

2013B1924

BL08W

BL08W（高エネルギー非弾性散乱）の現状（2014）**Present Status of BL08W (2014)**

伊藤 真義、Marek Brancewicz、櫻井 吉晴

Masayoshi Itou, Marek Brancewicz, Yoshiharu Sakurai

(公財) 高輝度光科学研究センター・利用研究促進部門・構造物性Ⅱグループ

Materials Structure Group II, Research & Utilization Division, JASRI

高エネルギー非弾性散乱ビームライン (BL08W) は、SPring-8 唯一のウィグラーを光源とし、直線偏光または楕円偏光の 100~300 keV の高エネルギー X 線を使用することができるビームラインである。主な利用研究は高エネルギー非弾性散乱 (コンプトン散乱) 測定による物性研究であり、他にも高エネルギー X 線を利用した蛍光 X 線分析、X 線回折測定、X 線 CT 測定や、高エネルギー X 線用光学素子や検出器の開発・評価実験に利用されている。また、X 線コンプトン散乱を用いた物体内部の構造変化や化学反応分布の分析手法の開発が進められている。2013 年度における主な高度化は屈折レンズの開発である。

キーワード：高エネルギー X 線、コンプトン散乱、屈折レンズ

I. 基本性能と実験装置

(詳細は、

http://www.spring8.or.jp/wkg/BL08W/instrument/lang/INS-0000000432/instrument_summary_view

を参照)

光源は SPring-8 唯一の楕円偏光ウィグラーであり、磁場周期長 120 mm、周期数は 37 である。運用上の最少ギャップ値は 25.5 mm であり、この時のクリティカルエネルギーは 42.7 keV である。分光器は 2 器有しており、光学ハッチ上流側に実験ステーション A 用 110 - 300 keV 非対称 Johann 型分光器、下流側に実験ステーション B 用 100 - 120 keV 二重湾曲分光器を設置している。下流側分光器 B を使用する場合は上流側分光器 A を光軸より退避させる必要があり、両分光器を同時に使用することはできない。

表 1 ビームラインの基本性能

実験ステーション A

エネルギー領域	110 - 170 / 170 - 270 / 270 - 300 keV
エネルギー分解能	$\Delta E/E \sim 1 \times 10^{-3}$ (@E = 115 keV)
フラックス	5×10^{12} ph/s (X 線エネルギー 115 keV、蓄積電流 100 mA の条件)
ビームサイズ (半値全幅)	0.5 mm (水平) \times 3.0 mm (垂直) (X 線エネルギー 115 keV、発光点から 40 m 位置での値)

実験ステーション B

エネルギー領域	100 - 120 keV
エネルギー分解能	$\Delta E/E < 1 \times 10^{-3}$ (@E = 115 keV)
フラックス	5×10^{12} ph/s (X 線エネルギー 115 keV、蓄積電流 100 mA の条件)
ビームサイズ (半値全幅)	2.0 mm (水平) \times 0.5 mm (垂直) (X 線エネルギー 115 keV、発光点から 50 m 位置での値)

図 1 に、光学系・実験ステーションレイアウトと各種スペクトロメータを示す。使用できる実験装置は、3 T 超伝導マグネット、10 K 試料冷凍機、Cauchy 型分光器、多素子半導体検出器、X 線イメージインテンシファイアカメラなどがある。実験ステーション A 内には、高速反転型超伝導マグネットが下流部に常設されており、主に磁気コンプトン散乱実験に用いられている (図 1 (a))。ステーション上中流部は 3 m \times 3 m ほどのフリースペースがあり、各種スペクトロメータを持ち込んで、使用することができる。高エネルギー蛍光 X 線分析はこのスペースで行われる (図 1 (b))。実験ステーション B 内には、高分解能コンプトン散乱スペクトロメータが常設されている (図 1 (c))。

