

2 足歩行ロボット教材を用いた計測・制御学習の提案

紅林秀治^{†1} 樋口大輔^{†2} 菱田亘^{†3}
大村基将^{†4} 兼宗 進^{†5}

中学校技術・家庭科（技術分野）における計測・制御学習用教材として2足歩行ロボット用いた学習指導を提案する。2足歩行ロボットは教材用として独自に開発したものをを用いる。開発した2足歩行ロボットは、16個のサーボモータを使用した。また、中学生でも製作できるように、工作用アルミニウムや自在金具を利用してロボットのフレームが製作できるようにした。さらに、2足歩行ロボットを制御する基板も開発した。開発した制御基板を用いることで、16個のサーボモータの制御と3軸加速度センサーによる計測を可能にした。開発した2足歩行ロボットおよびそれを用いた学習計画と期待する教育効果について述べる。

Proposal of Learning Computer-aided Measurement and Control with a Bipedal Walking Robot

SHUJI KUREBAYASHI,^{†1} DAISUKE HIGUCHI,^{†2}
WATARU HISHIDA,^{†3} MOTOMASA OMURA^{†4}
and SUSUMU KANEMUNE^{†5}

We propose curriculum to learn computer-aided measurement and control for Technology education in Junior high school with a bipedal walking robot. We developed an original bipedal walking robot for our curriculum. The bipedal walking robot was designed by 16 servo motors and sheet metal parts for junior high school students to assemble it easily. We developed a circuit board to control in addition. Using the circuit board, the bipedal robot we developed was able to control 16 servo motors and measure acceleration data by 3 axis acceleration sensor. We describe new curriculum to learn computer-aided measurement and control with a bipedal walking robot and anticipated efficiency of Technology education.

1. はじめに

1.1 学習指導要領の改訂

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から、中学校技術・家庭科の技術分野の学習内容が現行の学習指導要領の「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、現行の学習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。

1.2 実践から見えてきた課題

筆者らは、これまでに独自の自律型移動ロボット教材を開発し、フィードバック制御学習の授業実践を行ってきた²⁾³⁾。教材用の自律型移動ロボットを用いた計測・制御の学習では、移動ロボットがまっすぐ走行しなかったり、正確に方向を変えることができなかったりすることがよくある。これらの問題は、床とタイヤとの摩擦条件や使用するモータ精度のバラツキの問題、あるいはバッテリーの消耗による動作条件の変化等の物理的な問題である。これらの問題は、制御技術を学ぶ上で大変重要である。しかし、これらの問題解決には、もっと精度の高いモータやセンサー等に交換することが最も簡単な方法であると、多くの学習者は考える。そのため「部品が悪い」「教材そのものが悪い」という考え方が先行し、問題を分析し、フィードバック制御のアルゴリズムを考え、それを基に制御プログラムで解決していくというような、現状から最適解を導く学習に価値を感じない学習者も現れる。これは、移動ロボットが「まっすぐ走行する」「正確に回転する」「正確に計測できる」等の動作がで

^{†1} 静岡大学

Shizuoka University

^{†2} 静岡大学大学院（院生）

Graduate School of Shizuoka University

^{†3} 海津市立日新中学校

Kaidu Municipal Nisshin Junior Highschool

^{†4} 三菱スペースソフトウェア（株）

Mitsubishi Space Software Co.,Ltd

^{†5} 大阪電気通信大学

Osaka Electro-Communication University

きるのが当然である思っているからである⁴⁾。これらの考え方を持つ背景には、制御技術の進歩により正確に動作する家電製品が溢れているからである⁵⁾。筆者らは、正確に動作する技術の裏に隠れている様々な問題を知り、その解決方法を学ぶことに計測・制御学習の価値があると考えた。そのため、正確に動作できなくてむしろ当然であると学習者に思わせる教材が必要ではないかと考えた。

1.3 教材として考える 2 足歩行ロボット

そこで、筆者らは 2 足歩行ロボットに注目した。2 足歩行ロボットは、その開発の歴史⁶⁾からも明らかなように、本体が完成しても歩行時のバランス制御を失敗すると転倒してしまい、歩行することそのものが困難だからである。つまりは、正確に歩行させるには、計測・制御技術が欠くことができない機械なのである。

