

セラミックスの温故知新 — その2 —

不二門義仁

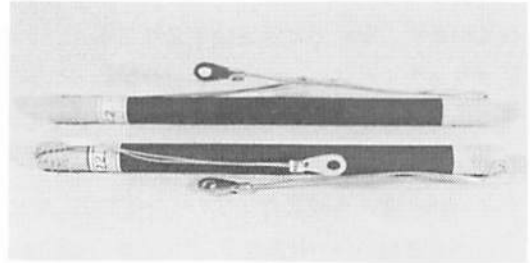
はじめに

オールド（クラシック）セラミックスは前号で解説したように陶磁器、耐火物、顔料、ガラス、七宝、ホーロー、セメントなど外見による区別が比較的容易ですが、ファイン（ニュー）セラミックスは外見による区別はむずかしいとともに開発途上ということもあって不確定要素が多すぎます。このため全体的に体系付けることが困難です。またセラミックスの形態も百様百態で焼結体、多孔体、ガラス状（アモルファス）、単結晶、薄膜、微粉末、繊維などがあり、機能性も電磁氣的、化学的、光学的、機械的、熱的、生物的、構造的などがあります。組成的には非金属の炭素をはじめ金属の酸化物のほか珪化物、炭化物、窒化物、硫化物、ふっ化物の単味又はこれらの混合組成があります。これらのほかにエレクトロセラミックスなどのように用途別に区分する場合もあります。

このようにセラミックスの多面性、多様性のため一元的な分類は不可能に近く、また解説も非常に困難です。このためファインセラミックスの解説は機能別、形態別、組成別、用途別などが交絡した記述になります。これは解説の便宜上からの採用で普遍的な分類ではありません。

7-9 セラミック発熱体 (CERAMIC HEATER)

セラミックスは絶縁体がほとんどですが、一部のものは導電性を示すものがあります。一般に非金属発熱体はセラミックスの発熱体です。最もよく知られているものは炭素発熱体と炭化珪素発熱体です。この発熱体に通電すれば抵抗熱を発生します。セラミックスの発熱体は金属発熱体に比較して融点が高く、酸化・還元による消耗が少ないなどの特徴を持っています。このため1200℃以上の温度を必要とする電気炉に利用されています。主に産業用として炭素、炭化珪素、ジルコニア、 MoSi_2 -SiC、モリブデンシリケート、ランタンクロマイト、トリウムなどがあります。



ランタンクロマイト発熱体

最近、電気蛋取器、電気ポット、ドライヤー、ふとん乾燥機など可燃物の近くでも使用

できる加熱機器が商品化されています。これは特殊なセラミックスに通電すれば抵抗熱を発生し、ある温度以上になると、電気抵抗が増し、電流が流れなくなり、加熱はストップします。温度が下がればまた電流が流れ加熱します。いわゆる温度を一定に保つことができます。発火の危険のない自己制御機能を持ったセラミック発熱体として非常に注目されています。また、乾燥用、暖房用、サウナ用などには赤外線より長い波長を持った熱線を効率良く放射する新しいタイプの遠赤外線セラミック発熱体も開発され応用されています。

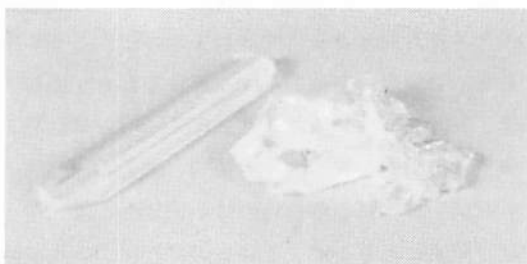
7-10 人工（造）結晶 (SYNTHETIC CRYSTALS)

自然界には沢山の結晶鉱物が存在しています。たとえば雲母、水晶、ルビー、ミョウバン、ダイヤモンドなどが一般的に知られています。結晶とは三次元的に原子又はイオンが規則正しく配

列されたものを言います。水晶などのように肉眼で観察できるものは一般に結晶又は単結晶とされています。一方、珪石などのように小さい結晶の集合体を多結晶と言います。最近、結晶科学の発達によって結晶のすぐれた機能が発見され、利用されるようになりました。天然の結晶は品質にばらつきや、産地も地域的に偏在するため、人工的に合成又は再結晶する方法が確立されたわけです。更には天然に存在しない結晶も製造することができるようになりました。

(1) 自然界の結晶を合成したものにはダイヤモンド、ルビー、エメラルド、アレキサンドライト、スピネル、サファイヤ、ジルコン、ルチル、雲母、水晶（再結晶）などがあります。

(2) 自然界にない結晶体を合成したものにはシリコン、炭化珪素、YAG、GGG、キュービックジルコニア、ストロンチタネートなどがあります。

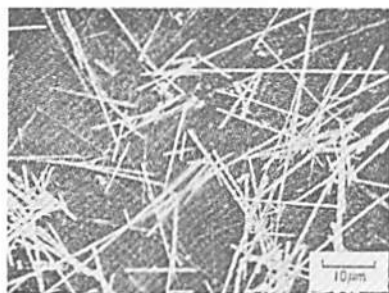


天然水晶（右）を再結晶した水晶（左）

7-10-1 ウィスカー（WHISKER）

ウィスカーは「ひげ結晶」といわれる単結晶で転位を全く含まない理想的な素材です。強さが普通のブロック材に比較して数10倍も大きく、将来の素材として注目されています。これは第二次大戦中、海底ケーブルに原因不明のトラブルを調べている内に発見されました。いわゆる鉄の極めて小さいひげ状の結晶が原因でした。このウィスカーの特性は理論強度に近い注目される素材ですが、合成が非常に困難でした。

最近、高分子の気相反応（CVD、PVD）の技術が進歩して Al_2O_3 、 MgO 、 SiC 、 AlN ウィスカーなどが合成されています。単独での用途はあまりなく、つり竿の繊維強化プラスチック（FRP）、エンジンのピストンヘッド部分の繊維強化金属（FRM）など複合材としての利用が図られています。



炭化珪素ウィスカー

7-10-2 合成雲母（SYNTHETIC MICA）

天然金雲母中のOH基をF（フッ素）で置換したフッ素金雲母に相当します。OH基を含んだ金雲母は約700℃以下で脱水分解を起すため応用分野が限定されています。このため、 $KMg_3(AlSi_3O_{10})F_2$ になるように調合し、加熱して溶解します。徐々に冷却して結晶化したものが合成雲母です。天然品に比較して結晶が小さく、強度が弱く、はく離しやすいため利用ができませんが、この合成雲母を粉碎して成形し、更に焼結します。焼結後、目的に応じて切削・加工・研磨して使用します。別名「マシナブル・セラミックス」の代表とも呼ばれています。合成雲母の安全使用温度は1100℃位とされています。主な用途は絶縁板、断熱板、ボルト、歯車、基板などがあります。



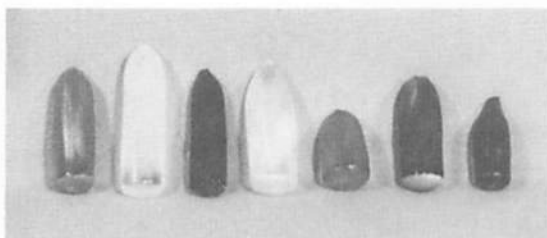
合成雲母製の灯ろう

7-11 人工(造)宝石 (SYNTHETIC GEM)

