

# 3 軸自律制御ロボットを用いた制御の学習\*

西ヶ谷 浩史, 青木 浩幸, 井上 修次, 鎌田 敏之, 兼宗 進, 紅林 秀治

静岡大学附属島田中学校, 東京学芸大学, スタジオ ミュウ,

愛知教育大学, 一橋大学, 静岡大学

YRR02165@nifty.com, aokih@cs.u-gakugei.ac.jp, shu\_inoue@hotmail.com,

tkamada@aecc.aichi-edu.ac.jp, kanemune@cc.hit-u.ac.jp, eskureb@ipc.shizuoka.ac.jp

## 概要

中学校における、自律型 3 軸制御ロボットの制御学習を報告する。我々は中学校技術・家庭科の授業において、自律型 2 軸制御ロボットの授業を行ってきた。生徒たちは意欲的にプログラミングなどの学習に取り組んだが、2 軸ではプログラムが単調になるなどの限界が明らかになった。そこで、新たに 3 軸制御のロボットを授業に取り入れた。本稿では、3 軸を授業に取り入れることの効果を検証し、検討すべき課題について考察する。

## 1 はじめに

中学校における、自律型 3 軸制御ロボットを用いた授業を報告する。筆者らは中学校技術・家庭科の授業の中で、自律型 2 軸制御ロボット (左右の両輪を制御する自律型ロボットカー：以降 2 軸ロボットと呼ぶ) を用いた実践を進めてきた [1][2]。

中学校でロボットを扱う場合には、リモコンにより手動で操作することが一般的である。しかし我々は、ロボットの内部にプログラムを内蔵し、センサーを用いて判断しながら動く自律型ロボットを用いることで、生徒が動作を設計し、実際に動作させながら結果を設計にフィードバックする自主的な学習活動を行いたいと考えた。

2 軸ロボットは、ものづくりの面では生徒が様々な

工夫を行うことができた。しかし、プログラミングの面では工夫の幅が少なく、生徒がプログラム自体の工夫を行うことは容易ではなかった [3]。

そこで、ロボット製作とプログラミングの両面で生徒が工夫できる教材として自律型 3 軸ロボット (両輪に加え、作業を行うモータを加えたロボットカー：以下、3 軸ロボットと呼ぶ) を採用した。

本稿では、最初に 2 軸ロボットで行った授業を報告する。続いて 3 軸ロボットの授業を報告し、2 軸との違いと今後の課題を考察する。

## 2 2 軸ロボットの授業

平成 16 年度から平成 17 年度にかけて、藤枝市立青島中学校で 2 軸ロボットの授業を行った。期間は 2 年生の 11 月から 3 年生の 6 月までの 8 ヶ月間である。表 1 に授業カリキュラムを示す。<sup>\*1</sup>

### 2.1 2 軸ロボット

2 軸ロボットの基板には maruki logob.com[1][2] を採用した。制御 LSI として、CPU、メモリ、I/O

\* Learning Control with Triaxial Autonomous Robotic Car. Hirofumi Nishigaya (Shimada Junior High School Attached to the Faculty of Education of Shizuoka University), Hiroyuki Aoki (Tokyo Gakugei University), Shuji Inoue (Studio Myu), Toshiyuki Kamada (Aichi University of Education), Susumu Kanemune (Hitotsubashi University), Shuji Kurebayashi (Shizuoka University)

<sup>\*1</sup> 中学校の 1 時限は 50 分である。

表 1 授業カリキュラム

年	授業内容	時数
2年	ドリトルによるプログラミング	5
2年	2軸ロボットの製作	22
3年	2軸ロボットの制御プログラミング	8

制御が含まれた PIC を採用している。この製品は基板と PIC を含む部品が含まれたキットになっており、生徒たちは慎重に半田付けを行い、基板を完成させた。その後、模型用のモータとギアなどを組み合わせる形で、実際に動くロボットカーを完成させた。図 1 に生徒の作品例を示す。



図 1 2軸ロボットの作品例

このロボットには 2 個のモータが搭載されており、左右の車輪 (キャタピラ) を独立して回転することができる。先頭には接触スイッチが付いており、壁への衝突を検知できる。

