

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23300178

研究課題名(和文) 生体自己再生亢進機能を有する分極バイオマテリアルの基礎および応用展開

研究課題名(英文) Fundamental and developmental reseaches of polarized ceramic biomaterials to accelerate the tissue regenerations

研究代表者

山下 仁大 (Yamashita, Kimihiro)

東京医科歯科大学・生体材料工学研究所・教授

研究者番号：70174670

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円、(間接経費) 4,260,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、生体の再生機能を亢進するバイオマテリアルの開拓と臨床応用のための基礎データの蓄積を目的とした。すなわち、バイオセラミックスに対して電氣的分極処理によりセラミックスの高機能化をはかり、硬組織再生および修復機能を持つ分極バイオセラミックスの医療用デバイス開発研究を行った。分極バイオセラミックスの基礎物性評価、培養細胞評価、動物実験による生体評価の結果、細胞の増殖、分化能を制御しうるスキャホールドであることが見いだされた。治癒に要する時間を短縮できる硬組織代替材料デバイスの開発が可能になる「バイオインターフェイス制御が可能な材料」として分極バイオセラミックスの有用性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：We studied fundamental researches of ceramic biomaterials for tissue regeneration and clinical applications. The surface characteristics showed that the electrical polarization increased the surface free energy and improved wettability of ceramic biomaterial's surfaces. The functionalized ceramic biomaterials by electrical polarization accelerated the cellular responses such as proliferation, adhesion and differentiation of osteogenic cells and tissue responses of bone, skin and blood vessels. This study showed the efficacy of polarized ceramic biomaterials to enhance the tissue regenerations for control of the interface between materials and tissues.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学・生体材料学

キーワード：分極 バイオセラミックス リン酸カルシウム ハイドロキシアパタイト 炭酸含有アパタイト スキャホールド バイオインターフェイス 硬組織代替デバイス

1. 研究開始当初の背景

我々は、バイオマテリアルの電気分極法を確立し、分極マテリアルの生物学的効果を検証してきた。とりわけ分極ハイドロキシアパタイトは欠損した生体骨組織の再生みならず、周囲の新生血管形成と軟組織再生促進能を有することを他に先駆けて見出した。

2. 研究の目的

本研究では生体の再生機能を亢進するバイオマテリアルの開拓と臨床応用のための基礎データの蓄積を目標として、次の開発研究 1) ~ 3) と基礎及び発展研究 4) ~ 6) を計画した。研究項目：1) 硬組織再生医療に対する骨形成亢進バイオマテリアル(新規な人工骨、歯根、充填材)、2) 内皮細胞や血液成分と相互作用する半恒久親和ステント材、3) 創傷被覆材の開発、4) 多数のバイオマテリアル(チタニア、ジルコニアやこれらのコンポジット、バイオポリマー等)への分極法の適用及び分極マテリアルの 5) 骨系細胞や内皮細胞、がん細胞、6) ES 細胞や iPS 細胞等未分化細胞、に対する分化誘導の効果の検証。

3. 研究の方法

平成 23 年度は分極バイオセラミックスの作製と基礎物性評価、擬似体液系における表面特性評価を行った。分極バイオセラミックスの作製では、現在臨床応用されているプラズマプレーコーティング材料、ハイドロキシアパタイト、トリリン酸カルシウム、次世代で臨床応用が期待される炭酸含有アパタイトに対して分極処理を行い、材料化学的分析を行った。

平成 24、25 年度は分極セラミックスの培養細胞評価、組織再生誘導能の動物実験系における検討を中心に行った。分極バイオセラミックスを用いた分極複合マテリアルの創製、基礎物性の検討、タンパク質吸着の検討、培養細胞の接着・増殖・分化の検討を行った。分極複合マテリアルの作製では、現在臨床応用されているポーラス体から粒状の骨充填材を用いて、分極処理を行った。これらの分極材料と絹タンパク質等の有機材料を用いてとコンポジット材料を作製した。また、人工関節や人工歯根に臨床応用されている、金属材料にコーティングした材料はステント材表面に酸化層を形成し、分極処理を行った。

4. 研究成果

基礎物性評価及び表面特性評価では、無機擬似体液溶液中における析出結晶解析、タンパク質吸着挙動などの擬似体液系を利用した評価を行った。これらの成果から、基礎物性を変化させることなく無機イオン、タンパク質レベルで表面特性を制御可能であることが確認された。

