

# ファインセラミックスの研削・ホーニング・ 超仕上における被削性の統一的評価\*

上田 隆 司\*\* 杉 田 忠 彰\*\*

Evaluation of Machinability of Ceramics in Grinding, Honing and Superfinishing

Takashi UEDA and Tadaaki SUGITA

The functions to evaluate the machinability of ceramics in grinding, honing and superfinishing are derived theoretically, assuming that one stone (wheel) corresponds to a single point tool with a long cutting edge. The dimensional analysis is employed to investigate the effect of physical properties of the ceramic material on its machinability. Work materials used in experiments are  $Al_2O_3$ , SiC,  $Si_3N_4$ ,  $ZrO_2$  which are sintered under atmospheric pressure, Mn-Zn ferrite and  $SiO_2$ . The main results are as follows. The machinability of the ceramic material depends on not only its physical properties but also the method of machining. For the work materials of  $Al_2O_3$  and  $SiO_2$ , the honing is superior in cutting ability to the grinding. In grinding and superfinishing the strong relation is observed between the energy release rate of the ceramic and its machinability, but in honing it is observed between the hardness of the ceramic and its machinability.

**Key words:** machinability, energy release rate, hardness, ceramic grinding, ceramic honing, ceramic superfinishing, specific energy

## 1. 緒 言

高硬度で高いじん性をもつファインセラミックスはダイヤモンド砥粒を用いて加工するのが一般的であり、その被削性について報告した例は多い。しかし、同一表示の材料でも機械的特性に大きな差があるため、異なる実験の間でデータを比較することが難しい。また、同じ材料でも加工法が異なるとき、同一レベルで加工特性を評価できる適切な方法が確立されていないため、材料の被削性や加工法の有効性に関して比較することが難しい。

著者らはこれまでホーニングや超仕上に関して実験的に、セラミックスを能率よく加工するための砥石の選定、加工条件の設定などについて詳細に検討を加え、適切な加工条件を定めてきた<sup>1)~5)</sup>。また理論的に、巨視的に砥石を1個の工具とみなす新しい解析方法を用いることにより、ホーニングや超仕上において加工条件の過酷さを把握するための評価関数“砥石切込み深さ”を導出してきた<sup>6)~8)</sup>。この評価関数を用いれば加工条件の過酷さだけでなく、加工能率・生産性・精度レベルなどの加工特性に関して、異なる加工

法を比較することが可能になる。

そこで本研究では、研削、ホーニング、超仕上といった代表的な砥粒加工法を取り上げ、セラミックスの被削性を統一的に評価するとともに、セラミック加工への有効性などに関して比較検討することにした。まず、円筒研削に対してこの解析手法を適用することにより、ホーニングや超仕上と同一基準で加工特性の比較が可能となる評価関数“砥石切込み深さ”を導出した。次に、同一ロットで焼結された数種類のセラミックスを用いて、研削、ホーニング、超仕上を行い、測定結果を評価関数によって整理することにより、加工材料の被削性を評価すると共に、各加工法の有効性について検討を加えた。さらに、次元解析を行い、セラミックスの物性値がその被削性に及ぼす影響についても検討してみた。

## 2. 砥石切込み深さ、比加工エネルギーの導出

巨視的に砥石を1個の工具とみなして、加工工程をモデル化して扱う解析方法を円筒研削・ホーニング・超仕上に適用することにより、各加工法を同一基準で比較することができる評価関数砥石切込み深さ $\bar{d}$ 、および比加工エネルギー $k_0$ を導出することにする。

### 2.1 円筒研削

\* 原稿受付 平成4年4月21日

\*\* 正会員 金沢大学工学部(金沢市小立野2-40-20)

