

セラミックスの鳥瞰図

加藤誠軌

東京工業大学 名誉教授 〒165-0032 東京都中野区鷺宮 3-15-21

Bird's-eye View of Ceramics

Masanori Kato

Emeritus Professor, Tokyo Institute of Technology, 3-15-21, Saginomiya, Nakano-ku, Tokyo 165-0032, Japan

1 はじめに

この宇宙には無数の物体が存在します。それらの物体はさまざまな物質 (substance) で構成されています。千差万別のそれらの物質は、周期表に記載されている百余種類の元素 (elements) の組み合わせでできています。それらは、金属物質、無機非金属物質、そして有機高分子物質に大別できます。セラミックス (ceramics) は無機非金属物質に属しています。

セラミックスが関係する分野は広大で、熱帯雨林のように雑然としています。セラミック物質についての解説は、金属物質や有機高分子物質にくらべてはなはだ弱体です。本稿では鳥の目でセラミックスを俯瞰して考察してみます。この内容は、昨年上梓したセラミック材料入門¹⁾の第1章に加筆して組み直したものです。

人間の役に立つ物質を材料 (material) と呼びます。道具や機械そして各種製品をつくるには材料が必要です。物質は人間に関係なく存在しますが、材料は人間に関係がある物だけを対象にします。材料に近い言葉に、素材、原料、資源、鉱石などがあります。

材料は、金属材料とセラミック材料、そして有機高分子材料に大別できます。天然材料と合成材料、単一材料と複合材料などに区別することもできます。木材や大理石は天然材料ですが、ポリエチレンやステンレス鋼は合成材料です。鉄筋コンクリートやFRP (繊維強化プラスチック) は複合材料です。

材料の材質は、結晶質材料と非晶質材料に大別できます。結晶は単結晶と多結晶に分けられます。実際に存在している材料の多くは多結晶質材料です。非晶質材料の代表はガラスです。

次節は、セラミックスに直接関係がない雑学も含めて記述しました。それらは若い方々も知って欲しい事柄だと考えるからです。すべてのセラミックスは、天然セラミックス (第3章)、伝統セラミックス (第4章)、先進セラミックス (第5章) に区分することができます。

本稿では、常用漢字表にこだわらないで、難しい漢字を

併記しました。たとえば、イオウ (硫黄)、セッコウ (石膏)、ガイシ (碇子)、れんが (煉瓦)、ほうろう (琺瑯)、ろ過 (濾過)、水ひ (水簸)、たい積岩 (堆積岩)、はんれい岩 (斑禰岩) などです。これは若い読者に仮名書きの元になった漢字を知って欲しいからです。

2 文化と物づくり

2.1 人類の誕生

人類のルーツはアフリカにあります。およそ700万年前、人類と類人猿の共通の祖先は中央アフリカの豊かな森で暮らしていました。森の中では木の枝にぶら下がって移動するのが有利で、類人猿は樹上の生活に固執しました。しかし現人類は徐々に地上生活を習得していきました。直立すると両手が自由になります。人類は手の親指を発達させて道具を容易に握れるように身体の構造を変化させました。

類人猿の脳は重量が400g程度であるのに、現代人の脳は3倍以上の1,200-1,500gです。人類とチンパンジーとではミトコンドリアDNAの内容は1.2%しか変わらないのですが、人類は脳を発達させて今日の文明を築いたのです。

類人猿は舌を自由に動かせないので簡単な発声しかできません。これに対して、直立した人類は喉の構造が変化して複雑な会話ができるようになりました。それに加えて高分解能の視力を獲得した人類は、喜びや悲しみなどの感情や表情を共有して、仲間といろいろ相談できるようになりました。

永い進化の歴史の中で幾種類もの猿人や原人が登場しました。100万年前頃にアフリカを出発して (第一の出アフリカ)、東方に進出した北京原人やジャワ原人は結局子孫を残すことができませんでした。欧州各地に遺跡があるネアンデルタール人も24,000年前の最寒冷期を乗りきることができないで絶滅しました。

7万年前頃にアフリカ大陸を出発した (第二の出アフリカ) ヒトの祖先が世界中に進出しました。現人類はラテン語で「知性ある人」を意味するホモ・サピエンス (homō sapiēns) で、彼らだけが現在まで生き残ったので

す。

人間の本质は道具をつくって使用することにあるとする別の定義もあります。ラテン語の「工作する人」を意味するホモ・ファーベル (homō faber) がそれです。物づくりこそ人間の特技です。

2・2 日本文化の形成

文化 (culture) は、その集団がもっている固有のライフ・スタイルです。世界中のどの文化も「自己の原理原則を変えない」ことを基本としています。しかし我々の祖先は変わっていました。日本列島は大陸からかなり遠いので、大陸の政権に支配された歴史がありません。しかも大陸の最新情報を入手できるという有利な立地条件があります。彼らは渡来した異質な文化を摘み食いして、改善する作業を繰り返して独自の文化に仕上げました。

外来文化を貪欲に取り入れた日本ですが、自分達に都合の悪い制度 (科挙や宦官など) は受け入れませんでした。律令制の導入では独自の神祇官を設けました。

日本では原理原則にかかわる問題は、建前と本音を使い分けて話し合い、妥協を重ねて決定します。

日本仏教には厳格な戒律がありません (自分で決めてよいのです)。僧侶は妻帯も肉食もできます。渡来した仏教と古来の信仰との融和に成功して、深刻な宗教紛争を避けたこの国では、八百万の神様も仏様も孔子様も一神教の神様まで同居して何の不思議もありません。

江戸時代に普及した儒教も学問の一つ (儒学) に過ぎませんでした。当時は、神社の境内にお寺があって、その寺子屋で論語を教えるのが普通でした。現在でも、誕生祝いは〇〇神社で、結婚式は△△教会で、葬式は□□寺でという人が珍しくありません。一神教徒にすれば信じられないほどの「いい加減さ」です。狭い島国で平和に暮らすための知恵「以和為貴」という十七条憲法の精神は今でも生きているのです。

2・3 権力とその継承

古今東西の歴史を調べると、絶対権力を握った政権は時が経過すると必ず腐敗したことがわかります。中国では不徳の天子がでると、有徳の人物に天命が下って新しい王朝を立てる易姓革命が起きて、その度に激しい戦乱が繰り返されてきました。歴代の中国政権は、表面的には儒教の思想で、実際には冷徹な法家の思想で国を治めてきました。そして道教が民間信仰になりました。

