

細径圧電センサワイヤ「Filasense」

Small-Diameter Piezoelectric Sensing Wire “Filasense”

杉村 和昭*
Kazuaki Sugimura

川中 雄斗
Yuto Kawanaka

宮部 直昭
Tadaaki Miyabe

岩本 力俊
Katsutoshi Iwamoto

伊澤 真人
Masato Izawa

及川 雅司
Masashi Oikawa

本稿では、産業ロボット、医療・介護、車載などの分野で応用が期待され、物理的な微小検知ができる製品として開発している細径圧電センサワイヤについて報告する。本開発品は、従来の画像認識や静電容量式センサでは検知が困難な、微小変位や接触力の検出ニーズに注目し、加えて柔軟で複雑な変形への追従性を備えたワイヤ状センサである。当社の金属・樹脂複合線を製造するワイヤ製造技術を活用することで、縫製糸程度の細線を実現し、設備などの構造体や衣服、機械部品への組込みを可能とした。また、高い信号出力と高速応答性を示すことも特徴である。現在、触覚センシングや構造健全性モニタリングへの有効性を見出しており、今後の社会ニーズである高密度センサネットワークやスマートマテリアル技術への展開が期待される。

This paper reports on a small-diameter piezoelectric sensing wire under development as a product capable of physical micro-detection, with expected applications in fields such as industrial robotics, medical and nursing care, and automotive. This development focuses on the need to detect small displacements and contact forces that are challenging to detect with conventional image recognition or capacitive sensors. It is a wire-shaped sensor that features flexibility and the ability to conform to complex deformations. Leveraging our wire manufacturing technology for producing metal-resin composite wires, we have achieved a filament as thin as a sewing thread. This enables easy integration into existing structures like equipment, clothing, and mechanical parts, while delivering higher signal output and faster response times compared to existing products. This feature makes it effective for applications such as tactile sensing and structural health monitoring. The results also pave the way for expansion into high-density sensor networks and smart material technologies, which represent anticipated future societal needs.

キーワード：センシング、触覚代替、ワイヤ、縫製、モニタリング

1. 緒 言

近年、圧電センサ（圧電素子）は高感度・高耐久性・自己発電特性により、医療・介護、ロボット、さらに車載分野での応用が注目されている。たとえば医療・介護分野では、患者や高齢者の姿勢・体圧・動作を連続監視するためのセンサとして導入が進み⁽¹⁾、ロボット分野では高精度な動作検知や安全監視に利用されている⁽²⁾。ロボットや装置に触覚センサを取り付けることで、身体動作を拡張させることのニーズもあり、人間拡張に関するコンソーシアムが立ち上がるなど社会的に注目される分野である。また、車載分野でも乗員状態監視・部品異常検知・安全装置の高度化といった目的で注目されている^{(3)、(4)}。

従来、人体や機械の動作を検知するセンサとしては、画像認識（カメラ+AI）や静電容量型センサなども広く利用されているが、これらは周囲光・環境ノイズ・電源供給・消費電力の制約などが課題である。一方、圧電センサは対象物に直接設置することができ、外部電源なしで微小な変位・圧力変化を電気信号に変換できるため、高感度・低消費電力・耐環境性を同時に実現できる利点がある⁽⁵⁾が、エリア内で多点検知するには、多数の圧電センサが必要となり、コストが増加してしまうという課題がある。

そこで、当社電線製造技術を結集して、既存の製品より

も細径のワイヤ状圧電センサ「Filasense」を開発した。従来接触センサとして広く使用される圧電センサは「点」での計測であり、これを、「線や面」で計測できることを目指した。本稿ではこの製品の応用可能性を評価した結果について報告する。

2. Filasenseの構造と特徴

図1に従来の圧電素子の基本構造を示す。圧電素子は圧電体を電極（正負2枚）で挟んだ構造をしている。圧電素子に力を加えることで材料表面に電荷を生じ、電極間で分極が生じる。これにより、機械的挙動を電気的な信号（電圧）に変換することができる。

