

KEK 電子陽電子入射器制御システム

KEK e-/e+ INJECTOR LINAC CONTROL SYSTEM

佐藤政則^{#, A, B)}, 王迪^{A, B)}, 佐武いつか^{A)}, 宮原房史^{A, B)}, 諏訪田剛^{A)}, 古川和朗^{A)}, 工藤拓弥^{C)}, 草野史郎^{C)},
水川義和^{C)}, 早乙女秀樹^{D)}, 大房拓也^{D)}

Masanori Satoh^{#, A, B)}, Di Wang^{A, B)}, Itsuka Satake^{A)}, Fusashi Miyahara^{A, B)}, Tsuyoshi Suwada^{A)},
Kazuro Furukawa^{A)}, Takuya Kudou^{C)}, Shiro Kusano^{C)}, Yoshikazu Mizukawa^{C)}, Hideki Saotome^{D)},
Takuya Ofusa^{D)}

^{A)} High Energy Accelerator Organization (KEK), Accelerator Laboratory

^{B)} The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), Accelerator Science Program

^{C)} Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd.

^{D)} Kanto Information Service Co., Ltd.

Abstract

In the KEK e-/e+ injector LINAC, the simultaneous top-up injection to four independent rings has been successfully conducted since May 2019. For the long-term stable beam operation under such complex operational scheme, the high availability of control system is very important. The reliable safety system is also important to prevent the personnel radiation accidents and protect the machine components. In the KEK LINAC, the control system has been developed with EPICS framework widely used in the accelerator science community. The KEK LINAC control system has gradually transferred from the original in-house system to the EPICS based one for improving the availability of beam operation. In this paper, we present the detailed present status of the KEK injector LINAC control system.

1. はじめに

KEK の電子陽電子入射器(入射器)は 1982 年に PF リング専用入射器として稼働を始め、その後、TRISTAN、PF-AR、KEKB などの異なるエネルギーのリングへ電子・陽電子ビームを供給してきた。当初、各リングへのビーム入射は、定時刻入射に基づくタイムシェアリング方式が採用されていた。しかしながら、第 3 世代放射光源で一般化しつつあったトップアップ入射の要望が PF ユーザーから高まり、また、積分ルミノシティ向上のため KEKB リングからもトップアップ入射の要求が強くなっていった。このような状況を鑑みて、2004 年に全リングの同時トップアップを目指したプロジェクトチームを立ち上げ、2009 年 4 月に、KEKB 電子・陽電子・PF リングへの 3 リング同時トップアップ入射を実現した。その後、2012 年に PF-AR 専用入射路を建設した後、2019 年 5 月、SuperKEKB 電子・陽電子・PF リング、および PF-AR への 4 リング同時トップアップ入射を実現した[1]。現在、最大 50 Hz で生成される入射器の電子・陽電子ビームは、あらかじめ設定したパターンに基づいて任意のリングへ入射することが可能である。

同時トップアップ入射を実現するためのイベントタイミングシステム[2]、SuperKEKB 入射に向けたレーザー光陰極低エミッタンス RF 電子銃[3]、陽電子捕獲用フラックスコンセントレータ[4]、高精度ビーム位置モニタ[5]、パルス電磁石システム[6, 7]などが開発、導入されてきた。現在、放射光源および SuperKEKB リングへの入射効率向上のため、種々の改造を進めている[8-17]。入射器のビーム運転が複雑化すると共に、ビーム制御システムの高度化も進められてきた。

2. 入射器制御システム

2.1 概要

入射器の制御システムは、標準的なクライアント/サーバモデルに準じた三階層構成となっている。制御システムの標準モデルとも呼ばれ、Operator Interface (OPI)に当たるクライアント部、中間層に相当するサーバ部、および機器を直接制御するローカル制御部から構成される。このような構成を採用することにより、ローカル制御部の機器変更を中間層で吸収し、クライアント部の変更を避けることができる。これにより、システムの柔軟な拡張性が担保される。

