

# バニシ面を有するエンドミルによる金型鋼の 高品位仕上げ面創成

公益財団法人 J K A

2019年度 機械振興補助事業（研究補助）

成果報告概要

福井大学 学術研究院 工学系部門

機械工学講座 材料加工研究室

准教授 岡田 将人

本研究では、高い耐久性と良好な仕上げ面性状を有する金型表面を、形状創成工程である切削加工により実現できる切削工具の優位性を実験的に明らかにした。対象とする切削工具は、刃先部逃げ面側に被削材と積極的なしゅう動状態を発現するためのバニシ面を有するエンドミル（以後、バニシエンドミル）である。被加工材はプラスチック射出成形金型に広く適用される高硬度ステンレス鋼とした。優位性の比較対象として、バニシ面部以外は同一の形状を有するエンドミル（以後、従来型エンドミル）を採用した。切削加工実験により、バニシエンドミルを用いた場合、刃先部逃げ面側のバニシ面の周方向全域に凝着物が認められ、成分分析の結果、この凝着物は被加工材に由来することを明らかにした。圧電式センサを用いて、一刃ごとの切削抵抗パルスを解析すると、バニシエンドミルの場合、従来型エンドミルよりも、被削材の法線方向の切削抵抗成分が出力電圧、出力時間ともに2倍程度に達することを明らかにした。また、これにより得られる仕上げ面粗さならびに光沢度は、バニシエンドミルを用いた場合、明確に改善していることを明らかにした。さらに、仕上げ面表層の残留応力は、バニシエンドミルを用いた場合、従来型エンドミルと比較して2倍程度の圧縮応力を示すことを明らかにした。これらのことから、バニシエンドミルは、金型形状の創成と同時に、金型面として高品質な仕上げ面を創成できると結論付けた。

高精度、高品質な工業製品を、比較的到低コストで大量生産するためには、高度な金型製造技術が求められる。現状の金型の製造工程をみると、熟練作業者の手磨きにより、最終工程が担われることが多い。しかしながら、熟練作業者の担い手不足や納期の長期化により、この最終工程の負担軽減が求められている。一方、近年の工作機械ならびに工具性能の高度化により、耐摩耗性に優れた工具材料や高精度な位置・運動制御を備えた工作機械が普及しており、これまで困難とされてきた磨きレス化に期待が寄せられている。

この対策の一つとして、本研究ではバニシエンドミルに着目した。一般的にエンドミルは、金型製造工程において形状創成に用いるための切削加工工程で用いられる切削工具である。対象とするバニシエンドミルは、従来型エンドミルに対し、工具刃先部逃げ面側に、切削加工の仕上げ面と積極的にしゅう動状態を発現するためのバニシ面を設けた工具である。従来型エンドミルの刃先部形状を変更するのみで実現できるため、その優位性が立証されれば、製造現場への波及効果は高い。



**手磨き仕上げ**

引用：(株)水谷製作所様  
(<https://mizutani-s.co.jp/>)

## バニシエンドミルの優位性を実験的に明らかにする

バニシエンドミルの切削特性を従来型エンドミルと比較しながら評価した。切削特性の評価は切削抵抗，工具刃先形態，仕上げ面性状とした。

### 【評価項目】

- 切削抵抗
- 工具刃先形態
- 仕上げ面性状

(仕上げ面粗さ，表面プロファイル，光沢度，残留応力)

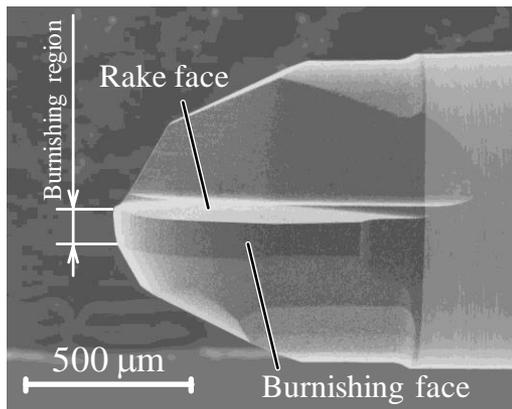
## 評価対象とするエンドミルの定義と拡大画像

### 定義

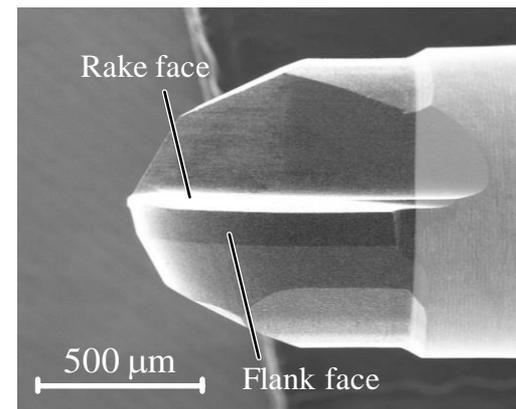
バニシング面あり -> バニシエンドミル  
Developed end mill

