

中学校における自律型制御ロボット教材の評価と授業 ～新学習指導要領の「計測・制御」授業に向けて～

井戸坂幸男[†] 兼宗 進^{††} 久野 靖^{†††}

中学校では、2012年度から新学習指導要領が完全実施される。技術・家庭科では、今まで選択の内容であった「計測・制御」の授業が必修化されることになった。この授業用の教材として有力視されている自律型制御ロボットについて、教材としての必要な要件を中心に、授業展開について考察した。

何種類もの教材用ロボットを使った授業を実践した結果、自立型制御ロボットは、生徒の興味・関心が非常に高い教材であり、知識・技能に関しても授業展開の工夫で学習効果が期待できる教材であることがわかった。

Evaluation of Autonomous Robots in Junior High School - For Class of "Measurement and Control" in New Educational Guidelines -

Yukio Idosaka[†], Susumu Kanemune^{††} and Yasushi Kuno^{†††}

In Japan, the new educational guideline for junior high school will be effective in fiscal 2012. In the subject of "technologies and home economics", "measurement and control" will be mandatory. For teaching this area, controlling autonomous robots are important tools. So we compared some robot materials for education in our class. We will report some results of our lessons.

1. はじめに

中学校では、2012年度から新学習指導要領[1]が完全実施される。技術・家庭科の技術分野では、次の4領域すべてが必修化されることになった。A材料と加工に関する技術、Bエネルギー変換に関する技術、C生物育成に関する技術、D情報に関する技術である。そして、領域Dは、(1)情報通信ネットワークと情報モラル、(2)デジタル作品の設計・制作、(3)プログラムによる計測・制御の3項目から構成されており、現行の指導要領では選択であった「計測・制御」が必修化されることになった。

しかし、技術科における制御の実践事例は少ない。「どのような教材を使うべきか」「どのような授業が可能か」など、完全実施までに準備を進める必要がある。そこで、「計測・制御」の授業で、最も生徒の興味・関心が高いと思われる自律型の制御ロボットについて、市販されているロボットを評価し、それらを利用した学習展開も考察した。

2. 新学習指導要領における計測・制御

2.1 新学習指導要領での目標

中学校学習指導要領解説 技術・家庭科編[2]には、領域Dの「プログラムによる計測・制御」に関して、次の2つの目標があげられている。

- ア コンピュータを利用した計測・制御の基本的な仕組みを知ること。
- イ 情報処理の手順を考え、簡単なプログラムが作成できること。

また、具体的な学習内容として次のような記述がある。

- ・センサ、コンピュータ、アクチュエータなど計測・制御のシステム構成。
- ・アナログ信号とデジタル信号の異なる電気信号の変換。
- ・インタフェースの必要性。
- ・情報処理の手順には、順次、分岐、反復の方法があることを知る。
- ・簡単なプログラムを作成できるようにする。
- ・自分の考えを整理するために、フローチャートなどを適切に用いる。

2.2 新課程での年間指導計画案

今回の改訂では、A～Dの4領域すべてが必修化されたが、技術・家庭科の授業時

[†]松阪市立飯南中学校
Inan Junior High School

^{††}大阪電気通信大学
Osaka Electro-Communication University

^{†††}筑波大学
University of Tsukuba

数は変わっていない。3年間で全 87.5 時間(35+35+17.5)である。教材会社の試案(表 1)によると、計測・制御に割り当てられる時間は 5~7 時間程度と非常に少ない。

しかし、領域 A も含めた複合教材と考えると、2 領域をあわせて 35 時間程度の時間確保ができると考えられる。ロボット教材は、基板の電子部品の半田付けなどの電気学習やロボットの機構など機械学習も含めた総合的な学習教材としてとらえることもできる。組み立て作業を簡素化したものから本格的な製作活動を入れた教材まで、幅広く指導計画を考えることができる教材である。

表 1 教材会社 O 社による指導計画(案)

1 年生 (全 35 時間)	材料と加工(25~30 時間程度) 情報<モラル>(5~10 時間程度)
2 年生 (全 35 時間)	生物育成(8~10 時間) 情報<マルチメディア作品>(7~10 時間) エネルギー変換<電気>(15~20 時間)
3 年生 (全 17.5 時間)	エネルギー変換<動力>(10~12 時間) 情報<計測・制御>(5~7 時間)

