

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 -形状補間の3軸での検証-

○櫻庭拓海, ◎藤尾三紀夫 (沼津高専 制御情報工学科)

要 旨

近年、高能率で複雑な加工が可能な5軸加工機の導入が進んでいるが、さらなる高速高精度加工が必要とされている。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(形状補間)、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。本報告では3軸で幾何形状から直接サーボデータを生成し、その手法の有用性を検証したので報告する。

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軸では不可能なアンダーカット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。

そこで、本研究では図1に示す予測補正制御に基づく高速高精度な多軸加工システムを提案している。このシステムは、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(形状補間)、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である。切削中の工具のたわみや摩耗についてはシミュレーションによる誤差の予測補正を用い、指令精度の向上には、幾何形状から直接サーボデータを生成する形状補間を用いる^{[1][2]}。本報告では複雑な5軸加工の前に3軸加工でのシステムの形状補間について有用性の検証を目的としている。

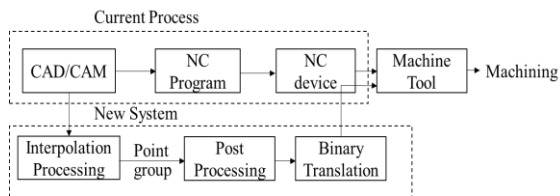


図1 システムの構成図

2. 現状の問題点と検証方法

現状の汎用CAMを用いて図2のような滑らかな曲面が接するエッジを持つ形状の切削パスを作成すると、エッジの部分が認識されない場合が生じる。これは、CAM計算の際に幾何情報を微小なポリゴンに分化し、幾何情報を失うことが原因と考えられる。そこで本研究ではこのエッジを正しく反映するために幾何情報から直接モータを駆動するサーボデータを生成する形状補間を用いる。3軸加工において現状のCAMと形状補間の差を検証するため、滑らかな曲面を持つ形状を対象にCAMで作成したNCコードと形状補間での加工を行い、エッジ部分の再現性を比較した。

今回の検証には図3の形状を対象とし加工を行った。直方体の上部に半球状の形状が4つあり、ABCDの順でR=10.32mm, R=10.16mm, R=10.08mm, R=10.04mmの4つの半球から構成されている。この半球は水平方向の断面で見たとき4つのエッジがでる形状である。加工実験はこのうちAの半球について加工を行った。図4(a)は半球Aの底面を示しており、球体の半径が10mmになるように4曲面を内側にオフセットしており、接線方向に3.5度折れるエッジになっている。また図4(b)は汎用CAMが生成したNCの指令位置を示しており、エッジ上に点がなく、エッジを正確にとらえられていないことがわかる。

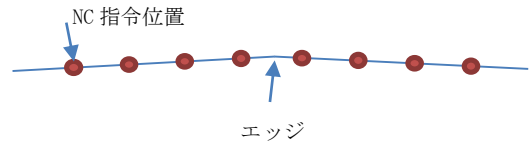


図2 滑らかな2曲面のCAMによるNC指令値

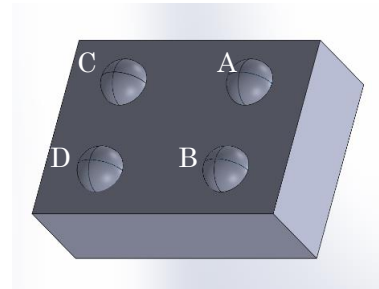


図3 加工対象形状

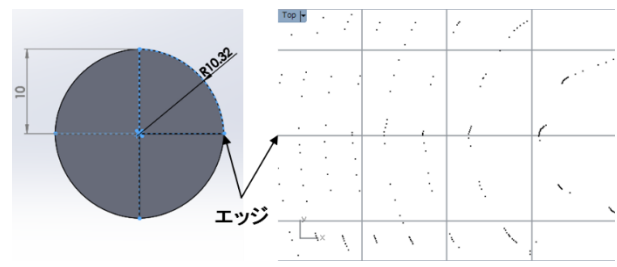


図4 半球の底面とNC指令値

3. 形状補間

形状補間の切削パスの作成方法は、まず3次元形状から工具半径(1.5mm)をオフセットした形状を求める。そして切削するツールの移動位置を、補間周期毎(1ms)での加減速を含んだ図5に示す点群に変換し、サーボデータとする。サーボデータは0.1μm単位を最小単位として扱い、それを工作機械が直接扱うことのできるバイナリファイルに変換しNCの加減速処理なしに直接工作機械を動作させる。

今回荒加工ではどちらにも汎用CAMで作成した同じ切削パスを用いた。仕上げ加工で用いたパスは図5に示す上から下に等高線加工を行うパスとした。ただし形状補間ではZ方向への移動はエッジ生成を滑らかにするためCAMと異なるアプローチを行った。図7に高さ2mmでの2円(赤から青)にアプローチするパス(赤から青のグラデーション)の点群を示す。形状補間のため作成した点群においての等高線間のアプローチは円弧のエッジAで減速した後、加速しアプローチ円(赤から黄色)に接線方向に抜ける面(青)の接線方向に入りエッジBで減速する。そしてまたC点に向けて加速を行っている。このアプローチパスで減速せずにZ方向のアプローチを行っている。

