

## BEAM-CHARGE LIMIT SYSTEM FOR RADIATION SAFETY AT THE KEKB INJECTOR LINAC

Tsuyoshi Suwada<sup>1</sup>, Eiichi Kadokura, Masanori Satoh, and Kazuro Furukawa  
 Accelerator Laboratory, High Energy Accelerator Research Organization  
 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

### Abstract

A new beam-charge limit system is under development for radiation safety of the KEKB injector linac. This system restricts a prescribed amount of integrated beam charges at the linac, which are delivered to four different kinds of storage rings. The beam charges are measured with wall-current monitors basically at three locations of the linac. Instead of the present software-based system, the new hardware-based system generates and sends beam abort signals directly to the radiation safety control system with hard-wire cables when the amount of the integrated beam charges is beyond the prescribed threshold level. In this report we describe the new design of the beam-charge limit system in detail, and the detector circuits and their characteristics may be described elsewhere.

### KEKB入射器における放射線安全のためのビーム電荷制限システム

#### 1. 概要

KEKB入射器(以下、入射器)では、放射線安全のためのビーム電荷制限システムの更新を計画している。現在、入射器は、2台の放射光リング(PF、PF-AR)と2台のKEKBリング(電子、陽電子リング)に入射を行っている。複数のリングに適切かつ安全にビームを入射するためには、安定した入射ビームのモード切り替えが必要となる。入射器を通過するビームは、積算電荷量が計算機上で常に監視され、高いレベルの放射線安全が保証されている。現在の電荷制限システムでは、ソフトウェアを基本とするシステムが動作している。これをハードウェアを基本とするシステムに更新することにより、より信頼性の高い放射線安全システムにすることを旨とする。本稿では、新しいビーム電荷制限システムの設計概要について報告する。なお、ビーム電荷検出用の回路設計とその予備的性能評価については、別途報告を行う予定である。

#### 2. はじめに

入射器は、1997年9月にKEKB運転に向けた増強を終えビームコミッショニングを開始した。1998年12月からは、本格的にKEKBへの入射が始まり、1999年9月からは、Belle衝突実験が開始された。その後、入射器は、2002年9月から陽電子の2バンチ同時入射を、2004年1月からは、入射中でも実験データの取得が可能となる連続入射を開始している。また、2006年4月からは電子の2バンチ同時入射を行っている。一方、ユーザー運転時のPF及びPF-ARへの入射は、1日に2回程度の頻度で、KEKBへの入射を一時的に中断して行なわれている。このような状況の中で、PFに対しても、連続入射(Top-up入射)の可能

性が検討され、2005年夏期には、これに向けて新PF入射路が建設された[1]。2006年夏期には、入射器終端近くにパルス電磁石を設置し、PFへの入射ビームをパルスの蹴出すことでPF・KEKBの双方に対し、連続入射を実現する予定である。2006年秋期から、ビーム試験を経た後、本格的な運用を開始する。このように、両リングへの連続入射のもとでは、各リングの蓄積電流は、ほぼ一定に保持されるので、より安定した実験が可能となりその期待は大きい。

一方、連続入射を入射器から見ると、入射ビームをパルスの切り換えて、両リングに対し連続入射を行うことになる。このような入射スキームのもとでは、入射モードの切り換えそのものが意味をなさなくなり、両リングが常にREADY(入射可)状態となる。このように、入射器は、入射モードに係わりなく常に入射状態にあり、放射線安全のために入射ビームのパルス毎の監視と安定したビーム制御が要求されることになる。放射線安全システムは、このような複雑な入射スキームでも安全を確保する必要があり、現在のビーム電荷制限システムを含め再構築することになった。

