

# 液晶ディスプレイ用ガラスの 環境調和型端面加工技術

北陸職業能力開発大学校 二ノ宮 進 一

High efficiency grinding for LCD glass edge with floating nozzle method

Shinichi NINOMIYA

**要約** 本研究は、平成14年度北陸職業能力開発大学校受託研究として行った事例である。LCDなどのディスプレイ用ガラスの端面研削は、研削焼けや被削面の溶融を防止するために多量の加工液を供給しながら行なわれているが、高速回転するホイールに連れ回る空気流のため、加工液の大部分は加工点に届かずに飛散する。この問題を解決するため、筆者が開発したフローティングノズル法の適用を検討し、その効果を通常ノズルと比較した。被加工ガラス板材の厚さ(0.7mm)に対応する小型のフローティングノズルを試作し、切込み0.5mm、送り速度5m/min、砥石周速度1570m/minの高効率加工条件でガラス端面研削実験を行った結果、通常ノズルでは3l/min供給されていた加工液量を30分の1の0.1l/minと大幅に低減しても、高効率条件下で加工中の研削抵抗が安定して推移し、チッピングや研削焼けのない良好な加工面性状が得られることを明らかにした。本実験で得られた成果によって、本技術は複数の企業で実用に供している。

## 1. 緒言

LCD（液晶パネルディスプレイ）用ガラスの端面は、V形やU形の溝付きダイヤモンドホイールによって研削仕上げされる。加工中の火花の発生、研削点温度の上昇によるガラス表面の溶融劣化の防止を目的に、機械に標準装備されているノズル（以下、通常ノズル）を用いて大量の加工液が供給される。しかしながら、供給された加工液の大部分は飛散しており、現状では加工能率を上げるには限界がある。また、加工液使用量の増加は、加工液を供給あるいは循環させる装置に要するコストを増大させ、さらには、現在のトレンドである使用加工液に対する環境面への配慮<sup>(1)</sup>を困難なものにしている。

一般的に、ディスプレイ用に採用されているガラスの厚さは1mm以下であるため、実際に研削される加工幅はガラスの厚さに依存して小さい。高圧ジェット方式などでスポット的に加工液を研削点に向けて供給

する方法<sup>(2),(3)</sup>も考えられるが、加工液供給量の低減は難しく、また、装置自身のコスト高につながる。

筆者は、回転するホイールに連れ回る空気流を遮蔽して加工液を巻き付けさせ、研削点に確実に供給できるフローティングノズル（Fノズル）を提案し<sup>(4),(5)</sup>、セラミック材等の平面研削において研削性能が向上することを明らかにしてきた。このノズルは、簡便で安価に加工液を低減することができ、かつ、任意形状のホイールにも容易に適用することができる<sup>(6)</sup>。

そこで本研究では、ディスプレイ用ガラス端面研削における加工能率と加工面品質の向上を目的として、小型のフローティングノズルを試作し、ガラス端面研削に必要な最小限の加工液を供給することを試みた。試作したノズルをガラス端面研削へ適用し、総形ダイヤモンドホイールの研削性能に及ぼす影響を調査した。

なお、本研究は、平成14年度北陸職業能力開発大学校受託研究として行ったことを申し添える。

## 2. ガラス端面研削用ノズルの試作

### 2.1 フローティングノズルの原理

平面研削にフローティングノズルを用いて研削液を供給する模式図を図1に示す。このノズルは、ノズル配管自身がホイール半径方向に向かって摺動可能な構造であり、スプリング力によって常にホイール表面に押し付けられるように設計している。ノズル先端部の材質には、快削材料を選定しているため、容易にホイールの外周面形状がノズルに転写される。

研削液が供給されると、研削液の吐出圧力によるノズル対向力とスプリング力の均衡によって、ホイール表面とノズル先端部に微小な隙間（ノズル隙間 $\Delta t$ ）が自動的に形成される。供給された研削液は、微小なノズル隙間を通過して、ホイール表面に薄い層を形成して連れまわり、確実に研削点に到達する。したがって、フローティングノズルは、研削に必要な研削液だけを効果的に注水することができるため、使用する研削液流量を大幅に低減できる利点を持つ。

