

ゾル-ゲル法による マシナブルセラミックスの開発

三井鉱山(株)中央研究所 浜崎 俊夫

Development of machinable mica glass-ceramics by the sol-gel process

Toshio Hamasaki

Research & Development Centre,
Mitsui Mining Co., Ltd. Tochigi

1. マシナブルセラミックス概論

1.1 定義

セラミックスは種々それぞれ優れた機能を持っているが、目的に応じて使用するためには所定の寸法に整えるというプロセスが必要である。しかしながらセラミックスは高温での焼結により形状・寸法が変化するため、要求される形状や寸法精度を焼成しただけで満足することは困難である。そこで寸法制御をするため、一般に焼成後にダイヤモンド砥石を使った研削加工を行っている。しかしその場合でも、次に示すような問題点がなお残されている。

- ①加工能率が悪い(時間がかかる)。
- ②加工形状に制約がある(複雑なものが困難)。
- ③工具の摩耗が速い。
- ④加工コストが高い。

セラミックスが金属やプラスチックに比べていまなお適用範囲が限られ、普及・拡大が大きく遅れている原因の一つとしてこの形状・寸法制御の困難さが挙げられる。これらの問題点を解決する方法の一つとして、金属材料を加工する一般の工作機械および工具(超硬や高速度工具)を用いて、単一刃による切削加工ができるセラミックスが開

発されてきた。それがマシナブルセラミックスである。

しかし、マシナブルセラミックスのはっきりとした定義はまだ存在していない。単に機械加工できるセラミックスだと解釈すれば、ダイヤモンド砥石による研削・研磨加工も含まれ、全てのセラミックスがマシナブルであるということになる。このような混乱を防ぐため我々は実的に次のような基準を設けている。

- (1)超硬・高速度鋼工具を用いて、単一刃による切削加工ができるセラミックスであること。
- (2)機械加工により、10 μm オーダーの寸法精度が容易に確保できるセラミックスであること。
- (3)ファインセラミックスであること。

現在行われているセラミックスの加工法を加工エネルギーの与え方によって分類すると Table 1 のようになる。これらのうち生産性の点で工業的に広く用いられているのは力学的加工法である。また、一般のセラミックスに用いられる加工法はほとんどすべてマシナブルセラミックスにも適用できるが、両者の最大の相違点はマシナブルセラミックスが単一刃具により切削加工できることである。

1.2 歴史

マシナブルセラミックスの草分け的存在としてマイカレックス (Mycalex) が挙げられる。これは英国人 P. B. Crossley が雲母鉍石から雲母板を採取する際に発生する大量の屑雲母をほう酸塩で結合すると、強靱な絶縁材料となることを発見し、1921年に最初の特許を米国で取得した¹⁾。1923年に米国ゼネラル・エレクトリック (G. E.) はこの

特許実施権を得て製造を開始した。日本では1931年から東芝 (旧芝浦製作所時代) が G. E. との契約により東芝マイカレックスの名称で製品化した。この当時は絶縁端子板や絶縁ボード、消弧板等に多く用いられていたが、そのマシナビリティ (機械加工性、快削性) は特に注目されていなかった。

さらに1970年に米国コーニング・グラス・ワークスの G. H. Beall らによって、ガラス中にフッ

Table 1 Classification and Characteristics of Removal Processing ◎ very good ○ good △ possible

Type Item		Usual Ceramics					Machinable Ceramics						
		Form Precision	Measure Precision	Surface Roughness	Formability	Finishing of Complex Curved Surface	Microprocessing	Form Precision	Measure Precision	Surface Roughness	Formability	Finishing of Complex Curved Surface	Microprocessing
Classification of Removal Processing													
Mechanics	Abrasive Processing	Grinding	○	○	○	○			○	○	○	○	○
		Honing	○	△	○								
		Superfinishing			○					○			
		Coated Abrasive Processing		△	○	○	△				○		
		Barrel Finishing			○		○						
	Free Abrasive Processing	Lapping		○	○	△					○		
		Ultrasonic Machining		△		○			△	△		○	○
		Polishing			◎						○		
		Visco-elasticity Fluidizing Machining			○		△						
		Blasting					○						
Single-point Tool Processing	Cutting	△	△	△	○			◎	◎	◎	◎	◎	
Chemical	Etching							△					
	Chemical Polishing			○		○							
Photo-chemical	Photo-etching							○					
Electrochemical	Electrochemical Polishing			○		○							
Electric	Electrical Discharge Machining	Electrical Discharge Machining				○		○					
		Electro-beam Machining								○			
	Ion-beam Machining	Ion-beam Machining									○		
		Plasma-arc Machining											
Optics	Laser-beam Machining										○		

素金雲母を析出させた結晶化ガラス（マコール）が開発された²⁾。マコール (Macor) の名前の由来は Machinable Ceramics by Corning にあるとも言われ、マシナブルセラミックスという言葉もマコールの出現によって誕生したといえる。

その後、エレクトロニクス産業を主体とした産業界のファイン化に伴い、セラミックスに対する形状・寸法精度の要求が高まるにつれてマシナブルセラミックスが注目されるようになり、1985年以降各種のマシナブルセラミックスが開発され商品化されてきた。

