

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：33919

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03419

研究課題名(和文) 高酸素含有生体構造用準安定型チタン合金の特異な高強度・高延性化メカニズムの解明

研究課題名(英文) Analysis of mechanism of peculiar high strength and ductility of metastable beta-type titanium alloy with high oxygen content for structural biomaterials

研究代表者

新家 光雄(Mitsuo, Niinomi)

名城大学・理工学部・特任教授

研究者番号：50126942

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr合金(TNTZ)が引張り変形下における高強度・高延性を示す高酸素濃度範囲および高濃度酸素含有TNTZの引張り変形下におけるマクロ変形挙動を調査・検討することを目的とし、酸素濃度を大幅に変化させたTNTZの熱処理および顕微鏡組織観察、歪速度を変化させての引張り試験、引張り試験片表面での変形挙動の観察、引張り試験片破面の観察ならびに引張り試験後の試験片の後方散乱電子回折(EBSD)解析および透過型電子顕微鏡(TEM)組織観察を行い、高濃度酸素含有TNTZの強度および延性の両者が改善される変形メカニズムを酸素クラスター形成と結び付けることで解明することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

チタン合金では酸素は不純物元素と見なされ、脆化をもたらすとされて来たが、本研究結果ではそれを覆す結果が得られている。すなわち、Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr合金(TNTZ)では、高酸素添加により強度および延性の両者が向上する。そのメカニズムの解明は、TNTZだけでなく、他のチタン合金への適用が可能と考えられ、酸素を用いた高機能性チタン合金の合金設計および開発に貢献できると考えられ学術的な意義が高い。このことは、安価な侵入型元素である酸素を用いての高機能インプラント器具の開発が可能となる可能性とその低コスト化が期待され社会的意義も大きいと言える。

研究成果の概要(英文)：Macroscopic and microscopic deformation behaviors of Ti-29Nb-13Ta-4.4Zr (TNTZ) with low and high oxygen contents was investigated by conducting tensile tests with different strain rates, deformation observation on the surface of the specimen by optical microscopy, microstructural analysis by electron back scatter diffraction (EBSD), microstructural observations by optical microscopy and transmission electron microscopy (TEM). The peculiar deformation behavior of TNTZ with a high amount oxygen, where both strength and ductility are increased, has been clarified by conjunction with assuming that the formation of the oxygen clusters in the grains occurs.

研究分野：構造機能材料

キーワード：生体用 型チタン合金 TNTZ 高酸素 力学的特性 降伏現象 歪速度

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

チタンおよびチタン合金(以後チタン合金)では、酸素含有量の増加に伴い、強度は上昇するが延性が低下し、ついには脆性破壊に至るとの認識が一般的であり、事実これまで酸素によるチタン合金の脆化傾向が多数報告されて来ている。特にチタン合金鑄造材では、鑄型より多量の酸素が侵入し、酸素が $\alpha$ 相安定化元素であることからチタン合金鑄造材表面近傍にて $\alpha$ 相濃化領域が形成され、極めて脆性となる。以上のようなことからチタン合金では、酸素は不純物元素と見なされ、その低減が叫ばれて来た。しかし、一般構造用チタン合金では長年要求されていることであるが、特に生体用チタン合金では、Nb、Ta、MoやZr等の高価な元素を多量に含有する場合がほとんどであり、低コスト化が要求されている。このため、これまで不純物元素とされて来た安価である酸素や窒素等の侵入型軽元素を用いてのチタン合金の力学的特性の改善の可能性が期待されるようになって来ている。特に、最近の生体用チタン合金では、低弾性率を目指しているため準安定 $\beta$ 型チタン合金が主流であることから、強度の改善が望まれている。

このような背景より、申請者らは、申請者らが開発した生体用TNTZの高強度化および低コスト化のために酸素に着目し、脆化が顕著でない範囲での高強度化をもたらす酸素量を明らかとするために酸素量を低濃度(無添加:0.14mass%(TNTZ-0.14)から、中濃度(0.33mass%(TNTZ-0.33O))、さらに高濃度(0.7mass%(TNTZ-0.70O))へと大幅に変化させたTNTZの強度・延性バランスにつき検討した。その結果、強度(引張り強さおよび0.2%耐力)は酸素量の増加に伴い上昇するが、延性(伸び)は酸素量の増加に伴い一旦低下し、さらに酸素量が増加すると上昇傾向となる。この場合、延性に関する酸素量との関係は、これまでの一般的に認識されている関係とは全く逆の現象となっている。また、これらのTNTZの引張り応力-歪曲線では、高酸素含有量(0.7mass%)となると一般的な準安定 $\beta$ 型チタン合金では観察されない降伏現象が現れる。このメカニズムについても明確とされていない。特に前者の現象に関する報告は、申請者らの知る限りでは、国内外ともに他に無く、申請者らが世界で初めて発見し、報告したと言えよう。

