

## 入射器の現状

加速器第五研究系研究主幹 古川 和朗

### 概要

2013年度の夏前の運転を7月1日に無事終了した後、9月までの夏の停止期間に震災復旧や SuperKEKB に向けた建設が行われ、PF、PF-AR を含めた同時入射のための制御やタイミング機構の改造も行われた。これらの作業を SuperKEKB に向けた改造の一つの試金石と捉え、作業計画の維持に最大の注意を払った結果、秋からの試験運転は9月24日に予定通り開始することができた。試験運転と並行して10月15日の週より、PF・PF-AR 入射も開始している。

### SuperKEKB に向けた建設

今年の夏季停止期間中には、主に入射器の前半部分において、旧陽電子生成装置の廃止と大電流向け新規開発装置の建設開始、本格的な低エミッタンス・大電流 RF 電子銃の設置など、大幅に建設・開発が進められた。

まず、大電流陽電子生成装置に関しては、ユニット #21 に設置されていた KEKB 時の陽電子生成装置を撤去し、約 40 m 上流のユニット #15 に新しい装置の設置を開始した。この位置は、3.5 GeV から 4.0 GeV に上がる陽電子エネルギーと、ダンピング・リング経由の入射、及び陽電子生成量の間の最適化から選ばれている。多数の加速管、集束ソレノイド、集束四重極電磁石などの装置や、それに伴う電源配線や冷却水配管の撤去、移設、新設などが、慎重に計画された予定表に従って行われた。もちろん予定通りに進む部分と進まない部分があったため、週末や時間外にも職員や委託会社の方々に協力いただく場面が多数あり、二年後まで続く改造作業の課題となっている。

作業としては、ユニット #14 から #23 までの 80 m 区間の、架台を含めた加速器装置が撤去され、再構築が行われた。架台の設置、暫定アライメント、加速器装置の設置、微細アライメント、という手順で各ユニットの設置が進められ、またその間、何度も図面等との突き合わせを行い、慎重な作業が行われた(図1, 2)。今回設置した中ではユニット #16 が新設の大口径 S-バンド加速管(LAS)や重量の大きな集束ソレノイドを含み、導波管や冷却水配管も複雑なため、最も慎重な手続きを踏んだが、幸いにして大きな障害なく RF コンディショニング試験を始めることができた。陽電子生成に最も重要なフラックス・コンセントレータなどを含み、構成が複雑となるユニット #15 の新設は11月に予定しており、現在は電子ビームのための真空ダクトのみを設置している。今回の作業が予定を守りながら進められたことは、今後の自信となると思われる。と同時にさらに余裕を持った作業計画が必要なことでもわかった。



図1 撤去された陽電子生成部と、重量のある新規陽電子生成部(ユニット #16)の架台脚。



図2 陽電子生成部(ユニット #16)の LAS 加速管と集束ソレノイド電磁石の設置作業と、設置後。

今回、設置された電磁石は再利用されたものも多いが、大口径集束四重極電磁石など新規製作したものも多く、それらの磁場測定作業には PF の軌道グループ、特に原田氏に大変お世話になった。入射器の機器や人員だけでは作業は難しく、この場を借りて感謝を表わしたい。

