

令和 2 年 6 月 24 日現在

機関番号：51303

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K21567

研究課題名(和文) 新規なメカニズムによる動的変態を利用した生体用Co-Cr合金のナノ組織化の実証

研究課題名(英文) Developing the ultrafine-grained epsilon microstructure via dynamic phase transformation at elevated temperatures

研究代表者

森 真奈美 (MORI, Manami)

仙台高等専門学校・総合工学科・助教

研究者番号：80731512

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：生体用Co-Cr-Mo合金は耐摩耗性や耐食性に優れることから、様々な整形外科用デバイスに使用されている。当該合金はfcc構造の相とhcp構造の相から構成されるが、本研究ではこれまで研究例が少ないものの優れた耐摩耗性や力学特性が明らかになりつつある相に着目し、熱間加工を用いた結晶粒微細化に取り組んだ。その結果、高温変形中に準安定相において起こる動的相変態により、平均結晶粒径1 μm 以下の相組織を得ることに成功し、極めて高い硬度が得られることを明らかにした。また、高温変形中のin-situ中性子回折測定により、動的相変態における組織変化が生じることを初めて見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

整形外科用ロッド等に使用される生体用Co-Cr-Mo合金は、長寿命化の観点から更なる高強度化が重要な課題である。そこで、耐摩耗性に優れるが研究例が少ない相に着目し、結晶粒超微細化を組み合わせることにより、本合金の更なる強度化や新規な高強度化手法の確立することができた。また、超微細組織の形成は加工誘起マルテンサイト変態と関連していることが示唆され、新しい動的変態メカニズムの可能性を見出し、学術的に重要な知見を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：Due to the excellent wear and corrosion resistances, biomedical Co-Cr-Mo alloys have been used in various orthopedic devices. In this study, we focused on the hexagonal close-packed phase, which is an equilibrium phase at lower temperatures, and tried to fabricate its ultrafine-grained (UFG) microstructures. We found for the first time that the UFG microstructures of the phase can be produced via dynamic phase transformation from the metastable (fcc) matrix by hot deformation performed at temperatures where the phase is stable.

研究分野：材料加工・組織制御工学

キーワード：生体用金属材料 ナノ組織 熱間加工

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

Co-Cr-Mo 合金は金属材料の中でも耐摩耗性に優れるため人工股関節の摺動部に使用されているが、2010年には metal-on-metal 型人工股関節において大規模なリコールも発生したように、今なお摩耗粉の生成に起因した炎症・骨吸収が課題である。また、このような摺動部摩耗に起因して従来の人工股関節は 10 年程度が使用寿命とされ、患者にとって負担の大きい再置換手術が行われている。一方、本合金は他の生体用金属材料に比べ剛性率が高く、脊椎側弯症等の外科治療に用いられる脊椎矯正用・固定具用材料としても有望であり、現在では人工関節と並んで本合金が最も多く使用されるデバイスの一つとなっている。脊椎固定器具は弯曲した脊椎を一定形状に矯正するための「ロッド」と、ロッドを脊椎に固定するための「スクリュー・フック」により構成されているが、生体埋入中の使用環境においてチタン合金製ロッドの折損事故がしばしば報告されている。研究代表者らはこのような折損事故が疲労破壊に起因していることを明らかにしており¹⁾、チタン合金を代替する Co-Cr-Mo 合金の「耐摩耗性の改善」や「疲労特性の向上に直結する高強度化」は患者の QOL (Quality of life) の観点から重要な研究課題である。

