

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究

研究期間：2022～2023

課題番号：22K18201

研究課題名（和文）液相法による第5族元素含有バイオアダプティブリン酸塩ガラスの設計

研究課題名（英文）Preparation of liquid-phase phosphate glass containing group 5 elements for bioadaptive materials

研究代表者

李 誠鎬（Lee, Sungho）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・材料・化学領域・主任研究員

研究者番号：20850001

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）：無機イオンは適切な濃度であれば生理学的活性を高める機能を持つが、過剰な場合には機能阻害や細胞毒性が懸念される。よって、無機イオンの溶出量を厳密に制御する必要がある。本研究は、無機イオン溶出挙動の制御に向けて、第5族元素のNbとTaを含有した液相法リン酸塩ガラスを作製した。その構造解析より、Nb、Taの導入量の増加に伴い、リン酸塩ユニットをNb、Taが架橋することで鎖構造が形成され、この構造により化学耐久性が向上することを見出した。一方、中間酸化物のMg含有液相法リン酸塩ガラスの作製にも成功し、Mg導入量が多いほど化学耐久性が低くなることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

液相法により作製する生体用リン酸塩ガラスの作製プロセスを確立することは、従来の熔融法に比べより低いエネルギーでの材料合成を可能とする。加えて、ボトムアッププロセスであるため、熔融法では作製できない構造の形成が可能である。本研究では、Nb、Taがリン酸塩ユニットを架橋し鎖構造を形成しており、この構造は熔融法リン酸塩インパートガラスでは見られないものである。新たな構造を形成するプロセスとしての液相法は、無機イオンの溶出挙動の制御において非常に有用であり、無機イオンを活用するバイオアダプティブ材料の設計において重要なツールになり得ると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Inorganic ions can stimulate the activity of cell functions at appropriate concentrations, but in excess can cause functional inhibition and cytotoxicity. Therefore, the releasing behavior of inorganic ions must be strictly controlled. In this work, liquid-phase method phosphate glasses containing group 5 elements, Nb and Ta, were prepared to control the releasing behavior of inorganic ions. From the structural analysis, the amount of Nb and Ta increases, a chain structure is formed by the cross-linking of phosphate units by Nb and Ta, and this structure improves the chemical durability. Moreover, Mg-containing liquid-phase phosphate glasses were prepared, and the chemical durability of the glasses was decreased with increasing amounts of Mg.

研究分野：生体材料学

キーワード：生体活性ガラス リン酸塩ガラス ガラス網目構造 無機イオン溶出挙動 液相法

1. 研究開始当初の背景

健康寿命の延伸は、超高齢化社会を迎えた日本のみならず世界的に非常に大きな社会課題であり、患者の迅速な回復を促すバイオ材料は生活の質を向上するのみならず社会全体に大きな貢献をもたらす。近年、医療・健康ニーズの多様化や医療技術・機器の高度化に伴い、バイオ材料には生体现象を制御するための様々な機能が求められている。例えば、生体損傷部位に細胞を誘導して組織再生を促す材料や、生体とリアルタイムに物質や情報をやり取りし診断・治療を行う材料の実現が求められている。そこで、2018年に科学技術振興機構研究戦略センターから次世代のバイオ材料工学の新たな戦略として、生体との相互作用を能動的に制御する「バイオアダプティブ材料」の創出が提唱されている。具体的には、生体现象を制御する機能をもつ材料や、現状の網羅的探索の延長による材料では達成不可能な極めて高い生体活性を有する材料の創出基盤の構築が求められている。申請者は生体现象を制御する戦略として、生体内に存在する微量の無機元素(無機イオン)に注目した。生体内微量元素(無機イオン)は生命活動の維持に重要な役割を担い、適切な濃度であれば生理学的活性を高める機能を持つ。一方、過剰な濃度の場合には機能阻害や細胞毒性が懸念されるため、材料から供給される無機イオンの量を厳密に制御する必要がある。

