

入射器の現状

加速器第五研究系研究主幹 古川 和朗

概要

放射光施設への電子入射について、3月中旬に停止した後、5月初旬に再開して、順調に調整を進めているところである。SuperKEKB に関しては、フェーズ1コミッションと呼ばれる最初のリング試験運転の入射を2月初めから開始し、これまでのところ順調に電子・陽電子の入射を進めている。

6月末までのフェーズ1コミッションの期間中に、電子(HER)/陽電子(LER)両リングの真空焼き出しとビーム光学開発をできるだけ進める必要があるが、さらに入射器内のビームについても試験開発が必要となっており、毎週水曜日をその目的に割り当てている。また、来年度予定しているフェーズ2コミッションにおいては、高品質のビームを50Hzパルス毎に切り替え、SuperKEKB HER/LERとPF、PF-ARに入射することが求められている。ビーム品質が高いために、2010年まで行われたKEKBの時期に比べて多数のパルス動作装置の導入が行われている。それらのパルス運転機器の開発を継続しているため、昨年まで行われていたPF放射光施設へのトップ・アップ入射運転は控えさせていただいており、一日2回から6回の定時入射を行っている。

さらに前年度から引き続き放射線遮蔽の増強も行い、4月末には平均電流値を4倍とする放射線施設検査を受け、合格することができた。

運転コンソールの移動

KEKB 運転時には入射器の運転操作は主に KEKB 制御室から行っていたが、2010年からの建設時期には、日々建設変更される機器との距離の近い入射器棟内制御室から、放射光施設への入射を含めた運転操作を行ってきた。フェーズ1コミッション運転が始まってから、再度主

な運転操作を SuperKEKB 制御室から行っている。障害時の対策もあり、入射器棟内制御室と SuperKEKB 制御室ではできるだけ同じ操作が可能となるよう工夫しているが、一部の機能は双方で行うと矛盾が起こるので、排他処理を付加している。新しい端末としては、運転ログ記録の入力に慣れた Windows 端末を基礎として、Linux 仮想マシンの上で運転操作を行っている。こうすることによって、最新の小型の PC 端末を使用しても、よくありがちな画面表示ドライバ・ソフトウェアの問題などを回避できている(図1)。

フェーズ2では、KEKB の最後で行われた同時入射をさ



図2 KEKB 運転の初期から中期まで使用されたビームモード切り替えソフトウェアを、SuperKEKB フェーズ1では再利用している。



図1 SuperKEKB 制御室内の入射器用コンソール群(右)と全体運転コンソール(左正面)。さらには左にはリングの電磁石、マイクロ波、真空、ビームモニタ、Belle-2/Beast など各グループの端末が並んでいる。また、右奥にはPF-AR向けコンソールや全体安全コンソールがある。

らに進化させて高品質ビームを供給するため、フェーズ1とは大きく異なる運転形態となる。そこで、フェーズ1での運転操作ソフトウェアは、できるだけ新しい開発を避け、過去のソフトウェアを再利用して、省力化を図っている。例えば、図2のビームモード切り替えソフトウェアは、複数の機構と通信しながら約十秒でビームモードを切り替えるものだが、KEKB 中期のものを大きな変更なく再利用している。この機構は、フェーズ2の同時入射ではイベント制御機構の中に組み込まれ、ナノ秒からミリ秒の制御機構に置き換わる。

放射線管理

昨年度から引き続き、SuperKEKB 入射時の電流増強に向けた放射線対策を進めており、最近も機械室においてコンクリート遮蔽増強を行った。また、既存の遮蔽部材の耐震対策も行っている。

これまで、段階的に電流増強の変更申請を重ねてきたが、今年度も、昨年度から行っていた放射線施設変更申請の施設検査を受け、首尾よく合格することができた。検査当日は入射器と同時に、ビーム輸送路と SuperKEKB の主リングの施設検査も行なわれ、ご協力いただいた放射線科学センターや安全衛生推進室の方々や各加速器の担当者には深く感謝したい(図3)。今後、フェーズ2やフェーズ3を開始するまでには、PF-AR 直接入射路接続部、陽電子ダンプリング接続部、さらに入射器電流増強などの変更申請を行う予定である。



図3 施設変更の申請箇所において、複数の観点から検査が行われた。

運転体制

既に述べたように、SuperKEKB のコミッションング運転の主なビーム運転操作は SuperKEKB 制御室から行っている。しかし、SuperKEKB 向けに開発された加速器機器とともに、入射器建設当初から35年以上にわたって使われている機器も多いことから、これらの古い機器が異常になった場合には、入射器棟の現場で確認する必要がある。また、入射器棟内には低速陽電子実験施設が存在するため、実験者入域の対応を行う場合もある。そこで、3交替の業務委託運転員のうち一人は入射器棟制御室において機器の維持業務を行い、もう一人が SuperKEKB 制御室において、リングの運転員と密に協調しながらビーム維持や問題解決にあたっている。

