

令和 4 年 5 月 31 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K22063

研究課題名(和文)多色刷り金属付加製造による相転移するラティス構造の創製ー4Dプリントの開拓ー

研究課題名(英文)Creation of phase-transforming cellular lattice by multi-material metal-additive manufacturing - Pioneering 4D printing

研究代表者

小泉 雄一郎(KOIZUMI, Yuichiro)

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：10322174

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文)：多色刷り金属付加製造(AM)を用いた相転移するラティス構造創製による4Dプリントの開拓に資する一連の研究を実施した。Ti合金/Cu複材粉末床溶融結合(PBF)の素過程となる溶融挙動の評価、混合粉末の分離機構の評価を行うとともに、金属への4Dプリントの適用の前段階として樹脂のPBFにより相転移するラティス構造を創成し、その力学特性と相転移挙動を評価した。さらにバイメタルを組み込んだラティス構造を作製し、温度変化にともなう相転移挙動を評価し、昇温・冷却による相転移が可能であることを示した。大型化、や造形物の外形状に応じたコンフォーマル化における課題を抽出し、設計指針を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多色刷り金属AMの基礎として、複材粉末床の選択的溶融の基礎研究を行い、異材粉末床の境界領域の溶融における課題を示した。また将来重要となる混合粉末の分離回収法として振動分離の可能性を示し、実際に簡便に分離できる条件を見出した。また、相転移するラティスの4Dプリントの基礎となる、構造と特性の関係のデータ科学的手法を構築した。さらに、バイメタルを組み込んだラティス構造の温度変化による相転移挙動の研究を発展させた。本研究の成果は、多色刷り金属AMが高精度化した際に必要となる相転移するラティスの創成による4Dプリントの学術的基礎となり、新規メタ材料創成のための方向性を示す研究としての社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：A series of studies have been conducted to pioneer 4D printing by creating phase-transforming lattice structures, a.k.a. phase transforming cellular material (PXCM), using multi metal-additive manufacturing; electron beam irradiation experiments were conducted as a preliminary step to the powder-bed fusion (PBF) of Ti alloy/Cu composites; and, for 4D printing, a fundamental study of the elemental structure and elastic properties of PXCM fabricated by powder-bed fusion of elastomers was developed for future applications to metals. In addition, we have fabricated thermally induced PXCM and investigated their behavior of the bimetal-incorporated lattice structure as a function of temperature change, showed that the phase transformation could be induced by heating and cooling, and extracted the issues to be solved on a larger scale. We also studied the design method for conformalization for unit cell design according to the external shape of the modeled object.

研究分野：材料工学

キーワード：Additive Manufacturing 4Dプリント 合金化 相転移 結晶構造 双安定性 異種金属 形状記憶

1. 研究開始当初の背景

3Dプリント、積層造形、Additive Manufacturing、付加製造と呼ばれる技術群が一過性のブームではなく真に製造業に革命を起こす技術であることが共通の認識となった。樹脂3Dプリンタでは、紙面印刷と同様のフルカラー造形は勿論、異種材料を組合せた造形も可能となった。特性の異なる材料を組合せて特異な機能を発現させる研究も進み、例えば熱膨張率の異なる樹脂からバイメタルの原理で温度に应答して屈曲する材料や、負の熱膨張率をもつメタマテリアル(メタ材料)が造られた。このような、造形後に形状が変わる部材の3Dプリントは、4D(3D+時間)プリントという新分野を開拓し、樹脂3Dプリンタで研究が先行している。一方、金属3Dプリントの世界では、複数種の合金を自在に組合せて造形できる装置の開発がなされている。同装置が完成すれば種々の合金の特性を組合せて多様な機能を発現する金属部材製造が可能となり、例えば、低熱膨張率のインバー合金と高熱膨張率の合金を組合せたバイメタル機構を応用した構造転移で巨大変位を発現するラティスなどのメタ材料の創製が可能になると期待される。

2. 研究の目的

上記のような異種材料の3次元的な配置が可能な3Dプリントを活用して4Dプリント技術を開拓するには、造形中の異種材料同士の相互作用やその流動への影響を加味して異種金属粉末の融合を伴う溶融凝固挙動を把握しておく必要がある。本研究ではそのような技術の実現に向けて、造形用ビームによる異種合金粉末の溶融結合挙動について、科学的に調査するとともに、異種材料3Dプリントならびにメタ材料の4Dプリントの設計指針を示すことを目的とした。

