

サカイ マサオ

氏 名 酒井 昌夫

学位の種類 博士（工学）

学位記番号 博第1024号

学位授与の日付 平成28年3月23日

学位授与の条件 学位規則第4条第1項該当 課程博士

学位論文題目 パラレルワイヤ教示装置を用いたロボット教示法に関する研究  
(Study on Robot Teaching Method Using Parallel Wire Type Teaching Device)

論文審査委員 主査 教授 森田 良文  
教授 岩崎 誠  
教授 水野 直樹

## 論文内容の要旨

産業用ロボット(以後、ロボットと呼ぶ)は人の腕に似た垂直多関節構造を有し、エンドエフェクタを変えることで様々な作業に利用できる汎用性と、作業対象の変更などの環境変化に対しプログラムの変更で対応可能な柔軟性を有する。しかし、現在主流であるティーチングペンダントを利用する教示法は、目標点を教示者が手動で入力するため、熟練した教示者でも複雑な軌道の教示には作業量と時間の点から困難が伴う。このことはロボットの生産性低下の要因となっている。そのため、ロボットの特性を活用して生産性を向上するには、複雑な軌道を短時間で教示可能な教示法が必要である。また近年、ロボット技術をサービスロボットなど非産業分野で活用することも期待されているが、同様の理由により既存の教示法は利用者の希望に応じたサービスに対応する作業内容の教示には適さないため、この点からも新たな教示法の開発が望まれている。

この問題に対して、本来ロボットが有する柔軟性を活かす教示法として、既に力制御によるロボットの直接教示法が研究されてきた。この方法は教示者が動かしたい方向に直接ロボットを押すことで、その力に応じて動かされるロボットの軌道を記憶するものである。この方法は教示者の直観的な動作をロボットに短時間で教示できる点で前述の教示法より優れている反面、教示者とロボットが直接接続されるため、次の2点の問題が生じている。その一つは、ロボットと教示者では動特性が異なるため、教示者からの入力に対し、ロボットが抵抗となることであり、もう一つは、ロボットが外部環境と接触すると、教示者による操作力と外部環境から受ける力が合成されロボットの動作が不安定になることである。

本論文では、教示者とロボットの動特性の違いを吸収しながら、教示者とロボットの相対位置を計測、教示者の動作の軌道を取得する教示法を開発することで、既存の力制御を利用した教示法の課題を解決することを目的としている。このために、教示者とロボットの間を接続するパラレルワイヤ教示装置を開発し、さらにこれを搭載したロボットの教示法を開発する。本論文は5つの章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章は序章であり、本研究の背景、先行研究、ならびに本研究で解決すべき課題を述べ、本研究の新規性と目的を明確にしている。

第2章では、教示者とロボットの動特性の差によって発生する相対位置の変化を吸収しつつ、両者間の相対位置を計測する方法として、パラレルワイヤ機構を利用した教示装置とこの装置単体での位置計測精度について述べている。提案したパラレルワイヤ教示装置は、Stewart Platform型パラレルリンク機構のリンクをワイヤに置換したものである。この機構では、教示者とロボットの間を6本のワイヤで接続し、両者の相対位置の変化をワイヤ長の変化から算出する。さらに試作したパラレルワイヤ教示装置に、5軸加工機を利用して任意の位置への変位を与えてその精度を検証した。その結果、想定する用途であるバリ取り作業に適用可能な精度の範囲を明らかにした。

第3章では、第2章で開発したパラレルワイヤ教示装置をロボットに実装した教示システムを構築し、提案教示法により取得した軌道の精度について述べている。このため、まず、6軸ロボットに実装するためのロボット運動制御法を提案した。パラレルリンク機構は基本的に垂直多関節構造のロボットと比べて可動範囲が狭いため、パラレルワイヤ教示装置が教示者の位置を常時計測できるよう、ロボットが教示者の動作に追従するよう制御する。次に、教示者に代わりリニアアクチュエータが教示入力を与える教示法の評価装置を構築した。この評価装置を用いて教示システムに与える教示の位置と、教示システムが計測した位置を比較することで、教示で取得した軌道の精度を検証している。

第4章では、本教示法のリハビリテーション支援ロボットへの適用について述べている。脳卒中片麻痺患者などに対し療法士が行うリハビリテーションの一つに反復抵抗訓練がある。この方法は療法士が患者の麻痺側上肢を把持し、患者が発する力に応じて療法士が抵抗を付与しながら、患者の上肢の運動を誘導する。このリハビリテーションを療法士に代わりロボットが行うためには、この動作の軌道と力の情報を同期して取得する必要がある。そのため、パラレルワイヤ教示装置と6軸力覚センサを内蔵した装具を搭載したリハビリ支援ロボットを試作し、反復抵抗訓練の教示とその再生を試みた結果、軌道と力の情報を同期して収集できることを確認した。さらに力の情報を利用し、患者の発する力に応じて教示した軌道上を誘導する機能も確認した。

第5章では、本研究で得られた成果をまとめ、本研究で残された課題を述べると共に今後の展望について言及している。

## 論文審査結果の要旨

産業用ロボットは、様々な作業に利用できる汎用性と、作業変更などの環境変化に対応できる柔軟性を有していることから、多品種の生産ラインに導入されている。しかし、従来のロボットの教示法において、生産性向上の阻害要因とされる様々な技術課題が残されている。そこで、論文は二つの技術課題に着目している。一つは、ロボットと教示者では動特性が異なることから、教示者によるロボットの直接操作が困難になること、もう一つは、ロボットが外部環境と接触すると、ロボットの動作が不安定になることである。これらの技術課題を解決することに論文の目的がある。そこで、論文は、複雑な軌道を直感的に短時間で教示できるパラレルワイヤ教示装置、ならびにそれを用いた教示法、さらにリハビリトレーニングへの応用可能性について述べている。論文は、序章、3章からなる本文、および結章から構成されている。

第1章は序章であり、本研究の背景、先行研究、ならびに本研究で解決すべき課題を述べ、本研究の新規性と目的を明確にしている。

第2章では、教示者が把持する作業ツールと教示させたいロボットの間を6本のワイヤで接続したことを特徴とするパラレルワイヤ教示装置を提案し、その試作機において計測精度を検証している。その結果、ブラシと砥石を用いたバリ取り作業のそれぞれに対して、適用可能な可動範囲の条件を明らかにしている。

第3章では、パラレルワイヤ教示装置を用いた教示法を提案し、それを6軸ロボットに実装した教示システムを構築して、教示における位置精度を検証している。その結果、ブラシと砥石を用いたバリ取り作業のそれぞれに対して、適用可能な教示速度の条件を明らかにしている。

第4章では、提案教示法を上肢運動機能リハビリトレーニングへの応用可能性についてまとめている。パラレルワイヤ教示装置に6軸力覚センサを内蔵したリハビリトレーニング用の前腕固定装具と位置と力の教示法を開発し、それらを実装したリハビリ支援ロボットを開発している。療法士の徒手によるトレーニングを模擬した実験結果から、トレーニングにおける患者の前腕の位置と力のデータが同期して収集できること、さらに教示した位置と力のデータから療法士の徒手によるトレーニングの再現がリハビリ支援ロボットにおいて可能なことを確認している。

第5章では、本研究で得られた成果をまとめ、本研究で残された課題を述べると共に、今後の展望について言及している。

本論文の成果は、2編の学術論文と1編の国際会議論文として公表されている。近年、ロボット技術をサービスロボットに活用することが期待されている。そこで提供されるサービスを利用者のニーズに対応させるための教示において、本論文の成果が大きく貢献するものと思われる。

以上、審査の結果、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有すると判断される。