

3足歩行ロボットの開発

Mechanism and control of a tripedal walking robot

福田和弘, 一刀弘真, 水戸部和久

Kazuhiro Fukuda, Hiromasa Ittou, Kazuhisa Mitobe

山形大学工学部

Yamagata University

キーワード: 3足歩行ロボット (three-legged walking robot), 歩容 (walking pattern),
フィードフォワード制御 (feed forward control), 機構 (mechanism)

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 水戸部和久

Tel: (0238)26-3232, Fax: (0238)26-3205, E-mail: mitibe@mnasu2.yz.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

本研究は3足歩行ロボットの機構及び制御手法の開発に関するものであり, その目的は3足での歩行を可能とする事により, 高い機動性と安定性を実現する事で円滑な3足歩行をめざすことである.

3足歩行を脚ロボットの移動手段として見た場合の特徴として, 2足歩行ロボットと同等な機動性及び4足歩行ロボットと同等な安定性を有していると考えられる.

3足歩行は歩行の全周期にわたり, 2脚以上による支持状態を保ちながらの歩行が可能である. 2脚支持状態では, 図1. に示すように, 2本の支持脚の接地点を結ぶ線の垂直方向にロボットの転倒方向が限定される. そのため, ロボットの運動制御においては主に転倒方向への1自由度のみの

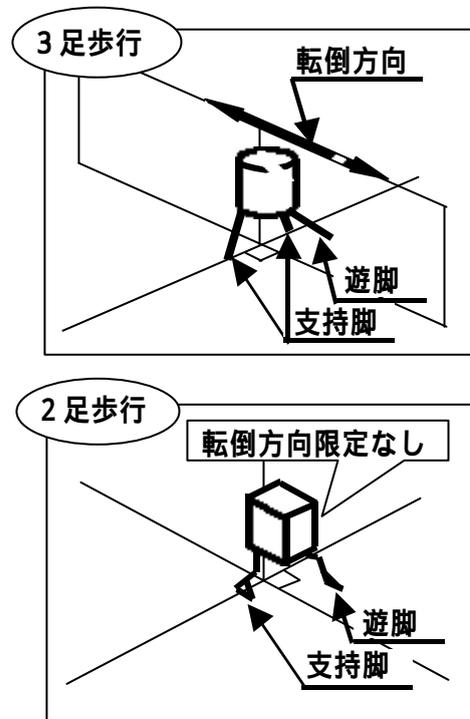


図1. 歩行時の転倒方向

制御として問題を簡単化することが可能である。これに対し、2足歩行は、1脚支持であり転倒方向は限定されていない。そのため、3足歩行は、2足歩行より安定な歩行を実現し易いと思われる⁽¹⁾。

4足歩行においては、3脚支持状態を保ちながら、それらの接地点により構成される三角形の中に重心の投影点を限定することにより静的な安定性を保つことが可能である。この条件を常に満足すれば安定な静歩行が可能であるが、静的歩行の安定性は歩行速度が十分に遅いという条件下でないと保証されない。このため、作業能率の向上のためには、歩行周期の一部を2脚支持状態として動的な状態をも考慮した歩行が有効と考えられる⁽²⁾。実用上の観点から2脚支持期を含めて考えれば、3足歩行においても4足歩行に比べ歩行運動中の安定性が大きく劣ることはないと考えられ、同等な安定性を持つ歩行が可能であると思われる。また、3足歩行ロボットは、3点支持状態をとれば非常に安定な静止状態をとることができる。

次に機動性について述べる。2足歩行ロボットは、直立での歩行が可能であるため狭い通路でも小回りがきく利点がある。3足歩行ロボットもそれに近い状況での歩行が可能と考えられる。3足歩行ロボットの垂直投影面積は、4足歩行ロボットのそれと比較して小さい。そのため、4足歩行ロボットの通過できない狭い通路でも、3足歩行ロボットは移動可能である。

また、3足により歩行を行う生物が存在していないという点から、生物には見られない歩行形態を実現可能であり、非常に興味深いものである。

2. 提案する歩容

3足歩行を行うにあたり、まず問題となるのは、どのような歩行を行うかということである。3本の脚を、人間が松葉杖を使うようにして歩行するのでは、両端の脚は同じ動きをするだけであり、本質的には2足歩行と同等と考えられる。そこで本研究では、図2.のような歩容を提案する。

図2.は、歩行ロボットを真上から見た場合の足先の移動を示し、各●●●は、脚と地面との接点を示している。ここで、ハッチングしてある●●●が作る三角形を初期状態とする。進行方向に対して一番後ろに位置する脚(図2.の●●●の脚)から●●●の順に、支持脚の間を通過して先頭に移動させ歩行を行う。

