

BL40XU改修 (SAXS ID) について

公益財団法人高輝度光科学研究センター 回折・散乱推進室 関 口 博 史、増 永 啓 康

Abstract

高輝度・準単色光を利用して多目的に利用されてきたBL40XUは、2024年度後半から改修を進め、2025年10月からSAXS専用のビームラインとして共用が開始された。SAXSコミュニティにとって待望されていた共用のSAXS専用アンジュレータBLである。この改修では、SPring-8-IIでの利用を見据えて光源を標準アンジュレータへ更新し、退避可能なDCCMの設置、マイクロビーム集光用のWolterミラーの設置、10 mカメラ長への拡充を行った。これらにより、高分子材料の動的過程の追跡や、その場測定による構造形成過程の解析が可能となり、材料科学、生命科学、環境科学など幅広い分野での研究展開が期待される。

1. はじめに

2000年4月の共用開始から、ヘリカルアンジュレータからの準単色X線を用いて多目的に利用されてきたBL40XU (High flux)^[1]は、2024年12月から2025年3月までの大幅な改修を経て、小角X線散乱専用BL40XU (SAXS ID) としての共用を2025年10月に再始動させた。BL40XU改修は、SPring-8 サイト内のSAXS-BL再編の一環で計画され^[2,3]、SAXSコミュニティやSPRUC研究会、ユーザーからご意見いただき、仕様を策定した。従来のBL40XUでは、実験ハッチ1 (EH1) でSAXS/WAXS計測を、実験ハッチ2 (EH2) で単結晶構造

解析を主にサポートしてきたが、SAXS専用BLへの改修にあたって、BL40XU EH2に設置していた回折計は撤去された。単結晶構造解析のアクティビティはBL05XUへ移設され、2025B-III期からの共用開始に向けて準備が進められている (図1)。

2. 改修した点

改修後のBL40XUのレイアウトを図2に示した。主な改修内容は、SPring-8-IIでの運用を想定した標準アンジュレータ (IVU-II, 周期長28 mm)^[4]への更新、退避可能なDCCM (Double Channel-Cut Monochromator) の設置、SAXSカメラ位置へのソフト集光可能なベンディングミラー (M1h, M3v) の設置、サンプル位置へマイクロビーム集光可能なWolterミラー (M5w) の設置、EH2下流への検出器用ブースの新設、カメラ距離 (2.2 m, 4 m, 10 m) の切り替えが可能な常設SAXS測定システムの導入などである。

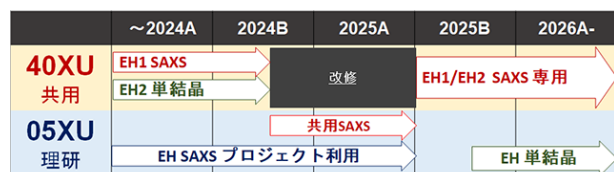


図1 BL40XU改修スケジュール

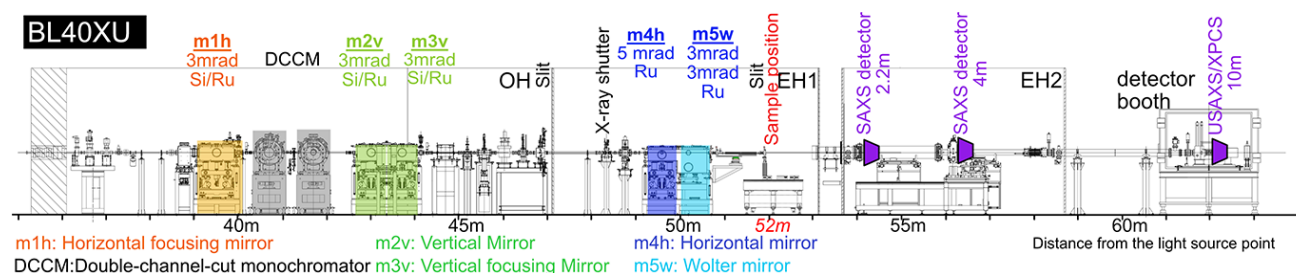


図2 改修後のBL40XUレイアウト

	BL40XU (High flux) 改修前	BL40XU (SAXS ID) 改修後
光源	ヘリカルアンジュレータ	標準アンジュレータ (IVU-II 周期 28 mm)
X線	8~15 keV 準単色光のみ (1.0×10^{15} phs)	8~18 keV 準単色* (1.0×10^{15} phs)・単色光 (1.0×10^{13} phs) 切替
マイクロ ビーム	5 μ m ϕ (ピンホール切り出し, $\sim 10^{12}$ phs)	5 μ m x 1.5 μ m (Wolter mirror 集光, 8~12.4 keV, $\sim 10^{12}$ phs)
カメラ長	最大 3.5 m	最大 10 m (2.2 m, 4 m, 10 m)
特徴	多目的利用 高フラックス 高時間分解測定	SAXS/WAXS 専用 マイクロビーム利用 10 m カメラ長 XPCS 利用

表1 改修前後のBL40XU仕様の相違 *準単色光の利用を希望される場合は、課題申請時にビームライン担当者と打ち合わせを必要とする。

サンプル位置は、EH1 下流（光源から 52 m 位置）に固定され、SAXS 切り替えパスが常設されたため、切り替え時間の短さを活かした効率的な運用が見込まれる。

改修前後のBL40XU仕様の相違を表1に示した。SAXS ユーザーには、DCCM による準単色ビーム・単色ビームの切り替え、マイクロビームの利用、またカメラ長 4 m, 10 m の測定が可能となった点を活用いただきたい。

