

日に日に秋が深まる季節となりましたが、皆様には一層ご活躍のことと存じます。PF および PF-AR では 10 月より秋季運転が開始され、ほぼ順調な運転が行われています。この後 12 月 21 日まで運転を続け、年末年始の休みをさみ、2 月 18 日 (PF) 22 日 (PF-AR) から 3 月 14 日まで冬期ユーザー運転を行う予定です。昨年度は電気料金の値上げや予算不足等により、冬期に運転を確保することができず、皆様には大変なご不自由をお掛けしました。来年度以降も、十分なビームタイムを確保するように努力すると共に、課題実験が効率的に実施できるように、実験環境をハードとソフトの両面から整えていきたいと考えています。

さて、昨年度、物構研運営会議のもとに PF 将来計画検討委員会が設置され、次期光源計画、施設のあるべき運営形態などについて、真剣に議論をして頂いております。これに関連して、今回の施設だよりでは、今後の PF が果たすべき役割について考えてみたいと思います。

PF の役割

PF は X 線領域までカバーする日本初の放射光実験施設として 1982 年に運転を開始して以来、大学共同利用を中心とする放射光利用研究において重要な役割を果たしてきました。PF 将来計画検討委員会では、このような歴史を踏まえながらも厳しく現状を分析して、PF の役割として下記のような 4 つの観点を挙げ議論しています。

(1) 先端的研究：放射光科学を牽引する中核拠点として、国内外の優れた研究者を結集し、先端放射光利用研究を推進する。

(2) 共同利用：大学および企業などの研究者（含、技術者、学生）を対象に、使い易く便利な放射光利用サービスを提供するとともに、基礎科学の展開に源を発する形での応用分野の画期的な変化の種を生み出すべく、イノベーションを育むことのできる場を提供する。

(3) 人材育成：放射光利用研究を通して、基礎研究から応用研究まで、高度な研究活動を行うことのできる人材を育成する。

(4) 社会貢献：放射光利用研究による成果を様々な形で社会に公開し還元する。それにより、持続可能な社会の構築のための役割を果たし、日本社会、更には広く世界からの信頼と負託に応える。

私はこの 41 つの観点の中でも、日本の中で PF が今後果たすべき役割を考えると、大学等との連携により (1) の先端的研究を推進することと、(3) の科学技術を担う人材を育成することの 2 点が、特に重要であると考えています。先端的研究の創出、学术界・産業界で必要とされる人材育成のためには、何が必要で、どのような仕組みを導入すべきなのでしょう。現在の PF にその芽があるものは大いに伸ばし、ないものは新しく創っていく必要があります。私見になりますが、先端的研究を推進するためには、

大学や研究所群と密接に連携して、ボトムアップ型研究を強くサポートすることが重要であると考えています。そこで生み出される成果は、広範な放射光科学分野における研究レベルを引き上げ、その結果、産業界にもインパクトを与える真の科学技術イノベーションを生み出すでしょう。また、それは社会的要請に応えるトップダウン型研究のブレークスルーにも繋がっていくと思います。このような連携を推進するための仕組みとして、幾つかのサイエンスコンソーシアムを創り、密接な共同研究や人材交流を行うことのできる場を提供することは、施設の重要な役割ではないでしょうか。一方、これまで PF では年間 1500 名程度の大学院生が実験課題に参加し、大学院教育に貢献してきました。この経験を活かし、最先端研究の場を学生教育の場として捉え、特色ある教育プログラムを大学と共同して策定・実行していくことも、PF の特徴を活かす方法であると考えています。

PF のテーマを一言で言うと、物質と生命の機能発現のしくみを、構造の観点から探求するということですが、「不均質系」が、これからの物質・生命科学に共通した、機能解明の鍵であると言っても良いかと思います。今後の最先端研究の多くが、「不均質系」における界面研究にあるように思います。このような最先端の学術研究を行うためには、現在の PF および PF-AR の光源性能では限界があります。ナノメートルの空間分解能で局所構造を、ミリ電子ボルトのエネルギー分解能で電子状態を決定するためには、新たな先端放射光源が必須です。このために、PF は全日本の中で果たせる役割を早急に追求していきたいと考えています。

さて、PF の役割として先端的研究と人材育成を強調しましたが、一方で PF が多様な研究を支える国家として不可欠な先端基盤研究施設であることは疑いありません。PF は、先端的な材料開発、再生医療、創薬等、幅広い分野における研究成果創出のための基礎基盤施設です。この施設機能を更に発展させるためには、これまでの大学共同利用のシステムに加え、材料開発や創薬に繋がる研究課題を迅速に実行できる新たなシステム作りも欠かせないと考えています。実際の測定現場では、試料の取り扱いや測定手法に精通した担当者を配置し、効率的な研究成果の創出をサポートすることも必要です。一方で、ルーチン的に多数の試料の計測が必要なケースでは、試料を郵送して貰い、ロボットにより自動化されたビームラインで計測を行い、測定結果を返送するようなオプションも考えていきます。このような多角的な取り組みを進めることにより、PF は様々な研究分野に放射光利用を広げていき、産業利用等への貢献も果たしていきたいと考えています。

入射器の現状

加速器第五研究系研究主幹 古川 和朗

概要

2015年6月末まで順調にPF Ring及びPF-AR放射光施設への電子入射運転や低速陽電子施設の運転が行われた。上流部においては、新規開発のRF電子銃の補完として、主に陽電子発生用一次電子に使用する熱電子銃の放射線施設検査合格の後、再コミッションを進めた。

また、夏期停止期間は、2016年2月に迫ったSuperKEKB入射前の最後の長期停止期間として、建設作業が行われた。特に、大電流運転に備えて、既に報告した陽電子発生部の遮蔽の増強や、電子銃部、ビーム・コリメータ部の遮蔽の増強に時間が割かれた。

9月24日からは予定通り秋の立ち上げを行い、10月13日からはPFの入射も始まった。その直前のビーム調整予備日の休日を利用して、以下のチャネリング・ハイブリッド陽電子生成実験も行われた。

