

切削－バニシ加工による医療用刃具の 機上デジタル製造技術の開発

公益財団法人 J K A

2021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 精密加工研究室

教授 岡田 将人

本研究では、脳外科手術に用いられるマイクロ剪刀に代表される医療用刃具の切れ刃を、人間の手作業工程を介さずに1台の工作機械上で製造するための加工技術の開発を目的とした。プログラム制御により自動加工が可能であるNC工作機械により、刃具素材を模した薄板材に対し、その輪郭稜線が鋭利刃となるように切削加工で形状創成を行った後に、工作機械上の工具を切削工具から球頭工具に付け替えてバニシング加工(以後、バニシ加工)を実施した。これにより、切れ刃付近の表面性状を制御するとともに、切れ刃稜線の鋭利刃部の形状も制御可能であることを明らかにした。また、切れ刃の反り形状の制御に、バニシ加工が適用できる可能性について検討するために、薄板材に対してバニシ加工を施すことで生じる曲げ形状に着目した。本研究では、バニシ加工条件が曲げ角度に及ぼす影響を、有限要素法解析(以後、FEM)モデルを用いて解明した。これらにより、切削加工とバニシ加工を組み合わせることによる刃具製造技術の有用性について明らかにした。



マイクロ剪刀
(株)シャルマン様 提供

脳外科手術等に用いられるマイクロ剪刀の切れ刃は、切削加工により削り出した後、手作業による研磨作業を施す。この手作業では、切削加工により生じた反りの形状修正も兼ねる。しかし、この手作業は時間を要し、品質にもばらつきが生じやすいため、工作機械を用いた自動化が求められている。金型を用いずに薄板材の曲げ形状を発現する方法として、バニシ加工の活用が期待されている。バニシ加工は一般的に平滑面を得ることを目的に適用されるが、著者らは、バニシ加工により板厚方向の残留応力を制御することで、薄板材に曲げ形状を発現できることを明らかにしている。バニシ加工は、工作機械上で切削加工から段取り替えを介さずに実施でき、バニシ加工により切削から表面平滑化、曲げ形状の制御までを行うことができれば有効な加工法となる。これまでの研究では、専用装置を用い、工具の工作物への押付け力を一定に制御した上で、被加工材縁部に対する加工特性や薄板材の曲げ制御について検討してきた。しかしながら、マイクロ剪刀は一般的な位置制御の工作機械を用いた切削加工により形状が創成されており、製造工程の連続性を鑑みた場合、バニシ加工においても位置制御工作機械上での加工特性を明らかにする必要がある。

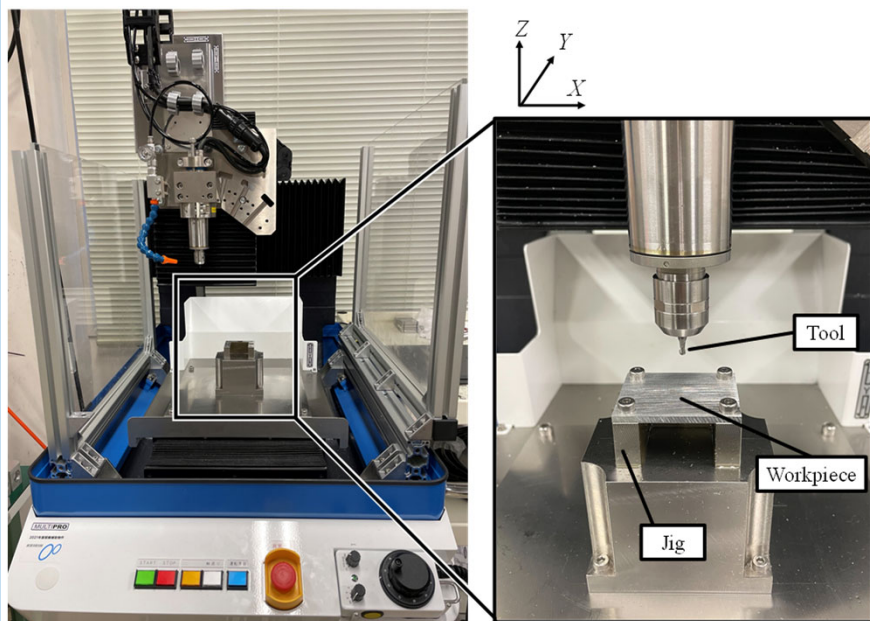
薄板材縁部に対して一般的な位置制御工作機械により，切削加工からバニシ加工までの切れ刃形状創成一貫プロセスで実施した場合の切れ刃表面性状と形状の解明



