

歩行ロボットの製作

職業能力開発総合大学校東京校 小野 泰二

Development of Walking Robots

Yasuji ONO

要約 近年、多くの企業・研究機関が生産現場や生活環境で利用するロボット、あるいはロボットとの共存の方法を研究し始めている。また、家庭用掃除ロボットや留守番ロボットなど、一般家庭にロボットが普及し始めており、関心も非常に高まっている。

なかでも歩行ロボットへの関心は特に高いようである。しかし、機体・電子回路からなるハードウェアの製作には非常に費用がかかり、プログラムにも高度な制御理論を必要とする。このため実習などの限られた時間と予算の中では歩行ロボットを製作してみることは困難と思われがちである。

本稿では、市販のマイコンとラジコン用サーボモータを用いた、比較的安価で、高度な制御理論を必要としない多自由度歩行ロボットの製作例と特徴を示す。これらは、費用的にも技術的にも歩行ロボット学習の第一歩として利用するのに適しているのではないと思われる。

I はじめに

HONDAのASIMO、SONYのAIBO、QRIOなど近年多関節歩行ロボットが注目を集め、多くの企業が開発に乗り出している。企業だけではなく、個人レベルでの自作も増えてきた。競技会なども次々と企画されメディアに取り上げられることも多くなり、一般の関心も高くなっている。

このような歩行ロボットは、機体・電子回路からなるハードウェアの設計・製作に非常に費用や時間がかかり、プログラムにも高度な制御理論を必要とする。このため実習などの限られた時間と予算の中では製作することは困難と思われがちである。しかし、歩行ロボットの最大の魅力ある「歩行する」という機能だけに絞って、精度を問わず動作環境を限定すれば、初学者でも学べる実習教材として利用することは可能である。

本稿では、限られた時間と予算で実習を行う際に利用可能な歩行ロボットの製作例と特徴を示す。

II 製作の方針

ここで開発するロボットは、履修生が多自由度の機械をマイクロコンピュータで動作させ、動物の歩行動作に近い動きを実現できるような教材であることを目的とする。十分な台数を確保するために、全ての部品は市販品を優先し、機能を限定することによって、安価で学習しやすいものとする。

アクチュエータとしては、比較的安価で利用しやすく入手性の良い、ラジコン用サーボモータを利用する。これらは負荷などにより保持位置が多少ずれることがあるため、精度は問わない。また、目標位置までの到達時間を変更することができないため、補間の仕方によって速度を変えることにし、これも精度を問わないことにする。

動作環境は平坦な場所に限定し、センサの類は搭載しない。歩行動作はいくつかのポーズデータをあらかじめ登録しておき、それらを補間しながら連続的に再生して実現することとする。ポーズデータは、パ

ソコンから指定して作り出すようにすることが望ましい。

III 機体部

1 アクチュエータ

歩行ロボットの関節には駆動用にアクチュエータをつける。DCモータなどを使い、減速機、制御基板などを自作したのでは大変な労力が必要なので、これらが全てコンパクトにまとまっている市販のラジコン用サーボモータを利用することにする。モータ選定にはトルクと重量が重要であるが、ここではさらに値段と、モータをつないで脚を構成するためのサーボブラケットが市販されていることを考慮する。

このような観点で選ぶと、GWSの標準型ラジコン用サーボモータS03T/2BBと、同じGWSの小型ラジコン用サーボモータMICRO-MG(2BB)が候補として考えられる。これらの主なスペックを表1および表2に示す。S03T/2BBはトルク的には十分であるが、多少速度が遅めである。MICRO-MG(2BB)は2足歩行ロボットにも使われるほどトルクがあり、特に機体が小型に製作できるというメリットがある。

後に説明するサーボブラケットを自作するのならば、フタバのS3003やサンワのSX-101Zなども候補として考えられる。

表1 S03T/2BBの主な規格

トルク	8.0kg-cm (6.0V)
速度	0.27sec/60°
重量	46g
寸法	39.5×20.0×39.6mm

表2 MICRO-MG(2BB)の主な規格

トルク	6.4kg-cm (6.0V)
速度	0.14sec/60°
重量	28g
寸法	28.0×14.0×29.8mm

2 サーボブラケット

ラジコン用サーボモータを組み合わせる歩行ロボットの脚を構成する際に、図1のようなサーボブラケットを組み合わせることにする。サーボブラケットは、モータ本体に取り付けるサーボ側ブラケット、稼動部