日本では易姓革命は起きませんでした。奈良時代までは皇位をめぐる血生臭い争乱が絶えませんでした。それが平安時代の貴族政権や、源平時代・鎌倉幕府・室町幕府・戦国時代・江戸幕府と武家政権が続いて、皇室が象徴的存在になると皇位継承抗争はなくなりました。

権威と実権を分離して政治を安定させるという先人の知恵は独特です。江戸時代は、権力を握る武士階級は清貧に甘んじ、朝廷や公家は権威だけで、豊かな商人は社会的地位が最低と、「満足を分有する」仕組みが機能していました。「権」を代表する老中は数万石の譜代の小大名から、実権を握る勘定奉行・寺社奉行・町奉行は500石から3,000石の旗本から選ばれました。「禄」が多い外様大名は幕政に関与できませんでした。「位」が高い公家の禄高は驚くほど低くて、忠臣蔵でいうと、正二位の勅使・柳原前大納言の禄は220石と中級武士並でした。勅使饗応役の浅野内匠頭の禄は53,500石、饗応指南役の吉良上野介の禄は4,200石でした。

江戸時代の日本では、大名や豪商に凡庸な跡継ぎができると、十分な資産を与えて隠居させ、優秀な養子を探して家督を継がせました。現在でも多くの日本企業は「一緒に働く集団の共同体」ですから、これと似た行動をとります。

明確な宗族^{そうぞく}が存在する父系集団で、儒教の影響が大きい中国^{ちゆうごく}社会や韓国社会では、養子をとることなど許されない行為なのです。

2・4 物づくり

「つくる」は材料に手を加えて新しいものを生み出すことです。平均的な日本人は、世界中で手先が最も器用で、細かいところまでよく気がつく人達です。日本語には、手編み、手織り、手漉き、手染め、手打ちなど手のつく単語が多くて、「手づくり」が特に評価されます。手づくり味噌、手づくり弁当、手づくり教室などです。技能や腕前に相当する英語は skill や craft で、手と直接の関係はありません。

正倉院宝物には黄金製品は一点も含まれていません。すべてが手仕事の成果という特色があります。そして人から人へと1,200年以上も伝えられた伝世品です。宝物には中国や西域から伝来した文物のほか、国産の工芸品も多数含まれています。当時の国産技術の水準は、現在でも再現できない作品があるほど高かったのです。

日光東照宮の陽明門はわずか一年半の工期で建造されました (1624年)。当時は建物を飾る508体の彫刻を短期間で仕上げた多数の工人を動員できたのでした。

日本では昔から工人の社会的地位がかなり高かったようです。現在では優秀な工人には伝統工芸師とか人間国宝の称号が贈られて社会的に尊敬されています。

古事記や日本書紀には、天照大神が機織りされる神話があります。神様が働くのですから、日本人は大昔から労働を卑しい仕事とは考えていなかったはずで。

中国では「はたらく」という概念を表わすのに労と勤の字があって、労働、勤労、労役などの熟語があります。儒

教では肉体労働は卑しい人達の仕事とされていました。「働」という字は国字(和製漢字)です。中国人の「労働」を日本人が「労働」と書くのは、この国では労働と勤勉は昔からの美德で、武士も農民も職人も商人も例外ではなかったからです。

秀吉の朝鮮出兵で日本に連行された大儒者・姜坑は2年後に帰国を許されて抑留記・看羊録²⁾をまとめました。その中で彼は、「倭俗では、あらゆる事柄や技術に必ずある人を立てて天下一とする。天下一の手を経れば、粗悪でつまらない品物でも千金の価値を生じる。木を縛り、壁を塗り、屋根を葺き、表装するなどの仕事にまで天下一がある。云々」と呆れています。これは現在の日本でも通用することです。そして現在の韓国でも、手工業や飲食業は尊敬される職業ではないのです。

2・5 各種用語

同じ物を表すのに、物質名、学名、化学式、鉱物名、岩石名、専門用語、業界用語、商品名、慣用語、俗名、隠語、符牒などいろいろな表現が使われています。化学や地学などを勉強したことがない人には苦痛でしょうが、何しろ古い歴史があるので仕方ありません。

それらの名前には漢語もありますし大和言葉もあります。横文字の名前も多いのですが、英語もあればドイツ語もフランス語もスペイン語もロシア語もあります。ラテン語の系統もあるし、古代ギリシャ語系統の単語もあります。アラブ系の言語や、錬金術の表現、そして宗教に関する言葉もあるのです。

2・6 宇田川榕菴

蘭学は杉田玄白らによる「解体新書」の刊行(1774年)ではじまりました。宇田川榕菴(ようあん、1798-1846年)は備前・津山藩の江戸詰め医師でした³⁾。彼は当時の蘭学界を代表する博物学者で、我が国で最初の植物学解説書「植學啓原」全3巻や、日本で最初の化学書「舎密開宗」全21巻の著者でもあります。舎密はオランダ語のchemieの音訳です。

榕菴のオランダ語の実力は江戸で親交を結んだ南ドイツ出身のオランダ海軍医官のシーボルト(P.F.von Siebold, 1796-1866年)よりも上でした。榕菴はラテン語、英語、ドイツ語、フランス語、ロシア語などにも通じていたということです。絵も巧みで、日本原産植物の写生の多くをシーボルトに贈りました。返礼として、欧州で最新の専門書や顕微鏡が届けられました。

榕菴は現在も使われている科学用語の多くを造語したそうです。すなわち、元素、酸素、窒素、水素、炭素、鹽素(塩素)、白金、蒼鉛、物質、成分、分析、金属、吹管、試薬、結晶、法則、温度、圧力、容積、流体、溶液、溶解、

飽和、気化、蒸気、蒸散、蒸溜(蒸留)、凝固、潮解、煮沸、沸騰、昇華、坩堝(るつぼ)、濾過(ろか)、装置、澱粉、珪土、酸化、還元、硫化、中和、塩、金属塩、酸性塩、中性塩、酸、炭酸、塩酸、硫酸、王水、亜硫酸、琥珀酸、燐酸、醋酸(酢酸)、蔞酸、青酸、蟻酸、尿酸、曹達(ソーダ)、瓦斯、色素、護謨(ゴム)、花卉、龍骨、葯、単葉、複葉、雄蕊、雌蕊、花粉、球根、萼などです。170年後の我々が使っている多くの術語を考案したことは驚異です。

2・7 日本漢語

明治の開国とともに横文字が氾濫しましたが、民衆はこれらの意味を理解できませんでした。福沢諭吉や西周など多くの洋学者は、西洋の学術用語を漢字の熟語に翻訳しました。これは現代人に比べてはるかに漢学の素養があった当時の人々に、概念を理解させるのに極めて有効でした。たとえば、philosophy を仮名書きしたのでは何のことかと頭をかしげた人達も、「哲学」と書けばなるほどと了解したのでした。蘭学にはじまるそれらの和製術語を「日本漢語」といいます。

