



工作機械の基本設計における精度設計に関する研究

苗, 勇

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

1993-03-31

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲1186

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1001186>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・(国籍)	苗 勇 (中国)
博士の専攻分野の名称	博士 (工学)
学位記番号	博い第53号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与の日付	平成5年3月31日
学位論文題目	工作機械の基本設計における精度設計に関する研究

審 査 委 員	主査 教授 森 脇 俊 道
	教授 田 中 初 一 教授 肥 爪 彰 夫
	助教授 杉 村 延 広

論 文 内 容 の 要 旨

将来の超多品種極少量生産システムならびに自律分散型生産システムを実現するために、加工対象製品に適応しうる工作機械を設計することが必要になる。このため、本研究では、加工対象製品の要求精度に基づいて工作機械の精度設計を行うための方法論を確立することを目的として、工作機械の精度設計のプロセスとそこで必要となる方法論について検討した。まず、運動誤差を考慮した形状創成過程の数学モデルを提案するとともに、このモデルに基づいて多軸同時制御加工における加工面の形状誤差と形状創成運動の誤差との関係、および創成運動の誤差と工作機械の送りユニットの幾何学的誤差との関係を定式化した。次に、これらの関係式を用いて、加工面の要求精度から工作機械の形状創成運動の精度を設計し、さらに創成運動の精度より送りユニットの精度を設計する手法を提案した。その内容をまとめると以下のようになる。

第2章では、工作機械の基本設計を系統的に行うための基礎として、機械加工における形状創成過程を表現する数学モデルを検討した。このモデルは、切削運動および送り運動に基づく工具切刃と工作物間の創成運動および工具切刃の形状の組合せにより形状創成過程を記述するもので、既存の工作機械の構造や機能に依存することなく形状創成過程を表現することができる。また、回転切削運動と直線切刃の組合せの場合について、単位創成面と加工面との幾何学的および運動学的接触関係を解析し、線接触の場合に対して創成運動と加工面の形状との関係を定式化した。さらに、これらの関係式に基づいて、加工面の形状からその創成に必要な切削運動と送り運動を求めるプロセスを示した。

第3章では、工作機械の形状創成過程において、創成運動の誤差が加工面の形状誤差に与える影響を解析する方法を提案した。すなわち、加工面の誤差と工作機械の運動誤差との関係を解明するため、

工作機械の幾何学的誤差を考慮した形状創成運動のモデル化を行った。このモデルは、直線および回転運動を任意に組合せた工作機械の形状創成過程に適用できる。次に、この創成運動誤差モデルに基づいて、形状創成過程における工具の幾何学的誤差、切削運動誤差および送り運動の誤差と加工面の誤差の関係を分析し、その関係を明らかにした。さらに、工作機械の創成運動の誤差より加工面の形状誤差を解析的に求める手法を提案するとともに、ケーススタディを行い、この手法の有効性を検証した。

第4章および第5章では、加工面の要求精度より、工作機械の創成運動の精度を設計する方法を提案した。すなわち、同時2軸および同時5軸制御加工の場合について、加工面の形状誤差と工作機械の創成運動の誤差との関係を定式化し、この関係に基づいて加工面の要求精度より創成運動の精度を設計する方法を考えた。

第4章では、マシニングセンタにおける同時2軸制御加工の場合について、第3章で構築した誤差を考慮した形状創成過程のモデルに用いて、加工面の誤差と工作機械の創成運動の誤差との関係を定式化した。次いで、この関係を制約条件として、加工面の要求精度が加工面形状の許容誤差の標準偏差で与えられる場合、運動精度を実現するためのコストを考慮した最適化モデルを構築し、この最適化モデルをSUMT (Sequential Unconstrained Minimization Technique) 法に基づいて解く手法を提案した。また、この方法に基づいて加工面の要求精度から、工作機械の創成運動の精度を設計するシステムを開発し、ケーススタディを行った。

第5章では、自由曲面を高精度、高能率で加工できる多軸工作機械の代表的例として同時5軸制御工作機械を対象とし、精度設計を行うための方法を検討した。まず、第4章で提案した加工面の誤差と創成運動の誤差との関係を定式化するための手法を、同時5軸制御加工の場合に適用し、加工面の誤差と創成運動の誤差との関係を定式化した。次に、これらの関係式に基づいて、第4章で提案した創成運動の精度の設計方法を用いて、与えられた加工面の要求精度より、同時5軸制御工作機械の創成運動の精度を設計する手法を開発し、ケーススタディを行った。その結果、提案した方法を用いて同時5軸制御工作機械の精度を設計することが可能となった。

