木工用スピンドルチルト型5軸制御NC工作機械 のためのポストプロセサの開発*

永田 寅臣** 渡辺 桂吾***

Development of Post-processor Module of
5-Axis Control NC Machine Tool with Tilting-Head for Woody Furniture

Fusaomi Nagata and Keigo Watanabe

Recently 5-axis control NC machine tool have become a center of attraction in manufacturing of woody furniture. They are expected its high intricate machining performance beyond the capabilities of standard one, however, it has not been used widely yet. One of the most serious problem to prevent them from introducing the NC machine tool is the difficulty in generating NC data by using general post-processor. This paper describes a post-processor which has a simple and easy user interface and can generate NC data for 5-axis control NC machine tool with tilting-head in a short time. The post-processor is made up of two modules; the first one corrects the value of coordinates in CL data by considering only the tool length which is that from the center of swing to the top of tool; the other generates NC data (X, Y, Z, B, C) from the corrected CL data. By actual machining test it is shown to get the NC data from the normal CL data and run 5-axis control NC machine tool with tilting-head as the computer simulates the motions.

Key words: tilting-head, 5-axis control NC machine tool, post-processor, CL data

1. ま え が き

家具の製造分野では、デザインの高度化による付加価値の高い新商品開発への取組みがなされている。これには従来と比べて設計や加工技術面で一層のデザイン力と加工技術力の向上が必要とされる。この対応のために、5軸制御NC工作機械が注目され始めており、その高度な加工能力により、複雑な形状を伴ったデザインを家具に取り入れていくための加工機として大きな期待が寄せられている。5軸制御NC工作機械の種類としてはテーブルチルト型やスピンドルチルト型及びその複合型が存在すると報告されている¹⁾が、家具業界に普及しはじめているタイプは図1のようなスピンドルチルト型が多い。

この理由として、被加工物(木材料)のサイズを上げることができる。家具部材には扉や家具前板のように1000mm×2000mmのサイズのものがあり、これをエア吸着でテーブルに固定した場合、テーブルを傾斜・旋回させるテーブルチルト型よりも主軸を傾斜・旋回させるスピンドルチルト型の方がコンパクトで精度の点でも優れているからである。最近では、3次元CAD/CAMシステムの中にも5軸制御NC工作機械を制御するためのメインプロセサ、ポストプロセサを搭載したものが登場してきている。3次元CAD/CAMシステムを用いた一般的なNCデータの作成工程は図2のとおりであるが、ポストプロセサが種類の多い5軸制御NC工作機械に対応しようとした汎用タイプであるため、設定が複雑で使用する5軸制御NC工作機械にあったチューニングが困難なものになっている。また、正確に工具先端のツールパスが得られない等の問題も指摘されている。

Fig.1 5-axis control NC machine tool with tilting-head

Fig.2 General process to generate NC data for 5-axis control NC machine tool

* 原稿受付 平成7年11月6日
** 正会員 福岡県工業技術センターインテリア研究所 (大川市上巻405-3)
*** 佐賀大学理工学部 (佐賀市本庄町1番地)

本研究では、家具業界に最も多く普及している図1のような主軸をもったスピンドルチルト型の5軸制御NC工作機械をターゲットにし、同時5軸制御のためのNCデータを簡易な操作で迅速に生成できるポストプロセサの開発を目的とする。

5軸制御NC工作機械用のポストプロセサは、傾斜軸と旋回軸の動きに伴う工具先端の位置座標のずれを補正し、コンピュータシミュレーション通りの動きを保証する正確なNCデータを生成できなければならない。これまでに5軸制御NC工作機械のためのポストプロセサの研究はいくつか報告されている^{1)~5)}。

その中で、スピンドルチルト型に関しては、工具軸方向をZ軸方向に一致させるように回転2軸を算出後、これらの回転による工具中心点の移動先座標を求めるために、Z軸方向から見たときの回転軸の交点をXY平面の原点とし、傾斜軸を含む面をZ軸の原点とする仮座標系を設け、旋回軸の位置ベクトルや工具中心点までのベクトル等を用いる方法¹⁾が提案されている。この場合、移動後の絶対位置座標の算出には、仮座標系と平行移動や回転移動のマトリクスを使った複雑なベクトル計算を必要とし、工具長 (Tool length) の変化に柔軟に対応できるものではない。

