

残暑が続いておりますが、皆様には国際学会への出席や貯まった論文の執筆など、お忙しい日々を過ごされていることと存じます。PF および PF-AR では、6月30日に今年度第1期の運転を予定通り終えることができました。今期も SuperKEKB の立ち上げが重なったため、PF は蓄積モードでの運転となり、ご不便をお掛けしました。一方「KEK 研究実施計画」は、約1年間の研究推進会議での議論を経て、6月末に策定を完了しました（「現状」の最後にその内容を報告します）。同時に、この研究実施計画に整合するように、「KEK ロードマップ 2013」の放射光科学に関する改訂が行われましたので、その内容を紹介します。下記の URL にロードマップ改訂の日本語版と英語版が、「KEK 研究実施計画」と共に掲載されていますので、ご興味のある方はご参照下さい。http://www.kek.jp/ja/About/OrganizationOverview/Assessment/Roadmap/

KEK ロードマップ 2013 の改訂

KEK の研究推進の指針とするために、「KEK ロードマップ 2013」が 2013 年 5 月に公表されました。その後、放射光コミュニティからの意見を受け、ロードマップのフォトンサイエンスに関する部分に、以下の附記が 2013 年 10 月に付けられました。「KEK は長期計画として 3 GeV ERL 計画を掲げているが、そこに至るまでの中期期間において、放射光コミュニティから強い要望のある蓄積リング型高輝度光源の実現に向けて先導的役割を果たす。このため KEK はオールジャパン体制を考慮しつつ具体的検討を開始した。この高輝度光源は、広範な学術分野・産業分野において不可欠な最先端研究ツールとなるもので、我が国は未整備であり、近未来に必須の放射光源である。」

一方、物構研では 2014 年 10 月に PF 将来計画検討委員会が物構研運営会議の下に設置され、約 1 年半におよぶ議論を経て、最終報告書が提出されました。この議論を踏まえて策定された PF 将来計画は、今年 3 月の PF-UA 拡大ユーザーグループミーティングや PF シンポジウムで公開され、ユーザーの方々との議論がスタートしました。また、3 月末に開催された放射光科学研究施設諮問委員会でも PF 将来計画について集中的に議論が行われました。その後、PF 将来計画に関する KEK 内外での集中的な議論を経て、「KEK ロードマップ 2013」の放射光科学部分の改訂が行われました。

KEK ロードマップ 2013 改訂版の第 1 章「はじめに」のところに、各プロジェクトの研究戦略の概要が書かれています。その放射光科学の部分を以下に抜粋します。

「フォトンサイエンス（放射光科学）

PF および PF-AR の安定な運転を継続し、放射光科学を推進するとともに、3 GeV クラスの蓄積リング型高輝度光源施設の具体的計画を早急に策定し、関係機関と連携しながら、早期の実現を図る。」

次に第 2 章では KEK に関連する研究分野の長期的な展望と、その中で KEK が果たすべき役割について記述されています。第 3 章では各プロジェクトについて 2014 年から 5 年間の研究戦略が書かれています。第 3 章の放射光将来計画に関する部分を以下に抜粋します。

「KEK はコンパクト ERL を建設・運転することにより、将来の放射光源としての ERL の R&D に取り組み、ERL の実現可能性を探ってきた。しかし最近の加速器技術の進歩で、3 GeV クラスの蓄積リング型高輝度光源により、ERL で期待されていた放射光科学への貢献の多くは、早期に実現が可能となることが分かってきた。そこで KEK は、将来の放射光源としての ERL 計画の検討を中止し、蓄積リング型高輝度光源の早期実現を目指すことを決定した。

3 GeV クラスの蓄積リング型高輝度光源施設では、ナノメーターの空間分解能とミリ電子ボルトのエネルギー分解能を実現することにより、現状では研究が困難な不均一な物質系における構造・電子状態、さらには揺らぎを含めたダイナミクス・化学反応や細胞制御機構の解明などを目指した、新しい研究が可能になる。これらの研究を含む放射光科学を推進するために、大学や他放射光施設との連携を柱とし、コンソーシアムを創るなど、密接な共同研究を行う。このような共同研究の中で、人事交流を積極的に行いながら、手法開発や人材育成を行うことにより、最先端放射光科学を創出するとともに、放射光を利用した幅広い学術領域の研究を支え続ける。

これらの状況を鑑み、KEK は 2016 年度から蓄積リング型高輝度光源の詳細設計を開始し、早期の実現を図る。その先の長期計画に関しては、改めて検討する。」

このように KEK では、次期光源計画としての ERL 計画の検討を中止し、蓄積リング型高輝度光源の早期実現を目指すことになりました。このような大きな見直しに際して、これまでの ERL 計画の総括を行う委員会も開催されています。本委員会からご提出頂く報告書を、今後の KEK 放射光計画の推進に役立てて参りたいと思っています。

現在 KEK では、PF- ユーザアソシエーション (PF-UA) を中心に、多くの放射光ユーザーの皆様からのご協力を頂き、KEK 放射光計画の Conceptual Design Report (CDR) をまとめつつあります。今後、放射光コミュニティで我々の提案する KEK 放射光計画の CDR を精査・評価して頂きたいと考えています。これを機会に、日本全体の放射光科学のグランドプランに関する議論を行い、その中で KEK の果たすべき役割を明らかにしていきたいと思っております。

