

立命館大学野間春生教授等の研究グループが開発した超小型 MEMS 触覚センサは、微細構造のカンチレバーを用いて接触による外力を3次的に検知することができ、多軸での力計測を可能とした。インターフェースによるデジタル信号も得られ、ロボットなど様々な分野での応用が期待できる。

| | | | |
|-------|--|-----|---|
| 研究機関名 | 立命館大学情報理工学部 実世界情報コースメディアエクスペリエンスデザイン研究室 | | |
| 研究内容 | 実世界の高度情報化技術を開発するため、ユビキタスコンピューティング技術、ロボティクス、メカトロニクス技術、人と人およびモノとのヒューマンインタフェース技術に関する教育研究を行う | | |
| 所在地 | 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 | | |
| TEL | 077-561-2802 | URL | https://www.mxdlab.net/home |

【本技術の概要】

ヒトの五感の中で“見る聞く”の感覚は、CCD 素子やマイクの機器を介してデジタル信号として画像/音響認識技術として研究や応用が進展し、多くの商品として実用化されている。一方、重要な感覚である触覚は、ヒトの皮膚表面にある機械的触覚受容器が発見され、その機能も解明されているが、その触覚受容体に匹敵する触覚センサ素子が実用化されていなかった。その中で、立命館大学情報理工学部メディアエクスペリエンスデザイン研究室の野間春生教授と新潟大学の研究グループは、MEMS 技術を応用した超小型の触覚センサを開発した。今回開発した触覚センサは、人間並みの機能を持つことから、ロボットの指先に実装し物体を把持している状態を識別する実験を行った。その結果、物体を持ち上げて徐々に離すという動作で、開発した触覚センサからリアルタイムのデジタル信号を得ることができた。今後、介護ロボット等、人と共存しサービスを提供するヒューマンサポートロボットに十分な安全性と作業性を与える触覚機能として期待される。

なお、研究成果は、情報発信元として Con-Tact 株式会社（所在地：京都市上京区御前通り、東輝明代表取締役）、要素技術として立命館大学・新潟大学の技術を使った。

【基本原理】

開発センサは、Si 基板の上に極小マイクロカンチレバーを複数個作成し、全体を弾性体（エラストマ）で覆った構造で、弾性体の上部に垂直方向の圧力と水平方向の剪断力を加えると変形し、同時にカンチレバーの傾斜角度も変わる。この傾斜角度から弾性体上部に作用する外力を3軸（圧力、剪断力2軸）として電気的な出力信号から行列演算アルゴリズムにより3次元ベクトル力をリアルタイムに計測可能となった（図1）。

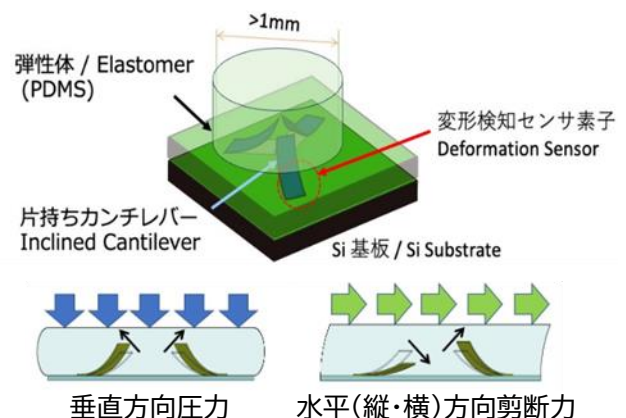


図1. 超小型触覚センサ原理図

【有望技術紹介 No.103】

本センサの検知素子であるカンチレバーは、自動組み立て技術を応用した表面 MEMS プロセスで製造された微細構造である。そのため、高い歩留まりで安価に製造が可能である（図2）。

試作センサは5mm角チップとして製造されフレキシブル基板を介してドライバ回路に接続されている（図3）。独自の実装設計により、数kgの荷重をかけても破損することなく計測が可能である。

