

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 25 日現在

機関番号：17104

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700485

研究課題名（和文） 低侵襲手術用触覚センサを用いた生体内計測・診断技術の確立

研究課題名（英文） Establishment of measurement and diagnostic technology *in vivo* using tactile sensor for minimally invasive surgery

研究代表者

高嶋 一登（TAKASHIMA KAZUTO）

九州工業大学・大学院生命体工学研究科・准教授

研究者番号：30435656

研究成果の概要（和文）：

本研究では、これまで研究代表者が開発してきた有機強誘電体を用いた低侵襲手術用触覚センサを用い、生体内の「触診」を目指した。その際、触覚センサとは別に開発してきた手術シミュレータを積極的に用い、センサの構造の最適化・精度向上や生体内計測・診断原理の検証を行った。また、有機強誘電体の圧電効果の評価や手術シミュレータのパラメータの検討、周辺技術の開発を行った。さらに、触覚センサの試作品を作製し、産業分野への展開を図った。

研究成果の概要（英文）：

In this study, we investigated the palpation *in vivo* by the tactile sensor composed of organic ferroelectrics for minimally invasive surgery. We evaluated the performance of the sensor and its measurement principle *in vivo* using our computer-based surgical simulator to simulate a catheter and guidewire in blood vessels. Moreover, we evaluated the piezoelectric properties of the organic ferroelectrics and the parameters of the simulation model, and developed the relating technology. Lastly, we manufactured the prototype and applied this sensor to the industrial use.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学、医用生体工学・生体材料学

キーワード：医療・福祉、触診、触覚センサ、シミュレーション工学、血管内手術、低侵襲手術、Surgical simulator、Tactile sensor

1. 研究開始当初の背景

医療の目的が単なる救命だけでなく治癒後における生活の質（QOL）を高めることに重点が置かれるようになり、手術の侵襲を最小限に留めることが臨床医療で重要になっ

ている。例えば、近年、カテーテルやガイドワイヤ等の細長い医療機器を用いる低侵襲手術が広く用いられている。この方法は患部を切開しないか、切開を最小限に留めるので、患者の苦痛の減少、治療時間の短縮、生体組

織の損傷の減少、治療コストの低下、機能回復期間の短縮等の利点がある。そのような利点を有する反面、外科医の目と手に頼る手術の上に、触覚が制限されるため、術者に高度な技術と熟練が要求される。例えば、脳内の血管内治療に適用する場合、これらの機器は1 mをこえる細長い管状であり、後部を押すことによって屈曲した管内の深部まで挿入することは非常に難しく、未熟な操作であれば、血管の損傷等が起こりうる。そのため、医療機器と対象内壁との接触力の測定は、安全で迅速な診断に有効であり、国内外で、さまざまなセンサが提案されている。

しかし、単純に先端の接触力が測定できるだけの触覚センサが、広く臨床応用されていくとは考えにくく、実際には研究段階で終わっているものがほとんどである。そのため、実際に広く臨床応用されるために、そのコストを考慮して何らかの付加価値をつけることは有効な手段である。本研究では、研究代表者がこれまで研究してきた触覚センサを用い、生体の損傷を防止する目的以外にも、その付加価値として、生体内を「触診」できることを目指す。すなわち、狭い血管内を指でなぞるように細い触覚センサで「触診」し、生体組織の剛性を算出する。その結果、血管内の動脈硬化などの病変部の検出などへ応用を図る。

2. 研究の目的

本研究の目的は、低侵襲手術用触覚センサを用いた生体内計測・診断技術の確立である。具体的な内容としては、これまで研究代表者が開発してきた軽量・柔軟な有機強誘電体を用いた低侵襲手術用触覚センサを用い、生体内の「触診」を目指す (Fig. 1)。あわせてセンサ自体の精度向上・小型化も行う。その際、触覚センサとは別に開発してきた血管内カテーテル手術シミュレータ (Fig. 2) を積極的に用い、センサの構造・測定アルゴリズムの最適化を図る。すなわち、これまで個別に開発してきた触覚センサと手術シミュレータという二つの技術を融合することにより、本研究課題の実現に向けた効率的な開発および新たな価値の創造を図る。ただし、本研究では、触覚センサは主に、カテーテル、ガイ

