

KEK PF の新インターロックシステム NEW INTERLOCK SYSYTEM FOR THE KEK PF

濁川和幸^{#, A)}, 長橋進也^{A)}, 石井晴乃^{B)}

Kazuyuki Nigorikawa^{#, A)}, Shinya Nagahashi^{A)}, Haruno Ishii^{B)}

^{A)} Accelerator Laboratory, KEK

^{B)} Institute of Materials Structure Science, KEK

Abstract

The interlock system upgrade for the KEK PF light source, which began in fiscal year 2021, has been completed, and full-scale operation with the new interlock system will begin in autumn 2024. This report describes the interlock system upgrade work and the new interlock system.

1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構光源加速器(以下 KEK PF)のインターロックシステムは KEK PF が建設された当初のものがそのまま使用されており、設置から 40 年以上の年月が経過し老朽化対策が急務となっていた。

途中更新されたインターロックシステムの心臓部である PLC(Programmable Logic Controller)も既に 15 年以上が経過しメーカーの推奨する耐用年数(10年)も経過しており、この部分についても早急な更新が必要であった。

そこで、インターロックシステムの全面維新を行うべく、2021 年から現システムの問題点洗い出し、原子力規制委員会への申請書の確認などを行い、新システムへの更新に向けて、システム構成の検討を開始した。[1]

2024 年度で、新システムへの移行を終了し、この年の秋から(2024 年 10 月から)の運転で旧システムの運用を停止し、新システムの本格運用を開始した。

2. 基本方針

インターロックシステムの更新については、全面更新を行うことを基本とし、安全に関係する各種配線についても出来る限り新たに配線し直して老朽化対策も行う方針とし、さらなる安全な加速器運転を視野に入れた仕組みも組み込むこととした。

ただし、基本ロジックに関わる部分は変更なしとして、インターロックシステムの更新で原子力規制委員会への修正申請などをする必要の無いように進めた。

作業そのものは、更新を理由とした KEK PF の運転停止は行わないようにすることとし、KEK PF の運転休止中を利用して作業を行うように当初から複数年計画とした。

3. 旧インターロックシステム

旧システムは Fig. 1 で示すイメージのような構成となっており、安全を担保するための各種機器(インターロックドア・非常停止スイッチ・各種表示器等)からの信号配線は、Fig. 2 にあるように光源加速器の制御室横や加速器本体が設置してある光源棟の地下の中継端子で一度信号線をまとめるなどしてはいたが、ハードワイヤーによる一極集中型の配線となっていた。また配線そのものも古

く資料が残っていないなど、実際の配線経路も不明になっていた。

運転中などの表示器についても蛍光灯が使用されており、現在では蛍光灯の入手が困難で、さらには処分するのも難しくなっていた。

このように旧システムは維持管理も困難な状況が続いており、早急なシステムの更新が必要な状況であった

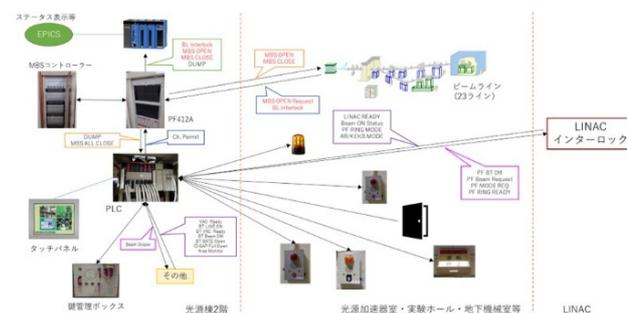


Figure 1: Image of Old Interlock System.

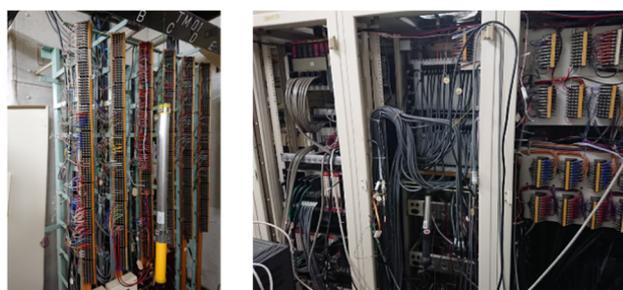


Figure 2: Terminal Block for Old Interlock System.

