

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560857

研究課題名(和文) 審美性と耐剥離性を両立したチタン合金の酸化膜コーティング

研究課題名(英文) White oxide coating on titanium alloys having high exfoliation resistance

## 研究代表者

三浦 永理 (Miura-Fujiwara, Eri)

兵庫県立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70315258

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：歯科用硬組織代替材料は、強度や生体安全性に加え、外観の回復もまた重要である。本研究では、歯科で一般的に用いられるCP Tiおよび生体用型合金であるTi-29Nb-13Ta-4.6Zr合金とTi-36Nb-2Ta-3Zr-0.30合金を中心に、白色酸化膜生成条件と色調ならびにの耐剥離性の調査を行ない、被膜形成機構について考察した。また、歯科矯正ワイヤや義歯床の試作品を作製した。白色酸化処理により、いずれのTi合金もルチル型TiO<sub>2</sub>を中心組成とした白色被膜を表面に形成させることが出来た。白色被膜はエポキシ接着剤並の密着性を持ち、その白さは日本人の歯冠色と同等かそれ以上の値が得られた。

研究成果の概要(英文)：In addition to the strength or living body safety, the recovery of the appearance is also important for the charge for dentistry of the hard tissue alternate material. In this study, white oxidized-film was fabricated on CP Ti, which is used for dentistry, and Ti-Nb-Ta-Zr alloys, which is developed for biomedical use. The oxide film formation conditions, color tone, peel resistance, cellular affinity of the film were investigated. Based on the obtained experimental results, oxidation mechanisms were also discussed. Finally, test models such as a crown, denture base, and orthodontic arch wire were fabricated using this technique. Any Ti alloy was able to form the white film which consisted of rutile type TiO<sub>2</sub> as the main composition on the alloy surface by the treatment. The white film had about the same adhesiveness as epoxy adhesive, the whiteness was equivalent to the Japanese crown colour, or the value of the further was acquired.

研究分野：構造・機能材料

キーワード：チタン合金 バイオマテリアル 歯科補綴材料 界面強度 コーティング 酸化物 界面制御

### 1. 研究開始当初の背景

QOL向上と安全性への関心が高まる昨今、人工歯を始めとする硬組織代替材料として、靱性と強度に優れ、かつ審美性にも秀でた「白い金属」が求められている。この「白い金属」の意味には大別して3つある。一つは、金属の様な機械的性質を持つこと、すなわち延性や靱性を持ち、硬組織、特に骨や歯の補綴物として必要かつ十分な強度を持つこと、そしてもう一つは、任意の形状に成形可能で、かつ寸法精度の良いこと、そして最後に、歯科補綴物として審美性に優れること、つまり歯質と同様の「白さ」を持つことである。歯科補綴には、クラウン、インレー、支台歯コア、矯正用ブラケットなど、審美性と機械的性質を兼ね備えた材料が求められる部材は多い。

骨や歯などの硬組織代替材料には、有機・無機・金属の多種多様な素材が使われている。歯や骨等の硬組織は金属やレジン、セラミクス等の人工物で代替され、陶材焼付冠等の部材複合化やコンポジットレジンなどの複合材料も頻繁に使われる。それらの材料は何れも優れた性質を有しているが、機械的性質、審美性、耐久性、そして生体安全性の全てを満たす材料は未だ実現されていない。しかし、強度や延性・展性、耐久性は金属が持つ優れた性質であり、これに審美性が確保されれば、金属が最も硬組織代替材料として優れていることになる。一方で、審美性をより重視したのがレジンやセラミクス製の補綴材料であり、審美性と機械的性質、この二つの性質はいわばトレードオフの関係である。また、生体材料において、機能や安全性が患者にとって最も重要であることは言う迄も無いが、技工士や施術者にとって操作性が良く、プロセスが簡便であることも重要なポイントである。それも「白い金属」が求められる所以である。

Ti表面の酸化処理については、骨成長促進や表面硬化を目的とした陽極酸化処理や、低温化学処理による酸化皮膜形成処理が主流であるが、それらの報告からもTi酸化膜すなわちTiO<sub>2</sub>の生体親和性や安全性が知られている。審美性の点では、着色目的のカラードキタンなどが知られているが、金属の機械的性質を維持しつつ、審美性も併せ持つ生体材料としての表面処理についての研究は行われていない。これまで、材料研究者や歯科医療関係者の間では「白い金属」は実現不可能な材料として認識されていた。

