

平成 29 年 5 月 16 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26289238

研究課題名(和文)ニオブイオン徐放性の制御によるリン酸塩ガラス薄膜の生体機能化

研究課題名(英文) Designing Nb-containing phosphate invert glasses with controlled ions-releasability

研究代表者

春日 敏宏 (Kasuga, Toshihiro)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30233729

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：チタン系金属等への生体機能化コーティングをスパッタ法により作製することを目標とし、ニオブ含有リン酸カルシウム系インバートガラス薄膜・ターゲットを設計した。

MgOを導入すると、P-O-Mg結合を生成しガラス形成を促進した。この結合はガラスの構造を弱めることを利用して、イオン溶出量を制御設計できた。ZnOを導入することでガラス形成能を向上させ、抗菌性を付与することにも成功した。分子動力学計算により、この系のガラス中にTiO₂が存在するとTi-O-P結合が生成し、ガラスの結合性が向上することがわかった。スパッタ法によりこれらのガラス薄膜を作製することを確認した。

研究成果の概要(英文)：New types of bio-functional glasses were designed using Nb-containing calcium phosphate invert glasses. MgO in the glasses was shown to form P-O-Mg bonds, which crosslink short phosphate groups. The bonds weakened the glass network structure and induced hydrolysis: a new type of glass with ions-releasability for enhancing cell activity could be successfully prepared. ZnO-containing glasses were prepared for antibacterial coating. Their chemical durability were improved with increasing ZnO content. The glasses showed antibacterial ability on E. coli. MD simulation was performed for understanding the structural role of TiO₂ in the glasses. The presence of TiO₂ influenced the phosphate units and CaO polyhedral structures. The formation of the Ti-O-P bonds caused an increase in the network connectivity of the glasses. Some of the glasses could be successfully prepared as the thin films on metallic titanium by rf-magnetron sputtering.

研究分野：無機材料・物性

キーワード：リン酸塩ガラス インバートガラス ニオブイオン マグネシウムイオン 亜鉛イオン 生体親和性
抗菌性 ガラス構造

1. 研究開始当初の背景

金属系生体材料として、チタン系やコバルトクロム系金属が使用され、早い社会復帰に貢献している。これらは生体親和性金属でありオッセオインテグレーション(骨と直接密着)するものもある。ただし、より一層の骨形成能の促進も求められていることも現状としてある。そこで、骨と化学結合する生体活性リン酸カルシウムセラミックス(水酸アパタイト、リン酸三カルシウム)をコーティングする研究も多く行われている(たとえば、Inagaki, *et al.*, *Biomater.*, **28**, 2923 (2007)) が、金属界面との接合力やセラミックス層の強度の問題、またコーティング時の熱処理による金属基板の弾性率の上昇や脆化など、本来の金属材料の優れた機械的性質を犠牲にしてしまうことも多い。

これを回避する方法として、rf マグネトロンスパッタ法(以下、rf スパッタ)(Narushima, *et al.*, *Mater. Sci. Forum*, **539-43**, 551 (2007)) 等が検討されている。高温にさらさずに厚さ 1 μm 程度の均質な薄膜を得やすく、金属基板との強固な密着性が得られる。一方、コーティング膜が液体に溶解しやすいと長期の効果を期待できない。そこで、ある程度の長期に亘って生体活性を示す薄膜、すなわち化学耐久性が良くかつ骨形成促進効果を示す rf スパッタ膜を開発する必要がある。

ガラスは組成を系統的に自由度高く制御できる利点があり、生体材料としての様々な用途に応じた機能付与にも、構造から考えた設計が可能な魅力的で極めて有用な素材である。筆者らはカルシウム成分の非常に多いリン酸塩ガラス(60CaO-30P₂O₅-10TiO₂など)を生体用として初めて作製した(Kasuga, *Acta Biomater.*, **1**, 55 (2005))。このガラスが生体活性を示すことを見いだしたことは、その後のガラス生体材料設計に重要な指針を与えた。

ケイ酸塩系生体活性ガラスの場合、溶解しやすいため、生体用スパッタ薄膜としては適当ではない。リン酸塩系インバートガラスをベースにすれば、表面付近を酸性化せず、溶解性を抑えることが可能であり、長期間に亘って機能を発揮すると考えられた。

