

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04750

研究課題名（和文）新規なハイエントロピー合金材料設計法構築による生体ハイエントロピー合金の開発

研究課題名（英文）Development of novel High Entropy Alloys for metallic biomaterials based on the new alloy design

研究代表者

永瀬 丈嗣（Nagase, Takeshi）

大阪大学・超高压電子顕微鏡センター・准教授

研究者番号：50362661

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：生体用ハイエントロピー合金（High Entropy Alloys for metallic Biomaterial, BioHEA）として開発がすすむTiNbTaZrMo BioHEAの凝固組織を、液相線温度および液相線温度における分配係数の熱力学計算結果と比較を行い、等軸デンドライト組織における元素分配が、熱力学計算結果によりよく説明できることを明らかとした。非等原子組成比Ti_{1.4}Zr_{1.4}Nb_{0.6}Ta_{0.6}Mo_{0.6}合金を開発し、等原子組成合金に比べ優れた機械的性質を示すこと、細胞試験の結果からCP-Tiに匹敵する高い生体適合性を示すことを明らかとした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高齢化社会をむかえた現在において Quality of Life (QOL) を支える新たな生体用金属新素材の開発が急務になっている。本研究により、生体適合性はCP-Tiと同程度でありながらその力学特性は既存のTi合金を大きく上回る生体用金属新素材、すなわち、強度-生体適合性バランスにおいて従来材料では実現できない特性をしめす生体用金属新素材の開発を達成した。

研究成果の概要（英文）：Solidification microstructure in TiNbTaZrMo high entropy alloys for metallic biomaterial (BioHEA) was investigated focusing on the segregation behavior. The segregation was investigated by the electron microscopy and the thermodynamic calculation. Non-equiatomc Ti_{1.4}Zr_{1.4}Nb_{0.6}Ta_{0.6}Mo_{0.6} BioHEA with superior high strength and bio-compatibility was developed.

研究分野：材料組織学

キーワード：生体材料 ハイエントロピー合金 熱力学計算 凝固 鑄造

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ハイエントロピー合金は、一般に 5 種類以上の構成元素をほぼ等量ずつ配合した、従来合金では到達しえない混合エントロピーが $1.5R$ (R は気体定数) 以上となるハイエントロピー状態とすることで、面心立方 (face-centered cubic、FCC) や体心立方 (body-centered cubic、BCC) といった単純な結晶構造を有する超多成分固溶体が形成される合金である。ハイエントロピー合金は、severe lattice distortion 効果によって鑄造ままでも高強度でありながら、high entropy effect によって固溶体が形成されるため基本的に高延性が期待できるという特徴を有している。これらの特徴を活かし、様々な応用が検討されてきた。

我々は、ハイエントロピー合金の生体材料としての可能性を探索し、生体親和性は CP-Ti と同程度であり、その機械的性質としては強度が既存のチタン合金を上回る生体用金属材料としてのハイエントロピー合金、すなわち high entropy alloys for metallic biomaterials (BioHEAs) の開発に成功した。しかし、BioHEA の開発は、従来型のハイエントロピー合金と同様、単純な経験則に基づくパラメーター法により選択された元素の組み合わせであり、その最適組成は検討されていなかった。

2. 研究の目的

等原子組成比 TiNbTaZrMo BioHEA は世界に先駆けて開発された生体用金属材料としてのハイエントロピー合金である。非等原子組成化を検討することで、さらなる特性向上を試みた。

これまでの BioHEA の開発では、鑄造条件・加工熱処理にともなう組織・構成相変化などは一切考慮してこなかった。そこで本研究では、特に、凝固偏析に注目し、凝固偏析挙動を明らかにするとともに、凝固偏析制御による特性向上の可能性について検討した。

