

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 18 日現在

機関番号：22303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330199

研究課題名(和文) 柔軟性生体組織の触覚性状を定量化する触診センサシステムの開発

研究課題名(英文) Development of a palpation sensor system for quantitative measurement of tactile properties of biological soft tissues

研究代表者

王 鋒 (Wang, Feng)

前橋工科大学・工学部・教授

研究者番号：80323046

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、乳がん等の早期発見を目指し、柔軟性生体組織の複雑な触覚性状に対して人間の曖昧な触覚を客観的に定量的に実現し、柔軟な生体組織の弾性特性と粘弾性特性を同時に計測する触診センサシステムを開発した。具体的には、感圧導電性ゴム及びPVDFフィルム等の複数のセンサ受感材を使用しセンサを構築し、その出力から時間領域及び周波数領域の複数のパラメータを算出することにより、複雑な触覚性状を同時に検出することができた。自作モデルや乳がん触診モデルを用いて実験した結果、センサの有効性が検証された。

研究成果の概要(英文)：Aiming at the realization of a palpation sensor system for early detection of cancers by objectifying and quantifying the ambiguous human tactile sensation, in this study, a tactile sensor system that can measure the complicated tactile properties such as elasticity and viscoelasticity of biological soft tissues was developed. Specifically, plural smart materials such as pressure sensitive conductive rubber and PVDF film are used as sensory materials to construct the tactile sensor. Furthermore, plural parameters in both the time domain and the frequency domain obtained from the sensor outputs are used for describing the complicated tactile properties of a subject. As the result of experiments using self-made models and breast cancer palpation medical model, the effectiveness of the sensor system was verified.

研究分野：バイオメカトロニクス

キーワード：スマートセンサ情報システム 触覚 触診 センサ 柔軟生体組織 乳がん PVDF 感圧ゴム

1. 研究開始当初の背景

日本国内女性年齢調整罹患率の一位である乳がんは、早期発見により完治する可能性が高い。その早期発見の重要な手段として触覚を利用して定期的にしこりを探すことが推奨されているが、しこりの判断が難しい。専門医師の触覚を利用して生体組織の触覚性状をセンシングし、病変の有無を診断する触診が、乳がん、前立腺がん等の腫瘍などの早期発見に利用される。便利、安価などの利点がある一方で、定量性や客観性が乏しく、診断者の経験技法などに大きく依存する問題もある。そのため、人間の触覚を代行して生体組織の触覚性状を客観的に測定できる触診センサが求められている。

人間の触感を模倣した触覚センサを開発しようとする研究は、近年盛んに行われ、その成果の一部はロボットに装着されている。しかしながら、その大部分は、触圧利用して接触を検出するものか、触圧とセンサあるいは対象物の変形を利用して対象物の硬さのみを測るものであり、触診への応用はまだ十分の性能を持っていない。特に、触診という行為に、対象物の柔軟性生体組織の硬さ（弾性特性）だけではなく、その粘弾性特性などの複雑な触覚性状を利用されている。生体組織の硬さ等の単一の物性値を測定するセンサが開発されたものの、生体組織の弾性・粘弾性特性等の複雑な触覚性状の把握ができず、触診に応用には十分とは言い難い。

2. 研究の目的

本研究は以上を鑑み、生体組織の弾性・粘弾性特性等の複雑な触覚性状を同時に把握できる触覚センサを開発し、生体組織のような柔軟性対象物に対して人間の曖昧な触覚を客観的に定量的に実現し、柔軟な生体組織の弾性特性と粘弾性特性を同時に計測することを目的とする。将来このセンサを利用して柔軟な生体組織の弾性特性と粘弾性特性を同時に測ることにより、医師に腫瘍などの触診を定量化客観化できる手法を提供することを目標とする。そのみならず、一般人にも在宅で使用可能な触覚センサシステムを提供し、乳がんや線維腺腫や乳腺症などの病変の早期発見を可能として、健康向上に大きく貢献することが本研究の最終目的である。

3. 研究の方法

本研究では、人間の動的な振動触覚と静的な圧触覚が同時に存在することに注目し、動的振動触覚受容器であるパチニ小体の反応特性に似ている PVDF フィルムと、静的圧触覚のマイスナー小体の反応特性に似ている感圧ゴムなどの複数種の機能性材料を組み合わせ利用し、さらにセンサ融合技術を駆使して、人間の触覚受容体の動的な振動触覚と静的な圧触覚を同時に模倣して実現できる触覚センサシステムを開発し、生体組織のような柔軟

