

計測学習を取り入れたロボット制御教材

紅林秀治^{†1} 室伏春樹^{†2} 樋口大輔^{†3}
青木浩幸^{†4} 江口 啓^{†1} 兼宗 進^{†5}

計測学習を取り入れたロボット制御教材を提案する。筆者らは、センサーによる計測値の特性を調べた後、制御プログラムにその計測結果を反映させることのできる中学校技術・家庭(技術分野)の教材を開発した。開発した教材を用いることで、制御ロボットにアナログセンサーを搭載することが可能になるだけでなく、センサーの特性や計測値をPC上で確認できる。さらには、計測結果をもとに制御プログラムを作成できるというように計測学習と制御プログラム学習を共に学べる教材システムである。教材としての評価試験を19名の技術科教員を対象に行った結果、開発した教材は、新学習指導要領の内容に対応できるものであることがわかった。

A Teaching material of a Robot Control with a Computer-Aided Measurement for middle school aged students

SHUJI KUREBAYASHI,^{†1} HARUKI MUROFUSHI,^{†2}
DAISUKE HIGUCHI,^{†3} HIROYUKI AOKI,^{†4} KEI EGUCHI^{†1}
and SUSUMU KANEMUNE^{†5}

We propose a teaching material of a robot control with a computer-aided measurement for middle school aged students. We developed a circuit board to control an autonomous robot as a teaching material of Industrial arts, by which students could learn control program after checking properties of instrument sensor data. Using our teaching material, students can make an autonomous robot system not only installing an analog sensor on it but also checking properties of instrument sensor data on a computer. Moreover students can make a control program based on properties of a sensor. We conducted a workshop on computer-aided measurement to 19 teachers of Industrial arts to assess the validity of our teaching material. As a result our teaching material is better able to respond to a new course of study of industrial arts in Japan.

1. はじめに

平成20年7月に新学習指導要領解説¹⁾が文部科学省から公表された。この新学習指導要領において、技術・家庭科の技術分野(以後、技術科とよぶ)の学習内容が現行の学習指導要領の学習内容「A 技術とものづくり」「B 情報とコンピュータ」の2種類から「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」の4種類に変更された。特に、「D 情報に関する技

術」に関しては、現行の指導要領では選択履修扱いであった「コンピュータによる制御」が、「プログラムによる計測・制御」に変更され、必修扱いとなった。これにより、全ての中学生に「プログラムによる計測・制御」の学習を履修させる必要が生まれた。

制御の学習は、コンピュータ、電気、ものづくりなどを、総合的に学習できるため、筆者らはロボット教材を利用した制御の授業を実践してきた²⁾³⁾。しかし、今までの制御の学習では、計測に着目した授業を行ってこなかった。そこで、計測を取り入れたロボット制御教材を開発し、技術科教員に対する実践を試みた。本論文では、計測学習のモデル、開発した教材、教材の評価の順に述べる。

^{†1} 静岡大学 Shizuoka University

^{†2} 静岡市立清水第一中学校 Shimizu first junior high school

^{†3} 静岡大学大学院 Shizuoka University Graduate School of Education

^{†4} 高麗大学 Korea University

^{†5} 大阪電気通信大学 Osaka Electro-Communication University

2. 計測・制御の学習モデル

制御とは「目標値からのずれを修正する一連の動作」のことである⁴⁾。目標値からのずれとは、設定した動作位置や動作時間あるいは温度の値等と、出力結果との偏差である。したがって、正確な制御を行うためには、出力結果と目標値との偏差を常に正しく計測する必要がある。さらに、その計測結果を動作の修正に反映させなくてはならない。このような制御方法は、いわゆるフィードバック制御と呼ばれている。

