



令和 6 年 4 月 16 日

報道機関 各位

次世代たたら協創センター(NEXTA) 新城淳史教授らの研究グループが金属積層造形における空孔の生成・滞留・放出のメカニズムを X 線シンクロトロンと数値シミュレーションにより詳細に明らかにしました

■本件の概要

島根大学 次世代たたら協創センター新城淳史教授と英国 University College London、Queen Mary 大学、欧州シンクロトロン放射光施設(ESRF)、豪州 RMIT 大学、Rolls-Royce 社らの研究グループは、金属積層造形における空孔の生成・滞留・放出のメカニズムを X 線シンクロトロンと数値シミュレーションにより詳細に明らかにしました。

近年、様々な金属部品の製造法としてその形状造形自由度の高さから積層造形(Additive Manufacturing; AM)が注目されています。AM では薄い金属の層を多数積み上げて複雑な形状を作っていきますが、特にジェットエンジンなどの極限状況で使用される超耐熱合金部品の造形方法として期待が大きくなっています。AM にはいくつかの手法がありますが、本研究では指向性エネルギー堆積法(Directed Energy Deposition; DED)と呼ばれるレーザー照射部に金属粉末を噴き付けて溶融・凝固させる手法を対象としています。この手法は、大型部材にも適用ができ、工業的意義が大きいものです。本研究の参加機関の一つである Rolls-Royce 社でも工業的実用化に向けた研究開発を行っており、本研究では Rolls-Royce 社が開発した Ni 基超耐熱合金 RR1000 を対象にしています。

DED における問題の一つに、レーザーで溶融した溶融池(メルトプール)に空孔(気泡)が入り込み、そのまま凝固するとそれが部材の割れなどの原因となることが挙げられます。そのため、空孔の起源、メルトプールでの挙動、特に滞留と放出のメカニズムを明らかにすることが必要です。従来の研究では実験室スケールでの小さいスケールが主でしたが、本研究ではより実用スケールに近い条件での解明になります。

英国 University College London が主体となり、実際の造形を行いながら欧州シンクロトロン放射光施設(ESRF)の X 線シンクロトロン施設でメルトプールのその場観察を行いました(図1)。その結果、空孔のうち主たる割合は気流微粒化された粉末由来であること、また一部は以前の層における残存が由来であることが分かりました。また、小さい空孔が一定の時間でメルトプールから抜けていく一方で、合体して大きくなった空孔が予想に反して長く滞留することも明らかになりました。これらの挙動には、マランゴニ流れが関係しています。マランゴニ流れとは、表面張力の大きさが温度によって変わることによって起こされる流れです。メルトプールには温度分布があるため、その表面での表面張力のバランスの崩れからマランゴニ流れが誘起されます。空孔の動きは、この流れの影響を受け、条件によっては大きな空孔の上部でマランゴニ流れが蓋をする格好で浮力による上昇運動を邪魔して滞留させてしまうこと、またメルトプール深部の凝固進行領域で空孔を留めてそのまま凝固させてしまうことなどの挙動が観察されました。

島根大学次世代たたら協創センター(NEXTA)の新城淳史教授は、独自に開発した熱流体シミュレーションプログラムにより、この実験の挙動をそのまま再現しその機構を説明することに成功しました(図 2)。シミュレーション中で、実際にマランゴニ流れが誘起され、小さな空孔の動きを再現するとともに大きな空孔がマランゴニ流れによって滞留する機構もその空孔に働く浮力・圧力・粘性せん断力を定量的に算出することで説明しました。また、実験中に観察された挙動で空孔の動きが若干の振動を伴うことも、シミュレーションによって説明しました(図 3)。これは、DED が粉末を噴き付ける形態のために起こるものであり、液体のメルトプールに融けた粉末が突入する際にメルトプール表面にインパクトを与え表面波を誘起し、それによってしばらく振動が続くことを実際に示しました。この動きも空孔の滞留と放出に大きく影響します。

