311 NC シミュレータの高精度化に関する研究

A Study to Improve the Accuracy of NC Simulator

正 ○藤尾三紀夫 (沼津高専) 正 柳下 福蔵 (沼津高専) 正 鈴木 裕 (九州工大)

Mikio FUJIO, Hukuzo YAGISHITA

Ooka 3600, Numazu, Shizuoka, Numazu College of Technology

Hiroshi SUZUKI

Kawazu 680-4, Iizuka, Fukuoka, Kyushu Institute of Technology

This paper deals with a high accuracy NC cutting simulator, which is able to represent the effect of a tool deformation, motion error and so on, based on Boundary-Map geometric model. Although a CNC controller executes interpolation, smoothing and servo control of tool path, these functions may cause a motion error. To emulate these functions of CNC controller, a crowd of points for tool path is generated based on a NC program. At the each crowd of positions the removing process from work-piece can be simulated by applying set-operation to the Boundary-Map data. The shape simulated by this NC simulator is compared with the machined shape using the same NC program. As a result, it becomes clear that the developed NC simulator can emulate enough the motion error caused by NC controller and enables to simulate accurately the effect of the error upon the machined geometric shape.

Key Words: NC Geometric Simulation, Boundary-Map Geometric Model, Motion Error, CNC

1. 緒言

近年、製品の高性能化は金型形状の複雑さを要求し、それに伴う NC プログラムの過ちの事前検査や工具経路の最適化を行うために、加工シミュレーションが実用され、効果を上げている。今後、さらに高精度化が要求されていく加工環境に対応するためには、CNC の内部処理、工具のたわみや熱変形なども考慮した加工シミュレーションシステムの実現が必須となる。しかし、現状で物理現象を考慮した加工シミュレーションを行うにはソリッドモデルを用いて形状処理を行うため、多大な計算時間を要している¹⁾。一方、形状を離散化したデクセルモデルが処理を高速化するため利用されているが、この方法でたわみなど、格子間隔以下の微小な変形に対応するためには膨大なメモリ容量を必要とすると共に、処理時間が増大する。

本研究では、工作機械の運動誤差や工具のたわみなどの物理的要因に対応できる加工シミュレータとして、空間格子法に基づいた Boundary-Map データ構造²⁾による形状モデルを用いた加工シミュレータを開発している³⁾。本報では、ドゥエルや補間、さらにサーボ処理を含めた CNC 内部処理をエミュレートした加工シミュレータを開発すると共に、加工実験により、シミュレーション後の形状と比較した結果について報告する。

2. 加工シミュレーションシステム

Fig. 1 に提案する加工シミュレーションシステムの構成を示す。本システムは、CNC エミュレーション部、工作機械シミュレーション部、および形状除去処理部から構成される。

CNC エミュレーション部は CNC の内部処理を再現し、サーボサンプリングタイムにおける位置データを生成する。形状除去処理部では、これらの各点においてワーク形状から工具形状を除去する事により、加工シミュレーションを行っている。この時、工作機械エミュレーション部において、各補間位置ごとに求められる除去体積に基づいて切削負荷を求め、工具の変形の算出や、機械の摩擦によるスティックモーションなど機械系の挙動をエミュレーションする事により、加工シミュレーション精度の向上が可能になると考えられる。

3. CNC 内部処理をエミュレートした加工シミュレーション (1) エミュレーション

CNC エミュレーション部では、NC プログラムから各ブロックの動作を解析し、補間周期当たりの位置情報を生成している。そして、軸分配を行い、各軸ごとに加減速処理を行っている。さらに、このデータを用いてサーボモータを動かしたときに生ずる 1 次遅れ系の動作を再現している。これらの処理により、求めた軌跡は CNC がリアルタイムで処理した結果を再現することができる。この処理は、一般に用いられている最も簡単な CNC 装置の送り駆動系を再現しているため、エミュレーションにより求めた工具軌跡は円弧半径減少量を再現することになる。

(2) 形状除去

Boundary-Map データ構造は、形状を定義した空間において、必要な分解能で X, Y, Z 軸の 3 方向に定義した格子線(スキャンライン)と形状表面が交差する点のデータをスキャンラインごとにリスト構造で持つ手法である。

Boundary-Map データ構造を用いて加工シミュレーションを行うためには、Fig. 2 (a) に示すように、工具経路の位置点

Fig.1 Constitution of High accuracy NC simulation system

Lattice space : 1mm
Work size :
75×110×30mm
Tool : Ball nose mill
($\phi 10$ mm)

