

KEK 電子陽電子入射器データロガーシステムの現状

○佐武いつか^{A)}、佐藤政則^{A)}、矢野喜治^{A)}、諏訪田剛^{A)}、草野史郎^{B)}、工藤拓弥^{B)}、水川義和^{B)}

^{A)}高エネルギー加速器研究機構、^{B)}三菱電機システムサービス株式会社

1. はじめに

KEK 電子陽電子入射器 (KEK 入射器)^[1]は、電子および陽電子ビームを SuperKEKB の電子リング・陽電子リング、陽電子ダンピングリング、PF、PF-AR の異なる 5 つのリングへ供給している。KEK 入射器は全長約 700 m の線形加速器であり、地上部および地下トンネル部から成る。地上部にはビームを加速するための高周波源 (大電力クライストロンおよびクライストロン電源) が約 60 台配置されている。

安定した入射器運転を実現するためには、これらの機器および周囲環境の温度管理が不可欠である。本データロガーシステムは 2006 年に導入されたものであるが、現在に至るまで継続して運用されており^[2,3]、機器温度、環境温度、冷却水温度などを計測することで、温度変動の把握と異常兆候の早期検知に寄与している。一方、近年では経年劣化による故障が確認されており、さらに使用中の機種は数年以内に生産終了となることから、代替システムの選定を含めた今後の運用方針の検討が課題となっている。本稿では、このデータロガーシステムの詳細について報告する。

2. データロガーシステム概要

KEK 入射器で運用されているデータロガーシステムは、温度計測用センサ、RF 系および制御系の状態監視を目的とした各種アナログ信号、冷却水系の流量計からの信号を含む多様な測定点で構成されている。温度計測には測温抵抗体 (Pt100)、熱電対 (K) を使用している。さらに、湿度センサを含むこれらの計測点を合わせ、総計 838 箇所のデータ取得をおこなっている。

データ取得には CHINO 製 KE3000 シリーズのデータロガーを用いている。図 1 に、通信ユニット、電源ユニット、入力ユニットから構成されるロガーユニットの外観を示す。

KEK 入射器の地上部は、上流側の電子銃から下流方向に、約 80 m の区画 (以下、セクター) に分割されており、A~C セクターおよび 1~5 セクターの全 8 セクターで構成される。各セクターに 3~4 台、合計 30 台のデータロガーが設置されている。図 2 に、

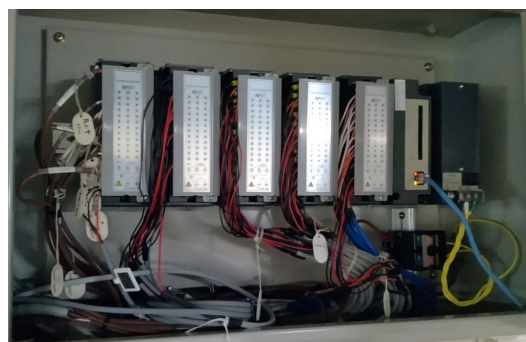


図 1 データロガーユニットの外観

KEK 入射器地上部におけるデータロガーの配置と、ネットワークおよびデータ取得構成を示す。信号の種類別計測点数を表 1 に、各信号が全体に占める構成比を図 3 に示す。