これまで Co-Cr-Mo 合金の強化手法として主に炭化物を利用した析出強化が用いられてきたが、十分な高強度が得られないばかりか耐食性や耐摩耗性の低下が起こるといった問題があった。これに対し、研究代表者らは本合金において熱間加工により動的再結晶が起こり、著しい結晶粒微細化が可能であること、さらに平均結晶粒径 $1\ \mu\text{m}$ 以下の超微細粒組織の形成が高強度化の手法として極めて有効であることを明らかにした²⁾。しかしながら、これまでの研究は Co-Cr-Mo 合金の構成相の 1 つである fcc 構造の γ 相を対象としており、耐摩耗性においては改善の余地があった。すなわち、今日の Co-Cr-Mo 合金に対する要求特性を鑑みると従来の組織制御手法は必ずしも十分ではなく、新たな発想の組織制御指針の確立が必要不可欠である。一方、本合金のもう 1 つの構成相である hcp 構造の ϵ 相は耐摩耗性に優れることが過去の研究において明らかになっているが、これまで実用的な観点から積極的に用いられることはなかった。また、本合金において $\gamma \rightarrow \epsilon$ マルテンサイト変態に関する研究は多く存在するが、近年では拡散変態により得られた ϵ 相についても研究がなされ、優れた機械的特性が明らかになりつつある^{3,4,5)}。以上の背景から、 ϵ 相の結晶粒微細化により、高強度かつ耐摩耗性に優れる Co-Cr-Mo 合金が得られるのではないかと着想した。

2. 研究の目的

本研究では、微細な ϵ 結晶粒からなる「ナノ ϵ 組織」を得るための手法として熱間加工に注目した。本研究では、独自のコンセプトである「ナノ ϵ 組織」の形成により高強度・高耐摩耗性の生体用 Co-Cr-Mo 合金の創製と新たな組織制御の確立、さらにはその材料学的基礎を構築するため熱間加工中の組織形成過程を詳細に調査した。また、得られたナノ ϵ 組織の基本的な力学的特性についても評価した。

3. 研究の方法

3-1. 試料作製

高周波真空誘導溶解炉を用いて Co-28Cr-6Mo-0.12N 合金 (mass %) を溶製後、熱間鍛造と熱間圧延により $\phi 14\ \text{mm}$ の丸棒材を作製した。この丸棒材より、長手方向と圧縮軸が平行となるように $\phi 8\ \text{mm}$ 、高さ $12\ \text{mm}$ の円柱状圧縮試験片を切り出し、熱間加工再現試験機 (ThermecMastor-Z) を用いて、温度 $700\text{--}1200\ \text{°C}$ の温度範囲でひずみ速度 $10^{-3}\text{--}10^{-1}\ \text{s}^{-1}$ の条件にて圧縮率を最大 60% として圧縮試験を行った。

3-2. 組織観察および機械的特性の評価

走査型電子顕微鏡 (SEM) および電子線後方散乱回折 (EBSD) を用いて組織観察を行い、結晶粒径および構成相等を調査した。また、機械的特性の評価としてマイクロビッカース硬度測定を行った。

3-3. 高温変形中の in-situ 中性子回折実験

大強度陽子加速器施設 J-PARC の BL19 「匠」において、高温変形中の in-situ 中性子回折実験を行った。また、 $700\text{--}900\ \text{°C}$ 、ひずみ速度 $0.001\ \text{s}^{-1}$ にて圧縮試験を行い、変形中の相変態挙動を調査した。中性子回折により得られたラインプロファイルに対して CMWP (Convolutional Multiple Whole Profile) 法を用いて転位組織解析を行った。

4. 研究成果

4-1. ひずみ速度および温度の影響

図 1 に熱間圧縮試験により得られた真応力-真ひずみ曲線を示す。いずれの加工条件においても加工軟化が観察され、圧縮試験中の動的な組織変化が示唆された。ひずみ速度が早く、加工温度が低い一部の試料では圧縮試験中に試験片に割れが生じたが、その他の条件ではクラックを生じることなく 60% まで圧縮変形が可能だった。また、 $700\ \text{°C}$ 、 $10^{-3}\ \text{s}^{-1}$ の条件では真応力-真ひ

