

C

E

R

A

セラミック工学 ハンドブック

【第2版】

〔応用〕

E

M

R

|||

A

C

社団法人日本セラミックス協会 編

M

|||

技報堂出版

C

S

7. 化学的性質

7.1 酸化・還元

7.1.1 酸化雰囲気におけるセラミックスの安定性

金属の酸化反応や酸化物の還元反応が進行するか否かは、反応、温度および雰囲気に応じて定まるギブズエネルギー変化 ΔG から予測できる。セラミックスを焼結する際には、焼結中にセラミックスが分解せず、焼結体が所望の相によって構成されるような条件で行わなければならないが、 ΔG の計算をすることにより最適な焼結条件を見積もることができる。たとえばケイ素の酸化反応は、



であり、反応式右辺のギブズエネルギー G の合計が、左辺の G の合計よりも小さい場合に反応(7.1)は進行し、両者が同値である場合に平衡が保たれる。 G (凝集相)の圧力変化はガスのそれに比べて無視でき、また G (ガス)の圧力依存項は $RT \ln P$ で表現されるから、 G° を標準状態における物質のギブズエネルギーとすれば反応(7.1)の平衡条件は、 $G = G^\circ + RT \ln P$ の関係を用いて

$$G_{\text{Si}}^\circ + G_{\text{O}_2}^\circ + RT \ln P_{\text{O}_2} = G_{\text{SiO}_2}^\circ \quad (7.2)$$

となる。 R は気体定数、 T は温度、 P_{O_2} は酸素分圧であり、 $p_{\text{O}_2} = P_{\text{O}_2}/P^\circ$ (P° は標準状態の圧力: 101 325 Pa) である。凝集相 Si および SiO_2 は純粋であるとしている。右辺と左辺の G° の差を ΔG° と記して整理すると平衡条件は

$$\Delta G^\circ = RT \ln P_{\text{O}_2} \quad (7.3)$$

のように表現できる。式(7.3)により T の関数として求められる P_{O_2} を酸化物の平衡解離圧といい、系の P_{O_2} が平衡解離圧より大きい場合は金属の酸化が進行し、小さい場合は酸化物の還元が進行する。 ΔG° の値は、JANAF の熱力学表¹⁾に記載されている各物質の標準生成ギブズエネルギー

ΔG_f° (ΔF_f° と記載されている場合もある)を用いて

$$\Delta G^\circ = \Delta G_{f, \text{SiO}_2}^\circ - (\Delta G_{f, \text{Si}}^\circ + \Delta G_{f, \text{O}_2}^\circ) \quad (7.4)$$

として計算できる(注: G° と ΔG_f° は異なる意味をもつが、式(7.4)の計算により ΔG° を求めることができる)。

酸化反応の平衡条件式(7.3)は常圧において問題なく使用できるが、酸素雰囲気熱間等方加圧(酸素 HIP)処理のように、炉内の P_{O_2} が著しく大きい場合は、他の平衡条件を使用することが望ましい^{2),3)}。

7.1.2 Ellingham 図

酸化物の Ellingham (エリンガム) 図とは横軸を T 、縦軸を 1 mol の酸素に対する酸化物生成反応の ΔG° とした図であり、図 7.1 に示される。図中の破線は P_{O_2} 一定の時の各温度における $RT \ln p_{\text{O}_2}$ の値を表しており、対応する $\log P_{\text{O}_2}$ はそれぞれの破線の右端に示されている。反応(7.1)を表す線は図中 A-A 線で示されており、反応(7.1)が進行する条件は、各温度で系の P_{O_2} が平衡解離圧以上、つまり図中 A-A 線よりも上側の条件となる。各酸化反応に対応する線が下側に位置するほど、低い P_{O_2} で酸化が進行することを意味する⁴⁾。

図 7.1 により任意の金属が酸化される P_{O_2} を T に応じて知ることができる。または酸素の出入りのない系に十分な量の金属が存在する場合、その系の P_{O_2} の上限を T に応じて知ることができる。たとえば非酸化物を焼結する炉にはよく黒鉛ヒータが用いられるが、この場合、炉内には常に炭素が存在することから、炉内が平衡に達したときの P_{O_2} の上限値は図 7.1 中 B-B-B 線で与えられる。したがって、黒鉛ヒータを用いた炉内では、生成線が B-B-B 線よりも下側に位置する酸化物、つまり Al_2O_3 や ZrO_2 は焼結できるが、生成線が B-B-B 線よりも上側に位置する CoO や