その結果、文明、文化、開化、真理、実験(実験)、論理、立法、行政、司法、命題、演繹、帰納、弁証法、進化、人権、個人、存在、宗教、自由、権利、主観、客観、思想、義務、主義、人道、歴史、民族、原則、現実、反対、会話、計画、社会、信用、金融、方針、経験、新聞、心理、情報、進歩、教育、説教、演説、立場、幹部、切手、交通、資本、消費、貯蓄、男性、女性、君、僕、彼女、恋愛、場合、自然、科学、物質、数学、素数、工学、技術、鉄道、窯業、陶器、鉛筆、〇〇的、〇〇論、〇〇観、〇〇性、〇〇式、〇〇化、〇〇率、〇〇界、〇〇力、〇〇学など、数千もの日本漢語が定着しました。

仮名がない中国語で西欧のことを記述するのは大仕事です。電腦(コンピュータ)、可口可樂(コカコーラ)、保齡球(ボーリング)のようにすばらしい当て字もありますが、常に感心する中国語に置き換えるのは無理です。たとえば、牛頓(ニュートン)、伽利略(ガリレイ)、阿基米得(アルキメデス)、阿司匹林(アスピリン)、達那馬特(ダイナマイト)など、古事記や万葉集の記述を想わせる訳語がたくさん存在するのです。

日本語に翻訳された日本漢語の多くが、明治・大正時代に中国語に移植されて現在でも広く使われています。中国語の理化学、工学・技術、社会科学などに関係する術語の60-70%は日本漢語だそうです。中華人民共和国政府と書けば、中華以外は日本漢語です。

日本漢語のおかげで、我々は日本語だけで大学院を修了することもできます。発展途上国ではこのような環境は整備されていません。

なお、「セラミックス」に対応する日本漢語はまだできていません。

2・8 言語改革

上流階級や高学歴の市民はともかく、民族全体の言葉を変更するのは大変な仕事です。たとえば古代ローマ帝国では、上流階級はラテン語とギリシャ語のバイリンガル教育を受けた人が多かったのです。帝国内では軍隊用語は治安上の理由からラテン語に統一されていましたが、一般民衆は土着語を使っていました。

現在の世界でもバイリンガルの人は大勢いますが、自由に話せる言語はせいぜい数カ国語でしょう。母国語だけで大学を卒業できる人が世界中にどれほどいるかを考えてください。インド、パキスタン、バングラデシュなど、百年以上も英国の植民地であった国々でも、上流階級以外でバイリンガルな人材はわずかです。そしてこれらの国々では、西欧の学術書や文学書が自国語に翻訳されることはほとんどありませんでした。

これに対して、日本列島の祖先たちは「やまとことば」に漢字を大胆に取り入れて^{そしやく}咀嚼し、それを自在に加工して(訓読の発明、仮名の発明などなど)、語彙を拡げて独自の言語に仕上げました。それでも言語の根幹は変更しなかったのです。

現在の日本語の文章では、漢字、カタカナ、ひらがな、ルビ付きの漢字、各国の横文字などを自由に混ぜて使っています。縦書きはもちろん横書きも自在で、右から書くことも左からも書くこともできるなど、世界中で自由度が最も高い文章の一つです。

明治維新の混乱期には漢字の廃止が強く主張されました。初代文部大臣・森有礼(1847-1889年)は国語を英語に変えるようにと主張しました。ローマ字やエスペラント語の研究も盛んに行われました。

昭和20年の敗戦は史上最大のカルチャーショックで、かな書きやローマ字採用の声が大きかったのです。志賀直哉(1883-1971年)はフランス語を国語とするように主張しました(1946年)。

アメリカの教育使節団は、日本の文字は学問の恐るべき障害になっている。漢字を全廃して表音式表現に改めるべきだという報告書を発表しました(1946年)。占領軍は日本人が狂信的に戦ったのは正しい情報を知らなかったからだと考えました。民衆は難しい漢字を読めないに違いないと、日本語の読み書き能力を全国的に調査しました(1948年)。その結果、文盲率が2.1%と世界最低であることが判明しました。占領軍は日本語をローマ字化する政策を放棄しました。

日本語の漢字仮名混じり文は読み易い文章です。これを

仮名で書くと、にほんご の かんじ かな まじりぶん は よみやすい ぶんしょう です。で、読み易いとはとても思えません。ローマ字で書くと、nihongo no kanji kana majiribun wa yomiyasui bunsho desu.となって、読み難いことは明白です。漢字仮名混じり文はパターン認識し易いのです。

しかし現在では、中国・香港・台湾以外の国々で、漢字を使っているのは日本だけになってしまいました。

日本語ワープロの実現(1978年)は、仮名の発明に匹敵するほどの画期的な事件で、ローマ字採用論の息の根を止めるだけの威力がありました。

電子機器の発達は目を見張るものがあります。携帯電話が国民の9割に普及して、インターネットや電子辞書で外国語を翻訳してくれる時代です。10年後には高性能の携帯多言語通訳機が開発されて、言葉の障壁が低くなっていることは確かです。

3 天然セラミックス

3・1 自然がつくったセラミックス

花崗岩や大理石などの岩石は自然がつくった立派な天然セラミックスです。地球が誕生して以来、地上や地下の至る所で岩石がつくられてきました。そして将来もそうです。それらの岩石には火成岩も堆積岩も変成岩もあります。岩石が風化してできる土壌や粘土は、水の惑星である地球の特産物です。

夜空に輝くお月様は直径が1,740kmもある巨大な天然セラミックスです。月と地球は約46億年前に生まれた兄弟星です。宇宙飛行士が持ち帰った数百kgにも達する月の石は、地球上にある火成岩と同じ種類の岩石でした。地球上に現存する最古の岩石はカナダ西北部にある40.3億年前の火成岩ですが、持ち帰った月の石には46億年前の古い岩石も含まれていました。

現在の科学技術では、どれほどお金をかけても10cm角の花崗岩も大理石も製造することができません。

天然セラミックス(natural ceramics)は著者が提唱している概念です。

3・2 石器の発明

人類とセラミックスの関わりは石器の発明にはじまります。天然の石材を加工してつくった道具を石器(stone implement)といいます。250万年前頃、エチオピアで生活していた猿人が丸い石の一端を打ち欠いて、最初の原始的な石器をつくりました。この発明によって石器時代がはじまりました。