チャネリング・ハイブリッド陽電子生成実験

単結晶物質の結晶軸の方向に粒子ビームを入射すると、周期的な原子の作る電場によって、非結晶物質とは異なる粒子の挙動が観測される。これをチャネリングと呼ぶことがあるが、同時にそれらの相互作用により、周期的な原子配置をアンジュレータとするようなチャネリング放射光が図1のように発生する。例えば、物質に高エネルギーの電子を入射すると制動放射ガンマ線が発生するが、薄い単結晶を用いると、制動放射の数倍のチャネリング放射が発生する。このチャネリング放射を用いて対生成による陽電子発生をさせると、図2に示すように制動放射に比べ数倍の増強を観測することができる。

入射器においてはこれまでいくつかの目的で、チャネリング放射光の実験が行われている。1990年ごろには、

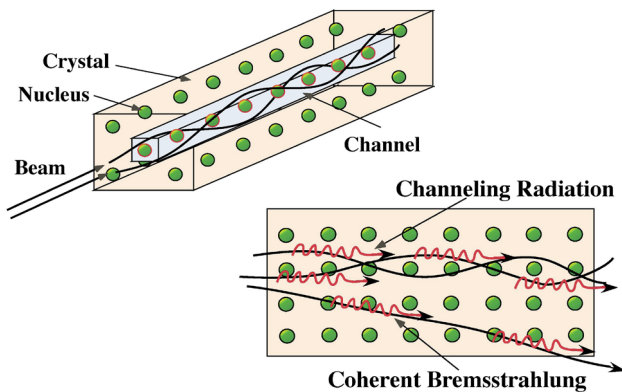


図1 単結晶中に入射した粒子の挙動と伴って発生するチャネリング放射。

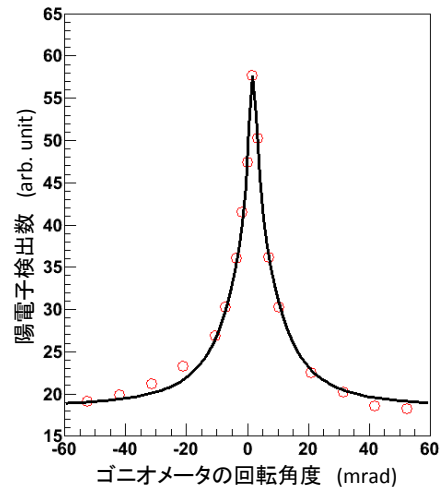


図2 薄い単結晶標的(1 mmのタングステン)を用いた場合に、入射電子角度を走査して、生成したガンマ線から対生成された陽電子を測定した、典型的なロッキングカーブ。裾野はチャネリングが起らず制動放射のみで、ピークはチャネリングの効果を観測している。

陽電子を入射粒子とするチャネリングの観測に成功した。1990年代後半からは東京大学原子核研究所での予備実験の結果を踏まえた上で、KEKBの陽電子生成効率を向上させることを狙って、単結晶標的の種類や厚さの最適化の実験を行ってきた。チャネリング効果自体は、例えば、高エネルギー粒子を大型の電磁石を用いずに曲げることができるために、素粒子実験などで利用されることもあり、その観点の実験の期待もある。

入射器のビームラインにアクセスして実験を行うためには、全てのマイクロ波電源を停止させる必要があるなど、入射器内での実験には困難が伴う。それでも、高エネルギーのパルス電子が得られる施設は多くはないので、過去にも、初期のアンジュレータ放射光発生実験、アクシオン粒子探索実験、SSC向けのカロリメータ検出器開発実験、初期の低速陽電子実験、などが入射器の第3スイッチヤードにおいて行われた。

KEKBに向けた陽電子生成に関しては、都立大、広島大や仏オルセー研究所、露トムスク大との共同研究として、複数回の実験において、シリコンやダイヤモンドも含めた標的の評価と、厚さの最適化を行った。単純な物性からは30 mmほどのダイヤモンドに期待もあったが、多重散乱のために効果が大きくないことがわかった。非結晶タングステンでは厚さ14 mmが陽電子生成に最適であり、通常運転でも用いられている厚さであるが、チャネリング放射を生成すると、そのために見かけの放射長も短く変わり、

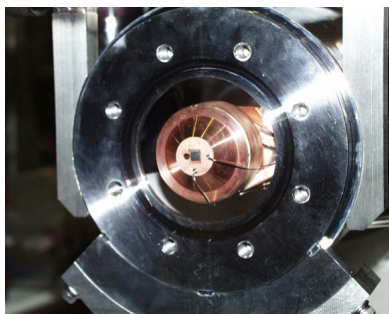


図3 設置された単結晶標的。銅の冷却ブロックの中央に設置された四角の単結晶タングステン標的。左の小さな穴は陽電子を生成しない時に電子を通す穴。

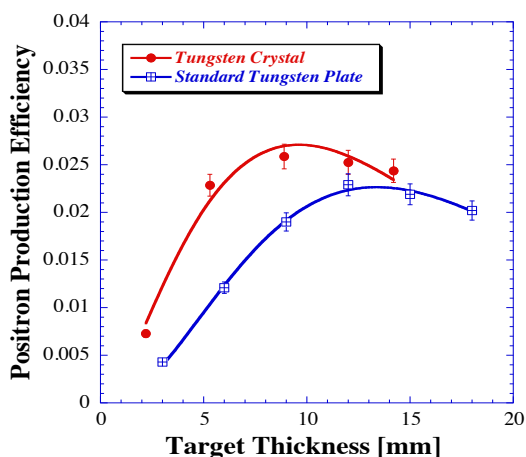


図4 非結晶と単結晶のタングステンについての、標的厚さに対する、陽電子生成効率のプロット。

タングステン結晶厚さは 10.5 mm が最も適していることがわかった。

確認されたこの条件を用いた単結晶陽電子標的を用いて、2006 年から 1 年間、チャネリング放射によって約 30% 向上した陽電子発生を行い、KEKB 運転に貢献することができた (図 3, 4)。その後は、SuperKEKB 向けの開発も始まり、1 mrad 以下の角度精度や冷却のリスクを考慮し、単結晶標的の運転での使用は行われていないが、将来 SuperKEKB 入射での利用の可能性もあり得ると考えている。

