

3-2 ビームライン

1. 全体概要

ビームラインの空ポートを埋め、SPring-8を有効に利用すべく、2006年度から再びビームラインが精力的に建設されはじめ、2009年度には、豊田ビームライン (BL33XU)、フロンティアソフトマター開発産学連合 (BL03XU)、東京大学放射光アウトステーション物質科学 (BL07LSU)、また、2010年度には、理研ターゲットタンパク (BL32XU) が利用段階に入った。2010年度も引き続き、新設ビームラインの機器設計、建設、コミッショニングなどが進められた。

理研量子ナノダイナミクス (BL43LXU) では、2011年秋からの稼働開始を目指して挿入光源、フロントエンド、光学系、遮蔽等の整備が進められている。東京大学放射光アウトステーション物質科学 (BL07LSU) では以下に示すように挿入光源の8セグメント化 (挿入光源のフルスペック化への主たる工程) が2010年度に行われ、光学系調整などと合わせてビームライン全体での調整と利用運転が進められた。独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の固体電池プロジェクトとして開始された京都大学革新型蓄電池先端基礎科学ビームライン (BL28XU) では、基本的な光源・光学系の設計は完了し、遮蔽ハッチの整備が進められ、その他の機器について設計・製作が開始された。2011年秋からの稼働を目指している。さらに同じくNEDOの燃料電池プロジェクトとして電気通信大学先端触媒構造反応リアルタイム計測ビームライン (BL36XU) の建設が認められ建設が開始された。2012年からの稼働を目指して光源・光学系の基本的な検討が始まった。また、大阪大学の核物理研究センターの提案によるレーザー電子光Ⅱビームライン (BL31LEP) は、2010年度に建設が正式に決定し、まずはリング棟外の専用実験棟の建設が完了した。レーザー入射部とガンマ線取り出しビームラインを含むビームライン全体の具体的な検討が進められた。2012年度利用開始を目指し、2011年度から本格的な建設に入る。なお、これにより蓄積リングの4箇所長直線部は全てビームラインが建設され、利用に供されることになった。

2010年度当初に、「低炭素社会構築に向けた研究基盤ネットワークの整備事業」のグリーン・ナノ放射光分析拠点として、理化学研究所がサテライト拠点の整備を単年度予算 (2009年度補正予算) にて実施することが決定した。分光分析ビームライン (BL37XU) 及び磁性材料ビームライン (BL39XU) の2本においてビームライン延伸・ハッチ整備及びナノビーム集光光学系設置、並びに上流の分光器の安定化のためのアップグレードなどが実施され、各々ナ

ノビームX線蛍光分析装置とナノビームX線吸収スペクトル計測装置として2011年度からの供用に向けた整備が行われた。

さらに、本文に示すように挿入光源、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既存ビームライン共通部に関する維持管理、高度化開発が継続的に実施された。

(後藤 俊治)

2. 挿入光源

2-1 新規増設・改造

(1) BL07LSU第二期計画

BL07LSUはSPring-8に4つある長直線アンジュレータビームラインのうちの1つであり、250 eV以上2 keV以下の軟X線領域において可変偏光高輝度放射光の供給を目指して建設が進められてきた。ビームラインの建設計画は2つの期間に分けられ、2009年に運転を開始した段階では8の字アンジュレータ4台が光源として設置され、水平偏光のみが利用可能であった。第二期計画では、これらのアンジュレータに加えて垂直偏光8の字アンジュレータ4台、永久磁石移相器7台、電磁石移相器7台が設置され、水平偏光及び垂直偏光、並びに左右円偏光が利用可能となる。2009年度に開始されたこれらの機器の製作は2010年度に完了し、同年の夏期及び冬期点検調整期間に設置及びアライメントが行われた。

(a) 垂直偏光8の字アンジュレータ製作

通常の8の字アンジュレータでは、電子の進行方向に法線を持つ平面へ投影した電子軌道 (投影電子軌道) は8の字状となり、基本エネルギーにおいて水平偏光が得られる。BL07LSUでは垂直偏光及び円偏光も供給するために、全アンジュレータ8台中4台を垂直偏光8の字アンジュレータ (基本エネルギーにおいて垂直偏光を発生する8の字アンジュレータ) が占める。このアンジュレータにおける投影電子軌道は、数字の8を90°だけ回転した図形 (∞) となり、具体的な磁場分布は、通常の8の字アンジュレータの垂直磁場と水平磁場を交換したものとなる。このような特殊な磁場を生成するために図1のような磁気回路を考案し、得られる偏光度やフラックスを考慮した上で磁石寸法等を決定した。

