

# 知 識 編

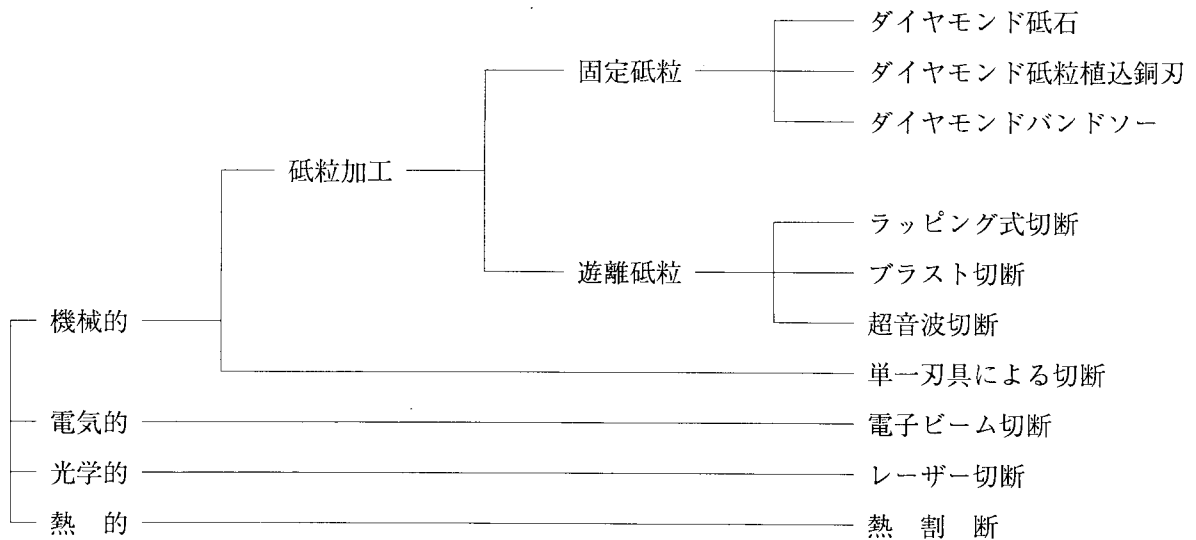
# 1. 切 断 機

切断作業は、製品を作る工程の中において最も大切な基本となるものである。ただ切断すればよいというものではなく、前工程として高い精度、高い能率、そして小さな寸法のバラツキが要求される。よって、切断加工を行うには、砥石の切断作用に関する多くの要因と、その影響を十分理解して適切な切断方式、切断砥石、切断条件および切断機などを選定して作業することが重要である。

## (1) 切断加工法

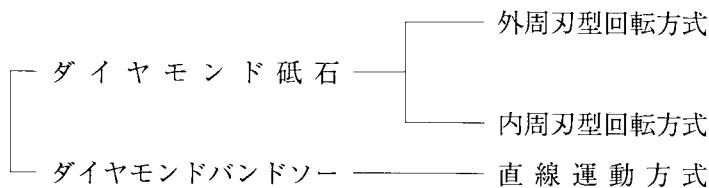
セラミックスに適用される切断法をまとめると表1のようになる。

表1 切断法 (今中)



## (2) 切断機の種類

表1のうち、固定砥粒による切断法をさらに、機構的な種類で分類すると次のようになる。



## 2. カuttingマシン（外周刃式切断機）

図1からもわかるように、横型平面研削盤とよく似ている。構造などもほぼ同じであり、セラミックス材料を切断する機械として、とくに高剛性・高出力・切屑除去法および精密切断に必要な機能等が考慮されている。

