

遠隔操作型四足歩行ロボットの開発

新 谷 裕 和*・貝 磯 修 平**

Development of a Remote Controlled Quadruped Robot

Hirokazu Araya and Shuuhei Kaiso

We are aiming at the development of the remote controlled quadruped robot which can walk around on irregular terrains by steady posture. In this study, we have developed the prototype robot that set some technical targets. These targets are (1) establishment of structure and control method, (2) establishment of controlling legs by inverse kinematics, (3) establishment of steady walking pattern, (4) difference walking by sensor recognition and (5) remote control by wireless. And almost all of these targets have been achieved.

1. はじめに

地震など災害地での人命救助活動・瓦礫の撤去作業、地雷の探知・処理作業、原子力施設での放射性物質の運搬など、危険を伴う仕事が多くある。このような人命に関わる環境下での運搬・作業を安全に行うため、ロボットの活用が注目されている。

その中で特に注目されているのは、災害地での人命救助を目的としたレスキューロボットの研究・開発である。現在、研究・開発されているレスキューロボットは災害時の被災者発見などを目的とした探索・探査型が多い。たとえば東京工業大学の「蒼龍」¹⁾や千葉工業大学の「Hibiscus」²⁾などがこれに当たる。これらのロボットでは走行性能や踏破性能が求められており、そのためクローラで移動する方式を採用している。

これに対しての搬送・運搬型のロボットの研究はあまりなされていない。しかし、災害などによって道路が寸断された場合には道路が復旧するまでの間に多くの人員や物資を災害地に運ぶ必要がある。また、怪我人を災害地から安全な場所に搬送する必要も出てくる。このような場で活躍するロボットには歩行の安定性が最重要である。また、安定した歩行には、脚支持点を適応的に選択できる多脚ロボットが適している³⁾。

そこで我々は、不整地でも安定した運搬・作業が出来る遠隔操作型四足歩行ロボットの開発を目指した。今回はその第一段階として、いくつかの技術的目標を掲げた試作機を製作し、その性能確認実験を行ったのでその結果について報告する。なお、今回の試作機は実機の約10分の1の寸法を想定して製作している。

2. 試作機の概要

2.1 技術的目標

試作機は次のことを技術的目標に製作した。

- (1) 歩行ロボットの構造及び制御方式を確立する。

* 原子力技術応用工学科 ** 元機械工学専攻院生

- (2) 逆運動学による脚の制御方法を確立する。
- (3) 安定した歩行パターンを確立する。
- (4) センサ認識による段差上がりを可能とする。
- (5) 無線による遠隔操作を可能にする。

2.2 機構部

今回製作した試作機 (Fig. 1) の自由度は1脚につき腰関節に2自由度、膝関節に1自由度、足首関節に1自由度の合計 $4 \times 4 = 16$ 自由度とした。本体の構造材は厚さ1.5mmのアルミ板を加工して使用した。胴体と脚の構造は軽量化のため、箱型にして全重量を3[kgf]にした。本体のサイズは $200 \times 200 \times 35$ [mm]、節の長さは70[mm]、足裏には滑らないようにゴム材を貼り付け、接地面積を均等にさせるため足裏を円形とした。なお、アクチュエータはRCサーボモータ「KRS-4024HV」を使用した。

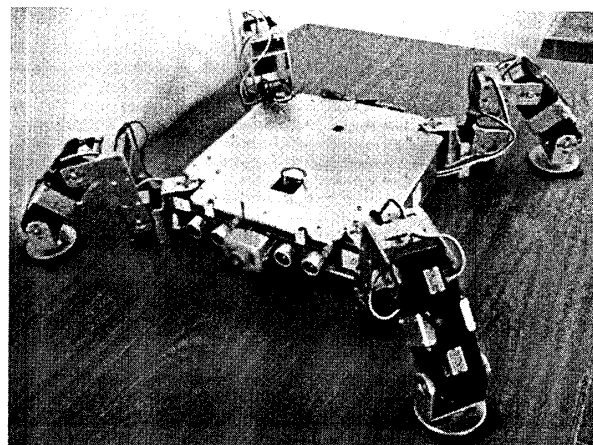


Fig.1 Prototype robot

2.3 制御部

制御部 (Fig. 2) では制御コンピュータとして8ビットマイクロコンピュータ「ATmega128」、モータドライバとしてRCサーボコントローラ「AGB65-RSC」を使用した。通信装置として無線モジュールである「Blue Stick」を使用し、ゲーム用のジョイスティックを用いて、遠隔操作可能とした。なお、センサとし超音波距離センサ「PING」、2軸加速度センサ「Mesic2125」、小型ワイヤレスカメラ「EEA-803G」を搭載した。電源は市販されているNi-MH電池を使用した。制御プログラムはC言語を用いて記述した。

