

壺屋荒焼素地の開発に関する研究

窯業室 与座 範 弘
 宜野座 俊 夫
 照屋 善 義

まえがき

無釉の締焼は日本の六古窯（瀬戸・常滑・信楽・丹波立杭・越前・備前の各窯）製品にみられるように、その原料の特性をいかしその時代のニーズに対応した物をつくりだしていった。

沖縄の焼物も歴史的には南蛮系の無釉製品が古くから焼かれ、喜名焼、知花焼、古我知焼などとして知られている。

一方、壺屋焼は荒焼と上焼に大別され、化粧土や施釉などによったものを上焼、そうでないものの焼物を荒焼として区別されている。

壺屋の荒焼と上焼は1682年に知花窯（美里）、湧田窯（壺川）、宝口焼（首里）の三つの窯を現在の壺屋に統合移設した時点で、知花窯系と湧田窯系の一部を荒焼、宝口窯系を上焼として区別したのが大系化の始まりであろうと見做される。

壺屋荒焼は六古窯製品と同様、おおかた庶民の生活必需品を製造していた。すなわち、水がめ・酒がめ・味噌がめなどがそれである。

ところで、焼物は原料の違いによって焼成温度を異にし、それが製品の特徴に結びついている。そこで、原料と焼成温度の違いによる製品の分類を試みたのが表1である。

表1 原料と焼成温度による製品の分類

焼成温度	800℃	900℃	1,000℃	1,100℃	1,140℃	1,200℃	1,250℃	1,280℃	1,300℃
区 分	素 焼			荒 焼	締 焼		焼 締	無釉磁器	
原 料	ジャーガル	クチャ	マージ	黒 土 イ ー フ マ ー ジ ガマヌナーカ	上 焼 原 料		耐 火 性 原 料	-	
製 品	瓦、練瓦、花鉢、タイル、獅子、骨壺			泡 盛 壺 カ ー ミ 酒 器	泡盛壺、花器、 壺類		壺	-	
名 称	パ ナ リ 焼			壺屋荒焼	喜名焼、知花焼 古我知焼		-		

以前の荒焼原料は、現在の壺屋周辺の黒土とイーフ、マージなどを配合して使用したようである。都市化が進むに従って原材料の確保は困難になり、今ではジャーガルは一部使用されているものの、殆んどクチャと島尻マージを使用している状況にある。

一般に、窯業は資源・エネルギーの多消費型産業と見なされている。業界においても、時代の要請に答えて省エネ対策が講じられているものと考えられるが、窯業における省エネ対策の方策とし

ては①廃熱・副射熱の再利用、②迅速焼成、③低温焼成などが上げられる。

荒焼原料は、表1に示すように低温焼成素地である。従って、クチャ等の荒焼原料は省エネタイプの窯業原料としてその活用を図っていく必要があるが、クチャと以前の黒土とではその特性に違いが見られるため、荒焼製造においても種々な欠点を生じている。

そこで本研究では、従来の荒焼原料に対して上焼原料の一部を配合し、壺屋荒焼素地の開発を図ったのでその結果について報告する。

1 地質概要と試料採取地

沖縄本島恩納村以南の地質図と粘土試料採取地を図1に示した。

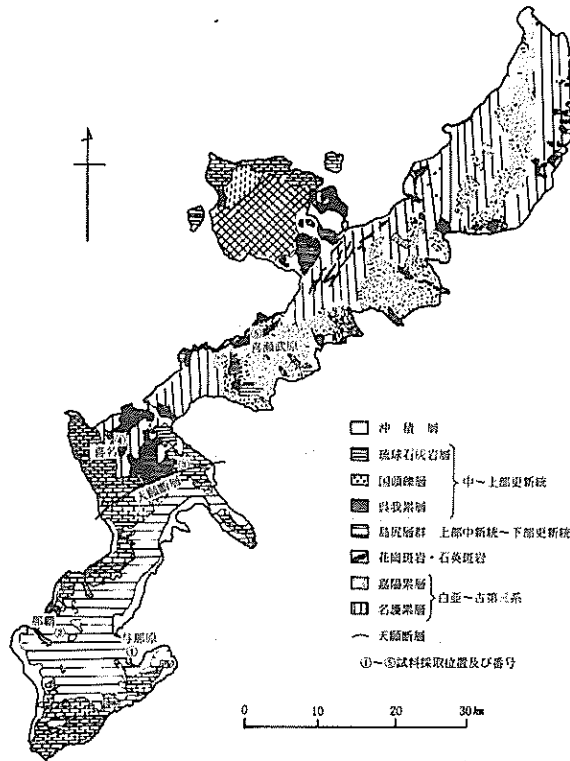


図1 沖縄本島の地質図と試料採取地

天願断層以北は、本部半島を除いてほぼ全域が国頭累帯に属しており、そのほか中～上部更新統に属する呉我累層、琉球石灰岩よりなる。

国頭累層は、白亜系～古第3系にわたる名護累層及び嘉陽累層に区分される。前者は泥質千枚岩・同片岩・砂質片岩・互層片岩・緑色片岩などの変成岩類からなり、後者は砂岩、粘板岩、泥岩、千枚岩、砂岩片岩・礫岩片岩など、砂質岩の発達するのが特徴である。

天願断層以南の沖縄本島中南部一帯は、大部分が後期中新世～前期更新世の堆積にかかわる海成の島尻層群からなり、中～上部更新統に属する琉球石灰岩が標高160 m前後の八重瀬岳・与座岳などの丘陵を形成し、島尻層群を覆って広く分布している。地表部に分布しているのは島尻層群の上半部で、これは主として帯青暗灰色の厚い粘土質シルト層からなり、下部及び最上部にシルト質砂・細粒砂層を挟有している。

2 試料の賦存性状

採取した試料とその賦存性状を表2に示した。当添粘土・石嶺粘土・知花粘土は、現在荒焼原料として使用されており、それぞれクチャ、ジャーガル、マージと称されているものである。喜名粘土・名嘉真粘土は上焼用原料として使用されており、砂質分の多い粘土である。

表2 試料と賦存性状

No	試料No	試料名	採取地	類別	鉱床の特徴と試料の性状
1	9011301	当添粘土	与那原町当添	堆積成粘土	島尻層群の与那原層を構成する暗灰色の泥質岩
2	90301	石嶺粘土	那覇市石嶺	堆積成粘土	島尻層群の泥灰岩に由来するオリブ褐色～明灰色の粘土。ゆるい傾斜地や平坦地にみられる。
3	9042101	知花粘土	沖縄市知花	風化残留成粘土	石灰岩に由来する黄色～黄褐色あるいは赤褐色の粘土、平坦地やゆるい傾斜地にみられる。
4	9040301	喜名粘土	読谷村喜名	堆積成粘土	天願断層は付近の読谷村喜名に賦存する水酸化鉄に富む赤色粘土で基盤岩の摺曲凹地に存在。
5	9040401	名嘉真粘土	恩納村名嘉真	堆積成粘土	恩納村名嘉真付近に賦存する赤色粘土で、砂質物を多く含むのが特徴。

3 試料の調製及び生性状

3・1 試料の調製

単味試料については原土を予め風乾後、ボールミル粉砕し42メツシュ篩を通し、脱水、ねかしを行なって供試料とした、配合試料については、クチャを主体としたクチャ系配合、ジャーガルを主体としたジャーガル系配合についてそれぞれ表3の割合で配合し、ボールミル粉砕後単味試料の処理に準じて供試料を調製した。

表3 試料の配合割合

1. 単味試料			2. 当添粘土－知花粘土系			3. 当添粘土－喜名粘土系		
配合No	試料名	配合比	配合No	配合比		配合No	配合比	
				当添粘土	知花粘土		当添粘土	喜名粘土
1-1	当添粘土	100	2-1	90	10	3-1	90	10
1-2	石嶺粘土	100	2-2	80	20	3-2	80	20
1-3	知花粘土	100	2-3	70	30	3-3	70	30
1-4	喜名粘土	100	2-4	60	40	3-4	60	40
1-5	名嘉真粘土	100	2-5	50	50	3-5	50	50

4. 石嶺粘土－知花粘土系			5. 石嶺粘土－喜名粘土系			6. 石嶺粘土－名嘉真粘土系		
配合No	配合比		配合No	配合比		配合No	配合比	
	石嶺粘土	知花粘土		石嶺粘土	喜名粘土		石嶺粘土	名嘉真粘土
4-1	90	10	5-1	90	10	6-1	90	10
4-2	80	20	5-2	80	20	6-2	80	20
4-3	70	30	5-3	70	30	6-3	70	30
4-4	60	40	5-4	60	40	6-4	60	40
4-5	50	50	5-5	50	50	6-5	50	50

3・2 粒度組成

アンドレアゼンピペット法による単味試料の粒度組成を図2に示す。

荒焼原料の当添粘土（クチャ）、石嶺粘土（ジャーガル）、知花粘土（マージ）の粒度組成は、2 μ 以下の粘土分側に累積しかなり細かい粘土である。特に石嶺粘土と知花粘土は粘土分を50%以上含み、原料としての諸特性に關与していることを示唆している。

