

デジタル技術を用いた金属積層造形プロセスの高度化

機械金属部 ○高野昌宏 吉田勇太 宮川広康

1. 目 的

近年、3Dプリンタが実用的な生産装置として活用され始めており、複雑形状が創製できる特徴を活用し、金型などでの製品製造で実用化が進められている。ただし、金属積層造形では、粉末材料の溶融や凝固をとまなうプロセスであるため、他の工法と比べ、品質のばらつきが大きいことや、造形物に割れが生じることが課題となっている。そこで本報告では、㈱ソディック製金属3Dプリンタ（OPM250L）を対象に空隙率をリアルタイムに推定する手法の開発、並びに割れ抑制を検証するために実施した造形プロセスシミュレーションについて紹介する。

2. 内 容

2.1 金属積層造形プロセスの見える化と品質の安定化

金属積層造形プロセスでは、通常 99.7%以上（空隙率 0.3%以下）の相対密度が得られるが、内部には耐久性等の品質に影響する数 10 μ m程度の微小な空隙が生じる。この空隙のサイズや量は、装置の状態によって変化し、品質にばらつきが生じる原因となる。これは光学系の汚れや造形機内のヒュームの滞留等により、レーザ照射位置である造形物表面でレーザパワーやスポット径が変化するためである。そこで本研究では、造形物の空隙率をカメラ画像からリアルタイムに推定する手法を提案した（図1参照）。本手法では、造形中に発生する火花（スパッタ等）を造形機内天井に設置したカメラ（XCG-CG510C・ソニー㈱）で撮影し、その形状等を粒子解析により数値化する。数値化した特徴量を入力値として、空隙率やレーザパワー、スポット径を機械学習（ディープラーニング）によりリアルタイムに推定する仕組みである。ディープラーニングのネットワーク構造は、中間層を7層、最大ニューロン数を 300 とし、その構築に必要な学習データは以下の手順で取得した。

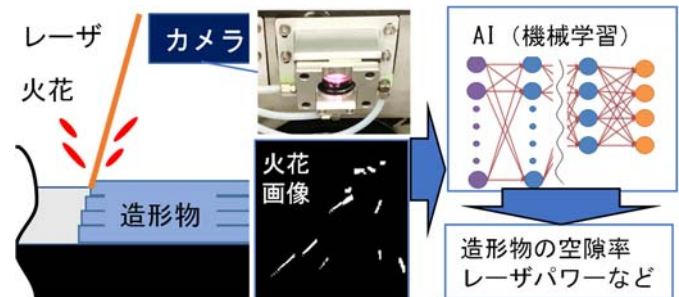


図1 提案手法の概要

- ①レーザパワー・スポット径を変更した様々な条件で火花動画を撮影する。
- ②その条件における造形物の空隙率を断面観察により測定する。

これらの結果を学習することによって、入力値である火花粒子の特徴量と出力値である空隙率・レーザパワー・スポット径の関係性を示すネットワークを構築し、造形中の火花の様子から空隙率を推定できるようにした。本手法の実用性を検証した結果を図2に示す。

