

陶磁器関連製造技術を活用した多孔質素材の開発(その3)

環境・機能材料科 浦郷 寛康、高松 宏行、秋月 俊彦

要 約

珪砂に低温(900℃程度)で溶融するガラスフリットを加え作製した多孔質素材において、原料粒子径と細孔径を調整することによって、透水性と保水性を制御できるようになり、植栽鉢への適応を可能とした。また、高温(1300℃程度)焼成条件に適応した耐熱素材として、耐熱衝撃特性を有し、軽量且つ高強度なシリカ系多孔質素材の気孔率を明らかにし、この素材を用いることで直火用耐熱調理器具へ応用できることがわかった。

キーワード: 透水性、保水性、焼成温度、耐熱衝撃特性、軽量

1. はじめに

陶磁器製品(和飲食器)の出荷額は生活様式の多様化による消費行動の変化や労働者人口減少など、様々な社会的要因により、現在はピーク時の1/4程度となっており、出荷額の拡大は今後も難しいものと考えられる。特に本県の陶磁器産業は、他産地と比較して食器製品の製造に特化した産業構造となっているため、陶磁器産地の製品売上拡大を図るためには、食器以外の新分野への進出が必要とされる。そこで、当センターでは食器以外の機能性を活かした製品開発を行うため、生活用製品等に利用されている素材として、多孔体に注目した。多孔体は、原料粒子間で形成する気孔をもつ素材であり、気孔構造の違いによって種々の機能を発現できる。多孔体を利用した製品を、産地が長年培ってきた陶磁器製造技術や既存の製造設備を多孔体製造に活用することで、比較的容易に新分野進出を行うことができると考えられる。

本研究では、やきものの製造工程における素焼き(900℃程度の低温域)と本焼き(1300℃程度の高温域)の温度で焼成可能な多孔質セラミックス素材の開発を目標とした。低温焼成にお

いては、水分制御機能(透水性・保水性)を有する多孔質素材の製造プロセスを開発し、植栽鉢に応用した。高温焼成では、シリカ系素材における耐熱衝撃特性と軽量性について検討し、耐熱調理器具へ応用した。

2. 実験方法

2.1 多孔質素材の水分制御機能(透水性・保水性)について

第二報¹⁾では、低温域(900℃程度)で製作可能な多孔質素材として、珪砂に低温で溶融するガラスフリットを配合することで、透水性を有するおこし状の多孔質素材が得られた。本稿では、異なる粒子径の珪砂を用いて、多孔質素材を作製し、透水性に加え、保水性について市販の植栽用土と性能を比較し、植栽鉢への適応性について検討した。

2.1.1 多孔質素材及び土の透水性試験

表1に示す異なる粒子径の珪砂に10mass%のガラスフリットと1mass%のメチルセルロース、約14mass%の水を加え、袋内で混合した。混合した坏土をアクリル製の押型(上部オープン型)

表 1 各珪砂の粒度

	D10 (mm)	D50 (mm)	D90 (mm)
3号珪砂	0.548	1.217	1.630
4号珪砂	0.476	0.775	0.915
5号珪砂	0.252	0.480	0.552
6号珪砂	0.105	0.199	0.267
7号珪砂	0.057	0.106	0.136

に入れ、押し具を用いて、上方から手で加圧し、約100×200×60mmの成形体を作製した。各成形体を自然乾燥し、電気炉で昇温速度100℃/hで900℃まで昇温し、900℃で1h酸化焼成した。

各焼成体は、インターロッキングブロック透水試験器（KC-344，㈱関西機器製作所製）を用いて、JIS A5371により透水試験を各3回行い、焼成体の透水係数を算出した¹⁾。また、比較対象として、市販されているサボテン・多肉植物用土と観葉植物用土について、インターロッキングブロック透水試験器を模倣した自作の透水試験機（図1）を用い、JIS A1218に準拠して透水試験を各15回行い、各用土の透水係数を算出した。

2.1.2 多孔質素材及び植物用土の保水量測定

2.1.1で使用した焼成体を約40×40×10mmに切断し、(1)式より保水量を算出した。供試体を110℃の乾燥機で24時間乾燥した後、常温まで冷却したものを絶乾質量とした。また供試体を20℃程度の水中に24時間浸漬した後、湿った布で表面の水膜を拭き取ったものを湿潤質量とした。