KEKB を目的とした陽電子生成においては、主に単バンチ大電流陽電子の生成効率の向上が課題であったが、例えばリニア・コライダのように陽電子の平均電流が大きい場合には、温度上昇や衝撃疲労による標的の破壊が課題になることが早くから指摘されていた。その解決策として、図 5 のようにガンマ線の生成と電子・陽電子対生成を分離するハイブリッド標的という考え方が提案された。ガンマ線の生成方法としては、アンジュレータを使用する方法が主要な方法として認識されているが、薄い重金属標的の制動放射や、チャネリング放射の利用も考えられる。

チャネリング放射のハイブリッド標的の実験も、図 5 のような配置で入射器において行われたが、結果をリニア・コライダの条件に外挿すると、やはり後段の対生成標的の発熱の問題は大きく、ILC (International Linear Collider) にお

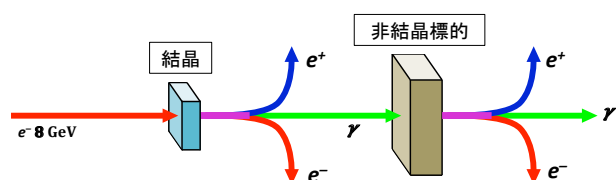


図5 初段の結晶標的はガンマ線の生成に使用し、同時に生成される電子陽電子対は電磁石等で排除する。後段の標的は陽電子の生成に用いるが、入射荷電粒子が無いために発熱が抑えられる。実験では、後段標的に粒状標的を用い、生成された陽電子を分析電磁石で検出器に導き、質・量の観測を行った。

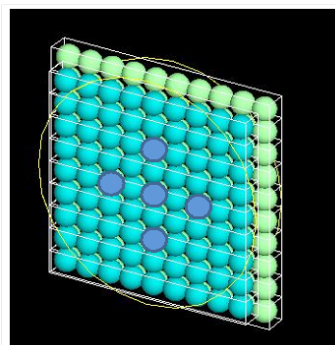


図6 2層にした粒状タングステン標的の例。今回は青い粒に熱電対を取り付け、陽電子発生効率とともに温度上昇を測定した。

いては 2013 年から正式な選択肢からは外れている。しかし、結晶標的のガンマ線生成効率の高さは魅力であるため、ヨーロッパ中心の CLIC (Compact Linear Collider) においては正式な選択肢の一つとなっており、さらに後段の陽電子生成標的に冷却の実績のある粒状標的を採用した実験を震災の 2011 年に予定していた。粒状標的は、バルクの金属に比べ粒の間でヘリウムによるガス冷却が可能となるために有利で、他の加速器実験でも用いられている。

残念ながら、その後震災の復旧を優先せざるを得ず、今期まで実験を行うことはできなかった。今期は、SuperKEKB の入射を前にして、高エネルギーの電子の使用が可能となってきたため、PF 入射直前のビーム調整予備日の休日を利用して、予定していた粒状標的を用いたハイブリッド標的の実験を行うことができた。

今回の実験は、実験装置の震災前の状態への回復に重点を置き、さらに図 6 のような粒状標的の温度上昇の測定を行った。実験は約 1 nC、7 GeV の電子を厚さ 1 mm のタングステン結晶に入射し、生成した電磁シャワーから荷電粒子を電磁石により排除し、ガンマ線のみをその後のタングステン粒状標的 3 種類に導き、生成された陽電子を分析電磁石とチェレンコフ測定器で観測した。

その結果、期待した結果を得ることができ、現在解析を急いでいるところである。今後、SuperKEKB や放射光への電子陽電子入射が密になると予想され、この共同実験を継続できるかどうかかわからないが、可能な範囲で共同研究の要望に答えていきたいと考えている。

夏期停止期間の作業

PF リング、PF-AR とともに保守的的点検を含めて作業は順調に進んだ。今年の夏、PF-AR におけるフィードバックキッカーの移設・更新作業が行われた。

PF-AR では電子ビームを入射して蓄積電流を増加させていったとき、ある電流値を超えるとビーム不安定現象が発生して、それ以上蓄積できなくなる現象が発生してしまう。これを抑制するためのフィードバックシステムを構築して運用してきたが、既存のフィードバックキッカー（1.2 m の丸パイプ型ストリップライン電極）は、大電流を蓄積したときに中央サポート部分で放電が発生するという不具合が生じていた。これに対処するため、新しい形状のキッカー電極を設計・製作した。新キッカーは、長さ 460 mm のストリップライン 2 台を直列に接続することで、中央サポートを不要としている。また、従来と同等のキック力を得るために、丸パイプではなく端面を折り曲げた平板電極として、高周波回路シミュレータによって形状の最適化を実施した。製作 3D CAD 図を図 1（左図）に示す。製作完成後性能試験を実施、インピーダンス調整をした後、8 月に PF-AR リング内に設置した（右写真：信号ケーブル配線前の状態）。



図 1 フィードバックキッカーの 3D CAD（左図）、リングに設置した写真（右図）

光源リングの立ち上げ・運転状況

PF リングは、10 月 13 日（月）9:00 に運転を再開した。リングの立ち上げおよび真空の焼きだしも順調に進み、10 月 19 日（月）9:00 からの光軸確認の後、ユーザ運転に入った。図 2（上）に立ち上げから約 3 週間の蓄積電流値の推移を、図 3（上）に光焼きだしの状況を示す。ユーザ運転は順調に経過しており、またリングの平均真空度も徐々に良くなり、11 月 2 日の時点で、ビーム寿命と蓄積電流値の積（ $I \cdot \tau$ ）は、約 500 A·min まで回復している。

