

## 入射器の現状

加速器第五研究系研究主幹 古川 和朗

### 概要

2014年3月2日には予定より少し早く入射器を立ち下げ、春の保守期間に入った。昨年末の電力線の焼損事故によって遅らせることになった陽電子生成系の建設工事に集中するための措置で、順調に作業を進めることができた。2013年度は例年と同様、5000時間を少し越える時間運転することができた。3月3日からは SuperKEKB の加速器レビューが開催され、入射器関連では6件の報告を行い、評価を受けた。4月11日からは2014年度の入射器の運転を始め、18日からPFへの入射を開始した。

### SuperKEKB に向けた開発

SuperKEKB に向けた入射器の改造における主要な目標として、ビームの低エミッタンス化と大電流化が挙げられる。これらについては、光陰極 RF 電子銃と陽電子ビーム捕獲用フラックスコンセントレータなどによって達成すべく、開発を継続しており既に進展を報告してきた。

これらの装置を効果的に運用するための機構も、並行して整備されている。KEKB 計画の終盤時期には、PF での蓄積電流平滑化のために、トップアップ入射を実現したが、KEKB リングに対しても、同時に電子や陽電子を入射し、やはり蓄積電流を一定にすることにより、電子・陽電子衝突の調整を飛躍的に向上させることができた。特に、KEKB 計画の終盤で用いられたクラブ空洞は衝突効率を向上させたが、蓄積電流が変化した場合の衝突条件の変化が顕著で、同時入射による貢献が大きかったと考えている。この PF リングと KEBK HER (電子リング) / LER (陽電子リング) の3リング同時入射によって蓄積電流を、PF について 0.01%、KEBK HER/LER について 0.05% まで安定化させることができた。

入射器では電子・陽電子ビームを最大 50Hz で生成することができるが、連続して生成するビームの特性を変更するためには、数分を要していた。これでは、PF や KEBK 実験からの要望に答えられないので、マイクロ波発生装置や電磁石など主要な装置が高速のパラメータ変更を受け付けられるよう、交換・改造を行った。また、50 Hz (20 ms) で確実に制御を行うために、イベント制御と呼んでいる同期制御機構を既存の制御機構に追加した。つまり、FPGA (Field programmable gate array) や SFP (Small form-factor pluggable) で構成された高速同期制御機構を、既存の EPICS 制御機構に追加し、それまで用いていたビーム運転の仕組みを継続的に利用することに成功した (図1)。

入射器を制御する主要なパラメータのうち 1 km の範囲に分散配置されたマイクロ波発生装置、電磁石などの約

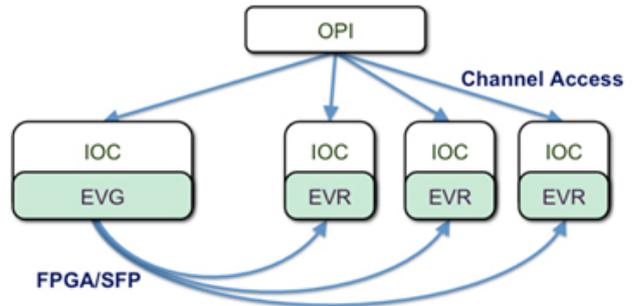


図1 I/O コントローラ (IOC) 間を FPGA/SFP で結ぶイベント制御機構 (下側) は高速同期制御を実現するとともに、チャンネルアクセスが繋ぐ既存の EPICS 加速器制御機構 (上側) と協調して、入射器を制御する。

150 のパラメータを 20 ms 毎にイベント制御機構の指示で変更し、ビームのエネルギーや電流値などを入れ替えることができる。例えば、PF 入射向けのイベントパラメータセット、KEBK HER 入射向けのイベントパラメータセット、等が独立に存在しており、20 ms 毎にそれらが切り替えられる。そうであっても、運転プログラムや運転員は一つのパラメータセットだけに着目して、以前と同様に操作を行うことができる。

入射順序の選択については、各蓄積リング加速器からの入射頻度の要求や運転員の判断などをプログラムが自動的に解決し、20 ms 毎の割り当てを行っている。その際には、機器によって持っている設定制限などを考慮している。例えば電源によっては、一定の繰り返し周期でしか動作しないものもあるので、全く自由な順番で入射できるわけではない。

