

陶磁器の最新技術動向と将来展望

Recent Trend of Research and Development on Ceramic Ware
Key-words : Table ware, Ceramic tile, Roof tile, Sanitary ware, Insulator

杉山 豊彦・松山 城仁・渡邊 修・
竹内 繁樹・山口 英明・佐藤 立

Toyohiko SUGIYAMA^{*1}, Shirohito MATSUYAMA^{*2}, Osamu WATANABE^{*3}, Shigeki TAKEUCHI^{*4}, Hideaki YAMAGUCHI^{*5} and Ritsu SATO^{*6}
(^{*1}National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ^{*2}Narumi Corporation, ^{*3}LIXIL Corporation,
^{*4}Aichi Center for Industry and Science Technology, ^{*5}TOTO Ltd., ^{*6}NGK Insulators Ltd.)

1. はじめに

陶磁器という言葉から第一に連想される飲食器の他に日用品、建材、電陶など多様な製品が陶磁器とその周辺産業を支えている。本稿では食器、タイル、瓦、衛生陶器、碍子の最近の技術動向と将来像を述べる。

2. 食器

2.1 概況

日本の陶磁器産業は多岐に分かれている。いわゆる民芸とか陶芸という分野では日本は世界でトップレベルの陶芸大国である。さらに近年、すし、天ぷら、日本酒などの和食ブームが世界を席卷している。それに伴い、和食器生産は久しぶりの好景気に沸いている。この数年、中国やフランスなどの海外でも和食器を生産し、着々と地歩を固めている。日本とは違った独特の感性を持つ海外産和食器文化が形成されつつある。一方、かつて欧米と日本が洋食器の主要産地であり、また現在でも有名ブランドは健在ではあるがM&Aによる淘汰を繰り返しているのが現実である。洋食器製造業は他の産業構造と同様に、現在では相対的な品質と価格競争力にまさる中国と韓国を含む東南アジアに、生産拠点が相当程度移転している。わずかな例外はあるが、日本の大手洋食器メーカーもまた、主たる生産を海外に移転させている。

2.2 原料問題

陶芸用の粘土は色をそれほど問題としないので世界中で産出している。しかし、白色磁器に使用される粘土やボールクレイは限られた地域にしか産出しない。日本では数百万年前、東海湖が存在した地域で、蛙目粘土や木節粘土といった白色で可塑性の強い粘土が産

出されるが、ここ数年、粘土の枯渇問題が現実の問題として顕在化してきている。陶磁器産業自体が弱体化しているので新鉱区の開発が困難という事実にも直面している。現在は供給制限などを行い対策としているが、粘土消費量が減少したため、深刻な供給不安までにはいたっていない。カリ長石もまた、十数年前から貧鉱状態が続き、知らない間にインド長石に置き換わっていたという事実が存在する。天草陶石の脱鉄や、トラックによる坑道掘りの土橋陶石など、日本で十分な供給を確保できる原料もいまだに存在するが、日本の陶磁器産業は海外からの品位の良い原料を選別し、調達するという原料確保能力を獲得することが必須の課題である。

2.3 製造

日本の食器産業は、日本特有の可塑性粘土を最大限に利用したところに大きな特徴がある。生素地の成形法は機械による“ろくろ”成形と、泥漿に圧力を掛ける“圧力鑄込み”または自然圧による“ガバ鑄込み(排泥鑄込)”成形が主流である。一方、欧州の有力メーカーはプレス成型が主力で、原料特性の制約をあまり受けない。焼成はシャトル炉、トンネル炉、ローラーハース炉があるが、国内生産の減少に伴い、トンネル炉での大量生産をする業者は限定され、数量の自由度がきくシャトル炉で生産されるようになってきている。食器製造が東南アジアに集中するようになった現在、多くの工場経営者は、原料から製品化まで一貫して製造技術を提供でき、技術者も派遣できる欧州メーカーに頼る傾向にある。

