

令和元年6月24日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00353

研究課題名(和文) 四足歩行・走行における歩容生成・遷移の物理的メカニズムに関する構成論的理解

研究課題名(英文) Constructive understanding of physical mechanisms on gait generation and transition in walking and running of a quadruped

研究代表者

木村 浩 (Kimura, Hiroshi)

京都工芸繊維大学・機械工学系・教授

研究者番号：40192562

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：「支持脚から遊脚への脚相遷移に脚負荷を用いることにより姿勢制御とリズム運動制御を統合することが出来る制御器」を四足ロボット「小鉄」に適用し、歩行速度に応じたwalk, trot, pace歩容間自律遷移を実現した。これは四足動物の歩容遷移を抽象的な数式のみで表現される位相ダイナミクスのレベルではなく、身体性やセンサーフィードバックと結びつけ、実世界での物理現象として説明できるレベルの仮説として提案し、ロボットを用いてその妥当性を実証したことを意味している。さらに、新たにbound歩容可能な四足走行ロボットを製作したが、歩行から走行への遷移に伴う自律歩容遷移については今後の検討課題となっている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

四足動物の移動速度に応じた歩容遷移は生物学・非線形力学・ロボティクスなど多くの分野の研究者の強い興味を引いてきた。本研究では、四足歩行の歩容としてwalk, trot, paceを考え、移動速度に応じて歩容が自律的に遷移していくメカニズムを、抽象的な数式で表現される位相ダイナミクスのレベルではなく身体性やセンサーフィードバックと結びつけ、実世界での物理現象として説明できるレベルの仮説として提案したことは、これら研究者に新たな研究手法を示したと考えている。

研究成果は論文や動画としてWEBページ等で公開されており、自律脚式移動に興味を持つ人々の理解が深ま

研究成果の概要(英文)：In our previous study, we showed that CPG (leg controller) using leg loading/unloading for the leg phase transition can integrate rhythmic motion control and posture control. While using this leg controller, we realized autonomous gait transitions among the walk, the trot and the pace. This means that we successfully proposed a not mathematical model usually using phase dynamics but also physical model connecting body dynamics and sensor feedback, and successfully certified the validity of the model using a quadruped robot.

In addition, we constructed the new quadruped robot with the ability of running in the bound gait. But it remains as the future problem to analyze and realize the autonomous gait transition to the bound with the transition from walking and running.

研究分野：ロボティクス

キーワード：四足歩容自律遷移 身体性と位相ダイナミクス 四足歩行の視覚誘導 walk, trot, pace, bound歩容 四足走行ロボット

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

四足動物が移動速度に応じて歩容を変化させることはよく知られているが、どのような仕組みで生成され移動速度に応じて遷移するのかについて詳細は分かっていない。上位中枢との接続を物理的に切断した除脳ネコが treadmill の速度上昇に応じて walk, trot, gallop と順次歩容を遷移させる実験結果(1939)は多くの分野の研究者の興味を強く引き付けている。このような歩容遷移に関して、Schoener ら(1990)は「非線形力学系におけるパターンの自己組織化」とみなし、脚間位相差に着目した数理モデルを論じた。このような位相ダイナミクス上での議論は数学的な背景を与え、歩容遷移のメカニズムを抽象的なレベルで理解する一助となるが、本質的に「なぜ歩容遷移が起こるのか」という問いへの答えを与えるものではない。

2. 研究の目的

四足歩行・走行の歩容として walk, pace, trot, bound を考え、移動速度に応じて歩容が自律的に遷移していくメカニズムを、抽象的な数式のみで表現される位相ダイナミクスのレベルではなく、申請者のこれまでの研究成果を基にして身体性やセンサーフィードバックと結びつけ、実世界での物理現象として説明できるレベルの仮説として提案する。そして、treadmill 上を歩行・走行する四足ロボット上で、移動速度に応じた自律的な歩容遷移を実現することによりこの仮説を検証し、四足歩行・走行の歩容遷移を構成論的に理解する。

3. 研究の方法

研究代表者が従来独自に提案した四足歩行において「支持脚期から遊脚期への脚相遷移に脚負荷を用いることにより姿勢制御とリズム運動制御を統合することが出来る制御器」を発展させ、移動速度に対応した自律的な歩容遷移をすでに開発した四足ロボットで実現する。その際、安定な歩容の生成、不安定化、歩容の遷移の具体的なメカニズムに関する仮説に沿って制御器は構成され、問題があれば仮説と一緒に修正される。また、pace, trot, bound 歩容での走行が可能なる四足ロボットを新たに開発し、歩行での walk 歩容から走行での pace, trot, bound 歩容への遷移という新しい問題に取り組む。最終的には、トレッドミルの速度に応じた自律的な歩容遷移をロボットで実現することにより提案した仮説の妥当性を評価し、四足歩行・走行における歩容生成・遷移の物理的メカニズムの構成論的理解を図る。

