

3Dプリントのプロセスインフォマティクスで拓く素形材製造の革新

東海国立大学機構 名古屋大学 大学院工学研究科 助教

鈴木 飛鳥

1. テーマ設定の背景

3Dプリント技術は、コンピュータ支援設計 (Computer-aided design: CAD) をもとに、材料を一層ずつ積層することで、三次元構造物を得る加工法である¹⁾。この技術は成熟しつつある素形材の成形加工分野 (鋳造、焼結、塑性加工、切削) に革新をもたらす技術として期待されている。本研究で対象とした3Dプリント技術はレーザー粉末床溶融結合 (Laser powder bed fusion: L-PBF) 法である。金属粉末をレーザーにより溶融・結合させながら積層することで、複雑な形状の素形材製造や高度な材料組織・機能制御を可能とする。このとき、レーザーの照射条件や積層厚さをはじめとするプロセス条件が素形材の組織・特性に大きく影響する。そして、最適なプロセス条件の決定に多大な時間的コストを要するため、3Dプリントでの素形材製造のボトルネックになり、その産業応用を阻害している。さらに、最適条件の範囲が狭く、3Dプリントは不可能と考えられてしまう材料もある。そこで本研究では機械学習を活用したプロセスインフォマティクスによってこれらの課題を解決することを目標とした。

2. 素形材分野との関連性

3Dプリント技術は最終製品形状に近い素形材を製造する技術として位置づけられる。特に本研究は、難加工材料に任意形状を付与したり、加工と同時に結晶構造や材料組織も制御する「高次創形加工」と位置付けられる。そして、課題解決手法としてプロセスインフォマティクスに取り組んでいる。

3. 研究開発の成果²⁾

本研究では、3Dプリントでの素形材製造のボ

トルネックとなるプロセス条件最適化を高速化するために、高速組織定量評価とプロセス条件最適化の機械学習アルゴリズムを組み合わせた3Dプリント用のシステムを構築した (図1)。このシステムを活用することで、従来に比べて約1000分の1程度の時間で3Dプリント素形材の解析を可能にした。そして、金属および複合材料の素形材を様々な条件で3Dプリントし、このアルゴリズムによる最適なプロセス条件の高速探索を行った。こうした研究によって、アルミニウム合金や鉄鋼材料だけでなく、非常に造形が難しいとされる超硬合金であっても高強度な素形材を製造するプロセス条件を発見し、複雑な形状の超硬合金素形材も製造可能となった。この素形材製造指針を活かし、超硬合金製インラインセンシング金型を製造し、民間企業の生産ラインにて20万回以上のプレス加工実証試験に成功した。

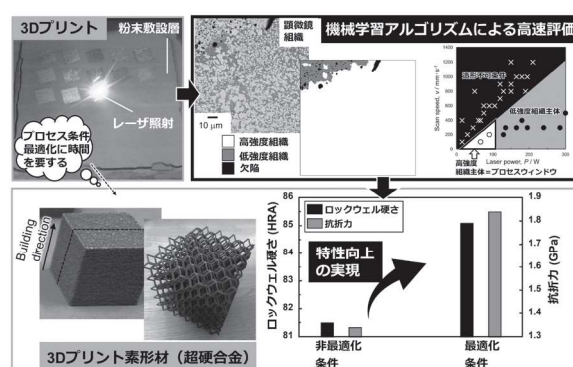


図1 プロセスインフォマティクスによる3Dプリント条件最適化

3.1 組織評価の高速化

組織評価を効率的に行う機械学習としては、畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network: CNN) を用いている。CNNは画像認識に適した機械学習手法であり、組織画像内の特徴から画像を領域分けすることができ

る。特に、本研究では3Dプリントに適したCNNモデル構築のために、レーザを一度だけ照射するシングルトラック試験で得られたSEM像を用いることで、機械学習に必要な学習データの効率の取得を行い、機械学習モデルの最適化によって3Dプリント材料の複雑な組織の認識および領域分けを可能とした(図2)。

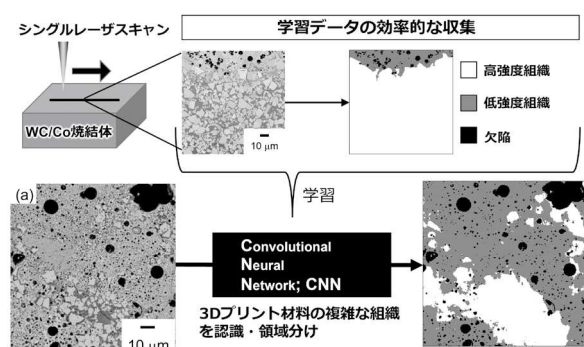


図2 畳み込みニューラルネットワークによる組織の領域分け

3.2 プロセス条件最適化

プロセス条件最適化のためにサポートベクターマシン(SVM)を用いた。SVMは多次元のプロセスパラメータを2クラス(もしくは多クラス)に分類する手法であり、比較的少ないデータからであっても高精度な分類を可能とする。超合金のような3Dプリントが困難な材料の場合には、造形可否が条件分類の一つの基準となる。また、CNNによって得られた高強度な組織の割合も重要な基準である。こうした複数の基準からプロセス条件を分類・統合することで、造形可能かつ高強度組織主体となるプロセスウィンドウを見出した(図3)。それをもとに実際に造形・評価を行い、高強度組織主体の材料が造形可能であること、それによって機械的性質が向上することを実証した。

4. 訴求点

3Dプリントは温度の急変、金属の蒸発、粉体の飛散などが生じる非理想系プロセスである。こうした複雑な現象下では物理的なモデルを構築することが困難である。一方、機械学習手法であればそうした非理想系においても統計的かつロバストに解析することが可能である。本研究で確立し

た技術では少ないデータからプロセス条件を最適化できるため、原理的にあらゆる材料種・プロセスの素形材製造に転用することが可能であり、民間企業への技術移転を通して社会貢献できる。

本研究は、科学技術交流財団、知の拠点あいち重点研究プロジェクトⅡ期およびⅢ期の中で参画企業とともに社会実装を見据えながら実施してきた。筆者はこの中で、インラインセンシング金型の実証試験到達に貢献した。

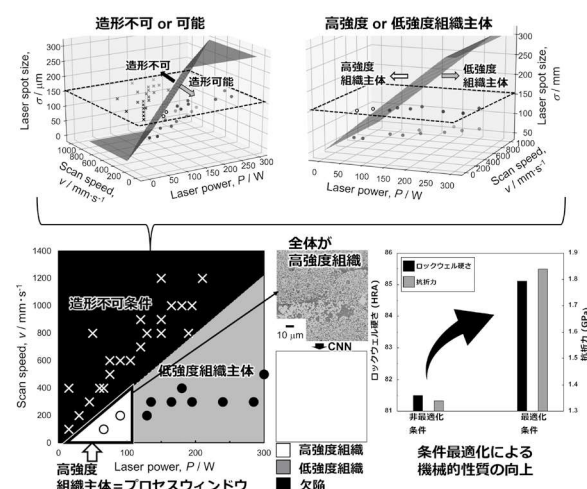


図3 サポートベクターマシンによるプロセス条件分類

参考文献

- 1) 京極秀樹、池庄司敏孝: 図解 金属3D積層造形のきそ, 日刊工業新聞社, (2017).
- 2) A. Suzuki, Y. Shiba, H. Ibe, N. Takata, M. Kobashi, Machine-learning assisted optimization of process parameters for controlling the microstructure in a laser powder bed fused WC/Co cemented carbide, Additive Manufacturing, Vol. 59, pp. 103089 (2022).