文部科学省が新学習指導要領で示した「プログラムによる計測・制御の学習」をフィードバック制御に基づいて解釈するならば、偏差を計測し、その結果をフィードバックして制御するという一連の動作をプログラムで実現する方法を学ぶこととなる。フィードバック制御では、計測の対象になるものは、単純にスイッチのオンとオフのという二つの値を計測（以後、二値の計測と呼ぶ）する形態よりも、時間や距離などの量に応じて連続的に変化する、多数の値を計測（以後、多値の計測と呼ぶ）する形態の方が圧倒的に多い。多値の計測の偏差を正確に把握するためには、センサーから得た計測値の特性の理解が必要になってくる。なぜなら、使用するセンサーによって、測定する範囲や精度が異なるためである。さらには、センサーの特性を正しく理解できていないと、センサーにより計測された値の意味について理解することができない。今までにも多くの中学校では、ロボット教材を利用したフィードバック制御の学習が、実践されてきた⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁹⁾。しかし、これらの実践では、センサースwitchのオンかオフをフィードバックさせる単純な方法か、多値の計測をしても、ラインレースのライン色の判別を光センサーを利用して行うという限定された計測値を使用する程度であった。したがって、センサーから得られる計測値の特性から計測した値を判断し、制御プログラムを修正するという学習形態ではなかった。また、ロボット以外の教材を用いて、森ら⁸⁾はインテリジェントハウスという形で制御を家の模型で学習するモデルを示し温度センサーを使った制御を実践しているが、温度センサーによる計測値の特性を調べてプログラムに反映させるという実践はしていない。そこで、筆者らは多値の計測データからその特性を調べ、制御プログラムへ反映する学習モデルを実現する必要があると感じた。その学習モデルでは、下記に示すような流れで授業を行う。

- (1) ロボットの製作
- (2) ロボットの制御プログラムの学習（シーケンス

制御）

- (3) 入力スイッチを利用したセンサーとプログラムの学習
- (4) アナログ入力を利用したセンサーによる計測の学習
- (5) フィードバック制御を利用したプログラムの作成

この学習モデルの特徴は、第4番目に示したアナログ入力を利用したセンサーによる計測値の特性を調べることである。そこで、上記の学習の流れを実現できる教材の開発を試みた。

3. 開発した教材

2章に示した学習を実現するためには、以下の条件を満たす教材が必要になる。

- (1) アナログセンサーが利用できる。
- (2) 計測したデータを保存・表示できる。
- (3) 計測したデータを反映させた制御プログラムを作成できる。

上記の条件を満たす教材として MYU ロボ¹⁰⁾がある。また、その教材を利用して西ヶ谷らは、距離センサーの特性の理解から制御プログラムを作る授業を実践した¹¹⁾。しかし、MYU ロボでは、計測したデータをコンピュータに取り組みソフト^{*1}と制御プログラム^{*2}が異なるために、初めて学ぶ者にとって作業手順の理解に2時間程度の授業時間¹¹⁾が必要となる。これは、授業を展開する上で学習者と教師双方の負担につながる。そこで、筆者らは、一つのソフト上で計測と制御ができるシステムを開発することとした。さらに、計測したデータは、インターフェースを通じてPCへ転送され、PC上で数値やグラフとして表現される。それにより学習者が、計測したデータの特性を確認できるようにした。データの送受信は、PCの外部出力と制御基板をケーブル接続しないで、赤外線を利用して送受信するようにした。これにより、ケーブルの着脱作業による制御基板の損傷を防ぐことができると考えた。開発する教材システムの概要を図2に示す。

