

初学者を対象とするエンジン教育を目的とした ペーパークラフト教材の製作と実践

山田圭祐*

Production and Practice of Papercraft Teaching Resources
for Engine Education for Beginners

YAMADA Keisuke*

As part of the student's graduation research effort, papercraft teaching resources were produced to learn how reciprocating engines work. Students taught classes using this teaching resources, and the educational effects were verified based on the results of the questionnaire. In addition, after improving the teaching resources, the lecture was held to convey the joy of mechanical engineering for elementary school students. This paper refers to the survey results and educational effects of this lecture.

キーワード: エンジン教育, ペーパークラフト, 公開講座

1. 背景

2019年12月, 中国の武漢市において新型コロナウイルス感染症の初めての感染事例が報告されて以来, 世界的な流行が続いている. 日本国内においては2020年3月から6月にかけて第1波に見舞われ, その後も第2波, 第3波と感染の拡大と収束を繰り返し, 2022年12月時点で第8波に至る.

富山高等専門学校では2020年4月上旬から約2か月にわたり, Microsoft Teams によるオンライン授業が行われた. その後は, 概ね対面授業を継続的に実施できているが, 学校関係者の新型コロナウイルス感染状況や大雪による公共交通の混乱に応じて, オンライン授業に切り替えることがある.

実習系科目や実物に触れながら学ぶ講義系科目の授業は, オンライン形式での実施が難しい. 各教員は試行錯誤を繰り返しながらオンライン授業を実施し, さらに対面授業に戻ってから実習の補講を行うことで, 学生に必要なスキルをどうにか身に付けさせることができた.

本事例は, 卒業研究生(2021年度 商船学科機関コ

* 商船学科

e-mail: keisuke@nc-toyama.ac.jp

ース5年生, 以下「卒研生」とする)が, 機械の基礎的構造や動作について, オンライン授業であっても学生が手を動かしながら学ぶことができる教材として, ペーパークラフトに注目したことが契機となっている. ペーパークラフトエンジンにかかる取り組み事例としては, 卒研生が教材の設計製作および商船学科1年生に模擬授業を実施した第1段階(2021年4月~2022年2月), 模擬授業で浮かび上がった教材の問題点を著者が改良したモデルを用いて商船学科1年生に授業を実施した第2段階(2022年4月~2022年7月), さらにこれを小学生向けの講座に落とし込むために改良を加え, ジュニアドクター育成塾^①の少人数講座として実施した第3段階(2022年8月~12月)から成る. 本稿は主に第1段階と第3段階に焦点を当て, 活動内容について述べていく.

2. 担当授業の実施状況

著者は船用機械, 中でも船用ディーゼルエンジンに関する科目を中心に担当しており, 入学後間もない1年生を対象とする授業も行っている. エンジンに関する知識や触れた経験がない学生が大半を占めており, 実物に触れる機会を設けることは極めて重要である. 例えば排気弁棒は数多くあるエンジン部品の中でも

比較的小さな部類に入るが、船用大型 2 ストロークサイクルディーゼルエンジンでは 1 本の排気弁棒で重量が数十 kg にもなる。このことから分かるように、実際の船用エンジンの様々な部品を教室に持ち運び学生に触れさせることは現実的ではない。そのため、授業では自動車エンジンや 3D プリンタ製の主要部品(ピストン、連接棒、クランクなど)を教室に持ち込み、補助教材として活用している。本来であれば授業資料に掲載している各部品の外観写真のみでも、構造や役割などの基本的事項を理解することは可能である。しかしながら、理解の定着や観察により気づきを得られる点は、実物に触れることには適わない。2020 年 4 月から続いたオンライン授業期間においては、適切なタイミングで実物に触れる機会を学生に提供することができなかった。このことが影響したのか、定期試験において部品の名称や構造、役割などについて問う設問の正答率は、例年に比べるとやや低かった。

3. ペーパークラフト教材の製作と模擬授業の実施

3.1 卒業研究実施の背景と狙い

2021 年 4 月より指導を担当した卒研究生は、コロナ禍に見舞われてから最初の春に 4 年生としてスタートした世代であり、実習を含む多くの専門科目を一時期はオンライン形式で受講した。その間、オンライン授業が対面授業に劣る点が種々あることを、学生目線で感じ取っていたようである。また、この学生は編入学試験や資格試験の対策勉強を行う際に、関連図書に加えて教育系 You Tuber⁽²⁾が公開している動画教材を利用していた。結果的にいずれの試験でも成果を得ることができ、対面授業でなくても高い有用性や効率性を持つ教育を実現できる場合があることを自らの成功体験として実感していた。これらの背景をきっかけとして、卒業研究の一環として学生は次に示すコンセプトでオンライン授業用の教材製作に取り組むこととした。