Filasenseの製品構造を図2に示す。内部電極線上に圧電体であるポリフッ化ビニリデン（PVDF^{※1}）を被膜し、その外層に外部電極線を同心円状に挟み込む構造をしている。内部電極線には、当社の製品である厚銅被覆鋼線TCCワイヤ⁽⁶⁾を用いている。TCCワイヤの高い破断荷重によって、製品自体が細径化しても耐荷重が高く維持されるため、扱いやすくなることを狙った。

Filasenseの機械特性を表1に示す。縫製糸として用いることを考慮し、線径は標準的なミシン糸の50番に相当す

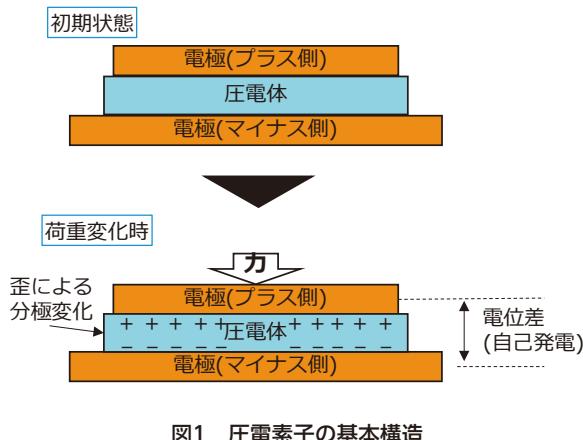


図1 圧電素子の基本構造

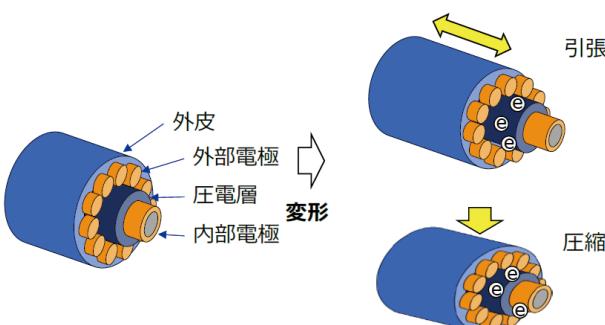


図2 Filasenseの製品構造

る $\phi 0.15\text{mm}$ 以下、破断荷重は4N以上を目標として開発し、絶縁被覆を含めて $\phi 0.13\text{mm}$ 以下を達成した。

今後は、使用用途を想定した繰り返し曲げにおける耐久性の評価も検討している。

表1 Filasenseの機械特性

線径 (mm)	$\phi 0.13\text{mm}$
耐破断荷重 (N)	>4N
破断伸び (%)	>2.0%

3. 圧電特性評価

Filasenseの圧電特性を以下に示す。ワイヤ状の圧電素子の評価は、リードテクノ(株)製 Piezo reade LPF-03を用い、準静的圧電正効果法^{※2} (JIS R1696準拠)に基づいて、試料の側面から圧縮力を加え、発生する電荷 (d_{33}) を電荷検出器で測定した。

一般的なセラミック系圧電素子、シート状樹脂系圧電素子との数値の比較を以下に示す。出力評価の結果、一般的なシート状樹脂系圧電素子、セラミック系圧電素子と比較して、圧電体の量が少ないために出力電荷は小さいが、検出可能であることを確認している。

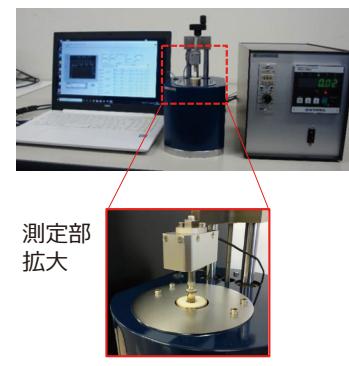


図3 圧電特性評価設備、及び評価原理

表2 圧電特性比較

	圧電特性
開発品	1~10 pC/N
シート状樹脂系圧電素子 (PVDF)	20~40 pC/N
セラミック系圧電素子 (PZT ^{※3})	200~600 pC/N

応答性評価の一つとして、衝撃的な負荷に対しての電気信号検知を測定した。40gの錘を100mm高さから落下させ、Filasenseの出力電圧をオシロスコープ (Keysight EXR204A) を用いて検出した。また、同条件で他社製センサワイヤ ($\phi 2.7\text{mm}$) も評価し、測定結果を比較した。出力電圧波形を図4に示す。

