

機関番号：12612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009年度～2010年度

課題番号：21760096

研究課題名(和文) 力覚呈示装置を利用した多軸制御工作機械操作インターフェースの開発

研究課題名(英文) Development of Operation Interface for Multi-Axis Controlled Machine Tools Using Haptic Device

研究代表者

森重 功一 (MORISHIGE KOICHI)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：90303015

研究成果の概要(和文)：本研究は、多軸制御工作機械を操作するための新たなインターフェースとして力覚呈示装置を用いることにより、複雑な形状であっても、従来の手法より直感的かつ効率的に加工できる機能を開発することを目的としている。システムが具備すべき基本機能について検討し、加工状況の描画および切削感覚や工具干渉を呈示する機能をプログラムとして実装した。さらに、開発したプログラムを用いて出力した工具経路データを用いて行った検証実験の結果についても報告している。

研究成果の概要(英文)：This study aims at developing the machining system that enable to make complicated shapes more intuitively and efficiently than a conventional way by using a haptic device used in the field of virtual reality as the new operation interface intended for multi-axis controlled machine tools. In this study, the basic function that the system should fulfill is examined. As the first step, the function of tool path generation was developed, and some machining experiments were performed by using tool paths generated with the developed system.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：5軸制御加工、バーチャルリアリティ、力覚呈示装置、マンマシンインターフェース、CAM、切削、工具経路、工作機械

1. 研究開始当初の背景

近年、NC (Numerical Control) 化された工作機械によって、生産効率や加工精度の向上が図られてきた。現在では制御軸数をさらに増加させることにより、より複雑な加工を可能とした多軸制御工作機械が広く利用されている。

多軸制御加工の場合は、機械の複雑な動き

を実現するために、主にCAMなどで作成したNCデータを用意しているが、作業者が意図する動きを反映したNCデータを作成するには、多くの時間と知識が必要となる。

一方、試作品や金型などの一品ものの加工の場合は、些細な加工の場合でもCAMによる作業の段階から検討しなければならず、効率が悪くなる。NCデータを用いずに加工する場

合は、機械に付属したインターフェイス機能を利用して、機械を直接操作することになるが、多軸制御工作機械の操作は汎用機より煩雑で難度も高く、導入から実際の運用までには、ある程度の時間とコストを要する。また、現在の工作機械の操作パネルの仕様も、数十年間大きな変更は見られず、操作性を意識したものとは言い難い。以上のような背景から、作業者が機械の複雑な特性を意識することなく容易に操作できるように、作業者と工作機械の間を取り持つインターフェイス機能について検討する必要があると考える。

2. 研究の目的

物体の位置と姿勢を呈示するためのインターフェイス機器として、バーチャルリアリティの分野で研究されている力覚呈示装置 (Haptic Device、以後 HD) をあげることができる。HD は、仮想空間を操作するための道具であり、ディスプレイなどに表示された計算機内の仮想オブジェクトに触るなどの操作をすると、衝撃や反動、振動、惰性、慣性などの物理的な力覚が作業者に伝達され、重さや硬さとして感じることができる。

本研究は、多軸制御工作機械を操作するための新たなインターフェイス機器として HD を用いることにより、複雑な形状であっても、従来の手法より直感的かつ効率的に加工できる機能を開発することを目的としている。

3. 研究の方法

図 1 に、本研究で最終目標としているインターフェイス機能の運用予想図を示す。

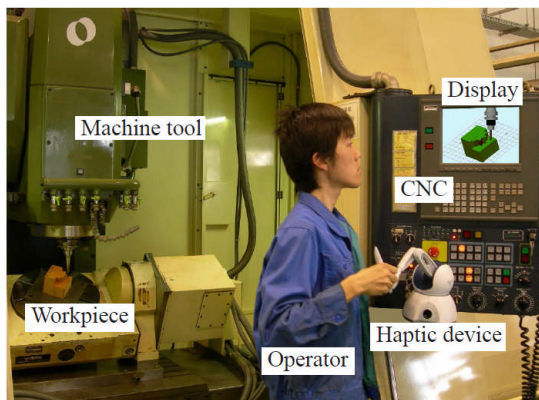


図 1 システム運用の様子

3.1 加工状況の描画

素材の加工状況を実時間で把握することは、加工効率や安全性の点で重要である。そこで、加工による素材形状の変化を、Voxel モデルを用いて視覚的に表現した。

本研究では、最終的な仕上がり形状を目標形状、素材形状から目標形状の差をとったものを除去形状と呼んでいる。反力の生成には面データが必要なため、目標形状はポリゴン

モデルで表現している。

一方、内部空間を Voxel で離散的に定義する Voxel モデルは、工具がモデル内部に侵入する切削状態を表現するのに適しているため、除去形状は Voxel モデルで表現する。仮想工具の有効切れ刃に接触した Voxel を描画から消去することにより、素材形状の変化を実時間で表現する。本機能で切削状態を描画している例を図 2 に示す。

