

中火度透光性素地の応用化研究

松下福三^{*1}、片岡泰弘^{*1}、尾崎健一^{*2}、生浦京子^{*1}

Applied Study on Translucent Body possible to be fired at Intermediate Temperature

Fukuzo MATSUSHITA, Yasuhiro KATAOKA, Kenichi OZAKI and Kyouko IKUURA

Tokoname Ceramic Research Center, AITEC^{*1*2}

前報¹⁾で得られた中火度透光性素地の製品への応用を目的に、素地配合量、焼成雰囲気、焼成温度の最適化を図った。その結果、最高温度 1170 で還元雰囲気焼成した微粉碎インド長石 57%・熔融シリカパウダー13%・ニュージーランドカオリン 30%配合素地は、焼成軟化変形値 5.6mm、視感透過率(1mm厚さ) 35%、白度 73%、吸水率 0.0%、かさ比重 2.40、全収縮率 13%、熱膨張係数 5.5×10^{-6} /K、熱伝導率 1.34W/mK、曲げ強度 80MPaであった。視感透過率(同) 35%は、高火度還元雰囲気焼成の高級磁器素地のそれ(同 25~30%)を大きく上回る値であった。

1. はじめに

常滑焼産地における中部国際空港関連の新製品開発²⁾を支援するため、その素地アイテムの一つとして高透光性素地を選んだ。過去、高い視感透過率を持つ透光性素地の研究³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾が行われてきた。これらの焼成温度はいずれも高火度である。常滑焼産地の一般的な焼成温度は中火度であり、そのままの原料配合では透光性素地が得られなかった。

我々は前報¹⁾で、中火度大気(酸化)雰囲気焼成可能な透光性素地(中火度透光性素地)を研究した結果、最適な原料配合(微粉碎インド長石・熔融シリカパウダー・ニュージーランドカオリン系)を得た。今回、その中火度透光性素地を製品に応用すべく、企業への技術移転を目標に研究を行った。製造工程へ対応させるため、本研究では泥漿調製条件および焼成条件を検討して、素地配合量、焼成雰囲気、焼成温度の最適化を図り、耐焼成軟化変形、透光性および白度の優れた製品を試作、その特性評価および加飾提案を行った。

2. 実験方法

2.1 素地原料と試験片の作製方法

原料の種類と配合範囲は、前報¹⁾と同じ微粉碎インド長石(以下、Fインド長石) 40~70%・熔融シリカパウダー(以下、FSP) 0~30%・ニュージーランドカオリン(以下、NZカオリン) 30%とした。

FSPは前報¹⁾より細粒のメジアン径 22 μ mのものをを用いたが、その他の原料は前報¹⁾と同じとした。

泥漿の調製は、基礎実験では遊星回転ポットミル(回転速度 200r.p.m・粉碎時間 20min・粉碎量 100g)を用いた。応用化実験には一般的に使用されるポットミル(回転速度 60r.p.m・粉碎時間 24hr・粉碎量 3kg)を用いた。配合素地(泥漿)の粒度はレーザー回折式粒度分布測定装置(HORIBA製LA-500)にて測定した。また、試験片の作製方法と寸法は前報¹⁾と同じである。

2.2 焼成条件

焼成は電気炉による大気雰囲気焼成(以下、大気焼成)と還元雰囲気焼成(以下、還元焼成)で行った。大気焼成は、雰囲気調節をしない焼成方法であり、還元焼成は、1000 から最高温度の保持終了まで、LPG 燃焼ガスを炉内に入れ、炉圧調節によりCO濃度 4~5%を維持した。最高温度は 1160~1200 (R熱電対指示)を選び、同温度で 1hr 保持した。還元焼成の焼成温度は 1170~1210 (リード・ハンマー・ジャパン製リング STH)である。

2.3 素地の評価

2.3.1 焼成軟化変形

焼成軟化変形値の評価は、前報¹⁾の方法により評価した。試験片厚さは 4.4~4.5mmの範囲内である。

2.3.2 透光性、白度

透光性は前報¹⁾の方法により評価した。白度は、紫外線可視分光光度計(日本分光製V-570)にて、反射による物体色の三刺激値(XYZ)を測定(波長 300~800nm)し、Y値を白度の目安とした。試験片厚さは 4.4~4.5mmの範囲内である。また、これとは別に厚さの異なる試験片を作製し、試験片の厚さと視感透過率の関係を調べた。

