

自律ロボット・IoT 実習を通じた電気電子工学アクティブラーニングの有効性

Availability of active-learning through practical development of robot and internet of things
in electrical and electronic engineering

本井 幸介*, 菅沼 美季*, 竹下 紗良*, 芝田 和紀*, 加藤 丈和*

Kosuke MOTOI, Miki SUGANUMA, Sara TAKESHITA, Kazuki SHIBATA and Takekazu KATO

Abstract: In the academic field of electrical and electronic engineering, it is important to study the techniques through the development of fully automated control system in robot, internet of things (IoT), and so on. In this study, we attempted new active-learnings to study the development using some car-type robot systems. The control systems were consisted of sensors, microcomputers, and actuators and installed in custom made small car robot and commercially available mini 4WD model (TAMIYA). The lectures using these systems were carried out in the department of electrical and electronic engineering, Shizuoka Institute of Science and Technology and a high school. From the results, it was demonstrated that the present active-learning systems could be successfully functioned, showing useful means for improvement of academic score and motivation for the study.

1. はじめに

近年電気自動車やその自動運転技術, IoT (Internet of things), エコ関連システム, さらには医療・福祉機器など, あらゆる分野において大きな変革期を迎えている. これに伴い, センシング技術や関連の回路設計技術, 情報・通信システムなどのハードウェア, さらには AI 活用を含む, データ解析技術まで, 電気電子工学科卒業生の役割は多様化し, 益々その重要性・責任は増している.

電気電子工学科における教育内容は, これに応じて変化していく必要があり, 本学内外において様々な取り組みが行われているものの¹⁾, まだ十分とは言えない状況である. また対応できていないために, 高校生・大学生には, 従来の電気電子工学における「裏方感」や「分かりにくい」という印象だけが強く残ってしまう傾向にある. 結果的には当該分野を志す学生が減少し, 地域に十分な人材を輩出できない状況が生まれている. しかしながら, 本来電気・電子に関する技術開発なしでは, 上記の様々な分野における機器を持続的に動作・発展させることは不可能であり, またそれは同時に魅力的な分野であると言える.

これら状況を打開するには, 従来の電気・電子回路学の充実に加え, 電気電子工学の基礎知識を生かす体験が必要である. ハードウェアやソフトウェアの設計・開発・組込を行い, 実際の機器を自分のイメージ通りに動かすという体験をさせることにより, 当該分野への興味を引き出し, 学習への意欲を高めることが重要であると考えられる. これを実現する, いくつかのプログラミング実習キットも市販²⁾されているが, 小・中・高生向けのものが多く, また日々

技術も進歩しており, 大学教育として用いるには新たに実習システムを開発する必要があった.

そこで著者らは, 本学電気電子工学科における講義や実験, 具体的には電子回路学²⁾, マイクロプロセッサ応用, 情報・通信実験において, 情報をセンシングし, そのデータを通信・解析して, アクチュエータを動かすという一連の機器制御システムを含んだ開発を行う実習・アクティブラーニングの仕組みを新たに構築した. 本稿では, これら試みの内容と, その具体的な成果, さらにはそれら知見を外部での模擬講義にも展開した際の効果についても併せて報告する.

2. 方法

2.1 マイクロプロセッサ応用

従来の本講義は, H8 マイコン (ルネサスエレクトロニクス社製) を用いて, マイコンそのものの構造や制御の仕組みなどを学習するという電子回路学的な要素が強いものであった. 従って, 学生がそれを活用して, 自身のイメージする通りにものを動かすというモチベーション・喜びを感じられる内容ではなかった. そこで今回, 開発環境構築が容易で, ドライバやライブラリも充実している「Arduino」を用いた, 完全能動型講義に刷新した.

