

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03834

研究課題名（和文）電子ビーム3Dプリント金属材料学の構築

研究課題名（英文）Construction of electron beam 3D printing metallic materials

研究代表者

千葉 晶彦（Chiba, Akihiko）

東北大学・金属材料研究所・教授

研究者番号：00197617

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 35,100,000円

研究成果の概要（和文）：PBF-EBで製造された溶接困難超合金のGB割れは、機械的および組成的効果を含む複数の要因の相互作用の影響を受ける。

本研究は機械学習に基づく方法を適用して、Inconel 713ELCの高次元PBF-EBパラメータ空間を最適化した。最適化されたサンプルの亀裂傾向は、熱機械分析によって定義および計算された準全塑性ひずみ指数（QTPSI）を使用してランク付けできることを示した。溶接可能な超合金Alloy 718と比較することにより、非溶接性はその熱膨張効果に大きく起因する。この熱膨張効果と液化効果およびひずみ時効割れ効果の組み合わせにより、Alloy 713ELCの非溶接性の本質的な原因が明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

溶接不可能な超合金をPBF-EBで造形することは広く研究されてきたが、GBクラッキングのメカニズムは不明であった。凝固割れのメカニズムは詳細に研究されているが、PBF-EBプロセスの高次元プロセスパラメータ空間とスキャン戦略が複雑であるため、GBクラッキングを引き起こす機械的效果についての詳細な理解が不足している。本研究は、機械学習に基づく方法を適用して、Inconel 713ELCの高次元PBF-EBパラメータ空間を最適化した。本研究によりき裂のない多くのPBF-EB造形造形物の製造が可能になった。本研究によって金属積層造形による難溶接性のニッケル基超合金でも欠陥なき無き造形が可能になった。

研究成果の概要（英文）：GB cracks in difficult-to-weld superalloys made with PBF-EB are affected by the interaction of multiple factors, including mechanical and compositional effects.

This study applied a machine learning-based method to optimize the high-dimensional PBF-EB parameter space of Inconel 713ELC. It was shown that the optimized sample crack tendency can be ranked using the quasi-total plastic strain index (QTPSI) defined and calculated by thermomechanical analysis. By comparison with the weldable superalloy Alloy 718, the non-weldability is largely due to its thermal expansion effect. The combination of this thermal expansion effect, liquefaction effect and strain aging cracking effect revealed the essential cause of the non-weldability of Alloy 713ELC.

研究分野：金属加工プロセス工学

キーワード：金属積層造形 電子ビーム積層造形 高温材料 ニッケル基超合金 粉末床溶融結合方式 高温割れ  
溶接困難材料 インコネル713C合金

## 1. 研究開始当初の背景

3Dプリント技術は、試作用の技術から実用部材の製造技術へと進化した。いくつかの材料では、無欠陥で従来プロセスにより製造されたものと同等以上の材料特性の発現が可能となり、現在、大型化、高精度化、高速化のための技術開発が進められている(図1)。

その一方で、材料学に新たな学術的課題を突きつける要求として、

- (i) 3Dプリント技術をあらゆる金属材料に適用するための指針
- (ii) 3Dプリント技術で形状と材質を同時に制御するための指針
- (iii) 3Dプリント技術に適した性質の合金を設計するための指針

の重要性が高まっている。金属材料は、古くは鋼を鍛錬して焼き入れて優れた日本刀が造られたことに象徴されるように、同じ組成の合金でも溶融凝固、塑性加工、熱処理といった種々のプロセスにより材質を多様に制御して用いられてきた。現在の金属3Dプリント技術は、形状制御のみで、鋳造品レベルの材料特性が得られるようになったばかりである。現在主流の金属3Dプリント技術である粉末床溶融結合(Powder Bed Fusion: PBF)法では、基板上に原料粉末の層を作り、レーザービーム(LB)や電子ビーム(EB)を、造形物の二次元断面に沿って走査し、緻密化したい部分のみを溶融凝固させる。下から順に各高さの断面形状に沿った選択的溶融凝固と粉末供給を繰り返すことで3次元造形体を得る。緻密体を得られる条件は材料に依存し、ビーム出力、走査速度・間隔を試行錯誤的に変えて最適条件を探しているのが現状である。

