

光源リングの運転状況

図 1 に 2023 年度第 3 期（2 月 5 日 9:00 ～ 3 月 25 日 9:00 まで）の PF リングの蓄積電流値およびビーム寿命の推移を示す。2 月 7 日 20:46 頃、Linac にあるパルスベンドの設定が出来なくなるトラブルが発生した。入射器の制御ネットワーク異常が引き金になった可能性が高い。2 月 15 日 3:56 入射用キッカー電源（K4）が OilFlow インターロックで停止した。リセットして復旧できたため 4:23 に入射を再開した。原因不明である。その後も再発はしていないが注視している。施設部エネルギーセンター管理のリン

グ圧空の補給頻度が上がっているため、経路のどこかで漏れている可能性が高い。PF 運転停止後にリング内および Linac メンテ時に調査したが原因となる場所が発見できていないため、今後も調査を続ける。3 月 18 日 9:17 頃、火災報知器が発報したが非火災であることが確認できた。

図 2 に、PF-AR における 2 月 13 日 9:00 ～ 3 月 18 日 9:00 までの蓄積電流値の推移を示す。2 月 24 日の深夜 3:05、6 極マグネット電源の通信不良によりビームダンプ。最終的にはインターフェースのリセットで復旧した。その後電磁石の初期化をおこなって入射したが、その直後にビ

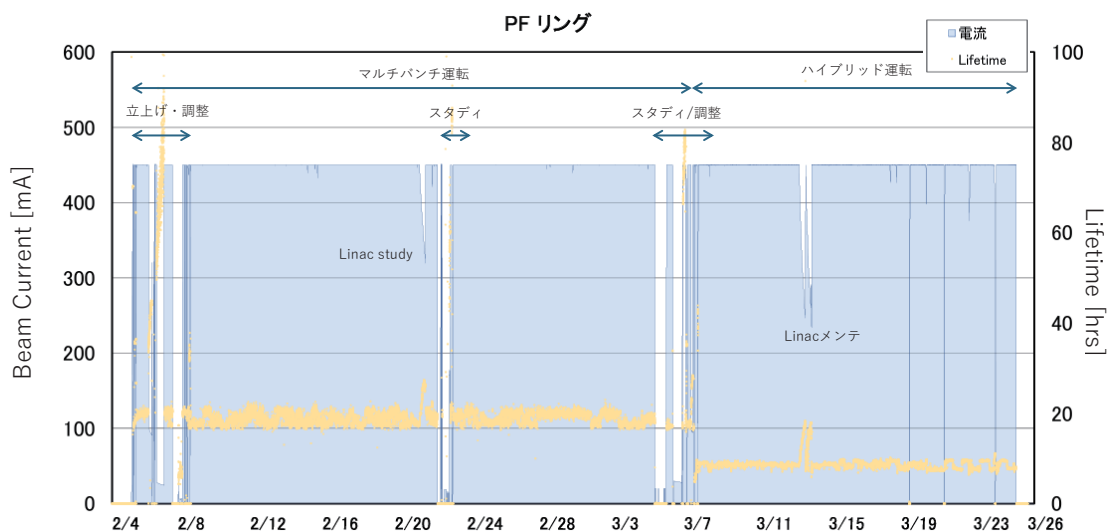


図 1 PF リング 2 月 5 日 9:00 ～ 3 月 25 日 9:00 までの蓄積電流値の推移（グラフ横軸は 2 月 4 日～ 3 月 26 日としている）。

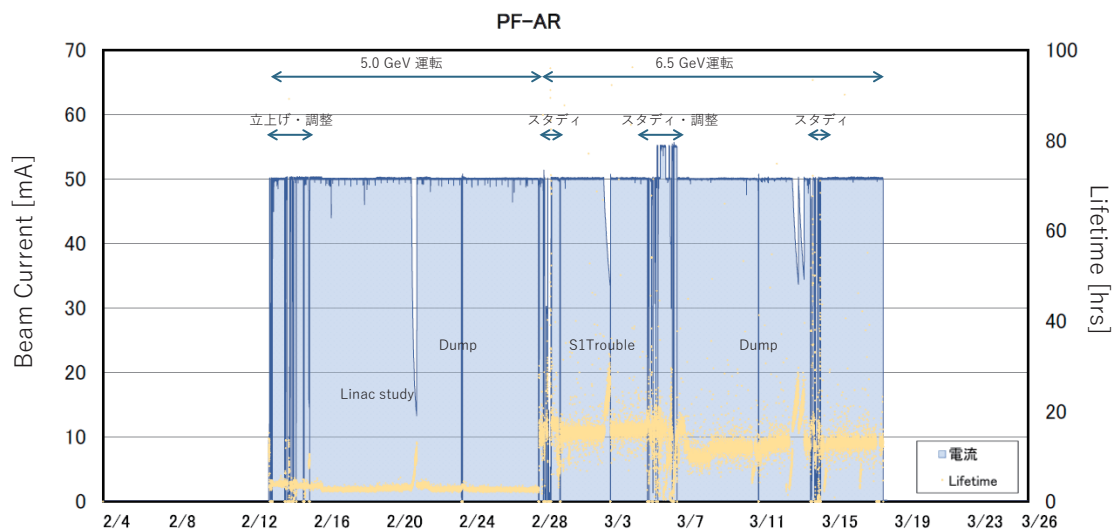


図 2 PF-AR 2 月 13 日 9:00 ～ 3 月 18 日 9:00 までの蓄積電流値の推移（グラフ横軸は PF リングのプロットに合わせて 2 月 4 日～ 3 月 26 日としている）。

ームライン側の Channel Ready インターロックのためビームダンプした。ビームライン NW14 を一時閉鎖扱いとして再入射をおこない、ユーザーランに復帰した。3 月 2 日および 3 月 11 日の 2 回にわたって、セプタム電磁石の冷却水量インターロックのため入射を停止した。リング内に入域して流量調整をおこなって復帰している。

2023 年度の運転まとめ

表 1 に 2021 年度から 2023 年度まで 3 年間の PF リングの運転統計を示す。図 3 は過去 15 年間のグラフである (2009 年～ 2020 年度の統計数値は昨年度の PF News に記載している)。近年では PF 3,600 時間、PF-AR 2,400 時間のユーザー運転時間を目標としてきたが、2023 年度は前年度から延期していた線形加速器の加速管更新作業時間を確保するため、夏期停止期間を例年より長くとることとなった。そのため例年より短い PF 約 3,100 時間、PF-AR 約 2,100 時間程度という実績になっている。

表 1 2021～2023 年度までの 3 年間の PF リングの運転統計

年度	リング 運転時間 (h)	リング 調整・ スタディ 時間 (h)	ユーザ 運転 時間 (h)	故障 時間 (h)	平均故障 間隔 (MTBF) (h)
2021 (R03)	4,368.0	624.0	3,720.8	23.2	220.2
2022 (R04)	4,128.0	512.0	3,590.2	25.8	144.6
2023 (R05)	3,648.0	536.8	3,096.0	15.2	172.0

