

セラミックス基礎工学講座シリーズ 3

# セラミックスの製造プロセス

——粉末調整と成形——

CERAMIC PROCESSING  
——POWDER PREPARATION AND FORMING——



社団法人 日本セラミックス協会

## セラミックス基礎工学講座小委員会

委員長

戸田 堯三 株式会社日立製作所生産技術研究所

委員

一ノ瀬 昇 株式会社東芝照明事業部

岡本 明 TDK株式会社セラミック研究部

尾崎 義治 成蹊大学工学部工業化学科

北澤 宏一 東京大学工学部物理工学科

水谷 惟恭 東京工業大学工学部無機材料工学科

渡辺 信彦 東陶機器株式会社研究所

## 本講座の執筆担当者

一ノ瀬 昇 株式会社東芝照明事業部

井上 圭吉 京都工芸繊維大学工芸学部無機材料工学科

色川 秀勇 日本碍子株式会社研究所

今川 宏 株式会社東芝総合研究所

植松 敬三 東京工業大学工学部無機材料工学科

大津賀 望 東京工業大学工学部無機材料工学科

岡本 明 TDK株式会社セラミック研究部

奥田 進 京都工芸繊維大学工芸学部無機材料工学科；現在，関西女子芸術短期大学

梅田 夏雄 日本化学陶業株式会社

尾崎 義治 成蹊大学工学部工業化学科

嵐間 聡一 昭和軽金属株式会社

北澤 宏一 東京大学工学部物理工学科

斎藤 勝義 京都市工業試験所

澤田 豊 株式会社豊田中央研究所

田崎 潤三 工業技術院名古屋工業技術試験所

角田 光雄 株式会社日立製作所中央研究所；現在，日立化成株式会社茨城研究所

戸田 堯三 株式会社日立製作所生産技術研究所

長尾 高明 東京大学工学部産業機械工学科

丹羽 紘一 株式会社富士通研究所厚木研究所

林 剛 東京工業大学工学部無機材料工学科

松永 秀樹 株式会社東芝総合研究所

御影 猛 日本化学陶業株式会社技術開発部

水谷 惟恭 東京工業大学工学部無機材料工学科

三田村 孝 埼玉大学工学部工業化学科

三原 敏弘 松下電器産業株式会社材料研究所

山口 賢治 理化学研究所；現在，北海道大学工学部応用化学科

山口 喬 慶応義塾大学理工学部応用化学科

山本 博孝 TDK株式会社開発研究所

渡辺 信彦 東陶機器株式会社研究所

# セラミックスの製造プロセス

—粉末調製と成形—

## 刊行にあたって

近年、社会が高度し、さらに先進国に対する開発途上国の急迫が激しくなるにつれ、従来先進諸国の経済を支えてきた基盤素材産業に大きなかげりが見えてきた。これは、いわゆる構造不況と呼ばれるもので、欧米諸国や日本における金属、繊維、窯業などの産業の停滞が著しい。図1はその一例として、繊維産業の多角化状況(昭和59年3月期)を示したものである<sup>1)</sup>。各企業の表看板である繊維部門が大幅に後退し、非繊維製品がこれらの企業を支えており、しかも後者の利益率が前者よりもはるかに大きい。

このような製品構造の変革に対応するために、特に製品の高附加価値化が叫ばれている。資源小国である我が国では、豊富な資源をもつ開発途上国からの素材輸出攻勢に耐えられないほどの状況に至っていると言われている。そこで、製品の附加価値を上げる手段として、複数の材料を組み合せたり、従来よりも高度な技術による生産方式が採られるようになってきた。家庭電気機器がその好例である。しかし、ここで用いられた技術も開発途上国にそれを明け渡すような段階になっている。