## 2.2 2軸プログラミング

授業では、簡単な迷路を作り、そこを抜けるプログラミングを扱った。

ドリトルには外部機器と通信を行うオブジェクトが用意されており、それを用いてロボットにプログラムを転送することが可能である。図 2 に、2 軸ロボットを制御するサンプルを示す。1 行目では、ロボットオブジェクトを作り、ロボ太という変数に代入している。2 行目では、通信ポートを開いている。3,4 行目では、通信ポートに制御命令を送っている。5 行目では、通信ポートに動作開始命令を送っている。6 行目では、通信ポートを閉じている。生徒たち

は、3,4 行目のプログラムを、自分が動かしたい動作に変更する形でプログラムを作成する。

ロボ太=ロボット!作る。	(1)
ロボ太!" com1" ひらけごま。	(2)
ロボ太!10 前進。	(3)
ロボ太!10 後退。	(4)
ロボ太!うごけ。	(5)
ロボ太!とじごま。	(6)

図 2 2軸ロボットの制御プログラム例

図 3 に授業の様子を示す。2 軸の授業では、生徒たちは生き生きと工作に取り組んだ。自作のロボットに自作のプログラムを転送して、自律的に動作させる体験を通して、生徒たちは大きな達成感を持って授業を終えることができた。

一方、授業の観察から、ひとつの課題が明らかになった。それは、プログラミングの工夫の幅に関する制約である。左右のモータを操作する 2 軸制御は、小学生での授業事例 [3] があるように比較的シンプルである。このことは、生徒全員に成功体験を持たせる意味で効果があったが、プログラミングの工夫が左右のモータ制御に限られるため、生徒がプログラムで個性を出すことは難しかった。実際、サンプルプログラムを入力した後は、移動距離や回転角度などのパラメータ修正が主な作業になり、アルゴリズム的な工夫を行う時間が少ないという結果が観察された。



図 3 2軸ロボットの授業

そこで、2 個のモータに加えて、仕事を行うためにもうひとつのモータを加えた 3 軸ロボットを導入し、授業を行うことにした。

### 3 3 軸ロボットの授業

平成 17 年度に、藤枝市立青島中学校で 3 軸ロボットの授業を行った。期間は 2 年生の 11 月から 3 月までの 5 ヶ月間であり、1 学年 5 クラス (200 人) の生徒が対象である。表 2 に授業カリキュラムを示す。

表 2 授業カリキュラム

授業内容	時数
ドリトルによるプログラミング	6
3 軸ロボットの製作	22
3 軸ロボットの制御プログラミング	8

#### 3.1 3 軸ロボット

3 軸ロボットの制御基板にはミュウロボ制御基板 [5] を採用した。制御 LSI には PIC を採用している。このロボットには 3 個のモータが搭載されており、左右の車輪を回転することに加え、アームを操作することで運搬などの仕事をさせることができる。

センサーについては、衝突を検知する接触スイッチのほか、光の反射を検知するセンサースイッチなどを合計 4 個まで取り付けることができる\*2。

生徒たちは 2 軸と同様に慎重に半田付けを行い、基板を完成させた。その後、モータとギアなどを組み合わせる形で、アームの付いたロボットカーを完成させた。図 4 に 2 軸ロボットと 3 軸ロボットの構造を、図 5 に生徒の作品例を示す。

ロボット製作の段階では、モータの配線が正しく行われていることの確認を重視した。正しい配線が行われていないと、その後のプログラムによる制御の際に、意図した動作が行われない原因がロボットとプログラムのどちらにあるのかわからなくなっ

