

2018年度 PF 運営報告(概要)

PF Report FY2018

船守展正・KEK 物質構造科学研究所

2018年度は、物構研の所長・副所長が交代して1年目の年でした。PF ニュースの巻頭言などでも紹介されておりますように、「放射光科学の発展、フォトンファクトリーの将来計画の実現に向けて、組織基盤を強固にする」ことを目的とした組織改編の準備が行われました。

関連して、フォトンファクトリー先端化寄附金

<https://www2.kek.jp/imss/pf/donation/>

が開設されました。フォトンファクトリーの研究環境整備や将来計画推進に目的を限定して使用されます。是非、ご協力をお願いいたします。

2018年度の特記事項としては、

- ・PF と PF-AR の同時トップアップ運転の開始
- ・BL-19 の建設
- ・PF-AR 5GeV 運転スタディの実施
- ・産業利用促進運転制度の試行

が挙げられます。これらについては、放射光科学研究系と加速器第七研究系の研究主幹からご報告させていただきます。

光源の報告

Status of Light Sources

小林幸則
KEK 加速器第七研究系

KEK放射光実験施設で稼働している光源加速器PFリングと PF-ARは、多くの改造と不断のメンテナンスにより、利用開始から35年以上が経過した現在でも年間3,000名を超えるユーザに安定な放射光を提供し続けている。しかしながら、ここ数年はプロジェクト経費の慢性的な削減や電気代単価の高騰により、十分な運転時間を確保することが難しい状況となっている。さらに、保守・維持費も削減傾向にあり、十分な予備品の確保が困難であり、老朽化への対策も限定的とならざるを得ないため、いつ長期の運転停止になってもおかしくない状況にある。

このような状況であるが、幸運にも2017年度より大学共同利用機関法人に係る重点支援「放射光施設ビームラインを活用した産業界等におけるイノベーション創出の推進」、および新学術領域研究「水惑星学の創成」によって、軟X線ビームラインBL-19の建設が開始できた。BL-19はPFリングのアンジュレータビームラインの一つであるが、2018年度の夏期停止期間に1990年代前半から使用してきた旧アンジュレータ(レボルバー)を撤去し、新機に製作された可変偏光アンジュレータ(Apple-II:右下写真)への更新を行い、秋の運転から放射光の供給を開始した。

PF-ARでは、直接入射路完成から安全インターロックの整備や放射線サーベイ等の各種調整を行ない、さらに入射器においてPFリングとPF-ARとの同時入射(ミリ秒で入射の切り替えへが可能)の準備が整ったことから、昨年秋の運転から6.5GeVでのトップアップ運転を開始した。約一ヶ月の運転であったが、比較的安定な運転が実現できた。また、マシン調整日に5GeVにエネルギーを下げた試験運転を行い、電気代節約による運転時間確保へ向けた検討を開始した。

その他、厳しい予算状況ではあるものの、PFリングでは冷却水漏れを起こしたセプタム電磁石の更新機の製作や、制御回路でトラブルのあった六極電磁石電源への対応、PF-ARにおいては、クライストロン用高圧電源制御盤内のPLCの更新作業など、危機的な状況にある装置の老朽化対策を行って、より安定なユーザ運転の実現のため努力を続けている。