また、ユニット #28 のうしろの第2スイッチヤード

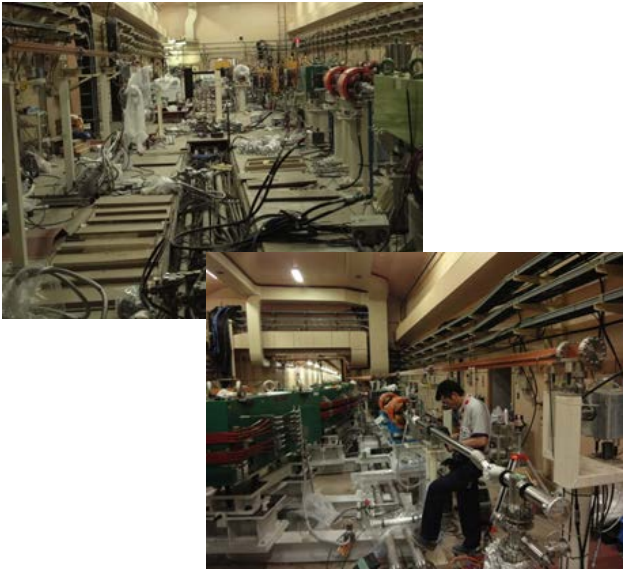


図3 ECS部の撤去、移動・再設置とPF向けビームラインの再構築。

(SY2)においては、ダンピング・リング接続のためのビームラインの構築、第3スイッチヤード(SY3)においては、ビーム・エネルギー圧縮装置(ECS)の設置が進められた(図3)。これらの複雑な作業を待って、入射器全体のアライメントも再度行われた。低エミッタンスの電子ビームを600 mに亘って導くためには、軌道補正によるウェイク場の補償と共に、その補償が線形に収まるよう、0.1 mm精度のアライメントが必要とされ、今後の繰り返しアライメントが必要と考えられている。

これらの新規装置を運用するためには、大幅な電源電力と冷却水の増強が必要となるが、昨年度から施設部門に協力いただいて建物の増築を含めた計画を進めており、来年夏の利用開始を予定している。そのため今期は最大出力を得ることはできないが、小電流でのビーム試験を10月から予定している。

A1部に建設中のRF電子銃については、Ybファイバー・レーザー発振器、ファイバー・増幅器、及びディスク・レーザーを組み合わせた多段の大電力レーザーの安定化を進めながら、新しく採用する擬似進行波型空洞(QTWSC)の設置を進めた。QTWSCはこれまで利用してきたDAW型空洞に比べ、さらに加速電界や収束力に優れ、空間電荷効果の影響が大きい大電流加速においては有利となる(図4)。さらに電子銃の直後には診断ラインも新設される。

幸いにして、新しい空洞のRFコンディショニングは順調に進み、初期の調整でDAW空洞と同程度の電流を確認した。さらに大電流加速に向けた調整を進めている。

この他にも、建設に対応した施設の改造、電磁石や電源の増設、冷却水や電源配線の改修、ビームワイヤスキャナ・ビーム位置モニタ・ストリークカメラなどビーム測定装置の増設移設、マイクロ波発生装置の小型化と移設、さまざまな制御装置の更新、などが行われた。特に長年使用されて増築を重ねたタイミング・システムの再構成を行い、全

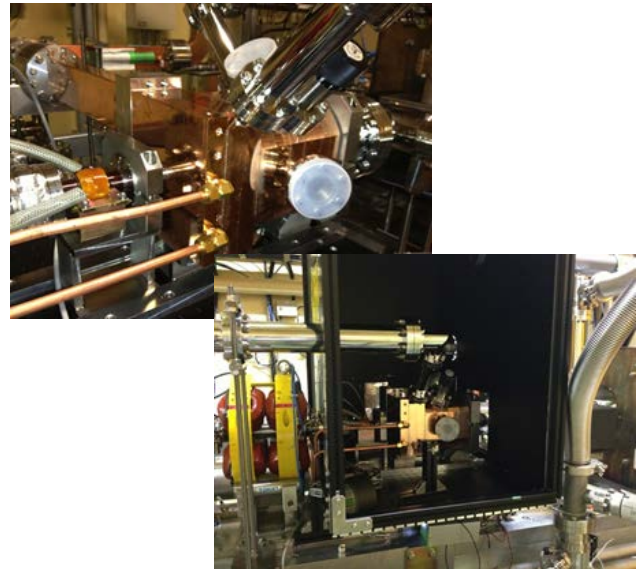


図4 導波管が接続されたQTWSC空洞とそのレーザー保護箱。

体として柔軟性と信頼性を高めるような改造を行った。機器の改造に伴って、安全系の対応も行われ、より信頼性を高めるべく動作論理の見直しも行った。さらに運転中に漏水を起こした加速管の交換を含め、通常の保守作業も行っている。