工具の押込量を制御したバニシ加工による薄板材の曲げ変形特性を有限要素法解析(以後，FEM)により解明

【評価項目】

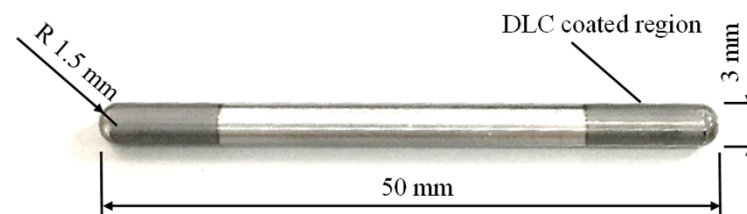
- 切れ刃の表面性状と形状（触針式表面粗さ計）
- 切れ刃の表面状態（デジタルマイクロスコープ）
- 切れ刃の切断性能（開発した切断性能評価試験機）
- 曲げ角度（3次元FEM解析ソフト）



多機能デスクトップ加工機

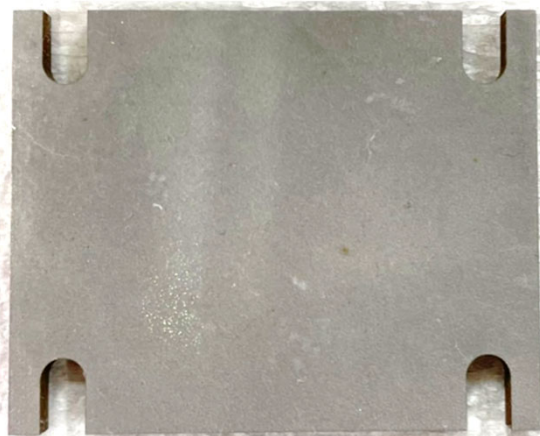


ボールエンドミル



バニシング工具

- 加工機には3軸小型NCフライス盤を利用
- 薄板形状の工作物を治具を介して工作機械テーブル上に固定
- ボールエンドミルによる切削加工の後に、バニシング工具によるバニシ加工を連続的に実施

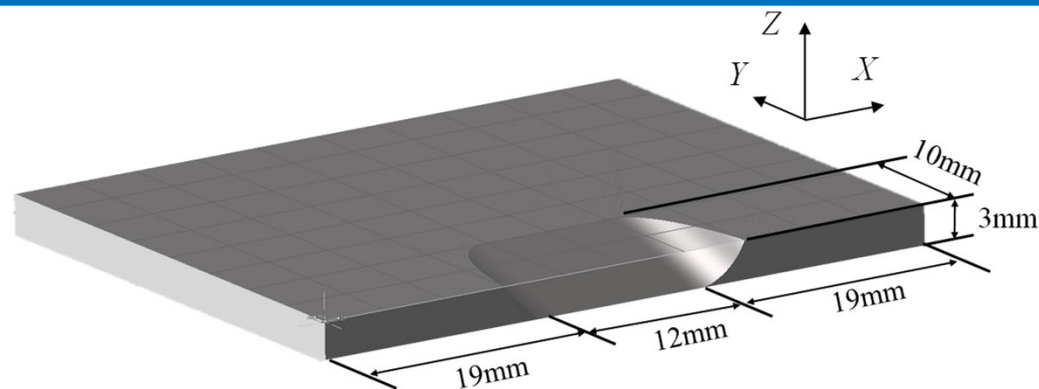


5 mm

工作物外観

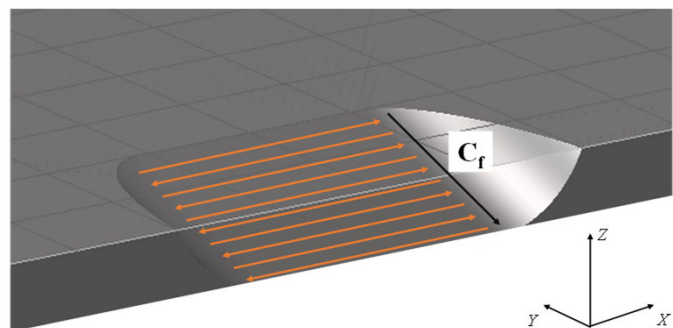
工作物組成

SUS303	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Co
	0.05	0.70	1.65	0.04	0.17	8.28	18.1	0.49	0.36	0.19

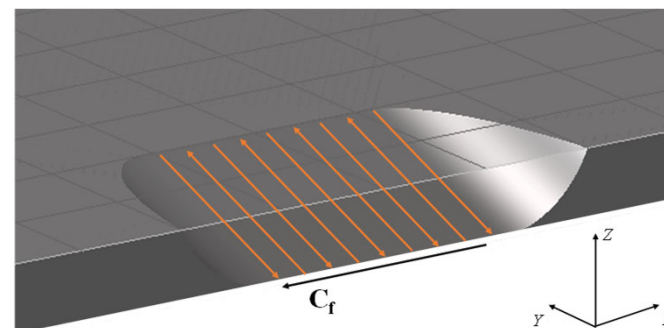


切れ刃を模した加工形状

- 工作物にはステンレス鋼 JIS SUS303を使用
- 薄板材稜線部に切れ刃を模した幅12 mmのくさび型の形状を切削加工により創成した後に、バニシ加工を実施



