

無機材料学

Inorganic Materials Science and Engineering

講義計画

1. **無機材料とは** セラミックスの歴史とオールドセラミックスを説明できる
2. **無機材料とは** 近代セラミックスの発展が理解できている
3. **結合と構造の考え方** SiO_2 の構造と性質を説明できる
4. **結合と構造の考え方** セラミックスの結合とイオン半径について説明できる
5. **結合と構造の考え方** 最密充填構造とその隙間構造について説明できる
6. **結合と構造の考え方** 臨界イオン半径と配位構造の関係を説明できる
7. **状態図と相変化** 状態図とは何かを説明できる
8. **状態図と相変化** 無機材料の理解に状態図を活用できる
9. **状態図と相変化** 原子の拡散について理解できている
10. **状態図と相変化** セラミックス作製のプロセスと相変化の関係が理解できている
11. **無機材料のキャラクタリゼーション** 光学顕微鏡、電子顕微鏡の原理が理解できている
12. **無機材料のキャラクタリゼーション** X線回折の原理が理解できている
13. **無機材料のキャラクタリゼーション** X線イメージングの基礎が理解できている
14. **無機材料のキャラクタリゼーション** 赤外分光、ラマン分光の基礎が理解できている
15. 到達度評価

社会連携講座について



AGC

最先端の**学術的知見**と**ガラス材料組成・製造技術の融合**
更なる**教育・研究の充実**

2016年 4月

2017年 3月

2021年 4月

共同研究開始

「割れにくいガラスを作る手法」の開発

- ・ガラス材料の亀裂の伸長を妨げる
- ・通常のガラス材料に比べ、もろさを7割低減

Maeda K. et al. J. Am. Ceram. Soc., 2019, 102, 5535.
<https://doi.org/10.1111/jace.16393>.

社会連携講座開設

無機・非晶質材料創成学研究講座

- ・高機能新材料の創成
- ・学術・産業の発展
- ・人材の育成

東京理科大 AGC

検索

https://www.tus.ac.jp/today/archive/20210222_0987.html

材料とは何か？

- ものを作るとき、そのもとにするもの（食材）
- 研究や調査、または判断などを裏付ける証拠とするもの（データ）
- 芸術的表現の対象になるもの（題材）
- 相場を動かすような要因（環境）

この講義では「物質」「工業製品」の意味で用いる。
「物質」との違いは「明確に人の役に立つもの」とする。

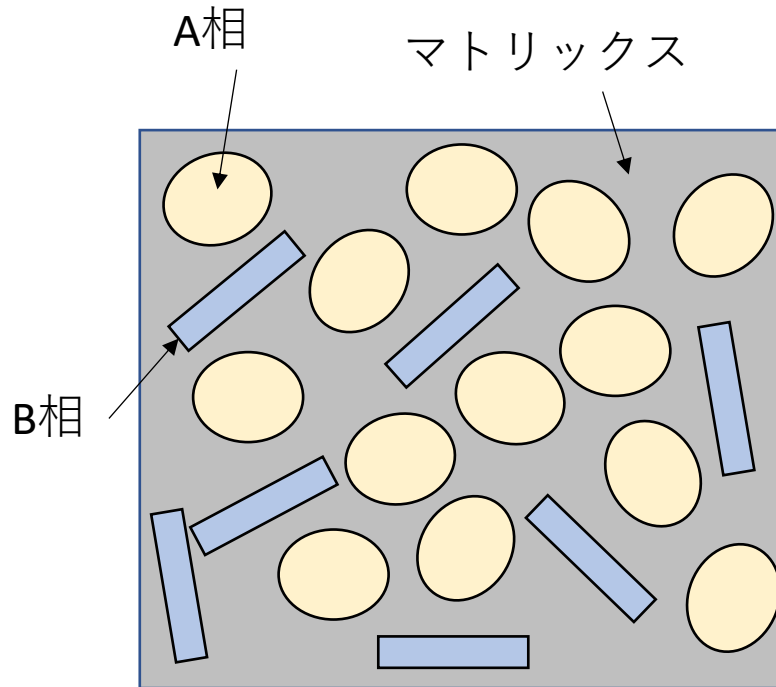
材料の分類

金属材料

無機材料

有機材料

材料の物性は何によって決まるか？



- ✓ 重い、軽い
- ✓ 堅い、柔らかい
- ✓ 化学的に安定、不安定
- ✓ 熱に強い、弱い
- ✓ 電気が流れる、流れない
- ✓ 光が通る、発光する
- etc.