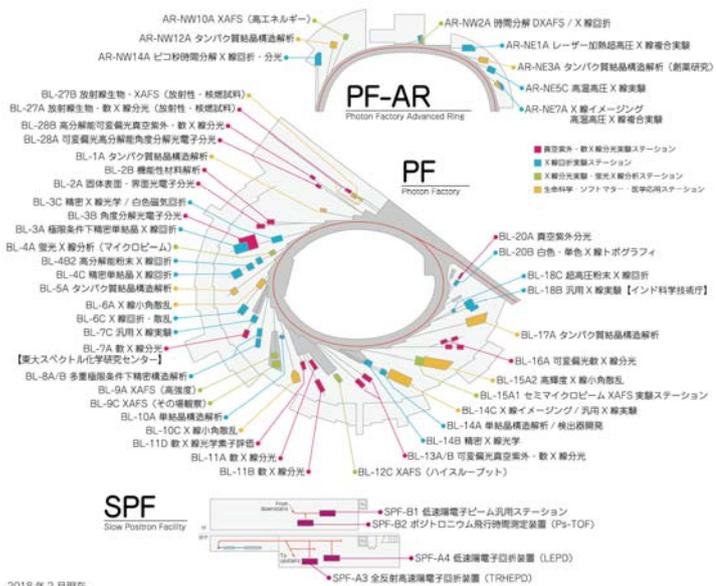
ビームライン報告

Present Status of Beamlines

兩宮健太・KEK 物質構造科学研究所

現在, PF では 39 本, PF-AR では 8 本のビームラインが, また, 低速陽電子実験施設(SPF)では 1 本(4 分岐)のビームラインが, それぞれ共同利用を行っています(下図)。2018 年度第 2 期には, PF の Top-up 運転が再開するとともに, 新たに PF-AR の Top-up 運転が実現し, 両リング同時に Top-up 運転を行っています。また, 2017 年度より大学共同利用機関法人に係る重点支援「放射光施設ビームラインを活用した産業界等におけるイノベーション創出の推進」, および, 新学術領域研究「水惑星学の創成」によって, 軟 X 線ビームライン BL-19 の建設を開始しました。2018 年夏にアンジュレータとビームラインを設置し, 秋の運転より立ち上げ・調整を行っています。新 BL-19 は, 100-2000 eV 程度の軟 X 線を供給する可変偏光アンジュレータを光源とし, 一つのブランチに走査型透過 X 線顕微鏡を常設するとともに, もう一つのブランチをフリーポートとして, 装置開発等にも利用できるようになります。立ち上げが順調に進めば, 2019 年度より一部共同利用を開始できる予定です。

引き続き厳しい予算と電気料金の上昇により, 運転時間の確保が困難な状況の中で, 少しでも運転時間を増やすために, ビームライン運営費の節約とともに, 二つの新たな取り組みを開始しました。一つは, 従来の運営費交付金による運転とは別に, 産業利用等による利用料収入を原資として追加で運転を行う, 「産業利用促進運転」です。2018 年 6 月 30 日より 6 日間, 試行的に実施した結果, 皆様のご協力により, ほぼ予定通りの運転経費を得ることができました。もう一つは, PF-AR の消費電力抑制を目指した 5 GeV 運転の試行です。2018 年度第 1 期には光源加速器のみ, 第 2 期にはビームラインを含めたスタディを行い, 運転の目途が立ちましたので, 第 3 期には 6 日間, 実際の測定装置を用いた試験運転を行い, 実験への影響を確認します。特に高エネルギー領域での強度の減少がどの程度になるかを見極め, 5 GeV 運転と 6.5 GeV 運転のバランスを慎重に検討していく予定です。



2019 年度 PF 運営方針(概要)

PF Policy FY2019

船守展正・KEK 物質構造科学研究所

2019 年度は、フotonファクトリーの再出発の年になります。再び正式に設置される放射光実験施設と放射光科学第一・第二研究系、加速器第六研究系(第七研究系から名称変更)を中心とした運営が行われます。新生フotonファクトリーの運営においては、「連携」を重視します。上記組織が連携してコヒーレントに活動することはもちろん、他施設との連携も重要です。さらに、スタッフ数の不足が深刻な現状をみれば、利用者やKEK内外の共同研究者との連携を強化することが、フotonファクトリーの機能強化ひいては放射光科学の将来にとって極めて重要なことは明らかです。2018 年度は、フotonファクトリー内部の連携を強化するための仕組み作りの1年間でした。2019 年度は、その運用を開始するとともに、外部との連携を強化するための仕組み作りを進めます。

2019 年度予算も、フotonファクトリーの運営には厳しいものになっています。電気料金抑制のためのPF-ARの5GeV運転、産業・優先利用(産業利用促進運転)料金やKEK一般経費などからの補填により、PFリング3000時間、PF-ARリング2000時間の利用運転を目指します。PF-ARリングの6.5GeVと5GeVの運転は、おおよそ半々とする予定です。

将来計画については、量子科学技術研究開発機構と光科学イノベーションセンターによる次世代3GeV計画が進められている現状を踏まえ、新施設の計画は10年先を見据えて準備を行うこととし、直近の計画として、KEK放射光計画で検討した技術要素をPFリングの高度化のために活用する方向で検討を開始しました。PFリング高度化計画では、第三世代の低エミッタンスを実現しながら、高強度パルスX線や垂直偏光X線などの特長を合わせもつ独自の第三世代リングに進化させることを目指します。また、安定性を飛躍的に向上させることで、高度な測定を容易に実施できるようにすることを目指します。本計画については、2020年度概算要求に盛り込む方向で検討を進めています。

