

クライストロン電源用ビデオ監視システムの導入

INTRODUCTION OF VIDEO SURVEILLANCE SYSTEM FOR KLYSTRON MODULATORS

牛本信二^{#, A)}, 松本 修二^{B)}, 白川 明広^{B)}, 佐藤 政則^{B)}, 中島 啓光^{B)}, 榎本 嘉範^{B)}, 佐武 いつか^{B)},
草野 史郎^{A)}, 久積 啓一^{A)}, 白仁田 圭悟^{A)}

Shinji Ushimoto^{#, A)}, Shuji Matsumoto^{B)}, Akihiro Shirakawa^{B)}, Masanori Satoh^{B)}, Hiromitsu Nakajima^{B)},
Yoshinori Enomoto^{B)}, Itsuka Satake^{B)}, Shiro Kusano^{A)}, Keiichi Hisazumi^{A)}, Keigo Shiranita^{A)}

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

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

Abstract

In 2019, a high-power pulsed modulator was burnt at the accelerating structure assembly room adjacent to the electron positron injector linac building in KEK. After that, in order to operate the accelerator more safely than before, we started to consider introducing a video surveillance system in the klystron gallery. The following year, with the replacement of old camera system installed in linac, video surveillance system was introduced on a trial basis. After confirming that the system worked well, a new video surveillance system including 120 network cameras was introduced in 2021.

In this report, we will introduce the background and details of the video surveillance system, and the current operational status.

1. はじめに

KEK 電子陽電子入射器(以下、入射器)には試験施設の電源を含め、およそ 70 台のクライストロン用パルス電源が設置されている。2019 年にはその内の 1 台で火災が発生し、およそ 1 か月に亘り加速器運転を停止する事態が発生した[1]。

それ以降、入射器運転ではより安全に配慮するために、パルス電源の高圧印加に関わるインターロックが発生した際には、加速器オペレータが現場で異常の有無を確認し復帰を試みることとなった。この対応により、安全面の信頼度は向上したものの、従来に比べてトラブル時の復旧時間が長くなり、入射先の蓄積リング運転に影響が生じていた。

この状況を改善するため、2020 年度からパルス電源監視用ビデオシステム導入の検討を開始した。同年、既存の入射器監視カメラシステムの更新に合わせて、新しいビデオ監視システムを試験導入し、運用を開始した。その実績を踏まえて、2021 年度には電源監視用のビデオ監視システムを導入した。このシステムは入射器棟内に設置した約 120 台のネットワークカメラを専用ネットワークで 1 台のカメラサーバに接続し構築されている。

また加速器制御に使用している EPICS[2]を使用し、パルス電源の高圧インターロック作動時に連動して加速器運転端末上にインストールした専用ビューアソフトを自動制御するプログラムを開発した。これにより、システム導入以降は、電源異常時にはカメラ映像で状況確認をおこない、遠隔から電源の復帰をおこなっている。

本報告ではシステムの導入と概要、現在の運用状況について報告する。

2. ビデオ監視システムの試験導入

火災事故発生以前から、入射器では加速器運転中に制御室からクライストロンギャラリーやトンネル内を監視するためのカメラシステムが運用されていた。このシステムは制御室に設置された 3 台の 4 ch アナログカメラコントローラーとビデオスイッチ、監視モニターで構成されており、最大 12 台のアナログカメラをモニターで監視することが可能であった。2019 年時点で、このシステムは導入から 10 年以上が経過しており、機器の老朽化もあって更新の検討を進めていた。更新においては、

- 1) 既存アナログカメラの継続使用
- 2) 長時間録画機能
- 3) ネットワーク対応

などの性能を考慮し、三菱電機インフォメーションネットワーク(MIND[3])製のネットワークカメラ用録画・配信サーバ(ネカ録[4])を導入することとなった。

このカメラサーバの特徴として、複数のメーカーのネットワークカメラに加えて、ネットワークアダプタを追加することにより、既存のアナログカメラもシステムに統合することができる点が挙げられる。サーバで収集された画像データは、ネットワーク上の Windows 端末に専用のビューアソフトをインストールすることで、リアルタイム映像だけでなく録画された映像を容易に確認することができる。

2020 年には小規模なカメラサーバ(NS-1860[4])とネットワークカメラ(三菱電機製 NC-7000[5])を購入し、段階的に既存システムからの移行を進めながら、システムの評価をおこなった。Table 1 に使用した機器の一覧を記す。評価期間に於いては、複数の異なるカメラが混在する状況下であっても長時間にわたり安定動作が確認された。この結果を踏まえて、電源監視用に於いても、同サーバを本格的に導入することとなった。

