

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：53801

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560148

研究課題名(和文) 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

研究課題名(英文) Development of High-Speed and High-Accuracy Multi-Axis Machining System based on Prediction and Compensation Control

研究代表者

藤尾 三紀夫 (FUJIO, Mikio)

沼津工業高等専門学校・制御情報工学科・教授

研究者番号：70238541

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：当該研究は3軸加工で実績を得た「予測補正制御手法」を多軸加工に適用し「形状補間」と「予測補正制御」により高速高精度な多軸加工を実現するシステムの開発である。システム構築のため、形状補間を用いた駆動データの生成機能、駆動データを用いた加工機の駆動機能、そして駆動データから精度を評価する機能の開発を行った。しかし最終段階として、導入された5軸加工機の軸構成が異なったため、駆動データの生成機能の大きな改良が生じ、最終的な測定に至らなかった。現在改良と調整を行っており、早急に加工実験を行う予定である。

研究成果の概要(英文)：This study concerns a development of the system which applies "predictive and compensation control" with the results to multi-axes processing. Moreover the system realizes the multi-axes processing that is able to control high-speed and high-precision by "geometric interpolation" and "prediction control". To construct prototype systems, three functions, as follows, are developed. First is the geometric interpolation that generates servo data. Second is the drive function that moves multi-axis machine motors according to servo data. The other is the measurement function to evaluate precision. However, the constitution of multi-axis machine tool that introduced last year is not adapted to the prototype we developed. Because the prototype system requires an improvement, the evaluation of this prototype is required and not brought to a conclusion. The geometric interpolation function is developing and it is improving now, the evaluation of this system is required as soon as possible.

研究分野：CAD/CAM

キーワード：多軸加工用CAM 金型加工 CAD/CAM 多軸加工 高速高精度加工 形状補間 誤差の予測補正 NC加工シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

日本が世界的優位を維持してきた加工技術や工作機械技術は、中国や韓国の猛迫により、3軸加工においては技術的優位を維持することが難しくなってきた。一方、多軸加工は、段取り替えが不要なため高能率で、複雑形状を加工できることから急速に普及してきているが、同時5軸加工ではまだ高速で高精度な加工が難しい状況にある。日本のさらなる技術的優位を維持するためには、急迫している国が未だ困難としている同時多軸制御の高速高精度加工の早期実現が必要不可欠な状況になってきている。

本研究は多軸加工を対象とし、CAM、NC加工シミュレータ、CNC装置、工作機械メーカーから構成されていた従来の加工システムをスクラップアンドビルドした新たな加工システムの開発を特色としている。多軸のCAM、CNC、NC加工シミュレーション、工作機械制御の個別技術の観点からもこれまでにない幅広い分野にまたがる視野を持った発想である。本研究により、金型加工技術における日本の地位の確保のみならず、日本のものづくり産業の発展に大きく寄与できると期待できる。

2. 研究の目的

さらなる5軸加工システムの高速高精度化を実現するため、本研究では、多軸のCAM、NC加工シミュレーション、CNC装置、工作機械の垣根を取り払った統合システムの構築を提案している。具体的には、NCプログラムの代わりにCNC装置の最終位置指令出力であるサーボデータを中心に、多軸加工での回転運動を伴う工具先端加工点の高速高精度な位置指令の生成を行う。また加工中の誤差については予測補正を行うことで、高速高精度な多軸加工を実現する新たな多軸加工システムの開発を目的としている。

3. 研究の方法

本研究における目的を実現するため、開発するシステムは、形状データから最適なサーボデータを生成する「誤差の予測補正システム」と、サーボデータで5軸加工機を駆動する「駆動システム」、加工状態のデータを計測する「測定システム」から構成される。図1に開発するシステムの構成図を示す。

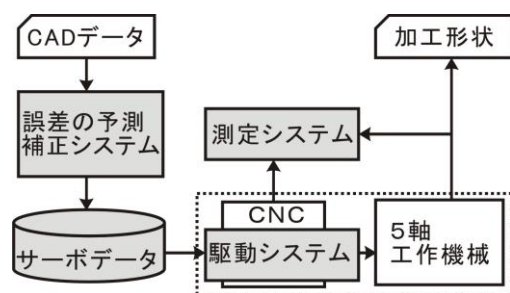


図1 システム構成図

(1) 誤差の予測補正システム

誤差の予測補正システムはサーボデータを作り出す形状補間機能と加工時の誤差を予測補正する機能から構成されている。

①形状補間機能

CADデータから形状に適した加減速を含む機械駆動に必要な速度データ（サーボデータ）を作り出すシステムである。その手順は、オフセット形状の生成と加工断面データの取得、断面データから直線、円弧、曲線の抽出であり、それぞれの形状に応じた加減速および要素間の接続速度計算を行うことにより機能を実現する。さらに5軸加工においてはボールエンドミル等の球形工具の工具切削点での加工位置も考慮する必要がある。

