

## KEK 入射器における温度計測システムの現状と改良

### IMPROVEMENT OF TEMPERATURE AND HUMIDITY MEASUREMENT SYSTEM FOR KEK INJECTOR LINAC

佐武いつか<sup>#, A)</sup>, 佐藤政則<sup>A, B)</sup>, 草野史郎<sup>C)</sup>, 工藤拓弥<sup>C)</sup>, 水川義和<sup>C)</sup>, 矢野喜治<sup>A, B)</sup>, 諏訪田剛<sup>A, B)</sup>

Itsuka Satake<sup>#, A)</sup>, Masanori Satoh<sup>A, B)</sup>, Shiroh Kusano<sup>C)</sup>, Takuya Kudou<sup>C)</sup>, Yoshikazu Mizukawa<sup>C)</sup>,

Yoshiharu Yano<sup>A, B)</sup>, Tsuyoshi Suwada<sup>A, B)</sup>

<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Organization (KEK), Accelerator Laboratory

<sup>B)</sup> The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), Department of Accelerator Science

<sup>C)</sup> Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd

#### Abstract

For the KEK injector linac, a temperature and humidity measurement system consists of 26 data loggers connected to around 700 temperature and humidity sensors, one EPICS IOC, and CSS archiver server. The CSS archiver engine retrieves the temperature and humidity data measured by the data loggers via ethernet. These data are finally stored into the database system based on PostgreSQL. A new server computer has been recently utilized for the archiver of CSS version 4 instead of version 3. It can drastically improve the speed performance for retrieving the archived data from the client application. The long-term beam stability of linac is getting a quite important figure of merit since the simultaneous top up injection is required for the independent five storage rings toward the future SuperKEKB operation. For this reason, we developed a new archiver data management application with a good operability. Since it can bring the operators a quick detection of anomalous behavior of temperature and humidity data resulting in the deterioration of beam quality, the improved temperature and humidity measurement system can be quite effective for the high availability of beam operation. We will report the detailed system description and practical application to the daily beam operation.

#### 1. はじめに

KEK の電子陽電子入射器(KEK 入射器)は、全長約 600m の線形加速器であり、地上部(クライストロンギャラリー)および地下部(トンネル)で構成されている。クライストロンギャラリーには、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 台並んでおり、上流部の電子銃から下流に向かって順番に、A セクターから C セクターおよび 1 セクターから 5 セクターまで、セクターと呼ばれる約 80m ほどの区画に分けて機器の名称付けなどを管理している。

KEK 入射器を安定して運転するためには、各運転機器やその周辺環境の温度は、非常に重要な情報である。KEK 入射器の加速管および SLED の冷却水温度設定は  $30 \pm 0.3^\circ\text{C}$  と高い安定性が要求されている。クライストロンにおいては、 $30 \pm 0.5^\circ\text{C}$  以内に調整する必要がある。これ以上温度が変化すると、クライストロンから出力されるマイクロ波の位相が変化し、ビームのエネルギー利得に大きな影響を与えるためである。そのため、現在運用している温度計測システムは、加速管やクライストロンの冷却水、室内温度など、入射器運転に欠かすことのできない多数の機器およびその周辺環境を測定対象として、温度を監視するために導入したものである[1]。

2017 年 1 月から Control System Studio (CSS) [2, 3] のバージョンを version 3 から version 4 へ更新するとともに、新たなサーバ計算機の使用を開始し、データ読み出し速度が格段に向上した。しかしながら、これまで長期データ取得にはある程度時間がかかることやデータが取

得されていない不具合がたびたび発生しており、アラーム表示の対象としていた測定点も一部に限られていた。KEK では、来年初めより SuperKEKB の Phase II 運転が始まり、最終的には下流リングへの入射がパルスごとに制御されることになるため、これまで以上に高精度の機器安定性やビーム安定性が求められる。そのため、データの測定対象別・場所別の選択機能、長期間データの速い表示機能をもつ viewer、および常時異常値を検出するアラームシステムを開発し、運転に導入した。本稿では、この温度計測システムの詳細およびアラーム表示パネルについて報告する。

#### 2. 温度計測システム

KEK 入射器で運用している温度計測システムは、測温抵抗体(Pt100)、熱電対(K)、湿度センサからなる、合計 702 箇所のセンサ部、および 26 台のデータロガーから構成されている。Figure 1 に、データロガーの通信ユニット、電源ユニット、および入力ユニットの写真を示す。



Figure 1: Picture of the data logger provided with the communication unit, power supply unit and input units.

