

令和 2 年 5 月 26 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03409

研究課題名(和文) TWIP効果を利用したバルクナノ工業用純チタンの超高強度化と高延性化の実現

研究課題名(英文) Innovation of bulk nano-structured commercial purity Ti with ultra-high strength and high ductility utilizing TWIP effect

研究代表者

渡邊 千尋 (WATANABE, Chihiro)

金沢大学・機械工学系・教授

研究者番号：60345600

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：超微細粒バルクナノ純チタン(BN-Ti)の、組織と機械的性質を調査した。多軸鍛造加工時のパスひずみが大きいほど結晶粒が細かく強度も上昇しやすいことを明らかにした。変形機構は、結晶粒径の増加に従って、柱面すべり+錐面すべり、柱面すべり+変形双晶へと遷移する事が明らかとなった。このような変形メカニズムについて、計算力学的観点から考察も行った。

BN-Tiは生体用材料として魅力的な性質を持つ。そこで、BN-Tiに表面酸処理を施し、その骨細胞の生体接触挙動を調査した。市販Tiと比較して、表面処理後のBN-Tiでは骨細胞の接触角が極めて小さくなり、生体反応が優れていることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

BN-Tiの変形メカニズムの結晶粒径依存性、及び変形メカニズムに与える微量元素の効果について、実験的・計算機力学的な検討から、系統的に明らかにする事ができた。得られた結果を作製プロセスへフィードバックすることで、BN-Tiの合金設計・創造プロセスへの指導原理を構築することができた。さらに、骨細胞との生体反応を調査し、市販Tiよりも優れていることも示し、生体用インプラントへの応用の可能性も示した。

研究成果の概要(英文)：Microstructure and mechanical properties of ultrafine-grained bulk nano-structured commercial purity titanium (BN-Ti) were systematically investigated. It was clarified that the larger the pass strain during the multi-directional forging processing, the finer the grains, and the higher the strength. The deformation mechanism of the BN-Ti transitions from "prismatic slip + pyramidal slip" to "prismatic slip + deformation twinning" as the grain size increases. The deformation mechanisms were also discussed from the viewpoint of computational mechanics.

The BN-Ti has attractive properties as a biomaterial. The surface treatments of BN-Ti were carried out, and the biological contact behavior of the bone cells was investigated. The BN-Ti after the surface treatments exhibited that the contact angle of bone cells was extremely small and the biological reaction was superior, compared with the conventional commercial purity Ti.

研究分野：金属材料工学

キーワード：工業用純チタン 巨大ひずみ加工 バルクナノメタル 生体用インプラント

1. 研究開始当初の背景

金属材料の結晶粒を微細化すると、機械的特性が向上することが広く知られている。近年、金属材料の結晶粒超微細化に関する研究が世界的に活発に行われている。結晶粒超微細化のブレイクスルー要因のひとつは、「巨大ひずみ加工 (Severe Plastic Deformation: SPD) 法」の確立である。SPD 法では、形状不変加工を利用することで繰り返し加工が可能となり、通常の塑性加工法 (圧延、押し出し、引き抜き等) では達成不可能なひずみ量を、試料に付加することができる。

チタン (Ti) は、その結晶構造 (最密六方構造: HCP) に由来して延性に乏しく、室温での SPD 加工は困難と考えられてきた。しかし、ごく最近、SPD 加工の一つ、多軸鍛造 (Multi-Directional Forging: MDF) 法を工業用二種純チタンへ適用することで、平均粒径約 100 nm 以下への超微細粒化が実現されている。MDF 法によって作製された、このバルクナノ (Bulk Nano-structured: BN) Ti は引張強さ 1080 MPa、破断伸び 14% に達し、機械的特性のバランスは極めて高い。工業用純 Ti の常識をはるかに越える高強度化が、添加元素に頼ることなく、結晶粒超微細化によって実現されている。しかし、BN 純 Ti の研究は始まったばかりであり、変形メカニズムや機械的特性の発現機構については、未だ不明である。

