

平成22年 6月 4日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20760154

研究課題名（和文） 特異点近傍を利用するためのヒューマノイドの歩行制御

研究課題名（英文） Biped walk control for humanoid to utilize singularity neighborhood

研究代表者

関口 暁宣（SEKIGUCHI AKINORI）

東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・講師

研究者番号：80344612

研究成果の概要（和文）：本研究では、ヒューマノイドの膝特異点（膝を伸ばした状態）近傍を用いた自然な歩行運動を実現することを目的として、安全に、効率的に特異点近傍を利用するための歩行軌道計画と制御手法について検討を行った。また、人間の歩行動作の計測結果などに基づき、ヒューマノイドが特異点近傍を用いた歩行を行うために適した足底形状の試作を行った。実験により、試作した足底を用いて踵からの接地とつま先での離地を伴う安定な歩行を実現できることを確認した。

研究成果の概要（英文）：A human being utilizes its singularities to achieve efficient walking motions. However, a robot cannot handle its singularities because it causes extremely large joint velocity. To tackle this problem, we studied on walking pattern generation and control method to utilize singularity neighborhood effectively. We also designed a prototype foot shape of humanoid robot for human-like walk. The robot with the prototype sole was able to walk stably, with toe-off motion and heel-contact motion.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：工学

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：①ヒューマノイド、②ロボティクス、③二足歩行

1. 研究開始当初の背景

近年 HONDA の ASIMO など完成度の高いヒューマノイドロボットも登場し、将来人間社会において様々な用途での活躍が期待されている。運動制御に関しても大きな進歩があり、比較的滑らかな 2 足歩行も実現されている。しかし、その動きは人間の動きとは異なる。これらのロボットと人間の動作との大きな違いの一つは、機構の特異点を利用していない点である。人間の持つ器用な動きや頑強な行動には、冗長性や特異点が深く関連していると考えられている。さらに、特異点を利用することで効率的な運動が実現できる。しかし、特異点やその近傍では、過大な関節角速度が発生するため危険であり、これまでロボットでは特異点を避けるのが普通であった。また、多くのロボットの足が足先部分に自由度のない一枚板の機構となっていることも、歩き方が人間と異なる一因であると考えられる。

これに対し、我々はこれまで特異点適合法と呼ぶ特異点を安全に制御できる手法をヒューマノイドの静歩行動作に適用し、膝特異点近傍を含む歩行を実現した。しかし、特異点適合法では特異点近傍のある方向において関節角速度の大きさが抑えられるため、この手法を動歩行に直接適用した場合ロボットの歩行が不安定となる可能性がある。このため、我々はヒューマノイドが特異点近傍を利用するための動歩行軌道計画手法についても議論を行ってきたが、特異点近傍を利用したより安全な歩行制御や自然な歩行動作を実現するために、特異点適合法などを応用した新たな歩行軌道計画手法の開発が望まれる。また我々はこれまでに、ロボットの平らな足底は人間に近い特異点近傍を用いた歩行を行うためには不向きであることを示し、特異点を通過しやすい足形状の条件を示した。この知見を活かし、特異点を通過しやすい足形状を利用した歩行軌道計画を行うことにより、より自然な歩行動作や特異点を利用した動作を実現することができるのではないかと期待される。

自然な歩行運動の実現を目的として、受動歩行や準受動歩行に関する研究が国内外で行われているが、それらに対し本研究は、能動的な制御によって特異点近傍を利用した安定な歩行を実現しようとするものである。また、人間の歩行における足指機能の解析やモデル化を行いロボットに応用しようとする研究や、足指関節を用いたヒューマノイドの歩行動作生成に関する研究が行われているが、現実にはヒューマノイドに足指間接を追加することは難しい場合も多い。それに対し本研究は自然な歩行での足の接地や離地に

適した足底形状の設計を試みる。

2. 研究の目的

本研究では、上記の背景に基づき、ヒューマノイドの自然な動きや特異点を利用した動作を実現することを目指し、特にヒューマノイドの膝特異点（膝を伸ばした状態）近傍を用いた自然な歩行運動を実現することを目的とする。具体的には、(1)制御手法、(2)人間とロボットの機構の違い、の 2 つの観点から以下に示すテーマについて研究を行う。

(1) 特異点近傍を通過するための歩行軌道計画と制御

(2) 特異点近傍を利用するための足底形状の設計

3. 研究の方法

(1) 特異点近傍を通過するための歩行軌道計画と制御

膝特異点近傍を利用した自然な歩行動作を実現するための歩行軌道計画手法の開発を行う。これまでに我々が議論してきた、過大な関節角速度を発生することなく特異点近傍を通過するための動歩行軌道計画手法を発展させ、より安全に、より効率的に特異点近傍を利用するための新たな歩行軌道計画手法の開発を試みる。

