

長崎県窯業技術センター

CERAMIC RESEARCH CENTER OF NAGASAKI

令和3年度研究報告

ANNUAL REPORT 2021

69号

No. 69

研究報告

2021

69

CRCN

目次 Contents

01	研究の概要
03	● 経常研究（報告） ① 可塑性原料の探索とそれを用いた陶磁器素材の開発
10	● 経常研究（報告） ② デザインを活用した県産品の競争力強化のための商品開発支援の研究 （その3）
17	● 経常研究（短報） ③ 高機能セラミック製品の3Dプリンティング技術開発
20	● 経常研究（報告） ④ 陶磁器関連製造技術を活用した多孔質素材の開発（その1）
27	● 研究マネジメントFS（短報） ⑤ IoT技術を活用した焼成炉内温度分布のリアルタイム可視化に関する 可能性調査

研究の概要

経常研究（報告）

①可塑性原料の探索とそれを用いた陶磁器素材の開発（平成31年度～令和3年度）

陶磁器科 稲尾 恭敬、吉田 英樹、久田松 学
岩永 省吾、小林 孝幸、山口 英次
元窯業技術センター職員 武内 浩一

本県陶磁器産地の技術支援の充実を図るため、日用食器製造に必要な陶磁器原料（天草陶石、天草陶土、可塑性原料）の調査を実施するとともに、1) 可塑性に優れた新陶土の開発と、2) 新陶土を用いた光沢釉とマット釉における色釉見本の作製を行った。

経常研究（報告）

②デザインを活用した県産品の競争力強化のための商品開発支援の研究（平成31年度～令和3年度）

戦略・デザイン科 桐山 有司、友池 知郁

デザインが、表面的・装飾的な狭義の解釈から、商品開発プロセス全体という本来の広義の解釈へとシフトするなか、県内中小製造業の多くは、自社の技術や素材等が優先され、デザインもまだ装飾的な工程との認識が強く、自社の戦略としてデザインを導入している企業は少ない。そのため、企業と共同で県産品の五島椿油及び陶磁器製品を対象に、デザインを企業の経営戦略として活用したユーザー起点の商品開発に取り組んだ。

今年度は、企業と共同で開発した商品化のためのテストマーケティングを実施し、ターゲットとなるユーザーに対して最終評価を行った。

経常研究（短報）

③高機能セラミック製品の3Dプリンティング技術開発（令和3年度～令和5年度）

戦略・デザイン科 依田 慎二
環境・機能材料科 秋月 俊彦

スクリー式の押出装置の吐出口に内径3mm、長さ42cmのチューブをセットし、天草陶土を原料に押出試験を行ったところ、水分量が24mass%では、スクリー後方へ陶土が押し返され、水分量が22mass%ではチューブ内で陶土が詰まり易いことが分かった。また、押出装置の吐出口に取り付けるチューブの材質が、移送距離に影響を及ぼし、今回検討した素材の中では、透明フッ素系チューブのみが陶土を移送することができた。

経常研究（報告）

④ 陶磁器関連製造技術を活用した多孔質素材の開発（令和3年度～令和5年度）

環境・機能材料科 浦郷 寛康、高松 宏行、山口 典男、秋月 俊彦

やきものの製造工程にある素焼き（900℃程度の低温域）と本焼き（1300℃程度の高温域）で焼成可能な多孔質セラミックス素材を開発し、陶磁器産地の既存設備等で製造可能な食器以外の新しい製品として水分制御に適した多孔質植栽鉢、アウトドア用多孔質耐熱調理器具への展開を図ることを目的に陶磁器への保水・透水機能の付与と耐熱用材料の最適化、素材の軽量化について検討した。

研究マネジメント FS（短報）

⑤ IoT 技術を活用した焼成炉内温度分布のリアルタイム可視化に関する可能性調査（令和3年度）

陶磁器科 稲尾 恭敬、吉田 英樹、山口 英次

陶磁器製造用の焼成炉は、ガスバーナーを熱源として炉内の温度を制御するとともに酸素及びCO濃度を制御し、還元焼成雰囲気を実現している。これまでの調査において焼成炉内の温度は、ガスバーナーからの距離や段組みされた棚板の上段や下段で焼き上がり時の熱カロリー差が生じていることはわかっているが、炉内全体の温度変化をリアルタイムに計測・監視した事例はほとんどない。そこで、本研究ではIoT技術を活用した焼成炉内温度分布のリアルタイム可視化を目的に、炉内温度分布の計測・監視の可能性について検討した。

可塑性原料の探索とそれを用いた陶磁器素材の開発

陶磁器科 稲尾 恭敬、吉田 英樹、久田松 学
岩永 省吾、小林 孝幸、山口 英次

元窯業技術センター職員 武内 浩一

要 約

本研究では可塑性原料の可塑性の数値化と、豊富に存在する未利用資源の低火度陶石と可塑性に優れた土橋セリサイトを組み合わせた新陶土の開発、新陶土を用いた光沢釉とマット釉における色釉見本の作製を行った。その結果、土橋セリサイトが他の可塑性原料と比べ可塑性に優れていることを明らかにした。

また、肥前地区の陶土製造設備により、低火度陶石である縞石と可塑性原料である土橋セリサイトを組み合わせて焼成温度 1250℃ で磁器化可能な天草撰中陶土相当の新陶土を開発した。その新陶土を用いた色釉見本の作製では、酸化及び還元焼成雰囲気による発色状況に問題がないことを確認した。

キーワード：可塑性原料、土橋セリサイト、低火度陶石、色釉見本

1. はじめに

本県の代表的な陶磁器産地である波佐見焼と三川内焼は、熊本県の天草地方で産出する天草陶石を原料として製造されている。採掘される天草陶石のうち、耐火度が SK26 以上で陶磁器製造に使える陶石が 20～30% ほどに対し、採掘量の 40～50% を占める「低火度陶石」と呼ばれる SK20 以下の陶石は、着色原因となる鉄分や耐火度を下げる長石類を含む上、可塑性に乏しいことが陶磁器製造には使えず、また有効活用の妨げとなっている。一方で、既報¹⁾ から、耐火度の低い低火度陶石の活用により、従来より低い温度で焼成可能な陶土を開発した実績もある。

当センターでは、さらなる低火度陶石を活用するために、本研究では、第1報²⁾ で調査した種々の可塑性原料の可塑性評価³⁾ を行い、最も優れた可塑性原料を探索した。また、低火度陶石である縞石を用いた天草撰中陶土相当の、産地で焼成可能な新陶土の開発を試み、その諸物性及び成形性、釉薬適合性について検討したので報告する。

2. 実験

2.1 可塑性の評価³⁾

可塑性原料は、村上セリサイト、土橋セリサイト、本山蛙目、瀬戸蛙目、木節粘土、ニュージーランドカオリン、スペインカオリン、ドイツカオリンを選定し、各々の可塑性評価試験を行った。

2.2 新陶土の作製

新陶土の開発に用いた原料は、熊本県天草郡の木山陶石鉱業所で採掘されている低火度縞石、岡山県備前市の土橋鉱山で採掘されている土橋セリサイト特級を使用した。

新陶土は、本県陶磁器産地で最も使用される天草撰中陶土相当になるよう、低火度縞石：土橋セリサイト特級 = 50mass% : 50mass% の割合で配合した。

表 1 肥前地域における天草陶土の製造工程

天草陶石	→	粗碎	→	スタンパー粉砕	→	水簸	→	除鉄	→	フィルタープレス	→	真空土練	→	天草陶土
------	---	----	---	---------	---	----	---	----	---	----------	---	------	---	------

新陶土は、佐賀県嬉野市の陶土メーカーに依頼し、通常の天草陶土と同じ工程(表1)で 1.2 トン作製した。

得られた新陶土の鉱物組成の同定には粉末 X 線回折装置(スペクトリス製 Empyreon)を用い、化学成分分析には蛍光 X 線分析装置(スペクトリス製 Zetium)を用い、ガラスビード法により定量分析を行った。

また、新陶土の粒度分布は X 線透過式粒度分布測定装置(マイクロメリティックス製 SediGraph III PLUS)で測定し、耐火度は JIS R2204 にもとづき測定した。

2.3 焼成体特性

新陶土を用いて、排泥鑄込み成形で試験体を作製した。

乾燥収縮は、排泥鑄込み成形で用いた石膏型と得られた乾燥試験体(10mm×70mm×4mm)から求めた。焼成収縮は、乾燥試験体を SK8 還元焼成と、1250℃ 酸化焼成を行って得られた焼成試験体から求めた。

吸水率及び熱膨張係数測定用の試験体は上記焼成試験体を用いた。吸水率測定は JIS A 1509-3 により行い、熱膨張係数測定は熱分析装置(リガク製 Thermo plus EVO2)を用い行った。

焼成呈色は、分光測色計(ミノルタ製 CM-3700d)を用い、色の明度を示す L^* 値を評価指標とした。

2.4 成形性

新陶土の成形性は、ローラーマシン成形、機械ロクロ成形及び排泥鑄込み成形により各種アイテムを試作して評価した。

2.5 新陶土の焼成歩留まり

2.4 で作製した成形体を、乾燥、素焼きを経て SK8 還元焼成を行い試作品を得た。新陶土の焼成歩留まりは、成形性に由来する切れや割れ、スジ及び歪み不良を判別して算出した。なお、試作品の鉄粉やピンホール、ふりもの、異物などの不良は成形性由来ではないので焼成歩留りの算出から除いた。

2.6 新陶土と釉薬の適合性の検討

本研究で用いる基礎釉は、市販の光沢釉とマット釉の 2 種類(長崎陶料製)とした。

色釉は、5 色の顔料粉末(日陶顔料製 赤、橙、

黄、青、灰色)を基礎釉に外掛けで所定量(1.0, 2.5, 5.0, 7.5, 10mass%)添加し作製した。

色釉試験に用いた L 型テストピースは新陶土から泥漿を作製し、それを用いて圧力鑄込み成形により作製した。これを 900℃ で素焼き後、色釉試験のテストピースとした。各種色釉を施釉したテストピースはガス焼成炉にて SK8 (1250℃) 還元焼成を、電気炉にて 1250℃ 酸化焼成をそれぞれ行った。

3. 結果と考察

3.1 可塑性の評価

本研究で調査した種々の可塑性原料の可塑性測定結果を図 1 に示す。

横軸は、非可塑性原料に対する可塑性原料の配合割合を示している。評価を行う各試料は、縦軸に示す所定量の水を加え、試料の成形が可能なら○、試料の成形ができなければ×をプロットしている。図中の破線は○と×の境界を示し、破線内が可塑性を発現した領域である。村上セリサイトの可塑性発現領域の面積を基準として、各種可塑性原料の可塑性発現領域の面積比を表 2 に示す。

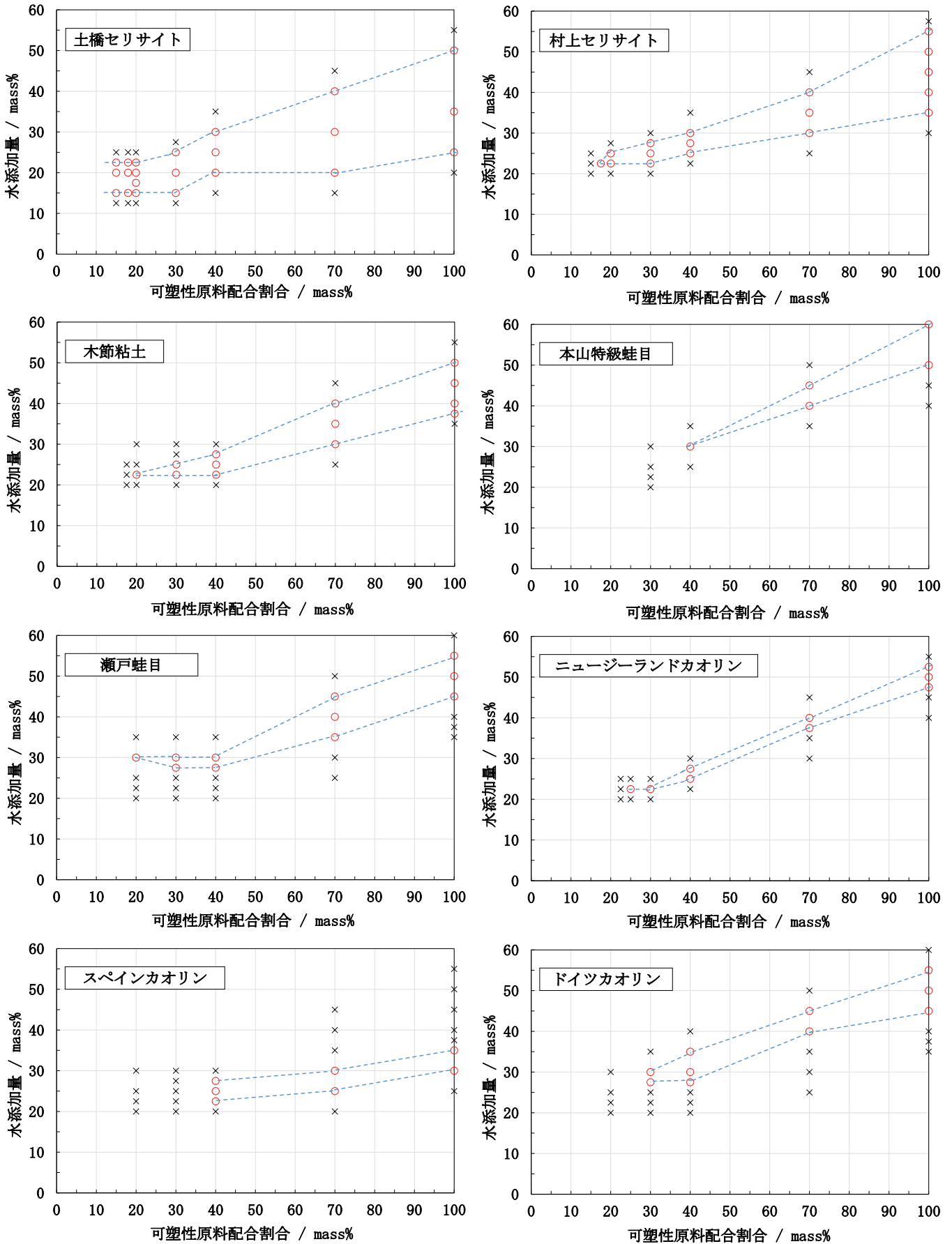
以上の結果より、可塑性発現領域の面積比が最も高いのは土橋セリサイトであることがわかった。また、土橋セリサイトは、他の可塑性原料よりも可塑性が発現する最小配合割合が 15mass% と低いため、少ない配合量でも可塑性を与える効果が大きいと考えられる。以上から、土橋セリサイトを可塑性原料として選定した。