性対象物に対して人間の曖昧な触覚を客観的に定量的に実現し、柔軟な生体組織の弾性特性と粘弾性特性を同時に計測する。

本研究は、目的を達成するために、2段階に分けて研究を進める。具体的に、第一段階ではセンサ構造を設計して試作、センサのハードウェア・ソフトウェアシステムを構築し、センサ出力から対象物の弾性・粘弾性特徴を表すパラメータおよび信号処理法を確立する。第二段階では、実験室レベルの検証実験を元に、センサの改良改善を行い、最終的に柔軟性生体組織の触覚性状を定量化する触診センサシステムを完成させる。

4. 研究成果

(1) ハードウェア開発：

試作・検証実験・改良改善を繰り返した結果、下記図1に示すようなセンサを構築した：

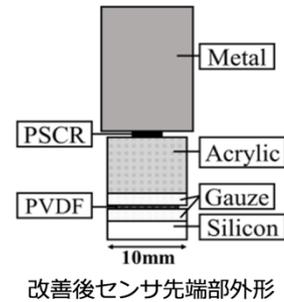


図1. センサ構造

センサ本体は積層構造になっている。金属の棒にできたセンサ台座の先端に感圧導電性ゴム(SF-5-LT, 8 mm×8 mm×1 mm)を設置され、そしてアクリル棒を設置し、このアクリル棒が台座と一緒に感圧ゴムを挟む。アクリル棒の先端にガーゼに挟まれた PVDF フィルム(DT1-28, 直径 10 mm, 厚さ 40 μm), さらにその先端にシリコンゴム (10 mm×10 mm× 2mm) を設置する。

センサ台座は振動駆動装置につなぎ、DC モータ(LC20G-101, COPAL MOTOR)の回転によって、ストローク 1.5 mm 程度で上下運動をし、一定周波数で対象物に振動を与えることが出来る。センサ動作時、最先端のシリコンゴムが対象物に触れて一定の初期荷重を加え、振動駆動装置より正弦波のような変動している圧力を対象物に印加する。その際、対象物からの反発力はシリコンゴム、ガーゼ、PVDF フィルム、アクリル棒、感圧ゴム、台座の順に伝

播する．感圧導電性ゴムの出力を増幅器(P-61, NF corporation)に, PVDF フィルムの出力をチャージアンプ(4001B, 昭和計測器株式会社)につなぎ, それぞれの出力を増幅し, データレコーダー(EZ7510, NF corporation)に記録する．

(2) パラメータの検討

異なる硬さ, 異なる材質の様々なゴム, シリコンゴム, 人肌ゲルを用いて計測実験を行ってデータを収集し, 柔軟性対象物の触覚性状を表すパラメータを模索した．

対象物の硬さ(弾性特性)はセンサ出力の強さ, すなわちセンサ出力の時間領域情報から得られる．一連の模索の結果本研究ではセンサ出力波形の大きさを対象物評価の一つのパラメータとしている．センサから得られた出力データ 10 秒間の絶対値の和を, データ数 N で割った値 P_1 を,

$$P_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i| \quad (1)$$

より算出する．ここで, x_i はセンサ出力の i 番目の数値である． P_1 を比較することで, 対象物から受ける反力の違いを検出する．

対象物の粘弾性を計測するためのパラメータとして, センサ出力データの周波数領域の情報を利用する．センサ出力データに対して FFT 処理後, 基本波を含む 5 ピーク中の基本波成分の割合を求める．基本波の成分 a を基本波の半分の振動数から基本波と第 2 次高調波の中間の振動数までの周波数成分の和とする．基本波を含む 5 ピークの成分 b も同様に, 基本波の半分の振動数から第 5 次高調波と第 6 次高調波の中間の振動数までの和とする．このパラメータを P_2 とし,

$$P_2 = \frac{b}{a} \quad (2)$$

より算出する． P_2 を比較することで, 対象物の粘弾性の違いによって現れる, 出力波形のフーリエ級数の変化を検出する．

このように, 時間領域及び周波数領域の複数のパラメータより, 対象物の弾性特性と粘弾性特性の両方を同時に検出する．

(3) 異物検出検証実験

次に, 開発したセンサシステムが対象物内の異物による反力や, 対象物の硬さによる反力の違いを検出することが出来るか実験を行った．対象物はベース材料人肌ゲル 0 で, 図 2 のようにガラス玉が配置されている．図の左端を 0 cm, 右端を 15 cm とし, 2 cm~13 cm まで 1 cm ごとに計測を行った．