まず前半 7 回は規定課題として, Arduino UNO, 距離センサ (GP2Y0A21YK, SHARP), モータ, モータドライバ (TA7291P, TOSHIBA), ギャボックス (ツインモータギャボックス, タミヤ社製) などからなる自律走行車両を製作し, プログラミング内容を各自が工夫することで, 迷

2019 年 5 月 21 日受理

* 理工学部 電気電子工学科

路脱出時間を競うという実習を行った。なお、それぞれの学生のプログラミング技能の習得状況には差があるため、迷路の途中で中間ポイントを設け、達成度合いにより評点を決める形とした。

一方、後半8回は自由課題として、グループ毎に社会の問題を解決するロボットの開発を課題として設定し、最終回に開発した機器のプレゼンテーションをする形式とした。2~3人を1組とし、製作する機器の企画書を冒頭で提出するとともに、週ごとに作業日誌を提出することにより進捗状況を把握し、目標を達成できるよう支援を行った。



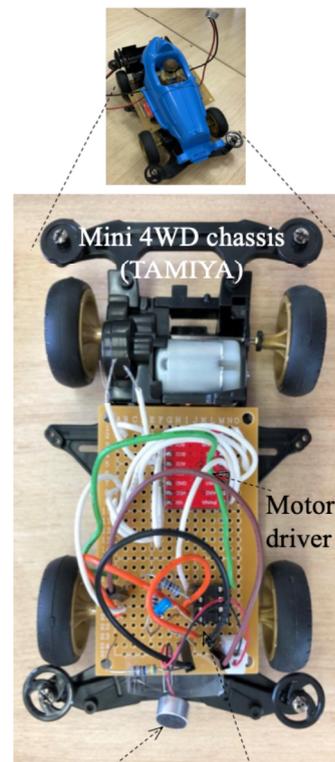
Figure 1 Examples of an autonomic robot car capable of getting out of labyrinth (a) and a control program installed in Arduino UNO (b) developed by student.

Figure 1(a)は本学電気電子工学科の学生が開発した前半規定課題における迷路脱出ロボットの概要であり、また同図(b)は障害物検知のための制御用プログラム例である。これらにより、前方の距離センサが障害物を検知すると、左右の障害物の状況を確認しながら、開いている方向に前進し、最終的には迷路脱出が可能となっている。

2.2 電子回路学2

従来の本講義は、トランジスタやオペアンプを用いた増幅回路を中心とし、その周辺の応用回路の知識を得る、完全座学型の講義であった。まずこれらの技術内容について、近年の社会における活用状況を精査し、内容の絞り込みを行った。これにより、座学9回と2回の達成度テストを実施後、後半4回は講義で得た増幅回路などの知識を生かして、モノづくりを行うアクティブラーニングを実施した。

Figure 2は本講義において学生が開発した、外部からの声の有無に反応して、車体が走行・停止する車両の概要である。具体的には、ミニ四駆（タミヤ社製）にマイク、信号処理回路、モータドライバを組込んだ車体とし、実際の公式サーキット上を走行可能としている。



Microphone Amplifier circuit

Figure 2 Outline of a mini 4WD that can control the speed using a sound sensor.

2.3 情報・通信実験

これまでの実験は、通信技術の評価に重点を置いたものであり、光ファイバの特性評価などを含む、基礎的な実験が主となっていた。これに対し、静岡県という地域性を鑑み、またロボカップ⁷⁾の活動を参考に、全15回を通じて、サッカーロボットの開発とデモンストレーション・競技会を行うものとした。具体的には、前半は赤外線サッカーボールへの追従や、車体のフィードバック制御など、前述のマイクロプロセッサ応用に対して、さらに発展的で、かつサッカーをするという目的を実現するのに最低限必要な知識を学ぶ。また後半は、グループ毎に自由に車体設計を行い、プログラミングを工夫し、競技会を行う形とした。

Figure 3 は実際に学生が開発したサッカーロボットの外観図であり、タッチセンサや車体制御回路（回路基板は卓上 CNC フライスにより各グループで製作）などが実装されている。スイッチ ON 後は、ロボットは自律して走行するが、チームによっては画像処理技術を用いるなど、高度な制御も行われた。