3.1 制御基板

開発した、制御基板の回路図を図1に示す。筆者らが開発した制御基板は4モータまで制御可能である。アナログ入力端子1個とデジタル入力端子4個を備え

*1 Windows ハイパーターミナルを利用

*2 ドリトルを利用

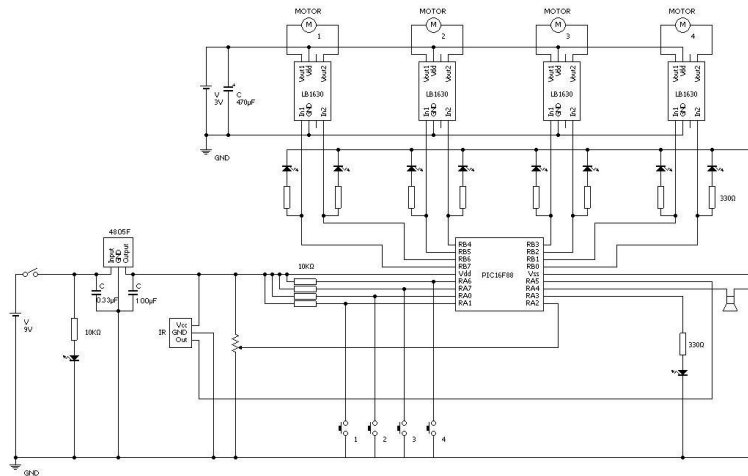


図 1 制御基板の回路図

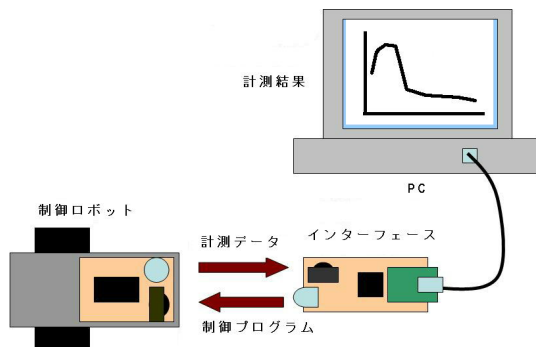


図 2 教材システムの概要

- プログラム実行モード (図 4 の f)
- プログラム編集モード (図 4 の i)
- 計測モード (図 4 の j)

計測モードでは、アナログセンサー入力端子からデジタル入力スイッチ (No.4) を押すことによりマイクロコンピュータ内の RAM に保存される。計測値は AD 変換された数値データとして保存される。データは 50 個まで保存可能である。保存したデータは、インターフェースを介して PC へ送られる。

ている。製作した基板を図 3 に示す。

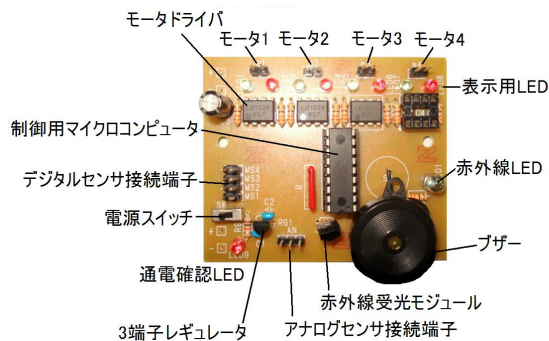


図 3 製作した基板

基板の動作は以下の 4 つのモードがある。基板の動作の流れを図 4 に示す。それぞれのモードはデジタル入力端子に接続されたスイッチ (No.1 スイッチ) や赤外線信号を用いてモード選択を行う。

- 赤外線リモコンモード (図 4 の c)

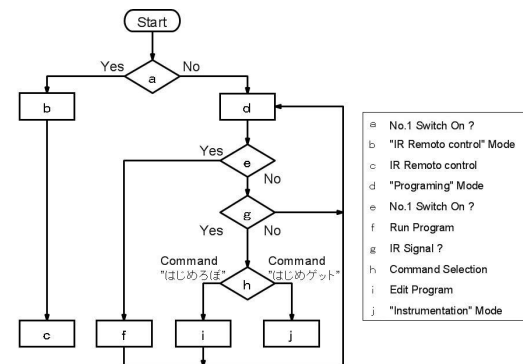


図 4 動作の流れ

3.2 インターフェース

制御基板を搭載したロボットからの計測データの受信および制御プログラムの送信のためのインターフェースの回路図を図 9 に示す。また、製作したインターフェースを図 5 に示す。インターフェース回路では、FT232RL^{*1}を用いることで USB 接続を可能にした。また、制御プログラムの送信は赤外線発光ダ

*1 秋月電子通商 FT232RL USB シリアル変換モジュール

イオードを介して制御基板に転送し、データの受信には、赤外線受光モジュールを使用した。データの送受信の際のバイトコードは、PIC12F675 を利用して変換した。また、PC へデータを送る際のデータの紛失を防ぐため、計測したデータは PIC12F675 に内蔵の EEPROM へ保存できるようにした。