<sup>#</sup> itsuka.satake@kek.jp

KEK 入射器は、A セクターから C セクターおよび1セクターから5セクターの全8セクターから構成されており、各セクターに3から4箇所、合計26台のデータロガーが設置されている。Table 1に、測定対象の種類およびセンサ数をまとめた。Figure 2に、KEK 入射器の場所(セクター)ごとの全26台のデータロガーの配置と、そのデータロガーがデータを取得している温度センサ、あるいは湿度センサの概要図を示す。

Table 1: Type and Number of Measuring Object for the Temperature and Humidity Measurement System

Measurement object	# of measurement points
Klystron Modulator	244
Timing System Rack	12
RF Window	64
SLED	64
Sub-Booster Klystron	9
Thermostatic Chamber	91
Thermostatic Chamber (humidity)	9
VXI	67
ACC Cooling Water	34
SLED Cooling Water	16
Klystron Cooling Water	61
Gallery	8
Tunnel	8
Klystron Test Hall	2
Klystron Test Hall (humidity)	2
Outside	4
Gun	7
ALL	702

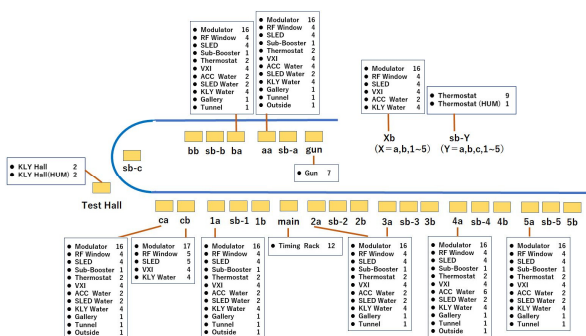


Figure 2: Schematic layout of data loggers of the temperature and humidity measurement system at the KEK injector linac.

### 3. データ収集ソフトウェア

KEK 加速器では、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使用して、加速器の運転制御を行っている。EPICS は、米国のロスアラモス国立研究所およびアルゴンヌ国立研究所を中心として開発が始められた制御システム構築のためのツールキットで、現在では、世界各国の研究施設の共同研究として開発が進められている。CSS は、EPICS および Eclipse を基盤に DESY で開発が開始された、加速器などの大規模制御システムを操作や監視するための制御システムツール群である。現在では、多くの研究機関が共同開発しており、Linux や Windows、Macintosh などの複数の OS 上で動作可能である。また、CSS には加速器制御のためのツールが豊富にあり、データ収集ツールや GUI、アラームシステムなどがある。このアラームシステムは、複数のソフトウェアで構成されており、すでに入射器でも運用している。

データ収集ソフトウェアは、EPICS システムにおけるデータ蓄積の標準ツールになりつつある CSS archiver で構築されている[5]。Figure 3 に、KEK 入射器の温度計測システムのデータ収集ソフトウェアの概要を示す。

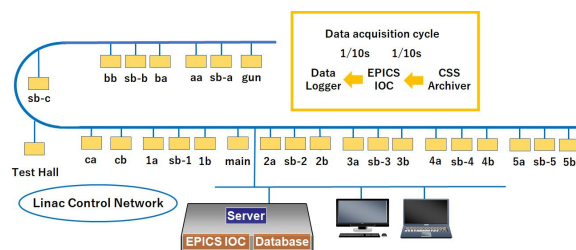


Figure 3: Schematic layout of data acquisition software for the temperature and humidity measurement system at the KEK injector linac.

全26台のデータロガーを経由した温湿度計測は、1台の EPICS IOC で管理している。各センサで得られた計測データは、まず、データロガーで収集される。NetDeV と呼ばれる PLC 用 EPICS ドライバーにて開発された EPICS IOC は、データロガーの収集した情報を EPICS PV に格納する。CSS archiver engine は EPICS PV のデータを読み出し、Relational Database Management System (RDBMS) である PostgreSQL に記録している。データベース上の CSS archiver 情報は、AMFPHP を用いて通信している Web アプリケーションとして表示可能となっている。この Web アプリケーションは、Adobe Flash Player が動作する環境であれば OS の種類によらず動作が可能である。

## 4. 新アラーム表示パネル

### 4.1 これまでの温度計測システム管理

これまでの温度センサに関するアラームシステムは、一部の温度に限り(加速管冷却水温度、トンネル内温度、ギャラリー内温度)、閾値を日々の温度から適切な値を設定し、CSS アラームを用いた運用をおこなってきた。表示する情報も最小限なものに限り、全ての温度センサをアラーム管理しているわけではなかった。温度センサの viewer については、CSS archiver を用いており、期間や EPICS PV を選択し、表示が可能な Web アプリケーションを開発していた[6]。Figure 4 に、温度センサの CSS archiver viewer の表示画面を示す。しかしながら、データ容量が大きいと、長期間のデータを表示するのにある程度時間を要していた。これらのことから、今後の KEK 入射器の温度計測システム管理のためには、全ての温度センサに対して温度異常を検知するシステムに加えて、温度データにおける種類別・場所別に長期間データの速い表示が可能である viewer を開発することが必要とされる。

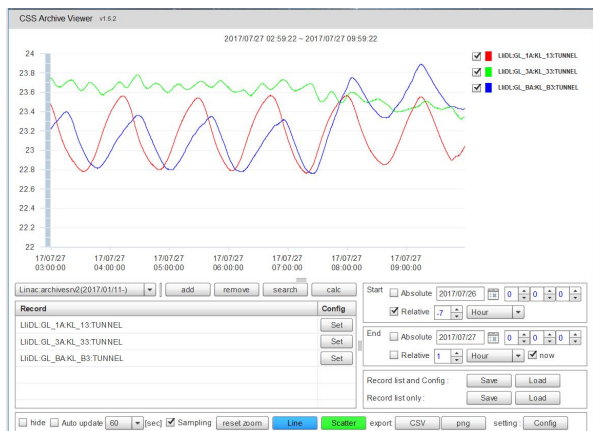


Figure 4: Image example of the web application based CSS archiver viewer for the KEK injector linac.

