

3. 放射光実験施設

運営部門

兵藤 一行

物質構造科学研究所放射光実験施設

総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究所物質構造科学専攻

1. 概要

運営部門は、物質構造科学研究所の組織改編によって、放射光実験施設の三部門の一つとして、放射光の利用制度（学術利用、産業利用、産学連携など）の整備と運用、放射光実験に係る安全管理、国内外の放射光・量子ビーム施設との連携を主導することを目的として2019年度から設置されて、PFの使命の遂行に適した施設運営のための活動を進めている。運営部門会議（運営部門職員、放射光実験施設部門長、事務室および秘書室関係者が参加）、運営部門職員の意見交換会を開催している。

2. 活動内容

共同利用：

放射光共同利用実験審査委員会（PF-PAC）による実験課題審査の支援、共同利用関係の各種統計情報の整理、ユーザーからの要望への対応などの平時の業務に加え、共同利用をはじめとする無償利用の制度に関する改正や諸手続の検討、関連システムの改修検討をKEK内の関連部署と連携して行っている。2020年度も2019年度に引き続き、PF-PACでの審議は従来の年2回2時間の開催から年4回4時間の開催となった。2020年度の特記事項として、PF-PACで審議されてきた課題審査をより公平で正確にするための放射光共同利用実験課題審査手続き・評価基準の変更、イエローカード制度（論文出版が少ない場合の実験課題評点への反映）の変更、開発研究と人材育成をより有効に推進するための旅費支給規定の変更、学生への教育サポートのために旅費支給辞退を申告する制度の創設、P型実験課題を初心者型へ特化する運用開始などがあげられる。また、新型コロナウイルス感染症対策として2020年度第I期のユーザー利用運転を中止するとともにリモート実験・代行測定へのサポート対応を実施した。

安全総括：

安全管理体制としては、KEK全体の中で「防災」「放射線」「電気」「化学」「高圧ガス」などの項目ごとに責任者が定められているため、安全チームでは「安全講習（内部スタッフ向けと外部ユーザー向け）」「巡視点検」など、特に安全意識を向上させるための活動を行なっている。2020年度の特記事項として、新型コロナウイルス感染症対策をKEK管理局と連携して実施した。また、その一環であるとともにユーザーの利便性向上のためにユーザーへの安全講習をすべてオンラインで実施するための準備を放射線科学センターと連携して進めた。

広報：

研究成果や技術開発などの広報・普及活動、ユーザーや関連研究者向けの情報発信などを戦略的に行っている。PFの広報・普及活動は物構研広報室と連携して実施しており、物構研広報室では主として一般向け・メディア向けの広報活動を、運営部門ではユーザーおよび研究者・技術者、大学生・大学院生向けの活動を担当している。2020年度の特記事項として、利用相談窓口に関するウェブページの再整備を行い、外部資金申請を検討している研究者を含め研究者のニーズに幅広く対応するための情報提供を行った。

有償利用：

有償利用制度の改正や諸手続の検討をKEK内の関連部署と協同で行ない、ユーザーが利用しやすい制度の整備を進めている。2020年度の特記事項として、施設利用等の利用料収入によって光源加速器を運転する「産業利用促進日」の実施に関して新型コロナウイルス感染症対策下での運用に関する検討、施設利用料の機構内配分スキームに関する再検討をKEK管理局と実施した。

施設間連携：

国内外の放射光施設・量子ビーム施設との連携を推進している。2019年度に日本放射光学会から提案して日本学術会議で採択された大型研究計画「放射光学術基盤ネットワーク」のもとで、2020年度も、引き続き、分子科学研究所 UVSOR および広島大学 HISOR との連携強化のため、学術三施設間での意見交換・情報共有、シンポジウム等への相互訪問などを行った。2020年度の特記事項として、国内外放射光施設からの情報発信・情報共有の場としてのウェブページ「lightsources.org」への情報提供に関する再検討を行うとともに研究成果の情報発信を施設間連携と広報の立場から実施した。

