

アーム付き自律型移動ロボットを使った授業実践 Practice of learning programming with an autonomous mobile robot with an arm for Junior High School students

西ヶ谷浩史* 兼宗 進† 青木浩幸‡ 紅林秀治§

2008年1月23日

概要

中学校3年生の「技術・家庭」の授業で、アーム付き自律型ロボットを教材として授業を行った。この授業では、教育用プログラミング言語「ドリトル」を用いてプログラミングを容易にし、制御プログラムを段階的に学習できるように指導過程を工夫した。その結果、難しい課題に対しても生徒が主体的にロボットを制御することができた。また、それと同時にコンピュータと機械との関係を生徒が実感を持って理解することができ、社会とコンピュータ技術に関する関わりについての理解を深めることができた。

1 はじめに

中学校「技術・家庭」で行った、アーム付き自律型ロボットを用いた制御プログラミングの授業について述べる。筆者らは、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:以降2軸ロボットという)を用いた実践を進めてきた[1][2]。2軸ロボットを製作する授業では、ロボットが移動しやすいようにロボットの形を変えたり、センサーを効果的に働かせるためにその取り付け位置を変えるなど様々な工夫が見られたが、制御プログラム自体の工夫はそれほど多くはないことがわかった[3]。そのため、製作と制御の両面でより多様な工夫を生徒自らが考え出すような授業が必要であると考え、今までにない自律型のロボットコンテストを目標にしアーム付き自律型移動ロボットの学習を行った。その結果、プログラムの難易度が高まるにも関わらず、ロボットの制御が多様化されプログラミングによる動作やロボットの製作に工夫が見られた。本稿

では、授業で使用した制御プログラム言語、制御ロボットとその授業内容および実践結果について述べる。

2 ドリトルについて

ドリトルは、教育用に設計されたオブジェクト指向言語である[4]。簡潔な日本語による構文を採用しておりオブジェクトに呼びかける形でプログラムを記述する。そして、ドリトルは通信ポート(RS232C)にアクセスする機能が含まれており、それを利用することで外部機器の制御を行うことが可能である。図1は、ドリトルによる制御プログラムの例である。

```
ロボ=MYU! 『com1』作る。(1)
ロボ:プログラム=「!(2)
はじめロボット(3)
//ここにロボットの動作を入れる。(4)
おわりロボット。(5)
ロボ!プログラム。(6)
```

図1 制御プログラムの例

* 静岡大学教育学部附属島田中学校
† 一橋大学
‡ 高麗大学
§ 静岡大学教育学部

以下図1のプログラム例をもとに説明する。

MYU オブジェクトに「ロボ」という名前をつ

け、ロボットに接続するシリアルポートの名を『』内に記す。(図1(1))

「ロボ」に「プログラム」という命令は何であるかを伝える。「はじめロボット」(図1(3))から「おわりロボット」(図1(5))の間に実行する命令を順に書く(図1(4))。

「ロボ!プログラム」により、「プログラム」を実行する。ロボットが理解できるバイトコードに変換される。(図1(6))。図2は、ドリトルの実行画面である。

実行画面に表示された「転送」ボタンを押すことで、通信が開始されバイトコードに変換されたプログラムがロボットに転送される。



図2 ドリトルの実行画面

3 ロボット制御について

ロボットに使用した基盤は、3軸制御用ミュウロボ基板(スタジオミュウ製作)である[5]。図3に製作した3軸制御ロボットを示す。



図3 3軸制御ロボット

この3軸制御ロボットは、移動用にモータを2個使用し、その他リフト用アームなど、ものを上げた

表1 授業内容と時間

No.	授業内容	時間
1	ドリトルで簡単なプログラム	4
2	ハンダ付けの方法	2
3	モータへの配線(モータの仕組み)	2
4	電気回路の基礎(スイッチによる反転)	2
5	2軸ロボットの設計(動力の伝達)	1
6	基板の取り付けと配線	2
7	2軸ロボットの製作	2
8	2軸移動ロボット完成	2
9	コンピュータへ接続	1
10	動作確認	2
11	制御プログラム	2
12	グループで演技構想	2
13	演技準備	2
14	シンクロ演技発表会	1
15	玉入れロボットの製作(リンク機構)	2
16	センサーとアームを利用しよう	5
17	アイテムを取り出すロボットの製作	1
18	アイテムを取り出し放出する動き	2
19	自律型ロボットコンテスト	5

