

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560137

研究課題名(和文) 広領域表面テクスチャ生成のための加工システムと微小変位装置の開発

研究課題名(英文) Development of Machining System and Micro Surface Shape Measurement Device for Producing Wide-Area Surface Textures

研究代表者

白井 健二 (SHIRAI, kenji)

日本大学・工学部・教授

研究者番号：50256814

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は金属等の微細な凹凸形状すなわち表面テクスチャを作成するため、市販のツールシャンクに装着できる微小変位装置とその加工システムの開発である。この装置は加工箇所が一般の幾何形状に対してはボールねじの変位量によって、また、表面テクスチャ形状に対しては、圧電素子を組み込む。この表面は数百マイクロメートルの微小変位を有している。この様にして、それぞれの形状に対応できる加工システムを開発した。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research is develop a micro surface shape measurement device which can be attached to commercial tool shanks, and a machining system which can produce wide-area surface textures. This device has built-in PZTs for measuring micro displacement shapes of several hundred micrometers such as textured surfaces. On the other hand, general shapes are measured according to the displacement of the ball screw. By mounting the micro surface shape measurement device, the machining system developed can be used for producing various different shapes.

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：成形加工 微細加工 CAD/CAM PZT テクスチャ

1. 研究開始当初の背景

工業製品の表面には、製品の視覚・触覚品位及び機能性の向上を目的とした微細な凹凸すなわち表面テクスチャが加工されている。従来、表面テクスチャの作成はサンドブラストやエッチングによって行われてきたが、近年、表面テクスチャの微細形状をデジタル化し、直接、ミーリング加工により表面を作成する技術が開発されてきている。しかしながら、作業者の観点からするとデジタル化した形状データの記憶容量が庞大となり、それに対応して加工に長時間を要すること等に課題がある。更に工作機械に関しては、表面テクスチャの形状は微細であり、かつ広領域に加工される特徴を有するため、高さ方向すなわちZ方向の主軸の微小な繰り返し変位が長時間継続し、ボールねじや主軸ガイドレールに摩耗を引き起こす。

そこで本研究においては、駆動機構として摩擦のない微小変位装置を開発した。そして一般的な幾何形状の加工にはマシニングセンタ本体のボールねじの変位量に対応した加工を行うこととした。また、表面テクスチャの様な微小変位に対しては機構の変位量に基づいて加工を行うこととした。

上述の表面テクスチャ加工システムを実現するため、以下に示す2つの開発課題を設定した。

(1) 表面テクスチャ用 CAD/CAM システムの開発

(2) ツールシャンクを有する微小変位装置の開発

以下、それぞれの課題を内外における技術課題と対比して、その背景を述べる。

(1) 表面テクスチャ用 CAD/CAM システムの開発

表面テクスチャの設計はCGシステム及び形状処理の分野において多数の研究報告がなされており、種々の手法が提案されている。しかしながら、そこで扱われている技術は画

像データが中心であり、3次元形状ではない。そのため機械加工に用いるデータとしては直接、処理できない。そこで、研究代表者らは新しい表面テクスチャ CAD システムの開発を行ってきた。しかしながら、広領域の表面テクスチャを展開するために、テクスチャ合成(Texture Synthesis)技術を使用した場合、パッチ間の繋ぎ目やデータ容量の増大等に問題が生じ、テクスチャ形状の領域が限定されてしまう。また、大容量、高速の高機能のコンピュータを要求される。CAMシステムにおいては、表面テクスチャに対応した処理システムは存在しないため、工具経路の最適化が不可能に近く、現状では加工に長時間を要している。更に、図1に示すように一般の幾何形状と表面テクスチャ形状との加工においては高さ方向の工具移動を2タイプに分離せざるを得ず、それぞれの駆動機構に対して同期をとり変位させる必要がある。したがって開発するCAMシステムもこれらに対する処理を行う必要がある。

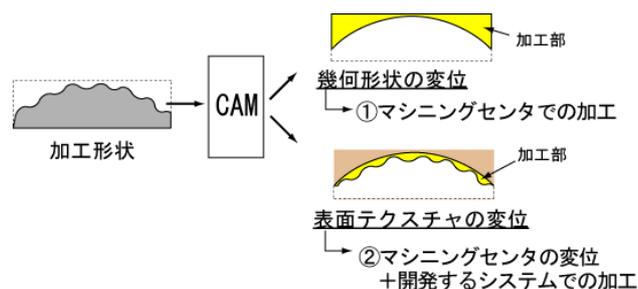


図1 加工形状の形状分解

(2) ツールシャンクを有する微小変位装置の開発

微小変位機構を有するツールシャンクは工作機械の主軸に直接設置することから超音波振動切削装置と類似している。しかしながら、この装置が一定の振幅を持つ振動であるのに対し、今回、開発したツールシャンクは表面テクスチャ形状に対して変位の制御をするものである。研究代表者らはこれまでの研究において、圧電素子すなわちPZTを組み込んだマイクロスピンドル用の変位装置