TNTZにおける高酸素含有量域における高強度・高延性化のメカニズムを解明することで、低コスト侵入型軽元素である酸素による他のチタン合金の高強度・高延性化が汎用的に可能となることが期待される。このことは、低コスト高強度・高延性チタン合金の創製にも繋がると言える。

### 2. 研究の目的

既に報告したように溶体化した高酸素含有および低酸素含有TNTZの引張り試験後の試験片表面の走査電子顕微鏡(SEM)観察にて、低酸素含有TNTZでは認められなかった多重滑りが高酸素含有TNTZで認められている。このことから、酸素を低酸素量(無添加:0.14mass%)から高酸素量(1.0mass%)の間で種々変化させた溶体化状態のTNTZの引張り試験片につき、種々の歪にて引張り試験を中断し、光学顕微鏡(OM)およびSEMにより各試験片表面を観察することにより、変形挙動の酸素量に伴う変化を明らかとするとともに、強度および延性の両者が上昇する酸素量範囲を明確とする。さらに、各歪を与えたTNTZの引張り試験片内部組織、特に転位組織につき透過型電子顕微鏡(TEM)により観察し、酸素量の変化に伴う転位組織の変化を明確にするとともに、高分解能TEMによる原子オーダーでの観察を行い格子の歪状況を明らかとする。また、上記試験片に関しX線吸収微細構造解析を行い、原子構造の変化についても明確とする。

上記の各特異現象は、酸素原子と転位との相互作用が基本となっていると推定される。このことから、酸素を低酸素量から高酸素量の間で種々変化させた溶体化状態のTNTZにつき、種々の歪速度下および室温から液体窒素温度まで種々の温度下での引張り試験を行い、各応力歪曲線か

ら酸素と転位との相互作用を間接的に明らかとする。以上の結果を総合的に考察し、高酸素含有準安定β型チタン合金である TNTZ の上記の特異な力学的特性の発現メカニズムを明確とする。さらに、この高酸素含有での力学的特性の発現メカニズムの他の準安定β型チタン合金への適用が可能であるかを明確とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 供試材

酸素含有量を 0.1 (酸素無添加)、0.3、0.5、0.7、0.8 および 1.0 mass% と低濃度から高濃度の酸素を添加した TNTZ を浮揚溶解装置 (CCLM) により製造する。

#### (2) 熱処理、組織観察および引張り試験

上記各酸素含有量の TNTZ に溶体化処理を施す。その後、溶体化処理を施した各 TNTZ につき光学顕微鏡 (OM) 観察、走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察および X 線回折 (XRD) を行い構成相および微細組織を調査・検討する。次いで、溶体化処理を施した各 TNTZ につき鏡面仕上げを施した引張り試験片を作成し、引張り試験を行い高酸素含有 TNTZ で高強度・高延性となる特異現象を検証するとともに、酸素無添加 TNTZ 溶体化材に比べて、より高強度・高延性となる酸素含有量を明確とする。次いで、最も延性の低い酸素含有 (低酸素含有) TNTZ 溶体化材 (これまでの成果より約 0.3 mass% 酸素含有 TNTZ 溶体化材を推定している) および最も高強度で高延性を示す高酸素含有 TNTZ 溶体化材 (これまでの成果より約 0.7 mass% 酸素含有 TNTZ 溶体化材を推定している) につき鏡面仕上げを施した引張り試験片を作成し、種々の歪を与えた後除荷する。

#### (3) 引張り試験片表面での変形形態の観察

種々の歪を与えた引張り試験片表面につき光学顕微鏡 (OM) および走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察し、試験片表面での変形挙動を解析する。

#### (4) 引張り破断面の観察

各酸素含有量の TNTZ の引張り破断面の SEM 観察を行い破面形態につき解析する。

#### (5) 引張り試験片表面の後方散乱電子回折 (EBSD)

上記各歪を与えた各酸素含有量の TNTZ 引張り試験片表面につき、後方散乱電子回折 (EBSD) により結晶解析を行い、変形形態や変形結晶系の解析を行い、変形形態を調査・検討する。

#### (6) 歪速度変化条件における室温での引張り試験

代表的な低濃度酸素含有 TNTZ および高強度・高延性で降伏現象を示す高濃度酸素含有 TNTZ につき引張り試験片を作成し、 $2.2 \times 10^{-4}$  ~  $2.2 \times 10^{-2}$  の範囲の種々の歪速度で室温にて引張り試験を行う。

代表的な低濃度酸素含有 TNTZ および高強度・高延性で降伏現象を示す高濃度酸素含有 TNTZ の上記各引張り試験での応力—歪曲線形態につき調査・検討する。

代表的な低濃度酸素含有 TNTZ および高強度・高延性で降伏現象を示す高濃度酸素含有 TNTZ の上記各引張り試験での応力—歪曲線より 0.2% 耐力、引張り強さおよび伸びを評価し、酸素濃

