

壺屋焼原料の品質安定化に関する研究開発

－ 壺屋焼坏土の迅速評価に関する研究 －

赤嶺公一、宮城雄二、與座範弘、花城可英

沖縄県内には、大規模で優良な粘土鉱床が存在しないため、坏土生産者は県内各地で産出する原土を採取し、数種類ブレンドして坏土を生産している。このような中、原土の採取場所が変わることにより、原土の性質ひいては坏土の品質に変動が認められている¹⁾。そこで、坏土の品質安定化に資するため、迅速評価法の一つとして、坏土の化学組成から焼成後のテストピースの吸水率を推定する方法について検討した。その結果、生産した坏土から化学組成と吸水率との推定式が得られた。得られた推定式より、化学組成から吸水率を推定することが可能となった。

1 はじめに

沖縄県内では数種類の原土をブレンドすることにより坏土（陶器の素地をつくる土）の生産を行っている。

壺屋陶器事業協同組合（以下、壺屋組合）の製土工場では、日々坏土の生産を行っているが、原土の変化に対応できるような品質管理が確立できていなかった。そのため、平成22年度から24年度に多様な陶器生産システム構築事業を行い、原土及び坏土の評価技術、坏土ブレンド技術開発等に関して知見を得た²⁾。

原土は採掘場所による変動が大きいいため、坏土生産ロット毎の変動を迅速かつ的確に捉え、陶器の製造工程に反映させる必要がある。これまで、迅速評価の一例として、原土や坏土の化学組成から耐火度を推定する推定式が提案されている^{3,4)}。

そこで、本研究では坏土の迅速評価の検討を行うため、壺屋組合が生産した坏土の化学組成から焼成後のテストピースの吸水率を推定することに取り組んだので報告する。

2 実験方法

2-1 試料とテストピース

2-1-1 鉱物組成、化学組成分析用試料

壺屋組合の製土工場において、出荷前の坏土、坏土生産ロット毎の保管用坏土を採取した。採取した坏土は、壺屋組合で生産した赤土2号坏土（SK7,1230℃焼成用）、赤土3号坏土（登り窯でも用いる高耐火度用）である。試料は乾燥後、サイクロミルで粉砕を行った。

2-1-2 吸水率測定用テストピース

壺屋組合の製土工場において、赤土2号・3号坏土の品質管理に用いているテストピースを使用し、吸水率を

測定した。壺屋組合では、坏土生産ロット毎に坏土を約40×70×15mmに石膏型を用いてテストピースを成形し、工場内の電気炉で焼成している。種類の異なる坏土を電気炉でまとめて焼成するため、棚板の位置を変えて、赤土2号坏土は約1240℃、赤土3号坏土は約1250℃で焼成している。焼成温度は、共通熱履歴センサーリファサーモにより確認した。

2-2 測定項目及びその方法

2-2-1 鉱物組成

X線回折装置（RIGAKU UltimaIV）を用いて測定した。測定条件はCu管球、40kV、40mA、半導体高速検出器、スキャン速度は5°/min、2θが5～70°で連続測定を行った。

2-2-2 化学組成

採取した試料について、エネルギー分散型蛍光X線分析装置（PANalytical社製Epsilon3XL）を用いて化学組成を測定した。試料はルーズパウダー法専用容器に詰めて測定し、得られた半定量値は酸化物換算で規格化を行い、強熱減量は考慮していない。測定成分は主要な10成分（Na₂O、MgO、Al₂O₃、SiO₂、K₂O、CaO、TiO₂、MnO、Fe₂O₃、SO₃）とした。

2-2-3 吸水率

テストピースについて、乾燥機を用いて110℃で乾燥し乾燥重量を測定した。飽水重量はテストピースを水中で3時間煮沸後の重量を測定した。そして、次式により吸水率（%）を算出した。吸水率は各ロットでテストピース3個の平均値を用いた。

