

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：34412

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00369

研究課題名(和文) ヒューマノイドロボットの摺胴移動に関する研究

研究課題名(英文) Slip Movement with Supine Posture for Humanoid Robots

研究代表者

小枝 正直 (Koeda, Masanao)

大阪電気通信大学・総合情報学部・准教授

研究者番号：10411232

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：一般的にロボットに期待される危険地帯での作業や家庭内でのタスク作業などは、狭隘領域における姿勢移動が大多数を占める。そこで我々はヒューマノイドロボットによる超狭隘域・姿勢移動を実現するために摺足移動と摺胴移動の実現を目指した。摺足移動に関しては、高い安定性と対称性、構造の単純さを考慮して非平行同時摺足を対象とし、胴体の前傾後傾から生じる重心移動による移動方向制御、ZMPベースのロバスト性向上を実現した。また足裏圧力分布パターンが4つに限定されることを示し、移動に適したパターンを示した。摺胴移動に関しては、背臥での移動方法の一例を示し、背と床面の接地角が移動量に影響を与えることを示した。

研究成果の概要(英文)：During rescue operations within devastated areas, rescue robots are required to access narrow areas with constrained posture to reach victims. Dealing with this problem, we have focused on the shuffling feet and shuffling body motion of humanoid robots. Regarding the shuffling feet motion, we especially targeted at the synchronous non-parallel feet shuffling feet motion because it is relatively stable, symmetric and simple comparing the other feet motions. We realized the direction control by changing the center of gravity point caused by the forward and backward inclination of the robot's body. The robustness was improved by the ZMP based controller. We also showed that the sole pressure distribution pattern is limited to 4 and a specific pattern is suitable for smooth shuffle movement. Regarding the shuffling body movement, we proposed one example of shuffling body movement in the supine position and showed the contact angle between the back and the floor affect the moving distance.

研究分野：ヒューマノイドロボット

キーワード：ヒューマノイドロボット 滑り 摺足 摺胴

1. 研究開始当初の背景

狹隘領域での劣姿勢移動は、ヒューマノイドロボットに期待される作業において頻発する。例えば、災害発生時のプラント内では、多数の配管や瓦礫が散乱した狭い空間での作業となり、短距離移動をしつつ、前屈や屈伸姿勢で作業を行うこととなる。被災地救助活動での倒壊家屋では、平臥姿勢で迅速に奥へと侵入する必要がある。一般作業でも狹隘領域・劣姿勢移動は起こる。例えばキッチンでは、シンク付近の狭い領域での短距離移動と、前屈や屈伸姿勢で様々な作業を求められる。介護現場では、狭い病室内の要介護者を劣姿勢で抱え上げ、その場で転回して車椅子へ搬送する、など枚挙に暇がない。

一般にヒューマノイドロボットは連続的な足踏み動作により移動するが、狹隘領域の劣姿勢移動には不向きで安定性に難がある。

2. 研究の目的および方法

我々はこれまでにヒューマノイドロボットの摺足移動に注目して研究を進めてきた。従来の研究では脚による移動しか考えられておらず、全身を利用した移動を考えた研究は少ない。そこで本研究ではこれまで培ってきた摺足移動を全身による移動に拡張し、移動範囲のさらなる拡大を目指す。腹臥だけでなく、背臥・側臥も含んだ平臥姿勢における移動を、ここでは摺脚移動と呼ぶことにする。

摺脚移動は災害地の瓦礫下などの超狹隘領域での移動に適しており、実際のレスキュー部隊による救助活動においても倒壊家屋侵入時などで多用されている。通常の歩行と比較して移動速度は遅いが、安定性は極めて高く、複雑な形状の狹隘領域での移動が可能である。

蛇など動物を規範とした摺脚移動に関する研究や、ヒューマノイドロボットの手と膝を地面につけた四脚での狭領域移動に関する研究があるが、これらと本研究とは方向性が全く異なる。その他、ヒューマノイドロボットによる摺脚移動を扱った研究は見当たらない。

そこでまず基本となる摺足移動制御の確立する。次にこれまでに摺足移動で得た知見を摺脚移動へと応用する。最後に、状況に応じた摺脚移動のため動的な環境の認識と、災害地環境での摺脚移動のための適応的摺脚移動を目指す。

4. 研究成果

学会発表8では、膝関節を完全に伸展した立位状態での非平行同時摺足移動中において、胴体の前傾・後傾により重心移動することで、移動方向を動的に変更することが可能であることをシミュレーションにより実験的に示し、移動方向の変化量を調査した(図1)。