マシナブルセラミックスの開発推移を Table 2 に示す。1985年頃までは雲母系、チタン酸アルミニウム系が主体であったが、マシナブルセラミックスに対する機能の要求が多様化するにつれ、窒化ほう素系、ワラストナイト系等が開発されてきた。現在ではその要求特性に応じて、各種マシナブルセラミックスがさまざまな分野において使用されるようになってきた。

1.3 切削機構

まず金属および一般のセラミックスの切削について考えてみよう。両者の切削模式図を Fig.1 に

Table 2 History of Machinable Ceramics

A.D.	Mica group	Al ₂ TiO ₃ group	BN group	Wollastonite group	Others
1923	Mycalex (General Electric)				
1931	Mycalex (Toshiba Corporation)				
1970	Macor (Coning Glass Works)				
1980		Lotec-T・M (Asahi Glass Co., Ltd.) UI-ceram (Koransha Co., Ltd.)			
1982	NTK Mica Ceramics (NGK Spark Plug Co., Ltd.)				
1984	Photoveel (Photon Ceramics Co., Ltd.)				
1986	Macerite (Mitsui Mining Co., Ltd.) Moiceram (Ryoden Kasei Co., Ltd.) Nicceram (Japan Functional Ceramics Corporation)	Marusurite (Marusu Yuuyaku Co., Ltd.)	Shapal-M (Tokuyama Soda Co., Ltd.) Riverceram (Kawasaki Steel Corporation Ltd.) Shoceram (Showa Denko K. K.) (Shin-Etsu Chemical Co., Ltd.)	Mashinax (INAX Corporation)	(Nippon Soda Co., Ltd.)
1988					(National Institute for Research in Inorganic Materials)

示す。金属の場合、工具の刃の送り前方の塑性変形域内に剪断破壊面が形成され、剪断と圧縮とを繰り返しながら切り粉を発生して切削が進行する。これに対してセラミックスの場合は、工具の刃の送り前方に剪断波が伝わると、これによって“破壊の芽”が次々と生じ粒界破壊と粒内破壊が進行する³⁾。もしこの剪断波が減衰することなく大きな面積に伝わると、セラミックスの破壊を引き起こすことになる。一方この剪断波が何等かの機構により減衰し、刃先の微小領域にしか伝わらなかった場合、その微小領域だけが割れてセラミックスが切削できることになる。

マシナブルセラミックスは、この剪断波を減衰・吸収する機能を備えたセラミックスである。この剪断波の減衰・吸収機構は、現在のところ次の2つに大別することができる。

- (1) 劈開性を有する層状化合物を素材内部に分散させ、切削時に発生した剪断波を結晶の劈開により減衰・吸収する方法。
- (2) 微細なクラックあるいは気孔をあらかじめ内在もしくは発生し易くさせ、その微細なクラックあるいは気孔によって剪断波を減衰・吸収する方法。

前者によるものとしては雲母系及び窒化ほう素系があり、後者によるものとしてはチタン酸アルミニウム系、ワラストナイト系などがある。

2. マシナブルセラミックスの種類と特徴

2.1 雲母系

今日ではユーザーの要求特性の多様化に応じて、各種マシナブルセラミックスが開発されている。しかし、従来マシナブルセラミックスといえば雲母系のことを指していた。それほど代表的なもので製品化されている種類も多い。

雲母系に共通する点は、数 μm の雲母結晶が互いにランダムな方向に交錯して存在し、その周囲を非晶質（ガラス）もしくは結晶質（セラミックス）のマトリックスが取り巻いていることである。工具の進行に伴って発生した剪断波はFig.2に示すように雲母の劈開面あるいはマトリックス相との界面に沿って進行するが、それと交錯する次の雲母の劈開によってその伝達が妨げられるため、全体を破壊することなく工具刃先の微小部分のみで留まり切削加工が可能になる。雲母系はいずれも同様のメカニズムによってマシナビリティを発現するが、その度合は含まれている雲母結晶の量、形状（大きさやアスペクト比）、交錯度やマトリックス相の硬さ等により異なる。

雲母系の最大の特徴は、マシナビリティ発現の要素として雲母を用い、更にこの雲母を結合しているマトリックスの硬度が低いいため、他の系に比べて加工時の切削抵抗が著しく小さく、加工性が非常に優れている点にある。