以前は PF-AR の入射路がエネルギーの異なる KEBK HER の入射路と共用であったために、同時の PF-AR 入射を行うことができなかったが、現在建設中の PF-AR 直接入射路を用いれば、将来は同時入射 (トップアップ入射) を行うことが可能となると考えられる。これは、SuperKEKB 計画においては大変重要で、切り替えに数分を掛けて PF-AR 入射を行っていたのでは、10 分程度と言われている SuperKEKB HER/LER のビーム寿命では衝突を維持することができない。そのため、PF-AR も含めた将来の4リング同時入射は必須と考える必要がある。

上に述べたように独立に運転パラメータが用意できるので、一つの入射器をあたかも4つの仮想的な入射器として動作させることに相当する。このような運転の仕組みは仮想加速器とか PPM (Pulse-to-pulse modulation) などと呼ば

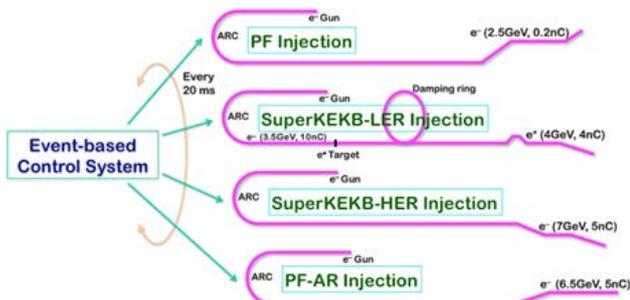


図2 一つの入射器がイベント制御機構を用いて4つの仮想的な入射器として機能する。

ることがあり、例えば、CERNの加速器群は1.2秒毎に電子・陽電子・陽子・反陽子・重イオンなどを切り替えて運転していたこともあった。しかし、KEKの入射器は

20 msでPPMを行うところが優れていると言える(図2)。

イベント制御機構は、運転パラメータを切り替えるための同期通信機構とともに約10 psの精度のタイミング同期機構も備えている。入射器の一部の機器は1 ps程度の精度の信号を必要とするが、ほとんどは100 ps程度の精度で充分なので、このタイミング同期の仕組みを用いて200点ほどのタイミング信号を生成している。つまり、イベント制御機構を用いれば、一本のファイバー接続によって高速同期制御と高精度タイミング伝送の双方を実現することができる。

SuperKEKBのLER入射にはダンピングリングが用いられるために、入射のタイミング合わせがKEKBに比べて格段に複雑になるが、この件については別の機会に説明したい。

## 光源の現状

加速器第七研究系研究主幹 小林 幸則

### 光源リングの運転状況

PFリングおよびPF-ARにおける2月の運転は概ね順調に経過し、2月21日9:00に停止した。2月は大雪による影響もあったが、両リングともにつくばキャンパスにおける瞬時電圧低下に起因するビームダンプが数回発生した。これらは、電圧低下のために電磁石電源やRFの高圧電源がダウンしたことによるビームダンプであったが、機器に対するダメージはなく、再立ち上げすることで運転が再開された。図1に、2月中旬の蓄積電流値の推移を示す。

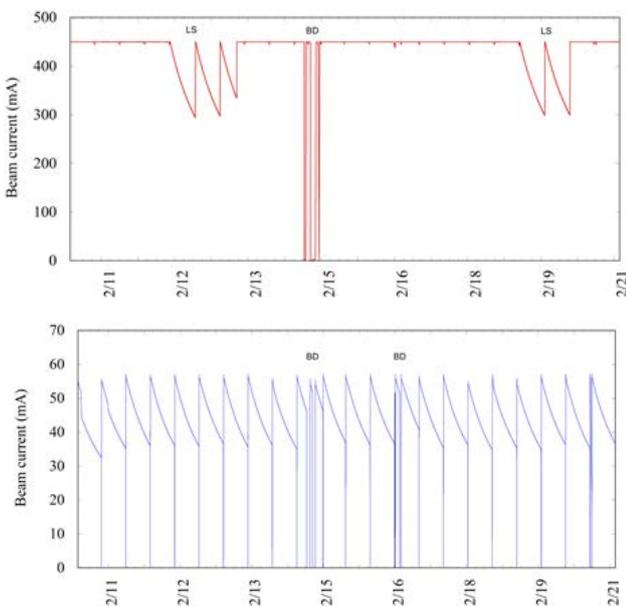


図1 図1: PFリングとPF-ARの蓄積電流値の推移。LSは入射器調整、BDはビームダンプを示している。

### 春の停止期間中の作業

PFリングでは、新年度の運転再開へ向けて、3~4月にかけてリング内の作業を行った。3月中にリング北直線部に設置されたBL-2用の2台目のアンジュレータ(U#02-2)の真空関連の作業や新型パルス六極電磁石の設置作業がほぼ終了した(図2)。また、昨年11月に発生した短周期アンジュレータSGU#17のニッケルメッキした銅フォイル損傷の修繕も3月中に行った。修繕はアンジュレータを通路側に引き出して行われ、作業終了後ただちに所定の位置に戻して、真空接続を行った(図3)。4月の立ち上げ時に、再びギャップ最小値4 mmまで閉じることができるとかの試験を行い、問題がなければギャップ値の制限(5.7 mm)を解除する予定である。