宝石は地殻の中で非常に複雑な過程を経て、美しい結晶を生成したものです。大自然が我々にもたらした最高の芸術品の一つで、その美しい色彩や輝き、いつまでも変化しない耐久性、更に希少価値、これらの理由により昔から財宝として、富や権力の象徴として貴ばれてきました。

宝石がこのように魅力のあるものであるが故に、古くから多くの人がその合成に苦心してきました。1900年にベルヌイがルビーを初めて合成に成功しました。その後、宝石の合成が盛んになったのは戦後のことで、単結晶育成技術の進歩に負うところが大きく、現在では宝石の大部分が合成可能となっています。エレクトロニクス用に開発されたり、天然にない新しい化合物の宝石として利用されるようになりました。

人工宝石として話題になることが多いエメラルド、アレキサンドライト、ダイヤモンドにそっくりのキュービックジルコニア、ダイヤモンドの屈折率2.42より大きい2.60のルチルなども開発されています。



各種の人工(造)宝石

7-12 生体材料 (BIOCERAMICS)

セラミックスのさびない(耐食性、無害性、化学的安定性など)、強い、硬いなどの特徴と生体親和性があることに注目して生体材料、いわゆるバイオセラミックスが開発されています。

これは高年令化社会を迎え、人工歯、人工歯根の需要がますます高くなることを見こして開発されています。また、交通事故などの不慮の災害で欠損した骨や器管の代用品など福祉社会への対応も考えられています。更に多孔質のセラミックスは酵素を固定する性質を持つため酒、味噌などの発酵食品工業、薬品工業などの反応制御用の材料としても開発が進められています。

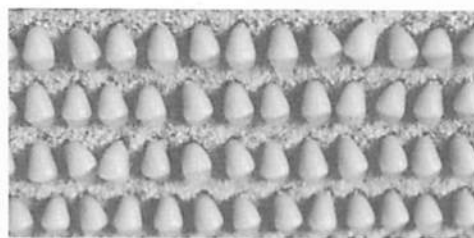
主な用途は次のようです。

- (1) 歯：陶歯、歯磨材、セメント、義歯、人工歯根など。
- (2) 骨：人工骨、人工鼻軟骨、人工耳小骨など。
- (3) 関節：人工関節など。
- (4) 器管：人工弁、透析など。
- (5) 反応制御材：固定化酵素担体など。

7-12-1 陶歯 (DENTAL PORCELAIN)

18世紀にフランス人の作に端を発し、これに幾多の改良が加えられた結果、今日にみられるような陶歯ができあがりました。天然の歯によく似た色、光沢、透光度、硬度などを持ったフリット磁器(長石、珪石、添加物を溶かし、ガラス状に固まったものを粉末にし、着色材を加え成形して焼いたもの)で製造された人工の歯です。

日本では宿沢氏によって始められたと伝えられ、明治中期より昭和中期まで名古屋周辺で製造され「名古屋の陶歯」として有名で輸出もされていました。

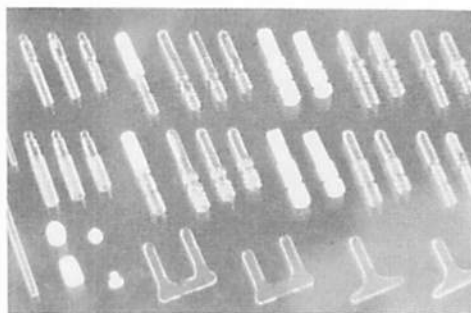


陶歯

現在では真空焼成など製法も進歩し、薬事法の医療用具の一品目として規定され、厳重な品質管理のもとに製造されています。この陶歯がいわばバイオセラミックスのルーツとも言えます。

7-12-2 人工歯根 (BIOCERAM INPLANT)

近年、虫歯人口が増加しており、毎年6千万～8千万本の歯が何らかの理由で抜歯せられるといわれています。現在の歯科治療では抜歯後ブリッジなどを使って歯の代用をさせていますが、これは隣の健全な歯の冠部を削って高さをそろえるため、良い歯を傷つける欠点がありました。そのため、歯が抜けた穴に人工歯根を植立して、その上に義歯を固定することが歯科医学の理想とされてきました。そこで毒性がなく、腐食しない、強度のあるセラミックスの応用によって人工歯根が開発されました。この人工歯根は、アルミナの単結晶(サファイヤ)、アパタイトをネジ状に加工したもので、顎の骨に直接埋め込み、人工の歯を固定します。このため、食べ物の歯ごたえがよみがえり、食事が楽しくなるようです。



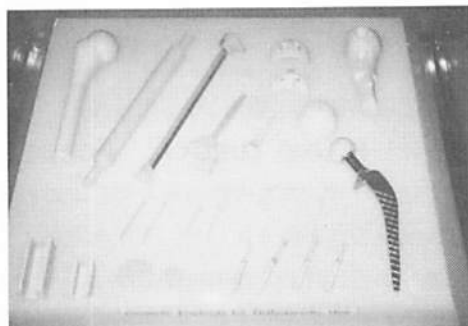
人工歯根

7-12-3 人工骨

人工骨は生体親和性が良く、機械的強度もあり、長期間機能して、信頼性が高く、のぞみの形状にできるセラミックスが最適と思われます。金属の場合は長期間の使用によって生体中に金属イオンが溶出すると言われています。また有機材料は変質のおそれがあるなど欠点があります。このため10年～20年の長期間使用しても強度の劣化、変質がなく、生体に対して発がん性もなく、しかも生体に同化するといわれるハイドロキシアパタイトが開発されました。

このハイドロキシアパタイトは生体中の骨、歯の主要物質で代用骨の素材として期待され各国で研究開発が行なわれています。 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (リン酸カルシウム) 化合物の水酸化物であり、 CaCl_2 (塩化カルシウム) と H_3PO_4 (リン酸) を反応させることにより合成されます。この焼結体の引張り強度は $12\sim 20\text{kgf/mm}^2$ であり、人骨の $7\sim 18\text{kgf/mm}^2$ よりも大きいことで十分代用骨に使用できます。更に無害で溶解し、また体液中から Ca や PO_4 イオンなどの補充により、新骨が形成されるなど生体と同化することが確認されています。

このほかのバイオセラミックスはC(カーボン)、 $\text{CaO-P}_2\text{O}_5$ 系ガラスの結晶化物なども研究されています。セラミックスが、失われた生体機能の回復を可能にしました。



人工骨

7-13 ファイバー (FIBER)

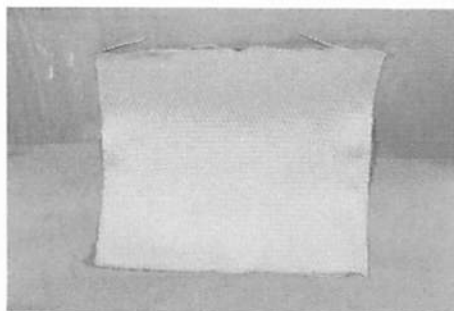
セラミックスは一般に焼結体のまま又は付属品を装着して使用します。このためセラミックスの最大の欠点と言われる「もろさ」のため使用分野が非常に限定されていました。これを克服するためにセラミックスのファイバー化が考案されました。このファイバー化によって超軽量化、

超断熱化、加工性、弾力性などの新たな機能性を付与することもできました。更にはプラスチックや金属と複合させ、新しい機能性を持った素材が開発されています。ファイバー素材には $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ 系、炭素、炭化珪素、窒化硼素、炭化硼素、チタン酸カリウムなどがあります。