を開発し、加工実験を行ってきた。しかしながら、この変位装置の寸法は、一般の工作機械の主軸端に装着できるように規格化はされていない。この装置の概観写真を次の項目の図4に示す。そこで、変位機構を更に小型化し、より小さなマイクロスピンドル（BM-319F, 設備備品費として計上）を搭載した規格化されたツールシャンクを持つ変位装置を開発することとした。開発した微小変位装置の図を図2に示す。この主軸端に接触するシャンク部は BT シャンクまたは HSK シャンクを使用している。

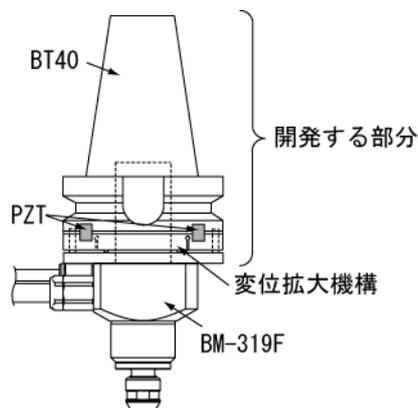


図2 微小変位装置の概要

2. 研究の目的

本研究においては金属等の微細な凹凸形状の表面テクスチャを加工するため、規格化された市販のツールシャンクに装着する微小変位装置用の加工システムの開発を目的としている。現在、市販されているマシニングセンタのスピンドルヘッドは重量が大きいので、その駆動機構のボールねじが過負荷状態になってしまう。また表面テクスチャ加工の様な微小な動きを連続的に行う場合には、ボールねじへの負荷が長時間に及び、スピンドルヘッドを支えるスライダレールに局所的な繰り返し摩耗が発生し、加工機に対して限界を超える荷重がかかる。そこで、被削材の加工部が一般的な幾何形状に対してはボールねじの変位量に従って、また、表面テク

スチャの様な数百 μm 程度の微小変位を繰り返す形状に対しては、今回開発した圧電素子を組み込み、それぞれの形状に対応した加工を行う。

3. 研究の方法

本研究は研究代表者、研究分担者及び2名の補助学生により実施した。研究は上述の「研究目的」の表1に示す研究課題(1)~(3)について実施した。以下、その研究計画・方法を示す。

平成23年度は主に、表面テクスチャを作成するためのCAD/CAMシステムと微小変位装置を開発した。CAMシステムと微小変位装置の開発並びに検証は研究代表者(白井)が行った。また、表面テクスチャCADシステムは既に開発実績のある研究分担者(小林)が担当した。更に、実験の補助として大学院生を充当した。

以下、実施した研究代表者、研究分担者及び大学院生の研究分担を示す。

白井 CAD/CAMの仕様検討、CADプログラム作成、装置の詳細設計、装置部品加工・組立・実験、加工実験、CAMプログラムの改良、最終実験、論文、報告書の作成

小林 CADの開発、CADプログラムの改良

システム総合

院生(2名) CADプログラム検証、データ作成、装置の動作実験、評価、加工、塗装実験の補助

また、以下に実施した研究テーマについて、研究計画とその方法を示す。

(1) 表面テクスチャ用CAD/CAMシステムの開発

基本となる表面テクスチャCADシステムは小林によって基本部は開発済みである。図3に開発したCADシステムより設計した表面テクスチャパターンの一例を示す。このように、種々のパターンを設計できる。しかしながら、

データ量が膨大となる広領域への展開や幾何形状への表面テクスチャのマッピングの不備等未完の部分もある。そこで、これらの未完部分を改良し、実用に供するCADシステムの構築を目指した。システムの開発は小林が行い、開発したCADシステムの検証及びデータ作成は小林、大学院生2名（畠山浩史、山岸謙太）により行った。また、微小変位装置の開発と共に、専用CAMシステムの開発を白井が行った。

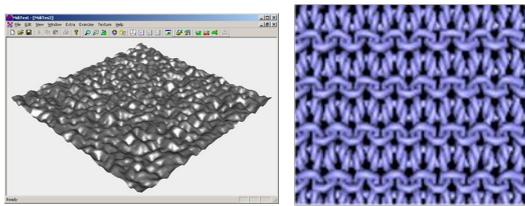


図3 設計したテクスチャパターン例

(2) ツールシャンクを有する微小変位装置の開発

図2に示した微小変位装置の開発を行った。今回開発する微小変位装置は規格化されたシャンク部（BTシャンク 或いは HSK シャンク）が変位機構と一体化しており、通常のマシニングセンタに簡単に取り付けることができるよう工夫されている。