PF-ARでは、リングの真空を破るような大きな作業は無かったが、直接入射路に設置される偏向電磁石の冷却水配管作業などが行われた。



図2 PFリング北直線部に設置された可変偏光アンジュレータU#02-2(右)。下流に設置されているのが、既設アンジュレータU#02(左)。



図3  
短周期アンジュレータ SGU#17  
のニッケルメッキ銅フォイルの  
損傷(左図)を修繕した(右図)。

### PF リング立上げ時のトラブルとユーザー運転開始の延期

4月18日より25日まで改造後のPFリング立上げ運転を行った。その際2件ほど運転上のトラブルが発生し、PFリングのユーザー運転開始を当初の5月9日から16日へ1週間繰り下げていただく事態となった。

一件目はBL-14の超伝導ウィグラーで、立上げ前にHe槽内を4Kまで冷却して再液化機を起動したところ、冷凍機が液化可能温度に到達しないトラブルが発生した。原因は4K冷却ステージにあるジュールトムソン(JT)弁の詰りと推測された。液体Heの消費量が異常に多いため超伝導電磁石の励磁を中止した。一度昇温してJT弁のフラッシング措置を施した後再冷却を試みる方針とした。昇温と再冷却に約1か月半を要し、超伝導ウィグラーの励磁は六月中旬になる見込みである。

二件目はU#02-2の直上流に新規に設置したRFコンタクト付ゲートバルブの不具合である。立上げ5日目の光焼出し運転中に一度真空インターロックが働いたとき、当該のゲートバルブが正常に閉まらないことが分かった。その後ゲートバルブを開状態で固定し運転を継続しようと試みたが、RFコンタクトの不備が疑われるバルブ付近の圧力異常、蓄積寿命の顕著な低下が起こった。蓄積電流450mAの維持が困難な状況になったため、ゲートバルブを撤去しダミーダクトに交換することとした。ダミーダクト設置の真空作業を5月2日に実施し、9日リング再立上げの予定となった。ゲートバルブを取り外してみたところ、バルブが対向するフランジの開口寸法に手違いがあり、放射光がSUS製ダクトの内壁を照射して発熱し、ゲートバルブに熱歪が加わったことが故障原因と判明した。入熱量は最大で70W程度と見積もられ、ダミーダクト交換後は照射部を強制空冷して運転を継続する方針とした。今後は夏季休止期間に当該部に水冷アブゾーバを追加して発熱を解消する。

### PF-AR 直接入射路関連

昨年度、PF-AR 直接入射路トンネルの建設が概ね順調に行われてきた。ほとんどの工事区間が埋め戻しされ、トンネルも完成している(図4)。一方、新規の電磁石・電源や真空チャンバーなどの加速器装置の製作も順調に進んだ(図5)。今年度は、新設トンネルを含めた電気設備、



図4 上図は昨年11月頃のトンネル躯体を掘っている工事現場、  
下図はトンネルの塗装前の写真。



図5 新規に製作された4極電磁石(黄色)、垂直偏向電磁石(水色)とステアリング電磁石(緑色)。

冷却水配管、空調関係の工事や新規に製作された電磁石の磁場測定、真空チャンバー等の調整などを行う予定である。

### 平成25年度の運転統計

表1と2に、平成25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24年度に比べ、リングの運転時間はそれぞれ240時間、168時間の減少となった。さらに、ユーザー運転は、それぞれ302時間、264時間の減少となっている。この運転時間の減少は、電気代の上昇の影響が主な要因である。故障時間に関しては、それぞれ約13.5時間、70.8時間の増加となっている。PFリングに関しては、それほど故障時間が増加したわけではないが、PF-ARに関しては故障時間の増加が目立った。PF-ARの故障時間は、特に10~12月に集中し、ビーム入射の不調、加速中のビームロスによる再入射が多発し、それらが故障時間の要因となった。

表1 平成25年度PFリングの運転統計

	合計 (h) / 率 (%)
リング運転時間	4176.0 / 100.0
ユーザ運転時間	3451.4 / 82.6
リング調整・スタディ時間	672.0 / 16.1
故障時間	52.6 / 1.26