1時間は50分

1~14は2年次、15~19は3年次で実施

り下げたりする仕事用に3つ目のモータを使用できる。さらに、それぞれのモータに対して、リミットスイッチなどのセンサーをつけることができる。コンピュータで作られたプログラムは、パソコンのシリアル端子からケーブルで転送する。

4 授業構成

平成18年6月から11月まで、中学校2年生(120名)で2軸を使ったロボットの製作とコンピュータで制御する学習を行った。さらに、平成19年4月から12月まで中学校3年生(120名)に3軸を使ったロボットの製作と制御の授業をおこなった。授業内容を表1に示す。

最初から3軸制御ロボットの学習に入らず、2年生の授業で簡単な2軸ロボットの製作と制御の学習を行い3年生で3軸制御の学習を無理なく行えるよう計画した。3年生の授業では2年時に製作した

2軸制御ロボットを利用するなど教材を効率よく使用するようにした。

4.1 2年次の授業

コンピュータで機械を制御する体験は、生徒にとって初めての体験であり、難しく抵抗を感じる生徒が多い。そのため、制御の学習の導入として、誰でも興味を持って、意欲的に学習に取り組めるような課題を設定した。その課題として6人班を1つのグループとし、音楽に合わせて集団で動きを考え演技するという「シンクロ演技発表会」を企画した。図4は、シンクロ演技発表会の様子である。生徒の考えたプログラム例を図5に示す。



図4 シンクロ演技発表会の様子

パワーオンスタート	(1)
60 停止 50 前進 14 停止	(2)
90 右回り 14 停止	(3)
90 左回り	(4)

図5 生徒のプログラム例

2軸の制御学習では、使用する命令が少なく、ロボットの移動を制御するだけであるため、プログラムを簡単に作成することができた。このことは、授業に対して苦手意識を持っている生徒でも、何回も試行錯誤をしていけば課題を解決することができるため意欲的にプログラミングに取り組む様子が見られた。しかし、生徒は、課題に対して図5のようなプログラムを一度作ってしまうと、うまく解決できない原因を命令の引数（パラメータ）の変更だけ対処するようになり、プログラムを変えることはしなくなるのがわかった。

そこで、プログラミング学習をもっと深めるため

には、プログラムのパラメータの変更だけで解決できないような課題を作る必要があると考えた。そのためには、ロボットの移動だけでなく、移動と仕事の二つの制御を組み合わせることと、センサースイッチ（入力スイッチ）によりプログラムの流れを変えるロボットを作る必要がある。それにより、プログラムが複雑になりプログラムの流れをより深く考えるようになるだろうと考えた。

4.2 3年生での授業

3年生では3つめのモータを使用した3軸ロボットの製作と制御学習を行った。授業は、あらかじめ保持しているピンポン球を金属の入れ物に入れる動きから始まり、最終的には、ピンポン球で作ったアイテムをロボットが取って、別の場所に移動させる自律型のロボットコンテストを開催できるように授業構成を工夫した。

4.3 3軸ロボットの制御プログラム

「金属の入れ物にピンポン玉を入れるロボットにしてみよう」という課題に対して、生徒が作ったプログラム例を図6に示す。生徒は、1番目のセンサーを、金属が触れることで端子間を短絡させ金属を感知できるようにした。図6のプログラムは、センサーが金属を感知したら繰り返しの処理を終わらせるようにしてある。生徒はその与えられた課題に対して、プログラムで解決していく授業を展開することができた。生徒が自分の考えたプログラムでロボットの動作を確認している様子を図7に示す。

ロボ= MYU ! 『com1』作る。	(1)
ロボ:プログラム=「!はじめロボット	(2)
パワーオンスタート	(3)
「! 前進	(4)
「! 1番 入力あり	(5)
「! 10 モーター左	(6)
10 停止 繰り返し脱出」実行	(7)
」繰り返す	(8)
おわりロボット」。	(9)
ロボ!プログラム。	(10)

