

廃棄物を利用した陶磁器製品の開発

宮田 昌俊 永柳 辰一 田中 正洋

Utilization of Waste Materials for Ceramics
by

Masatoshi MIYATA, Tatsuichi NAGAYANAGI and Masahiro TANAKA

持続可能な社会を目指し、廃棄物の減量化、資源化が進められている。昨年度、ガラス屑、陶器屑を含む鋳込成形用素地を開発したが、本年度は業界への技術移転を容易にするため、素地のコストダウン、成形、焼成の実証試験、試作を目的にとこなめ焼協同組合（以下組合）と共同研究を行った。

開発した素地の調合をベースに成形性を損ねることなく、産地企業でも取り入れ易い実用的な原料配合に置き換えた。その結果、ガラス屑はカレットメーカーで粗粉碎されたワイン瓶などの混色ガラス屑とし、水簾粘土を原土に置き換え、タルク、顔料を添加しないことによってコストを1/2 以下にすることができた。また、焼成温度を100℃下げても市販素地と同様な性状が得られ、エネルギーコストの削減も図ることが実証できた。

素地配合は、ガラス屑25%、陶器屑25%、本山木節原土50%、炭酸バリウム0.2%添加であり、製土は組合で行った。これを用いて園芸用品、花器、ワインクーラーなどを試作した。

1. まえがき

環境共生型と資源循環型の社会システムが求められている中、当センターの資源化技術と組合の製土、成形、焼成技術を融合させ、廃棄物を利用した新素地の産業利用として陶磁器製品への応用を図った。研究手法は以下のプロセスにより行い、昨年開発した素地の調合をベースに安価な原料に置き換えた。これを組合で製土して、メーカー独自の製品ラインの中で成形性、作業性を検討し、試作した。

- (1) ガラス屑の選定と素地調合試験、性状評価
- (2) 製土、泥漿調製、鋳込成形、焼成
- (3) 作業性の評価、製造コスト

2. 調査及び実験

2.1 ガラス屑の調査、選定

昨年度の研究¹⁾では、廃棄物の利用率が50%以上で、植木鉢用に1000～1100℃焼成可能な鋳込用素地として、表1、2に示したガラス屑（道路舗装用の色別微粉碎物）27.5%、陶器屑27.5%、本山木節水簾粘土45%、これにタルク3%、顔料（水酸化第二鉄）3%、水ガラス0.3%、ダーバン0.2%の調合が最適であった。

しかし、これと同様の原料及び調合で生産ベースの製土を行うと、通常の植木鉢に使われている素地の価格よりかなり高くなることが課題であった。

表1 原料の置き換え

	粘土	長石	珪石	その他
一般的陶器	50%	30%	20%	—
開発素地	本山木節 45%	ガラス屑 に置換 27.5%	陶器屑に 置換 27.5%	タルク 顔料 水ガラス ダーバン

表2 使用原料の化学分析値

成分/原料 (%)	ガラス屑	陶器屑	本山木節 水簾	本山木節 原土
SiO ₂	70.5	73.5	46.04	48.62
TiO ₂	—	—	0.80	0.69
Al ₂ O ₃	2.1	18.8	35.13	33.58
Fe ₂ O ₃	0.09	0.85	0.95	1.02
CaO	10.8	0.91	0.21	0.24
MgO	0.50	0.32	0.44	0.22
K ₂ O	1.3	2.88	0.40	0.72
Na ₂ O	14.2	1.47	—	—
Cr ₂ O ₃	0.17	—	—	—
Ig. loss	—	1.14	16.04	14.89

この素地の価格構成はガラス屑が41%、粘土19%、添加物15%、製土加工費等25%である。このため、ガラス屑を安価に入手する方法や従来の成形性と焼成性状も大幅

に損ねないように粘土の種類、添加物の有無について再検討し、コストダウンを図った。

ガラス屑を鋳込用原料として使用するためには、成形性を阻害する紙、金属、プラスチックなどの異物を除去しなければならない。このため、昨年度は異物を完全に除去し洗浄した市販のガラス屑を使用した。本年度は安価なガラス屑を入手するために下記の近郊のリサイクルセンターや処理場、カレットメーカー、瓶メーカーを調査した。

