

## 回路の製作を取り入れた計測・制御学習用基板の開発

樋口大輔<sup>†1</sup> 紅林秀治<sup>†2</sup>

回路製作の学習を取り入れた計測・制御学習用基板を開発した。筆者らは、ロボット制御を中心とする計測・制御の学習用教材を開発し実践してきた。しかし、学習者の創意工夫をロボットの製作例や制御プログラムを中心に評価することが多く、回路の製作まで取り入れてこなかった。そこで、回路の製作も視野入れた、制御基板 GAINER や Arduino を参考に、小中学生にも理解できる制御プログラミング言語を用いて、自律動作可能な制御基板を開発した。

### Development of a Circuitboard designed for making circuits to learn a Computer-Aided Measurement and Control

DAISUKE HIGUCHI<sup>†1</sup> and SHUJI KUREBAYASHI<sup>†2</sup>

We developed a circuitboard designed for making circuits to learn a computer-aided measurement and control. We have implemented classes for junior high school students to learn a computer-aided measurement and control. Through classes we have made a valuation of students' originality and ingenuity by students' work that were making body of robots and programming, but not making circuits. So We developed a circuitboard designed for making circuits using example from GAINER and Arduino for elementary and junior high school students.

#### 1. はじめに

平成 20 年 7 月に新しい学習指導要領解説<sup>1)</sup>が文部科学省から公表された。この新しい学習指導要領から、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」では、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」に変更され必修内容となった。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。

今までにも多くの中学校では、ロボット教材を利用した制御の学習が実践されてきた<sup>2)3)4)5)</sup>。しかし、これらの実践は、制御基板の仕様にしたがってモータやセンサスイッチを配線しロボットを製作するものであった。また、萩原<sup>6)</sup>はロボット制御基板を用いて中学生に「郵便物お知らせロボット「ポスト&ランプ」」や「雨が降ると自動的に閉まるシャッター」など様々なロボット以外の作品を作らせる実践しているが、制御回路を製作し配線する作業は行っていない。これらの学習は、制御基板そのものをブラックボックスとして扱い、制御回路そのものを体験的に学習するものではない。

筆者らは、制御基板を利用した学習に簡単な制御回路を作る体験を取り入れたいと考えた。なぜならば、計測・制御で扱うセンサーや LED など回路に接続するためには、抵抗やコンデンサなどの電気部品が必要となり、学習者はそれらの部品を直に触れことができるからである。学習者にとって、それらの部品に触れることと仕組みを理解することは別の問題であるが、部品そのものに触れながら回路を構成する体験を通じて、部品名そのものを知る機会を得、電気回路や電気部品に興味を持つきっかけになる。それは、今までブラックボックスであった制御基板が、電圧の変化を読み取ったり、電圧や電流を出力したりするものであるということを実感的にわかるきっかけにもなる。さらに、理科で学習する電気回路やオームの法則などを活用の場面から確認できる学習にもなる。そして、学習者の創意工夫の評価も機械的な部分や制御プログラムの中に見られる工夫で評価するものから、電気回路の製作も含めた評価へと変えることができる。そこで、筆者らは回路製作を取り入れた計測・制御学習教材の開発を試みた。本論文では、想定する計測・制御学習のモデル、開発した基板、応用例について述べる。

#### 2. 想定する計測・制御の学習モデル

制御基板をブラックボックスとして扱うのではなく、回路製作を取り入れることでその働きの理解を少しでも深めることができることを想定して、筆者らは以下の手順に基づいた計測・制御の学習モデルを考えた。

<sup>†1</sup> 静岡大学大学院 Shizuoka University Graduate School of Education

<sup>†2</sup> 静岡大学 Shizuoka University

- (1) 簡単な制御回路の製作
- (2) 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回路の製作
- (4) 入力スイッチを利用したセンサーとプログラムの学習
- (5) アナログセンサーを利用した回路の製作
- (6) アナログ入力を利用したセンサーによる計測の学習
- (7) フィードバック制御を利用した回路製作とプログラムの作成

この学習モデルはの特徴は、第1番目と第3番目と第7番目に示したように回路製作を取り入れたことである。この学習モデルの流れで計測・制御学習を実践するためには、制御基板の入出力端子を利用して回路が作れるような教材が必要である。また、回路製作も入出力端子以降の回路部品を自由に取替えることが可能な仕様であるならば、学習者は試行錯誤しながら回路製作ができる。

