

## 自律型二足歩行ロボットの製作

旭川高専 ○後藤孝行 横井直倫, 東京農工大 新鞍晋也, (株)日産テクノ 星加 薫

### 要 旨

「モノづくり教育」や「創生型教育」においては、部品の設計・製作および組み立て技術に加え、制御や情報処理技術も重要である。そこで、機械、電子、制御、情報工学の技術が融合したものとして RC サーボモータを H8 マイクロコンピュータで制御し、二足で直立および連続した二足歩行が可能である自律型二足歩行ロボットを卒業研究の学生が製作したことについて述べる。

### 1. 緒 言

各種産業用、医療・福祉用、災害用のロボットの研究・開発が盛んに行われており、近年では、エンターテインメント用に人や動物の形をしたロボットが開発され商品化されるまでに至っている<sup>1),2)</sup>。これらのロボットの製作においては、発想(アイデア)・設計・製作・組み立て・動作検査を機械、電子、制御、情報工学の技術を総合して行われることになる。このことはまさに「モノづくり教育」や「創生型教育」の目標としていることといえる。

一方、本年度から他高専に先駆けて、機械システム工学科に改称し(旧学科名:機械工学科)、これに伴い新しいカリキュラムを設定した。新学科は、産業の基幹技術である機械工学を基盤とし、情報技術や電子・制御技術と融合して“モノづくりのエキスパート”の育成を目指している。そのため、センシング工学、メカトロニクス、オプトエレクトロニクスなどの科目を新規に準備している。

このような背景から本稿では、新学科の新規科目に利用できる教材の製作および「モノづくり教育」の実践例の一つとして、自律型二足歩行ロボットの製作を卒業研究の学生に行わせ、二足直立および連続した二足歩行が行えたことについて述べる。

## 2. ロボットの仕様

### 2.1 本体の仕様、設計および製作

製作する二足歩行ロボットは、人間の腰から下に相当するものとした。表1は各関節における自由度と運動方向を示している。ロボットの総自由度数は10自由度(片足=5自由度)とし、各関節には自由度数と同数の駆動用モータを配置する。

表1 各関節における自由度と運動方向

関節名	自由度	運動方向
股関節	2	前後, 左右
膝	1	前後
足首	2	前後, 左右

図1は3D-CADにより設計した3Dモデルである。

図2は製作した二足歩行ロボットである。両足は駆動用モータとブラケットにより組み立てられている。脚の全長は260mm、腰の全幅は190mm、総重量は1070gである。ブラケットは、軽量化のためにアルミニウムを使用した。

### 2.2 駆動用サーボモータ

表2は各関節に使用したデジタル RC サーボモータ(Hitec HS-5945MG)の仕様である<sup>3)</sup>。このサーボモータは、軽量かつ高トルクのサーボモータである。また、パルス周期が20msであり、出力パルス時間が0.9~2.1msのとき回転角度が-60~60degとなっている。

表2 HS-5945MGの仕様

回転速度	トルク	回転角	動作電圧	本体重量
0.13sec/60deg	13.0kg·cm	±60deg	4.8V~6V	56g

### 2.3 制御用 H8 マイクロコンピュータ<sup>4),5)</sup>

ロボットの関節位置や角度の制御を行うために小型かつ低価格な H8/300H tiny シリーズの H8/3664F(株式会社ルネサステクノロジ)を搭載した AKI-3664 tiny マイコンキット(秋月電子通商)を使用した。表3は H8/3664F の仕様である。このマイコンは、フラッシュ ROM 書き込み制御回路を装備しているため、ライター基板が不要である。

表3 H8/3664F仕様

CPU	H8/300H (16MHz)
ROM	フラッシュ ROM (32KB)
I/O	入力/出力 34 本 (うち、入力専用 4 本)
その他	A/D コンバータ (4CH), タイマ(A, V, W) SCI(シリアル通信用, 1CH)

### 2.4 制御用プログラムの構築

制御用プログラムは、情報処理(本科2, 3年)で学んでいるプログラミング言語であることおよびプログラムの閲覧や修正が容易であることから、C言語により作成する。さらにC言語で作成したプログラムをマシン語にコンパイルするために GCC Developer Lite(BEST

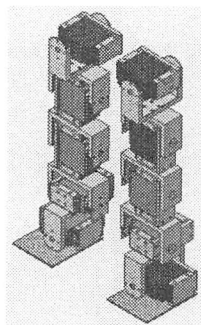


図1 3Dモデル

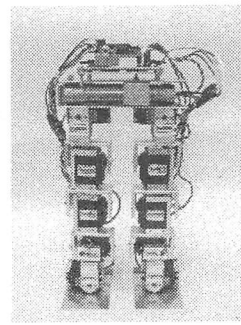


図2 製作した二足歩行ロボット

テクノロジー)を用いた。このソフトウェアでは、レジスタのアドレスがあらかじめ設定されていることから、プログラムの作成が容易に行える。

### 3. 制御システム

#### 3.1 制御方式と制御回路

サーボモータはPWM(Pulse Width Modulation)方式で制御する。なお、H8/3664F マイコンは、PWMモード出力ポートを3本しか有していないことから、全出力ポートよりPWM出力するためにタイマの割り込みを用いた。

