

制御と計測を取り入れた情報教育の提案

紅林 秀治[†], 兼宗 進[‡]

島田工業高等学校[†] 一橋大学 総合情報処理センター[‡]

kurezo@vcs.wbs.ne.jp[†] kanemune@cc.hit-u.ac.jp[‡]

概要

筆者らは初中等教育における情報教育の中で、制御と計測を取り入れた情報教育を進めてきた。本発表では、外部機器を活用することで、端末でのプログラミングだけでは体験できない利点を考察する。また、次の具体的な事例を紹介したい。(1) 中学生が教材費で作成できるよう工夫されたロボットカーの設計と、授業での製作と制御の実践。(2) 各種センサーを接続できる計測教材と、授業での活用例

Proposal of Information Education using Robots and Sensors

Shuji Kurebayashi[†], Susumu Kanemune[‡]

Shimada Technical High School[†], Hitotsubashi University[‡]

Abstract

We describe information education which uses robots and sensors. Robots are real world objects. Through experience gained in programming robots, students can link on screen programming in the virtual world to the real world. We introduce robotic cars which was designed for classroom, and report on the lessons we conducted at a junior high school using the robotic cars.

1 はじめに

初中等教育における情報教育において、授業の中にロボットを制御するプログラミング学習を取り入れることは有効である [4][5][6]。

ロボットを利用した学習には、「ロボットの製作」、「ロボットの制御」、という2つの側面が存在する。授業では、生徒がこれらをバランスよく体験できることが重要である。

しかし、世の中の多くの授業では、課題の解決を急ぐあまりロボットの製作や制御を簡略化し、キットのような形で材料を与えたり、決まったプログラムを入力させるなど、生徒の工夫や自由度を制限してしまうことが多いという問題があった。

本稿では、情報教育に適した制御教材の条件を考察し、実際に設計したロボット教材を紹介する。続いてその教材を中学校の授業で使用した事例を

分析し、教材に生徒の個性を取り込めることと、試行錯誤が可能な自由度を持つことについての重要性を考察する。

2 情報教育に適した制御教材

筆者らは、小中学生がプログラミングの学習を進めるためのロボット教材は、次の条件を満たすべきであると考えている。

1. 全員が製作可能で個性を出せること
2. 試行錯誤しながら学習を進められること
3. 家庭からの教材費で購入できること

以下に、それぞれの条件を考察する。

2.1 全員が作れ、個性を出せること

初中等教育で使用する教材には、学習者全員が製作可能であることが求められる。加えて、作品に生徒の個性を反映できるようにすべきである。

製作可能という条件を満たすにはキットのような画一的な教材を作ればよいが、個性を出せるようにするためにはキットでは不十分である。作品に個性が必要な理由は、生徒の製作意欲を高めることができるからである。また、自作したものを制御することで、授業への関心・意欲を高めることができる。実際、「自分の作品」という意識から、授業の中でそれらを大切に扱おうとする態度がみられた。

2.2 試行錯誤を重視する教材であること

作品製作過程とプログラミング制作過程の両面で、間違いを修正したり訂正する部分が備わっている教材が良い。製作途中での修理や修正作業を取り入れた授業を大切にすべきである。修正する時間に授業時間を取られないように工夫した教材を使った場合、一見本質を効率よく理解する授業展開ができると思われがちであるが、実際はそうではない。プログラミング制作で大切なのはデバッグ作業を含めた制作過程であり、その部分を学習者から剥奪してはならない。制御ロボットも同様で、授業中にロボットの配線が切れたり命令通りに動かないことは当たり前であり、それらを修復する作業の経験を通してソフトウェアとハードウェアの関係を学べるのである。よって、完成度の高い教材やキットは制御教材に向かない。

2.3 教材費で購入できること

情報教育を行う上で、一人一人に制御教材が行きわたることが大切である。数人のグループで1台の制御教材を扱う例もあるが、中心になり考える生徒と何もしないでただ見ているだけの生徒を作ってしまう可能性がある。特に、プログラミングの学習では、個々に考える時間と場を与えないとプログラミングに関わる操作を学習する機会を奪われる危険性がある。