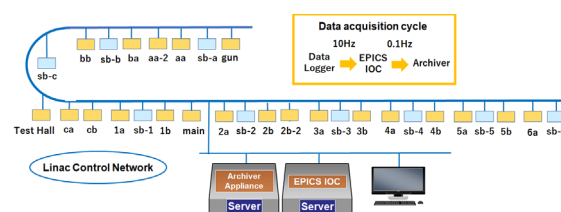


図 2 データロガーシステムの構成

表 1 信号の種類別計測点数

区分	測定点数
温度	581
湿度	69
アナログ信号	20
冷却水関連	168
合計	838

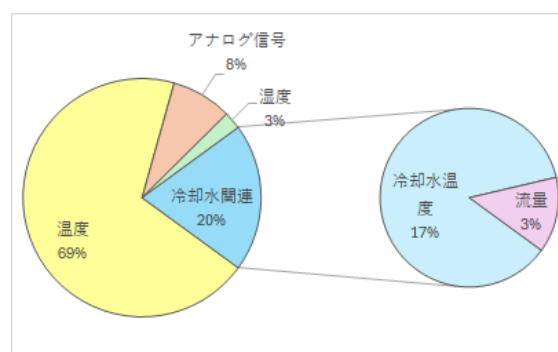


図 3 信号種類別の構成比

3. データ収集システム構成

KEK 入射器では、Experimental Physics and Industrial Control System (EPICS) ^[4] と呼ばれる制御システムソフトウェアフレームワークを基盤とし、加速器の運転制御をおこなっている。このフレームワーク上で動作する EPICS Input/Output Controller (IOC) が、実際の機器制御やデータ取得を担っている。入射器に設置された 30 台のデータロガーは、それぞれ 1 台の EPICS IOC により管理されている。各センサから取得された計測データはデータロガーに収集され、デバイスサポートである NetDev を通して EPICS IOC が取得し、Process Variable (PV) として記録している。NetDev は、EPICS において Ethernet 経由で接続される各種機器を扱うための汎用デバイスサポートである。PLC 向けデバイスサポートと同一の枠組みで設計されており、横河電機製 PLC やチノー製 KE3000 系データロガーなどのネットワーク対応機器の計測データを、EPICS PV として扱うことができる。

データ収集ソフトウェアとしては Archiver Appliance (AA) ^[5] を運用しており、17 万点以上のデータを効率的に収集・保存する仕組みを構築している ^[6]。AA には標準の Viewer が付属しているが、提供される機能は限定的である。このため、KEK 入射器の運用に適した機能を備えた、Angular ベースのアーカイブビューア Web アプリケーション ^[7] を独自開発した。図 4 に、アーカイブビューアのデータ表示例を示す。



図 4 アーカイブビューア Web アプリケーションの表示例

また、運転状況の把握や日常的な監視を目的として、Grafana ^[8] を用いたデータ表示もおこなっている。Grafana 上で AA データを表示するため、データソースプラグインとして Archiver Appliance Datasource ^[9] を使用している。Grafana は本プラグインを介して AA サーバーと HTTP 通信を行い、保存されたデータを取得する。さらに、取得したデータに対して平

均値や最大値・最小値といったデータ加工方法の指定や、オフセット補正などの後処理が可能である。Grafana では、時系列データをダッシュボード形式で可視化することで、複数の計測点の時間変化や傾向を同時に確認できる。図 5 に、Grafana によるダッシュボード表示例を示す。



図 5 Grafana を用いたダッシュボード表示例

4. アラームおよび監視システム

KEK 入射器では、装置状態の異常を早期に検知し、安定した運転を維持するため、EPICS を基盤としたアラーム表示および監視システムを構築している。運転員への即時通知を目的とした CSS アラーム表示と、システム状態の監視および通知を目的とした Zabbix ^[10] による監視を併用して運用している ^[11]。

EPICS Control System Studio (CSS) は、EPICS に基づく制御・監視用の統合開発環境であり、アラーム機能を用いることで、EPICS PV に設定された異常状態をリアルタイムに表示することができる。各 PV に対してアラーム条件を設定し、異常発生時には制御室上部に設置された大画面ディスプレイに表示される。アラーム情報は常時表示されており、運転員が装置全体の状態を一目で把握できるようになっている。図 6 に、制御室における CSS アラーム表示の様子を示す。