培養細胞を用いて分極バイオセラミックス上における接着、移動、分化挙動を検討した結果、分極試料片上において上記挙動が促進されることが確認された。動物実験系における組織再生誘導能評価においては、分極セラミックスおよび分極コーティングマテリアルによる骨組織再生能促進、分極複合マテリアルによる皮膚再生能促進が確認された。

このことから、細胞の増殖、分化能を制御しうるスキャホールドへの応用が期待され、ティッシュエンジニアリングや再生医学への発展に寄与するものと考えられる。これらの観点から、治癒に要する時間を大幅に短縮できる硬組織代替材料デバイスの開発が可能になる「バイオインターフェイス制御可能なセラミックス材料」として分極バイオセラミックスの有用性が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 50 件)

1. Nakamura M, Kobayashi A, Nozaki K, Horiuchi N, Nagai A, Yamashita K. Improvement of osteoblast adhesion through polarization of plasma-sprayed hydroxyapatite coatings on metal. J Med Biol Eng, 2014, 34 (1), 44-48. 査読有
2. Hiratai R, Nakamura M, Yamashita K. Role of Collagen and Inorganic Components in Electrical Polarizability of Bone. J Vet Med Sci 2014, 76 (20): 205-210. 査読有
3. Wada N, Mukougawa K, Horiuchi N, Wei W, Hiyama T, Nakamura M, Nagai A, Okura T, Yamashita K. Fundamental Electrical Properties of Ceramic Electrets. Mater. Res. Bull., 48; 3854-3859, 2013. 査読有
4. Nemoto R, Nozaki K, Yamashita K, Miura H, Effect of Framework Design on the Surface Strain of Zirconia Fixed Partial Dentures, Dent. Mater. J., 32; 289-295, 2013. 査読有
5. Wada N, Horiuchi N, Nakamura M, Hiyama T, Nagai A, Okura T, Yamashita K. Effect of Poly(acrylic acid) and Polarization on the Controlled Crystallization of Calcium Carbonate on Single-Phase Calcite Substrates. Cryst. Growth Des. 13; 2928-2937, 2013. 査読有
6. Nakamura M, Toyama T, Morita A, Horiuchi N, Nozaki K, Nagai A, Yamashita K. Electric poling of cement composites of hydroxyapatite whiskers with chitosan and their chemical properties in simulated body fluid. J Ceram Soc Japan., 121; 895-900,

