

教員養成課程学生のための科学教育における 「ものづくりの過程」の導入

西村浩隆¹⁾ 加藤徹也^{2)*}

¹⁾千葉大学大学院・教育学研究科・修士課程 ²⁾千葉大学・教育学部

Introduction of “Engineering Design Processes” in Science Education for Pre-service Teachers

NISHIMURA Hirotaka¹⁾ KATO Tetsuya^{2)*}

¹⁾Graduate School of Education, Chiba University, Japan: Master Course Student

²⁾Faculty of Education, Chiba University, Japan

アメリカではSTEM教育(科学・技術・工学・数学の内容統合教育)という考えのもとに、2013年にNext Generation Science Standards (NGSS)が策定され、その中に「ものづくりの過程」が明確に位置付けられている。これは、ブレインストーミングや試行錯誤を経て作製したものを紹介するまでのプロセスを表したものである。しかし、日本の理科の場合、ものづくりは学習指導要領や教科書の内容に取り扱われているが、ものづくりの過程の明示的な記述はない。普通教育としては中学校という特定の学齢のみでの技術教育が行われ、その内容が理科のものづくりに反映されていない。そこで、理科教員を目指す学生が履修する授業の中でのものづくりの過程の解説を取り入れ、学生自身がものづくりを行い、その意義について考える機会を設定した2つの実践(紙飛行機の作製、交流発電機の作製)を行った。

In the United States, integrated education of Science, Technology, Engineering and Mathematics, i.e., so-called STEM subjects, is recently quite active. From 2013, the Next Generation Science Standards became effective where the “engineering design processes”, a guideline of manufacturing with brainstorming and try-and-errors until communication of the product, has been clearly described. On the other hand, in Science in Japan, learning through *Monodukuri* (making learning things by hands) is required in the course of study and textbooks, but nothing on the engineering design processes is introduced. Additionally, the technology education is done only in junior high schools. Then, we performed two kinds of practices (making a paper airplane and constructing an AC generator) for pre-service science teachers in order to give them an occasion for consideration of the importance of the engineering design processes in science education through *Monodukuri*.

キーワード：ものづくりの過程 (engineering design processes) 科学教育 (science education)
教員養成 (pre-service teacher training) 紙飛行機 (paper airplane)
交流発電機 (AC generator)

1. 序 論

ものづくりという学習活動が理科の中にある。たとえば、小学校理科で電池と直流モーターを学べばそれに引き続き「モーターカー」を作ってみようという活動などが推奨され、行われている。ものづくりが学習として位置付けられているか否かに関わらず、実際に自分の手を動かして作ったもので遊んだり、その動きを見たり、制御したりするのは素直に楽しいものである。その活動に意図された目的・目標が整備されれば、ものづくりも学習活動として確立することができる。また、単純化された原理・法則と現実的な実例や応用との橋渡しができるなら、知的な楽しさが広がってくることを実感できるだ

ろう。ものづくりを進めるときにはその中核となる仕組みが生かされる状況を想像しながら、個性豊かなものをつくっていく楽しさがある。このようにものづくりには観察・実験とは別の魅力がある。

そもそも理科におけるものづくりはいつからあるのだろうか。日本の学校教育における内容を規定する学習指導要領を参照し歴史をひも解いてみよう。戦後すぐ、昭和22年度の学習指導要領理科編(試案)では「工作」、「製作」、「作る」などと表現され、観察や実験などの活動のひとつとされていた^[1]。その後、平成10年度版に「ものづくり」という言葉が初めて登場した。さらに、平成20年度版では各学年の目標、内容の取扱いにおいて、それぞれ「ものづくり」という用語が明記された。このように理科におけるものづくりは名称は違うが以前から行われ、その歴史は長く、近年ではその範囲も広がってきている。

しかし、理科の中でのものづくりはその魅力を十分生かした活動として取り上げられているとはいえないのが現

*連絡先著者：加藤徹也 tkato@faculty.chiba-u.jp

*Corresponding Author :

KATO Tetsuya tkato@faculty.chiba-u.jp

状であろう。例えば発電機の仕組みを学べば、「電源が欲しい」という要求に対して実際に発電機をつくることで応えることができそうだと思います。しかし、学習内容には発電機の原理しか示されていない。さて、いかにしてつくるか。何ができるものを作るか。どの点を重視し、それを実現するための具体的方策をどうするか。第一案として考えたものは実現可能だろうか。問題点はどこにあり、現実的な解決策には何があるか。形なきものの形が見えてきたら、それに合わせて元々の考えとは変わることもありそうだ。このようなものづくりの自由度は、魅力であるとともに活動の困難さでもある。そのような設計、製作などの一連の流れを含む活動のプロセスは、「ものづくりの過程」と呼ばれる一種の問題解決の流れとして、工学分野では確立されている。一方、理科の中のものづくりではこれらの困難さは避けられ、紆余曲折のない製作作業とされていることが少なくないのではないかと。自由研究としては独創性が重視されるものの、教員が指導する理科の中では、単に「やることに意義がある」という扱いを受けていないだろうか。

このようなことを考えると、歴史の長さの割には理科の中でものづくりは体系化が進んでいないことに気づかされる。ものづくりの魅力を生かすには、エンジニアが問題を解決するためのものであり、設計（工学設計という）やその手法である「ものづくりの過程」を取り入れた学習活動が必要となるはずだ。しかしながら現状は理科教育におけるものづくりの取り組みについて、学習指導要領やその解説を見渡す限り、明らかな形でそのような取り組みを行うことが求められているとはいえない。

したがって、ものづくりの過程を取り入れた科学教育活動にどのような有用性があるのかを明らかにすることが必要であろう。そして、学校における教育実践の中で現実的に時間が取れないという状況があるとしても、現場の実態に左右されることが少ない教員養成課程学生を対象とすることで、この活動の持つべき本来の意義を見出すことができるのではないかと。

