

[技術・研究報告] IoT システムのプロトタイプ ングを用いたロボット技術PBLの試み

著者	梅谷 智弘
雑誌名	甲南大学紀要. 知能情報学編
巻	14
号	2
ページ	181-190
発行年	2022-02-01
URL	http://doi.org/10.14990/00004169

技術・研究報告

IoTシステムのプロトタイピングを用いた ロボット技術PBLの試み

梅谷智弘

甲南大学 知能情報学部 知能情報学科
神戸市東灘区岡本8-9-1, 658-8501

(受理日 2021年11月29日)

概要

知能情報学部では情報通信技術 (ICT) をベースに人間力と感性・知性で未来を切り拓く人材の育成をめざし、特徴ある教育を実施してきた。2年次向けの授業科目「プロジェクト演習」では、実社会に通じる具体的な問題をいくつか取り上げ問題解決を追究することを目的としている。本稿では、2020年度よりプロジェクト演習の一テーマとして設定された「フィジカルコンピューティングを用いたロボット技術 (RT) システムの構築」プロジェクトに関して、本プロジェクトの狙いと2年間の演習の取組と成果について報告する。具体的には、本プロジェクトの進行スケジュールなど授業構成や運用体制を説明し、アンケート結果から見たものづくりを伴う総合的な創成教育としての演習の効果を報告する。

キーワード: プロジェクト演習, 課題解決型学習, 創成教育, フィジカルコンピューティング, ロボット技術

1 はじめに

知能情報学部では、情報通信技術 (Information and Communications Technology; ICT) をベースに人間力と感性・知性で未来を切り拓く人材の育成を目指し、特徴ある教育を実施してきた。特に1年次の導入教育から4年次の卒業研究及び演習に至る各年次で双方向型の少人数教育科目が設定されており、知能情報学部での教育の特徴の一つとなっている。2年次後期に設定されている授業科目「プロジェクト演習」では、実社会に通じる具体的な問題をいくつか取り上げ、問題解決を追究することを目的としている。1年次からの講義、演習を総括し、3年次以降のより深い専門科目や研究室配属科目に接続する総合的な科目であり、受講生は複数設定されたプロジェクト (課題) テーマから、自身の関心、興味に関連した1テーマを選択して履修する。ここで、2021年度から実施されている履修モデルとしての6コース制導入の議論のなかで、プロジェクト演習でロボット技術や実世界情報処理に関連した新課題の設定が求められることとなった。

本稿では、2020年度よりプロジェクト演習の一テーマとして筆者が設定した「フィジカルコンピューティングを用いたロボット技術 (RT) システムの構築」プロジェクトに関して、本プロジェクトの狙い

と2年間の演習の取組と成果について報告する。筆者は1年次のプログラミング演習科目に続いて、2年次でセンサー工学、3年次にロボティクスを開講しており、実世界情報処理に関する講義を実施している。一方、講義で情報処理回路などを説明するものの、実際の実施例を演習などで体験させることが難しい状況にあった。また、各講義科目とプログラミング演習科目を接続し、一つの実装する能力は、筆者が関連するロボット分野、実世界情報処理の研究分野において重要な問題解決能力である。

工学教育において、学生の創造性を涵養するために、ものづくりと授業科目との連動が重要視されており、課題解決型学習 (Project Based Learning; PBL)、創成型教育が行われるようになってきた [1]-[3]。ロボット工学分野では理論だけでなく実験を行うためのものづくりを伴う実装が求められるため、関連する領域で創成型教育としてロボットを題材とした創成教育が行われている [4]。筆者は、これらの創成教育の事例を参考に、プロトタイピングを通して新たな制作素材を生み出す手法であるフィジカルコンピューティング (Physical Computing) [5] を用いたロボット技術 (Robot Technology; RT) システムの構築テーマを設定した。本稿では、本プロジェクトの進行スケジュールなど授業構成や運用体制を説明し、アンケート結果から見たものづくりを伴う総合的な創成教育としての演習の効果を報告する。