1. エンジン構成部品の形状や運動の理解を助けられるものであること。
2. 各学生の自宅に郵送できるような教材であること。
3. 商船学科低学年の学生のみならず、小中学生向けの教材としても活用できること。

また、卒業研究の指導を担当する教員としての教育的な狙いは次のとおりである。

1. 指導学生が編入学先で学ぶ学問分野に鑑み、エンジンの主要運動部品群の製作を通して基礎的な機械設計力を身に付けさせること。
2. 模擬授業をとおして、他者に物事を正確かつ明確に伝えるために必要となる工夫や課題に自ら気づく機会を設けること。
3. ゼロベースで研究をスタートして目標を達成する過程を経験し、企画の立案力や実行力、他者との調整力を向上させること。

3.2 ペーパークラフト教材の概要

商船学科機関コースでは、機械製図の授業を 4, 5 年次に計 3 単位分実施しているが、機械設計についてはほとんど扱わない。そこで、エンジンの主要運動部品群の寸法バランスの目安や簡単な強度計算、部品間の干渉などについて、エンジン設計に関する図書⁽³⁾により卒研究生に学習させた。続いて、各部品の図面を手描きで作成した後、iPad 用の CAD アプリ(Shapr3D, Shapr3D Zrt.社)を用いてこれらの部品の 3D モデル化を行った。さらに、3D プリンタにより各部品を出力して組み立てを行い、部品の運動や干渉について確認を行った。次に、ピストン、連接棒、クランクアーム、クランクピン、クランク軸、主軸受をペーパークラフトとするために、Power Point を用いて展開図(図 1)

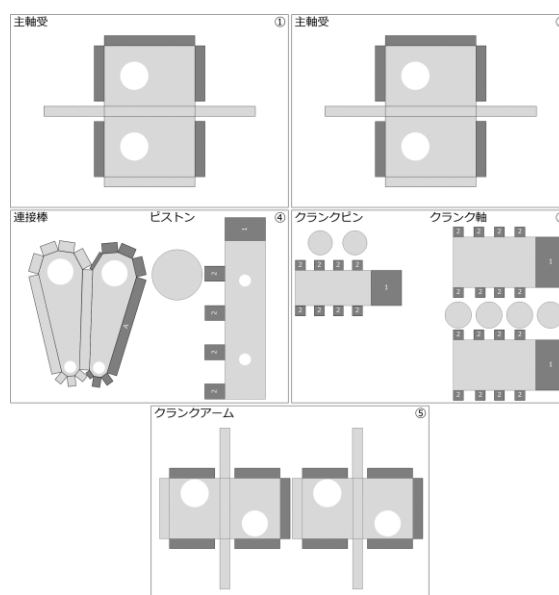


図 1 ペーパークラフトエンジンの展開図

を描き、A4 サイズの厚紙用紙(坪量 180 g/m², 厚さ 0.22 mm)に印刷した。ペーパークラフトとして組み立てることによって初めて気づく問題点が多くあり、形状や寸法の微調整を繰り返し行った。

表 1 に、以上の設計と調整段階を経て完成したエンジンモデルの主要寸法と素材を示す。

3.3 模擬授業の準備および計画

2021 年 12 月に教材一式が完成した。当初のコンセプトはオンライン授業の補助教材として活用するというものであったが、卒業研究の進捗や学事との兼ね合いから、2022 年 1 月に商船学科 1 年生 41 名を対象として、卒研生による対面形式の模擬授業を行った。1 年生は前期開講科目の機関概論 A にて船用ディーゼルエンジンの基礎を既に学んでおり、この模擬授業は復習としての位置付けとなる。