雲母系はその製造方法の違いによって次の3種類に大別できる。

(1) 結晶化ガラス法（溶融法）

所定の配合原料を高温で溶融し、その後所定の形状で冷却・固化させたガラス状態とし、これを

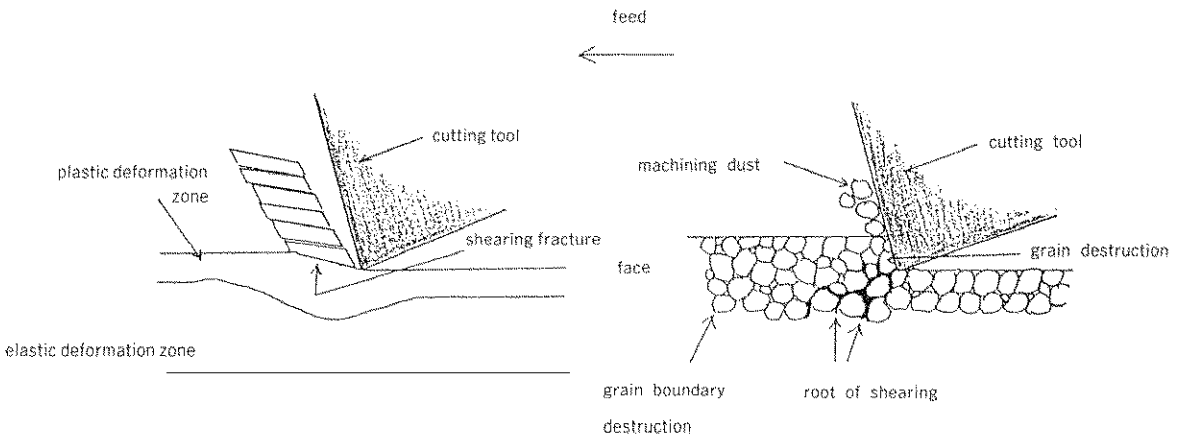
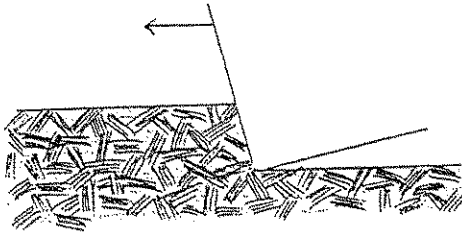
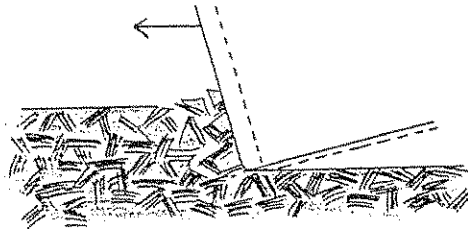


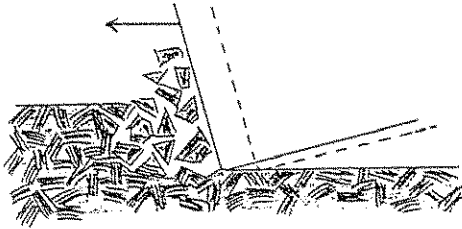
Fig. 1 Cutting mechanism of metal and ceramics



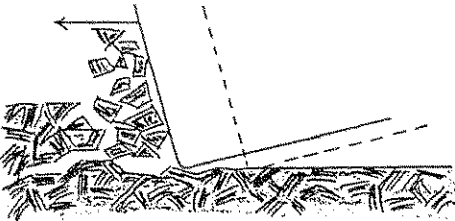
①Propagation of shearing wave



②Link of microcrack



③Production of cutting dust



④Progress of cutting

Fig. 2 Cutting model of machinable ceramics of mica group

再加熱してガラス中に雲母微結晶を析出させる方法で、その基本プロセスを Fig.3 に示す。この方法による製品はほとんど無気孔に近いため製品の信頼性が高く、超精密加工に適している⁴⁾。その反面、溶融温度が高い、結晶化時の均熱制御が難しい、Near-Net Shape 化が困難といった製造上の問題点から高価格になりやすい。

(2)ゾル-ゲル法

本報告はこの方法によるものである。金属アルコキシドを主原料とし、混合溶液を加水分解することによりゾルの状態を経てゲル化させ、この均質なゲルを熱処理することにより雲母微結晶を析出させる方法である。その基本プロセスを Fig.4 に示す⁵⁾。結晶化ガラス法よりも穏和な条件で非晶質体を製造し、その後の熱処理により結晶化させるものであり、組成の選択幅が結晶化ガラス法に比べて広く、多様化するニーズにも比較的柔軟に対応できる。その反面、出発原料の金属アルコキシドが高価であり、工程が複雑であるなどの欠点を有している。

(3)焼結法

一般には天然雲母あるいは合成雲母粉末に適当な結合材を加え、成形、焼結して製造する。その基本プロセスとしてマイカレックスの製造工程を Fig.5 に示す。緻密化を図る目的で熱間成形(ホットプレス)を行う⁶⁾。

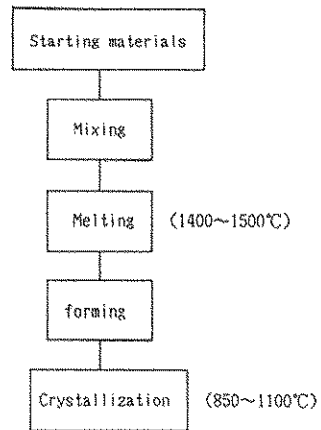


Fig. 3 Schematic diagram of the preparation of machinable ceramics by the melting process

一方、結合材として酸化亜鉛 (ZnO)、酸化けい素 (SiO₂)、酸化ほう素 (B₂O₃) を主成分としたセラミックスを用いるものも開発されている⁷⁾。また、この他にもいくつかの製品が開発されている⁸⁾。