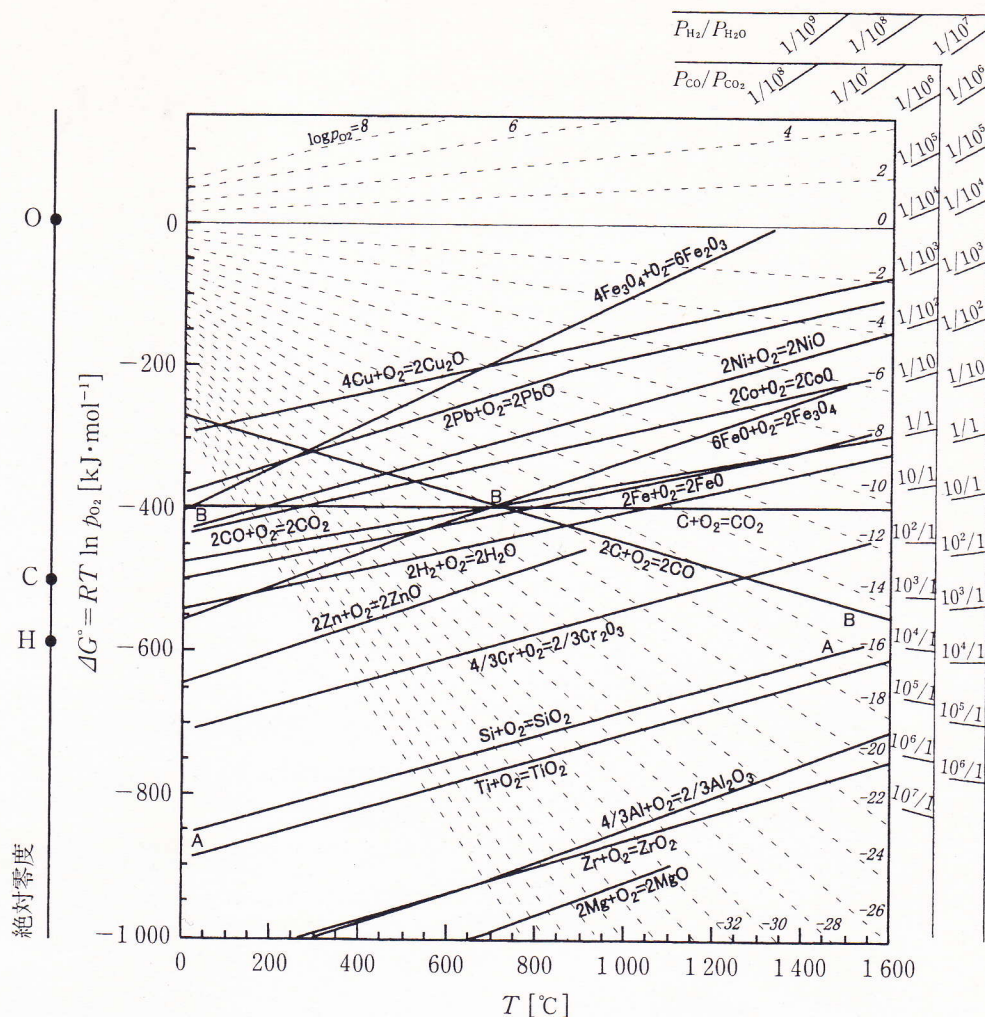


図 7.1 酸化反応のエリンガム図

Cu_2O 等は還元されて金属になる。

炭素が存在しない還元雰囲気が必要な場合、 H_2 気流中で材料を合成する場合があるが、 H_2 気流中での P_{O_2} は一義的に定まらない。反応系に供給するガスをジルコニウムやチタンの多孔体に通過させることにより、系の P_{O_2} はそれぞれ ZrO_2 または TiO_2 の平衡解離圧程度以下に保つことができ、図 7.1 により T に応じて P_{O_2} の上限値を把握することができる。

このような考え方は金属の窒化、硫化、塩化などにも同様に適用できる。

7.1.3 CO_2 や H_2O による酸化

CO_2 , H_2O ともに酸化性ガスであり、その雰囲気中にある金属は $P_{\text{CO}}/P_{\text{CO}_2}$ 比または $P_{\text{H}_2}/P_{\text{H}_2\text{O}}$ 比に応じて定まる P_{O_2} 下で安定な酸化物を生成する。C と O_2 が共存する系では任意の状態で CO , CO_2 , O_2 が存在し、



