

プログラミングロボットを用いた協調学習手法の検討

布施 泉¹⁾, 野口 孝文¹⁾

1) 北海道大学 情報基盤センター

ifuse@iic.hokudai.ac.jp

Study of Collaborative Learning Methods using Programming Robots

Izumi Fuse¹⁾, Takafumi Noguchi¹⁾

1) Information Initiative Center, Hokkaido University

概要

大学の一般教育として、独自開発したプログラミングロボットを用いた授業を2018年度より行っているが、毎年、様々な知識レベルの学習者が履修をしている。授業では、ロボットの基本操作を個別学習で学んだ後、グループの協調学習として、複数のロボットの動きによる作品を企画し、発表会と相互評価を行う。本稿では、本ロボットによる協調学習が知識レベルの異なる学習者に対し、広く興味関心を持つ学習構成になっていることを示すとともに、プログラミング能力の育成と深化をさらに目指す学習構成について考察する。

1 はじめに

学習指導要領の改訂で、初等中等教育段階でのプログラミング教育が強化されている[1]。新学習指導要領を経た学生は、2025年度から大学に入学してくる。全学生が「プログラミング的思考」を習得して大学に入学することが期待される一方で、学習者の入学時における知識やスキルの幅は大きいと予想され、その解消は容易ではないことが予期される。さらに、プログラミングの授業を楽しんでいると感じていない生徒が高校生では2割強（小学生7%弱、中学生15%弱）との調査があり[2]、大学入学時におけるプログラミングに対するレディネスへの懸念もある。

著者らは、2018年度から大学1年生を対象とした少人数の演習授業の中で、第二著者らが独自に開発したプログラミングロボットを用いた授業を行っている[3]。機械語命令で動作するロボットを操作する中で、プログラミングについて学ぶことを想定して授業を構成している。1年生を対象とする選択の一般教育のため、文系・理系を問わない学習者がいる。事前の学習者の知識にも幅がある。そのような中で、本授業の授業後の学習者のアンケート調査では、年度を問わず一貫してロボットをプログラミングすることに対し、興味関心が高いことを確認している[4]。

著者らは、2018年度の開講当初から、授業前

半はロボットの基本操作を学習する個別学習、後半はグループを形成しての協調学習として作品企画・制作・発表会を行ってきた。但し、その作品の企画内容は年度と学習環境等により、様々な制約を課してきた。また、ロボットの基本機能は同等であるものの、光センサーの使用を可能とする等、ロボットへの改良を随時進めている。作品制作として使える機能が増しており、作品の企画に際しての条件も変化をさせている。

2章では本授業で用いるプログラミングロボットの特徴、基本的な授業構成、各年度の作品企画における制約条件の付与と作品の状況、センサーを用いた課題設定によるメンバー担当の変化を述べる。3章では各年度の協調学習における実施状況と課題を考察し課題解消に向けた試みを述べ、4章で現状のまとめを記す。

2 授業実践

2.1 プログラミングロボット

本稿で用いるプログラミングロボットを図1に示す。ロボットは2つのギヤドモータに直結した車輪で移動する。マイクロコンピュータ上に作成した仮想コンピュータのプログラムを書き換えることで制御し、その命令セットには、演算命令等の他、モータ制御やセンサー入力を読み取る命令を用意している[5][6]。また、ロボットを動作させるプログラムの入力や実行をロボット上面にある

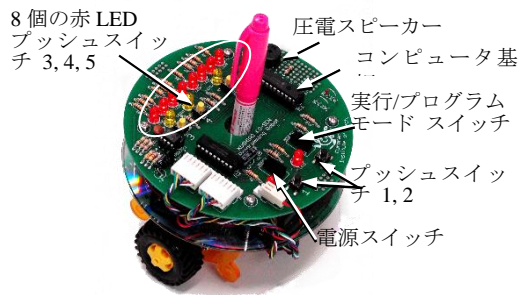


図1 プログラミングロボット

スイッチのみで行えるほか、PCに接続し、PCからプログラムの入出力を行うことや、ロボットの実行を直接命令することができる。ステップが多い複雑なプログラムは、ロボット単体ではなく、コンピュータから送信する方が容易である。