Fig. 3 An example of simulated shape

群上に、工具先端を配置する。それぞれの形状は、矢印で示す形状リストにより表現されている。そして、除去処理は、これらのワークと工具の対応するスキャンライン毎のリストについて Fig. 2 (b)に示すセットオペレーション演算を行うことにより実行する。しかし、単純にセットオペレーションを行うと、Fig. 2 (c)の破線に示すように、実際にはリストが存在するべき部分が削除され、不正なリストとなる場合がある。このような不正リストの生成を防ぐため、工具の表面にあるリストにおいては前述の除去処理を行わないことにより、Fig. 2 (d)に示す正常な除去後の形状を得ている。Fig. 3は、一例としてPHSカバーの荒加工用工具経路に基づいて、加工シミュレーションを行った結果を示している。

4. 加工シミュレーション結果と実加工による結果の比較

開発した加工シミュレーションシステムにおいて、CNCの内部処理により生じる円弧半径減少量が、加工シミュレーション後の形状に反映されているかを確認するため、Ts (加減速時定数) と Tp (位置ループゲイン) を 64[ms]に固定し、半径 5[mm]のエンドミルを用いて、半径 25[mm]の円柱に対し、送り速度を変えて加工シミュレーションを実行した。Table 1は、送り速度をそれぞれ 5000, 3000, 1000, 500[mm/min]に変えて加工シミュレーションを行った場合の円弧半径減少量の理論値⁴⁾、シミュレーションした形状断面ならびに実加工終了後の形状断面から求めた円弧半径減少量を比較した結果である。加工シミュレーションは補間周期を 1, 7, 8[ms]に変えて行った。これらの結果より、補間周期が 1[ms]の場合が、最も理論値に近いことがわかる。また、実加工に用いたCNC装置の補間周期である 7[ms]の場合に、加工シミュレーション結果と実加工結果の測定値に近いことがわかる。Fig. 4は、補間周期 7[ms]での実加工後と加工シミュレーション後の形状を表示している。スキャンラインの格子間隔は 1[mm/div]であり、粗い格子間隔においても、円弧半径減少量がミクロン単位で精度良くシミュレーションされ、加工後の形状精度に対応している事がわかる。

Table 1 Comparison of motion error
simulated shape and machined one

Feed rate [mm/min]	Theoretical value	Motion error during circular interpolation[mm]			Machined shape
		IT=1[ms]	IT=7[ms]	IT=8[ms]	
5000	1.1378	1.0720	1.2149	1.4242	1.2509
3000	0.4096	0.3969	0.4494	0.5289	0.4653
1000	0.0455	0.0448	0.0507	0.0598	0.0526
500	0.0114	0.0113	0.0127	0.0150	0.0132

(a) Machined shape

(b) Simulated shape

Fig. 4 Comparison of shape between simulation and machining

(a) Machined shape

(b) Simulated shape

Fig. 5 Comparison of corner shape between simulation and machining

また、NC プログラムにおけるドウエルの動作を確認するため、直角に曲がる工具経路に対して加工シミュレーションを行った。Fig. 5は送り速度を 5000[mm/min]に固定し、ドウエル時間を変化させた場合の実加工後と加工シミュレーション後の形状を示している。工具は半径 5[mm]のエンドミル、Ts と Tp はいずれも 50[ms]、補間周期は全て 7[ms]としてシミュレーションを行った。同図より、ドウエル時間を 500, 100, 50[ms]とした場合は、インポジションチェックにより誤差は発生せず、ドウエルが無い場合にダレを生じる事がわかる。また、加工シミュレーション結果は実加工後の形状とほぼ同じである。

5. まとめ

本研究では、加工シミュレーションの高精度化を目指して、Boundary-Map 形状モデルによる除去処理を開発すると共に、CNC 内部処理を含めた加工シミュレーションシステムを構築した。その結果、開発された加工シミュレータにより CNC の追従誤差やドウエル時間の影響を加工後の形状に精度良くシミュレーションする事が可能となった。CNC エミュレーション部に、各社が行っている高速高精度処理のエミュレータを組み込むことにより、高精度補間による加工後の形状を比較検討することが可能になると考えられる。今後は、工作機械用のエミュレーション機能を開発し、加工時に発生する物理的要因をも含めた加工シミュレータの開発を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 高田, 山崎: 切削状態予測のためのモデルベース切削加工シミュレーションシステム, 日本機械学会論文集(C編), Vol.61, 581.1(1995)
- 2) 藤尾, 柳下, 鈴木: Boundary-Map データ構造に基づくCAD/CAM システムの開発, 精密工学会誌, Vol.66, 7(2000), 1048
- 3) 藤尾, 柳下, 鈴木: Boundary-Map データ構造に基づく加工シミュレータの開発に関する研究(第1報)ー基本シミュレーションアルゴリズムの開発ー, 1999 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 386
- 4) 三菱電機(株); 三菱数値制御装置 MELDAS300V シリーズプログラミング説明書, 1991, 321