

機関番号：17102

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009 ~2010

課題番号：21760528

研究課題名 (和文) 分極処理による低LTD型生体活性イットリア安定化ジルコニアの開発

研究課題名 (英文) Enhancement of water durability and bio-activity on electrically modified yttria-stabilized zirconia surfaces

研究代表者

田中 優実 (TANAKA YUMI)

九州大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：00436619

研究成果の概要 (和文)：

優れた強度と生体親和性により医療材料として利用されているイットリア安定化正方晶ジルコニア (Y-TZP) には、水の介在により結晶が不安定化して破壊に至る現象 (LTD) を示すという問題点がある。LTD は、Y-TZP 表面に吸着した水が表面 OH⁻イオンを生成、これが内部侵入することで進行するとされているため、本研究では、静電反発効果による水吸着及び OH⁻イオン侵入抑制をめざして Y-TZP 表面の電荷修飾を試みた。結果、安定な静電気を保持する帯電 Y-TZP 表面の作成に成功し、この表面上における LTD 抑制効果の発現を実証した。

研究成果の概要 (英文)：

Yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal (Y-TZP) is an important load-bearing bioceramic. However, a phenomenon called LTD, in which a phase destabilization occurs under moisture, reduces the reliability of Y-TZP as long-term implants. Since the exact mechanism of LTD is still unclear, this work was directed to evaluate an influence of surface charges of Y-TZP on LTD. Y-TZP were polarized under DC electrical field to vary surface O²⁻ concentrations, which resulted in a successful preparation of Y-TZP surfaces with stable static charges. LTD durability was significantly influenced by the polarity on the surfaces; the negatively-charged surface was proved to show a good LTD durability.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
21 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
22 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学、無機材料・物性

キーワード：イットリア安定化正方晶ジルコニア、バイオセラミックス、酸化物イオン伝導、分極、低温劣化、アルカリ処理、骨類似アパタイト

1. 研究開始当初の背景

(1) LTD について (背景と研究経緯)

イットリア安定化正方晶ジルコニア (Y-TZP) は現在、優れた強度と生体親和性により医療に欠かせない材料となっている。しかし、水の介在により正方晶から単斜晶への相転移が生じ、最

終的に破壊に至る「低温劣化現象 (LTD)」が生じることから、現状として、埋入期間が数十年にわたるようなインプラント材料としては信頼性が低い。LTD の自発的相転移の発生機構はいまだ完全には解明されていないが、Y-TZP 表面への H⁺を介した水の静電吸着と表面 OH⁻の生成およびその内部侵入が初期の相転移に直接関係し

ているとの説が有力であり、この説に従うと、LTDの抑制には、水吸着やOH侵入を困難とするような表面の導入が有効であることになる。我々は、Y-TZP表面の欠陥構造や局所電位の制御によってこれが可能なのではないかと考え、その手法として分極処理を採用した。Y-TZPは、優れた酸化イオン伝導体としても知られている。このため、Y-TZPに対して比較的高い温度で直流電界を印加(分極処理)すると、負電荷を持つ O^{2-} イオンが陽極側に、正電荷を持つ酸化イオン空孔(以降、 $Vo^{\cdot\cdot}$)が陰極側に移動することになり、Y-TZP上に O^{2-} と $Vo^{\cdot\cdot}$ の電気的中性バランスを乱した帯電表面を作ることが可能となるのである。本研究開始時点ではすでに、こうして作成した分極Y-TZPのLTD耐性が未処理のそれより高くなることを示唆する結果を得ていたが、分極Y-TZPの帯電状態を制御するための技術が確立していなかったことから、分極Y-TZPのどのようなファクターが、LTD抑制に寄与するのかという点に関する知見は得られていなかった。

(2) 生体活性化について(背景と研究経緯)

Y-TZPは生体組織と直接結合することのできない生体不活性材料であり、医用材料としての応用範囲は限定されている。材料が生体活性を示すには、骨の無機成分(骨類似アパタイト)の核形成サイトとなるような官能基を表面に有している必要があり、生体金属分野では、化学処理により表面を腐食させることで官能基を導入、生体活性化する試みがなされている。しかし、酸や塩基による表面腐食が起こりにくいY-TZPの場合、化学処理による官能基導入は困難となる。実際我々は、Zrに対して効果のあるNaOH水溶液処理をY-TZPに対して行ったが、擬似体液(SBF;イオン濃度が体液と等しい無機水溶液)浸漬試験において、生体活性の傍証となる骨類似アパタイト結晶の析出は確認できなかった。加えて、溶液処理後のY-TZP中に単斜晶転移が確認されたこともあり、この手法を利用した生体活性化を実現するためにはまず、化学種による修飾が容易でかつLTD耐性にも優れたY-TZP表面を作り出す必要があるものと考えられた。