- (1)知多市リサイクルプラザ(知多市)
- (2)クリーンセンター常武(知多郡武豊町)
- (3)丸硝(大垣市)
- (4)大原硝子(岩倉市)
- (5)石塚硝子 岩倉工場(岩倉市)

その結果、ガラス屑の値段は瓶の洗浄、蓋、ラベルなど異物除去の加工費と運搬費が大部分を占めていることが分かった。このため、色別に選別されていないが異物の混入が少ない粗粉碎のガラス屑を、現場渡しで引き取ることで市価の1/3以上安く入手することが可能となった。

2.2 素地の調査試験、鋳込性及び焼成性状の評価

粘土については、昨年度の調査では本山木節の水簾物を使ったが、本年度はこれを原土に置き換えて成形及び焼成性状試験を行った。原土を使用するに当たって成形性を維持するため、ガラス屑と陶器屑をそれぞれ2.5%減量し、原土を50%にした。表3の結果になったが、成形性、焼成性状について大幅な変化が認められなかったため、安価な原土を使用することとした。

また、冷め割れ防止のために添加していたタルクについても検討を行った。タルクを添加したものと無添加のものを950℃、1100℃の2段階で酸化焼成し、クリストパライトの転移に伴う熱膨張率の測定を行った結果、表4のように変化はなかった。また、X線回折の結果、クリストパライト(101)面の回折線強度についても図1、2のとおり差は認められなかった。したがって、焼成温度1100℃までではタルクを添加しなくても大きな影響がないと判断し、添加しないこととした。

鋳込用調整剤として、開発時は水ガラス、ダーバンを添加していたが、それぞれ段階的に量を減らして鋳込性の試験を行った結果、無添加の状態でも流動性、脱型性

には支障がないことが分かった。これはガラス屑から溶出するアルカリ分が水ガラス等と同様な作用をしているためと考えられる。以上を踏まえ、最終的な調査及び泥漿の調製条件は表5のとおりとした。

開発土の焼成温度と全収縮率、かさ比重、吸水率、見掛気孔率、曲げ強さの特性を表6に、比較対象として常滑産植木鉢の特性を表7に示す。

これらを比較すると、開発素地を1100℃で焼成したものは観葉鉢の性状に相当し、1000℃で焼成したものは、1100℃で焼成された駄温鉢に比べ吸水率も低い。また、素焼鉢は800～850℃で焼成した開発素地に相当している。

これらのことから、昨年同様、今回のコストダウンした開発素地を使った場合でも100℃以上低く焼成できることが実証された。

表4 タルク添加による熱膨張変化

焼成温度	タルク無添加	タルク添加
950℃	$6.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$6.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
1100℃	$7.1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$7.4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