1990 年代後半、KEKB リング入射開始時の入射器制御システムは、Remote Procedure Call (RPC) を利用し、独自開発のライブラリ群を基盤として開発された。OPI 部には、シェルスクリプトによる Command Line Interface (CLI) および Tcl/Tk スクリプト言語による Graphical User Interface (GUI) が用いられてきた。

KEKB 運転の中期頃、これら既存のシステムは、Experimental Physics and Industrial Control System (EPICS) [18]を基盤とした制御システムへ徐々に移行してきた。KEKB リングは運転当初より EPICS を基盤とした制御システムを構築していたため、入射器およびリング制御システム間の親和性を高めることができた。すなわち、双方にまたがるパラメタ間の相関解析などを容易におこなうことが可能となり、障害発生時の原因究明が容易になった。さらに、EPICS 環境導入後には GUI および CLI 開発に Python スクリプト言語を採用し、複雑なアプリケーションの開発時間を短縮化できた。また、下流リングの同時トップアップ運転のために、イベントタイミングシステムを導入し、パルスごとに異なるエネルギーのビームを

[#] masanori.satoh@kek.jp

入射するという高度なビーム制御を実現した[19]。

2.2 計算機システム

KEKB 運転開始時には、サーバ計算機として 6 台の Compaq Alpha 計算機を運用していた。その内の 2 台は、Tru64 UNIX OS 上のクラスタ機能および RAID を用いた冗長化ファイルサーバとして運用してきた。これにより、一方の計算機に障害が発生した場合においても、他方がファイルサービスを提供し続けることが可能である。実運転においても本機能を採用していたため、幾度かの計算機障害時においても、ビーム運転の停止を避けることができた。

その後 Tru64 UNIX のサポートが終了し、ハードウェアとしてのサーバ計算機の保守も困難になってきたため、汎用性の高い Linux OS を基盤としたサーバ計算機への移行をおこなってきた。ハードウェアとして HPE blade サーバ、OS として CentOS7 を 15 年ほど使用してきた。現在は、2021 年に導入した HPE の Hyper-Converged Infrastructure である SimpliVity を使用している。その上で、VMware vSphere を基盤として複数の仮想サーバを起動し、Web、LDAP などの基幹サービスや EPICS Input/Output Controller (IOC) を動作させている。OS として、当初は CentOS7 を使用していたが、EOL にともない Rocky Linux9 に移行しつつある。

また、ストレージとしては NetApp 社製の NAS である FAS8200 を基幹システムとして採用している。2 台のコントローラで冗長性を担保し、可用性の高い運用を実現している。総容量は 25 TB であり、VMware 上の仮想サーバはすべて本 NAS を NFS マウントにより使用し、個別ユーザーのホームディレクトリ領域、運転用プログラム、各種ログファイル、アーカイバデータを保存するディスク領域として使用している。NetApp の NAS 自身が高い信頼性を担保し、Snapshot 機能も利用しているが、さらに可用性を高めるため、別の NAS への定期的なバックアップもおこなっている。

2.3 ネットワークシステム

入射器制御システムでは多数のネットワーク接続機器が使用されているため、ネットワークシステムの信頼性は加速器ビーム運転の可用性を左右するものである。ネットワークシステムの重障害は、計算機障害とともに、加速器運転の停止をもたらす可能性が高い。このため、入射器ネットワークシステムの基幹部は、冗長化による高可用性を担保してきた。KEKB 運転時の 2000 年代には、Cisco Catalyst4506 および Catalyst 3750 をアクティブ/スタンバイ冗長化コアスイッチとして運用していた。45 台のエッジスイッチには、Catalyst2950 を使用していた。コアスイッチおよびエッジスイッチ間の冗長光ファイバ接続は、スター型トポロジを採用し、ネットワーク帯域幅は 100 Mbps であった。また、コアスイッチおよびエッジスイッチ間のみならず、エッジスイッチおよび Programmable Logic Controller (PLC)などのローカルコントローラ間も光ファイバ接続を用いている。これは、大電力マイクロ波電源変調器が発するノイズの影響を回避するためである。

