

3-3-2 理研ビームライン

理研放射光科学総合研究センターではSPring-8のビームライン利用技術高度化やSACLAの新規利用技術開拓に向けた様々なR&Dに対応し、また理研内の物質科学や生命科学での放射光利用研究を推進するために、現在立上げ調整中のビームラインを含め9本の理研ビームラインを設置している。稼働中の理研ビームラインには、膜タンパク質の微小結晶構造解析で成果を挙げているターゲットタンパクビームライン (BL32XU) や、コヒーレントX線による走査型回折顕微鏡法 (タイコグラフィ法) で奥行き方向の情報を得る新しい手法を開発した物理科学ビームライン I (BL29XU) など、それぞれ独自の特徴を持った構造生物学関連4本、物理科学関連4本の理研ビームラインが順調に技術開発と利用実験を進めている。また、X線非弾性散乱研究用の量子ナノダイナミクスビームライン (BL43LXU) は利用実験に向けた立上げ調整・測定技術開発も最終段階を迎えている。

以下では、ビームライン基盤研究部のユニット毎に運用中のビームライン (BL26B1&B2、BL32XU、BL45XU、BL19LXU、BL44B2、BL17SU、BL29XU) 及び立上げ調整中のビームライン (BL43LXU) の現状について報告する。

(山本 雅貴)

1. 構造ゲノムビームライン I & II (BL26B1、BL26B2)

BL26B1 及び BL26B2 は構造ゲノム研究や基質複合体解析など、膨大な数のタンパク質結晶に対する迅速かつ簡便なX線回折強度測定を目的として、結晶スクリーニングの効率化及び連続自動データ収集システムの開発を行い、ユーザー利用に供している。ビームラインにはSPring-8標準の偏向電磁石ビームライン光学系を採用し、光学系・実験ステーションを含めたビームライン全体の統合的な制御を実現するため、ネットワークを介したクライアント／サーバ型の実験スケジュール管理ソフトウェアBSS (Beamline Scheduling Software) を開発導入した^[1]。さらにサンプル自動チェンジャー SPACE (SPring-8 Precise Automatic Cryo-sample Exchanger) 及びWebインターフェースを備えたデータベースD-Cha (Database for Crystallography with Home-lab. Arrangement) を開発してビームライン自動運転システムを構築し、それらを活用したメールイン・データ収集を行ってきた^[2, 3]。さらに2011年度から、結晶センタ

リング等の条件設定においてより柔軟な利用方法を提供するため、以前よりJASRI制御・情報部門及び構造生物グループと共同で開発を進めてきた遠隔実験システムの利用を開始した。

2014年度は効率的な結晶スクリーニングやデータ収集に向けたビームライン制御ソフトウェアの高度化を行うと共に、実験ステーション機器の高度化の一環としてBL26B1において従来開発を行ってきた、サンプルチェンジャー SPACEの大容量試料ストレージをユーザー利用に供し運用を開始した (図1)。二つの並進軸で試料容器の位置制御を行っていた構成を、一並進軸と一回転軸に変更するとともにストレージ容器形状の設計変更により周辺機器との干渉を最小限に抑えて大容量化を行った。これにより改造前の4倍にサンプル容量が拡大され、SPACEトレイの場合最大6個 (結晶数306個)、Universal V1-Puckの場合最大8個 (結晶数128個) 収納可能となった^[4]。遠隔実験やメールイン・データ収集においてビームタイム中の試料容器の交換作業が大幅に削減され、効率的なビームライン運用及び実験が可能となった。

参考文献

- [1] G. Ueno, H. Kanda, T. Kumasaka and M. Yamamoto: *J. Synchrotron Rad.* **12**, (2005) 380-384.
- [2] H. Murakami, G. Ueno, N. Shimizu, T. Kumasaka

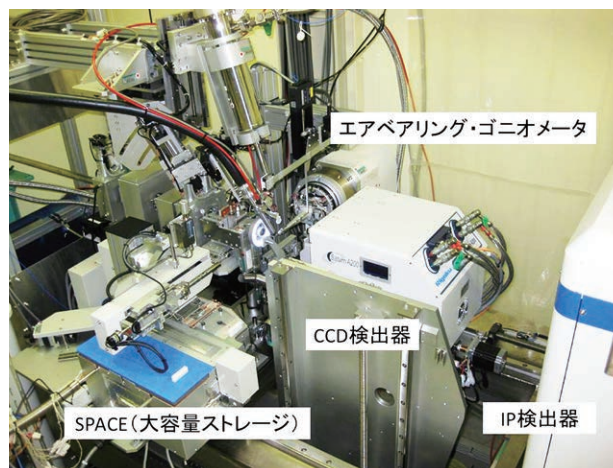


図1 BL26B1 回折計に設置した大容量ストレージ型SPACE

and M. Yamamoto: *J. App. Cryst.* **45**, (2012) 234-238.

