

## 論文内容の要旨

博士論文題目

A Study of Adaptive Robotic Training for Motor Skill Learning Based on Reinforcement Learning (強化学習を用いたユーザ適応型運動スキル学習支援ロボットに関する一研究)

氏名

大林 千尋

(論文内容の要旨)

近年、ユーザ動作に基づいたパワーアシストシステムによる運動学習支援や視聴覚フィードバック等の運動学習支援システムの研究が盛んに行われている。しかし、多くの支援システムは予め用意された運動軌道をユーザに学習させることを目的としており、多様なユーザの身体特性や運動経験を許容しにくい。本来ヒトは支援に依存し易く、過度な支援は人の内在的なフィードバックを阻害し運動スキル学習を妨げる。そこでユーザが自発的に学習できるよう学習状態を推定し支援量を調整する支援システムが提案されてきた。しかしながら、既存手法をより多くのユーザ個々に対して適切な支援を提供するためには、ヒトの運動制御系全体を精密にモデリングする必要がある。既存手法はあらかじめユーザの身体モデルが必要であり、多くのユーザに対して運動学習支援を実施し、定量的に適応支援の学習効果を示した例はない。

本論文では、運動スキルなどの運動学習指標を報酬関数に組み込んだモデルフリー型の強化学習により、非軌道追従型支援をユーザ適応的に行うロボット支援フレームワークを提案し、最も単純な投擲運動の一つであるダーツ投げ運動を題材に、その有効性を示した。まず、支援方法の設計のために熟達者と非熟達者の動作データや表面筋電位による比較を行い、投げ動作中のユーザの肩や肘の移動量が、ダーツ投げ熟達度の定量指標となり得ることを調査した。次にこの指標を状態変数とし、学習者の上腕を支えるようロボット支援を設計し、非軌道追従型のロボット支援を方策とした。この上腕の固定強度をインピーダンスで表現し、ダーツのスコア最大化と支援量最小化を報酬関数としたモデルフリー強化学習を用いてこのパラメータを調整してユーザに適応する支援システムを開発した。24名のダーツ初心者による(1)支援無し、(2)非適応型支援、(3)適応型支援、(4)単純減少型支援の4条件での行動実験を実施した。結果として、他の条件と比較して提案システムが訓練前後でダーツスコアを最も伸ばすことを示し、それが適応した結果であることを示し、本手法の有効性を定量的に示した。

氏名	大林 千尋
----	-------

(論文審査結果の要旨)

ロボットを使って運動学習を支援する試みが始まっているが、ユーザごとの特性の違いやユーザの支援依存を考慮する必要がある。これまでユーザの学習状態を推定して支援量を調整するシステムは提案されているが、このシステムではヒトの運動制御系全体を精緻にモデル化する必要があった。

本研究は、運動学習指標を報酬関数に組み込んだモデルフリーの強化学習を用いることで、軌道追従型ではない支援を適応的にユーザに提供するシステムを提案し、その有効性を実験によって確認したものである。

本研究では最も単純な投擲運動の一つであるダーツ投げを対象としている。まず、支援方法設計のために熟達者と非熟達者の動作データや表面筋電位を計測し、ユーザの肩や肘の移動量が熟達度の定量的指標になることを示した。

次にこの指標を状態変数としてユーザの上腕を支えるような適応的ロボット支援システムを設計し、その有効性を24名のダーツ初心者に対する実験によって示した。

以上をまとめると、本論文は、適応支援ロボティクスシステムを提案し、その有効性を一定の規模の実験で確認した研究であり、博士(工学)の学位に値するものと認められる。