

微細工具によるガラス基板加工技術に関する研究（第2報）

米山陽・萩原義人・坂本智明・佐野正明・石黒輝雄・清水毅*1・石井孝明*1

Glass Substrate Processing Technology Using a Micro Cutting Tool (2nd Report)

Akira YONEYAMA, Yoshihito HAGIHARA, Chiaki SAKAMOTO,
Masaaki SANO, Teruo ISHIGURO, Tsuyoshi SHIMIZU*1 and Takaaki ISHII*1

要 約

電子基板には配線用のスルーホール（貫通穴）や電極用の溝部が必要となるが、ガラス材料では従来のエッチングプロセスが使用できず、新たな加工方法が求められている。環境負荷が低く、広く普及している機械加工技術にて対応が可能となれば、既存機械加工において新たな高付加価値加工となり得る。そこで本研究では、ガラス材料に対して汎用的な既存加工機による $\phi 0.1$ mm 以下の高品位な穴加工技術の開発を目標として研究を実施した。

既報では超音波振動を付与することで $\phi 0.1$ mm の穴加工は可能であることを示したが、穴壁面はドリル加工による表面粗さが残る状態であった。本年度は、加工した穴壁面の表面性状を向上させるため、超音波振動と遊離砥粒を組み合わせた研磨手法を考案した。加工実験の結果、本手法が小径穴壁面の仕上げ加工に有効であることが分かった。

1. 緒 言

近年、電子基板の高機能化に伴い、新たにガラス材料を用いた電子基板が研究開発されてきている。基板には配線用のスルーホール（貫通穴）や電極用の溝部が必要となるが、ガラス材料には従来のエッチングプロセスが使用できず、新たな加工方法が求められている。環境負荷が低く、広く普及している機械加工技術で対応できれば、既存の加工機を用いた新たな高付加価値加工となり得る。本研究では、汎用的な加工方法としてマシニングセンタによる加工を想定し、ガラス材料に対して $\phi 0.1$ mm 以下の高品位な穴加工技術の開発を目標とした。

既報¹では $\phi 0.1$ mm 工具による加工を行い、ガラス材料に超音波援用加工を併用することで穴加工が可能であることを示したが、穴壁面の表面粗さはドリル加工のみでは微細なチッピング等が発生することが分かった。通常、後工程により表面粗さの改善を図る場合、加工品の外周部や例えば直径 5 mm 程度など内径が比較的大きい穴壁面であれば、各種研磨加工やホーニング加工により対応が可能であるが、本研究にて対象としている微細穴壁面では一般的な研磨加工での対応は困難である。

そこで本報では、ドリル加工による微細穴壁面に対応した表面粗さを向上させる後工程として、超音波振動と遊離砥粒を併用した仕上げ加工方法を考案し、本手法によりドリル加工後の表面粗さ向上が可能であるか、加工実験と表面粗さ評価を行い検討した。

2. 遊離砥粒による研磨

ドリルによる加工後は、加工壁面にツールマークが発生する。図 1 は、ソーダライムガラスに $\phi 0.3$ mm のドリル加工を行った後、軸方向に切断し加工面を電子顕微鏡で観察した結果である。加工面には、工具の回転に伴うツールマークと脆性材料特有のチッピングによる凹みが見られる。これらの凹凸を除去することが可能であれば、表面粗さを向上することが可能と考えられる。

そこで本研究では、微細穴に対応できる加工手段として、既報でも使用した超音波振動を付与したドリルと、遊離砥粒の併用による研磨加工を試みた。図 2 に本手法の概要を示す。遊離砥粒を使用した超音波ホーンによる加工のひとつに、ホーン軸中心に設けた貫通穴よりスラリーを供給し加工する方法がある²⁾。しかし、微細なホーンではスラリー供給の穴を設けることが出来ない上、事前に穴加工が行われている場合には精密な位置決めを行うことも難しい。本手法では、砥粒の供給方法としてドリルのフルート部を使用し、通常正回転で使用するドリルを逆回転させることにより砥粒が穴壁面に供給されることとなる。さらに、ドリルには超音波振動が付与されるため、フルート部に保持された砥粒にも振動が与えられ、穴壁面の研磨加工を行う方法である。

