

ビームライン開発（新規増設・改造）

後藤 俊治
石川 哲也
北村 英男
高橋 直

1. はじめに

本報告の当該期間2000年1月～2001年3月の間に新規増設、改造の行われたビームラインとして、建設状況別に分類してみると1999年度に完成したものの5本、2000年度に建設が完了したものの7本、継続して建設中もしくは建設が開始されたもの6本となる。

これらのビームラインは構成、使用目的とも多種多彩であるが、それぞれ概ね順調に建設、試験調整運転、利用実験等のフェーズの移行を果たしている。とりわけ、この期間にはSPring-8のユニークな特徴である1 km長尺ビームラインが完成し、また、こちらにも他に類を見ない蓄積リングの30 m長直線部分への25 m長アンジュレータの導入を含む長尺アンジュレータビームラインの建設が完了し、それぞれ順調に試験調整運転を経て利用実験が行われるに至っている。

以下では、関連するビームラインについて挿入光源、フロントエンド、光学系・輸送チャンネルといった要素毎の状況、および、これらのビームライン毎の状況についてまとめる。

2. 挿入光源

(1) 新規挿入光源

2000年中に3台の挿入光源を蓄積リングに新たに設置した。内2台は5 m直線部に設置された4.5 m長真空封止型アンジュレータで、表面界面構造解析ビームライン（BL13XU、共用）には周期長32 mmの標準型、医学・イメージングビームライン（BL20XU、共用）には周期長26 mmのハイブリッド型を設置した。そして3台目は、SPring-8の最大の特徴である30 m長直線部に合わせて開発した25 m長真空封止型アンジュレータ^[1]である。3台のアンジュレータの主なパラメータを表1に示す。

表1 2000年に設置した3台のアンジュレータの主なパラメータ

BL 番号	磁石周期長 (mm)	周期数	最小ギャップ (mm)	一次光エネルギー範囲 (keV)
BL13XU	32	140	8	4.5～18.5
BL20XU	26	173	7	7.2～22.5
BL19LXU	32	780	12	7.5～18.5

理研 物理科学ビームライン（BL19LXU）に設置された25 mアンジュレータは、X線領域の超高輝度放射光源として開発された挿入光源である（図1）。真空封止型を採用することで、780周期の磁石を連続につなげて配置することを可能にした。従来の4.5 m長挿入光源に比べて輝度は約5倍向上し、世界最高のX線高輝度光源を実現した（図2）。連続した25 m長の磁石列を実現した挿入光源はこれまで世界に類がない。



図1 SPring-8蓄積リングに設置された25 m長真空封止アンジュレータ（BL19LXU）

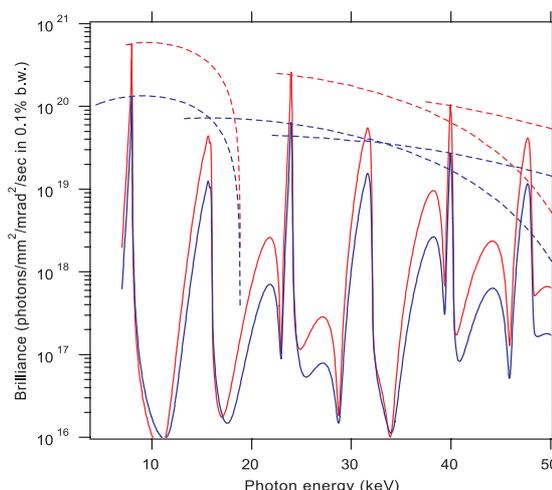


図2 BL19LXU-25 m長真空封止アンジュレータ（図中赤色）とBL13XU-4.5 m長真空封止標準型アンジュレータ（図中青色）の輝度の比較。実線は一次光エネルギー8 keVのスペクトル。点線は1～5次光の輝度。電子ビーム蓄積電流は100mA。

25 mアンジュレータは、建設、輸送および設置を容易にするため、5 m長のセグメントを5台連結した構造が採用された。またアンジュレータ磁場測定および調整は、まず各セグメント毎に行い、その後連結部を再調整する手法を用いた。超高真空立ち上げ時のベーキングでは、25 mの全長に対して70 mmもの熱膨張が予想されたため、熱膨張に対するフィードバック位置補正機構などを新たに開発した。