度との関係を解析する。

(7) 高分解能 TEM 観察

各歪を与えた TNTZ 引張り試験片内部の原子構造変化を高分解能 TEM 観察により解析する。

(8) 酸素の原子構造への影響の解析

上記の各結果を基に高酸素濃度含有 TNTZ における酸素の原子構造への影響を解析する。

#### 4. 研究成果

まずは、マクロ変形挙動を調査・検討することを目的とし、酸素濃度を 0.1、0.3 および 0.7mass% と広範囲に変化させた TNTZ (それぞれ TNTZ-0.1、TNTZ-0.3 および TNTZ-0.7) 供試材の製造、供試材の熱処理および組織観察、引張り試験、引張り試験片表面での変形挙動の観察、引張り試験片破面の観察ならびに引張り試験後の試験片の後方散乱電子回折 (EBSD) 解析を行うことを計画した。その結果、供試材の引張り変形挙動に関しては、上記一連の実験を行うことができ、高濃度酸素含有 TNTZ の強度および延性の改善のマクロな変形機構の解明を行うことができた。その成果は、次に示すようである。

(1) 低濃度酸素(TNTZ-0.1)、中濃度酸素(TNTZ-0.3)および高濃度酸素(TNTZ-0.7)含有 TNTZ で観察される主変形帯は、それぞれ変形誘起マルテンサイト、単一すべり帯および多重すべり帯である。(2) 低濃度酸素含有 TNTZ では、マルテンサイトが変形誘起されることにより、延性は、高いが、強度が低い。(3) 中濃度酸素含有 TNTZ では、単一すべりが主で粒界破壊傾向となり、強度は、低酸素濃度 TNTZ の場合に比べ上昇するが、延性が極めて低下する。(4) 高濃度酸素含有 TNTZ では、複数のすべり系が活動する多重すべり変形となることで加工硬化が著しくなり、強度および延性が改善される。(5) 上記(3)および(4)の傾向と一致して、低濃度、中濃度および高濃度酸素含有 TNTZ の破壊形態は、それぞれ破面粗さが比較的大きい延性破壊、脆性破壊および破面粗さが比較的低い延性破壊を示す。

また、当初計画には入っていなかったが、高濃度酸素含有 TNTZ が優れた疲労寿命を示すことも明確とすることができた。

次いで、TNTZ-0.1、-0.3 および-0.7 につき、歪速度  $8.3 \times 10^{-4}/s$  および  $2.1 \times 10^{-2}/s$  にて引張り試験を行い引張り変形挙動につき調査したところ、以下の成果を得た。

(1) 両歪速度ともに酸素の増大とともに引張強さおよび 0.2% 耐力が上昇し、伸びが 0.1mass% 酸素から 0.3mass% 酸素に至ると低下し、さらに酸素が 0.7mass% に増大すると増加する特異な傾向となった。この傾向には、本研究範囲での歪速度を増大させても変化を認めなかった。(2) 歪速度を増大させることにより、0.1mass% 酸素では引張強さおよび 0.2% 耐力に変化は無いが、伸びが低下した。しかし、0.3 および 0.7mass% 酸素では、歪速度の増大により、引張強さ、0.2% 耐力および伸びが増大した。したがって、この伸びの歪速度増大による変化は、0.1mass% 酸素と 0.3mass% 酸素および 0.7mass% 酸素との間で異なる傾向となった。すなわち、0.3 および 0.7mass% 酸素にて、歪速度の増大による伸びの増大が生じる特異な現象が見られた。(3) 0.3 および 0.7mass% 酸素では、歪速度の増大により、ディンプルサイズが増大する傾向となった。(4) 0.3mass% 酸素にて伸びが最も低下したにもかかわらず、断面減少率は最も大きくなった。(5) さらに、0.7mass% 酸素で認められた降伏現象が歪速度の増大により、より顕著になった。

一部上述したように、Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr(TNTZ)の酸素含有量を 0.12 (酸素無添加：TNTZ)、0.3(TNTZ-0.3)および 0.7 (TNTZ-0.7)mass% と変化させた場合、引張応力—歪曲線で酸素量の増大