表2 平成25年度PF-ARの運転統計

	合計 (h) / 率 (%)
リング運転時間	3912.0 / 100.0
ユーザ運転時間	3378.4 / 86.4
リング調整・スタディ時間	434.0 / 11.1
故障時間	99.6 / 2.55

## 人の動き

加速器第7研究系の技術副主幹・前任技師の浅岡聖二さんが、3月31日を以って定年となりました。浅岡さんは、昭和61年8月に、高エネルギー物理学研究所技術部放射光光源課真空技術の文部技官として着任して以来、一貫して光源研究系・基幹チャンネルグループに所属され職務をこなしてこられました。フォトンファクトリー蓄積リング(PFリング)建設当時からビームライン基幹チャンネルの設置に関わるとともに、高輝度化改造や直線部増強では、10数本にわたる基幹チャンネル部の大幅改造や増強が短期間に集中して行われたため、大変な作業量でしたが、すべてのビームラインに順調に放射光を供給することに貢献しています。浅岡さんの職務は、実験側と加速器側との中間に位置する関係上、現場作業における調整にはかなりの苦勞があったと察せられます。技術副主幹となられてからは、研究系技術職員のまとめ役として活躍され、後進の指

導にも力を注いでこられると同時に、施設関係の仕事も率先して取り組み、特に冷却水温度の安定化に尽力されました。最近では、ERL開発棟で展開されたコンパクトERLの施設関係・遮蔽関係の作業において、先頭立って職務にあたられ、ビーム周回の成功に貢献しています。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。

4月1日付で浅岡さんの後任として、前任技師の多田野幹人さんが技術副主幹に任命されました。光源第4グループの業務をこなしながら、さらに技術職員のまとめ役としての役割を担って頂くことを期待しています。

宮島司さんが、准教授に昇任されました。宮島さんには、引き続き光源第6グループに所属し、コンパクトERL入射部のグループリーダーを担って頂くとともに、次世代放射光源ERLなどのビームダイナミクス研究において中核的な役割を担って頂くことを期待しています。また、名古屋大学から金秀光さんが、特別助教と採用されました。金さんには、光源第6グループに所属して頂き、コンパクトERLの入射部の開発・研究に取り組んで頂くことになりました。また、KEKの招聘研究員として加速器第7研究系に所属されていました、オリガ・コンスタンティノワさんが、博士研究員として採用されました。オリガさんには、引き続き光源第1グループに所属して頂き、ERLにおけるビームダイナミクスの研究を行って頂くことになっています。

さらに、5月1日付けではありますが、東京大学物性研究所から高木宏之さんが、加速器第7研究系の准教授として採用が決まっています。高木さんには、光源第1グループに所属して頂き、ビーム入射や入射路の開発研究において中核的な役割を担って頂けることを期待しています。

### 運転、共同利用関連

PF, PF-AR とともに、2013 年度の運転は予定通り 2 月 21 日（金）の朝で終了し、停止期間に入りました。通常よりも早めに運転を終了せざるを得ないスケジュールとなり、多くのユーザーの皆様にはご不便をお掛けしました。2014 年度の運転時間はさらに厳しくなる見通しで、これは、既に PF のホームページや、3 月に行われた PF シンポジウムでもお伝えしておりますが、放射光共同利用実験のための予算である、PF プロジェクト経費が 13% 以上の大幅な減額となったことに加え、電気代の高騰などが主な理由です。例年、4 月からユーザー運転を開始しておりますが、PF, PF-AR とともに今年度は 5 月の連休以降にユーザー運転を開始し、6 月 30 日の朝まで運転を行い、夏期のシャットダウン期間となる予定です。また、10 月以降の運転については、5 月以降に決定する予定ですが、電気使用量を精査して電気代の正確な見積を行った結果、当初予定よりも更に運転時間の削減を求められることとなったため、プロジェクト経費の一部、あるいは産業利用等のビームライン利用料など、電気代として充当できる予算の確保を行い、運転時間が少しでも延ばせるように調整を行っています。既にアナウンスさせていただいた通り、共同利用ユーザーの旅費に関しても削減を行い、運転経費に充てさせていただきました。この結果、一部のユーザーの皆様へはご負担をお願いする結果となりましたが、ご理解いただけますようお願いいたします。今後も運転時間の回復に向けては、ユーザーの皆様のご協力もいただきながら、最大限の取り組みを行ってまいります。

