

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 但馬 竜介

本論文は「全身型多自由度拮抗腱駆動ロボットシステムの研究」と題し、多数の拮抗する腱によって駆動される方式の全身型のロボットを実現するために必要な機構・制御・ソフトウェアに関する要素技術の開発と、全身型腱駆動ロボットの構成法について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いる。

第2章「腱駆動ロボットの機構と制御」では、ロボット工学の中での腱駆動機構の位置づけとその特徴について述べている。腱駆動機構は文字どおり、内骨格動物の筋肉(腱)－骨格系の構造から着想を得たものであり、動力伝達にワイヤを用いることにより、1)アクチュエータを被駆動リンクから離して配置できる、2)リンクの軽量化、多自由度化が可能になる、3)拮抗腱駆動により関節剛性を調節できる、等の利点があるとしている。また、多数本のワイヤ干渉系を制御するためのトルク計算と張力制御についての検討をまとめている。

第3章「全身型腱駆動ロボットのシステム構成」では、本研究での実現を目指す全身型腱駆動ロボットの設計について述べ、1)機構・アクチュエータ・センサ、2)計算機・電装系の実装、3)ソフトウェア構成、の観点から必要な要素技術を明らかにしている。機構としては従来の関節軸にプーリを用いる設計ではなく、より筋－骨格動物に近い機構を採用し、アクチュエータやセンサについても、より小型で全身型ロボットを構成可能なものを開発した。さらに、それらの情報を処理するための電装系システムについても、性能の向上と省配線化を目指して分散配置できるインテリジェントなモータドライバを開発した。ソフトウェアは、既存のロボットシステムソフトウェアに腱駆動用のパラメータを追加することで、ロボットモデル上にワイヤの経路情報を実現している。

第4章「球面関節による多自由度ロボット構成手法の提案」では、球面関節を用いたロボット構成の手法と、その実現のために必要な球面関節角度計測センサについて述べている。本研究で新たに提案するこの球面関節は内骨格動物の骨格構造を模倣し、3自由度の関節を1つの球面関節で実現し、それを4本の腱によって駆動する機構である。この球面関節をロボットの肩、手首、股、足首などに用いることで、従来の回転関節を用いる方法よりも単純な構造で直交3軸関節を実現できる。また、球面関節の3軸角度を測定するためのセンサとして、球面関節部品に組みこんだ4つの磁気コイルを用いそれぞれコイルに発生する起電力の強度から3つの角度を決定する複合センサを開発した。

第5章「多自由度な全身腱駆動ロボットの実現」では、50に及ぶ可動関節を持つ腱駆動ヒューマノイドロボット「腱太」のハードウェア構成法について述べている。肩、手首、股、足首関節には、第4章で述べた球面関節を用いることで、多自由度な四肢を実現している。また、人体の構造を模倣した脊柱構造と首の構造を取り入れ、従来のロボットに無い多様な姿勢を実現できるようになった。腱太のシステムは第3章での議論を基に、分散配置した電装系により多数の腱が駆動できるデザインになっており、全身で94本もの腱の駆動が可能になった。張力や腱長の状態を一括して処理できる拡張可能なソフトウェアシステムにより、全体のシステムを稼働させて、多自由度をいかした全身動作の実験を行なった。

第6章「腱駆動機構の二足歩行ロボットへの応用」では、拮抗腱駆動機構を用いた二足歩行ロボットについて述べている。二足歩行ロボットに拮抗腱駆動方式を応用することで、安定な歩行動作の障害となる脚質量の増加を解決している。拮抗腱駆動方式を二足歩行ロボットに応用する例は少なく、腱駆動による脚の構成法という新たな知見が得られた。

第7章「結論」では、各章で述べた内容をまとめて本研究を総括し、全身型腱駆動ロボットの今後の展開について述べる。

以上要するに、本論文は、多数の拮抗する腱によって駆動される全身型ロボットを実現するために必要な要素技術の開発と、全身型腱駆動ロボットの構成法についての研究をまとめたものであって、機械情報工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。