3. 研究の方法

等原子組成比 TiNbTaZrMo BioHEA (すなわち原子組成比にて $Ti_{20}Nb_{20}Ta_{20}Zr_{20}Mo_{20}$) および非等原子組成比 $Ti_{1.4}Nb_{0.6}Ta_{0.6}Zr_{0.6}Mo_{1.4}$ (すなわち原子組成比にて $Ti_{13.04}Nb_{30.43}Ta_{30.43}Zr_{13.04}Mo_{30.43}$) BioHEA のアーク溶解インゴットは、純元素片を所定の組成となるように秤量した後、高純度 Ar 雰囲気にて作製した。アーク溶解法による冷却速度は、Al-Cu 合金における二次デンドライトアーム間隔の測定結果 (二次デンドライトアーム法) から ~ 2000 K/s と見積もられている。浮遊溶解インゴットは、アーク溶解インゴットから作製した。浮遊溶解法による冷却速度は、二次デンドライトアーム法により ~ 1 K/s と見積もられている。

凝固組織の観察は、Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDS) および Electron Probe Micro Analyzer - Wave Dispersive X-ray Spectroscopy (EPMA-WDS) により実施した。

BioHEA の生体親和性は、CP-Ti、SUS 316L を比較材とし、基板上にて細胞を培養したのち、細胞形態および増殖能を調査することで評価した。

4. 研究成果

図 1 に、等原子組成比 TiNbTaZrMo BioHEA におけるアーク溶解材 (Arc-melt) と浮遊溶解材 (CCLM) の XRD を示す。いずれの試料においても観察されたシャープな回折ピークは、BCC 固溶体相であるとして同定可能であった。XRD ピークの半値幅が広い特徴は、超微細結晶粒の形成ではなく、後述するデンドライト組織の形成とこれに伴う組成の分配と組成の異なる BCC

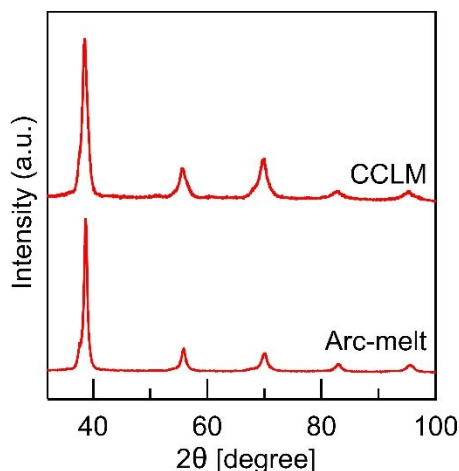


図 1 等原子組成比 TiNbTaZrMo BioHEA におけるアーク溶解材 (Arc-melt) と浮遊溶解材 (CCLM) の XRD パターン [1]

領域の形成によって説明可能であった。金属間化合物に対応する回折ピークは観察されなかった。

図2に、等原子組成比 TiNbTaZrMo BioHEA 試料の SEM-Back Scattering Electron (BSE) 像により取得したマイクロ凝固組織を示す。アーク溶解、浮遊溶解のいずれの凝固材においても、白いコントラストを示すデンドライトと、灰色コントラストを示すデンドライト樹間からなる、等軸デンドライト組織の形成が認められた。デンドライト組織の大きさは、CCLM 材のほうがアーク溶解材に比べわずかに粗大化する傾向が見られたが、チタン鑄造合金などと比較すると凝固組織におよぼす冷却速度依存性の影響は小さいと考えられた。

図3に、等原子組成比 TiNbTaZrMo BioHEA 試料の EPMA-WDS による元素マッピングの結果を示す。アーク溶解、浮遊溶解のいずれの凝固材においても、デンドライトに Ta や Mo の高融点元素が、デンドライト樹間に Ti や Zr などの低融点元素が、それぞれ濃化していることが明らかとなった。

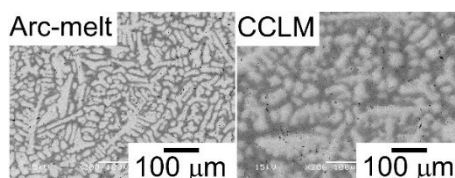


図2 等原子組成比 TiNbTaZrMo BioHEA におけるアーク溶解材(Arc-melt)と浮遊溶解材(CCLM)の SEM-BSE 像 [1]

