



高フラックスビームラインの現状

八木直人 井上勝晶 鈴木拓

SPring-8/JASRI

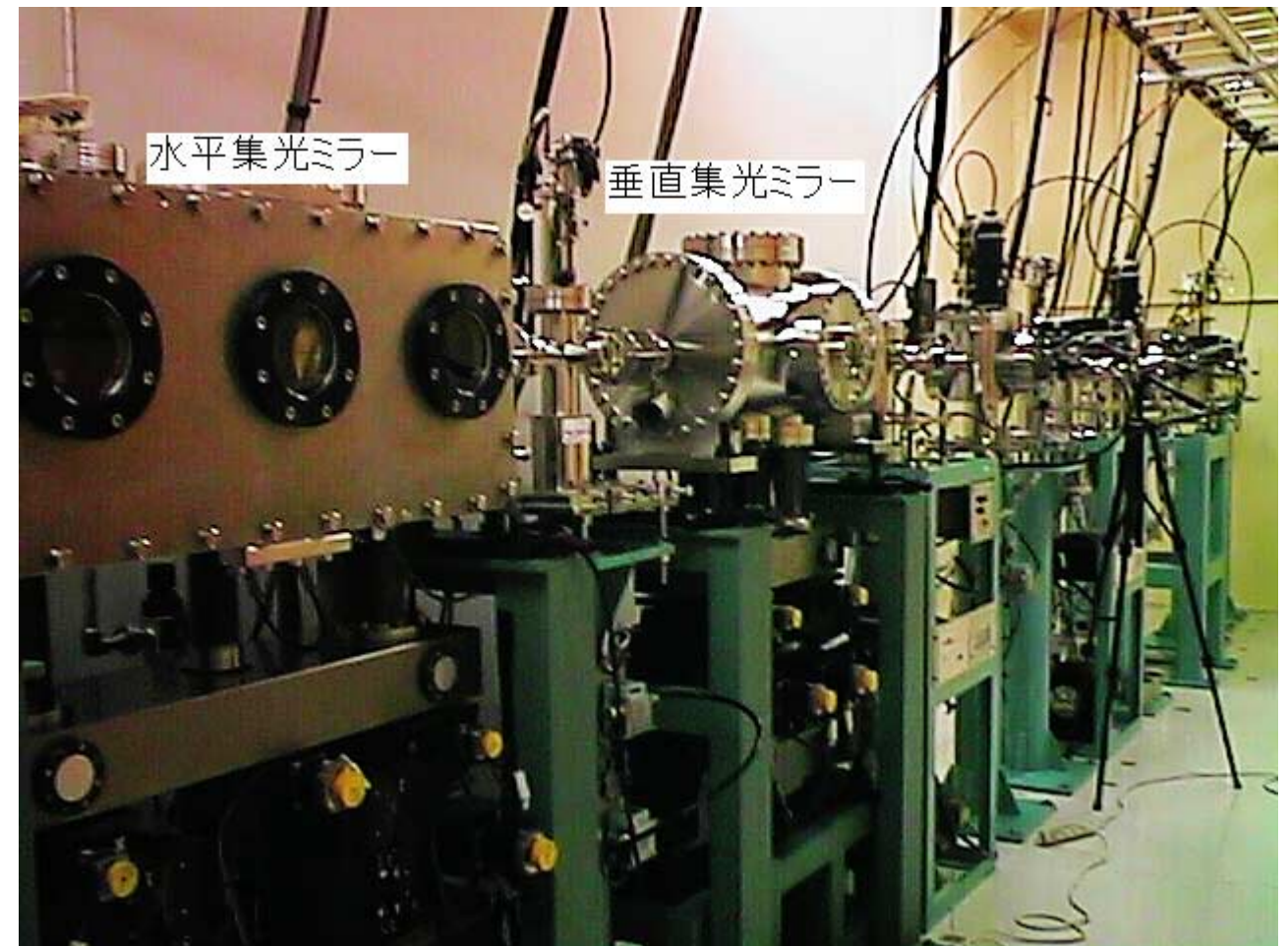
SPring-8 の高フラックスビームライン (BL40XU) は、分光器を持たないアンジュレータビームラインで、高いフォトンフラックスを得ることに特化したビームラインである。1999 年 10 月に放射線の漏洩検査を受けてパスしたので、10 月末からコミッショニングに入った。その現状を紹介する。