図 1 自作した透水試験器

また、植物用土の保水量は、土を110℃の乾燥機で24時間乾燥した後、常温まで冷却したものを透水試験機内にタッピングにより充填した質量を絶乾質量とした。試験機内に水を導入し、4時間程度浸漬したものを湿潤質量とし、(1)式より各土の保水量を算出した。

$$W_r = (m_w - m_d) / V \quad \dots \dots (1)$$

W_r : 保水量 (g/cm³)

m_w : 湿潤質量 (g)

m_d : 絶乾質量 (g)

V : 供試体の体積 (cm³)

2.1.3 多孔質素材の気孔径測定

2.1.1で作製した6号珪砂及び7号珪砂による焼成体の一部を用いて、水銀圧入法（PoreMaster 60GT，アントンパール社製）により、細孔径分布を測定した。比較的大きな孔径であった3号、4号、5号珪砂による焼成体については、X線断層撮影装置（NAOMi-CT 3D-L，アールエフ社製）を用いて、内部の気孔構造を撮影した。撮影した画像は、フリーソフトのImageJを用いた画像の最適化及び気孔部分を抽出し、細孔径分布を求めた（図2）。細孔径は、画像処理した孔の長径と短径の平均値とした。

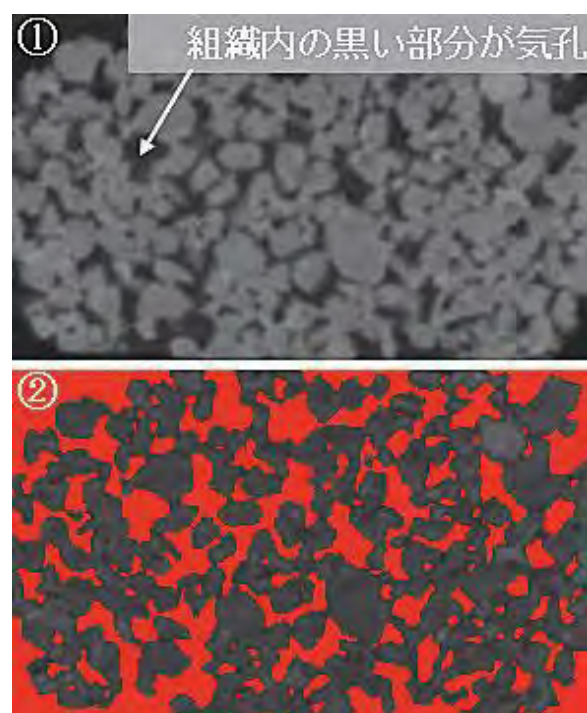


図 2 X線断層撮影画像(①)とImageJで最適化した画像(②)

表 2 主原料の粒径と配合割合

	中心粒径 (μm)	配合				
		①	②	③	④	⑤
シリカA	6.63	100				
シリカB	7.46		100			
シリカC	3.18			100		
シリカD	18.2				50	
シリカE	0.60				50	100

2.2 多孔質素材の熱的特性と軽量性について

高温域（1300℃程度）で製作可能な多孔質素材として、耐熱衝撃特性が期待されるシリカ系原料を用いた素材を作製し、一般的な耐熱素材であるペタライト系素材と諸物性値を比較することで、耐熱調理器具への適応の可能性を検討した。

2.2.1 多孔質素材の作製及び評価

表2に示す異なる粒子径の溶融シリカ原料（デンカ㈱製）に 3.5mass%のメチルセルロースと約 30mass%の水を加え、袋内でそれぞれ混合・混練した。この坯土を石膏ボード上に置き、高さ 10mmの亚克力製スペーサー 2本を介して、押し棒も用いて坯土を 10mmの厚さに引き延ばし、たたら成形した。各成形体を自然乾燥し、電気炉で昇温速度100℃/hで1280℃まで昇温し、1280℃で1h保持による酸化焼成を行った。各焼成体は、幅約 7mm、厚み約 5mmに切り出し、アルキメデス法により嵩密度と開気孔率を測定した。また同供試体についてスパン 20mm、クロスヘッドスピード 0.5mm/minの条件で曲げ強度を測定した。焼成体の一部を用いて、直火用(高耐熱)における熱衝撃強さ 350℃以上 (JIS S2400) にて、耐熱衝撃試験を行った。また比較用として、市販の耐熱調理器具の素地部分(ペタライト系)についても上記同様の測定及び試験を行った。