PF-AR の立ち上げは 10 月 19 日（月）9:00 から行われた。今期から PF-AR への入射エネルギーは、入射器の事情で

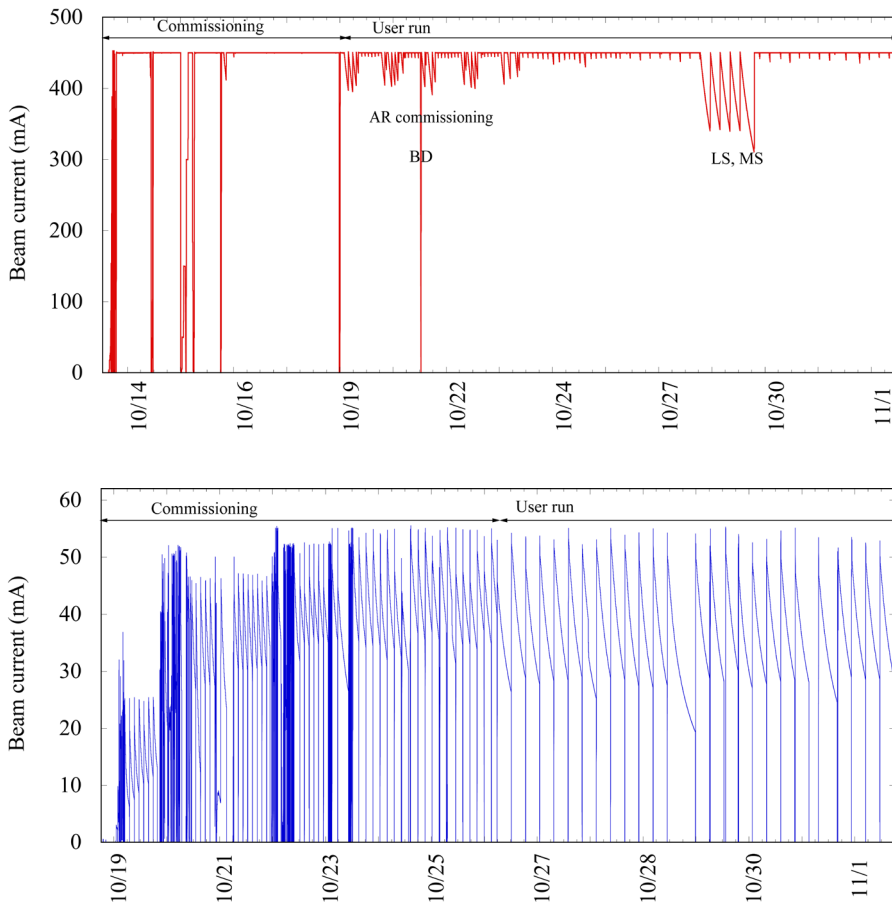


図 2 PF リング（上）と PF-AR（下）における蓄積電流値の推移を示す。LS は入射器調整、MS はリング調整、BD はビームダンプを示している。

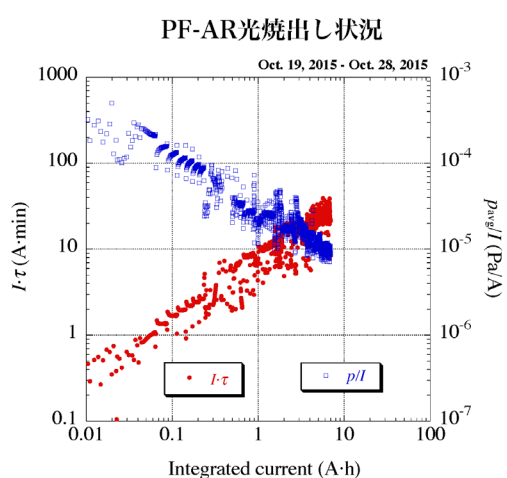
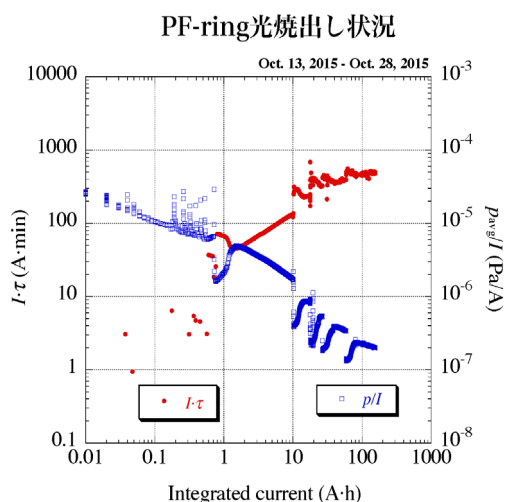


図3 PFリング（上）およびPF-AR（下）の光焼きだしの状況。横軸は積分電流値、縦軸はPFリングの平均真空度を蓄積電流値で割った値（ P_{av}/I ）と蓄積電流値とビーム寿命の積（ $I \cdot \tau$ ）を示す。

3.0 GeV から 2.85 GeV に下げることとなった。エネルギーを下げることによる様々な懸念があったものの、入射路のビーム通し、リングへの入射・蓄積は概ね順調に行われた。夏の停止期間に設置したフィードバックキッカーは正常に動作した。しかしながら、2.85 GeV ではビーム不安定性が厳しく、50 mA 以上の蓄積および 6.5 GeV への加速はなかなか困難であった。立ち上げから二日後の 10 月 21 日ようやく 50 mA を超えて 6.5 GeV へ加速できるようになり、10 月 26 日（月）9:00 からの光軸確認後ユーザ運転となった。PF-AR の方も、平均真空度が徐々にではあるが良くなってきており、 $I \cdot \tau$ も 20 A·min まで回復はしてきているものの、電流値の減少は通常より早いため、今のところ一日 4 回入射（6 時間間隔）を行っている。図 2（下）に立ち上げから約 2 週間の蓄積電流値の推移を、図 3（下）に光焼きだしの状況を示す。

