

2022年 2月24日

豊橋技術科学大学長 殿

機械工学専攻  
学位審査委員会  
委員長

佐藤 海二



### 論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、学位審査会を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

学位申請者	笹竹 晴萌		学籍番号	第121826号
申請学位	博士(工学)	専攻名	大学院工学研究科博士後期課程 機械工学専攻	
博士学位 論文名	ロボットマニピュレータによる道具操作のための3次元形状類似度を用いた 深層模倣学習 (Deep Imitation Learning Using 3D Shape Similarity for Robotic Tool Manipulation)			
論文審査の 期間	2022年1月13日 ~ 2022年2月24日			
公開審査会 の日	2022年2月24日	最終試験の 実施日	2022年2月24日	
論文審査の 結果*	合格		最終試験の 結果*	合格
審査委員会(学位規程第6条)				
学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。				
委員長	高山 弘太郎			
委員	北崎 充晃		内山 直樹	
		印		印
		印		印

※論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

## 論文内容の要旨

少子高齢化に伴う労働人口減少への対応として、これまで人間により行われてきた高度な作業へのロボットの応用が期待されている。人間は道具を使うことで様々な作業を行うことが可能であるが、ロボットがこのような能力を有することにより、幅広い作業に対応できると考えられる。ロボットマニピュレータは生産工場において広く普及しているが、多くの場合、繰り返し作業に 응용が限定されている。この理由として、従来のプログラム言語やティーチングペンダントによる教示方法では、道具の変更を含めた動作環境の変化に対して柔軟な指令を行うことが困難なことが挙げられる。ロボットの動作獲得は知能化の研究としても広く関心を集めている。

以上のような背景から本論文は、道具を用いる作業の一例として箒による掃き動作を対象とし、深層学習によりマニピュレータに教示する方法についての研究をまとめている。本論文は全6章から構成される。第1章では、本研究の背景、関連研究、研究目的、論文構成を述べている。代表的な自動清掃およびロボットの動作模倣に関する研究についてまとめている。第2章では、本論文で提案する道具の使用法の深層模倣学習システムについて述べている。深層学習では学習時間の増大が課題となるが、これを高速化するために道具形状の類似度を用いる方法とシステム構成の概要を説明している。第3章では本研究で構築した学習システムについて詳述している。対象とするマニピュレータ、制御ソフトウェア、道具とする箒の種類、教師データを効率的に作成するための計測装置および学習アルゴリズムについて説明している。第4章では、学習時間低減のために道具形状の類似度を評価する方法を提案している。箒を対象に、その包含領域、主成分分析を用いて推定する慣性モーメント、先端の傾きおよび床反力の情報から、類似度を判定する方法を示し、実験により有効性を確認している。第5章では、提案法について総合的に実験検証した結果をまとめている。類似度の利用による学習回数の低減効果、獲得した道具の使用法の有効性、ならびに珪砂等を対象とした清掃能力を確認している。第6章では、本研究で得られた成果をまとめると共に、今後の課題と展望を述べている。

## 審査結果の要旨

多自由度機構であるマニピュレータは多くの作業に対応でき、工場のみならず、例えば車椅子に搭載され物体把持支援などに用いられている。しかしながら、手先に異なる道具を持たせ、人間のような高度な作業を行わせることは、現状では困難な場合が多い。高齢化や労働人口減少に伴い高度な作業の効率的な教示方法が望まれており、また道具の使用法の獲得は知能化の問題としても重要である。

本研究では、深層学習を用いてマニピュレータに道具の使用方法を教示する方法の提案と実験による有効性検証を目的としている。具体的な作業として箒による掃き掃除を取り上げ、この動作の学習に適したマニピュレータの動作信号を明らかにし、その信号を用いて深層学習により効率的に動作教示する方法を提案した後、実験により有効性を確認している。本論文の主要な成果は以下のようにまとめられる。1) マニピュレータに道具の使用方法を模倣させるための深層学習システムの構築方法を提案している。道具の使用方法を学習パラメータとして表現する方法を提案し、使用法の獲得が可能であることを実験により示している。2) すでに教示されている道具の使用法の活用を目的として、道具の類似度を評価する手法を提案している。道具のCADデータから形状を包含する領域、慣性モーメント、箒先端の角度を計算し、また力センサにより床反力を計測し、類似度を評価している。複数箒を対象とした評価実験により、良好な結果を得ている。3) 深層学習では一般に大きな学習時間を要するが、類似度が高い道具の使用方法を学習の初期パラメータとして利用することを提案し、大幅な高速化に成功している。実験において学習時間を約1/15に低減でき、統計的にも有意性を確認している。マニピュレータに道具の使い方を教示するための深層学習に基づく方法の提案は、システム工学分野での学術的独創性が高く、また実験により有効性を示しており将来的に多くの社会実装が期待できる。以上より、本論文を博士(工学)の学位論文に相当するものと判定した。

(各要旨は1ページ以上可)