3.2 新陶土の作製

原料の土橋セリサイト特級と低火度縞石及び配合した新陶土、比較として天草撰中陶土(市販)の化学分析結果を表 3 に示す。

陶土の等級を決める鉄含有量に着目すると、原料に用いた低火度縞石は酸化鉄の含有量が 0.79mass% と、天草撰中陶土(市販)と比べて少し多いことがわかった。また、低火度縞石は天草撰中陶土(市販)と比べて Ca や Na を多く含んでいたため、耐火度が低下する可能性がある。

土橋セリサイトは、酸化鉄の含有量が 0.05mass% と、天草撰中陶土(市販)と比べて極めて少なく、



○: 成形可能、×: 成形不可
破線内の領域: 可塑性発現領域

図1 各種陶磁器用可塑性原料の可塑性特性

Kの含有量が多いことがわかった。また、耐火度が低下する可能性があるCaやNaも少ないこともわかった。その一方で、焼成後の白色度に影響を及ぼすTiO₂を天草撰中陶土(市販)の2倍近く含んでおり、可塑性原料として使用する場合には添加量を考慮する必要がある。

新陶土中のFe₂O₃は0.61mass%、天草撰中陶土の酸化鉄含有量は0.70mass%²⁾であったことから、天草撰中陶土(市販)相当の陶土を得た。

低火度縞石、土橋セリサイト特級、天草撰中陶土(市販)及び新陶土のX線回折パターンを図2に示す。低火度縞石の鉱物相は石英、セリサイト、カオリナイト、長石であり、天草撰中陶土(市販)には含まれない長石が認められた。そのため低火度縞石は、長石由来のアルカリ分が多く、耐火度はSK14と低かった。前述した化学分析の結果から、

Ca、Naが多く含まれていたこともこの結果を裏付けることができた。

表2 可塑性発現領域の面積比

可塑性原料	可塑性発現領域比	最小配合割合(mass%)
村上セリサイト	1.00	17.5
土橋セリサイト(特級)	1.80	15.0
木節粘土	0.83	20.0
ドイツカオリン	0.72	30.0
瀬戸蛙目	0.68	20.0
スペインカオリン	0.39	40.0
本山特級蛙目	0.38	40.0
ニュージーランドカオリン	0.27	25.0

表3 土橋セリサイト特級、木山低火度縞石、新陶土の定量分析結果

(単位: mass%)

試料名	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	LOI	Total
土橋セリサイト特級	74.51	17.50	0.05	0.09	0.12	0.02	0.09	4.23	2.72	99.33
低火度縞石	75.20	14.90	0.79	0.01	0.65	0.04	2.05	3.48	2.51	99.63
新陶土	66.70	22.00	0.61	0.06	0.32	0.09	0.93	4.99	3.80	99.50
天草撰中陶土(市販)	73.93	17.24	0.70	0.05	0.09	0.08	0.21	3.00	3.79	99.09

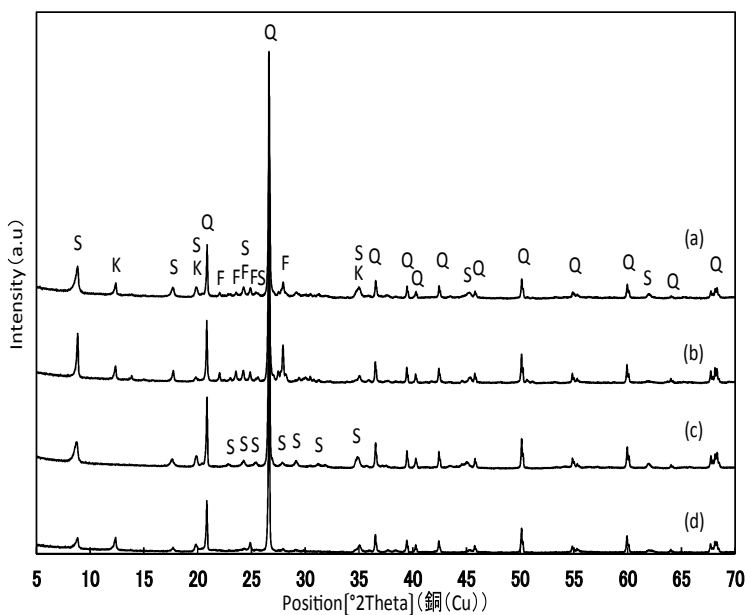


図2 原料及び新陶土、天草撰中陶土(市販)のX線回折パターン

(a)新陶土、(b)低火度縞石、(c)土橋セリサイト特級、(d)天草撰中陶土(市販)
(Q:石英、S:セリサイト、K:カオリナイト、F:長石)

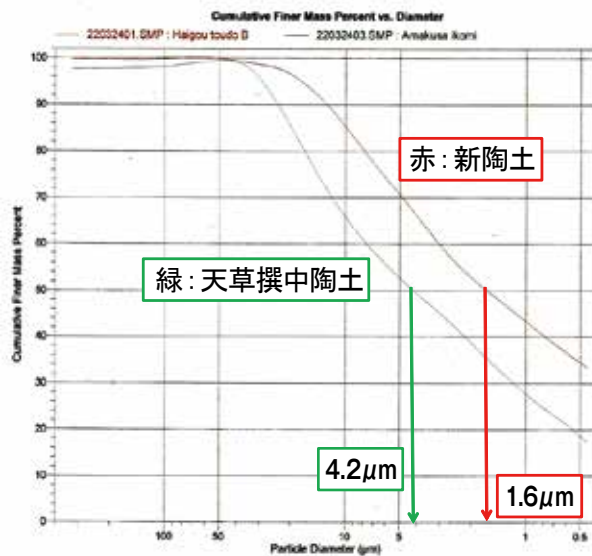


図3 新陶土及び天草撰中陶土の粒度

土橋セリサイト特級の鉱物相は石英、セリサイトが認められた。土橋セリサイト特級の耐火度は天草撰中陶土(市販)の耐火度 SK27 より低い SK26 であった。土橋セリサイトはカオリンが含まれていないため天草撰中陶土(市販)より耐火度が低くなったと推察した。

新陶土の鉱物相は、石英、セリサイト、カオリナイト、長石からなり、低火度縞石と土橋セリサイト特級の混合効果で耐火度を低下させる長石のピークが減少した。さらに新陶土の製造工程の水簸で珪が除かれたため、新陶土の耐火度は SK26 となり、低火度縞石の耐火度 SK14 より耐火度が向上したと考えられる。

図 3 に新陶土の粒度分布測定結果を示す。新陶土の平均的な粒子径を表す累積 50% 粒度(D₅₀)は、1.6 μm であった。天草撰中陶土(市販)の D₅₀ の 4.2 μm に比べてかなり粒径が小さいことがわかった。第 2 報⁴⁾では、木山脱鉄陶石に土橋セリサイト特級を添加することで、1 μm 以下の微粒子領域のセリサイト量が増え、木山脱鉄陶土の粒子径が小さくなったことを明らかにしている。新陶土においても、50mass% の土橋セリサイト特級を添加したことで新陶土の粒子径が小さくなったと考えられる。

3.3 焼成体特性

表 4 に新陶土素地の焼成呈色の指標である L* 値を示す。新陶土素地の L* 値は、酸化・還元いずれ

表 4 新陶土素地の焼成呈色、L* 値

試料名	1250 $^{\circ}\text{COF}$	SK8RF
	L* 値	L* 値
新陶土	85.4	85.0
天草撰中陶土(市販)	88.2	85.7

※OF: 酸化焼成、RF: 還元焼成

表 5 新陶土素地の焼成体特性

焼成温度 及び 雰囲気	収縮率 (%)			吸水率 (%)	700 $^{\circ}\text{C}$ で の熱膨張係数 ($\times 10^{-6}$)
	乾燥 収縮	焼成 収縮	全収縮		
SK8RF	4.30	8.50	12.3	0.04	6.68
1250 $^{\circ}\text{COF}$	3.89	9.27	12.8	0.05	6.87

の雰囲気でも 85 を示し、焼成雰囲気の影響は見られず天草撰中素地と大きな差は見られなかった。以上から新陶土素地の焼成呈色は、天草撰中素地とほぼ同等であることがわかった。

収縮率、吸水率、熱膨張係数の結果を表 5 に示す。新陶土から作製した試験体の収縮率は 12.3 ~ 12.8% であり、市販天草陶土(11.3%)よりやや大きい傾向であった。また新陶土から作製した試験体の吸水率は 0.1% 以下で、磁器化していることがわかった。

3.4 成形性

新陶土を用い、機械ロクロ成形法では 7 寸皿、ローラーマシン成形法では飯碗と 5 寸皿、排泥鉢込み成形では急須の 4 種を試作した。

いずれの成形法においても、成形時の官能評価では、新陶土の可塑性は市販の天草陶土と同等であり成形性の問題は認められなかった。

3.5 新陶土の焼成歩留まり

表 6 に 4 種の成形品を焼成した焼成歩留まりを示す。機械ロクロ成形法、ローラーマシン成形法で得られたアイテムの焼成歩留まりが低かった要因としては、図 3 に示したように新陶土の D₅₀ が天草撰中陶土(市販)と比べて小さかったため、焼成時に歪み、切れ等の欠点が発生したと推察した。

3.6 新陶土と釉薬の適合性の検討

光沢釉及びマット釉を施釉した試料を図 4、図 5 に示す。

図に見られるように還元・酸化のいずれの雰囲気下でもテストピース表面に貫入や、めくれ等の欠点は見られなかった。また、700 $^{\circ}\text{C}$ での熱膨張係数は、還元焼成素地(SK8RF)が 6.7×10^{-6} 、酸化焼成素地(1250 $^{\circ}\text{COF}$)が 6.9×10^{-6} に対して光沢釉が 5.9×10^{-6} 、マット釉が 6.2×10^{-6} であった。還元・

酸化の素地と光沢釉及びマット釉の熱膨張差は 1×10^{-6} 以下であることから、還元・酸化焼成雰囲気において十分に適合していることがわかった。また、素地と釉薬の熱膨張差に由来する欠点である剥離を防止できたと考えられる。

以上から、素地と色釉の適合性に問題はなく、色釉の発色において大きな変色は認められなかった。

表6 3種の成形法によるアイテムの総数と焼成歩留まり

成形方法	焼成	アイテム	焼成歩留まり(%)
機械ロクロ	SK8RF	7寸皿	73
ローラーマシン	SK8RF	5寸皿	81
ローラーマシン	SK8RF	飯碗	71
鋳込み成形	SK8RF	急須	90



図4 光沢釉を新陶土に施釉した結果



図5 マット釉を新陶土に施釉した結果

4. まとめ

本研究では、産地で利用の多い天草撰中陶土相当品の新陶土開発を目的として、低火度縞石に土橋セリサイトを配合した新陶土を試作し、物性及び成形性、焼成特性、釉薬適合性について、以下の知見を得た。

- (1) 陶磁器用可塑性原料の可塑性発現領域を調べたところ、土橋セリサイトが村上セリサイトに対し 1.8 倍もの広い領域を有することがわかった。
 - (2) 新陶土は、陶土の等級を決める鉄、耐火度を低下させる Ca や Na を多く含む低火度縞石に、鉄、Ca や Na が少ない土橋セリサイト特級を混合したため、天草撰中陶土（市販）並の鉄含有量に調整することができた。また、耐火度は産地で焼成可能な SK26 に調整することができた。
 - (3) 成形時の官能評価では、新陶土の可塑性は市販の天草陶土と同等であり成形性の問題は認められなかった。
 - (4) 新陶土の焼成呈色は、天草撰中陶土（市販）と同等であることがわかった。また、収縮率及び吸水率から新陶土は SK8 番（1250℃）でも磁器質になることがわかった。
 - (5) 新陶土を焼成した素地と色釉の適合性に問題はなく、大きな変色も認められなかった。
- 3) 吉田英樹, 武内浩一, セラミックス, Vol51, No.9, 574-578 (2016).
 - 4) 吉田英樹, 稲尾恭敬, 長崎県窯業技術センター研究報告, No.68, 30-34 (2020).