SPring-8蓄積リングへの設置は2000年8月に完了し、アンジュレータ放射光を観測しながらの性能評価を11月より開始した。その結果ほぼ予想どおりのX線強度およびアンジュレータ性能が得られた。また、アンジュレータ長が25 mにもおよぶと、0.1 Gauss程度の地磁気が電子ビームを曲げる効果が無視できず、地磁気がアンジュレータスペクトルに影響を与えることが判明した。これら25 mアンジュレータ開発を通して得られた技術と経験は、将来のX線自由電子レーザー（SASE）計画にとって不可欠なものである。

(2) SPring-8挿入光源インターロックシステムの改良

電子ビーム軌道が何らかの原因で変化したとき、SPring-8挿入光源からの高強度の放射光が真空チェンバ等にあたり、溶融事故を引き起こす可能性がある。これを防ぐため、SPring-8では各挿入光源にインターロックシステムを備えている。インターロックシステムは、挿入光源のビーム位置モニタ（RF-BPM）からの電子ビーム位置信号が設定値よりも一定量以上ずれた場合、電子ビームをアボートする。従来このシステムは、蓄積リング全周でどれか1台のRF-BPMからの異常信号で動作していたため、RF-BPMの信号ノイズによるインターロックの誤動作がしばしば発生した。これを改善すべく、2000年8月に、任意の2台のRF-BPMからの異常信号を検知した場合にはじめてインターロックが作動するようにシステムを改良した。その結果、2000年9月以降誤動作の問題はほぼ解消した。

(北村 英男)

3. フロントエンド

(1) 新規フロントエンド

台湾 Asia and Pacific Council of Science and Technology (APCST) の建設するBL12XUにおいては、光源として標準真空封止型アンジュレータが設置されているが、APCSTの将来計画を考慮して、周期長 28 mm、最大K値2.62のアンジュレータにも対応できるフロントエンドの設計を行った。この場合、標準型アンジュレータに比べて全放射パワー、最大パワー密度とも約1.7倍程度大きくなるため、BL12XU専用のマスク、アブソーバ、前置スリットを設置した。

また、BL19LXU^[1]では、蓄積リングの長直線部改造に伴い、アライメント用光軸基準点の再設置を実施後、建設作業を行った。コミッションングでは、スクリーンモニタ

の中心に挿入光源からの放射光が観察され（図3）アライメント精度の高さを確認した。また、超高出力放射パワーを制御するために新しい高熱負荷機器配置を導入したところ、放射光によるガス放出が予想以上に大きく焼き出しなどに時間を要したが、最大出力放射（約35 kW）での各高熱負荷機器の温度が許容値以下であることも確認した。

これらの他に、BL13XU、BL20XU、および産業利用ビームライン（BL19B2、共用）において標準型のフロントエンドを設置した。

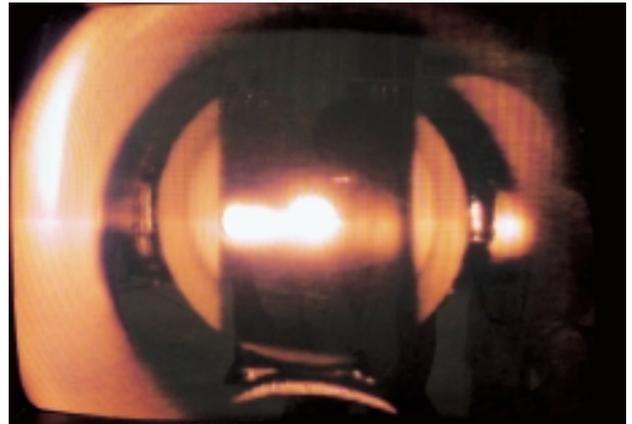


図3 BL19LXUのコミッションングにおいて観察された長尺アンジュレータからの放射光。スクリーンモニタの中心に放射光が観察されフロントエンド機器のアライメント精度の高さを確認した。

