

## 耐熱陶器リサイクル技術の開発

### —耐熱陶器の不良品を再利用した耐熱陶器の試作—

林 茂雄\*, 岡本康男\*\*, 新島聖治\*, 谷口弘明\*\*

Development of Recycling Technology for Heat Resistant Ceramic Tableware  
- Trial Manufacture of Heat Resistant Pottery by Reusing Defective Heat Resistant Pottery -

Shigeo HAYASHI, Yasuo OKAMOTO, Seiji NIIJIMA and Hiroaki TANIGUCHI

#### 1. はじめに

三重県は食卓用・ちゅう房用陶磁器生産量が全国4位であり、耐熱陶器（土鍋等）は、日本一の生産量で国産シェアの約8割を占めている<sup>1)</sup>。四日市萬古焼土鍋は製造における焼成工程後の不良品が5%程度発生しており<sup>2)</sup>、最大の廃棄物である。四日市萬古焼土鍋の原料（耐熱陶土）に40～50%含まれるペタライト鉱石は、ジンバブエから輸入しており、リチウム含有鉱石の需要増加の影響で価格が上昇している。さらに、不良品の産業廃棄物処分費用も増加しており、不良品をリサイクルすることで製造コストの低減化を図ることが必要となっている。

耐熱陶器は、主に機械ロクロやローラーマシンによる成形（練土を使用）と鋳込み成形（泥しょうを使用）にて製造されている。これまでに、練土状陶土と泥しょう状陶土への耐熱陶器の不良品の添加による耐熱陶器のリサイクルに関する基本技術開発について検討を行った<sup>2-3)</sup>。

令和3年度は、開発した基本技術を活用して、機械ロクロ成形によるリサイクル土鍋の試作、圧力鋳込み成形によるリサイクルグラタン皿の試作、および耐熱陶器の不良品のスクリーニング分析評価を行ったので報告する。

#### 2. リサイクル土鍋等の試作

##### 2.1 リサイクル土鍋の試作

四日市萬古焼にて一般的に使用されている耐熱陶土の荒目（以下荒目土と略す）の練土に、耐熱陶器（荒目土製）の不良品（素焼と本焼工程で発生した2種類）をそれぞれ粉砕したものを3%添加して、循環式混練機にて混合後、真空土練機にて試作用練土を2種類調製した。2種類の試作用練土と比較用として荒目土のみの練土について、四日市萬古焼土鍋製造業者に機械ロクロ成形によるリサイクル土鍋の試作を委託した。試作した土鍋を図1に示す。

試作した土鍋は、厚みのある8号サイズ（3～4人用）であり、製造工程における成形、乾燥、素焼、および本焼にて歪み、切れ等の不具合を確認しやすくした。機械ロクロ成形には問題はなく、石膏型からの脱型もしやすく、成形品に切れ等の欠点の発生はなかった。成形品の削り工程では、不良品を添加した2種類の試作用練土の粘りは弱い、削りやすいことがわかった。乾燥、素焼、釉薬の塗布工程も問題はなく、連続焼成炉による本焼（焼成温度1150℃程度）後の試作品には、切れ、歪み等の欠点は発生せず、釉薬の色調・溶融状態も問題なく、現行品との相違点はなかった。

試作した土鍋は、食品衛生法・食品、添加物等の規格基準「ガラス製またはホウロウ引きの器具または容器包装の規格」の溶出試験の結果、鉛とカドミウムは検出しなかった。また、JIS S2400「陶

\* 窯業研究室

\*\* 窯業研究室伊賀分室

磁器製耐熱食器<sup>4)</sup>の熱衝撃試験（直火用高耐熱・熱衝撃強さ 350℃以上）の結果、欠点は発生しなかった。



図1 試作りサイクル土鍋

## 2.2 リサイクルグラタン皿の試作

四日市萬古焼にて一般的に使用されている耐熱陶土の細目（以下細目土と略す）に、耐熱陶器（細目土製）の不良品（素焼と本焼の2種類）を粉碎したものを3%添加して、泥しょうを2種類調製した。泥しょうの調製では、令和2年度のテストピースでの基礎的研究結果<sup>3)</sup>を踏まえて、細目土乾燥粉体に対して、水分量23%、解こう剤（ケイ酸ソーダ3号）0.55%添加を基本とした。なお、季節要因等を考慮して、水分量と解こう剤を微調整した。2種類の試作用泥しょうと比較用として細目土のみの泥しょうについて、圧力鋳込み成形にて、グラタン皿を試作した。成形品脱型後のハンドリングに問題はなく、成形品に切れ等の欠点の発生はなかった。乾燥、素焼、釉薬の塗布工程も問題はなく、電気炉による本焼（焼成温度1180℃と1200℃の2種類）後の試作品は、切