各機器グループに所属する入射器職員から10人が入射器とリングのビーム・コミッションングのシフトにも参加している。他の職員は安全確保のシフトに参加しているが、そのうちの10人ほどが随時ビームの調整等にも参加することがある。業務委託運転員は加速器の停止時には、入射器の建設や維持作業にも参加しているために、入射器のさまざまな部分を熟知している。それがビーム運転時には有効に働いており、職員と分業協調しながら品質の高いビーム入射に貢献することができている。

職員のうち、矢野喜治さん、荒木田是夫さん、中尾克巳さんがこの3月で定年を迎えられた。これまでの加速器施設での貢献と我々への温かい指導に感謝したい。また4月からは、技術職の佐武いつかさんと、博士研究員の佐藤大輔さんに新しく加速器五系で仕事をしていただくことになり、今後の活躍に期待したい。

光源リングの運転状況

冬期の運転は、PFリングが2月15日9:00、PF-ARが2月17日に再開された。2月1日から SuperKEKB のフェーズ1コミッショニングが開始されたことにより、2010年6月30日に KEKB が停止してから約5年7ヶ月ぶりに、Bファクトリーと放射光リングが同時に運転することとなった。リングの立ち上げは予想していた以上に順調に進み、予定されていたスケジュール通り PFリングは2月18日9:00から、PF-ARは2月22日9:00からの光軸確認を経て、ユーザ運転が開始された。

PFリングは、SuperKEKB・フェーズ1コミッショニングのコミッショニング（今年6月末まで）期間中は、頻繁に入射するトップアップ運転は行わず、1日数回入射の蓄積モード運転を行うことにしている。ユーザ運転は順調に開始されたものの、特に蓄積電流値が350 mA以下になると進行方向の4極振動を引き起こすビーム不安定性が強くなるという現象に悩まされた。4極振動を押さえ込むフィードバック装置がないことから、この時点では以前用いていたRF位相変調による安定化や、フィルパターンを変更してできるだけ安定な条件を作り出して対処した。また、

4極電磁石電源とキッカー電磁石電源トラブルによるビームダンプが数件発生した。これらのトラブルは制御系に起因するものと想定されている。原因の特定には至っていないものの、リセットしてすぐに復旧するため、入射器・SuperKEKBの協力を得て、できるだけ早くビーム入射・蓄積を行ってユーザ運転を再開した。BL#14の超伝導ウィグラーでは昨年末より断熱真空の悪化が観測されていた。今期の立ち上げ前にリーク止めの応急措置を施して運転に入ったがその後断熱真空の悪化傾向が続き、液体ヘリウムの消費量も通常の2倍以上に増加した。3月14日の運転終了を待って一旦冷却を中断し、室温でリーク止め作業を行う方針とした。4月に入り室温になったところで、液体リークシール剤を用いて、リーク止め作業を試みた。リークは完全には止まっていないものの、真空度は一桁程度良くなった。これから冷却を試みるが、超伝導ウィグラーの運転再開は早くても6月ごろとなる見通しである。

PF-ARでは、今期から分布型イオンポンプ（Distributed Ion Pump: DIP）を動作して運転を行った。運転開始後約3週間で蓄積寿命は約3割程度改善し、心配されたダストトラップによる寿命急落現象も一度観測されたのみで問題と