各相の化学組成、原子の並び（構造）、形態（大きさ、分布）、体積分率、分散性、界面、・・・様々な要素が全て材料の物性に影響する

- **化学組成**
(chemical composition)
- **構造**
(structure)
- **組織**
(microstructure)

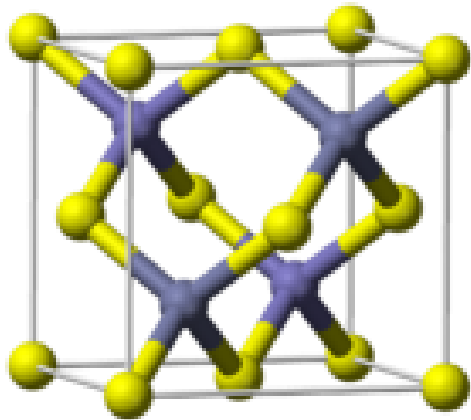
材料物性を理解するアプローチ

- ✓ 重い、軽い
- ✓ 堅い、柔らかい
- ✓ 化学的に安定、不安定
- ✓ 熱に強い、弱い

- ✓ 電気が流れる、流れない
- ✓ 光の吸収、発光
(バンド理論)



結合と構造の考え方



状態図と相変化

Gibbsの自由エネルギー

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

アンケート

「無機材料」と聞いて真っ先に思い浮かぶイメージを下記からひとつだけ選んでください。

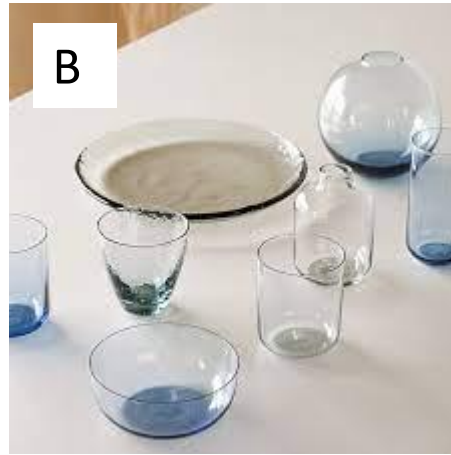
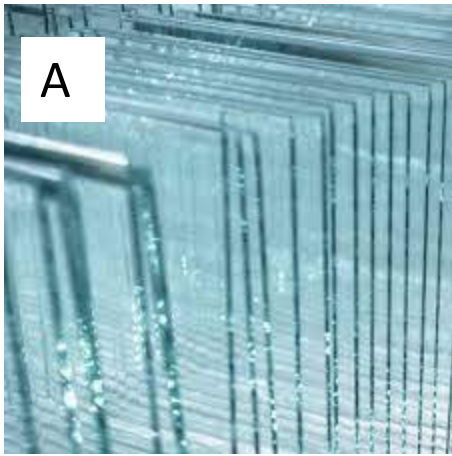
①硬い

②脆い

③古い

④耐熱

⑤透明



セラミックスの定義

表1.1 「セラミックス」の定義

定義の例	出典
①陶磁器類、広義にはセメント・ガラス・煉瓦などを含めていう。 ②成形・焼成などの工程を経て得られる非金属無機材料の総称。従来の陶磁器類の製法を発展させ、ケイ酸塩以外にも適用したもの。	広辞苑(第七版)、 岩波書店(2018)
成形、焼成などの工程をへて得られる非金属無機材料をいう。(後略)	岩波理化学辞典 (第5版)、岩波 書店(1998)
主に人為的熱処理によりつくられた非金属無機質固体材料、窯業製品、窯業、すなわち窯を用いた高温処理により陶磁器などを製造する技術や科学のことをいうこともある。土器の製造プロセスによって得られたものを示すギリシャ語のケラミコス(keramikos)を語源とする。(後略)	セラミックス辞典 (第2版)、日本セ ラミックス協会 (1997)