ロボットへの命令は 8bit の番地内に格納できる (一部は予約済みで使える番地は 200 程度)。本ロボットでは、ロボットを移動させる命令を直感的なものに設計している。命令は、図 1 に示したロボット上面前方にある 8 個の赤 LED の点灯(1)/消灯(0)に対応し、8bit 列で表現する。これを左右 4bit ずつに分け、左 4bit で動作内容、右 4bit で動作量とすることを基本とする。左 4bit は、さらに 2bit ずつ左右のモータの動作(順回転 01/逆回転 10)に割り当てる。図 2 で示す上位 4bit の点灯パターン(0101)は、左右のモータとも順回転を指示する。従って、ロボットは前方に進む命令となる。ここで、左 2 つの LED の点灯を逆にし、(1001)にすると、左モータは逆回転、右モータは順回転となるため、左回転の命令を示す。

右 4bit は動作量を表す。ロボットの前・後進/回転/停止に応じ、それぞれ距離/角度/時間に割り当てる。この 4bit には重みを付けており、例えば図 2 の命令 (0101 1010) では、左 4bit (0101) が前進命令のため、右 4bit (1010) は前進の際の移動量を示し、 $8+2=10\text{cm}$ 移動の命令となる。左 4bit が左回転命令 (1001 1010) の場合には、右 4bit の動作量は角度 ($60+15=75^\circ$) に対応し、左 75° 回転の命令となる。具体的な動作量や左右の順・逆回転の方向は、学習者が視覚的に分かりやすいよう、ロボットに装着可能な透明の指示付き定規を用意している。

本ロボットは、前進・後退、回転、停止等の単純な移動命令の他、繰り返し処理、ボタン押下 (光センサーで代替可能) による条件分岐、音の出力、

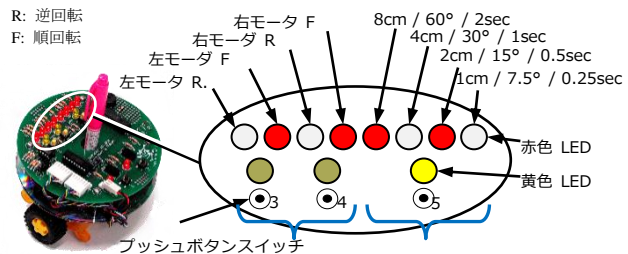


図2 ロボットの動作命令機能の説明図

アキュムレータを用いた演算、サブルーチンの呼び出し、等を行うことができる。

これらのロボットの機能を用い、また、中央の穴にペンを挿すことで、ロボットの軌跡により、絵を描くことが可能である。

2.2 個別学習と協調学習を組み合わせた授業構成

本稿で紹介する授業は、著者らの所属する大学で実施する大学 1 年生対象のフレッシュマンセミナーという演習科目で、半期 15 回、2 単位で構成される (2018 年度のみ、授業にロボット以外も構成要素に入れていたため、ロボットについては 9 回で実施した)。履修者は最大 23 名である。

大学 1 年生に対するこのような演習系の授業は、初年次教育としても位置付け機能させることが望ましいと考える。本授業では、このような視点から 2022 年度のシラバスでは、到達目標として、以下の 3 点をあげている。

- (1)機械語命令でプログラミングするロボットを用い、ロボットの動きを制御する中で、プログラミングとその背後にあるコンピュータの仕組みを知ることができる。
- (2)センサー等の仕組みを用いて複数のロボットの動きを全体企画するなかで、目的に応じてロボットを動かすプログラムを作ることができる。
- (3)グループでの学習活動を通し、円滑で効果的な協調活動を行うスキルを獲得する。