図2は、現在我々の身の廻りにある製品を単位重量当たりの価格で比較したもので、図の左側はグラム当たり、右側はキログラム当たりの価格である。重量や

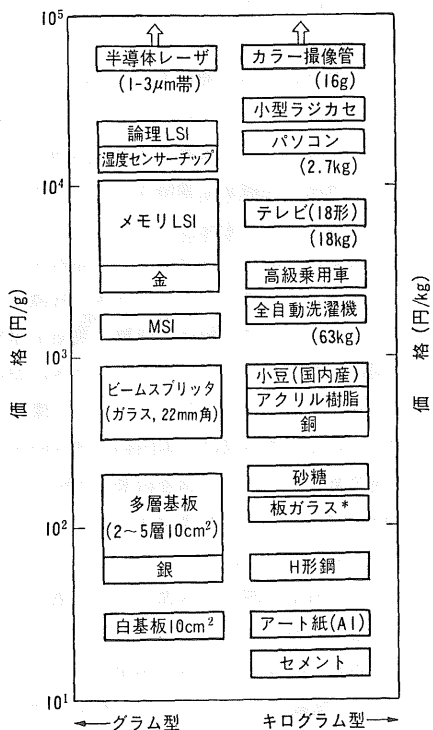


図2 価格/重量比による製品比較 (59年6月現在)

(\* 板ガラス1次製品; 通産省工業統計年報による)

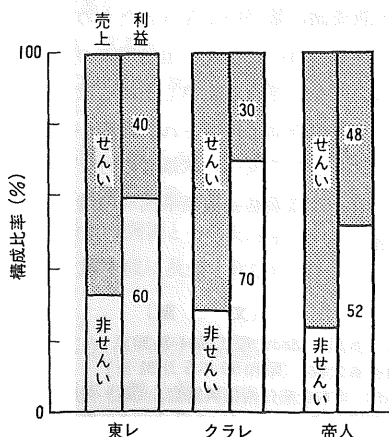


図1 主な繊維企業の多角化経営<sup>1)</sup> (59年3月期)

価格の数値は、製品の種類やメーカーによって多少異なるが、縦軸を対数目盛で表してあるので、ほぼこの範囲内にある(金属類、食品の価格は、昭和59年6月の市中相場)。図の右上に位置する製品はグラム型(パソコンは22円/g、カラー撮像管は2800円/g)に、半導体レーザーはmg型(~1000万円/mg)がそれ以上に分類した方が適切かも知れない。

この図において、kg型製品は前述した従来の附加価値化技術によるものであり、g型製品は高度に集積化された革新的技術によるものである。kg型からg型産業への移行に伴って、製品の生産方式は一変し、極めて高度に制御された技術が使われることはもち論、我々が中学校で教わったような工業の立地条件さえも大きく変わる。例えば、少数の人間が、多量の循

環された水を使い、わずかなスペースで作った製品は、小型自動車やアタッシュケースで運搬される。

以上のような、世界的規模での経済、工業変革の流れを考えると、今後、日本の工業技術は、開発途上国の追従を超える高度なものでなければならないと言えよう。図1の繊維産業のみならず、最近の日本における種々の基幹産業部門が、新素材としてのファインセラミックスに乗り出してきているのは<sup>2)</sup>、このような背景を端的に物語っている。

周知のように、セラミックスのほとんどは粉末を原料とし、これを固相状態で焼結することによって種々の機能をもつ製品が作られている。それ故、本書第七章で力説しているように、出発となる原料粉末の性質が最終製品の機能（歩留り、価格を含む）を大きく支配することになる。したがって、セラミックスが革新的な素材となるためには、セラミックス原料を抜きにしてはあり得ないし、またセラミックスの特徴を活かすためには、セラミックス粉体の成形、焼結も原料と不可分の関係にある。しかし、セラミックスにおける粉末調製や成形では、表1, 2に示すように種々の問題が山積している。この表は、国内約120社のセラミックス関連企業のアンケート調査結果<sup>3)</sup>である。これらの問題は一朝一夕にして解決できるものではなく、粉末調製から成形、焼結に至るプロセスをできるだけ定量化し、科学的態度で取扱うことの重要性を示していると思われる。