「セラミックス科学 基礎から応用まで」(講談社)

セラミックスの定義

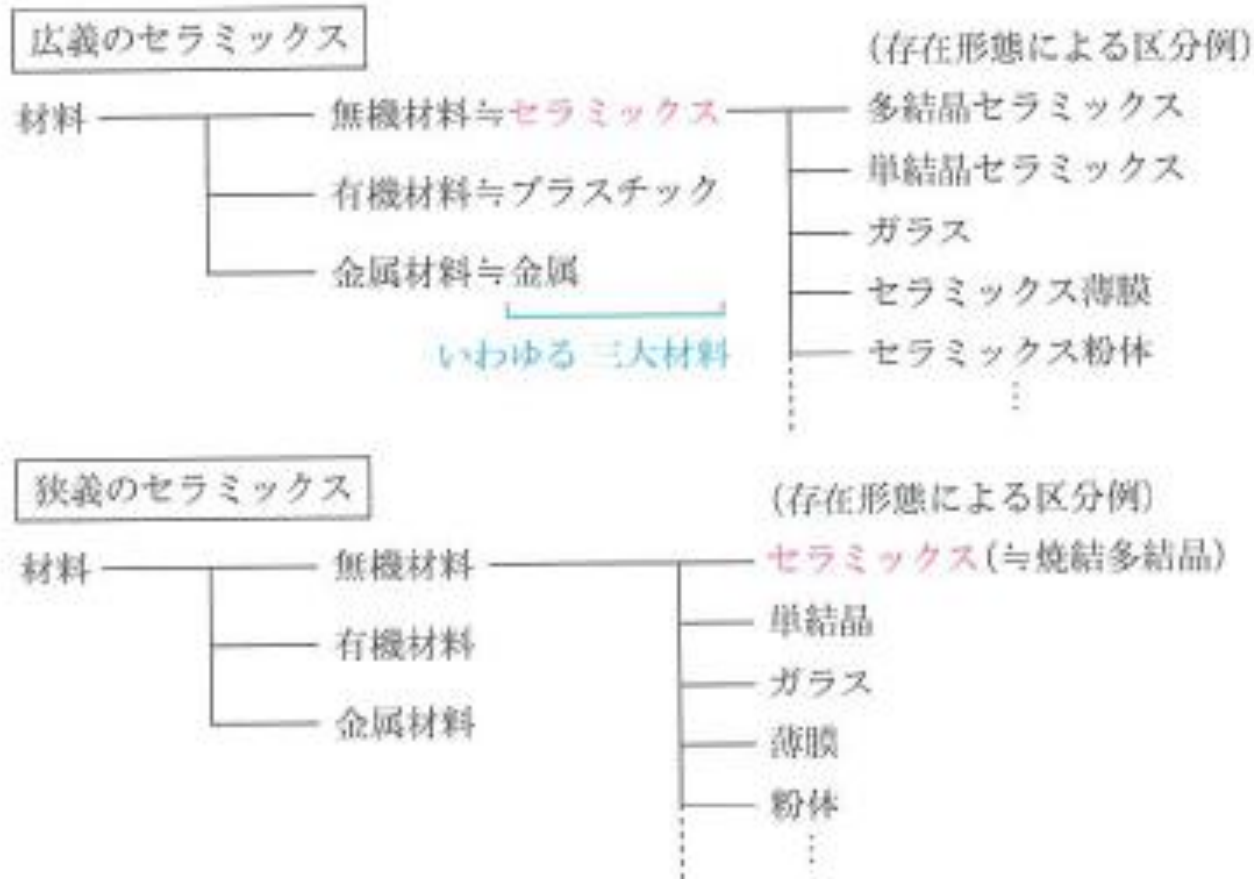


図 1.1 セラミックスの位置づけの違い

各材料の一般的な特徴

表 7・1 材料の特性と比較

特 性	金属材料	無機材料	有機材料
密 度	大	中程度	小
機械強度	良い	中程度	悪い
耐熱性	高い	非常に高い	低い（燃焼する）
耐腐食性	悪い（錆びる）	良い	悪い
加工性	良い	悪い	非常によい
導電性	非常に良い	性質の幅が広い	悪い