(b) 永久磁石移相器製作

BL07LSUのようにアンジュレータを複数のセグメントに分割した場合、各セグメントから放出される光の位相を

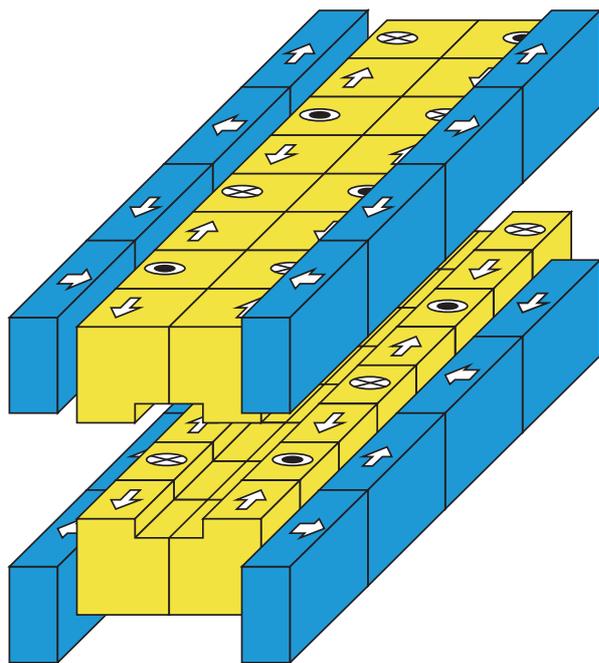


図1 垂直偏光8の字アンジュレータ磁気回路

整合させる必要がある。移相器はこの目的のためにセグメント間のドリフト部に設置される装置であって、電子にバンプ軌道を描かせることにより位相整合を行う。移相器が占めるスペースはアンジュレータにとってはデッドスペースとなるため、可能な限り短くすることが望ましい。このため、アンジュレータ1周期分の磁気回路から構成されるコンパクトな永久磁石型移相器を製作し、ドリフト部に設置した。

(c) 電磁石型移相器製作

移相器は一般的に光の位相整合を行うことによりフラックスを最適化する装置であるが、BL07LSUでは円偏光モードにおける偏光極性切替という役割も担う。上述した永久磁石移相器では磁石ギャップを開閉することにより位相調整を行うため、高速の偏光切替は期待できない。ロックインアンプ等を利用した実験に対応するためには10 Hz以上の偏光切替速度が必要となるため、これを実現するために電磁石型移相器の製作を行った。製作コストを削減するため磁石ヨークにカットコアトランスを用いる方式を採用し、高速偏光切替を行う上で必要な各種試験を行った。この結果、移相器として十分な性能が得られていることを確認した。

(d) コミッショニング

夏期点検調整期間中に垂直偏光8の字アンジュレータ4台、永久磁石移相器7台を設置し、10月からコミッショニングを開始した。垂直偏光8の字アンジュレータではその構造上、放射パワーが垂直方向に大きく発散し、下流側偏向磁石真空槽に加わる熱負荷が従来と比べて甚大となるため、大幅な温度上昇が懸念されていた。このため、真空槽

外面に設置された熱電対で温度をモニターしながら各アンジュレータのギャップを開閉することにより、運用可能なギャップ範囲について調査した。この結果、(i) 500 eV以上の光エネルギーでは無制限に使用可能であること、(ii) それ以下の光エネルギーでは使用できるアンジュレータ台数に制限が必要であることが明らかとなった。現在この方針に則って運用がなされている。またコミッショニングを進めていく過程で、各アンジュレータセグメントからの放射光の光軸が一致しないという問題が生じた。各種調査の結果、各アンジュレータ上下流に設置された電子軌道補正用ステアリング磁石と、永久磁石移相器及びアンジュレータの端部磁石が磁場的に干渉することによって誘起される不整磁場が原因であることが判明した。対策について検討した結果、(i) 永久磁石移相器の磁石極性の反転、(ii) ステアリング磁石電流のオフセット電流の調整という2つの手法を組み合わせることにより光軸補正を実施し、実用上問題ない程度にまで改善したことを確認した。

(2) 新規ビームライン用挿入光源の設計・製作

2011年度稼働予定の新規ビームラインBL43LXU及びBL28XUに関して挿入光源の設計を行った。BL43LXUは長直線アンジュレータビームラインであるが、BL19LXUやBL07LSUとは異なり、直線部途中に収束磁石部を2箇所挿入し、垂直ベータ関数を最適化することにより、最小ギャップ5.2 mm、全長5 m程度のアンジュレータを3台設置できるように設計されている。光エネルギーに対する利用者の要求を踏まえた上で、周期長19 mmの真空封止アンジュレータを採用し、磁石列の設計を最適化した上で製作を開始した。BL28XUではBL33XUと同様の高速XAFSを利用した実験が想定されているため、光源としてもこれと同様の真空封止テーパアンジュレータを採用し、現在製作が進められている。これら2台のアンジュレータは2011年度夏期点検調整期間中に設置予定である。

2-2 高度化

(1) クライオアンジュレータ実証機の開発

クライオアンジュレータに関する2009年度までのR&Dの結果を踏まえて、その実証機の製作に着手した。具体的には、永久磁石材料の選定、周期長の選択、永久磁石ユニットの設計・製作、銅製ビームの設計・製作、冷却システムの検討などである。2011年度に永久磁石列を既存アンジュレータ試験架台に設置し、各種磁場測定を行った後、冷却試験及び低温環境での磁場測定試験、並びに真空試験等を実施する予定である。最終的には開発した実証機を蓄積リングに設置し、ビームによる熱負荷試験や光学特性の評価などを行い、今後のクライオアンジュレータ開発の指針とすることを目標とする。

(田中 隆次)

3. フロントエンド

3-1 新規増設・改造

(1) 新規フロントエンド建設

2010年度にBL43LXU及びBL28XUのフロントエンド建設を開始した。BL43LXUは既設のBL43IRとビーム軌道が交差するため、クロスポート部の改造も行った。両ビームラインとも2011年度夏期点検調整期間中に完成し、第5サイクルにコミッショニングを行う予定である。

