

セラミックス

—新たな展開—

名古屋大学 平野 眞一

Shin-ichi Hirano
Professor, Faculty of Engineering, Nagoya University

素材としてのセラミックスが、本来有している優れた機能と特性により、ハイテク産業の担い手の一つとして、産業の活性化と高度化をもたらしてきている。セラミックスが脚光を浴びるようになった第一の理由は、セラミックスがオイルショック以後の日本の産業構造の変革の方向にマッチできる省エネルギー関連材料として応用できることや、通信・情報処理システム等に必要な機能を有していることである。第二の理由は、素材として求められる特性を具視できる原料資源が、かなり普遍的に埋蔵されていること、第三に、原料の精製、合成技術を含めた材料科学・技術の進歩によって、物質がもっている性質を材料として十分に引き出すことができるようになってきたことである。

産業形態

第1図にセラミックスの総合的製品体系を示す。セラミックスは、板ガラスやセメントを除いて用途別に焼結加工した成形製品として商品化されるので、棒、塊状体、板の形で加工メーカーに供給される鉄鋼などの素材とは異なり、部材として生産されるのが特徴である。ファインセラミックスは、高温高強度、耐蝕性および電磁気・光学特性などに優れた特長があり、主に先端技術分野で利用されているキーマテリアルの一つとなっている。その応用範囲は、熱的・機械的に優れた性質を利用する耐熱材、耐摩耗材、工具、機械部品などの構造材料として、また電磁氣的機能を利用したセンサ、ヒーター、コンデンサ素子、圧電素子、ICパッケージ、点火プラグ、光学的機能を利用した光ファイバー、レーザ発振素子、さらに生物・化学的機能を利用した人工骨、人工歯、触媒、分離膜などの機能材料ともども利用分野、需要とも年々増大し、益々重要度を増しつつある。

ファインセラミックスは、特に、部材が成形製品として要求されるために、ニーズに応じた部品化作業すなわち多品種の製品が必要となる。かつ、各製品の用途が特化されることから、同一品種の生産量は相対的に少量であり、要求に応じた生産プロセスの切り換えなど、コスト増を抑制しながら多品種少量生産を合理的に行いうる知識集約型の生産体制が求められている。

開発動向

①構造用セラミックス

ファインセラミックスは、ターボチャージャー、渦流室、バルブなど自動車をはじめとする熱機関、産業機器用を中心に、省エネルギーや環境保全、あるいは、航空・宇宙、原子力用などの重要な先端技術に不可欠な材料となっている。特に、最近、ディーゼルエンジンの排気ガス対策が緊要となっているが、その主たるものは(1)NOxの低減、(2)パティキュレート(すす)の低減である。燃料とその燃焼の改善及び触媒の開発と併行して、後処理としてのパティキュレートの濾過または捕集用のセラミックフィルタの開発が進められている。この要求に対応して開発されたセラミック多孔体が実用レベルに達しつつあり、ガソリン車用のハニカム形排ガス触媒担体に続いて世界的に普及の兆しを見せている。この触媒担体としてのハニカム形セラミックスについては、現用の壁厚さを半分にする技術開発が緊要となっている。

構造用材料としてファインセラミックスが大きく飛躍するためには、未だ解決されなければならない課題は多い。更なる強

度や靱性の向上、脆さの克服と破壊確率を下げて信頼性を向上させることが何よりも重要な課題である。同時に、商業的に広く利用されるためには、製品コストの低減をはからねばならない。

②機能性セラミックス

現在、機能性セラミックスはファインセラミックスの総売り上げの約70%を占めている。今後は、情報機器の高機能化、小型化の要求に応えるため、セラミックス素子の高集積化がより一層促進されてゆくと思われる。また、一方、光情報処理・通信の進展にともなって、光変調、光交換などの光機能セラミックス素子の開発研究が進められており、将来は、より高機能なマイクロオプトエレクトロニクスデバイスとして実現するであろう。

誘電性セラミックス材料は、セラミックコンデンサやマイクロ波帯用誘電体として実用化されており、我が国は生産額で世界をリードしている。今後とも重要な電子部品として市場は拡大するであろう。特に、セラミックコンデンサにおいては、小型・高性能化の要求が一段と厳しくなり、特性の良いセラミックスの開発と積層化、低コスト化が一層進むであろう。積層コンデンサにおいては、セラミック誘導体層の厚さが1~2 μm となるような材料開発が求められている。また、最近、マイクロ波を用いた衛星通信、移動体通信の発展はめざましいが、今後更に、より高い周波数で機能の高いマイクロ波用誘電体材料の開発が必要となる。

