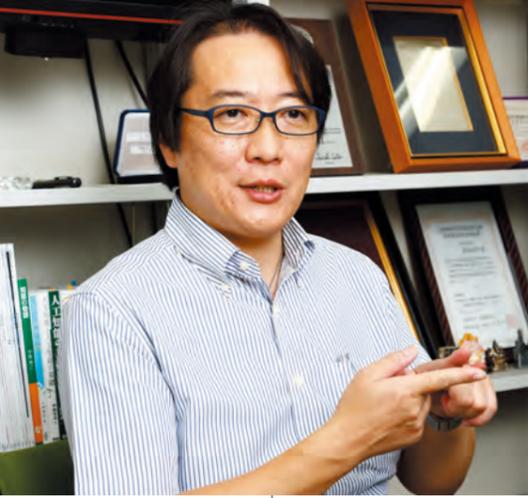
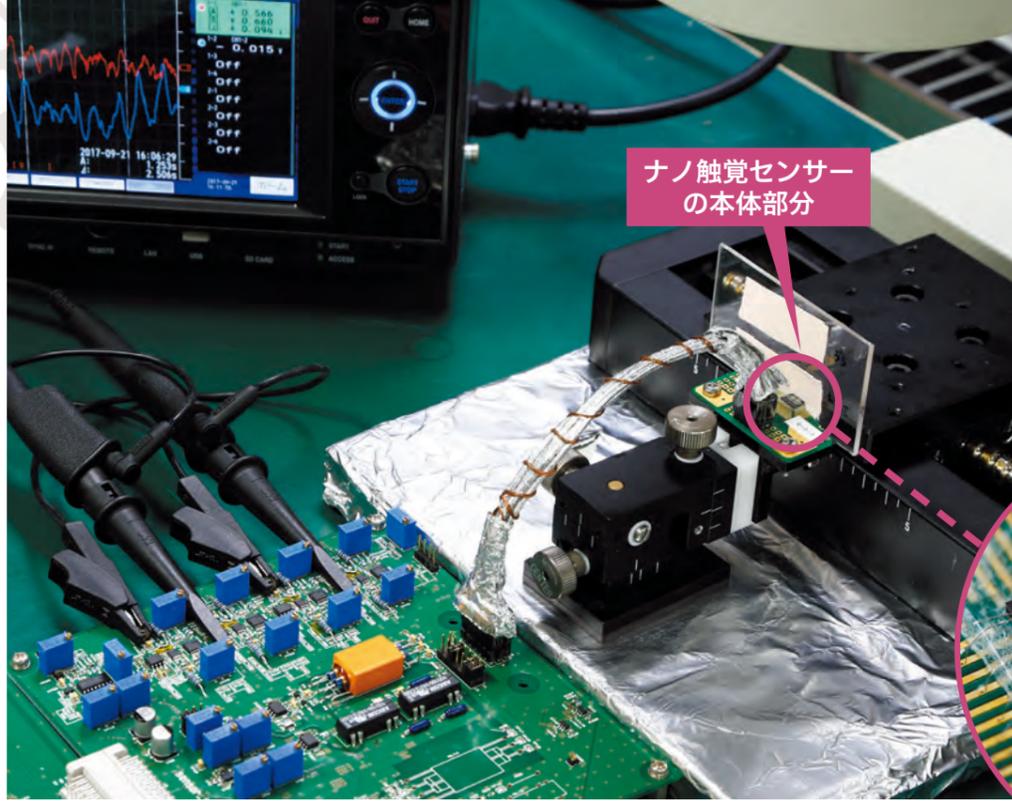


はかる 第7回



たか お ひでくに
高尾 英邦 香川大学 工学部 教授
微細構造デバイス統合研究センター センター長
1998年 豊橋技術科学大学大学院工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。
豊橋技術科学大学工学部准教授などを経て、2014年から現職。



▲図1 ナノ触覚センサーの研究に用いている実験装置。

指紋型センサーで手触りの数値化に挑む

人間は五感を使い、外部の情報を得ている。五感の中でも視覚はカメラ、聴覚はマイクを用いて電気信号に変換され、さまざまな分野で利用されている。近年、開発のターゲットとして注目されているのが触覚だ。香川大学工学部の高尾英邦教授は、指先のように微細な触覚情報を取得するシステムを開発している。