バニシング面なし -> 従来型エンドミル  
Conventional end mill

### 未使用時の工具刃先SEM画像



バニシエンドミル



従来型エンドミル

## 評価対象とするエンドミルの主な仕様

---

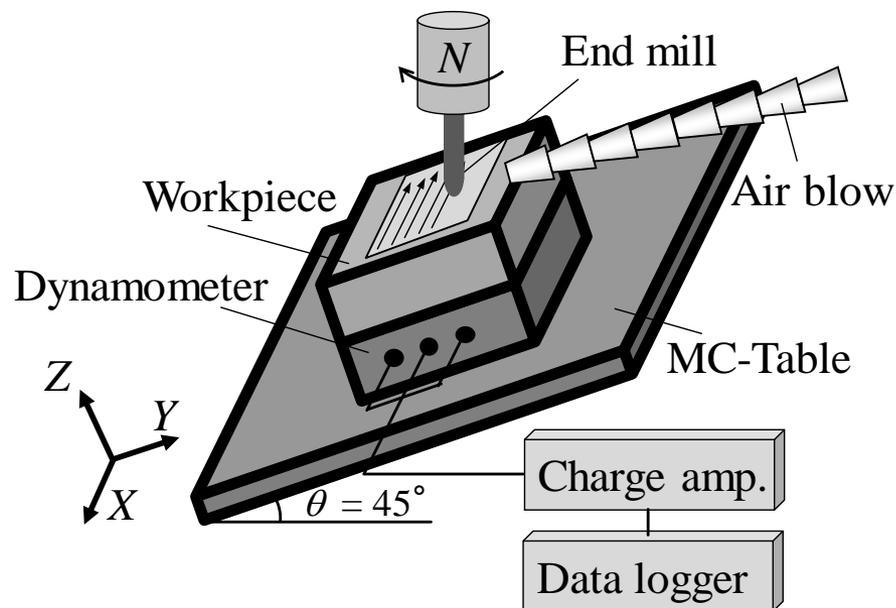
Tool type	cBN ball-nose end mill
Nose radius	0.5 mm
Number of tooth	Single tooth
Rake angle	-15° (Axial), -15° (Radial)
Relief angle	14° (Conventional type), 0° (Developed type)

---

## (株)松浦機械製作所 LX-0 5AX



## 実験装置の構成



- 加工機には5軸立型マシニングセンタを利用
- 平板上の工作物を，工具主軸より $45^\circ$ 傾斜させたテーブル上に，切削動力計を介して固定

評価項目と評価装置を以下に示す。

## 評価項目

**切削抵抗**：圧電式 3 成分力センサ

**工具刃先状態**：走査型電子顕微鏡 (SEM)

**表面粗さ・形状**：触針式粗さ計

**光沢度**：光沢度計

**残留応力**：X線残留応力測定装置

## 切削条件

Spindle revolution	rpm	$N$	10000, 30000
Feed rate	$\mu\text{m}/\text{tooth}$	$f$	12.5
Depth of cut	mm	$d_c$	0.01
Cross feed	mm	$C_f$	0.02
Tilt angle	deg.	$\theta$	45
Cutting style			Air-blow, Down-cut

- 切削速度は、切削動力計の応答速度を考慮して、切削動力測定時のみ 10000 rpmを採用
- 評価用の仕上げ面創成時には30000 rpmを採用
- その他の条件は全て一定

