

アルミナの鋳込成形 (第2報)

——圧力鋳込成形——

伊藤 政巳 星 幸二 榊原 満

Slip Casting of Alumina (Part II)

——Pressure Casting——

by

Masami ITO, Koji HOSHI and Mitsuru SAKAKIBARA

ファインセラミックスの高圧鋳込成形技術の確立を目的として、アルミナ系セラミックス素地を対象に、鋳込圧力、時間等の鋳込成形条件が、着肉性や成形体の物性に及ぼす影響について検討した。石膏型が使用可能な 10 kgf/cm^2 までの圧力鋳込を行った結果、着肉速度が速く、常圧に比べ成形時間が大幅に短縮できると共に肉厚製品や肉厚差のある製品の成形も容易になることが分かった。乾燥収縮率が、易焼結性アルミナでは1%以下に、粘土を含むアルミナ添加磁器素地では2.5%以下になり、常圧鋳込に比べ、 $1/4 \sim 1/8$ に低減でき、成形体の寸法精度が向上した。粘土を多量に含むアルミナ添加磁器素地の場合、より成形時間を短縮するには、鋳込圧力が 10 kgf/cm^2 でも不足しており、もっと高圧で成形する必要性が認められた。

1. まえがき

ファインセラミックスの鋳込成形では、原料の粒子径が $1 \mu\text{m}$ 以下の微粒子が多いため、従来の流し込み法では着肉速度が遅くなり、成形に時間を要し、とくに肉厚品では着肉層内に粒子の充てん密度差が生じ易いなどの問題点がある。前報¹⁾における易焼結性アルミナの鋳込試験でも、ねじ(直径 25 mm 、長さ 110 mm)のような肉厚製品の場合、流し込み成形では4時間かけても完全に充てんさせることが困難であったが、落差を利用した圧力鋳込法を採用することにより、十分に着肉した成形体を得られた。このように、セラミックスの鋳込成形では、着肉性を阻害する因子として、微粒子、バインダー等があり、逆に促進する因子として、鋳込時の圧力、泥しょうの温度等がある。この鋳込圧力の着肉促進効果を最大限に活用したものが高圧鋳込成形法で、常圧鋳込に比べ、より肉厚で複雑な形状の成形体が、緻密で均質に、しかも短時間に成形できる利点があることから、近年衛生陶器や食器業界の一部で導入されつつあ

る。

本研究では、この高圧鋳込成形法を利用したファインセラミックスの成形技術の確立を目的として、アルミナ系セラミックス素地を対象に、鋳込圧力、時間、石膏型等の基本的な鋳込条件が、着肉性や成形体の物性に及ぼす影響について検討した。

2. 実験方法

2.1 使用原料

アルミナ系セラミックスの原料として、易焼結性低ソーダアルミナ AL-160SG-III (昭和軽金属) と、粘土-長石-アルミナ系の市販アルミナ添加磁器素地 A-11A (丸ス釉薬) を用いた。その基礎性状を表1に示す。分散剤は易焼結性アルミナにはセルナ D-305 (主成分: ポリカルボン酸アンモニウム塩、固形分: 40%) を、アルミナ添加磁器素地には、水ガラス (粉末) を用いた。また易焼結性アルミナには、バインダーとしてバインドセラム WA-320 (主成分: アクリル系エマル

表-1 使用原料の基礎性状

試料名	易焼結性 低ソーダアルミナ AL-160SG-III	アルミナ 添加磁器素地 A-11A
化学分析値 (%)	SiO ₂	0.02
	Al ₂ O ₃	37.4
	Fe ₂ O ₃	52.3
	TiO ₂	0.41
	CaO	0.21
	MgO	0.23
	Na ₂ O	0.09
	K ₂ O	0.05
I g. loss		0.06
		5.22
X線回折による 検出鉱物	α -アルミナ	
	β -アルミナ	
	長石	
	カオリン鉱物	
		α -石英
平均粒子径*(μ m)		0.65
		5.5
焼成温度(°C)		1550~1600
		1300~1320

