

## 春の停止期間中の作業

2月4日朝から、2台のアンジュレータ U#13 と U#28 を PF リングに搬入する作業が行われた。当日は晴れていたものの、夜から翌日にかけて雪になることが予想されていたため、その日のうちに2台を光源棟内に運び入れた。翌日にそれぞれを B12-B13 間、B27-B28 間の直線部に移動させ、おおよその場所へ設置した(図1)。その後、隣接する4極電磁石を基準にして精密なアライメントを行い、真空チャンバーの接続作業等の復旧作業を行った。設置作業がほぼ完了すると同時に、4月からの運転に備えて、5本のビームライン基幹チャンネル (BL1, 2, 8, 12, 27) のベーキングを行った。

この停止期間中の一連の作業でリングの真空がかなり破られているため、4月の運転はリング真空焼きだしを精力的に行うとともに、新規挿入光源のモード確立を行うビーム調整が組まれている。



図1 上図は U#13 (APPLE-II 型可変偏光アンジュレータ) を PF 光源棟内に搬入・移動している様子。下図は、U#13 を B12-B13 間の直線部に、U#28 を B27-B28 間の直線部に設置した様子を示す。

PF-AR においては、PF-AR 直接入射路関連の作業が概ね順調に進行した。図2の写真は、電磁石用インターロックボックスである。停止期間中に、電磁石電源室と現場付近の壁に設置されたボックスとの配線が完了した。PF-AR では真空作業を行っていないため、リング立ち上げ時にそれほど真空焼きだしの時間は必要なく、比較的短期間にユーズ運転に移行できると予想している。

## PF リング立ち上げ状況

4月13日9:00からPFリング運転を開始した。すでに入射器のビーム調整は完了していて、概ね順調に立ち上がり12時頃には30mA程度が蓄積された。その後、リングの真空や実験ホール側の放射線レベルを気にしながら入射調整を行い、15時頃には400mA近くまで蓄積できるようになった。初日から4月17日時点までのリングの蓄積電流地の推移を図3に示す。概ね真空焼きだしは順調に進み、蓄積電流値とビーム寿命の積 ( $I \cdot \tau$ ) は、350 A·min を越えるまで回復している。

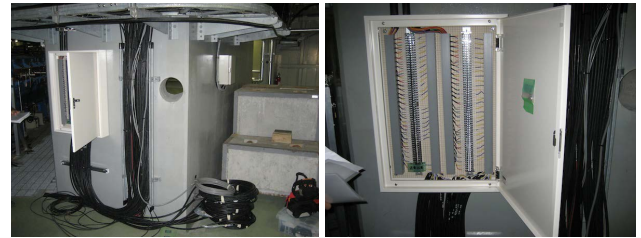


図2 PF-AR リングトンネル内に設置された電磁石用インターロックボックスを示す。インターロックボックス左にある壁穴を、ビーム輸送路の真空チャンバーが通過する。