本書は、昭和56年4月から3年間にわたってセラミックス誌に掲載された「セラミックス基礎工学講座」をまとめたものである。その意図する点は、粉末

表2 成形方法とその問題点数<sup>3)</sup>

加工法	問題点の数(件)	%
プレス	402	32.0
鋳込法	164	13.1
溶融法	27	2.2
押出法	70	5.6
ラバープレス法	224	17.8
ホットプレス法	51	4.1
テープ法	190	15.1
射出成形法	72	5.7
その他	55	4.4
計	1253	10.00

調製や成形プロセスの重要性を認識すると共に、セラミックスがこれからの新素材として活躍する上で必要とされる基本的なプロセス科学を理解することにある。セラミックスが、図2に示したg型に変革するためには科学的アプローチを重視したプロセス制御技術の開発が望まれる。例えば、本書で述べてある粉体生成メカニズムの解明、粒子の結晶性、粒子径や分布、凝集粒子などの厳密な制御や、成形時の粉体挙動、泥漿のレオロジー、粉体や成形体の評価技術など、いずれもセラミックスのプロセス科学を確立する上で不可欠の基本課題である。

さらに、分散剤やバインダー、可塑剤などの有機材料及び成形や加工における金属材料などとの結合も一段と深めなければならない。このような観点から、本書ではなるべく従来の概念にとらわれずにセラミックプロセスの基本について述べたつもりである。したがって、未だ学問的に解明されていない事項の記述も少なくないと思われるが、これからの新しい方向を開拓するという立場で話を進めた。表1, 2に示した問題点の解決がセラミックス技術者、研究者の夢であり、本書がその緒となることを期待したい。

終わりに、本書の刊行は、セラミックス誌読者からの強い出版要請に基づいてなされたものであり、これを快く支援して頂いた会長、担当理事の方々、及び編集委員会の方々に厚く感謝申し上げる次第である。

また、本書の各章を担当され、講座小委員会からの注文にも快く応じて頂いた執筆者の方々、および終始お世話を頂いた窯業協会編集事務局の清水正秀氏に心から感謝いたします。

【文 献】

- 1) 毎日新聞, 38839号(1984-5-30)
- 2) 通産省公報, (昭和59年5月31日)
- 3) (財)日本産業技術振興協会, (財)先端加工機械技術振興協会編, “ファインセラミックス製造に係る機器の開発・利用に関する調査研究”, (1984-3) p. 46.

(セラミックス編集委員会講座小委員会)

表1 セラミック原料の製造、処理における問題点<sup>3)</sup>

処 理	問 題 点 項 目	
	非常に問題あり	問題あり
粉 砕	○微粒子化	○化学組成の均一性
	○粒子径、分布の制御	○粒形の制御
	○不純物の混入	
混 合	○粒子の凝集	○化学組成の均一性
	○不純物の混入	
	○高純度化	
分 級	○不純物の混入	○生産性
	○分級精度	○製造工程におけるモニタリング
	○処 理 量	
造 粒	○粒子径、分布の制御	○不純物の混入
	○造粒粒子の高密度化	○処 理 量
	○装置の保守、清掃	
	○製品の歩留り	