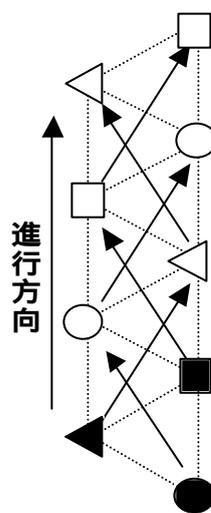


図2. 直線時の歩容

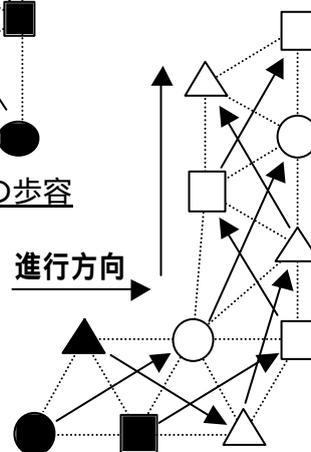


図3. 直角に曲がる時の歩容

本歩容の大きな特徴は、脚の踏み出す順番を変えることにより360度あらゆる方向に進行方向を変えられることである。その一例として、図3.では90度の方向転換の様子を示している。図2.と同様に初期状態から、直進を行い、脚を踏み出す順番を変えることで方向転換を行う事が可能である。

多方向への速やかな方向転換を実現できることが本歩容の有効な点であると考えられる。

3. 提案する歩容

3.1 提案する歩容の実現

に当たって

本研究で提案する歩容は、特殊であり、また、脚数が奇数本であることから、従来の多足歩行ロボットに用いられていたような、生物をモデルとした機構では、実現が困難であると思われる。

3.2 考案した機構

提案する歩容を満足する歩行ロボットとして、本研究で考案した機構の概念図を図4.に示す。本機構の1脚分の各関節部は、図4.の . . . の矢印のような回転運動を行う。また、1脚の各自由度の配置を左に示す。

前途した目標とする歩容を実現するためには、1脚に対して最低限必要な自由度は3自由度であり、3脚全体では9自由度必要である。

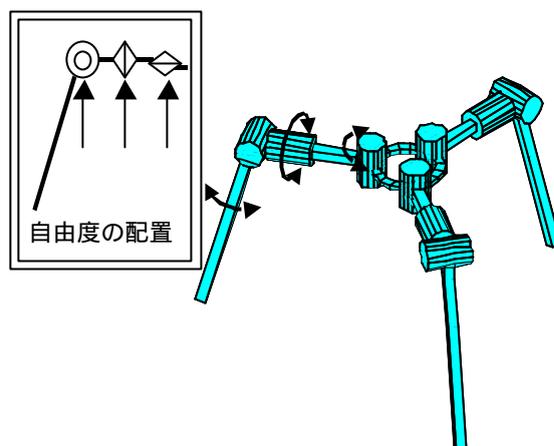


図4. 脚機構の略図

3.3 一步分の動作

考案した機構の一步分の歩行の様子を図5.に示す。

を初期状態とする.進行方向に対して一番後ろに位置する脚が遊脚となり、他の2脚が支持脚となる。後ろにある遊脚が、2脚の支持脚の間を通過して先頭に移動させる(. . . の状態)。その後、遊脚の足底を着地させると一步分の歩行が終了し、その状態が . . . となる。

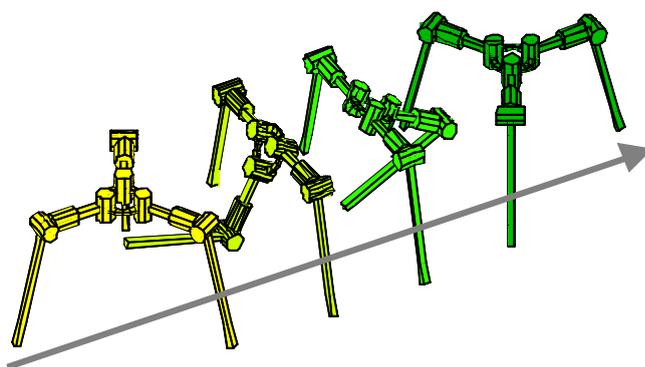


図5. 一步分の歩行の様子

4. 設計・製作

4.1 設計

本研究では，前途の機構の3足歩行ロボットへの適用可能性を検討するために，設計及び製作を行った．3足歩行ロボット1脚分の製作外観を図6．に示す．

設計において，各関節部の回転動作にはラジコンサーボを用いている点の特徴である．
・ にラジコン用のサーボ・モータを使用し，
には手を加え多回転型にしたサーボを使用している．
のサーボはダイレクトに回転を伝え，
のサーボの回転は，4節平行リンクを用いて伝達する．