2-1 実験装置

図 3 に実験装置概略について示す。実験には、主軸サイズ 40 番の立形 3 軸マシニングセンタを使用した。超

*1 国立大学法人山梨大学

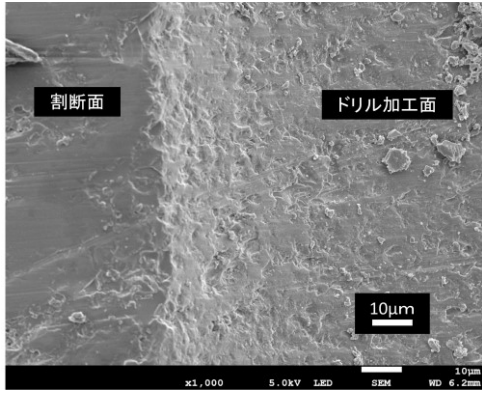


図1 ドリル加工後の壁面

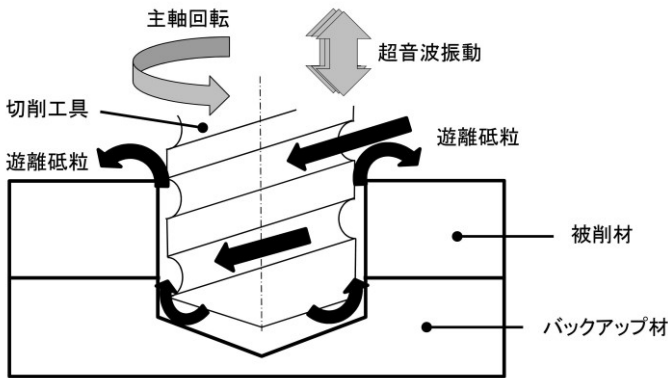


図2 遊離砥粒併用による研磨

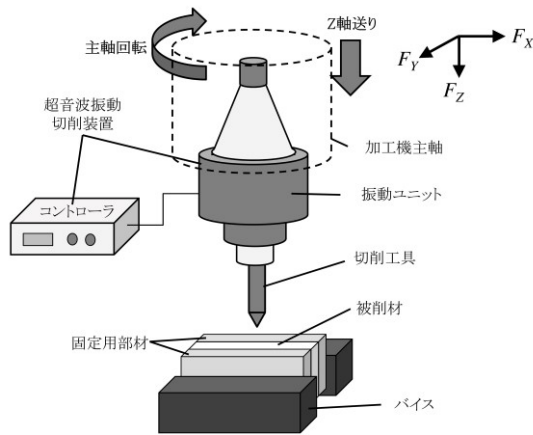


図3 実験装置概略

表1 超音波振動切削装置仕様

振動モード	工具軸方向
発振周波数	54±2 kHz
振動子形式	ボルト締めランジュバン型 PZT振動子
振幅量	2~5 µm p-p
工具把持方法	コレットチャック
対応主軸サイズ	No.40 (7/24テーパ)

表2 切削工具仕様

	穴加工用	研磨用
ドリルタイプ	ルーマ型	ルーマ型
工具材種	超硬合金	超硬合金
コーティング	ダイヤモンド	(Al,Ti) N
工具径	φ0.5 mm	φ0.5 mm
先端角	166°	130°
ねじれ角	—	30°
刃数	2枚刃	2枚刃
シャンク径	φ3 mm	φ3 mm

音波振動の付与は、超音波振動切削装置（多賀電気(株), SD-50）を使用し、回転中の工具に対して 54 kHz の振動付与を行った。使用した超音波振動切削装置の仕様を表1に示す。工具セット振れについては、シャンク部において±2 µm 以下になるように調整して加工実験を行った。

