

金属3Dプリンターの高速化と マルチマテリアル化の可能性と限界

近畿大学 京極 秀樹*

*きょうごく ひでき：工学部ロボティクス学科教授 次世代基盤技術研究所3D造形技術研究センターセンター長

はじめに

3Dプリンターは、ここ数年の間に“ものづくり”においては欠かせない装置となっており、航空宇宙分野やエネルギー・産業機器分野はもちろんのこと、デザインの分野においても威力を発揮してきている。たとえば、シンガポール科学技術研究庁（A*STAR）では、金属分野のAdditive Manufacturing（AM）技術の開発だけでなく、樹脂を使ったデザイン分野への適用、建築分野への3Dプリンターの開発など幅広い分野における研究開発と併せて人材育成を行っている。このように、2013年のオバマ前大統領による一般教書演説以降、AM分野の状況は急速に変化しており、すでにEUではAM技術に関する新たなロードマップ2030が作成され、中国でも“Made in China 2025”において、AM技術はものづくりの核となる技術として認識されてきており、新たなステージへの動きを見せている¹⁾。

このような中、7つのカテゴリーに分類されているAM技術の限界と適用範囲が次第に明らかになってきた。金属を対象とした3Dプリンターの方式としては、粉末床溶融（PBF）と指向性エネルギー堆積（DED）が主に用いられてきたが、高速化や低コスト化に対しては技術的な限界が見えてきた。このため、最近ではバインダージェット（BJ）方式による装置開発が活発化してきている。これまでExOne社やDigital Metal社などが開発してきたが、Tier1の部品メーカーであるGKN社も、

HP社とBJ装置の開発を行っているなど、今後大量生産の方式として急速な広がりを見せるものと予測される。さらに、材料押し出しによる金属への適用もDesktop Metal社やMarkforged社の装置開発により、安価な装置で複雑部品を製造できることから適用分野も広がっていくものと予測される。

また、ユーザーからの期待の高いマルチマテリアル化については、樹脂を対象とした方式ではすでにHP社のマテリアルジェット装置をはじめ、多くの装置が材料や色などのマルチ化を果たしてきている。一方、金属においては、DED方式では、材料選択には制限があるもののすでに可能となっており、TRAFAM（技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構）プロジェクトにおいても数種類の異なる金属でのマルチマテリアル化が実現している。しかし、PBF方式では、粉末のリコート方式やその後の造形に多くの課題を残しており、さらなる開発が必要である。PBF方式について報告されている例としては、Fraunhofer IGCV研究所による銅合金の例などがある。また、TRAFAMプロジェクトにおいては、電子ビームパウダーベッド方式の装置において、日本電子が開発を進めている。

本稿では、ユーザーの要望の高い3Dプリンターの高速化とマルチマテリアル化の可能性と限界について、金属3Dプリンターを対象として述べる。

AM技術の分類と特徴^{2),3)}

AM技術は、2009年にASTM F42委員会により、

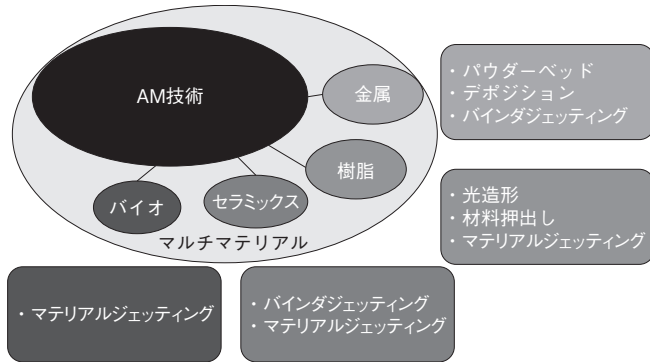


図1 AM技術と材料の関係

以下の7つのカテゴリーに分類された。

- (1) バインダージェットティング (Binder Jetting : BJ)
- (2) マテリアルージェットティング (Material Jetting : MJ)
- (3) 粉末床溶融 (Powder Bed Fusion : PBF)
- (4) 指向性エネルギー堆積 (Direct Energy Deposition : DED)
- (5) シート積層 (Sheet Lamination)
- (6) 光重合硬化 (Vat Photopolymerization)
- (7) 材料押し出し (Materials Extrusion)

これらの方式は、図1に示すように材料により適用範囲が異なるとともに、造形速度や造形体の品質にも大きな差が生じる。マルチマテリアル化に関しては、金属材料のみの組合せや将来に向けてのスマートマテリアルまでを考慮した場合では、当然これらの方式をマルチ化することも必要となってくることから、新たな装置開発も重要となってくる。

3Dプリンターの高速化

1. 溶融凝固現象⁴⁾⁻⁸⁾

金属積層造形においては、溶融凝固現象を伴うために、造形体内部に空隙や溶融不良が発生したり、組織が変化したり、あるいは熱変形により収縮や割れが発生したりするといった現象を伴う。これらの現象は造形条件に大きく影響されることから、溶融凝固現象の解明は高品質の造形体を得るためには重要である。このため、米国ではNISTやローレンスリバモア国立研究所(LLNL)な

どが、テストベンチを開発して高速度カメラやサーモビューワにより溶融池(メルトプール)の観察を詳細に行うとともに、溶融凝固シミュレーションと組み合わせて、欠陥の発生状況などを明らかにしている。

TRAFAMプロジェクトでは近畿大学と東北大学にテストベンチを設置して、高速度カメラとサーモビューワを用いて溶融凝固現象の解明を行うとともに、溶融凝固シミュレーション技術を開発している。近畿大学におけるレーザによる溶融凝固現象の高速度カメラの画像を図2に示す。図2(a)に示すエネルギー密度が低い場合には、溶融不良でいわゆるポーリング現象を起こすため、図3(a)に示すようなかなり大きな異形状の未溶融欠陥が発生する。図2(b)に示す最適なエネルギー密度においては、スパッタリングも少なく安定した溶接のビードに似た溶融凝固トラックを生成する。これに対して、図2(c)に示すエネルギー密度が高い場合には、キーホールが発生するとともに、メルトプールにおいてMarangoni対流が発生して大きく揺動し、凝固時にガスを巻き込むことから、図3(b)に示すようなガス欠陥が発生しやすい。加えて、大きなスパッタが発生してパウダーベッド上に残ると、リコート後にパウダーベッド上に空隙ができて未溶融欠陥[図3(a)]が生じやすいことなどが明らかになってきた。さらに、LLNLでは、シンクロトロンによる高出力X線を利用してメルトプール内部の溶融凝固現象を観察し、空隙やスパッタの発生メカニズムを明らかにしてきている。