れ、歪み等の欠点は発生せず、釉薬の色調・熔融状態も問題なく、現行品との相違点はなかった。なお、釉薬は、平成20年度に開発した低環境負荷型黒色耐熱釉薬（重金属類の原料を削減<sup>5)</sup>）をディッピング（浸漬）で施釉した。試作したグラタン皿を図2に示す。

試作したグラタン皿は、食品衛生法・食品、添加物等の規格基準「ガラス製またはホウロウ引きの器具または容器包装の規格」の溶出試験の結果、鉛とカドミウムは検出しなかった。また、JIS S2400「陶磁器製耐熱食器<sup>4)</sup>の熱衝撃試験（直火用高耐熱・熱衝撃強さ350℃以上）の結果、欠点は発生しなかった。



図2 試作りサイクルグラタン皿

## 3. 有害物質のスクリーニング分析

耐熱陶器の不良品の粉末を波長分散型蛍光X線分析装置にて、定性・半定量分析（FP法）によるスクリーニング分析を行った。表1にFP法による分析結果を示す。

耐熱陶器の不良品には、鉛、カドミウム等の有

害物質は含有していないことが確認できた。また、本焼の不良品には、釉薬成分の鉄 (Fe) , マンガン (Mn) , クロム (Cr) とバリウム (Ba) が含有することが確認できた。

不良品を 3 % 添加した土鍋とグラタン皿を試作した。その結果、製造の各工程は、現業と同等であった。また、試作品は鉛・カドミウム溶出試験 (食品衛生法) と耐熱衝撃試験 (JIS S2400) にて、異常はなく、現行品と同等の性能であった。

表 1 耐熱陶器の不良品の FP 法による分析結果

(wt%)	荒目土不良品		細目土不良品	
	素焼	本焼	素焼	本焼
SiO <sub>2</sub>	63.0	63.5	69.2	66.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32.9	30.7	27.0	28.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.79	1.23	0.78	1.08
TiO <sub>2</sub>	0.45	0.48	0.39	0.42
MnO	0.01	0.15	0.01	0.06
CaO	0.15	0.41	0.17	0.31
MgO	0.92	0.93	0.32	0.56
Na <sub>2</sub> O	0.48	0.58	0.48	0.55
K <sub>2</sub> O	0.95	1.30	1.46	1.28
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	0.07	0.06	0.03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.01	0.27
ZnO	0.01	0.07	0.01	0.27
ZrO <sub>2</sub>	0.09	0.02	0.02	0.02
BaO	0.03	0.41	—	0.54

#### 4. 結論

耐熱陶器 (土鍋等) の不良品をリサイクルするための基礎的研究の成果を活用して、耐熱陶器の

#### 参考文献

- 1) 工業統計調査 2020 年確報 地域別統計表, 品目別統計表. 経済産業省 (2021)
- 2) 林 茂雄ほか: “耐熱陶器リサイクル技術の開発”. 三重県工業研究所研究報告, 44, p139-147 (2020)
- 3) 岡本康男ほか: “耐熱陶器リサイクル技術の開発— 鋳込み成形の検討—”. 三重県工業研究所研究報告, 45, p87-91 (2021)
- 4) 日本工業規格 JIS S 2400: “陶磁器製耐熱食器”. (一財)日本規格協会 (2000)
- 5) 林 茂雄ほか: “耐酸性を向上し萬古焼釉薬の開発”. 三重県科学技術振興センター工業研究部研究報告, 32, p42-45 (2008)

(本研究は、産業廃棄物抑制型産官共同研究推進事業において実施し、産業廃棄物税を財源としています。また、公益財団法人 JKA による 2021 年度公設工業試験研究所等における機械設備拡充補助事業で導入された「波長分散型蛍光 X 線分析装置」を活用し実施しました。)