

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

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 interlock system has been developed for radiation safety and machine protection at the KEKB injector linac. Although the previous software-based interlock system was working, it has been replaced by the new hardware-based one. The new interlock system restricts the integrated amount of beam charges delivered to four different storage rings (KEKB  $e^+$ , KEKB  $e^-$ , PF, PF-AR) at six locations along the linac. The new hardware-based interlock system boosted its reliability in comparison with the previous interlock system. The full-scale operation of the new interlock system has been started without any problems since 27 March 2008. In this report we describe the beam tests, the technical developments, and the operational performance of the new beam-charge interlock system.

## 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 (III)

### 1. 概要

KEKB入射器では、入射器と下流の電子・陽電子蓄積リングに対し、放射線安全のためのビーム強度管理の信頼性を高めるために、ビーム電荷制限システムの開発を2006年度から進めてきた。これは、入射器の電流増強と複数の下流リングに対する同時入射を実現するために、その早期運用が望まれていたからである。約2年にわたるシステム開発と丹念なビーム試験を行ない、放射線管理室の最終的な承認を得た後、2008年3月27日から本格的に運用を開始した。本報告は、ビーム電荷制限システムのビーム試験、運用に向けた最終的な対策、運用状況についてまとめたものである。

### 2. はじめに

これまでの本研究会で、本システムの進展状況について随時報告してきた[1-4]。その目的とシステム構成の詳細については、こちらを参照してほしい。

本システムの導入により、入射器と下流リングに対するビーム強度管理の信頼性を格段に向上させ、以下に示す要請が実施可能になった。

- (1) 将来のSuperKEKBに向けた入射ビームの電流増強を実現するために、大電流加速試験を可能にすること。
- (2) PF-AR入射において、1時間を超える連続入射を可能にすること。
- (3) PF入射では、専用のビームダンプを利用して、PF入射路を含めたビーム調整を可能にすること。
- (4) PFとKEKB電子・陽電子の同時入射を可能にすること。

これらの要請は、電子加速器のさらなる高度化を目指すものであるが、個々のリング、ビーム輸送路で許容されるビーム強度をパルスごとに管理して初めて実現可能となる。入射ビーム強度のパルスごとの管理を行うには信頼性の高いハードウェアを基本とするシステムの導入が必須である。表1に、入射ビーム強度に対する新旧の電荷制限値の比較を示す。

表1. 入射ビームに対する新旧電荷制限値の比較

	旧電荷制限値		新電荷制限値	
	[nC/s]	[nC/h]	[nC/s]	[nC/h]
R0-01	1250	-	2500	$4.50 \times 10^6$
22-44	625	-	1250	$2.25 \times 10^6$
Linac*	62.5	-	-	$2.25 \times 10^5$
KEKB	-	$5.76 \times 10^5$	-	$5.76 \times 10^5$
PF	-	-	-	$7.80 \times 10^4$
PF-AR	-	$0.72 \times 10^4$	-	$2.32 \times 10^4$

Linac\*とは、入射器東側エネルギー分析ラインのこと。

今回の電荷制限の変更により、入射器では、1時間単位のビーム強度管理が可能になり、瞬時制限値が2倍緩和され、大電流加速試験が可能になった。PF-AR入射では、1時間を超える連続入射が可能になった。一方、PF入射では、ビームダンプが新たに設置され、ビーム強度管理を開始した。このように、ビーム強度管理の信頼性向上により、個々の運転モードに対応してフレキシブルな管理が可能となり、電子加速器の高度化に向けた新たな試験環境が整ったといえる。

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

### 3. 運用に向けた準備

本システムの開発は、2006年度に着手され、2007年10月、ハード・ソフトウェア両面にわたる最終的な整備を終えた。11月上旬からの約2ヶ月間は、システム安定性を最終的に確認するための試運転に費やした。この間にも、幾つかの不具合が見出されたが、その都度、適切な対策を施すことで、システム全体の安定性を向上させていった。本格的な運用に向けて、以下のような改修と新たな対策がとられた。ハードウェア面での対策を以下にまとめる。

- (1) 電荷制限モジュールの積分回路オフセット調整用の抵抗値を変更しバイアス電流を下げた。
- (2) 筐体の前後面にシールドドアと金属パネルを取付け、ノイズ対策を強化した。
- (3) 瞬時停電時にも対応できるように無停電電源を取り付けた。

これらの改修と対策により、モジュールの動作がより安定になり、電磁ノイズの影響も大幅に低減した。

一方、ソフトウェア面からの改良と対策を以下にまとめる。

- (1) PLC制御用操作画面(タッチパネル)の操作性向上。
- (2) データ表示画面(X端末, タッチパネル)の改良。
- (3) データ保存(EPICS recordへの書込み)。
- (4) システム全体の時刻合せ機能の開発。
- (5) アラームシステムへの接続。
- (6) モジュールCPU異常時のアポート出力の追加。
- (7) AR-主制御室間のPLCによるシリアル通信の安定性強化。

