

## 入射器の現状

加速器第五研究系研究主幹 古川 和朗

### 概要

2015年4月には、PF Ring 放射光施設への電子入射運転や低速陽電子施設の調整運転が行われた。上流部においては、新規開発のRF電子銃の補完として、陽電子発生用一次電子に使用する熱電子銃の再配置作業を進め、放射線施設検査にも合格した。

### 電子入射器とアライメント

入射器の SuperKEKB に向けた改造においては、電子・陽電子の4倍強の電流増強と横方向と縦方向のビーム拡がりの縮小(エミッタンス 20 mm-mrad とエネルギー拡がり 0.1%)が重要な目標となっている。それぞれの間には強い関係があり、さらにビーム・シミュレーションによれば、入射器全体のアライメント精度が 0.3 mm で、10 m 程度の短い区間での精度 0.1 mm が達成されていると、目標の横方向エミッタンスの達成が可能であることがわかってきた。

アライメントを実現するためには、まず精密な測定が必要となるが、SuperKEKB 向けの改造を始めた頃は、その達成方法に困難が見つかり、さらに震災により床の固定が破壊され、10 mm も機器が移動してしまった。実際、測定精度を上げるために良く使用される三角測量は、狭いトンネルの中で長い直線方向には精度が上がらない。当初は、複数の方法の測定で数 mm の食い違いが観測されることもあったが、多数の試験測定結果を比較検討することによりアライメントの方針を議論し、まずは、30 mm ほどの太さのレーザー光を 500 m の真空ダクト中に通して入射器全体の測定を行い、狭い範囲についてはレーザートラッカーによる三角測量を行うことにした。また、精密変位計、水

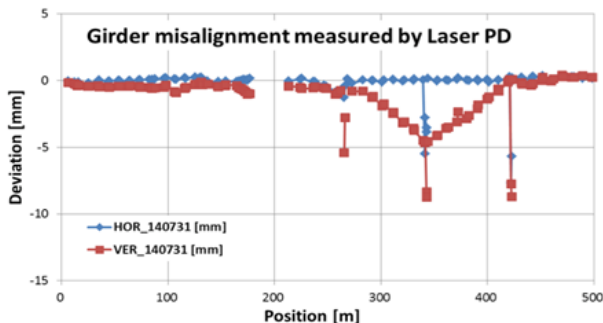


図1 Cセクタから5セクタの約500m区間の2014年夏季作業でのアライメント測定。震災後初めての全体にわたる作業。横軸は検出器の番号で、ほぼ上流からの距離に相当。縦軸は信号電圧で、横方向の位置のずれに相当するが、検出器0番、120番付近で0.5 mm/V、60番付近で0.25 mm/V程度。青点が水平方向、赤点が垂直方向の情報。

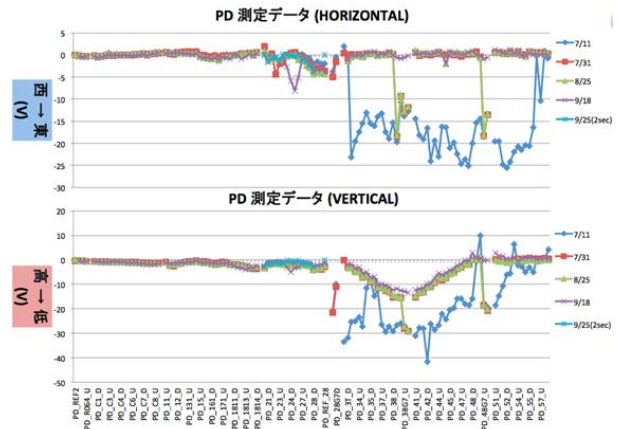


図2 前の図と同じ調整・測定を7月上旬から9月下旬まで複数回行った結果。

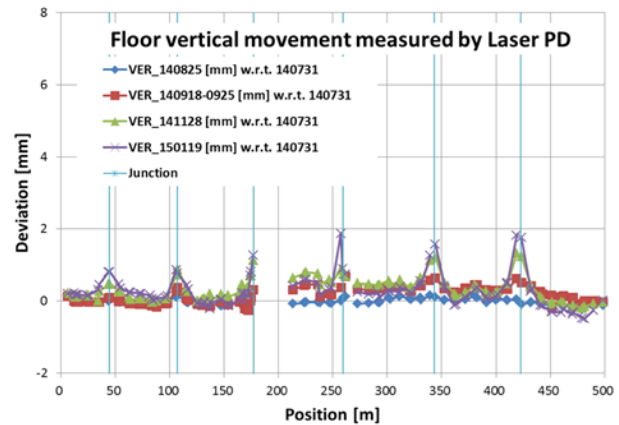


図3 2014年7月から2015年1月までの半年間、複数回行った垂直方向相対変位測定。

管傾斜計、剛体棒による方法も補助的に組み合わせて、精度の確認に使用している。

2014年夏には図1に示すような500mにわたる測定により、震災後初めて入射器全体にわたるアライメントが行われた。さらに、測定・調整を夏季停止期間に複数回行った結果を図2に示す。仕様の倍程度の0.2 mmまでの直線性が得られる見通しは立ったと考えている。

さらに、2015年冬に一部の架台について震災復旧の最後の交換が行なわれ、アライメント作業とその検証が行われた。その結果、短期間であれば目標とするアライメントが達成できる可能性が高まってきており、当面のビーム特性が得られる自信は深めている。しかし、図3のように半年では2 mm近い機器の移動も観測されており、予想され

