

自律型 3 モータ制御ロボット教材を用いた授業と評価

紅林秀治* 江口 啓* 室伏春樹* 青木浩幸† 秋山友徳‡ 西ヶ谷浩史§
井上修次¶ 兼宗 進||

2008 年 4 月 18 日

概要

自律型 3 モータ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

The curriculum and evaluation of learning programming to control an autonomous mobile robot with an arm

Shuji KUREBAYASHI, Kei EGUCHI, Haruki MUROFUSHI, Hiroyuki AOKI, Tmonori
AKIYAMA, Hirofumi NISHIGAYA, Shuji INOUE, and Susumu KANEMUNE

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

私たちを取りまく生活環境は、時代とともに変化している。その変化を象徴するのが、道路や建築物などといった公共事業によるインフラの整備や自家用車や家電等の耐久消費財の普及である。図 1

は、主要耐久消費財の中の家庭用の機器類の普及率 [1][2] をグラフに表したものである。このグラフから、1960 年代から家庭内に様々な機器が取り入れられてきたことがわかる。さらに、それらの機器は 1970 年代になるとマイクロコンピュータが組み込まれた製品として普及していく [3][4]。マイクロコンピュータが組み込まれた製品の特徴は、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を形成しているところである。図 1 の普及率が示すように、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

* 静岡大学

† 高麗大学

‡ 藤枝市立葉梨中学校

§ 静岡大学教育学部附属島田中学校

¶ スタジオ・ミュウ

|| 一橋大学

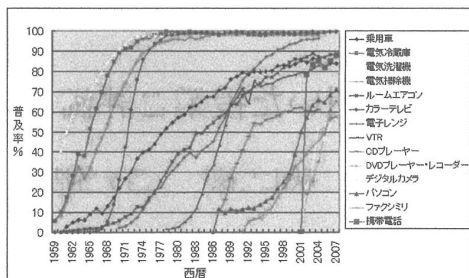


図1 主要耐久消費財の普及率

ではない。これらの製品の普及は、私たちの生活を便利で快適なものに変える一方、その使用者は製品を正しく使い管理しなくてはならないという義務や責任を負う [5]。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仕組みや原理がわかる能力が必要である。このような能力は、機械、電気回路、材料の性質、コンピュータ等の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にはシステムの概要を類推できる程度の知識が身につく教育が必要である。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望ましい。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」[6] がそれにあたる。「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 [6] 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。^{*1}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、学習して得られた知識からシ

ステムとして成り立つ製品の概要（全体像）を類推できるようになる。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 [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、電気回路、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」[8] に注目した。

ところが、中学校のロボットコンテストの学習では、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が、コンピュータ制御の学習が取り入れられていない。筆者らは、ロボットの操縦を制御プログラムの学習に置き換えることで、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授業を構成できると考えた。

- 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を類推できるようになる。

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り得るのかを調査する目的で実施した。本稿では、使用した教材、中学校による評価実験、学習効果の検証、考察、の順に述べる。

2 使用した教材

手動によるリモコン操作ではなく、プログラムによるロボットの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」[9] を使用した。

2.1 制御基板

ロボット製作に機械的な要素を取り入れるためには、移動しながら何かを持ち上げたり運んだりできる機能をロボットに付加する必要がある。そのためには、移動用に 2 モーターを使用する関係から、最

^{*1} 2012 年実施の新指導要領では計測・制御の学習は必修化された

低 3 モータを制御する必要がある。今回、自律型 3 モータ制御用に使用した基板は 4 個の入力ポートを持ち、モータを 3 個制御できる。使用した基板を図 2 に示す。

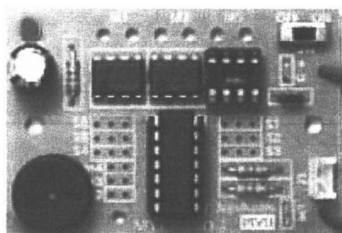


図 2 基板

2.2 3 モータ制御ロボット

図 2 の基板を使用することで、3 個のモータが制御可能になり、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に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 3 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 3 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 (2 個) とギヤボックスである。(4) は作業用のモータとギヤボックスある。(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。

2.3 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

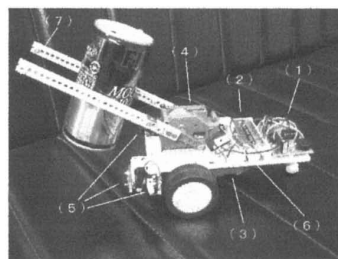


図 3 作品例

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 4 制御プログラムの例

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、外部機器とのデータ送受信ができることである。図 4 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) を定義している。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)