模擬授業を行う前に、卒研生に対して授業計画書を作成させ、特に時間配分(表 2)と授業をファシリテートする立場としての留意点について、卒研生と著者で確認を行った。計画では、冒頭の知識説明で卒研生の自己紹介(図 2)を行った後、エンジンの主要運動部品群について復習の説明を行うこととした。続いて、これからどのような作業を行うのかを学生に理解させるために、ペーパークラフトの構成部品や組み立て時の注意点について説明を行う。なお、模擬授業の前日に組み立て説明書を Teams にてクラス全体に配信し、授業時にも各学生がスマートフォンで作業内容を確認できるようにしておく。1 班につき学生 4~5 名として、まず班員はそれぞれ担当する部品を完成させ、次にすべての部品を結合するという流れで進める。この間、卒研生は机間巡視をしながら各班に対して随時助言を行い、すべての班が授業時間内に組み立てを終えられることを目指す。模擬授業の評価を受けるためのアンケートについては、授業時間内に行うことは難しいと考え、授業時間外に課す計画とした。

3.4 模擬授業の実施および評価

模擬授業の実施当日は、急遽短縮授業となるなど複数の要因が重なり、70 分で模擬授業を行うこととなった。組み立て説明書を学生に事前配布していたことから、作成手順説明の時間を削るように卒研生に指示を

表 1 エンジンモデルの概要

部品(個数)	主要寸法	素材
シリンダ (1 個)	直径 55 mm 高さ 133 mm 厚さ 40 μm	ポリプロ ピレン製 フィルム
ピストン (1 個)	直径 50 mm 高さ 40 mm 穴の直径 12 mm	厚紙
ピストンピン (1 個)	直径 12 mm 長さ 55 mm	ストロー
接続棒 (1 個)	ピッチ 95 mm 穴の直径 小端部 12 mm 大端部 26 mm	厚紙
クランクピン (1 個)	直径 24 mm 長さ 35 mm	厚紙
クランク アーム (2 個)	高さ 60mm 奥行 50 mm 厚さ 10 mm 穴の直径 ピン側 26 mm 軸側 28 mm クランク半径 30 mm	厚紙
クランク軸 (2 個)	直径 26 mm 長さ 50 mm	厚紙
主軸受 (2 個)	高さ 90mm 奥行 60 mm 厚さ 10 mm 穴の直径 28 mm	厚紙
台座 (1 個)	60×60 mm 厚さ 100 μm	ラミネート フィルム

表 2 授業計画と実際の授業進行

内容	計画段階の 所要時間[分]	実際の 所要時間[分]
知識説明	15	10
作成手順説明	15	3
製作	60	55
アンケート	授業時間外	2(依頼のみ)
	計 90 分	計 70 分



図 2 卒研生による模擬授業の様子

伝え、卒研生からは説明書に記載されていない細かな注意点のみクラス全体に口頭で説明した。

この模擬授業で用いたペーパークラフトは厚紙に展開図を印刷したものであり、学生はカッターやはさみで部品を切り出す作業から取り掛かった。複雑な形状の部品もあったため、どの班もすべての部品を切り出すのに約30分を要した。これに続く、各部品を組み立てて主要運動部品を結合する作業については、説明書を見ながら概ねスムーズに進められている様子であった。しかしながら、シリンダに相当するポリプロピレンフィルムを主軸受の上部に竹串で固定する最後の工程が難解であり、ここで行き詰まる班が多かった。しかしながら卒研生が各班のサポートに徹したことにより、授業終了直前には半数程度の班が組み立て工程をすべて終え、他の班も最後の工程の手前までは終えることができた。

授業時間の終盤にアンケートの主旨説明のみを行い、その後回答を得た。表3に、アンケートの設問一覧を示す。総員41名に対し、得られた回答数は36である。

Q.1の回答結果から、模擬授業について概ね肯定的な評価を受けられたことがわかる。どのような点が楽しかったかを問うQ.2では、次のような回答を得た。

- ・自分の手でエンジンの模型を作れたのが楽しかった。
- ・エンジンの部品の構造や、どのようにつながっているのかを理解しながら組み立てられたのが楽しかった。
- ・友達とコミュニケーションを取り、協力しながら一つの模型を作れたのが楽しかった。
- ・みんなで分担を決めて協力し、作業を進められたこと。
- ・これまで話したことがなかった人と、会話をしながら作業をすることができた。