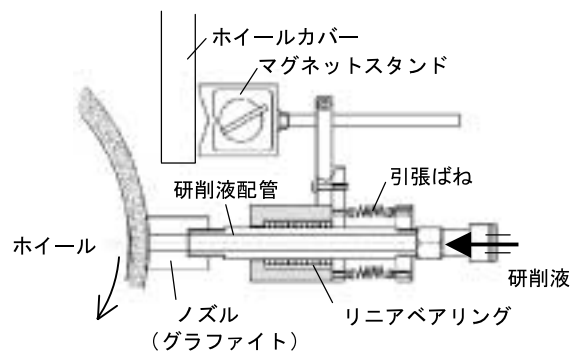


図1 フローティングノズルの模式図（平面研削）

### 2.2 フローティングノズルに生じる対向力

ディスプレイ用ガラスの板厚は1mm以下であり加工幅が小さいので、研削液を供給するフローティングノズルの先端穴径は小さくてよい。しかしながら、ノズル隙間を調節するノズル対向力 $F$ はノズル配管内ゲージ圧力と吐出穴径に依存する。ノズル対向力を研削液がホイールを推す力の反力であるとし、ホイールが停止して、ノズル隙間が完全に0で研削液が流出しないと仮定すると、パスカルの原理によって式(1)で導かれる。

$$F = p\pi D^2 / 4 \quad \dots\dots (1)$$

ここで、 $p$ は配管内ゲージ圧力、 $D$ はノズル吐出穴径である。

実際にホイールを回転させて研削液を供給した場合、

ノズルとホイール間には砥粒平均突出し高さ分の微小な隙間が存在するので、ノズル先端部から流出する研削液はゼロではない。この微小領域を通過する研削液の圧力変動は大きいと思われる。さらに、ホイール表面部の砥粒が高速でノズル先端穴部の研削液へ突入するため、ノズル隙間が小さい時には激しい渦流が発生することが予想される。

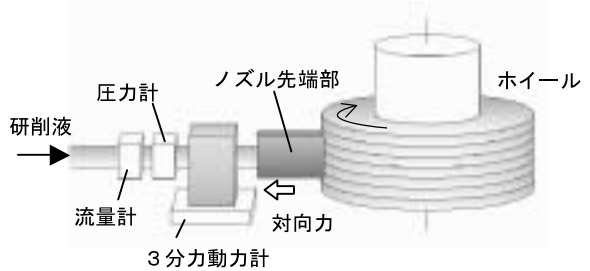


図2 ノズル対向力の検証実験装置の概略

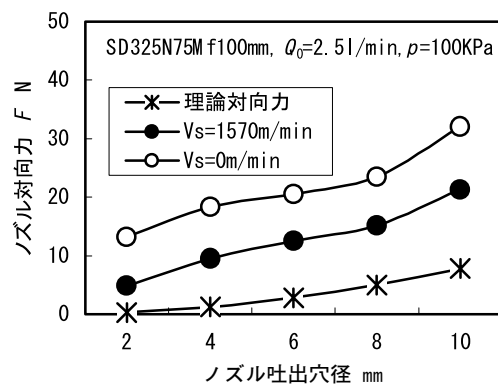


図3 吐出穴径と対向力の関係

表1 ノズル対向力検証実験条件

研削機械	マシニングセンタ(V-414、ヤマザキマザック)
ホイール	V溝付メタルダイヤモンドホイール SD325N75M, $\phi 100\text{mm}$ (ノリタケSA) 周速度 $V_s$ : 0, 942, 1570, 1885m/min
ノズル	先端部材質: 快削性樹脂, 形状: 縦30×横25mm, 縦15mm×横11mm, 吐出穴径 $D$ : 2, 4, 6, 8, 10mm, ノズル隙間 $\Delta t$ : 0~0.6mm
研削液	水溶性50倍希釈(シタイロGX、カストロール) 設定流量 $Q_0$ : 2.5, 1l/min, 吐出ゲージ圧(ノズル遮蔽時) $p$ : 約100KPa

そこで、実際に発生するノズル対向力を図2の装置を用いて実験的に検討した。実験条件を表1に示す。溝形状を複数並列配置したメタルボンドダイヤモンドホイール(SD325M:  $\phi 100$ )をMCの主軸に装着し、縦30mm×横25mmの断面形状を持つノズルを強制的に位置決めできるように固定した。ノズルの研削液吐出穴径を $\phi 2 \sim \phi 10\text{mm}$ に変更して実験を行った。使

