

若葉が薫る頃となりましたが、新年度を迎え皆様にはお忙しい日々をお過ごしのことと存じます。PF リングでは5月8日から、PF-AR では5月15日からユーザー実験が開始されました。昨年度は運転時間の削減により、第三期（冬期）の運転が中止となりましたので、約4ヶ月半ぶりのユーザー実験再開となりました。両リングとも無事に立ち上がり、安定なビームを供給することができ、安堵しております。さて、今年度最初のPFニュースですので、PFの現状と運営体制・方針などについて簡単に述べたいと思います。

## 1. PFの現状

これまでPFでは、重点的に支援すべき研究分野を定め、それに基づきビームラインの改編・統廃合を進めて参りました。挿入光源ビームラインの最適化や競争力を持つ偏向電磁石ビームラインの支援などに、限られたリソース（予算とマンパワー）を選択的に集中させてきました。PFリングは2.5 GeVで運転していますので、SPRING-8やPF-ARに比べ、比較的低エネルギーの放射光領域に十分な強度があります。この強みを活かすために、PFリングの長直線部にアンジュレーターを挿入して、特徴あるVUV・ソフトX線のビームラインを建設してきました：BL-2A/B（表面・界面物性BL）、BL-13A/B（表面化学BL）、BL-16A（偏光利用表面分光BL）、BL-28A/B（強相関固体物性BL）。一方、X線を利用する多くのユーザーにも対応するために、PFリングの短直線部には短周期アンジュレーターを設置してきました：BL-1A（蛋白質結晶構造解析BL）、BL-3A（構造物性BL）、BL-15A（XAFS・小角BL）、BL-17A（蛋白質結晶構造解析BL）。昨年度までにこれらの挿入光源ビームラインの整備をほぼ終えています。また、計画的なビームライン統廃合によって、研究成果は減らすことなく、PFスタッフが担当する実験ステーション数を、この十年間で約半分強程度にまで減らすことができました。ここで、ユーザー運営ステーションや大学運営ステーションも大きな役割を果たしています。

PF-ARの直接入射路増強計画も順調に進んでいます。この計画では、放射光実験とSuper KEKB実験の両立を図るため、PF-ARへの直接入射路トンネルを建設し、入射エネルギーを6.5 GeVとして、将来のトップアップ運転を目指しています。これまでに入射トンネル建設、加速器装置の製作、冷却水・空調・電気設備設置などの作業は終わっています。来年度の秋期にはPF-ARをシャットダウンして、加速器装置の設置を行ない、冬期からは運転を再開する予定です。

PFでは陽電子を利用した共同利用実験も行っています。最近の大きな進展は、全反射高速陽電子回折手法開発の成功です。この手法を利用することにより、表面第1層の構造を精度よく決定することができます。昨年度の開発研究

により、陽電子パルスの幅を引き延ばすことに成功し、低速陽電子回折への道が拓かれました。

このように整備されたビームライン・実験装置を最大限に活用し、教育・研究成果の最大化を図るべく、大学共同利用および産業利用において、今年度は、いくつかの運営上の新しい試みを行っていきたく考えています。

## 2. PFの運営体制・方針

PFの運営は、放射光科学第一研究系・第二研究系と加速器施設第七研究系が協力して行っています（<http://www2.kek.jp/imss/pf/about/org/>）。放射光科学研究系では、機能別に3つのグループレイヤーに分けて運営を行っています（Beamline Group Layer, Engineering and Administration Group Layer, Working Group Layer）。今年度よりEngineering and Administration Group Layerの中に、産業利用促進グループが設置されました。グループリーダーは、木村正雄教授にお引き受け頂きました。これにより、先端研究基盤共有・プラットフォーム形成事業をはじめとするPFにおける産業利用が、さらに大きく広がることを期待しています。一方、加速器施設第七研究系の中にも、新たに光源第七グループを設けました。本グループでは、グループリーダーの加藤龍好教授のもとで、挿入光源やFELに関する研究開発を行います。

昨年度は運転時間の減少により、ユーザーの皆様には大変なご不便をお掛けしました。今年度は例年通り、3期（5月－6月、10月－12月、1月－2月）運転を行えるような計画を立てています。出来る限り運転時間を確保して、安定なビームをユーザーの皆様にご供給することを第一に考えていきたく思います。また、今年度の運営で特に力を入れる点は、「PFの新たな飛躍に向けての挑戦」と題して、下記の3点を掲げています。

### （1）PF将来計画の確定と具体化：

前回のPFニュースで「PF将来計画の考え方」について書きましたが、それに沿って様々な検討を十分に行い、PF将来計画を確定し、具体的なアクションを取っていきたく考えています。

### （2）競争力のあるビームライン群の構築：

現在、PFおよびPF-ARの各ビームラインの研究・教育成果の評価を行っています。これに基づき、PFの存在価値を高めるビームライン群を構築していきたく考えています。

### （3）大学・国研・企業との新しい連携の確立：

物構研では、新たな大学共同利用について模索しています。そこでは、特定の大学・国研・企業などとの連携を強めたサイエンスのコンソーシアムを構築する可能性を議論しています。このような連携を通じて研究のみならず、人事交流や人材育成を効果的に行っていくことを考えています。

本年4月より、PF-UAの会長を佐藤衛前会長より引き継ぐことになりました群馬大学の平井です。PF共同利用開始の時から早30年以上、ユーザー或は協力研究員(BL-10C)として長年お世話になってきました。その間、J-PARCの前身であるKEK-KENSでは、稼働開始後から装置グループのメンバーとして熱中性子散乱装置の設計・建設や生体材料を中心とした研究を行い、また、ハンブルグ近郊の研究用原子炉(GKSS)では、動的核スピン偏極法による生体物質の偏極中性子散乱実験装置の立ち上げと実証研究に従事しました。放射光や中性子の今やオールドユーザーになりましたが、新PF-UA幹事、運営委員の方々とともに、人材育成を含めた日本の放射光科学の基幹施設であるPFの発展に微力を尽くしたいと考えております。ユーザーの皆様の一層のご協力、ご助言を宜しくお願い申し上げます。



我が国に於ける放射光利用を振り返りますと、創世記は1980年代のPF共同利用開始と重なり、当時は、PF放射光利用=先端科学の感がありました。1990年代半ばからの第3世代光源の出現によって、PF放射光利用~先端科学+汎用へ移行し、2000年代に入って、加速器・光源技術の発展に伴い、NSLS-II(米)、SLS(スイス)、Diamond(英)、Soleil(仏)などの超低エミッタンスの新第3世代中型ring光源である建設がヨーロッパ、米国、豪州、アジアなど世界各地で続いており、稼働中・建設中を含めると20箇所に及び、現在では、PF放射光利用~汎用+先端科学になっているのではないかと危惧が高まっております。勿論、その間PFでは、1987年と1996年の2度の蓄積リングの改造と高輝度化、2002年のPF-ARリングの高度化、2005年の挿入光源設置のための直線部増強と挿入光源の導入、ビームライン設備の大幅な更新、次世代光源であるERL実証など、研究所・施設スタッフの継続的な多大なご尽力があり、また、ユーザーの方々の先進的な研究推進へのPF利用の努力があったことは言うまでもございません。しかし、PFが今や世界最古の大型ring光源であるとの現実を直視した抜本的な対応を早急に講じる必要があると考えます。

既に放射光利用は、先端基礎・応用科学から新素材開発・創薬などの産業利用に至る広範囲の分野に於いて重要且つ極めて有効な基盤技術となっております。また、PFは世界的に見ても稀な大学共同利用施設として、我が国の放射光科学の展開や放射光利用をベースとした科学技術開発・産業応用などの担い手の継続的な人材育成の一大拠点であります。一方、国家予算は厳しさを増しており、我が国の

高度人材育成は、グローバル競争の中で極めて重要な課題であるにも関わらず、対GDP比率でOECD中最下位になっており(産業競争力懇談会資料2010.03.12)、その影響は、大学関係では運営費交付金の継続的な削減による教育研究基盤経費の枯渇として顕在化しております。その意味に於いても、多種多様な分野の多くの研究者が多くの学生とともに活動可能な大学共同利用施設としてのPFの重要性は一層高まっている様に思われます。現在、高エネルギー加速器研究機構及び物質構造科学研究所では、放射光施設の次期計画や共同利用のあり方を含めたKEKロードマップやミッションの見直しが検討されております。そのような状況の中で、佐藤衛前会長のもとユーザーの立場の明確化のために、日本の放射光科学を俯瞰した現状分析に基づくPFの役割と将来構想に関してPF-UA白書(「PFおよび日本の放射光科学の将来への提言」<http://pfwww2.kek.jp/pfua/katsudo/20150205.htm>)が纏められました。明快、かつ詳細にPF-UAの立場が記載されております。施設・ユーザー一体となった危機感の共有が大変重要と考えます。ユーザーの皆様には、白書を是非一読頂き、PFで行った成果に留まらず、その人材育成を含めた役割の重要性を是非、機会ある毎に喧伝して頂きたいと存じます。

3月のPFシンポジウムにおいて、村上施設長からPFの運営状況、将来計画などに関してご報告がございました。PF施設と新執行部、運営委員の方々とともに、下記の課題に取り組んで参りたいと考えます。

- ☆喫緊の課題：ビームタイムの激減による研究・教育に於ける多大な影響の解消。今までに何度かアンケートが実施されておりますが、昨年度行いましたアンケートには「著しい影響(放射光利用を前提とした研究計画の見直し、指導テーマの変更など)」との回答が多く寄せられました。世界の大型放射光施設の運転時間の標準は5000時間程度であり、また、「大学共同利用」であることを考慮すると昨年度の2000時間程度の運転時間は考えられない状況でした。PF施設と一体になって、研究所、機構、関係各所に改善の要望を致します。
- ☆中期的課題(5年)：新しいサイエンスの展開や新素材・創薬開発などにおけるグローバル競争を先導するためには、新第3世代中型ring光源に匹敵するビーム特性とユーザーの需要に応え得る十分な数の共用ビームラインを有する次期光源は必須です。過去に将来計画の策定・見直し、議論が繰り返さされてきましたが、現在の国際情勢や国内予算の逼迫状況・費用対効果などを踏まえると、建設計画の確定・実施、運用の開始は待った無しの状況です。ユーザーの皆様のご要望等に関する定量的なデータが重要ですので、アンケート等での協力をお願い致します。
- ☆長期的課題(10年)：先にPF次期光源として選定されました次世代linac光源であるERL実証実験と特性評