図6 生徒の3軸制御のプログラム例

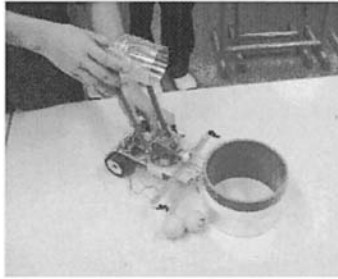


図7 授業の様子 (玉入れ)

4.4 自律型ロボットコンテスト

自律型ロボットでは、従来からライントレースや迷路脱出などが課題として行われてきているが、「個人のアイデアが発揮されるようなしくみが考えられるもの」また「制御プログラムにも多様性が出るもの」という考えから「現場へ急げ！ロボット救助隊！」というコンテスト課題を考えた。この課題は、図8に示すコート内のアイテムを別のスポットにできるだけ早く移動させるものである。コンテストに向けて、生徒はアイテムを自分のロボットに取り込むしくみを考え、多様なロボットを製作した。図9に生徒が製作したロボットを示す。また、自律型ロボットコンテストの様子を図10に示す。

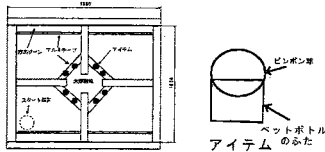


図8 課題のコートとアイテム

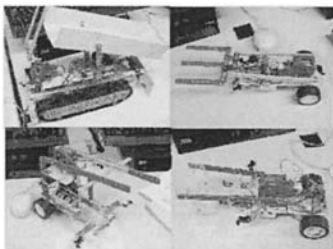


図9 生徒の作品

表2 理解度と工夫のアンケート結果

課題	理解	工夫
アームを動かしてみよう	3.5	3.0
連続して動作を続ける方法	3.5	2.7
センサーを単独で使用する	2.9	2.9
センサーと連動した動きにしよう	2.9	2.8
前進とセンサーの組み合わせ	2.5	2.6
前進して玉を入れる	2.2	2.4
ロボットコンテストの実施	3.8	3.6

回答の平均値

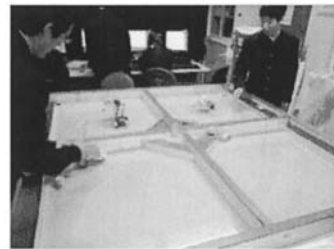


図10 自律型ロボットコンテストの様子

5 授業の結果とプログラムの難易度

授業の中で設定した課題で、生徒がどの程度プログラムを理解し工夫していたかを調査した。理解度に関しては、5段階尺度（5・簡単 4・意外と簡単 3・どちらともいえない 2・意外と難しい 1・難しい）で調査し、工夫に関しては、5段階尺度（5・たくさん工夫した 4・少し工夫した 3・どちらともいえない 2・ほとんど工夫しない 1・まったく工夫しない）で調査した。その結果を表2に示す。課題は授業の進捗に合わせて表2の項目順に実施した。

表2から、センサーを使い課題が難しくなるにつれて、理解度も低くなるのがわかる。当然、プログラムの理解が難しくなれば自分でロボットの動きを工夫することも難しくなってくる。そこで、自律型ロボットコンテストを実施するために、「命令を定義する方法」と「ロボットの複雑な動きを細分化し、順番に整理する方法」という2つの方法を指

表3 事後アンケート結果

項目	5	4	3	2	1
質問1	20	48	30	3	0
質問2	50	35	15	0	0
質問3	28	55	15	3	0
	%				

導した。その結果、理解度は3.8に、工夫は3.6に向上した。さらに授業後に事後アンケートを実施した。アンケートの質問内容を以下に示す。質問に対して5段階の尺度（5・強く思う 4・思う 3・どちらともいえない 2・思わない 1・全く思わない）で回答するように指示した。その結果を表3に示す。

- 質問1 プログラムの内容を工夫することができようになったか？
- 質問2 今日の授業は、自分から進んでやってみようと思いが高まった授業だったか？
- 質問3 今日の授業で自分の考えや技術（技能）を深めたり高めたりすることができたか？