筆者らは、2 足歩行ロボットを教材とする計測・制御の学習を考案した。考案するにあたり、学習者が製作できる 2 足歩行ロボット教材を開発した。本論文では、開発した 2 足歩行ロボット、それを用いた授業計画案および期待する教育効果について述べる。

2. 2 足歩行ロボットを用いた学習モデル

筆者らは、以下に示す流れで計測・制御の学習を行うことを考えた。

- (1) 歩行ロボットの製作
- (2) 歩行ロボットの制御プログラムの学習
- (3) 歩行プログラムの作成 (シーケンス制御)
- (4) センサーを利用した傾きの計測
- (5) 人体の歩行動作 (バランス制御) との比較
- (6) センサーを利用した 2 足歩行プログラムの作成

この学習の流れの特徴は、学習者が制御教材を製作した後、計測・制御の学習を行うことである。筆者らが、製作にこだわる理由を以下に示す。

- 2 足歩行ロボットの仕組みが理解できる。
- 正確に動作しない時の原因を把握しやすくなる。
- 倒れやすい構造であることを理解できる。

2 足歩行ロボットは、正確に歩行するためには、バランス制御が必要とされる。そのため、ロボットの仕組みや、2 足歩行ロボットそのものが不安定で倒れやすい構造であることを製作を通じて理解しておくことは、後のバランス制御のアルゴリズムを考える上で重要である。また、歩行動作の制御プログラムを作成する際に、人体の歩行動作と比較しながら考え

る場面を取り入れた。これは、学習者自らが無意識にバランスを取りながら歩行動作していることに気づかせ、傾きの検知やバランスを取るための体重移動などを学習者の身体からの感覚から分析することで、バランス制御のアルゴリズムを体感をもとに考えさせるためのものである。人体は、傾きの検知に視覚や前庭器官を利用⁷⁾⁸⁾しているが、人体の構造とロボットに利用するセンサーと対比させながら、アルゴリズムを考えることも可能になる。人体の感覚から制御アルゴリズムを考える学習は、移動ロボット教材ではなしえなかったことである。

3. 2 足歩行ロボット教材の開発方針

開発にあたっては、2 章の学習の流れを実現するため以下のことを考慮した。

- (1) 中学生でも製作できる教材モデルにする。
- (2) 傾きを検知できるセンサーを搭載する。
- (3) 中学生でも作成できる制御プログラミング言語を利用する。

上記開発方針に従い、2 足歩行ロボット本体、制御基板、計測・制御のプログラムの開発を試みた。

4. ロボットの本体の開発

2 足歩行を機械的に実現させるためには、モータを 1 個だけ使用して製作することも可能である。モータ 1 個の歩行ロボットは、歩行動作あるいは歩行に伴う限られた動作のみを実現する設計がされており、自由度が少なく人間の動作に近い様々な動きを実現することは不可能である。筆者らは、2 章で述べたように、人体の歩行動作との比較を行える教材が必要であると考えた。そのため、人間の動作に近い動きを実現できるモデルを作る必要がある。

4.1 運動軸 (自由度) について

人間の動作に近い動きを実現させるためには、人間の関節の動きを再現できるモデルを作らなくてはならない。人間の体には、約 200 個の骨がある⁹⁾。その全てを、連結して骨格を形成している。その連結方法の中で、可動する連結が関節と言われている。関節の種類を運動軸 (自由度) の数により分類¹⁰⁾したものを以下に示す。

- 1 軸性関節には、肘関節や指関節等がある。
- 2 軸性関節には、橈骨手根関節 (手首の関節) や母子の手根中手関節 (親指の付け根の関節) 等がある。
- 3 軸性関節には、肩関節や股関節等がある。

1 軸性関節の動作を再現するためには、モータ 1 個が必要である。同様に、2 軸性関節、

3 軸性関節のためにはそれぞれの軸数分のモータが必要となる。人間の全ての関節をロボットで再現するためには、200 個以上のモータが必要となり、中学校の授業用教材として実現することは不可能である。