被削材は、板状（48 mm×28 mm×1.6 mm）のソーダライムガラス（Na₂O-CaO-SiO₂）を使用した。加工部の観察を側面から行うため、厚さ 1.6 mm 面から加工を行った。

2-2 切削工具および研磨剤

ドリル工具は、穴加工用と研磨用の2種類の超硬合金母材のルーマ型ソリッドドリルを使用した。工具径は加工面の観察を考慮し、0.5 mmとした。表2に切削工具の仕様を示す。穴加工用のドリルは、既報で使用したダイヤモンドコートタイプを使用し、研磨用には、フルート部の容積が大きい、一般鋼材用ドリルを使用した。

研磨加工で用いた砥粒は、マシニングセンタ内への飛散防止目的のため、粘性を持ったスラリーを被削材に事前塗布して加工する方法とした。砥粒はGC#1000を使用し、鉍物系グリース（稠度2号）に30 wt%を混合攪拌して使用した。

2-3 加工条件

穴加工は、表2のドリル工具を使用し、深さ 1.6 mm まで、主軸回転数 10000 min⁻¹、軸送り速度 2 mm/min で超音波振動を付与して行った。加工時は、水溶性ソルブル型切削液を外部給油にて行った。

研磨加工は、同じく表2の工具を使用し、深さ 1.5 mm まで工具を挿入した後に主軸を逆回転状態で一定時間保持し、保持時間は 30 秒、60 秒、120 秒の3水準とした。また、超音波振動無と超音波振動有の加工を行い、比較評価を行った。

3. 結果および考察

3-1 外観および直径測定

加工後の穴断面形状について、測定顕微鏡を使用して穴側面方向から観察を行った結果を図4に示す。図4は研磨加工無と研磨加工有（120秒保持、超音波有）の穴形状を、材料下面からの透過光を利用し、穴断面を強調させて撮影した状況である。

研磨加工無では、壁面に数 μm の凹凸が存在していることが確認されるが、研磨加工有では研磨加工無の状態より若干凹凸の減少が認められる。また、研磨加工有の断面形状は先端部の直径が中央部より若干小さくなっていることから、研磨加工により被削材が除去されていると考えられる。図5に、測定顕微鏡で加工深さのほぼ中央部付近において測定した直径値を示す。横軸は研磨時間を示し、0秒はドリル加工のみの穴径に相当する。研磨加工後は2～5 μm 程度、研磨加工前より直径が拡大しており、さらに超音波有の加工は超音波無より平均で3 μm 程度大きい値を示した。この直径値の結果からも、遊離砥粒により研磨加工が行われたと考えられる。