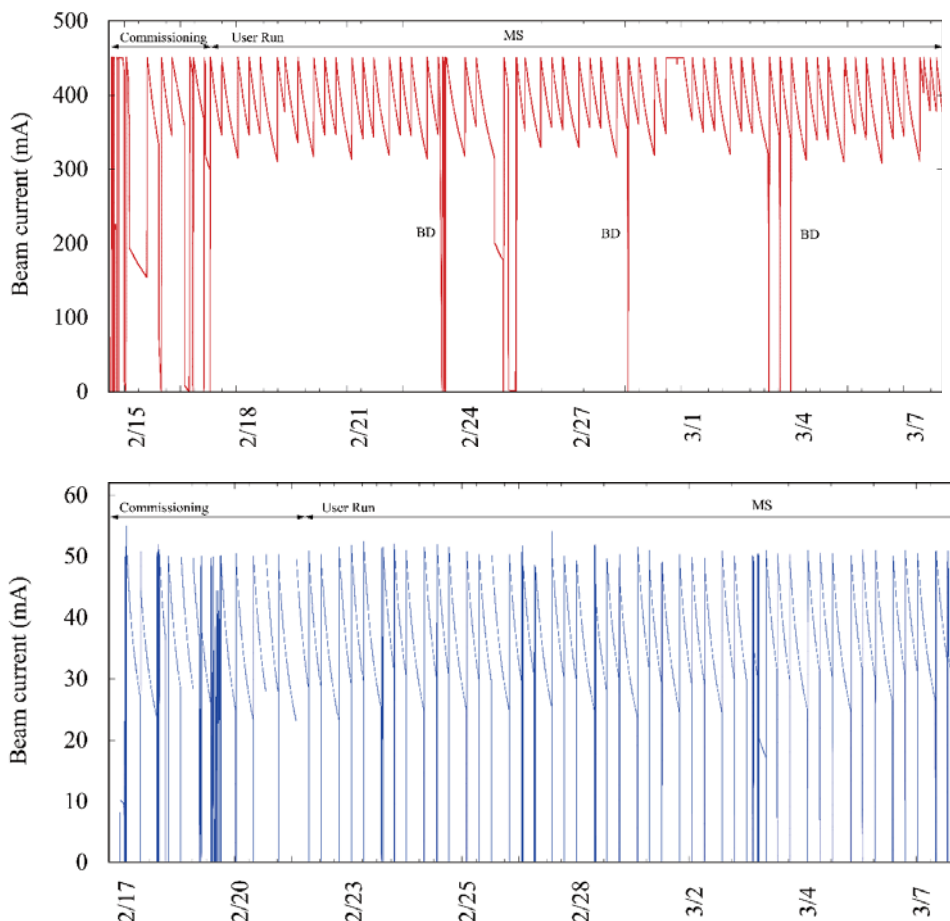


図1
PFリング（上）とPF-AR（下）における蓄積電流値の推移を示す。MSはリング調整、BDはビームダンプを示している。

ならなかった。時々 50 mA 蓄積が困難になることもあったが、入射時の蓄積リングの軌道を補正することで安定した加速を回復することができ、概ね順調にユーザ運転が行われた。

PF リングにおけるビーム位置モニター老朽化の状況

現在のビーム位置モニターシステムは平成7年度（1995年度）に導入された。PF リングでは約 187 mの加速器1周にわたって 65 台のビーム位置モニター電極を配置し、信号を半導体リレー（図2左）で順番に切り替えながらアナログ検波回路に入力している。検波した信号は VME 計算機の ADC でデジタル化し、信号強度をデジタル信号処理回路（DSP）にて演算することでビーム位置を演算している。高速の半導体スイッチと並列化 DSP を使用することで、リング全体の軌道測定に要する時間は約 100 ミリ秒、位置分解能は数マイクロメートル以下を達成した。また、このシステムは軌道測定だけではなく、もう1つの重要な役割として軌道安定化のための演算機能を有している。すなわち、28 台の補正電磁石に適切な電流値を設定することで電子ビームを制御して軌道が常にある一定になるようなフィードバック演算を約 12 ミリ秒の制御周期で行っている（図2右）。

導入した平成7年当時としてはかなり高速な信号処理・フィードバックシステムであったが、リレーによる切り替え方式ではこれ以上の高速化・高精度化は困難である上に、既存システムは老朽化が深刻である。製作から 20 年を経過しており、製造会社による保守・保証期間は過ぎており、当時と同等のパーツを市場で調達できないために故障しても修理が不可能で現状では予備品と入れ替えるしかない。また、完全に故障しないまでもリレーの切り替えタイミングが不安定になることが発生し、あたかも軌道が動いたような偽信号を出す事象がときおり発生している。しかし前述の通り修理が困難であるため、軌道補正から除外するしかない状況である。これらの対処作業のため場合によってはユーザの実験時間を一時中断する場合もあって深刻である。

近年のデジタル技術の発展は目覚ましく、FPGA を演算に使用することで 100 MHz 以上の高速サンプリングデータと、10 Hz 程度の高精度データ出力を同時に出力することも可能となっているため、ミリ秒以下の高速な軌道フィードバックとサブマイクロレベルの高分解能を1つの信号処理回路で実現することが可能となってきている。

既存システムでは水温変動のような分オーダーのゆっく



図2 (左) BPM 電極切り替え器, (右) フィードバック演算装置。

りとした軌道変動は抑制できていたが、数 Hz ~ 20Hz 程度に成分をもつ機械振動や 50Hz 以上の電気信号に起因する軌道変動は抑制できなかったのに対し、近年のシステムではこれらの高周波領域まで軌道を安定化することが可能となる。また、挿入光源のギャップ変更や、偏光面の切り替えなど、ある瞬間からステップ的に発生する軌道変化にたいしても軌道を安定化することが可能となる。その他にも、線形加速器から入射されてきた電子ビームの振る舞いをビーム周回ごとに解析することが可能となるため、従来は専用の回路調整が必要となっていたキッカー・セプトム入射システムの調整など、各種加速器コンポーネントの調整を円滑にすすめることが可能となることも大きなメリットである。また、突然のビームダンプなど、予期しない事態が生じた際の原因究明にも利用可能となるため故障からの平均復帰時間（MTTR, Mean Time To Recover）改善にも寄与すると期待される。

平成 21~27 年度の運転統計

表1に平成21年度から27年度までのPFリングの運転統計を示し、それらのデータを棒グラフしたものを図3に示す。平成27年度のユーザ運転時間は、平成26年度の大幅な減少からやや回復して3000時間をわずかに超えるま