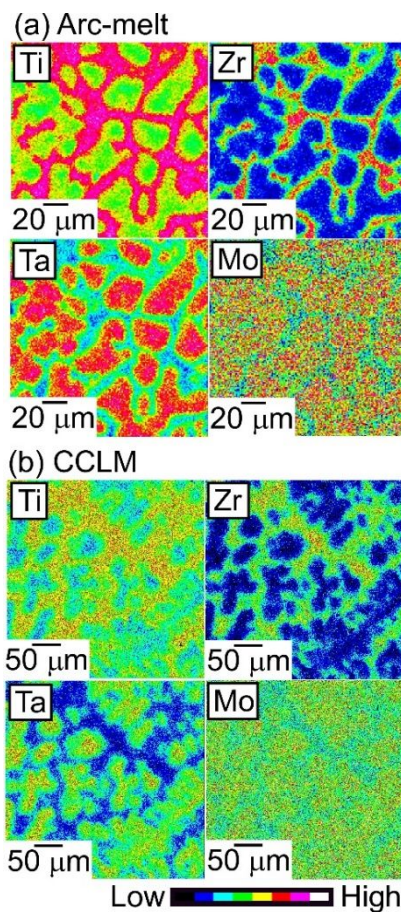


図3 等原子組成比 TiNbTaZrMo BioHEA におけるアーク溶解材(Arc-melt)と浮遊溶解材(CCLM)の EPMA-WDS 元素マッピング [1]

表1に、等原子組成比 TiNbTaZrMo 合金における、液相線温度における構成元素の分配係数 k (ここで、 k は、液相線温度における i 成分の液相濃度 C_{L-i} と、BCC 固溶体の濃度 C_{S-i} の比、すなわち $k = C_{S-i}/C_{L-i}$ と定義する) FactSage (ver 7.3) および SGTE2017 データベースを用いて計算した Ti および Zr の分配係数 k_{Ti} および k_{Zr} の値は 1.0 以下であり、これは図3に示す実験結果と対応した。この結果は、等原子組成比 TiNbTaZrMo BioHEA の偏析に伴うデンドライト樹間への Ti や Zr の濃化現象は、熱力学計算によって予測可能であること示唆している。

図4に、非等原子組成比 $Ti_{1.4}Nb_{0.6}Ta_{0.6}Zr_{1.4}Mo_{0.6}$ BioHEA のアーク溶解材における XRD を示す。差し込み図に、SEM-BSE 像を示す。この合金は、等原子組成比 TiNbTaZrMo 合金の凝固材においてデンドライト樹間に濃化する Ti と Zr 濃度を増加させた合金であると考えることが可能で

ある。XRD 回折パターンの解析の結果、BCC 相の形成が確認された。ミクロ凝固組織観察の結果、等原子組成比 TiNbTaZrMo BioHEA と同様に等軸 dendrite 組織の形成が認められた。Dendrite 樹間への Ti および Zr の濃化現象は、EPMA-WDS より確認された。

表 1 等原子組成比 TiNbTaZrMo 合金における、液相線温度における構成元素の分配係数 k [2]

Ti	Nb	Ta	Zr	Mo
0.53	1.21	1.61	0.24	1.41

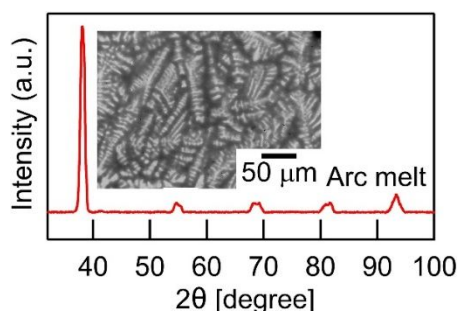


図 4 非等原子組成比 $Ti_{1.4}Nb_{0.6}Ta_{0.6}Zr_{1.4}Mo_{0.6}$ BioHEA のアーク溶解材における XRD パターン。差し込み図は、SEM-BSE 像。 [2]

図 5 に、BioHEA のアーク溶解材における細胞接着挙動を、SUS-316L および CP-Ti と比較した結果を示す。SUS-316L および CP-Ti における vinculin (インデックス P) の発達状況と比較して、BioHEA の vinculin (インデックス Q) は長さが長い傾向が見られた。この結果は、BioHEA における生体親和性の高さに関連性があると考えられた。