### BL 建設・工事関連

春のシャットダウン期間中には、BL-2 に低エネルギー領域をカバーする二台目のアンジュレータの設置が行われ、VUV・SX 領域の広い波長範囲の光源が完成しました。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 BL-2A では 30-2000 eV 程度、BL-2B では 30-4000 eV 程度の単色光を供給できるような高輝度ビームラインとして整備を進めています。既にビームライン側では新しい光学系の設置が行われ、昨年度より既存のアンジュレータ光を利用して光学調整等が行われていましたが、今年度から、設置位置に変更があった既存のアンジュレータに加えて、新たに設置された二台目のアンジュレータからの光を使った調整、立ち上げを開始します。また、BL-15 では、昨年度までに光源である短周期アンジュレータの設置、ビームラインコンポーネントの設置等が行われ、上流から順に何回かに分けて光導入試験を行ってきましたが、2 月の運転期間中に後段ミラーシステムが設置され、2 月 19 日に最終の光導入が行われ、BL-15A1, 15A2 の 2 つの実験ハッチまでの光導入が無事に完了いたしました。5 月の運転再開

以降、コミッショニングを開始し、秋以降の共同利用開始を予定しています。これら 2 つの大きなビームラインの改造・新設に加え、春のシャットダウン期間中には、いくつかのビームラインで改造が行われました。BL-6C では昨年の夏に行われた分光器の移動に加えて、これまでハッチ直上にあった集光ミラーの上流側への移設が行われました。この改造により、いままでよりも高エネルギーの利用が可能となり、18 keV 付近までの集光 X 線を使う環境が整いました。また、X 線小角散乱ビームラインである BL-10C では、現在のビームラインを一度解体し、新たな光学系と実験系により再構築を行いました。ハッチ内の実験定盤を他の小角ビームライン BL-6A, 15A2 同様の半自動カメラ長変更タイプに置き換え、最大カメラ長も 2 m から 3 m に拡張し、さらに検出器も、小角用として PILATUS3 2M、高角用として PILATUS3 200K の導入が行われました。5 月の運転開始後に調整を行い、ユーザー利用を再開する予定です。BL-11A では、主に、高エネルギー領域（1～2 keV）の増強とビームの安定化を目指して、光学系の大部分を更新する作業が進められました。こちらも 5 月から光学調整を行い、できる限り早期に共同利用実験を再開する予定です。

また、今年度は、BL-17A における微小集光化と検出器の高度化、BL-28, BL-13 における新たな挿入光源の設置などが予定されています。これらのビームラインにおける改造、高度化の予定や進捗状況については随時 PF のホームページやメールマガジンなどでお知らせを行います。

PF-AR への直接入射路建設のためのトンネル工事がほぼ完了しました。長らくご不便をおかけした、PF へのアクセス道路と KEKB 周回道路の通行止めは、5 月以降は解消されます。今後はトンネル内の作業が行われ、入射路の建設が開始されます。詳細はウェブページ「ビームラインの再編・統廃合について 12」([http://pfwww.kek.jp/whats\\_new/announce1403\\_beamline.html](http://pfwww.kek.jp/whats_new/announce1403_beamline.html)) にも掲載されています。

### 運転トラブル関連

既に PF のホームページでお知らせしておりますが、共同利用に影響するトラブルがいくつか相次ぎました。まず、BL-14 では光源である超伝導ウィグラーの He 再液化機の不調により、超伝導ウィグラーの運転が不可能となりました。現在、原因の究明と、早期の利用再開を目指して作業を行っています。また、4 月 22 日に U#02 上流部のゲートバルブの不具合が発生いたしました。詳細は光源からのお知らせにある通りですが、この不具合によりビーム寿命の著しい低下やビーム不安定性が生じ、定格の電流値をリング内に安定に蓄積できない状況が生じたため、やむなく 5 月 9 日から予定されていたユーザー運転の再開を延期することといたしました。いずれのトラブルも、既に配分

されていたビームタイムの変更やキャンセルを伴うこととなり、多くのユーザーの皆様にはご不便をおかけし、お詫び申し上げます。安定した運転とビームの供給ができるよう、今後も最善をつくしてまいります。

## シンポジウム

3月18日、19日に物構研サイエンスフェスタ2013が開催され、第31回PFシンポジウムも、前回に引き続きサイエンスフェスタ内での開催となりました。2日目にはPFユーザーと施設側の意見交換の時間を例年よりも多めにとり、多くのユーザーの皆様にご参加いただき、運転時間の削減や将来計画について意見交換が行われました。これらの問題は今後も引き続き取り組んでいく必要がありますが、ユーザーの皆様からも積極的な声をあげていただくようお願いいたします。