筆者らは、予備実験として、60CaO-30P₂O₅-7Na₂O-3Nb₂O₅ ガラス粉末を溶解させた水溶液を培地に混合してマウス骨芽細胞様細胞(MC3T3-E1)を培養したところ、Nb イオンを極微量濃度($\sim 10^{-7}$ M)含む培地で分化が促進されることを明らかにした(Obata, *et al.*, *ACS Appl. Mater. Interface*, **4**, 5684 (2012))。

Nb₂O₅ はリン酸塩ガラス中で中間酸化物として 4 配位と 6 配位をとり、前者はリン酸基と結合を作ってガラス形成性を高め、後者の 6 配位のものは修飾酸化物として存在する。

筆者らは、CaO-P₂O₅-Nb₂O₅ 系のインバートガラスを最適化すれば、高い化学耐久性を維持しつつも、微量の Nb イオンを溶出させて骨形成促進できる、と発想した。また、ZnO

を加えれば抗菌性が発揮できると考えられる。これを rf スパッタ生体活性薄膜として使用すれば、金属系生体材料の機械的性質を犠牲にしない極めて有望なものとなる。

ガラスの設計にあたり、エネルギー状態を勘案した計算化学と融合し、性能を構造から説明することが重要である。計算化学からガラス構造を考え、その情報を原点にイオン徐放性を推測し、最終的に実験結果との整合性をみて最適なガラス薄膜を結論すべきである。

2. 研究の目的

チタン系金属等への生体機能化(骨形成促進や抗菌性付与)コーティングを目的とした、ニオブ含有リン酸カルシウム系インバートガラス薄膜を設計する。本研究の特徴であるニオブイオンの役割は、リン酸塩ガラスの形成能と化学耐久性を高めて基板上で薄膜として長期間機能させるとともに、細胞を刺激して骨形成を促進する主源として機能させることである。他に研究例のない CaO-P₂O₅-Nb₂O₅ 系の CaO 量の多いガラスで、rf スパッタ法によりチタン表面にガラス薄膜を形成する技術を確立し、その組成検討によってニオブイオンの溶出挙動を最適化(チューニング)する。このため、分光学と計算化学の両面から得られるガラス構造の情報を活用する。生体機能をイオン溶出挙動・抗菌性試験等により確認し、ガラスの有用性を示す。

3. 研究の方法

(1) ガラス組成の検討

rf スパッタに用いるターゲットとして、CaO-P₂O₅-Nb₂O₅ 系インバートガラス作製できる条件を探った。作製したガラスについて、緩衝溶液へのイオン徐放量を調べた。さらに、ガラス形成能の向上とイオン徐放性の制御を考慮して、MgO の添加効果を調べた。Mg を導入することでガラスの電場強度 F が増しガラス骨格を強化し、ガラス形成能を向上させる一方、修飾酸化物イオン(Ca, Nb)の徐放を期待するものである。

(2) ガラスの生体機能性評価

ターゲットガラスを用いてイオン溶出量を調べ、Ca²⁺、Mg²⁺、Nb⁵⁺イオンが適当な溶出挙動となっているか調べた。実験が良好に進捗した場合には、骨芽細胞様細胞を用いて、ガラス上での増殖性と分化能を調査することを計画したが、今回は調査にまで至らなかった。また抗菌性についても評価した。

(3) 分子動力学法によるインバートガラス構造の解明

リン酸塩インバートガラス構造を分子動力学 (MD) を用いて求め、微量元素の効果的な徐放機能の創出に繋げることを目標とした。Nb₂O₅ 周辺の結合エネルギー等の情報がほとんどないため、インバートガラス調製に効果のある TiO₂ を含む 60CaO-30P₂O₅-10TiO₂ 組成のガラスについて求めることとし、二成分系 60CaO-40P₂O₅ 組成と比較した。

