

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K10241

研究課題名（和文）積層造形を応用した理想的な表面形状を持つ次世代ジルコニアインプラントの開発

研究課題名（英文）Development of dental zirconia implant using additive manufacturing

研究代表者

猪越 正直（Inokoshi, Masanao）

東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・准教授

研究者番号：90753715

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、積層造形したジルコニアの物性と骨形成能を評価し、ジルコニアインプラントに最適な表面形状を解明することを目的とした。物性について、積層造形ジルコニアの二軸曲げ強さは、従来法で製作したジルコニアのそれとほぼ同等であった。一方で、骨形成能について、積層造形ジルコニアはチタンと同等の細胞増殖能を示し、チタンと同等かそれ以上の分化能を示した。以上から、積層造形ジルコニアはインプラント材料として有用である可能性が示唆された。今後は、積層造形ジルコニアの生体活性を高めるような表面形状や表面性状を検討する予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

歯科において、ジルコニアは切削加工にて製作される場合がほとんどであり、積層造形を歯科用ジルコニアインプラント製作に応用するための体系的な研究はほとんどなされていなかった。そのため、本研究にて得られた積層造形ジルコニアの基本的物性や生体適合性に関する情報は高い独自性を有し、有意義な情報となる。また、ジルコニアの積層造形法をジルコニア製補綴装置製作に応用すれば、一度に同時に大量の補綴装置を製作することが可能となるため、省力化につながり、歯科治療における医療経済的なメリットも大きい可能性がある。さらには、整形外科領域のジルコニア性人工関節への応用といった、医科他領域への波及効果を見込むことが出来る。

研究成果の概要（英文）：In this project, we investigated the basic properties and osteoblast response of additively manufactured zirconia. Regarding the mechanical properties, additively manufactured zirconia presented comparable biaxial flexural strength to subtractively manufactured zirconia. Moreover, additively manufactured zirconia showed comparable cell viability and Alkaline Phosphatase (ALP) activity to titanium. In summary, additively manufactured zirconia is a promising material for dental implants.

研究分野：補綴・歯科理工学系

キーワード：ジルコニア インプラント 積層造形 付加製造 骨芽細胞様細胞 二軸曲げ強さ 骨形成能 結晶構造解析

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、歯科用修復物に用いられる貴金属の価格が高騰し、歯科技工料や医療費を圧迫している。また、歯科用金属によるアレルギーも大きな問題となっている。このような背景から、金属に代わる材料であるジルコニアを用いた歯科用修復物が広く用いられるようになってきている。さらに、ジルコニアは歯冠修復物としてだけでなくインプラントにも応用され、インプラント体やアバットメントとしても使用されるようになってきている。

ジルコニアは機械的強度が非常に高いため、その加工はCAD-CAM技術を用いて行われる。CAD-CAM技術には切削加工と積層造形の2種類がある。積層造形を用いた場合、切削加工では難しい複雑な形状を製作することが可能であるが、現在のところジルコニア修復物を積層造形によって製作するシステムは存在しないため、切削加工にて製作されている。

ジルコニアの積層造形については、工学系の報告がいくつか見られる。積層造形のうち、レーザーを用いた粉末焼結によるもの、紫外線を用いた光造形法によるものが報告されている。申請者らは光造形法のうち、direct light processing (DLP) に着目し、セラミック修復物の積層造形について検討してきた。適切なパラメータを設定することにより、積層造形にて製作したジルコニアを製作することができるようになってきている。

ジルコニアインプラントは焼成後に適切な表面形状を付与する必要があり、サンドブラストやレーザー照射、酸処理等を用いた表面処理を施す必要がある。これらの表面処理はジルコニアに損傷を与え、強度を低下させる恐れがある。一方で、積層造形はジルコニアインプラントの製作と同時に表面処理が可能であるため、物性の維持に有利であると考えられる。積層造形をジルコニアインプラントへ応用するためには、機械的強度や結晶構造解析、微細構造解析の他に、生体適合性のための適切な表面形状についても評価が必要であるが、現在のところ全く明らかとなっていない。