入射器の現状

加速器第五研究系研究主幹 古川 和朗

概要

今期の放射光施設への電子入射については、5月初旬から6月末まで順調に推移した。SuperKEKBのフェーズ1コミッショニングと呼ばれる最初のリング試験運転に関しては、1月末から入射器の調整の後、短期の停止を除いて6月末まで電子・陽電子の入射を継続し、電子(HER)/陽電子(LER)両リングの真空焼き出し、ビーム光学開発や各装置の較正などを進めることができた。その際KEKB計画での経験を活かし、思った以上の成果を上げることができた。また、真空焼き出しが適切に進行しリングでのビーム寿命が長いため、入射器は25 Hz以下の運転を行い、電力費用を節約することができた。フェーズ1期間中には低エミッタンスの入射ビームは必要なかったが、RF電子銃の諮問委員会の助言に沿って、RF電子銃によるメイン・リング入射にも成功し、10日間の入射を行った。今後は、PF-AR直接入射路の建設やSuperKEKB向けの入射器改造の重要部分の設置作業が控えており、残念ながら放射光施設入射への影響も小さくないと予想される。

RF電子銃によるHER入射

SuperKEKB計画においては、衝突性能を向上させるために、入射する電子陽電子についても電流を増やすと同時に、低エミッタンスのビームが必要とされる(図1)。来年度の後半に予定されているフェーズ2コミッショニングに備えて、フェーズ1コミッショニングの期間中にも、開発中のRF電子銃の試験入射を行い、機能の確認を行うことにした。

低エミッタンスではない大電流ビームを生成するためには、これまで熱電子銃を使ってきたが、品質の高い、大電

流低エミッタンスのビームを生成するためには、光陰極のRF電子銃が必要となり、高強度レーザー・高耐性光陰極・高電界マイクロ波空洞のそれぞれに工夫を凝らして開発を行なっている。

高強度レーザーは、大きく分けてファイバー・レーザー発振器、ファイバー・レーザー増幅器、光パルス整形装置、固体結晶レーザー増幅器、波長変換装置などから構成されている。レーザー媒体としてはイッテルビウム(Yb)やネオジウム(Nd)を含んだYAG結晶を使用しており、低エミッタンスのビームに適切な約20 psの長さの高強度レーザー光を生成する。

生成された紫外光は高耐性光陰極に照射されて、電子を大量に生成する。使用している陰極はイリジウム・セリウムの合金で、電子の生成効率が非常に高いわけではないが、真空度などの外的要因に大きく左右されずに電子を生成することができる(図2)。東日本大震災において、旧熱電子銃の真空が破れ、大きな影響を受けたことが、高耐性合金陰極を選択したひとつの要因になっている。

マイクロ波空洞の加速電界が低いと、空間電荷効果により低エミッタンスを実現することができないので、電界の高いサイドカップル型擬似進行波空洞と呼ぶ空洞を使用している(図3)。

RF電子銃によって、SuperKEKBリングに入射するためには、適切なタイミングで電子を発生させてリングのマイクロ波と30 ps以下の精度で同期させる必要がある。ところが、高強度レーザーを発生させるための初段のファイバー・レーザー発振器はファイバーの輪を周回して光を増幅