約 2000 個の原子数のガラスモデルを、古典的分子動力学 (MD) によって融液から急冷することによって作製した。

使用した原子間ポテンシャルは、短距離モース関数、反発係数、および局所イオン電荷との長距離クーロン相互作用を含んでいる。Ca-O、P-O、Ti-O、および O-O の相互作用パラメーターは、ケイリン酸塩ガラスの MD で報告されているものである [G. Malavasi, J. Phys. Chem. B, **117**, 4142-4150 (2013); L. Linati, et al., J. Non-Cryst. Solids, **354**, 84-89 (2008).]。MD 計算は、1.2 fs の時間ステップ幅で粒子-体積-温度一定の環境下で実行した。

(4) ガラス薄膜作製条件の検討

CaO-P₂O₅-Nb₂O₅ 系ガラスターゲットと rf スパッタ薄膜の組成のずれが生じない条件を探った。

4. 研究成果

(1) ターゲット用ガラスの作製: MgO 置換によるリン酸カルシウムインバートガラスの構造変化と溶出挙動への影響

(45 - x)CaO·xMgO·50P₂O₅·5Nb₂O₅ (mol%, x = 0 ~ 45, 略称: M_X), (60 - y)CaO·yMgO·30P₂O₅·10Nb₂O₅ (mol%, y = 0 ~ 60, 略称: P_Y), (67.5 - z)CaO·zMgO·27P₂O₅·5.5Nb₂O₅ (mol%, z = 0 ~ 67.5, 略称: O_Z) 組成のガラスを熔融法 (1500 °C, 30 min) にて作製した (X, Y, Z は MgO の置換率を示す)。

³¹P MAS-NMR の結果から、M_X はメタリン酸塩 (Q_p²) が主成分として構成されており、P_Y、O_Z もそれぞれピロリン酸塩 (Q_p¹)、オルトリン酸塩 (Q_p⁰) が主成分として構成されていた。M_X、P_Y、O_Z ガラスの Q_p⁰、Q_p¹、Q_p² に帰属するピークが MgO 置換量の増加に伴い、高磁場側にシフトしていた。このシフトは、リン酸塩の電子密度が増加することを意味する。MgO を置換していないガラスのリン酸塩グループの電子は、中間酸化物として働く Nb と P-O-Nb の結合を形成していると思われる [発表論文]。Mg はリン酸グループと P-O-Mg の結合を作りやすいため [発表論文]、MgO の置換量が増加するに伴いリン酸塩グループは、Nb より電界強度の小さい Mg に置換されることになり、ピークが高磁場側にシフトしたと思われる (Nb : 1.73, Mg : 0.45 または 0.53 valance/Å²)。

ラマンスペクトルの結果から、MgO 置換量の増加と共に、Q_p⁰、Q_p¹、Q_p² に帰属するピーク及び、NbO₆ に帰属するピークが高波数側にシフトした。Ca を電界強度の高い Mg に置換することにより、ピークがシフトしたと考えられる (Ca : 0.33 valance/Å²)。一方、NbO₄ に帰属するピークは、低波数側にシフトしており、MgO 置換量の増加に伴い、Nb-O-P 結合が Nb-O-Mg 結合に変化したことが原因と考えられる。M_X ガラスは、MgO 置換量の増加に伴い溶出量が減少しており、Ca を電界強度の高い Mg に置換することで化学耐久性が向上したと考えられる。O_Z ガラスは、M_X ガラスと比べ反対の溶出挙動を示した。O_Z ガラス中の Mg は網目形成酸化物として、Mg-O-P、Mg-O-Nb 結合の形でリン酸塩及びニオブ酸塩を架橋していると考えられる。一方、Mg は P、Nb に比べ低い電界強度を示すため、P-O-Nb 結合より、結合強度が弱いと思われる (P : 2.10 valance/Å²)。よって、O_Z ガラスは MgO 置換量増加に伴い化学耐久性が低下したと思われる。P_Y ガラスのイオン溶出量は、他の組成に比べ小さく、MgO 置換量に関係なくほぼ一定の値を示した。