- [3] N. Okazaki, K. Hasegawa, G. Ueno, H. Murakami, T. Kumasaka and M. Yamamoto: *J. Synchrotron Rad.* **15**, (2008) 288-291.

- [4] <http://www.crystalpositioningsystems.com/>

(上野 剛、村上 博則)

2. ターゲットタンパクビームライン (BL32XU)

近年の医学・生命科学研究では、構造解析がより困難な疾病や重要な生命現象に関わるタンパク質群の研究に重点が置かれており、それに伴い超高輝度マイクロビームを用いた高難度構造解析サンプルに対応したX線結晶構造解析が望まれている。そこで、理研ターゲットタンパクビームラインBL32XUを文部科学省『ターゲットタンパク研究プログラム』解析課題により2010年に建設して、2012年度からは文科省『創薬等支援技術基盤プラットフォーム』の解析拠点として高難度構造解析に貢献している。2014年度は2013年度に継続して、より効率良くタンパク質の結晶構造決定を行うための装置開発・測定技術開発を重点的に行った。また、創薬等支援技術基盤プラットフォームのポータルサイトを通じビームタイム配分及びユーザー実験の利用支援を行い、インパクトの高い成果が着実に得られている [5, 6]。

本ビームラインでは特に10～50 μm 程度のLCP（脂質メソフェーズ）法で結晶化された試料結晶（以下、LCP結晶）からデータ収集を行うことが多い。LCP結晶のデータ収集では不透明な脂質に埋もれた微小結晶を探索する必要があるが、通常の光学顕微鏡での探索は困難である。そのため、X線により試料ループ内部を走査し

て回折の得られる位置を特定しなければならない（ラスタースキャン）。2014年度は2013年度に開発した自動結晶検出ソフトウェア及び測定スケジュール作成の機能向上を行った。まずラスタースキャンで得られる大量の回折イメージそれぞれに観測される回折スポットの数や積分回折強度などでスコアリングする。それらのスコアに閾値を設定することにより、対応する高スコアな回折像が得られた結晶の位置情報を自動的にゴニオメータのXYZ座標リストとすることを可能にした（図2）。これにより微小結晶探索をほぼ自動的に行うことが可能になった。さらにこれらの座標リストをネットワークコマンドとして測定スケジュール作成システムであるKUMAシステムに転送することを可能にした。KUMAシステムでは受け取ったXYZ座標にもとづいて放射線損傷を考慮した測定条件を各結晶に設定した測定条件リストを生成し、ビームライン制御ソフトであるBSSへそのリストを簡便に受け渡すことを実現した。この二つの高度化によりGPCRなどLCP微小結晶を多数用いた高分解能構造解析の実現に大きく前進した。

また、2011年度より微小結晶からの高精度データ収集を目的として、結晶周辺のLCPや不凍液溶媒領域などのノイズ源の除去や結晶の整形によるデータ精度向上・複数結晶からの単一結晶の切り出しなどを可能とする、「深紫外レーザーを用いたタンパク質結晶加工機（Pulsed UV Laser Soft Ablation: PULSA）」の開発を行っている。2014年度は、4月より供用を開始し、ユーザーによる利用が開始されている。その他、タンパク結晶のラマン分光を目的として顕微分光装置の開発を行い、タンパク結晶からのラマン測定が実行可能であることを確認した（図3）。レーザー光ピンセットを用いた微小結晶マニ

