

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02408

研究課題名（和文）純チタン焼結材の高強靱化に資する固溶軽元素の振舞いに係る包括的理解

研究課題名（英文）Comprehensive understanding of light elements solid solution contributing to toughening of pure titanium sintered materials

研究代表者

近藤 勝義（KONDOH, KATSUYOSHI）

大阪大学・接合科学研究所・教授

研究者番号：50345138

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 30,900,000円

研究成果の概要（和文）：固相焼結法により酸素や窒素などの軽元素が均一固溶することで純チタン（ α -Ti）材の高強度と高延性の両立を実現したが、本研究では、相変態と急冷熱処理の適正化により溶質原子の再分配を促し、高濃度の酸素が固溶するチタン焼結材における延性向上機構を解明した。その結果を加工・熱処理プロセスに展開し、鋳造材においてもヘテロ組織を形成することで強度-延性の相反関係を打開できることを実証した。さらに、理論計算を用いて α -Ti 結晶内での固溶酸素原子の最安定化構造が八面体サイトであることを予測し、X線回折結果との一致を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

チタン焼結材の革新的力学機能発現に向けて、廉価な軽元素である酸素や窒素の有効利用を実現すべく、固溶状態での溶質原子の振舞いを解明することで従来より延性低下を誘発する負の成分とされてきた酸素・窒素が高延性を維持しつつ、高強度発現に作用するといった新たな知見を得た。さらに、このような特異な力学特性の発現に資する加工・熱処理プロセスを提案し、チタン溶解材においても高強度・高延性の両立を実現した。以上の成果は、チタン素材のコスト削減に直結するものであり、チタンをコモンメタルとして幅広い分野で利活用するための重要な基盤技術になり得る。

研究成果の概要（英文）：Pure titanium (α -Ti) sintered material with light element solutes such as oxygen and nitrogen successfully balanced high strength and enough ductility. To understand the mechanical improvement mechanism, the phase transformation and optimized water-quenching treatment were applied to control the oxygen solution concentration, and resulted in the ductility improvement. After optimizing the processing and heat treatment conditions based on the above results, such heterogeneously oxygen distributed microstructures effectively overcome the strength-ductility trade-off balance of cast titanium materials. Furthermore, it was predicted that the most stable structure of the solid solution oxygen atom in the α -Ti crystal was an octahedral site using first-principles calculation, and the agreement with the X-ray diffraction results was verified.

研究分野：金属材料

キーワード：粉末冶金 粉末プロセス

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

比強度と耐腐食性に優れるチタン Ti は、航空機用素材として実用化されるものの、自動車や二輪車等の汎用輸送機器での利用実績は少なく、その最大の要因がアルミ等に比べて「高い素材価格」にある。この問題を解消すべく、中間素材である廉価な水素化チタン (TiH_2) 粉末の直接原料化に関する研究が国内外で盛んに行われている。例えば Zak らは、 TiH_2 粉末を用いて汎用チタン合金 (Ti-64) の配合比となる混合粉末に成形と真空焼結のみを施し、水素による相変態を活用した緻密化と高強度化に成功した (F. Zak et al., Adv Eng Mater, 14, 2012, 383)。しかしながら Ti-64 合金等では、強化元素としてバナジウムやニオブ等の高価な希少金属を添加するため、廉価な TiH_2 利用によるコスト削減効果は十分でない。つまり、汎用チタン合金の力学特性を凌駕すると同時に、廉価な元素からなる経済性に優れた新規なチタン合金が望まれている。このような社会的ニーズのもと、本研究代表者らは、粉末冶金法 (固相焼結プロセス) を用いて酸素、窒素、珪素などの軽元素が固溶する純チタン (α -Ti) 焼結材が 20% を超える伸び (高延性) と汎用 Ti 合金を凌駕する高強度を同時発現することを見出した。その際、引張試験結果に基づく実験データベースを作成し、古典強化学理論に基づく Labusch モデルによる酸素や窒素の固溶現象に基づく耐力強化量を高い精度で算出できることを明らかにした (S. Kariya et al., Mater Trans, 60, 2019, 263)。他方、高い破断伸び値の発現機構に関しては、未だ解明されておらず、また酸素固溶原子の供給源となる二酸化チタニウム TiO_2 粒子が熱的に安定であるにも関わらず、固相焼結過程で分解する反応機構の解明も不可欠である。

