

# 超解像度顕微鏡の振動雑音制御法

リード・ホイットニー

現地調査からアクティブ振動制御まで、段階を踏むと、超高分解能顕微鏡を安定に保ち、すぐにもデータを収集できるようになる。

振動雑音は、一般に超高分解能顕微鏡を使用している研究者のワークフローを妨害し、サンプルの処理の進行、利用可能なデータの収集を制約する。振動雑音の存在は、完全な顕微鏡ベースの研究プロジェクトに必要なコストと時間に大きく影響する。その結果、振動雑音をコントロールする重要ステップを理解することが重要になる。

- ・ステップ1: 周囲振動雑音を明確にする
- ・ステップ2: 緩和ソリューションを研究する
- ・ステップ3: 震動源を分離する
- ・ステップ4: 顕微鏡を振動から隔離する

これらのステップをたどることで、研究者はワークフローの効率を高め、最も重要なこと、自身の研究に立ち返ることができる。

## 周辺振動雑音の特定

**現地調査:** 現地調査は、ノイズプロファイルの明確化に役立つ。部屋、計測振動、音響干渉、あるいはまた特定計測プロファイルでの電磁干渉 (EMI) ノイズである (図1)。現地調査は、環境コンサルタント、データ取得システムやセンサ (加速度計、マイクロフォン、磁気探知器) を使い現場の専門家が行うことがよくある。これらの計測は、瞬時に環境雑音を捉え、部屋の基準ノイズの予備的理解に適合する。

現地調査は、ノイズを理解するために行われる。それが顕微鏡のノイズ耐

性、つまり最大許容環境仕様に関連するからである。これは、顕微鏡の適切な動作を保証するためにメーカーによって規定されている。収集されたノイズは、顕微鏡のノイズ仕様と対比し、環境が仕様に適合しているかどうか、環境を使用範囲にするために代替的測定が必要かどうかを決める。

**データロギング:** 所定のラボ内のノイズ変動が低いとき、時間内の単発のノイズ計測は、部屋のノイズプロファイルの理解には十分である。しかし、周期的ノイズ源あるいは判定が難しいノイズ事象が存在する場合、データロギングが、研究者が考慮すべきより適切なアプローチである。

データロギングは、環境ノイズ長時間 (例えば、24時間かそれ以上) 計測す

る現地調査である。このプロセスは、周期的に起こるノイズを特定するために行われる。つまり、最終的に選択される振動制御アプローチタイプの構想に役立つ情報である。データロギングは、局所的に実施できる、あるいは遠隔モニタできる。データロギングの難しさは、1つは特定データと個々のイベントとの整合である。加えて、困難のレベルは、どんなデータロギングハードウェアあるいはまたソフトウェアが使用されるかに依存することである。

## 緩和ソリューションの研究

**顕微鏡の移転:** ノイズへの対処で最も安価で一般的な方法は、導入される顕微鏡に、周辺ノイズフロアが低い新たな場所を見つけることである。そうす



図1 この現地情報形式で示したように、現地調査実施成功には、基本的な情報が必要である。部屋の詳細、局所的雑音源、顕微鏡の詳細と位置決め、それに現地調査の実施方法。



図2 顕微鏡を振動から分離するために利用可能なオプションは多い。これらのオプションは、コスト、複雑さ、能力で変わる。

れば、研究者はノイズ源あるいは顕微鏡の緩和ソリューションを見つける必要がなくなる。ソリューションは一般にお金がかかり、研究の時間を奪う。

研究者がこのオプションを追求しない第一の理由は、ノイズプロファイルが低い研究室のスペースに関しては、選択肢がないことである。同様のノイズ問題を抱える近くのラボか、一般に顕微鏡の設置に利用できる場所が存在しないか、いずれかにより、選択は決まってくる。

**雑音源の隔離：**第二緩和ソリューションは、予備計画段階で顕微鏡メーカーがよく直面することがあるが、顕微鏡に加わるノイズ源を他の部屋に隔離することである。音が大きなスクロールポンプ、エアジェネレータ、あるいはエレクトロニクスキャビネットであろうと、データ収集中に重要でない補助的ハードウェアは、顕微鏡のワークスペースから切り離して、別の部屋、あるいはクローゼットに設置するのがベストである。

**ラボの変更：**3番目の緩和ソリューションは、最もコストがかかると考えられるが、ラボそのものの構成を変更することである。顕微鏡下の床板の変更、壁への音響パネルの取付、あるいは部屋のRF遮蔽を含みいずれであっても、ラボの変更は、完璧なソリューション

かもしれない。しかし、大変なコストがかかる。

このオプションの第一の利点は、個々の顕微鏡がこの変更の利点の恩恵を受けるだけでなく、周囲の顕微鏡も同様に恩恵を受けることである。

### 震動源の隔離

緩和ソリューションができない場合、ラボにおける振動ノイズのコントロールでは震動源の隔離が次のステップになる。ラボを移転したり、ノイズ源を隔離したりすると同様に、震動源を隔離することは、ラボのすべての顕微鏡に大きなメリットがある（ただし同等ではない）。HVAC、ポンプ、汎用プロトコル変換装置（UPC）などの音の大きな装置から発生する振動は、他のものよりもある顕微鏡にはより強い影響を与えることがある。つまり、個別周波数に顕微鏡固有の感度があるためである。震動源の全般的な効果と影響を確定するのが難しい震動源を隔離する理由はこういうことである。