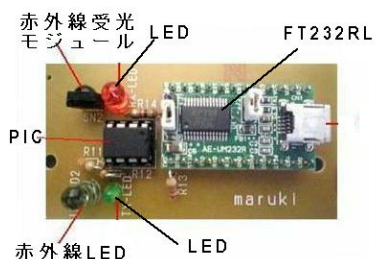


図 5 インターフェース

3.3 ロボット製作例

開発した基板を利用した移動ロボットを図 6 に示す。距離センサー 1 個とマイクロスイッチ 2 個を入力センサーとした。マイクロスイッチは、基板のデジタル入力端子の No.1 と No.4 に接続し、それぞれを 1 番スイッチ、4 番スイッチとした。移動用のモータ、ギヤボックス、タイヤ等のパーツは市販されているものを使用した。距離センサーは、SHARP GP2D12¹²⁾ を利用した。

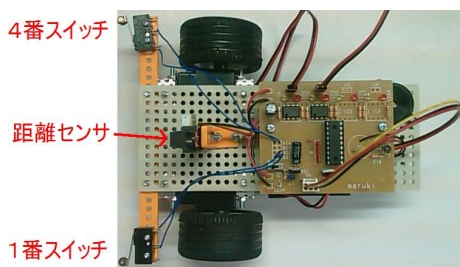


図 6 ロボット製作例

3.4 計測・制御プログラム

計測・制御のプログラムにはドリトル¹³⁾ を利用した。ドリトルは日本語でプログラムを入力できるため小中学生にも理解しやすい。また、ドリトルはパソコン上でグラフィックスを描く機能に特徴があるが、COM ポートを通じてデータの送受信ができるように配慮されており、計測・制御にも利用しやすい。以下にドリトルを利用した計測の方法と制御プログラムについて述べる。

3.4.1 計測の方法

図 7 は、計測・制御を行うためのプログラムである。ドリトルの編集画面にて図 7 に示すプログラムを記入し実行すると図 8 に示す実行画面が表示される。図 8 上の 1 から 5 までのボタンオブジェクトを実行画面上でクリックすることで表 1 に示す作業を行うことができる。

```

グラフ!実行 (1)
com ポート!"com3"書く。(2)
    
```

図 7 計測・制御プログラム

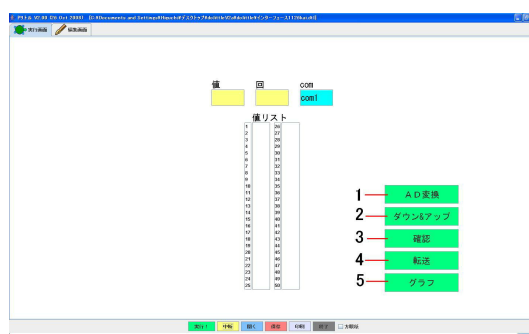


図 8 実行画面

3.4.2 「AD 変換」ボタン

図 8 の 1 (AD 変換) ボタンをクリックすることで、インターフェースから計測モードになるための信号がロボットに送られ、ロボットは計測モード (図 4 の j) になる。計測モードになったロボットは、図 6 の 1 番スイッチを押す度に、アナログ入力端子の値 (図 6 では距離センサーによる計測値) をロボットの制御基板に記録する。データは、全部で 50 個まで記録できる。

3.4.3 「ダウン&アップ」ボタン

図 8 の 2 (ダウン&アップ) ボタンをクリックすることで、制御基板に記録されたデータがインターフェースの PIC12F675 内蔵の EEPROM へ書き込まれ、PC へ送信される。送信されたデータは、実行画面上に表示される。図 10 にデータが PC へ転送後表示された画面を示す。

