

## 審査の結果の要旨

氏名 三島 望

工作機械設計は工作機械メーカー等において様々な知見が蓄積され、高度で精緻な設計が実現されている。しかし、設計の最初期段階であるいわゆる概念設計に関しては、これまで十分に検討されてきたとは言えない。一般に、設計においてはコンセプトの創出である概念設計が、その成否を左右する重要な段階であるといわれる。近年増加している有限要素法などを用いた設計手法は、設計の小変更には適しているが、設計コンセプトの本質的な変更には対応しにくい。なぜならば、いくつかの設計候補から最適なものを選択するような場合には、解析モデルの製作に多大な時間を要するからである。特に近年では、製品製造のフロントローディング化、様々な新構造の工作機械の発案、省エネルギー、低環境負荷に対する社会的要請、生産拠点の海外移転など、工作機械産業を取り巻く状況は大きく変化しており、より早く、より効率的な工作機械設計の実現が重要な課題となっている。

本研究は、これまで経験則に依ることの多かった工作機械の概念設計において、定量的評価に基づく視点を導入するものであり、研究成果は、新構造の工作機械設計、海外生産拠点における部品の受け入れ、精度クラス別の設計などに展開することが可能である。研究では、工作機械の加工動作を数学的に記述する方法である形状創成理論を、構造構成要素の内部変形を取り扱えるように拡張、改良した上で、ロバスト設計手法に基づく感度解析を適用し、工作機械の構造、設計パラメータ、局所的誤差が、理論的位置決め誤差量で表される全体性能へどのように影響するかを体系的に導出する方法を示すものである。また、提案した設計評価手法を各種の工作機械構造に適用し、本研究の設計手法の有効性を検証している。その結果から、本研究の手法が既存設計知識の蓄積の少ないマイクロ工作機械や、新しい構造の工作機械の設計指針を得るのに適していることを示すと同時に、部品性能と全体性能の関係を明確化することにより、概念設計段階での戦略的設計が可能なが考察されている。

第1章では、序論として本研究の背景、目的、従来の研究などについて述べている。

第2章では、工作機械の加工動作を数学的に記述する方法のひとつである形状創成理論の基礎について述べている。既存の形状創成理論では構成要素を剛体と考え、両剛体要素に付与した局所座標系間の角度変換、平行移動のみを考慮するのに対し、本研究で提案する方法では要素内部の変形を考慮する点を特徴とする。得られた形状創成誤差関数に対して、ロバスト設計の手法としてよく知られているタグチメソッドを適用し、未知のパラメータを含む状態で、各パラメータの感度解析を行って設計情報を得る方法を提案している。

第3章では、工作機械の各種の誤差要因の分類を試み、その中から工作機械の概念設計において重要と考えられる特性を抽出し、前章の計算中に導入するために分析を行っている。

分析においては、既存の研究から明らかになっている誤差要因の特性に応じて、代表寸法との線形関係を仮定し近似するもの、一定値とするもの、数表などの値を用いるものなどに分けて論じている。

第4章では、実際の設計支援、設計指針の導出の対象として、旋盤とフライス盤を取り上げ、新規に工作機械を設計することを想定し、第2章で提案した設計評価手法を適用して設計評価を試みている。また、設計評価手法の検証として、設計評価結果と、既存の設計知見との比較を行うことにより、本研究の設計評価手法の有効性を検証する。具体的には、既存工作機械設計に対する熟練設計者の知見をアンケート形式で調査し、本研究の設計評価結果と比較することで検証を試みている。

第5章では、比較的新しい構造の工作機械を対象に、設計評価を行うことによって、本研究の方法により異なる設計コンセプト間の性能比較を行い、設計支援を行うことが可能かどうかを検討している。解析対象としては門形機、パラレルリンク形工作機械、ハイブリッド形工作機械であるが、いずれもフライス形式の工作機械を取り上げている。その結果、同体積の加工領域を仮定することにより、異なる設計コンセプト間の性能比較を行うことが可能なこと、また、パラレルリンク形、ハイブリッド形の新構造の工作機械の性能が比較的優れていること示している。

第6章では、得られた研究成果、設計指針のうち特に工作機械のダウンサイジング効果について、本手法による解析と、実際のマイクロ工作機械の試作結果から論じている。また、工作機械の誤差の中でも補正が難しいことから問題となる工具軸と工作物との角度誤差について取り上げて解析している。ダウンサイジング効果については、本研究の手法を適用して、微細加工用の工作機械の最適寸法が通常的工作機械の約  $1/10$  であることを導出している。設計評価手法により計算したマイクロ工作機械の性能は、試作したマイクロ工作機械の測定結果とほぼ一致することを示し、手法の有効性の実証を行っている。また、角度誤差については、主軸とコラム間の距離が大きく性能に影響することを示している。

第7章では、本研究で得られた成果を総括して結論とするとともに、本研究の工作機械設計分野への今後の展開について述べている。

以上を要するに、本研究では、工作機械の諸元や部品性能と全体性能の関係を明確化することによって設計指針を提示する新たな設計支援手法を提案するとともに、熟練設計者の知見や、マイクロ工作機械の試作結果と比較することによって導出された設計指針の妥当性を検証している。その結果、本研究は、効率的な工作機械の概念設計支援手法を確立するために大いに資する。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。