(2) 既設フロントエンドの改造

ビームライン担当者からの要求により、BL16XUにおいて出射ビームの均一性向上のためベリリウム窓を初期型（粉末素材）から高純度・高面粗度型（融解素材）に交換した。

(3) 経年劣化対応

(a) ワイヤメッシュ挿入型高熱負荷機器における冷却流量低下

SPring-8建設初期に製作した高熱負荷機器の一部には、米国アルゴンヌ国立研究所から技術供与を受けたワイヤメッシュ挿入技術が採用されている。当該技術は、機器の冷却水路に銅製メッシュを挿入することにより除熱効率を高めるものであるが、メッシュ内の汚れを除去するために、特殊薬品による年1回のメッシュ洗浄が必要とされている。建設当初より毎年夏期点検調整期間中に洗浄を実施してきたが、BL41XUにおいて流量低下によるビームアポートが発生する事態に陥った。洗浄することにより流量は一旦元に戻るが、その後数ヶ月以内に再度流量低下が認められ、さらにBL44XU、BL45XUにおいても同様の流量低下が確認された。このため、2011年度より順次ワイヤメッシュ挿入型高熱負荷機器を、改良型であるワイヤコイル挿入型機器（毎年の洗浄不要）に交換していく予定である。

(b) 挿入光源用光位置モニター（XBPM）の整備

SPring-8建設初期から使用している光位置モニター（XBPM）の一部で、経年劣化による性能低下が見られる

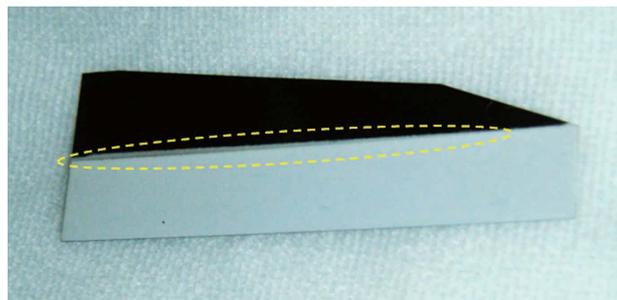


図2 タングステン・ブレードの溶射部の変色

ようになってきている。BL41XUとBL45XUの光位置モニターにおいては、検出素子として用いているタングステン・ブレードの暗電流がしだいに増加してきた。原因は、図2に示すように、X線の受光部を見込むブレードのセラミック溶射部の緑が茶褐色に変色していることから、沿面放電によるものと考えられる。そのため、夏期点検調整期間中に検出部のみを取り外して現状を確認するとともに、変色箇所を研磨することで対処した。また、光電子収集用電極に電圧（100 V）が印加できなくなっていた症状については、茶褐色に変色した収集電極ネジ止め部の絶縁ワッシャとボルトを取り外すことによって対処した。保守を施したこれらのXBPMの実ビームを用いた動作確認・調整作業を2010B第5サイクル開始時に実施し、暗電流及び電圧印加不良の問題を解消した。

3-2 高度化

(1) 無酸素銅製高熱負荷機器の熱的限界調査

電子ビーム照射装置を用いた低サイクル疲労破壊試験の結果、無酸素銅の破壊形態はアルミナ分散強化銅と全く異なることが確認された（図3）。アルミナ分散強化銅製試験片で観察されたクラック発生→伝播→亀裂による破壊という一連の形態ではなく、クラックが広範囲に広がるがマクロな亀裂に発展しない状況が見られる。この欠陥は粒界に

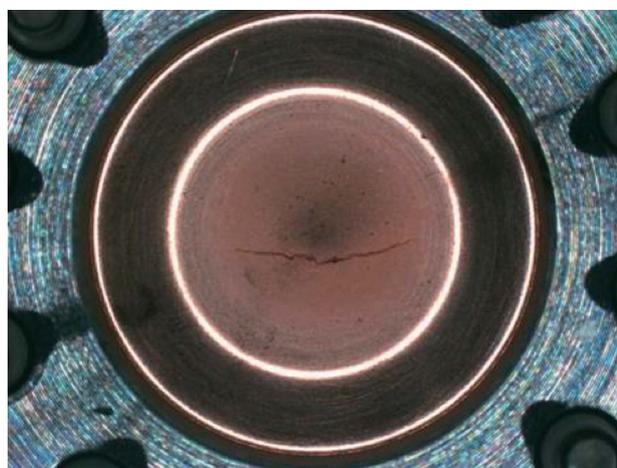
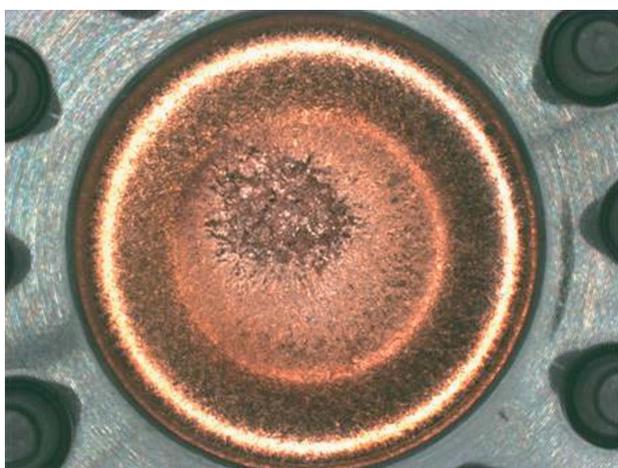