このような状況の下で、本研究ではものづくりの過程についての理論的背景を確認しながら、それに基づいて教員養成課程の理科を専攻する学生に対して行った実践を報告する。第2章では研究の背景として諸外国の科学教育動向、特にアメリカの科学教育動向を踏まえ、ものづくりの過程の概念の説明を行う。また問題設定の経緯や意義についてもここで示す。第3章・第4章ではものづくりの過程を取り入れた2つの実践（紙飛行機の作製、交流発電機の作製）についての報告と考察を述べる。第5章においてこれらの総括をしながら、今後の実践の可能性について論じる。ここでは理科教育においてもものづくりをどのように扱うべきか、既存の教科としての理科よりも広い内容を統合的に扱う教育が抱える問題・課題についても言及する。

2. 科学教育におけるものづくり

2-1 科学教育の現状とその広がり

日本における科学教育はおもに教科「理科」を通して

行われ、その目的・内容・方法などについての研究や実践は理科教育として、教科の枠組みの下で定着している。しかし、時代の変遷による近年の科学技術の進展に伴い、純粋自然科学の内容を取捨選択するだけでは不十分な事態が生じ、社会とのつながりに目を向けた教育が重視されるようになった。地域あるいは地球規模の社会や環境との関係性に注目する教育へと視野が広がる中で、STS教育（Science, Technology and Society）やESD（Education for Sustainable Development, 持続可能な開発のための教育）などの、新たな教育概念が生まれ、理科教育にもこれらを取り込むようになってきた。こうした流れと同時に、生活の中の新たな技術が次々に入ってくる社会状況下では当然ながら、理科でも新しい技術との関わりが入り込んでいる。さらにこれに類似した事態が理科と数学のはざまにおいても起こっている。例えば数学の学習指導要領解説の中には、関数の指導において、具体的な事象を取り上げるよう求められており、「斜面をころがる物の運動」や、「車の制動距離」が例示されている。これらのような日常生活に関連した事例の扱いは、既存の教科の枠を超えながらそれぞれの教科内容での「実感を伴った理解」を促すのに適当である。

さらにもものづくりの最中には問題点を共有した子どもたちが分からないところを相談し合う活動が自然に生まれる。このような学び合いのための話し合い活動は近年学校教育の役割として必要とされてきているキャリア教育における「基礎的・汎用的能力」の一つである「人間関係形成能力」の育成につながると考えられる^[2]。また理科のものづくりを通して技術を知ること、職業についてのビジョンを捉え、学ぶ意義を実感することにつながると考えられる。例えば、本研究で取り上げる交流発電機の基本原理は発電所で使われているものと同じである。理想化された世界ではなく、現実世界で考えの及ぶところに学習内容の原理が応用されていることを認識すれば、子どもたちが将来の職業観（職業の見方）を形成するための基盤となるだろう。

2-2 諸外国の動向

近年の諸外国における科学教育の動向を見てみても、科学の内容だけにはとどまらない統合的な視点が生まれてきていることがわかる。

例えば戦後の日本の教育制度の見本となったアメリカの動向に目を向けてみよう。全米科学アカデミー（National Academy of Science, NAS）から2006年に出された591ページにも及ぶ報告書“Rising Above The Gathering Storm”では一般社会に向けてSTEM教育（Education of Science, Technology, Engineering and Math, 科学・技術・工学・数学教育）の重要性を訴え、国家戦略としての科学・技術教育の振興を推進しようとしていることがうかがえる^[3]。さらに最近ではArtsアーツ（fine arts美術に限定せず、liberal artsなどを含んだ意味として用いられている。）を加え、STEAM（TEAMS, STEMA）へと統合する領域の拡大が生じている。

またこのような科学教育の考え方の転換はドイツ連邦教育研究省（Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF）が進めるMINT教育（Mathematik

数学, Informatik情報科学, Naturwissenschaften自然科学, Technik技術の頭文字)にも見られ, スイスにもこの考えが登場しており, 科学教育が担うべき範囲は拡大していると言える^[4]。

2-3 アメリカ教科書における「ものづくりの過程」

諸外国の中でもアメリカに注目してみれば, 新たに策定された科学教育スタンダード“Next Generation Science Standard (NGSS)”では“Engineering Design”(以下, 工学設計)が内容として取り上げられ, 工学設計には「明らかにする・解決策を創る・最適化する」の3つの構成要素がある(図1)と説明されている^{[3][5]}。

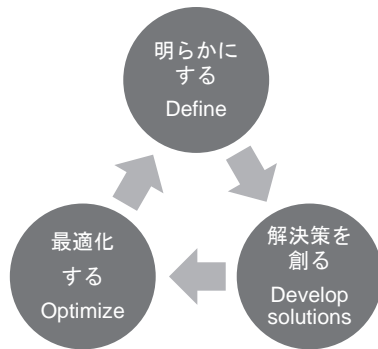


図1 工学設計の3つの構成要素^[3]

NGSSに基づいた小・中学校理科教科書SCIENCE FUSIONにおいては工学設計の考え方・意義・適用例などを扱い, 工学設計をより具体的に取り上げる中でその流れを総括し, Engineering Design Processes(工学設計の過程, ものづくりの過程)として丁寧にわかりやすく導入されている^[6]。また各学年段階に応じた工学設計の扱い方にも違いがあり, 小学校段階においては「問題発見→計画・作製→試験・改善→再設計→伝達」の5段階, 中学校段階においては図2に示すような8段階で説明している。これはSCIENCE FUSIONの中学校教科書の1冊であるIntroduction to Science and Technologyを元に訳出・作成した。

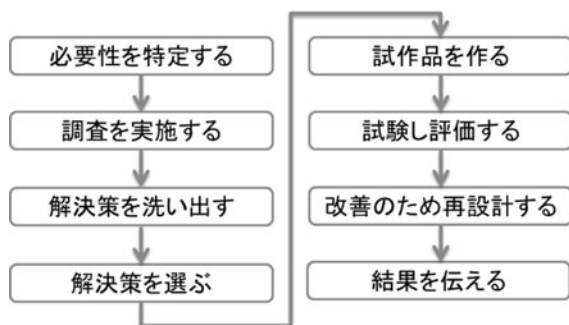


図2 工学設計の過程 (中学校段階)

2-4 日本の工学設計の内容の取扱い

アメリカのNGSSや理科教科書の記述ではものづくりに直結する内容である工学設計について扱っている。しかし一方で日本の理科の内容には工学設計の扱いはなく, 関連教科である生活科・技術科においてさえも部分的にしかないという現状がある。