セラミックスの一般的な特徴

表 7・2 セラミックスの特徴

性質（長所）	性質（短所）
硬くて変形しにくい 金属より軽く，比強度（強度/密度）が高い 熱に強い 冷めにくい 腐食に強い 電氣的・光学的・磁氣的性質の幅が広い 原材料に廃棄物の利用が可能	脆性破壊（一気に壊れる） 熱衝撃（急激な熱変化）には弱い 暖まりにくい 廃棄，再処理が容易ではない 製造時の熱エネルギーが大

セラミックスの物性と応用

表 7・3 セラミックス材料と物性

電気特性	導体，半導体，電池，センサーなど
磁気特性	磁性材料，光磁気記録材料など
熱特性	断熱材，放熱材など
機械特性	構造材，人工骨など
誘電特性	キャパシタ，メモリー，電磁波センサー，圧力センサーなど
光学特性	蛍光体，レーザー，光触媒，発光ダイオード (LED)，太陽電池，エレクトロルミネッセンス (EL)，光ファイバーなど
表面物性	触媒，吸着剤，ガスセンサーなど
固体構造など	アモルファスシリコン，アモルファス合金，ガラス，液晶，水素吸蔵合金，ナノ材料など
生体適合性	医用材料

日本の やきもの

Japanese Ceramic Ware

歴史

日本セラミックス協会

「やきもの」の歴史

日本人にとって「やきもの」は親しみ深いもので、私たちの生活を楽しく豊かなものにしてくれます。

世界で最も古い歴史をもつ日本の「やきもの」の歴史を年代順に追ってみましょう。

歴史

分類

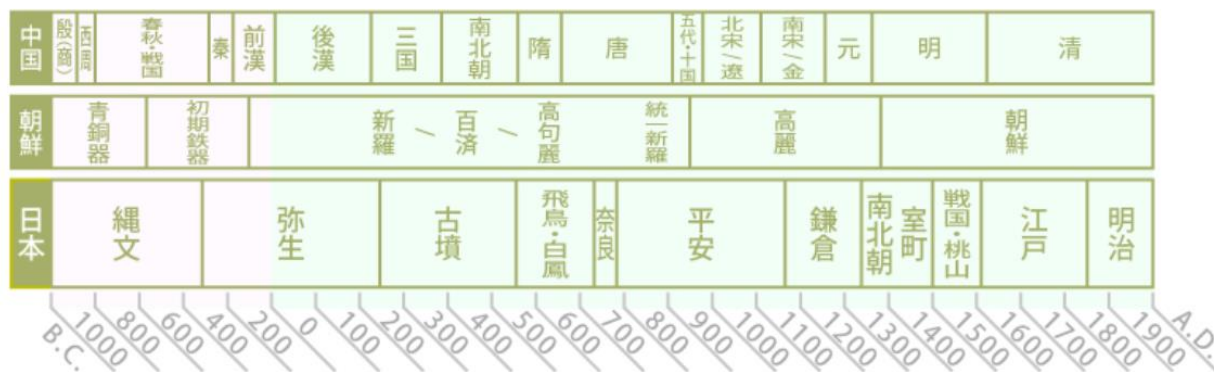
身近なやきもの

産地リスト

産地マップ

人間国宝

もっと詳しく



縄文時代（縄文土器）

わが国の「やきもの」の始りに、縄文土器があります。最も古いものは青森県大平山元で見いだされた土器で1万6千5百年前のものと言われています。世界各地の土器と比べると桁違いに古いものです。

日本セラミックス協会ホームページ
「セラミックス博物館」より

<https://www.ceramic.or.jp/museum/yakimono/contents/history.html>

1. 飲食器用品・台所用品

茶碗、皿、蓋物などの飲食器、土鍋、耐熱容器、陶板などの台所用品など



大皿



ティーセット



土鍋



蓋付湯呑

博物館へのリンク

食器 <http://www.ceramic.or.jp/museum/contents/pdf/life06.pdf>

土鍋 <http://www.ceramic.or.jp/museum/contents/pdf/life07.pdf>

日本セラミックス協会ホームページ
「セラミックス博物館」より

<https://www.ceramic.or.jp/museum/yakimono/contents/michika.html>

日本のやきもの 「やきもの」の産地

日本セラミックス協会



=産地



=産地(六古窯)

クリックで産地のページが開きます。

※情報は資料をご提供いただいた産地から
順次掲載しております



日本セラミックス協会ホーム
ページ 「セラミックス博物
館」 より

https://www.ceramic.or.jp/museum/yakimono/contents/sanchi_map.html

焼き物の製造にあたって必要になる知識

原料

- ✓ 化学組成
- ✓ 粒度
- ✓ 不純物
- ✓ . . .

