

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26540136

研究課題名(和文)捻転柔軟半球足による複合モビリティ

研究課題名(英文)Compounding mobility by soft and hemispheric torsional feet

研究代表者

田原 健二(Kenji, Tahara)

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：80392033

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、足先に柔軟半球足を有する二足歩行ロボットを提案する。足先を半球にすることにより転がりが生じるため、エネルギー効率を高めることができる。さらに、半球足部分を捻転運動させることで車輪移動を実現する。これにより、高効率な二足歩行と車輪移動を一つの機構で実現することができる。しかし、足先が半球足では地面との接触面積が減少するため、より精細なバランス制御が必要となる。本研究課題では、柔軟半球足を持つ二足歩行ロボットの拘束条件、運動方程式の導出、バランス・歩行制御則について導出し、シミュレーションで提案する制御手法の有効性を確認した。試作機を作成し提案手法の有効性を確認しているところである。

研究成果の概要(英文)：In this research, we proposed a biped walking robot with flexible hemisphere feet to realize highly efficient movement in the human living environment. Since rolling occurs by making the feet a hemisphere, it is possible to increase the energy efficiency. Furthermore, by actively twisting the hemispheric feet, wheel movement is realized. As a result, it is possible to realize both high-efficiency bipeds walking and wheel movement. However, a fine balance control is necessary for this robot because the feet are the hemisphere. In this research, we derive the constraint conditions and the equations of motion which are necessary for balance and walking control of bipedal walking robot with flexible hemisphere feet, and propose a balance and walking control methods. Finally we confirmed the effectiveness of it by simulations. Also, we have designed a prototype and are now confirming the effectiveness of the proposed method.

研究分野：ロボティクス

キーワード：二足歩行 柔軟半球足 バランス制御

1. 研究開始当初の背景

二足歩行移動は人間の住環境に適した移動手段であると言える。一方で、それは現段階で必ずしも万能ではなく、不整地等を含む未知環境下ではまだ脆弱であり、また、車輪による移動と比較すると、特に移動速度や安定性の面でその優位性は限られてくる。よって、環境に適応可能な移動方法を適宜選択できれば、移動効率が向上し、結果として時間やエネルギーの消費を減らすことができる。これまでの二足歩行に関する研究は、基本的に歩行環境の詳細な事前知識を前提とした、綿密な軌道計画に頼っている。事前情報と現実の環境情報が概ね等しい間は、計画に従った良好な歩行運動を実現することができるが、これらの乖離が大きくなるにつれ、綿密な軌道計画自体が安定歩行の障害となり、誤差が吸収できなくなった時点で破綻し、転倒を招く。すなわち、軌道計画のみに頼った歩行では、不整地等を含み刻一刻と変化する人間の住環境への適用は困難である。さらに、転倒抑止のための過剰な安定性確保により、エネルギー効率は必ずしも高くない。エネルギー効率に優れると言われる受動的動歩行も提案されているが、これらは歩行運動のみを対象としており、安定な立位など歩行以外については考慮されていないため、実用的とは言い難い。

一方、車輪移動は、高速・高効率な移動が可能であり、また、自動車に代表されるように既に十分な実用化が行なわれ、その技術はほぼ完成の域に達している。しかし、大きな段差等を含む不整地移動には限界があり、また、人間の住環境のような細かく入り組んだ状況では、二足歩行より適しているとは言い難い。

2. 研究の目的

本研究の目的は、環境適応力の高い捻転柔軟半球足を用いた二足歩行と、無段変速機能付き車輪移動を実現する複合モビリティの構築である。特に、以下の3点を主課題とする。

- 柔軟半球足による転がりを利用した安定な立位と動歩行の両立。安定な立位を実現する重心位置制御を行ない、一方で足の転がりを陽に利用した高効率歩行を実現する。
- 歩行形態⇄車輪形態の滑らかな遷移の実現。歩行形態から、捻転自由度を利用することによりシームレスな車輪形態への遷移を実現する。
- 環境との接触角度変化による無段変速の実現。半球足と環境の接触角度を変えることにより、無段変速機能を実現する。

3. 研究の方法

下記の3つの課題について、3年で並行して進め、段階的に各結果を統合していく。

柔軟半球足による転がりを利用した安定な立位と動歩行の両立 (田原・杉原・木野)