上焼原料である喜名粘土は、30 μ 以上のシルト分と粘土分を同等程度含み、シルティークな粘土である。それに比して名嘉真粘土は、粘土分に富む原料である。

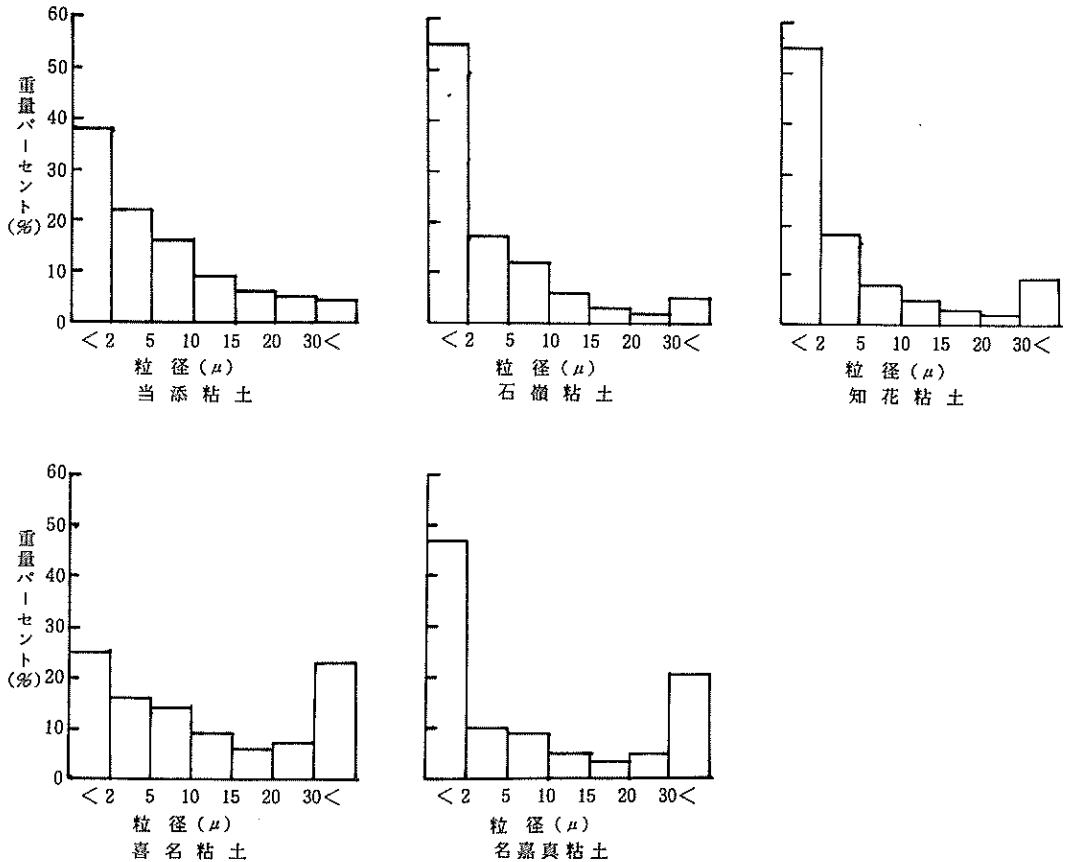


図2 試料の粒度分布

3・3 乾燥性状

表4に単味坯土の乾燥呈色と収縮率を示した。いずれの坯土も有色粘土であり、それぞれ特有の乾燥呈色を示している。乾燥収縮は、当然のことながら2 μ 以下の粘土分の多い粘土が高い値を示している。石嶺粘土、知花粘土、名嘉真粘土の収縮率は10%以上ときわめて高い。

表4 試料の乾燥性状

試料名	当添粘土	石嶺粘土	知花粘土	喜名粘土	名嘉真粘土
呈色	灰色	オリーブ褐色	黄褐色	黄赤色	赤褐色
収縮率(%)	4.02	10.82	11.91	7.53	10.33

3・4 可塑性

ペッファークーン法により試料の可塑性値を求めた。その結果を図3-(a)から図7-(a)と表5に示した。ペッファークーン値は変形比3.3の値の含水率をもって最大の可塑性を示すと定義されている。単味試料では、図3-(a)、表5に示すように、可塑性の傾向は、当添粘土-喜名粘土-名嘉真粘土-石嶺粘土-知花粘土の順に大きい。可塑性値の最小値は当添粘土の25.1%、最大値は知花粘土の35.8%である。この傾向は、粒度組成とも一致しており、細かい粘土ほど可塑性値が大きいことを示している。

表5 試料の可塑性と硬度

配合名	配合No	ペッファークーン値 (%)	硬 度 (mm)	含水率 (%)		差	中央値7.0mmにおける含水率 (%)	ペッファークーン値と中央値の含水率との差 (%)
				4.5	9.5			
単味試料	1-1	25.1	7.0	26.2	24.0	2.2	25.1	0
	1-2	30.6	9.2	33.6	30.4	3.2	32.0	+ 1.4
	1-3	35.8	8.1	38.4	34.8	3.6	36.6	+ 1.1
	1-4	27.7	8.5	29.8	27.2	2.6	28.5	+ 0.8
	1-5	28.9	8.9	31.5	28.5	3.0	30.0	+ 1.1
当添粘土系 知花粘土系	2-1	26.0	8.3	27.5	25.6	1.9	26.5	+ 0.5
	2-2	26.8	7.9	28.5	26.0	2.5	27.3	+ 0.5
	2-3	28.1	7.9	29.9	27.2	2.7	28.6	+ 0.5
	2-4	28.7	7.7	30.4	27.8	2.6	29.1	+ 0.4
	2-5	29.3	7.0	30.5	28.1	2.4	29.3	0
当添粘土系 喜名粘土系	3-1	25.6	4.5	25.6	23.8	1.8	24.7	- 1.1
	3-2	25.3	6.9	26.3	24.2	2.1	25.3	0
	3-3	25.3	6.8	26.4	24.1	2.3	25.2	- 0.1
	3-4	25.1	8.1	26.7	24.5	2.2	25.6	+ 0.5
	3-5	24.6	7.9	26.2	23.9	2.3	25.0	+ 0.4
石嶺粘土系 知花粘土系	4-1	31.1	8.9	33.6	30.8	2.8	32.2	+ 1.1
	4-2	31.8	8.9	34.6	31.4	3.2	33.0	+ 1.2
	4-3	32.0	9.5	35.0	32.0	3.0	33.5	+ 1.5
	4-4	32.5	8.1	34.8	31.6	3.2	33.2	+ 0.7
	4-5	32.6	8.9	35.4	32.3	3.1	33.8	+ 1.2
石嶺粘土系 喜名粘土系	5-1	30.6	8.5	33.1	30.0	3.1	31.6	+ 1.0
	5-2	29.6	8.8	32.2	29.1	3.1	30.7	+ 1.1
	5-3	29.6	8.4	31.6	29.1	2.5	30.3	+ 0.7
	5-4	28.6	8.4	31.0	27.9	3.1	29.5	+ 0.9
	5-5	28.3	8.6	30.6	27.8	2.8	29.2	+ 0.9
石嶺粘土系 名嘉真粘土系	6-1	30.5	8.0	32.7	29.5	3.2	31.1	+ 0.6
	6-2	30.1	7.9	32.2	29.2	3.0	30.7	+ 0.6
	6-3	29.8	8.8	32.4	29.4	3.0	30.9	+ 1.1
	6-4	29.6	8.0	31.7	28.7	3.0	30.2	+ 0.6
	6-5	29.4	8.0	31.5	28.4	3.1	30.0	+ 1.1