また実際の小型ヒューマノイドロボットを用いて同様の実験を実施し、実空間でも同

様に移動方向が変化することを確認した(図2)。さらに摺足移動時の胴体の揺動を加速度センサで計測し、足踏み歩行と比較して揺動が少ないことを実験的に示した。

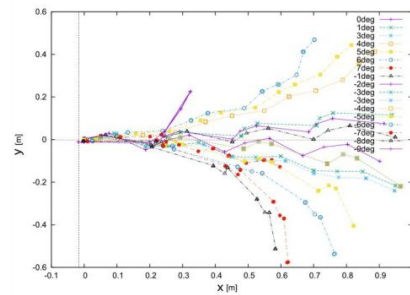


図1 非平衡同時摺足移動における胴体角度と移動軌跡

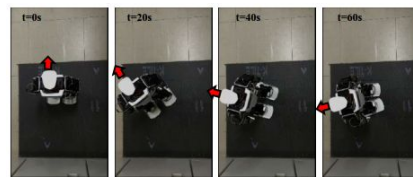


図2 実機小型ヒューマノイドロボットによる前傾時移動方向変化

学会発表7では、足裏感圧センサによるフィードバック制御を用いた摺足移動を実現した。小型ヒューマノイドロボットには近藤科学株式会社製 KHR-3HV を用いた。本ロボットの初期状態の足裏は縦 128[mm]、横 77[mm] のポリアセタール樹脂製であるが、同寸法の板厚 2[mm] アルミ製足裏に換装し、この四隅に感圧センサ AS-FS を取り付け、感圧センサ用 A/D 変換機として Arduino Nano、ロボット制御コントローラとして Raspberry Pi2 を用いた。

これらのセンサ系を用いて初期姿勢時の ZMP と非平衡同時摺足による横移動時に算出された ZMP の差を足首のロール・ピッチ関節角度にフィードバックする制御手法を提案した。本手法の有用性を検証するために、コルクシートを添付した平面と 10 度の傾斜面において従来手法と提案手法で非平行同時摺足移動する実験を実施した。その結果、従来手法と比較して提案手法による摺足移動は直進性があり、より移動量が多く、提案手法が有用であることが確認された(図4, 5)。

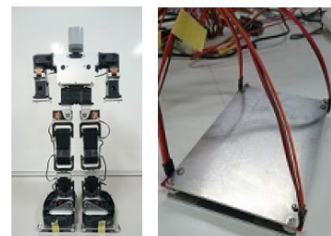


図3 両足裏に感圧センサを搭載した KHR-3HV
学会発表5,6では、実際の作業現場を想定し、ヒューマノイドロボットが荷物を持った状態での摺足移動性能を検証するため、従来

の摺足移動と感圧センサから算出された ZMP によるフィードバック制御を用いた摺足移動の比較実験を行った。まず平地で摺足移動による荷物運搬を行い、従来のフィードバックなしでの摺足移動と提案手法のフィードバックありでの摺足移動を比較する実験を行った。さらに同様の実験を傾斜面でも行った。傾斜面の角度は 10 度とし、適度な摩擦を発生させる為にコルク材の上で実験を行った。模擬的な荷物として縦 60[mm]、横 115[mm]、奥行き 58[mm]、重量約 300[g] の木製重りをロボット正面で抱えさせる様に持たせた(図 4)。

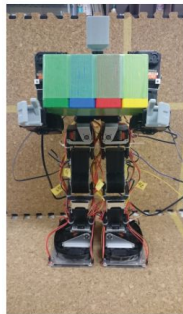


図 4 運搬実験の様子

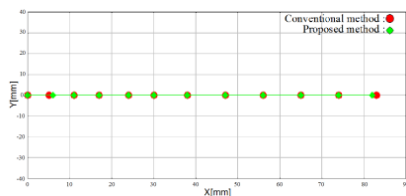


図 5 平面での移動軌跡(赤：従来手法, 緑：提案手法)

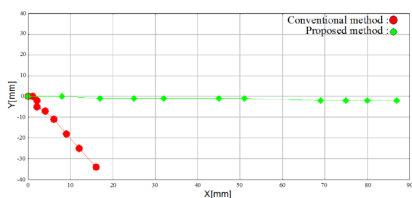


図 6 傾斜面での移動軌跡(赤：従来手法, 緑：提案手法)

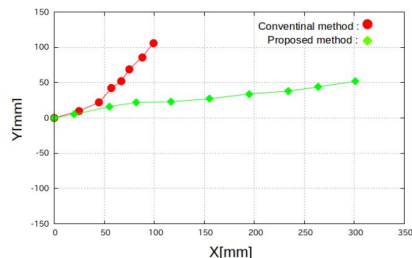


図 7 運搬実験での移動軌跡(赤：従来手法, 緑：提案手法)