表1 平成21年度~27年度までの7年間のPFリングの運転統計

年度	リング運転時間 (h)	リング調整・スタディ時間 (h)	ユーザー運転時間 (h)	故障時間 (h)
2009 (H21)	4,976.0	979.5	3,961.9	34.5
2010 (H22)	5,037.0	958.7	4,050.8	22.5
2011 (H23)	4,696.0	1,875.1	2,809.2	11.7
2012 (H24)	4,416.0	624.0	3,752.9	39.1
2013 (H25)	4,176.0	672.0	3,451.4	52.6
2014 (H26)	3,024.0	696.0	2,316.6	11.4
2015 (H27)	3,888.0	839.6	3,034.0	14.4

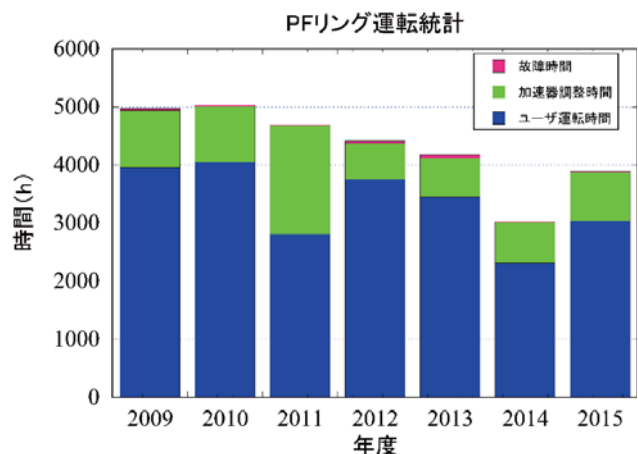


図3 平成21年度~27年度までの7年間のPFリングの運転統計の棒グラフ。

表2 平成21年度~27年度までの7年間のPF-ARの運転統計

年度	リング運転時間 (h)	リング調整・スタディ時間 (h)	ユーザー運転時間 (h)	故障時間 (h)
2009 (H21)	5,063.0	542.5	4,445.7	74.8
2010 (H22)	4,638.5	542.5	4,037.5	58.5
2011 (H23)	4,131.5	1,162.0	2,941.5	28.0
2012 (H24)	4,080.0	408.0	3,643.2	28.8
2013 (H25)	3,912.0	434.0	3,378.4	99.6
2014 (H26)	2,352.0	360.0	1,955.0	37.0
2015 (H27)	3,336.0	552.0	2,753.0	31.0

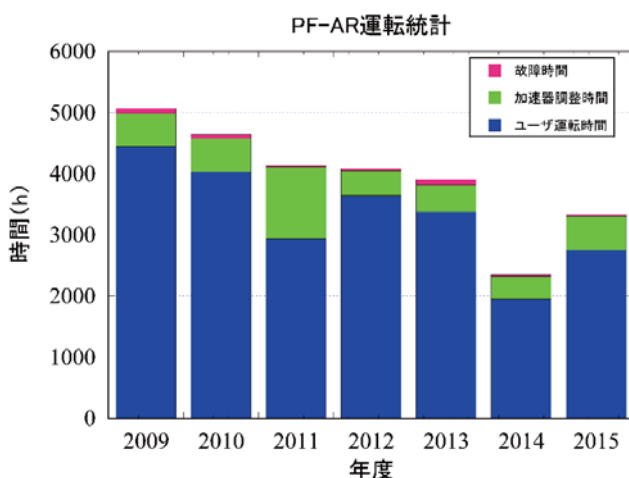


図4 平成21年度~27年度までの7年間のPF-ARの運転統計の棒グラフ。

でになった。しかし、震災前の平成21年度当時に比べれば、1000時間程度の減少である。故障時間に関しては微増であるが、故障率としては微減であった。平成27年度の運転全般では、BL#13、#28用のアンジュレータを更新して稼働を開始したことがあげられる。大きなトラブルも無く、ユーザに新アンジュレータからの放射光が供給されている。また、冬期運転からスーパーKEKBの運転再開に伴い、PFリングではトップアップ運転をしばらく中断し(H28年6月まで)、蓄積モードでの運転となった。

表2と図4にPF-ARの運転統計を示す。PF-ARもPFリングと同様の傾向である。PF-ARでは、夏の停止期間中にビーム振動抑制用キッカーを更新した。この結果、以前大電流時に生じていたキッカーでの発熱や真空悪化が抑制された。秋期運転から、入射エネルギーを3 GeVから2.85 GeVに変更して運転を行った。これは、入射器でクライストロンや加速器管等でトラブルが発生しても、安定な入射エネルギーが確保できるようにと対処したものである。入射・加速での好不調はあったものの概ね初期蓄積電流値50 mA以上は維持してユーザ運転を開始でき、再入射を必要とする寿命急落はわずか1回しか発生しなかつ

た。PF-AR 直接入射路の改造へ向けた準備作業はすすんでいる。H28年度7月からリングを含めた入射路改造に入り、新入射路トンネルへの電磁石・真空ダクト・各種モニターの設置、運転再開へ向けた安全系の構築を行う予定である。改造完成後のビームコミッションは、H29年1月を見込んでいる。