BL40XU の設計

光源はヘリカルアンジュレータ（周期長 36mm 125 周期）であり，基本波以外はほとんど光軸からはずれて放射されるため，光軸付近のみを使用すれば単色に近いスペクトルが得られる。光学系は KB 配置の 2 枚の全反射ミラー（シリコン、Rh コート，水冷，約 4:1 集光）である。水平集光ミラー（長さ 70cm）が先にあり，その後には長さ 40cm の垂直集光ミラーがある。水平ミラーには熱負荷を下げるために 3 ミリラジアンで X 線を入射している。垂直ミラーは 4 ミリラジアンで入射しており，主にこちらが高調波を除去している。

2 枚のミラーの後ろには 2 つの四象限スリットとダウンストリームシャッターがある。これらとガンマストッパーは，すべて水冷されている。おもなコンポーネントの光源からの距離とビームの高さは

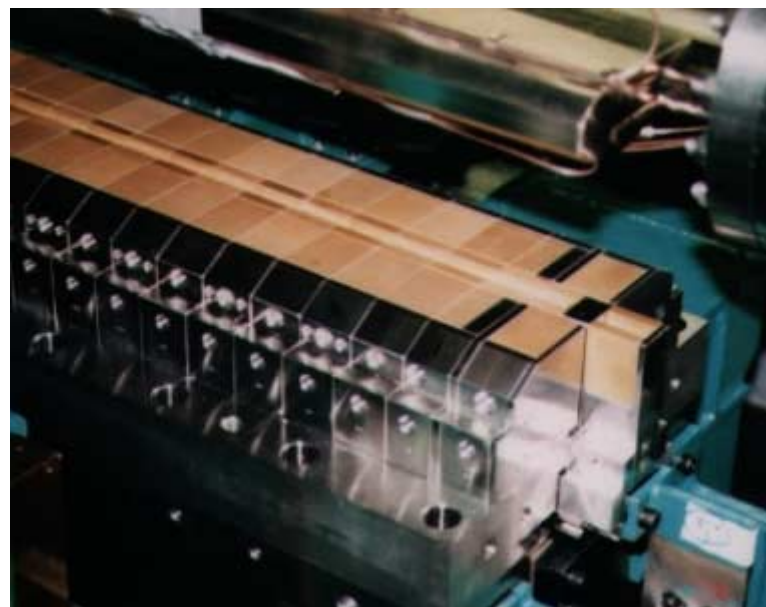
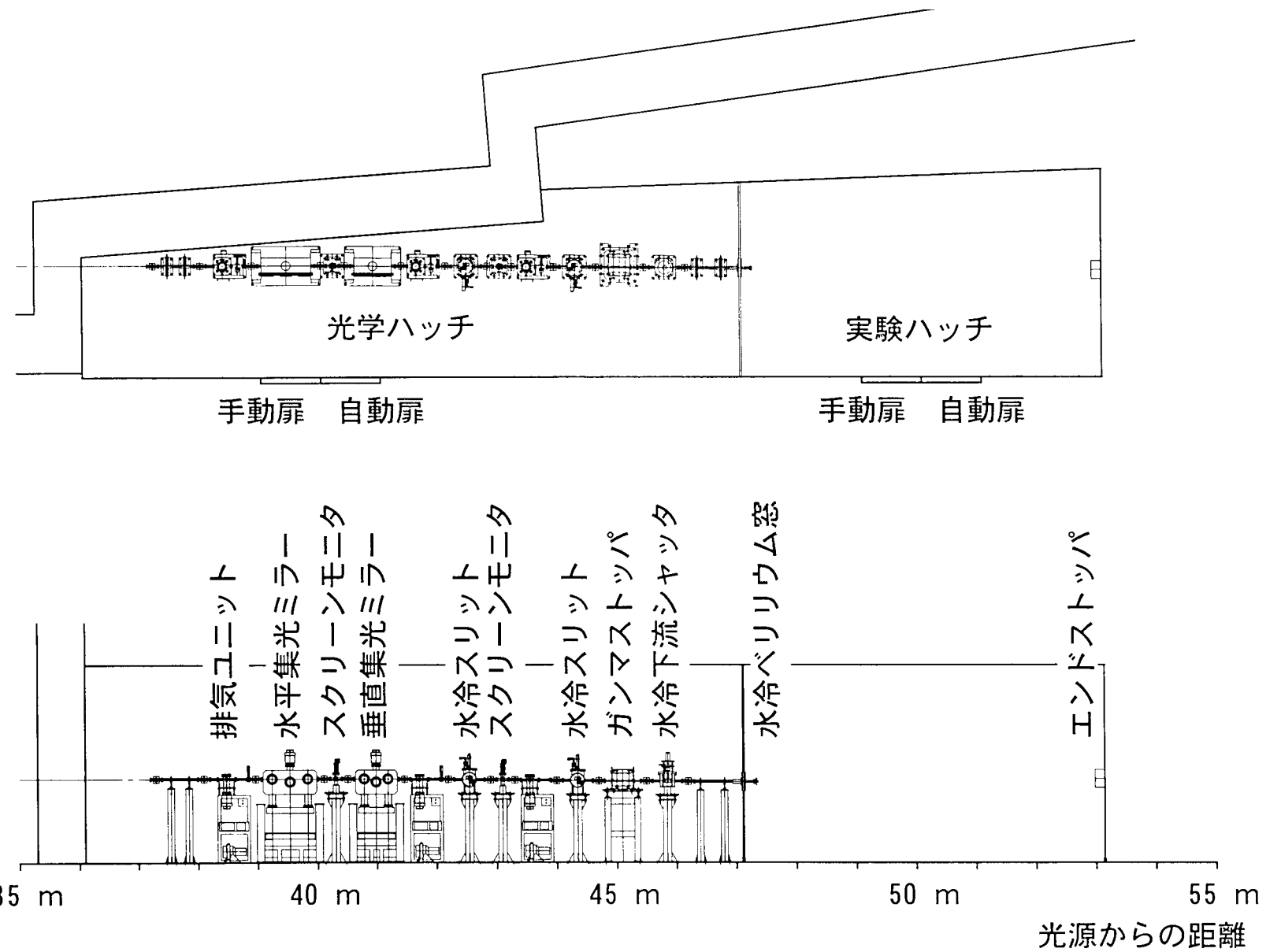
	距離	高さ
フロントエンドマスク	22.5 m	1400 mm
フロントエンドスリット	32.5 m	1400 mm
水平集光ミラー	39.5 m	1400 mm
垂直集光ミラー	41.0 m	1400 mm
TC スリット 1	42.5 m	1388 mm
TC スリット 2	44.3 m	1373 mm
実験ハッチ Be 窓	47.3 m	1349 mm



