

2足歩行ロボット教材の開発と教育での利用

紅林 秀治[†] 菱田 亘[†]
大村 基将[†] 兼宗 進^{††}

2足歩行ロボット教材の設計と、それを利用した制御教育を紹介する。教材は、中学生が製作して制御できるように工夫した。ロボットのフレームには工作用の金属版やプラスチック棒を用いることで製作を容易にし、制御プログラムはドリトルを用いて簡潔に記述できるようにした。開発した2足歩行ロボット教材を紹介し、それを用いた中学校技術・家庭科の授業計画を報告する。

Development and Practice of a Bipedal Walking Robot as Teaching Material for Junior High Schools

SHUJI KUREBAYASHI,[†] WATARU HISHIDA,[†] MOTOMASA OOMURA[†]
and SUSUMU KANEMUNE^{††}

We introduce the education with a Bipedal walking robot as teaching material to learn control programming. A Bipedal walking robot which we use in Lessons is developed for students to make and control by themselves. So that students can make it easily with metal boards and plastic bar for crafting and control it with "Do-little" which can describe programs in simple Japanese. First a Bipedal walking robot which we developed is described and introduce the curriculum of the lesson in "Technology and Home Economics" subject for junior high school students in Japan.

1. はじめに

中学生が製作可能な2足歩行ロボット教材と授業での利用可能性を提案する。

現在、中学校におけるロボットの授業では、移動ロボットや作業ロボットなど単純な構造のロボットを用いた実践が多く¹⁾、数多くのサーボモータを必要とする2足歩行ロボットを製作・制御する授業実践は行われていない。

一方、筆者らが静岡県内の中学生330名にロボットのイメージについてアンケート調査を行ったところ、267名(80.1%)の生徒がアニメキャラクターをはじめとする2足歩行ロボットをイメージしていた。社会でも、ホンダ技研のASIMO、トヨタ自動車のパートナー・ロボットなど、企業は技術水準の高さを2足歩行ロボットで示している。また、ROBO-ONEの大会²⁾をはじめとして様々なイベントでサーボモータを使用した手作りの2足歩行ロボットが出品され、ニュースや新

聞でも報道されている。さらに、製作キットも数社²⁾から販売されるなど、2足方向ロボットの重要性が認識されてきている。

そこで、筆者らは中学生が製作可能な16軸制御2足歩行ロボット教材を考案した。2足歩行ロボット制御に欠かすことのできない16軸制御基板はドリトルで動作するように設計しロボット本体は教材用の金具やプラスチック棒など利用し加工が簡単になるように工夫した。本稿では、開発した2足歩行ロボット教材の製作方法、制御基板、ドリトルを用いた制御プログラム、およびそれを用いた中学校での授業実践の経過を述べる。

2. 今までの制御教材と2足歩行ロボット教材の違い

ここでは、筆者らが開発した16軸2足歩行ロボットと今までの実践利用されてきた2軸ないし3軸教材用自律型制御ロボットとの違いを述べ、2足歩行ロボット教材の教育効果を考察する。^{*}

[†] 静岡大学
Shizuoka University
^{††} 一橋大学
Hitotsubashi University

^{*} 「軸」は制御に使われているモータの数を表す。軸の数が増えると動作の自由度が大きくなるが、複数のモータを制御する必要があるため、プログラムは複雑になる。

2.1 制御するモータの数

筆者らは、制御用教材として独自に3軸自律型制御ロボットを開発してきた。車輪による移動を目的とする左右のモータ制御(2軸制御)に加え、仕事をするためのモータを加えることで、ロボット製作にバリエーションを広げることができた³⁾。さらに、そのロボットをプログラムから制御することで、電気や機械やコンピュータを総合的に学べる教材となった¹⁾。

