

KEK 放射光源加速器 PF リングと PF-AR の現状

PRESENT STATUS OF PF RING AND PF-AR AT KEK

帯名崇[#], 阿達正浩, 上田明, 内山隆司, 江口柊, 影山達也, 金秀光, 小林幸則, 齊藤寛峻,
坂中章悟, 佐々木洋征, 下ヶ橋秀典, 塩澤真未, 塩屋達郎, 篠原智史, 下崎義人, 高井良太,
高木宏之, 高橋毅, 多田野幹人, 田中織雅, 田中窓香, 谷本育律, 田原俊央, 多和田正文, 團優菜,
土屋中央, 内藤大地, 長橋進也, 中村典雄, 濁川和幸, 野上隆史, 芳賀開一, 原田健太郎, 東直,
卜抱元, 本田融, 丸塚勝美, 満田史織, 三増俊広, 宮内洋司, 本村新, 山本尚人, 山本将博,
吉田正人, 吉本伸一, 渡邊謙

Takashi Obina, Masahiro Adachi, Akira Ueda, Takashi Uchiyama, Shu Eguchi, Tatsuya Kageyama, Xiuguang Jin,
Yukinori Kobayashi, Hirotooshi Saito, Shogo Sakanaka, Hiroyuki Sasaki, Hidenori Sagehashi, Mami Shiozawa,
Tatsuro Shioya, Satoshi Shinohara, Yoshito Shimosaki, Ryota Takai, Hiroyuki Takaki, Takeshi Takahashi,
Mikito Tadano, Olga Tanaka, Madoka Tanaka, Yasunori Tanimoto, Toshihiro Tahara, Masafumi Tawada,
Yuna Dan, Kimichika Tsuchiya, Daichi Naito, Shinya Nagahashi, Norio Nakamura, Kazuyuki Nigorikawa,
Takashi Nogami, Kaiichi Haga, Kentaro Harada, Nao Higashi, Baoyuan Bian, Tohru Honda, Katsumi Marutsuka,
Chikaori Mitsuda, Toshihiro Mimashi, Hiroshi Miyauchi, Arata Motomura, Naoto Yamamoto, Masahiro Yamamoto,
Masato Yoshida, Shin-ichi Yoshimoto, Ken Watanabe

Accelerator Laboratory, KEK, High Energy Accelerator Research Organization

Abstract

The High Energy Accelerator Research Organization (KEK) operates two synchrotron radiation storage rings at the Photon Factory (PF): the 2.5 GeV PF ring and the 6.5 GeV PF Advanced Ring (PF-AR). Despite over 40 years of operation, both rings maintain stable performance with a failure rate below 1% through timely upgrades. This paper reports the current operational status, upgrades, and R&D of existing facilities, and outlines future plans, including a quantum multi-beam facility and a FEL facility based on an advanced hybrid light source concept.

1. はじめに

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の放射光実験施設 (フォトンファクトリー: PF) は、1982 年から今日まで大学共同利用を中心にした運営を行い、物質科学および生命科学を中心にした基礎科学の発展に貢献してきた。現在では、2.5 GeV PF リングと 6.5 GeV PF アドバンスリング (PF-AR) の 2 つの放射光専用リングを運転しユーザーに対して紫外線から X 線までの放射光を供給している。各年度の運転を大別すると第 1 期(4-7 月)、第 2 期(9-12 月)、第 3 期(1-3 月)の 3 期にわけて実施しており、各期の間メンテナンス期間をおいている。Table 1 に、現在の PF リングと PF-AR の主なパラメータを示す。PF リング、PF-AR ともに稼働から約 40 年以上経過しており、各種装置の老朽化が顕著になってきているが、随時対策を講じながら、故障率 1% 台の安定な運転を維持してきた。2024 年度は大きな改造作業も無く、当初からの計画運転時間は 2021 年度並みを確保できている。実際の運転でも、故障率 1% を下回る非常に安定な運転となった。さらに、PF リングでは、中型電源 (4 極磁石・6 極磁石用) の更新を達成しているほか、低電力 RF システムの更新が完了して運転はもちろん各種マシンスタディに活用出来ている。PF-AR では、南実験棟において測定器開発テストビームラインがフル