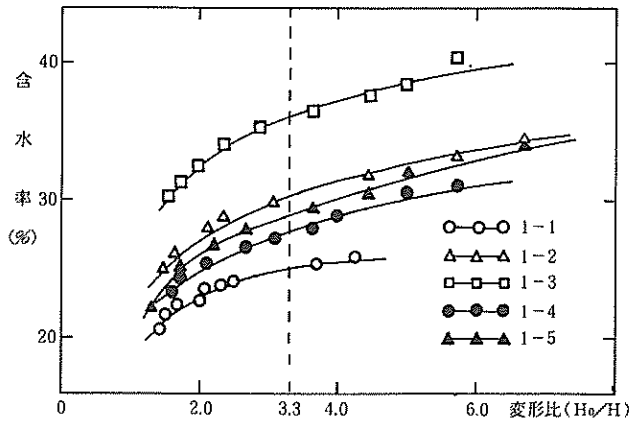


図 3-(a) 単味試料のペッファークーン値と含水率の関係

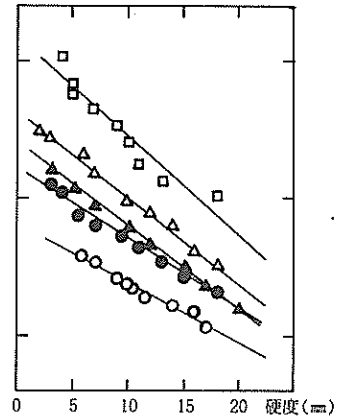


図 3-(b) 同系の粘土硬度と含水率の関係

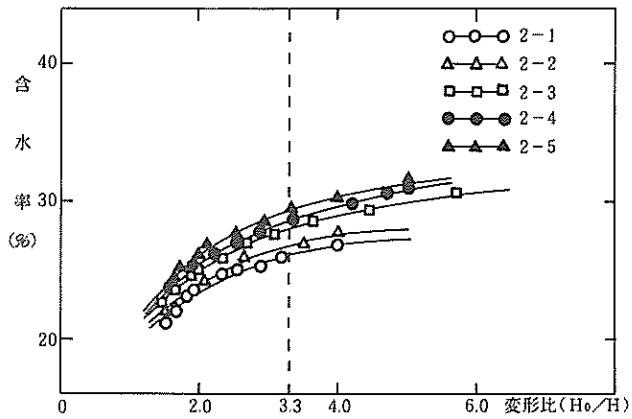


図 4-(a) 当添粘土-知花粘土系のペッファークーン値と含水率の関係

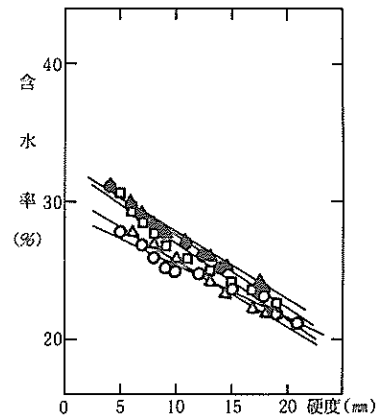


図 4-(b) 同系の粘土硬度と含水率の関係

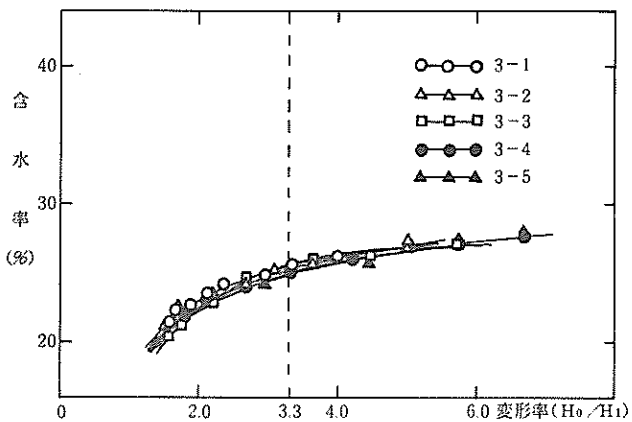


図 5-(a) 当添粘土-喜名粘土系のペッファークーン値と含水率の関係

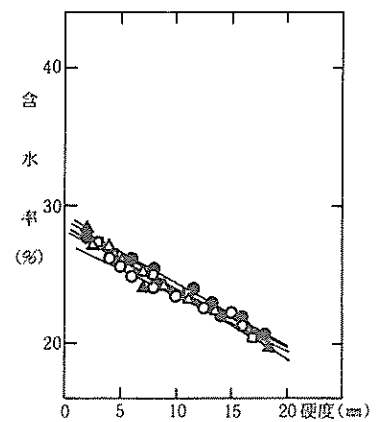


図 5-(b) 同系の粘土硬度と含水率の関係

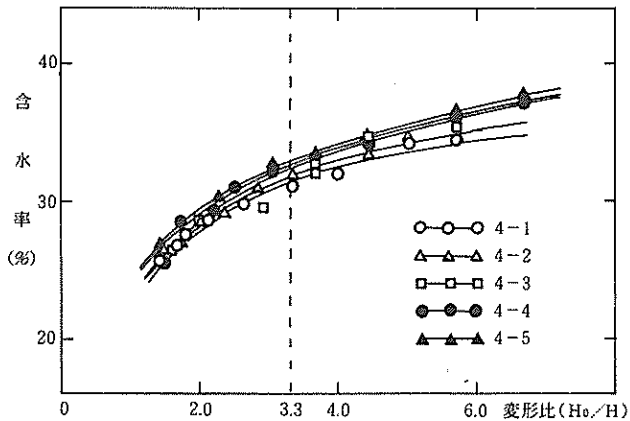


図 6-(a) 石嶺粘土-知花粘土系のペッファーコーン値と含水率の関係

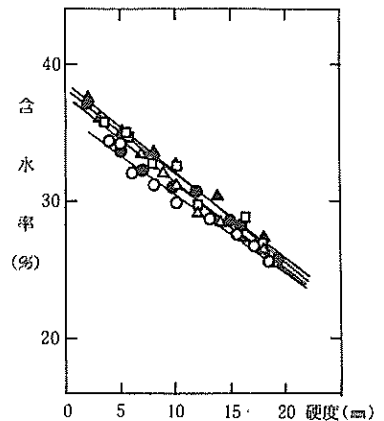


図 6-(b) 同系の粘土硬度と含水率との関係

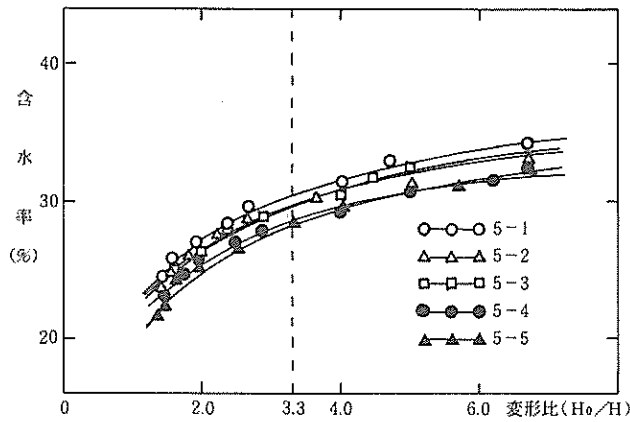


図 7-(a) 石嶺粘土-喜名粘土系のペッファーコーン値と含水率の関係

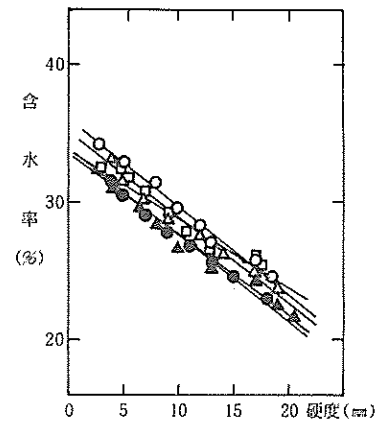


図 7-(b) 同系の粘土硬度と含水率との関係

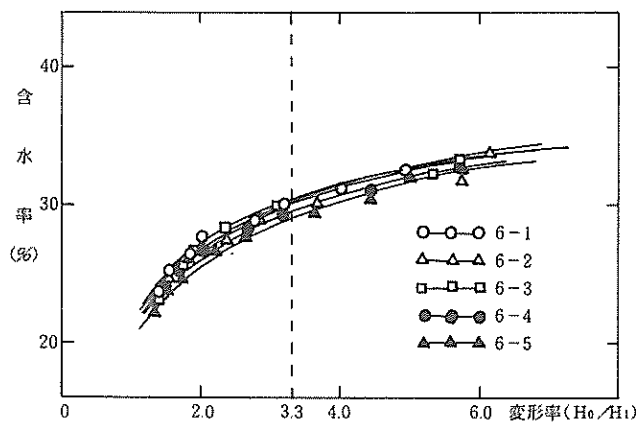


図 8-(a) 石嶺粘土-名嘉真粘土系のペッファーコーン値と含水率の関係

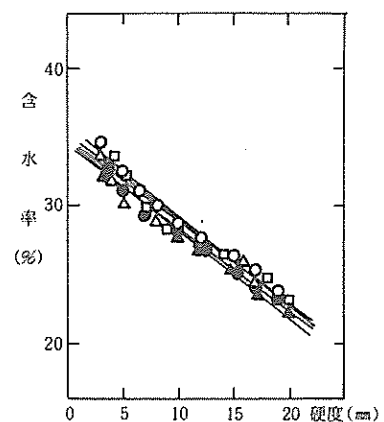


図 8-(b) 同系の粘土硬度と含水率との関係

また、表5と図4-(a)から図8-(a)に示すように、それぞれの粘土の配合系においても、単味試料の可塑性値の大きい配合系ほど、可塑性値が大きく単味原料の特性値が原料配合にも関与していることを示している。

図3-(b)から図8-(b)には、粘土硬度計（日碓製）による粘土の硬度と含水率の関係を示した。

粘土硬度の測定は、ペッファーコーン法で用いた測定直後の供試体に粘土硬度計の測定端子を突きさし、その時の硬度表示を読みとり粘土の硬度として示した。図が示すように、粘土の硬度と含水率の間には負の相関関係が認められる。

また表5には、ペッファーコーン法で求めた各試料の可塑性値（変形比 $H_0/H=3.3$ の時の含水率）を示してあるが、各配合系の硬度の最小値は、当添粘土90%と喜名粘土10%配合の4.5 mm、最大値は石嶺粘土70%と知花粘土30%配合の9.5 mmである。その他の試料は両者の範囲内におさまる。そこで、各試料の4.5 mmと9.5 mmの硬度と対応した含水率を求めた（表5）が両者の含水率の差は1.8%~3.6%の範囲内にあり、4.5 mmと9.5 mmの中央値（7.0 mm）の含水率とペッファーコーン値との差についてみると、土1.2%の間におさまる。

このことは坏土調製において、粘土硬度が7.0 mmになるように水分調製すればどの粘土系でも可塑性値を与えることを意味している。この結果は、先に行なった西表・八重山産粘土の試験結果ともほぼ一致している。

また、図3-(b)から図8-(b)において粘土硬度と含水率が直線関係にあることから、ある試料の二点の含水率と硬度を測定すれば、その直線関係から任意の硬度での含水率が簡易に推定できる。

3・4 化学組成と耐火度

単味試料の化学組成と耐火度を表6に示した。当添粘土、石嶺粘土は、耐火度がSK 2a前後で低く低耐火度粘土である。これは、鉄分やアルカリ(K_2O 、 Na_2O)及びアルカリ土類金属成分(CaO 、 MgO)等の融剤成分を多く含むためによるものと考えられる。

知花粘土、喜名粘土および名嘉真粘土は、鉄分が多い割りに耐火度がSK 17前後と比較的高いのは、融剤成分が少なく、アルミナ成分が高いためである。

表6 単味試料の化学組成と耐火度

No	試料名	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	CaO %	MgO %	K ₂ O %	Na ₂ O %	Ig. Loss %	耐火度
1	当添粘土	57.13	16.52	6.38	0.78	5.00	3.2	3.17	0.46	7.92	SK 2a ⁺
2	石嶺粘土	57.74	18.29	6.91	0.85	2.92	2.5	3.05	0.32	7.99	SK 3a
3	知花粘土	50.87	25.63	9.80	1.31	0.16	1.2	2.68	0.31	9.71	SK 17 ⁺
4	喜名粘土	62.61	19.51	7.44	0.92	0.09	0.7	2.33	0.14	6.79	SK 16
5	名嘉真粘土	67.82	18.43	4.98	0.66	0.11	0.2	1.25	0.16	6.72	SK 18

4 鉱物組成

各原料の粉末X線回折、熱分析、赤外線吸収スペクトルの測定結果をそれぞれ図9から図13に示した。これらの結果から、各原料には次の構成鉱物が推定される。

当添粘土 — 緑泥岩、雲母鉱物、カオリン鉱物、石英、カルサイト、長石

石嶺粘土 — 緑泥石、雲母鉱物、オリオン鉱物、石英、カルサイト、長石
 知花粘土 — 緑泥石、雲母鉱物、カオリン鉱物、石英、ゲータイト
 喜名粘土 — 緑泥石、雲母鉱物、カオリン鉱物、石英、ゲータイト
 名嘉真粘土 — カオリン鉱物、雲母鉱物、石英、ゲータイト

