

# ヒューマノイドロボットの自立歩行に関する研究

## A Research on Automatic Walking of Humanoid Robot

富樫淳輝\*, 大久保重範\*\*

Junki Togashi\*, Okubo Shigenori\*\*

\*山形大学

\*Yamagata University

キーワード： パルス (pulse), ジャイロ (gyro), 静歩行 (static walk), 動歩行 (dynamic walk),

連絡先： 〒992-8510 米沢市城南4-3-16 山形大学 工学部 機械システム工学科 大久保研究室  
富樫淳輝, Tel.: (0238)26-3245, Fax.: (0238)26-3245, E-mail: jt3156204@yahoo.co.jp

### 1. 緒言

本研究は、小型ヒューマノイドロボットに動歩行を行わせることを目的とする。

静歩行は、重心が常に足裏にあるのに対し、動歩行は人間の歩行と同じ様に重心が足裏に無く、上体を倒す力で歩行を行う。一般的に、動歩行の方が制御は難しいが素早い歩行が可能とされている<sup>1)</sup>。

以上のことから、将来ヒューマノイドロボットが社会に順応するには動歩行の方が有利と考えられる。

### 2. 研究対象

この研究ではFig. 1の自作ヒューマノイドを使用して行った。

重量は1.6kg、自由度は11である。

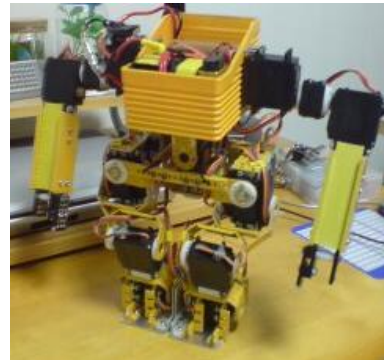


Fig. 1 ヒューマノイド

### 3. 構成

#### 3.1 アクチュエーター

使用したアクチュエーターのスペック<sup>2)</sup>を以下に示す。

- 1) メーカー ミニスタジオ有限会社
- 2) 種別 サーボモーター
- 3) 製品名 MiniS RB995
- 4) 動作電圧 DC4.8V ~ 6V

- 5) トルク 10.5kg.cm(6V)
- 6) 稼働範囲  $\pm 90^\circ$
- 7) 移動速度 0.19s/60 $^\circ$ (6V)
- 8) 駆動方式 デジタル
- 9) 使用個数 13個(自由度と差があるのは、同じ信号で2つのサーボモーターを動かしている箇所があるため。)
- 10) 外観 Fig.2に示す。



Fig. 2 MiniS RB995

### 3.2 IC

使用したICのスペック<sup>3)</sup>を以下に示す。

- 1) メーカー 株式会社ベストテクノロジー
- 2) 製品名 ATmega32マイコンボード
- 3) 動作電圧 DC4.5V ~ 5.5V
- 4) 書換補償回数 10,000回
- 5) 入出ポート 32本
- 6) FLASH ROM 32kB
- 7) EEROM 1kB
- 8) RAM 2kB
- 9) カウンタ 8bit 2ch 16bit 1ch
- 10) ADC 10bit分解能 8ch
- 11) クロック 16MHz
- 12) 使用個数 1個
- 13) 外観 Fig.3に示す。

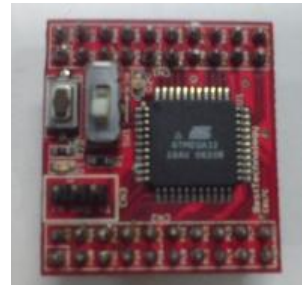


Fig. 3 ATmega32マイコンボード

### 3.3 センサ

使用したセンサのスペック<sup>4)</sup>を以下に示す。

- 1) メーカー 近藤科学株式会社
- 2) 種別 ジャイロセンサ
- 3) 製品名 KRG-1
- 4) 動作電圧 DC3V ~ 12V
- 5) 特徴 入力信号無しに単体でジャイロ効果をPWMに変換して出力することもできる。
- 6) 使用個数 1個
- 7) 外観 Fig.4に示す。



Fig. 4 KRG-1

### 3.4 電源

使用した電源のスペックを以下に示す。

- 1) IC電源 アルカリ乾電池006P型9V × 1
- 2) サーボ電源 ニッケル水素バッテリー単三型 1.2V2500mAh × 5(計6V)

## 4. 開発環境

プログラムの製作、書き込みは、株式会社ベストテクノロジー<sup>3)</sup>よりフリーで配布されているGCC Developer Lite(以下GDL)Ver1.9.1.6を使用した。