2.3 新課程に望まれる計測・制御教材

学習指導要領の目標を考えると、何らかの実習教材が必要になる。中学校で利用できる計測・制御教材は従来から市販されており、新学習指導要領を意識した新しい商品も登場している。これらの教材が「新課程の目標に沿った、実際に授業で利用できる教材であるか」について、教材に望まれる要件を検討し、教材の比較を行った。

(1) 計測・制御の基本的な仕組みの学習

自律型制御ロボットは、専用ソフトで作ったプログラムをロボットに転送し、ロボットが独立してプログラムを実行する仕組みである。今回比較の対象にした制御教材は、すべてこのタイプである。制御の仕組みが理解できたかどうかは、実際にロボットを動かすことができたかという点から判断できる。しかし、実際には思い通りに動かない場合もあり、プログラム、転送、ロボットの状態など多くの原因が考えられるため、原因を特定しやすい仕組みが必要になる。

(2) 計測結果を生かしたプログラミング

計測・制御学習でのポイントは、センサを生かしたプログラムを作ることである。センサの値によって動作を変える分岐(条件分岐命令)とセンサの値を常に読み取るための反復(繰り返し命令)の学習が必要となる。これらのプログラムは、初めて学習す

る者にとって理解が難しい内容である。簡単で、わかりやすくプログラミングできる制御ソフトが必要不可欠となる。

以上の考察をもとに、新学習指導要領の目標より A・B、考察より B・C・D・E、教科の特性より F の観点を考え、ロボットに求められる要件を表 2 にまとめた。

表 2 ロボットに求められる要件

A. センサでの計測結果がわかる機能。
B. 分岐、反復の命令がわかりやすい制御ソフト。
C. ロボットが動かない場合の原因を特定しやすい工夫。
D. 転送時のエラーが少なくなる転送方法。
E. メカニカルな故障が少ないロボットの機構。
F. (技術科として)創意工夫が生かせる学習教材。

3. 授業での検証

松阪市立飯南中学校において、2008 年度と 2009 年度に自律型制御ロボットを使った授業を実施した。2009 年度の実践を中心に報告する。

3.1 授業内容

3 年生の総合的な学習の時間において、自律型制御ロボットを使った授業(表 3)を行った。

ねらいは、総合学習のねらいに沿って、生徒の自主的な学習活動を重視し、自律型制御ロボットのしくみや使い方を自分たちで調べ、実際に動作させる方法を学ぶこととした。

講座は、全 8 回(16 時間)であるが、実際にロボットの研究ができるのは、5 回(10 時間)である。指導計画を表 4 に示す。

進め方は、2 名程度の少人数グループを構成し、自分の希望したロボットを研究する。付属の説明書やインターネットを使って、ロボットの制御方法を各自で学習させた。生徒の担当ロボットを表 5 に示す。

課題は、次の 2 つを設定した。

- ・基本課題：ロボットのしくみや転送方法など基本的な制御方法を調べ、ロボットを動かすことができる。
- ・発展課題：光センサ・赤外線センサ、または、タッチセンサを使ったプログラムを作り、ライントレース・障害物回避ができる。

具体的には、自律型制御ロボットのしくみや機能、転送方法、プログラミング方法

の学習である。

表3 授業概要

教科：総合的な学習の時間(国際・情報) 学年：中学3年生 時間数：2時間×8回 (研究5回、まとめ2回、発表会1回) 内容：英会話や外国の文化を調べる「国際講座」と自律型制御ロボットを研究する「情報講座」のどちらかを選択 情報講座生徒数：2008年度:男子19/19名,女子3/19名,計22/38名 2009年度:男子15/23名,女子3/19名,計18/42名

表4 情報講座 指導計画 (全16時間)

1回 (100分)	講座説明・ロボット決め(50分)・課題研究 (50分)
2~5回 (100分)	課題研究
6~7回 (100分)	発表会準備
8回 (100分)	国際・情報合同発表会