2013. 査読有
7. Nakamura M., Hentunen T, Salonen J, Nagai A., Yamashita K. Characterization of bone mineral-resembling biomaterials for optimizing human osteoclast differentiation and resorption. *J Biomed Mater Res A.*, 101A; 3141-3151, 2013. 査読有
 8. Horiuchi N., Endo J, Nozaki K., Nakamura M., Nagai A., Katayama K, Yamashita K. Dielectric evaluation of fluorine substituted hydroxyapatite. *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 121; 770-774, 2013. 査読有
 9. Horiuchi N., Endo J, Wada N, Nozaki K., Nakamura M., Nagai A., Katayama K, Yamashita K. Dielectric properties of stoichiometric and defect-induced hydroxyapatite. *J. Appl. Phys.*, 113; 134905, 2013. 査読有
 10. Kohata K, Itoh S, Takeda S, Kanai M, Yoshioka T, Suzuki H, Yamashita K. Enhancement of Fracture Healing by Electrical Stimulation in the Comminuted Intraarticular Fracture Treatment, *Bio-Med. Mater. Eng.*, 23; 485-493, 2013. 査読有
 11. Nagai A., Horiuchi N., Nozaki K., Nakamura M., Yamashita K. Quantitative Evaluation of the Hydrophilic Properties of Polarized Hydroxyapatite, *Ceram. Trans.*, 242; 103-112, 2013. 査読有
 12. Ma C., Nagai A., Yamazaki Y., Toyama T., Tsutsumi Y., Hanawa T., Wei W., Yamashita K., Electrically Polarized Micro-arc Oxidized TiO₂ Coatings with Enhanced Surface Hydrophilicity. *Acta Biomater.*, 8(2):860-865, 2012. 査読有
 13. Nakamura M., Soya T., Okabayashi R., Nagai A., Hashimoto K., Morita I., Yamashita K. Endothelial Migration and Morphogenesis on Silk Fibroin Scaffolds Including Hydroxyapatite Electret, *J. Biomed. Mater. Res. A*, 100A (4):969-977, 2012. 査読有
 14. Nagai A., Tsutsumi Y., Suzuki Y., Katayama K., Hanawa T., Yamashita K., Characterization of the Air-Formed Surface Oxide Film on a Co-Ni-Cr-Mo Alloy (MP35N) and its Change in Hanks Solution, *Appl. Surf. Sci.*, 258(14);5490-5498, 2012. 査読有
 15. Nakamura M., Hiratai R., Yamashita K., Bone Mineral as an Electric Energy Reservoir, *J. Biomed. Mater. Res. A*, 100A(5):1368-1374, 2012. 査読有
 16. Ohba S., Wang W., Itoh S., Takagi Y., Nagai A., Yamashita K. Acceleration of New Bone Formation by an Electrically Polarized Hydroxyapatite Microgranule/Platelet-rich Plasma Composite, *Acta Biomater.*, 8(7):2778-2787, 2012. 査読有
 17. Nagai A., Yamazaki Y., Ma C., Nozaki K., Toyama T., Yamashita K., Response of Osteoblast-like MG63 Cells to TiO₂ Layer Prepared by Micro-arc Oxidation and Electric Polarization, *J. Euro. Ceram. Soc.*, 32(11):2647-2652, 2012. 査読有
 18. Wada N, Horiuchi N., Wei W, Hiyama T, Nakamura M., Nagai A., Yamashita K. Electrical Conduction and Polarization of Calcite Single Crystals. *Phy Chem Miner*, 39:761-768, 2012. 査読有
 19. Ohba S., Wang W., Itoh S., Nagai A., Takagi Y., Nagai A., Yamashita K. Efficacy of Platelet-rich Plasma Gel and Hyaluronan Hydrogel as Carriers of Electrically Polarized Hydroxyapatite Microgranules for Accelerating Bone Formation, *J. Biomed. Mater. Res. A*, 100A(11):3167-3176, 2012. 査読有
 20. Horiuchi N., Nakamura M., Nagai A., Katayama K, Yamashita K. Proton Conduction Related Electrical Dipole and Space Charge Polarization in Hydroxyapatite. *J. Appl. Phys.* 112(7):074901, 2012. 査読有
 21. Okura T., Kawada K., Yoshida N., Monma H., Yamashita K. Synthesis and Na⁺ Conduction Properties of Nasicon-Type Glass-Ceramics in the System Na₂O-Y₂O₃-X₂O₃-SiO₂ (X=B, Al, Ga) and Effect of Si Substitution, *Solid State Ionics*, 225:367-370, 2012. 査読有
 22. Shinonaga T., Tsukamoto M., Nishii R., Ito Y., Nagai A., Yamashita K., Hanawa T., Matsushita N., Guoqing X., Abe N., Formation of Periodic Nanostructures on Titanium Dioxide Film by Femtosecond Laser Irradiation, *Trans. Join. Meld. Res. Inst.*, 41(1):25-28, 2102. 査読有
 23. Iwahara Y., Nagai A., Yoshiki N., Igarashi K., Ishikawa T., Harada T., Yamashita K., Kubota T., Expression of Heme Oxygenase in the Eutopic and Ectopic Endometrium in Patients with Adenomyosis, *Gynecol. Endocrinol.*, 28(11):892-896, 2012. 査読有
 24. Nagai A., Ma C., Kishi S., Inuzuka M., Nakamura M., Horiuchi N., Nishio K.,