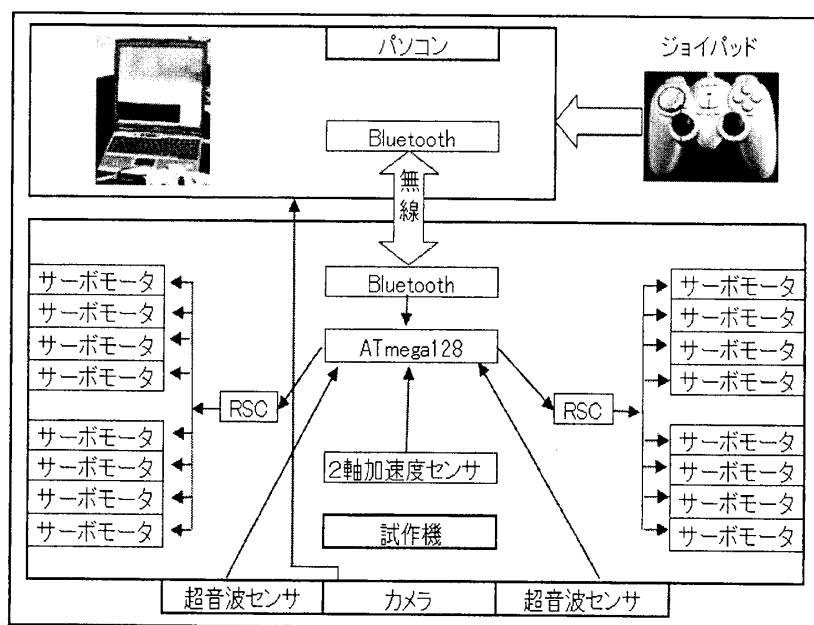


Fig.2 Control unit of robot

2.4 歩行パターン

本研究では4足歩行ではもっとも縦安定余裕が高いクローल歩容⁴⁾を採用した。クローल歩容は一つの脚を順番に遊脚として歩く歩容で、ある脚の一周期の歩行パターンはFig.3のようになり(X軸方向は一定とした場合)、他の脚はこのパターンの位相をずらした格好となる。この歩行パターンと歩容のパラメータであるデューティ比(β)、ストローク(λ)、周期(T)、平面可動範囲の中心(C_x, C_y)、体中心から地表までの高さ(H)、脚の上昇量(h_{up})を設定することにより、各脚先の腰関節付け根からの相対座標が決定できる。

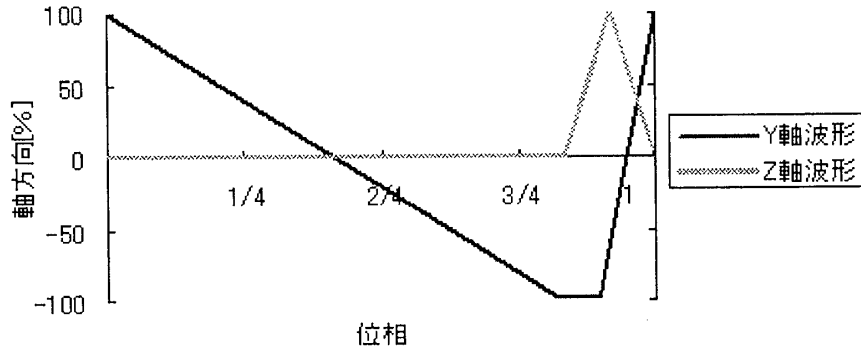


Fig.3 Walking pattern

2.5 逆運動学による脚の制御

2.4節で述べた脚先の座標から各関節の角度を求める時、以下の計算式⁵⁾を使い、各関節角度を算出した。Fig.4は試作機の脚の部分だけを取り出して簡単に線と円柱で表した図である。円柱は各モータを表す。図の原点を腰関節の付け根として進行方向をY軸、Y軸に垂直な方向をX軸、高さをZ軸とする。節の長さをL、脚先の座標をP(x, y, z)としたときモータM1、M2、M3の角度 θ_{M1} 、 θ_{M2} 、 θ_{M3} と常に地面と平行である脚先の姿勢制御モータM4の角度 θ_{M4} は次の式で求められる。

