

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第8条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	松阪 憲人 (まつさか けんと)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 1118 号
○授与年月日	2016 年 9 月 25 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	可変弾性機構に基づく柔軟関節ロボットアームの実現
○審査委員	(主査) 川村 貞夫 (立命館大学工学部教授) 平井 慎一 (立命館大学工学部教授) 馬 書根 (立命館大学工学部教授)

<論文の内容の要旨>

一般に共振は良く知られた現象であり、エネルギー効率の高いシステムが構築可能となり、ロボットへの利用も期待される。しかし、現状の産業用ロボットでは、高減速比機構利用のため、摩擦の影響でロボットの関節は固くなり、柔軟性を失う。その結果、重力、バネから発生する力/トルクをモータ軸に伝達することは困難となり、共振現象を利用した高エネルギー効率な運動は実現し難い。そこで、本論文では、ロボット関節の柔軟化を可能とし、その弾性値を可変とする機構を開発して、エネルギー効率の高いロボット運動実現の新しい手法を提案している。それらの有効性は、2自由度ロボットアームを利用した実験によって確認された。さらに、本論文では申請者が提案した可変弾性機構の拮抗駆動による柔軟関節ロボットアームを提案し、その数理モデルや制御法を開発している。それらの有効性は、2自由度ロボットアームによって実験的に示された。

論文構成

- 1章 緒論 ロボット関節柔軟化の意義等を述べている。
- 2章 可変弾性機構：既存の可変弾性機構の問題点を解消する新しい機構を提案し、その数理モデルを示した。さらに、実験的に弾性値の正当性を示している。また、より簡略化した数理モデルとなる新しい機構も提案している。
- 3章 ピック&プレイス作業の実現：スカラ型ロボットを利用したピック&プレイス作業を実現するための制御法を提案し、その有効性を実験的に検証している。
- 4章 パレタイジング作業の実現：重力影響下でのパレタイジング作業に有効な制御法を開発し、その有効性を実験的に確認している。

5章 負の弾性値の利用：提案可変弾性機構では負の弾性値を実現できる．この特徴を利用して，重力と負の弾性値の併用システムを製作し，実験的に有効性を確認している．

6章 拮抗駆動を利用した柔軟関節アーム：拮抗駆動の数理モデルおよび制御則を提案し，実験結果からその有効性を検証している．

7章 結論 全体の結果をまとめ，今後の展望をまとめている．

<論文審査の結果の要旨>

本博士論文2章から6章までの本論文の特徴と評価を述べる．

2章：提案手法と類似性の高い従来の可変弾性機構では，小さい関節角度で弾性値誤差が大きくなる問題があった．本論文では，新しい機構を開発し，数理モデル，弾性値の実験の確認を行っている．さらに，より簡略化モデルで記述可能な機構も開発している．

2つの新しい提案機構は，新規性が高く，利用価値が高いと判断できる．機構の複雑な数理解析や精緻な実験も評価できる．

3章：ピック&プレイス作業の水平面内運動について，共振原理を利用した高エネルギー効率運動を，提案した可変弾性機構を用いて実現した．従来方法では適用できない3点以上のピック点（またはプレイス点）の実現方法を提案し，実験的に実証している．

実験的に消費エネルギーが80%程度以上削減された結果を示したことは評価できる．さらに，3点以上への対応は，この方式の実用には解決が必須の課題であり，提案手法が実用化の目途を付けた点は高く評価できる．

4章：重力影響下でのパレタイジング作業において，共振原理を利用した高エネルギー効率運動が実現できることを実験的に示した．その際，2自由度ロボットの第1関節と第2関節の周波数比を1:2とする方法を提案した．

パレタイジング作業を達成するためには，テーブル等の障害物を回避する必要があり，周波数比1:2の方式が解決方法となることを示した点に新規性があり，有用な結果と評価できる．また，重力作業化での共振運動実現によって，消費エネルギーを70%程度以上削減可能であることを実験的に示した点も評価できる．

5章：提案可変弾性機構では負の弾性も実現可能である．この特徴を利用すれば，重力や他の固定バネとの併用によって，多様な弾性値を実現可能となる．本論文では，重力との併用によって，重力と各リンクで決定される固有振動数よりも低い振動数の運動が実現可能であることを実験的に示した．

負の弾性値利用の提案は，他に見られない新規性の高い内容と評価できる．

6章:提案された可変弾性機構を拮抗構造に配置した2自由度ロボットシステムを開発し，導出した数理モデルから新しい制御則を提案している．また，実験結果によって有効性を確認している．

可変弾性機構の拮抗駆動の数理モデルを導出して，制御則を提案している．また，提案

制御則の安定性について、リアプノフ関数を利用して証明し、実験的にも有効性を確認している点は評価できる。

本論文の審査に関して、2016年4月25日（月）に公聴会を開催し、本論文は博士学位を授与するにふさわしいものであると判断した。

<試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、学位申請者と本学大学院理工学研究科機械システム専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文の審査に関して、2016年4月25日（月）13時00分～14時30分イーストウイング4階機械システム系第1演習室において公聴会を開催し、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者松阪憲人に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、可変粘性についての課題、実験再現性、論文内容の表記法などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。学位申請者は、本学学位規程第18条第1項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していると確認した。

以上の諸点を総合し、学位申請者に対し、本学学位規程第18条第1項に基づいて、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。