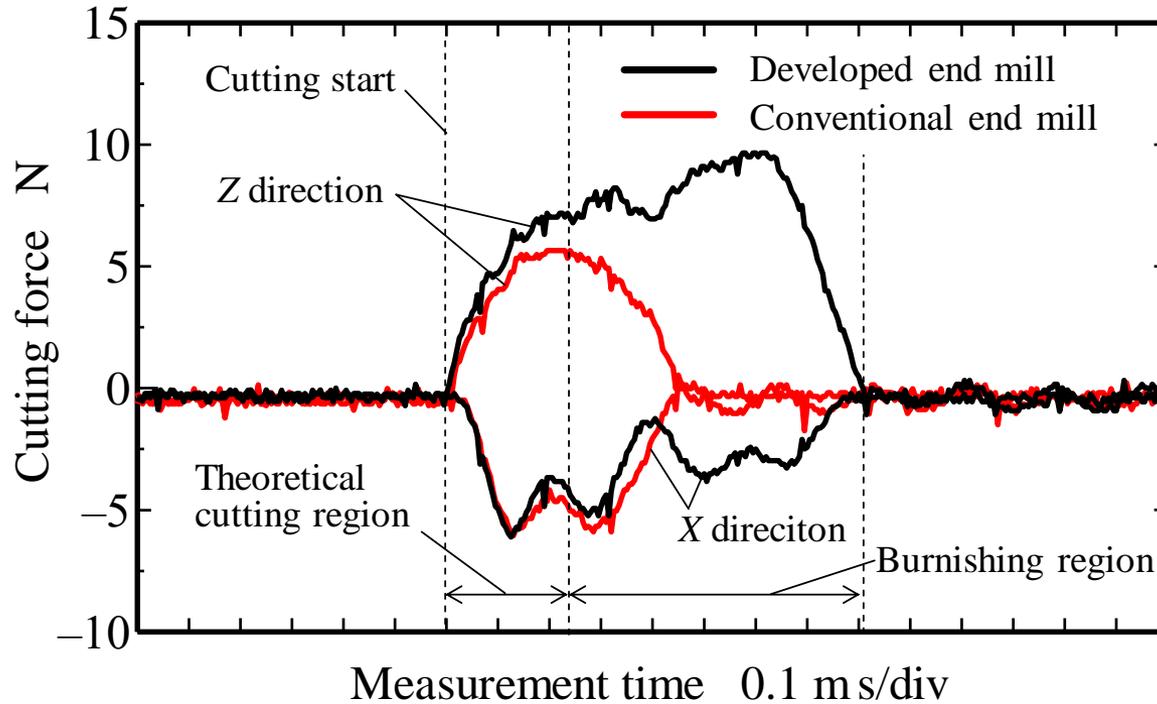
## 工作物の主な仕様

高硬度マルテンサイト系ステンレス鋼

JIS : SUS440C相当

硬さ : HRC60.0

Composition	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
wt%	1.7	0.8	0.3	18.0	1.0	3.0



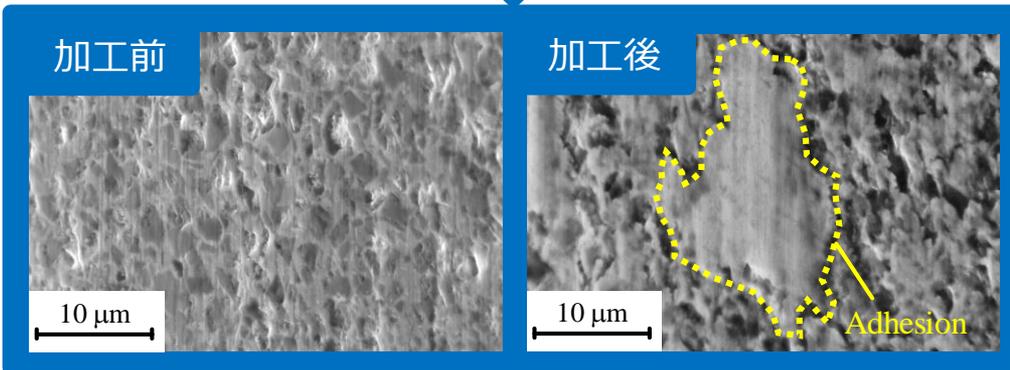
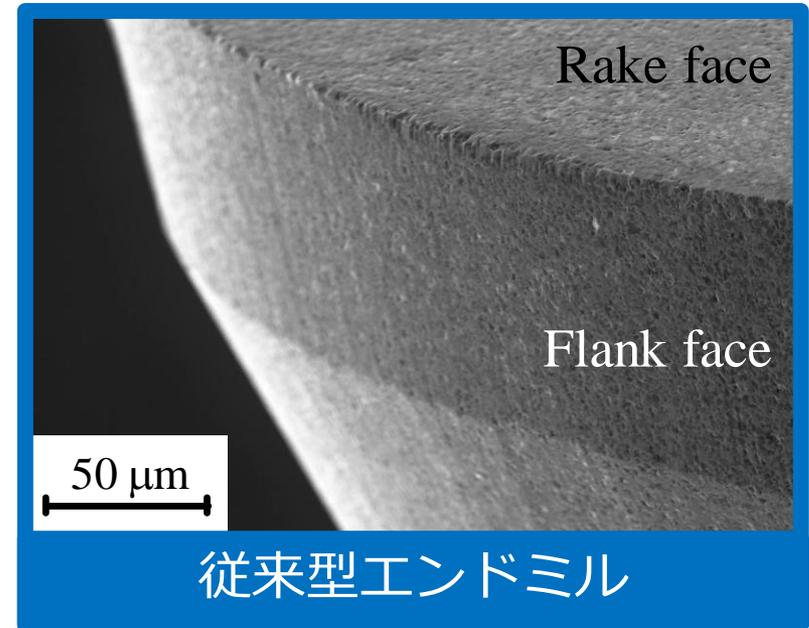
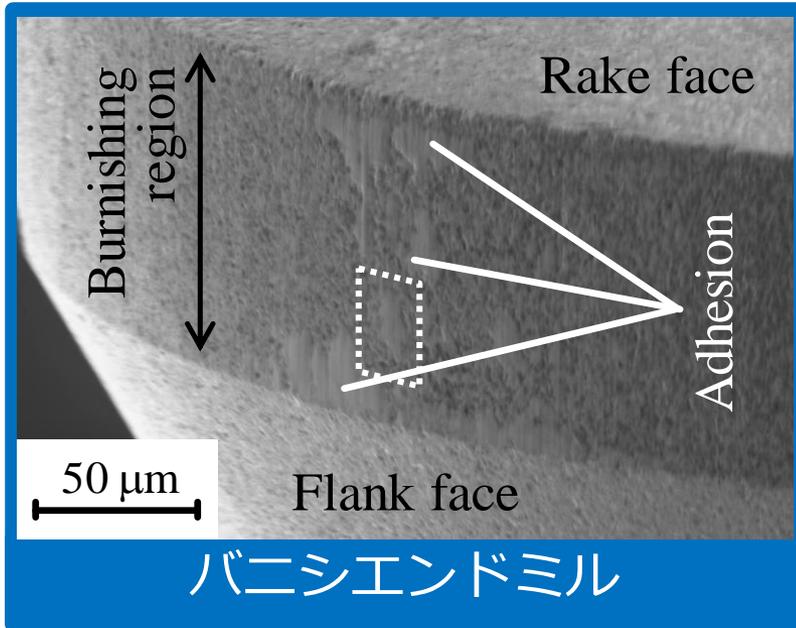
## 切削動力計の出力波形