3.4.4 確認ボタン

図 8 の 3 (確認) ボタンをクリックすることで、インターフェースの PIC12F675 の EEPROM に保存されているデータを PC 上へ送る。

3.4.5 転送ボタン

制御プログラムを転送するためのボタンである。図 7 のプログラムを実行することで、制御のための「ろぼ」

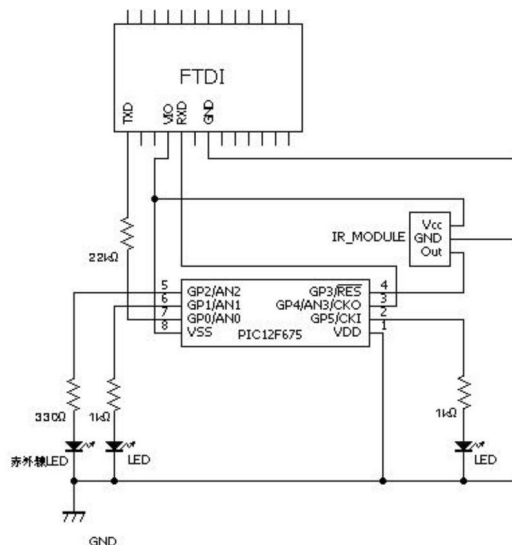


図 9 インターフェースの回路図

表 1 実行画面のボタンオブジェクト

No.	ボタン表示名	制御内容
1	AD 変換	自律型ロボットを AD 変換モードにさせる命令の転送
2	ダウン&アップ	計測データの受信・保存, その後 PC へアップロード
3	確認	PIC の EEPROM に保存されているデータのアップロード
4	転送	自律型ロボットへのプログラム転送
5	グラフ	グラフ画面への切り替え

オブジェクトが生成される。制御プログラムは「ろぼ」オブジェクトを利用してドリトルの編集画面上に記述する。図 11 は、制御プログラム例である。このプログラムにより、図 6 に示すロボットが、前進している時に障害物が一定距離以上に近づくと後退し、4 番スイッチを押すことで停止させるものである。(手のひ

らをロボットに近づけると後退し手のひらをどけると前進する。) このプログラムは、以下内容をロボットに転送し実行する。(1)~(9)の番号は、図 11 に示す番号に対応する。

- 転送命令という名のメソッドを生成し、「」の中にプログラムを定義する。(1)
プログラムのメインルーチンは「はじめろぼ」から「おわりろぼ」の間におく。(2)(9)
- 「ずっとくりかえし」と「ここまでくりかえし」の間のプログラムが繰り返す。(3)(7)
- 前進を続けながら、アナログセンサー入力の値が 100 を超えると 0.1 秒間後退する。(4)(5)
- デジタル入力端子の No.4 に接続したスイッチ(図 6 の 4 番スイッチ)が ON になったとき繰り返しのループから抜け停止する。(6)(8)

3.4.6 グラフボタン

図 8 の 3 (グラフ) ボタンをクリックすることで、インターフェースから読み込んだデータをグラフ化して表示する。図 12 に実行画面を示す。グラフは、横軸にデータを記録した順番 (1~50)、縦軸に計測した値 (0~255) を示す。

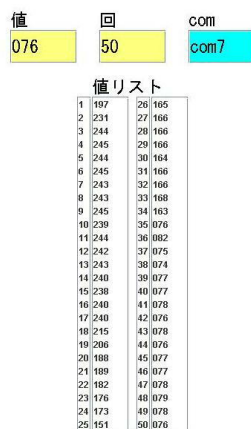


図 10 数値が読み込まれた実行画面

```

ろぼ：転送命令 = 「 !           (1)
はじめろぼ                       (2)
ずっとくりかえし                 (3)
ずっと前進                       (4)
100 より 計測値が大きいなら 0.1 秒 後退 (5)
4 番スイッチに 入力ありなら くりかえし脱出 (6)
ここまでくりかえし              (7)
ずっと停止                       (8)
おわりろぼ。                     (9)
    
```

図 11 制御プログラム

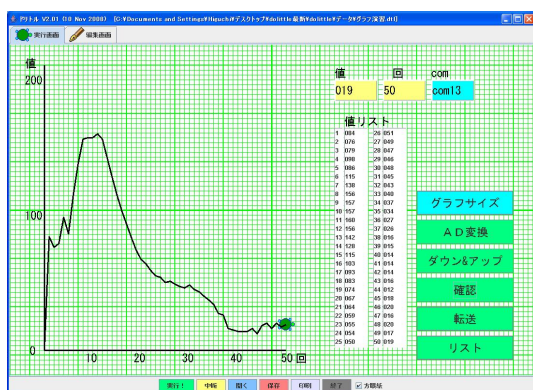


図 12 グラフ表示した画面

4. 教材の評価試験

開発した教材の評価を行うため、2008年8月6日、静岡県駿東郡の技術科教員を対象に、計測・制御のための講習会を本教材を使用して行った。教材参加した技術科教員は19名であった。

