

氏 名 ( 本 籍 )	武 市 教 児 (岐阜県)
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学 位 記 号 番 号	甲 第 130 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 13 年 3 月 24 日
専 攻	生産開発システム工学専攻
学 位 論 文 題 目	外乱オブザーバを併用した電気・油圧サーボ系のスライディング モード制御  (Sliding Mode Control Using a Disturbance Observer for an Electro-hydraulic Servo System)
学位論文審査委員	(主査) 教 授 武 藤 高 義 (副査) 教 授 堀 康 郎 教 授 川 崎 晴 久 助教授 山 田 宏 尚

## 論文内容の要旨

電気・油圧サーボ系は、制御弁、油圧管路、油圧アクチュエータを主要要素として構成され、建設機械、自動車、航空機など、高速応答・大出力を要求される産業機械に広く用いられている。しかしながら、制御弁の中立点ずれや流量特性の不感帯、摺動部の摩擦特性など様々な非線形特性や外乱を含むことから、所望の応答特性を得ることは必ずしも容易ではない。このため、これらの問題に対してロバスト（頑強）な制御法の開発が強く求められている。近年、パソコンやDSPの飛躍的な高性能化に伴い、ロバスト制御の実システムへの適用が比較的容易に実現しうる環境が整いつつある。このような背景下に、本研究では、電気・油圧サーボ系（以下、サーボ系）のロバスト化を目指して、スライディングモード制御（以下、SLM制御）を適用し、その有効性の検討を目的としている。

SLM制御は、制御系の構造を高速・高ゲインで切換えながら、システムの状態を切換超平面に拘束し、SLMを発生しつつ目標点まで滑らせる、という制御手法である。SLMが発生すれば、システムのパラメータ変動や非線形特性に対して優れたロバスト性が得られる。しかしながら、外乱の影響下ではチャタリングや定常偏差が発生しうるため、いかにチャタリングおよび定常偏差を低減し、良好なSLMを実現するかが大きな課題となる。

そこで本研究では、まず、チャタリング抑制に対して良好な結果を得ている野波らの離散時間設計手法を基礎に据えつつ、推定外乱を用いて外乱の影響を低減するSLM制御器の構成法について検討している。本手法は、位相空間において発生する定常偏差やチャタリングを、外乱オブザーバからの推定外乱によって直接的に低減することを目指すものである。本手法を、弁スプールの中立点ずれや負荷外力などの外乱が存在する単純なサーボ系に適用し、シミュレーションおよび実験により、その有

効性を検討している。その結果、チャタリングや定常偏差を効果的に低減でき、良好な制御結果が得られることを検証している。

次に、本手法を3軸パラレル機構の軌跡制御に適用し、エンドエフェクタ先端の軌跡追従性について検討している。この機構に生起する外乱としては、3系統のサーボ系間の特性個体差、サーボ弁の中立点ずれや無駄時間特性、プラットフォームの姿勢変動などによってもたらされるモデル化誤差などが挙げられる。そこで、これらの影響下に本手法を適用し、その有効性を実験的に検証している。

さらに、本提案手法を油圧ショベルのアーム、ブーム、スイング系に適用し、軌跡制御を試みている。油圧ショベルでは、作業部機構の姿勢変動による慣性モーメントの変動や、各関節間相互の干渉、各サーボ系の非線形特性や外乱が存在するため、高精度な軌跡制御が難しいとされている。本手法の有効性を検討するために、アーム、ブーム、スイングに関わるサーボ系すべてに制御弁の中立点ずれを与えて実験を行っている。その結果、重力などの影響による追従性の劣化を抑制しつつ良好な軌跡制御を達成している。

以上を要約すると、サーボ系およびそれを駆動要素とする3軸パラレル機構および油圧ショベルの制御において、チャタリング・定常偏差を効果的に抑制しつつ、目標軌跡に良好に追従できるSLM制御系を構成し、サーボ系のロバスト化を実現している。

