

# 自律型 3 軸制御ロボット教材を用いた授業と評価

紅林秀治 \* 秋山友徳\*\* 西ヶ谷浩史\*\* 江口 啓\*

2008 年 1 月 17 日

## 概要

自律型 3 軸制御ロボット教材を用いた制御学習の授業とその評価について述べる。筆者らは独自に開発した制御学習用教材を用いて、中学校「技術・家庭」における「ものづくり学習」と「情報の学習」の融合を試みた。二つの学習を融合するために、中学校で行われているロボットコンテストの課題を制御学習に取り入れた。それによる学習効果は、授業を通して機械、電気、コンピュータ、プログラムを総合的に学ぶことができると同時に、それらが調和して機能するシステムについて学習できることであると、筆者らは考えた。それらの検証のために、中学校において評価実験を行った。その結果、本教材を用いた授業により、機械、電気、コンピュータ、プログラムと広く学習することが可能であり、それらが調和して機能するシステムの概要についても学べることが明らかになった。

キーワード： 技術教育 制御学習 中学校「技術・家庭」 ロボットコンテスト 自律型ロボット

## Curriculum and evaluation of learning programming to control an autonomous mobile robot with an arm

Shuji KUREBAYASHI, Tmonori AKIYAMA, Hirohumi NISHIGAYA and Kei EGUCHI

We describe a technology education curriculum and evaluation of learning programming to control an autonomous mobile robot with an arm for junior high school students. The purpose of our curriculum is to teach the concept of systems that work with mechanics, electricity and computers through integrating manufacturing and programming. In this paper, we will report a conducted test to evaluate our lessons in a junior high school. As a result, our technology education curriculum satisfies requirements for students that have more incentive to learn the concept of systems.

## 1 はじめに

1971年にアメリカでマイクロコンピュータが発表されて以来、今日まで多くの電化製品や自動車等の機械にコンピュータが組み込まれるようになった[1][2]。それらの製品は、機械、電気回路、コンピュータが相互に関連しあい一つのシステムができあがっている。私たちの生活は、それらのシステム化された製品により支えられているといっても過言ではない。これらの製品を正しく使い管理するこ

とは、使用者の義務であり責任でもある。使用者が製品を正しく使用し管理するためには、機械、電気回路、コンピュータが結びつき一つのシステムを構成しているという知識が必要である。これらの知識は、機械、電気回路、材料の性質、コンピュータ等の様々な知識がないと専門家から説明を受けても、理解できる内容ではない。多くの市民がシステム化された製品の消費者であり使用者である以上、安全に使用し管理できるための最低限の知識を与える教育が必要である。その教育は、専門家を育てるための専門教育としてではなく、だれもが等しく学ぶことが保障されている普通教育であることがのぞましい。また、それらシステム化された技術に関心を持

\* 静岡大学教育学部

\*\* 藤枝市立葉梨中学校

\*\* 静岡大学教育学部附属島田中学校

\* 静岡大学教育学部

ち、それらの技術を専門的に学び発展させていこうとする人材を育成していくためにも、普通教育としての技術教育が必要である [3]。

日本では、普通教育としての技術教育を義務教育の中で行っており、中学校の教科「技術・家庭」[4]がそれに当たる。「技術・家庭」の技術分野では「A 技術とものづくり」「B 情報とコンピュータ」の二つが学習内容 [4] として定められている。ところが、二つの学習内容は独立に教えられているため、機械、電気回路、コンピュータを結びつけた一つのシステムとしてのものづくり教育やコンピュータ教育がなされていない。システムとして機能するものを製作する体験と、それをプログラムで制御するという二つの学習内容を体験できれば、システムとして成り立つ製品の全体像（概要）が把握できるようになる。そのためには、機械、電気回路、コンピュータを融合し、一つのシステムとして機能するものづくりが体験できる教材が必要である。

これまでに筆者らは、システムの概要を学ぶことできる、新たなものづくり教材の開発を行ってきた [5][6][7]。開発の過程においては、現在中学校の「技術・家庭」の授業実践で機械、電解回路、材料加工を融合し成功した教材例である「ロボットコンテストの実践」に注目した。

ところが、ロボットコンテスト学習では、生徒が自ら作ったロボットをリモートコントローラで操縦し競い合う。そのため、生徒はロボット製作の時間だけでなく、操縦の練習も必要になる。生徒は、ロボットの操縦練習をしながら常に、ロボットの評価試験を行いロボットの作り直しや修正を行う。

