

## 金型加工におけるトロコイドパスを用いた危険領域の除去

京都大学 茨木 創一, 山路 伊和夫, 垣野 義昭  
 クボタ 井上 大輔  
 加工技術研究所 西田 晋

### 1 はじめに

90年頃に (Al,Ti)N コーティングされた超硬エンドミル工具が開発され、これによって HRC53 程度の硬さをもつダイス鋼 (SKD61) の直彫り切削加工が可能となり、金型の製造工程の合理化が進んできた。現在市販されている金型加工用 CAM システムの多くは、工具パスデータを単純な逆オフセット法によって出力するに留まる。すなわち切削条件に関する考慮が全くないために、特に高硬度材の加工の際にはしばしば問題が生じる。例えば、工具パスデータの経路に沿って一定の送り速度で加工すると、曲率半径の小さな隅部では切削抵抗が急増し、チッピングなどの工具損傷が生じやすい<sup>1)</sup>。全体の送り速度を小さくすればこれは避けられるが、加工能率が非常に悪くなる。送り速度の制御によって切削抵抗の変動を抑制する手法はこれまでに多く研究がなされてきたが、実用上の問題は多い。

本論文では、そのような加工危険領域を、小径の連続円弧切削 (トロコイド切削と呼ぶ) によって予め除去することで、より安全に、全体の加工能率を向上させる工具パス設計法を提案する。特にストレートエンドミルによる粗・中粗加工に適用し、高硬度材加工における有効性を加工実験を通して示す。

### 2 加工危険領域の抽出とトロコイドパスの生成

例として、図 1 に示す等高線工具パスを用いる加工を考える。図 2 は加工シミュレーションを用いて切削間角を計算し、例として 40 度以上となる箇所を抜き出したものである。図より、鋭角コーナ部、及び最内周の溝加工となる箇所において切削間角が増大することが分かる。このような加工危険領域は、輪郭形状に対する Medial Axis (Voronoi 線図のうち内に凸な輪郭頂点につながる辺を除いたもの)<sup>2)</sup> を利用して簡単に抽出することができる。すなわち、図 3 に示された Medial Axis と、工具パスとの交点において切削間角を計算し、与えられたしきい値より大きくなる箇所を加工危険領域と判定する。

図 4 は特に危険と判定した Medial Axis の辺について一定半径のトロコイドパスを挿入した例である。トロコイド加工では常に側面加工が行えるため切削抵抗の変動は小さく、送り速度の最適化も容易である。安全なトロコイド加工で加工危険領域を除去することにより、残った等高線パスを高速加工することが可能となる。また、「輪郭線上の最も近い 2 辺までの距離が等しい」という Medial Axis の定義を利用して、与えられた任意形状の輪郭に沿って切削するようなトロコイドパスを計算することも容易である。一例を図 5 に示す。

### 3 ケーススタディ

トロコイド加工を用いたストレートエンドミルによる粗・中粗加工の有効性を検証するため、ボックス金型の加工実験を行った。図 6 に仕上がり形状を示す。金型はダイス鋼 SKD61 (HRC53) の素材 (100mm × 100mm × 60mm) から削り出す。

通常行われることが多い加工法として、粗加工の形状をすべてを半径 5mm のボールエンドミル ((Al,Ti)N コーテッド超硬エンドミル, 2 枚刃) で加工する方法を考える (従来法と呼ぶ)。工具パス、及び加工条件は熟練オペレータが最新 CAM ソフトウェアを用いて設計した。全ての層において、主軸回転数は  $4,800\text{min}^{-1}$ 、軸方向切り込み量は 0.6mm とした。この加工法と、直径 10mm のストレートエンドミル ((Al,Ti)N コーテッド超硬エンドミル, 6 枚刃) を用いる加工法 (提案法と呼ぶ) とを比較する。軸方向切り込み量は 10mm とし、Z 方向の深さを 4 層に分けて加工する。各層において、前節で述べたようにトロコイドパスが加工危険領域に挿入される。例として、最下層における工具パスを図 7 に示す。ただし、両加工法とも、等高線パスにおいても最新の CAM を用いて送り速度を最適化し、切削抵抗がほぼ一定となる前提で最大加工能率が達成できるように加工条件が決められている。