と共に降伏現象が出現し、最も酸素含有量が高い TNTZ-0.7 になると降伏現象が明確に認められ、歪速度を増大させると降伏応力が増大した。この現象は、TNTZ では認められず、TNTZ-0.3 以上の酸素含有量で明白になり、降伏後の応力の低下率が酸素含有量が高いほど大きくなった。以上から、TNTZ-0.3 および TNTZ-0.7 につき、低歪速度での降伏前、降伏直後および降伏後の試験片表面での変形挙動を観察し、試験片破断後の透過電子顕微鏡 (TEM) 組織観察を行ったところ、酸素含有量が高い TNTZ-0.7 の方が降伏直後での転位の増殖がより著しかった。また、破断後の試験片の TEM 観察では、TNTZ-0.3 では転位が無秩序で、かつ転位が多く認められる個所とほとんど認められない箇所とがあり、転位の分布が極めて不均一であった、一方、TNTZ-0.7 では、転位が秩序化しており、全体に均一に分布していることがわかった。以上のことから、TNTZ では、単なる酸素原子の転位の固着よりもさらに強い酸素に関する転位の固着、すなわち酸素原子クラスターあるいは酸素原子と他の構成原子とのクラスターが形成され、より転位の固着を強固にしたと推定される。これにより、歪速度が大きい方がより降伏強度が増大し、その後の転位の移動が早まるが転位密度が高いことから、伸び(均一伸び)の低下が起こらず、むしろ増大する傾向になったと推定される。通常の TEM 観察および高分解能 TEM 観察等を 1 月および 2 月まで行う計画となったため、新型コロナウイルス感染症の問題が勃発し、当初の計画通りに本研究を進めることができなかった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計37件（うち査読付論文 33件／うち国際共著 14件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 H. Yilmazer, B. Dikici, M. Niinomi, M. Nakaim H. Liu, Y. Todaka, and A. N. Ozcivan	4. 巻 879
2. 論文標題 Electrochemical Behaviors of Biomedical Nano-grained Beta-Type Titanium Alloys	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Mater. Sci. Forum	6. 最初と最後の頁 2549-2554
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4028/www.scientific.net/MSF	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 T. Akahori, T. Hattrori, H. Fukui and M. Niinomi	4. 巻 879
2. 論文標題 Change in Mechanical Strength and Bone Contact Ratio of Beta-Type TNTZ Subjected to Mechanical Surface Modification	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Mater. Sci. Forum	6. 最初と最後の頁 2371-2376
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4028/www.scientific.net/MSF	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 H. Liu, M. Niinomi, M. Nakai, S. Obara and H. Fujii	4. 巻 704
2. 論文標題 Improved Fatigue Properties with Maintaining Low Young's Modulus Achieved in Biomedical Beta-type Titanium Alloy by Oxygen Addition	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering A	6. 最初と最後の頁 10-17
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 H. Liu, M. Niinomi, M. Nakai, X. Cong, K. Cho, C. J. Boehlert, and V. Khademi	4. 巻 48
2. 論文標題 Abnormal Deformation Behavior of Oxygen-Modified Beta-type Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr Alloys for Biomedical Applications	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Met. Mater. Trans. A	6. 最初と最後の頁 139-149
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 該当する

