

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 19 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25249102

研究課題名(和文) 水素・酸素を利用した純チタン焼結材の高強靱化ダイナミクスの解明

研究課題名(英文) High-strength and high-ductility mechanism of pure Ti sintered material using hydrogen and oxygen

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) 22,000,000円

研究成果の概要(和文)：チタン合金における水素含有量の増加に伴い、引張強さや破断伸びの顕著な低下が報告されているが、本研究では0.2～0.3wt%の微量水素が α -Ti焼結材の相変態挙動と集合組織形成機構に及ぼす影響を解明し、剛性および耐力の向上機構を明らかにすると共に、硬質な水素化合物が微細分散することで変形双晶の進展を抑制して一様な変形を伴い、破断伸びが向上するといった新規な現象を発見した。さらに酸素固溶によるc軸方向での格子定数の拡張に伴う主すべり系の変化に起因するTi材の延性低下現象を確認した。これらの結果を通じて、酸素原子と従前より負の材料因子とされた水素を活用したチタン材の高強度・高延性化機構を解明した。

研究成果の概要(英文)：To clarify high-strength and ductility mechanism of pure Ti material with small additive hydrogen, TiH₂ raw powder was consolidated by sintering and hot extrusion. The residual hydrogen content depended on the sintering temperature, and affected on α/β phase transformation during extrusion. In case of 0.33 mass% hydrogen content, β phase transformation completely occurred at 1073 K, and resulted in $\langle 0001 \rangle$ texture formation of extruded Ti material. This texture was never observed in the conventional extruded Ti materials ($\langle 10\text{-}10 \rangle$ texture) with few hydrogen elements. The former indicated high tensile strength () of 959 MPa and elongation () of 27.6% compared to PM pure Ti materials with $\sigma_{TS}=634$ MPa and $\epsilon=29.9\%$. In-situ SEM observation on the hydride dispersoids in PM Ti material indicated that they could be obviously deformed in tensile and had a ductile property at room temperature.

研究分野：粉末冶金

キーワード：粉末冶金 純チタン 相変態 残留水素 加工熱処理 集合組織 変形双晶 ヤング率

1. 研究開始当初の背景

レアメタル多量添加による従来型チタン合金の高強度化設計は、持続可能な社会形成に適した考えとは言いがたく、我が国の元素戦略に逆行する研究課題ともいえる。本研究グループでは、レアメタルに代わり軽元素群（酸素・水素・炭素・窒素）に着目し、粉末冶金法（完全固相製法）を利用してチタン合金を凌駕する強度・延性と耐腐食性を兼備する純チタン焼結材の創製に取り組んでいる。TiO₂の熱分解に伴う解離酸素原子を利用した酸素固溶強化純チタン焼結材は、汎用チタン合金（ β ）や溶解法で作製した酸素固溶純チタン（ α ）に対して高強度・高延性を示す。特に耐力値YSが2.5倍に増加したにも関わらず、伸びは25%以上を有し、その低下量は極めて小さい。またX線回折の結果、本試料では-hcp-Tiにおけるc軸方向の格子定数のみが酸素含有量と共に直線的に増加した。溶解製法を適用した際の-hcp-Tiへの酸素固溶現象に関する既往研究（H. Conrad: Mater. Sci., 26, (1981) 123）では、c軸/a軸両方向に多量の酸素原子が固溶するといった本研究と異なる結果である。これは凝固過程での不規則なTi原子配列状態において、両軸方向に酸素原子が無秩序に固溶する現象に起因する。そのため、1000MPaを超える酸素固溶チタンでは、主すべり系である柱面すべりの活動が抑制され、伸び値は10%以下に低減した。

以上のように酸素固溶型純Ti焼結材では、固相状態での規則構造にあるTi結晶格子のc軸方向への酸素原子固溶により、柱面すべり系の活動を維持しつつ、固溶強化を発現するといった新規な力学特性が得られた。

