

# 仕上げ加工経路を利用した5軸制御荒加工経路の生成

電気通信大学 ○天沼賢人, 電気通信大学大学院 ◎森重功一

## 要旨

5軸制御加工の場合、荒加工の経路の生成は難しく、仕上げ加工の経路をオフセットする等の方法が用いられている。しかし、仕上げ経路をオフセットしただけでは、パスの疎密や未切削部分が発生するという問題が生じる。本研究では、パスを追加、削除、移動することにより、工具経路を最適化する手法を提案している。シミュレーション実験の結果、パスの間隔が均一な経路を生成することができ、手法の有用性を確認した。

### 1. 序論

近年、日本の製造業は、高精度かつ生産効率の高い製品の製造が要求されている。それらの要求に対応するために、5軸制御工作機械の需要が増加しているが、複雑な処理を必要とするため、容易な経路生成法の開発が求められている。

5軸制御による荒加工経路の生成は、仕上げ経路より難しいとされている。その理由としては、仕上げ用の工具経路が、目標形状の面を基準に生成されるのに対し、荒加工は、目標形状から離れた空間にも経路を生成しなければならないためである。5軸制御による荒加工経路の生成方法としては、仕上げ用の経路をオフセットしていく方法があげられる。

本研究では、仕上げ加工経路を工具軸方向にオフセットして生成される荒加工経路に対し、パスを並び替え、追加、削除、移動することにより経路を最適化することについて検討した。

### 2. 仕上げ経路をオフセットすることによる経路生成の問題点

仕上げ経路をオフセットすることによって工具経路を生成した場合、パスが密になることにより、図1(a)に示すようにパスが重複してしまうことや、図1(b)に示すようにパスが交差し、切り込み量が不均一になることが考えられる。

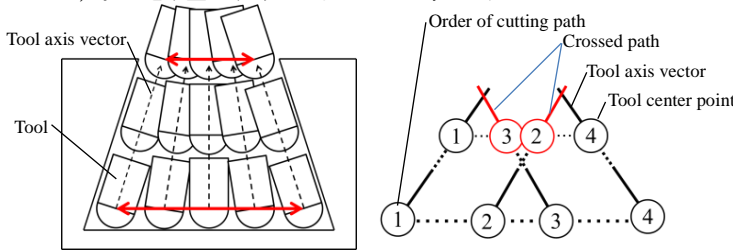


Fig.1 Concentration of paths

また、図2に示すように、パスが疎になることによって切り込み量の増大や未切削部分が生じるなどの問題がある。

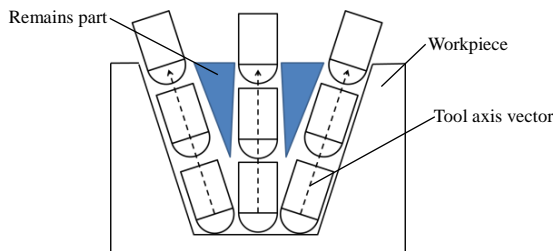


Fig.2 Occurrence of remains part

さらに、図3に示すように干渉面が曲面だった場合、干渉面との間に未切削部分が生じてしまうという問題がある。

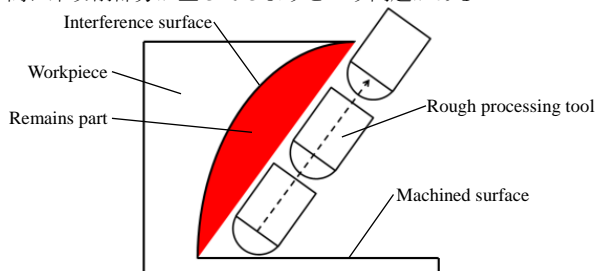


Fig.3 Remains part near interference surface

### 3. 荒加工経路生成

#### 3.1. 経路生成の概要

荒加工経路の基となる仕上げ経路としては、1つのパスに存在する工具中心点の数が等しいことを前提としている。

荒加工経路の生成は、図4に示すように仕上げ経路の工具中心点を工具軸方向にオフセットすることにより行う。図5に示すように、オフセットされた経路のパスが加工前の形状の外側に出た時に、パスを削除する。すべてのパスが加工前の形状の外側に出るまで、経路のオフセットを繰り返す。