#### PF・PF-AR入射と小電流試験運転

10月からの運転においては、これまで同様、入射器後半部分では仮電子銃(GU\_31)を使用してPF・PF-AR入射運転を継続しながら、前半部分でRF電子銃(GR\_A1)を用いてSuperKEKBに向けた小電流試験運転を始めている。RFコンディショニングやタイミング調整など、予定した作業の後、幸いにして大きな問題なく立ち上げることができた。タイミング系の更新によって、20年以上前のTRISTAN時代から使用されていたPF-AR向け回路なども撤去されたので、全体として信頼性が向上したと考えている。今後11月には陽電子生成部の追加建設作業を行い、さらに12月から3月まで小電流の電子・陽電子コンディショニングを行う予定を考えている。

夏の停止期間中の作業

PFリングでは、4台の高周波加速空洞を使用しているが、それぞれの空洞は独立のクライストロンから高周波電力が供給されている。そのクライストロンを空洞からの反射高周波電力から保護するために、サーキュレータが設置されている(図1)。サーキュレータの仕様は、表1に示すとおりである。大震災以降、4台のサーキュレータが次々に冷却水漏れ、あるいは電波漏れを起こすようになった。メンテナンス時や毎日の巡視点検などで、それらを発見すると直ちに応急処置を施すか、もしくは予備のサーキュレータと交換して運転を継続してきた。同時に、4台すべて新規交換を目指して製作を行ってきた。この夏の停止期間によりやく4台すべてを新品に交換する作業を行うことができた。4台すべての性能確認も停止期間中に終了し、10月15日からの運転再開への準備は整った。



図1 冷却水漏れを起こしたサーキュレータを交換しているところ(上図)と新規製作のサーキュレータに交換完了したところ(下図)。

表1: PFリングのサーキュレータの仕様

周波数	500 ± 1.5 MHz
入力高周波電力	200 kW (CW)
反射高周波電力	100 kW (CW)
入力 VSWR	1.35 以下

光源リングの運転状況

PFリングは、10月15日9時に秋の運転を再開した。入射ビームは11時前にリングに蓄積しはじめ、入射調整、軌道調整、バンチごとフィードバック調整を行いながら、徐々に電流値を上げ、17時過ぎ450 mAに達した。その後真空光焼きだしを開始した。翌日から、新短周期アンジュレータ#15(SGU#15)の最小ギャップ値と軌道の確定を行い、その後ビームラインへの光導入、挿入光源のフリーチューニングをほぼ予定通りこなし、10月21日9時にユーザ運転再開となった。夏の停止期間中に、SGU#15設置等で真空作業を行ったため再開時のビーム寿命の回復が心配されたが、立ち上げ期間中に真空焼き出しが順調に進み、450 mAで約20時間のビーム寿命となった。

PF-ARは、10月18日9時に再開した。PF-ARは停止期間中に大きな真空作業が無かったものの、15台のリング4極電磁石電源の更新を行っていたため、3 GeVから6.5 GeVへの加速がスムーズに行くかどうか懸念材料であった。立ち上げ初日には、いつものように入射路をビームが通らず苦労したが、軌道調整、エネルギー調整を入念に行いようやく22時過ぎに20 mAリングに蓄積するようになった。翌日からは、ユーザ運転再開へ向けて55 mAの蓄積、6.5 GeVまでの加速を成功させるべく調整に費やし、加速中にビームをロスするという不安定要素は残るものの、10月22日9時にユーザ運転に漕ぎ着けることができた。図2にPFリングおよびPF-ARの立ち上げからユーザ運転再開にいたる蓄積電流値の推移を示す。

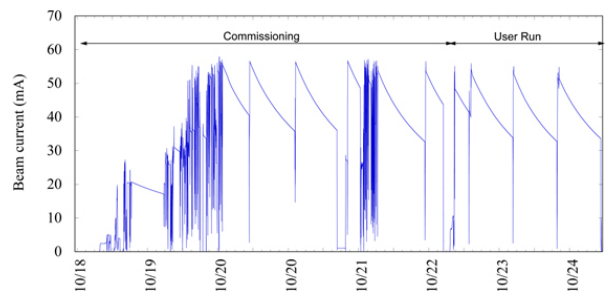
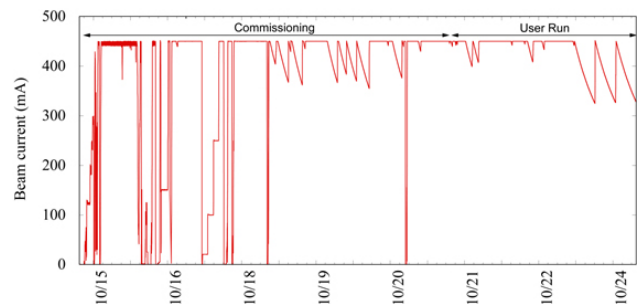


