

プログラミングロボットを用いた協調学習の実践と展開可能性

布施 泉^{*1}, 野口 孝文^{*1}

^{*1} 北海道大学

Practice of Collaborative Learning Using Programming Robots and the Possibility of its Development

Izumi Fuse^{*1}, Takafumi Noguchi^{*1}

^{*1} Hokkaido University

著者らは開発したプログラミングロボットを用いてグループで作品を企画構成する授業を大学の一般教育の中で継続的に実践している。メンバーそれぞれが持つロボットに対し、役割分担を決め、動作内容をプログラミングし、メンバー数のロボットを企画に沿って動かす。実機であるロボットを想定通りに動かすために、学習者は様々な工夫をするが、これまでは配置したロボットの初期位置の誤差を途中で手直しする手立てはなかった。この解決のために、センサを用いた位置調整と、協調学習の展開可能性について検討する。

キーワード: ロボット, 協調学習, プログラミング, センサ

1. はじめに

著者らは、小型コンピュータを用い直感的に分かりやすい動作命令セットを持つ教育用プログラミングロボットを開発し、大学等においてプログラミングの導入教育に利用している⁽¹⁾⁽²⁾。著者らの大学においては、大学1年生の一般教育として、知識レベルが異なる学習者に対し、当該ロボットを用いた個別学習とグループでの協調学習をシームレスに連携する授業実践を2018年度から継続的に進めてきた⁽³⁾。

本稿では、2018年度から2021年度までに、さまざまな形式で行ってきたグループでの協調学習の内容と特徴を振り返るとともに、ロボットに新たにセンサを導入することにより可能となる今後の協調学習の展開可能性について論ずることを目的とする。

2. 教育用プログラミングロボット

2.1 プログラミングロボットの構造

図1に実践で用いているプログラミングロボットを示す。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。ロボットは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入力を読み取る命令を用意している⁽²⁾。また、ロボットを動作させるプログラムの入力や実行をすべて図1のロボット上面にあるスイッチのみで行うようにしているほか、PCに接続してPCからプログラム作成の支援をしたりプログラムを実行したりすることができる。図1にはロボットの中央の穴にペンが刺しているが、ロボットの軌跡により、ペンでの描画を行うことができる。

2.2 直感的に作成できるプログラム

本プログラミングロボットの特徴は、ロボットを制御する命令コードのビットデザインにある。プログラムの入力や実行を、図1に示したロボットの上面前方にある8つの赤色LEDにロボットの命令を表示させながら行うことができる。図2は、LEDとスイッチの

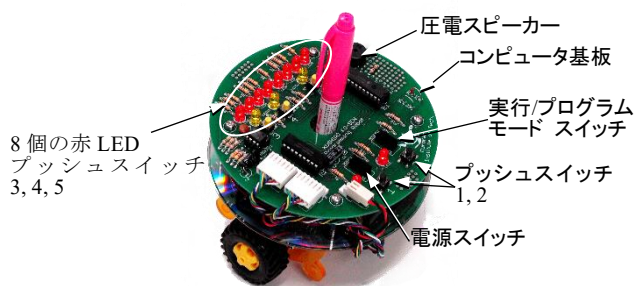


図1 プログラミングロボット

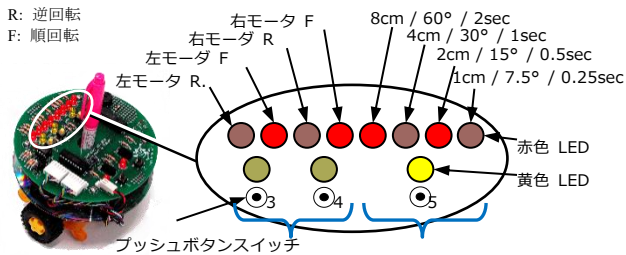


図2 ロボットの動作命令機能の説明図

機能説明図である。本ロボットでは、ロボットを移動させる命令を直感的に分かりやすくなるように設計している。

命令は8個のLEDの点灯/消灯に対応する8bit列で表現する。さらに左右4bitずつに分け、左4bitで動作内容、右4ビットで動作量を示すことを基本とする。左4bitをさらに2bitずつ左右のモータの動作内容に割り当てている。図2に示す上位4bitの点灯パターン(0101)は、左右のモータの順回転を指示しており、ロボットが前方に進む命令となる。これを左の2つのLEDの点灯を逆にして(1001)とすると、左のモータが逆回転するため、ロボットは左に回転する。