歩行形態⇄車輪形態の滑らかな遷移の実現 (田原・杉原・木野)

環境との接触角度変化による無段変速の実現 (田原・木野) 動力学シミュレーションによってモデル・制御則の改良を行なうと共に、捻転を含む片足5自由度程度を持つ試作機を設計・製作し、実験による有効性を示す。

【 について】

<モデル構築 (田原・杉原・木野)>

これまで応募者らが提案している捻転指先を用いた多指ハンドで用いた捻転モデル [1] を拡張し、二足歩行モデルを構築する。本モデルでは、柔軟半球足の捻転運動について、捻転方向に対して弾性ポテンシャルを仮定する。すなわち、半球足上の接触面中心位置における瞬時角速度の床面垂直成分を時間積分した値 (非ホロノミックであるため角度情報とはならず、姿勢に関する延べ移動角度を表す) に応じた弾性ポテンシャルが生成されると仮定し、それによる床面からの反力によって、捻転方向の力を足裏から受けるとする。

<立位安定化・歩行生成手法の構築 (田原・杉原)>

共同研究者である杉原らが提案している重心ヤコビアンを利用した、立位安定化手法を構築する [2]。重心ヤコビアンは、ロボットの関節角速度を慣性系に対する重心速度に写像する行列であり、これを用いて所望の重心運動から関節モータ運動を逆算することができる。 [2] ではロボットの関節自由度が慣性系自由度に対して冗長であり、重心ヤコビアンの疑似逆行列を用いた分解速度制御を基本としていたため、特異姿勢問題が残されていた。一方本研究では、疑似逆行列ではなく重心ヤコビアンの転置行列を用いる。これにより、特異姿勢について特段の考慮をする必要がない。一方、近年ヒューマノイドロボットなどの劣駆動ロボットにおいて、慣性系に対する姿勢推定手法 [3] が提案されている。そこで本研究では、重心ヤコビアンによる制御手法と姿勢情報を用いたフィードバックの組み合わせにより、未知環境により生じる不安定現象から、敏捷にリカバリ可能な立位安定化制御を実現する。その後、構築した立位安定化制御を杉原らによる歩行生成手法 [4] と組み合わせ、環境適応力の高い二足歩行を実現する。

【 について】

<歩行形態⇄車輪形態の遷移を考慮した制御手法の構築 (田原・杉原・木野)>

二足歩行から車輪移動へ動的に遷移する手法として、歩行状態から、捻転運動を行いながら徐々に半球足角度を垂直にしていき、車輪移動へと遷移させる。その際、歩行と車輪移動の両方の状態が混在する遷移状態が

発生する。そこで、課題1で構築した歩行制御を基本として、捻転自由度を加えた場合における立位安定性への影響を詳細に解析し、立位安定化制御の有効性を残したままで捻転運動を組込むための制御手法を構築する。

【 について】

<無段変速構造の解析>

環境に対する柔軟半球足の接触角度によって、車輪の回転半径が変化するため、回転トルクが一定であったとしても、結果として推進力が変化する。本力学現象の無段変速機構としての有効性を確認するため、モデル解析およびシミュレーションにより、半球足の大きさと変速比の関係を明確にする。それにより、現実解として適当な半球足の大きさ・形状を決定する。また実際に柔軟半球足を試作し、課題1で構築したモデルの物理的妥当性、および変速構造によるトルク変化量を実験的に検証し、その有効性を確認する。

上記、①～③について、それぞれ並行して遂行し、段階的にそれらを統合していく。それと並行して、捻転自由度を含め片足5自由度程度の二足歩行ロボットの試作機を製作する(田原・木野)。

また、で構築したモデルを基に動力学シミュレータを構築し、歩行制御および捻転による車輪移動についての数値シミュレーションを行なう(田原・杉原)。また、シミュレーション結果をモデル・制御側にフィードバックする事によってそれらを改善し、モデル精度および制御性能の向上を図り、さらにパラメータ等の決定指針を導出する。