2.3.3 諸特性

素地配合量、焼成雰囲気、焼成温度の最適化を図った素地について、吸水率、かさ比重、全収縮率、熱膨張係数、熱伝導率、曲げ強度を測定した。吸水率は煮沸吸水法、かさ比重はアルキメデス法で測定した。全収縮率は鋳込直後の長さを基準に求めた。熱膨張係数は横型熱膨張計（リガク製：TDA/M）により20～500 間の熱膨張係数を測定した。熱伝導率測定は熱線法（京都電子工業製：QTM-D3）により常温にて実施した。曲げ強さはスパン90mmの3点曲げ法により求めた。

3．実験結果

3.1 大気焼成

3.1.1 焼成軟化変形

F S P 配合量に対する焼成軟化変形値の関係を図1に

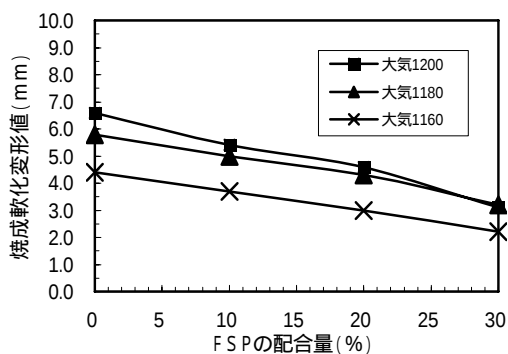


図1 F S P 配合量と焼成軟化変形値

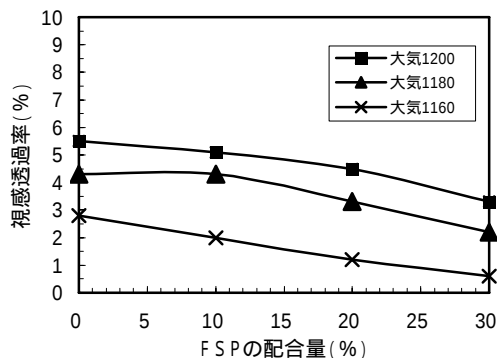


図2 F S P 配合量と視感透過率

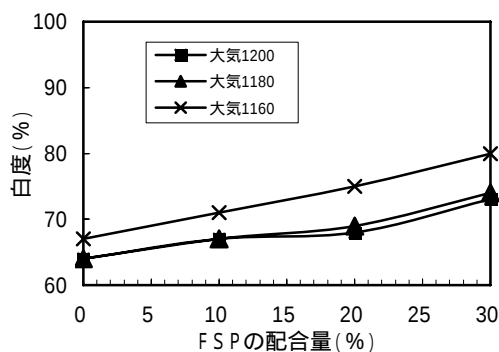


図3 F S P 配合量と白度

示す。F S P 配合量 0～30%の範囲で焼成軟化変形値は1200 で6.6mm から3.1mm まで、1180 で5.8mm から3.2mm まで、1160 で4.4mm から2.2mm まで直線的に減少した。

3.1.2 視感透過率

F S P 配合量に対する視感透過率の関係を図2に示す。F S P 配合量 0～30%の範囲で視感透過率は、1200 で5.5%から3.3%まで、1180 で4.3%から2.2%まで二次曲線的に低下した。また、1160 で2.8%から0.6%まで直線的に低下した。

3.1.3 白度

F S P 配合量に対する白度の関係を図3に示す。F S P 配合量 0～30%の範囲で白度は、1200 で64%から73%まで、1180 で64%から74%まで、1160 で67%から80%まで直線的に上昇した。