8bitのうち、右の4bitは動作量を表し、ロボットの前・後進/回転/停止に応じて距離/角度/時間に割り当てている。この4bitには重みを付け、図2の前進命令(0101 1010)では、 $8+2=10\text{cm}$ 移動することに対応する。前述の左回転命令(1001 1010)にすると、 $60+15=75^\circ$ 左に回転する。

このように本ロボットでは、動作内容と動作量をbit列として組み合わせた命令をプログラムすることで、プログラミングや制御の仕組みのイメージを学習者が容易に持つことができることを目指している。

学習者は、ロボットへのプログラム入力に慣れた後は、繰り返し処理やデータを保持できるレジスタを用いた比較演算、ジャンプ命令等を用いたプログラムを作成することもできる。一部の命令は、2バイトの命令で指示を行う。音データを用いることも可能である。

2.3 プログラムの入力と実行

本ロボットへのプログラム入力やその実行は、コンピュータ基板上のスライドスイッチおよび5つのボタンスイッチで行う。図1のコンピュータ基板の右下(ロボットの後方)に2つのスライドスイッチとそれらの後方に2つのボタンスイッチ1, 2がある。スライド

スイッチの1つは、電源スイッチである。もう1つのスライドスイッチは、プログラムの実行とプログラムの入力の切り替えを行う。なお、ロボットには256ステップのプログラムを入力することができる。この場合、命令は0から255番地までのメモリに記録される。電源スイッチをオンにすると、0番地の命令が表示され、プログラム実行の待機状態となる。

図2に示した黄色LEDのそれぞれ下にある3つのボタンスイッチ3, 4, 5を使い、番地の移動やプログラムの確認・入力を行う。このように、本ロボットではプログラミングから実行までを本ロボットのみで行うことができる。

命令の数が20ステップ以上に増えてくると、手入力のみでは使いにくくなる場合もあることから、プログラムをPCで作成し、ロボットに転送することで、より高度なプログラミングの支援を実現している。

2.4 PCを用いたプログラムの確認と転送

PCを用い、ロボットにコマンドを送るほか、コマンドを利用してロボットの状態を受け取ることもできる環境を用意している。2020年度からは学習者のPCを用いる前提で、PC側のシステム開発を、Pythonを用いて行い、学習者がインストールをせずに利用できるようにした。表1に主なロボット制御コマンドを示す。PC側から表に示すコマンドの文字列を送信するのに呼応してロボットが動作する。また、ロボットの実行

表1 プログラミングロボット操作コマンド

| コマンド | 利用例 | 説明 |
|-------------|------------------|----------------------------|
| Address | address:0x00 | データの書き込み・読み出し開始位置の設定 |
| Accumulator | Accumulator | アキュムレータの値を出力 |
| | accumulator:0xAB | アキュムレータに171を設定* |
| Flag | | フラグの値を出力 |
| Data | data:0x54 | データの書き込み |
| Exec | exec:0x00 | 00番地から始まるプログラムの実行 |
| exec1 | exec1:0x00 | 00番地の命令の実行 |
| Dump | dump:0x20 | addressで設定した位置から32個データをダンプ |
| List | list:0x00 | 00番地から始まるプログラムをダンプ |
| Stop | | コマンド転送モードの終了 |

プログラムは、機械語のみに対応しているため、アセンブリ言語によるプログラムと機械語への変換機能は PC 側のシステムの機能として実現している。

図 3 に、PC 上の操作画面例を示す。右に「04 FOR 2」「RGT C」といったアセンブリ言語による命令を記述する。ここで、上部にある「change」ボタンを押すことで、対応する 16 進の機械語に変換し、機械語の欄に表示される（図 3 で機械語と記載された箇所に変換されたプログラムが表示される）。さらに、当該欄の上部にある「change」ボタンを押すことで、16 進の命令を、ロボットへの送信データとして変換し、ロボットへ転送する。なお、アセンブリ言語によらず、機械語の欄に直接命令を記入して送信データを作成しても差し支えない。学習者の好みにより、アセンブリ言語もしくは機械語のプログラムからロボットへの送信データに変換することが可能である。