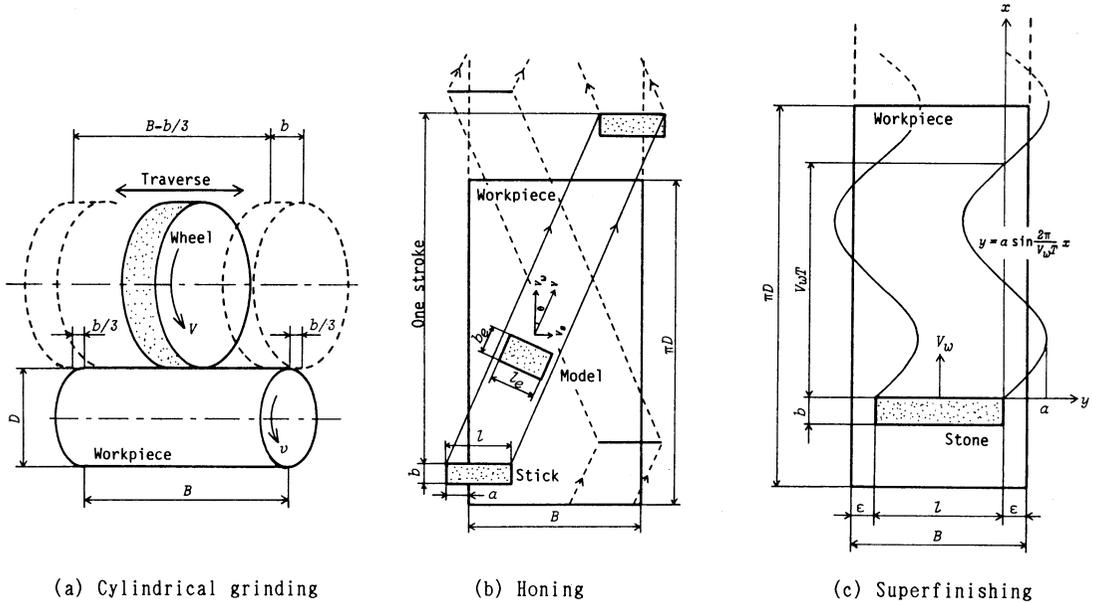


Fig. 1 Models of machining

図1(a)に砥石が加工物を加工する様子を示す。砥石幅： $b$ ，砥石径： $d$ ，切込み： $t$ ，砥石回転速度： $V$ ，加工物径： $D$ ，加工物長さ： $B$ ，加工物回転速度： $v$ ，砥石送り速度： $f$ とする。

砥石が1往復に必要な時間  $T$  は

$$T = \frac{2(B-b/3)}{f} \quad (1)$$

切込みが  $t$  であることから，理想的には1往復間の加工物直径減少量が  $4t$  となり，研削量  $\Delta D$  は

$$\Delta D = 2\pi DBt \quad (2)$$

一方，1往復間に砥石が動く加工物上の距離  $L$  は

$$L = vT = 2\left(B - \frac{b}{3}\right) \frac{v}{f} \quad (3)$$

ここで，砥石が回転していないと考え，この間の静止砥石の切込み深さを  $\bar{t}$  とすると，幅  $b$  の砥石が切込み深さ  $\bar{t}$  で距離  $L$  を加工することから，研削量  $\Delta D$  は

$$\Delta D = 2b\left(B - \frac{b}{3}\right) \frac{v}{f} \bar{t} \quad (4)$$

式(2)と式(4)を等置することにより，

$$\bar{t} = \frac{\pi DBt}{b(B-b/3)} \frac{f}{v} \quad (5)$$

ところが，砥石は実際には速度  $V$  で回転していることから，微小加工時間  $\delta\tau$  を考え，この間の砥石切込み深さを  $\bar{d}$  とすると，

$$\begin{aligned} \text{静止砥石の切削量} &= b\bar{t}v\delta\tau \\ \text{回転砥石の切削量} &= b\bar{d}V\delta\tau \end{aligned}$$

と表すことができ，両者は等しいことから

$$\begin{aligned} \bar{d} &= \frac{v}{V} \bar{t} \\ &= \frac{\pi BDt}{b(B-b/3)} \frac{f}{V} \end{aligned} \quad (6)$$

式(6)において， $\bar{d}$  の値が大きくなるほど過酷な加工条件と判断することができることから，砥石回転速度  $V$  や砥石送り速度  $f$ ，切込み  $t$  といった一つひとつの加工条件が過酷さに及ぼす影響を定量的に評価することができる。

一方，1往復間に砥石がなした仕事量  $W$  は，この間の平均研削抵抗接線分力を  $F_t$  とすると，

$$W = F_t(V+v)T$$

したがって，加工物を単位体積当たり研削するために必要なエネルギー  $k_s$  は

$$k_s = \frac{W}{\Delta D} = \frac{(B-b/3)F_t}{\pi DBt} \frac{V+v}{f} \quad (7)$$