これらの知見は、AM による部品製造においてその品質を高めることに役立ちます。実際に、本研究の続きとして能動的に空孔を追い出す制御方法の研究を行っています。このように、航空宇宙をはじめとする様々な分野での活用が期待される AM において、NEXTA はその最先端のシミュレーション技術を活用して重要な知見を得ることに貢献しました。本成果は、2024 年 2 月 24 日付で Nature Communications 誌にオンライン掲載されました。

■本件に関する図

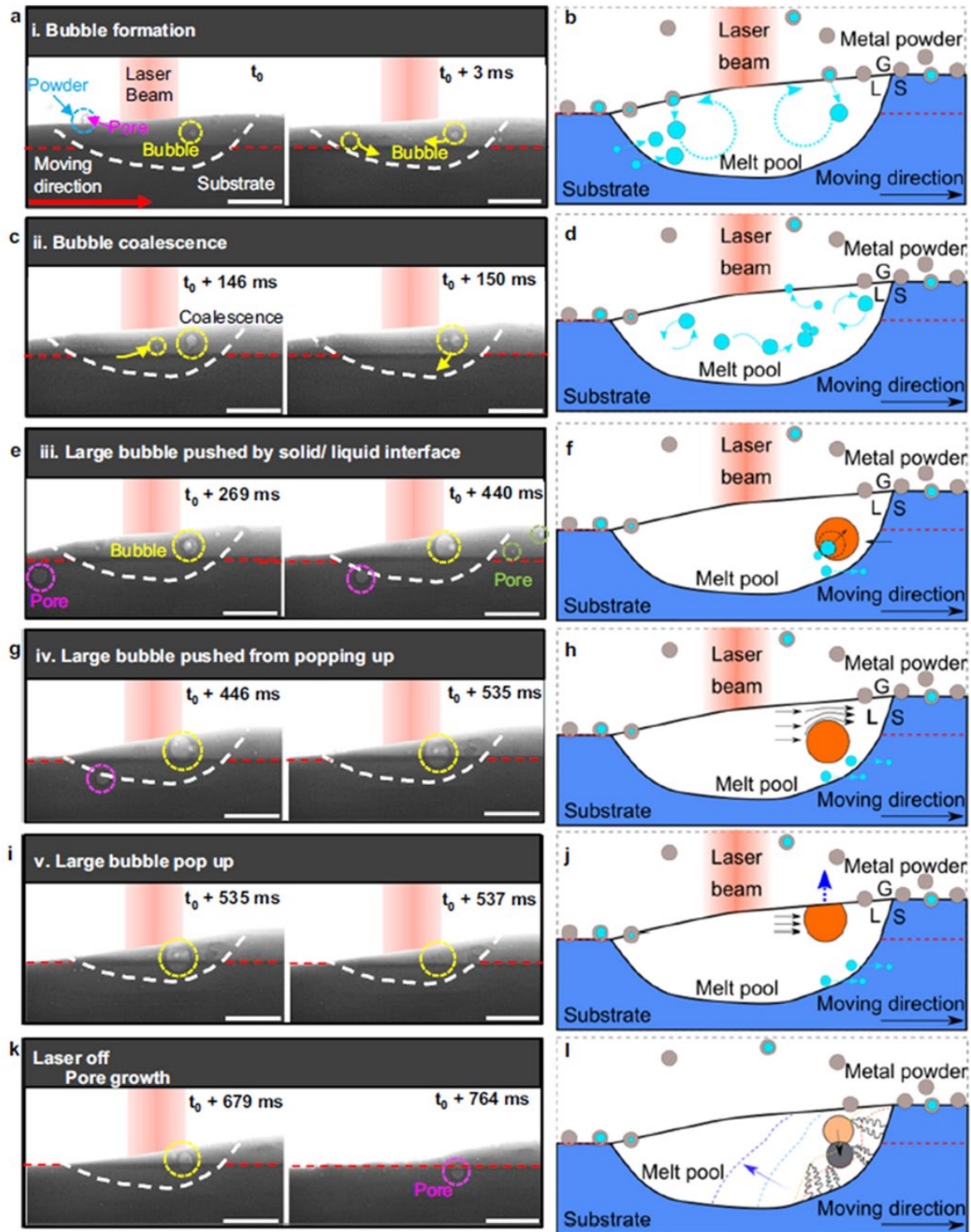