### 2. 研究の目的

病気や事故などで欠損したり機能が失われたりした生体組織の代替としての生体材料には、高分子材料や無機材料、金属材料からなる様々な素材が用いられる。そのような組織代替材料は、衰えたり失われたりした機能の回復が目的で開発されたものである。しかしながら、近年では、機能回復だけでなく、外観、すなわち「見た目」の回復も、患者の

QOL(Quality of life, 生活の質)向上の見地から重要視されるようになってきた。すなわち、人工骨が生体骨の代替として体重を支える、人工関節が関節の代わりとして手足の屈曲を可能にする、という機能回復だけでなく、欠損部位を補い外観を健全な状態にするという事も、外観という機能を回復するという意味で医療材料としては重要な開発目的となり得る。

生体材料に関する研究開発分野において、健全状態と近い状態に治療部位の外観を保つという意味での審美性について古くから関心が高く、研究が進んでいるのが歯科材料分野であろう。例えば、メタルボンドポーセレンクラウンは見えないところは金属製、見えるところは審美性の高いセラミクス製という複合材料であるが、焼付界面の剥離が実用上の問題として挙げられる。また、レジンで被覆するレジン前装冠もあるが、先と同様界面強度に加えレジンの耐久性の低さが問題となる。

近年の審美性重視の流れから、ここ数年で先に述べた人工歯では、支台歯もセラミクス製のオールセラミクスクラウンも台頭してきている。また、連結冠(ブリッジ)はファイバーコアなどレジンと無機材料の複合材等がある。この様な、人工歯冠の非金属化は、優れたレジン(樹脂材料)や無機-有機ハイブリット材料が開発されたお陰であるが、機械的性質や耐久性はまだ金属には及ばない。また、義歯床やインプラント、ブラケットや矯正アーチワイヤ等では、優れた靱性や弾性、強度等を持つ金属を利用する部材は多い。

しかしながら、これまでの研究はセラミクスの高靱性化やポリマーの高強度化等のアプローチが主で、金属表面の白色化という観点での研究は行われてこなかった。その一方、Ti酸化物の高温安定相であるrutile型TiO<sub>2</sub>は「チタンホワイト」と呼ばれる白色顔料であり、またTiO<sub>2</sub>は化粧品にも含まれており、食品添加物としても認められている。

そこで申請者らは、この高温安定相のrutile型TiO<sub>2</sub>をTi表面に被覆し、金属の白色化を試みた。従来材のCP Tiを始め、生体硬組織代替材料として開発されたβ型Ti合金Ti-Nb-Ta-Zrは、酸素存在下での熱処理により、表面に白色被膜が形成されることが見出されている。これら合金について、白色被膜生成熱処理条件と色調の関係や組織、白色皮膜の耐剥離性について調査した。

### 3. 研究の方法

試料は、CP Ti (grade 2)と、熱間溝ロールを施したTi-29Nb-13Ta-4.6Zr (TNTZ)を用いた。その他、Ti-36Nb-2Ta-3Zr-0.3O合金やTi-Ni合金も同様の実験を行ったが、ここでは割愛する。形状はいずれもφ10 mmの棒状である。これらの棒状試料は、1073 Kでそれぞれ0.3 kと2.6 ksの保持時間で真空中にて溶体化処理を行った。熱処理後の棒状試料は、長軸方向

に垂直に厚さ約 1 mm にスライスし、円盤状試料とした。試料はエメリー紙#1500 まで研磨し、表面酸化による白色化処理に供した。白色化処理は大気中で行い、1073 K ~ 1273 K の温度で、保持時間は 0.6 ks ~ 10.8 ks で変化させた後、大気中で放冷した。

白色化処理後の試料表面の色を定量化するため、分光測色計による測定を行った。得られた色は、CIELAB 色空間(CIE1976  $L^*a^*b^*$  均等色空間)で定義される  $L^*a^*b^*$  表色系で表した。 $L^*a^*b^*$  表色系は、明度に対応する  $L^*$  軸( $0 \leq L^* \leq 100$ )、赤-緑の色相に対応する  $a^*$  軸、黄-青の色相に対応する  $b^*$  軸により、色を 3 次元色空間で表すものである。白色化皮膜の相同定には、Cu Ka 線にて X 線回折(XRD)を用いた。