PF 改造案

Toward the PF II

原田 健太郎, KEK-PF-Mag

PFリングは周長 187m、2.5GeV の電子リングでリングの水平エミッタンスは約 36nmrad である。年間約 3000 時間の運転時間があり、通常は蓄積電流 450mA のマルチバンチモードだが、各期約 2 週間ずつを孤立バンチが利用できるハイブリッドモードで運転を行っている。

PFリング弧部改造計画はPFリングの弧部の偏向電磁石数を2倍に増やし、機能結合型とすることでエミッタンスを下げる計画である。弧部だけを考えて場合のエミッタンスが現在 41nmrad だが、それが約 1/10 の 4.1nmrad まで改善する。直線部を含めたリング全体としても、現在の 36nmrad から 8.5nmrad になり、第3世代に近いエミッタンスとなる。しかしながら、PFリングで挿入光源が設置されている直線部は、色消しとそうでない箇所が交互に現れる構造で、半数以上の挿入光源は色消しでない部分に設置されている。(色消し部分は4カ所しかなく、2番、14番、16番、28番である。) 弧部を改造してエミッタンスを下げて、非色消し部分に対する実効エミッタンス低下の効果は、分散関数が減少しない為に限定的に留まる。そこで、直線部全体で色消しをやめるかわりに、非色消し部分の分散関数を減らすことで、挿入光源部分全体として実効エミッタンスを下げるオプティクスを検討中である。既存の色消し部分に対しての改善量は減少するが、エミッタンスそのものも減少する為、それほど損にはならない。RF部分にも大きな分散が残ることになり、追加の不安定性対策やRFの改造などが必要になる可能性もあるが、分散関数を残すオプティクスを採用すると改造後のリングのエミッタンスは 5.7nmrad になる。

さらに今回の計画では、PFリング独自の特徴をさらに伸ばす様な改善を、低(実効)エミッタンス化と組み合わせて実施したい。例えば、高強度パルスX線(大電流孤立バンチ)の強化、垂直偏光高エネルギーX線(超伝導垂直ウイグラー)の最新化、VSX領域の改善に繋がる低エネルギー運転の検討、入射による光強度変動(現在 10~20%)を極限まで低減する最新式パルス多極入射の導入などである。これらを実現する為には、共通して、真空ダクトの古い部分(超伝導ウイグラー、入射部)を更新することによるインピーダンスの低減、RF空洞とRF制御系の更新、ビーム診断補正系の高速化と高性能化、バンチ長の柔軟な制御(伸長と圧縮の双方)を可能にする高次高調波空洞の導入などが必要となる。PFリング独自の特徴は、極低エミッタンス低カップリングの最新第4世代光源では性能的にほぼ実現不可能な内容であり、それらをPFリングで大切に残しつつ、さらに高度化していくことがPFリングの将来計画である。

光源 R&D 報告

R&D of the Accelerator Division

本田 融, 谷本育律, 野上隆史, 内山隆司, 浅岡聖二, 金 秀光, 山本将博・
KEK 加速器

PF リングでは 2018 年度にアンジュレータ U#19 の更新を行った[1]. 磁極長約 3750 mm, 最小ギャップ 24 mm の APPLE-II 型アンジュレータの真空ビームダクトに, PF リングとしては初となる NEG (Non-Evaporable Getter) コーティングを採用した. アルミニウム合金の押出加工によって, 全長 4100 mm, 垂直開口 15 mm, 水平開口 90 mm の扁平な楕円形状のビーム路を形成し, その内面に厚さ約 1 μm の Ti-Zr-V の三元合金の NEG コーティングを施した. アンジュレータと共に PF リングに設置とアライメントを完了したのち, NEG の活性化を通常より低めの 160°C で 48 時間の長時間をかけて行った. 2018 年 11 月より始まったビーム運転で観測された光焼き出しに伴う真空圧力の低下は, シミュレーションによる予測を良く再現する傾向がみられた. 今後のビーム運転中の圧力観測や運用の成果から NEG コーティングの有効性, 耐久性などを定量的に評価し, 将来加速器の設計に生かしていきたい. また加速器七系の真空グループでは, NEG コーティング開発者である CERN と共同で, 放射光照射による光刺激ガス放出や二次電子放出係数の測定, 異形のビームダクトへのコーティング手法の開発などを行っている. 最近の研究開発動向についても報告をする.

