

# 307 光造形法によるセラミックス部品の成形法に関する研究

—ゾルーゲル光造形プロセスの検討—

北海道大学工学部○河内庸彦, 橋原弘之, 五十嵐悟, 斎藤勝政

## 要旨

粉末からのセラミックス部品の成形法の確立を目的として、複雑な3次元形状物体が作製可能な光造形法に基づく成形法を検討した。試作成形装置による成形実験を行い、製作された成形体の形状や比重に成形条件が与える影響を求めた。しかし、粉末からの成形では緻密なセラミックスを作るには問題点があり、機能性ガラス及びセラミックスの合成法として知られているゾルーゲル法と光造形法とを組合わせた方法の検討を行った。

### 1. はじめに

光造形法は複雑な3次元物体を短時間で簡単に作製できる技術である。しかし模型の素材となる光硬化性樹脂はそれ自身の強度、硬度などの機能性が低く、機械要素部品として使用することは難しい。また、現在のセラミックス成形技術では、複雑形状部品を成形するのに難点がある。そこで光造形法に基づく粉末からのセラミックスの成形を試みた。この方法により作った成形装置でアルミナ粉末 ( $Al_2O_3$ ) を使用し成形実験を行い、そして成形条件、特にレーザの走査速度・光硬化性樹脂の濃度 (樹脂: アルコール) が製作された成形体の形状や比重に与える影響を調べた。しかし、粉末からの成形では緻密なセラミックスの作成が難しいと考え、ゾルーゲル法と光造形法を組合わせたセラミックス部品の成形法の検討を行った。

### 2. (粉末からの) 成形原理

以下に成形原理をを説明する (図1)

- ① 1層だけ成形テーブルを下げ、セラミックス粉末を供給し、スキージする。
  - ② 粉末に紫外光で硬化する樹脂を供給する。
  - ③ 紫外線レーザ光を立体的スライス形状にしたがって照射することにより粉末中に含まれた樹脂が結合剤の役目を果たし、粉末を固化する。
- 上記①～③の操作を繰り返し、積層することにより3次元形状物体を成形する。

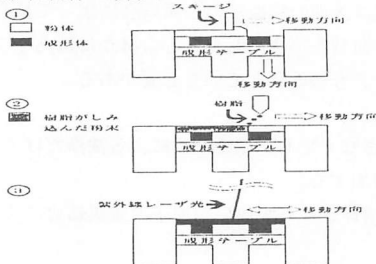


図1 粉末からの成形法原理図

### 3. (粉末からの成形における) 実験装置と実験条件

#### 3. 1 実験装置

実験装置はレーザ光源 (波長325 nmのHe-Cdレーザ ウシオ電機製 PCHN-U10R)、レーザ光の露光時間を制御する電磁シャッター (Sigma機製 Σ-65L)、レーザ光の走査を制御するスキャナー (General Scanning社製 XY2026U)、成形テーブル、成形テーブルを上下させる直動アクチュエータ (THK製 03-WX-60-200) からなる。

#### 3. 2 実験条件

レーザパワーは13.0~15.0 mW、粉末粒径は0.13 μmを使用し、層厚さ0.2 mmで5層よりなる網目形状を積層させる。

走査速度、樹脂濃度 (光硬化性樹脂: アルコール) に対する網目形状の線幅と比重の関係を調べるため、走査速度・樹脂濃度を変えて成形実験を行った。その結果を図2、図3に示す。

### 4. (粉末からの成形) 実験結果と考察

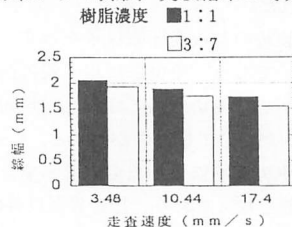


図2 走査速度・樹脂濃度 - 線幅グラフ

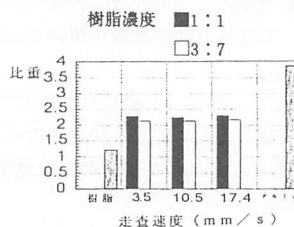


図3 走査速度・樹脂濃度 - 比重グラフ

図2より走査速度の増加につれ、線幅が減少しているのがわかる。これは、光造形法で走査速度が速くなると、露光時間が短くなり、樹脂の硬化状態が悪くなる性質が反映された結果となった。図3より走査速度の変化が比重に影響を与えることは確認できなかった。しかし、樹脂濃度が高いほど比重そして線幅も大きい値になったのは、結合剤としての樹脂の絶対量が多いほうが結合する粒子が増えるためと考えられる。また、この比重値は真比重であり、かさ比重は当然もっと小さい値になる。これは成形体内部に光硬化性樹脂が混ざり、また加圧されていないので成形体が充分緻密でないと考えられ、加熱して樹脂を飛ばし、焼結した後も緻密さを期待できない。そこでこの問題を解決できる方法としてゾルーゲル法と光造形法を組合わせたセラミックス部品の成形法の検討を行った。