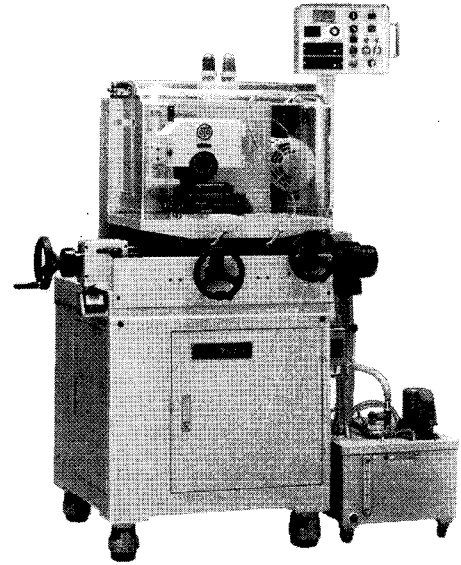


図1

### (1) 構造

#### ① ベッド

独立した一体構造タイプで、テーブルの大きさはストロークに比べると大きくなっており、安定感もよく、高い剛性を持っている。

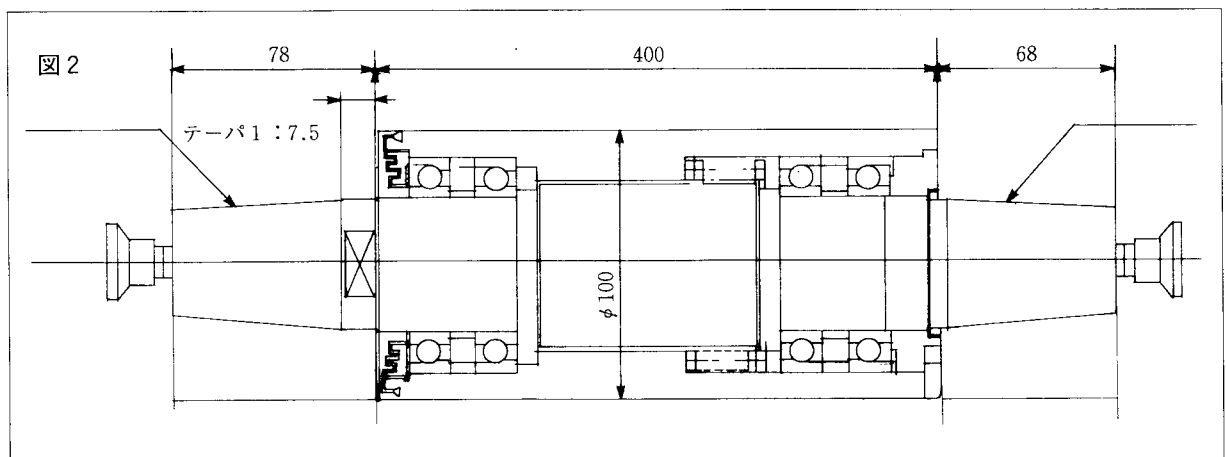
#### ② コラム

ベッドの上に鋳鉄製の剛性の高いコラムが取り付けられており、ベッドとの接触面を大きくとり、しかも摺り合せにて、当りを出し、取り付け強度も堅固なものとなっている。

#### ③ スピンドル

機械の生命といわれるスピンドルは、とくに高剛性・高精度でなければならない。

構造は図2のように4個のアンギュラ・ベアリングが使われ、先端振れを $2\mu\text{m}$ 以内に押え、静剛性も $10\text{kg f}/\mu\text{m}$ 以上がセラミックス加工のひとつの標準である。



#### ④ ホイールヘッド

スピンドルの剛性、精度を損なわないように、スピンドルの径に合せ、現物合せラップが施してある。また、コラムとの摺動面は念入りに摺り合せを行い、ヘッド上下移動の精度を出している。

#### ⑤ 水除けカバー

テーブルの下に鋼板製のオイルパンを置き、その上部に透明のエンピ板で箱型に覆っているため、作業中に外部へ水が飛び散らず、同時に切断状況も目視できる。さらに、案内摺動面に切屑が直接に浸入しないよう保護されている。

### (2) 特徴

セラミックス材料を切断するとき、もっとも注意すべき点は、セラミックスの加工特性に合せた加工方法を選ぶということである。万一、加工特性に合ない加工方法を選ぶとセラミックスにチッピングを発生させたり、材料に潜在するクラックを誘発して強度低下をおこし、セラミックとしての材料特性を失うこともある。

ここでは、セラミックスの加工特性に合せたいくつかの加工方法とその機能について説明を行う。

#### ① クリープフィード切断

セラミックスを高能率に切断するもので、深い切込み量と遅い送りでワンパスで切断するものである。機能的には、高出力・高剛性のほかテーブル送り速度が遅いことが特徴である。

#### ② オシレート切断

セラミックスを高精度に切断するもので、浅い切込み量と早い送りでは構造的セラミックスなどの難削材料に主に使用される方法である。機能的には、高出力・高剛性はもとより微小切込み $1\mu\text{m}$ 単位が必要で、もっとも多用されている方法である。

#### ③ マルチ切断

セラミックスを高能率・高精度に切断するため、2枚～8枚のダイヤモンド砥石をスペーサーを介して、まとめてスピンドルにセットし、マルチ切断を行うものである。

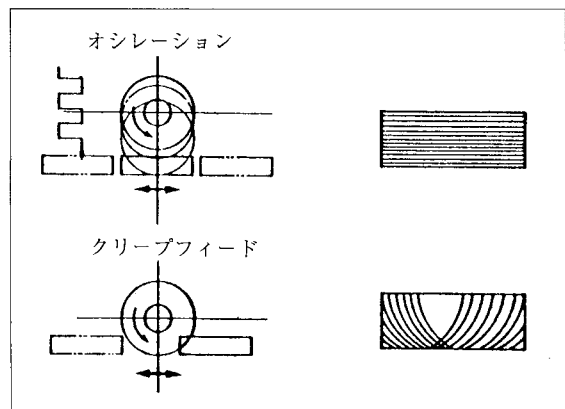


図3 加工方法と切断のソーマーク

機能的には図5のようにマルチユニットタイプとなっていて、ダイヤモンド砥石の数が増えるほど、各々の刃に締付けムラが生じないように図4のようなマルチ締付け治具を使って作業台上でマルチセッティングしたほうがよい。