2. 研究の目的

そこで、上述した特異な力学挙動に及ぼす溶質原子の影響を解明すべく、冷却時の局所相変態、再結晶粒界での元素濃化、不均一核生成等の複雑系起源をその場構造解析により明らかとし、Ti 材の高強靱化に係るダイナミクスを包括的理解を通じて、パラダイムチェンジを引き起こす新規材料設計原理を構築する。特に、既往研究では、チタン材の引張試験における破断伸び値を低下する元素である酸素を高濃度を含む場合においても十分な延性を発現することに着目し、実験解析 (急冷処理) に基づく高濃度酸素固溶脆性チタン粉末材の延性向上とその機構解明を試みた。また、理論計算 (第一原理計算) による TiO_2 粒子の分解反応と理論計算を用いた α -Ti 結晶内での固溶酸素原子の最安定化構造予測と検証を通じて、チタン材における固溶酸素原子の振舞いに関して包括的に理解し、固溶現象によるチタン材の未知なる機能発現に挑戦する。さらに、得られた成果に基づき、加工・熱処理による酸素原子の均質固溶化プロセスを確立し、スカル溶解法で作製した高濃度酸素含有チタン鍛造材に展開することで、従来から延性低下が著しかった Ti-O 系溶製材での高強度・高延性の同時発現を目指す。

3. 研究の方法

(1) 高濃度酸素固溶チタン焼結押出材の延性向上とその機構解明

純度 99.9%、メジアン径 $3.6 \mu\text{m}$ のルチル型二酸化チタニウム TiO_2 粒子を酸素供給源とし、純度 99.9%、メジアン径 $27.8 \mu\text{m}$ の純チタン粉末に酸素を添加して Ti-0.94 mass% O 組成となる混合粉末を準備した。その後、真空加圧熱処理 (温度 1100°C 、圧力 30 MPa、保持時間 1.8ks) による成形固化の後、真空均質化熱処理 (温度 1000°C 、保持時間 86.4 ks) を施し、続けて熱間押出加工 (温度 1100°C 、押出比 36) を施すことにより完全緻密なチタン素材を作製した。これに対してアルゴンガス雰囲気中にて $T=900\sim 1100^\circ\text{C}$ (50°C 毎) の温度範囲で 1.8 ks 保持した後、急冷処理として速やかに水焼入れを施した。各急冷処理温度 ($T=XXX^\circ\text{C}$) から急冷した試料を TiXXXQ とする。得られた試料に対して引張試験 ($5.0 \times 10^{-4}\text{s}$) にて引張特性を評価すると共に、SEM-EBSD、EPMA による組織構造解析を実施した。

(2) 理論計算を用いた α -Ti 結晶内での固溶酸素原子の最安定化構造予測と検証

実験解析にて確認した酸素原子の Ti 結晶中への拡散・固溶現象を駆動力とした TiO_2 の分解反応について、第一原理計算を用いて各構造の自由エネルギーの比較を通して考察する。Ti の基本格子を a 軸方向に 3 構造、c 軸方向に 2 構造並べて作製した Ti 原子 36 個からなる hcp 構造のスーパーセルを基本とし、これに O 原子 1 つが四面体位置および八面体位置に侵入固溶した構造と置換固溶した構造、ルチル型 TiO_2 および O_2 における自由エネルギーを算出し、固溶に伴う構造変化と各構造の自由エネルギーから最安定構造を決定し、X 線回折結果と比較した。