本研究では、CLデータが工具先端中心位置の軌跡であること、スピンドルチルト型の場合、主軸の傾斜と旋回に伴い必要となる位置座標の補正量は工具長に依存することに着目する。これにより、仮座標系を設けずに工具長のみをパラメータとするだけで簡単にNCデータを算出できるポストプロセサを提案する。また、その有効性を実際の加工試験を通して実証する。

2. 同時5軸制御のための問題点

3次元CAD/CAMシステムを使って5軸制御NC工作機械を同時5軸制御させる場合に、ユーザが直面する一般的な問題として次のようなケースがある。メインプロセサで作成した同時5軸制御用のCLデータを切削シミュレータで動作確認した場合には正常に動作するが、汎用ポストプロセサを通してNCデータを作成し、実際に加工しようとするとう工具先端が予想しないような干渉動作を引き起こすといったケースである。この原因は、5軸制御NC工作機械の回転2軸に伴う下記の(1)(2)(3)のような機構上の特徴及び動作制限を考慮したCLデータの作成、ポストプロセサの設計やチューニングができていないためである。

- (1) 5軸制御NC工作機械側では、NCデータを主軸の傾斜と旋回の中心位置で動作させている。
- (2) 5軸制御NC工作機械の種類により、主軸の傾斜角度と旋回角度の指令可能な範囲が異なる。
- (3) 旋回軸が連続回転できない。

(1)については、ポストプロセサがこの点を考慮に入れて何らかの補正を行いながらNCデータを生成させていない限り、5軸制御NC工作機械は、NCデータのX,Y,Zの値を図3の主軸の傾斜と旋回の中心位置でそのまま動作してしまう。よってこの場合、工具の先端は主軸の傾斜と旋回の中心位置から工具長と方向ベクトルで決定される距離だけ先の位置にあることになる。

(2)については、同じ姿勢でも、傾斜軸を -70° で指令する機種もあれば 160° で指令する機種もある。例えば、本研究で用いる5軸制御NC工作機械（平安コーポレーション社製FF-151MC-1508）の指令可能範囲は、図3のようになっており、これ以外の数値を与えてもNC側で動作エラーとなってしまう。

(3)については、旋回軸が連続回転できないため、旋回軸の

Fig.3 Angle limit to be inputted

データが $\pm 180^{\circ}$ を通過する場合に問題が生じる。例えば、自由曲面を加工中に -179° から 179° まで 2° の範囲でデータが変化する場合、5軸制御NC工作機械が機構的にその動作を実行できずに、逆方向へ 358° 旋回して 179° の位置に移動する。この場合も、コンピュータシミュレーション通りの動きとはならず、ポストプロセサからの出力データはそのままでは使用できないこととなる。

その他、ユーザの立場に立ってみるとポストプロセサに関しては以下のような問題点もある。

- (4) 同時5軸制御に対応した国産の3次元CAD/CAMシステムが少なく、このためポストプロセサに関しても外国製品が主流となっている。この場合のチューニングから立ち上げまでの技術的サポートに不安が残る。
- (5) 汎用ポストプロセサの設定項目が多く複雑で、チューニングが難しい。
- (6) ブラックボックスで内部処理が見えず、オリジナルシステムへの改良ができない。
- (7) 5軸制御NC工作機械に対応したポストプロセサはオプション扱いで、価格の面でも高価なものが多い。

このようなことから、機構上の動作可能な範囲内でコンピュータシミュレーション通りに5軸制御NC工作機械を制御するには、(1)(2)の特徴を考慮して汎用のポストプロセサをチューニングするか、専用のポストプロセサを新たに設計する必要がある。