人の動き

教員関係では、高井良太さんと土屋公央さんが、4月1日付けで准教授に昇任されました。高井さんには、引き続き光源第4グループに所属していただき、放射光源加速器のビーム診断システムに関する開発・研究および維持管理の業務を担当していただきます。土屋さんには、引き続き光源第7グループに所属していただき、挿入光源の開発研究および維持管理を担当して頂きます。博士研究員であった田中オリガさんが、4月1日付けで特別助教に採用され、加速器第7研究系の配属が決まりました。田中さんには、光源第1グループに所属していただき、次世代放射光源加速器に関わるビームダイナミックスの研究を行って頂く予定です。

技術職員関係では、技術員の西田麻耶さんが4月16日付けで素核研から加速器第7研究系に異動されました。西田さんには、光源第7グループに所属していただき、挿入光源の技術開発および維持管理を担当して頂きます。

最後になりましたが、専門技師の塩屋達郎さんが、3月31日を持って退職されました。塩屋さんは、昭和56年4月に、高エネルギー物理学研究所技術部放射光光源課電子軌道技術の文部技官として着任しました。当初は入射グループに所属されて、超伝導垂直ウィグラーの開発等に従事されました。その後、挿入光源グループに移られて、PFリング初期の挿入光源1号機から開発と制御に取り組みされました。その後、PFリングおよびPF-ARのすべての挿入光源の開発と制御に尽力されてきました。特に挿入光源の制御においては、歴代の挿入光源の運転に必要な制御装置とその制御プログラムに関して、ハードウェアとソフトウェアの両面に渡って一手に引き受けられて活躍されました。最近、PFリングの挿入光源更新に伴い、運転モード数の多い可変偏光アンジュレータ(EPU)が5台設置されましたが、これらのEPUについては、ユーザ運転のためのフリーチューニングを行うためのマシンスタディ調整に対して、運転モード数に比例して1台当たり通常アンジュレータの6倍もの時間と労力が必要になります。この大変な作業を塩屋さんは、実質的にたった一人でやり遂げました。現在、PFリング及びPF-ARで数多くの挿入光源が利用できる裏側には、間違いなく塩屋さんの多大な功績があることを、ここに感謝を込めて記します。

今後は、シニアフェローとして、特に後進の育成に力を注いで頂くことを希望しています。これまでの蓄積が伝承されていくことを切に願います。

運転，共同利用関係

PF および PF-AR の 2015 年度第 3 期の運転は予定通り 2 月中旬から開始し，3 月 14 日に終了しました。この期間，PF, PF-AR と入射器を共有する SuperKEKB の立ち上げが行われたため，PF リングは Top-up モードではなく，1 日 3 回から 6 回の入射を行う変則的な運転となりました。2016 年度第 1 期の運転は 5 月の連休明け早々に開始し，6 月 30 日まで行いますが，この期間も引き続き，PF リングの Top-up 運転は行わず，SuperKEKB の立ち上げと PF リングの状況を見ながら 1 日数回の入射を行う予定です。ユーザーの皆様にはご不便をおかけしますが，今しばらくの間，ご協力をお願いいたします。第 2 期からは PF リングの Top-up 運転を再開し，ハイブリッドモードも従来通り実施する予定です。また，すでにお知らせしている通り，PF-AR は第 1 期の運転終了後に 6.5 GeV 直接入射路の工事を行うため，第 2 期(10 月から 12 月)の運転を行いません。こちらでも不便をおかけしますが，直接入射路の完成によって PF, PF-AR, SuperKEKB (HER, LER) の 4 リング同時入射が可能になり，入射の自由度が増すとともに，将来的には PF-AR の Top-up 運転も視野に入れることができますので，しばらくの間ご辛抱をお願いいたします。

PF シンボジウム等でもお知らせしていますが，今年度の PF プロジェクト関連の予算は，前年度に比べて約 14% という大幅な削減となりました。そのような状況下でも放射光を利用した研究のアクティビティを維持するために，昨年度と同程度のユーザー運転時間を（上述した PF-AR 直接入射路の工事に関する部分を除いて）確保することが必須であると考えています。このために，ビームラインや実験装置の維持・整備のための費用を大幅に節減することになりますが，運営費交付金以外の競争的資金や施設利用料などの自己収入をできるかぎり投入して，実験環境を維持していく所存です。ユーザーの皆様におかれましても，旅費の削減や PF スタッフと共同での資金獲得など，ご協力をよろしくをお願いいたします。

すでに Web 等でお知らせしておりますが，縦偏光した高エネルギー X 線を供給している BL-14 の超伝導ウイグラーにおいて，超伝導電磁石を冷却する液体ヘリウム断熱真空部の真空度が悪化したため，超伝導電磁石を一旦室温に戻し，4 月末に真空度を回復させるための対処を行いました。このトラブルにより，BL-14 の利用をしばらく停止することとなってしまいました。ユーザーの皆様にご迷惑をおかけすることになり，お詫びいたします。

ビームライン改造等

大強度の硬 X 線を用いた特徴的な実験を行っている AR-NW2A では，従来のアクティビティに加えて，戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 「革新的構造材料」の

