

令和 4 年 6 月 19 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03314

研究課題名(和文) MEMS触覚センサとステージモデルによる人のように触れる触覚認識モデルの研究

研究課題名(英文) Human like tactile sensation using stage learning model on MEMS tactile sensor

研究代表者

野間 春生 (Noma, Haruo)

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号：00374108

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では超小型触覚センサレイと触覚認識モデルを模したステージ型神経情報ネットワークによって機械触覚認識モデルを構築し、その特性とヒトの触覚の類似性からヒトらしい機械触覚の実現とヒトの触覚認識の解明を目指した。ここでは特に8種類の素材をなぞって識別する、なぞり識別タスクに着目し、全結合、1D-CNN、RNN、LSTM、GRUの5つのモデル構造と1-4層の層数の違いによる識別率を評価した。その結果最高で97.8%の識別率を達成した。さらに、識別の課程で得られる中間特徴量においてヒトが同様の素材をなぞったときに示す特徴に類似する結果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

触覚は生理学的に皮膚表面に存在す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。しかし、その先に繋がる触覚認識モデルの解明は、ヒトの触覚受容器に匹敵する触覚センサ素子が実用化していないが故に、幾つかの心理学的モデル提案に留まり、工学的触覚認識モデルの解明は十分に進まず、結果として機械触覚の産業応用は十分には広がっていない。本研究ではヒトの触覚受容器の構造に近い超小形MEMS触覚センサを用いて、ヒトの触覚の仕組みを模倣した機械触覚システムを実現することで、逆にヒトの触覚認知の仕組みを理解することを目指している。

研究成果の概要(英文)：In this study, we constructed a machine haptic recognition model using an ultra-small tactile sensor and a staged neural network that mimics a human tactile recognition model, and aimed to realize human-like machine haptic perception and elucidate human haptic recognition based on the similarity between machine and human haptic perception. Here, we focused on the tracing recognition task, in which eight kinds of materials are identified by tracing them, and evaluated the recognition rate depending on five DNN model (Dense, 1D-CNN, RNN, LSTM, and GRU) and the number of layers (1-4). As a result, the highest identification rate of 97.8% was achieved. In addition, the intermediate features obtained in the course of the identification process showed results similar to the features that human shows.

研究分野：触覚センサ、触覚VR

キーワード：触覚 触覚VR MEMS触覚センサ AI 強化学習

1. 研究開始当初の背景

ヒトの五感において、視/聴/匂/味/平衡感覚は身体上の特定部位で電磁波や空気圧、化学物質等を検知する特殊な感覚である。なかでも視聴覚はその感覚受容器の機能が解明され、CCD 素子やマイクとして人工感覚器が実用化し、さらにこれらを用いた画像/音響認識技術の研究や応用が広がっている(図 1)。一方、ヒトのもう一つの重要な感覚である触覚は、生理学的に皮膚表面に存在す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。しかし、その先に繋がる触覚認識モデルの解明は、ヒトの触覚受容器に匹敵する触覚センサ素子が実用化していないが故に、幾つかの心理学的モデル提案に留まり、工学的触覚認識モデルの解明は十分に進まず、結果として機械触覚の産業応用は十分には広がっていない。ヒトの皮膚触覚の電気生理学的な解明は、Meissner による水銀を使った触圧覚の観察(1859 年) から始まり、Frey らが毛先を指に押しつける実験(1898 年)によって、極めて弱い機械刺激に対して圧知覚が生じることを発見した。現在では、図 2-(a)に示すような、ヒトの表皮付近に機械刺激に反応する 4 種類の触覚受容器が発見され、神経ネットワークに基づく触覚認識モデルが提唱されている。生理学的見地からは、触覚受容器がヒトの触覚において極めて重要な役割を果たしていることは揺るぎない。しかしこのモデルは極細い毛先で皮膚上の単独の感覚受容器だけを微細に刺激した応答結果から構築された、極めて感覚要素論的なモデルである。触覚センサの応用として、例えば“表面粗さ”のみを計測するような、特定の計測のためだけならばこれで事足りる。しかし、日常で我々がモノに触れる時には、単独の感覚器へのわずかな刺激ではない。遙かに広い接触面により大きな機械的的刺激が作用し、近接する複数の触覚受容器が同時に発火して、中枢神経に至る経路での神経情報処理を介し、その結果として対象物表面の物理的特性をいわゆる“触り心地”として感じると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、図 2-(b)に示すように、超小型触覚センサアレイと人の触覚認識モデルを模したステージ型神経情報ネットワーク(Stage Neural Network : StNN)によって機械触覚認識モデルを構築し、その特性とヒトの触覚の類似性からヒトらしい機械触覚の実現とヒトの触覚認識の解明を目指すことである。対象物の素材を判別するなぞり動作に着目し、触覚センサを備えたロボットに素材識別結果を報酬とした強化学習を施し、素材識別に最適化したなぞり動作を学習させる。さらに、触覚センサをヒトの指先に付けた状態でヒトにも同じ対象物の素材識別をさせる。この指先の動きと対象物へ加えた圧力、摩擦力から、逆強化学習により指先の動きに繋がった価値関数を同定する。これらのロボットとヒトの学習結果を、SNN の中間出力結果に着目して比較し、認知科学からの知見を交えて機械触覚とヒトの触覚認識モデルの類似性について分析する。これら結果からヒトのような特性を有する機械触覚を実現し、同時にヒトの触覚認識モデルの解明を目指す。