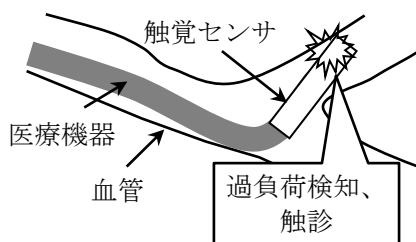


Fig. 1. 触覚センサの血管内への応用

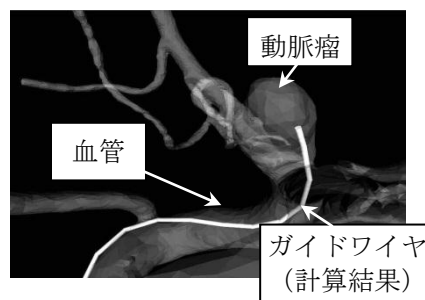


Fig. 2. 血管内カテーテル手術シミュレータによる計算例. 血管壁, カテーテルの力学特性などのパラメータを持つ運動方程式を計算し, ガイドワイヤの通過経路や血管から受ける反力などを算出.

ドワイヤ等の先端に付けて血管内で使用されるものを対象とした。生体組織は生体から切り出した時点で性質を変えてしまうこともあるので、生体外に取り出さずに測定できれば、従来に比べて正確な測定が可能になると考えられる。

触覚センサの一つとして、有機強誘電体である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) のコポリマー (P(VDF/TrFE))、VDF オリゴマーの圧電効果を利用したものがある。これらは有機材料ならではの特性として、①圧電定数大きい、②軽量かつ柔軟であるため、衝撃や屈曲によく耐える、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代表的な圧電材料である PZT のように Pb を含んでいない、⑥センサに加わった応力の絶対値でなく微分値を出力する、等の利点がある。このような利点を生かして、PVDF を用いた触覚センサは、例えば、把持物体と滑りが発生したときの振動を検出する滑りセンサや、皮膚、前立腺の触診への応用が既に検討されている。

3. 研究の方法

2カ年に渡って、以下のような計画で研究を行った。【段階1】では、生体内計測・診断原理の検証を行いつつ、センサを試作した。また、周辺技術の開発を行った。さらに次の【段階2】で産業分野への展開を図った。

【段階1-1：生体内計測・診断原理の検証および理論的背景の構築 (1年目)】

これまでの実験結果を踏まえて、生体内計測・診断原理 (対象物の材料定数の算出方法) の検証および理論的背景の構築を図った。このとき、開発したカテーテルシミュレータや実験によって、触覚センサの性能、触覚情報の取得方法の評価を行った。また、この段階

でセンサとして必要な仕様を求めた。

【段階1-2：試作品の作製（1年目～2年目前半）】

これまでの成果に基づき、触覚センサの形状の変更による精度向上、小型化を図りながら試作品を作製した。

【段階1-3：周辺技術の開発（1年目後半～2年目前半）】

以上の内容と並行して、触覚センサの周辺技術の開発を行った。

以上の（段階1-1）、（段階1-2）、（段階1-3）は検討結果を随時反映させ、螺旋的に最適な形態を模索した。

【段階2：産業分野に展開（2年目）】

最後に、以上の段階で得られた知見を活かして有機強誘電体を用いた触覚センサを産業分野に展開した。

4. 研究成果

(1)（段階1-1：生体内計測・診断原理の検証および理論的背景の構築）

① 有機強誘電体の圧電応答部を二種類の形でガイドワイヤに貼り付けたときのセンサ出力を、血管内カテーテル手術シミュレータによる数値解析によって検討した（Fig. 3）。

病変部を想定して、血管の摩擦係数などの物性を部分的に変化させて、センサ出力に対する影響を調べた。血管の物性が変化した部位付近で、血管とガイドワイヤとの接触力が変化し、それに従ってセンサ出力にも変化が見られた（Fig. 4）。すなわち、数値解析によって、病変部で有機強誘電体触覚センサの出力が変化する可能性が示唆された。また、予想されるノイズと比較し、センサの圧電応答部に必要な電極面積を見積もった。