(2) フロントエンド専用冷却系

2000年夏期運転停止期間にB、Cブロックのフロントエンド冷却系の建設を行った。これにより、1999年のA、Dブロック冷却系の建設と合わせてフロントエンドの冷却系は完全に「L1冷却系（マシン冷却系）」から独立し、かつ100 mA運転に必要な冷却水量の供給が可能になった。

(3) 高エネルギー非弾性散乱ビームライン（BL08W）改造

トータルパワー18 kW相当となる100 mAの運転開始から約3ヵ月後、図4に示すようにアルミニウム製メタルフィ

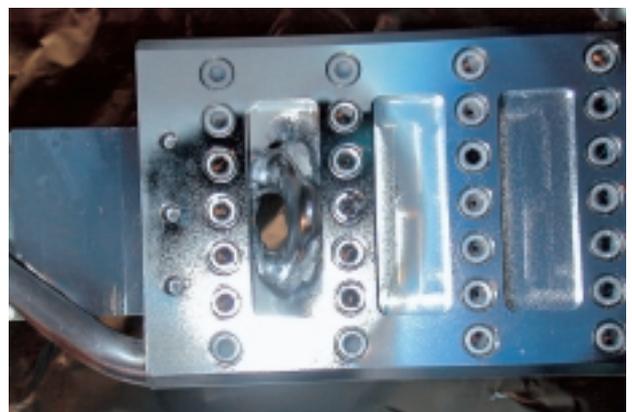


図4 BL08Wのフロントエンドにおいて発生したアルミニウム製メタルフィルタの溶融

ルタの溶融が確認された。いくつかの対策を試みたが抜本的な解決に至らなかったため、最終的には冬期運転停止期間にメタルフィルタの上流側に設置されているグラフィト製前置フィルタを1台増設し、メタルフィルタへの熱負荷を低減させることで対応した。

(4) 新型光位置モニタ

これまでに利用してきた標準型光位置モニタは、検出素子の取付け部位と真空容器（モニタ本体）との連結部が振動の原因になり得ると懸念がもたれていたため、検出素子の取付け部位と真空容器が一体の構造をもつものを新しく設計・製作した。現在はこの一体型の光モニタを、新しい標準型として建設されるビームラインに導入している。

(5) 光ビーム高速診断システムの開発

光ケーブルを用いて、基幹チャンネル部の光位置モニタ、および、蓄積リングの電子ビーム位置モニタのアナログ信号を高速で同時に計測できるシステムを開発した。このシステムにより、高い周波数帯域において任意の複数ビームラインで同時にビーム位置が観測でき、また電子ビーム位置モニタとの相関をとることができるようになった。

(6) 無停電電源（UPS）のアップグレード

ビームラインインターロックシステムのアップグレードに伴い、ビームアポートに直結するフロントエンド機器が減少した。この結果、1台のUPSでフロントエンドの瞬時停電対策を行うことが可能となり、既設のUPSの保守が必要な古いビームラインから順次アップグレード（高出力容量および正弦波出力対応のUPSへの交換および配線の変更）を実施している。

(7) ベリリウム窓の交換

特にイメージング・トポグラフィやXAFSユーザよりベリリウム窓の性能向上の要求がなされたため、該当するビームラインにおいて、高純度（99.8%）、高面粗度（Ra 0.1 μm以下）型ベリリウム窓への交換を行った。

（高橋 直）

4. 光学系・輸送チャンネル

(1) 光学系・輸送チャンネル

X線標準二結晶分光器用のピンポスト結晶および液体窒素冷却については、高度化の節において述べられる予定であるのでそちらを参照されたい。

輸送チャンネルコンポーネントにおいては、標準コンポーネントに対して、幾つかのマイナーな改造が加えられた。偏向電磁石ビームラインの白色対応の水冷スクリーンモニタが新規に製作されたほか、中尺ビームラインのハッチ間輸送チャンネルダクト用に用いられる鉛シールドダクト類についてもバリエーションが追加され、使用頻度の高いものは標準コンポーネントとして位置づけられるようになった。