(1)-(3)では、ソフトウェアの改良により、パネル操作性とデータ収集の高速化が計られた。(4)により、複数箇所に分散されたPLCとモジュールにそれぞれ内蔵するクロックをホスト計算機の時刻に精度よく一致させることが可能になった。(5)により、運転員は、アラームシステムを通して本システムの異常を迅速に認識できるようになった。(6)では、モジュール内のCPU異常時にもアポート信号が出力されるようにした。(7)によりAR-主制御室間の長距離シリアル通信を可能にし、通信の安定性を強化した。詳細については、他で報告する[5]。

このように、ソフトウェア面の強化は、データ収集の高速化のみならず、オペレータが、より容易にかつ迅速にシステムの状態を把握できるようにした。

### 4. ビーム試験

ビーム試験時に、各入射ビームに対応する電流モニターの校正を行った。入射器のビーム位置モニター[6]は、ビーム位置のみならず、ファラデーカップを利用して電荷量の絶対値校正を行っている[7]。電流モニターは、位置モニターのデータを用いて校正された。図1にKEKB陽電子のビーム繰返しに対

する1秒積分電荷量の変化を示す。この測定では、ビーム変動を含んでいるが、計測システム自身は、2バンチ同時加速においても、<1%の良好な線形性を示している。

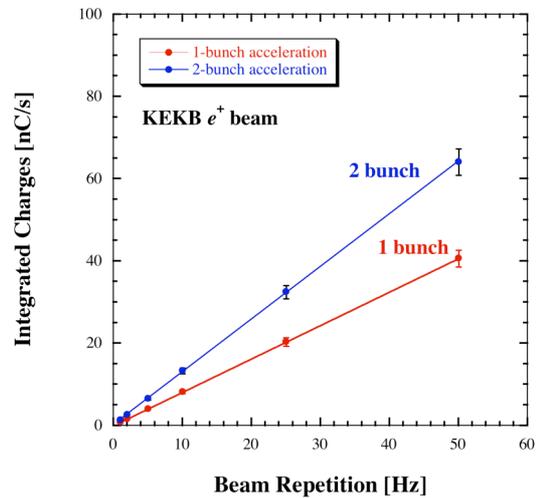


図1. ビーム繰返しに対する1秒積分電荷量の変化(KEKB陽電子)。

図2に、KEKB入射ビームで計測した1日(11月8日)の1秒積分電荷の時間推移を示す。

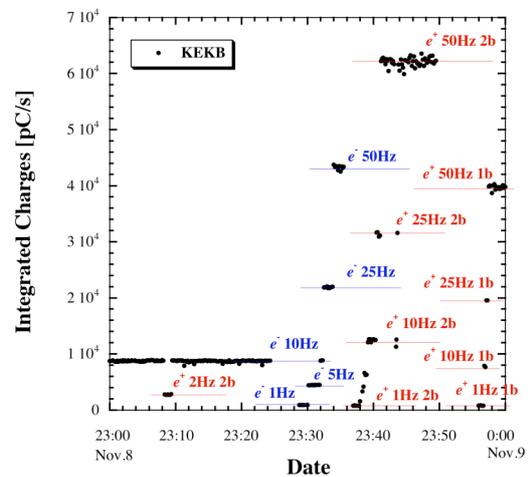


図2. KEKB入射ビームの1秒積分電荷(1日間)の時間推移。図中、1b(2b)は、1(2)バンチ入射であることを示す。

KEKB入射ビームは、電子・陽電子それぞれの電流モニターにより計測されるが、信号を合成することで、1台のモジュールで両ビームの電荷和が計測される。図2は、入射時のビーム繰返しと入射バンチ数に応じて1秒積分電荷が精度よく計測されていることを示し、電磁ノイズによる誤計測も特に見当たらない。

