

機関番号：24403

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560110

研究課題名 (和文) 幾何公差に基づく工作機械の形状創成運動の偏差のモデル化と解析

研究課題名 (英文) Modeling and analysis of kinematic motion deviations of machine tools based on geometric deviations

研究代表者

杉村延広 (Sugimura Nobuhiro)

大阪府立大学・工学研究科・教授

研究者番号：80135813

研究成果の概要 (和文)：工作機械の形状創成運動は、基本的には直進運動と回転運動を組み合わせて実現されている。そのため、ここでは、工作機械の基本運動を実現する直進運動テーブルおよび回転運動テーブルについて、その幾何偏差を同定し、モデル化を行った。さらに、相互に運動する場合について、直進運動および回転運動の偏差の同定とモデル化を行い、ユニットの幾何偏差に基づいて、これらのテーブルの幾何偏差および運動の偏差を解析する方法論を開発した。特に、直線運動および回転運動の偏差の平均値および標準偏差を求める手法を提案した。

研究成果の概要 (英文)：

The present research deals with the modeling and analysis of the geometric deviations of the toleranced components. The tolerance zones of the geometric features of the components are investigated and classified based on the definitions of the geometric tolerances. The parameters are defined to describe the deviations of the geometric features within the tolerance zones. An analytical method is proposed to estimate the statistic deviations of the positions and the orientations of the geometric features, based on the deviation parameters and the relationships between the datum features and the toleranced features.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| 2008 年度 | 1,800,000 | 540,000 | 2,340,000 |
| 2009 年度 | 1,100,000 | 330,000 | 1,430,000 |
| 2010 年度 | 600,000 | 180,000 | 780,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,500,000 | 1,050,000 | 4,550,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：工作機械，形状創成理論，幾何学的偏差，加工誤差，運動偏差，フィーチャの偏差，テーブルの運動

1. 研究開始当初の背景

近年，機械工業の分野における生産加工の自動化，省力化が進展し，無人化工場を指向した研究，開発が広く展開されている。特に，中品種中量生産の分野においては，NC 工作

機械，産業用ロボット，自動計測装置などの発展に伴い，これらとコンピュータとを有機的に結合した FMS (Flexible Manufacturing Systems) や FMC (Flexible Manufacturing Cells) などの開発，実用化が進展し，生産性

と柔軟性を兼ね備えた生産システムの実現が可能となってきた。

さらに、消費者のニーズの多様化、製品のライフサイクルの短縮化に伴い、現在、新しい生産システムとして、超多品種極少量変動生産システムの開発が指向されている。このような新しい生産システムを開発、実用化するためには、加工対象製品に適合することができる新たな工作機械の設計および開発手法が求められている。

工作機械の基本機能は、工具と工作物の間に所用の相対運動(これを形状創成運動と呼ぶ)を実現することである。工作機械に要求される最も重要な性能のひとつは、加工精度であり、各種の要因から定まる製品の形状および寸法の偏差を設計仕様の範囲内に収めることが要求される。そのために、従来からの研究開発では、工作機械の形状創成運動を形状創成理論に基づいてモデル化し、主軸および送り運動軸間の直角度あるいは平行度などの幾何偏差が形状創成運動の偏差に与える影響の解析が行われてきている。

また、形状創成運動のモデルを用いて、工作機械の運動軸の間の偏差を計測する手法の提案と計測手法の国際標準の開発が進められている。しかし、従来の研究および開発は、主として工作機械の構成要素間の相対運動の偏差が、工作物に対する工具の形状創成運動の偏差に与える影響を解析することが主目的であった。

工作機械の主軸および送り運動軸の運動の偏差は、主軸および送りテーブルなどの構成要素の幾何偏差、構成要素の組立の際に生じる偏差、構成要素の運動時における偏差などが重畳したものである。そのため、工作機械における形状創成運動の偏差をモデル化し、解析するためには、工作機械の構成要素の幾何学的な偏差を重畳し、形状創成運動の偏差を求める理論および方法論の確立が不可欠である。すなわち、まず構成要素の幾何学的な偏差に基づいて主軸および送り運動軸の運動の偏差を求め、さらにこれらの偏差を重畳して工具と工作物間の運動の偏差を求める理論および方法論の確立することが必要である。