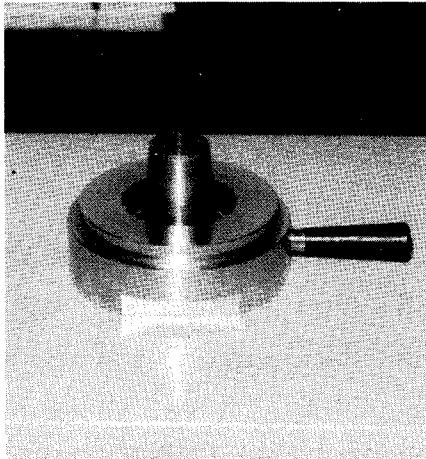


図4 マルチ締付け治具

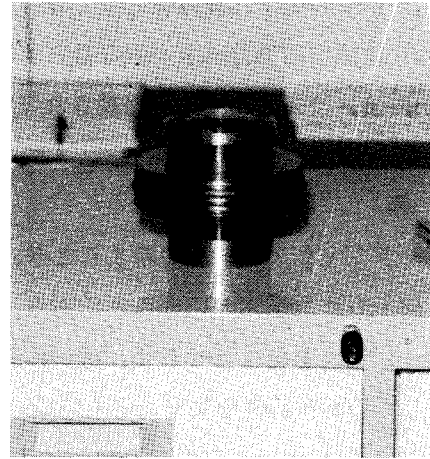


図5

#### ④ 微小駆動機構

セラミックスの加工は、微小破壊の集積による加工であり、微小送りのできる切込み装置、テーブル駆動などが必要条件である。

切込み量においては、最小1  $\mu\text{m}$  で早送りのオシレート切断、テーブル送り速度1.0mm/minの超低速度でクリープフィード切断（ワンパス切断）などが必要となる。

### (3) 目的

角、板、丸棒のセラミックス材料の切断および溝入れ等に使われる。

### (4) 用途

#### ① 構造用セラミックス

- ・切削工具                    : サーメット
- ・メカニカルシール        : シールリング、フローティングシール
- ・セラミックスバルブ     : ボールバルブ、ニードルバルブ
- ・半導体製造治具         : キャリアポード、ベルジャー、ホルダー

#### ② JIS R-1601試験片の作製

#### ③ バイオセラミックス、人工歯根

#### ④ 機能性セラミックス、フェライト、光ガラス、PZT、単結晶など

### 3. 切断に必要な周辺技術

硬脆材料を切断するには、従来の金属と異なった加工理論、周辺技術を十分に身につけなければならない。

#### (1) 切断の3要素

切断および溝入れは、壁で拘束された狭い空間において研削加工が行われ、しかも砥粒と工作物の接触長さは、一般の研削より長いことが多い。研削液の流入の困難さ、切り屑、排水の困難さに配慮がなされなければならない。

図7は、超硬合金とアルミナ、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ における平面研削による研削抵抗を示す。Ftに関しては、超硬合金が高い値を示しているが、その差は顕著ではない。しかしFnを見ると、超硬合金が最も低く安定しているのに対し、セラミックスの場合は、研削の進行にともなってFnが上昇を続け、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 系のセラミックスは超硬合金の2倍の値になっている。

図8は、 $\text{SiC}$ セラミック切断における、メタルボンド砥石とレジンボンド砥石の違いを示す。レジンボンドは200~250NにてFnが安定するのに対し、メタルボンド砥石では、Ft、Fn共に上昇を続け、ついに研削不能となってしまふ。図9は、 $\text{SiC}$ セラミックスをレジンボンド砥石で切断する場合に、切断能率を一定にして切込み、送りを変化させた時の切断抵抗の比較である。セラミックスの場合、深い切込み、遅い送りとなるほど、砥粒切れ刃がこすられて砥粒の平坦摩耗が生じやすくなると思われる。

以上のことからわかるように、切断には高いFnに耐えるだけの“機械剛性”、と材料に合った“ダイヤモンド砥石”と、“切断条件”が必要であり、この3つを切断の3要素という。

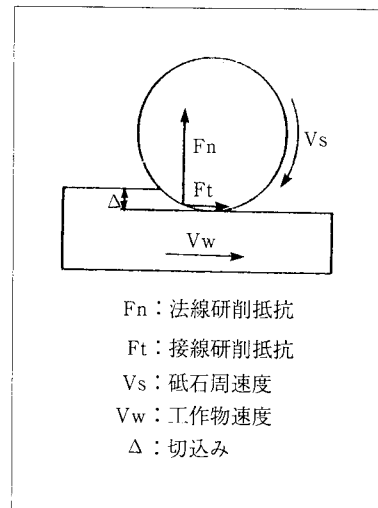


図6 横軸平面研削盤における研削抵抗

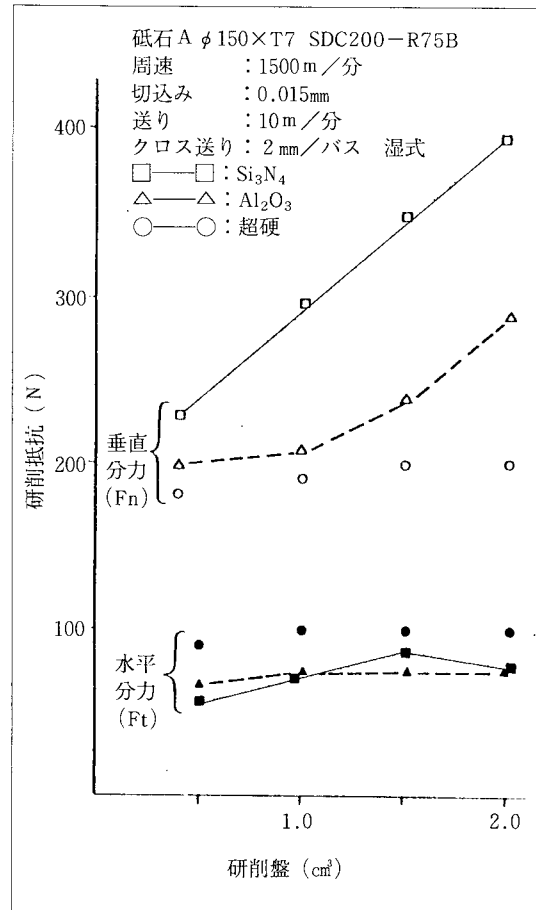


図7 セラミックス工具の研削抵抗 (辻郷)

