ゴム動力車を題材にした正課内外の プロジェクト型学習の効果の比較

Comparing the Effects of Project-based Learning by Making Rubber Band Cars in a Regular Subject and an Extracurricular Activity

山 川 聡 子^{※1}
Satoko YAMAKAWA

山 田 和 明^{※1}
Kazuaki YAMADA

横 田 祥^{※1}
Sho YOKOTA

In a regular-curriculum for freshmen in the Department of Mechanical Engineering at Toyo University, we have provided a subject to design and build rubber-band cars since 2013. In this subject, students make rubber-band cars out of paperboards, acrylic rods, and rubber bands, so that they experience the basic development process from the beginning. Furthermore, the accuracy of their making processes can be evaluated by running the rubber band cars. From the results of a questionnaire, this project-based learning for freshman seemed to provide the motivation to learn technical classes. In order to maintain and improve the students' motivation, we also started an extracurricular activity for creating a rubber-band car on which people can ride. In this paper, we introduce the PBL in regular subjects and the extracurricular activity and compare the effects and problems of them.

Keywords: Project-based Learning, Extracurricular Activity, Rubber Band Car

キーワード: PBL, 正課外プロジェクト, ゴム動力車

1. はじめに

東洋大学機械工学科では、低学年のうちに学生に実習やグループ活動の経験をさせることを目的として、2013年度から初年次教育の必修科目においてPBL形式でゴム動力車製作のグループワーク（以下、正課内PBL）を実施している¹⁾。ゴム動力車は小学生向けのプラスチック製の理科教材が市販されたり、PBLのテーマとして取り入れられたりしている事例もあり^{2), 3)}、動力と動きの関係をイメージしやすい対象だと考えられる。本学科の正課内PBLではできるだけゼロから製作させるために、材料を厚紙とアクリル棒、輪ゴムだけに限っている。段ボールを用いた教育教材開発の事例⁴⁾でも述べられているように、紙は加工が簡単で自分のアイデアを形にしやすい一方、加工精度がそのまま動きに反映するので製作物の評価もしやすいと思われる。このPBLについて受講生にアンケート調査を行った結果、1年生に専門知識を学ぶ動機を与える一定の効果があつた。さらに2年次以降も専門科目の学習と並行してPBLを実施できれば、学習意欲の継続・向上に効果があると考えられる⁵⁾。しかし、学生数の多さ、教育スタッフ数や設備の制限などから、継続して正課内でPBLを実施することは困難であつた。そこで、正課外で学生主体のプロジェクトを立ち上げて、人が乗れるゴム動力車の製作を行っている。本稿では、これらの正課内PBLと正課外プロジェクトについて

で紹介するとともに、それぞれの成果と問題点を比較する。

2. 1年生向け正課内PBL

機械工学科では2013年度から1年次前期に「機械工学序論」を必修科目として開講している。この科目の受講者は190名程度であり、専任教員6名とTA4名で担当している。15回の講義のうち、前半6回で機械工学の概要やスタディスキル、技術者倫理に関する講義を行い、後半9回で3つのPBLを実施する。このPBLを導入した目的は、グループでの作業を通してコミュニケーション能力を養うこと、および入学直後の学生に機械工学への興味を持たせることである。PBLでは教員が2名ずつに分かれて3つの課題を担当する。受講者は約60名ずつの3グループに分かれて、3つの課題を3週ずつで交代して実施する。本稿ではこのうちの1つの課題について紹介する。

この正課内PBLの内容の選定においては、

- (1) 対象は1年生全員
- (2) 教員2名+TA2名で約60名の学生を指導
- (3) 講義時間は90分×3回
- という条件に加えて、大学の設備等の制約から、
- (4) 特別な設備や場所が不要であること
- (5) 費用があまりかからないこと