圧電性セラミックスは、セラミックフィルター、圧電アクチュエータ、発振子、圧電スピーカー、プザー、ハイドロフォン、センサ、着火素子など日常生活に欠かせない材料として応用されている。積層型圧電体は、圧電アクチュエータとして、高速変位素子、微動変位素子、圧力発生素子として利用されている。この変位素子は、プリンタヘッドやカメラのオートズーム、シャッターとして、さらに新しい応用分野を拓いて行くであろう。

伝導性セラミックは、各種の機能性材料として用途が拡大している。特に、環境問題、省エネルギーの観点から、燃料電池、電力貯蔵用および自動車用二次電池あるいはガスセンサとしてのイオン伝導セラミックスの開発が進んでおり、一部実用化もされている。20年以上かけて開発研究が地道に続けられているナトリウム-硫黄電池用 β -アルミナに加えて、体積当たりのエネルギー密度の高いリチウム二次電池の開発が盛んになっている。電子機器の小型化、携帯性付与のために電池に対しても小型高性能化が要求されている。さらに、電気自動車用としての容量の大きな信頼性の高いリチウム電池の開発が緊要となっている。

セラミックフィルターは、セラミック多孔体による濾過・濃縮・酸素固定に優れていたが、最近さらに浄水処理、下水高度処理への応用が注目されている。セラミック膜フィルターの適用は、これまでの砂濾過による水処理法に比べ、水質の安定化、省スペース、施設の維持管理の容易さから多くの利点を有しており、光触媒機能の付与、また細孔制御による分子認識機能の付与によって今後のセラミックスの市場形成に大きく寄与すると考える。

さらに、セラミックスは生体親和性が良好であり、骨や歯の代替材料として研究開発が進んでいる。高齢化社会を迎えるにあたって、生体活性セラミックスの必要性は一層増してきている。

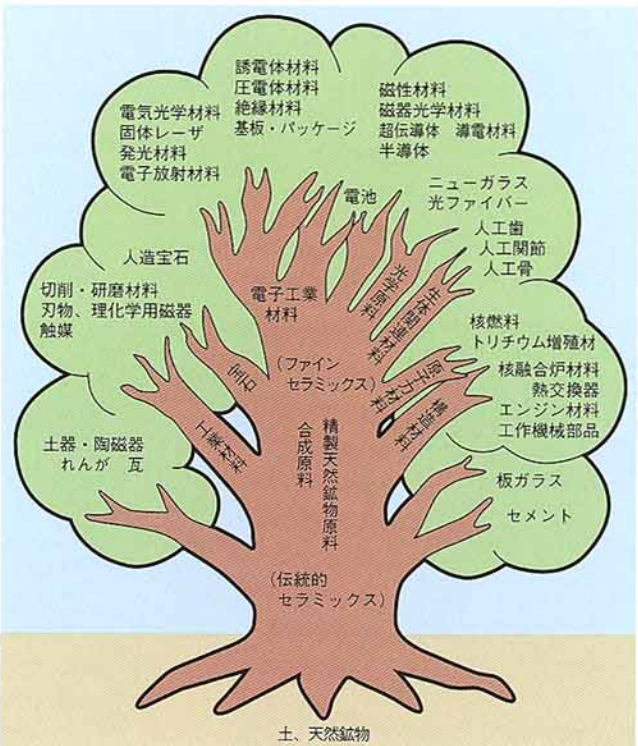
自然界から学ぶ

最近、ヒザラガイ類の貝の歯、ミツバチ、走磁性細菌、伝書バト、イルカ、サケなどの多くの生体中に磁性マグネタイト (Fe_3O_4) 微粒子が見つかった。これらの磁性微粒子は、生物の行動に強く関与していることが知られている。

生体中における粒子の合成で巧妙なのは、形と大きさの制御である。走磁性細菌中のマグネタイト粒子は、磁気特性からみて必要な500Å程度の大きさの角柱状単結晶粒子であり、単一磁区構造に適した形と大きさをとって小胞中に生成している。

