

## Spectroscopy Plus による細胞メカニクスの探求

キーワード：粘弾性、力-変位曲線、時間緩和曲線、クリープ、Maxwell モデル

材料の機械的特性の評価は、材料科学、生物学、高分子化学、製薬学など多くの分野において非常に重要です。ナノスケールでの材料評価の主力となる手法は、原子間力顕微鏡 (AFM) による力-変位(F-D)曲線に基づくものです。また、補完的な強力な評価法として、力-時間(F-T)曲線の緩和曲線に基づくものもあり、これは特に柔軟で粘弾性を持つ材料に有用です。ここでは、Nanosurf Studio における Nanosurf の Spectroscopy Plus オプションを使用して生物試料を評価する方法を紹介します。Spectroscopy Plus は、ユーザーが任意の複雑な実験を設計できるようにします。

高分子の設計から生物学における細胞の挙動理解に至るまで、弾性材料特性を探る必要性は極めて重要です。ナノスケールでの材料調査には、F-D 曲線に基づく AFM が広く利用されています。F-D 曲線では、AFM のカンチレバーが材料に押し

込まれ、設定した一定の力に達すると、先端が引き戻されます (図 1a)。可逆的な材料変形の場合、弾性特性、すなわちヤング率は、AFM プローブの加重力と変位の関係から計算されます。このためには、適切な接触モデルを適用する必要があります。接着力や降伏応力、さらにはリガンド-受容体特異性などの分子間相互作用も研究対象となります。

図 1a に示したデータを別の方法でプロットする手法として、F-T 曲線 (図 1b) があります。これは、分子結合の動力学を探る際など、実験において加重速度が重要な場合に有用です。F-T 曲線は、時間に依存した力学プロセスに注目した特性評価の必要がある場合に特に重要となります。このため、F-T 曲線にはセットポイント力に到達した後、待機時間を追加して結合破壊や化学反応、クリープ現象や緩和挙動を観察することがよくあります。長い待機時間は、ドリフト補正や安定化が必要となるため注意が必要ですが、適切に測定された F-T 曲線からは、F-D 曲線では得られない洞察を得ることができます。

本稿で、Nanosurf が提供する Spectroscopy Plus を使用した F-T ベースの AFM の応用例を示します。Spectroscopy Plus により、荷重履歴に依存した材料特性を理解したり、特定の実験パラメーターの影響を調べたりするための新たなレベルの複雑な実験が可能となります。

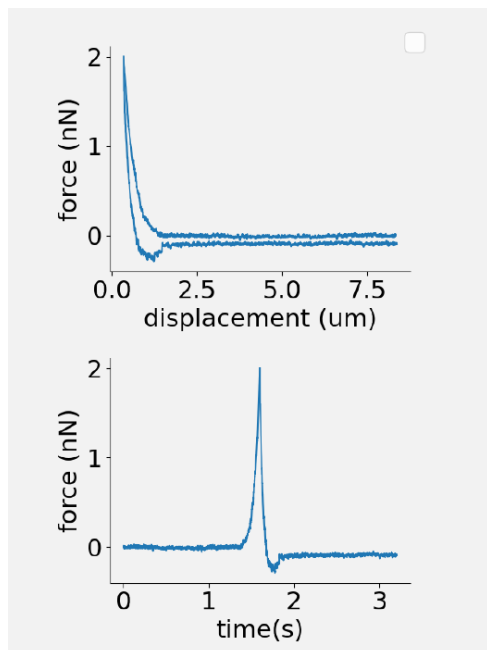


図 1 コロイド AFM プローブを HeLa 細胞に力を加えたときの a) F-D 曲線と、b) F-T 曲線