

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 水内 郁夫

本論文は、「柔軟性可変な脊椎構造を有する多自由度全身行動ロボットシステム」と題し、四脚ロボットや人間型のロボットにおいて、体幹部が変形しその柔軟性も変えることができれば脊椎動物が持つような全身のやわらかさとしなやかな運動を実現できると考え、脊椎構造を有する多自由度の全身行動ロボットに関して、その脊椎構造の設計法、駆動系の構成法、脊椎構造を利用する全身行動の生成法と制御法、全身行動のためのシステムの構成法の研究をまとめたものであり、7章からなる。

第1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ある。

第2章「柔軟性可変な脊椎構造を有する多自由度全身型ロボット」では、これまでに実現されてこなかった全身型ロボットへの脊椎構造の導入のための考察を行っており、人間の脊椎構造の特徴と役割を分析している。全身型ロボットが脊椎構造を持つことによる身体全体の柔軟性と自由度増加の利点について述べ、柔軟性による衝撃吸収能力や人への安全性を高め、自由度の増加により狭いところへの入り込みや複雑環境への対応などこれまでの全身型ロボットでは困難な行動について論じている。

第3章「脊椎構造の設計 - 基本姿勢と復元力を有する脊椎構造 - 」では、体幹部における変形と柔軟性の自由度がそれぞれ異なる各種試作ロボットについて示し、全身型ロボットにおける脊椎のあり方と具体的な運動実現法について論じている。最終的に、人間の脊椎が持つような基本姿勢と復元力を有する脊椎構造が重要であるとの観点から、それを実現するための脊椎構造として、弾性要素を間に組み込んだ多節構造、柔軟性可変となるための拮抗筋駆動、中間節への筋の接続といった構成法の特徴をまとめている。そして、ねがえりや匍匐動作、起き上がりやぶら下がり動作などの全身行動を実現した5節構造の小型全身行動ロボットと、10節の脊椎構造を40本の筋によって制御し、全身で94本のワイヤによる全身腱駆動型ヒューマノイドにおいて、その脊椎構造の具体的実装法を示している。

第4章「拮抗筋駆動による柔軟性を有する脊椎の姿勢制御」では、多自由度の脊椎構造を有する体幹部を姿勢制御する方法について、脊椎構造の姿勢制御のための幾何モデルの構成法、拮抗筋駆動における張力に基づいた長さ制御の各種制御モード、筋同士の干渉に対する考察と制御モードの組み合わせによる物理的干渉問題の解決法、変形しない体幹をもつ従来型全身行動ロボットのモデルに基づく姿勢制御系との統合法、について述べている。また、脊椎構造の正確なモデル化が困難である部分に対処する方法として、センサフ

ィードバックに基づく姿勢制御の誘導法を提案し、その方式と実験を示している。

第5章「柔軟な脊椎を有するロボットの全身行動の実現」では、脊椎を利用する全身動作における行動の生成法について述べている。有限要素法による脊椎構造の解析を行い、動力学解析システムと組み合わせて全身運動を生成し評価する環境を作り、脊椎構造の柔軟性を変化させて行う雲梯動作の自動生成を行っている。また、体幹内部での筋配置の幾何学的なモデルを利用して全身行動のパラメタをニューラルネットと遺伝的探索手法で獲得してゆく方法、ならびに、全身の筋を力制御モードとして人から直接教示された姿勢情報の履歴から動作を作り出す方法と実験についても述べている。

第6章「多自由度多センサシステムの設計と実現」では、拮抗筋により駆動される多節の脊椎構造をもつ全身行動ロボットにおいては、多数のアクチュエータとセンサを機能させるためのシステムの構成法がとくに重要となることから、その構成法について論じ、実現してきた全体システムについて述べている。そのソフトウェアシステムは、全身行動記述と制御を行う最上位層、身体ハードウェアの抽象化層、体内センサ・モータ管理制御層の三層構成とすることで各種全身行動ロボットに共通のプラットフォームとして利用できるようになっている。また、このシステムが脊椎を持たない全身行動ロボットも扱える形となるよう、関節と駆動系の関係を抽象化する方式について述べ、実装法を示している。

第7章「結論」では、各章の内容をまとめることで全体を総括し、本研究により重要度が明らかとなってきた点に関する展望も述べて、本研究の結論を示している。

以上、これを要するに本論文は、人間型のロボットであるヒューマノイドのように四肢をもつ全身行動ロボットにおいて、人に直接触れる場面やいりくんだ環境に入り込んで作業する場合等に必要となるロボット全身の柔軟性を得るために、体幹部に変形と柔軟性を与えるための脊椎構造を導入した多自由度の全身行動ロボットシステムの構成論をとりあげ、その脊椎構造の設計法、全身行動の生成法、全体システムの構成ならびに実現法を示したもので、機械工学および情報工学上貢献するところ少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。