の平衡が成り立っているので、平衡条件は

$$\Delta G^\circ = RT \ln P_{\text{O}_2} + 2RT \ln \frac{P_{\text{CO}}}{P_{\text{CO}_2}} \quad (7.6)$$

となり、系の $P_{\text{CO}}/P_{\text{CO}_2}$ 比が T と P_{O_2} によって定まる。 $P_{\text{CO}}/P_{\text{CO}_2}$ 比一定の線は図 7.1 において $T = 0 \text{ K}$ の点 C から放射線状に伸びる線となり、その値は右端の目盛りで与えられる。

同様に H_2 と O_2 が共存する系では任意の状態で H_2 , H_2O , O_2 が存在し、 $P_{\text{H}_2}/P_{\text{H}_2\text{O}}$ 比は T と P_{O_2} によって定まり、 $P_{\text{H}_2}/P_{\text{H}_2\text{O}}$ 比一定の線は $T = 0 \text{ K}$ の点 H から放射線状に伸びる線で表される⁴⁾。

酸化性ガスによる酸化は O_2 による酸化とはメカニズムが異なるため、一般に CO_2 や H_2O による酸化速度は O_2 による酸化速度と異なる。また H_2O による Fe の酸化により、 Fe_2O_3 が安定な領域で FeO が生成する場合もある⁵⁾。

7.1.4 非酸化物セラミックスの高温酸化

SiC や Si_3N_4 は高温酸化雰囲気中で酸化される。系の P_{O_2} が高い条件では表面に SiO_2 保護層が形

成され、それ以上の酸化は放物線則に従って時間とともに鈍化する (passive oxidation). しかし系の P_{O_2} が比較的低い条件で酸化されると SiO ガスが生成するため、保護層が形成されずに酸化が進行し続け重量が減少する (active oxidation). セラミックスから生成する気相の平衡分圧を知ることは、高温構造部材の選定、緻密体を得る焼結条件、気相反応によるセラミックス粉末合成等をする上で重要な検討事項となる⁶⁾.

SiO のような気相は考えている条件で安定な凝

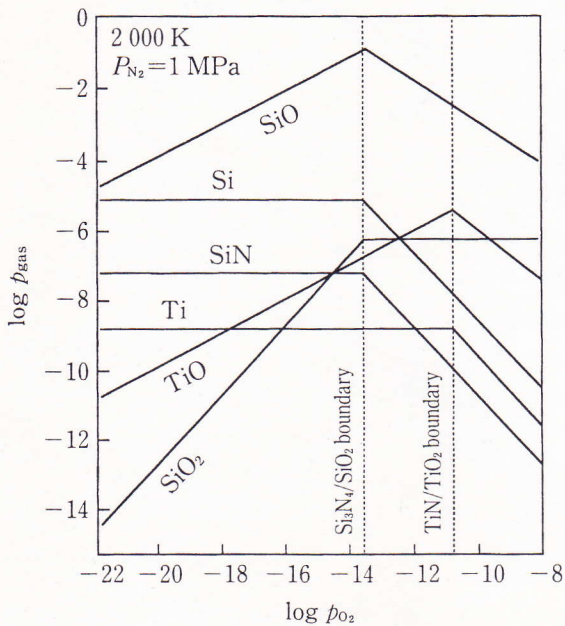


図 7.2 Si-Ti-O-N 系の気相種の平衡分圧

集相 (Si_3N_4 または SiO_2) と平衡を保つまで生成する⁷⁾. したがって、図 7.1 中 A-A 線より上側の条件では、次の平衡を考えることにより P_{SiO} がわかる.



JANAF の熱力学表により ΔG° の値を求め、式 (7.7) を P_{SiO} について解くことにより、 P_{SiO} を T, P_{O_2} の関数として求めることができる. この方法で種々の気相について平衡分圧を計算した結果を図 7.2 に示す. たとえば、 O_2 存在下で Si_3N_4 から最も多く生成するガスは SiO であり、 $P_{N_2} = 1 \text{ MPa}$, $T = 2000 \text{ K}$ の条件下、 $\log p_{O_2}$ が -13 から -14 のときに P_{SiO} が最大となり、 Si_3N_4 が激しく減肉することになる. Si_3N_4 や SiC の passive/active oxidation の境界条件は実験的に調べられている⁸⁾.