ビームラインにはコンプトンプロファイル解析プログラムと磁気コンプトンプロファイル解析プログラムが整備されている。また、コンプトンプロファイルや磁気コンプトンプロファイルなどの計算が可能な、FLAPW 法のバンド理論計算に基づく電子状態解析システム (BANDS01: Band Analyses for Newmaterials Design System) が導入されており、SPring-8 内で利用できる。

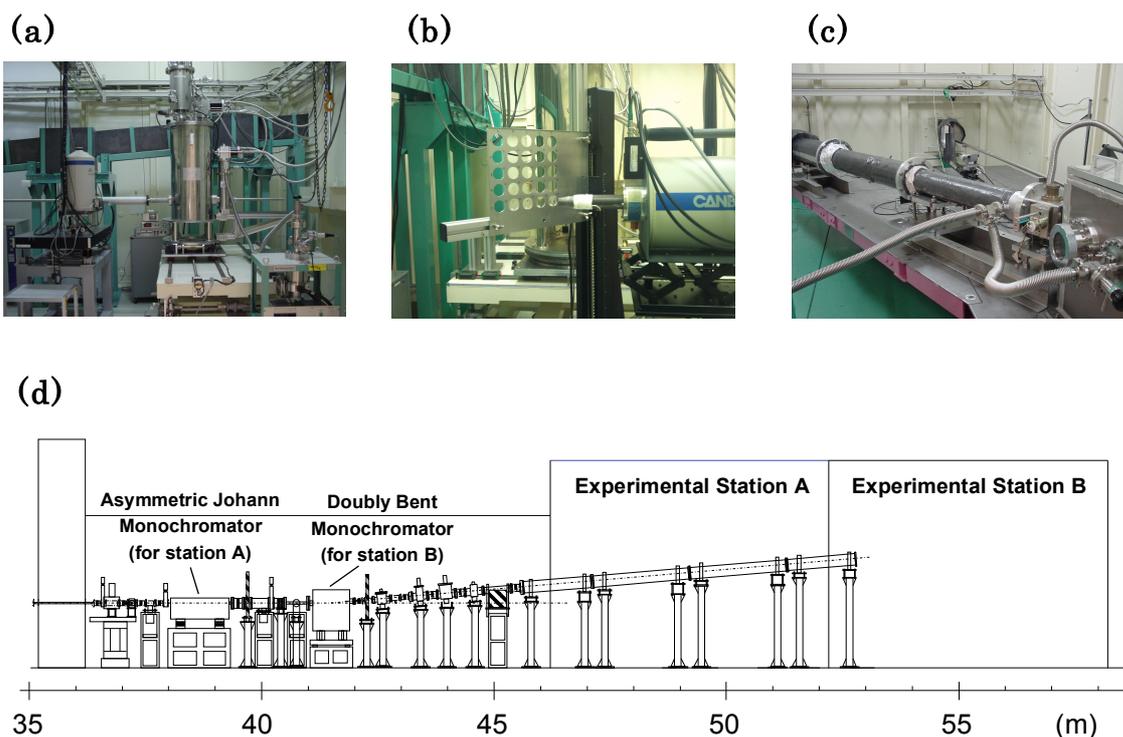


図1 (a) 磁気コンプトン散乱スペクトロメータ、(b) 高エネルギー蛍光 X 線スペクトロメータ、(c) 高分解能コンプトン散乱スペクトロメータの外観、(d) 実験ステーションを含む BL08W 光学全体レイアウト。実験ステーション B の高分解能コンプトン散乱スペクトロメータは常設だが、実験ステーション A で使用される各種スペクトロメータは退避可能である。

II. 利用状況

2013A 期と 2013B 期を合わせて 27 課題が実施された。採択率は、2013A 期、2013B 期それぞれ、39.1%、47.8%であった。図 2 (a)に、全課題に対する各測定手法の課題数の割合を、図 2 (b)には、全ビームタイム（施設留保含まず）に対する各測定手法のビームタイムの割合を示す。コンプトン散乱実験 14 件（内、波長分散型スペクトロメータ（HRCP）使用 7 件、エネルギー分散型検出器（CP）使用 7 件）、磁気コンプトン散乱実験（MCP）7 件、蛍光 X 線分析（XRF）5 件、その他装置開発が 1 件と、多種の実験手法による課題が実施された。