GDLは、エディタ、コンパイラ、ライター、通信モニタープログラムが一体となっているC言語の開発環境である。

GDLをFig.5に示す。

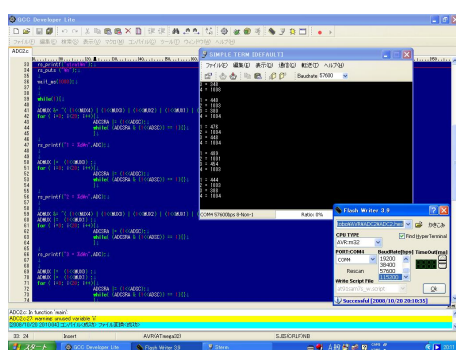


Fig. 5 GDL

## 5. サーボモーターの駆動

### 5.1 パルスの生成過程

パルスで命令を送るタイプのサーボモーターの場合、一般的に20mSの周期で、パルス幅が0.6mS ~ 2.4mSのパルスで動く場合が多い<sup>1)</sup>。

このパルスを、電流の急激な上昇を抑えるためにFig.6に示すようにフェーズごとにずらして発生させた。

今後の拡張も考えて、ポートCの0番~8番とポートDの2番~8番の計14ポートをサーボモーターの駆動のために使った。

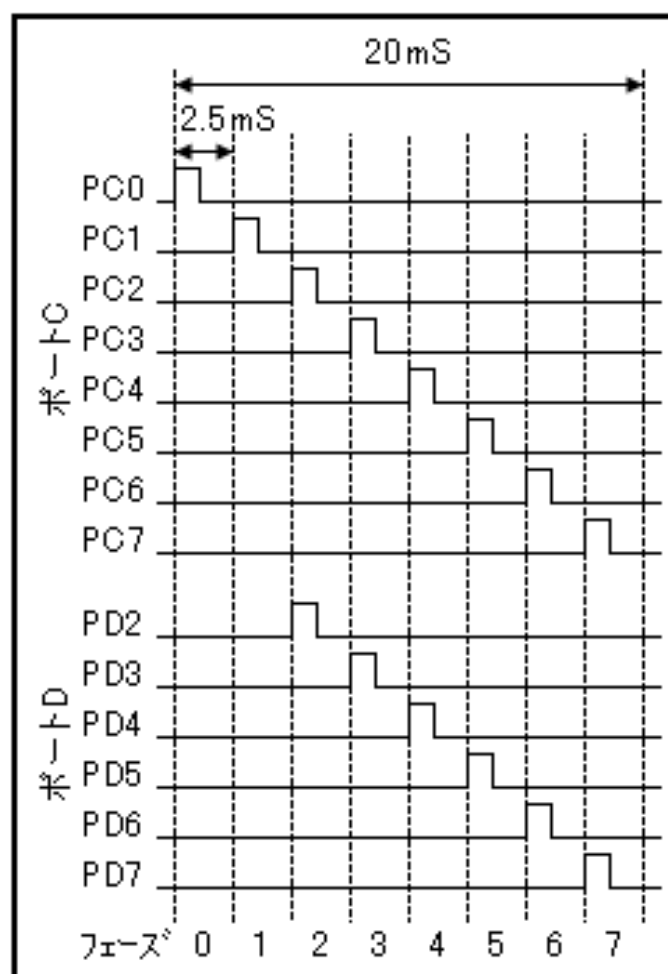


Fig. 6 パルスの生成過程

### 5.2 パルスの生成方法

時間を正確に計るために、ATmega32に内蔵されているタイマ/カウンタと比較カウンタとのマッチによる割り込みを使用する。

1フェーズごとの時間はタイマ1の比較マッチ割り込みAをCTCモード(設定した値にカウンタが達すると、カウンタを0に戻すモード)で使用し生成した。

ポートCのパルス幅はタイマ1の比較マッチ割り込みBをノーマルモードで使用し生成した。

ポートDのパルス幅はタイマ0の比較マッチ割り込みをノーマルモードで使用し生成した。

なお、タイマ0は8bit、タイマ1は16bitのカウンタである。

各タイマの比較マッチさせる値は下記のように求められる。クロックは共通で、16MHzとして計算した。

タイマ1の比較マッチ割り込みAの値は、生成する時間が2.5mSであるので、 $1/64$ 分周(64クロックで1カウントという意味)として、 $16,000,000[\text{Hz}] \times 0.0025[\text{S}]/64=625$ となり、625と比較マッチさせれば2.5mSを生成できる。

タイマ1の比較マッチ割り込みBの値の範囲は、生成する時間が0.6mS~2.4mSであるので、 $1/64$ 分周として、 $16,000,000[\text{Hz}] \times 0.0006 \sim 0.0024[\text{S}]/64=150 \sim 600$ となり、150~600の範囲と比較マッチさせればサーボモーター用のパルス幅を生成できる。