ていたことではあるが、数年後に達成すべき大電流・低エミッタンスビームを得るためには、ビームを使った軌道補正を中心にエミッタンスの管理を行う必要がある。また、遠隔・自動のアライメント測定・調整機構の導入が必要と考えられ、設計開発を進めているところである。

### 熱電子銃の再コミッショニングと施設検査

SuperKEKB 計画に向けた低エミッタンスで大強度の電子の発生のためには、RF 電子銃を使用する予定であるが、前回報告したように、陽電子発生のための一次電子としては、熱電子銃の利用も視野に入れており、RF 電子銃の後方に温存されていた熱電子銃を 75 cm 上方に移動させ、双方のビームを偏向電磁石で合流させることにした。電子銃



図4 (a) 地上ギャラリーでの2つのサブハーモニックバンチャ用と大電力Sバンド用のマイクロ波源の再配置。(b) 地下トンネルでの加速機器の一時撤去と架台の修復・構築。(c) RF電子銃用ビームラインの再構築と熱電子銃ビームライン用の支柱の構築。(d) 新規架台を設置し、75 cm 引き上げた熱電子銃。遮蔽は未設置。(e) 200 kV 高電圧ステーションのある電子銃室から見た熱電子銃。手前は長基線アライメントレーザ。(f) 構築の進む RF 電子銃と熱電子銃の2つのビームラインの合流部。電磁石は再利用。



図5 電子銃部再配置作業終盤、ビームラインの上段が上方に移動した熱電子銃、下段がRF電子銃。

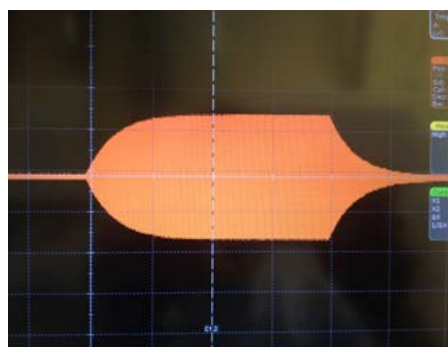


図6 マルチバクタリングの発生を乗り越え、正常なマイクロ波波形を得たサブハーモニックバンチャ空洞。

の再配置により、大電流電子や PF・PF-AR 用電子は熱電子銃で発生させるなど、双方を有効に利用できる可能性が広がる。新規架台・支柱を制作し、電磁石や加速管・空洞は再利用して6月初めに作業を終えることができた(図4, 5)。

熱電子銃は5年間休止状態であったので、以前の加速電圧に回復するまで放電等も予想されたが、立ち上げコンディショニングを行うソフトウェアを用意して、準備を整えていたところ、期待どおりの時間で立ち上げることができた(図6)。

低電流ビームを用いて、それぞれの加速機器の動作確認やイベント・タイミング制御システムの調整、そして、ストリップライン・ビーム位置モニタ、横方向ビーム形状測定用のワイヤスキャナ、縦方向ビーム測定用ストリークカメラなどの較正を進めた。これらの結果を用いて、ビーム電流を徐々に上げながら、ビームバンチング用の4つの加速空洞の調整を繰り返したところ、徐々に期待されるビームが得られるようになってきた。また並行して、今後の電流増強時の放射線遮蔽の設計に必要な放射線の測定も繰り返された(図7)。

まだ下流部のビーム調整は充分ではないが、600 m の入射器の終端まで、バンチ当たり約 2 nC の電子ビームが導かれている(図8)。この場合には、電子ビームは #15 ユニットにある陽電子生成装置の標的脇の 2 mm の孔を通して加速される。まだ全ての加速機器が揃っていないが、エネルギーは 7 GeV を超えている。



図7 さまざまなビーム条件で放射線測定が繰り返された。

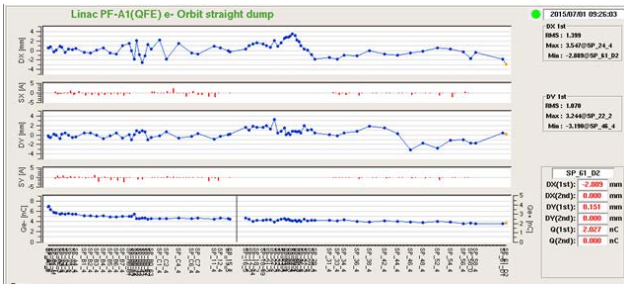


図8 入射器の終端まで導かれた電子ビーム。プロットは上段からビームの水平位置，垂直位置，及び電荷で，横軸は電子銃からの距離。まだビーム調整が充分ではない。

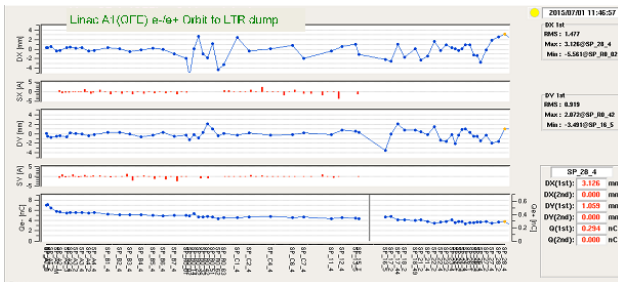


図9 入射器のLTR ダンプまで導かれた陽電子ビーム。電荷プロットの縦軸は標的前の電子と標的後の陽電子で変えてある。

さらに、電子ビームを陽電子生成装置の標的に一次電子を導くと、陽電子が生成され、ダンピングリング接続部のLTRのビームダンプに導かれた(図9)。今期は、陽電子捕獲効率を向上させるためのフラックス・コンセントレータの電源を接続していないので、陽電子変換効率は高くない。また、ソレノイド他のパラメータの調整もまだ充分ではない。