成果公開優先利用課題が 2013A 期と 2013B 期を合わせて 2 課題（ビームタイムの 8.4%）実施された。また、長期利用課題として、“Development of spin-resolved Compton scattering in high magnetic fields: probing the orbitals in complex oxides”（実験責任者：Jonathan Duffy）の課題が実施された。

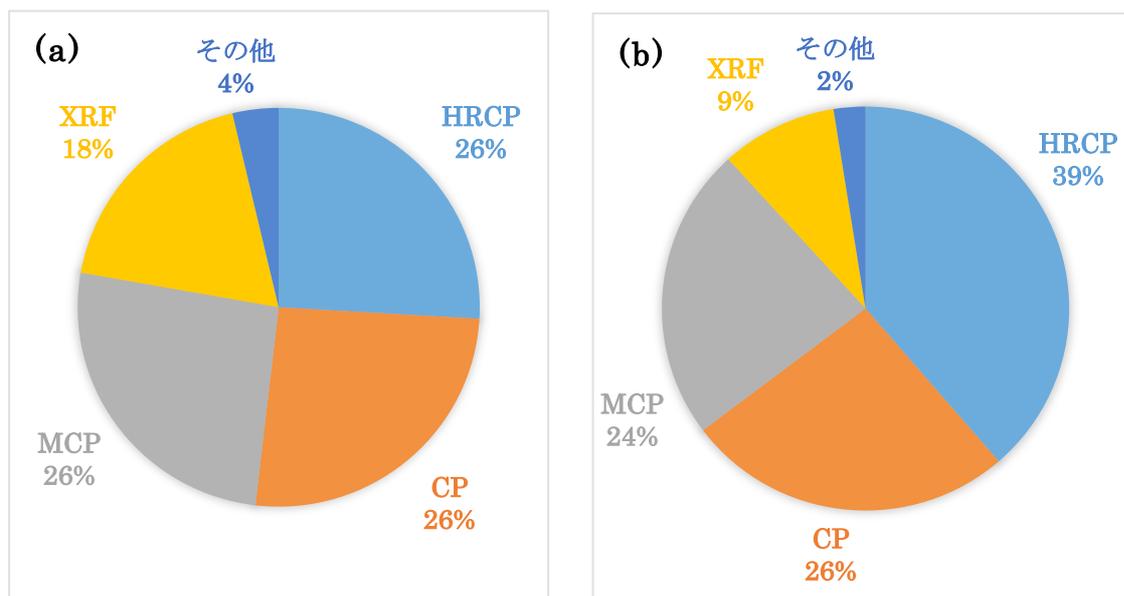


図 2 (a) 全課題数に対する各測定手法の課題数の割合、(b) 全ビームタイム（施設留保含まず）に対する各測定手法のビームタイムの割合

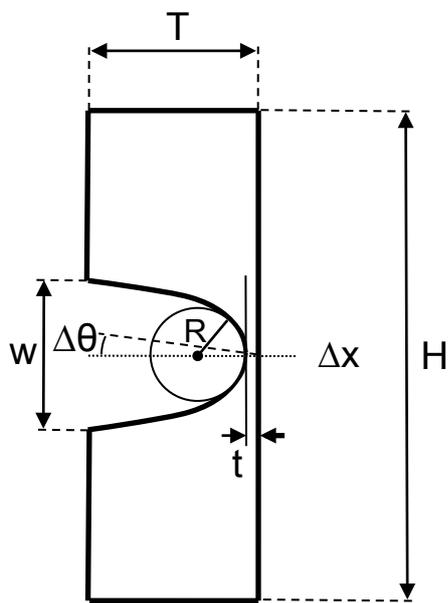
Ⅲ. 高度化の実施内容と成果

115 keV 用屈折レンズの開発：

実験ステーション A 用非対称 Johann 型分光器は縦方向について X 線集光機能を持たない。縦方向を集光し、微小試料・微小視野の観察の要求に応えるために、縦方向の一次元集光を行う複合屈折レンズの開発を行っている^[1,2]。開発目標は、115 keV の X 線に対して、集光サイズ 10 μm 以下、ゲイン 8 である。ここでゲインは、集光 X 線プロファイルの半値幅と同じ幅のスリットを通った X 線ビームの積分強度を 1 としたときの集光 X 線ビームの積分強度の値として定義した。本複合屈折レンズの評価のために、インハウス課題 2013B1924 を実施した。今回、製作・評価した複合屈折レンズは、A. Andrejczuk 博士 (Bialystok 大学、ポーランド) と共同で JASRI にて設計、長峰製作所にて製作された試作品である。図 3 に Ni レンズ単体の設計パラメータ、図 4 に試作品の外観写真を示す。レンズ本体はニッケル製であり、機械プレス加工にて作成された。レンズの曲率半径は 20 μm 、積層枚数は 54 枚である。これは、レンズ自体による吸収を軽減し実効ゲインを稼ぐためレンズ枚数を可能な限り少数にしたいという要求と、製作上の技術的制限から導かれた値である。シミュレーションに基づくレンズの性能理論値は、集光サイズ 2 μm 、ピークゲイン 35 である。