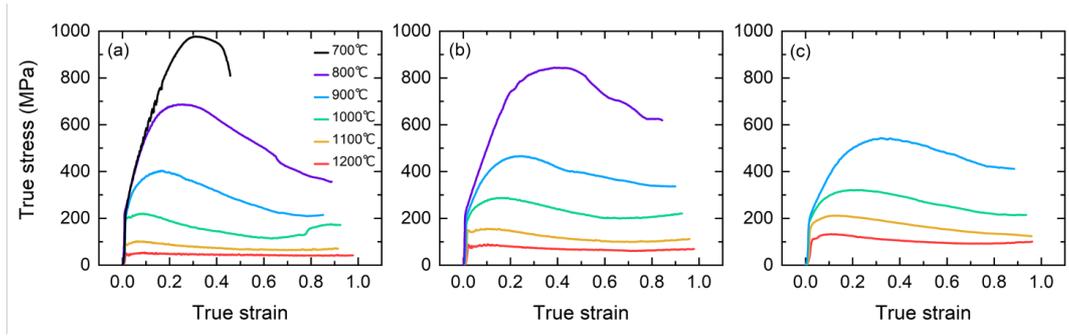


図1 圧縮試験により得られた真応力-真ひずみ曲線：(a) 10^{-3} s^{-1} 、(b) 10^{-2} s^{-1} 、(c) 10^{-1} s^{-1}

ずみ曲線においてセレーションが観察され、動的ひずみ時効が示唆された。

図2に圧縮試験前の初期組織と温度900°C、ひずみ速度 10^{-3} s^{-1} にて60%圧縮した試験片のEBSD測定で得られたPhase mapを示す。初期組織は結晶粒径100 μm 程度の等軸 γ 単相組織だったのに対し、圧縮変形により $\gamma \rightarrow \epsilon$ 変態が生じ、動的相変態により結晶粒径1 μm 以下の超微細 ϵ 組織が得られた。一方、同じ温度でもひずみ速度を 10^{-1} s^{-1} とした場合には結晶粒径は1 μm 以下に微細化したものの、動的相変態は起こらず、 γ 単相組織が維持されていた。なお、800°Cおよび900°Cの全ひずみ速度条件、1000°Cのひずみ速度 10^{-3} s^{-1} では圧縮試験後に ϵ 相が観察され、800°Cと900°Cの場合にはほぼ ϵ 相となったのに対し、1100°Cおよび1200°Cの全ひずみ速度条件と1000°Cの 10^{-1} s^{-1} および 10^{-2} s^{-1} では γ 単相組織が得られた。以上のことから、圧縮変形中の $\gamma \rightarrow \epsilon$ 相変態、すなわち動的相変態は低ひずみ速度において優先的に起こることがわかった。なお、本合金は900°C以上では γ 相が熱力学的に安定であることから、900°Cにて動的変態が観察されたのは圧縮により $\gamma \rightarrow \epsilon$ 変態点が低下したためと考えられる。

図3に圧縮試験片におけるマイクロビッカース硬さ試験の結果を示す。いずれのひずみ速度においても圧縮温度が低いほど硬さが高く、800°Cの場合では圧縮前の2倍程度となる600 HV近い値が得られた。組織観察の結果より、硬さの増加は動的変態による超微細粒形成と結晶粒内に導入されたひずみによるものと考えられる。

4-2. 温度および圧縮率の影響

上記実験結果において ϵ 相の形成メカニズムを調査するため、 ϵ 相の形成が観察されたひずみ速度 10^{-3} s^{-1} にて加工温度を800°Cおよび900°Cとして圧縮率を種々変化させて試料を作製し、組織観察を行った。温度800°C、ひずみ速度 10^{-3} s^{-1} にて10-30%の圧縮変形を行った結果、圧縮率10%から ϵ 相が形成し始め、圧縮率40%以上では ϵ 相分率が急激に増加することが明らかとなった。

図4にEBSD解析により得られた各圧縮率における ϵ 相分率を示す。いずれの温度においても圧縮率が高いほど ϵ 相の形成量が高く、圧縮率60%において約90%となった。また、900°Cにて圧縮試験を行った場合には動的相変態が800°Cの場合よりも高ひずみ側で開始し、 ϵ 相の熱力学的安定性の相関が示唆された。なお、800°Cでは圧縮率30%以上で、900°Cでは圧縮率20%以上でサブミクロンサイズの ϵ 相結晶粒の形成が確認された。また、マイクロビッカース硬さ試験の結果、圧縮温度800°Cにて得られた試験片は全圧縮率において900°Cよりも高い硬さを示すとともに、いずれの試験温度においても圧縮率の増加とともに硬さが単調に増加し、圧縮率60%において500-600 HVと極めて高い硬さを示した。