他方、金属が微量の水素を含む場合、水素脆化による強度低下は広く知られており、汎用Ti合金でも水素含有量の増加に伴い、強度・延性は顕著に低下する(B.G. Yuan et al., Mater. Sci. Eng. A, 527, 2010, 4185)。しかし、本申請者らは900℃での加工・熱処理を施した水素0.33wt%を含む純Ti焼結材において、水素を含まない純Ti焼結材と同等の伸びと60%以上の耐力増加を確認した。本結果は、過去40年間余り続く金属の水素脆化の研究成果を根底から覆す内容である。同時に、純Ti粉末の製造中間素材である廉価な水素化チタンTiH₂粉末の直接原料化（低コスト化）の可能性を示唆する結果でもある。

2. 研究の目的

負の材料因子とされてきた金属内に存在する水素原子を活用し、加工・熱処理過程での純チタン焼結材における $\beta \rightarrow \alpha$ 相変態に基づく特異な結晶配向形成による高強度・高延性発現といった新規な材料設計原理の提案・実証を行う。水素供給源となるTiH₂粉末の熱分解挙動に関する反応速度論からの解析と、残留水素原子の分布状態に関する微視的構造解析（3-D Atom Probe）を通じて水素原子がTi結晶の塑性変形機構および柱面

配向形成に及ぼす影響を解明する。またhcp-Tiへの酸素固溶現象に及ぼす水素原子の影響と、酸素との相互作用を解析し、純チタン焼結材の更なる高強靱化の発現に関わるダイナミクスを解明する。他方、原子固溶による最表面での電子空間密度分布の低減に伴う安定な不動態皮膜形成の促進（=耐腐食性向上）が期待できることから、当該皮膜の形成機構への酸素/水素原子の影響について電気化学的に調査・解明する。

3. 研究の方法

本研究では、水素含有チタン焼結材の加工・熱処理時の相変態に伴う特異な集合組織の形成機構を結晶学的観点から解明すると共に、Ti-H析出物が加工時の動的再結晶挙動における役割を明らかにする。またTiO₂からの解離酸素原子のc軸方向への優先固溶現象に対する水素原子の影響を調査する。これらの結果より結晶配向性・結晶粒径・析出物など材料因子への軽元素の影響を解明し、水素・酸素原子を利用した純Ti焼結材の高強靱化設計指針を構築する。具体的には、水素化チタニウム（TiH₂）粉末を出発原料とし、熱処理温度の調整により残留水素量を制御する。酸素原子の固溶状態については、主にX線回折データに基づくc/a軸方向での格子定数を用いて定量的に評価すると共に、力学特性への影響解析に関しては、微小硬度試験および常温引張試験を通じて、強度および延性と固溶量の関係を調査する。さらに、水素化合物の変形挙動に関しては、走査型電子顕微鏡内での引張試験における破壊挙動と水素化合物の変形挙動をその場観察により明らかにする。

4. 研究成果

水素は相安定化元素であることから熱間押出加工の温度条件によっては、相変態への相変態過程を伴う塑性変形となるため、従前のチタン材料とは異なる組織構造の形成は予想される。そこで、先ず、水素含有量を厳密に調整すべく、原料粉末には市販の水素化チタン粉末を使用し、これを焼結過程での熱処理温度を変更することでTiH₂相の熱分解を促し、チタン焼結素材中に残留する水素量を調整した。先ず、水素化チタン粉末を成形固化した後、アルゴンガス雰囲気中で700（973K）～1050（1323K）の温度域で1時間の熱処理を行い、異なる水素量を有する純チタン焼結体を準備した。それらに対して1000℃にて熱間押出加工を施して緻密な棒状チタン素材を作製した。先ず、光学顕微鏡による各押出加工材の組織観察結果を図1に示す。ここで試料名称に“H-”と記載したものは水素化チタン粉末を出発原料とした素材であり、“P-”は純チタン粉末（水素を含まない）を用いた素材であることを意味する。また、各試料における水素含有量の測定結果も併せて記載した。