吸水率(%) = ((飽水重量 - 乾燥重量) / 乾燥重量) × 100

3 実験結果および考察

3-1 鉱物組成の分析結果

鉱物組成を図1に示す。赤土2号・3号坏土は、石英、カオリン鉱物、雲母粘土鉱物等を含む。赤土2号・3号坏土の鉱物組成は、ほとんど同様と考えられる。

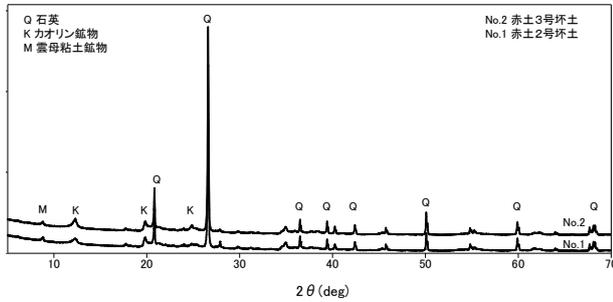


図1 X線回折図(赤土2号・3号坏土)

3-2 化学組成と吸水率の測定結果

赤土2号坏土の化学組成と焼成後のテストピースの吸水率を表1、赤土3号坏土を表2に示す。赤土2号坏土の化学組成の平均値は、赤土3号坏土のそれと比較すると、Fe₂O₃(赤2号:6.48%,赤3号:5.54%)、MgO(赤2号:1.23%,赤3号:1.05%)、K₂O(赤2号:2.74%,赤3号:2.31%)などで多かった。このような化学組成の特徴等が、後述する吸水率の差や特有の焼成呈色(赤土2号坏土のほうが、赤みが強い)となって現れると考えられる。

焼成後のテストピースの吸水率の平均値は、赤土2号坏土で0.81%、赤土3号坏土で4.05%であった。吸水率は、開気孔に吸水される水の量を表すもので、気孔率が高いと吸水率が高く、嵩比重が小さくなるというように、焼成素地の焼結性を評価する指標としてよく利用される⁵⁾。

3-3 化学組成による吸水率の推定

耐火度と化学組成との間には、相関関係があることが認められており、重回帰分析により原土や坏土の化学組成から耐火度を推定する推定式の提案^{3,4)}がある。さらに、天草陶石の耐火度に関しては、化学組成に加えて鉱物組成や熱膨張曲線を基に推定式が算出されている^{6,7)}。耐火度は、原料の熱的性質を総合的に現すパラメーターとして重要な意味を持っている³⁾が、焼成素地の焼結性を評価する手法として、吸水率のほうが県内の陶器製造業者には好まれ、広く利用されている。吸水率は製造現場でも容易に測定できるため、従来から身近な焼結性の尺度になっていると考えられる。

そこで、赤土2号・3号坏土について、化学組成と焼成後のテストピースの吸水率との関係を重回帰分析によ

表1 化学組成と吸水率(赤土2号坏土)