も考慮する必要があつた。対象が1年生であるため、大半の学生は機械工学の専門知識がない。そのため、少ない担当教員で60名以上の1年生に機械加工などを体験さ

2017年12月22日受付

※1 東洋大学理工学部

せることは困難だと予想された。一方、既製のキットなどを用いれば比較的短時間で完成度の高いものを作ることができるが、1年生では説明書通りに組み立てることで満足してしまう懸念があった。そこで、専門知識や機械加工を必要とせず、製作期間内にできるだけゼロから作りあげることによって創造力を養う課題を選ぶことにした。検討の結果、紙でゴム動力車を製作する課題に設定した。車にしたのは、機械工学への関連づけがしやすいと考えたからである。

2.1 課題「ゴム動力車」

製作はチームで行わせることとし、教員がチーム分けを行った。

《チームメンバー》学籍番号順に3名で1チームとする。ただし、人数が不足した場合は2名1チームとする。

1チームの人数を3名にしたのは、人数が増えすぎると作業をしない学生が出るとの予想からである。

製作に使用する材料を厚紙、アクリル棒、輪ゴムに制限し、ゼロから作らせることで創造力を養うことを目指した。これらの材料は分量も決めて大学で用意して各チームに配付した。

《材料》製作に用いる材料は以下に限る。

- (a) 厚紙 (448mm×317mm, 厚さ0.5mm) 3枚
- (b) アクリル棒 (φ 3mm×320mm) 6本
- (c) 輪ゴム 個数制限なし

ただし、接着剤や接着用テープは制限しない。

製作に最低限必要となる道具は大学で用意して貸し出した。初期費用はこれらの道具(カッター、はさみ、コンパス、定規など)を22組用意するための6万円程度であった。毎年かかる費用は厚紙、アクリル棒、それに輪ゴムの購入費用だけであり、200名分で3万円程度である。

目標を与えて動機づけをするために、講義の3回目に競技会を開催することとした。学生の知識や経験の差を考慮し、複数の視点で競うことができるように、つぎのような評価項目を設定した。

《競技会》各チームは約1分間のプレゼンテーションを行ってから3回の走行を行う。この走行では以下の項目を競う。

- (A) 3回のうちの最長走行距離(距離)
- (B) 3回の走行の平均走行距離(安定走行性)
- (C) スタートから1m通過までにかかる最短時間(速さ)
- (D) 全員投票の得票数(アイディア)

これらの評価は独立とし、それぞれの項目で優勝チームを決める。チームごとにどの項目での上位を目指すかを検討させ、製作の方針を立てさせた。

競技においては、スタート後に製作物が分離することを認めた。これにより、自動車のように動力を搭載した形式以外に、発射台のように外部からエネルギーを供給する形式も考えられる。ただし、小さな弾を飛ばすような形式を排除するため、次のルールを課した。

《競技のルール》スタートラインに対して垂直な方向

に進んだ距離を計測する。途中で壁などにぶつかっても最終的に止まった位置で計測する。

- ・スタート後は車や動力伝達機構などに触れてはいけない
- ・1秒以上継続して地上から浮いてはいけない
- ・スタートラインより前方にものを置いてはいけない

なお、分離した場合は全体の1/3未満の重量のものは無視して計測する。1/3以上の重量の物体が残らなかったときは失格となる。

講義の成績評価は、競技会の結果を加味しつつ、競技会後に各個人に提出させるレポートで行った。レポートでは、製作物のスケッチ(アイディア図)を含め、製作の方針、工夫点、問題と改善案などを説明させた。

2.2 製作の様子と競技結果

学生に製作のイメージを持たせるために、課題の説明時に、あらかじめ教員がゴム動力車を試作した様子を撮影した動画を見せた。動画ではまず、30cm程度しか走らない試作車の例を示した後、問題点を説明しながら、段階的に改良した試作車を示し、走行距離が2mを越えるまで改善した様子を紹介した。この動画は競技ルールなどと一緒に大学のホームページ上で公開し、学生がいつでも見られるようにした。また、2年目以降は前年度の競技風景を撮影した動画も見せた。前年度の競技風景の動画を見せると、製作の取りかかりは早くなるが、独創的なアイディアは若干減る傾向があった。

