

平成 22 年 6 月 11 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760080
 研究課題名（和文） 同時多軸制御加工の高速・高能率化を目的とした工具姿勢決定法の開発
 研究課題名（英文） Development of tool posture planning method for multi axis control machining to realize high efficiency
 研究代表者
 金子 順一（JUNICHI KANEKO）
 埼玉大学・大学院理工学研究科・助教
 研究者番号：80375584

研究成果の概要：工作機械の制御方法として普及しつつある同時多軸制御における諸問題（工具・加工対象物間の衝突、直進軸・回転軸の急激な運動による加工速度の低下）を考慮し、これらを共に回避することのできる工具姿勢変化を計画する手法の開発を行った。システムの実装では 3DCG 描画用のグラフィックハードウェアを用いた並列処理アルゴリズムを開発し、実用的な時間内での計画を可能とした。

In this study, we develop new planning method of tool posture change in multi axis control machining. In the developed method, machine tool can avoid both collision between cutting tool and workpiece shape and rapid acceleration in rotary axes. And, we developed a new parallel processing algorithm by graphics hardware to finish the proposed method of tool posture planning in short time.

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：CAM、同時5軸制御、切削、マシニング、GPGPU、GPU

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年の汎用 NC 工作機械には、被削物に対する相対的な工具姿勢を加工中に変更可能な同時 5 軸制御機能が標準的に搭載されつつあり、工具姿勢の決定が NC プログラムの作成において重要な役割を占めるようになってきている。従来の工具姿勢決定法は工具軸・シャンクと被削物・把持具との衝突回避を主な目的としており、2次元極座標空間を用いた姿勢候補表現によって連続的な工具姿勢の変化が実現されてきた。

(2) 多軸制御加工における加工精度および加工面の性状には直進軸と回転軸の動作の同期が大きな影響を与えていることが知られ

ており、特に回転軸の同期遅れが誤差の原因となる。従来の工具姿勢決定法はこれらの現象を陽に考慮して工具姿勢を決定することができず、加工精度の保証が難しい問題があった。

(3) さらに最近では、回転軸駆動システムへのダイレクトドライブモータ(以降 DD モータと略す)の導入により、直進軸が回転軸の加速に追従できない問題が発生している。

(4) これまで、直進軸の駆動量は工具姿勢決定後にテーブルと被削物との相対位置・工作機械の軸構成等からポスト処理を経て決定するものとされてきた。そのため工具姿勢決定の段階では直進軸に与えられる加速度を

比較・参照することはできず、直進軸の許容加速度を陽に考慮して工具姿勢を決定することは困難であった。

2. 研究の目的

本研究では、以下の項目を満足する工具姿勢計画法を確立することを目的とした。

- (1) 新しい加工状態記述法の開発：工具刃先の通過軌跡上の各点(CL:CutterLocation)に対して、工作機械の回転軸がとりうる角度の組み合わせとその際の直進軸の状態を記述する状態記述法を開発する。
- (2) 工作機械駆動位置情報を用いた工具姿勢変化の計画法の開発：各 CL 上での加工状態を連続的に参照し、すべての CL において設定した条件(直進軸変化速度、回転軸変化速度)を満たすことのできる工具姿勢の変化を計画する手法を開発する。
- (3) 並列処理計算技術の導入による処理時間の短縮：各 CL においてにおける加工状態の導出および多数の CL における状態の参照について、従来の CPU を用いた幾何演算に加えてグラフィックハードウェア(GPU)を用いた並列処理演算を利用する計算技術を開発し、処理時間の大幅な短縮を図る。

3. 研究の方法

本研究では、一般的なデスクトップPC上でグラフィックスライブラリ(OpenGL、GLSL)および並列計算ライブラリ(CUDA)を用いてソフトウェアシステムを構築した。また、工作機械の調査として、一般的な縦型の同時5軸制御マシニングセンタおよび旋盤型複合加工機、デスクトップフライス盤を改造した電子基盤切削用多軸制御加工機のそれぞれについて軸可動範囲および加工速度の調査を行った。

4. 研究成果

本研究で開発した工具姿勢決定法の概要を図1に示す。従来のCAMソフトウェアシステムにおいては、工具姿勢の決定はポスト処理前のモデル座標系の上で行われ、工作機械の軸構成・把持位置等の状態を反映することができなかった。

これに対し開発した決定法では、工具経路上の各 CL における干渉および各軸の位置情報を、M-Map(Machine/Mercator Map)と呼ばれる状態記述法によって可視化し、これを参照して連続的な工作機械の各軸の運動を計画している。