切削加工

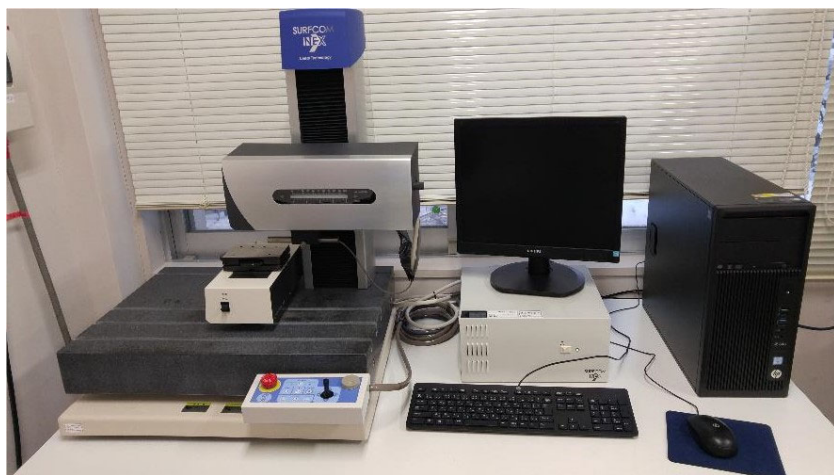


バニシ加工

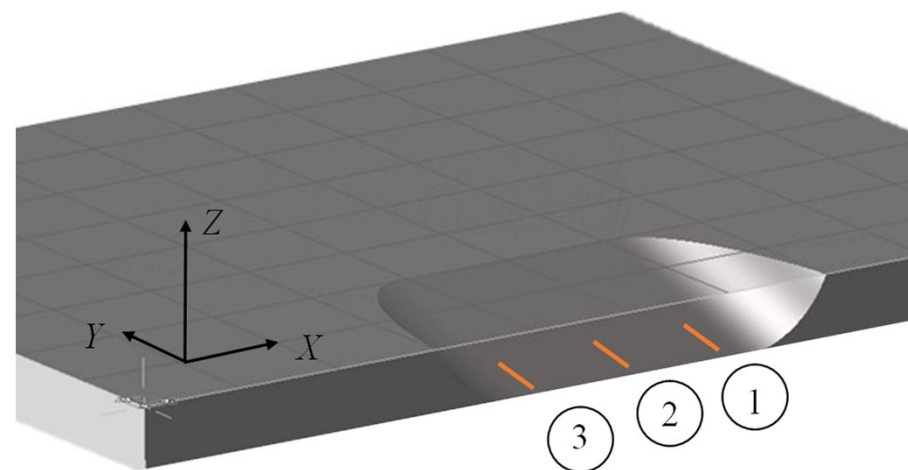
加工条件

		Cutting	Burnishing
Radius of tool edge	mm	1.5	1.5
Spindle speed	rpm	10000	10000
Feed rate	mm/min	500	500
Cross feed	μm	110	80
Feed direction		$\pm X$	$\pm Y$
Cross feed direction		$-Y$	$-X$
Indentation depth	μm	NA	10

- 切削加工では $\pm X$ 方向, バニシ加工では $\pm Y$ 方向に工具を走査
- クロスフィード方向は切削加工, バニシ加工でそれぞれ $-Y$ 方向, $-X$ 方向