平地での実験では、提案方法、従来方法ともにスムーズな摺足での移動が可能であった(図 5)。傾斜面での実験においては、従来方法ではロボットの重心が極端に前方ある

いは後方に偏り、摺足移動時に前後方向の揺動が発生して摺足移動の継続が極めて困難であったが、提案方法では平地実験時と同等のスムーズな摺足移動が可能であった(図 6)。運搬実験では、従来手法では荷物の重量によってロボットの重心が前方に偏り転倒も発生したが、提案手法ではフィードバック制御による重心の修正が働き、スムーズな摺足移動が可能であった(図 7)。この結果より、提案方法の斜面に対するロバスト性や有用性が示された。

学会発表 4 では、被災地の狭い開口部、低い天井におけるヒューマノイドロボットによる探索・救助を行うための、背臥姿勢での摺脚移動手法について発表した(図 8)。摺脚移動のためのフィードフォワード制御の一例を示して移動実験を行った。その結果、床と背の接地角(図 9)により移動量に違いが出る事が判明し、今回の実験条件では接地角 2 度で最大の移動量が得られた(図 10)。この実験は限定された状況下のみではあるが、本手法の実現可能性と有用性は部分的には確認できた。



図 8 背臥姿勢での摺脚移動の様子



図 9 床と背の接地角(左から 0, 2, 10, 20, 25 度)

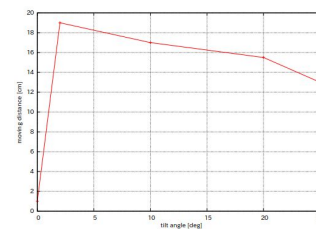


図 10 床と背の接地角度と摺脚移動量

学会発表 3 では、非平行同時摺足における足裏荷重位置に着目した分類を提案した。矩形の足底の角に荷重する場合には、内寄り、外寄り、左寄り、右寄りの 4 パターンのみであることを示した(図 11)。足裏荷重位置の違いにより足裏に不均一な圧力分布が生じ、摩擦力は場所によって異なる。これらの効果により、摺足移動の実験結果には走行距離と回転角度に大きな差が生じた(図 12)。実験結果より、右寄り荷重での非平行同時摺足移動が他の 3 つのパターンと比較して、移動距離と直進性の点で最良であることが示された。

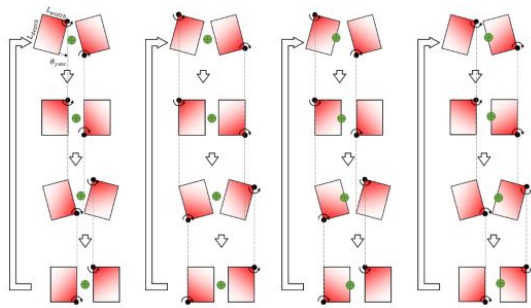


図 11 非平行同時摺足における足裏荷重位置に着目した分類

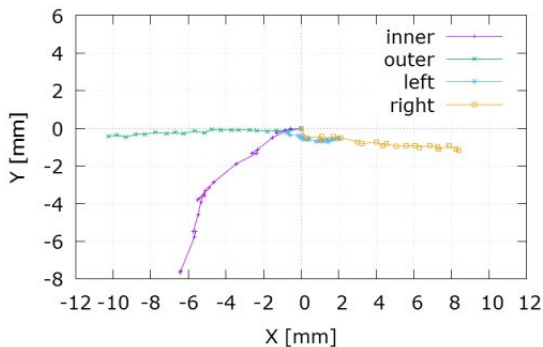


図 12 4つの足裏荷重位置での非平行同時摺足移動時の移動軌跡

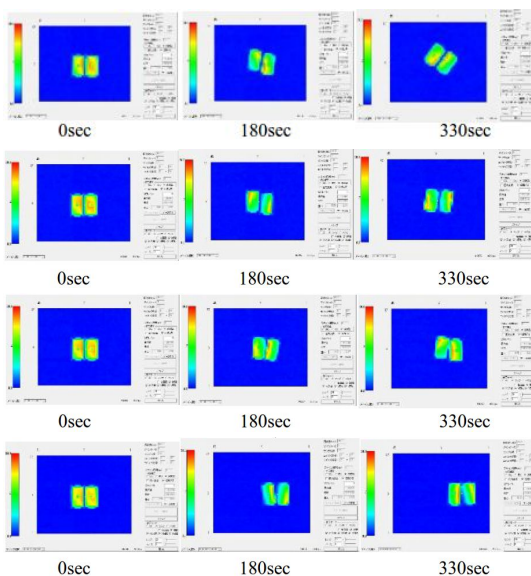


図 13 足裏圧力分布の様子(上から,内寄り,外寄り,左寄り,右寄り)