- Yamashita K., Surface Properties of Al₂O₃-YSZ Ceramic Composites Modified by a Combination of Biomimetic Coatings and Electric Polarization, *Appl. Surf. Sci.*, 262, 45-50 (2012). 査読有
25. Horiuchi N, Yamashita K. Physical and Chemical Properties of Apatite Electrets for Biomedical and Energy Applications. *Ceram. Trans.* 233:39-44. 2012. 査読有
 26. Nakamura M., Yamashita K. Polarization Effect on Wettability of Bioceramic Electrets, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, 19(4):1247-1253, 2012. 査読有
 27. Nakamura M. Soya T, Hiratai R, Nagai A. Hashimoto K, Morita I, Yamashita K. Polarized Endothelial Cell Migration and Morphogenesis on Silk Fibroin Scaffolds Including Hydroxyapatite Electret. *J Biomed Mater Res A*, 100A: 969-977, 2012. 査読有
 28. N. Wada, M. Nakamura, W. Wang, T. Hiyama, A. Nagai, K. Yamashita. Controlled Deposition of Calcite Crystals on Yttria Stabilized Zirconia Ceramic Electrets, *Cryst. Growth Des.*, 11 (1), 166-174 (2011). 査読有
 29. A.S. Bakry, H. Takahashi, M. Otsuki, A. Sadr, K. Yamashita, J. Tagami, CO₂ Laser Improves 45S5 Bioglass Interaction with Dentin, *J. Dent. Res.*, 90 (2), 246-250 (2011). 査読有
 30. A. Nagai, K. Tanaka, Y. Tanaka, M. Nakamura, K. Hashimoto, K. Yamashita, Electric Polarization and Mechanism of B-Type Carbonated Apatite Ceramics, *J. Biomed. Mater. Res. A*, 99A (1), 116-124 (2011). 査読有
 31. M. Nakamura, M. Inuzuka, K. Hashimoto, A. Nagai, K. Yamashita, Improving Bioactivity and Durability of Polarized Yttria-Stabilized Zirconia, *J. Mater. Sci.*, 46 (22), 7335-7343 (2011). 査読有

[学会発表](計 140 件)
 国際学会 59 件 (うち招待 9 件)
 国内 81 件 (うち招待 3 件)

招待講演

1. Horiuchi N, Nozaki K, Nakamura M, Nagai A, and Yamashita K. Electric characterization in hydroxyapatite for understanding biointerfaces, the International Union of Materials Research Society - the International Conference in

Asia - 2013 (IUMRS-ICA 2013), Bangalore, India, 16 Dec. 2013.

2. Nagai A, Yamashita K. Recent advances of carbonated apatite. 2013 Asian Bioceramics symposium, Kyoto, Japan, 4 Dec., 2013.
3. Nakamura M. Improvement of wettability and osteoblastic adhesion by surface electric fields of polarized hydroxyapatite. 244th American Chemical Society National Meeting & Exposition. Philadelphia, PA, U.S.A., 19-23, August 2012
4. Yamashita K. Potentiality of Polarized Bioceramic electrets as *living biomaterials*. 2012 Asian Bioceramics symposium, Tainan, Taiwan, 19 Nov., 2012.
5. 永井 亜希子, 野崎 浩佑, 山下 仁大. 静電気力を用いたチタンインプラントの表面改質法. 日本バイオマテリアル学会シンポジウム. 仙台, 11月26日, 2012年.

一般講演

6. Nakamura M, Hentunen T, Salonen J, Nakahama K, Morita I, Yamashita K. Osteoclast differentiation and activation from bone marrow cells through the stimulation of osteocytes on surface-charged calcium apatite. 2nd Joint Meeting of the International Bone and Mineral Society and the Japanese Society for Bone and Mineral Research. Kobe, 28 May 2013.
7. Horiuchi N, Tsuchiya Y, Nakamura M, Nozaki K, Nagai A, and Yamashita K, Thermally Stimulated Depolarization Current in YSZ Ceramics, the 19th International Conference on Solid State Ionics (SSI-19), Kyoto, Japan, 2 June 2013.
8. Nozaki K, Nagai A, Yamashita K. Effect of surface charges on early osseointegration of polarized Ti implant. 13th International Conference of the European Ceramic Society. Limoges, France, 23 Jun., 2013.
9. Nagai A, Hattori T, Nozaki K, Aizawa M, Yamashita K. Electric Fields Induced by Electric Polarization Reduce Proliferation Rates of Tumor Cell through Cell Cycle Modulation. The 4th International symposium of Surface and Interface of Biomaterials, Roma, Italy, 24 Sep., 2013
10. Nakamura M, Hentunen T, Salonen J, Nakahama K, Morita I, Nagai A, Yamashita K. Cell-mediated Stimulation of Osteoclast Differentiation without Any Differentiation