7.1.5 複合材料の安定性

酸化、還元の見え方と同様にして、複合材料の構成相の安定性についても検討できる. 複合材料とは、マトリックス相に第 2 相を分散させた材料であり、SiC 粒子分散 Si_3N_4 , SiC 繊維強化 Si_3N_4 や同 Al, Al_2O_3 など多種に及ぶ. 複合材料を焼結する場合や、第 2 相を in-situ 分散する際、マトリックスと第 2 相の平衡関係を検討することは重要である.

図 7.3 は窒化に関する Ellingham 図であり、

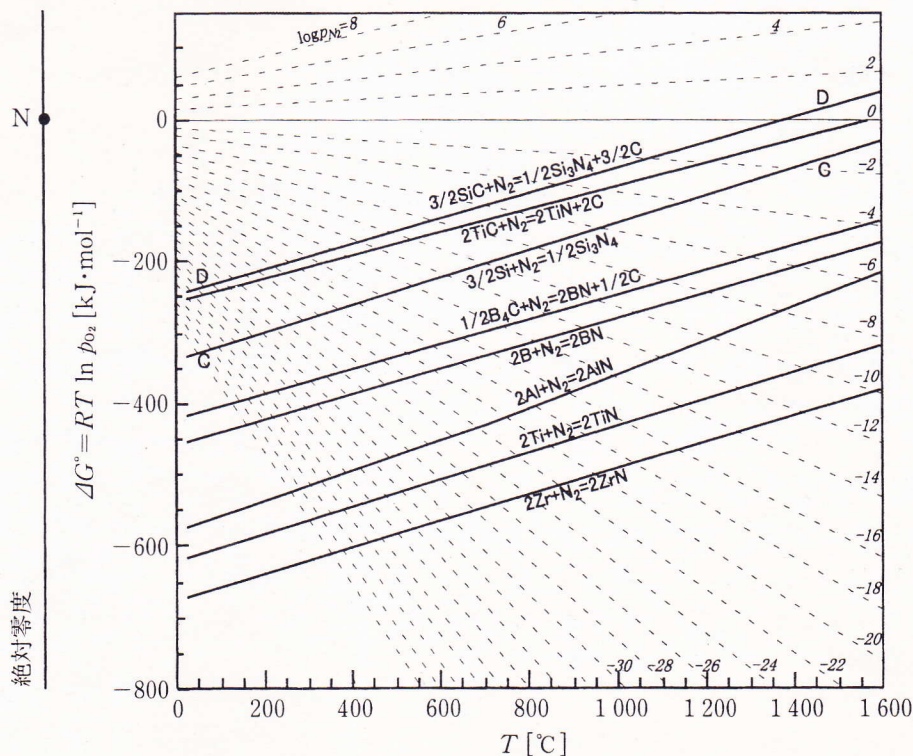


図 7.3 窒化反応のエリッガム図

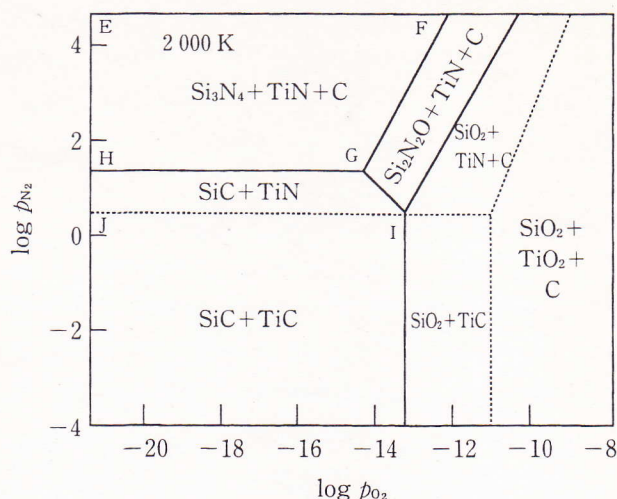


図7.4 炭素共存下におけるSi-Ti-O-C-N系の凝集相間の安定関係

C-C線はSiの窒化を、D-D線はSiCの窒化を表す。したがって、C-C線とD-D線にはさまれた領域が $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{SiC}$ が共存できる条件となり、 $\text{SiC}/\text{Si}_3\text{N}_4$ 複合材料の焼結はこの領域で行うのがよい。図7.1および図7.3より、2種類のガス分圧に対する金属-酸化物-窒化物の平衡状態図が求められる。図7.4は $T=2000\text{ K}$ におけるSi-Ti-O-C-N系の凝集相間の安定関係を示す図である。SiCは系の P_{O_2} および P_{N_2} に応じて $\text{SiO}_2 + \text{C}$ または $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{C}$ になり、各相の安定領域の境界線は実線で示される。同様にTi-O-C-N系の各凝集相に関しては、破線で示される。たとえば、 $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiN}$ は図7.4中の領域EFGH内で安定であり、 $\text{SiC} + \text{TiN}$ は領域HGIJで安定となる。また $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiC}$ は 2000 K では安定に共存できないことがわかる。

繊維強化複合材料によく用いられるSiC繊維等は、酸素や炭素、および欠陥を多く含むアモルファス状の繊維であることが多く、SiC結晶の熱力学データを用いた検討は不適当である⁹⁾。SiC繊維について調査された標準生成ギブズエネルギーを用いた検討が望ましい¹⁰⁾。