分になるアーム、ホーンの強度を補強するためのホーン押さえという三つの部品、もしくはサーボ側ブラケット、アームの二つの部品からなる。自作も簡単であるが、モータの数だけ必要になるので、自由度の多いロボットを作る場合には労力を要する。ここでは(有)浅草ギ研のAGBL-S03やAGBL-MICROなどの市販品を利用することにした。

サーボブラケットを用いることによって、つなぎ方の変更が可能になり、製作の自由度があがる。また、つなぎ方を履修生に任せることで、様々な機体ができ、機体とプログラムの関係などを学ぶことができるであろう。サーボブラケットを用いて構成する脚の例として、1脚3自由度の爬虫類型の構成を図2に、哺乳類型の構成を図3に示す。

胴体部分についてはアルミパンチング板のような穴のあいたアルミ板を使うことも考えられるが、さほど強度が必要無いので加工せずに利用できる株式会社タミヤのユニバーサルプレートセットを使うと便利である。

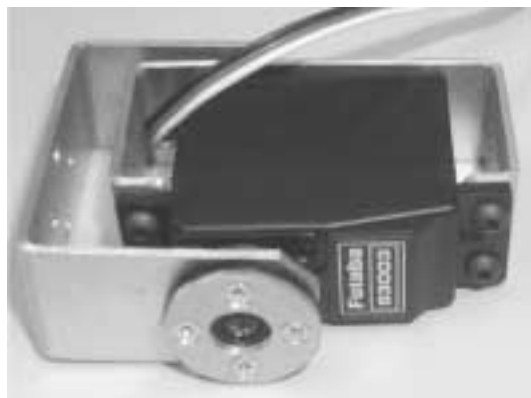


図1 サーボブラケット

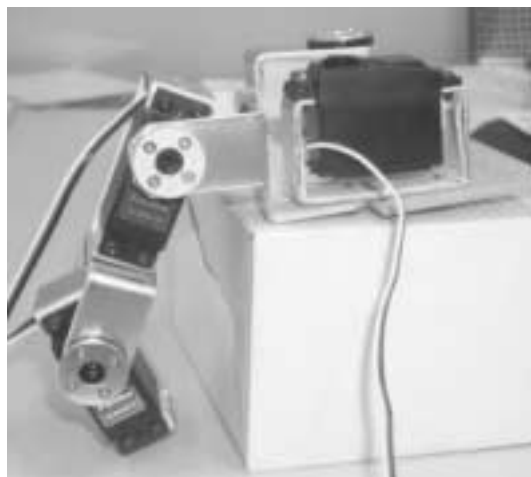


図2 爬虫類型の脚の構成



図3 哺乳類型の脚の構成

IV 電子回路部

1 ラジコン用サーボモータの位置制御

製品により多少の違いはあるが、ラジコン用サーボモータは周期が20mS程度でON時間が1mSから2mS程度のパルス（PWM信号）を与えてやると、ON時間に対応した角度に動かすことができる（図4）。このとき周期の精度は重要ではなく、PWM信号のON時間が角度を決めている。このことを用いて、ロボットの関節を、指定の角度に指定の時間だけ保持しておくことが可能である。このようにポーズを作っておき、それらを補間しつつ一定時間で切り替えることによってモーションが実現できる。

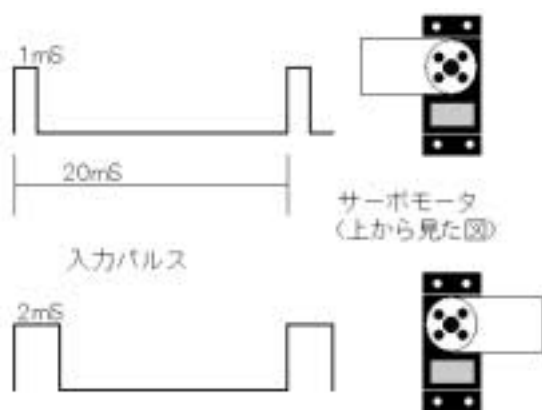


図4 モータの角度とパルスの関係

2 マイコンとPWM信号

本稿で製作する歩行ロボットは、足先軌道の計算をおこなわずセンサ情報の取り込みもしないので、モータの数だけPWM信号が出力できデータを補間するだけの能力があれば十分である。補間の方法としては線形補間を用いて、マイコンへの負荷を軽減することにする。そのため性能の良い高価なマイコンは必要としない。重要なのはモータの数だけPWM信号を作り出せることである。