フロントエンドスリットの開口は $1 \times 1 \text{ mm}$ (約 30 マイクロラジアン角) に制限されている。

光源はヘリカルアンジュレータであるから、光軸上で得られる X 線も円偏光している。

下は SPring-8 ホームページからコピーしたヘリカルアンジュレータの写真(おそらく BL 40 XU のものではない)。



豆知識 (SPring-8 ホームページから引用):

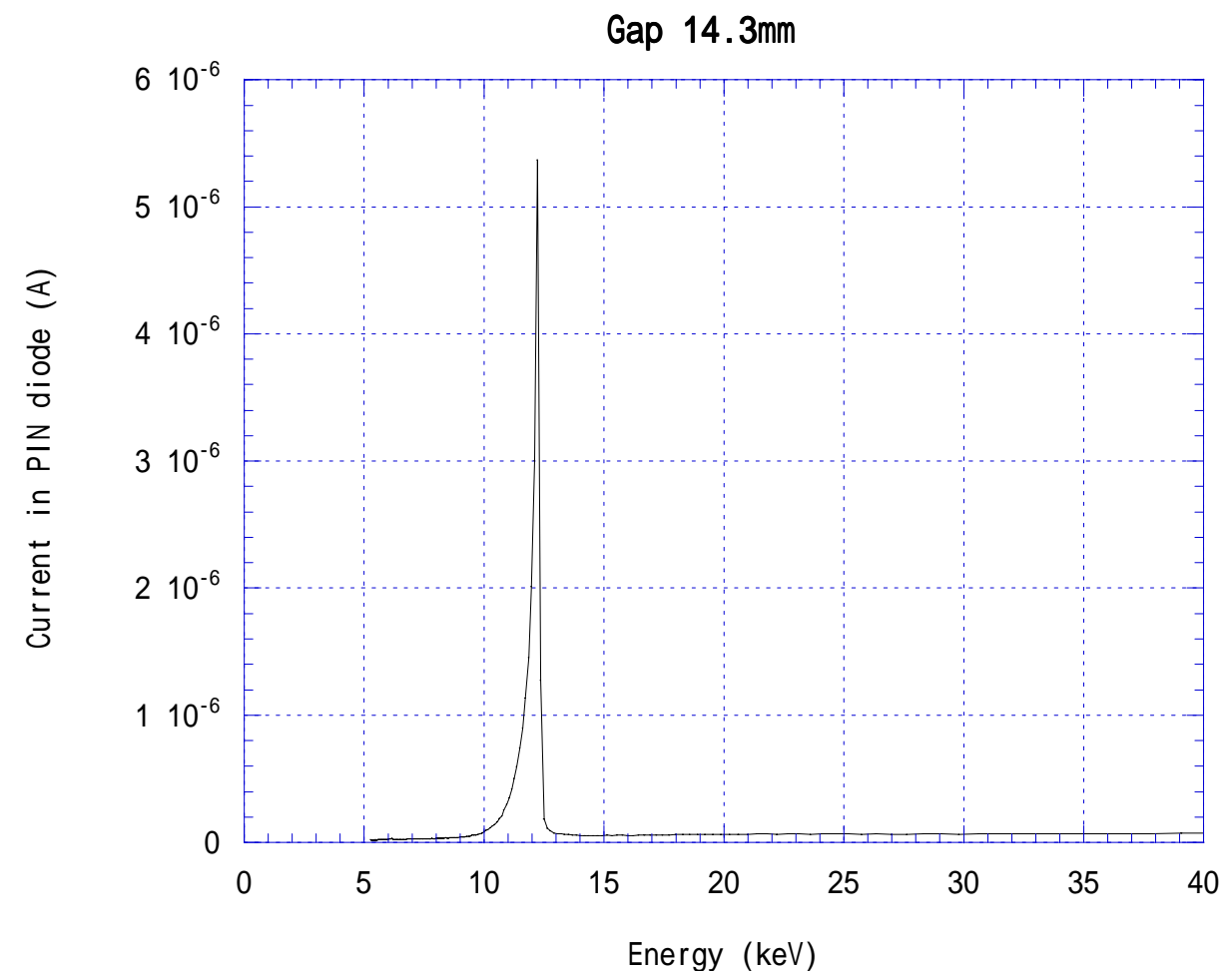
[ヘリカルアンジュレータ](#)は電子を螺旋状の軌道に沿って運動させることにより、円偏光の放射光を得るためのものである。このアンジュレータの最大の特徴として、軸上では基本波しか観測されないということがあげられる。このため、実験者は余計な高調波の熱に悩まされることなく光を使うことができ、理想的な光源といえる。ヘリカルアンジュレータを実現するためには、螺旋状の磁場を作り出す必要があるが、SPring-8 では上下に各 3 列の磁石列を設置し、中央磁石列で垂直磁場、両側の磁石列で水平磁場を作り出すことにより螺旋磁場を形成している。また、中央部磁石をスライドさせることにより、左右の円偏光を作り出すことが可能である。これを phasing という。

エネルギー分解能

下図は基本波のエネルギーを 12.4keV にしたときの、水平 15 マイクロラジアン垂直 5 マイクロラジアン放射のエネルギー分布である。シリコン(111)結晶を使い、PINフォトダイオードを用いて測定した(お手伝いいただいたJASRIの依田博士に感謝します)。光軸付近のみなので高調波は少なく、さらにミラーによる全反射で低く抑えられている。全域に渡って弱いX線が検出されているのは結晶表面からの散乱と思われる。ピークの半値幅は1.7%程度で、従来のHighでの計算値とほぼ同じである。BL40XUはもともとはLow

セクションのビームラインであったが、現在SPring-8では全ビームラインが従来のHighセクションと似た条件になっており、このデータはそれを裏付けるものである(8-Z-05参照)。

フォトン数は正確には測定できていないが、計算値は毎秒 1×10^{15} フォトン程度である。筋肉などの回折像の強度から見て、他のビームラインとの比較からも、 10^{14} 台のフラックスがあることは間違いない。