また、2013年12月17日に行われた第一回目に引き続き、第二回物構研特別シンポジウムが5月28日に開催されます。前回は大学共同利用の将来と物構研のあり方について各方面の先生方からご講演いただき、活発な議論が行われましたが、今回は主にユーザーの皆様からの視点でご意見をいただくことを予定しています。将来の大学共同利用、さらには物構研の在り方について議論する機会ですので、積極的な参加をお願いいたします。

## 人事関連

この春にもいくつかの人事異動がありました。電子物性分野、特に原子分子関連で活躍されている柳下明氏が3月末に定年退職されました。4月以降はシニアフェローとして、引き続きPFあるいはXFELを使った実験を展開される予定です。また、構造物性グループの助教として、X線回折、散乱実験ビームラインを担当した山崎裕一氏が退職され、2014年4月から東京大学工学部物理工学科の特任講師に着任されました。また、これまでシニアフェローと

してPFの運営にご協力いただいた、前澤秀樹氏、小出常晴氏、飯田厚夫氏、小林克己氏の4名が退職されました。また、3月16日付けで、宇佐美徳子氏が講師に昇任されました。濁川和幸氏は、4月1日付けで放射光科学第一研究系から加速器第七研究系へ異動されました。

次に新任の方々ですが、4月1日付けで、富田文菜氏がKEK・日本学術振興会特別研究員から、生命科学グループの助教として、一柳光平氏が東大新領域から、構造物性グループの特任准教授として、小林賢介氏が、KEK物構研研究員から構造物性グループの特任助教として、橋本亮氏が、山形大学理学部より先端検出器開発ワーキンググループの特任助教として、佐賀山基氏が、東京大学大学院新領域創成科学研究科から構造物性グループの准教授として、武市泰男氏が、KEKの博士研究員から物質化学グループの助教として、蓑原誠人氏がStanford大学から電子物性グループの特別助教として、それぞれ着任しました。富田氏は構造生物関連のビームラインスタッフとして、一柳氏は衝撃圧縮などを用いた時分割構造物性、小林氏は元素戦略電子材料領域における種々の電子材料物質の回折・散乱実験、橋本氏はSOIピクセル検出器の開発研究、佐賀山氏は構造物性ビームラインの担当及びマルチフェロイック系をはじめとする強相関電子系材料の構造物性研究、武市氏はBL-15AにおけるマイクロビームXAFSビームライン及びそれを用いた物質化学研究、蓑原氏は新BL-2における表面・界面の電子物性、強相関電子系薄膜の研究、などを行う予定です。また、KEKの博士研究員として、物質化学グループに高橋慧氏が千葉大学大学院融合科学研究科から、生命科学グループに永江峰幸氏が名古屋大学大学院工学研究科から、構造物性グループに本田孝志氏が大阪大学大学院基礎工学研究科から、それぞれ4月1日付けで着任されました。新しくPFのメンバーとなった皆さんの研究の発展を期待しています。

はじめに

2014 年度が始まりました。昔を振り返ってみますと、2010 年 4 月に鈴木機構長からの「本当に cERL は建設できるか？ 予算、マンパワーの観点から評価してほしい。」とのコメントに対して、「ERL 評価専門委員会」を開催しました（詳しくは [http://pfwww.kek.jp/ERLOffice/erl\\_hyouka/index.html](http://pfwww.kek.jp/ERLOffice/erl_hyouka/index.html) を参照して下さい）。その委員会で、「2012 年度末までに cERL の電子ビーム運転を開始する」というマイルストーンを表示した上で評価して頂きましたが、「十分なリソースを投入すれば可能であり、その意義はある。」との答申を頂きました。現実には途中で東日本大震災があり少し遅れましたが、2013 年度初めに電子銃から実ビーム運転（入射部調整運転）を開始し、夏から秋に周回部の建設を完了し、2013 年度末にエネルギー回収運転まで辿りつくことができました。一方、一昨年度末の学会会議へのマスタープランへの放射光コミュニティの要望は、ERL は直近の将来計画から、少し時間を置いた「回折限界放射光源の一つ」としての位置付けに変わってきています。そのような流動的な状況の中ですが、ERL 開発チームは、明日の先端放射光源の実現のために cERL の性能向上に向けて努力しています。

cERL の運転状況

今回から、この節のタイトルを、「cERL の建設状況」から「cERL の運転状況」と書き換えることができました。先ず一番最初に報告することは、無事にエネルギー回収運転にたどり着けたことです。原子力規制庁の指定登録機関である原子力安全技術センターの施設検査を 3 月 7 日に受け、3 月 12 日付で合格し、cERL は認知された運転加速器となりました（<http://imss.kek.jp/news/2014/topics/0312cERL/index.html>）。