7.2 侵食

7.2.1 耐火物

金属製錬用耐火物の侵食は液相のスラグ、メタルによるものが主であり、気相による侵食は酸化物-グラファイト系複合耐火物の酸化等に限られている。そこで、本節ではスラグ、メタルによる金属製錬用耐火物の侵食、なかでも消費量が圧倒的に多い鉄鋼製錬用耐火物の侵食に焦点を絞って

述べる。

7.2.1.1 侵食の特徴

スラグ、メタルによる耐火物の侵食すなわち化学的溶損は、耐火物損耗の主因の1つとされている。

(1) スラグ、メタル単一相による侵食

耐火物の主成分である酸化物のスラグへの溶解度は一般に大きい。それゆえ、平衡論的観点からは、酸化物系耐火物はスラグによる侵食を受けやすい。

一方、メタルへの酸化物の溶解度は、スラグに比して著しく小さく、反応性の高い合金元素や酸素を高濃度含むメタル¹¹⁾を除けば、メタル相のみによる酸化物の侵食は小さい。

高温下では、スラグによる耐火物の侵食速度すなわち溶解速度は、一般にスラグ側での耐火物成分の拡散律速であることが知られている¹²⁾。その場合、スラグ相本体中への溶解(耐火物の侵食という意味で以後溶損と称する)速度は式(7.8)で表せる。

$$\left(\frac{1}{\rho_m}\right) \frac{d(\Delta L)}{dt} = k(C_i - C_0) \quad (7.8)$$

ここで、 $d(\Delta L)/dt$ は溶損速度(t は時間、 ΔL は溶損深さ)、 k はスラグ側の物質移動係数、 ρ_m は固体酸化物のかさ比重、 C_i 、 C_0 はそれぞれスラグ-耐火物界面およびスラグ相本体中における溶解成分の濃度で、一般に C_i は溶解度(平衡濃度)に等しい。

(2) スラグ-ガス、スラグ-メタル2相共存下での侵食-局部溶損

上記の単一スラグ相、メタル相による耐火物の溶損は耐火物の耐食性の向上とともに小さくなった。しかし最近になって、金属製錬、特に鉄鋼製錬過程で使用される耐火物の、耐火物-スラグ-ガスあるいは耐火物-スラグ-メタルの3相境界付近などにおいて、耐火物が局部的に溶損される現象(以下これを局部溶損と称す)が目立つようになってきた。このような局部溶損は、上記耐火物の品質の向上のほか、炭素や炭化物など非酸化物を酸化物に混ぜた複合耐火物の出現、新しい製錬プロセスの開発改良に伴う使用形態、使用条件の変化、あるいはこれらの2つまたはそれ以上の組合せによって顕在化してきたものである。耐火物の局部溶損は耐火物の寿命を左右する耐火物侵食上の重要問題となっている。

