

令和 4 年 6 月 18 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02024

研究課題名（和文）マルチスケール計測による高機能ヘテロ構造材料の4次元損傷評価

研究課題名（英文）4D evaluation of damage in hetero-structured materials with high performance by multi-scale measurement

研究代表者

菊池 将一（Kikuchi, Shoichi）

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号：80581579

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,100,000円

研究成果の概要（和文）：金属材料の「強さ」と「しなやかさ」の両立を達成するため、しなやかな粗大粒組織の周りに強い微細粒組織をネットワーク状に周期配置させた「3次元ヘテロ構造材料」を創製した。本研究では、ヘテロ構造材料のミクロ・マクロ変形の双方を捉えるマルチスケール計測法を構築し、3次元ヘテロ構造における材料損傷挙動の時間的変化を評価（4次元材料損傷評価）した。具体的には、3次元ヘテロ構造を有する各種金属材料の疲労損傷メカニズムについて検討を加え、ネットワーク相に損傷が集中した結果、弱い粗大結晶粒組織が損傷しにくい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

しなやかな粗大粒組織の周りに強い微細粒組織をネットワーク状に周期配置させた「3次元ヘテロ構造材料」の特異な力学特性を、ミクロ・マクロ変形の双方を捉えるマルチスケール計測法によって明らかにした。これまで「いかに均一かつ微細な結晶粒を作るか」が常識とされていたが、このような3次元ヘテロ構造材料の実用化によって各種機械構造物の信頼性向上が期待される。さらに、3次元ヘテロ構造材料の多機能性は機械構造物の小型軽量化にも寄与し、省エネルギー化の促進が期待される。

研究成果の概要（英文）：Metallic materials having a heterogeneous structure (HS), which consists of a coarse-grained structure surrounded by a network structure of fine equiaxed grains, were fabricated to achieve high strength and ductility. 4D evaluation of damage was conducted for the HS materials with high performance by multi-scale measurement.

The fatigue limit was increased by the HS design due to the grain refinement. To improve their fatigue properties, thermomechanical processing (TMP) was performed. The average size of the grains in the fine-grained structures was preferentially decreased by TMP. Applying TMP to CP titanium having a HS increased its fatigue life due to greater resistance to the initiation of fatigue crack as a result of grain refinement. In contrast, the crack growth rates for the HS material for long cracks were constantly higher, and its threshold stress intensity range were lower compared to a material with a homogenous coarse-grained structure.

研究分野：材料強度学

キーワード：粉末冶金 表面改質 金属疲労

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

金属材料の強度は、結晶粒のサイズを小さくすることにより上昇するため、これまで「いかに均一かつ微細な結晶粒を作るか」という点に注目して研究が進められてきた。しかし、結晶粒を微細化すると材料の延性は低下し、強度(強さ)と延性(しなやかさ)はトレードオフの関係になる。すなわち、従来の「均一結晶アプローチ」では、金属材料の真の高機能化は達成されない。

そこで研究代表者は、あえてサイズの異なる結晶粒を不均一に制御(ヘテロ構造制御)することにより、材料の延性を確保しながら高強度化する着想に至った。本研究のヘテロ構造材料には、「強い」微細粒組織と「しなやかな」粗大粒組織が3次元空間に周期的に配置されている。このヘテロ構造は、微細粒組織を1つの単位とするネットワーク構造が繋がってマクロな広がりを持つことが最大の特徴であり、単なる大きさの異なる組織の「組合せ」ではない。したがって、高強度な3次元ミクロ組織がマクロに連結すると、なぜ特異な力学特性が発現するのか?ということが研究代表者の問いであり、本研究を行うに至った背景である。

### 2. 研究の目的

本研究では、大きさの異なるミクロ組織をマクロに周期配置させた3次元ヘテロ構造材料の高機能化メカニズムに着目する。とくに本研究では、材料組織学、連続体力学をベースとする材料強度学、計測工学など、多彩な学術分野の研究者が結集して、ヘテロ構造に内在するミクロ・マクロ組織の力学応答の観点から「強度と延性の両立」機構を解明することを目的としている。そのため、ヘテロ構造のマルチスケール性を考慮した力学特性・組織解析手法を提案し、ヘテロ構造における材料損傷挙動の時間的变化(4次元材料損傷)を捉えることにより多様な変形挙動を統一的に理解できるモデルを構築する。最終的には、得られた成果を統括し、新しい構造材料の開拓と創造を目指す。

