

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04914

研究課題名(和文)分岐特性を利用した多脚ロボットの高機動性獲得のための新しい制御法の開発

研究課題名(英文)Development of a new control strategy of a multilegged robot for high maneuverability using bifurcation structures

研究代表者

青井 伸也 (Aoi, Shinya)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：60432366

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 17,100,000円

研究成果の概要(和文)：多脚ロボットは地面に接地する足が多く、それらは物理的な拘束となり、素早く進行方向を変える際には障害となるため、機動的な歩行を実現することは難しかった。本研究では、多脚ロボットの体軸剛性を制御することで、ピッチフォーク分岐を介して体軸を真っ直ぐに歩行する直線歩行が不安定化して、体軸が弓なりとなる曲線歩行に遷移することを明らかにした。この直線歩行の不安定性とピッチフォーク分岐の持つ幾何学的な特性を利用した巡回制御系を構築することで、機動的で自律的な歩行が実現できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脚口ロボットの制御においては、一般的に安定性の確保を重視する。本研究では、むしろ不安定性を積極的に利用することで、多脚ロボットの機動性を向上させた。すなわち、多脚ロボットの持つ力学特性が、機動性という運動性能と結びついた。脚口ロボットの歩行とは、ロボットの機構力学系と制御系、そして環境との相互作用の結果として実現される力学現象である。この力学特性を明確にした上で、その特性を利用する制御系を構築することが重要である。このような考え方や方法は脚口ロボットに留まらず、様々な応用できると期待される。

研究成果の概要(英文)：Multi-legged robots have many contact legs being constrained on the ground to support the body, which impedes maneuverability. Maneuverable locomotion for multi-legged robots remains challenging. In this research project, we clarified that the straight walk of a multi-legged robot becomes unstable through a pitchfork bifurcation by changing the body axis flexibility and it transitions into a curved walk. We developed a locomotion control system based on the straight walk instability and kinematic characteristics induced by the pitchfork bifurcation and achieved maneuverable and autonomous locomotion of the multi-legged robot.

研究分野：ロボット工学

キーワード：多脚ロボット ホップ分岐 ピッチフォーク分岐 巡回 機動性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

脚ロボットは、不整地の踏破性や障害物の跨ぎ越しなど優れた移動能力を示すため、被災地調査や惑星探査など多くの分野で必要とされている。特に多くの脚を持つ多脚ロボットは、転倒回避性や耐故障性（脚の損失など）などに優れている。しかしながら、地面に接地する足が多く、それらは物理的な拘束となり、素早く進行方向を変える際には障害となるため、機動的な歩行を実現することは難しかった。

代表者はこれまで、機動的に歩行するムカデなどの多脚生物に着目して、数理モデルを用いた力学解析を実施してきた。その結果、体軸を真っ直ぐにした直線歩行は、体軸剛性に応じたホップ分岐を介して不安定化し、体軸が振動する蛇行に遷移することを明らかにしていた(文献)。更には、この解析から明らかにした力学原理を利用して、多脚ロボット(図 1A)とその歩行制御系を構築していた。具体的には、一対の脚を持つ体節が回転バネを通して受動的につながれた多脚ロボットを構築し、体軸剛性の調整によりホップ分岐を介して直線歩行を不安定化させることで旋回しやすい状況を作り、先頭の体節を進行方向に向けるだけのシンプルな制御を用いて、スムーズに旋回できることを示していた(文献)。しかしながら、ホップ分岐は体軸の振動的な不安定性を引き起こすためその旋回性能には限界があり、状況に応じて進行方向を変えるなど自律的な歩行を生成することはまだ難しかった。

2. 研究の目的

進行方向を変える旋回操作では、ホップ分岐のように必ずしも振動的に不安定化させる必要はなく、むしろロボット全体が弓なりになるように不安定化させて曲線歩行に遷移させるピッチフォーク分岐を利用する方が効果的だと考えられる。そこで本研究では、これまでの直線歩行の不安定化と先頭を進行方向に向けるだけのシンプルな制御に加えて、このピッチフォーク分岐によって形成される運動形状も利用することで、多脚ロボットの更なる高機動性を獲得し、更には自律的な歩行まで実現することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) ピッチフォーク分岐の検証