これらのビームを用いて、放射線管理について、6月23日に機構内主任者検査、7月1日には施設検査を受け、合格通知を受け取った。これによって、陽電子標的上200 nAの電子ビーム、LTRダンプには50 nAの陽電子ビームを導く許可を取得した。放射線科学センターのみなさまには、特に陽電子標的の遮蔽の最適化に多大な時間を割いていただき、感謝を表したい。

### 昨年度の入射器運転統計

2014年度の運転統計によると、総運転時間は3448時間で前年度比-35%であったが、この減少については予算の配分によるものであった。故障率は0.90%で前年度比+0.47ポイントであった。故障率が上昇していることについては注視しているが、SuperKEKBの試験運転が本格化していることが原因と考えられ、過去と比較して良好な値である。この値は入射器自体の故障を表しており、PF・PF-AR入射に使用していない機器の故障や予備装置を使用した時間も含まれているため、全てが実際の入射へ影響したわけではない。近年の運転統計は表1のとおりである。

表1 近年の入射器の運転統計

	運転時間	運転達成時間	延故障時間		延故障回数		平均故障間隔時間 (MTBF)		平均故障時間 (MTTR)		故障率
	x (時間)	y (時間)	x-y (時間)		z		x/z (分)		(x-y)/z(分)		故障/x (%)
			故障	RF Trip	故障	RF Trip	故障	RF Trip	故障	RF Trip	
1999年度	7,297	6,499	537	261	1,888	69,994	232	6	17	0.22	7.36
2000年度	7,203	6,577	466	160	2,401	39,380	180	11	12	0.24	6.47
2001年度	7,239	6,839	310	90	1,304	21,420	333	20	14	0.25	4.28
2002年度	7,086	6,813	205	68	1,424	17,372	299	24	9	0.23	2.89
2003年度	6,815	6,500	253	62	2,259	17,462	181	23	7	0.21	3.71
2004年度	7,117	6,936	129	52	2,323	12,956	184	33	3	0.24	1.81
2005年度	6,988	6,846	86	56	1,752	12,467	239	34	3	0.27	1.23
2006年度	6,927	6,777	95	55	1,665	13,064	250	32	3	0.25	1.37
2007年度	6,322	6,148	120	54	1,914	12,684	198	30	4	0.26	1.90
2008年度	6,556	6,390	117	49	1,536	11,228	256	35	5	0.26	1.78
2009年度	6,362	6,193	108	61	1,316	13,443	290	28	5	0.27	1.70
2010年度	5,847	5,721	89	37	1,027	8,079	342	43	5	0.27	1.52
2011年度	5,492	5,301	58	133	766	38,258	430	9	5	0.21	1.06
2012年度	5,331	5,191	69	71	859	14,893	372	21	5	0.29	1.29
2013年度	5,315	5,172	23	120	1,127	22,135	283	14	1	0.33	0.43
2014年度	3,448	3,235	31	182	1,243	30,583	166	7	1	0.36	0.90

光源リング運転状況

PFリングは、4月23日11:42に発生したセプタム(S2)チャンバーの冷却水配管からの水漏れ(詳細は前号を参照)を液体シール剤で止める対処を施して、連休明けの立ち上げに備えた。5月7日の立ち上げは順調に進みビーム寿命もほぼ回復して、翌日予定通りユーザ運転が再開された。5月の運転は、4極電磁石電源故障によるビームダンプ、つくば市震度4の地震によるビームダンプがあったものの概ね順調に運転が行われた。5月29日9:00～6月4日9:00までは、ハイブリッドモードでの運転が行われた。昨年度までは、マルチバンチ350 mA + シングルバンチ50 mA = 400 mAで運転されていたが、今期はマシン調整の結果、マルチバンチ400 mA + シングルバンチ50 mA = 450 mAの運転が可能になった。PF-ARは、5月11日9:00に立ち上げを行った。立ち上げ時は、ビームの入射、3 GeVから6.5 GeVへの加速に苦心したものの、地道なマシン調整を行った結果、50 mAまでスムーズに蓄積ができ、さらにほぼロスなく加速できるパラメータを見つけ、概ね順調にユーザ運転が開始された。

PFリング、PF-AR両リングともに前期の運転は概ね順調に行われ、6月30日9:00に予定通り前期の運転は終了した。図1に、両リングにおける6月4日～6月30日ま