タイマ0の比較マッチ割り込みの値の範囲は、生成する時間が0.6mS~2.4mSであるので、 $1/256$ 分周として、 $16,000,000[\text{Hz}] \times 0.0006 \sim 0.0024[\text{S}]/256=38 \sim 150$ となり、38~150の範囲と比較マッチさせればサーボモーター用のパルス幅を生成できる。

## 6. 移動速度の調節

今回使用したサーボモーター自身には移動速度を調節する機能は備わっていない。そこで、ソフト的に速度の調節を行う。

目標地点までの角度を適当に分割し、目標地点に向かって一定の間隔を空けて分割された角度分サーボモーターを動かす。この場合、分割数を多くすれば遅くなり、少なくすれば速く動く。つまり、分割数を変動させることで、サーボモーターの移動速度をコントロールできるということになる。

これを、移動速度調節関数としてプログラムに組み込んだ。

## 7. 静歩行

### 7.1 静歩行の過程

何もデータの無い状態から動歩行を製作するのは困難である。そこでまず静歩行を製作し、それを元にセンサの追加や、モーションの調節を施すことで、動歩行を製作することにした。Fig.7に静歩行のフローチャートを示す。



Fig. 7 静歩行フローチャート

### 7.2 静歩行の連続写真

静歩行のプログラムを実行したときのヒューマノイドの動きをFig.8に示す。

各番号でのヒューマノイドの状態は次のとおりである。

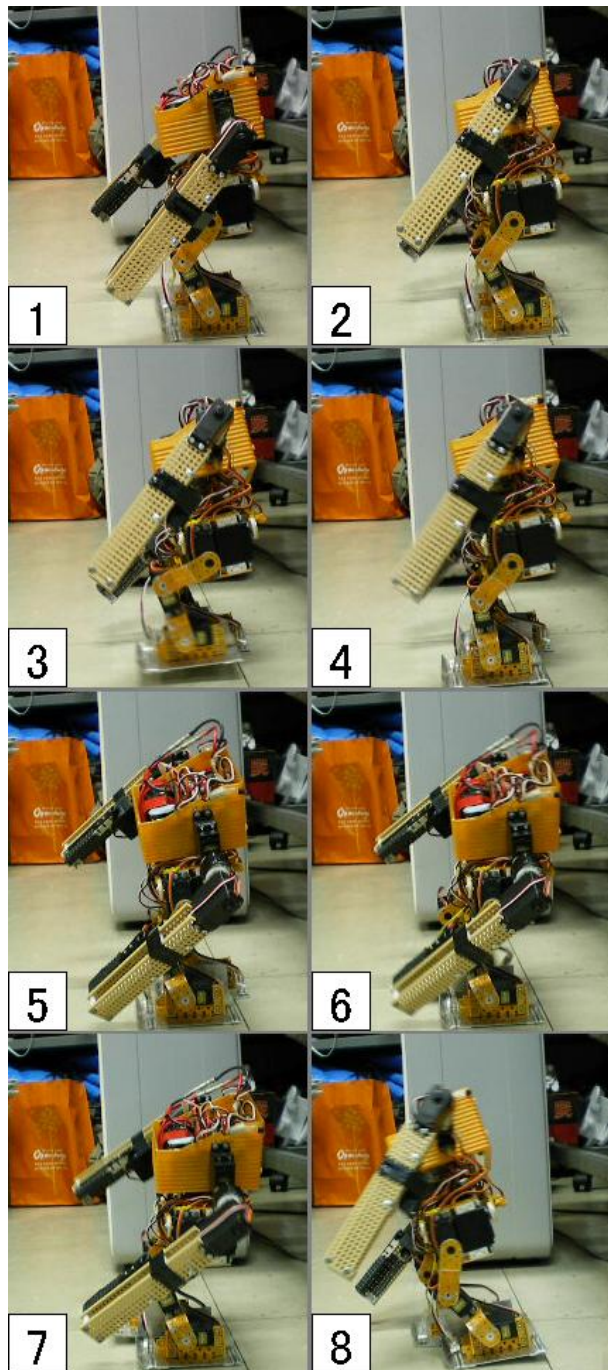


Fig. 8 静歩行の連続写真

- 1) ホームポジション
- 2) 右体重移動(1歩目)
- 3) 左足上げる
- 4) 左足下げる
- 5) 左体重移動
- 6) 右足上げる
- 7) 右足下げる
- 8) 右体重移動

プログラムでは3~8を無限ループにしている。

なお、改修を行った後撮影したため、外見がFig.1と若干異なる。

## 8. ジャイロ効果のミキシング

### 8.1 ミキシング方法

ジャイロセンサとは、角加速度を測定するセンサで、姿勢制御などに用いられる。

KRG-1で角加速度を測定するには、無負荷の状態基準となるパルス測定し、角加速度が発生したときのパルスとの差を計算することで測定できる。この測定結果をサーボモーターに反映すれば、ジャイロ効果のミキシングができる。