1. 著者名 新家光雄	4. 巻 39
2. 論文標題 力学的生体適合性の立場からの生体材料の変遷と展望	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 まてりあ	6. 最初と最後の頁 205-210
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 新家光雄	4. 巻 35
2. 論文標題 生体用弾性率制御機能性チタン合金の研究開発	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 バイオマテリアル	6. 最初と最後の頁 20-23
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 新家光雄	4. 巻 68
2. 論文標題 金属系バイオマテリアルの生体適合化と生体機能化	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 化学工業	6. 最初と最後の頁 877-885
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 M. Niinomi	4. 巻 879
2. 論文標題 Enhancement of Mechanical Biocompatibility of Titanium Alloys by Deformation-Induced Transformation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Mater. Sci. Forum	6. 最初と最後の頁 125-130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/MSF.879.125	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 新家光雄, 仲井正昭	4. 巻 67
2. 論文標題 チタンの溶解・鋳造	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 軽金属	6. 最初と最後の頁 307-314
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 Liu, M. Niinomi, M. Nakai, K. Cho, H. Fujii	4. 巻 130
2. 論文標題 Mechanical Performance of Titanium Alloys for Biomedical Applications with Adding Light Weight Interstitial Elements	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scripta Materilia,	6. 最初と最後の頁 27-31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scriptamat.2016.10.036	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 P. F. Santos, M. Niinomi, K. Cho, H. Liu, M. Nakai, T. Narushima, K. Ueda and Y. Itoh	4. 巻 58
2. 論文標題 Effects of Mo Addition on the Mechanical Properties and Microstructures of Ti-Mn Alloys Fabricated by Metal Injection Molding for Biomedical Applications	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Mater. Trans.	6. 最初と最後の頁 271-279
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.2320/matertrans.M2016286	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 H. Liu, M. Niinomi, M. Nakai, S. Obara and H. Fujii	4. 巻 704
2. 論文標題 Improved Fatigue Properties with Maintaining Low Young's Modulus Achieved in Biomedical Beta-type Titanium Alloy by Oxygen Addition	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Materi. Sci. Eng. A	6. 最初と最後の頁 10-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.msea.2017.07.078	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 K. Niwa, T. Akahori, M. Niinomi, T. Hattori and M. Nakai	4. 巻 58
2. 論文標題 Change in Mechanical Properties of Biomechanical Ti-12Cr Subjected to Heat Treatment and Surface Modification Processing	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Mater. Trans.	6. 最初と最後の頁 951-957
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.2320/matertrans.M2016432	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 M. Topuz, B. Dikici, K. S. Gngr, H. Yilmazr, M. Niinomi and M. Nakai	4. 巻 12
2. 論文標題 Corrosion Susceptibility of Hydroxyapatite (HA) Based Zirconia Reinforced Bioactive Hybrid Coating	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Advanced Science Engineering Science, e-Journal of New World Sciences Academy	6. 最初と最後の頁 66-77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.12739/NWSA.2017.12.1.1A0374 66-77	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 T. Homma, A. Arafah, D. Haley, M. Nakai, M. Niinomi, M. P. Moody	4. 巻 709
2. 論文標題 Effect of Alloying Elements on Microstructural Evolution in Oxygen Content Controlled Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr (wt. %) Alloys for Biomedical Applications during Aging	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mater. Sci. Eng. A	6. 最初と最後の頁 312-321
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.msea.2017.10.018	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 E. Takematsu, K. Noguchi, K. Katsumata, K. Kuroda, T. Ikoma, M. Niinomi and N. Matsushita	4. 巻 -
2. 論文標題 In vivo Osteoconductivity of Surface Modified Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr Alloy with Low Dissolution of Toxic Trace Elements,	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 PLoS ONE	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) doi.org/10.1371/journal.pone.0189967	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 B. Dikici, M. Topuz, Y. Say, H. Yilmazer, M. Niinomi, M. Nakai, and B. Aksakal	4. 巻 54
2. 論文標題 Synthesis and Characterization of Hydroxyapatite/TiO <sub>2</sub> Coatings on the -Type Titanium Alloys with Different Sintering Parameters using Sol-Gel Method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces	6. 最初と最後の頁 457-462
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1134/S2070205118030255	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 Qiang Li, Dong Ma, Junjie Li, Mitsuo Niinomi, Masaaki Nakai, Yuichiro Koizumi, Daixiu Wei, Tomoyuki Kakeshita, Takayoshi Nakano, Akihiko Chiba, Kai Zhou and Deng Pan	4. 巻 59
2. 論文標題 Low Young 's Modulus TiNbO with High Strength and Good Plasticity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mater. Trans.	6. 最初と最後の頁 858-860.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.M2018021	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. Dikici, M. Niinomi, M. Topuz, S. G. Koc, and M. Nakai.	4. 巻 87
2. 論文標題 Synthesis of Biphasic Calcium Phosphate (BCP) Coatings on -type Titanium Alloys Reinforced with Rutile-TiO <sub>2</sub> Compounds: Adhesion Resistance and In-vitro Corrosion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Sol-Gel Science and Technology	6. 最初と最後の頁 713-724
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10971-018-4755-2	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 趙 研、新家光雄、安田弘行	4. 巻 66
2. 論文標題 {332}<113>変形双晶導入による低コスト準安定 型チタン合金の強度 - 延性バランス改善	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 チタン	6. 最初と最後の頁 274-279
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 M. Niinomi	4. 巻 948
2. 論文標題 Mechanical Performance of Titanium Alloys for Biomedical Applications with Adding Light Weight Interstitial Elements	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 2458-2464