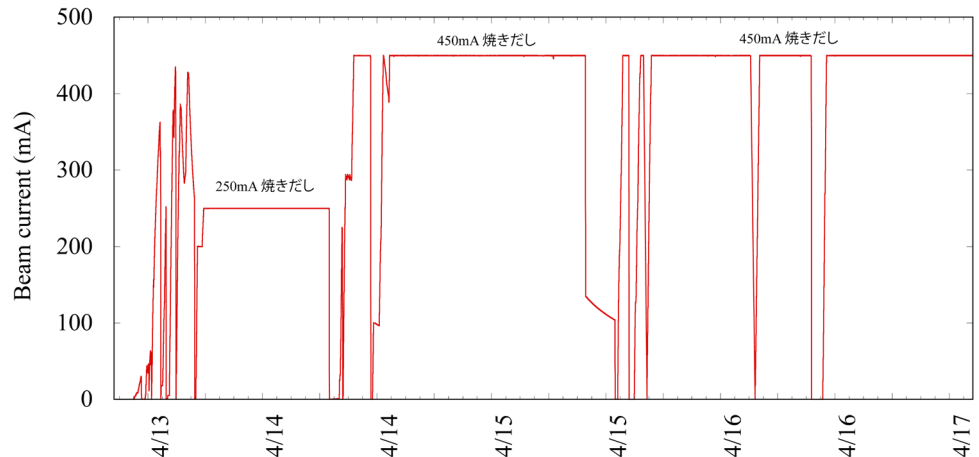


図3 PF リング運転立ち上げにおける蓄積電流値の推移。

## PF リングセプトラムチェンバ真空リークトラブルについて

4月23日(木) 11:42, PFリング調整運転中に入射点付近の真空が急激に悪化し, ビームダンプが発生した。直ちに現場でリークチェックを行ったところ, セプトラム(S2)チェンバ内の放射光吸収板を間接的に水冷する銅配管からのリーク(水漏れ)と判明した(図4)。主要機器の重故障であることから, 翌朝9時まで予定されていた加速器運転をキャンセルして, 復旧作業に取りかかった。

真空悪化の挙動から銅配管にできたリークパスの穴径は数 $\mu\text{m}$ 程度と推測され, 液体シール材で補修できる可能性が高いと判断した。そこで, UVSORにおいてRF空胴での同様な水漏れ時の対策として実績のあった「リキッドシール300」を翌4月24日(金)に入手した。そして, 約30分間銅配管内部を補修材で満たし, 圧空を流して乾燥させることで, ヘリウムリークディテクタのバックグラウンド( $7 \times 10^{-11} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )以下までリークを止めることに成功した。なお, リークした銅配管は, 放射光が当たる銅板を間接的に冷却するため, 約2mのS2チェンバ内部をビーム進行方向に沿って往復するように取り付けられており, さらにチェンバにはロウ付け接合されているため, 交換は容易ではない。

その週末は液体シール材の乾燥に充てて, 週明けの4月27日(月)に冷却水通水試験を実施した。定格の0.5 MPa, 4.8 L/minで30分間通水してもリング内圧力( $1.3 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ )に変化はなかったことから, 通水状態でも十分な気密性が得られていると判断した。そして, 4月27日(月)から4月28日(火)にかけて水漏れの影響を受けたB24~セプトラム区間を約18時間120°Cでベーキングして(液体シール材の耐熱温度は300°C), 連休明け5月7日(木)からの運転再開に備えた。

5月7日(木)朝の段階でS2チェンバ内の圧力は $2.6 \times 10^{-8} \text{ Pa}$ まで回復した。ビーム運転再開時, S2チェンバの圧力や温度を監視しながら慎重に蓄積電流値を増やしていき, 定格450 mAの蓄積でも問題ないことを確認した。5月7日(木)から5月12日(火)までの光焼出し効果によるリング圧力とビーム寿命の回復の様子を図5に示す。5月8日(水)のユーザー運転再開時(積分電流値