3. ポストプロセサの開発

本研究では、工具長の変化に柔軟に対応できるようにするため、まず前章(1)の問題は、主軸の傾斜と旋回に伴う位置座標の補正量を工具長のみを使って算出する方法で解決する。また(2)は、回転2軸の角度を指令可能な数値に変換して生成することで解決する。これ以降、工具長は、主軸の傾斜と旋回の中心位置からホルダ吸着位置までの長さL1とホルダ吸着位置から工具先端までの長さL2の和（図4）とする。本研究で用いる5軸制御NC工作機械の場合、L1は150mmであり、L2はツールリセットで測定する。また、CLデータの作成は、米国EDS社の3次元CAD/CAMシステムであるUnigraphics V10.2のメインプロセサで行う。

図5のように開発するポストプロセサは、工具長のみをパラ

メータとして渡すだけで利用できることを大きな特徴とする。
このポストプロセサは、モデル表面のCLデータ (normal CL data) に対して工具長をもとに X, Y, Z 3軸の補正を行う CL_conv (Toollength) と、補正後のCLデータ (corrected CL data) をもとに同時5軸制御用のNCデータ (X, Y, Z, B, C) を生成する Post () の二つのモジュールから構成される。

Fig.4 Definition of tool length

Fig.5 Post-processor module for 5-axis control NC machine tool

3. 1 CLデータのX,Y,Z 3軸の補正(CL_conv (Toollength))

同時5軸制御対応のメインプロセサが生成する工具先端のCLデータは、出力指定をライン近似し、工具ベクトルをパートに対する法線方向に指定した場合、モデル上のあるポイントにおける位置座標 (Tx, Ty, Tz) と、そのポイントでの工具の法線方向の正規化ベクトル (Tvx, Tvy, Tzv) が記述されたGOTO文の集まったテキストデータとして得ることができる。

CL_conv (Toollength) は、CLデータ内のすべてのGOTO文の絶対位置座標 X,Y,Z に対して、工具長を考慮にいて図6のような補正処理を行う。まず、X座標とY座標のデータについては、座標値に工具長とそれぞれのベクトル成分の積を加える。Z座標に関しては、座標値に工具長とベクトル成分の積を加えて更に工具長を差し引く。これは、最初のワークに対する原点位置決めを4軸、5軸とも原点座標 (B=C=0°) の状態で工具先端を用いて行うためである。これにより、工具先端のCLデータを主軸の傾斜と旋回中心位置のデータに変換することが可能となる。

Fig.6 Correcting the X,Y,Z coordinates in CL-data

3. 2 5軸制御NC工作機械用NCデータの生成 (Post ())

Post () は、CL_conv (Toollength) により補正されたCLデータからスピンドルチルト型5軸制御NC工作機械用のNCデータを生成するモジュールである。CLデータのすべてのGOTO文を含むラインについて、位置座標はそのままの数値を利用しX,Y,ZのGコードを付与する。ベクトルデータをもっているものは、主軸の動作範囲内の傾斜角 (B°) と旋回角 (C°) に変換した後、NCデータにアペンドする。図7は、CLデータ内のGOTO文に含まれるベクトルデータからNCデータ用の傾斜角Bと旋回角Cを算出している部分のCプログラムソースである。

```
#define PI 0.314159265358979232e+01

...

if((xv==0)&&(yv==0)&&(zv==1))
{
    b_ = 0;
    c_ = 0;
}
else if((xv>0)&&(yv>0))
{
    b_ = (180/PI)*acos(zv_);
    c_ = (180/PI)*atan(yv_/xv_);
}
else if((xv<0)&&(yv>0))
{
    b_ = -(180/PI)*acos(zv_);
    c_ = (180/PI)*atan(yv_/xv_);
}
else if((xv<0)&&(yv<0))
{
    b_ = -(180/PI)*acos(zv_);
    c_ = (180/PI)*atan(yv_/xv_);
}
else if((xv>0)&&(yv<0))
{
    b_ = (180/PI)*acos(zv_);
    c_ = (180/PI)*atan(yv_/xv_);
}

...
```