故障時間は前年度よりさらに少ない約 15.2 時間、故障率は約 0.5%、平均故障間隔 (MTBF) は約 172.0 時間で、いずれも良好な値を維持できている。故障の内訳を調べてみると 2023 年度は入射システム関連が約 35.9%、制御モニター系が 33.2% となりこの 2 つが大部分を占めている。これは第 1 期にキッカー電源故障が起きたことが主要因であり、モニター関係も同様に老朽化が進んでいることが要因であった。RF 関連による故障率は 4.2% と前年度と同様に非常に低く、RF システムはほとんどトラブルなく安定に稼働したことが分かった。今後も各グループとも老朽化対策を推進していく。このとき、単なる故障品の交換ではなく、性能・機能向上をともなった更新を心がけていく。

表 2 に PF-AR の過去 3 年間の運転統計数値を、図 4 に過去 15 年間の運転統計をグラフにしたものを示す。2023 年度のユーザー運転時間は 2,154 時間となり、PF リングと同様の理由で例年に比べると少ない状況であった。故障

表 2 2021～2023 年度までの 3 年間の PF-AR の運転統計

年度	リング 運転時間 (h)	リング 調整・ スタディ 時間 (h)	ユーザ 運転 時間 (h)	故障 時間 (h)	平均故障 間隔 (MTBF) (h)
2021 (R03)	2,976.0	560.0	2,404.7	11.3	241.6
2022 (R04)	3,000.0	560.0	2,418.3	21.7	143.5
2023 (R05)	2,760.0	576.0	2,154.0	30.3	136.5

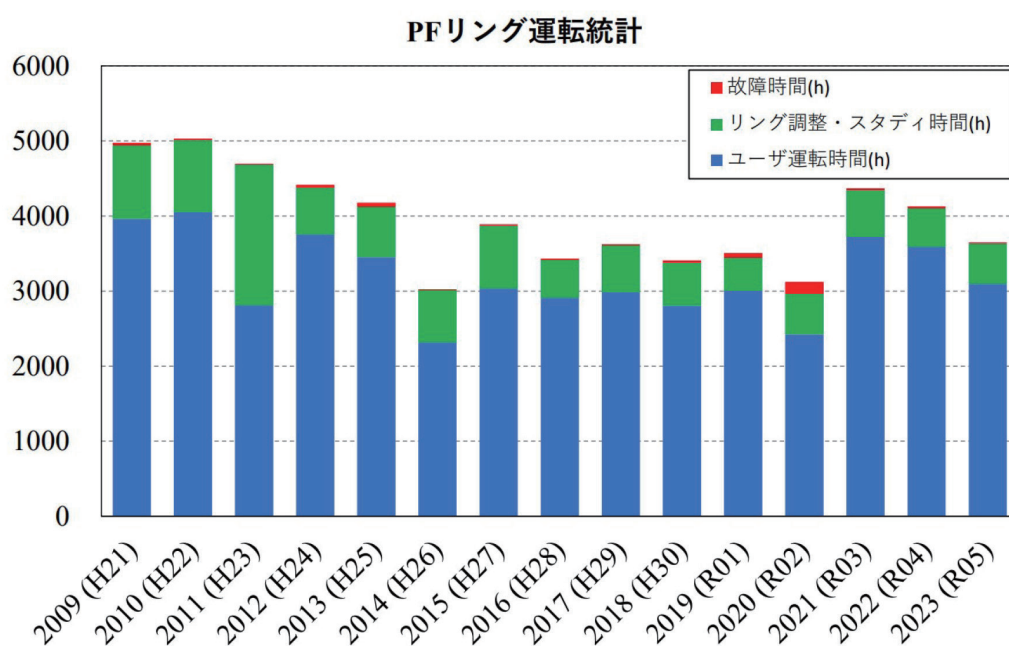


図 3 PF リング過去 15 年間分の運転統計

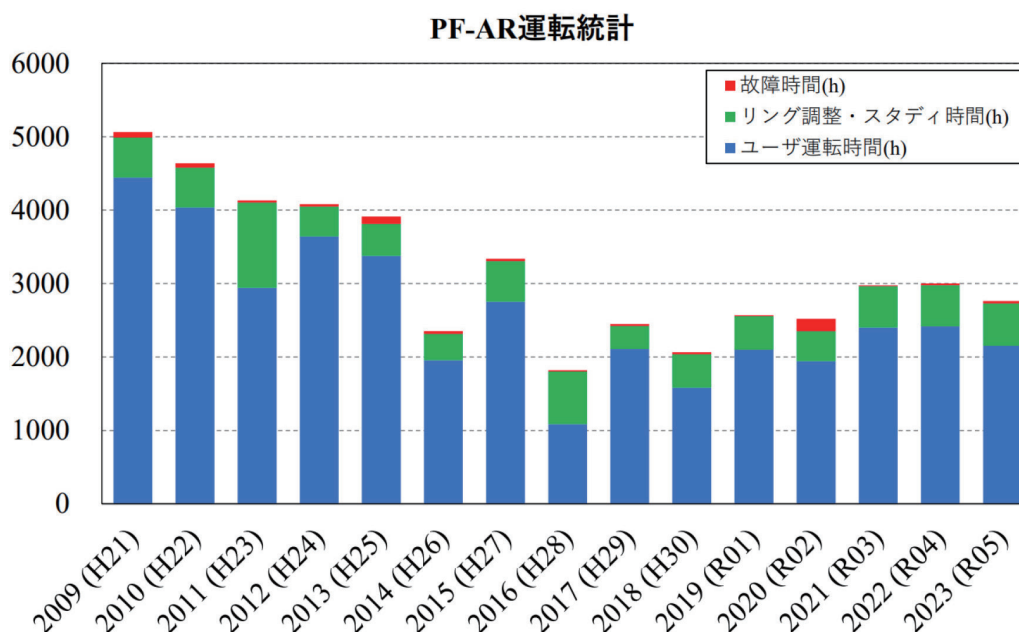


図4 PF-AR 過去 15 年間分の運転統計

時間は約 30.3 時間、故障率も 1.4% で昨年度にくらべると少し悪化している。これは蓄積電流増加に向けた入射調整に時間がかかったほか、セプタム電磁石の冷却水トラブルやビームライン関係のトラブル、バンチ純化システムのトラブルも発生したこと起因している。MTBF は約 136 時間で故障回数は例年度と同じ程度であった。故障の内訳は約 62.5% がビーム入射関連であった。

加速器第 6 研究系内の人の動きについて

2024 年 3 月 31 日をもって坂中章悟さんが定年退職となりました。坂中さんは RF グループの一員として各種の研究開発から現場での作業に至るまで幅広く活躍されてこられました。また、グループリーダーとして長年にわたって後進の指導にもあたり、KEK の RF 関係者を数多く育成されてこられました。これまでの貢献に深く感謝するとともに今後も特別教授として引き続き御指導・ご鞭撻いただきます。

新人採用については、2023 年 11 月に篠原智史さんが助教として採用されました。光源第 6 グループに所属してパルス電源開発や多極キッカー電磁石開発などで活躍いただくほか、これまでと同様に多くのビーム実験に参加・尽力いただく予定です。2023 年 12 月 1 日付けで博士研究員として BIAN Baoyuan さんが中国・合肥から光源系に着任されました。真空グループに所属して関連する研究開発をおこなうほか、次期光源のインピーダンス評価などの研究も進めていただく予定です。