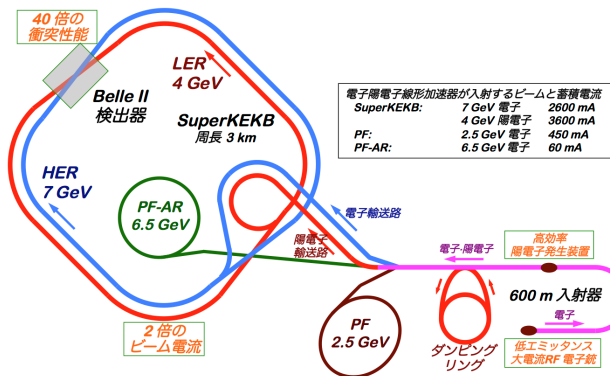


図1 電子陽電子加速器群の模式図。電子陽電子入射器は約600 mの長さを持ち、SuperKEKBリング加速器は約3 kmの周長を持つ。

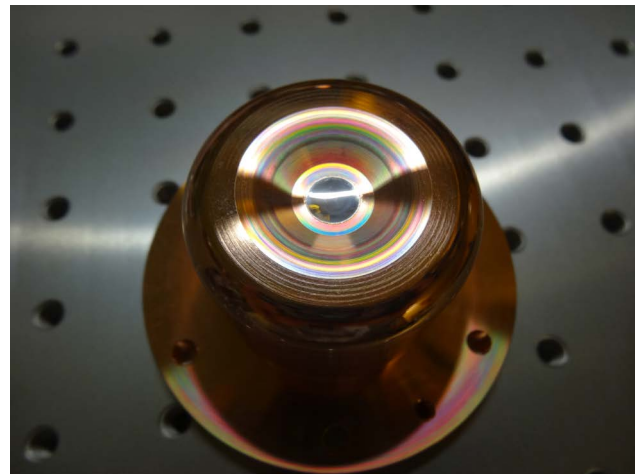


図2 マイクロ波空洞に取り付けるために、銅製のブロックに嵌めこまれた銀色のイリジウム・セリウム合金の光陰極。

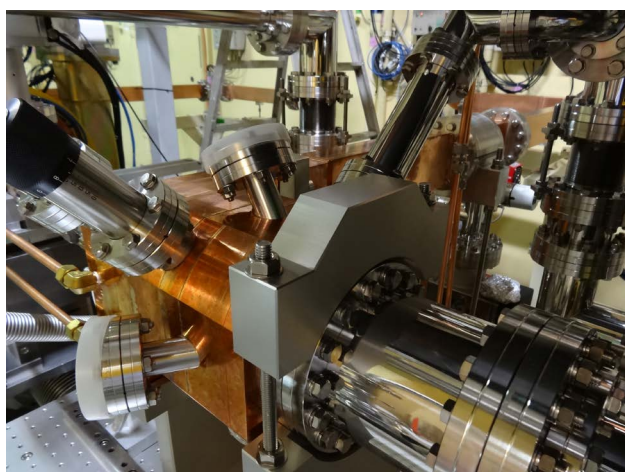


図3 生成された電子を直ちに加速するサイドカップル擬進行波型マイクロ波空洞（銅色の部分）と真空装置。

するため、独自の周期を持っている。そのため、高度な電子回路が必要となる。このようなさまざまな機器の調整を経て、5月31日にはSuperKEKBの電子メイン・リングへの入射に初めて成功した（図4）。

さらに、ビームバンチ圧縮によってビーム品質を改善し、電子入射と陽電子入射の切り替えの調整を行った後、6月8日からは、RF電子銃からの入射を10日間継続した。

現在のところ、エミッタンスとしてはフェーズ2コミッションの要求値を満足しているわけではなく、600 mの入射器で加速する間にエミッタンスが増大してしまっている。しかし、加速器のアライメントやビーム制御の整備

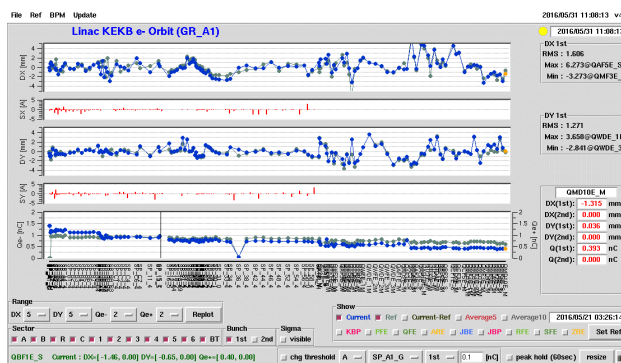


図4 RF電子銃で生成された電子（青）と比較対象の熱電子銃から生成された電子（緑）について、水平方向位置（上）、垂直方向位置（中）、電荷（下）の電子銃からビーム輸送路終端までの、情報プロット。この時点では、バンチ圧縮を行っていないので、途中でビーム損失がある。

も並行して進めており、必要とするビーム品質を満足できるようにする予定である。

昨年度の入射器運転統計

2015年度の運転統計によると、総運転時間は5296時間で前年度比+54%であったが、この増加は前年の予算配分が少なかったためである（表1）。故障率は1.76%で前年度比+0.86ポイントとなり、この上昇は、SuperKEKBの試験運転が本格化してきた際の新しい機器やソフトウェアの調整不足が原因と考えられる。KEKBの運転開始時には故障率が大幅に悪化したため、注視している。

表1 近年の入射器の運転統計

	運転時間		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 故障/x (%)
	x (時間)	y (時間)	x-y (時間)		z		x/z(分)		(x-y)/z(分)		
			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
2015年度	5,296	5,087	93	116	1,437	21,042	221	15	4	0.33	1.76

光源リング運転状況

PF リングは5月6日9:00 から運転を再開した。立ち上げ調整は順調に進み、5月10日9:00 から光軸確認を行い、ユーザ運転を開始した。図1上に立ち上げ時のPFリングの蓄積電流値の推移を示す。今期はバンチ数を188から220に増やし、進行方向2極振動のビーム不安定性の発生を250 mA以下することができるようになったことから、1日3回の入射頻度でユーザ運転を行うこととした（前期は1日6回入射）。ユーザ運転開始間もない5月10日15時頃、小型電源の制御系に異常が発生し軌道が乱れた。すぐに症状は治まったものの、16:30に一端ビームをダンプして調査することとした。これまでもたまたま異常が起きているのはいたが、しばらくすると症状が治まり原因を特定するまでには至っていなかった。今回はVMEのエクステンダーユニットの動作が不安定であることを疑い、2台のユニットを入れ替え交換して、症状が変わるかどうか様子を見ることとした。作業は一時間弱で終了し、ただちにユーザ運転を再開した。5月16日21:23つくば市で震度4の地震が発生した。北東シールド扉のインターロックが動作し、ビームがダンプした。震度4であったため、リング内およ

び周辺を点検し異常が認められなかったため、ユーザ運転を再開した。5月22日3:50 RF#4のトラブルで、ビームがダンプした。クライストロン制御盤内のDC24V電源の故障が判明して予備品と交換して復旧した。5月30日12:13ビームトランスポートの偏向電磁石電源(BTBM)のインターロックが働きダウンするとともに、入射モードであったためチャンネルがクローズした。リングの運転モードを入射モードから蓄積モードに切り替えて17:30まで運転を継続した。17:30になりビームをダンプして、ビームトランスポートの現場を調査したところ、第3スイッチヤードのBH12電磁石において著しい冷却水流量の低下が見つかった。ストレーナを清掃することで流量が回復し、復旧した。6月27日朝PF電源棟巡視点検中に電磁石電源一台のフィルターが、電源内部側にめくれていることを発見した。そのまま放置しておく危険性があるため、フィルターの取り出しおよび交換が必要と判断した。ユーザ運転中であったため、一端運転を中断して作業を行なうこととした。作業は約1時間程度ですみ、終了後直ちにユーザ運転を再開した。

