

紙製の自律型ロボット作りを取り入れた PBL 授業の実践

細谷 和範* 野中 撰護* 山田 貴史* 西川 弘太郎*

Implementation of PBL Classes Incorporating Autonomous Paper Robot Construction

HOSOTANI Kazunori, NONAKA Shogo, YAMADA Takafumi, and NISHIKAWA Kotaro

Robot fabrication in project-based learning (PBL) is recognized as effective for enhancing student motivation and interdisciplinary problem-solving. However, conventional robot projects often involve high costs and limit individual design opportunities. To resolve these issues, we developed a PBL course titled “Robot Creative Practice,” combining low-cost paper materials with microcontroller-based sensors and actuators to build autonomous robots. This approach enables students to design and fabricate competitive robots within a limited timeframe, fostering creativity and practical skills without complex machining or extra instructors. The course has been implemented for six years with fourth-year students in the Mechanical Systems Program at NIT, Tsuyama College, and students design and build autonomous air hockey robots under material constraints. Effectiveness was evaluated via questionnaires.

Key Words: Interactive design, air hockey robot, PBL, paper robot, origami structure

1. 緒 言

我が国では IoT (Internet of Things) や Society 5.0 に代表されるデジタル技術の深化に伴いさまざまな教育が展開されている¹⁾。最近では自律型ロボットや AI (Artificial Intelligence), ビッグデータなどの先端技術が教育に取り入れられ, 問題解決能力を育む教育に活用されている他, 文理融合による横断的な取り組みも行われている。このうち, ロボット製作を題材とした教育は学生の学習意欲を向上させ, 分野横断的な知識と実践的な課題解決能力の育成にある程度有効であると報告されている^{2,4)}。その一方, 高価なロボット教材は大人数でのグループ作業になりやすい。また, ロボット製作には多大な時間と労力がかかり, 試行錯誤のプロセスを学生が安価かつ容易に経験することが難しい課題を有している。加えてロボットの設計から製作にわたるプロセスには, 設計製図や材料力学の他, 電気系科目の習得やプログラミング, 加工技術など, 数多くの知識とスキルが必要となり, グループで協働するロボット製作は, 経験の浅い学生アイデアが採用されず, 作業もものづくり経験が豊富な一部の学生に偏る心配がある。さらに, 機械加工や電気回路, マイコンプログラミングなど分野横断的な指導が必要なものづくり教育では複数の教員によるサポートが必要になることもある。この課題を解決

するための方法の一つに加工のしやすい紙素材を利用して設計と製作を行うことができる「折り紙ロボット」による教育が提案されており, 多様なアイデアを試すことが可能であることが報告されている⁵⁾。

筆者らは少ない教員で授業を運営でき, 個々の学生が協働しつつ自身のアイデアを具現化できるプロジェクト演習 (PBL : Project Based Learning) 科目として, 安価な紙教材とマイコン教材 (センサとアクチュエータ) を組み合わせた自律型ロボット製作授業を考案した⁶⁾。本報告では, この授業を筆者が所属する津山工業高等専門学校 (以後, 津山高専と呼称する) 機械システム系で学ぶ4年生を対象に6年間実施した。本稿では, 安価な紙素材とマイコンを用いた自律型競技ロボット (エアホッケーロボット) を設計するアクティブラーニング形式の授業「ロボット創造演習」について, 2019年度の運用開始時から2024年度までの様子と授業評価アンケートによる教育効果について述べる。

2. 「ロボット創造演習」の基礎科目

2. 1 機械システム系のロボット関連科目

津山高専はそれまでの機械工学科, 電気電子工学科, 電子制御工学科, 情報工学科の4学科制から2015年度に総合理工学科の1学科4コース制 (機

原稿受付 令和7年8月20日

*総合理工学科 機械システム系

械システム系、電気電子システム系、先進科学系、情報システム系)に改組し、分野横断的な課題解決能力の育成を目標とする工学教育を実施している。学生は1年次に全系共通科目と基礎科目を習得し、2年次から各系のコースに分かれて専門を深化させていくが、5年間にわたり全系横断演習などの横断科目も設定されている⁷⁾。さらに各系の専門科目にも分野横断的要素を有し、座学による知識を発展させる実践的科目が開講されており、学生は幅広い知識を得ることができる。一方で習得すべき内容も幅広くなることから、学生は一方的に授業を受けるスタイルから自ら興味を持って取り組む必要がある。機械システム系では4年次から機械設計コースとロボティクスコースのカリキュラムが用意され、ロボティクスコースでは図1に示すように、メカトロニクス分野の科目群が幅広い学年に配置されている。また実験実習では、従来の機械工学分野のテーマだけでなく、座学と並行した電気回路の基礎やマイコンプログラミングなどによるメカトロニクスに関するテーマが設定されるなど、関連科目との接続性が考慮されている。このような背景から本稿で述べる4年次の「ロボット創造演習」に先立って、3年次に計測・制御の基礎を習得する実験などを習得することができる。

