

中等教育のための遠隔的なロボットプログラミング教育環境の提案

A Design of Remote Robot-Programming Educational Environment for Secondary Education

松本 龍佑*¹ 岩井 淳*²

Ryusuke Matsumoto Iwai Atsushi

*¹ 群馬大学大学院社会情報学研究科

Graduate School of Social and Information Studies, Gunma University

*² 群馬大学社会情報学部

Faculty of Social and Information Studies, Gunma University

要旨: 本研究では、中等水準の塾教育を念頭に遠隔的なロボットプログラミング教育を可能とする枠組みを提案する。初等中等のプログラミング教育では、しばしばロボットを利用する。プログラミング結果を視覚的に理解しやすくなる他、実体をもつロボットの動作が生徒の興味をひくメリットがある。一方で、適度な教育費に抑える観点から、生徒用の個々のロボットは小型でシンプルになりがちな問題がある。本研究では、比較的高額の少数のロボットを生徒が共同利用して学ぶ枠組みを提案する。Web を介したロボットプログラミングが可能な環境を準備し、ロボットの動作を LIVE 配信する仕組みを基本とする。

キーワード: 中等教育, 遠隔教育, プログラミング教育, ロボットプログラミング

Abstract: This study presents a framework for remote robot-programming education in secondary level cram school. Robot-programming is one of the typical ways to train programming techniques for students at secondary education level. The method seems to make it easier for young students to understand the results of their programming through watching their real robots in action. However, robot-programming education is becoming increasingly costlier than programming education without robots, which is why the individual robots tend to be smaller and simpler. The framework of this study enables students to learn through the collaborative use of a small number of relatively expensive robots. Specifically, the educational environment includes a basic mechanism that enables robot-programming via the Web and delivers live videos of the robot's movements.

Keywords: secondary education, distance education, programming education, robot-programming

1. はじめに

初等中等のプログラミング教育は、公教育より学習塾で先進的な傾向があり、しばしばロボット操作のプログラミングが行われてきた（以下「ロボットプログラミング」）。ロボットの動作から生徒がプログラミング結果をリアルに感じられる利点がある。公教育での例はまだ少ないが、カリキュラムへの組み込みが期待される。

ロボットプログラミングの実験的な教育実践については、既に研究報告がある。例えば、古平（2007）や中村・中川（2019）は LEGO Mindstorms を用いた中等教育の実験授業を報告している。平田・安留（2019）では対象に仮想のロボットを用いた初等中等教育の実験授業を報告している。先行研究の多くは、プログラミング学習における生徒の理解度や学習意欲の向上で良好な効果を得ている。

ロボットプログラミングには、しかしながら、

物理的なロボットを利用するため導入コストや故障対応の問題が生じる事情がある。結果として、生徒の個々のロボットが小型でシンプルになりがちである。物理ロボットと同等にリアルな無料仮想ロボットを利用できれば、理論的には最も望ましい。導入コストや故障対応の問題がなくなり、遠隔教育の可能性が広がる。しかし、このアプローチにおける仮想ロボットはリアリティの確保がまだ難しい段階である。

本研究では、導入コストや故障対応の問題を念頭に、物理的なロボットを完全に排する仮想的な教育環境でなく、単一もしくは少数の物理ロボットを用いて問題の軽減を計る中間的な教育環境を提案する。すなわち、ロボット台数を減らして導入コストの軽減や故障対応の問題へと対応とする。具体的には、指導者の手元の物理ロボットを複数の生徒が遠隔で共有する手法を提案する。遠隔プログラミングの結果は画像配信により共同確認する。特に想定するのは中

等のやや高水準の生徒であり、簡易なロボットプログラミングは経験済みとする。

本研究における、導入コストや故障対応の問題への対応は、利用ロボットの高額化に関連する。すなわち、共用ロボットには従来より予算をかけられ、より高額で質の高いロボットを実現できる可能性が高まる。本研究では、遠隔的なプログラミングとその結果確認の仕組みの提案までが射程であり、本研究内で高額ロボットを利用する訳ではない。しかし、この経済的メリットは大きく、公教育でも同様に見込まれる。

本研究の構成は次のとおりである。2.では、以降の議論の準備として、プログラミング教育の先行研究例を整理する。3.では本研究で提案する教育環境の設計を、4.ではその実装を説明する。5.では、提案内容を評価する議論を行う。共同研究であるが、2.3.5.の議論、また4.の動画配信の議論は主として松本が担当した。