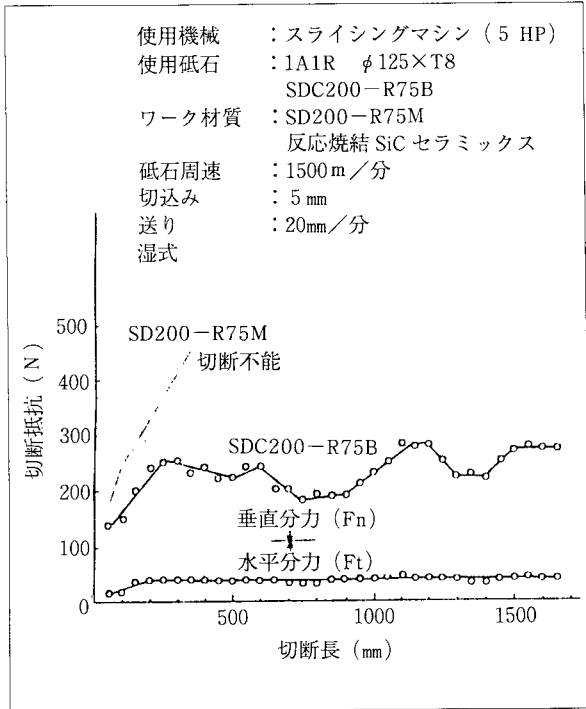


図8 結合剤と切断抵抗 (辻郷)

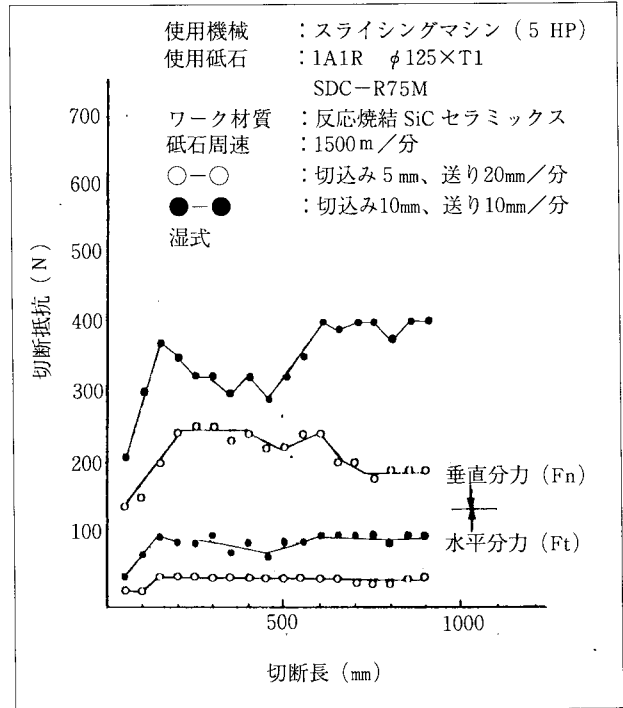


図9 切断条件の抵抗に及ぼす影響 (辻郷)

(2) 加工理論

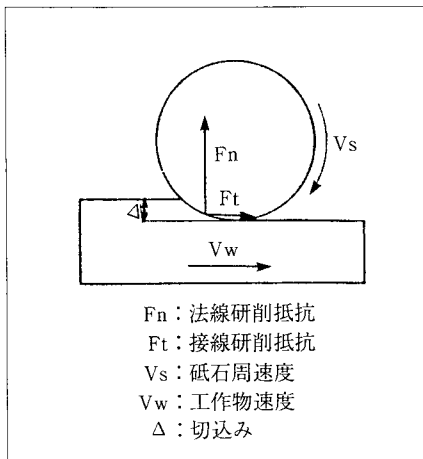


図10 横軸平面研削盤における研削抵抗

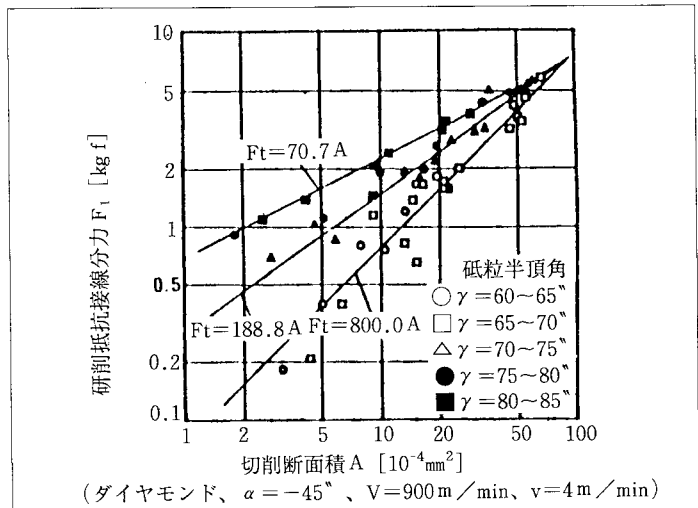


図11 研削抵抗接線分力の砥粒半頂角による変化 (長尾)