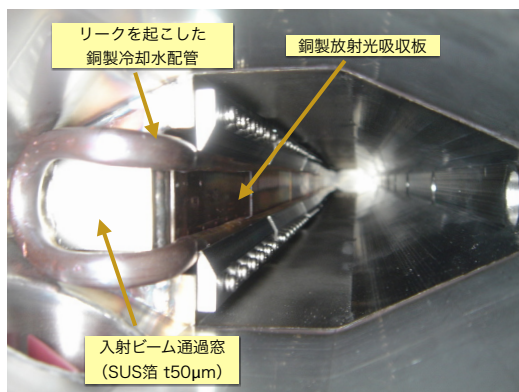


図4 S2チェンバの内部写真(2005年撮影)。蓄積ビームは写真奥から手前へ進む。

## PF-ring 光焼出し状況

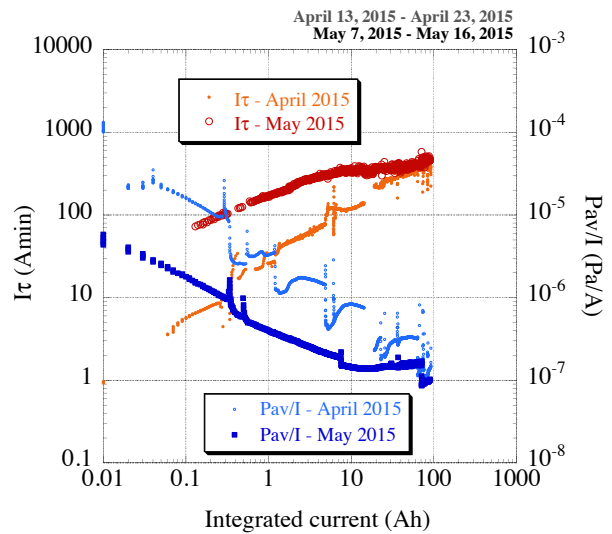


図5 リークトラブル後の光焼出し状況。比較のため, 4月の立上げ運転時の状況も合わせて示す。

8 A·h)のビーム寿命は,  $I \cdot \tau$ で約350 A·minあり, ほぼ4月23日(木)のリーク発生前の値まで回復させることができた。

リークの原因については, 銅配管には直接放射光は当たらないため, 経年劣化によるものと考えられる。現行S2チェンバは1988年に設置されたものであり, 27年間の運転により銅配管内部が水流によって削られ, 薄肉化した箇所リークパスが形成された可能性が高い。今後の方針としては, リーク再発の徴候が見えた段階で補修の見込みがあれば再度リキッドシールで補修を行うが, 補修の見込みがなければリング真空を破り, S2チェンバの上流にあるキッカー2のアブソーバを長いものに交換する方針である。これによりS2チェンバの受ける放射光パワーは420 Wから220 Wに半減でき, チェンバ外部からの冷却により運転可能であると考えている。長期的に安定なユーザー運転を継続させるためにはS2チェンバの更新は不可欠であり, 1年以内を目処に新S2チェンバを製作する方針である。

## 平成26年度の運転統計

表1と2に, 平成26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25年度に比べリングの運転時間はそれぞれ1152時間(48日), 1560時間(65日)の減少となった。さらに, ユーザ運転はそれぞれ約1138時間(47日), 1423時間(59日)の減少となっている。ユーザ運転時間は震災以前に比べるとPFでおおよそ3/5, PF-ARではおおよそ1/2まで落ち込んでいる。例えば, 平成22年度はPFでは4050.8時間, PF-ARでは4037.5時間がユーザ運転として供給されていた。この運転時間減少の要因は, 慢性的なプロジェクト経費の削減に加え, 最近の電気代高騰が大きな影響を及ぼしていると分析されてい

表 1：平成 26 年度 PF リングの運転統計

|              | 合計 (h) / 率 (%) |
|--------------|----------------|
| リング運転時間      | 3024.0 / 100.0 |
| ユーザ運転時間      | 2316.6 / 76.6  |
| リング調整・スタディ時間 | 696.0 / 23.0   |
| 故障時間         | 11.4 / 0.37    |

表 2：平成 26 年度 PF-AR の運転統計

|              | 合計 (h) / 率 (%) |
|--------------|----------------|
| リング運転時間      | 2352.0 / 100.0 |
| ユーザ運転時間      | 1955.0 / 83.1  |
| リング調整・スタディ時間 | 360.0 / 15.3   |
| 故障時間         | 37.0 / 1.57    |

る。一方、リングの故障率に関しては、それぞれ約 0.5%、1.6%と昨年度に比べて低下しており、より安定した運転が実現したといえる。これは、震災によってダメージを受けた装置が、復旧費により更新され故障頻度が減ったことが主な要因と考えられる。今後もより安定な運転を実現するために、定期的な保守と老朽化した装置を早急に手当することが肝要と考えている。

### 人の動き

加速器第 7 研究系は 2015 年より 7 グループ体制となりました。詳細は <http://www2.kek.jp/imss/pf/group/acc/> をご覧下さい。