3軸制御ロボットでは、自律制御を行うためにコンピュータを用いたが、同様の制御はリモートコントローラによる手動制御でも可能であった。一方、今回開発した2足歩行ロボットは、サーボモータを16個使用する。16個ものモータをリモートコントローラで手動制御することは不可能であり、制御にはコンピュータの介入が必須である⁴⁾。制御するモータの数が多ければ多いほど、コンピュータが介入する必然性が生まれるが、それは同時に制御プログラムが飛躍的に難しくなることも意味する。

2.2 行える作業

2軸や3軸の制御ロボットと比較した場合、2足歩行ロボットは汎用的な動作を行うことが可能である⁵⁾。

2軸や3軸の制御ロボットでは、「移動して迷路を抜ける」「物を運ぶ」といった、比較的単純な特定の作業を行うことを目的としていた。また、授業ではその目的を正確に実行できたかで評価を行うことができた。

2足歩行ロボットでは「移動する」「物を運ぶ」「踊る」「立ち上がる」等、様々な動きをすることができ、正確に素早く一つの動作を行うことは得意ではない。これは、目的が固定している移動ロボットや作業ロボットとの大きな違いである。

2.3 バランス制御

2足歩行ロボットでは、移動や作業の動作すべてにバランス制御が重要になる⁶⁾⁷⁾。移動歩行においても、左右の足の動作にともない重心移動が起こり、動作中にロボットが倒れないように各サーボの動きを微調整しながらモーションそのものを決定していかなくてはならない。これは作業動作、パフォーマンス動作などすべての動作においてバランスを考えた制御の必要性が生まれる。一組のタイヤやクローラを利用した移動ロボットや作業ロボットではほとんど考える必要がなかった、バランスの制御が加わることは制御の大きな違いである。

2.4 2足歩行ロボットの教育効果

以上述べた、2軸ないし3軸制御教材との違いから2足歩行ロボットを教材として使用することで以下の教育効果が期待できる。

- コンピュータの介入なくして制御が不可能であることから、コンピュータの役割をより鮮明に印象づけることができる。
- 制御目的が特化されないことから、様々な動作を考えることが可能でそれに伴う制御プログラムも多様になり学習者の創造力を刺激する。
- 2軸ないし3軸制御ロボットの学習で学べなかった、バランス制御の学習ができる。
- 人型ロボットの製作と制御の難しさと楽しさを理解できる。

3. 2足歩行ロボット教材の設計

3.1 フレーム部の設計

学校での利用を想定し、中学生がロボットのフレーム部の製作を容易に行えるよう工夫した。

まず、工作用の加工材料には、入手が容易な材料を前提とした。これらを使用することで、「切断」「折り曲げ」の加工を簡単に行うことができる。ビス穴を開ける作業が必要なくなることから、製作作業を容易にすることができた。

- パンチングメタル(穴の空いたアルミ板:孔径(φ)3mm, 孔の間隔(p)5mm, 厚さ(t)1mm)
- 万能フレーム(プラスチック棒: J1010-1 山崎教育システム)

サーボモータは安価な製品(GWS micro 2BBMG)*を16個使用した。仕様を示す。

- トルク: 6.0V 時: 6.4kg-cm, 速度 0.14sec/60°
4.8V 時: 5.4kg-cm, 速度 0.17sec/60°
- 重量: 28g
- 大きさ: 28.0 × 14.0 × 29.8mm
- ギヤ: メタルギヤ
- 方式: アナログ

フレーム加工は、図1のように各サーボモータにアルミ板を取り付け、各モータは加工したアルミ板とプラスチック棒を結合した。完成したロボットのフレームを図2に示す。

3.2 サーボモータに過負荷をかけないフレームの設計

使用したサーボモータに、定格トルク以上の負荷をかけると大電流が流れモータを消失することになる。それを防ぐために、ロボットは定格のトルクに近い負荷がかかった時にあえて転倒しサーボモータを守る設計にした⁵⁾⁸⁾。ロボットの重心とロボット全荷重が片方の足首にかかったことを想定し、左右と前後で足首