* レーザー方式の自動粒度分析装置により測定

ジョン、固形分：42%）を添加した。なお易焼結性アルミナは、原料中に含まれる可溶成分を減少させて解膠を容易にするために、予めボールミルでアルミナと同重量の水、玉石および分散剤としてセルナD-305を0.1%を添加して、24時間分散混合処理した後、フィルタープレスで脱水したものを用いた。

2.2 泥しょう調整試験

上記2種類のアルミナ系素地について、泥しょう特性を把握するために、水分量および分散剤添加量と鑄込泥しょうの粘性との関係について検討した。

泥しょうは、ポットミルに原料と同重量の玉石を入れ、所定量の水と分散剤を添加して、24時間分散混合処理して調整した。粘度は泥しょうをポットから取り出した直後にB型粘度計により測定した。使用したローターはNo.2で、回転数6rpmである。

鑄込成形体の生強度を向上させるためのバインダー添加試験では、水分量25%、分散剤1%を添加して前述と同手順で調整した泥しょうに、1~5%のバインダーを加えて、更に1時間混合処

表-2 高圧鑄込装置の仕様

機種名	真空脱泡加圧振動鑄込装置 VA-C-05HV型
容量・材質	5ℓ・SUS304
攪拌回転数	5~72 rpm
加圧力	7 kgf/cm ² (プースター使用時 20 kgf/cm ²)
真空ポンプ	油回転式 60 ℓ/min
振動機構	振動数 0~1600 c/min 振幅 0.1~3.0 mm
加温機構	二重タンク式 最高温度 50°C
最大型寸法	300×300×300 mm

表-3 使用石膏型の物性

記号	焼石膏の種類	気孔径 (μ m)	混水量 (%)	曲げ強さ (kgf/cm ²)	吸水速度 (分)	吸水率 (%)
A	α 型	1~5	60	135	34	31
B	α 型	1~3	55	135	38	28
C	α 型	1~2	35	245	92	16
D	β 型	1~5	80	60	14	48

理した後、固形鑄込で棒状試験体（直径10mm、長さ75mm）を作製し、乾燥曲げ強さを測定した。

2.3 高圧鑄込試験

2.2で把握した粘性が良好な泥しょう調整条件で、表2に示す仕様の高圧鑄込装置を用いて、石膏型が使用可能な10 kgf/cm²までの圧力鑄込試験を実施し、その着肉性や成形体の物性について、常圧鑄込と比較検討した。

石膏型は、 α 型焼石膏主体の高強度石膏型材で造った、空気吹込み脱型が可能なチューブ内在型の石膏型（Nキャストシステム）で、気孔径分布や吸水率の異なる3種類と β 型焼石膏による排泥鑄込用石膏型1種類を用いた。これらの物性を表3に示す。

着肉性の評価は、成形体寸法が直径50mm、高さ100mmのコップ状の石膏型を用いて、所定の試験条件（鑄込圧力、鑄込時間、石膏型の種類）で鑄込成形し、脱型乾燥後の着肉厚みおよび脱型時含水率（乾量基準）を測定した。

鑄込成形体の物性を調べるためには、成形体寸法が直径10mm、長さ100mmの丸棒用石膏型を用いて、所定の鑄込条件（鑄込圧力、石膏型の種

類）で成形し、乾燥および焼成後の曲げ強さ、収縮率等を測定した。

成形体のハンドリングのために必要といわれる 30 kgf/cm^2 以上の乾燥強度²⁾を得るために、バイ

3. 実験結果及び考察

3.1 泥しょう調整試験

3.1.1 易焼結性アルミナ

泥しょうの粘性変化は図1, 2に示すように、水分量が25%と一定の場合は、分散剤量が0.25%では粘度が高くて泥しょう状にならないが、0.5%に増えると粘度が400 cP 前後で最も低くなり、更に添加すると逆に粒子の再凝集が起こり、再び増加する。また分散剤を0.5%と固定した場合の粘性変化は、当然のことながら、水分量の減少に伴い急激に粘度が高くなり、18%では2000 cP 以上になり、脱泡性も悪くなる。