小学校の生活科教育において『『比べる』『繰り返す』『試す』などの活動』や「試行錯誤や繰り返す活動」が行われているが, この教科は第1・2学年においてのみ設置されているものであり, 多様な発達段階にわたる全学年で実施されているものとは言いにくい。また, 図画工作科教育は美術教育に傾いているという現状をもって, のこぎりなどの道具については扱うものの工学設計の扱いはない。

「ものづくりの過程」はものづくりを行い, 技術を産み出すための工学の方法であるという捉え方をすれば, これは技術の内容であり, 中学校技術科では部分的ながら扱われている。しかし中学校の技術科教育における工学設計の取扱いに関する規定はなく各教科書の扱いはバラバラである^{[7][8][9]}。それぞれの教科書の設計の流れや製作の流れを比較したものを表1に示す。各教科書における設計の取扱いの特徴として, 東京書籍においてはA材料と加工に関する技術(木材加工, 金属加工, 製図), Bエネルギー変換に関する技術(電気, 機械), D情報に関する技術のそれぞれの内容(これは理科でいうところの第1分野, 第2分野のような最も大きな内容区分に相当するものである。)において対応関係を示すような扱いが多いこと, 教育出版ではAの内容のところに1度の扱いであること, 開隆堂においてはAの内容のときに各段階において複数回取り上げ, さらにB, Dの各内容における実習例のところで取り上げているが, 段階数が内容によって異なることがあげられる。また各社教科書の設計の流れは東京書籍が4段階, 教育出版が9段階, 開隆堂が4段階・5段階であり, まちまちである。

さらにそれらの記述内容に注目してみると, 技術科教育における「ものづくりの過程」の扱いにはある共通点や相違点がある。アメリカ理科教科書との共通点・類似点として設計の流れの全体像は近いが, 相違点として, 東京書籍においては構想のまとめの項目で修正を扱っているものの, 全体の設計の流れのなかで条件判断や繰り返し(できなかったらもとに戻す, 試行錯誤など)が少なく, 一直線のルートになっていることがあげられる。アメリカ教科書においては図2に出てくるような一直線のものはまとめのところに出てくるという扱いで, 本文中ではたくさんの条件判断を伴った図が見開きで大きく描かれている(付録参照)。条件判断や繰り返しがなくては実際の設計の流れにおける試行錯誤を含むものとは異なってしまっている。また生活科と同様に技術科は中学校でしか設置されていないという問題もある。

一方, 理科には「ものづくりの過程」と関連する学習活動の流れとして, 一般に観察・実験が扱われ, 科学教育の中で問題解決を担うものとしている。内容を伝えるための学習活動とはいえ, それは実際の科学研究の手法(科学の方法)が基本となっており, 現象を構成する要素の間の因果関係に関する規則性をどう論証するか, ということを考えながら仮説を立て, データを取得する, という流れがある。これは「観察・実験の過程」(一般には「探究の過程」と呼ばれることが多い)と呼ばれる^[10]。「ものづくりの過程」を「観察・実験の過程」に対応させると, 解決策は仮説に, もの(製作物)は規則性に, 設計の作業は観察・実験の計画の立案に, 製作の

表1 技術・家庭科（技術分野）教科書の「工学的な設計の過程」に類する内容の比較

教科書名	新しい技術・家庭 技術分野	技術・家庭 技術分野	技術・家庭 [技術分野]	
教科書会社	東京書籍	教育図書	開隆堂	
設計の流れ 製作の流れ 取扱いページ	pp. 46-49 pp. 128-129 pp. 202-203	pp. 50-51	pp. 24-25 pp. 118-119 p. 207	
設計の流れ 製作の流れ 取扱い単位	A材料と加工に関する技術 Bエネルギー変換に関する技術 D情報に関する技術	A材料と加工に関する技術	A材料と加工に関する技術 Bエネルギー変換に関する技術 D情報に関する技術	
設計の流れの 段階数	4段階	9段階	4段階 (A)	5段階 (D)
設計の流れ	製作品の構想 (準備→発想→評価) ↓ 構想の具体化 ↓ 構想のまとめ(修正) ↓ 製作に必要な図の作成	①問題を発見する ②必要な機能を検討する ③アイデアを考える ④アイデアシートをつくる ⑤構想図をかく ⑥模型のための図をかく ⑦模型をつくる ⑧問題点を見つける ⑨組み立て図をかく	1. 製作品の決定 2. 構想する 3. 図に表す 4. 設計をまとめる	①構想を立てる ②素材を集め加工する ③作品を制作する ④見直しをする ⑤発表する
製作の流れの 段階数	5段階		5段階 (A)	
製作の流れ (製作工程)	けがき 切断 部品加工 組み立て 仕上げ		1. 製作の準備 2. 材料取り 3. 部品加工 4. 組立て 5. 仕上げ	

作業はデータ取得の作業に、それぞれ置き換えたものに近い(図3にこれらの対比を示す)。この2つの過程には明らかに共通点があり、いずれも問題解決へと向かう流れがあり、実際には完了までに修正しながら反復するというものだ。初等・中等の理科教育では問題解決学習を主体としている。これからの科学教育の方向性として、これら2つの過程を関連させ、共通性を見出し、統合しながら扱うことも考えられるだろう。こうすることであらゆる問題に対処する力「問題解決能力」を身に付けていくことができる。これに関連して文部科学省初等中等教育局教育課程課教科調査官の村山哲哉は「今後、小学校理科においては、ものづくりなどをより有効に導入することにより、科学、とりわけ、科学技術への関心を高め、具体物にかかわりながら操作的に問題解決を進めていく、言わば、『工学的な問題解決』の開発と研究が求められるであろう」と述べている^[11]。アメリカの扱いを考えれば、同じことが中学校・高等学校理科でも言えるはずである。そして、これを担うのがまさに「理科におけるものづくり」だと考えることができる。そして理科におけるものづくりの大きなウエイトを占めるのが物理分野であり、物理教育がこれを牽引していく必要がある。