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/MSF.941.2458	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 T. Akahori, T. Mizuno, M. Niinomi, H. Fukui	4. 巻 941
2. 論文標題 Relationship Between Microstructure and Mechanical Strength of Dental Semiprecious Alloy Subjected to Solution Treatment,	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Science Forum,	6. 最初と最後の頁 1105-1110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.40/www.scientific.net/MSF.941.1105	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 M. Niinomi	4. 巻 59
2. 論文標題 Recent Progress in Research and Development of Metallic Structural Biomaterials with Mainly Focusing on Mechanical Biocompatibility	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mater. Trans.	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.2320/matertrans.M2017180	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 新家光雄	4. 巻 68
2. 論文標題 非常識な酸素の働き	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 軽金属	6. 最初と最後の頁 464
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 Qiang Li, Guanghao Ma, Junjie Li, Mitsuo Niinomi, Masaaki Nakai, Yuichro Koizumi, DaiXiu Wei, Tomoyuki Kakeshita, Takayuki Nakano, Akihiko Chiba, Xuyan Liu, Kai Zhou, Deng Pan	4. 巻 54
2. 論文標題 Development of Low Young ' s Modulus Ti-Nb-based Alloys with Cr Addition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Mater. Sci.	6. 最初と最後の頁 8675-8683
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10853-019-03457-0	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 M. A-H, Gepreel, M. Niinomi, M. Nakai, M. Morinaga	4. 巻 71
2. 論文標題 Invar Properties in Ti-Alloys Achieved Through Alloy Design and Thermomechanical Treatments	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JOM	6. 最初と最後の頁 3631-3639
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1007/s11837-019-03599-1	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 Qiang Li, Pu Miao, Meifeng He, Junjie Li, Masaaki Nakai, Mitsuo Niinomi, Xuyan Liu, Takayoshi Nakano, Akihiko Chiba, Deng Pan	4. 巻 28
2. 論文標題 Effect of Nb Content on Microstructures and Mechanical Properties of Ti-xNb-2Fe Alloys	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Mater, Eng. and Performanc	6. 最初と最後の頁 5501-5508
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1007/s11665-019-04250-5	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 Qiang Li, Qiang Qi, Junjie Li, Masaaki Nakai, Mitsuo Niinomi, Yuichro Koizumi, Kenta Yamanaka, DaiXiu Wei, Takayuki Nakano, Akihiko Chiba, Xuyan Liu, and Deng Pan	4. 巻 60
2. 論文標題 Low Springback and Low Young ' s Modulus Obtained in Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr Alloy modified by Mo Addition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mater. Trans.	6. 最初と最後の頁 1763-1768
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.ME201912	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 Q. Li, X. Yuan, J. Li, P. Wang, M. Nakai, M. Niinomi, T. Nakano, A. Chiba, X. Liu, D. Pan	4. 巻 60
2. 論文標題 Effects of Fe on Microstructures and Mechanical Properties of Ti-15Nb-25Zr-(0, 2, 4, 8)Fe Alloys Prepared by Spark Plasma Sintering	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mater. Trans.	6. 最初と最後の頁 1763-1768
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.ME201913	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 Ken Cho, Kohei Yuki, Hiroki Kobata, Niinomi Mitsuo and Hiroyuki Y. Yasuda	4. 巻 60
2. 論文標題 Effects of {332}<113> Deformation Twinning on Fatigue Behavior of Ti-Mn System Alloys,	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mater. Trans.	6. 最初と最後の頁 1850-1856
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.ME201919	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 Fatma Sonqur, Burak Dikici, Mitsuo Niinomi and Ersin Arslan	4. 巻 37
2. 論文標題 The Plasma Electrolytic Oxidation (PEO) to Enhance In-vitro Corrosion Resistance of Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr Alloys: The Combined Effect of Duty Cycle and the Deposition Frequency	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Surface and Coating Technology	6. 最初と最後の頁 345-354
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.06.025	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 M. Niinomi	4. 巻 107
2. 論文標題 Design and Development of Metallic Biomaterials with Biological and Mechanical Biocompatibility,	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J Biomed Mater Res Part A	6. 最初と最後の頁 944-954
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1002/jbm.a.36667	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 新家光雄	4. 巻 58
2. 論文標題 型チタン合金の高強度・高靱性化の展開	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 まてりあ	6. 最初と最後の頁 193-200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/materia.58.193	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 新家光雄	4. 巻 -
2. 論文標題 チタン合金の世界：体内埋入デバイスの主要材料	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 現代化学	6. 最初と最後の頁 54-57
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 新家光雄	4. 巻 68
2. 論文標題 金属系バイオマテリアルの歴史と今後の動向	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 特殊鋼	6. 最初と最後の頁 7-11
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 Q. Li, C. Chao, J. Li, K. Zhang, K. Zhou, M. Nakai, M. Niinomi, K. Yamanaka, D. Wei, A. Chiba, T. Nakano	4. 巻 -
2. 論文標題 Low Young's Modulus and High Strength Obtained in Ti-Nb-Zr-Cr Alloys by Optimizing Zr Content	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Mater. Eng. and Performance	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) doi.org/10.1007/s11665-020-04826-6	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 N. Mitsuishi, E. Miura-Fujiwara, M. Yamada, T. Chiba, H. Sato, Y. Watanabe, M. Ito, S. Takashima, M. Nakai, T. Akahori, M. Tanaka, M. Niinomi, T. Takeuchi	4. 巻 -
2. 論文標題 Application of Atmospheric-Pressure Plasma Treatment to Coat Ti-Alloy Orthodontic Wire with White Oxide Layer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. J. A. P.	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) 10.7567/1347-4065/ab43a9	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37件(うち招待講演 16件/うち国際学会 19件)

