

本論文は「多様な物体操作行動を対象としたインタラクティブ模倣学習システムの構成法」と題し、7章からなる。その目的は、人間との自然なやりとりから技能を獲得するロボット機能、特に、人間の模倣学習の特徴でありながら従来研究の視野にない、応答の多様性とインタラクティブ学習という重要な新機能に焦点を当てて実現し、構成法を提示することである。従来のロボット模倣学習では、個々の提示動作をロボット動作に再適合させる、いわば一対一の変換が主流であった。しかし、実世界中で複数物体に関わる模倣動作は一意に定まるものでなく、多様な試行を提示し評価を受けることで人間の意図に沿うことが不可欠であり、これが人間の模倣学習の特徴でもある。本論文では、相手の動作、道具、操作対象物、の各々に対する反応動作が並列に生成され、それらが適応的に選択・統合されて模倣応答となる、という全く新しい模倣機能構成を提案し、並列状態遷移プロセス群と、学習型確率表現に基づく行動統合モジュールにより実現した。これに、自他の動作を同一視する視覚特徴抽出機能、物体や動作の学習的な視覚認識機能、音声評価信号により動作統合確率を更新する学習機能などを提案し統合することで、手順に制約のない多様なやりとりを通した模倣学習機能を実現し、もって論拠とする認知科学的仮説を構成論的に実証した。

第1章「序論」では、本論文における背景、目的、構成について述べている。

第2章「自律的に提示行動を観察し模倣学習を行うロボットの構成」では、認知科学、脳科学などに基づく、模倣学習の構成論的仮説と、これに基づくロボットシステムの構成について述べている。教示者の意図を汲む以前の反射的模倣として、教示者による提示動作、物体操作に含まれる道具、操作対象物の機能、の各々に対応する応答動作があり、これらを疑似模倣と呼ぶ。意図を汲んだ高度な模倣は、提示された行為の諸要素に対応して、複数の疑似模倣が同時に活性化し、それらが相手の意図を反映した形で統合されることで発現する。この模倣機能構成モデルを実現するためのシステムアーキテクチャについて、過去の様々な提案を踏まえつつ比較検討し、並列状態遷移プロセス群と学習型確率表現に基づく行動統合モジュールからなる構成を提案し、人間からの音声評価信号により統合モジュールが学習するものとした。

第3章「自律模倣学習を行うロボットの構成要素の実現」では、多様なインタラクティブ模倣学習のための視覚認識システムの実現について述べている。人間型ロボットで複数の運動単位を実行し、これを自ら観察することで視覚認識の学習を行う。新たに提案した、対面状況における自他の位置に対して不変な視覚特徴量と、人間とロボットの身体の類似性により、視覚学習結果は人間の振る舞いの認識と自己の振る舞いの双方に有効であり、両者を対応づける機能を持つ。

第4章「自律模倣ロボットを実現する実時間ソフトウェアの構成」では、模倣インタラクションを支えるための、実時間ロボット制御ソフトウェアの構成について述べている。ここでは複数の疑似模倣の同時並列活性化、疑似模倣の統合モジュール、疑似模倣によるロボット制御のための実時間性の確保、およびこれらの実行におけるクリティカルパスの解析などに基づき、安全性と高速性を両立する並列プログラムを実現した。

第5章「構成要素の統合による多様な模倣応答の創発」では、前述の視覚システムと実時間ソフトウェアを統合し、本論文の目的とする模倣学習の前提となる多様な振る舞いの実現について述べている。複数の疑似模倣モジュールからの出力を確率的に統合するモジュールの具体的な実現を提示した。このモジュールの機能により、提示された物体操作環境に対して、適切かつ多様な模倣行動が発生することを実験的に確認した。

第6章「人間とのインタラクションによる模倣応答の意味獲得」では、人間との自然なやりとりからのロボットによる技能獲得の実現について述べている。相手の動作、道具、操作対象物の組み合わせに対して任意性のある模倣応答を、相手からの評価信号により適応的に変化させることで、相手の意図に沿ったものに修正する必要がある。このため、音声に含まれる情動的信号を抽出し、これに基づき前述の統合モジュールの確率値を更新する学習を実現した。統合システムの実験では、手順が限定されない多様なやりとりと音声評価により適切な模倣を行う学習が可能であることを示した。応答の多様性を顕著に表す結果として、人間の模倣にも特徴的な、循環反応、試行錯誤、誘導といった明示的に組み込まれていない振る舞いが創発した。

第7章「結論」では結果についてまとめ、吟味した上で、人間とのやりとりによって技能を獲得する模倣学習システムのために残された課題と将来の発展について述べている。

以上要するに、本論文は自然なやりとりから技能を獲得するロボットシステムを、人間の模倣能力に関する知見に基づき新たに提案した機能構成モデルと、それが要求する新たな認識・学習機能およびシステムアーキテクチャにより実現し、システムの構成法を示した。これは、将来の人間共存ロボットに不可欠な模倣学習機能に、多様なインタラクションという新たな側面を加えたものとして重要であり、本論文はその実現法を示すことで知能機械情報学の発展に貢献したものである。よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。