

氏名・(本籍)	望 月 宣 宏 (静岡県)
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	工博甲第 84 号
学位授与の日付	平成 5 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・ 専攻の名称	電子科学研究科 電子応用工学専攻
学位論文題目	油圧ロボットの高機能化に関する研究

論文審査委員	(委員長)
	教授 野 銅 享
	教授 清 水 孝 教授 森 田 信義
	教授 松 井 隆 教授 市 川 朗

論 文 内 容 の 要 旨

産業用ロボットにますます高速・高機能化が要求される中で、現在、サーボ駆動方式の主流を占める電気駆動では対応の困難な新たな応用分野も生じている。一方、油圧駆動は油圧モータの高いトルク慣性比に依ってそうした応用分野への対応の可能性を持つ場合も多いと考えられるが、現状においては油圧ロボットにおける高機能化への対応は必ずしも十分であるとは言い難い。例えば、産業用ロボットにおいて高速位置・軌道の制御、力制御、力と位置のハイブリッド制御、インピーダンス制御、適応制御など機能の高度化に伴って減速器を使用しない直接駆動化が普及しつつあるが、電動サーボモータの出力の限界から水平多関節形が主流を占め、また垂直関節形ロボットにおいては、可搬重量や高速性において大きな制約を受けているのが現状である。しかし、そうしたロボットの高機能化を油圧ロボットで対応しようとする研究はほとんど無い。本研究は、油圧ロボットの高機能化に対応するため、サーボコントローラの機能をDSP(高速デジタル演算専用プロセッサ)による高速デジタル演算で処理するソフトウェアサーボ化を計り、種々のロボット関節サーボ方式を検討し、さらに従来の油圧ロボットにないトルク制御方式による高機能ロボット制御法について検討を行ったもので、本論文の内容は以下のように要約される。

本論文は全7章で構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、まず1リンク油圧関節駆動系の基礎方程式とその線形化した伝達関数を導いている。そしてロボット姿勢・ペイロードの大きな変化に対する位置・軌道の精度向上を目的としてサーボ弁

動特性を無視した線形3次制御対象に対して2自由度制御系のパラメトリゼーションにもとづくトルク外乱に対してロバストなモデル規範形油圧位置サーボ系の構成法、圧力・速度フィードバックを応用してコントローラの次数を低減化する手法を示した。設計された連続時間コントローラを離散化したこと、制御対象モデルにサーボ弁動特性を無視したことによって生ずる自由パラメータの安定限界を示した。また制御対象に含まれる飽和要素に起因する不安定化の問題が、積分器のウィンドアップ防止策と同様の安定化対策によって解決されることを示した。なおサーボ変動特性をデジタル的に補償することは、量子化の影響によって困難であることを示唆した。

第3章においてはロボットの運動制御のための油圧関節サーボ方式について検討し、速度指令型運動制御の基礎となるサーボ弁の非線形流量特性モデルに基づく流量制御法と、トルク計算法として知られるトルク指令型運動制御法の基礎となるトルク制御法について検討した。トルク制御においては、位置制御の場合とは逆に作動油の圧縮性が安定化に寄与することを示し、また運動中の速度の増大に伴うトルクの減衰を補償する速度の正フィードバック補償を提案した。この速度の正フィードバック補償を通常の比例積分補償に付加することにより、トルク制御に対する速度外乱の抑制能力が向上することを示した。

第4章は第3章で提案した制御法を1リンクアームの運動制御に適用し、制御実験を通じてロボットの運動制御に対する有用性と問題点を検討した。流量制御を応用したフィードフォワード形速度制御法（FF速度制御法）は低周波数領域においては位置制御系に比較して良好な追従性を示したが、アームの固有振動数付近で鋭い共振が現れるため、これを抑える方法として圧縮流量をフィードフォワード入力に加え、かつ内部漏れ流量を等価的に増大させる方法が、ある程度有効であることを確認した。一方、アームの動力学方程式に基づくトルク指令型の運動制御法はFF速度制御法よりも、さらに良好な運動追従性を持つこと、トルク制御部の速度の正フィードバック補償は運動の追従性を改善することを示した。