価が終了し、その技術的な課題と今後の展開が見えてきました。新技術開発は多くの分野のイノベーションの原動力であります。cERL 実証は世界初であり、長期的な展望にたった開発継続が重要であり、ユーザーコミュニティ全体での理解とサポート体制の構築を図りたいと思っております。

放射光科学の発展には、研究者個々の先端性を求める熱意と努力は勿論のこと、継続的な開発研究や研究環境の整備・更新・運用と人材育成が欠かせません。諸般の困難な状況を克服するために、ユーザーの皆様のご協力を重ねてお願い申し上げる次第です。グローバル化が謳われる今こそ「和魂洋才」の矜持を保ちつつ、次世代が雄飛できるようにユーザーの皆様と施設の皆様の橋渡しを心がけていく所存です。宜しくお願い致します。

## PF-UA 幹事名簿

**庶務幹事：**近藤 寛（慶應義塾大学）

**名簿管理担当庶務副幹事：**田中 信忠（兼務，昭和大学）

**書記担当庶務副幹事：**植草 秀裕（兼務，東京工業大学）

**会計幹事：**田中 信忠（昭和大学）

**行事幹事：**清水 敏之（東京大学）

植草 秀裕（東京工業大学）

**編集・広報担当幹事**

**編集幹事：**吉田 鉄平（京都大学）\*

**広報幹事：**山本 勝宏（名古屋工業大学）

**戦略・将来計画担当幹事：**腰原 伸也（東京工業大学）

朝倉 清高（北海道大学）

**推薦・選挙管理担当幹事：**奥部 真樹（東京工業大学）

**共同利用担当幹事：**上久保裕生（奈良先端科学技術大学）

米山 明男（㈱日立製作所中央研究所）

**教育担当幹事：**市川 創作（筑波大学）

：奥田浩司（京都大学）

任期：2015年4月1日～2018年3月31日

(\* 編集幹事の任期は1年)



## 入射器の現状

加速器第五研究系研究主幹 古川 和朗

### 概要

2015年1～3月には、PF Ring 及び PF-AR の放射光施設への電子入射運転や低速陽電子施設のユーザ向けビーム運転は行われなかった。この停止期間を有効に利用することもあり、当初は限定的な入射器単独試験運転が予定されていたが、4月からの年度に向けた準備作業に専念することとした。特に、新規開発の低エミッタンス RF 電子銃の補完として、陽電子発生向けの熱電子銃の試験も計画しており、その準備作業を進めている。さらに、陽電子発生装置の運用に向けた、最適化の改造を進めている。入射器下流部においては、4月13日から始まる PF Ring への電子入射に備えている。

### 陽電子発生装置の最適化

入射器棟内1セクタ部に設置した SuperKEKB 向け陽電子発生装置については、KEKB に比べて、4倍強の電流増

強（4 nC/バンチ、100 バンチ/秒）と 3.5 GeV から 4 GeV へのエネルギー増強が求められる。エネルギーを得るため、陽電子の加速ユニットを増やす必要があり、陽電子発生のためのタングステン標的位置を 40 m 上流に移動した。一次電子のエネルギーがその分下がり、陽電子発生効率が下がってしまうが、誘導による強磁場を作るフラックス・コンセントレータと新設計の大口径の加速管や、より長い連続ソレノイドと連続四重極電磁石によって、陽電子捕獲効率を向上させる。

2014年の6月には、新しい装置のもとで陽電子の発生を確認することができたが、電力などが制限のある条件下での試験であったので、今年度はそれぞれの装置の電場や磁場、それに対応する冷却水などを設計値に近づけるべく増強し、装置の運転パラメータの最適化を行う必要がある。

また、増大する地上方向への放射線を制御するために、陽電子標的の上方に遮蔽を追加する必要がある（図1）。今回の1～3月の停止期間中に設置した遮蔽は 20 cm の鉄であるが、徐々に追加して、シミュレーション結果とそれぞれ比較することにより、より正確な放射線制御を行うことを考えている。また、それぞれの段階で、必要な放射線発生装置の申請と施設検査を行う予定である。まず、夏に向けては 200 nA の一次電子の申請を行っている。

### 熱電子銃の再配置

SuperKEKB 計画に向けた低エミッタンスで大強度の電子の発生のためには、RF 電子銃を使用する予定であるが、陽電子発生のための一次電子としては、低エミッタンスで

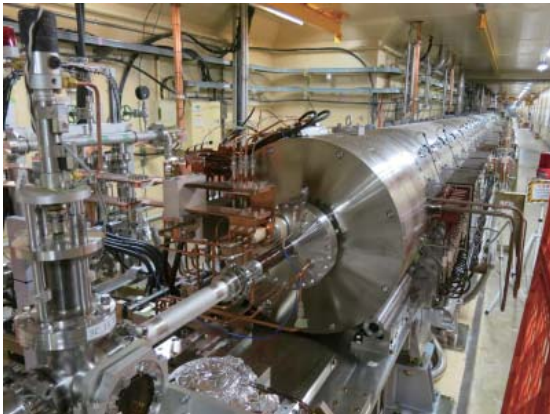


図1 陽電子発生装置（上）と、その上に設置された遮蔽（下）。現在の遮蔽は鉄 20 cm。

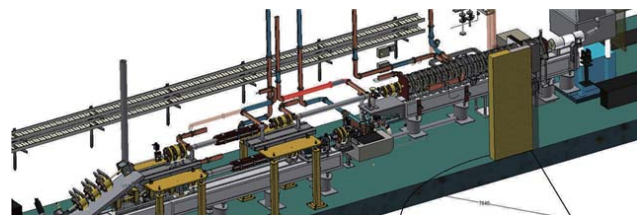
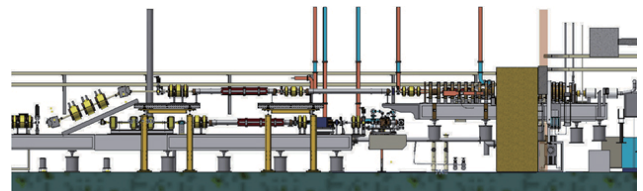


図2 電子銃部再配置の側面図（上）と鳥瞰図。ビームラインの下段が RF 電子銃、上段が上方に移動した熱電子銃。

ある必要はなく、熱電子銃の利用も視野に入れている。しかし、電子銃の設置空間が狭く、これまで RF 電子銃と熱電子銃を両立させる装置配置を決めかねていた。そこで、今回の 1~3 月の停止期間を利用して追加工事を行い、RF 電子銃の後方に温存されていた熱電子銃を 75 cm 上方に移動させ、双方のビームを偏向電磁石で合流させることにした (図 2)。

RF 電子銃を用いて、SuperKEKB 用電子、陽電子発生用大電流一次電子、PF・PF-AR 入射用電子など、性質の異なる電子ビームを全て発生させることも可能である。しかし、大電流電子ビームについては、低エミッタンスビームを利用すると、装置を破壊しないようにするための安全装置を多重に確実に動作させる必要があるなど、機構が複雑になる。上の電子銃の再配置により、大電流電子や PF・PF-AR 用電子は熱電子銃で発生させるなど、双方を有効に利用できる可能性が広がる。

### B ファクトリ計画の評価委員会と RF 電子銃の評価委員会

毎年開催されている SuperKEKB B ファクトリ計画の評価委員会が、今年は 2 月 23 日から 3 日間開催された。KEKB の評価委員会から数えて 20 回目となった。長きにわたり委員長を務めていただいた Jefferson Lab の Hutton 氏は今回で委員長を退任されることとなった。Hutton 氏には様々な形で計画を助けていただき感謝を表したい。当初から外部委員はほぼ全員海外の研究所から招いており、今回も世界の先端研究を続ける委員から、リングコミッションに向けたこの時期に貴重な助言をいただいた。2 日間の報告のうち入射器関係では、アライメント、電子銃、陽電子発生、コミッション、などの最近の進捗を報告した。具体的には、アライメントに関しては震災の復旧と長基線に対する 0.2 mm 程度の測定精度の確立、電子銃については QTWSC 型 RF 電子銃空洞の成功や電子銃の再配置、陽電子発生に関しては新規の発生装置からの初めての陽電子の捕獲と加速、などについて評価を受けた。

これに先立つ週には RF 電子銃の評価委員会を開催した。電子入射器においては SuperKEKB 計画に向けた低エミッタンスで大強度の電子 (5 nC/バンチ, 100 バンチ/秒, 20 mm-mrad,  $\Delta E$  0.1%) の入射のために、大電流 RF 電子銃の開発を進めている。この評価をしていただくために、OIST の新竹 積氏に委員長をお願いし、7 系の本田洋介氏、SLAC の Gilevich 氏、JLab の Poelker 氏に委員をお願いして、評価をいただいた。現場での議論にできるだけ長い時間を割り当て、会議室での議論と合わせて、理解を深めることができた (図 3)。RF 空洞と光陰極の開発をほぼ終えているが、大電流・小エネルギー分散のビームを発生するための平坦な時間構造を持つレーザーの開発を継続している状態である。この点について、まずは、SuperKEKB の Phase-II 時期のバンチあたり 2nC のビームに集中して開発を行うように提案を受け、現在その方向に開発資源を移している。



図 3 RF 電子銃の評価委員会での現場視察 (上) や委員会の様子 (下)。

### 新年度の入射器系

大沢 哲氏と設楽哲夫氏が 3 月末に定年を迎えられた。長年の入射器や加速器施設への多大な貢献について感謝を表したい。お二方にはこれまでの機構への貢献の大きさから、名誉教授の称号が贈られた。大沢氏には、4 月から入射器の熱電子銃利用や、ビームコミッション、小規模計画の電子源などにご協力をいただく予定である。設楽氏はこれまでの経験を活かされ、研究支援戦略推進部に異動される。制御グループの一宮亮氏は IFMIF/EVEDA 計画に異動された。また、新人として、加速管グループに榎本嘉範氏、制御グループには清宮裕史氏がそれぞれ加わった。さらに、峠 暢一氏が運転管理グループに、舟橋義聖氏が加速管グループに異動された。それぞれの方々の加入が、放射光のユーザ実験向け入射と SuperKEKB の入射開始に大きな戦力となると期待している。