基盤技術部門

五十嵐 教之

物質構造科学研究所放射光実験施設

総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究科物質構造科学専攻

1. 概要

基盤技術部門は、放射光を実験装置に導くビームライン共通部の整備と高度化を目的として設置され、実験施設の他部門や放射光科学研究系、加速器研究施設、研究所内外の関係機関と強く連携しながら、最先端の放射光技術の開発研究プロジェクトを支援、推進している。開発項目や支援項目はハードウェアからソフトウェアまで広範かつ多岐にわたるため、光学系、X線光学、基盤設備、インターロック、真空系、制御系、検出系、時間分解、試料環境、の各専門チームで詳細検討を行い、チーム間で適切に情報共有することで、部門全体で協調して開発研究にあたっている。業務委託（日本アクシス、三菱電機システムサービス）の業務も本部門で管理しており、業務委託メンバーとも協力して業務を遂行している。

2. 活動内容

既存設備やビームライン、装置の技術的支援や維持管理はもちろんのこと、放射光実験施設の短中期計画として位置付けられているPFやPF-AR高度化や、その先にある次期光源実現に向けて、基盤技術開発、測定手法開発の中核的な役割を果たしている。実験施設の計画に即した開発を統括的に進めるため、実験施設として時限的な研究開発プロジェクトを策定し、そこに各専門チームが参加して技術的支援をしている。この研究開発プロジェクトは、専門チームが主体となるものもあるが、放射光科学研究系や加速器研究施設等、施設外からの横断的なものも含まれている。各専門チームは定期的にチームミーティングを開催して詳細検討を行い、月一回の部門会議で情報共有・協議することで整合性を取りながら研究開発プロジェクトを進めている。

本年度の大きな取り組みとして、放射光科学研究系や加速器研究施設等と協力して次期光源の検討を行い、その中でもハイブリッドリング計画についてビームライン関連技術の検討を進めた。この計画については今後さらに技術検討を煮詰めて概念論文をまとめるとともに、開発項目をリストアップし、実際にR&Dを進めて実現化を目指す予定である。また、実際にR&Dを進める場として、自由な実験アレンジや多様なビーム利用を実現するR&Dビームラインの検討を行なった。ここでは将来光源に関係するR&Dだけでなく、全ての放射光施設に共通の重要課題の解決に向けた技術開発や若手人材育成を進めることを目的としており、他施設とも連携してビームラインの検討やR&Dを進める予定である。そのため、次年度から本ビ-

ームラインの検討会を立ち上げ、所内だけでなく他施設のスタッフとともに検討を進める体制を整えた。

2020年に入って新型コロナウイルス感染症が広がり、ユーザーが放射光施設に訪れることが困難になる中、これまでも少しずつ進めてきた放射光実験のリモート化、自動化の必要性が改めて認識されることとなった。そこで、放射光実験施設でも、測定装置部門や研究系と連携し、ビームラインや測定装置のさらなる遠隔操作化や、ネットワーク基盤の高度化を進めた。特に、安全かつ高速リモートアクセスを実現するためには、適切な認証機構を伴った広帯域ネットワークの整備が重要である。制御系チームが中心となり、ビームライン担当者の意見を集約しつつ、計算科学センターや加速器研究施設に協力していただき、放射光実験専用のネットワークの新設について検討し、必要な機器の手配を行なった。次年度には光ケーブルや機器の敷設やシステム整備を行い、機構内ネットワークから切り離し、専用ネットワークの運用を開始するべく準備を進めている。その後認証サーバーやデータサーバー、解析サーバー等を整備して、準備ができたビームラインから逐次ユーザー利用を開始する予定である。また、関係することとして、放射線科学センターと協力して、放射線安全教育システムの整備を進めた。これにより、次年度からはユーザーは来所前に教育を修了することができるようになった。

その他の各チームの活動については以下にまとめた。

基盤設備チーム：

放射光利用に必要な基盤的な施設や設備について、安定的な運用・保守を行うとともに、適切に施設、設備の高性能化を行う。PFやPF-AR高度化、次期光源に向けても、設備及び工法、振動制御技術、安定した空調等の調査、施設として必要な機器の策定等を行う。開発プロジェクトとして、光学素子洗浄方法の開発やクリーン環境整備プロジェクトを進めている。今年度は、前年度に導入したエキシマランプを用いた光学素子洗浄装置を組み上げ、各種試験ピースを利用して有効性の評価を行なった。今後洗浄条件の最適化や装置の改良、動作制御系の開発等を進め、運用を開始する予定である。また、同じく前年度に導入した、オープンタイプのクリーンベンチについても、パーティクルカウンターで評価しながら試験運用を開始し、自由度の高い清浄環境下で各種作業ができることを確認した。今後高度な清浄環境が必要なビームライン作業や放射光実験に向けて運用を開始する予定である。その他、機構で進めている施設トリアージに対応して、放射光実験施設の施設整

