

## 学位論文題名

## 座標測定における幾何公差の検証に関する研究

## 学位論文内容の要旨

近年、機械製品に対して高機能化、低価格化の要求が高まる一方である。このような状況のなか、製造工程において発生する部品形状誤差の許容範囲をどのように定義するかは、機能とコストの両面において極めて重要な問題となっている。幾何公差方式は、独立の原則、最大実体公差方式、位置度公差方式など多くの新しい概念に支えられており、解釈の一義性と部品互換性を保証する唯一の公差方式として著しい普及を見せている。一方、検査工程においては、コンピュータの進歩を背景として、座標測定技術が広く普及している。座標測定では、部品の表面を何らかのプロープによりサンプリングし、それによりデジタル化された測定点群（以下、測定データセットと呼ぶ）に対してソフトウェアによるデータ処理を行って、寸法や幾何偏差を評価する。このような状況において、座標測定において幾何公差を検証することが重要となっている。しかし、それを妨げる問題点として次の2つがマクロな観点から指摘される。第1に、幾何公差において形体、軸線、寸法など不明確な定義がある問題である。第2に、公差の定義に対して厳密に検証するための体系的な方法論が十分に確立されていないことである。

本論文では、後者の問題解決を行い、座標測定における幾何公差の体系的かつ厳密な検証方法論の確立のため、以下の内容を実現することを目的としている。(1)形状公差だけでなく、関連形体や最大実体公差にも対応するため同一の理論に基づき、しかも厳密な検証を可能とする一貫した方法論を提案する。(2)上記方法論に基づく関連形体の幾何公差の検証方法を提案し、計算機シミュレーションにより実験的にその妥当性を確認する。(3)穴グループなどのように相互に位置、姿勢を拘束しあう複数の形体の幾何公差検証に対して必要となる複合形体の概念について明らかにする。上記方法論に基づき、複合形体の幾何偏差を評価する方法を提案し、計算機シミュレーションにより実験的にその妥当性を確認する。(4)最大実体公差に対して、上記方法論に基づく機能ゲージシミュレーションによる新しい検証方法を提案し、計算機シミュレーションにより実験的にその妥当性を確認する。

本論文は7章から構成されており、その概要を以下に示す。

第1章は緒論として、本研究の背景、マクロな観点からの現状の問題点、目的およびその意義について述べた。

第2章では、幾何公差とその検証に関する研究の現状と問題点について述べ

た。幾何公差については、それを検証するという観点から行われている研究および国家的、国際的機関における標準化の現状について述べ、定義の不明確さが残されている問題を明らかにした。幾何公差の検証については、定義に対して厳密に検証するという観点から研究の現状を述べ、形状公差に比べて姿勢公差、位置公差に対する検証方法が充分確立されていないことを述べた。これを解決するためのアプローチとして、偏差を厳密に評価するアプローチと機能ゲージシミュレーションによるアプローチがあることを示し、それぞれの問題点を指摘した。以上の問題点の指摘を通して、ミクロな観点からも本研究の意義を明らかにし、解決すべき具体的な課題を設定した。同時に、研究を進める上での前提条件についても言及した。

第3章では、体系的な幾何公差の検証方法を確立するためのベースとして、微小変位スクリー法による形状要素のフィッティングを取り上げ、その詳細なレビューを行った。手法の特長を詳細に分析し、形状公差に対する検証の厳密性だけでなく関連形体の幾何公差検証、複合形体の形状評価評価、機能ゲージシミュレーションへ拡張でき、一貫した検証手法を確立するベースとして高い可能性を有していることを明らかにした。

第4章では、関連形体の幾何公差の定義にしたがって厳密に偏差を求め、検証を行う方法について述べた。微小変位スクリー法をベースとして、幾何学的制約条件として、位置および姿勢に関する条件の定式化を行い、これを用いた幾何偏差の評価方法およびアルゴリズムを提案した。ついで、現行の幾何公差および偏差の定義に照らし合わせて、提案する方法がその厳密な検証方法を具現化するものであることを明らかにした。さらに、計算機シミュレーションにより実験的にその妥当性を確認した。

第5章では、複合形体の形状評価方法について述べた。まず複合形体の定義とそのモデル化の概念について明らかにし、微小変位スクリー法をベースとして、測定データセットから複合形体を評価する方法を提案した。さらに、この方法に基づいて、平面および円筒から構成される複合形体の例について定式化を行い、計算機シミュレーションにより、その妥当性を確認した。

第6章では、機能ゲージシミュレーションによる公差検証について述べた。微小変位スクリー法をベースとした、パラメトリックソリッドモデルによる新しい機能ゲージシミュレーション方法を提案した。姿勢公差については、幾何学的制約条件を付加したパラメトリックソリッドモデルにより、位置公差については、複合形体に幾何学的制約条件を付加したパラメトリックソリッドモデルにより機能ゲージを忠実に表現できることを示し、さらに、一般的なケースについても定式化を行った。この定式化に基づく具体的なアルゴリズムを提案するとともに、従来のsoft gaugeと比較してその差異を明らかにした。また、計算機シミュレーションを行い、実験的にその妥当性を確認した。

第7章は、結論であり、前章までのまとめとして、微小変位スクリー

法をベースとして形状公差，姿勢公差，位置公差を厳密に検証する一貫した方法論を提案することができたことを述べ，今後の課題について言及した。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 岸 浪 建 史  
副 査 教 授 池 田 正 幸  
副 査 教 授 五十嵐 悟  
副 査 教 授 嘉 数 侑 昇