筆者らは、生徒が行うロボットの評価試験を制御プログラムの学習に置き換えることで、生徒の学習意欲を向上させながら、以下の内容を効果的に学習できると考えた。

- 機械や電気やコンピュータのことをひろく学ぶことができる。
- 機械や電気やコンピュータが関連しあいながら成り立つシステムの概要がわかる。

さらに上述の学習効果を検証するため、中学校で

評価実験を行った。

評価実験では、ものづくりの学習に加え情報の学習も無理なく行え、システムの概要理解につながる教材になる得るのかを調査する目的で実施した。本稿では、ロボットコンテスト題材について、使用した教材、中学校による評価実験、実験結果、考察、の順に述べる。

## 2 中学校のロボットコンテストについて

中学校では、全国で約 3000 校の学校でロボットコンテストに取り組んでいる。この学習の特長は、コンテスト課題に向けて中学生がロボットを自作し、競技に参加することである。競技のルールは、教師が考え、生徒はその課題を解決するために自らのロボットを設計・製作する。製作過程で、リンク機構、電源とモータを制御するための回路、金属やプラスチック等の材料の性質などを学ぶ。それらの内容は、ロボット製作において必要と感じた生徒が、短期間のうちに自ら調べたり、教師のアドバイスを聞いたりしながら自主的に学び始める [8]。いわゆる、専門教育を系統的に施す専門高校や大学の教育課程での学習とは異なり、プロジェクト法的な学習形態をとることで、生徒がものづくりを幅広く自主的に学ぶようになる [9]。これが、ロボットコンテスト学習の特長である。

ロボットコンテストの特長を生かしながら、コンピュータと制御プログラムの学習との融合をはかるためには、制御するためのロボットを製作する必要がある。また、ロボットの機械的な要素を取り入れるためには、ものを持ち上げたり運んだりする機構が要求されるコンテスト課題が必要になる。

## 3 使用した教材

手動によるリモコン操作ではなく、プログラムによる自律的な動作を可能にするために、CPU を内蔵した基板と、日本語による制御プログラミングが利用できる「ドリトル」[10][11]を使用した。

### 3.1 制御基板

ロボットが自律的に動作するためには、プログラムを記憶するためのメモリや、プログラムを実行す

るための CPU などが必要である。その、プログラムはパソコンから電氣的な信号として転送され、ロボットを動かすための信号は電氣的にモーターに伝えられる。

今回使用した基板では、生徒が自分で部品を取り付け、半田付けや配線を行うことで、プログラムだけでなく、電氣的な回路を含めて電子機器がどのような仕組みで動いているかということを体験的に学ぶ授業が設定可能になる [12][13]。使用した基板を図 1 に示す。

移動しながら何かを持ち上げたり運んだりできる機械的な要素を取り入れたロボットを実現するためには、移動用に 2 モーターを使用するため、最低 3 モーターを制御する必要がある。今回、自律型 3 軸制御用に使用した基板は 4 個の入力ポートを持ち、モーターを 3 個制御できる。

この基板に採用した PIC16F630[14] というワンチップマイコンには、RAM だけでなく、フラッシュメモリと EEPROM が内蔵されている。フラッシュメモリにファームウェアとして、ホストコンピュータから制御命令を受信して EEPROM に記憶し、記憶した命令を解釈・実行するためのモニタープログラムが書き込まれている。プログラムはホストコンピュータからバイトコードで送られ 127 バイトまで書き込み可能である。典型的な命令は、命令と引数を合わせて 2 バイトで表現される。

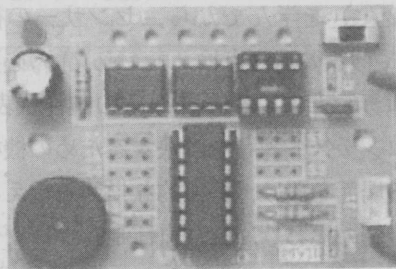


図 1 基板

### 3.2 3軸制御ロボット

図 1 の基板を使用することで、3 個のモーターが制御可能になり、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

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。プログラムは RS-232C を使い、外部から専用ケーブルで転送する。基板以外のロボット本体は市販のギヤボックスやタイヤ等のパーツを利用した。作品例を図 2 に示す。このロボットは空き缶を持ち上げ運ぶ課題のもとで製作されたロボットである。