KEKB 運転終了後、SuperKEKB 計画に向けてカメラや電磁石電源などのネットワーク接続機器が増加してきたため、ネットワーク増強の必要性が高まってきた。その

ため、2013 年に、より高性能なコアスイッチとして Cisco Catalyst3750X を 6 台導入した。これらは、アクティブ/アクティブ冗長化システムとしてエッジスイッチと接続されている。また、これと同時にエッジスイッチの更新もおこなない、47 台の Catalyst2960S を導入した。本構成における通常運用時には、エッジスイッチにおけるアップリンク帯域幅は 2 Gbps となっている。

ネットワーク機器保守の EOL の目安は約 10 年程度であるため、入射器制御システムにおいても保守終了時期を目安に新たな機器への更新をおこなってきた。2022 年および 2023 年の夏期保守期間中に、コアスイッチを Cisco Catalyst 9500 および Catalyst 9200 をそれぞれ 2 台使用した冗長構成のものに更新した。同時に、エッジスイッチを Catalyst 9200 27 台および Catalyst 1000 15 台に更新した。これにより、コアスイッチおよびエッジスイッチ (Catalyst9200) 間は 10 Gbps 接続になり、パルス電磁石や BPM の 50 Hz 波形データを同時に多数転送することが可能になった。コアスイッチおよびエッジスイッチ (Catalyst9200) 間は 10 Gbps/1 Gbps のアクティブ/スタンバイ冗長化接続で運用しており、エッジスイッチ (Catalyst 1000) は Catalyst9200 の配下に 1 Gbps/1 Gbps のアクティブ/スタンバイ形式でデジタイゼーション接続している。このようなネットワークトポロジを採用した理由は、コアスイッチのポート数を抑えることにより導入費用を削減するためである。Catalyst9200 は、BPM、パルス電磁石など高帯域が必要な筐体に設置し、Catalyst1000 は RF 関連機器の筐体で使用している。

ネットワーク障害は、即座に加速器の運転停止につながるため、常時監視することが重要である。入射器制御システムでは、Zabbix および Grafana を用いたネットワーク監視システムを導入している[20]。これにより、機器異常などに起因したブロードキャストパケットの増加を即座に検出できるようになった。また、原因である機器の迅速な特定が可能となり、ネットワーク全体に甚大な被害が波及する前に対処することが可能である。

2.4 ローカル制御部

入射器制御システムのローカル制御部では、VME や PLC を始めとした多様な機器が使用されている。Table 1 に、ローカル制御機器ごとの使用目的および使用機器数をまとめた。ラダー PLC は電磁石電源、真空ポンプ、真空ゲートバルブ、安全系システムなど、幅広い用途に用いている。このうち DC 電磁石電源は、PLC 制御からネットワーク接続型電源や独自開発の組み込み型コントローラに移行しつつある。

長年使用してきた約 170 台の CAMAC および VME モジュールの信号遅延モジュールは、2008 年頃、VME64x を基盤としたイベントタイミングシステムへ更新した。これは、20 ms 間隔ごとにタイミング信号を制御し、同時トップアップ入射をおこなうための基盤制御システムである。イベントタイミングシステムの導入により、タイミング機器の数が大幅に削減できたため、制御システム全体の可用性が向上した。

クライストロンモジュレータ制御用の PLC は、独自開発の組み込み Linux システムへ移行した[21]。本システムでは、組み込み制御機器上で EPICS IOC を動作させることが可能である。従来、BPM 信号処理系として使用し

てきた Windows デジタルオシロスコープは、独自開発の VME モジュールとして開発したものに更新した[5]。新システムは、10 μm 以下のビーム位置測定精度を達成し、精密なビーム軌道制御、ひいては低エミッタンスビーム保持を実現するために重要な役割を果たす。PXI 機器は、2017 年のパルス電磁石大量導入のさいに運用を開始した[6, 7]。運用開始当初、WindowsPC/LabVIEW を用いた制御ソフトウェアを構築し、運用してきた。さらに可用性を高めるため、Linux/EPICS IOC を基盤とした制御ソフトウェアへの置き換えを進めており、本夏期保守期間中に移行が完了する予定である。同時に、DC およびパルス電磁石のインタロックシステムを cRIO 基盤のものに移行している。従来のラダーPLC と異なり、cRIO 上で EPICS IOC を動作させることが可能となり、保守性の向上が見込まれる。