小型ヒューマノイドの場合、歩行中に角加速度が常に変化していると考えられるので、短いスパンでセンサの測定を行う必要がある。このような場合、タイマ/カウンタを利用した割り込みで実現させるが、本研究ではサーボモーターの駆動に使用しているため不可能である。そこで、プログラム中のウェイト関数内にセンサの測定プログラムを記述することにした。移動速度の調節にもこの関数を使用しているため、メイン関数でウェイト関数か、移動速度調節関数を走らせていれば、必ずセンサの測定プログラムが実行される。つまり



割り込みを使わずとも短いスパンでセンサの測定を行うことが可能になる。

## 8.2 ジャイロの設置

ジャイロをFig.9の赤丸で示した位置に設置した。前後の角加速度を検出するように、ラベル面を前方に、入出力ピンの面を下方になるように設置している。

出力信号はポートBの0番に接続した。



Fig. 9 ジャイロの設置位置

## 9. 動歩行

### 9.1 動歩行の過程

静歩行を元に、次のような改良を行い、動歩行のモーションを作成した。

足を下げるモーションを介さず、体重移動モーションへと移行するようにした。

体重移動の際に足を左右に広げ、安定するようにした。Fig.10に動歩行のフローチャートを示す。

### 9.2 動歩行の連続写真

動歩行のプログラムを実行したときのヒューマノイドの動きをFig.11に示す。



Fig. 10 動歩行フローチャート

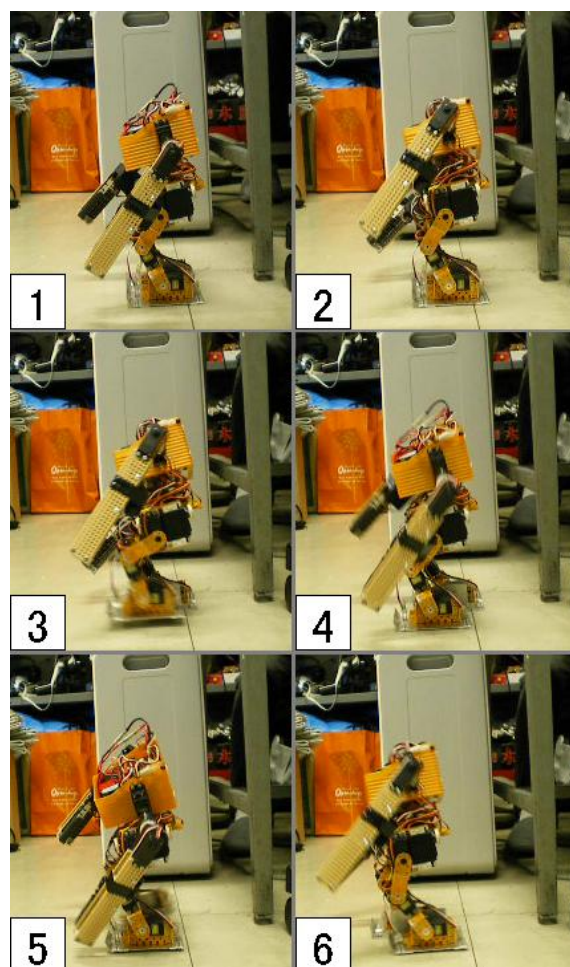


Fig. 11 動歩行の連続写真

各番号でのヒューマノイドの状態は次のとおりである。

- 1) ホームポジション
- 2) 右体重移動(1歩目)
- 3) 左足上げる
- 4) 左体重移動
- 5) 右足上げる
- 6) 右体重移動

プログラムでは3~6を無限ループにしている。

なお、改修を行った後撮影したため、外見がFig.1と若干異なる。

## 10. 結言

本研究では、ヒューマノイドロボットに動歩行させることには成功した。

しかし、直線的に歩行するのが困難であったり、地面が傾くと歩けなくなったりと、不安定な歩行であることは否めない。

今回使用したセンサは1種類だけであったが、接地面の状況を察知する感圧センサや、周囲の障害物の状況を察知する距離センサなどを追加し、それらのセンサからの情報をフィールドバックさせ、さらに安定した動作を行わせる必要がある。

## 参考文献

- 1) 浅草ギ研(著): 二足歩行ロボット製作超入門 バッテリーからRCサーボまで, オーム社(2006)
- 2) <http://www.ministudio.co.jp/Japanese/>
- 3) <http://www.besttechnology.co.jp/>
- 4) <http://www.kondo-robot.com/index.php>