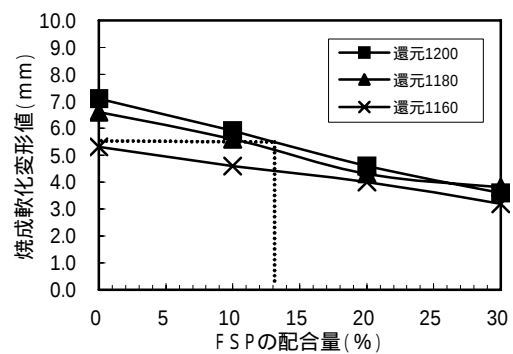


図4 F S P 配合量と焼成軟化変形

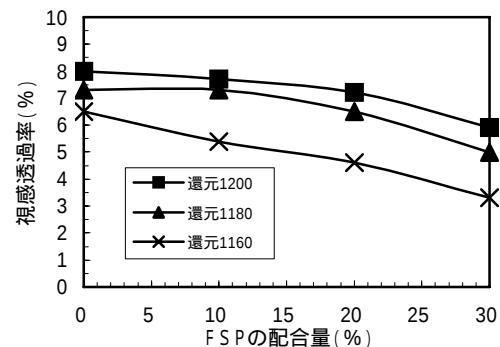


図5 F S P 配合量と視感透過率

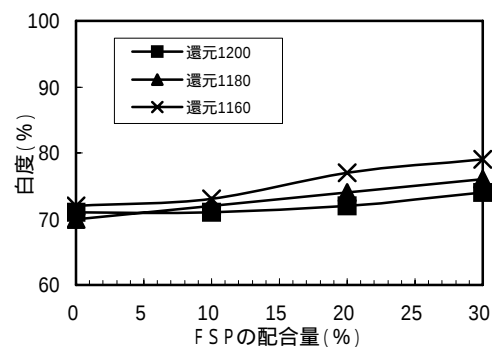


図6 F S P 配合量と白度

3.2 還元焼成

3.2.1 焼成軟化変形

F S P 配合量に対する焼成軟化変形値の関係を図 4 に示す。F S P 配合量 0～30%の範囲で焼成軟化変形値は、1200 で 7.1mm から 3.6mm まで、1180 で 6.6mm から 3.8mm まで、1160 で 5.3mm から 3.2mm まで直線的に減少した。

3.2.2 視感透過率

F S P 配合量に対する視感透過率の関係を図 5 に示す。F S P 配合量 0～30%の範囲で視感透過率は、1200 で 8.0%から 5.9%まで、1180 で 7.3%から 5.0%まで二次曲線的に低下した。また、1160 で 6.5%から 3.3%まで直線的に低下した。

3.2.3 白度

F S P 配合量に対する白度の関係を図 6 に示す。F S P 配合量 0～30%の範囲で白度は、1200 で 71%から 74%まで、1180 で 70%から 76%まで、1160 で 72%から 79%まで直線的に上昇した。

4 素地の最適化と考察

開発した透光性素地の製品への応用化にむけて、製造工程へ対応させるため、素地配合量、焼成雰囲気、焼成温度の最適化を図った。

図 1 と図 4 から、各焼成温度における焼成軟化変形値は焼成雰囲気によって顕著な差があり、大気焼成素地が常に小さい。また、図 2 と図 5 から、各焼成温度における視感透過率も焼成雰囲気によって顕著な差があり、還元焼成素地が常に高い。実用的には焼成軟化変形値の小さい大気焼成は有利であるが、透光性素地の代表特性値である視感透過率は還元焼成より小さく劣る。還元焼成でも最高温度を制御すれば、焼成軟化変形値の抑制は可能であり、応用化に向けての素地の最適化は視感透過率の高い素地が得られる還元焼成で行うこととした。

前報¹⁾において、焼成軟化変形値の最適値を 5.5mm としたことから、焼成軟化変形が最も懸念される 1200 において焼成軟化変形値 5.5mm を示す素地配合量を図 4 より選んだ。これによる素地配合量は F インド長石 57%・F S P 13%・N Z カオリン 30%である。図 5 と図 6 から、この配合量の 1180 で還元焼成した場合に予測される視感透過率は約 7.2%、白度は約 73%である。この選定した配合素地をポットミルで泥漿調製し、1180 で還元焼成したところ、焼成軟化変形値は 5.8mm であった。配合量と最高温度から予測される焼成軟化変形値は、図 4 から 5.2mm であるため、それより 0.6mm 大きく変形したことになる。これは、ポットミルでは遊星回転ポットミルに比べ、以下に示すように原料が微粉碎されたことが