2. 研究の目的

バイオアダプティブリン酸塩ガラスを液相法により作製するには、機能性無機イオンの種類や量を制御する必要がある。そこで本研究では、液相法リン酸塩ガラスのイオン溶出挙動(化学耐久性)を制御するため、中間酸化物を導入したガラスの設計指針の確立を目指す。中間酸化物とは、ガラス網目構造中で網目形成・網目修飾の両方の機能が可能な酸化物で、主に遷移金属の酸化物がそれに該当する。本研究では、中間酸化物の中でも、第5族元素の Nb_2O_5 と Ta_2O_5 に注目した(V_2O_5 は細胞毒性が懸念されるため本研究では用いない)。溶融法のリン酸塩ガラス中で Nb_2O_5 は、導入量および配位構造によってイオン溶出挙動の制御が可能であった。 Ta_2O_5 はガラス中の結合強度の指標である電界強度から中間酸化物に分類される。さらに、 Nb_2O_5 と同じ第5族元素であり、類似した性質を示すことが期待され、リン酸塩ガラスのイオン溶出挙動の制御に効果があると考えられる。さらに、微量のNbイオンは骨形成を促進し、Taイオンは骨形成の促進や抗菌性に効果がある。このように、 Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 はリン酸塩ガラスのイオン溶出挙動制御に加え、ガラスから溶出したイオンと細胞・細菌との相互作用も期待できる。そこで本研究では、バイオアダプティブリン酸塩ガラス系材料の創製を目指し、第5族元素導入リン酸塩ガラスの液相法プロセス確立、網目構造解明、イオン溶出挙動の知見を収集し、液相法リン酸塩ガラスの設計指針の確立を目的とする。

3. 研究の方法

本研究は、第5族元素の Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 を導入した液相法リン酸塩ガラスの作製プロセス確立、ガラス網目構造解析による無機イオン溶出挙動解明に焦点を当て取り組む。

(1) 液相法による Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 含有リン酸塩ガラスの作製プロセス確立

液相法によるリン酸塩ガラスは、ピロリン酸カリウム溶液に塩化カルシウム溶液を滴下することで作製可能である。本研究で目指す機能性無機イオン(Nb^{5+} 、 Ta^{5+} イオン)の溶出挙動を制御するため、中間酸化物の Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 の導入量の検討を行う。アモルファス状態であり、過剰なリン酸塩を溶出しないインバート組成のガラスが作製可能な、液相法リン酸塩ガラスの作製プロセスを確立する。

(2) ガラス網目構造解析による無機イオン溶出挙動解明

本研究で目指すリン酸塩ガラスは、過剰なリン酸を溶出させないため、オルトリン酸(PO_4^{3-} 、 Q_p^0)およびピロリン酸($\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ 、 Q_p^1)を骨格に、導入した中間酸化物の Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 が網目形成酸化物として役割可能な MO_4 四面体($M = \text{Nb}, \text{Ta}$)の構造を有する材料に設計する必要がある。網目形成酸化物として役割をする MO_4 四面体の中間酸化物はリン酸グループとP-O-M結合を形成し、化学耐久性を向上させる効果も有する。ガラス網目構造解析から無機イオン溶出挙動を解明するために、ラマンスペクトル、核磁気共鳴(NMR)をはじめとする各種分光学的手法を駆使して詳細な解析を行う。無機イオン溶出挙動は生体内環境を模倣した緩衝溶液・細胞培養液を用い評価を行う。これらの結果より、ガラス網目構造からイオン溶出挙動を解明し、バイオアダプティブ材料の創製に向けた液相法リン酸塩ガラスの設計指針を確立する。

(3) Mg含有液相法リン酸塩ガラスの作製及び溶出挙動・細胞挙動評価

マグネシウムは中間酸化物として分類でき、細胞接着や骨芽細胞の分化を促進することが報告されている。液相法リン酸塩ガラスのさらなる高機能化を目指しにマグネシウム導入プロセスを確立する。作製したガラスは、イオン溶出挙動および細胞挙動について評価する。