7-13-1 セラミック ファイバー (CERAMIC FIBER)

セラミックファイバーは1940年代米国においてカオリン鉱物（焼けば $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ 系になる）の有効利用の研究に端を発し、その優れた耐火性が断熱材料として、まず石油化学工業に使用されました。1978年のオイルショック契機に断熱材、保冷材として一躍脚光をあびました。いわゆる省エネルギー材料としてその需要が急速に拡大しました。

このセラミックファイバーの特徴は超断熱性、耐火性、無公害、超軽量に加えて、他の材料を組み合わせる事により、複合材料としても注目を集めています。宇宙連絡船スペースシャトルの大気圏再突入時に生ずる約1400℃の摩擦熱から船体及びパイロットを守った耐(断)熱タイル（別名シリカタイル）もセラミックファイバーの一種です。



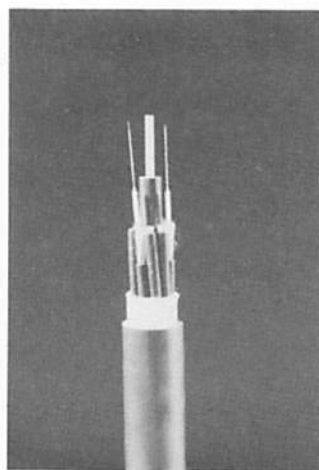
セラミック ファイバー製の布

7-13-2 光ファイバー (OPTICAL FIBER)

光ファイバーは石英、ガラス等を特殊な方法で焼き付け合成し、非常に透明度の高い光ファイバーの母材を作ります。この母材を髪の毛ほどに細く伸ばし、母材と異なる屈折率を持ったガラス等を被覆したものです。

光ファイバーは細く、軽く、低損失、伝送情報量（電話なら1本で5000通話が同時に可能）が多く、漏話がなく、雷などの誘導をも全く受けない夢の通話線です。ニューメディア時代の基礎をなす新素材です。また自由に曲げたり、伸ばしたりすることができるため、今まで見る事ができなかった胃の中、高温度の炉の中など応用範囲がますます広がってきています。

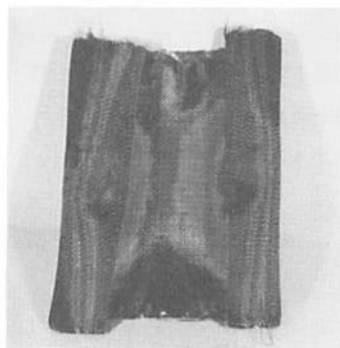
この光ファイバー製品は光通信、胃カメラ、ディスプレイ用など各分野に利用されています。



光ファイバーを応用した光通信ケーブル

7-13-3 炭素ファイバー

繊維状の炭素製品で、炭素質および黒鉛質とに分かれ、それぞれ炭素繊維、黒鉛繊維と呼ばれています。炭素自体が有する耐熱性、耐食性、熱伝導性、電気伝導性などの優れた特性に加えて、繊維としての可撓性、軽量、低密度等の特徴をそなえています。形態はフェルト、チョップ、クロス、ペーパーと多種にわたり、高温用断熱材、複合材などに利用されています。いずれも炭素ファイバー単独の利用は少なく、プラスチックなどとの複合材として応用分野が拡大しています。



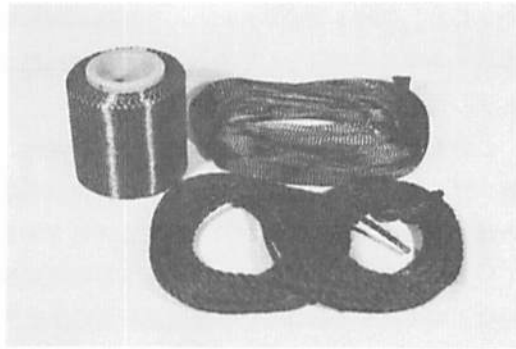
炭素ファイバー製の布

応用品にはラケット、釣竿、バット、弓、ゴルフクラブなど弾性と強度を要求するスポーツ用品に応用され、また軽量と強度を要求する航空機材にも利用されています。

7-13-4 炭化珪素ファイバー

有機珪素ポリマー（ジメチルジクロロシラン等）を紡糸、熱処理することにより得られる連続繊維です。この素材は日本の独創技術で完成されたもので炭化珪素（SiC）アモルファス（非晶質）状態の繊維です。特徴は1250℃の高温大気中において高強度、高耐熱性、高弾性を保持し、炭素ファイバーに比較して高温領域で酸化消耗がありません。

これらの特徴を生かしてスポーツ用品、金属材料との複合化製品、耐熱材料などに応用が図られています。特にSiC-アルミニウムの複合材は超々ジュラルミンに比較して、曲げ強さ1.8倍、引張り強さ1.3倍で約40%の重量低減が可能となり航空機材料、車体材料として期待されています。



炭化珪素ファイバー製品

7-14 酸化物（OXIDE MATERIALS）

金属は基本的に「さびる」欠点を持っています。酸素が21%の地球上でさびない金属は金と白金だけです。このことから粘土、鉱物などの基本組成はSi、Al、K、Na、Mg、Ca、Fe、Cr、Co、Mn、Ni、などの酸化物の複合組成物です。酸化物は、金属元素が酸素元素と反応した物質「金属のもえかす」はいわゆる「灰」なのです。千数百年前に穴窯で焼かれた壺などの肩につくガラス状の付着物質（自然釉）も燃料の薪の「灰」だったのです。更に先端技術ではシラン化合物、金属アルコキシド等の有機合成物からも「灰」を得ています。この方法で非常に純粋に近い金属酸化物等が得られています。時は移ってもセラミックスの原材料の生成法は薪が金属、有機化合物に置き替っただけで一脈通ずるところがあるようです。

昭和56年度生産額別の材料別割合はアルミナ30%以上、フェライト20%前後、その他の酸化物は10%前後になっています。ファインセラミックスの約80%は酸化物が占めています。

7-14-1 酸化珪素（SILICON OXIDE）

天然には純粋な単結晶として水晶がわずかに産出し、多結晶として珪石や珪砂などが大量に産出しています。地球の地殻を構成する成分元素で一番多いのは酸素（O）、ついで珪素（Si）がこれにつづきます。従って酸化珪素（SiO₂）は多くの岩石や鉱物の主要成分を形成し、その量は無尽蔵といえます。しかし、これらのうちセラミックスの原料は珪石、珪砂、長石、粘土などの珪酸塩鉱物を主に使用しています。このため別名「珪酸塩工業」ともいわれていました。特に磁器の基本組成は珪石3、長石3、粘土4の割合で古くから使用されています。

珪石や珪砂はわが国でも大量に埋蔵し、陶磁器の骨格形成材として、あるいは耐火物としてオールドセラミックス分野では不可欠な原料です。更に最近、ファインセラミックスの基礎素材としても、にわかに脚光をあびています。

高純度の珪石を高温で溶かせば不透明なガラスが得られ耐熱性、耐食性があることからシリコン溶融用ルツボ、電気ストーブのヒーターエレメントなどに応用されています。

このガラスを綿菓子状ファイバーとし、おこしのように焼き固めたものが開発され、水の10分の1と軽量で耐熱性、断熱性があることからスペースシャトルの「シリカタイル」に応用されました。