2. 研究の目的

研究代表者らは、これまで工作機械の形状創成理論に関する研究を行うとともに、工作機械の構成要素の幾何偏差を解析する手法、特に偏差のばらつきを考慮した統計学的な理論解析手法の提案を行ってきた。

形状創成運動の観点から工作機械の基本構成を考えると、図1に示すように相互に運動する直進テーブル、回転テーブル、主軸頭、主軸などの剛体(これをユニットと呼ぶ)が接続したものと考えることができ、ユニットの

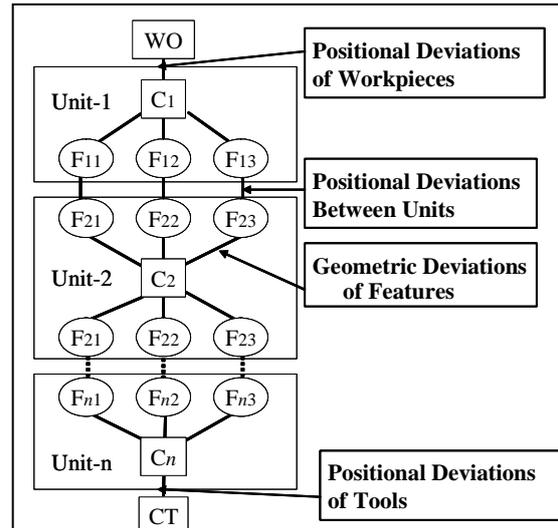


図1 工作機械の形状創成運動とユニットの幾何学的偏差

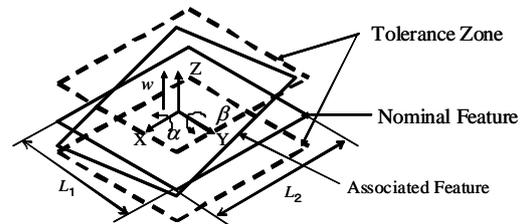


図2 案内面フィーチャの幾何公差

接続関係の一端に工作物が、他端に工具が取り付けられ、これらのユニットの間で相対運動を行うことで、加工を実行する。

本研究では、これまでの研究成果を拡張し、まず幾何偏差をもつユニットが接続される場合について、ユニット間の相対的な位置および姿勢の偏差をモデル化する理論を提案する。

次に、これらのユニットを組み立てて構成される直進テーブルおよび回転テーブルなどの工作機械の基本構成要素の幾何偏差および運動の偏差の理論解を求める手法を開発する。

さらに、工作機械全体の形状創成運動の偏差の理論解を解析的に求める手法を提案する。また、工作機械の形状創成運動の偏差の許容値に基づいて、工作機械の構成要素の幾何偏差の許容値を設計するための方法論を開発する。

3. 研究の方法

(1) 工作機械の構成要素の幾何偏差のモデル化

工作機械の構成部品における幾何偏差を、ISOおよびJISで定義されている幾何公差に基づいてモデル化する。すなわち、図2に例

示すように、幾何公差は機械部品を製造する際に許容される3次元的な偏差を指定するものであり、機械部品の構成平面の場合には、許容範囲を2つの平面で指定している。製造された部品の平面を測定し、この許容範囲に入る部品のみ、良品と判断され、後続する組立工程に送られる。しかし、良品であっても、これらの平面は許容範囲内でのばらつき(偏差)をもつ。したがって、まず、平面、円筒などの工作機械の構成部品に含まれるフィーチャの幾何公差の定義にしたがって、フィーチャの幾何偏差を表すパラメータ(偏差パラメータ)を同定し、これらの統計学的な分布のモデル化を行う。

(2) 複数の案内面で拘束されるユニット間の幾何偏差の解析

工作機械は、剛体として運動するユニットが接続されて構成されている。また、これらのユニットは、図3に例示するように、複数のフィーチャを介して相互に接続されている。したがって、ここでは、複数のフィーチャにより接続される一対のユニット間の幾何偏差を解析する方法論の開発を行う。

寸法公差の解析などから、単一のフィーチャで接続されているユニット間の幾何偏差は、フィーチャの幾何偏差を重畳していくことにより求められることが証明されている。しかし、複数のフィーチャを介して接続される場合についての解析手法はまだ存在しない。そこで、ここでは、それぞれのフィーチャの幾何偏差の影響を統合し、一対のユニット間の幾何偏差を求める新たな手法を開発する。