第5章、第6章は従来の油圧ロボットには、ほとんど用いられていないトルク指令型の油圧ロボット制御法に関するものである。まず第5章ではロボットのインピーダンスを適当に設定することにより、作業者がロボットに力を加えながら協調作業する場合の操作性を高め、同時に自由空間を運動中にロボットの動力学パラメータを適応推定する適応インピーダンス制御系の構成法について検討した。特に実験においてサーボ弁-アクチュエータ系のトルク飽和に起因して生じる適応系の性能劣化や不安定挙動の発生が示されたので、これを回避する制御方法を提案した。次に第6章においては前章のインピーダンス制御を応用して、自由空間での運動や拘束空間における力と軌道のハイブリッド制御の直接教示-再生法を提案した。この方法は、教示動作と同じ再生動作、および再生時に力目標値を再設定することが可能である。また教示再生時で拘束面の位置に若干のずれがある場合について、自由空間における軌道制御モードから拘束空間のハイブリッド制御モードへの滑らかな移行を実現する方法について検討した。第5章と第6章の制御法の妥当性は直接駆動形垂直2リンク油圧ロボットを用いた実験により確認された。

第7章は結論であり、本論文を総括している。

論文審査結果の要旨

本論文は、油圧ロボットの高機能化を目的として、DSPの高速デジタル演算処理を利用する種々のロボット関節サーボ方式を検討し、さらに従来の油圧ロボットにないトルク制御方式による高機能ロボット制御法を検討した研究をまとめたものである。

第1章は序論で、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、種々の位置指令型ロボット制御の基本となる位置制御の性能向上を目的として、ロボット姿勢・ペイロードの変化、外乱などに対しロバストな特性を得るため、2自由度制御系を応用する油圧関節サーボ系の設計法を提案し、モデル規範型油圧位置サーボ系の構成法、圧力・速度フィードバックを応用したコントローラ次数の低減化法を示している。また2自由度コントローラを用いた場合に、制御対象に含まれる飽和要素に起因して生ずる不安定化の防止策を提案し、その効果を確認している。

第3章では、ロボットの運動制御のための油圧関節サーボ方式について検討し、速度指令型運動制御の基礎となる、サーボ弁の非線形流量特性モデルに基づく流量制御法と、トルク指令型運動制御法の基礎となるトルク制御法について検討している。トルク制御においては、速度の正フィードバック補償を提案し、これが速度外乱の抑制に有効であることを示している。

第4章は、第3章で提案した関節サーボ方式を1リンクアームの運動制御に適用してその有用性を検討し、トルク指令型の運動制御法が良好な運動追従性を持つことトルク制御部における速度の正フィードバック補償が運動制御の性能向上に有効であることを示している。

第5章では、ロボット機能の高度化の重要な側面であるロボットと外界・対象物との柔軟な接触動作、あるいは作業者とロボットとの協調作業を実現する上で有効なインピーダンス制御について検討している。ロボットの動力学パラメータが未知、あるいは変化する場合にも所定の制御を可能とする適応インピーダンス制御系の構成法を提案し、特にサーボ弁-アクチュエータ系のトルク飽和に起因して生じる適応系の性能劣化や不安定挙動を回避する制御方法を示している。

第6章では、前章のインピーダンス制御を応用して、拘束空間における力と軌道のハイブリッド制御の直接教示-再生法を提案している。この方法は、拘束面モデルを用いることなく、ロボット手先に作用する力の検出値に基づきハイブリッド制御則を導くことに特長がある。

第7章は結論であり、本論文を総括している。

以上、本論文における油圧関節サーボ方式の提案およびロボットのインピーダンス制御に関連する成果は、油圧ロボットの高機能化にとって極めて有効であり、工学的意義も大きい。よって本論文は博士(工学)の学位の授与に値する内容であることを認める。