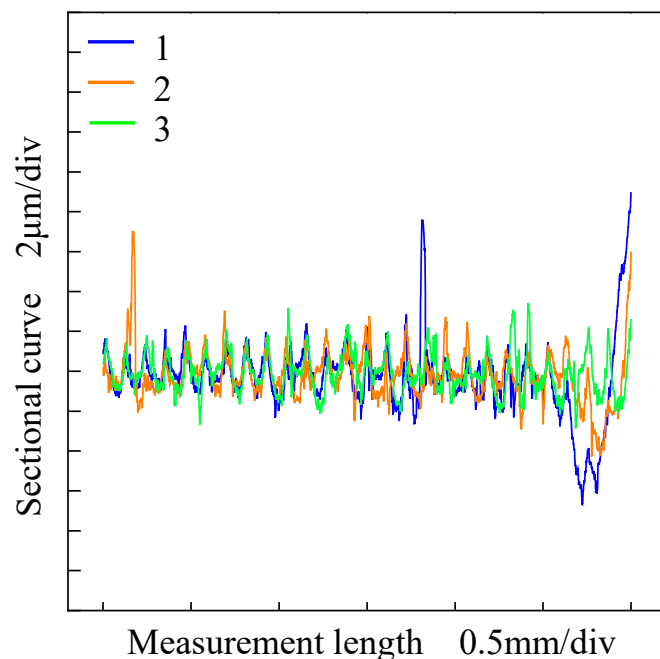


触針式粗さ計

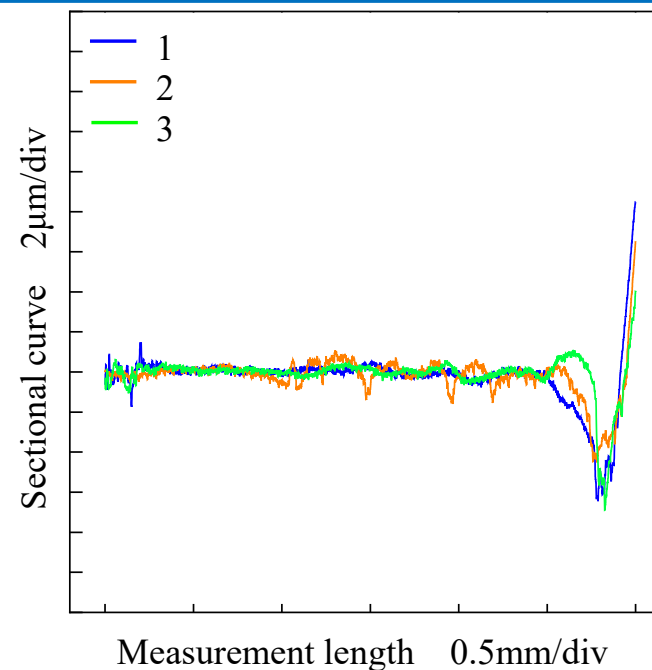


表面形状測定点

- 切れ刃周辺の形状測定には触針式粗さ計を適用
- 幅12 mmの切れ刃稜線に対し，両側ならびに中央部の3点を測定

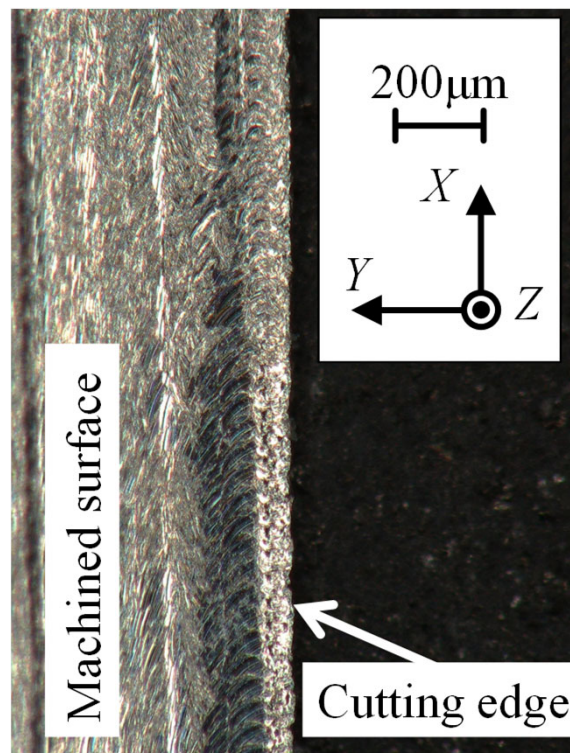


切削加工後(バニシ加工前)

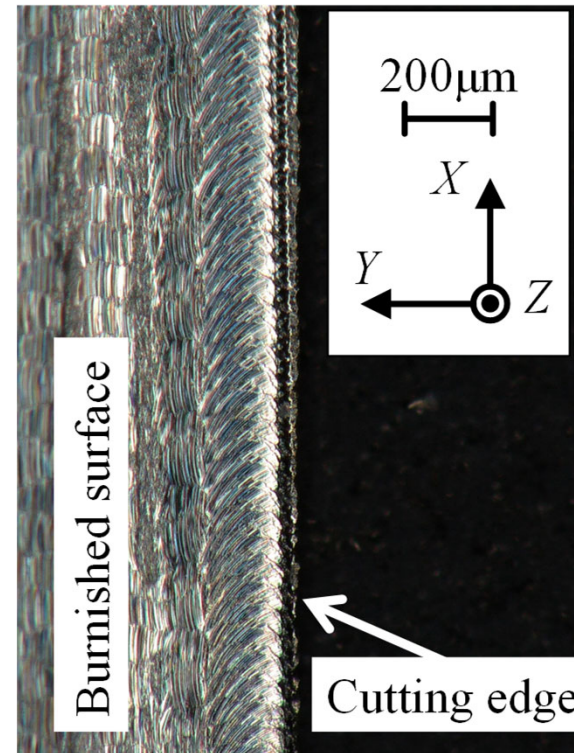


バニシ加工後

- 切削加工後の切れ刃付近の表面には，切削加工のクロスフィードに倣った凹凸がいずれの測定位置でも認められる
- バニシ加工を施すことにより，明確に表面性状が改善
- バニシ加工により，切れ刃稜線付近に凹形状のうねり形状が発生