成形

- ✓ ろくろ成形
- ✓ 鋳込み成形
- ✓ . . .

焼結

- ✓ 温度
- ✓ 圧力
- ✓ 炉の構造
- ✓ . . .

製品

- ✓ 密度
- ✓ 熱膨張
- ✓ 硬さ
- ✓ 強度
- ✓

現象の理解に必要なこと

元素の性質

可塑性

粘度

熱膨張

気孔率

焼結理論

破壊

粉体の特性

結晶構造

相転移

屈折率色

耐熱性

耐水性、耐酸性

原子の拡散

材料屋を志す皆さんにとってベースとなる専門知識

物質の結合
と構造論

レオロ
ジー

熱力学（自由
エネルギー）

キャラクタリゼー
ション技術

脆性材料の破
壊力学

産業の視点で見たセラミックス材料



Materials with market value: Global ceramic and glass industry poised to reach \$1 trillion

American Ceramic Society Bulletin, vol. 96, No. 3 (2017)

セラミックス、ガラス産業の世界動向を知るには
適した記事

分野別の主要な製造メーカー



Figure 1. Main producers or manufacturers of types of ceramics and glass by headquarter location.

セラミックス製品の市場規模

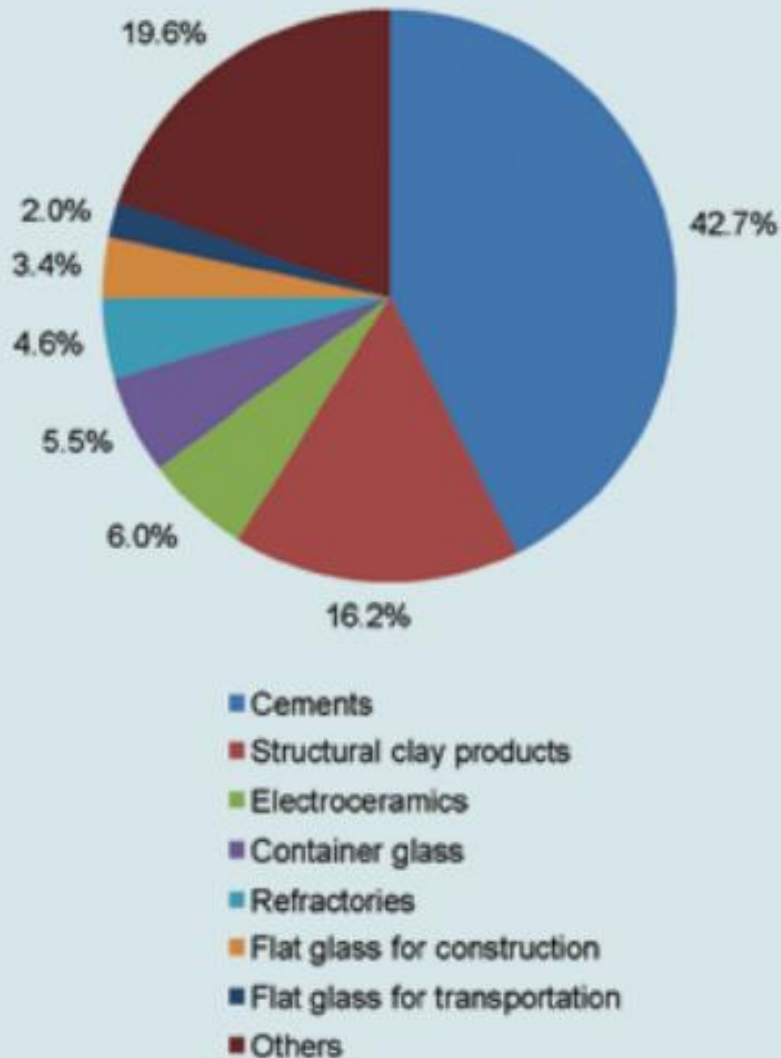


Figure 2. Total ceramic and glass industry market share by product type, 2016.