3. 結果と考察

3.1 多孔質素材の透水係数と保水量及び気孔径の関係について

珪砂で作製した多孔質素材の粒子径に対する透水係数及び中央細孔径の関係を図 3 に示す。横軸の粒子径については、基準を D_{50} とし、 D_{10}

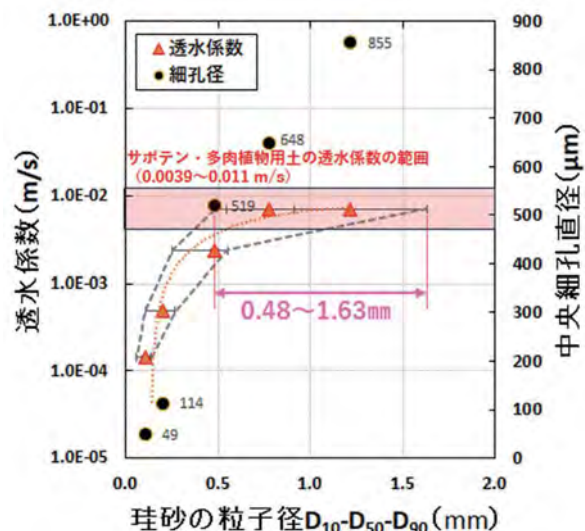


図 3 粒子径と透水係数及び細孔径の関係

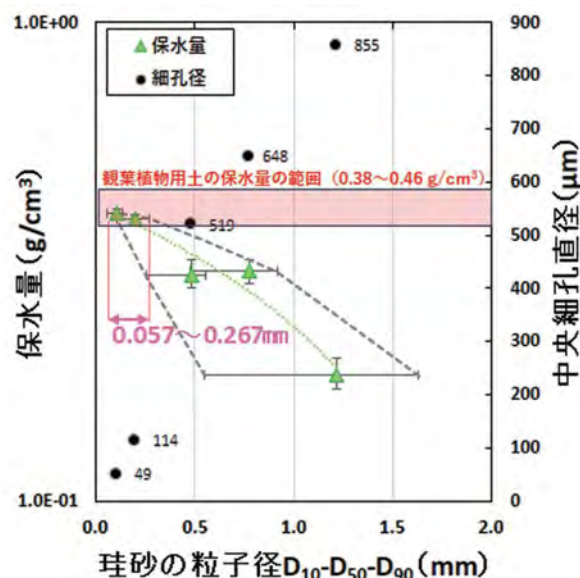


図 4 粒子径と保水量及び細孔径の関係

及び D_{90} の範囲をそれぞれ示した。粒子径が大きくなるに従い、細孔径も増大し、透水係数も指数関数的な増加が見られた。これは、粗大粒子のほうが、微小粒子よりも粒子同士で形成する空隙が大きくなるため細孔径が増大し、また細孔径が増大するにつれて、水が通過する空間が広がるため、透水係数も増加することが示唆される。

次に、市販の土と多孔質素材の透水係数を比較した。サボテン・多肉植物用土の透水係数範囲は0.0039～0.011m/sであった。この範囲に相当する珪砂の粒子径 D_{50} は、3号珪砂と4号珪砂のみであることから、3号珪砂及び4号珪砂を合わせた粒子径範囲である0.48～1.63mmにおいて、サ

ポテン・多肉植物用土と同じ透水係数を有する多孔質素材を作製できることが示された。図4に、珪砂で作製した多孔質素材の粒子径に対する保水量及び中央細孔径の関係を示す。粒子径が小さくなるに従い、細孔径は減少し、保水量は増加した。これは、透水係数の場合とは相反し、微小粒子のほうに粒子間で形成する空隙が狭くなったためと考えられる。この気孔は、水の表面張力の影響が強く働くことで、気孔内の水の流動性が低下し、気孔内に残存する水分量が増加したものと考えられる。

次に、市販の土と多孔質素材の保水量を比較した。観葉植物用土の保水量の範囲は $0.38 \sim 0.46 \text{ g/cm}^3$ であった。この範囲に相当する珪砂の粒子径 D_{50} は、6号珪砂と7号珪砂のみであることから、6号珪砂及び7号珪砂を合わせた粒子径範囲である $0.057 \sim 0.267 \text{ mm}$ において観葉植物用土と同じ保水量を有する多孔質素材を作製できることが示された。