原因と考えられる。

ポットミル

(回転速度 60r.p.m・粉碎時間 24hr)

粉 碎 量 : 3 kg

90% 粒子系 : 13 μm

遊星回転ポットミル

(回転速度 200r.p.m・粉碎時間 20min)

粉 碎 量 : 100g

90% 粒子径 : 16 μm

そこで、ポットミルを使用した場合の焼成軟化変形値が 5.5mm となるよう、最高温度によるコントロールを行った。図 7 に最高温度と焼成軟化変形値の関係を示す。グラフから 1170 において焼成軟化変形値の基準値 5.5mm を満たす焼成素地が得られたことから、1170 を最適な温度とした。

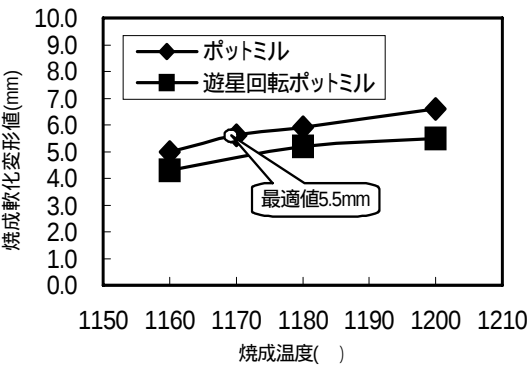


図 7 最高温度と焼成軟化変形値の関係

表 1 に F インド長石 57%・F S P 13%・N Z カオリン 30% 配合素地の最高温度 1170 ・還元焼成における素地の諸特性を示す。

表 1 素地の諸特性 (F S P 13%、1170 還元焼成)

焼成軟化変形値 (mm)	5.6
視感透過率 (%)	7
白度 (%)	73
吸水率 (%)	0.0
かさ比重	2.4
全収縮率 (%)	13
熱膨張係数 (1/K : 20 ~ 500)	5.5×10^{-6}
熱伝導度 (W/mK)	1.34
曲げ強度 (MPa)	80

ここで、表 1 に諸特性を示した最適化素地と磁器素地の透光性を比較するため、最適化素地の試験片厚さと視感透過率の関係を調べた。その結果を図 8 に示す。試験片厚さ (x) と視感透過率 (y) には、 $y = 56 e^{-0.48x}$ の関係があり、この式から求められる視感透過率 (1mm 厚さ) は 35% である。この値は高火度還元焼成の高級磁器素地のそれ (同 25 ~ 30%) を大きく上回る値であった。

