

本論文は「ヒューマノイドロボットの全身接触行動実現法」と題し、6章からなっている。本論文ではヒューマノイドロボットが身体の任意の部位での環境や物体との接触を前提とし、その接触状態を直接検知する全身分布触覚センサを活用した動作制御を行うことにより、行動能力の多様化および向上を図ることを目的としている。これは、ヒューマノイドロボットの生活空間における介護サービスや重量物操作を実現するための基盤となることを想定したものである。全身接触行動の前提となる全身分布触覚センサの構成法を示し、動作に応じて得られる接触状態の変化を分布触覚センサによって直接検知することで動作制御を行い、ヒューマノイドロボットの行動能力の向上を実現することで、全身接触行動の有効性を実証している。

第1章は「序論」であり、研究の背景と目的、論文の構成について述べている。

第2章「ヒューマノイドロボットの全身接触行動」では、全身接触行動を「全身接触可能なヒューマノイドによる接触状態の変化を伴う行動」と定義し、その意義として1) モーメントアームの短縮、2) 環境・物体との接触面積の増加、3) バランス性能の向上、4) 運動能力の向上、5) 未知環境下の行動を挙げた。さらに全身接触行動の実現について議論し、接触状態を直接検知するための全身分布触覚センサが必要であることを説いた。そして、全身接触行動を実現するために、接触対象を不変物体と操作物体の2種類に分類し、それぞれに対して接触行動の実現法を示した。

第3章「全身分布触覚センサシステム構成法」では、運動制御に利用可能で、運動の妨げとはならない全身分布触覚センサの構成法を示した。触覚センサエレメントと通信機能を組み合わせ、1) 曲面適応機能、2) 領域調整機能、3) 密度調整機能、4) 感度調整機能を有する触覚センサのモジュール化を行うことで、さまざまなサイズや曲率の異なる曲面への触覚センサの実装が可能となる。大きさの2倍異なるヒューマノイドに適用可能なことから実装方法の有効性を示し、全身分布触覚の構成法を確立した。

第4章「不変物体との間の全身接触行動」では、第3章で実現した全身接触可能なヒューマノイドロボットを用いて不変物体との全身接触行動を実現する。不変物体とは、目的とする行動を実現するために、その位置・姿勢・形状が不変な物体である。不変物体との接触行動は、1) 不変物体の幾何情報の獲得、2) 目的とする接触状態の決定、3) 接触状態の遷移という3つの手順からなる。本論文では、連続的な接触状態の遷移および不連続な接触状態の遷移に基づく接触状態の変化を触覚センサにより検知し、精確な環境や身体に関する幾何モデルを持たない条件で、全身接触行動を実現した。接触状態の不連続な変化を伴う行動は、ZMP規範の動作生成によって関節駆動を決定し、全身分布触覚による接触の検知によって動作の切り替えを行うことで実現され、着席行動や壁へのさまざまな寄りかかり行動が実現された。

第5章「操作物体を含む全身接触行動」では、第3章で実現した全身接触可能なヒューマノイドロボットを用いて、4章で扱った不変物体だけでなく、操作物体との接触を含む場合の全身接触行動を実現する。操作物体とは、目的とする行動を実現するために、その位置・姿勢・形状が変化する物体である。操作物体との接触行動は、1) 操作物体の切り出し、2) 操作物体の状態検知、3) 操作物体の操作という3つの手順からなる。操作物体の状態は、幾何情報と力学情報からなり、前者については全身分布触覚センサから得られる接触部位情報と運動学情報とから得ることができ、後者については接触部位情報と動力学情報および関節トルク情報によって計算することができる。これらの状態検知によって動作の切り替えを行うことで操作物体の操作が実現される。環境に密着しバランス性能を向上させることで重さ 66[kg]の救助訓練人形を身長 155[cm]体重 70[kg]の等身大ヒューマノイドにより机上で移動することが可能となった。さらに、全身接触行動の意義であるモーメントアームの短縮、未知環境情報の取得によって、重さ 32[kg]の箱を操作し持ち上げることが可能となった。

第6章「結論」では、本論文の結論としてこれまで各章で述べた内容を総括した。本論文では、従来限定されていたヒューマノイドロボットの接触を、全身の任意の部位で行うことで行動能力の向上を実現した。ヒューマノイドロボットの全身の接触状態を直接検知する全身分布触覚センサの構成法を確立し、この情報を全身接触行動の実現に利用した。また、ヒューマノイドロボットの全身接触行動実現法の展望について記した。展望として、ベッド上での介護サービスを挙げ、これを実現するためには、視覚などの遠隔受容器との統合によって豊富な幾何情報を得ることで全身接触行動を高度化することが重要と述べた。

以上要するに、本論文はヒューマノイドロボットが、身体の任意の部位での接触を前提とし、全身に動作制御に適した全身分布触覚センサを実装し、接触状態を直接検知し動作制御を行う全身接触行動を提案し、その実現法および有効性を等身大ヒューマノイドロボットにおける適用を通じて実証したものである。ヒューマノイドロボットの全身接触行動は生活空間でのロボットの实用化へ向けて意義深いものであり、本論文はその実現法を示すことで知能機械情報学の発展に貢献したものである。

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。