

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04983

研究課題名(和文) イメージベース結晶塑性解析を用いたチタン合金のひずみの再分配機構の解明

研究課題名(英文) Investigation of the strain redistribution mechanism in titanium alloys using image-based crystal plasticity analysis

研究代表者

河野 義樹 (Kawano, Yoshiki)

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号：20634413

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)：チタンとその合金(以下チタンとする)では、破壊に繋がるひずみの集中は、理解すべき重要な機構である。本研究では、チタンで観察された結晶粒レベルでのひずみの局所化とそれによって生じるひずみの集中機構を、変形抵抗の異なる結晶粒間に生じる“ひずみの再分配”という考えを用いて説明することを試み、次の結果を得た。(i)多結晶チタンにおけるひずみの局在化と集中を、ひずみの再分配を用いて説明することに成功した。(ii)これまで、隣接する結晶粒同士の力学的相互作用がチタンのひずみ局所化機構として注目されてきたが、より広範囲な結晶粒間でひずみの再分配が生じ、ひずみの集中に影響すること。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、構造材料としてのチタンの局所変形機構を、ひずみの再分配という概念を用いて説明した。このことは、チタンの破壊機構の理解に繋がるだけでなく、更なる高性能化の指針となる。また、本研究でひずみの再分配機構の調査のために開発した、すべり変形の起こりやすさの指標 slip operation factor (SOF) は、チタンに留まらず多結晶体の変形機構を調査するためのツールとして用いることができる。以上より、本研究の学術的意義、社会的意義が認められる。

研究成果の概要(英文)：In titanium and its alloys, strain localization leading to the fracture is an important mechanism to understand. In this study, we attempted to explain the mechanism of strain localization at the crystal grain level observed in titanium and dual phase titanium alloys by using the concept of “strain redistribution” between grains with different deformation resistance. The following results were obtained: (i) Strain localization and concentration in polycrystalline titanium were successfully explained by the concept of strain redistribution. (ii) While mechanical interactions between adjacent grains have been focused on as a mechanism of strain localization in titanium, strain redistribution occurs between a longer range of grains and affects the strain localization.

研究分野：機械・機械材料、計算力学

キーワード：局所変形 ひずみの再分配 slip operation factor 結晶塑性解析 力学的相互作用 EBSD チタン HCP

## 1. 研究開始当初の背景

構造用材料としてのチタンやその合金(以下チタンとする)は比強度が高く、更には高耐食性を有するため、高い信頼性を要求される製品に用いられている。構造用材料としてのチタンの更なる信頼性の向上や高性能化のためには、その破壊に繋がる機構を理解する必要があるが、未解明な点が多く残されている。その一つがチタンに生じる不均一変形である。

チタンが負荷を受けて変形すると、ひずみが局在化し、場合によってはひずみの集中が起こる。このひずみの局在化と集中は、肉眼で観察できるマクロレベルだけではなく、結晶粒レベルあるいはそれよりも更に小さいレベルでも起こる。取分け疲労負荷時には、結晶粒レベルでのひずみの集中がき裂発生を誘発し、それが破壊・破断に繋がる可能性がある。したがって、チタンにおけるミクロレベルでのひずみの集中機構を理解する価値は高い。

これまでチタンのミクロレベルにおけるき裂発生機構の解明のための取組みは、変形と共に進行する結晶粒間に生じる応力の再分配を主な対象として行われてきた。これらの研究により、負荷を受ける多結晶チタンにおいて、変形しやすい Soft な結晶粒の代わりに、変形し難い Hard な結晶粒が荷重を支えること、および隣接する Soft と Hard な結晶粒の粒界近傍に転位が堆積して応力集中が起こることが、き裂発生の原因であると考えられるようになってきている。一方、チタンの疲労き裂はすべり帯でよく観察されることから、すべり系の活動によって生じるすべり変形とき裂発生の関係も、初期疲労機構を理解するためには重要な視点である。しかし、チタンにおいて、すべり系の活動によって生じるひずみの局在化やひずみ集中機構については、これまで十分な注意は払われて来なかった。応力は塑性変形によって緩和されるため、その最大値は各結晶粒の降伏点によって決まる。一方、すべり変形によって生じる塑性ひずみにはこのような制約はないため、巨視的な応力-ひずみ曲線には表れないひずみの集中が生じる可能性がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、多結晶体の変形下で生じる Soft および Hard な領域間のひずみのやり取りを、“ひずみの再分配”と定義し、チタンに生じるひずみの局在化および集中機構を調べると共に、チタンに生じるひずみの局在化と集中機構をひずみ再分配の概念を用いて一般的に理解することを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究では、多結晶チタンの1軸引張によって生じる結晶粒レベルでの不均一変形の発展を、実験と数値解析を用いて調査した。供試材、実験手法、数値解析手法の概要は以下の通りである。