3. 研究の方法

ヒトは多種多様な動作を行うことで素材の特徴を取得している。本稿では、それらの動作の中でも最もシンプルな「なぞり動作」に着目し、研究対象としてヒトが素材判別を目的とした場合のなぞり動作に焦

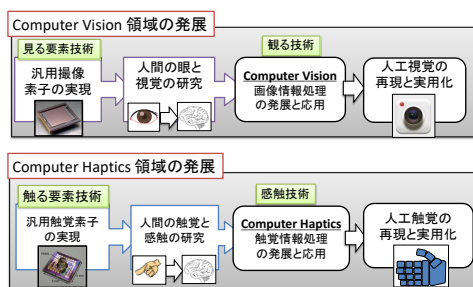


図 1 画像認識と触覚認識

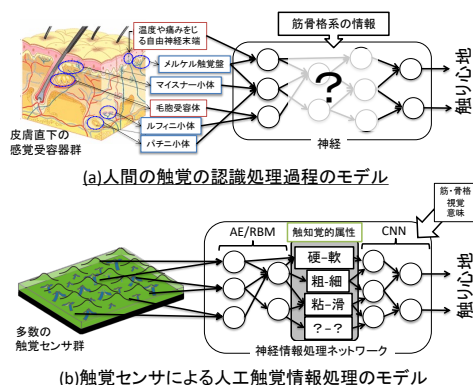


図 2 人間と機械の触覚認識モデル

点を当てた。佐藤らの研究により、ヒトは素材への触り動作（なぞり速度・圧力）が素材ごとに異なることがわかっている[1][2]。これは、素材ごとに指先に備わった触覚受容器が最も反応する速度・圧力を選択している可能性が示唆された。そこで、本研究ではヒトの視覚情報処理と触覚情報処理の類似性に着目した。ヒトは網膜に当たることで発火したニューロンからの電気信号を、脳に伝わるまでに単純ニューロンによって低次元情報に情報削減していることがわか