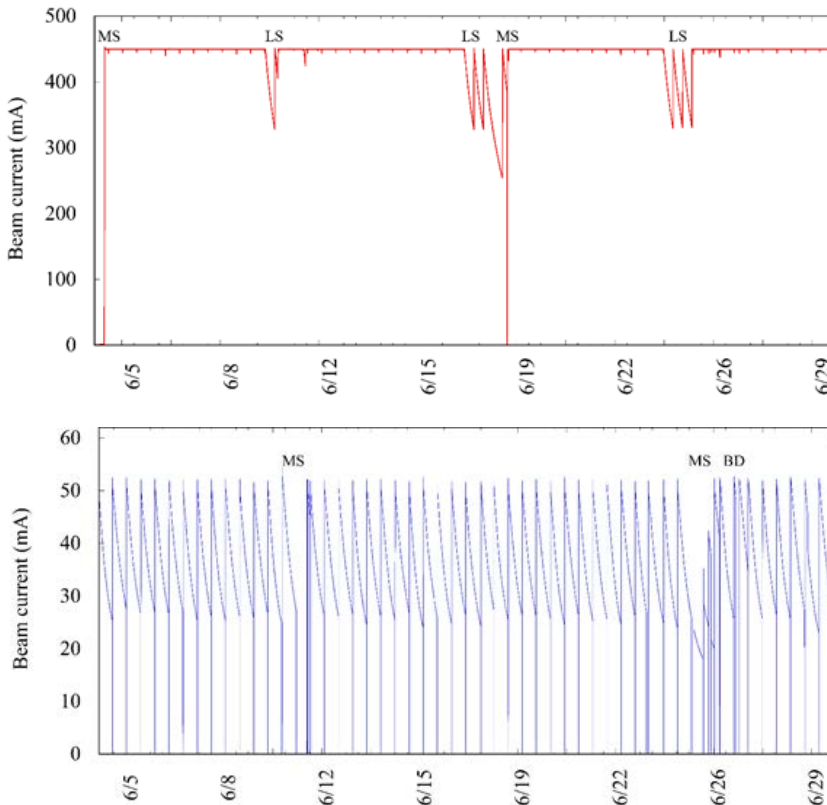


図1 PFリングとPF-ARにおける蓄積電流値の推移を示す。LSは入射器調整、MSはリング調整、BDはビームダンプを示している。

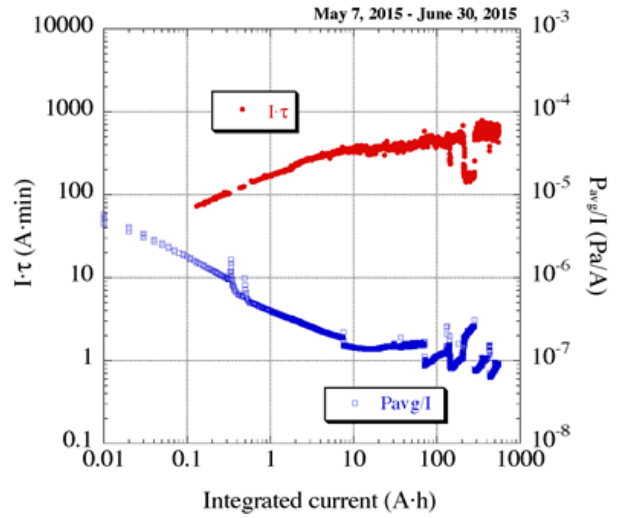


図2 リークトラブル後から前期運転終了までの光焼出し状況。横軸は積分電流値、縦軸はPFリングの平均真空度を蓄積電流値で割った値 ( $P_{avg}/I$ ) と蓄積電流値とビーム寿命の積 ( $I \cdot \tau$ ) を示す。グラフ右端で大きく変化しているのは、ハイブリッドモード運転による。

での蓄積電流値の推移を示す。PFリングにおける6月のユーザ運転は、ビームダンプが一度も無い大変安定な運転であった。PF-ARにおいては、一度だけ冷却水量の低下に起因するビームダンプが発生したものの、それ以外は概ね安定であった。図2に、PFリングにおけるセプタムチャンバー冷却水リークトラブル後から運転終了までの光焼きだし状況を示す。トラブル対処後は真空度も順調に伸び、マルチバンチ運転では、蓄積電流値とビーム寿命の積 ( $I \cdot \tau$ ) が600 A·minを超えるまでに回復した。

運転終了後、夏の停止期間に入った。この停止期間は、例年どおり各種装置の定期点検を行う予定である。また、真空に関連した作業として、PFリングではパルス8極電磁石の撤去、PF-ARにおいてはフィードバックダンパーの更新が行なわれる予定である。

## 運転関係

PF および PF-AR の 2015 年度第 1 期 (4 ~ 6 月) の運転が 6 月 30 日 (火) 9 時に終了しました。7 月 1 日より, 約 3 ヶ月間の夏期シャットダウンに入り, PF は 10 月 10 日, PF-AR は 10 月 19 日からそれぞれ第 2 期 (10 ~ 12 月) の運転を再開します。第 2 期の PF 運転は通常通りのトップアップ運転の予定です。第 2 期の運転スケジュールの詳細はホームページ (<http://www2.kek.jp/imss/pf/apparatus/schedule/>) にて公開しておりますので, そちらでご確認ください。前号にも書きました通り, 今年度は PF および PF-AR で, 昨年度より長く, 約 3000 時間のユーザー運転時間を確保する見込みです。予算削減と光熱水料 (主に電気料金) の高騰の影響のため震災以前のユーザー運転時間 (約 4000 時間) までは回復できていない状況ではありますが, 今後も運転時間確保のために努力して参りますので, ユーザーの皆様方にも引き続きご協力をお願いいたします。運転時間確保に向けた取組については, このあとにもう少し詳しくご説明します。