2. プログラミング教育の先行研究例

プログラミング教育の先行研究例を紹介する。中等教育における先行研究例、またロボットプログラミングと遠隔教育に関する先行研究例を中心に整理する。

2.1 プログラミング教育の手順

初等教育では MIT メディアラボの低年齢向けビジュアル型プログラミング言語 Scratch の事例報告が多いが、中等教育では、より多様な手法の検討報告がある。

古平 (2007) では、中学三年の生徒に行ったロボットプログラミング授業を報告している。ロボットプログラミングでは GUI (Graphical User Interface) の言語の利用が多く、プログラミングや制御が分かりやすく技術要素を向上させると指摘し、複数の候補から LEGO Mindstorms (MIT と LEGO 社が共同開発した教育用ロボットプログラミングキット) を用いている。モーター、光センサー、タッチセンサーなどの外装をブロックにすることで扱いやすい特徴がある。定められた道を光センサーなどで読み取り走行するライトレースロボットを作成し、それをプログラミングする授業を行なった。結果、生徒により様々なアイデアを含んだプログラムが作成され、創造性のある学習を行えたとしている。

山守 (2018) では、中学生に行った Javascript を用いたプログラミング教育を報告している。Windows のメモ帳をエディタとし、デバックに Web ブラウザを用いて開発環境準備のハードルを下げた。授業進行を5段階に分け、じゃんけんをするプログラムの作成を最終目標とした。中学生向け授業では生徒別の進行状況が異なりがちになった問題もあり、授業のレベル設定に難

があるとしている。また、指導者一人では手が回らない事や自習が困難なことなど環境の問題点も挙げている。

2.2 遠隔でのプログラミング教育

中村・中川 (2019) では、遠隔教育における教育環境設計の問題を検討し、身近に担任教諭を配置し、技術的問題を専門指導者が解決する遠隔授業を試みた¹⁾。「一方的な講義型学習」を初等の生徒の集中力維持が難しい方法と議論する。初期の段階では Scratch を、最後には LEGO Mindstorms のライトレースロボットを用いたグループ学習を行った。生徒側にタブレット PC (personal computer)、電子黒板を設置、遠方の指導者が zoom で現地の担任教諭のサポートをする。理解度を問う生徒調査では、肯定的評価が 80%を超えた。生徒の発言やつぶやきを集音するマイクを設置すると、上記の評価は 93%に向上したとされる。

執筆者の松本自身も、仮想空間でロボットプログラミングを行う手法を検討したことがある。PC 画面で仮想ロボットを作成し、プログラミングを行う教育手法である。この手法には、主に 1) 教材コストの削減、2) 環境設備の簡易化、3) 対象生徒の地理的拡大、の利点がある。物理ロボットはハードウェアとして導入コストの発生が避けられない。また、故障やパーツの紛失が発生するため、維持費も考慮する必要がある。仮想ロボットにはこれらのコストを削減できる。

図 1 に試作した仮想ロボット図を示す。試作した仕組みは、しかしながら、プロトタイプであり、動作がシンプルであること、またリアリティに欠ける問題が残る。ロボットプログラミング初心者を対象とした教育の導入段階では適しているが、発展的な授業での使用は見込めない。

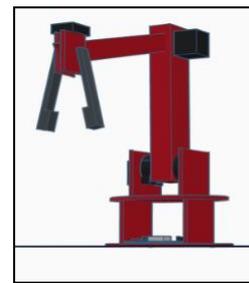


図 1. 仮想アームロボット

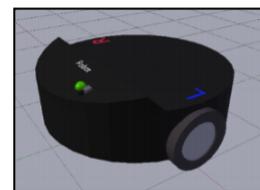


図 2. 仮想ロボット (平田・安留 (2019) より)

平田・安留（2019）では、初等中等生徒向けにブラウザ上でロボットプログラミングが可能なシステムを構築した。その時用いた仮想ロボットを図2に示す。対象に初等教育を含める点と、教育内容にロボット作成を含まない点が異なっている。

以上、以降の議論の準備として、プログラミング教育の先行例研究を整理した。

3. ロボットプログラミング教育環境の設計

本研究で提案する遠隔的なロボットプログラミング教育環境の設計を説明する。

3.1 想定する問題領域

本研究では、塾教育のロボットプログラミングを念頭にその教育環境システムの改善を検討する。対象は中等教育水準の生徒であり、テキスト型のプログラミング言語によるコンパイルが行えるものとする。