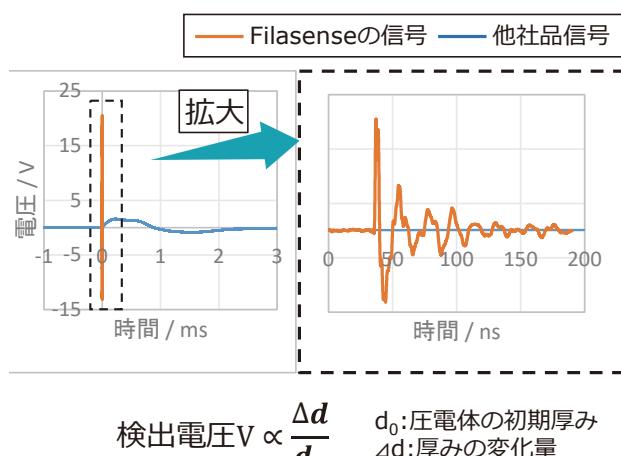


図4 出力電圧波形

Filasenseは他社製センサワイヤに比較して圧電層が薄いため、同一負荷に対して、歪の変化の割合が大きくなる。その結果、単位時間当たりに出力する電圧が大きくなり、S/N比が高いという特徴がある。そのため、微小な圧力変化を敏感に察知することが可能となる。

4. 使用例

Filasenseを用いたセンサの適用例を3つ紹介する。Filasenseの細径の特徴から、①布状センサ：縫製による曲面配置、②ローラー状センサ：ローラー表面変形を使った凹凸検知、③メッシュ状センサ：格子配置を使った多点検知での使用例を示す。この際、信号の周期が短いため、チャージアンプ回路（図5）を用いている。

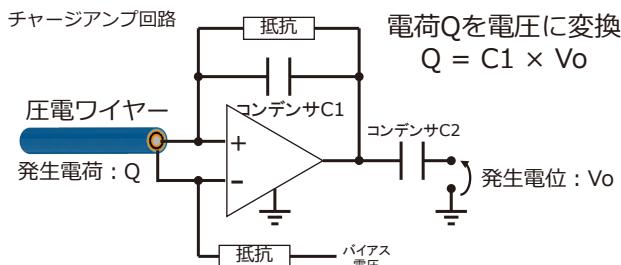


図5 チャージアンプ回路

4-1 布状センサ

Filasenseは一般的なミシン糸と同等レベルの細さであるために、縫製糸と類似の活用が可能と考えている。適用例として、市販のミシンを用いた布地への縫製を行った。図6は、下糸にFilasenseを用い、上糸は市販のミシン糸を

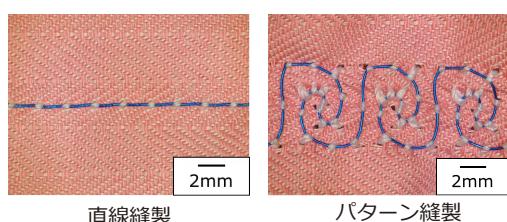


図6 Filasense 縫製布地



用いて布地に縫製した試作品である。直線の縫製の他、ミシンにプログラムされている複雑形状の縫製にも追従することができる。また、細かな曲線の縫製も可能である。これにより、様々な曲面に設置することが容易になると期待できる。

4-2 ローラー状センサ

ローラーで連続的に対象物の表面状態をセンシングするためにローラーの外周部にFilasenseを設置した適用例を示す。図7は、ローラーに240gの負荷をかけ、5mm段差を移動速度310～320m/sec.で乗り上げた際の出力信号である。段差を乗り上げた際にセンサ出力（電圧）の発生が確認できる。

