、授業が楽しかった。◇生物基礎の実験を担当した内容に実験が無くて困った。◇ものづくりによる実験は楽しかった

を探究したが、自分たちの疑問を解決するための実験がなかなか見つからなくて困った。特に生物基礎の実験ばかりで、先生に助けてもらって考えた。◇ものづくりによる実験は楽しかった

でも、いろいろな疑問が出てきた。◇物理基礎の実験は考えやすかったが、生物基礎の実験はなかなかいい実験が見つからず、困った。でも何とかやりたい実験を考えることができて

た。◇身近なものだけしか使えないので、実験を考えるのは大変だったけど、生物基礎の実験を考えるのは難しかった。結果も物理基礎の実験のようにはっきり出ないので、苦労し

た。◇実験に使えるものに制限があったので、生物基礎の実験は何かを作る実験は考えられず難しかった。◇意外に簡単な実験

だったので、何とか成功させようとして一生懸命できた。◇実験は難しい。でも少しの生物基礎の実験は探しても、ものづくりなどは見つけられず、考えるのは大変だった。◇

で、何とか見つけることができた。◇考えた実験は、初めは上手いかなかったけど、生物基礎の実験は探しても、ものづくりなどは見つけられず、考えるのは大変だった。◇

になった。◇生物基礎の実験は物理基礎と比べて少ない、ものづくりの実験もないので生物基礎の実験を考えるのは難しかった。◇物理基礎の実験は考えやすかったが、生物基礎の実験は

、毎回楽しかった。◇予備実験で初めは上手いかなかったが、条件を変えて少し生物基礎の実験を考えるのは難しかった。インターネットでもなかなか見つからなかった。先生に言われて、検索

◇班で話し合いのいろいろな意見が聞けて楽しかった。◇身近な材料で生物基礎の実験は探しても、ものづくりなどは見つけられず、考えるのは大変だった。◇

た。◇身近なものだけしか使えないので、実験を考えるのは大変だったけど、生物基礎の実験は探しても、ものづくりなどは見つけられず、考えるのは大変だった。◇

---cell---</h5>実験を考えるのが難しかった。◇実験に使えるものに制限があったので、その通りにやっても上手いかなかった。大変だった。友達と改善のアイデアを出し合っ

---cell---</h5>実験を考えるのが難しかった。◇実験に使えるものに制限があったので、その通りにやっても上手いかなかった。大変だった。友達と改善のアイデアを出し合っ

図 5 授業後のものづくりについての自由記述(B)の「生物基礎」のKWIC コンコーダンス分析

4. 考察

本実践においては、米国 STEM 教育におけるエンジニアリング・デザインの視点から、生徒自身が学習テーマから疑問・課題を見出し、その解決のための実験・観察を主体的にデザインし実施する授業を実践した。そして如何にしてものづくりが行われ、疑問・課題解決に活用されたのかについて調査した。また、生徒が主体的に試行錯誤や創意工夫を行いながら、実験・観察の解決に向けたものづくりが行われたのかについて調査した。その結果、物理基礎では 80% においてものづくり活用される実験・観察が生徒達自身によりデザインされ実施されたが、生物基礎ではものづくりの活用が 13.3% しか行われなかった。米国 NGSS においては「科学と工学の体験的経験的活動」として 8 つの能力が示され、そのうちの 1 つに「モデルを構築する」ことが示されている(熊野, 2018)。また齊藤(2018)は、米国の STEM 教育改革についてエンジニアリングの視点から分析し、学校に導入するエンジニアリングの概念として「観察と測定」「モデル化」等が重要であることが示されていたと述べている。さらにエンジニアリングの概念は、日本の学習指導要領の求める理科的な見方、考え方と通じるところがあると述べている。三崎・森下(2005)は生物分野のものづくりを活用した実践的な先行研究としてモデル作りを挙げているが、一方で研究報告が比較的少ないことを指摘している。本実践においても「観察と測定」「モデル化」の生徒による主体的な実験がデザインされることが期待されたが、生物基礎でのものづくりを伴うモデル化に該当すると考えられる実験は「森が水をきれいにするしくみ」の 1 件のみであった。生徒達の主体的な実験・観察のデザインにおいても生物分野におけるものづくりの活用は行われにくいと考えられた。多くの生徒はタブレットパソコンを用いてインターネット上に公開されている実験・観察等を参考にして自分達の実験を考案していたため、得られる情報量が少なかったことが原因の 1 つであると考えられた。自由記述の感想からも、生物基礎は物理基礎と比較して実験・観察自体が考えにくいと感じていた生徒がいたことがわかった。