## 春の停止期間中の作業

2月4日朝から、2台のアンジュレータU#13とU#28をPFリングに搬入する作業が行われた。当日は晴れていたものの、夜から翌日にかけて雪になることが予想されていたため、その日のうちに2台を光源棟内に運び入れた。翌日にそれぞれをB12-B13間、B27-B28間の直線部に移動させ、おおよその場所へ設置した(図1)。その後、隣接する4極電磁石を基準にして精密なアライメントを行い、真空チャンバーの接続作業等の復旧作業を行った。設置作業がほぼ完了すると同時に、4月からの運転に備えて、5本のビームライン基幹チャンネル(BL1, 2, 8, 12, 27)のベーキングを行った。

この停止期間中の一連の作業でリングの真空がかなり破られているため、4月の運転はリング真空焼きだしを精力的に行うとともに、新規挿入光源のモード確立を行うビーム調整が組まれている。



図1 上図はU#13(APPLE-II型可変偏光アンジュレータ)をPF光源棟内に搬入・移動している様子。下図は、U#13をB12-B13間の直線部に、U#28をB27-B28間の直線部に設置した様子を示す。

PF-ARにおいては、PF-AR直接入射路関連の作業が概ね順調に進行した。図2の写真は、電磁石用インターロックボックスである。停止期間中に、電磁石電源室と現場付近の壁に設置されたボックスとの配線が完了した。PF-ARでは真空作業を行っていないため、リング立ち上げ時にそれほど真空焼きだしの時間は必要なく、比較的短期間にユーズ運転に移行できると予想している。

## PFリング立ち上げ状況

4月13日9:00からPFリング運転を開始した。すでに入射器のビーム調整は完了していて、概ね順調に立ち上がり12時頃には30mA程度が蓄積された。その後、リングの真空や実験ホール側の放射線レベルを気にしながら入射調整を行い、15時頃には400mA近くまで蓄積できるようになった。初日から4月17日時点までのリングの蓄積電流地の推移を図3に示す。概ね真空焼きだしは順調に進み、蓄積電流値とビーム寿命の積( $I \cdot \tau$ )は、350 A·minを越えるまで回復している。



図2 PF-ARリングトンネル内に設置された電磁石用インターロックボックスを示す。インターロックボックス左にある壁穴を、ビーム輸送路の真空チャンバーが通過する。

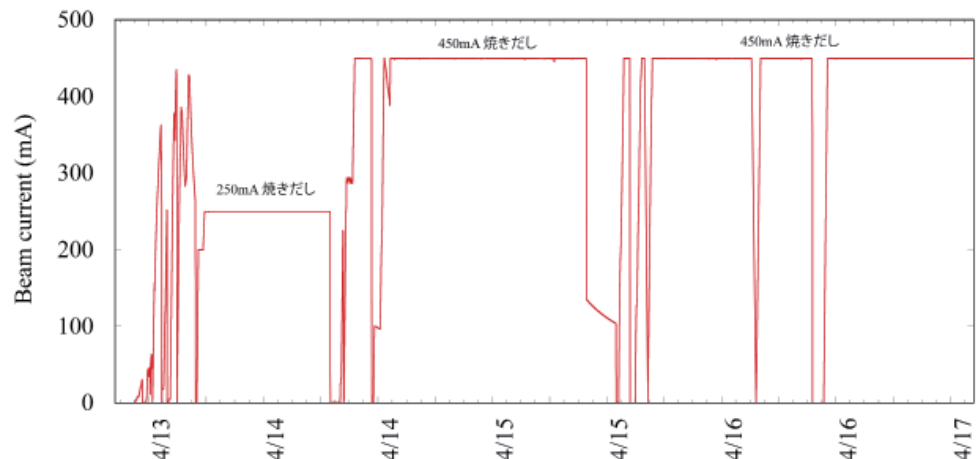


図3 PFリング運転立ち上げにおける蓄積電流値の推移。

## PF リングセプタムチェンバ真空リークトラブルについて

4月23日(木) 11:42, PF リング調整運転中に入射点付近の真空が急激に悪化し、ビームダンプが発生した。直ちに現場でリークチェックを行ったところ、セプタム(S2)チェンバ内の放射光吸収板を間接的に水冷する銅配管からのリーク(水漏れ)と判明した(図4)。主要機器の重故障であることから、翌朝9時まで予定されていた加速器運転をキャンセルして、復旧作業に取りかかった。

真空悪化の挙動から銅配管にできたリークパスの穴径は数 $\mu\text{m}$ 程度と推測され、液体シール材で補修できる可能性が高いと判断した。そこで、UVSORにおいてRF空胴での同様な水漏れ時の対策として実績のあった「リキッドシール300」を翌4月24日(金)に入手した。そして、約30分間銅配管内部を補修材で満たし、圧空を流して乾燥させることで、ヘリウムリークディテクタのバックグラウンド( $7 \times 10^{-11} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )以下までリークを止めることに成功した。なお、リークした銅配管は、放射光が当たる銅板を間接的に冷却するため、約2mのS2チェンバ内部をビーム進行方向に沿って往復するように取り付けられており、さらにチェンバにはロウ付け接合されているため、交換は容易ではない。

その週末は液体シール材の乾燥に充てて、週明けの4月27日(月)に冷却水通水試験を実施した。定格の0.5 MPa, 4.8 L/minで30分間通水してもリング内圧力( $1.3 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ )に変化はなかったことから、通水状態でも十分な気密性が得られていると判断した。そして、4月27日(月)から4月28日(火)にかけて水漏れの影響を受けたB24～セプタム区間を約18時間120°Cでベーキングして(液体シール材の耐熱温度は300°C)、連休明け5月7日(木)からの運転再開に備えた。

5月7日(木)朝の段階でS2チェンバ内の圧力は $2.6 \times 10^{-8} \text{ Pa}$ まで回復した。ビーム運転再開時、S2チェンバの圧力や温度を監視しながら慎重に蓄積電流値を増やしていき、定格450 mAの蓄積でも問題ないことを確認した。5月7日(木)から5月12日(火)までの光焼出し効果によるリング圧力とビーム寿命の回復の様子を図5に示す。5月8日(水)のユーザー運転再開時(積分電流値

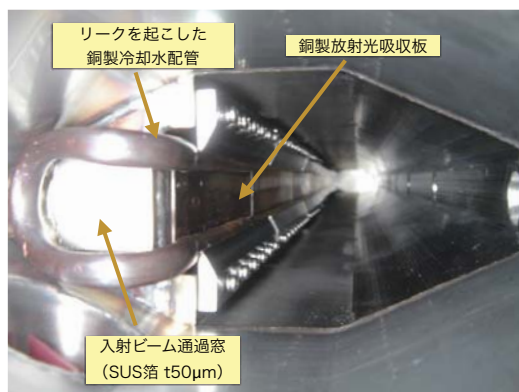


図4 S2チェンバの内部写真(2005年撮影)。蓄積ビームは写真奥から手前へ進む。

## PF-ring 光焼出し状況

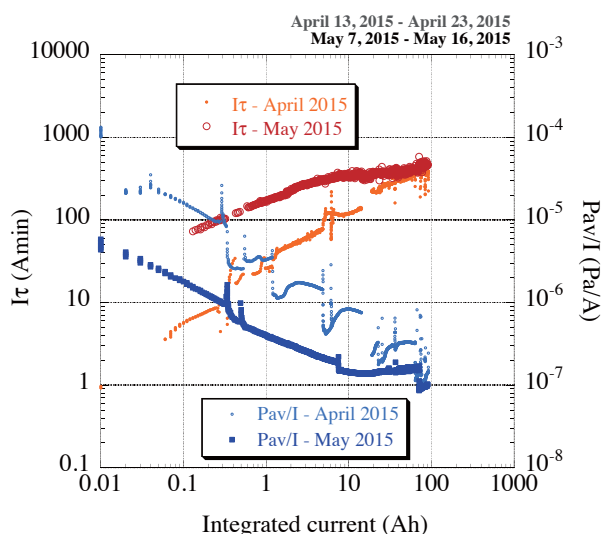


図5 リークトラブル後の光焼出し状況。比較のため、4月の立上げ運転時の状況も合わせて示す。

8 A·h)のビーム寿命は、 $I \cdot \tau$ で約350 A·minあり、ほぼ4月23日(木)のリーク発生前の値まで回復させることができた。

リークの原因については、銅配管には直接放射光は当たらないため、経年劣化によるものと考えられる。現行S2チェンバは1988年に設置されたものであり、27年間の運転により銅配管内部が水流によって削られ、薄肉化した箇所リークパスが形成された可能性が高い。今後の方針としては、リーク再発の徴候が見えた段階で補修の見込みがあれば再度リキッドシールで補修を行うが、補修の見込みがなければリング真空を破り、S2チェンバの上流にあるキッカー2のアブソーバを長いものに交換する方針である。これによりS2チェンバの受ける放射光パワーは420 Wから220 Wに半減でき、チェンバ外部からの冷却により運転可能であると考えている。長期的に安定なユーザー運転を継続させるためにはS2チェンバの更新は不可欠であり、1年以内を目処に新S2チェンバを製作する方針である。

## 平成26年度の運転統計

表1と2に、平成26年度のPFリングおよびPF-ARの運転統計を示す。両リングともに平成25年度に比べリングの運転時間はそれぞれ1152時間(48日)、1560時間(65日)の減少となった。さらに、ユーザー運転はそれぞれ約1138時間(47日)、1423時間(59日)の減少となっている。ユーザー運転時間は大震災以前に比べるとPFでおおよそ3/5、PF-ARではおおよそ1/2まで落ち込んでいる。例えば、平成22年度はPFでは4050.8時間、PF-ARでは4037.5時間がユーザー運転として供給されていた。この運転時間減少の要因は、慢性的なプロジェクト経費の削減に加え、最近の電気代高騰が大きな影響を及ぼしていると分析されてい

