

氏 名	さかくら せいじ 阪 倉 誠 司
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 3 7 5 号
学 位 授 与 の 日 付	平成 17 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規程第 3 条第 3 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 材料科学専攻
学 位 論 文 題 目	分光学的手法を用いたセラミック人工股関節における微視的な磨耗メカニズムの解明に関する研究 (主査)
審 査 委 員	教授 PEZZOTTI Giuseppe 教授 西田俊彦 教授 荒木栄敏

論文内容の要旨

近年高齢者人口が急速に増加し、超高齢化社会を迎えつつある。高齢になるに従い生体各器官機能は低下し、骨粗鬆症、変形性関節症など症例が数多く見られるようになる。例えば股関節疾患により日常生活動作が制限された状態を本来の充実した生活に戻す為に、股関節機能を再生させる必要性がある。先ず股関節生体組織を生かした治療法が選択されるが、機能再生が生体を構成する組織のみでは困難な状態まで変形が進行した股関節に対しては、股関節を構成している骨を切除し、“人工股関節形成”という治療法が必要となる。そして人工骨や人工股関節等の生体材料の必要性が高まり、高機能化・生態調和性が望まれるようになる。セラミックスは耐摩耗性や生体内における安定性、有害イオン溶出がない等、生体材料として有用で、骨内埋込み等直接生体組織と接触する部分のセラミックス使用は 1970 年の Boutin のアルミナ製人工股関節に始まり、人工股関節等の生体硬組織代替用セラミックスはバイオセラミックスと呼ばれる。その中でも、アルミナやジルコニア等のセラミックス及びその複合体は、生体と反応性がないことからバイオイナートな材料と呼ばれている。骨へのインプラント及び代替材料として可能性の高いこれらバイオセラミックスの分析は、人工的生体材料の設計と手術後の患者安全性改善に大いに貢献できる。

本論文では生体材料として使用されている、これらセラミックスにおける体内での信頼性や安定性に注目し、評価を得るための分光学的手法を開発した。これはセラミックスから得られるラマンバンドあるいは蛍光バンドの分光学的処理によるもので、バンドシフトからはピエゾスペクトロスコピック (PS) 法を用いた内部応力状態の直接的・定量的測定、ジルコニアではバンド強度により正方晶から单斜晶への相転移量を得ることができ、これら分光学的測定法により、抜去品セラミックス骨頭ボールの体内での信頼性、安定性について確実な情報を得ることが可能で、体内での磨耗メカニズムを解明することができる。特にジルコニア正方晶から单斜晶への相転移には約 9% の体積膨張を伴い、多数のクラックが発生しやすく、信頼性・安定性に大きな影響を及ぼす。この分光法ではレンズでレーザを絞り、最高約 $1 \mu\text{m}$ の分解能が得られる。更に共焦点測定を組合せ骨頭ボール最表面部分の磨耗による内部応力測定を行い、最表面部分の微細構造観察と共に磨耗が骨頭ボールにどのような影響を及ぼしているかを調べている。

又、生体材料に用いるこれらセラミックス微細構造の安定性と内部応力状態について、この分

光学的手法を用いて研究し、どのような微細構造が生体内応力下で理想的であるか調べた。これは様々な材料を用いて、磨耗シミュレータテストを行うことで磨耗による材料への影響を調べ、同じジルコニア骨頭ボールを水中と生体体液中とでシミュレータテストを行い、生体体液の磨耗への影響を考察した。高温水熱下に長時間置き体内インプラントと同様の環境を人工的に作り、経年変化で材料にどのような影響が現れるかを調べた。ジルコニアはこの高温水熱下では正方晶から单斜晶への相転移が促進されることが知られており、時間と共にどのように相転移が進むかを調べることでメカニズム解明を試みた。材料設計上では、応力状態を知ることは重要であり、局所的な応力分布評価によってその材料の機械的特性の予測が可能である。又、産業用セラミック製品でクラック等が生じた欠陥品の存在は、信頼性を損なう要因になり兼ねない、が微小領域の応力状態を理解できれば、欠陥品を大幅に減少させる手段が浮かび上がってくるだろう。以上のような考察を含めて、ナノ構造材料で安定性が高く、局部的な応力拡大が少ないモデルの提案が行われ、この分光学的手法が材料作製にも応用可能であることが提言された。