※昇温速度4℃/min 測定範囲30～550℃

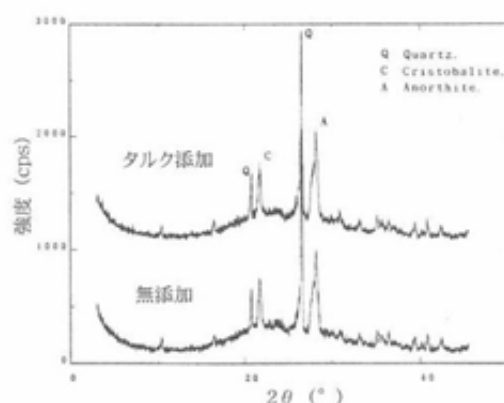


図1 950℃焼成品のX線回折図

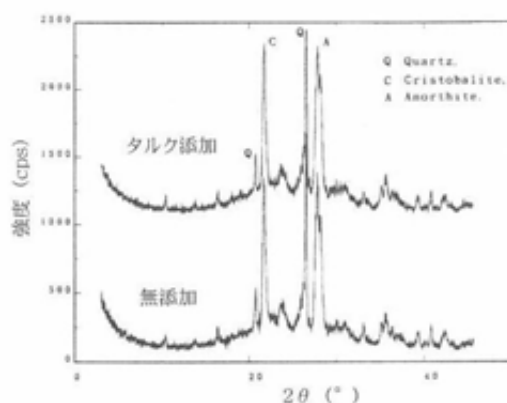


図2 1100℃焼成品のX線回折図

表3 水簾物、原土使用の物性比較(1050℃酸化焼成)

項目	水簾物使用	原土使用
全収縮率	9.5%	10.1%
見掛気孔率	14.2%	12.4%
吸水率	6.7%	5.9%
かさ比重	2.1	2.0
曲げ強さ	—	62 MPa

表5 調合及び泥漿条件の比較

調 合	昨年度の開発土	今年度の開発土
粘土	本山人節 水簾物 45%	本山人節 原土 50%
ガラス屑	市販品 緑色 27.8%	粗粉砕物 混色 25%
陶器屑	赤色系タイル27.5%	白色系タイル25%
タルク	外割 3%	—
水酸化第二鉄	外割 3%	—
水ガラス	0.3%	—
ダーバン	0.2%	—
炭酸バリウム	—	0.2%
水分	36%	38%
pH	9.0	10.4
比重	1.90	1.76

表6 各焼成温度での特性

焼成温度 (°C)	全収縮率 (%)	見掛気孔率 (%)	吸水率 (%)	かさ比重	曲げ強さ (MPa)
750	3.0	33.8	20.2	1.7	13
800	3.2	33.2	19.8	1.7	15
850	4.2	30.6	17.6	1.7	25
900	5.8	28.5	16.0	1.8	39
950	7.2	23.8	12.4	1.9	50
1000	9.3	16.2	7.8	2.0	59
1050	10.1	12.4	5.9	2.0	62
1100	10.3	11.3	5.3	2.1	65

表7 常滑産植木鉢の物性

常滑地域で市販されている 植木鉢（種類／焼成温度）	見掛気孔率 (%)	吸水率 (%)	かさ比重
素焼き鉢／1000℃	32.4	18.6	1.7
駄温鉢／1100℃	20.7	10.4	1.9
観葉鉢／1180℃	11.5	5.2	2.1

3. 製品開発及び結果

3.1 製土

開発土をメーカーで評価、試作するため、以下の工程により組合製土部で量産した。なお白華防止のための炭酸バリウムを添加した。また、顔料は汎用性を考えて添加しないこととした。

■組合での製土工程

混合 (ガラス屑 25%、陶器屑 25%、
↓ 炭酸バリウム0.2%、水38%)
粉砕 (2tボールミルで20h)
↓ 10 μ m程度まで粉砕
泥漿 (本山人節原土50%を加え
↓ 4時間軽く混合)
振動ふるい (砂、亜炭の除去)
↓
攪拌槽 (泥漿の均一化)
↓
フィルタープレス

3.2 泥漿調製、鑄込成形、焼成

植木鉢、花器、置物メーカー5社で、開発土の鑄込性、

着肉性、脱型性などの作業性の評価を行った。いずれも排泥鑄込成形であり、日常の生産と同一作業で行った。複雑な形状の置物については、着肉の厚みや脱型後の保形性に違いが出るため、メーカー側の要望により粘土分を5~10%添加した。また、着色素地にするための顔料の添加や、解膠剤添加などメーカーの作業実態に応じた泥漿の調製を行った。その他、干支や花器など表面の加飾を行うところは、開発土に合った各種釉薬も作製した。メーカーの試作条件は表9のとおりである。