PF-ARは5月10日9:00にリングの運転を再開した。図

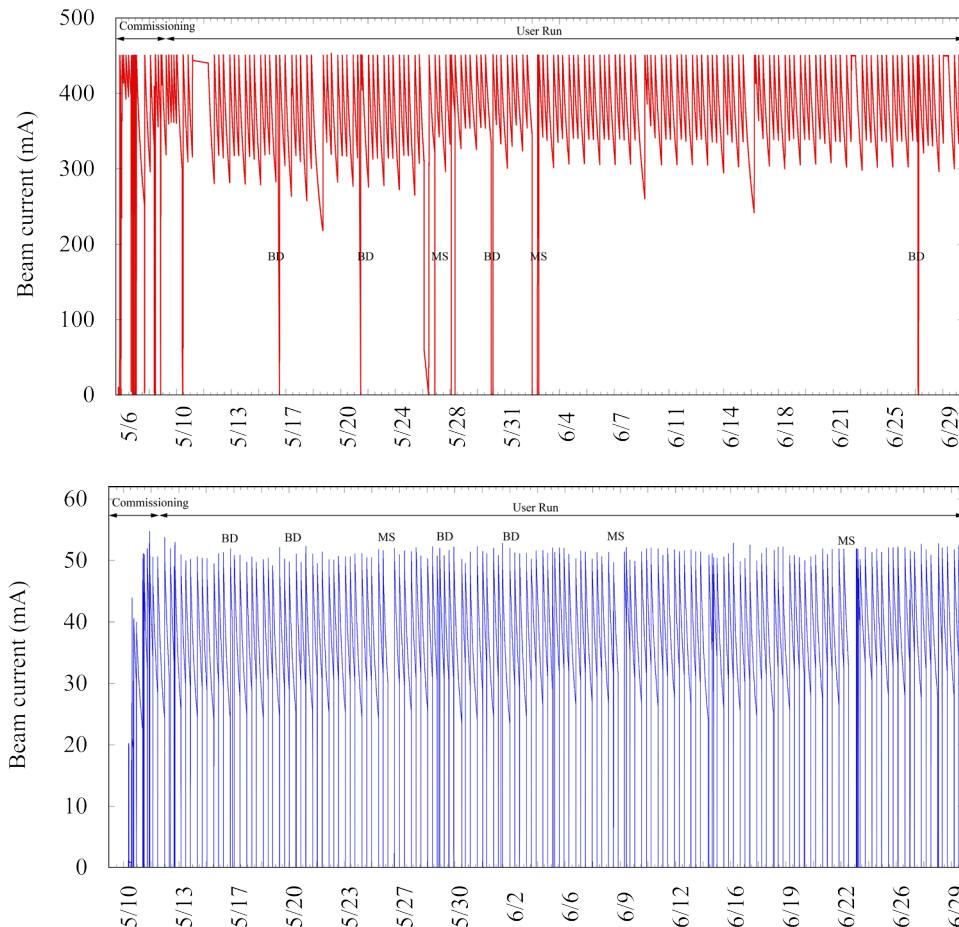


図1 PFリング(上図)とPF-AR(下図)の蓄積電流値の推移を示す。MSはマシン調整、BDはビームダンプを示している。

1下に蓄積電流を示す。入射加速調整は順調に進み、5月12日9:00からユーザ運転を開始した。運転開始後まもなく、PF-AR北棟空調用チラ3台中1台が重故障で運転不可能、2台運転を行っていたものの、そのうち1台も空調冷却能力が落ちているが判明した。冷却能力低下の原因調査を行ったが、その原因特定には至らず様子を見ながらの運転となった。PF-ARでは、5月16日に発生した震度4の地震ではビームダンプしなかったが、運転を中断して、リング内および周辺を点検した。異常ないことを確認し、直ちに運転を再開した。その後、電磁石電源とRFに関連するトラブルでビームダンプが3回ほど発生したものの、今期はきわめて順調に運転が行われた。

PFリング、PF-ARともに、超伝導ウィグラーの断熱真空悪化のトラブルやPF-AR北棟実験棟空調用チラの冷却能力低下等のトラブルはあったものの、リングの運転自体は例年比べて概ね順調に行われ、6月30日9:00に予定通り運転停止した。

PFリング超伝導垂直ウィグラー断熱真空悪化のトラブルについて

PFリング超伝導垂直ウィグラーについては、昨年度1月の立ち上げ前に応急措置を施して運転に入ったものの、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。そのまま運転は継続したが、この状態で夏まで運転するのは厳しいと判断した。そこで、3月14日の運転終了後にすぐに昇温して、室温で



図2 超伝導垂直ウィグラーの断熱真空リーク対処作業の写真。

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、液体シール剤を用いてリーク止め作業を試みた。図2に作業の様子、図3に作業時の真空の変化のグラフを示す。シール剤を注入開始した直後は徐々に悪化したが、400ccほど入れたところで真空が下がり始め、その約2分後には真空度が1桁程度改善した。しかし、リークは完全には止まっておらず、リーク対処前の $5 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ からは大幅に減少しているが、 $3.1 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ のリークがある。