図3 電子ビーム照射後の低サイクル疲労試験片表面の状態（左：無酸素銅、右：アルミナ分散強化銅）

集中しており、クリープによる粒界キャビティ生成・合体によるものと推察される。このため、アルミナ分散強化銅製試験片で採用したマクロ亀裂長さによる破損回数の評価が行えず、代わりに断面の空隙率から破損回数を決定した。その結果、アルミナ分散強化銅のケースで確立したManson-Coffin則による寿命予測法では、観察された破損繰り返し数（Observed Life）と弾塑性解析から算出した予測寿命（Predicted Life）との間に大きな開きがあり、かつ危険側（Observed Life < Predicted Life）の評価となった。これは、無酸素銅の損傷にクリープの影響が大きく寄与しており、クリープ歪みを塑性歪みと共に非弾性歪みとして一括して取り扱う手法が無酸素銅については不適当であることを示唆する。

今後は圧縮クリープの破損に及ぼす影響を調査し、寿命予測方法の確立を目指す。

(2) 放射光を使った残留歪みの定量的評価

引き続きグリッドコップの内部塑性歪み評価をBL02B1で行った。今回の実験では、既知の圧縮歪み量を持った試験片の厚さを低サイクル疲労試験片とほぼ同じにすることにより、回折プロファイルが試験片の厚さに依存しない測定系とした。その結果、低サイクル疲労試験片の塑性歪みは電子ビームの照射回数が2回以上の場合、0.7%から1.2%程度であると見積もられた。一方FEM計算では2回照射後で1.4%に達するが、8回照射後には約1.8%でほぼ一定になっており、塑性歪みの測定値は、計算値よりも小さいことがわかった。このことは、電子ビーム照射装置を用いた疲労試験で確認できた寿命が、弾塑性解析から求めた予測寿命よりも長かった結果と定性的に合致している。

(3) 高速遮断シャッター (FCS) システムの定量的性能評価

FCSシステムは、ビームラインにおける真空事故を検知し、フロントエンドに装備された高速遮断シャッターを駆動させ、蓄積リングの超高真空を保護する重要な役割を担っている。

しかしながら、従来真空計の応答速度や流体解析の数値計算コスト（技術と時間）の問題等から定量的な性能評価はSPRing-8以外においてもなされていない。本研究では真空破損時のフロントエンド及び蓄積リング末端における圧力の時間的変化を捉えることを目的とし、2010年度は図4に示す衝撃波伝播評価装置（ICF70配管系×6 m長）を製作するとともに、準1次元連続流体解析を作成した。突発的な真空事故を模擬するトリガー装置に35 μmのゼロハン突き破る駆動針を装備することで、圧力センサーによる衝撃波マッハ数の算出が可能であることを確認した。また、連続流体解析から得られた圧力比が 10^5 における圧力波形は、管摩擦係数を0.009に設定した場合、測定波形と良い一致をみた。

(4) 高品質窓の開発・評価

日本国内メーカー製真空蒸着ベリリウム箔に表面研磨を



図4 衝撃波伝播評価装置

施したものについて、理研物理学 I ビームライン (BL29XU) で品質の評価を行った。研磨無しの場合の結果と比べると格段に改善されており、従来購入してきた米国製のものとはほぼ同等のパフォーマンスが得られることが確認できた。

その一方で、機械的特性の向上を目的として製作した2回蒸着タイプのものも同時に評価したが、界面の影響で透過ビームのコヒーレンス性が著しく低下する結果となった。今後は実機への投入に向けて真空気密性を損なわないホルダーへの接合技術、機械的強度等について調査を継続する。

(高橋 直)

4. 光学系及び輸送チャンネル

4-1 新規増設・改造

2009年度に引き続き、理研量子ナノダイナミクス (BL43LXU) 及び東京大学放射光アウトステーション物質科学 (BL07LSU)、並びに京都大学革新型蓄電池先端基礎科学ビームライン (BL28XU) の建設と、2010年度から電気通信大学先端触媒構造反応リアルタイム計測ビームライン (BL36XU) の新設のため、光学系及び輸送系、並びに遮蔽について技術的支援を行った。また、「低炭素社会構築に向けた研究基盤ネットワークの整備事業」のグリーン・ナノ放射光分析拠点として、分光分析ビームライン (BL37XU) 及び磁性材料ビームライン (BL39XU) においてそれぞれナノビームX線蛍光分析装置とナノビームX線吸収スペクトル計測装置のための光学系の整備を進めた。

4-2 光学系

(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

(a) 水冷結晶分光器の安定化

2009年度までにアンジュレータ用直接水冷結晶分光器に

対して安定化対策を進め、X線ビーム強度の変動幅1%以下という高いレベルの安定度を得た。2010年度の夏期点検調整期間中に分光分析ビームライン (BL37XU) の分光器に対して同様の対策を行った。

また、振動対策の一環として、高圧構造物性ビームライン (BL10XU)、構造生物学Ⅲビームライン (BL38B1)、産業利用Ⅲビームライン (BL46XU) の冷却水循環装置を高安定なシステムに更新した。