以上より、本研究により初めて動的変態により超微細 ϵ

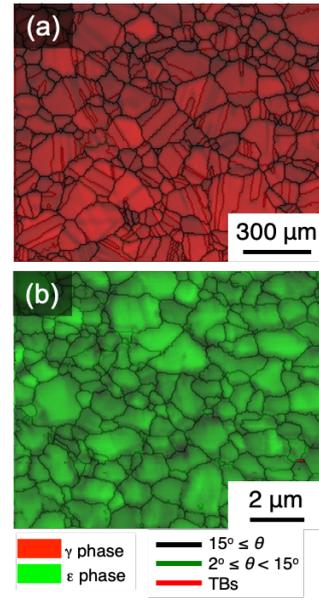


図2 圧縮試験前後の組織観察結果：(a) 圧縮試験前、(b) 圧縮試験後 (試験温度900°C、ひずみ速度 10^{-3} s^{-1} 、圧縮率60%)

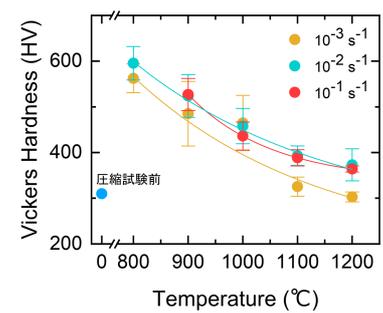


図3 圧縮試験前後の硬さの変化

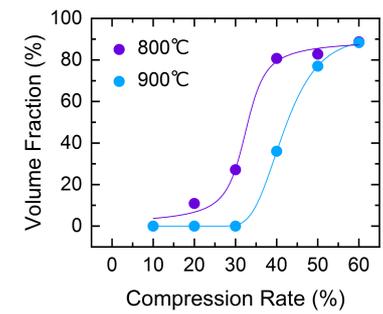


図4 EBSD解析により得られた各圧縮率における ϵ 相分率

相組織が形成することが初めて明らかになり、動的変態を利用した新たな組織制御の可能性が示唆された。

4-3. 超微細 ϵ 相の形成メカニズム

超微細 ϵ 相の形成メカニズムを明らかにするため、高温変形中の *in-situ* 中性子回折測定を行った。図 5 に示したように、超微細 ϵ 相の形成が観察された 700–900 °C にて引張試験を行ったところ、圧縮試験の場合と同様に引張変形によっても動的相変態が確認された。また、900 °C で変形させた試料のラインプロファイルでは γ 相の回折ピークにおいて結晶子の微細化や転位の導入に起因したピークのブロードニングが観察された。さらに、 5.5 nm^{-1} 付近のピークが、変形中に $1/d$ が小さくなる方向へとシフトしており、変形により γ 相の格子が収縮したと考えられる。一方、700–800 °C にて変形した試料では、図 5 中に矢印で示したように ϵ 相のピークが確認されたものの、上述の 900 °C の場合と同じく γ 相においてブロードニングやピークシフトが観察された。しかしながら、700 °C では変形初期にセレーションが確認されるとともに、 5.5 nm^{-1} 付近の γ 相のピークシフトは他の変形温度と異なり、 $1/d$ 値が大きい方向へと移動した。すなわち、700 °C では異なる変形機構が起こると考えられ、この要因として合金中に添加されている N が積層欠陥に濃化する鈴木効果の発現が示唆された。

以上のように、本研究では熱間加工により生体用 Co–Cr–Mo 合金において微細な ϵ 組織を得ることに初めて成功し、新たな高強度化手法の可能性を示すことができた。また、当該合金の動的相変態における母相の組織変化について、高温変形中の *in-situ* 中性子回折測定により新たな知見を蓄積することができた。動的相変態による超微細粒組織の形成は鉄鋼材料等においても報告されているが、 $\gamma \rightarrow \epsilon$ 変態における例はなく、当該分野における学術の発展において重要な成果が得られた。

参考文献

- 1) K. Yamanaka, M. Mori, K. Yamazaki, R. Kumagai, M. Doita, A. Chiba, *Spine*, 40 (2015) E767–E773.
- 2) K. Yamanaka, M. Mori, A. Chiba, *Metall. Mater. Trans. A*, 43A (2012) 5243–5257.
- 3) H. Matsumoto, S. Kurosu, B.S. Lee, Y. Li, A. Chiba, *Scripta Mater.*, 63 (2010) 1092–1095.
- 4) Y. Chen, Y. Li, S. Kurosu, K. Yamanaka, N. Tang, A. Chiba, *Wear*, 319 (2014) 200.
- 5) K. Hagihara, T. Nakano, K. Sasaki, *Scripta Mater.*, 123 (2016) 149–153.