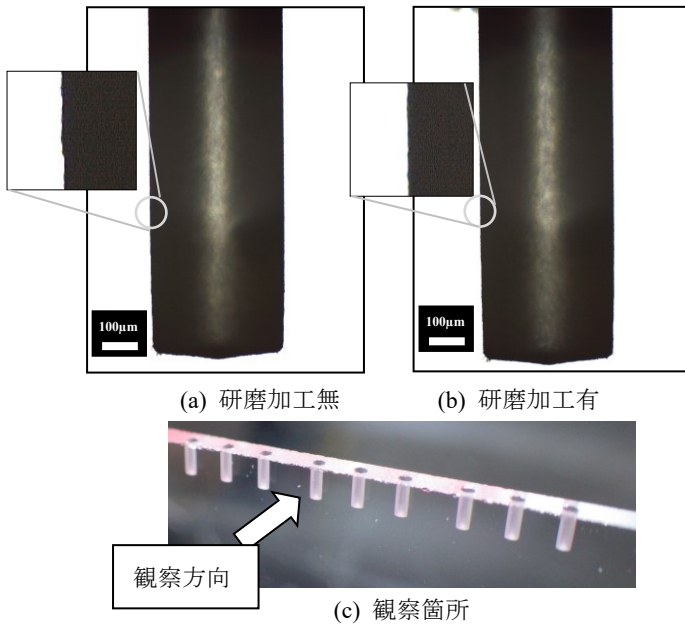


図4 加工穴断面形状

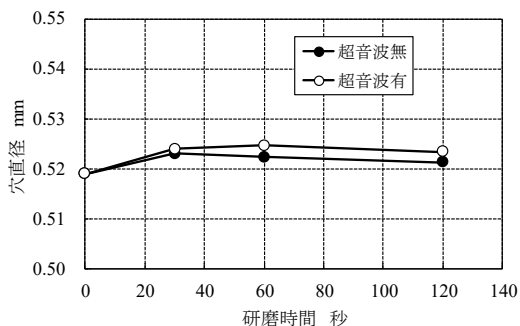


図5 研磨加工後の穴直径変化

3-2 表面粗さ評価

表面状態を詳細に確認するため、穴側面方向から、共焦点型顕微鏡（Lasertec(株) H1200）を使用して3次元形状の測定を行った。図6に3次元形状測定結果の一例を示す。穴側面から測定を行っているため、取得した形状データは上に凸の形状となる。

さらに取得した形状データから、軸線に沿った方向の表面粗さの解析結果について、算術平均粗さRa値を図7に、最大高さRz値を図8に示す。粗さ測定値は加工条件毎に3穴測定し、平均値で表している。

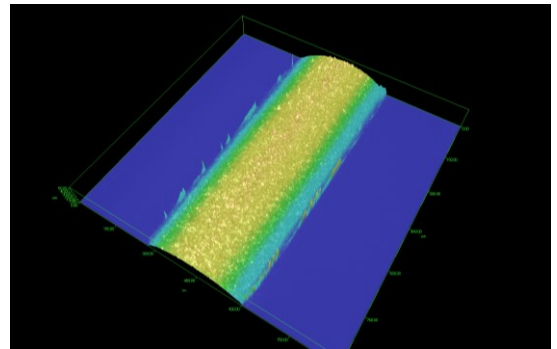


図6 共焦点型顕微鏡による3次元形状測定結果

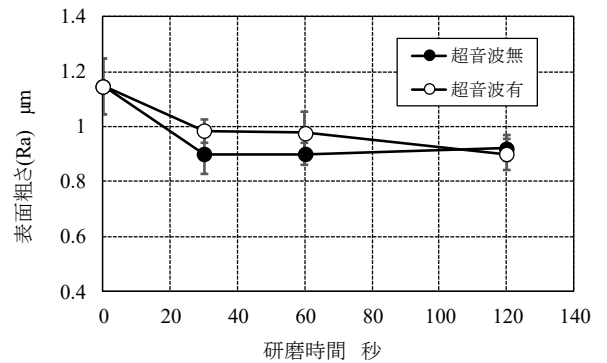


図7 表面粗さ（算術平均 Ra）

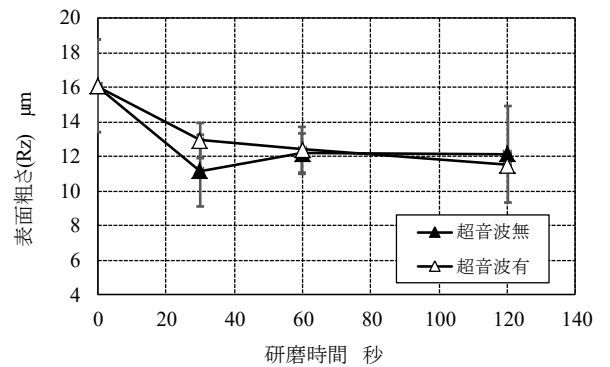


図8 表面粗さ（最大高さ Rz）

研磨加工無の表面粗さは $1.15 \mu\text{m Ra}$, $16.0 \mu\text{m Rz}$ であったが、研磨加工を行うことで表面粗さ値は小さくなる傾向を示し、研磨時間の増加とともに減少する傾向が見られた。最も表面粗さが小さくなった加工条件は、保持時間 120 秒、超音波振動有の条件で、 $0.9 \mu\text{m Ra}$, $11.0 \mu\text{m Rz}$ まで表面粗さが向上した。保持時間 30 秒においても表面粗さは研磨加工無しより向上していることが分かる。

