

KEK 電子陽電子入射器における安全管理システムの改良と現状

IMPROVEMENT OF PERSONNEL AND MACHINE PROTECTION SYSTEM IN SuperKEKB INJECTOR LINAC

佐武いつか^{#, A)}, 白川明広^{A)}, 峠暢一^{A, B)}, 本間博幸^{A)}
Itsuka Satake^{#, A)}, Akihiro Shirakawa^{A)}, Nobukazu Toge^{A, B)}, Hiroyuki Honma^{A)}

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

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

Abstract

Since summer of 2010, the radiation control area for the KEK electron positron injector linac had been split at the around 3 GeV point by a concrete wall into upstream and downstream parts with independent beam sources. This was so as to allow operation of the downstream part for beam injection into photon factory rings while construction and development of new electron guns proceed in the upstream part. In summer of 2017, this arrangement was revised and the entire injector linac was reconsolidated into a single radiation control area. This was in conjunction with the introduction of the 1.1 GeV positron damping ring for Phase-II operation of SuperKEKB and successful development of new electron RF guns in the far upstream part of the linac. Along with this reconsolidation, the personnel and machine protection system were modified and improved. We removed part of the shield wall and its door in the tunnel together with related equipment such as, the personal key system for the former downstream part. Interlock signal lines for the damping ring and RF guns were added. The operation panel of the main console was modified accordingly. In addition, the screen displays of the interlock status were updated. In this paper we report on the renewed personnel and machine protection system of KEK injector linac in detail.

1. はじめに

電子陽電子入射器(入射器)は、SuperKEKB (High Energy Ring 及び Low Energy Ring)、放射光施設である PF、PF-AR の下流リングに電子・陽電子ビームを供給する全長約 600m の線形加速器である[1,2]。入射器建屋の地下にある加速器室は、2010 年 9 月から 2017 年 5 月まで、入射器の中間付近で放射線遮蔽能力とインターロック付通用扉をもつコンクリート壁で空間的に分断されていた。このコンクリート壁は、厚さ 1 m のコンクリートブロックで構築されていた(Fig. 1)。

この間、A~2 セクター(上流側)では震災で損傷した架台の修復や強度の増強を行い、SuperKEKB に向けた研究開発を行っていた。一方、下流側で放射光加速器のユーザー実験向けのビーム供給が可能となっていた。電子銃は、入射器の先頭と中間地点の2箇所に設置されていた。この期間は、入射器の入域管理は上流側と下流側で別々に行うこととしていた[3]。

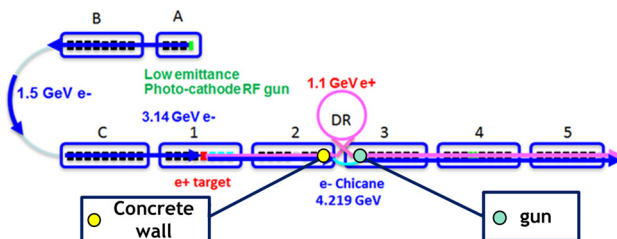


Figure 1: Schematic layout of the SuperKEKB injector Linac.

SuperKEKB 計画の Phase-II では、高輝度化した陽電子ビームを実現するため、2017 年度より入射器の中間付近に隣接して新しく陽電子ダンピングリング(Damping Ring; DR)を建設し、運用を開始した。入射器では、SuperKEKB、PF、PF-AR、DR の計 5 種類の円形加速器に、エネルギーやビーム特性の大きく異なるビームを高速で切り替えながら入射運転を行っている(Fig. 2, Table 1)[4]。この DR を入射器と合流させるビームライン構築のためには、上流下流を隔てていたコンクリート壁及びその直後の電子銃を撤去する必要があった。この工事は 2017 年夏に実施された(Fig. 3)。この入射器統合により、入射器運転は先頭の電子銃からのみ出射する運転形態となった。

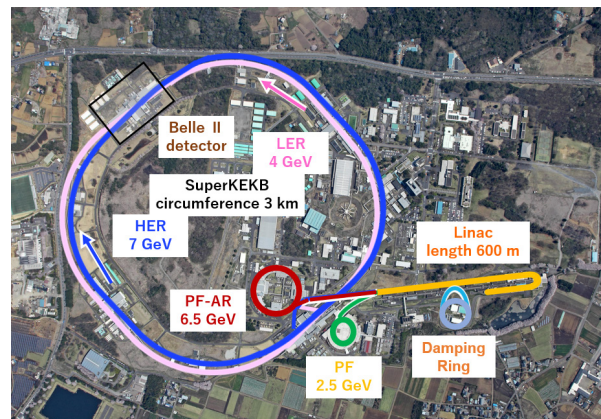


Figure 2: Schematic layout of KEK e+/e- Linac and related accelerators.