昇任については、2023 年 11 月 1 日付で宮内洋司さんが教授に昇任されました。これまで同様に既存光源の安全系をはじめとする保守・維持・管理はもちろん、ビームチャ

ネルグループのグループリーダーとしての活躍を期待します。あわせて次期光源の安全系（機器安全および放射線安全等）に関連する幅広い分野で中心的な役割を担っていただきます。技術職員については、4 月から濁川和幸さんが技術調整役となり、KEK の技術職員全体を主導する重責を担うことになりました。長橋進也さんには加速器六系の技術副主幹を務めていただきます。塩澤真未さんは技術員から准技師に昇任されました。これまで同様に関連する装置の保守・管理・維持、ならびに技術開発を担当していただきます。

最後に、坂中さんの退職にともなって今年度から RF グループリーダーは山本尚人さんに努めていただきます。運転に直結する維持管理はもちろん、次期光源の研究開発にもこれまで同様に尽力いただく予定です。

PF リングの運転状況

図 1 に 2024 年度第 1 期（4 月 22 日 9:00 ～ 7 月 8 日 9:00 まで）の PF リングの蓄積電流値およびビーム寿命の推移を示す。立ち上げと運転調整は順調に進行し、4 月 26 日（金）からユーザーランに入った。

5/10 15:42 RF #3 のクライストロン不調のためビームダンプした。クライストロン内の真空悪化も起きており、深刻な状況と判断されること、短時間で復旧することが困難であったため、これまでの RF 4 台運転から 3 台運転に移行した。あわせて蓄積電流値を 450 mA → 420 mA まで減らして運転を再開している。夏の運転停止までは 3 台運転を継続し、予備品との交換作業に入った。クライストロンはいわゆる真空管の一種であり、寿命がある。今回故障したものは約 10 万時間以上も運転できた、比較的「当たり」と呼ばれる管であったといえる。今回の更新で予備品が無くなるため、ユーザー運転を着実に維持するためにも早急に予備品の製作が必要な状況である。

5/24 PF の大型電磁石 Q3 電源トラブルのためビームダンプした。早期のユーザーラン再開を目指して電源筐体内部をスポットクーラーやファンにて外部から送風して冷却で対処して通電できることを確認した。その後、15:29 にユーザー運転再開したものの 15:31 に再び過熱インターロックが発生してビーム停止した。さらに詳細な原因調査を行った結果、スイッチング用パワー半導体ユニットの空冷ファンが動いていないことが判明したため、当該ユニットの電源裏側パネルを取り外し追加で冷却措置を実施した

（図 2）。その後再発はしていないが、応急措置であり本格的な対処は運転停止後に実施する。

その他、セプタム電磁石の不発による入射中断や、キッカー電磁石の OIL FLOW インターロックによる入射停止などが発生している。それぞれ監視強化や予備品との交換などで対処しているが老朽化対策が必要な状況である。

6/5 21:54 に BL-21 Fail によるビームダンプが発生した。同時刻に発生した地震（つくば震度 2）により、ハッチの開閉状態を監視するマイクロスイッチの接点が一瞬離れたことが原因と考えられる。担当職員が来所して調査し、パネルを止めているねじを増し締めして対処し、23:33 にユーザー運転を再開した。2024 年夏期停止期間に再発防止のための改造作業を実施する。本件ではユーザーランの中断および Linac の運転まで停止する事態となった。関係者にお詫びする。

6/10 これまでのマルチバンチ運転から、ハイブリッド運転への切り替え調整を実施、RF3 台運転という条件でマルチバンチ 370 + 孤立バンチ 50 mA でビームの安定蓄積を達成した。これは前回のハイブリッド運転では不安定であった空洞応答が、昨年夏のデジタル低電力高周波制御（LLRF, Low-Level RF）システム更新で新規導入された空洞電圧安定化フィードバック機能によって改善したことが要因の一つだと考えている。PF の運転終了時までこの条件で連続運転した。

6/24, 6/29, 6/30 にかけてビーム電流が減っている時間帯が多くある。これは Linac のタイミングシステム (Event

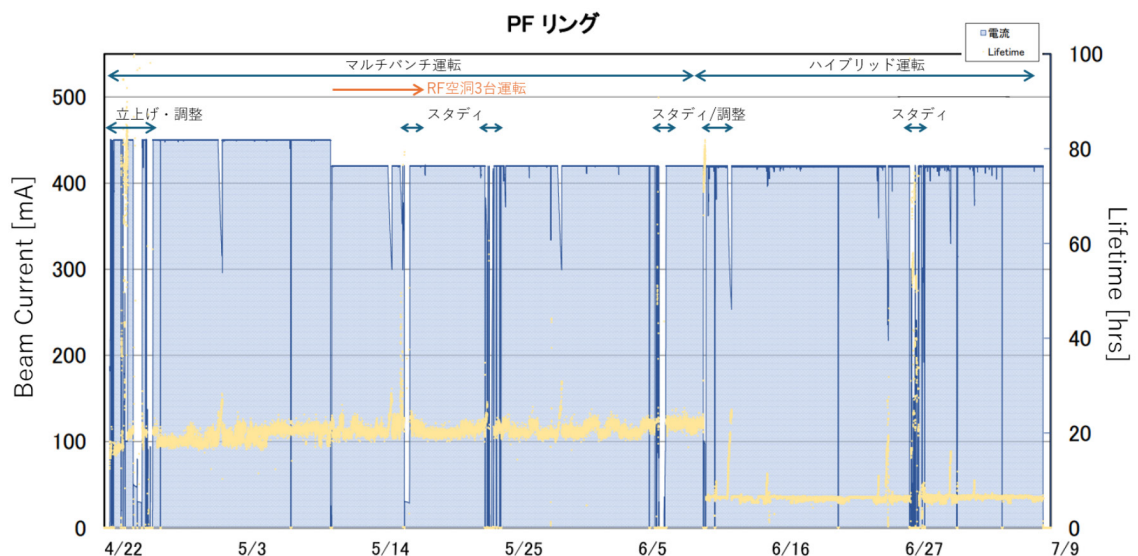


図 1 PF リング 4 月 22 日 9:00 ～ 7 月 8 日 9:00 までの蓄積電流値の推移（グラフ横軸は 4 月 21 日～ 7 月 9 日としている）。



(a) 前面



(b) 背面

図2 IGBTのファン故障のため、加熱インターロックで停止した四極電磁石電源。一時対処として、外部より強制空冷することで運転を継続した。その後、粉塵の侵入対策としてフィルターを設置するなどの対処を実施した。

Timing System) の不具合が原因で入射が中断したことに起因している。最終的には光信号を分配している fanout board の交換で改善した。そのほか、6/25 Linac ネットワークトラブルのためパルス電磁石制御用 CompactRIO システムが停止した。ビーム運転再開時に入射タイミングが12バケット分後ろにずれる事象が起きた。ハイブリッド運転時にはこのようなタイミングで入射するビームは純化システムで除去するため、ビームが蓄積できない。最終的には Linac のタイミング調整で復旧したが、通常は発生し