(2) 遮蔽ハッチ

遮蔽ハッチの自動扉はこれまで圧縮空気駆動であった

が、エアシリンダを用いるため非常時の手動操作においてシリンダ内の残圧による抵抗等により手動操作時の負荷が増すとともに、シリンダの寿命の低下、故障の原因となる問題があった。また、圧縮空気制御の場合、開閉の速度調整が駆動側のスピードコントローラのみで一意に決まらず、圧縮側のスピードコントローラ、残圧、扉自身の摩擦などの要因によって不安定となる場合がある。スピードが早すぎると操作者に恐怖感を与えるばかりでなく安全上問題である。また、逆に遅すぎてビームラインインターロックシステムによって定められた時間内に開動作が終了しないと、ハッチ退出シーケンスを再度行わなければならない、円滑な実験遂行の支障になる。

これに対して、電動駆動では、クラッチの導入により非常時の手動操作において抵抗となることがなく、また、インバータ制御などによって直接的に任意の動作スピードを得ることができるため、開閉速度が不安定になることは無い。また、電動駆動では、直接的にドアスピードを制御するため、タッチセンサおよびエリアセンサが作動してから、実際にドアが停止、反転するまでの空走距離を短縮することが可能となり、より安全面で優れている。

以上のような検討を経て、電動モータ制御を採用することになりBL12B2を皮切りとして、新設ビームラインにおいて電動によるものへの変更が進められている。

（後藤 俊治、石川 哲也）

5. 各ビームラインの状況

5-1. 1999年度に完成したビームライン

(1) 物質・材料研究機構物質研究所 広エネルギー帯域ビームライン（BL15XU）^[2]

BL15XUは1999年11月までに最終的な使用前検査を終え、2000年1月から試験調整運転に入った。

二結晶分光器に関しては、SPring-8で標準的に使用されている回転傾斜配置のSi 111反射をオフセット値100 mmにして使用しており、試料面上で $10^{12} \sim 10^{13}$ photons/secの光束を得ている。さらに一次光と高次光の出射位置の高低差を積極的に利用し、高次光を除去した上で一次光を使用している。

BL15XUでは2 keV以下の軟X線を利用するモードを有する。このため、可動式水冷Be窓を二結晶分光器の上流に設置した。これにより、2 keV以下の利用においてはBe窓を待避し、2 keV以上のX線を利用する場合は挿入して万一の真空悪化に備えることができる。可動式Be窓の開閉ステータスはインターロックで管理されており、開閉に関する人的誤操作を防いでいる。

さらに、二結晶分光器の真空悪化や万一の冷却水漏れに対する備えとして、高速遮断バルブのセンサーを設置し、冷却水循環系にインターロックで管理されたモーター弁の組み込みを行った。

(2) 共用 赤外物性ビームライン (BL43IR)

BL43IRはいまのところSPring-8では唯一の赤外線ビームラインである。1999年には建設が完了し、一部試験調整運転が始められていたが、冬期停止期間中に第二ミラーであるマジックミラーのグレードアップが行われ、これによって集光特性が改善された。2000年5月から供用が開始された。

(3) 共用 高分解能非弾性散乱ビームライン (BL35XU)^[3]

BL35XUは1999年内にビームラインの主要な部分が完成し、2000年1月の使用前検査を経て試験調整運転に入った。2000年度には光学系・輸送チャンネルにおいて三つの主要な進展があった。2000年10月にアナライザーハッチ(実験ハッチ4)を貫通し、上流側ハッチ(実験ハッチ2)から背面反射分光器を設置した最下流ハッチ(実験ハッチ3)へビームを導くためのシールドダクトの放射線漏洩検査と、それに引き続く実験ハッチ3の放射線漏洩検査が完了した。2001年2月には二結晶分光器の液体窒素冷却装置の冷凍機が一基追加され、これによりほぼ最大出力まで引き出せるようになった。また、この時期に実験ハッチ4の放射線漏洩検査が完了した。

(4) R&Dビームライン (BL46XU) 実験ハッチ増設^[4]