(b) アンジュレータ用液体窒素冷却結晶分光器の安定化

2009年度までに進めてきたアンジュレータ用直接水冷結晶分光器に対する安定化対策を参考に、液体窒素冷却結晶分光器の安定化に向けて、テストベンチにて各種の要素技術について試験を行った。具体的には、(i) 液体窒素循環経路の単純化、(ii) 液体窒素配管の低振動化、(iii) 液体窒素配管の断熱、(iv) 放射線シールドの設計を行った。特に低振動化に関しては、新型配管の製作によって、結晶マウントステージの振動を1/10以下に抑えることに成功した。

グリーン・ナノ放射光分析拠点の整備として、新たに高安定の液体窒素冷却型分光器を設計・製作し、2010年度末に分光分析ビームライン (BL37XU) 及び磁性材料ビームライン (BL39XU) に設置した。図5は調整中のBL39XU分光器の内部である。安定化要素試験の結果を踏まえて、上記の対策 (i) から (iv) が全て盛り込まれている。分光器の立ち上げ調整は2011A期に実施する計画である。

(c) 標準型X線二結晶分光器の老朽化対策

分光器の長期間にわたる使用により、モーター、ギア等の部品の老朽化や、ケーブル被覆等の放射線劣化が見られる。異常の早期発見のための点検・保守を長期運転中止期間に順次行っており、2010年度は核共鳴散乱ビームライン (BL09XU)、構造生物学Ⅰビームライン (BL41XU)、産業利用Ⅰビームライン (BL19B2)、並びに産業利用Ⅱビームライン (BL14B2) に対して行った。

構造生物学Ⅱビームライン (BL40B2) では各ステージ

に動作不良が見られたため、本格的な補修を行った。当分光器の製造メーカーは放射光関連事業から撤退しているため、補修に当たっては新規に必要な部品の設計・製作を行った。具体的な補修内容は、(i) ブラッグ角微小ステージのギア部品の取り替え、(ii) 一部ステージのギア部の洗浄及びグリースアップ、(iii) 全ステージのリミットスイッチの交換、(iv) モーターケーブルの劣化箇所の補修である。

(2) 集光光学系の普及促進

2009年度までに実施した高強度マイクロ・ナノビームの普及促進を推し進め、5本のビームラインにおいて、担当者との緊密な連携のもと、それぞれの実験系に最適化したKB (Kirkpatrick-Baez) ミラーとミラー姿勢調整機構の設計と開発、あるいはビームラインへの導入・評価を進めた。

理研物理科学Ⅱビームライン (BL19LXU) では、2009年度に設計と開発を行ったマイクロ回折顕微鏡のための高強度100 nm集光光学系を、2010A期にビームラインに導入し評価した。結果、BL19LXUのロングアンジュレータ高輝度光源と、約130 m長のビームラインを利用し、100 mmのワーキングディスタンスを有するFWHM 100 nm×100 nm集光ビーム、集光光子数 3.7×10^{10} (photons/s) (X線エネルギー 12.4 keV) を実現し、利用実験を開始した。

京都大学革新型蓄電池先端基礎科学ビームライン (BL28XU) では、マイクロビームによるQuickXAFS計測のためのKB集光ミラーとミラー姿勢調整機構の設計と開発を行った (図6)。ワーキングディスタンス100 mmを持ち、10 keV以下のX線エネルギーにおいて使用可能な高強度1 μm 集光用KBミラー光学系の開発を目的とし、1 μm 集光ビームに 6×10^{11} (photons/s) の集光光子数が得られる光学配置を設計した。また、試料周りに設置される機器配置を考慮したミラー姿勢調整機構を開発した。2011B期に本ビームラインに導入し、集光ビームの評価を経て、その後、利用実験を予定している。