謝 辞

本研究を実施するにあたりご協力いただきました、波佐見陶磁器工業協同組合、肥前陶土工業協同組合、及び関係者の皆様に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 河野将明, 吉田英樹, 山口英次, 小林孝幸, 兼石哲也, 長崎県窯業技術センター研究報告, No.55, p18-22 (2007).
- 2) 吉田英樹, 稲尾恭敬, 長崎県窯業技術センター研究報告, No.67, 19-22 (2019).

デザインを活用した県産品の競争力強化のための 商品開発支援の研究(その3)

戦略・デザイン科 桐山 有司、友池 知郁

要 約

デザインの意味が、表面的・装飾的などという狭義の解釈から商品開発プロセス全体という本来の広義の解釈へとシフトしている中、本県の中小製造業においては、自社の技術や素材自体が優先され、デザインも開発後半の装飾的な工程との認識が高く、経営戦略としてデザインを活用している企業は少ない。

本研究では、企業と共同でユーザーを起点とした、企業戦略にデザインを導入・活用した県産品の商品開発に取り組んだ。

企業と県立大学と共同で、県産品の五島椿油をケーススタディに、既存品の現状調査によって抽出した五島椿油の強みや課題から、若壮年層をターゲットにしたフェイスマスクを試作して、試作品の使用評価と改良を重ね、企業の顧客を中心にターゲットとなる被験者を募り、製品を提供して商品化を前提としたテストマーケティングを実施した。また、陶磁器のケーススタディでは、企業と活水女子大学と共同で、日常生活での生活用品に対する不便さ等を抽出し、若壮年層をターゲットに日々の行動分析から、洗面周り、玄関周りに絞り込み、それぞれ収納容器とトレイ、傘立てをアイテムとして検討し、試作の使用評価と改良を繰り返し、収納容器とトレイについては、商品化を前提としたテストマーケティングを実施した。開発した各アイテムは、企業との商品化により市場へ導入する。

キーワード：県産品、デザイン、ユーザー起点、商品開発

1. はじめに

経済産業省・特許庁が、2018年5月に報告した「デザイン経営」宣言¹⁾によると世界の有力企業が戦略の中心に「デザイン」を据えるなか、日本では企業の経営者が「デザイン」を有効な経営手段と認識しておらず、グローバル競争環境での弱みになっている。「デザイン経営」とは、デザインの力をブランドの構築やイノベーションの創出に活用する経営手法であると説明している。

本県の中小製造業等においては、デザインが、製品開発の後半部分の装飾的な工程という認識が

強く、また製品開発でも自社の技術への思いが強い
ため、開発者起点(中心)になってしまっている。
そのため、本来ユーザーが必要としている機能やスペック以上の商品を開発した結果、商品とユーザーがマッチせず、マーケットにおいても競合品とのデザインや価格競争において優位に立てていない場合が少なくない。

また本県は海、山の豊かな自然に恵まれていることから、優れた品質の農水産加工食品やそれらを素材とした商品類が多く、美味しさ等、優れているがゆえにその品質に頼りがちとなり、デザインを含め市場の競争力(商品力)が弱い商品も少なくない。

既に商品の良さを知っているユーザーは、商品を購入するが、初めて商品を知るユーザーには、デザインを含め商品力が弱いため、手に取って購入する機会が決して多いとは言えない。

これら県産品や県内企業の製品の多くが、素材や自社の技術に頼った開発者起点の商品であるため、市場に導入してもユーザーニーズにマッチしにくく、購入に繋がりにくいという本質的な課題を抱えている。

本研究は、県内企業のこのような商品開発における課題解決を目的に、企業と共同で企業経営の戦略としてデザインを活用したユーザー起点の商品開発を行うものである。

2. 方法

2.1 五島椿油を活用した新製品の開発

五島椿油の開発については、これまで五島市の五島椿油の製造販売企業（有）タテイシ及び長崎県立大学の大田ゼミと共同で製品開発を進めてきたが、最終的な生産ロット数の規模、商品単価等における課題及び企業内部での商品構成の見直し等により、同企業でフェイスマスクの商品化が難しくなったことから、製品の評価や改良を引き続き進めながら、新たな共同研究先として（株）シモダアメニティーサービス、（株）アイ・ビー・エヌと開発を進めた。また、製品の試作・改良を進めてきた（株）ピューールとも引き続き共同研究契約を結び、商品化に取り組んだ。

開発するフェイスマスクのコンセプト及びターゲットは、昨年度に開発品へのアドバイス等の協力を得ている（株）東急ハンズ長崎店のスタッフ 30 名を対象に実施した使用評価によるアンケート調査の結果を踏まえ、五島椿油を含めた製品の成分等はそのまま継続して商品化を進めた。

フェイスマスクについては、（株）アイ・ビー・エヌの顧客等からターゲットと同等の被験者 40 名にフェイスマスクを配布して、商品化のためのテストマーケティング（アンケート調査）を実施した。

2.2 食器に捉われない陶磁器製品の開発

2.2.1 洗面周りの陶磁器製品の開発

食器に捉われない陶磁器製品の開発については、昨年度まで活水女子大学の浜谷ゼミと共同で、学生自身や家族等の日常生活における日用品の不便さや要望等を抽出し、その解決策やニーズについて、時間帯、生活エリア、行動パターン等、日々の行動をもとに検討した。また、ターゲットを 20 代～30 代の若壮年層の主に女性と想定して開発を進めた。

研究を進めていく中で、新型コロナウイルスの感染拡大による感染防止対策、外出自粛等で、日常生活にも大きな変化が起こったことから、自身の生活やターゲットのペルソナ、開発品についても再検討を行った。特に通勤・通学を含む外出時におけるマスクの着用や手指消毒等の玄関周りでの生活パターンの変化や、手洗い、うがい等の洗面周りでの生活パターンの変化が課題として上がったため、日用品への抗菌等の機能付加についても検討を行い、この二つのエリアで使用されるアイテムに絞り込み開発を進めた。

洗面周りについては、学生との協議の中や当センターの職員からも、主に洗面化粧台で使う化粧道具や洗面道具を一時的に置いたり仕舞ったりする際に「使用中の化粧用のスポンジ等の置き場に困っている」、「衛生面での心配がある」等という不便さが上げられた。そこで、これらを解決するための方法やアイテムの検討を行い、抗菌機能を付与したトレイと収納容器にアイテムを設定し、収納する内容物や設置場所の寸法等の調査及び開発アイテムのサイズ、機能、用途等、仕様を検討して、昨年度は 3D プリンタで出力したサンプルを用い化粧用のスポンジやその他の化粧用具等で、試作品の評価を行った（図 1）。今年度は、これらアイテムについて、波佐見焼窯元の（株）和山及び産地卸商社の（有）陶芸ゆたかと共同で開発を進め、試作品の使用評価（使用した場所、何を入れたか等の使用状況や使用感について）と改良を行った。



図1 3Dプリンタで試作したトレイと収納容器

2.2.2 玄関周りの陶磁器製品の開発

玄関周りの開発については、学生との協議の中で出てきた不便さ等の中から「雨の日に帰宅した際に濡れた傘で玄関土間が濡れて困る」、「ピアス等のアクセサリーを玄関先で着け外しをしているが、きれいに整理、収納ができない」の二つの不便さを開発テーマに設定し、ターゲットを一人暮らしの20代～30代の若壮年層と設定して検討を行った。

アクセサリー等を収納するアイテムの事例については、特にコロナ禍となり、玄関先でのマスクの脱着や宅配等への対応も増えたことから、抗菌機能も含め収納物と必要なアイテムについて検討を行った。アイデアを進めていく中で、洗面周りで開発を進めているトレイと収納容器が、玄関周りの収納としてアクセサリーや判子、鍵、マスク等の収納にも、サイズや機能面においても共用できることから、洗面周りで開発しているトレイと収納容器をベースにアイテムの検討を進め、試作品による使用評価を行った。これらのアイテムについては、洗面周りのトレイと収納容器の開発に取り組んでいる(株)和山及び(有)陶芸ゆたかと共同で製品化を行なった。

また、玄関土間と傘立て事例については、ワンルームのアパートやマンション等の多くが、廊下が共用であるため室外に傘を置いておくことが難しく、また、玄関土間が狭いため、傘をドアに立て掛けたり、ドアノブに傘を掛けたりした際に、傘に付いた雨水

で玄関ドアや玄関土間が濡れてしまうという不便さへの気づきが起因となっており、それを解決するための方法とアイテムについて、市販されている複数の傘立てについて調査を行い、サイズや重量、設置方法等の仕様について検討した。これらアイテムについては、波佐見焼の窯元である(有)菊祥陶器及び産地卸商社の(株)トーエーと共同で開発を進め、製作した試作品の使用評価(雨天時の使用状況や利点と課題等について)と改良を行った。

3. 結果と考察

3.1 五島椿油を活用した新製品の開発

(株)東急ハンズ長崎店のスタッフ30名を対象に実施した使用評価によるアンケート調査の結果でも、30名の全員が評価5以上(10段階中)と評価し、その内9名が8以上と評価した保湿力については、五島椿油の配合等はそのままに(株)ピューールと最終製品を製作した。

最終製品については、(株)ピューールを通して成分表示、商品名他、薬事法に関するチェックも行なった。商品名についても、(株)シモダアメニティーサービス、(株)アイ・ビー・エヌと検討し、椿(Tsubaki)の頭文字から「2bK(ツー・ビー・ケー)」というネーミングにした。パッケージのデザインも、椿の花をイメージしたロゴマークをデザインして、基調カラーもマゼンタに統一し、シンプルで上品なイメージのデザインに仕上げた(図2)。

最終製品の使用評価アンケートについては、製品100枚を生産して(株)アイ・ビー・エヌの顧客等から募集したターゲットと同等の被験者40名に対してアンケート用紙とともに配布してアンケート調査を実施した(回収率62.5%)。アンケートの集計結果を図3に示す。アンケートでは、被験者である回答者自身についての項目と、日頃の化粧品等の購入や頻度、フェイスクアについて、提供した製品の保湿力について等、商品の使い心地と価格の設定、購買に関する評価について質問した。顧客の回答では、購入先としては通販・Webでの購入が約4割



図2 開発したフェイスマスク「2bK」

と一番多く、次いでドラッグストア等の専門店となっており、全体の約8割を占めていた。1カ月の化粧品の購入費用では、3,000～5,000円が約4割、次いで5,000～10,000円が約3割となっていた。また使用頻度では、週に2～3回が全体の4分の1程度だったが、他の使用頻度については大きな偏りはなかった。使用する時間帯については、夜・入浴後が約6割と半数以上を占め、使う理由としては、保湿が約4割、次いでスペシャルケアが約3割だった。開発品の評価としては、約8割が翌朝の肌感と保湿性があると回答した。また価格については、約6割が500～1,000円なら購入すると回答した。その他の意見では、パッケージやネーミングについても好評価の意見もあり、保湿性の高さから男性向けの商品への提案もあった。

テストマーケティングによるアンケート調査の結果から、開発品については概ね肯定的な回答を得、今回の研究で、五島椿油を活用した新たなターゲットに対するユーザー起点の商品開発を行うことができた。

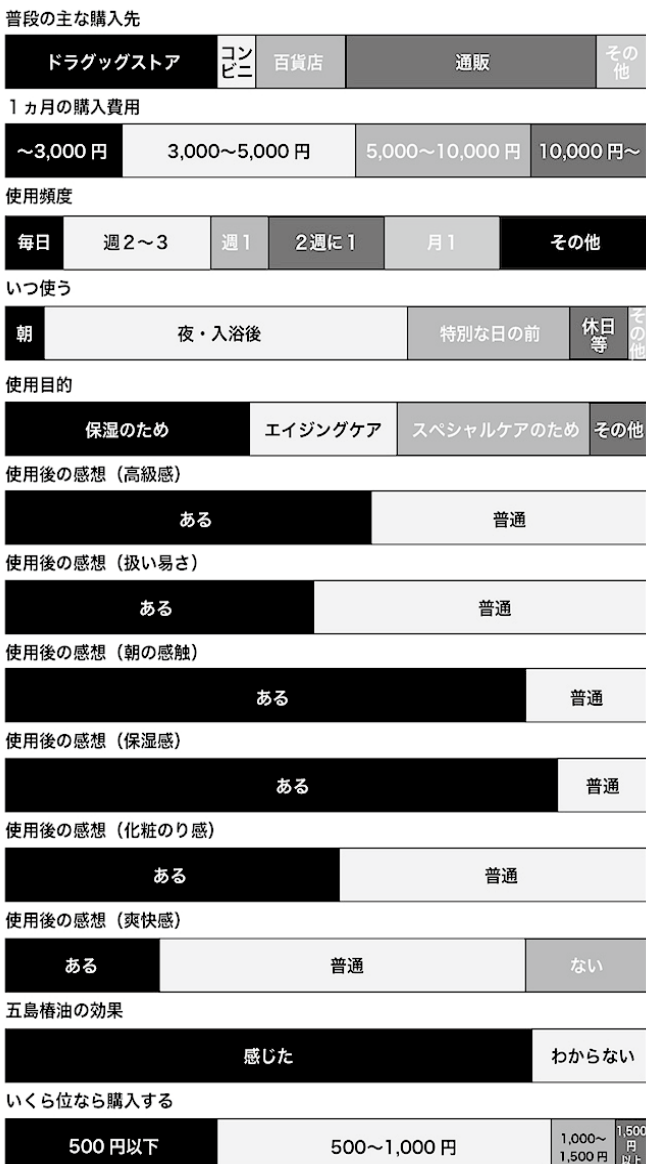


図3 アンケートの主な集計結果

3.2 食器に捉われない陶磁器製品の開発

3.2.1 洗面周り・玄関周りの陶磁器製トレイ・収納容器の開発

昨年度は、洗面周りのアイデアの起因となった「使用中の化粧用のスポンジ等の置き場に困っている」という不便さについて、実際に化粧用のスポンジやその他の化粧用具、洗面用具のサイズ等を計測して3Dプリンタでトレイ及び収納容器を製作し、内容物を実際に収納して入れやすさ、取り出しやすさ等を改良した陶磁器の容器を製作した(図4)。