PF-AR 直接入射路関連

PF-AR 直接入射路関連では、コンポーネントの製作もほぼ終わり、2016 年 7 月から始まる 3 GeV PF-AR ビーム



図4 PF-AR 直接入射路新トンネル下流部に設置された KEKB ビーム輸送路との境界領域を区切るフェンス。扉の左横の四角の部分がビーム輸送通過予定箇所。

輸送路の移設に向けての準備作業が行われた。今回の準備作業では、ビーム輸送路移設の工程の詳細を詰める作業、および機器の取り合いの確認作業を行うとともに、少しでもビーム輸送路移設の期間を短縮するための作業を行った。ビーム輸送路移設開始までに、直接入射路全域の電磁石架台と真空ダクト架台を設置するためのアンカーボルトの打設、新規製作の電磁石架台の設置（現行の 3 GeV PF-AR ビーム輸送路から電磁石および架台を移設して使用する予定なので新規のものしか準備作業では設置できない）、電力ケーブルの敷設等を行った。また、2016 年 2 月に予定されている SuperKEKB の運転に合わせて、放射線管理区域の設定が変わるため、直接入射路のトンネル内に境界領域を作るためのフェンス設置も行われた（図 4）。加速器機器については、電磁石の磁場測定も始まり、真空チャンバーおよびモニタについては調整作業が進んだ。

PF リング電磁石電源老朽化の現状

PF リングは 1981 年に建設され、その後、1990 年の 3 GeV 運転開始、1996 年の高輝度化、2005 年の直線部増強と、大規模な改造の度に電磁石電源の入れ替えが行われてきた。しかしながら、1979 年製造の偏向電磁石電源用 6.6 kV 受電盤は現在まで更新されることなく使われている（図 5 左）。また、建設当時迄はさかのぼらないが、高輝度化改造時に導入された 4 極及び 6 極電磁石電源、ステアリング及びビームトランスポート電源もまだ使われており、製造後約 20 年を経過したここ数年、故障が頻発するようになっている。特に、受電盤やメインの 4 極及び 6 極電磁



図5 PFリングの偏向電磁石電源の受電盤（左）と大型4極、6極電磁石電源（右）。

石電源は、1台でも故障したらリング全体の運転が止まってしまうという致命的かつ重要な装置である。それぞれについて詳細を述べる。

偏向電磁石電源の受電盤は6.6 kVという高電圧を直接受けているため、些細な故障が重大事故になりかねない危険な状況にある。メンテナンス時の調査によると、全体の絶縁耐圧を含めた性能は、長年の汚れや劣化等によって確実に低下してきており、コンタクタの経年劣化についても、いつまで異常なく使用できるのか誰も経験したことの無い経過年数になりつつあるとのことである。部品を交換しようにも高圧部品は高価なため、単年度予算では困難な状況である。さらに、製造中止部品がほとんどであるため、中途半端に部分改造を行って無理に取り付けることは、場合によっては危険性の増大につながりかねないことから、現時点では安全性・コストの面からも受電盤全体を新規に製造して交換するのが最も良いと判断している。

4極及び6極電磁石電源については、80年代製造の電源は、高輝度化時に約半数が、直線部増強時に残りの半数が更新された。とはいえ、高輝度化は約20年前であり、その時に導入された大型電源（SFF, SFD, QFD, Q2, SD, QFF, QAA, QAB, QDA, QD）10台の故障が、ここ数年頻発している。具体的には、電流リップルの経年劣化による増大や、サイリスタの劣化、制御素子の劣化に伴う3相400VのACに対する相間バランスの崩れなどがメンテナンス時の性能測定で分かっており、運転中もインターロックの誤検出やチューンの変動など故障がここ数年増加してきている。

偏向電磁石電源については、2001年製造でまだ14年“しか”経過していないとも言えるが、負荷が飛び抜けて大きく、電源自体の大きさも、他の大型電源4台分を優に超える電源である。特別な受電盤およびトランスが必要なのも、電源の容量が大きいためである。メンテナンスを行った製造業者の指摘では、消耗品である電解コンデンサの劣化が生じており、出力電流の安定性に悪影響が出そうとのことであった。ただし、コンデンサといっても缶ジュースサイズのコンデンサが100個以上必要で、単年度の予算での更新は困難な状況である（電源の部分的な解体作業が必要なので、数個ずつ毎年交換するのは非現実的である）。

リングの補正電磁石電源、スキュー4極電源、ビームトランスポートの4極及び補正電磁石電源については、高輝度化改造時に導入された約20年のものであり、台数も200台近い。電源自体は製造業者がすでに電源製造から撤退、制御系に関しても絶縁フォトカプラやAD/DA素子など、主要部品は既に製造中止で修理すらもできない状態である。その結果、故障時は電源、制御系ともに、手持ちの予備品（製造年代は同じ）に置き換えるしかなく、予備品が尽きたら数を減らしての運転に移行することで対処している。ここ数年、やはり故障が頻発しており、例えば、電流モニタが突然振り切れる、制御していないのに電流が流れ、実際にビームが蹴り落とされる、インターロックの誤検出などが頻発している。ビームを誤って蹴るのは極めて危険

で、例えば、真空封止短周期型アンジュレータというギャップ幅4 mmまで狭めてX線を発生させる装置がPFリングに4台導入されているのだが、垂直ステアリング電磁石の誤動作によって意図しない場所に放射光が照射されると、重大な真空事故が発生する可能性がある。実際、原因は故障ではなかったが、不用意に垂直にビームを蹴り、真空封止挿入光源U17の保護フィルムを溶解させる事故が発生している。小型電磁石電源の誤動作も重大な事故を引き起こす可能性が大きい為、一刻も早い更新が求められている。

人事公募

加速器研究施設ではフォトンファクトリー加速器（PFとPF-AR）や次世代放射光源における加速器開発などに意欲的に取り組んで頂ける若手研究者を求めています。これまでの研究分野は問いません。興味のある方は是非応募してください。詳細はp.32～34に掲載しています。