**切削領域:** 両工具より得られた両成分の出力波形に大きな差異は認められない。

**バニシング領域:** Z方向の出力波形において、従来型より明らかに大きな出力が開発型に認められた。



## 未使用工具にて8 × 8 mm 領域切削後

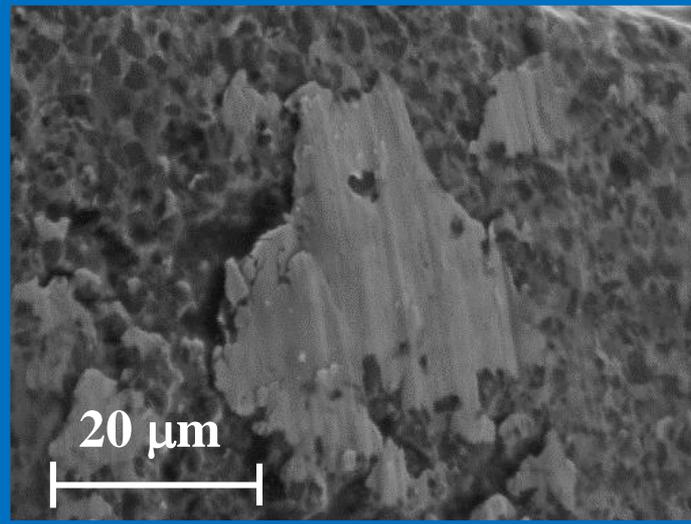


バニシエンドミルのバニシ面周方向全域に凝着物を確認

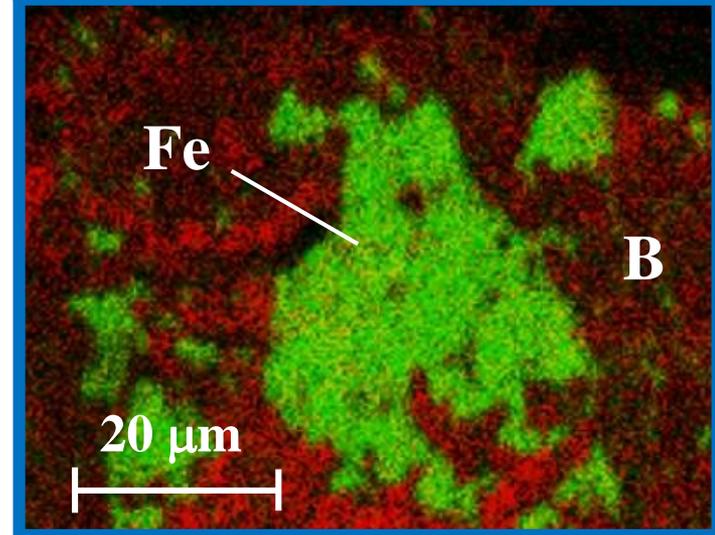


凝着物の成分分析を実施