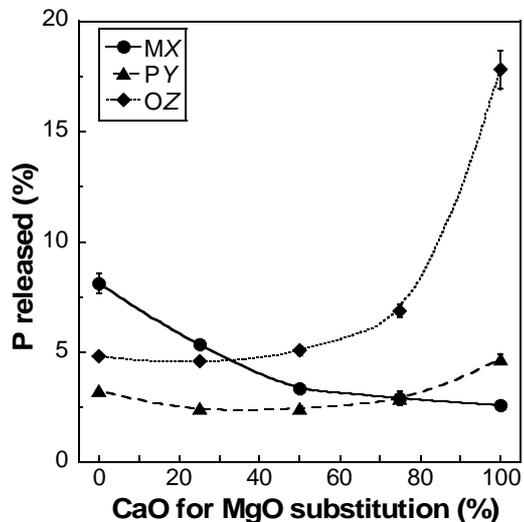


図1. トリス緩衝溶液に浸漬したガラスのリンイオン溶出量 (7日): ガラス中の含有量に対する比率で表示した。

(2) 亜鉛含有リン酸塩インバートガラスの作製と抗菌性評価

Nb₂O₅ 含有リン酸塩インバートガラス (PIG) はオルトリン酸 (Q_p⁰)、ピロリン酸 (Q_p¹) の短いリン酸グループから構成されており [発表論文]、高い化学耐久性を示す [発表論文]。ガラスに導入する抗菌性イオンとして、銀と亜鉛が考えられる。銀イオンは、広い抗菌スペクトルを示し、低濃度でも抗菌性を持つ特徴がある。ただし、歯科用として使用する場合、銀イオンと口内の硫黄が反応し黒色の Ag₂S を生成する可能性があるため、審美性の面から問題がある。一方、亜鉛イオンは、ガ

ラス形成能及び化学耐久性を向上させる効果もある。今回は、ZnO を含有する PIG を作製し、その構造解析及び溶出挙動、抗菌性の評価を行った。

$x\text{ZnO} \cdot (65 - x)\text{CaO} \cdot 30\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 5\text{Nb}_2\text{O}_5$ (mol%, $x = 0 \sim 65$, 略称: $x\text{Zn}$)組成のガラスを熔融法(1500°C, 30min)にて作製した。

DTA にてガラス転移点(T_g)及び結晶化点(T_c)を評価した。ZnO 含有量の増加に伴い、ガラス形成能の指標である、($T_c - T_g$)/ T_g 値が大きくなった。ZnO は中間酸化物としての役割をすると報告されており、また電界強度の小さい Ca (0.33 valence/Å²)を、大きい Zn (0.44 valence/Å²)に置換したため、ガラス形成能が向上したと考えられる。

ラマンスペクトルの結果から ZnO 含有量の増加に伴い、網目形成酸化物として働く NbO₄ のピーク強度の減少、及び Q_p^0 , Q_p^1 に帰属するピークが低波数にシフトしたことから、ZnO は網目形成酸化物としてリン酸グループを架橋していると考えられる。

トリス緩衝溶液中でのイオン溶出挙動を ICP-AES にて評価したところ、リン酸イオンの溶出量は、0Zn (0.35 mM)に比べ、ZnO を含有した 15 ~ 65Zn (0.15 mM, ZnO 含有量による違いは見られない)が半分以下になっており、亜鉛を含有することでガラスの化学耐久性が向上したと考えられる。亜鉛イオンの溶出量は ZnO 含有量の増加と共にわずかに増加したが、大きな違いは見られなかった。

大腸菌(NBRC3972)を用いて抗菌性評価を行った。15 mol%以上の ZnO を含有したガラスにおいて、高い抗菌性を示した。

(3) CaO-P₂O₅-TiO₂ インバートガラスの分子動力学による構造解析

MD を用いて、3 種類の TiO₂ 含有量 (0.5, 10 モル%) を有するガラスモデルを作製した。いずれのガラス組成も MD によってモデル化することができた。

X-O (X=P, Ca および Ti) の動径分布関数 (RDF) の分析から、P, Ca および Ti 周辺の異なる特徴を調べたところ、P-O, Ca-O の最近接ピークは、それぞれ 1.51 と 2.38 Å に位置しており、同じ原子間ポテンシャルを用いたケイリン酸塩ガラスの MD 結果と一致した。Ca-O および Ti-O は、TiO₂ 含有量の増加と共に広がった。これは、60CaO-30P₂O₅-10TiO₂ ガラス中の Ti および Ca の配位状態が、ガラス中の P の配位状態よりもより乱れることを意味している。Ca-O の RDF は、60CaO-40P₂O₅ ガラス、60CaO-35P₂O₅-5TiO₂ ガラスについてもほぼ同じであった。