3. 研究の方法

異種金属粉末を使った複材造形が可能な粉末床溶融結合(Powder Bed Fusion: PBF)型の付加製造(Additive Manufacturing: AM)装置の普及を想定して、異種金属を組み合わせた粉末床の特に異種金属境界部分への電子ビーム照射による溶融凝固挙動の研究を進めた。異種金属の組合せの例として、色により視覚的に粉末の区別がし易い、Ti-6Al-4V合金(以下Ti合金)とCuを選択して、金属粉末床の境界部に電子ビームを照射した際の溶融・凝固挙動について、照射後の形態、高さ、元素分布を評価して調べた。2種類の金属からなる粉末床を形成するために独自の治具を作製し、Ti合金とSUS304鋼の円柱上にCuとTi合金の2領域から成る厚さ150 μm の粉末床を形成した。ビーム強度4水準、ビーム走査速度4水準を組み合わせた計16通りの条件でビームを照射した。照射後の試料表面を、レーザー顕微鏡及び走査電子顕微鏡(SEM)で観察した。また、元素分布をエネルギー分散X線分光法(EDS)により分析した。

なお、AM装置の開発動向の変化は大きく、異種金属を組み合わせた造形が可能なAM装置として、・指向性エネルギー堆積(Directed Energy Deposition: DED)型装置、・binderと混練した金属粉末を材料押出(Materials Extrusion: MEX)型AM装置で造形した後にbinderを除去して焼結する金属AM装置、・金属フィラメントを誘導加熱で昇温して樹脂用MEX型AM装置のように金属を直接付加するAM装置、・金属ナノ粒子を有機溶媒に分散させたインクを吐出後ナノ粒子同士を結合させる材料噴射(Material Jetting: MJT)型AM装置等が開発されている。これらはPBF型よりも複数金属を組み合わせた造形に適したAM装置となる可能性がある。このような状況を鑑み、当初予定していたPBF型AM装置での複材造形だけでなくこれらの新方式の複材造形も視野に入れて研究を進めた。

一方、造形プロセスとならび重要な本研究の根幹をなすコンセプト「相転移するラティス構造(Phase Transforming Cellular Material: PXCM)の創製」の実証に重心をおいた研究も展開した。2020年度からはバイメタルを組み込んだPXCMを作成し、昇温冷却による相転移の発現を試みた。さらに、バイメタルを組み込んだPXCMの特性を向上させる設計手法の開発を進めるとともに、複材樹脂3Dプリンターによるラティスの創製や複材PXCMの設計・作製と相転移挙動の評価の研究も進めた。加えて、異種合金粉末のAMにおける材料の再利用の課題となる混合粉末からの原料素粉末の分離回収に資する振動分離現象機構の解明にも取り組んだ。

4. 研究成果

(1) 造形用ビームによる異種金属粉末床の溶融結合挙動

Ti合金基板の場合、ビーム照射方向に関わらずCuがTi合金粉末の領域にまで流出する現象が確認された。この原因として、表面張力や粘性の違いの影響が考えられる。濡れ広がり挙動は、固液界面のエネルギー、粘性、雰囲気にも依存するため定量評価には詳細な検討が必要であるが、Cuの表面張力が低いことが、CuがTi合金粉末側に流出した原因の一つである可能性がある。SUS304基板の場合、低走査速度におけるCu \rightarrow Ti合金方向の走査では粉末が飛散したが、ビーム走査速度を高めることで、CuとTi合金の両方の溶融凝固が可能となった。また、ビーム走査方向

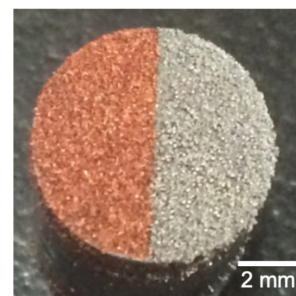


図1. Cu/Ti合金異種金属粉末床試料.