Table 1: List of Local Controllers Used for the Linac Control System

Devices	Accelerator components (# of components)	# of local controllers
VME64x	Event based timing system (MRF EVG-230, EVR-230RF)	46
Ladder based PLC	Magnet (153)	17
	Vacuum (375)	26
	Charge interlock (9)	3
	Safety	3
Network attached power supply	Magnet (113)	113
Linux based PLC	Profile monitor (108)	30
Embedded Linux	Klystron (76)	76
	DC Magnet (166)	166
Data logger	Temperature monitor (690)	28
VME based module	Beam position monitor (107)	23
NIM modules	Timing watchdog (15)	15
	Pulsed magnet (107)	18
	Flux concentrator (1)	1
cRIO	Pulsed/DC magnet interlock	30
Total		594

3. EPICS フレームワーク

3.1 概要

Table 2 にサブシステムごとの EPICS IOC の数をまとめた。入射器制御システムでは、EPICS 導入当初、base R3.14.9 を基盤として EPICS IOC の開発をおこなった。本 IOC は直接機器を制御するものではなく、既存の独自開発制御ソフトウェアへのラッパーとして開発したものである。しかしながら、制御機器情報更新時のソフトウェア変更作業が繁雑となり、制御対象機器数の増加による管理コストの増大が問題となってきた。このため、ローカル制御機器を直接制御するための EPICS IOC を開発し、

導入をおこなってきた。これらの開発には、EPICS base R3.14.12.x を使用し、長年運用してきた。近年、保守性などを考慮し、運転に使用する base を R3.15.9 に移行しつつある。さらに、比較的大量のデータ転送をともなうモニタ用 EPICS IOC を橋頭堡に EPICS 7 の導入を計画している。運転に使用している EPICS IOC は、すべて procServ を用いた統一的な管理をおこなっており、全ての運転員が EPICS IOC の死活管理、再起動をおこなうことができる。

Table 2: Number of EPICS IOCs Used for Each Subsystem

Subsystem	# of IOCs
Safety	3
Beam monitor	53
RF	106
Magnet	209
Vacuum	1
Timing	46
Temperature	29
Total	447

3.2 アラーム

従来の入射器制御システムでは、サブシステムごとに異なるアラームシステムを開発し、運用してきた。入射器制御システムの EPICS 化にともない、包括的なアラーム管理を目指し、EPICS Control System Studio (CSS) [22] alarm を採用した。本システムでは、バックエンドデータベースとして PostgreSQL を用いている。現在、約 7000 個の EPICS Process Variable (PV) をアラームに登録している。Figure 1 に、Python によって実装されたアラームシステム用 GUI の表示例を示す。本 GUI は、アラームの現在状況を表示するものであり、上段半分は各サブグループのアラームサマリを示している。アラームを発報している PV を含んだサブグループは、バックグラウンドカラーが赤く点灯している。同図の下段半分は、アラームが発報している具体的な PV 名が列記されている。さらに、より詳細なアラーム発報履歴については、別のウィンドウにおいて詳しく表示されることが可能である。同様の情報は、Web ブラウザ経由で簡単に表示することも可能である。

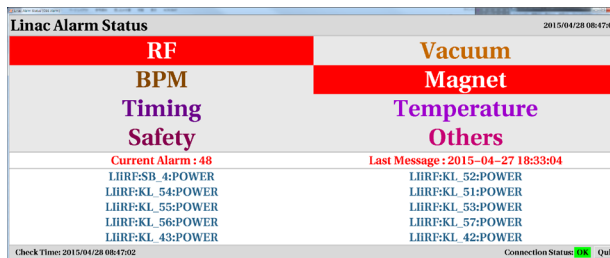


Figure 1: Example of EPICS CSS alarm status GUI.