両加工法で中粗加工まで行った加工時間は、従来法で 42 分 47 秒、提案法で 33 分 51 秒であった。削り残し量は両者とも大差なく、また加工後の工具損傷も観察されなかった。提案法により、安全な加工を行えた上で加工時間が約 21% 短縮された。

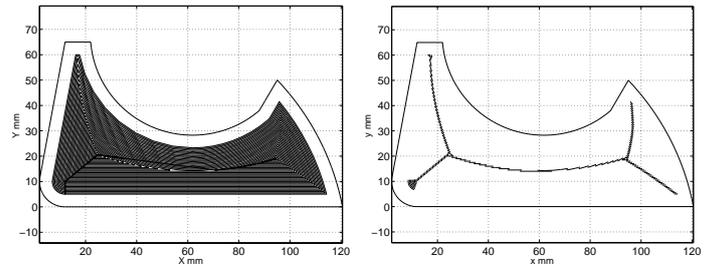


Fig.1 オフセット工具パス

Fig.2 加工危険領域

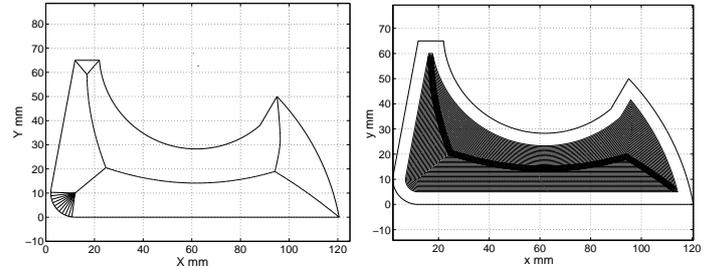


Fig.3 Medial Axis

Fig.4 トロコイドパスの挿入

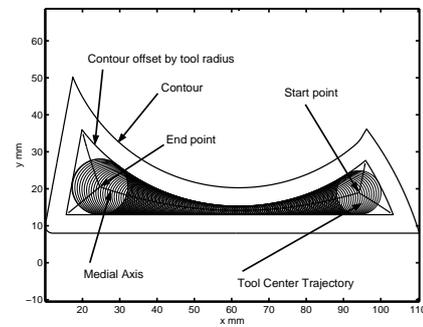


Fig.5 Medial axis とトロコイドパス

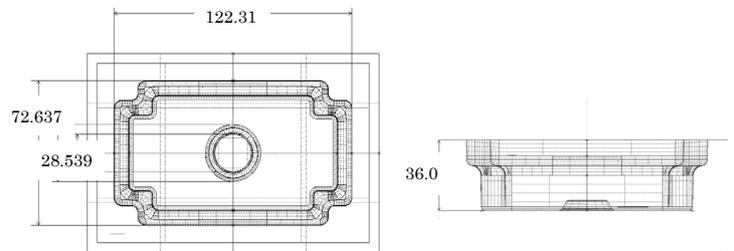


Fig.6 ボックス金型の形状

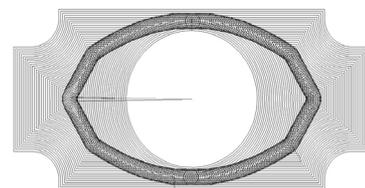


Fig.7 提案法による工具パス (最下層)

- 1) H. Iwabe et al., Study on corner cut by end mill, *Int. J. of JSPE*, 28(8), (1994).
- 2) Held, M., VRONI: An Engineering Approach to the Reliable and Efficient Computation of Voronoi Diagrams of Points and Line Segments. *Computational Geometry: Theory and Application*, 18(2), pp.95-123, (2001).