ない事象であるため原因追及に時間を要した。

PF-AR の運転状況

図3に、PF-ARにおける5月9日9:00～6月21日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。立ち上げは順調に推移し、予定通りオプティクス最適化、テストビームラインのターゲット位置調整、ビーム輸送路のオプティクス測定などのスタディを実施した。ビーム電流 55 mA での調整も実施している。その後、予定通り 5/13 の光軸確認後にユーザ

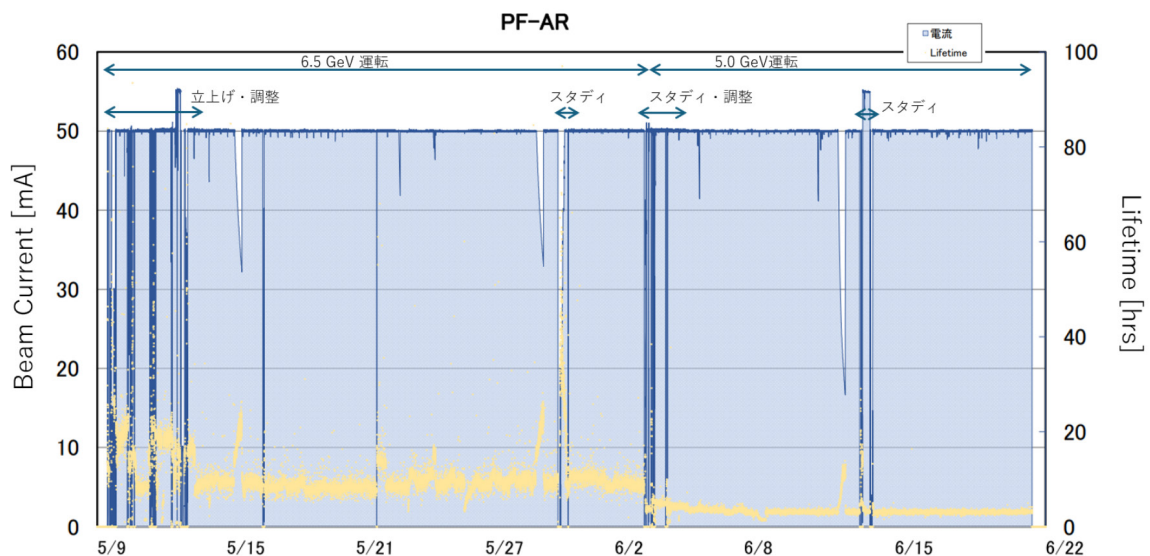


図3 PF-AR 5月9日9:00～6月21日9:00までの蓄積電流値の推移(グラフ横軸は5月8日～6月22日としている)。

ーランに入った。

5/16 ビームダンプ発生により1時間強停止した。これは、電磁石電源電流値監視用のデジタルマルチメータ（AR 西棟大型電源，AR 東棟ステアリング電源）が複数台同時期に不調であったことに対処する一連の作業をおこなっている途中で発生した事象である。モニター交換作業中のため電磁石電源の電流値をモニターできておらず正確なことは分からないが，AR 西棟にある古い電源はノイズに弱く，作業時のノイズ混入により電源が不調となりビームダンプを起こしたと推察している。

5/17 冷却水チラー（AR 東棟真空系統）の能力が不足しているとの連絡が施設部よりあった。かねてより2台のうち1台が故障で止まっている状況であること，老朽化と外気温上昇により冷却能力が低下していることなどから，現場対応として散水により負荷を緩和することで対応した。現状ではユーザー実験への直接的な影響は無いが，予備の無い状況が続いているため早急な予算措置が望まれる。6/3 からは 5.0 GeV 運転となり熱負荷は軽減する状況となった。

そのほか，5.0 GeV でのバンチ純化調整ではリングの光学関数を変更してより効果的にキックできるようになった。これにより，真空封止アンジュレータのギャップの開閉に関わらず，常時バンチの純化が出来る状態となった。

6/13 マシンスタディでは蓄積電流 55 mA での調整やテストビームライン関係，入射調整等を実施している。

PF リングおよび PF-AR の運転・夏期作業の概要

2024 年 7 月 8 日 9:00 に PF リング・PF-AR とともに第 1 期の運転を終了し、夏期の長期停止期間に入った。秋の運転は PF リングが 10 月 7 日、PF-AR は 10 月 17 日に開始する。真空作業を行うとリングの焼きだし時間を要するため今期は大規模な蓄積リング側真空作業は実施していない。夏の作業での重点項目は、PF リングでの中型電源更新および故障したクライストロンの交換が挙げられる。この 2 点については以下で詳細を記載し、その他の作業については概要のみ説明する。

PF リング 4 極・6 極磁石電源交換

PF リング加速器で運用する電磁石電源群は小型電源、中型電源、大型電源とその出力電力ワット数に応じて分類され、およそ 10 kW 以下を小型電源、50 kW ～ 200 kW 程度の中型電源、800 kW 以上で 1 MW に達する出力の電源を大型電源としている。これら分類は、リング周長規模に応じて多少の出力の区分に変動があるものの大方の施設の加速器電磁石電源に通ずる。小型電源は小型の補正電磁石群、中型電源は四極・六極電磁石等の主要電磁石群、大型電源は偏向電磁石に接続される。通常大型電源はいずれの施設でもリングあたり 1 台のみの運用で全偏向電磁石を励磁するが、中型電源の運用数は各施設によりリングオブティクスに応じて 15 台から 20 台と多少のばらつきがあるものの、PF リングでは 26 台と比較的運用数が多い。26 台の電源は、老朽化が著しく進んでおり、古い物から 1993 年、2003 年、2004 年製造のもので、1993 年製電源群は今夏更新工事でようやく入れ替えることが叶ったが、電源更新計画が立案された 2021 年度時点ですでに 28 年が経過しており、今夏入れ替え工事が実施されるまで製造から 31 年が経過する電源を運用していたことになる。

2021 年度に更新計画にもとづき電源を設計、製作するにあたり 3 つの性能要求を設定した。1. 現行リングにおけるローエミッタンスオブティクス導入のための定格出力増強とノブ（電源数）の確保、2. 次世代光源リングに適用可能な高性能出力と機能拡張性の確保、3. 時代に即した省エネ化と省スペースのための小型化の具備である。中型電源の更新には高額の費用がかかることから、更新が可能となるのは 20 ～ 25 年程度の周期と想定される。使用するデバイスが廃盤になった場合には、10 年で入手困難になることや、20 年以上前の電源技術が陳腐化することを考慮すると、更新の機会に最新の電子部品を導入し、次世代を見据えた開発課題設定をすることが重要である。この観点から、新電源は先の目標の 2、3 項の達成に主眼が置かれ、その結果 1 項が満たされるよう開発がされた。以下に新電源で達成された課題の概略を説明する。