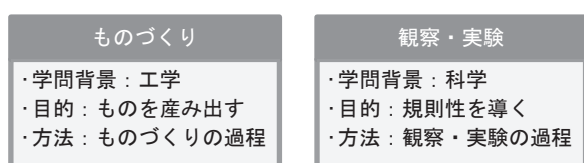


図3 問題解決の過程(探究の過程)の関係

3. 実践報告1:「紙飛行機の製作」

千葉大学教育学部の小学校教員養成課程理科選修、中学校教員養成課程理科教育分野および同情報教育分野の理科を基礎免許とする者の1年次必修授業には導入教育を行う「新入生セミナー(理科)」がある。2015年5月下旬にこの授業の履修生である理科新入生(37名)を対象として「ものづくりの過程を取り入れたものづくり(理科におけるものづくり、紙飛行機の製作)」という題材を用い、理科の教育課程におけるものづくりの扱いについて確認し、紙飛行機作りを通してものづくりの過程を理解することを目標とした実践を90分間で行った。

3-1 題材の選定

「紙飛行機」は数あるものづくりの例の中でもたくさんの製作のバリエーションがあり、よりよい飛行という明確な方向性をもった調整という試行錯誤を含み、短時間で作製することのできる題材である。学校教育の理科の中で扱われるものづくり教材には完成形が単一で手順が一通りしかなく「これを作る」という決まりきった定式がある題材が多いが、この「紙飛行機」は自由度が高いのが特徴である。そして全体をひとつの必要性に向かわせるため、課題を「ケント紙でまっすぐ飛ぶ紙飛行機を作る」ということにした。きちんとまっすぐ飛ばすためには翼や重心の位置を調整するなど試行錯誤の場面がたくさん登場する。それゆえ「ものづくりの過程」について実感を持って理解を深めるには適当な題材である。場所に余裕があれば距離・滞空時間を長くすることを競う課題を実施することも考えられる。

また本実践では行わなかったが、航空機の歴史で有名

なオットー・リリエントール (Otto Lilienthal) やライト兄弟 (The Wright Brothers), 二宮忠八, 浮田幸吉らの努力の例を紹介しながら, 科学史上の史実を組み込みながら取り扱うことができるのもこの題材の魅力であろう。実際にリリエントールやライト兄弟の例を紹介しながら紙飛行機の製作をする書籍もある^[12]。

3-2 目 標

目標は以下に挙げる3点とした。

- 理科教育・科学教育におけるものづくりの位置づけについての理解を深める。
- 紙飛行機の製作という実際のものづくりの題材を通して, ものづくりの過程について実感を伴って理解する。
- 理科の学校教員を目指すという視点で, ものづくりの過程が活かせる点を考え, 自分の考えをまとめることができる。

3-3 実践の展開

実践の展開 (90分) の流れを表2に, 必要な材料・道具を表3に示す。

紙飛行機の完成例としては完成見本の外観の写真にその特徴を付したものを5つ示した。図4は本体長さ約21 cm, 主翼幅約28 cmの一例である (写真は本来講義資料に示したものを50%縮小している)。アンドリュー・デュアー考案のもの一機を含めた^[13]。またそれぞれの

表2 「紙飛行機の製作」の実践の展開の流れ

5分	導入 (学校教育におけるものづくりの経験の振り返り, 理科におけるものづくりの目的・歴史等の説明)
5分	課題提示・把握 (課題・必要なもの・レギュレーションの説明, 作品の見本の提示)
5分	情報収集 (飛行機の翼の角度・重心の位置の調整方法の説明)
45分	工作・作業 (紙飛行機の製作: 設計, 製作, 試験・評価, 修正・改善)
15分	情報整理 (工夫した点などの発表)
10分	まとめ (紙飛行機の製作に照らしながらのものづくりの過程の説明)
5分	アンケート等

表3 「紙飛行機の製作」に必要な材料・道具

材料: ケント紙B5 (厚さ0.2 mm) × 2枚, 接着剤 (コニシ 木工用ボンド 速乾), 爪楊枝 (細部接着用), クリップ (おもり・仮止め用)
道具: はさみ, 定規 (15 cm程度)

特徴

- 本体は三角柱
- 大きな主翼・尾翼
- 機首内側に丸めた紙

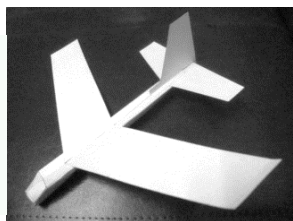


図4 紙飛行機の特徴と完成見本との一例

実物も提示したが, 平面の展開図は省いた。

3-4 学生の感想とその分析

実践事後に目標が達成されたかを測るために, (1)~(3)の3つの質問項目によるアンケート調査を行った。

(1) 理科におけるものづくりの経験と認知

●**学校教育の理科で経験したものづくり**: 実践中ではおよそ1分の時間を設け, 自由記述で今までの学校教育の理科におけるものづくりの経験の振り返りを行った (複数回答可)。その結果を回答者 (37名) に対する割合とともに表4に整理した。最も多かったのは小学校4年生から6年生まで継続的に扱われることの多いモーターカーであった。

●**理科におけるものづくりの認知度**: 「理科の中でもものづくりという活動があることを知っていたか」という設問に対し, 回答は「はい」20名 (57%), 「いいえ」15名 (43%) であった。このことから, そもそも理科におけるものづくりという学習活動への知名度・認知度は低く, あまり把握されているとはいえない。自分自身が児童・生徒だったときに実施した記憶があるはずだが, おそらく当時は教員に言われるがままただ漠然と作業を行っていたのだろう。ものづくりという学習活動への認知度が低かったのならば, 原理の理解という目的の達成にはつながらなかったのではないかと考えられる。

また「理科の中でもものづくりの活動が実験, 観察などの活動と同様に扱われていることを知っていたか」という位置付けを問う設問に対し, 回答は「はい」3名 (9%), 「いいえ」32名 (91%) であった。ものづくりの位置付けの認知度が低いというこの結果にはもちろん対象の学生が1年次前期であることも影響している。今後彼・彼女らはこのような実践を通して理科におけるものづくりの目的や位置付けについて理解することが重要であろう。

一方これを「はい」と回答した学生に対して問うた「理科におけるものづくりの位置付けをどこでどのように知ったか」の設問では「入試のとき学習指導要領を読んだ」という高い意識のうかがえるものがあつた。