2. 研究の目的

ここまで述べてきたように、生体材料としてのY-TZPの需要が拡大しつつある現状にあって、その信頼性を左右するLTD抑制技術の開発と、今後の応用展開を左右する生体活性付与技術の確立という2つの大きな課題の解決は急務となっている。前者に関して我々はすでに、分極処理を利用したY-TZPの電気的表面修飾という方針においてLTD抑制効果発揮の可能性を見出していることから、本研究では、これをさらに進めるべく、分極処理を利用したY-TZPの帯電状態制御技術を確認してY-TZP表面の帯電状態とLTDとの関係を明らかにすることを目的とした。一方後者については、官能基導入は容易でかつLTDには耐性を示すY-TZP表面が分極処理によって形成可能であるかの検証を目標とした。

3. 研究の方法

(1) Y-TZP表面の帯電制御と加速LTD試験

3 mol% $Y_2O_3-ZrO_2$ 粉末を一軸加圧により圧粉体とし、大気中、1450℃で120分間熱処理することで焼結体とした。得られた焼結体に金電極を焼付けた後、白金電極に矜持して150~300℃まで昇温、各温度で0~720分間、250 Vcm^{-1} の直流電界を印加することで分極Y-TZPを作成した。以降、未分極表面をO面、分極処理時に陰極に接していた表面をP面、陽極に接していた表面をN面とそれぞれ称する。試料の分極状態は、室温から850℃の温度範囲における熱誘起脱分極電流(TSDC)測定により評価した。なおTSDC測定とは、短絡回路に接続した分極試料を加熱し、分極の熱的緩和に伴って外部回路に流れる電流を計測する手法である。作成した分極/未分極Y-TZPは、金電極を除去した後に100℃の純水中で7日間保持した。各試料のLTD耐性は、熱水処理後のXRD測定結果を用いて、Toraya式より算出した単斜晶転移率を指標として評価した。

(2) 分極Y-TZPの官能基修飾とLTD評価
(本実験は(1)に先立って行ったため、焼結条件および分極条件がこれとは異なっている。)

3 mol% $Y_2O_3-ZrO_2$ 粉末を圧粉体とし、大気中、1350℃で60分熱処理することで焼結体とした。得られた焼結体は、200℃で30分、20 Vcm^{-1} の条件で分極処理し、TSDC測定によって分極状態を評価した。作成した未分極/分極Y-TZPを、耐アルカリガラス容器中、95℃の5M NaOH水溶液で24時間処理した。試料表面の原子結合状態はXPS測定によって評価し、溶液処理中のLTD進行は、処理後の試料における単斜晶転移率を指標として評価した。化学処理後の未分極および分極Y-TZPは37℃の1.5SBF(1.5倍濃度のSBF)で7日間保持した後、表面のSEM観察を行った。生体活性付与の可能性は骨類似アパタイト析出の有無によって判定した。

4. 研究成果

(1) Y-TZP表面の帯電制御

図1に、150~300℃で120分、250 Vcm^{-1} の電界にて分極処理したY-TZP焼結体のTSDC曲線を示す。試料内での分極形成は、全ての試料において電流が検出されたことにより確かめられた。ただし曲線の形状に注目すると、低温側で立ち上がるピーク部分(以降、低温領域ピーク)と、より高温側に現れるブロードなピークまたはショルダー部分(以降、高温領域ピーク)という2つの領域に分かれているように見える。以下の1式によれば、TSDC測定によって得られる分極緩和電流 $I(T)$ を決める材料由来のファクターは、 $P(T_0)$ と t_0 、および E_{dr} である。

$$I(T) = \sum_{i=1} I(T)_i \\ = P(T_0)_i / \tau_{0i} \exp\{-E_{dr,i}/(kT) - 1/(\beta\tau_{0i})\} \int -E_{dr,i}/(kT) dT \quad (1)$$