2.2 窒化ほう素系

窒化ほう素系には六方晶窒化ほう素単体と、窒化ほう素と他の材料との複合体の2種類がある。

窒化ほう素単体は従来からよく用いられているが、その特徴は耐熱衝撃性が大きく、潤滑性が高い反面、機械的強度がやや低いことなどが挙げられる。

一方この窒化ほう素の特徴を活かして、近年、他材料との複合化がいくつか行われている。代表的なものとしては窒化アルミニウムあるいは窒化けい素との複合化がある。前者は、窒化アルミニウムをマトリックスとし、マシナビリティを発現させるため20 wt %程度の窒化ほう素を添加したものである。マトリックスに窒化アルミニウムを用いているため熱伝導率が比較的高いマシナブル

セラミックスとなっている⁹⁾。また後者は窒化けい素の添加率を種々変更して、機械的強度・被削性などが異なるいくつかのマシナブルセラミックスを製造している¹⁰⁾。

この系も雲母系と同様に窒化ほう素の劈開性を利用したものであるが、マトリックスとして窒化アルミニウムや窒化けい素などを用いているためその被削性は雲母系より劣っている。

2.3 チタン酸アルミニウム系

チタン酸アルミニウム (Al₂TiO₅) は低熱膨張セラミックスとして古くからよく知られているが、機械的強度が低く、高温 (1000℃前後) で結晶の分解 (Al₂O₃とTiO₂に分解) が起こりやすいという欠点を持つため広く使用されることはなかった。しかし近年、添加材技術の向上によりその特性はかなり改善されてきた¹¹⁾。

焼結体は結晶粒子が10~200 μm程度のドメイン (団塊) を形成し、焼結後の冷却過程で熱膨張の異方性によりドメインの境界に熱応力が発生し、室温時には微細なクラックを内在した構造に

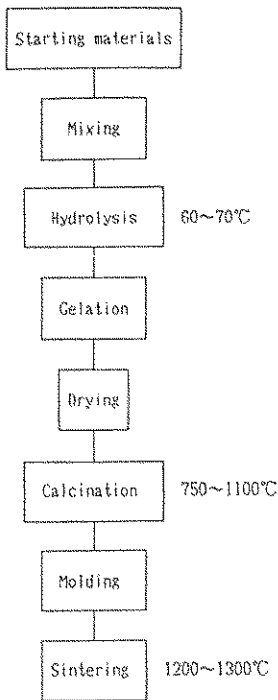


Fig. 4 Schematic diagram of the preparation of machinable ceramics by the Sol-Gel process ...

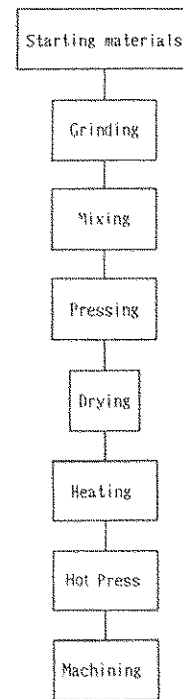


Fig. 5 Schematic diagram of the preparation of machinable ceramics by the sintered process

なる。このクラックが劈開性と同一作用すなわち剪断波を吸収する役割を果たし、切削加工を可能にしている。低熱膨張性であり耐熱衝撃性が高いことが特徴である。

2.4 その他

前述の他にも新しいタイプのマシナブルセラミックスがいくつか開発されている。β-ワラストナイト (CaO・SiO₂) 結晶同士を焼結させ連通気孔を内在させたもの¹²⁾、気孔の微細制御を行った炭化けい素¹³⁾、あるいはアルミノけい酸塩ガラスマトリックス中にパイプ状の希土類けい酸塩結晶を析出させたもの¹⁴⁾などがある。

今後もニーズに対応した新しいタイプのマシナブルセラミックスの登場が予想される。

3. ゾル-ゲル法によるマシナブルセラミックスの製造

前述の雲母系マシナブルセラミックスについてゾル-ゲル法による製造法を開発したので、以下詳細に説明する。

3.1 製造方法

本製法は結晶化ガラス法及び焼結法の中間的製法であり、それぞれの短所を補った新しいタイプの製造方法である。

製造フローはFig.4に示した通りである。出発原料はけい素、アルミニウム、マグネシウムの各アルコキシドとふっ化カリウム、けいふっ化マグネシウムである。このアルコキシド混合物を有機溶媒中で約1時間加熱・混合した後、pH調整をした水を加えて、加水分解を行いゲル化させる。このゲルを十分乾燥して溶媒を除去した後、粉碎して仮焼 (750~1100°C) を行う。

Fig.6に仮焼温度を変更した時の仮焼物のX線回折パターンを示す。600~700°Cまでは非晶質であるが、800°Cになるとフッ素金雲母およびMgF₂の回折線が認められる。さらに温度を高くしていくとMgF₂の回折線は小さくなり1000°Cではフッ素金雲母の回折線のみとなる。このようにして得られた仮焼体を所定の形状に成形する。成形方法は一般のセラミックスで用いられている各種成形法、たとえば一軸加圧、冷間等方加圧(C.I.P.)、泥漿鑄込などのほとんどすべてが用いられる。成