**考慮すべき振動減衰ソリューション：**パッシブスプリングあるいはソルボセインラバーなどの振動吸収材料が周辺環境に伝達される振動の量を減らすことができ、これによって部屋のノイズプロファイル全体を低下させ、装置のタイプによっては振動問題が解決され

ることがある。振動ノイズ問題が構造的（例えばビルの共鳴）であるなら、震動源を隔離するためにできることはあまりない。とはいえ、顕微鏡を構造的支持が優れている耐力壁に近づけて設置すると、部屋の中央に顕微鏡を置くよりも振幅が下がる。

**顕微鏡も問題の原因になり得る：**顕微鏡が振動を引き起こすことを念頭に置くことは重要である。つまり、緩んだハードウェアや不十分なケーブル管理に起因するノイズは計測に直接引き込まれる。早期に分かれれば、こうした状況は簡単に、またコスト効果よく対処可能である。たとえ顕微鏡が振動制御システムにサポートされていても、顕微鏡に直接伝わる振動は緩和されない、振動制御システムは、主にフロアの振動に対処するからである。

### 顕微鏡の隔離

さまざまな振動制御ソリューションが利用可能であるが、その環境やサポートされている顕微鏡固有の感度に特有の振動ノイズタイプに依存する（図2）。これらのソリューションは、分離された周波数、含まれる技術的特徴、コストの観点から変わる。最も一般的なソリューションのなかに含まれるものには、以下のものがある。

**パッシブ振動制御（複合材料）：**ソル



図3 アクティブ振動制御システムは、圧電センサ、アクチュエータ、および制御エレクトロニクスを使用して、動的に環境の振動に対処し、上板に位相が異なる逆の力を加える。

ボセインや他の減衰ラバー材料などの材料は、顕微鏡に伝わる比較的高い周波数を減らすことにより、受動的減衰形態を提供する。これらの背後の技術とコストは微小であり、最高精度で使わなかったり、高倍率(1万倍以上)でサンプルに焦点を合わせたりする必要のない顕微鏡にとっては、こうしたソリューションは十分である。

**パッシブ振動制御(バンジーシステム)：**バンジーベースパッシブシステムは、音響エンクロージャ内に組み込んだとき、手頃な価格の振動制御ソリューションとしてうまく機能する。バンジーシステムは、その弾性が隔離される必要がある振動に調整できるので、性能という観点では多様である。研究者がバンジーベースパッシブシステムを使いたがらない1つの理由は、それらが低周波振動制御(<5Hz)を提供しない、あるいは多くの周波数で特に雑音が多い環境における広い帯域のコントロールを提供しないことである。

**パッシブ振動制御(空気ベース)：**空気ベースパッシブ振動制御システムは、ラボでの振動制御では最も人気のあるソリューションである。剛性、密度および振動制御が非常にしっかりした堅牢なワークステーションがあるが、よ

り手頃な価格のデスクトップソリューションにより研究者は、一段とシンプルな形態でかなりの制御を利用できる。

エアベースのワークステーションは、デスクトップ型よりも低周波振動制御性能が優れている。しかし、コストは2~3倍高い。このコスト対性能比から研究者は、使用する顕微鏡の感度と環境の局部雑音に基づいてコストが正当化されるかどうかを判断する機会が得られる。

**アクティブ振動制御(圧電センサ/アクチュエータ)：**アクティブ振動制御システムは、超分解能顕微鏡や絶対精度を要求する他の顕微鏡(図3)でよく選択されるソリューションである。これらのシステムは、すべての回転振動モード(全6自由度)を5Hz以下に隔離する点でユニークである、これはパッシブシステムでは対処できないことである。多くのアクティブ振動制御システムは、約1Hzまで、わずかに0.5~0.7Hzに隔離する。

さらに、アクティブ振動制御システムは、それらが変化する環境に適応するという点で比類がない。これは、圧電センサ、アクチュエータおよび制御エレクトロニクスというコア技術の成果である。局部振動ノイズは、内部の

センサによって計測される。それは制御エレクトロニクスに送られ、位相が異なる逆の力に変換される、それはさらにアクチュエータにより振動制御効果となる。このプロセスは、フィードバックループとして知られている。これはアクティブ振動制御システムにのみ存在する。

### 振動制御が顕微鏡効率を向上させる

振動は、世界中のラボで不可避の妨害であり、それらのコントロールに使う時間は、決して研究者の目的ではない。これらの問題を緩和するソリューションを決定することでさえ、目的のための手段に過ぎない。目的は、研究のために必要な顕微鏡で研究を行うことである。最初から、振動問題とそれへの対処法を正しく理解することは、研究者にとってソリューションを研究する時間の節約になり、多くの緩和ソリューションを試す必要がないので費用の節約になり、本来のワークフローに戻れる。

#### 著者紹介

リード・ホイットニーは、米ヘルザン社(Herzan)の副社長。e-mail:reid@herzan.com  
URL:www.herzan.com