今から60万年前頃、緻密な石材や天然ガラスを薄く打ち欠く技法が発明されて、鋭い刃をもつ石器をつくるようになりました。この技術革新によって旧石器時代がはじまっ

たのです。槍や弓矢などの石器と解体ナイフを装備した原人は、鹿やマンモスなど大型動物を狩猟することが可能になりました。

石臼も重要な役割を果たしました。突き臼で、粟やドングリ、芋などを潰したり、蒸した米や雑穀を餅にすることができます。播り臼で穀物を粉碎して、パンや麺などの粉食が可能になりました。

日本列島では石器の素材として黒曜石（obsidian）やサヌカイト（讃岐岩、sanukite）がよく使われました。これらの岩石は硬くて、打撃を加えると割れやすく、破面が貝殻状である点が共通しています。黒曜石は黒光りする天然ガラスで日本各地に産出しますが、長野県霧ヶ峰の和田峠や伊豆神津島産が有名です。サヌカイトは黒色の緻密な無斑品質輝石安山岩で、奈良地方から瀬戸内海沿岸にかけて産出します。

欧州では石器の多くがフリント（燧石、flint）でつくられました。フリントは灰色で緻密な極微晶石英（含水シリカ）の堆積岩で、破面は鋭い貝殻状です。

美しい貝殻や貴石は古来、宝飾品として重要でした。

3・3 古代のセラミック構造物

人類が誕生してからの地球には数回の氷河期と、温暖期が訪れました。後期旧石器時代は最終氷河期で、現世人類が世界中に拡がった時代です。

今から1万数千年前には、地表が急激に温暖化して大洪水が起こり、海洋の深層海流の流れが変わって世界各地の気候が激変しました。地上の植物相も変化して、狩猟の対象であった大型動物が激減しました。その結果、世界各地で灌漑農業と牧畜が行われるようになって、人々は集団生活することになりました。やがて世界中で同時多発的に古代文明が興隆したのです。

そして時代が経過するとリーダーの権力が増大して、大きな構造物を建設するようになりました。たとえば古代エジプト人は、紀元前3,000年頃からナイル河の西岸に大小100基を超えるピラミッドを建設しました。

粘土の成形体は水を加えると元にもどってしましますが、乾燥地帯では日干し煉瓦の建造物でも十分使用に耐えます。ほどなく木製の枠に練り土を入れて成形する、規格化した日干し煉瓦が考案されて、それを使って無数の構造物がつくられました。

中国の黄河文明が発生した地域は微細な粘土からなる「黄土」の大地です。版築は木材で型枠をつくって、その中に黄土を入れて石槌で突き固める工法で、黄土が乾くと煉瓦のように硬くなります。葦などの植物繊維を混ぜて強化することもできます。紀元前221年に中国を統一した秦の始皇帝は版築工法で万里の長城を築きました。

3・4 文字の発明

チグリス川とユーフラテス川に挟まれたメソポタミア地方は粘土文明発祥の地です。シュメル人は紀元前4,000年頃からメソポタミア南部に進出して灌漑農作をはじめました。シュメル人は日干し煉瓦で世界最初の都市国家を築きました。

彼らは紀元前3,200年頃、人類最初の文字（ウルク古拙文字、絵文字）を発明しました。紀元前2,500年頃には約600文字からなるシュメル文字体系（表語文字と表音文字）が完成しました。葦を削ったペンを軟らかい粘土板に押しつけて書く楔形文字です。

シュメル人はまもなくこの土地から姿を消しましたが、文字はいろいろな形で周辺民族に取り込まれて発展しました。文字の発明によって人類は、友人と連絡し、子弟を教育し、歴史や教典を記録し、文学を記述することを可能にしたのです。文字を使う人々、これこそ文明人です。

3・5 天然セラミックスの利用

欧州の都市は石の城壁で囲まれています。そして石造の寺院や王宮が都市のシンボルになっています。美術館には古代ギリシャ・ローマ時代以来の大理石でつくられた無数の彫像が飾られています。

しかし日本列島は地震多発地帯であるため、石材の利用は限られていました。耐震設計が発達した現在では、高層ビルの壁面や内装にも石材が多用されています。

石材に要求される性質は、外観の美しさ、強度、耐候性、耐熱性、加工性などです。石材の魅力は機能に比べて価格が非常に安いことです。しかも数百年単位の寿命をもっています。記念碑、墓石、灯籠、石像など石材加工品の種類は多く、日本各地に石工団地があります。しかし現在では中国の下請け企業に大きく依存しています。石材の年間生産額はおよそ1兆円です。

1tonのポルトランドセメントをつくるには1.15 tonの石灰石が必要です。現在の我が国では年間約8,000万tonのポルトランドセメントが製造されていて、ほぼ全量が国内で消費されています。コンクリートをつくるには1tonのポルトランドセメントに対して約7tonの骨材（碎石と砂）が使われます。舗装道路や鉄道路床に用いる碎石は年間5億ton以上も採掘されています。碎石、砂、石灰石、粘土などは国内資源で自給しています。

地殻を採掘して得られる原材料が鉱産原料です。海に囲まれている日本は、世界中から良質の原料を大量に輸入しています。たとえば、鉄鉱石、非鉄金属（銅、ニッケル、コバルト、マンガン、チタン、ジルコニウム、バリウム、アルミニウム、貴金属、レアメタル、…）鉱石、石炭、原油、核燃料などのほとんどを輸入しています。

4 伝統セラミックス

4.1 火の利用

人類は旧石器時代に火を利用する技術を習得して世界各地に進出しました。焚き火を継続することや、消し炭を利用して火種を保存する技術を理解し、摩擦や火打ち石を利用して火を起こすことを発明したのです。火を扱える効用は計り知れません。生では食べられない材料も、火を通すことで食べ物になります。寄生虫や黴菌も駆除できますし、生肉も燻製にすれば長期保存に耐えます。

それに加えて火があれば暖房ができます。本来は熱帯の動物であった人類が寒冷地に進出できたのも、火を囲んで家族の団欒が可能となったのも、火を使う技術を習得したからです。野生生物は一般に火を恐れるので肉食獣から身を守ることもできますし、草原に火を放つ追い込み猟も可能となったのです。

4.2 土器の発明

農業が行われるようになって人々が集団生活をはじめた頃、世界各地で土器や土偶をつくる技術が発明されました。適度の水を含む粘土は可塑性 (plasticity) があって粘土細工ができます。粘土 (clay) はプラスチックの語源なのです。成形した器を乾燥して500℃以上に加熱すると、粘土が化学的に変質して水に溶けない土器ができます。土器の発明で水や穀物の保存が容易になりました。土器は人類が合成した最初の道具です。