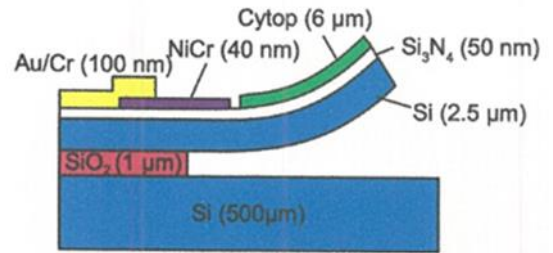


図2. センサの断面図

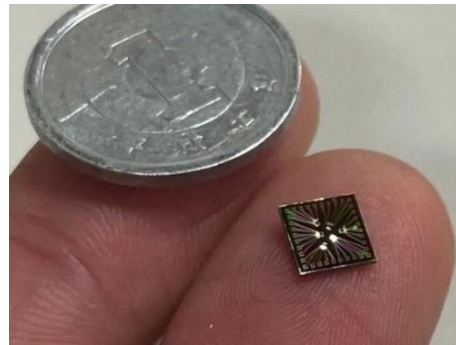
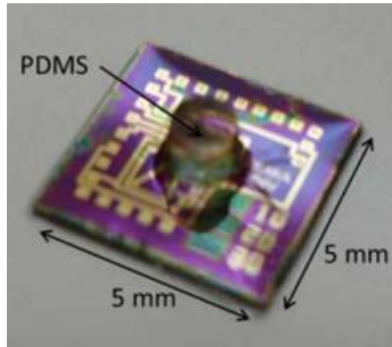


図3. 試作センサ

引用先：<https://sites.google.com/mxdlab.net/irex2023/irex2023-home>

【触覚センサ用デジタルインターフェースの開発】

本研究グループが開発した超小型 MEMS 触覚センサは、センサ信号を取得し計算機で処理するためには、変換器を使用しアナログ情報をデジタル情報へ変換する必要がある。一般的に電気抵抗型の触覚センサではホイストンブリッジとオペアンプを使用して電気信号を取得していたが、消費電力と配線数が増大し実用化に課題があった。そこで本研究グループでは、デジタル回路を用いた非安定性マルチバイブレータの発振を利用し、デジタル信号のパルス幅に変換するデジタルインターフェースを開発した。これによって15素子のMEMS触覚センサの使用を想定した場合、消費電力が約400mWから約100mWに削減できることがわかった。これにより触覚センサの多素子化が容易になり、データの解像度が向上し、さらなる触覚情報の応用が可能となった。

【デジタルシリアル変換器】

超小型 MEMS 触覚センサ用デジタル変換器のシステムを示した（図4）。本変換器はパルス密度変換器（PDM）とシリアル変換器（UART）で構成されている。PDMはNOT回路を2つ、コンデンサ、抵抗で構成される非安定マルチバイブレータであり、機械的変形によって変化する抵抗をセンサにすることで出力を読み出す。PDMからは矩形波が出力され、抵抗値変化により周波数が変化する。シリアル変換器ではボーレートの0.1倍の速度でサンプリングを行い、シリアル送信開始時のPDM出力のhigh/lowをASCIIコードにエンコードし、シリアル送信する。PDMのNOT回路とシリアル変換器はFPGA上に実装した。