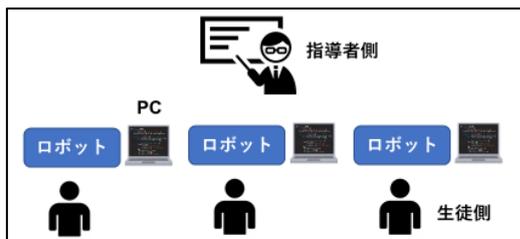


図3. 塾教育のロボットプログラミング

学習塾のロボットプログラミング教育の典型例を図3に示す。指導者1名が複数生徒を指導する。生徒は個別PCと比較的小型の教材ロボット素材をもち、規定時間内にロボット作成とプログラミングを行う。指導者は随時、生徒を個別指導する。教材費はロボットを用いないプログラミングと比べ高額になりがちである（一例としてLEGO Mindstormsは6万円前後、学習塾の教材費では3-6万円が多いと見込む）。ロボットは卓上で扱える小型が多く、その作成上の生徒のミス対応では生徒間の進捗同期が困難になる。結果として、指導者一人に対し3-5人の生徒数になることが多い。

3.2 設計

提案手法ではロボットを指導者側に配置する。これにより以下の利点が生まれると考えられる。

- ① ロボットを大型化・複雑化できる
- ② 学習者側の費用負担を抑制できる
- ③ より発展的な授業が行える

従来手法では、卓上で扱える小型なロボットを選定する必要があった。また、ロボットの修

理時間を要する場面があり、授業進行に影響するため、その意味でも複雑なものを扱えない事情があった。しかし、提案手法では動作環境が指導者側にあり、各問題に対応できる。ロボットの修理は専門スタッフが行うため、より複雑なロボットを扱える。また、生徒がロボットを共用する手法は、専有機を用いる従来手法に比べて教育費用を小さくできる。以上、①と②の利点が生まれる。結果として、共用ロボットの質は上がり、③のより発展的な授業にも繋がる。

指導者側にロボットを配置した遠隔教育のシステムを考える場合、一般には、生徒と指導者間をVPN（virtual private network）など仮想専用回線で結ぶ教育環境がまず想定されるだろう（図4）。しかし、この方式では、生徒側のPCに通信用の初期設定を行う必要がある。これには利用できるデバイスが制限される問題も伴われる。また、指導者側の端末の外部利用を幅広く認めるのはセキュリティの問題が大きい。

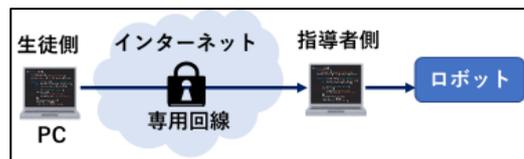


図4. 専用回線を用いたプログラミング

本研究では、生徒側の負担を減らし、多様な環境下で容易に遠隔授業を受講できる教育環境として、VPNを利用せずに遠隔プログラミングを実現する教育環境を設計する。生徒がWeb上にアップロードしたプログラムを指導者側の端末からWebアクセスにより受信する仕組みを基本とする。

この動作を図5に示す。最初に、生徒側は命令（プログラム）をWeb上にアップロードする。Web上のデータベースに保存したこの情報に指導者側のPCからアクセスして取得する。この手順では生徒側端末の初期設定が不要で、Web接続できる任意のデバイスでプログラミングが可能になる。



図5. Webサーバを介したプログラミング

生徒によるロボット動作の確認を含む全体的な流れは以下の通りである。指導者側にはロボット・PC・カメラを配置。遠隔の生徒はPC（と動画視聴用の追加的端末）を配置。生徒はWeb上でプログラムを入力。指導者端末でロボットプログラムのコンパイルを実現。指導者側では

ロボットの動作をカメラで記録し、動画配信。特に動画配信サイトでLIVE配信することを想定する。生徒は動画配信サイトからリアルタイムでロボットの動作を観察する。

4. システムの実装

本研究の提案システムの実装を説明する。遠隔的なプログラミングとその結果確認の仕組みについてプロトタイプシステムを実装した。

実装においてはロボットは小型で拡張性の高いマイコンボード (micro-controller board) を用いるものとした。具体的には Arduino UNO を用いた。Arduino は C 言語風の Arduino 言語によりプログラミングでき、教育目的で広く使われる。一般に Arduino IDE に含まれるエディタを用いてプログラミングを行う。プロトタイプでは、既にコードした Arduino プログラムを Web 上のテキストフォームにコピーして入力する。