表 1：平成 26 年度 PF リングの運転統計

	合計 (h) / 率 (%)
リング運転時間	3024.0 / 100.0
ユーザ運転時間	2316.6 / 76.6
リング調整・スタディ時間	696.0 / 23.0
故障時間	11.4 / 0.37

表 2：平成 26 年度 PF-AR の運転統計

	合計 (h) / 率 (%)
リング運転時間	2352.0 / 100.0
ユーザ運転時間	1955.0 / 83.1
リング調整・スタディ時間	360.0 / 15.3
故障時間	37.0 / 1.57

る。一方、リングの故障率に関しては、それぞれ約 0.5%、1.6% と昨年度に比べて低下しており、より安定した運転が実現したといえる。これは、震災によってダメージを受けた装置が、復旧費により更新され故障頻度が減ったことが主な要因と考えられる。今後もより安定な運転を実現するために、定期的な保守と老朽化した装置を早急に手当することが肝要と考えている。

### 人の動き

加速器第 7 研究系は 2015 年より 7 グループ体制となりました。詳細は <http://www2.kek.jp/imss/pf/group/acc/> をご覧ください。

加速器第 7 研究系の宮内洋司さん、尾崎俊幸さん、芳賀開一さんが、4 月 1 日付で准教授に昇任されました。宮内

さんには、引き続き光源第 5 グループのグループリーダーをお願いするとともに、放射光源加速器の基幹チャンネルに関する開発・研究および安全に関わる業務を担当していただきます。尾崎さんには、引き続き光源第 1 グループに所属していただき、電磁石電源の開発研究および維持管理を担当して頂き、芳賀さんには、光源第 4 グループから第 5 グループに異動してもらい、モニターの開発研究・維持管理を継続しながら、特に施設・安全に関する業務の強化に取り組んで頂くことを期待しています。また、濁川和幸さんが、4 月 1 日付けで専門技師に昇任されました。濁川さんにも光源第 4 グループから第 5 グループに異動してもらい、加速器のインターロック・制御に関わる業務を継続して頂くとともに、特に安全に関する業務の強化に取り組んで頂くことを期待しています。

新規採用として、4 月 1 日付けでお二人が加速器第 7 研究系の所属となりました。一人目は、大阪大学から異動されました、加藤龍好さんです。加藤さんには教授として着任して頂き、新設の光源第 7 グループ（主に挿入光源担当）のグループリーダーをお願いするとともに、挿入光源の開発・研究や将来の自由電子レーザを視野に入れた新光源の検討を行って頂くことを期待しています。二人目は、名古屋大学から異動されました、山本尚人さんです。山本さんは助教として採用になりました。山本さんには、光源第 2 グループに所属していただき、高周波加速システムに関する開発・研究に携わって頂くことにしました。

加速器研究施設では、ILC や ERL へ向けた超伝導空洞開発を強化すべく、加速器第 6 研究系の加古教授を中心に、超伝導空洞グループが結成されました。今年度から、そのグループに参加すべく、第 7 系所属の梅森健成さん、阪井寛志さん、篠江憲治さんが第 6 系に異動になりました。彼らには、今後も引き続き ERL に関わる超伝導空洞開発に着手して頂くことを期待しています。



### はじめに

2015年4月より放射光科学第一研究系主幹に着任した雨宮健太です。よろしくお願ひいたします。今まで所内外の様々な場で、あまり遠慮することもなく好き勝手なことを言っていた自分が、こうした立場になってどう変わるのか、変わらないのか、怖くもあり楽しみでもありますが、PFが大学・研究機関や企業の皆さんから愛され、支持される施設であるよう、気力とアイデアを総動員していきたいと思ひます。少しだけ自己紹介をさせていただきます。私は学生時代の1995年からPFで実験を行ってききましたが、1999年から東大スペクトル化学研究センターのビームライン担当者として、2006年からはPFのスタッフとして、ビームライン開発と共同利用に携わってきました。一方、ユーザーとしても軟X線のビームラインを中心に研究・開発を続けています。その中で、試行錯誤から始めた先端的な研究手法が、徐々に洗練されてきて時々成果が出たり注目されたりするようになり、ついには多くのユーザーが気軽に実験できて確実に結果が得られるまでに成熟していく過程を体験してきました（もちろん、企画倒れに終わって、失意のもとに闇に葬られた手法も多々ありますが…）。このような最先端の、時には無謀ともいえるような開発から、広いユーザー利用までを一つの流れとして行えることが、PFの魅力の一つであると強く感じています。PFを取り巻く環境が大きく変わりつつある現在、このようなPFの魅力を武器として、ユーザーの皆さんにとってもPFのスタッフにとっても、ハッピーな状況が実現するように、着実に、時には大胆に、精いっぱい努力していきたいと思ひます。

### 運転，共同利用関連

PF, PF-ARともに、1-3月期の運転は行いませんでした。これはすでにお知らせしている通り、2014年度の放射光共同利用実験のための予算（PFプロジェクト経費）の大幅削減と電気代の高騰によるものですが、このような異例の事態になってしまったことを改めてお詫びします。文部科学省やKEK機構長への運転時間確保を求める要望書の提出をはじめとするユーザーの皆様のご協力により、2015年度については昨年度よりは長い、3000時間程度のユーザー実験が可能になる見込みですが、今年度、また来年度以降の運転時間の回復に向けてさらなる努力をしておりますので、引き続きご協力をお願いいたします。

今年度に入ってから、4月にPFリングのみ11日間の運転を行いました（ユーザー運転はありませんでした）。これは、シャットダウン中にアンジュレータ2台を更新したことに伴って、リングの焼き出しと、アンジュレータの立ち上げのための運転が必要なためです。ユーザー運転については、PFは5月8日から、PF-ARは5月15日からそれぞれ開始し、ともに6月30日の朝9:00までの予定です。

なお、今年度は秋の第2期および年明けの第3期にもユーザー運転を行う見込みです。後期運転スケジュールは6月頃に決定される予定ですので、決まり次第お知らせします。

### BL建設，改造関係

冬から春にかけてのシャットダウンの間に、いくつかのビームラインで改造工事が行われました。BL-28には1次光で30-300 eV程度のVUV・軟X線領域をカバーする可変偏光アンジュレータが設置されました。これまで利用していた円偏光と水平直線偏光に加えて、垂直直線偏光の利用が可能になるとともに、輝度も向上することが期待されます。BL-13には1, 3, 5, 7次光を利用することで50-2000 eV程度の軟X線領域をカバーする可変偏光アンジュレータが設置されました。水平・垂直直線偏光および円・楕円偏光の利用が可能になります。どちらのビームラインも、5月の運転開始から1,2週間程度の調整を行った後に共同利用を開始し、準備が整った偏光モードから順次利用が可能になる予定です。BL-17Aでは光学系の大幅な更新が行われました。試料位置の直上流に新たに集光ミラーを設置することによって、より小さいビームが得られることが期待されます。また、大面積のピクセルアレイ型検出器PILATUS3 S6Mが導入されました。やはり5月から調整を行い、6月にはユーザー利用を開始する予定です。AR-NW10Aでは、21素子のピクセルアレイ型Ge半導体検出器が導入されました。従来使用していた19素子Ge半導体検出器は、2012年に発生したBe窓破損以降、分解能の低下等の問題がありましたが、新しい検出器の導入によって、以前を上回る性能が得られるようになります。BL-12Cでは、最大100個の試料を搭載可能な試料交換ロボットと電離箱ガスの自動混合・フロー制御システムが導入され、より効率の良い実験が可能になると期待されます。秋の運転で全てのユーザーに開放できるよう準備を進めています。すでにほぼ建設を完了しているBL-2, BL-15でも、それぞれ低エネルギー用の回折格子の導入、高調波除去ミラーの再研磨を行うなど、様々な改良を進めています。BL-15はすでに共同利用を開始していますが、BL-2についても、秋の運転以降、準備のできたモードから順次、共同利用を開始する予定です（詳細はp13参照）。なお、BL-3Bはこれまで弘前大学による大学等運営ステーションとして運用されてきましたが、4月からは表面ARPES、表面化学の両ユーザーグループ（UG）によるUG運営ステーションとなりました。引き続き、表面試料の角度分解光電子分光ステーションとして共同利用実験を行うことができます。

このようなビームラインの改造、高度化の詳細については、ウェブページ「ビームラインの再編・統廃合について14」（<http://www2.kek.jp/imss/pf/announce/2015/04/071630>）

html)にも掲載されています。また、最新の進捗状況についてはメールマガジン等でも随時お知らせしていきます。

## 人事関連

2015年度より、放射光科学第一・第二研究系に産業利用促進グループが新設されました。木村正雄さんをグループリーダー、伴弘司さんをサブグループリーダーとし、産官学の研究者が集う“場”を提供することを目指して活動を行なっています。

この春にも多くの人事異動がありました。生命科学グループの助教として構造生物関連のビームライン開発に携わっていた富田文菜さんが自治医科大学に、電子物性グループの特任助教として軟X線を用いた光電子の運動量画像測定法や超高速光電子回折法の開発を行っていた中嶋亨さんがJASRIに、同じく電子物性グループの博士研究員としてin-situ光電子分光による強相関薄膜の研究を行っていた坂井延寿さんが東京大学に、先端研究基盤共用・プラットフォーム形成事業の研究員として放射光の利用促進に尽力されてきた山下良樹さんが理化学研究所に、それぞれ4月から異動されました。また、PFの運営や共同利用関係の業務を支えて下さった、PF主幹秘書室の平田亜紀子さん、PF事務室の高野幸子さんと渡辺ゆり子さんが3月末で退職され、PF主幹秘書の石川銀さんが4月から加速器施設長秘書に異動されました。また、3月1日付けで岸本俊二さんが教授に昇任され、引き続きPFの先端検出器開発ワーキンググループのグループリーダー、および物構研の計測システム開発室の室長として、次期光源を視野に入れた先端的な検出器、測定系の開発を推進されます。