我々は、EBを用いたPBF方式の3Dプリント技術(EB-PBF)を、種々の実用合金に適用する研究を行い、緻密化の必要条件を経験的に見出してきた。さらに、緻密体を得られる範囲でも造形条件により材料組織を変えられることを見出した。得られた造形体の力学特性を評価し、一部の材料では、鍛造等の従来法で材質制御されたものより優れた特性を発現させることに成功した。それらの経験則を、学術的に合金の物性と物理法則に関連づけて体系化することは、今後3Dプリントを種々の材料に適用でき、形状だけでなく材料特性を制御する技術として発展させるのに不可欠である。

## 2. 研究の目的

特に金属部材の製造では、従来、加工・熱処理プロセスを経て材料特性が制御されて来た。無欠陥の造形ができて、所望の材料特性が得られるわけではない。本研究では、試行錯誤によらない金属材料の造形条件最適化を可能とするため、材料の各種物性と最適化条件との間の法則を見出すとともに、材料特性を決定する材料組織を造形プロセス中に制御するための指導原理を確立する。また、それに基づき金属3Dプリントに適した合金設計の指針を示すことにより、「3Dプリント(3DP)金属材料学」を構築する。

本研究では、以下の研究を実施することを目的とする。

- (i) 比熱、密度、熱伝導率、表面張力、粘度及びそれらの温度依存性といった材料の物性と緻密化プロセス条件との関係を、純金属及び単純な組成の合金を使って解明する。
- (ii) 緻密化が達成される範囲でプロセス条件を変え、凝固組織との関係を明らかにする。
- (iii) 上記の結果に基づき、無欠陥の造形がし易く組織制御も行い易い合金設計の指針を示す。

## 3. 研究の方法

本研究では、金属3Dプリント技術の主流であるPBF方式でかつビームと材料の相互作用が比較的単純なEBを熱源としたEB-PBFにおける、(i) 緻密体形成条件と材料の物性との間にある法則、(ii) 粉末床の溶融凝固における結晶成長と材料の冶金学的性質の関係を、種々の物性データや冶金学的データが充実し、かつ積層造形適用の要望の強いNi基超合金の主成分であるNiとその主要な合金元素であるAlとの2元系合金をモデルケースとして、種々のEB照射による溶融凝固過程のその場観察と数値流体力学(Computational thermal-Fluid Dynamics: CtFD)計算シミュレーションにより調べる。

また、その実験で得られる凝固組織とCtFD計算で評価される凝固条件との関係を造形中の材料組織制御するため凝固マップとして整理しその冶金学的性質との相関を解明する。

さらに、その成果に基づき積層造形を志向した緻密化と組織制御のための合金設計の指針を示す。

- (i) 緻密化条件と材料の熱融体物性の相関に関する研究

- (ii) 3Dプリント技術で形状と材質を同時に制御するための研究
- (iii) 3Dプリントにおける無欠陥造形と材料組織のための合金設計

以上の研究の成果に基づき、無欠陥の造形が可能な範囲を広げることで、部位毎に造形条件を変えて凝固条件を広く変化させ、単結晶から等軸晶へと組織を変化させるのに適した合金組成を提案する。具体的には、ガスタービン翼材で求められている翼部は耐クリープ性に優れる<100>配向の単結晶、根元部分は靱性に優れる等軸微細粒とするのに適した合金を提案する。

電子ビーム(EB)走査実験：Ni基超合金のPREP粉末とガスアトマイズ粉末をプレートに敷き詰めてパウダーベッドを構築し、ビーム出力Pと走査速度を変えた種々の条件でEBを照射・走査し、形成される溶融ビードを観察する。