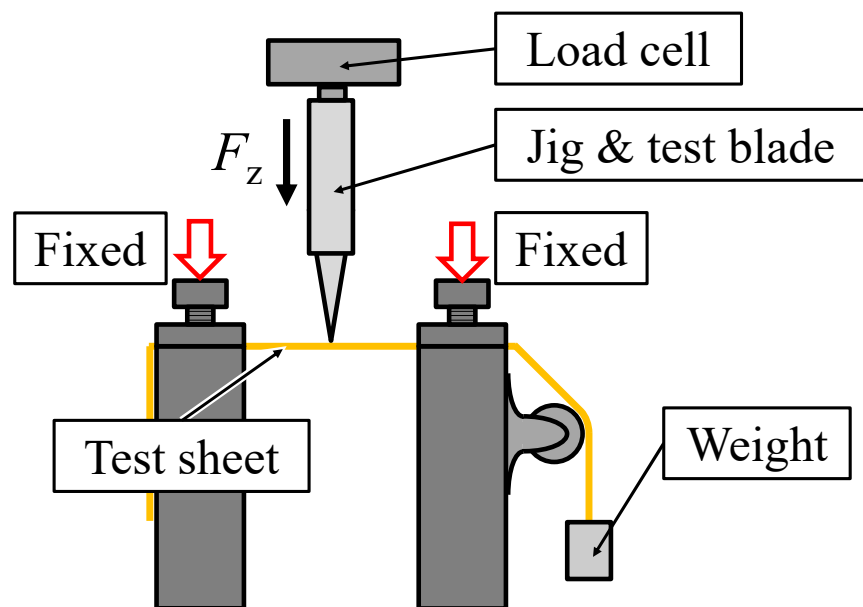


切削加工後(バニシ加工前)