### 3. 研究の方法

#### (1)3次元ヘテロ構造材料の創製

ヘテロ構造材料は、表面改質と粉末冶金を組み合わせることにより作製した。具体的には、エネルギーボールミルによって粉末表面の結晶粒のみを微細化させた後、放電プラズマ焼結(SPS)装置によって固化成型させた。後述する高輝度放射光を用いた実験実績のあるオーステナイト系ステンレス鋼の場合、直径120 $\mu\text{m}$ のSUS304L粉末に対してAr雰囲気にてメカニカルリングを180ks行った。その後、温度1223K、圧力50MPa、保持時間1.8ksの条件でSPS焼結を行った。また、1373Kで初期粉末を焼結させた比較材(均一組織材)も準備した。

円盤状の焼結体から、放電加工によって各種試験片(引張試験片、疲労試験片、疲労き裂伝ば試験片)を作製し、研磨を施して供試状態とした。

#### (2)高輝度放射光によるミクロ・マクロ損傷の同時計測

本研究では、結晶3Dマッピング法である回折コントラストトモグラフィ(Diffraction Contrast Tomography: DCT)を用いて、3次元ヘテロ構造材料の引張損傷や疲労損傷などを定量的に評価することとした。独自に構築した試験システムを用いて、試験力制御、応力比 $R=-1$ 、正弦波の応力波形の条件で疲労試験を行った。

前述の試験システムをSPRING-8に持ち込み、その場ミクロ・マクロ損傷の同時計測を行った。計測装置は、サンプルのそばにDCT撮影用のカメラを設置し、離れた位置にCTイメージング用のカメラを同一ビームライン上に設置する仕様である。CTイメージング撮影時はDCT用カメラがビームライン上から移動することにより、迅速にCTイメージングに切り替えることができる。DCT測定の検出器にはビームモニタBM2( $f=24$ )とCCDカメラflash4.0の組み合わせを用い、CT撮影用の検出器にはビームモニタBM(x10)とCCDカメラFLASH2.0を用いた。DCTの測定条件としては、サンプル-カメラ間の距離を10mm、X線のエネルギーを37keVとした。サンプルを360°回転させながら常に検出器で露光し、0.04°だけ回転するごとに画像を取得している。得られた画像から回折スポットを検出し、その大きさと位置を記録する。このとき画像のノイズを削除することを目的として、輝度の大きさとスポットの面積を閾値とするフィルタリングを行った。CT撮影条件としては、X線のエネルギーを37keV、露光時間を250ms、サンプル-カメラ間の距離を300mmとし、サンプルを180°回転させる間に0.5°ごとに透過像を得た。

#### (3)その場光計測による4次元損傷評価

独自に構築したその場光計測システムを用いて、疲労き裂の発生および進展過程を詳細に観察した。本システムは、4点曲げ疲労試験システムと観察システムから構成されている。4点曲げ治具には疲労試験片の引張応力負荷側の表面観察を目的として、反射板を挿入できる空間を設け、反射板を介して疲労き裂の発生・進展挙動を光学顕微鏡によって観察した。この治具の正面側から、無限遠補正-長作動距離対物レンズおよび組込顕微鏡を介してCMOSカメラをPCに接続し、XYZステージを走査することにより試験片の最大曲げモーメント負荷領域を観察した。

#### 4. 研究成果

(1) 図1に、作製した焼結体に対して電子線後方散乱回折 (Electron backscattered diffraction: EBSD) 分析を行った結果を示す。まず図1(a)において、初期粉末焼結体には粗大結晶粒組織が形成されていることがわかる。これに対して、メカニカルリングを施した粉末を焼結した場合、粗大結晶粒組織の周りにネットワーク状の微細粒組織が形成されていることがわかる (図1(b))。このことから、3次元ヘテロ構造材料を創製することができた。

