

Title	X線CT画像による骨の力学特性の同定とそれを用いたCFRP人工股関節ステムの設計手法に関する研究
Author(s)	川村, 武
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48725
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	かわむらたけし 川村武
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第22093号
学位授与年月日	平成20年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科ビジネスエンジニアリング専攻
学位論文名	X線CT画像による骨の力学特性の同定とそれを用いたCFRP人工股関節システムの設計手法に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 座古 勝 (副査) 教授 豊田 政男 医学系研究科教授 吉川 秀樹 教授 佐藤 武彦 准教授 倉敷 哲生

論文内容の要旨

高齢者の増加や食生活の変化から骨や関節の障害が急増しており、特に股関節障害は患者の活動能力を大きく制限するため、重大な問題となっている。治療法として人工股関節置換手術が挙げられるが、現状では手術を行っても完全な機能回復が望めないため、より高機能の人工股関節が求められている。このような現状から、本論文では人工股関節システムに着目し、骨形状・弾性係数の個人差を考慮したテーラーメイド人工股関節システムの設計・評価手法の確立を目的とした。本論文は全6章で構成した。

第1章では、骨や関節疾患と股関節に対する治療法の現状や従来の金属製システムに関する問題点についてまとめ、複合材システムの満たすべき要求項目について整理し、本研究の目的を記述した。

第2章では、複合材システムの形状、強度、剛性、固定性の4項目に関して、数値計算ベースによる設計、及び評価手法について提案した。これにより、数値計算に基づいた患者の骨形状を考慮した複合材システムの設計が可能となった。

第3章では、骨密度と弾性係数の関係について調査し、弾性係数のばらつきを考慮したCT画像に基づいた同定手法を提案した。また、皮質骨3点曲げ試験とそれを模擬した有限要素解析を行い、提案手法の検証を行なった。これにより、CT画像より得た骨密度に対して、統計的に妥当な弾性係数の範囲が患者ごとに同定可能であることを示した。

第4章では、複合材システムのテーラーメイド化のための設計リードタイム短縮を目的に、複合材システムの基礎設計手法、及び線形写像を用いた有限要素モデル幾何変換手法について提案した。また、複合材システムの様々な設計パラメータから幾つかの項目を取り上げ、各パラメータが大腿骨に与える影響について調査した。これより、詳細設計に関しては更なる研究が必要とされるが、提案する基礎設計手法と幾何変換手法により、設計時間の短縮に寄与可能であることを示した。

第5章では、本研究において提案する複合材システム設計の流れに従い、乾燥ヒト遺体大腿骨に対してシステムを設計し、評価を行った。骨-システム系 *in vitro* 試験を実施し、CT画像より得た乾燥ヒト大腿骨の弾性係数の分布を反映した有限要素解析を検証した。その結果、部分体積効果の影響に関して更なる検討が必要ではあるが、提案する複合

材システム設計の流れに従って設計から評価を行うことができたため、本研究の有用性並びに実現性が確かめられた。

第6章では、得られた結果と知見を記述し、本論文の結論とした。

論文審査の結果の要旨

骨・関節障害の増加に伴い、人工股関節への需要が高まりを見せる現状にあって、特にシステムに関しては、その過大な剛性に起因する力学的生体適合性の欠如が大きな問題となっている。また、骨の剛性は患者ごとに異なるため、力学的に患者に適合するシステムの実現のためには、骨の力学特性の取得手法、及びそれに対応可能なシステムの設計手法が必要となる。かかる問題に対し、本論文では材料設計の可能な繊維強化複合材料を用いたテーラーメイド人工股関節システムの提案、及び患者の骨の力学特性を計測して設計に反映するテーラーメイドシステム設計手法を提案している。

テーラーメイドのシステム設計においては、その力学的生体適合性は術前に検証されていなければならないが、本論文では低侵襲に患者の情報が取得可能な CT 画像を用いたシステム形状設計や数値解析モデルの構築、及びそれを用いた評価を行なうことを提案している。特に、生体における現象に対応する評価変数として数値解析より得られるデータを利用可能であることを示し、実際に複合材システムと金属システムの解析結果を比較することで、複合材システムの有用性を明らかにしている。

患者の骨の力学特性取得に関しては、前出の CT 画像より得られる骨密度を用いて弾性係数を同定することを提案している。骨は生体材料でありその弾性計数は大きなばらつきを示すが、本論文ではばらつきを確率変数として骨密度-弾性係数関係式に導入することを提案し、3次元直交異方性体としての力学特性同定のための式展開を行なっている。また、骨試料に対する力学試験と、提案式により材料特性を与えた数値解析の結果を比較し、提案式の有用性及び妥当性を明らかにしている。

人工股関節置換術を受ける患者の中には早急な手術を必要とする者もいるが、実際のテーラーメイドシステム設計においては、骨・システム間荷重伝達メカニズムの複雑さから検討に多大な期間を要することが予想される。この問題に対し、本論文では簡易形状モデルを用いた基礎設計、及び線形写像により実形状モデルへと設計情報を反映する詳細設計に設計プロセスを大別し、設計リードタイム短縮を図ることを提案している。実際に設計変更例を挙げて両者の傾向が類似することを示し、実モデルと同等の剛性を与えた簡易モデルの利用が有効であることを明らかにしている。

最後に、提案手法に沿って遺体大腿骨用に設計・製造した複合材システムを用い、力学試験と数値解析を実施し、両者の一致性から、提案するシステム設計・評価手法の有用性を明らかにしている。

以上のように、本論文は複合材システムという新規の構造物に対する評価手法の確立、CT 画像に基づき骨の異方性力学特性値の分布を計測可能とした同定手法、及び実構造と同等の剛性を設定した簡易モデル利用の提案と線形写像による実構造への設計情報反映手法に独創性、及び有用性がある。提案手法は、従来品よりも高性能なテーラーメイド複合材システムの実現化に大きく貢献し、また骨の力学特性同定手法は他の用途にも幅広く適用可能である等、臨床医学や生体工学分野に寄与するところが多い。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。