一人一台の教材を扱うためには、教材にかかる値段が大変重要な要素になる。学校の備品として備えておくためには、最低40台用意しなくては

ならない。仮に一台1万円としても40万円もかかることになる。義務教育の諸学校で、そこまで教材費をかけられる学校はほとんどない。したがって、教材費用を生徒が個人で購入できる値段に設定する必要がある。教育現場で働いていた経験からすると、中学校の教材費として生徒が負担できるのは一般的に3,000円前後(3,500円を上限とする)である。

3 制御教材の設計

授業のために2軸(モーターが2個)のロボット教材を探したが、条件を満たす教材商品が存在しなかったため、筆者らはエンジニアと相談し、独自のロボット教材を設計してもらった[1]。

3.1 基板の設計

2軸制御ロボット教材を設計するにあたり、以下の条件を考えた。

1. 車輪の付いたロボットカーにする
2. モーターなどの機械部分は、入手しやすい市販のキット部品を使えるようにする
3. PCからリモコンで制御するのではなく、プログラムを内蔵して動く自立型にする
4. 壁にぶつかったことがわかるセンサーがある
5. 線をつながなくてもパソコンからプログラムを転送できる
6. PCがなくてもTVリモコンで制御できる

2の項目に関しては、学習者自らがロボット製作に関われること、自由に設計できることが大切である。また、その際、ビスやナットで部品を固定する作業や配線をハンダ付けする作業を取り入れることも考慮した。3の自立型ロボット製作を目指したのは、自作したプログラムをロボットに転送して実行する活動を通じて、プログラムをコンピュータのメモリーに書き込み実行するというコンピュータの動作原理の基本を学べると共に、生活の中にある家電や組み込み型マイコン等に触れながら授業展開ができるからである。そのため、基板にはワンチップマイコン(PIC)を搭載し、部品点数を少なくしつつプログラムを内蔵できるようにした。PCからの通信は赤外線で行う。図1に設計した基板を示す。



図 1: 設計した基板

PC でのプログラミングには教育用言語であるドリトル [2][3] を利用した。表 1 にドリトルでの制御命令を示す。

表 1: ロボットの命令

命令	説明
ひらげごま	ポートを開く
とじごま	ポートを閉じる
左前	左タイヤを回転
前進	両輪を回転
右前	右タイヤを回転
左後	左タイヤを後方に回転
後退	両輪を後方に回転
右後	右タイヤを後方に回転
はじめロボット	プログラムの開始宣言
おわりロボット	プログラムの終了宣言
前進・入力で停止	センサスイッチがオンになるまで前進
うごけ	プログラムの実行
はじめさぶ 1	サブルーチン 1 の開始宣言
はじめさぶ 2	サブルーチン 2 の開始宣言
うごけさぶ 1	サブルーチン 1 の実行命令
うごけさぶ 2	サブルーチン 2 の実行命令
おわりさぶ	サブルーチンの終了宣言
スイッチスタート	センサスイッチで実行開始
ここからずっと繰り返し	プログラムをずっと繰り返す
ここまですっと繰り返し	同上
回数繰り返し A	プログラムを指定回数繰り返す
ここまで繰り返し A	同上
回数繰り返し B	同上
ここまで繰り返し B	同上
回数繰り返し C	同上
ここまで繰り返し C	同上

3.2 本体の設計

基板以外の部品を以下に示す。

- 電池ボックス (単 2 × 2 本用または、単 3 × 2 本用)

- 電池スナップ 2 個 (006 P 乾電池用と単 3 × 2 電池用)
- 圧電スピーカ 1 個
- 006 P 電池ホルダー 1 個
- マイクロスイッチ 1 個
- 田宮ツインギヤボックス 1 個 (田宮楽しい工作シリーズ No97)
- 田宮ユニバーサルプレート 1 個 (田宮楽しい工作シリーズ No98)
- 田宮トラックアンドホイールセット (田宮楽しい工作シリーズ No100)