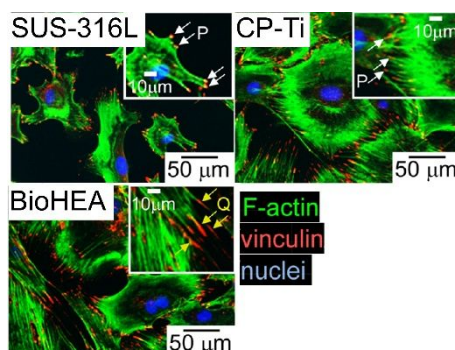


図 5 SUS-316L、CP-Ti、および BioHEA のアーク溶解材における細胞接着挙動。 [2]

得られた研究の成果は以下にまとめられる。

- (1) 等原子組成比 TiNbTaZrMo BioHEA は凝固に伴い構成元素の中で高融点元素である Ta と Nb が dendrite に、低融点元素である Ti と Zr が dendrite 樹間に偏析し、等軸 dendrite 組織が形成される。
- (2) 等原子組成比 TiNbTaZrMo BioHEA における dendrite 組織の形成と dendrite の大きさは、1 K/s ~ 2000 K/s の冷却速度の間では冷却速度に大きく依存しなかった。
- (3) 非等原子組成比 Ti-Nb-Ta-Zr-Mo BioHEA のアーク溶解インゴットにおいても、等軸 dendrite 組織の形成が見られた。
- (4) 等原子組成比 TiNbTaZrMo BioHEA、および非等原子組成比 Ti-Nb-Ta-Zr-Mo BioHEA において、凝固偏析によって dendrite 樹間に濃化する構成元素は、熱力学計算によって予測できる可能性が示唆された。
- (5) BioHEA が高い生体親和性を示す原因を、細胞形態の点から検討した。

< 引用文献 >

T. Nagase, K. Mizuuchi, T. Nakano, Solidification microstructures of the ingots obtained by arc melting and cold crucible levitation melting in TiNbTaZr medium-entropy alloy and TiNbTaZrX (X = V, Mo, W) high-entropy alloys, *Entropy*, 21, 2019, 483.