$$\theta_{M1} = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) \quad (1)$$

$$\theta_{M2} = \cos^{-1}\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{2L}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z}\right) \quad (2)$$

$$\theta_{M3} = 2 \cos^{-1}\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{2L}\right) \quad (3)$$

$$\theta_{M4} = \left[\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z}\right) \right] + \cos^{-1}\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{2L}\right) \quad (4)$$

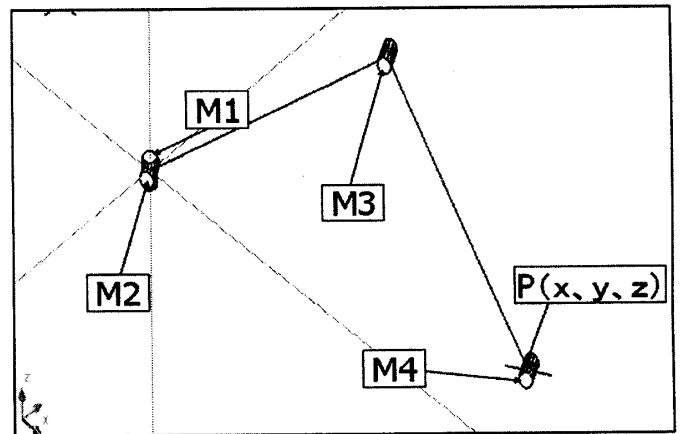


Fig.4 Structure of a robot leg

2.5 センサによる段差上り

Fig.5 にセンサを利用した段差上りの方法を示す。ロボットの前面に搭載されている距離センサがある一定の距離以下（壁を感知）になった場合、歩行を一旦停止して脚をすべて支持脚の状態にする。

そのあとをセンサが反応しなくなるまで全ての脚を伸ばすことによって上昇する。その結果、段差(h)が計測できる。その後、進むために必要な歩行高さ(H+h)まで先ほどと同じように上昇する。

歩行するときは段上の足については支持脚、遊脚ともに平面と同じ数値にし、段下の場合は支持脚になるときのみの足先座標(z)を歩行高さ(H+h)にすることによって歩行させて胴体を傾かせずに移動することが出来る。

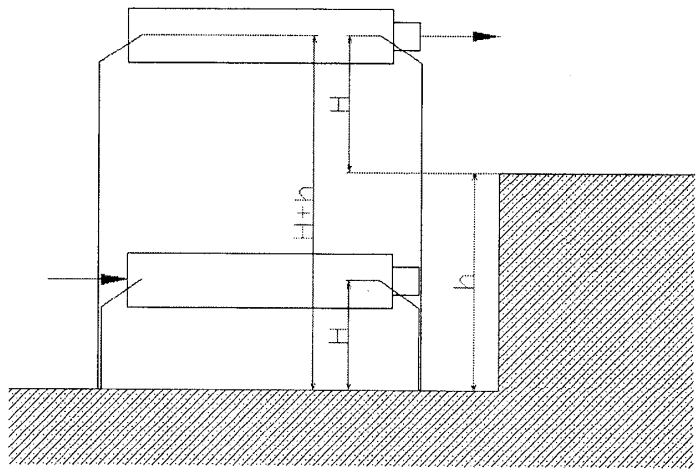


Fig.5 Difference walking with sensor

3. 性能評価実験

3.1 実験条件

クローल歩容パラメータを次のように設定して、実験を行った。

$$\beta = 0.9, \lambda = 35[\text{mm}], C_x, C_y = \{68[\text{mm}], 68[\text{mm}]\}, H = 25[\text{mm}], h_{up} = 20[\text{mm}]$$