Fig.7 Generating NC-data for 5-axis control NC machine tool

3.3 簡易コマンドの実現

汎用のポストプロセサを利用する場合、目的とするデータが生成できるか否かを検証する前に、動作させる5軸制御NC工作機械に対応したチューニングが必要となる。例えば、Unigraphicsのポストプロセサの場合、チューニング内容としては表1のような項目があり、ここでマシンタイプや座標軸の指定、出力フォーマット等を指定しなければならない。チューニング内容はMDF (Machine Data File) の中に記述される。工具交換により工具長が変化する場合、その都度このファイルを編集し直す必要がある。

Table 1 Post-processor menu of Unigraphics

No.	Generate MDF menu
1	Machine tool type
2	Machine tool coordinate axes validity
3	Preparatory, auxiliary, and event code formats
4	Machine tool motion control
5	Post-processor commands
6	Listing and punch control
7	Listing header data
8	Listing commentary data
9	Run time options
10	Edit word address character output sequence
11	Output file validation

一方、開発したポストプロセサは、工具長のみをパラメータとし簡易コマンドを実行させるだけでCLデータからNCデータを生成させることが可能である。図8にはUNIX上でのコマンド入力例を示す。図中のToollengthは工具長(単位:mm)である。また、surface.clsはメインプロセサが生成する補正前のCLデータのファイルであり、surface_clsがcl_conv (Tool length)により補正されたCLデータのファイルである。さらに、surface.ncが求める5軸制御NC工作機械用のNCデータのファイルである。その他、3次元CAD/CAMシステムが動作している代表的なコンピュータには、Macintosh, PCがあることを考慮し、これらのポストユーザに対応できるように各OS上にて実行モジュールを作成した。

```
ug{ugusr}@cl_conv Toollength surface.cls surface_cls
```

```
ug{ugusr}@post surface_cls surface.nc
```

Fig.8 Command service on UNIX system

4. 結 果

4.1 加工試験

開発したポストプロセサの動作確認のために、図9のような3次元モデルを用いて同時5軸制御による加工試験を行った。まず、カナダ Alias Research 社の3次元サーフェスモデラー

Aliasを用いて図9のようなモデルを作成し、IGES形式に変換してUnigraphicsへパートファイルを渡した。CLデータ作成のためにメインプロセサに指定した加工条件は、表2のとおりである。図10はメインプロセサが算出したカッターパスである。作成したCLデータをもとに、図8のように開発したポストプロセサモジュールを用いて同時5軸制御用のNCデータを作成し加工を行った。CL_conv (Toollength) 実行時に指定したToollengthは262mmである。また、NCデータの転送に関しては、同時5軸制御による3次元加工用NCデータのサイズが大きいためDNC運転で行った。図11には同時5軸制御加工の状況を示す。工具先端が、コンピュータシミュレーション通りに動く良好な動作結果であった。

Fig.9 Test model

Table 2 Parameters of main-processor

Model size	170X170X30 mm
Tool diameter	18 mm
Tool corner radius	9 mm
Tool axis	Normal to part
Tolerance	Intol/Outtol = 0.01/0.01
Cut method	Zig - zag surface
Stepover	0.5 mm
Feedrate	300 mm/m
Spindle rotation	12000 rpm

Fig.10 Cutter path generated from main-processor

Fig.11 Machining by 5-axis control NC machine tool with tilting-head

4. 2 考察と課題

家具業界のように、利用される5軸制御NC工作機械のタイプが限定できる場合は、汎用のポストプロセサを購入しチューニングしていくより、その特徴を考慮し目的を絞った専用のポストプロセサを自社内で開発し発展させていく方が、コスト的にも作業能率やメンテナンスの面からも好ましい。結果として、2章で挙げた問題点(4)(5)(6)(7)の解決にもなるのである。

5軸制御NC工作機械の場合、2章(3)で述べた主軸の旋回軸が連続回転できるか否かといった点が、その加工性能を大きく左右する。連続回転できないということは、例えば $\pm 180^\circ$ 付近でコンピュータシミュレーション通りの旋回動作ができないということである。彫刻的な加飾のために同時5軸制御で曲面一括加工を行うときには避けられない問題である。現状では、CLデータ作成時にそのような境界で加工範囲を分割したり、材料の固定の仕方を工夫するなどして対応するしかない。今後登場してくる木工用の5軸制御NC工作機械には、この点が改良されることを期待する。こういった点が克服されれば、5軸制御NC工作機械の普及は、よりいっそう進んでいくものと思われる。