実験装置として、新たに購入した実験用小型ヒューマノイドロボットを用いる。新たに購入した PC を用い実験システムの構築、ロボットのシミュレータの構築を行う。開発した歩行軌道計画手法や制御手法を小型ヒューマノイドロボットに適用し、シミュレーションと実験により検証を行い、平地での膝特異点近傍を用いた歩行運動の実現を目指す。

また、接地、離地時に後述する足底形状を利用するための軌道計画もあわせて行う。

(2) 特異点近傍を利用するための足底形状の設計

人間は歩行時の接地や離地において踵や足指を上手く利用していると考えられる。それに対し足先に自由度のない一枚板の足機構を持つロボットでは人間と同様の接地や離地が困難となるため、足の接地、離地に適した足底形状の設計を試みる。

これまでの研究において、ロボットの平らな足底は人間に近い特異点近傍を用いた歩行を行うためには不向きであることを示し、特異点を通過しやすい足形状の条件を示した。

これらの考察結果や、人間の歩行動作を計測した結果をもとに、ヒューマノイドが特異点近傍を用いた歩行を行うために適した足底形状を試作し、シミュレータと実験用小型ヒューマノイドロボットを用いて実験を行う。

4. 研究成果

(1)

安全に、効率的に特異点近傍を利用するための歩行軌道計画と制御手法について、ロボットのシミュレータを用いて検討を行った。ロボットの重心の水平方向の運動を3次元線形倒立振子を用いて計画し、水平方向の運動とは独立に振子の支点位置を上下させることによる鉛直方向の運動を計画することで、重心の上下動を伴う歩行運動を生成する。この線形倒立振子と支点上下動を用いた歩行軌道計画手法をベースとして、特異点近傍を効率的に利用するための支点上下動の計画を試みた。図1、図2に、シミュレーション結果の例を示す。図1は膝関節角度、図2は膝関節角速度である。この手法により、重心の上下動を伴う歩行運動が生成され、支持脚中期に特異点近傍を利用することができる。しかしシミュレーションの結果、これまでに試みた上下動の計画方法では、従来よりも特異点に近い状態を利用しようとした際に安定性を確保できなくなる場合があることがわかった。また、歩幅の変更などに対して着地位置の調整を適用した場合にも、特異点に入り過大な関節角速度が生じる場合がある。今後さらに検討を進めこれらの問題を解決し、より安全に特異点近傍を利用するための軌道計画、制御手法を開発する必要がある。

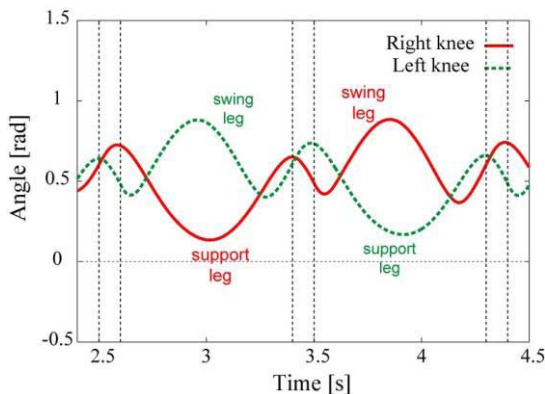


図1 Knee joint angle

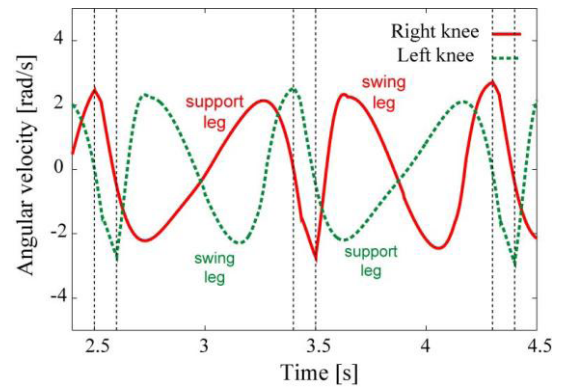
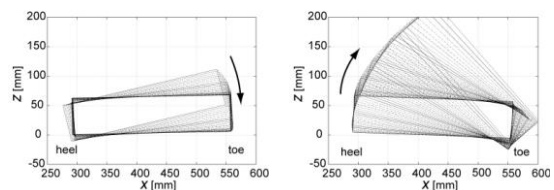