まずは多脚ロボットが、ある物理パラメータに対してピッチフォーク分岐を示すことを明らかにする必要がある。そこで、図 1B のように多脚ロボットの歩行力学において本質的な要素を抽出したシンプルな数理モデルを構築し、物理パラメータに依存した直線歩行の分岐構造を調べた。具体的には、接地時に足が地面から受ける力学要素を幾何学的な拘束条件に置き換え、2次元(進行方向と横方向)上の剛体多体系としてモデル化した。歩行は周期的なので、フロケ理論に基づいて直線歩行まわりで線形化した力学系のフロケ指数と対応するモードから、どのような物理パラメータに対してピッチフォーク分岐を示すのかを調べた。更には実機実験を通して、この力学解析から明らかにされる分岐特性の妥当性を検証した。

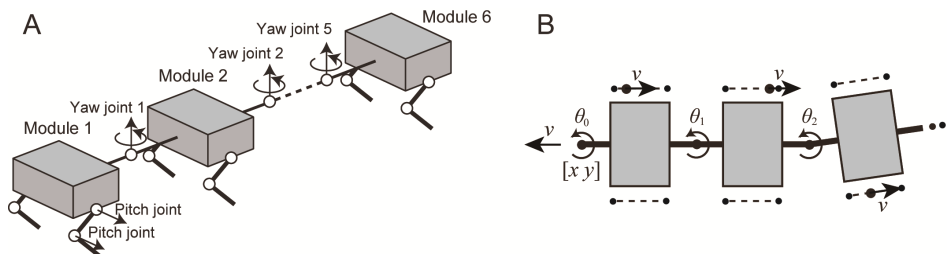


図 1. 多脚ロボット (A) とシンプルモデル (B)

(2) ピッチフォーク分岐を利用した高機動性の獲得

先行研究で構築したホップ分岐を利用した旋回制御系を改良し、ピッチフォーク分岐を利用した旋回制御系を構築した。そして、先行研究(文献)と同様、床の上に置かれた一つのターゲットに一度の急旋回を介して接近させる歩行タスクを対象とした多脚ロボットの実機実験を実施し、到達時間などの指標を用いて旋回性能を評価した。

(3) ピッチフォーク分岐を利用した自律歩行の実現

上記(2)で実施した実験では歩行タスク中に一度の旋回しか考慮しておらず、多脚ロボットが自律的な歩行を実現するためには、状況に応じて何度も旋回するなど適宜進行方向を変える必要がある。更にもその際、進行方向や曲率などその時々状況に応じて最適な旋回条件は異なる。そこで、床の上にターゲットを複数用意し、連続的にそれらのターゲットに接近させることで様々な条件での旋回を行う歩行タスクを対象とし、多脚ロボットの体軸剛性が可変となるように改良して、ピッチフォーク分岐の特性に基づいて多脚ロボットとそれぞれのターゲットの状態に依存した最適戦略を構築した。そして、実機実験を通してその性能を評価した。

4. 研究成果

(1) ピッチフォーク分岐の検証

先行研究では関節剛性を一様に変化させることでホップ分岐を示すことを明らかにしていた

が、シンプルな数理モデルに基づく解析の結果、先頭の関節剛性のみを変化させることでピッチフォーク分岐を示すことを明らかにした。図 2A は先頭のバネ剛性に対するフロケ指数の変化を複素平面において示したものであり、一つの指数が実軸上で右半平面に移動していることから、ピッチフォーク分岐が生じることが示唆される。図 2B は先頭のバネ剛性のみを変化させた場合の実機実験の結果であり、ピッチフォーク分岐によって直線歩行から体軸が弓なりとなる曲線歩行に遷移していることが確認できる。