ユーザー運転に入っており、既に多くの実験課題が実施されている。今年会では、高度化・老朽化および故障対策等を含めた PF リングと PF-AR における運転の現状について報告するとともに、次期光源として検討をすすめている超伝導加速空洞と蓄積リングを組み合わせた PF ハイブリッド光源 (PF-HLS) およびそれを発展させた量子マルチビーム施設計画について紹介する。

Table 1: Principal Parameters of PF Ring and PF-AR

	PF ring	PF-AR
Beam Energy	2.5 GeV	6.5 or 5.0 GeV
Natural Emittance	35.4 nm	246 or 144 nm
Circumference	187 m	377 m
Beam Current	450 mA	50 mA (single)
Operation Mode	Top-Up	Top-Up
Number of ID	11	5

2. 運転の現状

2.1 2024 年度の運転統計

Table 2 に直近 3 年間 2022 年度から 2024 年度まで

[#] takashi.obina@kek.jp

の PF リングの運転統計を示す。(より長期間の数値については昨年度および一昨年度の施設報告[1, 2]に記載している)。図 1 は過去 15 年間の運転統計をグラフにプロットしている。ユーザー運転時間の目標として 2021 年度以降は、PF 3,600 時間、PF-AR 2,400 時間としてきたところ 2024 年度は目標を達成できた。グラフでは 2023 年度に減っていることが顕著であるが、これ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、夏期停止期間が例年より長くなったことが理由であり、トラブル等によるものではない。

故障時間は前年度より少し多い約 27.5 時間となったが、故障率は約 0.7%、平均故障間隔 (MTBF) は約 192.4 時間で、運転時間が長くなったことに対応して少し悪化しているものの、十分に良好な値を維持できている。故障の内訳を調べてみると 2024 年度は電磁石関係が約 34.3%、RF 関係が 27.6%となりこの 2 つが大部分を占めている。RF システムのトラブルは近年では少なかったのに対して、2024 年度はクライストロンの不調が頻発したために、通常の 4 台運転から 3 台運転に減らしてのユーザー運転時間が多くなった。この状況に対応して、機構より RF クライストロン 1 台を調達する予算措置を受けて現在製作を行っている。PF での新規製作は約 12 年ぶりとなった。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・機能向上をとらせた更新を心がけていく。

Table 2: Operation Statistics of the PF-Ring

Fiscal Year	2022	2023	2024
Total Operation Time [h]	4128	3648	4440
Scheduled user time [h]	3616	3096	3848
Number of failures	25	18	20
Total down time [h]	25.8	15.2	27.5
Failure rate	0.7	0.5	0.7
MTBF [h]	144.6	172.0	192.4
Mean down time [h]	1.0	0.8	1.4

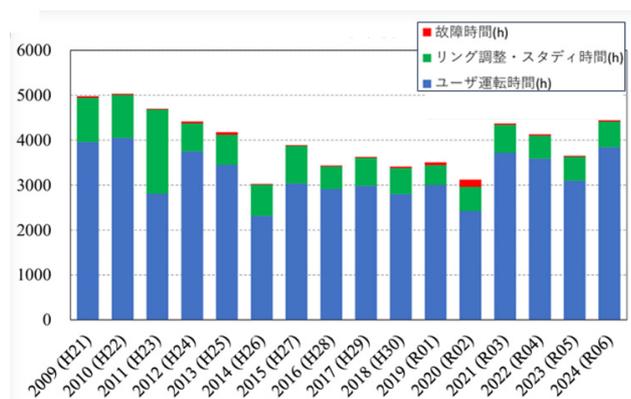


Figure 1: Bar graph of operation statistics in PF-Ring.