っている。触覚においても同様の現象が起きていることが予想される。素材をなぞった際に指先で得られた信号が脳に伝わるまでに低次元情報に落とし込んでおり、それらの低次元情報を元に適した動作を行っている。そこで、本研究においてはこのアイデアを組み込んだ機械触覚モデルを構築する。本研究で作成した機械触覚モデルの模式図を図3に示す。本モデルは大きく分けて、2つのセクションに分けられる。計測された触覚素材信号を低次元情報に集約するエンコーダの機能を持った教師学習型素材識別器、計測された触覚素材信号から集約した中間特徴量を元に素材識別率を最大化するような動作を生成する強化学習型動作生成器の二つで構成された機械触覚モデルである。また、ニューラルネットワーク構造の違いとモデルの層数を比較することで、触覚信号処理に適したモデルも探索する。これにより、ヒトの触覚認知的な知見と機械触覚モデルから得られた知見と比較する。我々の開発する触覚センサに適したニューラルネットワークにおいてもヒトの触覚認知と近い結果が得られた場合、機械触覚モデルから逆にヒトの触覚認知の解明に繋がることを期待した。

具体的には、3軸ステージ型のロボットを用いて開発した触覚センサで対象物質の表面を走査したときのセンサの出力を記録し、この結果から機械学習によって素材識別を試みた。ここで用いた教師学習型素材識別器として、全結合、1D-CNN、RNN、LSTM、GRUの5つのモデル構造と1-4層の層数の違いによる識別率・中間特徴量の違いによる本研究の素材信号に適したモデルを探索した。また、識別に用いた対象物は、異なる特徴を持つような素材中心に8種類（デニム、ゴム板、コルク、和紙、豚革面、豚革裏、アルミ、木板）を採用した。計測速度によって素材から得られる空間的な周波数が異なるため、収集条件として、計測速度を0.5-4.0[cm/s]にて0.5刻みで8段階用意した。荷重の設定値は圧力によって、得られる信号の大きさや今まで取得できなかった情報が得られるのではないかと考え、計測圧力を0.2-1.0[N]にて0.1刻みで8段階用意した。また、サンプリング周波数は2k[Hz]となっている。前述した計測システムを用い、それぞれの速度・圧力にて8つの素材上を計測し、触覚データを収集した。要約すると素材8種類、速度8段階、圧力9段階の576の組み合わせの触覚データを取得した。

4. 研究成果

提案する識別モデルを用いて、学習回数1000回にて学習を行い、評価用データセットを用いた識別結果を表3に示す。全体の学習の傾向として、層数が増えるほど識別精度が上がっていることがわかる。これは、総数を重ねることにより局所的な特徴ではなく大局的な特徴を得られることができたためだと思われる。全結合(Dense)の2層や、1D-CNNの4層、RNNの3層、4層のモデルに関しては、同構造の層が浅いモデルでそれよりも高い識別精度を得ているが、深層学習でのモデルの初期化における初期値によるブレだと思われる。最終的にはGRUの4層が最も高い結果を得た。

中間特徴量の分布に関しては、提案する識別モデルを用いて得られた中間特徴量は8次元であり、得られた特徴次元ごとに軸を比較することでデータがどのような分布となっているかを確認した。データが素材ごとに別れるように分布していた場合、特徴量から素材を分

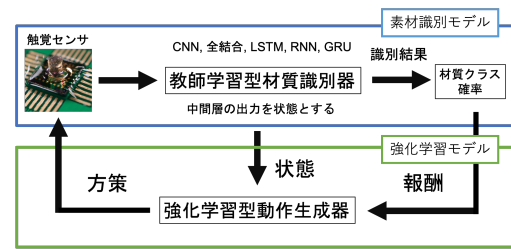


図3 提案する材脂質識別と動作生成モデル

表1 総数とネットワーク構造による識別精度の違い

	Dense	1D-CNN	RNN	LSTM	GRU
1層	96.76%	75.86%	44.32%	68.77%	87.98%
2層	92.44%	90.49%	63.14%	83.97%	96.23%
3層	96.84%	95.24%	60.16%	93.86%	97.68%
4層	96.72%	93.85%	61.90%	95.35%	97.85%

