

北海道大学 工学部 ○井上真一、近藤司、檜原弘之、三好隆志、斎藤勝政
 日立製作所 白井健二

1. 緒言

多軸制御可能な工作機械による3次元形状のNC加工では、工具姿勢がダイナミックに変化するため工具干渉や加工最終形状の予測が困難である。著者らは、計算機において加工状況のシミュレーションを実現するために、計算機メモリを加工空間に対応させたVOXEL加工シミュレータを開発してきた。本研究では、この加工シミュレータを用いることにより、幾何学的工具軌跡の干渉チェックに加え、加工力、加工誤差の予測も行ない、最終的にはNCデータを修正していくことを目的としている。

本報ではインペラの加工を例にとり、同時5軸制御加工の幾何学的シミュレーションについて報告する。

2. 加工シミュレータのデータ構造と空間状態表現

本加工シミュレータでは、形状表現に空間格子を用いている。その1つにVOXELモデルがあるが、メモリ空間はモデルの精度、および全体のサイズの3乗に比例し増加する。このメモリを効率的に節約するため、境界部のみ再分割するOct-treeデータ構造を採用した。

1 VOXELは下位階層へのポイントと8ビットの空間状態を表現する部位から成っている。VOXEL空間で扱う形状として、要求形状、素材形状、治具形状、工具移動包絡体、ホルダ移動包絡体を考え、各々の空間存在状態を完全外部'00'、完全内部'01'、境界部'11'の2ビットで表現する。このビット情報を合成することにより物体間の干渉を取り扱う。

3. インペラの同時5軸制御加工

排気ガスタービン過吸機や遠心圧縮機などの高性能化にともない、それに用いられるインペラも高い流体効率を得るため高精度化の要求が強くなっている。これまで鍛造や溶接などにより制作されてきたインペラは、より高精度な削りだし加工で製作されるようになっている。

図1は3軸工作機械によるハブ面の加工をシミュレーションしたものである。工具が翼面と干渉をおこしオーバーカットしているのがわかる。インペラの加工において干渉を避けて工具を動かすためには、5軸制御が必要である。

また、インペラの翼面は通常母線の集まりで構成されている。翼を効率よく加工するためには同時5軸制御により工具の側面で削ることが望ましい。

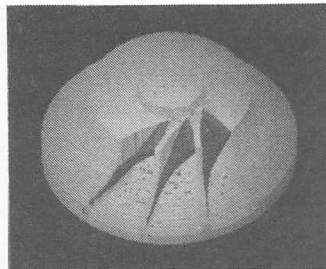


図1 翼のオーバーカット状態

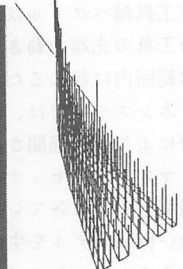


図2 3軸制御CLデータ

NC多軸制御プログラム作成の要点は、部品上に工具位置(工具姿勢を含む)を定めることと、その工具位置を工作機械の実際の工具位置に変換させることの2点である。問題ははるかに前者に多くある。

インペラ加工用のNCプログラムを作成するにあたって、重要な点は翼面上に工具の側面位置を合わせる操作である。このためには翼面が工具の包絡面であるという前提条件が必要である。しかし、流体性能を保持するためには全ての翼面が母線で構成されているとは限らない。このため、加工面に母線が許容誤差範囲内で存在しているか否かのチェックが必要となる。

直線要素で構成されていない場合は、工具の先端のボール部で削る方式を採用することになる。

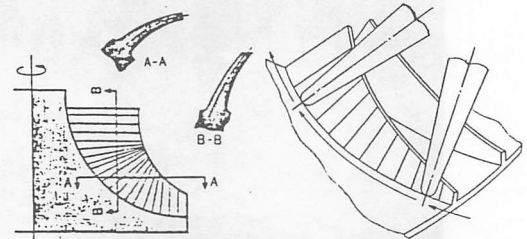


図3 連続傾斜母線形インペラ

図4 翼の母線から工具軸の算出

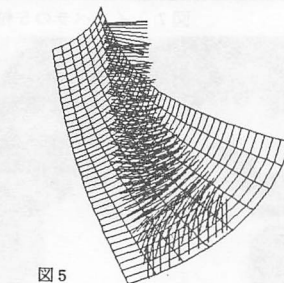


図5

工具軸とハブオフセット面との交点算出

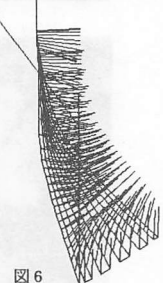


図6

5軸制御CLデータ

4. 工具移動包絡体の生成と並列処理

自由曲面を同時5軸制御で機械加工する場合、CLデータとして加工座標値と工具軸ベクトルが与えられる。曲面は許容範囲内の誤差で、直線加工の連続で形成されると考えてよい。しかし、5軸工作機械において工具軸ベクトルはA,B軸に変換され、実際の機械上での工具の先端の動きは直線にならない。このずれを許容範囲内に収めるために直線補間が行なわれる。