第 3 期 (1 ~ 3 月) 以降の運転スケジュールは, 秋頃に正式に決定しますが, この第 3 期中に SuperKEKB の立ち上げ調整 (SuperKEKB フェーズ 1) がそろそろ開始されることを受けて, PF の運転スケジュールも少々変則的になります。まだ確定情報ではありませんが, 今年度第 3 期以降の PF および PF-AR 運転スケジュールの現時点での見込みについて以下にご説明します。ご存知の通り, KEK 内の主要な電子・陽電子加速器 (PF, PF-AR, KEKB の HER・LER) は共通の線形加速器 (Linac) からビーム供給を受けており, それぞれの加速器の運転スケジュールを相互に調整しながら加速器運転を行っています。2010 年の KEKB の運転停止以降, SuperKEKB の設計と建設が進められている間 (KEKB 停止期間中) は, PF および PF-AR では運転時間削減の事情を除けば比較的自由に運転スケジュールを決めておりましたが, 今年度の第 3 期以降は, SuperKEKB のコミショニングスケジュールと調整しながら, PF および PF-AR の運転スケジュールを決めてゆくこととなります。特に SuperKEKB フェーズ 1 (2016 年 2 月 ~ 7 月) では, リニューアルした 2 つの SuperKEKB のリング (HER・LER) への入射調整が開始されることから, 比較的長時間の Linac マシンスタディを確保する必要があります。そのため, このフェーズ 1 の間, PF ではトップアップ運転は行わず, 蓄積モード (連続入射無し・1 日複数回入射) での運転となります。また今年度第 3 期の運転については, SuperKEKB の立ち上げ時期に合わせて PF の運転を行った方が Linac の電気料金を節約できることから, PF の運転スケジュールを SuperKEKB の立ち上げ時期 (2 ~ 3 月) に合わせて設定する方向で検討しています。ユーザーの皆様には, トップ

アップ運転のメリットを実感していただいていると思いますので, このような対応となるのは大変申し訳ないのですが, 上記のような事情ですので, 何卒ご理解いただくようお願いいたします。SuperKEKB フェーズ 1 終了後 (2016 年度第 2 期以降) は, PF および SuperKEKB の振分け同時入射を行うことにより, トップアップ運転が再開できるよう加速器施設で装置整備を進める予定です。

また PF-AR については, SuperKEKB フェーズ 1 の期間中は従来通りの運転予定ですが, こちらも SuperKEKB の立ち上げに合わせて, 2016 年度第 2 期の運転スケジュールが一部変更となります。現在, PF-AR では 3 GeV の電子を入射して 6.5 GeV まで加速しているために, 1 日 2 回入射の蓄積モード運転となっています。これに対して, 2016 年度 7 月以降は, SuperKEKB と PF-AR の入射モードを共存させるために, Linac で 6.5 GeV に加速した電子を PF-AR に直接入射を行うための PF-AR 入射路改造を行う予定です。この改造の先には, PF-AR へのトップアップ入射の実現も将来的に視野に入れていきます。

上記の運転スケジュールは未確定のため, 正式なアナウンスをさせていただくのはもう少し先になりますが, 現時点での見込みということで, 情報を提供させていただきました。

## 運転時間確保に向けた取組

昨年度は PF の予算削減と光熱水料の高騰に起因して, PF および PF-AR の年間ユーザー運転時間が前年度に比べて大幅短縮となりました (PF は 2328 時間, PF-AR は 1992 時間)。このような状況を受けて, 昨年度は PF-UA が主体となって PF の運転時間確保に関する要望書をご準備いただき, PF-UA が発起団体となって PF ユーザーの方々から所属されている学協会, 企業, 国家プロジェクトに要望書への賛同を呼びかけていただきました。おかげさまで多くの団体からご賛同いただき, PF-UA から KEK および文科省に宛てて, この要望書が提出されました。このような取組が最終的に今年度のユーザー運転時間確保につながることで, ご協力いただいた PF-UA, 学協会, 企業, 国プロ関係者の皆様方には心より御礼申し上げます。今後とも継続的な取組が必要となりますので, 何卒よろしくお願いたします。

一方で, PF 発の成果と PF の存在意義については, 引き続き外部から厳しく問われており, 我々はユーザーコミュニティと一体となって, その問いかけに答えてゆく必要があると強く感じます。昨年度の PF シンポジウムでもお話しさせていただきましたが, 端的には「なぜ 4000 時間のユーザー運転が必要なのですか?」という問いかけに対する分かりやすい答えが求められています。「研究や教育に支障をきたすから」とか「諸外国もそうだから」といった

施設側やユーザーコミュニティ側からの陳情だけではなく、運転時間の必要性を、客観的で説得力のある指標を用いて示す必要があります。これまでに PF を利用して、大学共同利用・共同研究、大学院教育を通じた人材育成、産業利用など様々な切り口から PF 発の成果が挙っています。また特に近年は、外部機関との連携を通じて様々な国家プロジェクトにも参画しています。これらの PF の取組は今年度からリニューアルした PF のホームページの「PF の取組」にまとめていますので、ぜひご覧ください（トップページ <http://www2.kek.jp/imss/pf/> から「PF の取組」へ）。これらの PF 発のアウトプットを、PF の特徴として分かりやすく表現する言葉を探しているのですが、その一つとして「費用対効果の高い施設」というフレーズをうまく活かさないかと思案しています。ご存知の通り、PF は 1983 年から共同利用実験を開始し、30 年以上に渡って重故障による長期シャットダウンもなく継続的にユーザー運転を行っています。このような世界に類を見ない長期の安定運転が実現しているのは、光源および利用系スタッフによる日々の絶え間ない加速器・ビームライン機器管理とアップグレードによるものですが、この間のユーザーによる登録論文数は 15000 報以上を数え、その中には被引用回数 1000 回を超える論文が 6 報あります。また 3 つのノーベル賞受賞者の研究グループによる論文が PF 共同利用の成果として挙っています（白川英樹先生の導電性高分子、Ada Yonath 先生のリボソーム構造解析、赤崎勇先生・天野浩先生の青色 LED）。（ご興味のある方は、昨年度の PF ニュース No.2 の放射光科学第一、第二研究系の現状をご覧ください（[http://pfwww.kek.jp/publications/pfnews/32\\_2/genjo.pdf](http://pfwww.kek.jp/publications/pfnews/32_2/genjo.pdf)）。