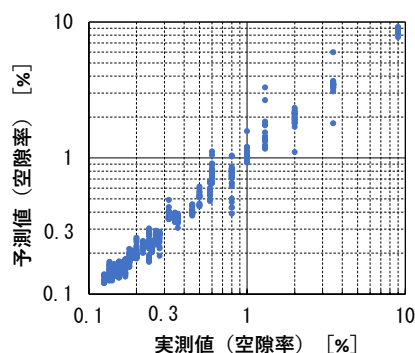


図2 空隙率推定結果

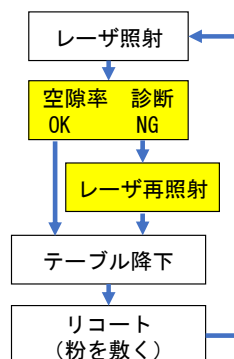


図3 フィードバック方法

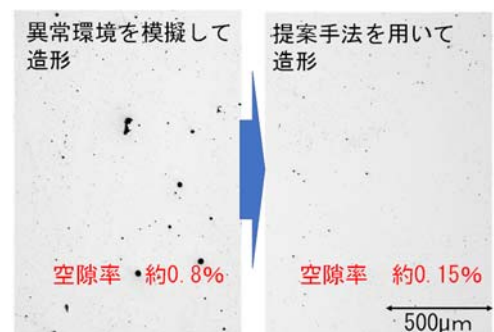


図4 造形物の断面写真

空隙率0.3%以下の推定精度を求めた結果は $\pm 0.05\%$ 程度 (3σ) であり、その有効性が確認できた。図3に本手法を用いたフィードバック方法を示す。金属積層造形では、層を積み重ねて、形状を造形するプロセスである。そこで造形中に層ごとの空隙率を診断し、想定より多い場合、再度同じ位置にレーザを照射することで空隙率を改善できる可能性がある。通常 $200\mu\text{m}$ とするレーザスポット径を $300\mu\text{m}$ とすることで異常環境を模擬し、本手法によるフィードバックの有効性を検証した。その結果を図4に示す。これは、造形物の断面をフィードバックの有無で比較したものであり、フィードバックにより空隙率が改善できることが示された。

2.2 金属積層造形プロセスのシミュレーションと造形物の割れ抑制

金属積層造形では、造形物に割れや反りが発生することも大きな問題となっている。これは熔融温度から室温までの冷却過程で生じる熱収縮が主な要因である。一方、炭素鋼等では、冷却過程のある温度域でマルテンサイト変態による膨張が生じる。このため、造形物の温度を保持するヒータ温度によって造形物の反りが変化する。そこで、ヒータ温度が反りや割れに及ぼす影響を調べるため、金属積層造形プロセスのシミュレーションを実施した。非定常熱伝導解析により造形物の温度分布を求め、その結果を元に非線形熱構造解析によって造形物に生じる応力や変形を調べた。なお、材質はSUS420J2相当材とし、オーステナイト相、マルテンサイト相の相変態を考慮した材料物性を定義した。ヒータ温度を 24°C 、 120°C でそれぞれ造形した場合の造形後の熱変形分布（上下方向）を図5に示す。造形物の反りは 24°C と 120°C とで反転し、適正なヒータ温度を選択すれば反りを低減できる可能性が示された。

図6に造形中の応力分布を示す。図6 (a) に示すように造形中にはベースプレート界面で高い引張応力が作用している。この引張応力は積層高さの増加につれてさらに大きくなるため、割れを生じる恐れがある。そこで、25層でヒータ温度を常温まで一旦冷却し、その後、 120°C まで昇温し、造形を継続した場合のシミュレーションを行った（図6 (b)）。図に示すように応力は引張から圧縮に変化したことが確認できる。これは、室温までの冷却過程でマルテンサイト変態による膨張が生じたためと考えられる。以上のことから、ヒータ温度を造形中に変化させて造形することは、割れ抑制に非常に有効であることが示唆された。

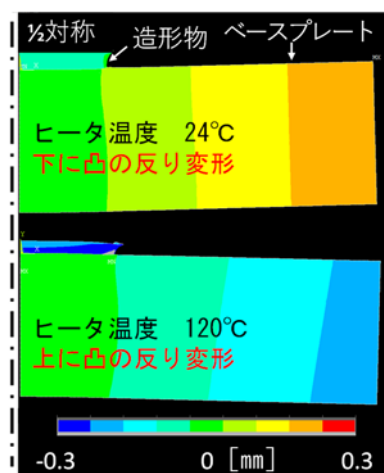


図5 熱変形分布

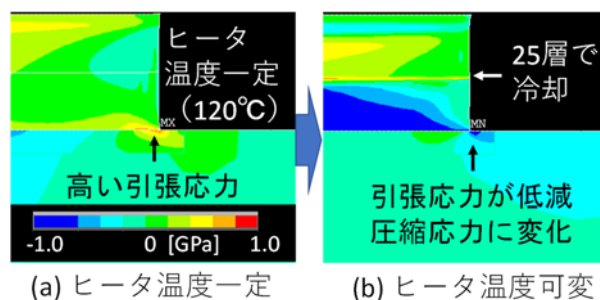


図6 応力分布

3. 結果

本研究では、金属積層造形プロセスの高度化を目的に、造形品質の安定化、割れの抑制方法について検討した。得られた結果を以下に示す。

- (1) レーザ照射中に発生する火花動画から、造形物の空隙率をリアルタイムに推定する手法を開発した。
- (2) 開発した手法を用いて、レーザパラメータを補正し、造形中にレーザを再照射することで、空隙率が改善できることを示した。
- (3) 造形中にヒータ温度を可変制御することで、造形物の引張応力が低減できることを造形シミュレーションにより示した。

謝 辞 本内容は㈱ソディックとの共同研究の成果であり、関係各位に感謝する。