

春の陽光が待ち遠しい今日この頃、皆様には卒論・修論・博士論文の仕上げや審査に多忙な日々を送られていることと存じます。KEKでは、鈴木厚人機構長の任期満了により、来年度から山内正則次期機構長（現素核研所長）のもと、新しい執行部体制で運営が始まります。物構研では、山田和芳所長が次期物構研所長として再任されました。2月13日の物構研運営会議では、山田所長より次の物構研執行部が提案され承認されました。副所長：村上洋一（再任）、瀬戸秀紀（再任）、放射光第一研究系主幹：宮宮健太、放射光第二研究系主幹：足立伸一（再任）、中性子科学研究系主幹：大友季哉（再任）、ミュオン科学研究系主幹：三宅康博、構造生物学研究センター長：千田俊哉（再任）、構造物性研究センター：門野良典。この施設だよりもこれまで11回書かせて頂きましたが、今回はこの任期中にずっと考えてきましたPF将来計画に関する考え方について、少し私見を述べさせて頂きたいと思えます。具体的なPF将来計画については、物構研運営会議のもとに設置されたPF将来計画検討委員会において、集中的に議論が行われている最中です。本委員会では今年度末に中間まとめを行い、来年度初めには物構研運営会議にそれを報告する予定です。なお、3月18日開催予定のPFシンポジウムでは、PF将来計画に関してPFユーザーの皆様と十分に議論させて頂く予定ですので、是非、ご出席をお願い致します。

### フォトンファクトリー将来計画の考え方

PFは1982年より32年間以上稼働を続け、大学共同利用を中心に重要な役割を果たしてきました。約10年前の2005年、物構研ではその運営会議のもとに「PF次期光源検討委員会」を設置し、PFの将来計画に関する検討を行いました。その検討結果を受け、KEK物構研ではEnergy Recovery Linac (ERL)をPF次期光源の候補と定め、そのR&Dをスタートしました。その後、KEKはPFおよびPF-ARでの共同利用実験を行いながら、ERLの実証機としてのコンパクトERL (cERL)を建設し、ERL実証実験を行っています。昨年のcERLによるエネルギー回収運転の成功により、ERL技術の基礎部分が確立したと同時に、幾つかの技術的課題も明らかになってきました。一方でこの数年の間に、放射光コミュニティからは3 GeVクラスの高輝度中型放射光源の実現を望む声が高まってきました。世界の放射光科学の動向、このクラスの第3世代放射光源が日本に存在しないこと、リング型放射光源性能の顕著な進歩などがその理由の一部であると思えます。日本放射光学会は、学術会議のマスタープランに対し「新しい時代の科学技術立国を支える放射光科学の高輝度光源計画」を提出し、3 GeVクラスのリング型高輝度光源の実現が急務であることを訴えました。また、PFのユーザーコミュニティであるPF-UAは「PFおよび日本の放射光科学の将来への提言」(PF-UA白書)をまとめられました。その中

では、新しい高輝度中型放射光源の建設とその効率的運営が提言されています。マスタープランとPF-UA白書の両方において述べられている事は、高輝度光源の建設・運営においては、オールジャパン体制で取り組むべきであるということです。他の放射光施設や関連大学と密接な連携を保ちながら、新しい共同利用体制を構築することが必須であるとも述べられています。