SEM画像



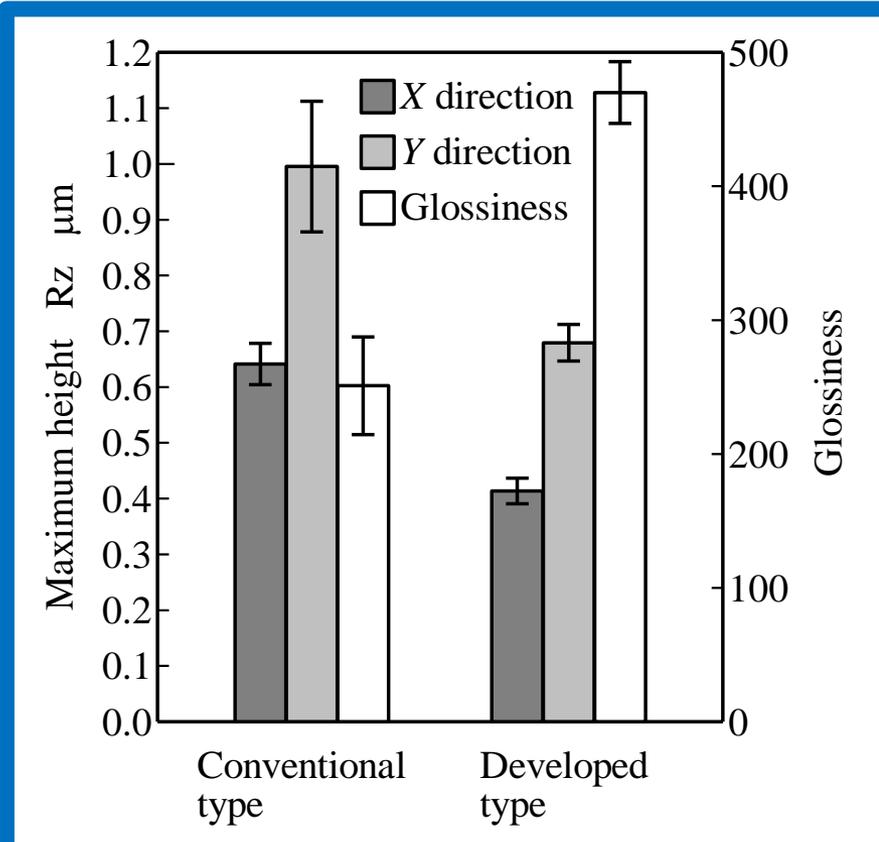
EDS分析結果



被削材に由来するFe元素であることを確認



未使用工具にて8 × 8 mm 領域切削後



仕上げ面の最大高さ と 光沢度

**最大高さ Rz**

従来型 開発型  
約30%

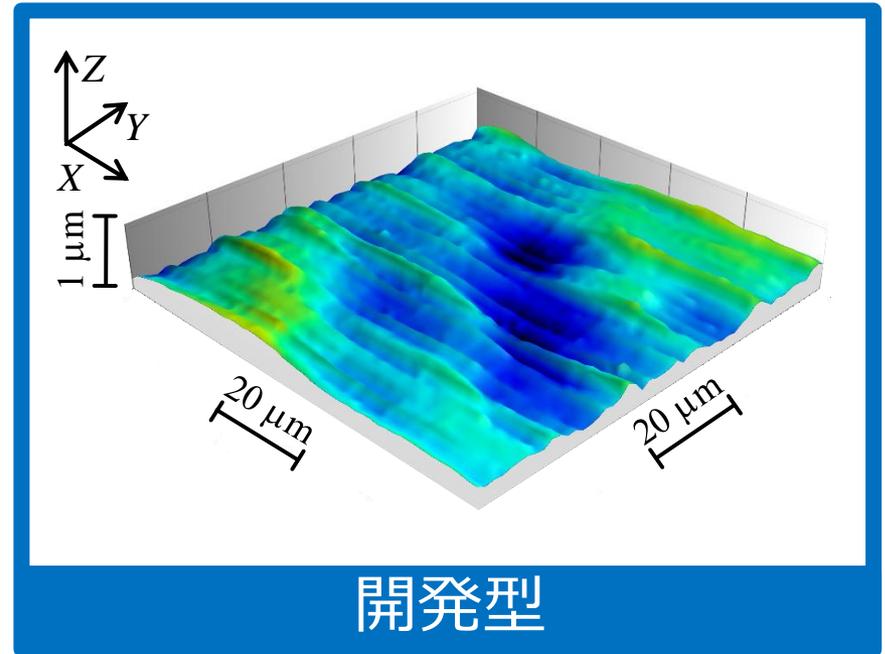
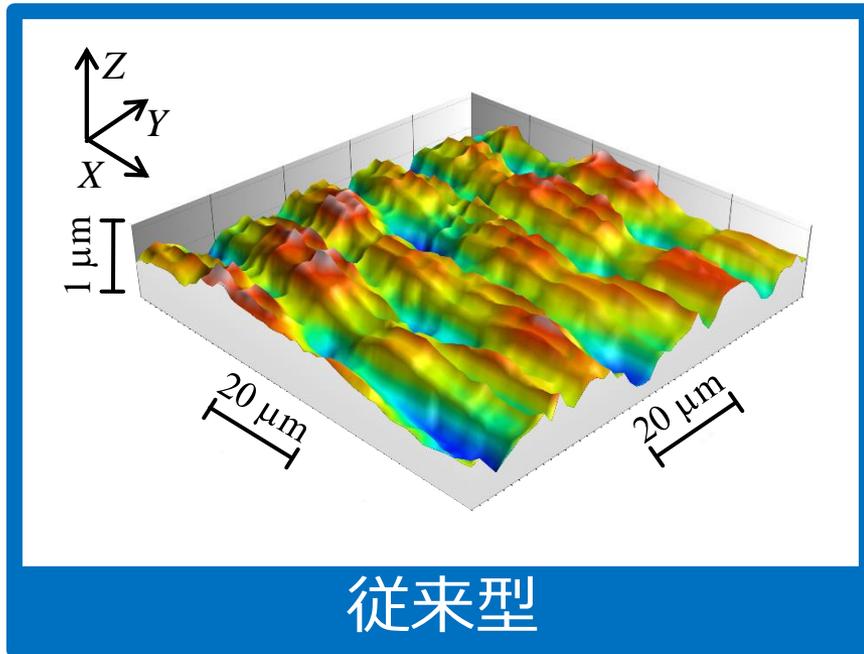
**光沢度**