Table 3: Operation Statistics of the PF-AR

Fiscal Year	2022	2023	2024
Total Operation Time [h]	3000	2760	2976
Scheduled user time [h]	2440	2184	2424
Number of failures	17	16	14
Total down time [h]	21.7	30.3	10.8
Failure rate	0.9	1.4	0.4
MTBF [h]	143.5	136.5	173.1
Mean down time [h]	1.3	1.9	0.8

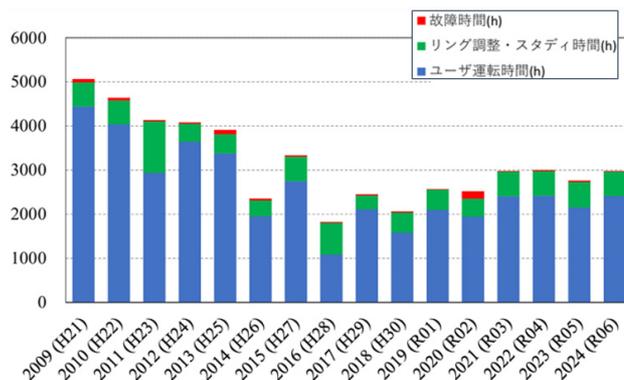


Figure 2: Bar graph of operation statistics in PF-AR.

Table 3 に PF-AR の直近 3 年間の運転統計数値を、図 2 に過去 15 年間の運転統計をグラフにしたものを示す。2024 年度のユーザー運転の計画時間は 2424 時間を確保し、実際の故障時間は 10.8 時間、故障率も 0.4%と、極めて良好な値を示している。ただし、これらユーザー運転統計には出ていないものの、ビーム輸送ラインでの電磁石電源トラブルや、バンチ純化システムのトラブルなどが起きており、今後も継続して対処することが必要と考えている。故障の内訳は約 62.5%が電磁石関係、26.9%が RF 関係であった。詳細は次章で記述する。

2025 年度の運転時間については、エネルギー価格の上昇はあるものの、当初目標である PF リングで 3,600 時間、PF-AR で 2,400 時間を達成することを目指している。

2.2 2024 年度 2 期～2025 年度 1 期の運転トラブル等

2.2.1 高周波関連トラブル

主としてクライストロン不調に起因するトラブルが発生した[3]ほか、サーキュレーターやダミーロード等の高周波・高電力コンポーネントの交換等をおこなっている。これ以外にも老朽化・経年劣化が著しい部分もあり、継続して対処していく方針である。

2.2.2 電磁石関係

電源内部のモジュール空冷用冷却ファン停止を原因とした停止が何回か発生した。メンテナンスの充実と予防交換でトラブルを回避することを出来る限り進める方針である。一方で、数量が多く、電源内部での作業が困難なケースもあるため、故障発生時にいち早く対処できるようにモジュール化した交換部品の製作を進めた。

2.2.3 真空トラブル対応

第 2 期運転開始時に、PF-AR のチタンサブリメーションポンプ(以下 TSP)で真空リークが発生した。ユーザー運転を早期におこなうため真空封止材の塗布で対処した。リークした場所以外も含め、端子カバーを外して全数調査をおこなったところ、コネクタに緑青が出て劣化している場所が 8 か所、信号ケーブルが劣化している場所が 23 か所あった。冬の作業期間でいくつか交換対処を実施したほか、リング全周にわたる保守・更新を実施する。詳細は[4]にて報告する。

2.2.4 Linac 真空トラブルによる入射中断

2025/5/16(金) 23:04 Linac 加速管の真空トラブルにより PF リングおよび PF-AR ともにトップアップ運転中断となった。週末深夜に発生するという悪いタイミングではあったが Linac 関係者によって加速管をダミー管に取り替える真空作業が立案され、迅速に実施された。この間、両リングともに実験モードのままユーザー運転を継続した。図 3 にビーム電流と寿命の履歴を示す。

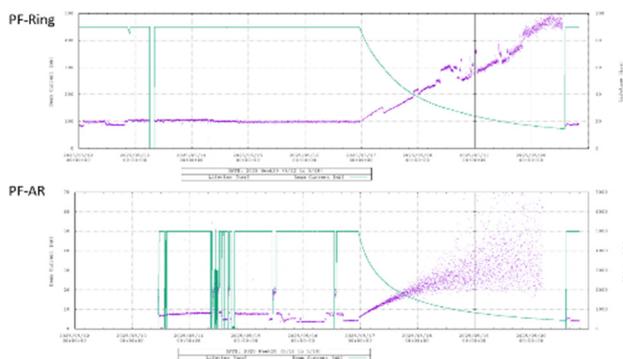


Figure 3: Beam current and lifetime during the vacuum trouble of the accelerator tube at the injector linac.