申請者は、BN 純 Ti の変形メカニズムを明らかにするための、基礎研究を通して、BN 純 Ti が低温 (77 K) において、非常に高い強度を示すことに加えて、大きな均一伸びと破断伸びを示すことを発見した。室温では、降伏後の比較的早い段階で、延性低下をもたらすくびれ変形が発生するのに対して、低温では降伏点降下を示した後、高い加工硬化率が持続し、引張強さ 1600 MPa、破断伸び 30% にも達した。このような、BN 純 Ti が低温で示す、加工硬化率の持続と、大きな破断伸びは、双晶誘起塑性 (Twin Induced Plasticity: TWIP) 鋼の変形挙動に酷似している。

本研究では、材料工学的・計算力学的アプローチから、BN 純 Ti 中での変形メカニズムを明らかにし、TWIP 効果の付与実現による BN 純 Ti のさらなる高強度化・高延性化を目指す。

2. 研究の目的

材料工学的アプローチから、工業用純 Ti における変形挙動の結晶粒径・温度・ひずみ速度依存性を系統的に調査し、BN 純 Ti 中での変形メカニズムを明らかにすることを第一の目的とする。同時に、第一原理計算を中心とした計算力学的観点から、工業用純 Ti に含まれる酸素、鉄、及び水素等の微量不純物元素が Ti の塑性変形様式に及ぼす影響を調査する。さらに、その知見に基づき、試料作製プロセスの改善を図る。以上の結果を基に、最終的に超高強度・高延性工業用純 Ti の合金設計指針を確立する。

3. 研究の方法

本研究の研究組織を図 1 に示す。この研究体制の基で以下のような項目について、調査検討を行った。研究の全体構想については、図 2 のチャートに示す。

平成 29 年度:

- (1) MDF 法による BN 純 Ti の作製
- (2) BN 純 Ti の機械的特性 (強度、伸び、破壊形態) と微視組織の把握
- (3) 固溶原子/転位間相互作用の計算機シミュレーション用プログラムの作成

平成 30 年度以降:

- (1) 純 Ti における変形機構の結晶粒径・温度・ひずみ速度依存性の解明
- (2) 機械的特性最適化のための微量添加元素の選択と合金設計指針の探求
- (3) 合金組成、MDF 加工条件の最適化

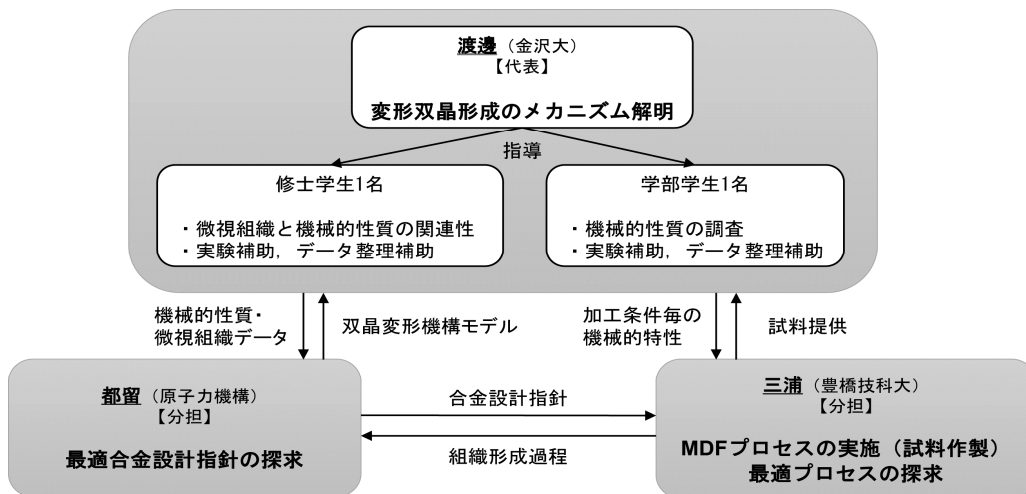


図 1 研究体制と分担テーマ間の関連。

	担当者	実施項目	平成29年度	平成30年度	令和元年度
実験的アプローチ	代表者 渡邊	基本的機械的特性の評価	←→		←→
		変形双晶形成の結晶粒径依存性	←→	←→	
		変形双晶形成の温度・ひずみ速度依存性			←→
		微視組織観察	←→		←→
分担者 三浦	三浦	MDF加工	←→	←→	←→
		結晶粒微細化過程の検討	←→	←→	
		MDFプロセス改善			←→
シミュレーション	分担者 都留	固溶元素/転位間相互作用モデルの調査	←→		
		第一原理計算プログラムの整備	←→		
	都留	固溶元素と転位の相互作用		←→	←→
		固溶元素の転位運動への影響			←→

図2 研究計画と全体構想.

