

特殊エンドミルを用いたチューブ形状の5軸制御加工

電気通信大学 ○笹木隆広, 電気通信大学大学院 ◎森重功一

要旨

本研究では、特殊エンドミルを用いたチューブ形状の5軸制御加工経路生成を目的としている。特殊エンドミルに対応した干渉回避機能、干渉回避のための計算時間短縮機能、工具姿勢の急変を回避する機能を開発した。本研究で開発したシステムを用いて加工シミュレーションを行ったところ、干渉が無く、工具姿勢の急変が無い工具経路が得られたことから、その有用性を確認した。

1. 序論

チューブ形状は、輸送機器等の動力となる内燃機関に多くみられる形状である。近年、内燃機関の高効率化は特に重要とされてきており、コンピュータを用いた解析による緻密な設計が行われている。それに伴い、チューブ形状の高精度かつ高効率な加工技術が求められている。

5軸制御によるチューブ形状の切削は、工具突出し長さを確保する必要があるため、図1に示すように、特殊なボールエンドミルを用いたスパイラル状の経路による加工が用いられている。このような加工経路では工具にかかる負担が大きいため、所定の寸法精度を得ることが難しい。また多くの加工時間を要するため、効率においても問題がある。これらの問題を解決するために、本研究では使用工具や切削方法について検討した。



Fig.1 Spiral path for tube machining [1]

2. 5軸制御による突き加工

工具突出しが長い場合でも安定した切削が可能な方法として、突き加工があげられる。突き加工は通常の加工と比較して、ビビリや振動が生じにくい。そのため、力強く安定した切削が可能である。チューブ形状の切削に、突き加工を用いることで、高い寸法精度が保証され、加えて切り込み量の増加により加工効率を向上させることができる。

しかしながら図2に示すように、工具が切削した後の、離脱運動が伴う。加工の開始から終了まで切削パスと離脱パスを交互に繰り返すため、通常の加工と比較して非切削時間の割合が多くなるという欠点がある。

本研究では、特殊エンドミルを用いることで、離脱運動を最小限にすることを試みた。三菱マテリアル社製の特殊エンドミルPMCは、上下往復送りが可能な突き加工用工具である。図3(a)に示すように、通常の突き加工を行った後、離脱運動を行わずに次のパスに移動する(図3(b))。工具を上方向に送る際も加工が可能である(図3(c))。通常の突き加工と比較して、非切削時間が少ないため、効率的な加工が可能となる。

図4に本手法による加工経路イメージを示す。

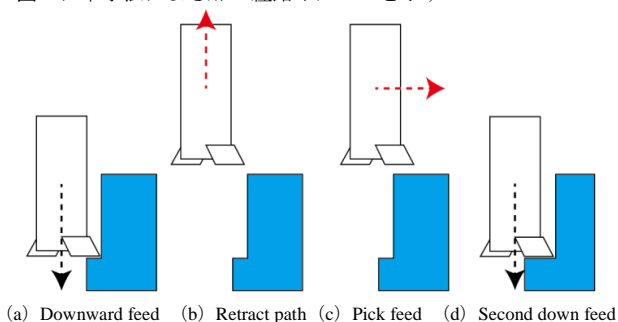
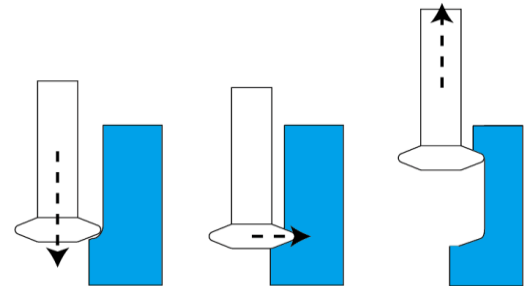