- Factors on Carbonated Apatite. 25th European Conference on Biomaterials. Madrid, Spain, 8 Sep., 2013.
11. Tsuchiya Y, Horiuchi N, Nozaki K, Nakamura M, Nagai A, Hashimoto K, and Yamashita K. Polarization effect on phase stability in yttria stabilized zirconia ceramics, the 13th Asian Bioceramics Symposium (ABC2013), Kyoto, Japan, 4 Dec. 2013.
 12. Nagai A, Igarashi K, Miyazaki H, Katayama K, Yamashita K. Electrically Polarized Hydroxyapatite Modulates Phenotype of SK-LMS-1 cells. 9th WBC, Chengdu, China, 4-5 Jun., 2012.
 13. Horiuchi N, Nozaki K, Nakamura M, Nagai A, Yamashita K. Influence of Defect Concentration on Dielectric and Polarization Property in Hydroxyapatite. 4th International Congress on Ceramics, Chicago, Illinois, 16 Jul., 2012.
 14. Nagai A, Horiuchi N, Nakamura M, Yamashita K. Quantitative Evaluation of the Hydrophilic Properties of Polarized Hydroxyapatite. MS&T'12, Pittsburgh, USA, 12-16 Oct., 2012.
 15. 野崎浩佑, 山下仁大, 永井亜希子. 表面電荷を制御したチタンインプラントの骨結合能評価. 日本歯科骨粗鬆症研究会第 11 回学術大会・総会, 東京, 2013 年 1 月.
 16. 堀内尚紘, 土屋悠, 和田徳雄, 野崎浩佑, 中村美穂, 永井亜希子, 橋本和明, 山下仁大. 熱刺激脱分極電流測定によるイットリア添加ジルコニアの分極評価, 日本セラミックス協会 2013 年 年会, 東京, 2013 年 3 月.
 17. 中村美穂, 安藤大志, Hentunen T, Salonen J, 中浜健一, 永井亜希子, 遠山岳史, 森田育男, 山下仁大. 骨細胞機能を利用した分化誘導因子非添加環境での破骨細胞分化誘導. 第 11 回日本再生医療学会総会, 横浜, 2013 年 3 月.
 18. 野崎浩佑, 山下仁大, 永井亜希子. 表面電荷を制御した CAD/CAM 用セラミックブロックの細菌付着評価. 日本歯科理工学会学術講演会, 新潟, 2013 年 4 月 13 日.
 19. 野崎浩佑, 堀内尚紘, 山下仁大, 永井亜希子. 電気分極により表面電荷を制御した Y-TZP の細菌付着への影響. 日本補綴歯科学会設立 80 周年記念第 122 回学術講演会, 福岡, 2013 年 5 月 19 日.
 20. 土屋悠, 堀内尚紘, 野崎浩佑, 中村美穂, 永井亜希子, 橋本和明, 山下仁大, 分極処理によるジルコニアの正方晶 - 単斜晶相変態制御 (I), 日本セラミックス協会 第 26 回秋季シンポジウム, 長野, 2013 年 9 月 4 日.
 21. 遠藤樹里亜, 堀内尚紘, 野崎浩佑, 中村美穂, 永井亜希子, 片山恵一, 山下仁大. ハイドロキシアパタイトのフッ素置換による誘電および電気伝導特性の変化, 第 2 3 回無機リン化学討論会, 松江, 2013 年 9 月 19 日.
 22. 野崎浩佑, 山下仁大, 永井亜希子, エストロゲンの減少が表面電荷を制御したチタンインプラント周囲の骨形成に与える影響. 日本歯科理工学会学術講演会. 新潟, 2013 年 10 月 21 日.
 23. 永井 亜希子, 野崎 浩佑, 相澤 守, 山下 仁大. SK 腫瘍細胞の細胞周期に分極アパタイトが及ぼす影響. 日本バイオマテリアル学会、東京、2013 年 11 月 25 日.
 24. 中村美穂, 山下仁大. ジルコニアセラミックスの化学的・電氣的表面処理による高機能化. 第 33 回整形外科バイオマテリアル研究会, 奈良, 2013 年 12 月 7 日.
 25. 永井亜希子, 白石大地, 野崎 浩佑, 橋本和明, 山下仁大, 分極炭酸アパタイト多孔体の作製. 日本セラミックス協会年会, 京都, 3 月 13 日, 2012 年.
 26. 堀内尚紘, 土屋悠, 野崎浩佑, 中村美穂, 永井亜希子, 山下 仁大. イットリア 3 mol% 添加ジルコニアにおける熱刺激脱分極電流測定. 第 32 回エレクトロセラミックス研究討論会, 東京, 10 月 27 日, 2012 年.
 27. 中村美穂, 山下仁大. 分極アパタイト上における骨芽細胞および破骨細胞挙動の比較. 第 5 5 回春季日本歯周病学会学術大会, 札幌, 5 月 19 日, 2012 年.
 28. 中村美穂, Hentunen T, Salonen J, 永井亜希子, 山下仁大. 生体吸収性を有する無機バイオマテリアルにおける破骨細胞の吸収特性. 第 11 回日本再生医療学会総会, 東京, 6 月 12 日, 2012 年.
 29. 堀内尚紘, 土屋悠, 和田徳雄, 野崎浩佑,