3. 既存施設の高度化、マシンスタディ、老朽化対策など

3.1 PF リング

3.1.1 中型電源更新

PF リングのビーム軌道の安定性向上のため、四極電磁石および六極電磁石に使用する中型電源の一部を更新した。従来の電源は出力電流の安定度が 100 ppm 未満であったが、新電源では 10 ppm 未満を目標とし、実際に 3~4 ppm の安定度を達成した。これにより、高精度な電流制御を備えた電磁石用電源の開発技術を確認した。新電源は、電源ユニットモジュールの組み合わせによって構成されている。電源の定格出力は、使用する電源モジュールの数によって変更可能である。ベースユニットモジュールの定格は 125 A / 140-160 V または 500 A / 45-50 V であり、これらを用いることで、A 型電源は 650 A / 140 V、B 型電源は 750 A / 45 V の定格出力を実現できる。あわせて省エネ化と省スペースのための小型化も達成している。図 4 にインストール前後での写真を示す。



Figure 4: Old and new power supplies for quadrupole and sextupole magnet.

図 5 に、A 型電源の 10 時間にわたる長期安定度を示す。電源ユニットモジュールの組み合わせにより、必要に応じた多様なタイプの電源を容易に設計・製作できる柔軟性と拡張性が得られる。また、故障したモジュールを正常なものに交換することで、短時間での修理が可能な設計となっており、保守性の向上も果たしている。

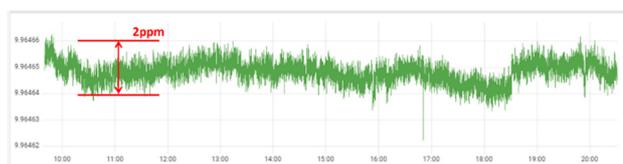


Figure 5: Stability of A-type power supply for 10 hours of operation after the installation to the PF-Ring.

3.1.2 インターロック更新

2024 年夏期の停止期間中にインターロックシステムの更新を行った。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。古い PLC を更新し、従来は直接配線していた各種の機器を産業用バス経由とすることで省配線化も達成できているほか、各種の表示器も更新している。今後は、ビームライン側とつないでいる経路も PLC ベースの機器に置き換えていく計画である。詳細は本年度で報告する[5]

3.1.3 LLRF 更新とマシンスタディ

2023 年度に低電力 RF 系を旧来のアナログシステムからデジタル処理系に全面更新し、その安定運用に向けたビーム調整などを実施してきた[6]。その後も特に深刻なトラブルは無く安定して運用できている。あわせて、旧システムでは実現が困難であった調整も可能となり(4 台の RF に個別に FM 変調をかけるなど)運転に役立っているほか、過渡的変動補償の原理実証などあらたなマシンスタディを実施[7]している。これは 1.5 GHz 高調波空洞の導入[8]もあわせて次期光源開発にも直結するものである。

3.1.4 BPM と軌道フィードバックシステム更新

2024 年度第 3 期ユーザー運転より、新しいビーム位置測定システムならびに高速軌道フィードバックシステムが全面的に導入された。新システムは MicroTCA.4 規格のデジタル信号処理回路をベースに構築されている。蓄積ビームの COD は BPM と同数の回路により 10 kHz の

レートで測定され、逆応答行列を用いた演算結果を高速補正電磁石の電流値へフィードバックすることにより所定の基準軌道に補正される。これまで 30 年近く運用されてきた VME ベースの旧システムからの移行は、第 3 期運転の立ち上げ期間中に段階的に行われた。更新前後での COD 表示例を図 6 に示す。基準軌道の引き継ぎもスムーズに完了し、最小ギャップ 4 mm の真空封止アンジュレータも特別な軌道調整なしで利用することができた。詳細は本年会で報告[9]する。

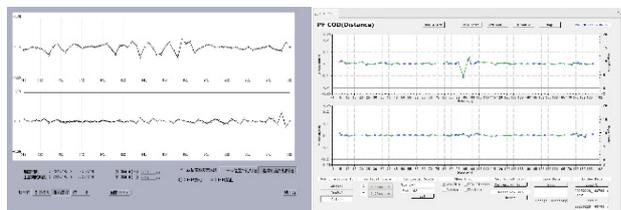


Figure 6: Beam position displays from the previous BPM system (left) and the new system (right). Both plots indicate deviations from the reference orbit.