図1 正課内PBLの製作風景

図2 正課内PBLの製作例

本課題のゴム動力車製作は、厚紙とアクリル棒を材料としているため、簡単に加工ができる一方で、失敗も実感しやすい。ゴム動力車では車体もしくは発射台等にゴムを固定して弾性エネルギーをためる必要がある。そのため、ゴムの力に耐えられるように厚紙や細いアクリル棒を用いて車体の強度を上げる工夫が必要になる。教員が状況に応じて、厚紙を折り曲げたり、梁を入れたりすることで強度が上がることを助言した。その際、自動車のボディと関連づけて説明することで、機械工学の専門科目との関連を意識させるようにした。また、手作業で厚紙を加工するので、加工精度がそのまま車の動きの精度に表われる。学生は試走を繰り返したり、競技会で他チームの車を見たりすることで、加工精度によって動きが大きく変わることを実感していたようである（図1、図2）。

5年間の参加チーム数と各項目での優勝チームの記録は表1の通りである。これまで5年間で当日棄権、または欠席したのは2チームだけであり、314チームが参加した。314チームの最長走行距離の分布を図3に示す。説明時に示した試作例の2mを越えたチームがほとんどであ

表1 5年間の競技結果

年度	2013	2014	2015	2016	2017
参加者数	169	173	187	193	174
参加チーム数	58	62	65	66	63
(A) 最長走行距離(m)	8.3	8.3	8.3	8.3	9.4
(B) 平均走行距離(m)	7.1	8.3	8.3	7.2	9.1
(C) 0-1m最短時間(s)	0.45	0.19	0.22	0.1	0.14

図3 各チームの最長走行距離の分布

図4 正課内PBLでの競技会の様子

った。競技会場である教室の広さから、2013～2016年までは8.3mが測定できる最長値である。2017年は設置場所を変更して9.4mまで計測できるようにした。図4に示すように、会場は机と壁に挟まれていて幅が2mほどである。そのため、直進走行性能が悪くて机の脚や壁にぶつかって途中で止まってしまう車も多い。その中で、5年間で16チームが測定の最長値まで到達した。一方、最短時間の記録を出したチームの大多数は、速さで勝負すると決めて発射台形式の採用、もしくは軽量化を重視して製作を行っていた。このことから、複数の競技項目を作ったことには意味があったと思われる。

2014年、2015年、2017年の最長記録を出した3チームは3回とも安定して走行し、平均走行距離で競う安定走行性の項目でも優勝した。これらのチームは走行性能の高さによって学生投票でも票を集めて優勝した。この他、学生投票で優勝した例としては、

走行中に車体が分離して加速する機構を実現した

厚紙でスポーツカーの形状を再現した

紙のプロペラを回転させて風力だけで走行した

紙とアクリル棒で作った歯車で動力伝達をした

などがあった。いずれも外観やアイデアだけでなく、実際に走行したことで票を集めた。数字で競う(A)～(C)の評価項目に加えて(D)を作ったことは、学生の自由な発想を引き出す効果があったと考えている。

初対面に近い学生同士によるグループ活動であったが、ほとんどのグループが協力し合って製作を行っていた。競技後に提出させたレポートには、グループによる差よりも、各個人の取り組み方の違いが表れていた。競技会での走行結果は良くなくても、製作過程でよく考えたと思われる学生達は試走の結果や工夫点、アイデア図、考察を詳細に書いていた。