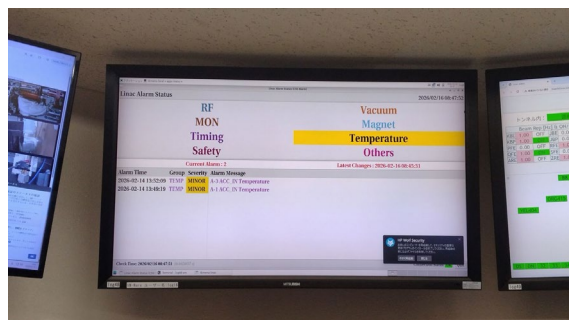


図 6 制御室における CSS アラーム表示

各 EPICS IOC には、IOC 自身の動作状態を監視するために devicostats を導入している。devicostats は EPICS 標準のモジュールであり、IOC の CPU 使用率、メモリ使用量、スキャンレート、起動時刻などの内部状態を PV として提供する機能を持つ。これにより、測定データだけでなく、IOC の健全性そのものを EPICS 上で可視化・監視することが可能となっている。

IOC の稼働状況およびサーバーの状態監視には、統合監視ソフトウェアである Zabbix を用いている。Zabbix は、ホストの死活監視、リソース使用状況などの監視および異常発生時の通知機能を備えている。devicostats により提供される IOC 状態の PV や、サーバーの基本的な稼働情報を Zabbix から監視し、異常を検知した場合には、関係者へアラートメールが自動的に送信される仕組みを構築している。これにより、制御室外においてもシステム異常を迅速に把握することが可能である。監視の設定や監視結果の確認は、Web ブラウザでおこなう。図 7 に、Zabbix 管理画面の表示例を示す。

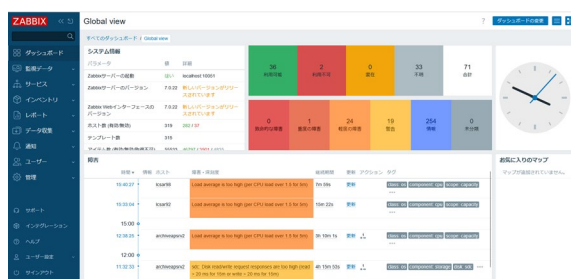


図 7 Zabbix 管理画面の表示例

5. 故障状況の概要

2019 年以降、故障により 14 台（通信ユニット 4 台、入力ユニット 10 台）が交換されている。なお、発生した不具合のすべてがユニット交換を要する故障に直結しているわけではない。実運用においては、一部の不具合についてはデータロガーの電源を一度遮断し、再投入することで復旧する事例が確認されている。このような場合、ユニット交換はおこなわず、継続運用としている。一方で、電源の遮断・再投入を複数回実施しても復旧しない不具合については、恒久的な故障と判断し、当該ユニットの交換を行っている。本稿で示した故障件数は、このように復旧操作によっても改善が見られず、交換対応をおこなった事例を対象としたものである。これらの事例は、故障件数が必ずしも不具合の発生頻度を直接反映するものではなく、復旧操作を含む運用上の判

断を反映した結果である点に留意する必要がある。年別の故障発生件数の推移を図 8 に示す。

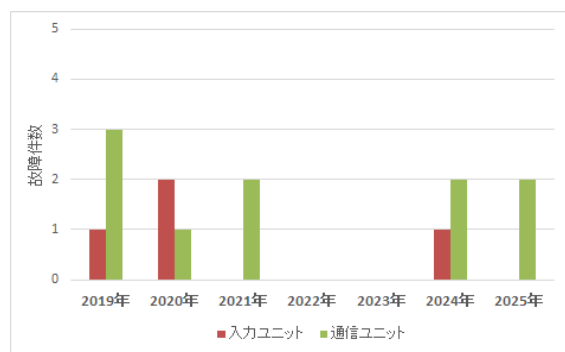


図 8 年別故障発生件数の推移

図 8 より、近年になって故障が発生しはじめていることが確認された。直近数年で継続的に発生しており、機器の経年劣化が進行している可能性が唆される。また、故障発生件数の場所別割合を図 9 に示す。

