

## 加工領域評価に基づく工具姿勢決定法（第二報）

## —工具切れ刃位置性能の決定について—

北大大学院 ○米光勇一 金子俊一 小野里雅彦  
函館高専 近藤司 山田誠

## 要旨

本研究<sup>1)</sup>は、主として、多軸制御工作機械を用いた同時3軸制御加工を対象に、工具の切れ刃位置性能、及び、加工面との干渉性の観点から、工具姿勢を定量的に評価する手法を提案する。本報では、加工の安定性・仕上がり面粗さ等を考慮した工具切れ刃位置性能の決定法に関して考察し、薄板切削実験から導出した。

## 1. はじめに

エンドミルの工具切れ刃は、切削速度・剛性などが原因し、加工面と接する位置によって切削の性能・安定性が異なる。一般に、ボールエンドミル先端の加工は、仕上がり後の面性状が悪く、側面での加工は、びびりを発生し、不安定であることがいわれている。5軸制御加工は、このような工具の特性を理解し、加工領域の各所を適当な姿勢で加工することで、最適な切れ刃位置による加工を連続して保ち、また、工具干渉の回避も可能なことから、高効率、高効率な加工が期待できる。しかしながら、これらの要求を同時に考慮したNCデータの生成には、一般的なアプローチが存在せず、また、相当量の計算コストを要するため、作業現場では、機械性能を十分に活かしきれないまま加工に至る場面が多く存在する。一方、領域を一定の姿勢で加工する5軸位置決め同時3軸制御加工法では、加工面の各所において適当な姿勢を選択することができれば、同時5軸制御加工法と近い性能を保ちながら、同時3軸制御加工法と同等の設備、計画法での加工が実現可能である。本研究は、これらを背景に、工具の切れ刃位置性能、及び、加工面との干渉性の観点から、工具姿勢を定量的に評価する手法を提案し<sup>2)</sup>、5軸制御加工法、及び、5軸位置決め同時3軸制御加工法において、その有効性を検証することを目的としている。

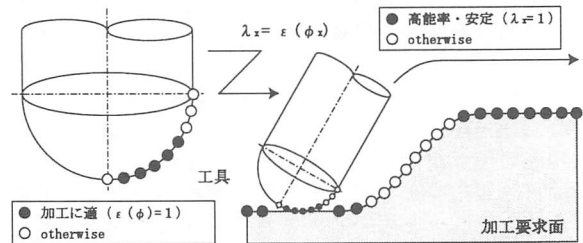


図1: 工具切れ刃位置性能を考慮した加工状態推定

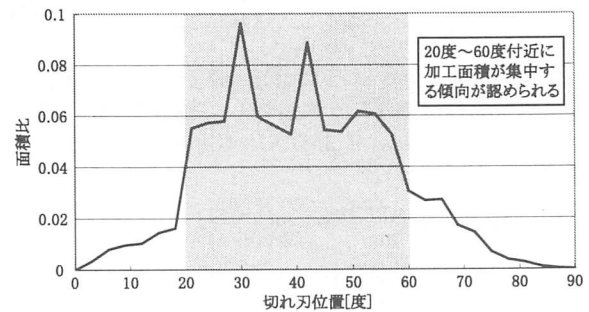


図2: 姿勢選択における技能者の志向例

## 2. 工具切れ刃位置性能の決定

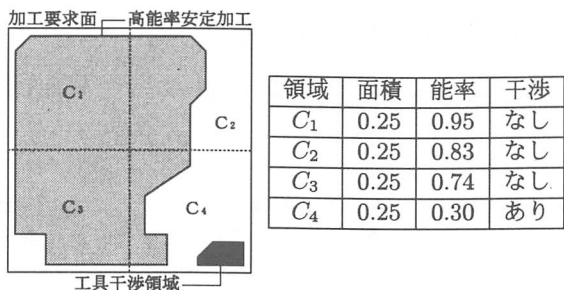
本工具姿勢評価手法では、はじめに、工具と加工面の幾何学的関係から、加工要求面上の各点と接する工具切れ刃の位置を調べ、加工能率分布を算出する。図1にその概念を示した。各点の加工能率は、その点と接する工具切れ刃位置の性能から定まり、工具の各切れ刃位置における性能は、使用する工具の形状・特性、加工の目的・用途、或いは、切削条件に応じて、次のように決定する。

$$\epsilon(\phi) = \begin{cases} 1 & \text{加工に適} \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases} \quad (1)$$