測色後の試料は、光学顕微鏡観察並びに走査電子顕微鏡(SEM)による断面観察を行った。また、皮膜/基板界面の化学組成の定量には、電子線プローブマイクロアナライザー(EPMA)を用い、更に、X 線光電子分光装置(XPS)を用いて、界面近傍の酸化皮膜から深さ方向の元素分析を行った。

皮膜の剥離強度を調査するため、密着性試験機を用いて剥離試験を行った。皮膜表面に、エポキシ系接着材にて  $\phi 2.7$  mm のスタッドピンを接着した。剥離強度は、スタッドピンを 10.5 kgf/s で引張り、皮膜が剥離した時の最大強度から求めた。

## 研究成果

### 酸化皮膜の色調と被膜厚さ

白色化処理前後の Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr 試料表面の外観を Fig. 1 に示す。処理前は金属光沢を持つ Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr 合金表面が、処理後は、明るい白色の皮膜に覆われているのが観察された。表面性状は艶消し状であった。後に示すが、皮膜の明度は加熱温度や保持時間の増加に伴い増加する。しかしながら、過度の加熱では基板と皮膜の熱膨張率の差異に起因すると思われる冷却時の皮膜剥離が発生することが判っている。そこで、炉冷により剥離が起こらない加熱条件として、加熱温度 1273 K、保持時間 1.8 ~ 3.6 ks を基準として、以後の調査を行った。

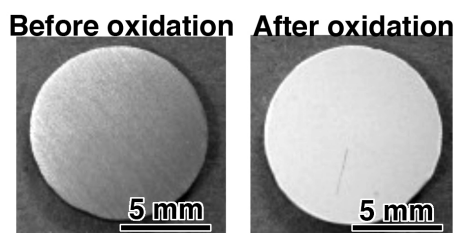


Fig. 1: 白色化処理前後の Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr 合金試料外観 (左:処理前, 右:処理後)

1273 K にて白色化処理を施した試料について、明度  $L^*$  と保持時間との関係を Fig. 2 に示す。図に見られる様に、Ti および TNTZ の  $L^*$  値(白 - 黒)は、歯冠色の  $L^*$  の範囲内にあり、保持時間の増加に伴い初期は放物線状に上昇し、その後、Ti で加熱時間 2 ks 以降、TNTZ でおよそ 3.6 ks 以降では、加熱時間の増加にかかわらず  $L^* > 80$  でほぼ一定となった。レジ前装冠のオペークレジンの最大明度は  $L^* \leq 80$  程度という報告があることから、本研究で得られた酸化皮膜は、人工歯のオペークと同等の基板色被覆能があると言える。

ここで、保持時間と酸化皮膜厚さとの関係について Fig. 3 に示す。皮膜厚さを SEM 断面観察画像から求めた。この図に見られる様に、Ti と TNTZ の酸化皮膜厚さは、保持時間の増加に伴い増加し、Ti に比べて TNTZ の皮膜厚さの増加率は低かった。すなわち、Ti における酸化膜の成長速度は、TNTZ のそれに比べてかなり大きく、Fig. 3 における皮膜最大厚さは、Ti は TNTZ の 4 倍近い。ただし、後述

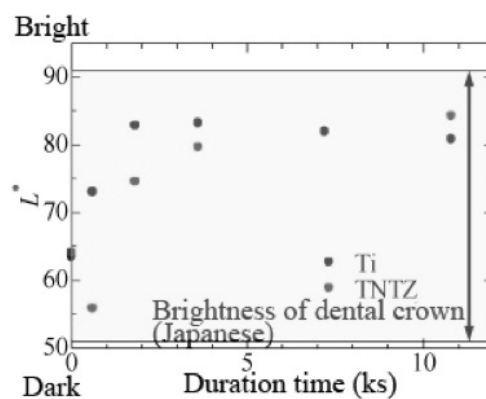


Fig. 2: Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr の白色被膜の明度と保持時間の関係(1273 K)。