(3) 加工・熱処理によるチタン鍛造材における酸素原子の均質固溶化と高強度・高延性発現

酸素含有量を 0.21, 0.42, 0.59, 0.82, 0.96 mass% としたチタン鍛造材をスカル溶解法で作製し、それぞれの試料に対して、相変態温度を下回る 850°C にて 86.4 ks の真空熱処理を施すことで固溶酸素成分の均一化を図った。続いて、熱処理材に対してアルゴンガス雰囲気中 1100°C 、300 s の予備加熱を行った後、直ちに熱間押出加工 (押出比 10.8) を施すことで直径 7 mm の押出素材を作製した。各酸素含有チタン押出材に対して引張試験と組織構造解析を行った。

4. 研究成果

(1) 高濃度酸素固溶チタン焼結押出材の延性向上とその機構解明

急冷熱処理温度と引張特性の関係を調査すべく、Ti-0.94 mass% O について急冷温度を $900\sim 1100^\circ\text{C}$ (50°C 毎) として急冷材を作製した。各温度から急冷した試料の IPF map を Fig. 1 に示す。Ti-0.94 mass% O においては、 900°C では α 単相、 $950, 1000^\circ\text{C}$ では α 相と β 相の二相混

相状態, 1050, 1100°Cではβ単相となっている。Ti900Q (b)は押出まま材(a)から粒成長した等軸粒により構成されていた一方で, Ti950Q (c)およびTi1000Q (d)はα相の等軸粒と, これらの粒界にネットワーク状に形成された幅5μm以下の微細なLamellar状α'相, 一部α相等軸粒内に筋状に形成された方位の不整合により構成された特異な組織を示していた。α'相の形成はβ相からの急冷材に特有に形成される組織であり¹⁾, これらのα'相は旧β相であると考えられる。次に, Ti1050Q (e)およびTi1100Q (f)では幅50~150μm程度の粗大なα'相と5~15μm程度の微細なα'相により構成されたBasket-weave状の構造を全面に有していた。ここで, 特異な組織を示したTi950QおよびTi1000Qについて, 微細α'相は旧β相であるため, α安定元素である酸素の濃度は低下しているものと考えられる。これを確認するため, SEM-EPMAにより酸素分布の解析を行った。Fig. 2に反射電子像と酸素およびチタンのEPMA解析結果を示す。反射電子像においては, フラットな面としてα相等軸粒が, その内部にやや不鮮明な領域として粒内の方位の不整合領域が, Lamellar状組織として粒界α'相領域が確認できた。ここで, 各領域における酸素検出量を確認すると, 酸素は旧α相と考えられる等軸粒内に多く分布し, 旧β相である粒界α'相とα相粒内における筋状の方位の不整合内において酸素濃度が低下していた。それぞれの相における酸素含有量は旧α相:1.40 mass%, 旧β相:0.56 mass%と計算できた。

次に, 急冷温度と引張特性の関係を図3に示す。Ti900QおよびTi1050Q, Ti1100Qではその破断伸びは著しく低下しており, 押出まま材の伸びが7.5%であったのに対して, いずれも1%程度となった。一方, Ti950QおよびTi1000Qでは, その破断伸びは12.5%および19.1%まで向上していた。これについて, EBSDにより塑性変形機構を調査した結果, 塑性変形は酸素濃度が低下したβ相由来相に導入されており, これらの微細ネットワーク酸素濃度低下相が塑性変形を担ったために破断伸びが向上したのと考えられる。