2. 研究の目的

本研究では、積層造形したジルコニアの結晶構造、機械的強度、微小構造といった基本的物性と、積層造形したジルコニアの骨形成能を評価し、ジルコニアインプラントに最適な表面形状を解明することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 積層造形ジルコニアの物性評価

① 試料

積層造形により製作した3 mol%イットリア安定化ジルコニア (3Y-TZP: LithaCon 3Y 230, Lithoz; 3D Mix zirconia, 3DCeram Sinto)、積層造形により製作したアルミナ強化ジルコニア (3D Mix ATZ, 3DCeram Sinto)、切削加工により製作したジルコニア (LAVA Plus, 3M Oral Care) を用いた。全ての試料を12 mm×12 mm×1.2 mmの寸法となるよう製作し、積層造形時の造形方向は、二軸曲げ強さの荷重方向に対してLithaCon 3Y 230では垂直、3D Mix zirconiaと3D Mix ATZでは平行とした。

② 結晶構造解析

X線回折 (D8 Advance, Bruker) とRietveld解析を用い、ジルコニアの各結晶相 (立方晶、正方晶、単斜晶) の含有量と、アルミナの含有量を算出し、結晶組成を評価した。

③ 機械的強度

二軸曲げ試験は、Wendlerら (Dent Mater, 2017) とCokicら (Dent Mater, 2020) の方法に従った。万能試験機 (EZ-LX, Shimadzu) を使用し、0.5 mm/minのクロスヘッドスピードで荷重を負荷した。ポアソン比は過去の報告に倣い、ジルコニアでは0.3、アルミナ強化ジルコニアでは0.27とした。二軸曲げ試験の結果はWeibull解析と最尤法により統計学的に解析した。有意水準は $\alpha=0.05$ とし、統計解析にはR.3.6.1とweibullR (R Foundation for Statistical Computing) を用いた。

④ 微小構造解析

各試料表面に白金を蒸着した後、加速電圧5 kV、放出電流8 μ A、作動距離を10 mmに設定し、走査型電子顕微鏡 (S-4500, Hitachi) を用いた微小構造解析を行った。さらに、各群の試料の断面を研磨後に、アルゴンイオンリング加工 (Cross Section Polisher, SM-09010, JEOL) を施し、試料表面に白金を蒸着した後、電界放出電子顕微鏡 (FE-SEM: Hitachi SU8230, Hitachi) を用いて、加速電圧15 kVで観察した。次いで、エネルギー分散X線分光分析を用いて、各試料の元素分析を実施した。

(2) 積層造形ジルコニアの骨形成能評価

① 試料

表面形状、表面性状、骨形成能を評価するため、以下の4種類の材料を使用した: 1) sand-

blasted with large-grit and acid-etched (SLA) 処理を施したチタン (Titanium, Rare Metallic CO., Ltd) : #320 の研磨紙で表面が均一になるまで試料を研磨し、表面が粗面になるまでサンドブラスト処理 (アルミナ粒子: 250 μm , 0.45 MPa) を行った後、18%の塩酸と49%の硫酸を用いて60°Cで30分間酸処理を行った; 2) 一軸加圧成形にて製作した3 mol% イットリア安定化型ジルコニア (一軸加圧成形ジルコニア: TZ-3YSB-E, Tosoh); 3) 積層造形により製作した3 mol% イットリア安定化型ジルコニア (積層造形ジルコニア: 3D Mix Zirconia, 3D Ceram Sinto); 4) 積層造形により製作したアルミナ強化型ジルコニア (積層造形 ATZ: 3D Mix ATZ, 3D Ceram Sinto)。2)-4)の試料は、表面処理を施さず、焼成したままとした。いずれの試料も、直径10.75 mm、厚さ1.2 mmの円板状となるよう製作した (n=27/group)。