PFを取り巻くこのような環境の変化に対応して、PF将来計画も見直していく必要が出てきました。私は、PF将来計画の策定に際して、下記のような点を熟慮する必要があります。PF将来計画は、まず、サイエンスをベースに議論された放射光コミュニティの意向に沿ったものでなければなりません。日本全体の放射光科学の発展にとって最善の選択をする必要があります。一方、PFでは、年間約3400人のユーザー(そのうち大学院生が約1300人)が実験をして、年間700報を超える論文を生産しています。PFはこのようなアクティビティを継続・発展させる責務を担っています。しかしながら、将来計画は現在のアクティビティのみを重視する近視眼的なものであってはならず、長期間にわたって積分した成果が、最大となるように考える必要があると思えます。そのためには、将来計画はサイエンスの発展を見据えたものであると同時に、技術と建設・運営予算の両面から、あるスケジュールに沿って実現可能な計画であることが必要です。そして、その将来計画に関わる人々(光源を作る人:加速器の専門家、施設を運営する人:施設スタッフ、施設を使う人:放射光ユーザー、科学的成果を享受する人:国民)が、やり甲斐を持って仕事に取り組み、満足を得られるものでなければならぬと思えます。以上のような観点のバランスをうまく取ることが重要で、この中のどれかが著しく損なわれるような計画であってはうまく行かないと思えます。また、世の中の変化のスピードは加速度的に速くなっています。その中で我々はそんなに遠くまで見通すことはできないということを自覚し、将来計画は国内外の状況を踏まえて、常に見直しを行いながら進めることが重要であると考えています。

これらの点を考慮すると、PF将来計画の基本的な考え方は次のようになるかと思えます。短・中期計画においては、PFおよびPF-ARのアップグレードを続けながら安定な運転を行なう。一方、オールジャパン体制の基で、高輝度中型光源計画の実現に向かって全面的に協力する。長期計画においては、高輝度中型光源の先にある先端的放射光源の実現を目指して開発研究を継続する。これらの計画は常に見直しを行い、様々な状況の変化に対応できるように、出来る限りの準備を進めておく。

### 概要

2014 年度秋季においては、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順調に行われ、また、夏季において改造作業を進めた装置を用いて、SuperKEKB 向けのビームの試験運転も進展した。その中で 12 月には 2 件のヒヤリハット事案があり、改めて慎重な運用が喚起された。

当初、1~2 月には入射器の単独試験運転が予定されていたが、KEKB 運転予算の削減を受け、来年度に向けた準備作業に専念することとし、最低限のビーム開発を維持するための RF 電子銃周りの試験を実施することにしている。

### RF 電子銃の安定化

SuperKEKB 計画に向けた低エミッタンスで大強度の電子 (5 nC/bunch, 100 bunch/second, 20 mm-mrad,  $\Delta E$  0.1%) の入射のために、入射器においては高電流 RF 電子銃の開発を進めている。将来は、この電子銃を放射光施設の入射にも使用するかもしれない。RF 電子銃の構成要素のうち、QTWSC 型 RF 空洞と Ir5Ce 光陰極はほぼ開発を終えており、限定された条件では既に必要な電子ビームが得られている。これらの要求仕様は他の加速器施設と大きく異なる部分であり、大出力レーザーが必要とされるため、長期連続運転を目指して、今年度からその安定化に注力している。

