

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 山本 江

本論文は「Study on Adaptive Contact Force Distribution of Humanoid Robots -Force Distribution in Toe-Thenar Mechanism and Impedance Distribution between Legs-」(ヒューマノイドロボットの接地力の適応的分配に関する研究 - 爪先・拇趾球間力分配機構と脚間インピーダンス分配制御-)と題し、7章からなっている。

ヒューマノイドロボットの二足歩行では、安定性の問題が一義的な問題となる。このような歩行安定性の問題については、与えられた運動軌道へのフィードバック制御を設計するもの、状況に応じて境界条件を満たすべく運動軌道を生成するもの、神経振動子を内蔵しそれによる引き込み現象を利用することで安定化を図るもの、経験的に反射動作を作りセンサ信号に反応する動作を発生させるものなど、様々な方向からの研究がおこなわれてきた。一方で、ロボットの基礎要素であるアクチュエータの研究も進展してきており、接触力を精度よく制御することのできるバックドライバビリティをもつものの開発が進められている。本研究は、このような背景を鑑みて、ヒューマノイドロボットの両足あるいは片足支持期において接触力をどのように変化させるかという問題を適応的な力分配の問題として位置付け、接触力の分配の範囲を高めるための新しいつま先機構の設計からはじめ、力分配の計画、適応的な力分配制御、接触面に拘束された力分配、接触面の変化を考慮した力分配へと議論を展開してゆくことで、ヒューマノイドロボットの接地力の適応的な配分を行ない動的安定性の高性能化をはかることを目指した研究である。

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自身と二足歩行に関する従来の研究を概観し、本論文で扱う力分配問題の学術的位置づけを行っている。

第2章では、力分配可能な領域である両足支持期の接地面積を広げ、歩幅を広く取ることができるように、新しい爪先機構をもつ足部の設計を行っている。足部は爪先と同時に拇趾球を持つ構造とすることで、ヒューマノイドロボットの体重を主に拇趾球で受けることができる。これによって、爪先部の力制御を精度良く行える、つま先支持部の強度を下げることで軽量化が図れるなどの特長をもつ。

第3章では、接触面をあらゆる凸多角形において、いわゆるZMPを用いて爪先の自由度も考慮して接触圧力中心の移動を計画することを論じている。

第4章では、適応的な力分配制御法として、ZMPの位置に応じて脚のインピーダンスを変化させるインピーダンス・モジュレーションという考え方を提唱し、これによって接触時の衝突の影響を抑えながらも支持脚の剛性を高く保つことが、単純なアルゴリズムで機動的に行えることを示した。

第5章では、拘束システムを議論する正不変集合の理論を、接触領域の凸多角形拘束へ適用し、拘束を受ける制御系の安定化の問題に帰着させることができ、これによって収束速度を高めた安定化が実現できることを、シミュレーションと実験によって示した。

第6章では、踏み出しの際の接触領域の変化の際に、最大正不変集合を考慮した計算を近似することによってリアルタイムで行い、制御計を切り替えることで機動的で収束速度の高い安定化が実現できることを、シミュレーションと実験により示した。

第7章は、以上の研究の成果をまとめ結論を述べたものである。

以上を要するに、本論文は接触領域における力分配の問題としてヒューマノイドロボットの動的安定化の問題を議論し、爪先機構の開発から、接触力の変化の計画法、インピーダンス・モジュレーションによる衝撃の緩和、正不変集合理論を用いた収束速度の改善までを統一的に論じ、シミュレーションと実験によって有効性を明らかにしたものであり、知能機械情報学に貢献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。