これまでの研究においてシャンク部のない微小変位装置を開発し、3軸加工機に搭載し、加工を行った。この変位機構を応用し、今回、新装置を開発した。この装置はてこの原理によりPZTの変位を拡大し、その拡大された変

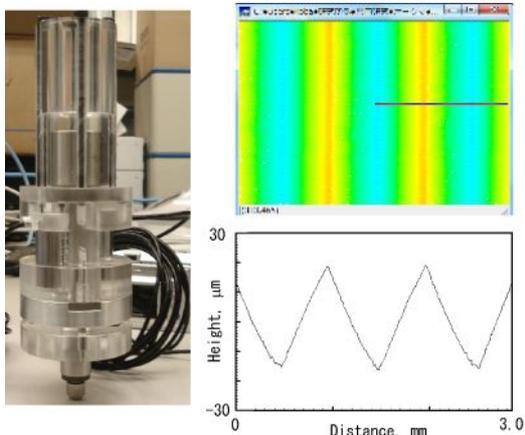


図4 既存研究で開発した微小変位装置と加工例

位をマイクロスピンドル部の可動部に伝達する構造である。

図4にこの装置写真と三角波の加工例を示すが、精度よく加工されていることがわかる。また、部品加工実験には大学院生を補助者として研究に参画させた。

4. 研究成果

(1) 表面テクスチャ用CAD/CAMシステムの開発

表面テクスチャは、製品表面に多く使用されているシボ面の大きさを示す深さ10~100 μm 、周期数100 μm 程度の形状を設計対象としている。また、開発したCADシステムに求められる機能は、形状のパラメトリック設計及び画像からの3次元表面の作成、テクスチャ合成機能、データ容量削減のためのデータ圧縮技術等である。

CAMシステムは図1に示すように、マシニングセンタのステージの移動と微小変位装置の変位の同期を取り、表面テクスチャ形状に対応した加工用アルゴリズムを開発した。

(2) ツールシャンクを有する微小変位装置の開発

図2に開発した装置を示すが、この装置の仕様は上述の研究課題(1)で作成した表面テクスチャ形状を想定し、最大変位150 μm 、分解能0.1 μm 、周波数100Hzを目標値として開発する。

(3) 加工実験及び評価

本研究における最終的な目標は、表面テクスチャを高速かつ広領域に加工することにある。そこで開発した微小変位加工システムを一般のマシニングセンタに搭載し加工実験を行い、加工の速度、精度及び可能領域等を調査し、表面テクスチャの広領域加工に反映させた。具体的には自動車のインナーパネルの加工を想定し、0.25 m^2 の領域を48時間以内で加工できるシステムを開発した。

コンピュータの性能向上により表面テク

スチャを製品表面に直接ミーリング加工する試みは近年盛んになりつつある。これによって、金型分野においては大幅に納期が短縮されている。また様々な表面のデザインをコンピュータ上で作成できるため、意匠性の向上に寄与することができる。しかしながら、現在のマシニングセンタは表面テクスチャの生成に必要とされる微小な変位を長時間必要とする加工には向いていない。すなわち機械の摺動部が摩擦により摩耗・破損するためである。そこで、PZT を用いた新たな微小変位装置を開発することにより、摩耗量の少ない高速加工システムを実加工させた。更に、この装置の開発により、旧式のマシニングセンタにこのシステムを装着することにより高速加工のみならず、微細加工も可能な加工機に更新することができ、新しい加工システムを創成できた。

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 20 件),

近藤司, 樋渡晃弘, 山田誠, 白井健二: 工具切れ刃位置性能を考慮した 3+2 軸 NC 加工法の研究, 函館工業高等専門学校紀要第 47 号, 査読有, pp25-30, 2013.4

溝口知広, 小林義和, 白井健二, 若林裕之, 原靖彦, 子田康弘, 岩城一郎, 李和樹: 地上型レーザスキャナを用いた森林バイオマス推定のための樹木パラメータの全自動推定手法, 日本大学工学部紀要第 54 巻第 2 号, pp45-50, 2013.3

小林純, 畠山浩史, 溝口知広, 小林義和, 白井健二, 近藤司: 広領域梨地表面の作成法の提案と実加工, 日本大学工学部紀要第 54 巻第 2 号, 査読有 pp35-38, 2013.3
A.Watanabe, T.Mizoguchi, Y.Kobayashi, K.Shirai: Adhesion Control of Control

of Coating Film by Texturing, ASPE2012 Annual Meeting, 査読有, 2012.10.23

渡辺暁, 溝口知広, 小林義和, 若林裕之, 原靖彦, 白井健二, 岩城一郎, 子田康弘, 李和樹, 近藤司: テクスチャ処理による塗装膜の付着性制御と評価, 日本大学工学部紀要第 54 巻第 1 号, 査読有, pp29-32, 2012.9