まずはプログラミングロボットを用いて、個別学習によりプログラミングについての理解を深める(到達目標 1)。次に、グループでプログラミングロボットの作品企画を立てる中で、目的に応じたプログラム作成をグループワークとして課し(到達目標 2)、グループ内でコミュニケーションを深め、協調学習を円滑に進める(到達目標 3)ことを目指したものである。

個別学習は、独力で課題を解くことから確実に学習を進めることができるという長所があるものの学習に行き詰まる可能性が高く、一方で協調学

習は、異なる学習者の視点を取り入れた深い学習ができる可能性があるものの、特定の学習者だけで課題を解いてしまう懸念がある。本授業は前半に個別学習、後半に協調学習を組み合わせることで、両方の長所を取り入れた授業構成ができないかを考えている。

本授業では、プログラミングロボットを1人1台用意し、各自が同一のロボットを毎回使用する。学習者は、前半5回程で一通りのロボットの操作を理解する。

授業後半では、3~4名程度のグループに分かれ、グループ発表の作品を企画する。第13回か14回で発表会ならびに相互評価を行い、第15回で授業全体の振り返りを行っている。

2.3 各年度の作品企画における制約条件の付与と作品の状況

履修者は2018年度が18名で少なめであるが、それ以降は21~23名が継続的に履修している。また、コロナ禍のため、2020年度と2021年度は対面とオンライン（ウェブ会議システム利用）の併用授業として実施した。その際には、オンライン授業は、グループでの協調学習にあてた。必然的に、プログラミングロボットは自宅への持ち帰りとさせた。2022年度は対面に戻したが、自宅への持ち帰りも許可することとした（2019年度までは原則授業時に貸与。授業時間外に利用する場合には著者らが付き添うこととしていた）。

表1に2018年度から2022年度までの授業の実施形態と協調学習時の状況をまとめた。なお2020年度は後期に2つの授業を、2021年度は前期・後期に各1つの授業を実施したため、この2年は、以後便宜上2020①、2021②等と表記する。

2018年度はグループで1台のロボットの中に協力してプログラムを格納することとし、2019年度以降は各自1台のロボットを組み合わせでの作品企画とした。また、2018年度から2021年度までは、ペンを挿しての紙への描画を必須とした（2020②と2021②は除く）。

図3、4に2018年度と2019年度の描画作品例

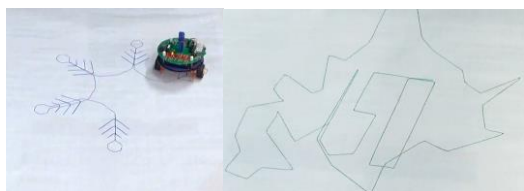


図3 2018 作品例(雪の結晶 と 北海道地図)

表1 年度によるグループ作業実施の状況の違い

年度	授業形態	PC・協調学習形態
2018	対面 (5 グループ)	専用マシン (1 台/グループ) 作品は1 台に集約 ロボットは授業時のみ貸出
2019	対面 (6 グループ)	専用マシン (1-2 台/グループ) 人数分のロボットを用いる 協力して描画 ロボットは授業時のみ貸出
2020	対面 & オンライン (6 グループ)	個人PC (状況により個別貸出) 人数分のロボットを用いる 協力して動作 ロボットは自宅持ち帰り
2021	対面 & オンライン (6 グループ)	個人PC 人数分のロボットを用いる 協力して動作, センサー利用 ロボットは自宅持ち帰り
2022	対面 (6 グループ, ハイブリット有)	個人PC 人数分のロボットを用いる 協力して動作, センサー利用 ロボットは自宅持ち帰り可

