ペーパーカーレースによる機械工学創成教育

Improving Creative Education in Mechanical Engineering by The Paper Car Race

梶原 伸 治^{※1}

Shinji KAJIWARA

窪堀 俊 文^{※1}

Toshifumi KUBOHORI

This paper describes a creative education program for first year students at the Department of Mechanical Engineering, Kinki University. In this program of the “paper car race” competitions, students learn the entire product development process, from conceptual design to drafting to manufacturing and evaluation. Competitions include the slope climbing race, the speed race and the design contest. Students use only paper and bamboo for the axis, but are provided with the motor and battery box. The improvement in student motivation to learn mechanical engineering and mechanical design is inquired. In addition, statistical analyses were conducted to examine the correlation coefficient for the comprehensive evaluation. Student motivation did improve through the competition in which they created imaginative and original work. Many students felt that they had learned the importance of conceptual design, drafting and project management.

Keywords : Creative Education, Problem Based Learning, Product design

キーワード：創造教育，問題設定解決型学習，製品設計

1. はじめに

機械工学科の大学教育では，対象物を設計通りに製造するための基礎知識やエンジニアとしての基本技術を身につけることが重要な目標であり，その目標に対してカリキュラムが合理的に作成されている．さらに，興味を持って自主的に取組むことによる斬新なアイデアや創造的な思考の育成も重要と考える．一方，学生のモチベーションの低下，忍耐力の低下が指摘されており，学習意欲の持続と向上をはかることを目的としてProject-based Learning (PBL) と呼ばれるようなプロジェクト型の授業が増え，特に工学分野では，創造的なものづくりを行う特徴的な取組みが行われている¹⁾．これまでの知識の詰め込みになりがちであった講義を中心とする従来の教育に対し，持てる技術を使って新しい製品を創造する演習は，エンジニアとして活躍するための訓練として非常に有効と考える．

入学時に学生にインタビューを行うと機械や機械工学のイメージとして，自動車とロボットをあげる人が多い．そのため，近畿大学理工学部機械工学科では，機械工学教育における1年次の導入教育として機械工学の興味と機械工学の体系を学ぶために教育方法を工夫し，ペーパーカーレースの取組みを行うこととした．このペーパーカーレースの講義では，機械工学をはじめて学ぶ学生の動機付け教育と機械系ものづくりの根幹

である設計の過程を総合的・体験的に学ぶためにものづくりの基本となる企画・設計・製図・製作に加え，試走後，改善するといういわゆるPDCAサイクルをまわすというプロセスを体験させ，学生自身に不足している学習を気づかせる．このことによって，2年次以降の学習意欲の向上と持続化を図ると同時に創造性豊かな工学技術者の育成をめざしている．

ペーパーカーは取扱いが容易なため，クリエイティブなものづくりが可能である．社会における仕事の成果は「8割の計画と2割の行動」とよく言われる．これは「段取り力」のことであり，これがうまく出来れば社会人としてのレベルが高くなると考えるが，大学で教育することは難しい．そこで，この「段取り力」も向上させる題材を考えた．これまでのミニ四駆やラジコンといった題材²⁾との違いは「段取り力」を重視している点にある．設計は本来的にはクリエイティブな作業であり，紙材料は学生自身で準備でき，加工できる材料であるため設計・製作における制約が少なく，創造性を発揮させやすい．入手可能な紙の種類は非常に多いが，機能に応じて適切に材料選択するように指導している．すなわち，シャーシなど力のかかる部分には高強度の段ボールなどを用い，力のかからないボデーには軽量の薄い紙，軸受け部分にはコート紙を用いて摩擦低減をめざすというように，その機能に応じて適切に設計する．その結果，良好な成績が得られ，このプロセスが体験的に習得できるように考えている．また，工具についても製造過程を想像しながら学生自

身で準備を行わせている。それによって製造しやすいように初期の設計を変更することも指導している。

競技はデザインコンテスト、スピードレースおよび登坂レースによって行う。設計のポイントの講義や競技成績の得点への反映などの工夫の結果、学生の関心度は高まり、様々なデザインが考案され、機構・構造まで幅広く学生の思考を引き出すことができた。外観の工夫をこらしたものや段ボールの凹凸を用いた歯車機構、キャタピラ機構など巧みな減速機構など創意工夫されたものが多く提出された。この授業によって機械設計・機械力学・機械加工学などの2年次以降の専門科目に対する動機づけができたと考える。

