

BL20B2 医学・イメージング I

1. 概要

BL20B2は偏向電磁石を光源とした中尺ビームラインであり、蓄積リング棟内の上流ハッチ（ハッチ1）および中尺ビームライン実験棟内の下流ハッチ（ハッチ2,3）において、X線マイクロCTをはじめとしたイメージング実験に利用されている。また、光源から200 m以上離れた下流実験ハッチで得られる大きな断面積を持つ単色X線ビームは、大視野でのイメージングに加えて、ステレオイメージングやトリスコピックイメージングのような特殊なX線イメージング技術に応用することが可能である。

2. X線トリスコピックイメージングの開発

試料の3次元情報を計測する際に、一般的にはX線マイクロCTが利用されている。しかし、この方法は試料を回転させながら投影データを取得するため、一つの再構成画像に一定量の時間が必要であり、試料のライブ観察には向いていない。一方で、2次元の単純投影イメージングを用いれば、動的試料をライブで観察することは可能であるが、投影方向の情報（奥行き方向の情報）は積算されてしまうため、3次元的な情報を得ることはできない。この両者の間を埋めるイメージング技術として、試料を異なる方向か

ら同時投影することができるイメージング法の開発を行っている。試料の動きを同時に複数方向から捉えることができれば、1方向からの投影では失われてしまう試料の奥行き方向の情報を復元することが可能であり、ライブイメージングの3次元化も現実味をおびてくる。2011年度の年報では、試料を異なる2方向から同時投影することが可能なX線ステレオイメージングの開発について報告したが、試料を異なる3方向から同時投影することができるイメージング法がX線トリスコピックイメージングである^[1]。CT再構成の原理からも明白のように、試料の3次元情報を2次元の投影像から復元する際に、異なる投影角度からの情報が多ければ多いほど、構造情報を精度良く再構築する上で有利となる。

X線トリスコピックイメージングの光学系写真を図1に示す。BL20B2の実験ハッチ3において、自然発散により水平方向に大きく広がった入射X線ビームの両端にSi(111)の平板結晶(200 mm × 50 mm × 5 mm)を配置し、結晶に入射したビームをBragg反射させることで進行方向を変える。これにより、2枚のシリコン結晶による2つの反射ビームと、結晶間を直進するビーム、合わせて3本のX線ビームを作り出すことができる。3本のX線ビームが1ヵ所で交