以下、2節では設定したプロジェクト演習テーマの位置づけや狙いについて述べ、3節で演習テーマの概観として、レギュレーション、進行スケジュールや各回の概要などを紹介する。4節では、これまで2回実施したプロジェクト演習を通じた発表例を紹介し、5節で受講生を対象としたアンケート結果から演習の効果や問題点を考察する。最後に6節で本稿のまとめと今後の展望について述べる。

2 フィジカルコンピューティングを用いた RT システムの構築プロジェクト

本節では、2020年度より設定したプロジェクトの位置づけや狙いを説明する。近年、ロボット分野の研究の発展にともない、「ロボット」という言葉がさす範囲が広がっている。ロボットといっても移動ロボット [6] や図書館コミュニケーションロボット [7] のみならず、漫才ロボット [8]-[10] など、様々な形態のものが存在する。また、センサやアクチュエータなど様々な要素を組み合わせ、ネットワークを介して協調し、生活支援などをおこなうシステムなど、ロボットにはみえないが関連する技術を利用するシステムが広く開発されている。この技術をロボット技術 (RT) と呼び、広くとらえるようになっている。

ロボットは多自由度の機構を持ち、使用目的に応じてさまざまな種類のものが存在する。ロボットシステムの開発では、計画系などソフトウェアの要素、実装時にはハードウェア、など様々な要素があり、総合的な能力を身に着けることができる課題となりうる。一方、学生の創造性を発揮できる問題設定を考えた場合、ロボット全体を想定したシステム構築は非常に内容が多くなってしまう。プロジェクト演習は2単位授業であり、本学部の必修授業科目の内容以外の予備知識をあまり前提としないとする、必ずしもロボットを将来専門としない学生が受講することを考えると不完全な内容になってしまう。また、ハードウェアシステムとして機能させるために、適切な規模の開発プロジェクトを設定する必要がある。

これらの課題を解決するために、プロトタイピングを中心として新たな制作素材を生み出すフィジカルコンピューティングの手法を用いて、比較的小規模なシステム開発の課題を設定した。筆者らの

研究グループでは、小型マイクロコントローラを使用した実演用システムの構築 [11] や図書館アンドロイドロボットの対応システム [12] など、ロボットシステムの開発やシステム統合の経験を有している。また、既製の比較的整理されたプロトタイピングシステムを用いることで、ものを作って動かすまでの難度を下げるのが期待できる。このプロジェクト演習をとおして、ロボット単体だけでなく、ロボット技術の考え方を身に着けることで、ロボット技術、さらには、ロボットシステム、システム統合に対する考え方の修得を目標とする。

さらに、本プロジェクト演習を通して、ロボット技術を支える学習が多岐にわたること、システム開発の楽しさと難しさを理解させることを本演習テーマの課題とした。課題設定当初は、グループワークを想定したものの、2020年からの世界的な問題となっている新型コロナウイルス感染症対策の観点、また、学生の創造性を引き出す、という観点から、成果物の規模が小さくなるものの、評価を行いやすい個別課題として実施することとした。

3 授業の構成

本節では、演習テーマの概観として、レギュレーション、進行スケジュールや各回の概要などを紹介する。最初に本演習で使用したマイクロコントローラを説明し、続いて、受講生に与えた課題内容およびスケジュール、各回の概要を説明する。

3.1 本演習で使用したマイクロコントローラ

本演習では、フィジカルコンピューティングデバイスに、M5Stack社のM5Stack Gray マイクロコントローラ¹ (図1)を使用した。表1にM5Stack Grayの仕様を示す。図1に示すように、外部拡張ユニットは名前にもあるように積層できる構造をしている。そのため、配線の取り回しがしやすく、安全性が高い。また、コントローラ本体側面から直接外部入出力のピンも接続でき拡張性も高い。さらに、今回選択したマイクロコントローラは9軸IMU (3軸加速度, 3軸角速度, 3軸地磁気センサ)を標準で内蔵しているため、動きの様子を容易に計測でき、Wi-fi, Bluetooth, シリアル通信など外部機器への接続を容易に行える。あわせて、Microsoft Azure や Amazon AWS に対応しており、クラウドコンピューティングと実世界情報処理を容易に結び付けられる。