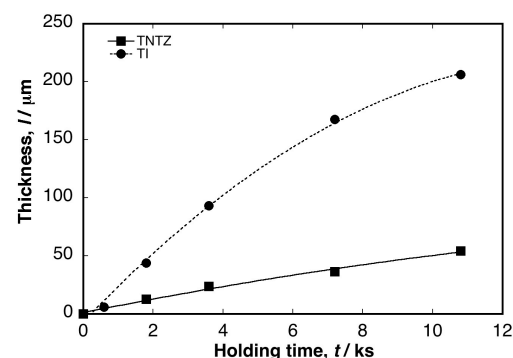


Fig. 3: 酸化膜厚さと保持時間の関係

するが、Ti の酸化皮膜の場合、これは見かけの厚さである。

Fig. 2 と Fig. 3 の結果と併せると、 $L^*$  は皮膜厚さの増加に伴い上昇すると結論できる。断面組織の項でも後述するが、TNTZ の合金元素である Nb や Ta, Zr は、酸化皮膜の形成挙動に影響を与えるだけで無く、当然のことな

がら、酸化皮膜の色調へも影響を与えると示唆される。ここで、酸化膜の成長速度論において、一般的に、皮膜成長速度は $l = kt$ の直線則あるいは $l = \sqrt{kt}$ の放物線則に従う場合が多い。弱い保護皮膜や金属基板との密着性が小さい場合、直線則を示すとされる。そこで、被膜厚さの回帰分析を行った結果、Ti と TNTZ のいずれも加熱保持時間に比例し膜厚が増加する直線則に近く、特に TNTZ ではその傾向が顕著であった。

#### 酸化皮膜の構造と断面組織

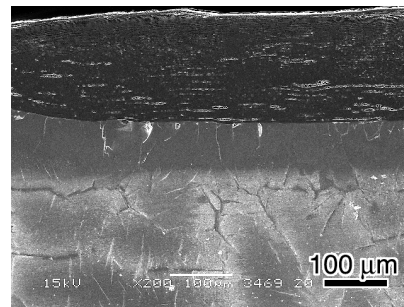
Ti ならびに TNTZ 基板と、それぞれの酸化皮膜について、X 線構造解析(XRD)を行った結果、Ti では rutile 構造の  $\text{TiO}_2$  の形成が認められた。一方、4 元系合金の TNTZ では、 $\text{TiO}_2$  に加え  $\text{Ti}(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_7$  が認められた。従って、表面の白色は  $\text{TiO}_2$  層の色であり、その膜厚の増加に応じて上昇すると結論づけられる。加えて、TNTZ の酸化皮膜を剥離させた剥離表面を観察すると、酸化皮膜側は黄味が強く現れており、一方金属基板側は濃灰色を呈していたこの濃灰色表面は  $\alpha$ -case と呼ばれる高濃度に酸素を固溶した hcp 相からの色と推察される。すなわち、酸化反応に伴い形成される基板側の  $\alpha$ -case や、界面反応相と推察される黄色相からの色を上部に形成される半透明の酸化皮膜が被覆し、その厚みの増加に伴い界面や基板からの光の反射量が減じ、酸化皮膜内部や表面の反射が増加することが、 $L^*$ や  $b^*$ (青-黄)の皮膜厚さ依存性が生じる原因の一つと考えられる。

ここで、生成した皮膜の安全性についてであるが、Ti 酸化物の高温相である rutile 型  $\text{TiO}_2$  は、本来「チタンホワイト」と呼ばれ白色顔料に使われており、また食品添加物の一つとして既に利用されている。また、Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr の白色皮膜については、皮膜上での *in-vitro* の細胞の拡散増殖性能を評価では、基板と遜色ない生体適合性を持つことが示されている。

次に、SEM による酸化皮膜/基板界面付近の断面観察結果を Fig. 4 に示す。Fig. 4 a)の酸化皮膜/Ti の皮膜組織は、基板組織と連続性を持たず、数 $\mu\text{m}$  の酸化物層とほぼ同じ間隔の空隙層がパイ皮のように重なった層状の porous な構造であった。Ti の酸化皮膜の場合、Fig. 3 の膜厚はこの隙間も含むため、 $\text{TiO}_2$  の膜厚はもっと薄い筈である。また、Fig. 4 b)の酸化皮膜/TNTZ では、酸化皮膜は Ti の場合と比べて緻密であり、基板の界面近傍には粒界拡散により形成された粒界  $\alpha$  相や、粒内にラメラ構造が形成され、酸化皮膜はその組織をそのまま踏襲した様な連続性のある組織を呈していた。 $\beta$  単相である TNTZ に形成されたこのラメラ構造は、EPMA による組成分析の結果から、 $\alpha$  安定元素の酸素の固溶により 2 相分離した  $\alpha + \beta$  相であることが分かっている。従って、 $\beta$  安定化元素の Nb や Ta 濃度は、 $\alpha$  相中では  $\beta$  相に比べて小さい。