3.1.5 その他の研究開発

真空関連の R&D としては NEG コーティング関連の開発や BeCu の光脱離測定[10, 11] などの他、ビームライン BL21 を活用して FCC-hh でのビームスクリーンのコーティング材料候補の光刺激脱離(PSD)測定などを実施している[12]。

運転調整の面では、これまでの自動軌道調整に加えてビームロス低減を目指したオプティクス調整、入射調整[13]などを実施している。

ほかにも高速パルスキッカーのための SiC-MOSFET パルス電源の開発と高繰り返し試験[14, 15]など、多くの研究開発を実施している。これらは既存施設への導入はもちろんのこと、次期光源に向けても必須の研究開発要素である。

3.2 PF-AR

第 2 期当初から、蓄積電流を従来の 50 mA から 55 mA に増やしてユーザー運転を開始した。当初は順調であったが、約 10 日後に RF 空洞の HOM ケーブル温度が上昇傾向にあることが判明したため電流を従来通りの 50 mA まで下げるとともに、不具合の起きた HOM ケーブルを交換した。その後には問題は起きていない。

測定器開発用テストビームラインは、素粒子原子核研究所測定器開発センターとの連携協力で 2021 年に建設され、放射光利用と共存して同時利用が進められている。既に大学共同利用も正式に開始している[16, 17]。2024 年度以降には電子収量を増やすひとつの可能性として、従来の単バンチ運転から 2 バンチを蓄積することで総電流を上げる運転パターンを検討しており、マシンスタディを実施した。

冬期シャットダウン期間中には PF-AR 南直線部に DCCT 更新作業を実施している。これはテストビームラインからの予算措置により、ターゲットワイヤーを挿入量とビーム寿命との相関を正確かつ安定に計測することが目的である。図 7 に設置後の写真を示す。



Figure 7: South straight section after the installation of the new DCCT. The cylindrical apparatus near the center of the photograph is the DCCT equipped with an external magnetic shield.

3.3 cERL および KEK 他系・施設との協力

コンパクト ERL(cERL)では、応用超伝導加速器イノベーションセンター(iCASA)のもとで ERL 技術の産業応用を念頭に置いた超伝導加速器利用のための研究開発を行っている。設計・建設当初より KEK 加速器 6 系(放射光源)や 5 系(入射器)をはじめとした複数の系を横断した開発をおこなってきている。入射部のビームダイナミクスに関連した研究開発を実施[18, 19]しており、次世代 FEL 光源の開発にも寄与している[20]。ビーム運転においても入射部でのビームプロファイルに関する研究や、ビームロスモニタ開発を実施している[21]。

そのほか、機械工学センターとの協力で加速器運転中のトンネル内を遠隔から観察可能な小型ロボット開発も実施している[22]。

4. 次期光源に向けての研究開発

4.1 概要

PF リング、PF-AR ともに稼働から約 40 年経過しており、新しいコンセプトに基づく新たな放射光源を開発し建設することは喫緊の課題である。そこで我々は汎用性と先端性の両方を併せ持つ新たなコンセプトとして、超伝導線形加速器からの高品質ビーム(Single-pass, SP Beam)と、蓄積リングからのビーム(SR Beam)の両方を活用できる施設として「ハイブリッド光源(PF-HLS)」を提案してきた。これまで投稿論文[23]や加速器学会誌[24]等で鍵となるコンセプトを紹介した後、Conceptual Design Report (CDR)を公開してその後も更新を継続している[25]。

PF-HLS を構成する蓄積リング部分については、世界の放射光源リングの潮流ともいえる極低エミッタンスヘアプローチするのではなく、汎用性と多機能性にすぐれた設計としている。特徴のひとつであるリング設計段階から「2.5 GeV と 5.0 GeV エネルギー可変」というコンセプトを目指した設計に関しては施設の周長やエネルギーの妥当性からエネルギー可変で実現できるサイエンスなども含めて検討し投稿論文にまとめた[26]。