改良し製作したトレイと収納容器は、企業のスタッフ等6名に自宅に持ち帰って1～2週間程度自由に使ってもらい、事前に用意したアンケート用紙に記入してもらった。また自宅で試作品を使用している様子を撮影してもらった(図5)。

使用状況については、当初想定していた洗面周りでの「化粧品類」及び玄関周りでの「アクセサリ」



図4 改良を加えた磁器製の試作品

に加え、玄関周りでは「鍵や印鑑」「子どもの名札やハンカチ」「アロマやお香」、リビングでは「クリップ等の小物の整理」「薬入れ」等にも応用されていた。また皿や小鉢等の「食器」としての利用事例もあり、ユーザーの不便さに起因したユーザー起点の商品開発についても、概ねニーズにマッチした商品を開発することができ、その想定した範囲を超えたユーザーの多様な活用事例も確認することができた。

磁器製の改良品については、収納容器の設計時に想定したテーパーの角度が、成形、焼成時に変形した製品のテーパーの角度と僅かに差ができたことで、スタッキング時の重なり具合があまかった。そのため、テーパーの角度を修正するとともに、強度を持たせるために玉縁にした縁形状についても、重なる高台の形状に合わせて形状を修正した(図6)。



図5 開発品の使用の様子

修正した製品は、最終製品として顧客に提供しテストマーケティングを行なった。商品化の際は、当センターが開発した抗菌機能を持った釉薬と通常の釉薬の2種類の商品を販売する予定である。商品名もモノを入れると置くで「in/on」というネーミングにした。カラーも想定した使用場所や清潔感を持たせるために白、青、グレーを基調として、最近のトレンドである「くすみカラー」で展開する予定である。

3.2.2 陶磁器製傘立ての開発

玄関周りについては、活水女子大学との取り組みの中で出てきた、玄関周りにおける学生自身の日常生活の中の不便さを解消するアイテムとして、前述したアクセサリ等を収納するトレイと玄関土間に設置する傘立てを対象のアイテムとして開発を進めた。今回想定した使用状況は、ターゲットである20～30代の若壮年層が生活をしている一人暮らし用の集合住宅の玄関土間を設置場所として検討を進めた。想定した設置場所は、ワンルームのマンションやアパート等の集合住宅で、玄関土間が半畳程と狭いケースが多く、また玄関前は共用の廊下であるため傘立てを設置するスペースが取れないことを前提に、材質、サイズ、重量、価格等が異なる市販の傘立てについて調査を行い、傘の立て方も含めできるだけコンパクトな傘立てを検討した。市販品の傘立てを参考に学生とアイデア出しを行い、



図6 開発したトレイ・収納容器「in/on」

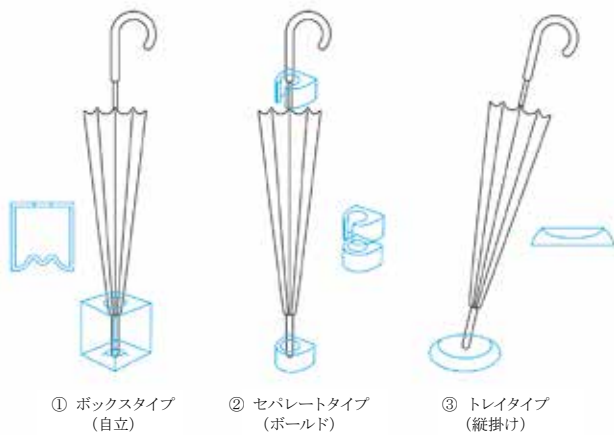


図7 検討した傘立てのアイデア

①傘（1本）を直接立ててホールドするタイプ、②ハンドルと石突をセパレートでホールドするタイプ、③皿状の水受けに石突を載せ、ハンドルは壁やドアに立て掛けて設置するタイプの3タイプのアイデアスケッチに絞って検討した（図7）。

①のタイプのメリットは、傘を直立した状態でキープできると安定し場所も取らないが、傾いた状態だと、少ない力で傘と傘立てが倒れる可能性があることがデメリットであった。②のタイプは、ハンドルと石突をホールドするパーツを玄関ドアに磁石等で貼り付ける構造のモノで、メリットは、傘のサイズに合わせられることと、パーツをコンパクトに作れることだが、デメリットは、傘の生地の一部がドアに接触することでドアが濡れることである。③のタイプも省スペースであるが、傘をドアや壁に



図8 3Dプリンタで試作した傘立て



図9 試作した陶磁器製の傘立て

立て掛けて設置するため、②と同様に傘についた水でドアや壁が濡れてしまうことがデメリットである。これらのアイデアについて、素材が陶磁器であることから強度、重量、成形性等もふまえ、①のアイデアを採用して開発を進め、3Dプリンタで出力したサンプルを用いて、サイズ、構造等の確認を行った（図8）。

出力した試作品をもとに、大小いくつかの傘を準備し、傘立ての開口部のサイズについて検討した結果、許容範囲を持たせた直径50mmに決定した。また、内側の石突をホールドする凹みの形状にも修正を加え、改良した陶磁器製の試作品を製作した（図9）。

試作した陶磁器製の傘立てに、実際にサイズの異なる傘を立てて評価を行なったところ、開口部のサイズがやや大きかったため、傘が傾いた状態となり、ハンドル部分に力をかけると少ない力で傘と傘立てが倒れる場合があった。また、内側の石突をホールドする凹みの部分についても施釉されているため、金属やプラスチック製の石突の部分が滑りやすく、傘が倒れやすい要因になっていた。そのため開口部については、傘の生地と骨の伸縮もふまえ、当初よりも小さい直径30mmの口径に修正した。また、傘立て自体の重量や床面との摩擦力を増加させるとともに、石突を滑りにくくするため、石突をホールドする凹みの中央に穴を開け、底面にゴム素材の底板を接着する構造に変更した（図10）。改良した



図 10 改良を加えた陶磁器製の傘立て「para-cil」

試作品を実際に玄関土間等に設置して、傘を立てて評価を行なったところ、改良前の試作品に比べ、傘のホールドも改善され、傘立て自体も滑りにくくなり、重量も増したため倒れにくくなった。

最終製品は、量産に向けてゴム素材の成形方法、接着方法を検討し、併せて抗菌機能の釉薬も施し、商品化を図る。商品名は、傘立てと見た目の形状からパラソルとペンシルの造語で「para-cil (パラシル)」というネーミングにした。

4. まとめ

本研究では、県内中小企業の多くが、自社技術や素材を優先した開発者起点の商品開発が中心の中、企業と大学と共同で、県産品をケーススタディに、デザインを導入したユーザー起点の県産品の商品開発に取り組んだ。

1) 五島椿油を活用した商品開発では、企業と県立大学と共同で、既存品の現状調査によって抽出した五島椿油の強みや課題から、若壮年層をターゲットにしたフェイスマスクを試作して、試作品の使用評価と改良を重ね、顧客を中心とした 30 名の消費者に対して商品化を前提としたテストマーケティングを実施した。

2) 陶磁製品の商品開発では、企業と活水女子大学と共同で、日常生活の中の不便さ等を抽出し、若壮年

層をターゲットに日々の行動調査から、洗面周り、玄関周りに絞り込み、それぞれ収納容器とトレイ、傘立てを試作して、試作品の使用評価と改良を繰り返し、収納容器とトレイについては、顧客を中心に商品化を前提としたテストマーケティングを実施した。

今後は、開発したフェイスマスク、トレイと収納容器、傘立てについて、企業と共同で商品化し市場導入を図るとともに、参加企業も含め経営者及びデザイナー等の社員に、企業経営にデザインを導入し、ユーザー起点の商品開発の重要性と有効性への理解と普及に努める予定である。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、長崎県立大学経営学科大田ゼミの大田謙一郎准教授及びゼミ生の皆様、活水女子大学生生活デザイン学科浜谷ゼミの浜谷信彦教授及びゼミ生の皆様、(株)ピュール様、(株)シモダアメニティーサービスの下田貴宗様、(株)アイ・ビー・エヌ様、(株)和山の廣田和樹様、林恵深様、(有)陶芸ゆたか様、(有)菊祥陶器の木下博昭様、(株)トーエー様、(有)津野田ゴム加工所様、並びに試作品の評価にご協力いただいた東急ハンズ長崎店職員の皆様、その他関係者の皆様に厚く感謝いたします。

文 献

- 1) デザイン経営宣言，経済産業省・特許庁 産業競争力とデザインを考える会，2018

高機能セラミック製品の 3D プリンティング技術開発

戦略・デザイン科 依田 慎二
環境・機能材料科 秋月 俊彦

要約

スクリー式押出装置の吐出口に内径 3mm、長さ 42cm のチューブをセットし、天草陶土を原料に押出試験を行った。天草陶土の水分量が 24mass% では、投入口のスクリー後方へ天草陶土が押し戻され、水分量が 22mass% ではチューブ内で天草陶土が詰まり易いことが分かった。また、押出装置の吐出口に取り付けるチューブの材質が、移送距離に影響を及ぼし、今回検討したチューブ材質の中では、透明フッ素系チューブのみが天草陶土を移送できた。

キーワード：スクリー式押出装置、天草陶土、水分量、フッ素系チューブ

1. はじめに

近年、3D 技術は、陶磁器製品の新製品開発において、広く実用化されている。当センターにおいても、これまで石膏や樹脂素材の 3D プリンタや、モデリングマシンなど、3D 技術を活用した陶磁器製品や試作品の作製を数多く行い、技術を整備してきた。そのような流れの中、経常研究において継続して取り組んでいる 3D プリンタによる造形技術は、石膏型を使わずに製品を直接造形できることから、廃石膏を排出せず、さらにサポート材には陶土を使用するため、使用後は原料に戻して再利用することで、廃棄物を出さないサステナブルな成形方法と考えられる。その他、多品種、少量生産、短納期という市場の要望への対応はもちろん、これまで成形できなかった新形状・新機能製品の開発が可能となる。さらに 3D プリンタによる造形設備の導入は、成形の低コスト・省スペース化、さらには成形作業の省力化や、勘や経験といった技能の体得を必要としないなど多くのメリットが考えられる。

そこで本研究では、天草陶土を原料に 3D プリンタで、陶磁器製品を直接造形する基盤技術の確立を

目的に検討を行った。

2. 研究内容

本研究では、前回まで検討^{1,2)}してきたチューブポンプによる陶土移送装置ではなく、図 1 に示すスクリー式押出装置について検討を行った。

2.1 天草陶土の移送試験

市販の天草選上陶土を原料に、セルローズナノファイバーを 0.1mass% 添加し、水分量を 22mass% と 24mass% に調製した。その後、図 2 に示すように、スクリー式押出装置の吐出口に内径 3mm、長さ 42cm のシリコンチューブをセットし、スクリー回転数を 120rpm の条件で、投入口へ調製



図 1 スクリー式の押出装置

した天草陶土を投入した。

2.2 チューブ素材の選定

吐出口にセットする内径 3mm、長さ 42cm のチューブについて、材質による移送への影響について検討するため、表 1 に示す 4 種類の市販のチューブを準備した。

それぞれの材質のチューブについて、吐出口にセットした後、2.1 で使用した水分量 22mass% の天草陶土を投入し、チューブ内を移送できる距離を比較した。



図 2 天草陶土の移送試験装置

3. 結果と考察

3.1 天草陶土水分量の影響

投入口へ水分量 24mass% の天草陶土を投入したところ、吐出開始からしばらくはシリコンチューブ内を天草陶土が移送できたが、天草陶土先端がチューブ出口に近づくにつれ、投入口のスクリュー後方へ天草陶土が押し戻され、モーター付近まで天草陶土が押し寄せたため、その時点で試験を中止した。

一方、水分量 22mass% の天草陶土を投入した場合、スクリュー後方のモーター付近まで天草陶土の押し戻しは認められなかったものの、チューブ内の天草陶土は途中で進まなくなり、チューブ出口まで押し出すことはできなかった。

このことから、天草陶土に含まれる水分量はチューブ内の天草陶土の移送に大きく影響することが考えられる。今回の装置では、天草陶土水分量を少なくとも 24mass% 未満に抑える必要があるということが分かった。