となり，砥石切込み深さが  $\bar{d}$  のときの比加工エネルギーが求まる。

ところが，実際の加工では切残しが生じることから，砥石1往復間の加工物直径減少量を  $\delta D$  とし， $t = \delta D/4$  を式(6)，式(7)に代入すると，

$$\bar{d} = \frac{\pi BD\delta D}{4b(B-b/3)} \frac{f}{V} \quad (8)$$

$$k_s = \frac{4(B-b/3)F_t}{\pi DB\delta D} \frac{V+v}{f} \quad (9)$$

となり， $\delta D$ ， $F_t$  を測定することにより， $\bar{d}$ ， $k_s$  を求め

Table 1 Characteristics of ceramics

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiC	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Mn-Zn ferrite
Density g/cm <sup>3</sup>	2.21	3.70	3.12	3.26	5.90	5.08
Hardness HV	700	1580	2520	1870	1290	740
Bending strength MPa	60	343	441	735	980	157
Fracture toughness $K_{Ic}$ MN/m <sup>3/2</sup>	0.7	3.86	4.81	6.02	8.98	2.0
Elastic modulus $E$ GPa	80	370	430	284	216	160
Poisson's ratio $\nu$	0.17	0.21	0.15	0.26	0.3	0.31
Modulus of resilience* MOR J/m <sup>3</sup>	23×10 <sup>3</sup>	159×10 <sup>3</sup>	226×10 <sup>3</sup>	951×10 <sup>3</sup>	2220×10 <sup>3</sup>	76×10 <sup>3</sup>
Energy release rate** $G_c$ J/m <sup>2</sup>	5.95	38.5	52.6	119	340	22.6

\* Bending strength is used.

\*\* Fracture toughness  $K_{Ic}$  is used.

ることができる。

## 2.2 ホーニング<sup>6)</sup>

等間隔に配置された  $n$  本の棒状砥石 (砥石長さ:  $l$ ) がシリンダ状の加工物側面 (加工物径:  $D$ , 加工物長さ:  $B$ ) をホーニング速度  $V$ , 交差角  $2\theta$ , オーバラン  $a$ , で加工している状態を考える。図 1 (b) は  $n$  本の砥石の 1 本が切削する様子を加工物表面を軸方向に展開して示したものである。砥石が定常加工状態にあるとき, 加工時間  $\tau$  の間の加工物半径変化量を  $\delta R$  とすると, この間の砥石平均切込み深さ  $\bar{d}$  は

$$\bar{d} = \frac{\pi DB(B-l+2a)}{nV\{l(B-l+2a)-a^2\}\cos\theta} \frac{d(\delta R)}{d\tau} \quad (10)$$

また, このときの加工抵抗接線分力を  $F_t$  とすると, 比加工エネルギー  $k_s$  は

$$k_s = \frac{nVF_t}{\pi DB} \frac{1}{\frac{d(\delta R)}{d\tau}} \quad (11)$$

と表される。

## 2.3 超仕上<sup>8)</sup>

1 本の角状の砥石 (砥石長さ:  $l$ , 砥石幅:  $b$ ) が直径  $D$ , 幅  $B$  の円筒状の加工物側面を振動数  $N$ , 振幅  $a$  で振動しながら, 速度  $V$  で加工している状態を考える。図 1 (c) は切削する様子を加工物表面を軸方向に展開して示したものである。砥石が定常加工状態にあるとき, 加工時間  $\tau$  の間の加工物半径変化量を  $\delta R$  とすると, この間の砥石平均切込み深さ  $\bar{d}$  は

$$\bar{d} = \frac{\pi^2 DB}{V} \left\{ \pi l - 2a \cos\left(\sin^{-1}\frac{\varepsilon}{a}\right) + \varepsilon \left( \pi - 2 \sin^{-1}\frac{\varepsilon}{a} \right) \right\}^{-1} \frac{d(\delta R)}{d\tau} \quad (12)$$

$$\text{ただし, } \varepsilon = \frac{B-l}{2}$$

で与えられる。加工物の幅  $B$  と砥石長さ  $l$  が等しいとき

$$\bar{d} = \frac{\pi^2 DB}{V(\pi l - 2a)} \frac{d(\delta R)}{d\tau} \quad (13)$$

となる。

また, このときの加工抵抗接線分力を  $F_t$  とすると, 比加工エネルギー  $k_s$  は

$$k_s = \frac{2F_t V}{\pi^2 DB} (1+K^2)^{1/2} E(k) \frac{1}{\frac{d(\delta R)}{d\tau}} \quad (14)$$