4. 研究成果

4.1 BN 純チタンの変形メカニズム

MDF 加工後の試料の TEM 観察を行った。平均結晶粒径は約 $0.07 \mu\text{m}$ となり、加工前の結晶粒径 $350 \mu\text{m}$ と比較して超微細化していることがわかった。また、 $773, 973 \text{ K}$ での焼鈍により、結晶粒径はそれぞれ $0.8, 12 \mu\text{m}$ まで粗大化した。以後、簡単のため試料名は平均結晶粒径をもって表す。

室温 (RT), $\dot{\epsilon} = 10^{-5}, 10^{-3}, 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ の条件で引張試験を行った。すべての試料において、 $\dot{\epsilon}$ の増加に伴い、引張強さは増加した。また、 $0.07-, 0.8\text{-Ti}$ においてはひずみ速度の増加にともない 0.2% 耐力 $\sigma_{0.2}$ が増加したが、 12-Ti ではほとんど変化はみられなかった。 $\sigma_{0.2}$ のひずみ速度依存性を Fig. 1 に示す。 $0.07-, 0.8\text{-Ti}$ は、 12-Ti と比較して傾きが大きいがわかる。すなわち、ひずみ速度感受性が高いことがわかる。ひずみ速度依存性指数 m 値は 12-Ti よりも一桁程度大きくなった。

引張試験中その場 X 線回折から得られたプロファイルを、modified Williamson-Hall 法、modified Warren-Averbach 法を用いて解析し、塑性変形中に活動するすべり系の比と転位密度変化を求めた。HCP 金属すべり系は、 $\langle a \rangle$ すべり、 $\langle c \rangle$ すべり、 $\langle c+a \rangle$ すべりの三種類のすべり系に大別される。これらのすべり系の活動比の変化を、各試料の破断ひずみで除した塑性ひずみ (ϵ_p / ϵ_f) に対してプロットしたものを Fig. 2 に示す。すべての試料において $\langle a \rangle$ すべりの活動比が高く、主たるすべり系として活動していることがわかった。また、 $0.07-, 0.8\text{-Ti}$ では、 12-Ti と比較して変形ごく初期から $\langle c+a \rangle$ すべりの活動比が高く、塑性変形量の増加とともにさらに増加した。一方で、 $\langle c \rangle$ すべりの活動比は他のすべり系と比較してほとんど変化が見られなかった。ところが、 12-Ti ではいずれのすべり系においても、実質的に、変形中に活動比の変化は認められなかった。また、結晶粒径が微細な $0.07-$