7.2.1.2 酸化物系耐火物の局部溶損^{13),14)}

スラグ-ガス界面の耐火物(たとえば、 SiO_2

『セラミック工学ハンドブック (第2版)』編集委員会

委員長

丹羽 紘一 (株)富士通研究所

副委員長

三宅 通博 岡山大学

委員

浅賀 喜与志 帝京科学大学
井伊 伸夫 (独)物質・材料研究機構
伊藤 敦夫 産業技術総合研究所
上野 文雄 東芝電池(株)
大谷 茂樹 (独)物質・材料研究機構
岡田 繁 国立館大学
尾 寄 弘 日本フエロー(株)
掛川 一幸 千葉大学
近藤 良一 TDK (株)
三五 弘之 日本大学
千田 哲也 (独)海上技術安全研究所
田中 千禾夫 旭テクノグラス(株)
田邊 靖博 東京工業大学
西村 聡之 (独)物質・材料研究機構
野間 竜男 東京農工大学
花田 禎一 京都大学
林 一郎 新エネルギー・産業技術総合開発機構
宮山 勝 東京大学
向田 雅一 (独)産業技術総合研究所
森田 直文 元・(株)ノリタケカンパニーリミテド
安田 公一 東京工業大学
矢野 豊彦 東京工業大学
薮田 和哉 日本鋼管(株)

執筆者

相 沢 俊 (独)物質・材料研究機構
赤 尾 勝 東京医科歯科大学
赤澤 敏之 北海道立工業試験場
赤 津 隆 東京工業大学
阿久沢 昇 東京工業高等専門学校
浅賀 喜与志 前掲
朝倉 悦郎 (株)宇部三菱セメント研究所
朝倉 秀夫 品川白煉瓦(株)
東 慶次郎 旭テクノグラス(株)
阿 竹 徹 東京工業大学
足立 吟也 大阪大学名誉教授
阿部 修実 茨城大学
阿部川 豊 関東珪瑯釉薬(株)
新井 智則 旭硝子(株)
有馬 義康 愛知学院大学
有吉 騏三郎 (株)ヨータイ

淡路 英夫 名古屋工業大学
栗田 敬二 宇部マテリアルズ(株)
飯沢 吉弘 池袋珪瑯工業(株)
井川 博行 神奈川工科大学
生田 博将 東京工業大学
井口 喜章 太陽誘電(株)
伊熊 泰郎 神奈川工科大学
池上 隆康 (独)物質・材料研究機構
池山 雅美 (独)産業技術総合研究所
石井 紀彦 元・無機材質研究所
石垣 隆正 (独)物質・材料研究機構
石川 邦夫 九州大学
石川 謙二 明治大学
石川 誠 大光炉材(株)
石沢 伸夫 東京工業大学
石田 信伍 京都工芸繊維大学
石田 秀輝 (株) INAX
和泉 輝郎 (財)国際超電導産業技術研究センター
泉 富士夫 (独)物質・材料研究機構
磯谷 順一 図書館情報大学
市川 牧彦 太平洋セメント(株)
一ノ瀬 昇 早稲田大学
市野瀬 英喜 東京大学
伊藤 明男 共立マテリアル(株)
伊藤 温夫 日本フエロー(株)
伊藤 敦夫 前掲
伊藤 節郎 旭硝子(株)
伊藤 秀章 名古屋大学
伊藤 政巳 愛知県常滑窯業技術センター
伊藤 義康 (株)東芝
稲田 博 (株)ノリタケカンパニーリミテド
稲葉 英男 岡山大学
井上 悟 (独)物質・材料研究機構
井上 二郎 (株)村田製作所
井上 正 日本鋼管(株)
井上 敏克 (株)宇部三菱セメント研究所
指宿 亮嗣 (独)産業技術総合研究所
今井 淳夫 (財)名古屋産業科学研究所
今井 寛治 京都市工業試験場
今井 茂雄 (株) INAX
今井 貴浩 住友電気工業(株)
今中 治 (株)マルトー
入沢 寿美 学習院大学
岩 尾 熙 岩尾磁器工業(株)
岩下 哲志 矢橋工業(株)
岩原 弘育 名古屋大学名誉教授
植田 邦義 東ソー(株)
植田 哲哉 植田陶磁デザイン&釉薬研究室