## 目 次

「セラミックスの製造プロセス」刊行にあたって.....	i
序 論 (講座小委員会) .....	1
1. はじめに.....	1
2. 粉体および成形プロセスでの考慮 .....	
	要因 .....
	文 献.....
	2
	5
	8
	16
	16
	16
[粉末調整編]	
I. 粉末調製序論 (水谷惟恭) .....	6
1. 粉 体.....	6
2. 表面エネルギー .....	6
3. 微粒子の性質 .....	8
4. 粒子の集合.....	10
5. 粉体の粒度.....	11
6. 粉体の充てん.....	12
7. セラミックス用原料粉末.....	14
8. セラミックス原料粉末の調製.....	15
9. おわりに.....	16
	文 献.....
	16
II. 液体からの粉末調製 .....	17
II. 1 沈澱生成の基礎 (尾崎義治) .....	17
1.1 はじめに.....	17
1.2 沈澱の生成.....	18
1.3 沈澱結晶の形.....	20
1.4 粒子の凝結.....	20
1.5 沈澱の熟成.....	22
文 献.....	23
II. 2 化学平衡を利用する沈澱生成 (尾崎義治).....	23
2.1 はじめに.....	23
2.2 溶解度平衡.....	24
2.3 沈澱生成反応への溶解度積の利用.....	24
2.4 均一沈澱法.....	26
2.5 沈澱の化学量論性と純度.....	27
文 献.....	28
II. 3 沈澱生成におよぼす諸条件と共沈 (水谷惟恭) .....	28
3.1 粉末の調製と分析化学.....	28
3.2 沈澱生成に及ぼす化学的な因子.....	28
3.3 沈澱の生成に及ぼす物理的な因子.....	30
3.4 同時沈澱と共沈.....	31
3.5 沈澱によるセラミック原料粉末の調製.....	33
文 献.....	33
II. 4 粉体の乾燥 (三原敏弘) .....	34
4.1 はじめに.....	34
4.2 乾燥特性.....	35
4.3 乾燥粉体の形態.....	36
4.4 噴霧乾燥法.....	36
4.5 凍結乾燥法.....	38
文 献.....	39
II. 5 粉末調製の実際 .....	40
(田崎潤三・尾崎義治・水谷惟恭)	
5.1 液相からの粉末調製法のまとめ.....	40
5.2 調製の実際.....	40
5.3 おわりに.....	46
文 献.....	47
III. 固体からの粉末調製 .....	48
III. 1 固体の熱分解 (澤田 豊・植松敬三・水谷惟恭).....	48
1.1 はじめに.....	48
1.2 固体の熱分解の特徴.....	48
1.3 セラミック原料粉として必要な特性.....	51
1.4 熱分解生成物に及ぼす母塩の影響.....	51
1.5 熱分解の制御.....	51
1.6 文献調査と予備実験.....	52

文 献	53	上	62
III. 2 固相反応による粉末調製		3.4 仮焼または凝集後の粉碎とその効果	63
(澤田 豊・植松敬三・水谷惟恭)	53	3.5 おわりに	64
2.1 はじめに	53	文 献	64
2.2 固 相 反 応	54	III. 4 粉碎と混合——その手法(山口賢治)	65
2.3 焼結と粒成長	55	4.1 はじめに	65
2.4 粉体の性質に及ぼす固相反応の因子	55	4.2 粉碎装置と粉碎操作	65
2.5 粉 碎	57	4.3 破砕と粉砕	67
2.6 チタン酸バリウムの合成	57	4.4 粉碎の法則	67
2.7 おわりに	59	4.5 Reh binder 効果と粉碎助剤	68
文 献	59	4.6 固体混合機	69
III. 3 粉碎と混合(山口賢治)	60	4.7 混合状態の時間的变化	69
3.1 原料粉の混合状態, 粒度と製品の品質	60	4.8 粉 碎 混 合	70
3.2 原料粉の粒度と製品の不良率	61	4.9 おわりに	71
3.3 粉碎による原料粉の組成均一さの向		文 献	71
IV. 気体からの粉末調製(三田村 孝)	72	IV. 3 ハロゲン化物法による非酸化物	
IV. 1 気相反応による粉末調製概論	72	粉末調製	84
1.1 はじめに	72	3.1 はじめに	84
1.2 気相からの粉末調製法各論	73	3.2 原 理	85
文 献	78	3.3 反 応 機 構	87
IV. 2 気相反応の原理と機構	79	3.4 粉末調製法の実際	87
2.1 原 理	79	3.5 ハロゲン化物法の特徴	89
2.2 気相反応の機構	82	3.6 おわりに	89
2.3 気相反応の特徴と問題点	84	文 献	89
文 献	84	V. 高純度粉体(大津賀 望・林 剛)	90
V. 高純度粉体(大津賀 望・林 剛)	90	V. 1 天然原料の精製	90
V. 1 天然原料の精製	90	1.1 はじめに	90
1.1 はじめに	90	1.2 精製法の概要	90
1.2 精製法の概要	90	1.3 物理的精製法	91
1.3 物理的精製法	91	1.4 化学的精製法	94
1.4 化学的精製法	94	1.5 固液分離	96
1.5 固液分離	96	1.6 洗 浄	97
1.6 洗 浄	97	1.7 ケイ砂及びピロウ石の精製工程	97
1.7 ケイ砂及びピロウ石の精製工程	97	1.8 おわりに	98
1.8 おわりに	98	文 献	98
文 献	98	V. 2 高純度粉体——アルミナ(風間聡一)	99
V. 2 高純度粉体——アルミナ(風間聡一)	99	2.1 はじめに	99
2.1 はじめに	99	2.2 アルミナ製法(バイヤー法)	99
2.2 アルミナ製法(バイヤー法)	99	2.3 高純度アルミナ製造技術	100
2.3 高純度アルミナ製造技術	100	2.4 分析方法及び取扱い上の留意点	104
2.4 分析方法及び取扱い上の留意点	104	2.5 用途について	104
		2.6 おわりに	105
		文 献	105
		V. 3 高純度シリカ——光ファイバーへの	
		の応用例として(今川 宏・松永秀樹)	
		.....	105
		3.1 はじめに	105
		3.2 出発原料として使う高純度ケイ素化	
		合物	106
		3.3 液相反応で生成するシリカ粒子の粒	
		径制御	106
		3.4 液相反応と乾燥工程の純度管理	108
		3.5 気相反応によるシリカ粒子製造	108
		3.6 おわりに	110
		文 献	111