[#] ushimoto@post.kek.jp

Table 1: Equipment of Test Video Surveillance

	Model number	Distributor	Quantity
Camera server	NS-1860	MIND	1
UPS	BY50FW	OMRON	1
Analog camera	NC-8000A	MITSUBISHI ELECTRIC	11
Network camera	NC-7000	MITSUBISHI ELECTRIC	1
Network adapter	X-9000	MITSUBISHI ELECTRIC	1

3. 電源用ビデオ監視システム

3.1 システム構成機器

パルス電源用のビデオ監視システムを導入するにあたり、当初はパルス電源の数に相当する 70 台のカメラを導入する予定でカメラサーバの選定を進めた。最終的に選択したカメラサーバ(NS58B51-48TS[3])は、1 台あたり最大で 192 台のカメラが接続可能であり、その内 128 台について録画が可能である。搭載する HDD 容量は 48 TB(4 TB×12 スロット)であり、RAID6 の構成で使用することで冗長性と高耐障害性を備えたものとなっている。

サーバの機能を最大限に活かすため、当初のパルス電源監視に加えて、ギャラリー内に設置されている電磁石電源の筐体についても監視対象とすることとなり、最終的なカメラの総数は 120 台となった。導入したネットワークカメラは、すべて事前の試験でも使用した三菱電機製 NC7000 となっている。このカメラは POE 対応の HD 画質の固定カメラで、デジタルズーム機能や自動画質補正に加え、音声収集用のマイクも備えている。画像の圧縮形式は H.264 もしくは M-JPEG であり、最大フレームレートは 30 f/s となっている。

Table 2 は導入した機器の一覧、Fig.1 は制御室内のラックに設置したカメラサーバを記す。

Table 2: Equipment of Video Surveillance System for Klystron Modulators and Electromagnet Power Supplies

	Model number	Manufacturer	Quantity
Camera server	NS58B51-48TS	MIND	1
UPS	BN75R	OMRON	1
Network Camera	NC-7000	MITSUBISHI ELECTRIC	120
Network switch	BS-GS2024P	BAFFALO	8



Figure 1: Camera server (NS58B51-48TS).

3.2 システム概要

2021 年から 2022 年初頭にかけて、新しいビデオ監視システムの導入をおこなった。Figure 2 にビデオ監視システムの概要を記す。このシステムでは、カメラから送られる大量のデータを安定に処理するために、専用ネットワークを使用することが推奨されている。入射器では、加速器の機器制御に使用する既存のネットワーク網が構築されているが、今回の監視システム導入にあたり、主制御室とギャラリーの数か所に配置された副制御室間の配線は、既存の入射器ネットワークのものを流用し、ネットワークスイッチでネットワークを切り分けて使用している。副制御室にはシステム専用の POE 対応のネットワークスイッチを設置し、そこから各カメラへの LAN ケーブルを接続している。

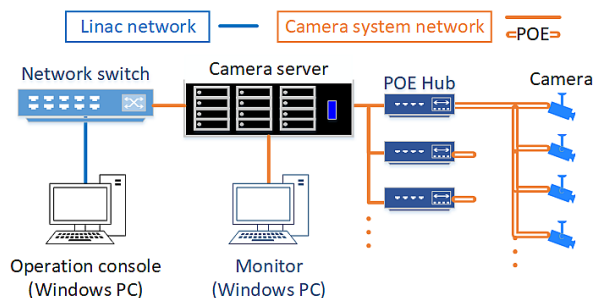


Figure 2: Overview of video surveillance system.

カメラ映像のモニタに関しては、ネットワークごとに 2 種類の方法を使用している。一つは主制御室に設置された大型ディスプレイ 2 台を使用した常時モニタで、システム専用のネットワーク内の Windows PC から直接カメラサーバへアクセスし、カメラ映像を表示している。

それとは別に、入射器のネットワークからネットワークスイッチを介してカメラサーバへアクセスする Windows PC が 2 台用意されている。この 2 台の PC は加速器運転に使用している Windows PC であり、それぞれ、入射器棟内の主制御室と、SuperKEKB 用の制御室に設置されたものである。加速器運転時には、各制御室に常駐している入射器のオペレータが、運転状況の監視をおこなっている。その際、電源等に異常が発生すると、いずれの制御室からでも速やかにカメラ画像にアクセスできるようにしておくことで、遠隔から現場の状況を確認し対応できるよう整備したものである。

4. システムの運用状況

4.1 常時監視モニタ

先述のとおり、入射器の主制御室内に配置された2台の大型ディスプレイを用いて、カメラ映像の常時モニタをおこなっている。Figure 3 に大型ディスプレイの設置状況を示す。

