

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01651

研究課題名（和文）複合元素添加遷移金属シリサイド基共晶材料の異常強化機構

研究課題名（英文）Strengthening mechanism in transition-metal silicide-based eutectic composites

研究代表者

岸田 恭輔（Kishida, Kyosuke）

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：20354178

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）：次世代の超耐熱構造材料として有望な遷移金属シリサイド基一方向凝固(DS)共晶材料において、遷移金属元素を複数の元素で同時に多量置換した際に見られる特異な強化現象の発現機構の解明を目的とした基礎研究を行った。その結果、これまで十分に解明されていなかったDS共晶材料を構成する各種遷移金属シリサイド相の塑性変形機構を明らかにするとともに、複合多量置換を行った合金系において均質微細な共晶組織を得るのに適した結晶育成条件に関する基礎的知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は次世代の超耐熱構造材料の候補である共晶一方向凝固材料の優れた力学特性の起源を明らかにすることを目的としたもので、新規な解析手法を駆使することにより各種遷移金属シリサイド相の塑性変形機構と力学特性を解明するとともに、優れた力学特性発現に不可欠な合金設計ならびに組織制御に関する基礎的知見を得たことが学術的意義が高い。また得られた成果をもとに新規超耐熱材料が開発につながれば、様々な熱機関の熱効率の向上と、その結果としての温室効果ガスの排出削減に寄与することが期待されるため社会的意義も高い。

研究成果の概要（英文）：Recently, we have found that the high temperature strength of transition-metal silicide-based directionally solidified (DS) eutectic composites can be improved drastically when the transition-metal element in the composites is substituted by large amounts of two or three different transition-metal elements simultaneously. In this study, deformation mechanisms of various component transition-metal silicide phases in the eutectic composites as well as the proper growth conditions for obtaining DS eutectic composites with homogeneous and fine lamellar microstructure were investigated in order to elucidate the strengthening mechanisms of the DS eutectic composites.

研究分野：結晶物性

キーワード：共晶複相材料 異常強化現象 力学特性 構造・機能材料 強化機構

1. 研究開始当初の背景

一般に構造用金属材料の強度を向上させるために、組織制御や合金元素添加といった手法が複合的に用いられている。これまでに提案されてきた固溶強化、析出強化、分散強化、加工硬化、結晶粒微細化強化に分類されるさまざまな強化機構はいずれも転位論に基づいた解釈がなされており、その基本的な強化に対する考え方は高温での強度特性が問題となる耐熱材料においてもほぼ同様である。さて、地球温暖化の要因とされる温室効果ガスの排出量の大幅な削減が求められている現在、最も現実的かつ効率的な手段である発電用ガスタービンシステムの燃焼温度上昇による高熱効率化実現のためには、既存の Ni 基超合金の耐用温度をはるかに上回る新規超耐熱材料の開発が急務であり、その候補としては高温強度を優先して考えた場合 2000°C クラスの高融点を有する遷移金属シリサイド基材料やセラミックス基材料が有望である。これらの候補材料は一般に粉末冶金法で作製されるが、不可避に存在する結晶粒界が高温強度の低下要因となる。研究代表者はこの問題の根本解決には結晶粒界のない材料、究極には単結晶材料が有利であると考え、一方向凝固(DS)による単結晶化が可能な共晶材料(MoSi₂/Mo₅Si₃系、NbSi₂/Nb₅Si₃系など)について基礎研究を行ってきた。最近、MoSi₂/Mo₅Si₃系 DS 共晶材料の研究において、複数の遷移金属元素を同時添加(Mo 原子を複数の遷移金属原子で同時に多量に置換)した場合、構成相の組織微細化の効果のみでは説明できないような異常な強度上昇が発現(1400°Cで 710MPa 以上の降伏強度、同程度の平均層厚さを有する無添加材の降伏強度の 2 倍以上)することを見出した。この結果は構成相の片方あるいは両方において何らかの固溶強化現象が発現していることを示唆しているが、これまでのところ構成相そのものの力学特性や変形機構について十分な実験データが得られておらず、DS 共晶材料に見られた固溶強化現象に関する詳細な検討はほとんどなされていない状況であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、研究代表者が最近独自に見出した遷移金属シリサイド基 DS 共晶材料において遷移元素の多量複合置換時に発現する優れた力学特性の起源を明らかにすることにある。具体的にはまず、これまで十分な理解がなされていなかった遷移金属(transition-metal (TM))シリサイド基 DS 共晶材料の構成相である各種遷移金属シリサイド相の変形機構の解明、ハイエントロピー合金の探索手法を応用した遷移金属シリサイド基共晶合金系の探索、組織的特徴の系統的なキャラクター化、DS 材の高温力学特性評価を横断的に行い、DS 共晶材料の複合多量元素置換による優れた力学特性の発現メカニズムの解明を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

3.1. 力学特性の向上に適した合金組成の探索

高温強度上昇に適した合金元素の組み合わせとその置換量を探索するにあたり、本研究では近年構造材料の分野において注目されているハイエントロピー合金の探索手法を応用した。ハイエントロピー合金(HEA)とは狭義には 5 種類以上の構成元素をほぼ等モル量ずつ含み、配置のエントロピーの効果により FCC 構造、BCC 構造といった比較的単純な結晶構造が安定化された固溶体合金のことである。これまでに一部の HEA あるいはその派生合金(HEA から構成元素の一部を除いた 3 元型、4 元型固溶体合金)が従来の固溶体合金をはるかに凌駕する優れた力学特性を示すことが明らかにされており、国内だけでなく世界的に多くの研究が集中的になされている。本研究ではこの手法を応用し、Mo、Nb、Ta をはじめとする遷移金属元素 TM を 3~5 種類をほぼ等モル量含む合金系を探索の対象とし、合金インゴットの作製、組織的特徴のキャラクター化を行った。得られた結果をもとに一部の合金系に関して一方向凝固処理を行い、均質かつ微細な組織が得られる合金系を探索した。

