

## 工具研削プロセスにおける研削点導出モデルの構築

東海大学 ○山崎 凌, 東海大学 ◎関根 務

本研究では、工具研削プロセスにおける砥石と工具(被削材)の切れ刃先端の研削点位置を導出するためのモデル化を行った。また、そのモデル化を用いて工具研削プロセスを幾何学的に検討し、工具端面を基準とした瞬間的な2次元断面上に砥石と工具の輪郭を投影し、交点を求めるための定式化を行った。そして、得られた式の数値的な特徴について考察した。

### 1. 緒言

工具研削プロセスは、切削工具をつくるうえで欠かせない技術であり、現在のハイテク産業を支える超精密切削でさえも、切れ刃の良し悪しによって切削状態が大きく左右されてしまう。しかし、工具研削プロセスに関しては、研削砥石と被削材の相性以外は不明な点が多い。そのため、工具研削プロセスのメカニズムを詳細に把握することで、研削技術の深化が進み、革新的な切削工具の開発を後押しする可能性は高い[1]。また、工具研削では、1本の工具を制作する時間(サイクルタイム)の短縮も望まれており、それにより単位時間当たりの工具の生産量の増加が期待できる。

本研究では工具研削プロセスを幾何学的に検討することで、工具と砥石の2次元モデル式を導出し、その提案式を用いてC#のプログラムを作成しその数値的検討を行った。

改行を入れて読みやすく書く。

### 2. 工具研削プロセスの定式化

本研究では、被削材となる丸棒を工具研削版(NC 工作機械)に取り付け、砥石を任意の経路に沿って移動させながら研削していくことで、所望の切れ刃形状をもつエンドミルを制作するプロセスをモデル化の対象とする。そのプロセスにおいて、エンドミルの切れ刃先端を生成する際に直接的に作用している砥石の研削点を求める必要がある。

図1に工具研削プロセスの概念図を示す。図1は、砥石(紫色)が被削材(水色)を研削している状態を表しており、赤色で示された曲線部に沿ってエンドミルの切れ刃先端が生成されていく。また、赤色で示された点が求めるべき切れ刃先端であり、砥石との交点である。

次に、被削材の端面を基準として2次元断面を考え、その断面上に砥石を投影すると図2のようになる。図2において、砥石は楕円としてモデル化することができる。このとき、赤色で示されている点は円(被削材)と楕円(砥石)の交点であり、エンドミルの切れ刃先端を生成する際に直接的に作用している砥石の研削点である。

図2において、 $a$ は楕円の短半径、 $b$ は楕円の長半径を表し $r$ は被削材の工具半径とし( $c, d$ )は砥石の中心座標を $o$ と置いた時の被削材の中心座標を示す。

ここで砥石は楕円で表現されているので

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (1)$$

となる楕円の方程式として考える事が出来る。

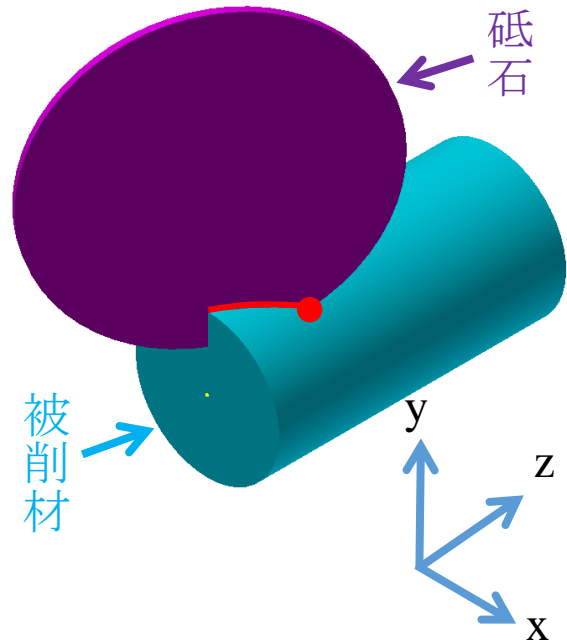


図1 エンドミル切れ刃生成プロセスの概念図

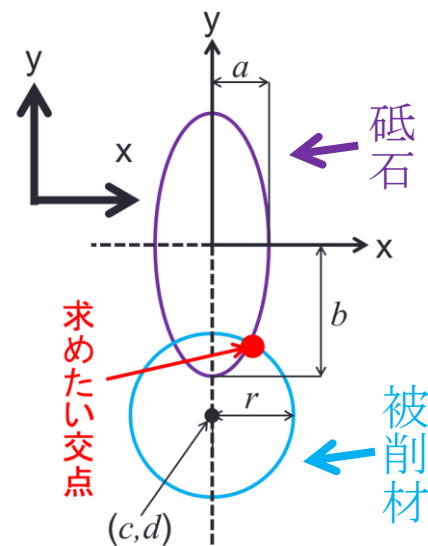


図2 2次元断面上で考えた工具研削プロセス

一方、被削材は円で表現されているので

$$(x-c)^2 + (y-d)^2 = r^2 \quad (2)$$

となる円の方方程式として考える事が出来る。

そしてこの式(1)および(2)を用いて $y$ を消去して $x$ についてその数式を整理すると

$$s_4 x^4 + s_3 x^3 + s_2 x^2 + s_1 x + s_0 = 0 \quad (3)$$

と表すことが出来る。

式(3)の各項の係数は

$$s_4 = \frac{b^4}{a^4} - \frac{2b^2}{a^2} + 1 \quad (4)$$

$$s_3 = \frac{4b^2c}{a^2} - 4c \quad (5)$$

$$s_2 = -\frac{2b^4}{a^2} - 2r^2 + 2b^2 + 6c^2 + 2d^2 + \frac{2b^2d^2}{a^2} + \frac{2b^2r^2}{a^2} - \frac{2b^2c^2}{a^2} \quad (6)$$

