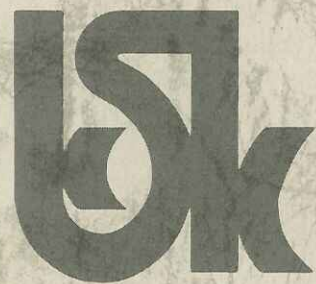


ISSN 0289-243X

技研所報

Journal of Technical Research Institute



Vol.49, No.1 (145)
Jun., 2013

一般財団法人 機械振興協会 技術研究所

Technical Research Institute

Japan Society for the Promotion of Machine Industry

技 研 所 報

平成 25 年 6 月

第 49 卷第 1 号 (145)

— 目 次 —

研 究 報 告

硬脆材料の超精密加工を可能とする超精密旋盤の開発とガラスの延性モード切削への
応用に関する研究.....1

飯 塚 保

【研究】

硬脆材料の超精密加工を可能とする超精密旋盤の開発と ガラスの延性モード切削への応用に関する研究

— 目 次 —

1. 緒 論	
1.1 研究背景と目的	1
1.2 超精密加工と超精密加工機	2
1.3 硬脆材料の延性モード加工	2
1.4 参考文献	4
2. 超精密旋盤の開発	
2.1 研究背景と目的	4
2.2 基本要素の開発指針	5
2.3 主要開発要素技術の概要	7
2.3.1 機械構造の考え方	7
2.3.2 油静圧機構	8
2.3.3 フローティングナット機構	8
2.3.4 位置制御用スケールの配置	9
2.4 試作装置の性能	10
2.4.1 静剛性	10
2.4.2 動剛性	10
2.4.3 真直度	12
2.4.3.1 真直度の測定方法	12
2.4.3.2 真直度の測定結果	14
2.4.4 作動油脈動	14
2.5 まとめ	15
2.6 参考文献	15
3. 旋削によるガラスの延性モード切削	
3.1 研究背景と目的	17
3.2 実験方法	17
3.3 実験結果	18
3.4 ガラスの弾性回復	21

3.5 工具摩耗	23
3.6 まとめ	25
3.7 参考文献	25
4. フライカットによるガラス延性モード切削	
4.1 研究背景と目的	25
4.2 超精密旋盤の改造	27
4.2.1 フライニングカット用ツールホルダ	27
4.2.2 真空チャック	28
4.3 加工実験	29
4.3.1 溝加工	29
4.3.2 加工方法とクラック発生率の関係	30
4.3.3 切削油剤の効果	31
4.3.4 切りくず観察	34
4.3.5 拡散板加工	36
4.4 フライカットにおける切削現象	36
4.4.1 切削力の測定	36
4.4.1.1 切削力測定用センサ(9067)内蔵真空チャック	37
4.4.1.2 切削力測定用センサ(9601)内蔵真空チャック	38
4.4.1.3 切削力測定実験	40
4.4.2 切削温度の測定	42
4.4.2.1 真空チャック吸着面を利用する方法	43
4.4.2.2 石英ガラスファイバ切削による方法	43
4.4.2.3 切削温度の解析(石英ガラスファイバ切削)	48
4.4.3 石英ガラスのラマン分光分析	48
4.4.3.1 石英ガラスの構造とラマン分光分析	49
4.4.3.2 石英ガラスへのフライカットによる溝加工	51
4.4.3.3 石英ガラス断面方向からのラマン分光分析	54
4.4.3.4 石英ガラス切削面ラマンスペクトルのカーブフィット	56
4.5 まとめ	59
4.6 参考文献	60
5. ダイヤモンドとガラスの摩擦摩耗実験	
5.1 研究背景と目的	61
5.2 実験方法	62
5.2.1 摩擦摩耗実験	62

5.2.2	単結晶ダイヤモンド角柱	63
5.2.3	摩耗体積の測定	64
5.2.4	摩擦温度の測定	64
5.3	実験結果	64
5.3.1	光学ガラス BK7 の摩耗実験	64
5.3.2	各種硬脆材料の摩耗実験	66
5.3.3	各種硬脆材料の摩擦温度測定	66
5.3.4	摩擦時の発光	68
5.4	まとめ	69
5.5	参考文献	70
6.	結 論	
6.1	研究のまとめ	71
6.2	今後の課題と展望	73
7.	謝 辞	73

<研 究>

硬脆材料の超精密加工を可能とする超精密旋盤の開発と ガラスの延性モード切削への応用に関する研究

飯塚 保*

Development of an ultra-precision lathe for hard brittle materials and ductile mode cutting of glass.