2. 2 ロボット製作に関連する実験実習科目

本校における実験実習科目は機械工学分野の座学科目との接続が考慮され、自律型ロボットの設計で重要となる計測・制御の基礎は、2年次および3年次に開講されている機械システム工学実験実習I及びIIで実施され、ロボット製作に必要な機械加工や材料強度に関する実験やリレー回路やICを用いた論理回路など、電気基礎に関するテーマの実験が実施されている。また制御やプログラミングに関する実験として、LEGOロボットやマイコンを用いたテーマが扱われている。このうちマイコン実験は表1の上段に示すとおり、8ビットマイコン(Arduino UNO)と配線が容易なGroveシールド(図2)を用いて表2の各種センサモジュールから取得されるアナログ信号またはデジタル信号の処理やDCサーボモータの時間シーケンス制御などを習得することができる。課題にはマイコンプログラミングによる測定値の取得、データのばらつきを考慮した統計処理(平均値、最大・最小の算出)を学ぶほか、DCサーボモータの制御や超音波測距センサの性能評価などを行い、実験を通じてハードウェア制御の基礎を習得し、ロボット製作に不可欠な知識を身につけることができる。このマイコン実験では、1グループ5名から10名の学生が3週間にわたり課題に取り組み、1名の教員が指導を担当する。学生は実

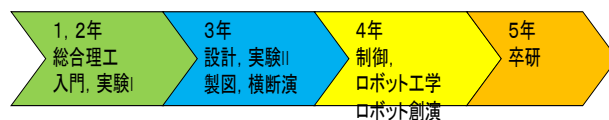


図1 ロボティクス科目の接続 (2024年現在)

表1 実験実習とロボット創造演習の概要

3年次 実験実習 「マイコン」 必修科目(実験)	開講時間数: 3コマ/週×3回
	受講者数: 5名~10名/グループ
	教材: Arduino UNO, Grove シールド
	担当教員数: 1名
	概要: マイコンボードを用いた計測実験を行い、プログラミングによるハードウェアの簡単な制御やアナログ・デジタルデータの統計処理を学ぶ。
4年次 「ロボット創造演習」 必修科目	開講時間数: 2コマ/週×15回
	受講者数: ロボティクスコースを選択する約20名
	教材: Arduino UNO, Grove シールド, ケンラン紙
	担当教員数: 1名
	概要: 学生が個別に自律的に動作するエアホッケーロボットを設計し、装置の構想から設計製作までの過程を体験し、プレゼンテーションにより自身のロボットの見どころを発表する。材料には加工しやすく安価な紙素材を用い、前年度に習得したマイコンセットを用いる。

験日までにマイコンの仕組みやC言語の基礎課題、自己保持回路などの回路の仕組みと信号を示すタイムチャートの予習が課せられる。第一週目と二週目にデジタル信号、アナログ信号に関する課題をチュートリアルに従って操作し、課題を解決するためのプログラム作成や各種センサの出力をグラフに整理して考察する課題を与えている。図3は実験テキストから抜粋した課題である。この課題ではスイッチ動作によりリレーが動作し続ける自己保持プログラムを作り、動作の考察を課している。第三週目には超音波測距センサの指向性や応答など、ロボット製作にも活用できるセンサの特性を知る。機械分野の学生にとって、この実験課題は難しく感じている様子が見られ、毎年、授業開始時にマイコン課題への印象を問うと、苦手意識があると答える学生が大半を占めた。そこで、実験授業中は学生同士が積極的に教え合うよう促し、課題を一つずつ解決しながら苦手意識を和らげる雰囲気づくりを行った。また動機付けとして、自動車などの身近な機械を設計したり、メンテナンスする際に扱うであろうセンサ・アクチュエータ類への応用を授業の冒頭で考えさせる工夫を行った。実験開始当初は手が動かなかった学生も後半になると独自にコードを作成する様子が見られた。