図2 PFリング(上図)とPF-AR(下図)の蓄積電流値の推移。

## PF-AR 直接入射路トンネル建設進捗状況

PF-AR 直接入射路トンネル建設工事は順調に進んでいる。今年は台風による影響で雨の日が多いものの、9月初旬から掘削が開始され、概ねスケジュール通り経過している。10月中旬からはトンネルの躯体築造が始まる予定である。直接入射路に設置される新規電磁石、電磁石電源、真空チャンバー等の調達も概ね順調に進んでいる。



図3 PF-AR 南実験棟前（左図）と D7 電源棟前（右図）の掘削が行われている。

## 放射光科学第一、第二研究系の現状

放射光科学第一研究系研究主幹 熊井 玲児

### 運転、共同利用関連

PF, PF-AR ともに、6月28日朝の運転終了後、夏期シャットダウン期間に様々な作業が行われました。放射線変更申請も無事に終了し、放射線安全を確保するためのシャッター点検、インターロック総合動作試験を経て、PFは10月21日、PF-ARは10月22日から共同利用実験を開始し、12月20日の朝までPF, PF-ARともにユーザー運転を続ける予定です。2014年1月以降の運転予定は、電力使用量と電気料金の推移を見た上で10月中旬に決定されました。昨年度と同様に予算の削減と電気料金の高騰により、ユーザー運転の時間は例年よりも短めになっておりますが、ユーザーの皆様のご理解と、運転時間の確保のためにPFを利用した成果の発信などによるアピールをお願いいたします。

今年の夏のシャットダウン期間中には、BL-2, BL-6C, BL-10C, BL-13, BL-15, BL-20Bと多くの箇所でのビームラインの建設、改造などが行われました。特にBL-2, BL-15の二本では大がかりな工事が行われました。これらのビームラインの概要については何度かお伝えしている通りですが、BL-2, BL-15ともに建設は順調に進み、秋期運転の前に各種検査を受けたのち、コミッショニングを開始する予定です。どちらのビームラインも夏のシャットダウン前に更地になっていたところに新しい光学系が設置され、さらにBL-15では新しい大型の実験ハッチが構築され、ホール内の景色がだいぶ変わったことに気づくのではないのでしょうか。BL-2ではこの秋からは既存のアンジュレータを用いてSX領域の光を使った光学系、測定装置の調整を行ったのち、2014年にはVUV領域の新しいアンジュレータを設置して、VUV・SX領域の広い波長範囲をカバーするビームラインとして稼働する予定です。一方、その他のビームラインでは、主にハッチの改造や光学系コンポーネントの変更などが行われました。

また、PF-ARでは、直接入射路の建設のためにトンネル工事が行われています。これに伴ってPFへのアクセス道路とKEKB周回道路が交互に通行止めになっております。共同利用実験が始まり多くのユーザーの方が通行する

時期ですが、シャットダウン期間だけで工事を行うことが難しく、ご不便をおかけしますが、ご協力をお願いいたします。なお、通行止めの状況はPFホームページで公開しておりますのでご確認ください。