3.3 Data Archiver

EPICS 導入前の入射器制御システムでは、独自開発の Data Archiver および表示ソフトウェアを使用していた。本システムは、テキストファイルを基盤とした単純なものであり、サブシステムごとに異なるフォーマットが用いられていた。そのため、ビーム位置および RF 位相の相関分析など、サブシステム横断的なログ解析が簡便ではなかった。EPICS 導入後は、EPICS Channel Archiver、CSS Archiver を導入し、運用してきた。CSS Archiver のバックエンドデータベースとして、PostgreSQL 用いてきた。その後、Channel Archiver が EOL を迎えたため、CSS Archiver のみを運用してきたが、可用性を高めるため、複数の独立した CSS Archiver エンジンを用いて運用してきた。

CSS Archiver の導入当初、エラーステータスを出すことなくアーカイビングが停止することや、データが欠落するなどの問題が見られた。本不具合は、CSS Archiver エンジンにより高速かつ大容量メモリを備えたサーバ計算機上で動作させることにより、解消された。しかしながら、大量のデータを表示させる場合、条件によっては数時間程度の時間を要する場合があります。また、PostgreSQL をバックエンドデータベースに使用しているため、消費するデータ容量が多いことも問題になっていた。

これらの問題を解消するため、現在は Archiver Appliance を導入し、運用している[23, 24]。これにより、長期間のデータも即座に表示できるようになり、運用性が格段に向上した。Archiver Appliance では Web ブラウザを使用した独自の表示ツールが使用できるが、機能性に乏しく運用性の改善が望まれる。そのため、CSS Archiver ビューア用に独自開発した Web アプリケーションを、Archiver Appliance のデータ表示にも使用している。本 Web アプリケーションは、Apache、PHP、PostgreSQL、および Angular を用いて構築した。Web アプリケーションを用いることで、モバイルデバイスを含めて、ブラウザが動作する多くの環境からアーカイブ履歴を閲覧することが可能となった。本アプリケーションは、相関プロット、複数垂直軸、PV 名検索、PV 名オートコンプリートなど、効率的なパラメタ解析のための機能性を有している。Figure 2 に、本アプリケーションのスナップショットを示した。現在、約 18 万個の EPICS PV が Archiver Appliance に登録されている。

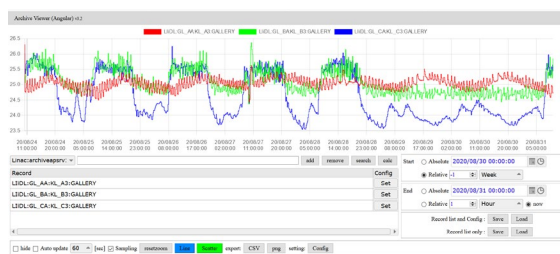


Figure 2: Screenshot of EPICS Archiver viewer based on web application.

4. 運転用アプリケーション

4.1 OPI

入射器既存の OPI には、Tel/Tk スクリプト言語による GUI、あるいはシェルスクリプトおよび C 言語による CLI を開発し、利用してきた。KEKB 計画開始以降、複数リングへの同時トップアップ入射などの複雑なビーム運転形態に対応するため、より高度な運転ソフトウェアが必要となってきた。そのため、アプリケーション開発環境を Python スクリプト言語に移行し、利用可能な豊富なライブラリ群を使用することにより開発期間の短縮化を図っている。Python および EPICS PV 間の通信には、KEKB 計画のために開発された PythonCA モジュールを使用している [25]。開発効率を高めるため、入射器独自の Python ライブラリを開発、使用することにより、ソフトウェアの保守性も向上している。