3.2. 遷移金属(transition-metal (TM))シリサイド基 DS 共晶材料の構成相の変形機構解析

ミクロンサイズの単結晶柱状試料を集束イオンビーム加工法により作製し、フラットパンチ型ダイヤモンド圧子を備えたナノインデントを用いて圧縮試験を行った。さらに第一原理 DFT 計算による一般化積層欠陥エネルギー(GSFE)の評価を行い、実験結果と GSFE の計算結果との比較から変形機構の解明を試みた。

本研究で注目している特異な強化現象の特徴の一つは、複数の遷移金属元素を従来の希薄金属材料に対して提案された固溶強化理論が適用できる組成範囲を大きく超えている点(置換率 25~50%)にある。このような特徴は近年、新規構造材料の候補として国内外で研究が進められているハイエントロピー合金(5 種類以上の元素をほぼ等モル量含む合金で、配置のエントロピーの効果により FCC 構造や BCC 構造を持つ単相固溶体が安定となる合金、HEA)の特性と類似していることから、より単純な結晶構造である FCC 構造や BCC 構造を有する HEA とその派生合金の力学特性評価も併せて進め、それらとの比較を基に構成相の固溶強化機構に関する考察を行った。

4. 研究成果

4.1. 力学特性の向上に適した合金組成の探索

遷移金属元素 Ti, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, W の中から 5 種類あるいは 4 種類を等モル量ずつ含む合金を溶製したのち、Si をモル分率が 56% となるように加えて再溶解して合金インゴットを作製した。作製したインゴットについて粉末 X 線回折を行い、構成相の同定を行った。得られた合金インゴットの大半は C11_b 型および C40 型 TMSi₂, D8_m 型および D8_l 型 TM₅Si₃ 相の 4 種類を含んでいることがわかった。これらの合金インゴットの中から C11_b 型遷移金属ダイシリサイドと D8_m 型 TM₅Si₃ 相の体積分率が高いものを選択し、光学式浮遊帯域溶融装置を用いた一方向凝固(DS)処理を行った。DS 材の断面組織の観察の結果、DS 材中で発達する組織形態は遷移金属元素の組み合わせによって異なる傾向を示すが、一部の合金系においてラメラ状の組織の形成されることを確認した。図 1 に DS 材の横断面組織の一例(NbMoTaW-Si 合金)を示す。図から明らかなように、ラメラ状の組織が見られた DS 材においても組織形態は棒状試料中の位置に依存して様々に変化しており、中心部に近づくにつれて粗大な 2 相組織が形成されるのに対し、表面近傍では比較的均質かつ微細なラメラ状の組織が発達していることがわかる。光学式浮遊帯域溶融装置で結晶を育成した場合、一般に棒状試料の表面と内部で温度勾配に差が生じやすいことを考慮に入れると、4-5 種類の遷移金属元素を含む合金系の場合には DS 処理中の固液界面での温度勾配のわずかな違いが微細組織の形態に顕著な影響を及ぼすことを意味していると考えられる。このような不均一な組織の発達傾向は DS 化を試みたすべての試料において観察され、MoSi₂/Mo₅Si₃ DS 共晶材料の場合に比較的均質な組織が得られた DS 条件においても高温力学特性評価に十分なサイズの試料を得るには至らなかったが、均質かつ微細なラメラ組織を得るためにはより高い温度勾配が実現可能な条件下での DS 化、例えば積層造形法の活用、が有効であることがわかった。

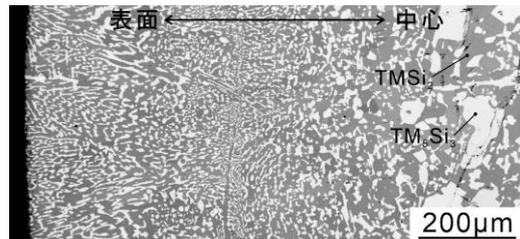


図 1. NbMoTaW-Si 合金 DS 材の微細組織。

4.2. 遷移金属(transition-metal (TM))シリサイド基 DS 共晶材料の構成相の変形機構解析

4.2.1. D8_m 型構造を有する遷移金属シリサイド Mo₅Si₃, Cr₅Si₃ 単結晶の塑性変形挙動

遷移金属シリサイド基 DS 共晶材料は、主として C11_b 型あるいは C40 型遷移金属ダイシリサイド相(TMSi₂)と D8_m 型構造を有する遷移金属シリサイド相 TM₅Si₃ から形成されている。このうちより複雑な結晶構造を有する TM₅Si₃ に関しては研究代表者による MoSi₂/Mo₅Si₃ DS 共晶材料を用いた先行研究において、共晶材料中の Mo₅Si₃ 相は 1000°C 以上の高温域で転位の活動による塑性変形が可能であることを見出した。しかしながら活動可能な変形モードの詳細やその臨界分解せん断応力(CRSS)の温度依存性については不明な点が多かった。そこで Mo₅Si₃ 相および Cr₅Si₃ 相のバルク単結晶試料を用いた高温圧縮試験ならびにマイクロピラー単結晶試験片の室温圧縮試験を荷重軸方位の関数として行い、D8_m 型構造を有する遷移金属シリサイドの塑性変形挙動の詳細について調査を行った。