$$s_1 = 4cr^2 - 4c^3 - 4b^2c - 2cd^2 \quad (7)$$

$$s_0 = b^4 + c^4 + d^4 + r^4 - 2c^2r^2 - 2b^2r^2 + 2b^2c^2 - 2b^2d^2 - 2d^2(r^2 - c^2) \quad (8)$$

と表すことが出来る。

式(3)は4次方程式であり、通常の計算だと解が定まらないがオイラー法を用いることでこの式を $x$ について解くことができる。さらに、被削材と砥石の交点の $x$ 座標を求めれば $y$ 座標の値も式(1)または式(2)にその交点の $x$ 座標の値を代入し $y$ について解くことで順次求まるので、円と楕円の交点問題として、工具研削プロセスにおいて、エンドミルの切れ刃先端を生成する際に直接的に作用している砥石の研削点を考えることができる。

### 3. 提案式の数値的検討

C#を用いて式(3)を計算できるC#のプログラムとAutoCADを使用して2Dモデルで図2の二次元座標を表し、円と楕円の交点と考えられる砥石の研削点を原点からの長さ寸法を測定する事でその値を求める事の出来るモデルを作成した。

今回は作成したC#のプログラムとAutoCADのモデルに表1の $c$ の値を-10mmから1mmずつ10mmまでの数値をとった数値条件をそれぞれ代入し砥石の研削点の値を数値的に検討した。計算結果を表1の範囲で研削点の $x$ 座標と $y$ 座標を表したグラフとしてC#のプログラムを使用した図3とAutoCADのモデルを使用した図4を示す。

表1 数値条件

砥石(楕円)		被削材(円)		
短半径(mm)	長半径(mm)	円の $x$ 座標(mm)	円の $y$ 座標(mm)	円の半径(mm)
$a$	$b$	$c$	$d$	$r$
37.5	75	-10 ~ 10	-80	10

研削点の $x$ 座標(mm)

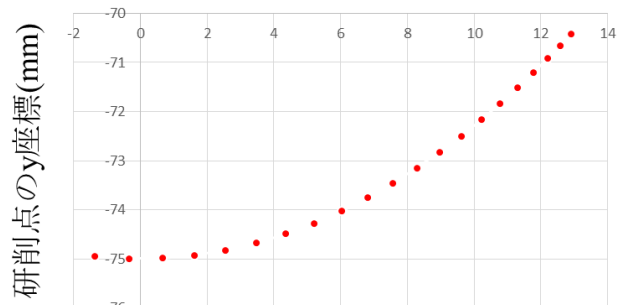


図3 C#のプログラムを使用した砥石の研削点

研削点の $x$ 座標(mm)

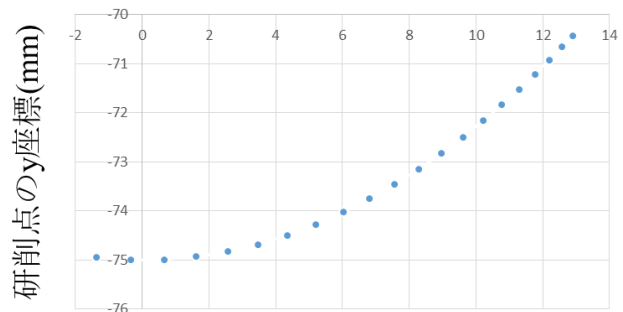


図4 AutoCADのモデルを使用した砥石の研削点

図3、図4のグラフは表1の数値条件からほぼ同じ砥石の研削点の $x$ - $y$ 座標系の値が得られた。C#では小数点以下15桁までの値を得る事が出来、AutoCADは寸法表示で小数点以下8桁までの値を得る事が出来た。その結果C#を使用した研削点の値とAutoCADの数値を使用した研削点の値で小数点以下8桁までの値で完全な一致が見られる為、砥石の研削点の値はほぼ適切な値を得る事を確認できた。

### 4. まとめ

本研究では工具研削プロセスにおいて被削材と砥石の交点を求める際の幾何学的な関係を定式化し、砥石がエンドミルの切れ刃先端を生成する際に直接的に作用している研削点の位置を、C#とAutoCADを使用して提案式を数値的に検証した。その結果、AutoCADを使用して求めた研削点の値とほぼ同じ値を得る事が出来たC#のプログラムを使用して求めた研削点の値から提案式はほぼ適切な研削点の値を算出する事が出来たといえる。

上述したように、本報では砥石の外周が平面上の平砥石を用いて砥石の研削点を求めたが、今後の展望として砥石の外周がR形状の丸砥石を用いた砥石の研削点を求める為の新たな提案式の構築とその詳細な特徴を数値的に検討する予定である。

### 参考文献

- [1] 海野 邦昭, 絵とき工具研削基礎のきそ, 日刊工業新聞社, 第1版, p.2, 2010.