② センサは周波数によって応答が異なるので、手術シミュレータで評価するためには、ガイドワイヤの動的挙動に影響を与えるパラメータを適切に設定することが必要である。そのため、ガイドワイヤ自身の減衰係数の影響をシミュレータにより検討し、減衰の大きさの違いが血管内でのガイドワイヤ先端の軌道や反力に影響を与えることが分かった（Fig. 5）。

③ 基板上に成膜された有機強誘電体薄膜の圧電特性について、基板の拘束が与える影響を有限要素解析によって検討した。基板による拘束によって、膜の厚み方向の応力に対する出力を膜の伸長方向の圧電効果が弱める方向にあることを示した。

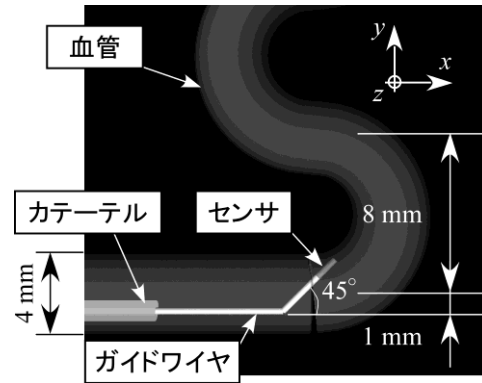


Fig. 3. 解析モデル（ガイドワイヤ根元を押し／引きしたときのセンサ出力を計算）

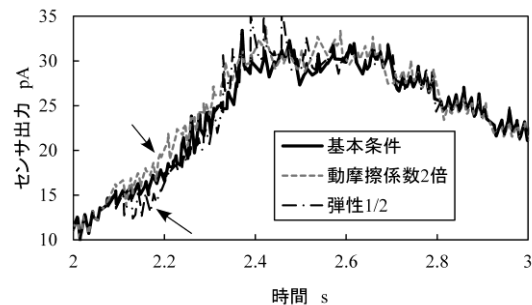


Fig. 4. カテーテルシミュレータによる触覚センサの出力評価の一例

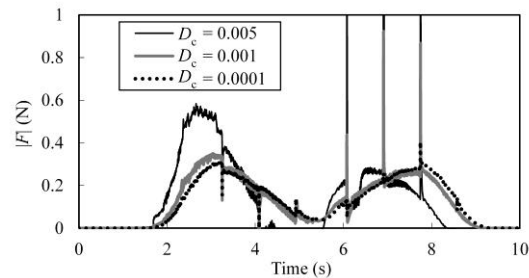


Fig. 5. カテーテルシミュレータによる評価の一例（血管内でガイドワイヤ先端が受ける反力（ $|F|$ ）への減衰の大きさ（ D_c ）の影響）

(2)（段階1-2：触覚センサを実用化に向けて精度向上）

① これまでの研究では、石英基板上に成膜した有機強誘電体サンプルを用いて評価してきたので、有機強誘電体自体の柔軟性を十分に活用していなかった。そこで有機強誘電体の柔軟性を活用するため、PENフィルム上に成膜したサンプルの圧電特性を調べた。フィルムの柔軟性を生かし、有機強誘電体膜を伸張させることによって、出力電流が大きくなった。

以上のように有機強誘電体を成膜した柔軟なフィルムを切り抜き、折り曲げ、カ

テーテルに貼り付け、配線することによってカテーテル型触覚センサを構成できる。

(3) (段階1 - 3 : 周辺技術の開発)

- ① カテーテル同様に血管内治療に用いられる下大静脈フィルターを血管内に留置する際の変形挙動を数値解析により調べた。
- ② 触覚センサや手術シミュレータの評価に必要な血管バイオモデルの作製方法の検討を行った。

(4) (段階1 - 2 : 試作品の作製) → (段階2 : 産業分野に展開)

- ① PVDFを用いた薄板形触覚センサの試作品を作製し、試作したセンサによって対象物の表面の微小な段差や粗さの測定が可能であることが分かった。従来のPVDFを用いた触覚センサはPVDFフィルムをゴム内に埋め込む形状が多いが、本研究ではPVDFを薄板に貼付けるタイプのセンサ形状とした。