次世代光源リングにおいて目指される極低エミッタンスでは点光源の全実効利用となるため、許容される軌道変動が究極的に狭められる。これに対応するため、軌道安定の要である電磁石の磁場性能を左右する既存電源の電流出力性能の安定度は、これまで 100 ppm 以下とされていたものを、10 ppm 以下を目指すものとし、3 ～ 4 ppm の出力安定度を達成した。外乱の少ないメーカ工場検査値は 1 ppm を割り込んでおり極めて出力安定性能の高い電源の開発に成功した。また、次世代光源リングでのユーザー運転の連続性確保のためダウンタイムレスの電源運用は必須要件であることを考慮し、電源内部の機構を全てユニット化し、故障ユニットをメーカ保守員の到着をまつことなく現場で予備ユニットと交換することで復旧できる電源のユニット化を実現している(図 1 参照)。このユニット化の実現により、電源定格出力をユニット数の増減で拡張、縮小できるようになり電源の規格化の概念の取入れに成功している。電源が規格化されることで、他施設で同様の電源の導入が進めば、電源部品の予備品の確保や、施設間での融通することに役立つ。電源制御方式に、現行ではアナログ制御方式であるが、デジタル制御方式への拡張性を確保しており、継続した開発で将来的に超高性能出力、極省エネ出力の実現、定格出力の可変性、型駆動出力を可能とする機能が拡張される。

電源の定格出力は、電磁石で必要な磁場の強度に応じて決定されるのを基本とし、リングオブティクスの可変性の確保や、他電源との交換の汎用性の確保などの点を考慮し、ある程度全体を包含する形で高めに設定される。そのため、定格電流に対して 70% の運転電流で出力がなされる場合、これまでの技術では、定格出力で達成される電源効率が 40% 以上悪化していた。新電源では、電源回路方式をチョッパ型スイッチング電源とすることでベースの電源効率を 92% 以上、力率を 95% 確保し、定格電流に対して、60% 運転電流においても 85% 以上の電源効率を維持するダイナミックな省エネ運転領域を実現した。電源内部回路のユニット化は電源小型化との両立が難しい側面を有するが、PF リングで使用する電磁石電源群が空冷式であったものにユニットの水冷化を導入し、スイッチング回路のスイッチング周波数を高周波化することで、ユニットのパッキングファクターの改善により小型化を実現している。水冷化は、空調設備をもたない電源棟内への放熱を抑制することにもつながり、他空冷式電源群への熱負荷を軽減する効果も生み出している。新電源の小型化は、既設電源 8 台の設置面積に対して 70% の占有率で 10 台の設置を可能とした。

新電源の製作は 2021 年度より開始されたが、あいにくのコロナ禍の商流の停滞と重なり、製作に 3 年の月日を

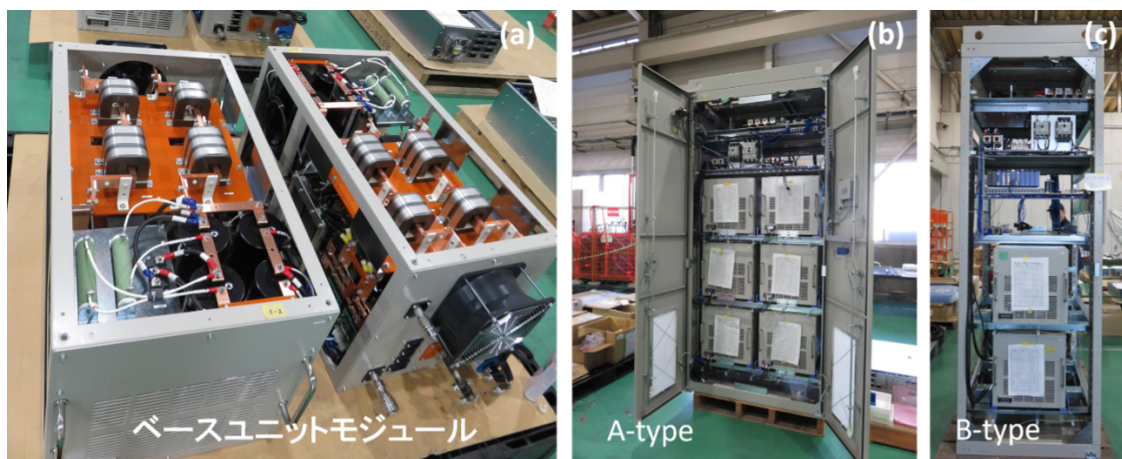


図1 (a) 電源規格化のためのベースユニットモジュール（125 A/140-160 V, 500 A/45-50 V 定格）。これらのユニットが A-type 筐体、B-type 筐体に格納される。(b) 定格 650 A/140 V 電源, (c) 定格 750 A/45 V 電源

要した。2023 年度末に納品がされた電源は、今夏 7 月～9 月末日までの長丁場の電源入れ替え設置工事により無事に導入が済まされた（図 2 参照）。電源設置工事は下記の手順で進められた。順に、既設電源（旧電源）付帯設備である入出力ケーブルの離線保管やケーブルラダーの解体、旧電源の撤去及び新電源が動作しなかった場合に備えた移設保管、新電源エリアの防塵対策として防塵床塗装、新電源の設置アライメント、新電源用ケーブルラダーの新構築（新電源が大幅に小型化したため）、入出力ケーブルの再敷設と接続、ケーブル健全性確認、冷却水配管設備の新設、フラッシング及び耐水圧試験、電磁石インターロックによる電源遮断機能確認である。電源を通电できる状態にする工事の完工は 8 月末となった。その後、9 月の 1 か月をかけ、電源の出力性能を補償する電源メーカ実負荷調整が実施された。工場での出力性能試験では、数 100 m の周長の加

速器を用意することはできないため模擬的な負荷量を用意し集中定数としての仮定で電源出力調整がなされる。しかしながら、実際の加速器リングに設置される電磁石複数台を円周上にならべた実負荷では分布定数に対する調整であるため、工場試験検査での調整結果が適用できない。実際に PF リングで通電調整を開始した時点では、出力電流が数 10 A の状態で出力のハンチングを引き起こし定格電流までの通電が不可能であった。その後、電源 10 台分の出力調整を順に進め、最終的にメーカ工場試験検査と同等の電流出力安定度を達成している（図 3 参照）。

3 カ年かけた電源開発、3 カ月の長丁場の電源設置工事を経て、10 月からの PF リングユーザー運転への運用を無事に開始した。10 月 16 日の時点で運用開始から 10 日が経つが順調な運転を継続している。12 月末までのユーザー運転を無事に終えることを期待している。今後、本電源

