

高尾 英邦

香川大学創造工学部 機械システム工学領域長・教授／
香川大学微細構造デバイス統合研究センター センター長・教授

繊細な触覚を定量的に感知する「ナノ触覚神経網」の開発と
各種の手触り感計測技術への応用

§ 1. 研究成果の概要

本研究では、ナノ触覚デバイスの実現(ナノ触覚レイヤー)、神経網制御技術(神経網アルゴリズムレイヤー)、手触り感計測の応用技術開発(応用開発レイヤー)に軸足を置く 3 つの研究者チームを構成し、「人間の指先」が持つ繊細な触覚をセンサ技術で再現することで各種の手触り感を数値化できる新しい計測システムを創出している。プロジェクト開始 5 年目にあたる 2019 年度においては、ナノ触覚技術の神経網展開を一層進めるべく、神経網型ナノ触覚センサ(ナノ触覚センサアレイ)の開発と評価システムの構築を中心にチーム体制による研究を実施した。以下は得られた主要な成果である。

図 1 は神経網型ナノ触覚センサで、布地の硬さ分布を計測した結果の一例である。指先で対象の硬さを感じるメカニズムを参考とし、指腹の形状と指紋の動きを模倣した接触部を持つ神経網型ナノ触覚センサを実現することで、触れた対象表面の柔らかさの分布を非常に高い空間解像度で取得可能とした。空間解像度 100 μm 程度の高い解像力で布の硬い個所と柔らかい個所を見分けることができている。すでに実現されている高解像力での表面微細凹凸や摩擦力変化の分布情報取得に加えて、この新しい機能を用いることで、指先と同等の柔らかさを持つ様々な対象のさわり心地における質感認識とその分析にも大いに役立つと考えられる。

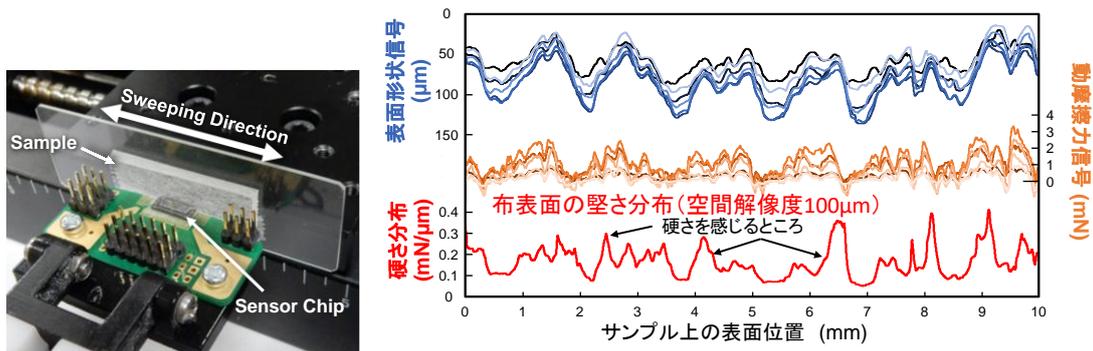


図1 神経網型ナノ触覚センサによる布地表面の硬さ分布計測結果

また、触覚へのニーズが高い医療機器分野に向けて、医療器具（腹腔鏡鉗子）に搭載したナノ触覚技術の応用評価を進め、血液等に覆われて表面摩擦がほぼゼロの環境下においても把持臓器の滑りを検知できるセンシング能力を実証した。図2は臓器の把持に必要な表面の摩擦がゼロに近い状況下における把持滑りを検知した実験の様子である。人間の指先が持つ「滑り覚」の機構に倣った新しい検出原理を採用することで、非常に低摩擦環境下においても把持する対象物の「滑り」と「位置」を正確に検知することが可能となった。

さらに、チーム全体の成果として「ナノ触覚レイヤー」と「神経網アルゴリズムレイヤー」の成果を統合し、3種の紙の表面触覚計測によって紙の種類をリアルタイムで識別する触覚計測センシングシステムを構築し、展示会（SEMICON Japan2019）で三日間のデモンストレーションを実施した。これは深層学習によってナノ触覚センサのセンシング信号を多数学習させた識別器をハードウェア上に組み込み、センシングしたデータからその場でリアルタイムに紙の種類を判別し、画面上に表示するものである。図3は展示会でのデモンストレーションの様子である。来場者自身で行う計測走査であっても、ほぼ100%に近い正答率で手触り感による「高級紙」「普通紙」「半紙」の識別を実演した。