2.4 今後の課題

戦後、日本は世界の食器技術をけん引してきた。英国で発明されたボンチャイナを日本が世界で初めて

工業的量产化に成功した。酸化焼成磁器のニューボン（ボンチャイナ風の色味をもつよう作られた磁器）やアルミナ強化磁器も日本で開発され量产化された。リサイクル食器の先鞭も付けた。しかし、これらの食器は東南アジアで日常的に生産され、日本の優位性は失われてきている。釉の無鉛化も世界の常識となっている。日本の大学で陶磁器の研究者も数少なくなっているのが重大な問題である。日本の陶磁器産業が生き残るためには若手陶磁器研究者の育成が焦眉の急である。かつて、日本の陶磁器産業が開発、量产化に成功した素材、手法は、現在日本を支えているハイテクな素材を産み出した。陶磁器食器分野においても、軽量化や機能性に富んだ素材の開発が求められている。業界が縮小して行く中、日本セラミックス協会を中心として産学官挙げての協力体制を構築し、新しい陶磁器産業を生み出す努力がますます必要になってくる。

3. タイル

3.1 生産概況

我が国のタイル生産量は1990年以降年々減少し2015年では年間20百万 m^2 とピークであった1995年の1/4にまで減少している¹⁾。その傾向は今も続いており、市場縮小の流れはとまっていない。この市場環境の中、タイルメーカーも生産規模の縮小、廃業が進んでおり、新しい技術への投資がし難い状況にある。一方、世界のタイル生産量はこの間も年々成長を続けており、2010年に9644百万 m^2 であったのが、2014年では12409百万 m^2 と5年間で30%も増えている²⁾。それに備えるための設備投資も活発で新技術の投入、設備の更新が進んできている。

3.2 インクジェット印刷技術の導入

最新の技術トレンドとしては先ずインクジェット印刷技術が挙げられる。技術そのものはピエゾ方式で従来からあり特別なものではないが、1000℃以上で焼成してもきれいに発色する顔料インク、インク中の顔料粒子が沈殿しないようにプリントヘッド内を常にインクを循環させる機構、決して広くない顔料インクの色域を最大限に活用するデジタルデータの作成技術、50m/分の速度にも印刷対応可能な設備能力など、インクジェット印刷技術をタイルの製造に導入するために必要な技術開発が総合的に進められ、確立されたことによりこの数年急速に普及してきている。今後は着色するインクの他に、ラスタ、マット、金属調などさまざまな効果を発現させる特殊インクの開発に力が注がれており、さらに発展させて加飾設備全体をデジタル制御化する技術・材料の開発が進められている³⁾。

3.3 大型化

もう一つの大きなトレンドは大型化であり、幅1mで長さ3m以上（厚さは5~25mm）と従来のタイル製造設備では考えられない大きさのものが製造できる技術が開発され、導入が始まっている。これは従来の金型に顆粒化されたタイル原料を投入して高圧をかけて成形する方式の代わりに金型を必要としない成形方式であることが革新的で、本技術により生産されたタイルがこれまでの建築場面とは異なる新たな用途を開拓するものと期待される^{4)~6)}。

3.4 省エネルギー

タイルの製造にはプロセスの至るところで水を添加し乾燥する工程を繰り返すことと、1000℃以上の高温焼成に大きなエネルギーを必要とするが、エネルギー消費をできるだけ小さくするため、水を使わないプロセスの開発が模索されている。従来の原料と水をボールミルに投入し微粉碎した後に噴霧乾燥する原料調整プロセスを乾式化することにより乾燥エネルギーを減らす方法である。未だ従来法により製造された顆粒の特性に劣るため、改善の努力が続けられている。また熱エネルギーを効率的に回収・再利用する方式の開発も途絶えることなく続けられている。

3.5 日本のタイル産業の課題

我が国においては冒頭に述べたような市場環境の制約により、世界の動向と同じ歩調を歩むことは難しく、独自の製品・製造技術開発を極めていくことが重要であろう。製品としては機能化であり、抗菌、防汚、調湿に続く機能開発を進めていくこと、製造技術としては小さなタイルを効率的にユニット化することにより施工手間のかからない製品に仕立てることでタイル本来の適度な色バラツキを有する画一的でない空間を創出する材料として存続し、世界にも発信し得るものと考ええる。

4. 粘土瓦

4.1 粘土瓦の生産動向

粘土瓦の生産については、2014年の経済産業省工業統計「品目編」(表1)によると、平板釉薬瓦(F形)、和形釉薬瓦(J形陶器)、和形いぶし瓦(J形いぶし)などの粘土瓦総出荷数量は4億2600万個余りであった。最近10年の生産動向(表1)をみると、2010年までは出荷数量が連続して減少したが、2012年にはいったん回復し5億300万個余りとなった。しかし、2013年以降は再び減少を続けている。