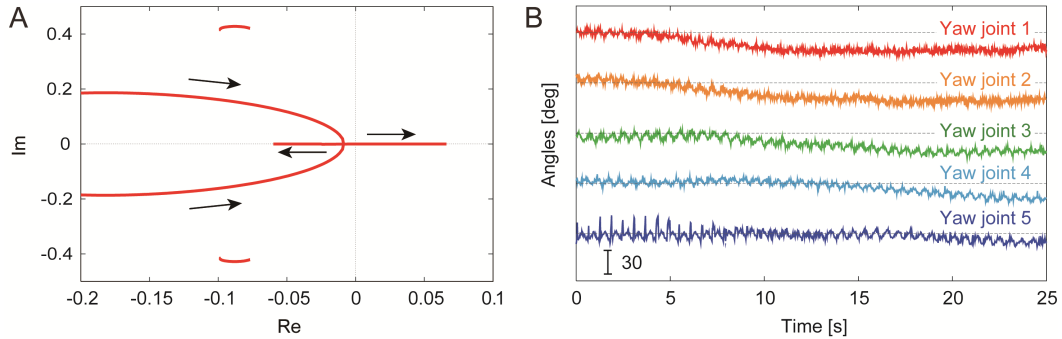


図 2 . シンプルモデルのフロケ指数の変化 (A) と多脚ロボットの関節角度の変化 (B)

(2) ピッチフォーク分岐を利用した高機動性の獲得

図 3A に一度の急旋回を介してターゲットに近づく旋回タスクにおける多脚ロボットの先頭の床上での軌道を示す (3 回実施したタスクを表示)。初期姿勢としてターゲットとは違う方向を向いていた多脚ロボットが、円弧に沿った一度の急旋回によってターゲットに接近できている様子が確認できる。図 3B に先行研究 (文献) におけるホップ分岐を利用した制御系を用いた場合と評価指標 (小さい方が高性能) を比較した結果を示す。今回新たに構築したピッチフォーク分岐を利用した制御系によって、より機動性の高い歩行が実現できることが確認できる。現在これらの研究成果をまとめたものを学術論文誌に投稿中である。

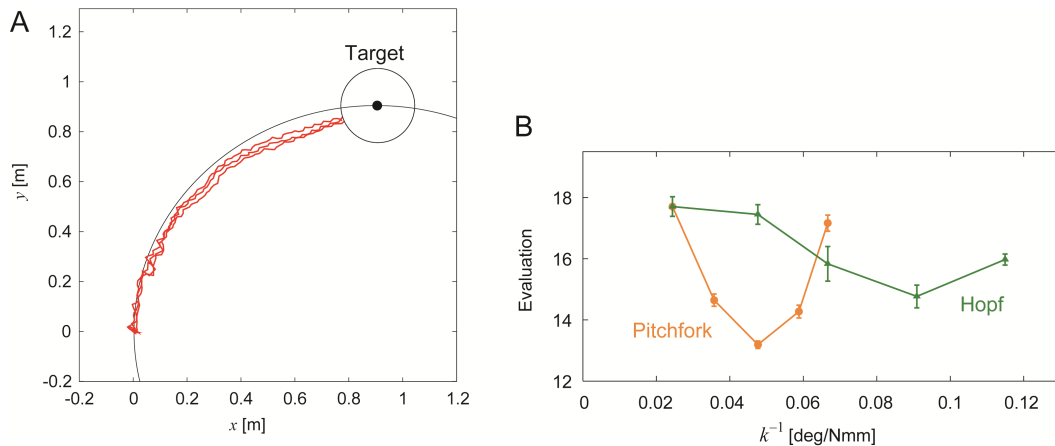


図 3 . 1 つのターゲットに近づく旋回タスクにおける多脚ロボットの軌跡 (A) と評価指標 (B)

(3) ピッチフォーク分岐を利用した自律歩行の実現

図 4 に体軸剛性が可変のもの (Variable) と可変でないもの (Fixed) を用いて、2 つのターゲット (Target 1, 2) に連続して近づく歩行タスクを実施した際の、多脚ロボットの先頭の床上での軌道を示す (それぞれ 3 回実施したタスクを表示)。