経路のオフセットが終了した後、オフセットを行うごとに得られるパス群を1つのレイヤーとし、レイヤー単位で加工する順番を反転させることで仕上げ経路から離れた場所から加工を行う。

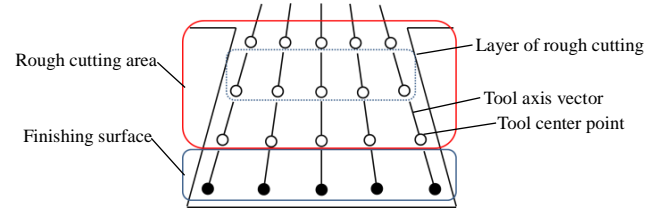


Fig.4 Generation of rough cutting path

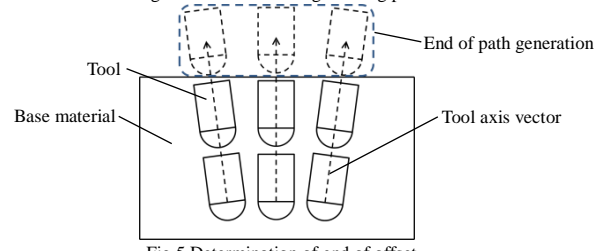


Fig.5 Determination of end of offset

#### 3.2. パスの並び替え

図6に示すように、次に加工するパスへ方向  $F_N$  とレイヤーのピックフィード方向ベクトル  $F_P$  のなす角  $\theta$  を求め、 $\theta$  が  $90^\circ$  以上の場合パスが交差しているため、パスを入れ替える。

$F_N$  は、図7に示すように、次に加工するパスの工具中心点を用いてスプライン曲線を作成し、パスの各工具中心点から曲線の最近傍点へのベクトルを求め、そのベクトルの平均とする。

$F_P$  は、オフセットをする前のレイヤーにあるすべてのパスに対して、 $F_N$  を求め、その平均とする。

入れ替えは、全てのパスの  $F_N$  と  $F_P$  のなす角が  $90^\circ$  以下になるまで行う。

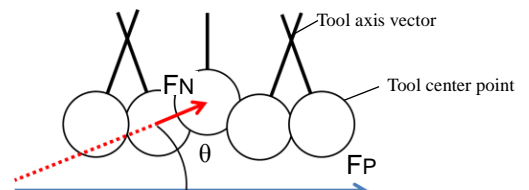


Fig.6 Determination of angle between the vectors

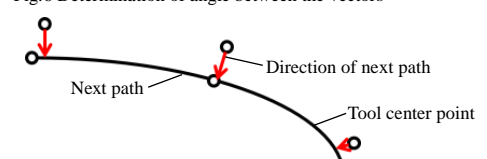
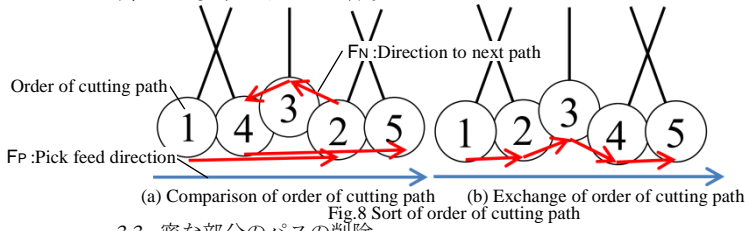


Fig.7 Determination of direction to next path

図8 (a) に示すような場合、2, 3 番目に加工するパスが、 $F_N$  と  $F_P$  のなす角が  $90^\circ$  以上であるため、加工する順番を次のパスと入れ替える。入れ替えるは、図8 (b) に示すように  $F_P$  と  $F_N$  のなす角が  $90^\circ$  以下になるまで行う。