近年では、三河(愛知県)、石州(島根県)、淡路(兵庫県)が粘土瓦の三大産地となっている。三大産

地が全国に占める割合は2014年出荷額ベースで89.6%であった。特に三河は全国シェア70.6%であり国内最大の産地となっている。

建築材料である粘土瓦の出荷量は、一般的に新設住宅着工件数の動向に連動するとされるが、最近では着工件数と粘土瓦の出荷数量にはかい離がみられる。

この原因はいくつか考えられるが、その一つとして、他素材の屋根材との市場競争が激しくなったことがある。日本屋根経済新聞推計によると2014年の住宅用屋根材使用比率は、粘土瓦43.5%、化粧スレート26.2%、プレスセメント瓦0.7%、その他（主に金属製）29.6%であった。2004年での比率が粘土瓦55.7%、その他（主に金属製）16.7%であったことから、金属製屋根材のシェア増加とともに粘土瓦のシェアが減少してきていると考えられる。また、近年、屋根一体型太陽光発電パネルの普及により、瓦を葺く屋根の面積が減少したこともその一因と考えられる。

4.2 粘土瓦の技術動向

4.2.1 ガイドライン工法の普及と防災瓦の開発

2001年に建築基準法の改正が行われ、瓦屋根も性能規定化がなされた。これに対応して、(独)建築研究所（現国立研究開発法人建築研究所）の監修による「瓦屋根標準設計・施工ガイドライン」が刊行され、粘土瓦業界も屋根工事におけるガイドライン工法の普及を図っている。このガイドライン工法の普及と合わせて粘土瓦メーカー各社で防災瓦の開発が盛んになってきた。棧瓦においては、その重なり部分で隣接する上下の瓦とかみ合う独自形状の爪部をプレス金型の形状工夫で付加することにより強風による瓦の浮き上がり防止や地震の揺れに対する抵抗性を向上させている。

また、2014年には2階建て以下の小規模な木造建築物のJ形瓦屋根の工事に適用する「瓦屋根標準施工要領書J形編 53A」を（一社）全日本瓦工事連盟・全国陶器瓦工業組合連合会の監修により刊行し、ガイドライン工法の更なる普及を目指している。

4.2.2 産地の環境対策

粘土瓦の生産工程で発生する規格外瓦のリサイクルは各産地で進められている。三河産地では、これらの規格外瓦を微粉碎して瓦用配合粘土に4.5%添加してリサイクルする体制を構築している。その他にも、瓦シャモットが地震による地盤の液状化防止のための地盤改良資材として有効であることを明らかにするなど土木・建築分野等での用途開発を行い、産地ゼロエミッション化への取り組みを行っている。

5. 衛生陶器

5.1 概要

衛生陶器の国内出荷数¹⁾は図1に示すように長期的に減少し直近は550万個/年レベルにある。新築住宅着工戸数⁷⁾は最低状態からは脱したものの頭打ち状態にあり少子高齢化の影響も含め今後も伸びる見込みは低いと思われる。このような状況の中で、衛生陶器市場は国内のリモデルへのシフトと共に海外展開が進められている。

5.2 衛生陶器の研究・技術の発展の状況

5.2.1 節水技術の進化

地球環境保護への関心の高まりに伴い衛生陶器の節水技術は著しく進化している。図2に大便器の節水化の変遷を示す。

洗浄水量は1970年代の20Lから3.8Lまで進化して

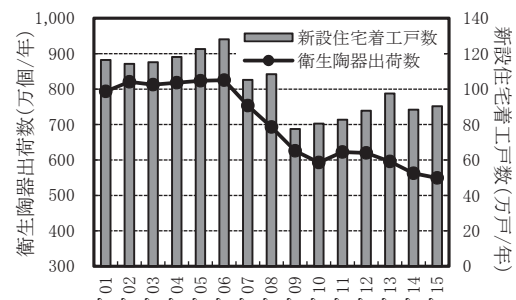


図1 国内の衛生陶器出荷数および新設住宅着工戸数の推移

表1 粘土瓦の最近10年間の生産動向

(単位：金額/億円，数量/百万枚)

年		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2012	2013	2014
出荷金額	いぶし瓦	244	231	208	190	130	126	108	97	90	97
	釉薬瓦	620	604	595	486	473	422	387	410	400	370
	粘土瓦計	864	835	803	676	603	548	495	507	490	467
出荷数量	いぶし瓦	195	180	173	149	107	102	87	78	74	74
	釉薬瓦	688	680	660	517	477	470	402	425	394	352
	粘土瓦計	883	860	833	666	584	572	489	503	468	426