用する研削液供給ポンプは、研削機械に標準装備の遠心ポンプで、吐出ゲージ圧力はノズル先端穴遮蔽時に  $p \approx 100\text{KPa}$  である。ノズル対向力はノズル直下に配置した3分力計で測定した。研削液の吐出設定流量はノズル開放時で  $Q_0 = 2.5\text{l/min}$  とした。ホイールでノズル先端部をインフィード研削して、ホイール形状をノズルに転写し、この地点をノズル隙間  $\Delta t = 0$  とした。実験結果を図3に示す。併せて、式(1)から得られた理論的な対向力も示した。図より、実際に生じるノズル対向力は、理論対向力に比べて大きい。これは前述した研削液が微小隙間に流入する時に生じる圧力変動が起因していると思われる。また、ホイール周速度  $V_s = 1570\text{m/min}$  のノズル対向力がホイール回転無しと比較して  $1/2 \sim 2/3$  倍になっている。この理由は、微小なノズル隙間を通過する研削液がホイールの回転によって流速が増加して圧力が低下し、負圧が生じているためであると考えられる。ノズル先端穴径が小さくなると、ノズル対向力は減少し、吐出穴径が  $\phi 2\text{mm}$  の時のノズル対向力は  $5\text{N}$  程度となった。

次に、ノズル先端の大きさを約半分(縦  $15\text{mm} \times$  横  $11\text{mm}$ ) で、吐出穴径を  $\phi 2\text{mm}$ 、設定研削液流量を  $Q_0 = 1\text{l/min}$  とし、ノズル隙間の影響を調査した。図4にノズル隙間と研削液流量、配管内ゲージ圧力の関係を示す。ノズル隙間が小さくなるにつれて、配管内の研削液圧力は上昇し、実際に流出する研削液は比例的に減少する。ノズル隙間と対向力の関係を図5に示す。ノズル対向力はノズル隙間  $\Delta t = 0.1\text{mm}$  以内に小さくなると急激に上昇し、ノズル隙間  $\Delta t = 0$  で最大値の  $4 \sim 5\text{N}$  程度となっている。

したがって、ノズル先端穴径を小さくした場合には、スプリング力を非常に小さく設定する必要があり、小さなスプリング力でノズルをホイールに押し付けると自動的にノズル隙間が  $\Delta t = 0.1\text{mm}$  以内に形成され、研削液供給流量が減少されることがわかった。

### 2.3 試作フローティングノズル

試作したガラス端面研削用フローティングノズルの外観を図6に示す。ノズルを全体的に小型になるように設計し、ノズル先端部に  $\phi 2\text{mm}$  の加工液吐出口を設けた。ノズルの摺動部はすべり軸受方式で、ノズル自身の回転止めを考慮して摺動軸は角形状とした。ホイールに押し付ける力には輪ゴムの張力を利用した。ノズル先端部の材質は、砥石によって研削されやすいように快削性樹脂を選定し、ホイールの形状を転写し易くしている。