電気通信大学先端触媒構造反応リアルタイム計測ビーム

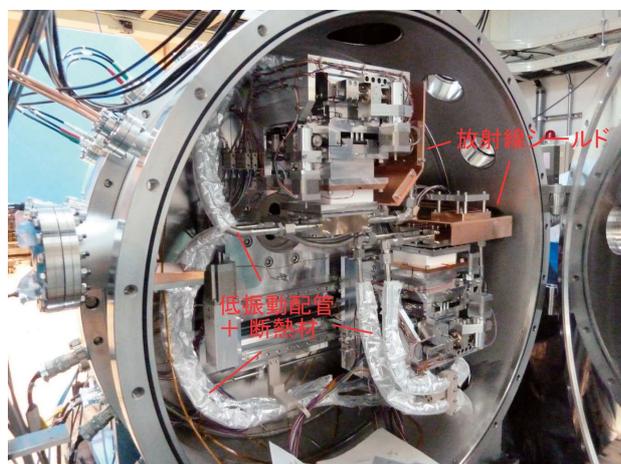


図5 BL39XUに新設された分光器の内部

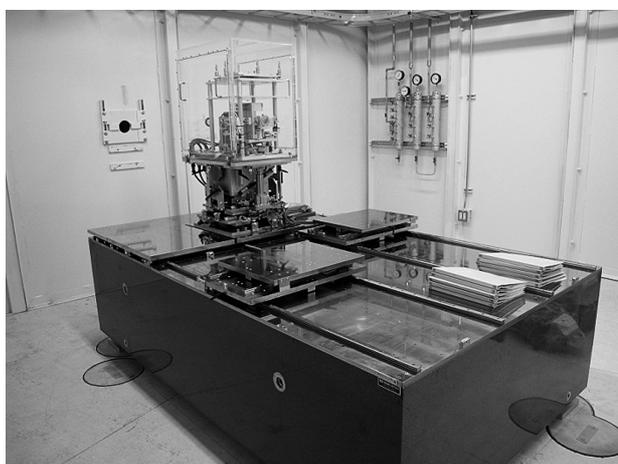


図6 BL28XU KBミラー集光調整機構搭載光学定盤

ライン (BL36XU) では、100 nmビームによるQuickXAFS計測のためのKB集光ミラーの設計を行った。本ビームラインでは、ワーキングディスタンス100 mmを持つ2ペアのKBミラー集光光学系を設計した。1つは入射X線エネルギーが15 keV以下用のKBミラーであり、もう1つは入射X線エネルギーが30 keV以下用のKBミラーである。それぞれ、最大の集光フォトン数が得られるように最適設計を行った結果、100 nm集光ビームに 10^9 (photons/s) 台の集光フォトン数を見込んでいる。BL36XUは2010年よりビームラインを建設中であり、本光学系は、2011年度にミラーとミラー姿勢調整機構の開発を行い、2012年度にビームラインに設置し、利用実験を目指している。

グリーン・ナノ放射光分析拠点の整備として、分光分析ビームライン (BL37XU) 及び磁性材料ビームライン (BL39XU) では、蛍光X線分析法及びX線吸収スペクトル計測法、並びにX線磁気円二色性分光法等のX線分析手法において、100 nm分解能のX線プローブ光の供用を目的とし、高強度・高安定100 nm集光ビームが利用可能なKBミラー集光光学系の開発を行った。BL37XUでは、15 keV以下のX線エネルギー領域において利用可能なKBミラーの設計と共に、KBミラー姿勢調整機構の開発を行った。また、BL39XUでは、KBミラー姿勢調整機構の開発を行った。

それぞれのビームライン共に、検出器や試料走査ステージ、試料環境変更用の電磁石等の試料周りの機器配置を考慮し、ワーキングディスタンス100 mmを持ち、高剛性ステージと石定盤を利用した高安定な調整機構を開発した。2011A期に集光ビームサイズと集光フォトン数の評価を行い、ユーザー提供の予定である。

(3) 高精度集光光学素子評価技術の開発

X線ナノ集光ミラーのための表面形状計測システム 顕微干涉計型RADSI (Relative Angle Determinable Stitching Interferometry) 装置を開発した (図7)。本計測装置は、曲率半径数m以上の曲率を持つX線ミラーの表面形状計測に対応している。本計測システムは、高精度ステッチング干渉法に基づいており、X線ミラーの部分的な表面形状を計測する顕微干涉計部及びステッチング角度を計測する大型干渉計部、並びにX線ミラーの姿勢調整を行う高精度ステージ部より構成される。大型干渉計のみによるRADSI装置では評価が不可能であったナノ集光ミラーの表面形状を、本計測装置により評価可能となった。ナノ集光X線ミラーを計測した結果、ナノ集光ミラーに必要とされる形状精度4 nm (PV) を満足する計測再現性でX線ミラーの表面形状を評価可能とした。

(4) 軟X線ビームラインにおける分光器の最適化

2010年度新たに4台の挿入光源が追加された東京大学放射光アウトステーション物質科学 (BL07LSU) の挿入光源のコミッショニングと光学調整について技術的な支援を

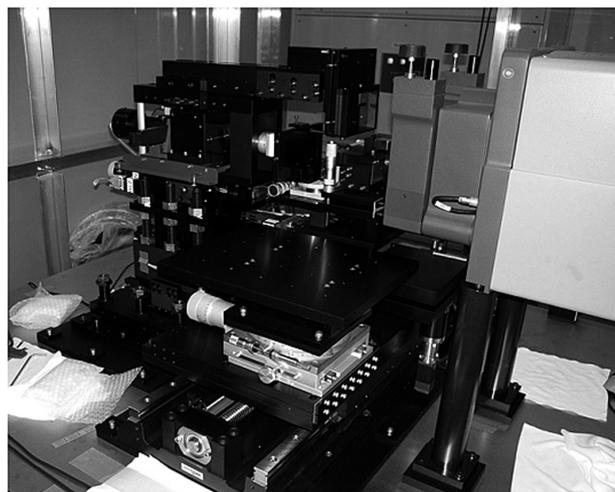


図7 X線ミラー表面形状計測システム
顕微干涉計型RADSI
(Relative Angle Determinable Stitching Interferometry) 装置

行った。挿入光源スペクトルのエネルギープロファイル測定しながら偏光制御アンジュレータのギャップ及び移相器の最適化を行った。内殻吸収スペクトル及び光電子スペクトルを用いた分光器の分解能最適化を行った。また、新たに導入された後置集光系の調整を行い、鉛直方向のビームサイズ $1\ \mu\text{m}$ 以下の微小ビームを実現した。