備案の策定を進めた。

インターロックチーム：

放射光ビームライン安全系の開発、運用、保守を担当し、システムの高度化や運用の効率化を行っている。また、測定ソフトやユーザー情報システムとの連動、収集したログ情報の活用等、次世代インターロックシステムの開発に力を入れている。今年度は新型インターロックシステムの全ビームラインへの導入を完了させ、新たに低速陽電子ビームラインへのインターロックシステム導入を開始した。また、新機能として、ディスターブ時に PHS やメール等で連絡する通報システムを開発し運用を開始した。開発を進めていた真空モニターシステムについても運用を開始し、今後環境データも取り込んで統合的なロギングシステムを完成させる予定である。その他、放射線安全教育システムや運転当番ログシステムの共通仮想サーバーへの実装等を行なった。

光学系チーム：

放射光ビームライン光学系に関する基盤技術の開発研究と標準化を担う。熱・振動対策、各種シミュレーション等を駆使して、高性能ビームの安定供給を実現する。今年度は、ハイブリッドリング計画のビームライン検討や R&D ビームラインの検討を開始した。ハイブリッドリング計画においては、利用提案アンケートをもとにニーズを整理し、利用系と相談しながら数種類の 2 ビーム利用ビームラインの検討を進めている。今後実現化に向けて更に検討を進め、概念論文の作成に取り組む予定である。R&D ビームラインについては、R&D 項目を整理してビームライン案を作成した。今後所内外の研究者や技術者とともに更に検討を進めるべく、次年度より施設横断的なビームライン検討会の開催を準備している。その他、斜入射光学系における熱負荷対策も進めており、BL-19 の光電子遮蔽板の評価については論文にまとめた [1]。ビームライン情報の集約化やビームラインへの技術支援の取り組みも継続的に進めている。研究系との連携開発プロジェクトであるマイクロ ARPES プロジェクトについては、BL-28A 及び BL-13B へのマイクロビーム光学系の導入について技術支援を行なった。ともにほぼ目標のビームサイズを達成していることが確認され、プロジェクト支援としては完了したが、自由形状のミラー表面形状の加工や計測は今後も重要な R&D 項目のため、引き続き検討を進めていく予定である。

真空系チーム：

放射光ビームラインにおける真空関連技術の開発、運用を担当しており、最適な真空システムを提案し、既存の真空システムの更新や今後のビームライン開発、放射光の将来計画に貢献する。特に、あらゆるビームラインや装置で使用可能な、非蒸発型ゲッター (NEG) ポンプの開発プロジェクトを進めている。今年度は、Pd/Ti NEG の洗浄技術の開発検討を進め、繰り返し利用の実現、活性化温度の低

下成功した。この技術を基に、無酸素 Pd/Ti 蒸着 ICF203 ゼロレングス NEG ポンプの開発を行ない、蒸着条件の最適化に成功し、実用化に結び付けた。また、無酸素 Ti 蒸着膜についても開発を進めており、純度を向上させた蒸着膜について、真空排気テストや耐久性テスト等を行ない、十分な性能を有することを明らかにした。また、蒸着膜表面の分析を行うことで、活性化機構、真空排気機構の解明に成功した。今後これらの知見を活用して更なる性能向上、実用化を目指して開発を進める。真空機器の運用に関しては、標準機器の選定と一括運用を開始した。今年度は軟 X 線ビームラインを中心として必要な機器のリストアップを行ない、一部の機器については予備品を手配して管理を開始した。今後他のビームラインについても選定を行ない、施設全体で共通管理を進める予定である。これらの成果により、チームリーダーの間瀬一彦准教授は、本年度の日本表面真空学会の功績賞及び会誌賞を受賞した。

