生体線維組織の圧電分極の引張応力依存性

Tensile-stress dependence of piezoelectric polarization in biological fibrous tissues

農工大院工 [1]，○(M1)皆藤 信人 [1]，(M2) 安齋 也真人 [1]，(M1)伊藤 和馬 [1]，生嶋 健司 [1]

Tokyo Univ. of A & T [1], ○Nobuto Kaitoh[1], Yamato Anzai[1], Kazuma Ito[1], Kenji Ikushima[1]

E-mail: n-kaitoh@st.go.tuat.ac.jp

本研究では、運動器官（腱・靭帯等）の力学的基盤を司るコラーゲン線維に着目する。腱や靭帯は、自然治癒力が低く、一旦損傷が起こると、痛みや不安定性が継続し日常生活動作を妨げることになる。外部応力によるコラーゲン線維の構造変化を理解し、運動器官の損傷・治癒過程を非侵襲検知できれば、予防・診断・治療に大きく貢献することが期待される。

最近、線維状の生体軟組織に超音波（音圧）を照射すると電気分極が生じることが発見され、その電気分極は一軸対称性をもつ線維構造の圧電性に由来することが明らかにされた [1]。しかも MHz 帯超音波により、生体環境に近い湿潤状態でも圧電分極の検出が可能である。生体組織の圧電分極は部分的に配向した領域で生じる電気双極子モーメントp_nの総和$\bar{p}(t) = \sum_n p_n$に起因する。したがって、超音波集束スポットのスケール（直径約 1 mm）において、完全にランダムな組織であるなら$\bar{p}(t)$は相殺され、外部には正味の電場は発生しない。一方、十分な配向性を有する場合、音圧によって誘起される$\bar{p}(t)$は相殺されず、周辺には電気双極子場が発生する。よって、超音波誘起分極（圧電分極）の大きさから線維組織の配向性を評価することができる。この超音波誘起分極は静電結合アンテナを通して信号電圧（音響誘起電磁信号：ASEM 信号）として観測される（Fig. 1）。本研究の目的は、生体線維組織の引張応力下での ASEM 信号を測定し、線維構造の変化との関連性を明らかにすることである。

本実験では、ウシアキレス腱の切片を用い、線維方向に平行な向きに引張応力を加えて ASEM 測定を実施した（Fig. 2）。応力－歪曲線の線形領域（弾性域）では、ASEM 信号振幅は引張応力の増加に伴い上昇する。これはコラーゲン線維が延伸され、配向性が向上することで説明できる。一方、ある上限値をもって ASEM 信号振幅は急減する。この上限値は応力-歪曲線の線形上限値に対応しているため、組織の微細断裂・損傷が示唆される。[1] K. Ikushima *et al.*, Phys. Rev. Lett. **123**, 238101 (2019).

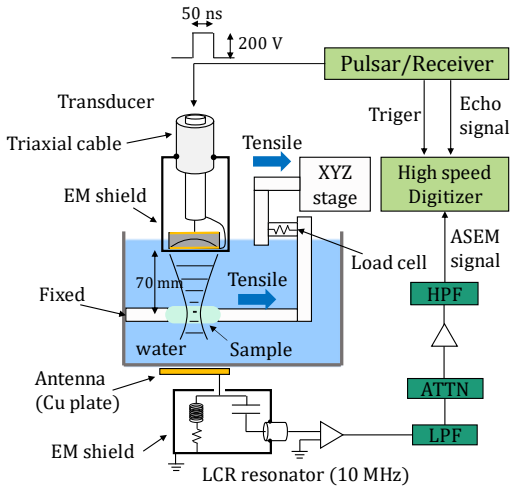

Fig. 2 Schematics of the experimental setup.

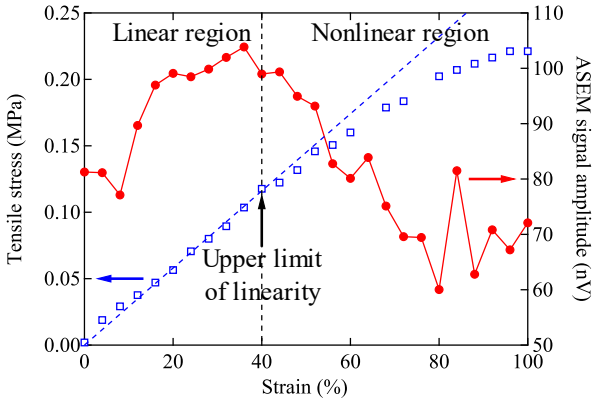

Fig. 1 Tensile stress and ASEM signal amplitude versus strain in Achilles tendon.