- ・課題研究は、希望したロボットの研究
- ・発表会は、研究内容をスライドにまとめて発表

表5 グループ分けと担当ロボット

班/使用ロボット	準備台数	担当生徒
①ミュウロボ(2軸)・ROBO PLEX	各1台	2名
②ミュウロボ(3軸)・ROBO PLEX	各1台	2名
③ミュウロボ(2軸688)・ミュウロボ(3軸688)	各1台	2名
④KIROBO(キロボ)	2台	2名(3名)
⑤6足センサ自律制御ロボ・センサ自律制御ロボ	各1台	2名
⑥キューブカート2	2台	2名
⑦Beauto Chaser	2台	2名
⑧Beauto Racer	1台	1名
⑨プロロボ	4台	1名(0名)
⑩サッカー・ロボ915	2台	2名

※()は途中変更後の人数

表6 授業に使用した自律制御ロボット一覧

ロボット名	販売元	制御ソフト	転送方法	搭載センサ	価格	備考
ミュウロボ	スタジオミュウ	ドリトル他4種類[記]	シリアル	タッチ	3465 - 4305	基本セットは4種類 2軸型・3軸型、688型は計測対応
センサ自律制御ロボ	山崎教育システム	音通信ソフト[フ]	音	タッチ(光)	4030	
6足センサ自律制御ロボ	山崎教育システム	音通信ソフト [フ]	音	タッチ(光)	3950	6足歩行タイプ (2009年度カタログ記載なし)
プロロボ	山崎教育システム	プロロボエディタ[フ]	音	タッチ	2100	新製品(2009.4発売)
キューブカート	鈴木教育ソフト	らくらく制御2[タ]	画面光	光	2980	画面光…画面の光の点滅を光センサで読み取る独自の転送方法
Beauto Chaser	ヴイストン社	BeautoBuilder[フ]	USB	赤外線	5985	
Beauto Racer	ヴイストン社	BeautoBuilderR [フ]	USB	赤外線	2940	新製品(2009.7発売) LED(2個)制御可
KIROBO(キロボ)	イーケイジャパン	IconWorks[タ]	音	赤外線 タッチ	5775	
サッカー・ロボ915	イーケイジャパン	TileDesigner2 [タ]	シリアル	赤外線 光 タッチ	13440	ロボカップジュニア競技用
ROBO PLEX	ROBO PLEX社(韓国)	ドリトル他[記]	シリアル	赤外線 タッチ	不明	韓国製、国内販売なし
ワンダーボ-グ・タンサ-ボ-グ	バンダイ	ロボットワークス[タ]	赤外線 通信	赤外線 タッチ など	12600 ・ 25000	(2008年度のみ使用)

・制御ソフト欄 (分け方は独自の分類法)…[フ]フローチャート型:フローチャートのように命令を矢印でつなげるタイプ、[タ]タイトル型:命令のタイトルを縦一列又は方眼上に並べるタイプ、[記]記述型:言語を使って命令を記述するタイプ

3.2 使用したロボット教材

授業に使用したロボットを制御ソフト、転送方法、搭載センサ等でまとめると表 6 のようになる。

以下に、各社の代表ロボットを紹介する。

・ミュウロボ(スタジオミュウ)(図 1)

作業用のモーター(3軸制御)を使い、ピンポン球を運ぶなどの作業型の競技ができる。基盤だけを使った LED の実験や計測など幅広い学習ができる。また、制御ソフトが 4 種類あり、リモコン操作ができるものもある。プログラミングしなくても画面上的ボタンをクリックするだけで、自動的にプログラムを作るものもある。創意工夫を生かした製作から制御まで幅広く、いろいろな学習に生かせる教材である。

・プロロボ(山崎教育システム)(図 2)

今回の改訂に向けて販売されたロボットであり、価格が最も安価で、個人持ち教材として生徒の費用負担が少ない。組み立ては、半田付けはなく、簡単なギヤの組み込み作業だけができるように設計されている。制御ソフトもフローチャート型で、矢印で命令の流れが理解しやすくなっている。

・キューブカート(鈴木教育ソフト)(図 3)

制御ロボットとして、1997 年に光センサーカーキット(キューブカート)として販売されて以来、選択技術の教材として普及してきた。ディスプレイ上の光の点滅を光センサー(CdS)で読み取り、プログラムを転送する。しかし、販売から 10 年以上経っているため、ディスプレイがブラウン管から液晶になった関係で、光量不足による転送エラーが多発するなど機器が変化したための問題がある。また、制御ソフトは、繰り返しや条件分岐に回数制限があったり、転送速度が遅いなど気になるところもある。