(2) 理論計算を用いたα-Ti結晶内での固溶酸素原子の最安定化構造予測と検証

Fig. 4に示す各構造のα-Tiのスーパーセルの自由エネルギーについて, 純TiとTiO₂の自由エネルギーを基準とした値をFig. 5に示す。TiO₂が分解し, 酸素原子がα-Tiの(b)八面体位置へ侵入固溶する反応における生成自由エネルギーは, 酸素1原子あたり1.031 eVであり, 本構造は反応前と比べてより安定である。これより, TiO₂1 molあたりのエネルギー差を計算するとその値は-199 kJであり, 反応の進行のために十分なエネルギー差を有していると考えられる。一方で, α-Tiにおける(c)四面体位置への酸素原子の侵入固溶構造の生成エネルギーは-0.004 eVとなり反応前と比べてわずかに低下しているものの, その値は反応前と同程度であった。同様に, 本エネルギー差をTiO₂1 molあたりで換算すると, -0.8 kJであった。一方, (d)置換固溶構造の生成エネルギーは酸素1原子あた

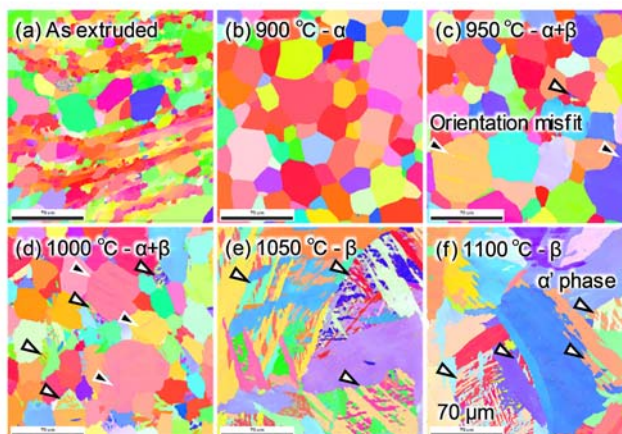


Fig.1 IPF maps of (a) As extruded Ti-0.94 mass% O rod, (b) Ti900Q, (c) Ti950Q, (d) Ti1000Q, (e) Ti1050Q and (f) Ti1100Q with phase contribution at each quenching temperature.

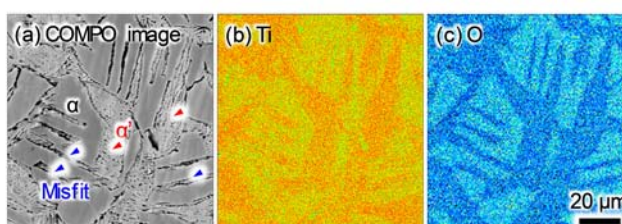


Fig.2 EPMA analysis results of oxygen and titanium of Ti1000Q: COMPO image (a) and distribution maps of Ti (b) and O (c) at corresponding area.

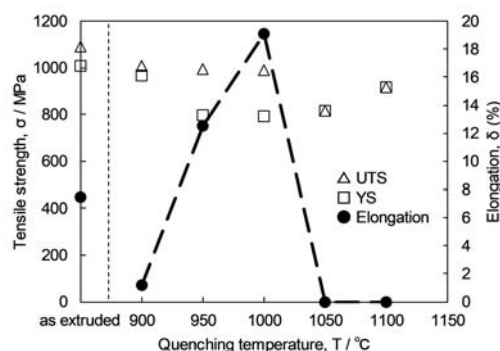


Fig.3 Dependence of tensile properties of Ti-0.94 mass% O materials on quenching temperature.

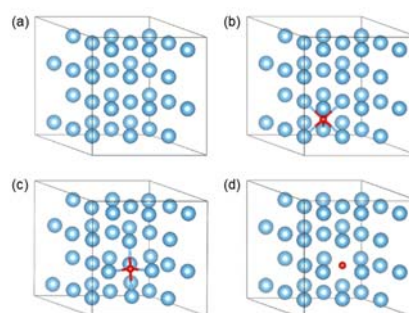


Fig.4 Schematic images of large cell used in this study: pure Ti (a), Ti with O interstitial solid solution in octahedral site (b), tetrahedral site (c) and O substitutional solid solution (d).