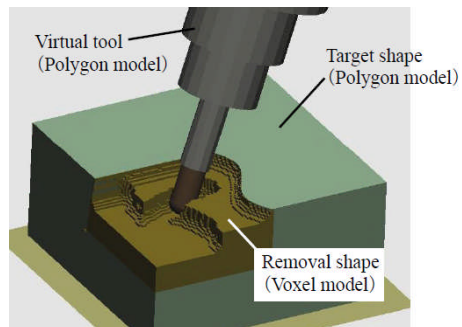


図 2 加工状況の描画

3.2 切削感覚の呈示

本研究では、仮想工具で Voxel モデルを切削する時に、HD を介して作業者に切削感覚を呈示し、視覚と触覚の両面から加工状況を把握できるようにしている。HD は、摩擦力や粘性力、復元力などを仮想的に再現できる。ここでは、工具を速く動かすと抵抗が増すことを再現するために、粘性力として切削抵抗を呈示した。粘性力は、仮想工具の速度ベクトルの逆ベクトルに、粘性係数に相当するパラメータを掛けて定義する。そして、Voxel モデルと有効切れ刃が接触すると同時に切削抵抗を出力する。

3.3 工具の干渉検出と干渉回避

5 軸制御加工では、工具と被切削物の干渉を考慮することが重要である。開発したシステムでは、除去形状と工具の干渉を検出する機能と、目標形状と工具の干渉を回避する機能を付加して、干渉が生じる CL の生成を防いでいる。

素材の未切削部分と工具の干渉を回避するため、加工状況に合わせて形が変化する除去形状の Voxel モデルと、仮想工具のシャンクおよびホルダー部分の干渉を監視する。図 3 に示すように干渉が検出された場合、工具を赤くするなどして作業者に警告すると共に、CL の生成を一時的に停止する。

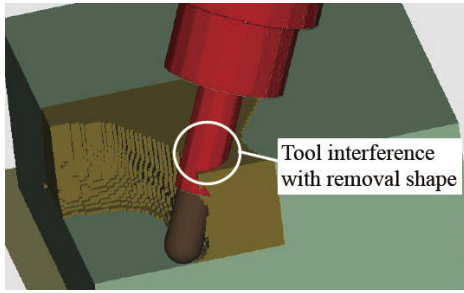


図3 未切削部分と工具の干渉の検出

目標形状と仮想工具はポリゴンモデルであり、この二つの物体の干渉を回避するには、多面体同士の多点干渉を計算する必要がある。本研究では、株式会社スリーディー製のリアルタイム干渉深度計算ライブラリ SmartCollision SDK を利用した。

図4でワイヤーフレーム表示されている工具は、HDの動きと同期している仮想工具であり、多点干渉は考慮されていない。この工具を操作工具と呼ぶ。ポリゴンで表示されている工具は、多点接触位置にある仮想工具である。この工具を接触工具と呼ぶ。CLとしては、干渉のない接触工具の工具中心点座標と工具軸ベクトルが出力される。

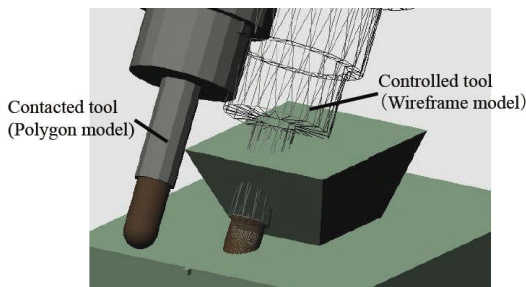


図4 目標形状と工具の干渉の回避

さらに、ボールエンドミル以外の工具による加工にも対応した。例えば、スクエアエンドミルは工具中心点を固定しても工具姿勢によって切り込み深さが変化するため、同時5軸制御加工のCL生成が困難である。しかし、多点干渉計算によって切れ刃と加工面の多点接触を再現すれば、図5に示すように加工面に接する姿勢の工具中心点を取得できる。こうして得られた工具中心点と姿勢をCLとすることで、オーバーカットなどのないスクエアエンドミルによる加工を実現できる。

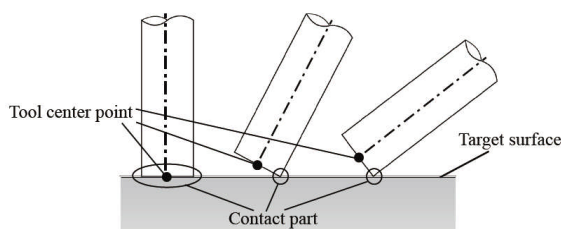


図5 多点接触を考慮したスクエアエンド

ミルの工具中心点の算出

4. 研究成果

本システムの有効性を示すために、オーバーハングした隅肉部分の加工実験を行った。図6に示すようなR5のフィレット部分をR2のフィレット形状に加工した。工具として突き出し長さを20mmとしたR2ボールエンドミルを用いたが、力覚によって工具と目標形状の干渉を意識することなく、直感的にCLを生成することができた。また、意図的に仮想工具の有効切れ刃以外の部分と未切削部分を干渉させたが、除去形状と仮想工具の干渉を検出する機能により、加工中には干渉が生じないことを加工シミュレーションで確認した。加工結果を図7に示す。

