

人工物の科学と技術

W・デービッド・キングラー

一般聴衆の方々にお話しするに際しては、まず「セラミック材料科学とは一体何か？」という、私がよく受ける質問から始めるのが適切であろうかと存じます。その答を知るには、私たちの暮らしているこの世界が、自ら作り出した物質と経験で得た知識・能力によって成り立っているのだということを、最初にしっかりと認識していただく必要があります。我々は、人工物の世界に生きております。それが何よりもまず、私たちと他の動物種を区別し、また人類誕生以前の世紀と誕生以後を峻別するものであります。

現代の生活にあっては、人工物の生産と使用、あるいは急増する人工的な経験の生産と使用こそが、本質的な活動であります。我々は多くがこの状況に慣れ切ってしまい、至極当然のこととしてとらえていて、気にも留めずにいます。しかし、ちょっと想像してみてください。電気や電灯、テレビ、写真、ビデオ、カメラ、パソコン、自動車、列車、飛行機、核兵器、電話、Eメール、ファックス、電子レンジ、本、映画、ワクチン、アスピリン錠剤、高速道路、橋梁、口紅、宝飾類、食器、ナイフ等々のない私たちの暮らしとは、一体どのようなものでしょうか？いま例示したものは、全て人が開発した材料でできております。そのような材料の進歩がなければ、技術の進歩もあり得ないわけでありませぬ。

材料科学は、材料の構造と特性を扱うものです。ボーアの原子モデルとして皆様もご承知のように、原子というのは、正電荷を帯びた小さな原子核の周りを、負電荷の電子のクラウドが取り囲む形状になっております。この電子の配列が、物質のほとんどの特性を決定いたします。鉄やアルミといった金属の場合は、電子が原子核を離れて自由に動ける状態になっています。シリコンのような半導体では、温度を上げたり添加剤を加えたりすることで電子が動けるようになります。またセラミックスやプラスチックにおいては、電子が原子にくっついて正イオンや負イオンを作ったり、原子間に固定して共有結合を形成したりします。材料というものは、以上のように大きく分けることができますが、中でも様々な点で最も興味深いのが、無機のセラミックスと、大半の自然材料を構成する有機のポリマーでありませぬ。どちらの材料も2種類以上の原子を持ち、何千通りもの原子の組み合わせにより、何百万通りもの構造と特性を持ち得るものであります。

図1で示す通り、材料技術とは、用途を絞った人工材料の設計・製造・利用に関する科学・工学の一分野であります。人工物の科学とは本質的に単純なものであり、構造と組成、また、それらによって決定される特性ということに尽きます。しかし、用途を絞って人工物を製造するには、研究や利用に値する動作原理(いかに機能するか)、つまり人工物がどう役立つか、を踏まえた一連の系統立った活動が必要となります。新たに発明・改良された人工物、新たに発明・改良された生産方法、さらにまた新たに発明・改良された利用方法の3つがあいまって、現代の先端技術の中核をなしているのです。

化学は、材料科学にとって重要な要素であり、材料工学にとっては大切な手段であります。私がこの分野に足を踏み入れることになったのは、無機化学を専攻していた大学時代、基礎科学の卒業論文として「A Spectrophotometric Investigation of Bismuth Thiocyanate Complexes」(分光測光法によるビスマスチオシアン酸錯体の研究、W. D. Kingery and D. N. Hume, *Journal American Chem. Soc.*, 71, 2393, 1949年)を書いたことが契機となりました。この研究は私にとって興味深いもので、テーマも意欲を掻き立てるものでしたし、化学全般の知識を身につけるのにも役立ちました。夏休みに皮革の研究施設でアルバイトをしているうち、私はもっと意義のある研究をしたいと思うようになりました。幸い奨学金を受けることができ、マサチューセッツ工科大学(MIT)の院生として、F・H・ノートン教授の下で研究する運びとなりました。ノートン教授が特に得意としていた分野は高温耐熱性材料で、私は教授と共に耐火性のリン酸塩結合に関する博士論文を書き上げました。これをアメリカ・セラミック学会で発表したのが契機となって、私はセラミックス科学の世界に身を置くようになった次第です。

F・H・ノートンという人は非凡な方で、物理で理学博士号を取って後、まずNASAに入り、それからバブコック・ウィルコックス社に移って、発電所向けの耐熱材の開発に従事するという経歴の持ち主でした。彼がMITに来たのは1933年のことでした。彼の著書『*Refractories* (耐熱材)』(1942年)の第2版は、往時の産業界のスタンダードとなりました。MITでは、もっぱら耐熱材の高温変形および粘土・粘土素地の特性を研究対象としていました。陶芸の天分にも恵まれ、その著書『*Elements of Ceramics* (セラミックス入門)』や『*Ceramics for the Artist Potter* (陶芸作家のためのセラミックス論)』は、既に古典としての地位を確立しています。また引退後も、『*Ceramic Oxides* (セラミック酸化物)』という本を出版する予定でした。MITの大学院で彼が中核となって進めたプログラムは、学際的にセラミック科学を扱う、およそ前例のないものでした。学生たちは、例えば、地質学科および物理学科では結晶学とX線回折、電気工学科では電気科学、