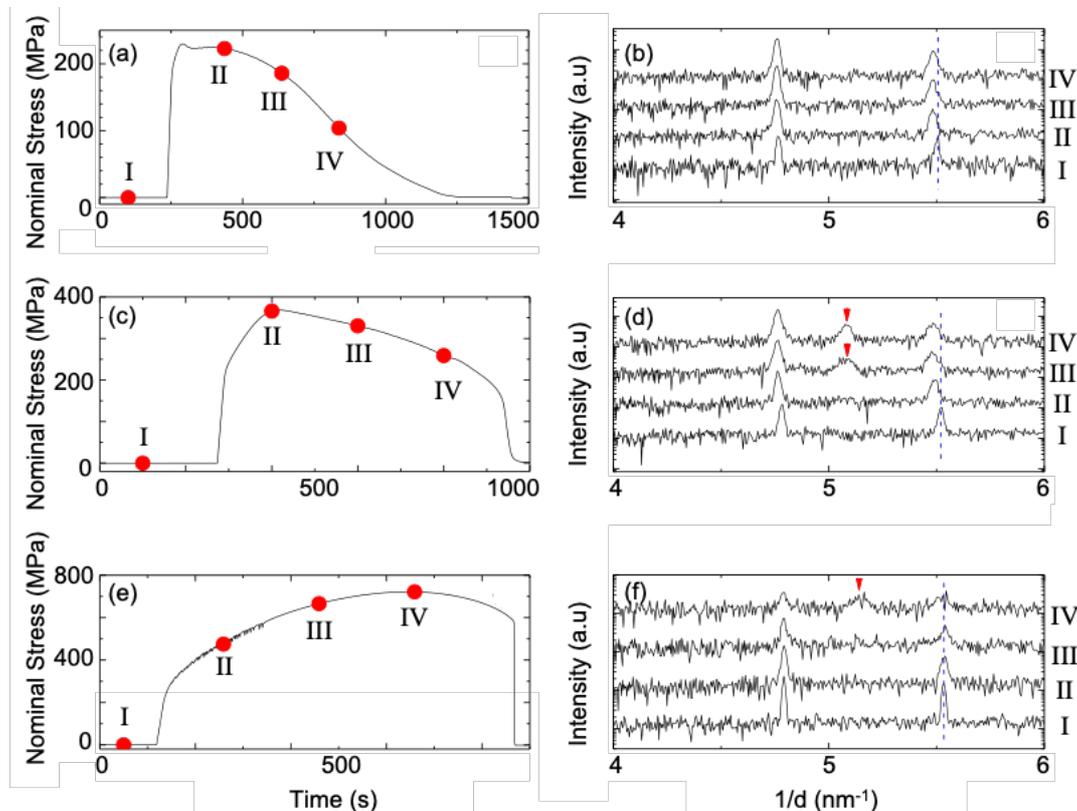


図 5 各温度にて行った引張変形中における *in-situ* 中性子回折実験結果：(a-b) 900 °C、(c-d) 800 °C、(e-f) 700 °C：(a,c,e) 応力と荷重時間およびラインプロファイル測定位置、(b,d,f) 各点におけるラインプロファイル