2.3 正課内PBLに関するアンケート結果

講義中、学生は積極的に取り組んでいるようであった。その効果を調査するために2016年1月に本学科の1年生から3年生を対象に無記名で選択形式のアンケートを実施し、合計355名から回答を得た¹⁾。図5に示すように、3つの設問に対してそれぞれ5つの選択肢から回答を選ばせた。設問1では、「苦勞したが楽しかった」と答えた学生が最も多く、全体の半数以上だった。厚紙での製作ではあったが、多くの学生にとって簡単すぎる課題ではなく、おおよそ適切な課題設定だったと思われる。「簡単で楽しかった」を合わせると肯定的な回答を選んだ学生が全体の74%だった。設問2では、「満足」できる仕上がりになったと答えたのは13.5%であり、半数以上は「改良したい点が残った」と答えた。この選択肢を選んだ学生は、「計画通り完成せず」を選んだ学生とは異なり、完成させたうえで問題意識を持ったと思われる。問題意識を持つことは専門科目の学習にも効果が出ると思われる。また、ゴム動力車を速く安定して走らせることと機械の専門知識との関連性について尋ねた設問3の結果より、80%の学生が本課題と専門知識との関連性を多少なりとも感じていたようである。

これらのアンケート結果から、この課題は初年次にお

設問1 機械工学序論のゴム動力車は楽しく取り組みましたか？

設問2 製作したゴム動力車は満足できる仕上がりでしたか？

設問3 ゴム動力車を速く安定して走らせることと、機械の専門知識との関連性を感じますか？

図5 正課内PBLに関するアンケート結果

ける学習の動機づけに一定の効果があると思われた。

3. 正課外プロジェクト

3.1 プロジェクト1年目

正課内PBLに関するアンケート結果は学習の動機づけが期待できる内容だった。しかし、3年生になると選択制の実習科目を履修しない学生が増加し、専門知識を学ぶ動機が持続できていないように思われた。そこで、2015年6月に、教員の呼びかけで学生主体の発展的なものづくりのプロジェクトを立ち上げた。このプロジェクトは正課外での活動であり、

- (I) 希望者対象
- (II) 比較的少数数の学生、複数教員によるサポート
- (III) 自由な時間に実施
- (IV) 実験室および学内の実習工場の利用可能
- (V) 学内プロジェクト申請により予算を確保

での実施となった。予算や設備使用が比較的自由になって課題設定の制約が減ったため、学生に自由に課題を決めさせることにして参加学生を募った。約20名の学生からの問い合わせや参加があったので、学生達にプロジェクトの目標や方向性を検討させた。しかし、多くの学生は自らの希望やアイディアを出すことなく様子見だけで終わってしまい、継続して参加しなかった。

そこで、教員が「人が乗れるゴム動力車」の製作を第

図6 正課外プロジェクトに対する意識と行動

一目標にすることを提案した。これはコンテストを開催している自治体があり、学生にとって明確でわかりやすい目標となったようである。最終的には3名の学生が約5ヶ月かけて基本設計から部品選定、金属加工等を行って試作第1号機を完成させた。試作機は人が乗れる強度がなく、コンテストには参加できなかったが、学内で開催された研究発表会で実物展示と発表を行った。プロジェクトの参加学生達は失敗を経験しながら専門知識の必要性を実感し、学習の動機も向上したようであった。

3.2 プロジェクトに関する学生の意識調査

正課内PBLの様子に反して、正課外プロジェクトの参加者数は想像をはるかに下回った。そこで、2.3節で述べた2016年1月のアンケート調査時に、正課外プロジェクトについても調査を行った。正課外プロジェクトのことを知っていたと答えた236名の学生のうち、半数近い114名はプロジェクトに参加してみようと「少し思った／参加している」と答えた。しかし、その114名のうち、「参加している」「一度は顔を出した」「問い合わせしてみた」という実際の行動を起こしたと答えたのは16%の18名のみであった。参加を考えても実際に行動しなかった学生が、行動した学生の5倍以上いたことが明らかになった。さらに、行動を起こした18名のうち、実際に継続して活動したのは16%の3名のみであった(図6)。学生に最初の行動を起こさせること、さらに継続させることの難しさを実感する結果であった。

参加しなかった理由を複数回答可で尋ねたところ、「ゴム動力車に興味がない」を選択した学生は全体の2割程度であり、予想外に少なかった。一方で、56%の学生が授業・部活趣味・アルバイトなどで忙しいことを理由としてあげていた。実際の活動でも、参加学生のスケジュールが合わず、活動頻度が低くなることが多く、スケジュール管理は課外活動持続のための大きな要因であった。