TNTZ の酸化皮膜は、Ti 酸化膜に比べて緻密であることや、界面近傍の酸化膜組織が同じく近傍の基板組織と連続性を維持していることから、基板と連続性の無いパイ皮状組織を呈する Ti 酸化膜とは異なる皮膜形成機構で成長したと考察される。また、Ti への Nb 添加は酸化皮膜の耐食性を向上させるという報告がある事からも、Nb の添加は酸化膜の緻密化を促進する効果があることが示唆される。

#### a). Ti



#### b). Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr

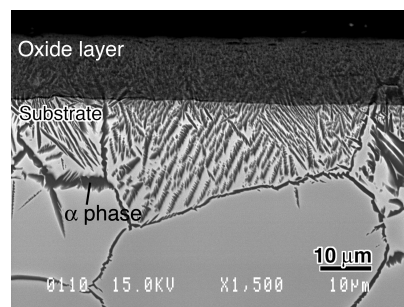


Fig. 4: Ti と Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr 合金白色被膜と基板の断面反射電子像

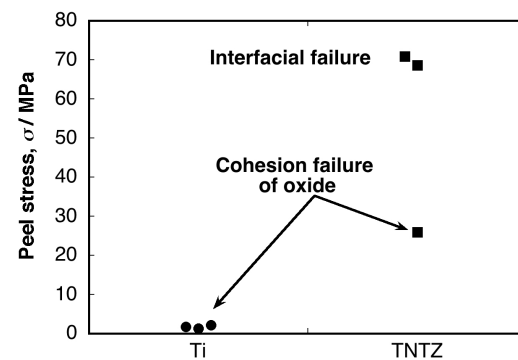


Fig. 5: Ti と Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr 合金の白色被膜の剥離強度

#### 酸化皮膜の耐剥離性評価

Ti と TNTZ の酸化皮膜の剥離強度を Fig. 5 に示す。図中には、光学顕微鏡で観察した剥離モードも同時に記載した。この図から、Ti 酸化皮膜の剥離強度は 5 MPa 以下と、TNTZ 酸化皮膜に比べて非常に低い値であった。ま

た、剥離様式はいずれの試料も酸化皮膜内で剥離する凝集破壊であった。一方 TNTZ では、金属基板と酸化皮膜界面で剥離する界面破壊と酸化膜の凝集破壊の2種類の剥離様式が見られ、界面破壊においては、この試験方法での最大強度であるおよそ 70 MPa(=スタットピンを接着しているエポキシ樹脂の剥離強度)とほぼ同程度の値が得られた。また、凝集破壊でも、Ti に比べて高い 20 MPa 以上の剥離強度が得られた。これらの結果から、Ti 酸化膜は界面強度より酸化皮膜の強度が低く、皮膜が剥離の起点になるのに対し、TNTZ 酸化膜の場合は、主に界面が剥離の起点となる。この傾向は、Fig. 4 断面組織とも良い一致を示し、パイ皮構造の porous な TiO<sub>2</sub> 層を持つ Ti 酸化膜では、空隙層と TiO<sub>2</sub> 層の間で剥離が起り易く、緻密な構造の酸化皮膜が生成する TNTZ では、酸化膜側での凝集破壊は起りにくいと考えられる。

#### まとめ

本研究では、Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr や Ti の歯科材料としての審美性向上のため、白色酸化皮膜の生成熱処理条件の調査、組織観察と色調の定量評価ならびに耐剥離性評価を行った。本研究の結果から、酸化皮膜被覆による白色化 TNTZ は、歯と似た色調を持ち、口腔内で目立ちにくいという審美性が求められる歯科補綴物や矯正材料等への応用が期待される「白い金属」として有望な材料である事が示された。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