$I(T)$: 分極緩和電流、 i : 分極状態の種類、 $P(T_0)$: 初期分極量、 t_0 : 分極緩和時間 t の pre-exponential

factor, E_{dr} : キャリア拡散の活性化エネルギー、
 k : Boltzmann 定数, β : TSDC 測定時の昇温速度

ここで、TSDC ピークの強度は $P(T_0)$ 、位置と半幅は I_0 と E_{dr} の値の組み合わせによって決められる。図1で複数のピークから成る TSDC 曲線が観測されたのは、今回作成した分極 Y-TZP に、分極緩和(キャリア発生+キャリア拡散)の活性化エネルギーを異にする複数の分極状態が様々な強度で存在しているためであると考えられた。一方、分極温度の違いから曲線を比較すると、低温領域ピーク、高温領域ピークともに、分極温度が高いほどその強度は増大し、位置は全体的に高温側にシフトしてゆく傾向を示していることが分かる。これは、分極温度を高くすることで、各分極状態を形成する束縛キャリアの数が増加するとともに、それが緩和する際に必要な活性化エネルギーが上昇してゆくことを意味する。特に高温領域ピークについては 275 °C から 300 °C にかけて大幅な増加を示しており、この温度領域を境に、高温領域ピークの発現に起因する分極状態の割合が飛躍的に高まってゆくものと考えられた。

図2は、得られた分極 Y-TZP 焼結体の N 面と P 面、および断面面のスキャナ像である。分極処理前および 150 °C で分極処理した Y-TZP 焼結体は白色であるが、分極温度を 200 °C 以上とした場合には、試料が部分的、または全体的に黒色化するという現象が観測された。これは、分極処理時の過剰なエネルギー投入が、 O^{2-} と Vo^{\cdot} の分極のみならず、電極から試料への電荷注入(P 面の場合には電子 e^- の注入、N 面の場合にはホール h^+ の注入)をもたらした結果であろうと思われる。すなわち、電荷注入により Y-TZP のバンドギャップ間にドナー/アクセプター準位が多数形成され、この準位間、またはこれらの準位と価電子帯や伝導帯間で電子遷移が生じることが、光吸収(黒色化)の原因であると考えられた。なお、この現象を分極温度の上昇に対して追跡すると、黒色部はまず P 面側に現れた後、分極温度の上昇に伴って N 面側に向けてその領域を拡張してゆくことが分かる。これは、光吸収に寄与する準位の形成が、主に陰極からの e^- 注入によって生じること、また、注入された e^- や h^+ が、分極処理の

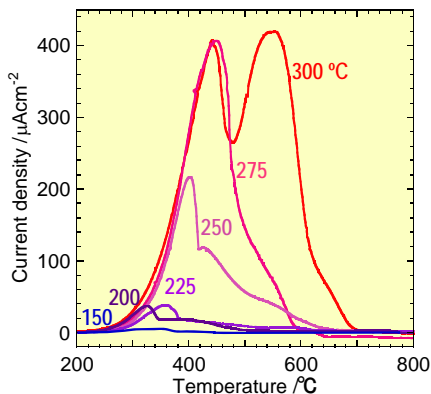


図1 分極 Y-TZP の TSDC 曲線に及ぼす分極温度の影響(分極条件: 150~300 °C/120 分/250 Vcm⁻¹)

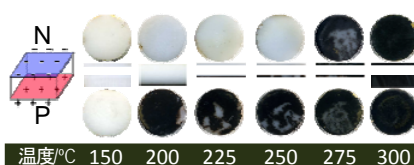


図2 分極 Y-TZP の色に及ぼす分極温度の影響(分極条件: 150~300 °C/120 分/250 Vcm⁻¹)

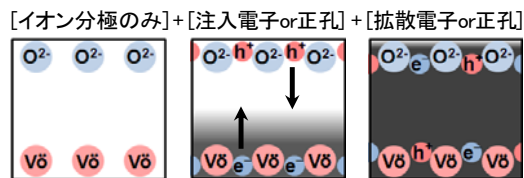


図3 分極 Y-TZP の色と分極形成イメージ

継続により電場に呼応して試料内で拡散してゆくことを示唆している。このことを考慮すると、黒色化初期段階にある試料の場合、P 面側には Vo^{\cdot} の局在に加えて電極から注入された e^- が、N 面側には O^{2-} の局在に加えて電極から注入された h^+ がそれぞれ共存する状態であり、また、完全に黒色化した試料の場合には、P 面側に局在 Vo^{\cdot} と注入 e^- および N 面から拡散した h^+ が、N 面側に局在 O^{2-} と注入 h^+ および N 面から拡散した e^- が、それぞれ外部電界とつり合う形で共存する状態(図3)であるものと考えられた。ただし、黒色化試料を含めた全試料において、分極処理に伴う結晶相変化は認められず、また、TSDC 測定後には黒色部分の消滅が見られることから、今回対象とした試料内での分極形成と脱分極の間には可逆性が成立しているものと予想された。