を Ti 合金→Cu にすることで、Cu と Ti 合金が残存した。これらの原因について、熱伝導や電気伝導の観点から検討し、適切な条件を選択するための指針を得た。

(2) 混合粉末再利用のための振動分離実験

本研究では、粒子径範囲を 45–75 μm 、75–106 μm 、106–150 μm の粒度分布に分級した Cu および Ti 合金を使用した。同体積の Cu 粉末と Ti 合金粉末を、内径 9 mm のガラス製円筒容器に入れて混合し、振動板、スピーカー、アンプ、発振器としての PC を使用して振動させた。図 3 に、振動数 60 Hz、振幅 100 μm で 30 s 振動後の粉末試料の分離状態を高速度カメラで撮影した瞬間の画像を示す。Cu 粉末が Ti 合金粉末よりも大きい場合は Cu 粉末が上層に、Ti 合金粉末が下層に分離した (図 3a)。Cu 粉末と Ti 合金粉末の粒子径範囲が同じである場合にも同様の分離が生じた (図 3b)。一方、Ti 合金粉末が Cu 粉末より大きい場合には分離が生じなかった (図 3c)。Ti 合金粉末よりも Cu 粉末が大きい場合は (図 3a)、ブラジルナッツ効果により分離したと考えられるが、粒子径範囲が同じでも振動分離が生じる理由については同様に説明することができない。そこで、Cu 粉末と Ti 合金粉末が同等の粒子径の場合に、振動条件が分離に及ぼす影響を調査した。その実験結果を図 4 に、振動数を横軸、最大加速度を重力加速度で除した無次元加速度を縦軸としてまとめた。無次元加速度 0.4 の場合、いずれの振動数でも分離は生じなかったが、その他の振動条件では、Cu 粉末が上層、Ti 粉末が下層に分離した。この粒子径範囲が同じである場合にも振動分離が生じた理由の解析のために行った個別要素法 (Discrete Element Method: DEM) シミュレーションの結果を図 5 に示す。Cu 粉末と Ti 合金粉末の粒径範囲が等しい場合で、空気抵抗を考慮しない場合には振動分離は生じなかったが、同じ振動条件でも、空気抵抗を考慮すると分離する条件が存在した。PBF で使用される粒子径の金属粉末の振動分離では、粒子径差だけでなく空気抵抗も強く影響することが示唆された。

一般に、粒子径に大きな差がある場合には、ブラジルナッツ効果により、大きな粒子が上部に、小さな粒子が下部に分離することが知られている。一方、本研究では、粒子径が同等の場合にも分離が生じた。この理由として空気の影響が考えられる。空気が存在しない場合、振動する容器により加速された粒子の運動は、粒子の密度に依存しない。しかしながら、空気が存在すると、粒子は空気から抵抗を受ける。その抵抗は、粒子径が同じで速度も同じであれば同じであるが、その慣性力は密度に比例するため、慣性力に対する空気抵抗の相対的大きさは異なり運動も異なる。その結果慣性力の大きい Cu 粒子が上層に分離したと理解することができる。

(3) 相転移する格子構造 (PXCM) 4D プリントの指針

最終目標であるバイメタル構造による 4D プリントのコンセプトを実証するための実験と有限要素法によるコンピュータシミュレーションを行った。MEX 式ならびに PBF 式の樹脂用 3D プリンターにより、熱可塑性ポリウレタン製の曲がり梁を有する格子を作成し (図 6)、PXCM としての力学特性を評価した。さらに、有限要素解析 (FEA) シミュレーションを実施し、格子の形状パラメータと変形挙動との関係を、要素構造の梁の太さ、長さ、角度を調整パラメータとして変化させ多数実行することで評価した。

複材金属 3D プリントの実現に先駆けて、Fe-Ni 合金/Cu-Mn 合金製バイメタル梁を組み込んだ PXCM の実験モデルを作成した。実験に先立って、有限要素解析を行ったところ、応力集中により塑性変形を発現することが予想された。そのため、応力集中を生じない、バイメタルが単純支

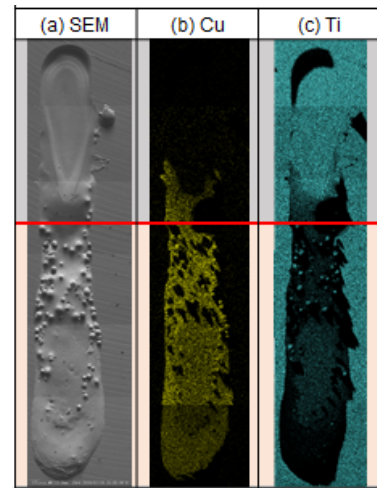


図 2. ビーム照射後表面の SEM 像および EDS 元素マップ. ビーム走査方向: Cu (下) → Ti 合金 (上) の例. 赤線が元の異種粉末床境界.

