

X線透過法による金属積層造形プロセスのその場観察

SATテクノロジー・ショーケース2025

■ はじめに

金属積層造形は、中空形状やラティス構造など従来法では困難な形状を造形できるため、新機能を付加した部品の製造を可能にする。粉末床溶融結合式(Laser-based powder bed fusion of metals, PBF-LB/M)は平坦に敷設した粉末床に対し、レーザーで選択的に溶融凝固し、積み重ねることで3次元形状を造形する。スポット径が概ね100 μm 以下のレーザーを用いるため、精緻な構造を造形でき、航空宇宙や医療などさまざまな産業で利用されている。

PBF-LB/Mは繰り返し溶融凝固を行うため、溶融挙動に起因する造形欠陥が亀裂の起点となり、疲労強度が大きく低下することや、凝固時に柱状晶が積層方向に成長した結果、機械的性質に異方性が生じることが課題である。

本研究グループでは、Ti-6Al-4V粉末にヘテロ凝固核TiCを添加することで、核生成を促し結晶組織を等軸微細化させた^[1]。また、TiC添加により内部欠陥が減少し、相対密度を向上させた^[2]。一方、スパッタの総質量が減少し^[1]、表面粗さが小さくなる^[2]など、溶融挙動が変化する可能性も示唆された。

そこで、粉末床内部で直接観察が難しい深さ方向の溶融挙動観察を実現するため、X線透過法を用いた。X線透過法はPBF-LB/Mのプロセスを線走査に単純化し、レントゲン写真のようにX線で内部を透視することで溶融挙動をその場観察する手法である。以上より、本研究ではX線透過法を用いてTi-6Al-4V粉末に対するTiC粉末の添加有無による溶融挙動の差異を明らかにすることを目的とした。

■ 活動内容

1. X線透過観察による溶融挙動の観察

図1にX線透過装置を示す。装置はX線源、レーザー、カメラから構成される。サンプルホルダを移動させ、粉末床にレーザーで線に入熱し、溶融凝固する過程を、粉末と溶融池(メルトプール)の密度差によるX線吸収率の差を利用してイメージングした。

試料として、公称粒径45 μm 以下のTi-6Al-4V粉末に公称粒径1-2 μm のTiC粉末を0もしくは1 mass%添加し混合した粉末を、それぞれサンプルホルダに充填した。その後、X線透過装置を用いて、レーザー出力200 W、走査速度20 mm/sで1 s間照射し、試料を溶融する過程を撮影した。

取得した映像のレーザー照射点から十分離れた場所を凝固部(メルトトラック)の一部とした。各フレームの該当箇所を切り取り、結合してメルトトラック全体の形状を観察した。

2. 実験結果と考察

図2にTiC無添加、添加におけるそれぞれのメルトトラック形状を示す。横軸はレーザー走査距離である。TiC無添加試料において、レーザー走査開始直後に粉末床と雰囲気との界面より下側にメルトプールが生成し、それがx軸正の方向に結合することで、粉末床界面より下側にメルトトラックが形成した。走査距離 $x = 14 \text{ mm}$ を超えると、溶融モードがキーホール型から熱伝導型に遷移し、粉末床界面より上側に平滑なメルトトラックが形成した。TiC添加試料においては、 $x = 14 \text{ mm}$ からメルトトラックがx軸と平行に形成しているが、粉末床界面より下側である。また、メルトトラックが凸凹で、キーホール型に近かった。更に、 $x = 14 \text{ mm}$ 付近でメルトトラックが断裂した。これらの現象は、TiCの添加により吸熱量が増大し^[3]、激しい溶融挙動でメルトプールとメルトトラックが分断されたことや、溶融モードの遷移が顕著に表れなかった結果と考察する。先行研究で造形に必要なエネルギー密度が減少したこと^[1]とも一致する。

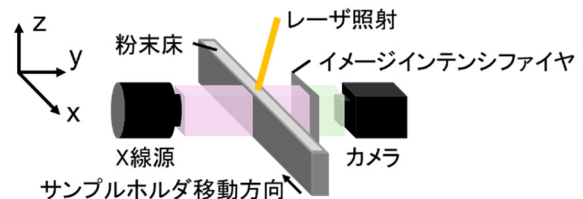


図1 X線透過装置

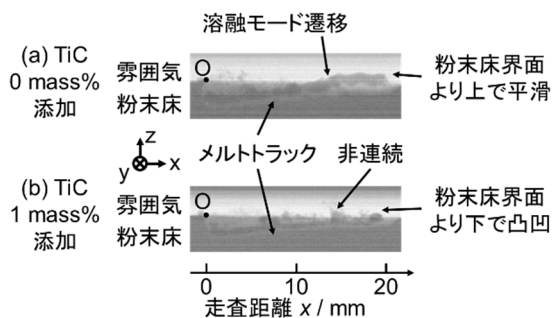


図2 TiC無添加、添加時のメルトトラック形状

■ 参考文献

- [1] Y. Watanabe *et al.*, Materials, **16** (2023) 5974.
- [2] Y. Watanabe *et al.*, Metall. Mater. Trans. A, **51** (2020) 1345.
- [3] Q. Ge *et al.*, J. Phys. D: Appl. Phys., **54** (2021) 115103.

■キーワード: (1) 金属積層造形
(2) プロセスモニタリング
(3) X線透過法

■共同研究者: 瀬渡直樹¹、佐藤直子¹、渡辺義見²、鈴木進補³
1. 産業技術総合研究所
2. 名古屋工業大学
3. 早稲田大学

代表発表者 榑舎 祐太(くしや ゆうた)
所属 早稲田大学大学院 基幹理工学研究科
材料科学専攻
産業技術総合研究所 製造技術研究部門
積層加工システム研究グループ
問合せ先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 59-305
TEL: 03-5286-8126
Email: yuta.k-4869@toki.waseda.jp