② 表面粗さの測定

各試料の表面粗さを評価するため、3次元共焦点レーザー顕微鏡 (LEXT4100, OLYMPUS) を用いて表面粗さの測定を行った。1試料につき10領域表面粗さ (S_a , R_a) の測定を行い、それらの平均値を算出した。

③ 表面ぬれ性の評価

各試料のぬれ性を評価するため、接触角の測定を行った。洗浄後、蒸留水を用いて表面ぬれ性実験を行った。接触角は、SImage AUTO 100 (Excimer) を用いて測定した。

④ 走査型電子顕微鏡による表面形状の評価

各試料の表面形状を、走査型電子顕微鏡を用いて解析した。観察に先立ち、オスミウムコーター (Neoc-STB, MeiwaFosis) を用いて試料表面をオスミウムコーティング処理した。その後、電界放出型走査型電子顕微鏡 (FEG-SEM, JSM-6701F, JEOL) を用いて5 kV で試料表面を観察した。

⑤ 細胞増殖能評価

細胞増殖能を評価するため、マウス骨芽細胞様細胞 MC3T3-E1 (RIKEN BRC) を用いた。37°C、5%CO₂のインキュベーター下で10%ウシ胎児血清 (FBS) と1%ペニシリン-ストレプトマイシン溶液 (PS) 添加 MEM (ナカライテスク) 培地を用いて細胞培養を行った。培地は2~3日ごとに交換した。上記で製作した直径10.75 mmの4種類の試料をエタノールにて消毒し、蒸留水で洗浄後乾燥させた。121°Cで20分間オートクレーブ滅菌 (Autoclave SX-300, TOMY SEIKO CO., LTD) を行った。各試料を24 well プレートに設置し、上記の条件で培養しコンフルエントになった MC3T3-E1 細胞を 5×10^4 個/mL で播種した。培養1、3、7日後に Cell Proliferation Kit I (MTT: Roche, Sigma-Aldrich Co. LLC) を用いて反応させたのち、分光光度計を用いて550 nmの吸光度を測定した。

⑥ 分化能の評価

マウス骨芽細胞様細 (MC3T3-E1 RIKEN BRC) を用いて、37°C、5%CO₂のインキュベーター下で細胞培養を行った。培地は、10%ウシ胎児血清 (FBS, Thermo Fisher Scientific) と1%ペニシリン-ストレプトマイシン溶液 (PS, FUJIFILM Wako Shibayagi Corporation) 添加 MEM α (FUJIFILM Wako Shibayagi Corporation) を用い、2~3日ごとに培地の交換を行った。MC3T3-E1 細胞の分化能を評価するため、直径10.75 mmの4種類の試料を70%エタノールにて消毒し、蒸留水で洗浄後乾燥させ、48 well プレートに設置した。上記の条件で培養した MC3T3-E1 細胞を各試料上に 5×10^4 個/mL で播種した。分化培地は、上記の10%FBSと1%PS添加 MEM α に50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ アスコルビン酸 (Sigma-Aldrich Co. LLC) と10 mM β -グリセロリン酸 (Sigma-Aldrich Co. LLC) と1 μM デキサメタゾン (Sigma-Aldrich Co. LLC) を加えたものを用いた。コンフルエントになった後に、分化培地に交換した。培養7、10、14日後のALP活性と総タンパク量をラボアッセイALP (FUJIFILM Wako Shibayagi Corporation) および Micro BCA Protein Assay Kit (Thermo Fisher Scientific) を用いて、プロトコルに従い評価した。まず、細胞をPBSで2回洗浄を行った後に、0.2% TritonX-100 中で室温-20°Cの凍結融解を3回繰り返した。上清をそれぞれのプロトコルに従い反応させ、それぞれ405nmと562nmの吸光度を測定し、ALP活性とタンパク質量を解析した。