生徒達が実験・観察を考える際に記述したデザインシートからは、ものづくりを活用した実験・観察の全てにおいて、試行錯誤や創意工夫が見られた。また授業内で様々なアイデアが出され発展的実験・学習が行われた。生徒達が授業後に書いたものづくりの感想では、「工夫」を用いた記述が見られた。従って、本実践においてはものづくりの過程において生徒の主体的に試行錯誤・創意工夫が行われたと考えられ、エンジニアリング・デザインの求める問題解決型のものづくりが行われたと考えられた。

アンケート調査の分析(表 4)からは、「ものづくり」についての好意に関する質問(1)及び有用感に関連す

る質問(2)～(5)は肯定的回答が有意に増加したが、ものづくりの効果についての質問(6)～(25)では、試行錯誤や創意工夫に関連すると考えられる「自分なりの工夫ができるようになった(質問(10))」「問題を解決する力を養うことができるようになった(質問(18))」「適切な素材を選ぶことができるようになった(質問(7))」等の肯定的回答が有意に増加しなかった。デザインシートからは生徒の試行錯誤や創意工夫が見られたにもかかわらず、アンケート調査ではこのような結果となった明確な理由はわからないが、生徒達からの聞き取り調査から、「楽しかったが、自分たちで主体的に考えるのは難しかった」「今までに自分たちで実験を考えたことがなかったので戸惑った」「何度も工夫したが上手くいかない実験があり大変だった」等の意見が多く聞かれたことから、鈴木(2014)が指摘するように、「楽しかった」「上手くいって嬉しい」「実験が上手くいかずに残念だ」等の情緒的側面に終始してしまい、認知領域の自己認知が不十分であったため、振り返りにおいてもものづくりを通じた自己の学びについて認識できていない可能性があると考えられた。また予備実験がなかなか上手く行えず試行錯誤した経験から、「自分なりの工夫ができる」「問題を解決する力を養うことができる」「適切な素材を選ぶことができる」に対して肯定的に受け止められなかった可能性があると考えられた。

ものづくりが行われた班と行われなかった班の授業前後の生徒の意識変化の比較(表 5)では、ものづくり学習への好意(質問(1))が生物基礎・物理基礎でもものづくり学習が行われた・行われなかったに関わらず有意に変化した。ものづくり学習の有用感((2)～(5))で有意差は見られなかった。従って、ものづくりが行われた班(a)で好意や有用感が有意に上昇し、ものづくりが行われなかった班(b)では上昇しないという結果は示されなかった。

授業終了後に行った、ものづくりについて思うことを自由に書くアンケートでは、実験前のアンケートに比べて記述量が大きく増加した。また「楽しい」との記述も増加し、選択式アンケートの「ものづくり学習についての好意に関する質問(1)」の結果と同様の傾向が見られた。しかし、生徒が書いた内容を詳細に見ると、「ものづくりについて思うこと」を質問していたにもかかわらず、ものづくりではなく実験考案や予備実験について書かれていると考えられる感想も見られた。したがってアンケート調査によるものづくりについての回答は、厳密な「ものづくり」だけでなく「生徒が主体的に見出した課題の解決のために生徒自身が実験・観察を考案し実施する授業」まで含んだ回答となっている可能性があると考えられた。生徒に直接聞き取りをしたところ、「ほとんどの実験がものづくりであったので、区別していなかった」「実験材料などの準備も自分たちで行ったので、全ての実験はものづくりが関わってい