図2は本研究で開発した M-Map の概要を示す。2次元平面上で直交する各軸の座標を5軸制御工作機械が有する回転2軸のそれぞれとし、2次元平面上の各点における直進軸の位置を正規化された色情報で表す。このとき、工具と加工対象物に干渉が生じる部分で

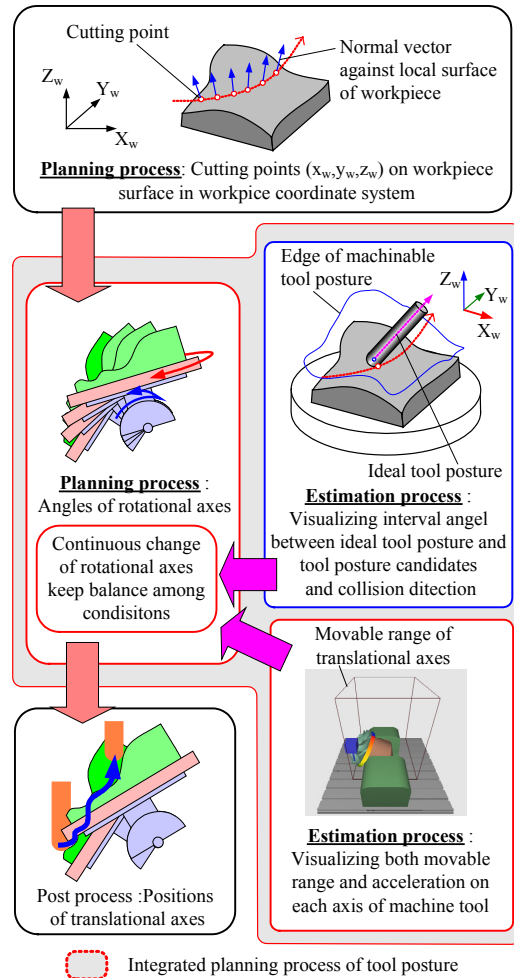


図1 機械座標空間およびモデル座標空間の双方の状態を参照した工具姿勢決定法

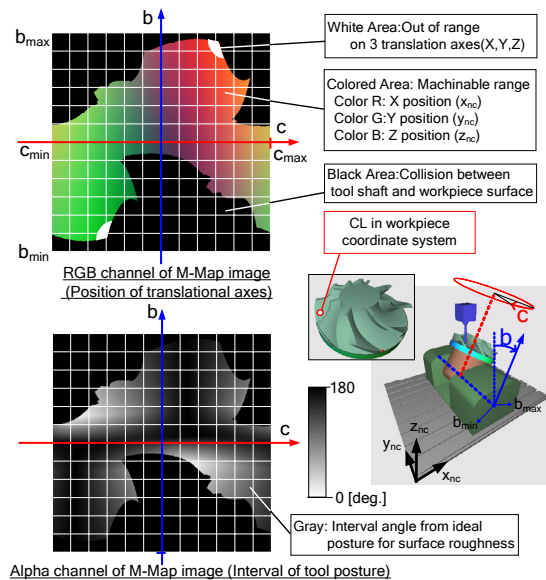


図2 直交座標表現を用いた各工具刃先位置における加工状態表現 (M-Map 法)

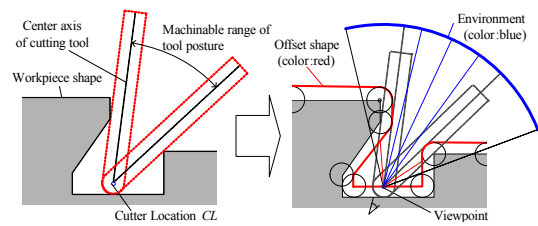
は黒色を、工作機械の直進軸が可動範囲を超える部分には白色を、それぞれ与える。これを各 CL において参照し、加工が可能な回転軸の指令値の組み合わせの中で直進軸の位置が急激に変化しない領域を選択することによって工具姿勢の計画が可能となる。

この M-Map は、微小間隔ごとに回転 2 軸の姿勢位置を分割して代表点を設定し、それぞれの代表点における指令値に対応する直進軸の位置をポスト処理によって導出している。これらの工具姿勢における干渉の検出とポスト値の導出を高速化するために開発した並列処理の概念を図 3 に示す。本手法では、工具と加工対象物との干渉検出を図 3 (a) に示す描画処理に置き換えて実施している。工具軸半径分オフセットした加工対象物形状に対し、工具刃先中心を視点とした視界を設定すると干渉が生じない工具姿勢に相当する視線には背景色が映る。そこでこれらの描画を 6 回行い、その後図 3 (c) に示すように非線形参照関数を用いて合成することにより、M-Map 上での干渉の状態を高速に可視化することが可能となる。