運転，共同利用関連

2015年度第2期のPF，PF-ARのユーザー運転は，それぞれ10月19日，10月26日より開始しており，ともに12月21日朝までの予定です。また，今年度は第3期にもユーザー運転を行います。PF，PF-ARと入射器を共有しているSuperKEKBの運転と歩調を合わせることで電気代を節約し，少しでも運転時間を長く確保するために，例年よりも遅い時期に設定しました。具体的にはPFは2016年2月18日から，PF-ARは2月22日から，それぞれユーザー運転を開始し，ともに3月14日の朝に終了する予定です。なお，2016年2月から6月にかけては，SuperKEKBの立ち上げのために入射器を長時間占有する必要があるため，PFのトップアップ運転を行うことができず，蓄積モードでの運転となる予定です。また，2016年7月から12月にかけてPF-AR直接入射路の工事を行うため，PF-ARの2016年度第2期の運転を停止することを予定しています。現在，PF-ARへの入射は3 GeV（2015年度第2期より2.85 GeV）で行い，入射後に6.5 GeVまで加速しているため，1日に2回，15分程度の時間をかけて入射を行っており，この間はPFおよびKEKBへの入射が停止しています。KEKBの後継機であるSuperKEKBではビーム寿命が極めて短くなるので，このような長時間の入射停止を避けるために，PF-ARへの新たな入射路を建設してPF，SuperKEKBとの同時入射を実現するのが今回の改造の目的です。また，この改造にともないPF-ARへの入射エネルギーが6.5 GeVとなりますので，将来的にはトップアップ入射が実現できる可能性があります。一つの入射器を共有しているというKEKの事情により，ユーザーの皆様には多大なご迷惑をおかけしますが，KEK内の各プロジェクトが協力しながら発展していくことが，互いの利益につながっていきますので，ご理解のほどよろしく願いいたします。

BL建設，改造関係

今年度の夏季シャットダウン中には，大規模なビームライン建設作業はありませんでしたが，いくつかのビームラインで改造，高度化が行われました。BL-13では2015年2月に新設したアンジュレータの光源点に合わせて，ビームラインのスリットの位置を変更する作業が行われました。秋の運転開始時に最終的な調整を行い，所期の性能が得られることを確認する予定です。BL-2は2台のアンジュレータをタンデムに配置し，斜入射回折格子分光器と二結晶分光器を切り替えることによって30 eVから4 keV程度の広いエネルギー範囲の光を利用できるビームラインとして整備を進めてきましたが（BL-2Aは斜入射回折格子分光器のみのため1.5 keV程度まで），2015年度第2期より斜入射回折格子分光器を用いた一部の実験について

共同利用を開始します。BL-17Aでは2015年1-4月にかけて行った高度化により，波長範囲0.9-2.1 Åにわたって径10-20 μmのビームが利用できるようになりました。2015年10月からは結晶化プレートに直接X線を照射してデータ収集する実験モードも一般に公開されます。

このようなビームラインの改造，高度化の詳細については，ウェブページ「ビームラインの最新整備状況」（<http://www2.kek.jp/imss/pf/apparatus/blupdate/>）に掲載されています。また，最新の進捗状況についてはメールマガジン等でも随時お知らせしていきます。

将来計画に対するPFスタッフの取り組み

PFの将来計画に関しては，現在，PF将来計画検討委員会および物構研運営会議における議論が大詰めを迎えておりますが，それと並行してPF内でも，測定器と光源のメンバーが一丸となって，スタッフ一人ひとりが次期光源計画を自分自身の問題として認識し，蓄積リング型の高輝度光源を用いてどのようなサイエンスが展開できるのか，最新技術の導入によってどれだけの性能を実現しうるのか，といったサイエンス，技術の両面からの検討・議論を行っております。ユーザーの皆様とも，日々のビームタイムなどの機会を利用して，さらには3月15，16日の量子ビームサイエンスフェスタの中で開催されるPFシンポジウム，およびその前日（3月14日）に予定されているPF-UAのミーティングにおいて，情報交換や議論を行っていきたいと考えております。

人事関連

最後に人事異動についてご報告します。構造物性グループの博士研究員として，共鳴X線散乱などのユニークな手法を用いてマルチフェロイクス物質の物性研究を行ってきた本田孝志さんが，物構研の中性子科学研究系に異動されました。今後も同じ物構研の一員として，中性子実験装置の先端的な利用により，機能性物質・材料の構造解析やダイナミクス研究を推進されます。低速陽電子グループの特別助教として，全反射高速陽電子回折や低速陽電子回折といった最先端の実験手法の開発と，それを用いた表面構造の研究を行っている和田健さんが，特別准教授に昇任されました。また，構造生物学研究センターの研究支援員として，斎藤朱峰さんと小粥ゆききさんが着任されました。

はじめに

前号に記載しましたように、新しい山内機構長は「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、8月31日の研究推進会議で、ERL 推進室の今後の方針を説明する機会が与えられました。まず、cERL の現状とその今後に向けての開発に関して紹介し、cERL の運転実績から、低電流、低バンチ電荷における加速器性能は当初の目的を実証できた事、一方で大電荷、大電流の性能に関しては、今後もたゆまぬ開発が必要であること、またその開発には、現在の 20 MeV の加速エネルギーを増強することにより、空間電荷効果の軽減が重要であることを述べました。そして、その増強により、現在、米国で既に建設が開始している LCLSII のような CW-FEL の加速器技術を KEK でも蓄積することが出来ると同時に、cERL の技術開発で 2 年ほど前から検討が開始されている大強度 EUV 光源の技術課題も解決でき、さらに、レーザーコンプトン散乱による医学応用のテストポートの役割も果たせると説明しました。