### 安全関連

前号のPFニュースでもお知らせしましたが、KEKでは東海キャンパスのJ-PARCハドロン実験施設事故を受けて、つくばキャンパスでも安全への取り組みの強化見直しが行われています。KEK全体の安全への取り組みの概要は機構のホームページに掲載されておりますが、機構長のもとに安全・環境・衛生管理推進室を新たに設置し、安全管理全般の方針、目標設定、安全活動計画の立案、実施を行う体制を作り、安全管理体制の強化を行いました。また、安全活動の実施のために、安全・環境・衛生管理実施室が、これまでの安全委員会に加えて設置されました。これらの体制のもとに、計画(Plan)-実施(Do)-評価(Check)-改善(Act)のPDCAサイクルを構築し、外部監査委員の助言を仰ぎながら安全管理体制の確立を目指します。PFにおける安全への取り組みに関してですが、ご存知のようにPFのグループ体制には「先端技術・基盤技術・安全グループ」があり、このグループを中心にして、共同利用実験をはじめとする日々の安全の確保に努めております。この夏には、春の運転期間中に実施した運転当番の見回りにおいて、安全の確保のために改善が必要と指摘があった事項についてスタッフによる対処が行われました。共同利用実験が始まり、今後も運転当番の巡回時などに安全に関する指摘等が行われる可能性があります。共同利用実験では、自身の安全だけでなく、同時に実験を行う多くのユーザー全員の安全確保が必要となります。運転当番あるいはビームライン担当者を通じての指示があった際にはご協力をお願いいたします。また、既にメール等を通じてユーザーの皆様へご案内しておりますが、毎年度視聴をお願いしている「放射光利用実験を安全に行うために」の講習ビデオに加え、放射線科学センターの指示により、放射線安全に関するビデオをご覧ください。これまでより

もやや視聴時間が長くなりますが、ご協力をお願いいたします。また、先述のKEKにおける新たな安全管理体制のもとで、今年度のアクションプランの一つとして、事故・災害及びそれ未満の事象、体験、ハザードを洗い出す、ハインリッヒ調査をはじめています。事故や災害などの重大な事例に加え、いわゆるヒヤリ・ハットに相当する事象や、事故を誘発する可能性のある状況（ハザード）などを、階層（ハインリッヒ階層）にわけた整理を行い、その背景要因を分析し安全管理計画に反映させることを目的としています。また、同時に法令・規定の遵守（コンプライアンス）の調査として、放射線安全だけでなく、PFで行われる共同利用実験に係わる全ての安全（電気、機械、高圧ガス、化学、遺伝子組み換えなど）の安全管理体制の再確認を行っています。これまでもユーザーの皆様へは化学薬品持ち込み届け等、各種手続きを行っていただいておりますが、今後ご協力をお願いいたします。また、11月1日には例年同様、ユーザーの皆様にも参加していただく防災・防火訓練が行われました。PF、PF-ARではシャッターを閉じ、ビームを止め、ユーザー実験を一時中断してご参加をいただきました。ご不便をおかけ致しましたが、ご協力をいただきありがとうございます。

## 人事関連

昨年度3月に定年退職され、今年度よりシニアフェローとして引き続きPFの運営に協力していただいた、伊藤健二氏が8月末に、また構造生物ビームラインで活躍されていたLeonard Chavas氏が10月6日付けで退職されました。伊藤氏はフランスの放射光施設であるSOLEIL、Chavas氏はドイツ DESY の自由電子レーザー施設であるEuroFELと、それぞれヨーロッパへ活動の地を移されました。お二人の新天地でのご活躍を期待しております。博士研究員の米村博樹氏は9月末で任期満了となり退職されました。また、長らくPFの主幹秘書として働いていただいた森史子さんも9月末で退職されました。スタッフはもとより、ユーザーの方もお世話になった方が多いのではないのでしょうか。

新しくPFに2人の方が着任されました。10月1日付けで新たに木村正雄氏が新日鐵住金より教授として着任されました。物質化学グループのグループリーダーとしてはもちろんのこと、これまでの企業での研究の経歴を活かして産業利用の観点などからPFの運営に協力いただけることを期待しています。また、11月1日付けで特任助教として中嶋享氏が着任しました。PFでは柳下教授と協力して、軟X線を用いた光電子の運動量画像測定法の開発を推進する予定です。

## ERL 計画推進室報告

ERL 計画推進室長 河田 洋

### cERL の建設状況

4月から6月末までに行ってきたcERLの入射部の試験運転は無事に終了し、7月からいよいよ周回部の建設作業が開始されました。ERL開発棟は約100m×50mのKEKで最も古い実験室ですが、空調設備はなく、夏場の作業は必ずしも快適ではありません。しかし、加速器室（シールド内部）は空調されており、その中で周回部の電磁石設置に向けたベースプレートの設置、マグネット架台の設置、電磁石の設置までが9月8日の一般公開までに終了し（図1）、一般公開後には、精密アライメントを経て9月末に作業を終了しています。