化学科では古典熱力学、物理学科では分光学、化学工学科および冶金学科ではコロイド科学というように、名高い教授陣の指導を受けました。ノートン教授が無口で控えめな人柄であったこともあり、彼が学際的な材料科学の発展のために果たした役割は、十分評価されてまいりませんでした。それゆえ、様々な要素を一つに取りまとめて現代のセラミック科学の体系を作り上げるのは、私の役回りとなりました。

第二次世界大戦中、MITの冶金研究所はマンハッタン計画の一端を担っており、ジョン・チップマンがこれを指揮していました。F・H・ノートンが先頭となって、ウラニウムやプルトニウム用の高純度かつ安定した耐熱材の開発を進めました。これが、ノートン教授にとって初めての先端的な酸化・硫化・窒化セラミックスの研究となりました。当時、セラミック科学という分野は、まとまっておらず、研究範囲も限られていました。そこで旧原子力委員会がMITにセラミックス基礎科学課程を設け、ここが以降四半世紀の間、私の大半の研究の拠点となりました。

往時より今日に至るまで、MITは、材料科学と先端セラミックス研究の発展に輝かしい貢献をしてまいりました。私のかつての同僚の中では、ロバート・コーブル(故人)、アル・クーパー(故人)、大石行理などが著名です。我々が力を合わせて成し遂げた一連の実験法や理論の発展が下地となって、セラミック材料科学という新しい分野が誕生したのであります。近年私はアリゾナ大学にあって、工学とは一種の社会活動であり、また本質的に人間的な活動であることを学ぶプログラムの促進に従事してまいりました。私がこのような信念を持つようになったのは、研究生生活の初期にジョン・チップマン教授の影響を受けたことにあります。化学冶金学者として国際的に著名なこの教授は、当時、MITの冶金学科の学科長を務めておりました。

自分が専門とする分野に足がかりを求めていた後輩の私にとって、チップマン教授はまことに頼りになる存在でした。1960年頃までには、F・H・ノートン教授と私がセラミック科学として学際的に取り組んできた様々な研究が、一回り大きな材料科学・工学という枠組の中にまとまり始めました。その陣頭に立ったのは、モーリス・コーエン教授(1987年京都賞受賞)と、材料工学調査委員会(COSMAT)の議長、ウィリアム・O・ベーカーでした。2人の指揮の下でまとめた「Summary Report(概要報告書)」が1974年に全米科学アカデミーから発行され、反響を呼びました。

本の執筆は私にとって喜びであり、ためになる体験で、読者よりもむしろ著者の私の方が楽しんでいただけたのではないかと思います。私は耐熱材の研究に従事していた若かりし頃、最初の自著『*High Temperature Measurements*(高温測定法)』を書きました。出版年は1959年ですが、絶版となって久しい本です。セラミック材料科学という分野が

確立されつつあった胎動期には、『*Ceramic Fabrication Processes* (セラミック製作プロセス)』(1958年)の内の一巻の編集作業にあたり、『*Kinetics of High Temperature Process* (高温処理の動力学)』(1959年)を編集したほか、『*Introduction to Ceramics* (セラミックス材料科学入門)』(1960年)の第1版が出版されました。この『セラミックス材料科学入門』において、私は、有益なセラミック技術のための一手段としてのセラミックス科学、という展望を著しました。それまで経験則的な手工芸であったセラミックスに、科学的裏付けを与えたわけです。自らの能力の限りを尽くして取り組むテーマを見つけるべく、分野の垣根を広げようという姿勢を持った様々な人々、大勢の学生、化学者、物理学者、エンジニアたちが、この視点を広く支持してくれるようになりました。『セラミックス材料科学入門』の意義は、後の豊かな成果につながっていく道筋を照らし出したという、その一点にあります。

