

人間型自律型二足歩行ロボットの製作

旭川高専 ○後藤孝行

要 旨

旭川高専機械工学科では、本科4年生の機械工学実験において、各教員に少人数の学生を配属させ、本科5年生で開講される卒業研究の導入として特別機械工学実験を実施している。この取組みの中で、姿勢制御装置を搭載した人間型の自律型二足歩行ロボットを学生自身によって設計・製作・制御ができたことを報告する。

1. 緒 論

ロボットは、人間が行う作業を代行あるいは補助する目的で研究・開発が行われ、製造や生産分野に大きく貢献してきた。近年では、エンターテインメント用や人の心を癒すことを目的とするロボットの研究・開発が盛んに行われており、現在開催されている「愛・地球博」においても多数のロボットが展示されている。

ロボットの製作においては、発想(アイデア)・設計・製作・組立て・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なければならない。すなわち、“ものづくり”においては、このように様々な知識の融合が必要である。

そこで本稿は、“ものづくり教育”の実践例の一つとして、姿勢制御装置を搭載した人間型の自律型二足歩行ロボットを卒業研究の学生自身が設計・製作し、各種動作の確認ができたことについて述べる。

2. 特別機械工学実験と卒業研究の繋がり

本科4年生で開講している機械工学実験(通年科目, 4単位)において、実験テーマを精選し、機械工学に関する実験としては前期に集約させた。後期は、特別機械工学実験(以下、特別実験)と称し、本科5年生で開講される卒業研究の導入の時間として準備した。したがって、多くの学生は、この特別実験を“プレ卒研”と呼んでいる。特別実験では、卒業研究までを視野に入れて各教員に3~5名の学生を配属させ、研究指導する。また、特別実験の時間は、週に一度(4時間)しか設定されていないことから、過度の課題は与えられないが、文献調査や勉強会を通して、5年生あるいは専攻科の学生とともに研究活動に取り組むことができる。さらに、研究内容だけでなく研究室での振る舞いなどが、先輩から後輩へと引継ぎが行われていく点で大変意義深いものとなっている。したがって、“ものづくり”を強く意識した課題の場合には、卒業研究を含めると約1年半関われる点でも効果的な取組みであるといえる。

3. ロボットの仕様

3.1 本体の仕様

表1は、製作する二足歩行ロボット本体を構成している各関節における自由度数とモータ取付組数である。ロボットは、人間の全身に相当する関節を持ち、各関節には自由度数と同数のモータを用いることから、総自由度は19自由度となる。

図1は、平成15年度に製作した二足歩行ロボットVer.1(全高260mm, 全幅190mm, 総重量1070g)である²⁾。ロボットは、人間の腰から下に相当しており、

10自由度である。

図2は、新たに製作した二足歩行ロボットVer.2である。全高396mm, 全幅260mm, 総重量2500gであり、駆動モータ、ブラケットおよび専用フレームで組み立てられている。ブラケットとフレームは強度の確保と軽量化を考慮し、JIS-A5052(t=1.5mm)のアルミニウム板を使用した。また、脛と太股の長さを等しくし、肩、股関節および足首のモータ軸を直交化することで、ロボットの姿勢制御を容易にさせた。

表1 各関節における自由度数とモータ取付組数

関節	肩	肘	腰	股関節	膝	足首
自由度数 (モータ数)	2	1	1	3	1	2
モータ取付組数	2	2	1	2	2	2

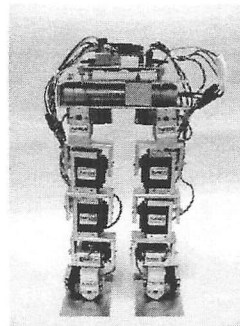


図1 ロボット Ver. 1

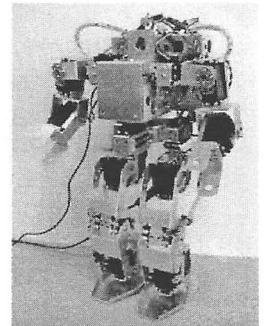


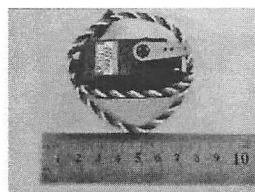
図2 ロボット Ver. 2

3.2 駆動用サーボモータの仕様

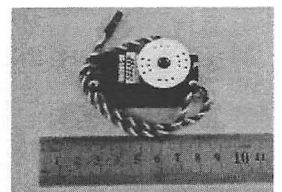
各関節の駆動には、電気信号のパルス幅により任意の回転角度に設定が可能なデジタルサーボモータを使用した。

図3は、ロボットに使用した2種類のサーボモータ(Hitec HSR-5995TG, HS-5945MG)である。

表2は、各サーボモータの基本仕様である。HSR-5995TGは、ロボットへの使用を前提に開発されたサーボモータであり、従来品よりも高トルクかつロボットに組み付けやすい形状となっている。しかし、このサーボモータは比較的高価なため、トルクがあまり必要でない上半身にはロボットVer.1で使用していたHS-5945MGを使用した。



(a) HSR-5995TG



(b) HS-5945MG

図3 デジタルサーボモータの外観

表2 サーボモータの仕様

(a) HSR-5995TG				
回転速度	トルク	回転角	動作電圧	本体重量
0.15sec/60deg	24.0kg・cm	±90deg	6~7.4V	62g
(b) HS-5945MG				
回転速度	トルク	回転角	動作電圧	本体重量
0.12deg/60deg	13.0kg・cm	±60deg	4.8~6V	56g

3.3 制御用マイクロコンピュータ

サーボモータの制御には、マイクロコンピュータ SH7045F (日立製) (以下、マイコン) を搭載した BTH003 FREEDOM コントローラ (ベストテクノロジー) (以下、コントローラ) を使用した。