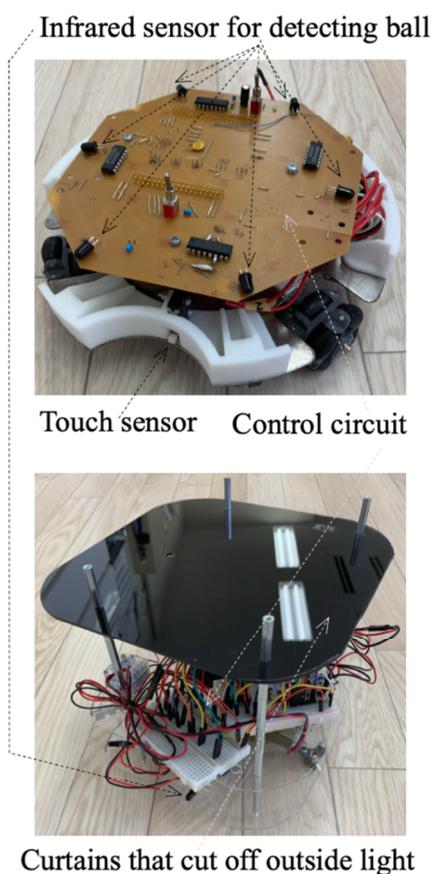


Figure 3 Development examples of two-type football-robot automatically controlled using some sensors, microcomputers and the other actuators.

2.4 対外イベント・模擬講義における実習

前述のマイクロプロセッサ応用における迷路脱出口ロボットを本学のオープンキャンパスで用いて実験を行った。また電子回路学2における実習方法についても、県内の工業高校の模擬講義2件において、IoTを意識したさらに発展的な実習を行った。

Figure 4 は模擬講義の実習で用いた IoT ミニ四駆キットの外観図である。本実習では、ミニ四駆内部にモータドライバやステアリング機構といった基本パーツに加え、Wi-Fi モジュールを内蔵したマイコン開発ボード (ESP32-WROOM-32) を搭載した。これにより、スマートフォンやタブレット端末のブラウザから、ミニ四駆の前進・後退・左右旋回をコントロールできるものとした。一方、ステアリングなどの関連する機構は、3D プリンタや卓上 CNC フライスを用いて、独自に製作したものを用いた。対象の学年は高校1年生と2年生であり、1年生はタミヤの公式サーキットのジャンプ台から飛び出さないように速度を制御すること、また2年生は同様の課題と、さらにタブレット端末 (iPad, Apple) の Web ブラウザを用いたコントロールを実現し、車体でボールを押す実習も行った。

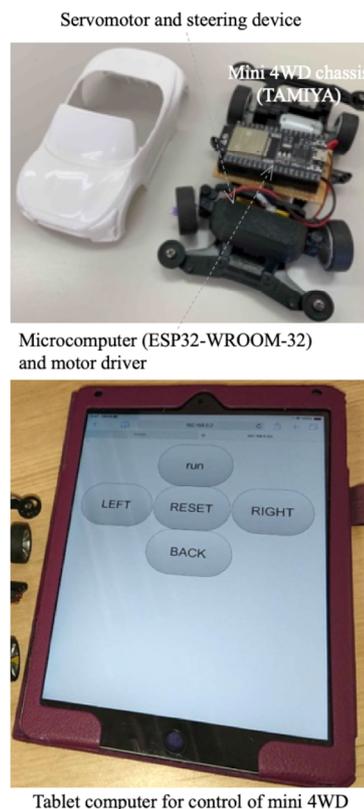


Figure 4 IoT mini 4WD system with Wi-Fi module. This system could be controlled using web browser in smart phone and tablet PC.

3. 結果

3.1 マイクロプロセッサ応用

Figure 5(a)は、前半の規定課題における迷路脱出競技会の実施風景である。競技では、研究室所属の4年生がレースの進行・記録を行い、受講生はレース毎にプログラムを再調整しながら、再レースを行い、2つの中間ポイントやゴールへの到達、さらにはゴール完了後の自動停止に挑戦した。その結果、平成30年度は受講生の67%がゴールまで到達、残りの学生も第1あるいは第2中間ポイントに到達した。

一方、同図(b)は後半自由課題の開発例である障害者の学習支援を目的とした福祉機器の外観図である。卓上の振動を検出し、対象者が机に着いたことや、それを受けて電灯などの家電が自動で動作し、振動パターンから執筆補助用のアームを作動させることができるなど、多機能を実現している。なお、自由課題においては、このような福祉関連機器をはじめとし、自動車や自宅におけるセキュリティシステム、カップラーメンなどを含む食品自動製造関連、ペットとその飼い主を対象とした遊具、その他アミューズメント系など、多岐にわたる分野のロボット開発が行われた。さらにプレゼンテーションにおいても、学生同士での活発な質疑応答が行われ、総質疑回数も24件となった。