P はガラス組成には依存せず四面体中心に位置し、Ca および Ti の配位数は TiO₂ 含有量の増加とともに変化した (Ca は増加、Ti は減少)。さらに、Ca および Ti についての歪みは、TiO₂ 含有量の増加とともに増加した。これらの結果は、TiO₂ 置換により陽イオン中心

の多面体構造の秩序性を乱すことを示している。

リン酸塩構造は、60CaO-40P₂O₅ ガラスについては Q_p^1 および Q_p^2 (74%) として、60CaO-30P₂O₅-10TiO₂ ガラスについては Q_p^0 および Q_p^1 (89%) として存在した。推定されたネットワークコネクティビティ (NC) は、TiO₂ 含有量が増加するにつれて減少した。これらの MD 結果は、TiO₂ がリン酸鎖構造を切断することを意味しており、ラマンおよび NMR スペクトルの化学シフトにより支持される。

酸素イオンの半分以上は P-O-Ca として存在するが、TiO₂ 含有量の増加とともに P-O-P と P-O-Ca の割合は減少し、P-O-Ti は増加した。これは O_{1s}-XPS スペクトルの解析結果と一致した。Ti-O-Ti および Ti-O-Ca は極めて少なく、PO₄ を含まないクラスターを形成する Ti イオンの存在確率は非常に低いことを示唆している。

これらの結果から、このガラス系での TiO₂ の存在が Ca の配位に強い影響を与えることがわかった。TiO₂ が CaO-P₂O₅ 系に置換導入されると、網目修飾イオンである Ca の密度が高くなって NC が向上し、ガラス全体の結合強度が増加する。結果として、ガラスの表面張力が増加するはずである。これはその親水性の向上に寄与することになる。60CaO-40P₂O₅ ガラスの水接触角は 75±4.4°、60CaO-30P₂O₅-10TiO₂ ガラスについては 54±4.9°であった。材料の濡れ性は、細胞の挙動に影響を及ぼす。

この結果は、生体用ガラスに要求される性質を設計・改善するために重要な指針のひとつとなると考えられる。

(4) ガラス薄膜の作製

rf スパッタを用いて Ti 基板に (65-x)ZnO · xCaO · 30P₂O₅ · 5Nb₂O₅ (mol%) ガラスのコーティングを試みた。ZnO の有無にかかわらず、スパッタ出力の増加に伴い蒸着率が線形的に増加し、0.07~0.50 μm 厚の均質なガラス薄膜を得ることができた。Zn より電界強度の小さい Ca を多く含む方が、ガラス中の結合が弱くなりスパッタしやすいと考えられた。スパッタ条件によっては Ca/P 比の非常に高いガラス膜が得られた。

60CaO-30P₂O₅-10Nb₂O₅ ガラスを擬似液体に浸漬したところ、表面にはアパタイトの生成は見られなかった。しかし、これを熱処理して結晶化させるとアパタイト生成することがわかった。結晶化により、Ca, P, Nb イオンの溶出量は減少した。Nb イオンは表面付近にゲル化して残留しアパタイト生成に貢献すると考えられた。

Nb₂O₅ を ZnO に置換した $x\text{ZnO} \cdot 60\text{CaO} \cdot 30\text{P}_2\text{O}_5 \cdot (10-x)\text{Nb}_2\text{O}_5$ (mol%) ガラスでは、リン酸グループをつなぐ結合の数が減少し、溶出挙動については、各イオンの溶出量が増加し