図 1 空孔(気泡)のダイナミクスの X 線シンクロトロン画像と模式図. a, b 粉末からの空孔の進入. c, d 小さい空孔の合体によるサイズの増大. e, f 大きい空孔が凝固面により押される様子. g, h 大きな空孔がマランゴニ流れによって上昇を妨げられている様子. i, j 大きな空孔がメルトプール表面に達して抜ける様子. k, l レーザー光オフ後に凝固面に捉えられた空孔の様子. 白いスケールバーは $300 \mu\text{m}$.

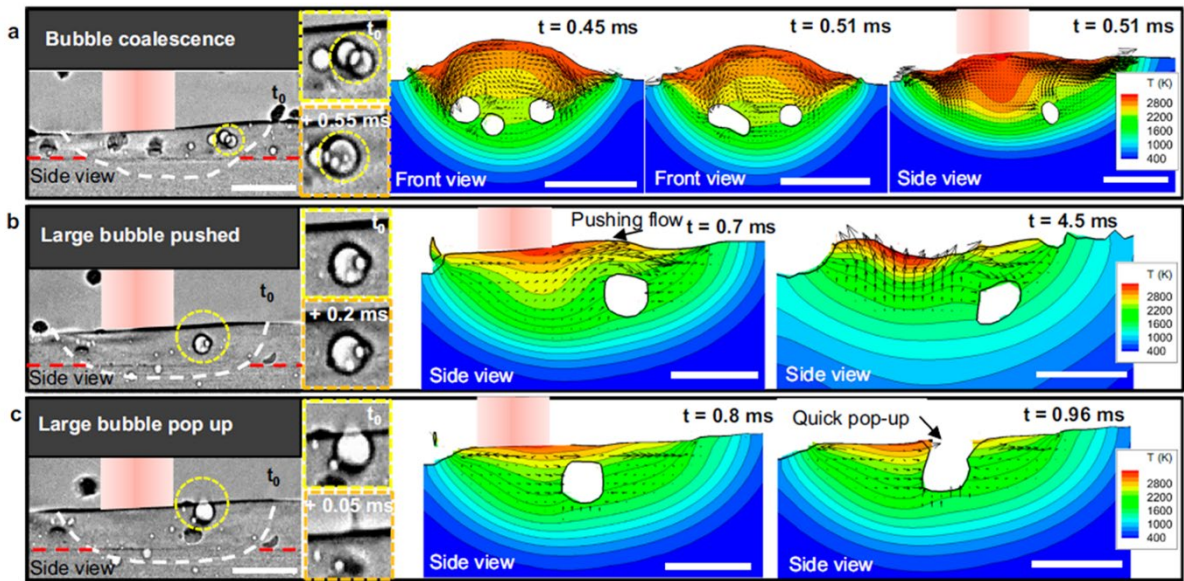


図 2 空孔の挙動の実験と数値シミュレーションの結果. a 空孔の合体. b 空孔がマランゴニ流れに押し込まれる様子. c 液面から空孔が逃げる様子. 白いスケールバーは $300\mu\text{m}$