ロボットに格納されているプログラムを確認する場合は、図 3 の中央にある「list:0x10」と表示されているボタンを押すことで、16 番地分の命令を確認可能である。ここで「10」の部分は自身で任意に変更可能であり、ロボット内のプログラムを必要に応じて出力することができる。

3. 協調学習の実践とセンサ活用による展開可能性

3.1 授業構成とグループでの協調学習内容

著者らが行っている授業は、大学 1 年生対象の選択の一般教育科目として、2018 年度から継続的に開講している。半期の授業で各授業 16 名から 23 名程度の学

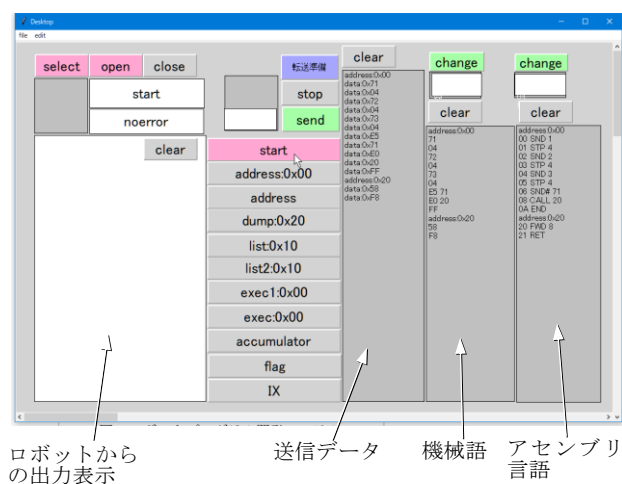


図 3 PC 上でのソフトの操作画面例

習者が受講する。いずれも、前半に個人学習としてロボットの基本操作を学び、後半にグループでの協調学習として、ロボットを用いた作品を企画させ、発表をさせている。また、2020 年度と 2021 年度は covid-19 の影響で、オンラインを併用した授業として実施した。

学習者は各個人に割り当てられたロボットを用い授業を受講する。前半の個別学習では、ロボットの操作として、基本となる直進、後退、回転、2 バイト命令を用いる円弧の描画ほか、繰り返し命令、ボタンスイッチを用いた条件分岐命令、音を鳴らすプログラムなどを実行させている。進行の早い学生は、マニュアルを読みながら、レジスタを用いたプログラムなど自由にロボットを動かして構わない。

授業後半は、ランダムに形成したグループにおいて、グループ毎に作品企画を立て、発表会を行うこととしている。表 2 に 2018 年度から 2021 年度までのグループ作品の特徴について示した。

表 2 年度毎のグループ企画と特徴

| 年度 | グループ作品の企画 | 特徴/課題 |
|--------------|---|-------------------------------------|
| 2018 対面 | 1 台のロボットにグループメンバーが担当を決めプログラムを協力して入力。描画必須。 | メンバー個々が作成したプログラムを 1 台にマージする |
| 2019 対面 | グループメンバー分のロボットを同時に動かし、描画を行う。音楽担当の専用ロボットがあってもよい。 | ロボット同士のぶつかり回避に多大な労力を要する |
| 2020 オンライン併用 | グループメンバー分のロボットを同時に動かす。描画型とダンス型（音楽と動き必須）の 2 種の課題を各クラスで課した。 | オンラインでの作品制作を可能にするため描画は個人描画の重ね合わせとした |
| 2021 オンライン併用 | 前期後期各 1 クラス開講。グループメンバー分のロボットで作品企画。後期はセンサを用いた作品とした | 前期 2020 年度の描画型、後期はボールとセンサの利用必須 |

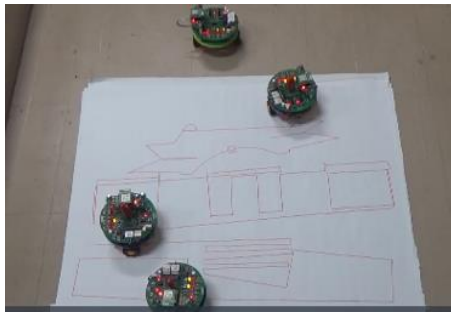


図4 2019年度後期作品例

2018年度以外はグループメンバー分のロボットを動かすようにグループ課題を設定している。2019年度は対面でメンバー分の台数のロボットを同時に動かした作品を制作させたが(図4参照),ロボット間のぶつかりを回避させるためにロボットの動作スピードを細かく調整する等,作品制作の難易度が格段に上がった。2020年度及び2021年度前期はオンラインでの学習を前提としたため,学習者が対面でなくても協調作業が行えるように個人のロボット動作をクリアフォルダ上に描画させ,重ね合わせることで全体作品とするような工夫を行った。この工夫でロボット間のぶつかり回避をする必要がなくなり,難易度は相対的に下がった。

