



**研究課題名** デジタルツイン科学で拓く 100 万 K/s・1000 万 K/m・1m/s 超えの結晶成長

大阪大学・大学院工学研究科・教授

こいずみ ゆういちろう  
小泉 雄一郎

研究課題番号： 21H05018

研究者番号： 10322174

研究期間： 令和3年度～令和7年度 研究経費（期間全体の直接経費）： 144,600千円

キーワード： 付加製造、3Dプリント、モニタリング、シミュレーション、凝固・結晶成長

【研究の背景・目的】

3Dプリンタ(3DP)、積層造形、付加製造(AM)などと呼ばれる技術の普及が進んでいる。3DPは一般に、CADデータなどから直接的に任意の形状の部材を製造できることを特徴とするが、粉末床溶融結合(PBF)型と呼ばれる金属粉末をレーザーなどで溶融・凝固させて材料を積み上げる3DPでは、金属材料内部の微細組織を制御して材料特性を向上させられる。これまで、造形条件を変えることで、結晶配向の強い単結晶状の材料や多結晶材料が得られている。しかし、その理由には不明な点が多くある。その解明の鍵となるのが、冷却速度100万K/s、温度勾配1,000万K/m、成長速度1m/sにも及ぶPBF型3DPにおける特有の凝固条件である(図1)。これらを超える条件では、従来プロセスとは大きく異なる凝固組織が得られ、材料特性を大きく向上させられる可能性がある。

本研究では、直接計測が困難な現象を観測データと整合させた計算機シミュレーションの解析で推定するデジタルツイン(図2)を開発し、それを駆使してPBF型3DPで発現する特有の結晶成長を理解する。さらに、固液界面での温度勾配( $G$ )や界面移動速度( $R$ )などの凝固条件と材料組織との関係を、従来対象とされてきた範囲を超えた条件で解明し、新しい結晶成長の世界を開拓する。これにより3DPを材料に形状を与えるだけでなく単結晶から微細粒まで結晶組織を適材適所で制御し最適な材料特性を与える方法として発展させるための学理構築することを目的とする。

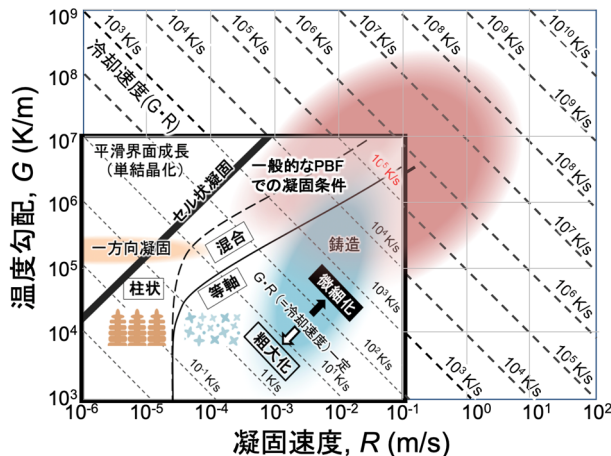


図1. 凝固マップと本研究が対象とする凝固条件.

【研究の方法】

熱伝導率や結晶構造の異なる種々の金属材料に3DP用電子ビームやレーザーを照射し、溶融・凝固のその場観察、凝固後の組織観察、それらの観察結果に

整合する熱流体力学計算やフェーズフィールド計算などの計算機シミュレーションを実行し、その結果の解析により、3DPにおける凝固・結晶成長挙動を解明する。 $G$ 、 $R$ に加えて、流速  $U$ 、凝固方向  $\Phi$  を評価し、各材料の熱物性、融体物性と単結晶化および微細粒化挙動との関係の背後にある法則を導き、単結晶化と微細粒化の支配因子を解明する。これにより3DPにおける凝固条件での結晶成長の学理を構築し、単結晶化、超微細結晶粒化、マルチ機能化のための指針を示す。

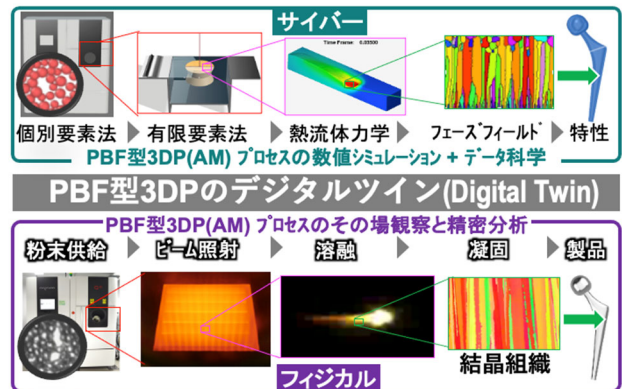


図2. PBF型3Dプリントのデジタルツイン.

【期待される成果と意義】

学術的には、溶質分配を伴わない絶対安定性の発現など、これまでの凝固プロセスでは発現しなかった未踏条件での結晶成長に関する新しい知見が得られる。実用的には、3DPにて単結晶から微細粒まで造り分け、単一の材料で複数の機能をもつ部材を得る技術や、3DPによる自由成形を組み合わせた新材料創成の道を開き、社会にも大きく貢献すると期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ Y. Miyata, M. Okugawa, Y. Koizumi, T. Nakano: "Inverse Columnar-Equiaxed Transition (CET) in 304 and 316L Stainless Steels Melt by Electron Beam for Additive Manufacturing (AM)", Crystals 11 (2021) 856.
- ・ 小泉雄一郎, 奥川将行: 第2章第2節 "3Dプリントの材料・プロセス設計のための計算機シミュレーション" 3Dプリンタ用新規材料開発 (監修: 萩原恒夫), NTS. (ISBN:978-4-86043-710-7).

【ホームページ等】

<http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/msp3/>  
ykoizumi@mat.eng.osaka-u.ac.jp