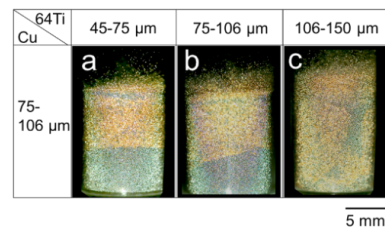


図 3. 高速度カメラで撮影した Ti-6Al-4V 合金/Cu 混合粉末の振動分離実験のスナップショット. 左と上の数値は各材料の粒子サイズの範囲.

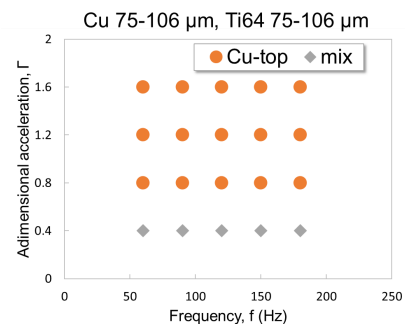


図 4. Ti 合金/Cu 混合粉末の振動数と無次元加速度と振動分離の関係.

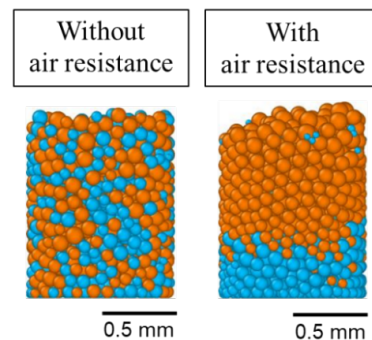


図 5. 振動分離の DEM シミュレーションのスナップショット. Cu 粒子:オレンジ, Ti 粒子:シアン, 左:空気抵抗なし, 右:空気抵抗あり.

持される構造を有する新規構造を作製した (図 7)。バイメタルを組み込んだ PXCМ は、室温で圧縮変形によりスナップスルー (飛び移り座屈) による相転移を示し、温度上昇により形状回復する形状記憶挙動を発現した。さらに、PXCМ の要素構造を液体窒素温度にまで冷却することによって、昇温時とは逆方向の相転移を示すことも確認した。但し、温度変化にともなう PXCМ のひずみの変化は段階的に進行した (図 8)。この理由としては、温度の不均一やバイメタル梁の精度に加えて支持梁の重量が考えられ、今後、こうしたラティスを大型化する上では、支持構造の構造最適化計算による軽量化が重要である。また、目的の外形状に合わせてコンフォーマル化した場合の設計の課題も見出された。

一方、バイメタルの裏表を逆転することで、室温での引張変形により相転移を示すとともに、温度上昇による形状回復、すなわち、負の熱膨張を示すことも実証した。これらの結果により、複数材料の高精度な金属 3D プリントが可能となれば、形状記憶合金によらずに形状記憶特性を発現するメタマテリアル創成が可能となることを示した。

5. まとめ

多色刷り金属 AM に関しては、Ti 合金/Cu 複材粉末床熔融結合の選択的熔融の実験を行い、境界領域の選択的熔融凝固方法の確立が課題として残った。一方でその課題解決された後に重要となる混合粉末の分離回収の研究を展開した。種々の粒子サイズ比と振動条件によって、非磁性粉末同士を簡便に分離できる条件を見出すとともに、そのメカニズムを DEM シミュレーションにより解析し、空気抵抗が重要な役割を有することも見出した。

4D プリントの研究に関しては、熱可塑性ポリウレタンを用いて実施した。相転移するラティスの変形を FEM 解析することで構造と特性の関係を予想する基礎研究を展開するとともに、バイメタルを組み込んだラティス構造の温度変化にともなう相転移挙動の研究を発展させた。昇温冷却による相転移の発現が可能であることを示すとともに、格子の大型化にともなう課題も抽出した。また、造形物の外形状に応じたユニットセル設計のためのコンフォーマル化のための計算手法も検討した。以上の研究により、本研究の成果が今後さらに発展し、多色刷り金属 AM が高精度化した際に、相転移するラティスの創成による 4D プリントが、新規学術研究へと発展するとともに、新技術の学術的基礎とするための方向性を示すことができた。