以上のことから、市販の植物用土と同等の水分制御機能を有する植栽鉢の設計には、骨材の粒子径と細孔径を調整することによって制御可能であることが明らかとなった。骨材の粒子径を $0.48 \sim 1.63 \text{ mm}$ の範囲にすることで細孔径が約 $648 \sim 855 \mu\text{m}$ (図3) に制御できるようになり、この細孔径の範囲によって透水に寄与した多孔質素材を作製できる。

一方、骨材の粒子径を $0.057 \sim 0.267 \text{ mm}$ の範囲にすることで細孔径が約 $50 \sim 110 \mu\text{m}$ (図4) に制御できるようになり、保水性の高い多孔質素材を作製できる。

3.2 多孔質素材の熱的特性と軽量性及び強度について

シリカ系素材及び市販品（ペタライト系素地）の開気孔率と嵩密度及び曲げ強度の関係を図5に示す。シリカ系素材において、開気孔率が増加するにつれて、嵩密度と曲げ強度は減少傾向を示した。開気孔率が約30%のシリカ系素材は、ペタライト系素材と比べ、気孔量が多いにもかかわらず、高い強度値を示した。また、嵩密度は、シリカ系素材のほうが、より低い値を示し、軽量性にも優れていた。耐熱衝撃強さは、シリカ系素材及び市販品（ペタライト系）どち

らも試験温度差 350°C の基準を満たし、耐熱衝撃特性を有する素材であることを確認した。

以上のことから、耐熱調理器具に適応可能な、耐熱衝撃特性と軽量性且つ高強度な多孔質素材の製造条件を明らかにした。

3.3 応用例の紹介

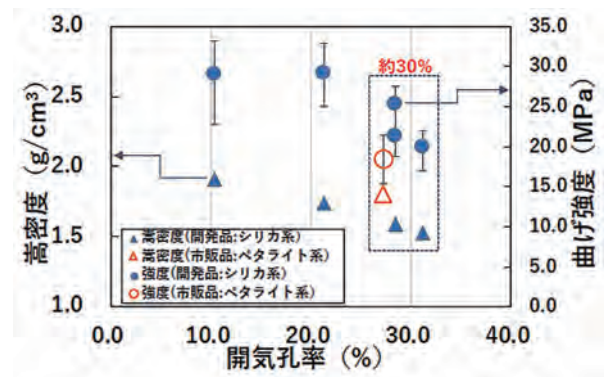


図5 開発品及び市販品の諸物性値の比較



図6 試作事例（上段：(左)サボテン・多肉植物向け (右)観葉植物向け 下段：直火用耐熱調理器具）

本研究で確立した多孔質素材の製造条件に基づき、水分制御機能（透水性・保水性）を有する植栽鉢と、軽量性を有した耐熱調理器具をそれぞれ試作した（図6）。植栽鉢については、サボテン・多肉植物向けの透水性を付与できるものと観葉植物のような保水性を付与できるものを作り分け、実際に植栽することで、10か月の期間において植物の生育に問題ないことを確認できた。また、耐熱調理器具については、直火で破損することなく調理できることを確認した。

4. まとめ

本研究では、陶磁器産地の製造条件に適したプロセスによる素材開発を行い、次の知見が得られた。

- (1)低温域（900℃程度）においては、原料に非可塑性の無機素材である珪砂を用い、ガラスでおこし状に焼き固めた多孔質素材を開発した。本素材は、粒子間で形成される気孔の大きさの違いによって、透水性や保水性といった水分制御機能を付与することができた。また、原料粒子径及び細孔径のコントロールにより、市販の各種植物用土と同等の機能を有する植栽鉢を作り分けることができた。
- (2)高温域（1300℃程度）においては、シリカ系素材を用いて検討したところ、直火用耐熱製品に求められる耐熱衝撃強さ 350℃の基準を満たすことが分かった。また、同素材に約 30% 気孔を導入した場合、一般的な耐熱素材であるペタライト系素材よりも高強度且つ軽量となることが示された。

文 献

- 1) 浦郷寛康、高松宏行、秋月俊彦、陶磁器関連製造技術を活用した多孔質素材の開発（その2）長崎県窯業技術センター研究報告、No.70,6～11（2022）.