3.3. 密な部分のパスの削除

パスが密集した場合は、パスを削除することで経路の重複を回避する。パスを削除する基準は、削除する対象のパスとその両隣のパスとの距離を測定し、パスの距離がどちらも閾値以下の場合とする。ボールエンドミルの切削限界である工具半径の  $1/10$  を超えないよう、工具半径の  $1/20$  を閾値として設定した。

パスの間隔の計算については、まず、図9に示すように、削除する対象の両側のパスの工具中心点を利用して、スプライン曲線を作成する。そして、削除の対象となるパスの工具中心点から、曲線までの距離を測定し、測定した距離の中で最大のものをパス間の距離とした。

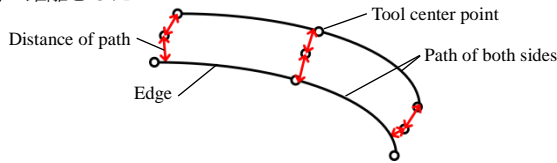


Fig.9 Determination of distance between paths

3.4. 疎な部分へのパスの追加

オフセットを行うことでパスの間隔が広がり、パスの切り込み量が増加する場合、パスを追加することにより、切り込み量を抑えた経路にする。パスを追加する基準は対象とする2つのパスの間隔が、設定した閾値以上になった場合とし、閾値はボールエンドミルの切削限界である工具半径の  $1/10$  に設定した。

パスを追加する場合は、追加するパスの数を  $n$ 、工具半径を  $r$  とし、(1) 式を満たす数のパスを、対象となる2本のパスの間に追加する。

$$n \geq \frac{10}{r}l - 1 \quad (1)$$

追加するパスの工具中心点と工具軸ベクトルは、パスの追加の対象となる2本のパスに対して加重平均を用いて算出した。測定したパスの工具中心点を  $O_1, O_2$ 、測定したパスの工具軸ベクトルを  $T_1, T_2$  とした場合、追加するパスの  $O_1$  から  $m$  番目のパスの工具中心点  $O_m$  と工具軸ベクトル  $T_m$  を (2), (3) 式から求める。

$$O_m = \frac{(n+1-m)O_1 + mO_2}{n+1} \quad (2)$$

$$T_m = \frac{(n+1-m)T_1 + mT_2}{n+1} \quad (3)$$

上記の式を用いることで、図10に示すように、工具姿勢が急変しない経路を生成する。

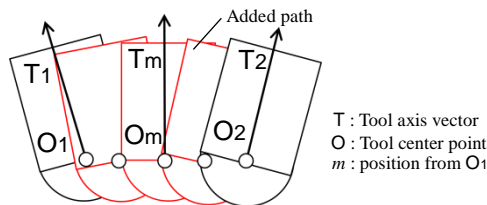


Fig.10 Addition of a new path that interpolates between paths

3.5. 干渉面との間に未切削部分の発生する場合

図11 (a) に示すように、干渉面が曲面だった場合、干渉面との間に未切削部分が残るため、パスを干渉面近くに移動することにより、未切削部分を切削するようにした。

パスを移動する基準は、レイヤーの両端のパスに存在する各工具中心点  $O$  と干渉面の最近傍点  $A$  との距離  $L$  が工具半径以上離れている場合とした。図11 (b) に示すように、干渉面の最近傍点  $A$  と測定したパスの工具中心点  $O$  でベクトル  $N$  を計算し、干渉面の最近傍点  $A$  からベクトル  $N$  の方向に工具半径分離れた位置  $O'$  に工具中心点を移動させる。

パスの移動を行うと、オーバーハングした干渉面などの場合は、

工具が干渉することがあるため、図11 (c) に示すように、工具姿勢ベクトル  $T$  を工具送り方向ベクトル  $F$  を軸として、干渉しない姿勢  $T'$  になるまで回転させる。この時、図11 (d) に示すように、移動前の工具中心点  $O$  から移動後の工具中心点  $O'$  への移動距離  $D$  が工具半径の  $1/10$  以上だった場合、工具に負荷のかかる経路になってしまうため、移動前と移動後のパスの間に、切り込み量が工具半径の  $1/10$  以下になるように新しいパスを追加する。

