

BL40XU 高フラックス

本ビームラインはヘリカルアンジュレータを光源とし、分光器を使用せずに2枚の全反射ミラーでビームを集光することにより、擬似単色の高輝度X線ビームを使用できるビームラインである。このビーム特性を活かして、回折、散乱、XAFS、イメージングなど、多様な利用実験が行われている。本ビームラインには共同利用実験に供されている実験ハッチ1と、CREST研究プロジェクトにより建設された実験ハッチ2がある。

1. 実験ハッチ1

実験ハッチ1では、非結晶試料の時分割X線回折、1分子計測、マイクロビーム回折実験等が行われている。

1-1 ガルバノX線シャッター導入

高輝度のX線ビームを利用し、高時間分解能の回折散乱実験が行われているが、高輝度X線により生体試料が損傷を受けることはよく知られている。不要なX線照射を回避するために、高速X線シャッターが必須である。従来、市販品のメカニカルX線シャッターを運用してきたが、シャッター自身もX線による損傷を受け、シャッターの遅延タイミング誤差が徐々に大きくなるなどの問題があった。そこで、長期運用に耐えうるガルバノスキャナを用いたX線シャッターを開発、導入した。その概観を図1-(A)に示す。タンタル製・板(厚さ1 mm、幅4 mm、高さ4 mm)を回転動作させることで高速X線シャッターとして利用する。実際にX線ビームを照射させ、その開時間と遅延タイミングのばらつきについて評価した。透過X線強度は、PINダイオードを用いて測定し、透過強度が1割から9割に達するまでの時間を開時間、シャッターの開・指令タイミングから透過強度が50%になるまでを遅延時間として評価した。ガルバノシャッターについては扁平なX線ビーム(横200 μm 、縦50 μm)に対して、縦、横それぞれに遮る方向に配置し比較した。導入したガルバノX線シャッターの開時間は400 マイクロ秒程度で、従来のX線シャッターの300マイクロ秒と比較しても遜色なく動作した。また、遅延タイミングのばらつきについては数マイクロ秒に抑えられている。市販・高速シャッターの遅延タイミングのばらつきは40マイクロ秒程度であったが、1年間運用した後の実測値である。X線照射によるブレード損傷が駆動部の摩擦に影響を与え、遅延タイミング誤差の増大を引き起こすものと考えられる。ガルバノX線シャッターでは、そのような問題は回避できるため、長期運用に耐えら

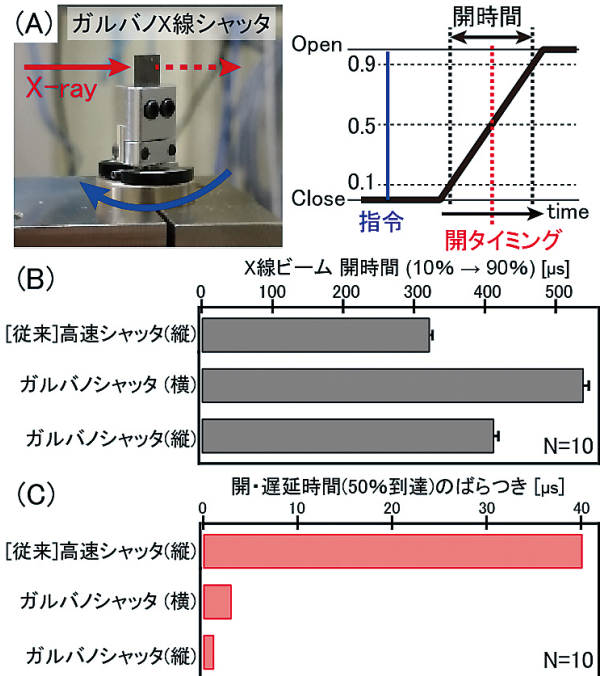


図1 ガルバノX線シャッター。(A) シャッターの概観(左)と評価方法(右)(B) シャッターの開時間評価 (C) シャッターの遅延時間のばらつき評価

期待できる。

1-2 薄型ピクセルアレイ検出器の導入

薄型で小型(厚さ20 mm、幅70 mm、高さ115 mm)のピクセルアレイ検出器 Modupixを新たに導入した。Modupixは、CERNで開発されたTimePixチップをベースとしており、ピクセルサイズ55 μm 角で検出面積14 mm角(256 \times 256ピクセル)である。各ピクセルに入射したフォトン数を数えるフォトンカウンティングモードの他に、各ピクセルに到達したフォトン到達時間を記録するToA (Time of Arrival) モードが利用できる。小型でデータ読み出し時間5 ミリ秒程度で利用できるため、小角・広角同時計測時の広角高速測定用の検出器としての利用を検討している。またToAモードを利用し、回折点の動きを高速に捉える実験などへの応用を試みている。