そこで筆者らは、人間の歩行動作を表現するための最低限の関節数をモデル人形¹¹⁾を参考に考察した。モデル人形は、中学校や高等学校の保健体育の授業で人間の姿勢を示したり、美術の授業でのデッサンモデルの参考に利用されたりするものである。図 1 に参考にしたモデル人形を示す。モデル人形には、14 個の関節がある。図 1 の A~H の関節の運動軸(自由度)を表 1 に示す。表 1 より、運動軸(自由度)の合計はモデル全体では 30 軸となる。人形モデルと同じ動作を実現するためには、モータが 30 個必要となる。これもまた、中学校の授業用教材として実現することは不可能である。

筆者らは、歩行動作を実現するための手足の最低限の運動軸を探り、以下の運動軸を削除した。

- 表 1 の G と H と C を外した。(10 軸減)
- 表 1 の A と D を 2 軸とした(4 軸減)

これにより、16 運動軸(自由度)で 2 足歩行ロボットを製作することとした。

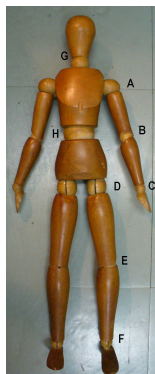


図 1 モデル人形

4.2 16 自由度 2 足歩行ロボット(フレーム)

中学生でもロボットのフレーム部の製作できるように、工作用の加工材料として市販されている金具やアルミ板(パンチングメタル)などを利用した。モータには回転角度が制御で

表 1 関節と運動軸(自由度)

記号	関節の名前	運動軸	個数
A	肩	3 軸	2
B	肘	1 軸	2
C	手首	2 軸	2
D	股関節	3 軸	2
E	膝	1 軸	2
F	足首	2 軸	2
G	首	3 軸	1
H	腰	3 軸	1
(軸数×個数)の合計			30 軸

きるサーボモータを利用することにした。サーボモータは GWS micro 2BBMG¹²⁾を 16 個使用した。サーボモータの仕様を以下に示す。

- トルク: 6.0V 時:6.4kg-cm, 速度 0.14sec/60 °
- トルク 4.8V 時:5.4kg-cm, 速度 0.17sec/60 °
- 重量: 28 g
- 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、各サーボモータにアルミ板を取り付け、各モータ同士は工作用自在金具やプラスチック棒等で結合した。サーボモータに取り付けた金具を図 2 に、完成したロボットのフレームを図 3 に示す。

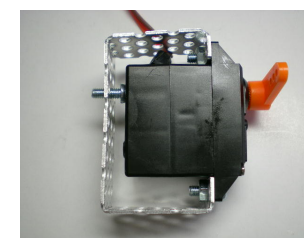


図 2 サーボモータと取り付けけた金具

4.3 サーボモータに過負荷をかけない設計(倒れる設計)

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モータに大電流が流れモータ

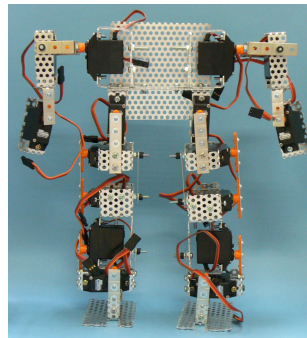


図 3 完成したフレーム 高さ 250mm 幅 160

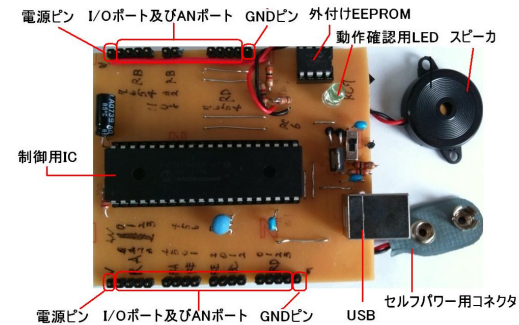


図 4 製作した基板

を焼失することになる．モータの焼失を防ぐために，ロボットは定格のトルクに近い負荷がかかる時にあえて転倒しサーボモータを守る設計¹³⁾¹⁴⁾にした．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 4.4Kg-cm となり，左右では 13°でトルクが 4.4Kg-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 6.0 cm にした．これにより，構造的にも倒れやすい 2 足歩行ロボットとなったが，モータの焼失を防ぐことができるモデルとなった．