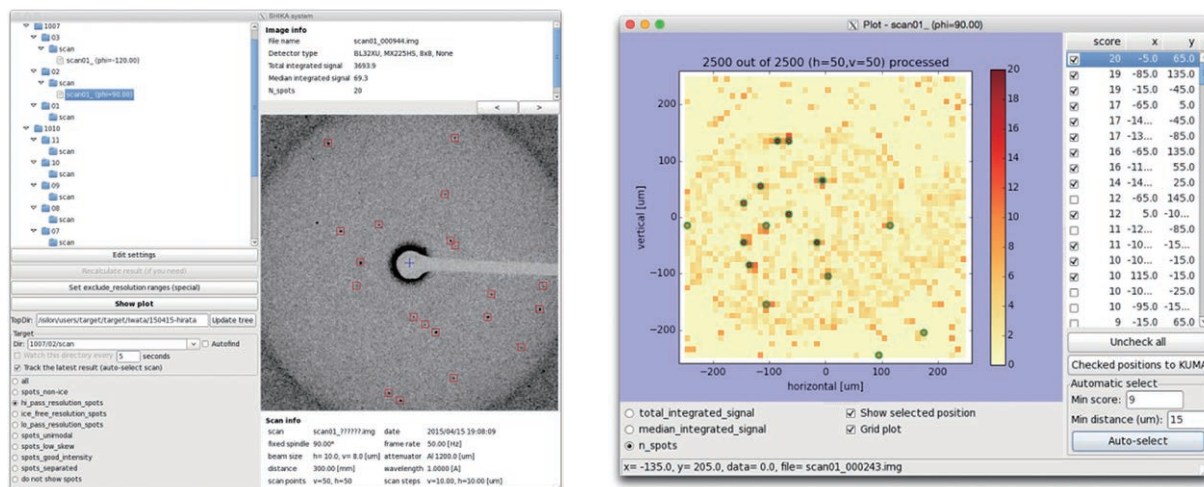


図2 ラスタースキャンを効率化するGUIプログラム（SHIKAシステム）

（左）回折像上、自動検出された回折点が赤い四角で表示されている

（右）回折点の数や強度などのスコアの高い位置が一目でわかるプロット。閾値よりもスコアの高い位置（結晶）の結晶は自動的に選択される（図中緑の○で囲まれている点）

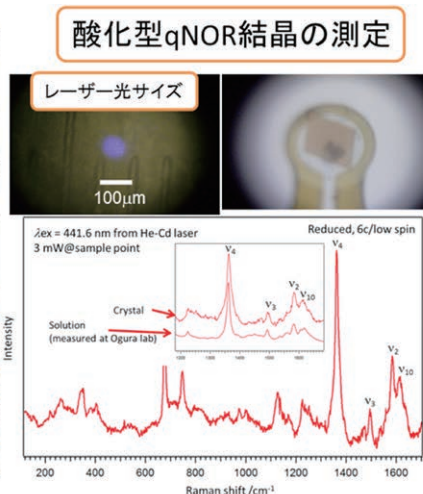
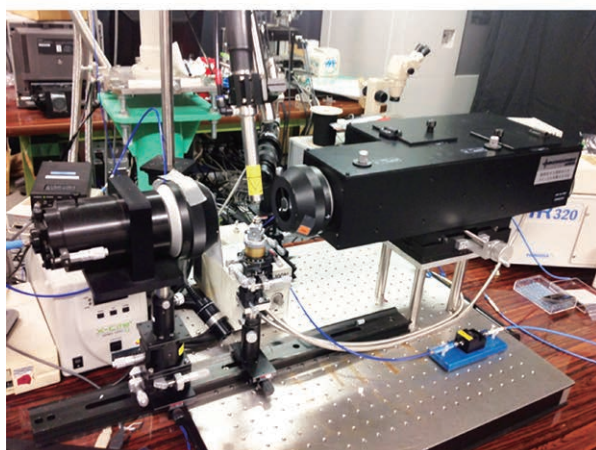


図3 顕微ラマン分光装置

- (左) 装置全景：ゴニオメータ上に低温 N_2 ガスによって凍結した結晶をマウントできる。紫外可視吸収分光測定とラマン分光測定をレーザー一本の操作で切り替え可能
- (右) 本装置によって測定した酸化型qNOR結晶のラマン測定結果。励起用レーザー光サイズCd-He ($\lambda = 455 \text{ nm}$) は $\phi 70 \mu\text{m}$ に集光。枠内は溶液と結晶の酸化型のラマン測定の比較

ピュレータの開発も行っており、微小結晶を半自動的に拾い上げ、凍結するシステム（測定準備）の開発も行っている [8]。

参考文献

- [5] K. Kumazaki *et al.*: “Structural basis of Sec-independent membrane protein insertion by YidC”, *Nature* **509**, (2014) 516-520.
- [6] Y. Lee *et al.*: “Structural basis for the facilitative diffusion mechanism by SemiSWEET transporter” *Nature Communications* **6**, (2015) 6112.

(平田 邦生、河野 能顕)

3. 構造生物学ビームライン I (BL45XU)

BL45XUは、タンパク質の溶液中の構造やその動的変化、高分子材料の構造と機能・物性などのナノスケールの構造解析をX線小角散乱 (SAXS: Small-Angle X-ray Scattering) 測定により進めている。ビームラインの構成は垂直偏光のタンデムアンジュレータを光源とし、合成ダイヤモンド結晶を分光素子としたビーム分岐・単色化機構を備え、SAXSステーション及びSWAXS (Small and Wide-Angle X-ray Scattering) ステーションにて同時に実験が可能な特徴を持つ。SAXSステーションの全ビームタイムの20%をJASRI共同利用課題に供出し、80%を理研として利用している。また、2014年度より創薬等支援技術基盤プラットフォーム事業にてSAXSステーションでの解析支援を進めている。