②誤差の予測補正機能

形状補間により生成されたサーボデータに基づいて機械を駆動、素材を加工した際に生じる工具のたわみ変形や摩耗、運動誤差などを予測し、サーボデータを変更することによって、加工前に誤差の予測補正を行う。このため、切削中の単位時間当たりの除去体積を算出し、このデータに基づいて、加工中の加工誤差の予測に用いる。またシミュレーションのため、本研究室で開発したBoundary-Map形状モデルで構成されたCAD/CAMシステムにNC加工シミュレーションを5軸加工に適合させて用いる。

(2) 駆動システム

誤差の予測補正システムで作成されたサーボデータは既にCNCが持つ補間周期で最適な加減速処理が行われているため、CNC内部でNCプログラムの解析や補間、加減速を行う必要が無い。そのため、サーボデータを直接サーボモータに出力する必要がある。そこで本研究ではCNCが持つ高速バイナリ運転を利用してサーボデータを駆動するシステムを導入する。そして位置指令点群からバイナリ運転可能なデータに変換し、CNCに転送するソフトウェアを開発する。

(3) 測定システム

加工中の位置や速度、主軸回転数、切削負荷など加工状態について測定することで、システムの効果を評価することができる。その手法として、CNCメーカー独自のオプションであるサーボ調整ツールを用いることができる。しかしこの機能で測定できるデータには制限があるため、CNCメーカーがオープンしているC++用ライブラリFOCUS2を用いてシステムを構築する。取得データとして主軸回転数、主軸および各軸の負荷、フィードバック位置の取得を可能とする。

4. 研究成果

(1) 試作システムの構築

試作用として3つのシステムから構成された新多軸加工システムを構築した。これらのシステムはPC上に構成され、5軸加工機とネットワークおよびNCメーカーのオプションであるHSSBを用いて接続する。図2

に試作した新多軸加工システムの構成を示す。また図3に導入した5軸加工機と接続された新多軸加工システムの写真を示す。

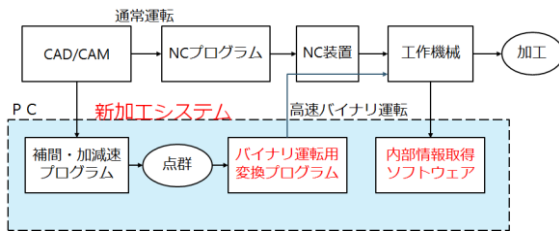


図2 新多軸加工システム



図3 5軸加工機と開発したシステム

①誤差の予測補正システム

誤差の予測補正システムは、これまでの研究で開発した3軸での誤差の予測補正システムをベースに、多軸加工に対応させた。しかし、5軸加工機の軸構成が未確定であったため工具先端位置と講義の中心軸の法線ベクトルを有するCL (Cutter Location) をベースとした。

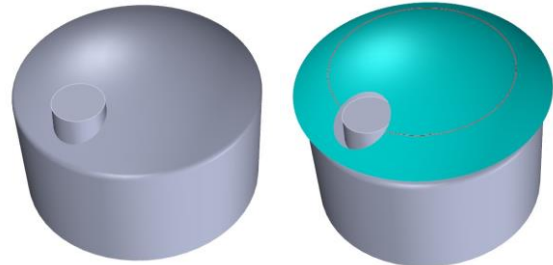
①-1. 形状補間機能

5軸加工において形状補間を行うため、3軸でのシステムをベースに5軸対応させた。手順は加工面を工具の半径分外にオフセットしたオフセット面の生成から、加工方向を含む面による交差線データの算出である。例えば図4(a)に示す加工形状の上面については、図4(b)に示すオフセット面を生成する。そして、等高線加工を想定し、Z値を同一とした平面で断面を切り、工具経路となる断面線データを得る。さらに、この得られた点群データから曲率に基づいて直線、円弧、曲線（曲率データを有する）に分類する。そして分類された各要素について加減速をかけてサーボデータとする。図5はこのデータサーボデータを元に、CLからNCプログラムとして5軸加工を行った結果を示している。

加工実験により、現状では基本アルゴリズムの有効性は示されたが、導入された5軸加工機の軸構成が想定していた5軸加工機と異なるため、ポスト処理が未対応である。またオフセット形状生成からサーボデータ化の自動化が未対応であり、早急に対応し、試作システムでの加工実験が急務である。

①-2 誤差の予測補正システム

5軸加工での誤差を予測するため、従来の3軸に加え、5軸でのNC加工シミュレーション機能を開発した。その結果、切削後の形状データの表現まで可能となった。また対象誤差として工具のたわみを対象としている。しかし、たわみの予測精度が不十分であり、改良を行っている。図5に5軸加工シミュレーションを行った例を示す。