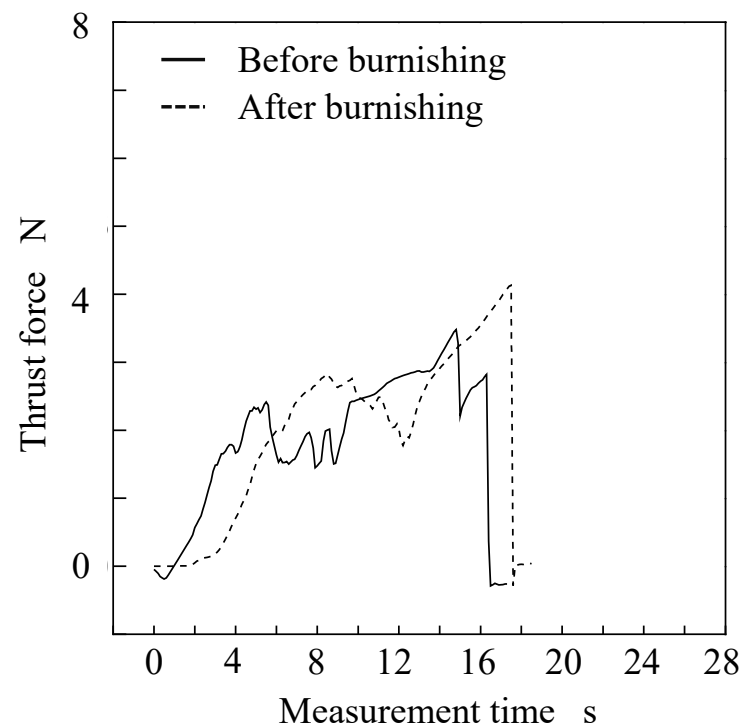


バニシ加工後

- 切削加工後の切れ刃稜線には不規則な凹凸が残存
- バニシ加工を施すことにより，切れ刃稜線付近に周期的な加工痕が発現

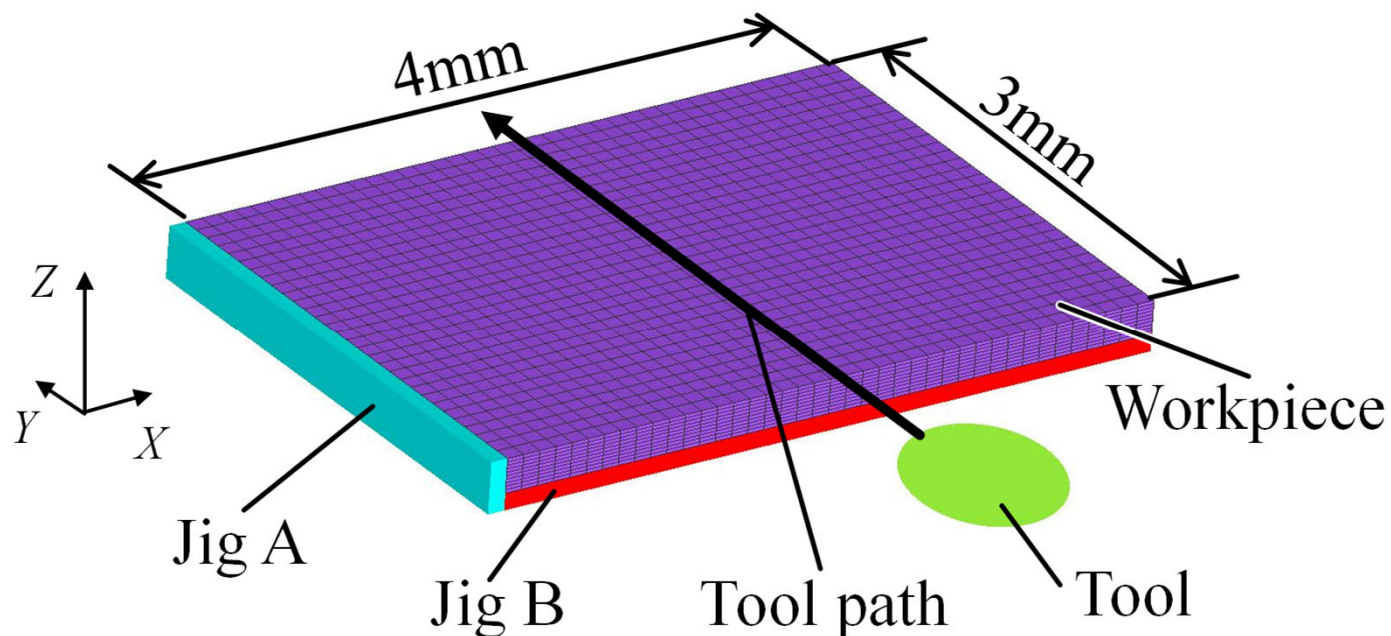


切断性能評価試験方法



切断性能評価試験結果

- 製作した模擬切れ刃による切断性能評価試験を実施
- バニシ加工後の切れ刃が、切断までに要する時間・荷重ともに増加
⇒バニシ加工によるうねり形状の抑制が今後の課題