ると感じた」「上手くいくよう工夫して実験を考えたからものづくりではないか」などの答えが返ってきた。生徒には各実験・観察でものづくりの活用があったか否かを伝えていなかったため、区別を付けず感想を書いた可能性があると考えられた。しかし自分達の見出した課題を解決するための実験・観察を考え、準備し、工夫して上手くいくようデザインし、実施したことを「ものづくり」であると感じていた生徒がいたとも考えられ、これは、米国 NGSS のエンジニアリング・デザインにおける「生徒が解決可能な形で問題を提起し、いくつかの可能な解決策を考案し、その中から最善の解決策を評価する場面を伴う、問題解決型のものづくりである」(木内・藤田, 2021) という考え方に沿ったものと考えられた。また川上・西村(2023)は、STEM 教育におけるエンジニアリングについてデザインプロセスの視点が大切であることを示している。デザインプロセスは、「物理的なオブジェクトの作成のみを指すというよりも、問題設定や見直し、アイデアの創出、システム思考、設計と創造、検証と振り返り、再設計、コミュニケーションなどを通して最適案デザインを目指す一連の活動」であると述べている。本実践における「生徒の実験・観察の考案と実施」はデザインプロセスの視点から、エンジニアリング・デザインにおけるものづくりと同等のプロセスを経ていると考えられる。さらに実験の授業内においても生徒達から様々な疑問が出され、その解決に向けた発展的実験学習が行われたため、実験参加生徒においてもデザインプロセスに該当する学習が見られたと考えられた。従って、アンケートにおけるものづくりへの好意(1)や有用感(2)～(5)は、「生徒の実験・観察の考案と実施」に対する回答を含んでいる可能性があるが、「ものづくり」と同一視して回答されたものであったと推察される。併せて、ものづくりの考案の有無によるものづくりへの好意(1)や有用感(2)～(5)の比較(表 5)において、ものづくりが行われた班で好意や有用感が有意に上昇しものづくりが行われなかった班では上昇しないという結果が示されなかったことについても、同様の推察が理由の1つとして考えられる。

生徒が主体的に見出した課題・疑問の解決のために生徒自身が実験・観察を考案し実施する授業を行った本実践において、以下のことがわかった。

・生徒のものづくり学習への好意と有用感が増加したが、「主体的に実験・観察を考案し実施する授業」に対する好意や有用感を含んでいる可能性がある。「ものづくり学習」と「主体的に実験・観察を考案し実施する授業」はともにエンジニアリングにおけるデザインプロセスの学習要素を含んでいるため、生徒の認識において同等のものであると考えていたと推察された。

・ものづくり学習の効果について、「適切な素材を選べる」「粘り強く取り組める」「自分なりの工夫ができる」

「美的センスを養うことができる」「問題を解決する力を養える」は変化しなかった。

・生物基礎よりも物理基礎の方が、ものづくりの実験・観察が多く行われた。また生徒達は生物基礎の実験・観察の考案の方が難しいと感じていた。

・生徒が書いた実験・観察デザインシートからは生徒達の試行錯誤や創意工夫が見られた。ものづくりの実験・観察においては全てで(14/14回)、それ以外では約56%(9/16回)で見られた。

したがって、生徒が主体的に疑問・課題を見出しその解決のための実験・観察を考える授業は、生徒のものづくりに対する好意や有用感を肯定的にし、創意工夫や試行錯誤を伴う実験・観察の誘起に有効であると考えられた。

5. 今後の課題

本実践研究においては、理科の授業デザインの視点からものづくりに対する生徒達の意識変化に焦点を当てて分析したが、生徒が「ものづくり学習」と「主体的に実験・観察を考案する授業」の明確な区別ができなかったためアンケートの回答が両者を含んだものになっていた可能性がある。エンジニアリング・デザインの視点から両者は同等の学習活動であったと推察されるが、今後は明確に区別して「ものづくり学習」に焦点化した実践研究を行いたい。また本実践ではエンジニアリング・デザインにおける生徒主体の実験・観察考案や試行錯誤・創意工夫の詳細についての調査や理科授業における「ものづくり」の効果について調査が不十分であった。今後の課題としたい。

