

金属 セラミックス

3Dプリンター用材料の開発

和田 誠 | 第一セラモ株式会社 営業部 専門課長 新規事業担当

3Dプリンターは、2012年頃から世界中で注目されるようになり、近年、高温や高圧にも耐えられる材料など選択肢も増えたことで、実用化に向けた動きが進んでいる。現在、3Dプリンターで材料を積層して造形する方式には7種類あり、なかでも材料押出(MEX)方式は構成がシンプルで安価なため、樹脂用3Dプリンターとして最も普及している。最近では、金属材料やセラミックス材料の適用も可能となり、

注目度も高い¹⁾。第一セラモ株式会社は長年にわたり、小型で複雑な形状の金属やセラミックス部品を製造するPIM(粉末射出成形)用の材料開発を進めてきた。これまで培ってきたこの技術を3Dプリンター用材料に応用することで、従来では難しかった特殊形状の金属やセラミックス部品の造形が可能になった。その技術および応用展開について紹介する。

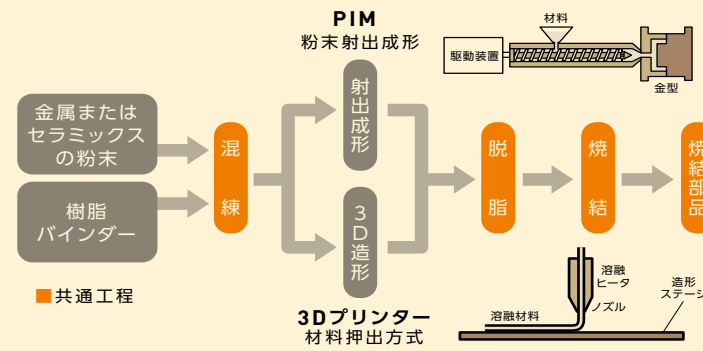


図1 PIMおよびAM技術の生産プロセス

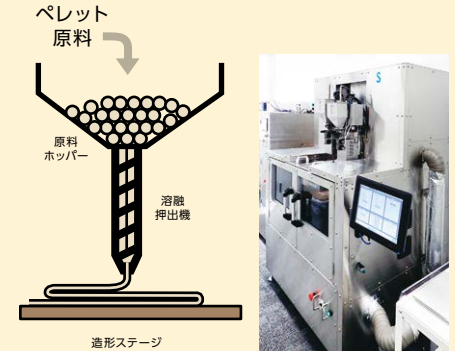


図2 ペレット原料が使用できるMEX方式3Dプリンター



図3 3Dプリンター用材料 (左: SUS316L, 右: ジルコニア)

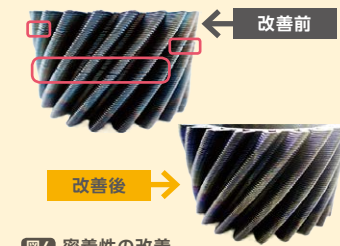


図4 密着性の改善 (SUS316L造形品)



図5 糸曳性の改善 (ジルコニア造形品)

AM技術

AM技術の特長

AM(アディティブ・マニファクチャリング)は、付加製造とも呼ばれ、3Dデジタルモデルのデータを薄く分割し、断面形状の必要な部分のみに材料を加え、層ごとに積層する加工法である。AM技術は、形状の自由度が高く、部品の一体化やトポロジー最適化による軽量化ができるなど、従来の加工技術では困難な形状を造形できるため、幅広い分野で新しいキーテクノロジーとして期待されている。

金属、セラミックスのAM技術

AM技術は、樹脂だけでなく、金属やセラミックスなどさまざまな材料が適用されているが、材料によって造形方式が異なる。

金属材料では、レーザーや電子ビームを熱源として、平たんに敷き詰めた金属粉末を一層ずつ溶融・固着しながら積層していくPBF(powder bed fusion)や、レーザー照射位置に粉末材料を吹き付けるDED(directed energy deposition)が用いられてきたが、最近では金属粉末に液体バインダーなどの結合剤を噴射するBJT(binder jetting)に