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13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 Kenta Yamanaka, Wataru Saito, Manami Mori, Hiroaki Matsumoto, Shigeo Sato, Akihiko Chiba Abnormal grain growth in commercially pure titanium during additive manufacturing with electron beam melting <i>Materialia</i> , 6 (2019) 100281.	4. 巻 92
2. 論文標題 Impact of minor alloying with C and Si on the precipitation behavior and mechanical properties of N-doped Co-Cr alloy dental castings	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 <i>Materials Science and Engineering C</i>	6. 最初と最後の頁 112-120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msec.2018.06.035	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 Yusuke Onuki, Shigeo Sato, Maiko Nakagawa, Kenta Yamanaka, Manami Mori, Ahinori Hoshikawa, Toru Ishigaki, Akihiko Chiba	4. 巻 2
2. 論文標題 Strain-induced martensitic transformation and texture evolution in cold-rolled Co-Cr alloys	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 <i>Quantum Beam Science</i>	6. 最初と最後の頁 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/qubs2020011	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 Kenta Yamanaka, Manami Mori, Yasuhiro Torita, Akihiko Chiba	4. 巻 77
2. 論文標題 Effect of nitrogen on the microstructure and mechanical properties of Co-33Cr-9W alloys prepared by dental casting	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 <i>Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials</i>	6. 最初と最後の頁 693-700
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmbbm.2017.10.017	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 Manami Mori, Kenta Yamanaka, Shigeo Sato, Shinki Tsubaki, Kozue Satoh, Masayoshi Kumagai, Muneyuki Imafuku, Takahisa Shobu, Akihiko Chiba	4. 巻 90
2. 論文標題 Tuning strain-induced -to- martensitic transformation of biomedical Co-Cr-Mo alloys by introducing parent phase lattice defects	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 <i>Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials</i>	6. 最初と最後の頁 523-529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmbbm.2018.10.038	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 Kenta Yamanaka, Manami Mori, Ika Kartika, Moch. Syaiful Anwar, Koji Kuramoto, Shigeo Sato, Akihiko Chiba	4. 巻 148
2. 論文標題 Effect of multipass thermomechanical processing on the corrosion behaviour of biomedical Co - Cr - Mo alloys	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Corrosion Science	6. 最初と最後の頁 178-187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmbbm.2018.10.038	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 Kenta Yamanaka, Wataru Saito, Manami Mori, Hiroaki Matsumoto, Shigeo Sato, Akihiko Chiba	4. 巻 6
2. 論文標題 Abnormal grain growth in commercially pure titanium during additive manufacturing with electron beam melting	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materialia	6. 最初と最後の頁 100281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mtla.2019.100281	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 Xiaoli Shui, Kenta Yamanaka, Manami Mori, Yoshihiko Nagata, Kenya Kurita, Akihiko Chiba	4. 巻 680
2. 論文標題 Effects of post-processing on cyclic fatigue response of a titanium alloy additively manufactured by electron beam melting	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering A	6. 最初と最後の頁 239-248
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2016.10.059	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 Kenta Yamanaka, Manami Mori, Shigeo Sato, Akihiko Chiba	4. 巻 7
2. 論文標題 Stacking-fault strengthening of biomedical Co - Cr - Mo alloy via multipass thermomechanical processing	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 10808