ここで図1に話を戻しますと、セラミックスを巡る活動を表した3つの円は、いずれもセラミック先端技術の発展を実現させるに欠かせない要素であります。このような認識の下、私は、セラミックス技術全体の発展に関わる研究分野であれば、あるところでは、耐熱組織・性能、および使用による耐熱性劣化のプロセス(熱衝撃、溶食)に関する基礎研究、他所では(特に高温下における)製造活動について、といった具合に、その垣根を越えてあちらこちらと渡り歩いてまいりました。その後まもなく、材料科学者とはかくあるべしというお手本のような存在のシリル・S・スミス教授がMITにやってきました。スミス教授は、産業界、あるいはかのマンハッタン計画においても重要な役割を果たした冶金学者であります。洞察力を備えた冶金学の歴史通でもありました。「サバティカル休暇期間(7年ごと)の度に研究テーマを変え、新たな視点からさらなる課題に取り組めば、より多くの成果をあげられるし、喜びもまた大きいのではないか」と私が考えるに至ったのは、教授の的確な助言に負うところ大であります。私はこれを実行しました。こうした考えのもと、私は、「セラミックスとしての氷」というテーマに数年を費やすことになりました。これと同様の、しかし遥かに壮大な試みとしては、第二次世界大戦中、英国が不沈空母(空軍基地)を北大西洋に作ろうと建策した計画があります。天然の氷山や海氷、あるいは人工的に固めた氷などが検討されましたが、結局どれも不可能との結果が出ました。氷に混ぜるための先端材料が必要だったのです。最初、この浮体基地は、氷を母体として木材繊維で強化した複合物で作られる予定でした。その材料はピクリートと命名されました。ほとんど200万トンという、かのクイーン・エリザベス二世号の26倍にも達するような重さの代物が設計されました(図2)。全般的には優れた設計ではありましたが、いかんせん製造可能性という点で難がありまして、結局建

造には至りませんでした。私が氷を相手に手がけた、ずっとささやかな研究の方は、より多くの成果をあげることができました。我々はグリーンランドのチューレで静疲労強度を調べるために強化氷合金の駐機場を建造し、ありとあらゆる型の米空軍機をその上に氷上着陸させて、各航空機がどのような挙動を示すか観察しました。氷を母体とした複合物は、確かにセラミック材料としての条件を充分備えているのです。

その数年後、新たな研究に着手するにあたり、シリル・スミス教授はイランの旅先で見つけてきたという焼き物(セラミックス)の破片を幾つか私に手渡しました。そのかけらは、ある遺跡発掘調査の現場で採集された山のような遺跡の一部で、壊れやすくはありましたが、土中に埋もれていてもほとんど侵食を受けていなかったのです。院生グループと私とで様々な試験をして、この焼き物のかけらがどのようにして作られたのか、また、何でできているのかを調べました。後になって私は、エジプトにおける銅精錬は地表炉で行われていたのではないかと、あるいは人類最古の人工材料は、石灰石に熱化学的成分置換を行って作られた、石膏性の全く別物の物質なのではないかと、推測するに至りました。新たに生まれたこの新材料は、それまで自然界には存在しなかったもので、新石器時代の建材や装身具、さらには彫像に盛んに用いられておりました。図3に示した彫像は、先史時代の先端材料技術を示す初期の一例です。現代の先端技術をしっかり理解するには、先端技術の歴史という流れの中での位置付けを把握しなくてはならない、と私は確信するようになり、今もなおその確信に変わりはありません。私はこの、技術の歴史的な位置付けというテーマに取り組んでまいりました。

セラミック材料科学と先端技術の歴史は、第二次世界大戦中の兵器研究に伴って転機を迎えます。ジェットエンジン、マイクロ波装置、原子力、半導体通信装置、そして電子計算機が進歩し、手ごろな値段で一般に普及するようになって、世の中は明らかに大きく変容しました。こうしたことが起こったのは、大部分、先端技術を可能にした先端材料があったことに拠ると言えましょう。図4は、先端技術において先端材料が担う役割がどう拡大したのかを示すもので、斎藤進六教授の著書『ファインセラミックス』からの引用です。1983年当時、セラミック材料が様々な先端技術に採り入れられていた状況がわかります。用途の数は、今では当時の倍になっているのではないのでしょうか。

上記の各用途、あるいはその他より多くの用途のためにも、先端材料科学・技術が果たしている重要な役割がご理解いただけたと思いますが、ここでは、もっと時代を遡った例を挙げるのが良いように思われます。約500年前、イストリアートと呼ばれる物語の絵を施したイタリアの陶器、マヨリカの製造に、先端セラミック技術が採り入れられていたというお話をしたいと思えます。

1485年から1550年にかけて、イタリア中央部および北部で、焼き物の釉薬の新技术が開発されました。この先端技術が生まれた背景には、当時の西欧における経済、社会構造、文化の画期的な変革があります。13世紀から14世紀のイタリア経済は、商業や金融、専門的手工業等によって支えられておりました。商業規模の拡大に伴い、商業と金融の中心地として大都市が発展しました。このような状況の中、新たに登場した豊かな中産階級や都市貴族たちは、貴族の血統や封建制度下の領地、戦での手柄、騎士的装飾といった事柄を捨て去って、趣味の良さや洗練を重んじるようになります。かつては既成体制の主流層の添え物的存在であった都市の新富裕層が、旧体制主流派を呑み込んでしまい、その後、趣味や文化についての新しい概念や標準が発達するに伴って、都市貴族の仲間入りをしていったわけであります。