(3) 直進運動テーブルおよび3軸マシニングセンタの運動偏差のモデル化と解析

工作機械の形状創成運動は、基本的には直進運動と回転運動を組み合わせて実現されている。そのため、ここでは、工作機械の基本運動を実現する直進運動テーブルについて、その運動偏差を同定し、モデル化を行う。さらに、直線運動テーブルを組み合わせる構成される3軸マシニングセンタのモデルを作成し、工作物に対する工具の形状創成運動の幾何学的偏差の解析を行う。

(4) 回転運動テーブルの幾何学的偏差のモデル化

図4に示すような、各種の運動軸構成をもつ5軸制御マシニングセンタのモデル化と解析を目的として、2軸の回転テーブルの幾何学的な運動偏差を表現するモデルと開発し、回転運動を含む形状創成運動の幾何学的偏差の解析を行う。

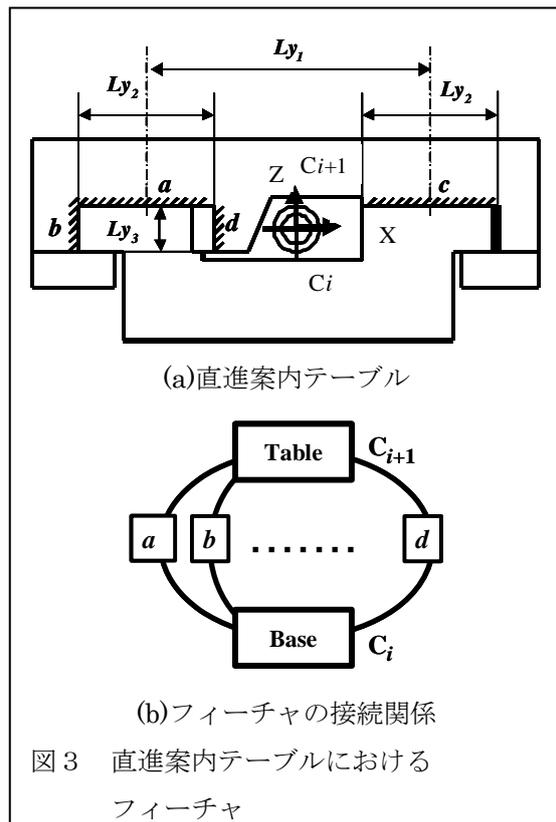


図3 直進案内テーブルにおけるフィーチャ

(5) マシニングセンタの構成要素の幾何偏差の設計方法論

工作機械の形状創成運動の偏差の許容値が設計仕様として与えられた場合に、運動するテーブルの幾何偏差と運動偏差およびそれぞれのユニットの幾何偏差の許容値に分解し、構成ユニットの幾何公差の公差域を設計する方法論を開発する。

4. 研究成果

(1) 工作機械の構成要素の幾何偏差のモデル化

工作機械の構成部品に含まれるフィーチャの幾何公差の定義にしたがって、フィーチャの幾何偏差を表すパラメータ(偏差パラメータ)を同定した、すなわち、平面、円筒面などの工作機械の案内面のフィーチャの位置および姿勢の偏差を表すパラメータとして、平面については3個、円筒面については4個のパラメータを同定した。これにより、3次元空間におけるフィーチャの偏差を幾何学的に定義することができた。

(2) 複数の案内面で拘束されるユニット間の幾何偏差の解析

複数の案内面(フィーチャ)で拘束され、相互に運動するユニットの間の幾何偏差を推定する手法を提案した。すなわち、図3(a)の直線運動テーブルの幾何学的な運動偏差を解析するモデルを作成し、解析を行った。

(3) 直進運動テーブルおよび3軸マシニングセンタの運動偏差のモデル化と解析

(1)で同定したフィーチャの偏差パラメータに対して、工作機械の基本運動を実現する直進運動テーブルの幾何偏差のモデル化を行った。ここでは、複数の平面フィーチャからなる直線運動テーブルのモデル化を行い、平面フィーチャおよび円筒面フィーチャの公差の大きさ(公差域)から、直線テーブルの運動における標準偏差を推定する手法を開発した。また、3つの直線運動テーブルからなる3軸マシニングセンタの解析を行った。