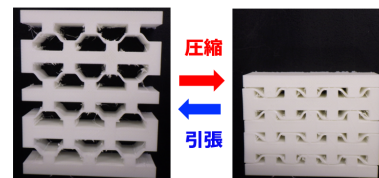


図 6. 熱可塑性ポリウレタン (TPU) の材料押出式 3D プリントで製造された PXCМ の応力誘起相転移。

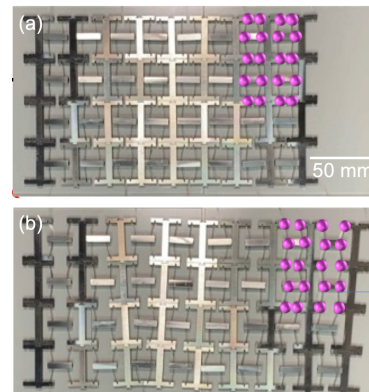


図 7. バイメタル梁を組み込んだ PXCМ の熱誘起相転移. (a) 相転移前 (室温), (b) 相転移後 (170°C). (球は配列変化を示すために画像上にて配置した.)

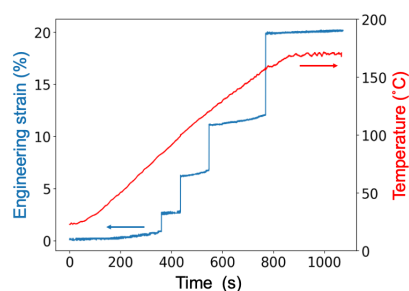


図 8. バイメタル梁を組み込んだ PXCМ の熱誘起相転移における温度とひずみの変化。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 奥川 将行, 磯野 祐輔, 小泉 雄一郎, 中野 貴由	4. 巻 6
2. 論文標題 Ti-6Al-4V合金の粉末床溶融結合法におけるレーキ過程の個別要素法と実験による検証	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 軽金属	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2464/jilm.72.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 鐘ヶ江 壮介, 奥川 将行, 小泉 雄一郎	4. 巻 1
2. 論文標題 3Dプリントを活用した形状記憶・衝撃吸収メタマテリアル開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of 4D and Functional Fabrication	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34498/4dff.1.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 小泉雄一郎	4. 巻 23
2. 論文標題 金属付加製造における凝固とプロセス最適化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 エレクトロニクス実装学会誌	6. 最初と最後の頁 446-451
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5104/jiep.23.446	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 小泉 雄一郎, 鐘ヶ江壮介, 藤田武志	4. 巻 55
2. 論文標題 粉末床溶融結合型金属付加製造による材料組織制御と格子構造体の創製	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 セラミックス	6. 最初と最後の頁 10-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計27件（うち招待講演 8件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Sosuke Kanegae, Masayuki Okugawa, Yuichiro Koizumi
2. 発表標題 Geometric Design and Inverse Design of Multi-Axial Bistable Lattice Mechanical Metamaterial Inspired by Atomic Arrangement of Crystals
3. 学会等名 MRS 2022 Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuichiro Koizumi, Masaki Hosoda, Sosuke Kanegae, Masayuki Okugawa, Hayato Nagayama
2. 発表標題 Design of Cellular Lattices by Atom-Mimetics, How to reproduce Elastic Anisotropy of Metals
3. 学会等名 MRS 2022 Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuichiro Koizumi, Hayato Nagayama, Sosuke Kanegae, Masayuki Okugawa, Masaki Hosoda
2. 発表標題 Creation of a Lattice Structure Showing a Thermally-Induced Phase Transition Using Bimetal
3. 学会等名 MRS 2022 Spring Meeting, <Nominee for the MRS Best Poster Award > (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 永山 隼、鐘ヶ江 壮介、奥川 将行、小泉 雄一郎
2. 発表標題 バイメタル製曲がり梁を有する格子構造体の熱誘起相転移
3. 学会等名 日本金属学会2022年春季第170回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鐘ヶ江壮介、永山隼人、奥川将行、小泉雄一郎
2. 発表標題 衝撃吸収・形状記憶双安定(bistable)セル格子の構造最適化設計
3. 学会等名 日本機械学会 マイクロナノ工学部門COMSOLによるマルチフィジックス解析 - 基礎からの実習と最新の活用事例紹介 ^ (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森本紗伎, 奥川将行, 小泉雄一郎