(5) 有限要素法によるサジタル集光結晶の構造解析

従来のサジタル集光結晶では、曲率の不均一さとタンジェンシャル方向にスロープを有することが問題となっている。これを改善するために、結晶の形状を変更した新型結晶が考案されており、有限要素法解析により形状の評価を行った。図8に曲率半径が約2 mのときの計算結果を示す。従来の結晶と比べて新型結晶では均一な曲率半径と小さなタンジェンシャル方向のスロープエラーを示す領域が大きいことが分かる。

(大橋 治彦)

4-3 輸送系

(1) グリーン・ナノ放射光分析拠点整備のためのビームライン延伸

グリーン・ナノ放射光分析拠点の整備として、分光分析ビームライン (BL37XU) 及び磁性材料ビームライン (BL39XU) では、それぞれナノ蛍光X線分析ステーションとナノXAFS/XMCD分析ステーションの整備のため、ビームラインを延伸し、温度・振動など実験環境の高安定化を図ったハッチを増設し、真空ダクトを敷設した。

本プロジェクトでは、100 nm径の集光X線ビームを安定に提供し、ナノスケールの空間分解能での蛍光X線分析とXAFS及び磁気円二色性分析を可能とすることである。この目的を達成するために、ビームラインを延長することで、100 mmのワーキングディスタンスを有したビームサ

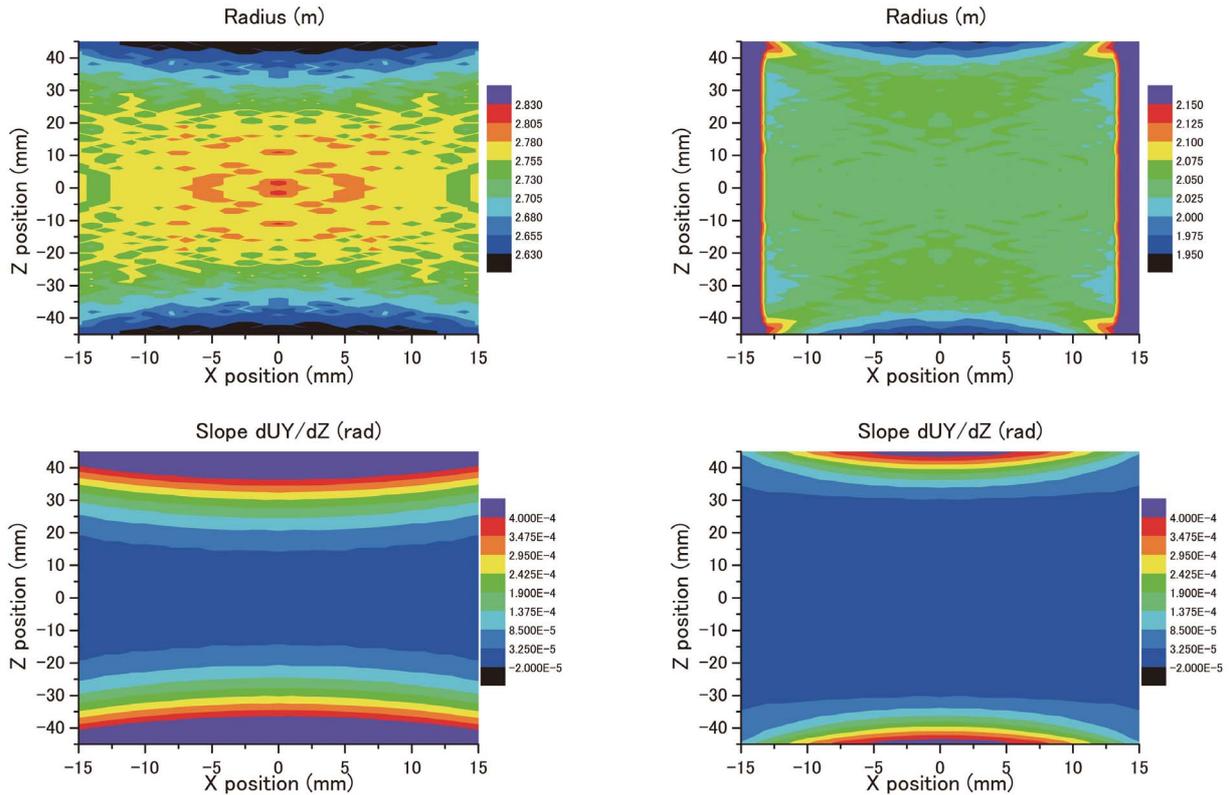


図8 従来結晶（左）と新型結晶（右）に対する有限要素法による計算結果。
上段は曲率半径、下段はタンジェンシャル方向のスロープエラー

イズ100 nmの集光ビームを供給する。

新設されたBL37XU第三ハッチ及びBL39XU第二ハッチには、精密空調機と断熱機構を導入することにより $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ の温度制御を可能とする。図9に改良したBL39XUの概略図と図10に安定化ハッチ内を示す。2011A期に立上調整を行う予定である。

(2) アンジュレータビームライン用単色スリットの設置

アンジュレータビームライン用単色高精度スリットを新たにBL19LXUに設置した。BL19LXUでは微小集光を用いた実験が進められており、その仮想光源として使用できるよう光学ハッチに新規設置を行った。