次に4月からの新任の方々をご紹介します。船守展正さんが東京大学から構造物性グループの教授として着任され、主に高温高压といった極限環境下におけるX線を用いた測定手法を利用して、先端的な地球科学研究を推進されます。倉本義夫さんが東北大学から構造物性研究センターの特別教授として着任され、センター内のプロジェクトに

対して主に理論家として様々な助言やサポートをして下さるとともに、理論方面のコミュニティとの橋渡しのような役割をしていただけると期待しています。若林大佑さんが東京大学から構造物性グループに、佐藤友美さんが京都大学から構造生物グループに、それぞれ博士研究員として着任されました。若林さんは主に高压ビームラインを利用して、特にプレスを使った高温高压下のX線回折とXAFSの測定を同時に行う環境の整備と、それを使った実験をされる予定です。佐藤さんは膜タンパク質をはじめとしたタンパク質調製の実験とPFでの構造解析や解釈のノウハウを融合して、タンパク質の生体内での働きの研究を推進されます。また、福本恵紀さんが東京工業大学から構造物性グループに、湯川龍さんが東京大学から電子物性グループに、小祝孝太郎さんが東京都医学総合研究所から構造生物グループに、それぞれ研究員として着任されました。福本さんは光・量子融合連携研究開発プログラム「レーザー・放射光融合による光エネルギー変換機構の解明」において、時間分解放射光測定法の開発と利用研究を推進されます。湯川さんは主にVUVおよび軟X線のin-situ光電子分光を用いて、強相関薄膜試料の表面・界面研究を推進されます。小祝さんは創薬のためのタンパク質構造解析法の確立の一環として、細胞内で結晶を作り、X線自由電子レーザーSACLAで結晶構造解析をされる予定です。また、これまで協力研究員として先端的な検出器の開発に携わってこられた春木理恵さんが、構造物性グループの研究員として、科学研究費補助金新学術領域研究「 $\pi$ 造形科学：電子と構造のダイナミズム制御による新機能創出」のもとで、特異な機能を有する有機分子集合体の構造物性研究を推進されます。また、五十嵐美穂さんが物構研事務室に、濱松千佳子さんがPF主幹秘書室に、それぞれ着任され、PFの運営と共同利用をサポートして下さい。たくさん新しい仲間を迎えることで、PFがより活性化すると期待しています。

はじめに

2015 年度が始まりました。cERL では、昨年度末までの約束事として日本原子力研究開発機構（JAEA）との共同開発で進めてきたレーザーコンプトン散乱 X 線の発生と 100  $\mu$  アンペアの CW 運転を、cERL 建設部隊と照沼信裕教授（加速器第六系）を代表とする「光・量子融合連携研究開発プログラム」のメンバーも加わり、その両方を実現しました。その成果は既にプレス発表されています (<http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20150427150000/>)。「30 ミクロンほどの電子ビームパルスとレーザービームパルスを数ピコ秒の時間軸も含めて衝突させる技術は加速器では決して特別なものではない」と加速器の研究者の方々は言いますが、決して容易ではありません。その実現には数ミクロンで安定した電子ビームとレーザービーム、そして時間軸にも数ピコ秒で安定したシステム設計が必須です。ERL 計画を放射光源計画として設定した時に、多くのユーザーの方々が懸念した「ライナックで本当に安定なビームが実現できるのか？」という疑問に答える実証実験とも言えるでしょう。一方、電流値はライナックから見ればすでにかなり高い電流値ですが、放射光のユーザーの皆様から見ますと、まだまだ低い値かもしれません。今年度の大きな目標は、着実に一桁ずつ電流値の増加をすすめ、1 mA までの運転を目標に放射線変更申請を進めて行く予定です。また平均電流値だけではなく、「バンチ当たりの電荷量を上げて、エミッタンスが十分に小さな値を実現できるか」ということを検証していくことも重要な課題です。そして、THz 光源利用や、近年急速に世界的に注目されてきている ERL をベースにした FEL 光源による半導体リソグラフィーの大強度 EUV 光源で必須である、アーク部のマグネットを用いてバンチ圧縮（目標値は 100 フェムト秒）を cERL で検証することも今年度の重要な課題です。

cERL では、常に次の先端放射光源実現を目指して技術開発を進めています。どこかの会社の宣伝文句ではないですが、「明日を切り開く cERL!」という気概を持って関係者一同進めていますので、どうか今後ともご支援ください。

cERL での進捗状況

はじめに述べましたようにこの 3 か月間、cERL の現場では日本原子力研究開発機構（JAEA）との共同研究で進めているレーザーコンプトン散乱 X 線の発生と 100  $\mu$  アンペア運転の実現に集中して取り組みました。1 月末から放射線変更申請（100  $\mu$  アンペア運転）に向けて調整運転を開始し、2 月 5 日の自主検査で、問題がない状況を先ず確認し、続いて 2 月 12 日に原子力規制庁の施設検査が実施され、2 月 13 日付けで合格を頂きました。そして、施設検査合格後はレーザーコンプトン散乱 X 線の発生に向けて全力で取り組みました。この作業には、「核セキュリティ

強化等推進事業」として原子力機構が進めている文科省委託事業のプロジェクトであると同時に、「光・量子融合連携研究開発プログラム」の基礎課題「小型加速器による小型高輝度 X 線源とイメージング基礎技術開発」プロジェクト（照沼教授代表）とも絡んでおり、両者のメンバーに加わって頂きました。その結果、80  $\mu$ A の 162.5 MHz の繰り返し周波数での CW 運転で蓄積レーザーとの衝突を行い、安定して 6.9 keV の準単色 X 線の取り出しに成功しました。実験ステーションは発光点から約 17 m ほど離れており、4.66 mm $\phi$  の検出器で測定して、現状は 1200 cps 程度です。これはレーザーコンプトン散乱 X 線が  $1/\gamma$  ( $\gamma$  = 電子ビームのエネルギー /  $mc^2$ ) で広がり、現在の電子ビームエネルギー 20 MeV ですと、約 25 mrad に広がるコンバージェントビームだからです。しかし発光点換算すれば  $10^7$  cps 程度であり、今後の電流増強（10 mA 運転）と蓄積レーザーの性能向上、そして電子ビームのエネルギーの増大の余地を考えれば、十分に小型 X 線光源として期待できることが明らかになりました。また、30 ミクロン程度である微小光源から期待される高精細 X 線屈折イメージングの予備実

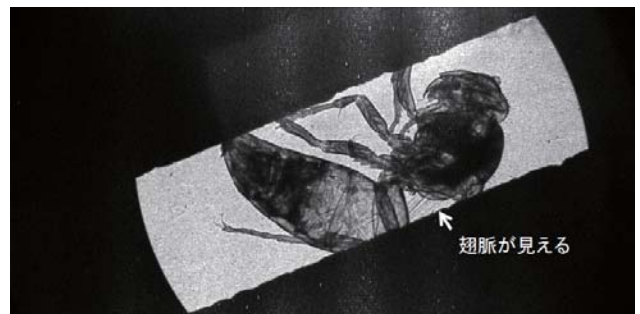


図1 スズメバチの屈折イメージング。翅脈が確認できる。



図2 微小光源である LCS 光源によるイメージングの特徴である屈折イメージングを取るために試料と検出器は 2.5 m の距離を置いて撮影。そのような条件でも検出器の空間分解能（100  $\mu$ m）を保っている。



験も行い、スズメバチの薄い翅（ハネ）を支える翅脈が見える他、体内の構造が良好なコントラストで観察できました（図1）。これらの成果はプレス発表すると同時に、5月3日から開催される第5回国際粒子線加速器会議（米国リッチモンド）で発表されました。図2は、レーザーコンプトン散乱X線実験ハッチ内で、X線屈折イメージング実験のセットアップをする様子を示しています。

コミッションング全体に関しても、5月3日からのIPACで坂中教授が口頭発表を行い、続いて、6月7-12日のERL2015ワークショップ（BNL/米国）では、上記の話題のほかにERL-FELによる大強度EUV光源に関する検討も含めて発表する予定です。また、ERL2015では3つのワークショップ分科会のコンピナーをKEKおよびJAEAの関係者が行う状況となっており、本機構のERL推進室関係者が世界のERL技術開発を牽引する立場となって来ています。

### その他の活動について

前号PFニュース（Vol. 32 No. 4）に紹介しましたが、2月17日に、平成26年度の高エネルギー加速器科学研究奨励会の諏訪賞の授賞式が行われました。今年度この賞には、コンパクトERL加速器建設チームに贈られ、今回受賞対象となった研究課題は「エネルギー回収型リニアック（ERL）の基幹技術確立をめざした試験加速器の建設とビーム加速による性能の実証実験」です。図3は授賞式に参列したERL計画関係者です。この受賞を一つの区切りとして、今後、ERLはもとより、CWの超伝導加速器を利用した新しい応用への展開に尽力したいと考えています。この関連記事は物質構造科学研究所のホームページおよびKEKのホームページに紹介されていますので、関心のある方はそちらを参照してください（<http://www2.kek.jp/imss/news/2015/topics/0218Suwa-Awd/>, <http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20150427150000/>）。

最後に最近のリソグラフィー用大強度EUV光源検討の状況について紹介します。国内の半導体産業は厳しい状況と聞いていますが、国際的には更なる微細加工への必要性は依然高い状況です。具体的には10nm程度のパターン転写が近いうちに必要とされる状況となりつつあり、その有力候補として長年EUV（波長13.5nm）を用