(1) 平面での移動

歩行速度の安定性への影響を調べるため、周期(T)を以下のように変更し歩行実験を行った。

$$T_1 = 8.5 [\text{s}], T_2 = 7.5 [\text{s}], T_3 = 6.5 [\text{s}], T_4 = 5.5 [\text{s}]$$

ロボット胴体の移動速度(V)で表すと、 $V = \lambda / \beta / T$ より

$$V_1 = 4.58[\text{mm/s}], V_2 = 5.19[\text{mm/s}], V_3 = 5.98[\text{mm/s}], V_4 = 7.07[\text{mm/s}] \text{ となる。}$$

(2) 段差上がり

$h = 40[\text{mm}]$ の段差を上がる実験を行った。なお、速度は V_1, V_4 の2種類で行なった。

3.2 結果

ロボット胴体のX軸、Y軸周りの傾きピッチ角(θ)、ロール角(ϕ)を安定度の評価値とした。計測はロボットに搭載した2軸加速度センサを用いた。平面歩行時の実験結果をFig. 6, 7に、段差上がり時の結果をFig. 8, 9に示す。なお、実験は各速度5回行い、その平均値を用いている。また、段差上がりは図のセンサ信号の立ち上がり時から始まっている。

(1) 平面での移動

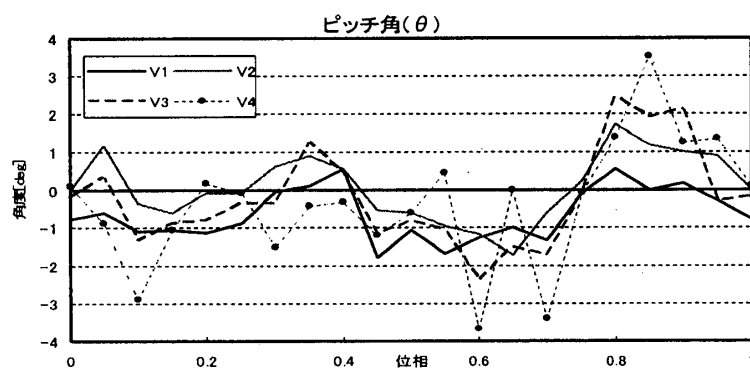


Fig.6 Experiment result in flat walking(pitch angle)

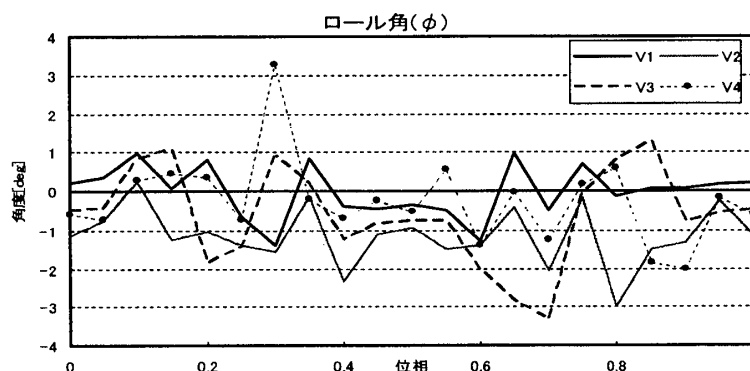


Fig.7 Experiment result in flat walking(role angle)

(2) 段差上り

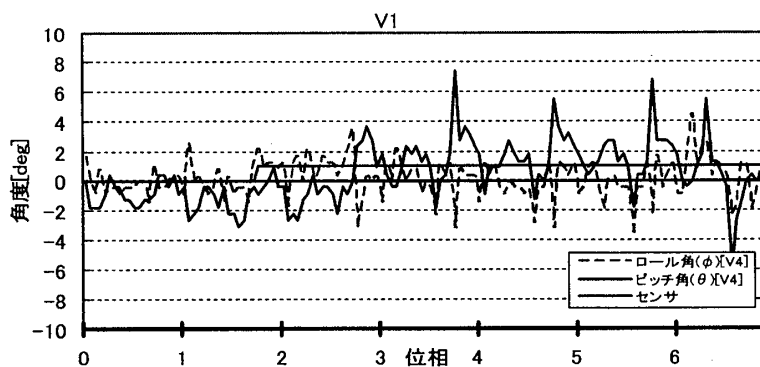


Fig.8 Experiment result in difference walking(v1)