加速器第 7 研究系の宮内洋司さん、尾崎俊幸さん、芳賀開一さんが、4 月 1 日付で准教授に昇任されました。宮内

さんには、引き続き光源第 5 グループのグループリーダーをお願いするとともに、放射光源加速器の基幹チャンネルに関する開発・研究および安全に関わる業務を担当していただきます。尾崎さんには、引き続き光源第 1 グループに所属していただき、電磁石電源の開発研究および維持管理を担当して頂き、芳賀さんには、光源第 4 グループから第 5 グループに異動してもらい、モニターの開発研究・維持管理を継続しながら、特に施設・安全に関する業務の強化に取り組んで頂くことを期待しています。また、濁川和幸さんが、4 月 1 日付けで専門技師に昇任されました。濁川さんにも光源第 4 グループから第 5 グループに異動してもらい、加速器のインターロック・制御に関わる業務を継続して頂くとともに、特に安全に関する業務の強化に取り組んで頂くことを期待しています。

新規採用として、4 月 1 日付けでお二人が加速器第 7 研究系の所属となりました。一人目は、大阪大学から異動されました、加藤龍好さんです。加藤さんには教授として着任して頂き、新設の光源第 7 グループ（主に挿入光源担当）のグループリーダーをお願いするとともに、挿入光源の開発・研究や将来の自由電子レーザを視野に入れた新光源の検討を行って頂くことを期待しています。二人目は、名古屋大学から異動されました、山本尚人さんです。山本さんは助教として採用になりました。山本さんには、光源第 2 グループに所属していただき、高周波加速システムに関する開発・研究に携わって頂くことにしました。

加速器研究施設では、ILC や ERL へ向けた超伝導空洞開発を強化すべく、加速器第 6 研究系の加古教授を中心にした、超伝導空洞グループが結成されました。今年度から、そのグループに参加すべく、第 7 系所属の梅森健成さん、阪井寛志さん、篠江憲治さんが第 6 系に異動になりました。彼らには、今後も引き続き ERL に関わる超伝導空洞開発に着手して頂くことを期待しています。