- 中村美穂, 永井亜希子, 山下仁大, 橋本和明. 分極処理によるジルコニアの正方晶 - 単斜晶相変態制御(III). 日本セラミックス協会第 25 回秋季シンポジウム, 名古屋, 9月19日, 2012年.
30. 服部竜也, 永井亜希子, 五十嵐香里, 相澤守, 山下仁大. 分極水酸アパタイトセラミックスを用いた肉腫細胞の増殖抑制. 第 22 回無機リン化学討論会, 神戸, 9月2日, 2012年.
31. 野崎浩佑, 永井亜希子, 山下仁大. 電気分極処理による CAD/CAM 用セラミックブロックの表面改質. 日本歯科理工学会学術講演会. 福岡, 10月13日, 2012年.
32. 和田徳雄, 堀内尚紘, 檜山哲夫, 中村美穂, 永井亜希子, 山下仁大. 分極カルサイト単結晶上でのポリアスパラギン酸吸着と炭酸カルシウムの薄膜形成. 無機材料学会. 名古屋, 11月1日, 2012年.
33. 鈴木雄太, 永井亜希子, 堤祐介, 塙隆夫, 片山恵一, 山下仁大. 陽極酸化による Co-Cr 合金の表面改質と生体適合性評価. 日本バイオマテリアル学会シンポジウム 2012. 仙台, 11月26日, 2012年.
34. 松井菜津乃, 永井亜希子, 石原一彦, 山下仁大. QCM 法によるハイドロキシアパタイト薄膜へのフィブロネクチン吸着の特性評価. 日本バイオマテリアル学会大会シンポジウム 2012, 仙台, 11月26日, 2012年.
35. 野崎浩佑, 永井亜希子, 山下仁大. 表面電荷を制御したチタンインプラントの骨結合能評価. 第 32 回整形外科バイオマテリアル研究会, 東京, 12月1日, 2012年.

〔図書〕(計 11 件)

「成書・総説」

1. 中村美穂, 山下仁大, 生体電気刺激の物理現象・生体電気・物理刺激による骨・軟部組織修復法(金芳堂, 2013)基礎 I, 50-59.
2. 野崎浩佑, 山下仁大, 永井亜希子, 生体内埋め込み医療材料の開発とその理想的な性能・デザインの要件, 第 1 章第 4 節「体内固定用ネジ・ボルトなど」[1] 創外固定用ピンの挿入感染(技術情報協

会, 2013)

3. Horiuchi N, Nakamura M, Nagai A, Yamashita K. Manipulation of Interfaces on Vector Materials. Chapter 17, Biological Interactions with surface charge Biomaterials, RSC Nanoscience & Nanotechnology No.21, Edited by Tofail Syed, Royal Society of Chemistry 2012.
4. 山下仁大, バイオマテリアルとしてのセラミックスの展望, 化学工業, 63(7):530-534, 2012.
5. 山下仁大, バイオセラミックスの使命と戦略, J. Soc. Inorg. Mater. Jpn., 19(6):361-362, 2012.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 1 件)

名称: セラミックスの分極処理方法及び分極処理したセラミックスを含む生体材料

発明者: 山下仁大, 伊藤聡一郎, 永井亜希子

権利者: 山下仁大, 伊藤聡一郎, 永井亜希子

番号: 第 5414021 号

取得年月日: 2013 年 11 月 22 日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ:

<http://www.tmd.ac.jp/i-mde/www/inorg/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山下 仁大 (Kimihito Yamashita)

東京医科歯科大学生体材料工学研究所・教授

研究者番号: 70174670

(2) 研究分担者

永井 亜希子 (Akiko Nagai)

東京医科歯科大学生体材料工学研究所・准教授

研究者番号: 40360599

(3) 研究分担者

中村 美穂 (Miho Nakamura)

東京医科歯科大学生体材料工学研究所・准教授

研究者番号: 40401385

(4) 研究分担者

堀内 尚紘 (Naohiro Horiuchi)

東京医科歯科大学生体材料工学研究所・助教

研究者番号: 90598195

(5) 研究分担者

野崎 浩佑 (Kosuke Nozaki)

東京医科歯科大学生体材料工学研究所・助教

研究者番号: 00507767