

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 野田 晋太郎

本論文は「実体設計評価機構を備えたロボットの身体行動創成支援システムの構成法」と題し、ロボットの身体と行動を創成するための支援システムの構成法をテーマとし、ロボットの設計段階での評価と実体完成後の評価の両方を支援する機構を備えたシステムの構成法を論じ、実ロボットの設計製作と行動実現を通してその支援システムの評価を示す研究をまとめたもので、全7章からなる。

第1章「序論」では、ロボットの統合開発環境の重要性から本研究の背景と目的を述べ、ロボット開発において必要となる探索課題と有効な探索法を考察し、運動から身体まで探索する支援システムを本研究で取り上げることについて述べて、本論文の構成と各章の概要を示している。

第2章「ロボットの身体行動創成支援システムの構成法」では、研究例を示しながら探索空間から見たロボット開発の流れを論じ、エネルギー効率を高める準受動歩行を行える等身大2脚ロボットの開発を例として本研究で示す実体設計評価機構が扱う探索問題を示すことで身体行動創成支援システムの構造について述べている。本支援システムでは、ロボットの身体、環境、運動のモデルをもち、モデルのパラメタを探索し評価する機構を実体設計評価機構とし、身体の製作前には身体と運動のパラメタの探索により運動に適した身体パラメタを生成する設計評価機を行い、身体製作後の行動実現時にはロボットの实物となる実体が運動した結果を近似するよう身体と環境のパラメタの推定を探索によって行う実体評価を行うものと説明している。その機構内での探索手法として勾配法やグラフ探索、進化計算といった異なる探索手法を使い分ける方法について示し、第3章以降において実体設計評価機構の使い方と意義についてもまとめている。

第3章「全身姿勢探索による片足支持に適した股関節間距離の決定」では、姿勢探索手法を用いたリンク長の設計支援について述べている。リンク長はロボットの外形形状を決め可動域にも大きな影響を与える身体モデルのパラメタであり、股関節リンク長を変化させながら平面内での片足支持姿勢を関節負荷について最適化し負荷を各足配置について可視化することで身体モデルのパラメタ変化が運動に与える影響を一目で把握することを可能にする機能について述べている。ここでは高速な姿勢探索手法が必要であり、姿勢探索手法の高速化について環境との干渉回避に有効なサンプリング手法の学習による高速化手法として深層学習を用いて幾何的拘束を満たす姿勢のみをサンプリング可能な新しいネットワーク構造の提案と、関節負荷トルクといった力学を考慮した姿勢探索手法の勾配計算を近似勾配計算法により高速化する手法の提案を行っている。

第4章「接触遷移行動探索による着座支持棒長さの決定」では、接触遷移行動生成手法を用いた接触点の設計支援と摩擦係数の推定による行動実現支援について述べている。接触点は全身が環境に接触することのできないロボットにおいて重要となる身体モデルのパラメタであり、着座時の接触点を決める着座支持棒長さを着座行動全体が可能となるよう探索する問題として取り上げている。ここでは接触点が滑ることを考慮する行動生成法の拡張法の提案を行い、接触と姿勢列の探索のみを行う従来手法から、接触遷移法を探索してから接触と姿勢列の探索を行うという新しい接触遷移行動生成手法を示している。さらに行動実現段階では滑り行動のための摩擦係数の推定が必要となり、センサ情報から実ロボットの身体と環境モデルのパラメ

タを計測できる場合にそれを計測し運動再生成を繰り返し行うことで行動実現が達成できることを示している。

第 5 章「運動結果距離最小化による歩行行動の忠実再現」では、動力学演算と進化計算手法を用いた全身動力学と接触力計算におけるパラメタ推定による動歩行を実現する支援に必要な手法について述べている。行動実現のために推定が必要な実体の身体環境モデルのパラメタがセンサ情報から全て計測できない問題を扱い、現実世界での運動結果と動力学シミュレーション世界での運動結果の距離を最小化することで身体環境モデルパラメタを探索する手法の提案とその性能評価実験についてまとめている。また実験に用いた本論文で開発した脚型ロボットについてのセンサ構成、身体モデル定義などの詳細についてもここでまとめている。

第 6 章「身体運動モデルパラメタ同時探索による準受動歩行支持バネ係数決定と行動生成制御」では、受動機械要素を備えた 2 脚ロボットにおける動力学演算と進化計算手法を用いる探索による設計支援と、受動機械要素の粘弾性推定による準受動歩行実現支援について述べている。受動機械要素はアクチュエータによる直接制御ができず動力学モデルパラメタの正確な推定が必要であるため従来ロボットの設計に用いられることの少なかった要素である。準受動歩行においてエネルギー効率を高めるために受動軸に備えられたバネのバネ係数を探索すると同時に準受動歩行の行動生成器、制御系パラメタを探索するための動力学演算を用いた進化計算探索法と、バネ係数、関節粘弾性推定による行動実現実験についてまとめている。本探索手法は計算時間に課題があり扱える問題の規模に制限があるが、高速な動力学シミュレータの開発と軽量で高速評価可能な歩行モデルを採用することで動歩行探索が可能となることを示している。また、本研究で開発した 2 脚ロボットが備える受動軸と能動軸を切り替えるためのクラッチ機構についてもここでまとめている。

第 7 章「結論」では、支援システムの適用範囲と特色、各章で解いた問題の意義についてまとめている。特に従来開発が難しかった受動機械要素を持つ脚型ロボットの設計開発と行動実現を達成したことが成果であり、支援システムが新しいロボットを創成する力をもつことを実証的に確認した点を結論としてまとめている。

以上、本論文は、ロボット開発を支援するシステムとして、運動に加えて身体や環境モデルのパラメタも探索し設計段階での身体モデルのパラメタを運動に適するよう決定する問題と、ロボット製作後の行動実現段階における実ロボットの身体環境モデルのパラメタ推定と運動モデルのパラメタ修正を行う問題を自動化することでロボット開発の支援を行うシステムの構成法を示し、身体設計と行動実装法の両方が関連するために実現が難しい例であるバネやクラッチ機構を利用してエネルギー効率のよい準受動歩行を行う二脚ロボットの實現例を示すことで、本支援システムの有用性の評価を行ったものである。本論文の研究は、情報理工学に関する研究的意義と共に、情報理工学における創造的実践に関し価値が認められる。

よって、本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。