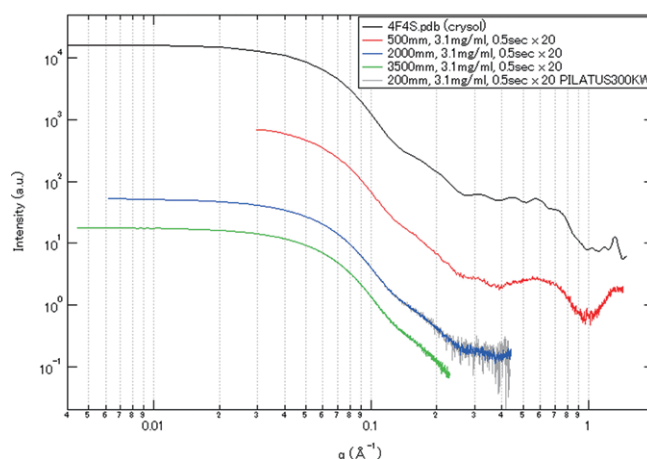
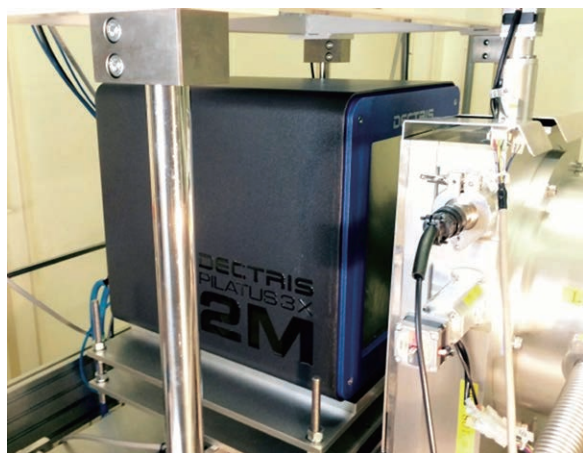


図4 (左) BL45XUのSAXSステージに導入したPILATUS3X- 2M検出器

(右) SAXS プロファイルの比較、PILATUS3X- 2Mの導入により広い q 領域で高速 (250 Hz) に高S/N測定 of データ収集を達成した。

2014年度は、創業等支援技術基盤プラットフォーム事業によってSAXSステーションの検出器を高精度・大型・高速のDECTRIS社製PILATUS3X 2Mに更新した。PILATUS3X 2Mは 253.7×288.8 mmの受光面積をもち、読み取り時間0.95 ms、最大フレームレート250 Hzでの散乱測定が可能である。本検出器の導入によって、既存のRAXIS VI++ 検出器と比較して、1測定当たり5分程度かかった測定時間が10秒程度に短縮され、検出器由来のバックグラウンドノイズのない高精度、大面積測定が短時間で可能となった。検出器の更新に合わせて測定プログラムを改良し、PILATUS検出器特有の個別モジュール間のブラインド領域を解消するために、自動的に連続オフセット撮影をしてブラインド領域を画像補完する機能を開発した。また、測定時間の短縮に対応すべく、測定から2次元画像データの表示、2次元データの1次元化の自動データ処理も実装し、ユーザー利用に向けた調整を進めている。

検出器の更新に合わせてさらなる微弱散乱信号からの高S/Nデータ収集を目指して、光学系に由来する寄生散乱等からのノイズを低減するために、試料部以外のX線経路の全真空化を行った。従来、大気中に設置していた、X線シャッター及びビーム位置モニターを真空層内に設置し、透過強度測定用のイオンチャンバーをビームストップ内臓型の小型Siピンフォトダイオード検出器に変更した。これらの光学系の変更により希薄溶液からの微弱散乱信号の分離能を向上することが可能となった。また、さまざまな試料環境での測定を目指して、測定試料の湿度環境をコントロールする湿度調整装置を導入し、温度・湿度変化に伴う散乱・回折像測定を可能とした。

(引間 孝明)

4. 物理科学ビームラインII (BL19LXU)

BL19LXUは、27 m長真空封止アンジュレータを光源とするX線ビームラインである。2000年度に実験ハッチ1～3の供用を開始し、2001年度に実験ハッチ4が拡張された。これまで光学ハッチでは、MOSTAB (分光器安定化システム) や縦集光ミラーの設置 (2004年度) とその直下流位置での4象限スリット設置 (2010年度) などの高度化を進めてきた。一方で2012年度頃には分光器全体に老朽化によると思われる機械的、熱的な不安定要素が目立つようになってきた。このため2013年度末に分光器のオーバーホールを行い、チャンバーの内部のほぼ全ての部品を新規格のものに更新した。その他維持管理の一環として2010年度と2014年度にフロントエンドの可動マスク位置の再調整を行った。実験ハッチの高度化・維持管理に関してはシングルパルス利用のための高速回転シャッターの導入 (実験ハッチ2、2009年度)、