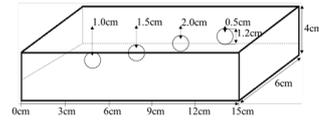


図 2. 異物検出実験対象物

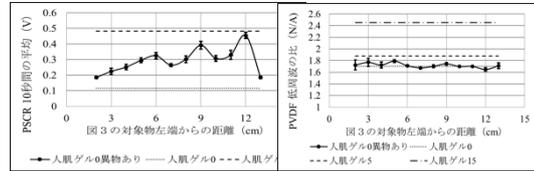


図 3. 異物検出実験の結果

実験の結果, 感圧ゴム出力の P_1 は対象物内に異物がある位置では高い値を示し, 一方 PVDF フィルムの出力の P_2 は異物の有無に関係なく対象物ベース材料の結果を示した．ここから, 2 つのセンサの解析方法を用いることで, 対象物内の異物の有無と対象物の硬さの判別ができることが分かった．

(4) 乳がん組織と正常組織の判別実験

さらに医学教育用乳がん触診モデルを対象物として使用し, 正常部位との判別ができるかの検証を行った．使用する乳がん触診モデルには 4 種類の癌があり, A はえくぼ症候を伴う癌であり, B は皮膚陥凹を伴う癌である．C は線維腺腫で, 深い場所に丸く可動なしこりに触れる．D は乳腺症で, しこりのような境界はなく, 全体的に弾力がある．これらの 4 つの部位に対して計測実験を行った．検証実験の結果, 図 4 に示すように, 開発されたセンサより, 各種のがん組織及び正常組織の判別が可能であることが検証できた．

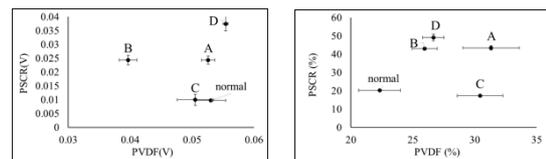


図 4. 乳がん組織と正常組織の判別 (左: 感圧ゴムと PVDF 出力から得られた P_1 , 右: 感圧ゴムと PVDF 出力から得られた P_2)

(5) 結論

本研究では, 感圧導電性ゴム及び PVDF フィルムを用いて柔軟性生体組織の複雑な触覚性状を計測するセンサシステムを開発した．複数のセンサ受感材を使用すること, 複数のパラメータを使用することにより, 複雑な触覚性状を同時に検出することができた．乳がん触診モデルを用いて実験した結果, 乳がん組織と性状組織の定量化判別ができることが検証された．

今後さらに動物実験及び臨床実験を経てセ

ンサを改良改善し、パラメータを増やすことにより、様々な生体組織の触覚性状を評価し、触診に応用されることが期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 8 件)

- ① 千葉 由理, 王 鋒: PVDF フィルムの触覚センサ応用における新手法の模索, 日本電気学会東京支部栃木・群馬支所合同研究発表会, 2017年3月2日～3月3日, 足利
- ② 永澤 恵, 王 鋒: 複数触覚性状を同時に把握する触覚センサの開発, 日本電気学会東京支部栃木・群馬支所合同研究発表会, 2017年3月2日～3月3日, 足利
- ③ 関川 真衣, 王 鋒: 生体組織触覚性状の定量化に向けた評価方法の検討, 日本福祉工学会第20回学術講演会, 2016年11月26日～27日, 前橋
- ④ 関川 真衣, 王 鋒: 生体組織触覚性状の定量化に向けたセンサシステムの開発 (評価方法の検討), 日本機械学会 2016年度年次大会, 2016.9.11-14, 福岡
- ⑤ 関川 真衣, 坂本 翔, 王 鋒: 生体組織触覚性状を測定するセンサシステムの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015 in Kyoto, 2015年5月17日～5月19日, 京都
- ⑥ 坂本 翔, 関川 真衣, 王 鋒: 乳がん早期発見用触診センサの開発, 日本電気学会東京支部栃木・群馬支所合同研究発表会, 2015年3月2日～3月3日, 宇都宮

[図書] (計 1 件)

王 鋒 他, 上毛新聞社, 前橋工科大学ブックレット2: 命を技術する, 2017, 74-77.

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 件)

名称:
発明者:

権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

王 鋒 (WANG, Feng)
前橋工科大学・工学部・教授
研究者番号: 80323046

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

()