VI. セラミック粉体の評価 (山口 喬).....	112		
VI. 1 セラミック粉体の性質.....	112	2.2 粒子の大きさ.....	118
はじめに.....	112	2.3 粒子の充てん.....	124
1.1 粉体の特徴.....	112	2.4 凝集粒子の性質.....	126
1.2 セラミック粉体の位置づけ.....	113	2.5 その他の性質.....	128
1.3 粉体の構造.....	114	文 献.....	129
1.4 セラミック粉体の性質.....	115	VI. 3 セラミック粉体の評価.....	129
1.5 セラミック製造プロセスで問題にな るセラミック粉体の特性.....	116	3.1 セラミック製造プロセス.....	129
文 献.....	117	3.2 製造プロセスにおいて粉体が占める 役割.....	130
VI. 2 セラミック粉体の測定.....	117	3.3 理想的なセラミック粉体.....	132
2.1 測定を行う前に.....	117	文 献.....	134
VII. セラミック粉体の表面処理 (角田光雄).....	135		
はじめに.....	135	1.6 他の材料との複合化.....	137
1. 表面処理の目的.....	136	2. 表面処理技術.....	137
1.1 セラミック原料粉体の保存性と表面 安定化.....	136	2.1 無機表面処理層の形成.....	138
1.2 成形性の改善.....	136	2.2 カップリング剤による表面処理.....	139
1.3 焼結性の改善.....	136	2.3 高分子処理層の形成.....	140
1.4 焼結後のグレーンの高機能化.....	137	おわりに.....	143
1.5 表面の高機能化.....	137	文 献.....	143
[成形編]			
I. 成形序論 (奥田 進).....	144		
1. はじめに.....	144	4.1 ねかしと記憶現象.....	148
2. どんな成形体が望ましいか.....	144	4.2 成形に必要な有機材料の機能解明.....	149
3. 成形技術発展の歴史.....	144	4.3 超微粉体の物性解明と成形技術.....	149
3.1 伝統セラミックス.....	144	4.4 おわりに.....	149
3.2 ファインセラミックス.....	145	文 献.....	149
4. 成形技術上残されている諸問題.....	148		
II. 鑄込成形法 (渡辺信彦).....	150		
II. 1 鑄込泥漿の基礎.....	150	2.2 着肉速度.....	158
1.1 はじめに.....	150	2.3 着肉層の水分分布.....	159
1.2 鑄込成形プロセスの概略.....	150	2.4 排泥——土締り過程での水分分布.....	160
1.3 鑄込泥漿に要求される性質.....	150	2.5 脱型時の素地の水分.....	161
1.4 素地の基礎パラメーター.....	151	2.6 鑄込素地の強度.....	162
1.5 粒度分布.....	152	2.7 可 塑 性.....	164
1.6 解 膠 条 件.....	152	2.8 脱 型 性.....	165
1.7 ま と め.....	156	2.9 セッコウ型性質.....	166
文 献.....	156	2.10 おわりに.....	168
II. 2 鑄込成形性質.....	157	文 献.....	168
2.1 流動性質.....	157		

