

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05721

研究課題名(和文)5軸工作機械の加工時の熱状態に適応した「自己最適化」の方法論

研究課題名(英文)"Self-optimization" of a five-axis machine tool with adaptation to thermal conditions in machining operations

研究代表者

茨木 創一 (Ibaraki, Soichi)

広島大学・工学研究科・教授

研究者番号：80335190

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：工作機械の運動精度は、熱変形や経年変化の影響を強く受ける。本研究の目的は、工作機械が自ら、自分自身の精度を測定し、それを最適に補正する、工作機械の「自己最適化」の手法を具体化することである。特に実際の加工では、主軸モータなどの発熱などが原因で、機械の精度を評価するとき、実際の加工では熱状態が異なる。本研究では、実際の加工に使用する工具を主軸に付けた状態で、実際の加工と同じ条件で主軸を回転し、実際の加工と同じ熱状態において、5軸工作機械の「自己最適化」を行うシステムを構築した。加工現場に広く普及している非接触式の工具測定システムを、この目的に流用する、実用的な測定システムを構築した。

研究成果の概要(英文)：Motion accuracy of a machine tool can be significantly influenced by thermal deformation or the "aging." The objective of this project is to propose a "self-optimization" methodology for a machine tool, such that it can periodically calibrate its own motion errors and then compensate for them in a fully automated manner. The machine's motion errors are calibrated in exactly the same thermal conditions as in actual machining processes. To this "self-optimization" method, the project proposed the application of a non-contact laser barrier tool measurement system, which is widely accepted in the manufacturing industry.

研究分野：工作機械

キーワード：工作機械 5軸工作機械 切削 幾何誤差 運動精度 熱変形

1. 研究開始当初の背景

直進3軸に加え、工作物あるいは工具の姿勢を制御する回転軸を複数持つ加工機を、5軸工作機械と総称する特に、航空機や発電設備の大型部品など、今後成長が望める分野で5軸加工の重要性が増しており、5軸工作機械は日本の多くの工作機械メーカーにとって主力製品に成長した。しかし、中国などの新興国でも最近では生産が目立ち、国際競争が今後厳しくなることは明らかである。

5軸工作機械は従来の3軸の専用機と比べて、加工精度の面でかなり劣る、というのが製造現場の共通認識と言ってよい。その主な原因は2つある。1つは、軸が多く、またそれらが直列につながるため、各軸の組み立て誤差(軸の取り付け位置・向き)の誤差(幾何誤差と呼ぶ)が支配的な誤差要因となることである。2つめは、熱変形や経年変化の影響である。

これまで日本の工作機械メーカーは、機械の要素毎の機械的な調整、すなわち「すり合わせ」で精度を出すことを得意としてきた。しかし、5軸工作機械ではすり合わせだけで精度を出すことは、熟練者にとっても困難である。組み立てコストを増大させることなく、精度を確保する技術は、国際競争力を維持するためのキー技術と考える。

このような観点から、研究代表者は、工作機械が自ら、自分自身の精度を測定し、それを最適に補正するという、工作機械の「自己最適化」という考え方を提案し、それを実現するための方法論を構築する研究を行ってきた。これまでの研究から、工作機械の「自己最適化」の最大の課題は、運動精度を測定する環境と、実際に加工を行う環境が異なることであることが分かった。すなわち、工作機械の運動精度を測定するためには、主軸を停止し、工具の代わりに測定器や基準を取り付ける。実際の加工では、主軸モータや送り系モータなどの発熱、クーラントによる冷却などが原因で、測定時と熱状態が大きく異なる場合が少なくない。

2. 研究の目的

本研究では、加工時のセットアップ及び熱状態に適応することができる、5軸工作機械の「自己最適化」の方法論を構築することを目的とする。

この目的のために、本研究では、回転中の工具長・直径を測定する、非接触式の工具測定システムを利用することを考えた。工具長・径の測定は、工作機械の誤差測定とは関係なく、どのような加工でも必要であり、非接触式の工具測定システムは、既に広く普及している。この測定器を利用して、実際の加工に使用する工具を主軸に付け、実際の加工と同じ条件で主軸を回転し、実際の加工と同様の熱状態において、工具とテーブル間の相対変位を測定し、それを基礎に5軸工作機械

の「自己最適化」を行うシステムを構築するのが研究目的である。

3. 研究の方法

(1) 回転中の工具の位置測定に基づく「自己最適化」のアルゴリズムの構築

実際の加工に使用する工具を主軸に付け、実際の加工と同じ条件で主軸を回転した状態で、工具とテーブル間の相対変位を測定する。そのための測定器として、工具測定システムを利用する(図1参照)。この測定結果から、5軸工作機械の回転軸の幾何誤差を定量的に診断するアルゴリズムを構築した。

(2) 提案したアルゴリズムの実験による検証

従来の5軸工作機械の誤差キャリブレーション法の代表例である「R-test法」との比較により、提案法の有効性、すなわち加工と同じ熱状態で誤差測定を行うことの重要性を実験により示した。

(3) 「自己最適化」システムの開発

提案したアルゴリズムを基礎に、以下の機能を持つソフトウェアのプロトタイプを開発した。1) 提案した測定法を実施する。2) 工具測定システムを用いた測定結果を読み込み、幾何誤差の同定の計算を行う。3) 幾何誤差の補正データを作成し、工作機械のCNCシステムに送信する。