で与えられる。ただし,  $E(k)$  は第 2 種楕円積分であり,

$$K = a\omega/V, \quad k^2 = \frac{K^2}{1+K^2}$$

である。

## 2.4 “砥石切込み深さ $\bar{d}$ ” による評価方法

式 (8), (10), (13) で表される砥石切込み深さ  $\bar{d}$  は旋削における切込み深さに相当する値で加工条件の過酷さを評価する関数であり,  $\bar{d}$  の値が大きくなるほど加工条件は過酷になる。一般に,  $\bar{d}$  は加工条件によって定まるが, 加工実験によって加工物の半径減少量  $\delta R$  を測定することによって求めることもできる。特に, 定圧加工の場合にはこの方法が有効となり, このとき  $\bar{d}$  は切削量に相当する量を一般的な形で表している。 $\bar{d}$  を用いて比加工エネルギー  $k_s$  を整理することにより, 研削・ホーニング・超仕上といった異なる加工法の切削性を統一的に整理して, 同一レベルで比較することが可能となる。

## 3. 実験方法

### 3.1 実験材料, 加工条件

表 1 に加工材料としたセラミックスの特性値を示す。材料は一般に常圧焼結したものである。加工物形状はいずれも円柱状で, 円筒研削・ホーニングで外径  $D=45$  mm, 長さ  $B=100$  mm, 超仕上で  $D=45$  mm,  $B=20$  mm のシリンダ外面を加工している。表 2 は使用した砥石である。円筒研削ではレジソボンド

Table 2 Characteristics of wheel, sticks and stones

	Grain size and type	Concentration	Bond strength MPa	Workpiece
Grinding wheel Bond : Resin $d=256$ mm, $b=24$ mm	# 60/80 CSGII	80	—	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiC, Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , ZrO <sub>2</sub>
Honing stick Bond : Metal $l=50$ mm, $b=3$ mm	# 140/170 MBG-660	50 50 100	80 100 140	SiC Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , ZrO <sub>2</sub> SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Superfinishing stone Bond : Metal $l=20$ mm, $b=3$ mm	# 1 000 Micron powder	100 100	80 140	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , ZrO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiC, ferrite

$d$ : wheel diameter,  $b$ : width,  $l$ : length

Table 3 Experimental conditions

Grinding speed $V$ m/min	1 530
Work speed $v$ m/min	10
Feed $f$ mm/rev	5
Over-run $a (=b/3)$ mm	8
Depth of cut $t$ $\mu$ m	2.5-20
Honing speed $V$ m/min	30
Crosshatch angle $2\theta$ °	20
Stroke $S$ mm	70
Over-run $a$ mm	10
Finishing speed $V$ m/min	40
Frequency $N$ cpm	900
Amplitude $a$ mm	1.6

の円盤状砥石，ホーニング・超仕上ではメタルボンドの角状砥石であり，これまでの研究結果<sup>4)5)</sup>に基づいて加工材料に最も適すると考えられる仕様の砥石を用いている。砥粒粒度は切削性を重視することから，各加工法において粗い砥粒を用いており，研削で# 60，ホーニングで# 150，超仕上で# 1 000としている。

加工液は，研削ではソリュブルタイプ（日本グリース(株)：サンライト EC-11-S）の50倍希釈液，ホーニングではソリューションタイプ（日本グリース(株)：サンクル GF-100）およびソリュブルタイプ（サンライト EC-11-S）の30倍希釈液，超仕上では切りくずの排出能力の大きい低粘性の油（比重0.84，粘性40°C，3.3 cSt）を用いた。

表3に加工条件を示す。研削の条件は標準的なものを採用しており，定切込み円筒トラバース研削を行った。砥石がトラバース方向を変えるごとに切込み $t$ を与えて加工を行い，定常状態における1往復間の加工抵抗 $F_t$ ，及び加工材料半径減少量 $\delta R$ ，加工面粗さ $R_a$ を測定した。ホーニング，および超仕上はこれまでの研究結果<sup>4)5)</sup>から最適と考えられる条件のもとで定圧加工を行い，研削と同様 $F_t$ ， $\delta R$ ， $R_a$ を測定した。

なお，いずれの加工法においても，ぜい性破壊型切

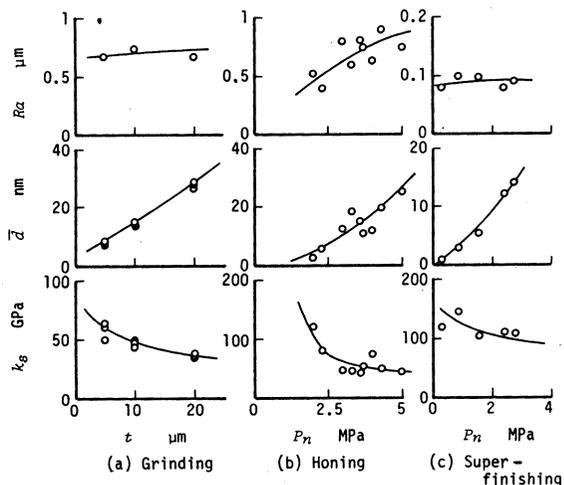


Fig. 2 Machining characteristics of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>