物質表面の手触りをセンサーで測定する

皮膚感覚で得られる情報は、圧力、振動、伸縮、滑り、温度など実に幅広い。また、手の感覚でも、指先、手のひら、手の甲など部位によって感じ取る情報は異なっている。その中で、高尾さんが注目したのは指先の触覚だ。

職人は、表面を滑らかに仕上げるときなどに指先で触れて状態を確かめる。人間の指先の触覚はこのように敏感で、マイクロ(100万分の1)メートル以下の微細な凹凸を感じ取る能力があるといわれている。高尾さんはこの能力を、シリコン半導体による小型センサーで実現する研究に取り組んでいる。

「指先が感じる手触りの情報を知らうにも、今まではそこまで微細な領域に感度を持つ触覚センサーがありませんでした。そこで、まずは人間の感覚に近いもの、場合によっては人間の感覚を超えてしまうような高い性能の触覚センサーをめざしました。」

触覚センサーをつくる際に、注目したのが指紋だ。指紋は線状に浮き出ている隆起(隆線)が集まってできている。高尾さんは、1本の隆線に相当するセンサーによって、精密な触覚が計測できるのではないかと考え、隆線の断面のような細くて丸みのある形状の先端で物質と接触し、表面をなぞって触覚を計測す

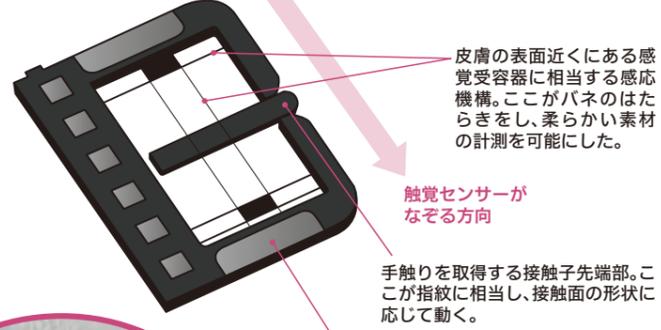
るナノ触覚センサー(図2・図3)を開発した。将来は、1本の隆線にあたるこのセンサーを複数並べることで、さらに指先に近い感覚が得られると考えている。

ただし、シリコンのような硬い材料をそのまま使ったのでは、紙や布といった柔らかい素材を計測する前に傷つけてしまう。人間の皮膚のようにある程度の柔らかさをもって計測するために、センサーには複数のバネ構造(図3)が組み込まれている。このバネによって、布のような柔らかい物質の表面をなぞったときに先端部で発生する、微小な動きと摩擦による振動を感じ取って電気信号として記録する。

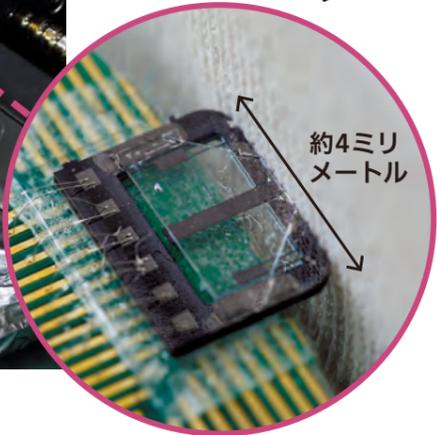
表面形状と摩擦の情報を同時に取得

物質表面の振動をより詳しく検討していくと、物質に対して垂直な方向に押し返してくる力と水平方向に働く力に分けられる。ナノ触覚センサーは、布地などの表面をなぞりながら、垂直方向にかかる力を捉えて表面の形状を、水平方向に働く力を捉えて摩擦力を測定する(図4)。この2つの情報を数値として取得し、その関係性を知ることで、表面の手触りの評価方法を確立しようとしている。ナノ触覚センサーを用いて、視覚ではわからない10マイクロメートルレベルの、微細な形状がもたら

▼図3 ナノ触覚センサーの仕組み。

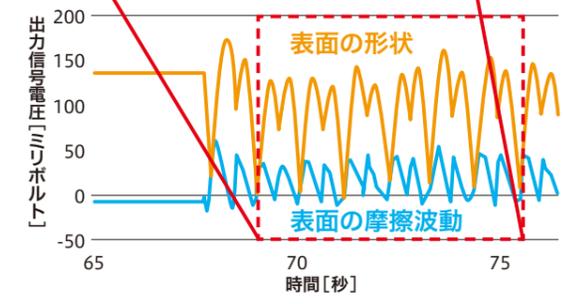
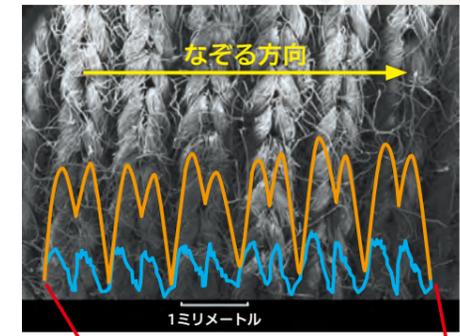