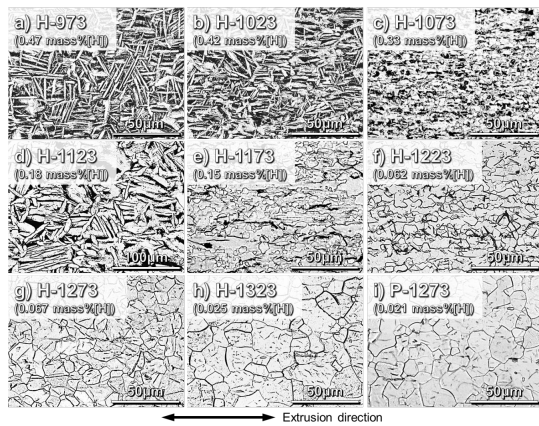


図 1. 異なる水素量を有するチタン粉末焼結押出材の組織観察結果

水素含有量の減少に伴いチタン素材の組織は、(a)と(b):粗大な針状粒組織 (c)と(d):微細な針状粒組織 (e)と(f):微細な等軸粒組織 (g)と(h):粗大な等軸粒組織へと変化した。これは、各試料の押出加工温度(1073 K)におけるβ相安定化能が、水素含有量に応じて変化したことに起因している。水素含有量の高い試料(a)~(c)に観察された針状粒組織はβ相単相域からβ→α相変態を経ることで形成され、さらに水素含有量が高い程、α相単相となるまでの時間が長くその間に針状粒が成長することから、より高い水素含有量の試料(a)と(b)において粗大な針状粒組織が形成されたものと理解できる。次に、後にも述べるが、α+β共存域からの押出加工を経た試料(e)と(f)においては、押出加工時に共存する2つの相がそれぞれ互いの粒成長を抑制し合うことで微細な結晶粒組織が形成されたものと推察される。最後に、水素含有量が低くα相単相域からの押出加工を経た試料(g)と(h)においては、TiH₂粉末圧粉体の脱水素化同時焼結処理時に粗大化した組織を引き継ぐことで、押出加工材においても粗大な等軸粒組織が形成されたと考えられる。もう一つの特徴的な変化として、水素含有量の減少とともに光学組織中に見られる黒色化合物の量が減少し、H-1273(g)およびH-1323(h)押出材においては、比較用の純チタン粉末押出加工材(図1(i)のP-1273試料)とほぼ同量の針状黒色化合物が観察された。このような光学組織変化をさらに詳細に捉えるべく、以下では代表的なH-1073/1173/1273押出材を対象に考察を行う。まず、H-1273押出材(g)とP-1273押出材(i)を比較すると、いずれも微量の黒色針状化合物を含んだ、結晶粒径7 μm程度の等軸粒組織を呈しており、両者の間に光学組織上の顕著な差異は認められなかった。これはTiH₂粉末を直接原料とした場合であっても、圧粉、脱水素化同時焼結処理に加えて熱間押出加工を施すことで、一般的な純チタン粉末押出加工材(P-1273)と同等の光学組織が得られることが明らかとなった。他方、H-1073(c)およびH-1173(e)押出材に注目すると、脱水素化同時焼結処理温度の低下、

すなわち試料中の水素濃度の上昇に伴って結晶粒径が著しく減少しており、H-1273押出材と比較すると56~75%の結晶粒微細化を生じた結果、両者とも2~3 μm程度の結晶粒から成る微細組織を呈した。また、組織中に見られた黒色化合物の量も増大し、H-1073押出材においてはそれが均一かつ微細に分散した二相組織を呈した。

次に、微量の水素含有による組織構造変化がチタン押出材の機械的性質に及ぼす影響を定量的に解析すべく、ヤング率測定と常温引張試験による各種力学特性を評価した。まず、自由共振式弾性率測定装置によるH-1073~1273押出材のヤング率測定結果を図2に示す。H-1173およびH-1273押出材においては、両者とも逆極点図のL方向観察面における底面{0001}配向およびT方向観察面における柱面{1010}配向を特徴とした1010集合組織を呈したことから、ヤング率は基本的に等しく106~107 GPaを示し、一般に報告されている規格純チタン(JIS 1,3種)のヤング率105~107 GPaと良く一致した。一方、これらと比較すると、H-1073押出材は明らかに高弾性特性を示し、ヤング率は122 GPaとなった。ここで、チタン等の六方晶格子においては、その結晶配列の異方性に起因してヤング率が変化し、具体的には、応力負荷方向と六方晶格子c軸との角度差が小さい程、高いヤング率を示すことが知られている。したがって、本試料においても、六方晶格子のc軸が押出(引張)方向と平行に配列した0001集合組織を形成することで、この原子配列異方性が顕著に発現した結果、引張方向のヤング率が向上したものと理解できる。