いた縮小光学系のシステムが開発されて来ています。また、その光源として、錫をベースにしたレーザープラズマ光源が長年開発されていますが、依然必ずしも十分な強度を得るに至っていない状況です。そのような中、近年、加速器を用いた大強度のEUV光源の可能性が再認識される（過去に2005年ごろにERLを利用した光源提案が行われています）状況となって来ており、国際的に「ERLをベースにしたFEL光源が唯一の解決策」という認識になりつつある状況です。このことを受けて、昨年度から国内の電機総合メーカーと協力してそのフィージビリティの検討を開始し、確かに800MeVクラスのERLに40mmほどのFELを導入し、電流値も10mA以下の条件で10kW以上の大強度EUV光源が可能であることが検討されました。その結果を国際的には昨年11月にダブリンで行われた「2014 International Workshop on EUV and Soft X-Ray」で加古教授（KEK）と羽島良一氏（JAEA）が報告しています。workshop proceedingは以下のサイトに掲載されていますので、ご興味のある方はご覧ください（<http://www.euvlitho.com/2014/2014%20Source%20Workshop%20Proceedings.pdf>）。その後、2月に共同開発研究を開始し、更なる検討といくつかの開発研究を開始しており、その検討結果は6月に開催される「2015 International Workshop on EUV lithography」<http://www.euvlitho.com/>の国際ワークショップで報告する予定です。このような超伝導加速器技術とFELとの組み合わせは、現在、国際的には極めて当たり前の展開です。欧州でのEURO-FEL（ロングパルスのパルス運転）が運転まで秒読み状態になっている事、米国ではLCLSII（1MHzのCW運転）が予算化され建設が開始し、精力的にサイエンスケースの検討が開始されている状況です（[https://portal.slac.stanford.edu/sites/conf\\_public/LCLS2ScienceFeb15/Pages/default.aspx](https://portal.slac.stanford.edu/sites/conf_public/LCLS2ScienceFeb15/Pages/default.aspx)）。この先端放射光源の実現に必要な超伝導加速器技術を有する研究機関は、日本もしくはアジア全体を見渡してもKEKだけです。しっかりと、そのような将来も射程に入れて開発を進めて行かなければならないと考えています。



図3 諏訪賞授賞式に参加したERL計画関係者一同の喜びの表情。

## BL-2 MUSASHI の建設状況

放射光科学第一研究系 組頭広志

現在、PFの電子物性グループにおいては、挿入光源ビームラインであるBL-28、BL-2、BL-13、BL-16にリソースを集中し、「PFの特性を生かしたサイエンス」を発展させるための真空紫外光(VUV)-軟X線(SX)ビームラインおよびエンドステーションの整備計画を進めています。その中でBL-2は、長直線部を有効活用してVUVとSXを高いレベルで両立させることにより、高分解能・高強度を保ちながら広いエネルギー領域の光を利用できる表面・界面物性研究用のビームラインと位置づけ、日立製作所と共同で整備を進めています。具体的には、PFリング(2.5 GeV)の長直線部にVUV用(30-300 eV)とSX用(250-2000 eV)2台のアンジュレータをタンデム配置し、入射スリットレス、可変偏角 Monk-Gillieson 型の不等間隔平面回折格子分光器を採用することで、同一のポートで30-2000 eV程度の広範囲に渡って高エネルギー分解能かつ高フラックスな放射光ビームを供給できるビームラインBL-2 MUSASHI (Multiple Undulator beamline for Spectroscopic Analysis on Surface and HeteroInterface)として建設・改良を行っています(図1)。実験目的にあわせてVUVモードとSXモードを切り替えて「二刀流」で使用できることから“MUSASHI”と名付けました。更にBブランチには2結晶分光器を設置し、SXアンジュレータの高次光モードとの組み合わせにより、エネルギー範囲を4,000 eVまで拡張することも可能です。

本BL-2 MUSASHIは、2013年4月から建設を開始し、2013年11月から既存のSXアンジュレータを暫定的に用



図2 BL-2長直線部に設置された真空紫外(VUV)用および軟X線(SX)用アンジュレータ。

いて光学系の調整を行いました。2014年3月にはVUV領域をカバーするアンジュレータの追加設置および既存のSX領域アンジュレータの下流への移設を行い(図2)、2014年度はVUVおよびSX領域での光学系の立ち上げ・調整を進めてきました。現在の性能として、VUV領域(~65 eV)でエネルギー分解能  $E/\Delta E > 20,000$ 、SX領域(250-900 eV)で  $E/\Delta E > 10,000$  を達成しており、実験にあわせてVUVモードとSXモードを切り替えて使用できるようになりました(図3)。さらに、2015年3月に低エネルギー領域(30-120 eV)専用の回折格子を追加し、2015年度第一期に2結晶モードも加えた全エネルギー領域での最終調整、各ステーションでのコミッションング実験を予定しています。これにより、広いエネルギー領域をカバーすることで、固体表面・界面物性研究や機能性材料・環境

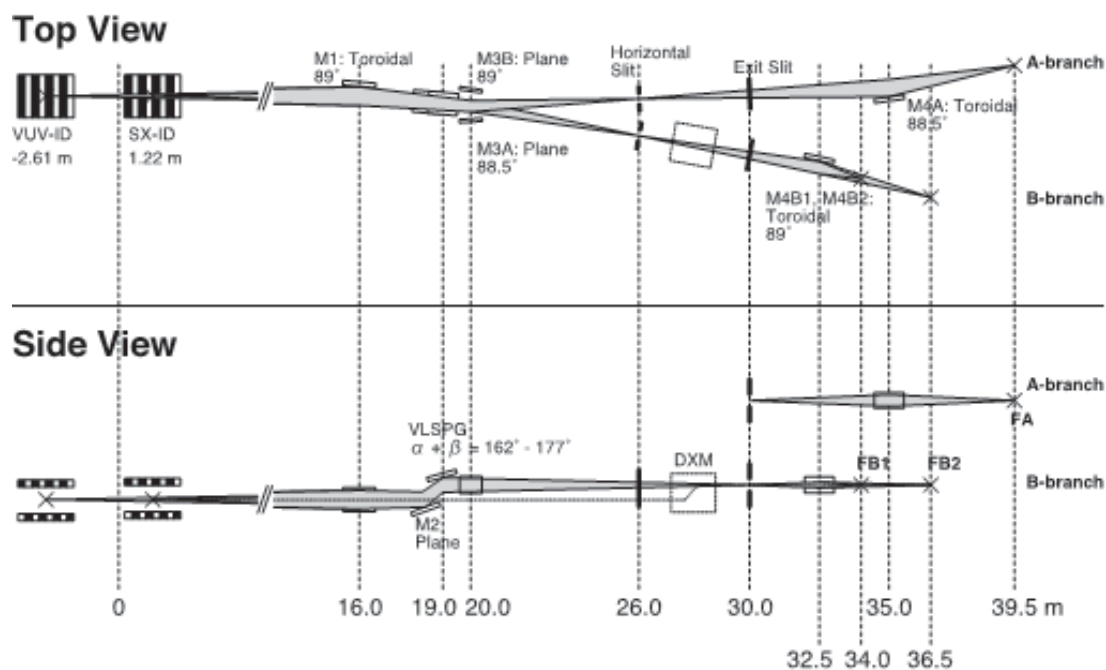


図1 新BL-2 MUSASHIの光学系概略図

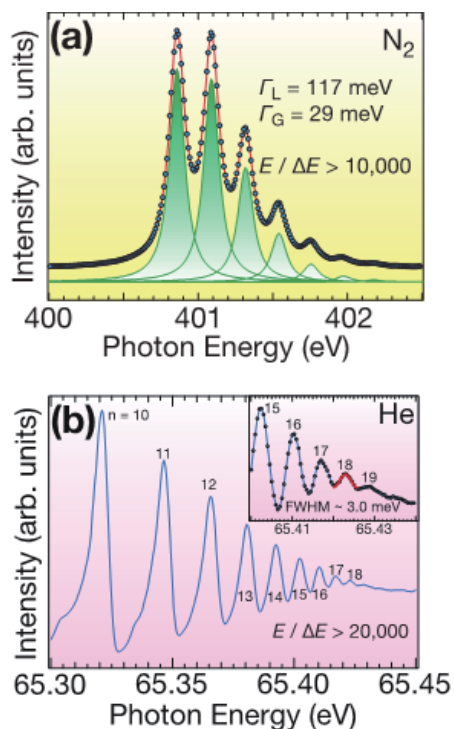


図3 ガス吸収スペクトルによるBL-2ビームラインの分解能評価。(a) SXモードにおけるN<sub>2</sub>のイオン収量スペクトル (~400 eV), (b) VUVモードにおけるHeのイオン収量スペクトル (~65 eV)。

材料などの評価・開発研究を推進する予定です。具体的には、「放射光解析に基づく物質開発“Materials by design”」を目指し、酸化物ヘテロ構造などの新機能性材料、Liイオン電池等のエネルギー変換材料、ユビキタス元素からなるグリーンデバイスなどの環境材料、元素戦略に基づいた革新的電子材料、の研究を推進してきたいと考えております。なお、2015年度第二期からの共同利用課題の募集を開始しましたが、実際の共同利用実験については、立ち上げ・調整の進捗に応じて、段階的に開始する事になります。詳細につきましては、担当者(組頭広志:放射光科学第一研究系;hiroshi.kumigashira@kek.jp)までお問い合わせください。なお、現在、それぞれのプランチに設置されているエンドステーションとその戦略目標は下記の通りです。

#### BL-2A：表面・界面光電子分光実験ステーション

新BL-2AはVUVモードで30-300 eV, SXモードで250-1500 eV程度の単色光を同一のポートで使用出来る、主に光電子分光法を用いた表面・界面研究のためのビームラインです。そのため、現在はエンドステーションとして、元素戦略プロジェクトの支援のもとに「*in situ* 高分解能(角度分解)光電子分光・X線吸収分光専用ステーション」(図4)が設置・運営され、VUV光(垂直・水平・円偏光切り替え可能)を用いた角度分解光電子分光による価電子帯バンド構造の決定と、軟X線を用いた共鳴光電子分光や内殻準位の測定とを、同一試料表面上で行うことが可能となっ



図4 BL-2Aに設置された「*in-situ* 高分解能(角度分解)光電子分光・X線吸収分光装置」の写真。分子線エピタキシー装置などを接続し、作製した超構造の表面・界面の電子状態をその場で観測できる。写真では、レーザー分子線エピタキシー装置を接続し、作製した酸化物量子井戸構造の電子状態をその場で測定している。

ています。この「二刀流」という強みを最大限に活かして、分子線エピタキシー法等で作製した酸化物超構造や機能性材料における表面・界面物性の研究等が精力的に行われる予定です。