図 2 中の (1) は制御基板、(2) は電池 (単三乾電池二本) である。(3) は移動用モーター (2 個) とギヤボックスである。(4) は作業用のモーターとギヤボックスである。(5) は壁を検知するためのセンサースイッチ、(6) はアームの位置を検知するセンサースイッチである。(7) は作業用アームである。

このように移動だけでなく、作業部分を製作課題に加えることができる。そのため、作業部を工夫し様々な機構を取り入れることが可能になる。これにより、電気回路や制御プログラムの学習に機械的な要素を加えた学習が可能になった。

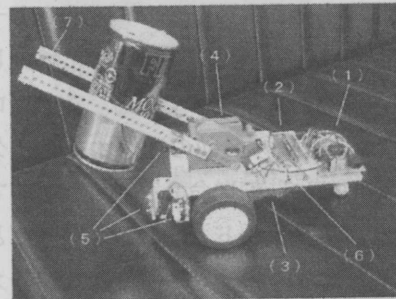


図 2 作品例

### 3.3 プログラミング言語「ドリトル」

制御プログラムを作成するためのプログラミング言語には「ドリトル」を採用した。ドリトルの利点は、日本語を用いて記述することで学習の敷居を低くすることができること、画面上のオブジェクトを操作するモデルを採用していること、外部のロボットを制御できることである。

ドリトルの処理系には通信ポートにアクセスする機能が含まれており、それを利用して外部機器の制御が行える。授業で使う際には、外部機器の仕様に応じてわかりやすい記述を可能にするオブジェクトを予め用意することで、生徒が入出力の詳細に煩わ

ロボ= MYU !『com1』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」なら「! 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」なら「! 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)
10 停止	(11)
「! 4 番センサー 入力なし」の間「!モーター右」実行	(12)
10 モーター左	(13)
10 後退	(14)
」。	(15)
ロボ! 転送命令。	(16)

図 3 制御プログラムの例

されることなく外部機器の制御に集中できるようにした。

図 3 にドリトルによる制御プログラムの一例を示す。このプログラムでは、壁つたいに移動し、荷物を検出し、荷物を持ち上げている。このプログラムでは、“ロボ”という名前の通信オブジェクトを生成し、その内部に“転送命令”という名前でロボットに命令を送るメソッド（オブジェクトごとに記憶する小さなプログラム）を定義した。このメソッドは、通信ポートを開いた後で実行される。転送される命令により、ロボットは次のようなプログラムを実行をする。

- 2 番センサーに入力がない間、右タイヤを前進させる。入力があったら左タイヤを前進させる。(5)(6)
- 1 番センサーの入力が確認したら「ボール獲得」を実行する。(7)
- ボール獲得をメソッドとして定義 (10)～(15)
- 命令をロボットへ転送 (16)

## 4 評価実験

2007 年 1 月から 12 月かけて、藤枝市立葉梨中学校において 105 名の生徒を対象に行った。この

授業の特長は、2 年時は主にロボットの製作、3 年時に制御プログラムの制作とコンテストいうように「ものづくり」と「情報の学習」という二つの学習の融合を学年をまたいで試みたことである。授業とその結果について述べる。

### 4.1 授業計画

授業内容とその時間配分を表 1 に示す。

授業では、ロボット製作に関係する基板とモーターやセンサーとの配線や、それらに関する電気回路（表 1No.4：スイッチによる反転やセンサーによる電圧変化）を学んでから、センサーの役割（表 1No.5）や機器の保守点検（表 1No.7）の必要性などを扱うようにした。また、車体の製作（表 1No.3）では、コンテスト課題を解決するための機構について考える場面を設け、機械的な学習も行えるようにした。授業の終わりには、自律制御プログラムによる空き缶を探し運ぶコンテストを実施した。このように、授業を通じて機械、電気、コンピュータ、プログラムについて学習できる内容とした。