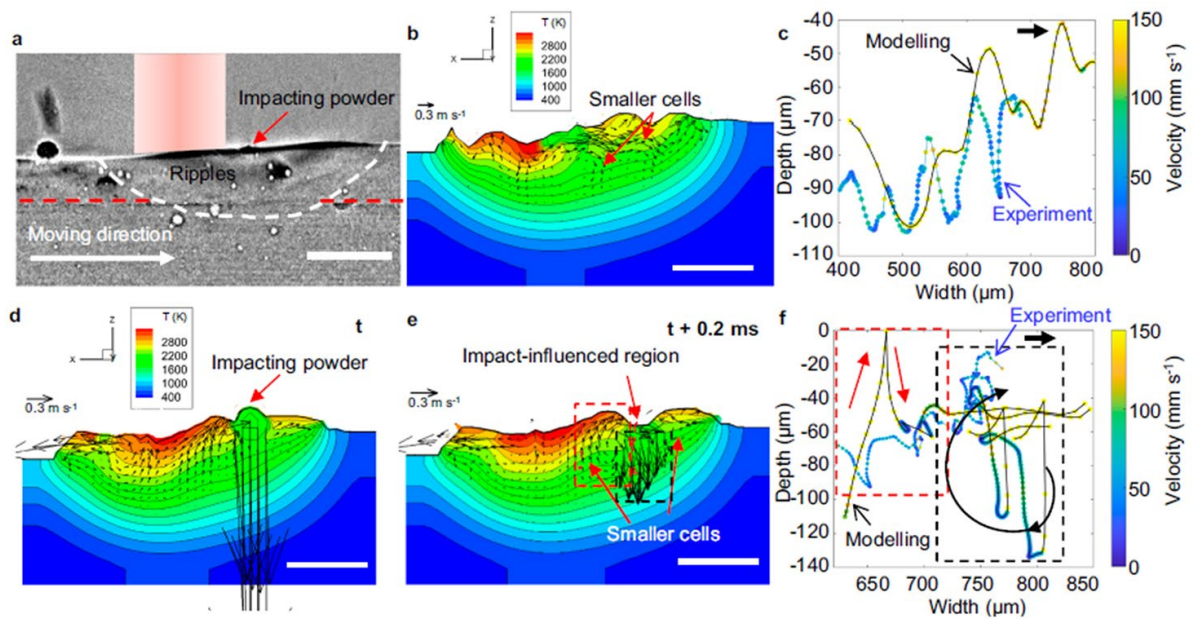


図 3 噴き付けた粉末とメルトプールの干渉および空孔挙動との関連. a 実験での粉末衝突の様子. b シミュレーションで表面運動を模擬した場合の内部流れの様子. c 空孔が振動しながら移動する様子. d 粉末衝突の直接シミュレーション. e 衝突後の速度緩和の様子. f 粉末衝突後に空孔が振動しながら移動する様子. 白いスケールバーは $300\mu\text{m}$.

■論文情報

K. Zhang, Y. Chen, S. Marussi, X. Fan, M. Fitzpatrick, S. Bhagavath, M. Majkut, B. Lukic, K. Jakata, A. Rack, M. A. Jones, J. Shinjo, C. Panwisawas, C. L. A. Leung, P. D. Lee, “Pore evolution mechanisms during directed energy deposition additive manufacturing,” Nature Communications 15 (2024) 1715.

DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-45913-9>

■参加機関

University College London(英国)

Queen Mary University of London(英国)

欧州シンクロトロン放射光施設(European Synchrotron Radiation Facility; ESRF)(仏国)

RMIT 大学(豪州)

Rolls-Royce 社(英国)

島根大学次世代たたら協創センター(Next Generation Tatara Co-Creation Centre; NEXTA)

■本件の連絡先 ※[at]は@に置き換えて下さい

〈研究に関すること〉

島根大学 次世代たたら協創センター(NEXTA) 新城 淳史教授

Tel:0852-32-6348 Mail:jshinjo[at]ecs.shimane-u.ac.jp

(次世代たたら協創センター事務:0852-32-6138)

〈報道に関すること〉

島根大学 企画部 企画広報課 広報グループ

Tel:0852-32-6603 Mail:gad-koho[at]office.shimane-u.ac.jp



【添付資料: あり(枚) なし】