りくずの排出が主体となる加工状態を正常な加工状態とし，塑性変形型の切りくず生成が主体となる加工量が極めて少ない加工状態は除外している\*。正常な加工状態では，加工が進行しても $F_t$ の低下は少なく，また砥石圧力や切込み深さを大きくして過酷な条件にすれば，加工量が増えてゆく。

測定した $F_t$ や $\delta R$ を式(8)~(11)，(13)，(14)に代入することにより， $k_s$ ， $\bar{d}$ を求めることができる。

### 3.2 実験結果

測定結果の一例として，Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>を3つの加工法で加工した結果を図2に示す。いずれの場合も，切込み $t$ や砥石圧力 $P_n$ を大きくすれば $\bar{d}$ が大きくなって加工量が増大し，かつ $k_s$ が減少しており，正常な加工が行われていることがわかる。

\* 超仕上やホーニングでは，加工中に砥石が磨き状態に入り，切削抵抗（接線分力）が低下していく場合も除外している。

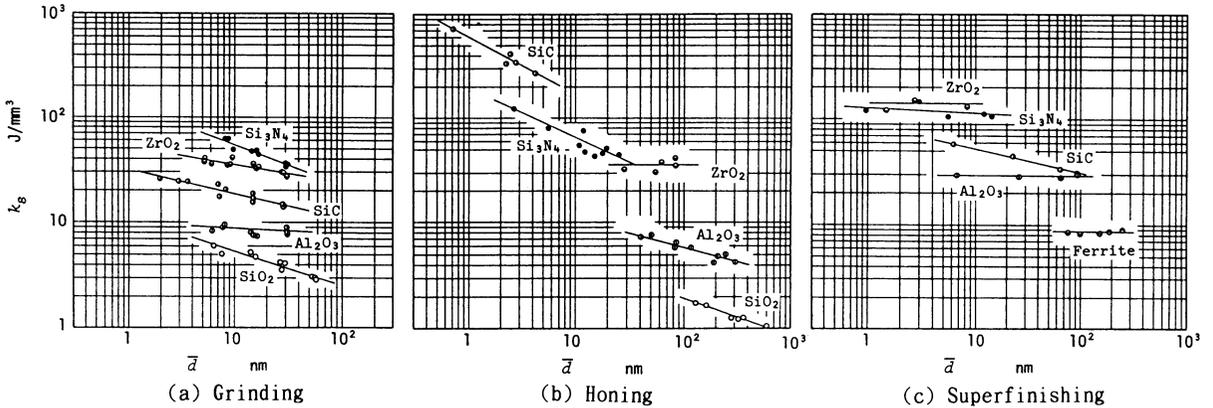
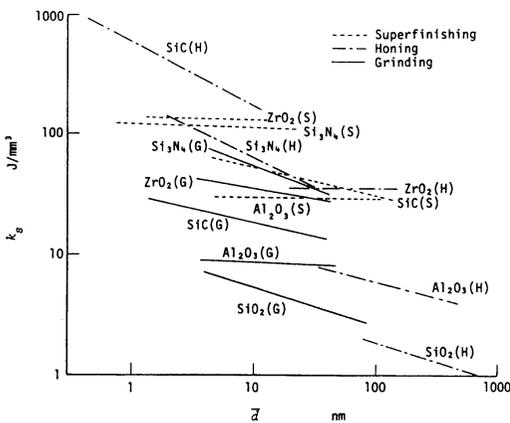
Fig. 3  $k_s$ - $\bar{d}$  relation of ceramics

Fig. 4 Evaluation of machinability of ceramics in grinding, honing and superfinishing