4. 研究成果

既存の四足ロボット「小鉄」(図1(a))に「支持脚から遊脚への脚相遷移に脚負荷を用いることにより姿勢制御とリズム運動制御を統合することが出来る制御器(図2(a))」を適用し、歩行速度に応じた walk, pace, trot 歩容間自律遷移を実現した。これは四足動物の歩容遷移を抽象的な数式のみで表現される位相ダイナミクスのレベルではなく、身体性やセンサーフィードバックと結びつけ、実世界での物理現象として説明できるレベルの仮説として提案し、ロボットを用いてその妥当性を実証したことを意味している。

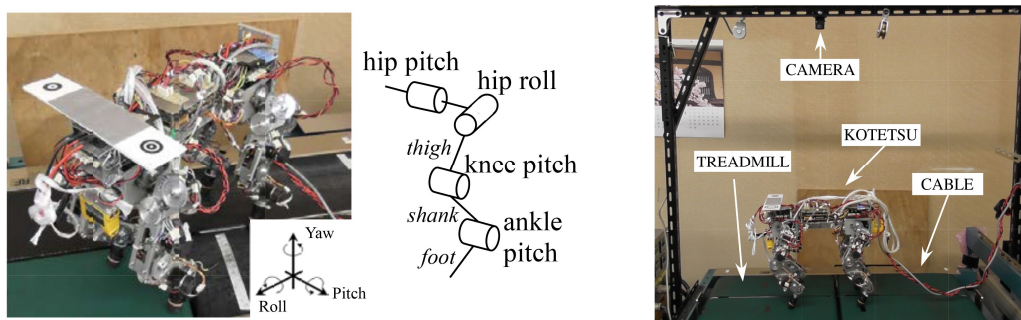


図1 (左)四足ロボット「小鉄」、(右)トレッドミル上カメラ

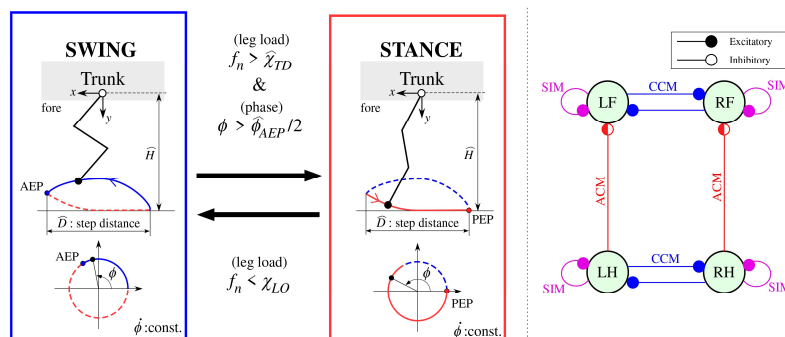


図2 (左)脚制御器、(右)脚間相互作用:ACM, CCM および自己抑制:SIM

歩容生成・安定化・遷移およびロール面内姿勢制御のために重要な脚間相互作用としては、除脳ネコを用いた歩行実験結果を参考にして ACM(Ascending Coordination Mechanism), CCM(Contralateral Coordination Mechanism), SIM(Self-Inhibition Mechanism)を導入した(図2(b))。また、歩容遷移実験をトレッドミル上で行う際、トレッドミル上方に取り付けたカメラ(図1(b))を用いてロボットがベルトから外れないよう、ロボットの水平面内位置・姿勢の視覚誘導を導入した。さらに、リズム運動制御への摂動に対してもこの制御器が有効であることを示すために、左右のベルト速度が異なる split-belt トレッドミル上での歩容適応の実験を行った(図3)。すなわち、片側のベルト速度の変化情報が PEP(Posterior Extreme Position)腰ピッチ関節角度として脚相遷移条件に入ることにより、安定した歩容すなわち脚の加負荷・除負荷パターンが不安定になり、それにともないロール面内姿勢が不安定になったとき、この手法がセンサーフィードバックにより脚間位相差を調節し歩容適応が実現された。ただし、duty 比の変化等に関して除脳ネコ split-belt 適応実験結果との整合性は今後の検討課題となっている。

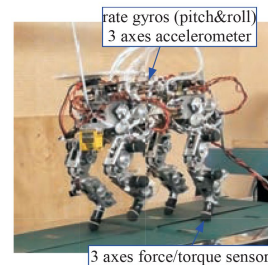


図3 歩行中の小鉄

さらに、「小鉄」では pace, trot, bound 歩容での走行の実現が難しいため、新たにバネ受動関節を持つ四足走行ロボットを製作し、シミュレーションと並行して走行で pace, trot, bound 歩容の実現を試みたが、歩行から走行への遷移に伴う自律歩容遷移についてはまだ不十分な点が残された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

古殿幸大, 森川慎一郎, 木村浩, 四脚ロボットの自律歩容生成と適応, ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集, 2A1-K03, 2019.06

〔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：
 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：
 国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.robotlocomotion.kit.ac.jp/research/Quadruped/general-quadrupedal-locomotion-controller-j.html>

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：なし

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：なし

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。