入射器のビーム電荷制限システムは、放射線安全規定のもとで、電子及び陽電子ビームの積算電荷量の定められた上限値を監視する。積算電荷量が規定値を越えた場合は、速やかにビーム停止を行う。現システムは、ビーム位置モニター(BPM)を利用して、2000年4月から暫定的に運用が開始された。BPMが取得した電荷量を専用のプログラムがこれを読み出し、積算電荷量を計算し、ビーム停止を判断する。しかしながら、現システムは、ソフトウェアを基本としているので、以下のような幾つかの問題点がある。(1)プログラムがしばしば停止する、(2)BPMのデータ収集速度が遅く、パルス毎のビーム電荷測定がで

<sup>1</sup> E-mail: tsuyoshi.suwada@kek.jp

きない、(3)入射モードを常に正しく認識する必要があり、PF・KEKB両リング同時連続入射への対応が困難である、(4)BPMシステムに大きく依存するのでシステム変更には常に対応する必要がある、等々。KEKBの蓄積電流の増加に応じて入射ビームの電流増強が徐々に行われ、入射モードも複雑化している。放射線安全の立場から、これを現システムで対応するには限界がある。放射線安全の信頼性を高め、かつ安定した運転を行うためには、現システムに替わり、ハードウェアを基本とするビーム電荷制限システムへの更新が必要である。

### 3. ビーム電荷制限システム

図1に本システムの設置場所を示す。基本的に、ビーム電荷は、ビームラインにそった3箇所制限される。これらは、アーク部入口(B-8)、陽電子標的直後(2-2)及びビームスイッチヤード(6-A)である。B-8では、陽電子生成用1次電子の最大積算電荷を、2-2では、陽電子標的後のそれを、6-Aでは、各リングに対応した入射路入口での最大積算電荷を制限する。赤丸は、現システムのBPMによる監視位置を、青丸は、新システムが利用する壁電流モニター(WCM)の監視位置を示す。表1に、各位置に対応した制限電荷量(積算値とパルス平均値)をまとめた。表中、KEKBは、KEKB入射路入口での積算電荷を制限し、電子と陽電子を区別せずに、積算電荷和で定義される。Linacは、入射器のエネルギー分析ライン入口での積算電荷を制限する。図にはないが、PF-ARへの電荷制限は、リング入射点直前(AR)と入射点近傍のビームダンプ直前(AR-D)の2ヶ所で行う。また、PFは、新PF入射路入口(PF1)とリング入射点直前(PF2)で積算電荷を制限する。このように、各リングに対応した電荷制限が必要となり、PF、PF-ARも含めてビームスイッチヤードでは電荷制限システムが大幅に強化される予定である。制限電荷は、パルス毎ではなく、1秒又は1時間の積算電荷量で規定される。特に、入射器本体を通過する電荷制限は、1秒間積分で規定され、各リングへの入射路及びリング直前では、1時間積分で規定される。

電荷制限用モニターには、WCMを用いることにした。これは、KEKB運転に向けて多数のWCMを設置したのでこれを転用することにした。図2に、WCMによる電荷制限測定システムを示す。ビームに応答したWCMのパルス信号は、同軸ケーブル(35~60m)で伝送され、クライストロンギャラリーに設置した電荷積分回路(NIM)に入る。ビーム電荷に比例したWCMパルスは、電荷積分回路内でパルス毎に積分され、積分出力電圧がAD変換される。積分回路用のゲートは、パルス信号から自己ゲートで生成する。得られたデータは、内蔵されたCPUを介して、WCMの校正係数を用いて電荷単位[nC]に変換された後、メモリーに格納される。同時に、パルス電荷は、積算演算され積算電荷量として時刻タグを

付けてメモリーに格納される。CPUは、常時、積算電荷量を監視し、設定上限値に達すると出力部の無電圧接点を閉にし、アボート信号を生成する。アボート信号は、ツイストペア線を通して、直接、安全系PLCに送信され電子銃の動作を停止する。

