

工具経路生成時間短縮法の開発 — 投影法による 3D モデルの簡略化 —

金沢大学 ○清水琢海, ◎浅川直紀, 岡田将人, 鬼頭亮太, 金沢工業大学 高杉敬吾

要旨

工具経路生成時間の短縮は CAM 開発において重要な課題である。本研究では NURBS 曲面で表現された 3D モデルに対して、投影法と呼ぶ、階数を下げつつ設計形状の特徴を維持する簡略化方法を考案した。本手法により、5 軸マシニングセンタを想定した工具経路生成において、工具経路生成時間の短縮が確認できたので報告する。

1. 諸言

インペラのような 3 軸制御では加工できない複雑な形状の加工には 5 軸マシニングセンタが使用される。5 軸制御では、工作物に対して、工具を任意の姿勢で任意の位置に移動することができるのが特徴の 1 つである。工具姿勢を任意に変化させることができるので、工具と工作物の干渉を回避した工具経路を生成する必要がある、5 軸マシニングセンタを運用する上で CAM ソフトウェアは必要不可欠である。一般に CAM は、CAD データから工具経路を生成するメインプロセッサと、工具経路データから加工機の構造に応じた NC データを生成するポストプロセッサで構成される。メインプロセッサ内の工具経路生成の例を以下に説明する。

- (1) CAD データを読み込み、加工対象面を選択し、加工点群を生成する。
- (2) 加工点における工具姿勢を決定する。
- (3) 工具と工作物の干渉を確認する。
- (4) 工具と工作物が干渉している場合、工具姿勢を変化させ、干渉回避を行う。

以上の手順を工具姿勢が決定するまで、加工点数分繰り返すことで工具経路を生成する。3D モデルが複雑になればなるほど、工具と工作物が干渉する姿勢が多くなり、(2)~(4) の手順を繰り返すことになり、工具経路生成に多くの時間を要することになる。

このような問題を解決する手法として、例えば、金子らは汎用幾何計算デバイスのグラフィックスハードウェアを用いることで工具姿勢を高速に決定している^[1]。本研究では、3D モデルを簡略化することで、工具経路生成時間の短縮を図る。その簡略手法として、投影法を提案し、工具経路生成における計算時間と干渉検出精度を簡略化前と比較する。

2. Kodatuno

本提案手法の開発にあたり、オープン CAM カーネル“Kodatuno”^[2]を用いて開発を行う。Kodatuno は本研究室で開発中のオープンソースのサーフェスカーネルである。3D モデルの NURBS 表現が可能であり、本報で取り扱う 3D モデルは NURBS 曲線 / 曲面で表現されたものに限定する。また、サーフェスモデルを採用しているため、今回想定している干渉は、工具と工作物を構成する面の干渉を想定している。

3. 投影法

NURBS 曲線 / 曲面はコントロールポイント列と呼ばれる順序付けられた点列によって補間され、基底関数と呼ばれる係数関数によりコントロールポイント列を混ぜ合わせることでそれぞれ定義される。また、NURBS 曲線 / 曲面を構成する要素の 1 つに階数がある。階数とは、NURBS 曲線 / 曲面式の次数に 1 を足したものである。図 1 のように階数が大きいほど、NURBS 曲線 / 曲面を滑らかに表現できるが、計算コストが増える。一方で、階数を小さくすると計算コストは少なくなるが、設計形状との誤差は大きくなる。階数 2 の NURBS 曲線 / 曲面を生成する

場合、NURBS 補間は直線補間と同等になり、全てのコントロールポイント上に補間する。階数下げによる設計形状との誤差は、NURBS 曲線 / 曲面がコントロールポイント上に補間することで発生する。そこで本研究では、投影法^[3]と呼ぶ、コントロールポイントを操作し、設計形状の特徴を維持する 3D モデル簡略化方法を提案する。投影法の手順を図 2 と以下に示す。また、今回設計形状は階数 4 で表現されているものとする。

- (i) NURBS 曲面上に任意の数の点を生成し、生成した各点とコントロールポイントとの距離を計算する。各距離を比較し、最短距離の点を探し、その点の位置の NURBS 曲面上にコントロールポイントを投影する。
- (ii) 投影したコントロールポイントを新たなコントロールポイントとし、階数 2 の NURBS 曲面を生成する。