制御系チーム：

放射光実験施設の情報技術全般を担当する。共通基盤システムの整備や運用、保守から情報技術サポート、ビームラインや実験装置の制御システム開発、環境や実験データの収集システム開発等々、業務は多岐にわたる。今年度は、上記のネットワーク基盤の高度化及びビームラインや実験装置のリモート化の対応を中心に行なったが、それ以外でも、共通基盤に関係するものでは、所外用の共通仮想サーバーの更新、ユーザー用共通端末の更新、Windows7 対策サポート、環境測定システムの構築、共通ライセンス管理等、幅広く行なっている。制御システムの開発についても、STARS をベースとした制御システム開発として、NW14A 制御系の STARS 化、汎用スペクトル測定用 STARS-API の開発と BL-19、BL-27、BL-6C への導入、BL-28B スペクトル測定システム構築、BL-19 の DSP 制御実装等を行なった。また、研究開発プロジェクトとしては、次世代分光器開発、エキシマランプ洗浄装置の制御システム改良、NEG 評価装置制御システムの開発等を手掛けている。

検出系チーム：

放射光計測に関する検出技術の開発研究と運用を担当する。特に PF の特徴を活かした、軟 X 線領域の高速高精細 2 次元データ取得や超高速高感度信号計測をターゲットに開発を進める。研究開発プロジェクトとしては、SOI ピクセル検出器、硬 X 線用高速シンチレータ、Si-APD リニアアレイ、軟 X 線用検出器等の開発を進めている。SOI ピクセル検出器においては、データ転送の 10Gb 化を目指し、10GbE SiTCP モジュールの開発を行ない、実装に成功した。これにより、検出器の最大性能 (2.5Gbps) でも安定に転送できることを確認した。また、X 線光学チームで手掛けている結像型ズーム顕微鏡への応用に向けて評価実験を行ない、現在改良を進めているところである。硬 X 線用高速シンチレータについては重元素ナノ粒子添加ピコ秒シンチレータ開発を進めており、ナノ粒子の種類や成分等を

変えて評価を進めている。Si-APD リニアアレイについては応用実験や ASIC 開発を進めている。軟 X 線検出器については、兵庫県立大学で開発した高速高感度 CMOS 素子を手配し、今後ヘッド分離型カメラに組み込む予定である。その他、高速パルス検出器用の高速ディスクリミネータの開発に着手しており、今年度は 2ch のプロトタイプを製作し、技術検討を行なった。今後 8ch の製品版の製作をする予定である。

試料環境チーム：

温度、ガス雰囲気、圧力、電場、磁場、レーザー照射等、測定試料環境に関する種々の技術、ノウハウを共有、蓄積し、各ビームラインへの水平展開や共通化、高機能化に向けた開発を行う。また、得られた知見をもとに、新たな試料環境の構築や、新たな実験手法の提案につなげることを目標とする。本年は、装置情報の集約や利用状況の調査をさらに進めるとともに、共通機器の第一弾として非接触型高速温度計測装置を導入し、利用を開始するべく準備を進めている。今後これらの情報や機器マニュアル等を公開するウェブページを整備していく予定である。

X 線光学チーム：

X 線光学の技術を駆使して、放射光実験手法の開発、整備を行ない、PF 高度化や将来計画に向けた貢献をする。現在 X 線マルチコントラスト・ズーミング光学系の開発プロジェクトを進めており、結晶素子を使った 1D ズーミング CT の開発については完了し、CT 像の再構成プログラムの作成も終了した。今後各所で報告、論文にまとめる予定である。2 枚の FZP を使った結像型ズーミング顕微鏡の開発については、実証実験を行ない、今後さらに最適化を進めるとともに、光学素子や測定装置の開発を行ない、実用化に持っていく予定である。この顕微鏡を用いて、シュリーレン像撮像及び新しい位相回復フィルタのテストを行ない、有効性の評価を行なった。今後プログラムの改良を進め、実用化するとともに論文報告をする予定である。

時間分解チーム：

PF、PF-AR での特徴的な時間分解実験を先導的に推進する。また、PF 高度化、将来計画で展開する時間分解計測手法の提案、検討を担当する。多目的時間分解軟 X 線吸収システムの開発プロジェクトを開始しており、今年度は計測系の整備と大気圧差動排気系の開発を進めた。試料周りについても、計測系については、高速ダイオードとボックスカーアベレージャ 1 台の組み合わせで計測可能なシステムを構築した。差動排気システムは SPring-8 タイプをベースとして 3 段にしたものを製作した。中間のアーチャーは 3D プリンターで製作し、良好な結果を得ることができた。しかし、差動排気システム全体の剛性不足で通過光量が少なく、今後高剛性架台の製作とアライメント機構の実装が必要なことが分かった。試料周りについても、溶液セルとヘリウム環流装置の試作を行なった。圧力の安定