2. 発表標題 付加製造用異種金属粉末の振動による分離実験と個別要素法による解析[優秀講演発表賞受賞]
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会 2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村 弘和, 奥川将行, 小泉雄一郎, 中野貴由
2. 発表標題 粉末床溶融結合法 (PBF) における粉末充填密度と粉末回転抵抗の関係のデジタルツイン解析
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会 2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小泉雄一郎
2. 発表標題 金属3Dプリントのデジタルツイン科学:PBFプロセス最適化のための観察と計算機シミュレーション
3. 学会等名 一般社団法人 日本非破壊検査協会・九州支部(招待講演) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小泉雄一郎
2. 発表標題 粉末床溶融結合法による金属の3Dプリント
3. 学会等名 一般社団法人日本鋼構造協会 (JSSC) 関西地区連絡会 情報技術利用委員会2021年度第4回鋼部材の施工・製作における情報技術利用に 関する調査委員会(招待講演) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永山隼、鐘ヶ江壮介、奥川将行、小泉雄一郎
2. 発表標題 バイメタルを使用した熱誘起相転移を示す格子構造の創製
3. 学会等名 Conference on 4D and Functional Fabrication 2021 (Session5 価値創造のためのマテリアルデザイン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鐘ヶ江壮介、永山隼、奥川将行、小泉雄一郎
2. 発表標題 原子配列を模倣した多軸bistable格子構造メタマテリアルの設計と機械学習による力学特性最適化
3. 学会等名 2021年度 スマート・アディティブ・マニユファクチャリング研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森本紗伎、奥川将行、小泉雄一郎
2. 発表標題 付加製造用異種金属粉末の振動による分離実験と個別要素法 (DEM) による解析
3. 学会等名 2021年度 スマート・アディティブ・マニユファクチャリング 研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮田雄一郎、福井潤也、奥川将行、小泉雄一郎、中野貴由
2. 発表標題 付加製造用電子ビーム照射によるSUS304鋼およびSUS316L鋼の溶融凝固挙動
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第180回秋季講演大会 学生ポスターセッション
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 磯野佑輔、奥川将行、小泉雄一郎
2. 発表標題 粉末床溶融結合法でのレーキ過程における粉末粒子の挙動の個別要素法による解析
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会2020年度秋季大会（第126回講演大会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 王 雷、檜枝 賢護、奥川 将行、川端 弘敏、小泉 雄一郎、中野 貴由
2. 発表標題 Electron Beam Single-Track Tests for Ti-6Al-4V/Copper Multi-Material Powder Bed Fusion Additive
3. 学会等名 日本鉄鋼協会・日本金属学会関西支部 材料物性工学談話会 第2回講演会（学生講演会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 王 雷、檜枝 賢護、奥川 将行、川端 弘敏、小泉 雄一郎、中野 貴由
2. 発表標題 Ti-6Al-4V/Cuマルチマテリアル粉末床への付加製造用電子ビーム照射による溶融凝固
3. 学会等名 日本金属学会2021年春季第168回講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鐘ヶ江 壮介, 奥川 将行, 小泉 雄一郎
2. 発表標題 原子配列を模倣した双安定性構造の有限要素法による力学特性最適化
3. 学会等名 Conference on 4D and Functional Fabrication 2020 ~ New Paradigm over 3D Technology ~
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鐘ヶ江 壮介, Rashidimerhrabadi Majid, 奥川 将行, 小泉 雄一郎
2. 発表標題 応力誘起相変態を発現するセル格子構造体の付加製造と物性評価
3. 学会等名 日本金属学会 第166回春季講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小泉 雄一郎
2. 発表標題 粉末床溶融結合型金属Additive Manufacturingにおける材料組織の制御