り 4.767 eV と反応前と比べて極めて不安定となっていた。これらの 3 構造の酸素固溶チタンの中では八面体位置への侵入固溶構造が最も安定であり、これは TiO_2 の状態で存在するよりも十分に安定であることを示唆している。よって、各構造の自由エネルギーをもとに考えると、 TiO_2 は Ti 中で加熱することで分解し、生成した酸素原子は最安定サイトとなる八面体位置に侵入型固溶原子として存在すると考えられる。

次に、実験結果における酸素固溶チタン材の構造を計算結果と比較・検証するため、実験的に得られた酸素固溶チタン材における α -Ti 結晶格子定数と各固溶構造における結晶格子定数を比較した。それぞれの構造の格子定数とその変化量を Table 1 に示す。まず、計算値について、エネルギー的に最も安定とわかった (b) 八面体位置に O 原子が侵入固溶した構造では、a, c 軸方向にそれぞれ 0.0022, 0.0222 Å と c 軸方向に大きく伸長し、その値は a 軸方向への伸長量と比べて 10 倍となった。次に、(c)四面体位置に O が侵入固溶した構造では、a, c 軸方向への伸長量はそれぞれ、0.0448, -0.0622 Å と、a 軸方向には大きく伸長する。これに対して、c 軸方向には a 軸方向の変化量よりも大きく縮小していた。また、(d)置換固溶構造では、a, c 軸方向にそれぞれ -0.0182, -0.0239 Å と、両方向に大きく縮小していた。一方で、実験値においては、a, c 軸方向に 0.006, 0.027 Å と、a 軸方向に比して c 軸方向に約 5 倍という大きな伸長を示している。これは、八面体位置に酸素が固溶した構造の計算結果と一致している。本傾向は Table 3.1 を基に作成した各固溶構造における a 軸, c 軸方向への変化割合 (Fig. 6) においても明らかであり、八面体位置へ O 原子を固溶させた構造における計算結果においてのみ、実験により得られた結果と一致する傾向を示している。したがって、酸素原子が固溶した実構造は、計算により最安定と判断した八面体位置酸素に酸素原子が侵入固溶した場合と同一構造を有することを明らかにした。

(3) 加工・熱処理によるチタン casting 材における酸素原子の均質固溶化と高強度・高延性発現

酸素固溶チタン casting 材においては、その熱履歴のために集合組織間、結晶粒内部に酸素成分の偏析・濃化領域を形成し、これが脆化を招いていると考えられる。そこで、Ti-0.96 mass% O as-cast 材とこれに 800°C, 86.4 ks の真空均質化熱処理 (HT) を施した cast-HT 材について SEM-EPMA 解析を行い、その組織構造と固溶酸素の分布を調査した。その結果、Fig. 7 に示すようにまず、as-cast 材は板状 α 相粒群により形成された粗大な集合組織から成る。酸素はこの板状 α -Ti 粒内に偏析しており、粒界においては酸素量は低下していた。また、集合組織 (旧 β 相) 間の酸素分布を比較すると、観察エリアの下部の集合組織では他の集合組織と比較して明るい色で示されており、この集合組織に多く酸素が固溶していることがわかる。この酸素が偏析した as-cast 材に対して均質化熱処理を施した cast-HT 材では、再結晶が進行して板状 α 相粒は集合組織と同程度の大きさとなった。固溶酸素分布について確認すると、 α 相粒内および集合組織間に酸素固溶量の差は確認されず、固溶酸素は均質化したといえる。これにより、その破断伸びは、Ti-0.42, 0.59 mass% O as-cast