プログラミング言語には、Micro Python に対応したビジュアルプログラミング言語 Google Blockly や、Arduino IDE を選択できる。本演習では、フィジカルコンピューティング機器として広く用いられている Arduino シリーズ用の統合環境 Arduino IDE を開発環境に指定した。

3.2 課題内容

本演習で実施した課題の内容について説明する。ロボット技術の構成要素として、外部からの情報を収集するセンシング、センシングした情報の処理、外部への働きかけである出力があげられる。これらの一連の流れを1つのシステムとして構築し、人へのサービスを提供させることを目的とする。

¹M5Stack. <https://m5stack.com/> (2021年11月29日閲覧).

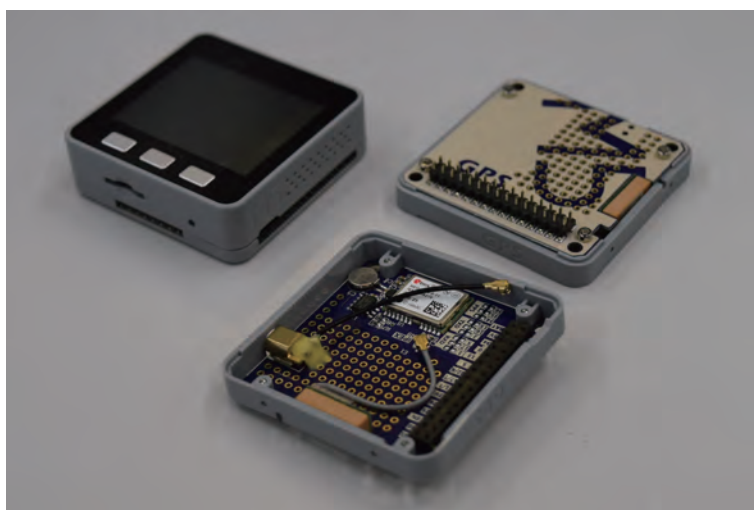


図 1: M5Stack Gray マイクロコントローラおよび M5Stack 用 GPS ユニット (表・裏)

表 1: M5Stack Gray の仕様

項目	内容
CPU	ESP32 240 MHz Dual Core
SRAM	520 KB
フラッシュメモリ	16 MB
動作電圧	5 V
外部電源電圧	5 - 5.5 V
インタフェース	シリアル・ペリフェラル・インタフェース (SPI) × 1 GROVE (I ² C + I/O + UART) × 1, UART × 2, I ² S × 1 未使用 GPIO 入力 × 2, 入出力 × 5
押しボタンスイッチ	3 個
グラフィカルディスプレイ	解像度 320 × 240 [pixels]
その他の機能	9 軸 IMU (MPU6886 + BMM150), Micro SD カード

演習の流れを以下に示す。各回の授業コマ数は 3 (90 分 × 3 = 270 分) であることに注意する。学事日程、および、物品の調達時間の問題があるため、第 2 回と第 3 回、第 3 回と第 4 回の間は、1 週間授業のない週を挟むこととなった。

1. 課題内容の説明, M5Stack 演習
2. 企画案の議論, テストの開始
3. システムの実装
4. システムの検証

5. まとめ、講評会(プレゼンテーション)

本演習での要求は、M5Stack を最低 1 個使用したロボット技術アプリケーションを構築することであり、マイクロコントローラの使用個数などは、受講生の着想に応じて選択することとした。また、マイクロコントローラ、および、主要な M5Stack の周辺機器は貸し出すことで対応した。システムの開発に必要な PC (Windows もしくは Mac) は学生所有のものを使用することとしたが、不具合などがあった場合、実験用の PC を貸し出した。2020 年以降、オンライン授業の受講などで、学生は登学時にも PC を大学に持参していることが多く、大きな問題にはならなかった。一方、システムの構築、開発は時間内のみで行えないため、事前の注意でも授業時間外に開発することが求められる旨を連絡した。なお、本科目は 2 単位科目で 1 回 3 コマであるため、各回 540 分の授業時間外での学習が求められており、シラバスにも時間外学習時間の目安は明記している。また、資料の共有、時間外での質問対応のため、Microsoft Teams を用いてプロジェクト演習を運営した。