を示す。2018年度は1台のロボットに協力してプログラムを入力して作成した。メンバーの作業分担はメンバーに任せたが、一つの絵を担当部分に分け、部分毎に分担して描画する場合は、担当者の切り替え部分の動きをスムーズにつなげることが必要である。各自のプログラムの終わりではロボットに特定方向を向かせるといったルールを決め、制作したグループがあった（図3右作品）。また、左作品では雪の結晶の枝や内部といった描画する部分とその繰り返しの組み合わせといった機能で分担するグループもあった。一方で、2019年度はメンバー分のロボットを一斉に動作させたため、ロボット間の衝突回避への調整に時間を要した。

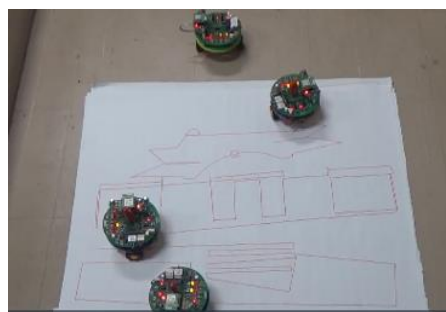


図4 2019 年度作品例 (首里城)

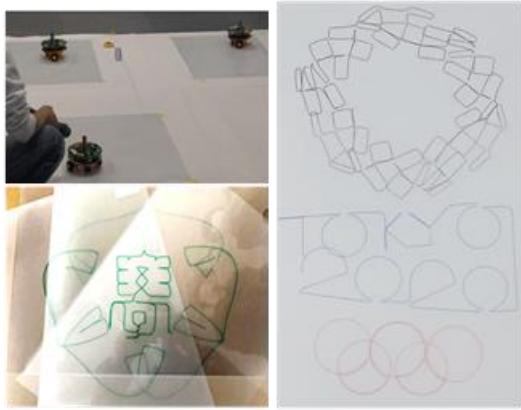


図5 作品例 2020① (左) 2021① (右)

2020①と 2021①については、遠隔での協調学習であることから、クリアファイルを各自に配布し、実際の発表会では、それらを組み合わせて目指す絵とする作品企画とした。図5に作品例を示す。この場合には 2019 年度のような衝突回避策を検討する必要がないことから、難易度は 2019 年度が最も高かったと推定される。

2020②の授業では、グループでロボットを協調的に動かすことを目標に、音を奏で、ロボットを動かすことを必須とした“ロボットダンス”を作品制約として設定した。舞台は 90cm×180cm×2 セットの範囲内とした。シンクロナイズドスイミングを模した動き、カエルの歌を動きとともに輪唱をさせたグループ等があったが、コロナ禍の中で同期を取った動きを遠隔で行うことは比較的難易度が高かったことが学生への聞き取り調査から明らかになった。

2021 年度後期 (2021②) からロボットに光センサーを取り付け、ロボット上にあるプッシュスイッチの押下をセンサーに代替させることができるようになった。ロボットにはプッシュスイッチが 5 つ付いているが、そのうちの 3 つをセンサーに代替させることが可能である。光センサーにより、スイッチ押下時と同じ条件分岐プログラムを実行することができる。2022 年度には、2 つのセンサーを用いてライトレースを行えるようにし、そのサンプルも学習者に示した。センサー利用可能になった 2021②からは描画ではなく、センサーとボールを貸与し、以下の制約を作品に課した。

- 全てのロボットは 0 番地からプログラムをスタートさせる (最初にあるロボットのセンサーを検知として動作開始)。
- 実行後は、終了まで原則ロボットには触らない

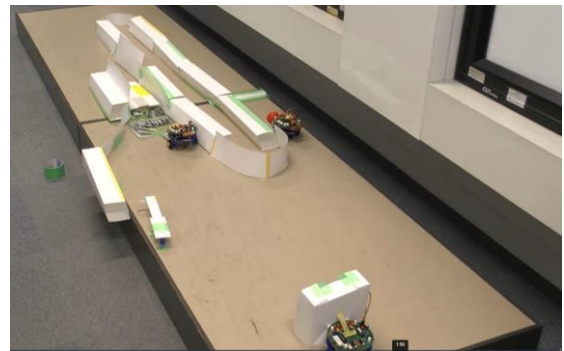
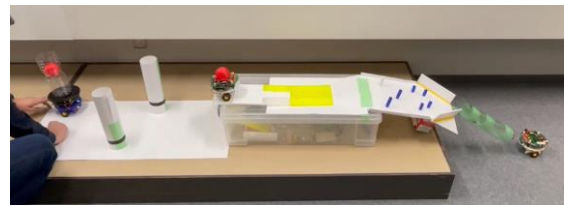