## 5. ゾルーゲル光造形プロセスの検討

### 5. 1 ゾルーゲル法とは

作花氏らの文献<sup>1) 2) 3)</sup>によると金属の有機や無機化合物の溶液を出発原料とし、溶液中での化合物の加水分解・重縮合によって溶液を金属酸化物または水酸化物の粒子が溶解したゾルとして、さらに反応を進ませてゲル化し、できた多孔質のゲルを加熱してガラス、多結晶体（セラミックス）を作成する方法である。

### 5. 2 ゾルーゲル光造形プロセス

ゾルーゲル法の出発原料が粉末のような固体ではなく溶液である点を活かし、ゾルーゲル法と光造形法を組合わせたセラミックス部品成形法として次のような3つの方法が考えられる。

- ①光造形法で所望の形状のメッシュ体を作り、これをゾル溶液に浸し、溶液を反応させてゲル化することにより、ゲルを成形する方法
- ②粉末からの成形法で作った成形体を①と同じようにゾル溶液に浸し、溶液を反応させてゲル化することにより、成形体内部の気孔を小さくする方法
- ③光造形法で作った所望の形状の雌型を作り、その型にゾル溶液を流し込み反応させてゲル化することにより、ゲルを成形する方法

以下にこの3つの方法をa. 不要ゲル除去時の成形体の破壊、b. 亀裂の発生、c. 成形体の比重、d. 焼結体の緻密さの4つの観点から検討してみた。

(a) ①の場合形状が複雑すぎるとメッシュ体の内側と外側で結合していたゲルをきれいに切り放すのは難しいと思われる。②の場合成形体が十分に硬化していないと不要ゲルを除去する時に成形体を破壊してしまう可能性がある。

表1. 3つのゾルーゲル光造形プロセスの比較

	①	②	③
a. 不要ゲル除去時の成形体の破壊	メッシュ構造による	可能性大 成形体強度による	可能性なし
b. 亀裂の発生	ゾルーゲル法に依存	樹脂の量に依存	ゾルーゲル法に依存
c. 成形体の比重	小さい	やや大きい	①より大きい
d. 焼結体の緻密さ	樹脂の量による	樹脂の量による	緻密さ可能大

(b) ①、③の場合ゾルーゲル法の亀裂防止の対策法を参考にすれば防げられると思われる。②の場合ゲル体の亀裂によるものでなく、樹脂を加熱により飛ばす際にできる気孔の大きさによると思われる。

(c) ゲル体の比重は約1.0～1.7で小さいし、粉末からの成形体も小さいが、②の場合成形体の気孔へゾル溶液が入り、反応してゲル化すれば気孔が微小になり比重は元の成形体より大きくなると思われる。①は樹脂が内部に在る分比重は③より小さくなる。

(d) ①、②は成形体内部に樹脂が在るため、加熱により樹脂を飛ばし焼結する際に成形体ができる気孔の体積分どれだけ収縮するかによる。

## 6. おわりに

光造形法に基づいた粉末からのセラミックス部品の成形法を考え、成形実験によりその有効性を確認した。また、レーザの走査速度、樹脂濃度（樹脂：アルコール）が成形体の形状や比重に与える影響を確認した。しかし、緻密な焼結体を得るためには不充分だと思われる。そこで、3つのゾルーゲル光造形プロセスの検討をした。その結果どの3つのプロセスも多少問題はあるが、ゾル溶液を亀裂や破壊が起こらないようにゲル化できれば、緻密な焼結体を作成することが可能であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 作花済夫：ゾルーゲル法の科学、アグネ承風社（1988）p.8-13.
- 2) B. E. Yoldas: Am. Ceram. Soc. Bull., 54 (1975) P.286-288.
- 3) B. E. Yoldas: J. Am. Ceram. Soc., 65 (1982) p.387-393.