3 評価実験

2007 年 1 月から 12 月かけて、静岡県内の公立中学校において 105 名の生徒を対象に評価実験のための授業を行った。この授業の特徴は、2 年次は主にロボットの製作、3 年次に制御プログラムの制作とコンテストというように中学 2 年生から 3 年生にかけて、「ものづくりの学習」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。

3.1 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やセンサーへの配線や、それらに関する電気回路 (表 1 No.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 1 No.5) や機器の保守点検 (表 1 No.7) の必要性などを扱うようにした。また、車体の製作 (表 1 No.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 5 に示す。また授業中の生徒の様子を図 6 に示す。

4 学習効果の検証

4.1 調査 1

評価実験の学習効果「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。」「機械や電気やコンピュータが関連しあいながら成り立つシステ

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

(M), (E), (C) は、それぞれ機械、電気、コンピュータの学習内容を示す
1 時間は 50 分

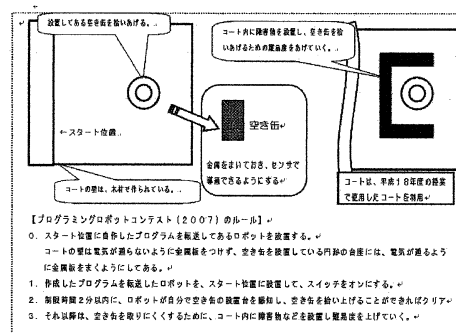


図 5 制御プログラムによるロボコンルール

ムの概要を類推できるようになる。」を検証する目的でアンケート調査を行った。アンケートは、授業の開始前と終了後に実施した。回答は選択式で行った。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: コンピュータで動作しているものはどれですか?
 - － 選択肢: エアコン, 洗濯機, エレベータ,

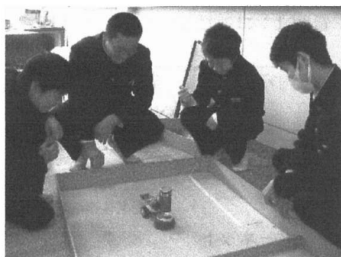


図6 授業の様子 (コンテスト)

テレビ, 自動車, 電気炊飯器, 携帯電話,
わからない

- 質問3: 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1は, 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だけでなく機器の動作やセンサーの働きなどの制御のイメージを持っているかどうかを調べるために行った。選択肢の「機器の動作」「機器の連動」「センサーで判断」を選択する生徒には, コンピュータの役割に制御のイメージが加わっていると考えられる。

質問2は, 設定した選択肢のすべては身近にあるコンピュータが関与して動作している機器である。生徒は, これらの機器について学習していないが, 生徒が学習した知識とこれらの機器の動作からコンピュータが関与していることを類推して答えることができるかどうかを調べることを目的としている。選択する機器の数が多いほど, システムで動作している機器についての類推できる知識がふえたと考えられる。

質問3は, ロボット制御に大切であると思われる回答項目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。ロボットの制御は, 機械的な部分や電気回路や配線など様々なものが連動して成り立つ。生徒はロボット制御を通じて必然的に機械や電気回路, センサー, コンピュータのことなど

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	51.0	49.0	-2.0
計算機	11.0	23.0	12.0
表計算	8.6	18.0	9.4
インターネット	89.0	92.0	3.0
ゲーム	31.0	36.0	5.0
電子メール	39.0	51.0	12.0
機器の動作	12.0	59.0	47.0
機器の連動	12.0	32.0	20.0
センサーで判断	6.7	74.0	67.3

広く学び始める。選択する回答項目数が多いほど, それらのことを広く学んだと考えられる。

4.2 調査1の結果

授業の前後において質問1～質問3の結果を表2～表4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増えていることがわかる。このことから, 生徒の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「コンピュータで動作しているものはどれですか?」に関しては, 表3より, どの選択肢も授業前に比べて授業後に増えている。とくに「エアコン」「洗濯機」「エレベータ」「電気炊飯器」が増えていることから, 自動化にコンピュータが関与していることを類推する知識が増えたことがわかった。