加え、粉末と樹脂バインダーの混練物を溶融して押し出し、積層するMEX(material extrusion)が目立ってきている。セラミックス材料では、光硬化性樹脂とセラミックス粉末を混合して使用するVPP(vat photopolymerization)やPBFに加え、BJTやMEXも検討されている²⁾。

PIM技術を活用した3Dプリンター用材料

PIM技術の特長

PIM技術は、粉末と樹脂バインダーの混練物を射出成形し、精密で複雑な小

型形状の金属やセラミックス部品を大量に製造するのに適した加工方法で、量産に向いている。材料の自由度が高く、各種粉末冶金原料が使用される³⁾。

PIMの生産プロセスには、混練、造粒、射出成形、脱脂・焼結の工程がある。各種粉末と所定の割合のバインダー(40~60vol%)を混練後、ペレット形状に造粒する。射出成形で得られた成形体のバインダー成分を除去(脱脂)し、焼結にて原料粒子同士を接合、緻密化させる。

PIMにおけるバインダーの技術、脱脂・焼結による金属やセラミックス焼結体を得る技術をAM技術に応用する⁴⁾。

MEX方式への適応

当社の保有するPIM用粉末と樹脂の混練技術、バインダー設計技術を活用できる3Dプリンターに着目し、MEX方式の金属やセラミックス材料への展開について検討を進めた。MEX方式では一般的に棒状のフィラメント形状を溶融押し出しするが、ペレット形状の材料を用いることで、粉末の高密度充填、パイ

ンダー組成の最適化などで優位である。そこで、3Dプリンター装置メーカーと共同で金属やセラミックス材料のペレット原料が使用できるMEX方式の3Dプリンター⁵⁾を改良し、それに適した材料を開発した⁶⁾。

3Dプリンター用材料の開発

PIM製法は、金属やセラミックス粉末を含んだ材料を加熱溶融後、冷却した金型に射出注入し、冷却固化して成形体を得る方法である。PIM用材料は、射出成形時の金型転写性を上げるための流動性、金型からの離型性、サイクル時間を短縮する冷却特性に加え、脱脂時の保形性、クラック、フクレの発生抑制などに対応した組成で設計されている。一方、MEX方式の3Dプリンターの製法は、金属やセラミックス粉末を含んだ材料を加熱溶融し、ノズルから吐出、冷却固化し、1層ずつ積層することで造形品を得る方法である。3Dプリンター用材料においては、溶融押し出しにおける流動特性の制御、吐出された溶融物同士の融着・密着性、冷却に

ともなう収縮性と造形体強度を踏まえた材料設計、ノズル吐出口から移動する際の糸曳性制御などが必要となる。さらに、PIM製法と同様に脱脂時の変形やクラック抑制製法に対応する組成設計が必要である。

MEX方式において積層間の密着性および造形強度が不足した場合、引張応力により積層間に亀裂が入り形状を保持できなくなる。密着性および造形強度を向上させることで、連続した積層造形が可能となり、同時に冷却収縮や脱脂変形に対しても形状を保持することが可能となる⁷⁾。また、糸曳性制御が悪い場合は、造形点と造形点の間が離れた糸曳状態となり、外観上大きな問題となる。糸曳性を抑えたバインダー設計および造形条件により、造形停止後の移動時に上手く切断されて糸曳を抑えた造形品を得ることが可能となる⁸⁾。

開発した技術をもとに金属ではステンレス材料、セラミックスではジルコニア、アルミナの材料を先行し、評価を進めている。

表1 AMプロセスの分類

方式	定義		
BJT	binder jetting	結合剤噴射	液状の結合剤を選択的に供給して、粉体材料を結合する
DED	directed energy deposition	指向性エネルギー堆積	集束させた熱エネルギーを利用して材料を溶融し、結合し、堆積させる
MEX	material extrusion	材料押出	ノズル又はオリフィスから材料を押し出し、選択的に供給する
MJT	material jetting	材料噴射	造形材料の液滴を選択的に堆積する
PBF	powder bed fusion	粉末床溶融結合	熱エネルギーを使用して粉末床を選択的に溶融凝固する
SHL	sheet lamination	シート積層	シート状の材料を積層し、層間を結合して造形物を形成する
VPP	vat photopolymerization	液槽光重合	容器内の液体光硬化性樹脂を光重合によって選択的に固化する