3. 「ロボット創造演習」の設計と運用

3. 1 課題設定と到達目標

4年次の「ロボット創造演習」は、3年次に習得したメカトロニクスの基礎に加え、設計・製図や機構学、プログラミングを組み合わせた設計製作課題

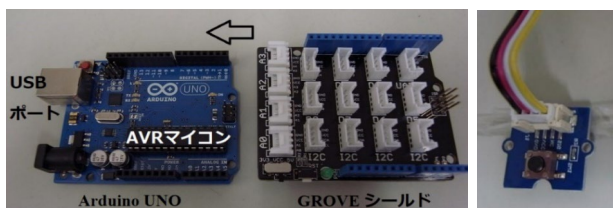


図2 Arduino マイコン (左) と接続される回路モジュール (右)

表 2 マイコン実験で使用される回路モジュール

	LED モジュール
	押しボタンモジュール
	タッチセンサモジュール
デジタル信号用	ブザーモジュール
	リレーモジュール
	超音波測距センサモジュール
	DC サーボモータモジュール
アナログ信号用	回転角度モジュール
	音センサモジュール
	光センサ (CdS) モジュール
	温度センサ (熱電対)
I2C	液晶モジュール

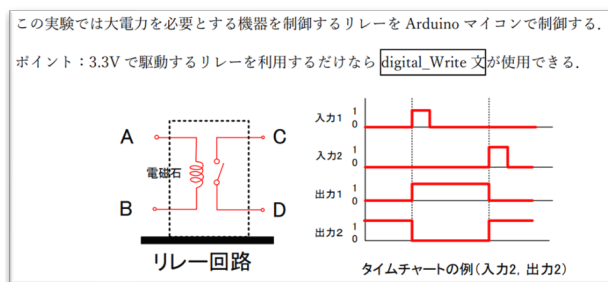


図3 実験テキスト (抜粋)

を設定している。表 1 の下段にロボット創造演習の概要を示す。この科目は、以下の座学科目との接続を考慮して運用されている。

- ・力学 I～III (3 年次)
- ・材料力学 (3 年次)
- ・設計製図 (3 年次)
- ・ロボット工学概論 (4 年次)
- ・機械システム工学実験実習 I～II (2・3 年次)

ロボット創造演習における 2019 年度から 2024 年度までの課題は、図 4 に示す自律的に動作する「人と対戦できるエアホッケーロボット」の製作とした (エアホッケーとは、スマッシャーと呼ばれる器具を用いて盤上をすべるように移動する円盤状のパックを打ち合い、得点を競うゲーム)。この競技を忠実に実現するためには勢いよく移動するパックの軌道や打ち返す動きを実現する高速ビジョンと高速マニピュレーションによるロボット制御の他、高度な信号処理を伴う戦略的な制御技術が必要となる^{8) 9)}。また、このエアホッケーは数学や物理、メカトロニクス、ロボティクスを横断的に学べる教材としても期待でき¹⁰⁾、学生が協働して対戦

型のロボットを製作するプロジェクトベースの活動にも利用されている¹¹⁾。ただし、高度なロボット製作は一人では難しいため、多くの事例ではグループによる分担作業となっており、また複数の教員によるサポートも必要のようである。

一方、筆者らが開発したロボット創造演習では、学生が設定した工程表に沿って製作し、試行錯誤を経ながら自身のアイデアを具現化するロボット作りに重点を置いた。さらに、アイデア創出のためのブレインストーミングを取り入れ、プログラミングに苦手意識を持つ学生が多いことへの対応として、周囲の学生と協働する環境作りに努めた。以上の方針を実現するため、ロボット創造演習では、各学生によるロボットの設計製作が可能になるよう、3 年次に習得したマイコン実験教材を利用し、ロボットを構築するための材料に加工が容易な紙を用いて「自律型エアホッケーロボット」を設計する課題とした。また本科目はアクティブラーニング授業として、教員は基礎的な内容の教示やアドバイスはするが、極力作業には手を貸さず、周囲の学生と協働するよう促すこととした。

本科目は半期科目として設定し、次の学習目的と到達目標を掲げている。

- ・学習目的：機械工学の課題に対して、マイコンと汎用的なソフトウェアを活用して問題を解決する能力を身に付ける。
- ・到達目標：次の①～④を設定した。
 - ① マイコンや設計ツールを使って機械工学に関する課題を解決するために必要な情報収集・分析・整理して解決策を提案できる
 - ② 情報を収集・分析し、適正に判断し、情報の加工・作成・整理、発信ができる
 - ③ 得られた情報を理解し、効果的かつ創造的に技術的な課題解決のために活用することができる
 - ④ チームの一員として、他者の意見を尊重し、適切なコミュニケーションをもって共同作業を進めることができる