K-Bミラーによる100 nm集光 (実験ハッチ4、2010年度)、フェムト秒パルスレーザーシステムのQスイッチパルスレーザーの更新 (実験ハッチ2、2011年度) が行われてきた。

2014年度は主に実験ハッチ3の整備を行った。まず実験ハッチ2に設置されたフェムト秒レーザーを実験ハッチ3で簡便に使えるように隔壁に貫通孔を設けレーザー専用のダクトを設置した。同時に実験ハッチ3内での安定したレーザーの取回しのためにポストを設置した。また、実験ハッチ3の上流側に長焦点距離のK-Bミラーシステムを常設した (図5)。これにより20ミクロン程度の安定した集光を容易に利用できるようになった。上記以外に振動・熱源になっていた実験ハッチ2の常設スクロールポンプを天井に移設した。また、ハッチ内に設置する真空パイプをNW25からNW40にサイズアップした。これと新たに整備した可動式ポストによりハッチ切替に要する時間が短縮された。周辺では実験ホール内のラックや棚のアンカー固定、ユーザー居室の整備を行った。

各実験ステーションでは高輝度光源を有効利用した実験の他、X線自由電子レーザー (SACLA) 利用のための新手法の開発が進められている。以下に2014年度に行われた主な研究項目を実験ステーションごとに示す。実験ハッチ1では、X線パラメトリック変換過程の基礎実験、X線光子相関分光法によるソフト界面のダイナミクス研究、核共鳴散乱による酵素反応の研究が行われた。大型機器が持込できる実験ハッチ3では硬X線光電子分光 (HAXPES) 実験、X線磁気回折実験、X線励起下での走査型トンネル顕微鏡による表面物性研究が行われた。特に最初の2テーマではフェムト秒レーザーによる時分割測定も行われた。実験ハッチ4では100 nmビームを用いたX線磁気散乱マッピング、強磁場下でのX線回折実験が行われた。SACLA利用課題の予備実験として時分



図5 BL19LXUの実験ハッチ3に常設されたKB集光装置。簡便に20ミクロン程度の安定した集光ビームを利用できる。

割HAXPES、時分割X線磁気回折、気体からのX線散乱、光子-光子散乱実験、アクシオン探索実験が行われ、本実験のスムーズな遂行に貢献している。

(玉作 賢治)

5. 物質科学ビームライン (BL44B2)

理研物質科学ビームラインBL44B2では、全散乱(Bragg回折+散漫散乱)PDF(Atomic Pair Distribution Function)解析から得られる短距離・中距離秩序構造と、Bragg回折構造解析から得られる長距離秩序構造をシームレスにつなぐことで、物質・材料に内在する構造不均一性や階層性を原子レベルで明らかにすることを目指している。

全散乱PDF解析では一般的に高エネルギー(～90 keV)が用いられるが、その最大の理由は、結晶性物質で十分な実空間分解能をもつPDFを得るには高い Q ($4\pi \sin \theta / \lambda > 20 \text{ \AA}^{-1}$)のデータが必要とされるためである。しかし、このような条件で測定されたデータでは、Bragg反射の低 Q 側への圧縮によりBragg回折構造解析の精度は著しく減少する。そこで、BL44B2では、20～30 keV程度のX線を使った全散乱PDF解析の可能性を検討してきた。その結果、既存のイメージングプレート、CCDやフラットパネルセンサーといった積分型検出器ではダイナミックレンジやノイズ、また一度にカバーできる Q 領域の点で難しいことがわかった。そのため、1D光子計数型のDECTRIS製MYTHENモジュールの拡張性に着目し、SPRING-8でのシングルモジュール実験、Australian Synchrotronでのマルチモジュール実験を経て、その導入を決定した。MYTHENのような光子計数型検出器は、ダイナミックレンジやノイズ、時間分解能の観点からは*In Situ*全散乱実験にとって有望であるものの、シングルモジュールではPDF解析に必要な Q 領域を一度にカバーすることはできないため、アレイ化が必須である。MYTHENの開発拠点となったSwiss Light SourceのMaterials Science BLを始めとする海外のほとんどの粉末回折BLでは、複数のモジュールを子午線方向に最短間隔で配置する直列配置が一般的である。だが、それにより発生する数mmのモジュール間ギャップを埋めるために最低2回の測定が必要であり、データマージにより解析精度が悪化するだけでなく、基本的に不可逆な反応を対象とする*In Situ*や*Operando*実験は不可能である。