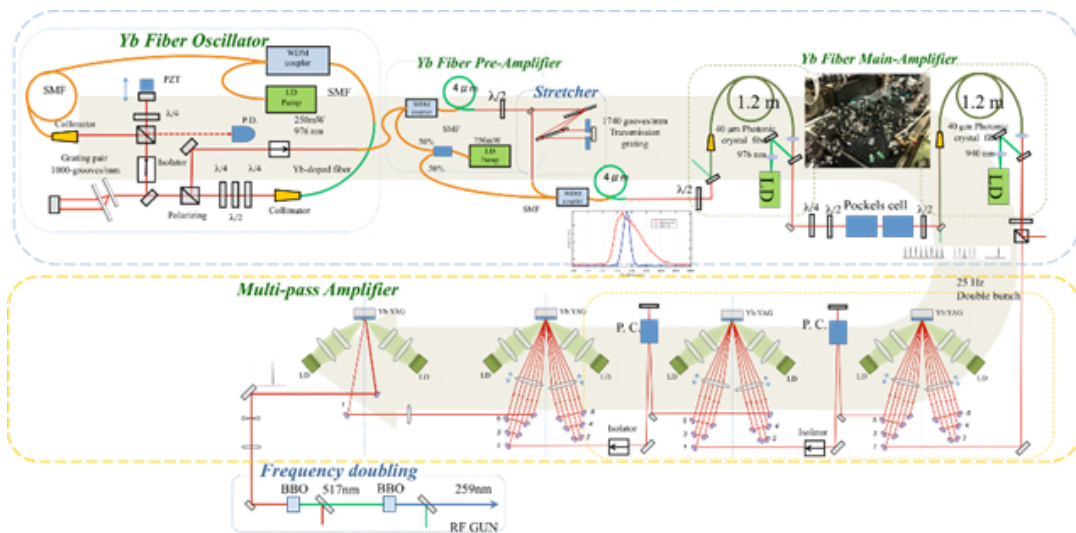


図 1 再生増幅器をマルチパス増幅器で置き換えた多段レーザー構成。

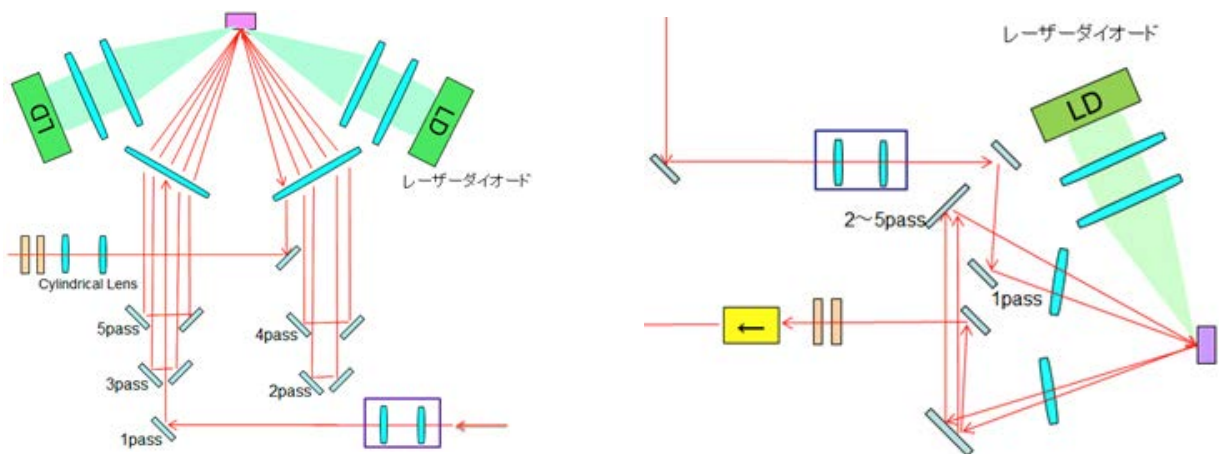


図 2 通常のマルチパス増幅器 (左) と新しいマルチパス増幅器 (右)。構成要素が少なくできる。

例えば、これまでの試験ビームは低繰り返しで平均発熱も低いため、ファイバー増幅器や再生増幅器などの既存の技術が利用できたが、徐々に発熱のレーザー出力や安定度へ与える影響が無視できなくなってきた。中程度のビーム繰り返しのために、増幅率の高い再生増幅器の代わりにマルチパス増幅器を用いて構成した多段レーザーシステムを使用した(図1)が、さらに改良を進めているところである。

また、多数の複雑な構成要素を持つレーザーシステムの長期の保守管理の検討も進めている。その一つの試みとして、12月には図2のように多数の鏡を用いたマルチパス増幅器を新しいマルチパス増幅器に移行させて成功している。図では新しいマルチパス増幅器がシンディスクで2回しか増幅していないが、実際には多数回の増幅を行っている。