従来型 開発型  
約2倍

バニシング作用面は，切削方向のみならずクロスフィード方向の仕上げ面粗さの向上にも寄与



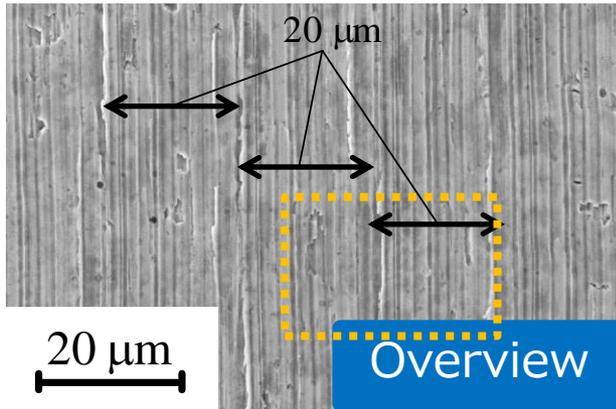
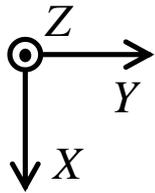
## 未使用工具にて8 × 8 mm 領域切削後



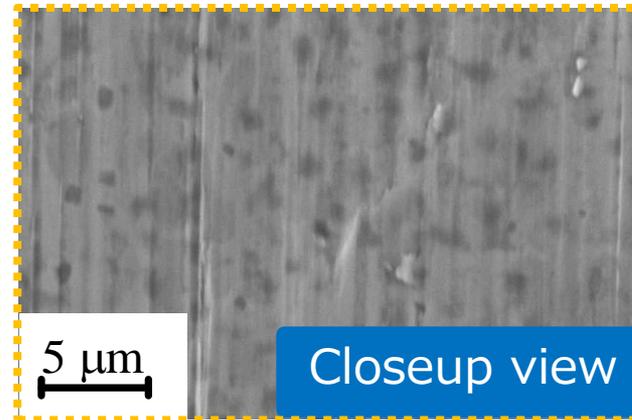
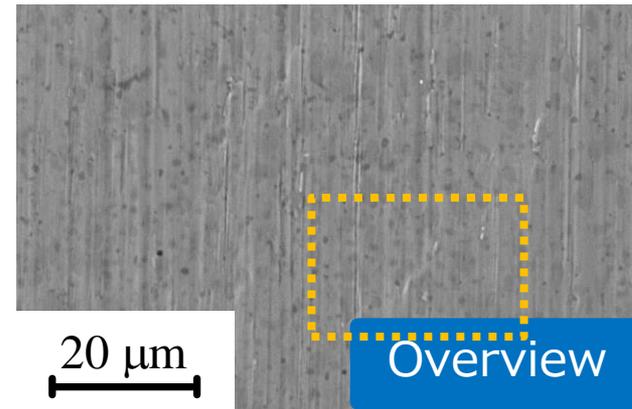
最大高さ・光沢度の傾向に倣い，開発型を用いることで， $X$ ， $Y$ の両方向に対し平滑性の高い仕上げ面を創成