3.3 プロジェクト2年目以降

アンケート結果、および前年度の反省点から、2年目はコンテスト参加という明確な目標に絞って参加募集を行った。問い合わせをするなど実際に行動した学生の総数は、前年度とほぼ同数の20名弱であった。しかし、その後の継続参加者は前年度に比べて増加した(図7)。この要因は、試作機があったことでイメージが伝わりやすかったこと、前年度の経験者が指導することで初心者もすぐ作業に取りかかれたこと、さらに学生間でLINE (LINE

図7 正課外プロジェクトの製作風景

図8 正課外プロジェクトでのコンテスト参加の様子

株式会社のソーシャルネットワーキングサービス）を用いて連絡網を作ったことなどであると思われる。学内の研究発表会で2件のポスター発表を行った後、2016年10月には高崎市で開催された「ゴム動力自動車コンテスト」に総勢14名で参加した。製作した車は初参加ながら公道コース70mを完走した（図8）。

活動においては教員3名で学生の支援を行った。学生主体のプロジェクトであり、学生が方針を決めて実行すること、教員がサポートすることを機会があるごとに参加学生達に伝えながらプロジェクトを進めた。活動時には1名以上の教員が同席するように心がけ、必要に応じてアドバイスをを行った。プロジェクト後に参加学生に聞き取りを行ったところ、「教員がその場にいただけでも心強かった」との意見があった。また、「ものづくりの一連の流れが体験できた」「紙の上でしか知らなかったことが形になってわくわくした」という感想が得られた。1年間継続して参加した学生のほとんどは、翌年度も継続して活動を行っている。正課外プロジェクトは学生の知的好奇心や動機を持続・向上させる効果があったと考えられる。

4. 正課内外のプロジェクトの比較

これまで正課内PBLを5年間、正課外プロジェクトを3年間継続してきた。それぞれで、対象とする学生とその学生達の動機は異なっており、活動時間や設備などの条件も異なる（表2）。それぞれについて、前述のアンケートや学生のコメントから見える効果とともにいくつかの問題点や困難さが見つかった。

表2 今回行った正課内外のPBLの比較

		正課内PBL	正課外プロジェクト
対象		受講者全員 → 大人数	希望者 → 少人数
学生の動機		学習と単位取得	興味と向上心
学生1人当たりの	教員	少ない	多い
	費用	安い	高い
	設備	指導員不足で使用不可	指導員の下で使用可
課題設定		教員が指定。受講者の多数が達成できる可能性のあるもの	学生が相談して自由に設定できる
実施時間		固定	自由（調整が必要）
欠点		課題内容が限られる。自由度が少ない。	強制力がない。自己管理能力が求められる。
利点		自主的な行動を起こさなくても強制的に経験できる。	課題選定の自由度が大きく、成功したときの達成感は大い。

まず、必修科目での正課内PBLでは全学生を対象としており、全学生がおおよそ達成できる課題設定が必要である。そのため、比較的簡単な課題を選んだが、アンケート結果から本稿で示したPBL課題には学習の動機づけに一定の効果があると考えられた。学生がここで得た達成感や問題意識などを自主的に持続・向上させることを期待したが、実際には難しかったようである。一方、正課外プロジェクトでは少人数の希望者が対象であるため、難度の高い課題でも比較的自由に選べる。長い活動期間の中で失敗や試行錯誤を経て困難な課題を解決したときの達成感はとても大きい様子であり、翌年も活動を継続する学生がほとんどであった。

必修科目では単位取得という明確な動機があるため、課題に強い興味がなかったり、製作中に多少の困難があったりしても学生は乗り越えようとする。また正課内なので当然、学生同士で活動時間を調整する必要もない。一方、正課外プロジェクトの初期段階では、別の興味が生じたり、困難な問題にぶつかったりした場合に比較的容易に参加を諦めてしまう学生が少なくなかった。また、学生同士の時間調整がうまくできず、作業が滞ることも多かった。課題と時間に自由度が高い分、プロジェクトの継続は参加学生の自主性に大きく依存していた。