4. 新インターロックシステム

4.1 全体構成

新インターロックシステムはまずは Fig. 3 で示すイメージを目指して構築を開始した。

心臓部である PLC には KEK で広く使用されている Yokogawa の FA-M3 を使用している。これは、故障などが起きた場合でも他部署から借りるなどで早急な対応が出来ることを期待してのものである。

[#] kazuyuki.nigorikawa@kek.jp

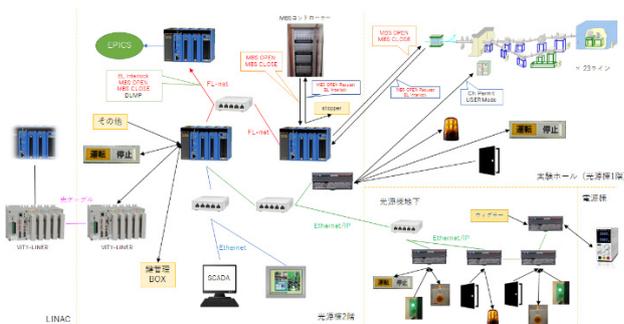


Figure 3: Image of New Interlock System.

新インターロックシステムは加速器の制御システムとも必要な情報のやり取りが可能にするものの、インターロックシステムの情報表示やログの収集を含めて、新システムだけで完結するように構築している。このため、情報表示・ログ収集には SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)を使用することとし、幾つかの SCADA について情報収集を行い今回は日本製で対応も素早くしていただけると期待して「JoyWatcherSuite」を選択した。SCADA の画面は Fig. 4 の通りである。インターロックシステムへの指示出しについては、オペレーターが今まで同じ感覚で操作可能なように、旧システムと同様にタッチパネルを使用している。



Figure 4: Display of SCADA.

システム構築に必要な各種機器については非常停止ボタンと表示器などを新しいものに置き換えることとして新規に作成した。また、更なる安全確保に向け、退避確認スイッチも新たに設置した。これらの構成機器については、次節で詳しく説明する。

配線についても、2 章で述べた通り、新規に作成した機器と PLC 間の接続に関しては勿論のこと、加速器本体がある加速器室入口に設置してあるリミットスイッチなど旧システムのものを使用する場合でも、できる限り配線し直しを行った。

4.2 非常停止ボタンと表示器

インターロックシステムでは加速器運転の安全確保のために非常停止ボタンや運転状態表示を行う表示機を設置することが申請書でも求められているが、これらの機器は維持管理が困難なものになっていたため、今回新たに作成し直した。新規に作成した非常停止ボタンと表示器は Fig. 5 である。表示器は蛍光灯を使用したものではなく、LED タイプのものとし、非常停止ボタンにも LED

タイプの回転灯を付けてあるが、設置場所で放射線が強い場所のものについては、LED タイプの回転灯ではなく、電球を単に光らずものに改造したものを付けている。



Figure 5: Emergency Stop Button & Information Display.

4.3 退避確認ボタン

新システムでは、さらなる安全のために Fig. 6 の退避確認ボタンを設置した。旧システムでも運転前には必ずパトロールを行い人が確実に退避したことを確認はしていたが、すべての場所のパトロールを行ったことを明確にするするためにも新システムからはパトロールが終わった箇所の退避確認ボタンを押すこととして、安全の確保に努めている。



Figure 6: Button for Evacuation Confirmation.

5. 配線関係

必要な信号を PLC に取り込みための配線については、Fig. 3 にも記載がある通り、新システムではハードワイヤーでの一極集中的な配線とはせず、省配線システムを使用したリモート IO を使用した配線方法を全面的に採用している。

省配線システムについては、フィールドバスか産業用 Ethernet のどちらかを使用することを考え、幾つかの形式を実際にテストし、その使い勝手や通信速度などを考慮した上で今回は Ethernet/IP を使用したリモート IO を採用した。KEK PF のインターロックシステムは実験用の各ビームライン・インターロックシステムとも信号のやり取りを行っており、その点数も多くなっている。このため配線方法は、ビームライン・インターロックシステムの担当者とも連携して考えることが重要であり、今回のリモート IO に関するテストも協力して行っている。この試験については「令和 3 年度核融合科学研究所技術研究会」で報告されているのでそちらを参照されたい。[2]

リモート IO の設置については当初どの方式を採用するか決めていなかったこともあり、小型の 19 インチラックに設置することを考えていたが、実際の配線作業を行うことを考えていく上で、リモート IO を設置したい場所に新たに 19 インチラックを設置するスペースのないことが判明した。そこで、リモート IO や 24 V 電源、各種リレーな

どが必要に応じて設置出来る壁設置タイプの Fig. 7 のリモート IO ボックスを作成し、これを中継点とすることとした。Figure 7 が実際に作成したリモート IO ボックスである。

中には 24 V 電源と DIN レールを設置し、リモート IO やリレー、端子台などが DIN レールに設置できる構造にしている。



Figure 7: Remote IO BOX.