ガラス屑の溶解成分によりの泥漿のpHは各色とも全体的に高めであったが、いずれも鑄込み、脱型に影響はなかった。

表9 メーカーでの試作条件

	A社	B社	C社	D社	E社
添加剤 及び量	白色系) そのまま、若しくは粘土分 10%添加 pH 10.6				
	青色系) そのまま、若しくは粘土分 10%添加 ジルコン 2% 海碧 3% ケブラチオ 0.2% pH 10.8				
	茶色系) そのまま、若しくは粘土分 10%添加 水酸化第二鉄1.5% ケブラチオ 0.2% ダーバン 0.08% pH 10.4				
	釉 薬 黄、緑 — — 灰、茶、黄、緑、 緑、白 青、白				
焼 成	1020℃	1100℃	1000℃	1160℃	1100℃

3.3 作業性の総合評価及び試作

メーカーの製品型で鑄込成形、焼成を行い、以下のものを試作し、総合評価した。

(1)A社 写真1

・酒樽型花器／辰の干支（大）

複雑な形状であり、顔料により茶と白の2色の素地を作製し、白のものには黄色・緑色の釉薬で加飾を行った。ガス炉で1020℃酸化焼成した。石膏型への着肉が早く、作業性の良さが評価された。特に現在の製品と比較して焼成時間が5時間短縮できた。

(2)B社 写真2

・植木鉢／置物（フクロウ）

インテリア、エスクテリアに両用できる置物。大きめの袋物だが、着肉を薄くできたことで重量は軽くなった。顔料により茶色の素地とし、1100℃酸化焼成した。着肉の良さと脱型の良さが評価された。

(3)C社 写真3

・ウォーターキーパー／冷酒クーラー／フラワーポット

袋物で粘土分を10%添加。顔料を添加し白と青と茶の3色の素地を作製した。電気炉で1000℃酸化焼成した。顔

料添加による素地の風合いと抑えた発色具合の良さ、焼き縮り具合が評価された。

(4)D社 写真4

・フラワーポット／花器

ミレニアムグッズの一つで白、青の素地とした。卵型のシンプルな形状で、肌色の素地。ガス炉で1160℃酸化焼成した。吸水率の低さと釉薬ののりの良さが評価された。

(5)E社 写真5

・辰の干支(中・小)／楊枝立て

複雑な形状であり、粘土分を10%添加。肌色の素地に黄、緑、青の3色の釉薬で加飾した。電気炉で1100℃酸化焼成した。乾燥時間が早く、型離れが良いことが評価された。

(6)センター試作品 写真6

・花器／置物(フクロウ)／ワインクーラー

顔料による白と茶の素地。電気炉で1050℃酸化焼成した。

3.4 製造コスト

1.1の調査により、ガラス屑は粗粉碎物を使用することにより従来より1/3以上安く購入できた。また、木節粘土を水簾物から原土に、解膠剤などの添加を行わないことによって、産地で加工販売を想定して価格を割り出すと当初想定していた価格の1/2まで安くすることができた。

また、市販素地に比べ、焼成温度を100℃程下げても同等の焼成性状を有することができ、エネルギーコストの削減も図ることができた。

4. まとめ

- (1) 廃棄されたワイン瓶などのガラス屑と産地の陶器屑を使った鋳込成形用素地は、とこなめ焼協同組合傘下5社の製造ラインの中で成形性、作業性を検討した結果、いずれも良好で、植木鉢など園芸用品から複雑な形状を持つ置物まで幅広い使用が可能であることが実証できた。
- (2) ガラス屑、粘土等を安価な原料に置き換え、組合の製土で量産することで市販素地と同程度のコストに抑えることができた。
- (3) 各メーカーの電気炉及びガス炉で焼成した結果、従来の植木鉢用の市販素地に比べ、焼成温度を100℃程低下することができ、省エネルギーと焼成時間の短縮が実証できた。
- (4) フラワーポット、ウォーターキーパー、置物などの園芸用品を始め、花器、冷酒・ワインクーラーなどを試作した。