3. 2 授業運営と評価方法

ロボット創造演習は、構造材に身近にあり安価で加工がしやすい紙素材を使用することで、設計・試作・改善のプロセスを容易にするとともに、使用部品を一律に制限し、3 年次の実験で用いた Arduino Uno とセンサ・アクチュエータ類のみを使用する制約を課し、学生が創意工夫によって課題を解決することができるよう配慮した。なお、マイコンの導入費用は 1 セットあたり約 1.5 万円 (マイコン 3 千円、センサキット 1 万円、超音波測距計 2 千円) である。授業では図 5 に示される各工程を経て、各自がロボ

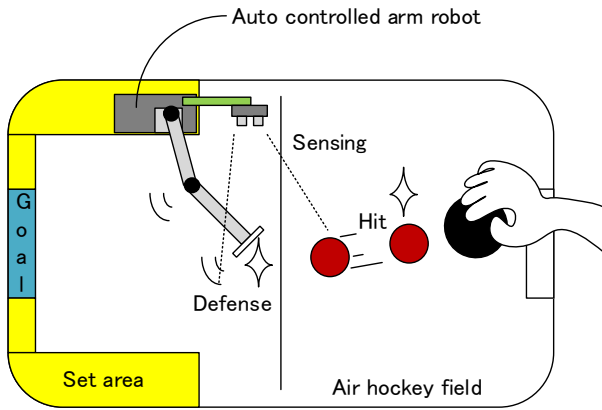


図4 競技の概要 (幅 60 cm, 長さ 80 cm, パック径 4.5 cm)

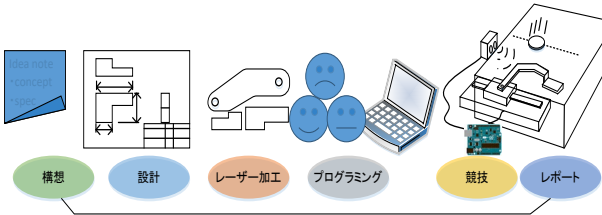


図5 ロボット製作の流れ

表3 授業スケジュール

2024年度 ロボット創造演習 4M (月曜日)3-4限 (第4共通実験室)	
1	9月30日 ガイダンス 物理エンジン(Argodoo基礎①)
2	10月7日 物理エンジン(Argodoo基礎②)
3	10月21日 物理エンジン(Argodoo基礎③), マイコン基礎①
4	10月28日 マイコン基礎②
5	10月31日 マイコン基礎③
6	11月11日 全体構想と試作
7	11月18日 全体構想と試作, 中間報告書作成
8	11月25日 中間報告書作成
9	12月2日 競技用ロボットの設計製作
10	12月9日 競技用ロボットの設計製作
11	12月16日 競技用ロボットの設計製作
12	12月23日 競技用ロボットの設計製作, 競技(撮影)
13	1月20日 競技(撮影), 最終報告書作成
14	1月27日 プレゼン資料作成, 最終報告書作成
15	2月12日 プレゼン(相互評価)

ットを設計・製作できるよう, 15回の授業のうち前半を設計ツールの習得と構想を描く期間に充て, 後半に製作および競技, プレゼン発表を充てた(表3)。

(1) 設計課題と競技ルール 図4に示す競技課題の「自動エアホッケーロボット」では, 紙製のロボットが製作者から打ち込まれるパック(円盤)を1回でも自動的に「止めるか跳ね返すこと」を要件とした。製作材料は配布されるマイコン(センサ, DCモータ2個)とA3サイズのケンラン紙2枚(225 kg/m², 0.28 mm厚)を用いることとした。この他, 締結用クリップやネジなど, 紙で作ることができない止め具などの使用を認めた。パックは直径4.5 cmで高さ1.5 cmとし, 打面となるスティック面は幅5 cm×厚1 cm×高さ5 cm以内とした。競技はパフォーマンスを披露する形で行われ, ロボットは自身の設計思想が反映され, 図4の概要図に例示された構造やデザインと異なる, 特異な目的や機能, 外見, 技術的特徴を持つユニークなロボットを推奨した。

(2) 授業運用と評価方法 本科目では表3の15回の授業を設定した。前半はArduinoマイコン操作の復習とロボットの構想と試作に費やし, ロボット構築のスキルを得た時点で, 中間報告書を提出する(図6)。2024年度からは前半の構造に2次元物理シミュレータ(Argodoo)の講習を加え, パックを打ち返すために必要な力やリンク機構を静力学的および動力学的にシミュレートできる環境を整備した。授業活動の成果はレポートとスライドプレゼンテーション資料にまとめるよう指導し, 学習成果の成績評価のために, 前半にロボットの構想とスケジュールを記した中間報告書を, 後半に詳細な設計や感想を記した最終報告書を課した。報告書については, 手書きスケッチレベルのロボットの構想や開発スケジュールを工程表に記すことを求め, 作業の進捗とともに計画変更を行うことも認めている。各報告書に記載する内容は以下の内容である。