人類は土器と火を利用して、食物を、煮たり、茹でたり、蒸したり、焼いたり、燻したり、炒めたり、揚げたりできるようにしました。発酵現象を利用してパンやチーズをつくり、酒、酢、醬、魚醬、味噌、醤油などを醸造することもできるようになって、人類は「調理」という新しい文化を創造したのです。

4.3 セラミックスの用語

セラミックスは永い歴史をもつだけに、用語と概念そして定義は、国によっても、民族によっても、時代によっても、人によってもかなりの差があります。これは通俗書でも専門書の記述でも同じです。

英語のceramicsなど「やきもの」を意味する欧州各国語は古代ギリシャ語に由来しています。セラミックとセラミックスの関係については、本誌の講座「いまさら聞けない」シリーズの10月号で解説して下しました。

中国で「陶」は土を捏ねて焼いた「やきもの」全般のことです。「瓷」や「磁」は堅く緻密に焼結した「やきもの」を意味しています。窯は「やきもの」を焼く炉のことで、窯は神聖な場所でした。陶器や瓷器 (磁器) という言葉も使われました。

江戸時代には「陶器」という言葉が「やきもの」全体を

表していました。西洋の科学・技術を導入する前の我が国では、伊万里・鍋島のように硬い「やきもの」を「石焼き」、それ以外の軟らかい「やきもの」を「土焼き」と区別したり、陶石を粉末にしてつくる「やきもの」を「石もの」、粘土でつくる「やきもの」を「土もの」と区別する程度の分類しかありませんでした。

現在の我が国では「やきもの」の総称として、「陶器」と「陶磁器」と「陶磁」が無秩序に使われています。「やきもの」を表すのに「瀬戸物」とか「唐津物」という言葉も昔から使われています。

天然原料からつくるセラミックスを総称して、伝統セラミックス (traditional ceramics)、珪酸塩セラミックス (silicate ceramics)、古典セラミックス (classic ceramics) などと呼んでいます。天然原料からつくるセラミックス産業を珪酸塩工業 (silicate industry) とか、製陶業や陶業、そして窯業といいます。窯と業は中国古来の文字ですが、窯業はceramic industryの訳語として明治20年に考案された日本漢語です。無機材料とか無機材料工学という用語は昭和30年代から使われています。

なお中国語では、珪素を「硅」、珪酸塩を「珪酸塩」と書きます。セメントは水泥、ガラスは玻璃です。

4.4 「やきもの」の種類

窯業は地域性の大きい産業です。「やきもの」の多くは生産地の近隣で採掘した天然原料でつくります。「やきもの」の焼成条件もさまざまです。世界中にある「やきもの」は千差万別で、それらを例外なしに正確に分類することは非常に難しく、誰もが納得する分類は現実には存在しません。

ここでは表1にしたがって説明しますが、分類を厳格に考えないでください。「陶器」は明治初期までは「やきもの」全体を指す用語でしたが、この分類では狭い意味に使っています。

土器 (earthenware) は、粘土で成形した器を乾燥して600-900℃に焼いてつくります。いわゆる野焼きで得られる最高温度は800℃程度ですから、窯がなくても製造できます。不純物が多い粘土を使うので焼成後の素地は着色しています。素地は多孔質で、吸水性が大きく、強度が弱く、叩くと鈍い音がします。縄文式土器、弥生式土器、埴輪、かわらけ、博多人形、京焼人形、植木鉢などがこれに含まれます。多くは施釉しません。

狭い意味での陶器 (pottery) は1,000-1,300℃で焼成します。陶器はかなり緻密に焼結していますが、若干の吸水性があるので、施釉することが多いのです。笠間焼、益子焼、織部焼、美濃焼、萩焼、唐津焼、薩摩焼、煉瓦、室内用タイル、衛生陶器などがあります。

表1 「やきもの」の分類

種類	素地	釉	焼成温度
土器	多孔質・吸水性大	不問	600-900℃
陶器	吸水性有	施釉	1,000-1,300℃
炆器	緻密・不透明	不問	1,100-1,350℃
磁器	緻密・透光性	施釉	1,200-1,500℃

炆器（stoneware）は不純物の多い素地を使って成形して、かなり高温で石のように硬く焼き締めてつくります。素地は着色していて、吸水性がなく、叩くと金属音を発します。常滑焼、信楽焼、万古焼、伊賀焼、丹波焼、備前焼、中国の宜興窯、イギリスのジャスパールウエア、屋外用タイルなどがあります。明治期には「石器」と書きましたが石の道具とまぎらわしいので、明治40年に「炆」という国字が考案されました。

磁器（瓷器、porcelain）は技術的には頂点に位置する「やきもの」で、高温焼成するので、素地が緻密で吸水性がなく、叩くと金属音を発します。磁器は白磁と青磁に大別されます。白磁は素地が白くて透光性がよいほど高級品で、鉄やチタンなど着色原因となる不純物が極力少ない原料を使って成形し、1,250℃以上の高温で焼成してつくります。青磁は若干の鉄を含む不透明な素地を使って成形し、少量の酸化鉄を含む透明釉を厚くかけて還元炎で高温焼成してつくります。登り窯で松の薪を焚いて得られる最高平均温度は1,300℃です。西欧磁器の多くはそれ以上の温度で焼成するので石炭窯を使ってつくります。有田焼（伊万里焼）、鍋島焼、瀬戸焼、清水焼、九谷焼、砥部焼、出石焼、会津本郷焼、中国・景德鎮窯、ボーンチャイナ、マイセン窯、セーブル窯、ロイヤルコペンハーゲン窯などは磁器製品です。

4・5 伝統セラミックスの定義

伝統セラミックスという用語には狭い意味と広い意味とがあります。

狭い意味での伝統セラミックスは「やきもの」のことで、これに異議を唱える人はいません。正確に言えば「非金属無機物質の粉体を成形し、乾燥し、焼成して得られる固体」

が狭義のセラミックスです。縄文式土器、弥生式土器、埴輪、須恵器、陶器、磁器、瓦、煉瓦、タイル、土管、植木鉢、甕、耐火物、碇子、化学磁器（蒸発皿、坩堝など）、陶歯、博多人形、鉛筆の芯などがこれに該当します。

日米両国の定義では伝統セラミックスを広く解釈します（表2）。我が国の定義では、狭義の伝統セラミックスに加えて、ガラス、珪瑯、ガラス繊維、無機繊維、石膏、石灰、セメント、コンクリート、顔料、炭素製品、砥石、触媒担体、核燃料、宝石、単結晶、人工歯、人工骨など広範囲の品物を包括しています。