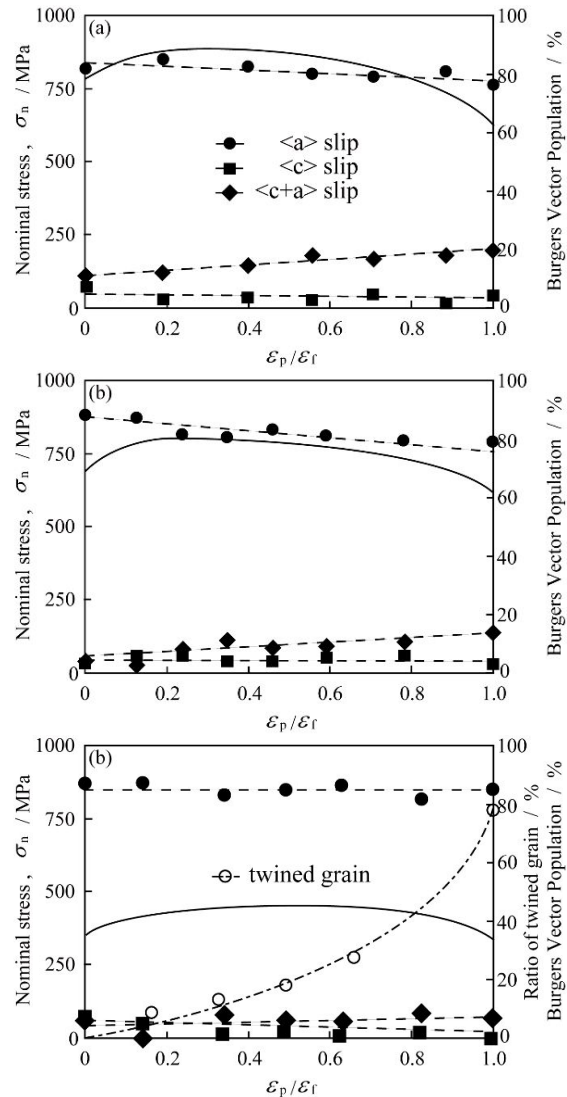


図3 引張変形中の各すべり系の活動比。(a) $0.07 \mu\text{m}$ 材、(b) $0.8 \mu\text{m}$ 材、(c) $12 \mu\text{m}$ 材。

0.8-Ti は、塑性変形量の増加とともに転位密度が単調に増加した。一方で、12-Ti においては変形初期に増加した後、ほぼ一定の値に飽和した。このことから、12-Ti ではすべり変形に加えて異なる変形機構が活動したといえる。降伏直後 ($\epsilon_p = 0.01$) の 12-Ti の表面観察を行ったところ、いくつかの双晶が観察された。変形前の試料ではこのような双晶は観察されなかったため、これらは変形中に形成した変形双晶と判断された。また、EBSD 分析より、これら変形双晶は主に、 $\{10\bar{1}2\}\langle\bar{1}011\rangle$ 引張双晶と $\{11\bar{2}2\}\langle 11\bar{2}3\rangle$ 圧縮双晶であることがわかった。引張試験を適宜中断し、変形双晶が生じている結晶粒の割合を、EBSD を用いて測定した。得られた結果を、Fig. 2(c) に併せて示す。変形が進むにつれ、変形双晶が生じている結晶粒の割合が増加し、変形後期に大きく増加したことがわかった。転位密度が飽和した変形後期において、すべり変形よりも双晶変形の活動頻度が高くなっていると理解できる。

引張試験前後の 0.07, 0.8-Ti の組織観察を行った。0.07-Ti は結晶粒が超微細かつ初期転位密度が高いため、TEM を用いても変形前後の組織変化を捉えることができなかった。そこで、その場 X 線回折実験の解析結果より (Fig. 2(a), (b)), 変形機構が類似していると判断された 0.8-Ti を用いて組織解析を行った。Fig. 3 に 0.8-Ti に、 $\dot{\epsilon} = 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ にて 5% の塑性ひずみを加えた後の SEM-BSE (Back-Scattered Electron: BSE) 像を示す。変形双晶の形成は認められず、多数のすべり線が観察された。同一視野で行った SEM-EBSD 観察による結晶方位分析と併せて、すべり線のトレース解析を行った。Fig. 3 中の黒線は EBSD 解析より得られた大角粒界を示している。これらのすべり線の 8 割程度が柱面 $\langle a \rangle$ すべり ($\{01\bar{1}0\}$) であり、図中の太線で示されているすべり線において、錐面 $\langle c+a \rangle$ すべりのすべり面 ($\{10\bar{1}1\}$) と面トレースが一致した。このことから、錐面 $\langle c+a \rangle$ すべりの活動が確認できる。また、TEM によるすべり転位の観察を行ったが、同様に、 $\langle a \rangle$ 転位に加えて、 $\langle c+a \rangle$ 転位が観察された。