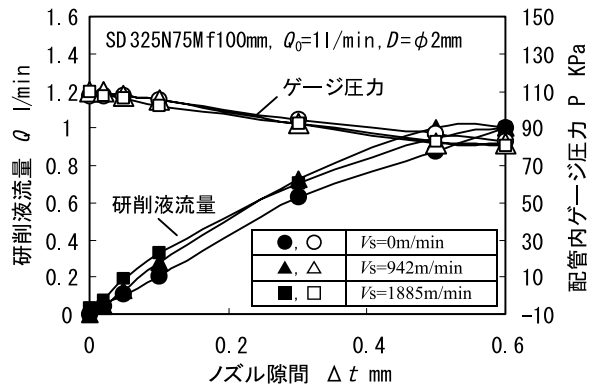


図4 ノズル隙間と研削液流量、ゲージ圧力の関係

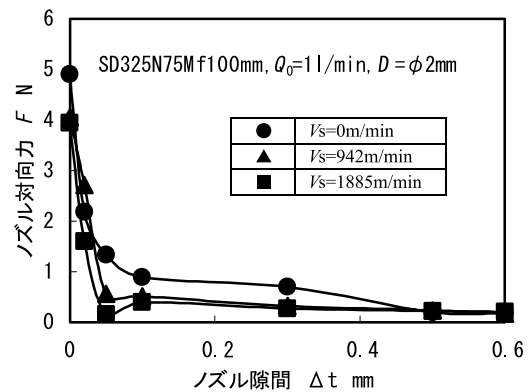


図5 ノズル隙間と対向力の関係

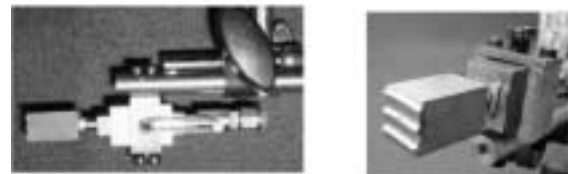
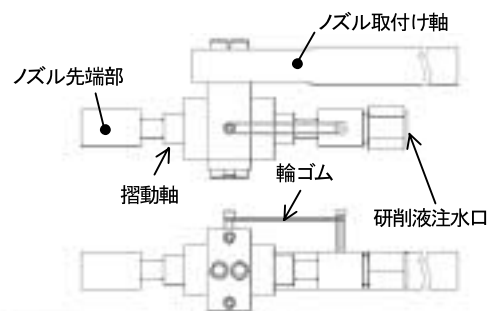


図6 LCDガラス研削用の試作フローティングノズル

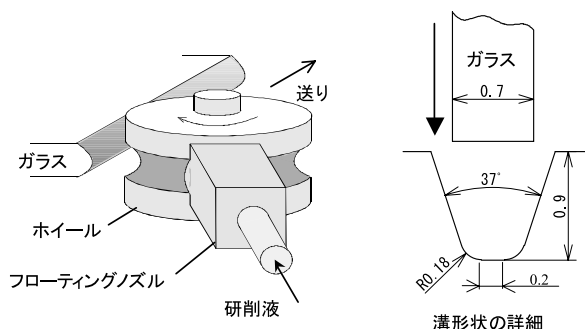


図7 ガラス端面研削の模式図とホイールV溝形状

### 3. ガラス端面研削実験方法および条件

溝形状を複数並列配置したメタルボンドダイヤモンドホイールで、ディスプレイ用ガラス (NA35:  $L200 \times t0.7\text{mm}$ ) の端面をプランジ研削した。フローティングノズルを用いたガラス端面研削状況の概略とホイール溝形状の詳細を図7に示す。ホイールの一溝のみに加工液を注水できるように、試作フローティングノズルの吐出口 ( $\phi 2\text{mm}$ ) とホイール溝の位置を合わせて設置した。表2に実験条件を示す。フローティングノズルによる研削液供給がダイヤモンドホイールの研削性能に及ぼす影響を調査するため、加工機に標準装備されている吐出口  $\phi 6\text{mm}$  の通常ノズルでも実験を行い、両者を比較した。加工液にはソリューションタイプの研削液を用い、通常ノズルの研削液流量は  $Q=3, 1\text{l/min}$ 、フローティングノズルの流量は  $1/30$  の  $Q=0.1\text{l/min}$  に設定した。この場合のフローティングノズルのノズル隙間をダイヤルゲージで測定し、ノズル隙間が  $0.05\text{mm}$  になるようにゴム張力を調整した。

研削液供給状況を図8に示す。通常ノズルと比べてフローティングノズルでは、研削液はホイールの溝部に沿って巻き付いて薄い膜を形成し、勢いよく加工点へ供給されている。通常ノズル  $3\text{l/min}$  では、研削に必要な余分な研削液が多く飛散していることがわかる。

### 4. ガラス端面研削実験結果と考察

#### 4.1 研削抵抗の推移

ガラス端面を10パス連続研削した時の研削抵抗の推移を図9に示す。研削抵抗は、1パスごとの平均値である。通常ノズル  $3\text{l/min}$  の時、7パス目と10パス目で研削抵抗が大きくなり、加工中に火花が発生した。

