

(報告書様式)

2022年 3月 30日

金沢大学先端科学・イノベーション推進機構協力会 御中

## 第6回 若手研究者奨励賞 研究実施報告書

所 属 設計製造技術研究所  
職 名 助教

ふりがな やまぐち みつぐ  
氏 名 山口 貢

## 研究実施報告書

### (1) 研究テーマ名

#### ワイヤーク AM を用いた異種金属積層による機能性付与技術の開発

### (2) 研究の目的および要旨

近年、ニアネットシェイプに付加製造が可能な金属 3D プリンタの市場が拡大しており、航空・宇宙産業や自動車産業、製造業における金型製作などに適用されている。3D プリンタを用いたアディティブ・マニュファクチャリング (AM) の一種であるワイヤーク AM (WAAM) はアーク放電により供給する金属ワイヤを局所的に加熱して溶滴を形成させ、それを母材上に積層させることで 3 次元形状を得るプロセスであり、アーク溶接の一種である MIG (Metal Inert Gas), MAG (Metal Active Gas) 溶接の原理を利用している。

本研究では、高速度鋼や工具鋼などを供給材とし、WAAM を用いて耐磨耗性などの母材特性とは異なる機能性をオンデマンドに付与できる積層造形技術を開発する。母材上に積層した機能成膜の密着性や耐磨耗性など皮膜特性の評価、機能成膜/母材界面の元素分布などの詳細な分析を行い、耐磨耗性を要する機構部品、建機部品、金型など広い産業用途への実用化を目指す。

### (3) 採択されてからの研究の進捗状況

#### 【実験方法】

図 1 に実験手順を示す。基材には一般構造用圧延鋼材 SS400 (150 mm×150 mm×10 mm) を用いた。金属ワイヤには  $\phi 1.2$  mm のダイス鋼ソリッドワイヤ (株式会社菱小, MH-61S) を用いた。実験装置にはハイブリッド複合加工機 (ヤマザキマザック株式会社, VARIAXIS j-600/5X AM) を使用し、ワイヤ供給速度 (Wire Feed Speed) 1.0～

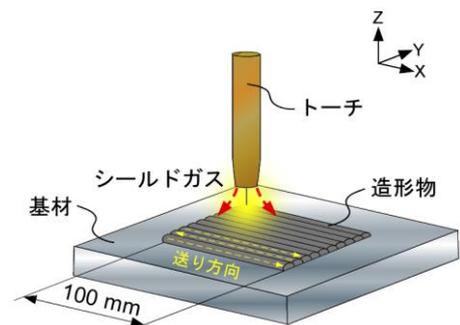


図 1 実験手順

8.8 m/min, トーチ送り速度 600～3000 mm/min に変化させ、積層長さ 100 mm で単層および多層での造形実験を実施した。本装置は、WFS とともに電流・電圧が変化し、WFS 1.0 m/min のときに 55 A・11 V, WFS 8.8 m/min のときに 250 A・19.3 V であった。また、シールドガスには Ar+20% CO<sub>2</sub> を使用し、ガス流量は 15 L/min とした。まず単層での造形実験を行った後、幅 (Y) 方向のピッチを変化させて 10 層での造形実験を実施した。造形物高さ・幅は、形状測定センサ (オプテックス・エフエー株式会社, LS-100CN) により造形物表面の 10 箇所ラインレーザを照射し、得られた表面プロファイルから評価した。また、造形物/基材断面の硬さは、ビッカース硬さ試験機を用いて 300 gf×10 s の試験条件で造形物表面から 0.5 mm 毎の領域を評価した。

#### 【実験結果】

図 2 に電流、送り速度による単層造形物形状の変化を示す。電流を大きく、送り速度を小さくするにつれて、造形物高さ・幅は直線的に増加した。電流 250 A・送り速度 600 mm/min のときに高さ 2.45 mm, 幅 6.81 mm, 一方、電流 55 A・送り速度 3000 mm/min のときに高さ 0.54 mm, 幅 0.46 mm の造形物が得られた。これらの結果から、造形条件により得られる造形物形状は大きく異なり、

