

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K10957

研究課題名(和文)人工関節インプラント周囲骨溶解における破骨細胞誘導機構の解明

研究課題名(英文) Mechanism of osteoclast formation in periprosthetic osteolysis

研究代表者

中村 美穂 (Nakamura, Miho)

東京医科歯科大学・生体材料工学研究所・非常勤講師

研究者番号：40401385

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、人工関節インプラント周囲の骨溶解メカニズム解明に取り組み、骨溶解防止・治療に役立つマテリアルデザインに応用することを目指した。インプラント周囲結合組織の電子顕微鏡解析により金属摩耗粉の表面および粒子内部の化学的組成を特定した。病理組織学的解析により、摩耗粉周囲に集積した細胞の種類を特定した。また、人工関節周囲の応力遮蔽部位における骨塩の材料学的解析を行い、炭酸含有量、電気的エネルギーを比較検討することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人口の急速な高齢化に伴い、骨粗鬆症等が原因の人工関節置換例が増加している。人工関節置換術は20世紀に開発された整形外科治療で最も成功している治療法のひとつとして評価されている。しかし、近年、人工関節のゆるみが進行し、再置換が必要となる症例が増加している。本研究では、人工関節周囲でゆるみを引き起こす原因の一つである骨溶解に着目した。本研究結果に基づき、骨溶解機構を解明することで、骨溶解防止のための新しいバイオマテリアルデザインに寄与することが期待される。

研究成果の概要(英文)：Although total joint replacement surgery is one of the most successful clinical procedures performed, osteolysis remains a major problem for many patients. The purpose of this study is to elucidate the mechanism of osteolysis around orthopedic implants and to apply it to material design for prevention and treatment of osteolysis. The electro microscopic analysis of the histological sections around the implant identified the chemical composition on the surfaces and inside of the metal wear debris. In addition, we performed a material analysis of bone minerals at the stress shielding site around the implants and examined the carbonate contents and electrical energy in the bone minerals.

研究分野：バイオマテリアル

キーワード：破骨細胞 人工関節 骨溶解

1. 研究開始当初の背景

人工股関節や人工膝関節等の人工関節インプラントは損傷硬組織再建に有用であり、良好な臨床成績を収めている。しかし、人工関節インプラント周囲の骨溶解現象が大きな問題となっている。骨溶解がおこると、非感染性の弛みを誘発しバイオマテリアル再置換が必要となるため、患者の生活の質(QOL)は著しく低下する。米国では、2005年～2030年の間に人工股関節では137%、人工膝関節では601%の割合で人工関節再置換症例が増加すると見積もられている[1]。高齢化社会を迎えた日本でも同様の問題を抱えている。しかし、非感染性弛緩を引き起こす骨溶解のメカニズムは明らかにされていない。

人工関節周囲の骨吸収に関する研究は、(1)生物学的観点: インプラント周囲の異物反応、(2)材料学的観点: インプラントへのメカニカルストレスの2つのアプローチから行われている。

(1)生物学的観点では、インプラント周囲結合組織において、摺動面由来の摩耗粉がマクロファージに貪食され、異物反応により分泌されるサイトカインによって破骨細胞が形成され、骨溶解が惹起されると考えられている [2]。インプラント周囲に酒石酸抵抗性酸性フォスファターゼ (TRAP)陽性多核巨細胞が存在することは数多く報告されているが、成熟破骨細胞か異物巨細胞かは未確認である。また、これらの細胞を誘導するために必須な分子(RANKL 等)がどのように供給されるかについても未解明である。

(2)材料学的観点では、インプラント自身の剛性が周囲組織への応力遮蔽に影響していると考えられている [3]。このことから、メカニカルストレスが周囲の骨量に関与していることが示唆される。