数値流体力学シミュレーション(CtFD)：上記の実験条件と同じ条件での溶融凝固過程を、数値流体力学(Computational thermal-Fluid Dynamics: CtFD)計算によるシミュレーションを行う。物性との相関から、安定なビードが得られるビーム条件、ビードのサイズとビーム条件の定量関係を系統的に調べ造形条件の指標とする。CtFDシミュレーションを粉末モデルで実行し、仮想的に物性値を変えた場合のビードの変化から、粉末溶融結合の支配因子を解明する。また、粉末形状の違いにより、メルトプールの形状に生じる変化を定量的に評価する。溶質トラッピング効果を検証する。

造形実験：上記のEB照射条件とビードの形態・サイズの関係に基づき、ビーム強度、走査速度・間隔の組合せを決定してブロック状サンプルを造形する。これまでの研究で、ビードのサイズ・形状から、溶融過多や溶融不足にならない適切な走査間隔を求める式(図7)を導出し、それを指標として造形することで、通常の造形条件の範囲よりも広い範囲で緻密な造形体が得られることをIN713タイプNi基超合金の実験で示す。

X線トモグラフィー：造形物の内部のき裂及び気孔の分布を、断面観察と併せてX線トモグラフィーを用いて評価する。

粉末形状が造形条件に与える効果の定量化：粉末形状の違い(PREP粉末およびガスアトマイズ粉末)により造形物の内部に生じる欠陥形成を詳細に調べる。

造形条件と残留応力の蓄積挙動の関係の定量化：電子ビームのエネルギー密度、走査速度、走査間隔等が、メルトプール形成や熱影響部に蓄積される残留ひずみに与える影響を定量化し、高温割れのみかメカニズムを明らかにする。

以上の実験ならびに計算機シミュレーションを、今年度は実用されているNi基超合金(具体的にはIn713ELC)合金に対して行い、電子ビーム積層造形における金属材料学の基礎の構築に資する。

#### 4. 研究成果

材料の熱物性値とEBMにおけるメルトプールの溶融・凝固挙動の関係を明らかにすることを目的に、実験的手法とシミュレーションの両方を用いてNi-Al系合金の溶融・凝固挙動について調査した。

種々のビーム出力とビーム走査速度でNi-Al合金バルク材へシングルビード形成実験を行い、メルトプール形状やその凝固組織を調査した。また、シミュレーションを用いてメルトプール内の流動、温度解析を行った。

(1)CFDシミュレーションにより、EBMプロセスにおいて、溶融金属の粘性、熱伝導率、表面張力の温度依存性がメルトプール形状に与える影響を調査し、これらの熱物性値がメルトプール形状に影響を与える要因の一つであることを確認した。今回用いたNi-Al合金では、メルトプール形状に大きな影響を与えた熱物性値はマランゴニ係数と熱伝導率であった。

(2)Ni-Al系合金の凝固組織は、20Alではビーム条件によらず基板の結晶方位を引き継いだ結晶成長が生じた。一方40Alでは基板の結晶方位とは異なる方位の結晶が形成された。これはNi-Al系合金では、凝固温度幅の組成依存性が大きく、凝固温度幅の小さい20Alでは組成的過冷却が起こりにくく、CET領域が40Alよりも低G側に存在し、柱状晶域が広くなり、今回の実験では全て柱状晶域にG-Rが位置したためと考えられる。

(3)40Alではメルトプールの下部では熱流に沿ったエピタキシャル成長が観察された一方、メルトプールの端部では基板の方位とは異なる方位の結晶が形成された。メルトプールの端部では流速が大きく、結晶遊離が生じたと考えられる。また、最終凝固部であるメルトプール中央でも基板の方位と異なる結晶が形成されており、固液界面の温度勾配は凝固初期で大きく、最終凝固部では小さくなることから、メルトプール内の温度勾配に応じて核生成挙動に変化が生じたと考えられる。

種々のビーム出力とビーム走査速度でNi-Al合金バルク材へシングルビード形成実験を行い、メルトプール形状やその凝固組織を調査した。得られた成果を以下にまとめる。

(1)CFDシミュレーションにより、EBMプロセスにおいて、溶融金属の粘性、熱伝導率、表面張力の温度依存性がメルトプール形状に与える影響を調査し、これらの熱物性値がメルトプール形状に影響を与える要因の一つであることを確認した。