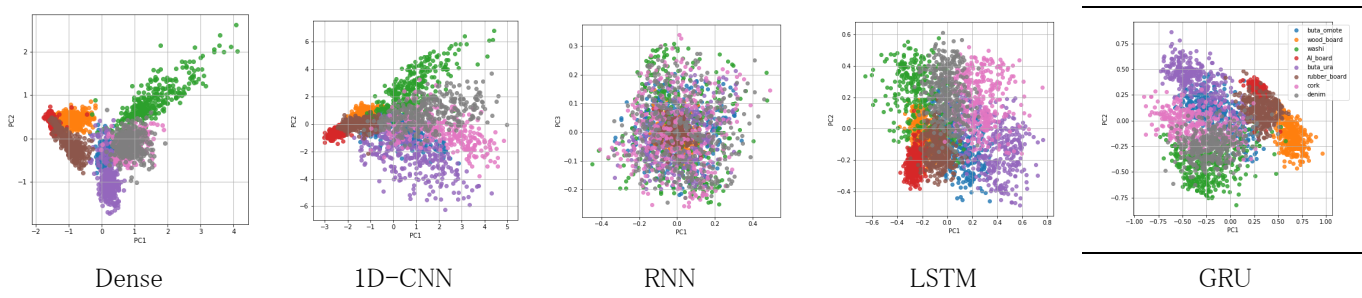


図4 中間特徴量のPCAによる分析結果

別しやすいデータ分布になっていることになる。これらの関係を見ることが、素材ごとの関係を考察する。そこで、作成したモデルから得られた中間特徴量を主成分分析（Principle Component Analysis、以下 PCA）を用いて三次元にまで圧縮しそれぞれの軸間の関係性を評価した。4層での主成分1—2軸での分析結果を図4に示す。図中のマーカーは8種類の素材の識別結果を示す。その結果、RNN以外では3層までのモデルに関しては素材ごとの分布は確認できなかったが、4層を超えたのちに素材ごとにまとまった分布が確認できるようになり、ヒトの認知における素材間の距離と作成したモデル間の距離に類似性が確認できた。

中間データ分布において、素材間の距離を計算することでどのような素材が近いと判断されているのかを確認するため、4層での結果の中間データ分布の素材の重心を求め素材間の距離を求めた。ここでは得られるデータ範囲がモデルごとに異なるため、重心を求めたのちに素材の重心の座標データに標準化を行うことでデータ間のデータ分布範囲を近づけた。さらに求められた距離行列を元に多次元尺度構成法を用いてデータをプロットした。多次元尺度構成法は軸や数字に意味はほとんどなく、距離が近いものは近く、距離が遠いものは遠くプロットされるものになっている。図5にGRU4層での結果のみを示す。いずれの識別モデルにおいても木板とゴム板とアルミニウム板が比較的近く、これは、この三つが他の素材と比べて平坦で凹凸の少ない素材であるため、この凹凸の少なさが近くに分類される要因になっていると思われる。また、他の素材に関しても豚革面・豚革裏間の関係についても近くに分布しており、これらとは離れてデニムと和紙、コルク板においても近い関係がみられた。

ヒトも一度指先から入ってきた触覚信号を中間特徴量に落とし込んでいいると考えられるが、これらの中間特徴量に関して機械触覚モデルとヒトとの処理の関連性が考えられる。東山らの研究[3]によるとヒトが素材を分類するタスクを行った際に触った素材が以前触った素材と同じグループか否かの分類を行い、そのデータ間の距離をもとめ多次元尺度構成法を用いて低次元にプロットした。これは、カツが提唱したヒトの触覚は三属性で解釈しているという原理に関して検証を行った結果であり、次元ごとに強い特徴が現れている素材の特徴が現れた。東山らのデータの中に我々の研究で使用した触覚素材と近いものがあり、前述の中間データ分布の重心間の距離と東山らの研究における人間知覚における素材間の距離を求め比較した結果を図6に示す。この結果をみると、アルミニウムとゴム板が近くでありこの二つと離れるように豚おもて、ヒノキ、和紙、コルクは配置されている。東山らの研究で用いられているヒノキは我々が用いている木板と特徴が異なり、木目がかなりしっかりと現れている素材になっている。我々が用いた木板は木目がほとんどなくさらさらとした触覚を感じるような素材になっているため、アルミニウムとゴム板が離れていると思われる。このアルミニウムとゴム板が近く、他の素材が離れていると