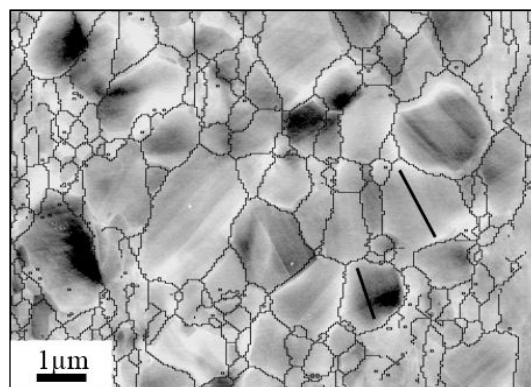


図 4 塑性ひずみ (5%) 付与後の 0.8 材の SEM-BSE 像。

Fig. 2 より、すべての試料において主たる変形機構として、 $\langle a \rangle$ すべりが活動することがわかる。しかし、von Mises の条件を満たすためには、 c 軸方向の補足変形が必要である。0.07-, 0.8-Ti については、 $\langle c+a \rangle$ すべりの活動比が変形中に増加し、転位密度も単調増加したことから (Fig. 2(a), (b)), $\langle c+a \rangle$ すべりが補足変形機構として活動したと判断される。対して、12-Ti は $\langle c+a \rangle$ すべりや $\langle c \rangle$ すべりの活動が認められなかった (Fig. 2(c))。一方で、変形双晶の活動が確認され (Fig. 2(c)), 補足変形として変形双晶が活動したと判断される。これらの変形機構の違いが異なる結晶粒径に応じた 0.2 の異なるひずみ速度依存性の原因と結論された。

近年、第一原理計算に基づく原子モデルを用いた転位の解析が行われるようになり、詳細なメカニズムの解明が進んでいる。本研究では、HCP 構造を持つチタンを対象に、合金元素の転位運動への影響についても詳細に検討した。その結果、純 Ti の転位芯構造として、図 1 の構造が得られ、錐面に広がった転位芯構造が柱面に広がった転位に比べてわずかに安定であり、底面上の転位はこれらに比べて 127 meV/b だけエネルギーが大きくなることがわかった。また、各面における転位運動の Peierls ポテンシャルに大きな差がないことを確認した。これらの構造に対して、Al と V を転位芯近傍のサイトに添加した際の、エネルギー差を示したのが図 2 である。図から、特定のサイトで Al や V は底面転位と他の転位のエネルギー差を低減することがわかる。このことから、Al や V の添加によって転位芯構造の安定性が変化し、すべり変形のモードが変化することが示唆される。このような、合金元素の働きは従来の固溶強化モデルによって予測することが困難であり、第一原理計算を用いた転位構造の電子状態の変化から変形を議論することが今後の材料設計で必要となる。

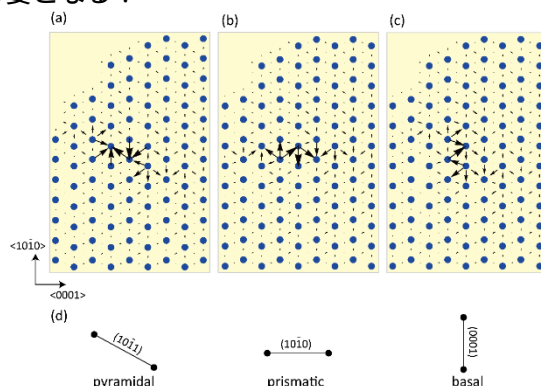


図 5 純 Ti の $\langle a \rangle$ 転位の (a) 錐面、(b) 柱面、(c) 底面上に拡張した転位芯構造。

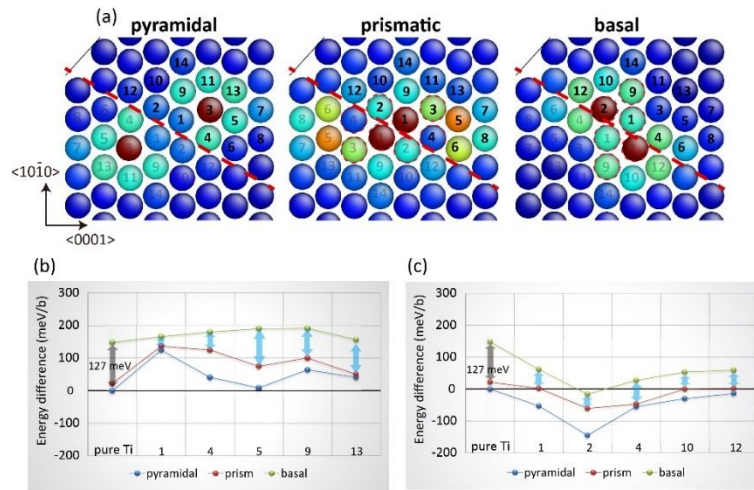


図 6 Al と V 添加による転位芯構造のエネルギー変化。(a) 転位構造と転位芯近傍のサイト。(b) Al を添加した際の転位芯間のエネルギー差と(c) V を添加した際の場合。