製作に必要な道具として、半田ごて、卓上ボール盤、糸鋸盤、ドライバ、ニッパ、ラジオペンチ等を準備した。材料費は 3,500 円で製作可能である。

4 中学校での授業

4.1 授業内容

技術・家庭科の授業で中学 2 年生の 2 学期から製作を開始した。作品はおよそ 10 時間程度で完成できた。また、3 学期の授業でロボットを TV リモコンで動作させて、赤外線信号により動くことや、赤外線信号が基板のどこで処理されてモータを動かしているのかという程度の回路説明を行った。動作確認をしている間に、ロボットのバランスが悪かったり、ハンダ付け不良箇所などを確認しながらロボットの修正作業を行った。

3 年生になり、ドリトルでプログラムを作り、自作したロボットに転送させて実行する授業をおこなった。

4.2 授業カリキュラム

授業は、中学 2 年時に、ロボット製作授業に 10 時間、ロボット修正授業に 3 時間設定した。中学 3 年時に、ロボット制御の時間を 8 時間設定した。その後、ドリトルでゲーム作りの学習を 8 時間設定した。

表 2 に授業カリキュラムを示す。基板の製作では、半田ごて、ニッパ、ラジオペンチの使い方を体験し、電子パーツ、IC、センサー、電池を学んだ。車体の製作では、なるべく小さく作るための工夫を考え、基板、2 種類の電池、スイッチを乗せたロボットの工夫を学んだ。動作の確認では、赤

外線からモータを動かす流れを学んだ。インターフェースについては、赤外線で転送するプログラムを学んだ。

表 2: カリキュラム

ロボットを作ろう (計 10 時間)	
ギヤボックスの製作	2 時間
基板の製作	2 時間
車体の製作	4 時間
動作の確認	2 時間
ロボットをプログラムで動かそう (計 8 時間)	
インターフェースについて	2 時間
センサースイッチを使おう	1 時間
サブルーチンプログラムを使おう	1 時間
繰り返し命令を使おう	1 時間
ロボットの動きを分析しよう	1 時間
難しい迷路に挑戦しよう	2 時間

4.3 授業の実施

静岡県藤枝市立西益津中学校の生徒 135 名に授業を実施した。

- 平成 14 年 9 月～12 月: ロボット製作の授業 (10 時間)
- 平成 15 年 4 月～7 月: ロボット制御の授業 (8 時間)

授業は、全て筆者が担当する技術・家庭科の授業で行った。活動場所は、ロボット製作は技術室、ロボット制御はパソコン室で行った。

4.4 結果

ロボットの製作

生徒は、上記の基板を使い、独自の形のロボットを製作した。製作授業時間は、10 時間程度である。ロボット製作では、なるべくコンパクトに作品をまとめるように要求した。生徒達は、基板やパーツの配置を考えながら作業に臨んでいた。半田ごてを使うことや、ビスやナットで締め付けることも初めてという生徒が半数以上いたが、自分のオリジナリティーを出そうと真剣に授業に取り組む姿がみられた。授業時間内でほぼ全員の生徒が作品を完成させることができた。図 2 と図 3 に生徒の作品を示す。

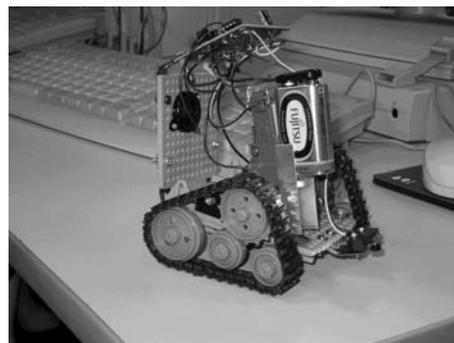


図 2: 生徒作品 1



図 3: 生徒作品 2

ロボットの制御

生徒は、自作のロボットを使い、迷路を抜ける課題を学習した。実施時間は、8 時間程度である。図 4 に学習の様子を示す。

制御の授業では、生徒にアンケートを実施した。表 3 に結果を示す。集計の結果、90 %以上の生徒がロボット制御の学習が「とても楽しい」「どちらかといえば楽しい」と答えている。多くの生徒がロボット制御の学習に満足していたことがわかる。