マイコンによっては、タイマ機能を用いてPWM信号を作り出せるものもあるが、信号の数は限られている。しかし上述のように、ラジコン用サーボモータは、周期が20mS程度、ON時間が1mSから2mS程度のPWM信号で制御できる。この信号は、ほとんどの時間がOFFである。例えば、周期20mS、ON時間が2mSであれば、18mSはOFFであり、この間に出力先を切り替え他のモータへON信号を送ることができる（図5）。そこで、ひとつのPWM信号を2.5mSごとに割り振れば、8個のラジコン用サーボモータを動かすことが可能である。この割り振りが多い場合には、ソフトウェアを用いて実行するとタイミングがずれてきれいなPWM信号ができず、モータが発振することがある。このような場合にはロジックICなどを使い、ハード的に割り振りをする必要がある。

このような方法でPWM信号を出力すれば、マイコンが作り出す信号自体は少なく済み、安価なもので間に合うことになる。

開発言語はアセンブラよりもC言語での開発が容易であろう。コンパイラの価格や入手性を考慮して、ルネサステクノロジのCPUであるHD64F3664FPを搭載した株式会社秋月電子通商のAKI-H8/3664F(QFP)を用いることにした。このCPUボードはジャンパによっ

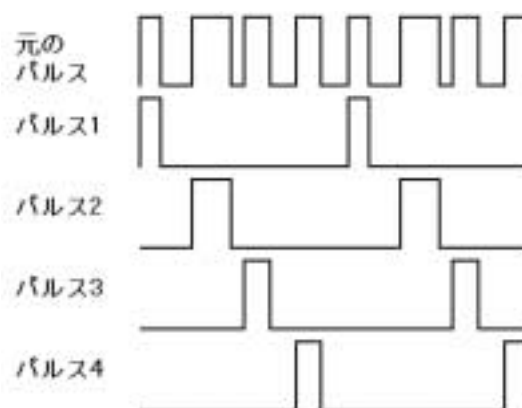


図5 PWMを割り振る

て書き込みと実行が切り替えられ、3本のPWM出力機能などがある。このボードに必要な回路を付け加えることによって、歩行ロボット用のマイコンボードを作ることができる。AKI-H 8 /3664F(QFP)の主な仕様を表3に示す。

Cコンパイラには、Windows版GCC統合環境簡易版であるGCC Developer Liteが、株式会社ベストテクノロジーから無償で提供されている。GCC Developer Liteは、makeがおこなえないので、Cygwin上でGCCを用いることも考えられる。

このほかのマイコンボードとしては、同じルネサステクノロジのM30262F8GPを搭載したオクス電子株式会社のOAKS16-MINIなども利用できるのではないかと思います。

V パソコンプログラム部

すでに述べたように、ロボットの動きはいくつかのポーズを用意しておき、その間を線形補間して連続的に再生して作り出す。ポーズを作る際にはパソコンからモータの角度を変更できると実際の機体を用いて確認でき、より複雑なモーション作成が容易にできるようになる。AKI-H8/3664F(QFP)はMAX232が実装されており、プログラムの書き込みにシリアルポートを使うため、特別に回路を付加しなくてもマイコン側のプログラムさえ作れば、Windowsのハイパーターミナルなどを用いてデータのやり取りが可能である。

さらに使い勝手を改善するためにはパソコン側のプログラムを自作し、スクロールバーを用いてモータの角度を決められるようにすると良い。図6に製作例を示す。このプログラムでは、スクロールバーを動かすとそれに従ってモータも動くようになっている。このようにして作ったポーズを登録しておき、再生して動作確認が可能になっている。Borland C++ Compiler 5.5を用いて開発した。