3.2 チューブ素材の影響

水分量を 22mass% に調製した天草陶土を用いて、チューブ内を陶土が移送しやすいチューブの材質について検討を行った。4 種類の素材のチューブで移送試験を行った結果を図 3 に示す。試験後のチューブをスクリュー吐出口から外し、右側が入口(スクリュー吐出口)、左側が出口にして並べた結果を示している。

その結果、透明フッ素系のチューブのみ、先端まで天草陶土が移送できたが、他の 3 種類について

表 1 各種チューブの材質

A	タイゴン
B	透明フッ素系
C	柔軟フッ素系
D	シリコン

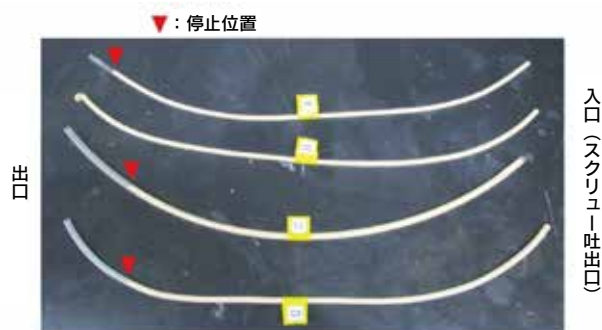


図 3 各チューブ素材による移送試験結果
(上から A, B, C, D)

は、途中から進まず、先端まで移送することが出来ない結果となった。このことから、チューブの材質や表面粗さ等、いくつかの要因が陶土移送時の抵抗性に影響を及ぼすことが考えられる。

4. まとめ

天草選上陶土を原料に、スクリュー式の押出装置による移送について検討を行い、以下の結果を得た。

- (1) スクリュー式の押出装置による移送方式では、天草陶土の水分量が多いと、投入口へ天草陶土が押し戻され、逆に天草陶土の水分量が少ないと、チューブ内で陶土が詰り易いことが分かった。
- (2) 押出装置の吐出口に取り付けるチューブの材質等が移送距離に影響を及ぼし、今回検討した材質の中で、透明フッ素系のチューブが出口まで移送できることが分かった。

文 献

- 1) 依田 慎二, 秋月 俊彦, 3D プリンタを利用した陶磁器生地造形技術の開発, 長崎県窯業技術センター研究報告, 67, 17-18 (2019).
- 2) 依田 慎二, 秋月 俊彦, 3D プリンタを利用した陶磁器生地造形技術の開発, 長崎県窯業技術センター研究報告, 68, 19-23 (2020).

陶磁器関連製造技術を活用した多孔質素材の開発 (その1)

環境・機能材料科 浦郷 寛康、高松 宏行、山口 典男、秋月 俊彦

要 約

陶磁器産地の既存設備で製造可能な食器以外の新しい製品開発を目的に、陶磁器への保水・透水機能の付与と耐熱用材料の最適化、素材の軽量化について検討した。原料にバインダーを添加した素材を成形後、900℃で焼成することで開気孔を有した焼成物が得られた。また、長石の配合量を低減させた配合土を1300℃で酸化焼成したところ、多孔質で焼成腰が強い焼成物が得られ、陶磁器産地の焼成条件に適した配合を見出した。また、素地及び釉薬において、低熱膨張で耐熱衝撃性に優れるコーゼライトを添加した配合土及び釉薬について、焼成後の熱膨張係数や焼成腰などを測定した結果、高い耐熱衝撃性が期待できる耐熱素地と釉薬が得られた。さらに、多孔体の新たな製造技術として、鋳込み成形用の泥漿に対して、界面活性剤の添加による高粘性化と各種方法で導入した気泡が泥漿中に残存する条件について検討した結果、一定の開気孔率を有した多孔体が得られた。

キーワード：多孔質、コーゼライト、軽量化、気泡、熱膨張

1. はじめに

長崎県の陶磁器産地は、他産地（佐賀、岐阜、愛知など）と比べ食器に特化した構造となっており、今後は、新分野進出に対する支援のため陶磁器製造技術を活用した食器以外の製品・商品の開発が必要である。

本研究では、やきものの製造工程にある素焼き（900℃程度の低温域）と本焼き（1300℃程度の高温域）で焼成可能な多孔質セラミックス素材を開発し、陶磁器産地の既存設備で製造可能な食器以外の新しい製品として水分制御に適した多孔質植栽鉢、アウトドア用多孔質耐熱調理器具への展開を図ることを目的に陶磁器への保水・透水機能の付与と耐熱用材料の最適化、素材の軽量化について検討した。

2. 研究内容

2.1 低温域プロセスにおける多孔質素材

植栽鉢向けの種々の物性を把握するために、低温域（900℃程度）で製作可能な多孔質素材として、無機材料の粗粒に低温で熔融するバインダーを添加した素材を作製した。

2.1.1 植栽鉢向け低温焼成多孔体の作製

骨材に粒径の異なる2種類の珪砂（粒径1.2～2.4mmの珪砂3号と300～600μmに粉碎分級した珪砂）を用い、この中にバインダーとして2種類のガラス粉（フリットS、耐酸フリット）をそれぞれ骨材に対し15mass%加えた4つの系について、0.75mass%のカルボキシメチルセルロースと約20mass%の水道水を加え、袋内で混合した。混合した坯土を一軸プレス機で2tの加圧により、内径

45mm の円柱状に成形した。成形体を室温にて乾燥後、700℃、800℃、900℃、1000℃ の設定で電気炉による酸化焼成を行った。

2.1.2 諸物性の評価

各焼成体の開気孔率、見かけ密度はアルキメデス法により測定し、圧縮強さは試験片(外径 45mm、高さ 42mm)を 110℃で 24h 乾燥後、万能試験機(島津製作所製 AUTOGRAPH AGX-V)を用い、ヘッドスピード 0.5mm/min にて測定した。

2.2 高温域プロセスにおける多孔質素材

高温域(1300℃程度)で製作可能な植栽鉢向けの多孔質素材として、天草陶土と比べて、耐火度を高めた配合土について比較した(2.2.1 及び 2.2.3)。

また、多孔質耐熱調理器具向けには、素地及び釉薬において、低熱膨張で耐熱衝撃性に優れるコーゼライトを添加した系について、それぞれの熱膨張係数と素地の焼成腰を比較した(2.2.2 及び 2.2.3)。

さらに、多孔体の新たな製造技術として、鑄込み成形用の泥漿に対して、界面活性剤の添加による高粘性化と各種方法で導入した気泡が泥漿中に残存する条件について検討した(2.2.4)。

2.2.1 植栽鉢向け高温焼成多孔体の作製

原料には、蛙目粘土、F2 珪石、インドカリ長石を用いてボールミルで 45µm アンダーに湿式粉碎した。図 1 に示すとおり、天草陶土よりもカオリンを増やす方向の 4 配合の坏土を調製した。各原料

の化学成分値からノルム計算により求めた配合割合を表 1 に示す。配合した 4 種類の坏土に珪酸ソーダ約 0.5mass% と水分量が 32mass% になるように水道水を加えて鑄込み泥漿を調製し、吸水率試験及び湾曲度試験の試験体(20mm×100mm×5mm)、3 点曲げ試験用試験体(10mm×50mm×5mm)を作製した。作製した試験体は 1300℃で電気炉による酸化焼成を行った。

2.2.2 耐熱調理器具向け高温焼成多孔体の作製

直火対応となる温度差 350℃以上の耐熱衝撃特性を有した坏土を得るために、既報¹⁾で得られた素地及び釉薬の基礎配合に対して、合成コーゼライトを、素地においては外割、釉薬は内割で添加した。素地の配合を表 2 に示す。素地については、ペタライトを除いた配合についても検討した。焼タルク、アルミナ、ペタライト、インドカリ長石を粒径 8µm 以下が 80~85% になるようにボールミルで湿式粉碎した後、蛙目粘土及びカオリンと合成コーゼライトを加え、3h ボールミルで湿式粉碎した。この坏土に珪酸ソーダを約 0.5mass% と水分量が 32mass% になるように水道水を加えて鑄込み泥漿を調製し、吸水率試験及び湾曲度試験用の試験体をそれぞれ作製した。試験体を 1200℃、1250℃、1300℃ の設定で電気炉による酸化焼成を行った。

釉薬の配合を表 3 に示す。各種原料を平均粒径が 4~5µm になるように遊星ボールミルで湿式粉碎した。調製した釉薬を石膏型上で脱水後、塊状

表 1 坏土の配合割合(単位 mass%)

ID\原料	長石(F)	カオリン(K)	珪石(Q)
A1	19.9	47.8	32.3
A2	18.0	60.4	21.6
A3	4.8	48.5	46.7
A4	3.7	60.4	35.9

表 2 素地の配合表(単位 mass%)

ID\原料	焼タルク	アルミナ A-13	ペタライト #200	インドカリ長石	本山蛙目粘土	原蛙目粘土	SP カオリン	合成コーゼライト
CP0	37.5	15.5	7.3	8.2	17.0	8.0	6.5	-
CP5	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	5
CP10	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	10
C0	40.5	16.7	-	8.8	18.3	8.7	7.0	-
C5	〃	〃	-	〃	〃	〃	〃	5
C10	〃	〃	-	〃	〃	〃	〃	10

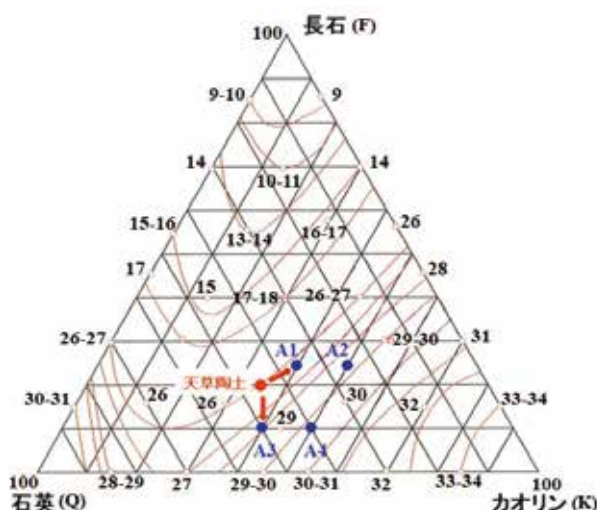


図 1 カオリナイト-長石-石英系の三成分系図による配合割合と耐火度(SK)曲線

にし、電気炉で 1200℃、1250℃、1300℃ の設定で酸化焼成を行った。

2.2.3 各種素材の評価

植栽鉢素材及び耐熱素地の吸水率は、アルキメデス法により測定し、植栽鉢素材の 3 点曲げ試験は、万能試験機（島津製作所製 AUTOGRAPH AGX-V）を用い、ヘッドスピード 0.5mm/min、スパン 30mm にて測定した。焼成によるへたり度合いを示す湾曲度は、図 2 のとおり求めた。耐熱素地及び釉薬の熱膨張係数は熱分析装置（リガク製、TMA 8311）により測定した。

2.2.4 気泡を導入した高温焼成多孔体の開発

天草陶土に珪酸ソーダ 0.5mass% と水分量が 32mass% になるように水道水を加え泥漿を調製した。この泥漿の中に気泡を導入するため、界面活性剤系の液体増粘剤と液体起泡剤をそれぞれ 2mass% 加え、ハンドミキサーで 2min 攪拌後、超音波洗

表 3 釉薬の配合表（単位 mass%）

ID\原料	珪砂	インドカリ長石	アルミナ A-13	焼タルク	ドロマイト	ベタライト #200	合成コシエライト
J0	41.0	11.0	6.7	6.1	5.2	30.0	-
J10	36.9	9.9	6.0	5.5	4.7	27.0	10.0
J20	32.8	8.8	5.4	4.9	4.2	24.0	20.0
J30	28.7	7.7	4.7	4.3	3.6	21.0	30.0
J40	24.6	6.6	4.0	3.7	3.1	18.0	40.0

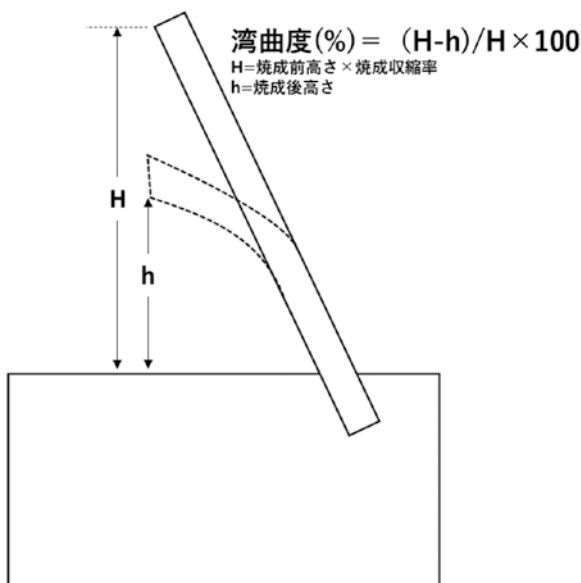


図 2 湾曲度の測定方法

浄機内で 1min 処理した。得られた泥漿を石膏型（45mm×45mm×9mm）に流し込み、乾燥後、電気炉で 1300℃ の酸化焼成を行った。焼成体の開気孔率と嵩密度をアルキメデス法により測定し、それぞれ比較した。