資料：経済産業省・工業統計表（品目編） 従業員数4人以上の事業所対象

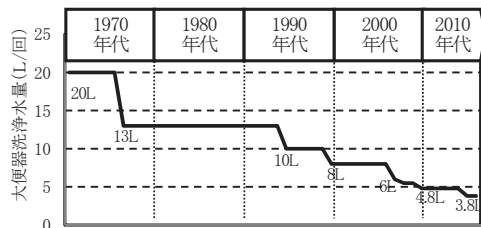


図2 大便器の節水化の変遷 (イメージ図)



図3 高精度流体解析 (例)



ワンピース便器

タンクレストイレ

図4 近年の大便器のデザイン (例)

いる。節水と洗浄性能の両立のため汚物排出路や便鉢の形状、給水流路の形状や配置などの研究開発が続けられており、近年の節水化には図3に示すような高精度な流体解析研究が進められている⁸⁾。

5.2.2 防汚技術の進化

節水と共にユーザーの清潔性への要求は高く、防汚のためのさまざまな材質面の研究開発が進められてきた。1990年代には表面平滑性が高い釉薬、表面改質を施した釉薬、抗菌効果を有する釉薬などの防汚技術が開発された。近年では便鉢内へ除菌効果がある水を噴霧するなどの新たな機能の搭載でさらに防汚性能を向上させた大便器が普及してきている。

5.2.3 デザインの多様化

近年特に洗面器で高い形状精度のデザインが求められておりファイヤクレー素地などデザイン実現に特化したタイプの素地が開発実用化されている。しかし、このタイプの素地は吸水率が高く、材質特性として低吸水性が必要な大便器には適さない。一方で、大便器は図4に示すように海外高級品市場で主流のワンピース便器や機能部が一体化したタンクレストイレのように

デザインは洗練され大型化している。このようなデザインの進化に伴い従来の熔化質素地も設計改良が進んでいる。

5.3 今後の課題

今後も地球環境保護への関心は高まり、その期待に応えるにはさらに高度な技術の追求が必要になってくる。近年の衛生陶器は機能部を含む複合体へと進化してきており、現在では尿糖値のチェックができるトイレも存在する。今後もユーザーのニーズに応えるために機能、デザイン、環境貢献への技術探求は永遠の課題といえる。

6. 磚子

6.1 磚子製造・技術の動向

①労働力集約型産業から設備集約型（自動化ライン）産業へ

②環境負荷低減の製品および生産ライン構築

③汚損磚子のコロナ騒音対策、耐震性能の向上

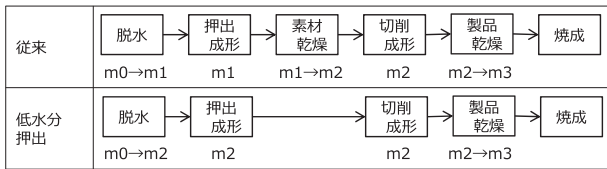
既存の磚子メーカーはグローバル展開して来ており、コスト競争が厳しくなっている。各メーカーは、その生産拠点を中国・東欧等の低コスト生産拠点に移し製造原価を低減させると同時に、先進国における製造工場は、従来の陶磁器産業で主流であった労働力集約型から設備集約型の連続自動ラインへと変化してきている。また、磚子メーカーは大型の乾燥設備や焼成炉を有しており、CO₂排出等の環境への負荷が大きなものとなっていたが、技術開発により効率的な乾燥設備や焼成炉の導入、或いは従来よりも低温で焼成出来る素地の開発を行ってきている。磚子自体も、コロナ騒音対策のための対汚損の技術開発等も進められている。また、磚子設計の最適化により製品自体もコンパクトなものになってきている。さらに、最近は大規模地震が各地で発生しており、磚子においても耐震性向上を図る製品設計となってきた。