### (1) 対象とした材料

商用の純チタン(Commercially pure titanium: CP-Ti)およびチタン合金の中で最も使用実績がある Ti-6Al-4V 合金(Ti-64)を対象とした。CP-Ti は、hcp 構造を有する  $\alpha$  相から成り、供試材は集合組織を有する多結晶チタンとした。Ti-64 は、 $\alpha$  相と bcc 構造を有する  $\beta$  相の二相チタン合金であり、 $\alpha$  相と  $\beta$  相からなるコロニーの一部を解析対象とした。

### (2) 実験によるチタンの変形の追跡手法

変形と共に進行する CP-Ti の結晶方位の空間分布の発展を、SEM/EBSD を用いて観察した。また、微細格子マーカーを塗布した CP-Ti の変形時における微細格子の変形を追跡することで、その変形と共に起こるひずみ分布の発展も観察した。Ti-64 については、変形前の初期結晶方位分布のみを取得し、数値解析の幾何モデルデータとして用いた。

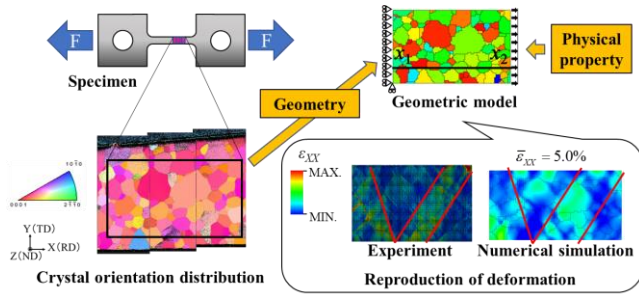
### (3) 数値解析手法

微視組織をあからさまに幾何モデルとしても用いる Full-field 型の結晶塑性解析を用いて、チタンの結晶粒レベルでの変形を再現した。各すべり系の変形抵抗(臨界分解せん断応力, Critical resolved shear stress: CRSS)は、文献値を基本として、実験結果を再現するように定めた。Full-field 型の結晶塑性解析で必要となる材料微視組織モデルは、SEM/EBSD で取得した結晶方位マップをデータ変換<sup>[1]</sup>して作成した。また、人工的にチタンの微視組織モデルを、独自手法[2][3]を用いて数値的に再現し、そのモデルを用いた結晶塑性解析も実施した。

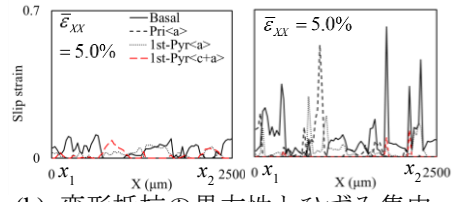
## 4. 研究成果

### (1) 結晶粒間の力学的相互作用とひずみ集中

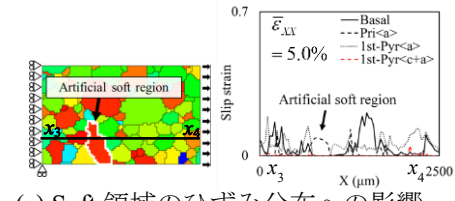
実験により得られた  $\alpha$  チタンのひずみ分布を結晶塑性解析により再現して、結晶塑性解析に用いた数値モデルおよび解析条件の妥当性を確認した(図 1a)。同環境を用いて、活動すべり系の数とひずみ集中の関係を調べたところ、すべり系間の CRSS 比にばらつきが大きく、活動すべり系の数が少ないほど、ひずみが局在化して、ひずみの集中が顕著になることを確認した(図 1b)。このひずみの集中は、すべり系の数の減少に伴って Hard 領域が増加し、Soft 領域が減少することにより、変形可能な領域にひずみが集中するために起こることを確認した。即ち、すべり系の数の減少によるひずみの集中機構を Soft 領域と Hard 領域間で起こるひずみの再分配で説明



(a) 実験結果の再現



(b) 変形抵抗の異方性とひずみ集中



(c) Soft 領域のひずみ分布への影響

図 1 結晶塑性解析による実験結果の再現とひずみ集中機構の調査結果[4]. (b), (c)は負荷方向垂直ひずみのラインプロファイル. (b)は左よりも右の方が CRSS 比のばらつきが大きい. (b)の右図と(c)のラインプロファイルを取得した解析の CRSS 比は同じ.