これに対して欧州諸国では現在でも伝統セラミックスの範囲が狭いのです。日本やアメリカの定義ではガラスやセメントはセラミックスの一員ですが、欧州諸国は狭義の定義を採用しているので、ガラスやセメントはセラミックスとは別の無機材料だということです。

日米の定義に「芸術」という単語が含まれていることにも注意してください。金属やプラスチックの定義に「芸術」という文字はありません。

日本の伝統セラミックス産業の生産統計は年8.5兆円程度で、10年たっても変化がない成熟産業です。その中で、セメントとコンクリートの生産額がおおよそ1/2、ガラスの生産額が1/4を占めています。

食卓用陶磁器などの「やきもの産業」は多くの人手が必要ですから、発展途上国の追い上げに苦しんでいる斜陽産業の一つです。

4・6 明治初期の技術導入

和風陶磁器の製造技術は幕末には完成していましたが、板ガラス、ポルトランドセメント、耐火物、煉瓦、タイル、洋食器、碇子などの製造技術は、明治以来の諸先輩が現在

表2 伝統セラミックスの定義（広義）

日本	主構成物質が無機・非金属である材料あるいは製品の製造および利用に関する技術と科学および芸術。
アメリカ	無機、非金属物質を原料とした製造に関する技術および芸術で、製造あるいは製造中に高温（540℃以上）を受けける製品と材料。

まで百年の歳月をかけて達成した成果です。現在では日本の伝統セラミックス産業は世界最高の技術水準を誇っています。

明治4年、明治新政府は岩倉具視を全権大使とする大規模な使節団を米欧諸国に派遣しました。彼らは一年半をかけて世界を一周して、のべ12カ国のありとあらゆる施設や制度（政府機関、軍隊、警察、軍事施設、艦船、兵器工場、交通機関、銀行、郵便局、病院、上下水道、教育機関、各種製造業、刑務所、貧民窟、…）を見学し、調査しました⁴⁾。この使節団には59名の技術研修生が随行していました。彼らは各地の施設に分散して数年間留学し、種々の技術を学んで帰国しました。

ワグネル (G. Wagener, 1830-1892年) は明治元年 (1868年) に来日して、文明開化期の我が国で窯業の近代化にもっとも貢献した外国人です。彼は有名な数学者でゲッチンゲン天文台長のガウス教授から学位を授与されたのですが、日本では理工学の広い分野で西欧の最新技術を紹介して指導的役割を果たしました。洋式の実業教育はワグネルの建議によって、東京職工学校 (現在の東京工業大学) の開校 (明治14年) で実現しました。

窯業における先覚企業家としては、大倉孫兵衛・和親父子と森村市左衛門の功績は特に大きいものがあります。大倉父子は窯業の分野で日本を代表する企業群を創設して採算ベースに乗せました。すなわち、日本陶器合名会社 (現株ノリタケカンパニーリミテド)、東洋陶器株 (現TOTO株)、伊奈製陶株 (現株INAX)、日本碍子株 (現日本ガイシ株)、日本特殊陶業株、大倉陶園株、各務クリスタル株などです。製品の輸出を担当した森村組 (現森村商事株) は、福沢諭吉の勧めで明治9年 (1876年) に設立された日本で最初の輸出商社です。

なお、近代陶磁器産業発祥の地となった名古屋市則武の日本陶器工場の跡地は「ノリタケの森」という展示施設に生まれ変わっています。

4・7 科学技術と理工学

科学と技術について考えてみましょう。日本では、科学・技術は一体と考える人が多いようですが、英語では science and technology です。多くの欧米人は、真理を探究する科学は哲学や宗教に近いもの、手の技である技術は芸術に近いものと考えているようです。科学者と技術者の関係は、探究する人が科学者で、創造する人が技術者なのです。

技術は科学の応用ではありません。反対に、蒸気機関の発明が学者を刺激して熱力学が生まれ、飛行機が発達して高速流体力学ができたのです。しかし現在では科学と技術は切り離せないほど親密な関係になりました。科学は技術

開発に必要な不可欠な学問になって、精巧な実験装置をつくる技術やコンピュータ技術は科学の進歩に欠かせないものとなりました。

理学と工学の関係も科学・技術と似ています。日本では理工系と一言でいいますが、理工学部の英語名は the department of science and engineering です。

明治政府は西欧の科学技術を導入するにあたって、実学を重視して大学に工学部を設けました。工学は明治政府が採用した概念で、工学・技術者 (engineer) に必要な学問技術が工学 (engineering science) です。総合大学に工学部を置いて、工学博士の学位授与権を与えたのは世界中で日本が一番早かったのです。

当時の西欧諸国では工学は大学での研究対象ではなくて、科学に比べて一段低い地位にありました。技術や工学の学校は大学 (university) と名乗ることができなくて、ドイツの工科大学 (Technische Hochschule) やアメリカのマサチューセッツ工科大学 (MIT) では博士号を授与できませんでした。

第二次大戦前の日本では大学が少なく、大学卒の科学技術者の数は限られていました。敗戦後、製造業が急速に発展した原因の一つに「高学歴で質の良い労働力」を多数確保できたことがあります。敗戦後は駅弁大学と悪口をいわれたほど多くの大学が新設されました。その結果、多数の技術者が社会に供給されて、中小企業まで技術力の底上げができたのです。良い意味での「駅弁大学効果」です。現在の大企業は高い技術水準をもつ多くの中小企業によって支えられています。日本の製造業の足腰が強い最大の理由はここにあります。

4・8 セラミック工芸

現在の日本人は世界で一番の「やきもの」好きですが、今では「やきもの」や「ガラス工芸」は工学の対象ではなくて、芸大の担当分野になってしまいました。

「やきもの」の本は無数に出版されていますが、それらは美術・工芸の本ばかりです。たとえば「やきもの事典増補⁵⁾」には約800冊の書名が、日本陶磁史・概論、中国陶磁史・概論、朝鮮陶磁史・概論、東南アジア・中近東・ヨーロッパなどの陶磁、地域別研究書・図録、原始・古代・中世、茶陶、東西交流・貿易に関する文献、特殊研究書、事典・辞書、技術書・入門書、全集、に分類して掲載されています。

5 先進セラミックス

5・1 新しいセラミックス

1940年代を過ぎると、伝統セラミックスとはまるで違うセラミックスが続々と出現して、それらをお呼びする新しい名前ががつぎつぎに現れました。特殊陶磁器、特殊窯業品、ニュ