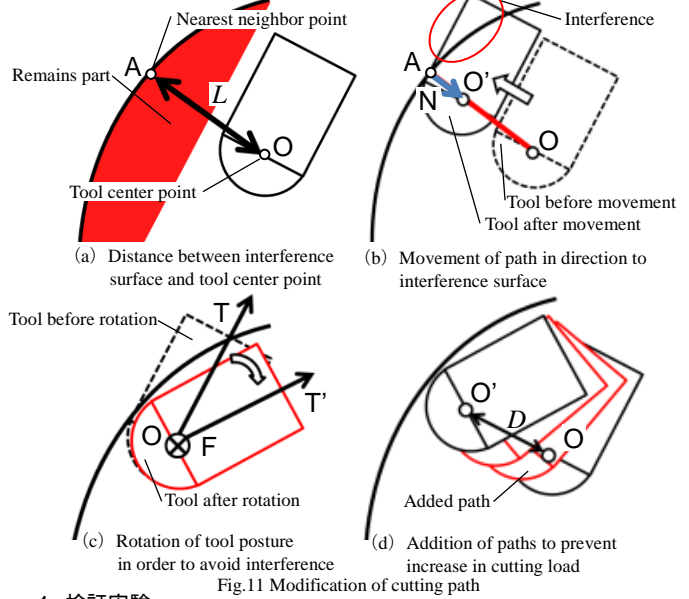


Fig.11 Modification of cutting path

4. 検証実験

本研究で開発したシステムの有用性を検証するために、インペラ形状を用いて検証を行った。図12 (a) に目標形状を、図12 (b) に加工前の形状を示す。

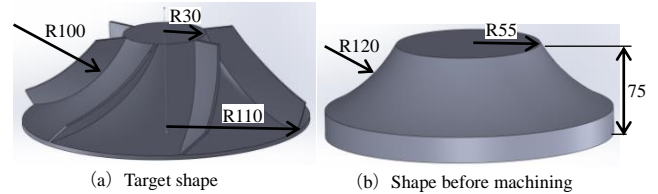


Fig.12 Machining shape

オフセットのみで生成した工具経路の加工シミュレーション結果を図13 (a) に、本研究で開発した手法で生成した工具経路の加工シミュレーション結果を図13 (b) に示す。

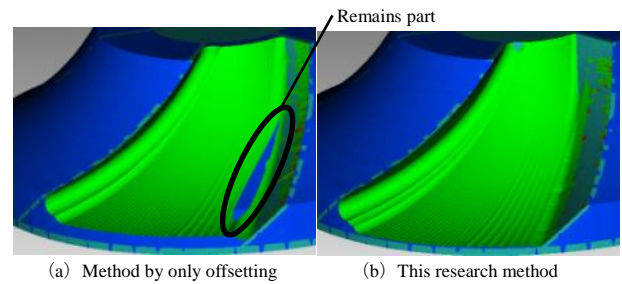


Fig.13 Simulation results

インペラ形状のように干渉面が自由曲面であり、パスが曲線となる経路の場合でも、本研究手法で荒加工用経路を生成することができた。また、図13 (a) に示すように、オフセットのみの場合では、未切削部分が発生していた部分も、図13 (b) に示すように、本研究手法では切削を行うことができています。

5. 結論

本研究では、5軸制御による仕上げ加工用経路を工具軸方向にオフセットすることで生成される荒加工用経路に対し、パスを追加、削除、並び替え、移動することにより、経路を最適化することについて検討した。その結果、インペラのような干渉面が自由曲面である複雑な形状のモデルでも荒加工用経路を生成することができ、オフセットのみで経路生成を行うよりも本研究手法により生成された経路の方が有用であることが確認された。

参考文献

[1]竹内芳美, 多軸・複合加工用 CAM, 日刊工業新聞社(2013)