

# 測定者の技量によらない 原子間力顕微鏡システムの開発

AI/IoTや省エネルギーデバイスなどを支える技術としてナノ材料研究が盛んに行われています。ナノ材料の研究には走査型プローブ顕微鏡が広く用いられており、中でも原子間力顕微鏡はさまざまな材料の表面分析に使われています。しかし、原子間力顕微鏡での測定は測定者の練度によるところが大きく、扱いが難しい装置となっています。そこで、情報技術グループでは測定者の技量によらない原子間力顕微鏡システムの研究開発を進めています。

**\* 1**  
ニューラルネットワーク  
人間の脳神経系のニューロン（神経細胞）の働きを模倣した数理モデル。人工知能（AI）の分野で活用されている。

## 開発背景

AI/IoT時代のスマート社会を実現するために、ナノエレクトロニクスの果たす役割は大きくなっていきます。ナノエレクトロニクスはスマートフォンなどに使われる半導体や量子ドットを利用した光デバイスなどで利用されています。2016年には分子マシンがノーベル賞の対象となり、ナノ材料の計測・評価が注目されています。

こうしたナノ材料の評価・分析手法として、走査型プローブ顕微鏡があります。走査型プローブ顕微鏡は先鋭な探針を用いて探針と試料の間の相互作用を計測することにより、表面構造を観察する装置です。中でも、金属、半導体、絶縁体、有機分子、生体材料などさまざまな試料を非破壊で計測できる原子間力顕微鏡は非常に有効な計測装置です。しかし、原子間力顕微鏡による計測は操作が難しいこと、測定者の技量によって得られる計測結果が変わってしまうこと、計測に非常に多くの時間を要するという課題があります。原子間力顕微鏡を手軽に利用するためには熟練者の技術を取り込んだ自動計測が必要となります。そこで、情報技術グループではニューラルネットワーク<sup>\*1</sup>に代表される機械学習技術の活用により測定者の技量によらない原子間力顕微鏡システムの確立に向けた研究開発を進めています。

## 非破壊で高分解能測定が可能な原子間力顕微鏡

原子間力顕微鏡は走査型プローブ顕微鏡と呼ばれる装置の一つであり、1986年に開発されました。光学顕微鏡では計測できる物体の大きさには光の波長による制限がありますが、走査型プローブ顕微鏡ではこの制限がないため、さらに小さな物体を計測することが可能です。原子間力顕微鏡は原子レベルの高分解能測定を実空間で行うことができ、表面を非破壊で計測可能なためさまざまな試料の評価に使われています。

カンチレバーと呼ばれる探針をある周波数で振動させながら試料に近づけると、カンチレバーと試料の間には共有結合力、静電気力、分子間力などさまざまな力が働きます。カンチレバーが表面との間の力を検出することにより、周波数や振幅に変化が生じます(図1)。

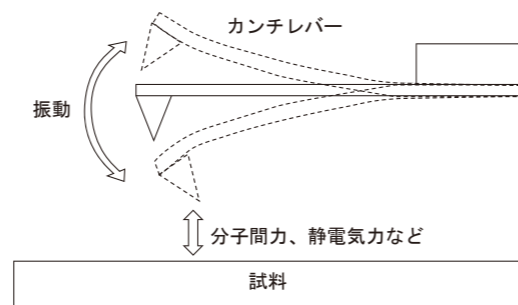


図1 周波数変調方式の原子間力顕微鏡の概念図

この変化を基にカンチレバーを制御することにより、試料表面の状況を知ることができます。通常は微細加工されたシリコン製カンチレバーを用いて、材料の凹凸構造を計測します。カンチレバーに導電性を持たせることにより材料の導電性評価、磁性を持たせることにより材料表面の磁気特性の計測も可能となります。近年では平面状の化学構造を可視化できることが、国際的な総合学術雑誌でも報告されたため、化学反応後の生成物の同定にも使われています。

## ニューラルネットワークによる測定パラメーター推定

原子間力顕微鏡による計測結果には探針-試料間距離、フィードバックパラメーター、探針の振動振幅、接触電位差補償、計測位置といったさまざまなパラメーターが関わってきます。中でも計測においては探針-試料間の最適化が非常に重要です。探針-試料間距離を近づけすぎると計測が不安定となり、場合によっては衝突し、カンチレバーと試料をともに破壊してしまいます。一方、探針-試料間距離が大きすぎると正しい計測ができず、正しい結果が得られません。そこで、熟練者の測定から得られた大量の力と探針-試料間距離依存データを用いてニュー

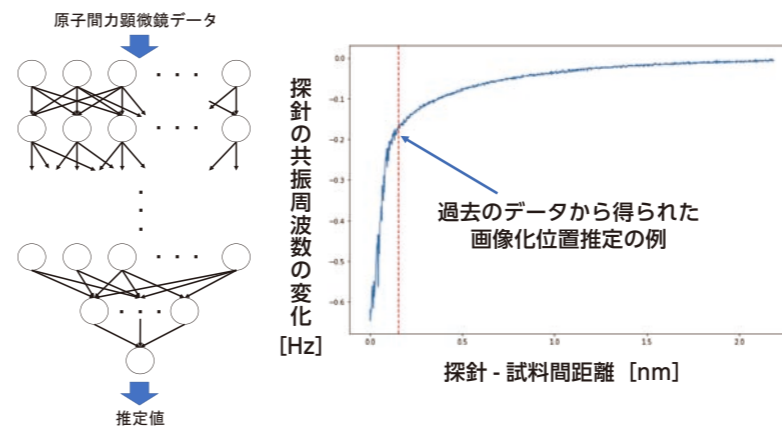


図2 ニューラルネットワークを利用した探針-試料間距離位置推定の例

ラルネットワークを学習し、計測に適切な探針-試料間距離を推定しました(図2)。高分解能計測を行う際には、共有結合力などの距離依存性において非常に強い力を利用します。図2では、過去に原子間力計測で得られた共有結合力が支配的となる領域と、静電気力・分子間力が支配的となる領域を分割する探針-試料間距離を推定しています。このことにより、原子間力顕微鏡の一部を自動化できるようになります。

このように機械学習技術を応用することにより、ノウハウの詰まった大量のデータから、計測に適切なパラメーターを推定することが可能となります。

## 今後の展開

当グループでは機械学習、画像解析技術を応用した測定者の技量によらない自律動作可能な原子間力顕微鏡システムの開発に取り組んでいます。また、一部について大阪大学と協力して実施しています。(担当研究員は大阪大学博士後期課程[社会人]に在籍中。)

機械学習、画像解析技術は今回ご紹介した原子間力顕微鏡だけでなく、さまざまな測定器へ応用可能です。興味を持たれた方は、ぜひ当グループにご相談ください。

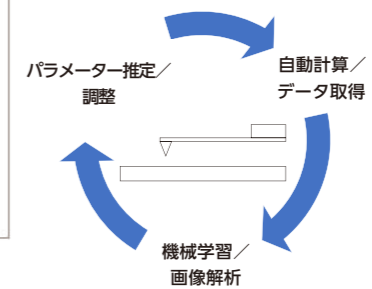


図3 効率的な計測プロセス



情報技術グループ  
研究員  
うえだ けいち  
上田 啓市

お問い合わせ  
情報技術グループ  
(本部)

TEL 03-5530-2540