4.2 電子運転ログブックシステム

Web を基盤とした電子運転ログブックシステム(運転ログ)は、効率的な加速器ビーム運転において、重要なツールの一つである。これにより、加速器運転員、ビームコミッショニング担当職員、および機器担当者職員間において、効率的かつ迅速な運転情報の共有が可能となる。入射器では、Microsoft SQL 6.5 を用いた運転ログを 1995 年に開発し、運用してきた。GUI 部は、Microsoft Access および Visual basic 言語により実装した。KEKB リングおよび PF リング同時トップアップ入射を開始した後、頻繁なビーム入射モード切り替えに起因しデータベースサイズが飛躍的に増加した。既存のシステムでは、大規模データベースの管理が困難であったことや、新たな OS への移植にコストがかかることが問題であった。これらの理由より、2010 年、新たな運転ログを開発した。本運転ログは、Apache、Flex、PHP、および Amfphp 用いて開発し、バックエンドデータベースとして PostgreSQL を用いてきた。その後、Flex の EOL にともない、Angular を用いてシステムを再構築した。

Figure 3 に、運転ログの画面表示例を示す。本運転ログは、サマリ情報および詳細情報から構成される。Figure 3 (a)に示すとおり、サマリ情報では、シフトごとの加速器運転員、安全シフト担当者氏名、および機器障害の概要について表示される。また、Fig. 3 (b)に示すとおり、より詳細な情報については別画面にて表示が可能である。本運転ログにおいては、旧運転ログと同様、ビーム繰り返しの変更を含む代表的なパラメタ変化情報は自動的に記載される。また、機器障害および対処方法などのよ



(a) Summary information. (b) Detailed information.

Figure 3: Snapshot of the LINAC operation electronic logbook system based on web application.

り詳細な記述については、加速器運転員あるいは機器担当者が Web アプリケーションを用いて記入することができる。

本運転ログでは、各種 OPI のスナップショットなど、画像情報の掲載が可能である。これにより、ビーム調整の詳細な状況を把握することが容易となった。さらに、本運転ログは複数キーワードを用いた高速情報検索機能を有している。障害発生時には、過去の同様な障害事例を検索し、対処方法を参照することが可能である。今後は、Mattermost などのビジネスチャットツールとの連携を強化し、さらに運転効率を向上させるための機能を実装していく予定である。

5. まとめ

KEK の電子陽電子入射器では、4 つのリングへ同時トップアップ入射をおこなっており、長期間安定な運転を実現している。このように複雑な運転形態は、EPICS を基盤とした堅牢な制御システムによって実現している。Data Archiver、アラームシステム、パラメタ管理ツール、各種フィードバックなど、必要とされる運転ソフトウェアは概ね整備された。今後は、ビーム品質の劣化の原因を迅速に同定するための解析ツールを整備していく予定である。また、VME など老朽化しつつある基盤ハードウェアを MicroTCA などの広帯域バスシステムに移行することを検討している。

