

マイコン制御による 3 足歩行ロボットの開発

Development of a Tripedal Robot by Microcomputer Control

○小林 正嗣*, 佐藤 広和*, 水戸部 和久*

Masashi Kobayashi*, Hirokazu Sato*, Kazuhisa Mitobe*

*山形大学

*Yamagata University

キーワード：脚ロボット(Legged robot)，3足ロボット(Tripedal Robot)，
マイコン制御(Microcomputer Control)

連絡先：〒992-8510 山形県米沢市城南 4-3-16 山形大学 工学部 機械システム工学科
水戸部研究室 小林正嗣, Tel.:0238-26-3232, E-Mail: g03116@dipfr.dip.yz.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

ロボットにおける移動方法として、車輪、クローラ、脚式移動などが挙げられる。車輪式移動機構は、整地で安定しており、エネルギー効率の面で非常に優れているが、大きな凹凸がある面や脆弱面では移動が困難である。クローラ式移動機構は、エネルギー効率では車輪式移動機構に比べ劣るもの、多少の凹凸や脆弱面での移動に優れている。¹⁾

しかし、これらの移動機構では、例えば階段の昇降や大きな隙間のまたぎ越えといった非連続的な面での移動が不可能である。それに対し、脚式移動機構は非連続的な面での移動が可能であることから、様々な歩行形態を有する脚式移動機構が研究されている。²⁾

脚式移動機構の中で、3足歩行というのは生物にない歩行形態であり、ロボットの移動

方法としてはあまり研究されていない。3足歩行では、2本の支持脚による比較的安定した状態で、残った一脚を転倒方向へ動かすという簡単な制御で歩行できる。また、静止時は安定した3点支持の状態をとることができる。

これらの利点より、作業移動ロボットへの応用を見据え、本研究室で何年か研究を進めている。^{3) 4) 5)}

そこで、これまでに試作した3足歩行ロボットの問題点を踏まえ、新たな3足歩行ロボットの開発を行う。

2. 機構と歩行方法

2.1 従来の機構とその問題点

これまでに製作した3足歩行ロボットの

写真が、Fig.1である。1脚が3自由度を持ち、全体で9自由度となる機構である。歩行方法は、まず足を伸ばし、遊脚を横にひねり、前に出す、という3動作で行われる。

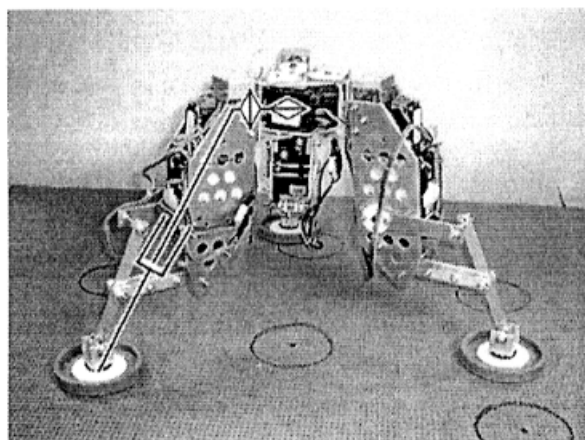


Fig.1 従来の機構

この機構での問題点に、一歩歩くのに時間がかかる点や、3動作を順番に行うので動きがなめらかでない点などが考えられる。この原因として、遊脚をひねる動作に注目してみた。

また、ラジコンのプロポによる無線で制御を行っておりノイズの影響を受けやすいため、制御方法の変更も行う。

2.2 新しい機構

そして、これらの問題点を解決するために考え出したのが、Fig.2の機構である。

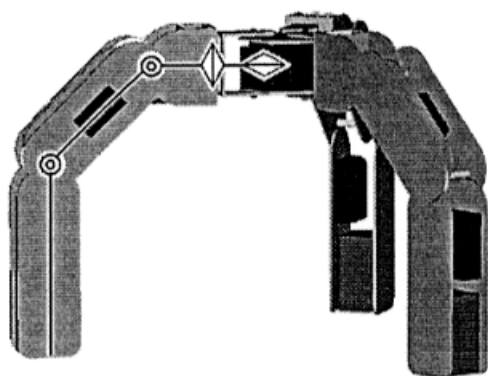


Fig.2 新しい機構

変更点は、伸縮する機構を回転に変え、脚の中心線に対して対称にしていることである。これにより、遊脚をひねるという動作を無くすことができる。自由度は従来と同様に、1脚が3自由度、全体で9自由度である。