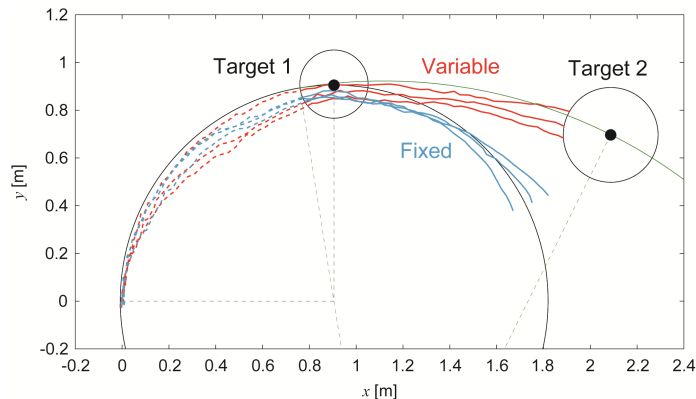


図 4 . 2 つのターゲットに連続的に近づく旋回タスクにおける多脚ロボットの軌跡

どちらも最初のターゲット (Target 1) に対しては、円弧に沿った急旋回を介して接近できてい

る様子が確認できる。しかしながら、可変剛性のものは続く2つ目のターゲット (Target 2) に対しても曲率を変えて適切に近づくことができているものの、可変でないものは最初の円弧に沿った旋回を続けてしまい、2つ目のターゲットには近づくことができていない様子が確認できる。すなわち、可変剛性を利用したピッチフォーク分岐に基づく制御系を構築することで、連続したターゲットに対しても近づくことができ、自律的な歩行が可能となる。現在これらの成果をまとめ、学術論文誌に投稿する準備中である。

<引用文献>

S. Aoi, Y. Egi, and K. Tsuchiya, Instability-based mechanism for body undulations in centipede locomotion, *Physical Review E*, 87(1):012717, 2013.