参考文献

- [1] K. Furukawa *et al.*, “Achievement of 200, 000 Hours of Operation at KEK 7-GeV Electron 4-GeV Positron Injector Linac”, in Proc. 13th Int. Particle Accelerator Conf. (IPAC'22), Bangkok, Thailand, Jun. 2022, pp. 2465-2468 (2022).
- [2] Di Wang *et al.*, “Analysis and stabilization of AC line synchronized timing system for SuperKEKB”, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 1015 (2021) 165766, <https://doi.org/10.1016/j.nima.2021.165766> (accessed Oct. 25th, 2021).
- [3] R. Zhang *et al.*, “LASER SYSTEM FOR SuperKEKB RF GUN IN PHASE III COMMISSIONING”, in Proceedings of IPAC2022, Bangkok, Thailand, June 12-17, pp.2914-2916 (2022).
- [4] Y. Enomoto *et al.*, “A New Flux Concentrator Made of Cu Alloy for the SuperKEKB Positron Source”, in Proceedings of IPAC2021, Campinas, SP, Brazil, May 23-28, pp.2954-2956 (2021).
- [5] F. Miyahara *et al.*, “HIGH POSITION RESOLUTION BPM READOUT SYSTEM WITH CALIBRATION PULSE GENERATORS FOR KEK e+/e- LINAC”, in Proceedings of IBIC2015, Melbourne, Australia, September 13-17, pp.369-372 (2015).
- [6] Y. Enomoto *et al.*, “Pulse-to-pulse Beam Modulation for 4 Storage Rings with 64 Pulsed Magnets”, in Proceedings of LINAC2018, Beijing, China, Sept. 16-21, pp.609-614 (2018).
- [7] Y. Enomoto *et al.*, “Pulsed Magnet Control System Using COTS PXIe Devices and LabVIEW”, in Proceedings of ICALEPCS2019, New York, NY, USA, Oct. 5-11, pp.946-949 (2019).
- [8] H. Ego *et al.*, “SuperKEKB 入射性能向上への KEK 電子陽電子入射器アップグレード”, PASJ2024, Yamagata, Japan, Jul.-Aug. 2024, THP023, this meeting.
- [9] Z. Xiangyu *et al.*, “SuperKEKB 電子陽電子入射器におけるコヒーレントパルススタッキング法によるレーザー時間幅の制御”, PASJ2024, Yamagata, Japan, Jul.-Aug. 2024, WEP062, this meeting.
- [10] T. Natsui *et al.*, “S-band 80 MW マルチビームパルスクライストロンの電子銃およびマグネット設計”, PASJ2024, Yamagata, Japan, Jul.-Aug. 2024, THP021, this meeting.
- [11] N. Iida *et al.*, “SuperKEKB 陽電子ビームの輸送路でのエミッタンス増大の調査”, PASJ2024, Yamagata, Japan, Jul.-Aug. 2024, THP025, this meeting.
- [12] K. Uemura *et al.*, “説明可能 AI を用いた KEK 電子陽電子入射器調整性能向上に寄与する重要パラメータの推定”, PASJ2024, Yamagata, Japan, Jul.-Aug. 2024, THP032, this meeting.
- [13] T. Toufuku *et al.*, “KEK 電子陽電子入射器における大電力高周波源の運転状況 (2023 年度)”, PASJ2024, Yamagata, Japan, Jul.-Aug. 2024, THP070, this meeting.
- [14] S. Ushimoto *et al.*, “KEK 電子陽電子入射器における SLED 調整の現状”, PASJ2024, Yamagata, Japan, Jul.-Aug. 2024, THP072, this meeting.
- [15] F. Miyahara *et al.*, “KEK 電子陽電子入射器の陽電子生成の現状と性能評価”, PASJ2024, Yamagata, Japan, Jul.-Aug. 2024, THP090, this meeting.
- [16] K. Furukawa *et al.*, “KEK 電子入射器の運転統計の考察”, PASJ2024, Yamagata, Japan, Jul.-Aug. 2024, FRP025, this meeting.
- [17] S. Kusano *et al.*, “Raspberry Pi を用いた GigE カメラコントローラーの開発”, PASJ2024, Yamagata, Japan, Jul.-Aug. 2024, FRP038, this meeting.
- [18] EPICS; <https://epics.anl.gov/>
<https://epics-controls.org/>
- [19] K. Furukawa *et al.*, “Pulse-to-pulse Beam Modulation and Event-based Beam Feedback Systems at KEKB Linac”, in Proceedings of IPAC'10, Kyoto, Japan, pp.1271-1273 (2010).
- [20] I. Satake *et al.*, “Introduction of network monitoring system using Grafana in the KEK electron/positron injector linac”, in Proceedings of the 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, October 18-21, 2022, Online (Kyushu University), pp.305-308 (2022).
- [21] Y. Yano *et al.*, “RF CONTROL SYSTEM FOR SUPERKEKB INJECTOR LINAC”, in Proceedings of the 11th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 9-11, 2014, Aomori, Japan, pp.624-628 (2014).
- [22] <http://controlsystemstudio.org/>
- [23] I. Satake *et al.*, “Introduction of Archiver Appliance in KEK electron positron injector linac”, in Proceedings of the 16th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, July 31-August 3, 2019, Kyoto, Japan, pp.861-864 (2019).
- [24] I. Satake *et al.*, “Operation status of Archiver Appliance in KEK electron positron injector linac”, in Proceedings of the 17th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, September 2-4, 2020, Online, pp.735-738 (2020).
- [25] <https://pypi.org/project/PythonCA/>