3.3 演習の運営

ここでは、プロジェクト演習各回の内容について説明する。第 1 回では、課題内容の説明、および、M5Stack 演習を行った。課題内容の説明では、ロボット技術の意味と変遷、本演習で扱う領域に近いモノのインターネット (Internet of Things; IoT)、インターネットと人の行動との連動のイメージを示し、機材を紹介した。課題として「身の回りをロボット化して、サービスを作ってみよう」という指示を与え、スケジュールを示し、考え方をヒントとして与えた。

M5Stack 演習では、開発環境のインストール、設定などを参考図書をもとに行い、実際に参考図書内やインストール環境のサンプルプログラムを実行し、一連の開発の流れを習得させた。この時点で、受講生が所有する PC のインターフェースなどの外部環境、ネットワーク環境などに起因する M5Stack のプログラム開発の問題を取り除くようにした。授業時間外にもプログラム開発を行うため、ここで演習が継続できないなどとなると、受講生の演習進行に大きな影響が懸念されるため、プログラミング演習の初回と同様、リテラシを重視した構成とした。

初回の演習の最後には、次回までの宿題として、受講生がプロジェクト演習で開発するシステムの企画案を作るよう指示した。企画案はプレゼンテーションなど資料を準備させるようにした。演習で触れた M5Stack の仕様やインターネット上の M5Stack 開発の情報、および、自身の経験、体験をもとに企画案を作るよう促した。自身の経験、体験をもとにすることで、学生にオリジナリティの重要性を認識させ、測る対象、出力の対象を考えさせることで、システム開発での目標を定めるための手がかりになればと考えた。

第 2 回では、企画案の議論、M5Stack による入出力のテストを中心に行った。企画案の議論では、前回は指示し作成させた企画案として、受講生はコンセプト、概念図などをまとめており、その企画案をもとに 1 対 1 で学生ごとに議論するようにした。議論やスケッチをもとに学生の考えを確認し、まとめ上げ、場合によってはプロジェクト企画の修正、ブラッシュアップを行うようにした。

受講生は、PowerPoint プレゼンテーションなどで自分の考えを整理し、アイデアの具現化に必要な課題や物品などを、担当者とともに検討した。受講生のなかには、図 2 に示すポンチ絵などのアイデアスケッチを持参してきた学生もいた。この議論をもとに、開発に必要なセンサ類、アクチュエータ

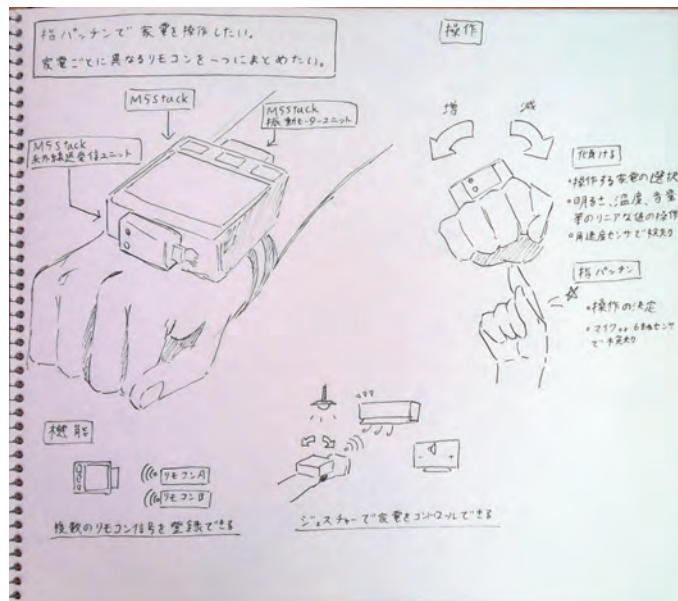


図 2: 演習時で議論に用いたポンチ絵, アイデアスケッチの一例 (受講生からの許諾済)。

類を選定し、期間内での具体的なシステムの実装方法を検討し、助言した。企画案によっては、追加の M5Stack コントローラを手配した。

演習期間の 2 回目で企画案を確定させる理由は、早期に目標を設定することで、プロジェクト演習期間での完成度を高めるため、また、選定したセンサ類、アクチュエータ類を追加で購入する必要があるためである。追加のセンサ類、アクチュエータ類の費用は実習費を充てることとした。