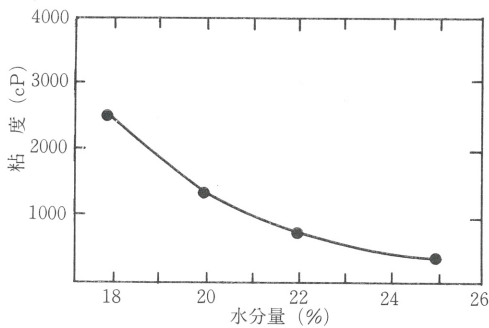


図1 水分量と粘度との関係

{	AL-160SG	100
{	D-305	0.5

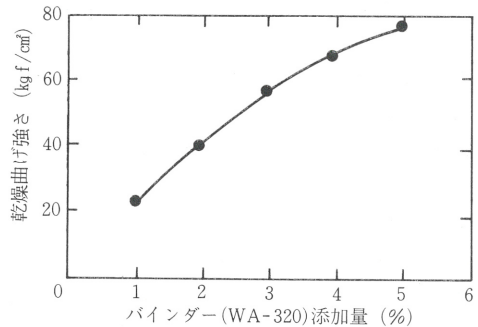


図3 バインダー添加量と曲げ強さとの関係

{	AL-160SG	100
{	水分	25
{	D-305	0.5

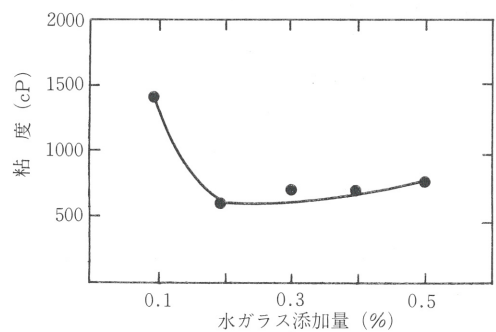


図4 分散剤量と粘度との関係

{	A-11A	100
{	水分	32

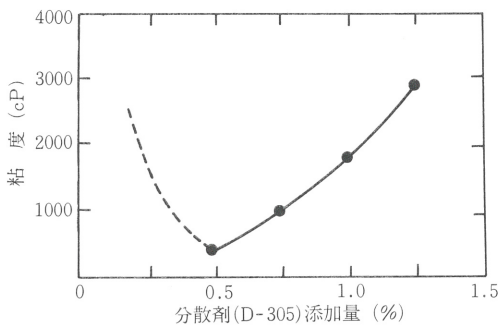


図2 分散剤量と粘度との関係

{	AL-160SG	100
{	水分	25

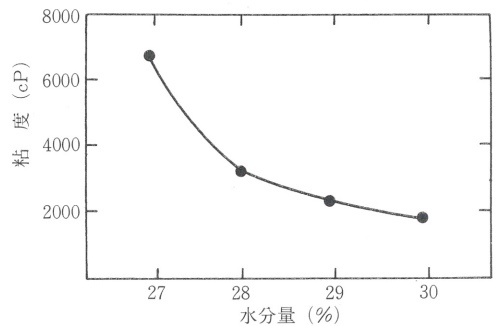


図5 水分量と粘度との関係

{	A-11A	100
{	水ガラス	0.2

ンダー添加量と乾燥強度の関係を調べた結果を図3に示す。バインダー添加により強度は直線的に増加しており、2%添加すれば40 kgf/cm²で十分な強度が得られる。

これらの結果と、固形鑄込の場合、低水分泥しょうの方が成形性に有利であることを考慮して、易焼結性アルミナでは、水分量20%、分散剂量0.5%、バインダー量2%で圧力鑄込試験を実施することにした。