3. 結果と考察

3.1 植栽鉢向け低温焼成多孔体

粒径の異なる 2 種類の珪砂と 2 種類のガラス粉により得られた焼成体（2.1.1）の開気孔率と見かけ密度を図 3 及び図 4 に示す。

開気孔率は、珪砂 3 号の系では約 35% に対し、珪砂（300～600μm）の系では約 45% を示し、骨材の粒径が大きいほど低くなるのが分かった。また珪砂 3 号とフリット S の場合、焼成温度が 1000℃ のように高温になるほど開気孔率が減少傾向を示した。珪砂（300～600μm）と耐酸フリットからなる 900℃ の焼成体は強度が低く崩壊したため、測定できなかった。

見かけ密度は、ガラス粉の種類によりフリット S の群と耐酸フリットの群に分布が分かれ、フリット S が約 2.60g/cm³、耐酸フリットが約 2.75g/cm³ を示した。ガラス粉の真密度が、それぞれ 2.48g/cm³、4.34g/cm³ であったことから、真密度の大小が見かけ密度の大小に影響したものと考えられる。

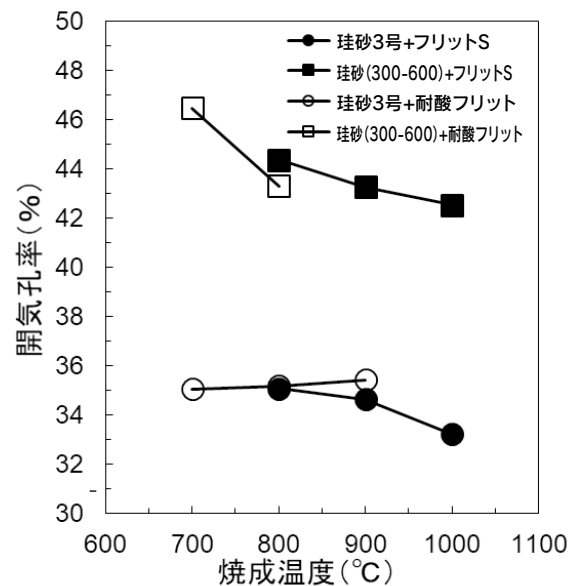


図 3 植栽鉢向け低温多孔体の開気孔率

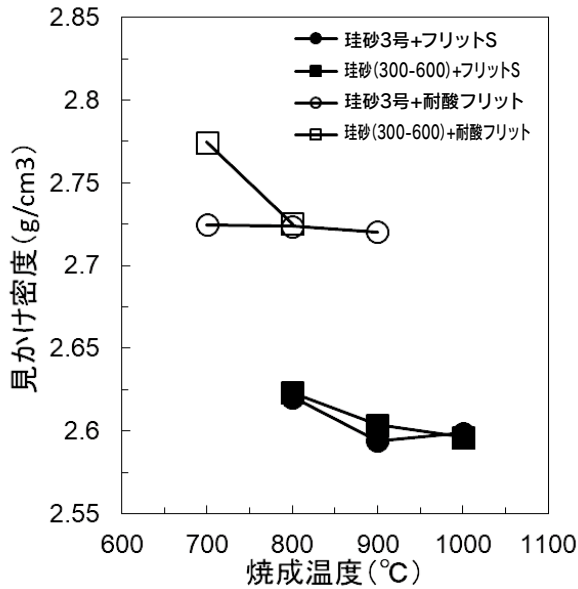


図4 植栽鉢向け低温多孔体の見かけ密度

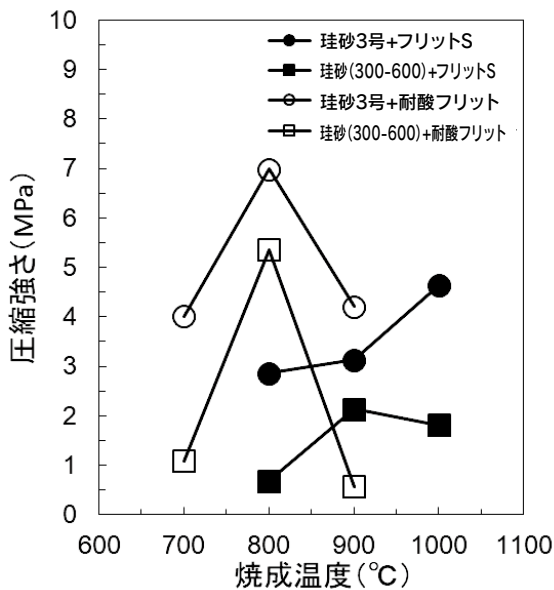


図5 植栽鉢向け低温多孔体の圧縮強さ

次に圧縮強さを図5に示す。骨材同士を比較すると、粒径が大きい珪砂3号の方が強度が高い傾向であった。これは骨材を覆うガラス粉の表面被覆率に起因するものと考えられる。また、フリットSは焼成温度が高温の方(900~1000°C)が強度が高く、耐酸フリットは焼成温度800°Cにおいて強度が最も高くなった。これは各フリットの焼成温度に対する熔融温度に起因するもので、ガラスが熔融する温度では骨材を均質にガラスが覆い高強度になったものと考えられる。一方、強度低下が見られた要因として、ガラスが熔融まで至らずバインダーとして機



図6 低温焼成多孔体

(a: 珪砂3号+フリットS, b: 珪砂(300-600 μ m)+フリットS, c: 珪砂3号+耐酸フリット, d: 珪砂(300-600 μ m)+耐酸フリット)

能しなかったことに加え、軟化点を超えガラス内に気泡が生成したことで焼結体が疎になった箇所が強度低下を引き起こしたものと推測される(図6(c, d))。

3.2 植栽鉢向け高温焼成多孔体

各種配合を1300°C焼成した焼成体(2.2.1)の吸水率、曲げ強度、湾曲度を図7、図8、図9にそれぞれ示す。

吸水率は、天草陶土²⁾と同様、A1、A2が0%であったのに対し、A3、A4は8%、6%を示した。

3点曲げ強度は、天草陶土²⁾に比べいづれも低い傾向を示したものの、ハンドリングは可能だった。

湾曲度はA4→A3→A2→A1の順に小さかった。以上のことから、A1、A2においては、骨材の粒

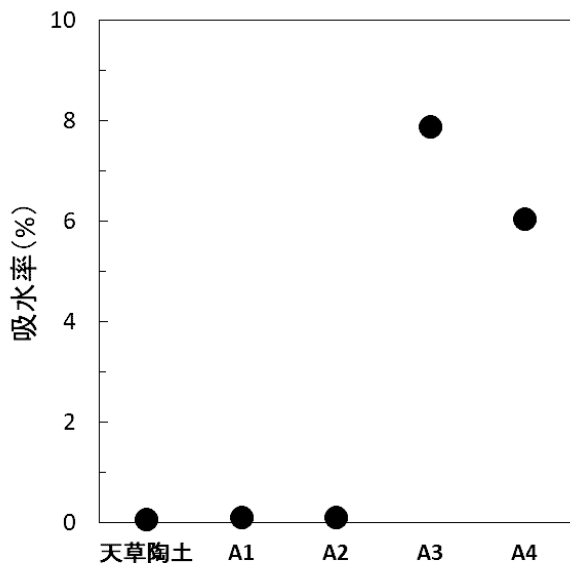


図7 植栽鉢向け高温多孔体の吸水率

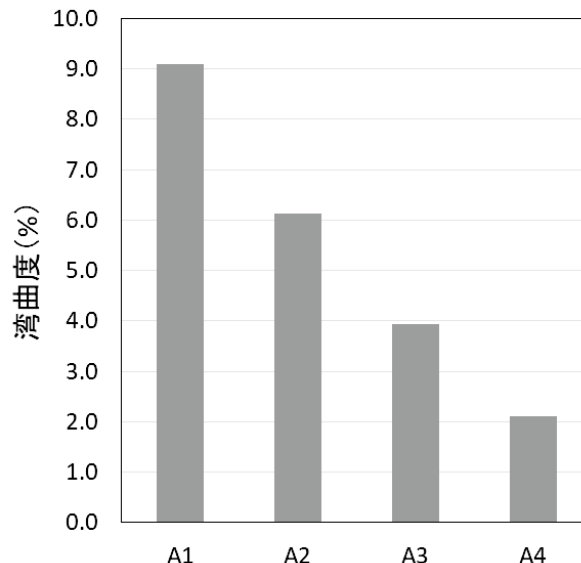


図9 植栽鉢向け高温多孔体の湾曲度

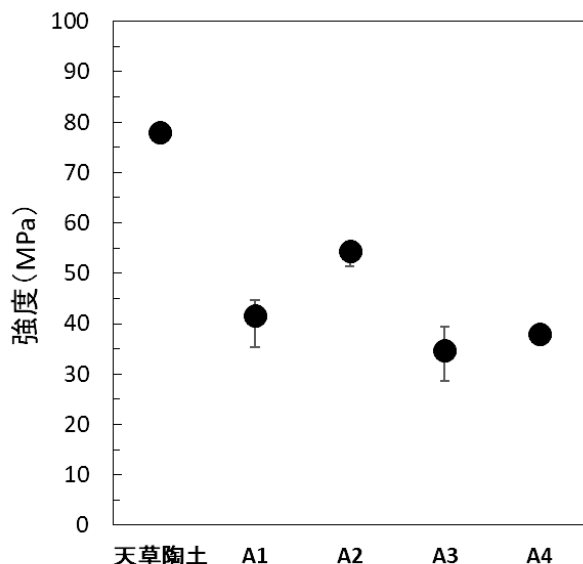


図8 植栽鉢向け高温多孔体の3点曲げ強度

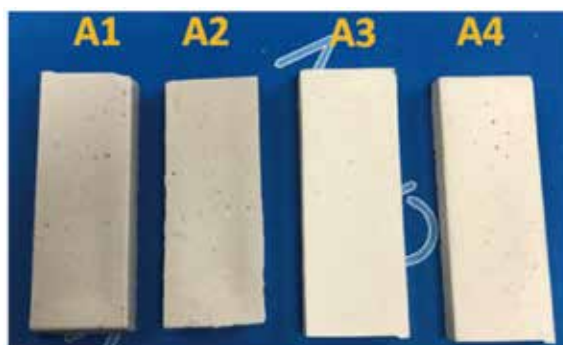


図10 高温焼成多孔体

子間を熔融した長石分(約19mass%)が塞ぎ、緻密化しているものと考えられる。一方、A3、A4においては、長石分が約4mass%と少ない。そのため長石分が不足したことで、骨材粒子間に空隙が形成され気孔を有したものと推察される。A3(F=4.8、K=48.5、Q=46.7)やA4(F=3.7、K=60.4、Q=35.9)のようにカオリン分を増やし、長石分を減らすことにより、焼成腰の強い多孔体を得ることができ、吸水性が必要な植栽鉢等への対応が期待できる。試作した高温焼成多孔体を図10に示す。

3.3 耐熱調理器具向け耐熱素地及び釉薬の諸物性

2.2.2で作製した耐熱素地の吸水率を図11、図12に示す。ペタライトを添加した系(以下、CP系)の吸水率は、合成コーゼライトを添加したことで、1200~1250℃までは吸水性を有し、1300℃では0%まで低下した。一方、ペタライトを添加しなかった系(以下、C系)では、1300℃で9%の吸水性を示した。素地の湾曲度と素地及び釉薬の熱膨張係数の一覧を図13、図14、表4にそれぞれ示す。

CP系の湾曲度は、高温になるほど増加し、合成コーゼライト添加品(CP5、CP10)については、1300℃でのへたりが顕著であった。一方、C系については、どの焼成温度においても湾曲度が20%以下であった。また1300℃において、いずれの素

