産学連携 project 180

金属３Dプリンティングの高度化に向けた指向性エネルギ堆積法の開発

■研究者のプロフィール

金沢大学 設計製造技術研究所
生産加工システム研究室 准教授

やまぐち　みつぐ
山口　貢

TEL：076-264-6457
E-mail：yamaguchi@se.kanazawa-u.ac.jp
URL：https://ridb.kanazawa-u.ac.jp/public/detail.php?id=4893



研究シーズの概要

金属材料を用いたAM技術

金属3Dプリンティング（Additive Manufacturing（付加製造）：以下、AM）は、三次元CADデータに基づき、供給材を層状に積み重ねることで立体形状を造形する加工技術である。材料を必要な箇所に選択的に付加するため、従来法では加工が困難な複雑な内部構造や複数部品の一体構造を製作できる。金型や専用工具を必要とせず、CADデータから目的形状を直接造形できるため、多品種少量生産に適しており、製造リードタイムの短縮や材料歩留まりの向上が期待できる。金属AMは熱源や供給材により複数の方式に分類され、主に「粉末床溶融結合法（Powder Bed Fusion：PBF）」や「指向性エネルギ堆積法（Directed Energy Deposition：DED）」などが挙げられる。PBFは、金属粉末を薄く敷き詰めて粉末床を形成し、レーザや電子ビームを選択的に照射して粉末を溶融・凝固させる工程を繰り返すことで、立体形状を造形する。一方、DEDはレーザやアーク放電により供給する金属粉末やワイヤを局所的に溶融し、基材上に堆積させることで立体形状を造形する。近年では、航空・宇宙、自動車、医療、金型などの産業分野で金属AMの実用化が進められている。

指向性エネルギ堆積法

指向性エネルギ堆積法（DED）は、「レーザ」「アーク放電」「電子ビーム」などの熱源と、「金属粉末」「ワイヤ」などの供給材の組み合わせにより複数の方式に分類され（図１）、造形精度や造形効率、導入コストが異なる（表１）。他の金属AMと比較して造形速度が速く、大型部品の製作に適していることに加え、摩耗・損傷部の補修や肉盛、異種材料の付加による表面機能の向上などに適用できることが特長である。また、造形中に複数の材料を供給することで、材料組成を変化させた傾斜機能材料の製作も可能であり、従来法とは異なる材料設計への展開も期待されている。一方、DEDでは入熱、材料供給量、送り速度、積層経路などの多くの造形パラメータが供給材の溶融・凝固現象に影響する。そのため、造形条件により気孔や融合不良などの内部欠陥が形成されるほか、繰り返しの加熱・冷却に伴う熱収縮により残留応力や変形が発生し、造形部品の寸法や形状精度を低下させることが課題である。高品質な造形を実現するためには、造形現象の解明に加え、センシングによる造形状態のモニタリング、シミュレーションによる現象予測、造形条件の最適化やリアルタイム制御などが重要となる。これらの技術を高度化することで、DEDは大型部品の製造から補修・高機能化までを担う柔軟な生産技術として、さらなる発展が期待される。

ここでは、金属３Dプリンティングの高度化を目指し、著者らの研究所で取り組んでいる指向性エネ

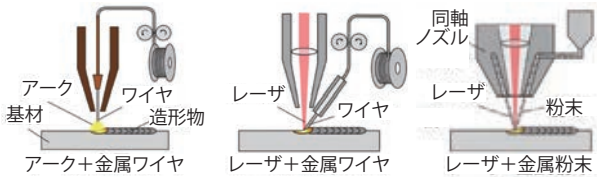


図１ DEDプロセスの分類

	アーク＋金属ワイヤ	レーザ＋金属ワイヤ	レーザ＋金属粉末
入熱制御	難	中	易
造形精度	低	中	中
造形効率	高	中	中
材料コスト	安価	安価	高価
設備コスト	安価	安価	高価

