

学位論文題名

Development of Two Dimensional Amoeba-Like Robot

(二次元アメーバ状ロボットの構築)

学位論文内容の要旨

近年、ロボットの周辺技術の急速な進歩により、ロボットに求められる機能やその構造は大きく変貌しつつある。

従来のロボット研究の指針は、産業用ロボットに代表されるように、その構造や形態及び機能は、設計者が予見し付与することのできるものと認識されてきた。このアプローチの結果として最大のもはロボット工学と人工知能の大きな融合研究課題であるヒューマノイド研究開発にこれを見ることが出来よう。ヒューマノイド研究開発は大学や研究機関の段階を超越した企業までを巻き込んだレベルの研究開発により、飛躍的に進歩する時代となってきている。これまで困難とされてきた2足歩行機械実現の問題は学問の枠を越え、その応用の時代に入りつつある。しかしながら、ロボット構築手法の新展開として、その構造のみならず機能的にも、従来とは比較にならない程の大自由度大変形可能性を具備するものが出現してくることは必須である。そして、この大変形、分離、再結合、移動、時変性などの自在変形移動を行う新しい機械の実現方法の模索が必要である。

本論文は、そのような大自由度大変形機能を有する自在変形体ロボットを実現する方法論の模索と、その成果をまとめたものである。本研究では、自在変形機械が目的とする自在変形機能と運動機能を、アメーバの運動制御様式や構造を模倣することにより、その設計仕様を明らかにすることを試みている。

さらに本研究では、アメーバ状ロボットの構成論的研究を通して自在変形機能を有するロボットの将来をも展望する。アメーバ型の自由変形機能体に関する研究は、次世代のロボット研究の新しい分野であり、多くの基礎技術を提供することになる。

本研究の目指すところは、自在変形機能を有する柔軟構造体の設計方針と制御方法を明らかにすることにある故、核心となる課題は、柔軟な構造を設計し制御する課題に集約される。

本研究では、アメーバ運動における自在変形能をハードウェア的に実現するために、Unit-based architecture に基づいた設計方針をとっており、Unit と呼ばれる均質な要素群からなる分散型のロボットシステムの構築を行っている。アメーバ状ロボットは構造的柔軟性を実現するために、多数のアクチュエータや弾性材料を組み合わせた構造となっており、制御対象として大自由度を有している。ここで提案している Unit-based architecture では、各々の Unit 物理的身体構造のみならず、その機能創成機構ともなるべき部分、すなわち脳機構をも各々の Unit に持たせることも勘案される。

また、その運動制御における問題点を明らかにするために、運動計測装置の構築を同時に

行うとともに、その運動計測装置を用いて実際に試作したロボットの運動計測を行っている。このように大自由度を有する被制御対象や、環境の状態に影響される制御対象、複数の脳を持つ制御対象に対して、フィードバック学習機能を実現することにより変形を基にした運動や移動機能の実現に成功している。

本論文は、7章から構成されており、その概要は以下のとおりである。

第1章では、本研究の目的、背景、課題について論じ、大自由度を実現する自在変形ロボットについて、これまでの自在変形体の構築に関する研究の動向と現時点での問題点について述べる。そして、本研究の設計の基本方針である Unit-based Architecture について論じている。

第2章では、本研究で取り扱う粘菌のアメーバ運動について、その特徴を述べている。さらに、これまでに提案されたアメーバ運動のモデルについて論じている。そのモデルを基本として、ハードウェアとして実現する際の問題点について議論している。

第3章では、前章で述べたアメーバ運動モデルに基づき、二次元アメーバ状ロボットとして SMA-Net ロボットの開発、試作を行っている。アメーバ運動は、細胞骨格の伸縮に基づいた細胞内の原形質の流動によって行われるが、その流動を引き起こす細胞膜の伸縮を、連接バネ構造として単純モデル化し、ロボットの構造としている。さらに、バネの伸縮を行う装置として、形状記憶合金をアクチュエータとして用いることを提案し、ロボットの運動機構の簡素化、軽量化を実現している。制御装置の観点から、分散制御を可能とするため多数の制御装置を同時に稼働させる方法について検討を行っている。また、高度な情報処理が可能となる組み込み用小型ロボットコントローラの開発も行っている。これは各々のユニットに搭載されて、いわゆる各々ユニットの脳機能の実現がなされている。

第4章では、SMA-Net の制御方法について、SMA-Net の運動原理の解明とその動作特性についての検討を行っている。また、ロボットの動作特性を計測するため、運動計測装置の構築も同時に行っている。動作特性の計測では、各アクチュエータの制御方法を提案し、試作したロボットの駆動実験を通して、その問題点について議論している。また、制御変数とロボット全体の動作の関係や構造の違いによる動作の違いについても議論している。

