

S18023

新規バイオセラミックス窒化ケイ素がハイドロキシアパタイトの結晶構造に与える影響

Influence of novel bioceramics silicon nitride on crystal structure of hydroxyapatite

足立 哲也^{a,b}, 堀口 智史^{a,b}, 山本 俊郎^a, 松田 修^b, Giuseppe Pezzotti^{b,c}, 金村 成智^a
Tetsuya Adachi^a, Satoshi Horiguchi^a, Toshiro Yamamoto^a, Osam Mazda^b,
Giuseppe Pezzotti^{b,c}, Narisato Kanamura^a

^a 京都府立医科大学医学研究科歯科口腔科学, ^b 京都府立医科大学医学研究科免疫学

^c 京都工芸繊維大学 セラミック物理学研究室

^a Dental Medicine, Kyoto Prefectural University of Medicine,

^b Immunology, Kyoto Prefectural University of Medicine,

^c Kyoto Institute of Technology, Ceramic Physics Laboratory

e-mail: t-adachi@koto.kpu-m.ac.jp

本研究では、*in vitro* の系において、新規バイオセラミックス窒化ケイ素インプラントと骨の界面を XAFS 測定により結晶構造解析を行うことで、窒化ケイ素の構成成分（主にケイ素）がハイドロキシアパタイトの結晶構造に与える影響を検討する。

We analyzed influence of silicon on crystal structure of hydroxyapatite on the interface between the novel bioceramics silicon nitride (Si_3N_4) implant and bone using XAFS measurement.

Keywords: 窒化ケイ素・歯科インプラント・ハイドロキシアパタイト・配向性

背景と研究目的

歯周炎や齶蝕、外傷などによる歯の喪失に対して、歯科インプラント治療が行われているが、高齢者や有病者の場合、十分な骨結合が得られない可能性がある。そのため、骨再生を促す生体活性を有する次世代の歯科インプラントデバイスの開発が求められている。我々の研究グループは、新規バイオセラミックス窒化ケイ素 (Si_3N_4) インプラントの優れた骨伝導性と骨誘導性を見出した。しかしながら、窒化ケイ素が骨の主成分であるハイドロキシアパタイトの結晶構造に与える影響はあまり理解されていない。本研究では、*in vitro* の系において、窒化ケイ素インプラントと骨の境界を XAFS 測定により結晶構造解析を行うことで、窒化ケイ素の構成成分（主にケイ素）がハイドロキシアパタイトの結晶構造に与える影響を検討する。窒化ケイ素が、ハイドロキシアパタイトの配向性や結晶性を制御し、堅硬で良質な骨を再生することが明らかとなれば、全く新しい観点での歯科インプラント治療の発展が期待される。

実験

窒化ケイ素の基板上でヒト骨芽細胞様細胞株を播種し、骨誘導条件での培養を行う。コントロールはチタン合金基板とする。7日後、基板上に沈着した石灰化基質（主にハイドロキシアパタイト）の構造を XAFS で解析する。窒化ケイ素上とチタン合金上のハイドロキシアパタイトの結晶性や配向性を比較し、窒化ケイ素がハイドロキシアパタイトの構造に与える影響を明らかにする。

- 1) ヒト骨芽細胞様細胞株 Saos-2を基本培地 (10% ウシ血清含有DMEM) に懸濁し (1×10^5 cells/ml)、窒化ケイ素基板上 (直径1cm) に播種。
- 2) 24時間後、石灰化誘導培地 (アスコルビン酸, β -グリセロリン酸, デキサメタゾン添加基本培地) に交換し、7日間培養。
- 3) 培養後、PBSとミリQ水で洗浄。
- 4) 乾燥後、XAFS測定。

なお、XAFS測定時の試料のチャージアップを緩和するために基板にはSiウエハーを用いた。立命館大学SRセンター BL-13にて、窒化ケイ素の主な構成成分であるSiのK吸収端XANES測定をおこなった。分光結晶はInSb(111)を用い、測定モードは試料電流による全電子収量(TEY)にて行われた。