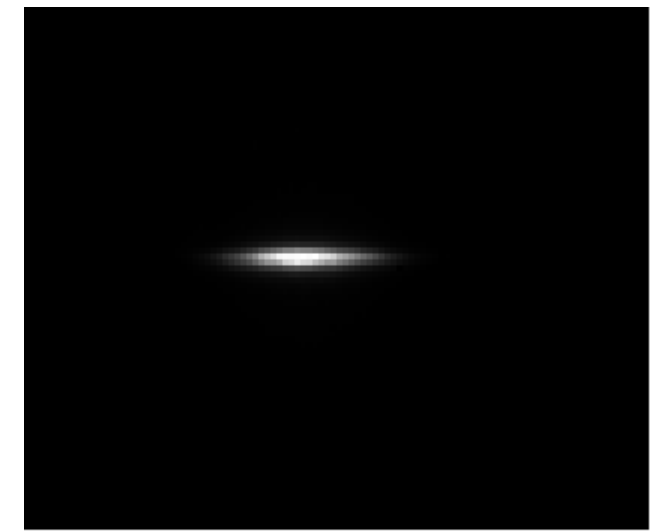


ビームサイズ

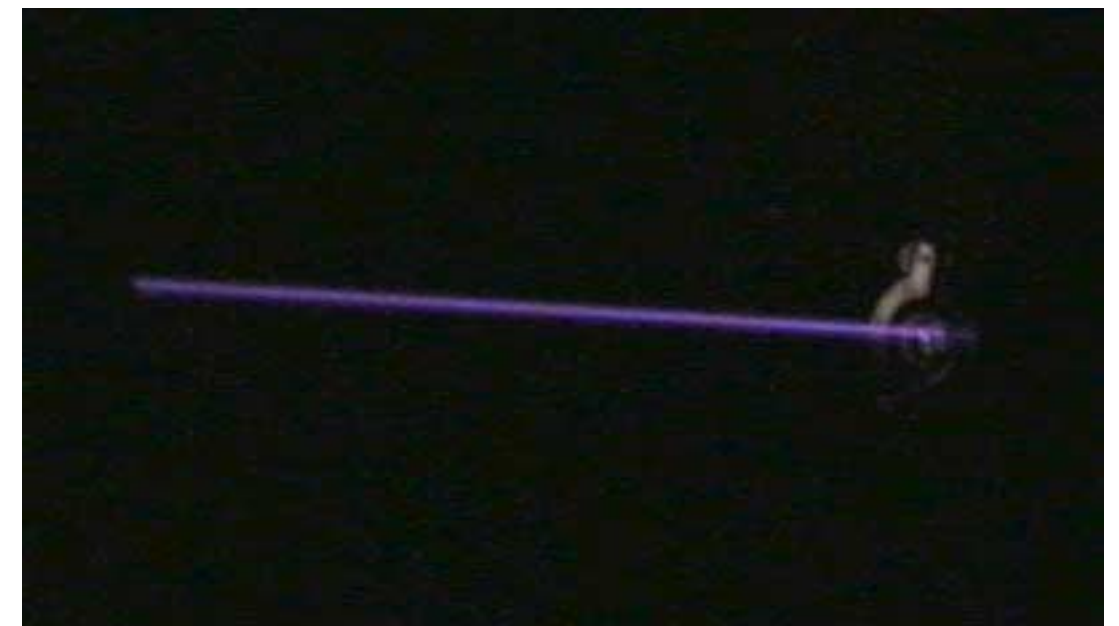
水平 15 マイクロラジアン垂直 5 マイクロラジアンを利用したときには、二枚の全反射ミラーによってX線は水平 250 ミクロン垂直 30 ミクロン程度 (FWHM) に集光されている (右図, ビームモニタ1で撮影)。SPring-8の現在の光源サイズは水平 600 ~ 1000 ミクロン, 垂直 10 ~ 20 ミクロンと考えられる。ミラーは約 4 : 1 集光の位置に置かれているので, 水平方向のフォーカスサイズは光源の大きさと, 垂直方向のサイズはミラーのスロープエラーで決まっていると考えられる。

フォーカス時のフラックス密度は 1 平方ミリ当たり毎秒 1×10^{17} を越える。これは 1 平方ミリ当たり 200 ワット以上のパワー密度である (トータルパワーは数ワット)。

フロントエンドスリットを 1×1 mm に広げると, 焦点は若干大きくなるがトータルパワーは 100 ワットを越すのでさらにパワー密度は増加し, 空気中を走るX線 (「青い光」) が見えるようになる (右図)。