最後にこの分光学的手法が将来的にはファイバーラマンの開発や分光器の改良などによって、この論文で取り上げたような抜去品だけではなく、患者の体内にある状態 (in vivo) で測定が可能であり、新たな診断方法として取り入れられる可能性が高いことが指摘されている。

論文審査の結果の要旨

本論文ではセラミック生体材料の体内での信頼性や安定性に注目し、その的確な評価を得る為の分光学的手法の開発について述べている。この分光法ではレンズでレーザ光を絞り、最高約 $1 \mu\text{m}$ の分解能で人工股関節抜去品の信頼性、安定性評価及び体内で起った磨耗現象を明らかにすることができる。又、生体材料に用いるこれらセラミックスの微細構造安定性と内部応力状態について、この分光学的手法を用いて研究し、生体内応力下ではどのような微細構造が理想的であるか調べている。クラック等を含んだ欠陥品の存在は、信頼性を損なう要因であるが、微小領域の応力状態を理解できれば、欠陥品を減少させる手段が予測できる。その結果として、ナノ構造材料で安定性が高く、局部的な応力拡大が少ない材料モデルの提案が行われ、この分光学的手法が材料開発にもまた寿命の管理にも応用可能であることがわかった。将来的にはファイバーラマンの開発や分光器の改良等で、生体内 (in vivo) 測定が可能であり、新診断方法及び新検査機器開発へと発展する可能性のあることが指摘されている。以上のことより、本論文は工業的に有用で高く評価できる。

本論文作成の基礎となった学術論文 7 編は、レフェリー制度の学術雑誌に掲載されたものである。又、この論文内容に関係するものとして、他に参考論文 5 編がある。

学位論文作成の基礎となった学術論文リスト

- 1) "Phase Transformation and Residual Stresses in Retrieved Zirconia Ball Implant" I.C. Clarke, G. Pezzotti, S. Sakakura, and N. Sugano, Key Eng. Mater., Vols. 240-242 (2003) 777-780.
- 2) "Bio-Lubrication Phenomena Affect Residual Stresses and Phases of Zirconia Implants" I.C. Clarke, G. Pezzotti, S. Sakakura, and B. Ben-Nissan, Key Eng. Mater., Vols. 240-242 (2003)

781-784.

- 3) "2 and 10 Year Retrievals of Zirconia Femoral Heads-XRD, SEM and Raman Spectroscopy Studies", D. D. Green, G. Pezzotti, S. Sakakura, M. Ries and I.C. Clarke, *Bioceramics: Materials and Applications IV*, *Ceramic Transactions*, Vol. 147 (2003) 133-140.
- 4) "Phase Transformations and Residual Stresses In Retrieved Zirconia Hip Implant-A Raman Microprobe Spectroscopy Study" G. Pezzotti, S. Sakakura, A.A. Porporati, D.D. Green, I.C. Clarke, and N. Sugano, *Bioceramics: Materials and Applications IV*, *Ceramic Transactions*, Vol. 147 (2003) 141-154.
- 5) "The Bio-Lubrication Phenomena (Proteins) May Control the Wear Performance of Zirconia Hip Joints" I.C. Clarke, D.D. Green, G. Pezzotti, S. Sakakura and B. Ben-Nissan, *Bioceramics: Materials and Applications IV* *Ceramic Transactions*, Vol. 147 (2003) 155-167
- 6) "Phase Transformation and Residual Stresses in Retrieved Zirconia Ball Implant" S. Sakakura, D.D. Green, I.C. Clarke, and G. Pezzotti, *Expanded Horizon in Adv. Mater. and Proc.*, Vol. 2 (2003) 1217-1220.
- 7) "Measurement of Wear-stress in Retrieved Zirconia Hip Joint Using Raman Microprobe Spectroscopy" S. Sakakura and G. Pezzotti, *New Front. Proc. Sci. and Eng. in Adv. Mater.*, Part 2, (2004) 368-37.