### 陽電子標的遮蔽の設計

SuperKEKB 計画に向けては、陽電子のビーム増強も重要課題となっており、現在主要な装置が設置され、電力や冷却水の設備の整備に従って、徐々にビーム試験を進めている。大強度陽電子を得るためには、大強度一次電子をタングステン標的に衝突させるが、その周囲に十分な遮蔽を用意する必要がある。小電流のビーム試験とシミュレーションの結果から必要な遮蔽を推測し、さらに装置の保守作業を考慮した構成を検討した。特に標的周辺の機器は放射化が激しいので、故障時の装置取り出し作業を容易に行えるように遮蔽を設計することは重要である。現在図3のような遮蔽を2~3月に設置すべく作業を進めており、来年度の施設検査で評価を受ける予定である。

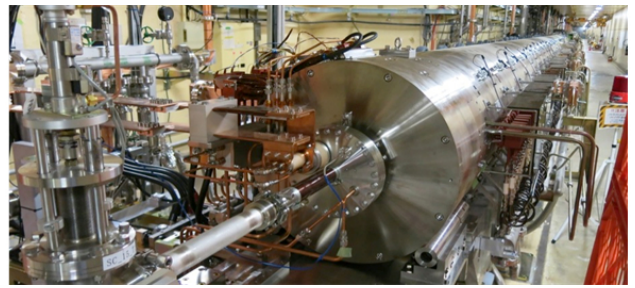


図3 現在の陽電子生成装置とそれを覆う遮蔽の設計。

光源リングの運転状況

PF リング, PF-AR の 11 月 10 日～12 月 10 日までの一ヶ月の蓄積電流値の推移を図 1 に示す。PF リングではこの期間にハイブリッドモードでの運転が行われた。ステアリング電磁石用小型電源の制御系に異常が起こっていたり(次節で解説), 真空系に多少の不具合が生じているものの, ユーザ運転を中断するようなビームダンプは少なく概ね順調な運転が行われた。PF-AR も, 今期は入射・加速も順調で, 比較的安定な運転が行われた。PF リングは, 12 月 26 日(金) 9:00, PF-AR は 12 月 15 日(月) 9:00 までユーザ運転が行われ停止となった。

PF リングのステアリング電磁石用小型電源トラブルについて

ユーザ運転には大きな支障は起こっていなかったものの, ごくまれに軌道が跳ねる現象がみられ, その原因がステアリング電源の制御系に異常が起きていることがわかっ

てきた。調査によると, 小型電源制御用 VME No.5 につながっている電源(19 インチラック No.7 と No.8) が異常出力を出し続けているという状態となっていることが判明した(図 2)。指令値は変化していないので, アナログ出力の問題であり, おそらく VME 電源がおかしいと推測された。しかしながら, VME サブラックでは,  $\pm 12V$  電源と  $+5V$  電源の 2 つを使用しているが, 電圧が下がっていないかどうかを確認しようにも, 電圧モニター用端子が無いように, 全スロットが埋まっている状態で確認できない状況であった。さらに, 電源の代替品を用意できても, 以下の理由により, 配線をやりなおすのはかなり手間がかかることがわかった。

- (1) 100V 配線がラックに固定され, 背面のプレーカに接続されている。
- (2) VME サブラックを手前に引き出すことは, 不可能ではないが手間がかかる。
- (3) 背面は小型電源の出力パネルが全面についていて,