2.3 歩行方法

新しい機構での歩行方法は Fig.3 のようになる。遊脚をひねる1動作が無くなったことと、遊脚を縮める動作と前に振り出す動作を同時に行うことで、歩行にかかる時間を短縮しスムーズな歩行を実現する。

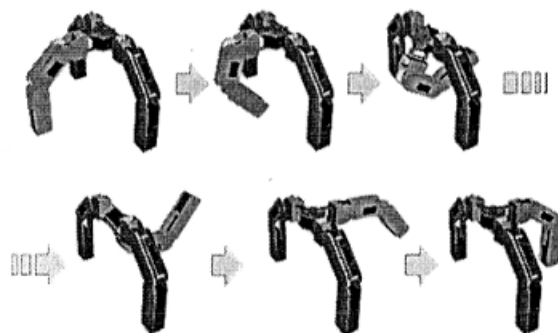


Fig.3 歩行方法

3. 設計と製作

実際に完成したものが、Fig.5である。

1脚の仕様は、Fig.4 のようになっている。各足は、3つのサーボと1つのマイコンにより、それぞれ制御される。

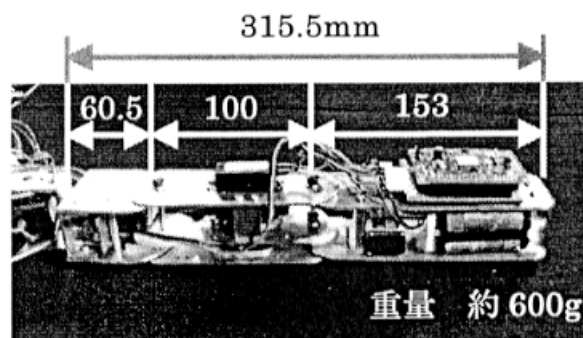


Fig.4 1脚

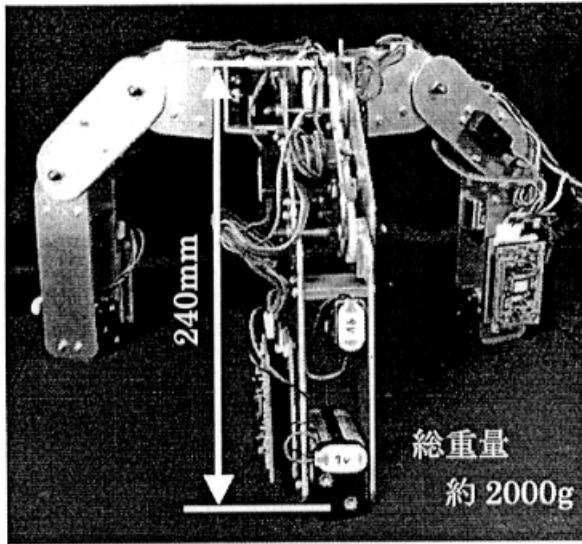


Fig. 5 全体図

4. 軌道生成と制御システム

4.1 軌道設計方法

軌道設計においては、ロボット全体の運動と遊脚の前方への移動速度の相互関係を適当に設計することにより、歩行可能な軌道設計を行うことを方針とする。そのために、ロボットを2次元の簡易モデルで表わし運動の解析を行う。

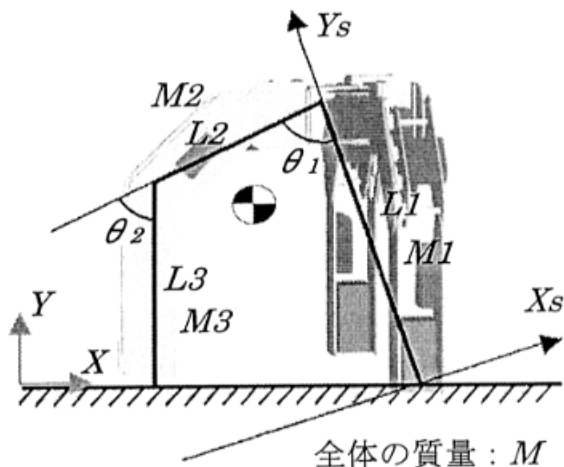


Fig. 6 2次元モデル

まず、Fig.6のように、座標系を支持脚に固定し、モデル化を行う。全体の質量が M 、支持脚部の質量 $M1$ 、長さ $L1$ 、遊脚部 A の質量 $M2$ 、長さ $L2$ 、遊脚部 B の質量 $M3$ 、長さ $L3$ とする。ロボットの質量が重心に集中しているものとして簡便なモデルを用いると、ロボットの遊脚先端位置及び、重心位置は次式で表わされる。