学会発表 1,2 では、非平行同時摺足移動時における足裏に加わる圧力勾配に着目した足裏圧力勾配モデルを定義し、本モデルに基づいた足裏圧力制御手法を提案した。まず本制御手法による足裏圧力分布の変化を実機と分布圧センサを用いて計測し(図 13)、想定通りであることを確認した。次に実機による移動実験を行い、その結果、荷重位置によって足裏圧力勾配の法線ベクトルの向きが異なる圧力勾配状態での摺足動作において提案手法による圧力勾配調整の有効性を確認できた(図 14, 15)。

研究開始当初の目標であった動的な環境認識に基づく適応的摺足移動には至らなかった。本課題最終年度において、重要な実装と実験を任せていた修士学生が一身上の都合により退学し、研究計画が大幅に崩れた影響が大きいが、一方で、研究終盤に摺足移動時の足裏圧力分布モデルとその分類の重要性・発展性を感じたため、これらに重点を置いて研究を進めた。これらの成果は摺足にも応用可能であり、今後の発展が期待できる。

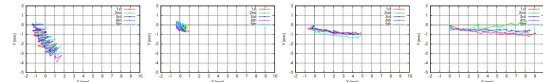


図 14 移動軌跡(左から,内寄り,外寄り,左寄り,右寄り)

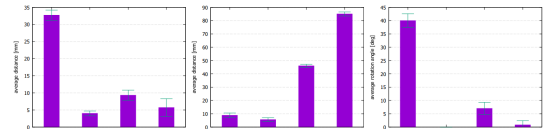


図 15 実験結果(左:前後方向の移動量,中:左右方向の移動量,右:回転角度)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 9 件)

1. Masanao Koeda and Daiki Sugimoto: "Load Gradient Model in Foot Soles for Non-Parallel Shuffling Humanoid Walk", In Proceedings of Asia Modelling Symposium 2017 (AMS2017), pp.71-76, 2017.12.
2. 鎌田 崇史, 杉本 大樹, 小枝 正直: "足裏圧力勾配に基づくヒューマノイドロボットの摺足移動", 2017 年度情報処理学会関西支部 支部大会, G-108, 2017.9.
3. Masanao Koeda, Daiki Sugimoto and Etsuko Ueda: "Classification of Synchronous Non-Parallel Shuffling Walk for Humanoid", In Proceedings of 19th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI2017), pp. 374-381, 2017.7.
4. Masanao Koeda and Reiji Murayama: "Translational slip movement with supine posture for humanoid robots", In Proceedings of IEEE TENCON 2016 Technologies for Smart Nation, DOI: 10.1109/TENCON.2016.7848696, pp. 3452-3454, 2016.11.
5. Daiki Sugimoto, Masanao Koeda and Etsuko Ueda: "ZMP-based Shuffling Walk Control for Humanoid Robot", In Proceedings of 25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2016), pp.904-905, TuIVS.2, 2016.8.
6. 杉本 大樹, 小枝 正直: "ヒューマノイ

- ドのZMPフィードバック摺足制御による移動性能検証", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 (ROBOMECH2016), 2A1-12b6, 2016.6.
7. 杉本 大樹, 小枝 正直: "カセンサによるヒューマノイドの摺足制御", 第16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 (SI2015), 2F3-1, pp.1429-1433, 2015.12.
 8. Masanao Koeda, Reiji Murayama, Masahiro Nishimura and Itsuo Minato: "Analysis of Shuffle Traveling and Verification by Real Humanoid", 8th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM) 2015, PID 0965, 2015.12.
 9. 杉本 大樹, 小枝 正直: "Android スマートフォンによるヒト型ロボットの歩行制御", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015(ROBOMECH2015), 2A1-L02, 2015.5.

〔図書〕(計1件)

1. Masanao Koeda, Daiki Sugimoto and Etsuko Ueda: "Classification of Synchronous Non-parallel Shuffling Walk for Humanoid Robot", Springer International Publishing, HCI International 2017 - Posters' Extended Abstracts, Part II, Communications in Computer and Information Science, Vol. 714, DOI: 10.1007/978-3-319-58753-0_54, pp. 374-381, 2017.7.

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://vml.sakura.ne.jp/koeda/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小枝 正直 (KOEDA, Masanao)

大阪電気通信大学・総合情報学部・准教授

研究者番号: 10411232

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

上田 悦子 (UEDA, Etsuko)

大阪工業大学・ロボティクス&デザイン工

学部・教授

研究者番号: 90379529

(4) 研究協力者

なし