結果、および、考察：

窒化ケイ素上に沈着した石灰化基質の Si 吸収端の XANES 測定の結果を示す。窒化ケイ素上の石灰化基質 (主にヒドロキシアパタイト) が沈着している部分(HAP/Si₃N₄)の TEY(表面敏感)では1838 eV のピークを認めたが、PFY(バルク敏感)ではこのピークは認めなかった。一方、基板の部分(Si₃N₄)の TEY・PFY では、1838eV にピークを示すバンドを認めなかった(Fig1)。1838eV にピークはバルク敏感で検出されず、表面敏感のみ検出されるため、基板表面に沈着した HAP 内の Si が 1838 eV の主成分であることが示唆された。この 1838eV に由来するバンドを同定ため、様々な標準試料 (Si, SiO₂, Na₂SiO₃, CaSiO₃, SiC) を XANES 測定し、照合したが Na₂SiO₃・9H₂O がスペクトルの形状が比較的似ているものの、いずれの試料で 1838eV のピークは認めなかった(Fig2,3)。

Si は金属と結合することで、1838 eV 付近にピークを認めるため、今後は CaSi₂ の XAFS 測定を行う予定である。

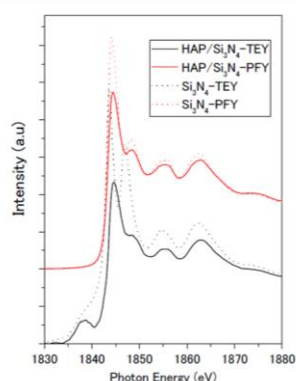


Fig. 1. Observed Si K-edge XANES spectra of Si₃N₄.

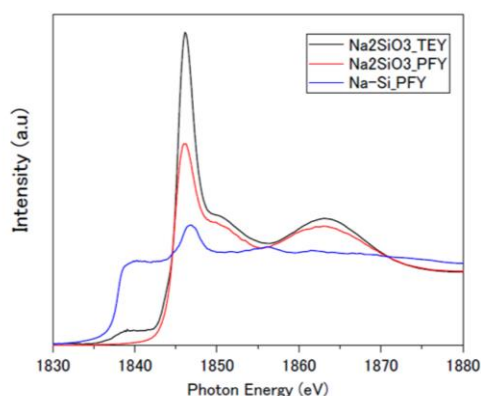


Fig. 2. Observed Si K-edge XANES Spectra of Na₂SiO₃.

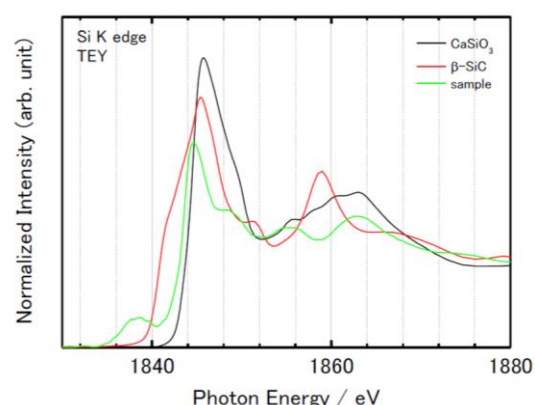


Fig. 3. Observed Si K-edge XANES Spectra of SiC and CaSiO₃.

参考文献

- [1] G Pezzotti, T Adachi et al. Langmuir.32.(2016) 3024-3035
- [2] G Pezzotti, T Adachi et al. Applied Materials Today.9.(2017) 82-95.
- [3] G Pezzotti, T Adachi et al. Scientific Reports. 31717 (2016)
- [4] G Pezzotti, T Adachi et al. Macromolecular Bioscience.1800033.(2018)

研究成果公開方法／産業への応用・展開について

- ・本研究成果を発信することは、主にヘルスサイエンス関連の京都府内の中小企業との新たな連携

を推進し、地元産業の発展につながる。レーザー加工により窒化ケイ素粉末を、チタンにコーティングすることで抗菌性と骨伝導性を付与することに成功した。同様に窒化ケイ素粉末を、スーパーエンジニアリングプラスチック **PEEK**（ポリエーテルエーテルケトン）に分散させることで抗菌性と骨伝導性を付与することにも成功した。本法により既存のインプラント材料を高機能化することは、インプラント術後の合併症を減らすことができ、日本製インプラントシェアを拡大することが可能である。