図4には、分極温度を 200 °C に固定した場合における、Y-TZP の色に及ぼす分極時間の影響を示した。分極時間を 720 分とした場合にも、N 面に達するまでの黒色領域進展が生じていない

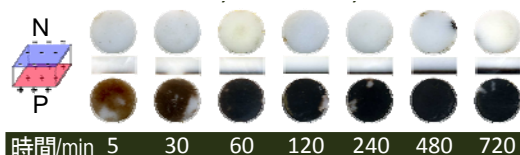


図4 分極 Y-TZP の色に及ぼす分極時間の影響(分極条件: 200 °C/5~720 分/250 Vcm⁻¹)

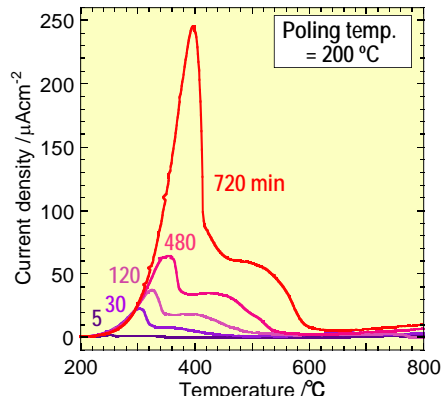


図5 分極 Y-TZP の TSDC 曲線に及ぼす分極時間の影響(分極条件: 200 °C/5~720 分/250 Vcm⁻¹)

ことが分かる。また、全ての TSDC 曲線(図5)は、比較的シャープな低温領域ピークと、ショルダー形状の高温領域ピークから構成されていた。おそらくこれが、P 面側が黒色、N 面側が白色となっている試料において特徴的な分極緩和過程なのであろうと考えられる。なお、1 式を用いた理論 TSDC 曲線と実測曲線とのフィッティング計算より、各試料の 25 °Cにおける分極緩和時間は、最も早く緩和する分極状態であっても $10^3 \sim 10^5$ 年以上と見積もられ、Y-TZP に蓄積された電荷が極めて高い安定性を有していることが示唆された。

(2) 未分極/分極 Y-TZP の加速 LTD 試験

図 6~7 は、未分極/分極 Y-TZP を 100 °C の沸騰水に 7 日間保持することで加速的に導入した単斜晶の割合を、分極処理の有無とその極性、および分極処理条件の別によって比較したものである。図 6 には、分極時間を 120 分に固定した場合における分極温度の影響を、図 7 には、分極温度を 200 °C に固定した場合における分極時間の影響をそれぞれ示した。全ての結果を通して、面の違いや処理の違いにより、LTD 耐性が様々に変化している様子を確認することができる。ここでまず図 6 に注目したところ、P 面では、分極温度を 150 °C または 275 °C 以上とした場合に、

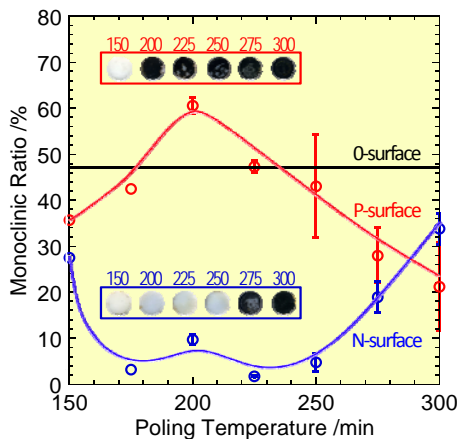


図6 Y-TZP の LTD に及ぼす表面極性、分極温度の影響(分極条件:150~300 °C/120 分/250 Vcm⁻¹)

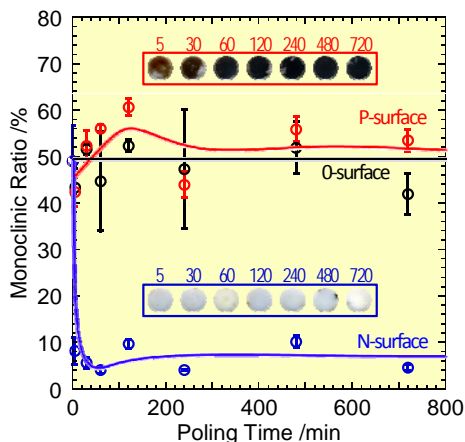


図7 Y-TZP の LTD に及ぼす表面極性と分極時間の影響(分極条件:200 °C/120 分/250 Vcm⁻¹)

