

セラミックス粉末積層造形技術による部材の高付加価値化を目指して

国立研究開発法人産業技術総合研究所

堀田 幹則

1. テーマ設定の背景

近年、樹脂や金属に次ぐ材料として、セラミックスへの3D積層造形技術の応用が欧米を中心に拡大しつつある。セラミックスの分野では、液槽光重合法（光造形法）などにより、高密度かつ複雑形状品の高精度な造形に成功しており、これら手法を適用した造形装置も存在しているものの、寸法的には比較的小さな造形物が多い。セラミックスは高融点かつ脆性の材料であるため、樹脂や金属に比べて軟化・溶融しにくく、造形時に生じる熱衝撃などに弱い。よって、樹脂や金属向けに開発された直接的に溶融・凝固し積層させる造形手法をそのまま適用することは困難である。そこで、著者らはセラミックスを溶融・凝固せずに、粉末床溶融結合法に属する粉末積層造形により成形体を作製し、得られた成形体を焼成炉で脱脂および焼結する手法を採用した。なお、粉末積層造形は乾式成形であることから、光造形などのスラリーやペーストを用いた湿式成形に比べて、密度が高い成形体の作製は困難ではあるが、歪みなどを抑えることができるため、比較的大型な部材の作製に適している。

2. 素形材分野との関連性

3D積層造形技術では、従来の型成形や加工では困難な複雑形状部材や中空部材を製造することが可能である。また、上記のような製品の形状設計の自由度向上に加え、型不要による生産工程短縮に資する造形技術やデジタルによる新たな部材製造技術としても期待されている。さらには、異種材料積層や傾斜機能構造などの複合化が可能であることから、マルチマテリアル一体物の製造への適用も将来的に期待される技術である。

3. 研究開発の成果

3.1 作製手法と検討内容

図1に作製フローを示す。造形用粉末として、バインダーの役割となる樹脂とセラミックス原料との混合粉末を使用した。この造形用粉末をローラーで敷いて、薄い粉体層を形成させた。続いて、所望の形状となるように、粉体層に対してレーザーをスキャンさせて照射し、加熱された樹脂が溶融することでセラミックスと樹脂からなる成形層を作製した。次に、得られた成形層の上に造形用粉末を敷いて粉体層を形成させた後、レーザーを照射した。これらを繰り返すことで、3D形状の成形体を作製した。その後、成形体中の樹脂を加熱除去し、さらに焼結する工程を経ることにより、3D形状のセラミックス焼結体を作製した。この手法で要求される点は、高い成形体密度を得ることである。その理由は、後工程での焼結の際に収縮や歪みが少なく寸法精度が良好となり、また焼結体の密度が高くなることに繋がるためである。成形体密度を高くするためには、粉体層の密度を高くする必要があることから、造形用粉末の充填性が重要となる。また、造形用粉末をローラーで敷いて均一な層厚からなる粉体層を形成する必要があることから、造形用粉末の流動性も重要となる。そこで、充填性や流動性が良好な造形用粉末を得るために、セラミックス原料とバインダー樹脂に適した混合方法、またレーザー加熱で溶融する樹脂の選定、などを含む粉末調製技術について検討した。また、レーザー照射条件の最適化などの造形技術、脱脂や焼結などの後工程技術についても検討した。

3.2 作製事例

本開発技術を用いた反応焼結炭化ケイ素の作製事例を紹介する。セラミックス原料としては、角状で粒径 $30\mu\text{m}$ 程度の炭化ケイ素粉末を用いた。これにバインダーとなる樹脂粉末を加えて混合し、凝集が生じにくく流動性が良好な造形用粉末を調製した。この造形用粉末をローラーで敷くことで厚さ $100\mu\text{m}$ の粉体層を形成させた。得られた粉体層の表面は、溝やくぼみが生じていないことを確認した。その後、レーザー加熱と粉末積層層を繰り返すことで、炭化ケイ素と樹脂からなる成形体を作製した。次に、得られた成形体を炭化処理した後、溶融させた金属ケイ素を成形体中に含浸させ、成形体中の炭素と反応させて炭化ケイ素を生成させることにより、反応焼結炭化ケイ素を作製した。

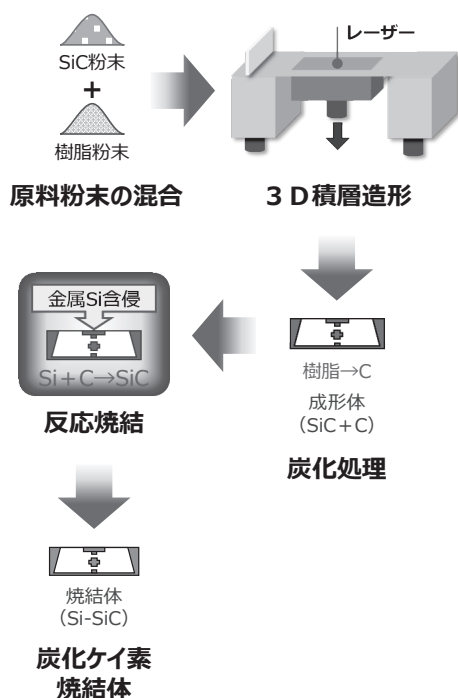


図1 反応焼結炭化ケイ素の作製フロー

この反応焼結法は焼結助剤を用いた粉末焼結法に比べて焼結温度が低く、成形体中の空隙を金属ケイ素で埋めることにより、助剤を添加せずに緻密な焼結体を得ることができる。さらに、焼結による寸法変化が少なく、複雑形状物がニアネットで作製できる利点がある³⁾。金属製では熱回収が困難な高温域での用途を目指した工業炉用熱交

換器モデルを試作した（図2）。流路の複雑形状化により、伝熱面積の増大や流体の乱流化などによる熱伝達率の向上が期待される。

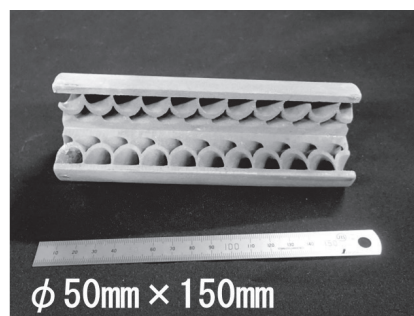


図2 試作した工業炉用熱交換器モデル

4. 訴求点

本手法では、積層造形技術は勿論、前工程の粉末調製技術や後工程の脱脂・焼結技術も重要となる。我々が長年培ってきたこれら周辺技術を応用し組み入れることで、セラミックス粉末積層造形システムの基盤技術を構築した。また、開発した本技術を用いて作製した焼結体の物性値は、従来法とほぼ同等であることを明らかにした。この物性値を保持しつつ、従来法では作製が困難な複雑・中空形状品を実現した。

参考文献

- 1) 大司達樹, セラミックス, Vol.52, No.10, pp.683-686 (2017).
- 2) 近藤直樹、堀田幹則、嶋村彰紘、大司達樹, セラミックス, Vol.52, No. 10, pp.700-702 (2017).
- 3) 須山章子、亀田常治、伊藤義康, 東芝レビュー, Vol.58, No.5, pp.46-49 (2003).