\*2 その他、距離センサーなど各種のセンサーを取り付けることが可能である。

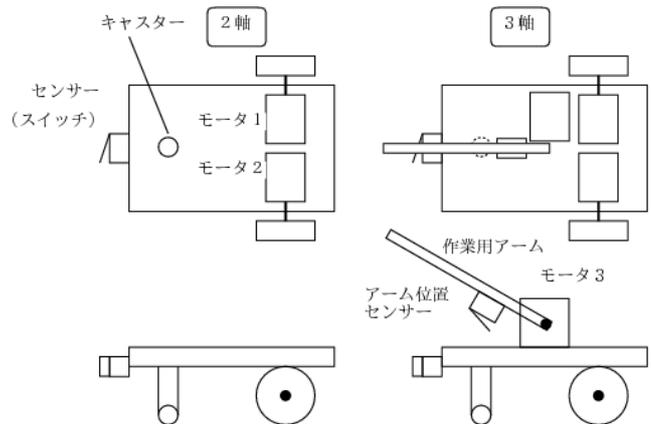


図 4 2 軸ロボットと 3 軸ロボットの構造

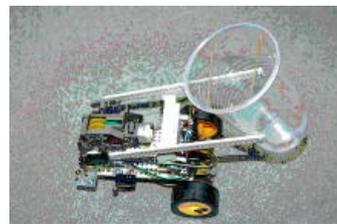


図 5 3 軸ロボットの作品例

てしまうためである。

今回は、画面上にモータを正逆に回転させるボタンを置いたテストプログラムを用意し、生徒が作成したロボットを接続して動作を確認できるようにした。実行画面を図 6 に示す。

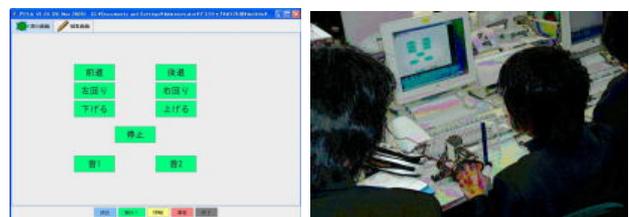


図 6 ロボットの動作テスト画面

#### 3.2 3 軸プログラミングの試行

3 軸ロボットではアームの作業を正確に行う必要性からセンサを利用した動きの制御が必要となるため、複数のセンサ入力から車体とアームの移動を決

定する必要があり、プログラムの複雑度が増すことになる。今回採用した3軸ロボットでは、ラベルを意味するアンカーと goto 文に相当するジャンプ命令などを組み合わせることで、3軸プログラムに必要な多様なプログラム表現に対応している。

図7に3軸ロボットの制御プログラム例を、図8にフローチャートを示す。これは、授業で使うことを予定していたサンプルプログラムである。3行目の命令により電源投入と同時に本プログラムの実行が開始され、7行目でロボットの駆動用の右モータが前進をはじめ。6行目で左の壁への接触を検知したときは、10行目で左モータを前進し、壁から離れるまでこの動作を繰り返す。左の壁から離れた後は、再び右モータが前進をする。これを繰り返しながら前進し、5行目でかごへの接触を検知したときは、13行目で移動を停止する。続いて、15行目でアームを下げ、ピンポン玉をコップの中に入れる。16行目では接触スイッチを監視することでアームが床についたことを検出し、17行目でアームを再び持ち上げ、18行目でロボットを後退する。

今回の2年生の授業では3軸ロボットの製作までを扱ったが、ロボットを早く完成させた一部の生徒は3年生で予定していた制御プログラムを入力して実行した。生徒たちは図7のプログラムを入力して実行した。教員が個別に解説したが、いずれの生徒もプログラムの理解に苦慮する姿が見られた。

#### 4 3軸授業の考察と設計

2軸ロボットと3軸ロボットの授業を行った結果、これらは単にモータが1個増えたという以上の違いを授業にもたらしことがわかった。表3に2軸ロボットと3軸ロボットの比較を示す。

##### 4.1 製作上の違い

製作の段階では、2軸で必要だった移動の仕組みに加え、仕事をさせる仕組みとセンサーの取り付けなどの作業が必要になった。その結果、製作時間が増加した。また、行う仕事を決定した上でアームの位

ロボ = MYU ! 作る。	(1)
ロボ:転送命令 = 「!」ははじめロボット	(2)
パワーオンスタート	(3)
10 アンカー	(4)
30 1 入力ありジャンプ	(5)
20 2 入力ありジャンプ	(6)
0 右前	(7)
10 ジャンプ	(8)
20 アンカー	(9)
0 左前	(10)
10 ジャンプ	(11)
30 アンカー	(12)
10 停止	(13)
40 アンカー	(14)
0 モーター右	(15)
40 4 入力なしジャンプ	(16)
10 モーター左	(17)
10 後退	(18)
10 ジャンプ	(19)
おわりロボット♪	(20)
ロボ! 『com6』 ひらけごま。	(21)
ロボ! 転送命令。	(22)
ロボ! とじろごま。	(23)