筆者らは、技術科の授業で大切にされてきた半田付け作業を基本とする回路製作を否定するつもりはない。半田付け作業は完成した回路の製作にとって重要な作業であるが、筆者らが提案する学習は回路を組む体験を重視している。そのため、半田付け作業を必要としないで、部品の取り付けや取り外しが自由に行える仕様の教材が必要であると考えた。また、計測するセンサーにはアナログセンサーが利用でき、そのセンサーを利用したフィードバック制御ができる機能も必要である。さらには、学習者が製作した制御回路をPCから独立して動作させることができれば、PCの周りに設置するという条件がなくなり製作できるものの自由度が広がる。それは、学習者の創作意欲を高めることにつながると考えた。

筆者らは、想定した学習モデルを実現できる既存の制御教材を調査することから始めた。

### 3. 既存の制御教材について

想定した学習モデルを実現できる制御教材として、GAINER<sup>7)</sup>やArduino<sup>8)</sup>がある。それらは、コアになるマイクロコントローラ以外のデバイスを極力廃し、ブレッドボードに本体を差し込み、入出力の回路を作成できる仕様になっている。そのため、自由に回路を組み「デバイスを加える」ことができ、学習者の創造性を育みやすい設計となっている。筆者らは、GAINERやArduinoを利用した教育実践を試みようと考えたが、対象とする学習者を小学校高学年から中学生と想定したとき、以下の点に問題があると考えた。

PCから独立して動作できない。

制御できるプログラミング言語が小中学生向きでない。

プログラミング言語に関しては、学習者が一般の公立小中学校の児童や生徒のことを考えると日本語を主体としたもので学習できる方が望ましい。また、計測・制御の学習としては、PCと連動して計測・制御が可能だけでなく、PCから独立して製作した回路（装置）を使って計測・制御を行えるようにしたい。そのためには、制御基板上に計測・制御プログラムを搭載したり、計測データを基板のROMに保存できる機能が必要である。筆者らは、上記2点の問題を克服できる、新たな教材としての計測・制御用基板の開発を試みた。

## 4. 開発した教材

### 4.1 設計の方針

第2章で示した学習モデルの実現や第3章で示した市販されている教材の問題点の克服を考え、以下の条件を満たすべく設計方針を立て制御基板の開発を行った。

- (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。
- (4) 部品を自由に取替えながら入出力に関わる回路製作の学習ができる。
- (5) PCから独立して動作できる。

制御プログラムに関しては、バイトコードで構成する中間言語により、制御基板を制御できる仕様とすることにした。その仕様により、PC側で作る制御プログラミング言語が日本語をベースにしたものに対応させることが可能になる。ところが、中間言語の使用によりコード化された制御プログラムを保存するためのROMが必要になる。また、そのROMも基板の電源が切れても保存されている不揮発性のROMが望ましい。筆者らは、制御基板にEEPROMを搭載することでそれらの問題を解決できると考えた。さらに、EEPROMの容量が大きいほど制御プログラムや計測データの保存量が増え、より計測・制御の学習の汎用性が増えと期待できる。そこで、開発する制御基板には容量が大きい外部EEPROMを搭載することとした。

### 4.2 制御基板

4.1で示した設計方針に従って製作した基板を図1に示す。その回路図を図2に示す。

筆者らが開発した制御基板は26個の入出力ポートを持ち、11個のアナログセンサーに対応できる。また、外部EEPROMの使用により、バイトコードによる制御プログラムを512kバイトまで保存可能とした。電源はUSB端子と外部電源の両方から選べるようにした。これらの仕様により、26個のLEDや13個のDCモータが制御できるようになる。また、11