5. 開発した制御基板

製作した基板を図 4 に示す．その回路図を図 5 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，制御のためのプログラムは 512k バイトまで保存可能である．電源は USB 端子と外部電源の両方から取れるようにし，動作時にはどちらかを選択できるようにした．また，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．計測は，PC に接続した状態でリアルタイムで行うことも，自律動作の中で計測することも可能になるようにした．2 足歩行ロボット制御のために，図 5 の I/O ポートを利用した．3 軸加速度センサもアナログ入力端子に接続し，3 個のアナログ計測値を同時に計測できるようにした．表 2 に回路の特性を示す．図 6 に基板と接続した様子を示す．

表 2 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	0.1mA ~ 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
9	3 軸加速度センサ	AS-3ACCY

6. 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¹⁵⁾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．

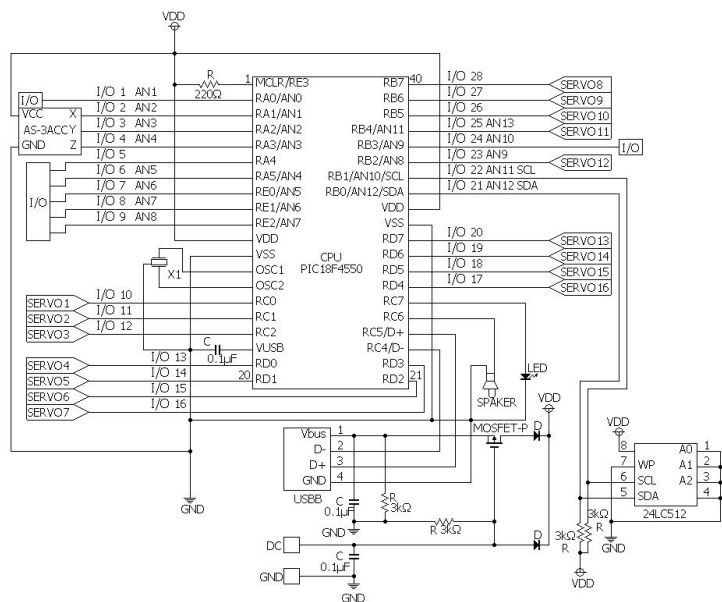


図 5 制御基板の回路図

6.1 計測の方法

開発した制御基板を使用した計測には、制御基板と PC を接続した状態でリアルタイムにデータを PC 画面に表示する方法とロボットが自律動作する時に計測する方法の 2 種類がある。ここでは、前者の計測方法について述べる。

図 7 は、計測・制御を行うためのプログラムである。2 足歩行ロボットの制御に限定したため、計測は 3 個 (3 チャンネル) のみとした。PC と基板を接続した状態で、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れる。図 8 上の 1 から 6 までのボタンオブジェクトを実行画面上で押す (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。

6.1.1 「1 回」ボタン

1 回ボタン (図 8 の 1) を押すことで、各チャンネルのセンサーの値をを 1 回だけ取得しその値を連続ボタン (図 8 の 2) の下の表示欄に表示する。計測値は 0-255 の値で示す。操作時点での値のみを計測したい場合に使用する。

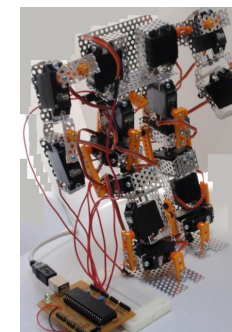


図 6 基板と接続した 2 足歩行ロボット

```

計測！実行 (1)
com ボート！”com3”書く. (2)
    
```

図 7 計測・制御プログラム

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	1 回	各チャンネルのセンサーで 1 回だけ計測する。
2	連続	各チャンネルのセンサーで終了ボタンが押されるまで、計測し続ける。結果は、リストとグラフの両方に表示される。
3	転送	制御プログラムを転送する。
4	開始	3 チャンネル 同時に連続計測を行う。終了ボタンが押されると計測終了。
5	同時	3 チャンネル 同時連続計測を行い、結果を一つのグラフに表示する。
6	終了	計測を終了する。

