

## 高齡化社会に適した軽量強化磁器の開発

林 直宏<sup>\*1</sup>、伊藤賢次<sup>\*1</sup>、加藤千由希<sup>\*2</sup>

## Development of Strengthened Porcelain of Light Weight for Aging Society

Naohiro HAYASHI<sup>\*1</sup>, Kenji ITO<sup>\*1</sup> and Chiyuki KATO<sup>\*2</sup>Seto Ceramic Research Center, AITEC<sup>\*1</sup>, Maruto Co.,Ltd<sup>\*2</sup>

強化磁器の大半であるアルミナ強化磁器は重くて熱伝導率が高いという問題がある。そこで、アルミナの代替として比重や熱伝導率が小さく、素材強度も高いステアタイト含有磁器素地を検討した。基本調査として用いたステアタイト 60 素地の焼結物性は、ビスク曲げ強度 179MPa と高強度ではあるが、焼成温度幅が 5 と極めて狭く焼成をコントロールすることが困難であった。焼結助剤としてインド長石を 10% 添加した素地は、かさ密度 2.41g/cm<sup>3</sup>、熱伝導率 2.2W/(m・K)、ビスク曲げ強度 159MPa、焼成温度幅は 70 に広がった。アルミナ強化磁器と同等な曲げ強度でありながら、アルミナ強化磁器の欠点であるかさ密度 (2.6~3.0 g/cm<sup>3</sup>) と熱伝導率 (3~5 W/(m・K)) の高さを改善できた。

## 1. はじめに

高齡化社会が急速に進む中、病院や介護施設といった高齡者を対象とする施設が増加している。これらの施設では衝撃に強く、容易に破損しないアルミナ強化磁器が使用されているが、高齡者にはその重量が負担となっている。また、アルミナの添加により熱伝導率が高くなり、熱いスープなどを注いだ器は熱くて手で持てない等の問題も指摘されている。

このため素地への無機中空粒子添加<sup>1)</sup>、有機物配合による気孔導入<sup>2)</sup>が軽量化、断熱性向上法として用いられるが、機械的特性が低下する。アルミナの代替としてクリストバライトの導入<sup>3)</sup>、原料の微粒子化<sup>4)</sup>も試みられているが、コストや焼成工程管理の問題から普及していない。

本研究では、アルミナの代替として比重や熱伝導率が小さく、素材強度も高いステアタイト含有磁器素地<sup>5-7)</sup>により軽くて断熱性に優れた強化磁器の開発を試みた。

## 2. 実験方法

## 2.1 使用原料

ステアタイト含有磁器坯土 (株式会社 マルト製) としては、焼きタルク 60% に粘土系 40% 配合したものをを用いた (以下、ステアタイト 60 素地という)。ステアタイト 60 素地について、蛍光 X 線による元素分析と X 線回折による鉱物分析を行った結果を表 1 に示す。

## 2.2 泥しよう調整

分散剤の種類と量及び泥しよう水分が鑄込み性状に及

表 1 化学分析値 (mass%) と構成鉱物

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	LOI
62.0	13.6	0.29	0.12	0.15	18.0	0.00	0.87	5.01

-石英、カオリン鉱物、雲母鉱物、プロトエンスタタイト、-クリストバライト、タルク

ぼす影響を調べるため、解こう剤に水ガラス (JIS 2 号) とリン酸 Na 系解こう剤 (以下、リン酸 Na という) を用いて泥しようの調整条件について検討した。泥しよう調整は、ステアタイト 60 素地 100g に対して水分 47~60g (内割 32~37.5%)、分散剤 0~4.5% (固形分換算) を種々の割合で添加し、ポットミルで 1.5 時間湿式混合した後、粘度測定を行い泥しよう性状を評価した。

## 2.3 ステアタイト 60 素地の焼成試験

解こう剤にリン酸 Na 0.30%、水ガラス 0.05%、水分 36% (内割) の条件で調整した泥しようを石膏型に鑄込み 10 × 80mm、10 × 120mm の試験体を作製した。これらを電気炉にて、素焼き (800 ) を行い、無釉のものについて 1280~1320 の温度範囲で本焼成 (キープ時間 1hr、1000 までの冷却速度 100 /hr) を行った。焼成試験体のビスク曲げ強度 (以下、曲げ強度という) かさ密度、吸水率、見掛気孔率、焼成収縮率、湾曲度を測定し焼結物性に与える焼成条件の影響を評価した。

