

氏名	王 璦瑋
学位の種類	博士(学術)
学位記番号	博工甲第783号
学位授与年月日	平成24年9月19日
学府・専攻	工学府 電子情報工学専攻
指導を受けた大学	東京農工大学
学位論文名	Robot arm control system design based on human multi-joint arm viscoelastic properties 多関節人腕粘弾性特性に基づくロボットアーム制御システムの設計

## 論文の内容の要旨

本論文では、多関節人腕粘弾性特性に基づくロボットアーム制御システムの設計に関する研究について述べる。近年、医療・福祉分野において、患者に対する治療・手術支援や高齢者への介護等に、適切な技術を有する人材が必要とされている。このような社会情勢にも関わらず、人口自体が減少していくことが予測されており、労働力に頼らない対処法が次善の策として求められることになる。その解決策の一つとして、ロボットアームを適用することが考えられる。人間の生活空間との共存をはかるためには、人に優しく安全であり、扱いやすいことが導入条件となる。従って、マン・マシンインターフェースに優れ、人間との親和性があり、人間と同じ運動特性を有するロボットアームであることが望ましい。そこで、まず、人間の動作を解明することからはじめ、多関節人腕粘弾性特性実験を行うことにした。そして、この実験より得られた生体筋に関する粘弾性をロボットアームなどの機械システムのトルク制御に適用することで、機械システムを制御する際の柔軟性及び安全性が向上すると考えられる。ひいては、より多くの医療現場や生活環境で人間のアシストが可能になると期待される。このような背景のもと、人間の運動機構を実現するための基礎研究として、多関節人腕粘弾性計測で得られた粘弾性パラメータを用いた制御系設計に関する研究を行った。

本論文では、多関節人腕粘弾性計測で得られた粘弾性パラメータを用いたロボットアーム制御系に前方注視モデルを加えた制御手法を提案し、多関節人腕粘弾性計測で得られた粘弾性パラメータおよびオペレータ理論に基づくロボットアームロバスト非線形制御系設計を行う。

第1章「緒論」では、人間と同じような運動特性を有するロボットアームに関する研究

の背景と発展の状況、多関節人腕粘弾性特性に基づくロボットアーム制御システムの設計に関する研究背景、問題点について述べる。その上で、本論文の研究の動機、研究の貢献、本論文の構造について述べる。

第2章「準備と問題設定」では、ロボットアームモデル、多関節人腕モデル、多関節人腕粘弾性、多関節人腕粘弾性推定アルゴリズム、多関節人腕粘弾性計測実験装置の概要について述べる。さらに、本論文の研究問題設定について述べる。

第3章「多関節人腕粘弾性特性および前方注視モデルに基づくロボットアーム制御システムの設計」では、多関節人腕粘弾性特性および前方注視モデルに基づくロボットアーム制御システムの設計について述べる。人間に近い動きを実現するための基礎研究として、人腕の粘弾性計測で得られた粘弾性パラメータを用いた制御系に軌道修正制御器を加えた制御手法を提案する。ロボットアーム制御においては、アームの先端位置が目標軌道を追従するように制御する際に、誤差が生じるという問題がある。したがって、誤差を修正するために、前方注視モデルを用いた軌道修正制御器を設計する。また、人間の小脳モデルの一部として未来の位置を予測する前方注視モデルを組み込む。これはヒトの運動、特に無意識下での運動には小脳が深く関わると考えられていることから、小脳モデルの再現を着想した。つまり、多関節人腕モデルの小脳の影響に相当すると考える。最後に、多関節人腕粘弾性計測で得られた粘弾性パラメータを用いた人腕モデルの制御シミュレーションによって有効性を示している。

第4章「多関節人腕粘弾性特性およびオペレータ理論に基づいたロボットアーム制御システムの設計」では、多関節人腕粘弾性特性およびオペレータ理論に基づいたロボットアームロバスト非線形制御システムの設計について述べる。ロボットアームモデルは、不確かさを有する非線形システムである。ノルム空間の入出力オペレータの考え方に基づくオペレータ理論は、制御工学分野における新しい理論であり、不確かさを有する非線形システムのロバスト制御系設計において成果をあげている。そこで、ロボットアームモデルの構造化および外乱の影響による不確かさを考慮したロボットアームロバスト非線形制御システムを設計し、不確かさの影響を取り除くオペレータ理論に基づいた非線形制御システムを組み込む。また、人間の小脳モデルの一部として未来の位置を予測する前方注視オペレータを組み込む。さらに、多関節人腕粘弾性計測で得られた粘弾性パラメータを用いることにより生じる不確かな時間遅れによる影響を考慮し、その影響を取り除く補償オペレータを組み込む。最後に、多関節人腕粘弾性計測で得られた粘弾性パラメータを用いた人腕モデルの制御シミュレーションによって有効性を示している。

第5章「結論」では、本研究で得られた成果をまとめ、研究の意義を述べる。