形体は所定の温度 (1200~1300°C) で焼成する¹⁵⁾。

3.2 物性

このようにして得られた雲母系マシナブルセラミックス (商品名マセライト MACERiTE) の諸物性を Table 3 および Fig.7~10 に示す。

機械的性質は曲げ強さが 1200 kgf/cm² で Al₂O₃ や SiC, Si₃N₄ などには及ばないが、他の雲母系マシナブルセラミックスと同様に窒化ほう素単体よりは高い。

電気的性質は体積抵抗率が $7 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ で Al₂O₃ や ZrO₂ と同様に絶縁体である。体積抵抗率の温度依存性を Fig.7 に示す。また誘電率は 6 で Al₂O₃ や ZrO₂ に比べて小さく、比較的誘電物質である。誘電率および誘電正接の温度および周波数依存性を Fig.8, 9 に示す。

熱的性質は熱膨張係数が約 $10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ で Al₂O₃ や ZrO₂ に比べてやや大きい。最高使用温度は 1200°C で他の雲母系マシナブルセラミックスに比べて高い。比熱の温度依存性を Fig.10 に示す。

真空特性はヘリウム透過率が $2.3 \times 10^{-12} \text{ Torr} \cdot \text{l/s} \cdot \text{cm}^2$ 以下であり、非常に気密性の高い物質で

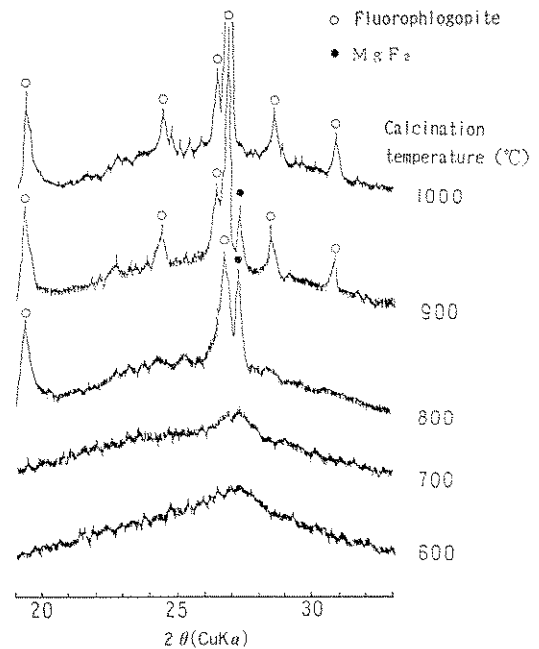


Fig.6 XRD patterns of the precursors of the MACERiTE

ある。

一言でいえば、気密質で電気絶縁性や断熱性の高いマシナブルなセラミックスであるということになる。

4. ゾル-ゲル法の特徴

4.1 ゾル-ゲル法の長所

マシナブルセラミックスをゾル-ゲル法で製造することのメリットは、次の点である。

(1)均質な組成・組織が容易に得られる。

金属アルコキシドを出発原料とし、溶液状態で

攪拌混合しゲル化させているため非常に均質であり、結晶化ガラス法にも十分比肩しうる均質性を持っている。

(2)比較的低温での製造が可能である。

結晶化ガラス法では融点よりもやや高い温度域（この場合 1400～1500℃）で溶融する必要があるが、ゾル-ゲル法の場合、加水分解・ゲル化温度は 100℃以下であり、焼成温度も 1200～1300℃で結晶化ガラス法に比べて低温である。また結晶化ガラス法のように特殊容器（白金など）を必要としないのも本方法の特徴の一つである。

Table 3 Properties of Machinable Ceramics by Sol-Gel and Melt Process

Property	Method		Remark
	Sol-Gel	Melt	
General			
Bulk density (g/cm ³)	2.55	2.52	Archimedes
Water absorption (%)	0	0	
Mechanical			
Tensile strength (kgf/cm ²)	900	1000	
Flexural strength (kgf/cm ²)	1200	1000	3×4×40 mm
Compressive strength (kgf/cm ²)	4500	3500	
Young's modulus (kgf/cm ²)	8.8×10 ⁵	6.7×10 ⁵	
Poisson's ratio	0.25	0.27	Laser flash
Vickers hardness	225	230	
Electric			
Volume resistivity (Ω·cm)	7×10 ¹⁴	10 ¹⁶	
Dielectric constant	6* ¹	5.9* ²	* 1=1 MHz, * 2=10 kHz
Dielectric loss tangent	0.007* ¹	0.003* ²	* 1=1 MHz, * 2=10 kHz
Dielectric breakdown voltage (kV/mm)	15	40	
Thermal			
Maximum durable temperature (°C)	1200	1000	
Coefficient of thermal expansion (×10 ⁻⁶ /°C)	10.3	12.3	Room temp. to 800°C
Thermal conductivity (cal/cm·s·°C)	0.005	0.004	Laser flash
Specific heat (cal/g·°C)	0.19		
Vacuum			
He permeability (Torr·l/g·°C)	<2.3×10 ⁻¹²	4.2×10 ¹²	Mass filter
Corrosion			
Acid (mg/cm ²)	17.7	87	5% HCl at 95 for 24 h°C
Alkali (mg/cm ²)	8.2	8.5	5% NaCl at 95 for 6 hr°C