2. 研究の目的

本研究では、インプラント周囲硬組織の骨質変化、インプラントの材料学的変化に着目し、細胞生物学的および工学的観点から、人工関節インプラント周囲の骨溶解メカニズムを解明することを目的とした。研究期間内に、異分野融合国際共同研究を実施し、インプラント周囲結合組織における異物反応に関与する細胞と、破骨細胞(骨基質分解)前駆細胞の細胞間コミュニケーションを明らかにする。また、人工関節インプラント周囲硬組織の骨質変化、骨質変化と破骨細胞吸収機能の関連性、インプラントの材料学的変化も明らかにする。本研究は医歯学・細胞生物学・工学研究と多岐にわたる研究領域であるため、各分野の専門家から支援を得ながら研究を進める。全ての研究成果について包括的に考察し、骨溶解メカニズムの解明を目指す。将来的には、本研究の研究成果が骨溶解防止・治療に役立つマテリアルデザインに役立つことが期待される。

3. 研究の方法

本研究では、インプラント周囲硬組織の骨質変化、インプラントの材料学的変化に着目した。インプラント周囲結合組織の病理組織学的解析、インプラント周囲結合組織における細胞間コミュニケーション、破骨細胞分化効率の検討(*in vitro*)を行い、細胞生物学的知見を得る。また、インプラント周囲硬組織の骨質変化、インプラントの材料学的性質の変化を明らかにすることで工学的知見を得る。

人工関節再置換手術時に切除した医療廃棄物であるインプラント周囲結合組織は、オウル大学病院(フィンランド)より提供された。採取したインプラント周囲結合組織の一部からパラフィン切片を作製し、病理組織学的解析を行った。また、インプラント周囲の硬組織について、材料学的解析を行なった。

4. 研究成果

インプラント周囲結合組織の電子顕微鏡解析により、組織内にナノレベルの金属磨耗粉が存在していることが観察された。それらの金属磨耗粉のうち100nm以下の微小粒子はルチル型(結晶構造の種類)酸化チタン、500-1000nmサイズの粒子は内部がチタン金属、周辺はアモルファス(非結晶)酸化チタンであることが見出された。病理組織学的解析により、ナノレベルの金属磨耗粉周囲には、炎症性細胞が集積していることが確認された。また、金属磨耗粉周囲には、10種類の膜タンパク質染色により特定される炎症系細胞、線維芽細胞が局在していることが見出された。

インプラント周囲硬組織の材料学的解析により、骨塩は炭酸含有アパタイトであることが確認された。人工関節周囲の応力遮蔽部位では、炭酸含有アパタイトという骨塩の種類、骨塩中の炭酸含有量は変化しないこと、骨量が低下すること、荷重によるピエゾ電力量で示される電気的エネルギー量が変化すること、骨量および電気的エネルギー量が低下した部位で骨代謝活性が低下していることが見出された。

参考文献

- [1] Kurtz S, et al. Projections of primary and revision hip and knee arthroplasty in the United States from 2005 to 2030. *J Bone and Joint Surgery* 2007, 89, 780-785.
- [2] Haynes DR, et al. The osteoclastogenic molecules RANKL and RANK are associated with

periprosthetic osteolysis. *J Bone Jt Sur Br* 2001, 83B, 902-11.

- [3] Wan Z, et al. Effect of stem stiffness and bone stiffness on bone remodeling in cemented total hip replacement. *J Arthroplasty* 1999, 14, 149-58.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 El-Ghannam A, Nakamura M, Muguruza LB, Sarwar U, Hassan M, Fotawi RAI, Horowitz R.	4. 巻 -
2. 論文標題 Inhibition of osteoclast activities by SPCPC bioceramic promotes osteoblast-mediated graft resorption and osteogenic differentiation.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J Biomed Mater Res	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jbm.a.37167	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 Plyusnin A, He J, Elschner C, Nakamura M, Kulkova J, Spickenheuer A, Scheffler C, Lassila LV.J, Moritz N.	4. 巻 26
2. 論文標題 A Polymer for Application as a Matrix Phase in a Concept of In Situ Curable Bioresorbable Bioactive Load-Bearing Continuous Fiber Reinforced Composite Fracture Fixation Plates.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 1256
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules26051256	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 該当する