6.2 環境負荷低減の生産ライン構築

環境負荷の低減は磚子の生産技術開発における主要な課題である。中でも乾燥工程は焼成工程に次いで環境負荷が高く、この工程省略が可能となる生産技術革新が望まれている。

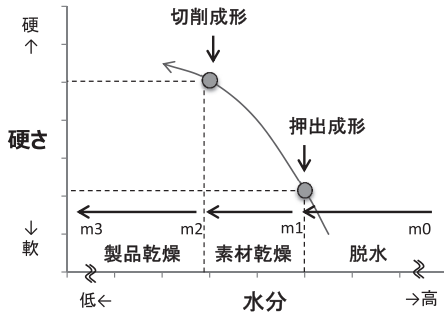
6.2.1 素材乾燥工程の省略

一般的に電気絶縁用磚子は湿式製法によって製造される(図5)。フィルタープレスによって脱水した土を真空土練機で円柱状或いは円筒状に押出成形したものを素材と呼んでいる。素材はその後、電気エネルギー等を用いた乾燥を行い、切削成形に適切な硬さに調整される(図6)。素材乾燥工程を省略するには切



※mは水分 (m0>m1>m2>m3)

図5 湿式製法での(上段)中実碍子の製造工程と(下段)低水分押出による素材乾燥工程の省略例



※mは水分 (m0>m1>m2>m3)

図6 土の水分と硬さの関係

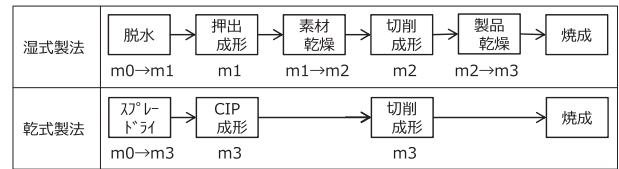
削成形が可能な硬さのレベルまで低水分化された土を押し出成形する技術が必要となる。低水分化された土は可塑性が乏しいため、このような土を欠陥なく押し出すためには、高压での土の圧着が必要となる。近年、新しい技術としてこのような低水分の土を押し出すための押出機の耐圧性能の向上とスクリー、口金形状の最適化が検討されている。

6.2.2 製品乾燥工程の省略

更なる環境負荷の低減として、製品乾燥工程の省略が可能な乾式製法が挙げられる。乾式製法とは原料泥漿をスプレードライすることで得られた顆粒を成形型に充填し、CIP(冷間等方圧プレス)によって円柱状若しくは円筒状の素材を成形する製法である(図7)。大型のCIP設備が必要となるが、この製法のメリットはリードタイムが湿式製法に対して大幅に短く、製品乾燥工程がなく工程が簡素になる点が挙げられる。また、乾式製法におけるスプレードライを用いた乾燥は、湿式製法における素材乾燥や製品乾燥に比べて乾燥のエネルギー効率が高く、環境負荷低減のメリットもある。

6.3 汚損碍子のコロナ騒音対策

送電用鉄塔に取り付けられている碍子は、汚損され雨や霧によって湿潤すると、碍子表面の局部放電により雑音(汚損コロナ騒音)が発生することがある。近年、このような問題を解決するため、撥水剤を碍子表面に塗布することにより、汚損コロナ騒音を低減する耐汚損性能向上碍子の開発が着目されている。



※mは水分 (m0>m1>m2>m3)

図7 (上段)湿式製法と(下段)乾式製法の工程例

撥水剤としては、RTVシリコーンゴム、シリコーングリース、またはフッ素系超撥水剤が採用され、それらが塗布された碍子での汚損・湿潤状態を模擬した汚損コロナ騒音試験において、撥水剤塗布なしの碍子に比べ著しい改善効果が確認されている。また、撥水剤の塗布方法についても、種々の塗布条件でその効果が評価されており、碍子の輸送時および鉄塔取り付け時の作業性を考慮し碍子のリブ側下面のみに塗布する方法や、長連となる高压系への適用に際しては撥水剤塗布碍子の一部を挿入する方法など、運用面を考慮した実用的な方法が検討されている。

最後に、撥水剤塗布碍子については、現在、一部線路で採用されているが、撥水剤の長期信頼性、保守性についての評価が、今後の適用拡大に向けての課題となっている。

6.4 碍管のコンパクト化

碍管は、中空の磁器の両端に機器接続用の金具をセメントで固定した碍子で、内部に電気を流す導体を通して使用される。変圧器や遮断器などの電力機器や変電所建屋の壁に外部からの電線を引き込むために、機器外部タンクや壁と電線を絶縁・支持する役割を果たしている。電気を大地から絶縁し、電力輸送の中樞を担う製品であるため高い信頼性が要求され、過酷な使用環境にも耐えられるように設計、製造されている。近年、大型地震が各地で発生しており、碍子においても耐震性能の向上を目的に、設計の最適化により、軽量化、低重心化を図り、コンパクト化が進められている。具体的には汚損設計の見直しによる碍管全長の短縮、内部直径の縮小・笠形状の見直しによる碍管の最大笠径の縮小等により、碍管全体のボリウムを減少させ、重量減とするとともに低重心化が図られている。