イタリアでは、13世紀には既に酸化錫釉の陶器が作られておりました。そのほとんどが銅の緑とマンガンの茶紫で彩色されていたのですが、この顔料には、焼成時に釉薬に溶解・拡散されるので、図柄の輪郭がぼやけてしまうという難点がありました。15世紀に入ると、最高級の焼き物としてバレンシアからの輸入品が出回りました。その一例がこの見事な翼壺(図5)です。描画技術は当時のイタリア美術を語る上で欠かせない要素ですが、さらに全く新しい焼き物技術が入ってきたことで、描画の技能と陶器製作技術の進歩が結びつき、図6の〈ペルセウスとアンドロメダ絵皿〉のような作品が生み出されるようになりました。直径が27センチで、中央部がくぼみ、縁部分は広く平らになったこの絵皿は、現在ボストン美術館に所蔵されております。中央に描かれているのは、2人のプットー(天使の絵のような、裸の子供)が掲げるゴンザーガ家とエステ家の紋章の組み合わせです。右手の木から下がる燭台(カンデラブラ)模様の盾と紋章の下の楽譜の延声記号は、イザベッラ・デステの印章です。

イストリアートの絵皿に多く見られるように、オヴィディウスの『変身物語』に題材を得ています。ルネサンス期に人気を博したこの書物には、木版画がふんだんに盛り込まれていました。図7の木版画は1501年のベニス版のものです。この皿の絵に限っては、木版画の盲目的な模倣とは全く異なります。陶画家ニコラは、円形上に絶妙な構図をとり、独自のスタイルでこの場面を表現しています。イストリアート文様の大多数は、ニコラの他の作品もそうですが、実際には丸写しとっていいほど忠実に既存の絵画や彫刻を模倣しているのと好対照です。

絵付けには、伝統的な陶器装飾モチーフに用いられてきた青と緑の拡散性顔料のほか、焼成してもくずれることなく細かい模様を表現でき、さらには盛り上げ効果まで生み出せる白、黄色、オレンジ、黒といった顔料が使われています。お化け鯨の頭部の

拡大図(図8)では、バックの緑色が均等に流れ出ているのがわかります。これとは逆に、不溶性の白、黄色、オレンジの部分は少しも滲んでおらず、くっきりと筆跡が現れています。顕微鏡で見ると、上掛け層に気泡が観察されます。全体像と拡大像を比べ見ると、ニコラ・ダ・ウルビーノの描画センスに加え、新しい作陶技術があったからこそ生まれた独特の彩色法がよくわかります。1557年に出版された、チプリアーノ・ピッコルパッソーによる陶器製作法に関する書物では、陶芸の技法や手順、用具などが解説されていますが、全体の半分以上が釉薬、色、陶画デザインの説明に費やされており、この新技術の重要性を物語っています。

この新しい製陶技術と新しい画法の秘密は、図9に示す3層構造にあります。素焼きの下地に半透明の乳白錫釉「ビアンコ」が下塗りしてあり、その上に物語の場面が絵付けしてあります。使われている色のうちの少なくとも一部は、最低限の結合材を含んだ不溶性顔料紛から成っています。これらの色は焼成時に流れ去るといことがないので、それまで不可能であった細かな線の描画が可能となったのです。彩色の上から施した「コペルタ」という珪酸鉛の上掛けは、不揃いな顔料層に染み通り、透明で滑らかな、つやのある表面を形成しています。この3層掛けにより、一度に何百という数の製品を窯入れして焼くことが可能となりました。

この新種の先端技術の発達に関する重要な考察点を、表1に挙げました。デザインの変化は、イタリア・ルネサンスという社会・経済状況の中から必然的に生まれたもので、陶器は一種の社会的地位の指標として、より高度な役割をも担うようになりました。器の形状や実用的用途の一般的なあり方はさほどに変わりませんでした。物語の場面を描写する手法は、それ以前に普通とされた装飾形態とは大きく異なっております。これを可能ならしめたのは、図9で示したような、顔料と釉薬が新たな塗り重ね構造の形成によってであります。図案を細かく描き込むために用いられた着色材は、(油絵の具のような)不溶性の顔料紛を含んだ艶のあるもので、焼成時にも滲んだり拡散することなく、あるべき場所にきちんと留まるよう、必要最低量のバイнда(結合材)が配合されていました。かくして、細かな描き込み、盛り上げ塗り、濃淡の調整といったテクニックが使えるようになったわけです。釉薬と顔料の特性のこうした点が、陶芸の変化の実質的な中身でした。ピッコルパッソーは、1557年の著書『陶芸三書』の半分以上を割いて、釉薬と顔料について述べています。取り扱い技術については、「上記の色が初期の焼成段階で流れ去ってしまうことが多いが、それは即ち調合の不首尾によるものである」とあり、そのような場合には再調合・再焼成が必要であるとしています。