多くの生徒は学習に満足していたが、中にはそうでない生徒もいた。ある生徒は、結局ロボットを思うように動かせず、課題の迷路にロボットをゴールさせることができなかった。おそらく、ロ

表 3: アンケート結果

	設問	回答数	比率
1	とても楽しい	57	44%
2	どちらかといえば楽しい	68	51%
3	どちらかといえば楽しくない	6	5%
4	とっても楽しくない	0	0%



図 4: 制御の様子

ボットの修正作業に時間を取られたり、ロボット制御用の命令も十分覚えることができなかつたと思われる。しかし、ロボット制御の学習がうまくいかなくても、プログラミング学習を通じて学んだことの意義を感じることができたことを、生徒の感想をもとに考察で述べる。

5 考察

ロボットを作成する授業およびロボットを制御する授業について、教員の観察、生徒のアンケート、生徒の感想から考察する。

(1) デバッグが学習だった

生徒にとって、課題解決のためには、デバッグ作業がないほうが、早く目標に到達できる。しかし、実際にコンピュータプログラムを組むということは、デバッグ作業の連続である。生徒には、コンピュータの命令が一字でも異なればコンピュータは正常に働かない体験や、デバッグ作業を繰り返すという地道な作業もプログラミング学習の本質を知る上で大切な学習となる。

図 9 や図 10 の生徒の感想からは、授業をやり終えた後の達成感が感じられる。その達成感は、ただ簡単に授業課題をクリアできたために起こるものではなく、ロボット製作時にもプログラミング作業時にも行ったデバッグ作業があったことが要因と思われる。実際、多くの生徒がデバッグ作業をしたにもかかわらず、ロボット制御の学習もドリトルプログラミングの学習も 90%以上の生

徒が楽しいと答えている [5]。

(2) オリジナルの作品を作れることが重要だった

オリジナルの作品を作れることは重要である。ロボット制御のような教材にはキット教材が多くあるが、完成を目指すあまり、作ったものが一律に同じ形になりやすく、生徒の工夫や個性が尊重されない傾向がある。生徒の満足感や出来上がった時の達成感を阻害する要因である。

図 9 の感想からもうかがえるが、ロボットを自作しオリジナルなものを作ったことに、制御教材に対する満足感がある。それは、自分なりに工夫したところが、はっきり意識されるからである。

(3) 課題が厳密すぎないほうがよかった

自作したロボットが、命令通り直進しないことをプログラムで修正するという発想は、ロボットを迷路のなかで自由に動かして行く中で発見した解決法である。決められたコースを動かためのプログラム(ライントレース)と異なり、ロボットの動きが自由であるために見えてくるロボットの不備をロボットを直接直す方法をとるだけでなく、ソフトウェアで直していこうとする発想を生むことができる。

実際、図 9 には以下の感想があり、学習の中でソフトウェアとハードウェアの関係を自然と学んでいく機会を与えられたことがわかる。「ロボットの動き(前進するとき左の方に行っちゃうとか、進み方)に合わせたプログラムを作る事ができました。」

(4) 試行錯誤から見えてくる世界があった

ロボット制御を学習して、身近な家電や機械などにコンピュータが組み込まれている事実を知り、将来コンピュータがどんなことに役にたちそうか想像をふくらませることができる。生徒は、単に制御機構やコンピュータによる情報処理操作を学んだことに満足するのではなく、学習により何か新しい世界が見えてくることで授業を評価する。迷路の課題を解決した生徒は 135 人中 20 名程度と大変少ないが、生徒たちは、課題解決に必死になりながらも、様々なことを学んでいく。実際、図 11 には以下の感想があり、ロボット制御の学習では、コンピュータがパソコンだけでなくあら

ゆるところで活躍していることに気づかせるよい教材となっていることがわかる。「こんなに小さくてこんなに性能のいいロボットがこんなに身近にあるのだから「A.I」だかいうのももうできちゃうんじゃないかと思います。」

6 今後の発展

6.1 制御

3軸制御ロボット

今回の授業では2軸ロボットを扱ったが、モーターが2個では平面的な移動しかできず、課題や生徒の興味の面から限界を感じた。そこで、現在は3個のモーターを動かす3軸ロボットを2人のエンジニアと相談しながら設計している。図5に、ショベルの動作を加えた3軸ロボットカーを示す。図6は、3個のサーボモーターを使った二足歩行ロボットの例である。