・Beauto Racer (ヴイストン社)(図 4)

今回の改訂に対応して、ロボットの専門メーカーが開発したロボットで技術の高さが光る。最も評価できるところは、USB 接続を使っていることである。USB 接続にしたことで、双方向通信ができ、リアルタイムでロボットの赤外線センサの値を PC のソフト上に表示させているところがわかりやすい。この計測値からしきい値を求めてプログラムに生かすことができるだけでなく、接続状態が保たれていることが目に見える形となっている。

・KIROBO(キロボ) (イーケイジャパン)(図 5)

このロボットは、とくに技術科教材用のロボットとして開発されたものではなく、一般向けに販売されているものであるが、小学生を対象としたロボット教室に使われ

ている。動く速さが機敏で、サンプルプログラムもわかりやすく、授業で生徒に最も人気があったロボットである。

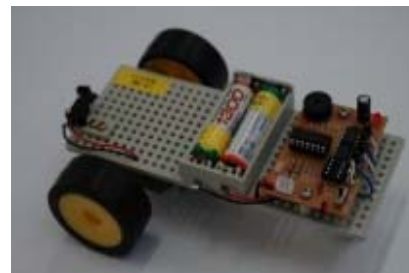


図 1 ミュウロボ(スタジオミュウ)



図 2 プロロボ(山崎教育システム)



図 3 キューブカート(鈴木教育ソフト)



図 4 Beauto Racer(ヴイストン社)

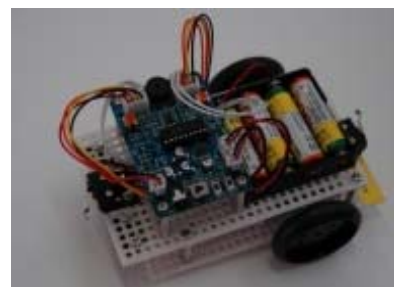


図 5 KIROBO (イーケイジャパン)

3.3 ロボットの評価

ロボットを表2の要件に照らし合わせ、授業での生徒の様子や実機での実証に基づいて筆者らが評価した。それぞれの評価項目についての結果を以下に述べる。

A. センサでの計測結果がわかる機能

ロボットには、光(可視光)センサ・赤外線センサ、又は、タッチ(接触)センサが、必ず搭載されている。センサを搭載していないロボットはない。

しかし、センサの値を読み取り、プログラムに生かせる機能のついたロボットは少ない。Beauto Racer は、赤外線センサが計測した値を制御ソフト上に表示させ、プログラムに使うことができる。ミュウロボは、688型(計測対応機種)のみ、オプションで距離センサなどを取り付けると読み取ったセンサの値を表計算ソフトに記録することができる。他の機種においては、タッチセンサ等の計測結果(接触したという結果)を利用したプログラムを作ることはできるが、計測結果が目に見える形で表示される機能はない。

B. 分岐、反復の命令がわかりやすい制御ソフト

制御ソフトは、大きく分けて3つのタイプがある。フローチャートのように命令を矢印でつなげるフローチャート型(図6)、命令のタイルを縦一列又は方眼上に並べるタイル型(図7)、ドリトルやBASICなどの言語を使って命令を記述する記述型(図8)である。フローチャート型とタイル型は、見た目は同じように思われるが、繰り返し命令の場合、矢印でループを作る方法と反復の始まりタイルと終わりタイルで挟み込む方法とで異なるなど、生徒の理解が違ふと判断し分類した。

ロボットは、必ずセンサを搭載しているため、条件分岐プログラムが必修となる。条件が分岐する命令が視覚的にとらえられるフローチャート型やタイル型は、生徒にとって理解しやすいと思われるが、記述型は理解が難しく、理解の個人差が大きい。

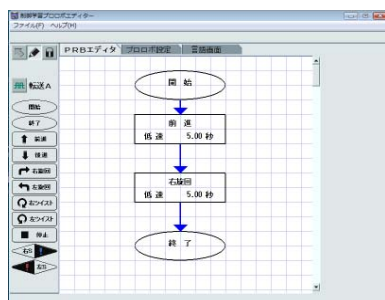


図6 フローチャート型(プロロボ)



図7 タイル型(KIROBO)