N 面では、全ての試料において、0 面よりも高い LTD 耐性を示すことが分かった。さらに同一極性面における分極温度の影響を追跡すると、P 面の場合には、Vo[•]の局在が分極形成の主因(図 3 参照)であると予想される白色の 150 分分極試料において LTD が抑制され、これが初期の黒色化段階(e⁻の注入と表面近傍での局在)に入ると逆に LTD は促進の方向に向かい、さらに分極が進行(対極側への e⁻拡散と対極側からの h⁺拡散?)すると、再び LTD 抑制に転じてゆくという傾向を示しているように見えた。一方、N 面の場合には、主に O²⁻の局在によって分極形成されているであろう 150 °C 分極試料においてごくわずかしこ現れていなかった LTD 抑制効果が、175 ~ 250 °C にかけて(h⁺の注入と局在、対極側に向けた拡散の開始?)顕著に表れたのち、更なる分極の進行(対極側からの e⁻拡散?)に伴って再びその効果を現象させてゆくという傾向を示した。300 °C に至っては、P 面と N 面の抑制効果の大小が逆転している。この結果より、N 面において顕著な LTD 抑制効果の表れた試料は、いずれも P 面が黒、N 面が白という色調であることが分かった。そこで、全ての試料がこの色調を示しかつ相互に類似の TSDC 曲線形状を有していた 200 °C 分極試料群の LTD 挙動(図 7)に注目したところ、図 6 の白黒試料で得られた結果同様、全ての N 面で顕著な LTD 抑制効果が表れた。この際 P 面では、分極時間 5 分から 120 分にかけて転移率が上昇した後、240 分までに 0 面と同レベルまで低下、その後は 0 面とほぼ等しくなるという挙動を示しており、こちらも、図 6 における 150 °C から 250 °C にかけて観測される分極進行と相転移の關係に類似していた。

以上ように、Y-TZP の LTD は、O²⁻の局在に加えて、電極から注入されているであろう h⁺の局在によって支持される分極面上(白黒試料の N 面)で顕著に抑制されることが分かった。背景で述べたように、LTD の進行は H⁺を介した水の静電吸着と表面 OH⁻イオンの生成、およびその内部への拡散といった複数の段階を経て進行するとされている。上述の表面において LTD の進行が鈍化する機構については現在調査中であるが、例えば図 3 中央のモデルで示したような分極状態において、最表面に局在する h⁺の存在がまず水の静電吸着を抑制するとともに、表面直近に存在する過剰な O²⁻の持つ負電荷の影響を受ける形で OH⁻イオンの内部拡散が抑制されるようなことが起こっているのかもしれない。この点に関して、今後詳細な評価を行ってゆく予定である。

(3) 分極 Y-TZP の官能基修飾と LTD 評価

化学処理を行うために作成した分極 Y-TZP (N、P 面共に白色)の TSDC 測定を行ったところ、300 °C 付近で緩和するような、約 0.52 mCcm⁻²の電荷を蓄積していることが分かった。また、分極前後の Y-TZP の XRD 測定結果において両者に大きな違いはなく、共に正方晶ジルコニアの単一相となっていることが確認された。一方、化学

処理後に行った XRD 測定結果によると、分極/未分極ペレット共に単斜晶由来のピークが観察され、化学処理に伴う相転移の発生が示唆された。各面における正方晶から単斜晶への相転移率を算出したところ、0、N、P 面でそれぞれ 6.6、6.3、3.4 mol%となり、0、N 面がほぼ同じ相転移率であるのに対して、P 面では相転移が抑制される傾向を示すことが分かった。なお、XPS 測定結果より、化学処理後の試料面にはシラノール基の存在が確認されたが、これは処理に用いた耐アルカリガラス容器から処理溶液中に溶解した Si 成分が Si-OH 基として Y-TZP 表面に導入されたためであると考えられる。図 8 には、化学処理後、1.5 SBF に 7 日間浸漬した分極/未分極 Y-TZP 表面の SEM 画像を、未浸漬表面の画像とともに示した。0、N 面上では、ドーム型の鱗片状結晶から成る析出物がまばらに確認されたのに対し、P 面上では鱗片状結晶から成るドームが表面全体を覆うまでに析出している様子が観察できる。浸漬後のペレットの XRD 測定を行ったところ、HA 由来の回折パターンが観察されたことから、Y-TZP 表面の析出物は骨類似アパタイトであるものと考えられた。背景でも述べた通り、SBF に浸漬した材料表面における骨類似アパタイト結晶の析出は、その表面が生体活性を有していることの傍証になり得る。図 8 において、P 面で明らかに多くの結晶が析出したのは、 Vo^{\bullet} を介して他の面より多く導入された Si-OH 基が骨類似アパタイトの核形成サイトとして機能した結果であると考えられた。以上より、分極処理と化学処理を併用した表面改質は、低 LTD 生体活性 Y-TZP の実現に向けて有力な手法であることが示された。

