

BL20XU

医学・イメージングⅡ

1. 概要

BL20XUはアンジュレータを光源とした中尺（エンドストッパーまで約250 m）ビームラインである。アンジュレータによる高輝度X線を生かしたイメージング実験が主に行われており、利用分野も生命科学、材料科学、考古学などさまざまである。利用者からは高輝度を生かした高分解能イメージングの要望が強いが、それに応える方法の一つが走査型微分位相顕微鏡で、100 nm以上の分解能が得られている。本年度は、この手法の高度化、特に測定時間の短縮を目的に開発を進めた。

2. 走査型微分位相顕微鏡/マイクロCT装置の開発

2-1 走査型微分位相顕微鏡の原理

微小なビームを被写体に照射して透過ビームを計測する際に、吸収に対応した強度の減少や結晶構造に由来する回折・散乱と同時に被写体を透過するビームの角度変位が観測される。このビーム偏向角は投影像における波面の傾き、すなわち位相の空間微分に対応している。従って、このビーム偏向を精密に測定することにより高感度高分解能位相画像計測が可能である。図1に示すように、マイクロビーム生成にはフレネルゾーンプレート等の集光光学素子を用い、試料透過ビームを離れた位置に置いた二次元検出器（通常はビームモニター+CCDカメラ）で計測する。ビーム偏向角は画像検出器上の集光ビームのfar-field 像の重心（一次モーメント）として求められる。計測される画像 $f(x, y)$ は位相像 $\phi(x, y)$ の微分であり、

$$f(x, y) = (\partial\phi(x, y)/\partial x, \partial\phi(x, y)/\partial y)。$$

ここから経路積分

$$\phi(x, y) = \int f(x, y) dS$$

またはフーリエ変換/逆フーリエ変換

$$\phi(x, y) = F^{-1}[1/(ik)F[\partial\phi(x, y)/\partial x]]$$

により相対的な位相シフト量に変換出来る。

試料は集光ビームの焦点に置き、試料の二次元ラスタスキャンにより二次元位相像が得られる。また、位相シフト量はX線経路に沿った線型和の条件を満たしているため、試料回転を行うことにより第一世代CTスキャン方法での断層像計測も可能である。

2-2 本年度の改良

この手法は以前から開発が進められていたが^[1]、スループットがCCD検出器の読み出しおよびデータ転送速度で制限されており、ユーザー利用装置としては不十分な状態であった。

今回の改良は、

1. 高速CCDカメラ（浜松ホトニクス、C9300-201）による信号読み出し/データ転送時間の短縮
2. On-the-flyスキャンによる試料走査でのdead time解消
3. ステッピングモータコントローラPM16C-04XDLの外部トリガー機能を利用したCCD制御による、制御用PCとモータコントローラ間通信の省略

であり、これによって従来10 points/s程度であったサンパ

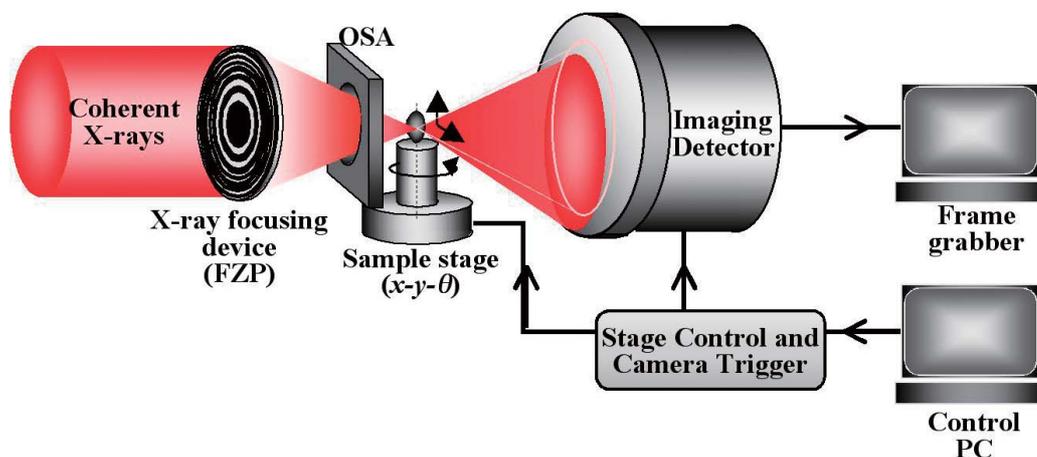


図1 走査型微分位相顕微鏡の装置構成。

リング速度が最大1 kHz程度まで向上した。その結果、1000×1000画素の二次元像が1時間程度で計測可能となり、二次元画像計測、及びCTでの断層像計測が実用になった。

図2に二次元位相イメージの一例を示す。集光光学素子には最外線幅100 nm、直径155 μm のNTT-AT社製のフレネルゾーンプレート (FZP) を用い、X線エネルギー8 keVで行ったものである。集光ビームサイズは約120 nmである。試料はSiN薄膜上に固定した乾燥HeLa細胞である。画像検出器はビームモニタ (AA40P) とCCD (9300-201) の組み合わせであり、8×8 binning、subarrayスキャンにより、32×32画素、160 μm /画素の条件で測定している。集光点から検出器までの距離を1240 mmとして実験しており、この条件では集光ビームのfar field imageはCCD上で、約12×12画素の大きさになっている。

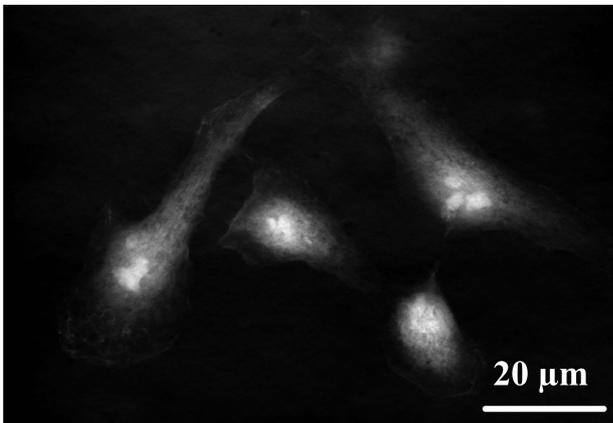


図2 走査型微分位相顕微鏡による位相像。画素サイズ(スキャンステップ)：50 nm × 50 nm、画像サイズ：2000 × 1600画素。露光時間：1 ms/画素、最大スキャン速度：400 Hz、全計測時間：～4 hours、平均スキャン速度：～220 Hz。試料はSi₃N₄窓上に培養し、グルタルアルデヒド (2.5%) にて固定後、臨界点乾燥にて乾燥したHeLa細胞である。吸収像では何も見えないが、位相像では細胞核の内部の核小体まで鮮明に観察出来る。
試料提供：東海大学 伊藤敦教授

3. 展望

走査型微分位相顕微鏡は一般のX線と比較して空間分解能とコントラストにおいて優位性があるが、これまでは測定時間が長すぎるのが最大の欠点であった。今年度の改良によってこの問題は大幅に緩和されたため、今後は毛髪など高分解能を必要とする低コントラスト試料へ応用が広がることが期待できる。

参考文献

- [1] H. Takano, K. Uesugi, A. Takeuchi, K. Takai, and Y. Suzuki : Journal de Physique IV France **104** (2003) 41.

執筆者

利用研究促進部門 バイオ・ソフトマテリアルグループ
鈴木 芳生、竹内 晃久
上杉 健太郎