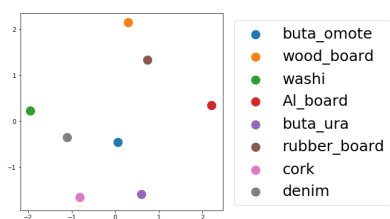


図5 4層GRUモデルをMDSで再構成した結果

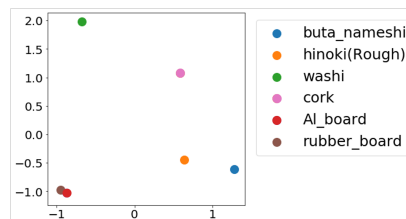


図6 心理実験結果をMDSで再構成した結果

いう結果は我々の求めた関係と似た傾向がみられた。これは、機械学習器がヒトと同様の解釈をしているとは言えないが、ヒトが知覚している感覚に繋がる要素を得ている可能性が示唆された。

一方で、これらのデータ間の分布が確認できたモデル5つにおいて、動作生成モデルを作成し動作の違いを確認した。前章の識別モデルの結果から素材それぞれに対して識別率が大きく異なるような結果になることがわかった。これを踏まえ、本研究では、Deep Q-Neural Network(以下、DQN) と呼ばれる強化学習器を用い動作生成器の作成を行った。提案モデルにおける報酬、行動、状態は以下の通りにした。

- ・報酬:素材識別の正誤 (2 次元)
- ・行動:速度:加速/維持/減速 (3 次元) 圧力:加圧/維持/減圧 (3 次元) 3x3 の 9 次元
- ・状態:特徴抽出器により圧縮されたデータ(8 次元)

DQN モデルの概要図は図3 下半分であり提案モデルにおける特徴抽出器は前項で説明したモデルとなっている。動作作成器は中間3層からなる全結合構造とした。DQN の学習は、状態 s にて行動 a を任意の回数行ったときの報酬 R の合計を最大化させる学習を行う。この任意の回数を本研究では 10 と設定した。次に報酬は学習の収束性の向上を目的として動作によって変化した状態から推測される素材が正解の場合を1、不正解で0として扱う。これらの条件のもと、本研究では 10000 試行の学習を行った。提案する動作生成モデルを用いて、学習を 10000 試行にて学習を行ったモデルの結果を以下に示す。今回は、中間データ分布がある程度素材ごとに別れた全結合4層、CNN4層、RNN4層、GRU4層、LSTM4層のモデルを用いて学習を行った。その結果、いずれの条件においても、4.0cm/s、0.5cm/s、0.2N、1.0N のいずれかに属している動作が多く、全体に一様に分布していたり識別精度が高くなる速度・圧力を選択しているなどはみられなかった。これらで選択された動作を用いて識別を行った結果、平均識別率は動作生成を用いない識別モデルと比較して全てが下回り、本研究の目指す動作生成結果は得られなかった。これは、今回のモデルで想定している動作においては、素材 x 速度 x 圧力 (8x8x9) の 576 という大きな組み合わせであるということ、今回のモデルで用いた特徴が離散的ではあるが範囲が明確に決まっているものではないため実質無限に近い組み合わせが存在することになる。今回の検証で用いたデータ数は 21615 個のデータ群であるが、これらのデータ全ての素材において速度・圧力との関係が同一ではなく、DQN で理解できる範囲を超えてしまっているのだと考える。RNN を除く他の4つのモデルに関しては高い識別率があるにもかかわらず、大きく識別率が下がっている。これは、ランダムに選択された素材ごとに識別の可否によるランダム性によって識別率が下がったものと考えられる。また、DQN の特徴としてパラメータチューニングの難易度が高いことがあげられる。本研究でも、何度もパラメータを変更し最もよかったものを採用したが、最適なパラメータを得られたとは言えない。そのため、今後パラメータの探索を十分に行うことで素材ごとに最適な動作生成が実現できる可能性がある。

