1-2. ビームライン

1. 概要

SPring-8においては、現状で57本のビームラインが稼働中である。供用開始20年が過ぎ、利用動向などを考慮した一層のビームライン・実験ステーションの改廃の議論と実施が重要になっている。2017年度にはアンジュレータビームラインにおけるタンパク質結晶構造解析のアクティビティを増やすため、理研ビームラインBL45XUをタンパク質微小結晶構造解析の共用ビームラインに転用することが決まった。挿入光源及び光学系の改造を含む改修の準備がはじめられた。2018年12月末から改修工事が行われ、2019年度前半にはタンパク質結晶構造解析ビームラインとして、利用運転が再開される予定である。

既設ビームラインの挿入光源、フロントエンド、光学系及び輸送チャンネルのそれぞれの部分において、以下に示すようなビームライン共通部に関する維持管理、高性能化開発が継続的に実施された。維持管理、老朽化対策に関しては、光源・光学系の各部に起因する運転のダウンタイムの低減をあらためて目標に掲げ推進を図っている。高性能化においても多様なニーズに応え、また、最新の光源・光学系技術を提供すべく高性能化を推進している。

2. 挿入光源

2-1 維持管理

老朽化に伴い故障の頻度が高まってきている挿入光源 (ID) 関連機器について、点検作業を強化すると共に、故障が発覚した際の迅速な復旧に努めている。

(1)インターロック用BPM信号再調整

急激な軌道変動に伴う各種問題を回避するためのインターロック用ビームポジションモニター (BPM) について、経年変化と思われる信号の有意な変化を確認したため、原点の再調整を行った。

(2)磁石冷却水系

真空封止型アンジュレータ用永久磁石の温度安定化のために使用している冷却系統について定期点検を頻繁に行い、故障の早期発見に努めている。

(3)ステアリング磁石電源

ギャップ開閉に伴う軌道変動を補正するためのステ アリング電磁石の電源について、冷却ファンの故障に 伴う機器停止を防止するため、当該ファンの交換作業 を継続して行っている。

(4)エンコーダの故障検出

ギャップ値を検出するためのロータリーエンコーダ が放射線損傷により故障する事象が目立ってきてお り、これを事前に検知するための方法を検討してい る。

2-2 高性能化

継続して開発を進めている磁場吸引力相殺型アンジュレータについて、蓄積リングでの運用を目指して実証機の製作に取り掛かった。本実証機には、吸引力相殺による駆動架台の軽量・簡素化の他、従来の機械及び磁石列構造を抜本的に見直した設計がなされている。これにより、真空封止型アンジュレータの製造に必要な費用の軽減及び関連作業の効率化が図られている。2017年度は、駆動架台本体の製造の他、モジュール化した磁石列の製作及びこれに基づく磁場調整作業の確立、新型形状変換部の製作や試験等を行うとともに、これらが連携してアンジュレータとして機能することを確認した。その後、超高真空に対応するための加熱排気を行い、SPring-8蓄積リングにおける要求仕様を十分に満たすことを確認した上で、同収納部への設置及びアラインメント作業を2017年度末停止期間に実施した。

3. フロントエンド

3-1 改造・保守作業

(1)ベリリウム窓の交換

ビームライン担当者及び光学系チームからの要求により、BL40B2、BL41XUのベリリウム窓を最新仕様(高純度・高面粗度型IF-1)のものに交換した。

(2)真空系関連保守作業

ユーザー運転中にフロントエンド最上流真空セクションの2台の電離真空計のフィラメントが共に切れた場合の対応について関係者と協議を行い、手順書を纏め関係者に周知した。

(3) X線ビームポジションモニター関連保守作業

BL07LSUのX線ビームポジションモニター(XBPM)の経年劣化による暗電流増加に対処するために、セラミック溶射部の絶縁破壊が生じにくい形状に改良した「改良型ブレード」に交換した。また、XBPMを用いた定点観測で使用される「ID一斉操作GUI」において、

いくつかの機能を付加させることにより約10分の時間 短縮が可能となった。

3-2 高性能化

(1)フロントエンド出射ビーム用プロファイルモニターの 開発

2016年度に導入したBL13XU/ダイヤモンドモニター用画像収集システムの運用を開始し、Zrフィルターをビーム位置に同期させた画像の取得に成功した。その後プロファイル測定を定期的に行い、ビーム中心の定量的変化を見積もった。