上野 文雄 前掲
 植松 敬三 長岡技術科学大学
 魚住 清彦 青山学院大学
 宇田川 重和 千葉工業大学
 宇智田俊一郎 太平洋マテリアル(株)
 内田 眞志 (株)シナネンゼオミック
 梅原 一彦 日本ガイシ(株)
 浦島 和浩 日本特殊陶業(株)
 浦部 和順 龍谷大学
 江頭 誠 長崎大学
 衛藤 基邦 日本原子力研究所
 遠藤 守信 信州大学
 遠藤 幸雄 元・(株)光陽社
 近江 成明 HOYA (株)
 大石 修治 信州大学
 大柿 真毅 東京医科歯科大学
 大川 紀一 ニッコー(株)
 大木 義路 早稲田大学
 大久保 勝弘 日本工業大学
 大浴 成一 日本電気硝子(株)
 大司 達樹 産業技術総合研究所
 大岡 秀行 (株)東芝研究開発センター
 大角 泰章 鹿児島大学
 大関 彰一郎 (財)省エネルギーセンター
 太田 晃 (株)エヌエムビー
 太田 俊一 旭テクノグラス(株)
 大田 陸夫 京都工芸繊維大学
 大谷 茂樹 前掲
 大谷 忠晴 ハリマセラミックス(株)
 大塚 淳 横浜国立大学名誉教授
 大津賀 望 元・帝京科学大学
 大槻 主税 奈良先端科学技術大学院大学
 大野 登美蔵 (社)日本珪瑯工業会
 大橋 吉尚 元・(財)日本陶磁器検査協会
 大森 整 理化学研究所
 大谷 朝男 群馬大学
 大矢 豊 岐阜大学
 小笠原 俊夫 (独)航空宇宙技術研究所
 岡田 明 日産自動車(株)
 岡田 清 東京工業大学
 岡田 繁 前掲
 岡田 昭次郎 (株)日本グレーン研究所
 岡田 能彦 (株)ハネックス
 尾形 孝司 本荘ケミカル(株)
 小形 昌徳 品川白煉瓦(株)
 岡林 茂生 (株)宇部三菱セメント研究所
 岡村 清人 大阪府立大学
 岡村 隆吉 Nghi Son Cemet Co.
 岡本 寛己 アドケムコ(株)
 岡本 亨久 太平洋セメント(株)
 岡本 泰則 京都工芸繊維大学
 小川 純一 ニチアスセラテック(株)
 荻原 長雄 曙ブレーキ工業(株)

奥田 胤明 元・日本電気(株)
 小倉 一道 日本電子(株)
 小栗 正美 (株) INAX
 尾坂 明義 岡山大学
 尾 寄 弘 前掲
 尾崎 義治 成蹊大学
 小田 喜一 (独)産業技術総合研究所
 尾花 博 太平洋セメント(株)
 各務 進 鳴海製陶(株)
 香川 文男 昭和電工研装(株)
 香川 豊 東京大学
 柿本 浩一 九州大学
 掛川 一幸 前掲
 春日 敏宏 名古屋工業大学
 加瀬 田郎 吉野石膏(株)
 片山 恵一 東海大学
 加藤 和巳 (株)太平洋コンサルタント
 金子 克美 千葉大学
 兼安 彰 宇部マテリアルズ(株)
 神谷 信雄 (株)豊田中央研究所
 神谷 秀博 東京農工大学
 神谷 嘉夫 (株) INAX
 亀井 文夫 旭硝子(株)
 亀原 伸男 (株)富士通研究所
 亀山 哲也 (独)産業技術総合研究所
 加山 恒夫 新日本製鉄(株)
 Karppinen, Maarit 東京工業大学
 河合 進 兵庫県立工業技術センター
 川口 建二 (独)産業技術研究所
 川崎 卓 電気化学工業(株)
 川下 将一 京都大学
 川路 均 東京工業大学
 河島 達郎 P&S センター
 河中 俊治 (株)エスイーシー
 河波 利夫 (株)ニッコー
 川本 英司 LWB リフラクトリーズ
 神田 篤 日本特殊陶業(株)
 神立 孝良 セントラル硝子(株)
 木枝 暢夫 湘南工科大学
 菊池 正紀 (独)物質・材料研究機構
 岸 証 理学電機(株)
 岸 輝雄 (独)物質・材料研究機構
 木島 弑倫 京都工芸繊維大学
 岸本 昭 東京大学
 北村 健二 (独)物質・材料研究機構
 北村 真一 日本電子(株)
 橘高 重雄 日本板硝子(株)
 木下 健一 鳴海製陶(株)
 木下 智見 九州大学
 木野村 暢一 山梨大学
 金 鉉敏 京都大学
 木村 茂行 (社)未踏科学技術協会
 木村 敏夫 慶應義塾大学