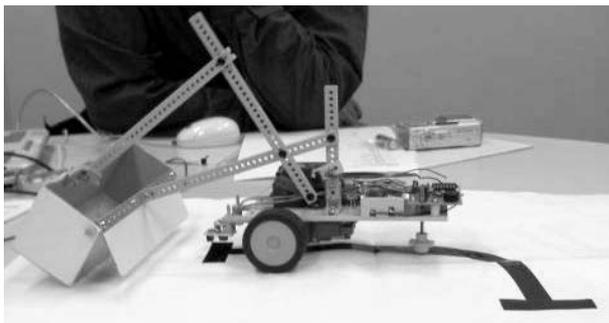


図 5: 3軸ロボットカー

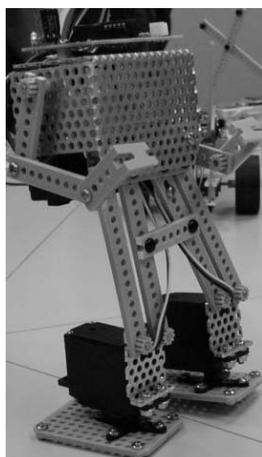


図 6: 二足歩行ロボット

6.2 計測

授業では計測も重要である。代表的な教材を示す。

6.2.1 パソリカ

パソリカ [7] は温度、液温や光度が測定できる教具である。パソリカはドリトルでも制御できるため、制御システムの構築学習に良い。測定した入力データをどのように処理し加工していくかという課題を、ドリトルを使えば簡単にプログラムできる。また、入力装置とコンピュータをつなげ、データを加工する作業は、情報処理システムの基本を学ぶことになる。図7にパソリカの本体を示す。



図 7: パソリカ

6.2.2 マスコット

マスコット [8] は、温度測定や、赤外線出力などが簡単に行える教具である。ドリトルでも制御できるため、パソリカ同様情報処理システムの構築の学習ができる。図8にマスコットの本体を示す。

7 まとめ

本稿では、初中等教育における情報教育の中で、制御と計測を取り入れた情報教育について考察した。

以下は制御教材に求められる特徴である。

1. ロボット製作においても、プログラミング制作においても生徒が、修正作業や試行錯誤を繰り返す場面を取り除いてはならない。デバッグ作業も大切な学習である。

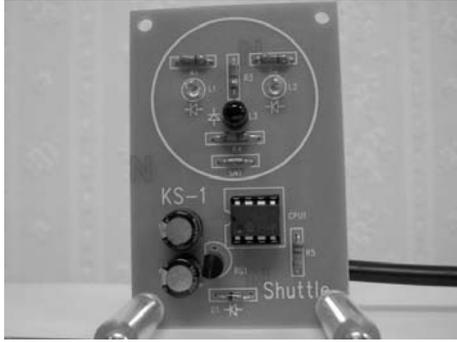


図 8: マスコット

2. 計測教材は、計測実験を進めることよりも、計測機器とコンピュータをつなげたシステム作りの学習を展開することが良い。
3. 制御教材においては、自作したロボット等を制御に応用するのが良い。その時の値段は3,000円前後の金額にすると良い。

ロボットを製作したり制御する授業を行うためには、教材準備に時間と労力がかかり教師の負担が大きいという側面がある。しかし、時間と労力をかけて作り上げた授業には、多くの生徒が学習意欲を持って臨んでくれる。そして、授業で学習したことを通じて、今まで疑問すら感じなかったコンピュータの仕組みを想像したり、ソフトウェアとハードウェアの関係を理解し、今後のコンピュータ技術の発展に期待することで自ら関わっていきたいという希望を持つことができる。

残念なことに、教育現場では簡単にできることや生徒にミスさせないことを重視した教育が増えている。情報教育でも同様である。しかし、あえて失敗や試行錯誤の繰り返しの余地がある教材を提示することで、生徒に意欲や達成感を持たせることが可能になる。試行錯誤はデバッグと考えることができる。デバッグはプログラミングだけにとどまらず、情報教育全体で学ぶべき重要な概念である。このことは今後も強く提案していきたいと考えている。