(a)加工対象形状 (b)面と工具経路

図4 加工対象と工具経路

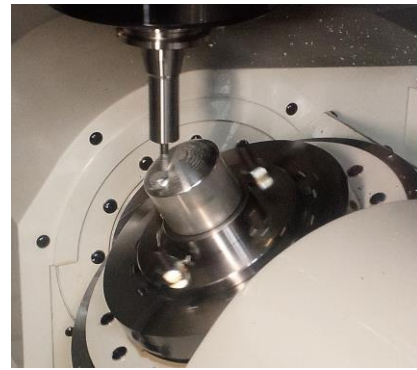


図5 加工実験結果

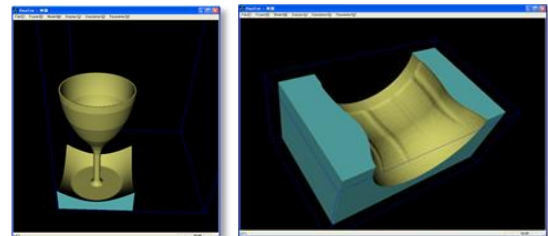


図6 5軸加工シミュレーション例

②駆動システム

最終年度に導入された5軸加工機を対象に、サーボデータを直接5軸加工機のサーボモータに出力できる高速バイナリ運転を導入した。具体的には点群で表現されたサーボデータを開発した変換プログラムによりバイナリ運転に対応したデータ形式に変換し、5軸加工機を駆動する。本研究では従来用いられていたNCプログラムを用いない点の特徴としている。

指令コードとして、バイナリ運転を行うサーボデータの先頭に「G05」の単独ブロックを置き、以下補間周期毎の各軸の移動量を1ブロックずつ指定し、最後に全軸の移動量をすべてZEROにする。1ブロックは軸ごとの単位時間当たりの移動量(2バイト)を第1

軸から順に5軸分並べ、その後にチェックバイト(1バイト)を続けたフォーマットとなっている。また、バイナリ運転開始時にはB、C軸のクランプを外す「M11」、「M13」を置く必要がある。

検証は実際に点群を作成し、バイナリデータ化すると同時に5軸加工機を用いて、バイナリ運転による多軸制御を行い、その内部情報をソフトウェアで取得し、比較することで行った。指令値は25秒間でX軸方向に50mm、Y軸方向に100mm、Z軸方向に-50mm動き、B軸は90°、C軸は-90°回転し、速度は一定であるとして点群を作成した。その点群をバイナリ運転用変換プログラムにかけて5軸加工機でバイナリ運転を行った。5軸加工機の実験前の状態を図7(a)(b)に実験前後の状態を示している。



(a)実験前 (b)駆動後
図7 バイナリ運動作動結果

③測定システム

加工指令の効果を検討するには指令軌跡、フィードバック軌跡、加速度や主軸負荷などを取得し評価を行うことが必要となる。工作機械と内部情報取得ソフトウェアはLANケーブルで接続し、リアルタイムで通信を行い、データを取得する。また、工作機械との通信を行うために、NCコントローラの FOCUS2 API ライブラリと FOCUS2 ドライバを利用した。サンプリングには Windows7 のタイマを用い、10ms で測定を行う。内部情報取得ソフトウェアでは「位置指令」「座標」「速度」「負荷」の4つの情報を取得することが可能である。図8に作成したソフトウェアの基本画面を示す。



図8 測定システム画面

「座標」は絶対・相対・機械標・残座標の1つを選択し、表示する。「速度」は主軸の回転速度を取得し、表示する。「負荷」は軸ごとの負荷と切削工具の主軸回転の負荷を表示する。またこれらのデータはリアルタイム表示と同時にサンプリングして保存することも可能である。実際に図7に示すサーボデータを測定した結果、測定が可能であることが判った。しかし、測定周期を短くするとOS側が応答できず、測定精度が低下した。

(2) まとめ

本研究では、高速高精度加工な多軸加工を実現するシステムの開発を目的に、システムの提案と、構成要素システムについて検討を行った。誤差の予測補正については3軸加工でのシステムをベースにアルゴリズムを考案し、テスト加工を行った。その結果、基本的なアルゴリズムの有効性を確認することができた。しかし、5軸加工の導入が初年度から最終年度と大幅に遅れ、汎用的な多軸加工機の軸構成でシステムを開発したため、試作システムの検証等ができず、最終的な加工実験に至らなかった。一方、5軸加工機が導入された最終年度は、駆動システムや測定システムを構築し、加工実験への導入体制を整えた。

今後は早急に、導入した5軸加工機用に処理を組み替え、3軸に加えて5軸に対する機能の実装を行い、加工実験を行う必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 2件)

- ①藤尾三紀夫、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 -基本システム構成の提案-、2013年度精密工学会秋季大会学術講演会、平成25年9月13日、関西大学千里山キャンパス(大阪府吹田市)
- ②藤尾三紀夫、サーボデータ制御に基づく高速高精度加工システムの開発、製造科学技術センター・アイデアファクトリ研究会、平成26年1月21日、富士通川崎工場(神奈川県川崎市)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

- 出願状況(計 0件)
- 取得状況(計 0件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤尾 三紀夫 (FUJIO Mikio)

沼津工業高等専門学校・制御情報工学科・教授

研究者番号：70238541