(2)Ni-Al 系合金の凝固組織は、20Al ではビーム条件によらずエピタキシャル成長である。一方 40Al では基板の結晶方位とは異なる方位の結晶が形成された。これは Ni-Al 系合金では、凝固温度幅の組成依存性が大きく、凝固温度幅の小さい 20Al では組成的過冷却が起こりにくく、CET 領域が 40Al よりも低 G 側に存在し、柱状晶域が広くなり、今回の実験では全て柱状晶域に G-R が位置したためと考えられる。

(3)40Al ではメルトプールの下部では熱流に沿ったエピタキシャル成長が観察された一方、メルトプールの端部では基板の方位とは異なる方位の結晶が形成された。メルトプールの端部では流速が大きく、結晶遊離が生じたと考えられる。また、最終凝固部であるメルトプール中央でも基板の方位とは異なる結晶が形成されており、固液界面の温度勾配は凝固初期で大きく、最終凝固部では小さくなることから、メルトプール内の温度勾配に応じて核生成挙動に変化が生じたと考えられる。さらに、金属粉末の焼結体に電子ビームを照射し、得られる組織について調べるとともに、バルクと粉末における溶融・凝固挙動の違いを調査した結果、Ni-Al 合金では粉末を用いた場合においても、バルク材でのシングルビード形成実験と同様の凝固組織が得られた。粉末焼結材での凝固組織が組成依存性を示した理由として、バルク材と同様に凝固温度幅の影響が大きいと考えられる。

以上のシングルビードを用いた基礎的検討を基にして、Ni 基超合金として汎用されているインコネル 713C 系超合金を実際に造形し、以下の結果を得た。

PBF-EB で製造された溶接困難超合金の GB 割れは、機械的および組成的効果を含む複数の要因の相互作用の影響を受ける。

本研究は機械学習に基づく方法を適用して、Alloy713ELC の高次元 PBF-EB パラメータ空間を最適化した。最適化されたサンプルの亀裂傾向は、熱機械分析によって定義および計算された準全塑性ひずみ指数 (QTPSI) を使用してランク付けできることを示した。溶接可能な超合金 Alloy718 と比較することにより、非溶接性はその熱膨張効果に大きく起因する。この熱膨張効果と液化効果およびひずみ時効割れ効果の組み合わせにより、Alloy713ELC の非溶接性の本質的な原因が明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Lei Yuchao, Aoyagi Kenta, Aota Kinya, Kuwabara Kosuke, Chiba Akihiko	4. 巻 208
2. 論文標題 Critical factor triggering grain boundary cracking in non-weldable superalloy Alloy713ELC fabricated with selective electron beam melting	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 116695 ~ 116695
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2021.116695	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 該当する
1. 著者名 Zhao Yufan, Koizumi Yuichiro, Aoyagi Kenta, Yamanaka Kenta, Chiba Akihiko	4. 巻 381
2. 論文標題 Thermal properties of powder beds in energy absorption and heat transfer during additive manufacturing with electron beam	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Powder Technology	6. 最初と最後の頁 44 ~ 54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.powtec.2020.11.082	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 該当する
1. 著者名 Chen Qian, Zhao Yunhao, Strayer Seth, Zhao Yufan, Aoyagi Kenta, Koizumi Yuichiro, Chiba Akihiko, Xiong Wei, To Albert C.	4. 巻 37
2. 論文標題 Elucidating the effect of preheating temperature on melt pool morphology variation in Inconel 718 laser powder bed fusion via simulation and experiment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Additive Manufacturing	6. 最初と最後の頁 101642 ~ 101642
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.addma.2020.101642	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 該当する
1. 著者名 Yamanaka Kenta, Kuroda Asumi, Ito Miyu, Mori Manami, Bian Huakang, Shobu Takahisa, Sato Shigeo, Chiba Akihiko	4. 巻 37
2. 論文標題 Quantifying the dislocation structures of additively manufactured Ti <sub>6</sub> Al <sub>4</sub> V alloys using X-ray diffraction line profile analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Additive Manufacturing	6. 最初と最後の頁 101678 ~ 101678
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.addma.2020.101678	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 該当する