# 実験結果(仕上げ面微細形状の比較)

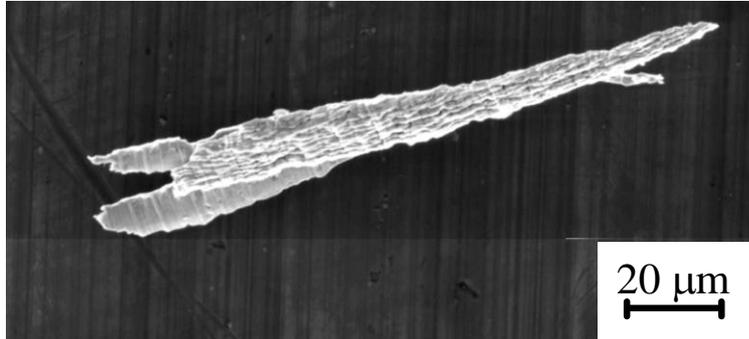


従来型

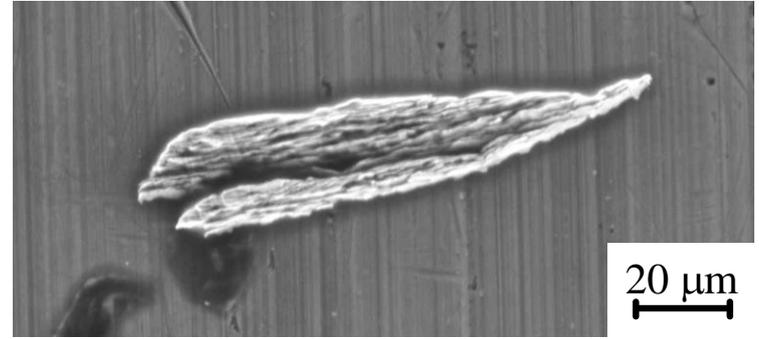


開発型

X方向の擦過痕に加えて、Y方向の送りマークも大幅に改善



従来型



開発型

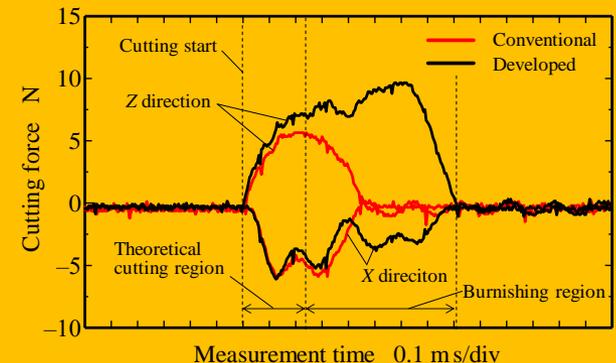
代表的な切りくずのSEM画像

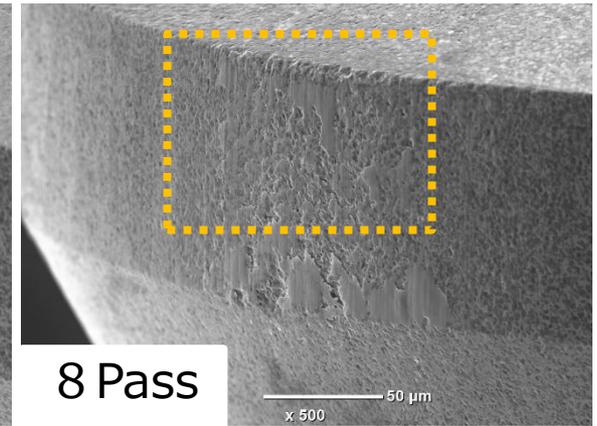
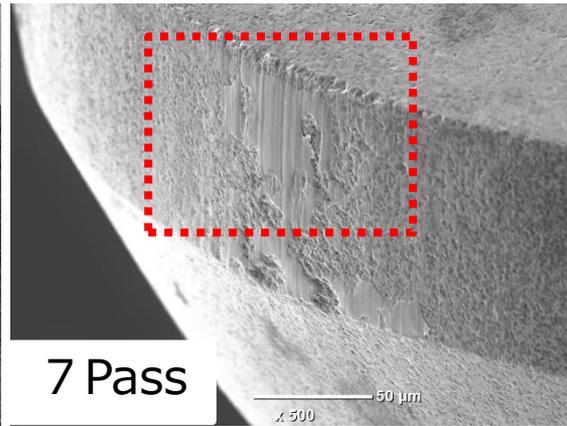
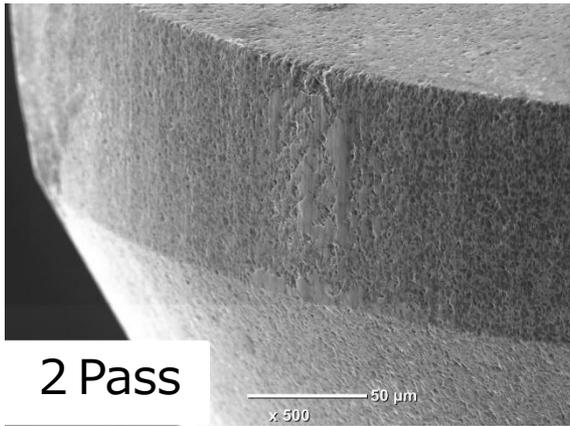
切りくず長さ

