

焼結現象を伴う金属積層造形技術の研究開発動向と 形式知化への課題

中住昭吾*

*産業技術総合研究所

要旨: 3D プリンタによる積層造形は、設計と製造がデジタル情報によって統合されたものづくりと言える。加工上の技術が全てデジタルデータに落とし込まれていることで属人性が極力排され、ものづくりの知識・技術・技能の継承に適している。本発表では、産業技術総合研究所の新しい研究拠点である北陸デジタルものづくりセンターを紹介し、そこに導入された、焼結に基づく新方式の金属 3D プリンタを用いた金属積層造形の研究開発の内容と、製造工程の中で人間が関与する技術についての知識・知能・技能継承への課題などを述べる。

1 はじめに

2023年5月に、産業技術総合研究所の12番目の地域拠点となる北陸デジタルものづくりセンター（以下、北陸センター）が福井県坂井市に開設された。ここでは北陸地域における”デジタルものづくり”に関する取組みを支援することを掲げ、金属 3D プリンタを中心とする金属加工、及び繊維産業の高付加価値化・サービス化を目指すスマートテキスタイル研究が行われている。

北陸センター内にはバインダージェット（以下、BJT）方式の金属 3D プリンタ本体及び造形後の後工程で用いる高温焼結炉と乾式電解研磨機が導入されている（図 1）。また、金属 3D プリンタの他にも、疲労試験機、非接触型 3 次元形状測定器、走査型電子顕微鏡の計測装置を導入しており、造形物の疲労強度、外形状、金属組織の結晶方位等、造形物の総合的な物理特性評価を行うことができる。今後、これらの装置類及び最適設計等のシミュレーション技術を活用し、金属 3D 造形技術の研究を推進していく予定である（図 2）。



図 1：金属 3D プリンタ本体及び造形に関連する装置

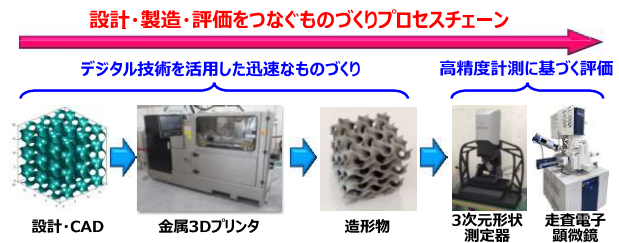


図 2：産総研北陸デジタルものづくりセンターにおける 3D 造形評価研究の全体概念

2 焼結現象を伴う金属積層造形の概要と主な特徴・利点

BJT 方式の金属 3D プリンタは、インクジェットノズルからバインダ（接着剤）を金属粉に吹き付けて仮固定し、造形後に加熱する工程を幾つか経た後に高温焼結を行って完全に固着させる方式である。

この方式の金属 3D プリンタの特徴として、まず高い生産性が挙げられる。現在の金属 3D プリンタの主流とされるレーザー熔融方式と比較して造形速度が早く、多層造形が可能のため大量生産に適している。造形物の歪みが生じにくいことから造形失敗となることが少ない。またサポート材が基本的に不要であることから金属粉末の再利用の効率上がり、コスト面で優れていると言える。他にも使用可能な金属材料の観点として、粉末状態で発火しやすい特性を持つチタン合金を扱いやすいという特徴がある。

一方、造形物の品質は、造形の後工程で行われる焼結によるところが大きい。造形物は焼結過程ではほぼ均一に収縮するため歪みは少ないものの、形状設計時にはその収縮率を考慮した寸法補正が必要である。そしてその収縮率には、焼結温度、時間、焼

結炉内部の環境など、多くの因子が関係していると見込まれる。

このように、BJT方式の金属3D造形は、従来型の方式に比べて生産性、コスト面で多くの利点を有している一方で、焼結工程には更なる改善の余地が見込まれており、この点が研究課題として意識されるところである。

3 作業工程における技能継承の課題

BJT方式の金属3Dプリンタを用いた作業工程のフローチャートを図3に示す。3Dプリンタ本体で造形を行った後に、複数の加熱工程を設けることが大きな特徴である。バインダを硬化させるためのキュアリング(200~300度)、次にバインダを除去するための脱脂(300~400度)、最後に本焼結(ステンレス材の場合は1400度程度)である。そしてキュアリングと脱脂の間に、金属粉末中に埋没している造形物を取り出すクリーニングが行われる。



図3：バインダージェット方式の金属3Dプリンタによる製造の流れ

クリーニング以外の各工程は装置内で行われるため、人間が行う作業は基本的には造形物の移動・搬入のみである。それに対してクリーニングは、現状では人間が完全な手作業で行っている(図4)。造形物はバインダの効果により、ある程度固さが保持されているものの、薄いあるいは細い形状の箇所は脆弱であるため、損傷しないように細心の注意を払いながら作業を行う必要があり、ある程度の熟練技能が求められる。

また、造形物の形状によっては特段の注意が必要である。図5は積層造形で頻繁に作成されるラティス(格子)構造とそのクリーニング作業を示す。ラティス構造は内部が非常に入り組んだ複雑な構造をしているため、内部の金属粉末を除去する作業が困難であり、また構造上、部材も非常に脆弱であることから、作業には繊細な技能が要求される。

その他にも、造形物を掘り出す順序が損傷しやすさに影響を与える場合もある。これには個々の造形物の位置と姿勢の関係も影響することから、作業者の技能だけでなく、取り出しやすい配置となるような設計支援システムも求められる。

BJT方式の金属3Dプリンタを用いて産業製品の生産を進めていくにあたり、このクリーニング工程の効率向上と熟練技能者の確保・技能継承が今後の課題であると認識される。将来的には、ロボティクス、センサー、人工知能を最大限に活用した、作業自動化システムの研究開発が発展していくことが期待される。



図4：造形工程終了後の造形物取り出し作業の様子

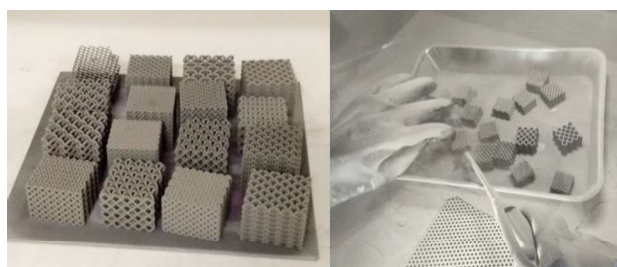


図5：ラティス構造(左)及びそのクリーニング作業(右)