4. 研究成果

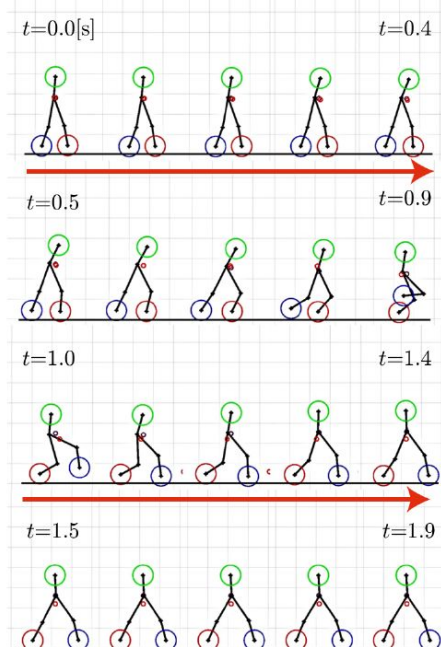


図1: 二次元シミュレーションによる重心位置制御と歩容生成

図1に示すように、まず柔軟な半球足を持つ2足歩行ロボットの移動制御について、二次元矢状面において、重心ヤコビ行列を用いた重心位置制御と歩容生成を同時に行う事により、バランスを保ちつつ、歩容を踏み出すことが可能である事を示した。さらに、2次元矢状面モデルを全身12自由度を持つ3次元空間モデルへ拡張し、3次元モデルによる提案手法の有効性について確認した。

一方、提案手法の有効性の実験的な確認を目的として、柔軟半球足を持つ2足歩行ロボットの試作機を設計・製作した。度重なる設計の調整により、アクチュエータのトルク不足や重量バランスの最適化を行い、最終的に足首を大幅に軽量化した2足歩行ロボットの設計を行った(図2参照)。現在、本試作機を用いた実験的検証を行っている段階であるが、提案手法の有効性を概ね示すことができ、今後、本研究成果を発表する予定で

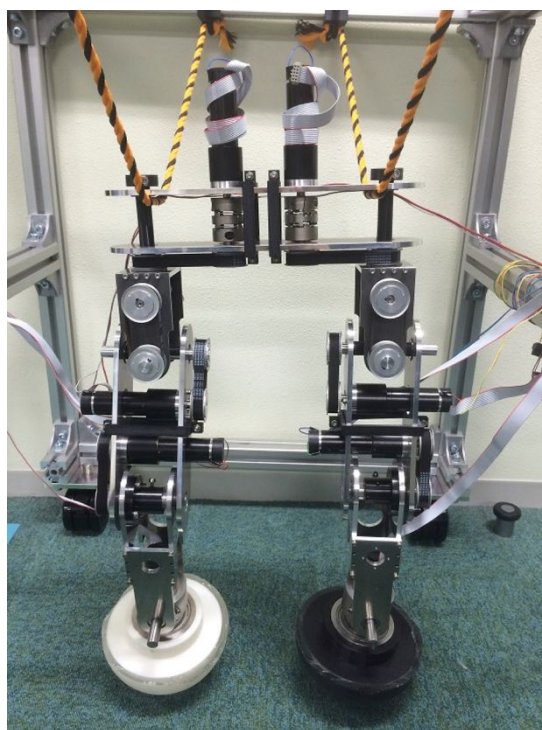


図2: 柔軟半球足をもつ二足歩行ロボット試作機

ある。

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)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計2件)

丸林央樹, 田原健二, 門崎正滉, “柔軟半球足を持つ二足歩行ロボットのバランス制御と歩容生成”, 日本機械学会2016年度年次大会, 2016年9月14日, 九州大学(福岡県福岡市).

丸林央樹, 田原健二, “柔軟半球足を持つ二足歩行ロボットの開発” 第 17 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2016 年 12 月 16 日, 札幌コンベンションセンター (北海道札幌市).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.kt.mech.kyushu-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田原 健二 (TAHARA, Kenji)
九州大学・工学研究院・准教授
研究者番号 : 80392033

(2) 研究分担者

杉原 知道 (SUGIHARA, Tomomichi)
大阪大学・工学研究科・准教授
研究者番号 : 70422409

木野 仁 (KINO, Hitoshi)
福岡工業大学・工学部・教授
研究者番号 : 50293816

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

門崎 正滉 (KADOSAKI, Masahiro)
九州大学・工学府・学生 (既卒業)

丸林 央樹 (MARUBAYASHI, Hiroki)
九州大学・工学府・学生 (現 M2)