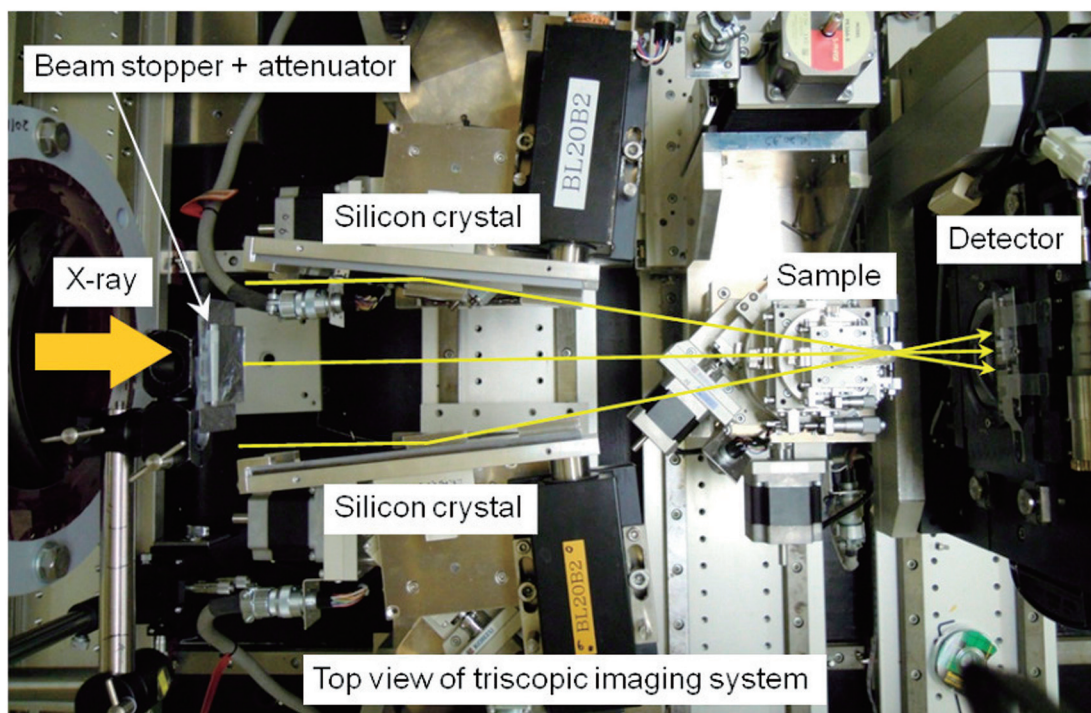


図1 X線トリスコピックイメージング光学系

差するように調整し、その交差点に試料を設置することで、試料を異なる3方向から同時に投影することが可能となる。X線エネルギーは15 keVから25 keV程度で調整可能であり、20 keVにおいて撮像視野20 mm × 20 mm程度が得られる。この場合、横視野の大きさは、結晶のアクセプタンスに依存する。ビームの進行方向を変化させるSi(111)平板結晶表面にはラップ研磨が施されており、実効的なロッキングカーブ幅を広げることにより、入射X線ビームの発散角および二結晶分光器の熱負荷によって生じる僅かなエネルギー分散が、反射ビーム幅に与える影響を低減している。また、平板結晶を僅かにベントさせることにより、反射ビーム強度分布の補正を行っている。交差点直後に画像検出器を設置することで屈折の影響がほとんど無い吸収コントラストによる測定(図1参照)、交差点から離れた位置に検出器を設置することで屈折コントラストによる測定が可能である。屈折コントラストにおける測定では、試料から離れた検出位置において各ビーム間の距離が離れてしまうため、各ビームをそれぞれ独立した画像検出器で計測し、外部トリガーにより3台の検出器の撮像タイミングを同期することにより、3方向からの同時投影イメージングが可能となる。

X線トリスコピックイメージングにおける撮像例として、生きたマウスの人工呼吸条件下における時系列イメージングの様子を図2に示す。3台の画像検出器を用いた屈折コントラストによる測定で、実効ピクセルサイズは13.2 μm 、視野は13.2 mm角である。通常の投影イメージングであれば、試料に対してある1方向からのみのライブイメージングであるが、X線トリスコピックイメージングを用いることにより、異なる3方向からの投影情報を得ることができている。

3. まとめと今後の展望

BL20B2の特徴を活かしたX線トリスコピックイメージングを開発することにより、ライブイメージングにおいても、試料の3次元情報を加味したイメージングが可能となった。X線トリスコピック画像からの試料の3次元情報(奥行き方向の情報)の再構築方法については、画像相関法やトモンセシスの再構成原理を基にした方法を用いて開発を行う予定である。

参考文献

- [1] M. Hoshino, T. Sera, K. Uesugi and N. Yagi: *JINST* **8** (2013) C05002.

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

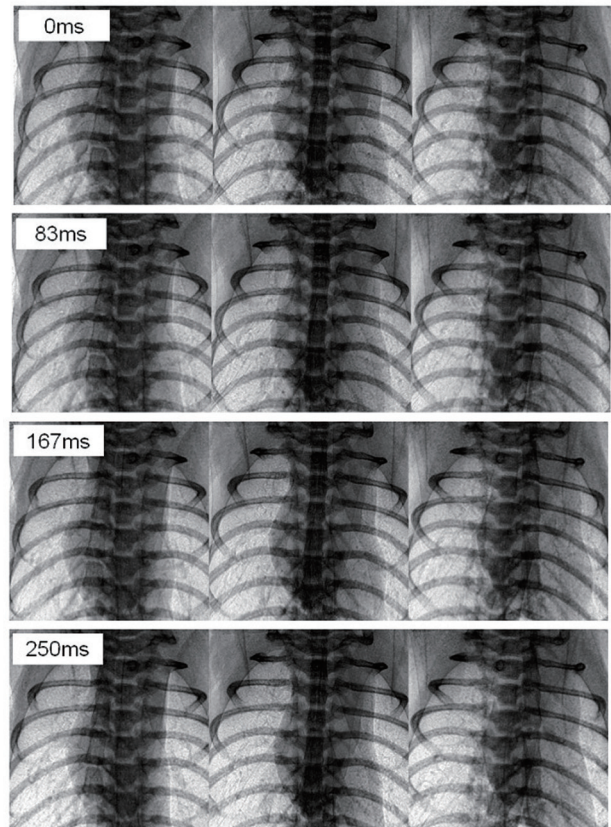


図2 人工呼吸条件下におけるマウス胸部の時系列X線トリスコピック画像。スケールバー: 5 mm