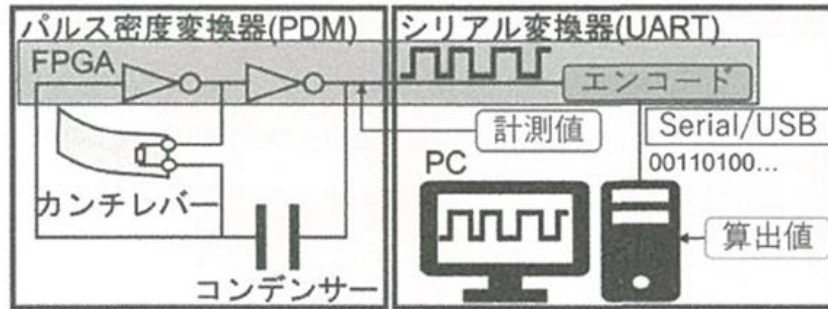


図4. デジタルシリアル変換器のシステム図

【計測値との比較】

触覚センサの代用として 200Ω から 250Ω までのダミー抵抗を用い、変換器の精度を評価した。オシロスコープで計測した周波数と上位計算機で1分間受信したデータから算出した周波数を比較した(図5)。計測器の周波数変動は 19.8 kHz ~ 15.4 kHz であり、理論値と算出値の誤差は 0.7% であった。この結果より、抵抗型センサにおける抵抗値変動を周波数変動に変換し、上位計算機へデジタル送信できることが示された。

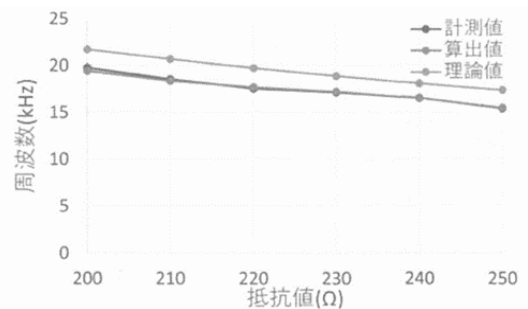


図5. 計測値と算出値の比較

これにより、デジタル回路実装のため、センサ読み出しからシリアル送信までの IC 化も可能で、計測環境の小型化が見込める。

引用先: 斎藤竜也 et.al., 「FPGA を用いた MEMS 触覚センサのためのパルス密度変換器の開発」
日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, (2022 年)

【本技術の応用事例・想定用途】

本プロジェクトで開発した超小型多軸触覚センサは、そのサイズと多軸での力計測が可能なることにより、様々な分野での応用が期待できる(図6)。ロボット関連では、介護ロボット、器用な産業用ロボットなどや、医療向けに患者の褥瘡予防装置などにも応用が期待できる。

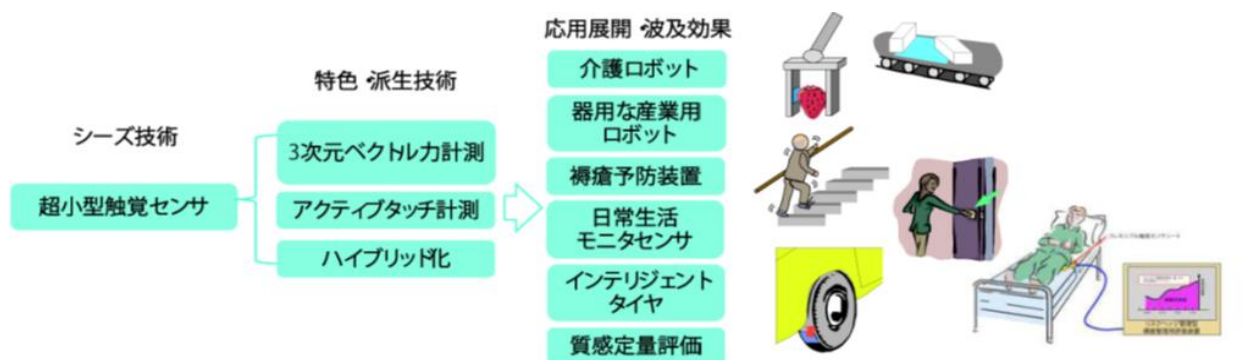


図6. 本技術の応用例

引用先: <http://www.ritsumei-seeds.jp/18-12>

【触覚センシングを利用した柔軟物ハンドリング】

ヒトは指先の触覚情報によってトマトのような柔らかくて繊細な食物を適切な力で潰すことなく掴むことができるが、多くのロボットハンドは、指先に触覚は無く、把持物体の柔軟性を識別できない。そのため柔軟物を掴むことが難しかった。そこで、超小型 MEMS 触覚センサをロボットの指先に設置すると、触覚センサによって力覚情報を取得し、柔軟物に対する適切な力を加え、把持することができた。また、せん断方向の力覚情報を取得することで、物体の接地を判断し、柔軟物を潰すこともない。