7. 将来展望

ロードマップを図8に示す。陶磁器製品の種類によって業界の状況は異なるが生産量が最盛期から大幅減少を続けた分野も最近数年は若干上向きとの感触を聞くようになった。成熟産業とはいえ日々技術開発が続けられている。また、高水準の基盤技術の継承が他産業への影響も含めて重要と考えられる。

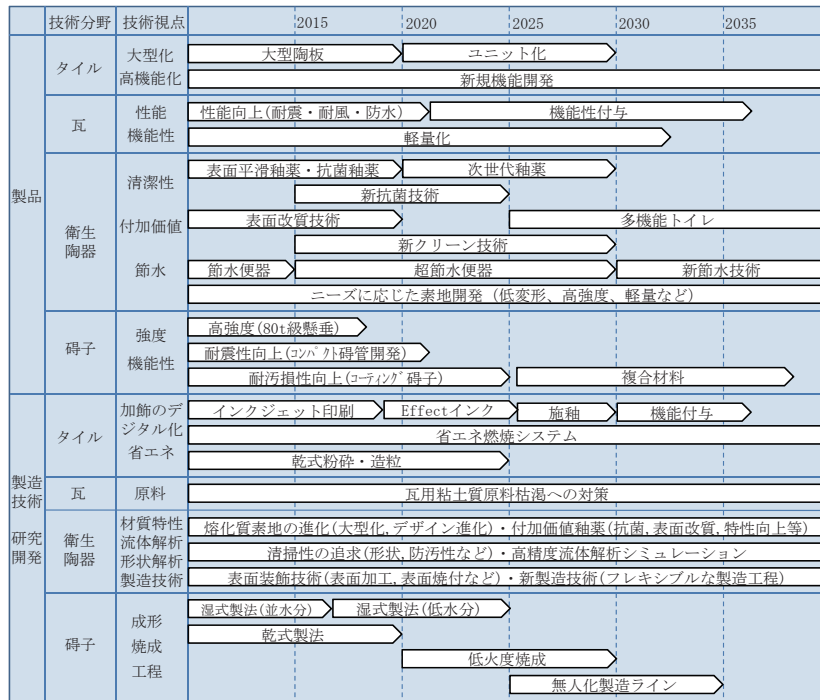


図8 タイル・瓦・衛生陶器・磚子分野の技術ロードマップ

文 献

- 1) 経済産業省経済産業政策局調査統計部, “窯業・建材統計年報” (2001~2010); 経済産業省大臣官房調査統計グループ, “窯業・建材統計年報” (2011~2012); 同, “経済産業省生産動態統計年報 資材・窯業・建材統計編” (2013~2015).
- 2) *Ceramic World Review*, 113, 48-60 (2015).
- 3) “Digital glazing and decoration of ceramic tiles”, ACIMAC handbooks, 2014 edition.
- 4) “The most powerful press in the world without mold”, systemceramics.com.
- 5) Continua+, sacmi.com.
- 6) *Ceramic World Review*, 113, 128-132 (2015).
- 7) 国土交通省総合政策局建設経済統計調査室, “建設着工統計調査報告 平成27計, 7”, (平成28年1月29(金)公表).
- 8) 池端昭夫, 吉田慎也, “TOTO(株)衛生陶器混相流シミュレーションの商品設計および販促への展開, 平成26年度先端研究基盤共用・プラットフォーム形成事業『みんなのスパコン』TSUBAMEによる日本再生産業利用成果報告”(2014).

筆者紹介

- 杉山 豊彦 (すぎやま とよひこ)
産業技術総合研究所 無機機能材料研究部門 粒子機能化技術グループ.
- 松山 城仁 (まつやま しろひと)
鳴海製陶(株).
- 渡邊 修 (わたなべ おさむ)
(株)LIXIL タイル事業部 タイルSC部.
- 竹内 繁樹 (たけうち しげき)
あいち産業科学技術総合センター 常滑窯業技術センター 三河窯業試験場.
- 山口 英明 (やまぐち ひであき)
TOTO(株)衛陶技術部 衛陶材料技術グループ.
- 佐藤 立 (さとう りつ)
日本ガイシ(株)電力事業本部 製造部.