#### 4. $k_s$ - $\bar{d}$ 線図による被削性の評価

図2の実験結果における  $k_s$  を  $\bar{d}$  でまとめなおした結果を加工法別に整理したものが図3である。これらの図より加工材料の被削性を比較することができ、図の左上に位置する材料は右下に位置する材料より被削性が悪いと判定できる。図3(b)のホーニングの結果では、硬度の高いSiCが最も被削性が悪く、逆にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やSiO<sub>2</sub>の被削性が良いと判定できる。これに対し、図3(a)の研削加工や図3(c)の超仕上の場合にはエネルギー解放率  $G_c$  の大きいZrO<sub>2</sub>やSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>の被削性が悪くなっている。すなわち、同じ材料でも加工法が異なればその被削性が大きく変化することがわかる。

そこで、これらの図を一つの図にまとめ加工法間の比較をした結果が図4である。図が煩雑になるため、個々のデータは省略している。この図により各セラミックスに対する加工法の有効性を比較することがで

き、右下に来る加工法は左上に来る加工法よりも加工効率が良いと判定できる。

全体的にみると、超仕上の結果が左上に、その下に円筒研削が位置し、ホーニング加工の結果は左上から右下へ広く分布している。研削が#60と他の2つの加工に比べ粗い砥石を用いていることを考慮すると、セラミックスに対して研削がかならずしも効率的な加工法とはいえないことがわかる。これに対し、超仕上は#1000と微粒砥石を用いているにもかかわらず、研削と同程度の  $\bar{d}$  が得られている。また、材料間の差も他の加工法に比べて小さくなっている。砥石に加えられる振動が切りくずの生成や除去で大きな働きをしているためである。

個々の材料について比べると、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やSiO<sub>2</sub>はホーニングの場合が右下に位置しており、研削よりもはるかに能率よく加工できることがわかる。多量の切りくずが砥石作業面をドレスしてポンドを除去し、切れ刃の自生作用を活発にするためである。ところが、SiCになると、ホーニングが最も左上に位置しており、超仕上よりも加工能率が低いことになる。材料の被削性は一定のものではなく、加工法によって大きく変化していることがわかる。

#### 5. 材料物性の被削性への影響

##### 5.1 次元解析による検討

ぜい性破壊型の多量の切りくずを生成するか、塑性変形型の少量の切りくずしか生成できないかが、比加工エネルギーの大きさに大きく影響する。破壊力学を用いた切りくず除去機構の解析では球の押込みモデルが用いられ、材料中にき裂が発生するかどうか、また発生したき裂が進展するかどうかなどで切りくず生成形態を判定している。このとき、き裂の発生に関係する代表的な材料物性として破壊じん性・硬度・ヤング

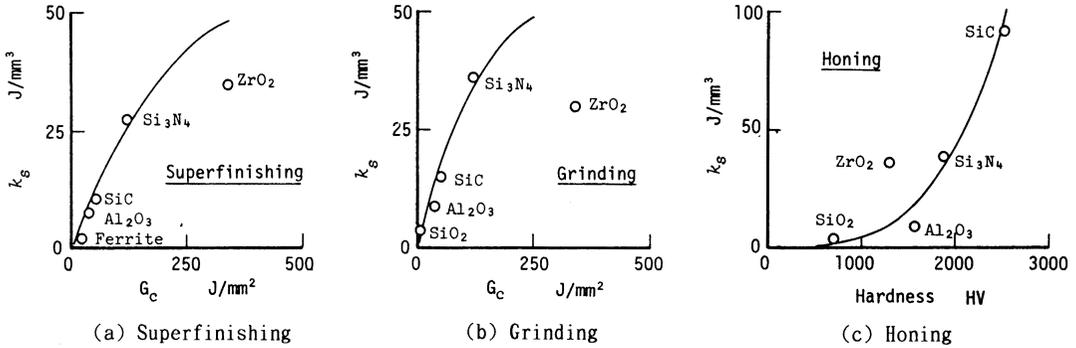


Fig. 5 Influence of physical properties on machinability ( $\bar{d}=30\text{ nm}$ )

率，また押し込み条件として押し付け力・球径があげられる。そこで，これらの点を考慮して，材料の代表的物性値として破壊じん性とヤング率から求まるエネルギー解放率  $G_c$  および硬度  $HV$  を，加工条件の代表値として砥石切込み深さ  $\bar{d}$  (押し付け力に相当)・砥粒径  $d_g$  を取り上げ，材料の被削性を表す量として比加工エネルギーを用いることにすると，

$$f(G_c, HV, \bar{d}, d_g, k_s) = 0 \tag{15}$$

の関係を考えることができる。この関係式に対して次元解析を行うと

$$f\left(\frac{HV\bar{d}}{G_c}, \frac{HVd_g}{G_c}, \frac{k_s}{HV}\right) = 0 \tag{16}$$