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

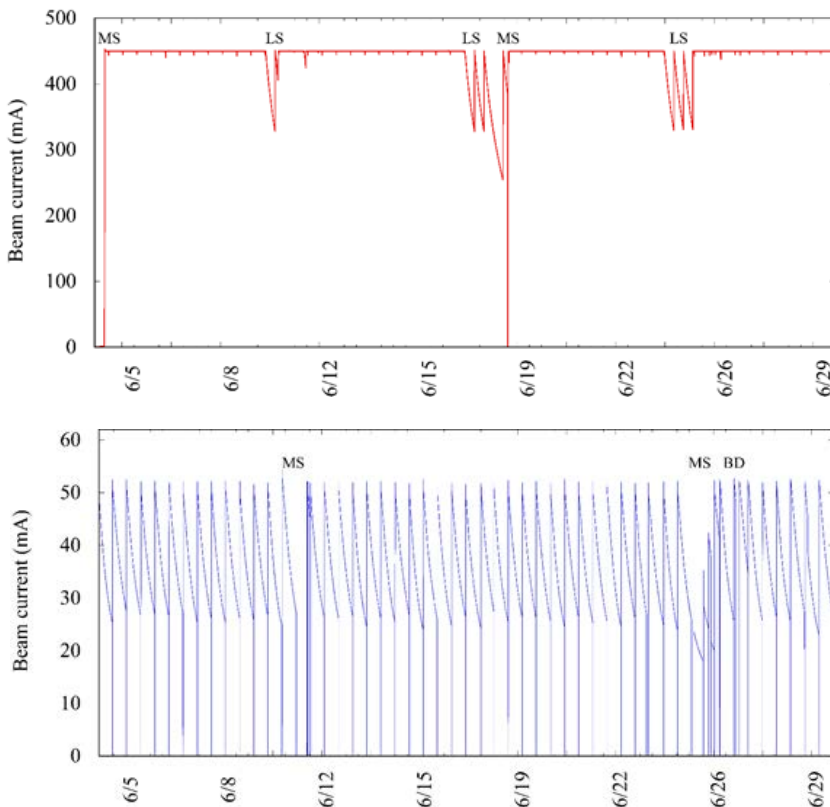


図1 PF リングと PF-AR における蓄積電流値の推移を示す。LS は入射器調整、MS はリング調整、BD はビームダンプを示している。

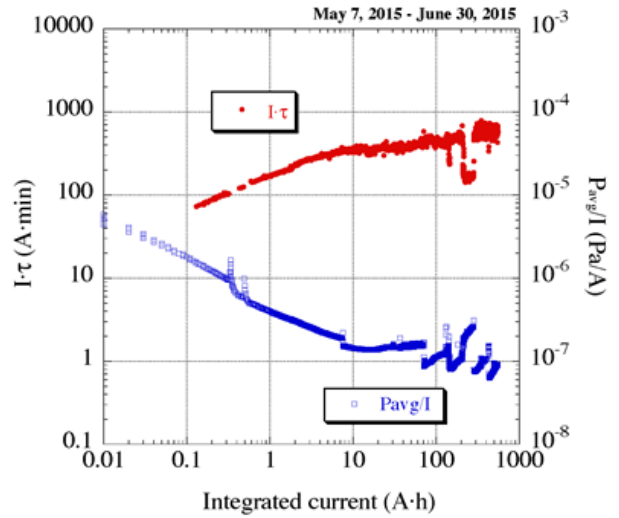


図2 リークトラブル後から前期運転終了までの光焼出し状況。横軸は積分電流値、縦軸は PF リングの平均真空度を蓄積電流値で割った値 ( $P_{avg}/I$ ) と蓄積電流値とビーム寿命の積 ( $I \cdot \tau$ ) を示す。グラフ右端で大きく変化しているのは、ハイブリッドモード運転による。

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。



## 夏期停止期間の作業

PF リング、PF-AR とともに保守的 point check 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