- ・設計コンセプト(基本概念)
- ・アイデア(新規性)
- ・特に注目してほしい点
- ・感想
- ・図面と構造設計や制御設計の根拠資料

ここで, 中間報告書では作業工程表が加わる。さらに, 最終報告書の提出時に3分以内で自身のロボットのプレゼンテーションを行い, 発表点は学生同士

ロボット創造演習 最終報告書

提出年月日 2024年2月7日
機械システム 系4年00番 氏名_00_00

ロボット創造演習の課題提出の際には以下のものを提出のこと 提出時にチェック

① 装置の製作品 …… (提出済み)
 ② 最終報告書 …… (提出済み)
 ③ 装置の組立図面 …… (提出済み)
 ④ 装置の部品図面 …… (提出済み)
 ⑤ 設計に関する計算や解析レポート …… (提出済み)

開発した装置に関する情報

重量[g] (概)	幅[mm]×高さ[mm]×奥行き[mm]	部品数[個]	ネジの数[個]	ナットの数 [個]
*	* [mm]×*[mm]×*[mm]	*	*	*

製作した装置のアピール

設計コンセプト(基本概念) ……移動装置の設計・製作の基本概念を説明

アイデア(新規性) ……図を用いる。「自分が工夫したところ」「他の移動装置とは違うと思う点」など

特に注目してほしい点 ……「自分の作品で評価してほしいところ」ない場合は「動作原理や移動方法」

感想

構造設計
 <開発の詳細や値をどのように決定したか根拠などを示す。(多い場合は別紙可)>
 ・機構設計
 ・制御設計

(設計仕様作成のための根拠となる計算や解析の過程がわかる資料, 様式自由)

図6 報告書様式

の相互評価とした。評価項目はスライドの出来栄や語り方、ロボットの完成度を三段階評価するものである。以上の評価に基づき、以下の割合で総合成績を算出した。

- ・ 中間報告：30%
- ・ 最終報告書と作品：30%
- ・ 最終発表および相互評価：30%
- ・ 取り組み（安全配慮や積極的な協働）：10%

ロボット作品の評価では、設計した機構の種類や複雑さは問わず、単純な構造であっても、必要な設計コンセプトや設計の根拠が報告書に記されていれば80点以上を与え、さらに自身が考える課題解決方法に基づく試算やシミュレーションなど、具体的な設計プロセスが説明されていれば加点した。さらに報告書や発表で「注目してほしい点」も記載できるように工夫し、各自のアイデアや努力をアピールできるよう工夫を施した。授業を活性化させ、作業が進むよう、教員は学生間の議論や、教え合いがスムーズに進むよう促すとともに、課題がなかなか解決できずにいる学生の技術相談に乗るなどして、各学生が試行錯誤を繰り返してロボット作りを行える環境構築に注力した。

3.3 学生の作品と授業の様子

2019年度の開講から2024年度までの授業の様子を概観すると、テーブル上に設置した紙製アームロボットが移動するパックを検出し、打ち返す（または止める）課題において、多くの学生が構想段階で設計方針を決めかねる様子が見られた。特にロボット形状を自由に設定できる条件は、設計経験の少ない学生には迷いを生じさせる傾向があった。そこで、学生に対して装置設計の方針決定についてアドバイスを行った。装置設計には、将来予測から構想を組み立てるフォアキャスティング（forecasting）と、理想像から逆算して設計を進めるバックキャスティング（backcasting）の二つの発想がある。本授業では、紙素材という制約のもとで、これまで経験したことがないロボットの完成を目指すため、後者のアプローチを重視することが望ましいと説明した。これは、限られた授業期間内では、試行錯誤を繰り返しながらアイデアを創出しても構造的に実現不可能な設計となる可能性があるためである。また、過去の経験やデータに基づく計画立案が求められるフォアキャスティングは、経験不足の学生には難しい。一方、先に完成形を明確にして必要な要素と工程を逆算するバックキャスティングは、設計の方向性を早期に決定できる。このため、バックキャスティングは限られた授業時間内における目標設定と計画立案の学習効果を高める上で有効であると考えた。以上より、筆者らはこの方針を授業に取