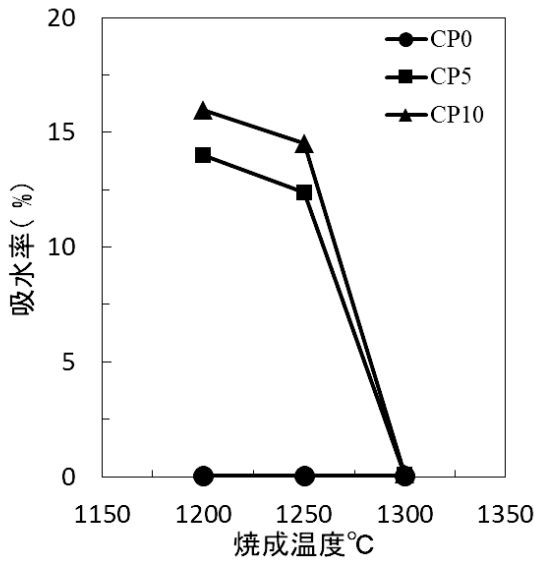


図11 CP系の吸水率

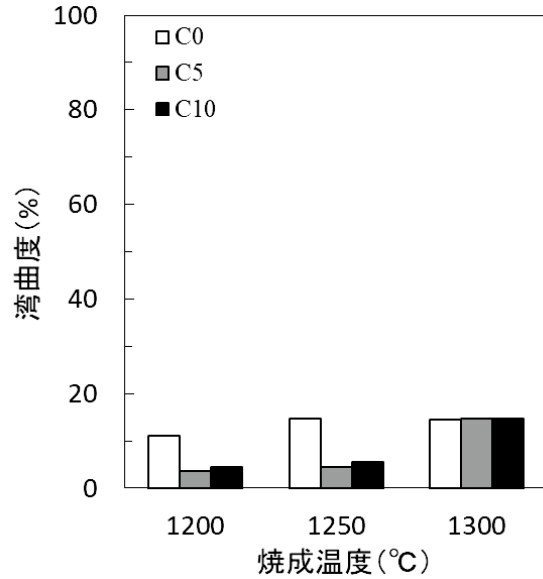


図14 C系の湾曲度

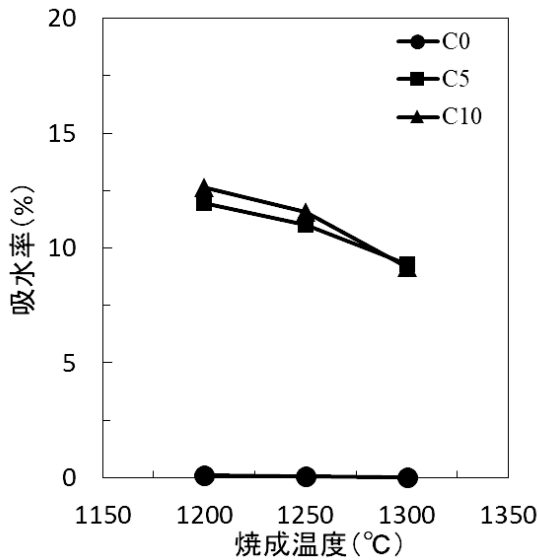


図12 C系の吸水率

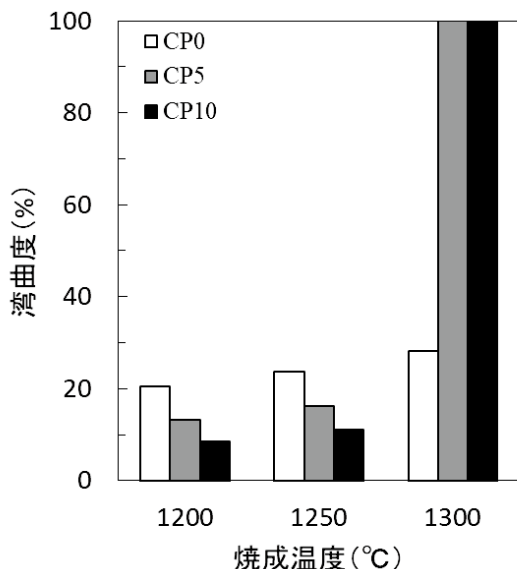


図13 CP系の湾曲度

表4 素地及び釉薬の700℃における熱膨張係数 (×10⁻⁶ 1/°C)

ID\焼成温度°C	1200	1250	1300	
素地	CP0	3.15	2.75	2.36
	CP5	3.30	2.61	1.84
	CP10	3.07	2.45	1.80
釉薬	C0	3.84	3.25	2.71
	C5	4.51	3.42	2.49
	C10	3.73	3.27	2.55
釉薬	J0	4.92	4.67	4.79
	J10	3.68	4.06	3.61
	J20	3.37	3.58	3.71
	J30	2.98	3.26	3.46
	J40	2.79	2.91	3.01

地の湾曲度も CP 系より比較的小さく、焼成腰が強かった。1300℃ 焼成における CP 系の大きなへたりは、添加した合成コーゼライトとペタライトが反応し、その温度での熔融による軟化が促進されたためと推測される。

熱膨張係数は、合成コーゼライトを添加するほど、低熱膨張の傾向になることを確認した。したがって、今後は合成コーゼライトを添加したペタライトを含まない系を基礎配合として素材開発を行う。

3.4 気泡を導入した高温焼成多孔体

2.2.4 で作製した多孔質素材の開気孔率と嵩密度を図 15 に示す。添加剤なしと比べ、増粘剤入りは、開気孔率が 6% に増加し、嵩密度は 2.4%→1.7%

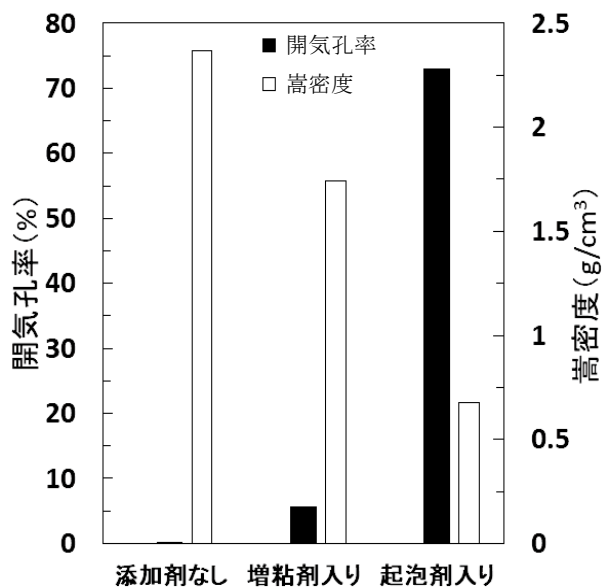


図15 気泡導入多孔体の開気孔率と嵩密度



図16 気泡導入多孔体

まで低下した。また、起泡剤入りにおいては、開気孔率が73%と高い値を示し、さらに嵩密度が2.4%→0.7%まで大幅に低下した。増粘剤入りの試料は、ハンドミキサーで物理的に導入した気泡を泥漿の高粘性化により保持させているのに対し、起泡剤入りの試料はその物理的因子に加え、泥漿中の気泡発生を促進し、さらに生成した気泡を安定化させる化学的因子も含まれるため、気泡の量が増大し、嵩密度が著しく低下したものと考えられる。こうした気泡導入プロセスは、素材の軽量化に有効であることが示された。作製した気泡導入多孔体を図16に示す。

4. まとめ

1年目となる本研究では、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、次の知見を得た。

- (1) 低温域(900℃程度)において、骨材に砂、バインダーにガラス粉を用いることで、開気孔率35~45%を有した多孔体を得ることができ、フリットSでは900~1000℃、耐酸フリットでは800℃の焼成温度において強度が高くなることが分かった。
- (2) 高温域(1300℃程度)において、3成分系ではA3(F=4.8、K=48.5、Q=46.7)、A4(F=3.7、K=60.4、Q=35.9)のようにカオリン分を増やし、長石分を減らすことで、強い焼成腰と吸水性を有した多孔体になることが明らかとなった。
- (3) 高温域(1300℃程度)における耐熱素地では、ペタライトの有無によって、湾曲度が異なり、ペタライトを添加しない方が、焼成腰が強いことが示された。また素地と釉薬に合成コーゼライトを添加することで熱膨張係数を小さく制御できることが示された。
- (4) 高温域(1300℃程度)において、泥漿中に界面活性剤系の増粘剤及び起泡剤を添加することで、一定の開気孔率を有した多孔体が得られることが確認され、軽量の素材としての活用が期待される。

文献

- 1) 秋月俊彦, 木須一正, 梶原秀志, 小林孝幸, 山口英次, 依田慎二, コーディエライト質耐熱磁器の開発・試作, 長崎県窯業技術センター研究報告, No.61, 27 (2013).
- 2) 浦郷寛康, 天草陶土の物性を把握するための基礎研究, 長崎県窯業技術センター研究報告, No.68, 40 (2020).

IoT技術を活用した焼成炉内温度分布のリアルタイム可視化 に関する可能性調査

陶磁器科 稲尾 恭敬、吉田 英樹、山口 英次

要約

ガスバーナーを熱源とする陶磁器製造用焼成炉内の温度分布をリアルタイムに計測・記録した事例はほとんどない。そこで、本研究では焼成炉内温度分布のリアルタイム可視化を目的に、ラズベリーパイを用いて温度センサーから取得したデータを蓄積するための機器を調査し、調査した機器を用いて炉内温度分布のリアルタイム可視化を試みた。本研究の成果としては、電気炉及び 0.1m³ ガス焼成炉に温度センサーを設置し、ラズベリーパイにて温度データを蓄積することが出来ることを確認し、その温度データはタブレット端末等を用いて遠隔でリアルタイムに可視化できる体制を構築した。

キーワード：電気炉、ガス焼成炉、温度センサー、熱電対、ラズベリーパイ、リアルタイム可視化

1. はじめに

本県の陶磁器産地において日用食器の量産にはガス焼成炉が導入されている。産地における陶磁器製造用の焼成炉は、ガスバーナーを熱源とし、焼成温度とともに酸素及び CO 濃度も制御し、磁器製造に特有の還元雰囲気下で焼成が行われている。焼成炉は、熱源であるガスバーナーと炉内の上、中、下段の場所の温度履歴から熱カロリー差が生じていることはわかっている。我々が知る限り、炉内全体の温度変化をリアルタイムに計測・記録した事例はほとんどない。そこで、本研究では、温度センサーから取得したデータを蓄積するための機器を調査し、調査した機器を用いて炉内温度分布のリアルタイム可視化を試みた。

2. 研究内容

2.1 温度測定機材

図1は、本試験で使用した IoT センサーを示す。福岡県工業技術センターから提供頂いた IoT 導入支援キットのプログラムをラズベリーパイ (Pi-4gb-StarterKit) にインストールし、温度センサーを接続した。センサーから取得したデータは、ウェブブラウザから Node-RED (オープンソースソフトウェア) を開くことで、リアルタイムにデータを取得できているか確認した。

温度センサーは、K 型熱電対を使用した。ラズベリーパイと各種熱電対を繋ぐため、温度センサモジュールを用いた。ラズベリーパイにて測定した温度データとの比較のため、データロガー (ダイアノド製 RTR-500DC) を用いた。

CO ガス濃度の測定は、CO ガスセンサー (理研機器製 RI-557) を使用し、ラズベリーパイに接続

したウェブカメラで濃度表示部の数値を読み取った。

2.2 電気炉試験

電気炉の外観及び K 型熱電対を設置した写真を図 1 に示す。IoT センサー(図 2)を電気炉に設置し、ラズベリーパイにて酸化焼成における温度データの蓄積を確認した。本試験では電気炉の焼成は昇温速度 100°C/min、酸化雰囲気下 1300°C で焼成した。

2.3 0.1m³ ガス焼成炉試験

2.3.1 温度計測

0.1m³ ガス焼成炉とその内部を図 3 に示す。図 3 に示すように温度センサーを焼成炉中央部に設置、ラズベリーパイにて還元焼成における温度データの蓄積と、蓄積した温度データを遠隔より Node-Red でリアルタイムに動作確認した。0.1m³ ガス焼成炉での温度計測試験は SK10 (1300°C) 還

元焼成で行った。

2.3.2 室温、湿度、気圧の計測

焼成炉付近の室温、湿度、気圧の計測は、焼成炉から 1.6m の場所に温湿度圧力計(アズワン製 RHT-50)を設置し測定を行った。

2.4 試験後の K 型熱電対表面観察

K 型熱電対の耐久性は、デジタルマイクロスコープ(ニコン製 P-400R)にて焼成試験後に外観検査を行った。

3. 結果と考察

3.1 温度測定機材

図 4 は、PC のウェブブラウザから Node-RED のページにアクセスし、温度のリアルタイム表示画



図 1 電気炉の外観(左)と上部へ熱電対設置の様子(右)

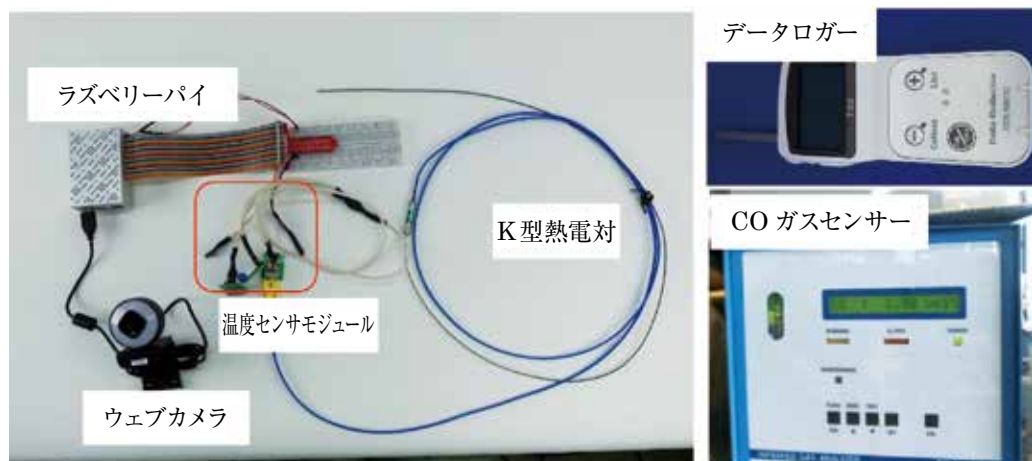
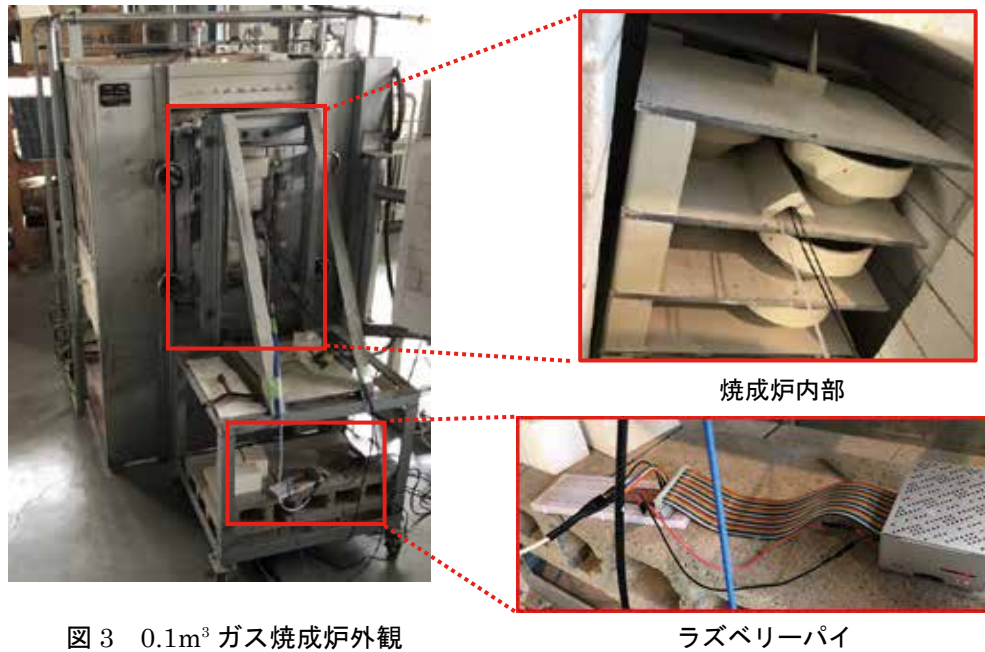