今回はモデル構造と層数に着目して素材識別率について探索を行ったが、もっと複雑な組み合わせや活性化関数などのパラメータに関してはまだ調査の余地がある。中間データ分布に関しても、本研究からヒトを思わせるようなデータ分布が確認された。しかしながら、現在のデータでは比較は十分にできず関係性を明確に述べることはできなかった。今後、認知心理学研究者と協力し、ヒトと機械触覚モデルとの関係についてより考察を進める。強化学習手法に関しては、本研究では DQN を用いたが、他の強化学習モデルを用いることで動作生成を行える可能性がある。ヒトを超える機械触覚を作成するためには、触覚センサにおいて現在は3つのカンチレバーを有する触覚センサを用いているが、ヒトの触覚受容器は 1cm^2 に数百存在するため、より多くのカンチレバーを備えたセンサを導入することによって、ヒトと同様以上の処理を目指す。

参考文献

- [1] 佐藤克成. 触質感の類似性と触動作の関係. ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, Vol. 2019, pp. 1P2-S09, 2019.
- [2] 佐藤克成. なぞり動作直前における押下力の調整. 計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会講演論文集, Vol. 20, pp. 2A4-07, 2019.
- [3] 東山篤規, 野間春生, 太田杏侑, 山崎校. 受動触と能動触の知覚的次元: 多次元尺度法 ALSICAL を用いて. 感覚代行シンポジウム 46, pp. 39-42, 2020.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 木藤潤, 阿部祐太, 佐藤周平, 安部隆, 野間春生, 寒川雅之	4. 巻 -
2. 論文標題 触覚センサによる多層柔軟物モデルの計測と有限要素解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌E	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計21件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 岡田 一志, 川田 智晴, 河内 彪博, 大井 翔, 松村 耕平, 寒川 雅之, 野間 春生
2. 発表標題 端子部への負荷を軽減するFPCを用いたMEMS触覚センサの実装
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋佑司, 高橋拓海, 安部隆, 野間春生, 寒川雅之
2. 発表標題 ボンディングワイヤのUV硬化樹脂封止によるMEMS触覚センサの耐久性向上
3. 学会等名 令和2年度電気学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川田智晴, 岡田一志, 大井翔, 松村耕平, 寒川雅之, 野間春生
2. 発表標題 包丁手技訓練を目的とした把持力信号の自動ストローク切り出し手法の検討
3. 学会等名 情報処理学会 インタラクシオン2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡田 一志, 下江 輝, 大井 翔, 松村 耕平, 寒川 雅之, 杉山 治, 野間 春生
2. 発表標題 ヒトを模した人工触覚の触り動作における素材識別率を向上させる学習モデルの研究
3. 学会等名 情報処理学会 インタラクシオン2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野間 春生
2. 発表標題 MEMS触覚センサと応用技術の紹介
3. 学会等名 精密工学会「IoT製造技術」研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川田 智晴 岡田 一志 大井 翔 松村 耕平 野間 春生, 寒川 雅之
2. 発表標題 MEMS触覚センサと応用技術の紹介
3. 学会等名 第23回ハプティクス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川田 智晴 岡田 一志 大井 翔 松村 耕平 野間 春生, 寒川 雅之
2. 発表標題 エラストマ封止カンチレバー型触覚センサの検出エリア評価
3. 学会等名 第36回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋拓海, 安部隆, 野間春生, 寒川雅之
2. 発表標題 さまざまな洗浄に耐えるフッ素エラストマ封止カンチレバー型触覚センサ
3. 学会等名 第36回「センサ・マイクロマシンと応用システム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野間 春生
2. 発表標題 ヒトの触覚を目指すMEMS超小形触覚センサの研究
3. 学会等名 第1回先端センサ・シンポジウム センサ技術・研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazushi Okada, Sho Ooi, Kohei Matsumura, Haruo Noma
2. 発表標題 Gripping Force based Signature Verification Measured by Tactile Sensors
3. 学会等名 IEEE World Haptics 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅 史賢, 藤橋 智也, 阿部 由杜, 安部 隆, 野間 春生, 寒川 雅之