(2)高熱負荷機器用銅材料の内部残留歪み評価

2017年度は約300℃で圧縮歪みが付与された無酸素銅について回折プロファイルの測定を行い、転位密度の導出を行った。今回の実験では2次元検出器Pilatus3X CdTe 300Kを使用し、これまでよりも詳細な回折プロファイルを測定することができた。フーリエ解析法による結果、圧縮歪みが0.9%から3.8%に変化するのに対して、転位密度は $1.3 \times 10^{13} \,\mathrm{m}^{-2}$ から $4.2 \times 10^{14} \,\mathrm{m}^{-2}$ となった。

(3)パルスモード計測型光位置モニターの開発

2016年度にBL02B1に設置したパルスモード型 XBPMを用いて総合評価試験を行い、目標である単極性の短パルス(半値全幅0.8 ns)の出力信号を観測し、安定性の観点からも実現可能であることを実証した。パルス波高は蓄積リングのバンチ電流値に比例し、光電子収集電極の電圧調整で出力波形を制御できることを確認した。

4. 光学系・輸送系

4-1 標準型 X 線二結晶分光器の安定運用のための改良 と老朽化対策

2017年度は、2016年度末に安定化された4ビームライン (BL19LXU、BL20XU、BL29XU、BL41XU) の分光器の振動を評価することに加え、ビームイメージの評価を行った。安定化は具体的に、振動体の剛性向上として、冗長な第1ティルトステージの排除、及び、第2ティルトステージの高剛性化と、新たな低振動フレキシブルチューブの導入を行った。結晶冷却用の配管を1/2インチと1/4インチに分岐し、1/2インチを第1結晶、1/4インチを第2結晶の冷却に使用した。このことにより第2結晶への流量が抑えられ、第2ティルトステージの振動が更に抑制されると期待された。また、低振動配管の内部構造の変更により、低振動と低圧力損失を更に向上させた。

次世代SPring-8分光器の振動として、二結晶間の相 対角度ずれを50 nrad以下に抑えることを目標としてい

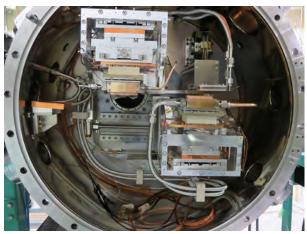


図1 BL35XU分光器内部 T1をなくし、T2をワイド型チルトステージとした。

る。安定化された分光器の振動計測を行い、BL19LXUで55 nrad、BL20XUで85 nrad、BL29XUで100nrad、BL41XUで111 nradという値を得ている。参考に、2011年の時点では振動は800 nradを超えていた。

振動の抑制によって、光学素子の非均一性や表面汚染に起因するビームイメージの斑が固定され、目立つようになってきた。分光結晶の表面汚染によるビームイメージの劣化が認められ、ステージに使用されているグリースの変更を検討した。ミラー表面の汚染も深刻であり、後述の真空系の更新や光学ハッチの清掃を進めた。フロントエンド部のベリリウム窓の不均一性による縞模様の発生も認められた。

振動低減はまだ目標値には達していないが、一定の効果が認められたため、3ビームライン(BL09XU、BL10XU、BL35XU)に同様の安定化対策を行った。その際、BL10XUでは、汚染対策として、分光器を完全に分解清掃し、フッ素を使用しないグリースを投入した。BL35XUでは、Y1軸を除いて分解清掃・脱フッ素化し(図1)、Y1軸に関してはビームラインで旧グリースの拭き取り・脱フッ素グリースの塗布を行った。2018年度に効果を確認する予定である。

また、液体窒素循環装置の定期保守、分光器5台 (BL02B1、BL14B2、BL19B2、BL37XU、BL39XU) の 動作確認及び定期保守を行った。動作不良のあった BL02B1分光器のステージを修理した。

4-2 ミラー光学系の高性能化

(1)軟X線ビームライン用Wolter型サブミクロン集光光 学系の導入

軟 X 線ビームライン用後置集光ミラーとして 2016 年度にモノリシックな部分 Wolter ミラーの設計検討 を行い、2017年度にはミラーの製作と調整、並びに ビームラインへの設置と利用まで完了した。Wolter