PF の初期建設費（約 260 億円）と年間運転経費を「総費用」と考え、これに対する「成果」の比を取るのが費用対効果ですが、「成果」に応じて様々な切り口があり得、少々慎重に検討する必要があります。感覚的には国内の大型施設の中で PF ほど「元を取っている」施設は他にないといっても過言ではないと思います。PF は共同利用開始から約 30 年を経ても、装置のアップグレードを継続的に行うことにより（特に近年は外部資金を導入した高度化を効果的に行うことにより）、現在も数多くの成果創出を維持していることは、トピックス記事やプレスリリースの量と質からも窺えます。施設の適切な費用対効果を維持するためには、適切な運転時間を確保する必要があります。また重故障によるユーザー運転の長期停止を避けるためには、老朽化対策に予算を充てることも重要です。（ただし、PF から最先端の光源性能を必要とする成果を出すことが難しいことも自明ですので、この点については「次世代光源における費用対効果」の文脈の中で現在議論を進めているところです。）このような事情を、外部の方にも、これまでに増してより分かりやすく示してゆく必要があります。一方で、PF での成果を有効に示してゆくためには、研究成果を漏れなく収集することが重要ですが、この点については現状まだ十分ではありません。特にユーザーの方々の投稿論文登録や、修士・博士の学位論文登録数は最も重要な客観的

データの一つですので、今後さらにしつこく論文登録を依頼させていただくこととなりますが、何卒ご協力のほど、お願いいたします。成果登録システムについては、KEK 共通のシステムとして近日中にリニューアルする予定ですので、それも合わせてアナウンスさせていただきます。

## ビームラインの立ち上げ状況と夏期作業予定

2015 年春のシャットダウン中に行われた改造工事を受けて、第 1 期に立ち上げ調整が進められ、一部すでにアップグレードされたユーザー実験が開始しています。BL-28 では 1 次光で 30-300 eV 程度の VUV・軟 X 線領域をカバーする可変偏光アンジュレータが設置され、垂直直線偏光の利用が可能になりました。BL-13 には 1, 3, 5 次光を利用することで 50-2000 eV 程度の軟 X 線領域をカバーする可変偏光アンジュレータが設置され、水平・垂直直線偏光および円・楕円偏光の利用が可能になりました。BL-17A では光学系の大幅な更新が行われ、また大面積のピクセルアレイ型検出器 PILATUS3 S6M が導入されました。6 月からユーザー利用を開始しています。すでにほぼ建設を完了している BL-2, BL-15 でも、それぞれ低エネルギー用の回折格子の導入、高調波除去ミラーの再研磨を行うなど、様々な改良を進めています。BL-15 はすでに共同利用を開始しており、BL-2 についても、今年度第 2 期以降、準備のできたモードから順次共同利用を開始します。夏期作業としてビームラインの更新を伴うような工事は予定されておりませんが、ステーション毎の改良は個々に進められる予定です。次回の課題募集に向けて、情報を適宜アップデートしますので、詳しくは PF ホームページのビームラインの最新整備状況をご覧ください。

(<http://www2.kek.jp/imss/pf/apparatus/blupdate/>)

## 人事関係

最後に人事関係についてお知らせします。

6 月 16 日付けで、堀場弘司さんが放射光第一研究系准教授として着任されました。堀場さんは、東京大学の助教および講師として SPring-8 の BL07LSU において 3 次元ナノ ESCA 装置の開発を行ったのち、2012 年 12 月から元素戦略・電子材料プロジェクトの特任准教授として PF に着任し、BL-2 の立ち上げおよびそれをういた研究に携わってこられました。今後は主に VUV・SX ビームラインにおいて、光電子分光を軸とした実験装置の開発・維持・高度化や、これをういた機能性材料の表面・界面研究に従事されます。

田辺幹雄さんは、8/1 付けで特任准教授として生命科学グループ（構造生物学研究センター）に着任されました。平成 27 年度から創薬等支援技術基盤プラットフォーム (PDIS) の解析拠点事務局が KEK に移設されたことに伴い、田辺さんは解析拠点事務局を率いて、今後解析拠点活動の中心的な役割を担う予定です。また長瀬里沙さんは、7/1 付けで研究員として生命科学グループ（構造生物学研究センター）に着任されました。CREST プロジェクト「ピロ