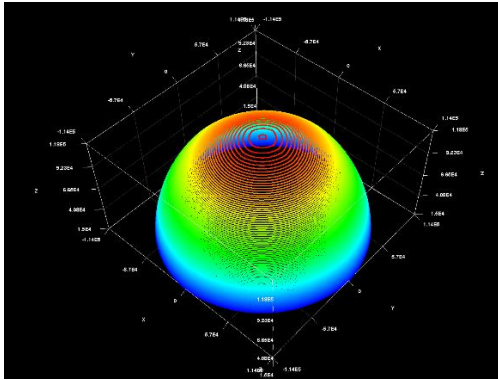
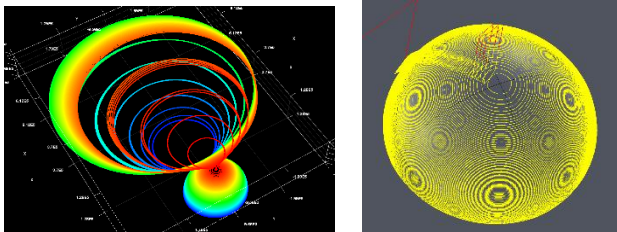


図5 加工対象形状の点群



(a) 形状補間

(b) 汎用 CAM

図6 形状補間によるパスと CAMによるパス

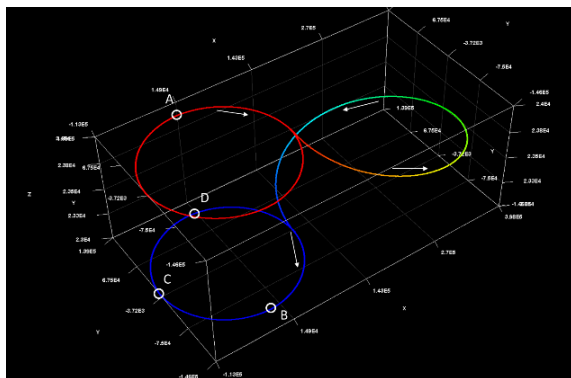


図7 半球高さ2mmの加工とアプローチの点群

4. 検証結果

図8が形状補間で加工した後の形状, 図9がCAMのNCコードで加工した後の形状を同一方向から見た写真である. 同図より形状補間の加工の方がエッジを再現できていることがわかる. それぞれの加工時間は形状補間では7分30秒, NCコードでは3分27秒要した. 図10に形状補間による加工時の速度変化, 図11にNCコードによる加工時の速度変化(赤 X, 青 Y, 緑 Z, 桃 XY 合成)を示す. 形状補間ではエッジの部分認識して速度が0(A, B, C, D)になるようにしたため, エッジの精度を高めている. NCコードでは図11に示すように4つのエッジ(A, B, C, D)を認識していることが確認できるが速度の変化が少ないことからエッジが再現されていないことが確認できた.

5. 結言

本研究では形状補間の有用性の検証を目的とし簡単な形状のエッジの再現性について汎用CAMと比較した. その結果形状補間による有用性を確認した. しかし現状のアプローチ法では形状補間の方がNCの加工時間を越えることが明らかとなった. 今後は加減速の最適化, 加工時間全体の6割を占めるアプローチパスの最適化を行う必要がある.

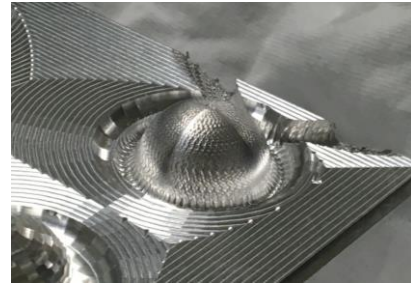


図8 形状補間による加工形状 (F6000)

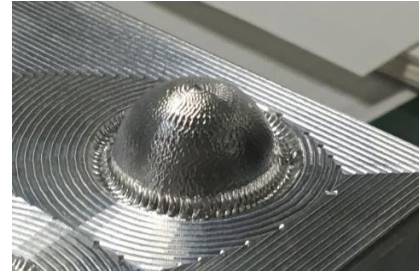


図9 NCコードによる加工形状 (F6000)

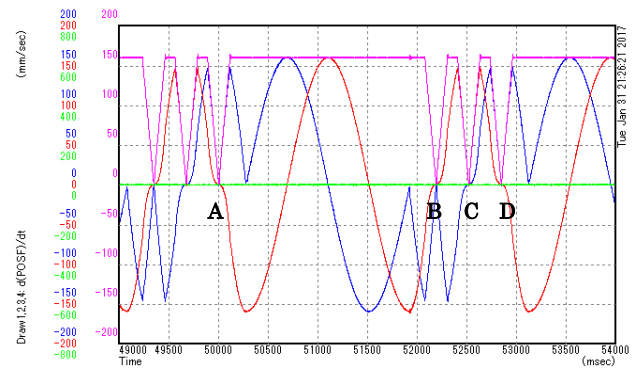


図10 形状補間による加工速度変化

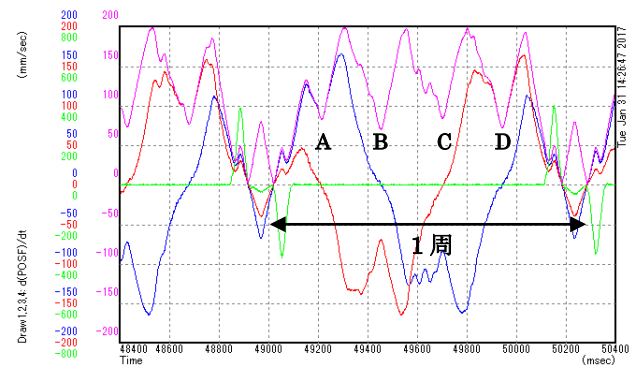


図11 NCコードによる加工速度変化

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, Vol7.pp.1048-1052, 2000
- [2] 藤尾三紀夫ほか, Development of High-Speed and High Accuracy Machining based on Predictive compensation Control for Machining Error ~Constitution of Proposed System, Proc of 5th later national Conference on Positioning Technology.pp.126-127