III. 塑性成形 .....	169		
III. 1 塑性成形の基礎 (井上圭吉).....	169	1.9 おわりに.....	176
1.1 はじめに.....	169	文 献.....	176
1.2 可塑性の概念.....	169	III. 2 押し出し成形法 (色川秀勇).....	177
1.3 練り土の変形における時間依存性.....	170	2.1 はじめに.....	177
1.4 塑性変形過程で起こる基本的な現象.....	171	2.2 押し出し法に用いる坏土.....	178
1.5 可塑性の評価法.....	172	2.3 押し出し成形.....	179
1.6 可塑性に影響する因子.....	173	2.4 押し出し成形法の応用.....	181
1.7 押し出し成形.....	175	2.5 おわりに.....	183
1.8 ろくろ成形.....	176	文 献.....	183
IV. 乾式成形 .....	184		
IV. 1 一軸加圧成形法 (長尾高明).....	184	IV. 2 乾式成形と成形用顆粒 (山本博孝)	194
1.1 はじめに.....	184	.....	194
1.2 応力のつたわり方.....	184	2.1 はじめに.....	194
1.3 力と応力との関係.....	186	2.2 成形体の密度.....	195
1.4 粒子の変形のしかた.....	187	2.3 乾式成形に求められる顆粒の性質.....	196
1.5 応力分布.....	189	2.4 顆粒の管理すべき特性.....	197
1.6 成形性と結合剤.....	193	2.5 おわりに.....	199
1.7 おわりに.....	194	文 献.....	199
文 献.....	194		
V. アイソスタチックプレス成形 (梅田夏雄・御影 猛).....	200		
1. はじめに.....	200	4.5 生産性.....	202
2. 原 理.....	200	5. 成形条件.....	202
3. 種 類.....	201	5.1 加圧媒体.....	202
3.1 湿式法.....	201	5.2 ゴム型.....	203
3.2 乾式法.....	201	5.3 成形スケジュール.....	203
4. 特 徴.....	201	5.4 成形用粉体.....	203
4.1 均質性.....	201	6. 圧粉機構.....	204
4.2 緻密性.....	202	7. 圧粉体の破壊.....	205
4.3 成形性.....	202	8. おわりに.....	205
4.4 加工性.....	202	文 献.....	205
VI. 射出成形 (齊藤勝義).....	206		
1. はじめに.....	206	3.5 成形体の欠陥.....	211
2. 成形工程.....	206	3.6 成形材料の再生利用.....	212
3. 技術的要点.....	206	3.7 グルーン成形体の脂脱性.....	212
3.1 有機材料の選択と添加量.....	206	3.8 焼 結.....	213
3.2 成形材料の成形性.....	208	3.9 非破壊検査.....	213
3.3 射出成形機の構造.....	208	4. おわりに.....	213
3.4 金型設計.....	209	文 献.....	213