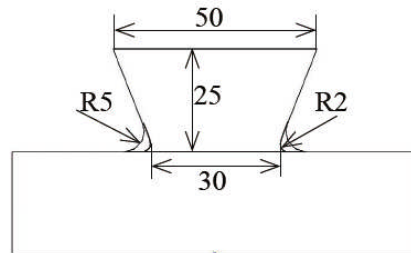


図6 加工形状の断面

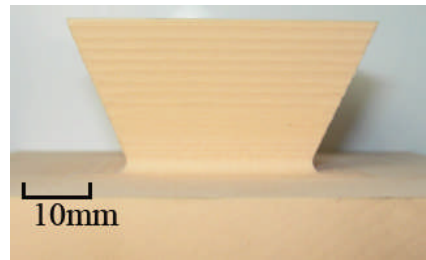


図7 加工結果

本研究は、作業者が直感的にCLを生成できるように、加工の進捗状況を描写する機能、力覚を利用して切削感覚を呈示する機能、未切削部分との干渉を検出する機能を実装した。また、工具の多点干渉を計算して、目標形状と工具の干渉を力覚で回避する機能、スクエアエンドミルで5軸制御加工に対応する機能を開発した。その結果、より直感的な仮想工具の操作が可能となり、容易にCLを生成することができた。さらに実験により、隅肉などの部分的な箇所を、工具干渉やオーバーカットを生じることなく同時5軸制御加工が行えることを確認した。

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4件)

- ① Koichi MORISHIGE and Makoto KANEKO: Tool Path Generation for Five-Axis Controlled Machining with Consideration of Motion of Two Rotational Axes, Proceedings of 4th CIRP International Conference on High Performance Cutting (HPC2010), VOL. 2, pp. 153-158 (Gifu, Japan, 24-26 October, 2010), 査読有
- ② Koichi MORISHIGE and Yu YAMAGISHI: Development of Operation Interface for Multi-Axis Controlled Machine Tools Using Haptic Device with 6-DOF Force Feedback, Proceedings of 2010 International Symposium on Flexible Automation (ISFA2010), CD-ROM, JPS-2523 (Tokyo, Japan July, 12-14, 2010), 査読有
- ③ Takuya MASUDA and Koichi MORISHIGE: The Tool Path Generation by Using Configuration Space for Five-Axis Controlled Machining - Application to Rough Cutting by Using Square End Mill -, Key Engineering Materials, Vols. 447-448, pp. 292-296 (2010), 査読有
- ④ 金子 誠、森重功一: 回転2軸の動きを考慮した5軸制御加工用工具経路生成法、精密工学会誌、第76巻、第1号、pp. 101-105 (2010.1)、査読有

[学会発表] (計7件)

- ① 増田拓也、森重功一: C-Spaceを用いた5軸加工のための工具経路生成法 - スクエアエンドミルによる加工への対応 -, 日本機械学会 第8回生産加工・工作機械部門講演会講演論文集、pp. 113-114 (2010.11.19、岡山)
- ② 小堀周平、森重功一: 6DOF Haptic Deviceを用いた工作機械操作インターフェイスの開発 - 切削感覚の呈示と工具姿勢の誘導 -, 2010年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集、pp. 405-406 (2010.9.29、名古屋)
- ③ 森重功一、上江州 亘、前田未智人: 機械構造の干渉を考慮した5軸制御加工用工具経路生成法、型技術者会議 2010 講演論文集、pp. 188-189 (2010.6.16、東京)
- ④ 森重功一、山岸佑羽: 力覚6自由度 Haptic Deviceを用いた工作機械操作インターフェイスの開発、型技術ワークショップ 2009 in 金沢 講演論文集、pp. 98-99 (2009.11.16、金沢)

- ⑤ 森重功一、上江州 亘: 機械構造の干渉を考慮した5軸制御加工用工具経路生成法、日本機械学会 2009年度年次大会講演論文集 Vol. 4, pp. 333-334 (2009.9.14、岩手)
- ⑥ 増田拓也、森重功一: C-Spaceを用いた5軸加工のための工具経路生成法 - スクエアおよびラジアスエンドミルによる加工への対応 -, 2009年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集、pp. 829-830 (2009.9.10、神戸)
- ⑦ 森重功一、金子 誠: 回転軸の運動を抑制した5軸制御加工用工具経路生成法、型技術者会議 2009 講演論文集、pp. 172-173 (2009.6.17、東京)

[その他]

ホームページ :
<http://www.ims.mce.uec.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森重 功一 (MORISHIGE KOICHI)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・
准教授

研究者番号 : 90303015