

小型ヒューマノイドロボットにおける関節サーボの力制御

Force Control of Joint Servo Motor in a Small-Sized Humanoid Robot

島田英史*, 大久保重範*

Hideshi Shimada*, Shigenori Okubo*

*山形大学

*Yamagata University

キーワード： 二足歩行ロボット (biped locomation robot), トルク制御 (torque control), 電流制御 (current control)

連絡先： 〒992-8510 山形県米沢市城南4-3-16 山形大学 工学部 機械システム工学専攻 大久保研究室
島田英史, Tel.: (0283)26-3245, Fax.: (0283)26-3245, E-mail: sokubo@yz.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

ヒューマノイドロボットは人間の形を模しているがゆえに, 人間自身が親近感を感じやすいといった特徴がある. そのため, 企業や研究機関にあるような人間と同サイズのロボットのみならず, 近藤科学から発売されているKHR-1のように各関節のアクチュエータをラジコン用サーボモータで構成された小型ヒューマノイドロボットが一般家庭向けに販売されている.

人型という特性上, 脚部に配されたサーボモータには大きな負荷が掛かるため, 安定した動作を追及するという目的から, ロボット用の高トルクのサーボモータが市販されているが, 高トルクであるほどサーボモータ自身の発熱や想定外の動きをした際に外部に与える危険性は高い.

そこで本研究では, 安全性や柔軟性の確保

のためにサーボモータのトルクを制御することを目的とした.

2. 問題提起

Fig.1に示すように, 小型ヒューマノイドロボットの各関節のアクチュエータとして用いられているサーボモータは位置制御系がモジュールに内蔵されているが, ロボット全体の制御系としてはオープンループで構成されている. このため, 関節角度やトルクのフィードバック値を把握することができず, 周りの環境に構わず駆動しようとする. このことが, 時として周囲に危険を及ぼす要因となる. そこで, トルク値の取得や変更が可能で, 既存のサーボモータの駆動システムに後付け可能なモータコントローラを製作することで, サーボモータの故障や危険な動作の防止, 柔軟な動きが可能となるのではと考えた.

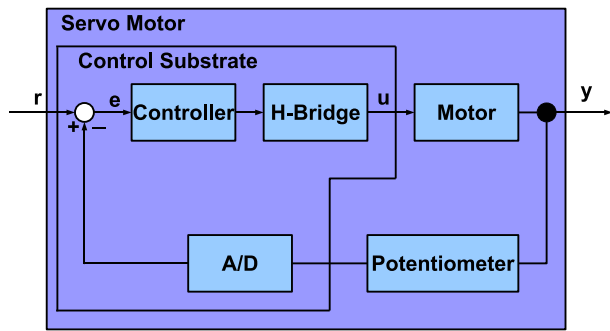


Fig. 1 Control of Servo Motor

3. 小型ヒューマノイドロボットの概要

本研究において研究対象とする小型ヒューマノイドロボットの外観をFig.2に基本仕様をTable 1に示す。

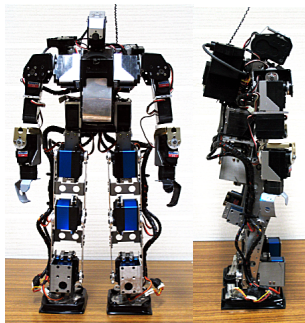


Fig. 2 Appearance

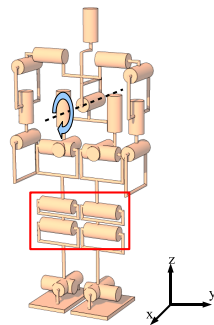


Fig. 3 Roll-axis of Rotation of the Spine and Redundancy of Knees

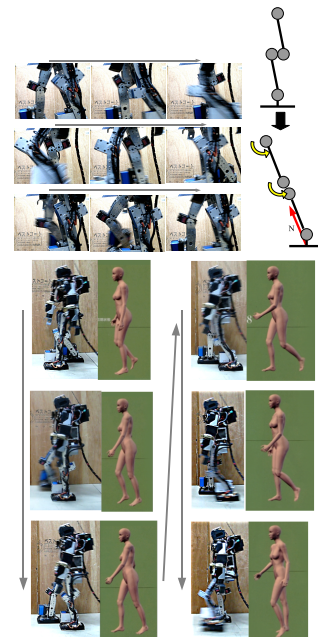


Fig. 4 Knee Joint Movement and Walk

Table 1 Basic Specification

Degree of freedom	24
Height [mm]	500
Width [mm]	210
Depth [mm]	140
Weight [kg]	2.9
Voltage [V]	7.4

