



|              |   |
|--------------|---|
| Title        | Morphological Design and Control for an Energy-Efficient and Adaptive Quadruped Robot Driven by Pneumatic Artificial Muscles                          |
| Author(s)    | 田中, 宏明  |
| Citation     | 大阪大学, 2025, 博士論文  |
| Version Type |   |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/101710">https://hdl.handle.net/11094/101710</a>   |
| rights       |   |
| Note         | やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

|  |  |
|--|--|
| 氏 名 ( 田 中 宏 明 )  |  |
| 論文題名   | Morphological Design and Control for an Energy-Efficient and Adaptive Quadruped Robot<br>Driven by Pneumatic Artificial Muscles<br>(効率的で適応的な空気圧人工筋駆動四脚ロボットのための形態設計と制御) |
| 論文内容の要旨  |  |
| <p>Boston Dynamics社の「Spot」の登場以来、警備や配送といった用途で四足歩行ロボットを実用化する動きが広がっている。このトレンドにより、HyQ, MIT Cheetah, ANYMALなどの最先端の四脚ロボットが開発された。これらのロボットは、高性能なコンピュータ、アクチュエータ、センサを駆使した高度な歩行制御を備え、多様な環境を適応的に歩行できる。しかしながら、制御の帯域幅に制約があることや、アクチュエータとコンピュータが多大なエネルギーを消費するという制御・エネルギー効率の観点から課題が残る。</p> <p>一方、動物は筋骨格構造と神経系の相互作用により、優れた歩行効率と適応性を示す。筋骨格構造の弾性は自己安定化とエネルギー効率を確保し、神経系は多様な環境に応じた歩行パターンの適応を可能にしている。</p> <p>空気圧人工筋は、この動物の神経・筋骨格構造を模倣した筋骨格型四脚ロボットの設計において有望なアクチュエータとされる。人工筋を適切に配置することで筋骨格構造を模倣した形態を設計し、神経メカニズムを数理モデル化することで神経構造を模倣した制御を実装することができる。しかし、フィードバックできるセンサ情報が限られているため歩行制御の適応性が低いだけでなく、更なるエネルギー効率向上がない限り、コンプレッサーを搭載した自律歩行の実現は困難である。</p> <p>本論文では、筋骨格型四脚ロボットの形態と制御を改良し、適応性とエネルギー効率の向上を目指す。この目標を達成するため、以下の革新的な手法を提案する。エネルギー効率を向上させるための腹部振動を活用した形態設計（第三章）、PAMシステム内のエネルギー伝達をより良くモデル化・制御するためのポートハミルトニアンアプローチ（第四章）、そして不整地での姿勢安定性を向上させるために人工筋の張力をフィードバックできるCPGベースの制御器（第五章）を提案した。これらの技術革新により、ロボットはより多様な環境で移動できるようになり、将来的には小型コンプレッサーで駆動する自律型ロボットの開発への道を切り開くことが期待される。</p> |  |

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

|                 |     |     |             |
|-----------------|-----|-----|-------------|
| 氏 名 ( 田 中 宏 明 ) |     |     |             |
|                 | (職) | 氏 名 |             |
| 論文審査担当者         | 主 査 | 教 授 | 多田隈 建二郎     |
|                 | 副 査 | 教 授 | 原田 研介       |
|                 | 副 査 | 教 授 | 石黒 浩        |
|                 | 副 査 | 教 授 | 細田 耕 (京都大学) |

**論文審査の結果の要旨**

本博士論文は、筋骨格型の空気圧人工筋駆動四脚ロボットについて、エネルギー効率化および歩容制御の適応化を目指した研究である。これを実現するために、(1) エネルギー効率を向上させるための腹部振動を活用した形態設計、(2) 人工筋システム内をエネルギーベースでモデル化・制御するためのポートハミルトニアニアプローチ、そして(3) 不整地での姿勢安定性を向上させるために人工筋の張力をフィードバックできるCPGベースの制御器を提案している。

本論文ではそれぞれについて、以下のように実現し検証した。

- (1) 歩行中の腹部の揺動を利用して、人工筋に供給されるエネルギーが低減させることで、提案機構が歩行のエネルギー効率を低減させることを示した。
- (2) 人工筋のエネルギー授受をポートハミルトン系によって記述し、その系に対してIDA-PBCと呼ばれる制御を適用した。その結果、提案手法は比較手法に比べて良好な制御性能が得られることを示した。
- (3) 人工筋の張力をフィードバックするCPG型の制御を提案した。不整地歩行実験を行った結果、張力をフィードバックしない手法に比べて安定した歩行を実現することを示した。

主査、副査で論文の審査を行った結果、いくつかの疑問点が挙げられた。それらは主に、①提案した腹部構造の有効性、②腹部構造と動物の腹部の共通点、③ポートハミルトニアプローチの制御の有効性、④研究の関係性と研究の展望であった。審査の際に出た疑問点に関する議論を中心に、最終審査をおこなった。最終審査では田中氏は全ての疑問に明確に回答した。したがって、本博士論文は博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。