

氏名（本籍）	土 屋 総二郎（静岡県）
学位の種類	博士（工学）
学位記号番号	甲 第 131 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	高速ON/OFF電磁弁を用いた油圧式精密駆動システムに 関する研究 (A Precision Driving System Using a Hydraulic Cylinder and High-speed ON/OFF Valves)
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

家電製品から自動車に至るまでコンピュータ制御が発展し、これらに不可欠なセンサ、アクチュエータの構成部品となる小型、高精度の機械部品が、ICなどの電子部品とともに大量に必要となっている。これらの加工機として現在は汎用 NC 工作機械など比較的大型の工作機械を用いているが、「小さな部品は小さな設備で」という自明の理に基づき机の上に載るほどの小型で高い精度と加工能力を持ち合わせたマイクロ加工機の開発が強く望まれている。

このような工作機械を実現するためには、小さなスペースに組み込め簡素で大パワーを発生するアクチュエータが不可欠である。そこで本研究では、電動式アクチュエータに比してパワー密度が大きい油圧駆動方式に着目し、高速 ON/OFF 電磁弁によるデジタル制御を行うことにより、小型、高出力と高い制御性を兼ね備えた加工テーブル駆動方式の実現を目指している。

本研究では、第1段階として、まず、自動車エンジン気筒内燃料直接噴射用として開発された高速 ON/OFF 電磁弁の特性を明らかにしている。次に、この電磁弁4個と油圧シリンダから成る可動テーブル機構を試作し、その制御性能をはじめとする基礎的な動特性について理論（シミュレーション）と実験の両面から考察している。その結果、試作したテーブルは十分な駆動力に加えて、応答性、微細送り特性などにおいても、一般的に使われている電動式と同等のレベルにあることを確認している。さらに、小型のデジタル制御油圧装置においては、電磁弁の ON/OFF 動作に伴う送り速度の変動（滑らかさ）が問題であることを明らかにしている。これは ON/OFF 電磁弁によるデジタル制御の問題点として従来から認識されていたが、大型装置においてはシリンダ油量も多く、また負荷質量も大きなことから、速度変動はシステム全体として平滑化されて軽減され問題ないレベルになることが多いのに対し、小型の装置ではこれらのことが行われず顕著なものとなることによるものである。

そこで、この問題の解決のために流入側と排出側の電磁弁の開閉タイミングを変化させることを考

案し、送り速度の変動を大幅に改善できることを理論面（シミュレーション）および実験面から明らかにしている。さらに実際の切削加工機の駆動装置として重要な特性である負荷特性、静剛性、動剛性について考察を行っている。その結果、ほぼ同じサイズの電動式（パルスモータ、ボールねじ駆動）の駆動テーブルに比して、静剛性、動剛性ともにボールねじ方式を上回る結果が得られている。

これらの結果に基づき、試作テーブルに小型の高速モータスピンドルを組み合わせたマイクロ加工機を製作している。この装置を使用して切削加工の代表である旋削加工、ドリル加工、フライス加工の各加工実験を試み結果、加工精度、表面粗さ、切り屑の形状、加工パリの状況などの評価項目に対して、汎用 NC 工作機械に匹敵、あるいはそれ以上の評価を得ている。

以上によれば、高速 ON/OFF 電磁弁を用いた油圧式駆動システムは、マイクロ加工機用の駆動装置として従来からの電気・メカニカル方式に勝り得る性能を有する可能性が明らかとなり、これにより実用的な油圧駆動のマイクロ加工機を開発・実現する展望を拓いている。

論文審査結果の要旨

家電製品から自動車に至るまでコンピュータ制御が発展し、これらに不可欠なセンサ、アクチュエータの構成部品となる小型、高精度の機械部品が、IC などの電子部品とともに大量に必要となっている。これらの加工機として現在は汎用 NC 工作機械など比較的大型の工作機械を用いているが、「小さな部品は小さな設備で」という自明の理に基づき机の上に載るほどの小型で高い精度と加工能力を持ち合わせたマイクロ加工機の開発が強く望まれている。

このような工作機械を実現するためには、小さなスペースに組み込み簡素で大パワーを発生するアクチュエータが不可欠である。そこで本研究では、電動式アクチュエータに比してパワー密度が大きい油圧駆動方式に着目し、高速 ON/OFF 電磁弁によるデジタル制御を行うことにより、小型、高出力と高い制御性を兼ね備えた加工テーブル駆動方式の実現を目指している。

本研究では、第 1 段階として、まず、自動車エンジン気筒内燃料直接噴射用として開発された高速 ON/OFF 電磁弁の特性を明らかにしている。次に、この電磁弁 4 個と油圧シリンダから成る可動テーブル機構を試作し、その制御性能をはじめとする基礎的な動特性について理論（シミュレーション）と実験の両面から考察している。その結果、試作したテーブルは十分な駆動力に加えて、応答性、微細送り特性などにおいても、一般的に使われている電動式と同等のレベルにあることを確認している。さらに、小型のデジタル制御油圧装置においては、電磁弁の ON/OFF 動作に伴う送り速度の変動（滑らかさ）が問題であることを明らかにしている。これは ON/OFF 電磁弁によるデジタル制御の問題点として従来から認識されていたが、大型装置においてはシリンダ油量も多く、また負荷質量も大きなことから、速度変動はシステム全体として平滑化されて軽減され問題ないレベルになることが多いのに対し、小型の装置ではこれらのことが行われず顕著なものとなることによるものである。

そこで、この問題の解決のために流入側と排出側の電磁弁の開閉タイミングを変化させることを考案し、送り速度の変動を大幅に改善できることを理論面（シミュレーション）および実験面から明らかにしている。さらに実際の切削加工機の駆動装置として重要な特性である負荷特性、静剛性、動剛性について考察を行っている。その結果、ほぼ同じサイズの電動式（パルスモータ、ボールねじ駆動）の駆動テーブルに比して、静剛性、動剛性ともにボールねじ方式を上回る結果が得られている。

これらの結果に基づき、試作テーブルに小型の高速モータスピンドルを組み合わせたマイクロ加工

機を製作している。この装置を使用して切削加工の代表である旋削加工、ドリル加工、フライス加工の各加工実験を試み結果、加工精度、表面粗さ、切り屑の形状、加工バリの状況などの評価項目に対して、汎用 NC 工作機械に匹敵、あるいはそれ以上の評価を得ている。

以上によれば、高速ON/OFF電磁弁を用いた油圧式駆動システムは、マイクロ加工機用の駆動装置として従来からの電気・メカニカル方式に勝り得る性能を有する可能性が明らかとなり、これにより実用的な油圧駆動のマイクロ加工機を開発・実現する展望を拓いている。

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1～2の論文）に対して、論文2編ともに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。