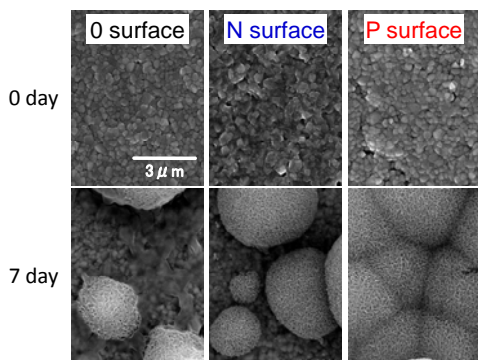


図8 95 °Cの 5M NaOH 水溶液中で 24 時間処理した未分極/分極 Y-TZP の 1.5SBF 保持前後における表面 SEM 画像(保持期間:7 日)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 14 件)

- ① Y. Tanaka, M. Kikuchi, K. Tanaka, K. Hashimoto, J. Hojo, M. Nakamura, A. Nagai, T. Sugiyama, F. Munakata, K. Yamashita, Fast oxide ion conduction due to carbonate substitution in hydroxyapatite, *J. Am. Ceram. Soc.*, 査読有, 93[11], 2010, 3577-3579
- ② Y. Tanaka, T. Iwasaki, K. Katayama, J. Hojo, K. Yamashita, Effect of Ionic Polarization on Crystal Structure of Hydroxyapatite Ceramic with Hydroxide Nonstoichiometry, *J. Jpn. Soc. Powder Powder Metallurgy*, 査読有, 57[7], 2010, 520-528

- ③ Y. Tanaka, M. Yoshida, M. Nakamura, A. Nagai, K. Hashimoto, Y. Toda, K. Yamashita, Biocompatibility and LTD durability of alumina-zirconia ceramics blended with micro-sized HA particles, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 査読有, 118[6], 2010, 498-501
- ④ N. Enomoto, T. Sakai, M. Inada, Y. Tanaka, J. Hojo, Synthesis of $\text{Ca}_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ phosphor via newly developed emulsion route, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 査読有, 118[1383], 2010, 1067-1070
- ⑤ M. Kobayashi, H. Saito, T. Mase, T. Sasaki, W. Wang, Y. Tanaka, M. Nakamura, A. Nagai, K. Yamashita, Polarization of hybridized calcium phosphoaluminosilicates with 45S5-type bioglasses, *Biomed. Mater.*, 査読有, 5[2-025001], 2010, 1-5
- ⑥ Y. Tanaka, T. Iwasaki, M. Nakamura, A. Nagai, K. Katayama, K. Yamashita, Polarization and microstructural consideration of ceramic hydroxyapatite electrets, *Journal of Applied Physics*, 査読有, 107, 2010, 014107-1-10
- ⑦ Y. Tanaka, M. Yoshida, M. Nakamura, A. Nagai, K. Hashimoto, Y. Toda, K. Yamashita, Biocompatibility and water durability of alumina-zirconia ceramics blended with a small amount of HA nanoparticles, *Archives of BioCeramics Research*, 査読有, 9, 2009, 79-82
- ⑧ Y. Imamura, Y. Tanaka, K. Yamashita, Y. Takagi, Transformation of OCP-based cement filled in root canal to hydroxyapatite, *Dental Materials*, 査読無, 25[5], 2009, 13-14
- ⑨ N. Wada, Y. Tanaka, M. Nakamura, K. Kanamura, K. Yamashita, Controlled Crystallization of Calcite Under Surface Electric Field Due to Polarized Hydroxyapatite Ceramics, *Journal of the American Ceramic Society*, 査読有, 92[7], 2009, 1586-1591
- ⑩ W. Wang, S. Itoh, Y. Tanaka, A. Nagai, K. Yamashita, Comparison of enhancement of bone ingrowth into hydroxyapatite ceramics with highly and poorly interconnected pores by electrical polarization, *Acta Biomaterialia*, 査読有, 5[8], 2009, 3132-3140
- ⑪ M. Nakamura, A. Nagai, Y. Tanaka, Y. Sekijima, K. Yamashita, Polarized hydroxyapatite promotes spread and motility of osteoblastic cells, *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 査読有, 92A, 2009, 783-790
- ⑫ R. Okabayashi, M. Nakamura, T. Okabayashi, Y. Tanaka, A. Nagai, K. Yamashita, Efficacy of polarized hydroxyapatite and silk fibroin composite dressing on epidermal recovery from full-thickness porcine skin wounds, *Journal of Biomedical Materials Research Part B-Applied Biomaterials*, 査読有, 90B[2], 2009, 641-646
- ⑬ Y. Tanaka, M. Nakamura, A. Nagai, T. Toyama, K. Yamashita, Ion conduction mechanism in Ca deficient hydroxyapatite whisker, *Materials Science and Engineering: B*, 査読有, 160, 2009, 115-119
- ⑭ N. Wada, M. Nakamura, Y. Tanaka, K. Kanamura, K. Yamashita, Formation of Calcite Thin Films by Cooperation of Polyacrylic Acid and Self-generating Electric Field due to Aligned Dipoles of Polarized Substrates, *Journal of Colloid and Interface Science*, 査読有, 330, 2009, 374-379

