

氏 名	東 本 暁 美 ひがし もと あけ み
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 951 号
学位授与の日付	昭 和 52 年 1 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	NC 工作機械送り駆動系のサーボ性能に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教授 奥島啓式 教授 岡村健二郎 教授 会田俊夫

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は NC (数値制御) 工作機械送り駆動系のサーボ性能に関する研究結果をまとめたもので10章からなっている。

第1章は緒論で、NC 工作機械のサーボ性能を向上させるためには、送り駆動系の中でも機械伝動部の動特性を究明する必要があることを明らかにし、この目的を達成するために、送り駆動系の数学モデルにより理論的解析を行ない、その結果を実際の NC 送り駆動系による実験によって確認するという方法を提案している。

第2章は、理論解析を行なうための数学モデルを設定するに際して必要な基礎データを得るための実験解析について述べたもので、送り駆動系の特性値を精度良く測定するための NC インタフェイサを試作し、標準的な NC 送り駆動系の試験方法を確立した。この装置を用いて実験した結果、送り駆動のサーボ性能、すなわち位置決め速度、位置決め精度および外乱負荷力に対する安定性を高めるためには、システムゲインおよびサーボ剛性を適正に選ばなければならないことを明らかにした。

第3章は、速度制御ループ特性に及ぼす機械伝導部の特性の影響について理論的ならびに実験的解析について述べたものである。理論的解析として送り運動系の数学モデルを設定して機械伝導部のばね剛性、慣性モーメントを変化させた場合のモータならびに被駆動体の周波数応答を電算機により算出し、また実験解析は速度制御ループのシミュレーション装置によって行なっている。この結果、たとえばばね剛性が低下すると被駆動体が低い周波数で位相の急激なおくれと、共振振巾の高いピークを示し、このため制御系の安定性を確保するためにはシステムゲインを非常に低くしなければならぬことなどを明らかにしている。

第4章は、案内面の動特性の実験的解析に関するもので、案内面の送り運動方向に振動力が作用した場合に、案内面以外の機械伝導部の動特性に影響されことなく案内面自体の動特性を測定する新しい試験法を考案し、これを用いて静圧案内面における送り速度あるいはポケット圧力などの影響を求め、たとえ

ばポケット圧力や送り速度は等価減衰比に関係のないことなどを明らかにしている。また一般すべり案内面におけるテーブル送り速度と振動速度との相関における減衰比の値の変化状況、潤滑給油量の影響が案内面の材質によって相違することなど多くの事実を究明している。

第5章は、NC装置の特性と機械伝導部の動特性すなわちばね剛性と減衰能の最適組合せに関する理論解析に関するものである。前記数学モデルによって解析した結果、クローズドループNCでは制御系の安定余裕とステップ応答におけるISE評価基準を最適にする組合せの存在することがわかり、それはサーボモータの特性ならびに制御装置のゲイン定数から得られるサーボ剛性、機械伝導部のばね剛性ならびに粘性減衰係数によって決定されることが明らかとなった。またセミクローズドループNCでは、機械伝導部の動特性が制御系の安定性に影響する度合が非常に少ないことが明らかとなり、これらの結果は実機による実験によりその妥当なることが立証されている。

第6章は、切削抵抗などの外乱負荷力を受けつつ輪郭制御を行なう場合の被駆動体の動剛性を支配する要因を明らかにするための理論的解析の結果に関するもので、解析の結果20Hz程度の低周波外力に対するテーブル送り方向剛性は、クローズドループの方がセミクローズドループに比して高く、この場合の剛性を左右する要因はサーボ剛性であること、また機械伝導部の共振周波数に相当する外力に対してはセミクローズドループNCの方が有利で、この場合は機械伝導部の等価粘性減衰係数が剛性を支配することを明らかにしている。