編集後記

最近、様々な分野で“複雑さ”に関心が集まっています。相転移や熱対流運動、濃度パターン振動などの物理現象、個体発生や免疫ネットワーク、集団行動、生態系の多様性のような生命現象など、自然界には多くの複雑な構造や挙動が見られます。一方、人工物や人工システムにも、微細で複雑なパターン形成、巧妙なロボットのメカニズム、入り組んだアルゴリズムやプログラム、難構造の生産システムの管理、さらにインターネットの情報のゆらぎなど、複雑な機能が要求されたり、予測困難な振舞いが見られたりします。

このような複雑さを理解したり、複雑な人工システムを合成することは、今後ますます重要となってくるでしょう。最近10年間に急速に発展してきた新しい科学や研究分野、例えば、複雑適応系をはじめ散逸構造、人工生命、シナジェネティクス、カオス、フラクタルなどが、ことごとく複雑性に焦点を当てているのは偶然ではありません。その背景には、要素の線形形では複雑な全体は理解で

5. 結

言

3次元CAD/CAMシステムのメインプロセサが算出した5軸制御用のCLデータからスピンドルチルト型5軸制御NC工作機械用のNCデータを簡易な操作で迅速に算出することを目的に専用ポストプロセサを開発し、以下の結論を得た。

- (1) MDFを使用せず工具長をパラメータとして渡すだけで簡単に利用できるポストプロセサを提案できた。
- (2) 3次元CAD/CAMシステムのプラットフォームとして代表的なシステムであるUNIX, PC, Macintosh上で利用できるようにした。
- (3) コンピュータに入力した3次元モデルからそのモデルを実際にスピンドルチルト型5軸制御NC工作機械で同時5軸制御加工するためのNCプログラムを作成し、加工試験を行うことでポストプロセサの有効性を確認できた。

今後は、テーブルチルト型の5軸制御NC工作機械についても少ないパラメータと簡単な操作で迅速に実行できるポストプロセサを開発する予定である。

参考文献

- 1) 竹内芳美, 和田一啓, 久木達也, 横山信人: 5軸制御マシニングセンタ用ポストプロセサの研究, 精密工学会誌, 60, 1 (1994) 75.
- 2) 鈴木 裕, 桑野義正, 後藤勝征, 竹内芳美, 後藤 真: 5軸加工用CAMシステムの開発, 精密工学会誌, 60, 6 (1994) 832.
- 3) 竹内芳美, 森重功一, 横山信人, 久木達也: 側面切れ刃工具による5軸制御加工, 60, 8 (1994) 1164.
- 4) 竹内芳美, 渡辺隆弘: 5軸制御マシニングセンタ用ポストプロセサの研究, 精密工学会誌, 58, 9 (1992) 1586.
- 5) 長坂 学, 竹内芳美: 形状創成関数に基づく5軸制御加工用一般化ポストプロセサの研究, 1995年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (1995) 145.

きないという認識があります。

今回の特集では、複雑系に関する科学と工学の最先端における研究動向と理論的アプローチを示したのち、精密工学との接点を探りました。はじめに、非デカルト的視点による複雑系工学の展望が述べられ、次にカオスと自己組織臨界現象を中心に複雑系の科学が論じられています。そして、創発システムの観点からの複雑系へのアプローチが科研重点領域研究の紹介を含めて述べられ、また、複雑系を扱う有望な理論であるフラクタルとそれによる構造解析について紹介されています。引き続き、計測における複雑さと精密さ、複雑な加工の問題点、マイクロマシンの複雑な振舞い、さらに、複雑な生産システムのスケジューリングについて述べられています。

現状では複雑さと精密さの接点は小さいといえますが、今後は両者の交わりは大きくなるものと思われます。そして精密工学がチャレンジする対象も広がることが期待されます。最後に、ご多忙の中書き難いテーマにもかかわらず、お引き受け頂いた執筆者の方々に感謝申し上げます。

(神戸大学・上田完次)