一方、宝石などに利用できない水晶を物理的に再生して、音叉に応用したものがクォーツ時計の発振素子、髪の毛ほどの線に加工したものが「夢の通信線」ともいわれる光ファイバーです。

また、珪石を化学的処理によって SiCl_4 などにして透明シリカガラスを製造する技術(CVD、PVD)が完成し、資源的にも不安がなくなりました。

「古くて新しい素材」酸化珪素の応用品を次に示します。

(1) 不透明石英ガラスの応用品

ルツボ、ピーカー、ヒーターエレメント、フィルター、シリカタイルなど。

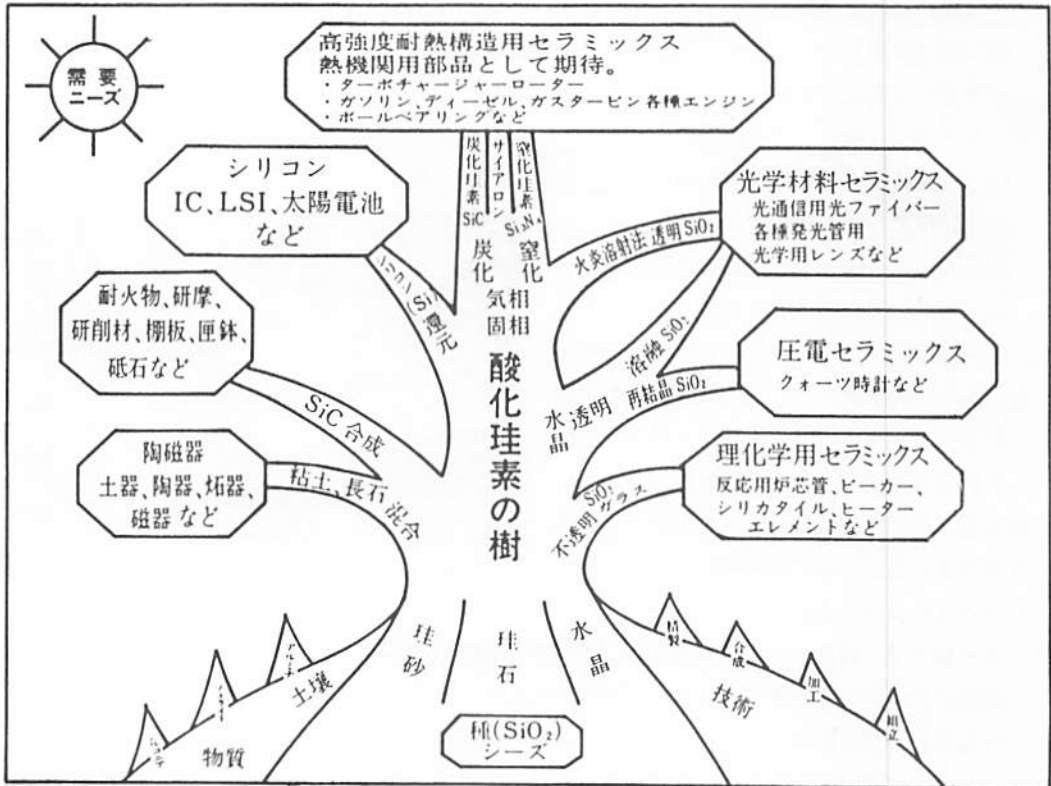
(2) 透明石英ガラスの応用品

クォーツ時計の発振素子、光ファイバー、Naランプ発光管、光学用プリズムなど。

(3) 珪石を主な原料とした素材

陶磁器、水ガラス、シリカゲル、耐火物、炭化珪素、窒化珪素、シリコン、シラン化合物など。

注： SiO_2 は酸化珪素、無水珪酸とも呼ばれ珪石、珪砂、石英（シリカ、クォーツ）、水晶、オパール、メノウ、クリストパライト、珪そう土などの主要成分です。



酸化珪素の樹

この樹は酸化珪素を出発原料とする各種のセラミックスのつくり方と利用分野を図解したものです。セラミックス材料として酸化珪素が貴重でかつ不可欠な資源であることを示しています。

7-14-1-1 石英ガラス (QUARTZ GLASS)

石英ガラスには不透明石英ガラスと透明石英ガラスがあります。

不透明石英ガラスは良質の珪石または珪砂を粉砕し、化学的処理によって精製した $\text{SiO}_2: 99.9\%$ 以上の粉を電気溶融して成形及び加工したものです。透明石英ガラスと異なり、微小な泡を数多く内在しているため、乳白色の外観をしています。透明石英ガラスでは製造不可能な大型品の製造が可能です。各種反応、処理装置の部品として広く利用されています。

一方透明石英ガラスは水晶を利用しているために透明です。高純度、耐熱性、透光性、電気絶縁性などを有しているため、半導体処理用炉芯管などに利用されています。



石英ルツボ

7-14-1-2 スペースシャトルの耐(断)熱タイル

(THERMAL PROTECTION SYSTEM OF SPACE SHUTTLE)

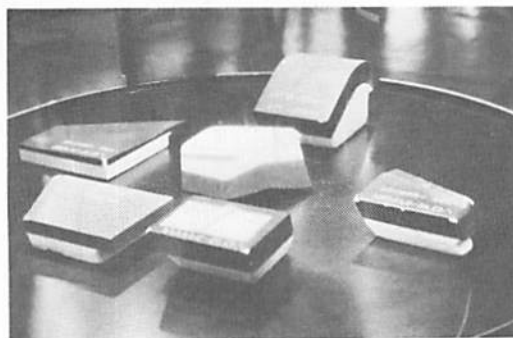
スペースシャトルの帰還時には秒速約 7 km で大気圏に再突入し、その時の最高温度は約 1400°C にも達するといわれています。乗組員とシャトルをこの熱から守る方法として、セラミックスのタイルいわゆる「シリカタイル」が開発されました。約 3 万 1 千枚のタイルのほか、特殊な耐(断)熱材が使われています。特にシリカタイルはシリカファイバーを細かく砕き、コロイダルシリカをボンドとしておこし状に焼結したものです。

主な特徴は次のようです。

- (1) 上昇時と大気圏突入時の約 1400°C の高温に耐え、異状な衝撃波にも耐えること。
- (2) 軽量でしかも断熱性であること。
- (3) 100 回の飛行にも耐えること。
- (4) 日光、雨、風に変化しないこと。

ノーズ部分にはカーボンファイバーを燃えないように特殊加工し、炭化珪素で表面を覆ったセラミックスの複合体が使われています。

これらはセラミックスの耐熱性、断熱性、軽量性、耐候性などの特性を活かすことで実現されました。このため経済的に安く宇宙へ行けるようになりました。



スペースシャトルの耐(断)熱タイル

7-14-2 酸化アルミニウム (ALUMINIUM OXIDE)

通常アルミナと言います。天然に単結晶のルビー、サファイヤーなどとして産出し、上質のものは宝石として珍重されています。

アルミナは化学的に安定で、融点が高く、電気絶縁性、機械的強度、熱伝導性、耐食性などの性質が非常に優れています。結晶形、添加物、粒径などの違いでアルミナ焼結体の性質は大きく異なるため、いろいろな要求に応じられます。いわばファインセラミックスの「万能選手」です。