4. 研究成果

(1) 液相法による Nb₂O₅, Ta₂O₅ 含有リン酸塩ガラスの作製プロセス確立

当研究グループは溶融法リン酸塩ガラスの化学耐久性の制御に効果が高かった、TiO₂ 含有液相法ガラスの作製プロセスを確立している (S.Lee *et al.*, *J. Am. Ceram. Soc.*, *under review*)。作製プロセスは、0.2 M ピロリン酸カリウム水溶液に、1 M 塩化カルシウムと中間酸化物の混合水溶液にを滴下し攪拌後、懸濁液を吸引濾過、超純水とエタノールで洗浄、乾燥させることでガラス粉末を作製する。このプロセスにより Nb₂O₅ 含有液相法リン酸塩ガラスの作製に成功した。図 1 に作製した Nb 含有ガラスの XRD パターンを示す (試料名は xNb, x: 滴下完了後の水溶液中の Nb イオン濃度, mol/L)。xNb はハローパターンを示しており、アモルファスが形成されていることが確認された。一方、Ta₂O₅ 含有液相法ガラスを上記のプロセスより作製をした場合、TaCl₅ を水と混合すると同時に沈殿物 (Ta₂O₅, Ta(OH)₅ など) を生成するため、水溶液ベースプロセスにより作製することは困難であった。そこで、TaCl₅ がエタノールに可溶である点に注目し、エタノールを溶媒の一部として用いる新たな液相法リン酸塩ガラス作製プロセスを検討した。0.2 M ピロリン酸カリウム水溶液に、2 M CaCl₂ 水溶液と TaCl₅ エタノール溶液をそれぞれ滴下した。得られた懸濁液は吸引濾過、超純水とエタノールで洗浄、乾燥させることでガラス粉末を得た (yTa, y: 滴下完了後の水溶液中の Ta イオン濃度, mol/L)。図 2 に作製した Ta 含有ガラスの XRD パターンを示す。Ta の添加により低角度側へのピークシフト及び低角度にブロードなピークが見られた。Ta 添加量増加に伴い 20~40 度のハローピークの半値幅が増加している一方で、ピークの形に大きな変化は見られなかった。

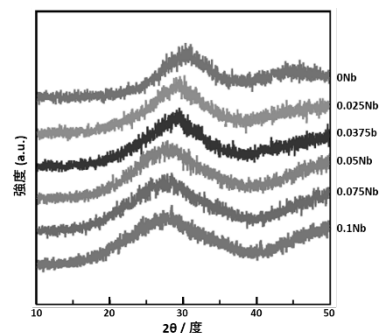


図 1. xNb の XRD パターン

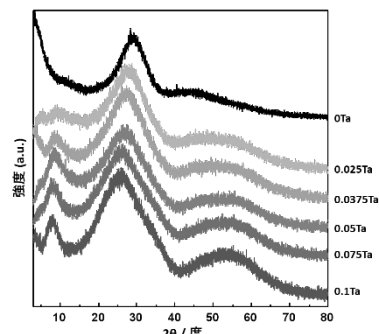


図 2. yTa の XRD パターン

(2) ガラス網目構造解析による無機イオン溶出挙動説明

xNb の化学組成は、P₂O₅ は 40 mol% 程度のインバート組成であった。Nb 含有ガラスのラマンスペクトルより、0Nb から 0.0375Nb では Nb は主に NbO₆ として存在し、網目修飾酸化物として機能していると考えられた。一方で 0.05Nb から 0.1Nb では NbO₆ がクラスターを生成し、一部が NbO₄ の網目形成酸化物として機能していることが予想された。³¹P MAS-NMR の結果より、0Nb から 0.05Nb では NbO₆ が Q_p⁰ 構造を修飾し、0.05Nb から 0.1Nb では Q_p¹ 構造に Nb が架橋した (-O-P-O-P-O-Nb-O-)_n 鎖構造を形成したことが示唆された。xNb の溶出挙動の結果より、P と Nb の溶出割合は 0Nb から 0.05Nb にかけて増加し、0.05Nb から 0.1Nb にかけて減少していた。0.05Nb から 0.1Nb では、ガラス中の Nb の一部が網目形成酸化物として機能したことで化学的耐久性が向上し、イオン溶出が抑制されたと考察する。