10月に入り、真空ダクトの設置作業や、放射線変更申請に伴う加速器のビームラインに沿ったシールドの設置等の作業が精力的に行われています。真空ダクトを設置するために、4極電磁石は二つ割にし、そこに真空ダクトを順番に設置しているところです。図2は測量をしながら真空ダクトを設置している様子で、南側の直線部のダクト設置は10月10日現在でほぼ終了しています。そして、真空ダクトの設置と並行して、モニター等の設置、ケーブル配線作業、そして放射線シールド、インターロック作業を行い11月中旬には自主検査を含めて周回部建設作業を完了するスケジュールで進めています。何とか、今年中（2013年中）に、周回部の電子ビーム運転を開始すべく、関係者



図1 一般公開前の周回部の様子。ベースプレートの設置、マグネット架台の設置、電磁石の設置まで、無事終了した。



図2 (上) 測量をしながら真空ダクトを設置している様子。(下) 設置が完了した南側の直線部。

は一丸となって現場の建設作業を進めています。1月の放射光学会ではその立ち上げ状況を報告できればと思っています。

### ERL 計画の対内外の活動

先に述べましたが、9月8日に KEK の一般公開が行われました。毎年9月の上旬の日曜日に行っていますが、ERL プロジェクトの公開は今まで研究本館等の会議室でパネルを中心に行ってきました。しかし、今年は cERL の建設が進んでいることから、ERL 開発棟を一般公開対象に組み入れることを行い、ERL の原理を説明するパネルと動画説明 (図3)、コントロール室、冷凍設備、RF 源、電子銃のレーザーシステム、そして加速器シールド内の高輝度電子銃、超伝導空洞、そして建設中の周回部 (図4) という見学コースを整えて、加速器第七系のメンバーを中心に説明に当たりました。また、cERL の入室扉上方に ERL プロジェクトのロゴマークを掲載し (図5)、広く一般の方にもニックネーム (PEARL) と共に ERL 計画を知ってもらおう事を行った次第です。当日はあいにくの雨模様でしたが、約1000人の一般の方々が ERL 開発棟にきてくださって、賑やかな一日となりました。またこれを機会に ERL プロジェクト (PAERL) のパンフレットを改訂しました。ご興味のある方はこちらの URL からダウンロードして頂ければ幸いです (<http://imss.kek.jp/library/pamphlet/PEARL2013.pdf>)。

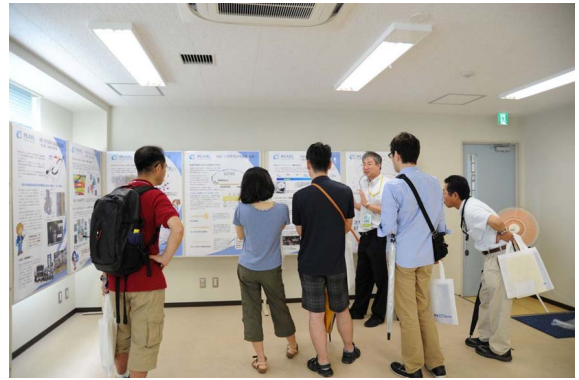


図3 一般公開での様子。ERL の原理についての小林主幹の説明を聞く見学者。



図4 一般公開での様子。建設中の周回部も見学コースに入り、多くの見学者が訪れた。



図5 cERL の入室扉上方に ERL プロジェクトのロゴマーク。

9月9日からロシアの BINP (ノボシビルスク) で ERL2013 の国際ワークショップが開催されました。我々のプロジェクトからは、cERL の入射部の運転コミッションを中心にして、高輝度電子銃、大強度レーザーシステム、超伝導空洞開発、RF 源の開発の中心メンバーが参加し、世界の ERL 開発メンバーと議論をしてきました。それらの会議報告を ERL 検討会で順次、関係の方々にしていただきますので、ご興味のある方は是非ご覧下さい (<http://pfwww.kek.jp/ERLoffice/> の ERL 検討会・関係資料を参照下さい)。