た。Nb₂O₅が減少し、P-O-Nb結合が減少したことによって化学的耐久性が低下したと考えられる。配位数8のCaを、配位数4~6のZnで置換すると、リン酸鎖の切断が減少した。ZnOはP-O-Zn結合を形成し、リン酸グループを架橋する。ZnOが網目形成に寄与したことで、NbO₆の量が増加した。ZnO含有により、ガラス構造中の結合の種類が多様化したことで、各イオンの溶出量は、ZnO含有量の増加に伴い低下した。抗菌性試験の結果、Znイオンによる細菌数の減少がみられた。ZnO含有量が少量であっても抗菌性があることを確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 16 件)

Hirotaka Maeda, Tomohiro Miyajima, Sungho Lee, Akiko Obata, Kyosuke Ueda, Takayuki Narushima, Toshihiro Kasuga, Preparation of Calcium Pyrophosphate Glass-Ceramics Containing Nb₂O₅, J. Ceram. Soc. Japan, **122** [1], 122-124 (2014). 査読有
DOI:10.2109/jcersj2.122.122

Armando Mandlule, Franziska Döhler, Leo van Wüllen, Toshihiro Kasuga, Delia S. Brauer, Changes in Structure and Thermal Properties with Phosphate Content of Ternary Calcium Sodium Phosphate Glasses, J. Non-Cryst. Solids, **392-393**, 31-38 (2014). 査読有
DOI: 10.1016/j.jnoncrsol.2014.04.002

小幡 亜希子, 前田 浩孝, 春日 敏宏, リン酸塩ガラス系バイオマテリアルの細胞親和性, Phosphorus Lett., No.79, 27-35 (2014). 査読無

Sungho Lee, Hirotaka Maeda, Akiko Obata, Kyosuke Ueda, Takayuki Narushima, Toshihiro Kasuga, Structures and Dissolution Behaviors of CaO-P₂O₅-TiO₂/Nb₂O₅ (Ca/P ≥ 1) Invert Glasses, J. Non-Cryst. Solids, **426**, 35-42 (2015). 査読有
DOI: 10.1016/j.jnoncrsol.2015.06.024

Sungho Lee, Hirotaka Maeda, Akiko Obata, Kyosuke Ueda, Takayuki Narushima, Toshihiro Kasuga, Structure and Dissolution Behavior of MgO-P₂O₅-TiO₂/Nb₂O₅ (Mg/P ≥ 1) Invert Glasses, J. Ceram. Soc. Japan, **123**, 942-948 (2015). 査読有
DOI: 10.2109/jcersj2.123.942

Hirotaka Maeda, Sungho Lee, Tomohiro Miyajima, Akiko Obata, Kyosuke Ueda, Takayuki Narushima, Toshihiro Kasuga, Structure and Physicochemical Properties of

CaO-P₂O₅-Nb₂O₅-Na₂O Glasses, J. Non-Cryst. Solids, **432**, 60-64 (2015). 査読有
DOI: 10.1016/j.jnoncrsol.2015.06.003

Sungho Lee, Akiko Obata, Delia S. Brauer, Toshihiro Kasuga, Dissolution Behavior and Cell Compatibility of Alkali-Free MgO-CaO-SrO-TiO₂-P₂O₅ Glasses for Biomedical Applications, Biomed. Glasses, **1**, 151-158 (2015). 査読有
DOI: 10.1515/bglass-2015-0015

Hayato Sasaki, Toshihiro Kasuga, Arnulf Thieme, Delia S. Brauer, Lothar Wondraczek, Preparation of highly-soluble SO₃-P₂O₅-Na₂O-CaO glasses, Proc. 24th Inter. Conf. on Processing and Fabrication of Advanced Materials (PFAM24), ed. M. Ikeda, T. Haruna, M. Niinomi, T.S. Srivatsan, Dec. 18-20, 2015, Osaka (Kansai Univ.), Japan, pp. 133-136. 査読無

Sungho Lee, Hirotaka Maeda, Akiko Obata, Kyosuke Ueda, Takayuki Narushima, Toshihiro Kasuga, Structures and Dissolution Behaviors of MgO-CaO-P₂O₅-Nb₂O₅ Glasses, J. Non-Cryst. Solids, **438**, 18-25 (2016). 査読有
DOI: 10.1016/j.jnoncrsol.2016.02.006

