

K6-73

5 軸制御スクエアエンドミル加工のための新しいモデルの提案

Establishing a Novel Model for 5-axis Milling with Flat End-Mill

○大石直毅¹, 関根務², 星野倫彦²

*Naoki Oishi¹, Tsutomu Sekine¹, Michihiko Hoshino²

Abstract: This study leads to some findings from novel formulae for path interval determination and a geometrical analysis of machined surface features in 5-axis milling. Because of space constraint, we only describe the former topic in this paper. In tool path generation, path interval determination is usually performed using the formulae derived from the geometrical relationship between a path interval and a scallop height. However, the formulae have not necessarily been provided for commonly-used cutting tools in every milling. The various insufficiencies gave authors a clear direction to this study. For path interval determination, the novel expressions for filleted end milling were formulated with the reference to those of other milling tools.

1. 緒言

エンドミル加工では、工具経路を生成する時にピックフィールド間隔とスキヤロップ高さの関係を瞬間的な二次元断面から幾何学的に導いた式に基づいて、工具経路間隔の決定を行う^[1]。しかしその経路間隔計算式は限られたエンドミル形状でしか報告されていない^[2]。

一方、5 軸制御加工機による面精度の検討には種々の報告例があるが、ボールエンドミル以外のエンドミル形状では幾何学的な扱いが複雑となるため、工具経路間隔を扱った研究は少ない^[3]。そこで本研究では、スクエアエンドミルに注目し、その経路間隔計算式を新たに提案するとともに、切削シミュレーションと実験によって提案式の実用性を検討した。

2. スクエアエンドミル加工での工具経路間隔

2. 1 平面における工具経路間隔の導出

5 軸制御加工機におけるスクエアエンドミル加工の概念図を図 1 に示す。以下では、工具姿勢として工具軸が工具進行方向に傾きをもっている状態を考え、その傾きを ρ とする。切削後の目的形状を平面とし、工具が進行方向に傾斜することによるエンドミルの切れ刃先端部の状態を考えたとき、局所的な二次元断面においては図 2 ように工具形状を楕円とした幾何学的な関係が想定される。ここで、エンドミルの工具半径を R 、スキヤロップ高さを h とすれば、工具経路間隔 L は図 2 を参照して以下の式として求められる。

$$L = R \sqrt{1 - \left(\frac{R \sin \rho - h}{R \sin \rho} \right)^2} \quad (1)$$

式(1)の導出にあたっては、長軸・短軸半径をパラメトリック表現とした楕円の公式を用いた。

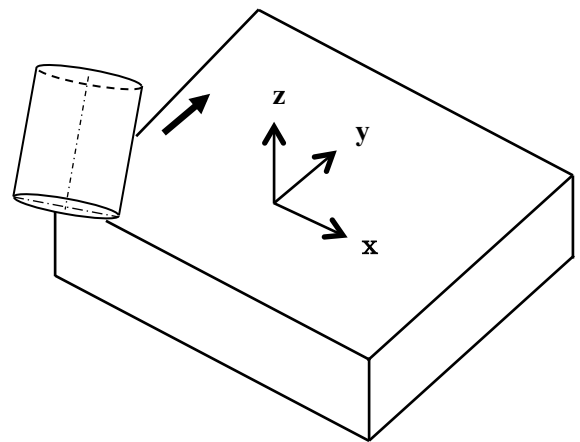


Figure 1. A schematic of 5-axis milling with a Flat-End-mill

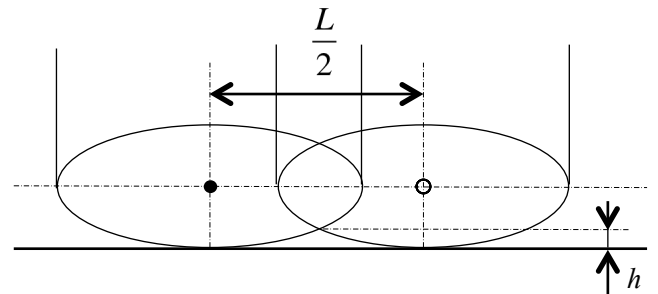


Figure 2. Flat-end milling on a planar surface

2. 2 凸面における工具経路間隔の導出

次に切削後の目的形状を曲率半径 r の凸面とし、工具が進行方向に傾斜することによるエンドミル切れ刃先端部の状態を考える。このとき、局所的な二次元断面においては図 3 のような幾何学的な関係を考えることができる。図 3 からわかるように、これは楕円と円の接触問題となり、工具経路間隔 L を求めることは一般的には困難である。そこでまず、まず図 4 に示すように、曲率半径 r の円を考え、その中心点を $(0, 0)$ とする。また、楕円の中心を (x_a, y_a) 、 $r+h$ での楕円との交