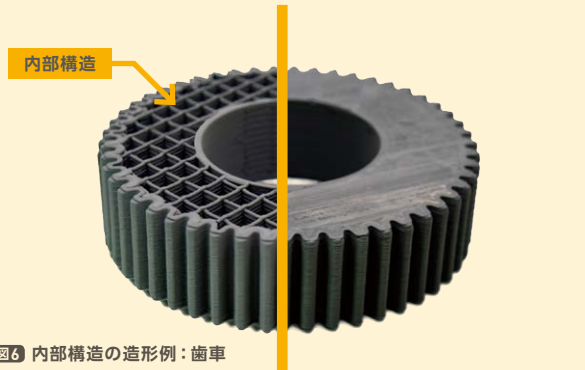


図6 内部構造の造形例：歯車 (SUS316L造形品)

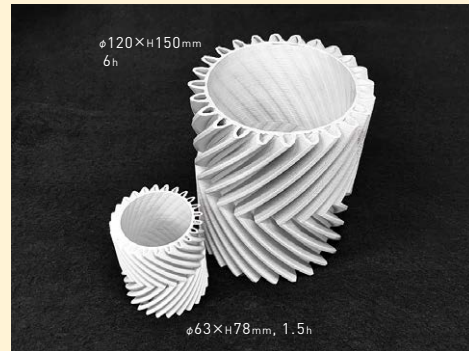


図8 大型形状の造形例：V字ギア (上：SUS316L焼結品、下：ジルコニア焼結品)

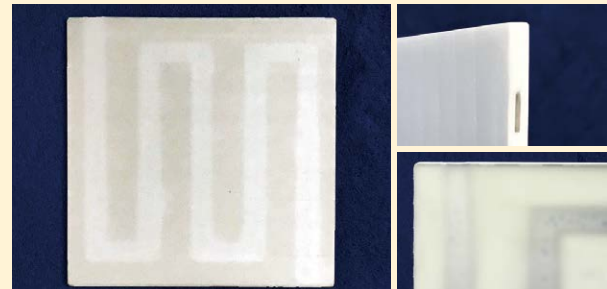


図7 内部空洞の造形例：流路 (アルミナ焼結品)

MEX方式の特長

内部構造制御 > 軽量化

MEX方式では、必要な部分以外は空間となるため、外観全体を覆うような内部空洞を作ることができる。図6に歯車状の造形物の例を示す。内部格子構造を設計で任意に変更することができ、軽量化が可能である。

内部構造制御 > 多機能化

空間部に独自の熱分解型支持材を使用することで、空洞部の垂れ防止や支持材除去の必要がなく、任意の空洞を持つ内部構造を実現することができる。図7は、内部に流路や空洞を設けた造形例で、断熱性や絶縁性などさまざまな機能を持たせている。

大型・高速造形

MEX方式は、熱熔融した材料をノズル(φ0.3~4mm)から押し出すため、VPP方式やBJT方式よりも高速で、大型の造

形に適している。

図8は、ギア形状の造形例で、φ63×H78mmが1時間30分、φ120×H150mmの大型形状でも6時間で造形できる(ノズル径：1mm、積層ピッチ：0.25mm、造形速度：1800mm/min)。

緻密体構造

PIM技術を応用した脱脂・焼結により、緻密化された高密度の焼結部品が得られる。

図9は、セラミックス(ジルコニア)材料の造形品を脱脂、焼結した後の断面を観察したもので、内部の積層面は緻密化されている。焼結品の相対密度はPIMと同等の値を示している(ジルコニア(3Y)：相対密度6.05g/cm³)。