2. ペーパーカーレースの内容

2.1 導入の背景

入学時に学生にインタビューを行うと機械や機械工学のイメージとして、自動車とロボットをあげることが多い。そこで、ものづくりに対する学生の意識向上と学生間の協調性を持たせるとともに、ものづくりの出発点ともいえる設計、製図、製作の一連の過程を理解させ、さらにものづくりの楽しさと重要性について考えさせる機会として、身近な素材で製作可能であり、いろいろのアイデアを駆使できるものとして、ペーパーカーレースを企画した。このペーパーカーはミニ四駆やラジコンといった題材と比較して、材料や使用工具の取扱いが容易なため、クリエイティブなものづくりが可能である。紙材料は機能に応じて適切に準備させ、カッターナイフなどの工具も学生自身で製造過程を想像しながら段取りを考え、準備させる。すなわち、実際の自動車を設計する際と同様に力のかかる部分にはたわみの少ない高剛性材料、力のかからない部分には軽量で高いデザイン性の材料、低摩擦を要求される部分には光沢のある材料を用いるようにさせる。それが好成績につながるものが体験的に習得できるようにプログラムを構成している。

自動車やロボットといったアッセンブリーは機械工

図1 配布部品

学科で学ぶカリキュラムの一部であり、一連の講義群の高学年で習得する。そのため基本的で重要な専門科目の種々の学習の結集によって総合的に成り立っているということを理解させることが重要であると考え。さらに、実際の設計ではコスト、性能、納期、法規などの制約条件があることが多い。そこで、次に示す明確なペーパーカーレースのレギュレーションを設定することとした。小人数教育に配慮し、概ね学生10名に対し教員1名と多数配置した。

2.2 ペーパーカーレースのレギュレーション

(1) 競技規定

競技については、全員参加のデザインコンテストとスピードレースまたは登坂レースで行う。デザインコンテストは、全員が全作品より、最も優秀と思われる作品に一票を投票する。評価の観点には、形、色、独創性など、総合的に評価する。スピードレースの競技レーンは、距離15m、幅1mとした。途中ガードに接触して停止した場合は、姿勢変更を認める。ただし、同着の場合は、姿勢変更回数の少ないものを上位とする。なお、競技の進行上、1分を超える場合は棄権とした。ゴールは、車体先頭がラインに到達したタイムとする。レースは2回行い、良いタイムによって順位を決定する。一方、登坂レースは競技レーンを幅1m距離12mとし、登坂角度は10°から5°間隔で変化させて、達成した登坂角度によって順位を決定する。同角度の場合はタイムの短いものを上位とした。

(2) 設計・製作規定

公平性を期するためプーリーおよび模型用小型モーターセットなどを配布することとした。この配布した部品を図1に示す。部品の詳細としては小ねじ・電池ケース・歯車・プーリーなどを含む模型用小型モーターセットである。その他の使用できる材料は全て紙としたが、ある程度の自由度を考え、段ボール紙・厚紙・色紙など紙ならば使用可とした。ただし、プーリーに用いるベルトについては自由とし、車軸には竹ひごなどを含む木材の使用を認めることとした。設計にあたり、創造性とレーン幅を考慮し、外観最大寸法は幅150mm、長さ300mm、高さ無制限とした。

組立は、接着剤および長さ100mm以下のセロテープを使用できる。乾電池は1次電池のみ使用可能で各人が用意し、モータ1個につき単3乾電池を1本と規定した。

(3) 評価規定

デザインコンテスト、スピードレース、登坂レースのそれぞれについて、学科長より各部門で表彰を行った。各競技とも3位まで表彰、10位まで入賞とし、ペーパーカーの三面図と設計製作日誌とともに成績にダイレクトに反映させることとした。この評価規定を表1に示す。このうち、設計製作日誌は以降で詳細説明する。

表1 評価規定 (100点満点)