図3(a), (b)に、1週間(12月11日から)と1日(12月16日)の1時間積分電荷の時間推移をそれぞれ示す。

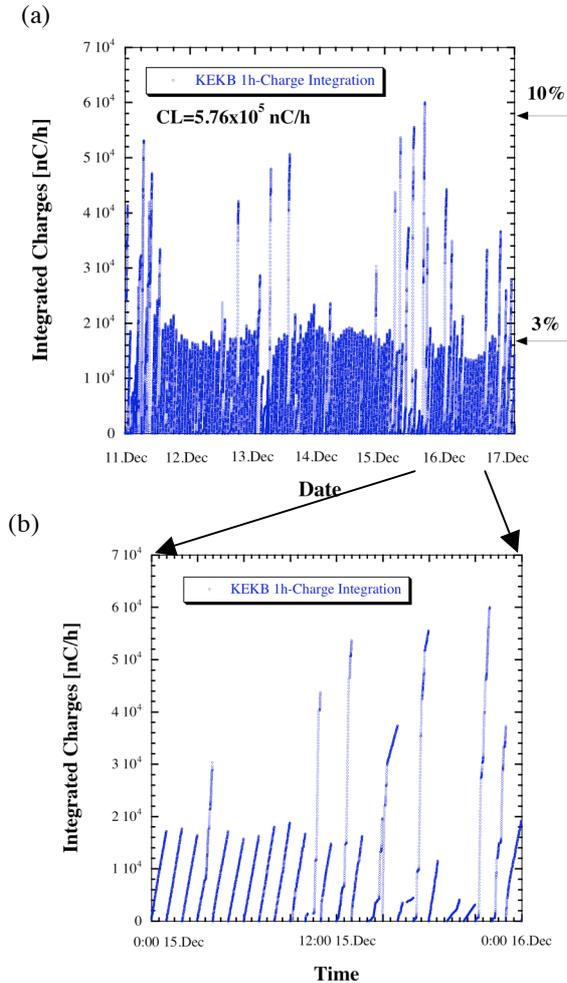


図 3. (a) KEKB入射の 1 週間(12月11日から)と(b) 1 日(12月16日)の 1 時間積分電荷の時間推移。

1 時間積分電荷とは、モジュールのクロックが刻む正時から 1 時間に通過したビーム電荷の積算を意味する。図 3 (b)は、1 日の 1 時間積分電荷計測の時間推移を示す。モジュールは、1 時間毎にリセットして次の計測を正常に続けている。また、積分電荷の傾きの変化は、ビーム繰返しの変化に対応する。図 3 (a)は、1 週間の推移を示す。このように、安定時の KEKB 入射では、電子・陽電子を数分ごとに切替えながら、10Hz の繰返しで連続入射を行っている。このときの 1 時間積分電荷は、電荷制限値(KEKB の場合:  $5.76 \times 10^5$  nC/h)に対し約 3% のレベルである。一方、リングのアポート時では、ビーム繰返しを高めている。それでも、積分電荷は、制限値の約 10% のレベルで、 $\sim 6 \times 10^4$  nC/h である。このように、通常の運転時では、放射線安全の観点からは、問題のないレベルで安定にビーム供給が行われている。

## 5. 運用状況

周回な準備を通して、2008年3月27日から本格的な運用を開始した。運用開始から約 3 ヶ月が過ぎた

が、本システムは、問題なく安定に動作を続けている。

表 2 に、通常運転時に各箇所計測された積分電荷のレベルをまとめておく。ただし、単位は、電荷制限値に対する割合で示している。

表 2. 通常運転時における典型的な積分電荷量(制限値に対する割合)

	1s-積分値[%]	1h-積分値[%]
R0-01	8-35	3.5-13
22-44	1.5-5	2-12
KEKB	-	3.5-10
PF	-	0.2-0.6
PF-AR	-	2-5

このように、通常運転時における各入射モードに対応した積分電荷は、制限値に比べ問題ないレベルで推移している。

本システムの付帯機能として、各入射モードに対応した計測データを積算することにより、24時間と 1 週間の電荷積算値を記録している。これは、いわゆる入射器の売上げを示すデータとなり、従来にはなかった記録である。このデータは、入射器の放射線安全のみならず、入射器運転の安定性を示す貴重なデータとなる。

## 6. まとめ

入射器と下流の電子・陽電子リングの放射線安全の信頼性を格段に高めるビーム電荷制限システムの開発が終了し、2008年3月27日から本格的な運用を開始した。約 3 ヶ月間の運用ではあるが、問題なく安定に動作していることを確認した。電子加速器の高度化に向けたマシンスタディが進められる環境がようやく整った。

## 参考文献

- [1] T.Suwada, *et al.*, *Procs. the 31th Linear Accelerator Meeting in Japan*, 2006, p. 789.
- [2] T.Suwada, *et al.*, *Procs. the 32th Linear Accelerator Meeting in Japan*, 2007, p. 850.
- [3] E.Kadokura, *et al.*, *Procs. the 32th Linear Accelerator Meeting in Japan*, 2007, p. 357.
- [4] T.Suwada, *et al.*, *Rev. Sci. Instrum.* 79, 023302 (2008).
- [5] E.Kadokura *et al.*, in this meeting.
- [6] T.Suwada, *et al.*, *Nucl. Instrum. & Methods. A* 440 No.2 February (2000) pp.307-319.
- [7] T.Suwada, *et al.*, *Jpn.J.Appl.Phys.* Vol.39 Part 1, No.2A (2000) pp.628-634.