

## 審査の結果の要旨

氏名 吉田 憲吾

本論文は、「生物の筋骨格構造に基づくモーション制御に関する研究」と題し、生物の筋骨格構造にヒントを得た新しいモーション制御法の可能性を論じたもので、全6章より成る。とくに生物の四肢に着目し、(1)拮抗駆動、(2)二関節同時駆動、(3)非線形粘弾性の三つの特徴をロボットの機構として取り入れ、新しいロボットアームの制御法を実現したものである。

第1章は序論であり、研究の背景と目的、生物機構の働きに関する先行研究に関して述べている。現在、多くの産業用ロボットが先進的な工場において活躍しているが、少子高齢化社会を迎え、医療介護の現場や家庭等、人間の生活空間の中で働くことのできる人間協働型のロボットが望まれており、未知環境での巧みな動作、衝突・接触時の安全な動作が求められている。これらの動作は人間をはじめ生物が得意とするところであり、生物の機構と制御から学び、生物の長所を取り入れていく必要性があるとしている。

第2章「生物型アームのモデル化」では、生物型アームのモデルと基本的な性質に関する議論を行なっている。生物の四肢には、隣り合う二つの関節を同時に駆動する二関節筋と呼ばれる筋肉が存在する。この筋は従来のロボット工学等では無視されていたものであるが、この機構が巧みな制御機能の実現に重要な役割を果たしている。本論文では、二関節筋をモデル化した6つの筋による3つの拮抗対によって駆動される2リンクのアームモデル(3対6筋モデル)をもとに議論を進めることを述べている。

第3章「生物の仕組みを取り入れたロボットアーム」では、生物の四肢の機構を取り入れたロボットアームとして、タイミングベルトとプーリーによって、二関節同時駆動機構をもつ2リンクアームを実現している。3対6筋のうち各拮抗対をモータで置き換え、筋の粘弾性はソフトウェア的に実現する。ベース上に設置されたモータのトルクを、第一関節と同軸上に配置されベアリングによって軸から切り離された伝達機構を用い、タイミングベルトで第二関節に直接伝えることにより、二関節同時駆動機構を実現した。実験によって、二関節筋に相当するモータを用いることで、アームの手先における力出力を改善し、いずれか二つのモータでも駆動できる冗長性を備えることを確認している。

第 4 章「生物型ロボットアームの制御手法」では、筋粘弾性を生かしたフィードフォワード (FF) 制御アルゴリズムを提案している。拮抗する各筋に与える FF 的な二つの収縮力によって、目標位置への到達と、そこに至るまでの特性の二つを制御することができ、モデル外乱に対してもロバストになる。また、二関節筋の拮抗対を加えた場合についても検討を行ない、作業空間において手先の位置誤差を抑える働きがあることを明らかにしている。さらに、任意の軌道に追従するアルゴリズムを提案し、有効性を確認している。

第 5 章「拡張した操作性指標」では、生物型アームに適用可能とするために操作性指標の拡張を行なっている。従来の指標は、各関節が独立にトルクを発生するという前提が必要で、生物のもつ複雑なアクチュエータ配列をまねたアームへは直接適用できなかつた。本論文ではインピーダンスマッチング楕円体 (IME) と呼ばれる統合的な指標を拡張した。良く知られた動的可操作性楕円体 (DME) や操作力楕円体 (MFE) が、IME の典型的なケースとして表現することができることも示した。さらに MFE について、製作したロボットアームを用いて検証を行ない、二関節筋が存在する優位性を確認した。

第 6 章は結論であり、本論文の成果をまとめ、今後の展望を述べている。

以上これを要するに、本論文は、生物の筋骨格構造に基づく新しいモーション制御法として、二関節筋機構を取り入れたロボットアームを実現し、生物のもつフィードフォワード制御の適用や、複雑なアクチュエータ配列を持つアームに適用可能な操作性指標の提案などを行ったもので、電気工学、ロボット工学、制御工学に貢献するところが少なくない。

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。