この自律型ロボットの課題では、ロボットの動作は、「金属の壁まで進む→ぶつかったらアームをおろしアイテムを取る→アームを少し持ち上げる→別の場所に移動する→アイテムを落とす」というように大変複雑になる。しかし、プログラムの工夫、意欲の高まり、考えの深まり、などの質問に対しては7割以上の生徒が「まあまあできる、できる」と答えており、命令を定義しロボットの動きを細分化し順番に並べるといふことは、大変効果的であったことがわかる。自律型ロボットコンテストで使った生徒のプログラムを図11に示す。

図11の生徒のプログラムは、「アイテム略奪」「動く」「アイテム置く」という3つの命令を定義し、図11の(19)～(24)にロボットの動作にあわせて順番に配置している。この方法が、複雑になった課題を解決するための手段として効果的であったと考えられる。

```

ロボ= MYU!『com2』作る。(1)
ロボ:アイテム略奪=「!(2)
「! 3 入力なし」の間(3)
「!モーター右」実行 20 モーター左(4)
5 後退 2 左回り(5)
」。(6)
ロボ:動く=「!(7)
「! 4 入力なし」の間「!前進」実行(8)
」。(9)
ロボ:アイテム置く=「!(10)
「! 2 入力なし」の間「!後退」実行(11)
80 モーター左 停止(12)
70 モーター右(13)
25 前進 3 右回り(14)
」。(15)
ロボ:龍太=「!(16)
はじめロボット(17)
パワーオンスタート(18)
動く(19)
アイテム略奪(20)
アイテム置く(21)
動く(22)
アイテム略奪(23)
アイテム置く(24)
おわりロボット」。(25)
ロボ!龍太。(26)

```

図11 生徒が作ったプログラム

5.1 構造化ドリトルを利用した効果について

構造化ドリトルは、3年生で行った制御の学習ではじめて使用した。そこで、移動のみのロボット制御を行う「迷路脱出」とアームでアイテムを取り移動させる「ロボット救助隊コンテスト」で使用した命令とその種類・個数を比較した。迷路脱出の課題を図12に示す。この迷路脱出は、壁に金属が貼ってあり、スタート地点からゴール地点の壁にぶつかるまでロボットを移動させる課題である。

調査は、授業を受けた1学級の生徒（38名）を対象に行った。個々のプログラムを調べ命令の種類と命令の数を調べ、それぞれの平均を出した。その結果を表4に示す。

表4より、2軸から一つモータを追加し3軸にしたことでロボットの動きは複雑になったが、その割

表 4 2軸と3軸の命令の比較

コース (制御)	種類	個数
迷路脱出 (2軸)	8.3	16.1
救助隊コース (3軸)	10.5	19.7

には命令の種類や個数は多く増えていないことがわかった。これにより生徒にとっては課題の難易度ほどプログラムは複雑にはならなかったということがわかった。

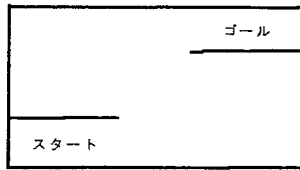


図 12 迷路脱出コート

5.2 制御学習の効果

自分でロボットを製作し、目的の動作をさせるためにプログラムを考える制御学習で、生徒にどんな力をつけることができたかを検証した。まず、中学校でコンピュータの学習を行っていない2年生と制御学習を行った3年生とで同じアンケートを行った。

- 質問4 コンピュータで動作しているものは？
- 質問5 ロボットが正確に動作するためには何が大切か？

回答は複数の選択方式である。質問4についての回答結果を図13に示す。

図13より、制御学習を行った生徒の半数以上が、ここにあげられている機器ではコンピュータが動作していると考えられるようになっていたことがわかる。質問5の回答結果を図14に示す。

図14より、制御学習を行っていない生徒でもプログラムをは大切だと答えている生徒が多くいるが、学習後に増えた項目を見ると「配線」「機械」というハード面で大切だと考えるようになったことが

