

氏名	牛尾雅樹
学位の種類	博士(情報工学)
学位記番号	情工博甲第206号
学位授与の日付	平成19年3月23日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	工作機械の動作経路測定システムの開発
論文審査委員	主査 教授 鈴木 裕
	” 碓崎 賢一
	” 長澤 勲
	助教授 高田 修
	” 植原 弘之

学位論文内容の要旨

近年の工業製品は製品寿命の短命化により、その生産設備は、頻繁な工程変更を余儀なくされ、工程の簡素化やそれに要する時間も短縮化を著しく行われている。

製品の部品加工や金型製造に関して、除去加工は中心的な役割を果たしている。本研究では、除去加工に最も広く用いられている、工作機械について技術的な考察を行う。

工作機械に要求される性能は、二極化している。工程の簡素化を目指し、一般的に広く用いられる3軸制御工作機械に、さらに動作に自由度を与え、段取り替えを低減する5軸工作機械が普及しつつあり、工程簡素化に寄与している。一方、微細形状の加工に対応する超精密位置決め、すなわち、ナノ位置決めが可能な工作機械も開発され、従来では必須であった仕上げ工程について、その工程短縮化に大きく寄与している。

しかしながら、上記の設備を効率よく、かつ、性能を維持しながら、加工品質を保つためには、常用されている状態での各種検査・メンテナンスが必要不可欠である。

自由度の高い動作に関して、動作精度を劣化させず、高精度加工を行う際には、機械動作精度を正確に測定し、誤差要因の特定と数値化を行った上で、機械制御パラメータの設定を行う必要がある。

また、超精密位置決めに関しては、設備仕様の高精密化から、半導体処理装置並の使用環境を整え、かつ、精度レベルを定期的に監視しなければならない。

上記の課題に関して、前者については、任意動作経路を測定する装置の開発が望まれ、後者に関しては、設備環境の適正化が最優先される。

そこで本研究は、自由度の高い動作に関しての測定装置について、研究を展開することとした。装置の開発目標は、同時5軸動作経路まで測定可能な装置の開発を、また、測定に用いる最適な動作経路の設定を行った。この装置・方法を、5軸工作機械の実機検証を行った上で、装置及び経路設定の妥当性を検証した。

1. 動作経路測定装置の開発

工作機械の任意動作経路の測定を目標に、測定装置の開発を行った。

測定装置の構成は、位置座標を検出する測定部と、検出した信号を数値データに変換し保存する収録部、及び数値データを解析する解析部である。

測定部の構造は、高分解能光学リニアスケールをエアスライドに取り付け、これを軸構成ユニット(以下測定軸)とした。2つの測定軸を直交させ、それぞれの軸端に精度安定軸として4本のセラミックエアスライドで保持し、2次元測定平面を構成した。

測定部ベースを工作機械テーブルに固定し、その上部にボールベアリングを介して主軸に取り付け、スケールを付加することにより2.5次元での測定が可能となる。

収録部は、それぞれの測定軸スケールから、独立して出力されるパルス信号を計数し、時間的な同

期を取り、XY及びTz軸座標数値に変換し、数値ファイルとして保存するカウンターボードを試作した。

収録タイミングを1s～100 μ sで任意に設定可能であり、CNCサイクリック周期に一致させることを可能とした。

解析部はパソコンを用い、NC指令値を基準として動作経路を表示すると共に、動作経路から各誤差要因の数値特定及び定量化するプログラムを作成した。

2. 動作経路設定

測定に用いる動作経路は、一般化を考慮しISO・JISの規定を参考に設定した。

最も広く用いられている、ISO230-4を基礎に、任意動作経路の測定評価を行うことを目的とした経路設定の拡張を行った。動作経路設定の測定装置としての基本概念は、同時5軸動作経路をワーク座標系XY平面により、動作経路の輪郭を測定し、動作経路から、機械誤差要因を特定し、その定量化を行うこととし、工具軸方向では、輪郭のワーク座標系XY平面からの変位量測定とした。

結果的にNAS979の規定に準じ、かつ、動作の直接測定を可能とし、測定結果から誤差要因解析に至る手法の確立を目指した。

3. 測定評価事例

本研究では、測定装置の構成上2.5次元での測定を基本にした。

すなわち、ワーク座標系XY平面での動作経路輪郭を評価することにより、円動作経路では、従来の経路測定からの評価対象である真円度・半径減少量等の基礎的な指標を評価する、かつ、直線動作経路では、従来、切削試験片による間接測定が主流であった、真直度・相互直交度・コーナ部過渡特性を直接測定し、その誤差量を定量化した。