表4 学校教育の理科で経験したものづくり

名 称	回答人数	割合 (%)
モーターカー	23	62
ソーラーカー	18	49
ペットボトルロケット	6	16
サッカーロボ	4	11
ストロー笛, 空気砲, 水鉄砲, 電池で動くロボット, 豆電球の回路	3	8
磁石のこま, 竹とんぼ	2	5
カイロ, ガラス玉, カルメ焼き, キツツキ, ふりこ, ボールのカチカチ, マドラー, やじろべえ, 化学物質による電池, 空気でっぼう, 三食焼きそば, 紙とんぼ, 磁石のおもちゃ, 炭酸ロケット	1	3

また「中学のときやった」、「先生から聞いた」など経験的に知っていたという回答もあった。

(2) 紙飛行機の製作上の問題点

以下に示す質問項目は今回の「紙飛行機の製作」の実態を把握するために設置したものである。

「紙飛行機は完成したか」に対し、「はい」29名(85%)、「いいえ」5名(15%)であったが、「紙飛行機はきちんと飛んだか」には「はい」8名(24%)、「いいえ」24名(71%)であった。このことから大部分の学生は実践時間内(45分)で完成させたが、まっすぐきちんと飛ばすことには行き着かなかつたと考えられる。

まっすぐきちんと飛ばすまで行き着かなかつた原因を、予想される選択肢を設けて問うた。きちんと飛ばなかった者に占める割合として多かったものから順に「時間が不足しているから」14名(54%)、「翼の調整がうまくいかなかったから」10名(38%)、「設計段階で安定性が確保できなかったから」・「重心の位置の調整がうまくいかなかったから」がともに9名(35%)、「設計段階で見た目を優先しすぎたから」3名(12%)、「物理を勉強していないから」2名(8%)、「飛ばし方が悪いから」1名(4%)で、「その他：時間のわりに構造がこみ入ったものをつくりすぎた」という記載もあった。このことから時間の不足が最大の原因であったことがわかった。また実践内容の準備段階から懸念されていた翼の安定性・重心位置の調整はやはり難しかったことが再確認された。飛ばし方については配布したプリント上に「重心を持って飛ばす」旨を書いたほか、調整段階の机間指導で声掛けしたため、予想よりは問題は生じなかった。また、机間指導時に機体自体の重さが足りないと考えられる飛行機も見受けられ、適切な重さにするよう指摘した。デザインにかかる時間を制限することも必要であろう。これらは学校現場、特に小学校では配慮すべき点である。

これらのアンケート調査結果から設計・製作に当てる時間を増やすことが望ましいのではないかと考えられる。今回、設計・製作に30分、試験・評価・改善に15分、合計45分を工作・作業時間としたが、実際は時間が足りなかったため、接着剤の乾燥を待ちながら工夫した点の共有を行い、その後で試験飛行をさせた。

この実践の数日後、学生(1名欠席)が集まる機会を利用して時間不足の現状を改善するために、作業時間に関する調査を行った(表5)。方法は当日の工作・作業時間が45分であることとその内訳の設定を振り返った上で、口頭で「あと何分あったらよかったか」と質問する

表5 作業時間に関する後日調査の結果

選択肢	合計時間	回答人数	割合(%)
十分だった	45分	0	0
あと5分	50分	2	6
あと10分	55分	14	39
あと15分	60分	17	47
あと25分	70分	1	3
あと30分	75分	2	6

ものであった。結果として、回答者36名に対して「あと15分欲しかった」という者が一番多かった。

(3) ものづくりの過程の説明に対する応答

紙飛行機の製作の活動を踏まえ、それと対照させながらものづくりの過程を示した。以下の質問項目はこの説明の理解度を調査し、2番目の実践目標の達成度を調べるために設置したものである。

「『ものづくりの過程』を理解できたか」という設問に対し、「はい」と回答した者の割合は100%で、この目標は達成された。また紙飛行機が完成しなかった者も理解できたと回答した点から、概念の理解はものづくりの題材の例として取り上げた製作物が完成したかしないかには依存しないことがわかる。

「『ものづくりの過程』を知っているか」という設問に対し、「はい」と回答した者は9名(26%)にとどまった。またそれを知った経緯について問うたが、経験的に知っていたとみられる主旨の記述は期待していたより少なく、6名(16%)であった。ものづくりの過程を知っていても活かしたことのある者はいなかった。

ものづくりの過程を知ってよかったことは何かを自由記述で問うたところ、直接的にものづくりに活かすことを考えたもの(「自分がものをつくる時のプロセスを組み立てやすくなりそう」、「過程を知ることにより、よりよいものが作れるようになる」、など)や、教育的な観点から考えたもの(「将来の授業の中で積極的にやっていきたい」、「創造力を育てるいみでとてもいい」、など)や、意義について考えることまでできているもの(「ものづくりの過程には実験とは違う意義がある」、など)もあった。したがって、3番目の目標「理科の学校教員を目指すという視点で、ものづくりの過程が活かせる点を考え、自分の考えをまとめることができる」も達成されたと考えられる。ほかに精神論(「何度失敗しても成功のプロセスだ」、「一つ一つ作り上げていくことが大切だ」、など)や、間接的な寄与(「学習にも応用できる」、「他の理科の授業や普段の生活でもいかせそう」、など)を挙げるものも多かった。

さらに「ものづくりの過程」が活かせる点(自由記述)には、「科学にまつわる簡単な工作」などものづくりそのものに活かす視点のものや「創造力とそれを実際に形にする力」、「発想力をきたえること」、「自分で考えて試してみたり、友達のアドバイスを自分で解釈し、生かす力を養うこと」などの意見のほか、「あきらめずにがんばること」、「何度もチャレンジすること」など挙げられた。

3-5 考 察

本実践では時間の都合から、各自が進めた設計を大きく変更することはできなかった。時間に余裕があれば、自分で見出した改善点や話し合いや発表などを踏まえて、再設計させるという実践やレポート課題も考えられる。

実践ではケント紙B5サイズ2枚を用いたが、余らせる学生が多かったためA4サイズ1枚という規定にしてもよいであろう。また教員になるという意識の高い学生が「雑に作る子どもにどのように声掛けをすればよいか」との質問があり、よいところをほめつつ、柔らかな指摘を行うことがよいのではないかと回答をした。