本システムでは、トランスピュータを用いた並列処理により直線補間された工具移動包絡体を求めている。

マスタプロセッサは加工座標値と工具軸ベクトルの補間データを各スレイブプロセッサにわたし、工具のOct-treeモデルを生成させる。順次それらの和演算をとることにより1ブロック工具移動包絡体を生成する。

5. インペラの5軸加工シミュレーション

本報では、連続傾斜母線形インペラ(図3参照)の加工シミュレーションを行った。

インペラのCLデータ作成にあたっては以下に示す方法で求めた。

- (1) 可展面で設計された翼面からオフセット面を求め、工具軸はこのオフセット面の母線にあわせる。(図4参照)
- (2) さらにこの工具軸とハブのオフセット面との交点を求めて加工座標位置とする。オフセット面との交点は、曲面パッチごとに平面近似を行ない平面と直線の交点として求めた。(図5参照)
- (3) ハブ面の加工工具軌跡は翼面の両オフセット面

の間を補間することにより求めた。

以上により求められたCLデータを図6に示す。

加工シミュレータに、要求形状、素材形状の面データとCLデータを入力し、加工シミュレーションを行った結果を図7に示す。

6. 5軸工作機械によるインペラの加工実験

本研究室において開発された工具不動点機構を有する5軸工作機械によって実際にインペラの加工実験を行った。この工作機械では加工座標位置、工具軸ベクトルのデータに対して、位置のデータをx, y, z軸の制御にそのまま用いることができる。工作機械側は姿勢の回転変化のみ計算すればよく、機械座標系への変換が簡単である。写真1は加工状況であり、写真2は加工最終形状である。この加工実験よりシミュレータが加工状況をよく表現していることがわかる。

7. 結言

- (1) Oct-treeデータ構造をもつVOXEL加工シミュレータを5軸加工シミュレーションに適用した。
- (2) 実際にインペラの加工を行ない、シミュレータが加工状況を良好に表現していることを確認した。

参考文献

河村修平 : 同時5軸制御マシニングセンタによるインペラの加工 ツールエンジニア1982年1月号
檜原弘之、近藤司、三好隆、斎藤勝政 : 工具先端部不動点を有する5軸曲面仕上工具の研究 精密工学会誌 1991年7月号

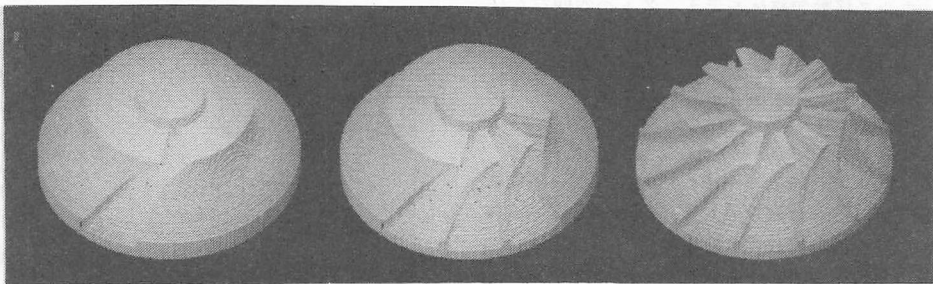


図7 インペラの5軸加工シミュレーション結果

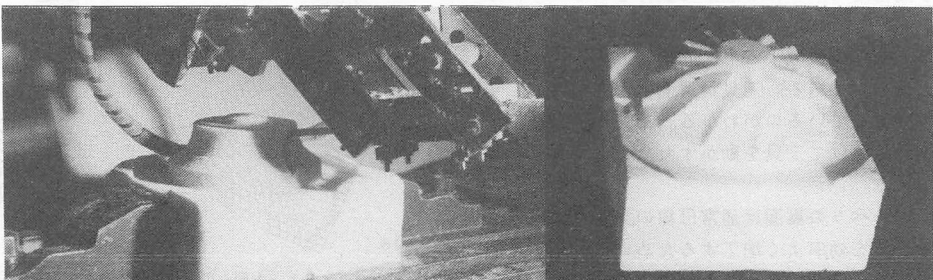


写真1 工具不動点を有する5軸工作機械によるインペラの削り出し

写真2 加工結果