以上のような、知見を試料作製プロセスにフィードバックすることで、研究室レベルの小型試験片で、1.4 GPa 程度の強度を持つ、試料の作製に成功した。

4.2 BN-Ti の生体適合性

チタン合金は生体用材料として、人工関節や歯科インプラントとして実用されている。しかし、チタン合金に含まれる Al や V に毒性があるため、真に生体適合性が高い材料が求められている。BN-Ti は、生体毒性を示す元素は添加されておらず、結晶粒微細化のみで強化されているため、生体用材料として極めて魅力的である。BN-Ti の生体用材料としてのアプリケーション実現の可能性を探るため、歯科研究者と協力して、BN-Ti の生体適合性を調査した。

BN-Ti に表面酸処理を施し、その骨細胞の生体接触挙動を調査した。BN-Ti にアルカリ・酸熱処理を施して表面に凹凸ディンプルを形成させた場合、図 7 に示すように、規則正しいフラクタル構造が発達した。このディンプルサイズは、市販 Ti と比較してより細かく規則的であった。歯科インプラントのネジ形状に加工後、表面処理を行って、骨細胞-インプラント接触率 (Bone-to-Implant Contact: BIC) を調査した。その結果、表 1 に示すように、BN-Ti では BIC が有為に高い値を示し、生体反応が優れることが示された。

このように、BN-Ti の一つのアプリケーションとして、生体用インプラント材料への摘要の可能性を示した。

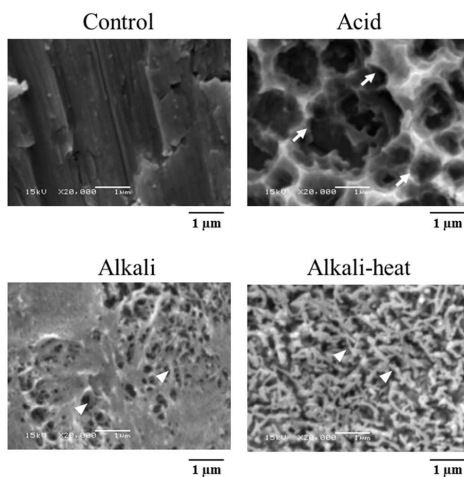


図 6 BN-Ti に各種表面処理後の SEM 像。

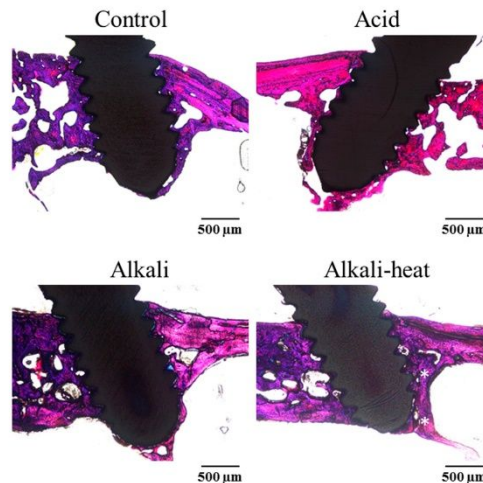


図 7 BN-Ti 製インプラントモデルと骨細胞の反応。

表 1 各種表面処理後の市販 Ti と BN-Ti における骨細胞-インプラント接触率。

Implants	Control	Acid	Alkali	Alkali-Heat
CP-Ti	55.8 ± 2.3	75.3 ± 3.5	68.9 ± 9.5	75.9 ± 2.5
BN-Ti	65.8 ± 10.4	85.2 ± 4.6	75.5 ± 6.5	82.2 ± 3.0