となる。そこで，これら無次元量の関係を一般的に

$$\left(\frac{HV\bar{d}}{G_c}\right)^m \left(\frac{HVd_g}{G_c}\right)^n \left(\frac{k_s}{HV}\right) = C_1$$

とおく。ただし， $C_1$  は定数であり， $m$  や  $n$  は加工材料や加工条件で変化する値である。整理すると

$$k_s = C_1 G_c^{(m+n)} HV^{-(m+n-1)} \bar{d}^{-m} d_g^{-n} \tag{17}$$

となる。

一般に， $k_s$  は  $\bar{d}$  が大きくなり加工条件が過酷になると小さくなり，また使用する砥石の砥粒径  $d_g$  が小さくなって精度レベルの高い加工を行う程大きくなる傾向にある。したがって，指数  $m$  と  $n$  は  $m \geq 0$ ， $n \geq 0$  の値をとることになり，

$$m+n = \alpha \quad \text{ただし, } \alpha \geq 0$$

とおくことにする。さらに，同一粒度の砥石 ( $d_g$  が一定) で  $\bar{d}$  が一定となる条件で加工する場合を考えると， $\bar{d}$ ， $d_g$  は定数となり，

$$k_s = C_2 G_c^\alpha HV^{1-\alpha} \tag{18}$$

と，書き直すことができる。すなわち， $G_c$  や  $HV$  の  $k_s$  への影響の程度は  $\alpha$  の値によって変化することになり， $\alpha$  が 0.5 より小さい時  $HV$  の影響を大きく受け， $\alpha$  が 0.5 より大きくなって 1 に近づくにつれて  $G_c$  の影響が大きくなると解釈することができる<sup>9)</sup>。

$G_c$  または  $HV$  だけを変化させた数種類の材料を準備することが困難であることから， $Al_2O_3$  を加工した場合を取り上げて  $\alpha$  を求めてみる。このとき， $G_c$ ， $HV$  が定数となることから，式 (17) において  $\bar{d}$  と  $k_s$ ， $d_g$  と  $k_s$  の関係より  $m$ ， $n$  を求めることができる。同一砥石で  $Al_2O_3$  を超仕上した結果 (図 3 (c)) より， $d_g$  が一定のもとでの  $k_s$  と  $\bar{d}$  の関係が得られ， $m=0$  となる。一方，粒度の異なる砥石で  $Al_2O_3$  を加工し， $\bar{d}$  が一定のもとでの  $k_s$  を求めると， $k_s$  と  $d_g$  の関係が得られ， $n=0.83$  となる。これより， $\alpha=0.83$  となり， $Al_2O_3$  の超仕上で

$$k_s = C_2 G_c^{0.83} HV^{0.17}$$

となる。一方， $Al_2O_3$  をホーニングした場合に対しても同様の手順で  $m=0.27$ ， $n=0.11$  が求まり， $\alpha=0.38$  となる。式 (18) に代入すると， $Al_2O_3$  のホーニングで

$$k_s = C_2 G_c^{0.38} HV^{0.62}$$

の関係が得られる。この 2 つの結果を比較すると，超仕上では  $G_c$  の影響を強く受けるのに対し，ホーニングでは  $HV$  の影響を強く受けることがわかる。すなわち，同一材料を加工しても，加工法によって材料の被削性は変化すると考えることができる。

### 5.2 実験結果による検討

図 3 (c) より  $\bar{d}=30\text{ nm}$  における  $k_s$  の値を読み取り， $G_c$  で整理した結果が図 5 (a) である。他のセラミックスに比べて性質の大きく異なる  $ZrO_2$  を除き， $HV$  で整理するよりも  $k_s$  とよく対応しており，超仕上では  $G_c$  の大きな材料ほど被削性が悪いと判断できる。図 5 (b) は図 3 (a) から  $\bar{d}=30\text{ nm}$  における  $k_s$  の値を読み取り， $G_c$  で整理した結果であるが，研削の場合も  $G_c$  とよく対応している。これらの加工では切れ刃が加工面に衝撃的に食い込むことから，切りくず生成には硬度よりも材料のじん性の影響が大きくなるためと考えることができる。

これに対し、ホーニングでは異なる結果が得られる。図5(c)は硬度HVで図3(b)の $\bar{d}=30\text{ nm}$ の $k_s$ を整理した結果である。 $k_s$ はHVによく対応しており、ホーニングでは、硬度の高い材料ほど被削性が悪くなるのがわかる。切りくずを生成するためには、砥粒切れ刃が材料に押し付けられて材料中に食い込まなければならない加工機構によるためであると考えられる。

