

SuperKEKB 入射ビーム調整のための Personnel Protection System の変更 PERSONNEL PROTECTION SYSTEM MODIFICATION FOR SuperKEKB INJECTION BEAM TUNING

三増俊広^{#,A)}, 工藤喜久雄^{A)}, 小野正明^{A)}, 田中幹朗^{B)}, 田中直樹^{B)}, 小川英一郎^{C)}

Toshihiro Mimashi^{#,A)}, Kikuo Kudo^{A)}, Masaaki Ono^{A)}, Mikio Tanaka^{B)}, Naoki Tanaka^{B)}, Eiichiro Ogawa^{C)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization

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

^{C)} Cyber Techno Limited Company

Abstract

In recent years, the injection beam tuning has become more important in improving the performance of SuperKEKB. As the beam current in the main ring and the luminosity increases, the lifetime of the beam becomes shorter, so that there is an increasing demand for constantly maintaining high injection beam efficiency. Know-how on the injection beam tuning has been accumulated, and it has become possible to improve the condition of the injection beam if enough time is taken. In the Personnel Protection System at KEKB, when a person is working at Belle II, which is 1.5 km away from the injection point, it was not possible to tune the injection beam using a beam dump at the end of the beam transport line. Personnel Protection System was modified so that it could be possible to guide the beam up to the beam dump at the end of beam transport line during a person access to the Belle II

1. はじめに

SuperKEKB[1]では、高いルミノシティを得るために高い入射効率を持続することがますます重要になってきている。入射ビームの質の向上は、入射器、ビーム輸送路でのビーム調整をすることでなされるが、SuperKEKB主リングの運転が始まると、リングを使った加速器スタディや Belle II の素粒子物理実験があるため、入射ビームの調整をする時間が取りにくいことが問題として挙げられる。すなわち、物理実験開始までに入射ビームの調整や入射ビームの質を改善するための加速器 Study を出来るだけ終えておくこと要求される。そこで、SuperKEKB の主リング運転の前後、主リングトンネル内作業をしているときにでも入射ビームの調整が出来る様に Personnel Protection System(PPS)[2]を改修した。本稿では、トンネル内に人が入域しているときに、どのように安全を担保しているかを紹介し、新しく加えられた入射器ビーム調整モードについて詳しく述べる。また、入射器も含めた SuperKEKB 加速器全体で、ビームダンプをどのように配置し、各々の部分のビーム調整を行なっているかも紹介する。

2. 安全電磁石とビームシャッター

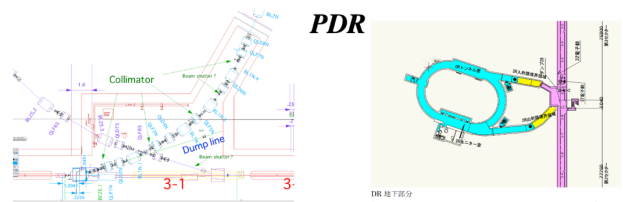
入射器運転中に入射器下流のビーム輸送路やリングにビームが来ないことを担保するために安全電磁石とビームシャッターが設置されている。インターロックは、二重化されており、片方のインターロックが故障してもビームが下流に行かないようなシステムが構築されている。

安全電磁石とビームシャッターからなるインターロックシステムは、ビームシャッターが動作しなかった場合にも安全電磁石が OFF になっているので、下流にビームは行かない。逆に安全電磁石の通電許可信号、状態信号

[#] Toshihiro.mimashi@kek.jp

に問題が起り、安全電磁石が ON の状態であっても、ビームシャッターでビームが遮断されることになっている。実際の各部分の安全システムについて述べる。

- 入射器→Positron Damping Ring(PDR)
PDR[3]入射路(LTR)の4台の偏向電磁石(4つの電磁石が1台の電源につながっている)とビームシャッターで、PDR にビームが入射されないことを担保している。この場合、入射ビームは、LTR のビームダンプに導かれる(Fig. 1)。ビームシャッターの下流には、境界領域が設定されていて、この領域の上下流の加速器が運転中はこの領域には入れない。



Safety Magnets & Beam Shutter

Boundary Area

Figure 1: Safety magnets and a beam shutter for the positron dumping ring (PDR).

