

オンマシン磨き加工用 CAM システムの開発 -凹型球面での等高線工具経路生成について-

沼津工業高等専門学校 ○中野齊可太, 櫻庭拓海, ©藤尾三紀夫

切削加工後の金型表面の磨き加工は熟練と多くの時間を要するためロボットを用いた自動化が進められている。しかしティーチングや専用工具が必要となり、磨きの自動化に充分に対応できていない。そこで本研究では汎用のファイバーブラシを5軸制御し、工作機械上で磨きを行うことができるCAMシステムの開発を目的とする。本報では、半球形状の凹面を対象に等高線工具経路を生成する手法について検討したので報告する。

1. 研究の背景と目的

ボールエンドミルを用いて切削加工を行うと、カッターマークに代表されるように加工表面に凹凸が生じる。この凹凸を無くすために磨き加工が必要になる。現在、磨き加工は熟練した職人による手作業が中心であり、加工時間が長いことと高齢化による人材不足が問題になっている。そのため、磨き加工代替手法による自動化が切望され、ロボットの適用が研究されているが、汎用性が低いのが現状である。そこで本研究では、5軸加工機にFig.1に示すファイバーブラシを取り付け、NCコードにより凸面と凹面によって構成される自由曲面の磨き加工が可能な汎用CAMシステムの開発を目的としている。この手法の利点は、既存の5軸加工機を用いることでコストを削減できるために、導入が容易であることである。



Fig.1 ファイバーブラシ

これまでの研究で凸面の円弧曲面と球面に対しては、ファイバーブラシと5軸加工機を用いる提案手法で、磨き加工が可能であることがわかっている^[1]。本報告では凹面に対しても同様の手法で加工できるかを確認するために、CAMによる等高線工具経路の生成から、球面の磨き加工実験までを行った結果について述べる。

2. 曲面の磨き加工処理の提案手法

ファイバーブラシは、セラミックファイバー線材を円筒形に束ねて砥石を構成している。このセラミックファイバー線材の束の一つは半径1.5[mm]で、それらがブラシの外周に沿って配置されており、ファイバーブラシの中心部分はFig.1のように空洞になっている。ファイバーブラシには、外径5から25[mm]までが市販され、加工条件に合わせて使い分けができる。また、ファイバーブラシは工作機械の主軸に取り付けて使用し、バネによって接触圧を一定に保ち、汎用工具と同じ取り扱いができる。

本研究では、5軸制御によってファイバーブラシの向きを加工対象曲面の法線方向に傾けることで、様々な形状の自由曲面に対応する磨き加工CAMシステムを提案している。具体的には、Fig.2に示すように、凹凸面共に加工面の法線ベクトル方向にファイバーブラシを傾けるように5軸制御することによって、ブラシの接地面積を増やし、ファイバーブラシを用いた曲面の磨き加工を実現する。

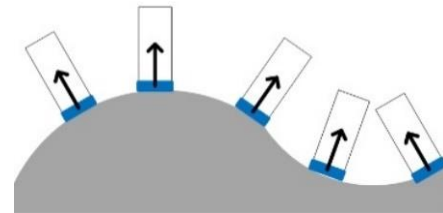


Fig.2 自由曲面への対応

3. 凹型球面の5軸制御加工実験

提案する手法で曲面の磨き加工ができることを確認するために、加工実験を行い、磨き加工前の基準面としてFig.3に示すようにアルミブロック(縦115[mm],横80[mm])から、φ10のボールエンドミルを用いてピックフィード(pf)0.5[mm]で走査線工具経路を用いてR120の半球をカスプ高さ5[μm]になるように加工を行った。その後Fig.4に示すように球面の凹面について磨き加工用の工具経路としてブラシの径であるpf1.5[mm]で等高線工具経路を生成し、φ15のブラシを用いて検証実験を行った。