2016年におけるセラミックス・
ガラスの世界の産業規模
= \$ 717.7 billion (約75兆円)

多い順に

- セメント
- 構造用粘土製品
- エレクトロセラミックス
- 容器ガラス
- 耐火物
- 建築用窓ガラス
- 車両用窓ガラス
- その他

Traditional Ceramics と Technical Ceramics

Ceramics and glass industry

```
graph TD; A[Ceramics and glass industry] --> B[Traditional ceramics and glass]; A --> C[Advanced/technical ceramics and glass];
```

Traditional ceramics
and glass

- ✓ オールドセラミックス/ガラス
- ✓ 汎用セラミックス/ガラス

Advanced/technical
ceramics and glass

- ✓ 新セラミックス/ガラス
- ✓ 先進セラミックス/ガラス
- ✓ テクニカルセラミックス/ガラス
- ✓ ファインセラミックス
- ✓ エンジニアリングセラミックス
- ✓ ニューガラス

Traditionalセラミックス製品の種類

Table 1. Classification of traditional ceramics by product type

Product type	Main products	End-use
Refractories	Refractory bricks, tiles, blocks, linings, crucibles, spouts, ladles, and fibers	Industrial applications
Structural clay products	Tiles, bricks, drainage/ sewer pipes, and chimney pipes/linings	Construction and furnishing/ decoration
Whitewares	Fine tableware/cookware, china, sanitary ware, decorative articles, and porcelain coatings	Food/beverage, construction, and furnishing/decoration
Earthenware	Tableware, cookware, vases, pots, figurines, and decorative objects	Food/beverage and furnishing/ decoration
Abrasives	Abrasive powders, grains, beads, and wheels	Industrial applications
Cements	Portland cement, mortars, and concrete bricks/blocks	Construction

用語の和訳

耐火物、耐火レンガ、タイル、ブロック、ライニング、るつぼ、スパウト、ひしゃく、繊維、構造物、排水、下水道、パイプ、煙突、食器、磁器、衛生陶器、装飾品、コーティング、花瓶、ポット、小立像、研磨剤、粒子、ビーズ、砥石、ポルトランドセメント、モルタル、コンクリート、建造物、産業応用

【演習問題】

ファインセラミックスは、日本産業規格（JIS-R1600：2011）では以下のように定義されている。
空欄に適切な語を入れよ。

「化学組成、①、微構造組織・粒界、
②、製造工程を精密に制御して製造され、
新しい機能又は特性をもつ、主として③
の無機物質」

ヒント

- ①漢字4文字
- ②漢字2文字
- ③漢字3文字

表1.2 代表的なセラミックスとその用途

	化学式	一般的な呼称	対応する天然鉱物	主な用途
酸化物	Al_2O_3	アルミナ (alumina)	コランダム (corundum)*	高温材料, 電子部品
	ZrO_2	ジルコニア (zirconia)	バデライト (baddeleyite)	高温材料, イオン伝導体
	MgO	マグネシア (magnesia)	ペリクレーズ (periclase)	耐火物, 塩基性触媒
	SiO_2	シリカ (silica)	石英 (quartz) など多数	光学材料, 宝石
	TiO_2	酸化チタン, チタニア	ルチル (rutile) アナターゼ (anatase)	白色顔料 光触媒, 色素増感太陽電池
	CeO_2	酸化セリウム, セリア		ガラス研磨材, 光学膜
	ZnO	酸化亜鉛		電子材料 (バリスタ)
	SnO_2	酸化スズ	錫石 (cassiterite)	透明導電膜
	UO_2	酸化ウラン, ウラニア		核燃料
	$\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$	β -アルミナ (β -alumina)		Naイオン伝導体
非酸化物	$3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	ムライト (mullite)	ムライト (mullite)	耐火物
	$\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$	YAG		レーザーホスト材料
	BaTiO_3	チタン酸バリウム, BT		誘電体, 圧電体
	$\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$	バリウムヘキサフェライト		永久磁石
	C	黒鉛 (graphite)	黒鉛 (graphite)	電極, 高温材料
	C	ダイヤモンド (diamond)	ダイヤモンド (diamond)	切削工具, 宝石
	Si_3N_4	窒化ケイ素		高温構造材料
	TiN	窒化チタン		切削工具, 宝飾品
	AlN	窒化アルミニウム		放熱絶縁材料
	SiAlON	サイアロン		高温構造材料, 蛍光体
非酸化物	SiC	炭化ケイ素	モアサナイト (moissanite)	研磨材, 高温用発熱体
	TiC	炭化チタン		切削工具, 耐摩耗材
	W_2C , WC	炭化タングステン		超硬工具, 電極材料
	B_4C	炭化ホウ素		原子炉制御材, 耐摩耗材
	TiB ₂	ホウ化チタン		超硬質材料
	ZrB ₂	ホウ化ジルコニウム		超硬質材料
	LaB ₆	ホウ化ランタン [†]		高輝度電子源
	MoSi ₂	モリブデンシリサイド [‡]		高温発熱体
	FeSi ₂	鉄シリサイド		熱電変換素子
	BaSi ₂	バリウムシリサイド		化合物半導体