1 : 日大理工・学部・機械 2 : 日大理工・教員・機械

点を $(0, r+h)$ とする. この時, 長軸半径 $a=R$, $b=R\sin\rho$ の楕円上の点 $(0, r+h)$ を用いれば, 楕円の方程式は以下の形として与えられる.

$$\frac{x_a^2}{a^2} + \frac{((r+h)-y_a)^2}{b^2} = 1 \quad (2)$$

さらに, 図 4 における楕円の長軸・短軸半径に曲率半径 r を加えた楕円を考え, その楕円上の点として $(0, 0)$ を用いれば, 楕円の方程式として次式を得る.

$$\frac{x_a^2}{(a+r)^2} + \frac{y_a^2}{(b+r)^2} = 1 \quad (3)$$

式(2)と(3)から x_a について求める. このとき, x_a^4 および x_a^2 の項を整理するために $S = x_a^2$ を導入し, 図 4 から $x_a = L/2$ という関係を用いると, 工具経路間隔は

$$L = 2\sqrt{S} \quad (4)$$

となる. ここで,

$$S = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - AC}}{A} \quad (5)$$

であり, 式(5)中の各項は次のようになる.

$$A = \left(\left(\frac{b}{a} \right)^4 + \left(\frac{b+r}{a+r} \right)^4 - 2 \left(\frac{b}{a} \right)^2 \left(\frac{b+r}{a+r} \right)^2 \right) \quad (6)$$

$$B = \left((r+h)^2 \left(\frac{b}{a} \right)^2 + (r+h)^2 \left(\frac{b+r}{a+r} \right)^2 + \left(\frac{b}{a} \right)^2 \left(\frac{b+r}{a+r} \right)^2 \left((a+r)^2 + a^2 \right) - \left(\frac{b}{a} \right)^4 a^2 - \left(\frac{b+r}{a+r} \right)^4 (a+r)^2 \right) \quad (7)$$

$$C = (r+h)^4 + \left(\frac{b}{a} \right)^4 a^4 + \left(\frac{b+r}{a+r} \right)^4 (a+r)^4 - 2(r+h)^2 \left(\frac{b}{a} \right)^2 a^2 - 2(r+h)^2 \left(\frac{b+r}{a+r} \right)^2 (a+r)^2 - 2 \left(\frac{b}{a} \right)^2 \left(\frac{b+r}{a+r} \right)^2 (a^2 (a+r)^2) \quad (8)$$

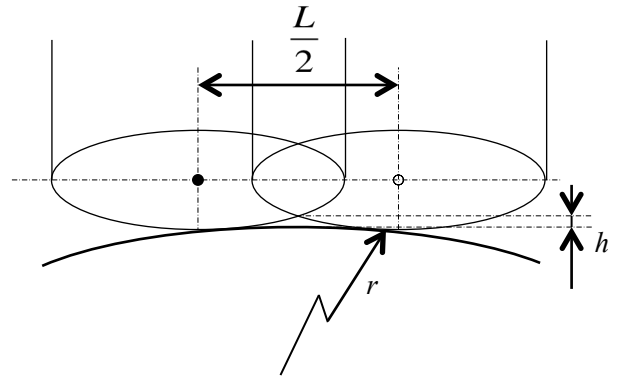


Figure 3. Flat-end milling on a convex surface

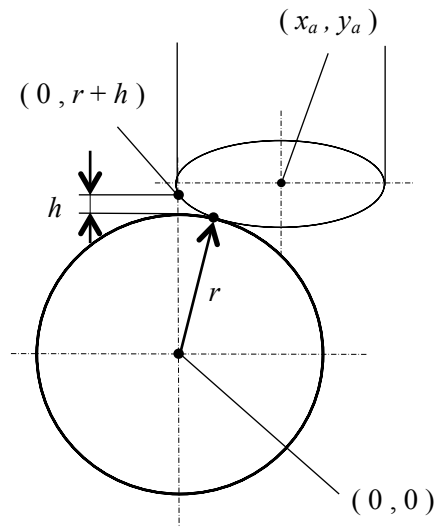


Figure 4. An illustrative diagram of derivation

3. まとめ

本研究では, スクエアエンドミル加工時の工具経路間隔について瞬間的な二次元断面に基づいて幾何学的に検討し, 新たな経路間隔計算式を示した. 紙面の都合上, 本報では取り扱えなかったが, 提案式の実用性を切削シミュレーションなどと併せて検討した結果も報告する予定である.

4. 参考文献

- [1] Sekine et al : "Establishing a Novel Model for 5-Axis Milling with a Filleted End Mill", JAMDSM, Vol.4, pp.298, 2012
- [2] 関根 他 2 名 : 「エンドミル切削表面のマイクロトポグラフィに及ぼす工具姿勢の影響」, 日本機械学会関東支部第 18 期総会講演論文集, pp.145-146, 2012
- [3] 関根 他 2 名 : 「5 軸制御フィレット付きエンドミル加工のための新しいモデルの提案」, 山梨講演会, pp134-135, 2011