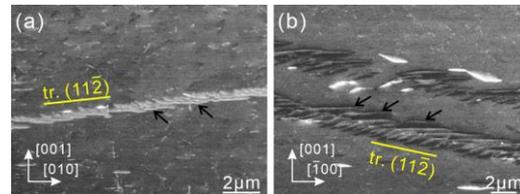


図 2. Mo₅Si₃ 単結晶の変形組織の ECCI 観察。

4 つの異なる荷重軸方位で Mo₅Si₃ 相単結晶の高温圧縮試験を行った結果、バルク単結晶は 1200°C 以上の高温域において塑性変形可能であり、活動するすべり系は {112}<111> すべりのみであることがわかった(図 2)。また室温では多くの脆性材料においても塑性変形の観察が可能な単結晶マイクロピラー圧縮試験においてさえも Mo₅Si₃ 相の塑性変形を観察することができなかった。室温における非常に脆性的な挙動は主として転位のすべり運動に対する非常に高い CRSS に起因したものであると推測された(図 3)。D8_m 型構造では {112}<111> すべりのすべり面として結晶学的に異なる 4 種類の {112} 面が考えられるが、第一原理 DFT 計算による GSFE の計算結果から図 4 中の {112}_c 面がすべり面として優先的に選択されると推定した。同様の GSFE 計算を同じ結晶構造を有する Cr₅Si₃ 相を含む他の TM₅Si₃ 遷移金属シリサイド相や硬質結晶性材料について行った結果、なら

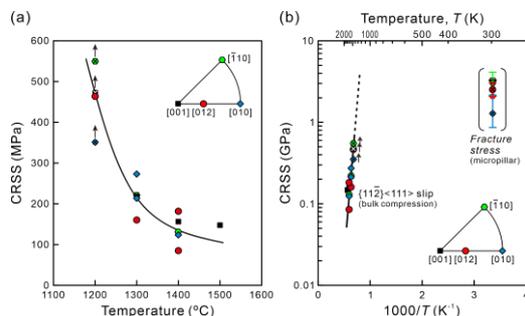


図 3. {112}<111> すべりの CRSS の温度依存性。

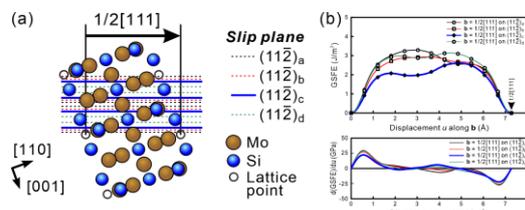


図 4. {112}<111> すべりの GSFE 計算。

びに実験的に得た破壊靱性値に関する情報を合わせて考察すると、 Mo_5Si_3 相の単結晶マイクロピラーが示した脆性的な挙動は必ずしも Mo_5Si_3 相に特有の Intrinsic な性質ということではなく、実験に用いた単結晶試料の作製過程で不可避に導入されたナノメーターサイズの微小欠陥からのクラック進展という Extrinsic な原因による可能性が高いと考えられる。また同じ結晶構造を有する Cr_5Si_3 相のバルク単結晶を用いた高温機械試験の結果、荷重軸方向に依存して 4 種類の異なるすべり系が活動することを確認したことから、Mo を部分的に Cr で置換することにより塑性変形能が向上する可能性があることが示唆された。

4.2.2. 遷移金属ダイシリサイド(TMSi₂)単結晶の室温マイクロピラー圧縮変形

遷移金属ダイシリサイド TMSi₂ (TM : Mo, W (正方晶 C11_b 構造); Nb, V, Cr, Ta (六方晶 C40 型)) の塑性変形挙動に関しては、これまでにバルク単結晶を用いた系統的な研究が行われ、C11_b および C40 型 TMSi₂ は一部の例外を除いて高温でのみすべり変形による塑性変形が可能であることが見出されてきたが、高温変形中の表面酸化の影響などによりすべり線観察の困難さ、機械試験中あるいは冷却過程における転位の上昇運動の可能性といった問題点のため、活動変形モードの詳細についてはいまだ不明な点が多かった。本研究では様々な荷重軸方向を有する C11_b および C40 型 TMSi₂ 単結晶マイクロピラーの圧縮試験を試験片サイズの関数として行い、活動変形モードの同定、CRSS ならびに変形挙動のサイズ依存性を調査した。