Fig.2 Retract action



(a) Downward feed (b) Pick feed (c) Upward feed

Fig.3 Reciprocated plunge machining

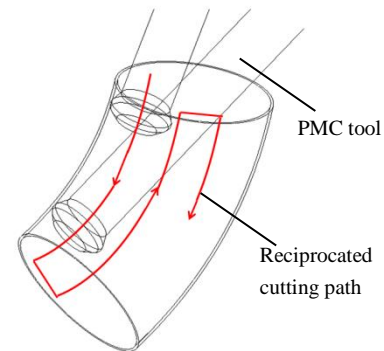


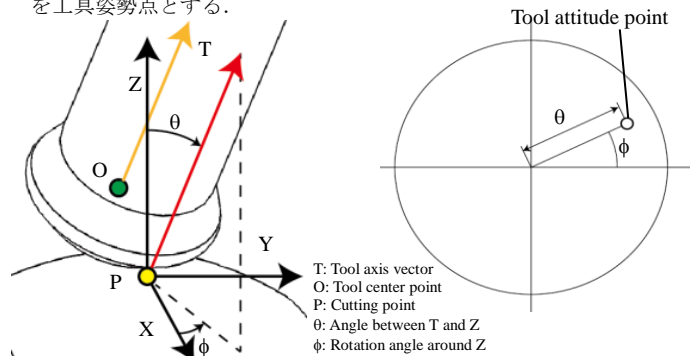
Fig.4 Proposed method of cutting path image

3. 加工経路の生成

3.1 C-Space の設定

図5(a)に示すように、加工面上の切削点Pを原点とし、加工面の法線ベクトルをZ軸、工具送り方向をX軸、その外積をY軸とした切削点座標系を設定する。Pにおける工具姿勢は、工具中心点Oを始点とする工具軸ベクトルTで表される。

Tの始点を工具中心点Oから切削点Pとしたとき、TはZとのなす角 θ と、Z軸周りの回転角 ϕ の二つのパラメータによって決定される。図5(b)に示すように、この二つのパラメータを2次元空間上の原点からの距離 θ と原点回りの回転角 ϕ により定義される点を工具姿勢点とする。



(a) Cutting point coordinate system (b) Tool attitude point

Fig.5 Definition of C-Space

3.2 C-Spaceにおける領域の設定

本研究で用いる工具の仕様により、 $\theta < 44^\circ$ および $\theta > 117^\circ$ の範囲を工具姿勢不適領域とした。さらに、機械の可動範囲外の領域と、工具干渉が発生する干渉領域を設定した。その他の領域を有効領域とし、経路生成の際の工具姿勢の候補とした。C-Spaceの領域設定を図6に示す。

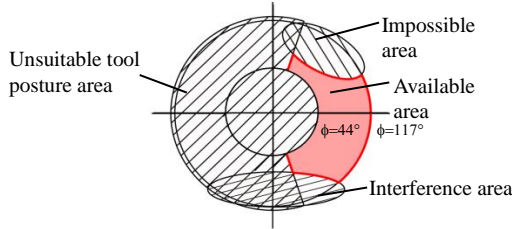
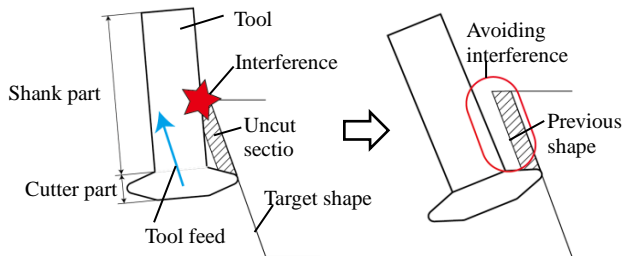


Fig.6 Area setting of C-Space

3.3 特殊エンドミルに対応した干渉回避

本研究では、特殊エンドミルを用いた往復パスによる突き加工を行う。このとき、図7(a)に示すように、工具シャンク部と工作物の未切削部が干渉する可能性がある。そのため、図7(b)に示すように、工具切れ刃部は目標形状との干渉、工具シャンク部は未切削形状との干渉を回避する必要がある。

図8に示すように、C-Space上の工具切れ刃部の干渉を考慮した有効領域と工具シャンク部の干渉を考慮した有効領域の共通領域を最終的な有効領域とすることにより、安全な有効領域を設定することができる。



(a) Interference with uncut section (b) To avoid interference
020Fig.7 Avoidance interference with special end mill

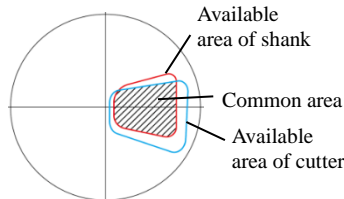


Fig.8 Available area of both cutter part and shank part

3.4 工具姿勢の決定

各切削点におけるC-Spaceの有効領域上で、同じ工具姿勢を探査し、最も多い工具姿勢を共通の工具姿勢点とする。

図9に示すように、各切削点におけるC-Spaceで共通の工具姿勢点を選択し、有効領域内に共通の工具姿勢点を持たない場合は、その点に最も近い工具姿勢点を選択する。このような処理を行うことで工具姿勢変化の少ないCLデータを生成する。