1. 著者名 Nohara K, Itoh S, Akizuki T, Nakamura M, Matsuura T, Fukuba S, Okada M, Izumi Y, Iwata T, Yamashita K.	4. 巻 108
2. 論文標題 Enhanced new bone formation in canine maxilla by a graft of electrically polarized - tricalcium phosphate particles.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J Biomed Mater Res. Applied Biomaterials B	6. 最初と最後の頁 2820-2826.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jbm.b.34612	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 Nohara K, Itoh S, Akizuki T, Nakamura M, Matsuura T, Fukuba S, Okada M, Izumi Y, Iwata T, Yamashita K.	4. 巻 -
2. 論文標題 Enhanced new bone formation in canine maxilla by a graft of electrically polarized - tricalcium phosphate particles.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J Biomed Mater Res. Applied Biomaterials B	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) 10.1002/jbm.b.34612	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 Luukkonen J, Hilli M, Nakamura M, Ritamo I, Valmu L, Kauppinen K, Tuukkanen J, Lehenkari P.	4. 巻 151
2. 論文標題 Osteoclasts secrete osteopontin into resorption lacunae during bone resorption.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Histochem Cell Biol	6. 最初と最後の頁 475-487
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00418-019-01770-y	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 該当する

1. 著者名 Luukkonen Jani, Hilli Meeri, Nakamura Miho, Ritamo Ilja, Valmu Leena, Kauppinen Ky?sti, Tuukkanen Juha, Lehenkari Petri	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Osteoclasts secrete osteopontin into resorption lacunae during bone resorption	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Histochemistry and Cell Biology	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00418-019-01770-y	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 該当する

1. 著者名 Kylm?oja Elina, Nakamura Miho, Turunen Sanna, Patlaka Christina, Andersson G?ran, Lehenkari Petri, Tuukkanen Juha	4. 巻 4
2. 論文標題 Peripheral blood monocytes show increased osteoclast differentiation potential compared to bone marrow monocytes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Heliyon	6. 最初と最後の頁 e00780 ~ e00780
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.heliyon.2018.e00780	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 該当する

1. 著者名 Kylm?oja Elina, Nakamura Miho, Kokkonen-Puuper? Hanna, Ronkainen Veli-Pekka, Lehenkari Petri, Tuukkanen Juha	4. 巻 4
2. 論文標題 Gap junctional communication is involved in differentiation of osteoclasts from bone marrow and peripheral blood monocytes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Heliyon	6. 最初と最後の頁 e00621 ~ e00621
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.heliyon.2018.e00621	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 該当する

1. 著者名 Kylmaja E, Nakamura M, Kokkonen-Puuoer H, Veli-Pekka R, Lehenkari, P, Tuukkanen J.	4. 巻 4
2. 論文標題 Gap junctional communication is involved in differentiation of osteoclasts from bone marrow and peripheral blood monocytes.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Helion	6. 最初と最後の頁 e00621
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.helion.2018.e00621	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 該当する

1. 著者名 Horiuchi N, Iwasaki Y, Nozaki K, Nakamura M, Hashimoto K, Nagai A, Yamashita K.	4. 巻 100
2. 論文標題 A critical phenomenon of phase transition in hydroxyapatite investigated by thermally stimulated depolarization currents.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J Am Ceram Soc	6. 最初と最後の頁 501-505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jace.14620	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 Wada N, Horiuchi N, Nishio M, Nakamura M, Nozaki K, Nagai A, Hashimoto K, Yamashita K.	4. 巻 17
2. 論文標題 Crystallization of Calcium Phosphate in Agar Hydrogels in the Presence of Polyacrylic Acid under Double Diffusion Conditions.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Cryst. Growth Des	6. 最初と最後の頁 604-611
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.6b01453	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 Tuukkanen J, Nakamura M.	4. 巻 23
2. 論文標題 Hydroxyapatite as a nanomaterial for tissue engineering and drug therapy.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Curr Pharm Design	6. 最初と最後の頁 3786-3793
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2174/1381612823666170615105454	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 該当する