VII. テープ成形 (丹羽紘一).....	214		
1. はじめに.....	214	3. カレンダ法.....	218
2. ドクターブレード法 .....	214	3.1 成形方法.....	218
2.1 成形方法.....	214	3.2 カレンダリング時における材料の流	
2.2 スラリー.....	215	れ.....	218
2.3 粘結剤.....	216	4. おわりに.....	219
2.4 スラリーにおける微粉末の分散.....	216	文    献.....	219
2.5 成形体の評価.....	217		
VIII. 成形——今後の展開と方向 (講座小委員会) .....	220		
1. はじめに.....	220	3.2 成形体の評価と管理.....	221
2. 成形の位置づけ .....	220	4. これからの成形法 .....	224
3. セラミックス成形における問題点		4.1 成形技術.....	224
.....	221	4.2 成形の夢——こんな成形ができたなら	227
3.1 成形の位置づけ.....	221	文    献.....	228
索引 .....			
			229



# 粉末調製編

## 序 論

### 1. はじめに

セラミックス本来の優れた特性を持つ材料、製品を得るには、従来の化学工業や半導体工業、あるいは金属工業以上に、定量的にコントロールされたプロセスで生産が行われなければならない、現在最も大切なことはプロセスそのものではなからうか。

つまり、21世紀に向かう人類社会の進歩は、新材料に支えられた新システムに負うところが大きいという認識に立つと、これからの社会はセラミックスをいかに活用するかという点に集約され、それが直接、セラミックスの製造プロセスにつながる問題であると言える。

さてここで、現代社会で実用化されている材料を、セラミックス、ポリマー（有機）、金属と分類比較してみた時、製品の性質が最も原料特性の影響を受けやすいのは、セラミックス（無機）ではなからうか。ポリマーや金属は展延性を持つために塑性加工を施して使用されるケースがほとんどであり、また分子構造や結晶構造の制御、高純度化の手法などがほぼ確立されており、これが現代の高度社会を支えている基盤技術となっている。

これに対して、セラミックスでは、原料となっている粉末の特性が直接製品の特性に影響を与えるケースが多い。また、塑性変形能がほとんどなく、結晶構造も極めて複雑なため、熱処理や後加工による特性改善の効果も比較的小さい。このようなことのために、セラミックスの性質が他の材料に比して優れているにもかかわらず、今一步のところで高度な活用が妨げられ

ているのではなからうか。

しかし、これを乗り越えるためには、材料合成の面における技術的な立ち遅れを取り戻し、プロセスの本質を解明する努力と覚悟が必要であり、これなくしては、真の技術革新はあり得ないと言えよう。

それでは、現在のセラミックス製造プロセスで、何が問題になっているであろうか。それは一口に言うと、製造プロセスのコントロールが非常に難しいために、得られた製品の性能、信頼性、形状、寸法精度などの再現性が乏しいということである。

ここで、セラミックスの製造プロセスを、単純に次の三つの要素プロセスに分け、相互のつながりを見よう。

粉体調製 — 成形 — 焼成

この三つの柱は相互に密接な関係を持ち、当然のことながら、このうちのどのプロセスが一つ欠けても所望の特性を持つセラミックスは得られない。例えば、非常に焼結性の良い粉末を原料とし、成形を所定どおりに行っても、焼成温度やふん囲気が不十分であれば得られた焼結体の特性は不満足なものであろうし、また、粉体調製や焼成を十分な条件で行っても、成形が適切でなければ、所望とする形状や特性をもつ焼結体が得られなかったり、寸法精度の再現性が著しく低下する。

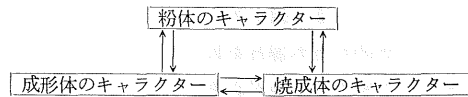
このような三つの要素プロセスにおける相互関係は、セラミックスの製造プロセスに潜在する根本的なものであり、出発原料として粉体を用いる限り、この問題を避けて通ることはできない。

以上のような観点に立ってこれからのセラミックス製造プロセスをながめた場合、セラミックスが技術革

新の要となるためには、粉体の調製、成形、焼成の各段階における高度に定量化された制御法が必要不可欠となってくることが明らかである。

本講座では、セラミック製造プロセスにおける前述の三つの要素プロセスの全てを網羅することが理想的であるが、記述範囲が非常に広がること、及び量的にも膨大になることなどから、粉体調製—成形のプロセス (ceramic processing before firing) を主題に進めることにする。