		(%)										
No.	赤土2号坏土 試料名(ロット日)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	SO ₃	吸水率
1	2014/04/09	64.7	23.8	5.98	1.08	0.40	1.19	2.57	0.06	0.02	0.08	0.78
2	2014/04/17	64.9	23.3	6.25	1.12	0.36	1.13	2.64	0.06	0.02	0.08	1.08
3	2014/04/23	65.3	23.4	5.86	1.09	0.34	1.12	2.57	0.06	0.02	0.08	1.47
4	2014/04/25	65.3	23.5	5.83	1.08	0.34	1.19	2.54	0.05	0.02	0.08	1.23
5	2014/04/26	65.6	23.2	5.85	1.08	0.34	1.14	2.53	0.06	0.02	0.07	1.41
6	2014/05/30	65.0	23.4	6.03	1.12	0.36	1.17	2.61	0.06	0.02	0.07	0.98
7	2014/07/19	64.1	24.1	6.13	1.14	0.37	1.22	2.68	0.04	0.02	0.07	0.72
8	2014/07/31	64.0	24.2	6.08	1.14	0.35	1.18	2.66	0.07	0.02	0.09	0.79
9	2014/08/18	64.1	24.1	6.22	1.13	0.35	1.20	2.71	0.04	0.02	0.09	0.73
10	2014/08/22	64.3	23.8	6.19	1.15	0.36	1.20	2.70	0.04	0.02	0.08	0.89
11	2014/08/25	64.6	23.5	6.15	1.14	0.36	1.18	2.69	0.07	0.02	0.07	0.86
12	2014/09/04	64.1	23.9	6.37	1.14	0.35	1.19	2.69	0.05	0.02	0.09	1.04
13	2014/09/10	63.8	24.0	6.55	1.15	0.37	1.20	2.70	0.05	0.02	0.10	1.08
14	2014/09/19	63.5	23.9	6.81	1.17	0.39	1.21	2.71	0.08	0.02	0.13	1.14
15	2014/10/04	64.9	23.4	6.21	1.11	0.34	1.19	2.57	0.06	0.02	0.11	1.13
16	2014/10/16	65.5	22.9	6.12	1.09	0.34	1.16	2.55	0.05	0.02	0.10	2.05
17	2014/10/23	65.1	23.2	6.19	1.09	0.34	1.19	2.59	0.05	0.02	0.10	1.17
18	2014/12/09	64.4	23.5	6.46	1.17	0.38	1.19	2.70	0.08	0.02	0.08	0.89
19	2015/01/07	63.3	24.1	6.68	1.15	0.39	1.29	2.81	0.06	0.02	0.08	0.62
20	2015/01/24	63.3	23.9	6.80	1.16	0.39	1.23	2.86	0.06	0.02	0.09	0.48
21	2015/02/07	62.7	24.2	7.01	1.16	0.41	1.28	2.94	0.08	0.02	0.08	0.28
22	2015/02/14	62.9	24.4	6.69	1.10	0.39	1.36	2.83	0.07	0.02	0.07	0.29
23	2015/04/17	61.1	25.5	7.21	1.15	0.41	1.40	3.00	0.07	0.02	0.08	0.12
24	2015/04/28	61.2	25.4	7.25	1.13	0.41	1.37	2.99	0.09	0.02	0.07	0.15
25	2015/05/19	60.3	25.6	7.60	1.17	0.39	1.39	3.12	0.08	0.02	0.09	0.12
26	2015/06/03	61.5	25.1	7.19	1.17	0.37	1.35	3.00	0.10	0.02	0.10	0.22
27	2015/06/18	61.4	25.1	7.18	1.18	0.37	1.36	2.99	0.10	0.02	0.12	0.15
平均値(No.1-27)		63.7	24.0	6.48	1.13	0.37	1.23	2.74	0.06	0.02	0.09	0.81

表2 化学組成と吸水率(赤土3号坏土)