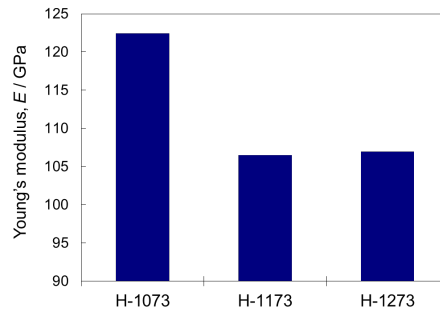


図 2. 異なる水素量を有するチタン粉末焼結押出材におけるヤング率の測定結果

各押出材の引張強度特性と焼結温度の関係を図3(a)に、引張試験から得られたH-1073/1173/1273押出材の応力-歪曲線を図3(b)にそれぞれ示す。まず、破断伸びに関して、最も多くのチタン水素化物(δ -TiH_x)相を含むH-973押出材を除き、全ての試料で約25%以上という構造材料として十分な延性が確認された。これは、純チタン粉末を原料として作製した一般的な純チタン粉末押出加工材と同等の性能である。次に、0.2%耐力(0.2%YS)と最大引張強さ(UTS)に注目すると、焼結温度1073 K以下と1123 K以上で特性が大きく変化しており、具体的には

前者の UTS は後者に比べ約 200 MPa 高くなっている。この変化の傾向は、組織構造の観点からは前出の X 線回折結果と、また力学的には上述のヤング率測定結果と対応していると考えられる。

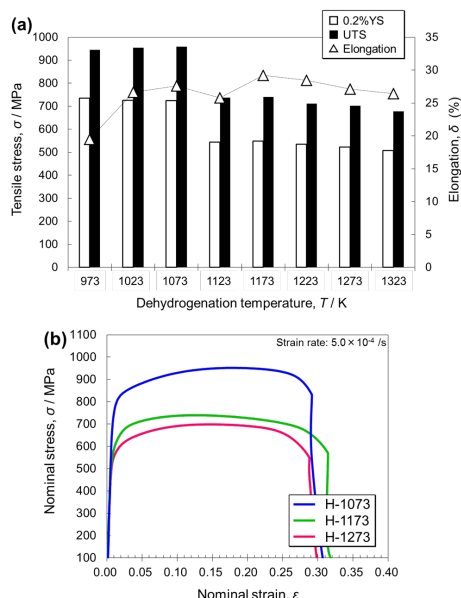


図3. 脱水素化熱処理温度の違いによるチタン粉末押出材の引張強さと破断伸びの関係

そこで、この力学挙動変化の要因を詳細に明らかにすべく、H-1073/1173/1273 押出材を対象に考察を行う。図3(b)中の H-1273 押出材に注目すると、その特性値は 0.2% YS : 523 MPa, UTS : 702 MPa, 破断伸び : 27.1% となり、JIS 4 種純 Ti 材の特性 (0.2% YS : 485 MPa, UTS : 550 ~ 750 MPa, 破断伸び : 15%) を満足することが確認された。また、H-1173 押出材は、0.2% YS : 549 MPa, UTS : 740 MPa, 破断伸び : 29.2% なる特性を示し、先の H-1273 押出材と比較すると強度増加が認められた。ここで、高強度化の主要因としては、酸素による固溶強化、結晶粒微細化、集合組織強化 (高ヤング率化) の 3 つが挙げられるが、前述の通り、両者のヤング率はほぼ等しく、またその酸素含有量も同じ (0.32 mass%) であることから、上述の強度増加は、光学組織および SEM-EBSD/OIM 観察においても指摘された結晶粒微細化 () によるものであると結論付けられる。加えて、強化機構が結晶粒微細化であったことから、高強度化を達成しつつも、H-1273 押出材と同等以上の高い延性を維持することに成功した。最後に、H-1073 押出材に注目すると、応力 - ひずみ曲線から著しい高強度化が確認でき、純チタンでありながら、0.2% YS : 725 MPa, UTS : 959 MPa, 破断伸び : 27.6% といった優れた引張強度特性を示した。これには、結晶粒微細化 () に加えて、前述のヤング率測定結果から強い集合組織形成 () の大きな寄与が考えられる。さらに、本試料においては著しい強度増加にも関わらず、延性の低下が見られないことから、