2. 実験ハッチ2

実験ハッチ2では、ピンポイント構造計測装置を利用した集光X線による極微小単結晶構造解析や、シングルバンチからのピコ秒X線パルスを利用した次世代エンジンの燃料噴射ノズル開発のためのX線イメージング実験、

レーザーによる半導体のポンププローブ実験が行われている。

2-1 X線チョッパーシステムの導入

シングルバンチを切り出すために Forschungszentrum Jülich 製の X 線パルスセレクターが利用されてきたが、老朽化により安定性の問題が生じてきたため、以前より開発が行われていた X 線チョッパーシステム (図2左) を導入して、安定した高繰り返し周波数でのパルス X 線切り出しを行えるようにした。

X 線チョッパーは水平面内で回転する円盤に深さの異なる 2 種類の溝が掘ってあり、X 線が通過する位置によって、1000Hz または 2000Hz でのシングルバンチ切り出しが可能となっている (図2右)。

架台には XZ ステージと回転ステージ、スイベルステージを使用し、それぞれのスキャンによって円盤の溝と X 線を一致させるように調整を行う。また、タイミング制御用のソフトウェアは National Instruments 社の Labview で製作され、蓄積リングの RF 信号とモータの位置信号のタイミングを計測し、制御用コントローラへ修正コマンドを送信してフィードバックを行っている。

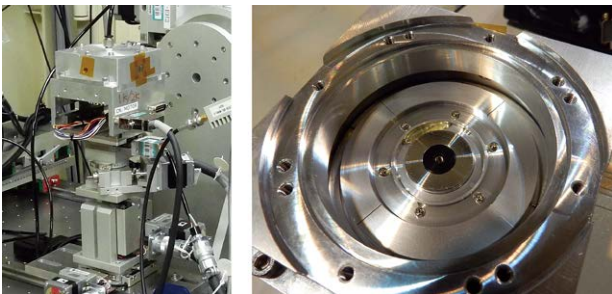


図2 新規導入した X 線チョッパー (左) と X 線チョッパーの円盤部 (右)

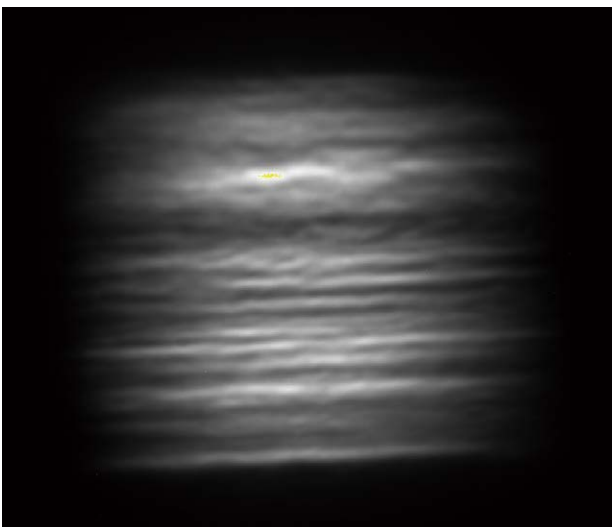


図3 ハッチ1に設置した場合の大面积ビーム (検出器の観察領域 $1 \times 1 \text{ mm}$)



図4 超長作動ズームレンズ

装置が小型化されたことで実験ハッチ1と2への移動が簡便になり、ハッチ1に X 線チョッパーを設置してミラー集光によって X 線チョッパー位置から広がってくるサイズの大きな X 線 (試料位置サイズ $0.8 \times 0.8 \text{ mm}^2$ 、図3) や、ハッチ2に X 線チョッパーを設置して試料位置にミラー集光することによる高強度の集光 X 線 (試料位置サイズ 縦 $23 \times$ 横 $280 \text{ }\mu\text{m}^2$) の利用が可能である。また、ゾーンプレート集光によるマイクロビームと組み合わせた利用も可能である。

既にユーザーへの提供を開始しており、X 線チョッパーを利用した高繰り返しの時間分解測定実験が実施されている。

2-2 超長作動ズームレンズの導入

ピンポイント構造計測装置は集光 X 線と試料との高い位置合わせ精度の必要性から、試料を X 線と同軸方向から観察する方式を採用しており、X 線照射時には試料観察ができなかった。また、測定時には試料周辺に検出器などが接近しており、通常の作動距離の望遠鏡を導入することは難しかった。この問題を解決するために、作動距離 205 mm のユニオン光学製の超長作動ズームレンズを導入して、X 線照射中の試料観察ができるようにした (図4)。本システムの導入により測定時の試料観察とともにレーザー照射実験のようにレンズ類が試料周辺にある場合においても遠方から試料を観察できるようにした。

利用研究促進部門

バイオ・ソフトマテリアルグループ

関口 博史・岩本 裕之・青山 光輝

ナノテクノロジー利用研究推進グループ

安田 伸広