質問3「ロボットが正確に動作するためには何が大切ですか?」に関しては表4より, 生徒の平均回答数が1.98から3.33に増加していることがわかった。また, どの選択項目も事前から事後にかけて増加していることから授業を通じて機械, 電気回路, センサーなどひろく学習できていることがわかった。

4.3 調査2

学習効果の調査1では, 授業実践の前後の比較によるものであるが, 授業を実施した生徒の地域性や

表3 コンピュータで動作しているものはどれですか？

選択肢	事前	事後	差
エアコン	18.0	84.0	66.0
洗濯機	6.7	52.0	45.3
エレベータ	40.0	75.0	35.0
テレビ	27.0	46.0	19.0
自動車	11.0	36.0	25.0
電気炊飯器	6.7	59.0	52.3
携帯電話	53.0	78.0	25.0
わからない	29.0	3.0	-26.0
%			

表4 ロボットが正確に動作するためには何が大切ですか？

	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	19.0	35.0	16.0
プログラム	71.0	89.0	18.0
コンピュータ	27.0	42.0	15.0
電気回路	32.0	47.0	15.0
センサー	11.0	53.0	42.0
配線	21.0	54.0	33.0
材料	17.0	27.0	10.0
その他	0	2.0	2.0

「技術・家庭」以外の授業での影響等も調査結果に影響を与えることも考えられる。また、授業を担当した教師のモチベーションなどの影響も考えられる。そのため、同じ教材を用いて異なる地域で異なる教師による同様の授業実践をした学校（以後実験群という）とまったく実践をしていない学校（以後統制群という）の生徒に質問1と質問2に関して同様のアンケート調査を実施した。調査は2008年2月に各学校にて行った。実験群の授業は静岡県内の公立の中学校（中学3年生120名）で実施した。また、制御学習を全く行っていない統制群の中学校（静岡県内3校の公立中学3年生196名）では「技術・家庭」の授業でアプリケーションソフトを利用した

表5 質問1：コンピュータの役割は何ですか？

回答内容	実験群 N=120	統制群 N=140
ワープロ	64.3	35.7
計算機	28.7	10.0
表計算	24.3	17.1
インターネット	88.7	95.0
ゲーム	40.0	41.7
電子メール	69.6	47.9
機器の動作	39.1	14.3
機器の連動	40.0	19.3
センサーで判断	37.8	19.1
%		

学習やインターネットを活用した学習等を行っていた。また、調査した実験群と統制群の学校では理科や社会科、総合的な学習の時間等で家庭用電気機器の仕組みや自動システムについて調べる学習などを行っていなかった。したがって学習環境の違いでは実験群と統制群では制御学習以外はほぼ同じであると判断した。さらに、システムの概要の理解力に関して調査する内容として以下の記述式で回答を求めるアンケート調査も行った。

- 追加質問1：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？
- 追加質問2：信号機に感応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？

4.4 調査2の結果

質問1と質問2の結果を表5と表6に示す。表5と表6から、実験群と統制群ではそれぞれの質問の回答で差が生じていることがわかった。特に質問2に関しては「わからない」と回答する統制群の生徒が実験群の生徒に比較して多いことがわかった。

追加質問1と追加質問2に関して生徒の回答と

表 6 質問 2：コンピュータで動作しているものはどれですか？

選択肢	実験群 N=120	統制群 N=140
エアコン	72.7	30.0
洗濯機	67.8	20.0
エレベータ	70.4	45.0
テレビ	58.3	39.3
自動車	40.9	11.4
電気炊飯器	70.4	17.1
携帯電話	77.4	55.7
わからない	5.2	27.9
	%	

表 7 追加質問 1 と追加質問 2 の分類結果

質問 3.	実験群 N=120	統制群 N=196
A	45.0	2.0
B	53.0	61.0
C	1.8	37.2
	%	

質問 4.	実験群 N=120	統制群 N=196
A	29.0	4.6
B	68.0	51.0
C	3.5	45.0
	%	

分類例を図 7 に示す。生徒の回答は、「入力」「処理」「出力」の関係を類推して記述しているものは「A」とし「入力」や「出力」に関しては記述しているが途中のどのような処理をするのかがはっきりとわからない記述に関しては「B」として分類した。また「わからない」と記述した回答や意味が読み取れない回答（空白も含む）は「C」とした。分類したそれぞれの回答数の割合を表 7 に示す。表 7 から、システムの概要を類推して答える生徒の数が統制群よりも実験群の方が多かったことがわかった。以上の結果から、本教材による授業は、教師や地域の異なる中学生にも同様な効果をもたらすことが明らかになった。