内 容	満 点
製図	40
設計製作日誌	40
レース・デザイン成績	20

2.3 ペーパーカーレースの日程

講義は1年生を半分に分け、1セメスター15回の講義の半分の7回と全員参加で行う本レース1回の合計8回で行っている。なお、残りの7回は二足歩行ロボットを用いた創成教育を行っている。このペーパーカーレースの講義日程を表2に示す。講義日程は、実際の自動車の企画から製作までの工程と同様になるように予定をたてている。参考とした“くるまづくりの工程一覧”を図2に示す。講義では、まず、規定を説明し、この規定に従うことが必要であることの説明を行う。次の2回目に登坂レースかスピードレースに参加するのかを決め、好成績をめざして、学生自身が作品名やコンセプトの作成・企画をたてる。3回目ないしは4回目には図面の作成を行う。その後、車両を製作し、7回目に予備レースを行う。この予備レースによって不具合を見つけ、本レースに向かっての改善点を見つけるといった、いわゆるPDCAサイクルを体験する。このとき、構想図や設計思想をまとめる設計製作日誌を毎回更新し、教員にチェックを受け

表2 講義日程

回	内容 (注意点)
1 回	ペーパーカーレースの開催規定等の講義
2 回	ペーパーカー構想・コンセプト作成
3 回	ペーパーカー製作の構想・製作図面作成 〔「機械製図」のルールに従う〕
4 回	ペーパーカー製作図面作成
5 回	実際にペーパーカーを製作 (紙・モーター・ギア・軸などと道具を持参)
6 回	実際にペーパーカーを製作 (ほぼ完成させる)
7 回	製作したペーパーカーで予備レース
8 回	全員で本番レース

図2 くるまづくりの工程一覧³⁾

ることで進捗の把握を行っている。この設計製作日誌を図3に示す。

2.4 講義のねらいと教員のしかけ

1年次でのモチベーション向上は、その後の教育効果に大きく関係する。ペーパーカーレースでは大学での授業のどのような科目が重要なのかを例示することが肝要であると考え、レースで良い成績を出すためには自然科学現象を理解し、適切に対応し設計することが重要である。学生の中には少年時代にミニ四駆の経験があるものも多く、知識に差がある。そこで、品質管理の特性要因図を示し、設計の重要点を予め説明しておくことにした。この特性要因図を図4に示す。この特性要因図によって、意匠デザインと機能設計の二つに採点基準が大きく分かれ、機能設計のポイントを詳細に説明する。企画については、速く走るためには動力とギア比や高い挑戦安定性、車重はどうあるべきかを考えさせ、車両のコンセプトや基本諸元を決定させている。これにより、高性能なマシンを作成しやすくしている。本来はモータトルクから駆動摩擦などの

図3 設計製作日誌

図4 走行性向上のための特性要因図

フリクションを差し引いて、加速度を計算して2回積分し、距離を求めるといった物理的な検討が必要となる。2年生以降の専門科目で習得するにしたがって、“今の自分だったら”というように成長してもらいたいと考える。幅1m長さ15mのレーンの中で直進安定性を保つことは困難であり、バウンドさせたり、擦らせたりレーンをうまく利用することも必要である。また、ギア比の設定や軸受の精度、車輪の真円度などもレースの結果に直結することを予め知識として与えることとし、競争しやすい環境を整えることによってモチベーションを高めるという工夫も行っている。さらなる教員のしかけとして、講義中に学生に機能設計の根拠を説明させ、設計には自由度がある代わりに、何らかの理由が必要であるということを認識させる。この実際の設計では加工法や材料の入手しやすさなども重要な要素であることも認識させる。コストは、加工と素材の質と量ではほぼ決まるということも考慮する必要がある。そのうえで、実際の自動車では溶接にあたる接着剤については種類を自由とし、学生自身で用意することとした。この接着によっても強度が増減することも考慮して設計・製作するように指示を行った。ただ、セロテープの使用については、設計で必要不可欠な箇所のみとして最小限となるように長さを規定した。これらは、きちんと段取りをして仕事を進めるという、良い習慣づくりへとつながるトレーニングであると考え。一方、製図は設計者から製作者への「情報伝達手段」であるため、正確さが重要であることを伝える。さらに、予備レースを行うことによって課題を洗い出し、本レースに向けて改良するといった、いわゆるPDCAサイクルを体験的に学習できるようにした。