陶画についての人々の常識は、大きく覆りました。技術革新により、焼き物は、多彩

な物語や歴史的・神話的場面を描くためのキャンバスとなったのです。この新技法は、他の土台に描かれた絵画や図柄を基礎として発展したものと考えられます。元来、別々の工芸の「種」であったものが一つに組み合わせられたこの結合は、ある意味で自然に逆らったものであり、それまでの自然淘汰的、進化論的技術革新による推測には当てはまらない異質な出来事であったと言えます。

この新技術の動作原理を考えると、一つの視点が、図9に示した正反射と乱反射を眺める視点となり得ます。結合した複数の動作原理が顔料粒子と釉薬の混合に関係して、拡散を防ぎ、かつ描画の緻密さを維持する役目を果たします。結合された動作原理の一つ一つが、特定の社会的背景における趣味・財産・地位・権力の象徴として、絵の主題がもたらす効果、色彩の鮮やかさ、描画技術、美学および「芸術品」としての形状等を備えなければなりません。一つの人工遺物の中に、このような動作原理が複数、織り込まれているのです。

このマヨリカの性能特性には、表1の設計概要に挙げたように、複数の要素があります。表2ではこれをさらに細分化して、この特性を強調したり変化させたりするなどのような可能性があるかを考えてみました。ざっと27の性能特性が並びましたが、これを見ただけで、設計プロセスの大筋がいかにも単純であろうとも、実際に作られる人工物は、最も簡単なものでさえ、実際にはとてつもなく複雑になり得るということがわかります。この設計が成功だったことは、この手の装飾的な容器が市場から消えることなく、約500年もの間製造され続けてきたことによって立証されております。

ルネサンス期イタリアにおいて、先端材料技術がイストリアート様式の焼き物を磨き上げ大変革をもたらした過程は、典型的なパターンではないかと思われまます。先端材料技術は、言わば可能性を引き出す技術なのです。結果として生まれる各種技術の進歩こそ、20世紀も終わろうとしている今日の我々の暮らしを特徴づける最も重要な点でありましよう。

最後に触れておきたいのは、育児についてであります。親として子供を育てることも、先端材料技術と同様、可能性を引き出す仕事と言えます。私の父、ライル・B・キングリー博士と、母であるマーガレット・レイノルズ・キングリーは、言葉によって、また自ら手本となることで、困難に直面しても努力を続ければ道は開けることを教えてくれました。「がんばってやり遂げなさい」ということです。両親のおかげで、私は実に幸福で順調な子供時代を送り、奔放な好奇心を膨らませ、本をむさぼるように読みました。全くのところ、私の最後の感謝の言葉は、誰でも無料で利用できるアメリカの公立図書館に捧げるべきでありましよう。

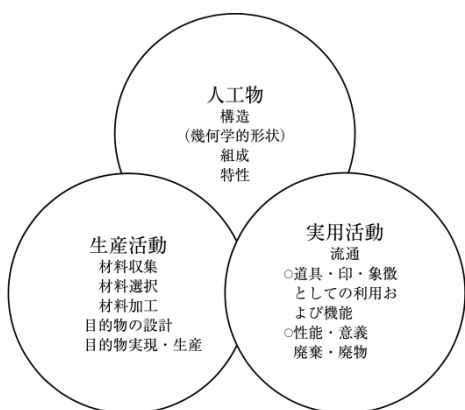


図1 先端技術とは、上記の3つの円が重なり合った部分において最も適切に説明し得るものである。種々の活動の結果生産された、特殊な組成、構造、特性を有する人工物は、様々な状況で流通し、使用され、その役割を果たすこととなる。

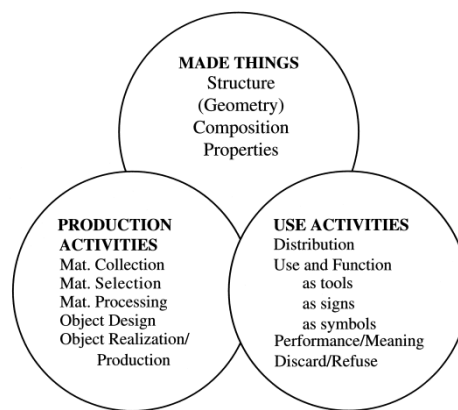


Fig. 1 Advanced technology is best envisioned in three spheres. Made things with particular compositions, structures and properties are produced by several activity groups and then distributed, used and perform in a variety of different contexts.