前号で、昨年末の 12 月 16 日から 5 日間のマシンタイムで、ともかく減速ビームを確認できたことを紹介しました。その時の調整の様子を、長年、ERL の超伝導空洞開発リーダーである加速器第 3 系の古屋 貴章氏の立場から、ドキュメンタリーの形で「加速器「火入れ」の時」というタイトルで KEK ハイライトに取り上げられています。お時間のある時にご覧ください（<http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Highlights/20140416160000/>）。

さて、年を明けてからの調整は、1 月 27 日から開始しました。今度は一つ一つ細かい調整を確実に進めました。図 1 はエネルギー回収運転の様子を cERL の鳥瞰図の上に概念的に示した図です。まず、電子銃から出た 390 keV の電子ビームを入射部超伝導空洞で 2.9 MeV（図では青色で示す）まで加速します。そのビームを主加速部超伝導空洞で導き、この主加速部超伝導空洞で 20 MeV（図では赤色で

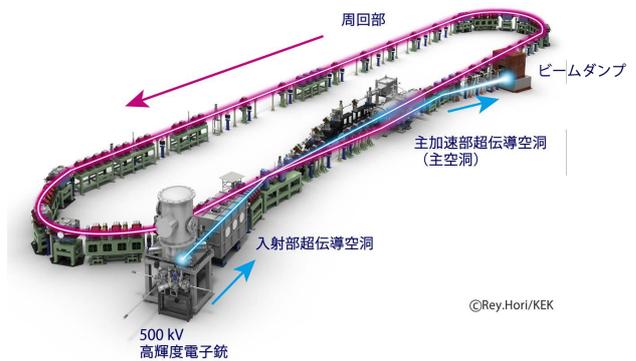


図 1 エネルギー回収運転の様子を cERL の鳥瞰図の上に概念的に示した。

示す）まで加速し、このビームを周回路に導き一周させて主加速部超伝導空洞にまで戻します。図でもわかりますように、周回路の主加速部超伝導空洞の手前のところでは、2.9 MeV の電子と 20 MeV の電子の両方が同じ真空ダクトを通過しています。しかしそれらのタイミングは異なります。2.9 MeV の電子は主加速部超伝導空洞の中に蓄えられている 1.3 GHz の高周波電場で加速されるタイミングで入射されてきますが、20 MeV の電子はその電場で減速されるタイミングで戻ってきます。その結果、20 MeV の電子ビームは減速され、元の 2.9 MeV の電子ビームエネルギーとなり、振り分け電磁石でビームダンプの方向に振り分けられます。

この概念図の運転を実現するに当たり、エネルギーの低い電子ビームを確実に再現性良くハンドリングするために、種々の電磁石（コールドカソードゲージの永久磁石を含む）の漏れ磁場対策を丹念に行う事、2つのエネルギーの異なる電子ビームをビームモニターの工夫で両者のビームを明確にとらえる事、そして、戻ってくる 20 MeV の電子ビームのタイミングを確実に周長補正によって、減速のタイミングを調整できる様にする事、等々のビームハンドリング技術の構築が重要です。そのような技術構築を一つ一つ確実にいき、2月上旬に周回ビームを主加速空洞で減速し、その減速ビームをほとんどビームロスなくビームダンプに導くところまで達成しました。次の段階として、電流増強があります。それまでの加速器調整運転はバーストモードと呼ばれる運転状態で行ってきましたが、本来の Continuous Wave (CW) モードでの調整運転を行い、20 MeV、4  $\mu$ A（現在の放射線申請は 35 MeV、10  $\mu$ A）に到達し、3 月 7 日の原子力規制庁の施設検査に辿りつきました。施設検査は午前中の書類検査から始まり、運転時の放射線測定は午後から開始され、夕方 4 時まで検査が行われましたが、検査後の講評で合格内定の評を即座に頂き、正式に 3 月 12 日に合格通知書を頂いた次第です。その後、放射線

申請の最大定格である 35 MeV, 10  $\mu$ A に近づける運転調整を進める予定でしたが、機構内の電気代が厳しい状況であることから、3月14日の夜に昨年度の運転を終了しました。その時点で 20 MeV, 6  $\mu$ A までの電流での運転を確認しています。