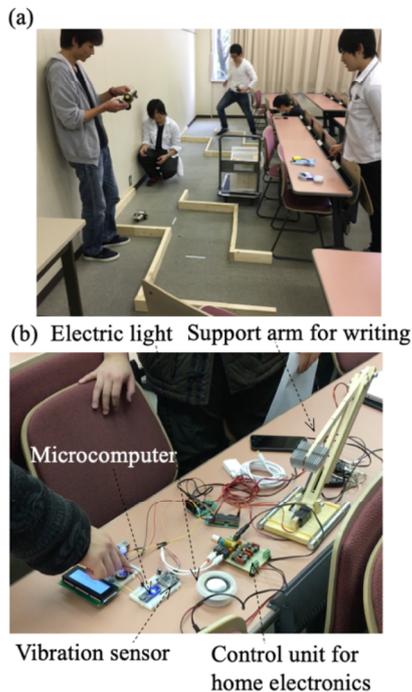


Figure 5 Competition for escape from a labyrinth using a fully-automated controlled car (a) and a development example of support system for study in physically challenged person (b).

3.2 電子回路学2

Figure 6(a)は音声センサ内蔵型ミニ四駆を用いた走行テスト風景であり、Figure 2に示した車体を実際の公式サーキット上で走らせた。また同図(b)は製作した回路の回路図例(学生のレポートより抜粋)である。その結果、受講者の24%が、コース上で手を叩くと車体の速度が変化するシステムを実現でき、また他学生も音声を検出・増幅する回路の開発までは実現できた。なお、本学で実施している授業アンケート(5点満点)の結果においても、本科目は4.70という高い総合評点を得ることができた。

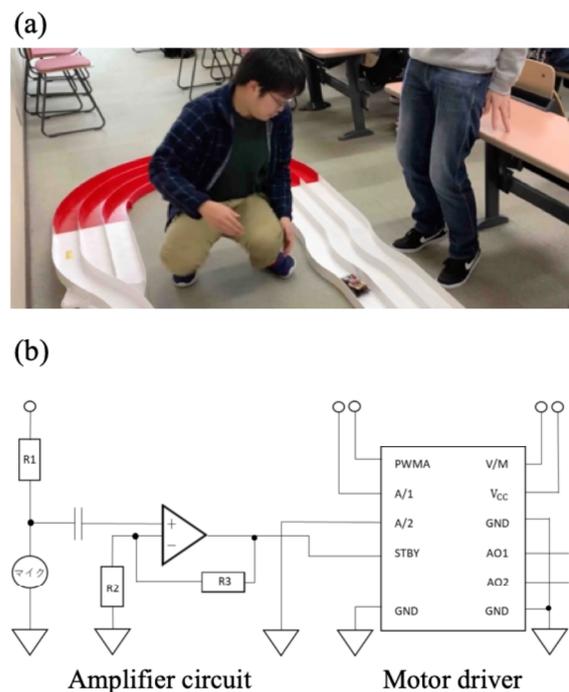


Figure 6 Test run using the mini 4WD in official circuit (a) and the schematic diagram for detection of sound and motor control developed by a student (b).

3.3 情報・通信実験

Figure 7は、第1~14回の講義で開発された自律型サッカーロボットを用いた、第15回目のサッカー競技会の風景である。平成30年度は3人1組とし、合計5グループにより競技を行った。その結果、サッカーボールには全グループが自動で接近することができ、1グループはゴールの方向にボールを蹴りだす動作を実現した。また別の1グループは、コートの上部に設置したカメラを用いて、画像処理を用いた車体制御を実現した。



Figure 7 Football game using the fully-automatically controlled robots developed by the students in the lecture of advanced experiments in electronics engineering.

3.4 模擬講義における IoT 実習

Figure 8 は, Figure 1 における迷路脱出口ロボットを用いて, 本学オープンキャンパスにおいて, 高校生を対象とし, 車体製作やプログラミング体験実習を行った際の実施風景である. 約 60 分間で, 車体の組立を行うとともに, 旋回角度や速度の調整等をプログラミングで実現し, 前述のマイクロプロセッサ応用と同様の迷路脱出を達成した.