BL44B2では、8個のモジュールを子午線に沿うようにジグザグに配置することで、PDF解析に必要な Q を有する全散乱データがシングルショットで測定できるようになっている。このような配置では、少なからずシャープなBragg反射プロファイルへ悪影響を及ぼすものの、ブ

ロファイルパラメーターに依存しないPDF解析ではその影響を無視して良いことを確認している。むしろ、PDF解析で律速となっていたのは、モジュールの環境に依存したエネルギー閾値の系統的なばらつきと、実験条件に合わせて行うべきFlat Field補正の難しさである。2014年度は、上記のデータ補正に関わる問題を、適切な温度管理と独自のFlat Field補正法により解決し、90 keV近くの高エネルギーX線を使わなくても、フーリエ変換の打ち切り誤算によるリップルがほとんど見られない高い空間分解能を有するPDFが得られるようになった。

(加藤 健一)

6. 物理科学ビームラインⅢ (BL17SU)

軟X線ビームラインであるBL17SUは、軟X線領域の各種分光法や各種計測技術、ビームライン要素技術等の高度化を図ること、先端的な物質科学研究や光科学研究を推進することなどを主な目的として運営されている。2003年度に運転を開始し、各種調整運転の後、2004年度の秋から理研ユーザーによる利用研究が開始されている。2005年度の秋からは全ビームタイムの20%をJASRI共同利用課題にも供出している。

研究を多角的且つ効率的に推進するため、ビームラインは排他的利用形態のブランチa、ブランチbに分岐した構成となっている。それぞれのブランチには恒温ブースによって精密に温度調節された超高分解能回折格子分光器を整備して、エネルギー的に安定した高輝度軟X線ビームを各ブランチに配備された実験ステーションに供給している。ブランチaでは、主要実験ステーションの一つである高分解能光電子分光ステーションにおいて先端物質科学の実験的研究が行われ、そしてもう一つの主要装置である高効率軟X線発光ステーションにおいては、各種液体・溶液を観察対象とし、液体の水の電子状態や溶液中の分子の電子状態を観察するための発光分光実験が2013年度に引き続いて進められた。また、固液界面でおきる不均一な現象を観察するための軟X線発光顕微鏡の開発を継続して進めている。2014年度には、予備的な実験として、電気化学セルの窓材に塗布された燃料電池電極材料の銅錯体を観察対象として、溶液中においてCu 2p励起による元素マッピング観察などを行った。ユーザー持ち込みエリアではJASRI共同利用課題として、分光型光電子・低エネルギー電子顕微鏡(SPELEEM)を用いた高空間分解能の光電子顕微鏡(PEEM)実験が行われている。2014年度もレアメタルフリー磁石の磁区解析やグラフェン材料の局所電子状態解析を中心に利用研究が展開された。また、試料準備槽にパルスレーザー成膜装置(PLD)が導入され、作製した磁性膜を真空中搬送することによる“その場磁区観測”が試みられた。出射

スリット直下流のフリーポートでは、水、アルコール、アセトンなどを気相標的分子として光電子分光実験装置のガスセルに導入し、極低エネルギー光電子が関与する標的分子解離ダイナミクスの電子分光法による観察が兵庫県立大学との共同研究として行われた。

ブランチbでは、常設の実験ステーションの一つである軟X線回折実験装置による長周期秩序物質の電子状態の直接観測などが2013年度に引き続いて行われ、2014年度は円偏光レーザーを用いたヘキサフルオライド物質の磁気カイラリティの制御を目指した実験が行われた。また2013年度より、XFEL施設での研究の展開を想定し、東北大学多元物質科学研究所・産業技術総合研究所・京都大学などとの共同研究として、分子イメージングの開発研究を推進している。2014年度は、XFEL施設での研究のためのR&Dの一環として、ヨウ化メタンを気相標的として測定用真空装置に導入し、C 1s光イオン化によって放出される電子とイオン対の3次元運動量を多重同時計測する実験を行った。この他、2010年度末に導入された後置鏡システムにより、持ち込み装置用フリーステーションの集光位置に $\sim 22 \text{ (H)} \times 8 \text{ (V)} \mu\text{m}^2$ 程度のスポットサイズの集光ビームが安定供給されるようになり、2014年度も2013年度に引き続いて、各種液体分子線を標的とした光電子分光実験などが行われた。

a、b両ブランチとも、挿入光源のヘリカルアンジュレータモードを用いた左右円偏光、擬似水平・擬似垂直の各アンジュレータモードによる水平・垂直の各直線偏光が利用されており、偏光特性を積極的に利用した先端的研究が鋭意進められている。

(大浦 正樹)

7. 物理科学ビームライン I (BL29XU)