- PDR→入射器

入射器トンネルに入域する場合、PDR にビーム蓄積されていないことが要求される。PDR にビームが蓄積されていないことは、1台ビームストッパーがPDR に挿入されていることと、PDR にビームが入射されない状態で(LTR の安全電磁石 OFF+ビームシャッターIN)で、一度加速空洞を OFF にすることによって担保されている。また、PDR 出射路(RTL)に設置されている安全偏向電磁石も OFF であることを要求する。

- 入射器→SuperKEKB リング及びビーム輸送路[4] 陽電子ビームの場合、第3スイッチヤードにある安全偏向電磁石及び、ビームシャッターで、電子ビームは、垂直方向偏向電磁石と水平方向偏向電磁石を安全電磁石として使用し、ビームシャッター-INを要求する(Fig. 2)。

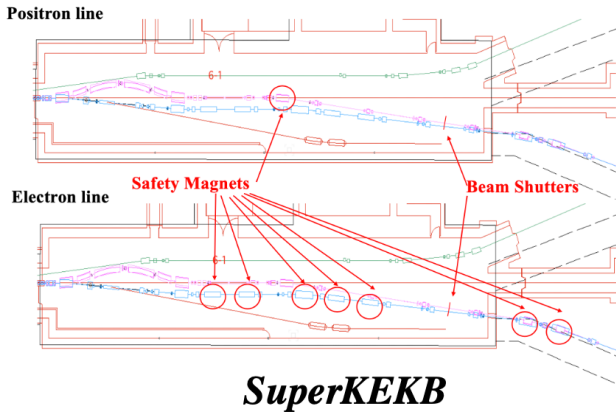


Figure 2: Safety magnets and a beam shutter for the SuperKEKB LER and HER.

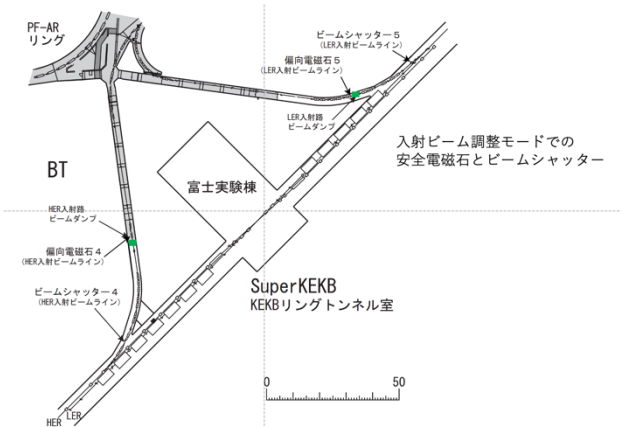


Figure 3: Safety magnets and a beam shutter at the end of beam transport line.

- SuperKEKB ビーム輸送路→SuperKEKB リング 電子、陽電子ビームラインとも、ビーム輸送路終端に設置されたビームダンプ直上流の偏向電磁石を安全電磁石として使用し、ダンプ下流でかつ入射点上流に設置されているビームシャッター-INで、ビームが来ないことを担保している。また、入射点直下流に設置されている弱偏向電磁石も OFF であることも要求している(Fig. 3)。

3. ビームダンプ

入射器も含めた SuperKEKB 加速器では、各々の部分でのビーム調整を行うため 6 箇所ビームダンプが設置されている(Fig. 4)。

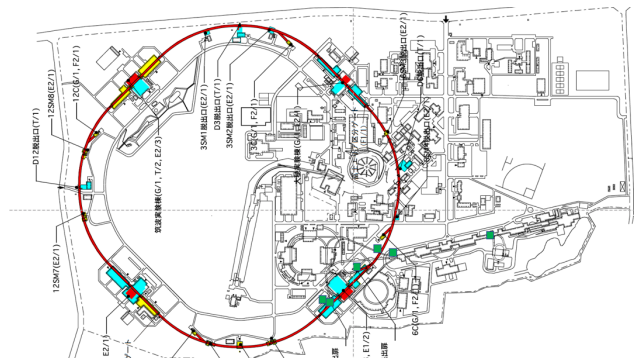


Figure 4: Distributed beam dumps for SuperKEKB and its injector linac.

