

## 407 特殊形状を有するボールエンドミルの設計および製作

## Design and Fabrication of Ball End Mills with Special Shapes

○ 芦 毅 竹内 芳美 (電気通信大学)

高橋 一郎 安斎 正博 (理化学研究所)

Yi Lu, Yoshimi Takeuchi, Ichiro Takahashi and Masahiro Anzai

The University of Electro-Communications (UEC), Chofugaoka1-5-1, Chofu, Tokyo

The Institute of Physical Chemical Research (RIKEN), Hirosawa2-1, Wako-shi, Saitama

In recent years, high speed milling has been widely noticed in the light of machining efficiency. However, tool wear and breakage are becoming conspicuous with high speed milling. It is essential to develop new tools suitable for high speed milling. This study deals with the design and fabrication of ball end mills with special tool shapes on 3D-CAD/CAM system, which is developed by ourselves for high speed milling.

**Key words:** high speed milling, 3D-CAD/CAM, tool grinding, tool wear

## 1. はじめに

高速ミーリングは、高速・高精度な金型、型部品等の形状創製加工に有効活用できるものとして注目されている<sup>1)</sup>。ここで言う高速ミーリングとは、高速回転主軸を有した工作機械により高速送りおよび浅切り込みの切削条件下で工具の刃先負担を最小限に抑え、高効率・高精度な切削加工を指向するものである。高速ミーリングにおいて適用される工具の中で、ボールエンドミルは、金型等の形状加工に多く適用されている中心的な工具であり、それゆえに、ボールエンドミル加工における加工精度と能率などの面で更なる高度化が要求されている。しかしながら、ボールエンドミルは独特な切れ刃形状を有することから、形状パラメータの決め方などはメーカーごとに異なり、統一した規格がまだ定まっていない。また、この数年、3次元CAD/CAMによる設計や加工が盛んになってきている中、工具設計、製作においては、従来方式の踏襲にとどまり、3次元CADによる工具設計システムはほとんどない。

上述した現状を踏まえて本研究では、ボールエンドミルを設計、製作する3次元CAD/CAMシステムを開発した。このシステムを用いて、従来の工具はもちろん、特殊な形状を有するボールエンドミルでも簡単に設計、製作することができる。このCAD/CAMシステムのコンセプトおよび設計事例について報告する。

## 2. 工具研削CAD/CAMシステムの構成

本CAD/CAMシステムは大きく3つの部分によって構成されている(図1)。3次元CAD上で、工具の形状モデリング、研削経路の生成、形状データの出力までメインプロセッサが行う。出力したデータを加工機の軸構成に合わせてNCデータを生成するにはポストプロセッサを用いる。設計したボールエンドミルは工具研削盤で製作する。

## 2.1 メインプロセッサについて

メインプロセッサはC言語で記述した工具研削経路生成ソフトウェアのことである。メインプロセッサは3次元CADソフトDESIGNBASE上で動作し、定義した工具形状に基づき、研削経路を生成する。生成した経路データをGLデータという。ボールエンドミルを設計するには、すくい面、逃げ面、肩部の3つの部分をそれぞれ定義する。定義パラメータが適切かをシミュレーションより、確認または修正することができる。

## 2.2 ポストプロセッサについて

ポストプロセッサはC言語で記述した座標変換ソフトウェアのことである。メインプロセッサによって生成したGLデータを工具研削盤の構成に合わせてNCデータに変換する。より多くの工具形状の設計、製作を可能にするため、5軸同時制御加工用ポストプロセッサを利用し、5軸加工のNCデータを生成する。