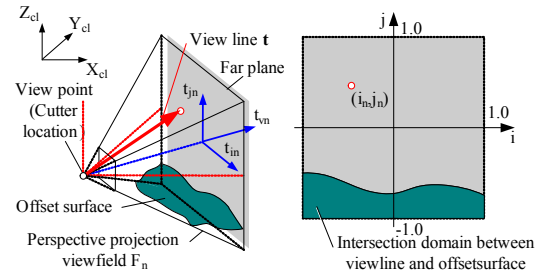
また、加工可能な工具姿勢における直進軸の計算においても、グラフィックスハードウェア上でのテクスチャ演算機能を利用し、ポスト処理を並列化することで高速化を果たしている。

複数の CL における M-Map の参照と連続的な工具姿勢変化の導出では、M-Map の導出と同様にグラフィックスハードウェアを用いた描画処理による可視化技術 (CAVE: Configuration Arrays for Visual Estimation) を開発した。図 4 はその概要を示す。各 CL において得られた M-Map を、テクスチャと呼ばれる物体の模様として 3 次元空間上の矩形に貼付け、この中で加工が可能な領域の透明度を 1 として視線を透過させる。そして、この 3 次元空間の奥行方向を時間の進展、縦横を回転 2 軸の指令位置とみなして各 CL に対応する矩形を工具が CL を通過する時間に合わせて配置する。このとき、奥行方向に設定された視線がいずれの矩形領域とも交差せず、背景色を得ることができればこれに相当する工具姿勢変化において加工が可能であると考えられる。

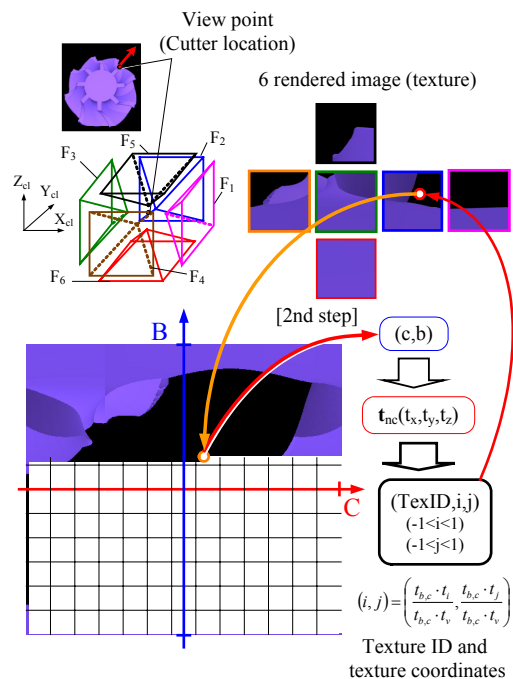
コンピュータグラフィックスの描画機構では通常、視界を構成する視線は視点より直進する。そのため、通常の描画処理では図 5 に示すように時間経過に対して一定の増加を行う回転 2 軸の運動しか評価できない。この問題に対して、本研究では矩形領域を逆に変形させて同時 5 軸制御加工における干渉発生を検出する D-Spatial 法 (Distorted Spatial-temporal distribution method) を開発した。これにより、多数の CL を通過する工具姿勢変化の計画を短時間で実施する



(a) 加工対象物表面のオフセット形状の描画による工具干渉の検出



(b) 透視投影視界による干渉状態の取得



(c) 非線形参照関数による干渉状態の導出

図 3 CG 描画用ハードウェアを用いた工具干渉検出の並列処理アルゴリズム

ことが可能となった。

図 6 は本研究で提案した工具姿勢決定法をもとにプロトタイプのソフトウェアシステムを開発し、これを用いて姿勢決定を行った例を示す。図 6 (b) に示した加工対象物形状上の CL に対して、開発したシステムでは 512×512 の格子点に分割された M-Map の色情報を CL 1 点あたり平均 32ms 以内に導出することができた。また、CAVE および D-Spatial 法を用いた工具姿勢変化の探索では、84 点の CL を通過する回転 2 軸 (B 軸お

よびC軸)の駆動位置を経過時間を変数とするG1連続な3次のBezier関数によって直接導出することが可能であり、導出に必要な時間も80msと非常に短い時間内に連続的な工具姿勢変化を計画することができた。