#### BL-2B：広エネルギー帯域機能性材料解析ビームライン

新BL-2Bはタンデム配置の2台のアンジュレータと斜入射分光器および二結晶分光器を用いて、同一のポートで30-4000 eV程度の単色光を供給できるようになる予定です。これにより、X線吸収分光としては、LiからCaまでのK吸収端、3d遷移金属のL吸収端といった全てのユビキタス元素に対応することが可能となっています。そのため、本ビームラインでは、広いエネルギー帯域の光を用いた複合解析による物質・材料研究を強く推奨します。BL-2Bでは上流側に日立製作所の専用ステーションが常設され(BL-2BH)、下流側のフリーポート(BL-2BF)において装置持ち込みによる共同利用実験が可能になる予定です。

BL-2A/Bの設置は、堀場、簗原、組頭、柳下、北島、豊島、田中、菊地、森、雨宮が担当し、インターロックシステム・制御系の構築は小菅、濁川、斉藤、永谷が行ないました。本ビームラインの建設にあたっては、PFの光源系(加速器第7系)、放射光科学第一研究系・第二研究系スタッフ、業務委託メンバー、株式会社トヤマの皆様にご多大なるご協力、ご尽力をいただきました。また、立ち上げ実験に際しては、所外のユーザーの方やプロジェクト研究員の方にも協力して頂き、何とか目処が立つところまで進むことができました。この場を借りて心より御礼申し上げます。



## 新 XAFS/XRF/SAXS ビームライン, BL-15A の現状報告

放射光科学第一研究系 五十嵐教之  
放射光科学第二研究系 清水伸隆, 森丈晴, 仁谷浩明,  
武市泰男, 丹羽尉博, 木村正雄  
先端研究基盤応用・プラットフォーム形成事業 高木秀彰

BL-15 は、2005 年の直線部増強プロジェクトにより、PF リングに作り出された 4 カ所の短直線部のうちのひとつで、X線用短周期アンジュレータ (SGU) が設置され、高輝度ビームを利用した XAFS/XRF/SAXS ビームラインとして開発が進められた。このビームラインでは、SGU から出射される高輝度ビームを活かし、セミマイクロビーム XAFS/XRF による天然物や工業材料など不均一な分布をもった物質構造の研究、低発散ビーム SAXS/GISAXS による高分子フィルムや生体膜などの多様な機能性膜構造研究、高輝度ビームによるハイスループット BioSAXS 解析などを展開することを目的としている。

SGU の設計は、高輝度性に加え、広範囲なエネルギーが利用できるよう、17.6 mm の周期長を選択した。また、これら二つの手法は、相異なるビーム性能を必要とするため、BL-15A は A1 ステーション (XAFS/XRF) と A2 ステーション (SAXS) が上下流に並ぶタンデム配置とした。主要光学系は、上流からアパーチャスリット、水冷水平平行化ミラー、液体窒素冷却二結晶分光器、鉛直集光ミラー、初段水平集光ミラー、高調波除去ミラー、スリットシステム (仮想光源)、後段水平集光ミラーから構成される (図 1)。後段水平集光ミラーは、強集光用と低発散ビーム用の、異なる反射面を持つダブルフェースのバイモルフミラーを採用しており、このミラーを調整するだけで、上流の A1 ステーションと下流の A2 ステーションに、それぞれ強集光ビーム、低発散ビームを供給することができるようになっている。分光器制御には、高速エネルギー掃

引を実現するため、Diamond や NSLS-II で導入されている PMAC コントローラを採用し、挿入光源の GAP エンコーダ信号との同期駆動を実装できるようになっている (現在開発中)。これら主要光学系の床、あるいは土台には、補強工事あるいはグラナイトを利用し、堅牢かつ振動に強い設計となっており、高輝度ビームを安定に利用できる設計となっている。また、多段階の差動排気システムを活用し、金属窓を排除したデザインとなっており、2.1keV までの高輝度低エネルギー X 線を利用することができるのも大きな特徴である。

2013 年 2 月末の PF リング運転停止後から旧 BL-15 の撤去作業を行い、引き続き床の補強工事、メインハッチの建設、施設インフラの整備等を進めた。2013 年夏のシャットダウン中に、SGU やフロントエンド、ビームラインコンポーネントの設置、実験ハッチの建設、インターロックシステムの敷設を行い、秋の運転開始前にビームライン検査、動作試験を完了した。2013 年 10 月 17 日に白色セクションにファーストビーム、11 月 5 日に A1 ステーションに単色ビームの導入に成功し、光学素子の調整、実験装置の立ち上げを進めた。2014 年 2 月 19 日には最後の A2 ステーションまでビームを導入し、その後立ち上げ調整を進め、5 月末から 6 月にかけて、A1 及び A2 ステーションで性能評価実験及び、外部ユーザーの協力も得て、各種立ち上げ実験を実施した。2014 年秋からは、主に 4 keV 以上の硬 X 線を利用した実験限定ではあるが、共同利用実験を開始しており、低エネルギー実験についても、現在の問題点をクリアしてなるべく早期に共同利用実験を開始する予定となっている。

A1 ステーションには、XAFS/XRF に加え、XRD も同時計測できる実験装置が設置され、10 ~ 20  $\mu\text{m}$  サイズのセミマイクロビームを利用した格子状マッピング実験や複合測定実験が可能である (図 2a)。A2 ステーションには、上流側に低エネルギー GISAXS 定盤 (集光点 36.75 m)、下流側に汎用長尺 SAXS 定盤 (集光点 42.75 m) が設置さ

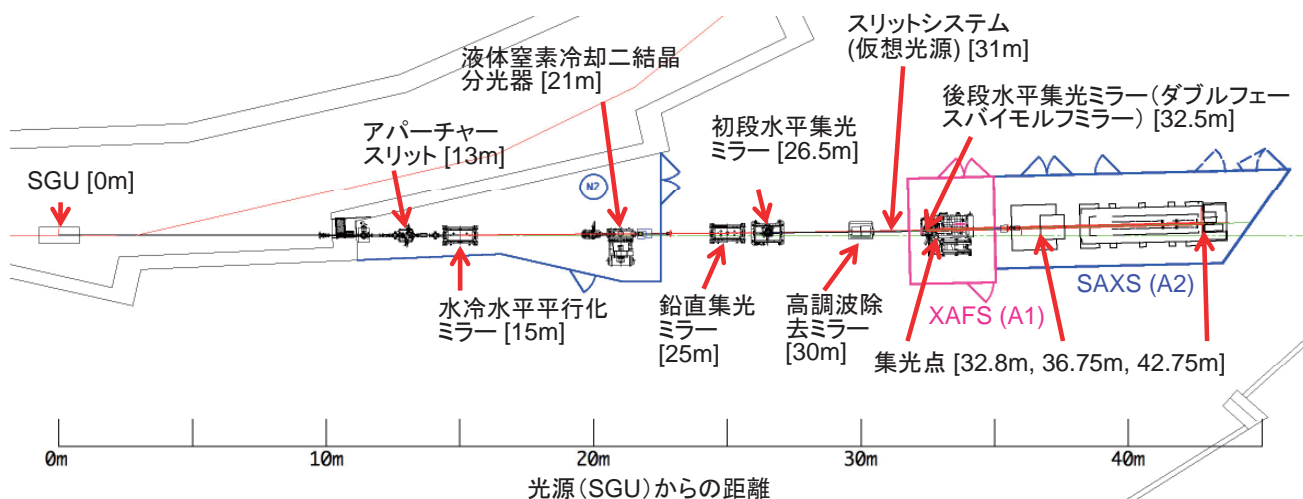


図 1 BL-15A ビームライン平面図

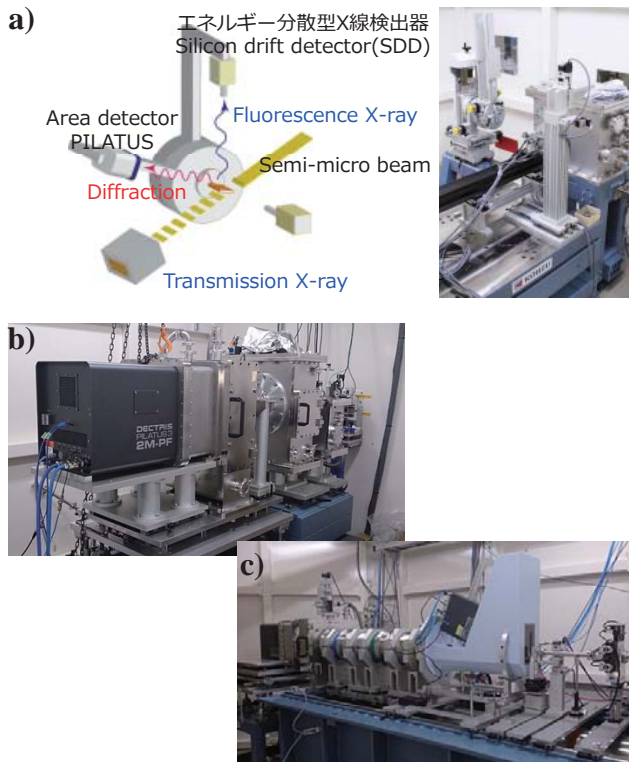


図2 a) A1ステーションの実験装置及び試料周りの光学系の様子。b) A2ステーション上流の低エネルギーGISAXS定盤。c) A2ステーション下流の汎用長尺SAXS定盤