り菌の感染と発がん機構の構造学的解明」の研究活動に参画しています。

また6月1日付で、小針美由紀さん（生命科学グルー

プ）と倉持慶子さん（PF 事務室）が研究支援員として着任されました。

## ERL 計画推進室報告

ERL 計画推進室長 河田 洋

### はじめに

cERL は前号に記載しましたように、100  $\mu$ A 運転に成功し、30  $\mu$ m の微小光源によるレーザーコンプトン X 線の発生とそれによるイメージングの応用研究を開始しつつあります。また、今年度の大きな目標は、着実に一桁ずつ電流値の増加をすすめて、1 mA までの運転を目標に放射線変更申請を進めて行く予定です。さらに、平均電流値だけではなく、「バンチ当たりの電荷量を上げて、エミッタンスが十分に小さな値を実現できるか」ということを検討していくことや、アーク部のマグネットを用いたバンチ圧縮（目標値は 100 フェムト秒）を cERL で検証することも今年度の重要な課題です。このバンチ圧縮に関する課題の実現は、THz 光源利用や、近年急速に世界的に注目されてきている ERL をベースにした FEL 光源による半導体リソグラフィの大強度 EUV 光源で必須である。それらの開発研究を進めるべく、まず電流増強に関しては 8 月中旬過ぎの放射線安全審議委員会で 1 mA 増強に向けての放射線変更申請を出し、12 月ごろに認可されることが予想されますので、今年度末に 1 mA 運転を達成していく予定です。また、周回部でのバンチ圧縮に関しても、それに必要なマグネットの整備を限られた予算の中から手当を行い、またバンチ圧縮の程度を確認するためのモニター系の整備も行って、今年度末までに達成する計画で進めています。

2015 年度が始まり、新しい山内機構長体制の下に、KEK の運営方針が決定がされつつあります。山内機構長は「現在のロードマップに記載されている機構内の数多くのプロジェクトに関して、現実的な実行プランを作る」という目的で、機構内の研究推進会議で各プロジェクトの今後の方針をヒアリングすることを進めています。これを受けて、ERL 推進室の今後の方針案を 6 月ごろから ERL 関係者を中心に検討してきました。その方針決定をしていくに当たり、放射光コミュニティーの要望である 3 GeV 蓄積高輝度リングが、国内のどこかに実現した時にも、十分にその光源と相補性・先端性を有する cw-XFEL などのライナック型回折限界光源の技術開発も射程に入れていくことを検討しています。7 月 14 日の ERL 推進委員会でも、cERL の今後の技術展開に関して、10 mA までの着実な大電流化、大バンチ電荷におけるエミッタンス向上、そして、近々にはレーザーコンプトン X 線源の利用に向けた電子ビームのエネルギー増強を行う事により、半導体業界の

イノベーションが求める大強度の EUV 光源の目途を立てると同時に、cw-XFEL の加速器技術確立の優先順位を上げることを提案しました。前号の最後に LCLSII や EURO-FEL の状況を述べましたが、世界的な動向を考えると今後、より一層、このような超伝導加速器技術を用いた先端放射光源実現が求められるようになって理解しています。その実現のポテンシャルを持った研究機関は、日本もしくはアジア全体を見渡しても KEK だけですので、しっかりと、そのような将来も射程に入れて開発を進めて行かなければならないと考えています。

### cERL での進捗状況

5 月の連休明けから超伝導空洞の冷却を開始し、5 月末から 6 月末までの約 1 か月強のマシントimeで電子ビームオプティクス最適化、中～大電荷バンチにおける電子ビーム最適化、そしてレーザーコンプトン散乱 X 線発生とそのイメージング実験を行っています。飛躍的な進展というものではありませんが、一つずつ問題点を解決して前に進んでいます。それらの進捗状況は 7 月 30 日に「第 2 回コンパクト ERL ミニワークショップ」を開催し、1 月以降の運転状況、技術開発の進展状況、そして今後の課題を議論しました。ワークショップの資料も以下のサイトにアップロードしていますので興味のある方はご覧下さい。

[http://pfwww.kek.jp/PEARL/cERL\\_miniWorkshop/](http://pfwww.kek.jp/PEARL/cERL_miniWorkshop/)  
アジェンダは以下の通りです。

- |                      |               |
|----------------------|---------------|
| 1. はじめに              | 河田 洋          |
| 2. オプティクス関係スタディー     | 島田 美帆         |
| 3. 大バンチ電荷スタディー       | 宮島 司          |
| 4. LCS 関係概要          | 照沼 信浩         |
| 5. レーザーと光共振器         | 赤木 智哉         |
| 6. LCS 検出とイメージング実験   | 小菅 淳          |
| 7. 電流 1mA 増強に向けた見通し  | 坂中 章悟         |
| 8. テラヘルツ観測・バンチ圧縮予備実験 | 本田 洋介         |
| 9. THz 利用に向けて        | 足立 伸一         |
| 10. 入射器空洞 / 主空洞の運転状況 | 加古 永治 / 阪井 寛志 |
| 11. その他運転経験・トラブル等    | 坂中 章悟         |
| 12. 超伝導 RF 電子銃開発     | 許斐 太郎         |
| 13. 総合討論             | 全員            |

## 情報発信関係

6月7-12日にBNLがホストしてERL2015 (<https://www.bnl.gov/erl2015/>) がStony Brook Univ. で開催されました。総勢114名の参加者で、ERLという一つの加速器要素を議論するワークショップとしては、適正な規模でした。写真は初日に撮影された全体写真です。

ワークショップは5つのワーキンググループに構成されており、それぞれのワーキンググループとそのコンヴェーナーは以下の通りです。

•WG1：ERL Injectors: Injector Performance, Electron Guns, Cathodes, Lasers

–Thorsten Kamps (HZB), Adam Bartnik (Cornell)

•WG2：ERL Beam Dynamics and Optics: Collective Effects, Multi-Pass Effects, Halo Simulations

–Michael Abo-Bakr (HZB), Vadim Ptitsyn (BNL)