6.1.2 「連続」ボタン

連続ボタン (図 8 の 2) を押すことで、各チャンネルのセンサー計測した値をで終了ボタンが押されるまで、PC に送り続ける。結果は、リストとグラフの両方に表示される。チャンネルごとの連続値やセンサーの特性を調べる時に使用する。

6.1.3 「転送」ボタン

転送ボタン (図 8 の 3) を押すことにより、ドリトルの編集画面で作成した制御プログラムを制御基板に転送する。制御プログラムは、バイトコードに変換され制御基板の外部 EEPROM に保存される。ロボットの自律制御を行う時に使用する。制御プログラムについ

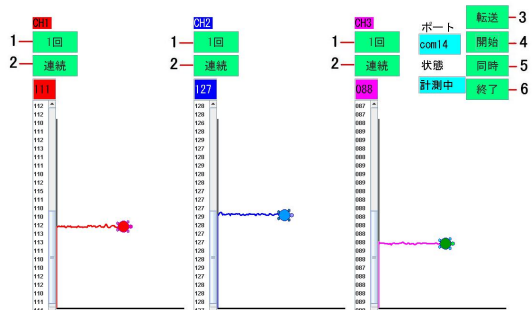


図 8 実行画面（「開始」ボタンを押した後）

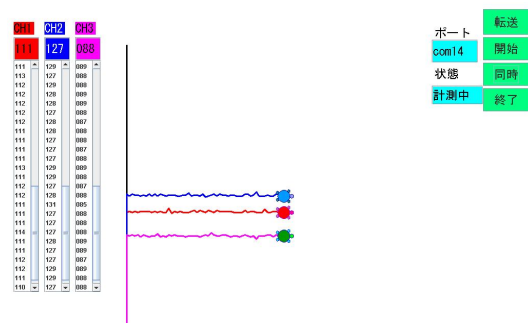


図 9 実行画面（「同時」ボタンを押した後）

では、6.2 で述べる。

6.1.4 「開始」ボタン

開始ボタン（図 8 の 4）を押すことにより、3 チャンネル 同時に連続計測を行うことができる。計測した値は、各チャンネルごとリストに表示されると同時に各グラフに表示される。グラフは、タートルの動きにより示され、右端に到達すると再び左端から開始する。終了ボタンが押されまで計測結果の表示は繰り返される。

6.1.5 「同時」ボタン

同時ボタン（図 8 の 5）を押すことにより、3 チャンネル 同時連続計測を行い、結果を一つのグラフに表示する。図 9 に「同時」ボタンを押された時の画面を示す。

6.2 制御プログラムの例

図 10 に 2 足歩行ロボットの制御プログラム例を示す。右端の番号は、説明のために付けた物であり、実際のプログラムでは記入しない。以下に図 10 の番号に従って説明する。

- 計測・制御のプログラムを実行し、COM ポートの 14 と接続する。(1)(2)
- 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。(3)
- プログラムの開始を宣言する。(4)
- 繰り返しの始まりを宣言する。(5)
- 歩行のためのサブルーチンを実行する。(6)(7)
- 加速度センサーにより計測した値により判別する。(8)(9)(10)
- 繰り返しの終了を宣言する。(11)
- プログラムの終了を宣言する。(12)
- サーボモータの動作を決めるサブルーチン。(13)-(39)

制御プログラムを実行している時にも、加速度センサーを使った計測ができる。計測値は、「より X 軸値の値が大きければ」というように記述できるようにした。これにより、計測した値により判別を行い、動作を変更することができる。各サーボモータは、「右肩 1 にセット」「左肩 1 にセット」というように名前で位置を決めた。図 10 の (16) で示すように「引数」と「にセット」をひとつの命令とした。引数は 0-255 で割り振り、サーボモータの角度 0 度～180 度に対応している。