一方で,このような描画を中心とした作品を制作する場合,ロボット内のプログラム構成としては順次処理や繰り返し処理が多く,条件分岐処理を利用する割合は極端に低くなっている。その理由は,学習者が個人学習として学ぶ条件分岐例は,ボタンスイッチを押下するタイミングでジャンプ命令を用いて行うものが主であることに起因する。そこで,ボタンスイッチを押下することと同等の機能をフォトセンサに受け持たせることで,グループ作品において条件分岐処理を安直に利用できるようにした。各ロボットには3つのボタンスイッチに対応したセンサを接続することができるが,2021年度後期の作品では,各ロボット1つ以上のセンサを接続し,利用することを課した。このようなセンサ検知を利用した条件分岐を組み合わせた作品例を図5に示す。図5には3台のロボットがあるが,手前右のロボットに着目すると,当該ロボットは赤ボールを受け取ると手前にある坂を上り,赤ボールを坂の上から落下させると坂から後退するようにプログラムされている。ボールの有無をセンサ検知させることで前進,後退のプログラムを条件分岐させるものである。このようにロボットの基本機能は変更せずにボタ



図5 2021年度後期作品例

ンスイッチの操作をセンサに代替させることでプログラムの可能性を広げることが可能となったと言える。

3.2 センサを用いた位置調整の検討

著者らは2022年度後期の授業に向け,接続可能な3つのうちの2つのセンサを用いてライントレースを行う検討を進めている。2019年度と2021年度後期の作品例を図4,5に例示したが,複数のロボットを協調的に動作させる場合,初期配置の少しのズレが最終的に大きなズレになってしまい,当初の目標とする作品ができない場合が多い。これまではこのようなズレの修正を実行時に行うことはできなかったが,今後は3つのうちの2つのセンサを用い,ある指定位置に黒テープで印をつける等でロボットの位置を微調整することが可能である。残り1つのセンサにより他ロボットの回避やボールの授受等を行うこともできるため,作品の展開可能性をさらに広げることができる。センサでの位置調整が可能になれば,ある目的を達成させるためのプログラムにも多様性を持たせられる。例えば1m移動するために,1m前進の命令ではなく,直進の繰り返しで,ある場所に来ると完了するようなプログ

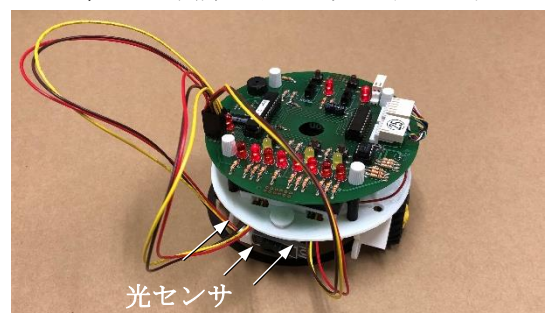


図6 3つのセンサを取り付けたロボットの様子

ラムを考えることができる。このような多様なプログラムを検討することは、柔軟なプログラミングの思考を育成する可能性を有すると考えている。

4. まとめ

本稿では、著者らが継続的に行ってきたプログラミングロボットを用いた協調学習の実践について、その特徴と課題について報告した。ロボットにおける条件分岐処理を、ボタンスイッチではなくフォトセンサを用いることで実装させ、グループ作品に幅を持たせることが可能であることを示した。また、これまでの課題であった複数台のロボットを協調的に動作させる場合のズレの修正についても、フォトセンサを用いたプログラミングを工夫することで対応できる可能性についても検討しており、2022年度後期に実践予定である。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費基盤研究(B)(19H01727)を受け推進した。

参考文献

- (1) 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)
- (2) 野口孝文, 梶原秀一, 千田和範, 稲守栄, "ロボットを用いた初心者のためのプログラミング教材の開発", FIT2014 第13回情報科学技術フォーラム, 筑波, pp.269-270 (第4分冊) (2014)
- (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, p 7 (2019)
- (4) 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 (2017)