C11_b 型 MoSi₂ の単結晶マイクロピラー圧縮試験では、試験を行った 4 つの荷重軸方位すべてにおいて室温での塑性変形を確認し、3 種類の異なるすべり系が活動可能であることを明らかにした。C40 型 TMSi₂ の [112̄] 圧縮では、TM=Nb, V, Cr, Ta の 4 種類すべてにおいて底面すべりによる室温塑性変形を確認した(図 5)。活動を確したすべり系の CRSS の試験片サイズ依存性を図 6 に示す。いずれの TMSi₂ においても CRSS の値は試験片サイズとべき乗則($\tau_{\text{CRSS}} \propto L^{-n}$)で結び付けられ、試験片サイズの減少に伴い CRSS の値が増加する傾向を示す。べき指数 n はシリサイド毎に異なる値をとり、MoSi₂ の {110̄}<111>すべりや VSi₂ の底面すべりではそれぞれ 0.30, 0.51 比較的高い値をとるのに対し、他の C40 シリサイドの底面すべりに対しては 0.1 前後の比較的小さい値をとることがわかった。一般的な FCC 金属や BCC 金属におけるすべり変形に対する CRSS についても、同様にべき乗則にのった試験片サイズ依存性が報告されているが、それらによれば試験片サイズがおおよそ 20~30 μm の範囲でバルク単結晶での CRSS の値とほぼ等しくなるとされている。同様の関係が C11_b および C40 シリサイドのすべり変形に対しても成り立つと仮定することにより、MoSi₂ の {110̄}<111>すべり、および VSi₂, CrSi₂, NbSi₂, TaSi₂ の底面すべりに対するバルク CRSS の値はそれぞれ 620 ± 40, 240 ± 20, 1440 ± 10, 640 ± 20, 1300 ± 30 MPa と推定した。推定したバルク CRSS の値はバルク試料の変形開始温度と非常に良い線形関係を示すことがわかった(図 7)が、CrSi₂ はその傾向から大きくそれることがわかった。CrSi₂ の示す特異な挙動に関しては、底面転位の運動様式の違いに関連しているものと考えられる。バルク単結晶を用いた先行研究では高温域における CrSi₂ の底面すべりのみ隣接する 2 つのすべり面上を部分転位が連動して運動するシンクロシア型転位の運動により生じていることが確認されているのに対し、室温で活動する底面転位は他の C40 シリサイドと同様に 1 つのすべり面上で 2 本の部分転位に分解して運動する通常の種類の転位のすべり運動により生じていることを実験的に明らかにした(図 8)。したがって CrSi₂ 相の値が線形関係からずれているのは、高温で異なる変形モード(シンクロシア型すべり変形)により変形開始温度が他の C40 シリサイドよりも高温側に現れていることが反映された結果によ

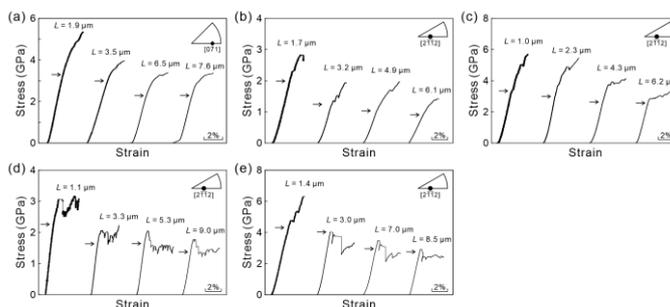


図 5. TMSi₂ の単結晶マイクロピラー圧縮試験により得られた応力—ひずみ曲線. (a) MoSi₂, (b) VSi₂, (c) CrSi₂, (d) NbSi₂, (e) TaSi₂.

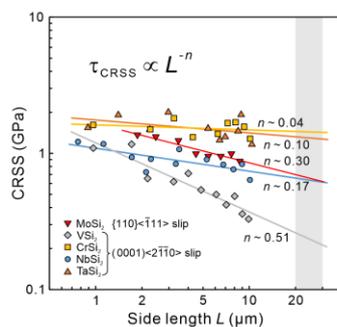


図 6. TMSi₂ の単結晶マイクロピラー圧縮試験により得られた CRSS の試験片サイズ依存性.

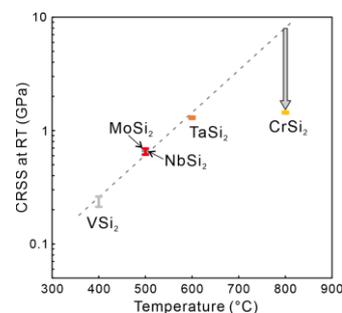


図 7. 室温におけるバルク CRSS の推定値とバルク多結晶での塑性変形開始温度との相関.

推定したバルク CRSS の値はバルク試料の変形開始温度と非常に良い線形関係を示すことがわかった(図 7)が、CrSi₂ はその傾向から大きくそれることがわかった。CrSi₂ の示す特異な挙動に関しては、底面転位の運動様式の違いに関連しているものと考えられる。バルク単結晶を用いた先行研究では高温域における CrSi₂ の底面すべりのみ隣接する 2 つのすべり面上を部分転位が連動して運動するシンクロシア型転位の運動により生じていることが確認されているのに対し、室温で活動する底面転位は他の C40 シリサイドと同様に 1 つのすべり面上で 2 本の部分転位に分解して運動する通常の種類の転位のすべり運動により生じていることを実験的に明らかにした(図 8)。したがって CrSi₂ 相の値が線形関係からずれているのは、高温で異なる変形モード(シンクロシア型すべり変形)により変形開始温度が他の C40 シリサイドよりも高温側に現れていることが反映された結果によ

るものと考えることができる。

DS 共晶材料に見られた異常強化現象の理解のためには、DS 共晶材料中の構成相と同じ合金組成を有する単相遷移金属シリサイド単結晶を用いた力学特性評価が重要であるが、これらの遷移金属シリサイドはいずれも高融点であったため、研究室所有の実験装置を用いての単相単結晶の育成は困難であった。そこで比較として行った FCC 構造を有するハイエントロピー合金(HEA)とその派生ミディアムエントロピー合金(MEA)に関する結果をもとに考察を行った。構成元素がほぼ等モル量ずつ含まれる FCC 系の HEA/ MEA では平均的な FCC 構造の原子位置からの各原子のずれが存在しており、そのずれの値の二乗を平均したパラメータである平均二乗原子変位の平方根と強度の間に比例関係が成り立つことが明らかとなっている。