表2 ガラス端面研削実験条件

研削機械	マシニングセンタ (V-414, ヤマザキマザック)
砥石	V溝付メタルダイヤモンドホイール SD325N75M, $\phi 100\text{mm}$ (ノリタケSA)
被削材	NA35, $L200 \times t0.7\text{mm}$
研削液	水溶性50倍希釈 (シントイロGX, カストロール)
ノズル	通常ノズル 吐出口: $\phi 6\text{mm}$ , 研削点までの距離 $30\text{mm}$ 研削液流量 $Q=3, 1\text{l/min}$
	フローティングノズル 吐出口: $\phi 2\text{mm}$ , ノズル隙間 $\Delta t: 0.05\text{mm}$ 研削液流量 $Q=0.1\text{l/min}$
研削条件	プランジ研削, 研削速度: $V_s=1570\text{m/min}$ 送り: $V_w=5\text{m/min}$ , 切込み: $a=0.5\text{mm/pass}$ 研削幅: $b=0.7\text{mm}$ , 研削長さ: $L=200\text{mm/pass}$ 研削量: 10パス ( $100\text{mm}^3/\text{mm}$ )

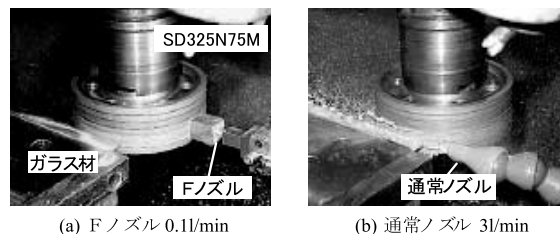


図8 研削液供給状況

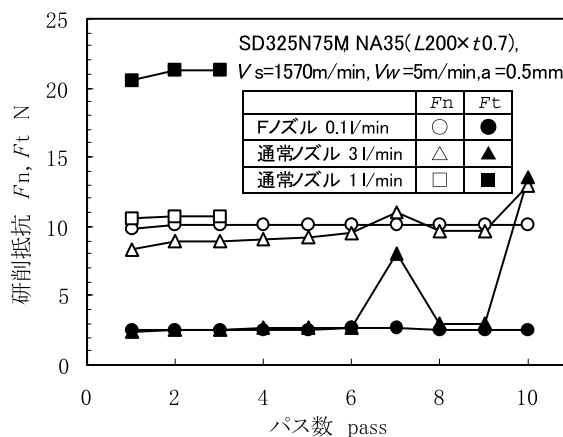


図9 研削抵抗の推移

フローティングノズル  $0.1\text{l/min}$  では、通常ノズル  $3\text{l/min}$  と比較して研削抵抗は若干大きな値となっているが、極めて安定して推移し、火花の発生はなかった。通常ノズル  $1\text{l/min}$  では、接線方向研削抵抗がフローティングノズルの8倍以上となり、多量の火花が発生したため、3パスで実験を中止した。

#### 4.2 法線抵抗の波形とガラス加工面性状

1パス加工時の法線方向研削抵抗の波形と研削後のガラス加工面性状を図10に示す。通常ノズル3 l/minで火花発生なしの場合、研削抵抗の変動は大きいのが、加工面性状への影響は肉眼では観察されず、良好である。通常ノズル3 l/minで火花発生時は、研削抵抗が急激に上昇した。加工面には溶融したと思われる痕跡が残り、加工面端部にチッピングが観察された。通常ノズル1 l/minでは、研削液が十分に加工点に届いていないために、研削面性状は極めて悪い。フローティングノズルでは、1パス加工中の研削抵抗の変動が非常に小さく、加工面性状も非常に良好であった。フローティングノズルで1パス加工中の研削抵抗が安定して推移する理由は、研削液が均一な薄い膜を形成しており、研削点に安定した供給がされているためと思われる。通常ノズルでは余分な研削液が不連続に研削点に供給され、図9に示したように研削液の動圧によって研削抵抗の平均値はフローティングノズルより若干大きくなり、加工が不安定になっているものと思われる。

研削終了後のホイール表面性状については、いずれの場合も加工前後で変化は認められなかった。

以上の結果より、フローティングノズルによって研削液を供給した場合、研削液を非常に少ない流量でも確実に研削点へ供給することができるため、ダイヤモンドホイールの研削性能が良好となり、加工能率を大幅に向上することができることがわかった。