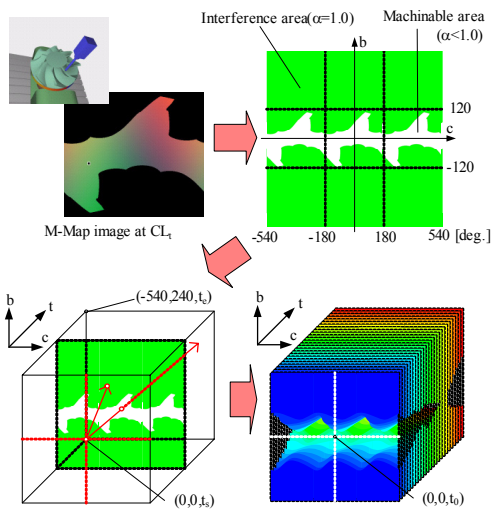
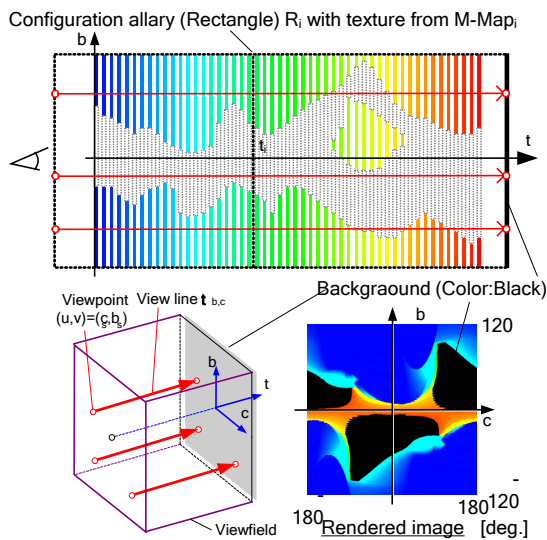
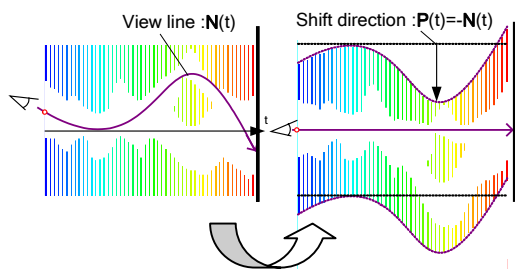


図4 透明度テクスチャ情報を用いた視線透過による干渉発生時間の検出

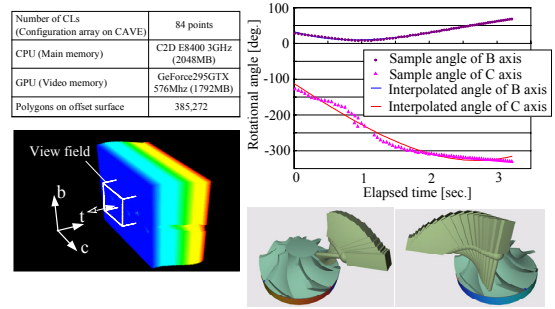


(a) CAVEによる3+2軸制御加工における干渉発生時間の検出



(b) D-Spatial法による時空間の震曲

図5 描画処理による干渉発生時間の検出



(a) 描画された加工対象物形状と変形後のCAVE (b) 加工対象物形状と計画後の工具姿勢変化

図6 試作システムによる評価結果

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1件)

- ① 金子順一、堀尾健一郎、同時5軸制御加工における工具姿勢の工作機械旋回軸座標空間を用いた計画法-工具姿勢決定機構への指令値候補に対する干渉状態と直進軸指令値の可視化-、精密工学会誌、75、530-535、2009、査読有

[学会発表] (計3件)

- ① 金子順一、堀尾健一郎、2次元直交座標表現を用いた5軸制御加工の工具姿勢計画法-BEZIER曲線に基づく連続的な旋回テーブル駆動指令値の決定-、2009年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集、1055-1056、2009、査読無
- ② 金子順一、堀尾健一郎、2次元直交座標表現を用いた5軸制御加工の工具姿勢計画法-加工面と工具の相対姿勢を考慮した連続的な旋回テーブル駆動指令値の決定-、2009年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集、830-831、2009、査読無
- ③ Jun'ichi KANEKO, Kenichio HORIO, Tool posture planning method for 5-axis control machining with an idea of spatial temporal representation based on machine tool coordinate system, Proceedings of the 5th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century, 149-154, 2009, 査読有

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金子 順一 (Junichi KANEKO)

埼玉大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：20760080