図2 セラミックベースの人工物として計画された過去最大のものは、重さがおおよそ200万トンに達するようなものだった。

Fig. 2 The largest conceived ceramic matrix manmade thing was designed to weigh about 2 million tons.



図3 石膏と貝殻でできた、有名なエリコの新石器時代の彫像（写真提供：イスラエル博物館）。W. David Kingery, Pamela B. Vandiver and Tamar Noy, Materials Research Society Bulletin, p.46, January 1992 参照。

Fig. 3 The famous Neolithic Jericho sculpture made of plaster and shell (Courtesy Israel Museum Archive). See W. David Kingery, Pamela B. Vandiver and Tamar Noy, Materials Research Society Bulletin, p.46, January 1992.

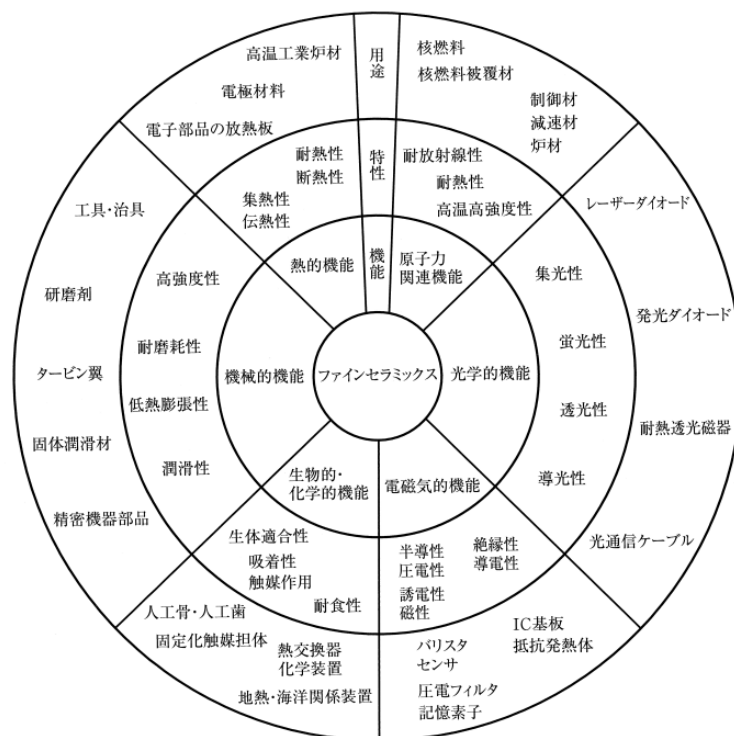


図4 ファインセラミックスの機能と用途例(斎藤進六著・1983年4月(社)日本ファインセラミックス協会刊『ファインセラミックス技術開発動向および関連機器の開発状況調査』より。Fine Ceramics, Elsevier Pub. Co., NY(1985)参照)

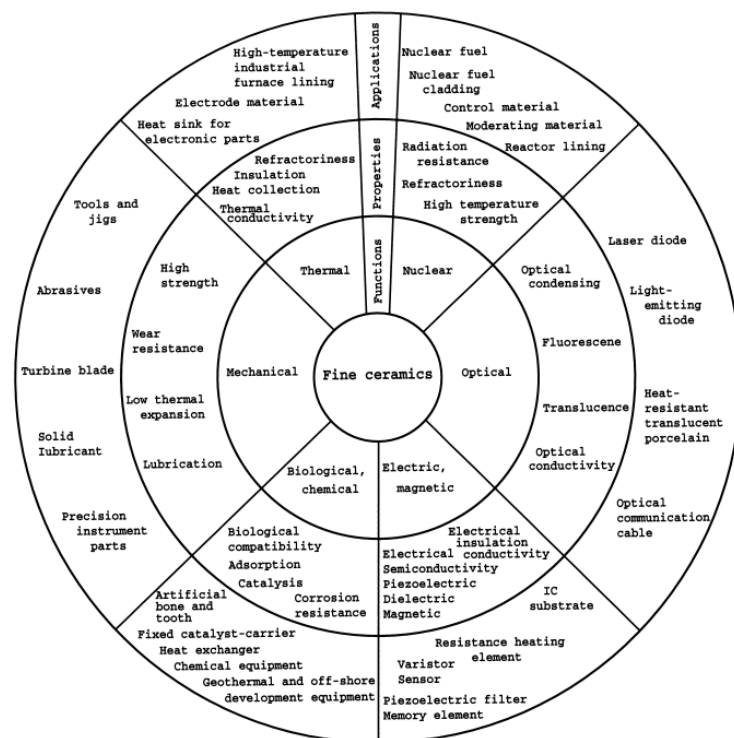


Fig. 4 Some functions and applications of fine ceramics (from Japan Fine Ceramics Assoc., "Survey of Trends in Development of Fine Ceramics Technologies and Situation of Development of Related Equipment," April 1983, see Shinroku Saito, *Fine Ceramics*, Elsevier Pub. Co., NY (1985).