MEX方式の造形例

3Dプリンター用材料を用いたMEX方式の造形例をモデル形状にて紹介する。

図10は、連結部分に可動域を持ったリングの造形例で、高硬度材や高強度材

などの難加工材においても一体造形により加工を必要とせず作製することが可能となる。

図11は、多色のジルコニアを同時に積層したカップの造形例で、複数のノズルを用いて積層することにより、材料切り替えを必要とせず異種材料の一体造形が可能となる。

図12は、チェス駒およびランプシェードの造形例で、内部構造による造形品の重さ調整や幾何学模様により、オリジナルのインテリア雑貨や家具などの作製が可能となる。

いずれの造形例もモデル的に想定される形状を表したもので、今後も新しいものづくりの提案を進めていく。

今後の展開

AM技術の課題としては、造形速度、精度、造形サイズ、表面粗さ、製造コストなどがあり、各造形方式で取り組みが行われている。材料面では適材材質の

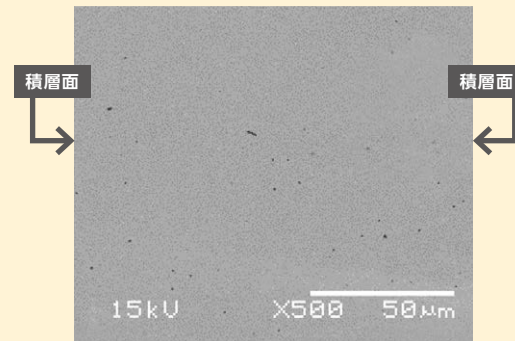


図9 ジルコニア焼結品の断面観察



図10 可動域を持った造形例：リング (ジルコニア焼結品)



図11 異種材料の造形例：カップ (ジルコニア焼結品)



図12 オリジナルインテリアの造形例：チェス駒、ランプシェード (ジルコニア焼結品)



少なさが課題となっている。AM技術は、産業用部品、航空宇宙部品、医療および歯科部品への適応が進められている。高精度を求める方式や造形速度や大型化をめざす方式など、用途により使用される造形方式の細分化が進むと予測される。

MEX方式の技術向上およびAM技術の実用的普及を目指し、2021年4月より、当社(材料)、エス・ラボ株式会社(3Dプリンター)、島津産機システムズ株式会社(脱脂・焼結炉)、近畿大学次世代基盤技術研究所の京極秀樹特任教授(評価、指導)の4者にて、「MEX方式の金属3Dプリンターによる金属・セラミックス部品の開発技術の革新」を目的とした共同研究を進めている。

今回紹介したPIM技術を応用したMEX方式のAM技術では、従来の金属やセラミックスのAM技術に比べ、内部構造制御による軽量化および多機能化、大型・高速造形化が可能である。また、粉末と樹脂バインダーを混練したペレッ

ト原料が使用できるため、材料の自由度が高い。

今後は、ステンレス、ジルコニアやアルミナのほか、焼結に用いられるタングステン、超合金、窒化ケイ素、炭化ケイ素など幅広いマルチマテリアルへの対応を進める。さらに複数ノズルを用いた異種材料の一体造形が可能のため、異なる組成材料で傾斜機能を持たせるなど、新たな機能付与も検討する。

おわりに

本稿では、当社がこれまで開発を行ってきたPIM技術を応用し、実用化に向けた3Dプリンター用材料の開発について述べた。

今後、さまざまな分野における顧客要望の新規材料や、用途開発につながる材料を提案し、新たな技術開発に貢献していく。



和田 誠
第一セラモ株式会社
営業部 専門課長 新規事業担当
☎ 0748-48-5377
✉ m-wada@dks-web.co.jp
www.dai-ichi-ceramo.co.jp

参考文献

- 1) 京極 秀樹、金属3Dプリンタに関する技術動向と実際の適用事例、機械技術、Vol.70、No.1、p.16~20 (2022)
- 2) 梶 哲郎、応用拡大する3Dプリンタ材料、工業材料、Vol.67、No.6、p.49~53 (2019)
- 3) 加藤和幸、小西勇介、セラミックス、Vol.53、No.1、p.26~29 (2018)

用語説明

PIM：粉末射出成形 Powder Injection Molding
トポロジー最適化：最適な構造レイアウトや材料配置が可能な設計ツール