図2 Knee joint velocity

(2)

人間の通常歩行動作を計測した結果をもとに、実験用小型ヒューマノイドロボットの足底形状を試作した。試作した足底を装着したロボットを用いて歩行実験を行い、その効果を検証した。

人間の歩行では、着地時には接地状態が踵接地から足底接地へと移行し、離床時には足底接地からつま先接地へと移行する。図3に、人間の歩行を計測したデータから得られた着地時と離床時の足の動きの例を示す。図3(a)が着地時、図3(b)が離床時の足の動きである。ただし、図中では人間の足の形状を直方体に置き換えて表示している。この図からわかるように、人間の足を従来のロボットの平らな足底に置き換えた場合、人間の足と同じ動きを行うためには足は地面より下にめり込むことになる。従って、ロボットがつま先関節を用いずに人間と同様の歩行動作を行うためには、踵部とつま先部が切れ上がった形状が有効であると考えられる。



(a) Heel-contact motion (b) Toe-off motion

図3 Foot motion of human

これらの結果をもとに、実験用小型ヒューマノイドロボットのための足底を試作した。試作した足底のプロトタイプを図4に示す。このプロトタイプは、ナイロン製の足底と、踵部およびつま先部に取り付けられたウレタンフォームで構成される。主要部分はナイロン製の足底であり、図のように踵部とつま先部が切れ上がった形状となっている。

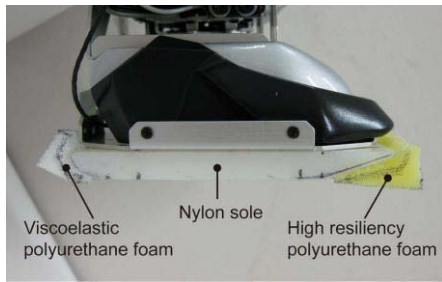


図 4 Prototype sole

試作した足底をロボットに装着し、歩行させる実験を行った。3次元線形倒立振子と、両脚支持期前後における足首制御をベースとして、踵接地とつま先離地を伴う歩行パターンを生成した。実験により、試作した足底を用いて踵からの接地とつま先での離地を伴う安定な歩行を実現できることを確認した。実験の様子を図5に示す。

今後、このような足底形状の効果の検証をさらに進めるとともに、足底形状をより効果的に利用し人間のような歩行動作を実現するための歩行軌道計画などについて検討を行う。このような検討を、安全に特異点近傍を利用するための軌道計画、制御手法の開発と合わせて進めることで、人間らしい自然な歩行運動を実現することができると考える。

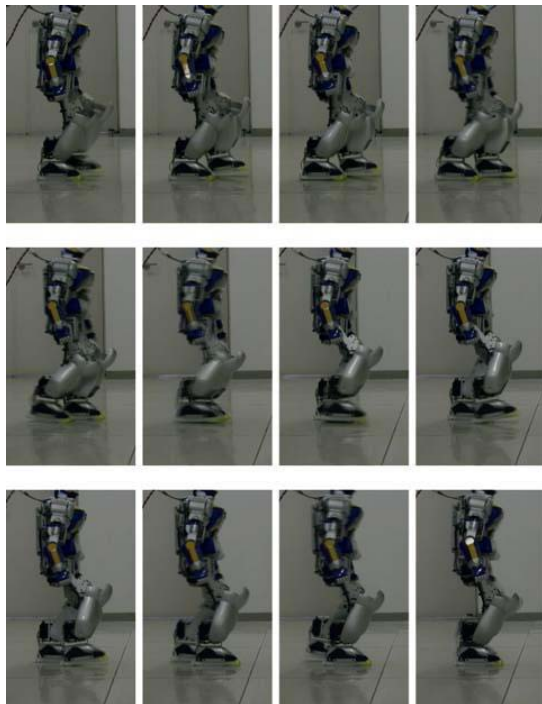


図 5 Snapshots of experiment

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)

① Akinori Sekiguchi and Yuichi Tsumaki, A Prototype Foot Shape for Human-like Walk of Humanoid Robot, SICE Annual Conference 2010, 査読有, 2010年8月18-21日, Taipei, Taiwan. (発表予定)

② 関口暁宣, ヒューマノイドの人間らしい歩行動作のための足底の試作, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010, 査読無, 2A2-E03, 2010年6月16日, 北海道旭川市. (発表予定)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関口 暁宣 (SEKIGUCHI AKINORI)

東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・講師

研究者番号：80344612