Q.2で得られた回答は2種類に大別され、ペーパークラフトそのものが楽しかったという意見と、班員と協力して取り組んだことが楽しかったというものである。当初、この教材は自宅でオンライン授業を受ける学生が単独で組み立てを行うという使用方法を想定していたため、模擬授業を対面形式でグループワークとしたことは本意ではなかった。しかしながら、この教材はエンジンの構造を理解する学習のために活用できるだけでなく、学生間のコミュニケーションを深めるツールにもなると

表3 模擬授業のアンケート設問一覧

Q.1	今日の授業は楽しかったですか？ (5段階評価)
Q.2	どのような点が楽しかったですか？または楽しくなかったですか？(自由記述)
Q.3	この授業を通してエンジンに関する理解は深まりましたか？(5段階評価)
Q.4	どのような内容について理解が深まりましたか？(自由記述)
Q.5	今回の授業を受けて、改善が必要だと感じた点は何ですか？(自由記述)

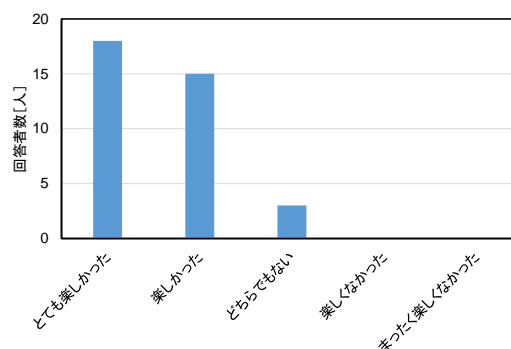


図3 アンケート Q.1 に対する学生の回答

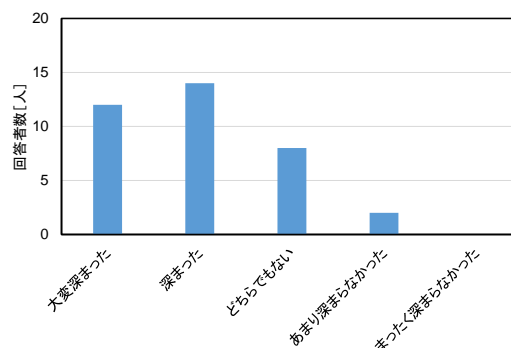


図4 アンケート Q.3 に対する学生の回答

いう副次的なメリットがあり、このことは卒研生や著者にとって新たな気づきとなった。

Q.3については、回答者数の30%弱の学生から理解の深化には至らなかった旨の回答があった。Q.4の回答を参照すると、これらの回答をした学生の多くは授業時間内に最後の工程まで終えられず、手回してエンジン部品の動きを見られなかったようであった。

一方、理解が深まったという学生から、Q.4では主に次のような内容の回答を得た。

- ・ピストンと連接棒がどのようにつながっているかがわ

かった。

- ・クランクが他の部品と接触せずに、回転し続けられる仕組みがわかった。
- ・ピストンがシリンダの中で直立の状態を保っているわけではないということがわかった。
- ・クランクを回していると、ピストンによってシリンダが横方向に押されて、シリンダの固定が取れてしまった。ピストンからシリンダに力が加わっていることがわかった。
- ・回転させていると、クランクがときどき変形していることに気づいた。

これらの回答のうち、前の 2 つの内容は前期の担当科目(機関概論 A)でイラストとアニメーションを用いて学生に教えた内容ではあったが、学生が実際に組み立てることで理解を深められたといえる。また、ピストンの姿勢制御やシリンダへの側圧、クランクの変形(クランクデフレクションのことを指していると推察される)については、3 年次の科目(内燃機関工学Ⅱ)で扱う内容であるが、いずれも実際に作動するエンジンでは現象を目視で確認することが難しいものである。ペーパークラフトエンジンが“いい加減な”精度と強度を有することから、学生はこれらの問題点に気づくことができたとも考えられ、想定外の学習効果であった。

改善点を問う Q.5 では、次の 4 種類の回答があった。

- ・部品を切り出すのが難しかった。
- ・時間が足りなかった。
- ・説明書が分かりにくかった。
- ・回して遊んでいたら壊れてしまった。

アンケートの回答から教材には様々な問題点があることが明らかになったが、いずれも改良によって対応できるものであった。また受講学生からの授業に対する感想や指摘内容から、卒研生は模擬授業の実施に際してのペース配分や口頭での説明、説明書など、自身が準備してきたものが受講生にどのように感じ取られていたのかを把握し、うまく実施できた点と改善点をそれぞれ受け止めていた。上述のとおり、機械設計の基礎力、他者にものごとを伝える力や企画立案、実行力などを学生に養わせるという指導教員側の教育的な狙いは、卒研生が粘り強く研究に取り組んだこともあって十分に達成できたと考えている。