S. Aoi, T. Tanaka, S. Fujiki, T. Funato, K. Senda, and K. Tsuchiya, Advantage of straight walk instability in turning maneuver of multilegged locomotion: a robotics approach, *Scientific Reports*, 6:30199, 2016.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 M. Adachi, S. Aoi, T. Kamimura, K. Tsuchiya, F. Matsuno	4. 巻 15
2. 論文標題 Body torsional flexibility effects on stability during trotting and pacing based on a simple analytical model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bioinspiration & Biomimetics	6. 最初と最後の頁 55001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-3190/ab968d	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 K. Okamoto, S. Aoi, I. Obayashi, H. Kokubu, K. Senda, K. Tsuchiya	4. 巻 15
2. 論文標題 Fractal mechanism of basin of attraction in passive dynamic walking	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bioinspiration & Biomimetics	6. 最初と最後の頁 55002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-3190/ab9283	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 K. Okamoto, S. Aoi, I. Obayashi, H. Kokubu, K. Senda, K. Tsuchiya	4. 巻 -
2. 論文標題 Disappearance of chaotic attractor of passive dynamic walking by stretch-bending deformation in basin of attraction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems	6. 最初と最後の頁 3908-3913
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IRoS45743.2020.9341800	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 T. Kamimura, S. Aoi, Y. Higurashi, T. Matsuo, N. Wada, K. Tsuchiya, F. Matsuno	4. 巻 -
2. 論文標題 Body flexibility effect on rotary galloping based on a simple model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The 9th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines	6. 最初と最後の頁 A27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5075/epfl-BIOROB-AMAM2019-27	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 M. Adachi , T. Kamimura , S. Aoi , K. Tsuchiya , F. Matsuno	4. 巻 -
2. 論文標題 Torsional body flexibility effect on stability in trot and pace based on a simple model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The 9th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines	6. 最初と最後の頁 A30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5075/epfl-BIOROB-AMAM2019-30	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 R. Tomatsu , Y. Yabuuchi , S. Aoi , S. Fujiki , T. Funato , K. Senda , K. Tsuchiya	4. 巻 -
2. 論文標題 Experimental investigation of turning maneuverability of a multilegged robot using pitchfork bifurcation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The 9th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines	6. 最初と最後の頁 B30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5075/epfl-BIOROB-AMAM2019-69	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Kamimura , S. Aoi , K. Tsuchiya , F. Matsuno	4. 巻 3
2. 論文標題 Body flexibility effects on foot loading in quadruped bounding based on a simple analytical model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 2830-2837
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2018.2842925	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 青井伸也	4. 巻 37
2. 論文標題 勝手に蛇行する多脚ロボット --力学原理の解明と応用--	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本ロボット学会誌	6. 最初と最後の頁 132-137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7210/jrsj.37.132	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Aoi , P. Manoonpong , Y. Ambe , F. Matsuno , F. Woergoetter	4. 巻 11
2. 論文標題 Adaptive control strategies for interlimb coordination in legged robots: A review	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Frontiers in Neurorobotics	6. 最初と最後の頁 39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnbot.2017.00039	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Y. Ambe , S. Aoi , T. Nachstedt , P. Manoonpong , F. Woergoetter , F. Matsuno	4. 巻 13
2. 論文標題 Simple analytical model reveals the functional role of embodied sensorimotor interaction in hexapod gaits	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 PLoS ONE	6. 最初と最後の頁 e0192469
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0192469	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計31件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 S. Aoi
2. 発表標題 Improving turning maneuver of a multilegged robot using pitchfork bifurcation
3. 学会等名 日本学術会議 第6回理論応用力学シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Okamoto , S. Aoi , I. Obayashi , H. Kokubu , K. Senda , K. Tsuchiya
2. 発表標題 Disappearance of chaotic attractor of passive dynamic walking by stretch-bending deformation in basin of attraction
3. 学会等名 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Aoi
2. 発表標題 Modeling and robotic studies for exploring adaptation mechanism in locomotion
3. 学会等名 The Second University of Leeds - Kyoto University International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡本耕太, 青井伸也, 大林一平, 國府寛司, 泉田啓, 土屋和雄
2. 発表標題 受動歩行における吸引領域のフラクタル構造の出現メカニズム
3. 学会等名 第64回システム制御情報学会研究発表講演会(SCI '20)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 両角大輝, 青井伸也, 田村大樹, 上村知也, 安達真永, 山田卓生, 松野文俊, 泉田啓, 土屋和雄