ロボットには Arduino で動作する 6 軸のロボットアームを選定した (図 6)。6 つのサーボモーター (DS3120/MG996R) を動力とする。アームロボットは動作原理が比較的解りやすく教育的でしばしば用いられる。

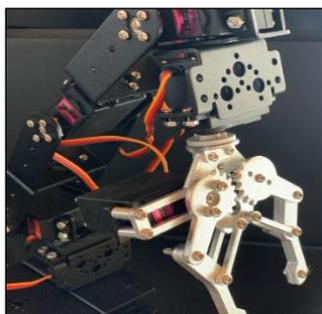


図 6. ロボットアーム

図 7 に実装システムの動作の流れを示す。①生徒は Web サイトに接続 (アクセス) し命令 (Arduino プログラム) を入力する。②指導者側の PC は Web サイトに接続し、③DB より命令を取得 (外部アクセスのないレンタルサーバの DB へのアクセスのため、Web ページ処理としてデータを取得)。この際、指導者側の PC でプログラムのハッシュ値を計算、プログラムの更新確認に用いる (更新されない命令はコンパイルされない)。④指導者側の PC からロボットにコンパイルプログラムを設定。⑤動作映像が別の PC に取り込まれる。ライブ動画配信サイトから配信され、⑥生徒が視聴する。

本研究の作業は簡易なプロトタイプの実装に留まるが、実装システムが正常に動作することを確認した。本研究の設計は、生徒側の負担を軽減すると見込まれる。環境に左右されにくい、様々なデバイスから容易にプログラミングが可能になるものと見込まれる。

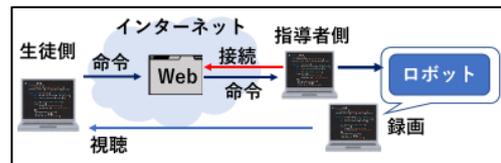


図 7. 実装システムの動作

本研究報告の段階では実動作を未確認であるが、プロトタイプシステムの利用に関して想定しているインターフェースを図 8 に示す。すなわち、生徒が操作・視聴する画面の予定図である。

遠隔の生徒は URL から図 8①に示す Web サイトにアクセス、画面上のプログラム記入欄に Arduino プログラムを書き込む。画面下部の送信ボタンでデータは指導者側 PC に送られ、ロボットが動作する。



図 8. 生徒側インターフェース (予定図)

ロボットの動作は指導者側のカメラで記録される。カメラワークは遠隔システムにおいて没入感に付与する重要な要素となる。想定するカメラはロボット全体の動きを観察する 3 人称視点のカメラとロボットの先端部分に装着し、1 人称視点を観察するカメラの 2 台である。図 8②③の画面は、ボールを用いたダーツゲームを行う例である。②3 人称視点のカメラは全体を映し、ロボットと対象の位置など全体把握のカメラワークを行う。③ロボットアーム先端に設けられた 1 人称視点用のカメラはロボット前方を映し、つかむ、狙うなどの細かな動作の補助を行う。

5. 議論

前節で説明したプロトタイプシステムの実装により、提案システムの実現は技術的には概ね可能と見込まれる。提案システムのように、導入コストや故障対応の問題に対応することで、ロボットプログラミング教育で、より高額で質の高いロボットを実現できる見込みがある。

本研究では、一律に指導者側にロボットがあり、それを複数の生徒が共同利用する枠組みを検討したが、提案システムの枠組みはより広範囲に適用可能とも見込まれる。

想定される今後の応用的利用を図9に示す。図7の実装システムの動作の他に、ここでは1)生徒のロボットを指導者が動かす、2)生徒同士が相互に相手のロボットを動かす展開を示している。Webを介して個々のロボットの操作を実現する本研究の枠組みは、技術的にこれらの操作も可能とするものである。例えば、期限を決めてロボットを貸し出したり、その生徒のロボット操作について指導者が遠隔で模範を示すような教育が可能になると見込まれる。個々のロボットを直接操作する端末は、外部からアクセスできないLAN内の端末でよい。VPNを用いた仮想専用回線を用いた実装を排したことで、このような教育展開を見込むこともできる。