従来型 > 開発型

【実切入み量に差異が生じる要因】

逃げ角0°による切れ刃鈍角化による  
被削材への食い付き性能の低下

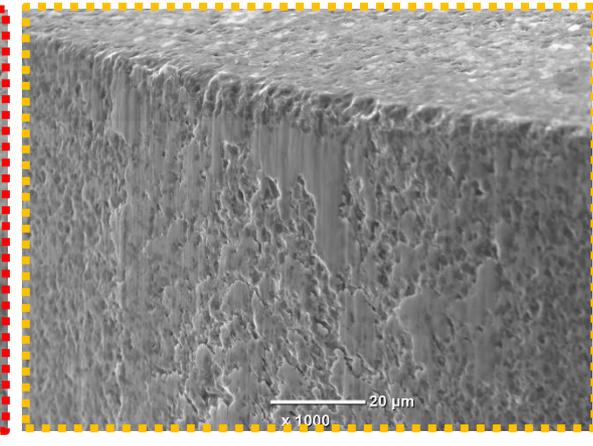
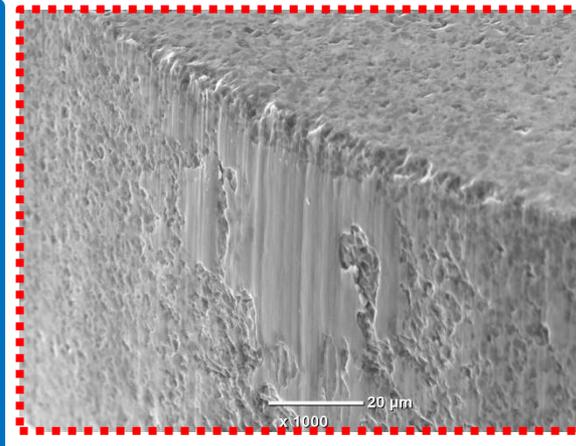




8 × 8 mm 領域切削



1 Pass



開発型の刃先SEM画像

- バニシング作用面の周方向後端が摩耗
- 凝着物は、凝着→離脱を繰り返す

---

## 刃先逃げ面にバニシング作用面を有するエンドミルの切削特性を従来型と比較検討した.

- バニシエンドミルでは，切削により生じる切削抵抗よりもバニシ状態下で大きな力が作用する.
- バニシエンドミルによる仕上げ面は，従来型より表面粗さで1.3倍，光沢度で2倍程度の改善が認められる.
- バニシエンドミルによる仕上げ面は，従来型よりクロスフィード方向の圧縮残留応力が2倍程度に達する.
- バニシエンドミルの実切入み量は，従来型より数ミクロン程度小さい.

---

本研究では、金型材料への適用を想定して、バニシエンドミルの有効性について検証した。しかしながら、エンドミル（切削）加工は、様々な工業製品の製造工程に採用されている。また、平滑で耐久性に優れる金属表面も、工業部品として有用な特性である。そのため、本事業による成果は、金型製造技術に限らず、種々の工業製品製造工程に対して、製品性能の向上や工程の短縮化に向けた取り組みに対して貢献できる。



2020年4月に学外の関連研究者を交えて事業成果に対する客観的な意見聴取のための成果報告会を開催した（新型コロナウイルス感染拡大防止措置のためにWeb会議により実施）。研究成果と今後の検討課題等について意見交換をした。報告会で以下のような意見が挙がった。

- 本事業で対象としたエンドミルは、従来型エンドミルの刃先形状を変更したのみであり、これだけ高い効果が得られるのは実用性の高い成果と考える。
- 金型産業は、日本の得意とする成形加工技術の根幹を支える技術であり、今後、継続的な取り組みが望まれる。
- 金型の研磨作業の負担軽減（磨きレス化）を目的としているが、この工具によりどの程度の負担軽減が可能であるか、その点を可視化できる方法が必要と考える。



1. Masato Okada, Hayato Minamidani, Masayoshi Shinya, Hidehito Watanabe, Takuya Miura, Masaaki Otsu, Fundamental cutting characteristics of hardened die steel using cBN ball-nose end mill with burnishing surface, Proceedings of the 8th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN2019), D07, pp. 1-2, 2019.
2. 岡田将人, 南谷駿斗, 新谷正義, 渡邊英人, バニシング作用面を付加したcBNエンドミルによる高硬度金型用鋼の高面品位加工, 型技術ワークショップ2019inいばらき講演論文集, D-7, pp. 132-133, 2019.
3. 藤井亮輔, バニシング作用面を有するボールエンドミルによる高硬度ステンレス鋼の高面品位加工, 型技術者会議2020学生ポスターセッション(2020年4月申込済み)

※いずれも本事業の成果が含まれていることを明記。

今後、本事業成果をもとに継続的に本課題に取り組み、学術論文にて広く事業成果を公開する予定



本研究は、

**公益財団法人 J K A 2019年度**

**機械工業振興補助事業 研究補助**

を受けて実施いたしました。関係各位に深謝致します。