2本目のR&Dビームライン(BL46XU)は当初光学ハッチまで建設され、光学ハッチ内に回折計等を持ち込んで立ち上げおよびR&Dに関する実験が進められてきた。今回、本格的な実験に対応するために実験ハッチが増設された。実験ハッチは1999年12月から2000年1月にかけて建設された。実験ハッチ増設に伴い、下流シャッタなど光学ハッチ内の輸送チャンネルコンポーネントが一部追加され、インターロック、ユーティリティ等も改造された。輸送チャンネル、インターロックの増設は2000年3月までに完了した。

2000年4月に使用前検査に合格し、2000年6月から試験調整運転が開始され、実験ハッチへのビーム導入はまったく問題なく行うことができた。

(5) 理研 物理科学ビームライン (BL29XU) 長尺部^[5]

SPring-8最初の1 kmビームラインであるBL29XUは、蓄積リング棟を出て長尺ビームライン実験施設に至る部分について2000年3月までに建設を終了し、5月の運転前自主検査を経て6月から長尺ビームライン実験施設へのビーム導入が開始された。試験開始まもなく蓄積リング棟から長尺ビームライン実験施設へのビーム導入に成功し、据付精度を見込んだ初の長尺ビームライン輸送チャンネルの設計、建設が正しく行われたことを実証した。

5-2. 2000年度に完成したビームライン

(1) APCST 偏向電磁石ビームライン (BL12B2)^[6]

APCSTにより建設されたビームラインで、今後建設予定のBL12XUと一部遮蔽ハッチを共有するなど、一対のビームラインのうちBL12B2が先行して建設を終え、試験調

整運転を迎えた。光学系の構成としてはコリメータミラー、標準二結晶分光器、集光ミラーを有する偏向電磁石ビームラインであり、この構成は共用ビームラインBL01B1、BL02B2などと同様のものである。さらに原子力研究所の専用ビームラインBL14B1と同様に、二結晶分光器、ガンマストッパ、下流シャッタなどの主要コンポーネントの待避により白色光を二番目のハッチ(光学ハッチ2)に導入することが可能であり、これにより単色、白色を使い分けた多様な実験が予定されている。

遮蔽ハッチの建設は5月までに、光学系・輸送チャンネルに関しては夏までに、また、インターロックは9月中旬に完成した。遮蔽検査を含むコミッションは10月からSPring-8インハウススタッフとともに進められ、同月第一週には実験ハッチまでビームを導くことに成功した。単色ビームの評価は最初、Pd K吸収端(24.350 keV)およびPt K吸収端(78.395 keV)におけるXAFS測定からはじめられ、APCSTビームラインにおける利用開始の第一歩となった。

(2) R&Dビームライン (BL38B1)^[7]

これまでの2本のアンジュレータビームラインBL47XU、BL46XUに加えて、3番目のR&Dビームラインとして偏向電磁石ビームラインBL38B1が建設された。遮蔽ハッチは1999年に設計および建設の都合から加速器ビーム診断ビームライン BL38B2と同時に進められ、光学系・輸送チャンネル機器の製作および据付は2000年度に別途行われた。光学系は偏向電磁石ビームライン対応の標準二結晶分光器に引き続き、1 m長の斜め下方向に偏向するシリンドリカルベンチミラーを設置することにより実験ハッチにおいて二次元に集光されたビームを用いた実験が可能になる。また、ミラーを待避させることにより分光器から出射されたビームを直接実験ハッチに導くことも可能であり、実験目的によってビームの性質を使い分けることが可能である。

2000年9月までに光学系・輸送チャンネルの主要機器の据付け、インターロックの設置が完了し、10月から試験調整運転が開始された。

(3) 理研 物理科学ビームライン (BL19LXU)^[1]

実験ホール内の光学ハッチおよび下流に隣接する実験ハッチ1~3については2000年6月までに建設が完了した。光学系・輸送チャンネルの機器据付は2000年8月までに行われ、続いて9月末までにインターロックの設置が、また、液体窒素冷却装置の設置が9月、10月に行われ、使用前検査を経て10月末から試験調整運転が開始された。スペクトル測定など25 mアンジュレータを光源とする長尺アンジュレータビームラインの諸特性の評価が行われた。

(4) 共用 医学・イメージングビームライン (BL20XU)