り入れ、学生に対して、「板ばねの反発力を利用して強く打ち返すロボット」、「パックの進行先を遮蔽するロボット」、「授業で学んだH型断面やラーメン構造を取り入れたロボット」などのように、掲げたコンセプト（完成形）から逆算して構造や制御システム、製作工程を見積もるようアドバイスを行った。なお、このアプローチの教育効果については、後述するアンケート結果により検証する。

授業では、ガイダンスに続いて試作設計のチュートリアルを実施し、超音波測距センサによって移動するパックまでの距離を検出し、紙の構造体をサーボモーターで駆動する回路とサンプルプログラムを提示した。学生はこれを参考に、パックの検出方法や紙製パーツの動作機構について構想を組み立てた。それでも学生はなかなか構想がまとまらず、報告書締切が近づく時期になって初めて試作を行い、意を決し設計を固める様子が見られた。製作の様子や競技時の様子、設計コンセプト図の例を図7から図9にそれぞれ示す。中間報告書を提出し、設計製作にとりかかる後半過程になると、作業に慣れてきたためか、試作と修正を繰り返す学生が増え、互い

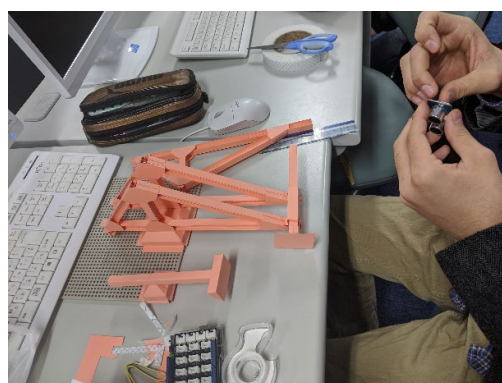


図7 ロボット製作の様子



図8 競技（撮影会）においてパックを打ち返す様子

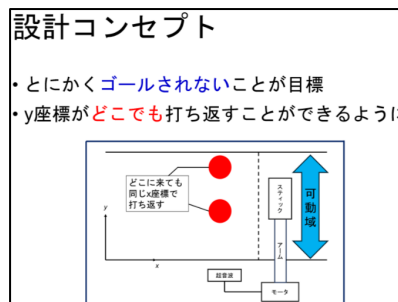


図9 設計コンセプトの例

に助言しあい、一緒に試走を行う様子が見られた。中には活発な設計の議論を交わす学生や、試走が成功すると周囲の学生を巻き込んで歓喜する様子も見られ、学生同士の協働が強まった。

2019年度から2024年度までに製作されたロボッ

トの一例を図10に示す。毎年、多様なロボットが製作され、その特徴を分類すると以下のように大別できる。

(1) シンプルなアーム型 (図10(a), (b)) 測距センサによってパックを検出し、直線状のアーム



を回転させて打ち返すが、回転半径が固定されているために、対戦者（製作者）が打ち返しやすい位置にパックを送り込む必要がある。

(2) 門型(図 10(c)-(e)) 門型クレーン構造で、スライド機構にクランクやワイヤ駆動を用いる。

(3) スライド機構型(図 10(f)-(j)) 紙製の歯車やベルトを用いて打面を往復運動させるタイプで、ラック・ピニオン機構やベルト駆動する精緻なものや、構造部材の断面を H 型にしたもの、トラス構造、ラーメン構造を採用して歪みが生じないようにする工夫したものが見られた。

(4) 反発力増強型(図 10(k),(l)) 紙製の板ばねや折り紙の技術で反発力を高めた構造を採用したものであり、これも対戦者が打ちやすい位置にパックを送り込む必要があるが、強力な打ち返しに周囲の学生は驚いた。

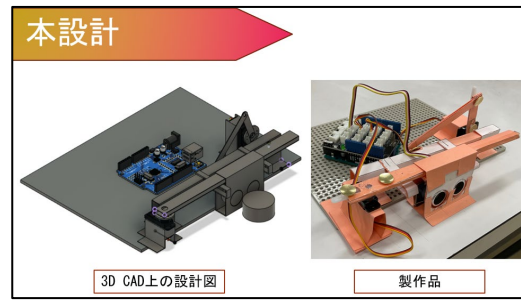
(5) その他(図 10(m)) 円筒シリンダを用いた、他に例がみられないものもあった。

完成したロボットは「競技」を行い、動きを確認するとともに、最終プレゼンテーション用の動画収録を行った。様々な形のロボットがフィールド内で動くとき学生は活気にあふれるが、自信が持てず、あきらめる学生も見られるようになる。そこでロボコン部などのものづくり関連の課外活動に参加している学生に声掛けをし、作業に遅れが出ている学生の支援に回るよう依頼し、学生間の協力で完成するよう促した(これは 3.1 節に掲げた到達目標④の「チームの一員として(略)」にあたる)。授業の最終週はスライド発表を行うが、評価を学生間の相互評価としたこともあり、各学生は互いのロボットの見どころを積極的にアピールしていた(図 11)。毎年、個性的で独創的なプレゼンテーションが増える印象を持った。