2台の大型ディスプレイはモニタ専用の Windows PC の映像出力とディスプレイポートケーブルで接続されており、専用のビューソフト(ネカ録ビューア)により、モニタごとに 12 分割の切り替え表示をおこなっている。このビューソフトでは最大 4 台までのディスプレイに対して映像を出力することが可能である。

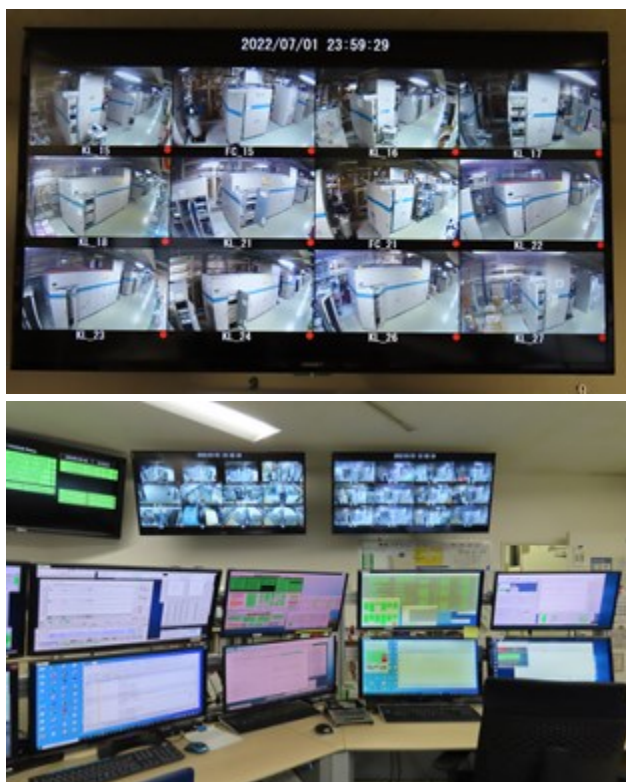


Figure 3: Monitor displays for video surveillance system at linac control room.

4.2 カメラ設置状況

次にカメラの設置状況について紹介する。Figure 4 はクライストロン用パルス電源を監視するカメラの設置状況である。パルス電源に対して斜め上方、通路を挟んだケーブルラック下部に雲台を取り付け、カメラの固定をおこなっている。このカメラ位置は、電源筐体の外観と天井部に設置された排気用のファンが画面内に収まるよう調整されており、実際に、筐体内部から煙や火災などが発生した際は、いち早く異常に気付くことができるよう考慮した結果である。また、筐体前面にはカメラ映像で個々の筐体が識別できるよう、大型の識別表示を掲示するなど工夫をおこなっている。

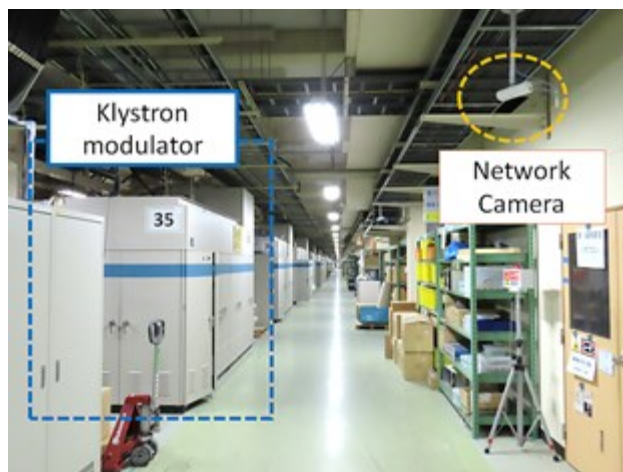


Figure 4: State of camera setting for klystron modulator.

4.3 電源異常発生時とカメラ映像の連携

加速器運転時、オペレータは機器の確認やビーム調整、電子ログの記入などをおこなっており、常時カメラ映像を注視することは困難である。また、カメラ映像の確認は専用のビューソフトを使用しており、運転に必要な操作に加えて、新たな作業が増加することによりオペレーションが複雑になることが懸念された。

この状況を改善するため、電源のステータス情報に連動し、ビューソフトを自動で操作するプログラムを開発し、運用をおこなっている。Figure 5 に開発したプログラムを記す。

入射器の制御システムは EPICS と呼ばれるソフトウェア・ツールキットをベースに開発されており、様々なプログラム言語から、機器の制御が可能である。運転に使用している Windows 端末では、近年 Visual C# を用いたプログラム開発をおこなっており、このプログラムも同様である。このプログラムでは、全クライストロン電源のステータス情報を EPICS 経由で監視し、高電圧異常のインターロックが作動した際の割り込み処理によりビューソフトの自動操作をおこなう。ビューソフトの操作は Windows API を使用し、オペレータが操作するのと同様の手順をエミュレートし自動化を実現している。

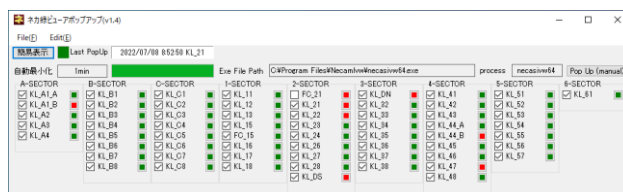


Figure 5: Automatic selection program for video surveillance viewer using EPICS.