⑦ リアルタイムPCR法による遺伝子発現の解析

遺伝子発現を解析するため、リアルタイムPCR法を用いた。細胞増殖能評価と同様の方法で7、14日間培養を行った。その後、RNeasy Micro Kit (Qiagen, Thermo Fisher Scientific) を用い試料上の細胞のmRNAを抽出した。High Capacity cDNA Reverse Transcription Kits (Thermo Fisher Scientific) を用いて逆転写cDNAを得た。プライマーはI型コラーゲン (Collagen 1 α 1) を用い、glyceraldehyde 3 phosphate dehydrogenase (GAPDH) を内在性コントロールとして用いた。TaqMan® Fast Universal PCR Master Mix The Applied Biosystems® StepOne™ Real-Time PCR Systems (Thermo Fisher Scientific) によってそれぞれの遺伝子発現量を定量化した。

⑧ 統計解析

接触角測定、細胞増殖、ALP活性、およびリアルタイムPCRの結果は、Shapiro-Wilk検定の後、一元配置分散分析とTukey法による多重比較、またはKruskal-Wallis検定とDunn検定による多重比較のいずれかを用いて統計学的に解析した。全ての統計処理は有意水準 $\alpha=0.05$ とし、統計解析ソフト (R software package, R Foundation for Statistical Computing) を用いた。

4. 研究成果

(1) 積層造形ジルコニアの物性評価

① 結晶構造解析

X線回折とRietveld解析の結果、積層造形ジルコニア (Lithacon 3Y 230 ; 3D Mix zirconia) と、切削加工ジルコニア (LAVA Plus) は、正方晶を86~88 wt%含有していた。一方で、積層造形アルミナ強化ジルコニアは、アルミナを約20 wt%、ジルコニアを約80 wt%含有していた。

② 機械的強度

Weibull分析の結果を図1に示す。積層造形ジルコニアの二軸曲げ強さは、Lithacon 3Y 230よりも3D Mix zirconiaの方が有意に高い結果となった。切削加工ジルコニア (LAVA Plus) の二軸曲げ強さはこれらの積層造形ジルコニアの間であった。また、積層造形アルミナ強化ジルコニア (3D Mix ATZ) は、切削加工ジルコニア (LAVA Plus) と積層造形ジルコニア (Lithacon 3Y 230) よりも有意に高い二軸曲げ強さを示した。

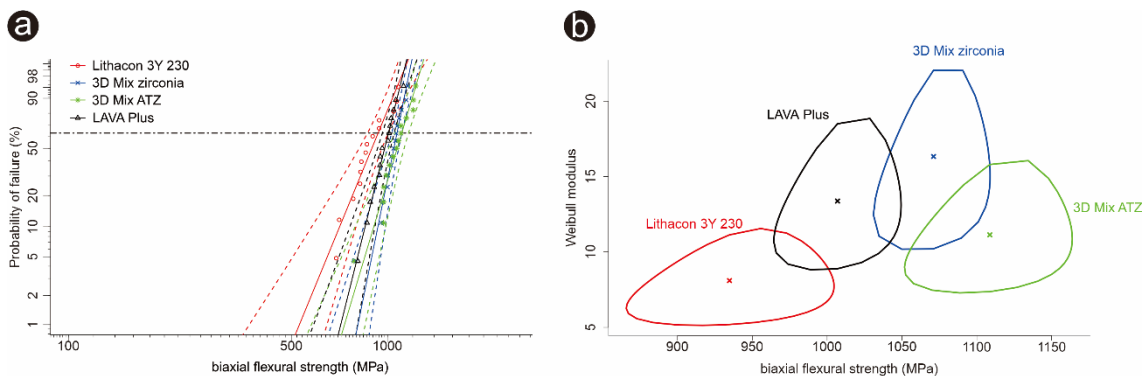


図1. Weibull分析の結果 : Nakai H, *et al.* Additively Manufactured Zirconia for Dental Applications. Materials (Basel). 2021. 14 (13): 3694. より引用。