本研究で使用するヒューマノイドロボットは人間の腰、及びつま先に該当する機構として、Fig.3に示すように冗長自由度が取り入れられており、背のロール軸、及び膝の二重関節がそれに該当する。これにより、特異姿勢回避、可動範囲の増加によって無理なく設置が可能となり、背のロール軸を用いて腰を傾け、膝の機構をFig.4のように動作させることで、膝伸展歩行が可能となっている。

また、サーボモータには近藤科学製のロボット用サーボモータ(KRS2346ICS,2350ICS)及び、JR PROPO製のロボット用サーボモータ(DSR8901)を使用し、近藤科学製のロボットコントロールボード(RCB-3)によりモータを駆動している。

加えて、フレームの接触や接地の問題のため、一般的には実行が難しいとされている脚を交差する歩行である隘路歩行が可能となっている。歩行の様子をFig.5に示す。

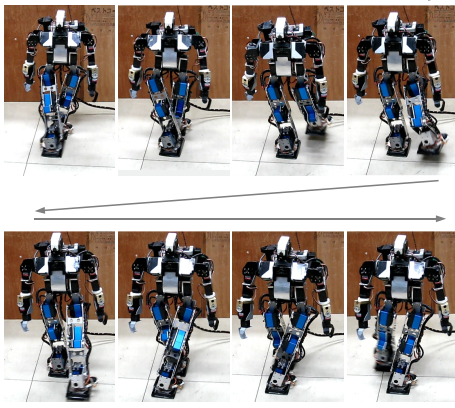


Fig. 5 Narrow-Path Walk

4. トルク制御の原理

トルク制御を行う場合、アクチュエータにおいて出力トルクを制御する必要がある、一般的なラジコン用サーボモータにはDCモータが用いられており、その出力は式(1)で表される。

$$\tau_m = K_\tau i_a \quad (1)$$

$\tau_m [N \cdot m]$: モータトルク $K_\tau [N \cdot m / A]$: トルク係数

$i_a [A]$: モータ端子電流

式(1)により、DCモータに与える電流 i_a を制御することが可能であれば、モータの出力トルク τ_m を制御することが可能である。

5. モータコントローラの製作

本研究で提案するモータコントローラは既存のコントロールボードとサーボモータの位置制御に手を加えず、独立させた形で電流制御の可能を目指したものである。モータコントローラの構成をFig.6に、製作したモータコントローラの外観をFig.7に示す。

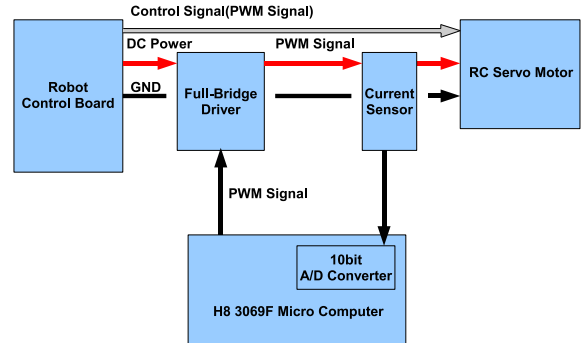


Fig. 6 Hardware Structure of Motor Controller

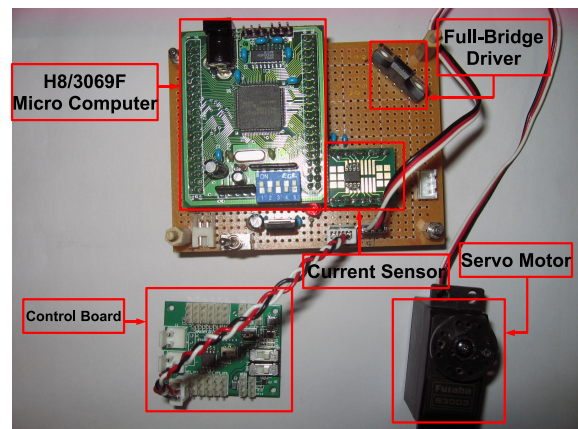


Fig. 7 Composition of Motor Controller

5.1 モータコントローラの概要

一般的にラジコン用サーボモータはFig.8に示されるように，角度信号線，電流供給線，GND線の三本のケーブルがコントロールボードに接続され，角度信号(PWM信号)を加えることで指定角度へ駆動する．