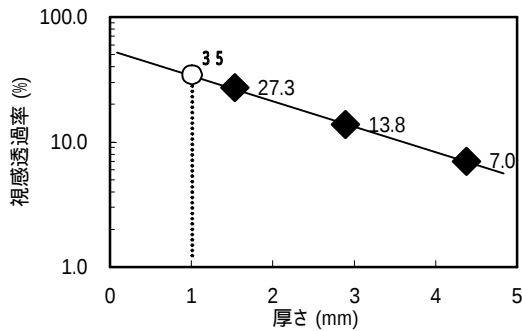


図8 試験片厚さと視感透過率の関係

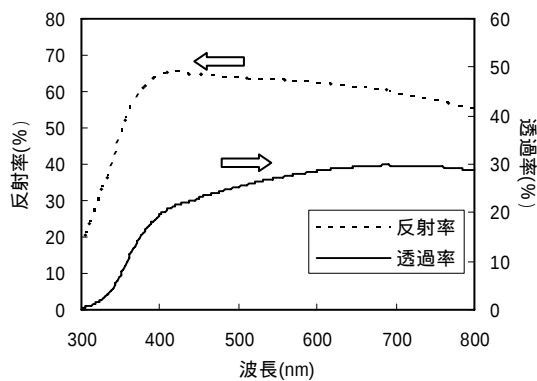


図9 透過率・反射率曲線（試験片厚さ 1.5mm）

図9に厚さ 1.5mmの試験片の透過率および反射率曲線を示す。透過率曲線は、赤色の長波長(700nm)側から青色の短波長(440nm)側にかけて約 30%から約 24%へと緩やかに推移し、紫外線領域(380~300nm)において約 18%から約 0%へと急激に減衰するUVカット特性を示した。前報⁵⁾の大気焼成素地の透過率曲線と比べると、大気焼成素地では青色の光は透過し難く、赤色の光を透過し易かったのに対し、還元焼成素地では青、赤色ともに透過し易い特徴があった。反射率曲線は赤色の長波長(700nm)側から青色の短波長(440nm)側にかけて約 60%から約 65%へと緩やかに推移し、紫外線領域(380~300nm)において約 62%から約 20%へと急激に減衰した。このことから、開発した透光性素地は、紫外線を多く吸収することが分かった。

5. 試作

透光性素地の応用例として、アロマランプ（電気式芳香器）の試作を行った。アロマランプの構造は上蓋と胴部から成る。上蓋で茶葉・お香等を加熱してその芳香を楽しみ、胴部には開発した透光性素地を使用し、その中にLED光源を内蔵することにより、素地を通してやわらかな光が胴部全体から透け出す。その結果、リラクゼーション効果と照明器具としての機能性を期待できる。

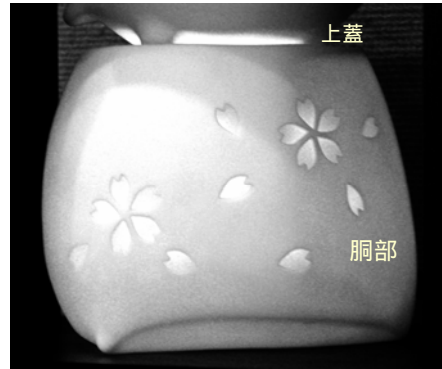


図10 アロマランプ外観とブラスト模様

本実験により最適化を図った透光性素地でアロマランプを鋳込み成形した結果、泥漿の流動性や排泥性は良好で、脱型も容易であった。最高温度 1170 の還元焼成により、透光性および白度の高い高級感、清涼感の備わった製品が得られた。なお、アロマランプ胴部の上部内側の上蓋が載る水平状の縁の垂れも認められなかった。

加飾例としてショットブラスト法により、素地表面に陰刻模様を施した。処理は、SiC（粒度 220）を噴射圧力 0.2MPa で噴射した。その結果、模様に沿って薄くなった部分が、背面のLED光源により明るく際立ち、やわらかい印象の独特な灯り模様が得られた。図10にアロマランプ外観と加飾模様の写真を示す。

6. 結び

中火度透光性素地の製品への応用化を目的に、素地配合量、焼成雰囲気、焼成温度の最適化を図り、素地配合：F インド長石 57%・F S P 13%・N Z カオリン 30%、焼成条件：還元焼成・最高温度 1170 の透光性素地を得た。また、アロマランプを試作し、実用性を確認した。この素地の諸特性は、焼成軟化変形値 5.6mm、視感透過率(1mm 厚さ) 35%、白度 73%、吸水率 0.0%、かさ比重 2.40、全収縮率 13%、熱膨張係数 $5.5 \times 10^{-6}/K$ 、熱伝導率 1.34W/mK、曲げ強度 80MPaであった。視感透過率(同) 35%は、高火度還元焼成の高級磁器素地のそれ(同 25~30%)を大きく上回る値であった。

文献

- 1) 松下ら：愛知県産業技術研究所研究報告, 3, 56(2004)
- 2) 生浦京子：セラミックス, 40(4), 300(2005)
- 3) 今井ら：京都市工業試験場研究報告, 19, 68(1991)
- 4) 桑原田ら：鹿児島工業技術センター研究報告, 14, 17(2000)
- 5) 杉山ら：名古屋工業技術研究所報告, 44(3), 93(1995)
- 6) 中道俊久：石川県九谷焼試験場業務報告, 121(1987)