1. 発表者名 新家光雄, Qiang Li, Deng Pan, 魏 代修, 小泉雄一郎, 仲井正昭, 赤堀俊和, 中野貴由, 掛下知行
2. 発表標題 生体用としての 型Ti-Nb合金の力学的機能性に及ぼす酸素の影響
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Niinomi
2. 発表標題 Enhancement of Mechanical Performance of Biomedical Beta-type Titanium Alloy by Controlling Beta-phase Stability and Phase Transformation
3. 学会等名 AEARU (The Association of East Asian Research Universities) Advanced Materials Science Workshop 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Akahori, M. Nakai, M. Niinomi, T. Hattori
2. 発表標題 Improvement in Mechanical Properties of Ti-12Cr for Spinal Fixture Applications Subjected to Heat Treatment and Mechanical Surface Modification Processing
3. 学会等名 ESB 2017, (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Nakai and M. Niinomi
2. 発表標題 Development of Metallic Biomaterials with Changeable Elastic Modulus Using Deformation-induced Phase Transformation
3. 学会等名 JKMST 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 仲井正昭, 新家光雄
2. 発表標題 生体用弾性率可変型チタン合金の化学組成最適化
3. 学会等名 第56回日本生体医工学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 仲井正昭, 新家光雄, 李允碩
2. 発表標題 医療用チタン合金間で生じる摩擦摩耗の特徴
3. 学会等名 日本真空学会機能薄膜部会ナノ構造機能創成専門部会第8回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 仲井正昭, 新家光雄
2. 発表標題 生体用チタン合金のヤング率制御と合金開発
3. 学会等名 日本学術振興会鑄物第24委員会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 新家光雄、Qiang Li, Deng Pan, 魏 代修, 小泉雄一郎, 仲井正昭, 赤堀俊和, 中野貴由, 掛下知行
2. 発表標題 生体用としての 型Ti-Nb合金の力学的機能性に及ぼす酸素の影響
3. 学会等名 日本金属学会2018年年春期講演大会 (第162回) 大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 八須翔太, 赤堀俊和, 新家光雄
2. 発表標題 マルテンサイト相の体積率を変化させた生体用Ti-6Al-7Nb合金の力学的特性変化
3. 学会等名 日本金属学会2018年年春期講演大会 (第162回) 大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 新家光雄
2. 発表標題 硬組織代替インプラント構造用低弾性率チタン系バイオマテリアル
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第61回・日本金属学会第58回講演大会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 新家光雄
2. 発表標題 型チタン合金の高強度・高靱性化の展開
3. 学会等名 日本金属学会2018年秋期講演 (第163回) 大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 行 耕平, 趙 研, 新家光雄, 安田弘行
2. 発表標題 {332}<113>双晶に着目した変形機構制御による 型チタン合金の疲労強度改善
3. 学会等名 軽金属学会第135回秋期大会講演
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 仲井正昭, 山本衛, 新家光雄
2. 発表標題 生体用低弾性率チタン合金の特徴と生体組織との整合性
3. 学会等名 第45回日本臨床バイオメカニクス学会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Niinomi
2. 発表標題 Mechanical Performance of Titanium Alloys for Biomedical Applications with adding Light Weight Interstitial Elements
3. 学会等名 Thermec ' 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Nakai, M. Niinomi and H. Liu
2. 発表標題 Fatigue Strength of Beta-type Ti-12Cr Alloy Under Solutionized Condition for Biomedical Applications
3. 学会等名 Thermec ' 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Mehmet Topuz, Burak Dikici, Serap Koçcedil, Mitsuo Niinomi and Masaki Naka
2 . 発表標題 Bioactive Surface Modification with Bioglass/Hydroxyapatite of Biomedical Titanium Alloys and Their Beneficial Effect on Corrosion Resistance
3 . 学会等名 1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Hakan Yilmazer, Burak Dikici, Masaaki Nakai and Mitsuo Niinomi
2 . 発表標題 Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) Evaluation of Biomedical Nanostructured -type Titanium Alloys
3 . 学会等名 1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Naho Mitsuishi, Eri Miura-Fujiwara, Motoko Yamada, Michiko Ito, Tadachika Chiba, Hisashi Sato, Masaaki Nakai, Toshikazu Akahori, Seigo, Yoshimi Watanabe, Mitsuo Niinomi, and Tsutomu Takeuchi. Takashima.
2 . 発表標題 White Oxide Coating of Ti-alloy Orthodontic Wire by Atmospheric-pressure Plasma Treatment
3 . 学会等名 ISMGMs 2018 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 N. Matsushita, T. Ikoma, K. Kuroda, M. Niinomi, T. Wada and H. Kato
2 . 発表標題 Nano-Structure Controlled Bioactive Surface of Ti Based Alloy by Solution Processes
3 . 学会等名 13th International Workshop on Biomaterials in Interface Science, “ Innovative Research for Biosis-Abiosis Intelligent Interface Summer Seminar 2018 ” ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Tanaka, T. Akahori, M. Nakai, M. Niinomi, T. Hattori
2. 発表標題 Relationship Between Mechanical Properties and Microstructure of Ti-12Cr for Spinal Fixture Applications
3. 学会等名 ESB 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Niinomi