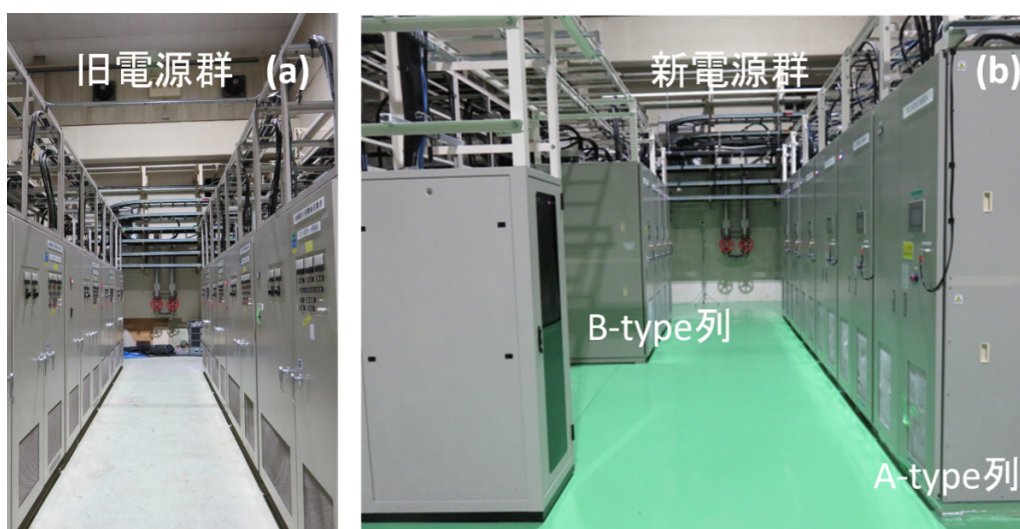


図2 (a) 旧電磁石電源群 8 台, (b) 新電磁石電源群 10 台, 右手に A-type 電源が 6 台, 左手に B-type 電源 4 台が配置されている。

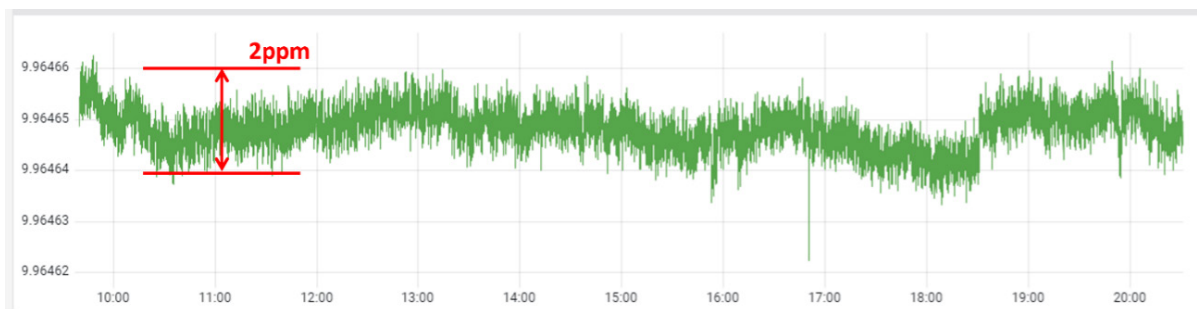


図3 A-type 電源の実負荷接続のもと調整後の10時間出力安定度結果。8.5桁高精度デジタルマルチメーターにより計測。横軸は時間、縦軸は定格電流値を10V換算とした出力電流値を表す。

は機能拡張性を利用した電源性能の高度化開発に移行する。目下、デジタル制御方式の導入を重要な次世代電源のキーテクノロジーとして位置付けており、その課題への取り組みが開始される予定である。

PF リングクライストロン交換

5月10日に発生したクライストロン故障のため、7月までの運転はRF3台での運転を余儀なくされ、蓄積ビーム電流を450mAから420mAに下げたユーザー運転を実施してきた。運転停止後に交換作業を実施し(図4参照)、ハイパワー試験も問題なく終了した。10月の運転からは空洞4台でのユーザーランが実現できている。今回故障したクライストロンは1996年から使用してきたものであり、次に古い製品は2002年から使用しているため、これも既に20年が経過している。今回の交換によりクライストロンの予備品が無い状態となったこと、ユーザー運転を着実に担保するためにも肝心の装置であること、長納期の製品であることから、新規クライストロン1台の調達手続きに入った。



図4 クライストロン交換作業

PF リング、PF-AR での作業

PF リングでは夏期停止期間に安全・インターロックシステムの大幅な更新作業を実施した。ハードウェア類は既に導入していたが、春期はLinacが連続運転をしていたためこの機会の実施となったものである。総合動作試験を10月2日に実施した。秋の運転では新システムでの運転となり、立ち上げ時に多少手間取った部分はあるものの、システムとしては問題なく立ち上がり安全を担保出来ている。

その他の活動

9月2日～6日の間、高専インターンシップとして、豊田高専より学生1名を受け入れた。9月7日の一般公開ではPFリングの制御室およびトンネル内を公開した。加速器第六研究系としては19名が出勤し、うち2名は研究本館での次期光源説明、2名はERL開発棟にてcERL関連の説明にあたった。大きな混乱も無く、説明・案内できたと考えている。昨年度は職員による「ガイド」付きでリング一周を案内したが、今年度は人員不足ということもあって、リング内は自由見学として重要な場所に説明員を配置する方式とした。ガイドツアーは人気が高い一方で職員の負担も大きいため、来年度をどのように実施するかは今後の検討課題としたい。

9月9日～13日の間、加速器科学国際育成事業(IINAS-NX)研究支援人材育成活動の一環として、核融合研の技術職員4名を受け入れて実習を行った。今回は加速器の制御フレームワークであるEPICSの実習を行ったほか、施設の見学を実施した。核融合研の制御システムに関する発表も実施して、お互いに情報交換を行うなどたいへん有意義な活動となった。

人事異動

最後に人事異動について報告する。10月1日付で満田史織(みつだ ちかおり)氏が教授に昇任した。引き続き光源第6グループ(直流電源/パルス電源/入射システム等を担当)のグループリーダー業務の他、PF-ARの運転調整、テストビームライン開発等に尽力頂く。

PF リングおよび PF-AR 第 2 期運転の概要

PF リングは 10 月 7 日（月）、PF-AR は 10 月 17 日（木）9:00 に加速器立ち上げ運転を開始した。PF リングのユーザーラン開始は 10 月 10 日（木）の夕方、PF-AR は 10 月 21 日（月）であり、両リングとも立ち上げ時間が実質 3 日ないし 4 日しかないというタイトなスケジュールであったが、軽微なトラブル対応などはあったものの予定通りユーザー運転に入ることが出来た。PF リングは 12 月 27 日（金）9:00、PF-AR は 12 月 16 日（月）9:00 に予定通り第 2 期の運転を終了し、冬期メンテナンス期間に入った。

PF リングの運転状況

図 1 に PF リングのビーム電流と寿命のグラフを示す。

ユーザーラン中にチャンネルクローズして再入射を行う事象はこの期間に 3 回発生している。10 月 22 日（火）は 4:55 に発生した進行方向ビーム不安定対処のため再入射を実施した。11 月 1 日（金）11:57 には電磁石の冷却水インターロックによりビームダンプ発生。リング内に入域して調査を行った結果、流量には問題は無く外部インターロック回路の故障と判明した（図 2(a)）。回路を予備品と交換して復旧した。13:45 再入射を実施したところ、RF ステーションのうち 1 台が立ち上がっていないことが判明。クライストロン反射インターロックが発生しており、その原因は後段にある高周波サーキュレーターの不具合であることが疑われたため、緊急での交換作業を実施した。16:50 に作業終了して復旧した。図 2(b) に作業の写真を示す。同時に 2 つの大きな故障が偶然に起こるとは考えづらく、