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 2件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Tsuru T., Suzudo T.	4. 巻 16
2. 論文標題 First-principles calculations of interaction between solutes and dislocations in tungsten	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 221 ~ 225
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.nme.2018.07.007	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 Tsuru T., Yamaguchi M., Ebihara K., Itakura M., Shiihara Y., Matsuda K., Toda H.	4. 巻 148
2. 論文標題 First-principles study of hydrogen segregation at the MgZn ₂ precipitate in Al-Mg-Zn alloys	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Computational Materials Science	6. 最初と最後の頁 301 ~ 306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2018.03.009	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 -
1. 著者名 Tsuru T., Somekawa H., Chrzan D.C.	4. 巻 151
2. 論文標題 Interfacial segregation and fracture in Mg-based binary alloys: Experimental and first-principles perspective	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 78 ~ 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.actamat.2018.03.061	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 Miura H., Kobayashi M., Aoba T., Aoyama H., Benjanarasuth T.	4. 巻 731
2. 論文標題 An approach for room-temperature multi-directional forging of pure titanium for strengthening	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 603 ~ 608
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.06.060	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 G.Suzuki, M.Hirota, N.Hoshi, K.Kimoto, H.Miura, M.Yoshinari, T.Hayakawa and C.Ohkubo	4. 巻 19
2. 論文標題 Effect of Surface Treatment of Multi-Directionally Forged (MDF) Titanium Implant on Bone Response	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Metals	6. 最初と最後の頁 230-246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3390/met9020230	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 G.Suzuki, N.Hoshi, K.Kimoto, H.Miura: T.Hayakawa, C.Ohkubo	4. 巻 38
2. 論文標題 Electrochemical property and corrosion behavior of multi-directionally forged titanium in fluoride solution	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Dental Materials Journal	6. 最初と最後の頁 845-853
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.4012/dmj.2018-191	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 山本 晶太, 宮嶋 陽司, 渡邊 千尋, 門前 亮一, 都留 智仁, 三浦 博己	4. 巻 83
2. 論文標題 多軸鍛造加工を施した工業用純チタンの変形挙動の結晶粒径依存性とひずみ速度依存性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本金属学会誌	6. 最初と最後の頁 465-473
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2320/jinstmet.JAW201908	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 -