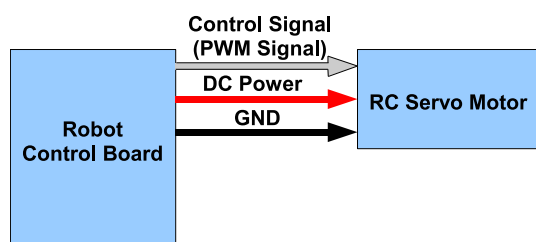


Fig. 8 Hardware Structure of RC Servo Motor and Control Board

製作したモータコントローラでは電流供給線の途中から電流センサによって電流値を測定し，その測定値から，フルブリッジドライバにPWM信号を加えることで，電流供給線の電流をPWM信号化している．

PWM信号をモータの電流供給線に加えた場合，インダクタンスのために電流値は電圧のような断続波形にならず，連続の流れとなるため，デューティ比を変化させることで，電流値を制御することが可能である．

使用しているフルブリッジドライバはモータ駆動部とコントロール部の電源ラインが独立しているものであり，コントロール部にPWM信号を信号を加えることでモータ駆動部の電流をPWM信号化できるほか，電流供給を直接遮断することも可能である．

5.2 電流センサの概要

本研究に使用する電流センサはアレグロマイクロシステムズ社製電流センサIC(ACS715)である．この電流センサは磁界を受けると電

圧を生じるホール素子が内蔵されており，電流の周りには電流に比例した磁界が生じるので，電流を間接的に測定できる．

そのため，電流経路に抵抗を挿入し，抵抗前後の電位差から求める一般的な電流測定方法と比較した場合，電力損失を少なくできるという特徴がある．

使用する電流センサの外観と概略図をFig.9に，性能をTable 2に示す．外形は8ピンのSOICタイプで1，2番ピンと3，4番ピンを電流経路に挿入し，7番ピンから電流に比例した電圧が得られる．

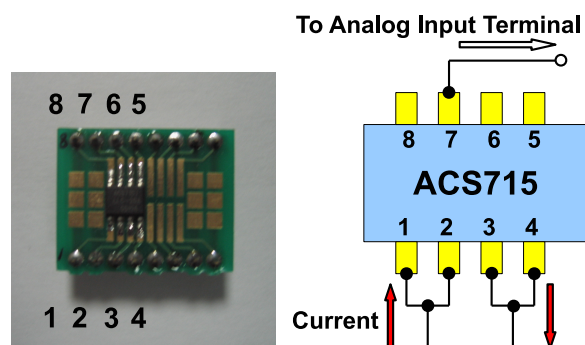


Fig. 9 ACS715

Table 2 Spaecification of Current Sensor

Part number	ACS715LLCTR
Optimized range [A]	0 to 20
Sensitivity [mV/A]	185
Conductor Resistance [mΩ]	1.2

5.3 電流センサの特性

サーボモータに一定の負荷トルクを与えた場合の電流値をサンプリングタイムを1[msec]として計測した．Fig.10がその結果である．Fig.10からわかるように，出力波形に振動成分が見られ，一定の負荷トルクを与え続けているにも関わらず，一定の値ではない．また，

サーボモータに電流が流れていない状態においても，検出されている電流値は0[V]にならなかった．

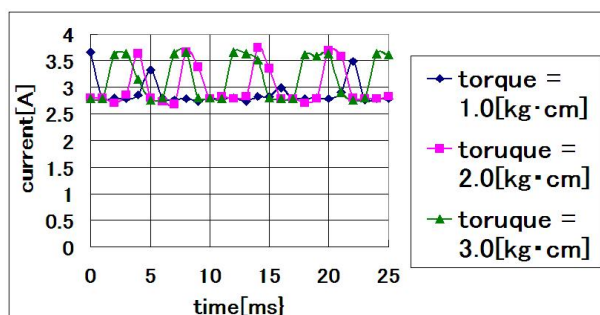


Fig. 10 Value of Sensor

このことから，前者の問題に対しては電流値を正確に計測する場合は一定周期での平均化が必要であるとわかる．また，後者の問題はFig.11に見られるような不平衡電圧のためであると考えられる．不平衡電圧とはホール素子内の四つの抵抗にアンバランスが生じると，磁束密度が0であっても出力端子間に発生する電圧のことであり，ホール素子内蔵の電流センサを使用するうえで注意しなければならない．