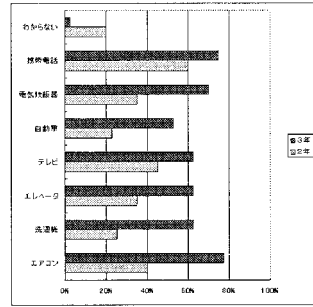


図 13 質問4の回答結果

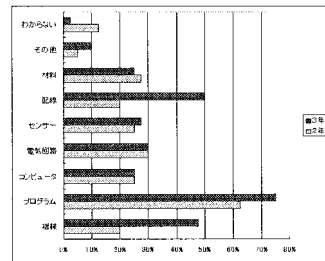


図 14 質問5の回答結果

わかる。まさに、機器を自動で動かすためには、ソフトウェアとハードウェアの両面が大切であるということを理解させるためには制御学習と製作学習の両方が効果的であることがわかった。次に制御学習を行う前と、制御学習を行ったあとでは機械のしくみを想像し説明できるかを3年生の同じクラスで比較調査を行った。質問項目を下記に示す。

- 質問6 全自動洗濯機はスイッチを入れると自動で洗濯物をきれいにする
- 質問7 電子炊飯器は、ボタンを押すと人間が火力を調節したかのようにおいしく炊ける。
- 質問8 無人で動く車を作りたいのでそのしくみはどうするか？

この質問は記述式で行い、仕組みを「センサー」「プログラム」などの言葉を用いて制御の仕組みを推測できた生徒とそうでない生徒に分類した。生徒の回答の一部を図15に示す。また、推測できた生徒の割合を事前事後でまとめた結果を表5に示す。

質問6 洗濯機のセンサーの部分に、パソコンで洗うように動いたり、脱水するように動いたりすることをプログラミングされている。
質問7 「はじめちよろちよろ～」という何かに沿ってプログラミングされていると思う。プラスアルファ、圧力がどうなっているのがプログラミングされているのではないだろうか？
質問8 ルートを決めて、信号や地面の見えるようにセンサーカメラをつけて色や記号を区別して動かす。

図 15 生徒の回答

表 5 仕組みを想像できる

質問内容	事前	事後
全自動洗濯機	42	81
電気炊飯器	30	68
無人自動車	38	62
		%

質問 6～8 の結果から、制御の学習を行うことにより、直接学習していない身近な機器の動作原理を想像することができるようになった生徒が増えていたことがわかった。授業では直接扱わない内容でも、制御学習を通じて仕組みを類推する能力が身につくことがわかった。

6 まとめ

生徒の体験はあきらかに減少してきている。しかし、コンピュータの役割は？という問いに対しては、クラス全員の生徒がインターネットを複数回答の中に入れている。今回学習した、自分で手を動かしてロボットを製作し、その動作をコンピュータでプログラミングするという体験は、ますます重要になってくる。生徒の身の回りにある機器のほとんどがコンピュータで動作していると言って過言ではない。しかし、その中味はブラックボックスとなり、生徒は手で触ることや見ることも困難になっている。しかし、今後社会で生きていく中で、便利だ

からと言ってわけのわからないものを日常的に何の疑問も持たずに使用するという使用者としての視点しか持たない大人にたくない。今回の授業では、ロボットが思い通りに動いてくれないことがたくさんあった。しかし生徒は、自分の手を動かし、自分の頭で一つずつ問題を解決していった。その経験がコンピュータシステムの理解を促し情報技術や科学・技術に関心を持つ大人を育てることになると考える。今後も、もっと多くの実践を積んで行き制御学習の可能性を探っていきたい。

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), pp 21-28, 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), pp57-63, 2005
- [3] 西ヶ谷浩史, 紅林秀治, 兼宗進, 鎌田敏之 3軸自律型制御ロボットを用いた制御の学習, 情報教育シンポジウム論文集 (SSS2006) Vol2006 No.8, pp 319-324, 2006.
- [4] 兼宗進, 中谷多哉子, 御手洗理恵, 福井真吾, 久野靖: 初中等教育におけるオブジェクト指向プログラミングの実践と評価. 情報処理学会論文誌, Vol.144, No.SIG13, pp58-71, 2003.
- [5] ロボット工房 スタジオ ミュウ, <http://www.geocities.jp/shuinoue/index.html>.