[#] Itsuka.satake@kek.jp

Table 1: Operation Type of Linac

Downstream ring	Type	Before update		After update	
		electron gun	Access management	electron gun	Access management
KEKB High Energy Ring	7 GeV e-	(stop)	—	Head gun	whole area
KEKB Low Energy Ring	4 GeV e+	(stop)	—	Head gun	whole area
PF-Ring	2.5 GeV e-	Middle point gun	Downstream	Head gun	whole area
PF-AR	6.5 GeV e-	Middle point gun	Downstream	Head gun	whole area
DR-Ring	1.1 GeV e+	—	—	Head gun	whole area
Linac arrangement (to beam dump)	Various beams	Head gun and Middle point gun	Upstream Downstream	Head gun	whole area



Figure 3: Picture of before (top) and after (down) integration of Linac.

2. 放射線安全対策

電子及び陽電子ビームを加速する入射器運転において、発生装置室内では人体被ばく許容量を超える放射線が発生する。そのため入射器の放射線安全対策としては、人の安全を保障した上で、さらに機器の保護を図っている。人の安全が保障され、入射器運転可能となった状態を“LINAC READY”という。これは、人員保護を目的とするインターロックシステム (Personnel Protection System; PPS) のことである。

これら諸条件に関係する各種信号は、全て PLC に収集される。このうち、入射器緊急停止用の非常停止信号系統は、PLC を介さずに機械リレーのみで構築している。

放射線管理区域の統合前は、上流側と下流側で独立した運転を可能としていたため、PLC 上での論理構成も分けて構築していた。ただし、中間地点において上流側のビームを止める機構が無かったため、上流側運転を行う際には、下流側も運転許可状態である必要があった。統合後は、全ての信号を一括で管理するよう変更した。

3. 安全系システムのソフトウェア更新

3.1 安全系管理システム

安全管理システムでは PLC を使用しており、入射器内の主制御室及び ABC 副制御室にある計 3 台の PLC で構成されている。ABC 副制御室の PLC は、A セクター入射部から C セクターまでの、主制御室の PLC (安全系メイン PLC) は、1 セクターから入射器終端までの信号入出力と、入射器安全系システム全体の統括を担っている。この他に、通信専用 PLC が 2 台あり、外部コンピュータにシステムの状態を送るためのゲートウェイとしての役割をもつ。LAN 上にネットワーク障害が起きた場合、本システムには影響を及ぼさないよう、安全系関連情報の流れは一方通行としている。

最も入射頻度の高い SuperKEKB では、KEKB 加

Table 2: Number of Signal Input/Output Points of the Safety System PLC (approximate number)

PLC	Input	Output
Main PLC	200	140
Sub PLC (1)	50	30
Sub PLC (2)	40	10

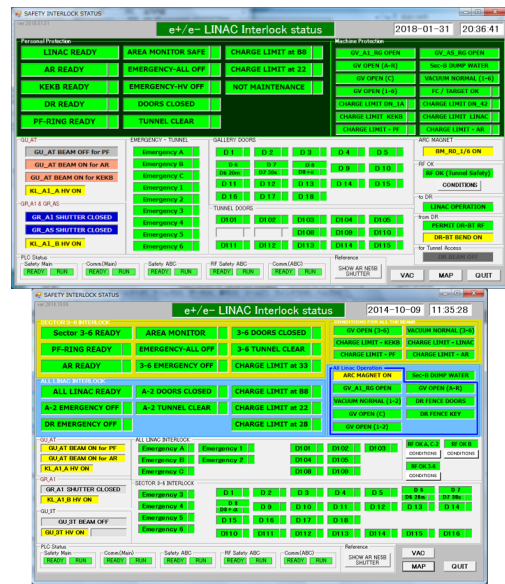


Figure 5: Image example of Interlock status display after system update (top) and before system update (bottom).