表3は、コントローラの仕様である。コントローラは、24個のサーボモータに対して個別のパルス信号を出力できるパルスジェネレータである。

表3 コントローラの仕様

制御マイコン	BTC050 SH7045F マイコンボード (CPU:HITACHI SH7045F 28MHz)
コネクタ	サーボモータ接続端子 3pinヘッダ×24ch RS-232C 通信用ステレオピンジャック

3.4 制御プログラム開発環境

ロボットを動作させる制御用プログラムは、C言語によって構築する。プログラムの開発には、C言語ソースプログラムの編集、コンパイル、デバッグおよびマイコンとPCの通信が可能であるGCC Developer Lite (ベストテクノロジー) を使用した。

4. 制御システム^{3),4)}

4.1 PWM(Pulse Width Modulation)制御

サーボモータは、出力のON/OFFを繰り返し行うことで矩形波を発生させ、デューティ比(出力パルス時間/パルス周期)を変化させるPWM制御によって制御する。

SH7045FのPWMモードでは、最大12相のPWM信号しか発生させることができない。そこで、コントローラには、24相の出力を可能にする回路が組まれている。

図4は、一つのPWM信号を二つに振り分ける論理回路図の一部である。マイコン端子TIOC3Aから出力されたPWM信号は、PA16がOFFならばCN7へ、PA17がOFFならばCN8に振り分けられる。

4.2 ジャイロセンサを用いた制御

姿勢制御装置として、角速度を検知できるPG-03ピエゾジャイロセンサ(Grand Wing Servo-Tech Co., Ltd.) (以下、ジャイロ)を用いた。

図5は、2個のジャイロを二足歩行ロボットの肩に搭載した様子である。左が左右方向、右が前後方向の角速度を検知できるようにジャイロ軸を直交させている。

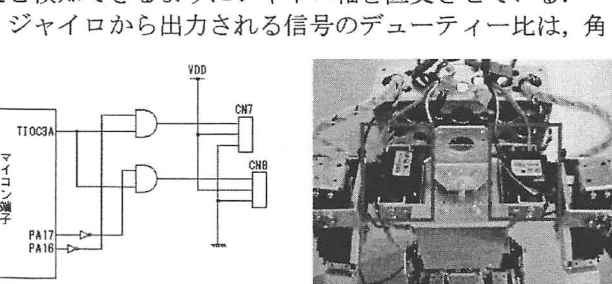


図4 PWM信号振り分け論理回路図

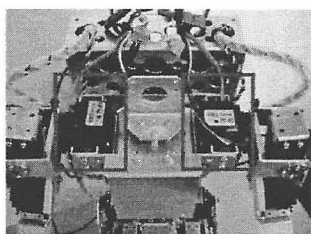


図5 ジャイロ搭載の様子

速度に比例して変化する。また、ジャイロへの入力信号は常に一定とし、出力された信号を入力ポートに取り込み、パルスの立ち上がりエッジと立ち下がりエッジを検出する。両エッジ間の時間から変化後のデューティ比を求める。

5. 動作検証実験および考察

5.1 歩行動作実験

製作した二足歩行ロボットVer.2の歩行動作を確認するために静歩行実験を行った。静歩行とは、重心の床への投影点が、常に足裏内に収まっているような歩行のことである。基本動作は、重心の移動、足を上げる、足を下げる、である。歩行動作時に発生する体軸まわりのモーメントは、腕と腰を回すことで打ち消すようにした。実験の結果、安定した静歩行が行えることが確認できた。無荷重状態と実際の歩行状態では、サーボモータの回転角度に差が生じていた。これは構造的問題ではなく、サーボモータの角度保持力の限界状態と考えられることから、このことを考慮して歩行プログラムを構築した。

5.2 旋回動作実験

二足直立静止状態から、その場で時計回りおよび反時計回りの旋回動作実験を行った。その結果、安定した旋回動作が可能であることが確認できた。静歩行が可能であったことから、平坦な路面ならば任意の方向に歩行できることになる。なお、小さな動作で大きく旋回するためには、足裏面積が小さい方が良いが、バランスをとることが難しくなるため、足裏形状の工夫が必要となる。

5.3 転倒回避動作実験

二足直立静止状態において、ロボットの進行方向に対し前後左右方向に押し、衝撃により発生した角速度を検知し、足を踏み出すなどの転倒を避ける動作を行わせた。ロボットが、小さな振動では反応しないよう、ジャイロにおける入力信号と出力信号のパルス幅の差が、前後方向で55μs、左方向で75μs、右方向で65μs以上になると回避動作をさせるように設定した。実験の結果、足を踏み出す動作により転倒が回避できることが確認できた。なお、左右方向のパルス幅の差が異なるのは、角速度を検知するジャイロが右肩に搭載されているため左回りの感度が高くなっているためである。

6. 結論

本稿では、特別機械工学実験および卒業研究を通して、姿勢制御装置を搭載した人間型自律型二足歩行ロボットを設計・製作し、動作検証実験の結果、二足直立、連続した二足歩行動作、旋回動作および転倒回避動作が行えることを確認した。この取組みで、4年生と5年生の知識と技術の引継ぎも効果的に行えた。

なお、本研究は、平成16年度校長裁量経費重点配分プロジェクトの補助によって行われたものである。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 「愛・地球博」ホームページ: <http://www.expo2005.or.jp/>
- 2) 後藤孝行ほか3名: 自律型二足歩行ロボットの製作, 2004年度精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集(2004)95.
- 3) TekuRobo 工作室: <http://homepagel.nifty.com/rikiya/>
- 4) ROBO-ONEのための二足歩行ロボット製作ガイド, オーム社(2004).