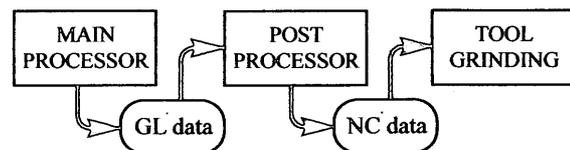


Figure 1. Tool grinding system outline

## 3. 3次元CADにおける工具形状の定義

## 3.1 切れ刃のねじれ角の定義

工具の形状設計は切れ刃稜線の定義から始まる。これから述べる他の形状設計はこの切れ刃稜線を基準とする。殆どのボールエンドミルはねじれた切れ刃稜線を持つ。このシステムは任意のねじれ角を持つ切れ刃を容易に生成できる。図2に示すように、ボール部の外形曲線を適当な点群で分割し、それぞれの点を工具軸(Z軸)周りに $\beta$ だけ回転した点を生成し、点列をなめらかに結んだ曲線が切れ刃稜線となる。ただし、回転角 $\beta$ はそれぞれの分割点における工具軸の高さに比例する。

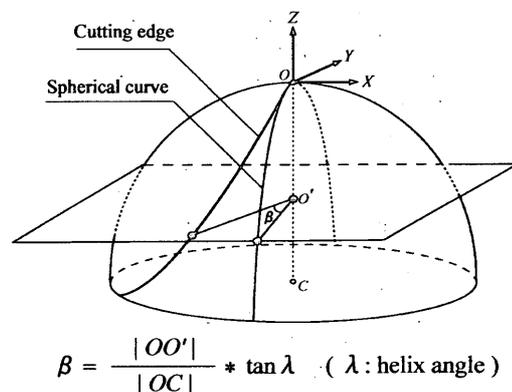


Figure 2. Definition of helix angle

### 3.2 切れ刃のすくい角, 逃げ角の定義

図3に示すように, 工具のすくい角, 逃げ角は切れ刃の接線, 法線および外積ベクトルから容易に求められる。定義したすくい角と逃げ角はそれぞれ接線ベクトル( $T$ )周りに外積ベクトル( $O$ )と法線ベクトル( $N$ )を回転させることによって一意的に定められる。 $\theta$ と $\alpha$ はそれぞれ分割点におけるすくい角, 逃げ角となる。切れ刃の位置に関係なく, すくい角, 逃げ角をつねに定数にすることが可能である。

ボールエンドミルの切れ刃は連続的な3次元曲線であり, すくい角と逃げ角の付け方によって, ボールエンドミルの形状がさらに複雑になる。しかし, 本設計法を用いれば, 設計が簡単, 明瞭だけでなく, 工具形状の任意の部分が数値データとして存在するため, 容易に呼び出すことができ, 工具形状または切削現象の解析にも適用可能である。

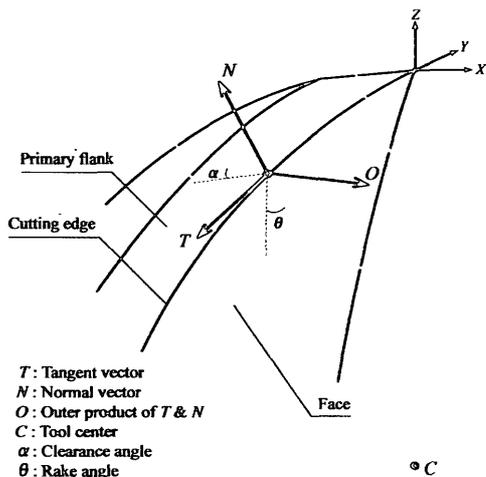


Figure 3. Definition of rake angle and clearance angle

## 4. 設計の実例

### 4.1 ねじれ角とすくい角が負の工具

工具の切れ味, 切り屑の排出などを考え, ボールエンドミルはポジティブなねじれ角とすくい角を持つものが一般的である。高速加工の場合, 工具にかかる負荷が大きいため, 刃先強度が要求される。負のすくい角, 場合によっては, ねじれ角も負の工具の使用が考えられる。しかし, このような特殊形状を持つ工具の設計, 製作に関しては, 従来の方法では難しいとされている。本システムを用いれば, 簡単に形状設計, 加工データの生成が行える。ネガティブなねじれ角とすくい角を持つ工具の一例を図4に示す。設計通りの工具が製作できた<sup>2)</sup>。