もとで XAFS-CT 法を開発し，50 nm 程度の分解能で三次元的な XAFS イメージングを実現することを目指しています。この装置を導入するために，第 1 期の利用実験を停止し，実験ハッチの拡張工事を行っています。上述の通り PF-AR は第 2 期の運転を行いませんので，NW2A に関しては長期のシャットダウンになってしまいますが，最先端の実験装置の導入のため，ご協力をお願いします。

BL-7C は汎用 X 線実験ステーションとして，このステーションに特化した測定 (X 線異常散乱，X 線発光分光，液体表面 XAFS, XANAM) に対してビームタイムを配分しています。これらに加えて，このたび新たに薄膜・表面回折計を導入し，装置の整備を進めながら段階的にユーザーへの公開を始めましたので，課題申請を検討している方はビームライン担当者 (杉山弘助教) または，装置担当者 (熊井玲児教授) までご相談ください。

将来計画に関するユーザーの皆様との議論

3 月 15, 16 日に開催された量子ビームサイエンスフェスタにおいて，3 月 16 日には PF シンボジウムが，また，3 月 14 日にはサテライトミーティングとして PF-UA の拡大ユーザーグループミーティングが，それぞれ開催されました。これらのミーティングは，ユーザーの皆様と PF スタッフが一堂に会し，PF の運営等について議論を行うためのものですが，今回は特に放射光の将来計画について多くの時間を割きました。以前にもお伝えした通り，PF では光源加速器と測定器に関わる多くのメンバーが一緒になって，蓄積リング型の高輝度光源，ビームライン，そしてそこで展開すべきサイエンスの検討を行っています。今回のミーティングの開催にあたり，現在検討中の最新スペック (光源およびビームライン) や運営のあり方をユーザーの皆様へ提示し，それを参考にしながら，将来光源におけるサイエンスの展開や，光源，ビームラインに対する要望を各ユーザーグループで議論していただきました。これは，まだまだ初めの一歩であり，今後，PF-UA を中心に，放射光ユーザー全体，さらには現在は放射光を使っていない研究者の皆様も含めた大きな議論に発展させ，今，本当に必要な最先端の放射光施設がどのようなものか，というビジョンを明確にしていきたいと考えています。ユーザーの皆様には是非，前向きな熱い議論をお願いいたします。

人事関連

新年度を迎え，多くの人事異動がありました。低速陽電子グループの特別准教授として新たな手法開発などを行ってきた和田健さんが，4 月に発足した量子科学技術研究開発機構へ異動されました。産業利用促進グループの연구원として主にトライアルユースの支援をされてきた古室昌徳さんが退職され，同じく須田山貴亮さんが産業技術総合研

究所へ異動されました。生命科学グループの研究者として構造生物学研究を推進してきた牧尾尚能さんが特許庁へ異動されました。

次に4月からの新任の方々をご紹介します。石井晴乃さんが先端技術・基盤整備・安全グループの技術員として採用され、主に制御関係を担当されます。北村未歩さんが電子物性グループの博士研究者として着任され、強相関電子系薄膜の磁性と電子状態の研究を推進されます。物質化学

グループでは北澤留弥さんが研究者として着任され、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「革新的構造材料」のもとで、放射光を用いた先端計測技術開発に従事されます。田端千紘さんが、構造物性グループの研究者として、新学術領域「J-Physics：多極子伝導系の物理」のもとで、多様な多極子自由度に起因する多彩な伝導現象の研究を推進されます。新たにPFの仲間になった方々、PFから異動された方々ともに、今後の活躍を期待しています。

ERL 計画推進室報告

ERL 計画推進室長 河田 洋

はじめに

cERL では、原子力規制庁に提出していた放射線変更申請(0.1 mA から 1 mA への電流増強)が認可後、2月から3月の調整運転で以下に示しますように、1 mA 運転をはじめ、数々の ERL 運転技術の確立と将来の CW-FEL や ERL-FEL に繋がる技術確立を行いました。一方、放射光の次期光源としての位置付けが「3 GeV 高輝度リング」に移行しつつあり、3月中旬に機構長から、「ERL の出口として放射光の次期計画を掲げることは困難」のコメントを受け、また、機構の予算状況が極めて厳しい状況のため、今年度の cERL の運転を当面休止することとなりました。その一方で、機構長から ERL 開発の出口戦略として、2年ほど前から開始している「半導体リソグラフィ用の大強度 EUV 光源開発」で明確化できないかという示唆を頂いています。1年ほど前から企業と大学の関係研究者からなる「EUV-FEL 光源産業化研究会」を立ち上げていますが、この研究会を中心に、出口戦略を明確化することを精力的に開始しています。また、この出口は、将来 CW-XFEL に向かうとした場合を想定しても、同じ方向性の開発方針を持っており、放射光利用の皆様方もご理解いただけるものと期待しています。

cERL での進捗状況

cERL の 1 mA 電流増強の放射線変更申請に関して、3月8日の原子力安全技術センターによる施設検査を定格の30%に当たる0.3 mA 運転で無事に終了し、検査後、検査官から口頭で「問題なく合格」の内示の報告を受けました。さらにその当日の夜、図1の示す様に、ほぼ定格である1 mA 運転を2時間半に渡って保持し、ERL 運転のハードウェアとハンドリングに関して大きな一歩を示すことが出来ました。また、その後、162.5 MHz 運転でバンチ電荷を6 pC に上げて約1 mm-mrad のエミッタンスでの運転にも成功し、その時の放射線レベル測定でも十分にビームロスが少ない状況を確認することが出来ました。このことはcERL で10 mA 運転も十分に可能であることを示す結果であり、もしも今年度放射線変更申請を行う事が出来れば、