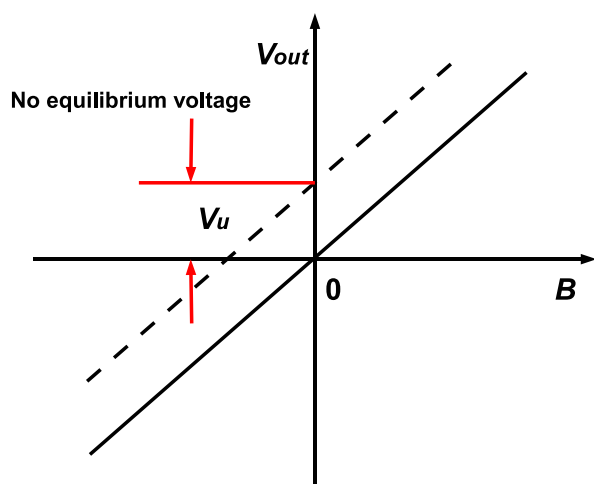


Fig. 11 No Equilibrium Voltage

5.4 取得値の平均化，及び不平衡電圧の考慮

取得値の平均値を求める際にはFig.12のように周期ごとに合計値を取得し，区分平均を求める手法とFig.13のように区分平均範囲をサンプリングの度にスライドさせていく手法の2種類を用いた．

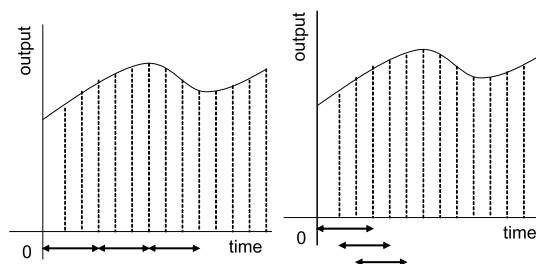


Fig. 12 Leveling(1) Fig. 13 Leveling(2)

それぞれの手法で計測したものをFig.14，Fig.15に示す．一方，電流供給線に直列に電流計を挿入し，電流値を計測したところ，負荷トルクが2.0，3.0，4.0[Kg·cm]のときそれぞれ0.16～0.20，0.23～0.26，0.37～0.41[A]という値となった．

Fig.15はFig.14と比較すると，値の大幅な突出が見られた．Fig.13の手法はFig.12と比較して値のサンプリングごとに平均化を行うため，瞬間的な力が働いたときに効果を発揮すると考えられるが，今回は値が比較的正確であるFig.12の手法を用いた．

6. サーボモータの故障防止機能と出力変更機能

電流センサから得られた値をもとに，電流値が閾値を一定時間超えていた際に，自動的にサーボモータの供給電流を遮断し，サーボモータを脱力させる故障防止機能と供給電流を

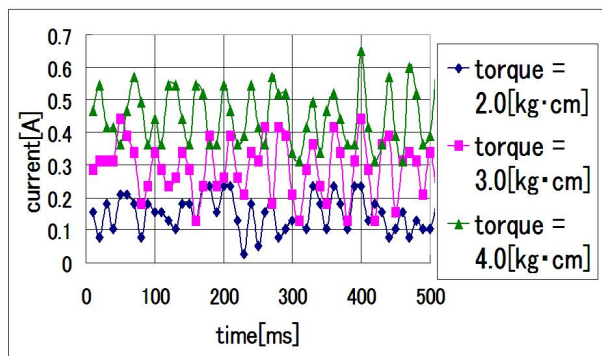


Fig. 14 Division Average(1)