化やヘリウム純度の確保が問題となっており、今後多目的試料槽を試作する際に改良して実用化する予定である。その他、軟 X 線パルスセクターのユーザー運用化に向けた改良を進め、次年度に完成品とする予定で整備を進めている。

[1] D. Wakabayashi, H. Tanaka, A. Toyoshima, S. Yamashita, and Y. Takeichi, *J. Synchrotron Rad.*, **28**, 86 (2021).

測定装置部門

清水伸隆

物質構造科学研究所放射光実験施設

総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究科物質構造科学専攻

1. 概要

測定装置部門は、物構研放射光系の組織改編によって2019年度より新たに放射光実験施設に定められた部門で、放射光の特徴を最大限に利用する実験装置を含むビームラインエンドステーション部の整備と高度化を目的として設置されている。この部門は、放射光科学第一・第二研究系所属を含む各ステーション担当者間の連携の中核を担い、エンドステーションの標準化と自動化、将来の標準化を見据えた先端化を推進するミッションを負っている。さらに、国内外の放射光施設の持続性はもとより、さらなる発展に貢献すべく、ビームラインで展開されるサイエンスを手法ベースで推進するとともに、個別の手法に特化した技術だけでなく、世界の放射光施設に共通のビームライン研究者としての技術を習得し、将来の放射光科学を担う人材育成にも注力する。

2. 活動内容

2019年度に引き続き、ミッションに基づく部門の在り方、グループ構成、人材構成などの議論を物構研放射光系全体で展開した。2020年度までは、放射光実験施設の利用実験課題は、5つの分科に対して申請されていたが、2019年度に測定装置部門に組織した10の手法グループに基づき、6つの分科へ再編した。また、2020年度まではユーザーが審査分科を希望して申請されていたが、2021年度からは、審査分科は課題申請時に利用を希望したビーム

ラインの属する分科が自動的に選択されるシステムに変更される。これらの議論を運営部門と共に主導した。

以下の理念と目的の下、2020年度後半よりビームラインの再整備計画の議論を開始した。ビームラインの陳腐化を防ぎながら、世界標準レベルを維持しつつ、次期光源をも見据えた先端的手法の芽を育てられる環境を整えていくことを目的としている。

- 世界にキャッチアップすると共に、世界標準を担えるようにビームラインの現代化を図る。
- 利用分野を削るのではなく、マンパワーを集約しながらでも先端的な手法へ発展させることで、利用者増を図る。
- 未対応、もしくは既にシーズが育ちつつある新たな最先端研究手法分野の推進。
- 現在、PF/PF-ARともに全ての利用可能ポートが埋まっている状態のため、新展開のためには必ずスクラップアンドビルドが必要。

新型コロナウイルス感染症への対応を発端とするDX推進に関連して、施設内のウェブカメラの増強、一斉配備などの対応も進めた。

3. 今後の展望

次年度以降も、引き続き組織改編に伴う体制変更の議論を進める。ビームラインの再整備などPFビームラインの持続性と発展性に向けた議論を加速する計画である。

	測定手法グループ	ビームライン
第1	光電子分光	2A/B, 28A/B, 3B, 11D, 13A/B
	軟X線吸収分光	7A, 11A, 11B, 16A, 20A, 27A
	軟X線顕微鏡	19A/B
第2	回折・散乱	3A, 4B2, 4C, 6C, 7C, 8A/B, 10A, 14A, 18B
第3	X線吸収分光	4A, 9A, 9C, 12C, 15A1, 27B, NW2A, NW10A
第4	タンパク質結晶解析	1A, 5A, 17A, NE3A, NW12A
第5	小角散乱	6A, 10C, 15A2
第6	高圧	18C, NE1A, NE5C, NE7A
	超高速時間分解	NW14A
	X線光学・イメージング	3C, 14B, 14C, 20B, NE7A