図11、図12は、S45C を使って法線方向の研削抵抗  $F_n$  と、接線方向の研削抵抗  $F_t$  をダイヤモンド三角錘、単位切れ刃で研削した時の値である。

なお、図の  $\gamma$  は砥粒の半頂角の大きさである。図からわかるように、 $F_n/F_t$  の値が 2 ~ 2.7 位の範囲にあることがわかる。

図13は、代表的なセラミックス常圧焼結、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{SiC}$ 、 $\text{PSZ}$ の平面研削における研削抵抗、研削比の比較である。

これからわかる通り、研削しろ、断面積が小さなうちは、 $F_n/F_t$ の値が2倍であるが、断面積が大きくなるにしたがい、 $F_t$ の値は変わらないか、または $F_n$ の値が極端に大きくなっており（ $F_n/F_t$ も5倍近くまでなる）、金属の場合とは大きく違って来ている。

このようにセラミックス、特に硬い材料ほど $F_n$ の値が大きくなるのが特徴である。また、 $F_n$ の一式は次式で表される。

$$F_n = \frac{x_2 \cdot B}{V_s + VW} \cdot \frac{dv}{dt}$$

$x_2$  : 法線方向比切削抵抗  
 $B$  : 切削巾  
 $\frac{dv}{dt}$  : dt 時間に切断される加工送り面積

式からわかるように、 $F_n$ は砥石の周速 $V_s$ とワークの送り速度が速いほど小さくなり、単位時間の切粉排出量が大いほど大きくなる。そのため、同じ幅のブレードでも工作物に接触している長さが長いほど、 $F_n$ が大きくなる。

例えば、図14のように同じ切込みでも切断の位置によって、切断長さが変わってくる。よってブレードの外周近くで板を切断すると $F_n$ が高くなるため安定した切断が難しくなる。

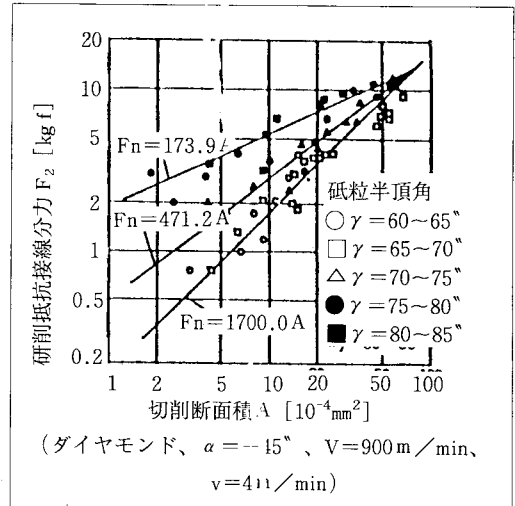


図12 研削抵抗接線分力の砥粒半頂角による変化（長尾）

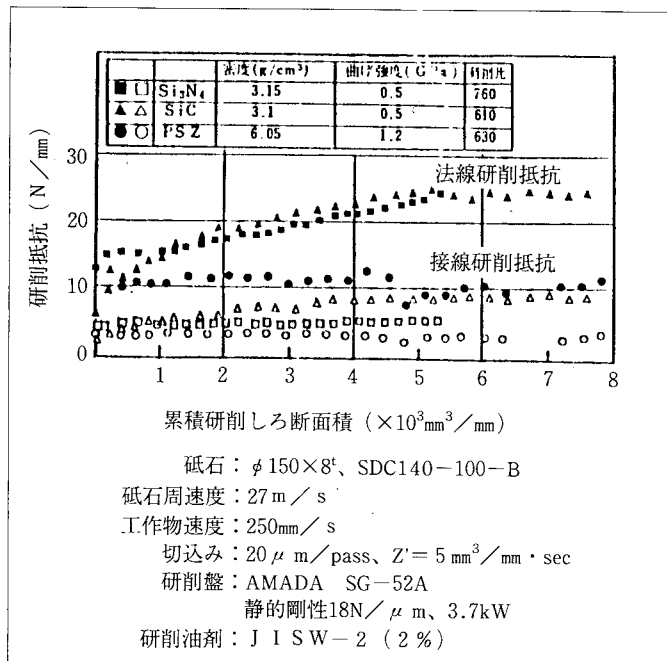


図13 常圧焼結  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{SiC}$ 、 $\text{PSZ}$ の平面研削における研削抵抗、研削比の比較（富森）

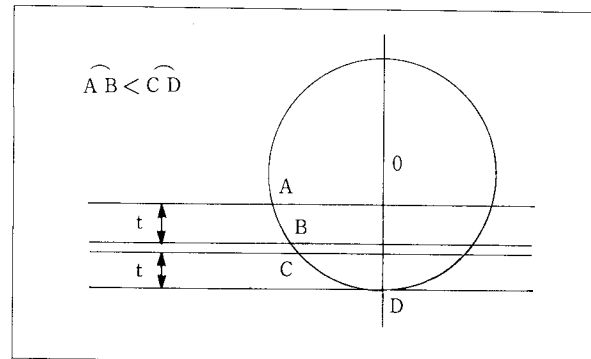


図14



### (3) 切断方法

「ファインセラミックス曲げ試験法 (JIS R 1601)」の試験片作製を例に考えてみる。図15のような丸い材料から試験片(4×3×36以上)をダイヤモンド砥石8枚、スペーサ7枚を図16のようなユニットセットにして、一度に7本を切り出す、マルチ切断を例にして加工方法を説明する。切断方向としては、図17に示すように、オシレーション式切断とクリーブフィード式切断がある。