このような結果から、FCC 系の HEA/MEA の強度は、理想的な原子位置からのずれに起因した転位のすべり運動に対する格子摩擦と相関があると定性的に理解することができることを示唆している。また耐火金属元素を構成元素に多く含有する BCC 系の HEA/MEA の高温強度に関しても、平均二乗原子変位パラメータとの間に正の相関があることを示唆する予備的な実験結果を得ている。これらの結果をもとに考察すると、遷移金属シリサイド中の遷移金属元素を複数多量元素置換した場合にも、これらの HEA/MEA と同様に、理想的な原子位置からのずれが遷移金属シリサイドの場合にも不可避に生じていると考えられるため、その結果として転位の運動に対する格子摩擦の上昇が引き起こされることが遷移金属元素を複合多量置換した DS 共晶材の多量異常強化現象に寄与している可能性が示唆された。

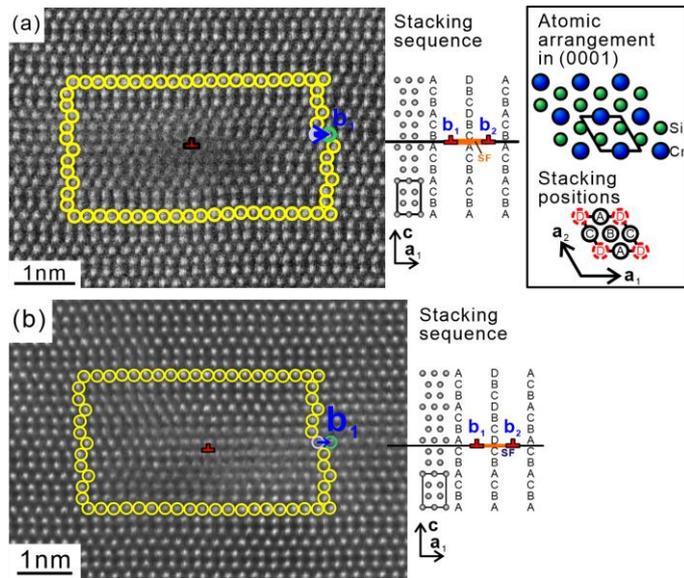


図 8. TMSi₂ の単結晶マイクロピラー圧縮試験により導入された底面すべりの刃状転位の転位芯構造(後続の部分転位部分) (a) CrSi₂, (b) NbSi₂.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 18件／うち国際共著 10件／うちオープンアクセス 14件）

