

DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF BIOPOLYMER/ BIOCERAMIC COMPOSITE MATERIALS FOR BONE IMPLANT APPLICATIONS

ジョン, ジェームズ, ダックワース

<https://hdl.handle.net/2324/4110538>

出版情報 : Kyushu University, 2020, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名 John James Duckworth (ジョン ジェームズ ダックワース)

論文名 : DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF BIOPOLYMER/
BIOCERAMIC COMPOSITE MATERIALS FOR BONE IMPLANT
APPLICATIONS

(骨インプラント用バイオポリマー/バイオセラミック複合材料の開発と評価)

区 分 : 甲

論文内容の要旨

近年、骨折固定用や充填用インプラントの材料として、生体吸収性バイオポリマーやバイオセラミックスが広く使用されている。骨固定材として利用されるポリ L 乳酸 (PLLA) や充填剤として利用されるアクリル樹脂 (PMMA) は、樹脂単体では生体適合性に劣るためにハイドロキシアパタイト等のバイオセラミック微粒子を分散させた複合材料が開発され、一部臨床でも応用されている。最近、直径が数 mm 程度のバイオセラミック製マイクロビーズの成形方法が確立され、ドラッグデリバリー用基材としての検討が始まっている。しかし、このマイクロビーズを整形外科用インプラントとして利用するための研究はほとんど行われていない。また、椎体骨折用の骨セメントとして PMMA が利用されているが、未重合の PMMA モノマーが使用した患者に重篤な病気を引き起こす可能性があることが知られている。

本論文は、新規の骨固定用インプラント材料として、リン酸カルシウム系バイオセラミックである α -TCP のマイクロビーズを PLLA、PCL、PLCL 等の医療用生分解性樹脂に分散させたプレートの作製方法を確立し、臨界応力拡大係数 K_{IC} や臨界ひずみエネルギー解放率 G_{in} 等の破壊じん性値に及ぼすビーズ含有率の影響について検討している。さらに、破面の SEM 観察と有限要素法による数値解析を組み合わせることで、破壊のメカニズムについて考察している。また、メルトスピニング法を利用して作製した PLCL 繊維の集合体にリン酸 1 水和カルシウム水和物 (Brushite) を分散させた複合材料の作製方法を確立し、その基本的特性について検討している。

1 章では、研究の背景と目的について述べている。まず、骨固定用の金属製プレートやスクリュー等のインプラントについて概説し、インプラントを取り除くための再手術の問題点について説明している。次に、脊椎の椎体骨折に対して行われる椎体形成術の概要と手術で用いられる樹脂製骨セメントの問題点について説明している。続

けて生体吸収性インプラント用材料として利用可能なバイオポリマーやバイオセラミックスの基本的性質と力学的特性について概説している。本研究は、このような背景の下、バイオセラミック材料と生体用生分解性樹脂を組み合わせることで整形外科インプラント用の新規複合材料を開発し、その基本的力学特性の評価、および破壊メカニズムの解明を目的としている。

2章では、 α -TCPを用いたマイクロビーズの作製方法について詳細に説明し、さらにマイクロビーズを PLLA、PCL、PLCL をマトリックスとして分散させたプレート材料の作製方法について説明している。また、破壊じん性試験法や有限要素法を用いた応力解析の方法について説明している。ヤング率測定の結果、ビーズ含有率が増加するとともにヤング率が増加する傾向にあることを見出している。一方、 K_{IC} や臨界ひずみエネルギー解放率 G_{in} 等の破壊じん性値は、ビーズを複合化すると大きく低下し、ビーズ含有率の増加とともに低下する傾向にあることを明らかにしている。SEM による破面観察とノッチ先端に存在するビーズを考慮した有限要素解析より、ビーズ周辺に生じた応力集中とノッチによる応力集中が干渉し、より高い応力集中を生じることで、ビーズ周囲を起点として早期に破壊が発生するメカニズムを明らかにしている。

3章では、メルトスピニング法と攪拌機で作製した綿状 PLCL 繊維とリン酸カルシウム系スラリーを複合化することで、骨セメントの代替用材料となる生体に注入可能な新規複合材料の作製法を説明している。次に硬化させた試験材料をマイクロCTで観察し、得られた画像データを用いて3次元ソリッドモデルを作成後、体積を計測することでパッキング係数を評価している。その結果、繊維長が長くなるに従いパッキング係数も上昇する、すなわちボイドの含有率が高くなることを見出している。さらにディスク状に硬化させた試験材料を用いて圧縮試験を行った結果、繊維長が長くなるにつれて圧縮弾性率と圧縮強度が低下する傾向にあることを明らかにしている。

4章は総括であり、各解析から得られた重要事項について説明し、本研究のさらなる発展の可能性と今後の展開について説明している。