1. 著者名 中村美穂, 山下仁大.	4. 巻 31
2. 論文標題 無機エレクトレットによるバイオミネラリゼーションの制御	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 月刊地球	6. 最初と最後の頁 49-56
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 中村美穂, 山下仁大	4. 巻 88
2. 論文標題 バイオセラミックスの高機能化	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 PHOSPHORUS LETTER	6. 最初と最後の頁 402-409
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 中村美穂, 山下仁大.	4. 巻 35
2. 論文標題 ポーリングによるバイオセラミックスの高機能化	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 FC report	6. 最初と最後の頁 52-57
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 -

〔学会発表〕 計33件 (うち招待講演 19件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 Nakamura M, Yamashita K.
2. 発表標題 Material and biological studies on ceramic biomaterials for bone regeneration.
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Biomedical Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakamura M
2. 発表標題 Artificial Bones for tissue regeneration.
3. 学会等名 International Forum on Research Promotion 2019. (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakamura M
2. 発表標題 Activation of bone cells by piezoelectricity and nanocrystals in bone matrix.
3. 学会等名 The 13rd Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (Pacrim13) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakamura M
2. 発表標題 Finland is a pioneer in gender equality
3. 学会等名 The 13rd Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (Pacrim13) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakamura M
2. 発表標題 A new concept for hydroxyapatite in bone remodeling; the nano structure and response to mechanical strain.
3. 学会等名 4th International Conference on Innovations in Biomaterials, Biomanufacturing, and Biotechnologies (Bio-4) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakamura M
2. 発表標題 Understanding of interactions between cells and polarized bioceramics.
3. 学会等名 Signaling Biomaterials Research Symposium (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakamura M
2. 発表標題 Activation of osteogenic cells by piezoelectricity and nanocrystals in bone matrix.
3. 学会等名 MRS 2019 Spring Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakamura M
2. 発表標題 Artificial Bones for tissue regeneration; Multidisciplinary collaborations between Finland and Japan
3. 学会等名 JSPS Alumni Meeting in Finland 10-year anniversary ceremony (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakamura M, Hentunen T, Salonen J, Yamashita K.
2. 発表標題 Role of material characteristics in regulating bone cell differentiation.
3. 学会等名 Annual Meeting of Scandinavian Society for Biomaterials 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakamura M.
2. 発表標題 Understanding of cell-bioceramic interactions in terms of materials science.
3. 学会等名 30th Symposium and Annual Meeting of the International Society for Ceramics in medicine (Bioceramics30) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nakamura M
2. 発表標題 Hydroxyapatite with high carbonate substitutions promotes osteoclast resorption.
3. 学会等名 GC Symposium on "Bone regeneration and biomaterials with an emphasis of periodontal and peri-implant bone defects" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Miho Nakamura, Kimihiro Yamashita, Petri Lehenkari.
2. 発表標題 Banked bone intended for clinical use contains stored piezoelectrical energy.
3. 学会等名 Finland-Japan Workshop: The next generation medical engineering in biomaterials. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Miho Nakamura, Petri Lehenkari, Kimihiro Yamashita.
2. 発表標題 Activation of cell function by piezoelectricity of collagen fibrils and nano crystals in bone matrix.
3. 学会等名 Frontier 2018 Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Miho Nakamura, Hiroshi Ando, Saki Namba, Takeshi Toyama, Nobuyuki Nishimiya, Petri Lehenkari, Juha Tuukkanen, Kimihiro Yamashita.
2. 発表標題 Surface free energy predominates in cell adhesion to ceramic biomaterials.
3. 学会等名 29th European Conference on Biomaterials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Miho Nakamura.