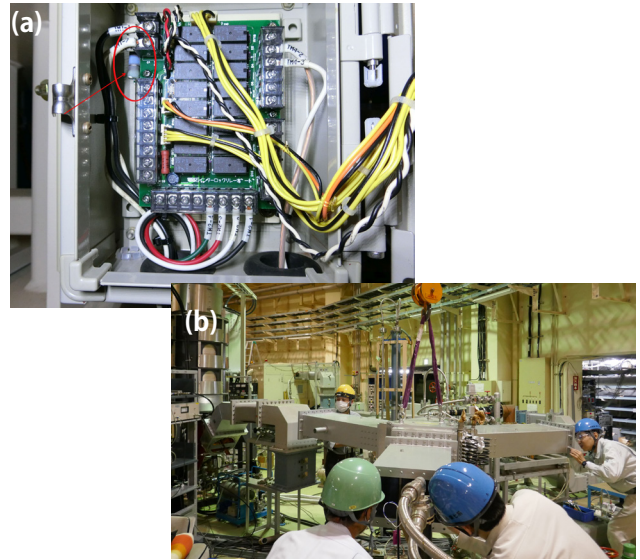


図 2 a) 故障した冷却水インターロック回路基板の一部および
b) 高周波サーキュレーター交換作業の様子

電源インターロックでビームを停止したことがきっかけとなって大電力 RF 伝送系の不具合が顕在化した可能性もある。運転終了後の調査により、ダミーロード及びクライストロンに不具合が生じていたことが判明した。今後も同様のトラブルが起きないかどうかの検証を進める。このトラブルではユーザーランを 6 時間あまりにわたって停止することとなったことをお詫びするとともに、多くの加速器六系職員ならびに業務委託である三菱電機システムサービス

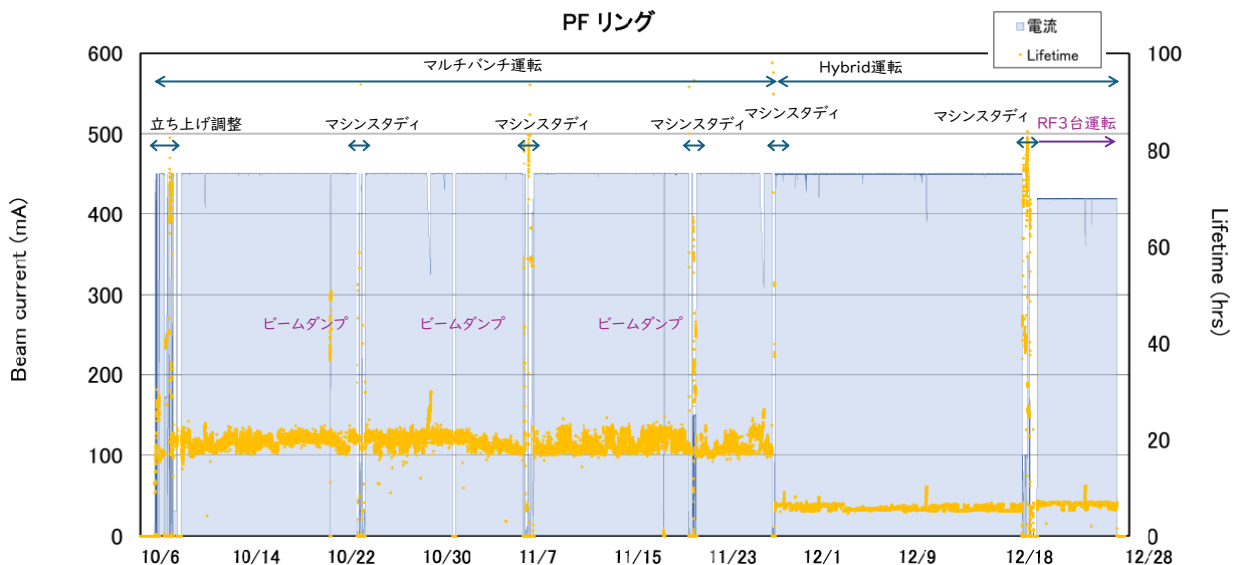


図 1 PF リング 2024 年度第 2 期の運転状況

の協力無くしてはこのような短時間で復旧することは不可能であった。あらためて感謝する。

11月19日（火）4:38には6極電磁石電源の冷却水インターロックのためビーム電流値が大きく減少した。設定変更して復旧している。

11月28日（木）からはマルチバンチ運転から、単バンチ50 mA、マルチバンチ400 mAのハイブリッド運転に入った。グラフからもビーム寿命が短くなっていることが分かる。これにともなって、Linacからの入射頻度が上昇するため、特にユーザー実験フロア・実験ハッチでの放射線上昇に注意が必要である。放射線管理室によるサーベイにより、前回のユーザー運転に比べて放射線レベルが低下していることが判明した。これはビーム輸送ライン軌道の自動調整や、Linacのエネルギーフィードバックの自動化、入射タイミングの自動調整、蓄積リング側のチューンフィードバックなど、各種の入射安定化にむけた調整が効果を上げたと考えている。ただし、まだ原因が不明な部分もあるため、今後もモニター類の充実と調整の自動化を進めていく。

マシンスタディとして、11月27日にPFの入射キッカー調整がユーザー運転に与える影響をビームライン担当者とともに合同で実施した。今後もこのような部署を横断した形で広くマシンスタディを行うことで、効率的なビーム調整およびより安定したビーム供給につなげていく。

12月20日（金）のマシンスタディ期間にA1ステーションのRFが空洞反射インターロックでダウンしたため、マシンスタディを途中でキャンセルして原因調査をおこなった。最も疑わしかったダミーロード交換や導波管を取り外しての内部観測など、短時間に確認できる範囲での調査・対策を実施したが、残念ながら復帰には至らなかった。そこで、これまでの空洞4台運転から3台運転に切り替えて、総蓄積電流は450 mAから420 mAに下げた状態でユーザ

ーランに入ることを決断した。ただし、ハイブリッド運転期間中であるため、単バンチ50 mAは減らさずにマルチバンチ部分を400 mAから370 mAに減らす方針としている。運転停止後にハイパワー試験を実施し、今後の対策を検討する。

PF-ARの運転状況

図3にPF-ARの運転状況を示す。横軸はPFリングでの表示と同じ範囲としている。10月17日（木）に5 GeVでの立ち上げを開始した。今回の立ち上げ時には、蓄積電流を従来の50 mAから55 mAに増やした運転を試みた。これはHigher Order Mode（HOM）吸収体の冷却系の整備や、運転面では自動でのチューンフィードバックシステムの導入などをうけての試みであり、当初は順調であったものの、11月1日（金）の夕方にAR西側2番空洞最上流のHOMケーブルの温度が上昇し続けている問題が発生したためユーザーランは元の50 mAに下げて運転する方針とした。冬の停止期間に追加でのモニター系を整備してからマシンスタディを実施したうえで今後の方針を検討するが、これらの実験および計算の両面から検証をおこないマージンを確認した上で今後の方針を決定する。