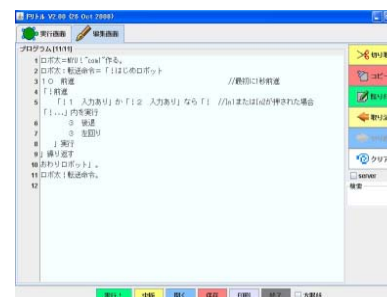


図8 記述型(ミュウロボ「ドリトル」)

C. ロボットが動かない場合の原因を特定しやすい工夫

自律型制御ロボットでは、ロボットが全く動かないというトラブルも多い。原因は、ロボットのハードの不具合、プログラム転送時のエラー、プログラムのエラーなどが考えられる。原因を特定しやすいように、次のような工夫が見られた。

- ・組み立て時…ハードに問題がないかを確認するためのテストプログラム。
- ・プログラム作成時…プログラムにエラーがないかどうかをソフト側でチェックする機能。
- ・プログラム転送時…ソフト側では転送状況の画面表示、ロボット側では音声又はLEDで転送の成否を知らせる機能。

しかし、残念なことに乾電池の消耗による誤作動については、知らせる機能が付いているものはなかった。

D. 転送時のエラーが少なくなる転送方法

転送方法は、シリアルポート(COM)やUSBポートを使った転送方法、音信号に変換してヘッドホン端子を使って転送する方法(音通信)、画面上の光の点滅を読み取る独自の的方法がある。転送エラーが少ない順は、シリアル・USBポート、音通信、画面上の点滅の順となる。音通信の場合は、音量調整がうまくいかないと転送エラーが多い。また、画面上の点滅はディスプレイの明るさ、教室の明るさに影響され、転送エラーが多い。また、シリアルポートに関しては、搭載されていないPCも増えてきているため、今後はUSBポートに移行する必要があると思われる。

E. メカニカルな故障が少ないロボットの機構

ロボットは、全く改造できないタイプとロボットの形状の改造やセンサの追加など工夫できるタイプがある。全く改造のできないタイプは故障の少ない形で設計されて

るが、工夫できるタイプは汎用性の高い構造のため、ロボットの故障も多くなる。次の評価項目「F 創意工夫が生かせる学習教材」と相反する面がある。

販売メーカーの考え方によって大きく異なり、プロロボやキューブカートは全く改造できないタイプで、ミュウロボはいろいろな形に工夫できるタイプである。Beauto Racer は、基板に端子があり、センサが追加できる構造となっており、KIROBO は多少の形の工夫ができ、センサの追加もできるようになっている。

F. (技術科として)創意工夫が生かせる学習教材

簡単な 10 分程度の組立作業から、半田付けを伴う本格的な電気実習までできるものまで様々である。ミュウロボは、最も工夫の範囲が広いロボットで、3 軸制御を使ってものを運ぶ競技をする場合など、いろいろな改造ができるように考えられた教材である。

以上の結果をまとめると表 7 の結果となる。

表 7 ロボットの評価

評価項目	A	B	C	D	E	F
ミュウロボ	△	×	○	○	△	◎
プロロボ	×	○	○	△	○	×
キューブカート	×	×	○	×	○	×
Beauto Racer	○	○	○	◎	○	△
KIROBO(キロボ)	×	○	○	△	△	○

・評価…満たしている: ◎>○>△>× :満たしていない

4. 実践結果

課題研究が全 10 時間ある中、5 時間後(中間調査)と 10 時間後(事後調査)にアンケートを実施した。

4.1 意欲・関心面

授業の楽しさは、「楽しい」と回答した生徒がほとんどである(表 8)。希望者が集まった講座なので当然の結果とも言えるが、中間調査よりも事後調査の方が、より楽しく感じている傾向がある。

事後調査で、コンピュータの仕組みへの関心度、制御ロボットへの関心度を調べた結果(表 9)、いずれも興味が深まったという結果が得られた。

中間調査において、自分のロボットを含め研究したいロボットの人気投票の結果、表 10 のようになった。理由には、「動きが速い、いろんなことができそう、動きが面白い」とあり、ロボットの動く速度が速いロボットに人気が集まっている。また、赤外線ボールを使ったサッカーロボも「いろんなことができそうに見えた」という理由で人気があった。