・同時2軸動作経路測定

XY2次元平面での、任意動作軌跡を測定可能な、装置の開発試作を行い、それを用いて、動作経路の測定しその結果を示した。さらに、誤差要因毎の定量化の結果を、対象工作機械の検査成績証との整合性について確認した結果、動作経路の直接測定を行えることを示した。

・同時5軸動作経路測定

上記の任意動作に、工具傾斜を与え同時5軸動作経路を設定した。対象工作機械は常に同時5軸動作となるが、ワーク座標系では、見かけ上2.5次元の動作となる。この動作経路について、同時2軸測定と同様に、誤差要因毎の定量化の結果を導きだし、同時5軸動作の直接測定手法を提案し、検証実験によりその有用性を示した。

・同時5軸動作経路におけるポストプロセス誤差測定

同時5軸動作経路の動作精度向上には、NC指令値も大きく寄与する。

ここでは、特に同時5軸直線運動の経路測定から、CLデータからNC指令値を、生成する際のポストプロセス誤差について、誤差許容値を幾種類か設定して実際にNC指令値を生成し、直接測定から誤差の定量化を試みた。さらに、実加工結果との比較検討により、測定装置の性能及び測定手法について検証した。

学位論文審査の結果の要旨

近年の工業製品は製品寿命の短命化により、その生産設備は、頻繁な工程変更を余儀なくされ、工程の簡素化やそれに要する時間も短縮化を著しく行われている。

本論文では、除去加工に最も広く用いられている工作機械について、技術的な考察を行った。工作機械に求められる工作精度に関し、特に動作経路の精度測定法について、従来の精度測定規格では要求に応えられなくなっている5軸工作機械の測定手法の確立を目指したテーマである。昨今の技術課題である、5軸工作機械の、総合的な工作精度を直接測定可能な装置・方法の有効性と課題を明らかにしている。

2章では、他の研究者による最新の研究と成果について、この研究と関係する精度測定規格による測定技術の概観、特に測定装置及び規格手法について、制御軸数に応じて複雑化する測定に関し、JIS・ISO規定手法の文献調査及び解決すべき課題についてまとめ、課題抽出を行っている。

3章は、課題を解決するための測定装置について示している。ここでは5軸工作機械の経路測定を目指した。試作装置は、XYZ直動軸に加え旋回・傾斜軸を有する複雑な構造で創成される経路に関し、測定装置内で測定基準を有した測定空間を有する。本装置は、測定部と収録解析部で構成し、同時5軸経路を測定し、結果から従来規格に規定されている機械誤差要因の導出を可能にするシステム構成を述べている。

本システムは、シリアルガイド構造を採用し、装置を一般化する際に課題となる装置の特殊性を回避することも配慮している。

4章は、本研究で開発した装置を元に、従来精度測定手法の課題を解決する手法を述べている。すなわち、従来一般化している装置では、測定が困難な同時3軸以上の動作経路に関し、従来規格を元に、手法を拡張することにより、一般性を損なうことなく、同時5軸動作経路までの経路測定を行える手法を述べている。

本研究での手法は、円運動試験法の測定概念を元に、金型等に用いられる等高線加工経路をイメージした同時2軸直線経路・同時5軸制御では短線分補間による円運動と直線運動に関する測定手法を独自に設定した。

課題解決に関する装置・手法の有効性を、5章では、実際の5軸工作機械の測定結果を例に、検査成績証・試験片間接測定からの結果と比較検討し、動作経路の直接測定における本装置の性能検証を行った。

その結果、比較検討できる同時2軸動作経路においては、ISO230-4の手法である円運動動作経路について、同等の性能を有することが確認され、かつ、従来では直接計測が困難であった同時3軸制御以上の直線運動に関して、真直度・直角度により機械誤差要因の定量化が可能であることを示すことができた。

また、工作機械に指令する際に用いる指令値（NCデータ）についても、考察を行い、指令値を生成する際に機械ユーザにとって課題となる、点列の生成手法について生成点数と機械制御応答性の考察を加えた。

この手法を用いることにより、各個で設備している種々の加工事例について検証を行うことができ、本研究で得られた成果を用いて、具体的な指標を示せることが明らかになっている。

以上から本研究は、5軸工作機械の総合的な精度測定に関して、従来から課題となっていた、直動軸に旋回・傾斜軸を付加した場合の同時5軸動作経路に関して、装置・手法を明らかにでき、成果を一般化することをさらに考慮することにより、産業的な有効性を図ったものである。

本論文は工作機械の精度測定分野の新展開と、当該分野における情報工学の有効性を示した点で、本論文は情報工学に寄与するところが大きいと考えられる。

以上により、本論文は博士（情報工学）の学位論文に値するものと認める。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（情報工学）の学位に十分値するものであると判断した。