なお，ラジコン用のサーボ・モータの利用にあたっては，文献(3)~(5)を参考している．

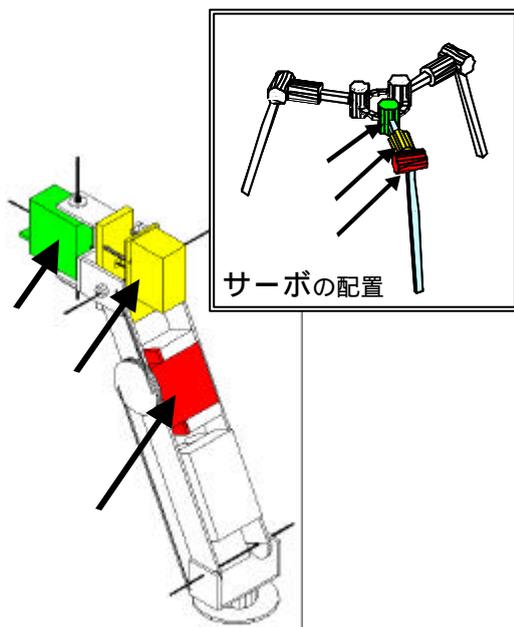


図6．脚機構1脚の外観

4.2 製作した3足歩行ロボット

製作した3足歩行ロボットの概観を図7．に示す．この3足歩行ロボットの愛称は，Haru-noriである．

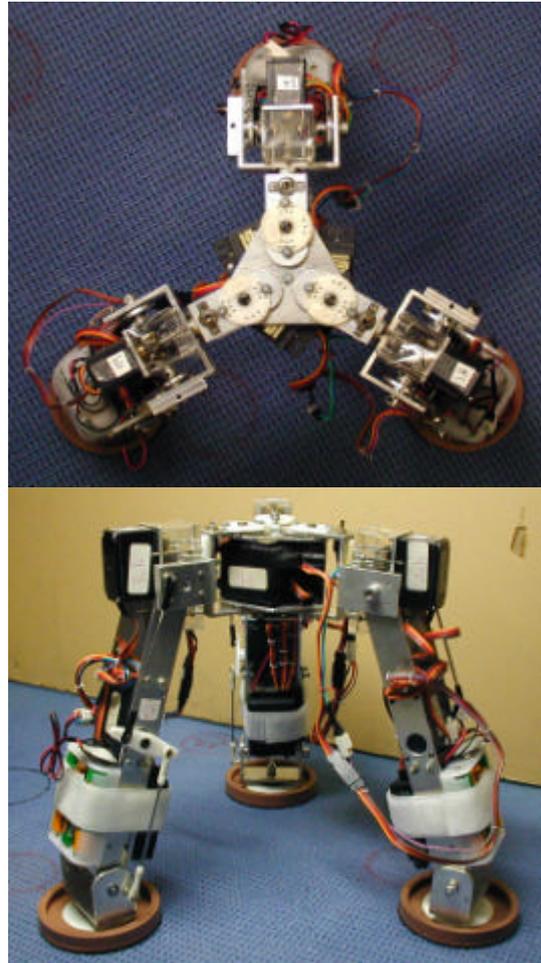


図7．製作した3足歩行ロボットの外観

仕様	自由度	: 9
	重量	: 1830g
	足底の直径	: 74.5mm
	初期状態	
	高さ	: 240mm
	足底間の幅	: 220mm

5 . システム概要

提案する歩容の実現には、脚及び配線が3つ編み状に絡む事が問題となる。この問題をラジコン用のサーボ・モータ、送信機及び受信機を使用し、無線にすることにより解決している。このシステムの概要を図8 . に示す。

パソコンからの指令電圧信号をD/Aコンバータに通し、送信機に送る。この信号を受信機にて受け取り、サーボの制御を行う。また、このシステムでは、双方向送受信ができないため、フィードフォワード制御と成っている。