図6 2022 年度作品例 (センサー利用)

- グループ員全員のロボットを動作させる
- 各ロボットで必ずセンサーを用いる (各ロボットで最低 1 個のセンサーを用いる) ※すべてのセンサーを使わなくてもよい
- 音を出す (いずれかのロボットでよい)
- ボールを使う (グループで 1 つ以上)
- これ以外の要素が入っても構わない

ロボット間の連携をセンサー感知により行わせ、条件分岐処理を各ロボットのプログラム内に入れることを想定したものである。

2.4 センサー使用の作品制作における分担の変化

2021 年度までの描画メインの作品制作においては、ロボットを自分の目的に応じて移動させることが必要となる。作品テーマによっては、繰り返し処理を入れたプログラムの工夫が見られたものの (例えば図5の右上の五輪マーク等ではメモリ上限を鑑み、簡潔なプログラムとする工夫を行っていた)、たくさんの必要な移動を力技で行うプログラムも多く、授業前半で学んだ様々な内容を協調学習で深化させるような企画とすることが困難であると考えられた。そのため、2021②からは、センサーを各ロボットで動作させ、各ロボットで

条件分岐処理を含めたプログラミングを各自が検討する企画とすることを求めたつもりであった。しかし実際には、センサー付与による作品制作では、学習者のグループ作品におけるメンバーの役割分担が変化した。グループによるが、作業分担の中で、舞台装置のみを担当し、ほぼプログラミングは行わない学習者が発生したのである。これは授業の到達目標として想定していなかった事態である。さらに、舞台の再現性が高くなく、授業時の発表会では成功せず、リベンジを求めるグループが続出することとなった。次章で、これらの状況への対応を検討する。

3 学習者への調査結果と考察

3.1 学習者への調査結果

著者らは、学習者に対し、授業終了時にプログラミングロボットについてのアンケート調査を実施している。表2は、ロボットの動作をプログラムすることについての結果を抜粋し、まとめたものである。2022年度の評価者数が少ないのは、前章に記載した授業後のリベンジが非常に多く、授業時に調査時間を設けられなかった影響が一因である。

表2には、「ロボットの動作をプログラムすることは面白いと思う」「プログラミングに対する興味が増したと思う」「もっと複雑なプログラムを作りたいと思う」への殆どの回答が肯定的であることが示されている。「はじめに」で述べたように、本授業には様々な知識レベルを持つ学習者で構成されている。このような集団に対し、グループでの協調学習で、ロボットプログラミングに対する興味関心を深化させたことがわかる。それはまた、コロナ禍でのオンラインを用いての協調学習でも

変わらず有効であったことも示されている。

本ロボットによる作品制作は、共同で新たな作品を創り出す創作活動であり、その達成感と喜びが学習者の満足度を上げていると考えられる。センサー利用で、プログラミングを殆どしない学習者が現れたグループが生じたとはいえ、メンバーは舞台装置の作成を含め、グループの協調活動として作業に取り組んでおり、本授業の到達目標(3)の「グループでの学習活動を通し、円滑で効果的な協調活動を行うスキルを獲得する。」は達成しているものと考えられる。

今後の実践では、特に、問題解決における調整方針として、舞台装置の改良ではなく、プログラムの調整を目標とするように指導することを検討している。例えば、図6中央の図奥にある迷路をロボットが脱出する際、壁が垂直でないと正常に動作しないプログラムに対し、その解決を舞台装置の壁を垂直に修正することではなく、ロボット側のプログラムを修正し、90度から多少ずれても動作するように解決することが望まれる。一方で、常に90度とは言わないまでも、90度に近い形で、舞台装置の再現性を確保できるように素材や内容の検討することも必要と考え、検討を進めている。