</

交点のすべてに圧電素子を配置するセンシング手法と比較して、センサのコネクタ数が少なく済む点もメリットである。球技における打球の解析等に繋がることを期待している。

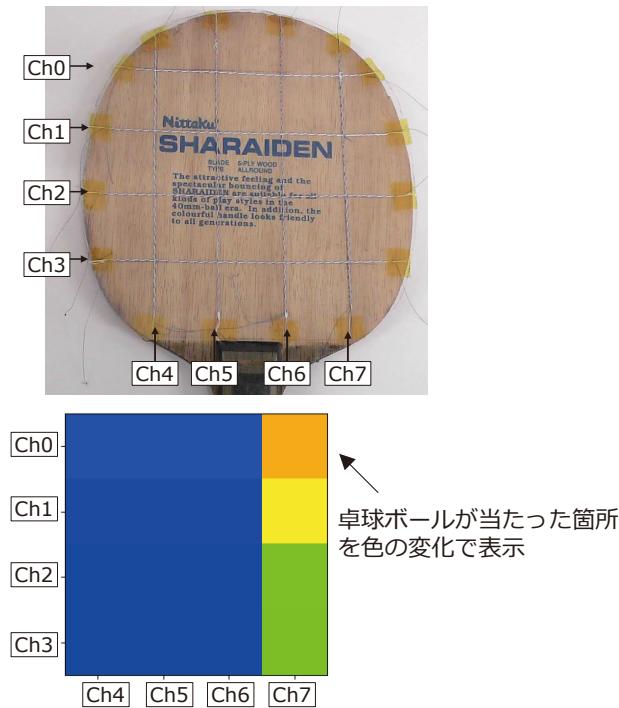


図8 Filasense 格子埋込ラケット、及び打点検知例

5. 結 言

本稿では、細径圧電センサワイヤFilasenseの特徴、及びその適用例について紹介した。この製品は従来の圧電センサとは異なり細径ワイヤ状であり、センサ機能を付与する対象物のバリエーションが広い。そのため取り付け方の工夫により様々な検知が可能である。

今後、家電や産業機械、車載などへの検知機能の追加、及びロボットなど遠隔伝達や、医療・介護場面での患者の常時検知、人の手の感覚に依存していた箇所への触覚検知適用の可能性を検証し、幅広い分野での活用を検討する。

用語集

※1 PVDF

ポリフッ化ビニリデンの略称。代表的な圧電機能を持つ樹脂。

※2 準静的圧電正効果法

JIS R1696で規定される圧電特性を評価する手法。

※3 PZT

チタン酸ジルコニア酸鉛の略称。一般的に用いられる圧電セラミック。

・TCC、及びFilasenseは住友電気工業(株)の商標、または登録商標です。

参 考 文 献

- (1) 厚生労働省、「福祉用具・介護ロボットの開発と普及2024」、pp.95-121
- (2) Mohammad Ali Mangi, Hassan Elahi, Ahsan Ali, Hamid Jabbar, Anas Bin Aqeel, Aasia Farrukh, Saira Bibi, Wael A. Altabey, Sallam A. Kouritem, and Mohammad Noori, "Applications of piezoelectric-based sensors, actuators, and energy harvesters," Sensors and Actuators Reports Volume9, 100302 (June 2025)
- (3) 上野仁、「圧電センサを用いた自動車運転者用の非拘束生体信号取得方式の研究」第一工科大学研究報告、第34号、pp.107-112 (2022)
- (4) Hrishikesh Kulkarni, Khaja Zohaib, A. Khusru, and K. Shravan Aiyappa, "Application of piezoelectric technology in automotive systems" Materialstoday:PROCEEDINGS, Volume 5, Issue 10, Part 1, Pages 21299-21304 (2018)
- (5) Pengcheng Jiao, King-James I. Egbe, Yiwei Xie, Ali Matin Nazar, and Amir H. Alavi, "Piezoelectric Sensing Techniques in Structural Health Monitoring: A State-of-the-Art Review" (2020)
- (6) 松岡健太、星間昭人、佐藤大五、「厚銅被覆鋼線による高強度電線」、住友電工テクニカルレビュー第198号、p.51-55 (2021)

執筆者

杉村 和昭*：アドバンストマテリアル研究所 主査



宮部 直昭：特殊線事業部 主席



伊澤 真人：DX技術研究開発センター 主査



川中 雄斗：DX技術研究開発センター



岩本 力俊：アドバンストマテリアル研究所
グループ長



及川 雅司：アドバンストマテリアル研究所
部長



*主執筆者