4. ペーパークラフト教材の改良および授業での活用

4.1 改良モデルを用いた授業の実施

模擬授業を受講した学生のコメント(3.4 節)などを参考にして、主に次に示す改良を行った。

- ・シリンダにあたる部品をペットボトルに変更し、これを主軸受に固定する方法も簡略化する。
- ・コンパスカッターを貸し出し、円のくり抜き工程の効率化を図る。
- ・説明書に掲載する写真を増やし、各部品の組み立てについて段階を追って理解できるようにする。
- ・それぞれの切り取りパーツに部品の名称を記す。これにより、複数のパーツを貼り合わせて一つの部品を組み立てる工程で、パーツの混同を防ぐ。また、ペーパークラフトの完成後に各部品の名称を確認できる。

2022 年 7 月に商船学科 1 年生を対象として、前述の改良を施した教材を用いて授業を行った。前年度と同様に、1 班につき学生は 4~5 名とした。部品を切り出すのにかかる時間はやや短縮された程度であったが、その後の組み立てについてはスムーズに進み、すべての班が余裕を持って最後の工程まで終わることができた。また、早々に製作を終えた複数の班がエンジンを連結し、多気筒エンジン(図 5)として動きを観察していた。多気筒エンジンの正しい位相を学生に伝えて連結を修正させた後、授業の最後にはピストン頂面を順番に押ししてエンジンを回転させる様子をクラス全体に演示した。クランク角の位相や着火順序がどのように設定されているか、またその理由についても概要を教えることができ、ペーパークラフト教材の応用の幅を広げることができた。



図 5 ペーパークラフトの多気筒エンジン

4.2 改良モデルのさらなる改善の必要性

改良を加えたペーパークラフト教材と説明書を用いて授業を行い、学生にアンケートを実施した。その結果、改善を要望する声として学生からあがってきたのは、部品の切り出しが難しいというものだけになった。しかしながら、同様の意見が一定数あったことから、今後に向けて改善すべき点として受け止め、方策を検討することとした。

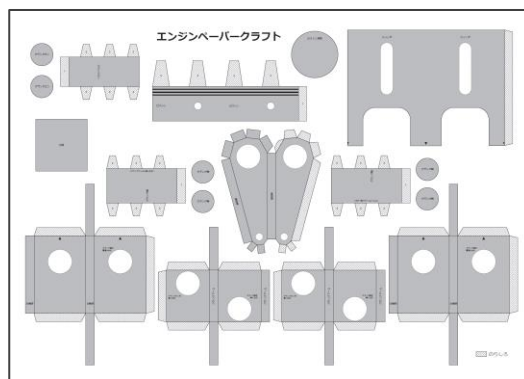


図 6 ペーパークラフトの展開図(A3 版)

5. 小学生を対象とする少人数講座の実施

5.1 少人数講座の実施に向けて

富山高等専門学校は、科学技術振興機構が行う次世代人材育成事業の一つであるジュニアドクター育成塾に実施機関として参画しており、令和4年度で事業3年目となる。主な活動内容は、小学校5,6年生および中学生が各学科の担当教員から定期的に研究指導を受け、年度末に研究成果発表を行うというものである。またこの活動とは別に、少人数講座が不定期で開催されている。著者は、工作や実験を通して身近な機械の構造や内部で起きている現象を学ぶ機会を設け、小学生に機械工学の楽しさを伝えたいと考え、ペーパークラフト教材を用いて少人数講座を開催することとした。

従来は、一つのエンジンモデルを作るのに A4 サイズ用紙を 5 枚使い、シリンダや台座にあたる部材は別途準備が必要であった。本講座の実施に向けて、シリンダと台座を追加したうえで各部品のスケールダウンを行い、ピストンピン(ストロー)を除くすべての部品を A3 サイズ用紙 1 枚に収め(図 6)、準備の省力化とコスト削減を図った。また、工作性を高めるために印刷業者と紙の種類について調整を行い、マシュマロ CoC (坪量 186.1 g/m², 厚さ 0.21 mm)を採用し、印刷に加えて打抜きと筋立ての加工も依頼した。