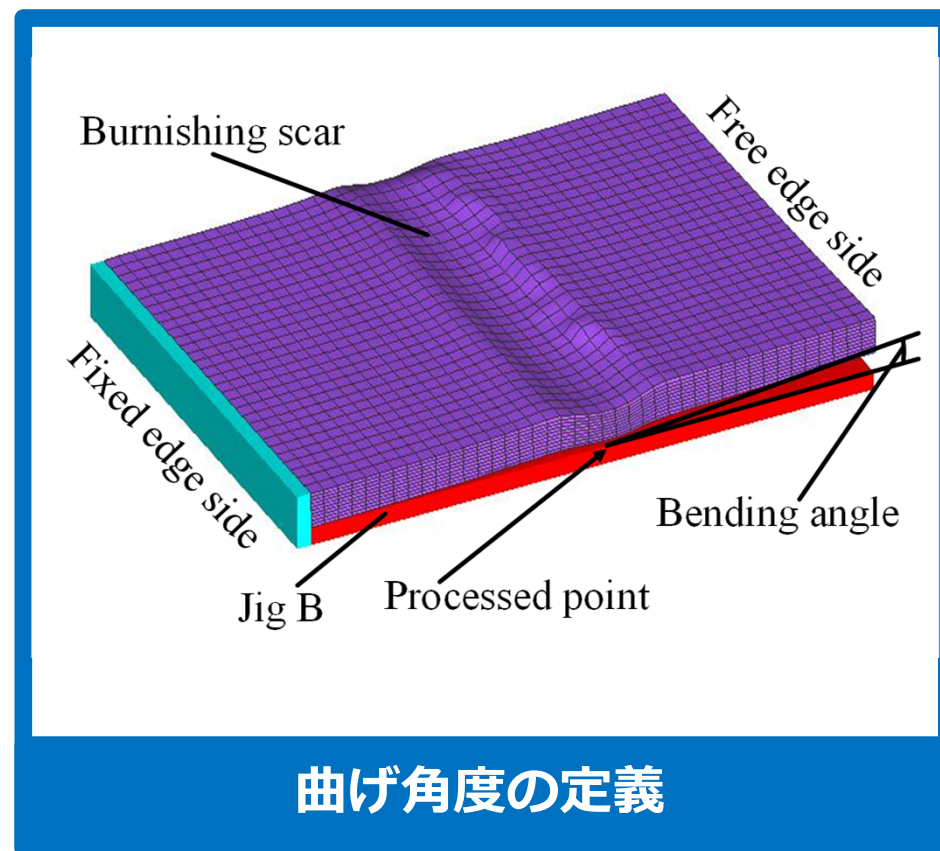


曲げ形状検討のためのFEM解析モデル

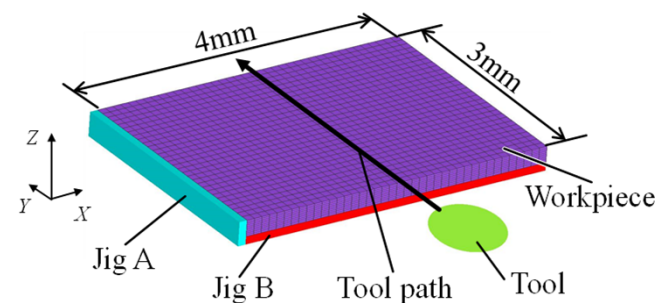
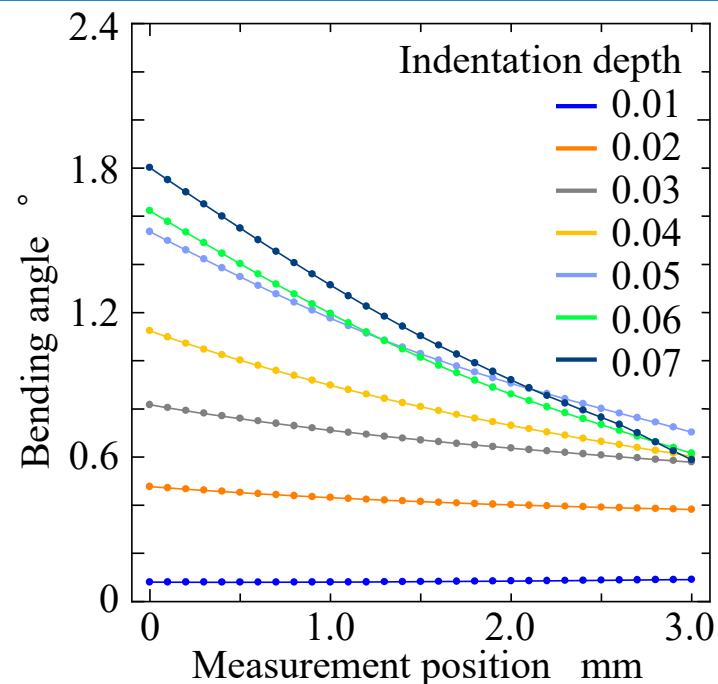
- 工作物($t = 0.2 \text{ mm}$)端面を治具Aと固着・治具Bとは接触状態
- 他端を自由端とし, クロスフィードを伴わない1パス加工での変形状態を評価

FEM解析条件

Burnishing tool	Material		JIS SKD1
	Radius of tool edge	mm	1.5
	Spindle speed	rpm	100
	Feed rate	mm/s	5
	Indentation depth	μm	10-70
	Inclination angle	$^{\circ}$	10 (+X axis)
Workpiece	Material		JIS A5052
Jig A and B	Material		JIS SUS304

