

## 学位論文題名

An Inspection System based on Tolerance Model  
using Coordinate Measuring Machine

(三次元測定機による公差モデルの検証システム)

## 学位論文内容の要旨

工業製品の高機能化に伴い、機械部品の高精度化が望まれている。部品形状の形状精度の維持のために誤差の許容範囲を規定する公差モデルが国際規格として規定されているが、これらの公差モデルは測定ゲージの利用を前提としたものであり、近年、測定作業の自動化を目的に導入されつつある三次元測定機による形状測定評価には十分馴染まなかった。すなわち、三次元測定機は測定対象の表面の任意点の位置データの検出を目的とする装置であり、そのデータをどの様に処理するかはソフトウェアに任されていた。従来、三次元測定機の処理ソフトウェアは2点間の距離計算および最小自乗法などにより測定対象の面等の数式表現の導出と設計値との比較などを対象としており、2平面の直角度、平行度、同軸度など幾何偏差に関する評価・検証には対応できなかった。

これらの問題点に対して本研究では測定ゲージを計算機内部に構築し、この測定ゲージを用いて測定値がどの範囲で満たすかを検証する独自のシステムを提案している。すなわち、従来、三次元測定機による精度評価問題は測定対象の測定値から対象形状の数学モデルを導出し、精度評価を行うことを目的としたのに対し、本研究では設計における公差モデルに基づく測定ゲージ(ソフトゲージ)を計算機内部に構築し、測定対象の測定値が満たす測定ゲージの範囲(誤差範囲)を求め、設計公差との比較を行う方法を提案している。測定ゲージの構築のために幾何要素として平面、円筒、円錐などの初等幾何要素を用い、それらとデータムに関する幾何学的拘束を数式で与えることにより構築する方法を提案している。また測定ゲージによる測定値の範囲を求めるために最小領域法を基準として微小変位スクリー法を導入を行い、提案手法の有効性を計算機実験により確認している。

本論文は3部16章から構成されている。

第1部は製品設計における公差モデルの概要と現在までなされている公差研究のレビューである。国際標準ISO規格における公差モデルの現状と問題点、幾何モデルと公差モデルに関する研究状況、形状のベクトル表現による公差モデルの表現方法、公差モデルと空間関係に関する最近の研究成果の調査とその問題点の整理を行っている。

第2部は三次元測定機を用いた公差検証モデルの提案を行っている。

すなわち、座標測定学による幾何形状の表現方法と従来の測定値による幾何形状の導出による精度評価の意味を論じ、幾何偏差に対し評価すべき基準が整備されていないことを指摘し、幾何偏差の誤差範囲を規定する公差モデルを基準とした測定ゲージによる測定評価の重要性を指摘している。この目的のために公差検証モデルを提案している。具体的には測定ゲージを構築する幾何要素の表現方法、ゲージを幾何要素間の幾何学的拘束として表現する方法を提案し、幾何拘束を受ける幾何要素群を測定ゲージとして考え、具体的に国際規格で規定されている幾何偏差を本提案の測定ゲージで表現できることを示し、さらに

測定ゲージの数理幾何モデルから可能な測定ゲージの拡張範囲を示し、本手法の適用領域の範囲を明かにしている。すなわち従来、国際規格で定義されている幾何公差より広い公差モデルの構築が可能であることを示し、新しい公差モデルの展開が可能であることを示している。

第3部は提案する測定ゲージの計算機モデルにより測定データを評価する場合の基準として最小自乗法、最小領域法を考慮し、線形最適化手法として微小変位スクリュー法を用いた公差モデル評価方法について述べている。すなわち、ゲージによる測定は測定点の最小領域法と意味的に同じであると考え、領域の上限と下限を求めるために線形最適化手法として微小変位スクリュー法を提案している。最小領域を表現するために二つの幾何要素のベクトル表現を行い、測定点の位置ベクトルが二つの幾何要素の内部に存在させながら二つの幾何要素間隔が最小となるように幾何要素の位置と姿勢を微小変位スクリュー法で求めることができることを示し、具体的に平面、円筒、円錐およびそれらに幾何拘束がある場合の例について測定評価モデルの構築をおこない、計算機実験により提案する評価方法が妥当であることを示している。さらに最小自乗法による幾何形状同定に対しても本手法は拡張することができ、提案手法の汎用性と一般性を示している。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 岸 浪 建 史  
副 査 教 授 齋 藤 勝 政  
副 査 教 授 島 公 脩  
副 査 教 授 嘉 数 侑 昇