学 位 論 文 題 名

## 座標測定における幾何公差の検証に関する研究

近年、機械製品に対して高機能化、低価格化の要求が高まる状況において、製造工程において発生する部品形状誤差の許容範囲をどのように定義するかは、機能とコストの両面において極めて重要な問題となっている。幾何公差方式は、独立の原則、最大実体公差方式、位置度公差方式など多くの新しい概念に支えられており、解釈の一義性と部品互換性を保証する唯一の公差方式として著しい普及を見せている。一方、検査工程においては、コンピュータの進歩を背景として、座標測定技術が広く普及している。座標測定では、部品の表面を何らかのプロブによりサンプリングし、それによりデジタル化された測定点群（以下、測定データセットと呼ぶ）に対してソフトウェアによるデータ処理を行って、寸法や幾何偏差を評価する。このような状況において、座標測定において幾何公差を検証することが重要となっている。しかし、それを妨げる問題点として次の2つがマクロな観点から指摘される。第1に、幾何公差において形体、軸線、寸法など不明確な定義がある問題である。第2に、公差の定義に対して厳密に検証するための体系的な方法論が十分に確立されていないことである。

本論文では、後者の問題解決を行い、座標測定における幾何公差の体系的かつ厳密な検証方法論の確立のため、以下の内容を実現することを目的としている。(1)形状公差だけでなく、関連形体や最大実体公差にも対応するため同一の理論に基づき、しかも厳密な検証を可能とする一貫した方法論を提案する。(2)上記方法論に基づく関連形体の幾何公差の検証方法を提案し、計算機シミュレーションにより実験的にその妥当性を確認する。(3)穴グループなどのように相互に位置、姿勢を拘束しあう複数の形体の幾何公差検証に対して必要となる複合形体の概念について明らかにする。上記方法論に基づき、複合形体の幾何偏差を評価する方法を提案し、計算機シミュレーションにより実験的にその妥当性を確認する。(4)最大実体公差に対して、上記方法論に基づく機能ゲージシミュレーションによる新しい検証方法を提案し、計算機シミュレーションにより実験的にその妥当性を確認する。

本論文は7章から構成されており、その概要を以下に示す。

第1章は緒論として、本研究の背景、マクロな観点からの現状の問題点、目的およびその意義について述べている。

第2章では、幾何公差とその検証に関する研究の現状と問題点について述べている。幾何公差については、それを検証するという観点から行われている研究および国家的、国際

的機関における標準化の現状について述べ、定義の不明瞭さが残されている問題を明らかにした。幾何公差の検証については、定義に対して厳密に検証するという観点から研究の現状を述べ、形状公差に比べて姿勢公差、位置公差に対する検証方法が充分確立されていないことを述べている。これを解決する方法として、偏差を厳密に評価するアプローチと機能ゲージシミュレーションによるアプローチがあることを示し、それぞれの問題点を指摘した。以上の問題点を指摘を通して、ミクロな観点からも本研究の意義を明らかにし、解決すべき具体的な課題を設定した。同時に、研究を進める上での前提条件についても言及している。

第3章では、体系的な幾何公差の検証方法を確立するためのベースとして、微小変位スクリー法による形状要素のフィッティングを取り上げ、その詳細なレビューを行った。手法の特徴を詳細に分析し、形状公差に対する検証の厳密性だけでなく関連形体の幾何公差検証、複合形体の形状評価、機能ゲージシミュレーションへ拡張し、一貫した検証手法を提案している。

第4章では、関連形体の幾何公差の定義にしたがって厳密に偏差を求め、検証を行う方法について述べた。微小変位スクリー法をベースとして、幾何学的制約条件として、位置および姿勢に関する条件の定式化を行い、これを用いた幾何偏差の評価方法およびアルゴリズムを提案している。ついで、現行の幾何公差および偏差の定義に照らし合わせて、提案する方法がその厳密な検証方法を具現化するものであることを明らかにした。さらに、計算機シミュレーションにより実験的にその妥当性を確認している。

第5章では、複合形体の形状評価方法について述べている。まず複合形体の定義とそのモデル化の概念について明らかにし、微小変位スクリー法をベースとして、測定データセットから複合形体を評価する方法を提案している。さらに、この方法に基づいて、平面および円筒から構成される複合形体の例について定式化を行い、計算機シミュレーションにより、その妥当性を確認している。

第6章では、機能ゲージシミュレーションによる公差検証について述べている。微小変位スクリー法をベースとしてパラメトリック半空間モデルによる新しい機能ゲージシミュレーション方法を提案している。姿勢公差については、幾何学的制約条件を付加したパラメトリック半空間モデルにより、位置公差については、複合形体に幾何学的制約条件を付加したパラメトリック半空間モデルにより機能ゲージを忠実に表現できることを示し、さらに、一般的なケースについても定式化を行っている。この定式化に基づく具体的なアルゴリズムを提案するとともに、従来のsoftgaugeと比較してその差異を明らかにした。また、計算機シミュレーションを行い、実験的にその妥当性を確認している。

第7章は、結論であり、前章までのまとめとして、微小変位スクリー法をベースとして形状公差、姿勢公差、位置公差を厳密に検証する一貫した方法論を提案することができたことを述べ、今後の課題について言及した。

これを要するに、本論文は製品の幾何公差検証問題の数学的定式化を行うとともに、体系的検証方法を示し、従来困難であった幾何公差検証が可能である事をあきらかにするなど、生産工学、精密工学に寄与するところ大である。

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があるものと認める。