現状、正課内PBLについては、担当教員が変わっても継続できるように指導法が確立している。これは、課題を明文化したこと、ビデオなどの説明資料を作成したこと、比較的簡単に短時間のプロジェクトであること、さらに、学生が陥りやすい失敗と指導法についてのノウハウを蓄積したことによる。一方で、正課外プロジェクトの進捗は参加学生の自主性、学生リーダーの存在に加えて、教員の関わり方にも大きく依存すると感じている。課題の自由度が高く、体系化されていない新しいことを行うため、学生は製作方針をはじめ、より多くの試行錯誤を行う。学生自身が納得して問題を解決し、自信を持てるように教員が適度に関わる必要があると思われる。

PBLは、受講者が失敗しないように先回りをするような指導法を確立するほど、講義としての効率（所要時

間の短縮など)を上げることができる。その結果、受講者も比較的容易に達成感が得られるので導入としては良い。しかし、失敗を回避させようとするほど、受講者が行う作業の選択肢は減少し、自主的に検討する状況も減ってしまう。発展的なPBLでは、学生の失敗を許容し、問題を解決する方策を考えるための時間を持たせることが望ましいと思われる。

5. おわりに

東洋大学機械工学科で実施している正課内のPBL「ゴム動力車製作」と正課外プロジェクトについて紹介し、アンケート結果などにもとづいて比較を行った。正課内のPBLは1年生全員を対象としている。限られた材料と短期間での実施であるが、専門知識との関連性を感じた学生が多く、初年次の導入課題としては一定の効果があると考えられる。一方、希望者を対象とした正課外のプロジェクトでは人が乗れるゴム動力車を製作した。学生を継続的に参加させることに困難さがあるが、参加した学生達は失敗や困難を乗り越えて車を作り上げたことに大きな達成感を感じていた。少人数対象ではあるが積極的な学生を育てることに効果があると思われる。

参 考 文 献

- 1) 山川聡子, 山田和明, 横田 祥: 正課内外におけるプロジェクト型学習の効果と問題点, 日本設計工学会誌, 51-9, pp.599-606, 2016
- 2) Charles, Elizabeth S.: Workbook promoting conceptual change in physics using scientific models, Webページ, <https://eduq.info/xmlui/>, 2007, 参照日: 2017-12-18
- 3) 荒木孝治, 清水貴宏, 橋本紀子, 他: 教材開発及び研

修での利用, 品質管理学会関西支部品質管理教育教材研究会報告書, 2016

- 4) 衣笠哲也, 土師貴史, 入部正継, 他: ものづくり教育のための段ボール3D受動歩行機, 日本ロボット学会誌, 31-2, pp.154-160, 2013
- 5) 山川聡子: 低学年からの継続的な実践型教育(Project Based Learning)とその効果, 工学教育, 57-2, pp.46-52, 2009

著 者 紹 介

山川 聡子

1997年名古屋工業大学大学院博士後期課程修了。同年名古屋工業大学機械工学科助手。2005年東洋大学工学部助教授。2009年同理工学部機械工学科准教授。2015年同学科教授。現在に至る。非線形制御、人間機械系の研究に従事。博士(工学)。

山田 和明

2002年神戸大学大学院博士後期課程修了。同年東京大学特任助手。2005年東京大学大学院特任講師。2008年東洋大学工学部講師。2009年同理工学部講師。2015年同学部准教授。現在に至る。マルチロボットシステム等の研究に従事。博士(工学)。

横田 祥

2006年法政大学大学院博士後期課程修了。2008年ベルサイユ大学博士課程修了。2006年東京工科大学助手。2009年摂南大学講師。2014年東洋大学准教授。現在に至る。人間活動支援システム、インタフェース等の研究に従事。Ph.D., 博士(工学)。