

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：34419

研究種目：若手研究

研究期間：2022～2023

課題番号：22K14216

研究課題名（和文）胴体関節を有する身体と環境との相互作用を計算資源とするロボットの全身運動の生成

研究課題名（英文）Generating Whole-Body Motion of a Robot Utilizing the Interaction Between a Body with Torso Joints and the Environment as Computational Resources

研究代表者

池田 昌弘（Ikeda, Masahiro）

近畿大学・生物理工学部・助教

研究者番号：40869517

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、四脚歩行ロボットの連続関節制御に焦点を当て、胴体間接を粘弾性関節で構築しました。これにより、歩行中の体幹揺動やパラメータの変更が可能となり、研究目標の達成に大きく貢献しています。さらに、未解決の課題や実機試作の結果を踏まえ、実地実験とコンピュータシミュレーションを行い、ロボットの全身運動と性能向上を目指しています。シミュレーションモデルの作成や環境テストを通じて、ロボットの実用化に向けた具体的な手法が明確になりつつあります。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、連続関節で構成された四脚歩行ロボットの制御手法を開発しました。この技術により、柔軟かつ自在な歩行が可能となり、災害救助や医療支援などの人道的任務に活用される可能性があります。さらに、ロボットの実用化に向けた技術開発や性能向上に取り組むことで、生活を支援する新たなアシスト技術の創出に貢献することが期待されます。

研究成果の概要（英文）：In this study, we focused on the continuous joint control of a quadrupedal walking robot and constructed torso joints with viscoelastic properties. This enables the robot to undergo trunk oscillations and allows for parameter adjustments during walking, greatly contributing to achieving our research objectives. Furthermore, by considering unresolved issues and the results of prototype construction, we conduct on-site experiments and computer simulations to enhance the robot's whole-body motion and performance. Through the creation of simulation models and environmental testing, concrete approaches toward the practical application of the robot are becoming clearer.

研究分野：ロボット工学

キーワード：バイオインスパイア ドロボット 脚歩行ロボット

## 1. 研究開始当初の背景

四肢を持つ動物は、多関節・多自由度の胴体関節を活用することで、非常にダイナミックかつ多様な運動を実現しています。例えば、哺乳類の胴体は柔軟性と強度を兼ね備え、多様な動きを可能にしています。これにより、動物は複雑な環境での運動や適応を高いレベルで行うことができます。特に、捕食や逃避、繁殖などの生存に直結する行動において、この能力は不可欠です。一方で、ロボット工学の分野では、多くのロボットが胴体に関節を持たず、動きが限定されているのが現状です。

その理由は、胴体関節を持つ身体の運動モデルおよび身体特性が非常に複雑であるためです。胴体関節が加わることで、全身の運動が多次元かつ非線形な挙動を示すようになり、これを工学的に再現し、制御するのは極めて困難です。既存の制御手法やアルゴリズムでは、この複雑さに対応できず、実際の動物のような自然で効率的な運動を実現することが難しいとされています。これにより、ロボットの運動性能は制約を受け、その用途が限られてしまいます。

そこで申請者は、物理リザバコンピューティングという新しいアプローチを用いることで、この課題に挑戦します。物理リザバコンピューティングとは、物理システム自体を計算資源として利用する手法であり、従来のデジタルコンピューティングとは異なるアプローチを取ります。この手法を用いることで、複雑な身体構造をそのまま計算資源として活用し、胴体関節を含む全身運動の制御を実現することが期待されます。具体的には、胴体の柔軟性や関節の動きをダイレクトに利用し、リアルタイムでの動作制御を行うことで、自然かつ効率的なロボットの運動を可能にします。

さらに、この手法はロボットの設計に新しい視点を提供します。従来のロボット設計では、複雑な運動を再現するために高度なセンサーや精密なアクチュエーターが必要とされていました。しかし、物理リザバコンピューティングを利用することで、よりシンプルな構造でも複雑な運動を実現できる可能性があります。これにより、ロボットのコストやエネルギー効率が向上し、さまざまな分野での応用が期待されます。

## 2. 研究の目的

四肢を持つ動物は、多関節・多自由度の胴体関節を活用することで、非常にダイナミックな運動を実現しています。このダイナミックな運動は、自然界において動物が環境に適応し、効率的に移動するために重要な役割を果たしています。しか

し、現在の多くのロボットは胴体に関節を持たないか、持っていててもその数が非常に限られています。その理由は、胴体関節を持つ身体の運動モデルおよび身体特性が非常に複雑であり、これを完全に工学的に再現することが既存の技術では難しいためです。

特に、胴体関節の動きを正確に再現するためには、高度なセンサー技術や複雑な制御アルゴリズムが必要であり、これには多大な計算リソースと時間がかかります。その結果、多くのロボットはシンプルな構造にとどまり、動作の自由度が制限されています。これでは、自然界の動物のように柔軟で効率的な動きが実現できず、ロボットの応用範囲が限られてしまいます。

そこで申請者は、物理リザバコンピューティングという新しいアプローチを用いることで、この課題に取り組むことを提案します。物理リザバコンピューティングは、物理的なシステム自体を計算資源として利用する手法であり、従来のデジタルコンピューティングとは異なるアプローチを取ります。この手法を用いることで、複雑な身体構造をそのまま計算資源として活用し、胴体関節を含む全身運動の制御を実現することが可能となります。

具体的には、物理リザバコンピューティングを用いることで、胴体の柔軟性や関節の動きをダイレクトに利用し、リアルタイムでの動作制御を行います。これにより、複雑な身体モデル化を行うことなく、自然かつ効率的なロボットの運動を実現します。さらに、この手法はロボットの設計に新しい視点を提供し、よりシンプルな構造でも複雑な運動を実現できる可能性を示します。