また, Figure 4 に示した IoT ミニ四駆を用いて, 浜松市の工業高校において, 模擬講義を行うことができた. その結果, 全ての高校生がステアリング機構の組み立てと, プログラミングの目標課題を達成できた. さらに, 講義実施後のアンケート結果には, 「ミニ四駆を制御できるとは思わなかった」, 「電気電子工学を学ぶことで, ミニ四駆を自由に制御できるようになることに驚いた」といったコメントが得られた.

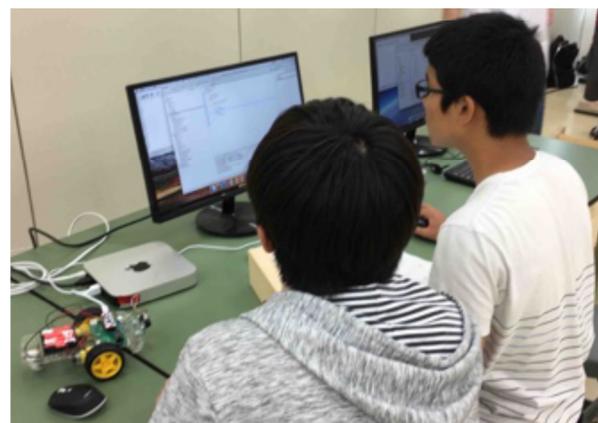


Figure 8 Simulated lecture of escape from a labyrinth using the fully-automated controlled car in open-campus of Shizuoka Institute of Science and Technology.

4. 考察

以上により, 実施したアクティブラーニングの結果を踏まえ, 電気電子工学の教育への効果, 今後重要な大学教育におけるポリシーとその達成度評価への寄与, 高大連携教育の促進, それぞれにおける知見を, 以下に述べる.

(1) 電気電子工学教育におけるモノを動かす体験の効果

電子回路学, 電磁気学など, 当該分野における必須科目においては, オシロスコープなどを用いて波形を観察することにより, 学習内容を実感することもできる. しかしながら, あくまで回路上の電圧や電流の変化を見ているだけであり, それらを活用してロボットアームが動くといった, 実際の社会で実装される形で実感する機会は乏しい. しかしながら, これらの基礎知識に, 今回のように, 近年急速に発達し, また一般向けに非常に明瞭な開発環境が整っている, マイコン・プログラミングやデータ通信技術を融合することにより, 実際の機器を自分の意のままにコントロールできる体験・教育までが可能となった. これにより, 従来の当該分野における分かりにくさや裏方感を大きく払拭することができた. その結果, どの講義においても学

生のモチベーションは向上し、前述の一定以上の目標を達成できている。

なお、さらに高度な目標を、かつ多くの学生が達成するためには、以下の改善が必要である。まず、プログラミングの基礎やセンサ活用法、デジタル信号処理、解析プログラムの構築方法に関する教育の充実や、カリキュラムの再構成を行い、学生にシステム開発を実現できるようになる道筋、即ち履修モデルをより明瞭に提示できる必要がある。また前述の基礎的な講義においてもアクティブラーニングを導入し、次のステップでモノ作りに生かす手法を習得可能な講義を体系的に実現しておかなくてはならない。次に、学生の習熟度に違いが出ることは避けられないと考えられるため、ある学生にとってはついていけず、ある学生にとっては物足りないという事態も起こる。これに対しては、前述の履修モデルにおいて、学生には講義中にいくつかの目標設定例・実現コースを提示し、それを参考に到達目標を決めることにより、多くの学生がそれぞれの満足度を得られるように工夫することが必要である。