アルミナのほとんどはボーキサイトを仮焼して得られますが、元来アルミニウム製錬用がほと

んどでした。このアルミニウム製錬は第一次石油ショックで電力コストが上昇し、国内での生産は困難になってきました。このためかどうか確認できませんが、ボーキサイトからセラミックス専用のアルミナを生産するキッカケになったようです。このため多種類のアルミナが大量生産され、しかも安く入手できるようになりました。時はあたかも省エネルギー、公害防止、軽薄短小化へと移行し、アルミナの潜在していた各種の機能性を応用した製品、商品が一気に出現してきました。いわゆるニューセラミック時代の到来を告げたのです。

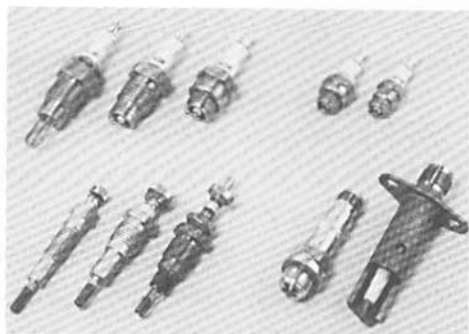
アルミナの応用品には単結晶体（透明）、多結晶体（不透明）又は焼結体の二つがあります。

(1) 単結晶体の応用品（透明）

ルビー、サファイヤ、アレキサンドリア、トパーズなどの合成宝石、レーザー発振素子、人工歯根、ペン先、時計の軸受、カバーガラス、耐熱性窓など。

(2) 多結晶体又は焼結体（不透明）

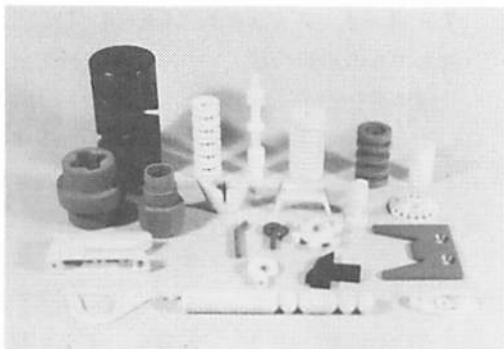
スパークプラグ、IC基板、パッケージ、保護管、糸道、耐火物、研磨材、ルツボ、乳鉢、玉石、釣竿用リング、ハサミ、高圧ナトリウム発光管（例外的に半透明）など。



スパークプラグ



合成ルビー



糸道

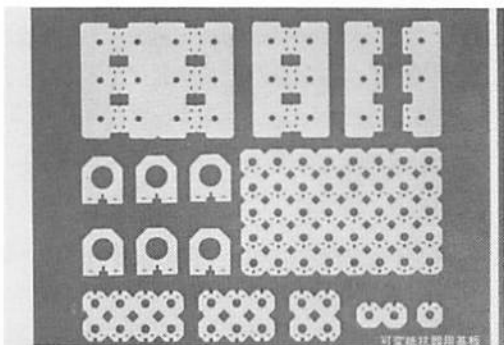


セラミック ハサミ

7-14-2-1 ICアルミナ基板 (IC ALMINA PLATE)

ICは「集積回路」と訳しています。正式には二つ以上の回路素子のすべてが、基板上又は基板内に集積されている回路といわれています。

最近テレビ、ビデオ、時計、コンピューターなどの電子機器に多量に使用されています。このため「産業のコメ」などの別名があるほど



ICアルミナ基板

です。このICを支えているのがアルミナ基板です。自動車用点火プラグと同様にアルミナ基板は大量生産できるアルミナの二大製品ともいえます。

このIC基板は絶縁性、熱伝導性、耐久性、耐薬品性、加工性、更に安価などアルミナセラミックスの特徴を实によく利用したものです。

7-14-3 酸化ジルコニウム (ZIRCONIUM OXIDE)

通常ジルコニアといいます。

このジルコニアは約1000℃で結晶構造の変化(相転移)で約7%の体積変化を伴い、焼成時あるいは冷却時に自己破壊してしまうという欠点があります。この欠点を取り除くためカルシウム、マグネシウム、イットリウム、希土類元素などの酸化物を固溶させて、転移を起こさせないセラミックスが開発されました。つまり安定化ジルコニアと呼ばれるものです。高強度でしかもセラミックスの最大の欠点である「もろさ」を克服し、ねばり強いため「セラミックス・スチール」として話題を呼びました。また酸素イオンの良導体でもあり、金属に近い熱膨脹率であるなど「魔法のセラミックス」と言うべき素材です。炭化珪素、窒化珪素と並んで新素材の三大ファインセラミックスの一つです。



酸素センサー素子

このジルコニアの応用品には耐火レンガ、顔料、コーティング材、酸素センサー、玉石、燃料電池、人工宝石、包丁などがあり、将来的にはセラミックエンジンの本命ともいわれています。

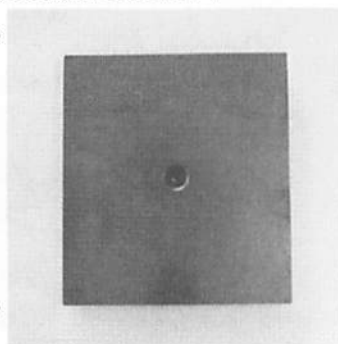
7-14-4 フェライト (FERRITE)

嫌われものの鉄の錆、いわゆる酸化鉄も使いようによっては夢の素材になります。

一般に酸化鉄を主成分とした化学式 $MOFe_2O_3$ (MはMn、Fe、Co、Ni、Mg等)と表わされる一群のセラミックスはフェライトと呼ばれています。古くから実用化されている機能性セラミックスの一つです。

Mn-Zn、Ni-Zn フェライトは軟質(わずかな磁場で磁化する性質)フェライトといわれ、電気抵抗が高く、うず電流損が小さいことからトランスの磁心、磁気記録用ヘッド、録音・録画用テープの記録媒体などに利用されています。一方Ba、Srフェライトは硬質フェライトといわれ、いわゆる永久磁石で、軽くて成形も容易なことからスピーカーなどの音響機器、発電

テレビのゴースト防止用電磁波吸収タイル



機などの電気応用機器の磁場発生源として、又はゴム磁石としてその応用は極めて広い。これらのほかにフェライトは各種センサー、触媒、テレビのゴースト防止用電磁波吸収体(見えない戦闘機も可能)、リニアモーターカーなどますます新しい用途が期待される材料です。

7-15 炭化物 (CARBIDES)

周期律表の遷移元素は炭化物、窒化物、硼化物などを生成しやすい元素集団です。

特殊耐火物、研削砥石の性能向上にめざましいものがあります。特に炭化物は重要な材料で注目されています。代表的な炭化物はSiCで窯炉材料、発熱体、研磨材、セラミックエンジンの部品、TiCは化学的安定が大で炭化物のうちで最も比重が小さいなど炭化物系サーメットとして利

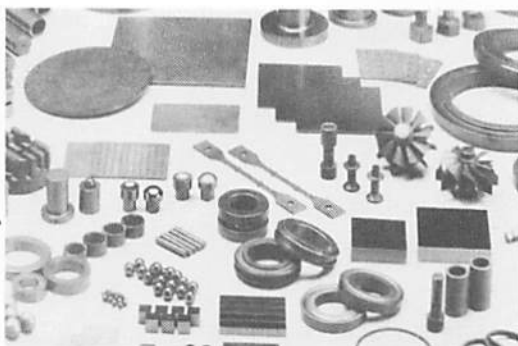
用されています。B₄Cは人造鋳物として硬さ最大ともいわれ、研摩材等に利用されています。