今回は応急的な処置である。しかし、この真空度が維持できればなんとか夏まで持ちこたえるのではないかと予想して、連休明け5月10日から冷却を試みた。冷却は順調に進み、約2週間後の5月26日マシンスタディ時にリング内でウィグラー周辺の種々の調査を行った結果、特に異常は認められなかった。そこで予定どおりウィグラーの励磁を行い、翌日5月27日からBL-14の運転を再開した。

PF-AR 直接入射路関連作業開始

PF-ARでは運転を停止した6月30日9:00から、直ちにPF-AR直接入射路関連作業を開始した。図4上の写真は現ビーム入射路に設置してある偏向電磁石の一部である。既設の電磁石はすべて再利用するため、図4下に示すように入射路近接の南東側直線部(SE12-13間)の真空ダクトをはずして、リング内通路への搬入路を確保し、新トンネルへの運搬を行う。この一連の作業は来年1月末まで行われる予定である。



図4 写真はPF-AR現ビーム入射路に設置してある偏向電磁石の一部(左)、南東直線部(SE12-13間)の真空ダクトをはずし、運搬路を確保した様子(右)。

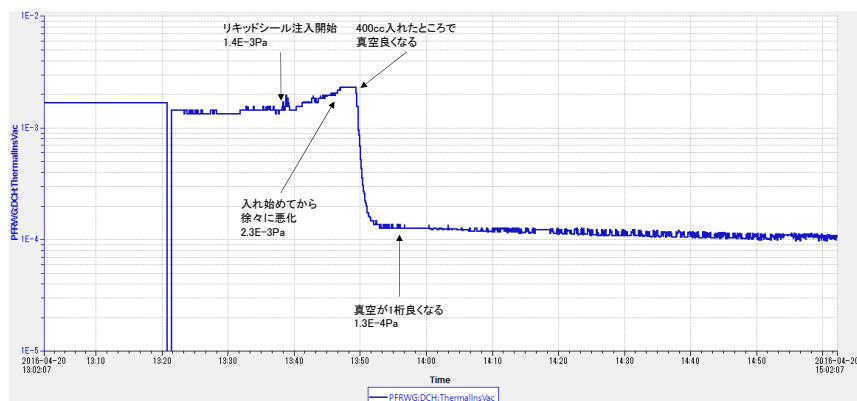


図3 液体シール剤を注入する作業中の断熱真空の様子。4/20 13:38 シール剤を注入開始(真空度 $1.4 \times 10^{-3} \text{ Pa}$)、直後は徐々に真空が悪化するが、13:49に400cc注入したところで真空が改善し、13:55 650ccで注入終了した(真空度 $1.3 \times 10^{-4} \text{ Pa}$)。14:04 シール剤を抜き始める。翌日4/21 13:50の真空度は $8.2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ となり、シール剤注入前に比べ約1桁以上断熱真空が改善した。

運転、共同利用関係

PF および PF-AR の 2016 年度第 1 期（5～6 月）の運転は、予定通り 6 月 30 日（木）に終了しました。この期間は、前年度第 3 期に引き続き 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 回入射の蓄積モードでの運転でした。2016 年度第 2 期の PF 運転は、夏期の加速器関連作業の終了後、10 月 24 日（月）に開始し、12 月 19 日（月）までの予定です。

今年度第 2 期（10 月～12 月）以降の PF の Top-up 運転予定についてお知らせします。今年 3 月の時点では、今夏中に Top-up 運転再開に必要な作業を完了し、第 2 期から PF の Top-up 運転を再開することを想定していました。しかし、今年度予算の不足等の影響により、PF と SuperKEKB への同時入射向け機器設置を見送らざるを得ないことがわかり、PF の Top-up 運転と SuperKEKB のための入射器コミッションの両立が困難となりました。従いまして、第 2 期以降も引き続き、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 3 回程度の入射を行う蓄積モード運転となる予定です。PF の Top-up 連続入射運転の時間帯を可能な範囲内で増やすように、入射器グループとの調整を行います。2016 年秋期の Top-up 連続入射スケジュールにつきましては、確定次第ホームページ等にて告知させていただきます。なお、2016 年 11 月 18-24 日の PF ハイブリッドモード運転については、Top-up 連続入射を実施します。

また PF-AR につきましては、電子入射器から PF-AR への 6.5 GeV 直接入射を実現する為に、PF-AR 直接入射路の建設と PF-AR の繋ぎ込み工事を 2016 年 7 月～11 月末に行います。そのため、2016 年度第 2 期中は PF-AR の運転を停止します。この工事により、PF-AR への 6.5 GeV 直接入射が実現するだけでなく、SuperKEKB の本格的な運転開始後も PF-AR および PF との同時入射が実現することになります。また将来的には PF-AR の 6.5 GeV での Top-up 入射も視野に入れていきます。工事後の今年度第 3 期（2017 年 1-3 月）につきましては、工事部を含む加速器の立ち上げおよび放射線変更申請等の作業が続くため、この時期の PF-AR の運転は立ち上げ運転のみとし、ユーザー・ビームタイムの配分は行わない予定です。PF-AR ユーザーの皆様にはご迷惑をおかけすることをお詫びいたします。PF-AR の環境整備の一環として何卒ご理解ください。なお、各課題の有効期間中に全体運転時間の短縮があっても、その補填は行わない運用をさせていただいております。

すでにホームページ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 垂直偏光超伝導ウイグラー（VW#14）は超伝導電磁石冷却用液体ヘリウム 断熱真空部の真空度が悪化したため、3 月 14 日朝の運転終了後から応急処置を行なうため昇温を開始し