BL29XUは全長が約1kmの長尺ビームラインである。アンジュレータを光源とする硬X線ビームラインで、タンデムに配置された4つの実験ハッチを有する。1998年に実験ハッチ1（光源から52 m）までの部分が完成し利用が開始された。2011年度末に凍結生体試料の回折顕微鏡実験のための実験ハッチ2（光源から58 m）が完成した。これに伴って、これ以前に下流に建設されていた長尺棟内の実験ハッチ4（2000年に完成、光源から987 m）、蓄積リング棟内最下流部の実験ハッチ3（2004年度末に完成、2005年から利用開始、光源から98 m）は名称が変更された。

2012年度にTCセクションの分光器内部の駆動ステージや液体窒素配管類を低振動型に刷新した。2013年度には、分光器の性能評価が行われ、従来型から劇的に振動が低減されている事が確認された。その後も、最新の低振動化技術を、逐次、導入している。TCセクションには、原子

レベルで研磨されロジウム蒸着されたJTEC社製のX線ミラーを、2012年度に導入し、性能評価を行った。第2ミラーのミラー表面は、焦点距離48 mに合わせ、ミラー下流で究極的に平行度の高いビームを出射する放物面領域を有する。低エネルギー用と高エネルギー用の二通りの入射角での放物面形状と平面形状の領域の三通りを併進運動によって切り替える。放物面で平行度を上げたビームの評価を行い、理論値（0.06秒角）に近い0.08秒角が達成された。長尺ビームライン実験施設でも平行度が高く、リング棟に匹敵する輝度を有するX線を利用可能としたユニークなビームラインの整備を進めている。

本ビームラインでは、可干渉性X線（コヒーレントX線）を用いた利用研究が主に行われている。2014年度には、多数の照射で広い視野観察を可能にする走査型回折顕微鏡法（タイコグラフィ法）で、試料内のX線の伝搬プロセスを考慮に入れた解析により、奥行き方向の情報を得る新しい手法が開発された。続いて、高精度K-BミラーによるX線結像顕微鏡で50 nmの解像度が達成された。色収差のない顕微実験への展開が期待される。さらに、大気環境で100 Kのヘリウムジェット吹き付けを行うクライオ冷却システムが開発され、X線回折顕微鏡による生体試料観察に向け新たな展開が拓かれた。K-Bミラーを用いた走査型蛍光X線顕微鏡、X線を用いたベリ位相光学などでは、幅広い応用に向けた進展が見られ、多岐にわたる研究が進められた。X線自由電子レーザー利用研究に向け、薄膜結晶を用いたX線遅延回路の評価実験など光学素子や検出器の評価・開発も精力的に行われた。

(香村 芳樹、玉作 賢治)

8. 量子ナノダイナミクスビームライン / Quantum NanoDynamics Beamline (BL43LXU)

Commissioning of BL43LXU continued through this period. In-house work at the experimental stations has largely been done by members of the Materials Dynamics Laboratory with assistance on some projects by members of JASRI, and RIKEN, and, occasionally, members of the RIKEN beamline support group. In an effort to preserve a record of issues encountered, the following tends to emphasize the problems occurring at the beamline. However, first a very brief summary: the most important point was finally attaining full power operation for energies of 15.8 keV and above in April of 2015. This included improvements to the storage ring orbit, the insertion devices, and the mirrors (M1 and M2) - all related to the operation of multiple IDs in series. As these issues are new, but are also being discussed for other facilities, some of this is described in an article submitted to the proceedings of

SRI^[1]. The high resolution setup has reached a reasonably stable plateau, with up to 30 analyzers in operation. The microfocus for the HR setup was found to provide $12 \times 17 \mu\text{m}^2$ beam, but is still being optimized. The medium resolution setup underwent (and continues to undergo) many changes and, with the first good analyzer crystal tested, begins to approach an operational capability. The largest outstanding issue at the beamline is probably the temporal and thermal stability M1 in its bender. This is under investigation.

Electron Orbit: The situation was dramatically improved in May of 2015 when finally all 6 electron BPMs were added to the global feedback loop. Previously, only two BPMs, located upstream and downstream of ID2 had been included because the other BPMs, with a different electronics, were noisy. The noise was reduced by integration of the signal (Fujita) and this allowed inclusion all BPMs in the feedback, and significant improvement of stabilization of the electron orbit - now, mostly at the level of $2 \mu\text{rad}$, or better, between each ID. However, there remains some discrepancy between the orbit as estimated at the center of the IDs using the BPMs and the orbit as measured using a trajectory check of the photon beam axis - with the photon beam axis occasionally showing larger shifts than the BPMs indicate. This may be due to the location of lattice and steering magnets between the BPMs and the IDs. However, over-all, the situation has been significantly improved with a lot of aid from Soutome and Takao, and the updated positions for feedback have been put into the XBPM system (Aoyagi) for default tuning. The present setup has the beams well aligned through the front-end slit, but some additional tuning is needed to align the source points well.