4. 実践報告2：「手作り交流発電機の製作」

千葉大学教育学部小学校教員養成課程理科選修の2年次必修授業には物理（エネルギー）・化学（粒子）分野を扱う「物質とエネルギー」がある。2015年7月下旬にこの授業の履修生（28名）を対象として「物理とものづくり（理科におけるものづくり，手作り交流発電機の作製）」という題材で，小学校理科の教育課程におけるものづくりの扱いについて確認しながら，交流発電機作りを通してその製作方法，機能・構造上の改善点やものづくりの意義について考察させるという実践を行った。

4-1 題材の選定

今回は数あるものづくりの例の中でも発電機の製作を行うことにした。エネルギー変換が理科の内容としても取り込まれてきており，力学的エネルギーから電気エネルギーへと変換を行う発電機の理解は重要である。しかし，予め調査したところ，逆デバイスであるモーターの手作り版は数多くの実践や資料があるが，発電機にはあまり実践がなかった。この要因として，人が与える力学的エネルギーを受けるためにはある程度丈夫な軸受けが必要であり，その機能を満たす構造には力学的な問題が大きいこと，また明かりをつけるなどエネルギー変換の様子を目に見えるものにするにはある程度の発電量（回転速度）が必要であり，そのハードルを越えるのが厳しいことがあげられる。そこで軸受けの改良や必要な電圧を得るための設計過程はこちらで行い，短時間（30分）で作製できる交流発電機を先行研究を元に調べた^[4]。そして学生には事後課題として交流発電機の製作方法，機能・構造上の改善点を根拠をもって具体的に挙げることで「ものづくりの過程」を理解させることとし，同時に教員としてのものづくりの意義を考えてレポートさせることにした。

この実践は「紙飛行機」とは異なり自由度は低い。しかし，回転速度を上げるために回転子との摩擦を減らし速く回るように工夫をする，磁束変化を大きくするために磁石を変えるなど様々なアイデアをもとにした改善点が現れる教材であろう。また本実践では紹介しなかったが，ファラデーの電磁誘導の法則の発見などの例を紹介しながら，科学史的に取り扱うこともできることもこの題材の魅力であろう。

4-2 目標

目標は以下の2つとした。

- 理科教育・科学教育におけるものづくりの位置づけについての理解を深める。
- 手作り交流発電機の製作という実際のものづくりの題材を通して，改善点を根拠をもって挙げることができる。また，同時にものづくりの意義を考えることができる。

4-3 実践の展開

実践の展開（45分）の流れを表6に，必要な材料・道具を表7に示す。なお交流発電機は1式およそ100円程度である。手作り交流発電機の完成品の外観を図5に示す。全体は固定されたコイルであり，その中央（内側）

にある2枚のフェライト磁石から成る回転子（図6）を回すタイプのものである。

作製手順の概略を説明する。まず，本体（コイル）を作製する。塩ビ管の端にテープや輪ゴムを巻き，エナメル線を巻くための土手とする。エナメル線の端を30～50 mm程度外に出して残し，セロハンテープで塩ビ管に固定する。逆向きにならないよう注意しながらどちらか一方方向で400～500回程度巻きつけ，巻き終わりの端も30～50 mm程度残してセロハンテープで固定する。その後，回転子の作製を行う。図6では位置関係をわかりやすくするためにつまようじを挿した状態で描いてあるが，実際に挿入するのは本体装着時である。まず，フェライト磁石に両面テープを貼り付け，つまようじの太さの分のスペースを空けて竹串を貼り付ける（ここに回転子軸が入る）。もう一枚のフェライト磁石には逆の磁極の面に両面テープを貼り，両者が磁力で引き合うように貼り合わせて固定する。その向きを調整（回転軸用スペース

表6 「手作り交流発電機の製作」の実践の展開の流れ

5分	導入（理科におけるものづくり）
5分	課題提示・把握，情報収集（必要なもの等の説明）
30分	工作・作業（手作り交流発電機の作製）
5分	情報整理・まとめ（課題（交流発電機の機能・構造上の改善点をあげる，ものづくりの意義の確認）

表7 「手作り交流発電機の製作」に必要なもの

材料：エナメル線（ポリウレタン線，φ0.2，15 g＝約52 m），塩ビ管（内径25 mm，外径32 mm，長さ50 mm，中央にφ3の穴（上は貫通穴，下は非貫通穴）），発光ダイオード（OSDR3133A），フェライト磁石（直径20 mm，厚さ5 mm，600 gauss）×2，つまようじ（回転子軸用），竹串（スペーサー用，φ2，長さ15 mm）×2，両面テープ（幅20 mm），セロハンテープ，ビニルテープや輪ゴム
道具：はさみ，紙やすり

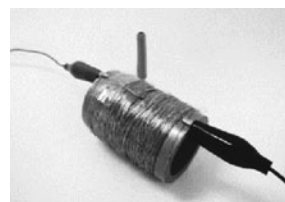


図5 手作り交流発電機の完成時の外観

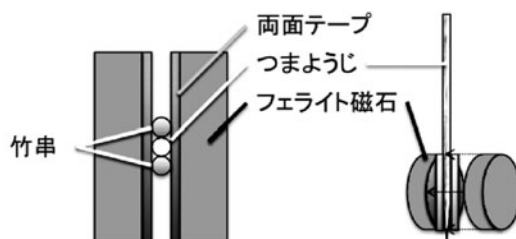


図6 回転子の作製（左：真上から，右：横）

がコイルの中央の穴の真下に来るよう)しながら本体に入れ、最後につまようじを差し入れる。エナメル線の端の被膜を紙やすりではがし、図7のようにLEDを接続し回路にする。回転子軸を指先2本でつまみ、素早く回転させればLEDを点灯させることが可能である。

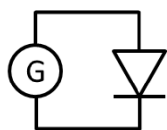


図7 手作り交流発電機を利用した点灯用LED回路

4-4 学生の感想とその分析

(1) ものづくりを通しての気付き

事後課題では発電機の製作時に気付いたこと・工夫したところ、発電機を製作した感想や機能・構造の上での改善点をあげさせた。その結果、事後課題を提出した学生全員(27名)が何らかの気付きを得た。