図2は、様々な製品形状を対象として、ある技能者が、どの角度から加工を行うべきかを経験と知識に基づいて決定し、その角度によって加工を行った場合の加工面積を切れ刃位置別に算出し、それを総和したものである。この技能者は、主として20度から60度以内の切れ刃位置が使用されるような姿勢を好んで選択している。この例に見られるような傾向は、技能者の志向によって異なると考えられるが、これらを基に切れ刃位置性能を決定すれば、その技能者の志向を工具姿勢の決定に反映することが可能である。また、4章では、これらを実験から検証した切れ刃位置性能の決定手法について述べている。

## 3. 工具切れ刃位置性能と評価値の関係

本手法における工具姿勢評価値は、算出した各点における加工能率にしきい値を設定することで抽出される高効率・安定な加工を期待できる領域が加工要求面全体に占める面積の割合によって定義する。図3にその概念を示した。たとえば、しきい値を0.8としたとき、加工能率が0.8以上で、干渉を生じない領域 $C_1$ 、 $C_2$ が抽出され、これらの領域が全体に占める面積比から評価値は0.50となる。以上のように決定される評価値は、設定したしきい値のほか、工具切れ刃位置性能の分布によって変化する。図4に、図中に示した形状について、異なる2通りの工具切れ刃位置性能において、算出された最適な工具姿勢をそれぞれ示した。設定Aでは工具の側面以外、設定Bでは工具の側面、及び、先端以外の切れ刃位置において高効率・安定な加工が得られる( $\epsilon = 1$ となる)。その結果、算出された最適な工具姿勢は、設定Aで正面、設定Bでは、工具先端での加工が少なくなるような、正面よりやや傾斜した角度となっており、これらのことから、本手法により高効率・安定と評価される工具姿勢は、切れ刃位置性能に応じて異なることがわかる。



しきい値	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	評価値
0.7	○	○	○	×	0.75
0.8	○	○	×	×	0.50
0.9	○	×	×	×	0.25