接触状態を制御する感圧部や、破損を防ぐための保護構造などが周囲に集積される。



◀図2 布地の表面をなぞり、表面の形状や表面の摩擦波動を計測するナノ触覚センサー。

▼図4 ナノ触覚センサーが、布地の表面を矢印の向きになぞった時に計測した表面の形状と摩擦波動。



す摩擦変化や手触りの違いを検知可能だ。

例えば、髪の毛の表面には、キューティクルと呼ばれるたんぱく質が魚のうろこのように並んでいるため、髪の毛の根元側からなでると、毛先側からなでるとでは手触りが違う。人間の指先が、この微妙な違いを感じ取るように、ナノ触覚センサーも、形状と摩擦力の計測からこの違いを検知する。布地や紙などの質の違いについても、人間は手触りで感じ分けるが、このセンサーは計測から得た表面の物理的特性を数値化して違いを示す。

これまでの触覚センサーは、物質表面の形状や摩擦力をこれほど細かく測定できなかった。表面の微細な物理的特性を計測するセンサーにより、人類は新たな触覚を手にしたといえる。このセンサーの先端を直径1マイクロメートルまで微細化することで、人間にとっては鏡のように滑らかに見える表面の手触りをも区別できるという。人間の触覚を超えるセンサーも夢ではなくなってきているのだ。

信号の特徴をつかみ 人間の感覚に近い評価を

ナノ触覚センサーが示す物理的特性は、あくまでも数値情報でしかない。数値をより有用なものにするには、その値が人間にとってどのような意味を持つのか解釈する必要がある。

「視覚や聴覚は、光や音の波形を分析すれば、人間にとっての意味づけは比較的容易で、記録した映像や音声の再生・再現も可能となっています。しかし、触覚は脳での処理に使われている情報が十分に理解されておらず、単純な波形分析だけでは、意味づけは困難です。」

日本人は手触りを表現するために、「ざらざら」「つるつる」「すべすべ」「ふわふわ」といった擬態語を使う。表面の状態をいくらか数値で表しても、触れたものがざらざらしているのか、つるつるしているのかを自動的に判別するのは難しい作業だ。高尾

さんは、数値情報をより人間の感覚に近づけるために、カオス解析と深層学習を採り入れている。

カオス解析は、ノイズなどがないのに不規則な変化をする複雑な現象を分析するために用いられる方法だ。特に表面の変化の割合に注目した解析により、ナノ触覚センサーで得られた電気信号からざらざら、つるつるといった手触り感の特徴を抽出している。サンプル数はまだ少ないながらも、カオス解析によって抽出された特徴は、人間による評価ともよく一致するという。

深層学習は人工知能の手法の1つで、物事の特徴をコンピューターが自動的に学習し捉えるものだ。深層学習は法則などを人間があらかじめ設定しなくても、適切な学習データを与えるだけでそのデータ全体の特徴を自動的に捉えて、触った物質が何であるかを判別していく。

ナノ触覚センサーとカオス解析、深層学習といった解析方法の組み合わせにより、微細な触覚情報を人間の感覚に対応する形で数値化する手段がそろってきた。今後は、手触りを客観的な数値として評価するだけでなく、逆に数値から手触りを再現する方法も探っていく。

「目標は、人間の微細な触覚を数値化して示すことです。数値化は人工知能も苦手としている部分で、試行錯誤は続きますが、計測データと一緒に、人間の感覚による官能試験などのデータも学習させることで実現できると考えています。」

私たちは、日常生活でさまざまな物に触れている。人間が感じる手触りを解明し数値化できれば、衣服、自動車の内装、パッケージなど、さまざまな素材や製品開発に役立てられる。また、内視鏡の先端にナノ触覚センサーを取り付ければ、内臓の状態などの診断や手術に役立つ情報が得られるというように、新しい製品やサービスの開発にもつながってくるはずだ。私たちが何気なく感じている触覚をセンサーとコンピューターで再現できるようにになれば、社会は大きく変わっていくだろう。