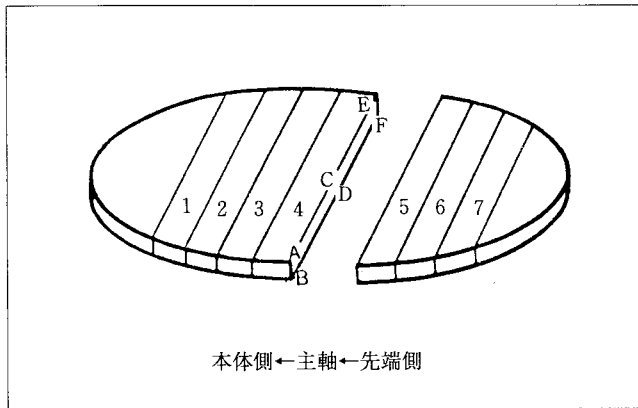


図15

#### ① オシレーション式切断：

切込み量は5~20 $\mu$ mと小さく、工作物速度を5~20m/minと大きくして切断する。

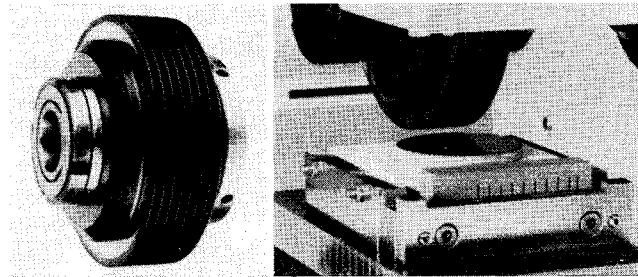


図16

#### ② クリーブフィード式切断：

切込み量を2~3mm/パスと大きくし、工作物速度を20~300mm/minと遅くした切断法である。

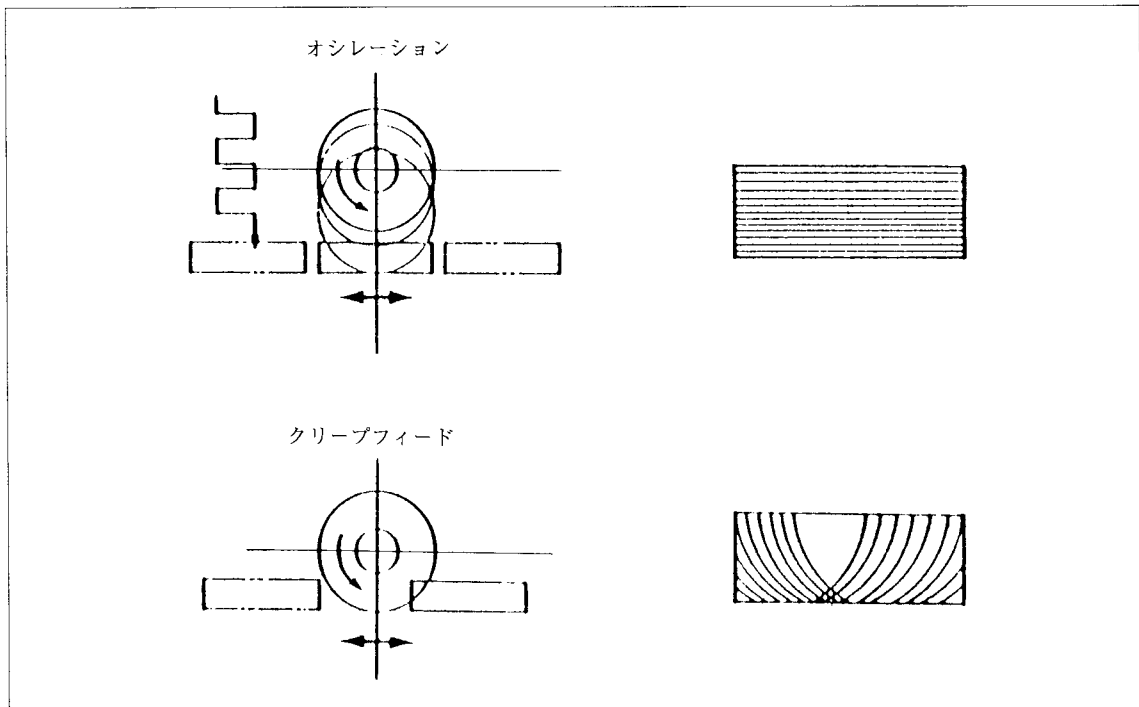


図17 加工方法とソーマーク

表2はオシレーション方式で、JIS R 1601の試験片を切断した時の切断精度の結果である。

表2 試験片の切断精度

試料名	HP・Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	SiALON	ZrO <sub>2</sub>	HP・Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
試料寸法	50φ×3t mm	〃	〃	〃	
切り込み量	30μm	〃	〃	50μm	
テーブル速度	2 m/min	〃	〃	〃	
周速	1200m/min	〃	〃	〃	
1	A	4.02	4.03	4.03	4.02
	B	4.03	4.04	4.03	4.02
	C	4.02	4.03	4.03	4.02
	D	4.03	4.04	4.03	4.02
	E	4.02	4.03	4.03	4.02
	F	4.03	4.04	4.03	4.02
3	A	4.03	4.03	4.03	4.02
	B	4.04	4.05	4.04	4.02
	C	4.03	4.03	4.03	4.02
	D	4.04	4.04	4.04	4.02
	E	4.03	4.04	4.03	4.02
	F	4.04	4.05	4.04	4.02
5	A	4.03	4.03	4.02	4.02
	B	4.04	4.04	4.03	4.03
	C	4.03	4.03	4.02	4.02
	D	4.04	4.04	4.03	4.03
	E	4.03	4.03	4.02	4.02
	F	4.04	4.04	4.03	4.03
7	A	4.02	4.03	4.02	4.02
	B	4.04	4.03	4.03	4.03
	C	4.02	4.02	4.02	4.02
	D	4.04	4.03	4.03	4.03
	E	4.02	4.02	4.02	4.02