図5 バレンシアからイタリアに輸入された15世紀の翼壺(写真提供:大英博物館)

Fig. 5 Fifteenth century Winged Vase imported to Italy from Valencia (Courtesy of the Trustees of the British Museum).



図6 〈ペルセウスとアンドロメダ絵皿〉イザベッラ・デステの依頼により製作されたエステ=ゴンザーガ家用セットの中の1枚。ニコラ・ダ・ウルビーノの1525年の作品。中央にゴンザーガ家とエステ家の紋章の組み合わせが入っている。宙に浮かんだペルセウスは、ヘルメスの靴をはきアテネの盾を持っており、さらに、その顔を見たものを石にしてしまうというメドゥーサの首を手をしている。岩につながれたアンドロメダは、このあと解き放たれペルセウスと結婚する。絵付けの下に「ピアンコ」と呼ばれる白色下地層があり、表面には「コペルタ」という、気泡を含んだ珪酸鉛の上掛けが施されている。釉焼きの際に皿の縁部分をピンでとめた形跡があるが、ピン跡は平らに削って処理してある。糸底と縁の黄色の帯模様はウルビーノ製品の典型。表と裏の両面に小さな孔がある。(ボストン美術館オーティス・ノークロス基金 カタログ番号41.105)

Fig. 6 Plate with Perseus and Andromeda from the Este-Gonzaga service made for Isabella d'Este ca. 1525 by Nicola da Urbino. The arms of Gonzaga impaling Este are in the center. Perseus is shown flying with the boots of Hermes, carrying Athena's shield, and also holding Medusa's head, which will turn the monster to stone as he gazes at it. Andromeda, chained to a rock, will soon be free to marry Perseus. There is a layer of white bianco ground under the painting and a lead-silicate coperta surface coating which contains a number of bubbles. For glost firing the plate was set with pins near the edge; pin marks have been ground off to give a flat surface. There is a yellow band at the foot and edge, typical of Urbino production, and a number of pinholes on both obverse and reverse. (Museum of Fine Arts, Boston, Otis Norcross Fund, catalog no. 41.105)



図7 オヴィディウス著『変身物語』1501年ベニス版の木版画。ペルセウス、メドゥーサ、アンドロメダ、お化け鯨が登場する冒険譚。

Fig. 7 Woodblock version of the adventures of Perseus, Medusa, Andromeda, and the dragon Cetus, from a 1501 Venetian edition of Ovid's *Metamorphoses*.



図8 ニコラ・ダ・ウルビーノによるエステ家・ゴンザーガ家用セットの一部〈ペルセウスとアンドロメダ絵皿〉のお化け鯨の頭部拡大図。透明な「コペルタ」層ごしに、盛り上がった筆跡がはっきりと見える。

Fig. 8 Enlarged versions of Cetus's head on the Nicola da Urbino Perseus and Andromeda plate for the Este-Gonzaga service. Brush strokes in relief are clearly visible under the transparent *coperta* surface layer.

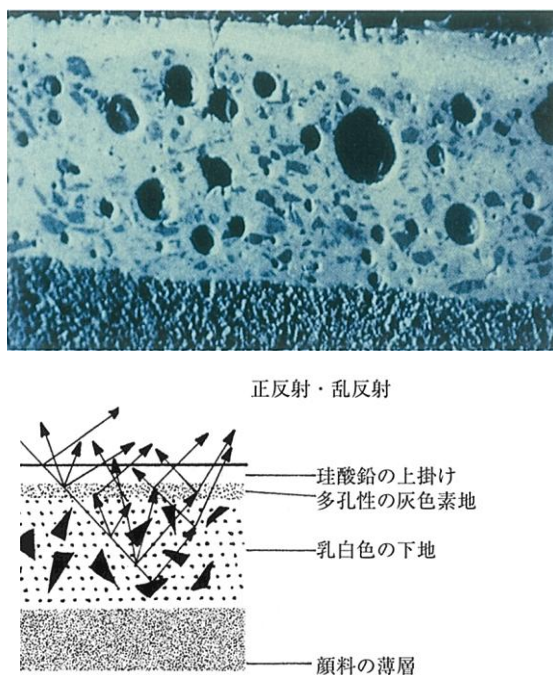


図 9 (上) 16世紀中頃のペザロ産マヨリカの黄色部分断面像(電子顕微鏡写真)。灰色がかった不透明な素地を、砂粒や気泡入りの乳白錫釉「ビアンコ」層が覆っている。薄い顔料層に上掛けした珪酸鉛は、顔料粒子の隙間に完全にしみ通っている。(下) 断面概要図。表面ではね返される光もあれば、顔料層ではね返るものもあり、さらにその下のビアンコ下地まで達する光もある。