3.1.2 アルミナ添加磁器素地

粘土-長石-アルミナ系の磁器素地のため、水ガラスを分散剤とした。図4に示すように、水分量32%と固定の場合、0.2%以上添加すると粘度は500~700 cPの範囲でほぼ一定になる。水ガラス添加量を0.2%と固定して、水分量による粘性変化をみると、図5に示すように、28%以下では急激に粘度が高くなり、更に27%になると6000 cPにもなり排泥性が悪くなる。このことから、アルミナ添加磁器素地では、水分量30%、水ガラス添加量0.2%で圧力鑄込試験を実施することにした。

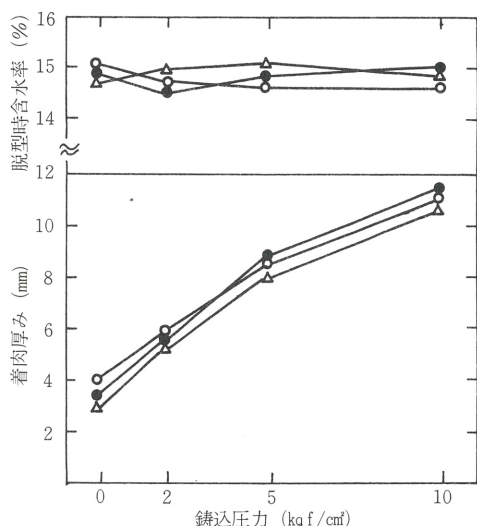


図6 鑄込圧力と成形体の関係

泥しょう調整条件	AL-160SG	100
	水分	20
	D-305	0.5
	WA-320	2

石膏型の種類 {
 A —○—
 B —●—
 C —△—

3.2 高圧鑄込試験

3.2.1 易焼結性アルミナ

図6に示すように、鑄込圧力が高くなるほど、当然のことながら、着肉速度は速くなり、10 kgf/cm²の場合、いずれの型でも2 kgf/cm²の場合に比べ、約2倍の着肉厚みになっている。石膏型の気孔径分布と着肉性の関係をみると、常圧の場合は明らかに気孔径や吸水率が大きくなるほど着肉性は良くなるが、圧力鑄込の場合には顕著な差異は認められない。脱型時含水率はいずれの場合も15%前後で、脱型性、保形性とも良好であった。

鑄込時間と着肉性の関係を図7に示す。常圧では20分間鑄込んでも、着肉厚みは4 mm程度であるのに対し、10 kgf/cm²では約4倍の15 mmも着肉し、サブミクロンの微粒子からなる易焼結性アルミナでも、肉厚製品の成形が可能になるとともに成形時間の大幅な短縮ができる。

固形鑄込により作製した成形体の乾燥・焼成性状を調べた結果を図8に示す。顕著な相違を示したのは乾燥収縮率で、圧力鑄込成形体がいずれも1%以下と極めて小さいのに対し、常圧鑄込では6.7%と非常に大きくなる。このことは、圧力鑄込

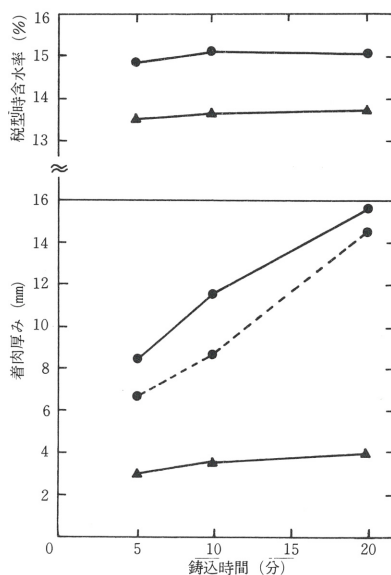


図7 鑄込時間と成形体の関係

鑄込条件 {
 B : 10 kgf/cm² —●—
 B : 5 kgf/cm² ---●---
 D : 0 kgf/cm² —▲—

を採用することにより、乾燥収縮を大幅に減じ、寸法精度を向上できることを示している。また乾燥曲げ強さでは、常圧鑄込の方が大きくなったのは、ゆるやかに着肉させた方が鑄込成形体の充てん密度が高くなっているためと思われる。これは1000度仮焼物のかさ比重が大きいことから推測される。1600℃焼成後の収縮率、かさ比重、曲げ強さと鑄込条件との間には顕著な傾向は認められなかった。