投影法を用いることでモデルの設計形状を維持してきたが、形状誤差は依然存在するので、干渉検出にどのような影響を及ぼすかを確認する。加工点での法線ベクトル方向を工具姿勢とし、接線ベクトル周り、法線ベクトルと接線ベクトル周りに ± 60 度の範囲で 10 度ずつ回転させ、このときの接線ベクトル周りの回転角度 γ 、法線ベクトルと接線ベクトル周りの回転角度 β をプロットした干渉マップを作成する。図 3 の $\phi 10$ のボールエンドミルと羽根が 2 枚のインペラを用い、図 4 に示す加工点で干渉マップを作成し、その結果を図 5 に示す。(a) はオリジ

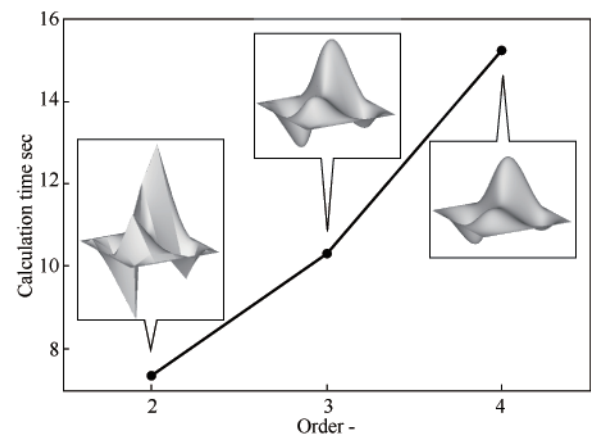


Fig.1 Relation between calculation time and the order of model

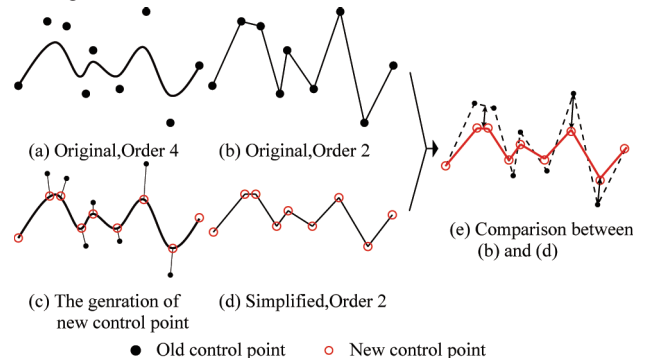


Fig.2 The principle of the projection method

ナルモデル, (b) は簡略化モデルの干渉検出結果である。(a) と (b) の干渉マップから, 本来干渉していない姿勢で干渉している正の検出誤差とその逆の本来干渉している姿勢で干渉していない負の検出誤差が生じていることがわかる。これらの検出誤差は (a) と (b) の形状の差によるものであると考えられる。正の検出誤差は工具姿勢を選択できる幅が少なくなるだけであるが, 負の検出誤差は, 本来は干渉している姿勢であり, それを工具姿勢に決定すると, 工具と工作物が干渉し, 工具の破損などが考えられるため, まずはこちらを生じないようにする必要がある。

4. 3D オフセット

負の検出誤差を取り除くために, 工具を干渉検出を行う NURBS 曲面ごとに膨張させ, 簡略化モデルと工具を干渉させる。この工具を膨張させる方法を 3D オフセットと呼び, 以下に 3D オフセットの手順を示す。

- 各曲面ごとにオリジナルモデルと簡略化モデルの各曲面での形状差の最大値を計算する。(図 6(a))
- 工具を ((干渉検出を行う NURBS 曲面の最大形状差 + 工具半径) / 工具半径) 倍する。(図 6(b))
- 各曲面での干渉検出が終わるたびに, 工具を元の大きさに戻す。

5. 工具経路算時間比較

5.1 工具経路生成方法 実際に投影法と 3D モデルオフセットがどのような効果を発揮するか確認するため工具経路生成を行った。工具経路生成方法として, 加工対象面に加工点群 P_n を生成し, γ と β を用いて工具姿勢を変化させる。このとき干渉しない工具姿勢を見つけたら, その加工点での計算を終了し, 次の加工点に移動する。全ての加工点で工具姿勢が決定するまでの時間を測定し, 以下の条件で比較する。

- 工作物を NURBS (階数 4) で表現した場合
- 工作物を投影法による簡略化モデルで表現した場合

加工点は 1) のインペラの羽根上に 24 点生成する。工具の NURBS 曲面数は 5 枚, 工作物は 19 枚である。今回使用した PC は, CPU : Intel Core i7 4790, メモリ : 16GB, OS : Windows 7 64bit である。CPU コアは 1 つ使用した。