## 6. 結 言

研削・ホーニング・超仕上げといった代表的な砥粒加工法により種々のセラミックスの加工を行い、その被削性について検討を加えた。得られた結果をまとめると次のようになる。

- (1) 巨視的に砥石を1個の工具とみなすモデル化により、各加工法において共通の概念を持つ評価関数「砥石切込み深さ」を導出することができ、この評価関数を用いることにより、異なる3つの加工法における材料の被削性を同一レベルで評価することができる。
- (2) 生産性に関して3つの加工法を比較するとき、研削はかならずしもすぐれた加工方法ではなく、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ や $\text{SiO}_2$ ではホーニングの方がはるかにすぐれている。
- (3) ホーニングでは材料硬度の影響を強く受け、 $\text{SiC}$ のように硬度の高い材料の被削性は悪くなるが、研削や超仕上げでは材料のじん性の影響を強く受け、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ や $\text{ZrO}_2$ の被削性が悪くなる。この

傾向は次元解析による解析結果からも得られている。

終わりに、研究にご協力いただいた大阪大学基礎工学部：花見真司氏、および実験材料の提供を受けた日本特殊陶業(株)、(株)ミズホ、日本グリース(株)に謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 上田隆司, 花見真司, 山本 明: ファインセラミックスのホーニング加工——ダイヤモンド砥粒のじん性が切削性能に及ぼす影響, 精密機械, 50, 9 (1984) 1507.
- 2) 上田隆司, 花見真司, 平野 聡, 山本 明: ファインセラミックスのホーニング加工——ダイヤモンド砥石の結合剤が切削性能に及ぼす影響, 精密機械, 51, 6 (1985) 1195.
- 3) 上田隆司, 花見真司, 裏 匡史, 平野 聡, 山本 明: ファインセラミックスのホーニング加工——砥石集中度・粒度の影響, 精密工学会誌, 52, 11 (1986) 1889.
- 4) 上田隆司, 花見真司, 裏 匡史, 山本 明: ファインセラミックスのホーニング加工——被削性と切り屑生成機構, 精密工学会誌, 54, 6 (1988) 1138.
- 5) 上田隆司, 金曾久佳, 松森 昇, 杉田忠彰: ファインセラミックスの超仕上げ加工——加工条件と被削性, 精密工学会誌, 57, 7 (1991) 1229.
- 6) 上田隆司, 山本 明: ホーニング機構に関する一考察, 精密機械, 48, 11 (1982) 1514.
- 7) T. Ueda and A. Yamamoto: An Analytical Investigation of the Honing Mechanism, ASME, J. Eng. Ind., 106, (1984) 237.
- 8) 上田隆司, 金曾久佳, 杉田忠彰: 超仕上げの加工機構に関する研究, 日本機械学会論文集C編, 57, 538 (1991) 2154.
- 9) 田中芳雄: セラミックスの機械的性質と被加工性, ニューセラミックス, 5 (1988) 37.

## 編 集 後 記

最近、日の経つのがやけに早く感じるようになった。やはり歳のせいかとも思ったが、よく考えてみると会誌編集委員会をお引き受けしてから加速されているような気がする。特に特集の企画を担当したときに強く感じた。それは1年間の編集の流れを見てみるとわかるような気がする。例えば、多少の違いはあるが毎月の特集の企画をたてるのは掲載号発行のほぼ1年前であり、それから具体的な目次案を編集委員会で協議し、ほぼ執筆者に内諾を得るのが7か月前になる。その後最終目次案を編集委員会で決定してから、執筆依頼を出すのが6か月前になる。執筆者はほぼ

2か月前で原稿を書かなければならない。原稿の締切は4か月前で、原稿が集まり次第編集委員に査読に出される。査読では、その専門領域以外の人にもわかるようにとか、ページ数はオーバーしていないかなども注意しながら読み、もう一度執筆者のところに原稿が返されることもあるので、あまりゆっくり読んでもらえない。とにかく2か月前には印刷屋さんへ原稿が全部入らなければならない。1か月前に著者校正もしなければならぬ。従って、企画立案から会誌の発行までは一気に進まなければならない、あっという間に1年が経過することになる。

このように学会誌の編集作業は毎月自転車操業をしているわけですが、会員の皆さまはまさかと思われるか、そんなもんだらうと思われませんか。(有賀幸則)