

予測補正制御に基づく高速高精度な多軸加工システムの開発 -ダイレクト5軸加工制御システムの構築-

沼津高専専攻科 ○田中優斗, 沼津高専 ◎藤尾三紀夫

要旨

近年, 加工の効率を向上するため5軸加工機の導入が進む一方で, 更なる高速高精度加工が要求されてきている. そこで本研究ではNCコードを用いず, CAMが持つ幾何形状情報から直接工作機械にサーボ指令を与え, 誤差を予測補正することで, 高速・高精度な加工を実現する新たな手法を提案している. 本報では, CAMが持つ幾何形状から直接工作機械を制御するダイレクト5軸加工制御システムを構築したので報告する.

1. 緒言

近年, 工業製品の多様化や加工能率の向上を目的として5軸加工機の導入が進んでいる. 5軸加工機は主軸の直線移動と同時にワークの回転制御が可能であるため, 3軸では不可能なオーバハンク形状の加工やワークを傾斜させることによる加工時間の短縮や面粗度の向上を図ることができる. 一方で, 機械構造物との干渉が発生しやすいこと, 付加2軸の旋回中心から離れた場所での加工精度が低下しやすい問題を有している. このため, 干渉を未然に防ぎ, かつ加工精度の向上が可能な制御方法が必要とされている¹⁾.

そこで, 本研究では予測補正制御に基づく高速高精度な多軸加工システムの開発を目的としている. 工作機械による加工において, CADからCAMソフトを用いてNCコード(NCプログラム)に変換する際にCAMの点群化による幾何形状情報の欠落が発生し, CAD上で作成した形状をCAMで正確に再現できない. また, 工作機械の回転軸も含む動作や工具たわみなど, 切削加工中に生じる誤差に対応できていない. そこで, 本研究では加工を行う際に, NCコードに変換せずにCAMが持つ幾何形状情報から直接工作機械にサーボ指令(サーボデータ)を与えることで, 高速・高精度な加工を実現するシステムを提案している. また加工中の誤差についてはシミュレーションにより予測し, その誤差を補正することで加工中に生じる誤差を補正する.

このようなシステムを構築するにあたり, 本報では, その核となる幾何形状から直接サーボモータを駆動し, 5軸工作機械による加工を実現するシステムの構築を目標とする.

2. 加工システムの構成

本研究では高速・高精度な加工指令を生成するため, CAD/CAMで直接補間・加減速処理を含んだ補間周期毎の速度点群データを出力し, そのデータ(サーボデータ)を用いて工作機械を直接バイナリ駆動させることによって加工速度と精度の両立を図る. この提案するシステムの概略図をFig.1に示す. 従来の手法では, CAD/CAMからNCコードを生成し, それを工作機械のNC装置に通すことで工作機械のサーボデータを計算している. NCコードはCAMが持つ幾何情報を持たず, 劣化した幾何情報をもとに加工を行うため, 高精度化することができない. 一方, 本システムでは, 形状補間機能で3次元形状から工具半径をオフセットした形状を求め, 切削するツールの移動を, 加減速を含んだ工具先端点座標と工具の姿勢ベクトルであるCL(Cutter Location)とする点群を生成する. その後, ポストプロセッサ機能により工具経路から具体的に動作させる工作機械に適した各軸のサーボデータを出力する. そして最後にサーボデータ変換出力機能によりサーボデータを直接サーボモータに出力する. 本報では, この3つの

機能の開発を行い, 多軸加工システムを構築した. そして構築したシステムの検証のため, 簡単な形状を対象として加工実験を行い, 開発したシステムの有用性を確認した.