ました。加速器 7 系担当者による周到的な準備作業ののち、真空封止剤を溶剤に溶かして真空漏れが疑われる場所全体を満たす漏れ止め作業を 4 月 20 日に開始しました。その結果、断熱真空部の真空度が 1 桁以上改善しリーク発生前の真空度と同等となりました。これによりウイグラーの立ち上げは可能となり、6 月 3 日から 6 月 30 日までユーザー利用実験を実施しました。BL-14 ユーザーのみなさまには、今回のトラブルにより多大な迷惑をおかけしたことをお詫びいたします。今回の真空トラブル対応はあくまでも応急処置で微小リークは残っており、再発の危険があります。今後の対策については引き続き検討いたします。

ビームライン改造等

AR-NW2A では、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、現在、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 期および第 3 期のユーザー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。

将来計画に関する議論

施設だよりに詳しく記載されている通り、KEK の放射光次期計画への取り組みが、PF 内外で進行しています。特に PF 内部では、3 月の PF シンボジウム以降も引き続き、放射光科学第一、第二系と加速器第七研究系を中心として蓄積リング型の高輝度光源、ビームライン、サイエンスケースの検討を進めてきました。4 月 27 日には蓄積リング型高輝度放射光（KEK 放射光：仮称）の暫定スペックを更新し、6 月 8 日には KEK 放射光概念設計書（CDR）暫定版の光源加速器に関する部分をホームページ上に公開しました。これに引き続いて、サイエンスケース、ビームライン、運営等に関する部分の公開に向けて準備中です。また、来る 2016 年 9 月 11、12 日の 2 日間には、KEK 放射光に関するワークショップを、PF-UA と PF で共同開催します。このワークショップは、KEK 放射光計画の現状について、施設の利用が想定されるユーザーとの情報共有を行うとともに、KEK 放射光のサイエンスケースについて分科会形式での議論を行い、サイエンスケースの全体像を取りまとめることを目的としています。ユーザーの皆様には、是非、積極的なご参加をお願いいたします。

人事関連

6 月 1 日付で宮本きみさんが研究支援員として着任されました。PF-UA 事務局や PF 研究会等を担当して頂きます。

はじめに

昨年から機構内で議論されて来ましたが、KEK Project Implementation Plan (KEK-PIP) の国際諮問委員会が4月に行われ、それを受けて KEK 執行部が正式に KEK-PIP を表明しました。その中に明確に ERL の次期放射光源としての位置付けは取りやめ、次期放射光源の位置付けは「3GeV 高輝度リング」に移行したこと、一方、ERL のアクティビティーに関しては、基盤経費を用いて進めてきているプロジェクトの一つとして以下のように記述されています。

3-2. Other research projects carried out using general funds of KEK

The following projects have up to now been conducted mainly using general funds of KEK. They will be continued on the condition that greater efforts are made to obtain external funding.

- Simulation studies with the existing supercomputer (only up to summer of 2017)
- Industrial application of ERL technology
- Participation in CERN LHC/ATLAS
- Research carried out in the Detector Technology Project
- Research in the Japan-US cooperation program
- Projects under the Toshiko Yuasa Laboratory (TYL)
- Small-scale research projects conducted in KEK institutes

以上のように、「ERL 技術の産業応用」を目指して、出口戦略を作ることが今後求められています。前号でも紹介しましたように、この努力の一つとして「半導体リソグラフィ用の大強度 EUV 光源開発」に関して、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」を立ち上げて活動を開始しています。また、この出口は、将来、放射光の先端光源である 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います。放射光利用の皆様方もどうぞご理解下さい。

cERL に関する進捗状況

5月31日に4号館2階輪講室でcERL ミニワークショップを開催しました(図1)。このワークショップでは、「cERL でどこまで達成できて何が残されているか? また、今後 CW-FEL や EUV-FEL に展開するにはどのような開発が必要か?」を明確にすることを目的として、一日かけて発表と議論の場を持ちました。1 mA の運転の確立、5 pC/バンチ運転での電子ビーム輝度測定、10 mA 運転の目途も見えてきていること、バンチ圧縮の確認、超伝導空洞の劣化対策の知見の確保、CW-FEL に向けた超伝導空洞の開発方針、500 kV 印加電子銃の性能とその開発の継続、冷凍設備の整備、レーザーコンプトン散乱 X 線の状況と今後の見通し等々に関する話題提供のもとに議論を行いました。下の URL に発表スライドを含めて掲載していますの



図1 cERL ミニワークショップの会場の様子。

で、ご興味のある方はご覧ください (http://pfwww.kek.jp/ERLoffice/cERL_miniWorkshop.html)。プログラムは下の通りです。

- 10:00-10:20 ビーム調整 (宮島 司)
- 10:20-10:35 エミッタンス測定 (島田 美帆)
- 10:35-10:55 1 mA CW 運転・ビームロス (帯名 崇)
- 10:55-11:15 ビームハロー (田中 オリガ)
- 11:15-11:30 バンチ圧縮オブティクス (島田 美帆)
- 11:30-13:30 [昼食]
- 13:30-13:50 cERL 電子銃 (1号機) の現状と課題 (西森 信行・東北大学)
- 13:50-14:10 入射器クライオモジュール、および、主加速器クライオモジュールにおける空洞性能の低下現象と性能回復の方策 (許斐 太郎)
- 14:10-14:30 EUV 光源用 ERL/FEL における超伝導空洞の技術的課題と開発の進展状況 (梅森 健成)
- 14:30-14:50 冷凍機の不具合の原因とその対策 (本間 輝也)
- 15:00-15:20 レーザーコンプトン散乱 X 線・今回の達成状況と今後の展開 (赤木 智哉)
- 15:20-15:40 電磁石の進捗: バンチ圧縮用 6 極電磁石とラスタリングシステム (原田 健太郎)
- 15:40-16:00 cERL ビーム運転中の真空系の運用について (野上 隆史)