5.2 少人数講座の実施

2022 年 12 月、児童 13 名と付き添いの保護者 4 名に対して、著者を含め教員 2 名と専攻科生 4 名で、少人数講座「ペーパークラフトでエンジンの仕組みを学ぼう」を実施した。表 4 に、本講座の流れを示す。冒頭のレクチャーでは、参加児童のエンジンに関する知識

表 4 少人数講座の実施の流れ

内容	時間[分]
エンジンに関する基礎的内容のレクチャー	30
ペーパークラフト	80
まとめ、アンケート実施	10
計	120 分



図 7 作成手順の説明動画

レベルや好奇心の対象を探りながら、次の内容について説明を行った。

- ・自動車エンジンや船用エンジンで用いる燃料の種類や補給方法、始動方法、動力伝達経路の比較
- ・大型船用エンジンの始動の様子 (大型コンテナ船の機関室における作業風景の映像)
- ・エンジンは熱エネルギーを回転エネルギーに変換する機械であり、回転エネルギーの用途は多岐に渡ること
- ・アルコールロケット⁽⁴⁾の演示実験

(一般的にはアルミ缶が用いられるが、本講座ではアクリルパイプを用いて火炎の可視化を図った。)

- ・圧縮発火⁽⁵⁾の演示実験
- ・身の回りにあるリンク機構の紹介

工作時の手元の様子を予め撮影し編集した動画を動画投稿サイト(YouTube)にアップロードし、当日の配布資料に掲載した QR コードを読み取ると動画⁽⁶⁾を閲覧できるように設定しておき、これを説明書の替わりとした。図7に、作成手順の説明動画の1カットを示す。部品ごと、組み立て工程ごとにチャプターを設定することによって、工程の順序やそれぞれの手順を効率的に把握できる。

ペーパークラフト用紙と文房具類を参加者に配布して、工作を開始した。教員および学生は教室内を巡回し、動画の説明を補う形で児童に助言を行った(図8)。本講座では、児童がペーパークラフトの完成までに要する時間は約40~80分であった。ペーパークラフトエンジンを完成させた児童は、ピストン・クランク機構の動きを観察したり、ストローで作ったプロペラをクランクに取り付けて回して遊ぶなどしていた。また、教員および学生は工作を終えた児童に対して、実際のエンジンでは作成したモデルが複数並んでいることや、ピストンの上部で燃料を燃焼させ、ガスの膨張により下向きの力を作用させることなど、冒頭のレクチャーの補足説明を行った。

5.3 少人数講座の評価

講座の最後に、児童および保護者を対象として4つの設問(表5)から成るアンケートを実施した。図9にQ.1の集計結果、図10にQ.3の集計結果を示す。二つの結果から、講座の内容に対して児童と保護者から比較的高い満足度を得られたと考えている。

Q.2では、児童から次のような回答があった。

- ・ペーパークラフトを作って、うまく動いた時が楽しかったです。
- ・ペーパークラフトをしながら、エンジンの仕組みについて理解することができて楽しかったです。
- ・ペーパークラフトで作った模型を使って、楽しく考えることができた。
- ・ペーパークラフトの説明の動画に合わせて作るのが



図8 少人数講座でのペーパークラフトの様子

表5 少人数講座のアンケート設問一覧

Q.1	今日の授業は楽しかったですか？ (5段階評価)
Q.2	どのような点が楽しかったですか？または楽しなかったですか？(自由記述)
Q.3	授業を通して、機械についての興味や理解は深まりましたか？(5段階評価)
Q.4	授業の感想や気づいたことを教えてください。(自由記述)