以上のとおり、本科目では設計・製作から報告書作成に至る作業には多くの知識とノウハウが必要となるが、基礎となるスキルのほとんどは過年度までに習得したものであるため、授業運営は 1 名の教員で実施可能であった。

3.4 授業評価アンケートによる授業評価とレポートに記載された感想から伺える本授業の特徴

授業参加者数の推移と評価アンケートの結果を表 4 および表 5 に示す。また、授業への関心と評価に相当する設問 10 および 14 の経年変化を図 12 に示す。過去 6 年間にわたるアンケートスコアを見ると、各設問への回答は授業時間外の取り組み時間の項目を除き、4 以上と高く、平均値はおよそ 4.5 であり、授業への満足度や理解度は高いといえる。図 12 に示す設問 10 および 14 のスコアの経年変動を見ると一定の傾向はみられない。



(a) CAD 図と完成品の説明を行うスライド



(b) 注目点を紹介するスライド

図 11 最終報告会におけるスライド説明の例

表 4 過去 6 年間に履修した学生の構成

開講年度	2019	2020	2021	2022	2023	2024	平均
受講者数	18名	23名	21名	19名	22名	15名	19.7名
女子学生割合	6%	13%	14%	16%	5%	24%	13.0%
留学生割合	0%	0%	0%	11%	9%	7%	4.5%

表 5 過去 6 年間の授業評価アンケートスコア

年 度		2019	2020	2021	2022	2023	2024	平均
回答者数		18	23	21	19	22	15	19.7
設 問		女子学生割合						
		6%	13%	14%	16%	5%	24%	13%
1	1.この授業の学習内容のレベルは適切でしたか。	4.3	4.8	4.7	4.3	4.7	4.4	4.5
2	2.この授業の学習内容の分量は適切でしたか。	4.3	4.8	4.6	4.1	4.6	4.4	4.5
3	3.この授業はシラバス(授業計画や時間数)に沿って行われていましたか。	4.1	4.8	4.6	4.3	4.7	4.4	4.5
4	4.学生の理解度を確認しながら授業が進められていましたか。	4.3	4.7	4.4	4.4	4.7	4.3	4.5
5	5.教員の話し方は聞き取りやすかったですか。	4.5	4.7	4.7	4.6	4.6	4.3	4.6
6	6.教員の説明や黒板の使い方、書き方は分かりやすいものでしたか。	4.4	4.6	4.6	4.5	4.6	4.3	4.5
7	7.教員は授業に関して意欲的だったとおもいますか。	4.4	4.8	4.6	4.6	4.7	4.4	4.6
8	8.この授業(放課後も含む)では疑問点があれば質問できましたか。	4.4	4.8	4.5	4.6	4.7	4.5	4.6
9	9.教員は授業中、授業への不参加(私語、居眠りや内職など)を放置せず注意していましたか。	4.0	4.6	4.3	4.4	4.4	4.1	4.3
10	10.総合的にみて、あなたはこの授業を高く評価できますか。	4.3	4.7	4.6	4.4	4.6	4.5	4.5
11	11.この授業の内容をどの程度理解しましたか。	3.9	4.5	4.4	3.9	4.4	4.1	4.2
12	12.あなたは授業中、授業に熱心に取り組みましたか。	4.3	4.7	4.5	4.4	4.6	4.3	4.5
13	13.あなたはこの科目を授業以外に週平均何時間勉強していましたか。(予習、復習はもちろんのこと、課題やレポート、試験勉強も含まれます。5:2時間以上 4:1時間30分 3:1時間 2:30分 1:ほとんどしない)	2.6	2.9	3.2	2.6	3.2	3.3	3.0
14	14.この授業によって、あなたはこの教科に興味や関心をもちましたか。	4.0	4.6	4.4	4.0	4.6	4.0	4.3

