

Title	リニアガイドシステムの高速・高精度制御および高分子液晶系ER流体の導入による特性改善に関する研究
Author(s)	張, 劍
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/45884">https://hdl.handle.net/11094/45884</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	張 剣
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 19487 号
学位授与年月日	平成 17 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電子制御機械工学専攻
学位論文名	リニアガイドシステムの高速度・高精度制御および高分子液晶系 ER 流体の導入による特性改善に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 古庄 純次 (副査) 教授 森 教安 教授 太田 快人

#### 論文内容の要旨

ボールねじを用いたリニアガイドシステムは、工作機械、ステッパーやロボットなどの直動位置決め機構として多く用いられている。また、生産性の向上や製品の高性能化・高機能化のために、高速かつ高精度な位置決めが強く要求されている。本研究は、このようなシステムの振動問題に対して、その制御系設計および機械要素技術の二つの観点から、基礎的研究を行った。本研究は以下の 8 章から構成されている。

第 1 章では、本研究の目的を明らかにし、研究の背景および研究の概要について述べた。

第 2 章では、リニアガイドシステムにおける動力伝達機構であるボールねじおよび案内要素である転がり案内について、その構造、特徴および基本特性などの基礎事項を述べた。

第 3 章では、ER 流体について、その歴史、種類およびそれぞれの粘性力発生メカニズムの観点から紹介した。次に、本研究に用いた高分子液晶系 ER 流体の性質について述べ、流れモードをせん断流れモードとスクイーズ流れモードにわけて、粘性特性に関する検討を行った。

第 4 章では、まず、リニアガイドシステムのモデル化を行った。次に、解析的な設計法である拡張パラメータ平面法をボールねじ制御系に適用し、セミクローズドループ制御およびクローズドループ制御の両者に対して、統一的な極配置による制御系の設計について検討を行った。最後に、求めた制御ゲインを用いてボールねじ駆動系における実験を行い、シミュレーションと比較検討を行い、その有効性を示した。

第 5 章では、負荷質量の同定について検討を行った。まず、簡単な P-D 位置制御系のみで構成され、モータ速度にほとんど依存しない精度の良い同定できる質量同定法を提案した。次に、質量が不確定の状態における制御ゲイン設計法について議論を行った。最後に実験により、提案した手法の有効性を示した。

第 6 章では、電場で粘性が制御できる高分子液晶系 ER 流体ダンパを用い、全方向に対して各運動状態に応じた適切なダンピングを与えることのできるリニアガイドシステムの開発を行った。ここでまず、高分子液晶系 ER 流体は高速領域で低粘性であるため、抵抗力の低減や発熱抑制やエネルギー節約が可能となることを示した。次に研究の第 1 段階として、微小せん断速度域における特性実験を行い、サーボ軸方向については、微小振動でせん断速度が充分に小さければ、電圧を印加することなしでも、粒子系 ER 流体では得られなかった良好な振動減衰性が得られることを示した。また、サーボ軸と直交する水平方向(横方向)についても、大きなスクイーズフィルムダンパとしての効果

が得られた。

第7章では、まず、高速な動きを実現するために、上記で開発したダンパ構造の改良を行った。次に、高せん断速度領域における特性実験を行い、ダンピング特性の評価を行った。その結果、駆動系の減振性能の向上が見られ、制御特性が改善され、特に周波数外乱に対して粒子系 ER では得られなかったダンピング特性の向上が見られた。

第8章では、本研究で得られた結果をまとめた。

## 論文審査の結果の要旨

本研究は工作機械や半導体製造装置などの重要基本構成要素であるリニアガイドシステムの高性能化を実現する目的で、その制御系設計および付加的なダンピング制御装置の開発について基礎的研究を行ったものである。従来経験的にチューニングされることが多かったボールねじ駆動系の最適ゲインの設計法および制御系を構築する際に必要となる負荷質量同定法に関する研究を最初に行っている。次に、印加電場によってレオロジー特性が変化する高分子液晶系 ER 流体を導入したリニア型ダンパを開発することで、全方向に対して各運動状態に応じた適切なダンピングを与えることのできるリニアガイドシステムの構築に関する研究も行っている。本論文で得られた結果を要約すると、次の通りである。

(1) ボールねじを用いた送り駆動機構およびレーザー測長器よりなる実験システムを構築し、モータ側慣性と負荷側慣性がねじ軸の弾性により結合された2慣性モデルでシステムが近似できることを最初に示している。次に、この2慣性モデルに基づいて、セミクローズドループおよびクローズドループ位置 I-PD 制御系に対して統一的に拡張パラメータ平面法に基づく設計を行い、新しい制御ゲイン設計法を提案している。そして、提案した設計法より求めたゲインを用いて実機における制御実験を行い、良好な応答が得られることを示している。本研究で提案した設計法は、ボールねじ駆動系のセミクローズドループ位置制御系およびクローズドループ位置制御系の両者に対して有効な設計法である。クローズドループ制御では、約 10 ナノメートルの精度で高速な位置決めを達成している。

(2) 質量が不確定の状態でのゲイン設計法について最初に議論し、次に質量同定法を提案している。提案した質量同定法を用いて実験を行い、従来の手法と比べて速度にほとんど依存せず、しかもより精度良い同定結果が得られることを示している。

(3) 構築されたボールねじ駆動系に対する高分子液晶を用いた ER ダンパの設計を行っている。最初に、ダンパにおける消費ワット数について検討を行い、高分子液晶系 ER 流体は高速領域で低粘性であるため、抵抗力の低減や発熱抑制やエネルギー節約に適しており、発熱や抵抗力による変形を防ぐことができることを示している。次に、微小せん断速度域における基礎実験を行い、サーボ軸方向については、微小振動でせん断速度が十分に小さければ、電圧を印加することなしでも、良好な振動減衰性が得られることを示している。また、サーボ軸と直交する横方向については、大きなスライズフィルムダンパとしての効果が得られることを示している。

(4) 長距離高速な動きが実現可能となるように ER ダンパ構造の再設計を行い、高せん断速度領域での基礎実験およびダンパの特性評価を行っている。高速運動時には抵抗を抑えるために無電場で低粘性を、高精度な位置決めが要求される時には高い振動減衰性を得るために電場印加して高粘性を実現できることを実験的に検証している。さらに、各種の制御実験を行い、特に負荷外乱に対しては粒子系 ER では得られなかったダンピング特性の向上が見られることを示している。

以上のように、本論文では、リニアガイドシステムの振動問題に注目し、制御系設計および機械要素設計の二つの立場から研究を展開している。本論文により、工作機械などの制振特性の改善が可能となり、運転効率や製品の品質向上が期待できる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。