

# 論文内容の要旨

博士論文題目

Pinpointed Muscle Force Control Using Power-assisting Device  
(パワーアシスト装具を用いたピンポイント筋力制御)

氏 名 丁 明

(論文内容の要旨)

高齢者や障害者の運動支援のため、パワーアシストシステムの研究は、ロボット技術における重要な研究分野の一つとなっている。パワーアシストとはアクチュエータの補助動力を用いて動作における操作者の運動能力を補助する(負荷軽減・能力増大を行う)技術である。高負荷の組立作業や野外活動の支援をはじめ、最近では福祉医療分野への応用が期待されているアクチュエータの制御により操作者の負荷を増加させることも可能である。現在、様々なパワーアシスト装具が開発されているが、多くが関節トルクレベルでの補助を目的としている。ここで、筋肉の機能診断、筋力テストやスポーツトレーニングなどへの応用を考えたとき、パワーアシスト装具は特定の筋肉のみを補助できることも期待されている。しかし、パワーアシスト装具で直接制御できるのは関節トルクであり、特定筋肉の補助(阻害)を行うためには、複雑な筋肉間の非線形な関係を踏まえた上でパワーアシスト装具の出力を決定する必要がある。

本研究は選択された対象筋肉の負荷をパワーアシスト装具を用いて局所的に制御することを目標とするピンポイント筋力制御(Pinpointed Muscle Force Control; PMFC)手法を提案する。対象とする筋肉を明示的に決定し負荷を操作することで、筋肉の機能診断や筋肉レベルのピンポイントトレーニングを実現することを目指している。計測された関節トルクから各筋肉の発揮力を推定した上で、指定した対象筋肉について設定筋力の実現可能性を筋力の最適化原理に従って判断する。可能であると判断されればそれを実現するためのパワーアシスト装具の発揮力を決定する。提案手法を用いてシミュレーションと実機実験を行い、二つのパワーアシスト装具を用いることにより、対象筋肉の制御可能を示し、制御自由度から非対象筋肉の影響についても示す。計測された目標筋肉の筋電変化がシミュレーションでの推定値と比較することにより提案するピンポイント筋力制御の有効性を証明した。

### (論文審査結果の要旨)

本研究では選択された対象筋肉の負荷をパワーアシスト装具を用いて局所的に制御することを目標とするピンポイント筋力制御手法を提案している。対象とする筋肉を明示的に決定し負荷を制御することを試し、シミュレーションと実機実験で提案手法の評価により、筋肉の機能診断や筋肉レベルのピンポイントトレーニングへの実現可能性を示している。また、筋力制御の計算と実現を簡単にするため、筋肉補助システムを開発し、実応用についても言及した内容となっている。本論文の主な成果は以下に要約される。

1. 対象とする筋肉の発揮力の設定値から、それを実現するためのパワーアシスト装置の発揮力を計算する方法を導出している。まず計測された関節トルクから各筋肉の発揮力を推定した上で、指定した対象筋肉について設定筋力の実現可能性を筋力の最適化原理に従って判断する。可能であると判断されればそれを実現するためのパワーアシスト装置の発揮力を決定する。全ての関節トルク制御が可能である理想なパワーアシスト装置から始め、一部分の自由度しか制御できない現実な装具まで考慮し、多くのアシスト装置で実現できることを示した。
2. 提案したピンポイント筋力制御の計算と実現を簡単にするため、筋肉補助システムを開発した。ソフトウェア部は筋力制御手法の各手順に従ってモジュール化され、グラフィカルユーザーインターフェースにより、目標筋力と制御力の設定、計算と制御を簡単にした。計算された制御量により、ウェアラブル装置やロボットマニピュレータなどのハードウェアを用いて、実際にピンポイント筋力制御ができるシステムを構築した。
3. 筋力制御手法を用いてシミュレーションと実機実験を行い、計算結果と計測結果の比較により提案手法の有効性を示している。二つのパワーアシスト装具を用いることにより、対象筋肉が制御可能であることを示し、制御自由度が非対象筋肉に与える影響についても示した。実験中の対象筋肉に表面筋電計を取付け、人間の筋肉が活動する時に皮膚表面から発生する表面筋電信号を計測し、被験者の筋力変化を示した。計測された目標筋肉の変化とシミュレーションでの推定値と比較することにより提案するピンポイント筋力制御の有効性を確認した。

以上のように、本論文はパワーアシスト装具を用いた運動補助技術の向上及び応用分野の拡張に大きく貢献している。よって本論文は、博士（工学）の学位論文として価値があるものと認める。