2. 発表標題 Artificial bones for tissue regeneration- Multidisciplinary collaborations between Finland and Japan.
3. 学会等名 All Alumni Meeting- the 100-year anniversary of diplomatic relations between Finland and Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村美穂、堀内尚紘、山下仁大.
2. 発表標題 アパタイトミネラルに蓄積された電気的エネルギーによる細胞機能制御.
3. 学会等名 学際・国際的高度人材養成ライフイノベーションマテリアル創製共同研究プロジェクト(6大学連携プロジェクト)公開討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村美穂.
2. 発表標題 骨再生医療材料の表面科学と細胞制御.
3. 学会等名 日本再生医療学会.(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nakamura M, Yamashita K.
2. 発表標題 Surface electric fields of bioceramic electrets promote cell adhesion.
3. 学会等名 42nd International Conference and Exposition on Advanced Ceramics and Composites (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nakamura M.
2. 発表標題 A new concept for hydroxyapatite in bone remodeling-the nano structure and response to mechanical strain.
3. 学会等名 34th Annual Meeting for southern biomedical engineering conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Nakamura, K. Yamashita.
2. 発表標題 Hydroxyapatite with high carbonate substitutions promotes osteoclast differentiation through osteocyte-like cells.
3. 学会等名 Finnish Bone Society Meeting 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Nakamura, K. Yamashita, J. Tuukkanen, P. Lehenkari.
2. 発表標題 Banked bone intended for clinical use as an electrical energy reservoir.
3. 学会等名 Finnish Bone bank meeting 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Nakamura, K. Yamashita.
2. 発表標題 Understanding of cell-biomaterial interactions in terms of surface and materials science.
3. 学会等名 International Symposium on Biomedical and Environmental Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Nakamura, R.Hiratai, T. Hentunen, J. Salonen, K. Yamashita.
2. 発表標題 Hydroxyapatite with high carbonate substitutions promotes osteoclast formation in vitro and in vivo.
3. 学会等名 European Society for Biomaterials 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村美穂 .
2. 発表標題 バイオマテリアル表面科学に着目した基礎研究
3. 学会等名 無機リン産学連携講座 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村美穂、堀内 尚紘、山下仁大 .
2. 発表標題 アパタイトミネラルに蓄積された電気的エネルギー による細胞機能制御
3. 学会等名 学際・国際高度人材育成ライフイノベーションマテリアル創製共同研究プロジェクト公開討論会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村美穂
2. 発表標題 骨再生医療材料の表面科学と細胞制御
3. 学会等名 日本再生医療学会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村美穂、米山祥平、吉田直哉、大倉利典、山下仁大
2. 発表標題 分極ゼオライトの電気特性評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会 2018 年年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堀内 尚紘, 野崎 浩佑, 中村 美穂, 永井 亜希子, 山下 仁大, 遠山 岳史.
2. 発表標題 プロトン伝導を利用したセラミックエレクトレット
3. 学会等名 平成 2 8 年度生体医歯工学共同研究拠点成果報告会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 堀内尚紘, 野崎浩佑, 中村美穂, 永井亜希子, 山下仁大
2. 発表標題 カルボン酸を用いた板状水酸アパタイトの合成.
3. 学会等名 無機マテリアル学会第 134 回学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大塚 啓介, 堀内 尚紘, 野崎 浩佑, 中村 美穂, 永井 亜希子, 山下 仁大.
2. 発表標題 水酸アパタイトエレクトレットの特性に与える焼結条件の影響
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第 30 回秋季シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 堀内 尚紘, 野崎 浩佑, 中村 美穂, 永井 亜希子, 山下 仁大
2. 発表標題 二価のカルボン酸を用いた板状水酸アパタイトの水熱合成
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第 30 回秋季シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 堀内 尚紘, 大塚 啓介, 野崎 浩佑, 中村 美穂, 永井 亜希子, 山下 仁大
2. 発表標題 界面分極を利用した水酸アパタイトエレクトレットの作製とその帯電特性
3. 学会等名 第 37 回エレクトロセラミックス研究討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 堀内 尚紘, 大塚 啓介, 野崎 浩佑, 中村 美穂, 永井 亜希子, 山下 仁大
2. 発表標題 熱刺激脱分極電流法を用いたハイドロキシアパタイトエレクトレットの特性評価.
3. 学会等名 第 39 回 バイオマテリアル学会大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Horiuchi N, Nakamura M, Wada N, Yamashita K, Nagai A.	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Wily	5. 総ページ数 3756
3. 書名 Handbook of Solid State Chemistry	

〔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	山下 仁大 (Yamashita Kimihiro) (70174670)	東京医科歯科大学・生体材料工学研究所・教授 (12602)	
研究 分担者	堀内 尚紘 (Horiuchi Naohiro) (90598195)	東京医科歯科大学・生体材料工学研究所・助教 (12602)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------