4.1 研修内容

研修の内容を表2に示す。

表2 駿東郡技術科教員 研修内容

内容	時間 (h)
1 制御基板の概要、初期設定	1
2 プログラムによる基本的なロボット制御	1
3 光センサを使用したロボット制御	1

講習会で使用したロボットは、光センサを接続したロボットを使用した。講習会の様子を図13に示す。

4.2 アンケート調査

研修終了後、本制御基板を使用した計測・制御ロボットについてのアンケート調査を行った。アンケートの内容を表3に示す。

質問1のみ記述による回答を求めた。質問2から9までは、「5：強く思う、4：思う、3：どちらともいえ



図 13 講習会の様子

表 3 教員対象アンケート内容

質問	内容
1	「情報とコンピュータ」でどのような教材で授業をしてきたか。
2	技術科の授業に計測・制御の授業が必要である。
3	技術科の授業にプログラミングの授業が必要である。
4	2011年より計測・制御やプログラミングが必修化され、困っている。
5	本日の研修の教材は制御学習教材として使える
6	計測・制御を取り入れたプログラミングの授業をやってみたい。
7	この教材で計測の学習ができる。
8	この教材で制御の学習ができる。
9	この教材でプログラミングの学習ができる。

ない、2：思わない、1：全く思わない」の5段階の尺度で回答してもらい、5と4を肯定的評価、2と1を否定的評価とした。

5. 結 果

質問1「『情報とコンピュータ』でどのような教材で授業をしてきたか」の回答より、研修に参加した多くの技術科の教員(17名)が「情報とコンピュータ」の授業内容で、パソコンの使用方法やアプリケーションソフトウェアの活用を指導していることが明らかとなった。またわずかの教員(2名)がMYUロボットを利用して、制御学習を行っていることも明らかとなった。以下に質問1の記述式回答の一部を紹介する。

- 応用ソフトウェアの活用、情報モラルの学習が中心で、コンピュータ本体以外は使っていない。
- 主にアプリケーションの活用。(レポート作り、プレゼン発表など)

図14に質問2から質問9までのアンケートの結果を集計したグラフを示す。

質問4の「2011年より計測・制御やプログラミン

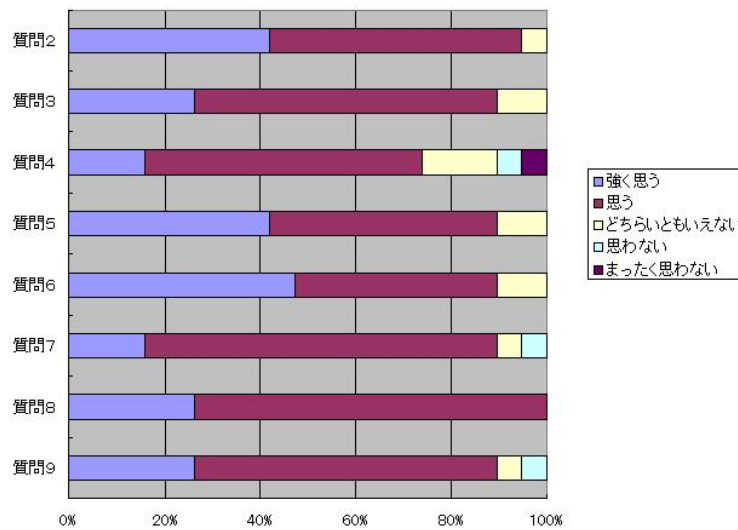


図 14 アンケート集計結果

グが必修化され、困っている」に対する肯定的回答をアプリケーションソフトウェアの活用の指導を行う教師を中心に得た。一方、質問2「技術科の授業に計測・制御の授業が必要である」、質問3「技術科の授業にプログラミングの授業が必要である」に対しては8割以上の教員が肯定的回答をしていた。さらに、質問7「この教材で計測の学習ができる」、質問8「この教材で制御の学習ができる」、質問9「この教材でプログラミングの学習ができる」の各問いに対して、8割以上の教員が肯定的回答をしていた。以上から、制御学習を扱ってこなかったが今後計測・制御やプログラミングの授業が必要だと考えている技術科教員が本教材を計測・制御の授業用教材として扱えると評価したことがわかった。