* <http://www.robotsfx.com/robot/RCServo.html>

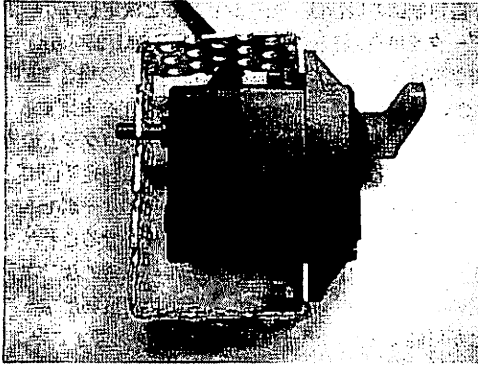


図1 サーボモータと取り付け金具

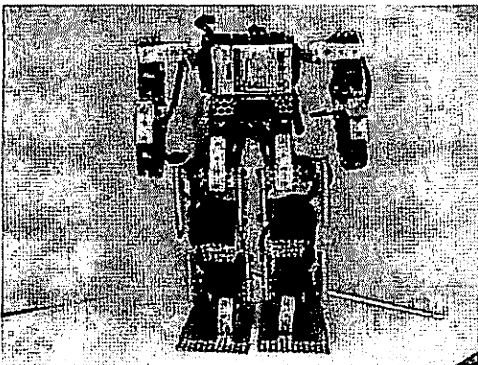


図2 完成したフレーム 高さ 250mm 幅 160mm

にかかるトルクを角度ごと計算した。その結果、前倒し状態の時は 30° で片足首にかかるトルクが $4.4\text{Kg}\cdot\text{cm}$ となり、左右の傾斜では 13° でトルクが $4.4\text{Kg}\cdot\text{cm}$ を超えたためそれ以上の角度になったら転倒するように足 (foot) の長さを 6.0cm にした。図3と図4はロボットを前傾姿勢と横傾姿勢をとらせた時の図である。

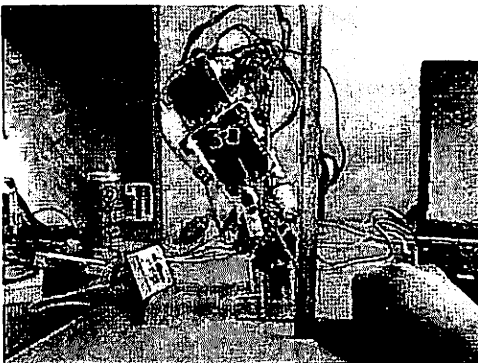


図3 前傾姿勢 (30°)

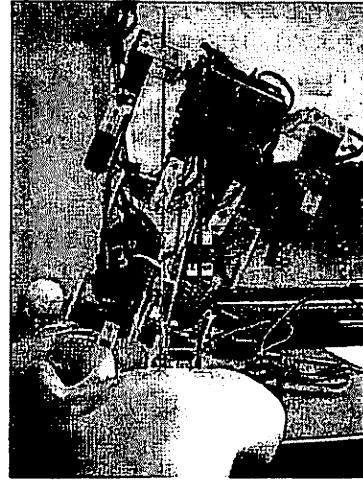


図4 右傾姿勢 (13°)

4. 開発した制御基板

4.1 基 板

制御を行うにあたり、秋月電子通商製「AKI-H8/3694F(QFP) タイニーマイコンキット」* を用いることでマイコンに必要な周辺回路を簡略化した。制御基板は 16 本のサーボモータ制御信号用バス, 3 本のスイッチ用バス, SCI 通信用バス, 赤外線入力用バス, EEPROM 用バスを持つ。スイッチ用バス・赤外線入力用バスは、それぞれ信号入力により割り込みが可能で内部にプルアップ機能を持つ Pin に接続されている。EEPROM については I2C インターフェースを用い、クロックを 400kHz とした。部品点数を極力減らし、回路の簡略化とコスト減につとめた。電源は回路駆動用には $9\text{V}(006\text{P})$ を用い、サーボ駆動用にリチウムイオンバッテリー ($7.4\text{V}/1050\text{mAh}$ GW/BP2S1P1050) を使用した。