③ 微小構造解析

走査型電子顕微鏡による微小構造解析の結果、積層造形ジルコニア (Lithacon 3Y 230 ; 3D Mix zirconia) と切削加工ジルコニア (LAVA Plus) は粒径分布が類似しており、ほぼ同等の微小構造を示した。積層造形アルミナ強化ジルコニア (3D Mix ATZ) では、多くのアルミナ粒子が観察された。元素分析の結果、切削加工ジルコニア (LAVA Plus) は、積層造形ジルコニア (Lithacon 3Y 230 ; 3D Mix zirconia) よりもアルミナの含有量が少なく、空孔が多く観察された。積層造形アルミナ強化ジルコニア (3D Mix ATZ) の断面はアルミナ粒子を多く含有していた。これらの傾向は、結晶構造解析結果と一致していた。

(2) 積層造形ジルコニアの骨形成能評価

① 表面粗さ

表面粗さの測定結果を表1に示す。SLA処理したチタンの S_a 、 R_a は、一軸加圧成形ジルコニア、積層造形ジルコニア、積層造形ATZのそれよりも大きい結果となった。一軸加圧成形ジルコニア、積層造形ジルコニア、積層造形ATZの S_a 、 R_a は、ほぼ同等であった。

表1. 表面粗さ解析の結果

	S_a (μm)	R_a (μm)
チタン	2.23	1.69
一軸加圧成形ジルコニア	0.27	0.23
積層造形ジルコニア	0.28	0.23
積層造形ATZ	0.22	0.17

② 接触角測定

一元配置分散分析とTukey法による多重比較の結果、チタンの接触角は、一軸加圧成形ジルコニア、積層造形ジルコニア、積層造形ATZの接触角よりも有意に大きいことが明らかとなった。

③ 走査型電子顕微鏡による表面形状の評価

走査型電子顕微鏡による表面形状の解析結果、チタン表面は不規則な針状の形態を呈しており、サンドブラストの影響と考えられる粗面 (マイクロ構造) と、エッチングによるナノ構造が認められた。一方で一軸加圧成形ジルコニアと積層造形ジルコニアでは、粒径約 $1\ \mu\text{m}$ 以下の境界明瞭なジルコニア粒子が観察できた。積層造形ATZでは、粒径約 $1\ \mu\text{m}$ のジルコニアの粒子と、アルミナと考えられる黒色の粒子が観察された。

④ 細胞増殖能評価

一元配置分散分析とTukey法による多重比較を用いた細胞増殖能評価の結果を図2に示す。細胞培養1日目の時点で、積層造形ジルコニアの細胞増殖能は、一軸加圧成形ジルコニアと積層造形ATZのそれよりも有意に高い結果となった。一方で3日目の時点では、チタン、一軸加圧成形ジルコニア、積層造形ジルコニア間の細胞増殖能力に、有意な差は認められなかった。7日目

の時点でも、チタンと積層造形ジルコニアの細胞増殖能は、積層造形 ATZ のそれよりも有意に高い結果となった。1 日目、3 日目、7 日目いずれにおいても、積層造形 ATZ は有意に最も低い細胞増殖能を示した。

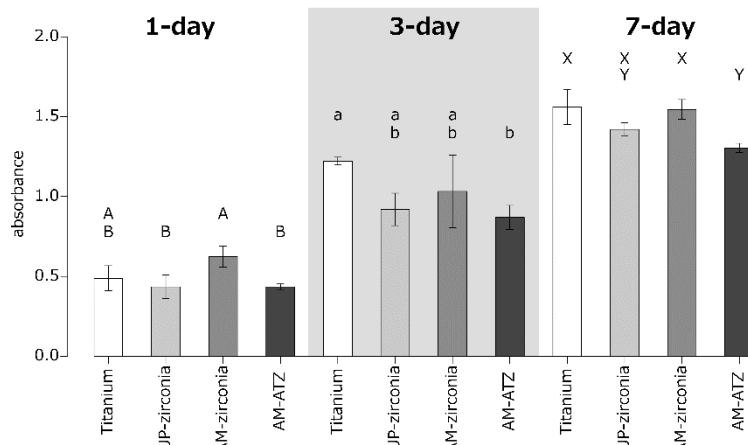


図 2. 細胞増殖能評価の結果 : Nakai H, *et al.* Osteoblast Response of Additively Manufactured Zirconia and Alumina-Toughened Zirconia. *Materials (Basel)*. 2022. 15 (23): 8685. より引用。