7. 学習指導プラン

開発した教材を利用した、授業内容を表 4 に示す。表 4 の項目「学習モデル」は、2 章で述べた「学習モデル」の番号に対応する。この学習指導は、まだ実践を行っていないため、学習内容および授業時数共に検証が必要である。人体の歩行動作を加速度センサーを利用して計測し比較することにより、ロボットの傾いている方向や転倒しそうな状態を計測値から予測することができる。これをもとに、学習者がバランス制御のアルゴリズムを考える内容を授業に取り入れた。図 11 にヘルメットに 3 軸加速度センサー^{*1}を付けて歩行時の加速度

*1 浅草ギ研 AS-3ACC

```

計測！実行． (1)
com ボート！"com14"書く． (2)
ろぼ：転送命令="！ (3)
はじめるば (4)
ずっとくりかえし (5)
10 さぶ実行 (6)
20 さぶ実行 (7)
100 より X 軸値が大きいなら くりかえし脱出 (8)
100 より Y 軸値が大きいなら くりかえし脱出 (9)
100 より Z 軸値が大きいなら くりかえし脱出 (10)
ここまでくりかえし (11)
おわりろぼ (12)
//////////右足を一步出す////////// (13)
10 さぶ (14)
//////////右半身////////// (15)
160 右肩1にセット 188 右肩2にセット (16)
118 右肘にセット 120 右股1にセット (17)
47 右股2にセット 150 右膝にセット (18)
150 右足首1にセット 188 右足首2にセット (19)
//////////左半身////////// (20)
70 左肩1にセット 90 左肩2にセット (21)
118 左肘にセット 65 左股1にセット (22)
47 左股2にセット 77 左膝にセット (23)
77 左足首1にセット 47 左足首2にセット (24)
もどれ (25)
//////////左足を一步出す////////// (26)
20 さぶ (27)
//////////右半身////////// (28)
70 右肩1にセット 90 右肩2にセット (29)
118 右肘にセット 65 右股1にセット (30)
47 右股2にセット 77 右膝にセット (31)
77 右足首1にセット 47 右足首2にセット (32)
//////////左半身////////// (33)
160 左肩1にセット 188 左肩2にセット (34)
118 左肘にセット 120 左股1にセット (35)
47 左股2にセット 150 左膝にセット (36)
150 左足首1にセット 188 左足首2にセット (37)
もどれ (38)
. (39)
    
```

図 10 制御プログラム

を計測している時の様子と計測した時のグラフを示す。

表 4 授業の内容

内容	時限	学習モデル
1 2足歩行ロボットの製作	6	1
2 サーボモータ制御プログラムの作成	2	2
3 歩行プログラムの作成	2	3
4 人体歩行動作を加速度センサーで計測	1	4,5
5 加速度センサーを利用した歩行プログラムの作成	2	6

8. 今までの制御教材と16自由度2足歩行ロボット教材の違い

筆者らが開発した16自由度2足歩行ロボットと今までの実践利用されてきた2モータな

いし3モータ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用いた学習により期待できる教育効果について考察する。

8.1 制御するモータの数

移動を目的とする左右のモータ制御(2モータ制御)に加え仕事をするためのモータ制御が加わるだけでも、ロボットの製作における工夫できるバリエーションが広がった。さらに、そのロボットをプログラムで制御することで、電気や機械やコンピュータをトータルに学べる教材となった。3モータ制御ロボットでは、自律制御を行うためにコンピュータを用いたが、もし自律制御の必要がなかったら、リモートコントローラでも制御が可能である。それに対して、今回開発した2足歩行ロボットは、サーボモータを16個使用して一体のロボットが完成する。16個ものモータを使用することは、一人の人間がリモートコントローラを使用して制御するには難しい。従って制御にはコンピュータの介在が必要となる¹⁶⁾。制御するモータの数が多ければ多いほど自由度が増し、その制御にはコンピュータが介在する必然性が生まれる。その反面、自由度が大きくなると制御プログラムの制作そのものが、かなり難しくなるところが問題であるが、今後の授業実践によりモータの数と学習の難度との関係を探っていたい。

