

有機強誘電体を用いたカテーテル型触覚センサに関する研究

Study on catheter tactile sensor composed of organic ferroelectrics

非 ○黒田 大介 (九工大) 正 高嶋 一登 (九工大, 理研)
 正 竹中 慎 (香川産技セ, 九工大) 正 向井 利春 (理研)
 非 堀江 聡 (神戸大) 非 石田 謙司 (神戸大)
 非 上田 裕清 (神戸大)

Daisuke KURODA, Kyushu Institute of Technology, 2-4, Hibikino, Wakamatsu, Kitakyushu
 Kazuto TAKASHIMA, Kyushu Institute of Technology
 Makoto TAKENAKA, Kagawa Prefectural Industrial Technology Center
 Toshiharu MUKAI, RIKEN
 Satoshi HORIE, Kobe University
 Kenji ISHIDA, Kobe University
 Yasukiyo UEDA, Kobe University

Key words : Tactile Sensor, Organic Ferroelectrics, PVDF Film, Palpation, Piezoresponse, Catheter

1. 緒言

近年、脳梗塞、動脈瘤や狭心症などの手術にカテーテルやガイドワイヤを使って血管の狭窄部分や動脈瘤を治療する低侵襲手術が普及している。この手法は、患部を切開しないか、切開を最小限に抑えるため、患者の苦痛の軽減、生体組織損傷の減少、治療時間の短縮等の利点がある。しかし、これらの機器を屈曲した管内の深部まで挿入することは非常に難しく、術者に高度な技術と熟練が要求される。また、カテーテルによる血管壁損傷等の事故も起きている。そこで、このような事故を回避し、正確・安全な診断や治療を行うために、接触力測定による手術の操作性・安全性の向上や、さらには生体組織表面の剛性の測定による病変部の検出など、体内の様々な部位に応用可能なセンサ技術が望まれている。

そこで、我々はポリフッ化ビニリデン (PVDF)、フッ化ビニリデン (VDF) と三フッ化エチレン (TrFE) との共重合体である P(VDF/TrFE)、VDF オリゴマーなどの有機強誘電体を用いた触覚センサを検討している⁽¹⁾⁽²⁾。これらの有機強誘電体は CH_2CF_2 を繰り返し構造として持ち、高分子材料ならではの特性として以下のような利点があるため、これまで皮膚や前立腺計測用の触覚センサへの応用が検討されてきた⁽³⁾。

- (1) 軽量かつ柔軟である。
- (2) 圧電定数が大きい。
- (3) 共振が鋭くなく広範囲の周波数に応答する。
- (4) 化学的な耐食性がある。
- (5) 鉛を含有しない。
- (6) 加わった応力の絶対値ではなく、微分値を出力する。

この様な利点から、本研究では PVDF フィルムを用いたカテーテル型触覚センサを試作した。試作したセンサに錘を落下させる実験や、実体血管モデルを用いた挿入実験により、触覚センサの基本特性および対象物表面性状とセンサ出力の関係の定量的な評価を行った。

2. 実験

2.1 PVDF を用いた触覚センサの試作

本研究において試作した触覚センサの外観を Fig.1 に示す。試作方法としては、まず母体となるシリコンゴム (信越化学工業, KE-106) を、自作した型に流し込み作製した。次に、作製したシリコンゴム上に PVDF フィルム (クレハ製, K0711-40AS-L40, 厚み: 40 μm (2 枚重ね), 電極面積: 128 mm^2) を弾性接着剤により接着し、同形状のシリコンゴムを PVDF

フィルムを覆うように接着した。また、PVDF フィルムの電極は導電性接着剤を用いてシールド付可動信号ケーブル (外径: 3.8 mm) に接続した。ケーブル末端は BNC 端子を接続し、電流電圧変換アンプ (10^6 V/A) を経てオシロスコープに接続した。センサ出力は Fig.1 の紙面に垂直な方向に力が作用したときに、センサ先端が曲げられ、PVDF フィルムが伸長されることで得られる。また、センサの出力電流は加わった応力 (またはひずみ) の微分に比例する。