可能であることを示した. 次に, ひずみの再分配に影響する領域間距離を調べるため, 人工的に Soft 領域を設け解析を行ったところ (図 1c), Soft 領域が隣接する結晶粒間だけでなく, より長い距離で影響し, ひずみの集中を緩和させることが明らかとなった. しかしながら, Soft 領域と Hard 領域は, 1つの結晶粒の変形抵抗だけではなく, その周囲の結晶粒の変形抵抗にも強く影響されることも明確になり, 結晶粒の集団としての変形抵抗がひずみの局在化と集中に与える影響は今後調査すべき課題である.

### (2) ひずみ集中の速度および集合組織依存性

上記研究により, 多結晶  $\alpha$  チタンの CRSS 比のばらつきとひずみの集中の関係を, Soft 領域と Hard 領域のひずみの再分配によって説明できることを示した. Soft 領域と Hard 領域は, 各結晶粒の Schmid 因子とすべり系の CRSS によって決まる. 集合組織ごとに各すべり系の Schmid 因子は異なり, CRSS にはひずみ速度依存性があるため, ひずみの再分配の起こりやすさには, ひずみ速度および集合組織依存性があるはずである. (0001)軸が RD 方向に分れて集合した RD-split, TD 方向に分れて集合した TD-split, ND 方向に集合した Basal texture の3つの集合組織を対象として, ひずみ集中の速度及び集合組織依存性を結晶塑性解析により調査した (図 2). どの集合組織においても柱面すべり系の活動は活発であったが, 底面すべり系では, 集合組織によっては局所的にすべり系が活動し, ひずみの集中が観察された. 特に Basal texture で, 結晶方位にばらつきが大きい場合には, その傾向が顕著であった. 更に, すべり系ごとに CRSS のひずみ速度依存性は異なるため, ひずみ速度によっても, ひずみの集中のしやすさは変化することを確認した. これは, 領域ごとに活動しやすいすべり系が異なり, そのすべり系の活動しやすさがひずみ速度によって変化するために起こる. このことは, Soft 領域と Hard 領域が集合組織とひずみ速度によって変化するために, 局所的なひずみの集中のしやすさが変化することを意味しており, ひずみの再分配によって説明できる.

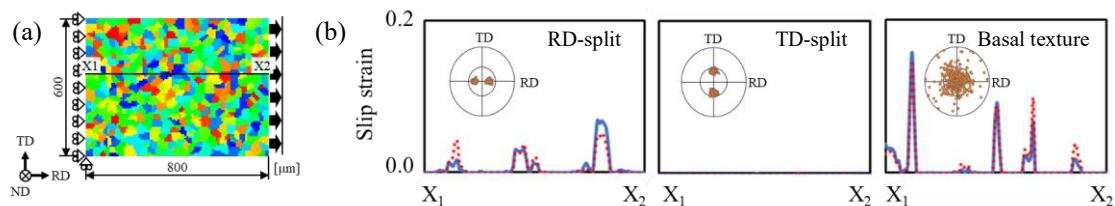


図 2 (a)  $\alpha$  チタン多結晶体の結晶塑性解析条件 と (b) それにより得られた底面すべり系の塑性せん断ひずみのラインプロファイル[5].

### (3) 結晶粒間の力学的相互作用距離の定量評価

上記の通り, ひずみの再分配には, 隣接する結晶粒間だけではなく, より長距離の結晶粒が関係する. その相互作用距離の評価および短時間で変形の様相を評価するため, Slip operation factor (SOF) と称する指標を構築した. SOF は, 各すべり系の Schmid 因子および CRSS, 領域間の力学的な相互作用の影響距離の関数であり, 領域間の相対的な変形抵抗の違いから, 各領域のすべり変形の起こりやすさを評価する指標である. 結晶塑性解析により予測したひずみ分布と, SOF の分布を比較したところ (図 3), 負荷方向の影響距離がそれに垂直な方向の影響距離よりも長い場合, 結晶塑性解析により得られる変形初期のひずみ分布をよく再現できた. 一方, 相互