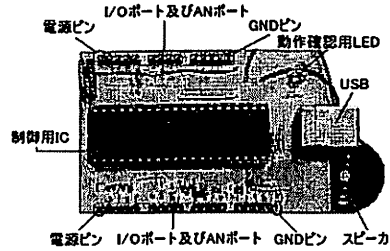


図1 製作した基板

個のアナログセンサー入力が可能になるため、温度や明るさだけでなく接続に複数の入力端子が必要となる3軸加速度センサーやジャイロセンサーなどにも接続が可能となった。制御命令は基本的に命令と引数により構成しているため、一つの命令につき2バイトの容量が必要となる。外部EEPROMを利用できるため、約200,000個の命令に対応できる。さらには、外部電源を利用できるため、PCから独立して計測・制御を行うことができる。PCとのデータの送受信もすべてUSB端子を通じて行えるようにした。入出力回路の製作にはブレッドボードを利用できるように、基板の入出力端子はピン型のコネクタにした。この仕様により学習者は半田付け作業を行わず、ブレッドボード上で電気回路の製作ができるようになった。表1に回路の特性を示す。

表1 回路の特性

No.	項目	値
1	動作電圧	5.5V~9.0V (PIC18F4550)
2	入出力	デジタルセンサ入力 26ポート アナログセンサ入力 11ポート 出力 28ポート
3	入力電圧	-0.3V~5.5V
4	出力電圧	-0.3V~3.0V
5	出力電流	0.1 μA~500mA
6	制御プログラムサイズ	32k バイト
7	フラッシュメモリ (内部)	256 バイト
8	フラッシュメモリ (外部)	512k バイト

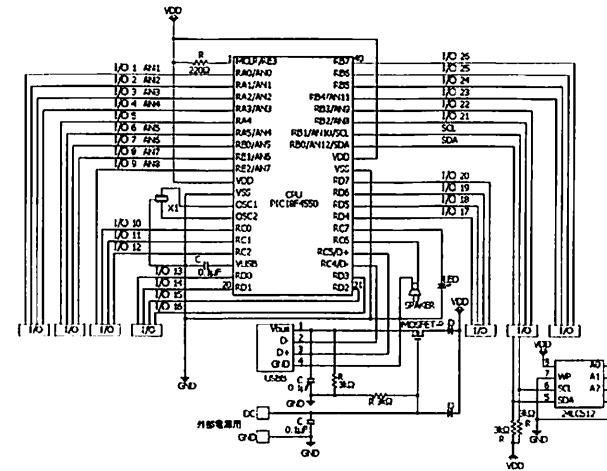


図2 制御基板の回路図

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3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 (図2のI/O 7番や8番に接続したスイッチ) やPCからの制御命令によりモード選択を行う。以後、図2のI/O 7番に接続するスイッチを「プログラム実行スイッチ」、図2のI/O 8番に接続するスイッチを「計測スイッチ」とよぶ。図3のAとBは自律動作時の状態、図3のCとDはPCと接続した状態である。

- 1 回アナログ計測モード (図3のA)
- プログラム実行モード (図3のB)
- リアルタイム計測モード (図3のC)
- プログラム編集モード (図3のD)

「1回アナログ計測モード」では、計測スイッチを押した時点のアナログセンサー入力端子からの計測データをEEPROMに保存する。これにより、計測したい場所を自由選んで計測できるようになる。計測データはマイクロコンピュータによりAD変換された値 (0~255) である。データは256個まで保存可能である。保存したデータは、プログラム実行後

あるいは計測終了後、PCと基板を接続しPCから命令を受信した後PCへ送られる。

「プログラム実行モード」では、外部EEPROMに保存された制御プログラムを実行する。プログラムは、プログラム実行スイッチで開始する。また、プログラムを実行している間、計測スイッチがONになるたびに、アナログセンサーから入力された計測データをマイクロコンピュータ内のEEPROMに保存する。計測データの保存は、複数のアナログセンサーの入力にも対応できる。これにより、自律動作状態でも計測と計測データの保存が可能になる

「リアルタイム計測モード」では、PCから命令を受信すると、PCと基板を接続した状態でアナログセンサーによるリアルタイムの計測を行う。計測結果はリアルタイムにPCへ送られ、グラフや数値として表示される。

「プログラム編集モード」では、PCで作成されたバイトコードに変換された制御プログラムを、基板の外部EEPROMに保存する。

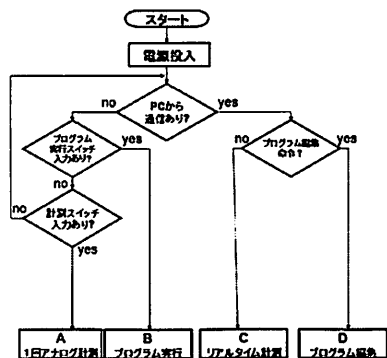


図3 動作の流れ

### 4.3 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<sup>9)</sup>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。さらに、ドリトルでは様々な処理に必要な命令を、起