3.2 課題解決に向けた機能的・構造的な改善

学習者全員に対し、協調学習でプログラミング能力の育成と深化を目指すため、各人のプログラミングのログ蓄積を図ることとした。具体的には、ロボットへのプログラムを入力の際に、個人PC上で用いていたシステムを改修し、プログラムを入力し、ロボットへ送信する際(図7上図の「send」ボタンを押下した際)に、PCの特定ディレクトリにプログラムを機械語及びアセンブリ言語で蓄積する機能を付与した。日付のディレクトリ内に時

表2 学習者へのアンケート調査結果(興味・関心の年度比較)

設問	選択肢/年度	18	19	20①	20②	21①	21②	22
							センサー	センサー
ロボットの動作をプログラムすることは面白いと思う	強くそう思う	10	5	9	6	13	11	7
	そう思う	6	14	9	7	6	1	5
	あまり思わない	1	0	1	2	0	1	0
	全く思わない	0	0	0	0	0	0	0
プログラミングに対する興味が増したと思う	強くそう思う	10	3	7	7	10	9	7
	そう思う	7	14	12	5	8	3	2
	あまり思わない	0	2	0	3	1	1	3
	全く思わない	0	0	0	0	0	0	0
もっと複雑なプログラムを作りたいと思う	強くそう思う	8	6	5	6	11	8	6
	そう思う	7	11	12	9	6	3	5
	あまり思わない	1	2	2	0	2	2	1
	全く思わない	1	0	0	0	0	0	0

間・分・秒が記載されたファイルが格納されている。毎回の授業終了時に、PC内にある日付フォルダ内のデータを全てアップロードさせることを想定している。これは教授者、学習者の双方にメリットがある。教授者は学習者の細やかなプログラム作成状況の把握が可能になるとともに、ロボットへのプログラム送付変遷を理解することができる。どの段階でどのように困っているかの質問対応にも乗りやすい。

また、学習者は、ロボットの動作がうまくいかない場合に、時刻を確認してプログラムを戻すことができるようになる。これまでは、意識的にプログラムを確保しなければ、なくなってしまう途中プログラムを自動保持できることのメリットは学習者にとっても大きいと考えている。

図7に改善したロボットへのプログラム転送画面とログ蓄積画面

次に、発表における再現性を向上させるため、ロボットの微妙なずれをセンサーにより補正する方法をより詳細に示すことを検討している。2023年度の授業では、個人での個別学習とグループでの協調学習の間にペア学習を入れ、その際に、センサーを用いた位置補正や動きを指定させる課題設定を検討している(図8参照)。学習者が実際に利用できる様々なプログラム例を実行し、何ができるかを意識させることで、問題解決の際には、プログラムの修正を主に検討させることを目指す。

4 まとめ

本稿では、著者らが継続的に行っているプログラミングロボットを用いた授業実践について報告した。大学の一般教育として実施する本授業では、様々な知識レベルにある学習者が受講するが、2018年度以降、学習者は、グループによる協調学習には肯定的で、本ロボットプログラムに対し、高い興味関心を持っていることが示されている。今後、初等中等教育段階でのプログラミングの知識レベルの幅が広がるとしても、本ロボットを用いて、適切な個別学習と協調学習を構成して授業が実施できると考えている。

但し、協調学習におけるグループメンバーへの作業分担には、教授者が注意を払う必要がある。各学習者がどの程度のプログラミング能力を有しているかを個別学習時から、蓄積ログで確認し、