遊脚先端位置

$$X = -L2 \sin \theta_1 - L3 \sin(\theta_1 - \theta_2) \quad \dots (1)$$

$$Y = L1 - L2 \cos \theta_1 - L3 \cos(\theta_1 - \theta_2) \quad \dots (2)$$

重心位置

$$X_G = \frac{1}{M} \{ M2L2 \sin \theta_1 / 2 + M3(L2 \sin \theta_1 + L3 \sin(\theta_1 - \theta_2) / 2) \} \quad \dots (3)$$

$$Y_G = \frac{1}{M} \{ ML1 / 2 + M2(L1 - L2 \cos \theta_1) / 2 + M3(L1 - L2 \cos \theta_1 - L3 \cos(\theta_1 - \theta_2) / 2) \} \quad \dots (4)$$

また、床に固定した座標系でロボット重心の運動を表わしたものが Fig. 7 である。遊脚の運動とロボット全体の重心位置が上式で関係付けられたので、これに重力の作用を考慮すれば、重心に関する運動方程式は次式で与えられる。

$$\bar{p} \times \frac{d}{dt} m \dot{\bar{p}} = \bar{p} \times m \bar{g} \quad \dots (5)$$

(5)式を原点から重心までの距離および重心の傾き、 d 、 θ_m で表わすと

$$\ddot{\theta}_m = \frac{g \sin \theta_m - 2\dot{d}(t)\dot{\theta}_m}{d(t)} \quad \dots (6)$$

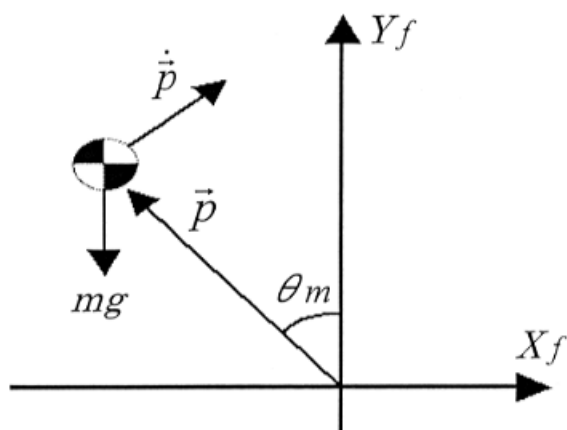


Fig. 7 重心の運動

$\theta_m = x_1$ 、 $\dot{\theta}_m = x_2$ とおくと

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= \frac{g \sin x_1 - 2\dot{d}(t)x_2}{d(t)} \end{aligned} \right\} \quad \dots (7)$$

この式を数値的に解くことにより、3足歩行ロボットの運動を解析する。

4.2 シミュレーション

遊脚に与えた移動速度に対するロボット重心の運動を(7)式に従い、ルンゲ・クッタ法を用い数値的に解いて、 θ_m の時間的な変化をシミュレーションした。結果を、Fig. 8, Fig. 9に示す。

Fig. 8は、遊脚の速度を $0.05m/s$ とし、支持脚の初期角速度を変化させたときの支持脚の軌道である。 $2rad/s$ では初速が足りず後

方に転倒し、 $5rad/s$ では初速が速すぎ前方に倒れており、 $3rad/s$ 位が理想的であることが分かる。

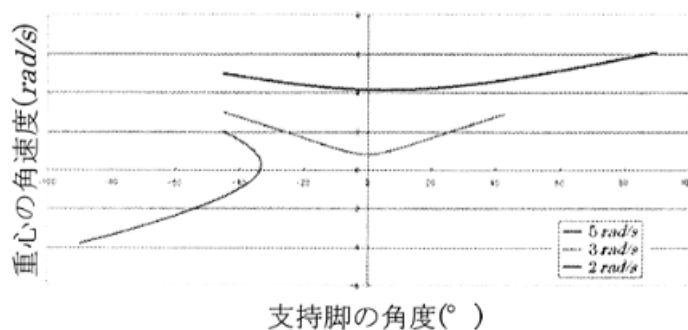


Fig. 8 初期角速度に対する支持脚の軌道

Fig. 9は、様々な遊脚の速度に対する支持脚の軌道を比較したものである。遊脚速度は、 $0.05m/s$ から $0.10m/s$ 位の範囲で与えるのが適切であると分かる。