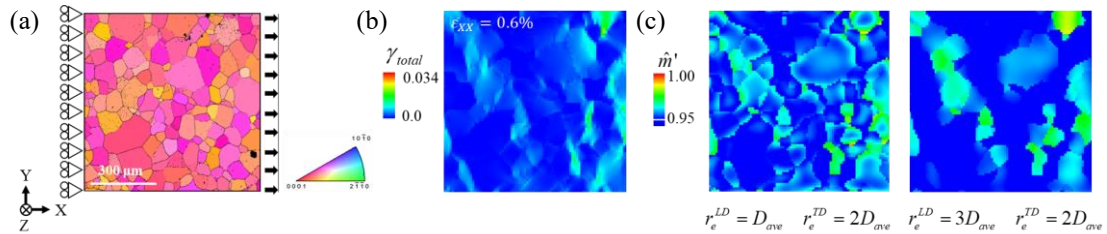


図3 (a) 多結晶 $\alpha$ チタンの結晶塑性解析の条件と (b) それにより得られた結果, および (c) SOF を用いたひずみ分布の予測結果[6].  $r_e^{LD}$ ,  $r_e^{TD}$  は負荷方向とそれに垂直な方向の影響距離,  $D_{ave}$  は平均結晶粒径.

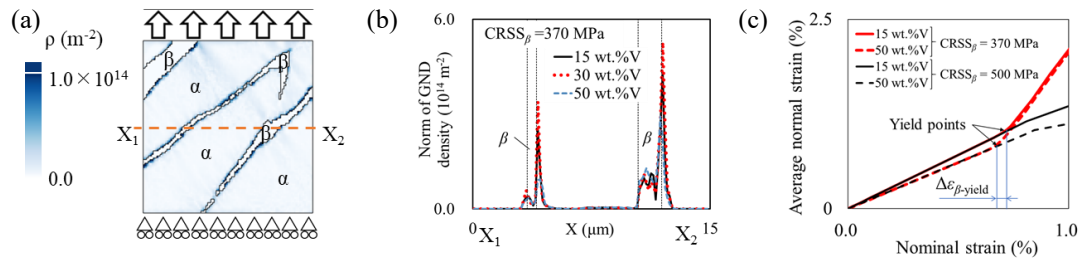


図4 Ti-6Al-4V 合金の結晶塑性解析条件と結果[7]. (a) 解析条件と GN 転位密度分布, (b) GN 転位密度のラインプロファイル, (c) 負荷方向垂直ひずみと  $\beta$  相の平均ひずみの関係.

作用距離が適切でないと、ひずみ分布の再現精度が悪く、このことは、SOF を用いて領域間の力学的な相互作用距離を見積ることができることを示している。

#### (4) 異相界面近傍の GN 転位の堆積とひずみの集中機構

Ti-64 の  $\beta$  相にはバナジウム (V) が濃化しやすく、V 濃度の上昇と共に  $\beta$  相の弾性定数は上昇する。更に  $\beta$  相の CRSS も V の濃化や熱処理等により変化すると考えられる。 $\beta$  相の弾性と塑性が、Ti-64 の異相界面近傍のすべり系の活動および GN 転位の堆積に与える影響を、結晶塑性解析を用いて調査した。 $\alpha$  相と  $\beta$  相は弾性定数が異なり、 $\beta$  相の方が弾性的にやわらかい。したがって、異相界面近傍の  $\alpha$  相側には応力集中が起こりやすく、そのために異相界面近傍の  $\alpha$  相側に応力が集中してすべり系が活動し、幾何学的に必要な転位 (Geometrically necessary dislocations: GN 転位) が堆積した。この異相界面近傍における転位の堆積は実験によっても観察されている[8]。 $\beta$  相の V 濃度が低い程弾性定数が低いため、この異相界面近傍における GN 転位の堆積は V 濃度が低い程顕著だと予測された。しかし、必ずしもそうではなく、 $\beta$  相の CRSS が同じ場合、V 濃度が 15wt.%の場合よりも、30wt.%の場合の方が GN 転位密度は高かった (図 4b)。この原因は、 $\beta$  相の降伏タイミングと関係している。具体的には、V 濃度の上昇により  $\beta$  相の弾性定数が高くなると、 $\beta$  相の降伏のタイミングも早くなりやすい (図 4c)。この時、異相界面近傍の  $\alpha$  相も  $\beta$  相と共に変形する。GN 転位はひずみに勾配のあるところに生じるため、この時に生じる変形も GN 転位の堆積に影響する。即ち、異相界面近傍の転位の堆積は、 $\alpha$  相と  $\beta$  相の弾性定数の差によって生じる応力集中と、 $\alpha$  相と  $\beta$  相の両者の界面近傍の領域の変形しやすさが共に影響することがわかった。

