

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	LU GUANGQIANG (ろ こうきょう)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 802 号
○授与年月日	2012 年 3 月 31 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	ENERGY SAVING CONTROL METHODS FOR ROBOTS WITH ELASTIC ELEMENTS (弾性要素を有するロボットのための省エネルギー制御法)
○審査委員	(主査) 川村 貞夫 (立命館大学理工学部教授) 馬 書根 (立命館大学理工学部教授) 永井 清 (立命館大学理工学部教授)

<論文の内容の要旨>

産業用ロボットや歩行ロボット等では、周期運動が多く見られる。本論文では、周期運動において、ポテンシャルエネルギーを運動エネルギーに変換することによって、エネルギー効率の高いロボットを実現する方法を検討している。本論文で得られた結果は以下の 3 点に要約される。

[1]多自由度のロボットの関節に弾性要素を付加し、自由運動を行う場合、カオスの挙動となる。目標とする周期運動とするために、機械的に弾性値を変化させる適応的弾性調整機構と遅延フィードバック制御の同時利用により、アクチュエータトルクを小さく設定できる運動パターンと目標弾性値への収束が達成できることを、計算機シミュレーションと実験によって確認した。

[2]目標周期運動を実現する方法として、慣性モーメントを適応的に変化させる方法を提案した。ロボットの関節には固定値の弾性要素および慣性モーメントを変化させる機構を設置し、実時間で慣性モーメントを変化させる。本論文では慣性の適応調整則を提案し、その収束性を理論的に証明した。さらに、その有効性を種々の計算機シミュレーションによって明らかにした。

[3]SCARA 型ロボットの各関節に適応的弾性調整機構を設置し、第 2 リンクの重心を回転中心上に設置してダイナミクスを線形化する場合を想定した。この場合、適応弾性調整則により、目標周期運動を、ほぼアクチュエータトルクゼロで実現できることを示した。特

に、弾性行列の非対角成分の影響について考察した。また、手先が対象物を把持した状況を考えて、第2リンクの重心が回転中心と一致しない場合の、ロバスト性についてシミュレーション結果を通じて明らかにした。

<論文審査の結果の要旨>

本論文は以下の点で評価できる。

[1] 適応的弾性調整機構と遅延フィードバック制御の同時利用により、アクチュエータトルクを小さく設定できる運動パターンと目標弾性値への収束が達成できることを、計算機シミュレーションと実験によって確認できた点に新規性がある。理論的に収束性が保証されていないものの、多くのシミュレーション結果と実験によって、2つの適応則の同時利用の有効性が示されたことにより、今後の研究の指針となると判断できる。

[2] 目標周期運動を実現する方法として、慣性モーメントを適応的に変化させる方法を提案している。従来、弾性値を可変とする機構は数多く提案されている。しかし、共振現象を実現するために慣性モーメントを適応的に調整する方法は提案されていない。本研究では、慣性モーメントが目標周期運動を実現する値に収束することを、可動質量の見かけ上の目標値を設定し、その設定値を実時間で更新する方法により実現している。また、その収束性を数学的に証明している。さらに、種々のパラメータ変化に対するロバスト性をシミュレーションによって確認している。これらの成果は、学術的であると同時に実用的でもあり高く評価できる。

[3] SCARA型ロボットに、弾性調整則を用いて、ピックアンドプレイス作業を実現させる方法を提案している。また、弾性マトリクスの非対角項の影響を理論とシミュレーションによって解析している。さらに、第2リンクの重心が回転中心からずれる場合について、シミュレーションによって、ロバスト性を検証している。これらの結果は、産業用ロボットに適用可能であり、省エネルギーロボットの実現に極めて有用である。

以上の内容全体として、博士学位授与が妥当であると判断する。

本論文の審査に関して、2012年2月6日(月)10時00分～11時30分イーストウイング4階 機械システム系演習室において公聴会を開催し、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 LU GUANGQIANG 氏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、遅延フィードバック制御と適応剛性則の同時利用可能の理由、適応慣性の収束性に関する証明、3つの方法の関連性などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても申請者の回答は適切なものであった。よって、以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文であると判断した。

<試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主旨は、本論文提出者と本学大学院理工学研究科総合理工学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。

本論文提出者は、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、本論文提出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ことを確認した。

以上の諸点を総合し、本論文提出者に対し、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。