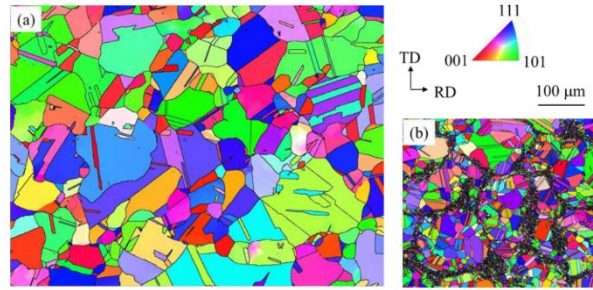


図1 (a)初期粉末焼結体および(b)リング粉末焼結体の IPF マップ

さらに、加工熱処理を施すことにより、周期ヘテロ構造を維持したまま結晶粒径を制御できることも明らかにした。具体的には、純チタンの周期構造制御後に冷間圧延および 873 K 熱処理を施すことにより、周期ヘテロ構造を維持したまま結晶粒が微細化し、さらに微細結晶粒の形成領域が増加していた。このことは、ネットワーク状の微細粒組織が優先的に加工され、再結晶したことを意味している。以上から、3次元ヘテロ構造材料において、粗大粒組織よりも微細粒組織が損傷しやすいことが明らかとなった。

(2) これまでに、アルミニウム合金やステンレス鋼、工業用純鉄などに対して DCT により結晶 3D マッピングが可能であること、さらに準静的な引張試験や疲労試験において DCT 測定を行い、回折スポットの出現角度幅は結晶内部の構造変化を反映していることが明らかになっている。そのため本研究では、回折スポットの出現角度幅から結晶粒内のミスオリエンテーションの総和 (Total misorientation:  $\beta$ ) を評価項目とした。 $\beta$  は、結晶粒内の回折面の湾曲程度を評価するパラメータであり、結晶の回折面における転位密度と対応していると考えられている。

図2に、高輝度放射光を用いて、一定振幅応力 420 MPa を繰返し負荷した際の各結晶粒のミスオリエンテーションの応力繰返し数依存性について検討を加えた結果を示す。図2の横軸は、各材料の疲労寿命  $N_f$  で無次元化している。なお、3次元ヘテロ構造材料の  $N_f$  は初期粉末焼結体 (均一組織材) と比較して長いことから、3次元ヘテロ構造制御が金属の疲労特性改善に有効であることがわかる。図2の計測結果に注目すると、均一組織鋼と比較して (○印)、同一の  $N/N_f$  における3次元ヘテロ構造材料の  $\beta$  (●印) は低いことがわかる。ここで、カメラのピクセルサイズが 2.4  $\mu\text{m}$  であることを考慮すると、3次元ヘテロ構造材料における粗大結晶粒組織の  $\beta$  のみが計測されていると考えられる。このことは、3次元ヘテロ構造材料の粗大粒組織において  $\beta$  が増加しにくいことを意味しており、(1)の粗大粒組織よりも微細粒組織が損傷しやすい結果と矛盾しない。

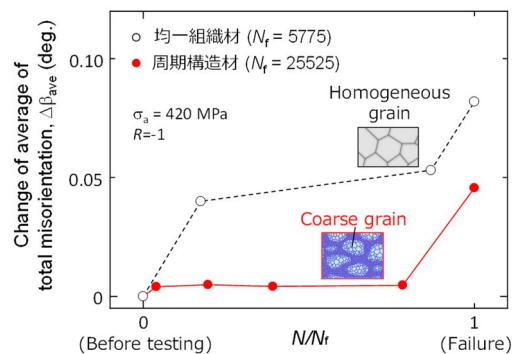


図2 ミスオリエンテーションと応力繰返し数の関係

さらに、CT イメージング像や破面観察も併用し、3次元ヘテロ構造材料において疲労き裂発生近傍組織の  $\beta$  のみを抽出したところ、材料全体の平均値と比較して高い値を示した。これは、金属疲労が局所的な塑性変形に起因して生じるためと考えられる。以上から、DCT および CT イメージングを用いることにより、3次元ヘテロ構造材料のマイクロ・マクロ損傷の時間的変化 (4次元材料損傷) を捉えることができ、マルチスケール計測を達成することができた。

(3) 所定の応力繰返し数で疲労試験機を停止し、その場光計測システムを用いて試験片表面を撮影することにより疲労き裂の発生および進展過程を観察した。その後、疲労試験を再開し、繰返し応力負荷と撮影を試験片が破断に至るまで順次実施した結果、3次元ヘテロ構造材料内の微小き裂の伝ば速度は均一組織材と比較して低いことが明らかとなった。一方で、ASTM に準拠した DC(T) 試験片を用いた長いき裂の伝ば特性を調べた結果、3次元ヘテロ構造材料の下限界応力拡大係数範囲  $\Delta K_{th}$  は均一組織材と比較して低く、また同一  $\Delta K$  に対する3次元ヘテロ構造材料のき裂伝ば速度  $da/dN$  は高かった。これらの結果は、3次元ヘテロ構造制御によって金属材料の疲労き裂伝ば抵抗が低下することを示している。