上記の異相界面近傍におけるひずみの集中は、異相間の強度差に影響を受けることから、その機構をひずみの再分配を用いても説明できそうである。しかし、上記の通り、異相界面近傍のひずみの集中機構は、異相間の強度差に加えて応力集中も強く影響する。以上より、応力集中とひずみの再分配の両視点が、ひずみ集中機構の理解に重要であることが明らかとなった。

#### <引用文献>

- [1]Y. Kawano, T. Ohashi, T. Mayama, M. Tanaka, M. Sakamoto, Y. Okuyama, M. Sato, Transactions of the JSME (in Japanese), 84(860) (2018), 17-00559:1-18.
- [2]Y. Kawano, T. Ohashi, Cold Regions Science & Technology, 57 (2009) 39-48.
- [3]Y. Kawano, T. Ohashi, Cold Regions Science & Technology, 112 (2015) 29-38.
- [4]Y. Kawano, T. Ohashi, T. Mayama, M. Tanaka, Y. Okuyama, M. Sato, The European Physical Journal B, 92 (2019) 204:1-10.
- [5]Y. Kawano, T. Mayama, T. Okamoto, M. Mitsuahara, Materials Science and Engineering: A, 843 (2022) 143133:1-9.
- [6]Y. Kawano, M. Sato, T. Mayama, M. Mitsuahara, S. Yamasaki, International Journal of Plasticity, 127 (2020) 102638:1-16.
- [7]Y. Kawano, T. Ohashi, T. Mayama, M. Mitsuahara, Y. Okuyama, M. Sato, Materials Transactions, 60(6) (2019) 959-968.
- [8] S. Suri, G.B. Viswanathan, T. Neeraj, D.H. Hou and M.J. Mills, Acta Materialia, 47 (1999) 1019-1034.