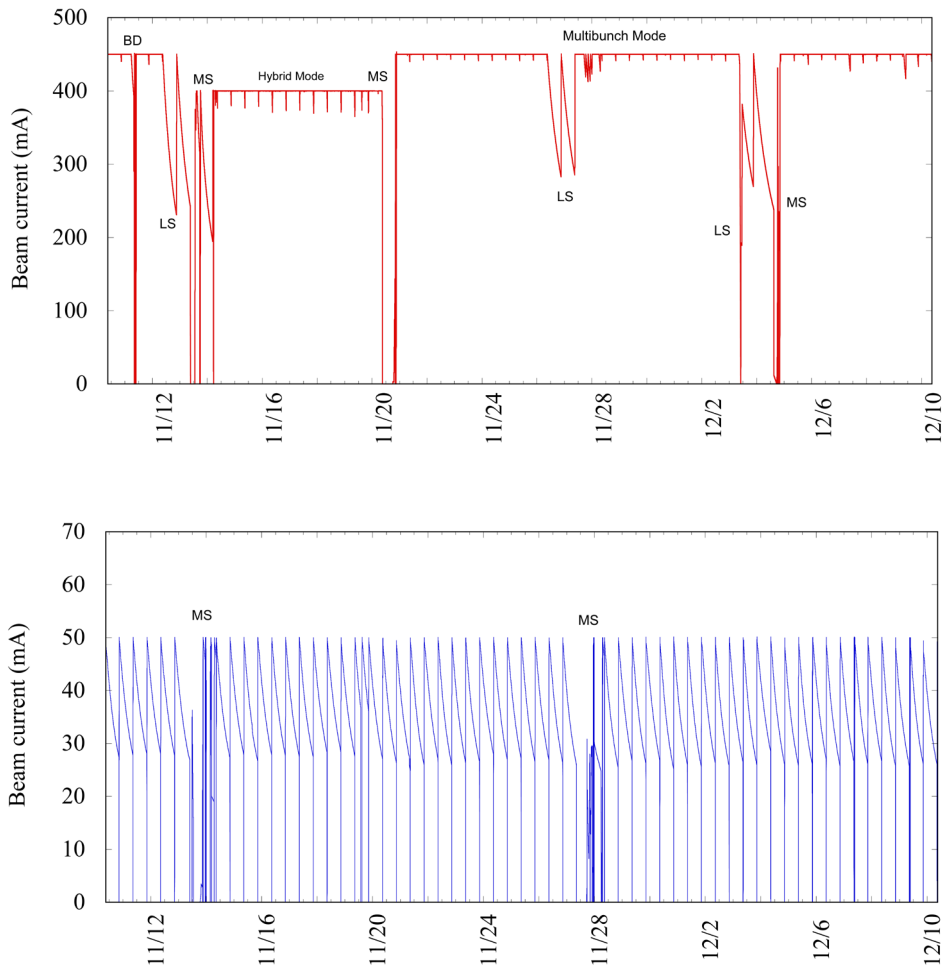


図 1 PF リングと PF-AR における蓄積電流値の推移を示す。LS は入射器調整, MS はリング調整, BD はビームダンプを示している。



図2 PFリングの小型電磁石電源とその制御系の一部。

手が入らない。

- (4) 両側にラックがあるので、横からのアクセスは無理な状態である。

そこで、当面の対策(可能性含む)として以下の策を講じた。

- (5) 予備の VME サブラックを用意した。現行品の予備は無いので、モニタグループのもの1台、KEKBの予備品1台を予約した。
  - (6) 電源の予備を購入した(5V30A, ±12V5A)。
  - (7) 1ラックあたりの負荷を減らす方法を検討した。
  - (8) 制御線を外してLocal制御(固定)した。
- また、中期～長期の対策としては以下のことを検討した。
- (9) いずれ他の VME 電源(残り10台)も交換するのは必須とした。
  - (10) 今の方式をあきらめて、Yokogawa PLC + Isolation Amp の構成で制御できるようにすることを念頭にして(電源20台分)、業者に見積もりを依頼した。

