

## 学位論文の要旨

専攻名	物質生産工学専攻	ふりがな氏	みつなが こういち 満永 浩一 
学位論文題目	適応微分推定器を用いた非線形摩擦力の推定と制御に関する研究		
<p>摩擦は高精度の位置決め制御を行うサーボ系を構成する際に重大な影響を与える。例として、追従誤差、リミットサイクル、スティック・スリップ現象などを引き起こすことが知られている。特に、非線形摩擦である静止摩擦とクーロン摩擦は様々な要因に起因し、その値は動作条件によって変動するため、正確な解析と同定は非常に困難である。近年、半導体ウエハ加工等の超高精度微細加工を目指した可動テーブルの位置決め制御機構のような、より高性能なサーボ機構が求められている。このような位置決め機構の多くに用いられる送り駆動系においても、非線形摩擦である静止摩擦とクーロン摩擦は追従誤差やリミットサイクルを引き起こすことから、その推定と補償が重要な問題となっている。</p> <p>既存の研究において多くの摩擦モデルが提案されているが、これらのモデルは動摩擦モデルと動的摩擦モデルの2つのカテゴリに分けられる。動摩擦モデルは、ストライベック効果、粘性摩擦、増加する静摩擦、摩擦の記憶効果のような実験的に観測された摩擦効果を考慮している。これらのモデルは速度と時間の関数である。摩擦モデルのもう1つのカテゴリは、状態または動的摩擦モデルを含み、摩擦を生じる機構を具体化したものであり、潤滑面の滑りに関する効果を含むだけでなく、LuGre モデルのような滑る前の変位をモデル化するように作られている。この非線形な摩擦力の推定器や制御則を構成するためにこれまでの研究では正確なシステムの構成やパラメータを用いて適応制御を行う必要があった。</p> <p>本論文では従来、位置と速度の全状態の測定が必要であった摩擦力の推定や制御に適応微分推定器を使用し、位置信号から速度を推定することで、実際には位置信号だけの測定で可能にする。この適応微分推定器は過去の研究では大きな時変信号に対応できない問題があったが、符号関数を導入することで解決し、変化する速度信号を推定している。さらに適応微分推定器を使用することで、単に位置信号を微分する場合に比べノイズに対するロバスト性を向上させている。またファジィ基底関数展開を使用して非線形な摩擦力を近似する。</p> <p>研究は次のような手順で行った。まず既存の摩擦モデルを理解するためMATLAB/Simulinkを使用した数値シミュレーションを行い各モデルの特性を調査した。次に位置信号だけを測定し速度信号を推定することで、位置と速度の全状態を測定する場合と同程度の精度で摩擦力の推定と制御を可能とするため適応微分推定器を設計した。そして線形モデルと非線形モデルのそれぞれにおいて位置と速度の全状態を測定する場合の適応オブザーバを設計し、さらにこのオブザーバの速度信号を適応微分推定器による速度の推定信号に置き換えることで位置信号だけを測定することで摩擦力を推定する適応オブザーバを設計した。また加速度推定を行うことで摩擦モデルなしで摩擦力を推定するオブザーバを設計した。この加速度推定器は速度推定器と同様の方法で得ることができるが、適応推定器の相対次数が2であるため正実化適応構造を適用することはできないため、加速度推定器にはLMI型適応調整則のような非正実化適応構造を提案した。最後に非線形摩擦モデルについて位置信号だけしか測定できない場合について摩擦力を補償する適応制御器を設計した。設計した各モデルは数値シミュレーションを行い摩擦力を推定/補償できることを検証し、さらに位置信号に雑音が混入している場合にも有効であることを確認した。</p> <p>このようなシステムは半導体製造装置の微細加工などの高精度な位置決め機構が必要な装置について位置センサしか実装できない場合に適用可能であるとともに、摩擦力の影響を無視できない多くの分野に応用可能であると考えられる。</p>			

## 学位論文審査結果の要旨

専攻	物質生産工学専攻	氏名	満永 浩一
論文題目	適応微分推定器を用いた非線形摩擦力の推定と制御に関する研究		
主査	松尾 孝美		
審査委員	小川 幸吉		
審査委員	佐久間 俊雄		
審査委員	今戸 啓二		
審査委員	柴田 克成		
審査結果の要旨 (1000字以内)			
<p>摩擦は高精度の位置決め制御を行うサーボ系を構成する際に重大な影響を与えるが、その値は動作条件によって変動するため、正確な同定は非常に困難である。このため、測定データから間接的に摩擦力を推定することが重要な問題となっている。従来から、動摩擦モデルと動的摩擦モデルの各々を制御対象とした摩擦力の推定機構および補償機構が提案されているが、多くの従来の研究では、位置と速度の両方をリアルタイムに測定する必要があった。位置データしか利用できない場合には、速度を推定する必要があるが、従来手法としては、ローパスフィルタ付の数値微分器が代表的である。ただし、雑音が存在する場合には実用的でないため、Kalmanフィルターを利用して速度推定する手法が提案されている。しかしながら、Kalmanフィルターは速度信号を時変数のテーラ一展開近似しているため、短時間の推定でしか有効ではないことが知られている。</p> <p>本論文では、位置信号と速度信号の両方の測定が必要な方式を、雑音に強い新たな速度推定器を導入することにより、位置信号だけを測定し速度信号は推定値に置き換えることにより、従来提案されている摩擦推定法および補償法の性能に近づけることができることを主張している。まず、従来提案されている適応微分推定器は定値信号されていたが、符号関数を導入することで解決し、時変の速度信号を推定することができる適応微分水滴を提案している。ついて、摩擦力の推定と補償のために、線形摩擦モデルと非線形摩擦モデルの各々に対して、適応微分推定器と適応オブザーバを組み合わせた機構を提案し、その安定性を証明している。特に、非線形摩擦モデルでは、LuGreモデルのファジィ基底関数展開を用いることにより、線形摩擦モデルの安定性の証明に帰着できることを示している。さらに、提案手法の有効性は、シミュレーションにより検証され、位置信号に雑音が入入している場合にも有効であることを確認している。</p> <p>以上の研究において、時変パラメータとして微分値を推定し、摩擦力を推定し、制御する手法は、これまで提案されていないものであり、エンコーダなどの位置センサしか装備されていない制御系において有効な手法である。なお、論文審査会や論文公聴会における著者の説明は明確であり、質問に対して的確に回答がなされた。以上のことから、本論文は博士(工学)の学位に値するものと認められる。</p>			