表3 AKI-H 8 /3664F (QFP) の主な仕様

CPU	HD64F3664FP
フラッシュROM	32KB
RAM	2KB
メインクロック	16MHz
サブクロック	32.768KHz
MAX232実装済み	

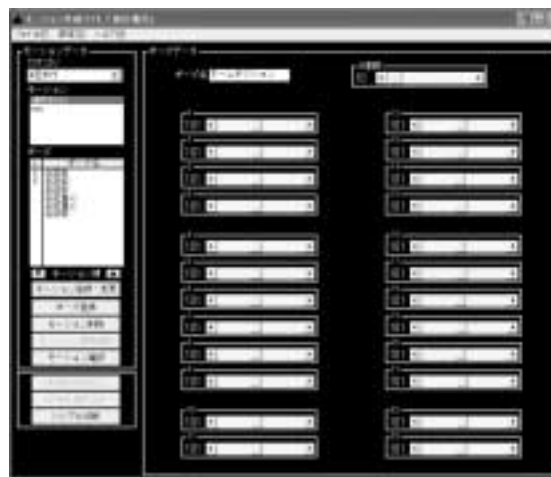


図6 モーション作成ソフトの例

VI 製作例

以上のような方針で製作した歩行ロボットの例を示す。すでに述べたように、費用の大半はモータおよびブラケットに費やされることになるので、モータの数が少ないほど安価に製作できる。ここでは4自由度と8自由度の歩行ロボットを紹介する。

1 4自由度ロボット

動物のような歩行動作をするロボットで最も簡単なのは4自由度のほふく前進するロボットであろう。モータ数が少ないと安価に製作でき、PWM信号もソフト的に割振ることができて好都合である。

機体は(有)浅草ギ研のサーボブラケットAGBL-S03と、株式会社タミヤのユニバーサルプレートで構成した。モータはブラケットが対応しているGWSの標準型ラジコン用サーボモータS03T/2BBを4個用いている。マイコンボードはAKI-H8/3664F(QFP)を用い、PWM信号はソフトで割り振った。ロボットの画像を図7に、主な部品を表4に示す。

モーションとしては、交互に足を前に出すクローリング式の歩行、左右で同じ動きをするバタフライ式の歩行、左右の旋回、手を振る、体を上下にゆするなどを実現した。動きはマイコンに書き込むことで、連続的に再生するようにした。この機体はさらに、PSDセンサを用いた障害物回避機能やスピーカを用いた泣き声などを付け加えた。

この形のロボットは、歩行ロボットとして最も簡単であり、さらに高度な歩行ロボットに必要な技術の多くを含んでいる。そのため、今日まで何度か開発課題

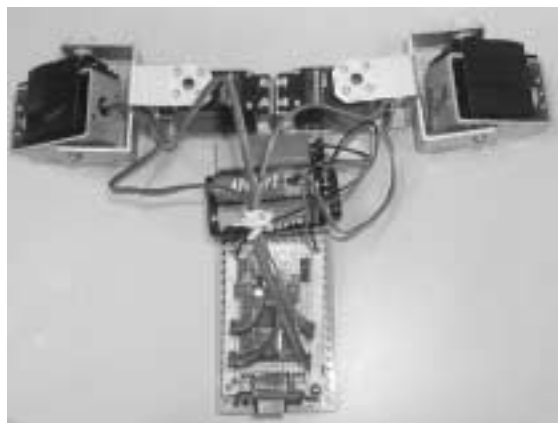


図7 4自由度アザラシ型ロボット

表4 4自由度ロボットの主な部品

アクチュエータ	S03T/2BB 4個
ブラケット	AGBL-SO3 4個
マイコンボード	AKI-H8/3664F (QFP)
胴体	ユニバーサルプレート
電源	006P型NiMH8.4V 単3 NiMH1.2V 4本

などで入門機として作らせている。

2 8自由度4足歩行ロボット

4足歩行ロボットは多くの場合1脚3自由度で12自由度という構成になっている。しかし、モータのつなぎ方によっては1脚2自由度でも遜色の無い動きができる。

機体は(有)浅草ギ研のサーボブラケットAGBL-MICROと、株式会社タミヤのユニバーサルプレートで構成した。モータは、GWSのMICRO-MG(2BB)である。外装は、プラ板を用いて作り、甲羅などには色画用紙に模様を書いて貼り付けた(図8)。