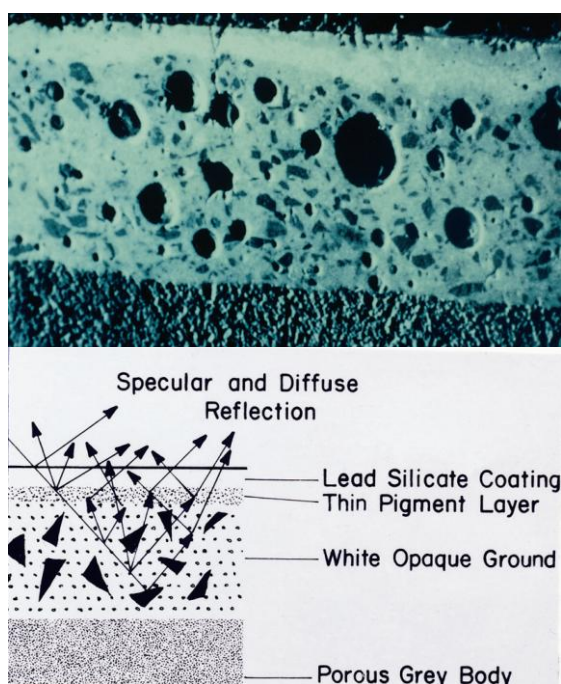


Fig. 9 (*Top*) Electron micrograph of polished cross section of yellow painted area of mid-16th-century Pesaro maiolica. The opaque grayish body is coated with a tin-opacified *bianco* ground in which sand grains and bubbles are present. The thin pigment layer is covered with a lead silicate *coperta* that completely wets and penetrates between the pigment particles. (*Bottom*) Schematic cross section illustrates how some light is reflected from the surface, some from the pigment layer, and some from the underlying *bianco* ground.

表1 イストリアート様式色絵マヨリカの意匠上の必要要素

目的	: 財産形成／生活の質／社会指標 (ステータスシンボル)
標準的構成要素	: 装飾タイル／薬壺／皿等
変革後の構成要素	: 物語画／3層釉掛け
一般的概念	: 永続的土台に高品質の絵付けを施す
機能	: 高級焼き物と、絵画表現による社会・文化的識別要素との一体化
性能特性	: 性能／美観／機能／社会的・文化的位置付け／製造性／妥当なコスト

TABLE 1. DESIGN REQUIREMENTS FOR *ISTORIATO* MAIOLICA PAINTED WARE

PURPOSE: Wealth creation; quality of life; social indicator

NORMAL CONFIGURATION: Decorated tiles, pharmacy jars, plates, etc.

MODIFIED CONFIGURATION: Narrative drawing; three-layer glazes

NORMAL EXPECTATION: Quality paintings on permanent ceramic ground

OPERATIONAL PRINCIPLES: Incorporate pictorial socio/cultural identifiers in luxury ceramics

PERFORMANCE CHARACTERISTICS: permanence, aesthetics, functional, social and cultural identifier, manufacturable, moderate cost

表2 性能特性

性能	社会的・文化的位置付け
メンテナンスが容易	描写（古典的物語）
色褪せ防止加工	紋章
耐食性に富む	風変わりな代物
丈夫さ	
美観	製造性
図柄の奥行き	原材料が必要
形状	形成が容易
表面の光沢	乾燥が容易
色の鮮明さ	釉薬かけが容易
地の白さ	絵付けが容易
半透明	焼成が容易
	仕上げ加工が必要
機能	妥当なコスト
不浸透性	
水洗可能	
耐熱性	
耐衝撃性	
安全無害	

TABLE 2: PERFORMANCE CHARACTERISTICS

PERMANENCE	SOCIAL AND CULTURAL IDENTIFIER
Easy maintenance	Depiction (classical story)
Fade resistant	Personal devices
Corrosion resistant	Extraordinary object
Fracture resistant	
AESTHETICS	MANUFACTURABLE
Depth of image	Raw materials required
Form	Ease of shaping
Surface reflectance	Ease of drying
Color brilliance	Ease of glazing
White ground	Ease of painting
Translucence	Ease of firing
	Finish required
FUNCTIONAL	MODERATE COST
Impermeable	
Washable	
Thermal shock resistant	
Impact resistant	
Non-poisonous	