Tamotsu IIZUKA

1. 緒 論

1.1 研究背景と目的

ガラスは建築資材、光学部品、家電品、医療機器さらには食器に至るまで身近な工業製品に多用されている。ガラスは身近な材料であるが室温では硬く割れやすいため、機械加工が困難な代表的材料である。本研究の目標はガラスの新しい機械加工・生産方法の確立であり、本報告はガラスの延性モード切削が可能な超精密旋盤の開発とガラスの延性モード切削の応用に関する一連の研究をまとめたものである。

加工対象とその加工方法は、表 1-1 に示すように技術革新（工具・加工技術の進展）によって変化する。焼入れ鋼などの高硬度材料には研削加工が施されていたが、コーティング工具・

cBN 工具の出現により切削加工が可能となった¹⁻¹⁾。また、熱処理後の金型鋼は放電加工機による形状加工後の後に手仕上げによる研磨で仕上げていた。現在では、マシニングセンタによる磨きレス加工が主流となっている¹⁻²⁾。また、ポリゴンミラー等に代表される金属鏡の製造方法は、超精密加工技術の向上と共に研削・研磨から超精密切削に移行した¹⁻³⁾。しかし、ガラスレンズの場合では、球面レンズは伝統的な研磨¹⁻⁴⁾、非球面レンズはモールド成形¹⁻⁵⁾が主流である。ガラスレンズの加工方法も延性モード切削技術が確立すると、金属鏡などと同様に超精密延性モード切削に移行すると考える。また、従来からの回転運動と円弧運動を組み合わせる研磨方法では非球面レンズに代表される自由曲面形状には対応不可能であ

表 1-1 技術革新による加工対象と加工方法の変化

技術革新	加工対象	従来の加工方法	現在の加工方法
工具技術 (コーティング工具, cBN 工具)	焼入れ鋼	研削加工	切削加工
高速加工技術, 工具技術 (コーティング工具, cBN 工具)	金 型	放電加工+研磨加工	切削加工
超精密加工技術	金 属 鏡 (ポリゴンミラー)	研磨加工	超精密切削加工

※技術開発センター

る。運動転写加工である超精密切削加工は、CNC プログラムによって金型不要な自由曲面形状が加工可能である。

以上より、硬脆材料の超精密延性モード切削加工はガラスに代表される硬脆材料の新たな加工方法として期待できる。特に、デジタルカメラや携帯型情報端末のようにモデルチェンジの周期が短く、開発や試作等の時間に短縮が求められている商品の試作など少量生産には、金型が不要で非球面形状を創成できる CNC 超精密加工機によるガラスの延性モード切削は有効な加工方法と考える。

1.2 超精密加工と超精密加工機

コンピュータ、インターネット、光通信に関連するパソコン、CD 装置、DVD 装置、デジタルカメラ、多機能携帯電話、レーザプリンタ、液晶テレビなどの装置に使用されている超精密部品には磁気ディスク、ポリゴンミラー、磁気ヘッド、非球面レンズ、回折格子、導光板、プリズムシート、光学フィルムなどがある。これら情報化社会を支える製品群の生産・発展のためには、超精密加工技術が必要不可欠である。超精密加工および加工機開発は、1950～1960 年代の米国の軍事・エネルギー・宇宙関連で行われたことに端を発し、1980 年代以降は日本の民生で開花した¹⁻⁶⁾。

超精密加工とは、工作物の寸法と加工精度（寸法精度および形状精度）の比率（精度比）が 1×10^{-6} 以下であるとされている¹⁻⁷⁾。超精密加工は微細加工とは異なり、加工の分解能だけではなく、加工範囲との比率が重要である。この超精密加工を実現するための超精密加工機は、切削加工、研削加工および複合加工が行える装置があり、国内外の工作機械メーカーによって生産されている。これら超精密加工機の製造には高度な技能・技術が要求され、その詳細

はブラックボックスとなっているため、外部から知ることはできない。

超精密加工機に必要な技術を明確にするには、装置開発が必要である。技能に頼らず、既存の技術で超精密加工機を開発するには、設計指針と導入する技術の見極めが重要となる。特に、ガラスのような硬脆材料を被削材とした場合、延性モードによる切削を可能とするためには、静剛性、動剛性、温度安定性、位置決め分解能、運動精度などに非常に高い性能が要求される¹⁻⁸⁾。図 1-1 に開発した超精密旋盤の外観を示す。



図 1-1 開発した超精密旋盤

1.3 硬脆材料の延性モード加工

代表的な硬脆材料であるガラス材料は、金属同様の加工方法では容易に脆性破壊を起こす。図 1-2 に示すように $0.1 \mu\text{m}$ 程度といわれる延性－脆性遷移点（dc 値）を下回る切り取り厚さであれば延性モード切削が可能になるという報告は多い¹⁻⁹⁾。図 1-3 にガラスの加工形態と加工面を示す。

ガラスレンズの生産方法としての超精密切削加工は、高精度かつ高剛性を要する超精密加工機を必要とし、激しい工具摩耗を伴うために実現は困難である。さらに、超精密旋盤を使用