##### 〔雑誌論文〕(計 5 件)

1. Eri Miura-Fujiwara, Keisuke Mizushima, Yoshimi Watanabe, Toshihiro Kasuga, Mitsuo Niinomi: Color tone and interfacial microstructure of white oxide layer on CP Ti and Ti-Nb-Ta-Zr alloys, Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), 53(11S), 11RD02, (2014).
2. 三浦永理: 研究報告・白い金属 - Ti-Nb-Ta-Zr 合金の高温酸化皮膜による白色化の検討-, チタン, 62(4), pp. 286-292, (2014).
3. Eri Miura-Fujiwara, Keisuke Mizushima, Soichiro Yamada, Yoshimi Watanabe, Toshihiro Kasuga, Mitsuo Niinomi, Tohru Yamasaki: Aesthetic and Mechanical Properties of Oxide Coated Ti-Nb-Ta-Zr Alloys as a Dental Material, Proceedings of PRICM8, pp. 1543-1550, (2013).
4. Akiko Obata, Eri Miura-Fujiwara, Akimitsu Shimizu, Hirotaka Maeda, Masaaki Nakai, Yoshimi Watanabe, Mitsuo Niinomi, Toshihiro Kasuga: White-ceramic conversion on Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr surface for dental applications, Advances in Materials Science and Engineering, ID501621, (2013).
5. E. Miura-Fujiwara, S. Yamada, A. Obata, H. Sato, Y. Watanabe, T. Kasuga and M. Niinomi: Oxidation behavior and effect of layer thickness on whiteness and exfoliation behavior of oxide film formed on Ti-Nb-Ta-Zr alloy, Proceedings of Ti-2011 conference, ed. by Lian Zhou, Hui Chang, Yafeng Lu, Dongsheng XU, Science Press Beijing, 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing, China, ISBN 978-7-03-033895-2, volume III, pp.2116-2120, (2012).

##### 〔学会発表〕(計 15 件)

1. Eri Miura-Fujiwara, Yoshimi Watanabe, Toshihiro Kasuga, Mitsuo Niinomi: Color tone and exfoliation resistance of white oxide layer formed on Ti-Nb-Ta-Zr alloys, Symposium: Advanced Materials in Dental and Orthopedic Applications, 2015 TMS Annual Meeting & Exhibition, Walt Disney World Swan and Dolphin Resort, Orlando, FL USA, 3/15-19/2015.
2. 三浦永理: Ti 合金の白色皮膜による色調制御と耐剥離性, 日本金属学会・日本鉄鋼協会中国四国支部 第120回 金属物性研究会, 香川大学 工学部, 10/27/2014.
3. 三浦永理, 渡辺義見, 春日敏宏, 新家光雄: Ti-Nb-Ta-Zr 合金の白色化による審美性の改善, 東北大学金属材料研究所共同研究ワークショップ日本バイオマテリアル学会東北ブロック講演会, 産官学連携による金属系バイオマテリアルの研究開発の最前線, 東北大学金属材料研究所, 10/6-7/2014.
4. 三浦永理, 奥林宏彰, 渡辺義見, 春日敏宏, 新家光雄: Ti-Nb-Ta-Zr 合金ワイヤの白色化と曲げ変形能への酸素の影響, 2014 年日本金属学会秋期講演大会, 名古屋大学, 9/24-9/26/2014.
5. 三浦永理, 渡辺義見, 春日敏宏, 新家光雄: Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr 合金高温酸化被膜の色調と剥離強度, 第 25 回新構造・機能制御と傾斜機能材料シンポジウム (FGMs-2014), 郡山ユラックス熱海(郡山市熱海町), 7/10-11/2014.
6. 三浦永理: Ti の高温酸化相を用いた表面白色化, 平成 25 年度名古屋工業大学研究協力会助成による研究会, 臨江館, 3/3-3/4/2014.
7. E. Miura-Fujiwara, Akiko Obata, Yoshimi Watanabe, Toshihiro Kasuga, Mitsuo Niinomi, Tohru Yamasaki: Color tone, Peeling stress and interfacial microstructure of white oxide layer on Ti-Nb-Ta-Zr alloys, ISPlasma2014, Meijo University, 3/2-6/2014.

