



Title	見まねによる運動学習に関する研究
Author(s)	宮本, 弘之
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3155598">https://doi.org/10.11501/3155598</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	宮 本 弘 之
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 4 2 4 5 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 11 年 1 月 28 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第2項該当
学 位 論 文 名	見まねによる運動学習に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 福島 邦彦 (副査) 教 授 佐藤 俊輔 教 授 中野 馨

### 論 文 内 容 の 要 旨

近年、ロボット工学は格段の進歩をとげてきているが、変動する外部環境との相互作用をともなう熟練作業を行わせることは、いまだに解決の困難な課題として残されている。本論文は、このような課題の解決と、脳の仕組みの解明のための道具となることを目指した、見まねによる運動学習ロボットに関する研究をまとめたものである。本研究では、脳の運動制御の計算理論のひとつである最適化原理に基づく運動パターンの認識の枠組を用いて見まねによる運動学習を試みている。そのひとつの応用例として、運動パターンの抽象的な表現である経由点を用いたタスクレベル学習を行っている。経由点は一種の情報圧縮とみなすこともできる。本論文で述べられている見まねによる学習は一般的には次のように要約できる。(1)ヒトのデモンストレーションが教師情報、(2)制御対象のダイナミクスと最適化原理に基づいて運動パターンを認知する、(3)神経回路モデルを用いて運動パターンを再構成できる経由点を抽出する、(4)固定した軌道計画と制御のスキームを用いて経由点を制御変数として扱う、(5)タスクが実現されるように経由点の位置と時間を修正する。本論文の前半では、けん玉の運動学習ロボットに関して述べている。けん玉はダイナミックな運動で、しかも比較的簡単なタスク表現が可能となる運動である。見まねによる学習の戦略に基づき、経由点の抽出と学習を完全に自動的に行ない、実機 (SARCOS Dextrousarm) を用いて、けん玉のフィードフォーワード制御に成功している。さらに抽出された経由点がタスク表現として適切であるかどうかを計算機シミュレーションにより確かめている。本論文の後半では、本研究で扱う見まねによる学習の枠組が汎用性をもち得るかどうかを確かめるために、連続する複数の動作が含まれる階層的な運動系列の学習課題や、非線形性の強い制御対象を扱う学習課題の場合など、種々の運動における学習可能性を調べている。その結果、連続運動への拡張 (テニスサーブ) と、動作や環境の変動への適応 (振り子の振り上げ) に関して、見まねによる学習の枠組が有用であることが示された。この研究は運動の制御に他者の運動パターンを観測することが非常に重要であることを示していると同時に、他者の運動パターンの認知に運動制御の神経回路が積極的に用いられていることを示している。

## 論文審査の結果の要旨

近年のロボット工学の進歩によって、多自由度をもつマニピュレータや、高い運動性をもつロボットなどが開発され実用化されている。それらのロボットに高精度で高速な運動を行わせることも可能になってきている。しかし、変動する外部環境との相互作用をともなう熟練作業をロボットに行わせることは、いまだに解決の困難な課題として残されている。本研究は、ロボットに、人間が上手に行う熟練作業をまねさせることによって、高度な運動制御を行わせることを目指している。

ところで運動制御は、生物の脳機能の中でも最も基本的で重要な機能の一つである。運動制御を司る神経回路網の解明には、神経回路モデルによる研究が有効である。モデルを考え、そのモデルを用いてロボットなどの制御対象に運動学習を行わせ、モデルと脳の反応の違いを実験的に調べつつ、モデルを実際の脳の神経回路に近づけていくのである。本論文では、運動制御機構の神経回路モデルの研究も取り入れつつ、見まねによってロボットに運動学習をさせるための技術を開発することを目標としている。

本研究で試みている見まねによる運動学習は、脳の運動制御の計算理論のひとつである最適化原理に基づく運動パターンの認識の枠組を用いている。申請者は、その枠組のひとつの応用例として、経由点を用いたタスクレベル学習をロボットに行わせた。経由点は運動パターンの一つの表現法であり、一種の情報圧縮とみなすこともできる。本論文で論じている見まねによる運動学習は一般的には次のように要約できる。(1)ヒトのデモンストレーションを教師情報とする、(2)制御対象のダイナミクスと最適化原理に基づいて運動パターンを認知する、(3)神経回路モデルを用いて運動パターンを再構成できる経由点を抽出する、(4)固定した軌道計画と制御のスキームを用いて経由点を制御変数として扱う、(5)タスクが実現されるように経由点の位置と時間を修正する。

申請者はまず最初に、けん玉の運動学習をロボットに行わせた。見まねによる学習の戦略に基づき、経由点の抽出と学習が自動的に進行し、ロボット (SARCOS Dextrous slave arm) は、けん玉のフィードフォーワード制御に成功した。さらに計算機シミュレーションにより、抽出された経由点がタスク表現として適切であることも確かめた。

けん玉はダイナミックな運動ではあるが、比較的簡単なタスク表現が可能な運動である。そこで、本研究で提案する見まね学習の枠組が汎用性をもち得るかどうかを確かめるためには更に、連続する複数の動作が含まれる階層的な運動系列の学習課題や、非線形性の強い制御対象を扱う学習課題の場合など、種々の運動における学習可能性を調べる必要がある。申請者はそのような運動の代表例として、連続運動を必要とするテニスサーブを実際にロボットに行わせた。また、動作や環境の変動への適応が不可欠な「振り子の振り上げ」にも本手法が適用可能なことを計算機シミュレーションによって確認した。これらの実験結果は、見まねによる学習が有効であることを示している。

これら一連の研究により申請者は、運動制御に際して、熟練者の運動パターンを観測することが重要であることを示すとともに、ロボットに見まね学習をさせるための一つの新しい手法を開発し、それが実用になることを実証した。

以上のように、本論文の内容はロボットの運動制御の研究の発展に寄与するものであり、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。