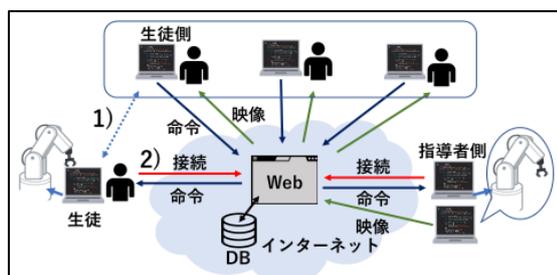


図9. 想定される展開

本研究では、ロボットの動作をLIVE配信で確認する手法を基礎としたが、発展的にVRヘッドセットの利用も想定できる。より没入感の高い利用経験は、生徒の学習に望ましいかもしれない。「ロボットの動作を見ることで、自分がプログラミングした結果をリアルに感じやすい」といった利点に関わる実装と考える。細かな点ではカメラの角度などロボット見せ方にはさらなる工夫が必要となる。具体例では図8②を360°カメラに代替することを想定する。ただし、360°カメラのLIVE配信には安定した通信回線が必要で、実現にはその整備を待つ必要がある。またVRヘッドセット自体の価格の問題もあるが、今後さらに安価になるものと期待する。

最後に、提案手法が地域格差の改善に貢献することも期待する。従来は塾に生徒が通うのが通常であり、地域格差も結果的に大きくなっていった。例えば、全国1400教室以上展開する国内大手の学習塾では、東京都で20教室以上を展開するが群馬県では2教室に留まる。遠隔教育の実現はこうした問題への対応策としても貢献すると期待する。

6. おわりに

本研究では、導入コストや故障対応の問題を念頭に、指導者の手元の物理ロボットを複数の生徒が遠隔で共有する手法を提案し、プロトタイプシステムを構築した。主に中等水準の塾教育を念頭に設計と実装を行ったが、提案手法は

公教育を含めて、より多くの教育場面で適用可能と考える。

より完成度の高いシステムの実装と、その実験的な利用に基づくシステム評価が今後の課題である。

注 釈

- 1) 執筆者の松本は、遠隔プログラミング教育の実効性を検討するため、個人で遠隔プログラミングスクールを開校したことがある。Webサイトで生徒を募集、Skypeの画面共有とオンライン通話サービスで、Scratchを用いた初等プログラミングの授業を行った。多数の問い合わせがあったが、限定して少人数教室とした。結果、完全な遠隔授業のための環境設定は、(Windows標準装備ではあるものの)Skypeの導入等の点で想定よりも困難だった。問題はコンピュータ初心者が生徒の場合に顕著で、画面共有下でありながらも突然現れるポップアップ画面などにしばしば対応できなかった。物理的に生徒近くに教員がいないため生徒の集中力が維持できない問題も大きかった。これらScratchのゲームに没頭してしまったり、他のサービスに意識が削がれるといった初頭中等教育で顕著な問題であると考えている。

文 献

- [1] 平田将人・安留誠吾, ブラウザ上でも動作する初等中等教育向けプログラミング学習環境, 情報処理学会第81回全国大会, 5ZF-01 p4-569:570, (2019).
- [2] 古平真一郎, 自立型ロボット教材を用いたプログラミング学習に対する効果, 宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要, 第30, P540-548 (2007).
- [3] Matsumoto, R., VR-Based Robot Programming Environment for Secondary Education (in Japanese), *Proceedings of ICTSS2020 (International Conference on Technology and Social Science 2020)*, Kiryu, Japan. to appear, (2020).
- [4] Matsumoto, R., Robot programming education with VR in secondary schools. (in Japanese), Kanto-Branch conference in The Society of Socio-Informatics, (2020).
- [5] 中村めぐみ・中川一史, プログラミング教育推進のための遠隔授業におけるICT環境の検討, 日本STEM教育学会, 2019年3月拡大

- 研究会, 予稿集, P18-21, (2019).
- [6] 山守一徳, JavaScript を用いた中学生向けプログラミング教育, 三重大学教育学部研究紀要, 第 69 卷, P23-30, (2018).
- [7] Yamamoto, S., "Researches and Issues of Augmented Reality/Virtual Reality for Learning Environment and Educational Support System" Japanese Society for Information and Systems in Education vol.36, No.2, (2019).