運転停止となる12月26日(金)9:00まで大きなトラブルにならないことを期待しつつ、起きた場合は、運転を一時停止して当面の対策をとる準備を施した。

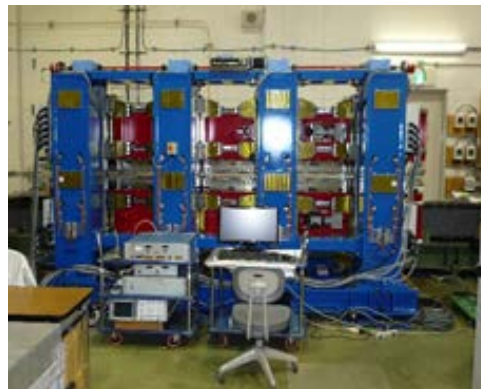


図3 磁場調整を終了した搬入待機中の U#13(上:APPLE-II型可変偏光アンジュレータ)と U#28(下:六列型可変偏光アンジュレータ)。

### 停止期間中の作業

運転停止後再開までの主な作業は、2台のアンジュレータ U#13 と U#28(図3)を PF リングに設置することである。それぞれの磁場調整は終了し、本体は搬入を待っているところである。リング設置場所周辺の電磁石や真空系の作業が整った後の、2月2日～13日の期間に搬入設置を行う。スケジュール表を図4に示す。来年度リングが再開されると同時に、ビームを用いた調整が開始される予定である。

### U#13, U#28の磁場調整とリング設置スケジュール



図4 U#13 と U#28 の磁場調整と PF リングへの搬入・設置スケジュール。

### PF および PF-AR の運転状況とスケジュール

PF および PF-AR の 2014 年度第 2 期(9～12 月)の運転は、予定通り PF は 12 月 26 日(金)に、PF-AR は 12 月 15 日(月)に終了しました。年が明けて 2015 年となりましたが、以前からお伝えしております通り、今年度は光熱水料の制約のため、第 3 期(1～3 月)のユーザー運転は実施いたしません。年間のユーザー運転時間は、PF では 2328 時間、PF-AR では 1992 時間となりました。このユーザー運転時間数は通常運転としては過去最短であり、ユーザーの皆様には大変ご迷惑をおかけしていることをお詫びいたします。このような状況を少しでも改善すべく、今年度はユーザーの皆様との協力を得ながら運転時間確保に向けた取り組みを進めて参りました。その結果、平成 27 年度予算の内示を受けて、来年度は PF、PF-AR ともユーザー運転時間で 3000 時間程度を確保できる見込みとなり、現在、平成 27 年度の詳細な運転スケジュールの調整を進めているところです。これもひとえにユーザーの皆様からの強力なサポートのおかげと、深く感謝しております。今後とも引き続きユーザー運転時間の確保に向けて、ご支援を賜りますよう、よろしくお願いいたします。

### ノーベル物理学賞と PF

ご存知の通り、昨年 10 月 7 日、スウェーデン王立科学アカデミーによるノーベル物理学賞が発表され、青色発光ダイオード(青色 LED)を開発された赤崎勇先生、天野浩先生、中村修二先生の受賞が決まりました。PF においても、名古屋大学の竹田美和先生(現：(公財)科学技術交流財団あいちシンクロトン光センター)、田淵雅夫先生のグループにより、赤崎先生、天野先生の研究室で作製された窒化物半導体試料の構造研究が行われました。窒化ガリウム半導体材料の特性向上には、原子レベルでの結晶成長の制御が必要であり、物質を原子レベルで観察できる放射光は、半導体開発には欠かせないツールでした。研究グループでは、X 線 CTR 散乱法や蛍光 EXAFS 法などを複合的に用いて、窒化物半導体の特性発現のメカニズムに関する論文を出版され、そのうち 6 報が PF 論文データベースに登録されています。このように PF がノーベル賞に関連する研究成果の創出に寄与してきたことを大変喜ばしく思います。詳しくは以下のトピックス記事をご覧ください(<http://imss.kek.jp/news/2014/topics/1008nobelprize/>)。

前述の PF 運転時間の確保に向けた取り組みとも深く関連しますが、PF 発の研究成果を分かりやすく一般社会に向けて発信することは、今後とも極めて重要であると考えています。ユーザーの皆様には、今後も最新の研究成果についてぜひ積極的にご連絡いただきますようお願いいたします。