(3)成形方法の選択により種々の形状に対応可能である。

プレス成形, 押し出し成形, 鋳込成形などセラミックス産業で利用されているほとんど全ての成

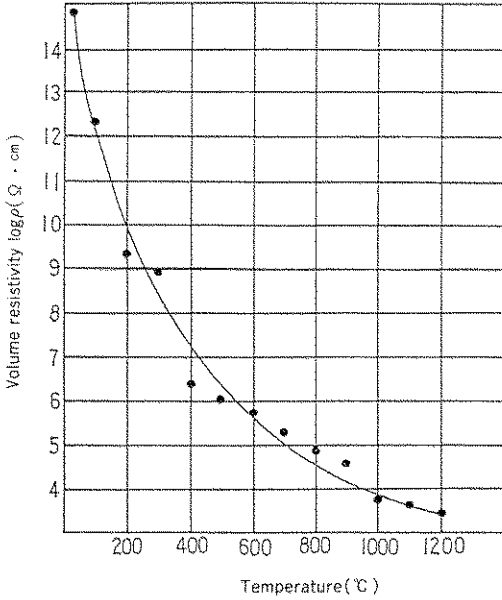


Fig. 7 Variation of volume resistivity with temperature of MACERiTE

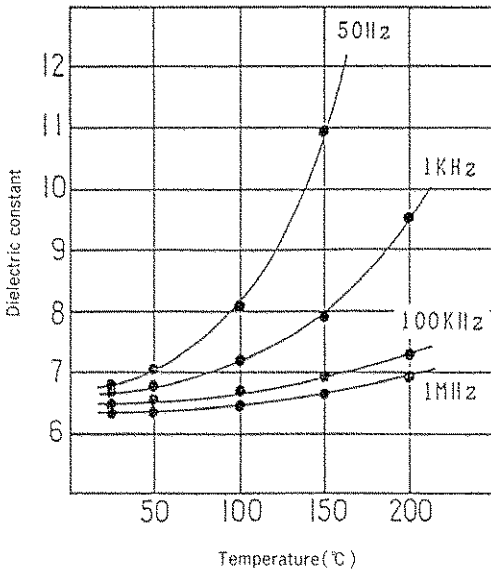


Fig. 8 Effect of frequency and temperature on the dielectric constant of MACERiTE

形方法が利用でき, Near-Net Shape 化が可能である。したがって多種多様の形状品に対応でき, 機械加工時の切削ロスを低減できる。

(4)組成の選択幅が広い。

一般にゾル-ゲル法はガラス化領域が溶融法よりも広く, 組成の選択幅が広い。また結晶化ガラス法によるマシナブルセラミックスの製造の場合, 溶融温度や粘度の低減のためほう素を添加する必要があるのに対して, ゾル-ゲル法では無添加で製造することができる。これもある意味では組成の選択幅が広いと言える。また筆者らはこの特

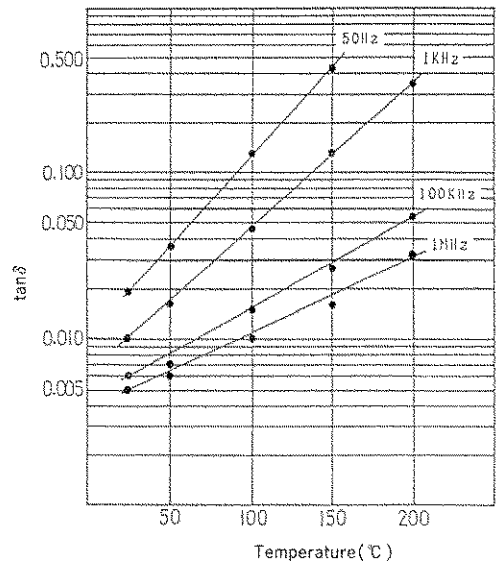


Fig. 9 Effect of frequency and temperature on the $\tan \delta$ of MACERiTE

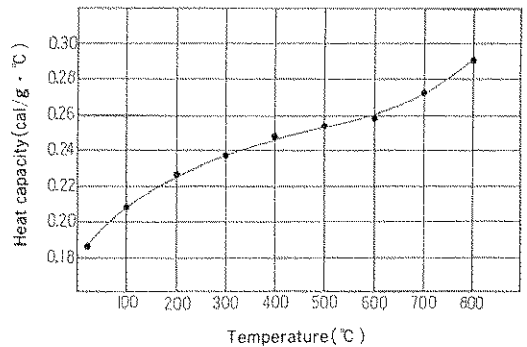


Fig. 10 Variation of heat capacity with temperature for MACERiTE

性を利用して、フッ素金雲母結晶と同時に β -スボジメレン結晶を析出させた低熱膨張タイプのマシナブルセラミックスなども開発している¹⁰⁾。

4.2 他の製造法との比較

前述の通り、現在の雲母系マシナブルセラミックスは結晶化ガラス法、ゾルゲル法、焼結法の3つの製造方法で製造されている。ここでゾルゲル法の特徴を明確にするため他の製法、特に結晶化ガラスとの比較を検討した。

(1)被削性 (マシナビリティ)