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-10305-1	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 Kenta Yamanaka, Manami Mori, Kazuyo Ohmura, Akihiko Chiba	4. 巻 4
2. 論文標題 Preventing high-temperature oxidation of Co-Cr-based dental alloys by boron doping	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry B	6. 最初と最後の頁 309 - 317
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C5TB01944C	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 Kenta Yamanaka, Manami Mori, Akihiko Chiba	4. 巻 31
2. 論文標題 Developing high strength and ductility in biomedical Co-Cr cast alloys by simultaneous doping with nitrogen and carbon	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Acta Biomaterialia	6. 最初と最後の頁 435 - 447
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actbio.2015.12.011	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 Kenta Yamanaka, Manami Mori, Kazuo Yoshida, Koji Kuramoto, Akihiko Chiba	4. 巻 60
2. 論文標題 Manufacturing of high-strength Ni-free Co - Cr - Mo alloy rods via cold swaging	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials	6. 最初と最後の頁 38 - 47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmbbm.2015.12.032	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 Kenta Yamanaka, Manami Mori, Kazuhisa Sato, Akihiko Chiba	4. 巻 4
2. 論文標題 Characterisation of nanoscale carbide precipitation in as-cast Co - Cr - W-based dental alloys	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry B	6. 最初と最後の頁 309 - 317
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C6TB00040A	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 Manami Mori, Nanae Sato, Kenta Yamanaka, Kazuo Yoshida, Koji Kuramoto, Akihiko Chiba	4. 巻 64
2. 論文標題 Development of microstructure and mechanical properties during annealing of a cold-swaged Co - Cr - Mo alloy rod	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials	6. 最初と最後の頁 435 - 447
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmbbm.2016.07.009	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25件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Manami Mori, Nanae Sato, Kenta Yamanaka, Kazuo Yoshida, Koji Kuramoto, Akihiko Chiba
2. 発表標題 Effects of Cold Swaging and Annealing on the Microstructures and Mechanical Properties of Biomedical Co-Cr-Mo Alloy Rods
3. 学会等名 MS&T 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenta Yamanaka, Asumi Kuroda, Miyu Itoh, Manami Mori, Takahisa Shobu, Shigeo Sato, Akihiko Chiba
2. 発表標題 In-situ Synchrotron X-ray Diffraction Line-profile Analysis during Tensile Deformation in Additively Manufactured Ti-6Al-4V Alloy
3. 学会等名 MS&T 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森 真奈美, 山中 謙太, 吉田 和男, 倉本 浩二, 千葉 晶彦
2. 発表標題 生体用Co - Cr - Mo合金の力学特性、耐食性に及ぼすN添加および熱間加工の影響
3. 学会等名 本金属学会2018年秋期講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 島 遼翔, 森 真奈美, 山中 謙太, 倉本 浩二, 千葉 晶彦
2. 発表標題 耐食性Ni基合金の熱処理による組織および硬さの変化
3. 学会等名 日本金属学会2018年秋期講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山中 謙太, 森 真奈美, 吉田 和男, Damien Fabregue, Sandra Balvay, Daniel Hartmann, 千葉 晶彦,
2. 発表標題 熱間圧延による高強度Co-Cr-Mo合金ロッドの作製
3. 学会等名 日本金属学会2018年秋期講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山中 謙太, 森 真奈美, 吉田 和男, 千葉 晶彦
2. 発表標題 熱間圧延による高強度Co-Cr-Mo合金ロッドの作製：圧延組織および力学特性に及ぼす初期組織の影響
3. 学会等名 第69回塑性加工連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山中 謙太, 森 真奈美, 千葉 晶彦
2. 発表標題 電子ビーム積層造形を用いて作製したTi-6Al-4V合金の耐食性に及ぼす造形後熱処理の影響
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会平成30年度秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山中 謙太, 森 真奈美, 松本 洋明, 千葉 晶彦
2. 発表標題 单相組織を有するTi - 17合金の準安定温度域における高温変形挙動と動的変態