動時に読み込むプログラムに追加できる。それにより、起動後追加した命令を使用できるようになる。筆者らは、計測・制御の命令をバイトコードに変換するプログラムを事前に設定し、起動後、追加した計測・制御の命令を使用できるようにした。計測・制御のために追加した命令を表2に示す。以下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。

表2 命令一覧

命令名	説明
目録 実行	目録したり、グラフを表示させる下準備
はじめるば	ロボット制御の開始命令
おわりろば	ロボット制御の終了命令
サーボモード	二足歩行ロボットを制御する命令
x 戻	ここからくりかえし
x ずっとくりかえし	繰り返しの開始命令
x こまどくりかえし	永久に繰り返しを行う開始命令
x 繰り返しの終了	繰り返しの終了命令
x さぶ	サブルーチンの開始命令
x もどれ	サブルーチン終了命令
x さぶ実行	サブルーチンの実行命令
x A 入力設定	A ポートの各ピンの入力を設定する
x A 出力設定	A ポートの各ピンの出力を設定する
x B 入力設定	B ポートの各ピンの入力を設定する
x B 出力設定	B ポートの各ピンの出力を設定する
x C 入力設定	C ポートの各ピンの入力を設定する
x C 出力設定	C ポートの各ピンの出力を設定する
x D 入力設定	D ポートの各ピンの入力を設定する
x D 出力設定	D ポートの各ピンの出力を設定する
x E 入力設定	E ポートの各ピンの入力を設定する
x E 出力設定	E ポートの各ピンの出力を設定する
x A ポート設定	A ポートの動作させるピンを設定する
x A ポート出力	設定したピンを出力する
x B ポート設定	B ポートの動作させるピンを設定する
x B ポート出力	設定したピンを出力する
x C ポート設定	C ポートの動作させるピンを設定する
x C ポート出力	設定したピンを出力する
x D ポート設定	D ポートの動作させるピンを設定する
x D ポート出力	設定したピンを出力する
x E ポート設定	E ポートの動作させるピンを設定する
x E ポート出力	設定したピンを出力する
x サーボ実行	指定したサーボモータがx になるように設定
x 入力ありなら	スイッチが入力されたら次の命令を実行
x 入力なしなら	スイッチが入力されなかったら次の命令を実行
x 回数えたら カウンタ A	指定回数を越えたら次の命令を実行
x 回数えたら カウンタ B	指定回数を越えたら次の命令を実行
x 回数えたら カウンタ C	指定回数を越えたら次の命令を実行
x 回数えたら カウンタ D	指定回数を越えたら次の命令を実行
目録ポート設定	そうでなければ次の命令をステップ
目録ポート通知	そうでなければ次の命令をステップ
x より 計測値が大きいたら	3つのピンをアナログポートに設定する
x より 計測値が小さいなら	新たに3つのピンをアナログポートに設定する
x と 計測値が同じなら	指定数より大きいなら次の命令を実行
	指定数より小さいなら次の命令を実行
	指定数と同じなら次の命令を実行
	そうでなければ次の命令をステップ

#### 4.3.1 計測の方法

図4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4に示すプログラムを記入し実行すると図5に示す実行画面が表示される。図5上の1から3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3に示す作業を行うことができる。

表 3 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	アップロード	PICのEEPROMに保存されているデータのアップロード
2	転送	制御基板へのプログラム転送
3	グラフ	グラフ画面への切り替え

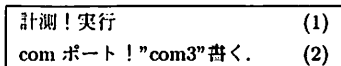


図 4 計測・制御プログラム

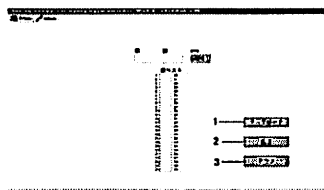


図 5 実行画面

#### 4.3.2 「アップロード」ボタン

図5の1(アップロード)ボタンをクリックすることで、制御基板に保存された計測データをPCへ送信する。送信されたデータは、数値として表示される。図6にデータがPCへ転送後表示された画面を示す。

