

一般的な磁器と同様の焼成で製造でき高い耐熱衝撃性を持つ磁器陶土の開発に成功した。開発した陶土は焼成温度幅が 1230℃～1350℃と非常に広く、そのいずれの温度範囲でも良い耐熱性を示した。また電子レンジによる加熱試験においても一般磁器よりも加熱されにくい特性を持ちより安全性の高いものとなっている。適切な釉薬を用いることにより電子レンジ対応型食器として十分な性能を持つ食器の製造が可能である。

### 1.はじめに

電子レンジやオーブンの普及により食器が直接過熱されることが多くなっている。平成 14 年度の研究では電子レンジで磁器を空焚きした場合、不均一かつ急激に加熱されることが明らかになった。一般的には電子レンジで磁器のみを加熱する状況はないと考えられるが、電子レンジで加熱されにくく耐熱衝撃性の高い磁器があればより安心して使用できる。

そこで本研究では一般磁器と混焼可能な耐熱磁器の開発を行った。最終年度である本年度は試験した陶土調合のうち、優れた物性を示した焼成体の物性を報告する。

## 2.実験方法

### 2.1 坯土調製

表 1 に使用原料の化学分析値および各原料の調合範囲を示す。表中の天草陶石は乾式ボールミルによってあらかじめ粉碎されたものを用いた。各原料を所定の調合割合となるように秤量したのちボールミルに水および解膠剤と共に投入し含水率 28 重量%の泥漿を得た。泥漿は真空脱泡後 2 時間静置して鑄込み泥漿とした。

### 2.2 成形および焼成

鑄込成形によって焼曲試験用試料 (20×7×

125mm) および曲げ試験用試料 (9×5×80mm) を成形した。それぞれの試料は水ブキ仕上げを行った後、電気炉を用いて最高温度 1220℃～1350℃で焼成した。

### 2.3 吸水率および嵩密度

吸水率および嵩密度の測定は、ASTM C373-88 によって行った

### 2.4 曲げ強度

曲げ強度は JCRS 203 によって行った。

### 2.5 焼曲試験

焼曲試験用試料をスパン 100mm の焼曲試験用架台にセットし各温度で焼成後、試料端部を結んだ直線から最も大きく焼下がった部分まで垂線を

原料名	調合割合 wt%
天草陶土	20～40
蛙目粘土	10
益田長石	2～18
焼タルク	2～15
アルミナ	20～40

おろし、その長さを測ることで行った。

## 2.6 熱膨張係数および熱収縮の測定。

熱膨張係数の測定はマックサイエンス製 TMA4000 によって測定した。熱収縮はマックサイエンス製 DILATOMETER3300 によって測定した。

## 2.5 熱衝撃試験

熱衝撃試験は JIS S2400 の方法によって行った。試験は  $\Delta T = 150^\circ\text{C}$  から開始し破損が無い場合は  $\Delta T$  を  $10^\circ\text{C}$  ずつ大きくして破損が生じるまで繰り返した。

## 3 結果と考察

今回作成した試作陶土のうち最も良好な結果をしめした陶土(試料名: TT07)の調合割合を表 2 に示す。比較試験に用いた強化磁器の調合割合をあわせて示す。

それぞれの試料の焼成温度と吸水率、嵩密度、焼下がり量の関係を図 1、図 2 に示す。図 2 の強化磁器素地は常識的な焼結挙動を示し  $1220^\circ\text{C}$  までは大きな吸水率を示し  $1250^\circ\text{C}$  を超える温度から吸水率はほぼ  $0.1\%$  付近で一定となり磁

表 2 試作陶土の調合割合

原料名	TT07	強化磁器
天草陶土	40	30
蛙目粘土	10	20
益田長石	5	20
焼タルク	15	--
アルミナ	30	30

器化していることがわかる。焼結が進むに従い嵩密度は上昇し  $1250^\circ\text{C} \sim 1300^\circ\text{C}$  付近でピークを示す。焼下がり量は焼成温度の上昇と共に増加し  $1350^\circ\text{C}$  では  $10\text{mm}$  以上と大きなものとなった。一方図 1 の試料 TT07 は  $1220^\circ\text{C}$  ですでに吸水率は  $0.1\%$  前後と磁器化しており嵩密度は温度が上昇するに従い緩やかに低下しているが、焼下がり量は  $1220^\circ\text{C} \sim 1350^\circ\text{C}$  の間でほとんど変化が無く特殊な挙動を示している。図 3 に焼成後の焼曲試験