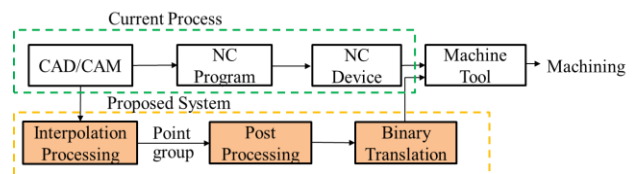


Fig.1 Proposed System

3. ダイレクト5軸加工システムの構築

サーボデータは補間周期毎の移動量であり, それを形状に適したデータとして5軸のサーボモータを直接駆動することで, 高速・高精度な加工を実現する. これによりNC装置による補間や加減速を通さずに加工を行うことが可能となる. 一方, 補間周期毎の移動量の算出については, 形状に適した, 加減速を含んだ点群を作成することが求められる. そこで, 本研究では幾何形状から, 加減速を含む工具先端点座標と工具ベクトルである点群としてCLデータを生成する形状補間機能を開発した. 今回は加工対象形状から工具半径分オフセットした位置を用いて, 点群データの生成を行った.

制御対象とする工作機械はX,Y,Z軸の3軸と傾斜軸としてY軸周りに回転するB軸とZ軸周りに回転するC軸を持つBC軸タイプとなっている. 一方, CLデータは工具先端点座標と工具の向き(工具姿勢)である工具ベクトルを有しており, 工作機械には依存していない. Fig.2にCLデータとサーボデータを示す.

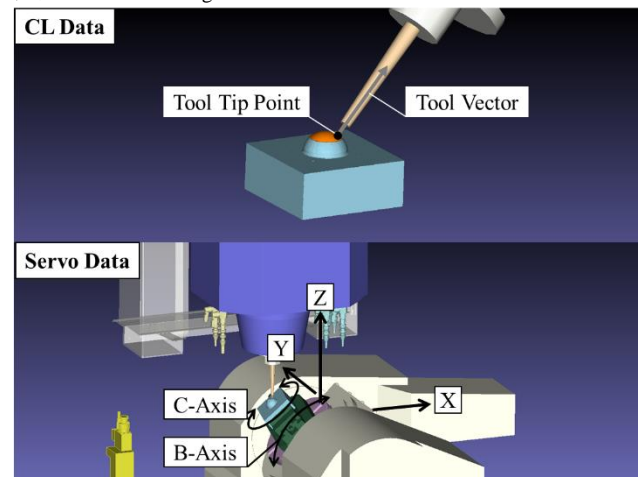


Fig.2 CL Data and Servo Data

工作機械を動作させるためには、CL データから工作機械のサーボデータに変換する必要がある。そこで、CL データを、工作機械の各軸である(X,Y,Z,C,B)の指令値に変換するポストプロセッサ機能の開発を行った。具体的には5軸加工機の並進移動とBC軸の回転からCLデータの工具先端点座標を計算する回転行列を求める。その際の座標変換の概略図をFig.3に示す。Fig.3(a)に示す変換前の座標を、それぞれ γ 、 β の順番に回転させることでFig.3(b)に示すように、工具の方向を垂直にする。今回対象とする加工機では傾斜軸であるB軸に付随して回転軸であるC軸が回転し座標系全体が回転する。そのため、式(1)、(2)に示すように、Z軸周り、Y軸周りの順に回転変換を行う。また、式(5)に示すように、これらの逆行列を求め、その逆行列にCLデータから式(3)、(4)により計算される、工作機械の回転移動量を代入することで、工作機械の並進移動量を計算している。この座標変換によりワークから見た工具先端点座標と工具ベクトルから工作機械の各軸の絶対移動量を計算することが可能となる。また、変換時の回転に可動域の制限を加え、連続的に動作させることにより解は一意に定まり、急な軸回転が生じないようにした。

Tool Vector: (x_c, y_c, z_c)