一方、cERL の総合運転は今年度から休止状態となっていますが、cERL の根幹の加速器技術要素の一つである、高輝度 DC 電子銃 (図2) の原子力機構 (主に西森信行研究員 (現在、東北大学准教授)) と KEK (主に山本将博助教) の共同開発は継続して進めています。電子銃単体の開

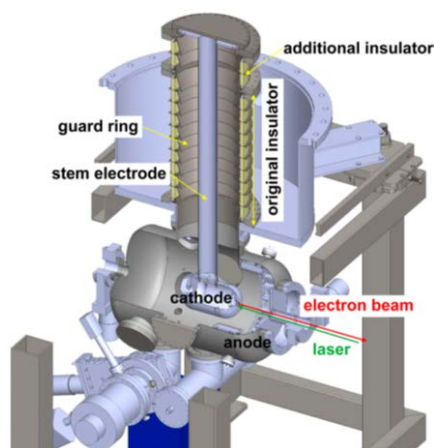


図2 cERLの根幹の加速器技術要素の一つである、高輝度 DC 電子銃

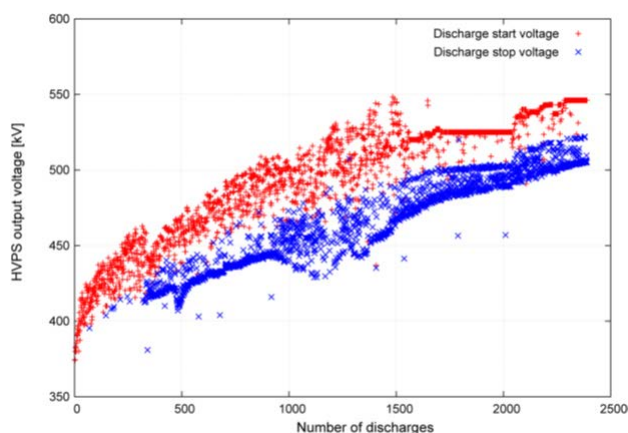


図3 500 kV まで印加したエージングでの放電開始電圧 (赤色・薄い色) と放電停止電圧 (青色・濃い色) のプロット。(ウェブ版ではカラー原稿を掲載しています。)

発運転を継続し、最大 500 kV (目標印加電圧) まで、安定な運転ができるようにエージングを継続することと、その時の電子銃単体の電子ビームの輝度を測定することを目的に進めてきました。今回、エージングを 4 月以降も行い、安定に 500 kV まで印加できることを確認しました。そのエージングのプロセスで、放電開始電圧 (赤色) と放電停止電圧 (青色) を整理してプロットすると (図 3)、明確なそれぞれの閾電圧が存在することが判り、さらに放電停止電圧が安定電圧印加の重要な閾電圧となっていることも実験的に明らかにすることが出来、その放電プロセスについての考察を含めて、APPLIED PHYSICS LETTERS **109**, 014103 (2016) に論文として掲載されています。現在 WEB でも見ることができますので、ご興味のある方は以下のサイトをご覧ください (<http://scitation.aip.org/content/aip/journal/apl/109/1/10.1063/1.4955180>)。

ERL 技術の新たな応用に向けて

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ー用の大強度 EUV 光源開発」に向けて、その利用者となる EUV リソグラフィー露光装置

会社やそのユーザーからの確実なコミットメント形成の作業が重要と理解しています。そのために「TIA 連携プログラム探索推進事業」である「かけはし」に「自由電子レーザーの産業化に向けた技術および国際動向の調査研究」という題目で応募し、「主に半導体リソグラフィ用 EUV 露光光源としてコヒーレント放射光である EUV 自由電子レーザーの実用化可能性を産業 (業界) 動向 / ニーズや技術的見地から調査研究する。さらには、その調査研究を踏まえ、産業用光源としてあるべき姿と産業化プランを世界に向け提示し、世界的なコンセンサスの形成を図ることを目指す。」という内容で申請し採択を頂いています。この調査研究の一環として、12 月中旬ごろに「EUV-FEL ワークショップ (仮称)」を都内で開催する準備を開始しています。詳細が決まりましたら WEB でご案内いたしますので、ご興味のある方はご参加下さい。

一方、国際会議、ワークショップでの情報発信とコンセンサス作りの一環として、6 月 13 -16 日に米国で開催される EUVL Workshop (<http://campaign.r20.constantcontact.com/render?m=1101919912805&ca=a5ae487c-345e-41b0-80ed-8eccb435be28>) で、KEK 加藤龍好教授が「Design and Development of a 10-kW Class EUV-FEL Project in Japan」の講演を行っています。さらに、10 月 24-26 日に広島で開催される「EUVL Symposium 2016」(<http://euvl2016.org/>) では、中村典雄教授と私が講演を申し込み、中村氏からは加速器技術の検討結果報告の立場で、私のほうからは、この実現に向けた取り組みという立場で、話題提供する予定で、半導体のエンドユーザーへの大強度光源の実現に向けたコンセンサス作りの歩みを開始しようとしています。また一方で、cERL で開発してきている「大電流先端加速器の要素開発」が、単に半導体リソグラフィーの EUV 大強度光源という産業化の切り口だけではなく、医学応用小型高精細 X 線源や核医学検査用 RI ($^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$) 製造という『新しいイノベーションを見据えた加速器要素開発』という切り口でアピールできる可能性を検討し、関係機関への働きかけを検討しています。