[学会発表] (計 28 件)

- ① 原浩之、田中優美、稲田幹、榎本尚也、永井亜希子、山下仁大、北條純一、ジルコニアセラミックスの低温劣化に対する表面電荷の影響、日本セラミックス協会 2011 年年会、2011 年 3 月 18 日、静岡(静大)
- ② 古賀貴寛、稲田幹、田中優美、榎本尚也、北條純一、マイクロ波水熱炭化法によるカーボンスフィアの合成、日本セラミックス協会 2011 年年会、2011 年 3 月 18 日、静岡(静大)

- ③ 榎本尚也、木村純平、稲田幹、田中優実、北條純一、ナノ粒子の溶液合成におけるアンコンシヤスプロセス因子、日本セラミックス協会 2011 年年会、2011 年 3 月 16 日、静岡(静大)
- ④ 田中優実、固体アイオニクス技術を活用した新型エレクトレットの開発、三次元ナノ・マイクロ構造研究会、2011 年 3 月 11 日、大阪(阪大)
- ⑤ Y. Tanaka, H. Hara, N. Enomoto, K. Yamashita, J. Hojo, Effects of Electrical Modification on Phase Stability of Y-TZP Ceramics, 35th International Conference on Advanced Ceramics and Composites, 25th Jan. 2011, Florida, USA
- ⑥ 張琳琳、田中優実、榎本尚也、北條純一、炭素還元窒化法による SiC-AlN 固溶体の作製及び SPS 焼結、第 49 回セラミックス基礎科学討論会 2011 年 1 月 11 日、岡山
- ⑦ 田中優実、原浩之、稲田幹、榎本尚也、山下仁大、北條純一、酸化物イオン伝導を利用したジルコニアセラミックエレクトレットの創生、第 49 回セラミックス基礎科学討論会、2011 年 1 月 11 日、岡山
- ⑧ 原浩之、田中優実、山下仁大、北條純一、イットリア安定化ジルコニアの相転移に及ぼす表面電荷の影響、第 14 回生体関連セラミックス討論会、2010 年 12 月 3 日、京都
- ⑨ 田中優実、北條純一、山下仁大、プロトン伝導の利用によるハイドロキシアパタイトエレクトレットの創生、第 36 回固体イオニクス討論会 2010 年 11 月 25 日、仙台
- ⑩ Y. Tanaka, M. Nakamura, H. Junichi, A. Nagai, K. Yamashita, Effective Storage of Electrical Charge in Hydroxyapatite Ceramics Using Ionic Conductive Property, 3rd International Congress on Ceramics, 17th Nov. 2010, Osaka (Japan)
- ⑪ Y. Tanaka, Innovative design for new bioceramics, Seminar on International Engineering Education - Lund University and Kyushu University, 15th Nov. 2010, Fukuoka (Japan)
- ⑫ 田中優実、北條純一、山下仁大、水酸アパタイトセラミックスの電場下における静電エネルギー蓄積メカニズム、2010 年セラミックス総合研究会、2010 年 9 月 2 日、北海道(北大)
- ⑬ 田中優実、エレクトレットの新展開～様々なエネルギー変換の形～、第 3 回循環センター研究交流会、2010 年 7 月 5 日、福岡(九大)
- ⑭ 田中優実、北條純一、山下仁大、ハイドロキシアパタイトセラミックスへの非化学量論性導入と分極効果、粉体粉末冶金協会 22 年度春季大会、2010 年 5 月 25 日、東京(早大)
- ⑮ 田中優実、生体に刺激を与える生体親和性セラミックスの創生にむけて、日本材料学会 平成 21 年度第 2 回ナノ材料部門委員会講演会、2010 年 2 月 17 日、京都
- ⑯ 田中優実、田中一正、萩原梓、橋本和明、戸田善朝、杉山龍男、宗像文男、山下仁大、B 型炭酸含有アパタイトの酸化物イオン伝導機構、第 48 回セラミックス基礎討論会、2010 年 1 月 12 日、沖縄
- ⑰ Y. Tanaka, T. Iwasaki, M. Nakamura, A. Nagai, K. Katayama, K. Yamashita, Preparation and characterization of ceramic hydroxyapatite electrets for biomedical utilization, The 11th international symposium on eco-materials processing and design (ISEPD2010), 10th Jan. 2010, Osaka (Japan)
- ⑱ Y. Tanaka, M. Yoshida, M. Nakamura, A. Nagai, K. Hashimoto, Y. Toda, K. Yamashita,