Insertion Devices: The problem of the radiation from upstream IDs heating the covering of the downstream IDs was finally solved, if imperfectly, by the addition of an intra-ID absorber for ID3 (by T. Tanaka). The removal of 3 sets of two periods of magnets and replacement by copper absorbers that extend slightly below the magnets shadows the downstream magnet cover, preventing heating by the beam from upstream IDs. This combined with a changed cover of the second ID now allows all IDs to operate down to 15.8 keV. However, on ID3, the 14.4 keV operation point probably was lost due to the reduced gap resulting from the copper absorbers extending below the magnets, and the spectral response (Brilliance) was reduced by the

lack of phasing from removing the periods though the effect on flux was smaller. There also remain some stability issues when the bunch current gets to 5 mA. We also note that tests (Nakamura) were done without a cover on ID3. The results were surprisingly good from the point of view of beam stability, but high bunch currents ($>1.5 \text{ A}$) were not possible, so the absorber solution was adopted.

High-Heat Load Mirrors (M1, M2): These were re-polished, with the slope error of M1 improved to better than $0.17 \mu\text{rad}$ rms over the central $800 \times 4 \text{ mm}$ by Winlight X and M2 to $< 0.1 \mu\text{rad}$ rms over the central $800 \times 60 \text{ mm}^2$ by J-Tec. The beam quality (profile) was significantly improved, with now only relatively small ($\sim 30\%$) non-uniformity in the backscattering hutch as opposed to $>100\%$ previously. The stability of M1 in Toyama's bender, however, now is probably the largest source of BL instability, with both the mirror angle and the bend not being stable, showing temporal and thermal shifts on several time scales. This is under investigation, with the system largely taken apart in August of 2015. (Ishikawa, Baron)

Backscattering Monochromator: The resolution of the backscattering crystal became worse under the heat load of full power operation - increasing from ~ 1.3 to $\sim 1.6 \text{ meV}$ at the (11 11 11). This was improved by changing the silicon design and the 1.3 meV operation was recovered. (Ishikawa, Baron)

Microfocus: The full micro-focus system with a combined prism lens in the horizontal and elliptical mirror in the vertical generated a spot size of about $12 \times 17 \mu\text{m}^2$ in the FWHM. The detailed operation, including alignment, tails, and overshoot, and stability, is now being investigated and improved. (Fukui, Nakajima, Ishikawa, Baron)

Medium-Resolution In-Line Monochromator: This was tested extensively with, eventually, $\sim 22 \text{ meV}$ resolution and 1.5 THz on the sample achieved with 2 IDs. However, thermal stability and monochromator throughput are extremely sensitive to heat load, and require additional fine-tuning. This is in progress. (Ishikawa, Baron)

Medium-Resolution Analyzer Crystals: The first relatively good analyzer was made by D. Ishikawa after some years of R&D. A new method of fabrication was

needed because diffusion bond used for high-resolution (9.8 m radius) crystals does not work for the smaller, 1.9 m radius, medium resolution crystals. The new analyzer crystal had about 32 meV over-all resolution, and a reasonable focal spot size. More analyzers are now being fabricated, though some time was lost when a contracting company (Sarton Works) changed a step without consultation.

Medium-Resolution Detector: The detectors for the MR setup, and in operation of the PILATUS 100M is now under improvement, especially as regards software. A system of readout using a remote disk was found to be too slow, so, with the help of Certified Scientific, a Python based server is being set up. (Uchiyama, Baron)

High-Resolution Analyzer Crystals: Several additional high-resolution crystals installed, allowing up to 9 analyzers in one horizontal line. (Ishikawa)

Sample Environment: A high field magnet for the high resolution spectrometer was delivered by Oxford and tested off line. It seems to perform as expected with a vertical field from a split coils setup with up to 7 T. (Chuang, Baron) First tests were also done of 2K combined closed-cycle/Joule-Thompson system for mounting in the Eulerian cradle. This seems to perform nicely, though the cool-down time (~5 hours) is a bit long.

Reference

- [1] A. Q.R. Baron, T. Tanaka, K. Soutome, M. Takao, T. Nakamura, K. Kobayashi, T. Fujita, S. Takahashi, H. Aoyagi, Y. Shimosaki, T. Seike, H. Uchiyama, D. Ishikawa, T.-H. Chuang, H. Kimura, H. Tanaka, H. Kitamura, and T. Ishikawa: submitted to the proceedings of SRI2015.

(Alfred Q.R. Baron.)