3.2.2 アルミナ添加磁器素地

図9から明らかなように、前述の易焼結性アルミナに比較して、極端に着肉速度が遅くなっているのが大きな特徴である。これは粘土が配合されているため、着肉層の透水性が低くなっていることが大きく影響していると考えられる。しかし、全般的には同一傾向を示し、石膏型の気孔径や吸水率が大きいほど着肉速度も速くなり、脱型時の含水率も低く、脱型性、保形性とも良好であった。逆に吸水率や気孔径の小さい石膏型では、素地含水率が高くなり、脱型性、保形性とも悪く、軟弱

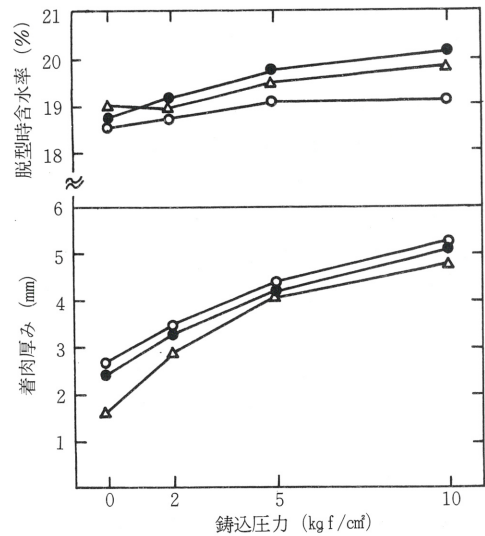
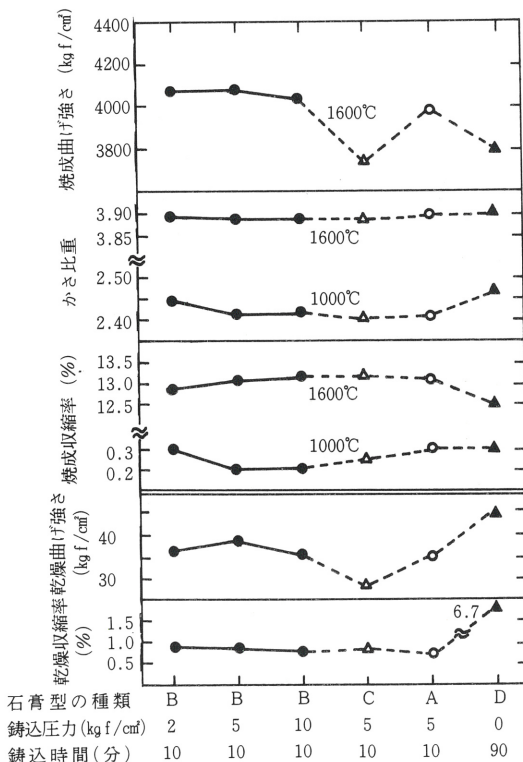