⑤ 分化能の評価

一元配置分散分析と Tukey 法による多重比較を用いた分化能評価の結果を図 3 に示す。7 日目の時点でチタン、積層造形ジルコニア、積層造形 ATZ の ALP 活性に有意な差は認められなかった。10 日目の時点で、チタンと積層造形ジルコニアの ALP 活性に有意な差は認められなかったが、積層造形ジルコニアの ALP 活性は、一軸加圧成形ジルコニアと積層造形 ATZ のそれよりも有意に高い結果となった。14 日目の時点で積層造形ジルコニアの ALP 活性は、チタンと一軸加圧成形ジルコニアのそれよりも有意に高い結果となった。

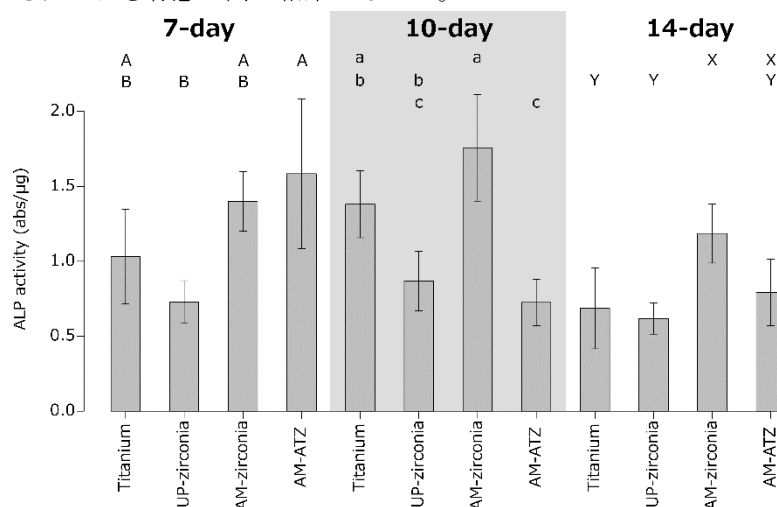


図 3. 分化能評価の結果 : Nakai H, *et al.* Osteoblast Response of Additively Manufactured Zirconia and Alumina-Toughened Zirconia. *Materials (Basel)*. 2022. 15 (23): 8685. より引用。

⑥ リアルタイム PCR 法による遺伝子発現の解析

一元配置分散分析と Tukey 法による多重比較の結果、7 日目の時点では積層造形ジルコニアの I 型コラーゲンの遺伝子発現量は、チタン、一軸加圧成形ジルコニア、積層造形 ATZ のそれよりも有意に高かった。一方で、14 日目の時点では、積層造形ジルコニアの I 型コラーゲンの遺伝子発現量は、一軸加圧成形ジルコニアよりも有意に高い結果となった。