しかし前述のように、焼成プロセスを抜きにして粉体調製、成形プロセスが単独では存在し得ず、各要素プロセスの持つ意義は、最終的には必ず焼成体の特性に結び付けられなければならない。この意味で本講座では、粉体調製と成形が主体となるが、これらと焼成との関係にもできるだけ言及し、前記三つの柱の関連を明確にしてゆきたい。つまり、



という結び付きを常に意識した取り組み方を基本とするつもりである。

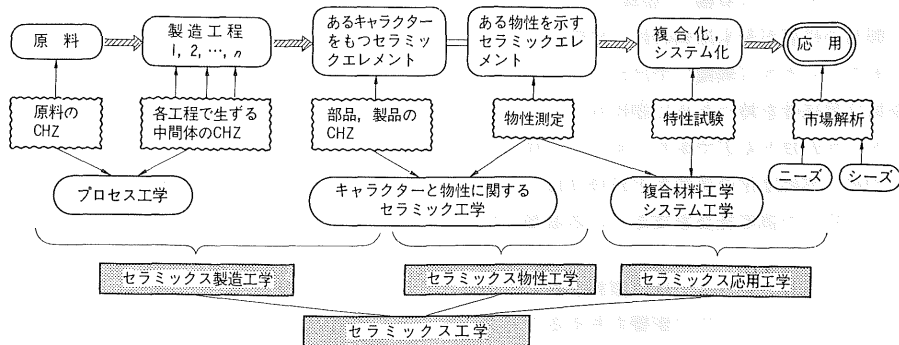
試みに、セラミックス工学という広い立場から、セラミックス製造プロセスを位置づけると、図1のように表わされる。すなわち、出発原料は、種々の工程 (1, 2, …, n) を経て、あるキャラクター、あるいはある物性を示すセラミックエレメントとなり、エレメントが他の材料などと複合化、システム化されてニーズに対応した製品となる。これらの全工程を通して、

各々の工程におけるキャラクターゼーション、あるいは物性測定、試験などが要求され、これらの結果を的確には握ることが、所望の特性をもったセラミック製品を再現性良く製造するプロセスの確立につながることになる。

また、目標とする製品の性能、あるいは材料特性と製造プロセスとの関係を絶えず念頭に置くことは、研究、開発の意識を高めることのほか、最少限の情報量を有効に活用して研究のスピードアップを図る上でも重要である。このような意味から、現在、あるいは今後、材料、プロセス、製品などの研究開発を行うにあたり、図1に示されているように、各工程ごとに必要とされるキャラクターゼーション、物性測定、特性試験などの項目をあらかじめ整理し、明確にしておくことが大切であろう。

## 2. 粉体および成形プロセスでの考慮要因

前述のように、本講座では焼成までの過程を扱うが、実際には焼成を行ってはいじめて必要な特性が得られるわけであるから、焼成を抜きにしてそれ以前のプロセスの良し悪しを議論することは不可能である。したがって焼成というプロセスを通じて、一体、粉体や成形体のどのような要因 (キャラクター) が重要であるかがわかるわけであるが、ここでは取り敢えず今後の議論で粉体や成形体を記述するための座標軸ともいえる要因を列挙する。表1は焼成体のキャラクターを含めて、セラミックスの製造プロセス上重要と思わ



[注] キャラクター：物質を再現するにあたって実用上必要十分な情報、原子の種類と組成、およびその配列を基本とするが、実用的にはむしろ、相の大きさや形状、配列などの微構造を採用し、情報量が過大になるのをさけることが望ましい。

CHZ：キャラクターゼーション—種々の測定法を用いて、キャラクターを求めること。

図1 セラミックス工学における製造プロセスの位置づけ

<お試し版はここまで>

ご購入お申し込みお待ちしております