* 単結晶アルミナは、サファイア (sapphire) とも呼ばれる。天然鉱物のサファイアは Fe_2O_3 などの不純物を含むが、合成品の単結晶は高純度アルミナを原料として育成されている。

† 電子顕微鏡技術者を中心に、ラブロクとも呼ばれている。

‡ ケイ化モリブデンとも呼ばれる。珪化物は「金属間化合物」としても分類され、セラミックスと金属の中間的な性質をもつ。

「セラミックス科学 基礎から
応用まで」 (講談社)

ガラスの歴史

4000-5000年前

ガラス
の発見



工芸ガラス

16世紀



顕微鏡



望遠鏡

20世紀



ブラウン管

建築物



自動車

現代のガラス製品



21世紀の現代において、
ガラス材料は様々なと
ころで人々の生活を支
えています。



ガラス製品別市場規模

分類	製品群	製品例	市場規模 (\$billion)	(兆円)
汎用ガラス (Traditional glass)	容器ガラス(Container glass)	飲料用ボトル、化粧品用ボトルなど	39.4	4.1
	建築用板ガラス(Flat glass for construction)	窓ガラス、防犯ガラス、ファサード、ドア、調光ガラスなど	24.3	2.5
	自動車・車両用板ガラス(Flat glass for transportation)		14.5	1.5
	ガラス繊維(Glass fibers)	繊維強化用など	7.7	0.8
	プレスおよびブロー製品 (Pressed and blown glass)	テーブルウェアなど	6.8	0.7
	その他(Others)	鏡、家具用ガラス、装飾用ガラス、工芸ガラス、眼鏡など	1.9	0.2
	計		94.6	9.8
テクニカルガラス (Technical glass)	エレクトロニクス用ガラス (Glass for electronics)	ディスプレイ用ガラスなど	9.5	1.0
	医療用ガラス (Glass for life science)	医薬品容器用ガラスなど	5.2	0.5
	エネルギー用ガラス(Glass for energy)	太陽電池用ガラスなど	3.8	0.4
	その他(Others)		2.1	0.2
	計		20.6	2.1

日本ファインセラミックス協会HP

一般社団法人日本ファインセラミックス協会は、ファインセラミックスに関する情報の収集及び提供や研究を広く行い、産業の拡大発展のためにさまざまな活動を進めてまいります。

[HOME](#)



一般社団法人
日本ファインセラミックス協会

[入会のご案内](#)

[お問い合わせ](#)

[図書購入](#)

[アクセス](#)

[English](#)

[会員専用ページ](#)



検索

Contents

[専務の窓](#)

[JFCA紹介](#)

[会員企業Topics](#)

[ファインセラミックスとは？](#)

[年間スケジュール](#)

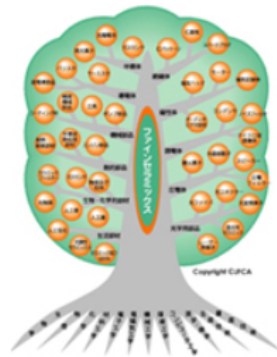
[標準化事業](#)