ゾルゲル法と結晶化ガラス法によって得られた雲母系マシナブルセラミックスの被削性試験の結果を Fig.11, 12 に示す。Fig.11 は切削時のバイトにかかる抵抗 (主分力, 送り分力, 背分力) を測定した結果であり, Fig.12 は切削長さによるバイト刃先の摩耗幅を測定した結果である。いずれもゾルゲル法によって得られたものが優れていることがわかる。その原因についてはまだ不明であるが、次に述べる雲母結晶の形状に関係してい

る可能性がある。
(2)雲母結晶の形状

Fig.13 に各製法によって得られ雲母系マシナブルセラミックスの微構造を示す。焼結体では原料として雲母粉末を用いているため、雲母結晶は比較的大きく、粒径もかなりの広がりを持っている。さらに雲母結晶の配向もかなり認められる。またガラスを熱処理することにより雲母結晶を析出する結晶化ガラス法では、その粒径がかなり揃っており、その方向性もランダムである。ゾルゲル法の場合はこれらの中間に位置し、雲母の粒径やアスペクト比がいずれもやや小さいことがわかる。このアスペクト比の違いが被削性の差となって現れてきた可能性がある。

(3)耐熱性

結晶化ガラス法によって得られたものの耐熱温度は 1000°C (Table 3 参照) であるが、ゾルゲル法の場合 1200°C (同) である。これはマトリックスとしてのガラスの耐熱性に大きく依存してい

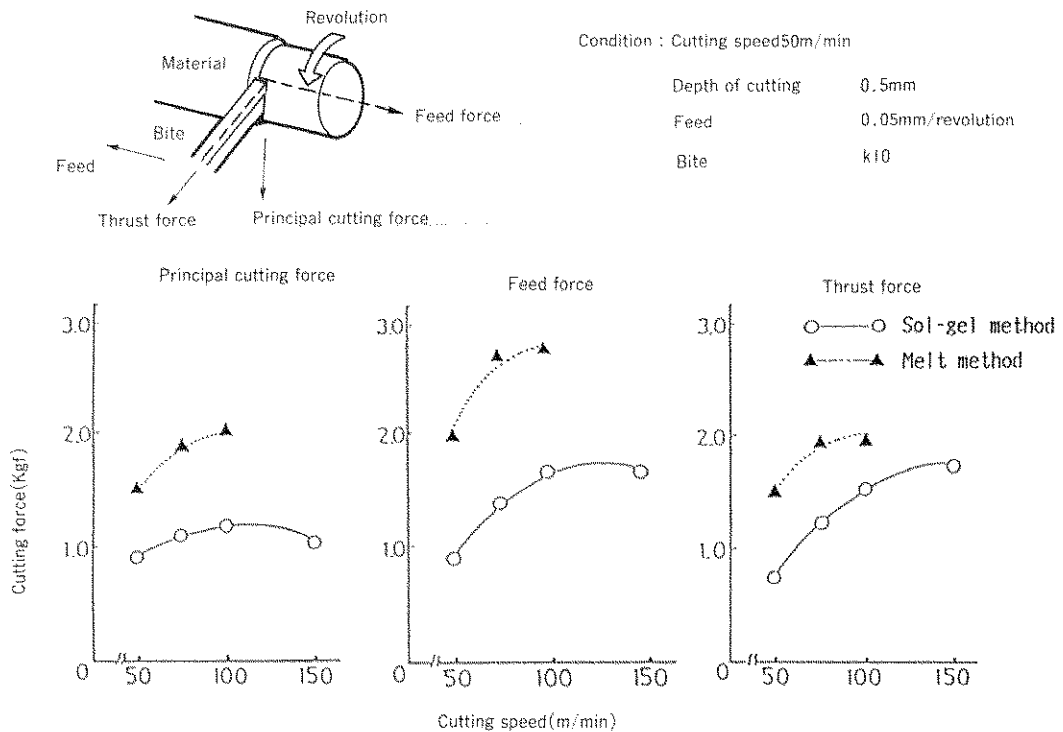


Fig. 11 Cutting force of single-point tool in the case of machining mica ceramics

る。つまり結晶化ガラス法の場合、溶融温度などの低下の目的で酸化ほう素が7wt%前後添加されているが、ゾルゲル法の場合には、その必要がないため一切含まれていない。そのことによりマトリックスの耐熱温度が高く、ひいては製品の耐熱温度が約200°C高くなっている。

(4)複合化

多様化するニーズに対応して、マシナブルセラミックスも新たな機能を備えたものが望まれている。

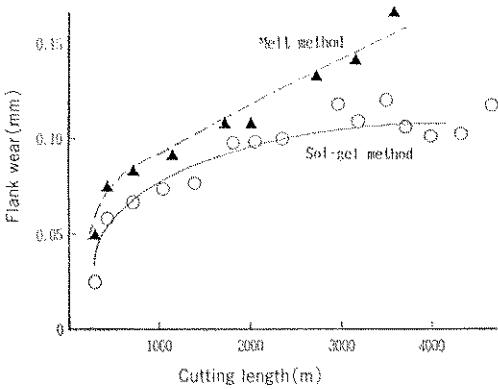


Fig. 12 Flank wear of Single-point tool in the case of machining mica ceramics

る。ゾルゲル法は前にも述べたとおり組成の選択幅が広いので、かなりの対応力を持っていると思われる。

4.3 ゾルゲル法の短所

ここまでは主にゾルゲル法の長所について述べてきたが、ゾルゲル法の短所は原料として用いる金属アルコキッドが高価であり、製造工程がやや複雑であることなどが挙げられる。この点については今後の改善が望まれるところである。