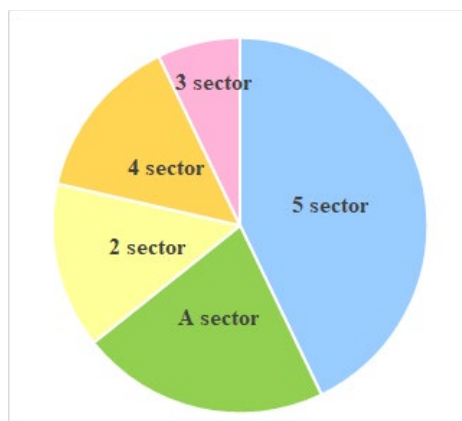


図 9 故障発生件数の場所別割合

図 9 より、故障は特定の設置場所に集中する傾向が見られ、個体差だけでなく、設置環境や使用条件の違いが故障発生に影響している可能性が考えられる。現時点では故障件数は限定的であり、重大な運用支障には至っていない。しかしながら、今後同様の故障が増加するリスクを考慮する必要がある。

6. 使用機器の将来性と課題

現在使用しているロガー機種については、2027 年 9 月頃に生産終了予定であることがわかっている。これに伴い、将来的な保守部品の調達が困難となることが想定される。後継として想定される機種は、現在も販売されている同系統のロガーであるが、制御部の仕様が現行機種とは異なることが確認されて

いる。既存の制御システムとの接続には、新たなデバイスサポートの開発が不可欠である。

7. 今後の運用に向けた検討事項

以上の状況を踏まえ、今後の運用方針として、以下の選択肢について検討を進める必要がある。

- ・後継機種を導入し、新たにデバイスサポートを開発する。
- ・他社製ロガー製品の導入を検討し、デバイスサポートを開発する。
- ・Raspberry Pi等を用いた独自の計測環境を構築する。

現時点では、いずれの方針についても検討段階である。故障発生状況の継続的な監視と、運用負荷・開発コストを含めた総合的な評価をおこなった上で、最適な対応方針を決定する予定である。

8. まとめ

本稿では、KEK 入射器における温度管理を中心としたデータロガーシステムの運用実態と、近年顕在化してきた課題について述べた。多数の計測点において長年にわたりデータ取得が継続されており、現行システムは入射器の状態把握に重要な役割を果たしている。一方で、機器の経年劣化や生産終了といった要因により、今後の安定運用に向けた対応が求められている。今後は、後継機種や新たな計測環境の導入を含む複数の選択肢について比較検討を行い、長期的な運用を見据えたシステム更新を進めていく予定である。

参考文献

- [1] H. Ego *et al.*, “Improvement on beam injection by the upgrade of KEK electron/positron injector linac”, presented at 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tokyo, Japan, paper THP004(2025).
- [2] Y. Yano *et al.*, “Temperature measurement system of KEK LINAC”, in Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 31th Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai, Japan pp. 771-773, (2017).
- [3] I. Satake *et al.*, “Improvement of temperature and humidity measurement system for KEK injector LINAC”, in Proceedings of the 14th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Sapporo, Japan, pp. 1161-1164, (2017).
- [4] EPICS, <http://www.aps.anl.gov/epics/>
- [5] The EPICS Archiver Appliance, https://slacmshankar.github.io/epicsarchiver_docs/
- [6] 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, Online, pp. 735-738, (2020).

[7] T. Kudou *et al.*, “Development of operator interface using Angular in KEK e-/e+ injector LINAC”, presented at 20th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Funabashi, Japan, pp. 852-854, (2023).

[8] Grafana, <https://grafana.com/>

[9] S. Sasaki *et al.*, “Development of Grafana plugin to visualize archive data on Archiver Appliance”, in Proceedings of the 17th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Online, pp. 504-508, (2020).

[10] Zabbix, <https://www.zabbix.com/jp>

[11] 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, Online, pp.305-308, (2022).