付 記

本研究は平成11年度新分野進出共同研究推進事業におけるとこなめ焼協同組合との共同研究である。

組合からの参加メーカー(順不同)

- (1) 有限会社開洋製陶(植木鉢、盆栽鉢、置物製造)
- (2) 合資会社田中孝一製陶所(植木鉢、盆栽鉢、置物製造)
- (3) 南山陶苑株式会社(花器製造)
- (4) 有限会社シーム(ガーデン用品、置物製造)
- (5) 小林陶芸(原型、置物製造)

文 献

- 1) 永柳辰一、光松正人、田中正洋、愛知県常滑窯業技術センター報告、26、11～17(1999)。



写真1 酒樽花器、干支

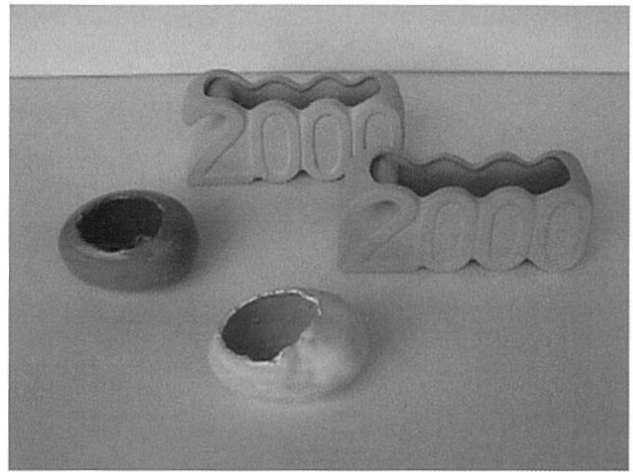


写真4 フラワーポット、花器

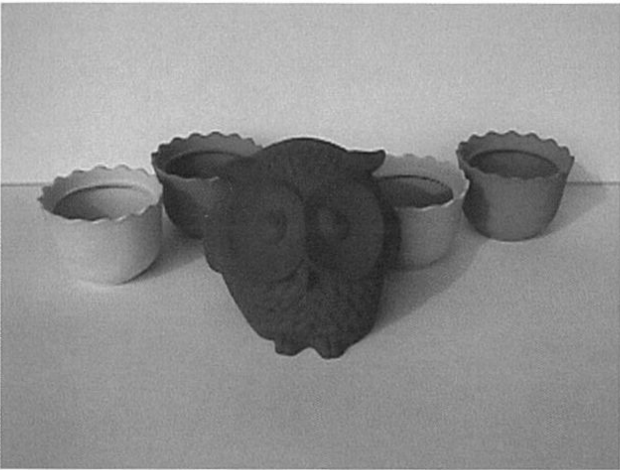


写真2 植木鉢、置物

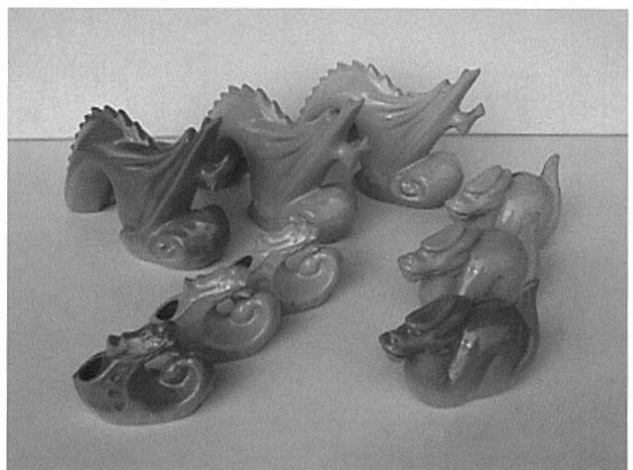


写真5 干支、楊枝立て



写真3 ウォーターポット、冷酒クーラー、
フラワーポット



写真6 花器、置物、ワインクーラー