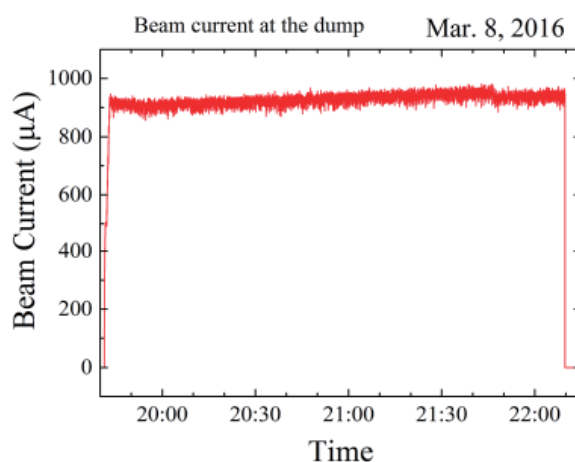


図1 cERL で1 mA 蓄積電流を達成。

予定通りに10 mA 運転を実証することが出来る状況になって来ていることを表しています。162.5 MHz 運転は、レーザーコンプトン散乱の蓄積レーザーの繰り返し周波数に対応し、もちろんレーザーコンプトン散乱実験を行い、昨年度のレーザーコンプトン散乱強度と比較して、約6倍の増大が観測されました。また、短い時間でしたがイメージングの実験も試みました。

一方、昨年度の11月末に導入した6極電磁石を用いてバンチ圧縮運転を試み、約150フェムト秒まで圧縮できていることをTHz強度測定から推定することが出来ました。さらに、昨年度夏から進めてきていた電子銃の高電圧印加の値を現在の390 kV から450 kV に増強しての運転を最後に試みることが出来ました。残念ながら実質的に運転調整は1日だけであったために、著しい電子ビームの向上を確認するには至りませんでした。電子銃単体の性能テストは引き続き今年度も継続しています。

以上まとめますと、図2に示しますように、2015年度末に1月から3月までのcERLの試験運転では、『1 mA 運転を実証』、『6 pC/バンチの電荷運転で低エミッタンス運転を実証』、『約150フェムト秒のバンチ圧縮を実証』、『レーザーコンプトン散乱強度の6倍の増強』、『10 mA 運転の

コンパクトERLにおける加速器技術の現状

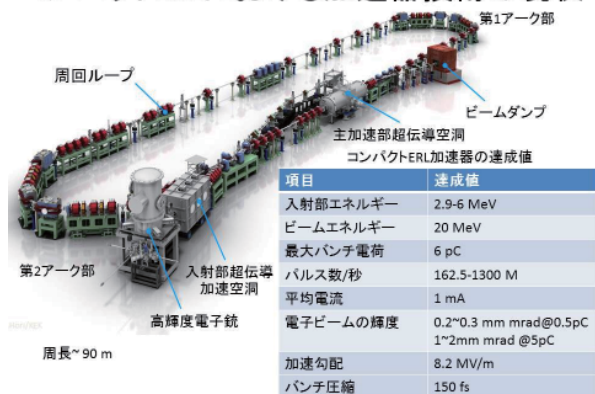


図2 cERLにおける加速器技術の現状

可能性を確認』という多くの加速器技術の進展を成し得ることが出来ました。これらの成果は長年弛まず、cERLの建設と立ち上げを支えたERLチームメンバーの努力の賜物であると同時に、そのアクティビティーを支えて頂いた皆様方のお力添いによるものであり、深く感謝いたします。

今後の展開

冒頭でも記述しましたが、当面出口戦略として、「半導体リソグラフィー用の大強度EUV光源開発」で更なる検

討を進めています。その母体となる「EUV-FEL光源産業化研究会」では、アカデミアと産業界が一体となってその実現に向けて活動をしています。この状況は決して日本だけの状況ではなく、米国では、世界第2位の半導体製造受託会社（ファウンドリ）であり、2014年IBMの半導体製造部門を買収したGlobalfoundries社も自社でその光源の可能性を検討しています。5月27日の午前中にGlobalfoundries社のDr. Erik Hosler氏のEUV-FELに関する講演をKEKつくば4号館2F輪講室1で行う予定ですので、ご興味のある方は覗いてください。

一方で、cERLの運転は当面休止状態となりますが、現状でどの程度の加速器技術が確立され、残されている課題は何かを明確にする「ミニワークショップ」を、5月31日に4号館2F輪講室1で行います。こちらも、ご興味のある方は是非覗いてください。