		(%)										
No.	赤土3号坏土 試料名(ロット日)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	SO ₃	吸水率
1	2014/04/01	66.1	24.2	5.03	1.01	0.25	0.95	2.15	0.07	0.02	0.12	5.74
2	2014/04/03	65.4	24.8	5.06	1.01	0.26	1.01	2.16	0.04	0.02	0.11	4.43
3	2014/05/02	66.2	24.3	4.85	1.01	0.27	0.98	2.10	0.04	0.02	0.11	5.07
4	2014/05/07	65.8	24.5	5.01	1.03	0.28	0.98	2.13	0.05	0.02	0.11	4.92
5	2014/06/02	66.1	24.4	4.92	0.99	0.27	0.94	2.11	0.06	0.02	0.11	5.58
6	2014/06/03	66.0	24.4	4.91	1.00	0.27	0.98	2.12	0.04	0.02	0.11	5.03
7	2014/07/02	65.7	24.5	4.99	1.01	0.28	0.99	2.13	0.06	0.02	0.11	5.30
8	2014/07/12	65.5	24.8	4.99	1.02	0.28	0.97	2.17	0.09	0.02	0.11	5.34
9	2014/08/01	65.7	24.5	5.09	0.99	0.28	1.00	2.14	0.05	0.02	0.12	4.57
10	2014/08/02	65.3	24.6	5.22	1.01	0.28	1.01	2.18	0.08	0.02	0.14	4.92
11	2014/09/01	64.5	24.9	5.63	1.03	0.40	1.01	2.21	0.06	0.02	0.09	5.03
12	2014/09/02	64.4	25.1	5.61	1.04	0.32	1.01	2.24	0.06	0.02	0.12	4.96
13	2014/10/01	63.9	25.7	5.51	1.05	0.30	1.04	2.21	0.05	0.02	0.13	5.10
14	2014/10/03	63.7	25.8	5.56	1.06	0.31	1.06	2.24	0.04	0.02	0.12	5.26
15	2014/11/01	64.8	25.1	5.24	1.04	0.27	1.04	2.17	0.06	0.02	0.13	5.71
16	2014/11/05	64.9	24.9	5.27	1.05	0.28	1.03	2.20	0.04	0.02	0.12	5.23
17	2014/12/01	64.3	25.4	5.38	1.05	0.31	1.02	2.23	0.06	0.02	0.11	5.65
18	2014/12/02	62.9	26.0	5.86	1.05	0.31	1.11	2.37	0.07	0.02	0.12	3.51
19	2015/01/06	63.3	25.9	5.64	1.06	0.33	1.11	2.34	0.07	0.02	0.11	3.43
20	2015/01/09	62.8	26.0	5.89	1.07	0.42	1.12	2.46	0.07	0.02	0.09	2.45
21	2015/02/02	62.9	26.1	5.75	1.08	0.37	1.13	2.43	0.07	0.02	0.10	2.17
22	2015/02/04	62.6	26.3	5.78	1.07	0.34	1.15	2.44	0.05	0.02	0.11	2.19
23	2015/03/20	62.9	25.9	5.98	1.07	0.34	1.11	2.42	0.05	0.02	0.11	2.23
24	2015/03/24	63.1	25.9	5.83	1.07	0.34	1.09	2.40	0.05	0.02	0.11	2.04
25	2015/04/02	62.3	26.3	5.99	1.09	0.38	1.14	2.49	0.06	0.02	0.09	1.84
26	2015/04/03	62.2	26.5	5.97	1.09	0.36	1.13	2.50	0.06	0.02	0.10	2.00
27	2015/05/02	62.4	26.2	5.99	1.10	0.29	1.13	2.53	0.06	0.02	0.13	2.20
28	2015/05/08	62.1	26.5	6.07	1.08	0.28	1.13	2.52	0.06	0.02	0.13	3.05
29	2015/05/14	62.9	26.0	5.85	1.08	0.27	1.09	2.43	0.06	0.02	0.13	3.88
30	2015/05/18	63.0	25.9	5.87	1.09	0.28	1.06	2.45	0.07	0.02	0.12	3.07
31	2015/05/21	63.0	26.0	5.79	1.06	0.27	1.07	2.44	0.05	0.02	0.13	3.66
32	2015/05/23	63.2	25.7	5.93	1.08	0.28	1.04	2.43	0.04	0.02	0.12	4.32
33	2015/07/01	62.3	26.3	6.01	1.08	0.33	1.14	2.50	0.08	0.02	0.11	3.70
34	2015/07/02	62.6	26.1	6.03	1.07	0.38	1.10	2.48	0.06	0.02	0.09	2.81
35	2015/06/04	65.3	24.5	5.38	1.02	0.29	1.05	2.20	0.03	0.02	0.12	6.37
36	2015/06/05	64.3	24.9	5.72	1.04	0.29	1.08	2.35	0.08	0.02	0.11	3.11
平均値(No.1-36)		64.0	25.4	5.54	1.05	0.31	1.05	2.31	0.06	0.02	0.11	4.05