#### 4.3.3 転送ボタン

図5の2は制御プログラムを転送するためのボタンである。制御プログラムは、ドリトルの編集画面上で記述し、図5の2ボタンを画面上でクリックすることで転送する。

#### 4.3.4 制御プログラムの例

図7は、制御プログラム例である。このプログラムにより、図13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、図13の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7に示す番号に対応する。このプログラムで使用した「前進」命令は、ポート出力によりモータドライバを制御する命令をわかりやすくするために「前進」と置き換えたものである。

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13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)

#### 4.3.5 グラフボタン

図5の3(グラフ)ボタンをクリックすることで、制御基板から読み込んだデータをグラフ化して表示する。図8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(1~255)、縦軸に計測した値(0~255)を示す。

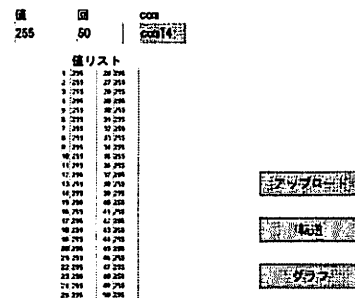


図 6 数値が読み込まれた実行画面

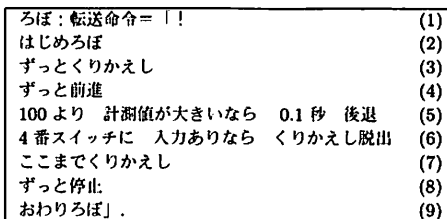


図 7 制御プログラム

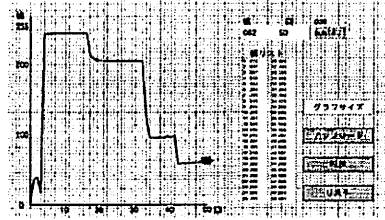


図 8 グラフ表示した画面

## 5. 製作例

### 5.1 計測システムの作成

開発した基板を利用した、接続した様子を図 9 に示す。

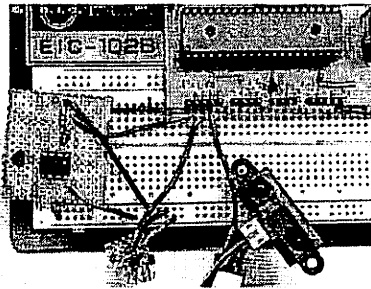


図 9 計測システム製作例

この製作例では、温度センサー、距離センサー、光センサーを使用した3種類同時計測を行うことができる。距離センサーは、sharp GP2D12<sup>10)</sup>を利用した。この画面上のボタンを操作することで、計測を行い、計測データをリアルタイム表示する。

グラフの表示方法やボタン機能などは、ドリトルのプログラムにより自由に設定できる。そのため、学習者が回路を作りながら計測システムを自由に作成できるようになる。図 10 と図 11 は表示方法を変えた例である。このシステムを利用すると、森らが示したインテリジェ

ントハウス<sup>11)</sup>にも応用可能である。

この学習では、第 2 章で示した学習モデルの (1)(5)(6) を重点的に学習できる。

特に、グラフによる表示方法の工夫をプログラミングで改良する学習ができ、学習者オリジナルな計測システムを設計する学習が期待できる。

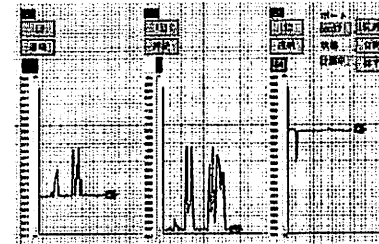


図 10 計測結果画面 1

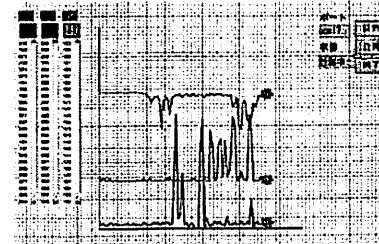


図 11 計測結果画面 2

### 5.2 LED 点滅制御装置

開発した基板を利用した LED 点滅制御装置を図 12 に示す。LED 点滅制御はシーケンス制御の学習に効果的である。自律動作が可能のため、LED 点滅を利用したオブジェの製作に発展できる。

