

氏名・（本籍） 加藤 央昌（愛知県）

学位の種類 博士（情報科学）

報告番号 甲 第135号

学位授与年月日 2018（平成30）年3月19日

学位授与の要件 学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）

第4条第1項該当

論文題目 多関節ロボットのモーション実行用ソフトウェアアーキテクチャの提案

審査委員（主査） 青木 公也

沼田 宗敏

橋本 学

清水 優

平名 計在

## 審査概要および審査結果（論文）

### 〈審査請求論文の経過と論文の概要〉

申請者 加藤央昌氏は、2001年4月、中京大学情報科学部情報科学科に入学し、2005年3月に当該学科を卒業後、同4月、同大学院情報科学研究科（修士課程）情報科学専攻に進学、2007年3月に当該課程を修了、約4年間のメーカ企業での開発経験を経て、2011年4月、同研究科（博士課程）情報認知科学専攻に進学、現在に至っている。この間、当該研究科において、申請学位論文「多関節ロボットのモーション実行用ソフトウェアアーキテクチャの提案」に至る一連の研究を推進してきた。なお、学位論文タイトルについては、2017年3月の受理時（「多関節ロボットのモーション実行基盤開発」）から、審査過程において、その内容により合致するよう、審査委員会より変更を指示した。

申請論文は、多関節ロボットの実用化における多機種展開において、特にモーション実行の課題に着目し、モーションの繰り返し評価、開発労力の低減に資するモーション実行用ソフトウェアアーキテクチャを提案し、その有効性を実装・実験によって実証した結果をまとめたものである。具体的には、先ず第1章において、今後、益々その発展が期待されるロボットの技術動向をまとめ、特に多関節ロボットのアクチュエータ数や関節構成に起因するモーション実行用ソフトウェアの複雑化と、それによって引き起こされる多機種展開における課題等、研究背景を述べ、多関節ロボットのモーション評価の容易性や開発労力

の低減に資するソフトウェアアーキテクチャの必要性に言及し、研究課題と研究目的を明確にしている。第2章では、多関節ロボットのモーション生成から実行までの基本的な流れと、今後、実用化・多機種展開が進む過程における問題点を明確にし、それに対応することのできる、メモリ・ベースト制御の利点を活かしたモーション実行用ソフトウェアアーキテクチャの概観について提案している。第3章では、第2章で示したモーション実行用ソフトウェアアーキテクチャの構成要素について述べ、提案アーキテクチャの詳細について提案し、アーキテクチャに基づいて具体的にモーション実行ソフトウェアを試作し、多関節ロボットの機種や形態を問わず、同一のソフトウェアによってモーション実行が可能であることを実証した。第4章では、第2章で提案した多関節ロボットのモーション実行用ソフトウェアアーキテクチャの拡張性の高さについて述べ、具体的にはモーションの速さの変更やモーション間の同期機能の追加について、実機による実験例を示すことで実証した。最後に第5章において、本研究のまとめと今後の展望を論じている。

### 〈審査申請論文の内容と評価〉

申請者 加藤央昌氏が提出した論文「多関節ロボットのモーション実行用ソフトウェアアーキテクチャの提案」は、以下の全5章から構成されている。

第1章「序論」では、本研究の背景として、近年のロボット技術の発展を概観し、今後も様々な分野において人代替としての役割を担うこと、そこで活躍するロボットの形態として、回転軸による関節構造を複数個持つ多関節ロボットの重要性について分析している。その結果、様々な場面で様々なタスクを達成するため、今後、多関節ロボットが多機種展開され量産化される過程において、モーション実行用のソフトウェアを形態や機種、アクチュエータの仕様毎に開発することの幾つかの課題に起因する最大の問題を、実行されるモーションの保証であると言及し、従って、多機種展開において、開発労力を低減し、実行モーションを運用前に繰り返し評価し得る方法論の必要性について述べ、研究目的を定めている。

以上より、様々な技術要素からなるロボット開発において、実応用する上での学術的・技術的課題と社会的背景に基づく課題を抽出することに成功しており、博士学位論文のテーマとして相応しい課題設定であると評価した。