[ISO/TC206](#)

[ISO/TC150](#)

ファインセラミックスとは

[HOME](#) > ファインセラミックスとは



ファインセラミックスとは

「化学組成、結晶構造、微構造組織・粒界、形状、製造工程を精密に制御して製造され、新しい機能又は特性をもつ、主として非金属の無機物質。」

JIS R 1600：2011 ファインセラミックス関連用語 より

「高度に精選または合成された原料粉末」を用いて、「精密に調整された化学組成」を「十分に制御された製造プロセス」によってつくられた高精密なセラミックス
京セラ Webサイト より

～ファインセラミックス解説コンテンツ～ (リンク集)

セラミックスの種類・特徴

[【京セラ】ファインセラミックスワールド](#)
[【村田製作所】ふしぎないしころ](#)
[【アスザック】セラミックス技術コラム](#)
[【イロデン】セラミック事業](#)

用途・活躍事例

[【東芝マテリアル】自動車](#)
[【村田製作所】アプリケーションガイド](#)
[【TDK】Tech-Mag](#)
[【東芝マテリアル】可視光応答型光触媒](#)



図1.2 ベ어링用窒化ケイ素セラミックス製品(東芝マテリアル株式会社)
 [東芝マテリアル株式会社, セラミックス, 43, 658(2008), 日本セラミックス協会の許可を得て転載]



図1.3 セラミックス工具とホルダー(日本特殊陶業株式会社)
 [浦島和浩, セラミックス, 43, 661(2008), 日本セラミックス協会の許可を得て転載]

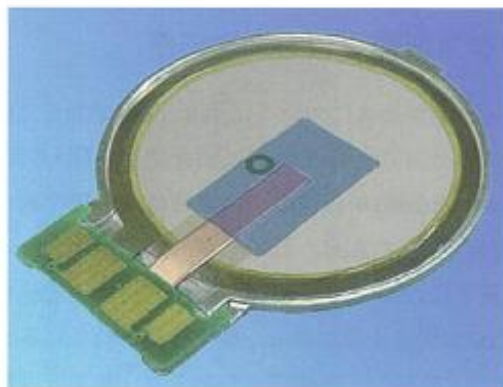


図 1.4 積層型セラミックスピーカ(太陽誘電株式会社)
[渡部嘉幸, セラミックス, 42, 396(2007), 日本セラミックス協会の許可を得て
転載]

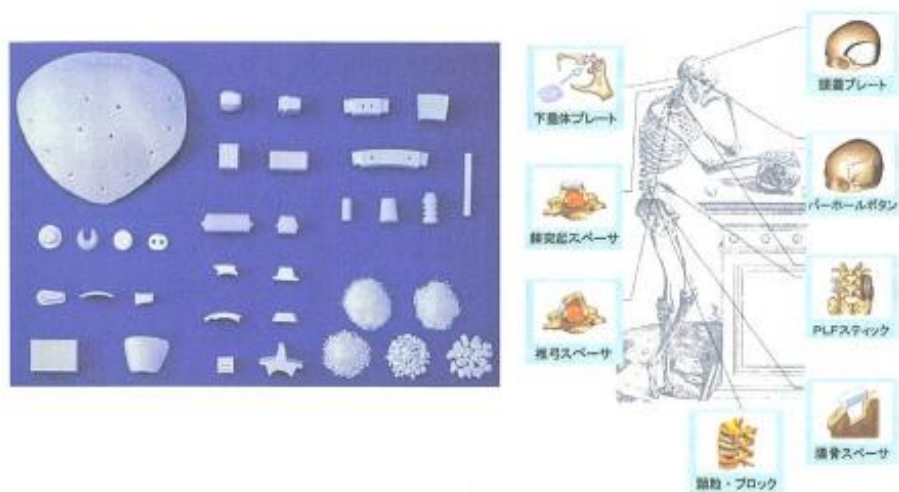


図 1.5 ハイドロキシアパタイトセラミックスを用いた人工骨補填材料(HOYA株式会社)
[中島武彦, セラミックス, 43, 984(2008), 日本セラミックス協会の許可を得て
転載]