T. Hori, T. Nagase, M. Todai, A. Matsugaki, T. Nakano, Development of Non-equiatomc Ti-Nb-Ta-Zr-Mo High-Entropy Alloys for Metallic Biomaterials, *Scripta Materialia*, 172, 2019, 83-87.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Nagase Takeshi, Todai Mitsuharu, Hori Takao, Nakano Takayoshi	4. 巻 753
2. 論文標題 Microstructure of equiatomic and non-equiatomic Ti-Nb-Ta-Zr-Mo high-entropy alloys for metallic biomaterials	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 412 ~ 421
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2018.04.082	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 Nagase Takeshi	4. 巻 941
2. 論文標題 Microstructure of Co-Cr-Fe-Mn-Ni-Cu and Co-Cr-Fe-Mn-Ni-Ag High Entropy Alloys with Liquid Phase Separation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 1238 ~ 1241
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/MSF.941.1238	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 Nagase Takeshi, Mizuuchi Kiyoshi, Nakano Takayoshi	4. 巻 21
2. 論文標題 Solidification Microstructures of the Ingots Obtained by Arc Melting and Cold Crucible Levitation Melting in TiNbTaZr Medium-Entropy Alloy and TiNbTaZrX (X = V, Mo, W) High-Entropy Alloys	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Entropy	6. 最初と最後の頁 483 ~ 483
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/e21050483	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 Hori Takao, Nagase Takeshi, Todai Mitsuharu, Matsugaki Aira, Nakano Takayoshi	4. 巻 172
2. 論文標題 Development of non-equiatomic Ti-Nb-Ta-Zr-Mo high-entropy alloys for metallic biomaterials	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 83 ~ 87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scriptamat.2019.07.011	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 Nagase Takeshi, Shibata Akihiro, Matsumuro Mitsuaki, Takemura Mamoru, Semboshi Satoshi	4. 巻 181
2. 論文標題 Alloy design and fabrication of ingots in Cu-Zn-Mn-Ni-Sn high-entropy and Cu-Zn-Mn-Ni medium-entropy brasses	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials & Design	6. 最初と最後の頁 107900 ~ 107900
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matdes.2019.107900	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 Nagase Takeshi, Kakeshita Tomoyuki, Matsumura Kotaro, Nakazawa Koichiro, Furuya Satoshi, Ozoe Nobuaki, Yoshino Katsumi	4. 巻 184
2. 論文標題 Development of Fe-Co-Cr-Mn-Ni-C high entropy cast iron (HE cast iron) available for casting in air atmosphere	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials & Design	6. 最初と最後の頁 108172 ~ 108172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matdes.2019.108172	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 Nagase Takeshi, Iijima Yuuka, Matsugaki Aira, Ameyama Kei, Nakano Takayoshi	4. 巻 107
2. 論文標題 Design and fabrication of Ti?Zr-Hf-Cr-Mo and Ti?Zr-Hf-Co-Cr-Mo high-entropy alloys as metallic biomaterials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: C	6. 最初と最後の頁 110322 ~ 110322
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msec.2019.110322	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 Nagase Takeshi, Todai Mitsuharu, Nakano Takayoshi	4. 巻 61
2. 論文標題 Development of Co-Cr-Mo-Fe-Mn-W and Co-Cr-Mo-Fe-Mn-W-Ag High-Entropy Alloys Based on Co?Cr?Mo Alloys	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 567 ~ 576
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-MK2019002	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 Nagase Takeshi, Todai Mitsuharu, Nakano Takayoshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Liquid Phase Separation in Ag-Co-Cr-Fe-Mn-Ni, Co Cr-Cu-Fe-Mn-Ni and Co-Cr-Cu-Fe-Mn-Ni-B High Entropy Alloys for Biomedical Application	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 527 ~ 527
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst10060527	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 Nagase Takeshi, Todai Mitsuharu, Nakano Takayoshi	4. 巻 186
2. 論文標題 Development of Ti-Zr-Hf-Y-La high-entropy alloys with dual hexagonal-close-packed structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 242 ~ 246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scriptamat.2020.05.033	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 Nagase Takeshi	4. 巻 13
2. 論文標題 Alloy Design, Thermodynamics, and Electron Microscopy of Ternary Ti-Ag-Nb Alloy with Liquid Phase Separation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 5268 ~ 5268
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma13225268	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 Iijima Yuuka, Nagase Takeshi, Matsugaki Aira, Wang Pan, Ameyama Kei, Nakano Takayoshi	4. 巻 202
2. 論文標題 Design and development of Ti-Zr-Hf-Nb-Ta-Mo high-entropy alloys for metallic biomaterials	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials & Design	6. 最初と最後の頁 109548 ~ 109548
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matdes.2021.109548	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 該当する