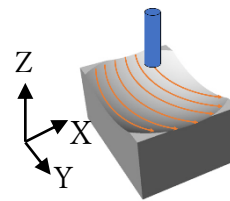


Fig.3 基準面の加工

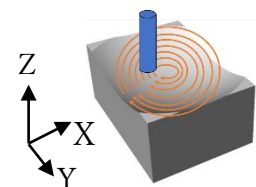


Fig.4 磨き加工

3.1 CAMシステムの構成

加工実験にあたり、凹型球面の法線方向にブラシを傾けて5軸での磨き加工を行うために必要なNCコードを生成するCAMシステムを開発した。このCAMは、3次元CAD(Rhinoceros)のAPI(Python Script)を用いて開発を行った。Fig.5は今回作成したCAMシステムの構成である。モデルデータを選択して、等高線の間隔を指定するとFig.6のように等高線が生成される。その後切込み量とCLデータの点の間隔、工具の逃げの高さを指定することで、Fig.7のCLデータを生成し、ポスト処理を経て、NCパスを作成し、Fig.4に示す等高線での磨き加工を行う。

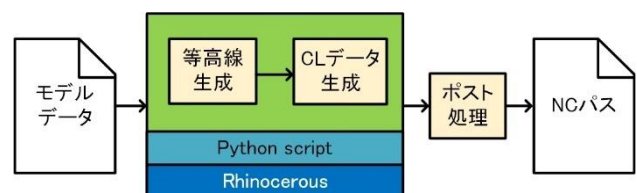


Fig.5 システム構成

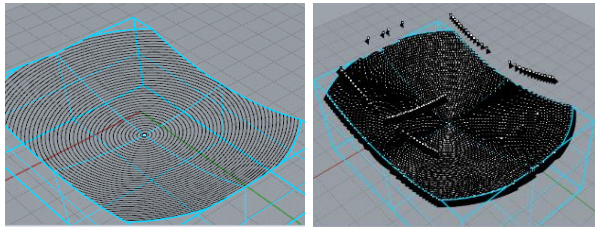
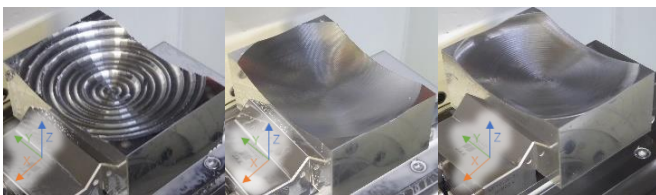


Fig. 6 等高線

Fig. 7 CL データ

3.2 磨き加工実験の結果

今回の実験では凹型球面の磨き加工のために切込量を $0.2[\text{mm}]$ とした. その他の加工条件を送り速度 $1200[\text{mm}/\text{min}]$, 主軸回転数 $2400[\text{rpm}]$ に設定し 30 回磨いた. Fig. 8(a) は荒加工後であり, Fig. 8(b) は磨き加工前(基準面), Fig. 8(c) は磨き加工後の形状を示している. 基準面では, 工具経路である Y 軸方向に加工跡が見受けられた. また, ファイバーブラシによる磨き加工では, 等高線パスによる円状の加工跡が残った.



(a) 荒加工後 (b) 基準面 (c) 磨き加工後

Fig. 8 加工実験の経過

磨き加工の効果を確認するため, 基準面と磨き加工後の表面の表面粗さを表面粗さ計によって測定した. 磨き加工面は測定場所によって表面粗さが異なると考えられるため, Fig. 9 に示すように端と中心とその二つの中間を測定した. 表面粗さ計によって測定した基準面の X 軸方向, Y 軸方向の表面粗さを Fig. 10 に, 磨き加工後の面の X 軸方向, Y 軸方向の表面粗さをそれぞれ Fig. 11 に示す. Fig. 10 より, 基準面の加工面の X 方向には, $\text{pf}0.45[\text{mm}]$ の間隔があり, でカスプ高さ $6[\mu\text{m}]$ が発生していることが確認できる. 一方, Fig. 11 から磨き加工によって, X 軸方向のカスプ高さが除去されていることが明らかになった.