1999/12/17
Focused direct beam
BL40XU @ SPring-8
0.1mm



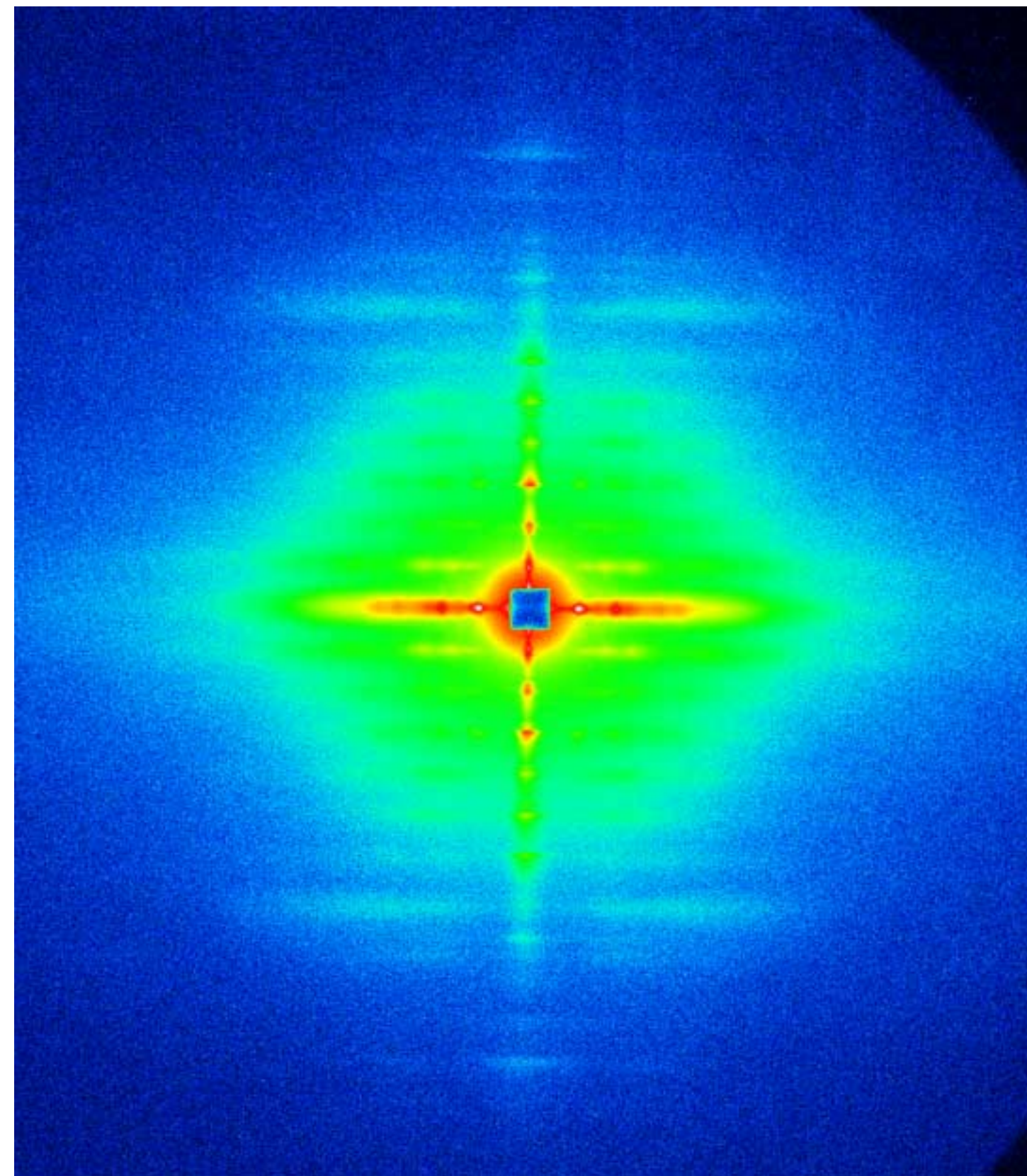