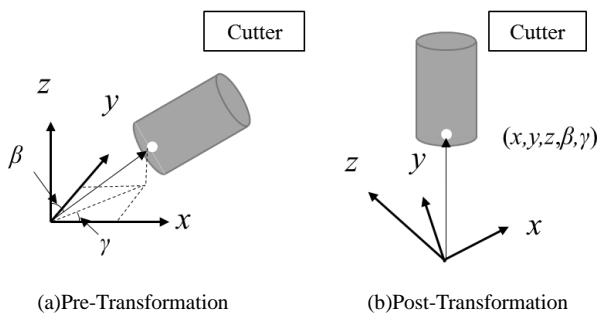


Fig.3 Coordinate Transformation

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \beta \cos \gamma & \sin \gamma & -\sin \beta \cos \gamma \\ -\sin \gamma \cos \beta & \cos \gamma & \sin \beta \sin \gamma \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{z_c}{\sqrt{x_c^2 + y_c^2}} \quad (3)$$

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{y_c}{x_c} \quad (4)$$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \beta \cos \gamma & \sin \gamma & -\sin \beta \cos \gamma \\ -\sin \gamma \cos \beta & \cos \gamma & \sin \beta \sin \gamma \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (5)$$

さらに、CAM データから直接生成されたサーボデータを用いて工作機械を駆動するため、サーボデータ変換出力機能を開発した。これは、各軸の移動量であるサーボデータをバイナリデータに変換し、工作機械のサーボモータに直接出力するソフトウェアとなっている。また、併せてバイナリデータをNCコードに出力する処理も開発し、ツールパスのチェックを可能とした。

4. 切削実験

これら3つの機能により構築したシステムで、実際に加工ができるかを検証するため、簡単な形状を対象に生成した点群データ

により、切削実験を行った。加工用のデータは3DCADを用いて作成し、荒加工用のNCデータの生成は市販のCAMソフトウェアを用いた。切削を行う素材形状をFig.4(a)に、加工対象形状をFig.4(b)に示す。素材は、80[mm]×80[mm]×50[mm]のケミカルウッドのブロックで、加工対象は上部に半径15[mm]の球体をもつ形状である。まず、NCコードによる荒加工に続いて形状補間機能によりサーボデータを生成し、ポストプロセッサ機能と、サーボデータ変換出力機能を用いて仕上げ加工を行った。今回、切削動作の確認のため、工具ベクトルは切削面に対して法線方向としている。ただし、工具干渉を防ぐため工具の傾斜は最大60[deg]とした。仕上げ加工は球面表面においてのみ行い、アプローチ・リトラクト動作はNCコードにより行った。点群の総数は617212点となり、1[ms]の補間周期で加工を行っているため、約617[s]で仕上げ加工が完了する。その際の工作機械の動作をFig.5に示す。実際に仕上げ切削加工を行ったところ、NCコードによる加工と同様の切削が可能であることが確認できた。

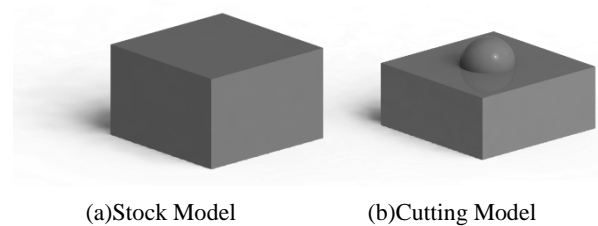


Fig.4 Model



Fig.5 5-Axis Direct Binary Motion

5. 結言

本研究では、幾何形状から直接サーボモータを駆動する、5軸工作機械による加工システムの構築にあたり、形状補間、ポストプロセッサ、サーボデータ変換出力機能の開発によりダイレクト5軸加工システムの構築を行った。そして構築したシステムで加工実験を行い、5軸制御での加工が可能であることを確認した。

今後は、点群生成の際に切削速度を考慮し、CLデータ上での速度を一定にしたサーボデータ生成を行う必要がある。また工具のたわみなどを考慮した制御を実現する予測補正制御の導入が必要となる。そして、より複雑な形状での加工を行い、従来のCAMとNCプログラムによる加工と構築したシステムでの加工精度を比較し、その有用性を確認していく必要がある。

参考文献

- [1] 藤尾三紀夫ほか、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、Vol77.pp.1048-1052、2000