4.2 ファームウェア

ファームウェアは、SCI から入力された信号を直接サーボコントロールに反映するリモートコントロールモード (以後 RC モード) と、EEPROM に書き込まれたモーションデータを再生する自律モード、SCI からの入力信号を元にロボットの設定・制御データを EEPROM に記憶する入力モードの 3 種類のモードと、割り込みによるサーボモータ制御の機能が実現できるようにした。

* <http://akizukidenshi.com/catalog/items2.php?p=1&q=%22K-00855%22>

図 5 に製作したファームウェアの概略図を示す。ファームウェアは、以下の順序で処理を行う。

(1) PC から制御信号を受信したとき、信号の先頭 1Byte の命令コードを解釈。解釈結果により RC 信号か入力モード用信号かを判断する。

(2) リモート信号の場合は直接サーボモータ制御機能に対して制御したい角度を与える。

(3) 入力モード用命令の場合は、EEPROM 入出力、RC / 自律のモード切り替えなどの制御を行う。

(4) シリアル入力が存在せず、自律モードに設定されている場合は、EEPROM に記憶されたポジションデータを、記憶されたポジションデータの再生順番に従って実行する。

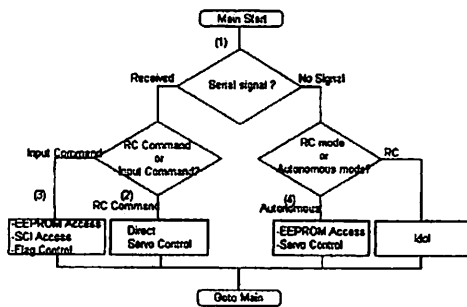


図 5 ファームウェアの概略図

4.3 ドリトルによるモーションプログラム

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⁹⁾を採用した。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が利点である。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。

2 足歩行ロボットの制御で使う場合は、2 通りの使い方を想定した。ロボットの動作をリモコンで操作する方法と自律制御する方法である。リモコン制御の場合は、ドリトルのスライダーオブジェクトを使い、各サーボモータのデータをロボットの動きと連動させながら確認する。スライダーオブジェクトにより示す数値をサーボモータにリアルタイムに送り、その場でロボットの動きを確認できる。

自律制御の場合は、モーションごと決定したサーボデータを制御基板に転送し、EEPROM(256kbit)に書き込むようにした。基板では自律制御の場合 EEPROM に書かれたデータを読み込み動作を実現する。

図 6 は、ドリトルによるモーションプログラムの実行画面である。動作はシーンと呼ばれる一定時間の間隔で実行される。シーンごとに、16 個のサーボモータの回転角をスライダーで対話的に変化させることができる。設定されたデータはドリトルの永続的な二次元配列に格納され、次回以降の実行時に再度利用することが可能である。データは転送ボタンを押すことで、赤外線を経由してロボットに転送される。

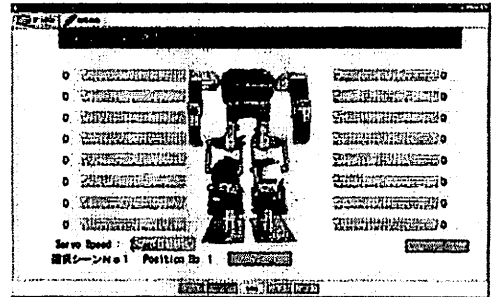


図 6 ドリトルによるモーションプログラム実行画面

モーションプログラムの開発にドリトルを利用することで、授業利用の可能性を広げることができた。生徒は必要に応じてプログラムのソースを見ることができ、必要に応じてプログラムを修正することもできるので、仕組みを理解したり改良することが可能である。これは開発言語に日本語を用いた教育用言語を採用したことでの利点と考えている。