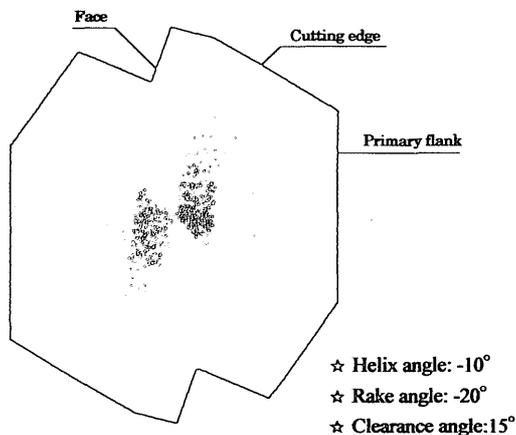


Figure 4. Design of negative rake angle and clearance angle

### 4.2 ネガランド工具

工具の刃先強度の増加, 逃げ面摩耗の減少に効果があるとされているネガランド工具も簡単に設計できる。切れ刃とすくい面の間に僅かな幅を有するランドのことをネガランドと名付ける(図5)。CAD上での設計例および試作したネガランド工具をそれぞれ図6, 図7に示す。

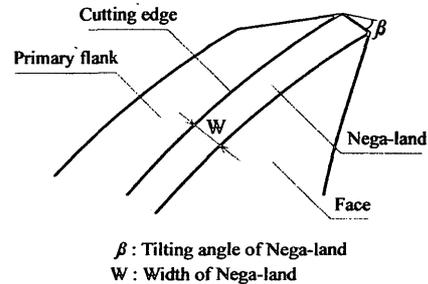


Figure 5. Image of Nega-land ball end mill

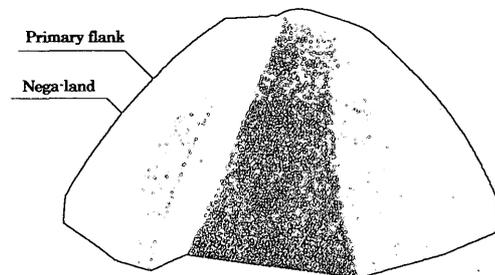
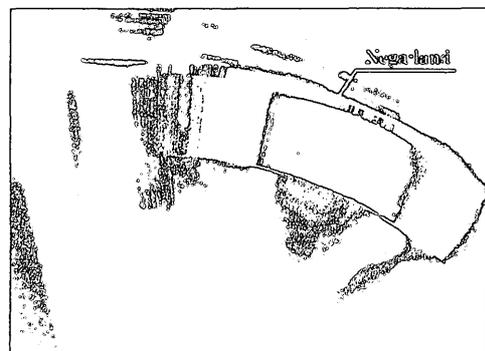


Figure 6. Design of Nega-land ball end mill



☆ Nega-land tilting angle:  $-3^\circ$  ☆ Nega-land width: 0.07mm

Figure 7. Fabricated Nega-land ball end mill

## 5. おわりに

高速ミーリングに適する工具形状の開発を目的として, 本工具研削 CAD/CAM システムを開発した。本システムは以下のような特徴を示す。

- 3D-CAD 設計を実現した
- C 言語で開発したこのシステムが拡張しやすい
- 特殊形状の工具でも容易に設計, 製作できる
- 工具の幾何的データを持つため, 工具の形状特性や切削現象の解析は行いやすい。

## 参考文献

- 1) 岩部, 巖岡, 宮口, 賀井: 精密工学会誌, 64, 6(1998), 808-812
- 2) 芦穀, 森重功一, 竹内芳美, 高橋一郎, 加藤究, 安斎正博: 工具研削 CAM システムの開発, 一高速ミーリング用ボールエンドミルの製作と評価一, 2000 年度精密工学会秋季大会学術講演論文集, 364, (2000)