今回の研究推進会議での議論が機構内にどの程度伝わったかは答えは出ていませんが、今後も機構の執行部への働きかけを続けていく所存です。どうぞユーザーの皆様のご支援をよろしくお願いします。

cERL での進捗状況

cERL の運転は 6 月 26 日で終了し、その後、第 1DC 電子銃の高電圧印加のための改造作業が開始しました。第 1DC 電子銃は主に JAEA が中心となって建設され、cERL の運転が行われています。約 2 年半前に東海の JAEA キャンパスから KEK サイトに移設しました。この電子銃は電子ビームの高輝度化を実現するため、別の言葉でいえば空間電荷効果を軽減するために、500 kV の高電圧印加をその仕様としています。そして、500 kV の高電圧を実現するために 12 段のセラミック絶縁碍子を用いていますが、移設前には 500 kV の高電圧印加が可能でしたが、移転に伴う作業で、多段のセラミック絶縁碍子の上段部の 2 段の絶縁碍子に絶縁の不具合が発生し、そのため、500 kV の高電圧の印加を行わず、400 kV の電圧印加に留め、ビームテストを行ってきました。そのような判断をしたのは、400 kV でも、現在世界中で稼働している DC 電子銃の中で、最高電圧を安定して印加できる電子銃となっているからです。しかし、更なる高性能化を目指し、この夏から秋にかけての運転停止期を利用して、不具合が生じている絶縁碍子を用いなくても 500 kV の高電圧が印加できるように 2 段分のセラミック絶縁碍子を追加する作業を 7 月から開始

し、電極を取り除いた状態で 550 kV の高電圧を絶縁碍子に安定に導入できることを確認、そして、カソードロッドと電極を取り付ける作業を行い、10 月には電極がある状態で高電圧印加テストにたどり着きました。カソードロッドは、今まで使用していたカソードロッドに新たなロッドを接続する形で進めましたが、残念ながら、高電圧印加の結果は、180 kV 程度から放電が発生し、高電圧印加が進まない状況に遭遇しました。放電箇所を特定したところ、カソードロッドの接続場所に対応することが判り、現在、一体のカソードロッドの新規製作を進めているところです。カソードロッドの作製が終了する 11 月末から 12 月中旬にかけて電子銃の立ち上げ作業を行う方向でスケジュール調整を進め、1 月からの cERL の運転に間に合わせる段取りを進めています。

一方、PF-AR 南実験棟で整備を進めている第 2DC 電子銃は、既に電極がある状態で 550 kV までの高電圧がかけられることを確かめていますが、この電子銃を用いて大電流（最大 10 mA まで）の電子銃単体の試験を行えるようにしたいと計画しています。そのためには放射線の遮蔽体の増強が必須ですが、段階的に電流値を上げていく計画の元、遮蔽の設計について放射線科学センターと相談を開始しました。

PF-AR 東第 2 実験棟では、超伝導空洞の横測定がオフラインで行える設備を LC の開発グループと協力して建設してきています。KEK には、超伝導空洞の単体性能を評価する縦測定装置は整備されていますが、クライオモジュールに組み入れた状況での性能テストを行う横測定装置は整備されていませんでした。クライオモジュールへの組み込みの際に生じるダストの混入等の問題を解決するためには、この横測定装置が必須です。そのため昨年度、横測定用クライオスタットを設置し、その冷却システムの整備を 4 月から開始しています。7 月段階で減圧ポンプの整備も終了し、2 K まで温度を下げられることを確認し、現在冷却に伴う熱振動の対策を行い、12 月に再度冷却テストを行うべく作業を進めています。このように超伝導空洞の性能向上に向けて弛まぬ開発とその立ち上げの努力を関係者は進めています。

一方、電磁石グループはこの秋の停止期間に、周回部でバンチ圧縮するための 6 極電磁石をインストールするスケジュールで作業を進めています。来季の 2 月から 3 月の運転でその効果を確かめることが出来るでしょう。

9 月 1 日から 4 日に渡り、高エネルギー加速器セミナー OHO'15 「エネルギー回収型リニアックの加速器基盤技術と応用」の題目で恒例の若き加速器研究者向けのセミナーが行われました。参加者は総勢 85 名であり、講師 13 名の 4 日間にわたる講義に熱心に耳を傾けていました。講師陣は cERL の建設、運転の実績をもとに充実したテキストを

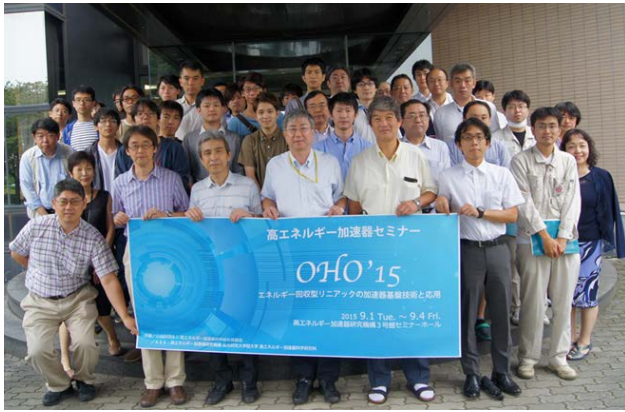


図1 OHO'15の講師，参加者の集合写真



図2 EUV-FEL 光源産業化研究会打ち合わせの様子。

準備し、内容の濃い講義をしてくださいました。図1はセミナー開始日に撮影したものです。また、夜話では、(株)東芝 S&S 社の内山貴之博士から「EUV 利用」というタイトルで、半導体向け EUV リソグラフィの概要と展望についてご講演頂き、東海大学 盛 英三教授から「cERL を線源とする病院設置型微小血管造影装置開発に向けて」というタイトルで、既存の X 線源を用いた微小血管造影装置開発の歴史と cERL を線源とする逆コンプトン散乱 X 線への期待のご講演を頂きました。講義内容をテキストも含めて以下のサイトに紹介してありますので、ご興味のある方は参照してください。 <http://accwww2.kek.jp/oho/oho15/index.html>