さらに、金属材料の疲労き裂伝ば特性に及ぼすき裂開口の影響について検討を加えるため、 $da/dN$  を有効応力拡大係数範囲  $\Delta K_{eff}$  で整理した。その結果、3次元ヘテロ構造材料の下限界値  $\Delta K_{eff,th}$  は均一組織材と比較して低い値を示した。このことは、き裂開口の影響を考慮してもなお、3次元ヘテロ構造材料の疲労き裂伝ば抵抗が低いことを示す結果である。

以上から、3次元ヘテロ構造が金属材料の疲労特性に及ぼす影響を微視組織形態と関連付けて明らかにした。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 B. Guennec, T. Ishiguri, M. O. Kawabata, S. Kikuchi, A. Ueno and K. Ameyama	4. 巻 10
2. 論文標題 Investigation on the durability of Ti-6Al-4V alloy designed in harmonic structure via powder metallurgy: fatigue behavior and specimen size parameter issue	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Metals	6. 最初と最後の頁 636
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/met10050636	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 S. Kikuchi, S. Suzuki and H. Akebono	4. 巻 61
2. 論文標題 Microstructural characterization and wear behavior of sintered compacts fabricated from plasma-nitrided commercially pure titanium powder	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Transactions	6. 最初と最後の頁 2284-2291
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2320/matertrans.Z-M2020854	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 Y. Nakai, S. Kikuchi, K. Osaki, M. O. Kawabata and K. Ameyama	4. 巻 143
2. 論文標題 Effects of rolling reduction and direction on fatigue crack propagation in commercially pure titanium with harmonic structure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Fatigue	6. 最初と最後の頁 106018
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ijfatigue.2020.106018	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 Tomoyuki Fujii, Masaki Suzuki, Ryuki Matsubara, Keiichiro Tohgo and Yoshinobu Shimamura	4. 巻 29
2. 論文標題 Fabrication of high-strength Zr-based composites by spark plasma sintering	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Engineering and Performance	6. 最初と最後の頁 7883-7890
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11665-020-05308-5	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 S. Kikuchi, Y. Nakatsuka, Y. Nakai, M. Nakatani, M.O. Kawabata, K. Ameyama	4. 巻 48
2. 論文標題 Evaluation of fatigue properties under four-point bending and fatigue crack propagation in austenitic stainless steel with a bimodal harmonic structure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frattura ed Integrit&agrave; Strutturale	6. 最初と最後の頁 545-553
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3221/IGF-ESIS.48.52	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 S. Kikuchi, Y. Nukui, Y. Nakatsuka, Y. Nakai, M. Nakatani, M.O. Kawabata, K. Ameyama	4. 巻 127
2. 論文標題 Effect of bimodal harmonic structure on fatigue properties of austenitic stainless steel under axial loading	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Fatigue	6. 最初と最後の頁 222-228
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijfatigue.2019.06.016	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. Osaki, S. Kikuchi, Y. Nakai, M.O. Kawabata, K. Ameyama	4. 巻 773
2. 論文標題 The effects of thermo-mechanical processing on fatigue crack propagation in commercially pure titanium with a harmonic structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering A	6. 最初と最後の頁 138892
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2019.138892	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32件(うち招待講演 4件/うち国際学会 8件)