実施したロボットコンテストのルールを図 4 に示す。また授業中の生徒の様子を図 5 と図 6 に示す。

生徒がロボットの製作と制御の学習を通じて得られると考えた学習効果「機械や電気やコンピュータのことをひろく学ぶことができる。」「機械や電気や

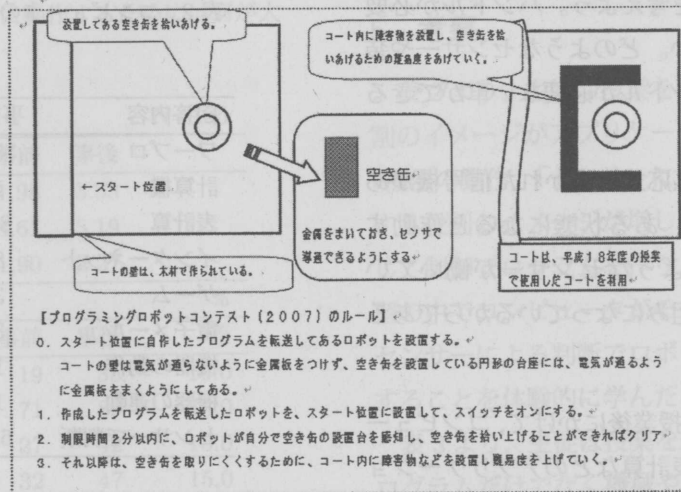


図4 制御プログラムによるロボコンルール

表1 授業内容と時間

No.	授業内容(2年次)	時間
1	プログラムの利用	1
2	プログラムを作成	7
3	車体の製作	6
4	配線とセンサスイッチ	4
No.	授業内容(3年次)	時間
5	センサーの役割	2
6	動作確認	3
7	産業と保守点検	1
8	基本制御命令の学習	3
9	センサーを使ったプログラム	2
10	ロボットコンテスト	2

1時間は50分

1～4は2年次、5～10は3年次で実施

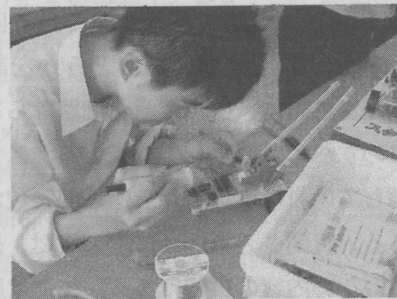


図5 授業の様子(ロボット製作)



図6 授業の様子(コンテスト)

コンピュータが関連しあいながら成り立つシステムの概要がわかる。」を検証する目的でアンケート調査を行った。

質問1と質問2に関しては、授業の開始前と終了後に、質問3と質問4に関しては終了後にそれぞれ実施した。質問1と質問2は選択式で、質問3と4は記述式でそれぞれ回答を求めた。アンケート内容を下記に示す。

- 質問1：コンピュータの役割は何ですか？

- － 選択肢：ワープロ、計算機、表計算、インターネット、ゲーム、電子メール、機器の動作、機器の連動、センサーで判断
- 質問2：ロボットが正確に動作するためには何が大切ですか？
- － 選択肢：機械、プログラム、コンピュータ、電気回路、センサー、配線、材料、その他

- 質問 3：未来の車を考えよう。ハンドルが必要ない車を開発したい。どのようなセンサーや装置をつければ、ハンドルが必要ない車ができるだろうか？
- 質問 4：信号機に感應式と書かれた信号機がある。この信号機は、ある状態になると作動するが、それはどのようなセンサーが働いていて、どのような仕組みになっているからであろうか？

質問 1 は、授業前から授業後にかけて、コンピュータの役割がワープロや表計算などのアプリケーションソフトの利用のイメージから機器の動作やセンサーの働きなどの制御のイメージへ変化するかどうかを調べるために行った。質問 2 は、教材としてのロボット制御に大切であると思われる回答の数が授業の前と比較して増えるかどうかを調べるために行った。これは、機械、電気回路ならびにコンピュータのすべてが連動して機能するシステムについて理解していれば選択肢から選ぶ回答数が増えるからである。質問 3 と質問 4 に関しては、授業で全く扱っていない内容の質問である。生徒は回答を推測で答えるしかないが、授業で学習した「センサーの機能」、「センサーからの信号の処理」、「出力」などの言葉を使い様々な機器が連動して機能しているシステムの概要を記述できるかどうかを調べるために行った。質問 3 と質問 4 に関しては回答時間を 20 分と制限した。

#### 4.1.1 授業の結果

授業の前後において質問 1 と質問 2 の結果を表 2 と表 3 にそれぞれ示す。質問 1 「コンピュータの役割は何ですか？」に関しては、表 2 より「機器の動作」「機器の連動」「センサーで判断」の回答が授業前に比べて授業後に非常に増えていることがわかる。このことから、生徒においてコンピュータの役割に関するイメージに制御機器のイメージが加わってきたことがわかる。