8. 三浦永理, 水嶋恵介, 塚本英明, 佐藤尚, 渡辺義見, 春日敏宏, 新家光雄: Ti-Nb-Ta-Zr 合金酸化膜の被膜剥離強度と界面組織, 第 124 回軽金属学会講演会, 富山大学, 5/18-5/19/2013.
9. E. Miura-Fujiwara, K. Mizushima, S. Yamada, Y. Watanabe, T. Kasuga, M. Niinomi: Aesthetic and mechanical properties of oxide coated Ti-Nb-Ta-Zr alloy as a dental material, PRICM8, 8/4-8/9/2013.
10. E. Miura-Fujiwara, A. Obata, Y. Watanabe, T. Kasuga, M. Niinomi: Aesthetic and Mechanical properties of oxide coating on Ti-Nb-Ta-Zr Alloys as a dental material, Thermec2013, 12/1-12/7/2013.
11. 三浦永理: 生体用 Ti 系材料の複合化による機能性改善-ポーラス Ti と白色被膜コーティング, 日本鉄鋼協会・日本金属学会関西支部 材料開発研究会 平成 24 年度第 2 回研究会, 関西大学吹田キャンパス, 6/21/2012.
12. 水嶋恵介, 三浦永理, 菊池丈幸, 山崎徹, 渡辺義見, 春日敏宏, 新家光雄: CP Ti ならびに Ti-Nb-Ta-Zr 合金の酸化皮膜形成による審美性向上と剥離強度に関する研究, 日本金属学会秋期大会, 愛媛大学, 9/17-9/19/2012.
13. Eri Miura-Fujiwara, Yoshimi Watanabe, Toshihiro Kasuga, Mitsuo Niinomi: Oxidation Behavior and Evaluations of Aesthetic and Mechanical Properties of Oxide Coating on Ti-base Biomedical Alloy, Materials Science and Engineering (MSE2012), Darmstadt Germany, 9/25 - 27/2012.
14. 三浦永理, 水嶋恵介, 渡辺義見, 春日敏宏, 新家光雄: CP Ti および TNTZ の表面酸化膜の色調に及ぼす熱処理条件の影響, 軽金属学会, 千葉工大津田沼キャンパス, 11/10/2012.
15. 三浦永理, 水嶋恵介, 山田宗一郎, 塚本英明, 佐藤尚, 渡辺義見, 春日敏宏, 新家光雄: Ti-Nb-Ta-Zr 合金高温酸化膜の界面組織と密着強度, 日本金属学会, 東京理科大学大神楽坂キャンパス, 3/27-3/29/2013.

〔図書〕(計 1 件)

1. Y. Watanabe, H. Sato, E. Miura-Fujiwara(分担執筆): Chapter 19: Functionally Graded Metallic Biomaterial, Springer Series in Biomaterials Science and Engineering, M. Niinomi, T. Narushima, M. Nakai Eds., Advances in Metallic Biomaterials; Processing and Applications, Springer, ISBN 978-3-662-46841-8, in press (2015).

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 2 件)

名称: チタン合金への白色コーティング方法  
発明者: 三浦永理, 山田宗一郎, 渡辺義見,

佐藤尚, 春日敏宏, 新家光雄  
権利者: 国立大学法人名古屋工業大学  
種類: 特許出願  
番号: 特願 2012-007589  
出願年月日: 2012/1/18  
国内外の別: 国内

名称: Composite material for dental prosthesis and method manufacturing the same  
発明者: 三浦永理, 山田宗一郎, 渡辺義見, 佐藤尚, 春日敏宏, 新家光雄  
権利者: 名古屋工業大学  
種類: 米国特許出願  
番号: 13/602,995  
出願年月日: 2012/9/4  
国内外の別: 国外

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/msc/emiura/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

三浦永理 (Eri Miura-Fujiwara)  
兵庫県立大学・工学研究科・准教授  
研究者番号: 70315258

(2)研究分担者

小幡亜希子 (Akiko Obata)  
名古屋工業大学・工学研究科・助教  
研究者番号: 40402656

(3)研究分担者

山崎徹 (Tohru Yamasaki)  
兵庫県立大学・工学研究科・教授  
研究者番号: 30137252

(4)連携研究者

菊池丈幸 (Takeyuki Kikuchi)  
兵庫県立大学・工学研究科・准教授  
研究者番号: 50316048

(5)連携研究者

渡辺義見 (Yoshimi Watanabe)  
名古屋工業大学・工学研究科・教授  
研究者番号: 50231014

(6)連携研究者

春日敏宏 (Toshihiro Kasuga)  
名古屋工業大学・工学研究科・教授  
研究者番号: 30233729

(7)連携研究者

新家光雄 (Mitsuo Niinomi)  
東北大学金属材料研究所・教授  
研究者番号: 50126942