

# 博士論文審査報告書

## 論文題目

Acquisition and Extension of the Robot Body Model  
Using Motor Babbling through Deep Learning

申請者

高橋	城志
Kuniyuki	TAKAHASHI

総合機械工学専攻 知能機械学研究

2017 年 2 月

## (1) 審査経緯

博士論文審査の経緯を以下に示す．

- ・ 2016 年 11 月 15 日 副査説明会
- ・ 2016 年 12 月 1 日 予備審査会
- ・ 2016 年 12 月 8 日 教室受理決定
- ・ 2016 年 12 月 22 日 創造理工学研究科運営委員会受理決定
- ・ 2017 年 1 月 10 日 博士論文読み合わせ会
- ・ 2017 年 1 月 23 日 リーディング大学院実体情報学 QE3 実施

実体情報学博士プログラム修了要件は，専攻の審査に合格することとプログラムの QE3 に合格することである．QE3 は現在審査中．

- ・ 2017 年 1 月 26 日 公聴会
- ・ 2017 年 2 月 8 日 審査分科会
- ・ 2017 年 2 月 25 日 研究科運営委員会予定

## (2) 論文背景・内容・評価

超高齢社会における人間の生活をサポートするために，知的なロボットが重要な役割を果たすことが期待されている．従来のロボットは，工業用ロボットのように，速さや正確さを求め，いくつかの限られた作業に特化した設計となっている．そのため，これらロボットは人間からは隔離され，事前に設計された環境モデルとの齟齬が生じないように構築された環境条件下で作業することを対象としていた．近年，人間の日常生活の補助，人間との協調作業のように，より汎用性のあるタスクとして人間との共有空間での作業性が注目されている．この人間共存ロボットには，構造化された環境ではなく，動的変化や不確実な環境への適応，更に新しいタスクや環境への短時間での適応が求められている．汎用性のあるタスクを実現するためには，ロボットは多自由度の関節，柔軟関節，高次元のセンサといった複雑な構造を備えなければならない．しかし，その全体の制御系を人間が設計するのは難しい．これまでは，ロボットと環境の詳細なモデルを記述するモデルベース，モデルベースと機械学習との組み合わせ，基本となる動作を組み合わせることで作業を行うモーションプリミティブを用いた研究が行われてきているが，対象とするロボットの自由度は比較的少なく，簡単な環境でしか動作が実現できていない．

このような背景のもと，本論文では，ロボットの内部モデルや環境のモデルを事前に人間が与えるのではなく，ロボットの身体を通して得られる経験を運動感覚の関係性としてロボットと環境のモデルを獲得させるということを考え，ディープラーニングによる機械学習を用いた動作生成手法を提案し

ている．特に，本論文ではロボットの身体性に焦点を当て，ロボットの身体モデルを獲得するため，モーターバブリングと呼ばれる乳幼児に見られる探索的な運動を参考にした動作をロボットに行わせ，そのときの運動感覚情報をディープラーニングの一種である **Recurrent Neural Network (RNN)** に学習させている．この身体モデルを獲得した RNN に対して，a) 目標とするタスクを追加学習させることで，多自由度の柔軟関節を持ったロボットでの動的動作の学習，b) 身体モデルを身体の外部にまで拡張し，道具を身体の一部として扱わせる道具身体化を利用したロボットの道具使用を提案している．それぞれの評価実験の結果，a) では 7 自由度の柔軟関節を持ったロボットによりクランク回し等のタスクを実施し，モーターバブリング利用による学習時間の低減，学習データに対する高い汎化性能を達成している．また，b) では，3 自由度の腕を持つロボットの道具把持位置と把持の判断をシミュレーション上で実施し，ロボットによる把持に関する意思決定を実現している．

以上要するに，本論文は，身体的重要性に注目し，ディープラーニングを利用したモーターバブリングによる身体モデルの獲得と拡張を提案している．この方法を導入することで，1) 多自由度の柔軟関節を持つロボットで環境との接触といった環境との相互作用を考慮した動的動作，2) 動的変化・不確実な環境に対する高い汎化性能，3) 新しいタスクや環境に短時間で対応，を実現している．この研究成果は，機械学習を利用したロボットの動作生成手法の応用・発展に貢献するものであり，学術的，技術的に大きな意義を有するばかりでなく，今後ニーズが増大する多自由度，柔軟関節，高次元センサを有するロボットの制御手法の確立および関連するロボット工学分野の発展に大きく貢献するものである．よって，本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める．

2017 年 2 月

## 審査員

主査 早稲田大学教授 工学博士（早稲田大学） 菅野 重樹

年 月 日 \_\_\_\_\_

副査 早稲田大学教授 工学博士（早稲田大学） 高西 淳夫

年 月 日 \_\_\_\_\_

副査 早稲田大学教授 工学博士（早稲田大学） 小林 哲則

年 月 日 \_\_\_\_\_

副査 早稲田大学教授 医学博士（東京女子医科大学），  
工学博士（早稲田大学） 梅津 光生

年 月 日 \_\_\_\_\_

副査 早稲田大学教授 工学博士（東京大学） 大谷 淳

年 月 日 \_\_\_\_\_

副査 早稲田大学教授 博士（工学）早稲田大学 尾形 哲也

年 月 日 \_\_\_\_\_

副査 早稲田大学教授 博士（工学）早稲田大学 岩田 浩康

年 月 日 \_\_\_\_\_