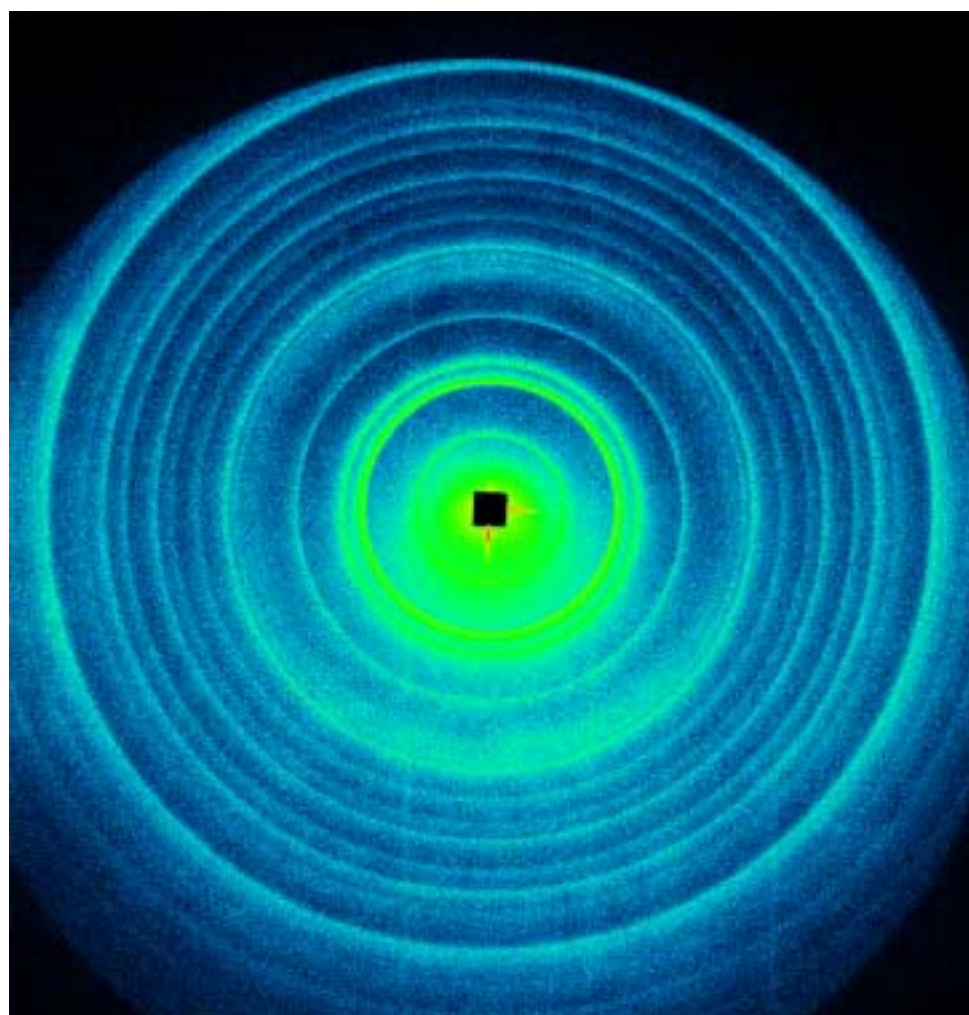
BL40XU @ SPring-8
Air fluorescence by 8keV x-rays
1999/10/26