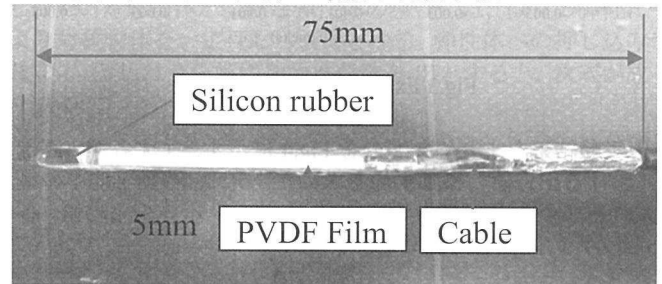


Fig.1 Prototype of catheter tactile sensor

2.2 錘を用いた実験

Fig.2 に示すとおり、試作品の根元を治具で固定し、センサ先端に錘を自由落下させ、錘がセンサ先端に接触した際の出力を測定した。今回 3 種類の円柱状の錘を使用し、質量・先端の径はそれぞれ (A) 0.22 g \cdot ϕ 2.9 mm, (B) 0.33 g \cdot ϕ 4.4 mm, (C) 0.42 g \cdot ϕ 5.0 mm である。また、錘を落下させた際の接触点がずれないように、中空円筒形状のガイドを通して落下させた。このとき、錘の高さは 5~35 mm の高さから 5 mm 刻みで変化させ、各重量・高さにおいて 5 回ずつ実験を行った。

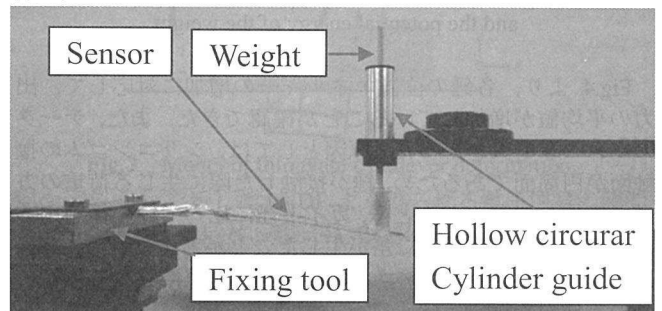


Fig.2 Experimental apparatus to evaluate the prototype sensor

2.3 実体血管モデル挿入実験

試作品を実体血管モデルに手で挿入し、血管壁に擦らせた際や、対面する血管壁に衝突させた際の出力値について評価を行った。本研究で使用した実体血管モデル（エラストラト製）は、ヒトの頸動脈を模擬して作製されており、材質はシリコンゴムである。また、実体血管モデルと試作品の摩擦を考慮し、試作品に血管モデル添付の潤滑剤を適量塗り実験を行った。

3. 結果および考察

3.1 錘を用いた実験

今回の実験によって得られた出力例を Fig.3 に示す。Fig.3 で示した出力例は錘（A）を 5 mm の高さから自由落下させた際の出力値である。Fig.3 より、錘が最小の質量・高さであってもセンサが応答していることがわかる。また、錘がセンサに接触した際の出力（Fig.3 中矢印①）の後に、屈曲したセンサが元の形状に戻る際の出力（Fig.3 中矢印②）が得られていることがわかる。

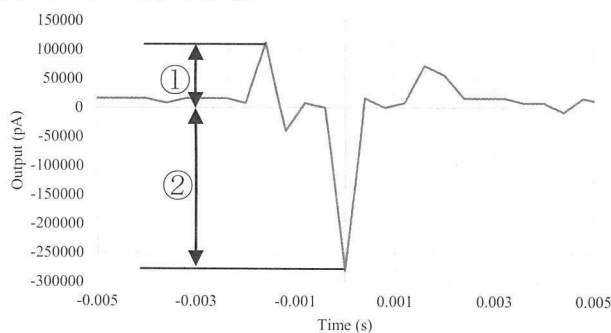


Fig.3 Example of sensor output

実験結果をまとめたものを Fig.4 に示す。まず各錘・高さにおける出力値の移動平均を求めた。次に、移動平均中の最大値を求め、錘の位置エネルギーとセンサ出力の平均値（各 5 回分）の関係を評価した。