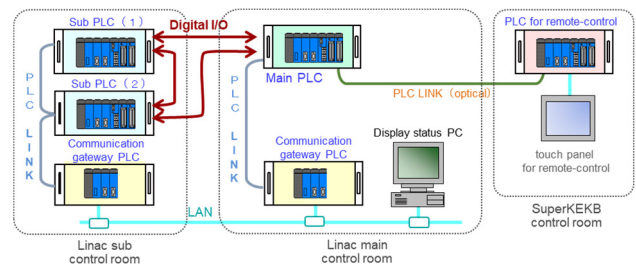


Figure 4: Schematic layout of safety management interlock system of Linac.

速器制御室内に制御用端末(PLC とタッチパネル)を設置し、遠隔制御を可能にしている。本システムには、合計 6 台の PLC を使用している (Fig. 4)。Table 2 に PLC 1 台当たりの信号入出力点数を示す。入射器統合に伴って、全ての PLC とシステム状態表示用の PC、制御卓 PC 上のステータス表示画面も更新した(Fig. 5)[5]。

3.2 DR 運用開始に伴う更新

入射器から DR へ入射した陽電子ビームは、DR を周回させることで低エミッタンスビームとなって入射器に戻る。入射器にとって他の加速器とは違う点は、“ビームを入射する”だけでなく、“ビームを受け取る”ということである。そのため、お互いが独立した放射線安全管理システムを持った上で、情報の授受を行わなければならない。

入射器運転必要条件の中には、「ビーム供給先の運転許可状態 (READY)」信号があるが、DR からの READY を加えた。さらに、DR 運転必要条件には、DR がビームを戻す入射器の READY 状態を組み込む必要がある。入射器と DR は、お互いに運転するためには相手の安全担保である READY 信号が必要となる。まず、入射器運転必要条件の中で「DR READY」以外を合わせたものを、「LINAC OPERATION」信号と定義した。DR 側が LINAC OPERATION 信号を受けとり、入射器運転の準備が整った上で、DR READY が成立する。こうして最終的に、入射器の READY が成立する。

4. 安全系システムのハードウェア更新

4.1 上流用・下流用パーソナルキーシステムの統合

パーソナルキーボックスは、入射器管理区域の入域管理システムである。入射器統合前には、上流用と下流用で 2 台使用していた。それぞれ入射器入口付近に設置されており、パーソナルキーと通用扉及び物品搬入扉の鍵があった (Fig. 6 左, 右上)。加速器室に入域する際は、加速器が停止している状態でパーソナルキーボックスから、作業員 1 名に対して 1 個ずつパーソナルキーを携

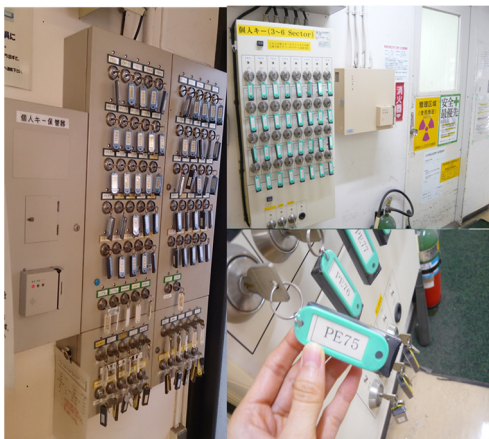


Figure 6: Picture of integrated personal key box (left), downstream personal key box (top right) and a personal key (down right).

帯する。これらの上流用パーソナルキーは加速器室入口扉、下流用パーソナルキーは下流側入口扉の鍵であった。パーソナルキーボックス内のパーソナルキーと扉鍵の貸出管理には、各人の ID カードを使用する。カードリーダにより読み出した ID カード情報を内部回路で処理し、キー抜取の可否を判断する。同時に入域できる人数は、上流用は 50 人、下流用は 32 人であった。パーソナルキーの全数が返却されるまでは、加速器運転不可となる。そのため持出防止対策として、各キータグに RF タグ (自鳴式) が接着されている (Fig. 6 右下)。入射器玄関ゲートに近づくと、両側の各ゲート中心約 2m 範囲内でブザーが鳴るしくみである。

パーソナルキーボックスはボードコンピュータを内部に持ち、安全系メイン PLC と接点信号を授受して、キーを管理している (Fig. 7)。キー貸出状況を表示するための

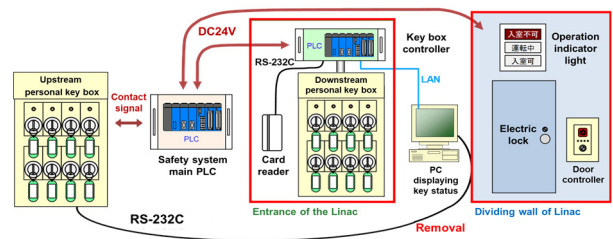


Figure 7: Schematic layout of the updated personal key management system to enter the accelerator room.