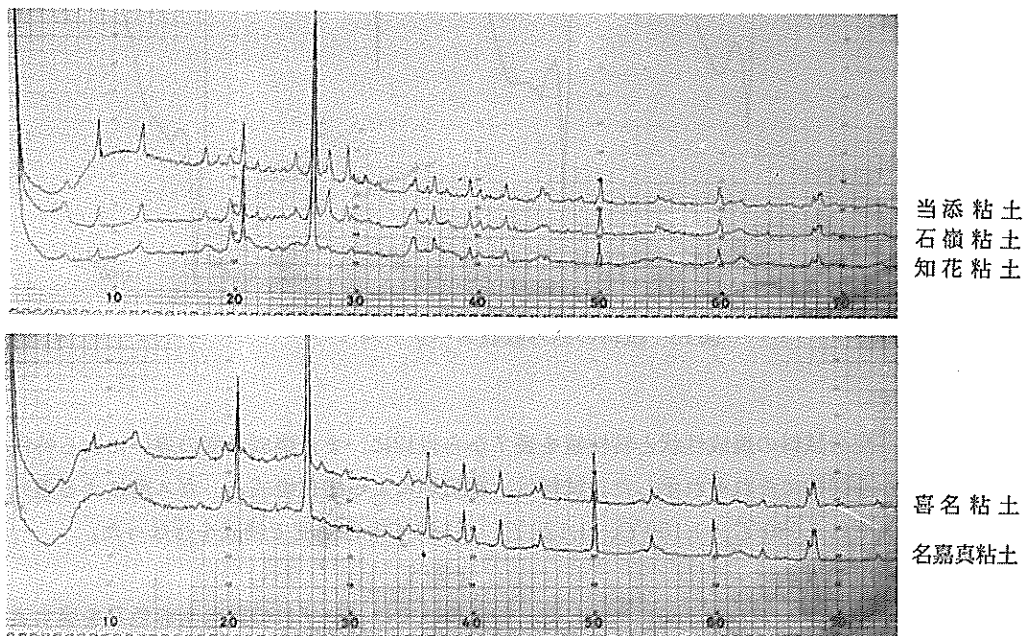


図9 試料の粉末X線回折図

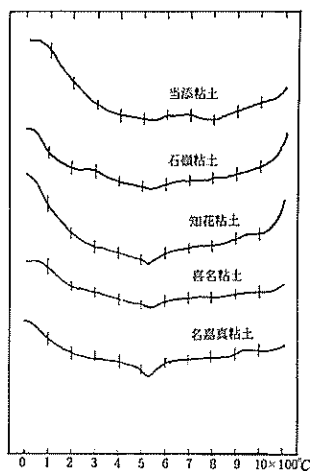


図10 試料の示差熱分析曲線

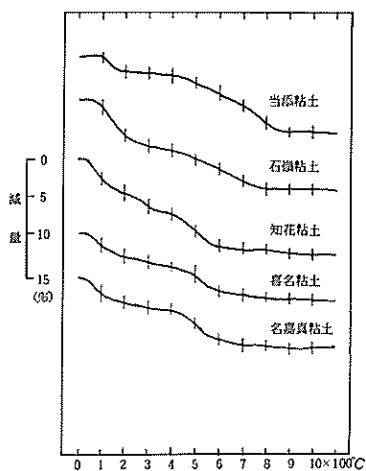


図11 試料の加熱重量変化曲線

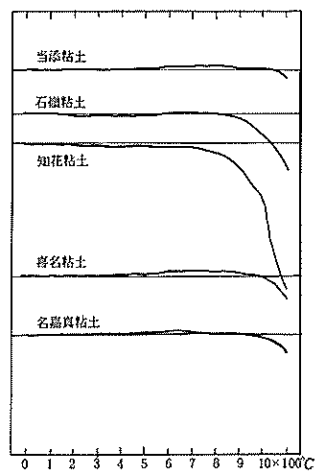


図12 試料の熱膨張曲線

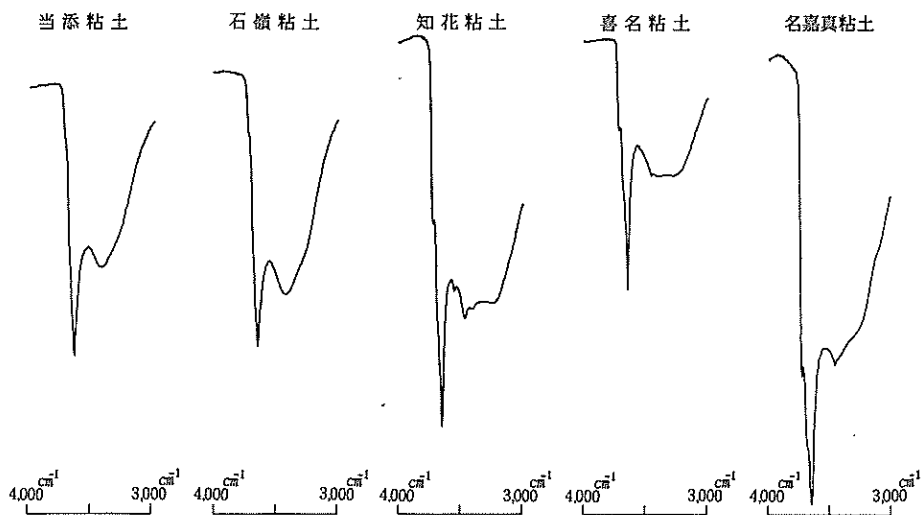


図13 試料の赤外吸収スペクトル

5 焼成性状

単味試料および配合試料の焼成性状と特性値を表7から表12に、また焼成温度の違いによる特性値の変化を図14から図19にそれぞれ示した。試料は、電気炉による酸化焼成と、ガス窯による還元焼成についてそれぞれ1,080℃、1,100℃、1,120℃、1,140℃の各温度で焼成を行なった。

5・1 単味試料の焼成性状

単味試料の焼成性状を表7および図14に示した。酸化焼成では、いずれの原料も赤色系を呈するが当添粘土では、白華現象が見られる。還元焼成では、概して赤褐色か黒褐色を示し、当添粘土と石嶺粘土は、1,140℃でいぶし瓦色となり膨化現象を起こすのが特徴的である。

諸特性値の変化を見ると、当添粘土は、乾燥収縮でも見られたように焼成収縮においても全収縮が5.4%と低い値を示している。吸水率等の変化においても酸化焼成では、焼き締る傾向は示さないが、還元焼成では、気孔率が1,100℃で32.16%だったものが1,120℃と20℃の温度上昇によって0.36%となって焼結していることを示しており、焼成巾が極めて狭い原料であることがわかる。石嶺粘土は、酸化焼成でも焼き締まる傾向を示し、還元焼成では、1,120℃で焼結する。また、石嶺粘土は試料の中で最も焼成強度の大きい原料である、酸化焼成で370 kgf/cm²、還元焼成では600 kgf/cm²を示した。知花粘土焼成体の特徴は、焼成収縮が極めて大きいこと、1,140℃（酸化）で殆んど焼結することであり、還元雰囲気では、1,080℃と低い温度から焼結の傾向を示すのが特徴的である。

喜名粘土と名嘉真粘土は、同様な特性値を示すが、両粘土とも上焼原料であり還元雰囲気では焼き締まる傾向を示すものの当然のことながら低温域での焼結は起こってない。

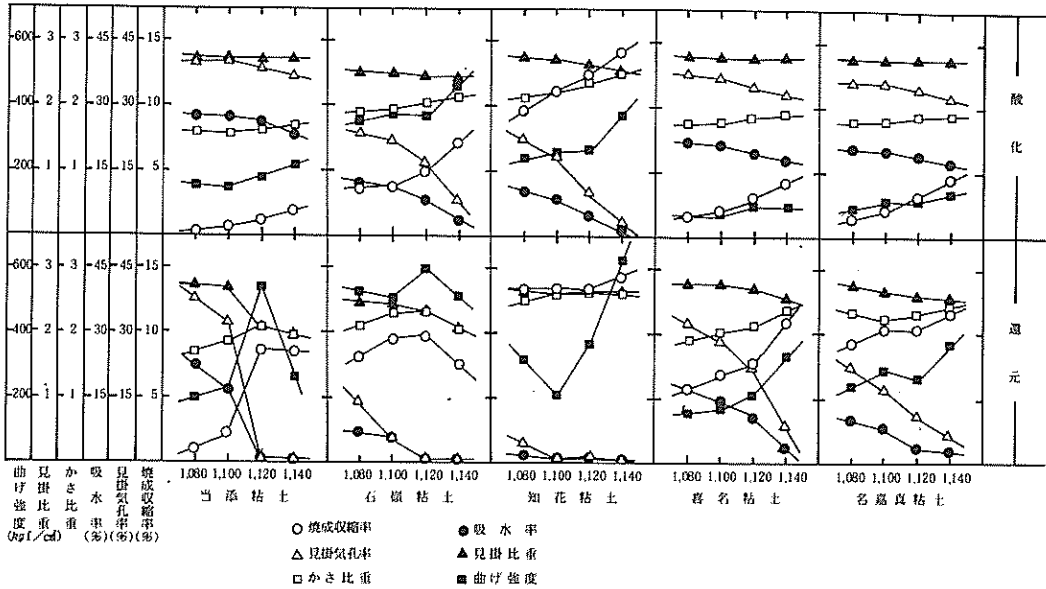


図14 単焼成体の焼成温度と特性値の変化

5・2 配合系の焼成性状

5・2・1 当添粘土-知花粘土系の焼成性状 (表8、図15)

この配合系では、知花粘土の増えるに従って吸水率が低下し、収縮率や強度が大きくなる傾向にある。酸化焼成では、十分焼結しないが還元焼成の1,120°Cにおいて焼結し、1,140°Cでは逆に膨化現象を引き起す。この配合系では、当添粘土の特性値の影響が強く現われている。この配合系では、当添粘土50%と知花粘土50%の配合比が、特性値において良い結果を与えている。