5. おわりに

ゾルゲル法によるマシナブルセラミックスの開発について報告してきたが、ゾルゲル法の存在価値を考えた場合、ゾルゲル法による各種セラミックスやガラスの製造は現時点ではまだ『ゾルゲル法でもできる』というものが多く、高い原料コストや煩雑な製造工程といったデメリットを克服し、工業的手法として用いられるためには『ゾルゲル法でしかできない』というものが現れなければならない。本研究において、ゾルゲル法と結晶化ガラス法とにいくつかの異なる挙動がみうけられ『…でしかできない』ものの存在することを示唆していると思われる。我々も含めてゾルゲル法の研究者の今後の健闘を期待したい。

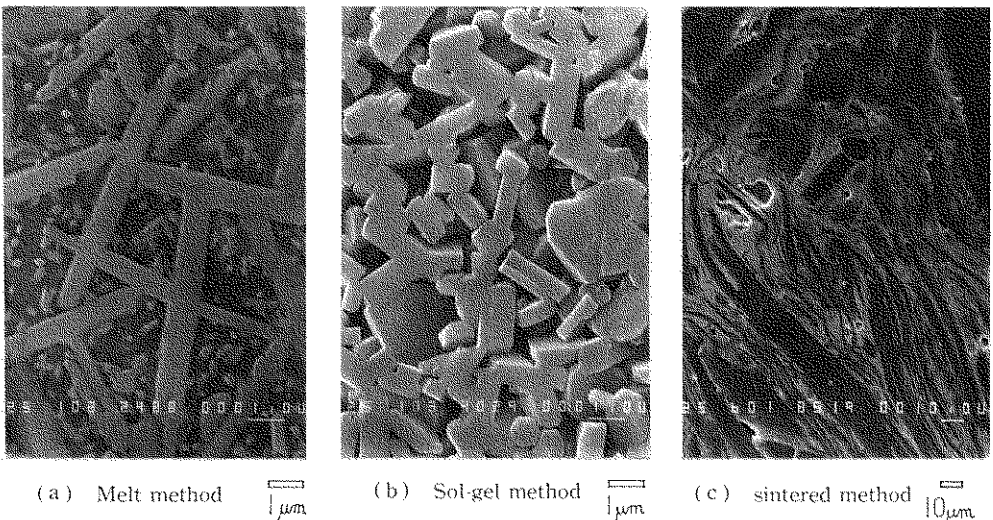


Fig. 13 Microstructure of machinable ceramics of mica group

参考文献

- 1) P. B. Crossley U. S. Patent 1394973 (Oct. 1921)
- 2) G. H. Beall et al, J. Ame. Cer. Soc. (1971)
- 3) 阿部弘：セラミックス, 14(10), 907 (1979)
- 4) 坂元誠, 岩田重雄：工業材料, 26 [9], 93 (1978)
- 5) 三宅梯次郎：機能材料, 6 [6], 16 (1986)
- 6) 後藤一敏ら：ファインセラミックス, 1[3], 200 (1980)
- 7) 村上忠禰ら：工業材料, 35[11], 100(1987)
- 8) 日本特殊陶業カタログ“NTK マイカセラミックス”
- 9) 高田和哉：ニューセラミックス, 1 [5], 61 (1988)
- 10) 内村良治ら：ニューセラミックス, 1 [5], 65 (1988)
- 11) 旭硝子カタログ“ローテック”
- 12) 後藤泰男：ファインセラミックス, 10, 27 (1989)
- 13) 奥村正利：FC Report, 6 [8], 291 (1988)
- 14) 牧島亮男：無機材研ニュース, 105, 1(1987)
- 15) 浜崎俊夫ら：三井鉱山技術ダイジェスト, 22 [6], 13 (1985)
- 16) 前田英明ら：三井鉱山技術ダイジェスト, 24 [7], 40 (1987)

〔筆者紹介〕



浜崎 俊夫 (はまさき としお)
三井鉱山(株)中央研究所, 主務研究員,
昭和 29 年生まれ,
昭和 54 年九州工業大学工学部環境工学科卒, 同年三井鉱山(株)に入社, セメント, セラミックスの研究開発に従事,
(連絡先) 栃木県栃木市国府町 1
Tel (0282) 27-6841

Abstract

The preparation and characterization of machinable mica glass-ceramics by sol-gel process are described. And the kind and character of machinable ceramics are described, too. Physical, chemical, thermal, electrical, and mechanical properties of machinable mica glass-ceramics by sol-gel process are investigated. And difference between machinable mica glass-ceramics by the sol-gel process and the melt process is discussed. There is difference of shape and size of crystals of fluorophlogopite between machinable ceramics by the sol-gel process and the melt process.