KEK PF に電子ビームの供給をしている LINAC とも信号をやり取りしているが、こちらとの配線は配線距離が長い(ケーブル長で 1 km 程度)こともあり、光ケーブルを使用して接点信号を送信できる装置を使用することとした。この方法でも幾つかの方式があるが、今回は LINAC の安全担当者と協議し、LINAC が KEK PF の他にビームを供給している sKEKB などとの間で信号をやり取りする際に使用して、実績がある YDK テクノロジーズのデータ伝送システムである VITY-LINER を使用することとした。

VITY-LINER の設置は Fig. 8 のようになっており、PLC から DIO を端子台で受けてから必要に応じてリレーを介して VITY-LINER と接続する形にしている。



Figure 8: VITY-LINER.

6. 鍵管理 BOX

KEK PF ではシールド扉の鍵を管理するための鍵管理 BOX が設置してある。

この BOX は KEK PF 建設当初から設置してあるもので、途中 2 世代目となる BOX が作られて KEK 職員の身分証明書である ID カードで貸出管理が可能なのが設置されていたが、この 2 世代目は故障後に 1 世代目に戻され、鍵管理 BOX に関しても老朽化対策が急務となっていた。

このため、今回のインターロックシステム更新に伴ってこの鍵管理 BOX も新しいものに作成直した。

Figure 9 が新しい鍵管理 BOX と鍵管理ボックスに使用したキースイッチである。キースイッチ(鍵の保管場所)には特殊なキースイッチである MIWA U9KE-01 を使用

し、鍵の抜き差しを外部信号で管理出来るようになって

いる。内部には PLC が搭載してあり、インターロックシステムから運転状況の情報をもらうことで運転中に鍵を抜くことができない状態を作り、また鍵が一つでも抜けたままの状態では加速器が運転できない仕組みになっている。

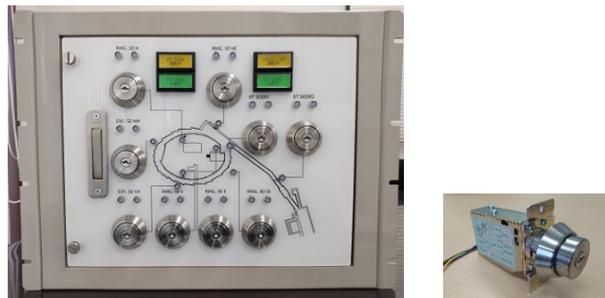


Figure 9: Key Box & U9KE-01.

7. 監視カメラシステム

インターロックシステムとは直接関係はないが、今回の作業で加速器室内と出入口を監視しているカメラも更新を行っている。

カメラ本体はボックスカメラタイプの PoE 対応カメラを使用し、表示は Fig. 10 のように専用のソフトウェアを使用し PC に常時表示している。

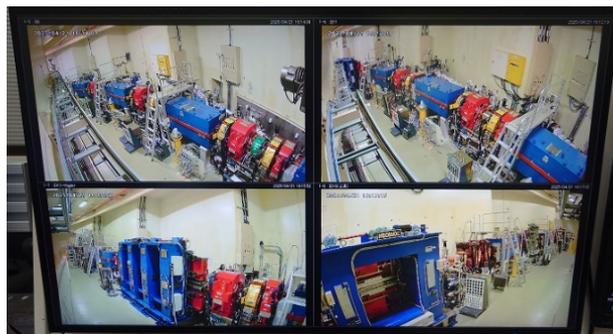


Figure 10: Display of CAMERA.

8. 更新作業期間

先にも述べた通り、更新作業は 2021 年度の年度初めから開始した。KEK PF の運転計画には影響を与えないように更新作業を行う計画であったため、計画当初より単年度で更新する計画ではなく、2 年間の歳月をかけて更新作業を行い、その後に旧システムとある程度平行運用を行い、新システムの動作を確認してから新システムに移行する予定であった。

しかしながら、その後の新型コロナウイルス(COVID-19)の感染拡大に伴う、部材調達遅れの関係で制作物の納期遅れや配線工事の遅れなど、臨機応変に作業計画を変更する必要に直面した。このため、完成は 2023 年になってしまい、その後旧システムとの変更運用も遅れることになってしまった。