評価実験は、BL08W 実験ステーション A にて 115 keV X 線を使用し、実験ステーション内上流部に複合屈折レンズを設置して行った。透過光イメージの取得には浜松ホトニクス AA-40 を、集光サイズ・ゲインの評価は、タングステン製ブレードによるナイフエッジ法を用いた。実験の結果、このレンズ性能は、集光距離 2900 mm、集光サイズ 9.0 μm 、ピークゲイン 6.5 であった。集光サイズが広がったことにより、ピークゲインが減少しているが、透過強度は理論

値の 90%程度を得ることができ、集光サイズの劣化はあるが、開発目標の性能に近いレンズであることが確認できた。図 5 に集光点におけるビームイメージを示す。スリットによって整形した縦幅 $10\ \mu\text{m}$ の X 線に対し、レンズで集光した X 線は明らかに強度が向上していることがわかる。今後は、集光サイズを理論値に近づけるために、レンズ表面精度と 54 枚の Ni レンズ板の設置精度を向上させる予定である。

本複合屈折レンズは、常時ビームラインに設置されているものではないが、ユーザーの希望があれば使用することができる。実験ステーション A であれば、ほぼ全ての実験に利用できる。また、このレンズの評価を踏まえ、実用機的设计・製作を行う予定であり、高エネルギー X 線コンプトン散乱測定による試料内局所部分の観察実験装置などに使用する予定である。



記号	適用	値
H	Ni レンズ単体のサイズ	30 mm
T	Ni レンズ単体の厚さ	0.6 mm
R	曲率半径	$20\ \mu\text{m}$
t	バーテックス位置の厚さ	$< 5\ \mu\text{m}$
Δx	Ni レンズ単体の設置位置 許容誤差	$\pm 10\ \mu\text{m}$
$\Delta\theta$	Ni レンズ単体の設置角度 許容誤差	$\pm 10\ \text{mrad} (*)$
W	入射側の物理 アパーチャー	$> 230 + 2\Delta x\ \mu\text{m}$

(*) 垂直線からの許容角度

図 3 Ni レンズ単体の設計パラメータ

(注：見やすくするために、左図では曲率半径 R を大きくして描いた。)