ーセラミックス（ニューセラ）、テクニカルセラミックス、ハイテクセラミックス、近代セラミックス、ファインセラミックス、先進セラミックスなどです。ファインセラミックス（fine ceramics）は和製英語で、京セラ（株）創始者の稲盛和夫氏が最初に提唱したとされています。

その他にも新しいセラミックスを表す名称がいくつもあります。たとえば、酸化セラミックス、炭化物セラミックス、窒化物セラミックス、硼化物セラミックス、アルミナセラミックス、ジルコニアセラミックス、炭素セラミックスなど、材質で呼ぶ場合もあります。ニューガラスと呼ばれる先進ガラス製品もいろいろあります。

別の表現もあります。機能性セラミックスと構造用セラミックスという分類です。前者は電子セラミックスすなわちエレセラのことで、後者はエンジニアリングセラミックスすなわちエンセラを意味しています。生体セラミックスすなわちバイオセラミックスとか、光学セラミックスすなわちオプトセラミックスという言葉もよく使われます。超伝導セラミックスの発見は世間の話題をさらいました。

本稿ではこれらのセラミックスを（先進セラミックス、advanced ceramics, high technology ceramics）と呼ぶことにします。

5・2 先進セラミックスの特徴

先進セラミックスの定義はまだ確立していません。ここでは先進セラミックスに共通する特徴を説明します。第1から第4が特に重要です。

第1の特徴は、伝統セラミックスの一般的な性質を備えていることです。すなわち、熱に強い、燃えない、錆びない、硬い、減らないなどの長所をもっています。欠点としては、機械的・熱的衝撃に弱く、後加工が難しいことなどです。これらの欠点をかなり改善した先進セラミックスが実現しています。

第2の特徴は、伝統セラミックスにはない別の機能（電気・磁気的特性、光学的特性、機械的特性、熱的特性、音波的特性、化学的特性、生化学的特性、放射能特性、…）を備えていることです。それらの機能は人の役に立つものであれば何でも良いのです。

第3の特徴は、周期表上のすべての元素を対象とする汎元素材料（pan-elemental materials）であることです。炭化物、窒化物、硼化物、希土類化合物など、天然には存在しない物質もたくさんあります。珪酸塩を主体とする伝統セラミックスと比べて、汎元素セラミックスには無限の可能性がります。

第4の特徴は、あらかじめ合成した高純度で組成が単純な原料を使うことです。たとえばチタバリ（ BaTiO_3 ）コンデンサの主原料には、精製した BaCO_3 と TiO_2 を使用し

ます。天然原料は複雑で品位が一定しないので、反応の制御が難しいからです。

第5の特徴は、多種多様なことです。高度な機能は何であってかまいませんし、製品の用途にも大きさにも何の制限もありません。

第6の特徴は、高温、高圧、腐食性雰囲気、強力な放射能など、過酷な条件下でも高度な特性を発揮できることです。

第7の特徴は、可塑性や結合剤として粘土の代わりに有機高分子物質を、焼結融剤として長石の代わりに少量の無機化合物を使用することです。

第8の特徴は、工業製品としての高度の規格が要求されることで、材質と物性が常に均一で、機械的な寸法精度が要求されます。

第9の特徴は、収縮を計算して原料粉体を成形・焼成処理することです。金属材料や高分子材料では素材を購入して機械加工するのが普通ですが、セラミック材料は後加工が非常に高くつくので、できるだけ製品に近い形状をつくる必要があります。

第10の特徴は、製造方法にこだわらないことです。粉体焼結以外のあらゆる製造方法も検討して、最適の手段が採用されます。

5・3 ハイテク機器の進歩と小型化

ハイテク機器たとえばスーパーコンピュータを用いる銀行のATM、航空機・鉄道・交通機関・宿泊施設などの予約システムや券売機、天気予報、地震予知、人工衛星制御、宇宙・航空技術、軍事技術などがめざましく進歩しています。現在製造されている航空機・宇宙船・艦船・自動車・ロボット・映像機器などは、コンピュータ制御によるメカトロニクス（mechatronics）の塊です。

各種機器が小型化して、携帯可能な（mobile）道具が普及しました。まもなく、いつでも、何処でも、誰でも、必要な情報を利用できるユビキタス時代が実現するでしょう。機器の小型化には5つの流れがあります。第1が部品の小型化、第2が部品点数の削減、第3が集積度の向上、第4が複合化、第5が実装密度の向上です。器具の小型化とすべてを凝縮する技はこの国の伝統で、形や大きさが違う多種類の部品を小さな空間につめこむ実装技術は日本企業の得意技です。それができない「つまらない」企業はこの世界では生きてはいけません。

5・4 エレセラ部品

エレセラ部品はデジタル時代を支える花形部品群です。2006年に市販された携帯電話には、300個以上ものセラミック部品がつめこまれていました。内訳は、7割程度が積層セラミックコンデンサ、2割近くがチップ抵抗、1割ほ

どがチップインダクタで、それに加えて、SAWフィルタ、水晶部品、ダイオード、トランジスタ、半導体集積回路(LSI)、など100点以上もの小部品が組み込まれていました。携帯電話の小型化には、システムLSIやLiイオン二次電池の進歩が大きく貢献しました。

一昔前の抵抗やコンデンサにはリード線がついていて基板にハンダ付けしていましたが、当節は規格化されたマイクロチップ部品が多くなりました。チップ(chip)は小片を意味しています。チップ部品の外形寸法は、過去20年間に3216型(3.2mm×1.6mm)から0402型(0.4mm×0.2mm×0.2mm)へと小型化しました。0402型はバケツ一杯に1,000万個が入って価格が500万円から1億円くらいという製品です。

小型化の流れは止まるところを知りません。薄膜技術の進歩は機能性部品やデバイスの小型化と集積度の増加に拍車をかけています。半導体電子部品やハイブリッド部品には集積度の向上が要求されて、ナノテクノロジーの進歩が究極の小型化に弾みをつけています。

エレセラ部品を細かく分類すると無数といってもよいほどです。たとえば積層チップコンデンサについていえば、電気容量、耐電圧、温度特性、使用温度範囲、外形、寸法など、多種多様な製品を取り揃えなければ商売になりません。

エレセラ部品には非常に高い信頼性が要求されます。ppm(parts per million)すなわち100万個に1個の不良品も許されないのが当然の世界です。

エレセラ部品をつくるのが難しい例を説明しましょう。微小な部品は全数が完全に均質でなければ不合格です。たとえば温度センサのNTCサーミスタは数種類の遷移金属酸化物の混合物を焼結してつくりませんが、焼結体のすべての部分を完全に均一な組成にすることは大変難しい技術です。原料粉末の具体的な混合方法は各社が秘密にしているノウハウ(know how)です。ノウハウの一つ一つは小さな工夫に過ぎませんが、ノウハウの積み重ねが技術の優劣を決定するのです。