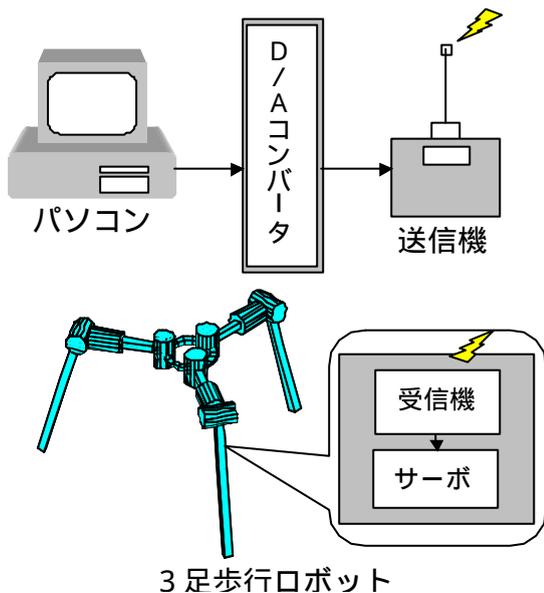


図8 . システムの概要

6 . 実験および考察

本実験の目的は、製作した3足歩行ロボットにより歩行を実現することが可能であるかを検証するためのものである。そのため、ロボットへの動作実験内容は、実際に一歩歩かせ、歩行一歩の一連の動作につい

て検証する。

図9 . にロボットへ歩行一歩を行わせた動作実験の様子を示す。(この写真は、歩行一歩したときをカメラにて連続撮影したものである。) が初期状態である。右後方に見える脚が遊脚となり、左方向に進む。

この動作実験より製作した3足歩行ロボットは、目標とした歩行を行えることが確認できる。

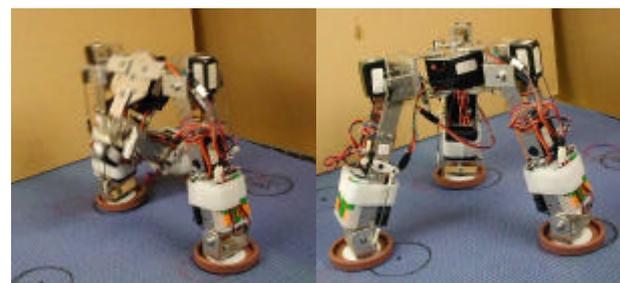
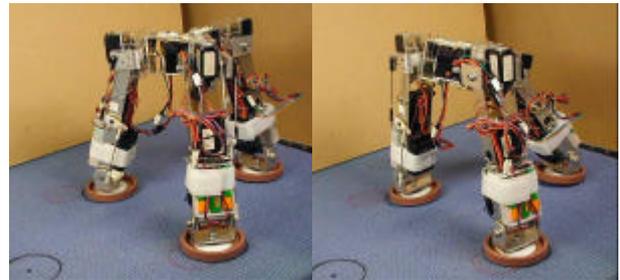


図9 . 歩行一歩の一連の動作

実験によりいくつかの問題点が明らかになった。その問題を以下に示す。

歩行の際、遊脚の着地点が目標位置とず

れてしまい、進行方向からずれ歩行を行っている。これは、ラジコンサーボへの入力信号と応答との間に非線形性と時間遅れがあるため、これらの補償が必要と考えられる。

現在の運動軌道では、十分な安定性の確保ができない状態で歩いている。そのため、運動軌道を改良して安定な歩行が行える様に必要がある。

7. おわりに

本研究では、3足歩行に有効であると思われる歩容を提案した。また、提案した歩容を実現する機構を考案し、3足歩行ロボットの設計及び、製作を行った。また、直進歩行の動作実験を行い、考案した機構が3足歩行へ適用可能であることを確認し、考案した機構の特徴を考察した。

本ロボットの機構は、歩行中に胴体が反転するため、一定姿勢を保つことができない。この問題は、提案する歩容を満たす3足歩行ロボット特有の興味深い問題であると思われる。また、現在はまだ十分な安定性の確保ができない状態で歩いている。

今後は、これらの問題をふまえ改良を行い、十分な安定性の確保ができる3足歩行ロボットにする予定である。

参考文献

- (1) 広瀬 茂男, 米田 完: 実用的4足歩行機械の開発, ロボット学会誌, vol.11, No.3, pp.360~365, 1993
- (2) 古荘 純次: 歩行ロボットの研究展開, ロボット学会誌, vol.11, No.3, pp.306~312, 1993

(3) ROBOCON Magazine No.1 ~ No.11, 1997 ~ 2000, Ohmsha

(4) YosaQ報告書
<http://www.jks.is.tsukuba.ac.jp/%7Ee961449/robocon>

(5) <http://user2.allnet.ne.jp/saturday-the-robot/>

謝辞

本研究は、米沢市研究奨励補助金の援助の基に行われた事を記し、謝意を表します。