### PF 一般安全について

PF では年度最初の実験の前に一般安全の講習ビデオをご覧いただいておりますが、昨年度より放射線安全に関するビデオ講習が追加されたことにより、ビデオの視聴時間が総体として長くなっておりました。そこで、昨年 10 月より安全講習に関する方式を変更し、一般安全講習ビデオについては、e-ラーニング形式でオンライン受講が可能な形に変更いたしました。具体的には、講習を「PF 一般安全講習」と「放射線安全講習」に分離し、「PF 一般安全講習」はオンラインでビデオを視聴したのち、受講確認のための試験を行い「合格証」を発行しています。「PF 一般安全講習」をオンラインで事前に受けていただければ、「放射線安全講習」だけを PF に来所後に視聴していただくことになり、PF での講習時間が短くなります。安全講習を e-ラーニング形式にするのは初めての試みということもあり、ビームタイム利用記録等を通じて、ユーザーの皆様からいくつかの問題点をご指摘いただいております。例えば、すでに KEK にユーザー登録されているユーザーの方にはメールにてご連絡をしておりましたが、昨年 10 月以降に初めてユーザー登録された方には周知メールが届いていなかったため、オンラインではなく、PF 現地に一般安全講習ビデオをご覧いただくという事例が生まれました。また講習ビデオの試験問題の内容についても、改善を求めると意見をいただいております。今後、関係者で改善に向けて引き続き検討を行って参ります。来所に必要な手続きの変更点は PF のホームページでも告知しておりますので、来年度の一般安全ビデオ講習の受講に当たっては、ぜひ事前にオンラインで受講していただくようお願いいたします。

### ビームラインの立ち上げ状況と作業予定

上述の通り、現在 PF および PF-AR は停止期間に入っています。1～3 月期の比較的大きな工事としては、BL-17A のアップグレード工事が進行中です。この休止期間中に、X 線ビームの更なる微小集光化と回折計の改造、ピクセルアレイ型検出器の導入を行います。幅広い波長領域で 10  $\mu\text{m}$  角程度の微小集光ビームを用いた実験が行えるほか、結晶化プレートを含めた非凍結試料からの回折データセット収集などが行えるよう整備し、2015 年 5 月には共同利用実験を再開する予定です。また光源関係では、新規挿入光源 ID#13 と ID#28 のインストールが進行中です。立ち上げ中のビームラインの情報については、適宜 PF のホームページのビームラインの再編・統廃合欄に掲載しておりますので、ご確認ください([http://pfwww.kek.jp/whats\\_new/announce1408\\_beamline.html](http://pfwww.kek.jp/whats_new/announce1408_beamline.html))。

### 人事関係

最後に人事異動についてご報告します。PF で長年に

わたり活躍された張小威さんが、2014年12月31日付でKEKを退職され、中国・北京にある中国科学院高能物理研究所 Institute of High Energy Physics (IHEP) の上級スタッフとして異動されました。張さんは、1989年に高エネルギー物理学研究所放射光施設(当時)に着任後、世界初の真空封止型X線アンジュレータを光源とするビームラインNE3の担当者として、実験ステーションの設計、建設

と立ち上げを担当され、放射光による核共鳴散乱測定法の開発、精密X線光学素子の開発、X線結晶密度法によるアボガドロ定数の精密測定など多くの研究成果を挙げられました。IHEPでは北京郊外に建設予定の次期高輝度放射光源のビームライン設計・建設に参画される予定とお聞きしています。今後の更なるご活躍をお祈りいたします。

## ERL 計画推進室報告

ERL 計画推進室長 河田 洋

### はじめに

2015年が始まり、昨年の秋から準備を進めてきた日本原子力研究開発機構(JAEA)との共同開発で進めているレーザーコンプトン散乱X線ビームラインも順調に建設が進行しました。今年度末までに、そのX線の取り出しを目指して、現場のメンバーは頑張っています。もちろん、このプロジェクトの背景には、数10ミクロンの電子ビームサイズのcERLの安定運転と、レーザー共振器による大強度かつ数10ミクロンのレーザー光との衝突を調整する技術力が必要とされます。この事は決して容易ではありませんが、その技術力は将来の先端光源に繋がるものと理解しています。

