

NC工作機械の高精度運動制御  
のためのリニアスケールシステム  
に関する研究

2014年度

藤森 徹

## 主 論 文 要 旨

報告番号	甲 第 号	氏 名	藤森 徹
主論文題目： NC 工作機械の高精度運動制御のためのリニアスケールシステムに関する研究			
(内容の要旨) NC 工作機械の更なる高精度化にともない、切削抵抗や切削熱により生ずる運動誤差をリアルタイムに同定し補正する、運動誤差補正が必要となってくる。特に、加工精度 1 nm レベルの超精密加工領域では、その運動誤差を多軸間の関係において同定し補正する新たなリニアスケールシステムが必要である。 本研究では、そのスケールシステムの補正レベルを、第1段階として現状の高精度工作機械の加工精度である 0.1 μm レベル、第2段階として将来の超精密工作機械の加工精度である 1 nm レベルとして、それぞれの段階での新しいリニアスケールシステムを提案し、その実現可能性を検証することを目的としている。 第1章では、研究の背景とリアルタイム運動誤差補正の必要性、研究目標設定とそこに求められるスケールシステムについて概説している。 第2章では、0.1 μm レベルの高精度加工におけるリニアスケールシステムのスケールとして選定した磁気式リニアスケールについて、その精度をスケール単体と機械装着時で実測し、耐環境性能の評価実験を行い、それらの実験データをもとに、第3章で述べる第1段階の運動誤差補正用リニアスケールシステムのスケールとして十分な性能を有することを検証している。 第3章では、第1段階の運動誤差補正として、1軸毎に位置検出するリニアスケールにおいて、主位置検出方向だけでなく、実用的な精度で主方向に直交する2方向の運動誤差とをロール、ピッチ、ヨーまで検出できる新しいスケール構造を考案し、その位置検出能力が得られることを確認している。 第4章では、1 nm レベルの加工精度のために不可欠である多軸間誤差補正が可能な2次元スケール3組で構成される3次元空間位置検出スケールシステムを考案し、その2次元スケールとして pm レベルの分解能をもつホログラム方式2次元レーザースケールを試作している。また、その性能評価結果とスケールシステムを工作機械に搭載する際の構造案について述べている。 第5章では、多軸間運動誤差補正の実現に向けて、第4章で説明した2次元レーザースケール1組を実験機に搭載し、軸間リアルタイム運動誤差補正制御が可能であることを実験機のXYテーブル2軸間において実験検証している。 第6章では、各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果と今後の課題を述べている。			

## SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Integrated Design Engineering	Student Identification Number	SURNAME, First name FUJIMORI, Toru
<p>Title</p> <p style="text-align: center;">A Study on Linear Scale System for High Precision Motion Control of NC Machine Tools</p>		
<p>Abstract</p> <p>NC machine tools have started to require real-time motion error compensation in which the errors from cutting resistance and heat are identified and compensated, in accordance with the increase of higher accuracy machining requirement. In particular for ultra high precision machining at 1nm process accuracy level, machine tools expect linear scale systems to identify and compensate motion error with respect to the relations among multiple axis, which had not been realized by the existing systems.</p> <p>This paper defines two compensation levels by the scale systems, one at 0.1 <math>\mu\text{m}</math> as the present process accuracy of high precision machine tools, the other at 1nm as the future process accuracy required for ultra precision machine tools. The paper introduces a new linear scale system separately for each level and intends to evaluate the feasibility at each level.</p> <p>Chapter 1 gives overview of the background of this paper, the necessary of real time motion error compensation, objectives of the research and the scale systems required for those objectives.</p> <p>Chapter 2 explains actual measurements and evaluations by magnetic scale selected as the linear scale system for 0.1 <math>\mu\text{m}</math> process accuracy; such as accuracy measurements of the scale itself as well as on the machine and experiments on environmental resistance, for the verification of magnetic scale as the system for the 1st level motion error compensation which is explained further in Chapter 3.</p> <p>Chapter 3 introduces the construction of a new linear scale system for 0.1 <math>\mu\text{m}</math> process accuracy which can detect each axis at the direction of the main positioning detection as well as motion errors to two additional directions orthogonal to the main direction with respect to rolling, pitching and yawing at reasonable accuracy. Position detection capability of this new system has been verified in this chapter.</p> <p>Chapter 4 introduces a 3-dimensional position detecting scale system consisting of 3 pairs of 2-dimensional scale which enables error compensation among multiple axes, crucial at 1nm process accuracy. The 2-dimensional scale is based on hologram and its resolution reaches pm level, for which trial production has been completed. Chapter 4 also presents the results of performance evaluation in addition to design concept for the installation into the machine tools.</p> <p>In Chapter 5, for the realization of motion error compensation among multiple axis, the 2-dimensional laserscale introduced in Chapter 4 had been installed on the prototype machine and verified the possibility of multi-axis real time motion error compensation control between X and Y axis on the table of proto machine</p> <p>Chapter 6 gives summary of each chapter, outcome of this paper and future challenges.</p>		