第 3 回、第 4 回では、システム開発を行った。授業時間内では、受講生のシステム開発の進捗を確認するとともに、学生が抱えている課題を集中的に解決することとした。また、センサを使った実験、ネットワークを用いた実装について議論し、受講生の理解を促した。受講生から出た質問で、M5Stack のインターネット接続、M5Stack から LINE Bot への接続方法など、全体に共有すべき内容については、Teams のチャット機能を用いて、受講生全員と共有するようにした。

受講生によっては、屋外環境で緯度経度を取得できる GPS ユニットを使用する者もいて、場合によっては、演習を実施した部屋から出てデータ取得を行う学生もいた。第 4 回の演習の最後に、最終回の講評会で求められることを説明し、実演や動画によるプレゼンテーションの準備が必要であることを確認させた。

第 5 回のまとめ、プレゼンテーションでは、講評会に向けての最後の準備を授業冒頭で行わせ、後半の時間を用いて、1 人ずつプレゼンテーションを行うこととした。受講生には、自身の発表だけでなく、他の受講生の発表を聞き、評価しまとめる、という課題を与えた。それぞれの発表では質疑応答を行い、担当者による特徴の説明をした。講評会終了後、互いの作品を持ち寄り技術交換の場を設け、受講生同士の議論を促した。最後にアンケートを含めた振り返りを行って、プロジェクト演習全体を総括した。

4 各年度におけるプロジェクト演習の結果

2020年度にプロジェクト演習の本テーマを設定し、これまで2回プロジェクト演習を実施した。スケジュールの設定は前節に述べたとおりで同一であった。各年における演習の成果、評価を簡単にまとめる。

4.1 2020年度のプロジェクト演習

2020年度のプロジェクト演習では初年度ということもあり、手探りで授業を実施した。8名の履修登録があり、7名が課題を完遂させた。複数個使うなどのアイデアについての説明が十分でなかったこと、また、受講生の意欲にばらつきがみられた。2020年度で企画されたアイデアを以下に列挙する。

- 環境内のダストセンサ
- IMUを用いた姿勢検出
- メディアプレイヤー
- 非接触温度計を用いた入店システム
- 自動ビールサーバー
- GoTo キャンペーンアプリ
- 目覚まし時計+天気予報呈示システム

日常生活、学生生活から出たと思われるアイデアもあり、意欲的に取り組んだ学生は企画をまとめて成功していた。フィードバック系を構築するために、センサの出力と液体の量との関連をモデル化する課題も見られた。一方、ハードウェアの制約に気づかなかつたために原因特定が遅れ、完成に至らなかったもの、自己で立てた目標に対する到達結果が十分でないとする企画もあった。

4.2 2021年度のプロジェクト演習

2021年度のプロジェクト演習では、2020年度の結果の反省を踏まえ、特に初回授業での教示を工夫した。まず、前年度の作品例(タイトル一覧のみ)、他機関によるM5Stack使用の作品コンテストの結果など、作例を簡単に紹介し、動機付けを持たせた。また、インターネットとの連動、加速度センサの利用、身の回りの問題解決が有効など、アイデア作成にあたっての助言を追加した。

2021年度では6名の履修登録があり、うち5名が課題を完遂させた。今回の受講生に意欲的な学生が多かったこと、また、プレミアム・プロジェクトでVRアプリなどの制作経験を有したり、IoTシステムや実世界の情報処理に興味を持つ学生が履修しており、積極的に制作に取り掛かっていた。また、学生間での情報交換が活発に行われていて、情報共有もなされていた。2021年度で企画されたアイデアを以下に示す。