### 4.2 温度計測システムの新 viewer

Figure 5 に、温度センサの新 viewer および新アラーム表示パネル画面を示す。新しく開発した温度計測システムのための viewer は Python を基盤として構築し、Python にてグラフを描画するための標準的なライブラリである matplotlib を利用した。また、Python において GUI を構築、操作するための標準的なライブラリである Tkinter も利用し、さらに Tkinter のメニューバーを簡便に作製するための KEK 入射器独自開発ライブラリである Linacmenu を使用した。また、Python からの CSS archiver データ読み出しのために開発した Readarchiver CSS モジュールも使用した。CSS archiver で取得したデータを常時 1 時間ごとにパッキングし、ファイルとして保存することとした。新 viewer を用いることにより、そのファイルのデータを読むことで表示速度を上げることができる。また、種類別・場所別の選択機能を付加することで、長期間かつ複数のデータ表示における、viewer の操作利便性が格段に

向上した。

### 4.3 温度計測システムの新アラームシステム

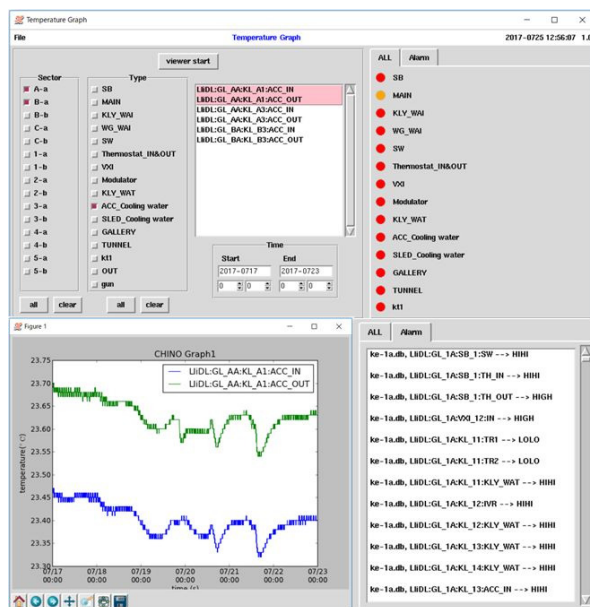


Figure 5: Image example of the new archiver data viewer and alarm display panel for managing temperature and humidity at the KEK injector linac.

新たなアラームシステムは、一定期間のデータから標準偏差を計算することで閾値を決定する。直前の一定期間のデータから計算された閾値を、PV のアラームフィールドに設定する。viewer には、アラーム表示をするためのパネルも表示される。更新ごとに CSS アラームによって、今のデータが異常値でないかを監視する。

## 5. まとめと展望

温度計測システムの新 viewer および新アラームシステムの導入により、KEK 入射器のビーム運転に影響を及ぼす様々な機器に関する温湿度を監視し、迅速に不具合を検知することが可能となった。さらに、入射器運転中の温度計測データ読み出し操作性の向上が実現できた。

今後は、温度・湿度センサデータにより得られた標準偏差の変動もアラーム検知に取り入れたいと考えている。異常値に加えて異常な変動も見ることによって、より詳細に様々な運転機器の異常を検知できるようになることが期待できる。また、閾値設定の計算に関しても日々の機器の異常を適切に検知できるよう、運転中の試験によって、より適切な閾値を決定する予定である。新システムの改良を重ねていくことで、運転機器やその周辺環境の日々の監視を通して、KEK 入射器の安定したビーム運転に貢献したい。

## 参考文献

- [1] Y. Yano *et al.*, "TEMPERATURE MEASUREMENT SYSTEM OF KEK LINAC", in Proceedings of the 31st Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai, Aug. 2-4, 2006.

**PASJ2017 WEP105**

- [2] Control System Studio; <http://cs-studio.sourceforge.net/>
- [3] Control System Studio (CSS) at KEK;  
<http://www-linac.kek.jp/cont/epics/css/>
- [4] <http://www.aps.anl.gov/epics/>
- [5] S. Kusano *et al.*, “DATA ARCHIVE SYSTEM USING EPICS TOOL AT THE KEK LINAC”, in Proceedings of the 31st Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai, Aug. 2-4, 2006.
- [6] T. Kudou *et al.*, “PRESENT STATUS OF CSS ARCHIVER AT KEK INJECTOR LINAC”, in Proceedings of the 12th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Aug. 5-7, 2015, Tsuruga, Japan.