1. 著者名 Zhao Yufan, Aoyagi Kenta, Yamanaka Kenta, Chiba Akihiko	4. 巻 36
2. 論文標題 Role of operating and environmental conditions in determining molten pool dynamics during electron beam melting and selective laser melting	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Additive Manufacturing	6. 最初と最後の頁 101559 ~ 101559
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.addma.2020.101559	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 該当する

1. 著者名 Lei Yuchao, Aoyagi Kenta, Cui Yujie, Kang Dong-Soo, Kuwabara Kosuke, Aota Kinya, Chiba Akihiko	4. 巻 787
2. 論文標題 Process optimization and mechanical property investigation of non-weldable superalloy Alloy713ELC manufactured with selective electron beam melting	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 139485 ~ 139485
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2020.139485	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 該当する

1. 著者名 Zhao Yufan, Aoyagi Kenta, Daino Yohei, Yamanaka Kenta, Chiba Akihiko	4. 巻 34
2. 論文標題 Significance of powder feedstock characteristics in defect suppression of additively manufactured Inconel 718	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Additive Manufacturing	6. 最初と最後の頁 101277 ~ 101277
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.addma.2020.101277	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 該当する

1. 著者名 X. Ding, Y. Koizumi, K. Aoyagi, T. Kii, N. Sasaki, Y. Hayasaka, K. Yamanaka, A. Chiba	4. 巻 764
2. 論文標題 Microstructural control of alloy 718 fabricated by electron beam melting with expanded processing window by adaptive offset method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering A,	6. 最初と最後の頁 138058
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2019.138058	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 K. Aoyagi, H. Wang, H. Sudo, A. Chiba	4. 巻 27
2. 論文標題 Simple method to construct process maps for additive manufacturing using a support vector machine	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Additive Manufacturing,	6. 最初と最後の頁 353-362.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.addma.2019.03.013	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 X. Ding, Y. Koizumi, D. Wei, A. Chiba	4. 巻 26
2. 論文標題 Effect of process parameters on melt pool geometry and microstructure development for electron beam melting of IN718: A systematic single bead analysis study	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Additive Manufacturing,	6. 最初と最後の頁 215-226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.addma.2018.12.018	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 Yufan Zhao, Yuichiro Koizumi, Kenta Aoyagi, Daixiu Wei, Kenta Yamanaka, Akihiko Chiba	4. 巻 26
2. 論文標題 Molten Pool Behavior and Effect of Fluid Flow on Solidification Conditions in Selective Electron Beam Melting (SEBM) of a Biomedical Co-Cr-Mo Alloy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Additive Manufacturing,	6. 最初と最後の頁 202-214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.addma.2018.12.002	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 Y. Zhao, Y. Koizumi, K. Aoyagi, K. Yamanaka, A. Chiba	4. 巻 254
2. 論文標題 Manipulating local heat accumulation towards controlled quality and microstructure of a Co-Cr-Mo alloy in powder bed fusion with electron beam	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Letters	6. 最初と最後の頁 202-214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matlet.2019.07.078	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18件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 青柳 健大, 小野 学, 山中 謙太, 千葉 晶彦