2. 発表標題 Improvement of Mechanical Biocompatibility of Titanium Alloys for Biomedical Applications by Deformation-induced Phase Transformation
3. 学会等名 25th Congress of International Federation for Heat Treatment and Surface Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Niinomi, Q. Li, T. Akahori, M. Nakai, T. Nakano and Deng Pan
2. 発表標題 Role of Oxygen in Titanium Alloys for Biomedical Applications
3. 学会等名 ICAMP-9 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 趙 研, 新家光雄, 安田弘行
2. 発表標題 { 332 } <113>双晶変形に着目した準安定 型チタン合金の高強度 高延性化と変形機構解明
3. 学会等名 日本鉄鋼協会平成30年度チタンフォーラム第1回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Binti Abdullah, Masaaki Nakai, Yuki Kawamura, Ei Yamamoto, Mitsuo Niinomi
2. 発表標題 Effect of Titanium Plate Fixation on Bone Formation during Healing Period
3. 学会等名 日本金属学会2019年春季（第164回）講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Niinomi
2. 発表標題 生体用Ti-Nb-Ta-Zr系合金の設計概念と特性
3. 学会等名 国際タンタル・ニオブサミット2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新家光雄
2. 発表標題 チタン系硬組織機能材料の研究開発
3. 学会等名 日本金属学会東北支部本多記念講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 ノルアインアブドラ ， 仲井正昭， 植木光浦， 川村勇樹， 山本衛， 新家光雄
2. 発表標題 Effects of Young 's Modulus Difference of Titanium Alloys and Bone on Bone Formation
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋季講演（第165回）大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森本知樹, 三浦永理, 新家光雄, 山崎 徹
2. 発表標題 Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr矯正ワイヤーの疲労特性に及ぼす伸線加工の影響
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期講演(第165回)大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新家光雄
2. 発表標題 チタン合金を主体とした生体用金属材料の研究開発の展開
3. 学会等名 日本バイオマテリアル学会東北ブロック講演会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新家光雄
2. 発表標題 力学的生体適合性に着目した骨代替インプラント構成材料
3. 学会等名 日本金属学会・日本鉄鋼協会北陸信越支部連合講演会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新家光雄
2. 発表標題 生体用金属材料の研究開発の変遷
3. 学会等名 第2回日本金属学会第7分野講演会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 N. Mitsuishi, E. Miura-Fujiwara, M. Yamada, T. Chiba, H. Sato, Y. Watanabe, M. Ito, S. Takashima, M. Nakai, T. Akahori, M. Tanaka, M. Niinomi, and T. Takechi
2 . 発表標題 Whitening Process for TNTZ Orthodontic Wire by Combination of Shot-peening and Atmospheric-pressure Plasma Treatment
3 . 学会等名 The 14th World Conf. on Titanium ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 N. B. Abdullah, M. Nakai, Y. Kawamura, E. Kawamura, and M. Niinomi
2 . 発表標題 Effects of Titanium Plate Fixation on Bone Healing
3 . 学会等名 The 14th World Conf. on Titanium ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Nakai and M. Niinomi
2 . 発表標題 Fatigue Properties of Beta-type Ti-Cr Alloy with Changeable Young ' s Modulus,
3 . 学会等名 The 14th World Conf. on Titanium ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Niinomi
2 . 発表標題 Research and Development of Metallic Biomaterials for Inhibiting Stress-Shielding Between Implant and Bone
3 . 学会等名 PRICM 10 ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 X. Chen, R. Li, P. Smith, M. Niinomi
2. 発表標題 Osteoanabolic Implant Materials for Orthopedic Treatment
3. 学会等名 PRICM 10 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Niinomi,
2. 発表標題 Development of Metallic Biomaterials with Focusing on Titanium Alloys for Biomedical Applications
3. 学会等名 IWMG 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計6件

1. 著者名 M. Niinomi	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 620
3. 書名 Interface Oral Health Science 2016	

1. 著者名 M. Niinomi	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 654
3. 書名 Titanium in Medical and Dental Applications	

1. 著者名 M. Niinomi	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 2954
3. 書名 Encyclopedia of Biomedical Engineering 1st Edition	

1. 著者名 M. Niinomi	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 996
3. 書名 Biomedical Devices 2nd edition	

1. 著者名 M. Niinomi and M. Nakai	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 620
3. 書名 Novel Structured Metallic Materials, Novel Structured Metallic and Inorganic Materials	

1. 著者名 M. Niinomi	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 384
3. 書名 Titanium in Consumer Applications	

〔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	赤堀 俊和  (Akahori Toshikazu)  (00324492)	名城大学・理工学部・准教授       (33919)	