〔学会発表〕 計28件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 T. Tsuru
2. 発表標題 Effect of solutes on dislocation core structure and motion
3. 学会等名 7th ESISM International Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Tsuru, T. Suzudo, M. Itakura, M. Yamaguch, M. Wakeda, S. Ogata, D. C. Chrzan
2. 発表標題 DFT-based predictions of the effect of solutes on dislocation motion in bcc and hcp alloys
3. 学会等名 International Symposium on Atomistic Processes of Crystal Plasticity (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 都留智仁, 山口正剛, 板倉充洋, D.C. Chrzan
2. 発表標題 六方晶合金の特異なすべり特性と合金元素の影響に関する研究
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 T. Tsuru, M. Itakura, M. Yamaguch, T. Suzudo, M. Wakeda, S. Ogata, D. C. Chrzan
2. 発表標題 Effect of solutes on dislocation motion in dilute hcp and bcc alloys
3. 学会等名 The 9th international conference on Multiscale Materials Modeling (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 都留智仁, 山口正剛, 板倉充洋
2. 発表標題 Ti合金の変形モード変化に対する合金元素の影響: 第一原理計算
3. 学会等名 日本機械学会M&M2018材料力学カンファレンス
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本晶太, 渡邊 千尋, 門前 亮一, 三浦 博己
2. 発表標題 水素吸蔵させた結晶粒径の異なるCP-Tiの組織と変形挙動
3. 学会等名 日本軽金属学会2018年春季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 榊原想, 國峯崇裕, 渡邊千尋, 門前亮一
2. 発表標題 超微細結晶粒を持つTi-20V-4Al-1Sn合金の低温クリープ挙動
3. 学会等名 日本金属学会2018年秋季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本晶太, 渡邊千尋, 門前亮一, 三浦博己
2. 発表標題 水素吸蔵させた超微細粒CP-Tiの変形挙動と組織
3. 学会等名 日本金属学会・鉄鋼協会2018年北陸信越支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本晶太, 渡邊千尋, 門前亮一, 都留智仁, 三浦博己
2. 発表標題 多軸鍛造加工を施したCP-Tiの変形挙動の結晶粒径依存性とひずみ速度依存性
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 三浦博己
2. 発表標題 純チタンのMDFと強圧延による組織制御と高強度化
3. 学会等名 第8回医工連携MDFチタン研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊千尋，山本晶太，三浦博己
2. 発表標題 水素吸蔵させたMDFチタンの組織と変形挙動
3. 学会等名 第8回医工連携MDFチタン研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村涼，渡邊千尋，門前亮一，三浦博己
2. 発表標題 水素吸蔵させた超微細粒工業用純チタンの変形挙動
3. 学会等名 軽金属学会第132回春季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Tsuru
2. 発表標題 Anomalous strengthening mechanism in HCP Ti
3. 学会等名 9th Korea-Japan Berkeley Symposium（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ilhamdi, 植松美彦, 三浦博己, 柿内利文, 清水利弘, 中村裕紀, 中島正貴
2. 発表標題 多軸鍛造により作製した膜厚の異なる工業用純Ti薄膜における疲労挙動
3. 学会等名 日本機械学会2017年度年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三浦博己, 小林正和, 宮武遼
2. 発表標題 MDF 純チタンの組織と機械的性質
3. 学会等名 日本金属学会第161回秋期講演大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 荒井佑輔, 星憲幸, 熊坂知就, 早川徹, 大久保力廣, 木本克彦, 三浦博己
2. 発表標題 インプラント体に適した新たな純チタンの開発
3. 学会等名 第47回日本口腔インプラント学会・学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Miura, M. Kobayashi, H. Aoyama, T. Benjanarasuth
2. 発表標題 Development of Ultrafine-Grained and High-Strength Pure Titanium by Means of Processes including Multi-Directional Forging
3. 学会等名 The International Workshop on Fundamental Research for Science and Technology 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村涼, 金沢大理工 渡邊千尋, 門前亮一, 三浦博巳
2. 発表標題 結晶粒径の異なるCP-Tiにおける変形挙動のひずみ速度・温度依存性
3. 学会等名 平成29年度日本金属学会・日本鉄鋼協会北陸信越支部連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本晶太, 中村涼, 渡邊千尋, 門前亮一, 三浦博巳
2. 発表標題 結晶粒径の異なるCP-Tiの水素脆化挙動
3. 学会等名 平成29年度日本金属学会・日本鉄鋼協会北陸信越支部連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 都留智仁, 山口正剛, 板倉充洋, D. C. Chrzan
2. 発表標題 六方晶Tiの転位運動と合金元素との相互作用の第一原理計算
3. 学会等名 日本金属学会第162回春期講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 都留智仁
2. 発表標題 第一原理計算による転位運動と温度に依存した変形機構の研究
3. 学会等名 金属学会2019年秋期(第165回)講演大会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水野凌, 渡邊千尋, 門前亮一
2. 発表標題 Ti-20mass%Mo合金とTi-20mass%V合金中の から への核生成に及ぼす外力効果の比較
3. 学会等名 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 山本晶太, 渡邊千尋, 宮嶋陽司, 門前亮一, 三浦博己
2. 発表標題 多軸鍛造加工を施した工業用純チタンの変形機構の検討
3. 学会等名 軽金属学会第137会秋期講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦博己
2. 発表標題 "ヘテロナノ" 超高強度合金材の開発とその特性
3. 学会等名 長野テクノ財団諏訪(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦博己, 小林正和
2. 発表標題 MDF純チタンの組織と機械的特性に及ぼす鍛造条件の影響
3. 学会等名 第9回医工連携MDFチタン研究会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本晶太, 渡邊千尋, 三浦博己
2. 発表標題 MDF-Tiの変形挙動の結晶粒径・ひずみ速度依存性
3. 学会等名 第9回医工連携MDFチタン研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡沢幸河, 山本晶太, 渡邊千尋, 門前亮一, 三浦博己
2. 発表標題 結晶粒径の異なるCP-Tiの変形機構
3. 学会等名 令和元年度日本金属学会・日本鉄鋼協会北陸信越支部連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水野凌, 國峯崇裕, 渡邊千尋, 門前亮一
2. 発表標題 外部応力下におけるTi-20wt%V合金中の から の核生成
3. 学会等名 令和元年度日本金属学会・日本鉄鋼協会北陸信越支部連合講演会
4. 発表年 2019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	三浦 博己 (MIURA Hiromi) (30219589)	豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授 (13904)	

6. 研究組織(つづき)

	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	都留 智仁 (TSURU Tomohito) (80455295)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究 部門 原子力科学研究所 原子力基礎工学研究センター・研 究職 (82110)	