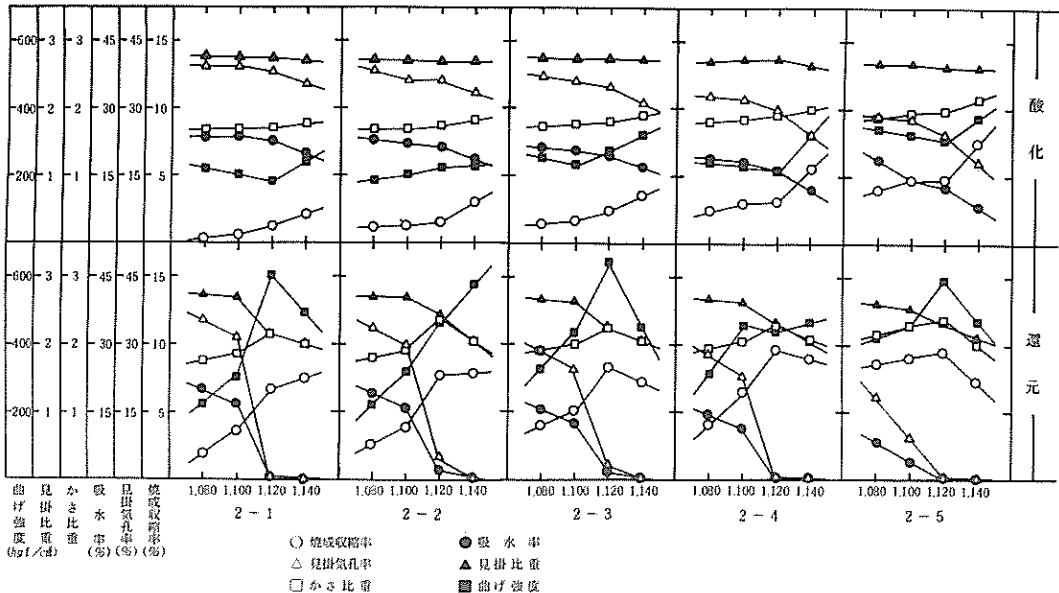


図15-当添粘土-知花粘土系の焼成温度と特性値の変化

表 8 当添粘土—知花粘土系の焼成性状と特性値

配合 No	2-1					2-2					2-3					2-4					2-5								
	1,080	1,100	1,120	1,140	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140
焼成温度(°C)	1,080	1,100	1,120	1,140	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140
収縮率(%)	酸化焼成	0.4	0.7	1.2	2.0	1.1	1.2	1.5	2.9	2.9	1.4	1.7	2.3	3.4	3.4	2.4	2.9	3.1	5.4	5.4	3.8	4.7	4.8	7.5	7.5	3.8	4.7	4.8	7.5
	還元焼成	5.8	6.5	7.1	8.8	8.6	8.3	8.1	10.0	10.0	9.2	9.5	10.2	10.8	10.8	10.5	10.8	11.4	13.0	13.0	11.4	13.7	13.4	15.8	15.8	11.4	13.7	13.4	15.8
吸水率(%)	酸化焼成	1.8	3.4	6.7	7.4	2.5	3.8	7.9	8.0	8.0	3.9	4.9	8.3	7.9	7.9	4.1	6.4	9.6	8.9	8.9	8.6	9.0	9.4	7.2	7.2	8.6	9.0	9.4	7.2
	還元焼成	7.5	8.9	11.8	11.6	9.3	10.9	14.9	14.7	14.7	10.5	10.9	14.5	13.8	13.8	11.5	14.2	17.2	16.1	16.1	16.7	16.5	16.8	15.1	15.1	16.7	16.5	16.8	15.1
見かけ気孔率(%)	酸化焼成	23.63	23.33	22.47	20.05	22.65	22.09	21.05	18.38	18.38	21.28	20.56	19.46	16.63	16.63	18.04	17.58	15.88	12.15	12.15	18.49	14.47	12.47	8.41	8.41	18.49	14.47	12.47	8.41
	還元焼成	20.03	16.94	0.26	0.05	19.14	15.82	22.03	0.10	0.10	15.35	12.30	1.49	0.10	0.10	14.40	11.32	0.20	0.06	0.06	8.64	4.17	0.11	0.09	0.09	8.64	4.17	0.11	0.09
かさ比重	酸化焼成	39.44	39.03	38.08	35.31	38.09	37.38	36.26	33.36	33.36	36.93	36.10	34.71	31.27	31.27	32.74	29.93	24.38	24.38	28.78	27.99	24.73	18.03	18.03	28.78	27.99	24.73	18.03	
	還元焼成	35.31	31.44	0.55	0.10	34.13	29.94	44.68	0.21	0.21	29.11	24.52	3.36	0.20	0.20	27.91	23.09	0.45	0.12	0.12	18.37	9.65	0.25	0.17	0.17	18.37	9.65	0.25	0.17
見かけ比重	酸化焼成	1.67	1.67	1.69	1.76	1.68	1.69	1.72	1.82	1.82	1.74	1.76	1.78	1.88	1.88	1.81	1.83	1.88	2.00	2.00	1.89	1.94	1.98	2.14	2.14	1.89	1.94	1.98	2.14
	還元焼成	1.76	1.85	2.13	1.99	1.78	1.89	2.33	2.01	2.01	1.90	2.00	2.23	2.05	2.05	1.93	2.03	2.29	2.07	2.07	2.13	2.29	2.36	1.98	1.98	2.13	2.29	2.36	1.98
曲強(kgf/cm ²)	酸化焼成	2.76	2.74	2.74	2.72	2.72	2.70	2.70	2.71	2.71	2.75	2.75	2.73	2.74	2.74	2.70	2.69	2.69	2.65	2.65	2.66	2.69	2.63	2.62	2.62	2.66	2.69	2.63	2.62
	還元焼成	2.73	2.71	2.13	2.00	2.71	2.70	2.44	2.02	2.02	2.68	2.64	2.31	2.05	2.05	2.69	2.65	2.32	2.07	2.07	2.61	2.53	2.36	2.09	2.09	2.61	2.53	2.36	2.09
焼成性状	酸化焼成	223	200	185	242	185	202	222	230	230	257	231	269	325	325	246	227	265	321	321	340	325	308	374	374	340	325	308	374
	還元焼成	227	303	609	499	222	320	475	584	584	325	434	648	452	452	311	454	442	467	467	416	457	596	469	469	416	457	596	469
焼成性状	酸化焼成	赤褐色	"	"	"	赤褐色	"	"	"	赤褐色	"	"	"	"	赤褐色	"	"	"	"	"	赤褐色	"	"	"	"	"	赤褐色	"	"
	還元焼成	茶褐色	"	黒褐色	いぶし瓦色	黒褐色	"	黒褐色	いぶし瓦色	黒褐色	茶褐色	"	黒褐色	いぶし瓦色	黒褐色	茶褐色	"	黒褐色	黒褐色	黒褐色	暗褐色	"	灰黒色	いぶし瓦色	いぶし瓦色	暗褐色	"	灰黒色	いぶし瓦色

5・2・2 当添粘土-喜名粘土系の焼成性状 (表9、図16)

この配合系では、喜名粘土の配合割合が増すに従って収縮率は大きくなり、気孔率と吸水率は小さくなる傾向を示すものの焼結するまでには至らない。1,120℃の還元雰囲気ではじめて焼結化が見られる、その温度以上では膨化現象を起すことから当添粘土の特徴が現われている。この配合系では、当添粘土60%、喜名粘土40%の配合比が特性値においてよい結果を示している。

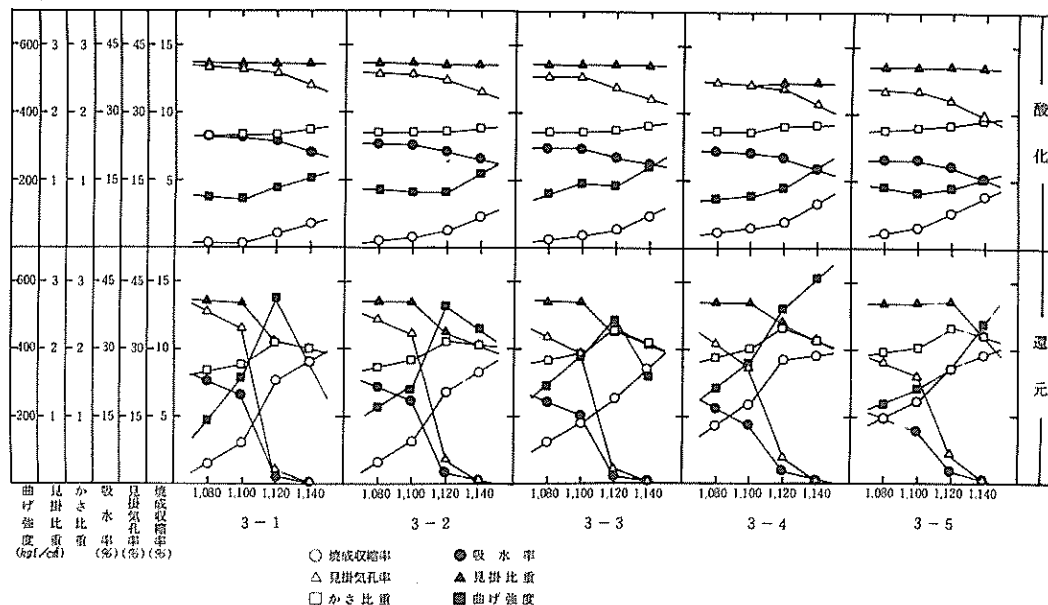


図16 当添粘土-喜名粘土系焼成体の焼成温度と特性値の温度

5・2・3 石嶺粘土-知花粘土系の焼成性状 (表10、図17)

この配合系の酸化焼成体は、知花粘土を増すに従って気孔率、吸水率が減少し、強度や収縮率が増加するところから1,140℃ではどの配合比でも焼き締まる傾向にある。還元焼成では、1,100℃で焼結するもののそれ以上の焼成温度では膨化現象を引き起こしている。この配合系では、石嶺粘土70%、知花粘土30%の配合比が焼成性状に良い結果を与えており、業者の配合比ともよく一致している。

5・2・4 石嶺粘土-喜名粘土系の焼成性状 (表11、図18)

この配合系では、喜名粘土の影響が現われているものの、その増減によってあまり差は認められない。すなわち、酸化焼成において温度上昇とともに焼き締っていく傾向にはあるが、焼結までには至らない。還元焼成では、どの配合比でも1,120℃で焼結するが、それ以上の温度では膨化するため、石嶺粘土の影響が現われているものと考えられる。