- ロードバイクにおけるコミュニケーションツール
- サイクリング用の速度計
- 体温測定 + LINE 通知システム
- 姿勢矯正システム
- 赤外線ジェスチャリモコンシステム

LINE 通知やクラウド情報サービスをうまく連携することで、ネットワークが分離した 2 人が持つ端末を連動させたり、相手方への通知を実現するツールを開発したり、2 個の M5Stack のセンサデータを Bluetooth 通信で集約し PC から情報を発するシステムを開発したりなど、多岐にわたるシステム開発が実現した。完成度が高い発表が多くなった理由として、ハードウェア回りのトラブルに関しては前年度の経験があったため、比較的原因を同定しやすかったこと、クラウドシステムを有効に活用することで、通常は難しいデータの共有を実現しやすかったことがあげられる。

5 考察

これまで 2 回、プロジェクト演習を行ったなかで、受講生への効果について考察する。演習の最終回に振り返りとしてアンケート形式でフィードバックを行っている。授業科目のなかのプロジェクト演習としての振り返りを明確にするために、以下の 2 点を記述式で質問した。

1. 自身の作品について、制作時困難だったことについてまとめてください。
2. 他の授業・演習科目 (研究室でのセミナーの内容も含む) と関連付けて感じたことや考えたことを記入してください。

上記の 2 つの質問に対して受講生は様々な意見、コメントを示した。以下で数点ピックアップする。

- フィジカルコンピューティングのプログラミングを Python で行えればと感じた。
- 自分が考えてやりたいと思ったことを実際に作るということが難しいことを実感した。エラーなどの対処で、自分で考えることの重要性を感じた。
- 1 人でものづくりをする授業はあまりなかったので、大変だったが経験できたことは良かった。
- 問題解決にあたって、何が……などの優先順位を考えることが重要であると感じた。
- エラーなどに苦労したが、良い経験になった。今後の学習、セミナー、卒業研究などにつなげていきたい。
- プログラムだけではなく実世界を対象とすることの難しさを実感した。
- ソフトウェア面での工夫ができそう。

- 今までに学んだことを総合することが難しかった。
- 本演習を通して他の授業科目との関連への興味が出た。

総じて、課題の制作活動は難しかったものの、おおむね当初から狙っていた、総合的な演習としての効果はあったと考えられる。また、ロボット技術のシステムでは、プログラミングだけでなく、物理的な要素もあることを身をもって体験できたようである。さらに、これまでの授業科目が密接に関連しあっていることを実感できたと考え、今後の授業での興味関心につなげられればと考える。

担当者としては、プロジェクトとしてまとめ上げる難しさと総合的な演習、創造性の涵養という点で一定の効果がみられたと考える。一方、ハードウェアの入手の継続性など、本テーマを継続するための課題が見つかった。教育という立場を考えると、ハードウェアの入手継続性は評価を一定にするという点からも重要である。しかしながら、M5Stackに関しては、コントローラのバージョンの進化が大きく、変化がまだまだ大きい。Arduinoなど互換性を保ちながら長いライフサイクルとなっているデバイスもあり、授業の継続性の観点から、慎重に問題を設定する必要があることを確認した。より洗練されたプロジェクト演習テーマの設定と実施が課題としてあげられる。

また、文部科学省が平成30年3月に公示した高等学校学習指導要領では、高等学校での情報教育が一層充実することがうたわれている [13]。必修科目の情報科「情報Ⅰ」においても本格的なプログラミング教育が実施される、また、選択科目の情報科「情報Ⅱ」では、たとえば高度なIoTシステムの開発など、従来では大学で行っていたであろう内容が高等学校での授業科目として実施される。さらに、ロボットシステムを探究型学習の課題として設定する教育機関も今後増えることが予想され、情報教育が進んだ学生を大学で受け入れることとなっている。多様な学生の能力を向上させる演習科目の設定、知能情報学部での様々な授業での教育効果の向上に資する演習課題の設定が、本プロジェクト演習の効果の向上とともに今後の課題としてあげられる。