[1] K. Tsuchiya et al., AIP Conf. Proc. 2054 (2019) 030010.

ビームライン R&D 報告

Beamline R&D.

五十嵐教之
KEK-放射光

放射光科学研究施設では、2015年より短期、中長期の次期計画について、検討会を定期的に開催し、既存リングの高度化や、新しいリングや施設の開発について、検討を進めてきた。2016年には、PF-UAと協力し、KEK-LS計画のCDRを作成し、施設内外で議論を進めた。これらの検討を通じ、必要な要素技術を洗い出し、技術的な裏付けをさらに進めるために、光源とビームライン、及びそれに付随する施設や設備についてR&Dを開始している。

ビームラインのR&Dとしては、まず現在国内外で提案されている超低エミッタンス光源を想定し、必要な技術をリストアップした。リストは光学系設計、振動対策、熱負荷対策、ビーム制御、真空技術の5つに分類され、それぞれ詳細な要素技術項目がある。まず2016年には、高輝度放射光源施設基礎構造検討のためのビームライン振動試験、*in situ*分光器平行度測定法の開発、空調用ソックフィルタのテスト、挿入光源と分光器の高速同期システムの開発、熱接触抵抗の評価及び改良、静的真空系の開発、表面汚染除去法の開発などを実施した。2017年にはさらに項目を増やし、液体窒素フェーズセパレータの開発、 piezo素子を使った分光器の振動評価、GLIDCOP 直接水冷ミラーの試作などを開始した。2018年からは、既存リングの高度化についての検討が進み、高度化した場合のビーム性能評価や熱負荷検討を進めた。また、時分割測定用チョッパー装置の高性能化、高速高精度制御の開発用プロトタイプ分光器の試作などを手がけ始めた。その他、ビーム位置制御システムやリアルタイム実験環境計測システムの開発、次世代インターロックシステムなども引き続き進めた。これらのR&Dは、放射光科学研究施設の高度化や次期計画だけでなく、現在準備が進められているSLiT-J計画やSPring-8-II計画、さらには今後さらに進展が望まれるX線レーザー施設でも必要な技術であると考えており、それらの計画や施設でも広く活用することも考えて開発や検討を進めたい。

今回の発表では、ビームライン・設備関連R&Dの概要と現在の状況、及びいくつかのR&D項目についての紹介、特に最近検討を進めて居る、既存リングの高度化におけるビームラインのビーム性能や熱負荷検討について報告したい。

所長方針

小杉信博・KEK 物質構造科学研究所

PF、UVSOR、HiSOR までは文科省学術予算(旧文部省)によって放射光施設[※]が作られてきた。学術3施設の後には、文科省科学技術予算(旧科技厅)によって SPring-8 が誕生し、さらに国以外の財源でも放射光施設が次々誕生した。つい最近、予算化が決まった 3GeV 次世代光源施設も、科学技術予算と国以外の財源で建設費を折半することが決まった。学術3施設における共同利用・共同研究が、このような日本の放射光科学の興隆につながっていると言って過言ではない。さらに、学術予算以外の予算が放射光施設建設に投入されたことで、海外では例を見ないほど、放射光利用研究の多様性・広がりをもたらしている。

このような国内情勢の中、最も古く30年以上前から整備されてきた学術3施設の役割を見直す時期になっている。日本放射光学会では、学術研究が果たす役割は、科学技術予算に支えられている施設から見ても、国以外の予算に支えられている施設から見ても、今後も非常に重要であり、学術3施設を中心にした学術基盤のネットワーク化が必要であると考えている。よって、この機会にPFが主導して、学術3施設全体をより魅力的にするように、知恵を絞って行動に移すことが重要である。