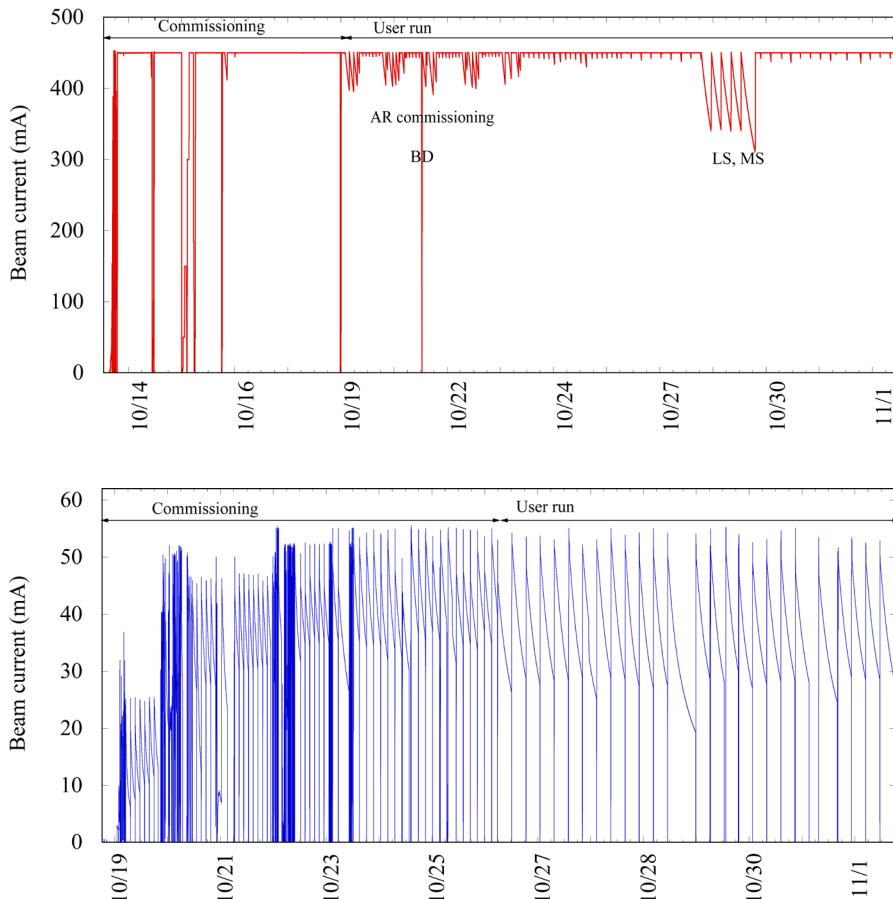


図 2 PF リング（上）と PF-AR（下）における蓄積電流値の推移を示す。LS は入射器調整、MS はリング調整、BD はビームダンプを示している。

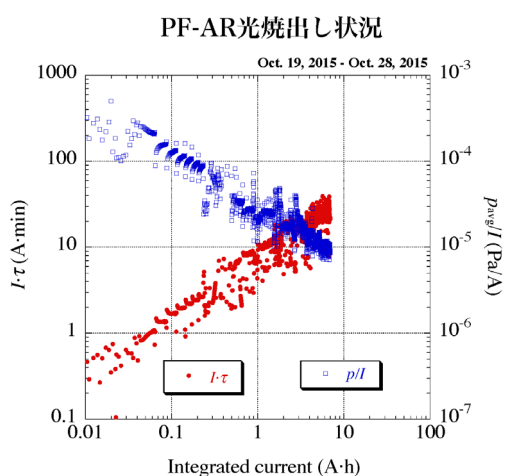
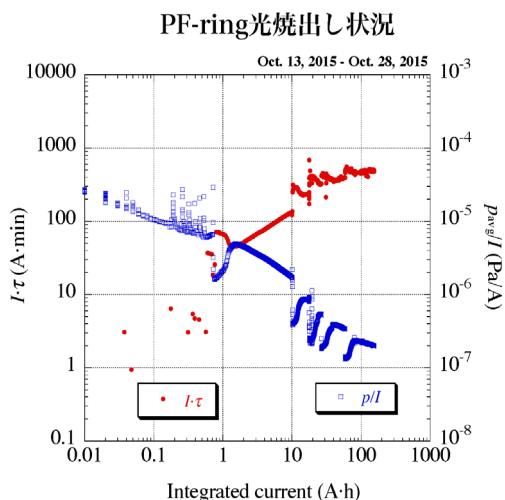


図3 PFリング（上）およびPF-AR（下）の光焼きだしの状況。横軸は積分電流値、縦軸はPFリングの平均真空度を蓄積電流値で割った値（ $P_{av}/I$ ）と蓄積電流値とビーム寿命の積（ $I \cdot \tau$ ）を示す。

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ので、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400 V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。

光源リングの運転状況

PFリングおよびPF-ARの11月10日9:00から12月10日9:00までの一ヶ月間の蓄積電流値の推移を図1に示す。両リングともにこの期間数件のビームダンプが発生した。PFリングの1件目のビームダンプは、11月16日VW#14下流部で真空悪化が見つかったことによる。ビーム寿命も悪化していることから、チャンネルをクローズしてビームをダンプし、VW#14周辺を調査した結果、震災時にリークが発生した真空チャンバーの箇所ですりこみしていることが判明した。リークシーラーの塗り直しで対処して復旧し、今のところ真空悪化は見られていない。2件目は、11月19日15:33に発生した。BL-8Bにおいて、講習会に参加していたM1の学生がシャッター開のボタンと誤ってビームダンプボタンを引いてしまったのが原因であった。3件目は、4極電磁石電源QDBにおける冷却ファン異常の

インターロックが働き、電源停止が起こったためであった。現場で調査したところ、冷却ファンは動作しており、電源内の温度上昇も見られないことから、故障リセットを行い復旧し、運転を再開した。今回の故障は、インターロック系に何らかのノイズが入ったことによるものと判断して様子を見ているが、再度起こった場合は、原因調査を行う予定である。

PF-ARにおけるビームダンプは、1回目11月15日14:49に発生した。ビームラインNW10のフロントエンドにあるBS1-2（ビームシャッター）のタイムアウトが原因であった。設定は30秒であるが、通常は5秒で開くものなので、リミットスイッチなどに何らかの異常があると予想され、現場確認をした結果リミットスイッチ位置に異常があることが分かり、リミットスイッチ位置変更後に運転を再開し様子を見ていた。しかしながら、11月29日19:42に今度