一方、電荷積分回路は、電荷制限用のPLCと通信し、適宜、積算電荷量を読み出し、その値を運転用ディスプレイに表示させる。また、PLCは、同期信号を送ることにより回路に内蔵した水晶クロックを補正する。主制御室には、親PLC(横河電機FM-M3, CPU/F3SP53-4S)を置き、セクター2、セクターB及びスイッチヤードには、子PLCを置き、これらをリング状に光ファイバーで接続することによりネットワークを形成させる(図1参照)。PLCネットワークを通して各所で測定された全ての積算電荷の現在値をリアルタイムに表示させることが可能となる。表2に、入射ビームに対する各電荷制限箇所におけるパルス当たりの電荷量(通常運転時とマシンスタディ時で想定される最大/最小電荷量)を示す。この表から、回路系に要求される入力レンジは、最大250倍となり、低ノイズレベルと広いダイナミックレンジを有する回路設計が要求される。図3に現在開発中の電荷制限回路のブロックダイアグラムを示しておく。

表1：電荷制限の監視場所と対応する制限電荷量の一覧(パルス当りの平均値と積算電荷量)

設置箇所	制限電荷量(積算)[nC]	積算時間	制限電荷量(パルス平均)[nC/pulse]xHz
B-8	1250	sec	25 x 50
2-2	625	sec	12.5 x 50
Linac	62.5	sec	1.25 x 50
KEKB*	5.76x10 <sup>5</sup>	hr	3.2 x 50
PF1 <sup>§</sup>	2.25x10 <sup>5</sup>	hr	1.04 x 25
PF2 <sup>§</sup>	2.25x10 <sup>4</sup>	hr	0.1 x 25
AR	7.2x10 <sup>3</sup>	hr	0.08 x 25
AR-D <sup>§</sup>	1.5x10 <sup>3</sup>	hr	0.08 x 5

§: 新設予定箇所を示す。\*: 電子陽電子の電荷和で定義される。

### 5. まとめと今後の予定

KEKB入射器では、KEKB・PF両リングへの同時連続入射を計画している。本稿では、本計画に必要な放射線安全のための新しいビーム電荷制限システムの概要を述べた。現在、電荷積分回路の基本設計を終え、試作機を試験中である。また、PLCによるネットワーク構築も始まったばかりである。2006年夏期シャットダウン中に必要な設計変更を行い、秋からの運用開始を目指したい。

### 参考文献

- [1] M.Satoh, et al., *Procs. the 30th Linear Accelerator Meeting in Japan*, Sun Messe Tosu, Tosu, Saga, July 20-22, 2005, pp.457-459.