(2) 成績評価との関連性

今回のアクティブラーニングの導入に伴って、成績評価方法の改善も行うことができた。具体的には、本学科におけるディプロマポリシー (DP) について、それらを講義におけるどの項目・タイミング・観点で評価を行うかという、DPを踏まえた成績評価法を確立した。まず学生に対しては各DPをどの項目で評価するか、初回の講義において明確化した。具体的には、達成度テスト→知識・理解・思考・判断、演習解説→関心・意欲・態度、実習レポート→技能・表現というように、学生がどこで力を発揮できるか、足りない部分はどこかなどを把握可能とした。これにより、座学や理論が苦手な学生は、モノ・コトづくり実習で頑張っただけでアピールし、学力が良好な学生にとってはモノづくりもできるようになり、より高い知識を習得して「秀」を目指したいなど、各学生のモチベーションの高まりや、それぞれの目標達成に向けた履修状況を確認することができた。その結果、学生の学習姿勢も向上し、学期末における「不可」の判定も減少傾向にあった。従って、アクティブラーニングそのものの効果と、その導入に伴う成績評価法の改善・明確化を両立させることが重要であり、それが学生の継続的な学習意欲の向上に、非常に有効であると考えられる。

(3) 高大連携教育への寄与

オープンキャンパスにおける模擬・実験講義や、2件の工業高校における模擬講義におけるアンケート結果からも、電気電子工学を生かすことにより、機器を思うように

制御できることが、今回のアクティブラーニング型の模擬講義でより伝わっていることが確認され、当該技術が社会で実装されていることを確認・理解してもらうことができたと言える。これまでも、高校生は当該技術が社会のあらゆる場面で使われているイメージは持っていたと推測される。しかし今回のように機器が動くという目に見える形で学べることは、「実感・経験」として学ぶことができるという点で、当該分野を目指そうというモチベーション向上に大きく繋がると考えられる。一方、大学で学ぶことにより、4年後にはこのようなことができるようになるのだという、大学教育の効果や重要性を見える化することもでき、高大連携教育や進学への推進にも、今後大きく寄与できると考えられる。

5. おわりに

今回対象物との距離や音声などをセンシングし、得られたデータを通信・解析し、モータなどのアクチュエータを動かすという一連の機器制御システムを学ぶことができる実習システムを構築し、学内の講義や外部の模擬講義において試行した。その結果、普段「見えない」電気・電子を制御した結果、機器を思い通りに動かせたという「見える」形でその成果を実感できる教育が実現できた。

一方、学生がこれまでの履修体系を認識・整理し、今回のアクティブラーニングに生かすためには、1年次からの体系的なカリキュラムの実現と、具体的な履修モデルの提示をさらに進めることが必要と考える。

今後は、本報告における試みを継続するとともに、それぞれの学生の習熟度を踏まえた実習モデルの提示など、さらなるプログラムの充実・明瞭化を行っていく。さらに高校での講義への組込も推進し、電気電子工学を志す学生の増加と、高大連携教育の推進を行っていく予定である。

謝辞

本稿において報告を行った各アクティブラーニングは、静岡理工科大学平成30年度教育プロジェクトBの支援により行われた。また、実際の講義における実習並びに本稿の執筆に際しては、本学電気電子工学科の多数の学生の協力を得て実施された。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 紅林秀治, 兼宗進, 岡田雅美, 佐藤和浩, 久野靖, “画面を飛び出したオブジェクト: 自立型ロボットを活用した情報教育の提案”, 情報教育シンポジウム2002論文集, **12** (2002) 77-84.
- 2) 岩本正敏, 水谷好長, “コンピュータ制御ロボット

- を用いた電子制御技術教育の導入学習の効果”, 電子情報通信学会技術研究報告, **103-226** (2003) 35-40.
- 3) 岡田将人, 村中貴幸, 北川浩和, 吉崎保夫, 米田知晃, “機械・電気・情報分野を融合した PBL 教育の実践とその効果”, 福井工業高等専門学校研究紀要, **41** (2007) 9-15.
 - 4) 富永浩之, 加藤 聡, “LEGO ロボットの制御をゲーム題材とするプログラミング演習のフレームワーク”, 電子情報通信学会技術研究報告, **109-163** (2009) 31-38.
 - 5) F. A. Candelas, G. J. García, S. Puente, J. Pomares, C.A. Jara, J. Pérez, D. Mira, and F. Torres, “Experiences on using Arduino for laboratory experiments of automatic control and robotics”, IFAC-PapersOnLine, **48-29** (2015) 105-110.
 - 6) カムプログラムロボット工作セット (タミヤ製, <https://www.tamiya.com/japan/products/70227/index.html>)
 - 7) ロボカップ日本委員会 (<http://www.robocup.or.jp>)