1. 著者名 Wang Zhi, Li Le, Chen Zhenghao, Yuge Koretaka, Kishida Kyosuke, Inui Haruyuki, Heilmaier Martin	4. 巻 959
2. 論文標題 A new route to achieve high strength and high ductility compositions in Cr-Co-Ni-based medium-entropy alloys: A predictive model connecting theoretical calculations and experimental measurements	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 170555 ~ 170555
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2023.170555	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 Li Le, Chen Zhenghao, Yuge Koretaka, Kishida Kyosuke, Inui Haruyuki, Heilmaier Martin, George Easo P.	4. 巻 169
2. 論文標題 Plastic deformation of single crystals of the equiatomic Cr-Fe-Co-Ni medium entropy alloy - A comparison with Cr-Mn-Fe-Co-Ni and Cr-Co-Ni alloys	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Plasticity	6. 最初と最後の頁 103732 ~ 103732
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijplas.2023.103732	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 INUI Haruyuki, LI Le, CHEN Zhenghao, KISHIDA Kyosuke	4. 巻 65
2. 論文標題 ハイエントロピー合金の原子構造と力学特性 短距離秩序に注目して	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nihon Kessho Gakkaishi	6. 最初と最後の頁 172 ~ 177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5940/jcrsj.65.172	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 Kishida Kyosuke, Morisaki Mutsumi, Ito Mitsuhiro, Wang Zhi, Inui Haruyuki	4. 巻 260
2. 論文標題 Room-temperature deformation of single crystals of WC investigated by micropillar compression	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 119302 ~ 119302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2023.119302	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 Kishida Kyosuke	4. 巻 62
2. 論文標題 金属材料実験の手引き 2. 特性の計測評価 2-1 力学特性 2-1-4 圧縮試験 (マイクロピラー圧縮試験)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Materia Japan	6. 最初と最後の頁 680 ~ 689
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/materia.62.680	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 Kishida Kyosuke, Ito Mitsuhiro, Inui Haruyuki, Heilmaier Martin, Eggeler Gunther	4. 巻 263
2. 論文標題 On the inherent strength of Cr23C6 with the complex face-centered cubic D84 structure	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 119518 ~ 119518
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2023.119518	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 Tsuru Tomohito, Han Shu, Matsuura Shutaro, Chen Zhenghao, Kishida Kyosuke, Iobzenko Ivan, Rao Satish I., Woodward Christopher, George Easo P., Inui Haruyuki	4. 巻 15
2. 論文標題 Intrinsic factors responsible for brittle versus ductile nature of refractory high-entropy alloys	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-024-45639-8	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 Kishida Kyosuke, Chen Zhenghao, Matsunoshita Hirotaka, Maruyama Takuto, Fukuyama Takayoshi, Sasai Yuta, Inui Haruyuki, Heilmaier Martin	4. 巻 155
2. 論文標題 Plastic deformation of bulk and micropillar single crystals of Mo5Si3 with the tetragonal D8 structure	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Plasticity	6. 最初と最後の頁 103339 ~ 103339
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijplas.2022.103339	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 Chen Zhenghao, Kishida Kyosuke, Inui Haruyuki, Heilmaier Martin, Glatzel Uwe, Eggeler Gunther	4. 巻 238
2. 論文標題 Improving the intermediate- and high-temperature strength of L12-Co3(Al,W) by Ni and Ta additions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 118224 ~ 118224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2022.118224	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 岸田恭輔, 乾 晴行	4. 巻 61
2. 論文標題 脆性硬質材料におけるプラストンの活性化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materia Japan	6. 最初と最後の頁 837 ~ 840
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/materia.61.837	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 Kishida Kyosuke, Suzuki Hiroataka, Okutani Masaomi, Inui Haruyuki	4. 巻 160
2. 論文標題 Room-temperature plastic deformation of single crystals of -manganese - hard and brittle metallic element	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Plasticity	6. 最初と最後の頁 103510 ~ 103510
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijplas.2022.103510	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 Li Le, Chen Zhenghao, Kuroiwa Shogo, Ito Mitsuhiro, Yuge Koretaka, Kishida Kyosuke, Tanimoto Hisanori, Yu Yue, Inui Haruyuki, George Easo P.	4. 巻 243
2. 論文標題 Evolution of short-range order and its effects on the plastic deformation behavior of single crystals of the equiatomic Cr-Co-Ni medium-entropy alloy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 118537 ~ 118537
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2022.118537	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 Kishida Kyosuke, Okutani Masaomi, Suzuki Hiroataka, Inui Haruyuki, Heilmaier Martin, Raabe Dierk	4. 巻 249
2. 論文標題 Room-temperature deformation of single crystals of the sigma-phase compound FeCr with the tetragonal D8b structure investigated by micropillar compression	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 118829 ~ 118829
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2023.118829	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 Li Le, Chen Zhenghao, Kuroiwa Shogo, Ito Mitsuhiro, Kishida Kyosuke, Inui Haruyuki, George Easo P.	4. 巻 148
2. 論文標題 Tensile and compressive plastic deformation behavior of medium-entropy Cr-Co-Ni single crystals from cryogenic to elevated temperatures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Plasticity	6. 最初と最後の頁 103144
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijplas.2021.103144	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 Kishida Kyosuke, Nakatsuka Satoshi, Nose Hiroaki, Inui Haruyuki	4. 巻 223
2. 論文標題 Room-temperature deformation of single crystals of transition-metal disilicides (TMSi ₂) with the C11b (TM = Mo) and C40 (TM = V, Cr, Nb and Ta) structures investigated by micropillar compression	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 117468
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2021.117468	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 Kishida Kyosuke, Okutani Masaomi, Inui Haruyuki	4. 巻 228
2. 論文標題 Direct observation of zonal dislocation in complex materials by atomic-resolution scanning transmission electron microscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 117756
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2022.117756	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 Tsuji Nobuhiro, Ogata Shigenobu, Inui Haruyuki, Tanaka Isao, Kishida Kyosuke	4. 巻 -
2. 論文標題 Proposing the Concept of Plaston and Strategy to Manage Both High Strength and Large Ductility in Advanced Structural Materials, on the Basis of Unique Mechanical Properties of Bulk Nanostructured Metals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Plaston Concept	6. 最初と最後の頁 3~34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-16-7715-1_1	査読の有無 無
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 Inui Haruyuki, Kishida Kyosuke	4. 巻 -
2. 論文標題 Plaston - Elemental Deformation Process Involving Cooperative Atom Motion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Plaston Concept	6. 最初と最後の頁 119~131
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-16-7715-1_6	査読の有無 無
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 乾 晴行、岸田恭輔、李 樂、陳 正昊	4. 巻 92
2. 論文標題 ハイエントロピー合金の高強度・高延性を支配する材料パラメーター	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 金属	6. 最初と最後の頁 4-12
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 無
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 Inui Haruyuki, Kishida Kyosuke, Chen Zhenghao	4. 巻 63
2. 論文標題 Recent Progress in Our Understanding of Phase Stability, Atomic Structures and Mechanical and Functional Properties of High-Entropy Alloys	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 394~401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-M2021234	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 Inui Haruyuki, Kishida Kyosuke, Li Le, Manzoni Anna Maria, Haas Sebastian, Glatzel Uwe	4. 巻 47
2. 論文標題 Uniaxial mechanical properties of face-centered cubic single- and multiphase high-entropy alloys	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 MRS Bulletin	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1557/s43577-022-00280-y	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