5.2 工具経路生成時間比較 工具経路生成時間は 1) で 785 秒, 2) では投影法による簡略化の時間と 3D オフセットの時間を含めて 389 秒となり, 約 50% 減少した。図 7 に図 4 で示した加工点での干渉マップを示す。図 7 からわかるように 3D オフセットにより, 負の検出誤差を取り除くことができ, 安全に工具経路を生成することができた。

6. 結言

本研究では, 工具経路生成時間の短縮をするために, 投影法による 3D モデルの簡略化を提案し, 本手法を用いて工具経路生成を行い, 簡略化前後での計算時間と工具経路を比較することで, 以下の結論を得た。

- 投影法を用いることで, 階数を下げつつ, 設計形状の特徴を維持する簡略化ができた。
- 工具経路生成時間を約 50% 短縮できた。
- 加工点によっては負の検出誤差が生じるが, 工具を 3D オフセットすることで, 今回の加工点では正の検出誤差は生じるが, 負の検出誤差を取り除くことができた。

参考文献

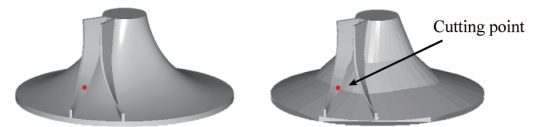
- 金子順一, 堀尾健一郎 : 5 軸制御切削加工における工具姿勢のグラフィックスハードウェアを用いた高速な決定法, 精密工学会誌, 72, 8(2006) 1012
- K. Takasugi et al, Development of Platform-Independent Open CAM Kerne, Proc. of the 6th Int. Conf. on Leading Edge Manufacturing

in 21th Century, Vol.1, (2011)

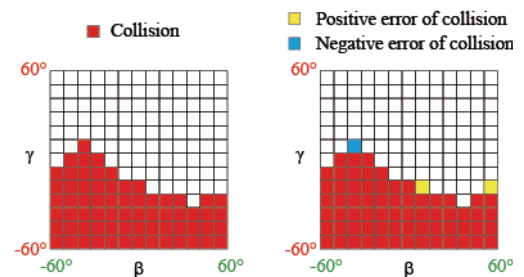
- 鬼頭亮太, 高杉敬吾, 浅川直紀, 岡田将人 : 工具経路生成時間短縮法の開発 : QEM 法による 3D モデルの簡略化, 2013 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 2013, pp.87-88



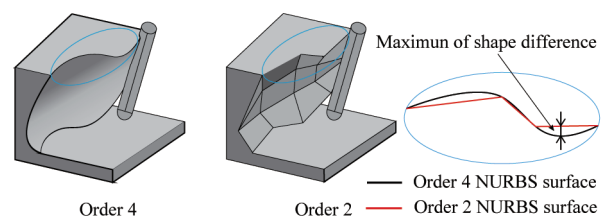
(a) Tool (b) Workpiece
Fig.3 Defined tool and workpiece



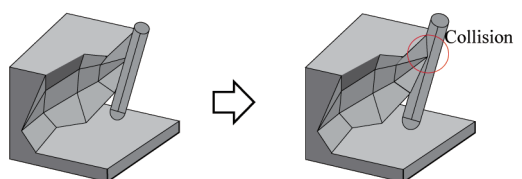
(a) Original workpiece (b) Simplified workpiece
Fig.4 Generated collision map by a cutting point



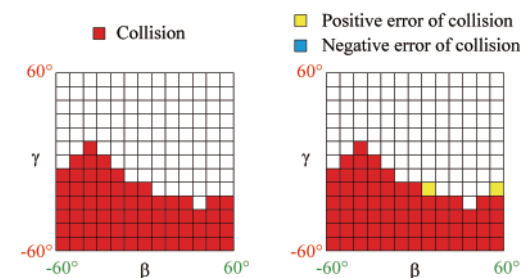
(a) Original workpiece (b) Simplified workpiece
Fig.5 Collision map



(a) Calculation maximum shape difference between original and simplified model in each NURBS surface
(b) Expanding the tool



(b) Expanding the tool
Fig.6 The principle of 3D offset



(a) Original workpiece (b) Simplified workpiece
Fig.7 Collision map after 3D offset