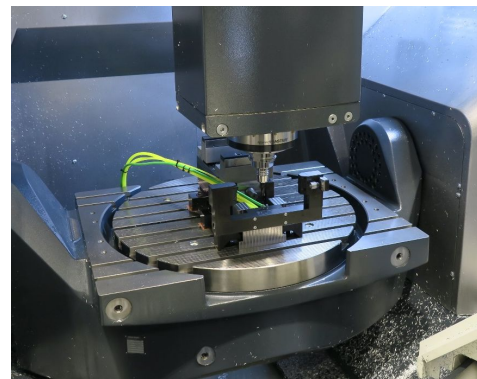


図1: レーザ工具測定システムを使った実験の様子

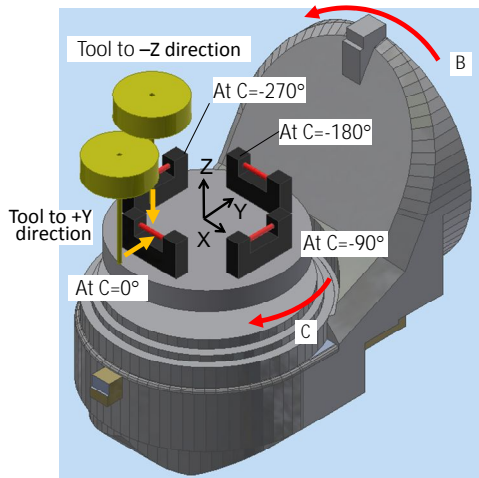
4. 研究成果

(1) 提案したアルゴリズム

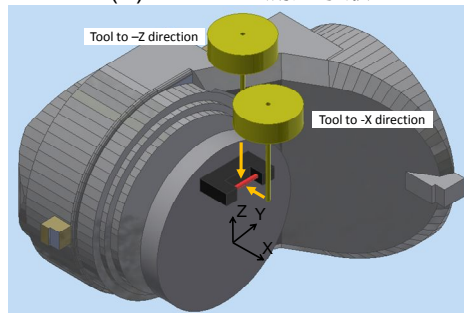
図2に示す測定手順を提案した。すなわち、回転テーブル上にレーザ工具測定システムを設置し、回転テーブル(C軸)が0度の状態で、図2(a)に示すように工具の位置測定を行う。同様の測定を、回転2軸を様々な角度に割り出し、繰り返す。

(2) 実験結果: 工作機械の熱変形試験

提案した方法を用いて、主軸を一定速度で連続回転したときの発熱によって、工作機械の幾何誤差がどのように変化するかを調べる、熱変形試験を行った。図3に実験結果の一例を示す。主軸モータの発熱によって、主軸側の機械構造が変形し、回転軸の位置誤差



(a) B=0°での測定手順



(b) B=-90°での測定手順

図 2：提案した測定手順

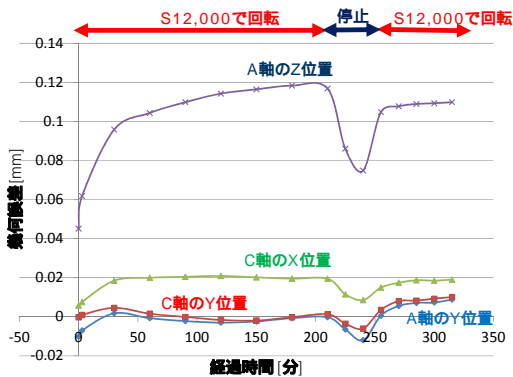


図 3：提案法によって測定された、主軸を連続回転したときの、旋回 2 軸の位置誤差の変化

が、最大で 80 μ m ほど変化していることが分かる (A 軸の Z 方向の誤差)。このような誤差の変化を、主軸が回転している状態で評価する方法は、従来にはない。

(3) 実験結果：従来の方法との比較

従来の 5 軸工作機械の誤差キャリブレーション法の代表例である「R-test 法」(図 4 (a) 参照) は、主軸に測定器 (あるいは基準球) を取り付けるため、主軸を停止した状態で測定せざるを得ない。一方、提案法は、主軸が回転した、実際の加工と全く同じ熱状態で機械の運動誤差が評価できる。

これを確認するため、実験により比較を



(a) R-test 測定



(b) 工作精度試験

図 4 提案法と比較を行った試験法

行った。実際の加工中の機械の誤差は、工作精度試験 (図 4(b) 参照) によって調べた。その結果、提案法により、実際の加工中の機械の誤差が、正確に測定できることを示した。R-test 測定は、主軸を止めて誤差測定を行うため、図 3 の実験結果からも予想できるように、実際の加工中の精度とはかなり異なることを確認した。

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 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

1. 乾 裕貴, 茨木創一, 洪策符, 下池昌広, 西川静雄, 主軸回転による熱変形を考慮した 5 軸加工機の幾何誤差キャリブレーション法, 2017 年度精密工学会春季大会, 慶応義塾大学, pp.203-204, 2017.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称：工作機械の幾何誤差測定方法
発明者：茨木創一，洪策符，下池昌広，西川
静雄
権利者：国立大学法人京都大学，DMG 森精機
株式会社
種類：特許
番号：特願 2017-20876
出願年月日：平成 29 年 2 月 9 日
国内外の別： 国内

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

茨木 創一 (IBARAKI, Soichi)

広島大学・工学研究科・教授

研究者番号：80335190

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()