図 3: 工具姿勢評価値の算出

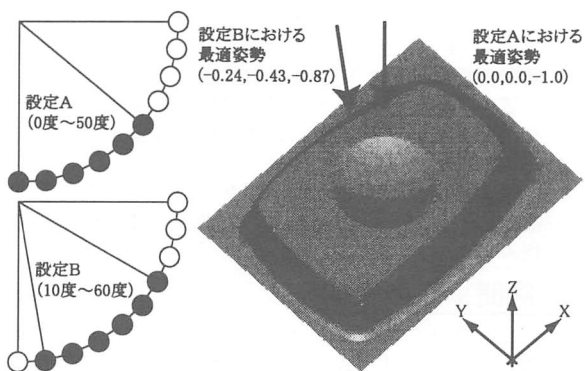


図 4: 工具切れ刃位置性能と最適な姿勢

#### 4. 加工実験

加工の安定性、仕上がり面性状から工具切れ刃位置性能の決定を行うことを目的とした薄板切削実験を行った。使用機器、切削条件を図5に示した。表1は、各条件下における加工の状態を示したものである。加工状態の判別は、動力計から得られる切削抵抗の波形形状、および、仕上がり面性状について目測で行い、その判別例を図6に示す。表1の結果から、加工状態の優劣は切削速度により左右されることが予測される。ボールエンドミルの切削速度  $v$  は、工具半径  $R$ 、回転数  $N$ 、及び、切れ刃位置  $\phi$  によって決まり、 $v = 2\pi \cdot N \cdot R \cdot \sin \phi$  である。切削速度と加工状態の関係を調べると、切削速度が高い場合に工具に異常振動を生じ、低い場合に仕上がり面精度が悪化する傾向がみられる。ここで、異常波形の有無、面性状の良悪から定まる切削速度の境界値  $t_1$ 、 $t_2$  を決め、その境界値から予測される加工状態に反した例の切削速度を例外値として、境界値から例外値までの自乗和が最小となるような値を求めると、それぞれ、40.3、15.4 (m/min) となった。図7は、回転数とこれらの境界値から予測される高能率・安定な切れ刃位置性能の範囲を示したものである。この例では、とくに切削速度が高い場合、高能率・安定な切れ刃位置は(0度近傍を除く)先端側に限定されていることがわかる。また、以上のようにして得られる結果から、異常振動、面性状の悪化が生じないように切れ刃位置性能を決定することで、加工の安定性、仕上がり面性状の観点による高能率・安定な工具姿勢評価を実現できる。

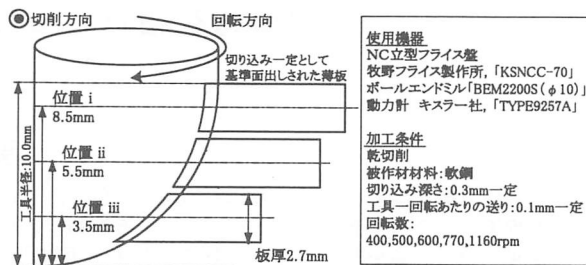


図 5: 使用機器と切削条件

表 1: 実験結果

回転数	400	500	600	770	1160
位置 i	○	○	× <sub>1</sub>	× <sub>1</sub>	× <sub>1</sub>
位置 ii	○	○	○	○	× <sub>1</sub>
位置 iii	× <sub>2</sub>	× <sub>2</sub>	○	○	× <sub>1</sub>

○は良好な状態, ×<sub>1</sub> は異常振動の発生, ×<sub>2</sub> は面性状が悪い状態を示す。

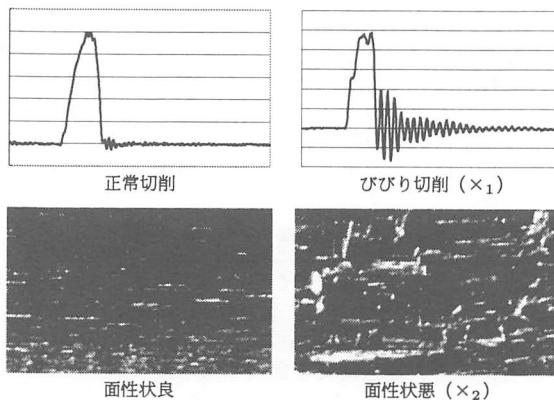


図 6: 加工状態の判別例

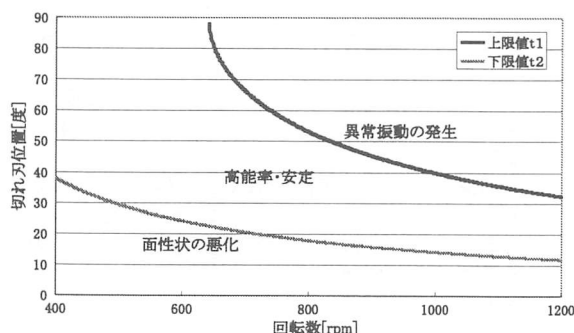


図 7: 回転数と切れ刃位置性能

#### 5. まとめ

本報では、加工の安定性・仕上がり面粗さ等を考慮した工具切れ刃位置性能の決定法に関して考察し、薄板切削実験から導出した。また、決定した工具切れ刃位置性能が工具姿勢評価に与える影響を算出し確かめた。

#### 参考文献

- 1) 米光勇一, 近藤司, 金子俊一: 加工領域評価に基づく工具姿勢決定法, 2002年度精密工学会北海道支部学術講演会, 112(2002)
- 2) 米光勇一, 近藤司, 金子俊一, 山田誠: 工具切れ刃位置性能を考慮した工具姿勢評価に関する研究, 型技術, Vol.18, No.8(2003)