

機関番号：31302

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20760172

研究課題名（和文） 2脚歩行ロボットの受動車輪による高速滑走の実用化

研究課題名（英文） Practical development of higher speed locomotion of a biped robot with passive wheels

研究代表者

熊谷 正朗（KUMAGAI MASAOKI）

東北学院大学・工学部・准教授

研究者番号：70323045

研究成果の概要（和文）：

2脚歩行ロボットに受動の（モータで駆動しない）車輪を追加するのみで、歩行に比べて高速な車輪移動を実現する手法について、原理にほぼ一致する動作を実現した。移動に必要な動作は脚の既存自由度（駆動関節）のみを使用するため、部材追加や制御量の増加が少なく、移動速度の向上を低コストに総重量の増加を抑えて実現することが可能である。この検証のため、人間サイズの脚を有する歩行・走行ロボットを開発した。

研究成果の概要（英文）：

This work confirmed a method called "Roller walk" for biped robot. The robot only requires passive wheels on its each foot with a special axel mechanism, and a periodic motion of both legs generates propulsive force on the wheel. Hence, no additional motor and controller is required for wheeled mobility enabling higher-speed locomotion. For this work a new biped robot with human-size leg was developed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：メカトロニクス ロボット開発

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：2脚歩行ロボット 受動車輪移動 ローラーウォーク ローラースケート

## 1. 研究開始当初の背景

2脚歩行ロボットは、人間環境での使用を目的としたヒューマノイドロボットの移動手段として、現在も様々な研究が進められている。移動速度の向上を目指し、脚による走行の研究も存在するが、さほどの高速化は得られていない。本来は脚ロボットは不整地環境での移動に有効とされているが、実際にはバリアフリー化が進み、車輪で移動できる環

境はかなり多くなりつつある。このことを鑑みると、平地移動に適した車輪移動の併用が、脚ロボットの移動の高速化には必要ではないかと考えられる。

脚ロボットに車輪を付加する場合、モータ付きの能動車輪を取り付けることが、発想としては単純であり、かつ、その場合は従来の車輪移動ロボットの手法がそのまま適用できる。実際、そのような研究も多い。しかし、2脚歩行ロボットにおいて、車輪を取り付け

る場所の有力候補である足部は着地する場所で、衝撃も大きく、また制御の観点からあまり質量を大きくしたくない場所である。当然、モータ制御系が増えるため、コスト的にもシステムの大きさに増加が避けられない。

この問題に対処すべく、車輪は受動(モータ無し)のものを使用し、脚の周期的運動だけで移動するような、ローラースケートを履いたようなロボットの研究がある。4脚ロボットでは広瀬・遠藤らのグループによる「ローラーウォーカー」が著名であり、2脚ロボットでも2, 3例の研究がある。

## 2. 研究の目的

研究代表者らは、本課題に先行して、2脚歩行ロボットに受動車輪を取り付けたロボットの研究を行っていた。従来の研究が、車輪のすべりを前提としていたのに対して、車輪を滑らせることなくスムーズな移動を可能とするために特殊な台車機構を考案した。これにより、直進、曲線移動だけではなく、他のロボットには見られない、その場での旋回を可能とした。ただし、ロボット自体が簡易的なものであり、理論的に想定される動作とは誤差が多かった。

本研究の目的は、この手法の実用性の向上を全体の目的として、

- (1) 現在では標準的な動作性能と考えられる水準の実験用ロボットの開発と、そのロボットによる動作の検証
- (2) 以前は予め特定の関数で与えた経路のみの動作であったものを、逐次経路を修正可能な手法に変更すること
- (3) さらに単脚でのスケータリングが可能かどうか検討すること  
の3点を挙げた。

## 3. 研究の方法

研究の最大の要素は2脚歩行ロボットと車輪機構の開発である。

2脚歩行ロボットに関しては、すでに類似の構成、すなわちACサーボモータとハーモニックドライブの組を関節駆動に適用し、それらをフレームで結合する、1脚6自由度(上からYRP-P-PR関節)のものが多く発表されており、特に新しいという点はない。ただ、一般にこれらのロボットの設計データは公開されておらず、市販されているものであっても若手Bの研究費を大幅に上回るため、予算内での独自開発実装が課題であった。また、開発は当時大学院生の板橋君と共同で二人

で行っており、短期間(半年)で十分な性能のロボットを開発するための工夫を行った。

ロボットの実装面で特筆する点を述べると、

- (1) 脚フレームは超超ジュラルミンの板材を放電加工(ワイヤカット)で切断したもので組み立てた。事前に同一設計データで、アクリル板をレーザ加工(低コスト・短時間)して試作を繰り返したことで、最終設計では加工から組立まで一気に進めることができ、トータルコストと短時間化の効果があつた。
- (2) 特殊な部品を使用することなく、市販部品だけで設計製作を行いつつ、当手法に必要な足首関節の関節可動範囲を確保するため、足首(および股関節)の駆動系の配置を工夫した。具体的にはともにロール軸の駆動モータをすね・股内に納めた。