追加質問 1

A に分類した生徒の回答

・車や道路にセンサーを取り付けて、車に目的地を入力するだけでそこまで動くようにする。信号などの情報は車が常にキャッチして適切な対応するプログラミングをしておく。速度などについては道路のセンサーからキャッチし、道路のセンサーによって目的地までたどりつけるようにする。

B に分類した生徒の回答

モノや壁にぶつかると、向きを変えてよけることができる装置。

追加質問 2

A に分類した生徒の回答

・信号機の下に車が信号まちで停止したときから信号機が作動する。車が停車したことをセンサーで認識して作動した信号機は、ある一定時間がたつと青に変わり、黄になり赤に戻るとそのまま停止する（ずっと赤の状態を保つ）を繰り返す。

B に分類した回答

・人が近づくと信号が変わるセンサー働いている。
・赤外線センサーがついていて、センサーの感知範囲内に熱源があらわれると作動する。

図 7 追加質問 1 と追加質問 2 の生徒の回答と分類例

5 考察

調査 1 と調査 2 の質問 2 「コンピュータで動作しているものはどれですか？」に関して表 3 と表 6 より、評価実験の授業の前後および実験群と統制群との間でそれぞれ差が生じた理由として、制御学習を通じて自動化した機器にはセンサーやアクチュエータや制御回路やコンピュータプログラムなどが関与していることを生徒が類推できるようになったと考えられる。なぜならば、生徒が教材として使用したロボットは、制御プログラムによりセンサー入力による判断を伴う自律的な動作を可能とするため、「入力」と「出力」の間にある「情報の処理」に関する内容を学習する。そのため、自動化を実現している機器の仕組みを教材用ロボットの制御と重ねて考えることができたと考えられる。それが調査 2 で行った追加質問 1 と追加質問 2 に関しても同様な結果を生んだと考えられる。信号機の仕組みやハン

ドルのない自動車については、授業で扱っている内容ではない。そのため、資料や書物などで調べる以外は、想像して答えるしかない内容である。ところが、実験群においては、統制群よりも仕組みを単なる想像ではなく、学習した概念をもとに類推して答える人数が多く、さらには「わからない」や「無回答」の生徒の数が少ない。制御学習を体験した生徒は、ロボット制御の学習を通じて自律動作の典型的なモデルを学んでいるため、学習していない機器や装置についても、学んだ知識や概念を生かして類推する能力が身につけている生徒が、統制群の生徒よりも多くいたと考えられる。さらに、実験群の生徒 40 名（1 学級）に「ロボット制御の学習を通じて自分に身につけてきたと思われることは何ですか？」という内容で質問したところ 24 名の生徒が「電気製品のしくみが想像できる」「コンピュータと機械の関係がわかる」と答えるなど制御学習の体験がシステムの概要を類推できることにつながっていたことがわかった。

6 まとめ

筆者らは、自律型 3 モータ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 モータ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、筆者らが考えた調査 1 の質問 3 の結果より「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。」ことがわかった。さらに調査 1 と調査 2 の結果から「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を類推できるようになる」こともわかった。

生徒は、学習を通じてロボット製作から制御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自動化された機器の概要を類推できる知識が身につく学習となった。これは、ブラックボックス化した生活の中の機器類の仕組みをイメージでき、ひいては専門家から説明を聞いた時に内容を把握できる能力を身に付けることにつながる可能性があると言え

る。また、それらシステム化された技術に関心を持ち、それらの技術を専門的に学び発展させていこうとする若者を育成していく教育としての効果も期待したい。

参考文献

- [1] 内閣府経済社会総合研究所景気統計部: 主要耐久消費材等の普及率<全世帯> (時系列), 家計の動向調査 (平成 16 年版). 独立行政法人国立印刷局, pp24-27, 2004
- [2] 内閣府経済社会総合研究所景気統計部: 主要耐久消費材等の普及率<全世帯> (時系列), 家計の動向調査 (平成 19 年版). 独立行政法人国立印刷局, pp25-26, 2007
- [3] 末松良一, 雨宮好文: 制御用マイコン入門. 2005.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 文部科学省: 中学校学習指導要領. 1998.
- [7] Shuji Kurebayashi, Toshiyuki Kamada, Susumu Knemune: Learning Computer Program with Autonomous Robots. LNCS, Vol.4226, pp138-149, 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] 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.