図3はサーボモータと製作した制御回路である。マイコンとサーボモータの電源として、タミヤ製7.2Vニカド電池(1700mAh)を使用する。サーボモータは6Vのとき最大トルクを発生できることから、三端子レギュレータにより電圧を減ずる制御回路を製作した。なお、各サーボモータでは約200mA消費することから、レギュレータによる発熱を抑えるため、レギュレータ1つに対しサーボモータを2個とした。

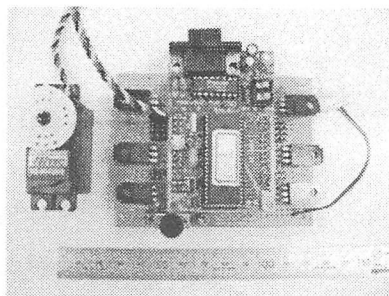


図3 サーボモータおよびPWM制御回路

#### 3.2 歩行動作

歩行動作の基本は、(1)重心の移動、(2)足を上げる、(3)足を前に出す、の3行程であり、歩行時には、加速度をつけさせないことが重要である。

図4は歩行動作の移動量の時間的変化を示したものである。この動作は、重心移動量、足の上昇量および前方移動量の最大値(Ymax, Zmax, Xmax)を設定することで決定される。そして、ここで求めた移動量に基づいて、各関節における角度変化量を決定する。

図5は歩行動作のための移動量と角度変化量の関係である。(a)は左右への重心移動量(Y)と角度変化量(θ)の関係を示し、次式で表せる。

$$\theta_1 = \sin^{-1}\left(\frac{Y}{2 \cdot L}\right) \quad (1)$$

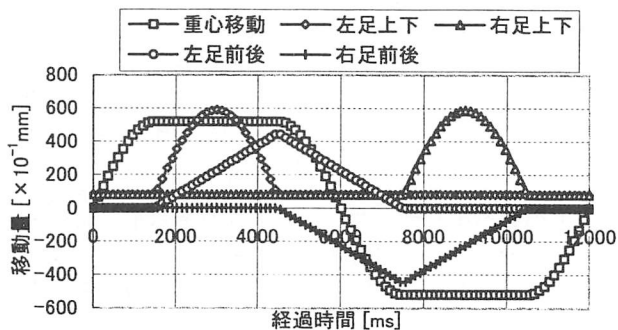
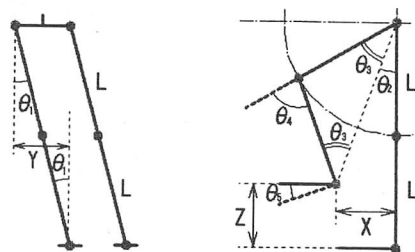


図4 歩行動作における各移動量の時間的変化



(a) 重心移動 (b) 前後移動  
図5 移動量と角度変化の関係(L=関節長さ)

(b)は足の上昇量(Z)、前方移動量(X)と角度変化量(θ<sub>2</sub>, θ<sub>3</sub>, θ<sub>4</sub>, θ<sub>5</sub>)の関係を示し、次式で表せる。

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{X}{2 \cdot L - Z}\right) \quad (2)$$

$$\theta_3 = \cos^{-1}\left[\frac{\sqrt{X^2 + (2 \cdot L - Z)^2}}{2 \cdot L}\right] \quad (3)$$

$$\theta_4 = 2\theta_3 \quad (4)$$

$$\theta_5 = \theta_3 - \theta_2 \quad (5)$$

したがって、θ<sub>1</sub>~θ<sub>5</sub>により歩行動作が可能となる。

#### 4. 動作検証実験結果および考察

製作した二足歩行ロボットの歩行動作の検証実験を行った。事前に歩行パターンを作成し、その角度移動量に基づいて歩行動作を行わせた結果、二足直立および連続した二足歩行が可能であることが確認できた。

表4は歩行動作のための設定値と実測値である。Zmax および Zzero (二足直立時の初期状態)の実測値は設定値とよく一致していた。しかし、Ymax および Xmax においては差が生じた。これは歩行時の振動によるものと考えられる。

表4 移動量の設定値と実測値

測定項目	設定値 (両足)	実測値	
		左足	右足
L	65mm	65mm	
Y max	50mm	55mm	
Z max	51mm	50mm	50mm
X max	45mm	35mm	40mm
Zzero	8mm	8mm	

#### 5. 結言

本稿では、自律型二足歩行ロボットの本体および制御システムを製作し、動作検証実験の結果、二足直立および連続した二足歩行が行えることが確認できた。

今後の課題は、ヨー軸を取り付けることで左折や右折が行えるようにすることおよび外部環境に対応するための姿勢制御センサや視覚センサを取り付け、より自律的に二足歩行できるロボットを製作することである。

#### 参考文献

- 1) ASIMO SPECIAL SITE : <http://www.honda.co.jp/ASIMO/>
- 2) AIBO Official Homepage : <http://www.jp.aibo.com>
- 3) HITEC 社 : <http://www.hitec.com>
- 4) 白土 義男:H8 ビギナーズガイド, 東京電機大学出版局 (2000).
- 5) 堀 桂太郎:H8 マイコン入門, 東京電機大学出版局 (2003).
- 6) 本多 庸悟:ロボット工学の基礎, 昭晃堂 (2003).