KEK 研究実施計画 (KEK Project Implementation Plan) について

放射光科学研究施設長 村上洋一

KEK は大学共同利用機関法人として、素粒子物理・原子核物理・物質科学・生命科学という基礎科学分野の研究を推進しています。そのために最先端の加速器を開発・建設・運転し、我が国の加速器科学の中核施設として、また世界の加速器研究の拠点としての役割を果たしてきました。KEK の研究推進の指針とするために 2013 年 5 月に公表された「KEK ロードマップ 2013」は、このような KEK の役割をさらに発展させ、世界の基礎科学研究を先導する研究成果をあげることを目指して作成されたものです。

このロードマップ 2013 に挙げられた研究計画を具体的に進めるにあたっては、財源と優先順位を明確にした実施計画を策定することが必要であり、特に予算規模が大きな計画については新規の予算要求が必要となるため、KEK としての成果を最大にする観点からの優先順位づけが必要です。この目的のためにまとめられたのがこの KEK 研究実施計画 (KEK project implementation plan, KEK-PIP) です。この実施計画は今後 6 年間に視野に入れたものですが、計画の達成状況や KEK 内外の新たな研究結果によって適宜見直しを加える必要があると考えられています。

KEK-PIP の策定にあたっては、専門的な見地から助言を受けるために、高エネルギー加速器を使った研究をしている世界の研究所又は大学の研究者 12 人 (国内 4 人) から成る「KEK-PIP 諮問委員会」が今年 5 月 22, 23 日に開催され、検討作業が進められてきました。諮問委員会からの報告書を参考にして策定された KEK-PIP は、8 月 2 日付けで下記のところに公開されていますのでご参照下さい。
<http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20160802141100/>
ここでは、以下にその概要と放射光施設に関連する部分を紹介します。

KEK-PIP では、その経緯や目的が簡単に紹介された後、現在 KEK で行われている 3 つの中核プロジェクト (J-PARC, SuperKEKB, 放射光施設における研究) について述べられています。それぞれが文部科学省から研究プロジェクトとして認められ、研究を遂行するための予算が毎年措置されており、計画を着実に実施し、高い成果に結びつけることが求められています。放射光施設に関する部分のポイントを以下に箇条書きで示します。

- PF はこれまで多くの共同利用による研究成果を挙げてきた。
- 今後も大学や他研究機関との連携に基づく先端的な共同研究を推進する一方、物質・生命科学における必須のツールである放射光を安定に供給し、これを利用した広範囲の研究領域を支え続ける。
- PF と PF-AR において整備されてきたビームライン・

実験装置を駆使して、先端的な物質・生命科学研究を行う。

- 現有の施設は老朽化やこれに伴う競争力の低下が顕著であり、次期放射光計画を進めることが急務である。
- このプロジェクトに関わるプロジェクト経費の範囲では、運転時間の確保を優先しつつ、最低限の老朽化対策、装置開発・解析手法開発を行う。

次に国際リニアコライダー計画などを含む「主に一般経費を用いて進める研究計画」についての記述があり、その後、KEK-PIP の本題である「新規に予算要求が必要となる研究計画」が述べられています。「新しい放射光施設」に関してはその最初のセクションに、優先順位が付けられた他のプロジェクトとは別枠で書かれています。KEK-PIP は英語版でのみの公開となっています。内容を正確にお伝えするために、その部分の英文をそのまま引用します。

4-1. New light source facility

With the existing light sources deteriorating and losing their competitive edge, it has become urgent to proceed with plans for the next light source facility. The KEK long-term plans have up to now called for a 3 GeV Energy Recovery Linac (ERL). This was made obsolete by the invention of the multi-bend achromat lattice as a synchrotron light source. As an alternative to ERL, a 3 GeV-class storage ring-type high-brightness light source is seen as an appropriate replacement for the PF. This next-generation light source will achieve spatial resolution of the order of nanometers and energy resolution of the order of meV. It will make possible previously unachievable new research in several areas such as studies of the structural and electronic properties of heterogeneous substances, and clarification of chemical reaction dynamics that include fluctuations. KEK is starting specific consideration of an all-Japan effort to realize the high-brightness light source, which will become an indispensable tool for leading-edge research in a wide range of academic and industrial fields.

このように、KEK における放射光将来計画は、3 GeV ERL から 3 GeV クラスの蓄積リング型高輝度光源に大きく舵が切られました。施設だよりで述べましたように、「KEK ロードマップ 2013」の中の放射光科学の部分も、この KEK-PIP と整合するように大幅に改訂されました。今後 KEK は、この KEK-PIP に沿って、All Japan 体制の基に関係機関と連携しながら、3 GeV 蓄積リング型高輝度光源施設の早期実現を図ることになります。この高輝度光源施設では、KEK の主たるミッションである学術研究と人材育成を行うと共に、産業利用を充実させイノベーションを育むことも重要であると思います。今後、放射光コミュニティの中で、3 GeV 蓄積リング型高輝度光源施設に関する将来計画を十分に議論して頂き、それに基づいて柔軟に KEK 放射光計画を進めていく必要があると考えています。