り求めた。使用したデータは、3-2で得られたデータ(赤土2号坏土で27個、赤土3号坏土で36個)である。製造した坏土の吸水率を目的変数、各元素を説明変数とした。なるべく少数の説明変数により、説明力のある回帰式を求めため説明変数の選択を行った。説明変数の選択は、目的変数との相関や多重共線性を考慮した。すなわち、目的変数と相関の高い説明変数の中から、説明変数同士の相関が高いものを探し、目的変数との相関の低い方を外した。そして、偏回帰係数と相関係数の符号が一致しているか確認することにより多重共線性を回避した。また、説明変数の数を考慮した回帰分析の当ては

まりの指標である自由度修正済決定係数 (R^2) の尺度を用いて、説明変数の絞り込みを行った⁸⁾。得られたそれぞれの推定式を以下に示す。

赤土 2 号坏土の吸水率の推定式

$$\text{吸水率 (\%)} = -0.24\text{Al}_2\text{O}_3 - 1.11\text{K}_2\text{O} - 4.19\text{CaO} + 11.3 \quad (\text{式 1})$$

赤土 3 号坏土の吸水率の推定式

$$\text{吸水率 (\%)} = -4.96\text{MgO} - 5.45\text{K}_2\text{O} - 4.33\text{CaO} + 23.2 \quad (\text{式 2})$$

図 2、3 に推定式 1 と式 2 により求めた吸水率の計算値と実測値との関係をそれぞれ示す。

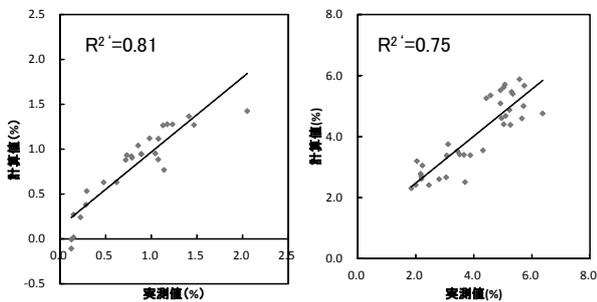


図 2 吸水率の計算値と実測値 (赤土 2 号) 図 3 吸水率の計算値と実測値 (赤土 3 号)

それぞれの自由度修正済決定係数は赤土 2 号坏土で $R^2=0.81$ 、赤土 3 号坏土で $R^2=0.75$ となった。赤土 2 号坏土に関しては、吸水率の計算値が負となるデータが 2 個 (No.23:-0.01%,No.25:-0.11%) あったが、図 2 に示すようにデータは負のままプロットした。

3-4 化学組成による吸水率の推定 (検証試験)

推定式を構築するのに使わなかったデータに対して推定式の予測性能を検証するため、現在生産している赤土 2 号坏土から 10 個、赤土 3 号坏土から 17 個のロットを抽出し、化学組成及び焼成後のテストピースの吸水率を測定した。得られた化学組成を使って、推定式 1 と式 2 により求めた吸水率の計算値を表 3、表 4 に示すとともに、吸水率の計算値と実測値との関係を図 4、図 5 に示す。

赤土 2 号坏土では、吸水率の計算値が負となるデータが 1 個 (No.34:-0.01%) あった。抽出した赤土 2 号坏土は、吸水率の実測値が全て 1.0% 未満であり、赤土 3 号坏土と比べて極めて低い値を示している。よって、赤土 2 号坏土の吸水率の推定は赤土 3 号坏土と比べて難しいと考えられる。ただし、図 4 に示すように、吸水率の実測値と計算値に大きな差はなく、最大の差でも 0.19 ポイント (No.32:実測値 0.26%, 計算値 0.07%) である。この

程度の差なら、坏土の迅速評価として、問題のある坏土を見分けるスクリーニング試験に実用上使用できると考えられる。すなわち、赤土 2 号坏土の化学組成から吸水率を推定できると判断した。赤土 3 号坏土も吸水率の実測値と計算値に大きな差は少ないため、赤土 2 号坏土同様に吸水率を推定できると判断した。