今年度は、連休明けから冷凍機の運転を再開し、5月末から6月末まで電流増強運転調整と JAEA との共同で開発しているレーザーコンプトンX線源ビームラインに向けたレーザーとの衝突点でのビームの絞り込みとそのハンドリングを可能とする調整運転を開始する予定です。このレーザーコンプトンX線源の開発研究は、昨年度から始まっている、光・量子融合連携研究開発プログラムの「小型加速器による小型高輝度X線源とイメージング基盤技術開発」(浦川順治 KEK 特別教授代表) に引き継がれていく予定です。また同じく光・量子融合連携研究開発プログラムの「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」(足立伸一 KEK 教授代表) によって、来年度から cERL を用いた THz ビームラインを利用した開発研究も進められる予定です。

ここまでの建設並びに調整においてご支援頂きましたユーザーの皆様、機構内の皆様に感謝いたします。そしてまた、今後ともご支援いただければ幸いです。

### ERL 計画の対内外の活動

cERL の調整運転が進むにしたがって、多くの方々の見学が続いています。3月4日に前述の「光・量子プログラム」のプログラム・ディレクター(家泰弘 東京大学物性研教授)、プログラム・オフィサー(井上信 京都大学名誉教授、森井幸生 茨城県 BL 産業利用コーディネーター)をはじめ、文科省のメンバーを含めた総勢7名の方々が cERL の建設・調整状況の視察を行われました。KEK では浦川順治代表、足立伸一代表、瀬戸秀紀代表の3課題が採択されていますが、その中の前者2課題が cERL を研究拠点の一つとしている研究開発課題であり、見学に来られた方々はその立ち上がり状況を注目していました。その時の写真は浦川代表の「小型加速器による小型高輝度X線源とイメージング基盤技術開発」の URL に紹介されていますのでご覧ください (<http://nkocebeam.kek.jp/topics/2013/20140304.html>)。

またその後、SuperKEKB の加速器 review 委員会で KEK に来所されていた Frank Zimmerman 氏 (CERN), Andrew Hutton 氏 (JLAB), Matt Poelker 氏 (JLAB), そして Bob Rimmer 氏 (JLAB) が興味深く cERL のハードウェアおよびコミッショニングの状況を視察され、4月14-16日には SLAC の LCLS-II の建設部隊のメンバー (Marc Ross 氏, John Schmerge 氏, Tor Raubenheimer 氏) の3名が cERL の加速器要素 (電子銃, 超伝導空洞, RF 源, そしてビームダイナミクス) に関して情報収集と意見交換に来所されました。3月14日の午後には LCLS-II 計画に関する加速器・物構研・先端加速器合同セミナーを行いました

たが、その事柄に対する関心の高さを反映して、3号館のセミナーホールがいっぱいになるほどの多くの方が集まりました。このように、世界中の加速器のメンバーが注目する試験加速器を、今、その運転を開始することができたことに大きな勇気を頂いています。

また少し遡りますが、2月中旬に KEK に滞在された Gennady Stupakov 氏 (SLAC) が、次世代の半導体微細加工 (EUV リソグラフィー) の光源に関して、大強度の 13.5 nm 波長の EUV 光源開発が重要な開発要素であることを示された上で、800 MeV 程度の加速エネルギーの ERL-FEL が、その光源目標を達成することができる可能性を紹介くださいました。そのような光源開発の必要性は、決して米国に特化した状況ではなく、ヨーロッパにおいても、また日本においても同様な状況であることが判ってきています。今後、EUV 光源の可能性も ERL 推進室として考えていく必要性を認識し始めているところです。

以上のような内外の状況の中、3月20日に ERL 計画推進委員会を行いました。アジェンダは以下の通りです。

13:30-13:50	cERL のコミッショニング現状報告 (島田美帆)
13:50-14:05	電子銃開発・運転状況 (羽島 良一)
14:05-14:20	超伝導空洞モジュールの運転と開発状況 (阪井 寛志)
14:20-14:35	デジタル LLRF 系を用いた高周波の安定化 (三浦 孝子)
14:35-14:50	LCS ビームラインの展望 (羽島 良一)
14:50-15:10	今後の推進に向けて (河田 洋)
15:10-15:30	総合討論

まず重要な報告は cERL が順調に運転を開始したことです。今回の推進委員会では、コミッショニングを現場で行った若手の加速器研究者を中心に開発現状の報告を行いました (図2)。まさに、今後の先端放射光源を実現していくのに十分な力量を持った中堅加速器研究者が育ってきたことを委員の皆様にも実感して頂けたと思います。その後、今後の推進に向けて、河田が「放射光コミュニティーの動向」と「EUV リソグラフィーの国内外の ERL-FEL への期待」を紹介しました。



図2 推進委員会で cERL の進捗状況を報告する島田氏。