(3) 液体窒素循環装置の保守

BL09XUにおいて液体窒素冷却用冷凍機の温度調節用ヒーターの過昇温により冷凍機が損傷した。使用状況及び温度調節器の設定に不適切な箇所があり、回路内のリレーの寿命を超えた使用が原因であると判明した。同様の事象を未然に防ぐため、液体窒素冷却分光器を使用している全ビームラインを対象に調査を進め、温度調節器の設定の見直しと予測された寿命に近づいているリレーに関して交換を行った。また、制御装置に関して回路の改良を行った。

現在稼働している液体窒素冷却分光器を使用するビームラインは、合計17ビームラインである。新たに二結晶分光器の液体窒素冷却化を行うBL37XU及びBL39XUに設置を

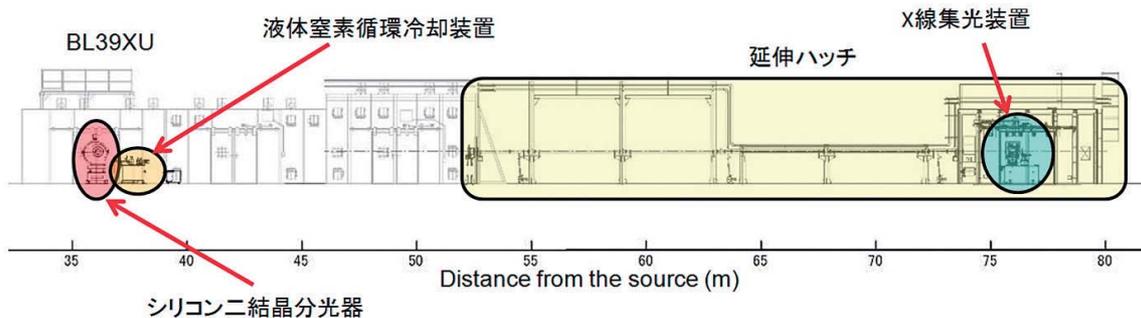


図9 BL39XUの延伸ハッチと導入したコンポーネント



図10 安定化遮蔽ハッチ (BL39XU第二ハッチ)

行った。稼働開始から10年を超えるビームラインがあるため、これまでに行ってきた性能及び安全維持のための通常保守に加えて、老朽化を考慮した保守計画を立案すべく、長期の保守情報の集約を行っている。

(大橋 治彦)

4-4 遮蔽・放射線安全

(1) 大型放射光施設 (SPring-8) 変更許可申請書作成

2010年度中に作成した変更許可申請は、28次及び29次申請である。主に遮蔽チームが積極的に係わった変更点は、28次申請においては、BL28XUフロントエンド部設置及びBL37XU実験ハッチ3増設、並びにBL39XU実験ハッチ2増設、29次申請においては、BL28XU及びBL43LXUの新規ビームラインの設置、並びにBL36XUフロントエンド部設置である。

フロントエンド部設置に関しては、工期工程の確認及び遮蔽材質、寸法、ビームラインの配置等に関する図面取り纏め等を行った。

増設ハッチ及び新規ビームライン設置に対しては、遮蔽パラメータ、光源パラメータ等のすり合わせ確認、機器配置確認・指示、評価点設定、並びに線量評価等を行った。特にBL37XU及びBL39XUの実験ハッチ増設に関しては、計画の初期段階からビームライン担当者等との意思疎通を密にし、放射線評価をハッチ設計にフィードバックすることにより、合理的なビームライン建設を図ることができた。

(2) ビームライン放射線漏洩検査

ビームラインの新規建設や改造等に伴う漏洩検査を安全管理室及びビームライン担当者の協力の下で実施した。主なものは、BL07LSU (挿入光源増強)、BL12XU (下流シャッター交換)、BL19LXU (ダクト移動)、BL35XU (短周期挿入光源への交換・増強)、並びにBL39XU (液体窒素用ダクト新設等) である。

また、2011年4月には増設が完了したBL37XU及び

BL39XUについて放射線漏洩使用前検査を実施予定である。

(3) 施設検査対応

2010年度は、5年毎に行われる原子力安全技術センターによる法定の定期検査が実施された。これに関して帳票整理及びインターロック動作検査、並びに放射線漏洩検査について協力した。

(4) 放射線測定手法の開発

ガフクロミックフィルムの読み取り時間短縮のため、CCDカメラ+白色LED光源システムの性能試験を行った (N. Nariyama, IRRMA-8, Kansas City, 2011)。各種フィルターを設置することによりダイナミックレンジを拡張できること、フィルムの方向依存性がないこともスキャナーに対するメリットである。実用に向けた試験を継続する。

マイクロビームの線量分布評価では、動物実験で利用されたビームデータ (A. Uyama et al., J. Synchrotron Rad. 18, (2011) 671) を元に、ガフクロミックフィルム顕微分光測定結果とモンテカルロ計算を詳細に比較した (N. Nariyama et al., Monte Carlo 2010, Tokyo, 2010)。シングルスリットの実験結果は、以前使用していたマルチスリットの結果より谷部において小さくなり計算値に近づいたが、スリット面における全反射により計算値に比べてまだ大きい値を示した。

電離箱については、パルスX線に対するイオン再結合特性について引き続き調べた。自由空気電離箱に対する理論式を考案し、極板間隔4.2 mmと8.4 mmの実験値を用いて検証を行った。

(竹下 邦和、成山 展昭)

光源・光学系部門
後藤 俊治