表１ DEDプロセスの特徴

ルギ堆積法に関する研究事例を紹介する。

デュアルワイヤを用いたDEDプロセスの開発

ダイス鋼（SKD61）は、優れた耐熱性や耐摩耗性に加え、高い硬度を有することから、パンチやシャーなどのせん断工具、シャフトやロールなどの耐摩耗部品、金型材料として用いられる。ダイス鋼には炭素やクロムなどの割れ感受性の高い元素が多く含まれるため、耐摩耗性を有する機能層の肉盛や金型の補修に適用する場合、クラックの発生を抑制するために400℃以上の高温での予熱・後熱処理が必要となる。しかしながら、大型部品を高温かつ均一に加熱することは容易ではなく、予熱・後熱に伴う設備導入や追加処理は、製造効率の低下やエネルギ消費量の増大につながる。そこで本研究では、レーザを熱源、金属ワイヤを供給材とするDEDを対象とし、軟鋼とダイス鋼の２本のワイヤをレーザ照射部へ同時に供給し、その供給割合を制御することで、要求特性に応じて材料組成を傾斜的に変化させるプロセスを提案した。軟鋼の靭性（じんせい）とダイス鋼の高硬度を適切に付与することで、予熱・後熱などの追加処理を行わずに硬度の確保と割れ抑制の両立が期待できる。これまでの検討から、ダイス鋼ワイヤの供給割合を調整することで、硬度を制御するとともにクラックの発生を低減できることが明らかとなっている。また、造形物内部では構成元素が均一に分布しており、多層造形時の熱影響による焼戻し効果により硬度を約500HVに調質できることも確認している。

アーク熱源を用いたノズル加熱型金属3Dプリンタの開発

従来の金属３Dプリンタは、造形パラメータが多く、造形モデルごとに最適条件が異なるため、条件設定と品質評価を繰り返す必要があり、前準備に多大な時間を要することが課題である。また、高額な設備費用や高度な知識・ノウハウも普及の障壁である。そこで本研究では、樹脂材料を用いた材料押出法のように、ノズル内で溶融した材料を吐出する方式を、アーク放電を熱源とするDEDに適用し、ノズル送り速度や積層ピッチなどの少ないパラメータで造形特性を制御できるプロセスを提案した。図２に本手法の概要を示す。アーク放電を利用して供給する金属ワイヤを加熱して溶融池を形成させ、ノズルの流入口に蓄積させる。アーク放電で発生する熱エネルギを利用してノズルを加熱し、重力やプラズマ発生に伴うジェット気流（アーク圧）を溶融池に作用させることでノズル内部に流入させる。その後、押し出された溶融池を基材上に積層させることで立体形状を得る。安価な装置構成を採用することで、金属AMの導入障壁が低減され、より広い分野への普及が期待できる。本手法を実現するため、まず造形装置を設計・製作した。その後、アルミニウム合金ワイヤ（融点約635℃）への適用を想定し、供給材の融点以上までノズルを加熱可能な造形条件を検討した。タングステン電極と高融点ノズルとの間にアーク放電を発生させ、電流および放電持続時間がノズル温度に及ぼす影響を評価した。その結果、電流と放電持続時間を適切に設定することで、ノズルを635℃以上まで加熱し、その温度を維持できることを確認している。現在は、溶融池が基材上に安定して供給される造形条件を調査している。

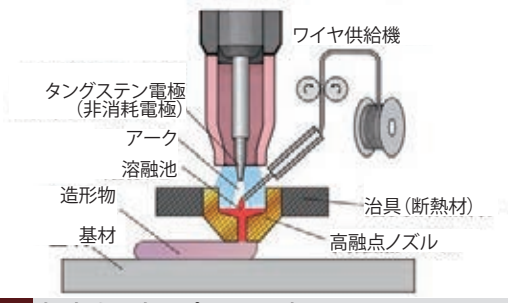


図２　提案する造形プロセスの概要

研究キーワード

◎ ３Dプリンティング　◎ 金属AM
◎ 指向性エネルギ堆積法　◎ ワイヤアークAM

利用が見込まれる分野

◎ 航空・宇宙　◎ 自動車
◎ 医療　◎ 金型分野

産業界へのメッセージ

金沢大学の設計製造技術研究所では、金属AMを中心とした研究開発を通じて、軽量化・高強度化・高機能化など、さまざまなニーズに応えるものづくり技術の実現を目指しています。また、研究成果を実際の製造現場へ展開するため、企業の皆様との連携にも積極的に取り組んでいます。金属AMの導入や活用、技術的な課題などについて、技術相談や共同研究にご興味がありましたら、ぜひお気軽にお声がけください。

産学連携をお考えの方は、冒頭の連絡先または次の担当部署までお問い合わせください。
◎北陸経済研究所 地域開発調査部　小沢　TEL：076-433-1134
◎北陸銀行 法人ソリューション部 地域創生室　水上　TEL：076-423-7180