10月21日（月）に真空悪化現象が発生した。調査の結果、チタンゲッターポンプのフィードスルー部分からのスロリークと判明したが、ユーザー運転直前でもあったことから当面の対処として真空封止材（バックシール）での対処とし、運転終了後に交換など本格的な対処を実施する方針とした。

12月5日（木）のマシンスタディでは、2バンチ蓄積する運転モードを試験した。30 mA + 30 mA = 60 mA モード、32.5 mA + 32.5 mA = 65 mA モードに成功し、65 mA モードは一時間程度安定した運転を実現、今後安定した運用が可能と想定される。50 mA + 10 mA では不安定性が強く起き

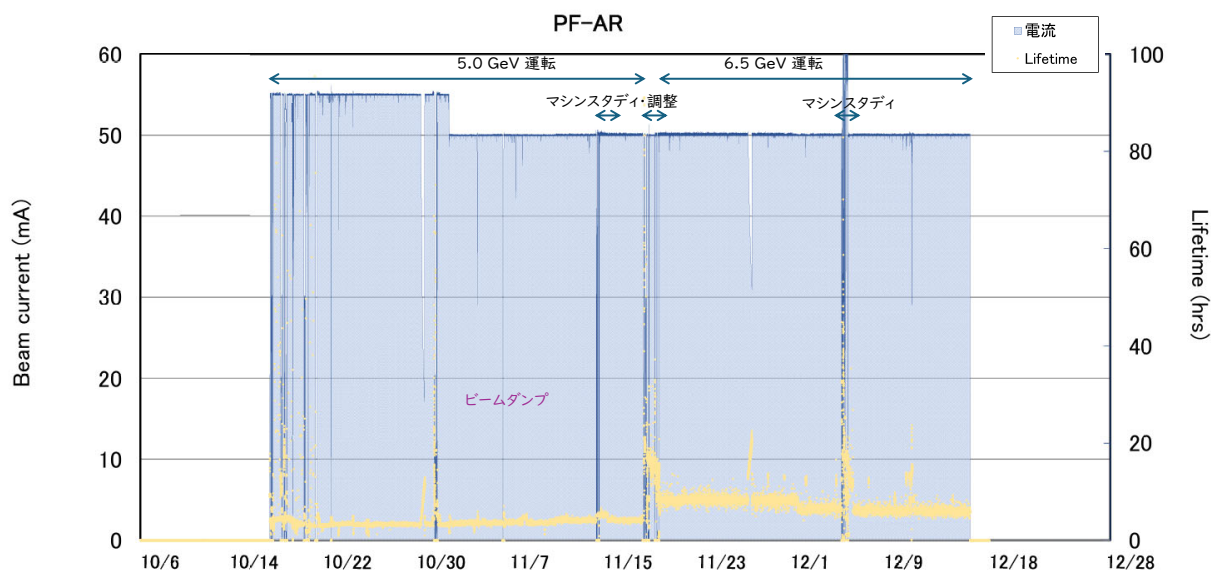


図3 PF-AR2024年度第2期の運転状況。グラフ横軸はPFリングと同じく10月6日（日）～12月28日（土）までの表示としている。

ることも判明した。PF-AR は単バンチ・大電荷での運転が特徴である一方で、加速器のビーム物理現象の調査という面では色々と興味深いデータ取得が可能となるため、今後も色々なパターンを含めスタディを継続する予定である。これはユーザー運転にすぐに適用するものではないが、ユーザーからの要請があれば対応できるように準備する。

12月16日(月)AR運転終了後に電磁石電源を立ち下げる際、KEKBやPFの入射を止めてもらってからDCセプトラム電磁石電源をOFFすべきところ、一斉にOFFしてしまい、KEKBとPFの運転に影響が出てしまった。同様のミスを防ぐため、一斉操作パネルからは当該電源を除外して、個別にOFFするように変更した。また、やはり運転終了後に偏向電磁石2台にてブスバーの冷却用ホース接続口金部より漏水が発生したほか、四極電磁石1台も同様の漏水が発生した。これは加速器停止後に熱負荷が急激に変わるなか、ゴムホースが経年劣化により硬化したことで口金部に応力がかかったことが原因と考えられる。予備品に交換することで対処した。今回の事象は約3年ぶりに発生した。このようなトラブルは定期的に予防交換することで避けることが可能であるが、予算・人員の制限により完全には対応できていないのが現状である。

秋期運転期間において、AR南棟で火災報知器の誤報(非火災報)が頻発した。特に12月10日(火)の夜から11日(水)の朝にかけて頻発したため、12月11日(水)の15:00から調査と対処を行った結果、AR南棟-KEKBコントロール棟間の配線が絶縁不良となっていることが判明したため、その線を切り離し、AR南棟の信号をAR西棟経由でKEKBコントロール棟へ送るように繋ぎ変えた。当面の間、AR南棟で発報するとAR西棟で発報したように表示される。AR南棟-KEKBコントロール棟間の配線は、KEKBの運転が停止してから張り替える予定である。

冬期停止期間には、PF-ARでは故障していた真空系冷却水のチラー更新工事を実施する。工事期間は運転停止直後の12月16日(月)～2月27日(木)とし、2月12日(水)より試運転の予定している。これにより1台のみで運転してきたチラーが2台態勢となるため、1台が故障した際にAR運転停止となる可能性があった状況が改善するほか、5月から6月の運転において気温が上昇した際にも温度制御範囲内での運転が可能となる予定である。

その他

11月20日にはQSTの小原脩平氏を招いて加速器セミナー「NanoTerasuの蓄積リングコミショニング」を開催した。小原氏はNanoTerasuにおいて蓄積リングのビーム運転調整を牽引してきた方であり、コミショニングでは主に横方向ビーム軌道調整に尽力され、蓄積ビーム電流200mAでの利用運転を実現された。セミナーではこれまで学会等で発表してきた内容はもちろん、現場担当者ならではの苦労話なども含めた話を聞くことができた。また、参加したKEK職員からも情報提供・提案するなど、貴重

な情報交換の機会となった。

高校1,2年生を対象としたウィンターサイエンスキャンプが12月24日(火)～27日(金)の3泊4日で開催された。全4コースのうち、加速器六系からは3名がCコースを担当しクルックス管と電磁石をテーマに実習をおこなった。参加した学生からも好評であり、有意義な活動であった。

人事異動

最後に人事異動について報告する。1月1日付で下崎義人氏が教授に昇任した。引き続き光源第1グループ(電子軌道・電磁石グループ)のメンバーとしてPFリングおよびPF-ARの電子軌道・ビームダイナミクスに関連する多くの研究開発や、Linacからビーム輸送ラインまで含めての入射調整の高度化に尽力いただくとともに、PFの喫緊の課題でもある次期光源にむけた検討を強力に推進していただく。

2024年10月1日付けで田中窓香氏が准技師として加速器第五研究系から六系に異動となり、真空グループの一員として活動頂いている。おなじく10月1日からは総研大の学生としてAftab Ahmad氏(パキスタン出身)が入学し、RFグループの一員として研究を開始している。