	F	4.04	4.03	4.03	4.03

注) 表2はD砥石はSD140・(B)125φ×0.6<sup>t</sup>mm、冷却液はストレートオイルを使用。

#### (4) 材料と切断砥石の選択

セラミックスの中で単に  $\text{Si}_3\text{N}_4$  といっても、比研削エネルギーの低い常圧焼結個体もあれば、チャンピオンデーターといわれる、 $\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  添加の HP- $\text{Si}_3\text{N}_4$  のような超難削材料もある。これらのセラミックス材料を加工する場合、加工能率を重視するか（レジンボンド砥石）、耐久性をとるか（メタルボンド砥石）は、加工コストに影響を与える重要な問題である。試料の被削特性を十分検討して、機械的条件（周速、切り込み量、ワーク送り速度）や、ダイヤモンド工具の選定（粒度、結合剤、集中度）あるいは研削条件、研削液の問題にいたるまで、適正なチェックが必要である。次表3のデーターを基にして考えてみたい。

表3 材料と切断砥石の選択（辻郷）

材 料	粗 加 工	中 仕 上 加 工
超硬サーメット	SD-140-R75B SD-140-N75M	
セラミックス { 工具 電子材料 機械構造用 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiC}$ $\text{Si}_3\text{N}_4$ など }	SD-140-N50M	SD200-N50M
ガ ラ ス	SD-60-N50M	SD170-N50M

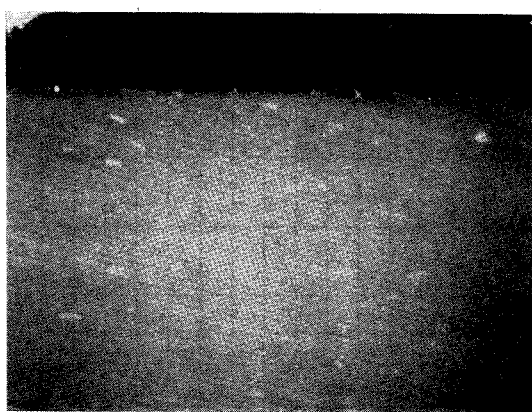
### (5) 研削油剤

研削液は工作物面の仕上げ面、切れ味および寿命に大きく影響を与える。研削液は冷却、洗浄、潤滑の作用があるものを使用し、研削点にかかるように供給ノズルの適性配置や供給量などの工夫が必要である。

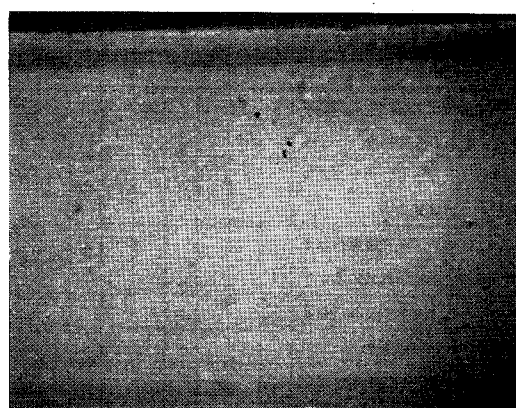
研削液には、不水溶研削液と水溶性研削液とがあるが、一般的に、硬脆材料の研削には、発火という危険性もあり、不水溶性は使わず水溶性を使用する。水溶液には、エマルジョン（乳化剤）、ソリュブル（界面活性剤が主成分）、ソリューション（無機塩類が主成分）の3種類がある。

セラミックス材料の加工用として、各種の冷却液が市販されているが、ここにSiCの材料を切断条件を同一にしてエマルジョンタイプとソリューションタイプの性能を比較したのが図18である。