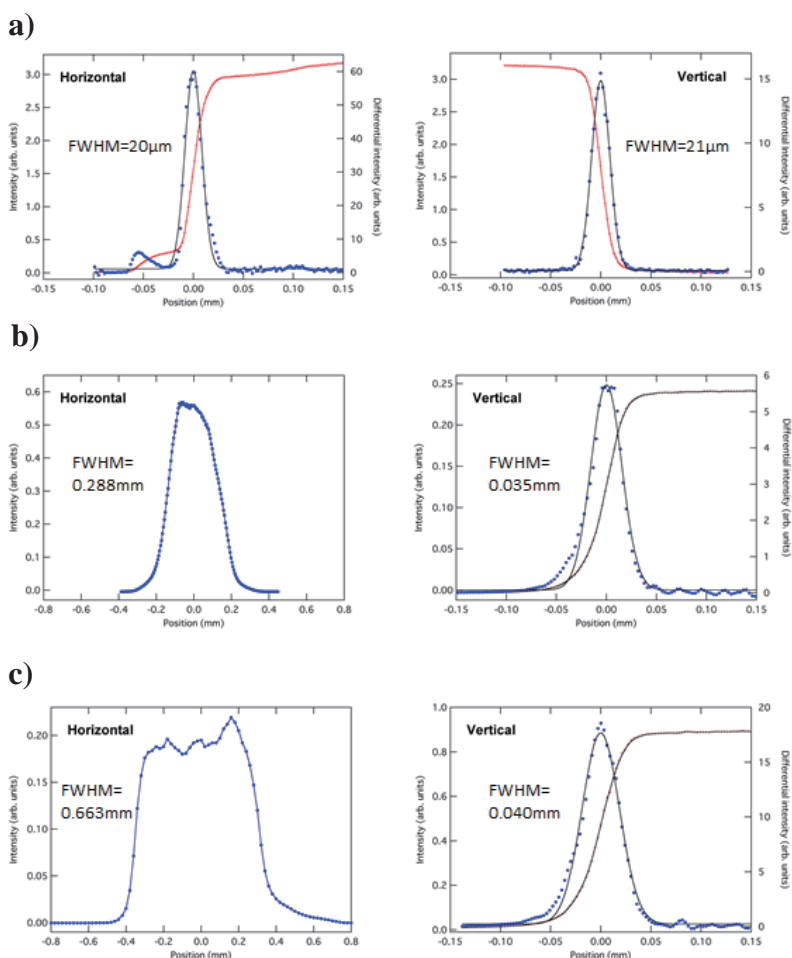


図3 集光ビーム評価 (10.4 keV, 仮想光源スリットサイズ 0.1 mm)。a) A1ステーション集光点 (32.8 m) でのビームプロファイル。b) A2ステーション集光点 1 (36.75 m) でのビームプロファイル。c) A2ステーション集光点 2 (36.75 m) でのビームプロファイル。

れている (図2b,c)。低エネルギー GISAXS 定盤には、真空対応 PILATUS3 検出器が直接真空チャンバーに接続可能で、低エネルギーでもシグナルを損なうことなく SAXS イメージが計測できる。汎用長尺 SAXS 定盤は、最大カメラ長 3.5 m で、低発散ビームを利用した小角散乱測定が可能となっている。

ビーム性能評価の結果を図3に示す。A1ステーション集光点 (32.8 m) でのビームサイズ (半値全幅) は  $20\ \mu\text{m}$  (H)  $\times$   $21\ \mu\text{m}$  (V), フラックスは  $4.5 \times 10^{11}$  phs/s @ 10.4 keV (7次ピーク) であった。A2ステーションの二つの集光点 (36.75 m, 42.75 m) でのビームサイズは、それぞれ  $0.288\ \text{mm}$ (H)  $\times$   $0.035\ \text{mm}$ (V),  $0.663\ \text{mm}$ (H) $\times$  $0.040\ \text{mm}$ (V) で、フラックスは 10.4 keV, 汎用長尺 SAXS 定盤上, カメラ長 3.5 m, スリットサイズ  $0.4\ \text{m}$ (H) $\times$  $0.2\ \text{mm}$ (V) で  $2.3 \times 10^{11}$  phs/s と見積もられた。それぞれほぼ計算値通りの結果が得られており、十分な性能を有していることが確認された。

A1ステーションでのコミッションング実験として、以下の所外ユーザーにご協力頂いた：京大・奥田 G, 名大・田淵 G, 東京電機大学・保倉 G, 立命館大学・稲田 G, 新日鐵住金・村尾 G。例として、還元処理した焼結鉄の鉄 K 吸収端 XANES マッピング ( $20\ \mu\text{m}$  角ビーム,  $40\ \mu\text{m}$  ステップでの格子状マッピング) のテスト結果を示す (図4, 新日鐵住金村尾玲子氏提供)。異なるエネルギーでの吸収率の比のマッピングにより、鉄の価数の差 (化学状態) の分布を観察可能であった。さらに同視野について二次元検出器による XRD により結晶構造の分布観察も実施した。これら化学状態と結晶構造の結果を、別途行った組織観察や X 線顕微鏡の観察と総合的に考察することにより、焼結鉄の還元プロセスについての重要な知見を得ることが期待できる。他のコミッションング実験でも多くの興味深い結果を得ており、A1ステーションでの XAFS/XRF/XRD 複手法による同視野マッピングが、実材料における化学状態 / 元素濃度 / 結晶構造の不均一性の解明に役立つ手法としてその発展が期待できることが明らか

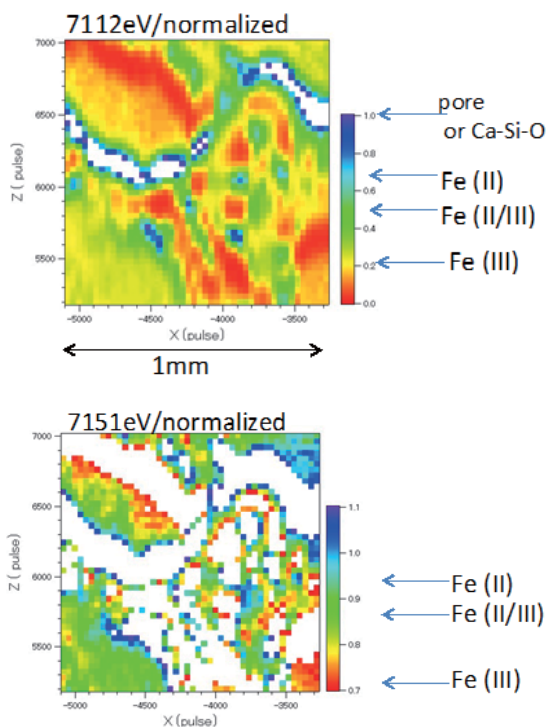


図4 A1ステーションでのコミッションング実験例。還元処理した焼結鈷の鉄 K 吸収端 XANES マッピング (新日鐵住金村尾玲子氏提供)。

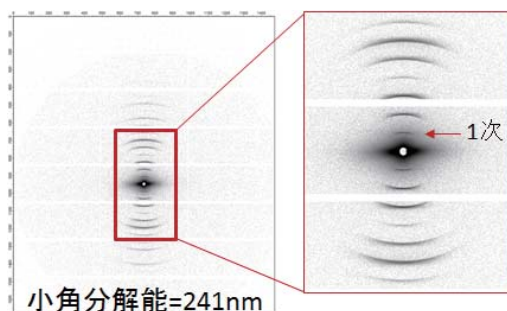


図5 A2ステーション、汎用長尺 SAXS 定盤でのコミッションング実験例。鶏コラーゲン散乱パターン (周期長 653Å, 測定波長 10.4 keV, カメラ長 3657 mm)

になった。

A2ステーションでのコミッションング実験として、以下の所外ユーザーにご協力頂いた：京都工繊大・櫻井 G, 東大・篠原 G, 京大・奥田 G, 名工大・山本 G, 名大・野呂 G。汎用長尺 SAXS 定盤でのコミッションング実験の例として、鶏コラーゲンからの散乱パターンを示す (図5)。小角分解能 241 nm までのシャープな散乱パターンが測定できていることが確認できる。今後ビームストッパーサイズの最適化、より低いエネルギー利用などにより、さらに広い小角分解能の散乱測定が可能になるため、これまで PF では測定できなかった巨大な分子や粒子、複雑な構造を持つ試料などに研究展開できることが期待される。また、溶液試料用サンプルチェンジャーや SEC-MALS-SAXS 等の開発も並行して進めており、ハイスループットスクリー

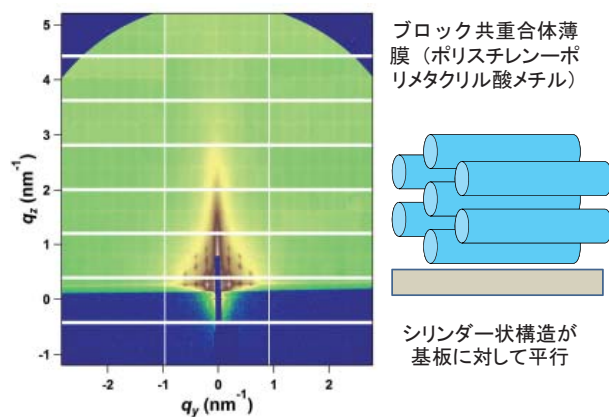


図6 A2ステーション、低エネルギー GISAXS 定盤でのコミッションング実験例) 3.6 keV の X 線を用いたブロック共重合体 (ポリスチレン-ポリメタクリル酸メチル、試料提供：名古屋工業大学山本勝宏博士) 薄膜の GI-SAXS パターン

ニングや、より複雑かつ不安定な分子の溶液散乱実験の実現を目指している (SEC=HPLC 装置, MALS= 多角度静的光散乱装置)。低エネルギー GISAXS 定盤でのコミッションング実験の例として、3.6 keV の X 線ビームを使ったブロック共重合体薄膜からの GISAXS パターンを示す (図6)。窓無しビームラインの利点を活かし、非常にクリアな散乱像が得られていることが分かる。今後さらに開発や最適化を進め、より低いエネルギーの X 線を利用を実現することで、機能性膜構造研究への展開が大いに期待される。

高調波除去ミラーの表面性能に問題があり、4 keV 以下の低エネルギー X 線の利用実験を開始することができていない。現在ミラーの再研磨を実施しており、今春のビームタイムで評価実験を実施し、早期の共同利用実験を開始したいと考えている。また、二結晶分光器の動作不良、及び SGU との協調駆動システムの開発が遅れていることがあり、高速エネルギー掃引が実現できていない。今後調整及び開発を進め、2015 年度中の実現を目指したい。その他、現在観測されているビーム位置ドリフトやビーム強度変動の問題についても、順次調査と対策を実施し、より安定なビーム利用ができるよう開発を進める予定である。

BL-15A のビームライン建設及び開発にあたっては、PF スタッフや業務委託メンバーに多大なるご協力、ご尽力を頂きました。また立ち上げ実験に際しては、所外のユーザーの方にも協力して頂き、計画通り進めることができました。この場を借りて心より御礼申し上げます。