坏土の化学組成から焼成後のテストピースの吸水率を推定する方法は、高品質な坏土の安定供給につながるとともに、新しい原土の配合時にも役立つと考えられる。

表 3 化学組成と吸水率の実測値、計算値 (赤土 2 号坏土)

No.	赤土の号 試料名(ロット白)	化学組成 (%)										吸水率 (%)	
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	SO ₂	実測値	計算値
28	2015/11/04	61.0	25.3	7.43	1.15	0.37	1.37	3.06	0.10	0.02	0.09	0.19	0.15
29	2015/11/14	61.0	25.2	7.45	1.14	0.36	1.39	3.06	0.09	0.02	0.10	0.19	0.19
30	2015/11/24	61.1	25.3	7.36	1.14	0.36	1.36	3.02	0.10	0.02	0.10	0.22	0.23
31	2015/12/03	61.0	25.3	7.44	1.16	0.37	1.38	3.06	0.08	0.02	0.10	0.28	0.16
32	2015/12/07	60.8	25.5	7.39	1.16	0.37	1.38	3.07	0.06	0.02	0.10	0.26	0.07
33	2015/12/15	61.4	24.8	7.54	1.17	0.37	1.29	3.10	0.09	0.02	0.10	0.19	0.24
34	2015/12/28	60.5	25.4	7.70	1.20	0.38	1.39	3.15	0.09	0.02	0.10	0.12	-0.01
35	2016/05/12	62.9	24.6	6.56	1.15	0.36	1.34	2.83	0.07	0.02	0.09	0.52	0.61
36	2016/05/30	62.7	24.9	6.48	1.17	0.37	1.27	2.86	0.06	0.02	0.08	0.44	0.47
37	2016/06/14	63.0	24.8	6.39	1.18	0.41	1.19	2.80	0.06	0.02	0.08	0.58	0.40

表 4 化学組成と吸水率の実測値、計算値 (赤土 3 号坏土)

No.	赤土の号 試料名(ロット白)	化学組成 (%)										吸水率 (%)	
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	SO ₂	実測値	計算値
37	2015/12/01	63.7	25.3	5.78	1.06	0.30	1.10	2.43	0.07	0.02	0.11	3.27	3.26
38	2015/12/09	63.1	25.8	5.82	1.08	0.28	1.13	2.49	0.09	0.02	0.13	1.97	2.86
39	2015/12/10	63.2	25.5	5.97	1.10	0.29	1.07	2.54	0.07	0.02	0.13	2.20	2.80
40	2015/12/11	63.4	25.6	5.78	1.07	0.27	1.08	2.48	0.07	0.02	0.15	1.98	3.16
41	2015/12/16	62.9	26.0	5.79	1.11	0.28	1.09	2.49	0.06	0.02	0.12	2.02	3.06
42	2016/01/05	63.2	25.5	5.90	1.13	0.29	1.05	2.53	0.08	0.02	0.12	2.67	2.93
43	2016/01/15	63.1	25.8	5.82	1.10	0.28	1.12	2.52	0.06	0.02	0.13	2.06	2.66
44	2016/02/04	63.7	25.7	5.82	1.06	0.29	0.98	2.35	0.07	0.02	0.11	4.78	4.30
45	2016/02/06	63.7	25.6	5.70	1.07	0.30	0.94	2.39	0.02	0.02	0.11	5.23	4.21
46	2016/02/08	63.3	25.8	5.78	1.10	0.29	1.00	2.41	0.06	0.02	0.11	4.64	3.83
47	2016/03/17	62.6	26.0	6.04	1.10	0.28	1.11	2.49	0.06	0.02	0.13	2.07	2.91
48	2016/03/19	62.3	26.1	6.17	1.11	0.29	1.14	2.56	0.08	0.02	0.12	2.05	2.37
49	2016/04/26	63.2	25.8	5.83	1.07	0.29	1.08	2.45	0.06	0.02	0.12	2.34	3.28
50	2016/04/28	63.1	25.9	5.83	1.10	0.30	1.08	2.45	0.07	0.02	0.12	2.75	3.23
51	2016/04/30	63.8	25.4	5.86	1.09	0.29	1.06	2.39	0.04	0.02	0.12	4.16	3.68
52	2016/05/06	64.4	25.9	4.98	1.05	0.27	0.97	2.25	0.07	0.02	0.11	4.86	4.97
53	2016/05/07	63.9	25.5	5.56	1.06	0.28	1.07	2.36	0.05	0.02	0.12	3.96	3.85