切断面は、20倍という低倍率であるが、研削条痕に明瞭な差が見られる。



(a) エマルジョンタイプ



(b) ソリューションタイプ

図18

# 資料1 カuttingマシンの各部の点検と給油

## (1) 外周刃式切断機の日常点検表

所 属 \_\_\_\_\_ 機 番 \_\_\_\_\_

点 検 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日

メーカー \_\_\_\_\_ 型 式 \_\_\_\_\_

点検者 \_\_\_\_\_

区 分	項 番	項 目	点 検 日																														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
前	1	機械各部の掃除は行きとどいているか																															
	2	油圧タンク内の油量は不足していないか																															
	3	注水タンク内の研削液は不足していないか																															
	4	砥石カード、テーブルカパーは完全か																															
	5	注水ノズルや吸塵口は正しく固定されているか																															
始	6	各スイッチやリレーなどの作動は確実か																															
	7	モータ、軸受などに異常音はないか																															
	8	機械各部に異常な振動はないか																															
	9	ハンドルやレバーなどの作動は確実か																															
時	10	デジタル表示やランプは正常に点灯しているか																															
	11	電磁チャックの吸引は確実か																															
	12	潤滑油の供給は確実か																															
間 後	13	油漏れの箇所はないか																															
	14	砥石軸の軸受部に異常な発熱はないか																															
	15	モーターに異常発熱はないか																															

## (2) 給油箇所

- ・各しゅう動面への潤滑油の油量を油窓で確認する。

## 資料 2. 接着剤・工作物

### (1) フラットローワックス

本品は50℃で軟化し、粘性が低く、接着歪が全く生じないので、熱に敏感な工作物のマウンティングに適している。軟化点50℃・接着力25kg/cm<sup>2</sup>。溶剤はキシレンまたはトリクロルエチレンおよび化学洗浄剤「クレール」「ノーマルA」である。

### (2) スカイワックス415

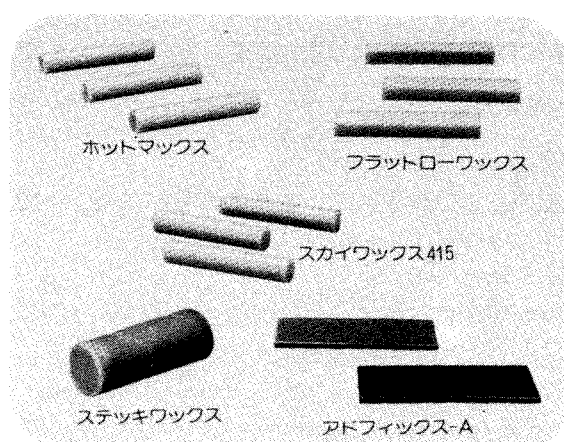
本品は、粘性が低く、接着力も強いので半導体ウエハのポリッシングやラッピングなどのマウンティングに適している。接着層2～3μm。軟化点76℃・接着力38kg/cm<sup>2</sup>。溶剤トリクロルエチレンまたは化学洗浄剤「デバール」である。

### (3) ステッキワックス

粘性・接着力ともにスカイワックス415とほぼ同じ接着剤である。軟化点61℃・接着力32kg/cm<sup>2</sup>、溶剤トリクロルエチレン。

### (4) アドフィックス-A

ファインセラミックスなど難削材の場合、高荷重・長時間研磨が必要なため、マウント材も接着力の強いものが適している。軟化点79℃、接着力60kg/cm<sup>2</sup>、溶剤エタレール99.5%「ノーマルA」。



### 資料3. ダイヤモンド砥石

セラミックス材料の加工に関する技術データは、最近ではかなり体系化され、2～3年前の暗中模索・試行錯誤の状態ではなくなったが、FC材料の加工について、金属材料の加工の場合との相違点を、次の四項目を選び出して留意点としている。

- ・ FC材料の研削特性
- ・ 加工機械の剛性と加工法
- ・ ダイヤモンド工具の選定
- ・ 加工周辺材料の知識

ダイヤモンド（以下D）砥石については、IDASにおいて表4の規定がある。以下用語について簡単に説明する。

・ 砥粒

D = 天然ダイヤモンド、SD = 合成ダイヤモンド、SDC = SDの表面に金属をコーティングしたもの。

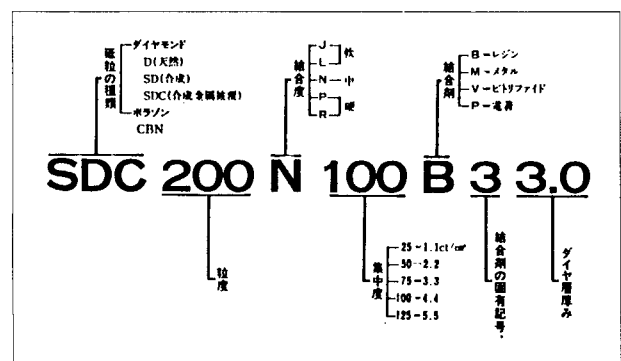
・ 粒度 (Mesh)

IDASでは、粒度を22種類に分類し、表示は荒い方のメッシュと呼ぶ。つまり、分級140/170の場合、140メッシュとなる。

・ 集中度 (Concentration)

ダイヤモンドが、どのくらい含まれているかの容積パーセントで示す。

表1 ダイヤモンド砥石の表示方法



### 資料4. 引用文献

日刊工業新聞社 今中 治編「セラミック加工ハンドブック」 富森 紘  
 精機工業会編 オーム社「研削工業」 長尾 高明  
 工業調査会編 「ファインセラミックス技術」 今中 治  
 応用機械工業 '86. 9月号「硬脆材料の加工技術」 辻郷 康生