

Brightorb

(2017年～現在)

Key-words : アディティブマニュファクチャリング, 3Dプリンター, 造形材, 鋳型, 陶芸

注1 鋳物の内部に中空部分を形成するために用いる鋳型。

注2 JIS B9441:2020において以下の7種に分類されている。結合剤噴射法, 指向性エネルギー堆積法, 材料押出法, 材料噴射法, 粉末床熔融結合法, シート積層法, 液槽光重合法。

注3 粉末床から印刷後の造形体を取り出す際に、造形体周囲の余粉を取り扱う作業。

アディティブマニュファクチャリング (Additive Manufacturing, 付加製造, 以下AM) は3Dデータを元に材料の積層を繰り返して造形物を得る製造方法であり、型を必要としないため、迅速に複雑な形状の一体造形ができる。セラミックAMでは種々の造形方式が存在し、適用材質も増加してきており、ファインセラミックス部材や鋳型・中子などの製造が行われている。近年ではAMでの鋳型・中子の製造に適した造形材が開発され実用されている。その焼成収縮率は約1%と小さいために大型かつ複雑形状の造形が行え、陶芸用途でも活用され始めている。

1. 製品適用分野

鋳型, 中子^{注1)}, 陶芸

2. 適用分野の背景

AM分野では、3Dプリンターの機器完成度の向上、寸法精度の向上、適用材質の増加、造形サイズの拡大、造形の高速化など技術向上が著しい。セラミックAMでは、造形方式^{注2)}は、液槽光重合法、結合剤噴射法、材料噴射法、材料押出法、が実現されており、適用先は、ファインセラミックス製造、金属鋳造用の鋳型および中子 (以下、鋳型・中子) 製造、陶芸、建築、といったさまざまな分野へ広がりがつつある。

鋳型・中子には、寸法精度や耐熱性が必要であることに加え、短納期化、複雑形状の一体造形化、鋳物品質向上および作業環境改善のための無機化、といった要望が高まっている。そのため、セラミックAMによる鋳型・中子の製造が注目されてきている。

3. セラミックスの特徴

鋳型・中子の製造に用いられるセラミックAMの造形方式として、液槽光重合法と結合剤噴射法が挙げられる。

液槽光重合法は、アルミナやジルコニア等の粉末

と紫外線硬化樹脂とを混合したスラリーを光重合によって固化し、焼成することによって造形体を得る。概ね10%以上の焼成収縮を伴うため寸法制御が難しく、特殊な製品用途が多いとされている。高精細である特長を活かした今後の展開が期待される。

結合剤噴射法は、砂やセラミック粉末へ印刷ヘッドからフラン樹脂や水ガラスなどバインダーを吐出して、鋳型・中子等の造形体を得る。比較的、タクトとコストに優れることから、既に自動車部品鋳造などの鋳型・中子の製造へ展開が進んでいる。この鋳型・中子は、有機バインダーを用いて焼成せずに鋳造に用いられることが多いが、鋳物へのガス欠陥の生成リスクや作業環境への影響から無機化が望まれ、新規な造形材 (以下、本造形材) が開発された。本造形材は、印刷後に焼成が可能であるために鋳造時のガス発生がなく、焼成時の収縮がわずかであるために大型かつ複雑形状の鋳型・中子を製造できる。

4. 製品

鋳型・中子に求められる特性として、①耐熱性、②低ガス発生性、③寸法精度および面精度、④機械的強度、⑤高純度、⑥鋳造後の除去性、⑦低コスト、⑧短納期、が挙げられる。結合剤噴射法用の造形材には、⑨高い流動性、⑩印刷後の造形体のハンドリング性 (機械的強度やデバウダー^{注3)}性など) が要

求される。それらの要求を高い水準で満たすために、本造形材の骨材には高耐熱性の球状セラミック粒子が用いられる。骨材の顕微鏡像と化学組成の例を図1と表1に、造形材の特性例を表2に、それぞれ示した。

表1 球状セラミック粒子の化学組成例 (FINE-Bz[®])

成分	含有率 [%]
Al ₂ O ₃	80
ZrO ₂	10
SiO ₂	9

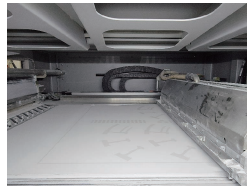
表2 造形材の特性例 (BRIGHTORB[®] FBB)