- (1) PDR 入射路のビームダンプ
PDR 入射路にビームダンプが設置され、ダンピングリングに入射される陽電子ビームの調整を行うときに使用される(Fig. 5)。

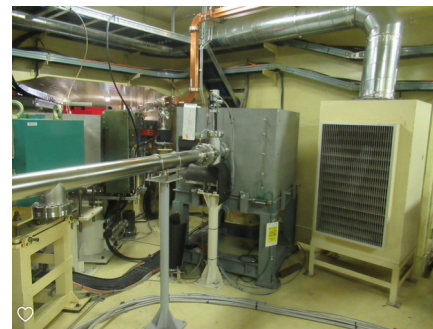


Figure 5: The beam dump at the positron dump ring injection line.

- (2) 第3スイッチヤード東側のビームダンプ
入射器終端で、4つのリング(SuperKEKB HER, LER, PF-AR, PF)に選択的にビームを供給するための第3スイッチヤードの東側にビームダンプが設置されている。
このビームダンプは、入射器のビームを調整するときに使用される。現在は電子ビームと陽電子ビームを同時に調整することはできず、調整するビームを切り替える時は、第3スイッチヤード入口の直流電磁石を転極してビームスイッチしている(Fig. 6)。



Figure 6: The beam dump at the end of injector linac.

- (3) ビーム輸送路末端のビームダンプ
電子ビーム、陽電子ビーム輸送路末端にそれぞれ 1 台ずつ設置されていて、入射ビームの調整に使用され流。電子ビーム、陽電子ビームは独立に調整をすることが可能である。
- (4) 電子、陽電子リングの蓄積ビーム用ビームダンプ
リングに蓄積されたビームをアポートシステムが蹴り出して、ビームダンプまで導く。ビームダンプは、鉄とコンクリートで作られている(Fig. 7)。



Figure 7: The beam dumps of the SuperKEKB LER and HER.

4. 入射ビーム調整モード

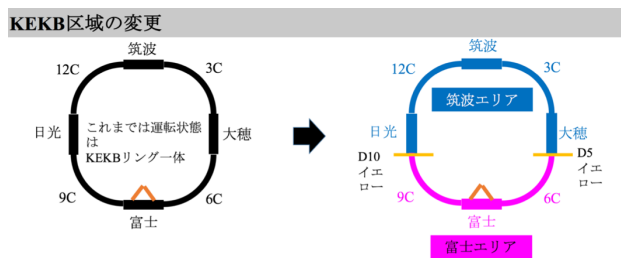


Figure 8: SuperKEKB tunnel is divided in to two area, Tsukuba area and Fuji area.

旧 KEKB での PPS としてのモードは、リングへのビーム入射モードではなく、ビーム輸送路末端のビームダンプでビームを捨てる場合でも、KEKB 主リング全体に入域することが許されていなかった。このため、Belle II の作業を行う時、あるいは、リング内の加速器関係の作業をするために入域する時には、入射ビームを調整することができなかった。そこで、リングを入射点に近い富士エリアと入射点から遠い筑波エリアに 2 つ分け(Fig. 8)別々に入域管理するように PPS の改造をおこない、ビーム輸送路末端のビームダンプにビームを捨てながら入射ビーム調整を行うときにも、Belle II を含む筑波エリアに入域が可能になるよう改造した。このモードを入射ビーム調整モードと呼ぶ。

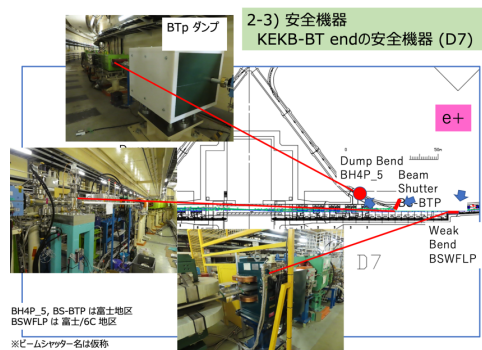


Figure 9: Positron beam transport line end beam dump.

