

審査の結果の要旨

氏 名 杉 原 知 道

本論文は「Mobility Enhancement Control of Humanoid Robot Based on Reaction Force Manipulation via Whole Body Motion」（全身運動による反力操作に基づいたヒューマノイドロボットの高機動化制御）と題し、7章からなっている。

力学系としてのヒューマノイドロボットは関節角度などの体の座標を変化させることによって、地面や環境からの反力を作り出し、それを利用して運動を生成することが特徴である。このような力学系の構造は、ヒューマノイドロボットを劣駆動系とよばれるものに分類する。この系では一般に非可積分系として、制御系の設計法に困難な問題を突きつけている。ヒューマノイドロボットの歩行制御系の設計論がヒューリスティックな体系となり、見通しの良さを見せないのはこの理由による。本論文では上述のような特徴をもつヒューマノイドロボットの歩行制御の問題に、力学的な特徴を利用した明確な設計指針を与えることによって、ヒューマノイドロボットに俊敏な動作を可能にする機動性を与えることを論じている。また、設計論を実装するために高機動性を設計仕様としたヒューマノイドロボットを開発し、実験により設計論の有効性を実証した結果を述べている

本論文の第1章は序論で、はじめにヒューマノイドロボットの歩行制御に関する従来の研究を概観し本論文の学術的位置づけを明らかにしている。ヒューマノイドロボットが求められる社会環境とそこで必要とされる高機動性について述べ、本論文の目指す方向を説明している。さらに、本論文の内容と特徴を概説している。

本論文の第2章は、ヒューマノイドロボットの全身運動を力学的な特徴をとらえて見通しよく表現する手段として、質量中心ヤコビアン (COG Jacobian) についてその概念と、力学的な意味についてまとめている。質量中心ヤコビアンの概念は従来の研究で導入されたものであるが、質量中心ヤコビアンが全身運動についてもつ動力学的な意味を明らかにした点が、この章の意義である。

第3章では、ヒューマノイドロボットの歩行を安定化する制御法として、時間二重外乱吸収法とよぶ新たな設計法を提案している。ヒューマノイドロボットの制御では、予め計画した全身の目標軌道に基づく方法と、目標軌道を持たず与えられた指令に即座に応答するようにする目標軌道に基づかない方法がある。これらは外乱の生じた瞬間には互いに矛盾した運動指令を生じることがある。本論文では前者が長時間的な安定化に必要な方法であり、後者が短時間的な安定化に特に効果をもつことから、多重な時間の枠組みの中で矛盾を解決することを提案したのが時間二重外乱吸収法である。

第4章では、ヒューマノイドロボットの全身運動の動力学モデルを、質量のない移動車に搭載された倒立振り子として、ある種の近似が行なえることを示している。この移動車の運動と、ヒューマノイドロボットのゼロモーメントポイント (ZMP) の操作に対応させること、さらに質量中心ヤコビアンを用いて重心を変えることでZMPを操作することを提案している。

第5章では、インピーダンスモデルの切り替えによる接触状態の遷移制御について述べている。重心の移動や接触状態を俊敏に変化させるためには動作の計画が必要になる。これは状況や環境の判断などに、多くの計算を必要とする。これをインピーダンスモデルのパラメータを瞬時的に変化させる方法で簡便かつ滑らかに実現できることを示した。

第6章では、高機動性を設計仕様とした小型ヒューマノイドロボットの開発について述べ、それに本論文で提案した制御系を実装し、実証した結果を説明している。

第7章は結論であり以上の研究を要約したものである。

以上を要するに、本論文はヒューマノイドロボットの動作の機動性拡大を目指し、特に操縦者からの指令への俊敏な応答や、環境や障害物との衝突などにおいて生じる大きな外乱を柔軟に吸収する制御系の設計を、ヒューマノイドロボットの力学的な特徴を捉えて論じたものであり、知能機械情報学ならびにロボティクスに寄与するところが大きい。

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。