この学習では、第 2 章で示した学習モデルの (1)(2) を重点的に学習できる。LED の点滅

装置の作成は比較的短時間でできるため、筆者らが提案する学習の導入学習としての効果を期待したい。

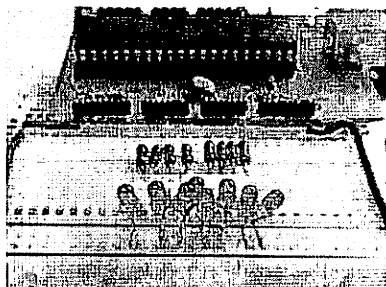


図 12 LED 点滅制御装置

### 5.3 移動ロボット

開発した基板を利用した移動ロボットを図 13 に示す。DC モータの制御には、モータドライバ (LB1630) を用いた。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 I/O の 7 番と 8 番に接続した。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 GP2D12<sup>10)</sup> を利用した。

この学習では、第 2 章で示した学習モデルの (1)~(7) の全てを学習できる。ただし、学習者に製作する回路の工夫をさせるためには、電子部品や距離センサーの説明等に時間が必要となり、指導方法の工夫が要求される。しかし、既存の移動ロボットの学習と異なり、学習者がセンサーやモータドライバに直接触れる経験が持てることから、制御回路への興味を喚起することが期待される。

### 5.4 2 足歩行ロボット

開発した基板を利用してサーボモータを制御できる。サーボモータを利用した 2 足歩行ロボットを図 14 に示す。歩行時の転倒寸前の傾きを計測し、転倒予防動作ができるロボットを製作したいと考えている。

この学習では、第 2 章で示した学習モデルの (1)(2)(5)(6)(7) の学習ができる。16 個ものサーボモータの制御やバランス制御が必要となるため、計測・制御の学習としてはかなり難

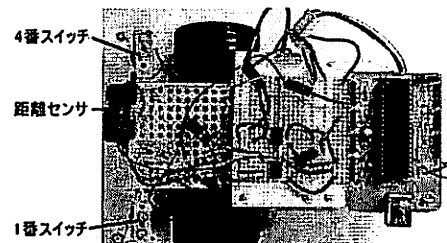


図 13 移動ロボット製作例

しい内容であると予想される。しかし、既存の 2 足歩行ロボットの利用とは異なり、学習者は計測のためのセンサーを自由に取り替えたりすることが可能となる。これにより、バランス制御のために必要なセンサーを自ら考えるきっかけを与えることができる。学習者は 2 足歩行ロボットへの興味・関心は高いため、今後教材としての効果を調査していく予定である。

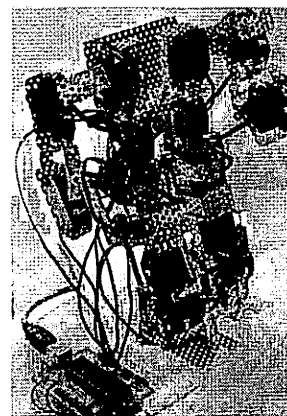


図 14 2 足歩行ロボットの製作例

## 6. ま と め

筆者らが開発した基板により、回路学習を取り入れた計測・制御が可能となった。回路の製作そのものを取りれた実践の評価試験を行っていないため、開発した基板の教材としての評価はまだ明らかではない。また、制御プログラミンもドリトルを利用してはいるものの、ドリトルの命令とは異なる仕様になっている。制御プログラムの在り方の検討も必要である。今後は、教育実践による教材の評価も行っていく予定である。

## 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) 伊藤陽介, 森 啓範, 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)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 萩嶺直孝, 山口浩継, 山本利一: 身近な課題を解決するための模型を題材として制御学習, 日本産業技術教育学会誌, 第 51 巻 4 号, pp.277-284(2009)
- 7) GainerBook Labo + くるくる研究室:+GAINER(プラスゲイナー), オーム社 (2008)
- 8) Arduino@wiki:<http://www15.atwiki.jp/arduino/>(2010.6.28 確認)
- 9) 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)
- 10) SHARP Corporation, GP2D12/GP2D15  
General Purpose Type Distance Measuring Sensors,  
[http://sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2d12\\_e.pdf](http://sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2d12_e.pdf) (2009/1/28 閲覧)
- 11) 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)