第2章「多関節ロボットのモーションと提案するアーキテクチャの概要と利点」では、まず、本論文の提案内容を理解する上で必要となる多関節ロボットのモーションについて、その生成から実行までの基本的な流れを解説し、一品一様での開発から多機種展開へ移行する際の問題点を整理している。具体的には、逆運動学問題や特異姿勢に起因する実行モーションの評価や例外処理の設計労力の増大、多関節機構の複雑化に伴うモーション実行ソフトウェアの複雑化について言及している。その上で、改めてモーション実行に必要な要素を整理し、本論文で提案するメモリ・ベースト制御を基本とする多関節ロボットのモーション実行用ソフトウェアアーキテクチャの概観を示している。本アーキテクチャは、多関節ロボットが軌道保証されたモーションを実行する上で必要な要素を、1. モーションデータ、2. モーションデータの選択機能、3. モーションの実行機能とし、任意のモーションが実行される上で、上位レベルのセンシング結果に基づく行動プランニング結果からもたらされる情報と、アクチュエータの出力によって具現化するモーションを繋ぐモーション実行用ソフトウェアについて、ロボットの形態や使用するアクチュエータとそのインターフェイス等に起因する、開発における煩雑さを排除するためのルール・概念である。本章ではさらに、提案アーキテクチャに基づいてモーション実行用ソフトウェアを開発する状況を、新機種でのソフトウェア開発、同機種でモーションを変更・追加する場合、他の機種にソフトウェアを横展開する場合等、具体的に解説している。それによって、提案アーキテクチャによれば、モーションの変更、アク

チュエータやセンサ等のハードウェアの変更、形態の変更等、各種変更による変化点を明確化でき、つまり評価すべき項目を明確化できることを示している。

本章は、従来技術の分析に基づき多関節ロボットの多機種展開における課題を明確化し、その上で本論文の核である、多関節ロボットのモーション実行用ソフトウェアアーキテクチャの概観を示すに至り、かつその有効性を示した。このことから、その学術的・技術的主張の独創性を認めた。

第3章「多関節ロボットのモーション実行用ソフトウェアアーキテクチャの提案」では、先ず、第2章で示したモーション実行用ソフトウェアアーキテクチャの構成要素について述べ、アーキテクチャの詳細について提案している。具体的には、モーションデータのデータ構造、下位レベルのセンサーフィードバックを有するモーション実行機能、登録モーションの組み合わせ機能を有する読み込み機能である。さらに、提案アーキテクチャに基づいてサーボモータ制御プラットフォームソフトを実装し、それによって、異なる形態・サーボモータ仕様を持つ多関節ロボット間でモーション実行が可能であること、変更点に関する変化点に着目したモーション実行の評価が行えることを実証した。

このことから、本章において本論文の提案手法の信頼性・有効性を認めた。

第4章「多関節ロボットのモーション実行用ソフトウェアアーキテクチャの拡張性」では、第3章で試作されたサーボモータ制御プラットフォームに対して、登録モーションのN倍速実行機能と、ロボットを構成する複数の多関節形態間でモーションの同期をとる機能が容易に追加できることを示し、提案するモーション実行用ソフトウェアアーキテクチャの拡張性を示した。また、このことは、提案手法の基本となる従来のメモリ・ベース制御の問題点の解決ともなる。

以上より、本章において、本論文で提案するソフトウェアアーキテクチャが、多関節ロボットのモーション実行において本質的な構成を成しており、かつ有効に機能することを認めた。

第5章「結論」では本論文での主張を再度まとめ、得られた結果を要約し、結論を述べている。さらに今後の展望について示すことにより、本論文が今後の多関節ロボットの多機種展開、及び関連する他の要素技術開発における道標となった。

#### 〈審査申請論文のオリジナリティの調査〉

本論文のオリジナリティについて、当該審査委員会の調査結果について報告する。特に論文剽窃チェックツール「iThenticate (アイセンティケイト)」の結果は以下の通りである。