また、ERL計画開始の段階から、当時は東京大学物性研究所の助手としてERLの超伝導空洞開発に尽力されている阪井寛志准教授が4月7日から1年間DESYの超伝導研究グループに参加しています。彼はこの期間にEuro-XFELの超伝導空洞加速運転に参加すると同時に、同グループが将来に向けて開発を開始しているCW化に向けてのR&Dにも参加する予定で、将来に向けての人材育成も進めています。

第8回放射光科学研究施設諮問委員会 (PF-SAC) 報告

放射光科学研究施設長 村上洋一

去る2016年3月29、30日に第8回の放射光科学研究施設諮問委員会 (PF-Science Advisory Committee: PF-SAC) が開催されました。今回のPF-SACの主な目的は、PFの将来計画に関してアドバイスを頂くことでした。すなわち、これまでPFの後継機として3GeV ERLを想定してそのR&Dを進めてきましたが、この見直しに対してPF-SACからの忌憚のない御意見を伺いました。今回のPF-SACメンバーは、下記の方々です。

Ingolf Lindau (Stanford University) Chair,

John Hill (NSLS-II, BNL), Michael Borland (Advanced Photon Source), Zhentang Zhao (Shanghai Synchrotron Radiation Facility), Yasuhiro Iwasawa (University of Electro-Communications), Mitsuhiro Hirai (Gumma Univ.), Mamoru Sato (Yokohama City Univ.), Masashi Takigawa (ISSP, The Univ. of Tokyo)

委員会初日には、山田物構研所長のWelcome AddressとIngolf Lindau委員長からのIntroductionの後、岡田理事からKEKが推進するプロジェクトなどについてご説明頂きました。私の方からは、PFの現状や将来計画に関する概要をお話した後、本委員会でご意見やアドバイスを頂きたいポイントを説明しました。午後には、短・中期計画として検討中の「KEK放射光計画(仮称)」(3GeVクラスの蓄積リング型高輝度光源計画)について、サイエンス・加速器・ビームライン・運営などについて、PF側より現在検討中のものを説明して、議論やアドバイスを頂きました。長期計画としてリニアック型光源についても、サイエンス・加速器についてのアイデアに関して、様々な御意見を頂きました。2日目には、PF執行部との議論の後、非公開のセッションが持たれました。これらの議論を経て、事前にPFからPF-SACメンバーにお送りした質問に対する回答という形で報告書をまとめて頂きました。その報告書(Executive Summary and Close-Out Remarks)は10ページにも及びますので、ここでそのすべてをご報告することは出来ません。以下にそのポイントのみを示します。その報告書の全文は、5月20日に開催予定の物構研運営会議で報告された後、PFのWebに公開される予定です。

質問1 PFの現状について

○長年に及び、PFは多くのユーザーをサポートしながら、成果を生み出し続けているが、昨今の予算不足は深刻で施設の健全な運営と成果創出を脅かしている。

○PFの施設性能はもはや最先端とは言えず、ユーザーからの要望に応えきれない部分も多々ある。出来る限り早く、最先端の放射光施設に置き換えることが重要で、PF-SACはKEKが放射光将来計画を最優先で推進することを勧告する。

質問2 PF将来計画の見直しについて

○本委員会は、ERL計画を見直し、短・中期計画として最先端の蓄積リング型光源、長期計画としてリニアック型光源を推進するという決断を支持する。

質問3 短・中期計画としてのKEK放射光計画について

○光源のデザインはかなり注意深く考えられたものであるが、より挑戦的なデザインも検討すべきである。

○幾つか課題の検討を進めるにあたって、Machine Advisory Committee (MAC)を立ち上げることを勧告する。

○高いインパクトを持つ幾つかのサイエンスケースに対して検討を進めるべきである。

○本計画は今後20年以上にわたって、世界の放射光科学をリードする可能性を持っている。現在のPFユーザーだけでなく、より広範な分野から研究者を結集し、その情報を基に、サイエンス・光源・ビームラインの検討を進めるべきである。

○長期にわたり最先端科学技術のプラットフォームとなるために、この光源は、現在の最先端技術を基に作られるべきである。このような中エネルギー域の施設は日本でただ1つだけ作られるものであろう。従って、光源・ビームライン・装置のプランや施設運営に関しては、アカデミア・役所・産業界を含めて、日本全体で合意議論を進めるべきである。

質問4 長期計画としてのリニアック型光源について

○本委員会は、将来のリニアック型の高繰り返し自由電子レーザーの推進を支持する。このような光源は明確な競争力を持ち、KEKはそれを推進する有利な立場にある。

上記のポイント以外に、多くの有益なアドバイスを頂きました。PF-SACメンバーの方々には、PF将来計画について真剣にご議論頂きましたことを、心より感謝致します。頂きましたアドバイスを基に、確実にPF将来計画を進めていきたいと考えています。



図1 PF-SACメンバーとPF執行部メンバー・野村理事・岡田理事。