した旋削加工によるガラスの延性モード加工では、工具切込み量が延性－脆性遷移点以下であり、加工能率は非常に低い。以上より、現時点では非球面ガラスレンズの機械加工による生産方法には、切削ではなく研削加工が採用されている¹⁻¹⁰⁾。切削による高能率なガラス加工を目指し、図1-4に示す回転工具を用いるフライカットをガラス切削に応用した。フライカットは回転工具を持つフライス加工と類似した加工方法であり、切込み深さと切取り厚さは大きく異なる。除去される部分（切りくずとなる部分）は、回転工具の軌跡となるトロコイド曲

線で囲まれたくさび形状である。フライカットの切取り厚さは工具の回転角に応じて変化し、仕上げ面となる部分では0近傍となる。したがって、仕上げ面は必ず切りくずが延性－脆性遷移点以下の薄い部分から生み出される。そのため、ガラス加工において旋削加工と比較するとフライカットは延性モード加工を容易に実現できる。さらに、切込み深さは延性－脆性遷移点を大幅に上回るため旋削加工と比較すると、飛躍的な除去体積の増加が可能であり、効率的な延性モード切削の実現が期待できる。

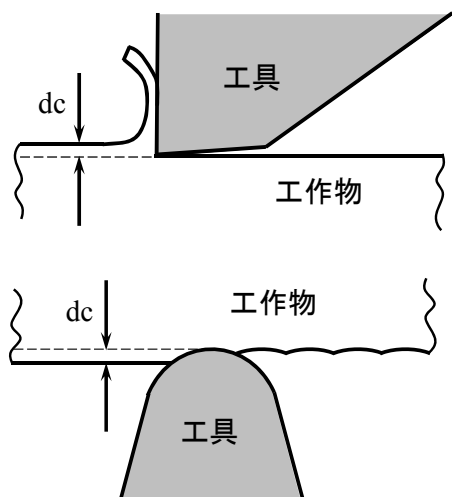


図1-2 切取り厚さ (dc)

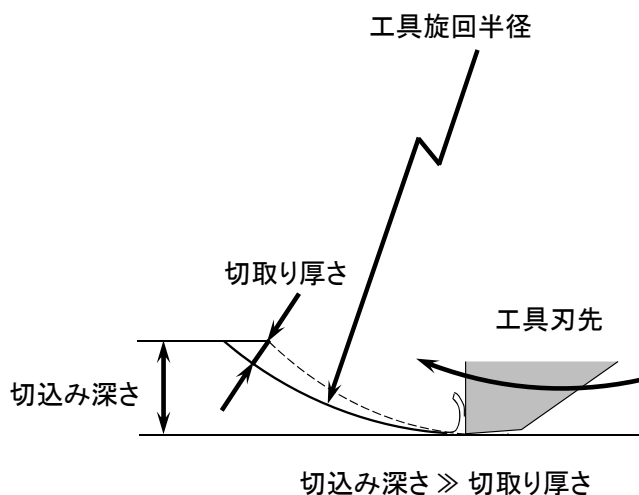


図1-4 フライカット

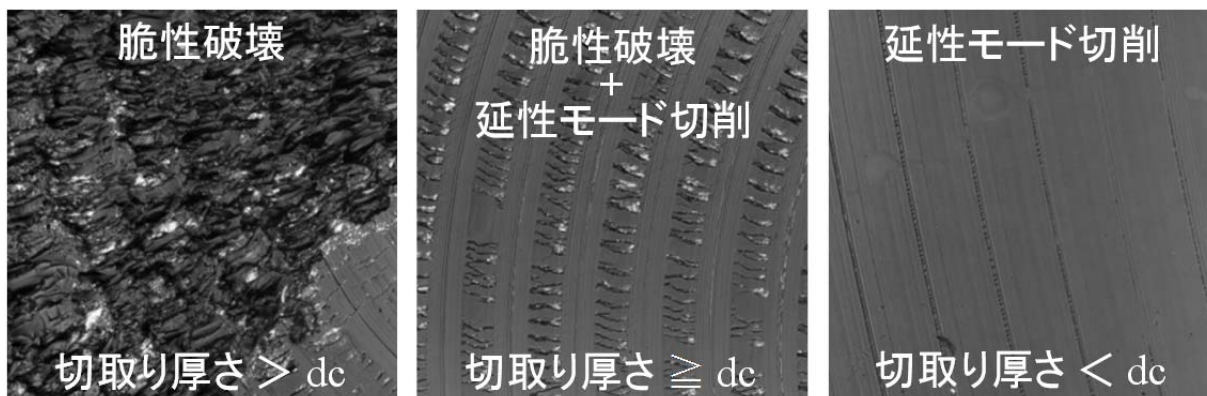


図1-3 ガラスの加工形態と加工面