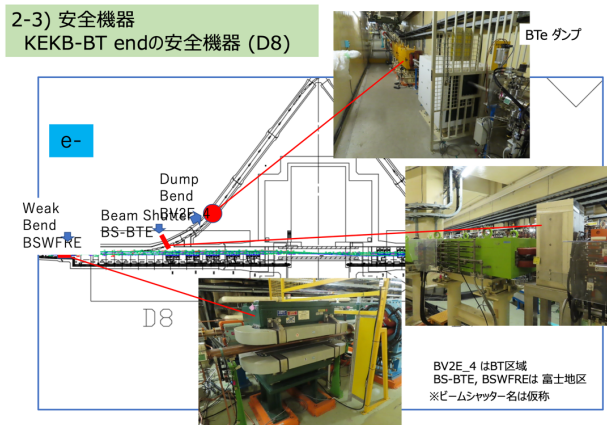


Figure 10: Electron beam transport line end beam dump.

新しく設定された入射ビーム調整モードは、以下のよな構成になっている。

- (1) インターロックシステムの概要
リング内にビームが入射されないことを担保するために、ビーム輸送路末端ビームダンプ直上流の偏向電磁石を安全電磁石として採用し、安全電磁石が OFF でかつ、ビームダンプ下流に設置されているビームシャッターが挿入されていることを要求する(Fig. 9, Fig. 10)。さらに、入射点下流の弱偏向電磁石も OFF であることを要求しより安全性を高めている。
- (2) パーソナル キーの変更
SuperKEKB では、必ずパーソナル キーをとって、入域することになっているので、全てのパーソナルキーが返却されていることで、トンネル内に入域している人がないことを担保している。しかしながら、入射ビーム調整モードでは、筑波エリアのパーソナルキーは、抜けている状況が許され、富士エリアのパーソナルキーが、全て返却されていること要求される。運転時に、筑波エリアのパーソナルキーと富士エリアのパーソナルキーを区別するため、富士エリアの出入口のパーソナルキーには、RF キーが取り付けられ、富士エリアに入域する場合は、RF キーを使用してのみ入域が可能になる(Fig. 11)。筑波エリアのパーソナルキーでは、富士エリアに入域できないので、富士エリアの鍵が全て返却されていれば、入射ビーム調整モードでの加速器運転が可能となる。



Figure 11: RF key tag used in Fuji area entrance.

- (3) 安全ロジックの変更(コンソールの改造)
入射モードと入射ビーム調整モードでは、対応する安全電磁石、ビームシャッターが大きく変わりPPSのロジックも大きく変わる。それに対応するため、PPSを制御するコンソールも大幅な変更が行われた(Fig. 12)。



Figure 12: Consol of the safety system.

富士エリアと筑波エリアの境界のゲート扉のキーは、コンソールで保持され(Fig. 13)、コンソールから抜けている場合は、入射ビーム調整モードでの運転はできない。

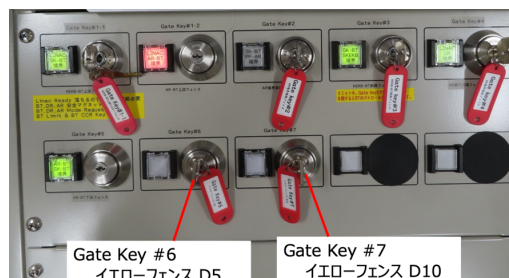


Figure 13: Gate Key on the safety consol.

5. まとめ

SuperKEKB では、高い性能を得るために、入射ビームの質の向上が、非常に重要になってきている。入射ビームの調整時間を確保するため、入射ビーム調整モードが、PPSに加えられ、SuperKEKB主リング内筑波エリアでの作業中にも入射ビームの調整が可能になった。

謝辞

高エネルギー加速器研究機構放射線科学センターの佐波俊哉氏、萩原雅之氏には、原子力規制庁への変更申請作成等大変お世話になりここにお礼申し上げます。

参考文献

- [1] Y. Funakoshi *et al.*, “Beam Commissioning of SuperKEKB”, in Proc. IPAC'16, Busan, Korea, May 2016, pp. 1019-1021.
- [2] T. Mimashi *et al.*, “SuperKEKB Personnel Protection System”, in Proc. IPAC'23, Venice, Italy, May 2023, pp. 4070-4072.
- [3] M. Kikuchi *et al.*, “Design of Positron Damping Ring for Super-KEKB”, in Proc. IPAC'10, Kyoto, Japan, May 2010, paper TUPEB054, pp. 1641-1643.
- [4] M. Kikuchi *et al.*, “Beam Transport Lines of the KEKB”, in Proc. EPAC'2000, Vienna, Austria, May 2000, pp. 2249-2251.