医学利用実験棟へ導かれる2本目のビームラインである。基本的には標準型X線アンジュレータビームラインであ

る。主要光学系は液体窒素冷却の二結晶分光器のみであり、標準ミラー調整機構等は用いられない。実験ホールの外周近くに光学ハッチとは分離して実験ハッチ1が設置され、また、医学利用実験棟に実験ハッチ2が設置される。これらのハッチ間はICF152フランジ規格のダクトに厚さ6 mmの鉛を巻いた、いわば、中尺ビームライン用標準シールドダクトによって連結され、数台のターボ分子ポンプにより高い真空領域まで真空排気される。

実験ホール側と医学利用棟を結ぶ屋外部分のコンクリート基礎に関しては建設の都合から1999年に行われていたが、その他の部分については2000年度になってから本格的な建設が行われ、12月までに完成した。2001年1月から試験調整運転が開始された。

(5) 共用 表面界面構造解析ビームライン (BL13XU)^[8]

BL13XUは、標準型真空封止アンジュレータを光源とし、液体窒素冷却の標準二結晶分光器と、高調波除去、集光を目的としたタンデムの水平偏向ミラーを光学系にもつ標準的なアンジュレータビームラインである。

遮蔽ハッチ建設、光学系・輸送チャンネルコンポーネントの据付け、および、インターロック設置を含み2000年度内にビームラインの完成を終えた。2001年度明けから使用前検査をはじめとした試験調整運転に入る予定である。

(6) 理研 物理科学ビームライン (BL19LXU) 蓄積リング棟付属施設Wへの増設

産業利用ビームライン (BL19B2) 新設を契機に建設された蓄積リング棟付属施設WにBL19LXUの4番目の実験ハッチが増設され、2000年12月までに完成した。実験ハッチ3と実験ハッチ4の間は、標準的な中尺アンジュレータ用輸送チャンネル構成にしたがって、鉛でシールドされたシールドダクトにより連結されるとともに、大容量のターボ分子ポンプにより排気される。この部分の輸送チャンネルおよびインターロック機器製作と据付けは2000年末から開始され2001年3月までに完了した。延長部分に関しては、2001年度明けから使用前検査をはじめとした試験調整運転に入る予定である。

(7) 共用 産業利用ビームライン (BL19B2)^[8]

産業利用促進を目的とした中尺偏向電磁石ビームラインとして建設された。光学系は標準的な偏向電磁石ビームライン用のもので、二結晶分光器および高調波除去、集光を目的としたタンデムの垂直偏向ミラーを有する。光学ハッチに隣接して実験ハッチ1、実験ホールの外周近くに飛び地の格好で実験ハッチ2、さらに蓄積リング棟付属施設Wに実験ハッチ3が設置される。これらのハッチの間は直径約200 mmの鉛シールドダクトにより接続され、光源から約100 m離れた実験ハッチ3においては最大で幅150 mmのビームまで利用可能になる。

遮蔽ハッチ建設、光学系・輸送チャンネルコンポーネントの据付け、および、インターロック設置を含み2000年度

内にビームラインの完成を終え、2001年度明けから使用前検査をはじめとした試験調整運転に入る予定である。

5-3. 2000年度に建設中もしくは建設が開始されたビームライン

(1) APCST 挿入光源ビームライン (BL12XU)

BL12B2と対をなすAPCSTの二本目のビームラインであり、メインブランチでは標準分光器に加えて背面反射型高エネルギー分解能分光器などを導入し、高エネルギー分解能の非弾性散乱実験などを計画している。また、サブブランチは一回反射のダイヤモンド結晶分光器によりビームをブランチし、蛋白質構造解析に使用する予定である。現在メインブランチ内の光学系輸送チャンネルコンポーネントの設計が進められている。

ビームライン完成と試験調整運転開始は2001年の秋ごろになる予定である。

(2) 原研 量子構造物性ビームライン (BL22XU)^[9]