図 7 は、ドリトルを使った自律制御のためのプログラムである。このプログラムでは、1 行目で KRX-1 という名前のロボット制御オブジェクトを作っている。2 行目から 7 行目はシーンの定義である。3 行目からのそれぞれの行で、右足 (6 軸)、左足 (6 軸)、右手 (3 軸)、左手 (3 軸) の計 15 パターンを定義し、7 行目で速度を定義している。このようなシーンは 1 から 50 までの最大 50 個を定義可能であり、必要なすべてのシーンを定義した後で、9 行目ではロボットの EEPROM にシーンを転送している。

それぞれのシーンの中で、サーボモータの回転角度は、右足などの機能のまとまりごとに設定する。たとえば 3 行目ではロボットの右足に取り付けられた 6 個のサーボモータの回転角度を上から順に 140°, 70°, 105°, 110°, 85° の角度に設定している。

KRX-1 = robot「com1」作る。	(1)
KRX-1(2)のシーンを選択。	(2)
KRX-1(140 70 105 110 85)を右足にセット。	(3)
KRX-1(45 110 90 60 95)を左足にセット。	(4)
KRX-1(902 902 90)を右手にセット。	(5)
KRX-1(90 90 110)を左手にセット。	(6)
KRX-1(1)のスピードで動け。	(7)
⋮	
⋮	
KRX-1(3)のシーンを選択。	(8)
⋮	
⋮	
KRX-1(1)シーンを転送。	(9)

図7 制御プログラムの例

授業項目	時間
ロボットについて	1
2足歩行ロボットの構造	1
パーツの加工	5
ロボットの組み立て	6
配線と基板の取り付け	6
モーション確認(リモートコントロール)	5
自律動作コンテスト	5
パフォーマンスコンテスト	2
これからのロボット	1

5. 授業評価計画

現在は、作成した教材について中学校で授業評価を行っている。

授業は静岡大学教育学部附属静岡中学校で、2007年4月から、実施している。授業は選択 技術・家庭科、生徒は3年生9名である。生徒は2軸と3軸制御の学習体験があり、2足歩行ロボットの学習に興味を持って授業を選択した。

ロボットは3人で1台を製作する形でグループ形式の製作とした。授業は、技術科の教員1名とTA2名で行った。

表1にカリキュラムを示す。授業では、製作加工と制御プログラムを27時間の授業で行う。ロボット完成後、歩行プログラムの制作に入り、ロボットの動作によるパフォーマンスコンテストの実施を予定している。

本稿の執筆時点(2007年7月)では、「ロボットの組み立て」として脚部が完成し、ドリトルのプログラムで動作確認を行っている段階である。フレームの製作では、金屑を切削したり曲げたりする作業が中心であるが、問題なく作業が行うことができた。フレームは3グループとも完成させることができた。図8は、脚部の動作を確認する生徒の様子である。



図8 脚部のモーション確認

授業の評価としては、教材の改良に関わる点と、教育効果の検証を予定している。具体的には、開発した2足歩行ロボット教材の改良すべき点を明らかにすること、2軸や3軸ロボット教材との比較をコンピュータの役割とバランス制御の観点から行いたいと考えている。

6. 関連研究

ロボットを教材として扱う中学生向けの授業には、大きくわけて2種類が存在する。

ひとつは、プログラムを用いたロボット制御の学習である。筆者らはロボット製作とプログラムによるロボット制御の両方を組み合わせた取り組みを行って来た。そして2軸あるいは3軸の自律型ロボットを製作しプログラミングによるロボットコンテストを実施している⁷⁾³⁾。また、レゴブロックで組み立てたロボットを制御するレゴマインドストームを用いた授業も報告されている¹⁷⁾。