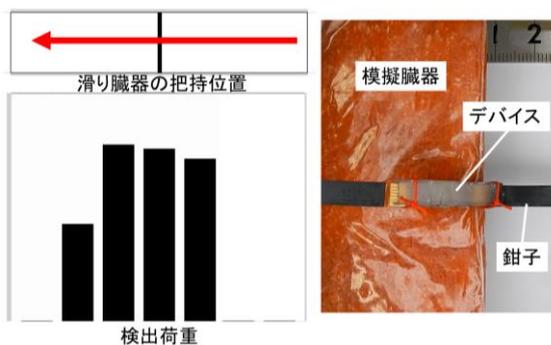


図2 ゼロ摩擦下での臓器滑り検知実験



図3 紙質の識別が可能なシステムの実演

以上より、ナノ触覚センサのアレイ化とその信号処理アルゴリズム、深層学習器との融合やシステム集積による神経網展開によって、より人間の指先が得る触覚に近い触覚情報を取得することが可能となりつつある。

【代表的な原著論文】

Kazuki Watatani, Kyohei Terao, Fusao Shimokawa, Hidekuni Takao, Planar-type MEMS tactile sensor integrating micro-macro detection function of fingertip to evaluate surface touch sensation , Japanese Journal of Applied Physics, Volume 58, Number 9, pp097002-1 - 097002-9, 2019

Kanako Ando, Takashi Yamamoto, Yusaku Maeda, Kyohei Terao, Fusao Shimokawa, Masao Fujiwara, Hidekuni Takao, Highly Sensitive Silicon Slip Sensing Imager for Forceps Grippers Used under Low Friction Condition, IEEE International Electron Devices Meeting (IEEE IEDM2019), pp. 422-425, 2019

Yoshihiro Nishida, Kazuki Watatani, Kyohei Terao, Fusao Shimokawa, Kazutami Arimoto, Hidekuni Takao, MEMS-Based “Touch Feeling Scanner” for Quantitative Evaluation of Fingertip Sensation, The 33rd IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (IEEE MEMS2020) pp984-987, 2020

§ 2. 研究実施体制

(1)「ナノ触覚・応用開発」グループ（香川大学 高尾グループ）

- ① 研究代表者:高尾 英邦（香川大学創造工学部 教授）
- ② 研究項目: 研究総括と推進
 - ・ **ナノ触覚技術の開発と改良**
 - ナノ触覚デバイスの研究
 - 定量化アルゴリズムの策定
 - ・ **センサ応用事例開拓と実証**
 - 定量化アルゴリズム評価
 - ナノ触覚の応用実証
 - ・ **ナノ触覚神経網の実現と改良**
 - ナノ触覚デバイスの神経網展開

(2)「神経網アルゴリズム」グループ（岡山県立大学 有本グループ）

- ① 主たる共同研究者:主たる共同研究者:有本 和民（岡山県立大学情報工学部 教授）
- ② 研究項目: 神経網アルゴリズムチーム統括・設計評価研究
 - ・ **3D2 アルゴリズムの検討と検証**
 - 3D2アルゴリズムの検討と検証
 - ・ **センサ応用事例開拓と実証**
 - 3D2アルゴリズムの実証
 - ・ **ナノ触覚神経網の実現と改良**
 - 3D2アルゴリズムの神経網適用

(3)「学習最適化」グループ（徳島大学 上手グループ）

- ① 主たる共同研究者:上手 洋子（徳島大学大学院社会産業理工学研究部 准教授）
- ② 研究項目: 触覚センサ信号用の学習 DNN 及び触覚特徴量抽出法の開発
 - ・ **ナノ触覚技術の開発と改良**
 - 最適な DNN 構成の実装と評価
 - ・ **ナノ触覚神経網の実現と改良**
 - DNNからの特徴量抽出法の検討