特筆すべき記述内容についていくつか述べる。最も多く指摘された点としてエナメル線の絡まりにより時間がかかったことがあげられており、これについては27名が指摘していた。

発電機の製作時に工夫したところではエナメル線の巻き方に関して「エナメル線を丁寧に巻いた。」という記述も見られたが、これに関しては机間指導の際にも伝えたが、微細な静電容量が発生することになるため、低周波でのインピーダンスが大きくなる原因となり、一概によい工夫であるとは言えない。

発電機を製作した感想として「発電機と聞くと日常生活から離れてしまい、正直なところ作れるものではないように製作前は思っていた。身のまわりのものを多く用いており、理科と日常生活のかかわりを示せていた点もよいと思った。」などという記述があり、教材の構造の簡単さが評価されていた。

実践におけるものづくりの方法に対して「2人1組になって発電機の製作作業を行う」という趣旨の回答が5名あった。この指摘のように1人がエナメル線をほぐし、もう1人が巻いていくという作業も考えられるだろう。

また探究活動に関する記述として「探究心を育てる教材として効果的」、「巻き方の工夫で(電圧の(筆者注))数値が異なることを実感させる」という記述が各1名ずつ見られ、「ものづくりの過程」を理解するための教材としてさらなる活用方法がありそうであることが示唆された。

(2) 教員がものづくりをする意義

ものづくりの意義については露木(2009)、山田(2009)らがすでに述べている^{[15][16]}。しかし、教員視点からもものづくりの意義について整理した例は少ない。そこで、さらに事後課題では教員がものづくりをする意義についても学生に考えさせることにした。その記述を元に整理し、まとめると大きく分けて以下の2つの意義に分けて、類似するものを並べながら挙げる。

●**授業の事前に教員の教材研究として行う意義**：予備実験を行う意義として、もの・教材の構造をより深く理解する、自身の理科的知識の定着が期待できる、自身の興味が高まる、子どもの立場に立って考えてつまずきそうなところや説明の言葉が難しいところを探すこ

とができ製作工程の見直しにつながる、教育課程の内容や子どもたちのレベルともものづくりの難易度を照合させその妥当性を考えることができる、授業を円滑に行えるためよりよいわかる授業・豊かな学びの場を形成できるなどがあげられる。

次に教材開発につながるという意義として、様々なものの学習における教材としての可能性に気付く、子どもによりよい教材を提供することができるようになることがあげられる。

また授業に臨む態度としての意義として、子どもにもものづくりをやらせるのに自分たちができなくてどうするのか、自分たちが楽しさを知らないと子どもたちにも楽しさを伝えることはできない、教員の気付きや感情が、児童・生徒にそのまま伝わる、今ある自分の知識や経験に甘んじることなく常に新たな発見を求める姿勢を持つことがあげられた。

●**授業の中で子どもたちのために行う意義**：子どもの興味を引き、学習意欲を掻き立てることができるという意義として、理科の仕組みを応用した例を可視化し子どもに示すことで実体験による実感を伴った理解ができる、子どもの能力が育成できることがあがった。

他の意義としてつくる楽しさや達成感を味わえることや教員も授業中に同条件でやることでペースメーカーになることがあがった。

4-5 考 察

以下では受講学生の観察の様子や学生とのやり取りを通して本実践の中で見出されたよい点・改善点を箇条書きにして、実践者の立場から述べる。

(1) ものづくりの位置付けの認知度

授業後の受講生との会話の中で、彼らも理科の教育内容としてもものづくりが取り上げられているという位置付けについては知らなかったことがわかった。この点からも位置付けを伝えるのは有効であったといえる。

(2) 土手づくりの方法

線を巻く範囲を規定するように土手を作るのがよいと指導した。ビニルテープを用意しそれを使うことを例示したが、テープの劣化に気付かずべたべたになった場合があった。輪ゴムの使用も例示したが、輪ゴムの巻きつけ方が緩く、外れた人もいた。始めから径の小さいゴムを使用することも解決策としては必要であり、土手づくりの戦略も成功のためには欠かせない要素である。

(3) エナメル線の取扱い・絡まり対策

エナメル線の扱いにくさの点から、残念ながら作業を途中で放棄した学生が多くあられ、時間内に完成させることはできなかった。線が絡まった学生の様子を観察したところ、線を巻く手元にばかり気をとられ、自然に輪を描いた形になった線の束(元の糸巻きから外したものを)をあまり気に留めていなかった。それゆえ線を引くときに束の輪が小さくなることに気付かず、輪をつぶしてしまったり、筆記体のエルℓのような形のこぶが引かかって毛糸玉状になったり、そこが弱点となって切れてしまったりした例が多かった。これらのことから指導上の反省点としては以下のことがあげられる。

●線の束の輪の直径を大きくしておくべき

- 線を芯に巻きつけておくべき（ただし手間となる）
- 指示の遅延（作業の机間指導中に「芯の替わりにペンに巻くあるいはペンをテープで机上に固定する」と指示したが、説明時に示すべき）
- 線の束を落ちないように工夫すべき（作業途中で線の束を落としてしまう学生もいたことから、落とさないように気を付けさせることや保持しやすくするための工夫が必要）

●他人の線と絡まらないよう隔離すべき
 ペットボトルを使った学生もいたが、飲み口の引っ張り引に引っかかり外れなくなったというケースもあった。一方、上手くいった学生は、ペン類のクリップ部に線をはさみこみ、形を保つように気を遣っていた。

授業後に4人の学生が発電機を完成させた。新しいエナメル線を使って再度挑戦したいという学生もいた。このとき芯付きの束を提供したところ、すぐに巻き終わった。準備の時間の都合上難しいが、芯は重要である。

(4) エナメル線の端の固定位置

ある学生は巻き始めの線をうずめてしまっていた。また巻き始めをどこに固定するのかと質問した学生がいた。作業のはじめに線の端の固定位置を決めたり、塩ビ管に穴をあけ線を通し固定したりしてもいいだろう。