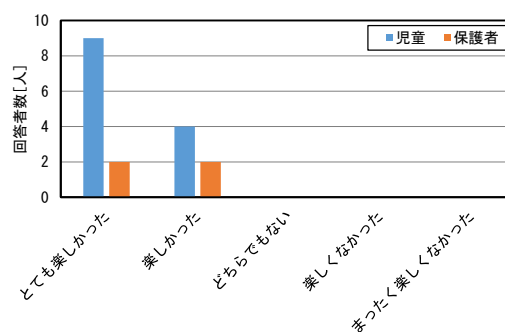


図9 アンケートQ.1に対する回答

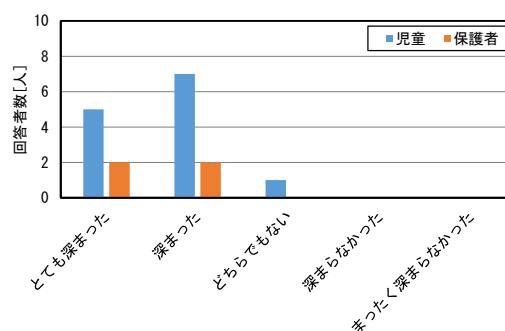


図10 アンケートQ.3に対する回答

- 楽しかった。
- ・燃料やエンジンのことをたくさん知ることができて楽し

かったです。私はレゴなどでリンク機構を使うものを作ったことがあるのですが、エンジンにも取り入れられていると知ってびっくりしました。

また、Q.4 では児童から次のような回答があった。

- ・車や船のエンジンはこうやって動いているのだと思いました。
- ・模型を回したときに、すべての部品がつながって動いていることが分かった。
- ・ペーパークラフトの説明が分かりやすく、とても面白かったです。
- ・実際のエンジンでは、複数のピストンがなければならぬと知り、確かにそうだなと感じました。

以上の回答より、エンジンのピストン・クランク機構をはじめとする基本的な作動原理について、児童が楽しみながら理解できる講座を実施できたと考えている。

6. 結言

オンライン授業においても、学生が自宅で手を動かしながらエンジンの基本構造や動作について学ぶことができる教材の製作を目的として、卒研究生はペーパークラフトエンジンを設計製作し、本校 1 年生を対象として模擬授業を行った。模擬授業では、この教材が本校 1 年生の学生を対象とするエンジンの導入教育に有用であることを確認できただけでなく、複数の学生が協力して製作に取り組むことでコミュニケーションを深められるツールになることも分かった。この教材に改良を加え、小学生を対象とする講座で用いたところ、小学生は工作を楽しみながらエンジンの動作について理解することができたようであった。

足掛け 2 年の取り組みで、卒研究生によるペーパークラフトエンジンの設計製作、本校 1 年生や小学生を対象とするエンジン教育を行うまでに至った。この教材は、本校商船学科の 1 年生を対象とする授業ではエンジンの基本構造や動作を学ぶための副教材として扱うのみならず、部品にかかる負荷や多気筒エンジンの構成など、発展的な内容への展開も可能である。また、小中学生を対象とするイベントでは、ペーパークラフトを講座のメインテーマとしつつ、参加者の学年やイベントの主旨に応じてプログラムを編成することにより、

理科や機械工学に関する出前授業、海事思想の普及活動など、様々な場面でペーパークラフトエンジンの活用が期待できる。

7. 謝辞

本稿の取り組みは、2021 年度の卒研究生の着想から始まったものです。企画、設計段階から模擬授業の実施までに数々の失敗や困難に直面しましたが、最後までやり遂げた清水優斗君に感謝と敬意を表します。

またペーパークラフトの印刷に際して、第一共同印刷株式会社様には様々なご助言を賜り、エンジン教育の講座の実施に至ることができました。ここに記して感謝を申し上げます。

8. 参考文献

- (1) 国立研究開発法人科学技術振興機構，次世代育成事業ジュニアドクター育成塾ホームページ，<https://www.jst.go.jp/cpse/fsp/> (最終確認日 2022 年 12 月 12 日)
- (2) 小林尚，大学受験教育系 YouTuber データブック，スタディカンパニー(2021)
- (3) 齋藤孟，若林克彦，エンジン—ガソリン／ディーゼル(新・機械設計製図演習 3)，オーム社 (1989)
- (4) 宮本一弘，化学だいすきキッズ ウィスキーで紙コップロケットを飛ばしてみよう，公益社団法人日本化学会 化学だいすきクラブ小委員会ホームページ，https://kdc.csj.jp/learning/item_1757.html (最終確認日 2022 年 12 月 12 日)
- (5) K. Yamada, A Student-teacher Type of Class and an Experimental Device Designed/made by Students for a Deep Understanding of Autoignition, The 10th International Symposium on Advances in Technology Education, p.562-565 (2016)
- (6) K. Yamada, ペーパークラフトの作成手順，<https://youtu.be/oC-J19M08Nw> (動画公開日 2022 年 12 月 4 日)