2. 発表標題 2脚ロボットを用いた共振特性に基づくwalk・trot 歩容遷移実験
3. 学会等名 第64回システム制御情報学会研究発表講演会(SCI '20)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田卓生, 安達真永, 上村知也, 早川智洋, 青井伸也, 土屋和雄, 松野文俊
2. 発表標題 質量中心位置の前後非対称性がバウンド歩容に及ぼす効果の動力学解析
3. 学会等名 第64回システム制御情報学会研究発表講演会(SCI '20)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡本耕太, 青井伸也, 大林一平, 國府寛司, 泉田啓, 土屋和雄
2. 発表標題 吸引領域の形成過程から考える受動歩行におけるカオスアトラクタの消滅
3. 学会等名 日本応用数学会2020年度会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安部祐一, 青井伸也, 昆陽雅司, 田所諭
2. 発表標題 進行波と後退波が多足歩行に及ぼす機能的相違の分析
3. 学会等名 システム・情報部門学術講演会 (SSI2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Aoi
2. 発表標題 Locomotor intelligence of animals and robots
3. 学会等名 Workshop on Robotics and Artificial Intelligence (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Ambe, S. Aoi
2. 発表標題 Simple multi-legged model reveals that Retrograde-wave gait rather attenuates body oscillation than Direct-wave gait
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (SWARM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Kamimura, S. Aoi, Y. Higurashi, T. Matsuo, N. Wada, K. Tsuchiya, F. Matsuno
2. 発表標題 Body flexibility effect on rotary galloping based on a simple model
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Adachi, T. Kamimura, S. Aoi, K. Tsuchiya, F. Matsuno
2. 発表標題 Torsional body flexibility effect on stability in trot and pace based on a simple model
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Tomatsu, Y. Yabuuchi, S. Aoi, S. Fujiki, T. Funato, K. Senda, K. Tsuchiya
2. 発表標題 Experimental investigation of turning maneuverability of a multilegged robot using pitchfork bifurcation
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安部祐一, 青井伸也, 土屋和雄, 松野文俊
2. 発表標題 センサフィードバックによる多足歩行の多様な波の創発とその存在理由
3. 学会等名 システム・情報部門学術講演会(SS12019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安達真永, 上村知也, 青井伸也, 松野文俊
2. 発表標題 体幹のねじりを用いるTrot 歩容のシンプルモデルを用いた数理解析
3. 学会等名 第63回システム制御情報学会研究発表講演会(SCI '19)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上村知也, 青井伸也, 土屋和雄, 松野文俊
2. 発表標題 体幹柔軟性を持つ四脚シンプルモデルにおける飛翔期の形状に着目した走行運動の動力学解析
3. 学会等名 第63回システム制御情報学会研究発表講演会(SCI '19)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青井伸也
2. 発表標題 多足歩行に内在する力学原理と運動機能
3. 学会等名 先端知能機械情報学セミナー(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青井伸也
2. 発表標題 不安定性を利用した多足ロボットの高機動性の獲得
3. 学会等名 京都大学インダストリアルデイ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Kamimura, S. Aoi, K. Tsuchiya, F. Matsuno
2. 発表標題 Body flexibility effects on foot loading in quadruped bounding based on a simple analytical model
3. 学会等名 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 東松龍英, 青井伸也, 藤木聡一郎, 船戸徹郎, 泉田啓, 土屋和雄
2. 発表標題 多脚ロボットのピッチフォーク分岐を利用した旋回機動性の実験的考察
3. 学会等名 第31回自律分散システム・シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 東松龍英, 青井伸也, 藤木聡一郎, 船戸徹郎, 泉田啓, 土屋和雄
2. 発表標題 多脚ロボットのピッチフォーク分岐による曲線歩行の出現
3. 学会等名 第24回創発システム・シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上村知也, 青井伸也, 土屋和雄, 松野文俊
2. 発表標題 体幹柔軟性を持つ四脚ロボットの走行運動のシンプルな動力学モデルを用いた運動解析
3. 学会等名 第62回システム制御情報学会研究発表講演会 (SCI '18)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浦丸文樹, 東松龍英, 青井伸也, 藤木聡一朗, 船戸徹郎, 泉田啓, 土屋和雄
2. 発表標題 多脚ロボットのピッチフォーク分岐による直線歩行から曲線歩行への遷移
3. 学会等名 第62回システム制御情報学会研究発表講演会(SCI'18)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安達真永, 上村知也, 青井伸也, 松野文俊
2. 発表標題 横断面上のシンプルモデルを用いたPace・Trot歩容の数理解析
3. 学会等名 第62回システム制御情報学会研究発表講演会(SCI'18)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Aoi, S. Fujiki, D. Yanagihara, T. Funato, Kazuo Tsuchiya
2. 発表標題 Adaptive split-belt treadmill walking of musculoskeletal models and legged robots by reflex and learning
3. 学会等名 the 8th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Kamimura, S. Aoi, K. Tsuchiya, F. Matsuno
2. 発表標題 Investigation of quadrupedal bounding gait using a linearized model with the body flexibility
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (SWARM2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 青井伸也
2. 発表標題 ムカデはなぜあれほど機敏に動けるのだろうか？ - 多足ロボットを用いた実験的検証 -
3. 学会等名 Lecture series - 研究の最先端 - (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Aoi
2. 発表標題 Improvement of turning maneuverability of a multi legged robot by the straight walk instability
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (SWARM2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Aoi
2. 発表標題 Neuromusculoskeletal models for the investigation of adaptive motor control in locomotion
3. 学会等名 Departmental seminar, Department of Neurobiology and Anatomy, Drexel University College of Medicine (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青井伸也
2. 発表標題 多足歩行に内在する力学特性と運動機能
3. 学会等名 日本学術会議 第3回理論応用力学シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上村知也, 青井伸也, 土屋和雄, 松野文俊
2. 発表標題 シンプルな力学モデルを用いた四脚ロボットのパウンド歩容における体幹柔軟性がもたらす役割
3. 学会等名 第23回創発システム・シンポジウム
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 青井伸也	4. 発行年 2017年
2. 出版社 近代科学社	5. 総ページ数 8
3. 書名 ロボット制御学ハンドブック(松野文俊, 大須賀公一, 松原仁, 野田五十樹, 稲見昌彦 編) 第8章 脚ロボットの制御 8.5 生物規範CPGに基づく制御法	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------