1. 発表者名 伊藤秀明, 鈴木潮里, 菊池将一
2. 発表標題 チタン合金の微視組織と力学特性に及ぼす三次元窒素拡散相の影響
3. 学会等名 日本材料学会 第69期学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田佳佑, 中澤謙太, 藤原弘, 菊池将一
2. 発表標題 放電プラズマ焼結により作製したハイエントロピー合金CrMnFeCoNiの四点曲げ疲労特性評価
3. 学会等名 日本材料学会 第69期学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤秀明, 菊池将一
2. 発表標題 三次元窒素拡散制御による多機能チタン系材料の創製
3. 学会等名 日本材料学会第1回生体・医療材料部門委員会学生研究交流会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤秀明, 鈴木潮里, 井尻政孝, 倉科佑太, 菊池将一
2. 発表標題 放電プラズマ焼結を援用した生体用多機能窒化チタンの創製
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田佳佑, 中澤謙太, 藤原弘, 菊池将一
2. 発表標題 四点曲げ疲労試験におけるハイエントロピー合金CrMnFeCoNiの疲労き裂発生・進展挙動のその場観察
3. 学会等名 日本材料学会 第6回材料シンポジウムワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菊池将一
2. 発表標題 粉末冶金を利用した周期構造制御による多機能金属材料の創製
3. 学会等名 広島大学デジタルものづくり教育研究センター 材料MBRプロジェクト講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田佳佑, 藤原弘, 菊池将一
2. 発表標題 放電プラズマ焼結を用いた周期構造制御ハイエントロピー合金CrMnFeCoNiの創製
3. 学会等名 日本材料学会東海支部第15回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Nakai, S. Kikuchi, K. Osaki, M.O. Kawabata and K. Ameyama
2. 発表標題 Effect of rolling on fatigue crack propagation in harmonic structured commercially pure titanium
3. 学会等名 TMS2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 B. Guennec, T. Ishiguri, M.O. Kawabata, S. Kikuchi, A. Ueno and K. Ameyama
2. 発表標題 Size effect issue on the fatigue properties of Ti-6Al-4V designed in heterogeneous harmonic structure
3. 学会等名 TMS2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菊池将一, 塩澤大輝, 中井善一, 川畑美絵, 飴山恵
2. 発表標題 高輝度放射光を用いたDCTインライン計測による調和組織制御オーステナイト系ステンレス鋼の疲労損傷評価
3. 学会等名 日本金属学会2021年春季講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菊池将一, 温井悠平, 中塚悠太, 中井善一, 中谷仁, 川畑美絵, 飴山恵
2. 発表標題 調和組織を有するSUS304Lの疲労特性および疲労き裂伝ば特性評価
3. 学会等名 日本材料学会 第68期学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和仁佑斗, 鈴木潮里, 菊池将一
2. 発表標題 三次元窒素拡散制御による工業用純チタンの高強度化
3. 学会等名 日本材料学会 第68期学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Nakai, S. Kikuchi, D. Shiozawa, K. Nonaka, T. Hase, Y. Nakagawa, K. Ameyama
2. 発表標題 Evaluation of misorientation and local deformation in bimodal harmonic structured stainless steel by hybrid imagings of diffraction and refraction contrast using synchrotron radiation X-ray
3. 学会等名 EUROMAT2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 中井善一, 塩澤大輝, 菊池将一
2. 発表標題 放射光DCTインライン計測による調和組織金属のミスオリエンテーション計測
3. 学会等名 第16回SPring-8産業利用報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木潮里, 和仁佑斗, 菊池将一
2. 発表標題 三次元窒素拡散制御した工業用純チタンの創製とその4点曲げ疲労特性
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三島一朗, 長谷卓海, 塩澤大輝, 菊池将一, 中井善一, 永廣怜平
2. 発表標題 放射光 DCT インライン計測による金属材料中のミスオリエンテーション評価
3. 学会等名 日本機械学会M&M2019材料力学カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷卓海, 中川湧紀, 中井善一, 菊池将一, 塩澤大輝
2. 発表標題 高輝度放射光回折コントラストトモグラフィーによるSUS304L 調和組織材の疲労過程における損傷評価
3. 学会等名 日本機械学会M&M2019材料力学カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Kikuchi and Y. Nakai
2. 発表標題 Effect of bimodal harmonic structure on fatigue properties and fatigue crack propagation in austenitic stainless steel
3. 学会等名 The 6th Joint-Symposium on Mechanics of Advanced Materials & Structures (JSMAMS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Osaki, S. Kikuchi, Y. Nakai, M. O. Kawabata, K. Ameyama
2. 発表標題 Effect of thermo-mechanical processing on fatigue properties of commercially pure titanium with harmonic structure
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Suzuki, H. Ito, Y. Kurashina, H. Akebono, S. Kikuchi
2. 発表標題 Effect of three-dimensional nitrogen diffusion phase on mechanical properties of cp-titanium for biomedical applications
3. 学会等名 8th International Conference on Mechanics of Biomaterials and Tissues (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菊池将一
2. 発表標題 先進チタン合金の曲げ疲労特性とその破面
3. 学会等名 日本材料学会第120回フラクトグラフィ部門委員会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Nakai, S. Kikuchi, D. Shiozawa, K. Nonaka, T. Hase, Y. Nakagawa, K. Ameyama
2. 発表標題 Evaluation of misorientation and local deformation in bimodal harmonic structured stainless steel by hybrid imagings of diffraction and refraction contrast using synchrotron radiation X-ray
3. 学会等名 2020 TMS Annual Meeting & Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤秀明, 鈴木潮里, 菊池将一
2. 発表標題 三次元窒素拡散相を有するTi-6Al-4Vの創製とその力学特性評価
3. 学会等名 日本材料学会東海支部第14回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯田柁志, 長谷卓海, 三島一郎, 中井善一, 塩澤大輝, 菊池将一
2. 発表標題 放射光DCTインライン計測によるSUS304Lの疲労損傷の評価
3. 学会等名 日本機械学会 関西学生会2019年度学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松本修治, 菊池将一, 中井善一, 川畑美絵, 飴山恵
2. 発表標題 切欠きを有する調和組織制御オーステナイト系ステンレス鋼の疲労特性
3. 学会等名 日本金属学会2020年春期(第166回)講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石村芳暉, 藤田佳佑, 中井善一, 川畑美絵, 藤原弘, 飴山恵, 菊池将一
2. 発表標題 切欠きを有する調和組織制御オーステナイト系ステンレス鋼の疲労損傷メカニズム
3. 学会等名 日本材料学会東海支部第16回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Fujita, K. Nakazawa, H. Fujiwara, S. Kikuchi
2. 発表標題 Fatigue properties of CrMnFeCoNi high-entropy alloy fabricated by spark plasma sintering under four-point bending
3. 学会等名 JSSUME2020+1 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菊池将一
2. 発表標題 周期ミクロ強度勾配制御による多機能材料設計
3. 学会等名 日本機械学会M&M2021材料力学カンファレンス (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田佳佑, 坪井颯都, 菊池将一
2. 発表標題 放電プラズマ焼結により作製したCrMnFeCoNi合金の疲労き裂伝ば特性に及ぼす結晶粒径の影響
3. 学会等名 日本機械学会M&M2021材料力学カンファレンス
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤秀明, 鈴木潮里, 菊池将一
2. 発表標題 周期的に窒素拡散制御した多機能チタンの疲労特性
3. 学会等名 日本機械学会2021年度年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ゲネック ベンジャミン, 石栗崇之, 川畑美絵, 菊池将一, 上野明, 飴山恵
2. 発表標題 不均一調和組織で創成したTi-6Al-4V合金の4点曲げ疲労特性における寸法効果について
3. 学会等名 日本機械学会2021年度年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田佳佑, 中澤謙太, 藤原弘, 菊池将一
2. 発表標題 ハイレントロピー合金CrMnFeCoNiの四点曲げ疲労特性に及ぼす結晶粒径の影響評価
3. 学会等名 日本材料学会 第70期学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