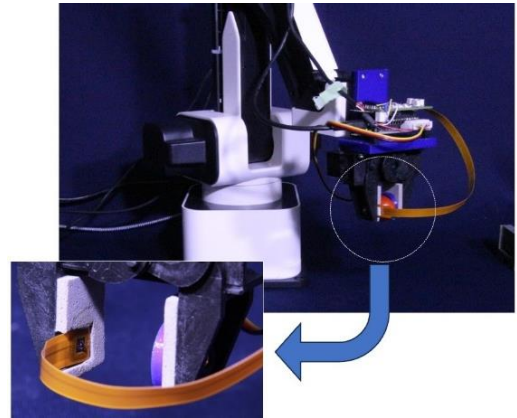


図 7. 触覚センシングを利用した柔軟物ハンドリング例

【心地よさを理解するハンドマッサージの力覚センシング】

ハンドマッサージは、手や指を使用して手のひら、指、手首などを圧迫、摩擦、揉み解すリラクゼーションの一種である。人の手による独自の「心地よさ」により、全身のリラクゼーションができる。しかし、これらの「心地よさ」を与えるには、むやみに押しでも得られない。体の部位に適した力を加える必要がある。そこで、ハンドマッサージ時に受ける力を計測、可視化し、施術時に感じる「心地よさ」の分析を目指す。



図 8. 心地よさを理解するハンドマッサージの力覚センシング例

【ランニングトレーニングのための触覚センサを備えた荷重計測シューズ】

スポーツでは能力向上のため動作を定量的に分析し、トレーニングに活用する生体力学分析の導入が積極的に行われている。ランニング競技では、走行時の足裏の荷重と走速度との相関関係は報告されており、裏の荷重計測は生体力学分析に活用される。本研究は、場所と動作の制限かのない生体力学分析を可能にする荷重計測シューズを開発した。何時、どこでも、だれでも トレーニングに活用することを目指す。

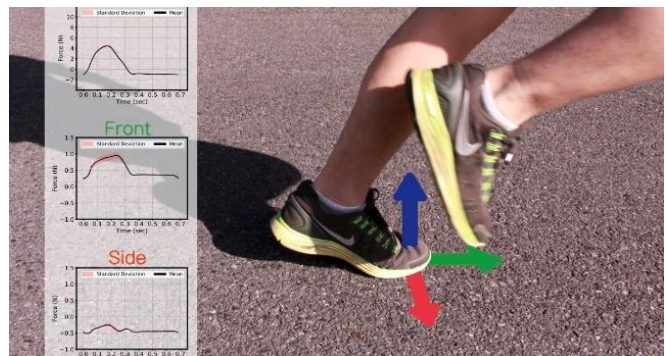


図 9. ランニングトレーニングのための触覚センサを備えた荷重計測シューズ例

引用先：<https://sites.google.com/mxdlab.net/irex2023/irex2023-home>

【有望技術紹介 No.103】

【特許関連】

特開 2013-061201 物体表面の質感計測装置およびそれを用いた紙葉類識別装置

発明者：寒川雅之、奥山雅則、野間春生

出願人：国立大学法人大阪大学、株式会社国際電気通信基礎技術研究所

専門家による目利きコメント

本プロジェクトで開発した超小型 MEMS 触覚センサは、多軸での力計測が可能なことにより、ヒトと共存が求められる介護ロボット、産業用計測ロボット、医療向けロボットなど様々な分野で応用が期待できる。特に柔軟物を適切な力を加えて潰すことなくハンドリングする技術に注目したい。

お問い合わせ

立命館大学 研究部 BKC リサーチオフィス

TEL : 077-561-2802

E-mail : liaisonb@st.ritsumei.ac.jp