図2 BL25SU光電子分光装置内に設置されたWolterミラーと 超高真空対応調整機構

ミラーは各焦点を共有する軸対称の部分回転楕円面 と部分回転双曲面で構成されておりコマ収差が小さ い。BL25SUaブランチの光電子分光実験で常用され る回折格子分光器の分解能から求められる出射スリッ トサイズは、垂直方向数十μm、水平方向数百μmの ビームサイズである。これを光源として、試料位置で 垂直方向サブミクロン、水平方向ミクロンオーダーの 微小集光が求められた。ビームを用いた試作ミラーの 評価と、ミラーの製造経験をもとに、挑戦的ではある が2017年度内に製作可能なレベルの形状及び形状誤 差を探索しつつ、シミュレーションを併用して形状を 決定している。Wolterミラーの試作とビームライン での集光評価実験を繰り返すことでミラーの加工及び 計測技術の向上に取り組み、2017年度に垂直方向0.32 μmで水平方向3.4 μmの集光サイズが達成された。あ わせて、設計通り、大きな許容設置誤差(ピッチング 許容誤差: ± 0.8 mrad) を確認した。

本ミラーはワーキングディスタンスが250 mmであり、超高真空雰囲気の光電子分光装置に対しては短いため、実験装置と同じ超高真空容器内に組み込まれている(図2)。マイクロビーム角度分解光電子分光装置の設計と設置作業に協力し、BL25SUにて本装置にインストールしたミラーの集光調整後、利用実験に供している。

4-3 光学素子評価及び製作環境の高度化

SPring-8実験ホールの光学系・輸送系開発・維持管理 エリア付近へ次期計画試験ハーフセルを2017年度末に 設置し試験を行うことが決まった。このため、当該開発・ 維持管理エリアの設備の移設とSPring-8/SACLA光学 系・輸送系の開発・維持管理拠点の整理統合を目的とし て、物理科学研究棟に新たなクリーンルームが2017年9 月までに整備され、移設後の装置の立上げ調整が進めら

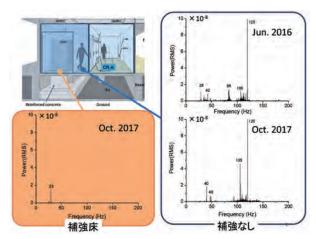


図3 新設クリーンルーム床面補強床部の振動レベル

れた。成膜装置、高精度表面形状計測装置、光学素子洗 浄装置などは特注あるいは開発装置であり、環境に敏感 であるので、組み直し、再設置作業を順次進めている。

低次の絶対形状の評価には、低振動かつ温度・湿度の変化を避けなければならない。物理科学研究棟地下にはユーティリティピットがあるため、クリーンルーム整備前の振動レベルは実験ホールなど従来環境と比べて格段に高いものであったが、地盤から補強コンクリートを打ち、精密計測装置設置部の低振動化を実現した(図3)。一方、計測の多くは空気揺らぎに敏感であるため、大風量による温・湿度制御は不向きである。このため従来、自作の超精密恒温恒湿室を装置と一体で整備してきたが、これらをすべて解体し、新たな建屋・クリーン環境での再構築と整備を急いでいる。

既設のクリーンルームではパーティクル管理されているが、光学素子の汚染源となりうる有機物汚染が管理されていない。新クリーンルーム建設においては、低コストながら発塵・有機物汚染を最小化するような建材の選択、施工管理と、ベーキング処理及びフィルター設置により、総有機物量を従来クリーンルームの2桁程度抑制している。光学素子表面の特にコーティング面に対して活性で汚染が進みやすいため、継続的かつ簡易の評価方法の確立を検討している。

4-4 輸送系機器

(1)標準排気ユニットの粗排気ポンプ更新に向けた評価

X線ビームラインの排気系に組み込まれている粗排気ポンプ(スクロール型)の老朽化に伴う保守コストを抑制するため、これまでに7本のビームラインで先行導入試験を行った結果、電気ノイズ、メンテナンスフリー及び放射線環境の観点で光学ハッチ内での利用が可能と見込まれた。そこで、スクロール型ポンプの寿命を鑑みながら、ルーツ型粗排気ポンプへの一斉更