第7章は、機械伝導部に存在する非線形特性、すなわち静止摩擦力、バックラッシュ、非線形ばね特性に関する理論解析の結果について述べている。解析の結果、機械伝導部の静止摩擦トルクと運動中のクーロン摩擦トルクの大小によってリミットサイクル発生の可能性のあること、一般にクーロン摩擦は制御系の安定性を助長する作用のあること、またセミクローズドあるいはオープンループNCでは機械伝導部に存在する非線形性によって制御系に不安定が生じないことなどが明らかにされた。なおこれらの解析の妥当なることは、実験によって立証されている。

第8章は、工作機械において精度低下の重要な原因である熱変形に対する対策についての研究結果を述べている。すなわちまず無負荷運転中に生ずる主軸と被駆動体間の相対的熱変位と主軸ヘッドの温度上昇を測定し、この相関関係を求める。次にこのデータを基にして作動中のヘッド上昇温度を検出し、この検出信号を適正に設計された関数発生器に印加することにより、NC機テーブル座標系を自動的に補正する位置偏差信号を発生させるものである。これによって大巾な工作精度向上が得られた。

第9章は、本研究の究極の目的であるNC送り駆動系の設計手順と設計基準を明確にしたもので、要求されるNC工作機械の諸性能、すなわち位置決め精度、輪郭制御精度、同速度あるいは仕上面あらさなどに対して、送り駆動系のシステムゲイン、サーボ剛性、機械伝導部のばね剛性、非線形性ならびに粘性減衰係数などの設計パラメータを適正に決定するための手順を設定したもので、実際にこの基準に従って設計製作した送りNC駆動系の実測データが目標値とよく一致することを示している。

第10章は結論で、全体をまとめたものである。

論文審査の結果の要旨

NC（数値制御）工作機械は、一般機械工場、特に多種中小量生産工場の合理化のための中核的役割を果たすものとして活用されているが、その設計基準については未だ確立されているとはいえない。主軸あるいはフレーム構造などの設計については一般工作機械のそれと異なる点はないが、サーボ機構につながる送り駆動系については考慮すべき点が多い。本論文はこの送り駆動系の設計基準を確立することを目的として行なわれた理論的、実験的研究結果をまとめたもので、得られた成果の主なものは次の如くである。

(1) 送り駆動系の特性値を高精度で測定できる NC インタフェイサを試作し、標準的試験法を確立した。

(2) 上記試験法により、送り駆動系のサーボ性能を向上するには、システムゲインおよびサーボ剛性の適正な選択の必要なことを明らかにした。

(3) 送り駆動系の数学モデルによる理論的解析と、速度制御ループのシミュレーション装置による実験的解析によって、機械伝動部の特性、たとえばばね剛性や慣性モーメントのシステムに及ぼす影響を求めた。

(4) すべり案内面の諸特性を独立に測定できる特殊試験装置を考案し、これを用いて普通のすべり案内面、静圧案内面における作動条件の減衰比などに及ぼす影響を定量的に明らかにした。

(5) 数学モデルによる理論解析の結果、NC 機械の特性と機械伝動部の動特性、すなわちばね剛性、減衰能の間には最適の組合せの存在することがわかり、実機を用いた試験によってこれを確認した。

(6) 理論解析によって、切削抵抗などの外乱負荷を受けつつ輪郭制御を行なう場合の送り台の動剛性を支配する要因を明確にした。

(7) 機械伝導部に存在する摩擦力、バックラッシュ、ばね剛性などの非線形特性が、送り駆動系のサーボ性能に及ぼす影響を理論ならびに実験解析により求めた。

(8) 工作機械における精度低下要因である熱変形に対する対策として、主軸ヘッドの温度上昇を検索して、それにより NC テーブル座標系を自動的に補正する方法を考案し、NC 工作機械の精度向上を達成した。

以上の多くの研究成果により、これまで経験的に行なわれてきた NC 工作機械送り駆動系の設計に対して理論的基準を設けることが可能となり、学術上、工業上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。