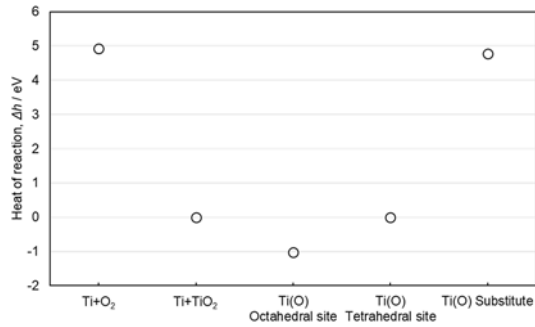


Fig.5 Heat of reaction from $\text{Ti}+\text{TiO}_2$ to each structures: $\text{Ti}+\text{O}_2$, $\text{Ti}+\text{TiO}_2$ and Ti with oxygen solid solution in octahedral site, tetrahedral site and substitutional site

Table 1 Lattice constant and lattice constant change in a-axis and c-axis of Ti structure with O solid solution.

	a [Å]	c [Å]	da [Å]	dc [Å]
(a) Pure Ti	2.9384	4.6387	-	-
(b) Ti-2.78 at.% O (Octahedral site)	2.9406	4.6609	0.0022	0.0222
(c) Ti-2.78 at.% O (Tetrahedral site)	2.9832	4.5765	0.0448	-0.0622
(d) Ti-2.86 at.% O (Substitute)	2.9202	4.6148	-0.0182	-0.0239
Ti-0.60 at.% O (Experimental value)	2.955	4.680	-	-
Ti-2.76 at.% O (Experimental value)	2.961	4.707	0.006	0.027

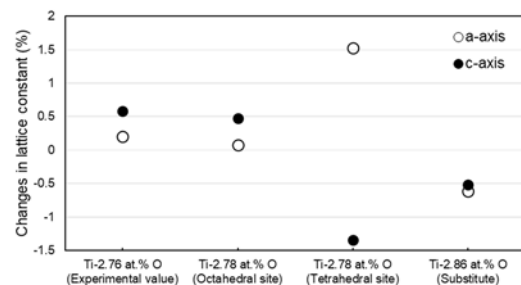


Fig.6 Changes in lattice constant in a-axis and c-axis of each Ti structure with O solute.

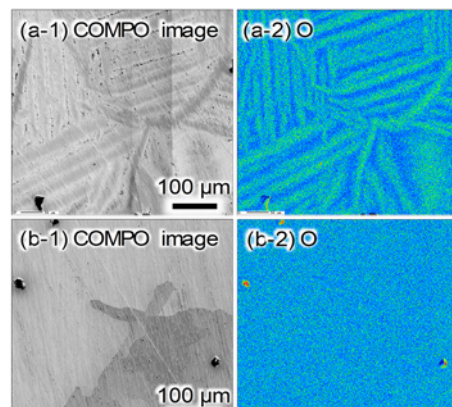


Fig.7 EPMA results of oxygen and titanium of as-cast (a) and cast-HT (b) Ti-0.96 mass% O

材では、それぞれ、8.1%、1.1%であったが、cast-HT 材では、それぞれ、16.1%、6.4%まで向上していた。しかしながら、Ti-0.82、0.96 mass% O 材では、いずれの cast 材においても弾性域で破断していた。

そこで、高濃度酸素固溶チタン材における結晶粒微細化と配向性制御による高延性化のため、cast-HT 材に対して押出加工(温度 1100°C, 押出比 36)を施した。Ti-0.82 mass% O 押出材の IPF map と押出方向における逆極点図、酸素固溶チタン cast 押出材における酸素固溶量と引張特性の関係を Fig. 8 に示す。押出材は微細 α 相等軸粒により構成されており、結晶粒径は 10 μm 程度まで微細化した。hcp 構造を有するチタンに塑性加工を施すと外力方向に底面が配向する²⁾。本材料において逆極点図を確認すると、半径方向に底面が配向したために、押出方向においては柱面方向(10-10)に強い配向を示していることがわかった。これらの微細粒・強配向性を有する酸素固溶チタン押出材にて、酸素固溶量 0.21~0.82 mass% においては 20%を超える優れた破断伸びを示しており、Ti-0.96 mass% O においては 10%程度までその破断伸びは低下するものの、as-cast 材、cast-HT 材と比較すると優れた破断伸びを示していた。酸素固溶チタン材における延性低下の一因として、固溶に伴う c/a 値の増加による、延性柱面すべりから脆性底面すべりへの主すべり面の変化が示唆されている³⁾。しかしながら、本強配向性を有する酸素固溶チタン押出材では、底面の平均 Schmid factor が 0.19 であるのに対して、柱面における平均値は 0.44 と柱面へのすべり変形の導入に有利な配向となっている。その結果、柱面へのすべり変形の導入に必要なせん断力の増加が強配向により相殺されて柱面すべりが活性となり、優れた延性を発現したと考えられる。