[学会発表] 計53件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Kyosuke Kishida, Haruuki Inui, Zhenghao Chen
2. 発表標題 Effects of short-range ordering on mechanical properties of single crystals of the equiatomic CrCoNi medium-entropy alloy
3. 学会等名 2023 International Conference on High-Entropy Materials (ICHEM 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kyosuke Kishida, Zhenghao Chen, Haruyuki Inui
2. 発表標題 Plastic deformation of Mo ₅ Si ₃ single crystals with the tetragonal D8m structure
3. 学会等名 THERMEC '2023; International Conference on Processing & Manufacturing of advanced Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岸田恭輔
2. 発表標題 マイクロピラー機械試験による硬質材料の変形機構解析
3. 学会等名 "微小領域の力学特性評価とマルチスケールモデリング" 2023 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岸田 恭輔, 森崎 睦, 伊藤 充洋, 乾 晴行
2. 発表標題 タングステンカーバイド単結晶の室温変形挙動
3. 学会等名 日本金属学会2023年秋期(第173回)講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森崎 睦, 門田 信幸, 岸田 恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 パーライト鋼単結晶マイクロピラーの圧縮変形における活動すべり系の選択規則
3. 学会等名 日本金属学会2023年秋期(第173回)講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鄭 晟皓, 李 榮, 陳 正昊, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 FCC構造を有する三元系ミディアムエントロピー合金単結晶の塑性変形
3. 学会等名 日本金属学会2023年秋期(第173回)講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 恩田翔平, 韓 恕, 陳 正昊, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 BCC構造を有するTi-Zr-Nb系ミディアムエントロピー合金単結晶の塑性変形
3. 学会等名 日本金属学会2023年秋期(第173回)講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岸田恭輔, 伊藤充洋, 乾 晴行
2. 発表標題 D84型構造を有するCr23C6における{111}<101>すべり
3. 学会等名 日本金属学会2024年春季(第174回)講演大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 松尾優, 森下文寛, 門田信幸, 岸田恭輔, 乾 晴行, 新貝康晴
2. 発表標題 セメントタイトにおける活動すべり系と転位組織
3. 学会等名 日本金属学会2024年春季(第174回)講演大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 伊神圭祐, 上路林太郎, 森崎 睦, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 パーライト単結晶マイクロピラーの圧縮変形挙動
3. 学会等名 日本金属学会2024年春季(第174回)講演大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 外館真之介, 李 楽, 陳 正昊, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 Cr-Co-Ni系MEA単結晶における双晶開始応力のCr濃度依存性
3. 学会等名 日本金属学会2024年春季(第174回)講演大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 岸田恭輔, 野瀬浩晃, 大影晃平, 乾 晴行
2. 発表標題 異方性結晶の単結晶圧縮試験におけるキンク帯形成
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期(第171回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岸田恭輔, 鈴木広崇, 奥谷将臣, 乾 晴行
2. 発表標題 Fe-Cr系 相における特異なすべり変形
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期(第171回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木広崇, 奥谷将臣, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 -Mn単結晶マイクロピラーの室温圧縮変形
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期(第171回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤充洋, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 Cr23C6単結晶マイクロピラーの室温塑性変形
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期(第171回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森崎 睦, 門田信幸, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 パーライト鋼単結晶マイクロピラーの塑性変形挙動
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期(第171回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒岩省吾, Li Le, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 Cr-Co-Ni等原子量合金単結晶における双晶変形条件
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期(第171回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鄭晟皓, 陳正昊, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 三元系FCC型等原子量合金単結晶の塑性変形挙動
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期(第171回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Qi Xing, 岸田恭輔, 野瀬浩晃, 乾 晴行, 辻 伸泰
2. 発表標題 TWIP鋼単結晶と双結晶マイクロピラーにおける双晶変形
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期(第171回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 韓 恕, 恩田翔平, 陳 正昊, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 BCC型H/MEAの塑性変形に及ぼす合金組成の影響
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期(第171回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 恩田翔平, 韓 恕, 陳 正昊, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 Ti-Zr-Nb系 BCC型ミディアムエントロピー合金の変形挙動の組成依存性
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期(第171回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Kishida, M. Okutani, H. Suzuki, H. Inui
2. 発表標題 Direct observation of zonal dislocations in sigma-FeCr by atomic resolution scanning transmission electron microscopy
3. 学会等名 2022 MRS fall meeting & exhibit (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Morisaki, N. Kadota, K. Kishida, H. Inui
2. 発表標題 Plastic deformation behavior of single crystalline pearlitic steel investigated by micropillar compression method
3. 学会等名 2022 MRS fall meeting & exhibit (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森崎 睦, 門田信幸, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 パーライト鋼単結晶マイクロピラーの圧縮変形挙動の方位依存性
3. 学会等名 日本金属学会2022年春季(第172回)講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Qi Xing, 岸田恭輔, 野瀬浩晃, 乾 晴行, 辻 伸泰
2. 発表標題 TWIP鋼双結晶マイクロピラーにおける双晶変形のSEMその場観察
3. 学会等名 日本金属学会2022年春季(第172回)講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 韓 恕, 松浦 周太郎, 恩田翔平, 陳 正昊, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 中低温域におけるBCC型ハイ・ミディアムエントロピー合金の塑性変形
3. 学会等名 日本金属学会2022年春季(第172回)講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鄭晟皓, 松尾優介, Li Le, 陳正昊, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 FCC型等原子量合金単結晶の力学特性
3. 学会等名 日本金属学会2022年春季(第172回)講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 恩田翔平, 韓 恕, 陳 正昊, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 Ti-Zr-Nb系 BCC型ミディアムエントロピー合金の変形挙動の組成依存性