静岡大学教員データベース <a href="https://tdb.shizuoka.ac.jp/RDB/public/Default2.aspx?id=11250&amp;l=0&amp;a2=1/1">https://tdb.shizuoka.ac.jp/RDB/public/Default2.aspx?id=11250&amp;l=0&amp;a2=1/1</a> Google Scholar <a href="https://scholar.google.co.jp/citations?user=JDyyTcYAAAAJ&amp;hl=ja">https://scholar.google.co.jp/citations?user=JDyyTcYAAAAJ&amp;hl=ja</a> researchmap <a href="https://researchmap.jp/read0151423/">https://researchmap.jp/read0151423/</a> Scopus <a href="https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=15071312000">https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=15071312000</a> ORCID <a href="https://orcid.org/0000-0003-1127-8748">https://orcid.org/0000-0003-1127-8748</a>
---

## 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	岩田 太  (Iwata Futoshi)  (30262794)	静岡大学・電子工学研究所・教授    (13801)	
研究分担者	藤井 朋之  (Fujii Tomoyuki)  (30377840)	静岡大学・工学部・准教授    (13801)	
研究分担者	中澤 謙太  (Nakazawa Kenta)  (50824520)	静岡大学・工学部・助教    (13801)	
研究分担者	塩澤 大輝  (Shiozawa Daiki)  (60379336)	神戸大学・工学研究科・准教授    (14501)	

## 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