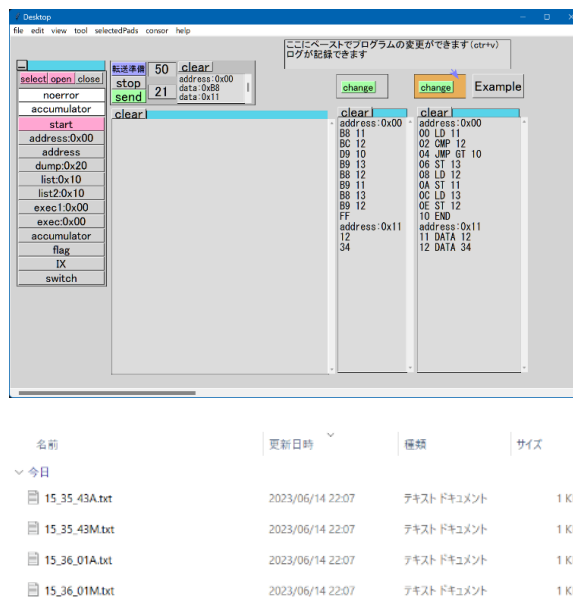


図7 プログラム転送画面とログ蓄積画面

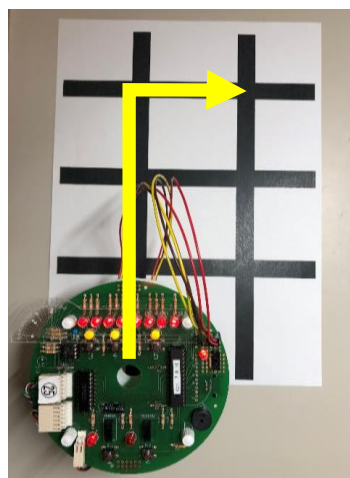


図8 アキュムレータを用いたセンサー利用プログラム例(黒い横線を3つ超えた際に右折する)

学習者へのプログラミング支援を検討していくことが必要であろう。また、センサーを用いたペア学習を授業の中間期に取り入れ、具体的な課題を協力して解決させる等、スモールステップの課題解決を重ね、プログラムによる課題解決の実現可能性を理解させることが必要であると考え。このような授業実践とツールの工夫で、学習者のプログラミング能力の育成と深化をはかることを目指していく。

付記

本稿は、参考文献[7]の研究会報告を元に、各種結果と追加検討を加え、まとめ直したものである。

参考文献

- [1] 文部科学省、平成 29・30・31 年改訂学習指導要領（本文，解説），
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1384661.htm(2023 年 10 月 9 日確認)
- [2] みんなのコード、2022 年度プログラミング教育・高校「情報 I」実施実態報告書 子ども・保護者の意識調査 単純掲載結果、p.9、
2023 年 8 月、
<https://speakerdeck.com/codeforeveryone/programming-education-report2022-parents>(2023 年 9 月 26 日確認).
- [3] 布施泉、野口孝文、梶原秀一、千田和範、稲守栄、“ロボット教材を用いた個別学習を連携した協調学習”、教育システム情報学会研究会報告、vol34、no.2、pp.89-95、2019.
- [4] 布施泉、野口孝文、梶原秀一、千田和範、稲守栄、“プログラミングロボットを活用したハイブリッド型授業における協調学習の実践と評価”、教育システム情報学会研究会報告、vol36、no.2、pp.31-38、2021.
- [5] 野口孝文、梶原秀一、千田和範、稲守栄、“計測制御教育のための教材ロボットの開発”、教育システム情報学会研究報告、Vol.27、No.6、pp.217-220、2013.
- [6] T. Noguchi, H. Kajiwara, K. Chida and S. Inamori, “Development of a Programming Teaching1-Aid Robot with Intuitive Motion Instruction Set” , Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.29 No.6, pp.980-991, December 20, 2017.
- [7] 布施泉、野口孝文、“プログラミングロボットを用いたグループ作品制作におけるメンバーの役割分担の現状と課題”、教育システム情報学会研究会報告、vol38、no.2、pp.19-23、2023.