#### 5. 本研究の今後の可能性と展開

近年のガラス端面研削では、砥石寿命に伴う砥石交換時間の低減を目的に本実験で使用した多数の溝（マルチ溝）を有するホイールで加工する方法や、複数のホイールを連ねて加工する方法が採用されている。このような場合においても、フローティングノズル法では、ノズル先端部に快削性材料を使用しているため、フローティングノズルの先端部形状を工夫するだけで、任意のホイール形状だけでなく、複数のホイールに対しても対応することができる。またフローティングノズルでは、ノズル隙間が自動調整されるためにノズルの脱着に伴うノズル取り付け位置の調整に手間が掛からない利点もある。これらのマルチ砥石用フローティングノズルを用いた研削結果については、今後の課題としたい。

#### 6. 結 言

ディスプレイ用ガラスの端面研削の高能率化、研削液供給量の低減を目的として、小型のフローティングノズルを試作し、このノズルを用いて研削実験を行った結果、以下の結論を得た。

- (1) 試作した小型のフローティングノズルによって研削液を供給した場合、研削液はホイール表面に薄い層を形成して研削点に確実に供給される。

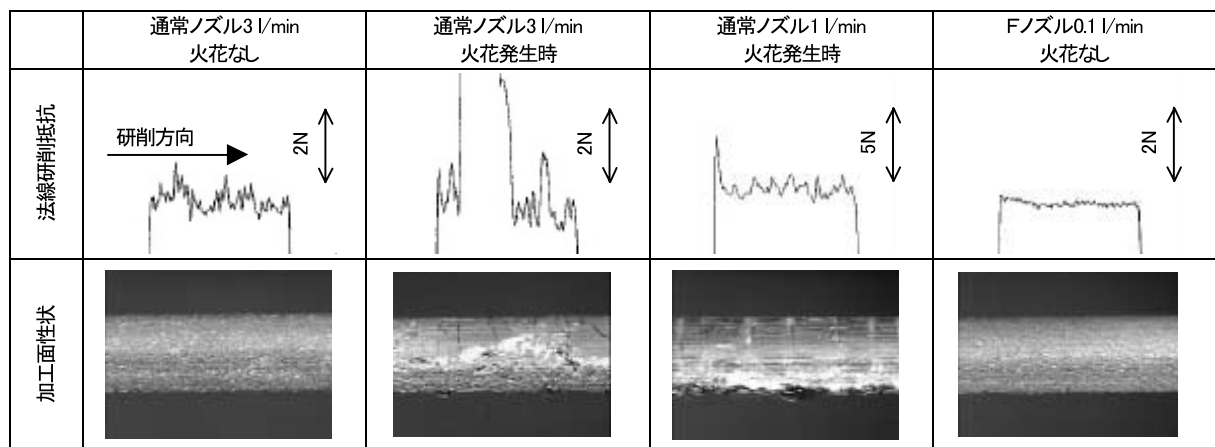


図10 1パス研削時の法線方向研削抵抗とガラス加工面性状

- (2) フローティングノズルでは、通常ノズルの1/30の研削液流量でも研削抵抗が安定し、ガラス加工面性状を良好に保つ。
- (3) 通常ノズルに比べてフローティングノズルでは加工中の火花を抑制し、研削性能が安定するため、加工能率を向上させることができる。

本研究を行うにあたって、多大なるご支援、ご協力いただいた(株)ノリタケスーパーアブレイシブ、BP Japan KK(カストロール)、中村留精密工業(株)、ならびにご助言を賜った富山県立大学 植松哲太郎名誉教授、日本工業大学 鈴木清教授、ものづくり大学 東江真一教授に厚く御礼申し上げます。

#### [参考文献]

- (1) 例えば、松原十三生：エコマシニングの動向、砥粒加工学会誌、46, 9 (2002) 424
- (2) 横川和彦、横川宗彦：研削加工のすすめ方、工業調査会、(1992) 284.
- (3) 竹中規雄、佐藤久弥：実際と応用、研削作業の実際と研削液、誠文堂新光社、(1973) 99.
- (4) 二ノ宮進一、東江真一、横溝精一：総形研削に対応した研削液注水方法の開発－フローティングノズルの試作と性能評価－、精密工学会誌、66, 6 (2000) 865.
- (5) S. Ninomiya, S. Tooe, K. Suzuki and T. Uematsu: Performance of a Floating Nozzle for Superabrasive Profile Wheels, Advance in Abrasive Technology, 4th ISAAT (2001) 148-153.
- (6) 二ノ宮進一、岩井学、植松哲太郎、鈴木清、他2名：フローティングノズルの研究－第1報 総形砥石への適用－、2002年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集、B22.