Sungho Lee, Anthony L.B. Maçon, Toshihiro Kasuga, Structure and Dissolution Behavior of Orthophosphate MgO-CaO-P₂O₅-Nb₂O₅ Glass and Glass-Ceramic, Mater. Lett., **175**, 135-138 (2016). 査読有
DOI: 10.1016/j.matlet.2016.04.027

春日敏宏, ガラスを用いたバイオマテリアルデザイン, バイオマテリアル - 生体材料 -, 34, 66-70 (2016). 査読無

Sungho Lee, Hirotaka Uehara, Anthony L.B. Maçon, Hirotaka Maeda, Akiko Obata, Kyosuke Ueda, Takayuki Narushima, Toshihiro Kasuga, Preparation of Antibacterial ZnO-CaO-P₂O₅-Nb₂O₅ Invert Glasses, Mater. Trans. **57**, 2072-2076 (2016). 査読有
DOI: 10.2320/matertrans.MI201503

Sungho Lee, Takayoshi Nakano, Toshihiro Kasuga, Formation and Structural Analysis of 15MgO-15CaO-8P₂O₅-4SiO₂ Glass, J. Non-Cryst. Solids, **457**, 73-76 (2017). 査読有
DOI: 10.1016/j.jnoncrsol.2016.11.020

Sungho Lee, Kyosuke Ueda, Takayuki Narushima, Takayoshi Nakano, Toshihiro Kasuga, Preparation of Orthophosphate Glasses in the MgO-CaO-SiO₂-Nb₂O₅-P₂O₅ System, Bio-Medical Materials and Engineering, **28**, 23-30 (2017). 査読有

DOI: 10.3233/BME-171652

Anthony L.B. Maçon, Sungho Lee, Gowsihan Poologasundarampillai, Toshihiro Kasuga, Julian R. Jones, Synthesis and Dissolution Behaviour of CaO/SrO-Containing Sol-Gel-derived 58S glasses, J. Mater. Sci., Available online (2017). 査読有
DOI 10.1007/s10853-017-0869-0

Hiroataka Maeda, Tomoyuki Tamura, Toshihiro Kasuga, Experimental and Theoretical Investigation of the Structural Role of Titanium Oxide in CaO-P₂O₅-TiO₂ Invert Glass, J. Phys. Chem. B (2017), 採択済. 査読有

〔学会発表〕(計 4 件)
(招待講演、依頼講演のみ)

春日敏宏、小幡亜希子、前田浩孝、細胞を活性化する無機イオン徐放能をもつ生体機能材料の設計、日本金属学会春期講演大会、東京工業大学、2014.3.21-23、基調講演 S8・10 (2014.3.22)

Toshihiro Kasuga, Akiko Obata, Hiroataka Maeda, Inorganic Ions-Releasable Biomaterials for Bone Regeneration, 15th IUMRS-International Conference in Asia (IUMRS-ICA 2014), 24-30 August, 2014 at Fukuoka University, Fukuoka, Japan, Invited Paper (25 Aug., 2014)

H. Sasaki, A.L.B. Maçon, T. Kasuga, D.S. Brauer, L. Wondraczek, Preparation of Highly-Soluble Na₂O-CaO-P₂O₅-SO₃ Glasses for Biomedical Applications, 9th International Symposium on Inorganic Phosphate Materials (ISIPM9), 25-28 September 2016, Tokyo Metropolitan University, Invited Lecture (2016.9.26)

春日敏宏、リン酸塩ガラスの特徴と用途展開。(一社)ニューガラスフォーラム 第124 回若手懇談会「ガラスの未来を切り開く - 未来を作るガラス材料 - 」, ニューガラスフォーラム会議室、依頼講演 (2016.10.7)

〔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

<http://ebm.web.nitech.ac.jp/PB/top.html>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

春日 敏宏 (KASUGA, Toshihiro)
名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号 : 3 0 2 3 3 7 2 9

(2)研究分担者

前田 浩孝 (MAEDA, Hiroataka)
名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号 : 2 0 4 3 1 5 3 8

小幡 亜希子 (OBATA, Akiko)
名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号 : 4 0 4 0 2 6 5 6

(3)連携研究者 なし

(4)研究協力者 なし