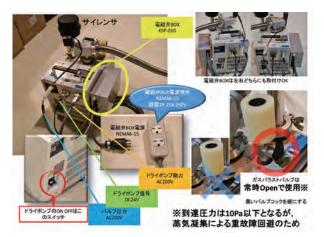


図4 新たに標準化された光学ハッチ・輸送系用ルーツ型粗排 気ポンプK15型外観と配線

新を開始した。

この際、排気ユニットやスクロールポンプスイッチボックスの端子台を中心とした1次電源ラインを整理し、ターボ分子ポンプ、粗排気ポンプ及び真空ゲージと、次項目のイオンポンプについてもすべて共通のコネクタ取り合いとなるように整理した(図4)。また付属部品を含めSPring-8環境における低ノイズかつ長期間メンテナンスフリーの粗排気ポンプの規格を定め、29本のビームライン光学ハッチ・輸送系への設置を行った。

(2)標準排気ユニットの主排気ポンプのイオンポンプ化に向けた評価

X線ビームラインの排気系はターボ分子ポンプと粗排気ポンプで構成されている。いずれも回転型の排出ポンプであり、光学ハッチ内の振動源、騒音源、発熱源となっており、また粗排気ポンプについては機種・運転時間に応じて1~3年程度で保守が必須である。これらの問題点を解消すべく2016年度には溜め込み型のイオンポンプの導入を検討し、BL19LXU、BL32B2の光学ハッチ内真空セクションにて試験導入を行った。

2017年度には試験運転を開始し、従来と変わらず 良好な真空性能が確認されたことから、BL13XU、 BL29XU、BL41XUに関しても光学ハッチ内の主排気 ポンプをイオンポンプ化し運転を開始している(図 5)。また、この際に光学ハッチ内天井、側面、床面の 清掃を行い、さらにハッチ内を土足禁止とすることで 光学素子の汚染低減に向けた取り組みを開始している。

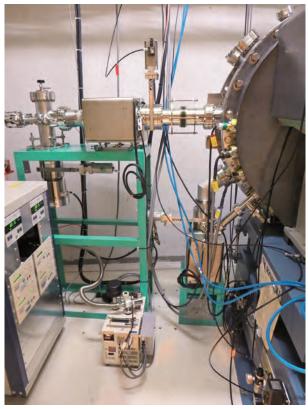


図5 BL41XUに導入されたイオンポンプと制御ラック及びK 型ドライポンプ

5. 遮蔽

5-1 ビームライン遮蔽ハッチ保守

(1)不具合対策・部品交換

BL10XU実験ハッチ2、BL15XU光学ハッチ、BL19B2 実験ハッチ2、BL19B2実験ハッチ3、BL23SU光学 ハッチ、BL26B1実験ハッチ1、BL28B2実験ハッチ1、 BL28B2実験ハッチ2、BL32B2実験ハッチ2、BL40XU 光学ハッチに関して不具合対策、部品交換などの保守 を実施した。

(2)自動扉保守

全共用ビームラインに対し、自動扉リニアガイドの 摺動部点検・グリスアップを実施した。

(3)自動扉制御盤改修

BL13XU実験ハッチ4、BL37XU実験ハッチ3、BL39XU実験ハッチ2、BL46XU実験ハッチ2に関して自動扉制御盤の改修を行った。

(4)改造申請への対応等

BL32B2、BL36XU、BL10XUに関して改造申請への対応等を行った。

5-2 申請時遮蔽計算

第42次変更許可申請において、L3BTへの出射の廃止に伴う線量評価見直し、BL24XUの出力の下方修正及び光学ハッチから実験ハッチへの変更に伴う線量計

算を行った。第43次変更許可申請においては、SACLA 50 MeV ダンプ撤去に伴う申請書上の変更箇所について安全管理室及びインターロックチームと検討を行い、BL10XUのID交換(出力の下方修正)に伴う遮蔽計算を実施した。また、第44次変更許可申請に備えて、BL45XU改造に伴う遮蔽計算を実施した。

5-3 ビームライン放射線漏洩検査

BL09XU (ID最小ギャップ変更)、BL19LXU (ID最小ギャップ変更)、BL20XU (局所遮蔽付け直し)、BL32B2 (実験ハッチ2増設)、BL36XU(検出器遮蔽体補修)のサーベイを行った。

5-4 放射線測定及び手法の開発

ガフクロミックフィルム読み取り装置の保守を引き続き行った。また、電子線量計による中性子線量の時系列測定を、運転モード毎に蓄積リング収納部天井にて行った。

JASRI 光源基盤部門

田中 隆次、高橋 直、大橋 治彦 山崎 裕史、仙波 泰徳、竹下 邦和 成山 展照、後藤 俊治