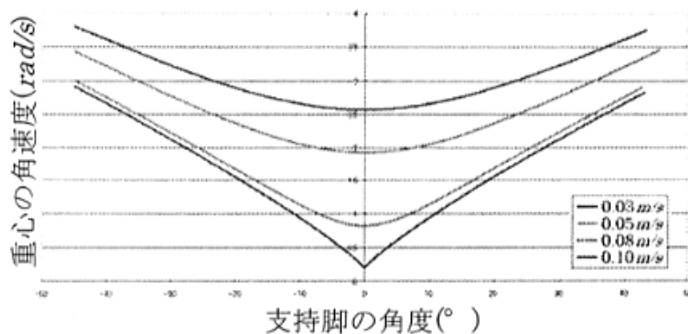


Fig. 9 遊脚速度に対する支持脚の軌道の比較

これらの結果から、実験では遊脚の速度が $0.05m/s$ となるような軌道を与える。それにより、支持脚の初期角速度が $3rad/s$ 位からなめらかに変化すれば理想的な歩行をしていると言える。

4.3 制御システム

マイコンのITU(16bit インテグレートドタイマーユニット)という機能⁶⁾を用いてPWM信号を出し、直接的にラジコンサーボを制御する。また、ITUをタイマーとしてもつ

かい、wait をかけることで、シミュレーションの結果に沿うよう角速度をコントロールする。

マイコンは3足にそれぞれ独立に取付けであり、各マイコンの電源は各足に取付けられたバッテリーより供給する。そのため、各足は完全に独立した制御系となっている。各足の間の通信については、各足に取付けるセンサおよびそこから情報の利用方法に依存して様々な方法が考えられるが、現状においては、各CPUを同時にリセットすることで、時間を同期させている。

5. 実験

製作したロボットの基礎的な運動制御実験を行った。基礎実験では以下の2点を確認した。

- ・ これまで問題であったひねりの動作を必要とせずに遊脚を前へ振り出せることの確認。
- ・ 遊脚に目標軌道を与え、一步を踏み出す動作が可能であることの確認。

実験の様子を Fig. 10 に示す。

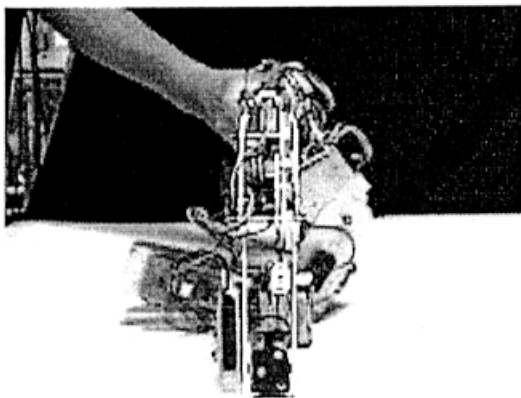


Fig. 10 実験の様子

本実験の結果、従来は一步に12秒程度かかっていたものが、遊脚を前へ出すのが6秒程度で済んでおり、歩行が実現すれば歩行時間を短縮できることを確認した。

また、以前のような複雑な動きではなく、生物的な印象を受けるような動きとなっており、なめらかな動きも実現できそうである。

これから歩行を実現するにあたっては、全体のバランスのとり方などをさらに検討する必要があるであろう。

6. おわりに

今回、歩行までには至らなかったが、従来の機構よりスムーズな歩行が実現できる可能性を示すことができた。

今後の課題としては、以下のことが考えられる。

歩行周期全体の実現のためには、脚の軽量化が必要と考えられる。また、十分な関節トルクを供給するためには、バッテリー容量が現状以上に必要となるが、バッテリーの重量を大きくすると脚重量が大きくなってしまふ。最適な重量バランスについても検討する必要がある。

各足にそれぞれ完全に独立したマイコンにより制御されるため、それぞれの間のコミュニケーションをいかに図り全体の運動にバランスを持たせるかについても今後検討が必要である。

参考文献

- 1) 佐野 明人, 作業機械における脚の役割,
日本ロボット学会誌, Vol.13, No.3,
pp.306-312, 1993
- 2) 古荘 純次, 歩行ロボットの研究展開,
日本ロボット学会誌, Vol.11, No.3,
pp.306-312, 1993
- 3) 福田 和弘, 3足歩行ロボットの全方向移動の研究, 修士学位論文, 山形大学, 2001
- 4) 一刀 弘真, 3足歩行ロボットの開発,
修士学位論文, 山形大学, 2000
- 5) 佐藤 広和, 3足歩行ロボットの開発,
卒業論文, 山形大学, 2003
- 6) 堀 桂太郎, H8 マイコン入門, 電機大出版局, 2003