第5章では、SMA-Net の分散型の制御方法を模索するため、前章で得られた知見に基づいて SMA-Net の計算機モデルの構築を行っている。その計算機モデルを用いて SMA-Net の制御方法として、非線形結合振動子を用いた分散制御とマルチエージェントシステムでの強化学習の二種類の制御方法について検討を行っている。

第6章では、自在変形ロボットの実現化へのアプローチとして、これまでの成果をまとめるとともに現状での問題点と今後の展望について論じている。

第7章では、論文全体を概して議論し、総括している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 嘉 数 侑 昇
副 査 教 授 大 内 東
副 査 教 授 大 森 隆 司
副 査 教 授 和 田 充 雄

学 位 論 文 題 名

Development of Two Dimensional Amoeba-Like Robot

(二次元アメーバ状ロボットの構築)

近年、その構造のみならず機能的にも、従来とは比較にならない程の大変形、分離、再結合、移動、時変性などの自在変形移動可能性を具備するようなロボット構築手法の模索が行われ始めている。

本論文は、アメーバの運動制御様式や構造を模倣することにより目的とする大自由度大変形機能を有する自在変形体ロボットを実現する方法論の提案、実機製作、および行われた種々の実験を通して得られた一連の成果をまとめたものである。

本論文では、アメーバ運動における自在変形能をハードウェア的に実現するために、Unit-based architecture に基づいた設計方針をとっており、Unit と呼ばれる均質な要素群からなる分散型のロボットシステムの構築を行っている。アメーバ状ロボットは構造的柔軟性を実現するために、多数のアクチュエータや弾性材料を組み合わせた構造となっており、制御対象として大自由度を有している。ここで提案している Unit-based architecture では、各々の Unit 物理的身体構造のみならず、その機能創成機構ともなるべき部分、すなわち脳機構をも各々の Unit に持たせている。

また、その運動制御における問題点を明らかにするために、運動計測装置の構築を同時に行うとともに、その運動計測装置を用いて実際に試作したロボットの運動計測を行っている。このように大自由度を有する被制御対象や、環境の状態に影響される制御対象、複数の脳を持つ制御対象に対して、フィードバック学習機能を実現することにより変形を基にした運動や移動機能を実現している。本論文の概要は以下のとおりである。

第1章では、本研究の目的、背景、課題について論じ、大自由度を実現する自在変形ロボットについて、これまでの自在変形体の構築に関する研究の動向と現時点での問題点を述べ、本研究の設計の基本方針である Unit-based Architecture について論じている。

第2章では、本研究で取り扱う粘菌のアメーバ運動について、その特徴を述べている。さらに、これまでに提案されたアメーバ運動のモデルについて論じている。そのモデルを基本として、ハードウェアとして実現する際の問題点について議論している。

第3章では、前章で述べたアメーバ運動モデルに基づき、二次元アメーバ状ロボットとして SMA-Net ロボットの開発、試作を行っている。アメーバ運動は、細胞骨格の伸縮に基づいた細胞内の原形質の流動によって行われるが、その流動を引き起こす細胞膜の伸縮を、接続バネ構造として単純モデル化し、ロボットの構造としている。さらに、バネの伸縮を行う装置として、形状記憶合金をアクチュエータとして用いることを提案し、ロボットの運動機構の簡素化、軽量化を実現している。制御装置の観点から、分散制御を可能とするため多数の制御装置を同時に稼働させる方法について検討を行っている。また、高度な情報処理が可能となる組み込み用小型ロボットコントローラの開発も行っている。これは各々のユニットに搭載されて、いわゆる各々ユニットの脳機能の実現されている。

第4章では、SMA-Net の制御方法について、SMA-Net の運動原理の解明とその動作特性についての検討を行っている。また、ロボットの動作特性を計測するため、運動計測装置の構築も同時に行っている。動作特性の計測では、各アクチュエータの制御方法を提案し、試作したロボットの駆動実験を通して、その問題点について議論している。また、制御変数とロボット全体の動作の関係や構造の違いによる動作の違いについても議論している。

第5章では、SMA-Net の分散型の制御方法を模索するため、前章で得られた知見に基づいて SMA-Net の計算機モデルの構築を行っている。その計算機モデルを用いて SMA-Net の制御方法として、非線形結合振動子を用いた分散制御とマルチエージェントシステムでの強化学習の二種類の制御方法について検討を行っている。

第6章では、自在変形ロボットの実現化へのアプローチとして、これまでの成果をまとめるとともに現状での問題点と今後の展望について論じている。

第7章は総括である。

これを要するに、著者はアメーバの運動制御様式や構造を模倣することにより、大変形、分離、再結合、移動、時変性などの自在変形移動可能性を具備する新しいロボットの設計法、およびその制御法を提案し、実機製作、および種々の実験を通して、提案した手法の正当性、有用性を示した。これによりソフトメカニクスに関する研究分野において多くの新知見を得たものであり、ロボット工学、情報工学、複雑系工学分野の進歩に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認める。