この配合系では、石嶺粘土80%、喜名粘土20%の配合比が焼成性状に良い結果を与えている。

表9 当添粘土-喜名粘土系の焼成性状と特性値

配合 No	3-1				3-2				3-3				3-4				3-5				
	1,080	1,100	1,120	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	
焼成温度 (°C)																					
収縮率 (%)	酸化焼成	0.3	0.9	1.7	2.2	0.5	0.8	1.3	2.3	1.1	1.4	1.8	3.2	1.1	1.4	1.8	3.2	1.1	1.4	2.6	3.8
	全収縮	5.4	5.5	6.0	7.1	5.5	6.5	6.7	7.4	7.7	8.1	8.9	10.0	7.8	8.3	9.0	10.0	7.8	8.3	10.0	12.0
吸水率 (%)	還元焼成	1.4	2.9	7.6	8.3	1.6	3.0	6.7	8.7	4.2	5.8	9.2	9.5	4.9	6.1	8.1	9.5	4.9	6.1	8.1	9.5
	全収縮	6.1	7.3	12.1	12.5	6.8	8.3	11.3	12.9	7.7	9.5	2.5	13.8	9.0	10.9	14.0	14.5	10.7	11.6	13.2	14.5
見かけ気孔率 (%)	酸化焼成	24.36	23.91	23.33	21.00	22.90	22.81	21.33	19.71	22.14	21.79	20.39	18.37	21.46	21.13	20.19	17.51	19.99	19.64	18.08	15.58
	還元焼成	22.94	19.60	1.53	0.09	21.13	18.46	2.50	0.13	18.00	15.10	1.60	0.08	16.81	13.03	2.56	0.17	13.93	11.81	2.83	0.21
かさ比重	酸化焼成	39.94	39.41	38.85	36.39	38.57	38.47	37.17	34.77	37.63	37.76	35.64	33.19	36.93	36.47	35.73	32.09	35.25	34.82	33.55	29.58
	還元焼成	38.30	34.53	3.20	0.17	36.37	33.34	5.26	0.26	32.74	28.91	3.51	0.17	31.24	25.97	5.77	0.36	27.23	24.02	6.53	0.44
見かけ比重	酸化焼成	1.64	1.65	1.66	1.73	1.69	1.69	1.71	1.76	1.70	1.71	1.75	1.81	1.72	1.72	1.82	1.83	1.76	1.78	1.82	1.90
	還元焼成	1.67	1.76	2.08	1.99	1.72	1.81	2.10	2.03	1.82	1.93	2.25	2.07	1.86	1.99	2.31	2.12	1.95	2.03	2.31	2.18
曲げ強度 (kgf/cm ²)	酸化焼成	2.73	2.72	2.72	2.72	2.74	2.74	2.72	2.71	2.73	2.72	2.72	2.71	2.73	2.71	2.71	2.70	2.72	2.72	2.71	2.69
	還元焼成	2.71	2.69	2.08	1.99	2.71	2.71	2.23	2.03	2.70	2.69	2.21	2.08	2.70	2.69	2.39	2.13	2.69	2.68	2.70	2.19
焼成性状	酸化焼成	148	144	175	202	176	167	164	215	158	187	181	236	143	151	179	233	180	164	180	201
	還元焼成	187	312	548	353	226	276	530	457	287	376	487	320	281	361	518	609	337	380	438	571
焼成性状	酸化焼成	淡赤色	"	"	"	淡赤色	"	"	淡赤色	"	"	"	いぶし瓦色	赤褐色	"	"	赤褐色	赤褐色	"	"	茶褐色
	還元焼成	赤褐色	"	いぶし瓦色	いぶし瓦色	赤褐色	"	緑褐色	いぶし瓦色	赤褐色	"	黒(膨化)褐色	いぶし瓦色	赤褐色	"	"	黒(膨化)褐色	茶褐色	"	"	黒褐色

表10 石嶺粘土—知花粘土系の焼成性状と特性値

配合 No	4-1				4-2				4-3				4-4				4-5				
	1,080	1,100	1,120	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	
焼成温度 (°C)																					
収縮	酸化焼成	4.3	5.0	6.4	9.1	5.4	7.6	9.0	5.5	6.3	7.6	8.9	8.6	9.1	10.5	11.7	9.2	9.2	10.2	10.7	
	全収縮	15.6	16.3	17.6	19.6	15.5	14.7	17.7	15.0	15.8	17.5	18.1	18.4	19.6	20.5	21.7	18.1	18.3	19.6	20.0	
率 (%)	還元焼成	8.5	9.2	8.9	6.5	8.7	8.6	8.1	10.0	10.2	9.0	8.1	10.7	10.8	9.6	9.7	10.4	10.4	10.0	9.2	
	全収縮	18.5	18.8	18.8	18.0	18.2	18.1	17.1	20.3	19.9	18.6	18.2	20.3	20.2	18.9	19.1	20.6	20.6	20.1	20.0	
吸水率 (%)	酸化焼成	11.06	9.60	6.46	2.38	9.02	7.73	5.16	8.61	6.87	4.58	0.69	6.16	4.52	1.18	0.23	5.07	3.62	0.48	0.21	
	還元焼成	3.41	0.26	0.21	0.12	2.51	0.27	0.22	0.64	0.20	0.22	0.20	0.39	0.19	0.16	0.24	0.25	0.17	0.23	0.35	
見かけ気孔率 (%)	酸化焼成	21.72	19.42	13.99	5.63	18.43	16.08	11.36	18.02	14.85	10.55	1.65	13.55	10.35	2.80	0.55	11.50	8.08	1.19	0.52	
	還元焼成	7.75	0.63	0.49	0.24	5.79	0.66	0.52	1.52	0.51	0.52	0.43	0.96	0.48	0.39	0.53	0.76	0.42	0.56	0.80	
かさ比重	酸化焼成	1.96	2.01	2.12	2.30	2.04	2.08	2.20	2.10	2.16	2.30	2.40	2.20	2.26	2.37	2.45	2.27	2.32	2.48	2.47	
	還元焼成	2.26	2.39	2.34	2.04	2.31	2.40	2.35	2.39	2.45	2.37	2.19	2.43	2.47	2.41	2.20	2.48	2.52	2.43	2.29	
見かけ比重	酸化焼成	2.51	2.48	2.45	2.44	2.51	2.48	2.48	2.56	2.54	2.57	2.44	2.54	2.52	2.44	2.46	2.56	2.53	2.51	2.48	
	還元焼成	2.46	2.40	2.35	2.04	2.44	2.41	2.37	2.43	2.47	2.38	2.20	2.46	2.48	2.42	2.11	2.50	2.53	2.45	2.31	
曲げ強度 (kgf/cm ²)	酸化焼成	336	356	380	520	375	417	425	400	368	522	609	309	404	499	428	355	358	540	540	
	還元焼成	617	565	619	487	611	662	687	554	646	711	574	552	630	709	767	639	598	781	744	
焼成性状	酸化焼成	赤褐色	"	茶褐色	"	赤褐色	"	茶褐色	赤褐色	"	茶褐色	いぶし瓦色	赤褐色	"	茶褐色	赤褐色	赤褐色	"	"	茶褐色	
	還元焼成	茶褐色	"	黒褐色	いぶし瓦色	茶褐色	"	黒褐色	茶褐色	"	黒褐色	いぶし瓦色	茶褐色	"	黒褐色	いぶし瓦色	茶褐色	"	黒褐色	いぶし瓦色	

表11 石嶺粘土—喜名粘土系の焼成性状と特性値

配合 No	5-1				5-2				5-3				5-4				5-5			
	1,080	1,100	1,120	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140
焼成温度(°C)	1,080	1,100	1,120	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140
	酸化焼成	酸化焼成	酸化焼成	酸化焼成	酸化焼成	酸化焼成	酸化焼成	酸化焼成	酸化焼成	酸化焼成	酸化焼成	酸化焼成	酸化焼成	酸化焼成	酸化焼成	酸化焼成	酸化焼成	酸化焼成	酸化焼成	酸化焼成
収縮率(%)	4.1	4.5	6.6	8.9	3.8	4.3	5.5	7.7	4.08	4.43	6.07	7.86	4.28	4.87	6.13	7.92	4.59	4.96	6.05	8.18
	15.1	16.0	18.3	20.0	12.7	12.9	14.8	16.6	13.76	14.07	15.70	17.52	14.72	14.73	16.75	17.83	14.32	14.60	15.70	17.87
還元焼成率(%)	8.4	9.3	9.0	6.2	8.0	8.4	8.1	7.3	8.5	8.9	9.4	8.7	8.7	10.0	9.6	9.5	8.2	8.5	9.3	9.5
	18.1	19.6	19.3	16.7	17.3	18.3	18.0	16.7	17.5	17.4	18.3	17.8	16.4	18.0	17.7	17.3	14.8	15.7	16.5	17.3
吸水率(%)	12.35	11.15	8.20	4.24	12.38	11.24	8.09	4.32	13.06	11.91	8.78	4.69	12.86	11.61	8.91	4.75	13.02	11.99	8.77	5.25
	3.94	0.65	0.13	0.06	3.75	0.56	0.14	0.10	4.52	1.69	0.26	0.13	4.64	2.71	0.16	0.14	5.77	2.97	0.16	0.10
見かけ気孔率(%)	23.64	21.78	17.88	9.51	23.81	22.09	16.72	9.66	25.14	23.46	18.13	10.44	25.08	23.11	18.55	10.58	25.47	24.00	18.45	11.72
	8.82	1.13	0.17	0.12	8.45	1.33	0.33	0.22	10.15	3.98	0.55	0.26	10.44	6.34	0.38	0.30	13.04	6.96	0.42	0.22
かさ比重	1.91	1.95	2.05	2.24	1.92	1.96	2.07	2.25	1.93	1.97	2.06	2.23	1.95	1.99	2.08	2.23	1.96	2.00	2.10	2.23
	2.22	2.36	2.31	2.09	2.26	2.39	2.35	2.14	2.25	2.37	2.36	2.23	2.25	2.35	2.39	2.25	2.20	2.35	2.38	2.31
見かけ比重	2.51	2.50	2.47	2.48	2.52	2.53	2.48	2.48	2.57	2.57	2.52	2.49	2.60	2.59	2.56	2.49	2.62	2.64	2.58	2.53
	2.46	2.39	2.31	2.09	2.46	2.42	2.37	2.14	2.50	2.47	2.37	2.24	2.51	2.51	2.40	2.26	2.53	2.52	2.39	2.30
曲強(kgf/cm ²)	310	331	319	456	310	329	388	469	277	294	325	397	264	276	308	340	236	250	293	319
	615	665	722	547	591	577	687	598	482	576	673	611	435	484	675	540	480	504	583	621
焼成性状	赤褐色	赤褐色	赤褐色	赤褐色	赤褐色	赤褐色	赤褐色	赤褐色	赤褐色	赤褐色	赤褐色	赤褐色	赤褐色	赤褐色	赤褐色	赤褐色	赤褐色	赤褐色	赤褐色	赤褐色
	茶褐色	茶褐色	茶褐色	茶褐色	茶褐色	茶褐色	茶褐色	茶褐色	茶褐色	茶褐色	茶褐色	茶褐色	茶褐色	茶褐色	茶褐色	茶褐色	茶褐色	茶褐色	茶褐色	茶褐色
	暗茶褐色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗茶褐色
	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色
	いぶし瓦色	いぶし瓦色	いぶし瓦色	いぶし瓦色	いぶし瓦色	いぶし瓦色	いぶし瓦色	いぶし瓦色	いぶし瓦色	いぶし瓦色	いぶし瓦色	いぶし瓦色	いぶし瓦色	いぶし瓦色	いぶし瓦色	いぶし瓦色	いぶし瓦色	いぶし瓦色	いぶし瓦色	いぶし瓦色
	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色