木村	芳一	(株)荏原総合研究所
木本	浩司	(独)物質・材料研究機構
工藤	和昭	(株)いすゞセラミック研究所
工藤	邦男	神奈川大学
國枝	勝利	三重県科学技術振興センター
久保	俊一	(財)鉄道総合技術研究所
熊谷	俊弥	(独)産業技術総合研究所
熊田	伸弘	山梨大学
倉元	信行	(株)トクヤマ
栗原	正孝	(株)ノリタケカンパニーリミテド
桑原	誠	東京大学
劔持	勲	(株)ヨータイ
小出	康夫	日本フリット(株)
鯉沼	秀臣	東京工業大学
高坂	祥二	京セラ(株)
合志	陽一	国立環境研究所
神津	道雄	日本陶器(株)
幸塚	広光	関西大学
河本	邦仁	名古屋大学
小久保	正	京都大学
小島	昭	群馬工業高等専門学校
後藤	誠史	山口大学
後藤	孝	東北大学
後藤	孝治	(株)太平洋コンサルタント
小林	秀彦	埼玉大学
小林	正樹	東芝タンガロイ(株)
小林	雄一	愛知工業大学
小舟	正文	姫路工業大学
五味	秀明	電気化学工業(株)
小見山	亨	近畿大学
米屋	勝利	横浜国立大学
小山	昭浩	日本板硝子(株)
近藤	良一	前掲
斉藤	文和	秩父石灰工業(株)
齋藤	文良	東北大学
齋藤	弥八	三重大学
坂井	悦郎	東京工業大学
酒井	千尋	日本板硝子テクノリサーチ(株)
酒井	延行	(株)村田製作所
阪井	博明	日本ガイシ(株)
逆井	基次	豊橋技術科学大学
阪口	修司	(独)産業技術総合研究所
坂下	利雄	元・東洋炭素(株)
坂本	明彦	日本電気硝子(株)
坂本	義弘	佐賀県窯業技術センター
崎山	正人	(株)エーアンドエーマテリアル
櫻井	文良	日本カーボン(株)
笹川	幸男	電気化学工業(株)
佐々木	一成	九州大学
佐々木	王明	川崎炉材(株)
佐々木	正夫	(株)住化分析センター
佐々木	光正	スルザーメテコジャパン(株)
笹本	忠	神奈川工科大学

佐々	正	石川島播磨重工業(株)
佐藤	明彦	東海高熱工業(株)
佐藤	完司	昭和電工(株)
佐藤	謙一	住友電気工業(株)
佐藤	秀樹	(株)トクヤマ
佐藤	文昭	日本フェロー(株)
佐藤	幸男	東洋ガラス(株)
佐藤	洋一郎	(独)物質・材料研究機構
佐野	三郎	(独)産業技術総合研究所
沢井	裕一	(株)日立製作所
澤口	正治	岐阜県セラミックス技術研究所
澤田	雅光	神鋼パンテック(株)
澤野	勉	日本板硝子テクノリサーチ(株)
三五	弘之	前掲
塩出	哲夫	アドケムコ(株)
穴戸	統悦	東北大学
芝崎	靖雄	(独)産業技術総合研究所
柴田	修一	東京工業大学
柴田	純夫	住友金属鉱山シボレックス(株)
柴原	数雄	日本インシュレーション(株)
渋谷	邦夫	東芝タンガロイ(株)
島田	昌彦	東北大学
島村	清史	東北大学
清水	紀夫	千葉工業大学
下野	富二雄	石塚硝子(株)
下村	淳	日本電気硝子(株)
白石	耕一	徳山東芝セラミックス(株)
新藤	和義	日本電気硝子(株)
新藤	建夫	(株)ヨータイ
進	博人	(株)INAX
末松	久幸	東京工業大学
菅沼	克昭	大阪大学
菅原	義之	早稲田大学
杉野	太加夫	東芝セラミックス(株)
杉山	豊彦	(独)産業技術総合研究所
鈴木	数夫	東名ダイヤモンド工業(株)
鈴木	蕃	東京都立産業技術研究所
鈴木	傑	名古屋工業大学
鈴木	光男	日本フェロー(株)
須藤	定久	工業技術院地質調査所
陶山	容子	島根大学
関口	隆史	(独)物質・材料研究機構
瀬戸山	克己	工学院大学名誉教授
千田	哲也	前掲
仙名	保	慶應義塾大学
早田	喜穂	日石三菱(株)
曾我	直弘	滋賀県立大学
祖川	理	元・日本フェロー
園田	治	日本電気硝子(株)
祖父江	英夫	日本特殊陶業(株)
大門	正機	東京工業大学
埴田	博史	(独)産業技術総合研究所
高井	政道	品川白煉瓦(株)