(5) 見本の発電機の観察による動機付け

作製時間終了後に見本を提示し、回転時にLEDが点灯する様子や、オシロスコープ上に交流の波形が現れ、減衰していく様子を観察させた。これには反応がよく、「すごい！」などと声をあげる学生も多く、完成への意欲が湧いた学生もいた。このような見本は課題の解答ではないため、作業前には提示しなかったが、ある程度作業を進めてから見せることは効果的である。

(6) 回転軸の再検討

回転軸の設計は当初の竹串の先端を削ったものからつまようじに変更した。そのため、スパーサー用の竹串との太さの違いがあり、さらに下部は細くなるために回転子（磁石）を回転軸（つまようじ）に挟んで固定する両面テープとの接着面や竹串との摩擦が減り、抜けやすくなった。そのため必要な場合はボンドで固定して対処していた。また場合によってはつまようじが太すぎて回転子の磁石ではさめず、浮いてしまうということもあった。これらの不具合のための調整が不要という考えからは太さの同じ竹串の先端を削ったものを使用する方がよい。

(7) 製作時間

参照した論文^[4]では小学生の400回巻きの所要時間は15～30分であった。そこで本実践の製作時間の見込みはおよそ30分（土手づくり5分、巻く作業15分、回転子の作製5分、調整・LED点灯5分の合計）であると見積もったが、実際はこれでは足りなかった。しかしながら、ある学生は絡みをほどくのに1時間、巻くのに15分で済んだという学生もいたため、線の扱いに注意すれば30分でよいといえる。

5. 研究のまとめと展望

理科教員養成の場において「ものづくりの過程」を取り入れた2つの実践を行った。

「紙飛行機の製作」の実践の結果、学生たちは紙飛行機の製作を通して、「ものづくりの過程」の概念を理解することができ、「ものづくりの過程」の概念の理解は完成したか否かにはよらないことが分かった。またものづくりという学習活動の認知度が低いことが明らかになった。

また「交流発電機の製作」の実践では、製作を通して、事後課題を提出した学生たち全員が何らかの気づきを得ることができ、エナメル線の扱い方など様々な改善点を根拠をもって挙げることもできた。

さらに、どちらの実践においても理科教育におけるものづくりの位置付けやものづくりの意義を考えることができ、教員視点でのものづくりの意義を整理することができた。理科教員を志願する者でも理科教育におけるものづくりの位置付けや目的に関する知識を持っていない者が多いことが明らかになった。ものづくりについてはその歴史なども含めて知っておく必要があるだろう。

今回行った2つの教育実践ではあまり数値的な評価を求めなかった。試行実践の前後において「ものづくりの過程」や「ものづくり」に対する意識が変容したかについて統計的に比較することにより、どのような教育活動が意味を成すのかについて評価し、考える必要がある。また今回は理科教員の養成の場において行ったが、他教科においてもものづくりを行う機会はたくさんあるので、理科を専攻としていない学生を対象とした「ものづくりの過程」を取り入れた教育実践も意義深いものであると考えられる。

そして最終的には小学生・中学生に対して直接的な実践の方法について研究する必要がある。

研究を通しての意義をまとめると、以下の6点があげられる。まず第1章で述べたように、①理科の教育課程において工学設計が明示的に取り上げられていない現状とのギャップを埋める働きがあること。第2章で述べたように②小学校1・2年生にしかない生活科教育や中学校にしかない技術科教育との連続性・接続性がよくなること。③教育課程全体からみて、発達段階に応じた工学設計の内容が取り扱えることにより教育効果が増大する可能性があること。④授業内外でのものづくりの活動・探究活動（自由研究なども含む）に活かされ、その質を高めること。⑤社会とのつながりとしてSTS、ESD、STEMのような考え方が必要とされており、この実践はそれに対応できること。⑥キャリア教育・職業教育に活かされることが考えられる。

引用文献

- [1] 国立教育政策研究所, 学習指導要領データベース, <https://www.nier.go.jp/guideline/> [アクセス日: 2015年9月30日].
- [2] 中央教育審議会, 今後の学校におけるキャリア教育・職業教育の在り方について, 株式会社 ぎょうせい, 2011年.
- [3] 熊野善介, 科学技術ガバナンスの形成のための科学教育論の構築に関する基礎的研究 平成25年度最終報告書 (研究課題番号23300283), 平成26年.

- [4] ドイツ連邦教育研究省 (BMBF), <http://www.bmbf.de/press/3022.php> [アクセス日: 2015年 8月].
- [5] National Research Council, Next Generation Science Standards, 2013年. <http://www.nextgenscience.org/> [アクセス日: 2015年 9月30日].
- [6] Michael A. DiSpezio et al, SCIENCE FUSION Introduction to Science and Technology, Houghton Mifflin Harcourt, 2012年.
- [7] 加藤幸一, 永野和男 ほか59名, 東京書籍, 新しい技術・家庭 技術分野, 平成26年.
- [8] 佐竹隆顕 ほか9名, 教育図書, 技術・家庭 技術分野, 平成26年.
- [9] 間田泰弘 ほか59名, 開隆堂, 技術・家庭 [技術分野], 平成26年.
- [10] 寺田光宏, 理科教育における「ものづくり」の研究, 日本評論社, 2014年.
- [11] 村山哲哉, 特集/ものづくりと問題解決 これからの理科教育とものづくりの可能性, 初等理科教育, 第45巻, 第8号, pp. 4-7, 2011年.
- [12] 土佐幸子, ライト兄弟はなぜ飛べたのか 紙飛行機で知る成功のひみつ, さ・え・ら書房, 2005年.
- [13] アンドリュー・デュアー, 冒険者たちの翼—本物そっくり! 紙飛行機, 二見書房, 2000年.
- [14] 月僧秀弥, 簡単にできる「手回し交流発電機」の開発と交流電流の学習, http://www.toray.co.jp/tsf/rika/pdf/h22_01.pdf [アクセス日: 2015年 7月16日].
- [15] 露木和男, 特集 活用できるものづくり教材 「ものづくり」の意義, 初等理科教育, 第43巻, 第9号 No.544, pp. 10-13, 2009年.
- [16] 山田陽一, 学習指導要領の改訂と理科教育 (特集「学習指導要領」改訂—その意義と課題), 教育研究所紀要 (18), pp. 27-32, 2009年.

付 録