結果として新システムの動作確認が終了して本格運用を開始したのは、2024 年 10 月からの運転となっている。

9. 現状

9.1 稼働状況

現在は旧システムとからの更新もすべて完了し、2024年10月から運転では新システムのみでインターロックシステムを運用している。

ただし、現状では Fig. 11 メージとなっており、Fig. 3 で示したイメージとは実験用ビームラインとの信号のやり取りの部分が旧システムで使用していたものままの運用である。この部分については信号線の多さもあり、コロナ禍の状況では一度にすべての信号を切替えるのに時間が足りなかったこと、また将来を見据えて接続方法のやり方にも検討を重ねる必要を感じたため、旧システムで使用した配線のままだになっている。今後は、ビームラインのインターロック担当者とも協議を重ね、ビームラインのスクラップ・アンド・ビルドに合わせて変更していければと考えている。

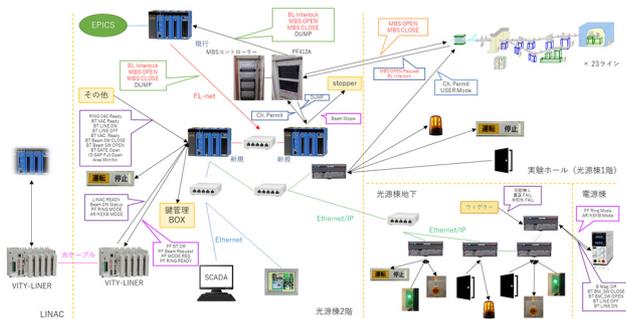


Figure 11: Image of Interlock System (2024.10).

また、使い勝手ということについてもオペレーターからの意見を聞いてそれをもとにした修正を随時行っている。ただし、基本ロジックに関わる部分については修正を行うことはせず、使い勝手に関する部分のみの修正としている。

制御システムとの接続は新インターロックシステムのメイン PLC と FL-net で接続した別の PLC を経由して情報のやり取りを行っている。この PLC にはラダー用 CPU とは別に KEK の加速器制御システムで広く使用されている EPICS を動作させることが可能な e-RT3 を搭載して制御システムとのやり取りを行っている。

9.2 運転モードについて

昨今の加速器インターロックシステムでは人の安全を確保するための PPS と機器の運転を管理するための MPS とでわけて構築するのが一般的だと思われるが、KEK PF のインターロックシステムは 40 年以上前に構築されたものであるため、PPS と MPS が一体となったシステ

ムとなっている。

今回は基本ロジックの変更をしないことを基本方針としているので、新インターロックシステムについても PPS と MPS が一体となった形で運用している。このため、新インターロックシステムでは運転モードも担っている。

新インターロックシステムでは一部、モード変更の手順が旧システムとは違っている。

これは旧システムが新しいモードが追加されるたびにそのモードをどうにか追加して運用していたため、一部の動きにスムーズでは無い点があったために変更を行って整理したものである。

実際には KEK PF では加速器の運転を行っていないときの「Free MODE(Shutdown MODE)」、LINAC からの入射を行わずリングだけで運転を行う「Storage MODE」、LINAC から電子ビームを入射する「Injection MODE」、入射を行いながら放射光実験が行える「Top-up MODE」が存在する。今回はこれらのモードの移行を順番に行うこととして、運転開始時は「Free MODE」の時に退避確認を行うことで「Storage MODE」に移行が可能となり(その他必要な安全に関する信号が OK になっている必要がある)、Storage MODE 移行後に「Injection MODE」に移行出来る用になるといった具合に順を追って MODE が移行する仕組みになっている。

10. 今後

今後については、引き続きオペレーターが操作しやすく(表示の見間違いやボタンの操作ミスがないように)するための改良を行っていく。

また、実験用ビームラインのインターロックとの接続についての協議を続けて、より良い接続方法を模索していく所存である。

謝辞

新インターロックシステムを構築するために LINAC の安全担当、実験用ビームラインの安全担当を始め、多くの方と意見をいただき進めてきた。この場を借りてお礼を申し上げます。

参考文献

- [1] K. Nigorikawa *et al.*, “光源加速器インターロックシステム更新計画”, R3 年度核融合科学研究所技術研究会報告集, Mar. 10-11, 2022.
- [2] H. Ishii *et al.*, “放射光源加速器インターロックシステム更新に伴うフィールドバスの検討”, R3 年度核融合科学研究所技術研究会報告集, Mar. 10-11, 2022.