これまで、医療への応用に焦点を絞ってきたが、自動化が進んだ産業分野においても、熟練工の触覚が重要な役割を果たす作業現場は数多く、同様の触覚センサによる触診の応用が期待できる。また、本試作品のサイズは大きくなったものの、他の使用環境での検討によって得られた知見は低侵襲手術用触覚センサを開発する際にも活かせると考えられる。

以上のように当初の目的であったカテーテル型の実用的な試作品は作製できなかったが、本研究成果である要素技術は、手術ロボットのハンド、遠隔医療など他の医療分野のみならず、産業分野など各方面への展開が期待できる。また、本研究によって改良されたカテーテル手術シミュレータは、血管内治療の安全性向上のために、術前・術中計画やカテーテル自体の評価・設計に用いることができる。

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2件)

- ① 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—血管の特性のセンサ出力への影響—、日本ロボット学会誌、査読有、Vol.30、No.2、2012、pp.195~204
- ② N.Durand, B.Ameduri, K.Takashima, K.Ishida, S.Horie, Y.Ueda, Vinylidene fluoride telomers for piezoelectric devices, Polymer Journal, 査読有, Vol.43, 2011,

pp.171~179

[学会発表] (計14件)

- ① 平見健一、高嶋一登、PVDFを用いた薄板形触覚センサの開発、第24回バイオエンジニアリング講演会、2012年1月8日、大阪大学(豊中市)
- ② 高嶋一登、柔軟な触覚センサの医療・福祉・産業への応用、第105回産学交流サロン「ひびきのサロン」(招待講演)、2011年11月25日、北九州産業学術推進機構(北九州市)
- ③ 高嶋一登、森浩二、当麻直樹、梅田靖之、佐野貴則、滝和郎、血管に挿入されたガイドワイヤとカテーテルの数値解析(ガイドワイヤの動的挙動)、日本機械学会2011年度年次大会、2011年9月14日、東京工業大学(東京都)
- ④ 竹中慎、高嶋一登、堀江聡、向井利春、石田謙司、上田裕清、有機強誘電体触覚センサの圧電特性—基板拘束が圧電特性に及ぼす影響の数値解析—、第29回日本ロボット学会学術講演会、2011年9月9日、芝浦工業大学(東京都)
- ⑤ K.Takashima, M.Takenaka, Numerical analysis of palpation in vivo using tactile sensor, 第50回日本生体医工学会大会、2011年4月29日、東京電機大学(東京都)
- ⑥ 高嶋一登、竹中慎、向井利春、触覚センサを用いた生体内触診に関する基礎研究、第23回バイオエンジニアリング講演会、2011年1月9日、熊本大学(熊本市)
- ⑦ 高嶋一登、堀江聡、向井利春、石田謙司、上田裕清、柔軟なフィルムに成膜したVDFオリゴマーの圧電特性、第28回日本ロボット学会学術講演会、2010年9月24日、名古屋工業大学(名古屋市)
- ⑧ K.Takashima, K.Yoshinaka, T.Mukai, C.H.Yu, M.Ohta, H.Mabuchi, Computational simulation of catheter motion in hepatic blood vessels, 第49回日本生体医工学会大会、2010年6月26日、大阪国際交流センター(大阪市)
- ⑨ K.Utsunomiya, S.Horie, K.Ishida, Y.Ueda, N.Durand, B.Ameduri, K.Takashima, Ferroelectric and piezoelectric properties of newly synthesized vinylidene fluoride telomer with CnF_{2n+1} group, Fluoropolymer 2010, 2010年6月14~15日、Meze (France)

[図書] (計1件)

- ① K.Takashima, K. Mori, K. Yoshinaka, T. Mukai, In-Tech, Numerical Analysis of the Mechanical Properties of a Vena Cava Filter

(Pulmonary Embolism (Editor: Ufuk Çobanoğlu, ISBN: 978-953-51-0233-5)),
2012, pp.219~236

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

○取得状況（計0件）

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.life.kyutech.ac.jp/~ktakashima/research/research.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高嶋 一登 (TAKASHIMA KAZUTO)
九州工業大学・大学院生命体工学研究科・
准教授
研究者番号：30435656