## 2.4 ステアタイト 60 素地へのインド長石添加

ステアタイト 60 素地にインド長石を所定の割合 (内割 5, 10, 15%) で添加し (以下、S60F5 素地、S60F10 素地、

\*1 瀬戸窯業技術センター 開発技術室 \*2 株式会社マルト

S60F15 素地という)、2.3 と同様に焼成試験体を作製した。曲げ強度、かさ密度、吸水率、見掛気孔率、焼成収縮率、湾曲度を測定し焼結物性に与えるインド長石添加の影響を評価した。

## 2.5 熱伝導率測定による断熱性の評価

ステアタイト 60 素地、S60F5 素地、S60F10 素地、S60F15 素地について、2.4 と同様に調整した泥しょうを用いて鑄込み成形により 6×30×120mm の平板試験体を作製し焼成試験体を得た。なお、S60 素地は 1310、S60F5 素地は 1280、S60F10 素地は 1260、S60F15 素地は 1240 にて本焼成(キープ時間 1hr、1000 までの冷却速度 100 /hr)したものを測定用試験体とした。アルミナ強化磁器素地は 1300、1hr、並磁器素地は 1275、1hr 本焼成した後、自然冷却したものを測定用試験体とした。各々焼成体についてレーザーフラッシュ法により熱伝導率を測定し断熱性の評価を行なった。

## 2.6 測定方法

2.2 の泥しょうの性状、2.3、2.4、2.5 の焼結物性は、下記の方法により測定した。

粘度: B 型回転粘度計により、ローターNo.4、回転数 60rpm で測定した。

かさ密度, 吸水率, 見掛気孔率: JIS C 2141 に基づきアルキメデス法(媒液: 蒸留水、真空法)により測定した。

曲げ強度: 米倉製作所製万能試験機により、クロスヘッド速度 0.5mm/min、スパン 50mm の 3 点曲げ試験により測定した。

焼成収縮率: 円柱状試料の縦方向の収縮率を求めた。

湾曲度: 円柱状試料をスパン 9cm にセットして、焼成後の焼き下がり量 mm を測定した。

平均線膨張率: JIS R 1618 に基づき、リガク製熱膨張計により、昇温速度 4 /min で測定し、800 までの平均線膨張率を求めた。

熱伝導率: JIS R 1611 に基づき、真空理工製熱伝導率測定装置を用いてレーザーフラッシュ法により測定した。

# 3 . 実験結果及び考察

## 3.1 泥しょうの調整

ステアタイトは、成分に Mg 分を含んでいるため、泥しょうが凝集しやすく調整が難しい。まずは、ステアタイト 60 素地について、解こう剤として水ガラスとリン酸 Na を単独で用いたときの解こう性について検討した。図 1 に各々解こう剤添加量に対する泥しょうの粘度を示す。

鑄込み成形に適した泥しょう粘度は 3000cP 以下である。最も一般的な解こう剤である水ガラスでは、0.45% (水分内割 37.5%) 以上添加しないと鑄込み可能な泥しょうにならない。それに対して、リン酸 Na では、0.25% (水分

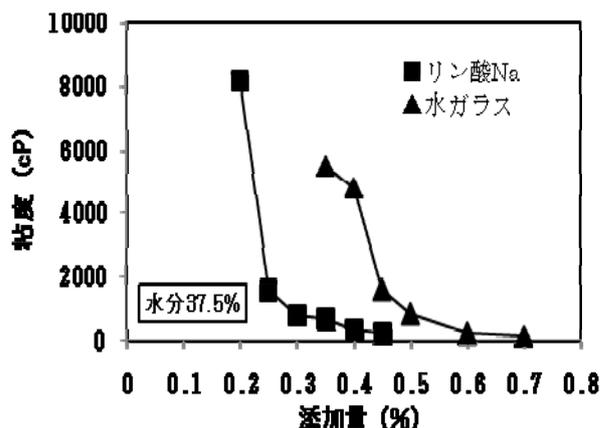


図 1 解こう剤添加量に対する泥しょう粘度

内割 37.5%) 添加で鑄込み可能な泥しょうが調整できた。これは、リン酸イオンが Mg イオンに作用することで、泥しょうの解こう性が増加したものと考えられる。また、泥しょうの低水分化を目標に、リン酸 Na を単独で用いた場合とリン酸 Na と水ガラスを併用した場合の解こう性の効果を比較検討した。その結果、解こう剤としては、水ガラス 0.05%、リン酸 Na 0.30% を併用(解こう剤総量 0.35%) した場合が最も解こう効果が高く、泥しょう水分 33% での鑄込みが可能となった。