yTa の化学組成は、P₂O₅ は 40 mol% 程度のインバート組成であった。Ta 含有ガラスの密度評価の結果より、Ta を添加したことにより密度は上昇したが、酸素密度は 0.025Ta ~ 0.075Ta まで上昇、0.075Ta ~ 0.1Ta では減少した。ラマンスペクトルからは、Ta 添加により Q_p⁰, Q_p¹ のピーク強度が減少し Ta-O (6) 由来のピークが見られた。Q_p⁰, Q_p¹ のピークがブルーシフトし、酸素密度が 0Ta ~ 0.075Ta において上昇していることから、Ta の添加によりリン酸グループを Ca が架橋した構造からリン酸グループに Ta が結合した構造に変化していると考えられる。加えて ³¹P MAS-NMR の結果より、yTa は xNb や Ti 含有液相法リン酸塩ガラス同様、Ta が Q_p¹ 構造を架橋した (-O-P-O-P-O-Ta-O-)_n 鎖構造が形成していることが明らかとなった。一方、0.075Ta ~ 0.1Ta において酸素密度が減少する傾向を示したことから、ガラス構造内に組み込まれない Ta が Ta₂O₅ 相を形成していると考えられる。yTa の溶出挙動は xNb と類似しており、P の溶出割合は 0Ta から 0.0375Ta にかけて増加し、0.0375Ta から 0.1Ta にかけて減少していた。イオン溶出実験後の 0Ta, 0.025Ta の XRD を測定したところ、リン酸カルシウム系の結晶相が見られたことより、0Ta から 0.0375Ta にかけての溶出量の増加は見かけ上の物であり、実際は 0Ta, 0.025Ta のイオン溶出量が多く析出が起こったためと考えられる。0.0375Nb から 0.1Ta では、ガラス中の Ta の一部が網目形成酸化物として機能したことで化学的耐久性が向上し、イオン溶出が抑制されたと考察する。

(3) Mg 含有液相法リン酸塩ガラスの作製及び溶出挙動・細胞挙動評価

(1) の Nb 含有ガラスと同様のプロセスより、Mg 含有液相法リン酸塩ガラスを作製した。その際にリン酸塩溶液に滴下するカチオン溶液の組成を、Ca²⁺ と Mg²⁺ の総量に対する Mg²⁺ の含有率を 0 ~ 100% に調整し、カチオンとしての濃度が 1 M となるようにした (zMg, z: 仕込み Mg 導入率, x = 0 ~ 100%)。図 3 に示すように、作製した zMg はアモルファスを表すハローピークが観察され、100Mg においては結晶由来のピークが見られた。化学組成については、P₂O₅ は 33 mol% で一定のインバート組成であり、Mg 仕込み量の増加に伴い CaO が減少し MgO が増加した。一

方、得られた zMg 中の MgO 含有量は仕込み組成の Mg / (Ca+Mg) モル比率よりも低い値を示した。Raman スペクトルより zMg は Q_p^0 , Q_p^1 より構成されていることが確認された。イオン溶出挙動より、MgO 置換率の増加によりイオン溶出量が増加していた。熔融法リン酸塩インバートガラスでは、P-O-Mg 結合がガラスの加水分解を促進すると報告されている。zMg でも同様な効果があり、MgO 置換率の増加に伴いイオン溶出量が多くなったと考えられる。図 4 に示すように細胞実験の結果より、Control と 0Mg ~ 75Mg はほぼ同等の挙動を示していたが、100Mg の細胞数は Control や他の zMg より低く、過度なイオン溶出が細胞増殖を阻害した可能性があると考えられる。