## 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 0件）

1. 著者名 Kawano Yoshiaki, Mitsuahara Masatoshi, Mayama Tsuyoshi, Deguchi Misaki, Song Zishuo	4. 巻 847
2. 論文標題 Numerical prediction of {11-22}<11-2-3> compression twin activation in commercially pure titanium under uniaxial tension	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 143302 ~ 143302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2022.143302	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 Kawano Yoshiaki, Mayama Tsuyoshi, Okamoto Taiki, Mitsuahara Masatoshi	4. 巻 843
2. 論文標題 Local slip activities in polycrystalline $\alpha$ -Ti depending on textures and strain rates	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 143133 ~ 143133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2022.143133	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 Kawano Yoshiaki, Mayama Tsuyoshi, Mitsuahara Masatoshi, Yamasaki Shigeto, Sato Michihiro	4. 巻 26
2. 論文標題 Generalized Slip Operation Factor Considering Contribution of Secondary Slip Systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Today Communications	6. 最初と最後の頁 102041 ~ 102041
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mtcomm.2021.102041	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 OKAMOTO Taiki, KAWANO Yoshiaki, MAYAMA Tsuyoshi, MITSUHARA Masatoshi, YAMASAKI Shigeto, SATO Michihiro	4. 巻 70
2. 論文標題 Numerical Analysis of Strain Rate Dependency on Activities of Slip Systems in Polycrystalline $\alpha$ -Ti	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Materials Science, Japan	6. 最初と最後の頁 393 ~ 399
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.70.393	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 Kawano Yoshiki, Sato Michihiro, Mayama Tsuyoshi, Mitsuahara Masatoshi, Yamasaki Shigeto	4. 巻 127
2. 論文標題 Quantitative evaluation of slip activity in polycrystalline $\alpha$ -titanium considering non-local interactions between crystal grains	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Plasticity	6. 最初と最後の頁 102638 ~ 102638
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijplas.2019.12.001	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 Kawano Yoshiki, Ohashi Tetsuya, Mayama Tsuyoshi, Tanaka Masaki, Okuyama Yelm, Sato Michihiro	4. 巻 92
2. 論文標題 Investigation of strain redistribution mechanism in $\alpha$ -titanium by image-based crystal plasticity analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The European Physical Journal B	6. 最初と最後の頁 204:1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjb/e2019-100238-3	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 Kawano Yoshiki, Ohashi Tetsuya, Mayama Tsuyoshi, Mitsuahara Masatoshi, Okuyama Yelm, Sato Michihiro	4. 巻 60
2. 論文標題 Crystal Plasticity Analysis of Microscopic Deformation Mechanisms and GN Dislocation Accumulation Depending on Vanadium Content in $\beta$ Phase of Two-Phase Ti Alloy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 959 ~ 968
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.M2019016	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15件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Yoshiki Kawano, Tsuyoshi Mayama, Masatoshi Mitsuahara, Shigeto Yamasaki, Michihiro Sato
2. 発表標題 Prediction of Slip Operation of Polycrystalline $\alpha$ -Titanium by Slip Operation Factor
3. 学会等名 Asia-Pacific Conference on Fracture and Strength 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 -Ti多結晶体の変形とひずみ速度依存性に関する結晶塑性解析
2. 発表標題 岡本 泰生、河野 義樹、眞山 剛、光原 昌寿、山崎 重人、佐藤 満弘
3. 学会等名 材料シンポジウム 「若手学生研究発表会」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 多結晶 -Tiにおけるすべり系活動度のひずみ速度依存性
2. 発表標題 河野 義樹、岡本 泰生、眞山 剛、光原 昌寿、山崎 重人、佐藤 満弘
3. 学会等名 日本金属学会 2020年秋期 第167回講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河野 義樹
2. 発表標題 チタンにおけるすべり系活動度評価の結晶塑性シミュレーション
3. 学会等名 高温材料の高強度化研究会・第5回研究会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 工藤 啓、河野 義樹
2. 発表標題 ( + )-Ti における不均一変形の進行と応力分配の關係の結晶塑性解析
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第181回春季講演大会 第53回学生ポスターセッション
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 河野義樹、眞山剛、光原昌寿、佐藤満弘
2. 発表標題 変形の進展に伴う結晶格子回転を考慮した チタン微視組織の結晶塑性解析
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 河野義樹、眞山剛、光原昌寿、山崎重人、佐藤満弘
2. 発表標題 チタンにおけるすべり系活動への結晶粒間相互作用の影響とその範囲
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期（第165回）講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河野義樹、大橋鉄也、眞山剛、田中将己、佐藤満弘
2. 発表標題 多結晶 Tiにおけるひずみ局所化機構のイメージベース結晶塑性解析
3. 学会等名 日本機械学会第32回計算力学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河野義樹、眞山剛、光原昌寿、佐藤満弘
2. 発表標題 Schmid因子の関数を用いたひずみの空間分布予測手法の開発
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 河野義樹、眞山剛、光原昌寿、山崎重人、佐藤満弘
2. 発表標題 SOFを用いたひずみの空間分布予測とその妥当性の検証
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 岡本泰生、河野義樹、眞山剛、光原昌寿、佐藤満弘
2. 発表標題 集合組織を有する $\alpha$ -Ti多結晶体におけるすべり系活動度のひずみ速度依存性に関する数値解析
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 河野義樹、眞山剛、光原昌寿、佐藤満弘
2. 発表標題 CP-Tiに生じる不均一変形機構の数値解析
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 13. 宋子碩、出口岬、山崎重人、光原昌寿、中島英治、眞山剛、河野義樹
2. 発表標題 純チタンにおける塑性ひずみの不均一分布
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 工藤啓, 河野義樹, 眞山剛, 光原昌寿, 佐藤満弘
2. 発表標題 (+)-Tiの異相間のslip transferと不均一変形に関する結晶塑性解析
3. 学会等名 日本機械学会北海道支部第59回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤彰洋, 河野義樹, 佐藤満弘
2. 発表標題 多結晶金属のCRSS予測システムの構築と改良
3. 学会等名 日本機械学会北海道支部第59回講演会
4. 発表年 2022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	光原 昌寿  (Masatoshi Mitsuvara)  (10514218)	九州大学・総合理工学研究院・准教授   (17102)	
研究 分担者	眞山 剛  (Mayama Tsuyoshi)  (40333629)	熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・准教授   (17401)	

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