(4) 回転運動テーブルの幾何学的偏差のモデル化

回転テーブルについては、垂直軸および水平軸をもつ2つの回転テーブルを組み合わせた2軸回転テーブルのモデルを開発し、その回転運動の標準偏差を推定した。これにより、2軸回転テーブルをもつ5軸マシニングセンタのモデル化ができることを示した。

(5) マシニングセンタの構成要素の幾何偏差の設計方法論

以上のモデル化と解析を通して、工作機械の形状創成運動の偏差の許容値が設計仕様として与えられた場合に、運動するテーブルの幾何偏差と運動偏差およびそれぞれのユニットの幾何偏差の許容値に分解し、構成ユニットの幾何公差の公差域を設計することが可能であることを示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

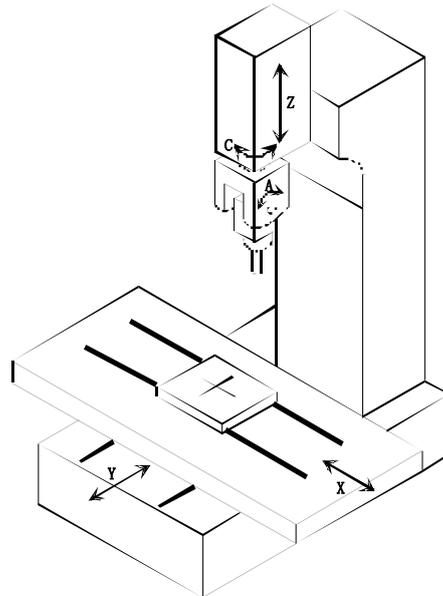
①H. Tehrani, N. Sugimura, K. Iwamura and Y. Tanimizu, Multi agent architecture for dynamic incremental process planning in the flexible manufacturing system, Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 21, 487-499 (2010)

②H. Watabiki, N. Sugimura, Y. Tanimizu and K. Iwamura, Analysis of Kinematic Motion Deviations of Machining Centers Based on Geometric Tolerances, Proc. of 5th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century, 677-682 (2009), 有。

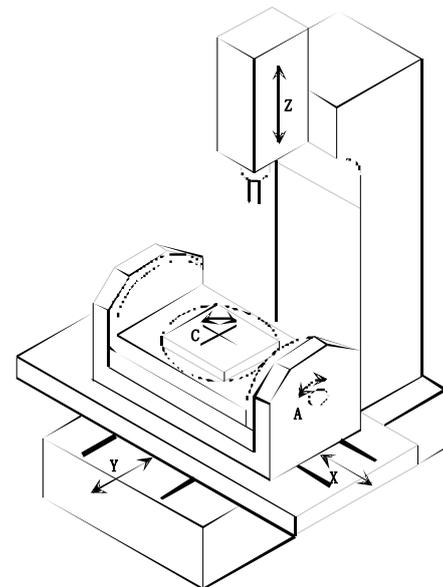
③里中直樹, 杉村延広, 谷水義隆, 岩村幸治, 工作機械の運動偏差のモデル化と解析に関する研究(第2報, 直進テーブルおよび工作機械のモデル化と解析), 日本機械学会論文集(C編), 74-737, 198-205(2008), 有。

[学会発表] (計3件)

①綿引仁美, 杉村延広, 岩村幸治, 谷水義隆,



(a)工具旋回型



(b)工作物旋回型

図4 各種の多軸制御工作機械

工作機械の運動偏差のモデル化と解析に関する研究(回転テーブルのモデル化と解析), 生産システム部門研究発表講演会, 2010年3月, 東京, 無。

②杉村延広, 機械生産における組立精度と運動精度について~部品の幾何学的な精度が組立品精度に与える影響~, 日本経営工学会関西支部平成21年度第1回定例セミナー, 2009年6月, 大阪, 無。

③中村晃士, 杉村延広, 里中直樹, 複合工作機械の加工精度の解析, 日本機械学会関西支部第84期定時総会講演会, 2009年3月, 大阪, 無。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉村 延広 (Sugimura Nobuhiro)
大阪府立大学・工学研究科・教授
研究者番号：80135813

(2) 研究分担者

谷水 義隆 (Tanimizu Yoshitaka)
大阪府立大学・工学研究科・准教授
研究者番号：60275279

岩村 幸治 (Iwamura Koji)
大阪府立大学・工学研究科・助教
研究者番号：40332001