これらのほかにZrC、TiC、HfC、VC、NbC、TaC、Cr₃C₂、Mo₂C、W₂C、WC、ThC、UCなどがあり、いずれも硬度、強度も金属的性質を有し、高い融点を持っています。

7-15-1 炭化珪素 (SILICON CARBIDE)

天然には産出しない材料です。

工業的には珪石とコークスを混ぜ、電気を流して加熱し合成します。1891年アチェソンにより合成され、ダイヤモンドの次に硬く、熱の良導体、耐熱性、耐衝撃性；化学的安定性などの特性を活かして、研削・研摩材、耐火物があり、また半導性を利用して発熱体などにも広く応用されています。



炭化珪素製品

最近、シリコン粉末や有機シリコンなどからの高純度で超微粉末の製造法と成形、焼結、加工技術の進歩によっていろいろな応用品が開発されています。

研削・研摩材、耐火物、発熱体、LSIの基板、コーティング材、太陽電池板、セラミックエンジンの部品のほか複合体にびったりのファイバーをも開発されています。

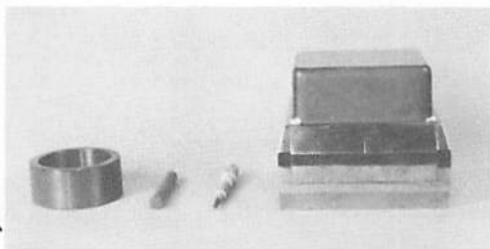
7-16 窒化物 (NITRIDES)

窒化物は炭化物や硼化物と同様に融点が高いので特殊な耐火材料として使用されています。

Si₃N₄、AlN、HfN、TiN、BN……などが知られています。

7-16-1 窒素珪素 (SILICON NITRIDE)

天然には産出しない材料です。一般に珪素粉末と窒素との反応によって合成されます。高純度の粉末を成形して高温加熱しただけでは高密度の焼結体は得られません。このため焼結助剤としてベリリウム、イットリウム、ランタンなどの金属酸化物を少量添加する方法で高密度でしかも高強度、耐熱性、耐食性の材料を得ています。



窒化珪素製品

窒化珪素 (Si₃N₄)は珪化物、窒化物のどちらにも属するような化合物です。特に高温度領域の構造材料として脚光をあびています。またSiCの結合材としても優れています。応用品には耐火物、スラリーポンプ、製鉄用スキッドボタンやローラー、ディーゼルエンジン用グロープラグなどがあります。またセラミックエンジンの主要部品にも応用されそうです。

7-16-1-1 セラミック エンジン (CERAMIC ENGINE)

セラミックエンジンは現在の鉄とアルミを素材にしたエンジンに比べ熱効率がよく、省エネルギーにつながることから「夢のエンジン」として、世界中の自動車、材料メーカー等が競って研究開発を進めています。

セラミックスの特徴は従来から「もろい」欠点があったが珪素と窒素を結合させた窒化珪素を主原料とした素材の開発でもろさの欠点をクリアすることができました。

この窒化珪素は高熱に耐え、しかも熱による変形がほとんどなく、鉄の比重の1/2と軽いなどの

特徴を持っています。この素材でエンジンを作れば

- (1) 燃焼室が高温に保てるため燃焼効率がよく、省燃費が図れます。
- (2) 金属性のエンジンに必要な冷却装置が不要で部品の簡略化が図れます。
- (3) 潤滑油も不要

などの利点があり、車の省燃費化と軽量化のため約80%の省エネルギーが図れるとの計算もあります。

エンジン本体の製作には生産コスト、生産技術、信頼性、保守管理のほか行政的な壁（排ガス規制等）などをクリアしなければなりません。しかしながらエンジンの部品としてターボチャージャーのロータ、ディーゼル用グロープラグ、ピストンのヘッド等に利用が始まっています。

7-16-2 サイアロン (SIALON)

最近、窒化物と酸化物との中間的な組成の酸窒化物系の新しい化合物群が発見され、セラミックの新しい領域が開かれつつあります。その代表的なものは含有元素の頭文字をとって名づけられました。

これは高温高強度材料としては β - Si_3N_4 のSiとNの一部をそれぞれAlとOで置換した β' -SIALONが重要といわれ、性質等はまだまだ十分に明らかにされていません。ホットプレス焼結体はかなりの高強度を示し、耐食性、耐摩耗性なども優れていることが見い出されています。特にセラミックエンジンの部品として注目をあつめています。

7-17 硼化物 (BORIDES)

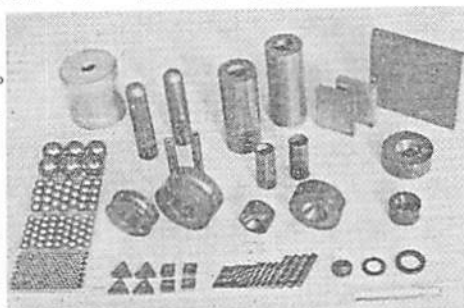
硼素ならびに同化合物のB原子は相互に2、3、5、6などの配位数で結合し、他の元素に見られない特異性を示します。金属硼化物の種類は非常に多くFeB、MnB、CoB、TaB、BN、HfB、HhB₂……などが知られています。いずれも金属的電気伝導性を示し、硼化物は炭化物や窒化物と同様に融点が高いので耐火物としての利用も考えられています。

7-17-1 窒化硼素 (BORON NITRIDE)

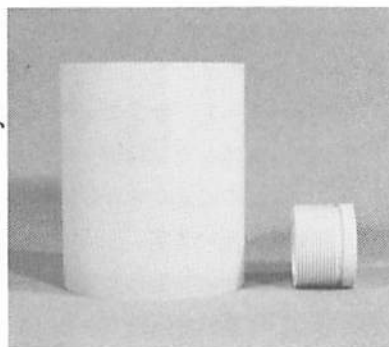
窒化硼素は(BN)は六方晶の層状構造を持った滑かな白色の粉末です。ある種の出発原料から合成した窒化硼素は結晶化の進行が黒鉛と同様です。黒鉛は活性に富み、金属、酸化物と容易に反応し、また電気伝導性を示すのに対し、窒化硼素は電気絶縁性を有し、化学的、熱的に安定で不活性雰囲気では約3000℃まで耐えることができます。また機械加工が容易にできるセラミック材料で、多くの熔融金属やガラスに濡れない性質があります。また黒鉛、二硫化モリブデンと同様固体潤滑性をも示します。



セラミックエンジン試作1号機



サイアロン製品



窒化硼素製品

このような特異な性質を持つためルツボ、バルブ、放熱シート、耐火材、原子炉関係などに使用されています。更に熱伝導度が大きくしかも熱膨脹率が小さいため熱衝撃にも強い特徴を持っています。

7-18 電子セラミックス (ELECTRONIC CERAMICS)

ファインセラミックスを大別すれば構造用セラミックスと電子用セラミックスになります。

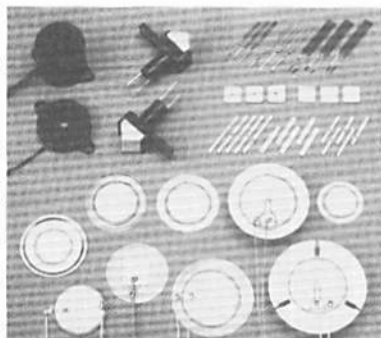
部材別売上総額の 60～70%が電子セラミックスともいわれ非常に大きな市場性を持っています。