図7 3軸制御のサンプルプログラム

表3 2軸と3軸の比較

項目	2軸ロボット	3軸ロボット
【本体】		
モータ	・2個	・3個
センサー入力	・1個(移動検知)	・2個以上 (移動検知、作業確認)
その他		・配置上の工夫が必要 ・作業用のアーム、ギア
【プログラム】		
命令数	・少ない	・多い
基本動作	・1種類(移動)	・2種類(移動、作業)
制御構造	・逐次実行のみ	・条件分岐あり (2個のセンサー)

置などを検出するためのセンサーを取り付ける必要があることから、センサーを取り付ける位置と動作についての検討が必要になった。

##### 4.2 プログラミングの違い

2軸ロボットでは、衝突を検知する1個のセンサーを使い、2個のモータの回転を制御した。一般にセン

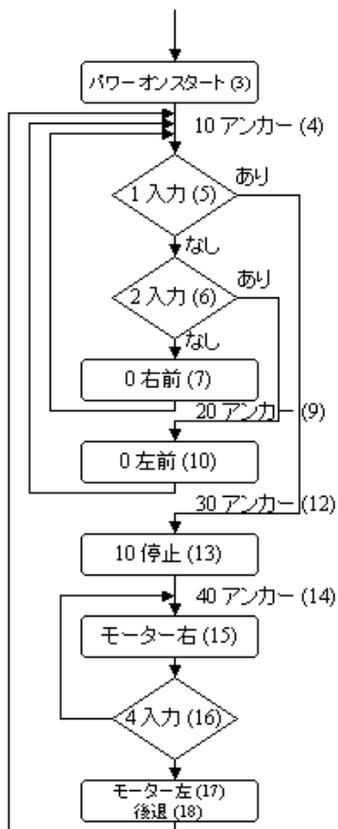


図8 3軸制御のフローチャート

サーの衝突検知には、センサーの値の監視または、検出によるイベント処理が必要になるが、使用していたロボットでは、「衝突するまで前進」という専用の命令が用意され、分岐やイベント処理が不要になっていた。

一方、3軸ロボットでは複数のセンサの状態を判断して適切な動作を選択する必要があり、これまでのような直線的な処理では期待した動作を記述することができない。その結果、プログラムの難易度は飛躍的に増加する。

当初は、図7のようなジャンプ命令を多用するプログラムをそのまま中学生に理解させることを予定していた。しかし、一部の先行する生徒に試用させたときの観察から、このプログラムは中学校の一斉授業で扱うには難しすぎるということがわかった。

具体的には、gotoによるプログラム記述は、生徒にとって2つの点が壁になっていると考えている。ひとつは、ジャンプ命令と飛び先を、行番号のラベルで自分で管理する必要がある点である。もうひとつは、gotoによる制御の遷移が、ループの形成、ループからの脱出、条件実行という3つの意味に使われており、プログラムをじっくり読んで理解しないと区別がつかないという点である。

そこで、ドリトル上で構造化した構文を記述できるようにし、ロボットには構造化された構文をジャンプ命令に翻訳して転送する仕組みを用意した。

図9に、構造化されたプログラム例を示す。<sup>\*3</sup> 4,8行目は「繰り返し」命令による無限ループである。5,6行目では、2番センサーの入力がない場合に右モータを前進させ、入力がある場合に左モータを前進させる。7行目では、1番センサーの入力がある場合に「ボール獲得」というメソッドを実行する。10行目からのボール獲得メソッドでは、11行目で移動用のモータを停止し、12行目で4番センサーの入力があるまでアームを下げ、13行目でアームを戻した後に、14行目で後退する。