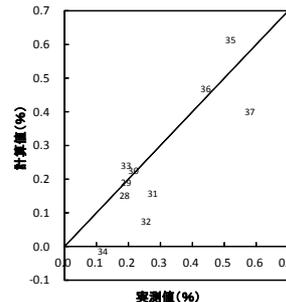


図 4 吸水率の計算値と実測値 (赤土 2 号)

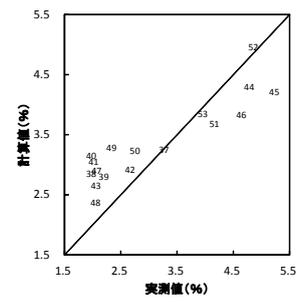


図 5 吸水率の計算値と実測値 (赤土 3 号)

4 まとめ

壺屋陶器事業協同組合の製土工場で生産している赤土2号・3号坏土を用いて、坏土の迅速評価の検討を行うため、坏土の化学組成からの焼成後のテストピースの吸水率の推定に取り組んだ。その結果、化学組成から吸水率が推定できることを確認し、坏土の迅速評価に関する知見を得た。

1. 赤土2号・3号坏土について、化学組成と焼成後のテストピースの吸水率との関係を重回帰分析により求めた。得られたそれぞれの推定式を以下に示す。
赤土2号坏土の吸水率の推定式
$$\text{吸水率}(\%) = -0.24\text{Al}_2\text{O}_3 - 1.11\text{K}_2\text{O} - 4.19\text{CaO} + 11.3$$
赤土3号坏土の吸水率の推定式
$$\text{吸水率}(\%) = -4.96\text{MgO} - 5.45\text{K}_2\text{O} - 4.33\text{CaO} + 23.2$$
2. 得られた推定式を用いて、現在生産している赤土2号・3号坏土の化学組成から焼成後のテストピースの吸水率を推定した結果、化学組成から吸水率を推定できることがわかった。

本研究は、平成25－27年度沖縄県産業振興重点研究推進事業の研究課題「壺屋焼原料の品質安定化に関する研究開発（2013技003）」として実施した。

謝辞

壺屋陶器事業協同組合の関係各位、並びに県企画部科学技術振興課の担当職員の皆様にご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 赤嶺公一, 宮城雄二, 與座範弘, 花城可英, 沖縄県工業技術センター技術情報誌通巻66号 vol.19 no.1, 1(2016)
- 2) 中村英二郎, 赤嶺公一, 島袋克史, 相馬大作, 宇佐美信志, 中根史, 花城可英, 沖縄県工業技術センター研究報告第16号平成24年度, 37-46(2013)
- 3) 愛知県常滑窯業技術センター, セラミックス 13(1978)No.4, 308(1978)
- 4) 林茂雄, 服部正明, 國枝勝利, 三重県窯業試験場年報平成2年度(vol.25), 15-25(1990)
- 5) 照屋善義, 沖縄の陶器技術と科学, 208(2000)
- 6) 木村邦夫, 陶石性状データベース
<http://www.kumin.ne.jp/vsi/pspdb/>
- 7) 木村邦夫, 立山博, 石橋修, 窯業協会誌94[7]1986, 689-693(1986)
- 8) 管民朗, Excelで学ぶ多変量解析入門(2003)

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。