Wolter ミラーによるマイクロビーム集光についての水平ビームサイズは、光源から 33 m の距離にあるフロントエンドスリットの開口幅を 0.05 mm にした際のビームサイズ（表1）を記載しているが、開口幅を 0.01 mm とすることで、水平集光サイズは 2 μ m 程度まで絞ることが可能となる（フラックスは 1.0×10^{11} phs 程度）。

2025 年 10 月現在、SAXS 検出器として PILATUS 1M（最大 25 Hz, Dectris）と PILATUS3 X 100kA（最大 500 Hz, Dectris）、WAXS 検出器として EIGER 2S 500k（最大 40 Hz, Dectris）を利用可能である。図3にカメラ長 2.1 m および 4 m に PILATUS 1M を配置した際に、入射 X 線波長 0.1 nm 利用時のベヘン酸銀散乱像と、各カメラ長における取得可能な q レン

ジを示した。検出器は、高時間分解計測が可能な CITIUS 検出器（最大 17.4 kHz）^[5] を段階的に導入する予定である。まずは X 線光子相関分光法（XPCS）用として CITIUS 840k をカメラ距離 10 m に設置し、その後 WAXS、SAXS 用を順次配置する予定である。

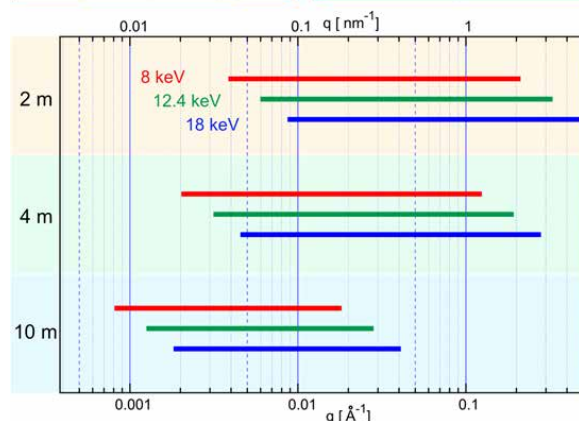
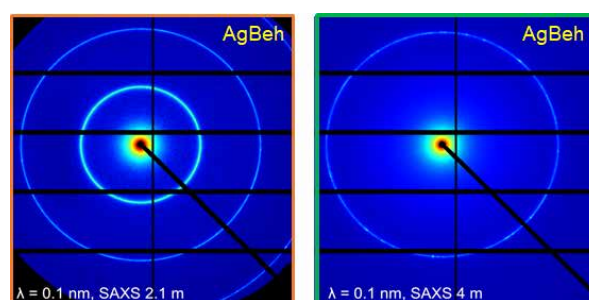


図3 SAXS/USAXSのqレンジ

3. 実際の利用

実際の利用にあたって、持ち込み装置の利用やサンプル周辺の情報について共有したい。サンプル定盤は、高さ80 cm, 光軸方向136 cm, 直交方向100 cmの寸法で、定盤上に、スリットやサンプル、検出器用のキャリアがスライドレール上に配置させている。X線ビームは床面から約1400 mm高さを地面と平行に通るため、定盤から600 mm キャリア面上から465 mm上を通る。従来のBL40XUユーザーが持ち込んだものはすべて対応できる仕様となっている。また、サンプル周りの機器については、共用機器としての整備も進めており、溶液試料を瞬時に混合可能なストップフロー装置 (SFM-4000, BioLogic)、粘弾性サンプルにせん断をかけることのできるレオメータ (MCR302e, Anton Paar) や、温調可能な引張延伸ステージ (10073A, ジャパンハイテック) が利用できる。

4. おわりに

2024年12月から進めた改修を経て、2025年10月からSAXS専用BLとして共用が始まったが、改修の全てが終わったわけではない。今後はCITIUS検出器によるSAXS/WAXS同時測定システムの導入が計画されている。CITIUS検出器を段階的に導入することにより、最終的には時間分解能はサブミリ秒、空間分解能はSAXSで1–1000 nm、WAXSで0.2–1 nmを達成する。これにより、高分子材料の動的過程の追跡や、その場測定による構造形成過程の解析が可能となり、材料科学、生命科学、環境科学など幅広い分野での研究展開が期待される。このリニューアルは、次世代の材料開発における重要な研究基盤となることが見込まれる。

謝辞

本ビームライン改修にあたっては多くの方々のご尽力をいただきました。光学系全般に関しては、特に、理化学研究所の大坂泰斗様、JASRIの大橋治彦様、仙波泰徳様、山崎裕史様、清水冴月様、坪田幸士様のご協力をいただきました。CITIUS検出器導入にあたっては、理化学研究所の初井宇記様、本城嘉章様、JASRIの城地保昌様、西野玄記様、桑田金佳様にご

協力をいただきました。本ビームラインアップグレード全体につきまして、理化学研究所の矢橋牧名様、JASRIの登野健介様のご協力をいただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- [1] SPring-8/SACLA 利用者情報 **05** (2000) 189-193
- [2] SPring-8/SACLA 利用者情報 **25** (2020) 259-261
- [3] SPring-8/SACLA 利用者情報 **26** (2021) 261-264
- [4] K. Imamura *et al.*; *J. Sync. Rad.***31** (2024) 1154-1160.
- [5] T. Hatsui *et al.*, in preparation

関口 博史 *SEKIGUCHI Hiroshi*

(公財) 高輝度光科学研究センター
回折・散乱推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0833
e-mail : sekiguchi@spring8.or.jp

増永 啓康 *MASUNAGA Hiroyasu*

(公財) 高輝度光科学研究センター
回折・散乱推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0833
e-mail : masunaga@spring8.or.jp