

審査の結果の要旨

氏名 河 寅勇

河 寅勇氏の博士論文は、**Gait Pattern Generation and Stabilization for Humanoid Robot with Limited Resources Based on Coupled Oscillator Model** (リソース制約のあるヒューマノイドロボットのための結合振動子モデルに基づく歩行パターン生成と安定化) と題目し、全7章よりなる。

小型ヒューマノイドロボットでは、サイズやコストなどの条件から、計算処理速度が遅い、十分な性能のセンサやアクチュエータを搭載できないなどのリソース制約があり、リソースの制約がない大型ヒューマノイドロボットで用いられている二足歩行の動作生成手法を適用することができない。そこで本論文では、このようなリソース制約がある小型ヒューマノイドロボットのための新規な歩行動作の生成と制御に関する手法が提案されている。

第1章では、研究背景、および動力学解析に基づく二足歩行と、生体システム論的二足歩行に関する研究について概観するとともに、リソース制約がある小型ヒューマノイドロボットの歩行動作の生成と制御に関する問題設定を行っている。

一般的に、生体システム論的歩行生成においては、パラメータの意味づけが難しい。第2章では、それをバランスパラメータと運動パラメータに分割することが提案され、結合振動子に基づく歩容パターン生成器を設計するとともに、生成された歩容パターンの軌道シミュレーションを行い、歩容パターンの軌道を解析することで、その物理的意味を解析するとともに、歩容パターンが適切に生成されることを確認している。

第3章では、歩行の安定性について解析している。具体的には、安定歩行のための条件について検討するとともに、歩容パターン生成のためのZMPシミュレーションを実施し、そのZMP軌跡と歩容パラメータの分析に基づき、バラン

パラメータを適切に選ぶことによって、左右方向および前後方向の歩行安定性を補償できることを示している。また、動力学シミュレーションを実施し、ロボットのモデル誤差が歩行安定性に影響を与えることを確認している。また、バランスパラメータの調整により、動力学シミュレーションの歩行安定性を向上させることが可能であることを示している。

第4章では、歩行安定器を設計し、実現している。まず、不安定化する要因を、モデル誤差と環境外乱であると仮定し、センサフィードバックによる歩行安定器の設計を行っている。バランスパラメータの制御により、歩行の安定化が可能であることを示し、倒立振子モデルからロボットの動力学モデルを導出し、足首角度制御器を設計している。また、アクチュエータのトルク不足と床反力が小さいという問題に対処可能な胴体部位置制御器を設計している。

第5章では、実験のために開発した小型ヒューマノイドロボットについて述べている。具体的には、ヒューマノイドロボット研究のプラットフォームの要求仕様についてまとめるとともに、それを満たすロボットとして開発した **DARWIN-OP** と呼ばれるヒューマノイドロボットと、そのハードウェア、ネットワークベースの制御アーキテクチャ、ロボットに依存しないモジュール構造を有するソフトウェアの階層的フレームワークなどについて述べている。

第6章では、提案した歩容パターン生成器と歩行安定器の機能を検証し、歩行の安定性、適応性、多様性を実証するための実験を行っている。動力学シミュレーションによって決定した歩容パラメータの値による足踏み歩行および前進歩行実験によって、モデル誤差を克服し、安定な歩行を達成することを検証している。また、ロボットが歩行するテーブルを揺すりながらの歩行実験によって、ロボットが環境外乱に対しても適応的に歩行することが可能であることを示している。さらにロボットに搭載したカメラを用い、サッカーボールの視覚画像処理によってトラッキングしながら、生成した歩容パターンに基づき歩行させる実験を行うことで、ロボットが多様な歩行を行うことが可能であることを示している。

第7章では、結論として、歩行シミュレーションと安定解析に基づきバランスパラメータを設定し、開発した歩容パターン生成器および歩行安定器によって、安定で適応的、かつ多様な歩行を、小型ヒューマノイドロボットで達成できることを述べている。また、ここで提案および開発した手法が、同様な構成の小型ヒューマノイドにも適用可能であり、小型ヒューマノイドロボットの製

品化にも大いに貢献できると述べている。

以上、本論文で提案、開発された手法はオリジナルな手法であり、これによって、これまで困難であった、リソース制約がある小型ヒューマノイドの安定での適応的、かつ多様な歩行を実現が可能となったという点において、博士論文として十分なコントリビューションがあると判断する。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。