第6章では、第4および第5章で提案した手法に基づき設計される創成運動の要求精度に基づいて、工作機械の送りユニットの精度を設計する方法を提案した。すなわち、工作機械の構造を送りユニットに展開する際、創成運動の精度から送りユニットの部品の精度を設計する方法を提案した。まず、工作機械の送りユニットをしゅう動体、案内面および駆動機構の組合せとしてモデル化した。次に、このモデルを用いて、しゅう動体の運動誤差（送り運動の誤差）と案内面の幾何学的な形状誤差および負荷により生じる変形との関係を定式化した。さらに、この関係式に基づいて、送り運動の要求精度を満たすために部品に要求される精度を、最適化手法を用いて設計する方法を提案した。

最後に、第7章では、各章の結論をまとめるとともに、本研究の総括を行った。

論文審査の結果の要旨

本論文は、工作機械の基本設計段階における精度設計を数学モデルに基づいて系統的、合理的に行うための方法論の開発を試みたものである。

本論文は7章よりなり、第7章は結論である。

第1章は緒論であり、従来より行われてきた機械製品のCADおよび設計システムの研究を分析し、問題点を整理している。さらに、工作機械の設計プロセスを分析するとともに、基本設計段階における工作機械の精度設計のプロセスおよび内容を検討している。また、本論文の全体構成をまとめている。

第2章では、機械加工における形状創成過程を表す数学モデルを提案している。すなわち、形状創成過程を工具と工作物間の創成運動および工具形状で表現するモデルを構築している。さらに、このモデルに基づいて、加工すべき面の幾何学的特徴と形状創成過程の関係を解析し、加工面の形状から工作機械の形状創成運動を設計する手法を検討している。

第3章では、工作機械における創成運動の誤差が加工面の形状誤差に与える影響をシミュレーションにより解析する手法を提案している。そのために、まず、創成運動の誤差を並進誤差と回転誤差の組み合わせにより表現する誤差モデルを提案し、運動誤差を考慮した創成運動の数学モデルを確立している。さらに運動誤差がランダムな確率変数で与えられる場合について、運動誤差に起因する加工面の幾何学的誤差をモンテカルロシミュレーションにより求める手法を開発している。

第4章および第5章では、加工面に要求される加工精度より、工作機械の創成運動の精度を系統的に設計する手法を開発している。第4章では、マシニングセンタにおける同時2軸制御加工を対象として、設計手法を検討している。そのため、まずエンドミル工具による同時2軸制御加工の場合について、加工面の形状誤差と創成運動の誤差との関係を分析し、加工面の誤差を創成運動の誤差の一次式で表現するモデルを定式化している。この式は、加工面の要求精度に基づいて創成運動の精度を設計する際の制約条件となる。この制約条件式に基づき、加工面に要求される精度を満足する工作機械の創成運動の精度を設計する手法を、最適化問題として定式化し、SUMT法に基づく解法を提案している。さらに、ここで提案した手法を用いて、具体的な加工面に対して創成運動の精度設計を行い、手法の有効性を検討している。

第5章では、第4章で提案した手法を同時5軸制御加工の場合に拡張している。すなわち、エンドミル工具による同時5軸制御加工の場合について、加工面の誤差を創成運動の誤差の一次式で表現するモデルを定式化している。この制約条件式に基づき、加工面に要求される精度を満足する工作機械の創成運動の精度を設計する問題の解法を提案している。さらに、提案した手法を自由曲面形状の加工に適用している。

第6章では、工作機械の送り案内面の精度設計を検討している。すなわち、送り運動の要求精度に基づいて、案内面の幾何学的精度を設計する手法を提案している。そのため、直線送り案内面における幾何学的誤差および力による変形誤差を考慮して、直線送り機構における各種の誤差の関係をモデ

ル化している。さらに、このモデルを用いて、送り運動に対する要求精度に基づいて、案内面の精度を設計する手法を提案し、ケーススタディを行っている。

第7章結論では、本研究の結果を総括している。

以上、本研究は、工作機械の設計プロセスの高度化、体系化に不可欠な精度設計の方法論を提案したものであり、工作機械の加工精度および精度設計について重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。

よって、学位申請者苗勇は、博士（工学）の学位を得る資格があると認める。