学 位 論 文 題 名

## An Inspection System based on Tolerance Model using Coordinate Measuring Machine

(三次元測定機による公差モデルの検証システム)

工業製品の高機能化に伴い、機械部品の高精度化が望まれている。部品形状の形状精度の維持のために誤差の許容範囲を規定する公差モデルが国際規格として規定されているが、これらの公差モデルは測定ゲージの利用を前提としたものであり、近年、測定作業の自動化を目的に導入されつつある三次元測定機による形状測定評価には十分馴染まなかった。すなわち、三次元測定機は測定対象の表面の任意点の位置データの検出を目的とする装置であり、そのデータをどの様に処理するかはソフトウェアに任されていた。従来、三次元測定機の処理ソフトウェアは2点間の距離計算および最小自乗法などにより測定対象の面等の数式表現の導出と設計値との比較などを対象としており、2平面の直角度、平行度、同軸度など幾何偏差に関する評価・検証には対応できなかった。

これらの問題点に対して本研究では測定ゲージを計算機内部に構築し、この測定ゲージを用いて測定値がどの範囲で満たすかを検証する独自のシステムを提案している。すなわち、従来、三次元測定機による精度評価問題は測定対象の測定値から対象形状の数学モデルを導出し、精度評価を行うことを目的としたのに対し、本研究では設計における公差モデルに基づく測定ゲージ（ソフトゲージ）を計算機内部に構築し、測定対象の測定値が満たす測定ゲージの範囲（誤差範囲）を求め、設計公差との比較を行う方法を提案している。測定ゲージの構築のために幾何要素として平面、円筒、円錐などの初等幾何要素を用い、それらとデータムに関する幾何学的拘束を数式で与えることにより構築する方法を提案している。また測定ゲージによる測定値の範囲を求めるために最小領域法を基準として微小変位スクリー法を導入を行い、提案手法の有効性を計算機実験により確認している。

本論文は3部16章から構成されている。

第1部は製品設計における公差モデルの概要と現在までなされている公差研究のレビューである。国際標準ISO規格における公差モデルの現状と問題点、幾何モデルと公差モデルに関する研究状況、形状のベクトル表現による公差モデルの表現方法、公差モデルと空

間関係に関する最近の研究成果の調査とその問題点の整理を行っている。

第2部は三次元測定機を用いた公差検証モデルの提案を行っている。

すなわち、座標測定学による幾何形状の表現方法と従来の測定値による幾何形状の導出による精度評価の意味を論じ、幾何偏差に対し評価すべき基準が整備されていないことを指摘し、幾何偏差の誤差範囲を規定する公差モデルを基準とした測定ゲージによる測定評価の重要性を指摘している。この目的のために公差検証モデルを提案している。具体的には測定ゲージを構築する幾何要素の表現方法、ゲージを幾何要素間の幾何学的拘束として表現する方法を提案し、幾何拘束を受ける幾何要素群を測定ゲージとして考え、具体的に国際規格で規定されている幾何偏差を本提案の測定ゲージで表現できることを示し、さらに測定ゲージの数理幾何モデルから可能な測定ゲージの拡張範囲を示し、本手法の適用領域の範囲を明かにしている。すなわち従来、国際規格で定義されている幾何公差より広い公差モデルの構築が可能であることを示し、新しい公差モデルの展開が可能であることを示している。

第3部は提案する測定ゲージの計算機モデルにより測定データを評価する場合の基準として最小自乗法、最小領域法を考慮し、線形最適化手法として微小変位スクリー法を用いた公差モデル評価方法について述べている。すなわち、ゲージによる測定は測定点の最小領域法と意味的に同じであると考え、領域の上限と下限を求めるために線形最適化手法として微小変位スクリー法を提案している。最小領域を表現するために二つの幾何要素のベクトル表現を行い、測定点の位置ベクトルが二つの幾何要素の内部に存在させながら二つの幾何要素間隔が最小となるように幾何要素の位置と姿勢を微小変位スクリー法で求めることができることを示し、具体的に平面、円筒、円錐およびそれらに幾何拘束がある場合の例について測定評価モデルの構築をおこない、計算機実験により提案する評価方法が妥当であることを示している。さらに最小自乗法による幾何形状同定に対しても本手法は拡張することができ、提案手法の汎用性と一般性を示している。

これを要するに、著者は機械部品の精度評価のために三次元測定機を用いた公差検証法を提案し、従来、困難であった幾何公差の一般的検証法に新知見を得たものであり、精密工学に対して貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。