

(様式 5)

指導教員 承認印	
-------------	--

平成 25 年 6 月 11 日

学位（博士）論文の和文要旨

論文提出者	工学府博士後期課程 機械システム工学 専攻 平成 19 年度入学 学籍番号 07833701 氏名 小笠原 誠 印
主指導教員 氏 名	長岐 滋
論文題目	生体軟組織の粘弾性評価法と計測システム開発 Viscoelasticity Evaluation Method and Measurement System Development for Biological Soft Tissue
論文要旨	<p>本論文は、生体軟組織の特性解析に関して、特に変形特性の評価と数値解析に不可欠な構成関係について、これを高精度に実施する取り組みについて研究したものである。生体軟組織の力学的特性は、医療や福祉、スポーツ、美容などの各分野において高精度な解析が求められ、特に力学的特性を客観性の高い指標により表現できる技術の開発が重要である。この軟組織に関しては、構成成分の 70%以上が水分であることに起因して、粘弾性特性について適切な評価・表現が求められる。ここで、粘弾性特性の評価法についてはバネ要素とダッシュポット要素を直列や並列に多数組み合わせた一般化粘弾性モデルが広く利用されるが、要素数の増大は結果として各要素のパラメーター算出および高精度な数値解析を困難にしている。つまり、生体軟組織の複雑な粘弾性特性を評価する場合には、構成要素の数が少ないモデルが望ましい。また同時に、生体軟組織の力学的特性を計測するシステムについては、試験片の乾燥・温度等の影響や、非侵襲性が求められる人体への適用を考慮すると、<i>in vivo</i> や <i>in situ</i> な実験環境で使用できることが望ましい。しかしながら、まずは実験環境を調整しつつ <i>in vitro</i> で実験を行い、基礎データを取得する必要があると考えられる。</p> <p>そこで本論文では、まず第 1 章「緒論」において、生体軟組織の特に筋を対象とした構造と力学的特性との関係について述べ、後述の生体軟組織の変形特性評価に必要な基礎事項をまとめている。</p>

次に第2章「粘弾性特性構成モデルによる解析手法」においては、生体軟組織の変形特性評価の基礎事項をまとめる共に、生体軟組織の粘弾性特性を表す最小の構成要素を有する3要素固体モデルを用い、これによって高精度な数値解析を実現する有限要素法の定式化についてまとめている。この有限要素法に関しては、特に数値積分法を高精度化する方法の検討結果について示すと共に、既に流布している商用プログラムが単軸の構成モデルをベースとする場合が多いのに対して、多軸の有限要素法の定式化についても取り組み、その成果をまとめている。

また第3章「疑似生体内環境下における引張試験」では、先述の数値解析へ適用できる生体軟組織の力学的特性の高精度な計測システムの開発を目的として、まず高速引張試験機と疑似生体内環境槽の開発について述べる。特に、この疑似生体内環境槽は溶液中での引張試験を可能にすると共に、圧力、温度を調整可能な性能も有している。ここでは、加圧された溶液を有する環境槽内にある試料へ作用する荷重の計測機構と、さらに試料への荷重付加の機構について詳細に検討を加えた。また本章では、生体軟組織としてニワトリの深胸筋から作製した試験片に対して複数の圧力環境での引張試験を実施し、一定ひずみ速度で引張を行う負荷過程と変形を停止させた後の応力緩和過程について実験データを取得することで、これを軟組織の粘弾性変形挙動に関する基礎データとして示す。

さらに第4章「引張試験による粘弾性特性の評価」においては、引張試験のデータ処理方法について研究した結果をまとめている。特に、高い非線形性を呈する生体軟組織の粘弾性挙動について、構成要素数の少ない3要素固体モデルを用いて表現できるように非線形性を持たせた物性パラメーターの算出法を提案している。この提案した方法については、実際に数値解析へ適用した結果を実験結果とも比較し、その有効性を確認している。なおこの確認過程においては、応力緩和の影響を排除できていない課題が明らかとなったため、これを低減する方法についても併せて検討・提案した。また、これに加えてここで示した非線形性物性パラメーター算出法が試験開始時のデータ精度大きく影響を受ける特性があったことから、生体軟組織の力学的特性の計測技術の高精度化を目的として、この影響を低減する応力応答の曲線近似法として提案したべき・指数積近似式の有効性についても示す。

最後に第5章「結論」では、本論文で示した粘弾性特性の評価法と開発した計測システムについて総括するとともに、今後の展望として人体への適用の際に問題となる非侵襲計測を可能とするための方法について述べる。