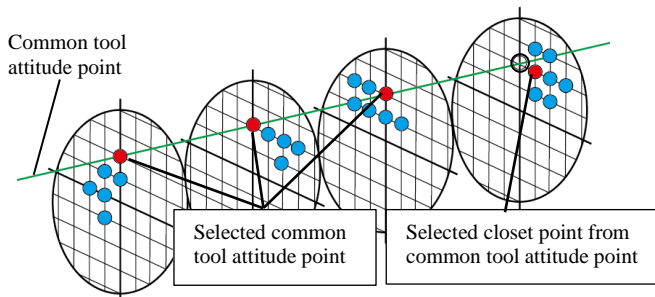


Fig.9 Selection of tool attitude point

4. 検証実験

本研究で開発したシステムの有効性を検証するために、図10に示すチューブ形状を用いて検証した。加工前形状は、目標形状を1mmオフセットしたものとした。図11に加工中のシミュレーション画面、図12に加工シミュレーション結果を示す。シミュレーションの結果では、オーバーカットが見られず、問題なく干渉回避が行われていることが確認できた。

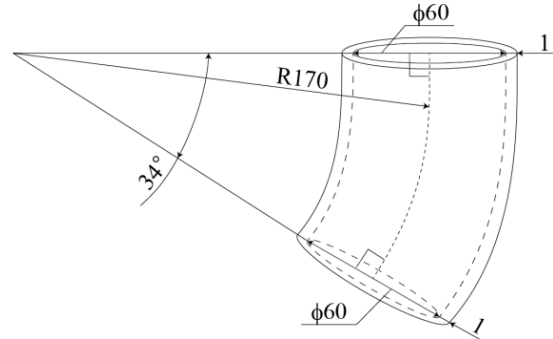


Fig.10 Target shape

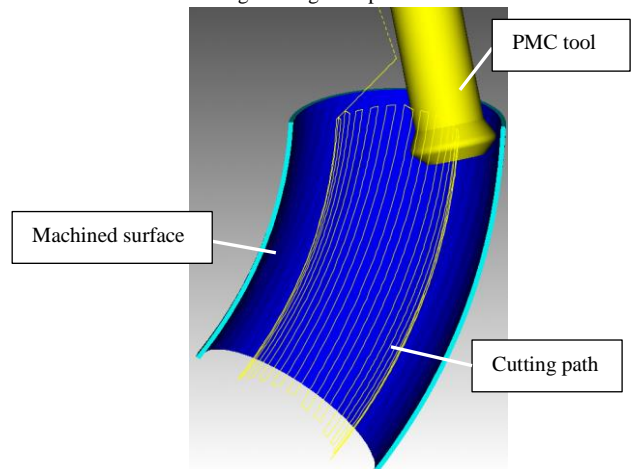


Fig.11 Simulation image during machining

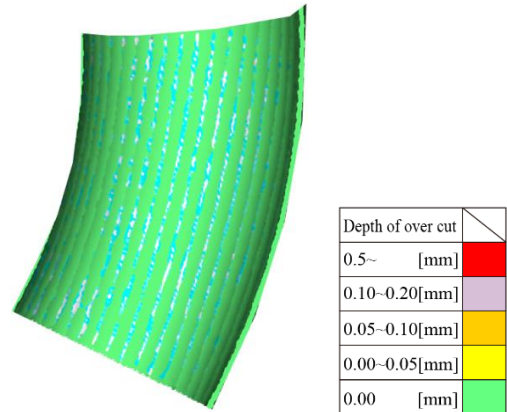


Fig.12 Result of simulation

5. 結論

本研究では、特殊エンドミルを用いることで高効率にチューブ形状を加工できる同時5軸制御による往復突き加工を検証した。特殊エンドミルに対応した干渉回避、工具姿勢変化の少ないCLデータを生成し、シミュレーションを行うことにより、本手法の有用性を確認することができた。

参考文献

[1] 塩野プレジジョン株式会社【同時5軸加工によるチューブ加工】
<http://www.shiono-mfg.com/pc/fp01.html> (2016/01/30アクセス).
 [2] 竹内芳美, 多軸・複合切削加工, 日刊工業新聞社, (2008).