高強度・高延性・高弾性純チタン材における材料設計原理の一つであるチタン水素化物 (δ -TiH_x) 相を利用した変形双晶の抑制機構が発現し、それが有効に機能していると期待できる。

そこで、高強度化と高延性化のそれぞれに対して、上記の寄与因子に基づく詳細な定量解析を行うことで、H-1073 押出材における高強度・高延性化機構を解明する。具体的に、まず、高強度化 (強化機構) に関しては、他の高強度化要因である酸素固溶強化および結晶粒微細化の影響を除去した上で、ヤング率の増大と強度 (0.2% YS) 増加との関係を調査し、その寄与率を明らかにする。次に、高延性化に関しては、押出加工材の破断伸びに及ぼす水素化物の析出量、すなわち水素含有量の影響を定量評価し、各試料の破断内部組織解析と併せて、水素化物相を利用した変形双晶の粗大化抑制機構、および水素化物そのものの変形挙動についても引張応力を負荷しながらのその場直接観察手法を用いて定量的に検証する。

前述の通り、本研究における高強度化の主要因としては、酸素による固溶強化、結晶粒微細化、集合組織強化 (高ヤング率化) の 3 つが挙げられる。そこで、H-1073 押出材における集合組織強化 () に着目した強化機構の定量解析に先立ち、他の高強度化要因である酸素固溶強化 () および結晶粒微細化 () の影響を除去することを考える。まず、酸素固溶強化について、H-1273 押出材 (酸素含有量 : 0.32 mass%) を基準とすると、H-1073 押出材の酸素含有量は 0.34 mass% と微増した。これによる 0.2% YS 増加量 ($\Delta\sigma_{0.2}(O)$) を、Labusch limit に基づく固溶強化理論を用いて算出し、 $\Delta\sigma_{0.2}(O) = 15$ MPa を得た。なお、H-1173 押出材の酸素含有量は 0.32 mass% であり、基準の H-1273 押出材に等しいことから、 $\Delta\sigma_{0.2}(O) = 0$ MPa となる。次に、結晶粒微細化について、先と同様 H-1273 押出材を基準とすると、H-1173 押出材における結晶粒微細化の寄与 ($\Delta\sigma_{0.2}(G)$) は、前項での考察より $\Delta\sigma_{0.2}(G) = 26$ MPa と算出できる。ここで、H-1173 押出材と H-1073 押出材の結晶粒径が、ともに 2 ~ 3 μm 程度と概ね同じであることから、本研究では、H-1073 押出材の $\Delta\sigma_{0.2}(G)$ を、H-1173 押出材と同じ 26 MPa と見積もることとした。以上の数値と 0.2% YS の差を考慮することで、H-1073 押出材における集合組織強化の寄与 ($\Delta\sigma_{0.2}(T)$) は、 $\Delta\sigma_{0.2}(T) = 161$ MPa と計算できる。この結果について高ヤング率化の観点から考察すべく、H-1073 押出材と H-1173 押出材の中間的位置付けの試料として、113 GPa のヤング率を有する H-1073-873 押出材 (TiH₂ 粉末ベース 1073 K 焼結 873 K 押出加工材) を作製し、組織および力学特性を調査した。H-1073-873 押出材は、H-1073 押出材と同等の水素を含有するものの、押出加工温度を低く設定したことから、H-1073

押出材と比較するとβ相の安定化度合いが低く、結果的にヤング率もやや小さな値を示した。また、結晶粒径は約2 μmでH-1073およびH-1173押出材とほぼ同じ、酸素含有量は0.34 mass%でH-1073押出材と等しく、引張強度特性は0.2%YS: 619 MPa, UTS: 847 MPa, 破断伸び: 29.9%となった。ここで、本材に対しても先の減算処理を適用し、集合組織強化の寄与を計算したところ、 $\Delta\sigma_{0.2}(T) = 55 \text{ MPa}$ を得た。これらの結果からH-1073-873押出材, H-1073およびH-1173押出材における集合組織強化由来の強化量($\Delta\sigma_{0.2}(T)$)と各試料のヤング率の関係を図4に整理した。両者間には線形性が認められ、強い集合組織形成による強化量はヤング率の増加と強い正の相関を示した。このようにチタンの強度とヤング率が正の線形相関を示すことは、既往研究でも報告されており、本研究のH-1073押出材においても0001集合組織の形成による高ヤング率化によって、強度増加が生じていることが実証された。