謝辞

本研究の遂行にあたり多くのご教示を賜りました静岡大学名誉教授・特任教授 熊野善介博士、および日本学術振興会・特別研究員 RPD の小坂那緒子博士に厚く感謝、御礼申し上げます。また本実践に際してご協力下さいました先生方に感謝申し上げます。

参考文献

- 濱保和治 (2012) 科学的な思考力・表現力を育む授業の創造Ⅳ－(2)中学校理科における「ものづくり」指導の工夫と効果, 日本理科教育学会全国大会要項, 11M-102, 248.
- 堀田のぞみ (2011) 科学技術政策と理科教育－初等中等段階からの科学技術人材育成に関する欧米の取組み－, 調査報告書「科学技術政策の国際的な動向」, 121-134.
- 川上貴・西村圭一 (2023) データモデリングとデザインプロセスを組み合わせた STEM/STEAM 教育: 教員養成の取り組み, 日本科学教育学会第 47 回年会論文集, 153-156.

- 木内祐佑・藤田剛志 (2021) エンジニアリング・デザインに基づくものづくり活動に関する実践的研究ー中学校2年理科「電流とその利用」を通してー, 理科教育研究, Vol. 61, No. 3, 417-427.
- 熊野善介 (2013) 科学技術ガバナンスとSTEM教育ー日本におけるガバナンス論とアメリカにおける新たな科学教育改革からの観点ー, 科学技術ガバナンス形成のための科学教育論の構築に関する基礎的研究 (基盤研究B 研究課題番号 23300283)
- 熊野善介 (2018) NGSS が推進するSTEM教育改革と科学的探究論, 日本及びアメリカにおける次世代型STEM教育の構築に関する理論的実践的研究 (基盤研究B 課題研究番号 16H03058), 11-15.
- 紅林秀治 (2020) 工学設計(エンジニアリング・デザイン)に基づくSTEM教育, 日本科学教育学会第44回年会論文集, 227-228.
- 三崎隆・森下智之 (2005) 生物的領域における観察・実験結果を生かしたものづくりに関する事例研究, 日本教科教育学会誌, 第28巻, 第3号, 17-26.
- 文部科学省 (2018) 中学校学習指導要領(平成29年告示)解説 理科編
- 文部科学省 (2019) 高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説 理科編 理数編
- 村山功 (2020) 教育目標・内容, 指導方法, 学習評価の一体化に向けて: 新学習指導要領における「主体性」を中心に, 静岡大学教育実践総合センター紀要, 30, 194-201.
- 奥村仁一 (2022) 理科に対する興味・関心の低い生徒を主体的な学びへと導く授業デザインの実践的研究ー高等学校商業科「科学と人間生活」でのアクション・リサーチからー, 静岡大学教育研究 18, 11-22.
- 斉藤智樹 (2018) Eはいかに強調されたかー米国STEM教育改革におけるE(エンジニアリング)の扱いについてー, 日本及びアメリカにおける次世代型STEM教育の構築に関する理論的実践的研究 (基盤研究B 課題研究番号 16H03058), 45-68.
- 庄山茂子, 鈴木明子, 神山貴弥, 三根和浪, 竹野英敏, 佐々有生, 若元澄男 (2012) 我が国の義務教育における「ものづくり教育」に対する学習者の意識(第二報), 日本教科教育学会誌, 第34巻, 第4号, 69-78.
- 鈴木誠 (2014), 理科の学習場面で児童生徒の意欲をいかに引き出すか, 理科の教育, Vol. 63, No. 749, 9-13.
- 柚木翔一郎・片平克弘 (2016) ティンカリングの観点を取り入れた生徒主体の「ものづくり」に関する研究, 日本科学教育研究会研究報告, Vol. 30, No. 6, 51-54.