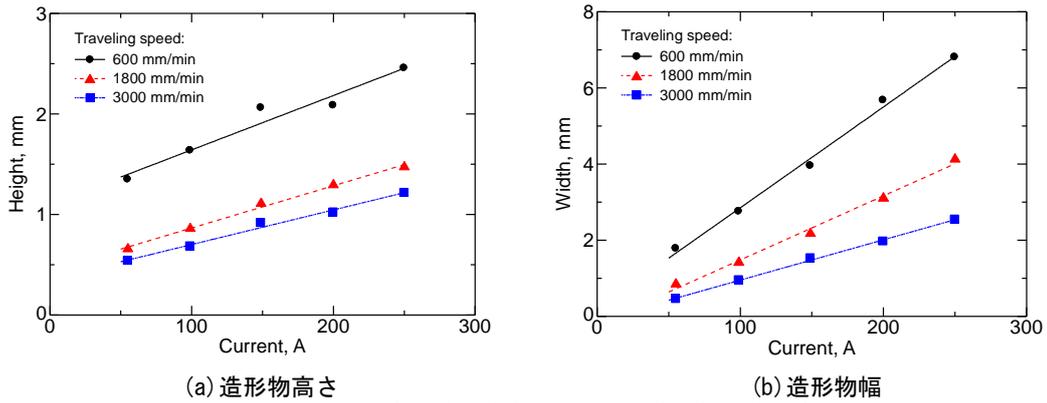
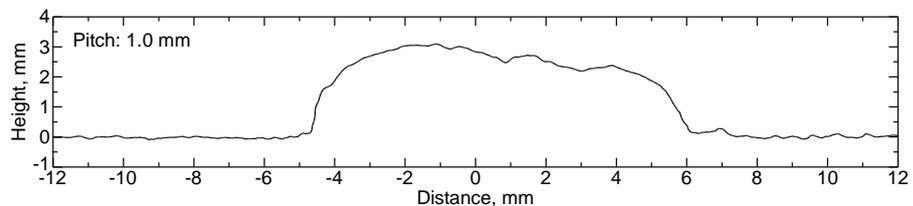


図2 電流, 送り速度による単層造形物形状の変化

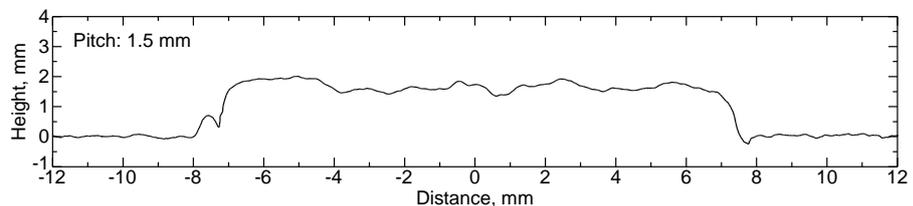
適用する部品サイズ・形状に合わせて適切な条件を選定することが重要であることが明らかになった。

図3に電流 99 A, 送り速度 1000 mm/min として, ピッチを変化させたときの造形物中心部の表面プロファイルの変化を示す. 単層造形物の高さは 1.19 mm, 幅は 2.63 mm であり, ピッチは 1.0 ~ 2.0 mm として 0.5 mm 毎に変化させた結果である. ピッチ 1.0 mm では, 造形物表面は大きくうねっており, 形状は劣悪であった. また, ピッチ 2.0 mm では, 層間に空隙が発生し, 造形物表面の凹凸が大きかった. 一方, ピッチ 1.5 mm のときに滑らかな造形物表面が得られた. これらの結果から, 面造形では単層造形物の幾何学的形状に合わせて適切なピッチを選定することが重要であることが明らかになった.