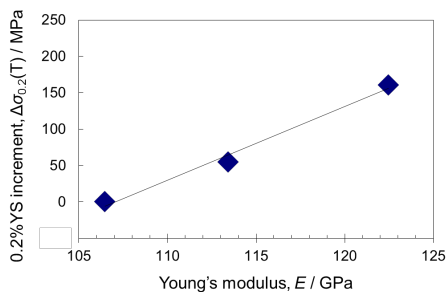


図4. 微量水素含有チタン粉末焼結押出材におけるヤング率と0.2%耐力値の相関

チタン水素化物($\delta\text{-TiH}_x$)そのものの変形挙動について検証する。一般にチタン水素化物は脆弱であり、これが要因となって「水素化物脆化」を誘発することが知られているが、一方で、水素化物は十分な塑性変形を示すとする報告もある。本研究にて作製した試料においてもチタン水素化物が多量に含まれており、仮にそれらが脆弱であれば、H-1073押出材も低い破断伸びを示す。従って、チタン水素化物の材料変形中における挙動を理解することは、前述の高延性発現機構に関する考察を補完する上で必須といえる。そこで、引張変形中のチタン水素化物の挙動を直接観察および定量解析すべく、SEM内引張試験機を用いて引張荷重負荷時におけるin situ組織観察を実施した。試験には、H-1073押出材から切出した試験片を使用した。得られた応力-歪曲線および試験中のSEM組織観察結果を図5に示す。なお、応力-ひずみ曲線図とSEM組織観察結果中の記号A~Eは対応しており、各点毎に試験機を一時停止させて観察を行った。また、引張方向はSEM画像の水平方向と一致しており、組織中に白く見えている部分が水素化物、黒く見えている領域がチタン素地にそれぞれ対応している。引張荷重負荷前のAから破断後のEまでを連

続的に見ていくと、引張変形の進行に伴って水素化物の幅が徐々に減少して引き絞られていく様子が確認できる。またこの間、水素化物および水素化物とチタン素地の界面にき裂や割れが生じていないこともわかる。これらの結果は、本試料中の水素化物が塑性変形能を有することを示唆している

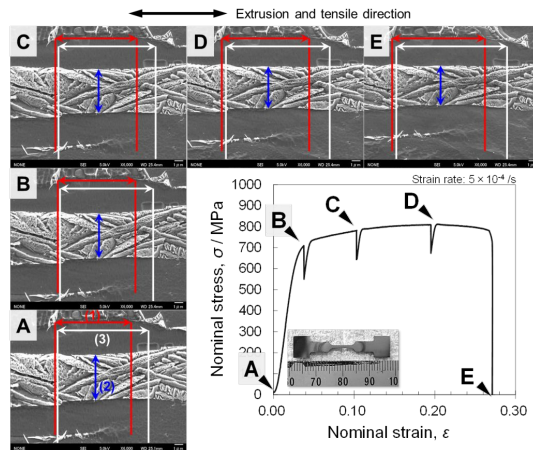


図5. 微量水素含有チタン粉末焼結押出材を用いたSEM内in-situ引張試験における変形過程での水素化物の変形率の測定結果

以上のことから、H-1073押出材中に存在するチタン水素化物は、引張変形に伴う組織の局所変形に耐え得る十分な塑性変形能を有し、延性的に振舞うことが明らかとなった。H-1073押出材中のチタン水素化物は、この延性的振舞いによって試料全体の延性に悪影響を及ぼすことなく、高延性発現機構としてのみ寄与することで、同材における優れた高強度・高延性バランスが達成されたと結論付けられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

1. S. Sunada, A. Takagi, M. Hatakeyama, J. Umeda, S. Li, K. Kondoh: Corrosion Resistant Evaluation of Oxygen Solid-Solution Strengthened Pure Titanium, Chiang Mai Journal of Science, 43 (2016) 381-392.
2. T. Mimoto, J. Umeda, K. Kondoh: Titanium Powders via Gas-Solid Direct Reaction Process and Mechanical Properties of Their Extruded Materials, Materials Transactions, 56, 8 (2015), 1153-1158, DOI:10.2320/matertrans.L-M 2015816.
3. K. Kondoh, B. Sun, S. Li, H. Imai, J. Umeda: Experimental and Theoretical Analysis of Nitrogen Solid-Solution Strengthening of PM Titanium, International Journal of Powder Metallurgy, 50, 3 (2014) 35-40.