1. 著者名 永瀬 文嗣、寺山 朗、長岡 孝、府山 伸行、阪本 辰顕	4. 巻 91
2. 論文標題 Al-Mg-Li-Ca系軽量ミディアムエントロピー合金の合金設計と鑄造材の作製	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 鑄造工学	6. 最初と最後の頁 717 ~ 729
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11279/jfes.91.717	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 永瀬丈嗣	4. 巻 121
2. 論文標題 高エントロピー合金の特徴と鑄造合金としての実用化に向けた研究 (<特集>注目の新規金属材料「高エントロピー合金」)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Mechanical Engineers	6. 最初と最後の頁 8 ~ 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jsmemag.121.1192_8	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 Todai Mitsuharu, Nagase Takeshi, Nakano Takayoshi	4. 巻 70
2. 論文標題 Development and Perspectives of High Entropy alloys composed by light metal elements and that for metallic biomaterials with BCC	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Japan Institute of Light Metals	6. 最初と最後の頁 14 ~ 23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2464/jilm.70.14	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 永瀬 文嗣、丸山 徹	4. 巻 25
2. 論文標題 ハイエントロピースチールとハイエントロピー鑄鉄	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本鉄鋼協会会報・ふえらむ	6. 最初と最後の頁 218 ~ 227
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17件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 T. Nagase, A. Takeuchi, K. Amiya, T. Egami
2. 発表標題 Solidification microstructure analysis in AlTi _{0.5} ZrCuNiPd High Entropy Glasses and High Entropy Alloys
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会 平成31年度春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永瀬丈嗣, 寺山朗, 長岡孝, 府山伸行, 阪本辰顕, 柴田顕弘, 松室光昭, 武村守, 千星聡
2. 発表標題 混合エンタルピーの観点からみた金属ガラス・ハイエントロピー合金 (3d-HEA, RHEA, LW-HEA, HE Brass) の特徴
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会 平成31年度春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川堀龍, 當代光陽, 永瀬丈嗣, 中野貴由
2. 発表標題 生体用bcc型ハイエントロピー合金におけるヤング率
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯島佑香, 永瀬丈嗣, 松垣あいら, 飴山恵, 中野貴由
2. 発表標題 Ti-Zr-Hf-Co-Cr-Mo生体ハイエントロピー合金の組織と特性
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永瀬丈嗣, 柴田顕弘, 松室光昭, 武村守, 千星聡
2. 発表標題 ハイエントロピー黄銅の材料設計とその特性
3. 学会等名 日本銅学会第59回講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永瀬丈嗣
2. 発表標題 Materials project を利用したアモルファス合金・ハイエントロピー合金の設計
3. 学会等名 日本材料学会 第5回材料WEEK
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Nagase, M. Todai, T. Nakano
2. 発表標題 Development of equi-atomic TiNbTaZrMo high entropy alloys for metallic biomaterials
3. 学会等名 The Second International Conference on High-Entropy Materials (ICHEM 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 T. Nagase, K. Mizuuchi, T. Nakano
2. 発表標題 Influence of casting process on the solidification microstructure of TiNbTaZrMo high-entropy alloys for metallic biomaterials
3. 学会等名 Japan Foundary Society (JFS)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中野加菜, 小笹良輔, 石本卓也, 松垣あいら, 永瀬丈嗣, 當代光陽, 中野貴由
2. 発表標題 レーザー積層造形法によるBioHEAの作製と特異組織形成
3. 学会等名 日本金属学会2020年秋期講演大会(第167回)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西川侑希, 石本卓也, 松垣あいら, 小笹良輔, 永瀬丈嗣, 中野貴由
2. 発表標題 レーザー積層造形法による生体用ハイエントロピー合金の造形
3. 学会等名 日本金属学会2020年秋期講演大会(第167回)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永瀬丈嗣
2. 発表標題 ハイエントロピー合金の凝固組織の特徴と特異性
3. 学会等名 日本鑄造工学会関西支部令和2年度 秋季支部講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永瀬丈嗣
2. 発表標題 銅(Cu)とハイエントロピー合金
3. 学会等名 日本銅学会第60回記念講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鞭目龍之介, 李相民, 永瀬丈嗣, 松本良, 宇都宮裕
2. 発表標題 冷間圧延されたCu-Zn-Mn-Niミディアムエントロピー黄銅板の機械的性質
3. 学会等名 日本銅学会第60回記念講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 當代光陽, 川堀龍, 永瀬丈嗣, 松垣あいら, 中野貴由
2. 発表標題 bcc型TiNbTaZrMo BioHEAの力学特性向上に向けた合金設計
3. 学会等名 日本金属学会2021年春季講演大会(第168回)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川堀龍, 當代光陽, 永瀬丈嗣, 中野貴由
2. 発表標題 bcc型TiNbTaZrMo系ハイエントロピー合金へのB添加の影響
3. 学会等名 日本金属学会2021年春季講演大会(第168回)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小笹良輔, 中野加菜, 石本卓也, 松垣あいら, 永瀬丈嗣, 當代光陽, 中野貴由
2. 発表標題 レーザ積層造形法による生体用ハイエントロピー合金(BioHEA)の創製
3. 学会等名 日本バイオマテリアル学会関西ブロック 第15回若手研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永瀬丈嗣
2. 発表標題 ハイエントロピー合金・金属ガラスとエントロピー
3. 学会等名 日本材料学会 金属ガラス部門委員会・粉体冶金協会 金属ガラス・ナノ結晶材料委員研究会 合同講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔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	當代 光陽 (Todai Mitsuharu)	新居浜工業高等専門学校・環境材料工学科・准教授	
	(10610800)	(56301)	

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
---------	---------