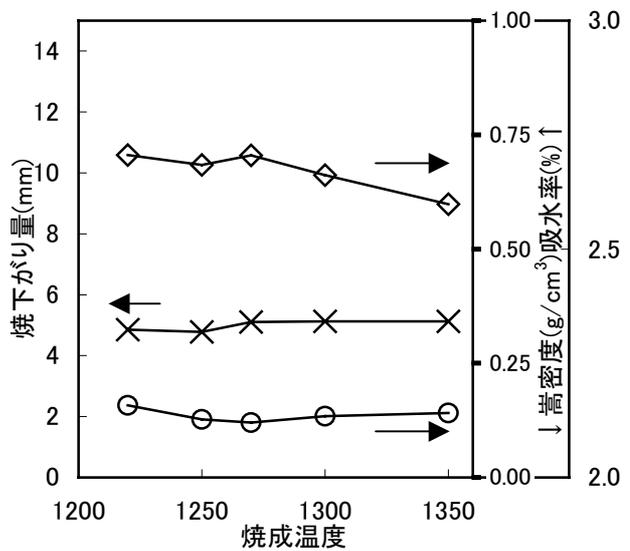


図 1 TT07 陶土の焼成温度と各種物性の関係 (◇嵩密度: ○吸水率: ×焼下がり量)

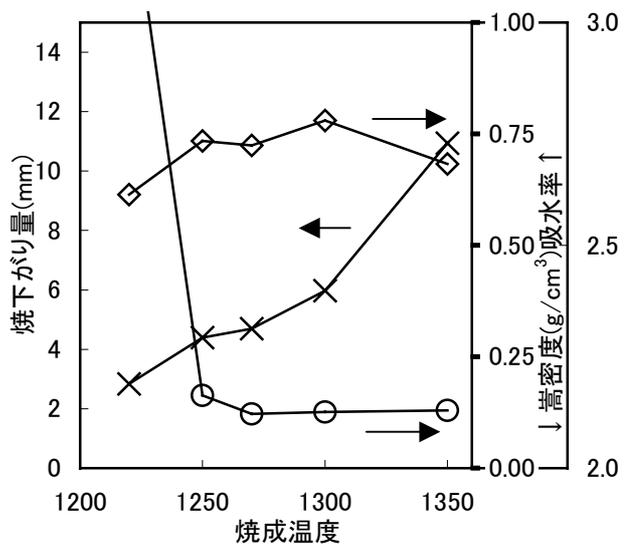


図 2 強化磁器陶土の焼成温度と各種物性の関係 (◇嵩密度: ○吸水率: ×焼下がり量)

片の写真を示す。試料 TT07 の焼下がり量が焼成温度で変化しないことがわかる。図 4 に試料 TT07 の焼結曲線を示す。焼結が完了する 1230℃までは一般的な陶土の焼結曲線を示すが、焼結後すぐにはブローディングを起こすことなく 1360℃まで再び直線的な変化を示し、1360℃を超えたところでブローディングを起こし始める。このことからこの陶土の焼結範囲は 1220℃～1350℃と非常に広いことが判る。1235℃の焼結後にブローディングをすぐに起こさない原因として高温の液相中に焼タルクから十分な量の Mg が供給されアルミナ、シリカと反応することにより液相からコーディエライトなどの結晶が晶出することが考えられる。この反応のため焼成温度が上昇しても液相が必要以上に多くなることが無いためと考えられる。

図 5 に各試料焼成温度との曲げ強度の関係を示す。図 5 の強化磁器は嵩密度と曲げ強度の関係はよく一致しており嵩密度のピークである 1250℃～1300℃の間で曲げ強度もピークとなり嵩密度の低下に従い急速に強度が低下する。

一方図 5 の試料 TT07 は焼成温度の上昇と共に曲げ強度は急速に低下している。X 線回折試験で確認したところ温度上昇に従いコランダム、 $\alpha$ -石英のピークが減少し、コーディエライトの増加が確認された。このことから強度低下はアルミナの減少が主原因と考えられる。

図 6 に試料 TT07 の熱膨張曲線を示す。1220℃焼成で  $5.64 \times 10^{-6}/K$  であった平均線熱膨張係数は温度上昇と共に急激に小さくなり 1350℃焼成では  $3.86 \times 10^{-6}/K$  となった。熱膨張曲線から判るように焼成温度が高くなるに従い 550℃～600℃付近の石英の転移に伴うピークが低くなっており 1350℃ではほとんど確認できなくなっている。通常の磁器の焼成過程で起きる石英のガラス相への熔融ではこのように石英が減少することはない、

