

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 中井 博之

本論文は、「環境適合能力を有する変形変態ロボットの行動生成法に関する研究」と題し、関節のみならず構造部材の変形をも制御することができるロボットは環境に対する態勢を大きく変えることができることから、その新しいロボットを変形変態ロボットと呼び、変形変態後の環境と身体の相互関係に応じた形状認識と動作計画からなる行動生成法を明らかにしたものであり、低融点金属を利用した独自の変形変態ロボットによる多彩な行動実験、ならびに、等身大ヒューマノイドによる変形可能物体を道具として利用する物体操作実験によってその有効性を示した論文であり、7章からなる。

第一章「序論」では、本研究の背景と目的、および本論文の構成について述べている。

第二章「変形変態機能を有するロボットの環境適合能力の構成法」では、ロボットの環境適合能力を概括し、構造部材の変形により変形変態機能を有するロボットにおける環境適合能力の構成法について述べている。ロボットの環境適合能力としては、ロボットの行動を変化させる場合と、ロボットの構造特性を変化させる場合を示し、本研究ではこれらを融合して利用するロボットの行動生成法を示すことを述べている。変形変態機能としては、自己の身体の構造材を変形させるロボットだけでなく、ヒューマノイドのような汎用性の高いロボットが外部の変形可能な物体を操作する場合へも利用可能な機能として位置づけている。

第三章「自己形状の変形を伴う全身行動のプランニング」では、変形リンクを有するロボットの全身行動のプランニングにおいて必要な空間探索法と状態判定法について述べている。探索手法としては確率的空間探索木高速生成法をとりあげその実装法を示している。そして、それを用いて全身行動が障害物を回避する動作を生成する場合に、全身を動作、固定、自由リムの3つに分割することで探索空間を縮小する方法を示している。また、変形リンクを環境に押し当てて変形させる場合の動作生成のために、最短経路に基づくリンクの変形可能性の判定法を示し、環境と接触し摩擦によってその全身の安定性を保つために必要な条件の計算法について述べている。

第四章「柔軟物の変形モデルを用いた形状操作行動」では、ロボットが柔軟変形可能なリンクを曲げ変形させる際に必要となる操作と変形間の双方向の計算法を示し、押し当て変形時の操作点の離脱を防いだ形状操作行動の構成法を示している。操作と変形における順方向計算は、どのように対象が変形するかを予測するために用いるもので、ポテンシャルエネルギー最小化に基づく変形形状の計算法を示している。逆計算は、目的となる変形形状に対して2点で曲げ操作を行うと考えた場合に必要となる操作パラメタの計算を行うためのものであり、多数の順方向計算例を教師としてニューラルネット学習を行わせて変形形状から操作パラメタを求める方法を示している。

第五章「視覚情報に基づく変形形状のモデル化」では、変形対象の三次元形状をロボット自身が知覚するために、変形対象を回転して観察しその視覚情報から対象の外形シルエットを複数得ることでその三次元形状を計測し、対象のモデルを再構成する方法を示している。三次元形状の表現にはオクトツリー化されたボクセル表現を用い、計測精度を高めるためにボクセル表現から変形リンクの曲がり具合を

示す形状モデルパラメタの生成法を示している。

第六章「形状操作能力を利用した全身行動の実現」では、ロボットが形状操作能力を利用して全身行動を実現した実験例を示している。まず、低融点金属を用いて軟化変形リンクを構成する方法を示し、歩行だけでなく脚部を変形させることではしごの昇段が可能な小型ロボットを実現し、軟化変形リンクをもつロボットの環境適合性の可能性をまず示している。そして、ヒューマノイドが手の届かないところにある物を引き寄せる際に、曲げ変形可能な棒状の物体を両腕で変形させ、それを利用して対象物を手前に引き寄せる動作を実現している。視覚による変形形状認識と全身行動の自動生成によって実機による行動実験を可能としている。さらに、低融点金属を用いた軟化変形リンクを脚に持った軽量骨格型4脚ロボットに視覚を搭載し、一本の脚を物を引き寄せるための腕として扱う必要が起こった場合に、その脚を対象物へ押し当てて変形させる行動を実現し、脚の変形具合の予測と押し当てる操作点の自動計画、ならびに、自己の脚の変形形状の認識の検証実験を行っている。また、この軽量骨格型のロボットにおいては、軟化変形リンクによる構造修復機能と衝撃吸収法に関しても言及している。

第七章「結論」では、各章の内容をまとめることで全体を総括し、変形変態ロボットにおける環境適合法の発展及び今後の課題に関する展望を述べている。

以上、これを要するに本論文は、ロボットがその設計時には想定されていなかった環境の多様性に適合するための方法として、身体の構造部材や外部の変形可能な操作物を曲げ変形させられる能力を与えたロボットを変形変態ロボットと位置づけ、変形変態ロボットが自律的に環境へ適合できるようにする際に必須となる変形認識と変形操作行動の生成法を示し、実証実験によりその有効性を示したものであり、知能機械情報学上貢献するところ少なくない。

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。