X線回折実験

右はイメージングプレートに記録したカエル骨格筋の静止状態のX線回折像で、露光時間は約1.4ミリ秒である。従来使用されている小角散乱ビームラインと比較して、100倍から1000倍のX線強度があることが明らかである。

下は同じく1.4ミリ秒の露光で得られた紫膜の回折像である（大阪大学・岡俊彦先生提供）

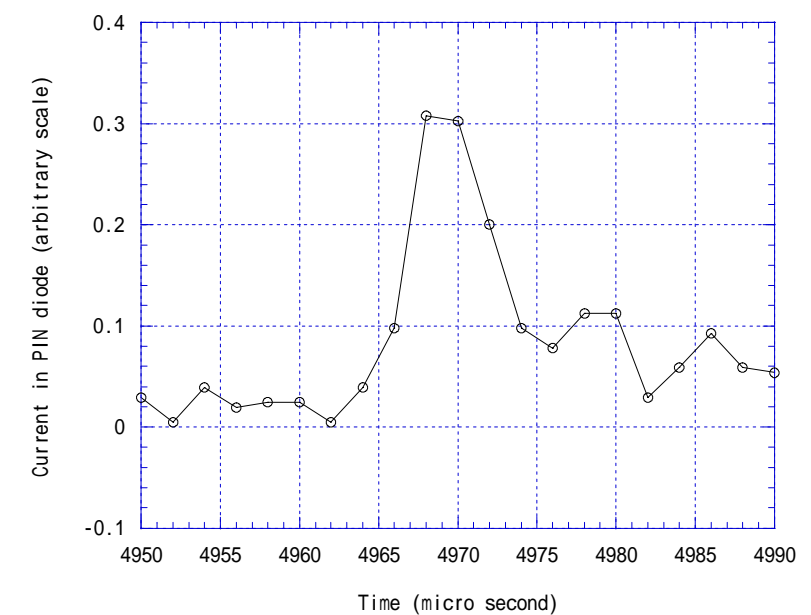
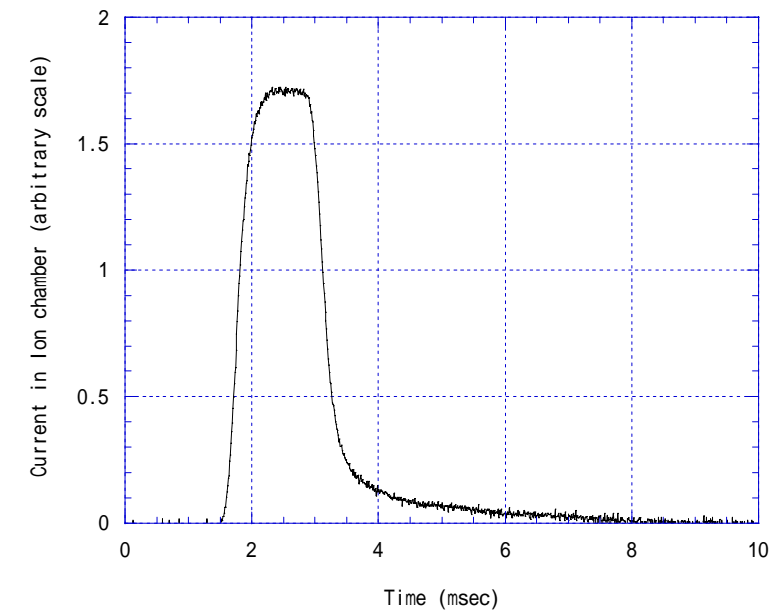


X線シャッター

上の回折像の露光にはガルバノ式高速X線シャッターが用いられた。右はそのシャッターの開閉をHeを流したイオンチェンバーで測定しようとしたものである。X線が強すぎて応答が遅くなっているが、2ミリ秒以下で開閉していることがわかる。PINダイオードによる測定では、開口時間は約1.4ミリ秒だった。

さらに回転チョッパー式の超高速X線シャッターも準備されており、その開閉速度をPINダイオードで測定しようとしたのが右下の図である。計算上は5ミリ秒程度の開時間になっているはずだが、やや長めに開いているように見え、しかも閉じた後で強度が振動している。これはおそらく使用した電流アンプの時定数が3マイクロ秒なのと、電気回路系に問題があるためで、再度測定を行う予定である。

この他にも、手動で開閉できる実験ハッチ内シャッター(TTLで制御可能)と、ハッチ外から制御可能なアルミニウムのアツテネータ(12keVで1/100と1/1000の2種類、GPB制御も可能)が用意されている。



これからの予定

本ビームラインでは、放射光のパルス性を生かした高速反応過程の研究や、マイクロビームを用いた高感度蛍光X線分析、内核励起による化学反応過程の研究などが予定されている。

金属材料技術研究所の桜井さんたちによるポストデッドラインポスターもご覧下さい。

現在JASRIでは1月24日締め切りで本ビームラインの2000年4月から6月の間の共同利用研究課題を募集しています。詳しくはホームページ(<http://www.spring8.or.jp>)をご参照ください。

なお、BL40XUの非公式ホームページが、<http://yagi.spring8.or.jp/bl40xu.html/>にあります。

本ビームラインはパワー密度が高いため、「青い光」が見えるだけでなく、X線を長時間あてるとあらゆるものが損傷を受けます。例えば筋肉は5ミリ秒で筋線維が切れます。蛍光板は燃えます。鉛のビームストップは数秒で溶けます。銅は真っ黒になり、さらにぼろぼろになります。アルミフォイルは穴が開きます。カプトンも穴が開きます。空気からはオゾンが大量に発生します。ですから、このビームラインで実験するときにはシャッターとアッテネータを上手に使うことでX線の強度を制御する必要があります。実験を計画される際には十分ご注意ください。