1887年、モールスによって電信機が発明され、その電信線の架設に伴ってピン碍子の生産が始まりました。続いて電力の実用が始まり高圧・大電力送電用絶縁碍子の需要が起りセラミックスの電磁気の利用は電子・電気技術の発展にささえられて大きな展開を遂げて今日に至っています。

7-18-1 圧電セラミックス (PIEZOELECTRIC CERAMICS)

物体に電圧を加えると伸び縮みし、逆に物体に力を加えて伸縮させると物体の両端に電圧の生じる性質を圧電性といいます。

圧電体の応用範囲は広く、身近なところからはガス点火の圧電着火素子があります。これは分極方向をそろえた強誘電性セラミックスで作った素子に瞬間的に力を加え変形させると、電流が流れます。材質と形状を選ぶと、発生する電圧差は数万ボルトにも及び、狭いギャップであれば火花を飛ばしガスに火をつけることができます。電子ライターの原理も同じで、いわゆる現代の「火打ち石」です。



圧電セラミックス

圧電体に電圧を加えると伸縮する原理を用いて、振動子が作られています。

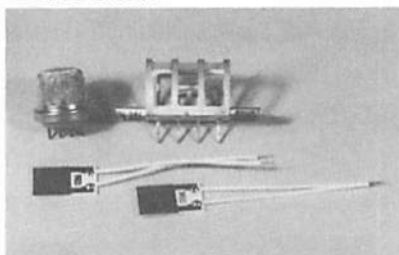
汚れた指輪やメガネを水槽に入れ、この振動子を共振させるときれいに取り除くことができます。これが超音波洗浄器です。この原理を洗濯機に応用すればモーターなどの可動部分のない、したがって騒音の出ない洗濯機が出現するかも知れません。

これとは逆に振動を圧電体で受けとめると交流電圧が発生します。これが超音波検出の原理です。圧電体で発生した超音波は物体によって反射され、これを圧電体で検出することもできます。魚群の探知や母体内の胎児の観察、セラミックスや金属中の異物検出などができます。このほかクォーツ時計、水蒸気発生器、水中マイクロホン、ブザーなどの振動子としても応用されています。

7-18-2 セラミックセンサー (CERAMIC SENSORS)

コンピューターが人間の頭脳に相当するとすれば、センサーは人間の感覚器官（目、耳、鼻、舌、皮膚など）に相当し、人工の器官といえます。

私たちの身のまわりには電子体温計、電子血圧計、ガスもれ検出器、火災警報器などいろいろな商品が売られています。人間の感覚器官は温度、湿度、ガス、光、振動、位置、圧力などは感じる



セラミックセンサー

ことができますが、数量化（デジタル）することができません。セラミックセンサーはこれらの状態の変化の程度を電気信号に変えてデジタル的に人間に知らせてくれます。

超音波、放射線、磁気など人間の感覚器官ではとらえられないものも感じることができます。逆に、味覚や嗅覚など人間には感じるものでも、今のところそれらに有効に感じるセンサーのない場合もあります。コンピューターとセンサーを有機的に結合し、あるプログラムに従って稼働しているのが自動車産業などで大活躍しているロボットや財産、生命の安全を確保してくれる防災・安全システムです。

7-19 セラミックスの温故知新 (CARRYING KNOWLEDGE INTO NEW FIELD OF CERAMICS)

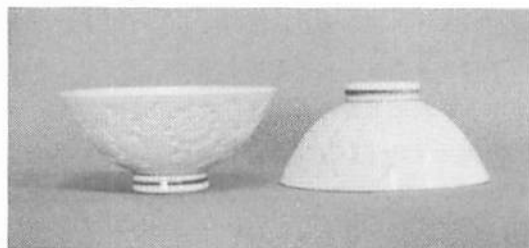
ファインセラミックス製造の技術は当然ながらオールドセラミックスの商品にも大きな影響を与えます。

世界一白い磁器は不純物のほとんどないニュージーランドカオリンを使いこなすことによって生まれました。また強度が2倍以上といわれるアルミナ添加の飯茶碗などがあります。メロディカップは太陽電池、圧電セラミックス、ICチップの部品と磁器の透光性を応用したもので組み合せの技術といえます。また建材のタイルも新機能を持ったものが開発され注目を集めています。例えば蛍光を出すタイル、金属メッキのタイル、電気を通すタイル、電波を吸収するタイル、騒音を吸収するタイルなどがあります。

一つの新技术が従来の商品を更に付加価値を高めたり、複合化、改質化などによって生れかわります。いわゆる新技术の波及によってセラミックスの多様化と機能化が図られ生まれかわります。

7-19-1 世界一の白磁 (WHITE PORCELAIN)

磁器は白いことがあたりまえですが、最近ニュージーランドカオリンの使用によって世界一白い磁器が開発されました。ボンチャイナの白色度83~86%、一般磁器は60~70%、白磁は極限に近い92~93%もあります。



世界一の白磁

従来、カオリンは化粧品、製紙の漂白剤に使われているもので陶磁器の可塑性原料として

使いにくく、コストも上がるなどの困難さがありました。不純物の少ない原料、配合、成形性、焼成方法等の工夫をかさね世界一の白色度とともに透光度、強度も兼ねそなえた磁器が完成されました。このように磁器の歴史は「白色度と透明度の追求」にありといっても過言ではありません。

これは原料の厳選によって完成されたものです。

7-19-2 学校給食用食器の開発 (DEVELOPMENT OF MEAL SERVICE)

学校給食用食器として、20数年来アルマイトの食器が使用されてきました。また集団食器用としてはメラミン食器、強化ガラス、ステンレス食器があります。陶磁器製品は「われる」ためにその使用に限界がありました。

そこでファインセラミックスの原料として注目されているアルミナを添加した食器が開発されました。曲げ強さ 1800kgf/cm^2 もあり、従来の磁器の2~3倍もあり、自動食器洗浄機、スチーム殺菌などの使用にも十分耐え、積み重ねや収納にも便利な形状です。



学校給食用食器

金属食器の欠点は熱いスープの場合は手に持つ事が出来ない

ため「犬ぐい」の姿勢になったり、粗雑に取り扱うなどがありました。

この食器の使用によって物の大切さとともに食事のマナーが改善され、更に本来の目的である食事のおいしさも加味されると思います。また情操教育の上からも注目される食器です。

7-19-3 合成雲母を用いた金彩、銀彩 (GOLDEN, SILVER BY SYNTHETIC MICA)

金彩、銀彩をほどこした陶磁器は、高級品として消費者に喜ばれていますが、貴金属に使われるため高価になるのが悩みです。

従来からこれに代るものとして、天然の金雲母や白雲母を用いた上絵具が開発されていますが、絵具の発色が悪く、光沢や密着性にも乏しく、広く実用化されるまでにはなっていませんでした。

この製品はこうした従来の欠点を改善したもので、天然産に代って、合成フッ素金雲母や合成フッ素白雲母を使い、工夫された媒溶剤と助剤を適量加えた上絵具が用いられています。この上絵具はすでに実用化されており、普通の上絵具との混合使用によっても一味変わった絵付もできます。