本研究では、まず物理リザバコンピューティングを用いて胴体関節を有する四脚ロボットの歩行を実現します。この初段階の目標は、シミュレーションおよび実機での検証を通じて、物理リザバコンピューティングによる歩行制御の有効性を確認することです。最終的には、このアプローチを用いた胴体関節を含む全身運動の設計論をまとめることを目標とします。この研究が成功すれば、ロボット工学における新たな道を開くことができ、さまざまな応用分野においてロボットの運動性能を飛躍的に向上させることが期待されます。

### 3. 研究の方法

本研究の目標は、物理リザバコンピューティングを用いて歩行運動の達成と、歩行から走行への運動の遷移を実現することです。研究の初段階として、物理リザバコンピューティングを用いた四脚歩行を行います。まずシミュレーションを用いて物理リザバコンピューティングによる歩行制御を行い、歩行モデルの構築を目指します。歩行モデルが確立された後、実機での歩行が可能であることを確認しま

す。これは、現在想定している手法が身体と環境のインタラクションに大きく影響を受けるためです。身体は環境と接触することで様々な外力を受けますが、シミュレーションでは身体と環境とのインタラクションを正確にモデル化することは困難です。そのため、提案手法が有効であることをシミュレーションで確認した後、実機での歩行を検証します。次に、歩行から走行への遷移手法を見つけます。リザバの出力を用いて、歩行から走行への運動切り替えを提案し、シミュレーションでその有効性を確認します。最後に、物理リザバコンピューティングを用いた胴体関節を含む全身運動の設計手法として、これまでの研究成果を統合し、考察を行います。

#### 4. 研究成果

研究の成果として、1本のジャーナル論文を投稿し、現在査読中です。この論文は、連続関節で構成された四脚歩行ロボットの制御手法に焦点を当てています。胴体関節を粘弾性のある連続関節で構築したこのロボットは、体幹の揺動を伴いながら自在に歩行し、その粘弾性パラメータや歩行パターンを変更可能です。この成果は、本研究の主要目標の一つであり、この論文の完成が本研究の達成に大きく貢献します。しかし、未解決の研究課題も残っています。

研究の最終年度には、実機の試作が行われました。試作した胴体関節付き四脚歩行ロボットを歩行させることで、詳細なエネルギーフローの解析を行いました。歩行中の胴体の動きをモーションキャプチャで観察することで、これまで以上に胴体方向の高分解能な解析が可能となり、胴体関節を持つ四脚歩行ロボットがどのようにしてエネルギー消費を減らすかというメカニズムを明らかにすることができました。

今後は、このロボットを用いた実地実験を行い、コンピュータシミュレーションを通じて運動設計を試行します。現在、四脚ロボットのシミュレーションモデルが作成され、身体パラメータの探索が行われています。これにより、全身運動が可能な身体と歩行の組み合わせについての考察が進められています。今後の展望として、現在のシミュレーション結果を基に実機による歩行実験を計画しています。また、運動制御アルゴリズムの改善や、実世界でのロボットの性能を検証するための環境テストも実施予定です。

さらに、ユーザーインターフェースの開発を通じて、操作者がロボットの動作やパラメータを効果的に調整できるようにすることも期待されます。このユーザーインターフェースの改良により、ロボットの操作性が向上し、研究者やエンジニアがより効率的にロボットの性能を最大化することができるようでしょう。また、現場での適応性を高めるための実証実験も計画されています。例えば、災害救助や農業分野での実用化に向けたテストが行われる予定です。

様 式 C - 1 9、F - 1 9 - 1、Z - 1 9（共通）

これらの計画を通じて、ロボットの性能向上と実用化に向けた道筋が明確になりつつあります。特に、エネルギー効率の向上や柔軟な動作制御の実現が期待され、さまざまな分野での応用が可能となります。最終的には、ロボット技術の進展により、人々の生活や産業において重要な役割を果たすことが目指されています。この研究が成功することで、未来のロボット工学に新たな基盤を提供し、さらなる技術革新を促進することが期待されます。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究の成果として、1本のジャーナル論文を投稿し、現在査読中です。この論文は、連続関節で構成された四脚歩行ロボットの制御手法に焦点を当てています。胴体関節を粘弾性のある連続関節で構築したこのロボットは、体幹の揺動を伴いながら自在に歩行し、その粘弾性パラメータや歩行パターンを変更可能です。この成果は、本研究の主要目標の一つであり、この論文の完成が本研究の達成に大きく貢献します。しかし、未解決の研究課題も残っています。

研究の最終年度には、実機の試作が行われました。試作した胴体関節付き四脚歩行ロボットを歩行させることで、詳細なエネルギーフローの解析を行いました。歩行中の胴体の動きをモーションキャプチャで観察することで、これまで以上に胴体方向の高分解能な解析が可能となり、胴体関節を持つ四脚歩行ロボットがどのようにしてエネルギー消費を減らすかというメカニズムを明らかにすることができました。

今後は、このロボットを用いた実地実験を行い、コンピュータシミュレーションを通じて運動設計を試行します。現在、四脚ロボットのシミュレーションモデルが作成され、身体パラメータの探索が行われています。これにより、全身運動が可能な身体と歩行の組み合わせについての考察が進められています。

今後の展望として、現在のシミュレーション結果を基に実機による歩行実験を計画しています。また、運動制御アルゴリズムの改善や、実世界でのロボットの性能を検証するための環境テストも実施予定です。さらに、ユーザーインターフェースの開発を通じて、操作者がロボットの動作やパラメータを効果的に調整できるようにすることも期待されます。これらの計画を通じて、ロボットの性能向上と実用化に向けた道筋が明確になりつつあります。

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
---------	---------