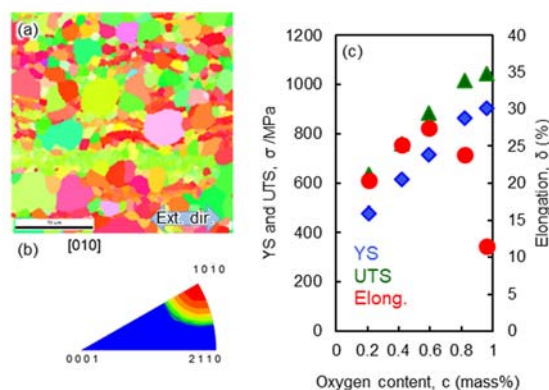


Fig.8 EBSD-IPF map (a) and (b) of extruded Ti-0.82 mass% O material, and tensile properties of Ti-O materials on O content.

参考文献

- (1) R. I. Jaffee, Prog. Met. Phys. 7 (1958) 65-163.
- (2) G. Lutjering et. al., Titanium. Springer (2003).
- (3) T. Mimoto et. al., Mater. Trans. 56 (2015) 1153-1158.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 刈屋翔太, 梅田純子, Ma Qian, 近藤勝義	4. 巻 82
2. 論文標題 急冷処理による酸素過剰添加チタン材の延性向上とその機構解明	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 金属学会誌	6. 最初と最後の頁 390-395
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/jinstmet.JAW201810.	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 K. Kondoh, R. Ikemasu, J. Umeda, S. Kariya, A. Khantachawana	4. 巻 739
2. 論文標題 Microstructural and mechanical properties of α -titanium sintered material via thermal decomposition of additive chromium oxide particles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Science & Engineering A	6. 最初と最後の頁 491-498
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2018.10.081.	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 J. Shen, J. Umeda B. Chen, J. Umeda, J. Zhang, Y.Li, K. Kondoh	4. 巻 744
2. 論文標題 Rate sensitivity and work-hardening behavior of an advanced Ti-Al-N alloy under uniaxial tensile loading	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Science & Engineering A	6. 最初と最後の頁 630-637
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2018.12.066.	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 X.X. Ye, H. Imai, J.H. Shen, B. Chen, G.Q. Han, J. Umeda, M. Takahashi, K. Kondoh	4. 巻 684
2. 論文標題 Dynamic recrystallization behavior and strengthening-toughening effects in a near- α Ti-xSi alloy processed by hot extrusion	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Materials Science & Engineering A	6. 最初と最後の頁 165-177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2016.12.054	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 X.X. Ye, B. Chen, J.H. Shen, J. Umeda, K. Kondoh	4. 巻 709
2. 論文標題 Microstructure and strengthening mechanism of ultrastrong and ductile Ti-xSn alloy processed by powder metallurgy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 381-393
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2017.03.171	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 B. Chen, J. Shen, X. Ye, J. Umeda, K. Kondoh	4. 巻 32
2. 論文標題 Advanced mechanical properties of powder metallurgy commercially pure titanium with a high oxygen concentration	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Material Research	6. 最初と最後の頁 3769-3776
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1557/jmr.2017.338	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 山辺 康宏, 梅田純子, 近藤勝義	4. 巻 64
2. 論文標題 窒素固溶強化純チタン焼結材の摩擦摺動特性	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 粉体および粉末冶金	6. 最初と最後の頁 275-280
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 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 Y. F. Yang, H. Imai, K. Kondoh, M. Qian	4. 巻 69
2. 論文標題 Enhanced Homogenization of Vanadium in Spark Plasma Sintering of Ti-10V-2Fe-3Al Alloy from Titanium and V-Fe-Al Master Alloy Powder Blends	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 JOM	6. 最初と最後の頁 663-668