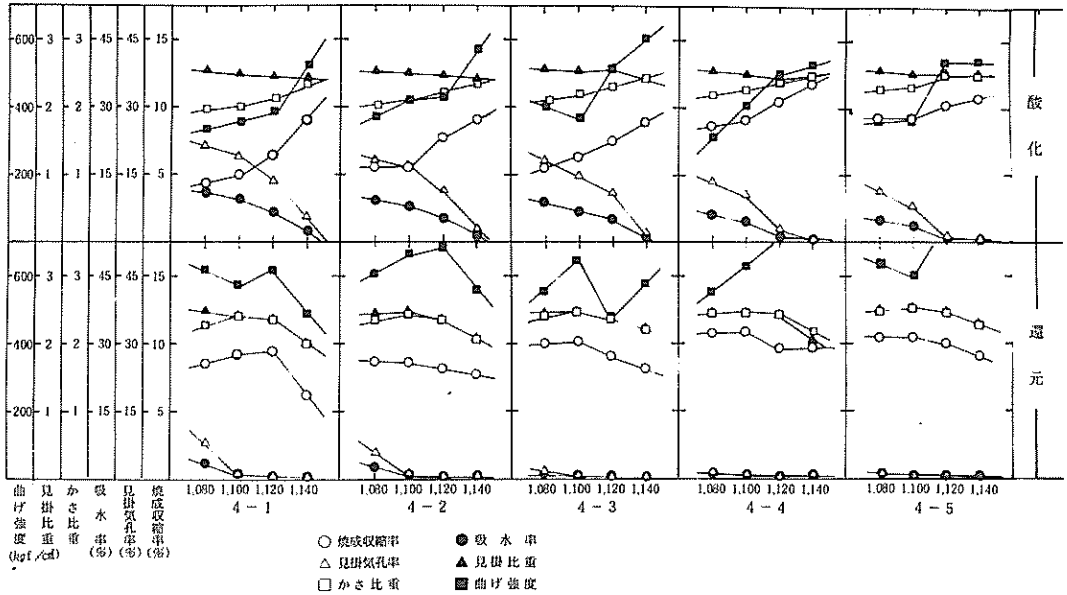


図17 石嶺粘土-知花粘土系焼成体の焼成温度と特性値の変化

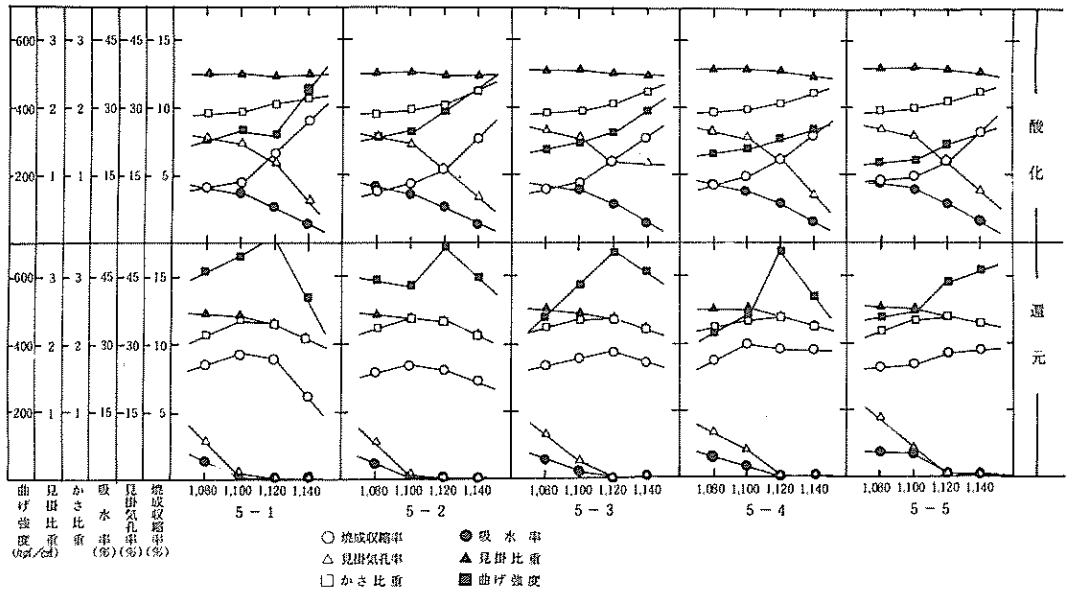


図18 石嶺粘土-喜名粘土系焼成体の焼成温度と特性値の変化

5・2・5 石嶺粘土-名嘉真粘土系の焼成性状 (表12、図19)

この配合系は、石嶺粘土-喜名粘土系の性状とほとんど類似した傾向を示し、名嘉真粘土の影響が大きい。この配合系からは石嶺粘土 80% 名嘉真粘土 20% の配合比が良好な焼成結果を得た。

以上のように、単味原料や配合系の試験結果は、それぞれの原料の特性値によく現われており、原料の長所と短所が理解できる。従って、原料配合にあたっては、個々の原料の特徴を如何に調和させるかが重要なポイントとなろう。

表12 石嶺粘土—名嘉真粘土の焼成性状と特性値

配 合 No	6-1					6-2					6-3					6-4					6-5						
	1,080	1,100	1,120	1,140	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	1,080	1,100	1,120	1,140	
焼成温度(°C)																											
収縮率(%)	酸化焼成	3.6	4.6	6.0	7.8	4.2	4.4	5.9	8.0	4.4	4.4	5.3	7.0	6.8	5.6	5.2	6.9	9.2	5.4	5.8	7.4	9.3					
	還元焼成	13.3	15.9	16.3	18.3	14.4	14.6	16.4	18.1	15.5	16.1	17.4	18.0	15.6	17.0	17.0	16.0	19.1	16.0	16.1	18.0	20.0					
吸水率(%)	酸化焼成	7.1	7.9	7.7	6.9	7.4	8.5	8.1	7.7	7.8	7.8	9.4	8.9	8.7	9.5	10.1	10.1	10.1	9.8	10.6	10.4	10.8					
	還元焼成	18.1	18.6	17.8	17.7	17.1	18.2	17.5	17.0	16.8	17.6	18.0	17.2	20.4	21.0	21.0	21.1	21.4	20.4	21.3	21.0	21.5					
見かけ気孔率(%)	酸化焼成	12.24	10.78	7.82	3.77	12.72	11.34	8.53	4.44	10.21	9.12	6.46	3.04	10.86	9.52	6.18	3.05	10.71	9.25	6.02	3.22						
	還元焼成	5.14	0.91	0.25	0.18	3.57	0.31	0.23	0.11	3.67	0.29	0.20	0.13	2.84	0.43	0.25	0.09	3.04	1.34	0.30	0.14						
かさ比重	酸化焼成	23.50	21.21	16.14	8.51	24.41	22.16	17.47	9.87	20.39	18.60	13.78	6.96	21.72	19.50	13.35	7.07	21.55	19.01	13.09	7.41						
	還元焼成	11.13	2.13	0.60	0.38	8.05	0.73	0.55	0.23	8.33	0.70	0.48	0.28	6.61	1.05	0.59	0.22	7.06	3.22	0.71	0.34						
見かけ比重	酸化焼成	1.92	1.97	2.06	2.25	1.92	1.95	2.05	2.22	2.00	2.04	2.13	2.29	2.00	2.05	2.16	2.31	2.01	2.06	2.17	2.30						
	還元焼成	2.17	2.33	2.33	2.09	2.25	2.38	2.37	2.19	2.27	2.40	2.39	2.22	2.33	2.42	2.41	2.31	2.32	2.40	2.42	2.35						
曲げ強度(kgf/cm ²)	酸化焼成	2.51	2.50	2.46	2.46	2.54	2.51	2.48	2.47	2.51	2.51	2.47	2.46	2.56	2.55	2.49	2.49	2.57	2.54	2.50	2.48						
	還元焼成	2.44	2.38	2.34	2.09	2.45	2.40	2.38	2.19	2.48	2.42	2.40	2.25	2.49	2.44	2.42	2.42	2.49	2.48	2.44	2.35						
焼成性状	酸化焼成	赤褐色	"	"	赤褐色	赤褐色	"	"	赤褐色	赤褐色	"	"	赤褐色	赤褐色	赤褐色	"	"	赤褐色	赤褐色	"	赤褐色	赤褐色	赤褐色	"	"	"	
	還元焼成	茶褐色	暗茶褐色	暗黒褐色	いぶし瓦色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗黒褐色	いぶし瓦色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗黒褐色	いぶし瓦色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗黒褐色	いぶし瓦色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗黒褐色	暗茶褐色	暗茶褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	暗黒褐色	

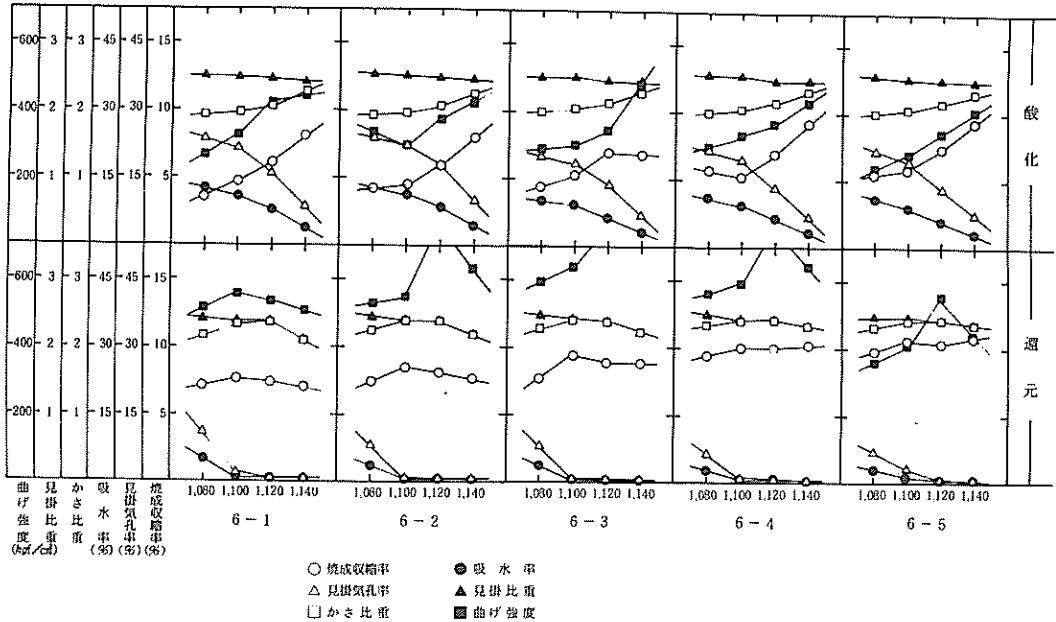


図19 石嶺粘土-名嘉真粘土系焼成体の焼成温度と特性値の変化

6 試作試験

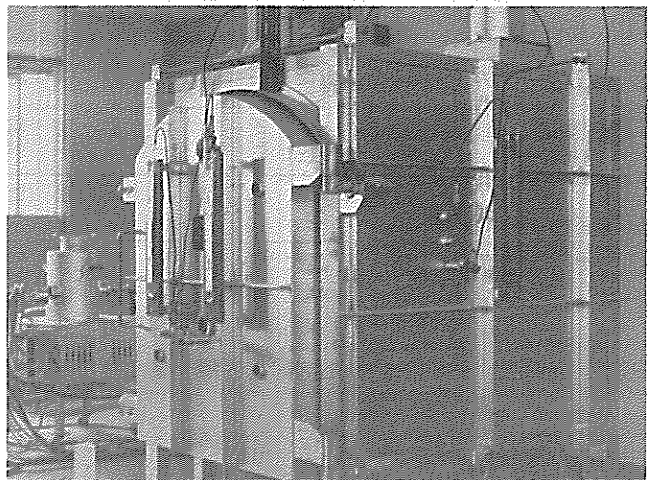
以上の諸試験結果に基づいて検討し、製品化試験を行なった。写真1には使用した灯油焼成窯、図20は焼成温度曲線（酸化）の一例を示す。