手前味噌ですがこの正月になって嬉しいニュースが入ってきました。それは、高エネルギー加速器科学研究奨励会から、コンパクトERL加速器建設チームに「エネルギー回収型リニアック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実証」という内容に対して、諏訪賞に選ばれた旨の連絡です。詳細は以下のURLを参照してください。<http://www.heas.jp/award/h26zyusyou.html>

2006年に次期放射光源としてERL実現を目指してERL計画推進室が発足し、当面その試験加速器であるコンパクトERLの建設と実証運転を目指して内外の研究者が集まって作業を行ってきましたが、一つの区切りの評価を頂いたことに素直に感謝すると同時に、今までご支援いただいたユーザーの皆様に深く感謝いたします。今後、電流増強を含めて着実な性能向上を目指すとともに、先端放射光源実現に向けて、チームとして努力いたしますので、今後ともご支援いただければと思っています。

### cERLでの進捗状況

この3か月間で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線の発生に向けての整備が、目に見える形で進んできました。図1は、加速器室外に設置される大強度CWレーザーを設置するレーザーハットの建設の様子で、昨年11月に撮影したものです。このハットの整備の後、本体の大強度レーザーシステムはJAEAの関西研究所



図1 加速器室外に設置される大強度CWレーザーを設置するレーザーハットの建設の様子。



図2 恒温壁が建設された加速器室内の様子(11月)。

で試験を終えて、12月にハット内に設置・調整そして安全検査が終了するまでに至っています。一方、図2は加速器室内の11月の様子で、レーザー衝突部の温度管理をより精密に行うために恒温壁が建設されました。その後、この衝突点に4枚の光学ミラーを組み合わせたレーザー光蓄積装置が導入され、ビームラインとのつなぎ込みが終了し



図3 放射線シールド内のビームシャッターを含むビームラインの様子。



図4 建設されたレーザーコンプトン散乱実験ステーション。

で電子ビームを待っている状況になっています。12月には、加速器シールド室からレーザーコンプトン散乱X線を取り出し測定するためのビームラインと実験室の設置、そしてそれらのインターロックシステムの構築が行われました。図3はシールド内のビームライン、図4はシールド外の実験ステーションの現状です。

一方、cERLの加速器自身は、大幅なハードウェアの変更はありませんが、前回の加速器の放射線申請の上限の電流値を一桁上げた100  $\mu$  アンペアに放射線変更申請を行い、1月からの調整運転を待っている状況です。1月下旬から加速器調整運転を開始し、2月中旬には原子力規制庁による施設検査を受ける段取りで前回よりも一桁高い電流値での運転を目指しています。施設検査合格後は、今年度末まで、レーザーコンプトン散乱X線の発生（電子ビームとレーザービームの衝突調整）に向けて関係者が一丸となって全力で取り組んでいます。

#### ERL 技術開発の整理

昨年度末にcERLにおいてエネルギー回収運転にたどり着き、その後、運転の質の向上を務めてきました。今後、次のステップに向かおうとしている現段階で、これまでの立ち上げ～ビーム運転を振り返って以下の項目を整理するためのcERLミニワークショップを12月19日と1月19日の二日に亘って開催しました（[http://pfwww.kek.jp/PEARL/cERL\\_miniWorkshop/](http://pfwww.kek.jp/PEARL/cERL_miniWorkshop/)）。

- これまでの進捗状況
- cERLの運転を通して、何が達成できたのか？
- 今後の残された課題は？
- その課題を克服するための見通しは？

各グループからのプレゼン資料を見て頂くと、cERLの状況と達成された項目および今後の課題が良く理解できると思います。上記のURLにはプログラムだけではなく、プレゼン資料を含めて掲載していますのでご興味のある方は是非ご覧ください。