質問 2 「ロボットが正確に動作するためには何が大切ですか？」に関して、表 3 より、すべての選択肢において、事前より事後のほうが回答数が増加し

表 2 コンピュータの役割は何ですか？

回答内容	%		
	事前	事後	差
ワープロ	51	49	-2.0
計算機	11	23	12.0
表計算	8.6	18	9.2
インターネット	89	92	3.0
ゲーム	31	56	5.0
電子メール	39	51	12.0
機器の動作	12	59	47.0
機器の連動	12	32	20.0
センサーで判断	6.7	74	67.3

ていることがわかる。特に「センサー」と「配線」が大切だと答えた生徒は、事前には 11 % と 21 % と低い割合であったが、事後にはそれぞれ 53 % と 54 % と高い割合を示した。「プログラム」という回答に関しては事前 71 %, 事後 89 % と事前も事後も大変高い割合であったが、それに加えて「センサー」と「配線」という内容が新たに加わってきたということは、制御を正確に行うためにはセンサーが重要であるという認識だけでなく、基板とセンサーやモータとををつなぐ正確な配線も重要であると考えられる生徒が増えたことを意味する。ロボットの正確な制御を行うためには、プログラムやセンサーが大切であることは制御プログラムを制作する体験からわかってくることであるが、「配線」は製作体験をした者でないとその重要性を理解できない内容である。「配線」を回答する生徒が増えたということは、システムの概要を理解している生徒が増えてきたといえる。

質問 3 と質問 4 に関して生徒の回答を図 7 に示す。図 7 の回答のように「センサー」「処理」「制御」などシステムの概要を理解していないと書けない記述をする生徒の割合が質問 1 の回答で 57 人 (49.5 %,) 質問 2 の回答で 84 人 (73.0 %) いた。生徒は、授業を通じてカーナビや信号機等の学習をしていない。そのため、これらの知識を得るためには、詳しく知っている人に聞いたり、図書で調べたりする必要がある。全ての生徒が、そのようなシステム



表3 ロボットが正確に動作するためには何が大切ですか？

N=105			
	事前	事後	
平均回答数	1.98	3.33	
分散	3.61	5.19	
標準偏差	1.90	2.27	
回答内容	事前	事後	% 差
機械	19	35	16.0
プログラム	71	89	18.0
コンピュータ	27	42	15.0
電気回路	32	47	15.0
センサー	11	53	42.0
配線	21	54	33.0
材料	17	27	10
その他	0	2	2.0

や仕組みに興味を持っているわけではない。それに関わらずシステムを推測ができる生徒が非常に高い割合でいことがわかった。これらの結果からも、授業を通じて多くの生徒はシステムの概要を理解できるようになったと言える。

## 質問3

・発進、走行、停車、駐車のプロセスを自動で行います。高精度GPSと車両運転センサーによって獲得した高精度な車両位置情報と目標の経路情報を利用してハンドル、アクセル、ブレーキを制御します。あと、レーザレーダにより道路上の障害物を検知します。  
・道路に磁石が何かを埋め込みセンサーで検知し自動的に斜線を守って走る処理装置をつける。この機能をつければハンドルミスとかドライバーの判断ミスがなくなると思う。

## 質問4

・信号機において道路の頭上または電柱に取り付けられたセンサーが自動車の停止を感知し、一定時間後に信号を青にする信号処理を行っている。  
・超音波で常に地面までの距離を測っていて、センサーの下に車が来るところがかわる。その変化を検出して信号を変えるように処理をしている。

図7 質問3と質問4の回答

## 5 考察

表2より、生徒は授業を通じてコンピュータの役割のイメージがアプリケーションソフトの利用から「機器の動作」「センサーによる判断」など制御に関する役割のイメージが増してきた。これは授業を通じて制御プログラムを作り、ロボットを制御する学習の中でコンピュータがモータの回転を制御したりセンサーによる判断でロボットの動作を変更したりすることを体験的に学んだためである。

表3より、生徒は授業を通じてコンピュータやプログラムだけでなく機械や電気のことなど広く学習していることがわかった。これは、ロボットの製作と制御を体験することで、基板に触れ電気回路を目の当たりにする体験や、コンテスト課題に合わせてロボットの機構を考える学習を行ったためであると考えられる。

ロボットを製作し制御する体験の中で、生徒は基板に触れハンダ付け作業や配線作業を行った。その結果、断線や配線の間違い等によりロボットにプログラムを転送しても正常に動作しなかった経験をしたり友達の失敗を見る機会があったと考えられる。そのような体験が、ロボットの正常な動作に必要なものとしてプログラム以外の指摘が増えたと考えられる。