軽装かさ密度 [g/cm ³]	1.84
重装かさ密度 [g/cm ³]	2.24
安息角 [°]	35



図1 球状セラミック粒子の顕微鏡像

造形材の骨材に用いられる粒子 (FINE-Bz[®])。耐火物屑を主原料として電融法により製造される。球形であり造形材に流動性を与える。



印刷



発掘



コロイダルシリカ含浸



焼成

図2 造形材から鋳型・中子を製造するプロセス

粉末床上の造形したい領域への水（添加剤含む）吐出とリコートを繰り返して造形材を水和硬化させる。硬化後、発掘し、エアブロー等でデパウダーし、コロイダルシリカを含浸し、焼成する。

5. 製法

造形材から鋳型・中子を製造するプロセスを図2に示した。積層造形用にスライスされた3Dデータに基づき、1層ごとに印刷を繰り返す。本造形材はセメントを含有しておりセメントを水和硬化させるために印刷ヘッドから水を吐出する。なお、印刷されなかった周囲の未硬化の造形材は回収して再使用する。硬化後、造形体にコロイダルシリカを含浸し、焼成し、鋳型・中子を得る。

6. 製品性能・スペック

1290℃にて焼成した造形体の特性例を表3に示す。なお、機械的強度はコロイダルシリカ含浸条件および焼成条件で調節することが可能であり、抗折強度で概ね3～20 MPaの範囲で任意の強度とすることができる。そのため、鋳造後の鋳型・中子の除

表3 1290℃で焼成した造形体の特性例

かさ密度 [g/cm ³]	2.1
強制吸水率 [%]	18
抗折強度 [MPa]	19
熱膨張率 (1000℃) [%]	0.6
熱伝導率 (室温) [W/(m・K)]	0.6
比熱 [J/(kg・K)]	1000

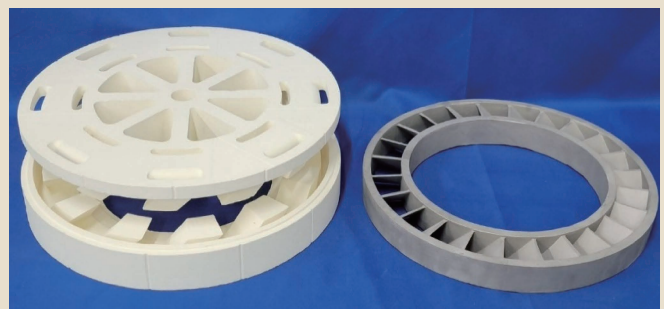


図3 鋳型と鋳物の外観

中子と主型を一体化させ上下2分割で製作した鋳型（左）と、その鋳型を用いて精密鋳造法にて鋳造したステンレス鋼の鋳物（右）。鋳型の外径は310 mm。

去性を重視する場合には、造形体の強度を低めにする運用が行われる。焼成収縮率は約1%とわずかであるため、焼成による変形や割れが起きにくく、大型かつ複雑な形状の鋳型・中子を精度よく造形することが可能であり、長さ700 mm超で単重30 kgの造形実績もある。本造形体は耐熱性に富んでおり、ステンレス鋼など注湯温度が1600℃を超える鋳造へも用いることが可能である。図3に鋳型兼中子とそれを用いて鋳造した鋳物の外観を示した。

7. 現在・将来展望

本造形材はインペラー等鋳造用の鋳型・中子の製造に用いられるが、ガスタービン部品のような高付加価値製品の鋳造に適用されるためには、造形材自体および印刷後の後処理、3Dプリンター、の改良によって面粗さや寸法精度をより高めていく必要がある。

大型かつ複雑形状のセラミックスが得られる本造形材は、鋳型・中子のみならず、新しい用途も考えられ、高い意匠性を求める陶芸用途においても活用され始めている¹⁾。

文献

1) 梶 哲郎, セラミックス, 56, 742-746 (2021).

【連絡先】 戸村 信雄 (とむら のぶお)
〒676-8655 兵庫県高砂市梅井5-6-1
AGCセラミックス(株) アディティブマニュ
ファクチャリング室