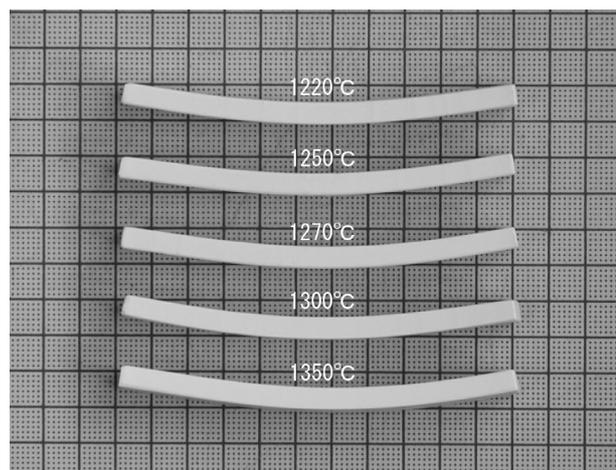


図 3 TT07 焼曲試験結果

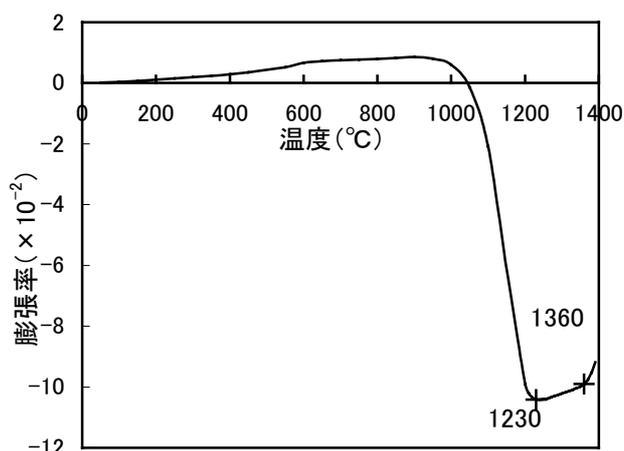


図 4 TT07 の焼結曲線

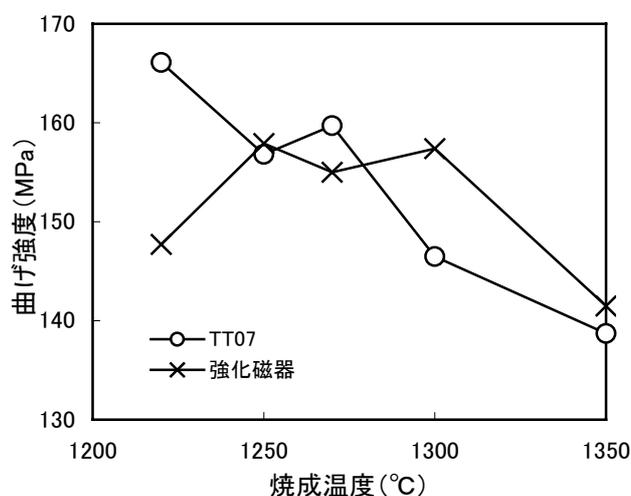


図 5 焼成温度と曲げ強度の関係

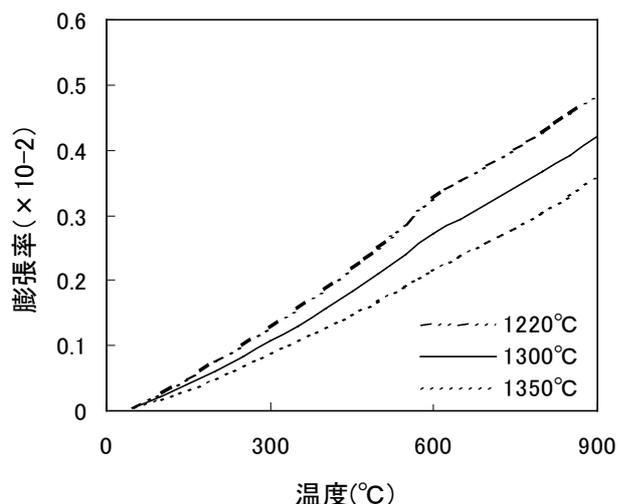


図 6 TT07 焼結体の熱膨張曲線

TT07 ではガラス相中のシリカがマグネシア、アルミナと反応しコーディエライトが生成するために残留石英の減少が促進されると考えられる。

表 3 に試料 6 本に対して行った熱衝撃試験の結果を示す。TT07 は焼成温度 1250°C、1300°C、1350°C の 3 種類を試料として用いた。また比較試料として前出の強化磁器を用いた。表中の数字が該当温度での破損数を示している。比較試料の強

表 3 熱衝撃試験結果

試料 ΔT	TT07			強化 磁器
	1250°C	1300°C	1350°C	
150°C	0	0	0	5
200°C	0	0	0	—
210°C	0	0	0	—
220°C	3	0	0	—
230°C	3	0	0	—
240°C	—	0	0	—
250°C	—	3	1	—
260°C	—	1	1	—
270°C	—	1	3	—

化磁器は ΔT = 150°C で全て破損したが、TT07 焼結体はいずれの焼成温度でも耐熱温度差 200 度以上の高い耐熱衝撃性を示した。特に 1300°C、1350°C 焼成の試料は良好な結果を示し ΔT240°C では破損せず、ΔT270°C でも 6 試料全数の破損にはいたらなかった。試料 TT07 は焼成温度が高い場合は低熱膨張化によって熱衝撃特性が向上し、焼成温度が低い場合は一般磁器よりも高い強度特性によって耐熱性が向上しているものと考えられる。

#### 4.まとめ

一般的な有田焼と同様の焼成条件で製造できる耐熱磁器の研究を行った。陶土中にタルクを適量添加し長石類を大幅に減量することで焼腰が強くなり焼成温度範囲が 1230°C ~ 1350°C と非常に広い耐熱磁器を開発することができた。

熱衝撃試験の結果、磁器化する焼成温度範囲において焼成温度に関係なく耐熱温度差 200°C 以上の性能を示しており、通常の電子レンジでの使用では全く問題がないと考えられる。また本文中では記載していないが電子レンジの空焚きによる試験でも一般磁器よりも加熱しにくい特性を持っており、耐熱磁器としては非常に良好な物性をもつ。