6. 考 察

筆者らが開発した教材が、技術科教員から教材として扱えると考えられた理由として以下の2点が考えられる。

- 計測したデータを値とグラフの両方を確認するのに煩雑な接続作業を必要としない。
- 計測した値を基に制御プログラムを作成するのに、ドリトルの実行画面と編集画面を切り替えるだけで作業が進められる。

計測と制御の二つを教える技術科教員にとって、煩雑な作業が少しでも軽減できることは中学生に授業を展開する上で重要な教材選択の基準になる。本教材は、計測と制御プログラム制作をドリトルを使用することでソフトを切り替えることなく展開できることや、口

ポットに搭載したセンサーを用いて計測し、赤外線を用いてデータの送受信を行うなどPCへの配線を一切不要にした。そのことが、教員にとって作業に煩雑さを感じさせず、教材として使用できると評価されたことにつながったと考えられる。

7. ま と め

筆者らが開発した教材は、教材を用いた実技講習会に参加した技術科教員からは、新学習指導要領に対応する教材として使用できると評価された。しかし、本教材は計測したデータをリアルタイムでPC上で見るシステムとなっていないため、計測した値がどの時点での値なのか学習者が忘れてしまう可能性があることを参加した教員から指摘された。本教材は、計測した値を基板上のLEDで、リアルタイムに2進数表示できる。2進数を10進数に変える学習などを取り入れれば、情報の科学的理解の学習にも発展できると考える。今後中学生に対する教材を使用した実践をしていき、中学生による評価を調べていきたい。

謝辞 本研究を進めるにあたり、ご協力いただいた御殿場市の技術科の先生方に御礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 文部科学省:中学校学習指導要領解説 技術・家庭科篇, 教育図書 (2008)
- 2) Shuji Kurebayashi, Toshiyuki Kamada, Susumu Kanemune :Learning Computer Program with Autonomous Robots, LNCS, Vol.4226, pp138-

- 149 (2006)
- 3) Shuiji KUREBAYASI, Susumu KANEMUNE, Hiroyuki AOKI, Toshiyuki KAMADA, Yasushi KUNO: Proposal for Teaching Manufacturing and Control Programming Using Autonomous Mobile Robots with an Arm Lecture Notes in Computer Science, LNCS 5090, pp.75-86 (2008)
 - 4) 末松良一, 雨宮好文.: 制御用マイコン入門, オーム社 (2005)
 - 5) 伊藤陽介, 森 誉範, 菊地 章, 大泉 計: 「プログラムと計測・制御」のためのロボット学習材の開発と実践, 日本産業技術教育学会誌, 第 49 巻 3 号, pp.213-221(2006)
 - 6) 嶋田彰子, 山菅和良, 針谷安男, 鈴木道義: 自律型ロボット教材を活用したプログラムと計測・制御学習に関する授業方法の開発と評価, 日本産業技術教育学会誌, 第 49 巻 4 号, pp.297-305(2007)
 - 7) 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, pp.201-207(2005)
 - 8) 森真之助: 中学校技術・家庭科(技術分野)における融合教材“インテリジェントハウス”の開発とその評価, 日本産業技術教育学会誌, 日本産業技術教育学会誌, 第 48 巻 4 号, pp.251-258 (2006)
 - 9) 伊藤陽介, 石塚仁志, 大泉計, 菊地章: ロボカップジュニアレスキューを題材とする情報技術学習の提案, 日本産業技術教育学会誌, 第 50 巻 2 号, pp.59-57 (2008)
 - 10) ロボット工房スタジオミュウ,
<http://www.studiomyu.com>
 - 11) 西ヶ谷浩史, 青木浩幸, 井上修次, 江口啓, 紅林秀治: 自律型 3 モータ制御ロボット教材を用いた計測・制御の授業, 静岡大学教育学部附属教育実践センター紀要, No.17, pp.43-55(2009)
 - 12) SHARP Corporation, GP2D12/GP2D15 General Purpose Type Distance Measuring Sensors,
http://sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2d12_e.pdf
(2009/1/28 閲覧)
 - 13) 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)