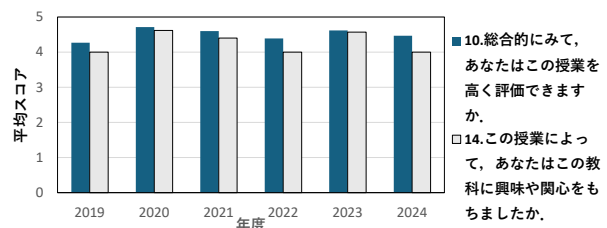


図 12 授業に対する評価と興味や関心に関するスコア

レポートに記された学生の感想には以下の記述が複数見られた。

- ・ 開始当初は紙で自律ロボットを作ることは無理だと思っていたが、完成することができた。
- ・ システムを構想から製作までの一連を開発した経験がなかったため、貴重な体験となった。
- ・ 他の学生の独創性やアイデアに驚いた。
- ・ 想定通りに作業が進まず、特に不具合の修正が大変だった。
- ・ プログラミングが重要であることがわかった。

以上のアンケート評価や学生の感想から、本授業は紙という制約の中で自律ロボットを設計・製作するという挑戦的課題を通じ、達成感と専門能力の向上に寄与していると判断することができる。他者の作品から刺激を受けるなど、教員が一方的に教えるのではなく、学習者同士が対話を通じて知識やスキルを深めるピアラーニングの促進も観察された。一方で、設計経験の少ない学生にとっては試作・改良の過程が大きな負荷となる場面もあり、序盤での段階的課題や早期試作の促進が有効と考えられる。

4. 結 言

本報告では、学生が個別に自律動作するエアホッケーロボットを製作する「ロボット創造演習」の取り組みについて説明した。通常、ロボット製作は多くの時間とコストを要するが、本授業では加工しやすく安価な紙素材を用い、前年度までに修得した座学や実習の知識を活かすことで、一人の教員による半期科目として実施可能であった。2019年度の開講以来、受講者は毎年特色あるロボットを製作し、H形断面構造やラーメン構造、紙製ばねの利用など、授業で得た知識を応用した多様な工夫が見られた。難易度の高い課題に対して学生同士が教え合う場面も多く、協調性やコミュニケーション力の向上に加え、主体性や意欲の向上にもつながった。授業評価アンケートでは満足度が概ね高く、レポートからも「紙での製作は不可能だと思っていたが完成できた」「構想から製作まで通した経験が貴重だった」といった達成感を示す感想が得られた。今後は、序盤での段階的課題や早期試作を進めるほか、AI機能を搭載した画像認識対応マイコンの導入による高度情報技術の活用を試みたい。

謝 辞

本研究は公益財団法人NSKメカトロニクス技術高度化財団の助成（2016年度）を受けて実施した。

参 考 文 献

- 1) 内閣府: 第6期科学技術・イノベーション基本計画 <<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index.html>> (参照日 2023年2月28日)
- 2) 堤博貴, 福田勝己: 学習意欲向上のための創造的ロボット教育の試み, 工学教育, 2010, 58 (2010) 27-32.
- 3) F. Ouyang and W. Xu: The effects of educational robotics in STEM education: a multilevel meta-analysis. IJ STEM Ed 11, 7 (2024). <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00469-4> (参照 2025-08-13)
- 4) N.A. Selcuk, S. Kucuk and B. Sisman: Does really educational robotics improve secondary school students' course motivation, achievement and attitude?. Educ Inf Technol 29, 23753-23780 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12773-1> (参照 2025-08-13)
- 5) Rus, Daniela & Tolley, Michael. (2018). Design, fabrication and control of origami robots. Nature Reviews Materials. 3. 1. 10.1038/s41578-018-0009-8.
- 6) 細谷和範, 山田貴史, 野中撰護, 西川弘太郎: 紙素材を用いて自律型ホッケーロボットを製作する課題解決型授業の展開, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, ID 1P1-C03 (2023) 1P1-C03 (ISSN 2424-3124).
- 7) 津山工業高等専門学校シラバス: https://syllabus.kosen-k.go.jp/Pages/PublicDepartments?school_id=32 (参照 2025-08-13)
- 8) A. Namiki and S. Matsushita: Hierarchical processing architecture for an air-hockey robot system, IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (2013) 1187-1192.
- 9) K. Igeta and A. Namiki: Algorithm for Optimizing Attack Motions for Air-Hockey Robot by Two-step Look Ahead Prediction, IEEE/SICE International Symposium on System Integration (2016) 465 - 470.
- 10) M. Shinjo, C. C. Beltran-Hernandez, M. Hamaya, and K. Tanaka: Low-Cost Air Hockey Robot Using a Five-Bar Linkage Mechanism Driven by Position-Control Servomotors, Proc. the 2024 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), DOI:10.1109/IROS58592.2024.10801458.
- 11) 福岡工業大学短期大学部「エアホッケーロボット (i-STEM 連携) プロジェクト」: <https://www.fit.ac.jp/jc/news/archives/4538> (参照 2025-08-13)