以上の成果から、積層造形ジルコニアはインプラント材料として有用である可能性が示唆された。今後は、積層造形ジルコニアの生体活性をさらに高めるような表面形状を検討する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 6件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Nakai Hiroto, Inokoshi Masanao, Nozaki Kosuke, Komatsu Keiji, Kamijo Shingo, Liu Hengyi, Shimizubata Makoto, Minakuchi Shunsuke, Van Meerbeek Bart, Vleugels Jef, Zhang Fei	4. 巻 14
2. 論文標題 Additively Manufactured Zirconia for Dental Applications	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 3694 ~ 3694
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma14133694	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 Inokoshi Masanao, Nozaki Kosuke, Takagaki Tomohiro, Okazaki Yohei, Yoshihara Kumiko, Minakuchi Shunsuke, Van Meerbeek Bart	4. 巻 65
2. 論文標題 Initial curing characteristics of composite cements under ceramic restorations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Prosthodontic Research	6. 最初と最後の頁 39 ~ 45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2186/jpr.JPOR_2019_330	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 Inokoshi Masanao, Shimizubata Makoto, Nozaki Kosuke, Takagaki Tomohiro, Yoshihara Kumiko, Minakuchi Shunsuke, Vleugels Jozef, Van Meerbeek Bart, Zhang Fei	4. 巻 115
2. 論文標題 Impact of sandblasting on the flexural strength of highly translucent zirconia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials	6. 最初と最後の頁 104268 ~ 104268
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmbbm.2020.104268	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 TOO Thaw Di CHO, INOKOSHI Masanao, NOZAKI Kosuke, SHIMIZUBATA Makoto, NAKAI Hiroto, LIU Hengyi, MINAKUCHI Shunsuke	4. 巻 40
2. 論文標題 Influence of sintering conditions on translucency, biaxial flexural strength, microstructure, and low-temperature degradation of highly translucent dental zirconia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Dental Materials Journal	6. 最初と最後の頁 1320 ~ 1328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4012/dmj.2020-448	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 猪越 正直、水口 俊介	4. 巻 14
2. 論文標題 ジルコニア：マテリアルサイエンスから見た最新のエビデンス	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本補綴歯科学会誌	6. 最初と最後の頁 124 ~ 130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2186/ajps.14.124	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 Cokic Stevan M., Condor Mar, Vleugels Jef, Van Meerbeek Bart, Oosterwyck Hans Van, Inokoshi Masanao, Zhang Fei	4. 巻 38
2. 論文標題 Mechanical properties?translucency?microstructure relationships in commercial monolayer and multilayer monolithic zirconia ceramics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Dental Materials	6. 最初と最後の頁 797 ~ 810
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dental.2022.04.011	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 Zhang Fei, Spies Benedikt C., Willems Evita, Inokoshi Masanao, Wesemann Christian, Cokic Stevan M., Hache Benedikt, Kohal Ralf J., Altmann Brigitte, Vleugels Jef, Van Meerbeek Bart, Rabel Kerstin	4. 巻 150
2. 論文標題 3D printed zirconia dental implants with integrated directional surface pores combine mechanical strength with favorable osteoblast response	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Acta Biomaterialia	6. 最初と最後の頁 427 ~ 441
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actbio.2022.07.030	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 Liu Hengyi, Inokoshi Masanao, Nozaki Kosuke, Shimizubata Makoto, Nakai Hiroto, Cho Too Thaw Di, Minakuchi Shunsuke	4. 巻 38
2. 論文標題 Influence of high-speed sintering protocols on translucency, mechanical properties, microstructure, crystallography, and low-temperature degradation of highly translucent zirconia	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Dental Materials	6. 最初と最後の頁 451 ~ 468
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dental.2021.12.028	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 Nakai Hiroto, Inokoshi Masanao, Nozaki Kosuke, Yoshihara Kumiko, Matsukawa Akihiro, Nagaoka Noriyuki, Tonprasong Watcharapong, Minakuchi Shunsuke	4. 巻 15
2. 論文標題 Osteoblast Response of Additively Manufactured Zirconia and Alumina-Toughened Zirconia	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 8685 ~ 8685
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma15238685	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 Inokoshi Masanao, Liu Hengyi, Yoshihara Kumiko, Yamamoto Mao, Tonprasong Watcharapong, Benino Yasuhiko, Minakuchi Shunsuke, Vleugels Jef, Van Meerbeek Bart, Zhang Fei	4. 巻 39
2. 論文標題 Layer characteristics in strength-gradient multilayered yttria-stabilized zirconia	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Dental Materials	6. 最初と最後の頁 430 ~ 441
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dental.2023.03.015	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