原研専用の4本目のビームラインであり、同じく原研専用の軟X線ビームラインBL23SUに続きRI実験棟へ導かれる2本目のビームラインにあたる。光源、光学系は基本的に硬X線対応のものであるが、3 keVの低エネルギー領域での実験を可能とするため、フロントエンドと輸送チャンネルの境界は差動排気によりフロントエンドのベリリウム窓を光軸からはずすモードを有する。実験ホール内には光学ハッチと分離して実験ハッチ1、2が設置され、実験ハッチ1において高温高圧回折実験などが行われる。RI実験棟には実験ハッチ3が設置され、ランタノイド、アクチノイド系の共鳴散乱・吸収実験が計画されている。

2001年3月完成を目指している。

(3) 理研 構造ゲノムビームライン (BL26B1、BL26B2)^[10]

BL26B1、B2はコンポーネントの位置、遮蔽ハッチの寸法に若干の違いはあるものの、R&Dビームライン (BL38B1) と同様の構成を有するビームラインである。

2001年3月完成を目指している。

(4) 蛋白質構造解析コンソーシアム 創薬産業ビームライン (BL32B2)^[11]

BL26B1、B2と同様にしてBL32B2はコンポーネントの位置、遮蔽ハッチの寸法に若干の違いはあるものの、R&Dビームライン (BL38B1) と同様の光学系を有するビームラインである。

2001年3月完成を目指している。

(5) 共用 分光分析ビームライン (BL37XU)^[12]

現在、磁性材料ビームライン (BL39XU) で磁性研究グループと相乗りしている分析関係のステーションが分離独立し、新たに分光分析ビームラインとして移設するビームラインである。

メインブランチは表面界面構造解析ビームライン

(BL13XU)と同様に標準二結晶分光器および水平偏向のダブルミラーの構成であるが、新たな試みとして高エネルギーブランチが設けられた。こちらのブランチではブラッグ角1.5度水平偏向の一枚振りの分光器が置かれ、Si 111反射により75.5 keVの高エネルギーX線を得ることが可能になる。これにより高い原子番号の元素のK殻励起による蛍光X線分析が可能になる。

2002年3月完成を目指している。

(後藤 俊治、石川 哲也)

参考文献

- [1] 原 徹、高橋 直、矢橋牧名、玉作賢治、北村英男、石川哲也：放射光 第14巻第1号(2001)12.
- [2] 吉川英樹、二澤宏司、福島 整：SPring-8利用者情報 Vol. 5, No. 1(2000)33.
- [3] A. Q. R. Baron, Y. Tanaka, S. Goto, K. Takeshita, T. Matsushita and T. Ishikawa : J. Phys. Chem. of Solids **61** (2000) 461.
- [4] 水牧仁一朗、後藤俊治、竹下邦和、大竹淑恵、石川哲也：SPring-8利用者情報 Vol. 5, No. 1(2000)31.
- [5] T. Ishikawa, K. Tamasaku, M. Yabashi, S. Goto, Y. Tanaka, H. Yamazaki, K. Takeshita, H. Kimura, H. Ohashi, T. Matsushita and T. Ohata: Proc. SPIE **4145** (2001) 1.
- [6] M. T. Tang, T. E. Dann, C. C. Chen, G. Y. Hsiung, Y. Cai, C. H. Du, M. Yuri and K. L. Tsang : SPring-8利用者情報 Vol. 5, No. 6(2000)385.
- [7] 後藤俊治、竹下邦和、谷田 肇、石川哲也：SPring-8利用者情報 Vol. 5, No. 2(2000)104.
- [8] 後藤俊治、竹下邦和、石川哲也：SPring-8利用者情報 Vol. 5, No. 2(2000)100.
- [9] 小西啓之、塩飽秀啓、稲見俊哉、片山芳則、綿貫 徹：SPring-8利用者情報 Vol. 6, No. 3(2001)198.
- [10] 山本雅貴、後藤俊治、竹下邦和、石川哲也：SPring-8利用者情報 Vol. 6, No. 3(2001)202.
- [11] 西島和三、石川哲也：SPring-8利用者情報 Vol. 6, No. 3(2001)207.
- [12] 後藤俊治、竹下邦和、早川慎二郎、石川哲也：SPring-8利用者情報 Vol. 6, No. 3(2001)193.