表 8 授業の楽しさ

	中間調査		事後調査	
楽しい	72.2%	13 名	77.8%	14 名
楽しい方	16.7%	3 名	22.2%	4 名
普通	11.1%	2 名	0.0%	0 名
楽しくない方	0.0%	0 名	0.0%	0 名
楽しくない	0.0%	0 名	0.0%	0 名

表 9 授業後の興味・関心(事後調査)

	P C の仕組み		制御ロボット	
大変興味を持った	33.3%	6 名	16.7%	3 名
興味を持った	66.7%	12 名	83.3%	15 名
あまり持たなかった	0.0%	0 名	0.0%	0 名
持たなかった	0.0%	0 名	0.0%	0 名

表 10 研究してみたいロボット投票(中間調査)

1 位	KIROBO(キロボ)	14 票	77.8%
2 位	サッカーロボ	7 票	38.9%
3 位	ミュウロボ	4 票	22.2%
3 位	6 足センサ自律制御ロボ	4 票	22.2%
4 位	Beauto Chacer	3 票	16.7%

・複数回答

4.2 技能・知識面

授業での観察では、全員がロボットを動かしていた。このことから、最終的には全員の生徒が制御の基本的なしくみを理解することができたと思われる。生徒の自己評価によるプログラミング達成度は、表 11 のようになった。プログラミング学習にも使える記述型のソフト「ドリトル」[3]を使ったミュウロボは、自学する授業スタイルでは生徒の到達段階が大幅に異なることがわかる。

表 11 学習後のプログラミング達成度

段 階	割合	人数	担当ロボット
ア. 全くわからなかった	0.0%	0名	
イ. サンプルを入れただけ	16.7%	3名	ミュウ
ウ. 自分のプログラムができる	55.6%	10名	ミュウ, センサ自律制御, キューブ, Racer, Chaser, KIROBO, サッカー
エ. 繰り返し命令のプログラム	44.4%	8名	ミュウ, センサ自律制御, Chaser, KIROBO, サッカー
オ. センサを使った条件分岐プログラム	66.7%	12名	ミュウ, センサ自律制御, KIROBO, サッカー

・生徒の自己評価によるもの、複数回答

5. 結果の考察

授業の結果、意欲・関心面では、生徒が興味を持ち楽しく学習できたことが、4.1の結果からわかる。これは、自立型のロボット教材は生徒にとって興味がある教材であり、ロボットという具体物が動くことにより、学習成果が見える形で現れることも楽しく学習できる要因につながっていると思われる。

技能・知識面では、計測・制御の基本的な仕組みに関しては全員が理解できたと考えられる。また、4.2の結果から、今回のように教材を与えて使わせるだけでは、繰り返しや条件分岐といった制御構造を生徒が自分たちだけで学ぶのは難しいことがわかる。

6. まとめ

今回の授業は、生徒は楽しく学び、コンピュータや制御に関しての興味・関心も高まったと考えている。これは、自律型の制御ロボットは、生徒が意欲的に取り組める教材で、プログラミングなどの思考活動を通して、学ぶ楽しさをさらに深めていったからであると考えている。

今回は指導者が一斉授業で教える方法ではなく、生徒が自ら学習する方法で試したが、全員の生徒が制御の仕組みを理解することができた。一部の生徒ではあるが、センサを使った制御プログラムを理解できたことは、一斉授業で指導者が系統的に教えれば、計測・制御の基本的な仕組みだけでなく、プログラミングに関してもしっかりと学習できると考えている。

指導者にとって、計測・制御の授業は取り組みにくい題材のひとつである。プログラミングの知識をはじめ、電気回路、ロボットの機械的な機構、PCのセットアップなど、たくさんの知識や準備を必要とする。少しでも教師の負担が軽減され、簡単に取り組める教材や授業法の開発が望まれる。

謝辞 本研究は、平成 21 年度科学研究費補助金（奨励研究） 21908004 の補助を受けています。

参考文献

- 1) 文部科学省:中学校学習指導要領 第2章 各教科第8節技術・家庭,2008
- 2) 文部科学省:中学校学習指導要領解説 技術・家庭, 2008
- 3) 兼宗進, 中谷多哉子, 御手洗理英, 福井眞吾, 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, 共著, 2003 年 10 月, 情報処理学会論文誌: プログラミング, vol. 44, No. SIG 13 (PRO 18), pp. 58-71, 2003.