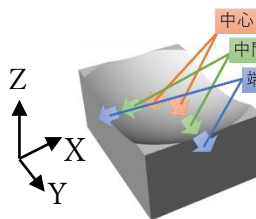
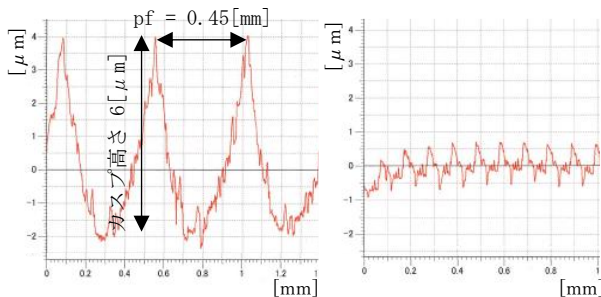


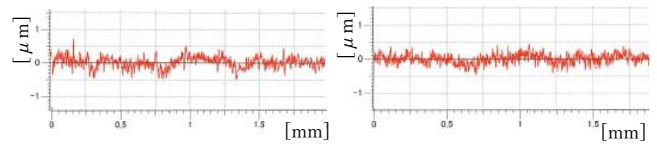
Fig. 9 測定位置



(a) X 軸方向

(b) Y 軸方向

Fig. 10 基準面の表面粗さ



(a) X 軸方向

(b) Y 軸方向

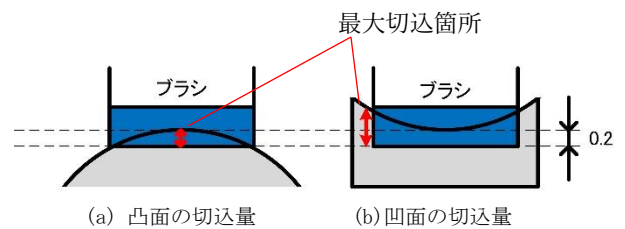
Fig. 11 磨き加工面の表面粗さ

表面粗さ計で測定した基準面と磨き加工面の X 軸, Y 軸方向の表面粗さの数値を Table. 1 に示す. 同表から, カスプ高さが影響する X 軸方向の表面粗さは, 磨き加工によって大幅に小さくなっている. このことから, 提案手法によって, ボールエンドミルによって生じるカスプ高さやカッターマークのような加工表面の凹凸を除去できることがわかる. 一方で表面粗さは, 測定位置の端と中間では小さくなり, 中心では大きくなっている. また, 同じ条件での凸型球面の場合, 表面粗さは, X 軸方向 1.011 , Y 軸方向 0.224 であり^[1], 凹型面の方が, 磨き量が多いことがわかる.

これは, Fig. 12 (a) の凸面と (b) の凹面の加工時の切込み量を比べると凹面の方が, エッジ部が切込み量よりも深く切り込むために, 凸面と比べて切り込みすぎる傾向にあると考えられる.

Table. 1 基準面と磨き加工面の表面粗さ

測定面		X 軸方向	Y 軸方向
基準面	端	1.3476	0.2935
	中間	0.1632	0.1241
磨き加工面	端	0.1432	0.1587
	中心	0.3482	0.3582



(a) 凸面の切込量

(b) 凹面の切込量

Fig. 12 凸面と凹面の切込量の違い

4 まとめと今後の課題

本研究では, ファイバーブラシを 5 軸制御し, 工作機械上で様々な自由曲面に対応した磨き加工を自動的に行うオンマシン磨き加工用 CAM システムを提案した. そして実際に凹面の球面に対して, ファイバーブラシを球面の法線方向に 5 軸制御することで凸面と同様に磨き加工が可能であり, その有効性を確認した.

今後は, 自由曲面に対応した CAM システム開発に必要な加工データを集めるために, 送り速度や, 主軸回転数や磨き回数などの, パラメータを変更してその関連性について確認を行う必要がある. また, 球面だけでなくより簡単な円弧凹面を用いてブラシ径と曲率について議論を行う必要があり, 凹凸型面での切込量の違いについて検討する必要もある.

参考文献

- [1] 櫻庭拓海, 藤尾三紀夫, ファイバーブラシの 5 軸制御に基づく磨き加工用 CAM システムの開発-曲面加工における基礎実験の結果について-, IMEC2017, 2A1-1, 2017