2. 発表標題 複雑形状物体把持制御のための複数接触部を有する触覚センサ
3. 学会等名 電気学会 E部門 総合研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takumi Takahashi, Shuhei Sato, Takashi Abe, Haruo Noma, and Masayuki Sohawa
2. 発表標題 TACTILE SENSOR USING MICROCANTILEVER EMBEDDED IN FLUOROPOLYMER FOR WATER AND ETHANOL RESISTANCE
3. 学会等名 Transducers 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田 一志, 大井 翔, 松村 耕平, 野間 春生
2. 発表標題 ペングリップ型デバイスを用いた個人認証の提案
3. 学会等名 情報処理学会 インタラクション 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅 史賢, 荒木 凌馬, 安部 隆, 野間 春生, 寒川 雅之
2. 発表標題 柔軟物把持制御用近接触覚センサの接触部形状の検討とカンチレバーの小型高密度配置による荷重分布計測
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Takahashi, Y. Namba, T. Abe, M. Sohawa
2. 発表標題 Characterization of PZT Thin Film Deposited on Si Cantilever Embedded in PDMS for Tactile Sensing as Force and Vibration Detection
3. 学会等名 The 12th Japan-Korea Conference on Ferroelectrics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木藤潤, 阿部裕太, 佐藤周平, 安部隆, 野間春生, 寒川雅之
2. 発表標題 皮膚診断のための触覚センサによる多層柔軟物モデルの計測と有限要素解析
3. 学会等名 第35回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤橋智哉, 菅史賢, 荒木凌馬, 安部隆, 野間春生, 寒川雅之
2. 発表標題 触覚センサの柔軟物硬さ及び接触形状に対する依存性評価と検知部の高密度化
3. 学会等名 第35回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 米原洸平, 木藤潤, 藤橋智哉, 高橋春暁, 安部隆, 丹羽英二, 寒川雅之
2. 発表標題 Cr-N薄膜ひずみゲージを用いたMEMS触覚センサの感度向上
3. 学会等名 第9回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 志和昂, 難波勇太, 安部隆, 寒川雅之
2. 発表標題 MEMS触覚センサによる材質感計測と感性評価との比較
3. 学会等名 交通・電気鉄道/マイクロマシン・センサシステム合同研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋拓海, 富田亮, 安部隆, 鳴海敬倫, 寒川雅之
2. 発表標題 フッ素エラストマとCNT分散樹脂を用いたフレキシブル圧力・曲げセンサの基礎検討
3. 学会等名 平成31年電気学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 兒玉崇行, 安部隆, 三谷篤史, 寒川雅之
2. 発表標題 口腔ケアシミュレーション用舌モデルへのMEMS触覚センサ搭載と接触検知
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

MEMS-Sensor https://www.mxdlab.net/research/mems-sensor
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	東山 篤規 (Higashiyama Atsuki) (00118001)	立命館大学・総合心理学部・教授 (34315)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	佐藤 克成 (Satou Katsunari) (00708381)	奈良女子大学・生活環境科学系・講師 (14602)	
研究分担者	北川 章夫 (Kitagawa Akio) (10214785)	金沢大学・電子情報通信学系・教授 (13301)	
研究分担者	秋田 純一 (Akita Jyunichi) (10303265)	金沢大学・電子情報通信学系・教授 (13301)	
研究分担者	杉山 治 (Sugiyama Osamu) (40586038)	京都大学・医学研究科・特定講師 (14301)	
研究分担者	寒川 雅之 (Samukawa Masayuki) (70403128)	新潟大学・自然科学系・准教授 (13101)	
研究分担者	松村 耕平 (Matsumura Kouhei) (80629600)	立命館大学・情報理工学部・講師 (34315)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------