3. 学会等名 日本金属学会2022年春期(第172回)講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Haruyuki Inui, Kyosuke Kishida
2. 発表標題 Ambient-temperature Plasticity of Brittle Intermetallics at Micron-meter Size Scales
3. 学会等名 TMS 2023 Annual Meeting & Exhibition (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shohei Onda, Shu Han, Zhenghao Chen, Kyosuke Kishida, Haruyuki Inui
2. 発表標題 Plastic Deformation of BCC Medium-entropy Alloys in the Ti-Zr-Nb Systems
3. 学会等名 TMS 2023 Annual Meeting & Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Seiko Tei, Shougo Kuroiwa, Le Li, Zhenghao Chen, Kyosuke Kishida, Haruyuki Inui
2. 発表標題 Plastic Deformation of Single Crystals of Ternary Equiatomic Alloys with the FCC Structure
3. 学会等名 TMS 2023 Annual Meeting & Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kyosuke Kishida, Haruyuki Inui
2. 発表標題 Micropillar compression deformation of transition-metal disilicides with the C11b and C40 structures
3. 学会等名 11th International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials (THERMEC ' 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤充洋, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 Cr ₂₃ C ₆ 単結晶マイクロピラーの圧縮変形挙動
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期(第169回)講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岸田恭輔, 大影晃平, 乾 晴行
2. 発表標題 Mn-Zn-Y LPSO相単結晶マイクロピラーにおけるキンク帯形成条件
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期(第169回)講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木広崇, 奥谷将臣, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 -Mn単結晶の室温変形挙動
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期(第169回)講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒岩省吾, 李 楽, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 Cr-Co-Ni等原子量合金単結晶における双晶変形の結晶方位依存性
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期(第169回)講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Equbal Ashif, Chen Zhenghao, Yuge Koretaka, Kishida Kyosuke, Inui Haruyuki
2. 発表標題 Plastic deformation mechanism of single crystal equiatomic Cr-Fe-Co-Ni and Fe-Co-Ni in the temperature range of 13-1373K
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期(第169回)講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 韓 恕, 松浦周太郎, 陳 正昊, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 Ti-Zr-Nb-Hf-TaおよびV-Nb-Mo-Ta-W等原子量合金の塑性変形挙動
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期(第169回)講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 李 楽, 陳 正昊, 伊藤充洋, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 単結晶Cr-Co-Ni中エントロピー合金における熱処理が結晶構造及び力学特性に与える影響
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期(第169回)講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 王 植, 李 梁, 陳 正昊, 岸田恭輔, 弓削是貴, 乾 晴行
2. 発表標題 The effect of chemical compositions on strength and ductility in CrCoNi-based alloys
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期(第169回)講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Suzuki, M. Okutani, K. Kishida, H. Inui
2. 発表標題 Room temperature plastic deformation of hard and brittle crystals investigated by micropillar compression method
3. 学会等名 Intermetallics 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Kuroiwa, L. Le, K. Kishida, H. Inui
2. 発表標題 Deformation twinning in single crystals of the equiatomic Cr-Co-Ni medium entropy alloy
3. 学会等名 Intermetallics 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 L. Li, Z.H. Chen, S. Kuroiwa, K. Kishida, H. Inui
2. 発表標題 Plastic deformation of single crystals of the equiatomic Cr-Co-Ni medium entropy alloy with the fcc structure
3. 学会等名 Intermetallics 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 マイクロ機械試験で探るセメントタイトおよびパーライト単結晶の力学特性
3. 学会等名 ISSS 2021ポストシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岸田恭輔
2. 発表標題 マイクロ機械試験と電子顕微鏡観察による層状化合物の塑性変形解析
3. 学会等名 令和3年度 第二回軽金属学会「LPSO / MFS構造材料研究部会」第82回高性能Mg合金創成加工研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤充洋, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 Cr ₂₃ C ₆ 単結晶マイクロピラーの室温圧縮変形
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 Qi Xing, 岸田恭輔, 野瀬浩晃, 乾 晴行, 辻 伸泰
2. 発表標題 TWIP鋼単結晶マイクロピラーにおける変形双晶形成条件
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 鈴木広崇, 奥谷将臣, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 Fe-Cr系 相におけるZonal転位の転位芯構造
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 韓 恕, 松浦周太郎, 陳 正昊, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 Ti-Zr-Nb-Hf-TaおよびV-Nb-Mo-Ta-W等原子量合金の塑性変形機構
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 Ti-Zr-Nb系BCCミディアムエントロピー合金の塑性変形挙動
2. 発表標題 恩田翔平, 韓 恕, 陳 正昊, 岸田恭輔, 乾 晴行
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 都留智仁, ロブゼンコ イバン, 韓 恕, 陳 正昊, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 BCC-MEAモデル合金を用いた第4族元素の力学特性への影響
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 李 焱, 伊藤充洋, 黒岩省吾, 陳 正昊, 岸田恭輔, 乾 晴行
2. 発表標題 Atomic-scale observation of chemical short-range ordering and its relation to plastic deformation behavior in equiatomic Cr-Co-Ni medium-entropy alloy
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 王 植, 李 焱, 陳 正昊, 岸田恭輔, 弓削是貴, 乾 晴行
2. 発表標題 Composition dependence on mechanical properties of Cr-Co-Ni-based medium-entropy alloys
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

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

京都大学大学院工学研究科材料工学専攻 乾 研究室 http://imc.mtl.kyoto-u.ac.jp/ Researchgate - Kyosuke Kishida https://www.researchgate.net/profile/Kyosuke-Kishida
--

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			
ドイツ	カールスルーエ工科大学	マックス・プランク鉄鋼研究所	ルール大学ボーフム	
米国	テネシー大学ノックスビル校			