もうひとつは、ロボットコンテストに代表される、ロボット製作の学習である。ロボット製作を通して生徒の学習意欲や創造性が高められる教材¹¹⁾として、全国各地¹⁶⁾でコンテストが開かれなど、多くの中学校で取り組みがなされている。ロボットは自立型ではなく、生徒がリモートコントローラを使い、3個から4個程度の直流モータを制御する。プログラミングの学習にはならないが、基本的な機械要素や電気回路を学ぶことが可能になる。

これらの学習は、プログラミングの学習や機械制御の学習の要素が含まれているため機械や電気の学習に加えてコンピュータやプログラミングの学習が含まれているため「プログラミング」の学習として位置づけて取り組む例や、「組み込み機器」の学習として取り組み例などがある¹⁵⁾。

一方、日本のメーカーが2足歩行ロボット教材を売り出す⁷⁾など、社会の中では2足歩行ロボットの需要が高まっている。2足歩行ロボット教材を使用した授業実践としては、谷本¹⁰⁾らによる大学と連携した2足歩行ロボットの授業があるが、まだそれほど多くの事例は報告されていない。

今回筆者らが取り組んでいる、16軸といった本格的な構造を持つロボットの制御は、中学校を対象とした教育においては、研究が始まったばかりである。

7. まとめ

新たに開発した、2足歩行ロボット教材を紹介し、それをを用いた授業の可能性を述べた。教材は中学生が製作できるようわかりやすく設計し、プログラミング言語にドリトルを採用することで簡潔に制御プログラムを書けるようにしたのが特徴である。

2足歩行ロボットは動作の自由度が大きいため、今までの車型の制御教材と異なり、作業できる目的の範囲を大きく広げることができる。そこで、生徒はロボットを製作した後で、それをどう動かし、どのような仕事をさせるのかを考える必要がある。そこに、創造性を育てる教材としての価値があると筆者らは考えている。

今後は、実験授業を通して今回設計した教材の検証や学習効果等を明らかにしていきたい。また、教員が授業を行ううえで必要になる、課題設定や評価のための基準などを含めた検討を行いたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) Shuji Kurebayashi, Toshiyuki Kamada, Susumu Knemune: Learning Computer Program with-Autonomous Robots. LNCS, Vol.4226, pp138-149, 2006
- 2) ROBO-ONE 編集委員会編: ROBO-ONE のための二足歩行ロボット製作ガイド. オーム社, 2004
- 3) 紅林秀治, 兼宗進, 苅木浩幸, 鎌田敏之: 自律型3軸制御ロボット教材を用いた授業実践. 情報処理学会研究会報告, CE88, pp111-118, 2007
- 4) 米田完, 坪内孝司, 大隅久: これならできるロボット創造設計. 講談社, 2007
- 5) 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
- 6) 米田完, 坪内孝司, 大隅久: ここが知りたいロボット創造設計. 講談社, 2005
- 7) ジョージ A. ベーギー, 松見一, 細部博史 訳: 自律ロボット概論, 毎日コミュニケーションズ, 2007
- 8) 梶田秀司: ヒューマノイドロボット. オーム社, 2007
- 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

- 10) ロボット・実験学習メニュー開発支援授業. http://www.edu.city.fukuyama.hiroshima.jp/kou-ichifuku/6naiyou/robot06_4_25/jigyouni_tuite.htm
- 11) 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
- 12) 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
- 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) ツクモロボット王国: <http://www.rakuten.co.jp/tsukumo/487433/530578/>
- 15) 紅林秀治: 制御教育への利用. 情報処理, 特集 教育用プログラミング言語と授業利用, Vol.48, No.6, 2007.
- 16) 藤岡ロボコン: <http://www.geocities.jp/shuinoue/robocon/index.html>
- 17) レゴマインドストーム: <http://www.legoeducation.jp/mindstorms/case/index.html>