※ 国内では、物性研 SOR の時代から、“SOR(軌道放射)”という呼び名が使われてきた。世界に通じる“放射光”を名乗った施設はPFだけであり、放射光と言えばPF、という意識も古い世代にはある。KEKの機構化によって放射光実験施設がKEKの公けの組織から消えてしまったが、2019年度からは再び放射光実験施設が定義され、PF施設長も正式な役職になって、スタートすることになった。機構化の前の放射光実験施設と比較すると、共同利用に直接関わる部分だけが再組織化されたことになるが、従来通り、物構研の関連研究系ばかりでなく、加速器研究施設の関連研究系も含めて広くPFと呼ぶことにしている。

低速陽電子実験施設報告

Present Status of the Slow Positron Facility

永井康介、望月出海、兵頭俊夫
KEK 物構研 低速陽電子

低速陽電子実験施設(SPF)は、電子・陽電子入射器棟南端(KEKB/PF/PF-AR用のリニアック列の最上流部)にあり、リニアック列から独立した専用リニアック(~50 MeV, 600 W)で加速された電子ビームを用いて世界最高クラスの高強度低速陽電子ビームを生成し、共同利用に供している(下図)。

SPFのビームラインは1本だが、途中で分岐して、共同利用グループのビームタイム毎にステーションを切り替えて利用している。現在稼働中のビームライン分岐/ステーションは、SPF-A3:全反射高速陽電子回折(TRHEPD)ステーション、SPF-A4:低速陽電子回折(LEPD)ステーション、SPF-B1:低速陽電子ビーム汎用ステーション SPF-B2:ポジトロニウム飛行時間(Ps-TOF)ステーションである。SPF-A3とSPF-A4は地階テストホールにあり、SPF-B1とSPF-B2は1階クライストロンギャラリー実験室にある

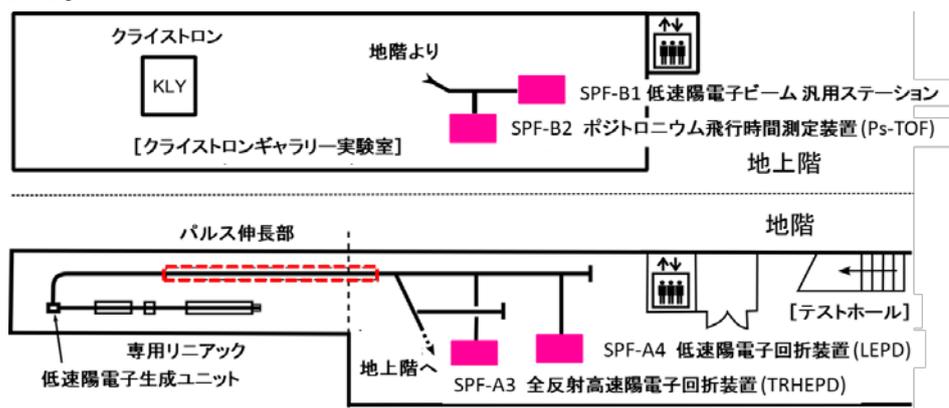
2018年度の共同利用実施課題数は15課題、共同利用実人数は38名、ユーザー実験の配分時間は2976時間、うち調整は96時間であった。

TRHEPDステーションでは、様々な表面物質の原子配列の解析を進めている。本年度は、酸化物超薄膜の研究として重要なVO/Ag(100)表面、SiC半導体デバイス応用に重要なSiON/SiC(0001)表面、光触媒反応の研究に重要なアナターゼ型TiO₂(101)表面、新奇な2次元電子状態や超伝導を発現する2層グラフェン層間化合物などの測定を行った。また、計算科学を利用したロックンング曲線解析の開発を開始した。

LEPDステーションでは立ち上げが終了し、Ge(001)-c(4×2)表面のLEPDパターンの入射エネルギー依存性の測定を行った。さらに、消滅γ線の影響を低減するため、全長が2.5倍長い静電レンズを開発・導入した。また、新たな位置敏感検出器を組み込んだ装置を設計し、その作製を行なっている。

汎用ステーションでは、ポジトロニウム(Ps)のレーザー冷却のための新たなチャンバーを導入した。

Ps-TOFステーションでは、SiとGeについて、ドープ型の違いによるポジトロニウム放出の温度依存性の測定を開始した。



SBRC 報告

Structural Biology Research Center

千田俊哉 KEK・物構研・放射光科学第二研究系・構造生物学研究センター

構造生物学研究センター(Structural Biology Research Center: SBRC)では、独自の構造生物学研究に加え、生体高分子の構造情報の生物学分野での幅広い利用を促進するべく、解析の高度化や自動化を進めている。SBRC には、様々なアクティビティがあるが、本講演では幾つかに絞って話をしたい。