## 3.2 ステアタイト 60 素地の焼結物性

表 2 に各焼成温度におけるステアタイト 60 素地の焼結物性値を示す。

表 2 ステアタイト 60 素地の焼結物性値

焼成温度 (°C)	曲げ強度 (MPa)	かさ密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	見掛気孔率 (%)	焼成収縮率 (%)	湾曲度 (Lmm)
1280	92	2.08	10.0	20.8	11.7	0.0
1290	106	2.19	7.4	16.3	13.6	1.0
1295	139	2.35	3.2	7.6	14.5	0.0
1300	161	2.40	1.8	4.2	14.3	0.0
1305	163	2.48	0.4	0.9	15.3	0.5
1310	179	2.52	0.3	0.7	16.0	2.0
1315	157	2.50	0.3	0.7	16.4	3.0
1320	軟化溶解					7.5

焼成温度 1300 では、吸水率 1.8% とまだ十分には磁器化していない。焼成温度 1305 では吸水率が 0.4% と十分磁器化が進み、曲げ強度 163MPa、かさ密度 2.48g/cm<sup>3</sup> と共に高い値を示した。焼成温度 1310 では、曲げ強度 179MPa、かさ密度 2.52g/cm<sup>3</sup> と共に最高の値を示し十分

磁器化した。しかし、焼成温度 1315 では、曲げ強度、かさ密度共に低下した。これは、気泡生成が認められ過焼気味と考えられる。また、1320 焼成では、試験体が完全に軟化溶解して変形してしまい、湾曲度も 7.5mm と大きな値を示した。これは、この温度域において、融液の生成量が急激に増えたためであると推察される。

以上の結果から、ステアタイト 60 素地は、軟化温度と緻密化温度が極めて近く、焼成温度幅が狭いため、焼成をコントロールするのが困難であることがわかった。しかしながら、適正な焼成温度においては、かさ密度 2.45 ~ 2.55g/cm<sup>3</sup>、曲げ強度 160 ~ 180MPa であり軽量強化磁器として十分な物性をもつことが確認された。

### 3.3 インド長石添加による焼結物性への影響

図 2、3 にインド長石添加率に対するステアタイト 60 素地の曲げ強度、吸水率を示す。

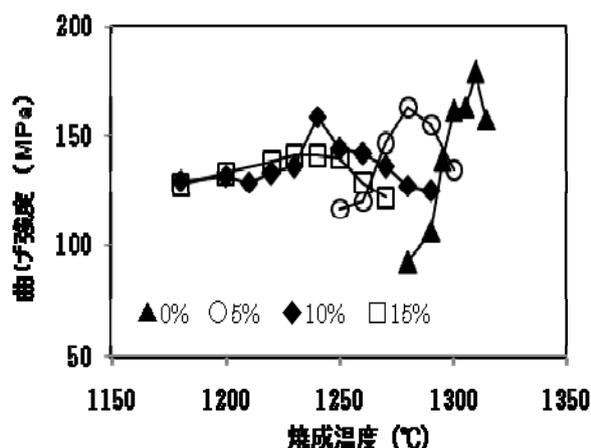


図 2 インド長石添加率に対する曲げ強度

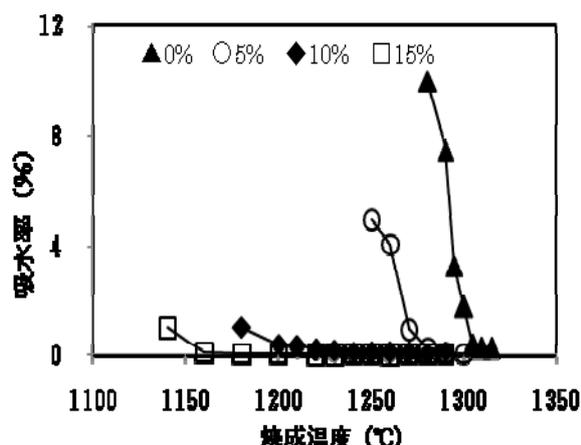


図 3 インド長石添加率に対する吸水率

インド長石添加率が増す程、曲げ強度は低下するが、最大曲げ強度を与える焼成温度は低温側にシフトし、曲げ強度の変化も緩やかになる。また、ステアタイト 60 素地では、1305 にならないと吸水率が 0.5% 以下にならず磁器

化しなかった。それに対して、インド長石添加率 5% では焼成温度 1280、10% 添加では 1200、15% 添加では 1160 で吸水率が 0.5% 以下となり磁器化温度が低温側にシフトすることが確認された。かさ密度、見掛気孔率、焼成収縮率についてもインド長石添加率が増える程、物性値の変化が緩やかになる傾向がある。軟化変形の度合いを示す湾曲度については、インド長石添加率が増す程、急激に焼き下がり量が大きくなる温度が低温側にシフトしていることが確認された。これらから、ステアタイト 60 素地にインド長石を添加することで、磁器化温度が低温側にシフトし、焼成温度幅が大きく広がることが確認された。

