

不安定性を利用した多足ロボットの機敏で効率的な歩行の新技术

基礎工学研究科 機能創成専攻

教授 青井 伸也

Researchmap https://researchmap.jp/shinya_aoi

研究の概要

多足ロボットは、多くの足を持つために耐故障性や転倒回避性に優れており、様々な場所で活用できると期待されています。しかしながら、環境と複雑に相互作用する多くの足の運動計画や制御は難しく、その実現は困難でした。特に、地面につけている多くの足が障害となり、急旋回のような機敏な運動を行うことは至難の業でした。我々は、回転バネにより柔軟な体軸を持つ多足ロボットを開発し、そのバネ剛性をパラメータとするピッチフォーク分岐によって直線歩行が不安定化し、剛性に依存した曲率を持つ円歩行に遷移することを明らかにしました。さらに、この剛性を変化させる可変剛性機構をロボットに搭載することで直線歩行の不安定化を自在に引き起こし、それによって遷移する円歩行の曲率を制御することで、機敏で効率の良い歩行の実現に成功しました。

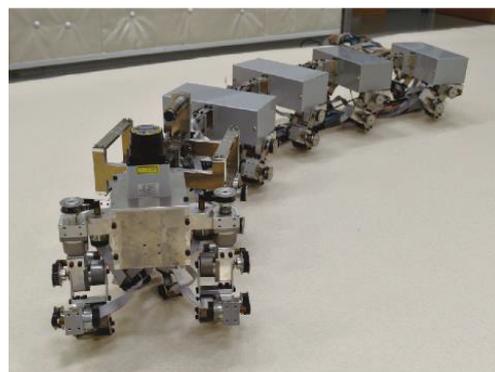


図1. 多足ロボット

研究の背景と結果

多足ロボットは、多くの足を持つために耐故障性や転倒回避性に優れており、様々な場所で活躍できると期待されています。しかしながら、環境と複雑に相互作用する多くの足の運動計画や制御は難しく、その実現は困難でした。特に、重力に抗して体重を支えるために、歩行中は多くの足を地面につけておく必要があり、それらの足が地面に拘束されてしまうことが障害となって、急旋回のような機敏な運動を行うことは至難の業でした。我々は、ムカデのように一対の足を持つ体節が多数直接につなげられた多足ロボットを開発しました(図1)。ただし、体節間の関節はモータなどで制御せず、回転バネを用いることで、柔軟で受動的な体軸を実現しました。この多足ロボットにおいて、バネ剛性をパラメータとするピッチフォーク分岐と呼ばれる分岐現象を介して、体軸を真っ直ぐにして歩く直線歩行が不安定化し、剛性に依存した曲率を持つ円歩行に遷移することを明らかにしました(図2)。運動の不安定性はその運動を継続できないことを意味するため、ロボットの制御では不安定性を排除するように制御系を設計するのが一般的ですが、生物の運動制御では不安定性を積極的に利用していることが示唆されています。そこで我々は、この不安定性を別の運動へと素早く遷移させる駆動力に利用できないかと考えました。具体的には、体軸の回転バネ剛性を変化させることのできる可変剛性機構(図3)をロボットに搭載することで、直線歩行の不安定化を自在に引き起こし、さらにそれによって遷移する円歩行の曲率を目的とする場所に到達するように制御しました。その結果、複雑な計算を必要とせず、エネルギー消費も少ない、多足ロボットの機敏で効率の良い歩行の実現に成功しました。

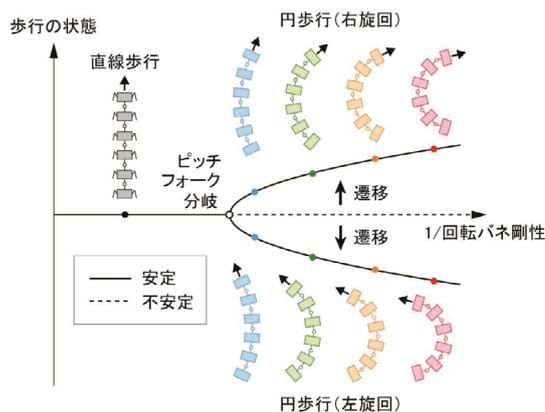


図2. 体軸の回転バネ剛性に応じた安定な歩行の変化

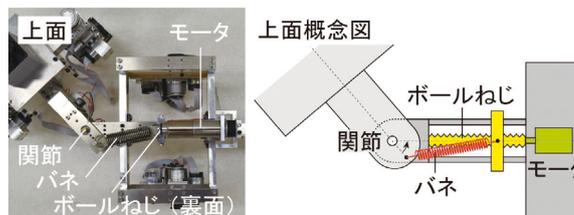
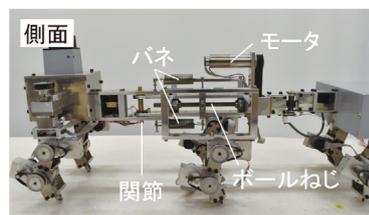


図3. 体軸の可変剛性機構(ボールねじを用いてバネの伸び縮みを制御することで体軸関節の剛性を変化させる)

研究の意義と将来展望

この研究により、多足ロボットの機敏で効率の良い歩行を実現することが可能になりました。将来的には、人が立ち入ることの難しい場所で人に代わって作業するなど、様々な状況での利用に応用されることが期待されます。また、シンプルな制御ながら不安定性や分岐などの力学特性を利用した運動機能の向上は、今後様々な人工物の開発に役立ち、生物の優れた運動戦略の理解にも重要な示唆を与えると期待されます。

特許

論文

Aoi, Shinya; Yabuuchi, Yuki; Morozumi, Daiki et al. Maneuverable and efficient locomotion of a myriapod robot with variable body-axis flexibility via instability and bifurcation. *Soft Robotics*. 2023, 10(5), 1028-1040. doi: 10.1089/soro.2022.0177
Aoi, Shinya; Tomatsu, Ryoe; Yabuuchi, Yuki et al. Advanced turning maneuver of a many-legged robot using pitchfork bifurcation. *IEEE Transactions on Robotics*. 2022, 38(5), 3015-3026. doi: 10.1109/TRO.2022.3158194

参考URL

<https://mechbiosys.me.es.osaka-u.ac.jp/index.html>

キーワード

多足ロボット、機動性、不安定性、ピッチフォーク分岐、可変剛性