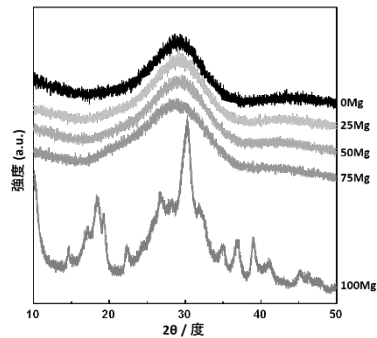


図 3. zMg の XRD パターン

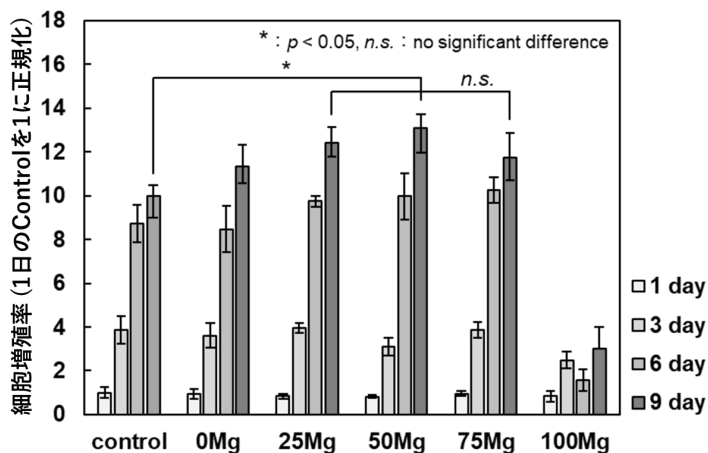


図 4. zMg 抽出培地を用いて培養した MC3T3-E1 細胞の増殖挙動

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計33件（うち招待講演 8件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 李誠鎬
2. 発表標題 熱源を用いない生体用リン酸塩インバートガラスの創製研究
3. 学会等名 第57回 東海化学工業会 学術賞 受賞講演（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 白木翔大、高橋実紀、小幡亜希子、櫻井誠、永田夫久江、李誠鎬
2. 発表標題 液相法により合成したCaO-ZnO-P2O5系ガラスの作製
3. 学会等名 無機マテリアル学会第146回学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 白木翔大、高橋実紀、小幡亜希子、櫻井誠、永田夫久江、李誠鎬
2. 発表標題 液相法により合成した亜鉛含有リン酸塩インバートガラスの構造評価
3. 学会等名 第62回 東海若手セラミスト懇話会 2022年 夏期セミナー
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 浅野颯斗、白木翔大、櫻井誠、永田夫久江、李誠鎬
2. 発表標題 アルコキシド系チタン原料を用いた液相法リン酸塩ガラスの作製
3. 学会等名 第62回 東海若手セラミスト懇話会 2022年 夏期セミナー
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 李誠鎬、永田夫久江、春日敏宏
2. 発表標題 ホウ素含有リン酸塩インパートガラスの構造評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会第36回秋季シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 白木翔大、高橋実紀、小幡亜希子、櫻井誠、永田夫久江、李誠鎬
2. 発表標題 液相法で合成した亜鉛含有リン酸塩インパートガラスのイオン溶出挙動
3. 学会等名 日本セラミックス協会第36回秋季シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 白木翔大、高橋実紀、小幡亜希子、櫻井誠、永田夫久江、李誠鎬
2. 発表標題 液相法で合成したチタン含有ピロリン酸塩ガラスの構造と溶解性評価
3. 学会等名 日本金属学会2023年秋期(第173回)講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋実紀、小幡亜希子、白木翔大、李誠鎬
2. 発表標題 液相法によるニオブ含有リン酸塩ガラスの合成
3. 学会等名 第32回無機リン化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 李誠鎬
2. 発表標題 熱源を用いない液相法リン酸塩ガラスの創製
3. 学会等名 第21回五セラミックス研究機関(東工大-JFCC-名工大-NIMS-AIST)合同講演会(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 M. Takahashi, S. Shiraki, Sungho Lee, A. Obata
2. 発表標題 Synthesis of niobium-containing phosphate glasses by liquid phase method
3. 学会等名 KJ Ceramics 37
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Shiraki, M. Takahashi, A. Obata, M. Sakurai, F. Nagata, Sungho Lee
2. 発表標題 Structure evaluation of titanium-containing phosphate glasses prepared by liquid phase method
3. 学会等名 ISIPM-11 & FLM2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Sungho Lee
2. 発表標題 Design of Novel Bioactive Phosphate Glasses for Biomedical Applications by Enhancing Cell Activity with Inorganic Ions
3. 学会等名 ISIPM-11 & FLM2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 白木翔大、高橋実紀、小幡亜希子、櫻井誠、永田夫久江、李誠鎬
2. 発表標題 液相法にて合成したMg含有リン酸塩インパートガラスに対する細胞挙動
3. 学会等名 第25回生体関連セラミックス討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 白木翔大、高橋実紀、小幡亜希子、櫻井誠、永田夫久江、李誠鎬
2. 発表標題 液相法により合成した生体用Ca0-P205-TiO2系ガラスの構造解析
3. 学会等名 2023 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 浅野颯斗、白木翔大、櫻井誠、永田夫久江、李誠鎬
2. 発表標題 生体用タンタル含有リン酸塩ガラスの液相法による作製プロセス検討
3. 学会等名 2023 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Sungho Lee
2. 発表標題 Design of calcium phosphate related bioactive ceramic materials for biomedical applications
3. 学会等名 Special Lecture on Invitation at Dental Biomaterials School of Dentistry, Institute of Biodegradable Material, Jeonbuk National University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 浅野颯斗、白木翔大、櫻井誠、永田夫久江、李誠鎬