PC とパーソナルキーボックスは、RS-232C 経由で入退域情報や入域管理情報を授受している。入射器統合に伴って、下流側用パーソナルキーボックスを撤去し、上流側用パーソナルキーボックスを入射器全域用とした。下流側用パーソナルキーボックスにあった加速器室下流側の扉鍵は、全域用パーソナルキーボックスの扉鍵に合わせた。

4.2 運転表示灯

入射器上下流を隔てていた壁には、運転表示灯、電気錠、解錠器が取り付けられていた (Fig. 8)。それぞれ安全系 PLC との間で、DC24V 接点信号を授受していた。入射器の運転状況に応じて、扉の電気錠制御 (解錠許可 / 不許可) を行う。運転表示灯は、入射器加速器室の 2 箇所の入り口にあり、入室禁止 / 加速器運転中 / 入室許可の表示をする。DR が稼働するということは、入射器側はビームを入射するだけでなく、DR から入射器へビームが戻ることでも考慮しなければならない。そのため、入射器入室許可条件に「DR にビームがない状態」の信号を組み込んだ。運転表示灯の『入室許可』表示には、ビームキーが OFF であることに加えて、「DR にビームがない状態」条件が追加された。

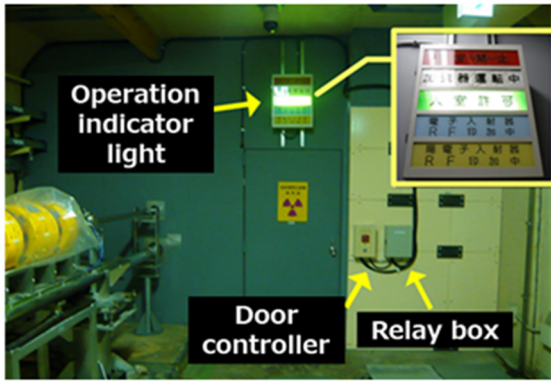


Figure 8: Picture of the operation status indicator and the door controller at the shield wall before removal at the dividing point of Linac.

4.3 入射器トンネル内の非常停止ボタンと回転灯

入射器加速器室には、各セクターに非常停止ボタンと回転灯を設置している。非常停止ボタンは、合計 24 箇所あり、回転灯は、加速器室だけでなく入射器ギャラリーや入射器建屋の外にも設置されており、合計 36 箇所である。結合前は、1 セクターから 2 セクター、3 セクターから 5 セクターに分けて DC24V を送っていた。これは、下流側のみで入射器を運転する際、下流側にある非常停止ボタンと回転灯のみを有効にする必要があるためである。入射器統合後は、1 セクターから順に下流へ DC24V が送られるよう変更した (Fig. 9)。

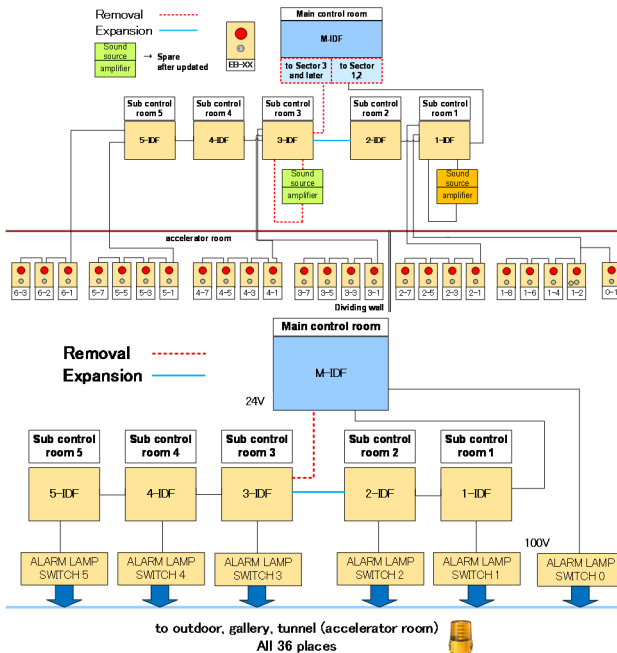


Figure 9: Schematic layout of emergency stop button (top) and revolving light of the accelerator area (down).

