

氏 名	はま 村 実
学 位 の 種 類	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3775 号
学位授与の日付	平 成 16 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	NC工作機械における円弧補間運動誤差の解析とその低減に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教授 垣 野 義 昭 教授 吉 村 允 孝 教授 樫 木 哲 夫

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、マシニングセンタの高速・高精度化を実現するために、円弧補間運動時の軌跡誤差の解析を行い、その低減方法について研究を行ったものである。円弧補間運動の高速・高精度化はオービットボーリング等の新しい加工方法や微細加工等からのニーズが高いのみならず、円弧補間運動時の軌跡誤差を低減すれば、他の運動時の誤差も低減するので、具体的な低減手法を提案することは工業上有用である。このために、まず円弧補間運動誤差の分類を行い、それぞれの誤差の発生メカニズムについての解析を行って、誤差低減のための制御手法、要素の設計指針を得て実験とシミュレーションによって研究している。本論文は、緒論、結論を含めて8章からなっている。

第1章は緒論で、マシニングセンタにおいて円弧補間運動誤差の低減の必要性を述べた後、それに関連する研究の現状を述べ、本研究の目的とその概要を述べている。

第2章では、本研究で対象とするボールねじ送り系について、運動誤差に影響を与える特性を考慮した種々の動的モデルを提案し、以後の章における解析に使用している。

第3章では、2軸の円弧補間運動時において、各軸の慣性力や粘性抵抗、剛性の差が軌跡誤差に与える影響を理論的に解析し、数値シミュレーションと実験測定によって解析結果を検証している。さらにこの軌跡誤差を低減する方法としてフィードフォワード制御器を用いる方法を提案し、その有効性の検証を行っている。

第4章では、送り系の案内機構の摩擦要素について、ころがり案内とすべり案内を対象として理論解析を行ってモデル化を行い、これが軌跡誤差に与える影響について解析的に求めている。この解析結果をもとに運動誤差とサーボゲインの関係を考察し、かつ実験で検証している。

第5章では、円弧補間運動反転時に発生する軌跡誤差の原因として、ボールねじの摩擦トルク変化に着目し、ダブルナットと圧とオーバサイズボールと圧の与圧形式のボールねじについて、実際に摩擦トルク特性を測定し、運動誤差軌跡に与える影響を明らかにしている。特に運動方向反転時の食い込み現象が摩擦トルク変動の要因であることを明らかにし、オーバサイズボールと圧のボールねじの採用やハイゲイン速度制御でそれらが抑制できることを検証している。

第6章では、送りサーボ系とこれを支持するベッドと弾性基礎を含んだ複雑な振動系において、支持系のロッキング振動が運動誤差軌跡に与える影響を解析し、この誤差を抑制するためのサーボゲインのチューニングの方針について検討している。また前置フィルタ（移動平均フィルタ）による振動抑制法について、シミュレーションと実験でその有効性を検証している。

第7章では、ボーリング加工機能を付加した横型マシニングセンタについて、前章までで研究した円弧補間運動時の軌跡誤差低減手法を実際に制御系に組み込み、切削加工を行ってオービットボーリングの加工精度・加工能率について検証している。

第8章は、以上を要約した本論文の結論である。

論文審査の結果の要旨

本論文は、マシニングセンタの高速・高精度化を実現するために、円弧補間運動時の軌跡誤差の解析を行い、その低減方法について研究を行ったもので、得られた主な成果は次の通りである。

1. 低速から高速にいたるまでの円弧補間運動時の軌跡誤差について分類し、この現象を解析してシミュレートするための動的なモデルを構築した。
2. 送り系の慣性・減衰・剛性といった力学パラメータに着目し、これらが円弧補間運動時の軌跡誤差にどのような影響を与えるかを明らかにした。特に慣性・剛性から決定される固有振動数と減衰比を各軸で一致させれば誤差軌跡の精度が良好に保たれることを理論的に示し、円歪みを除去するための加速度フィードフォワード補償法を提案し、実証した。
3. 送り系の案内面の摩擦特性が円弧補間運動時の軌跡誤差にどのような影響を与えるかを明らかにした。ころがりやすべり案内で共有できる摩擦モデルを提案し、円弧運動時の軌跡誤差を理論的に解析して実験で検証した。
4. 駆動要素であるボールねじの摩擦トルク変動と円弧補間運動時の軌跡誤差の関係を明らかにした。特に運動反転時の食い込み現象がボールねじの与圧形式に依存する摩擦トルク変動によって変化することを実験的に検証した。オーバサイズボール与圧のボールねじの採用とサーボゲインの向上でこの誤差が低減することを明らかにした。
5. 送り系を支持するベッド・基礎のロッキング振動とサーボ系の連成問題について、モデルによる解析を行い、振動的な軌跡誤差の発生原因を明らかにした。またその低減のためサーボチューニングの指針と移動平均フィルタを用いる方法を提案し、その有効性を確かめた。
6. ボーリング加工機能を付加した横型マシニングセンタにおいて、先に述べた軌跡誤差低減手法を制御系に組み込み、実加工を行って加工能率が向上することを実証した。

以上要するに、本論文はNC工作機械送り系の高速・高精度化で問題となる種々の動的な現象をモデル化し、円弧補間運動という基礎的かつ実用上重要な運動パターンでの誤差軌跡の解析を行って、具体的な誤差低減の対策を考案し実証している。この結果基礎のみならず応用の面からも多くの知見を得ており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の論文として価値あるものとして認める。また、平成15年12月22日論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。