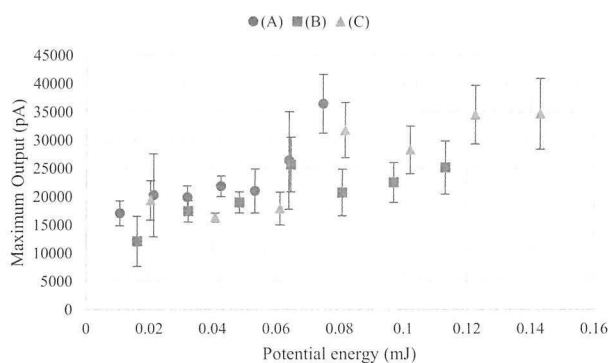
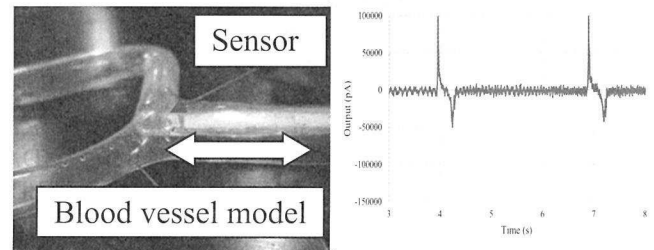


Fig.4 Relationship between the maximum sensor output and the potential energy of the weight

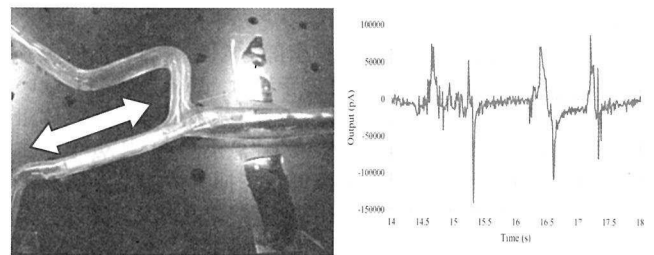
Fig.4 より、各錘の位置エネルギーの増加に対応して、出力の平均値が増加していることが確認できた。また、データのバラつきも大きかった。原因としては、シリコンゴムの接触面が円筒面であるため、錘が接触した際に生じる荷重の方向が不均一であったことや、ガイド径に比べて錘の径が小さいため、錘の初期傾度に差が生じたことが考えられる。今後は、母体となるシリコンゴムの形状が出力値に与える影響について検討を行いたい。

3.2 実体血管モデル挿入実験

Fig.5 に、対面する血管壁にセンサを数回衝突させた際の出力値の推移を示す。Fig.5 より、血管壁への衝突に対応して出力値が変化していることが確認できる。また、Fig.6 には、血管モデル屈曲部にセンサを挿入し、その後引き抜いた際の出力値の推移を示す。Fig.6 から、センサが対面する血管壁に衝突した後に、センサ側面が血管壁に接触し、擦れた際の小刻みな応答が確認できる。



(a) Motion of sensor (b) Sensor output
Fig.5 Experimental result (The sensor contacted axially.)



(a) Motion of sensor (b) Sensor output
Fig.6 Experimental result (The sensor contacted laterally.)

今後は、センサを定速で挿入できる実験装置を構築し、同様の実験を行いたい。

4. 結言

本研究では、PVDF フィルムを用いた柔軟なカテーテル型触覚センサを試作した。今回試作したセンサは、錘の落下実験により自由落下させた錘の位置エネルギーに対応して出力値が変化することや、実体血管モデル挿入実験により、血管形状に対応したセンサ出力が得られることがわかった。今後は様々な材質、形状のセンサを試作し、比較・検討を行いたい。また、P(VDF/TrFE)や VDF オリゴマーを用いてセンサの小型化を図り、より細い内径の実体血管モデルを用いた実験を行う必要があると考えられる。

謝辞

本研究は、JST 研究成果最適展開支援プログラム A-STEP (FS ステージ探索タイプ) の助成を受けたものです。

参考文献

- (1) 高嶋一登, 堀江聡, 向井利春, 石田謙司, 松重和美, “触覚センサのための VDF オリゴマーの圧電特性”, 日本ロボット学会誌, Vol.26, No.6 (2008), pp.711~717
- (2) 高嶋一登, 竹中慎, 向井利春, “有機強誘電体触覚センサを用いた生体内触診の数値解析”, 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.2 (2012), pp.195~204
- (3) 田中真美, “ヒトから学ぶ触覚感性計測用センサシステムの開発”, 日本ロボット学会誌, Vol.26, No.3 (2008), pp.230~233