

氏 名 ERICH Floris Marc Arden

学位の種類 博士（人間情報学）

学位記番号 博甲第 8751 号

学位授与年月 平成 30年 3月 23日

学位授与の要件 学位規程 第4条第1項該当（昭和28年4月1日文部省令第9号）

審査組織 グローバル教育院

学位論文題目 Reactive Programming using Procedural Parameters for End-User  
Development and Operations of Robot Behavior Control  
(エンドユーザによるロボット行動制御のための手続型変数を用いたリアクティブプログラミング)

主査	筑波大学 教授	博士(工学)	鈴木 健嗣
副査	筑波大学 教授	博士(理学)	加藤 和彦
副査	筑波大学 助教	博士(工学)	廣川 暢一
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	河本 浩明
副査	筑波大学 助教	博士(情報科学)	早瀬 康裕

## 論文の要旨

自身の知識と内部表象を利用して行動するソーシャル・ロボットにおいては、その行動制御のための適切なソフトウェアシステムが必要不可欠である。近年、ロボットの応用範囲が広がる中、他分野の研究者がこのようなソーシャル・ロボットを利用する場面が増えて来ている。このような背景の下で、本論文の著者は、プログラミングの専門家でないエンドユーザが利用することを想定し、実世界で自身のセンサ情報に基づき動作するソーシャル・ロボット（社会的支援ロボット）のための行動制御の実現を目的とし、手続型変数を用いたリアクティブプログラミングの構成論に関する研究を行ってきた。ソーシャル・ロボットの行動様式は主にイベント発生型と逐次動作型の組み合わせからなるが、提案手法はストリームと呼ぶデータフローの取り扱いを可能にするとともに、専門家でない使用者が、直感的に所望のロボット動作を行わせることを支援するといった特徴を有している。本論文は英文で全9章からなり、これら一連の研究成果が纏められている。以下にその概要と評価を述べる。

第1章は序論で、本研究の位置づけと研究の背景を述べている。

第2章では、用語の説明とともに、従来から現在までの代表的なロボットのためのソフトウェアシステム研究を紹介した後、ソフトウェア及びハードウェアの果たす役割を述べている。

第3章では、開発（Development）と運用（Operation）を組み合わせたソフトウェア開発手法であるDevOpsの役割を述べ、その理論的な位置付けを明らかにするとともに、実世界における運用についての調査を行うことでその特徴と優位性を示している。

第4章では、提案するリアクティブ・プログラミング手法について具体的な内容を説明している。特に、手続型変数の取り扱いについて、グラフ表記及び複数の機能について述べられている。提案方式による行動制御に関する枠組みを明確にし、並列分散型の新しいソフトウェアシステムを実装した人間型ロボットの開発と実験について述べている。

第5章では、リアクティブ・プログラミングの実装について詳しく述べている。また、特にエンドユーザがロボットの行動を制御するためのビジュアルプログラミング環境の実装について説明している。ここでは、提案手法を詳細に説明し、ロボットによる複数の行動に適用している。

第7章では、提案手法の有効性を評価するため、他のロボットプログラミングの概念と比較することで、課題実行の所用時間、及びその認知的・身体的負荷に関する定性的評価を行う一連の被験者実験を行った結果が述べられている。これらを通じ提案手法の有用性を明らかにしている。

第8章、第9章では、全体としての考察と評価を行い、研究成果のまとめと将来展望を述べている。

## 審査の要旨

### 【批評】

本論文は、ソーシャル・ロボットのための高度な動作制御を実現するため、ソフトウェアシステム設計の原理である新しいリアクティブプログラミング方式を提案するとともに、これを小型で人間形のソーシャル・ロボットの行動制御に適用して有効性を示している。提案手法は、絶え間なく変化する外界の情報を複数のセンサを用いて連続的に取得する系において、これらに応じて動作するロボットのためのプログラミングを提供するとともに、新たに手続型変数による記述を可能にするものである。ここでは、他のアーキテクチャとの比較に加え、プログラミングを行う使用者の観点からみた評価実験を通じて、提案手法の有用性を明らかにしている。このようなソフトウェアシステムの評価を定量的に行うことは困難であるが、実際に利用を想定する療育活動を行うエンドユーザに対する検証もを行い、提案手法の効果は確認されており、非専門家によるロボット制御の実現や理解を深めることに寄与するため、ロボットの新しい応用の可能性を拓くものとして評価できる。このように、ソフトウェア開発プロセスを人と人、人と機械の相互作用と位置付け、人がロボットに動作を指示する能力を拡張することで人々をエンパワーする技術の進歩に寄与するものであり、ソフトウェア工学の分野における応用が大きく期待出来る。

一連の成果を通じて、リアクティブプログラミングを用いたロボットの行動制御のためのプログラミングに対し新たな方法論を提案し、人とロボットとのインタラクション分野を拓くものとして、その学術性を高く評価できる。これらの成果は、人間情報学、及びエンパワーメント情報学の発展に資すること大であるため、本論文は博士(人間情報学)の学位論文として相応しいものであると認める。

### 【最終試験の結果】

平成30年2月7日、専門委員会において、専門委員会委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、専門委員会委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(人間情報学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。