図 2 IoT センサー

図3 0.1m³ ガス焼成炉外観

焼成炉内部

ラズベリーパイ

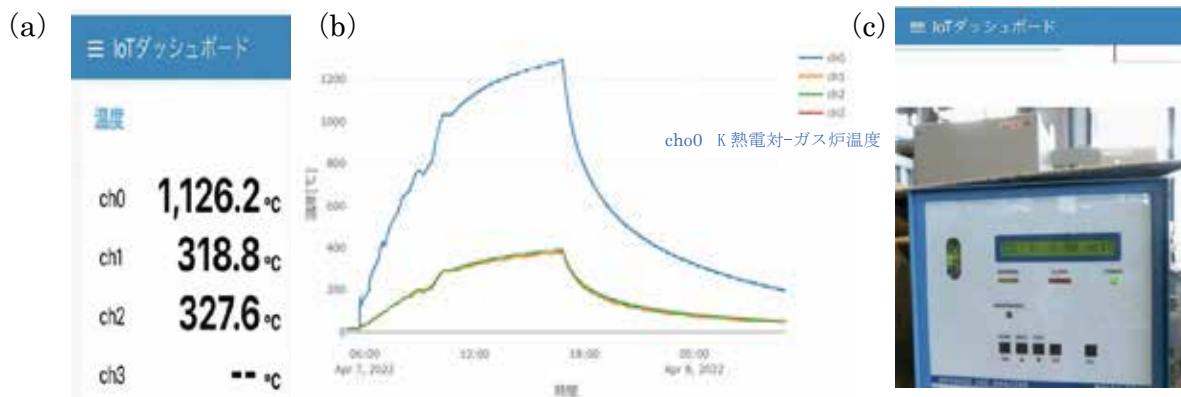


図4 Nodo-RED ページ画面 ((a)リアルタイム表示画面、(b)温度変化、(c)カメラ映像)

面及び温度変化、カメラ映像を示す。

この画面は PC 以外にもタブレット端末、スマートフォン、いずれのブラウザからも遠隔で確認することができた。

3.2 電気炉における温度計測試験

電気炉焼成試験結果を図 5 に示す。

電気炉で設定した焼成パターンを緑点線で示す。データロガーに接続した K 型熱電対の温度データ(赤実線) 最高温度は 1216°C であった。このように設定温度 1300°C に到達していないということがリアルタイムで確認することができた。

一方、ラズベリーパイに接続した K 型熱電対の

温度データ(青実線) は最高温度 1070°C であった。この原因については 3.4 項で後述する。

3.3 0.1m³ ガス焼成炉試験

3.3.1 温度計測

0.1m³ ガス焼成炉の焼成試験結果を図 6 に示す。K 型熱電対の温度データは、ラズベリーパイ及びデータロガーで取得した。最高指示温度はそれぞれ 1297°C 及び 1304°C を示した。いずれも、目標温度 1300°C 近傍であることを確認した。

CO 濃度は、あぶり (900°C) から攻め (1000°C) に入ったあたりから、CO 濃度が 5.2vol% まで上昇した。これは、熱気の流れを止める板であるダン

パーを 950℃ から閉めたことで、炉内への空気の流入がなくなり、不完全燃焼で CO が発生したためである。その後、あげ火 (1300℃) 時点で 3.7vol% まで緩やかに下降したことが確認できた。

このことから、ウェブカメラを CO 計に設置することによりリアルタイムで監視することができた。

3.3.2 室温、湿度、気圧の計測

0.1m³ ガス焼成炉の焼成試験時の、室温、湿度、気圧の測定データを図 7 に示す。

あぶり (900℃) から攻め (1000℃) に入ったあたり、図 7 の経過時間が 6h ~ 9h あたりから、気圧、

湿度が低下、室温がわずかに上昇した。炉内温度が 12h 経過時に最高温度を示したとき、気圧、湿度が極小、室温が極大を示した。

3.4 試験後の K 型熱電対表面観察

本試験で用いた K 型熱電対はデジタルマイクロスコープを用いて表面状態を観察した (図 8)。

使用回数 1 回のみ K 型熱電対は、酸化被膜の生成が確認された。一方、使用回数が複数回では、熱電対の表面は膨張や破損が確認されたことから温度異常を示したと考えられる。

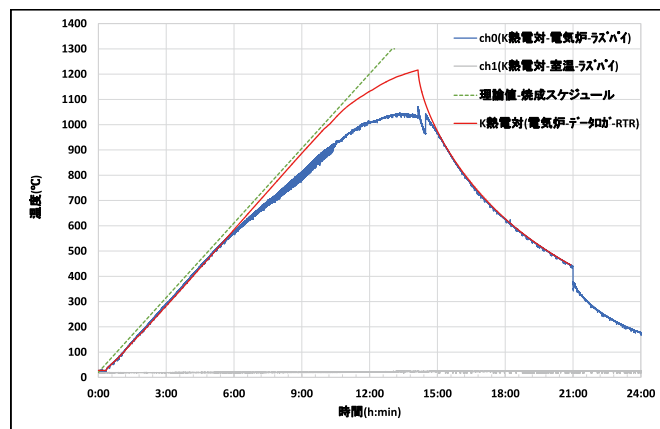


図 5 電気炉の焼成試験結果

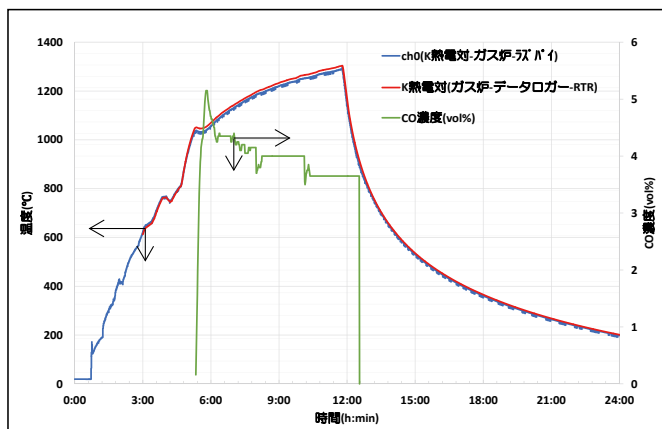


図 6 0.1m³ ガス焼成炉の焼成試験結果

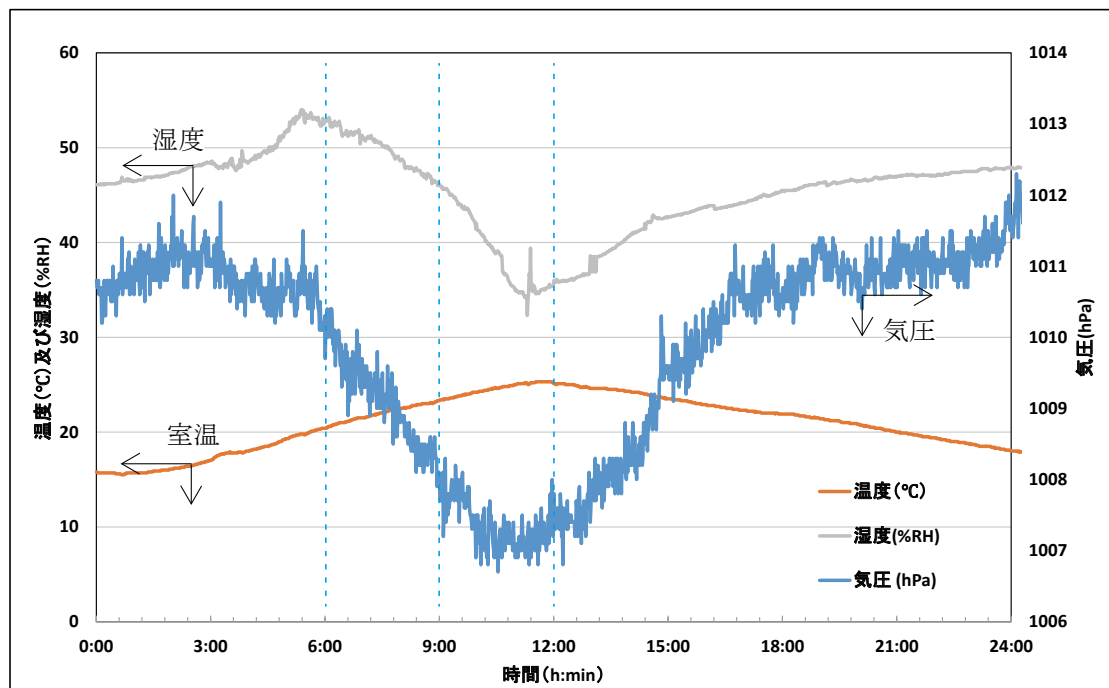


図 7 0.1m³ ガス焼成炉焼成試験時、室温、湿度、気圧を取得したデータ



図8 K型熱電対のデジタルマイクロスコープ観察

4. まとめ

本研究では、温度センサーと、センサーから取得したデータを蓄積するための機器を調査した。また、調査した機器を用いて炉内温度分布のリアルタイム可視化を試みた結果、以下の知見を得た。

- (1) IoT センサーから取得した温度のリアルタイム表示画面は、PC やタブレット端末、スマートフォン、いずれのブラウザからも Node-RED のページにアクセスすると、確認することができた。
- (2) IoT センサーを電気炉に設置し、1300℃ の酸化焼成を行った結果、データロガーに接続した

K 型熱電対の温度データは最高温度 1216℃ を示した。このように設定温度 1300℃ に到達していないということがリアルタイムで確認することができた。この温度のズレは、熱電対保護管の劣化によるものと判明した。

- (3) IoT センサーを 0.1m³ ガス焼成炉に設置し、SK10 還元焼成を行った結果、得られた温度データは、目標温度 1300℃ 近傍であることを確認した。
- (4) CO ガスセンサーに表示された CO 濃度をウェブカメラで読取る試験を実施した結果、CO 濃度はあぶり (900℃) から攻め (1000℃) に入ったあたりから、CO 濃度が 5.2vol% まで上昇、その後あげ火 (1300℃) 時点で 3.7vol% まで緩やかに下降したことが確認できた。
- (5) 0.1m³ ガス焼成炉の SK10 還元焼成時の室温、湿度、気圧を測定したところ、炉内温度が最高温度を示したとき、気圧、湿度が極小、室温が極大を示した。
- (6) 電気炉試験で温度異常が認められた K 型熱電対をデジタルマイクロスコープで観察したところ、膨張や破損を確認した。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、IoT 支援キットをご提供頂いた福岡県工業技術センター各位、IoT 支援キットの操作方法及び温度センサー接続用の回路作成に御協力頂いた長崎県工業技術センター各位に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 福岡県工業技術センター IoT 導入支援キットダウンロードページ
<https://www.fitc.pref.fukuoka.jp/information/downloadpage.htm>

長崎県窯業技術センター令和3年度研究報告(第69号)

令和4年(2022年)10月発行

発行所

長崎県窯業技術センター

〒859-3726 長崎県東彼杵郡波佐見町稗木場郷 605-2

TEL (0956) 85-3140

FAX (0956) 85-6872

URL <https://www.pref.nagasaki.jp/yogyo/>

※許可なく転載・転用を禁ず

Published by

Ceramic Research Center of Nagasaki (CRCN)

605-2 Hiekoba-go, Hasami-cho, Higashisonogi-gun,
Nagasaki 859-3726, Japan

PHONE +81-956-85-3140

F A X +81-956-85-6872

U R L <https://www.pref.nagasaki.jp/yogyo/>

※ Copyright 2022 Ceramic Research Center of Nagasaki

印刷所 (株) 康真堂印刷