この指摘が増えたことは、制御そのものにはプログラムやコンピュータも重要な役割をしているが、ロボットを構成する機械的な部分や基板や電源などの回路を含めた全体の調和が必要であることを理解する生徒が増えたと言える。

質問3と質問4のアンケート調査結果より、授業で習っていない制御システムに関しても、多くの生徒が推測し自分の考えを書けるようになってきたということは、授業を通じてシステムの考え方が身についたからだと言える。

## 6 関連研究

レゴマインドストームを使った制御学習も多く報告されている[15][16]が、マインドストームは製作もレゴブロックで行うため、ハンダ付けネジ留めな

どの基本的な製作作業を行わずに製作と制御の体験ができるように工夫されている。そのため、製作に関わる工具や工作機械を使用しなくても製作が可能であるため、幼児から大人までロボット制御の学習ができる優れた教材である。しかしながら、筆者らは「ものづくり学習」と「情報の学習」の融合を考えたため、製作のための材料加工や電気回路の配線等が必要な教材作りを行った。その点が、筆者らの教材との違いである。

## 7 まとめ

筆者らは、自律型 3 軸制御ロボット教材を用いた授業について、その学習効果を考え評価実験の授業により検証を試みた。中学校で行った授業結果より、自律型 3 軸制御ロボット教材による「ものづくり学習」と「情報の学習」を融合した授業は、筆者らが考えた「機械や電気やコンピュータのことがひろく学ぶことができる。」「機械や電気やコンピュータが関連しあいながら成り立つシステムの概要がわかる。」という二つの学習効果があることがわかった。生徒は、学習を通じてロボット製作から制御の学習まで長い時間をかけて学習したが、一つの教材から様々なことが学べると同時にシステムとして構成するためには、それぞれが正確に動作し調和していることが大切であることを体験的に学んでいた。また、ロボットコンテストの導入が可能になることで、授業を実施する教師も様々なコンテスト課題を作ることができる。今後、3 軸制御教材を用いた技術教育の普及を期待したい。

## 参考文献

- [1] 末松良一, 雨宮好文: 制御用マイコン入門. 2005.
- [2] 米田完, 坪内孝司, 大隅久: はじめてのロボット創造設計. 講談社, 2001.
- [3] 桜井宏: 社会教養のための技術リテラシー. 東海大学出版, 2006.
- [4] 文部科学省: 中学校学習指導要領. 1998.
- [5] Shuji Kurebayashi, Toshiyuki Kamada, Susumu Knemune: Learning Computer Program with Autonomous Robots. LNCS, Vol.4226, pp138-149, 2006.
- [6] 紅林秀治, 秋山友徳: 自律型 3 軸制御ロボット教材を用いた授業—制御プログラミングによるロボットコンテストの実践—. 静岡大学教育学部教育実践総合センター紀要. No.13, pp111-119, 2007.
- [7] 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.
- [8] 下山大: 物作りを通してたくましく生きる力と自ら学び考える創造性を育む授業実践. 日本産業技術教育学会誌, Vol.39, No.4, pp169-272, 1997.
- [9] 大倉浩之, 木村誠, 須見尚文: ものづくり学習としての位置づけと教材研究・開発. 日本産業技術教育学会誌, 第 43 巻 4 号, pp209-217, 2001.
- [10] 兼宗進, 御手洗理英, 中谷多哉子, 福井真吾, 久野靖: 学校教育用オブジェクト指向言語「ドリトル」の設計と実装, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.SIG11(PRO12), pp.78-90, 2001.
- [11] 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.
- [12] ロボット工房 スタジオ ミュウ, <http://www.geocities.jp/shuinoue/index.html>.
- [13] 鎌田敏之, 井上修次, 室伏春樹, 紅林秀治: 教材用自律型制御ロボット基板の開発と授業実践. 日本産業技術教育学会, 第 49 回全国大会講演要旨集, pp100, 2006.
- [14] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/80185D.pdf>.
- [15] 森真之助: ロボット教材を用いた制御・プログラミングの授業実践と作業分析. 日本産業技術教育学会誌, 第 47 巻 3 号, pp201-207, 2005.
- [16] Brian Bagnall, 長瀬善秀, 二上貴夫: マインドストーム・プログラミング入門, C Q 出版, 2004.