•WG3：ERL Beam Instrumentation, Controls, Beam Losses and Halo Management

–Takashi Obina (KEK), Colwyn Gulliford (Cornell)

•WG4：ERL and SRF, including SRF System Performance, Field Stability, Synchronization, Special Requirements, HOM Damping

–Hiroshi Sakai (KEK), Erk Jensen (CERN)

•WG5：ERL Applications

–Vladimir Litvinenko (Stony Brook), Oliver Bruning (CERN)

全ての発表資料はワークショップのサイトの以下のindicoサイトにアップされていますので、ご興味のある方はご覧ください (<https://indico.bnl.gov/conferenceDisplay.py?confId=909&view=standard>)。

KEK/JAEAのグループからは以下の方々招待講演の形で現在の開発状況を報告しました。

まず、Plenary Sessionで坂中章悟教授が“Successful Result of the Commissioning on cERL in KEK”を、また中村典雄教授が“Design work of the ERL-FEL as the high intense EUV light source”を講演しました。続いて、WG1の招待講演として、JAEAの西森信行氏が“Operational Experience of DC Photoemission Gun at the compact ERL”を、山本将博助教が“Development of a 500 kV DC Gun with Narrow Gap”を、WG2とWG4とのジョイントセッションの招待講演

として、Si Chen 博士研究員が“HOM-BBU Simulation for KEK ERL Light Source”を、WG3の招待講演で帯名崇准教授が“Non-destructive Beam Position Monitoring in Two-Beam Section of ERL”を、WG4の招待講演として阪井寛志准教授が“Operational Experience of CW SRF Injector and Main Linac Cryomodules at the Compact ERL”そしてFeng Qiu 特別助教が“Performance of the Digital LLRF Systems for cERL at KEK”を、そして、WG5の招待講演として、河田が“Science cases on ERL as a synchrotron light source”を、またJAEAの羽島良一氏が“Laser Compton Sources Based On Energy Recovery Linacs”を講演しました。

ワークショップ全体での印象に残った点は以下の通りです。

- 1) 米国で既に予算化されているLCLSII計画(cw-FEL)の技術要素は、ERLの技術要素と多くが共通していることから、ERLで開発してきている電子銃や超伝導空洞の性能がLCLSII計画の仕様に合致している実験結果を報告しているケースが数多く見られたこと
- 2) BNLやCERNが掲げているコライダーとしての応用の提案が数多く見られたこと
- 3) コーネル大では5 GeV放射光光源の展開は影をひそめ、逆にBNLと共同でマルチターンとFFAGとのコンビネーションの新しいプロジェクトの提案が行われたこと
- 4) その中で、我々のグループが数多く発表したcERLの着実な技術開発は、ワークショップの中でいずれの報告も注目を集めていたこと
- 5) 中村氏が報告したEUVの大強度光源としてのERL-FELの展開は、その他の応用も期待され、今後の応用という観点から注目を集めていたこと

また5)に関連して、世界的にEUVリソグラフィー露光装置のシェアを握るオランダのASML社の技術者が、このワークショップに参加していたことも印象深い点でした。

詳細な会議報告は6月25日に開催したERL検討会で帯名氏、阪井氏から行われているので、そちらの資料を参照してください。[http://pfwww.kek.jp/ERLoffice/wg\\_1/erlmeetingsiryou/index.html](http://pfwww.kek.jp/ERLoffice/wg_1/erlmeetingsiryou/index.html)

また、EUV大強度光源に関しては、引き続き6月15-19日にハワイのマウイ島で行われた2015 International Workshop on EUV Lithography (<http://www.euvlitho.com/>)で中村典雄教授が招待講演として“An ERL-Based High-Power Free-Electron Laser for EUV Lithography”の講演をおこないました。さらに、7月6-7日に東京工業大学で開催された「次世代リソグラフィーワークショップ」では、河田が「ERL-FELをベースにした大強度EUV光源開発の検討」を報告しています。

冒頭にも紹介しましたように、7月14日13時30分から15時30分にERL計画推進委員会を開催しました。今回は、cERLでの進捗状況を報告すると同時に、今後のERL計画の推進方針に関する議論を行いました。アジェ



図1 ERL2015の全体写真



ンダは以下の通りです。

- 1) cERL コミッショニングの現状とその今後  
宮島司 (25分)
- 2) レーザーコンプトン散乱 X 線発生と今後の利用の  
展開 羽島良一 (20分)
- 3) 第2電子銃開発状況とその今後 山本将博 (15分)
- 4) ERL 計画推進室の今後の方針 河田 洋 (30分)
- 5) 総合討論 全員 (30分)

最後の総合討論では、cERL での技術開発状況に関するより詳しい状況(例えば安定性や今後の見通し)に関する質問を頂き、開発に携わっている研究者が率直に現状を答える形で進められました。今後の方針に関しては、冒頭に述べたような方針を説明しましたが、概ね理解を得られた状況です。

最後に、毎年夏の終わりに開催されている「高エネルギー加速器セミナー OHO」は、今年度はエネルギー回収型リニアックの加速器基盤技術と応用」というテーマで9月1-4日に行われます (<http://accwww2.kek.jp/oho/oho15/index.html>)。

サイトのプログラムをご覧いただければわかるように、加速器技術だけではなく、利用に関しても医学応用から半導体リソグラフィ、そして軟X線、硬X線利用と幅広く話題提供が行われます。ご興味のある方は是非参加頂ければ幸いです。