EUV 大強度光源の検討に関して

今までに何度か大強度 EUV 光源開発が ERL の加速器技術を用いた新たな展開があることを報告してきました。その大強度 EUV 光源開発と、その関連材料(レジスト、マスク、多層膜ミラー等々)技術開発を共通の議論の場を持つことを目標とした、「EUV-FEL 光源産業化研究会」の立ち上げを開始しています。具体的には、第1回準備会(8月19日)に企業から15名(6社)、コンソーシアムから1名(1機関)、大学等から4名(3大学・1機関)、そして KEK から14名の関係者が参加しました。図2はその時の打合せの様子です。その後、9月24日に世話人会で今後の活動概要が議論され、10月21日の全体会議では、「EUV-FEL 光源の設計検討」、「EUV はなぜ 13.5 nm になのか」、「エンドユーザからの EUV-FEL 光源への要求」、「多層膜ミラーの現状と FEL での課題」、「関係学会最新情報」等の話題提供と意見交換が行われています。現在、7企業、1コンソーシアム、6大学・研究機関からの関係者が参加し、その規模が拡大してきています。

10月16日には時を同じくして二つの講演会で ERL-FEL による EUV 大強度光源の講演が行われました。一つはアルカディア市ヶ谷で開催された高エネルギー加速器科学研究奨励会が主催する特別講演会で、その中で(株)東芝・セミコンダクター&ストレージ社の内山貴之氏から「半導体向け EUV リソグラフィの現状と展望」、そしてこの展望

を受けて KEK の小林幸則主幹から「エネルギー回収型リアック (ERL) を用いた高出力 EUV 光源の開発」の講演が行われました。一方、京都の木津にある関西光科学研究所で、日本原子力研究開発機構量子ビーム応用研究センター及び関西光科学研究所が主催する「第16回光量子科学研究シンポジウム」が10月15-16日に行われ、16日に私が「Feasibility study on high power EUV light source based on ERL-FEL」の講演を行ないました。それぞれの講演会、シンポジウムの詳細な情報は以下のサイトをご参照ください。 <http://www.heas.jp/lecture/koen.html>

<http://www.wapr.kansai.jaea.go.jp/sympo16/index.html>

また、11月9-11日に Dublin で開催される「2015 International Workshop on EUV and Soft X-ray Sources」で、KEK の梅森健成准教授が、「Current Progress on Design Work of High Power EUV - FEL based on ERL」のタイトルで現時点での加速器設計検討・最新情報と、さらにそれに特化した超伝導加速空洞モジュールの概念設計の検討状況を報告します。少しずつですが ERL-FEL をベースにした大強度 EUV 光源の期待が広がってきていると想像しています。

情報発信その他

9月13-18日にカナダのバンクーバー郊外の Whistler Conference Centre で SRF2015 が開催されました。超伝導空洞をベースにした加速器の全体的な国際会議であり、KEK から ERL, ILC をはじめ機械工学センターのアクティビティを含めて多くの方々が参加されました。会議全体で約350名の参加者の規模で、現在世界的に建設が進んでいる重イオン加速器用としての超伝導加速空洞、EURO-FEL での数々のアクティビティ、そしてこれから建設を開始する LCLSII 計画での検討状況で多くの講演が行われました。特に LCLSII 計画が CW 運転をベースにしていることもあり、超伝導空洞開発のトピックスが高加速勾配から High Q 開発へと移行しつつある状況を新鮮に目の当たりにした次第です。そして、この様な先端光源の開発を日本国内でも開始する、もしくは開始できる準備を着々と



図3 SRF2015での集合写真

進めることの重要性を実感した次第です。詳しい情報は、<http://srf2015.triumf.ca/> にプログラムが紹介されていますのでご参照ください。図3は最終日に撮影した全体写真です。

最後に非常に残念な報告です。ERL計画推進に当たり、ERL推進室が発足した当初から超伝導空洞開発でご尽力いただいた篠江憲治さん（当時は東大物性研のスタッフ）が、9月16日にご逝去されました。図4は2007年ごろに主加速空洞のシングルセル空洞テストを行った時に撮影された主加速部超伝導空洞グループの写真です。本当にERL計画推進の初期から、施設を超えてご尽力いただき、現在のcERLの運転にまでたどり着ける原動力となって支えてきてくださいました。ここに謹んでご冥福をお祈り申し上げます。

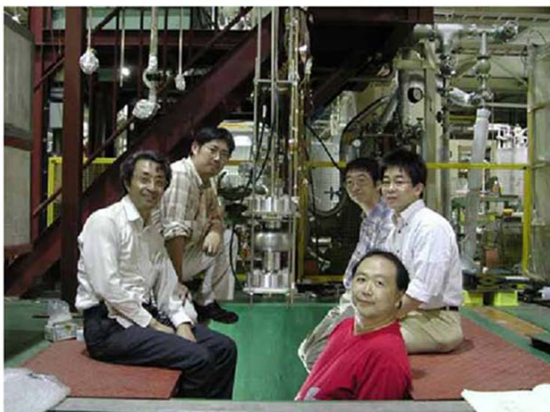


図4 2007年頃の篠江憲治さん（右側手前）。

2016年度のAR-NW2Aにおけるビームタイム縮減について

放射光科学研究施設 村上洋一

NW2Aでの実験ステーション拡張工事のため、2016年度のNW2Aのビームタイムが縮減される見込みですので、ユーザーの皆様にお知らせいたします。NW2Aでは来年度、以下の工事に伴う閉鎖が予定されています。

- (a) 2016年5月下旬～9月：SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）プロジェクト（KEK代表者：木村正雄）に係る大型設備導入のためのハッチ拡張工事（X線顕微鏡の導入）
- (b) 2016年度7月～11月末：PF-AR直接入射路工事(予定)

この結果、2016年度のNW2Aのビームタイムは、PF-AR全体として例年通りの運転があるとしても、下記の極めて短い時間となります。

2016年5月第2～3週頃

2017年2月～3月頃

(a)(b)の工期の短縮、PF-AR全体の運転時間の前倒し等のできるだけの努力をしておりますが、結果として皆様には多大なご迷惑をおかけすることをお詫び申し上げます。PF-ARの環境整備の一環として何卒ご理解を賜りますようお願い致します。

なお、各課題の有効期間中に全体運転時間の短縮や個々のビームライン閉鎖があっても、その補填は行わないことになっておりますので、ご注意ください。

【本件に関する問い合わせ先】

物質構造科学研究所

放射光科学研究施設

主幹秘書室

Email : pf-sec@pfiqst.kek.jp