図9 鑄込圧力と成形体の関係

泥しよう (A-11A 100)
調整条件 (水分 30)
鑄込時間 10分間

石膏型の種類 { A —○—
B —●—
C —△—



石膏型の種類 B B B C A D
鑄込圧力 (kg f/cm²) 2 5 10 5 5 0
鑄込時間 (分) 10 10 10 10 10 90

図8 丸棒(10mmφ)成形体[AL-160SG]の乾燥・焼成性状

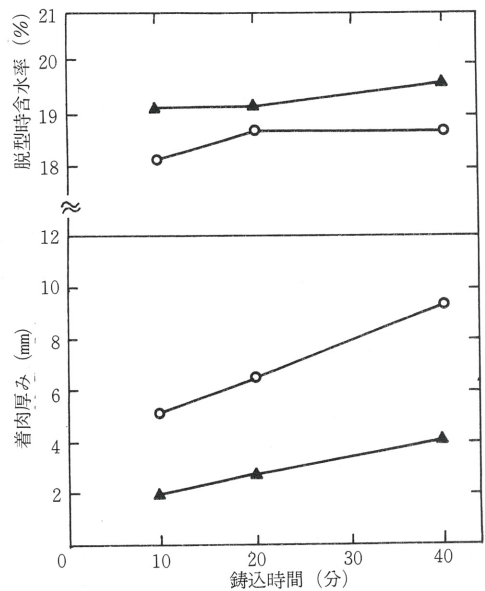


図10 鑄込時間と成形体の関係

鑄込条件 { A : 10kg f/cm² —○—
D : 0 kg f/cm² —△—

な成形体となった。

鑄込時間と着肉性の関係を図10に示す。易焼結性アルミナに比べ2倍の40分間鑄込んでも、着肉厚みは9mm程度で、非常に着肉性が悪い。このことから粘土を多量に含む素地では、生産性を上げるためには、鑄込圧力が10 kgf/cm²でも低く、もっと高圧で成形する必要があると思われる。

図11に示すように乾燥収縮率は、圧力鑄込成形体がいずれも、2.5%以下であるのに対し、常圧鑄込では8.9%と非常に大きく、易焼結性アルミナの場合と同様に寸法精度の向上が期待できる。他の乾燥・焼成性状と成形条件との間には明確な関連性は見い出せなかった。

3.3 圧力鑄込による試作

易焼結性アルミナを用いて、水分量20%，分散剤量0.5%，バインダー添加量2%で調整した泥しょうにより、鑄込圧力5 kgf/cm²，鑄込時間20分間の条件で、写真に示すような肉厚に差のある3枚羽根の大型プロペラ(直径300mm，最大厚み12mm)を試作した。

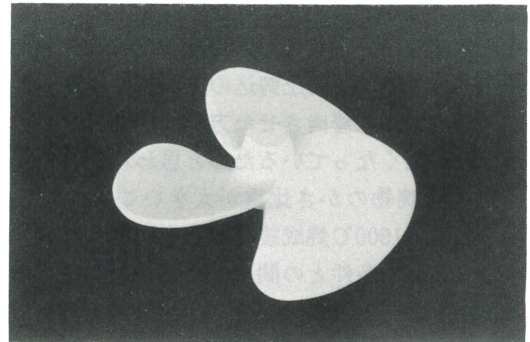


写真 試作品(プロペラ)

4. まとめ

ファインセラミックスの高圧鑄込成形技術の確立を目的として、アルミナ系セラミックス素地を対象に、鑄込圧力、時間、石膏型等の基本的な鑄込成形条件が、着肉性や成形体の物性に及ぼす影響について検討した結果、次のことが判明した。

- (1) 石膏型が使用可能な10 kgf/cm²までの圧力鑄込を行った結果、着肉速度が速く、常圧に比べ成形時間が大幅に短縮できると共に肉厚製品や肉厚差のある製品の成形も容易になった。
- (2) 乾燥収縮率が、易焼結性アルミナでは1%以下に、粘土を含むアルミナ添加磁器素地でも2.5%以下になり、常圧鑄込に比べ、1/4～1/8に低減でき、成形体の寸法精度が向上した。
- (3) 常圧鑄込では石膏型の気孔径や吸水率が大きくなるほど着肉性は良くなるが、鑄込圧力が2～10 kgf/cm²の範囲では、石膏型の種類と着肉性や成形体の物性との間には、顕著な関連性は認められなかった。
- (4) 粘土を多量に含むアルミナ添加磁器素地の場合、より成形時間を短縮するには、鑄込圧力が10 kgf/cm²でも不足しており、もっと高圧で成形する必要性が認められた。

参考文献

- (1) 星ほか：愛知県常滑窯業技術センター報告，No.14，23～26 (87)
- (2) セラミックス基礎工学講座小委員会：セラミックス，19，234 (84)