小林純, 溝口知広, 小林義和, 白井健二: 広領域梨地表面の加工と品質評価, 型技術 Vol.27 No.7, 査読無, pp78-79, 2012.7
H.Oyama, T.Mizoguchi, Y.Kobayashi, K.Shirai: Development of Omni-directional Miniature Robot for Maching, euspen2012, 査読有, pp503-506, 2012.6.4

A.Watanabe, T.Yoshida, T.Mizoguchi, Y.Kobayashi, K.Shirai: FUNDAMENTAL STUDY OF COATING USING ELECTRICALLY POWERED SLIDERS, ASPE2011 Annual Meeting, 査読有, CD-R 4 pages, 2011.11
T.Mizoguchi, Y.Kobayashi, K.Shirai, S.Kanai: Parts Identification and Motion Estimation on CT Scanned Assembly Meshes, SIGGRAPH2011, 査読有, 2011.8

T.Mizoguchi, Y.Koda, Y.Kobayashi, Iiwaki, Y.Hara, K.Shirai, Hwa-Soo Lee, H.Wakabayashi: QUANTITATIVE DAMAGE ASSESSMENT OF CONCRETE STRUCTURES BASED ON 3D LASER SCANNING, IGARSS2011, 査読有, pp2129-2132, 2011.7

T.Yoshida, T.Mizoguchi, Y.Kobayashi, K.Shirai: Development of Micro-Object Position Detection System for the Automation of Robot Hand, euspen2011, 査読有, pp93-95, 2011.5.25

[学会発表](計 50 件)

齋藤康平, 藤原雅美, 高木秀有, 小林義和, 白井健二: 延性二相組織の高温変形

に及ぼす強化相の影響に関するFE解析, 2013年度精密工学会東北支部学術講演会, pp43-44, 2013.12.7, たざわこ芸術村(仙北市)

渡辺暁, 溝口知広, 小林義和, 白井健二: プルオフ法を用いたテクスチャリングによる塗膜の表面機能の定量的評価, 2013年度精密工学会春季大会学術講演, pp327-328, 2013.3.13, 東京工業大学大岡山キャンパス

小林純, 溝口知広, 小林義和, 白井健二: 広領域梨地表面の形状作成と実加工, 第55回日本大学工学部学術研究報告会, pp63-64, 2012.12.1, 日本大工学部

小林義和, 溝口知広, 白井健二, 稲田明弘, 山口誠二: 表面テクスチャによる射出成形樹脂の流れ制御, 精密工学会秋季大会学術講演会, pp559-600, 2012.9.16, 九州工業大学戸畑キャンパス

小林純, 溝口知広, 小林義和, 白井健二: 広領域梨地表面の加工と品質評価, 型技術者会議 2012, pp184-185, 2012.6.21, 大田区産業プラザ PiO

渡辺暁, 溝口知広, 小林義和, 白井健二: テクスチャリングによる塗装膜の付着性制御, 2012年度精密工学会春季大会学術講演会, pp73-74, 2012.3.14, 首都大学東京南大沢キャンパス

小林純, 溝口知広, 小林義和, 白井健二: イメージキルティングによる広領域テクスチャの作成法の提案, 第54回日本大学工学部学術研究報告会, pp69-70, 2011.12.3, 日本大学工学部

畠山浩史, 溝口知広, 小林義和, 白井健二: 梨地表面の作成に関する研究, 第54回日本大学工学部学術研究報告会, pp59-60, 2011.12.3, 日本大学工学部

渡辺暁, 溝口知広, 小林義和, 白井健二: 基板のテクスチャ処理による塗膜の付着性制御, 計測自動制御学会東北支部第

268回研究集会, 2011.11.26, 日本大学工学部

畠山浩史, 溝口知広, 小林義和, 白井健二: 広領域梨地表面の作成法とその表面加工, 型技術ワークショップ 2011in 岐阜, pp76-77, 2011.11.21, じゅうろくプラザ

渡辺暁, 溝口知広, 小林義和, 白井健二: 金属板の基板表面のテクスチャリングによる塗膜の付着性制御, 2011年度精密工学会秋季大会学術講演会, pp367-368, 2011.9.22, 金沢大学角間キャンパス

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

取得状況(計1件)

名称: 圧電素子変位拡大機構及びそれを利用する表面テクスチャ加工装置

発明者: 白井健二, 小林義和, 若岡俊介

権利者: 日本大学工学部, オークマ株式会社

種類: 特許

番号: 特許第 5327447 号

取得年月日: 2013年8月2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

白井 健二 (SHIRAI, Kenji)

日本大学・工学部・教授

研究者番号: 50256814

(2) 研究分担者

小林 義和 (KOBAYASHI, Yoshikazu)

日本大学・工学部・准教授

研究者番号: 60277390