〔学会発表〕 計16件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Inokoshi M
2. 発表標題 Contemporary dental zirconia ceramics as restorative materials
3. 学会等名 International Dental Materials Congress 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Inokoshi M, Nakai H, Minakuchi S
2. 発表標題 Comparison of four-point and biaxial flexural strength for strength-gradient yttria-stabilized zirconia
3. 学会等名 International Dental Materials Congress 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nakai H, Inokoshi M, Nozaki K, Minakuchi S
2. 発表標題 Cell viability and osteogenic ability of additively manufactured zirconia
3. 学会等名 International Dental Materials Congress 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Liu H, Inokoshi M, Nozaki K, Shimizubata M, Nakai H, Cho Too TD, Minakuchi S
2. 発表標題 Long-Term Low-Temperature Degradation Behavior of High-Speed Sintered Zirconia
3. 学会等名 2021 CED-IADR/NOF Oral Health Research congress (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Inokoshi M, Liu H, Shimizubata M, Nozaki K, Minakuchi S
2. 発表標題 Crystallography and Flexural Strength of Multi-Layered Highly Translucent Zirconia
3. 学会等名 2021 CED-IADR/NOF Oral Health Research congress (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Inokoshi M
2. 発表標題 Zirconia ceramics - aesthetic, strong and aging resistant restorative materials
3. 学会等名 19th Biennial Meeting of the ICP (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Liu H, Inokoshi M, Nakai H, Minakuchi S
2. 発表標題 Effect of high-speed sintering protocols on the microstructure of highly translucent zirconia
3. 学会等名 第78回日本歯科理工学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中井啓人, 猪越正直, 劉 恒毅, 水口俊介
2. 発表標題 付加製造ジルコニアの粒径分布解析
3. 学会等名 第78回日本歯科理工学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 劉 恒毅, 猪越正直, 野崎浩佑, 清水畑誠, 中井啓人, 水口俊介
2. 発表標題 高透光型ジルコニアの高速焼成が曲げ強さに与える影響
3. 学会等名 日本補綴歯科学会第130回記念学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 猪越正直
2. 発表標題 ジルコニア: マテリアルサイエンスから見た最新のエビデンス
3. 学会等名 日本補綴歯科学会第130回記念学術大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nakai H, Inokoshi M, Nozaki K, Kamijo S, Shimizubata M, Liu H, Minakuchi S
2. 発表標題 Crystallography and flexural strength of additive manufactured zirconia
3. 学会等名 The 7th Biennial Joint Congress of JPS-CPS-KAP (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Liu H, Inokoshi M, Nozaki K, Shimizubata M, Nakai H, Thaw Di CT, Minakuchi S
2. 発表標題 Translucency and crystallography of speed-sintered highly translucent dental zirconia
3. 学会等名 The 7th Biennial Joint Congress of JPS-CPS-KAP (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中井啓人, 猪越正直, 野崎浩佑, 水口俊介
2. 発表標題 積層造形を応用したジルコニアの結晶構造解析
3. 学会等名 日本補綴歯科学会 東京支部総会・第23回学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Khanlar LN, Takagaki T, Inokoshi M, Ikeda M, Takahashi A, Yoshihara K, Nagaoka N, Nikaido T, Tagami J
2. 発表標題 Effect of glass-beads blasting on bonding performance of super-translucent zirconia
3. 学会等名 ConsAsia 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Thaw Di CT, Inokoshi M, Nozaki K, Minakuchi S
2. 発表標題 Influence of sintering conditions on translucency of highly translucent dental zirconia
3. 学会等名 第74回日本歯科理工学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Inokoshi M, Zhang F, Nozaki K, Shimizu H, Vleugels J, Van Meerbeek B, Minakuchi S
2. 発表標題 Translucency, flexural strength and aging behavior of highly translucent zirconia
3. 学会等名 97th General Session & Exhibition of the IADR (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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	野崎 浩佑 (Nozaki Kosuke) (00507767)	東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・講師 (12602)	

	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 協力者	吉原 久美子 (Yoshihara Kumiko)		

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			
ベルギー	KU Leuven (University of Leuven)			