Biocompatibility and water durability of alumina-zirconia ceramics blended with a small amount of HA nanoparticles, 9th Asian Bioceramics symposium, 9th Dec. 2009, Nagoya (Japan)

⑲ A. Ito, Y. Sogo, A. Yamazaki, M. Aizawa, A. Osaka, S. Hayakawa, M. Kikuchi, I. Akahane, K. Yamashita, Y. Tanaka, M. Tadokoro, H. Ohgushi, In Vitro Method to Characterize Resorption of Calcium Phosphate-Based Ceramic Scaffolds, The 26th International Japan-Korea Seminar on Ceramics, 25th Nov. 2009, Ibaraki (Japan)

⑳ Y. Tanaka, A. Hagiwara, A. Nagai, T. Sugiyama, F. Munakata, K. Hashimoto, K. Yamashita, Consideration of electrochemical property of biocompatible B-type carbonated apatite, The 26th International Japan-Korea Seminar on Ceramics, 25th Nov. 2009, Ibaraki (Japan)

㉑ 田中優実、中村美穂、永井亜希子、山下仁大、電場活性空間を有する生体用ハイドロキシアパタイトの創製、粉体粉末冶金協会平成 21 年度秋季大会、2009 年 10 月 28 日、名古屋

㉒ 中村美穂、永井亜希子、田中優実、山下仁大、分極アパタイトによる骨芽細胞挙動制御、第 54 回日本歯科理工学会学術講演会、2009 年 10 月 2 日、鹿児島

㉓ 田中優実、中村美穂、永井亜希子、山下仁大、アルミナ混合 Y-TZP セラミックスの低温劣化抑制に及ぼす HA 微量添加効果、第 54 回日本歯科理工学会学術講演会、2009 年 10 月 2 日、鹿児島

㉔ 田中優実、岩崎健、片山恵一、永井亜希子、山下仁大、ハイドロキシアパタイトエレクトレットの分極緩和機構、セラミックス協会第 22 回秋季シンポジウム、2009 年 9 月 18 日、愛媛

㉕ Y. Tanaka, M. Sasaki, A. Nagai, T. Sugiyama, F. Munakata, M. Nagai, T. Okura, K. Yamashita, Ionic conduction mechanism of B-type carbonated apatite, 17th Conference on Solid State Ionics, 3rd July 2009, Toronto, Canada

㉖ 中村美穂、大倉利典、田中優実、永井亜希子、山下仁大、分極水酸アパタイト局所場による表面機能制御、無機マテリアル学会第 118 回学術講演会、2009 年 6 月 4 日、千葉

㉗ 田中優実、笹木真澄、宗像文男、中村美穂、永井亜希子、大倉利典、門間英毅、山下仁大、炭酸含有アパタイトの分極特性に及ぼす炭酸イオンの効果、無機マテリアル学会第 118 回学術講演会、2009 年 6 月 4 日、千葉

㉘ A.S. Bakry, K. Matin, Y. Tanaka, M. Otsuki, H. Takahashi, K. Yamashita, J. Tagami, Evaluating the Durability of Phosphoric Acid Promoted Bioglass-dentin Interaction Layer, IADR /AADR /CADR 87th General Session & Exhibition, 3rd Apl. 2009, Florida, USA

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況(計 0 件) ○取得状況(計 0 件)

[その他]

ホームページ等 該当なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 優実 (TANAKA YUMI)

九州大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号:00436619