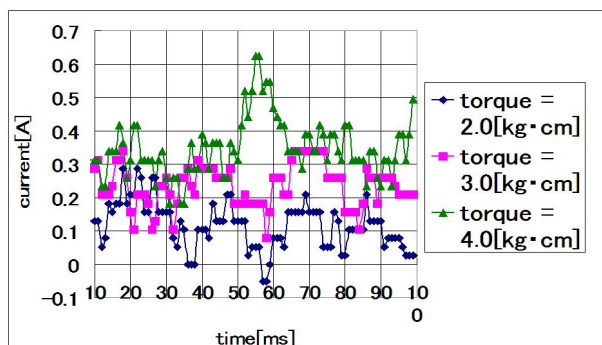


Fig. 15 Division Average(2)

PWM信号化し、デューティ比を変化させることで保持力を変化させる出力変更機能を追加した。出力変更機能を使用した様子をFig.16に示す。サーボモータの駆動軸に長さ 1.0×10^2 [m]の梁を設置し、梁を水平に保たせた状態で先に0.4[kg]の重りを吊り下げ、サーボモータの回転軸に4.0[kg·cm]のトルクを発生させ、トルクがかかった時に梁が垂れてしまう角度を計測した。パルス周期を10[msec]とし、デューティ比を $1, \frac{4}{5}, \frac{2}{3}$ とした。Fig.16からもわかるようにデューティ比を変化させることで、保持力の変化が可能である。

7. おわりに

本研究は小型ヒューマノイドロボットが外部に及ぼす危険防止のためにサーボモータのトルクを制御することが目的である。そこで、

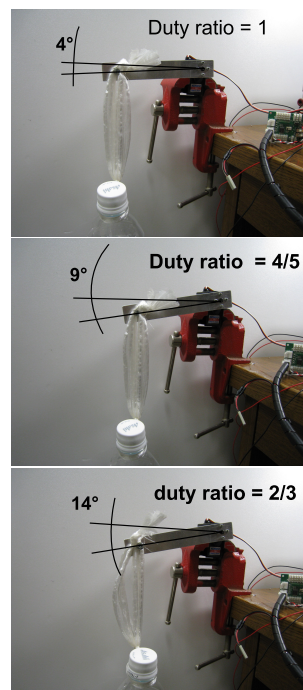


Fig. 16 Result of a Measurement of Retentivity of Servo Motor

今回は小型ヒューマノイドロボットのアクチュエータであるサーボモータの各関節に掛かる負荷の検知に目的を絞り、負荷トルクと比例関係にある電流値を測定するための電流センサと供給する電流値を変化させるために電流をPWM信号化できるフルブリッジドライバを備えたモータコントローラを製作し、サーボモータに一定負荷がかかった際の強制的な脱力とサーボモータの保持力の変化を行わせた。

今後はモータコントローラを小型ヒューマノイドロボットに搭載し、負担の大きい膝部のサーボモータの故障防止、脱力を行わせる際の電流値の閾値や各サーボモータの保持力変更の際のデューティ比の設定を安易に行うことの可能なアプリケーションの製作を行う予定である。

また、研究対象としているヒューマノイドロボットは人間に近い歩行動作が実現可能な機構を備えている。人間の各関節は筋肉の大小により保持力が異なるので、出力変更機能

を用いてヒューマノイドロボットの各関節の保持力の比率を人間の各関節の比率と一致させることで、より人間らしく歩行できるのではと考えられるので、モータコントローラの搭載後、実現させてみる予定である。

参考文献

- 1) 加藤 壮: 小型ヒューマノイドロボットの歩行手法及び制御, 山形大学大学院 平成20年度修士論文 (2008)
- 2) 友國 伸保, 雑賀 優, 藪田 哲郎: トルク制御可能なサーボユニットを用いた小型ヒューマノイドロボット, 日本機械学会論文集(C編) 148/155, (2005)
- 3) 友國 伸保, 雑賀 優, 小山 崇之, 黄 健, 藪田 哲郎: コンプライアンス制御可能な小型ヒューマノイドの研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会'07 講演会論文集 1P1-S-047, (2005)
- 4) 梶田 秀司: ヒューマノイドロボット, オーム社, (2005)
- 5) 白水 俊次: ロボット工学, 株式会社 コロナ社, (2009)
- 6) 山田 学: めっちゃメカメカ! リンク機構99, 日刊工業新聞社, (2009)