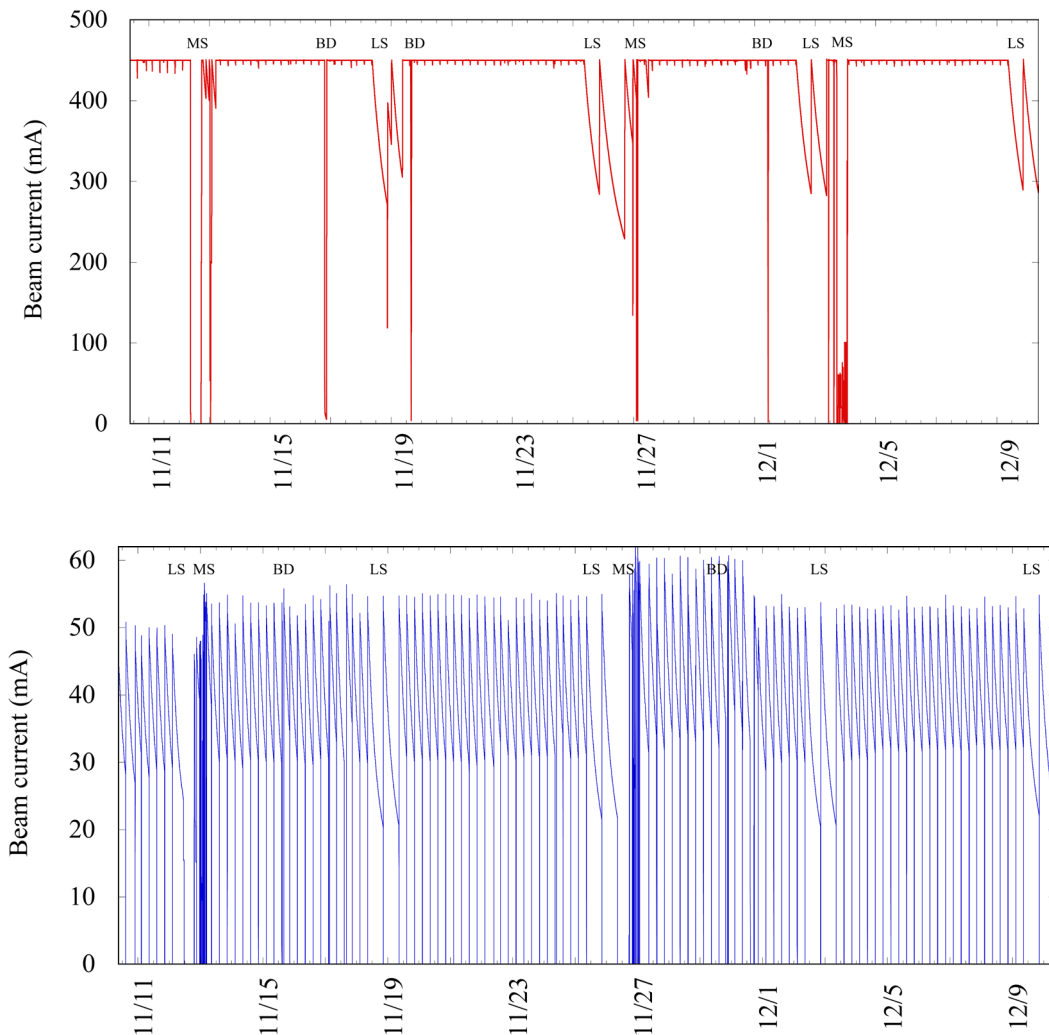


図1 PFリング（上）とPF-AR（下）における蓄積電流値の推移を示す。LSは入射器調整、MSはリング調整、BDはビームダンプを示している。



は同じく NW10 のフロントエンドにある ABS (ビームアブソーバ) で再発した。ここでもリミットスイッチ位置を変更する対処をして運転を再開したが、12月10日のメンテナンス時に原因調査を行ったところ、BS1-2 および ABS どちらもねじの緩みが原因であることがわかり増し締めを実施した。