4.4 入射器運転操作パネルの改造

入射器運転操作パネル(制御パネル)の図案と写真を Fig. 10 に示す(左:旧パネル、右:新規パネル)。制御パネルは、入射器運転を行うための操作盤であり、デジタル I/O を用いて安全系メイン PLC と情報を授受している。入射器及びビームの入射先である KEKB に設置されている。

READY 信号は、下流リングの安全担保のための信号であり、Beam Mode は運転モードを示している。新規のパネルでは、DR READY と DR モードを追加した。また、下流用ビームキーを外し、上流側と下流側で色分けしていたものを統一した。Fig. 10 の写真右下は、電子銃に関する部分で、入射器のビームをどちらの電子銃(熱電子銃又は RF 電子銃)から出すかを選択する。RF 電子銃によるビーム入射に関わるスイッチも追加した。RF 電子銃シャッターの Open/Close ボタンについては、RF 電子銃の状態がわかりやすく判断できるよう改造した。

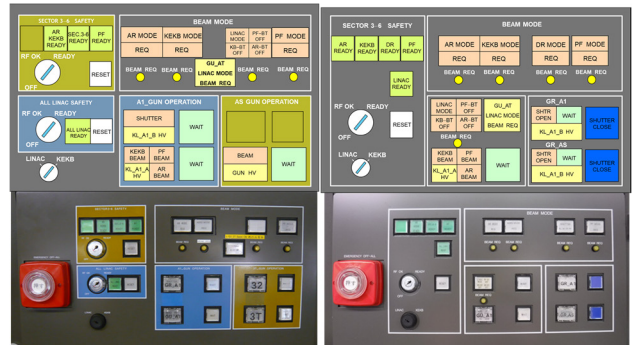


Figure 10: Schematic images (top) and actual implementations (down) of the modified (right) and old version (left) operation control panel.

5. まとめと展望

入射器安全系インターロックシステムは、電子及び陽電子ビームの 5 種類ある下流リングへの入射と、入射器単独運転を行うための安全管理システムである。このシステムが異常を検知している間は、入射器は運転できない。2017 年に、上流下流を隔てていた壁の撤去と上流下流の管理統合を行った。また、DR 稼働に伴う DR との様々な信号の授受を本システムに取り入れた。パーソナルキーシステムや入域管理範囲、制御卓の運転操作パネルを、入射器全域を対象としたものへ改変した。

現在、本システムは安定して入射器運転に運用されており、安全な入射と運転に貢献している。今後は、2018 年秋の運転に向けた更新を行う。さらに SuperKEKB 計画の Phase-III へ向けて、操作性の向上と効率的なシステムを目指して改良を続ける。

謝辞

本発表の入射器安全管理システム再構築にあたり、三菱電機システムサービス株式会社の熊野宏樹氏、久積啓一氏にご協力頂きました。深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Mitsuo Akemoto *et al.*, Prog. Theor. Exp. Phys. (2013) 03A002.
- [2] K. Furukawa *et al.*, “Present status of the KEK electron/positron injector linac”, in Proceedings of the 9th International Particle Accelerator Conference (IPAC'18), Vancouver, Canada, Apr. 29-May. 4, 2018, paper MOPMF073.
- [3] A. Shirakawa *et al.*, “Upgrade of Safety Interlock System of e⁺/e⁻ LINAC for SuperKEKB Project”, in Proceedings of the 4th International Particle Accelerator Conference, Shanghai, China, May 12-17, 2013, pp. 3161-3163.
- [4] M. Satoh *et al.*, “Commissioning Status of SuperKEKB Injector Linac”, in Proceedings of the 9th International Particle Accelerator Conference (IPAC'18), Vancouver, Canada, Apr. 29-May. 4, 2018, paper MOPMF075.
- [5] A. Shirakawa *et al.*, “加速器安全管理システムの更新及び大規模システム更新にまつわる考察”, Proceedings of the “平成 29 年度核融合科学研究所技術研究会”, Tajimi, Japan, Mar. 1-2, 2018, paper P-2-10.