第一には、AMED の BINDS プロジェクト(創薬等先端技術支援基盤プロジェクト)の支援を受け、構造生物学センターにクライオ電顕(Thermo Fisher, Talos Arctica)が導入されてオペレーションを開始したことである。更に、今年度の 10 月にはユーザーに向けて公開を始め、アカデミア 18 グループ、企業 14 社の利用(要旨執筆時点での予定を含む)が既になされており、コミュニティの興味と期待の高さが伺われる。また、データの方も順調に収集されており、中には 3\AA 分解能を超える解析例も出てきており、初年度としては順調なスタートを切れていると考えている。今後は、質の高い解析や構造生物研究を目指して、なおさらの技術向上に努めるとともに、国際的なセミナーの開催なども含めた取り組みを活発化させたい。



次に、年々増え続けるデータ量(構造生物ビームラインへの PAD の導入やクライオ電顕導入によるところが大きい)やコンピュータ資源に対する要求に応えるため、Cloud 利用を前提として技術開発を開始したことである。現状では、データアップロードの為にハードウェアの整備、構築したパイプライン処理のクラウド化など、Cloud 化に向けた取り組みは始まったばかりではあるが、パイプラインによる自動処理や機械学習をクラウド環境と組み合わせることで、大量のデータに基づいた技術ノウハウの(自動的な)集約が可能と考えており、解析の高度化を進めていきたいと考えている。

構造物性研究センター活動報告

Activity Report on the Condensed Matter Research Center (CMRC)

門野良典^{1,2}

1 KEK 物構研、2 J-PARC MLF

当センターでは、複数の量子ビーム(異なるX線利用手法も含む)を相補的・協奏的に使うプロジェクト型の物性・材料研究を推進している。現在は第2期(2015年10月～)の3年が経過したところであり、新規・継続プロジェクトいずれも具体的な成果が生まれつつある。以下にいくつかの具体例を示す。

・「量子ビームを用いた多自由度強相関物質における動的交差相関物性の解明(佐賀山基 PI)」では、放射光・中性子・ミュオンの3プローブを用いて室温で発動する巨大磁気抵抗効果のメカニズム解明に繋がる知見を得つつあり、電気磁気効果の起源となるスピン軌道相互作用を介した磁気格子結合や、低速の電気磁気揺らぎなどが観測された。

・「強相関酸化物超構造を用いた新奇量子状態の観測と制御(組頭広志 PI)」では、2つのX線分光法を用いてTiO₂、VO₂といった酸化物表面近傍の電子状態を調べ、2次元性に由来する電子状態の本質的特徴を明らかにした。

・「強相関電子系における局所構造変調が誘起する創発現象(藤田全基 PI)」では、3プローブを用いたT構造銅酸化物研究を集中的に行っており、最近では電子ドーピングのために行われる希土類置換において、特に高Ce濃度で電子・ホール2キャリア状態が存在し、見かけのキャリアの種類にはよらないホール駆動の超伝導発現機構が存在する可能性を示唆する結果を得た。

・「量子ビームを用いた元素戦略・電子材料の研究(村上洋一 PI)」では、放射光・ミュオンを用いてY₂Cという新規化合物の電子状態を詳細に調べることでより2次元電子の材料コンセプトを確立した。また、鉄系超伝導体(1111系)の磁気励起でも新たな知見が得られた。

・「中性子とミュオンの連携による『摩擦』と『潤滑』の本質的理解」では、中性子反射率とミュオンタイヤのモデル物質である高分子の界面構造と動的振る舞いを調べ、固体界面近くでの高分子のガラス転移点の上昇を観測するとともに、転移点近くの不均一なダイナミクスを捉えうることを示唆する知見が得られた。

この他、「分子システムにおける物性制御(熊井玲児 PI)」では、エネルギー貯蔵デバイスや巨大電歪効果など、反強誘電体の利用方法の開拓や、塗布型薄膜の構造と特性の評価が進行中である。