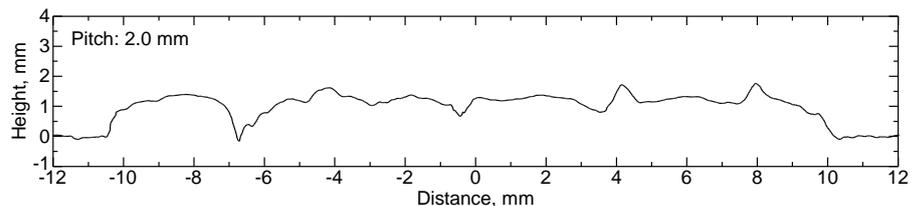
図4に造形物/基材断面と硬さ分布を示す. 図4aの赤点は硬さの測定位置を示しており, 基材表面を 0 mm として, 0.5 mm 毎の硬さ分布を評価した. 造形物表面は滑らかで, 溶け込み形状が類似し



(a) ピッチ 1.0 mm

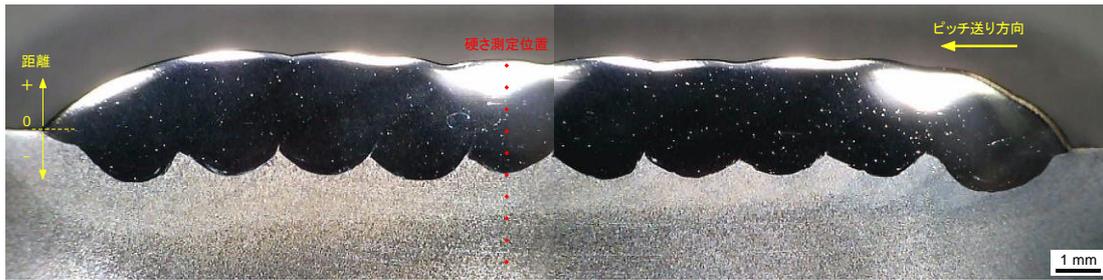


(b) ピッチ 1.5 mm

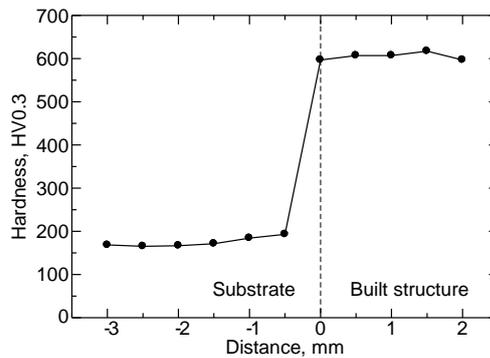


(c) ピッチ 2.0 mm

図3 ピッチによる造形物表面プロファイルの変化



(a) 造形物断面



(b) 硬さ分布

図4 造形物/基材断面と硬さ分布

た良好な面造形物が得られた。基材の硬さは 160 HV 程度，積層造形のままの造形物の硬さは 600 HV 程度であった。また，造形物の硬さは測定箇所によらず同程度であった。

#### (4) 研究の成果

ワイヤーク AM では，造形条件により得られる造形物形状は大きく異なり，適用する部品サイズ・形状に合わせて適切な条件を選定することが重要であることを明らかにした。また，面造形では単層造形物の幾何学的形状に合わせて適切なピッチを選定することが重要であることを明らかにし，造形物表面の凹凸が小さい高精度な面造形が可能な条件を確立した。

#### (5) 今後の研究の推進方策

北陸地域は産業全体の中で製造業の割合が高く，特に生産用機械，電子部品・デバイス，化学製品，金属製品，繊維の製造において全国シェアが高い。また，製品に付加価値を生み出しているのもこれらの業種である。本技術は，生産用機械を構成する機構部品，建設・土木用機械に用いられる建機部品など，耐摩耗性が求められる用途に対してオンデマンドに機能性を付与することが可能である。また WAAM は，アーク溶接の一種である MIG・MAG 溶接の原理を利用しているため，金型の補修にも応用できる。今後は，企業との産学連携を通して本技術をブラッシュアップし，北陸地域の強みである製造業で広く用いられる技術開発を目指す。