3. 学会等名 接合科学研究所第16回産学連携シンポジウム 第109回シンポジウム「金属学研究者と技術者のための3Dプリンタ科学・技術・造形事例」 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小泉 雄一郎
2. 発表標題 3Dプリンティングにおける溶融凝固現象とマイクロ・マクロ構造制御
3. 学会等名 第9回 日本セラミックス協会マテリアル・ファブリケーション・デザイン研究会 機能発現のためのマテリアルデザインとファブリケーションデザイン (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鐘ヶ江壮介 , 加藤瑞葵 , 小泉雄一郎
2. 発表標題 3Dプリントを活用した軽量・形状記憶・衝撃吸収材料の開発
3. 学会等名 Conference on 4D and Functional Fabrication 2019 ~ New Paradigm over 3D Technology ~
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小泉 雄一郎
2. 発表標題 積層造形における材料特性制御のためのプロセス最適化
3. 学会等名 学際国際高度人材育成ライフイノベーションマテリアル創製共同研究プロジェクト生体材料分野講演会：積層造形技術開発と生体材料創製への応用展開（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小泉 雄一郎
2. 発表標題 金属付加製造（AM）における材料特性制御のためのプロセス最適化設計 ~
3. 学会等名 令和元年秋季 全国大学材料関係教室協議会講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 磯野佑輔, 小泉雄一郎
2. 発表標題 個別要素法（DEM）による付加製造（AM）用金属粉末の流動性と粒度分布の関係の解析
3. 学会等名 一般社団法人粉体粉末冶金協会 2019年度秋季大会（124回講演大会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 檜枝賢護, 川端弘俊, 小泉雄一郎, 中野貴由
2. 発表標題 Additive Manufacturing用電子ビーム照射によるTi-6Al-4V合金粉末・Cu粉末境界部の熔融凝固挙動
3. 学会等名 傾斜機能材料学会 特別企画セッション: 3次元積層造形による材料構造制御(第29回傾斜機能材料シンポジウム FGMs奨励賞)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小泉雄一郎, 森本紗伎, 川端弘俊, 高橋弘紀
2. 発表標題 電子ビーム造形法による金属部材の組織制御と付加製造用異種金属粉末の分離
3. 学会等名 傾斜機能材料学会 特別企画セッション: 3次元積層造形による材料構造制御 【特別講演】(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 檜枝 賢護、奥川 将行、川端 弘俊、小泉 雄一郎、中野 貴由
2. 発表標題 粉末床熔融結合型付加製造 (AM) 用電子ビーム照射によるTi-6Al-4V合金粉末・Cu粉末境界部の熔融凝固挙動
3. 学会等名 日本金属学会 第166回春季講演大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 中川 勝、岡本 敏弘、藤井 雅留太、平沢 一真、長尾 忠昭、花村 克悟、松井 裕章、宮崎 康次、岩見 健太郎、玉山 泰宏、山本 洋平、山岸 洋、内野 俊、雨宮 智宏、高原 淳一、森竹 勇斗、向井 剛輝、鐘ヶ江 壮介、奥川 将行、小泉 雄一郎 他	4. 発行年 2022年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 508
3. 書名 メタマテリアルの設計、作製と新材料、デバイス開発への応用	

1. 著者名 Soshu Kirihara and Kazuhiro Nakata eds. Yuichiro Koizumi et al.	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 183
3. 書名 Multi-dimensional Additive Manufacturing, (“Chapter 3. Selective Electron Beam Melting” を執筆) Soshu Kirihara, Kazuhiro Nakata, Editors	

1. 著者名 萩原恒夫、京極秀樹、田中浩也、藤井雅彦、小泉雄一郎、奥川将行ら	4. 発行年 2021年
2. 出版社 NTS 出版	5. 総ページ数 380
3. 書名 3Dプリンタ用 新規材料開発 (監修 萩原 恒夫, [第2章材料設計/第2節3Dプリント用の材料・プロセス 設計のための計算機シミュレーションを分担執筆])	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>大阪大学大学院工学研究科 マテリアル生産科学専攻 材料設計・プロセス工学領域 小泉研究室 http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/msp3/ 大阪大学大学院工学研究科 マテリアル生産科学専攻 材料エネルギー理工学講座材料設計・プロセス工学領域 http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/msp3/MSP3-HomeJ.htm</p>

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------