オールドセラミックスにファインセラミックスを応用した典型的なものとして注目されます。

7-19-4 螢光タイル (FLUORESCENT TILES)

陶磁器には難かしいとされていた蓄光螢光釉薬が開発され、この釉薬を使った陶製タイルが試作されました。

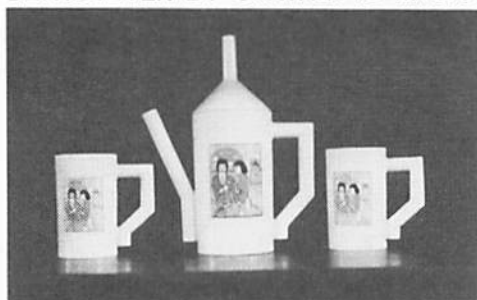
釉薬は珪酸、硼酸、石灰、酸化亜鉛などの成分からなっており、これに螢光体を混ぜたものですが、これまでは焼成温度が700℃以上になると螢光体が酸化分解して消滅、製品の表面がくずれてしまい、製品化は困難とされていました。しかし焼成段階で螢光体の酸化分解という問題を原料の調整、焼成方法の改善などで克服しました。

太陽光線や電灯の光を1~2秒当てるだけで、螢光釉薬が発光、約12分間持続します。

セラミックスの特質である耐熱性、耐摩耗性、耐候性と螢光性を持ち合わせたタイルはトンネル内の壁面表示、道路標識、誘導標示、店内のインテリアなど多方面への利用が考えられます。まだコストも10cmのタイル1枚で200円と試算され、一般のタイルの二倍ですが、量産すればかなり安くなるようです。

7-19-5 太陽電池付ガラス瓦 (GLASS ROOFING TILE OF SOLAR CELL)

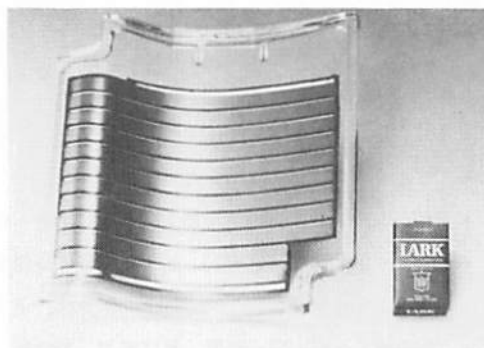
太陽電池付ガラス瓦はガラス瓦の裏面に可撓性の大面積型アモルファス太陽電池を組み合わせたもの。すでに太陽電池は電卓や時計などに実用化さ



合成雲母を用いた金彩、銀彩



螢光タイル



太陽電池付ガラス瓦

れていますがこの瓦の開発のポイントは複雑な曲面を持つ和型瓦のような曲面基板上へ均一に太陽電池を形成させた点です。このためスレート形状のものなどにも十分対応でき市場はひらけるものと思われます。

太陽電池の上には金属電極を取り付け、他の瓦とはコネクタで簡単に接続されます。

この瓦の出力は2W/枚、試算では、一般家庭の昼間の電力使用量 2.7 KWをまかなうには約500枚が必要で、量産時点の価格では100万円以内で設置できるという。ちなみに2～3年後の商品化時点で1枚2000～2500円が見込まれていて新技術と従来の商品の組み合わせの見本ともいえます。

おわりに

古くて新しい素材「セラミックス」は時代と共に進化しています。土器、炆器、陶器、磁器、ファイン（ニュー）セラミックスへとステップ・バイ・ステップで新しい素材を開発し、よりよい商品をつくりあげてきました。これからも古陶磁などは我々の歴史を語る「タイム・カプセル」、陶芸など美的感覚に訴える「文化」、機器の道具の「文明の利器」、人間の感覚を超える「知能素材」として今後も大きく成長していくと思われます。

ファインセラミックスなどの新素材開発がはなやかな時こそ、明日への指針として原点と素材の変遷をふりかえってみる必要があります。

一般的にセラミックスのライフサイクルは開発の初期には実用性が重要視され、経済性、装飾性から遊び心が加味されます。次に金属、プラスチックなどの他の素材との組み合わせで再び活路を見出します。このころには次世代のセラミックスが成長してきます。現在のファインセラミックスがこれに相当します。

このファインセラミックスの一部は金属、プラスチックの機能を越えますが、大部分は金属、プラスチックと共存、共栄が図られ前記したライフサイクルの道を辿ると思われます。一方、セラミックスのルーツといわれる土器は一万年前から「水を吸う」などの物理的、化学的性質はほとんど変わらず現在も植木鉢、瓦、赤レンガなどに变身して適材適所で使われています。同様に炆器、陶器、磁器も社会や生活の変化にも適応し、消え去ることなく生産されています。このようにセラミックスは古代から現代までの生活、社会の中にスムーズに受け入れることのできる唯一の素材としても注目に値します。これらのことからセラミックスの発達は昨日の経験と実績があって今日があり、明日へと続きます。いわゆる古きをたずねて新しきを知る「温故知新」又は新しきを知るにより古きをより理解することができます。

参考文献等

- ・『セラミックス化学』：社団法人窯業協会
- ・『セラミックス』：社団法人窯業協会
- ・『わかりやすい工業用陶磁器』：素木洋一著 技報堂
- ・『セラミックスの科学史』：素木洋一著 技報堂
- ・『セラミックス外論(1), (2), (3)』：素木洋一著 社団法人窯業協会
- ・『陶磁器』：宮川愛一郎著 共立出版
- ・『セラミックスの基礎』：橋本謙一、浜野健也共著 共立出版

- 『セラミックスを知る事典』：作花済夫著 マグネ
- 『ファイン・セラミックス』：柳田博明著 講談社
- 『セラミックス革命』：三戸節雄著 PHP 研究所
- 『新素材革命』：日本経済新聞社
- 『ファインセラミックス読本』：一ノ瀬昇著 オーム社
- 『窯業工学ハンドブック』：窯業協会 技報堂
- 『セラミックスの実際知識』：素木洋一著 東洋経済
- 『ガラス工学』：成瀬省著 共立出版
- 『セラミックス手帳』：素木洋一著 技報堂
- 『ニューセラミックス』：中部科学技術センター編 通商産業調査会
- 『電子セラミックス』：ヘンリー著 東京化学同人
- 『アドバンスセラミックス』：宗宮重行編 講談社
- 『新材料（ファインセラミックス）利用技術に関する研究』：中小企業事業団
- 『ニューセラミックス技術適応フィジビリティ調査』：総合技研㈱
- 『セラミックスガイドブック』：田賀井秀夫著 共立出版
- 『セラミックスの化学』：柳田博明編 丸善
- 『ニューセラミックスの時代』：斉藤進六編 工業調査会
- 『スペースシャトルの科学』：新田慶治著 講談社
- 『機能性セラミックスの設計』：日本化学会編 学会出版センター
- 『化学と工業（やきものからニューセラミックスへ）』：日本化学会
- 『先端技術を支える新しいセラミックス』：工業材料
- 『先端技術を支える新素材百科』：日刊工業新聞社
- 『セラミックスの機械的性質』：窯業協会
- 『セラミックスの化学（現象から原理へ）』：窯業協会
- 『日本の科学と技術』：日本科学技術振興財団
- 『自動化技術（ニューセラミックス入門）』：坂野久夫著
- 『セラミックスセンサー』：柳田博明著 講談社

これらのほか新聞、雑誌、講演集、カタログ等を参考にいたしました。