生体系での粒子の生成は、その他にも多くみられる。例えば、真珠におけるアラゴナイト ($CaCO_3$) 層の析出とその積層構造も見事であり、魅せられる。アラゴナイト粒子の交互の積層構造とその境界相となっている有機質層との複合体は、セラミックスとポリマーとのコンポジット化における微構造制御のあり方を示唆しているようである。また、人体における結石にも関係しているアパタイト粒子の析出など興味深い現象が多い。最近、筆者の研究室では、微粒結晶粒子と有機質とのハイブリット体の室温付近の温度での合成が可能となってきた。

このような生体系における微粒子の生成機構を解明し、人工的にそのプロセスを模倣することによって、工業的規模でのセ



第1図 セラミックスの総合的製品体系

ラミックスの製造法 (Biomimetic Ceramic Processing) とし て展開する研究を進めることは興味あることである。

古代人が道具または治具として用いた石器の中に、鋭利な刃や矢先となるが脆いもの、又は、それらを加工したりまた打器として使われた靱性の高いものが生活の知恵として活かされている。セラミックの脆さを克服する方法として複合化が研究されているが、地球という大きな窯の中で焼き上げられた自然石の微細組織からも教えられることは多い。貝殻の見事なまでの多層構造や、芸術品とも思われる理想的な組織をもつ骨などの天然物の組織が、セラミックスの機能発現のための微構造制御の方向を示唆してくれている。

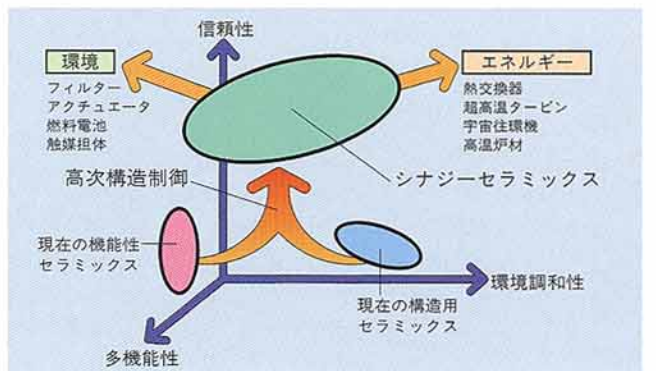
筆者は、この組織を模倣して、in-situに微構造を制御する有効なセラミックプロセス法を探求している。最近、焼結中に板状のライタンβ-アルミネートをジルコニアマトリックス中に成長させ、同時に微粒のアルミナを高分散した高強度・高靱性組織を得ることができるようになった。同様に、誘電性、圧電性または磁性結晶をセラミックマトリックス中に成長させ、機械的性質の改善とともに、使用される応力場に応じた信号を息遣いのように外部に出力するセンシング機能を有したセラミックスが生まれようとしている。

複数の機能の同時発現が困難な従来の単一階層の構造制御に対して、構成要素の形態・分布を複数の大きさの階層にまたがって同時に制御する「高次構造制御」によって、他の材料では発現が困難な様々な機能の高度な共生や機能間の相乗効果、すなわちシナジー (Synergy) 効果が期待できる。このような材料の創製を目指した国家プロジェクトが平成6年度から始まっており、第2図に示すような波及効果が期待されている。

おわりに

不況下においても生産高が伸びている製品からみてわかるように、バブル経済が崩壊した今日において何よりも必要なことは、ファインセラミックスの先導的・独創的な研究開発を今まで以上に重視し、かつ辛抱強く育てていくことと思われる。このような時期に、国家プロジェクトとして「シナジーセラミックス」プロジェクトが始まり、また我が国がファインセラミックスに関する先取り標準化の国際委員会の幹事国として貢献するようになってきたことは喜ばしい。

21世紀を目前に控え、自動車、エネルギー、情報・通信、バイオテクノロジーなど、先端産業においては力強い技術革新が進められており、その中でファインセラミックスが重要な役割を担う基盤材料として注目されている。特に、ファインセラミックスは、従来からの用途に加えて、地球環境保全、省エネルギー、クリーンエネルギー創生、排ガス浄化、水処理、生活の快適性、安全性などへのキー材料としての展開が可能であり、地球と人に優しく共生を図る先端技術材料として今まで以上の貢献が期待されている。



第2図 シナジーセラミックスとその広がり