並行して、超伝導線形加速器をベースとした量子マルチビーム施設への拡張を検討している。KEK 物構研では放射光はもちろん、陽電子・中性子・ミュオンなど異なる量子ビームを活用したマルチプローブ実験をおこなうことでサイエンスを推進してきたが、現在はサンプルをそれぞれ別の施設で計測する、いわゆる「順次計測」が一

般的である。放射光実験の場合でも軟 X 線と硬 X 線での実験をエネルギーの異なる別施設で実施することはよく行われている。次期計画においては、同じサンプルに異なるビームを「同時に」照射することで非平衡状態・ダイナミクスを解明することをはじめとした、新たな分野を切り開くことを目指している。PF-HLS で提唱してきた SR-SR の 2 ビーム利用は、2 つの放射光を 1 つのビームラインで同時に利用するものである。これをさらに拡張し、異種マルチビーム(陽電子等)を使うこと、そしてこれまで PF-HLS で掲げてきた SR-SP での同時計測のうち、SP ビームを FEL 光にて供給することでより強いパルス光源を実現することを目指す。図 8 にコンセプトとなる加速器要素を示す。超伝導線形加速器としては 2.5 GeV のエネルギーを想定し、基本パラメータは ILC(国際リニアコライダー)用の加速空洞を活用した長パルス運転を想定している。サイエンスケースも含めこのスペックで十分な成果が得られると見込んでいる。高繰返し運転にも対応できるように、電子源・空洞・電力源・冷凍機など予算検討も含めて総合的に検討を進める。あわせて、近年ではアト秒サイエンスへの要望が強くなっており、この施設で実現できる設計を目指している。

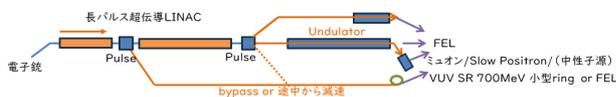


Figure 8: Conceptual design of SC-Linac based quantum multi-beam facility.

4.2 次期光源関連の研究開発、既存施設への導入

超伝導線形加速器・蓄積リングともに開発要素は多く、多岐にわたっている。昨今のエネルギー情勢を反映した省エネ設計も必須であり検討を進めている。

蓄積リングのインピーダンスは特に注意が必要な項目の1つであり、抵抗性インピーダンス[27]やビーム不安定現象に関する研究を精力的に進めている[28-30]。また、表面の光刺激脱離の実験や、狭小真空ダクトで必須となる NEG コーティング開発も引き続き進めている[10, 11]。

現在の PF リングではピーク磁場 5 T の垂直偏光超伝導 3 極ウイグラーが稼働している。次期光源ではエミッタンス増大を引き起こさない程度に軌道振幅を抑制しつつ、垂直偏光かつ 2.5 GeV 運転時に 10 keV 以上の高エネルギー帯域の放射光を生成するには 40~50 mm 程度の比較的大きな水平方向ギャップで 2~3 T 以上の高磁場を出す必要がある。そこで Nb3Sn 線材を使用した円形コイルによる超伝導ウイグラーを設計するとともに[31-34]、含浸材に関する研究開発[35]やクエンチ保護システム[36]も含め低温工学センターとの協力のもと研究開発を遂行している。

5. まとめ

PF リング、PF-AR ともに老朽化にともなう機器のトラブルは多くあったものの、幸いにも長期停止につながるような深刻な事象は起きていない。なおかつ、スタッフによる迅速かつ適切な対応によってユーザーへの影響は最低限度に抑えることが出来ている。今後も適切な保守を行

うとともに、既存施設の改良を含めた研究開発を進めていく。また、次期光源に向けての研究開発を強く推進していく。

KEK 加速器第六系のメンバーは PF リング、PF-AR の 2 つの放射光源を担当しているほか、第五研究系(Linac)や応用超伝導加速器イノベーションセンター(iCASA)と共同でコンパクト ERL(cERL)や EUV-FEL 関連の研究開発を行っている。引き続きこれらの活動を継続していく。