- ・類似性指標は全体で27%であった。
- ・比較的高い割合で類似性が見られた箇所・内容については、参考文献表における記述部分との一致、もしくは執筆者本人の公開論文との一致であった。
- ・本文における執筆者本人の主張を記述した部分には、剽窃や盗用が疑われるような重大な類似性は見られなかった。

以上の結果を当該審査委員会において確認し、本論文のオリジナリティについて問題ないと判断した。

#### 〈研究推進の評価〉

これらの研究によって生み出された成果について報告する。本論文の内容は、幾つかの学術論文としてまとめられ、国際会議及び国内学会・研究会・シンポジウムにおいて発表の機会を得ており、研究内容が関連学協会において十分な認知を得ている。

具体的には、本論文に直接的に関係する査読付き学術論文として、精密工学会論文誌に計2件、国際会議発表としては、SICE (the Society of Instrument and Control Engineers) Annual Conference にて1件、国内

学会発表としては、日本ロボット学会、人工知能学会等、計5件の発表がなされており、これらは全て申請者本人が筆頭著者となっている。

また、本論文に直接関係しない研究成果発表として、国内学会発表12件（内3件は筆頭著者）があり、これらはどれもロボット技術に関するもので、申請者が当該分野において十分な研究実績を持つことの傍証になり得ると考えられる。

### 〈審査結果〉

以上の審査結果を総合的に判断して、本審査委員会は、申請者 加藤央昌氏 の提出した論文は課程博士（情報科学）の学位論文として十分に適格であると認め、全員一致にて「合」と判定したので、ここに報告する。

## 審査概要および審査結果（最終試験）

### 1. 口頭試問の実施

当審査委員会は最終試験にかえて、2017年4月18日、2017年11月28日、2018年2月9日の予備審査会、ならびに2018年2月27日の公聴会において、申請者に論文内容に関する口頭発表を求めるとともに、専攻分野における学識と研究能力を審査するための口頭試問を行った。

### 2. 既刊論文の調査

当審査委員会は、2017年3月3日の申請論文受理時点で、申請者を筆頭著者とし、かつ、第三者の査読を経て採録されている関連論文を調査し、以下に示す3編がそれに該当することを確認した。なお、学術論文2件目の「モーションデータの再利用性向上のためのロボットモーション実行基盤の機能拡張」については、受理時点ではステータスが採録決定であったが、その後、掲載されたことを確認した。

学術論文			
加藤央昌、清水 優	モーションデータの再利用性向上のためのロボットモーション実行基盤の機能拡張	精密工学会誌 Vol.83, No.5, pp.460-467	2017-5
加藤央昌、石原裕平、清水 優、橋本 学	ロボットモーションプランニングの自動化に向けてのロボットモーション実行基盤の開発	精密工学会誌 Vol.80, No.1, pp.99-106	2014-1
国際会議			
H. Kato, T. Tsuruta, Y. Ishihara, M. Shimizu, M. Hashimoto	Development of Robot Motion Performance Platform for Auto Generation of Robot Motion Planning	SICE Annual Conference 2012 (SICE2012), pp.1685-1690	2012-8

### 3. 最終試験結果

当審査委員会は、上記1. 及び2. の結果から、申請者 加藤央昌氏 は、専攻分野における十分な学識と研究能力を有すると判断し、全員一致で最終試験を「合」と判定したので、ここに報告する。

## 審査経過

審査経過：

2017年3月3日	論文受理
2017年3月3日	論文博士審査委員会設置（研究科委員会）
2017年4月18日	第1回予備審査会（口述発表及び口頭試問）
同日	第1回予備審査委員会開催
2017年11月28日	第2回予備審査会（口述発表及び口頭試問）
同日	第2回予備審査委員会開催
2018年2月9日	第3回予備審査会（口述発表及び口頭試問）
同日	第3回予備審査委員会開催
2018年2月22日～3月1日	論文公示
2018年2月27日	公聴会開催（口述発表及び口頭試問）
同日	審査委員会開催
2018年3月2日	研究科委員会に審査結果の報告 投票による合否の判定