超音波振動の有無による効果は、表面粗さ値の大きな差としては見られないが、表面粗さの変化傾向を考慮すると、超音波振動無では、保持時間の増大と表面粗さの変化について相関が見られないが、超音波振動有では保持時間の増大とともに表面粗さ値が小さくなる傾向を示している。このことから、超音波振動有の条件下では、保持時間を 120 秒以上に長くすることで、より表面粗さが小さくなる可能性があることを示唆している。

図 9 は研磨加工後の表面を観察した結果を示しているが、研磨加工により凹凸が減少していることが目視でも確認され、さらに超音波振動を付与した図 9 (c) では、超音波振動の付与がない図 9 (b) には見られない微細な凹凸があることが確認できる。このことは、超音波振動の付与により砥粒が振動したことによる研磨加工が行われた結果であり、本手法により壁面の研磨加工が可能であることが確認された。

4. 結 言

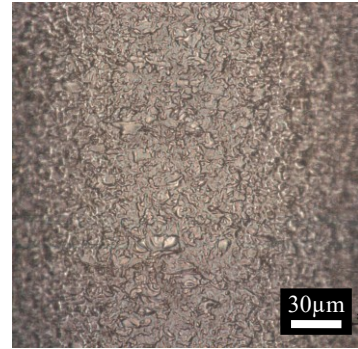
ドリル加工による微細穴壁面に対応した表面粗さを向上させる後工程として、超音波振動と遊離砥粒を併用した穴壁面の仕上げ加工方法を考案し、本手法によりドリル加工後の表面粗さ向上が可能であるか各種評価を行ったところ以下の結果を得た。

(1) ソーダライムガラスにドリル加工を行い、遊離砥粒と超音波振動を併用した加工を試みたところ、超音波振動を付与し 120 秒保持した条件において、表面粗さは $1.15 \mu\text{m Ra}$ から $0.9 \mu\text{m Ra}$ まで向上した。

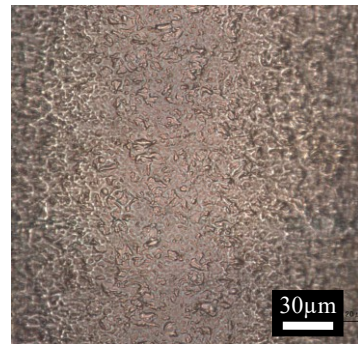
(2) 本手法を用いた研磨加工後の表面を拡大観察した結果、遊離砥粒の振動により除去加工が行われていることが確認された。

参考文献

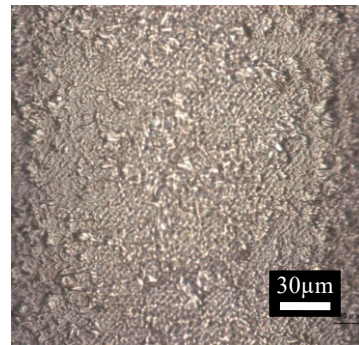
- 1) 米山陽, 他: 微細工具によるガラス基板加工技術に関する研究, 山梨県産業技術センター研究報告, No.2, pp.120-122 (2019)
- 2) 浅見拓哉: 超音波振動を利用した加工技術, 日本音響学会誌, Vol.74, No.4, p.222 (2018)



(a) 研磨加工無



(b) 研磨加工後 (超音波無)



(c) 研磨加工後 (超音波有)

図 9 加工面観察画像