詳細は以下の文献に記載している。また、ロボットの外観、足首については次節に示している。

受動車輪台車機構については、ロボット本体に先行して、人間が装着可能な大きさ、強度のものを開発し、研究代表者自らが装着して、運動を試みた。興味深い点としては、ロボットには容易に実行できる、移動のための脚の周期動作が人間には極めて過酷であったことである。関節構成が人間の動作を模倣できるように6自由度にしてある一方で、トルクという点では人間より過剰な箇所があることを示唆している。一方で、同機構を装着して、自身の平衡感覚によっては単脚での滑走が可能であることを確認した。原理的には、左右のバランスを保ちつつ、車輪機構の胴部の傾きを変えることで進行方向を修正できる。小さな曲率半径での旋回が可能であることを確認した。

機体の完成後、自由に軌道を修正するために、従来の三角関数で固定的に軌道設定する方法を改め、台車の軌道を5次ベジェ曲線で実装するように改めた。制御点を適切に選ぶと、曲線などの軌道も生成できる。なお、ロボット等の軌道で、しばしば3次のベジェ曲線が使用されるが、台車機構の要求する曲率の連続性のため、最低でも5次が必要である。

単脚での滑走研究については、ロボット設計の見積もり不備によりまだ実施に至っていない。当初、30kg程度のロボットを想定して開発していたが、フレーム等の安全率の過大想定、ネジ類の積算重量により、倍の60kgとなってしまう。この質量での、転倒が頻

繁に予想される単脚滑走は非常に危険であるため、当初の予定にあったこの部分は見送った。今後この研究を進めるにあたって危険性を低減させるためのシミュレータの導入を図った。今後、OpenHRP3を用いてモデル化を進め、まずはシミュレータで動作として危険性が少ないことを確認して、実機運用をする予定である。

#### 4. 研究成果

研究成果の主要部分は以下の学会発表論文(SICE 東北支部 WEB ページもしくは IEEE explorer から入手可能)に記載している。

- ・ローラーウォーク可能な人間サイズの2脚歩行ロボットを開発した(図1、2)。同ロボットの身長は1450mm、脚長(股関節～足首関節)は660mm、質量は60kgである。自由度配置は上から、股関節にヨー、ロール、ピッチの3自由度、膝関節にピッチの1自由度、足首にピッチ、ロールの2自由度を配置した。各々80WのACサーボモータで駆動しており、減速比は1/100～1/150である。モータの駆動装置と、ローカルコントローラを胴体内に納めており、外部からは動力電源を供給し、関節の角度指令値を外部のPCで生成している。前者はバッテリー等で、後者は小型のPCを搭載することで自立化可能であるが、開発効率などを考慮して、現在は外置きにしている。
- ・同ロボットを用いて、予めプログラムした通りの走行が可能であることを確認した。軌道の設計には5次のベジェ曲線を使用した。始点終点を合わせて6個の制御点の(x, y)座標を指定することで、1周期分の軌道を生成する。この制御点の進行方向での位置を工夫することで、ほぼ一定の進行速度が得られること原理的に確認した。ただし、低速な場合は原理的に推力が不足する位置での失速が目立ち、高速では走行開始時の追従誤差が大きくなるため、移動量が低下することが確認された。今後の検討事項として、加減速も考慮した動作を検討する必要がある。
- ・軌道はベジェ曲線を用いて実装し、これによって動的な変更を可能とした。従来手法では軌道の半径などから予め軌道を固定して決めていたため、とっさの軌道変更は不可能であった。これをベジェ曲線にすることで、現在の台車機構の位置関係、方向などを始点として、以降の軌道を設定できるようになるため、軌道の自由度が増した。

参考までに、開発したロボットとその足首機構の写真を掲載する。

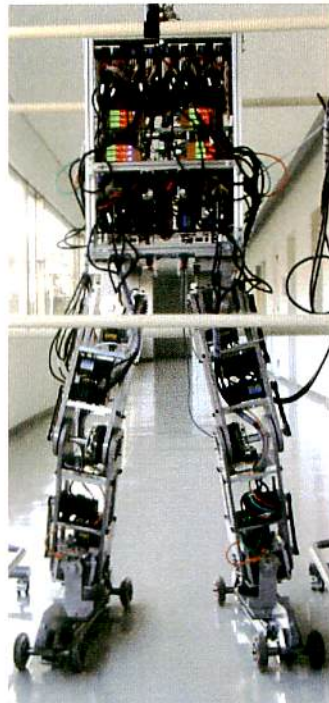


図1 開発したロボット Zephyr

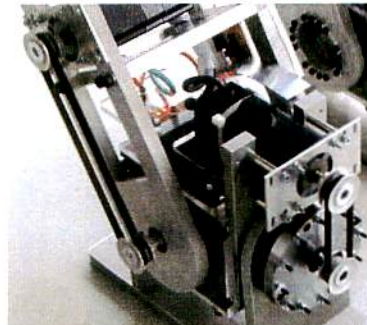


図2 同ロボットの足首2自由度関節

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計2件)

①Development of a human type legged robot with roller skates  
Itabashi, K. Kumagai, M.  
2010 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, 2010

②曲率可変台車による走行を可能とする2脚ロボットの開発  
板橋賢, 熊谷正朗  
SICE 東北支部研究集会 254-2, 2009

6. 研究組織

(1) 研究代表者

熊谷 正朗 ( Kumagai, Masaaki )

東北学院大学・工学部・准教授

研究者番号 : 70323045