使用した坯土素地は、表3の配合No.の2-3、2-5、4-3、4-5、6-1の5種類でクチャ系とジャーガル系を用いた。

試作製品化試験においては、荒焼素地が古酒泡盛のパッケージとしての機能性を高く評価し、古酒泡盛壺の試作を行なった。写真2と写真3には、試作品の例を示す。

泡盛壺に対するユーザー（泡盛業者）からの要求として、先ず酒が漏らないこと、焼成色が黒色系を呈することなどが上げられている。機能性の面から漏らないことは当然のことと言えるが、焼成色については、原料や配合系の違い、または焼成雰囲気等によって呈色が変わるもので、焼成色が赤色系であることに対して、漏れるとか、焼き締ってないことなどにつながるとは考えられない。

試作試験の結果は、いずれも泡盛容器としての機能性を保持しており充分使用に耐え得るものであった。



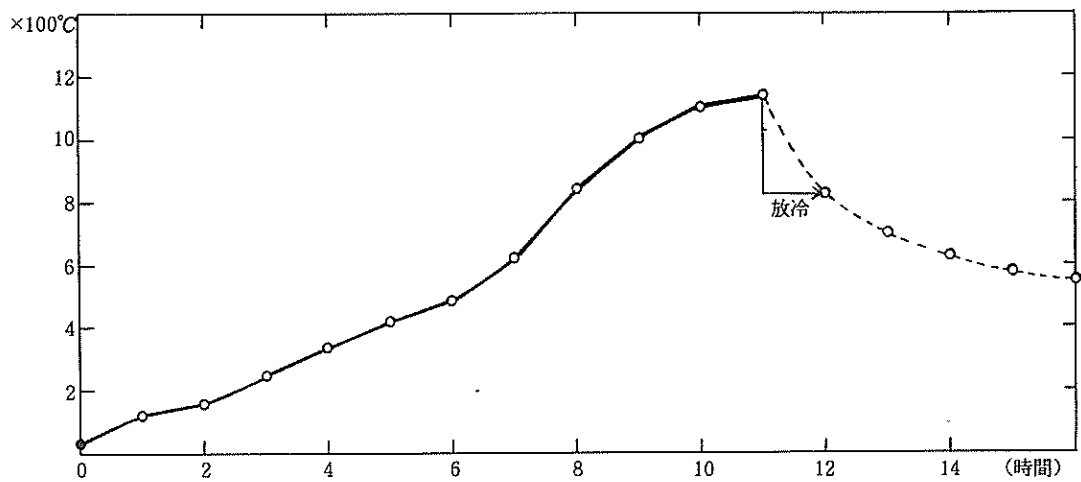
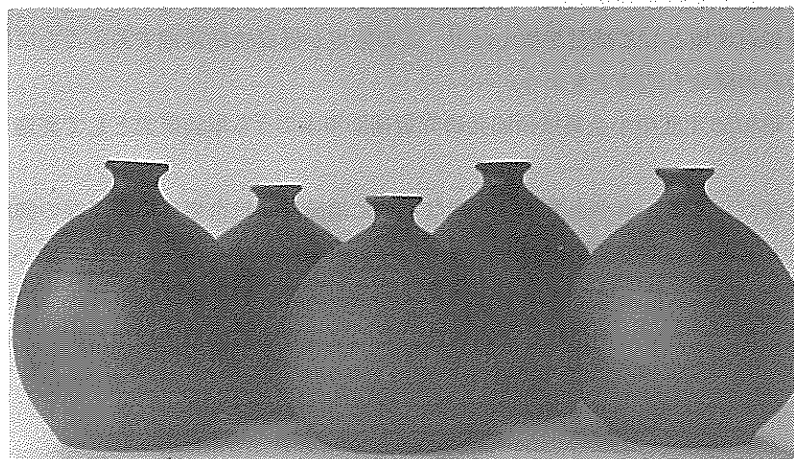
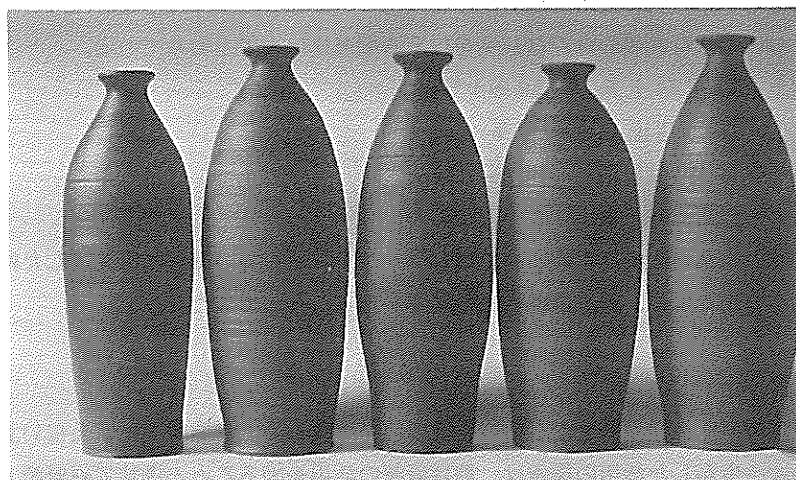


图20 燒成溫度曲線 (酸化)



7 まとめ

従来の荒焼原料である当添粘土（クチャ）、石嶺粘土（ジャーガル）、知花粘土（マージ）と上焼原料の喜名粘土、名嘉真粘土を用いて荒焼素地を開発するために各種試験を行なった結果、以下のことがわかった。

- (1) 当添粘土と石嶺粘土は耐火度がSK2a（1,120℃）ないしSK3a（1,140℃）と低く、知花粘土、喜名粘土、名嘉真粘土はSK17（1,480℃）前後で、前者と比較して比較的耐火度が高い。
- (2) 粒度組成において、知花粘土、石嶺粘土はかなり細かい粘土であり、乾燥収縮、可塑性、焼成性状にもかなり影響を与えているものと考えられる。
- (3) 各粘土は、緑泥石、雲母粘土鉱物、カオリン鉱物の粘土のほか、石英をはじめ、若干の長石、カルサイト、ゲータイト等の非粘土鉱物を含む。
- (4) 単味原料と配合系の焼成試験の結果から次のことが言える。

- ① いずれの原料も酸化と還元焼成の焼成雰囲気の影響を強く受け特性値に大きな差が見られる。
- ② 単味原料の酸化焼成では、1,140℃において石嶺粘土と知花粘土が焼結の傾向を示すが、他の原料は殆んど焼き締らない。還元焼成では、喜名粘土を除いては殆んど1,120℃で焼結する。
- ③ 配合系でも単味原料の長所と短所が顕著に現われ、焼成性状に影響を与えている。

各配合系において、特性値の良好な結果を与える配合比は次のとおりである。

当添粘土－知花粘土系	50％：50％
当添粘土－喜名粘土系	60％：40％
石嶺粘土－喜名粘土系	80％：20％
石嶺粘土－名嘉真粘土系	80％：20％

- (5) 製品化試験の一例として、泡盛壺を試作しパッケージとしての機能性を検討した結果、使用に耐え得る製品が可能となり、新規荒焼素地の開発を図ることができた。

あ と が き

鉄分と石灰質が多く、緑泥石を含む低耐火度の原料は決してよい原料とは言えないまでも、これらの窯業的特性を生かした活用の探索は、地域資源の活用を図ることと併せて省資源・省エネルギー時代の原料として見直す必要がある。

今回、荒焼製造素地として検討を加えたが、この素地が低温焼結素地であることに着目し、今後窯業建材への応用開発も期待できよう。

本研究は、昭和56年度中小企業技術開発研究費補助事業のうち単独研究として実施されたものである。

実施するにあたっては、中小企業庁技術課ならびに地元沖縄総合事務局商工課の御理解と御支援を頂いた、また新垣製陶所の新垣栄用氏には多大なお世話をかけました。併せて衷心より感謝の意を表します。

本研究の成果が、業界で活用されると同時に、県内窯業界の振興の一助になれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 藤井紀之、照屋善義、仲村三雄、宜野座俊夫 (1979) 沖縄島の粘土資源、地質調査所月報、Vol 30, P 1~26。
- 2) 金岡繁人、芝崎靖雄、前田武久、渡村信治、照屋善義、神野好孝 (1981) 陶磁器素地のPfeffer-Korn法およびAtterberg法による可塑性の評価、粘土科学、Vol 21、No 2、P. 37~46。
- 3) Hofmann, U and Rathe A (1970) ibid、47、296~299。
- 4) 照屋善義、仲村三雄、与座範弘、宜野座俊夫、朝武士靖雄 (1981) 石垣島・西表島の窯業原料について、工業試験場報告書、P. 55~69。
- 5) 加藤悦三、金岡繁人、稲垣貞子 (1977) カオリン鉱物のOH領域の赤外スペクトル (第1報)、名古屋工業技術試験所報告、Vol 26、No 6、P. 203~209。
- 6) 照屋善義 (1982)、沖縄の陶器について (3) - 焼物と風土 -、工業試験場報告書 P. 87~97。

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。