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11837-017-2271-4	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 J. Shen, B. Chen, X. Ye, H. Imai, J. Umeda, K. Kondoh	4. 巻 116
2. 論文標題 The formation of bimodal multilayered grain structure and its effect on the mechanical properties of powder metallurgy pure titanium	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Materials and Design	6. 最初と最後の頁 99-108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matdes.2016.12.004	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 X.X. Ye, H. Imai, J.H. Shen, B. Chen, G.Q. Han, J. Umeda, K. Kondoh	4. 巻 679
2. 論文標題 Study of twinning behavior of powder metallurgy Ti-Si alloy by interrupted in-situ tensile tests	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Materials Science & Engineering A	6. 最初と最後の頁 543-553
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 0.1016/j.msea.2016.10.070	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 X.X. Ye, B. Chen, J.H. Shen, J. Umeda, K. Kondoh	4. 巻 709
2. 論文標題 Microstructure and strengthening mechanism of ultrastrong and	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 381-393
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2017.03.171	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10件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 T. Tanaka, S. Kariya, J. Shen, J. Umeda, K. Kondoh
2. 発表標題 Strengthening Mechanism of + Type Ti-Fe Alloy by Powder Metallurgy
3. 学会等名 ASMP2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中貴之, 刈屋翔太, SHEN Jianghua, 梅田純子, 近藤勝義
2. 発表標題 鉄・酸素固溶チタン焼結材における相変態挙動と力学特性
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 K. Kondoh
2. 発表標題 Novel titanium materials with atomic/nano-scale microstructures by powder metallurgy process
3. 学会等名 IWAMSN 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中貴之, 刈屋翔太, J. Shen, 梅田純子, 近藤勝義
2. 発表標題 鉄・酸素固溶チタン焼結材における相変態挙動と力学特性
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 K. Kondoh
2. 発表標題 State-of-The-Art Titanium Alloys by Powder Metallurgy Process
3. 学会等名 MSAT-10 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Kondoh
2. 発表標題 State-of-the-art powder metallurgy light metals and their composites with atomic/nano-scale microstructures
3. 学会等名 ICMMP2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Fukuo, S. Kariya, J. Umeda, K. Kondoh
2. 発表標題 Solid solution strengthening mechanisms of PM -Ti materials with zirconium and oxygen atoms via thermal decomposition of ZrO ₂ additives in sintering
3. 学会等名 JSPM International Conference on Powder and Powder Metallurgy (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 近藤勝義, 山辺康宏, 梅田純子
2. 発表標題 軽元素固溶強化を利用した希少金属フリー 型チタン粉末焼結材の高強度化
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会平成29年度春季大会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 福生瑞希, 刈屋翔太, 梅田純子, 近藤勝義
2. 発表標題 焼結過程での熱分解を利用したジルコニウムと酸素の複合固溶による純チタン粉末押出材の強化機構の解明
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会平成29年度春季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Katsuyoshi Kondoh
2. 発表標題 Cost-effective, high strength and ductility titanium materials by powder metallurgy process
3. 学会等名 AeroMat 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016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	梅田 純子 (UMEDA JUNKO) (50345162)	大阪大学・接合科学研究所・准教授 (14401)	
研究分担者	今井 久志 (IMAI HISASHI) (30452379)	大阪大学・接合科学研究所・講師 (14401)	