2.5 ペーパーカーレースの様子

ペーパーカーレースは学科の全体行事として行っている。作品例として、スピードレース、登坂レースおよびデザインコンテストの入賞作品をそれぞれ図5(a), (b), (c)に示す。スピードレースでは図5(a)のようにタイヤが細く、全長が比較的長い直線安定性のよいものの成績が良い。また、登坂レースはギア比と重心位置および坂との摩擦が重要であるが、それらを一挙に解決するために図5(b)のような馬車の馬の脚による四足四輪駆動やキャタピラ式のものもみられた。デザインコンテストでは、学生が良い意匠と設計と思う車体を投票することによって決めた。しかしながら、合理的な設計よりも意匠性に優れた作品が選ばれたと感じる。スピードレースの様子および登坂レースの様子をそれぞれ図6(a),(b)にそれぞれ示す。スピードレースのレーンはワックスのかかったリノリウムであり、車輪の紙との摩擦係数はあまり高くないため、直進安定性の発揮が比較的困難であり、タイムに大きな影響をおよぼす。登坂レースは木の板を傾斜させたも

(a) スピードレース

(b) 登坂レース

(c) デザインコンテスト

図5 入賞作品

(a) スピードレース

(b) 登坂レース

図6 レースの様子

のであるため、比較的摩擦係数は高い。しかしながらプーリを2段以上用いて減速比を大きくとることが必

要である。ペーパーカーは取扱いが容易なため、クリエイティブなものづくりが可能である。エンジニアリングデザインには工業的な「設計」と新しい商品価値を創出する「デザイン」の両面がある。今回のデザインコンテスト評価結果から商品企画においては「設計」も「デザイン」も同様に重要であることが示唆された。

ペーパーカーレースアンケート		学籍番号 氏 名
1. 今回のペーパーカーレース全体の感想をお聞かせ下さい。(該当数字に○印をつけて下さい。)		
非常に 有益であった	有益であった	どちらとも 言えない
5	4	3
2. 授業の進め方についてお聞かせください。 また、それについての意見も書いて下さい。		
1 レースまでの最適講義回数 → 最適日数: () 回		《左の項目に対するコメント・補足等》
2 内容 (1) 口頭説明 → [良] 5・4・3・2・1 [否]		
(2) 資料 → [良] 5・4・3・2・1 [否]		
3. 講義全体の内容についてお聞かせ下さい。		
1 テーマ → [良] 5・4・3・2・1 [否]		《左の項目に対するコメント・補足等》
2 興味深さ → [高] 5・4・3・2・1 [低]		
3 時間・分量 → [良] 5・4・3・2・1 [否]		
4. ペーパーカーレースを終え、自分自身についてお聞かせ下さい。		
1 以前より、機械設計に興味がありましたか? → [高] 5・4・3・2・1 [低]		
2 物理・運動学に興味がありましたか? → [高] 5・4・3・2・1 [低]		
3 以前より、ものづくりに興味がありましたか? → [高] 5・4・3・2・1 [低]		
4 自然科学現象を理解しようという気がおきましたか? → [高] 5・4・3・2・1 [低]		
5 自分自身で創意工夫ができたと思いますか? → [高] 5・4・3・2・1 [低]		
5. その他、ご意見等ありましたらお書き下さい。		
6. 今後どのような教育を希望しますか。自由にお書きください。		

図7 配布アンケート

表3 アンケート内容(5点満点)

1. 今回のペーパーカーレース全体の感想をお聞かせ下さい。
2. 授業の進め方についてお聞かせください。
2-1 レースまでの最適講義回数→最適日数:() 回
2-2 内容
(1) 口頭説明
(2) 資料
3. 講義全体の内容についてお聞かせ下さい。
3-1 テーマ
3-2 興味深さ
3-3 時間・分量
4. ペーパーカーレースを終え、自分自身についてお聞かせ下さい。
4-1 以前より、機械設計に興味がありましたか?
4-2 物理・運動学に興味がありましたか?
4-3 以前より、ものづくりに興味がありましたか?
4-4 自然科学現象を理解しようという気がおきましたか?
4-5 自分自身で創意工夫ができたと思いますか?