2. 発表標題 CPS適合型積層造形システムの開発 (I) ~ プロセスマップ自動生成システム
3. 学会等名 日本金属学会2021年春期講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 千葉 晶彦, 青柳 健大, 趙 宇凡, 卞 華康, 山中 謙太,
2. 発表標題 電子ビーム積層造形中に生ずる諸問題とその材料学的な解決
3. 学会等名 日本金属学会2021年春期講演大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 雷 雨超, 青柳 健大, 青田 欣也, 桑原 孝介, 千葉 晶彦
2. 発表標題 電子ビーム積層造形による難溶接性超合金Alloy713ELCの割れを導く機械的因子
3. 学会等名 日本金属学会2021年春期講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 千葉 晶彦,
2. 発表標題 金属積層造形プロセスと金属粉末特性 メルトプールの動的挙動と溶融凝固プロセス
3. 学会等名 日本塑性加工学会 第71回塑性加工連合講演会, (招待講演)
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 千葉 晶彦,
2. 発表標題 "金属積層造形技術の概要と研究開発動向",
3. 学会等名 日本塑性加工学会 第338回塑性加工シンポジウム「金属積層造形技術の最前線」 - 高機能・高付加価値製品の開発 - (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 趙 宇凡, 青柳 健大, 崔 玉傑, 卞 華康, 山中 謙太, 千葉 晶彦,
2. 発表標題 "パウダーベッド方式の電子ビーム/レーザー積層造形におけるメルトプールの動的挙動と欠陥形成",
3. 学会等名 日本金属学会 2020年秋期講演大会, オンライン
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 趙 宇凡, 青柳 健大, 台野 洋平, 山中 謙太, 千葉 晶彦,
2. 発表標題 "Powder Morphology in Defects Suppression of Additively Manufactured Inconel 718",
3. 学会等名 日本金属学会 2020年秋期講演大会, オンライン
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 千葉 晶彦,
2. 発表標題 AMにおける溶融凝固現象と欠陥発生メカニズム
3. 学会等名 日本機械学会 2020年度年次大会 先端技術フォーラム テタルマニュファクチャリングによるものづくり革新, (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久米井 康志, 青柳 健大, 千葉 晶彦
2. 発表標題 電子ビーム積層造形におけるNi基合金の熱物性と溶融・凝固現象の相関
3. 学会等名 日本塑性加工学会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千葉 晶彦, 青柳 健大, 山中 謙太, 李 啓晟, 趙 宇凡
2. 発表標題 Ti6Al4V合金の各種金属積層造形材の疲労強度に及ぼすガス欠陥の影響とHIP効果
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千葉 晶彦, 青柳 健大, 山中 謙太
2. 発表標題 電子ビーム積層造形での電子ビーム照射による合金粉末の“スモーク”と合金粉末特性の関係
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青柳 健大, 渡邊 裕文, 澁谷 義孝, 佐藤 賢次, 千葉 晶彦
2. 発表標題 データ科学手法を用いた純銅の電子ビーム積層造形プロセスの最適化
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 趙 宇凡, 小泉 雄一郎, 青柳 健大, 山中 謙太, 千葉 晶彦
2. 発表標題 Phase Transformation Mechanisms of Biomedical Co-28Cr-6Mo Alloy Depending on the Thermal History in Electron Beam Powder-bed Additive Manufacturing
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 卞 華康, 青柳 健大, 趙 宇凡, 前田 千芳利, 毛利 敏洋, 千葉 晶彦,
2. 発表標題 Microstructure refinement for superior ductility of Al-Si alloy by electron beam melting additive manufacturing
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 雷 雨超, 青柳 健大, 康 東洙, 桑原 孝介, 青田 欣也, 千葉 晶彦
2. 発表標題 Electron beam melting of non-weldable superalloy Inconel 713ELC: Process optimization and mechanical properties
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久米井 康志, 青柳 健大, 千葉 晶彦
2. 発表標題 電子ビーム積層造形(EBM)によるNi基合金材料物性と造形性との相関
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千代田 健佑, 青柳 健大, 千葉 晶彦,
2. 発表標題 電子ビーム積層造形により作製した7000系アルミニウム合金の熱処理による組織と力学的特性への影響
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 王 昊, 宮城 俊美, 青柳 健大, 山中 謙太, 千葉 晶彦, 須藤 英毅
2. 発表標題 電子ビーム積層造形によって作製されたCoCrMo合金の生体用材料への活用
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 千葉晶彦	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Microjet	5. 総ページ数 390
3. 書名 3Dプリンタ用新規材料開発	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究 分担者	小泉 雄一郎  (Koizumi Yuichiro)  (10322174)	大阪大学・工学研究科・教授    (14401)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	山中 謙太  (Yamanaka Kenta)  (30727061)	東北大学・金属材料研究所・准教授    (11301)	
研究分担者	青柳 健大  (Aoyagi Kenta)  (90636044)	東北大学・金属材料研究所・助教    (11301)	

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