

氏 名	すず 鈴 木 康 彦
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3868 号
学位授与の日付	平 成 17 年 5 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	モデルに基づいた NC 工作機械の運動精度と加工精度の向上に関する研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 松 原 厚	教 授 松 久 寛	教 授 吉 村 允 孝
--------	--------------------	-----------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、NC 工作機械の運動精度と加工精度の向上のために、NC 制御装置にフィードバックされない諸現象を力学的・加工学的にモデル化して解析を行い、これらのモデルとサーボモデルに基づいた運動誤差と加工誤差の低減方法について研究を行った成果をまとめたものであって、7 章からなっている。

第 1 章は序論であり、工作機械の技術動向と運動誤差・加工誤差の現状を述べるとともに、本論文の主題である力学モデル、加工学モデルとサーボモデルを用いた NC 工作機械の運動精度と加工精度向上方法について 3 つのアプローチに分類し、概要を述べている。

第 2 章では、送り系の指令—応答モデルに基づいたサーボパラメータチューニングと指令値の生成条件決定のために、運動誤差を正確にシミュレートするモデルを構築している。送り系全体を指令値生成系、サーボ系、機械系に分割し、機械系については位置指令値と被駆動体の変位との間にダンパを配置し、ベース振動を考慮した新しい力学モデルを構築し、高速運転時の運動軌跡を高精度にシミュレートできることを示している。

第 3 章では、運動精度向上を目的とした CNC パラメータチューニング方法を提案している。この方法は、交差格子スケール (KGM) による輪郭運動誤差の測定結果を用いて第 2 章で構築した力学モデルのパラメータを同定し、このモデルを基に要求運動精度を満たす CNC サーボパラメータ値を決定する方法である。代表的な指令生成条件およびサーボ系のパラメータと運動誤差パターンとの関係を解析し、体系的に運動誤差を低減するアルゴリズムを提案して、実機にてその有効性を検証している。

第 4 章では、高速小円運動時の運動精度を保証するための機械運転速度の決定方法について提案している。近年、微細加工のニーズから小径エンドミル工具を高速かつ小円で運動させるアプリケーションが増えており、この際、運動軌跡において円弧歪みが発生することが知られている。この問題に対して、第 2 章で求めた力学モデルの伝達関数を解析し、円弧歪みが送り系 2 軸間のゲイン差と位相差で発生することを示した。また、この解析結果から、円弧歪みの半径誤差に円弧運動の角速度 ω の 4 乗に比例する成分があることを明らかにした。これらの結果を基に、半径 r の円弧に対して、 $r\omega^4$ が一定値になるような速度を送りの上限値とする新しい運動精度保証方法を提案し、この効果を実機にて検証している。

第 5 章では、円弧運動における軸運動反転時の機械摩擦の変化により発生する象限突起誤差の抑制について検討し、CNC サーボ系に力学モデルを組み込んだ新しい補正方法を提案している。機械摩擦の変化が、円法線方向加速度に依存していることを送り実験により明らかにし、この変化が生じる時間を軸方向運動の反転後のモータ位置とモータ速度で定式化することを考案した。また、この式が第 2 章で構築した力学モデルと等価であることを示し、このモデルを CNC サーボ系に組み込んだ象限突起誤差の補正方法を提案した。この方法により、運転半径や送り速度の条件が変化しても安定した象限突起の抑制が可能であること運動誤差測定と実加工にて検証した。

第 6 章では、エンドミルによる真円加工において、工具アプローチと退避時に発生する加工誤差は送り軸サーボの遅れと切削抵抗による工具の変形により発生することを、サーボモデルと加工モデルを用いて解析した。サーボモデルを用いて、

アプローチ部での軌跡誤差を抑制するための曲率を計算するアルゴリズムを構築した。このアルゴリズムで生成した指令値により、パス切換時に発生する運動軌跡の不連続性を抑制できることを運動誤差測定にて検証した。また、加工モデルを用いて切削抵抗を変化させる削り代の変化を予測し、これより待避タイミングを制御して、真円加工精度が向上できることを示した。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果を要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、NC 工作機械の運動精度と加工精度の向上のために、NC 制御装置にフィードバックされない諸現象を力学的・加工学的にモデル化して解析を行い、これらのモデルとサーボモデルに基づいた運動誤差と加工誤差の低減方法について研究を行った成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 送り系の指令一応答モデルにおいて、位置指令値と被駆動体変位との間にダンパを配置し、ベース振動を考慮した新しい力学モデルを構築し、高速マシニングセンタの運動軌跡を高精度にシミュレートできることを示した。
2. 輪郭運動誤差の測定結果を用いて力学モデルのパラメータを同定し、このモデルを基に要求運動精度を満たす CNC サーボパラメータ値を決定する方法を提案し、実機にてその有効性を検証した。
3. 高速小円運動時の円弧歪みが2軸間のゲイン差と位相差で発生することを、力学モデルより明らかにし、この結果を基に半径 r の円弧に対して、 $r\omega^4$ を制限する新しい精度保証方法を提案し、この効果を実機にて検証した。
4. 円弧運動時の機械摩擦の変化が、法線方向加速度に依存していることを実験により明らかにし、この変化が生じる時間を軸方向運動の反転後のモータ位置とモータ速度で定式化する方法を考案した。また、この式と等価な力学モデルを CNC サーボ系に組み込んだ象限突起誤差の補正方法を提案した。
5. エンドミルによる真円加工において、工具アプローチと退避時に発生する加工誤差は送り軸サーボの遅れと切削抵抗による工具の変形により発生することを、サーボモデルと加工モデルを用いて解析した。サーボモデルを用いて、アプローチ部での軌跡誤差を抑制するための曲率を計算するアルゴリズムを構築した。また、加工モデルを用いて切削抵抗を変化させる削り代の変化を予測し、これより待避タイミングを制御して、真円加工精度が向上できることを示した。

以上要するに、本論文は NC 工作機械の高速化に伴い発生する運動誤差と加工誤差の解析とその低減方法について体系的な研究を行ったものであり、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）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成17年4月25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。