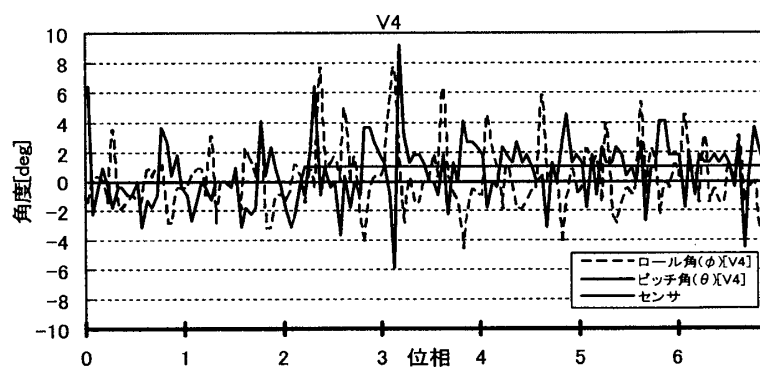


Fig.9 Experiment result in difference walking(v4)

以上の実験結果をまとめると次のようになる。

- (1) 平面移動では最大傾きを $\pm 4^\circ$ 以内に抑えることが出来た。しかし、歩行速度が大きくなるにつれてピッチ角、ロール角ともに数値が大きくなる傾向がある。
- (2) 段差上がりでは最大傾き $\pm 10^\circ$ 以内に抑えることが出来た。又、ロール角は、段差に関係なく安定している。しかし、ピッチ角は段差を上がっているときには大きくなる。

3.3 考察

- (1) 胴体が傾いたのは足自体の剛性・ガタ・歯車のバックラッシュの影響で足に歪が生じたためだと考えられる。
- (2) 平面移動の場合、速度が大きくなると歪によって起こった傾きの方向と動特性の影響による力が同じ方向になってしまい、その影響で傾きが大きくなると考えられる。
- (3) 段差上りの場合、重心の位置が高くなる。そのため、支持脚回りに起こる回転モーメントが大きくなり、同じ歩行でも傾きが大きくなると考えられる。

4. 結言

本研究では、不整地で安定した運搬・作業の出来る遠隔操作型4足歩行ロボットの開発を目的として、いくつかの技術的目標を設定した試作機を製作した。本研究で掲げた技術的目標であった(1)構造及び制御方式の確立(2)逆運動学による脚の制御方法の確立(3)安定した歩行パターンの確立(4)センサ認識による段差上がり(5)遠隔操作について、目標をほぼ達成することができた。また、性能評価実験の結果、平面歩行では胴体の最大傾きを $\pm 4^\circ$ 以内に抑えることが出来、段差上がりでは最大傾き $\pm 10^\circ$ 以内に抑えることが出来た。しかし、(1)足のガタ・歯車のバックラッシュによる足の歪(2)動特性の考慮(3)重心の位置が高くなることによる支持脚回りに起こる回転モーメントの増大など新たな課題も明らかになった。今後は(1)歩行条件変更による追加実験(2)クロール歩容以外の歩容の検討(3)センシングの方法(4)動特性を考慮した歩行パターンへの改善などを行い、実機化のための更なるデータ蓄積を図っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 新井雅之、広瀬茂男 他：レスキュー用連結クローラ走行車「蒼龍 IV 号機」の開発，第 23 回日本ロボット学会学術講演会，3I12(2005)
- 2) 千葉工業大学・未来ロボット技術センター：<http://www.furo.org/robot/Hibiscus/index.html>
- 3) 広瀬茂男、米田完：実用的 4 足歩行機械の開発に向けて、日本ロボット学会誌 Vol. 11 No. 3、pp. 360～365、1993
- 4) ロボット学会編：ロボット工学ハンドブック、コロナ社、2005
- 5) 佐藤政次：二足歩行ロボットのモデルベース開発、オーム社、2005

(平成 20 年 3 月 31 日受理)