2. 発表標題 液相法タンタル含有リン酸塩インパートガラスのプロセス設計
3. 学会等名 2023年度金研WS・JSB東北ブロック交流会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 浅野颯斗、白木翔大、櫻井誠、永田夫久江、李誠鎬
2. 発表標題 液相法タンタル含有リン酸塩インパートガラスのプロセス検討
3. 学会等名 日本金属学会 第7分野講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 李誠鎬
2. 発表標題 生体用リン酸塩ガラス系材料の創製
3. 学会等名 京都大学エネルギー 基礎科学専攻特別講演（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 李誠鎬
2. 発表標題 無機イオンを活用した 生体用リン酸塩ガラスの開発
3. 学会等名 ニューガラスフォーラム 2023年度 第2回 ガラス科学技術研究会「ガラスとバイオ・医療」（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 白木翔大、高橋実紀、小幡亜希子、櫻井誠、渡邊亮太、永田夫久江、李誠鎬
2. 発表標題 二次元相関解析を用いた液相法CaO-P2O5-TiO2系ガラスの構造評価
3. 学会等名 日本金属学会2024年春季(第174回)講演大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 白木翔大、高橋実紀、小幡亜希子、櫻井誠、渡邊亮太、永田夫久江、李誠鎬
2. 発表標題 二次元相関解析を用いた液相法CaO-P2O5-TiO2系ガラスの構造解析
3. 学会等名 日本セラミックス協会2024年年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 浅野颯斗、白木翔大、櫻井誠、永田夫久江、李誠鎬
2. 発表標題 生体用CaO-P2O5-Ta2O5ガラスの液相法による作製プロセス探索
3. 学会等名 日本セラミックス協会2024年年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 李 誠鎬、永田 夫久江、加藤 且也、春日 敏宏
2. 発表標題 ホウ素含有リン酸塩インバートガラスの作製
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会2022年度春季大会(第129回講演大会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 白木翔大、小幡亜希子、櫻井誠、永田夫久江、李誠鎬
2. 発表標題 チタン導入による液相法ピロリン酸塩ガラスの構造と溶解性への影響
3. 学会等名 日本セラミックス協会第35回秋季シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 白木翔大、小幡亜希子、櫻井誠、永田夫久江、李誠鎬
2. 発表標題 液相法で合成したチタン含有ピロリン酸塩ガラスの構造とイオン溶出能
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 白木翔大、高橋実紀、小幡亜希子、櫻井誠、永田夫久江、李誠鎬
2. 発表標題 液相法により合成した生体用CaO-P2O5-TiO2ガラスの結晶化と構造評価
3. 学会等名 日本無機リン化学会第31回無機リン化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 白木翔大、高橋実紀、小幡亜希子、櫻井誠、永田夫久江、李誠鎬
2. 発表標題 コアセルベーション法により合成したチタン含有リン酸塩ガラスの構造
3. 学会等名 無機マテリアル学会第145回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 李誠鎬
2. 発表標題 骨芽細胞活性化無機イオン溶出型リン酸塩ガラス系材料の開発
3. 学会等名 第44回日本バイオマテリアル学会大会 国際ガラス年記念シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 白木翔大、高橋実紀、小幡亜希子、櫻井誠、永田夫久江、李誠鎬
2. 発表標題 液相法で合成した生体用Ca0-P2O5-TiO2 インバートガラスの網目構造とイオン溶出能
3. 学会等名 日本セラミックス協会東海支部2022年度東海支部学術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sungho Lee
2. 発表標題 Design of bioactive glass-related materials for bone regeneration by enhancing cell activity with inorganic ions
3. 学会等名 20th Asian BioCeramics Symposium (ABC2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Shiraki, M. Takahashi, A. Obata, M. Sakurai, F. Nagata, Sungho Lee
2. 発表標題 Structure and dissolution behavior of titanium-containing calcium pyrophosphate glasses prepared by liquid phase method
3. 学会等名 20th Asian BioCeramics Symposium (ABC2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 白木翔大、高橋実紀、小幡亜希子、櫻井誠、永田夫久江、李誠鎬
2. 発表標題 液相法により合成した生体用亜鉛含有リン酸塩インポートガラスの作製
3. 学会等名 日本セラミックス協会2023年年会
4. 発表年 2023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

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