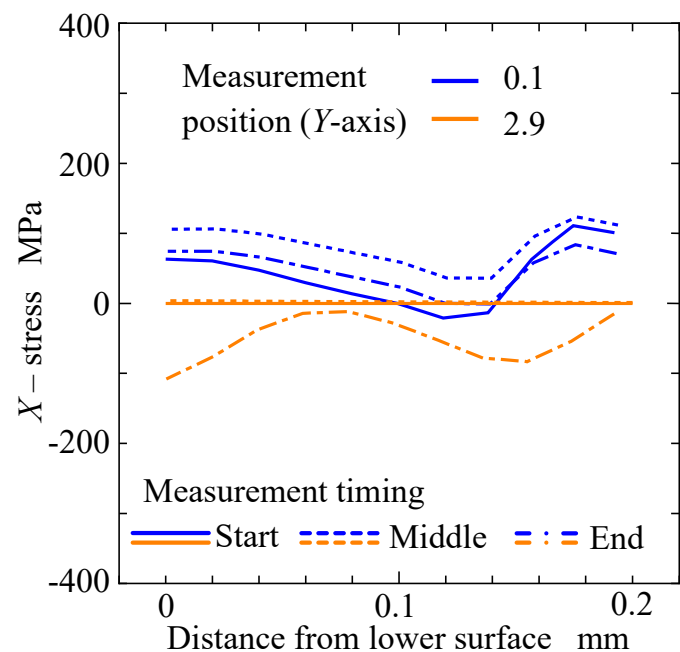


- バニシ工具の対象面への押込量を変化させることで、曲げ角度への影響について調査
- 曲げ角度は、加工点下面から自由端下面を結ぶ直線と治具Bとのなす角と定義

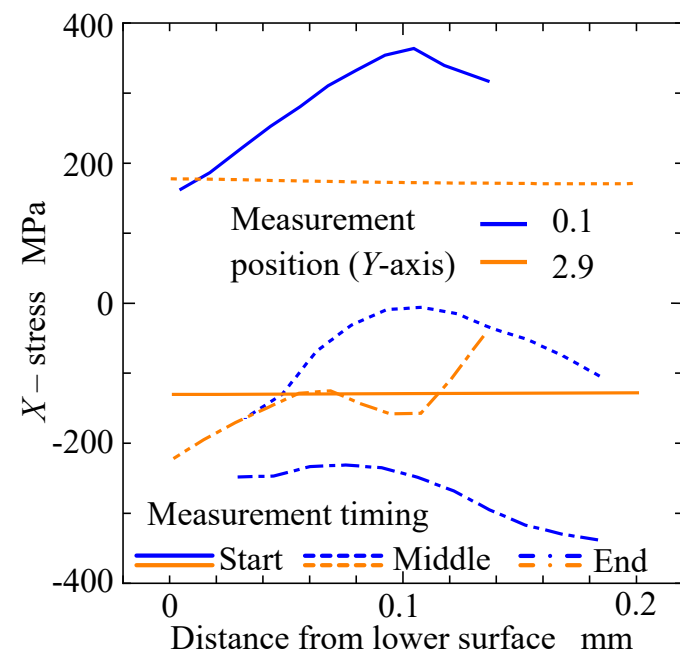


押込量による曲げ角度の変化

- 横軸は曲げ角度のY方向測定位置(0が加工開始点側)
- 押込量の増加に伴い, 曲げ角度が増加する傾向
- 押込量の増加に伴い, 加工開始点側と終了点側の曲げ角度に大きな差異が発現(加工開始点側の曲げ角度が大きい)



押込量 0.01 mm



押込量 0.07 mm

- バニシ加工による薄板材の曲げ形状は，板厚方向の内部応力分布に起因
- 押込量による加工中の内部応力(x 方向応力)の推移に着目すると，押込量により内部応力の分布，加工進行に伴う推移に大きな差異

薄板材稜線付近に切削加工とバニシ加工により鋭利形状を創成した場合の表面性状と稜線形状を実験的に評価した. 加えて, 薄板材にバニシ加工を施した場合に生じる曲げ形状を解析的に評価した.

- バニシ加工を施すことで, 平滑かつ鋭利形状を実現できた.
- 創成した切れ刃の切断性能の向上には, バニシ加工により生じる切れ刃稜線付近のうねり形状を抑制する必要がある.
- 薄板材に対するバニシ加工により, 薄板材全体にバニシ加工面に対して凹型の曲げ形状が発現することを解析により再現した.
- 工具の押込量の増加に伴い, 曲げ角度が増加し, その傾向は内部応力の分布により検討できることを明らかにした.

- 本研究で対象とするバニシ加工は、形状創成のための切削加工に用いられる工作機械で、段取り替えを介さずに連続的に行える加工法である。従来、人間の手作業で実施されてきた作業をバニシ加工に置換することで、製造工程の短縮化、熟練工不足の解消、品質の安定化など、製造現場における諸問題の解決に寄与できる。
- 従来、バニシ加工は工業用製品の表面平滑性と表層改質のために用いられてきた加工法である。一方で、本研究では、そのバニシ加工による材料流動を、薄板材縁部や曲げ形状の制御に用いられる可能性を示した。本研究で対象とした医療用刃具は、その適用が期待できる一例であり、より多くの工業製品の製造技術として、本加工技術の優位性を活用できると考えている。

2022年2月に学内の関連研究者・事業協力者より、事業成果に対する意見を聴取した。加えて、学外研究者に対しては、同年3月に研究成果報告会（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）を開催し、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。



学内関係者とのミーティング風景

- バニシ加工の有用性を、これまでの表面平滑・表層改質以外にも波及させるものであり、新たな加工法の活用を提案した研究成果である。
- バニシ加工は、柔軟性の高い加工法であり、工作機械で実施できるため、実用化のために製造現場に求める負担も少なく、様々な製造現場での適用が見込める。
- 医療用刃具への適用について、今後も適用方法の検討を進めて、開発された切断性能評価試験と併せて実用化されることを期待する。



1. 岡田将人, 桐山貴, 吉田清斗, 長谷川奈帆, バニシング加工による薄板材縁部の鋭利形状創成と薄板材の曲げ特性, 日本機械学会北陸信越支部2022年合同講演会（総会・講演会&卒業研究発表講演会）講演論文集, A015, pp. 1-4.
2. 岡田将人, 桐山貴, 吉田清斗, 長谷川奈帆, 工具回転型チップバニシング加工による薄板材の曲げ特性, 日本塑性加工学会2022年度春季講演会講演論文集, 掲載決定.
3. Masato Okada, Seito Yoshita, Makoto Nikawa, Naho Hasegawa, Edge treatment by tip burnishing process with an active rotary tool, Proceedings of 2022 International Conference on Machining, Materials and Mechanical Technologies, Submitted.

※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 2021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。