3. 学会等名 日本金属学会2019年春季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森 真奈美, 戸巻 洋平, 糸井 大輔, 山中 謙太, 千葉 晶彦
2. 発表標題 歯科用Co - Cr - W合金の高温酸化挙動に及ぼすB添加の影響
3. 学会等名 日本金属学会2019年春季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenta Yamanaka, Manami Mori, Shigeo Sato, Akihiko Chiba
2. 発表標題 A Novel Strengthening Strategy Using Stacking Faults for Biomedical Co - Cr - Mo Alloys
3. 学会等名 2017 TMS Annual Meeting & Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenta Yamanaka, Manami Mori, Shigeo Sato, Yusuke Onuki, Akihiko Chiba
2. 発表標題 Decomposition of β' martensite of Ti - 6Al - 4V alloy during electron beam melting
3. 学会等名 Materials Science and Technology 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenta Yamanaka, Manami Mori, Shigeo Sato, Akihiko Chiba
2. 発表標題 Contribution of stacking faults on strengthening of biomedical Co-Cr-Mo alloys studied by X-ray diffraction line-profile analysis
3. 学会等名 Materials Science and Technology 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤 成男, 中川 真惟子, 小貫 祐介, 山中 謙太, 森 真奈美, 千葉 晶彦
2. 発表標題 マルテンサイト変態と転位による強化機構の同時解析を指向した中性子回折法の確立
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第173回春期講演大会シンポジウム「中性子・X線回折、散乱法による金属マイクロ組織解析の課題と展望」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山中 謙太, 森 真奈美, 佐藤 成男, 千葉 晶彦
2. 発表標題 X線回折ラインプロファイル解析を用いた生体用Co-Cr-Mo合金の高強度化メカニズムとひずみ誘起マルテンサイト変態挙動の評価
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第173回春期講演大会シンポジウム「中性子・X線回折、散乱法による金属マイクロ組織解析の課題と展望」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中川 真惟子, 小貫 祐介, 山中 謙太, 森 真奈美, 千葉 晶彦, 佐藤 成男
2. 発表標題 Co合金における加工に伴うマルテンサイト相発達と転位増殖の強度への影響
3. 学会等名 日本金属学会2017年春期(第160回)講演大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山中 謙太, 森 真奈美, 小貫 祐介, 佐藤 成男, 千葉 晶彦
2. 発表標題 電子ビーム積層造形を用いて作製したTi-6Al-4V合金のX線・中性子回折を用いた組織解析
3. 学会等名 日本金属学会2017年春季(第160回)講演大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山中 謙太, 森 真奈美, 永田 翔, 倉本 浩二, 千葉 晶彦
2. 発表標題 動的変態を用いた超微細 組織を有する生体用Co-Cr合金の創製
3. 学会等名 日本金属学会2017年秋季(第161回)講演大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森 真奈美, 山中 謙太, 佐藤 成男, 椿 真貴, 佐藤 こずえ, 熊谷 正芳, 今福 宗行, 葛蒲 敬久, 千葉 晶彦
2. 発表標題 高密度格子欠陥組織を有する生体用Co-Cr-Mo合金の引張変形におけるひずみ誘起マルテンサイト変態挙動
3. 学会等名 日本金属学会2016年秋季(第159回)講演大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 佐藤 奈々絵, 森 真奈美, 山中 謙太, 吉田 和男, 倉本 浩二, 千葉 晶彦
2. 発表標題 冷間スウェージ加工後の生体用Co-Cr-Mo合金の焼鈍熱処理における組織と機械的特性の変化
3. 学会等名 日本金属学会2016年秋季(第159回)講演大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山中 謙太, 森 真奈美, 千葉 晶彦
2. 発表標題 生体用Co - Cr系鑄造合金のC, N同時添加による高機能化
3. 学会等名 東北大学金属材料研究所共同ワークショップ, 日本バイオマテリアル学会東北地域講演会「バイオマテリアル研究若手交流会」(招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山中 謙太, 森 真奈美, 小貫 祐介, 佐藤 成男, 千葉 晶彦
2. 発表標題 X線・中性子回折による電子ビーム積層造形を用いて作製した純チタン及びTi-6Al-4V合金の組織評価
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会平成28年度秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 佐藤 成男, 中川 真惟子, 小貫 祐介, 山中 謙太, 森 真奈美, 千葉 晶彦
2. 発表標題 マルテンサイト変態と転位による強化機構の同時解析を指向した中性子回折法の確立
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第173回春期講演大会シンポジウム「中性子・X線回折、散乱法による金属マイクロ組織解析の課題と展望」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山中 謙太, 森 真奈美, 佐藤 成男, 千葉 晶彦
2. 発表標題 X線回折ラインプロファイル解析を用いた生体用Co-Cr-Mo合金の高強度化メカニズムとひずみ誘起マルテンサイト変態挙動の評価
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第173回春期講演大会シンポジウム「中性子・X線回折、散乱法による金属マイクロ組織解析の課題と展望」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中川 真惟子, 小貫 祐介, 山中 謙太, 森 真奈美, 千葉 晶彦, 佐藤 成男
2. 発表標題 Co合金における加工に伴うマルテンサイト相発達と転位増殖の強度への影響
3. 学会等名 日本金属学会2017年春季(第160回)講演大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山中 謙太, 森 真奈美, 小貫 祐介, 佐藤 成男, 千葉 晶彦
2. 発表標題 電子ビーム積層造形を用いて作製したTi-6Al-4V合金のX線・中性子回折を用いた組織解析
3. 学会等名 日本金属学会2017年春季(第160回)講演大会
4. 発表年 2017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