6 おわりに

本稿では、2020年度よりプロジェクト演習の一テーマとして筆者が設定した「フィジカルコンピューティングを用いたロボット技術(RT)システムの構築」プロジェクトに関して、本プロジェクトの狙いと2年間の演習の取組と成果について報告した。2年間実施した受講生からのフィードバックを鑑みると、学習の効果は大きかったと言える。一方、ハードウェアの入手の継続性、演習課題の改良などの課題が見受けられた。本プロジェクト演習テーマを充実させるとともに、他科目との連動の強化、さらには、新たなロボットシステム構築の演習課題の開発が課題としてあげられる。

謝辞

本研究の一部は日本学術振興会科研費(JP17K06280, JP17H01801, JP18K11416, JP19H04414)、科学技術振興機構 COI-NEXT JPMJPF2007、私立大学等経常費補助金「大学間連携等による共同研究」の支援を受けた。本プロジェクト演習科目の各年度の受講生、ティーチングアシスタントの皆様には謝意を表します。

参考文献

- [1] 広瀬茂男, “東京工業大学における創造性教育,” 日本ロボット学会誌, vol. 16, no. 4, pp. 447-451, 1998.
- [2] 藤井隆司, 藤吉弘亘, 鈴木裕利, 石井成郎, “工学部における問題解決型授業の実践と効果の検証,” 日本ロボット学会誌, vol. 31, no. 2, pp. 161-168, 2013.
- [3] 長坂保典, 佐伯守彦, 十河拓也, 岡崎明彦, 柴田祥一, 藤井隆司, “ロボット製作を題材にした初年次教育科目「創成工学」,” 日本ロボット学会誌, vol. 31, no. 2, pp. 187-197, 2013.
- [4] 青木悠祐, 大沼巧, 小谷進, 牛丸真司, 香川真人, “ロボットのいる生活をテーマとする社会実装ロボット教育の実践,” 日本ロボット学会誌, vol. 39, no. 9, pp. 870-873, 2021.
- [5] D. O’Sullivan and T. Igoe, *Physical Computing: Sensing and Controlling the Physical World with Computers*. Cengage Learning, 2004.
- [6] T. Umetani, Y. Kondo and T. Tokuda, “Rapid development of a mobile robot for the Nakanoshima challenge using a robot for intelligent environments,” *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol. 32, no. 6, pp. 1211-1218, 2020.
- [7] 岡田航大, 田中雅博, 和田昌浩, 楠知也, 大塚慶太, 中田悠貴, 中村歩, 高田尚真, “案内ロボット KoRo の開発と機能,” 甲南大学紀要知能情報学編, vol. 10, no. 2, pp. 155-184, 2017.
- [8] T. Umetani, R. Mashimo, A. Nadamoto, T. Kitamura and H. Nakayama, “Manzai robots: Entertainment robots based on auto-created manzai scripts from web news articles,” *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol. 26, no. 5, pp. 662-664, 2014.
- [9] T. Umetani, S. Aoki, K. Akiyama, R. Mashimo, T. Kitamura and A. Nadamoto, “Scalable component-based manzai robots as automated funny content generators,” *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol. 28, no. 6, pp. 862-869, 2016.
- [10] T. Umetani, S. Aoki, T. Kitamura and A. Nadamoto, “System integration for component-based manzai robots with improved scalability,” *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol. 32, no. 2, pp. 459-468, 2020.
- [11] 梅谷智弘, 清瀬大貴, 榊原洋之, 青木哲, 北村達也, “自己完結性を有するコンポーネント駆動型の卓上ロボット環境の構築,” 計測自動制御学会論文集, vol. 54, no. 1, pp. 126-128, 2018.
- [12] T. Umetani, T. Kikuchi and N. Saiwaki, “Remote reference-desk service system using android robot for university librarian,” in *Proc. 2019 IEEE International Conference on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO 2019)*, pp. 25-27, 2019.
- [13] 文部科学省, 高等学校情報科に関する特設ページ.
https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1416746.htm (2021年11月29日閲覧).