制御用ロボットの検討については、スズキ教育ソフトの岡田雅美さん、スタジオミュウの井上修次さんに協力をいただきました。藤枝市立西益津中学校の生徒および先生方にもご協力いただきました。この場を借りて感謝いたします。

参考文献

- [1] 岡田雅美. ログ坊とドリトルによる計測・制御. <http://www.logob.com/users/seigyoy/>.
- [2] 兼宗進. ドリトルで簡単プログラムを体験しよう. 先生とパソコン 教育現場のパソコン活用最新スタイル, pp. 19–27. 技術評論社, 2004.
- [3] 兼宗進. プログラミング言語「ドリトル」. <http://kanemune.cc.hit-u.ac.jp/dolittle/>.
- [4] 紅林秀治, 兼宗進, 岡田雅美, 佐藤和浩, 久野靖. 画面を飛び出したオブジェクト: 自立型ロボットを活用した情報教育の提案. 情報処理学会 情報教育シンポジウム (SSS2002), 2002.
- [5] 紅林秀治, 兼宗進. プログラミング学習についての一考察: ロボット制御のプログラミング学習とソフトウェア作りのプログラミング学習を比較して. 情報処理学会 情報教育シンポジウム (SSS2004), 2004.
- [6] 紅林秀治. 制御・ネットワークの授業実践例. 実践 情報科教育法 「ものづくり」から学ぶ. 東京電機大学出版局, 2004.
- [7] (株)シータスク. パソリカ. <http://www.sun-mitec.co.jp/paso-top.html/>.
- [8] (株)シャトル. マスコット. <http://www.shuttle-corp.co.jp/kyouzai/pages/kyou007.html/>.

資料

図 9、図 10、図 11 に、ロボット制御を終えた後の生徒の感想を示す。

私はロボット作る時、はんだがなかなかできなくて苦労しました…。でも、自分が作りたと思っていたような小さいロボットができたのですごく嬉しかったです!! 小さすぎて後に倒れてしまうこともあるんだけど、今よりもちょっと重りをつけたりして倒れないようにしたいです! ドリトルのプログラムはなかなかいい感じにできました。ロボットの動き(前進するとき左の方に行っちゃうとか、進み方)に合わせたプログラムを作る事ができました。だから、迷路も3分の2ぐらいまで行けました!! それが一番嬉しかったです サブルーチンとかもやったけど結構、役立ちました。最初はサブルーチンがない方が簡単だと思ってたけど今はサブルーチンがある方が簡単なような気がします! プログラムを入力してくうちにキーボードを打つのも早くなったのでよかったです。

図 9: 生徒の感想 1

自分でロボットを作ってそれを自分で動かすことを自分でやった技術はとても楽しかったけど、とても大変だったです。まずはじめにロボットを作ることは自分で出来るだけ小さいロボットをつくり、それもしっかり動くロボットを作るにはとても大変でした、配線を間違えたり配線を切ったりしたいへんでした。授業が技術室からパソコン室に変わりプログラムを打つのはとても大変でした、プログラムを間違えるとうまく動いてくれないしロボットも壊れたりしてうまくいかないことが多くて一番苦労しました、それに授業が多くなるにつれ、いろいろなことを教えてもらいそれをうまく使うのも大変です、まだうまくゴールが出来ないので頑張ってゴール出来るようにして命令内容も簡単にしたいです。

図 10: 生徒の感想 2

二年の時に作ったこのロボットが今では自由自在に動いてとても感動です。ほんの5センチ四方の板の上に載ったコンピューターがいろいろ考えて動いていると思うと凄く進歩してるんだな～と感心してしまいます。この授業は自分で考えていろんな動きをさせたりするのがとても楽しかったです。こんなに小さくてこんなに性能のいいロボットがこんなに身近にあるのだから「A.I」だかいうのももうできちゃうんじゃないかと思えます。この授業が面白かったのでロボット関係のことをもっと詳しく学びたいと思いました。

図 11: 生徒の感想 3