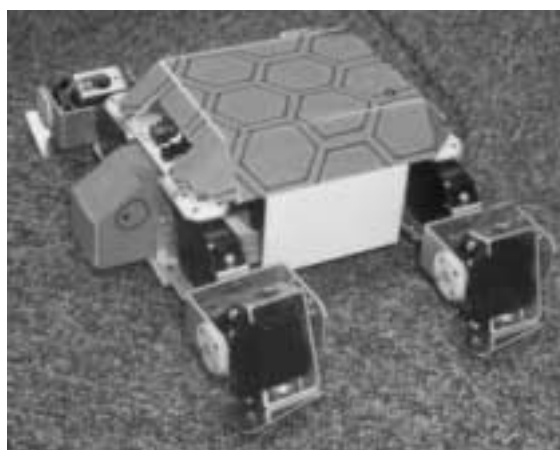


図8 8自由度4足歩行ロボット

4自由度のロボットとの一番の違いは歩行の際胴体が接地しないことであろう。このため機体のバランスに配慮する必要がある。電池の位置を調整するなどして重心が胴体の中心付近にくるようにすると良い。足裏をつけることも歩行の助けになる。

マイコンボードはAKI-H8/3664F(QFP)を用い、74HC238でPWM信号を割り振るようにした。

モーションは前出のモーションエディタ(図6)によって作り出し、このプログラムを利用して有線で歩行を実行するプログラムと、マイコンにデータを書き込んだものを作った。

通常歩行、高速歩行、左右旋廻、低姿勢歩行、高姿勢歩行、後退、クロール式の歩行、バタフライ式の歩行などができるようにした。歩行の仕方も、3脚が常に接地している歩行と2脚が接地している歩行の2種類を行えるようにした。

ロボットの主な仕様を表5に示す。

V おわりに

ここで紹介した歩行ロボットは、指定したモーションを再生するだけのものであり、この機体を利用して電子回路やプログラムに様々な拡張が考えられる。

電子回路としては、各種センサを用いることができる。PSDセンサを用いた障害物回避以外にも、加速度センサやジャイロセンサを用いて体の傾き具合を調べることにより、不整地を歩くことができるであろう。足裏にスイッチを取り付けることによって段差を超えることも考えられる。カメラを搭載することによって、更に多くの機能拡張が考えられるだろう。センサ以外にもEEPROMを搭載して、歩行データや各種の設定を書き込むという拡張も考えられる。Bluetoothなどの無線機器を用いた操縦も可能であろう。

マイコン側のプログラムとしては、逆運動学などを用いて、足裏の軌道計算することが考えられる。セン

表5 8自由度4足歩行ロボット主な部品

アクチュエータ	AGBL-MICRO 8個
ブラケット	MICRO-MG 8個
マイコンボード	AKI-H8/3664F (QFP)
外装	プラ板
胴体	ユニバーサルプレート
電源	006P型NiMH8.4V 単3 NiMH1.2V 4本

サを搭載したり高度な算術計算をするには、マイコンを高機能なものに変える必要も出てくるだろう。

パソコン側のプログラムも、モーション作成ソフトを充実させることや、バッテリーやセンサの情報取得して表示するという拡張が考えられる。

この機会に一人でも多くの人が歩行ロボットに興味を持っていただけたら幸いである。

[参考文献]

- (1) 小野泰二、歩行ロボットの作製、職業能力開発総合大学校東京校 紀要、第19号、2004年、P16－P19
- (2) (有)浅草ギ研
<http://www.robotsfx.com/>
- (3) 株式会社秋月電子通商
<http://akizukidenshi.com/>
- (4) オークス電子株式会社
<http://www.oaks-ele.com/>
- (5) 株式会社ベストテクノロジー
<http://www.besttechnology.co.jp/>
- (6) ツクモ ロボット王国
<http://www.rakuten.co.jp/tsukumo/>
- (7) Miyata's Robot Factory
<http://www.geocities.jp/mimiin/>