〔学会発表〕(計7件)

1. K. Kondoh: State-of-the-Art in Powder Metallurgy Materials with Atomic/Nano scale Microstructures, Global Advanced Materials and Surfaces 2016, Dubai (UAE), Dec. 7-9, 2015, Plenary Talk.
2. K. Kondoh : Novel Processing of High-strength & High-ductility PM Pure Titanium with Light Elements, 3rd International Conference on Powder Metallurgy in Asia, 京都国際会議場 (京都), Nov. 8- 10, 2015.
3. T. Mimoto, J. Umeda, K. Kondoh: Strengthening Behavior and Mechanisms of Extruded Powder Metallurgy Pure Ti Materials Reinforced with Ubiquitous Light Elements, TMS 2015, Orland (USA), Mar. 15-19, 2015.
4. T. Mimoto, J. Umeda, K. Kondoh: Microstructures and Mechanical Properties of Extruded Powder Metallurgy Pure Ti Materials by Gas-Solid Reaction Process, Materials Science & Technology 2014, Pittsburg (USA), Oct. 12-16, 2014.
5. 近藤勝義: ユビキタス軽元素を利用した純チタン焼結材料の高次機能化, 第 52 回 材質制御研究会, 鳥取大学 (鳥取), 2014.10.07 .
6. 三本嵩哲, 梅田純子, 近藤勝義: 固気直接反応法による高濃度窒素固溶チタン粉末押出材の創製, 日本金属学会 2014 年秋期, 名古屋大学 (名古屋), 2014.9.24-26 .
7. K. Kondoh: Pure Titanium with High Strength and Excellent Ductility by Solid Solute Oxygen Strengthening via Powder Metallurgy Route, Materials Science & Technology 2013, Montreal (Canada), 2013.10.27-31.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 5 件)

1.
名称: 酸素固溶チタン焼結体およびその製造方法
発明者: 近藤 勝義
権利者: 同上
種類: 特許権
番号: 2015-215846
出願年月日: 2015 年 11 月 2 日
国内外の別: 国内
2.
名称: チタン粉末材料, チタン素材及び酸素固溶チタン粉末材料の製造方法
発明者: 近藤 勝義
権利者: 同上
種類: 特許権
番号: PCT/JP2014/084529
出願年月日: 2014 年 12 月 26 日
国内外の別: 国外

3.
名称: 窒素固溶チタン粉末材料, チタン素材及び窒素固溶チタン粉末材料の製造方法
発明者: 近藤 勝義
権利者: 同上
種類: 特許権
番号: PCT/JP2014/084530
取得年月日: 2014 年 12 月 26 日
国内外の別: 国外
4.
名称: チタン粉末材料, チタン素材及び酸素固溶チタン粉末材料の製造方法
発明者: 近藤 勝義
権利者: 同上
種類: 特許権
番号: 2014-003392
出願年月日: 2014 年 1 月 10 日
国内外の別: 国内
5.
名称: 窒素固溶チタン粉末材料, チタン素材及び窒素固溶チタン粉末材料の製造方法
発明者: 近藤 勝義
権利者: 同上
種類: 特許権
番号: 2014-011362
取得年月日: 2014 年 1 月 24 日
国内外の別: 国内
6. 研究組織
 - (1)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
 - (2)研究分担者
梅田 純子 (UMEDA JUNKO)
大阪大学・接合科学研究所・助教
研究者番号: 50345162
 - (3) 研究分担者
砂田 聡 (SUNADA SATOSHI)
富山大学・工学部・教授
研究者番号: 00206575
 - (4) 研究分担者
笹瀬 雅人 (SASASE MASATO)
若狭湾エネルギー研究センター・研究員
研究者番号: 60359239