8.2 バランス制御

2足歩行ロボットは、移動ロボットと異なり、その移動や動作すべてにバランス制御が重要¹⁷⁾¹⁸⁾になる。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なくてはならない。これは作業動作やパフォーマンス動作等のすべての動作においても同様である。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



図 11 歩行時の計測の様子とグラフ

考える必要がなかったバランスの制御が加わることは移動ロボットと2足歩行ロボットの制御の違いである。

8.3 制御の目的

2モータや3モータの制御ロボットでは、制御する目的がはっきりしている。例えば、移動して迷路を抜けることであったり、簡単な作業を行うことであったりと、比較的単純な目的動作により評価ができる。しかし、2足歩行ロボットの場合、歩行することだけが目的ではなく、必要に応じて様々な動きができるため、目的が特化できない¹³⁾。例えば移動が目的ならば、タイヤやクローラを使用した移動ロボットで十分その目的を達成することができ、モータの数も2個で足りる。2足歩行ロボットの制御は、決まった一つの動作に特化しないで、何をさせるのか目的を明確化するところから始めなくてはならない。また、2足歩行ロボットの場合、移動する、ものを運ぶ、踊る、立ち上がる等のパフォーマンス等々、様々な動きをすることができるが、正確に素早くひとつの動作を行うことは難しい。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が、逆に可塑性が高く学習者の創造性を刺激する教材になると期待できる。

9. まとめ

以上より、2足歩行ロボット教材を用いることで以下の教育効果が期待できると考える。

- コンピュータの介在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。
- 2モータないし3モータ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。
- 人体の感覚と比較しながらバランス制御のアルゴリズムを考える学習ができる。
- 制御目的が特化されないことから、ロボット製作後、様々な動作を考えることが可能であり、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。

これらの教育効果は、1章で述べた「正確に制御できて当たり前である」という学習者の先行概念を打ち砕き、制御技術の醍醐味を味わえることにもつながるであろう。今後、開発した2足歩行ロボットによる評価試験を行っていく予定である。

本研究は、科学研究費補助金(基盤研究(C)、課題番号:21500868)とマツダ財産研究助成金(2009-2010年度)による。

参 考 文 献

- 1) 文部科学省:中学校学習指導要領解説 技術・家庭編,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) Shuji Kurebayashi, 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) Martin, F.:Real Robots Don't Drive Straight., In Proceedings of the AAAI Spring Symposium on Robots and Robot Venues:, Resources for AI Education, Stanford, CA, March 2007.(<http://www.cs.hmc.edu/roboteducation/papers2007/c33fredm-uml.pdf>)(2007)
- 5) 紅林秀治, 青木浩幸, 室伏春樹, 江口啓:自律型3モータ制御ロボット教材を用いた授業による学習効果, 日本産業技術教育学会誌第51巻第3号, pp.195-202(2009)
- 6) 加藤一郎:ロボットと人間,NHK市民大学10月-12月, 日本放送出版協会, pp.55-65(1987)
- 7) 東英穂, 吉村 恵, 西崎知之, 福田淳, 片山芳文, 佐久間康夫:病態で学ぶ生理学, 丸善, pp.82-86(2004)
- 8) 坂井建雄, 岡田隆夫:系統看護学講座 専門基礎1 人体の構造と機能 [1] 解剖生理学, 医学書院, p.416(2007)
- 9) 坂井建雄, 岡田隆夫:系統看護学講座 専門基礎1 人体の構造と機能 [1] 解剖生理学, 医学書院, p.287(2007)
- 10) 金子丑之助, 金子勝治:日本人体解剖学 上巻, 南山堂, p.169(2000)
- 11) モデル人形画材ショップカワチ, <http://www.kawachigazai.co.jp/item/J001.htm>, (2010年6月11日確認)
- 12) RC サーボの紹介:浅草ギ研, <http://www.robotsfx.com/robot/RCServo.html>(2010年6月11日確認)
- 13) 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, pp.141-144(2001)
- 14) 梶田秀司:ヒューマノイドロボット. オーム社 (,2007)
- 15) 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)
- 16) 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)
- 17) 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)
- 18) ジョージ A. ペーギー, 松晃一, 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)