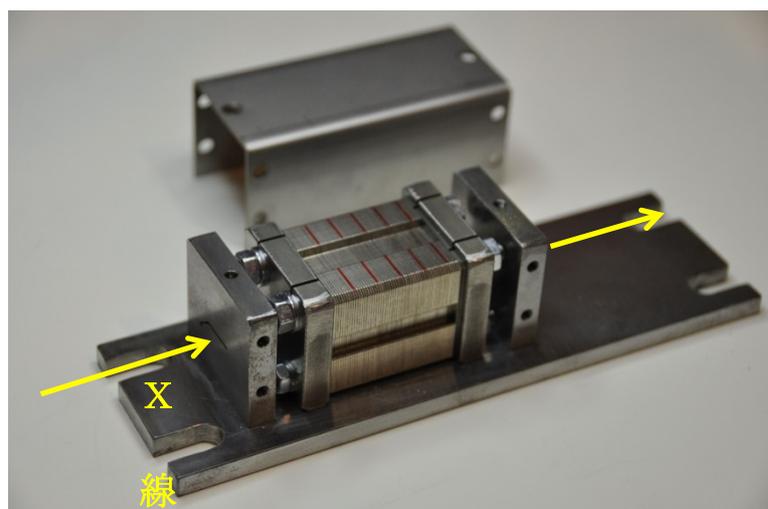


図4 Ni製複合屈折レンズ（試作品）外観

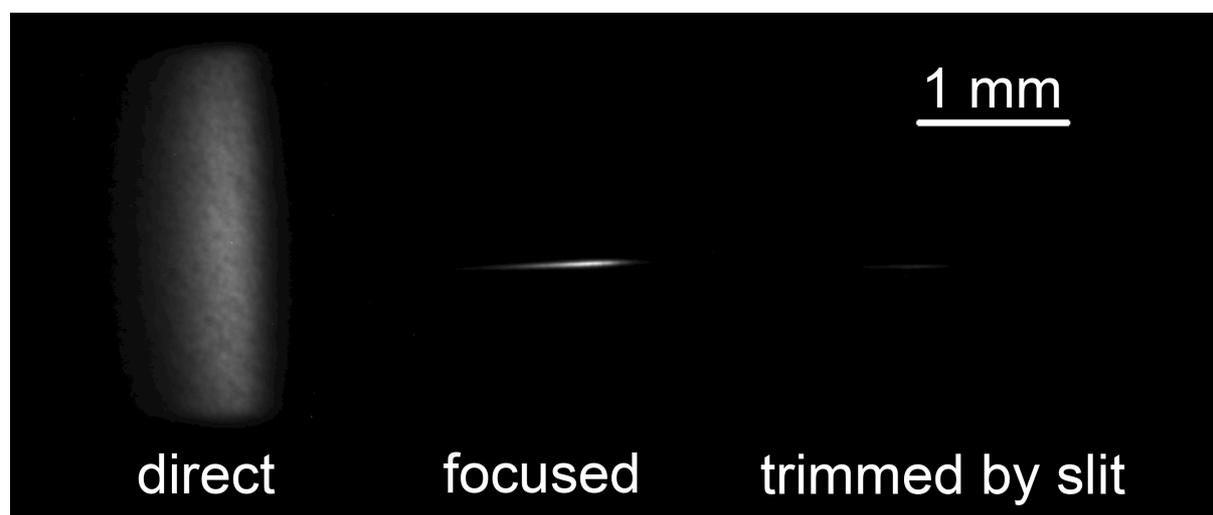


図5 入射 X 線イメージ。左から未集光、Ni 製複合屈折レンズにて集光、スリットにて縦幅 10 μm に整形したもの。

参考文献

- [1] A. Andrejczuk, M. Nagamine, Y. Sakurai and M. Itou, *J. Synchrotron Rad.* **21** (2014) 57-60.
 [2] A. Andrejczuk, J. Krzywinski, Y. Sakurai and M. Itou, *J. Synchrotron Rad.* **17** (2010) 616-623.

©JASRI

(Received: September 12, 2014; Early edition: December 25, 2014; Accepted: January 16, 2015; Published: February 10, 2015)