参考文献

- [1] T. Obina *et al.*, “Present status of PF ring and PF-AR at KEK”, Proc. 20th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2023), Aug. 2023, Funabashi, Japan, pp. 1088-1092.
- [2] T. Obina *et al.*, “Present status of PF ring and PF-AR at KEK”, Proc. 21st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2024), Jul. 2024, Yamagata, Japan, pp. 1141-1146.
- [3] A. Motomura *et al.*, “Investigation into the cause of an output failure of a PF-Ring’s klystron”, Proc. 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2025), Aug. 2025, Tokyo, Japan, THP050, this meeting.
- [4] M. Tanaka *et al.*, “Consideration of deterioration for PF-AR titanium sublimation pumps terminals”, Proc. 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2025), Aug. 2025, Tokyo, Japan, THP014, this meeting.
- [5] K. Nigorikawa *et al.*, “New Interlock System at KEK PF”, Proc. 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2025), Aug. 2025, Tokyo, Japan, FRP008, this meeting.
- [6] D. Naito *et al.*, “Commissioning and operation status of the LLRF system at the KEK Photon Factory 2.5 GeV ring”, Proc. 21st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2024), Jul. 2024, Yamagata, Japan, FROA01, https://www.pasj.jp/web_publish/pasj2024/proceedings/PDF/FROA/FROA01.pdf
- [7] D. Naito *et al.*, “Experimental tests to compensate the transient beam loading effect at the KEK-PF 2.5 GeV ring”, Proc. 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2025), Aug. 2025, Tokyo, Japan, FRO707, this meeting.
- [8] N. Yamamoto *et al.*, “Design of high power model of the 1.5GHz-TM020 Harmonic cavity for a synchrotron ring”, Proc. 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2025), Aug. 2025, Tokyo, Japan, THP045, this meeting.
- [9] R. Takai *et al.*, “First Introduction of a Fast Orbit Feedback System Using MicroTCA.4 for the PF User Operations”, Proc. 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2025), Aug. 2025, Tokyo, Japan, FRP080, this meeting.
- [10] X. Jin, “Synchrotron radiation-stimulated desorption from BeCu”, Proc. 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2025), Aug. 2025, Tokyo, Japan, WEP016, this meeting.
- [11] X. Jin *et al.*, “Evaluation of pumping performance for Pd/Ti (Pd covered Ti) and Pd/Zr films”, Proc. 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2025), Aug. 2025, Tokyo, Japan, FRP017, this meeting.