## 5 今後の授業計画

当初の3軸ロボットのプログラミングは生徒が理解することが難しかったが、言語仕様を構造化することで難易度を下げることができた。そこで、本年度の授業では、生徒全員が3軸ロボットのプログラミングを体験する予定である。時数は、2年生は31時間、3年生は16時間を予定している。表4に授業カリキュラムを示す。

製作に関しては、3軸ロボットは構造が複雑であるため、最終製作の前に予備的な製作を行い、生徒が試行錯誤できるようにする。また、いちどに3軸口

\*3 “右前”のように引数のない制御命令は回転方向を設定して次の命令に進み、“10 右前”のように引数のある制御命令は回転を“引数 × 0.1”秒間実行してから次の命令に進む。

ロボ = MYU ! 作る。	(1)
ロボ : 転送命令 = 「 ! はじめロボット	(2)
パワーオンスタート	(3)
「 !	(4)
2番センサー 入力なし「 ! 右前」	(5)
そうでなければ「 ! 左前」実行	(6)
1番センサー 入力あり「 ! ボール獲得」実行	(7)
」繰り返す	(8)
おわりロボット。」	(9)
ロボ : ボール獲得 = 「 !	(10)
1 0 停止	(11)
4番センサー 入力なしの間「 ! モーター右」実行	(12)
1 0 モーター左	(13)
1 0 後退	(14)
」	(15)
ロボ ! 『com1』 ひらげごま。	(16)
ロボ ! 転送命令。	(17)
ロボ ! とじろごま。	(18)

図9 構造化された3軸制御プログラム

表4 3軸の授業カリキュラム

学年	授業内容	時数
2年	(1) 身近な機械とコンピュータ	1
	(2) ドリトルで行うプログラム	5
	(3) 3軸ロボットの製作 全員共通課題(予備製作) 有線リモコンの動作まで 基板とセンサーの製作	15 10
3年	(4) 3軸の制御 リモコンプログラム 構造化命令の使い方	2 4
	(5) 3軸ロボットコンテスト チームで行う課題作り ロボット製作とコンテスト	2 6
	(6) チーム発表会	2

ロボットの機能を作るのではなく、2軸の部分で動作を確認してから3軸に進むなど、段階的に進める予定である。

## 6 まとめ

本稿では、中学校技術・家庭科における3軸自律型ロボットの授業を紹介した。2軸ロボットは左右

の車輪を制御する移動という単一機能のみであるため、ロボットの構造が単純であり制御プログラムもシンプルであった。そのことで、生徒全員に達成感を与えられるが、生徒が独自の工夫を行える幅が狭いという問題があった。

一方、3軸ロボットでは移動機能の上に仕事をする機能が加わるため、アームの機構やセンサーの配置などロボットの構造及び、それを反映した制御プログラムの両面で2軸ロボットとは全く異なる複雑さがある。

当初はロボットが直接解釈できる goto 文を記述していたが、生徒にとって難易度が高いことから、構造化した文法で記述できるようにドリトルの改良を行った。その結果、複雑な制御が必要な3軸ロボットのプログラムを、中学生が授業で扱える程度にまで容易にすることができたと期待している。

今後は授業で実践を進めつつ、中学校では例の少ない3軸自律型ロボットの教育効果について研究を深めて行きたい。

## 参考文献

- [1] 紅林秀治, 兼宗進. プログラミング学習についての一考察: ロボット制御のプログラミング学習とソフトウェア作りのプログラミング学習を比較して. 情報教育シンポジウム (SSS2004), 2004.
- [2] 佐藤和浩, 紅林秀治, 兼宗進. 小学校におけるプログラミング活用の現状と課題. 情報処理学会 コンピュータと教育研究会, CE(78), 2005.
- [3] 佐藤和浩, 紅林秀治, 青木浩幸, 西ヶ谷浩史, 井戸坂幸男, 鎌田敏之, 原久太郎, 久野靖, 兼宗進. IT クラフトマンシップ~小中学生によるドリトルプログラミング~. 情報処理学会 コンピュータと教育研究会, CE(83), 2006.
- [4] プログラミング言語「ドリトル」.  
<http://dolittle.eplang.jp/>
- [5] ロボット工房「スタジオミュウ」.  
<http://www.studiomyu.com>