### 3.4 熱伝導率測定による断熱性の評価

表 3 にステアタイト 60 素地、S60F5 素地、S60F10 素地、S60F15 素地、アルミナ強化磁器素地及び並磁器素地の焼成体の熱伝導率を示す。

表 3 各焼成体の熱伝導率 W/(m・K)

ステアタイト 60	S60F5	S60F10	S60F15	アルミナ強化磁器	並磁器
2.7	2.4	2.2	1.9	4.7	1.5

ステアタイト 60 素地に対するインド長石の添加率が増す程、熱伝導率が低い値となった。これは、ガラス相の増加によるものと考えられた。S60F10 素地は、アルミナ強化磁器の熱伝導率より約 53% 小さくなり、ステアタイト含有磁器はアルミナ強化磁器と比較して断熱性が優れていることが確認された。

### 3.5 最適焼成温度における焼結物性

表 4 にステアタイト 60 素地、S60F5 素地、S60F10 素地、S60F15 素地について最適焼成温度にて本焼成を行ったときの焼結物性値を示す。

表 4 各焼成体の焼結物性値

Sample	ステアタイト 60	S60F5	S60F10	S60F15
最適焼成温度(°) <sup>1</sup>	1310	1280	1240	1220
焼成温度幅(°) <sup>2</sup>	5	10	70	90
ビスク曲げ強度(MPa)	179	163	159	141
吸水率(%)	0.27	0.27	0.13	0.02
かさ密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.52	2.43	2.41	2.47
見掛気孔率(%)	0.67	0.65	0.31	0.04
焼成収縮率(%)	16.0	15.6	15.2	15.1
湾曲度(Lmm)	2.0	0.5	2.0	2.0
平均線膨張率(×10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ) (25 ~ 800 °C)	5.6	4.7	5.0	5.1

\*1 最大曲げ強度を与えるときの焼成温度(°)

\*2 期待される焼結物性値として、ビスク曲げ強度 125MPa 以上、吸水率 0.5% 以下、湾曲度 3.0mm 未満を満たす焼成温度と定義し算出した。

## 4. 結び

- (1) ステアタイト 60 素地は、泥しょうが凝集しやすく、水ガラス単独による泥しょう調整は困難であった。解こう剤としては、水ガラス 0.05%、リン酸 Na 0.30%を併用（解こう剤総量 0.35%）した場合が最も解こう効果が高く、泥しょう水分 33%での鑄込みが可能になった。
- (2) ステアタイト 60 素地は焼成温度 1305 で吸水率が 0.5%以下となり磁器化するが、1320 では軟化溶解してしまう。最適焼成温度も 1310 と一般磁器と比べると高い。軟化温度と緻密化温度が近く、焼成温度幅も 5 と極めて狭いため、現状の窯で焼成をコントロールすることは困難であった。
- (3) インド長石の添加率が大きくなる程、曲げ強度は低くなるが、学校給食用強化磁器のガイドラインである施釉曲げ強度 150MPa を超える強度は期待できる。
- (4) インド長石の添加率が大きくなる程、磁器化温度は低くなり、焼成温度幅も広がる傾向にある。インド長石を 10%添加した素地の最適焼成温度は、1240 まで低くなり、焼成温度幅も 70（1200~1270）に広がった。

- (5) インド長石を 10%添加した素地は、かさ密度 2.41g/cm<sup>3</sup>、熱伝導率 2.2 W/(m·K)、ビスク曲げ強度 159MPa であった。アルミナ強化磁器と同等な曲げ強度でありながら、アルミナ強化磁器の欠点であるかさ密度（2.6~3.0 g/cm<sup>3</sup>）と熱伝導率（3~5 W/(m·K)）の高さを改善できた。

## 文献

- 1) 特開 2003-146736
- 2) 小林雄一, 加藤悦朗: *J. Ceram. Soc. Japan*, **106**(9), 938(1998)
- 3) 小林雄一, 山田光則, 中山幹雄, 大平修, 磯山博文: *J. Ceram. Soc. Japan*, **111**(12), 872(2003)
- 4) 久野徹, 安井克幸, 服部金司: 愛知県瀬戸窯業技術センター報告, **22**, 17(1993)
- 5) 岡崎清: セラミック誘電体工学, P390(1978), 学献社
- 6) 素木洋一: わかりやすい工業用陶磁器, P314(1969), 技報堂
- 7) 素木洋一: ファインセラミックス, P278(1976), 技報堂