

走査プローブ顕微鏡の性能向上を目指した 機械学習によるノイズ処理の検討

Machine-learning-based noise-processing technique in scanning probe microscopy

金沢大・数物¹, 金沢大・WPI-NanoLSI²

°(B)辰田 貴哉¹, 渡邊 信嗣²

Math. & Phys., Kanazawa Univ.¹, WPI-NanoLSI, Kanazawa Univ.²,

°Yoshiya Tatsuda¹, Shinji Watanabe²

E-mail: tatsuda4480712@stu.kanazawa-u.ac.jp

ノイズに埋もれる微小信号の検出手段の開発は、計測分野における普遍的な課題である。古くから様々な手法が考案・評価され、現在も、これからもそのような改善は続いていく。我々は、高速走査型プローブ顕微鏡の性能向上を目的として、リアルタイムの計測情報とそのフィードバック制御が要求されるシステムにおける新しい微小信号検出技術の開発を、機械学習の手法を基盤に推進している。本研究では、走査型イオン伝導顕微鏡（SICM）における信号検出の改善の取組を報告する。

SICM は微小ガラス電極探針から取得されるピコアンペアレベルの電流信号変化を探針-試料表面間距離の関数（これをアプローチカーブという）として計測・記録し、適切なカーブの形状情報が得られたと判断した後に即座に次の計測へ移行する必要がある。ここで取得されたアプローチカーブを解析することで、試料表面のナノ形状、弾性率、表面電荷密度といった局所物性のナノ空間分布が得られる。通常アプローチカーブの計測では、電流変化の値に対して走査フィードバック制御のセットポイントを設定する。電流検出帯域と信号雑音比はトレードオフ関係にあり、高速走査を実施する状況では、信号は大きなノイズに埋もれ、しばしば適切なアプローチカーブ形状が取得できないことが多々ある。本研究では、このようなセットポイントを超える電流ノイズによる計測のエラーを低減する計測アルゴリズムを機械学習の手法を利用して開発することを試みた。まず、ノイズフリーなアプローチカーブ（Figure1 赤線）の特徴量を抽出し、時間的に無相関なノイズに埋もれたアプローチカーブ（Figure1 の緑線）から、主成分分析を利用することで、時間領域の電流計測において、ノイズの中にアプローチカーブが存在することの有無をリアルタイムに判定するアルゴリズムを作成し、その有用性をシミュレーションにより検証した。Figure 1 にノイズに埋もれたアプローチカーブのシミュレーションの例を示す。探針を一定速度で表面に近接することで、表面と探針-表面間距離に依存した電流変化が得られ、このカーブがノイズに埋もれている状況である。従来アルゴリズムでは、セットポイントが黒線のように設定されているとすれば、矢印で示す電流ノイズによりセットポイントを感知し、赤線のようなアプローチカーブ形状が得られることなく、探針が表面から引き抜かれてしまう。一方、新規に考案した機械学習アルゴリズムを適応した結果、このような電流ノイズの混入に対しても適切な形状のアプローチカーブが得られ、本アルゴリズムの有効性が確認された。講演では、シミュレーション結果を詳細に説明し、新規開発したアルゴリズムの有効性について定量的に議論する予定である。

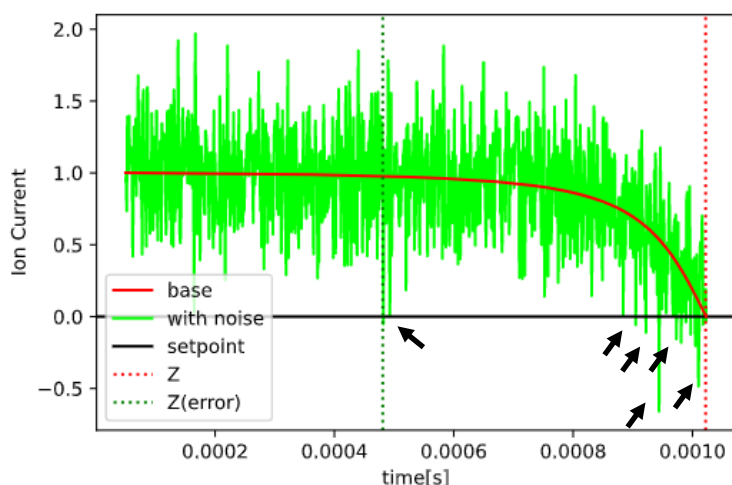


Figure 1: Approach curve with and without noise