PF-AR では入射器の事情により 3 GeV から 2.85 GeV に下げて入射することになった。低いエネルギーでの入射となったためビーム不安定性が強くなったものの、初期電流値 53 mA での運転は担保された。

両リングともに 12月21日 9:00 に運転を停止した。運転再開は PF リングが 2月15日 9:00、PF-AR が 2月17日 9:00 を予定している。

### PF-AR 電磁石電源老朽化の状況

大電流パルス放射光リング (PF-AR: Photon Factory Advanced Ring) は、トリスタン計画のブースター・リングとして昭和 57 年度に整備されたアキュムレーション・リング (AR) を改造した蓄積リングである。AR は、もともとは電子・陽電子リニアックからの 2.5 GeV ビームを蓄積した後、8 GeV まで加速して主リング (MR) に入射していた。その機能の性格上、ビーム処理を効率良く、繰り返し運転できるように最適化されていた。トリスタン計画終了後 B ファクトリーとして MR は利用されることとなったが、リニアック直接入射となったため、AR は放射光専用リングにしようという提案があり、そのための機能の最適化が必要とされた。ビーム寿命を 2 時間から 24 時間に改善するために、真空チェンバーの交換や長時間の連続運転の信頼性の確保が要求された。トリスタンでは AR を 8 GeV で最大 30 分継続する仕様で機器が設計されていたが、放射光利用の運転では、長時間での運転を要求されるためエネルギーを 6.5 GeV に下げて運転する。電磁石電源としては、ステアリング電源の長時間安定性が問題になり、ステアリング電源が更新された。この放射光専用リング改造作業は 2001 年に実施された。

放射光専用リングへの転用後は、特に電源機器の老朽化が問題になり、2008 年には偏向電磁石電源の更新が、2013 年には 4 極電磁石電源 16 台の更新が達成できた。しかしながら、4 極電磁石電源 8 台 (QCN 電源) の更新が未達成で、残された課題である。4 極電源 (Q 電源) は、東西南北 (EWSN) に配置された 4 極電磁石を励磁するための電源である。東西の加速空洞周辺にある 4 極電磁石 (QRE, QRW)、ビーム入射機器が配置されている南直線部にある 4 極電磁石 (QCS)、これらを励磁する電磁石電源は更新されて、加速器の性能向上に貢献した。未更新の電源 (QCN) の負荷である電磁石は北直線部にあり、放射光ユーザのビームラインが多くある。これらは昭和 57 年 (1982 年) に設置された電源である (図 2)。

QCN 電源は製作後 32 年が経過し、深刻なトラブルの前兆とも思えるトラブルが起きている。電源内部のトランスやトランジスタは水冷していて、水冷の銅パイプに通水し



図 2 製作後 32 年が経過して老朽化が著しい 8 台の未更新 4 極電磁石電源 (QCN)。

ている。最近のトラブル 2 件は、このパイプの平坦な箇所ピンホールが起こした水漏れである。32 年の長きに渡って 10 気圧の純水を流したために、かなりの浸食が起きたものと認識できる。これらは、保守点検時に発見され、工場で修理し、大事に至らなかったが、運転時に発生した場合には、最低でも 3 日程度は停止しなければならなかったであろう。電源にも内部に多くの保護センサーがあるが、水冷系が多く分岐していて、必ずしも万全ではなく、異常加熱が連続して焼損や火災の危険もある。老朽化した電源では、入手不可能になってしまった部品が多々ある。現時点では、倉庫にある旧 Q 電源から部品取りをして急場こそ対応できそうであるが、やがて全くなくなることになる。このような現状であるため、電源の更新が早急に必要である。電磁石が異常になった場合、それを電源停止シーケンスにつなぐために、インターロック回路があるが、これもまた老朽化しているので、同時に更新してシステムとして信頼性を向上させる必要がある。