エレセラの商品寿命は生鮮食品並に短いのです。企画、設計、試作、量産の各段階で最大限のスピードが要求されます。新製品をつぎつぎに開発しなければ業界に生き残ることができないという忙しい業種です。それに加えてエレセラ部品は膨大な数量を量産する必要があります。多種多数量産で商品寿命が短いことはメーカーにとって大きな負担です。

エレセラ部品は焼成してつくるので、製品を調べても生なま素地の状態や製造条件を知ることができません。エレセラはブラックボックス化が容易な業種です。

芥子粒けしのように小さな製品を量産するには、ベルトコンベアーに工具さんを並べてという生産方式では無理です。全自動の製造ラインと検査設備、そして完璧な品質管理システムを構築する必要があります。しかも一つの生産ラインで多種類の製品を混流生産することが競争力の向上につながるのです。絶対に壊れない製造・検査設備は実現不可能ですから、まめに点検、修理、整備して機器を良好な状態に維持できないようではメーカーとしての資格はないのです。

5・5 日本企業の実力

先進セラミックスは数十年の歴史があるに過ぎませんが、伝統陶磁器産業をはるかに超えて発展しています。先進セラミックスの売上高は、1988年が約1兆円、1998年が約1.8兆円、2005年が約2.0兆円と順調に増加しています。

日本には、TDK(株)、京セラ(株)、(株)村田製作所をはじめとして、小企業まで含めれば百社を超える先進セラミック部品の製造企業があります。このような企業群は、欧米にも、中国にも、NIES諸国にも例がありません。

先進セラミック部品については日本企業が圧倒的な開発力をもっています。日本企業の先進セラミック部品がなければ、世界中のデジタル電子機器はつくれませんし、欧米諸国の軍需産業も宇宙航空産業も製品をつくれぬのが現実です。それにしても関係者の発信力が大きくないのはなぜでしょうか？対外交渉力の強化は日本企業にとって緊急の課題です。

耐火物の分野では日本企業の技術が世界を牽引しています。耐火物の開発では、先進セラミックスの研究・開発手法を全面的に取り入れています。

5・6 セラミックスの専門教育

日本を含めて先進諸国では、セラミックスの科学・工学・技術は人気がありません。これはノーベル賞を狙えるような仕事ではないからです。

先進セラミックスの製造業は泥臭くて地味な仕事の連続で、天才的な科学・技術者の仕事としては適当ではありません。真面目で有能な多くの技術者と技能者そして管理者など、チームの全員が一致協力しなければ実現できない日本人向きの仕事なのです。

しかし、それぞれの商品の基礎研究・企画・開発・量産・販売・特許管理などを遂行するには優秀なリーダーが必要なのはもちろんです。彼らをどのように養成し、選抜すればよいのでしょうか？

日本中の大学では工学部に伝統セラミックスの研究室がほとんどなくなりました。大学や国立研究機関にあった伝統セラミックスの研究室は、すべて先進セラミックスに転進しました。それでも先進セラミックスの研究者は、金属

材料や有機高分子材料の研究者に比べてはるかに少数です。

これに対して、中国と韓国ではセラミックス工学への関心が急速に高まっています。中国では1999年にはセラミックス工学科がある大学が55校もあって、学部卒業生が2,200名でした。韓国でもセラミックス工学科のある大学が14校あります。

5・7 今後の課題

先進セラミックスの分野で日本企業の技術的優位があと何年続くのか、私にはわかりません。

欧州諸国の政府や企業は、国際規格 (International Standard) を自分たちが有利になるように主導することに熱心です。従来の日本企業は新技術について、事実上の業界標準規格 (de fact standard) を握ればよいとしてきたのですが、今後は国際規格に従わない品物は輸出が困難になるのです。耐火物の分野で、はたして日本は国際規格の主導権をとれるのでしょうか？

著者は日本のセラミックスにおける今後の課題は、エリート教育の充実と、対外交渉力の向上にあると考えます。「将来の研究方向を明白に指示できる」創造的な人材がセラミックスの分野に参入されることを切望しています。

成熟期を迎えた日本では、各個人がアイデアと工夫を凝らして仕事の質を高めることが重要です。自らは優雅に生活しながら、コンピュータとロボットを駆使して優れた成果を挙げるとというのが、理想ではないでしょうか？

文献

- 1) 加藤誠軌著：都市工学をささえ続ける セラミック材料入門，アグネ技術センター (2008)。
- 2) 姜坑著，朴鐘鳴訳注：看羊録，東洋文庫440 平凡社 (1984)。
- 3) 高橋輝和著：シーボルトと宇田川榕菴 江戸蘭学交流記，平凡社新書 (2002)。

4) 久米邦武編：特命全権大使米欧回覧実記，岩波文庫 青141, (1977)。

5) やきもの事典 増補，平凡社 (2000)



著者紹介

加藤 誠軌 (かとう まさのり)

1928年7月 満州で生まれる

1949年3月 熊本工業専門学校 (旧制)
工業化学科 卒業

1952年3月 東京工業大学 (旧制) 工業
物理化学コース 卒業

1957年3月 東京工業大学 (旧制) 特別研究生 修了

1958年2月 東京工業大学 工学部 助手

1967年8月 東京工業大学 工学部 助教授

1974年1月 東京工業大学 工学部 教授

1989年3月 東京工業大学 定年退官，名誉教授

2000年3月 岡山理科大学 教授 定年退職

その他の著作

加藤誠軌著：X線回折分析 第6版，内田老鶴圃 (2002)

加藤誠軌著：X線で何がわかるか 第3版，内田老鶴圃 (2002)

加藤誠軌著：X線分光分析，内田老鶴圃 (1998)

加藤誠軌，植松敬三共訳：図解-ファインセラミックスの結晶化学 第3版，アグネ技術センター (2002)

加藤誠軌，水谷惟恭，植松敬三，木枝暢夫共訳：ハイテク・セラミックス工学，内田老鶴圃 (1985)

加藤誠軌著：やきものから先進セラミックスへ，内田老鶴圃 (2000)

加藤誠軌著：標準教科 セラミックス，内田老鶴圃 (2004)

加藤誠軌著：研究室の Do It Yourself，内田老鶴圃 (1995)

加藤誠軌著：やきものの美と用，内田老鶴圃 (2001)