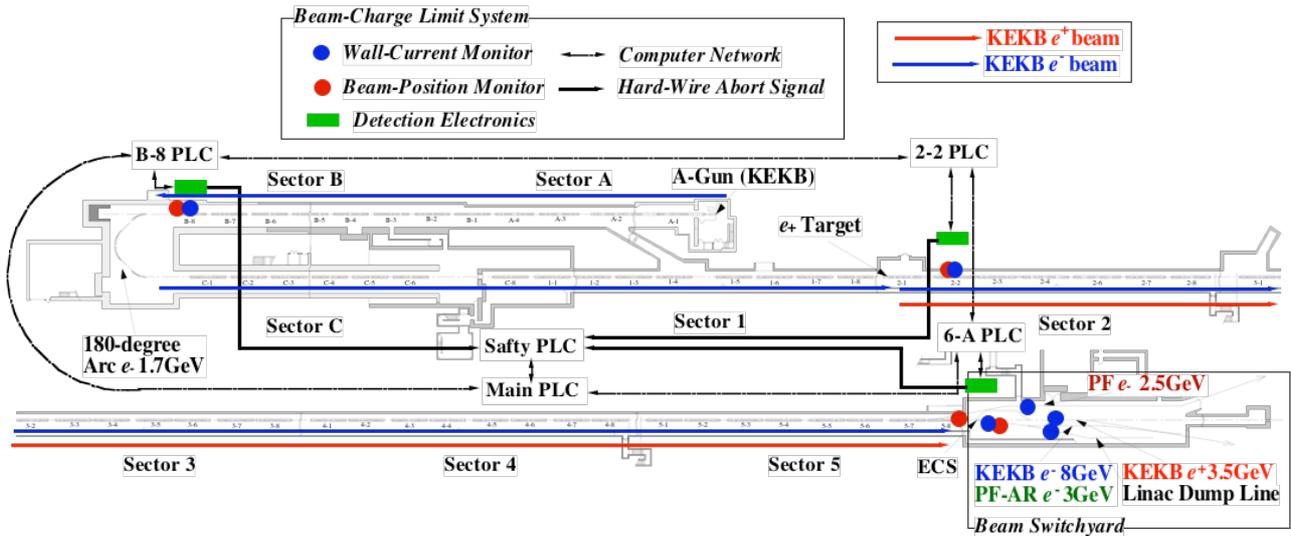


図1：入射器におけるビーム電荷制限システムの設置箇所

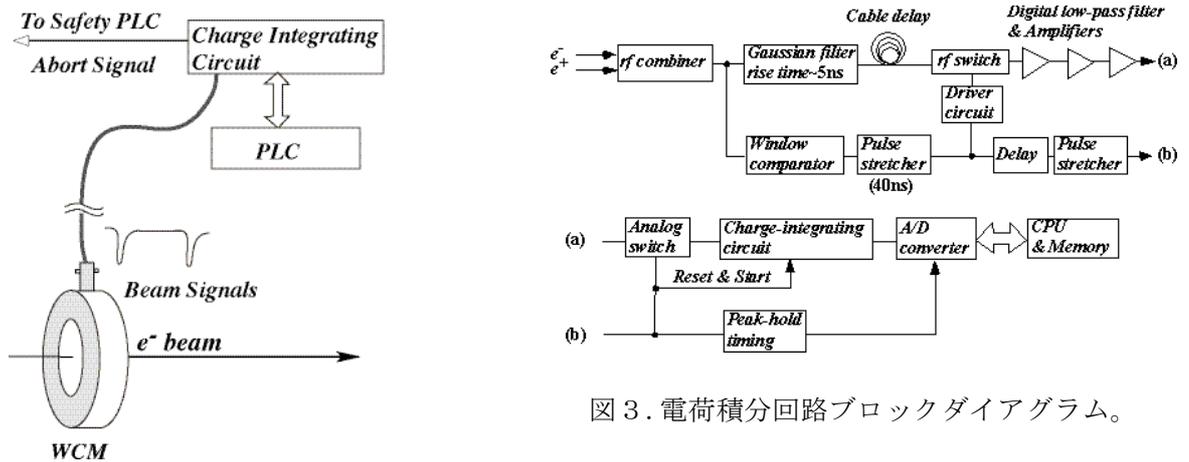


図3. 電荷積分回路ブロックダイアグラム。

図2. 壁電流モニターを利用した電荷制限システム。

表2：各電荷制限箇所におけるパルス当たりの通常運転時の電荷量と最大電荷量

設置箇所	Beam Charge [nC/pulse]							
	KEKB (e)	KEKB (e/e <sup>+</sup> )	AR (e)	AR-D (e)	PF (e)	MS1 <sup>s</sup> (e)	MS2 <sup>s</sup> (e)	D.R.
B-8	1	25*	-	-	-	12.5*	0.1	250
2-2	1	0.6	0.2	0.08	0.2	12.5*	0.1	156
Linac	1	-	-	-	-	-	0.1	10
KEKB*	1	0.6	-	-	-	-	-	1.7
AR	1	-	0.2	-	0.2	-	-	5
AR-D	1	-	-	0.08	0.2	-	-	12.5
PF1	1	-	-	-	0.2	-	-	5
PF2	1	-	-	-	0.2	-	-	5

\*: 制限電荷の最大値、D.R: ダイナミックレンジ、MS1/MS2: 最大/最小電荷量を要求するマシンスタディ