## 論文審査結果の要旨

電気・油圧サーボ系は、制御弁、油圧管路、油圧アクチュエータを主要要素として構成され、建設機械、自動車、航空機など、高速応答・大出力を要求される産業機械に広く用いられている。しかしながら、制御弁の中立点ずれや流量特性の不感帯、摺動部の摩擦特性など様々な非線形特性や外乱を含むことから、所望の応答特性を得ることは必ずしも容易ではない。このため、これらの問題に対してロバスト（頑強）な制御法の開発が強く求められている。近年、パソコンやDSPの飛躍的な高性能化に伴い、ロバスト制御の実システムへの適用が比較的容易に実現しうる環境が整いつつある。このような背景下に、本研究では、電気・油圧サーボ系（以下、サーボ系）のロバスト化を目指して、スライディングモード制御（以下、SLM制御）を適用し、その有効性の検討を目的としている。

SLM制御は、制御系の構造を高速・高ゲインで切換えながら、システムの状態を切換超平面に拘束し、SLMを発生しつつ目標点まで滑らせる、という制御手法である。SLMが発生すれば、システムのパラメータ変動や非線形特性に対して優れたロバスト性が得られる。しかしながら、外乱の影響下ではチャタリングや定常偏差が発生しうるため、いかにチャタリングおよび定常偏差を低減し、良好なSLMを実現するかが大きな課題となる。

そこで本研究では、まず、チャタリング抑制に対して良好な結果を得ている野波らの離散時間設計手法を基礎に据えつつ、推定外乱を用いて外乱の影響を低減するSLM制御器の構成法について検討している。本手法は、位相空間において発生する定常偏差やチャタリングを、外乱オブザーバからの推定外乱

によって直接的に低減することを目指すものである。本手法を弁スプールの中立点ずれや負荷外力などの外乱が存在する単純なサーボ系に適用し、シミュレーションおよび実験により、その有効性を討している。その結果、チャタリングや定常偏差を効果的に低減でき、良好な制御結果が得られることを検証している。

次に、本手法を3軸パラレル機構の軌跡制御に適用し、エンドエフェクタ先端の軌跡追従性について検討している。この機構に生起する外乱としては、3系統のサーボ系間の特性個体差、サーボ弁の中立点ずれや無駄時間特性、プラットフォームの姿勢変動などによってもたらされるモデル化誤差などが挙げられる。そこで、これらの影響下に本手法を適用し、その有効性を実験的に検証している。

さらに、本提案手法を油圧ショベルのアーム、ブーム、スイング系に適用し、軌跡制御を試みている。油圧ショベルでは、作業部機構の姿勢変動による慣性モーメントの変動や、各関節間相互の干渉、各サーボ系の非線形特性や外乱が存在するため、高精度な軌跡制御が難しいとされている。本手法の有効性を検討するために、アーム、ブーム、スイングに関わるサーボ系すべてに制御弁の中立点ずれを与えて実験を行っている。その結果、重力などの影響による追従性の劣化を抑制しつつ良好な軌跡制御を達成している。

以上を要約すると、サーボ系およびそれを駆動要素とする3軸パラレル機構および油圧ショベルの制御において、チャタリング・定常偏差を効果的に抑制しつつ、目標軌跡に良好に追従できるSLM制御系を構成し、サーボ系のロバスト化を実現している。

本論文によって得られた以上の知見と成果は、工学上および工業上、重要な貢献をするものであると判定された。

## 最終試験結果の要旨

武藤 高義，堀 康郎，川崎晴久，山田宏尚で構成する審査委員会は、この論文および論文別刷の主要部分（下記1～3の論文）に対して、論文3編がいずれも第一著者として書かれており、その論文は学位論文として十分に完成された内容を有しているものと認め、最終試験（公聴会）を平成13年2月16日に開催して審査した。審査委員会において、学力、研究能力および外国語能力（英語）について口頭による試問を行い、審議の結果、合格と判定した。