Figure 6 は実際にクライストロン電源の高電圧インターロックが作動した際の、監視端末画面を記録したものである。

通常は最小化されているビューアプログラムを画面最前面に表示したのち、インターロックが作動したユニット

のカメラ画像への切り替えをおこなう。一定時間経過後、ビューアソフトは再び最小化され、運転端末を占有しないよう配慮されている。

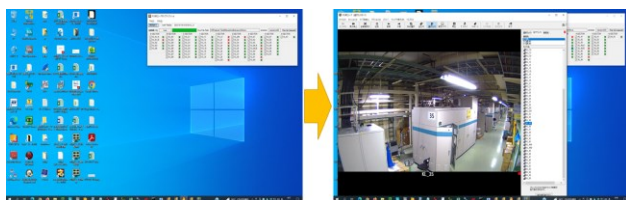


Figure 6: Example of display switching by the automatic selection program after klystron modulator trip.

4.4 システム導入による電源トラブル復帰時間の変化

カメラ監視システム導入による、運転状況の変化を確認するため、クライストロン電源の高圧インターロックが作動し、遠隔で復帰をおこなった事例に関して、以下の3つの期間で集計をおこなった。結果を Table 3 に記す。

- (1) 火災事故発生以前
- (2) 火災発生後からビデオ監視システム稼働開始前
- (3) ビデオ監視システム稼働以降

Table 3: Transition of Recovery Time during Klystron Modulator Trip

Operation period	Average time to recovery [sec]	Number of events
(1) 2018/01-2019/04	52	134
(2) 2019/05-2022/04	121	548
(3) 2022/05-2022/07	33	34

火災事故以前の加速器運転では、電源のダウンから遠隔操作による復帰までの平均時間は1分未満であったのに対し、2019年の火災事故以降は、およそ2倍の時間を要している。これは火災事故を受けて、入射器の運転ルールが一部変更され、クライストロン電源の高圧インターロックが作動した際は、原則的に現場で異常の有無を確認後、復帰をおこなうこととなり、その影響による遅延が含まれるためである。

一方、2022年5月からの運転では、ビデオ監視システム導入による運転ルールの再変更が実施され、現場確認の代わりにカメラ映像を利用して安全確認をおこなうことが可能となった。その結果、復帰までの平均時間は従来と同様に1分未満に短縮され、ビデオ監視システム導入が加速器の安定運転に寄与していることがうかがえる。

5. まとめ

2019年に発生した入射器棟内の試験施設における火災事故を受けて、入射器ではより一層安全に配慮した加速器運転を実現するため、およそ120台のネットワークカメラを使用したビデオ監視システムを導入し、クライストロン用パルス電源と電磁石電源の遠隔監視を実現した。

これらカメラの映像は、制御室に設置された大型ディスプレイ

で常時表示されるだけでなく、一部の運転端末からも専用のビューアソフトを使用して確認することが可能である。これらの端末では、新しく開発したパルス電源の高電圧インターロック作動と連動してビューアソフト内のカメラ映像を自動で切り替えるプログラムを使用しており、実際の運転時に使用している。

ビデオ監視システムの導入とそれに伴う環境の整備をおこなった結果、従来に比べ安全面の質を向上させつつ、電源トラブル時のより迅速な対応を実現することが可能となった。

謝辞

本稿で紹介したビデオ監視システムの導入に於いては、峠 暢一氏の多大な尽力により、加速器運転の安全面を考慮したシステムの構築が実現できました。この場を借りて深く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] K. Furukawa, “KEK 電子陽電子入射器における火災と安全”, Proceedings of the 16th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Kyoto, Japan, Jul. 31- Aug.3, 2019.
- [2] Experimental Physics and Industrial Control System; <https://epics.anl.gov/>
- [3] MIND(三菱電機インフォメーションネットワーク株式会社); <https://www.mind.co.jp/>
- [4] ネカ録; <https://www.mind.co.jp/service/security/products/necaroku/>
- [5] ネットワークカメラ NC-7000; http://www.mitsubishielectric.co.jp/nwcamera/melook3/camera.html#tab_area