3. 評価

3.1 外部評価

一般社会人5名の外部評価委員でペーパーカーレースの取組みを評価した。そのなかで、設計製作日誌の充実や設計図には部品図が必要で追加をした方がよい。ものには公差が必要不可欠である。また、優秀者のポイントの説明などを行うとよいといった意見をもらった。それぞれの意見は検討の後、フィードバックさせている。

3.2 授業評価

学生のものづくりに対する教育効果を確認するために図7のアンケートを実施した。その内容を表3に示す。全体的な評価や講義の内容に加え、自分自身がどのように変わり、機械工学的な興味が生じたかを問う内容となっている。有効アンケート数は239である。まず、問1の全体の評価のヒストグラムを図8に示す。この図より約3/4の学生が評価4以上と有益であったと評価しており、教育効果が認められる。つぎに、アンケートのそれぞれの平均値を図9に示す。横軸は質問項目問1から問4-5であり、縦軸は評価値の平均である。ただし、問2-1では最適講義回数である。問1では平均3.8と授業に関する満足度が概ね得られているといえる。問2-1の最適講義回数は7.05であり、平均値としては現状の7回とほぼ一致している。ただし、自由記述では、講義回数が少ないという意見が10件程度みられた。一方で講義外に集まるので少な

図8 全体評価のヒストグラム

図9 アンケート結果の平均値

図10 全体評価との相関係数

い講義時間でよいとの意見もあった。これは、問3-3の時間・分量の項目で評価が3.04と他と比べよくないこととも整合する。問2-2(1)の口頭説明および資料では3.5前後と問題はみられない。次に、テーマの選定についてであるが、問3-1のテーマの選定、問3-2の興味深さは、それぞれ3.86および3.89と高評価であり、機械工学科の学生にとってテーマの選定が適切であることを示している。問4-1から問4-4には講義による学生自身の変化に関する設問である。問4-1の機械設計、問4-3のものづくりといった実践的・具体的な興味については評価値3.80および3.86と意識の向上が認められた。一方、世間でいわれている理科離れ、物理離れに対する問4-2の物理・運動学、問4-4の自然科学現象については、3.52、3.37と相対的に低い評価となった。

次に、全体評価と各質問項目の相関係数を図10に示す。この図より、全体評価と問3-2のテーマの興味深さとは高い相関が見られ、興味をもって取り組むことが全体の評価につながることを示された。また、全体評価と問4-1の機械設計の興味や問4-3のものづくりと深い相関があることがわかる。全体評価の上昇が今後の機械設計に関する教育効果やモノづくり教育の効果の向上への重要な要素であることがわかる。

今後、ペーパカーが自然科学現象・物理現象に支配され、機械工学的知識を活用することによって、スピードを得ることができ、急勾配をクリアできることを意識づけていきたい。

4. おわりに

機械工学科のモノづくり教育に関する取り組みとし

て、ペーパカーレースを題材に企画・設計から製図・製作、性能評価まで一連の作業の教育を行った。特に、学生の興味が高い自動車を題材としたことや性能をタイムや登坂角度というようにダイレクトに確認できるようにしたため、積極的に取り組む学生が多い。また、少年時代にミニ四駆やラジコンなどを趣味としており、ある程度のコツを習得している学生も多い。また、競争本能を刺激することによってモチベーションを高く保つことができている。このような思考型学習によって創意工夫できるように教育できればよく、十分に教育効果が得られたと考える。ペーパカーは取扱いが容易なため創造的ものづくり教育が可能であるが、デザイン能力で重要とされるコストの観点での評価を組込むことができなかった。そこで今後、表計算ソフトを用いて材料の質と量や加工コストを選択することによって、コスト計算を行い、評価に加えることによりデザイン能力の向上を目指したいと考える。今後、機械設計のみならず、機械力学、物理などの自然科学に対する学習意欲の向上につながるように改善していきたい。

本教科は、理工学部機械工学科の11名の教員によって実施されている。本研究にご協力いただいた教員および学生の方々に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 創成教育特集号, 工学教育, 53-1, 2005
- 2) 井澤 悟, 田中好一, 川村壮司: 講義・実験・実習の3要素を取り入れた「興味を持って自ら学ぶ」機械工学導入教育, 工学教育, 57-1, pp.88-92, 2009
- 3) マツダキッズミュージアムHP, <http://www.mazda.co.jp/philosophy/kids/index.html>

著者紹介

梶原 伸治

東北大学大学院工学研究科修了。
京都大学大学院エネルギー科学研究科
博士後期課程修了。
博士（エネルギー科学）。
日立造船技術研究所、ダイハツ工業パワー
トレイン開発部を経て、近畿大学理工学
部機械工学科。
メールアドレス：
kajiura@mech.kindai.ac.jp