- [12] Y. Tanimoto *et al.*, “Photon stimulated desorption from cryogenic surfaces of high temperature superconductor and amorphous carbon thin films”, in Proc. 16th Int. Particle Accelerator Conf. (IPAC’25), Taipei, Taiwan, June 2025, THPS060.
- [13] Y. Shimosaki, “Suppression of radiation level caused by injection loss at the KEK photon factory”, Proc. 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2025), Aug. 2025, Tokyo, Japan, WEP002, this meeting.
- [14] S. Shinohara *et al.*, “High repetition tests of a pulsed power supply using SiC-MOSFETs for a fast kicker system in KEK-PF”, in Proc. 16th Int. Particle Accelerator Conf. (IPAC’25), Taipei, Taiwan, June 2025, WEPB061.
- [15] S. Shinohara *et al.*, “Development of a SiC-MOSFET pulsed power supply toward 800 kHz operation for the KEK-PF fast kicker system”, Proc. 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2025), Aug. 2025, Tokyo, Japan, FRP069, this meeting.
- [16] C. Mitsuda *et al.*, “Launch of the new GeV range test beamline for the development of an instrumentation technology in the KEK PF-AR”, Proc. 21st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2024), Jul. 2024, Yamagata, Japan, WEP029, p295.
- [17] 測定器開発センター(ITDC),
<https://itdc.kek.jp/testBeamLine/index.html>
- [18] T. Olga *et al.*, “Study of an anomalous beam profile in the Compact ERL’s injector at KEK”, in Proc. 16th Int. Particle Accelerator Conf. (IPAC’25), Taipei, Taiwan, June 2025, WEPM026.
- [19] T. Olga *et al.*, “Investigation of an Unusual Beam Profile in the Compact ERL Injector at KEK”, Proc. 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2025), Aug. 2025, Tokyo, Japan, FRP039, this meeting.
- [20] M. Kurata *et al.*, “Investigation of the injector for the development of the next generation FEL light source”, Proc. 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2025), Aug. 2025, Tokyo, Japan, THP003, this meeting.
- [21] T. Michikawa *et al.*, “Development of loss monitor for cERL with large current”, Proc. 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2025), Aug. 2025, Tokyo, Japan, WEP086, this meeting.
- [22] A. Takasu *et al.*, “Remote Radiation Monitoring Cart for the PF Tunnel”, Proc. 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2025), Aug. 2025, Tokyo, Japan, THP024, this meeting.
- [23] K. Harada *et al.*, “Conceptual design of the Hybrid Ring with superconducting linac”, J. Synchrotron Rad. 29(2022), pp. 118-124. doi:10.1107/S1600577521012753
- [24] K. Harada *et al.*, “Conceptual Design of the Hybrid Ring”, 「加速器」Vol. 19, No. 2, (2022) p.62. doi:10.50868/pasj.19.2_62
- [25] <https://www2.kek.jp/imss/pf/pf-hls/>
- [26] T. Sato *et al.*, “Conceptual design of the energy-switchable storage ring as a high-brilliance light source over a wide wavelength range”, J. Synchrotron Rad. 32 (2025). doi:10.1107/S1600577525005363
- [27] N. Nakamura *et al.*, “Resistive wall impedance calculations and effects of NEG coated insertion device vacuum pipes for the PF-HLS ring”, in Proc. 16th Int. Particle Accelerator Conf. (IPAC’25), Taipei, Taiwan, June 2025, WEPM077.
- [28] N. Yamamoto *et al.*, “Benchmark study of transverse instability driven by the resistive wall impedance in the PF-HLS 2.5 GeV storage ring”, in Proc. 16th Int. Particle Accelerator Conf. (IPAC’25), Taipei, Taiwan, June 2025, WEPS105.
- [29] B. Baoyuan *et al.*, “Impedance benchmarking of resistive wall and tapered transitions for the PF-HLS”, in Proc. 16th Int. Particle Accelerator Conf. (IPAC’25), Taipei, Taiwan, June 2025, WEPM078.
- [29] N. Nakamura *et al.*, “Effects of NEG-coating electric conductivity on vacuum-pipe impedance”, Proc. 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2025), Aug. 2025, Tokyo, Japan, WEP045, this meeting.
- [30] N. Nakamura *et al.*, “Impedance analysis of copper-plated stainless-steel vacuum pipes”, Proc. 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2025), Aug. 2025, Tokyo, Japan, FRP040, this meeting.
- [31] H. Saito *et al.*, “Proposal of a vertically polarized superconducting multipole wiggler using Nb3Sn coils”, J. Synchrotron Rad. 32 (2025). doi:10.1107/S1600577525004382
- [32] H. Saito *et al.*, “Nb3Sn superconducting multipole wiggler as a vertically polarized hard X-ray source”, in Proc. 16th Int. Particle Accelerator Conf. (IPAC’25), Taipei, Taiwan, June 2025, TUPM065.
- [33] C. Mitsuda *et al.*, “Test coil-unit fabrication of Nb3Sn superconducting multipole wiggler for next generation light source in KEK-PF”, in Proc. 16th Int. Particle Accelerator Conf. (IPAC’25), Taipei, Taiwan, June 2025, WEPB050.
- [34] C. Mitsuda *et al.*, “Development of Superconducting Multipole Wiggler for Application of Next-Generation Light Source in KEK PF”, Proc. 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2025), Aug. 2025, Tokyo, Japan, WEP041, this meeting.
- [35] H. Saito *et al.*, “Evaluation of radiation tolerance of impregnation resin for Nb3Sn superconducting multipole wigglers”, Proc. 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2025), Aug. 2025, Tokyo, Japan, FRP036, this meeting.
- [36] S. Nishi *et al.*, “Evaluation of quench protection system for the HL-LHC D1 magnet with an advanced simulation and its extensive application to new superconducting insertion devices”, Proc. 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2025), Aug. 2025, Tokyo, Japan, THP060, this meeting.