

Present Status of KEK Injector Upgrade for Fast Beam-Mode Switch

Masanori Satoh^{1,A)} for the IUC

^{A)} Accelerator Laboratory, High Energy Accelerator Research Organization (KEK),
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

The KEK electron/positron linac is a 600-m-long linear accelerator with the maximum energy of 8 GeV (electron) and 3.5 GeV (positron). The KEK Linac provides four different beams into four independent rings. In order to enhance the operation efficiency, we have planned an injector upgrade aiming for a fast beam-mode switch. In this paper, we will present the status of the KEK Linac upgrade in detail.

高速ビームモード切り替えのためのKEK入射器アップグレード現状報告

1. はじめに

KEKの電子・陽電子入射器は、全長約600mの線形加速器であり、4つのリング(KEKB電子/陽電子、PF、PF-AR)へビームを供給している。リング毎に、要求されるビームの品質(電荷量・電荷種・エネルギー等)が異なるため、電磁石磁場・RF位相・タイミング等の入射器パラメータ(ビームモード)は、入射リング毎に異なる最適値へ切り替える必要がある。

現在、PF及びPF-ARへは、1日2回の定時刻入射を行い、それ以外はKEKBへの連続入射を行っている。KEKB電子/陽電子モード間の切り替え時間は、典型的な場合、約30秒である。電子/陽電子リングの蓄積電流値安定度をよりいっそう高め、ルミノシティ調整効率を向上させる目的のため、ビームモード切り替え時間の更なる短縮化が望まれている。一方、PFリングに於いては、Top-up運転に対する要望が高まって来ている。このため、KEKB連続入射及びPF Top-upを同時に実現するため、高速ビームモード切り替えを目指した入射器アップグレード計画が進行中である^[1,2]。

図1に、理想的な高速ビームモード切り替え運転の概念図を示す。高速ビームモード切り替え運転では、タイミング信号・低電力RF位相等の必要最小限のパラメータのみを高速に変更し、電磁石磁場値等の高速切り替えが困難なパラメータに関しては、異なるビームモードに於いても、協同調和的な同一

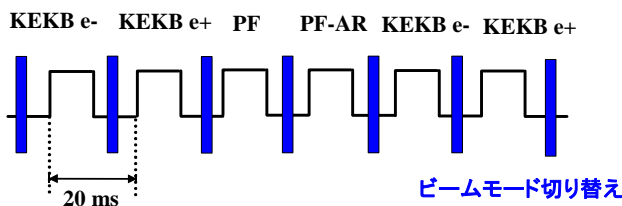


図1：高速ビームモード切り替えの概念図

設定値を使用する。本アップグレードの最終目的は、入射器最大ビーム繰り返しである50Hz毎にビームモードを切り替え、4リング同時入射を行うことである。

2. アップグレード計画

2.1 概要

本計画は、Phase-I~IIIから構成される段階的アップグレードであり、Phase-Iは2005年夏に完了した。各アップグレードPhaseの概要を以下に示す。

2.2 Phase-I

2005年夏に行ったPhase-Iでは、約60mの新規PF-BTラインを建設した^[3]。旧PF-BTでは、ビームエネルギー幅圧縮用ECSシケインの下流に、振り分けDC偏向電磁石が設置されていた。このため、KEKB/PF間のビームモード切り替え時には、ECS磁場変更及び初期化が必要であった。新PF-BTでは、ECSシケインの上流に振り分けDC偏向電磁石を設置し、ECSの初期化等を不要としたため、KEKB/PF間のビームモード切り替え時間は約5分半から2分半へと半減し、大きな成果を得た。

2.3 Phase-II

Phase-IIにおいては、KEKB電子/PFモード間の高速ビームモード切り替えを実現する。現状の入射器ビーム運転では、電磁石磁場・電子銃・タイミング及びRF位相等のパラメータを頻繁に切り替えた運転を行っている。Phase-II以降では、"Multi-Energy Linac"を基本とした高速ビームモード切り替え運転を実現する^[4]。本方式では、異なるビームモード、すなわち異なるエネルギー・電荷量のビームを加速する場合においても、同一の電磁石磁場パラメータを用いる。一方、ビームエネルギーの変更に関しては、低電力RF位相の高速制御により実現する。計算機シミュレーション及びマシンスタディーの結果、原理的な困難はないことを確認した。現在、Phase-II以降に必要なMulti-Energy Linac方式の運転パラメータ開発に向けたマシンスタディーを精力的に

¹ E-mail: masanori.satoh@kek.jp

行っている。さらに、バンプ軌道による軌道補正など、実運転用ソフトウェアツール群の整備も同時に進められている。

2.4 Phase-III

Phase-IIIに於いては、KEKB陽電子モードを含めた高速モード切り替えを行う。現行の電子/陽電子モード切り替えでは、陽電子生成標的部の機械的挿抜を伴うため、高速切り替えが不可能である。このため、本アップグレードでは、孔空き陽電子生成標的方式を検討している(図2)。

標的は直径5 mmのタングステン結晶であり、標的中心から横方向に4.5 mmずれた位置に、直径3 mmの孔を設けている。陽電子モード時には、一次電子ビームを標的へ衝突させ、電子モード時には、一次電子ビームが孔を通過する。原理実証実験では、孔を通過する電子ビームの量を、標的を抜いた場合と比べて90%以上にまで高めることに成功した。さらに、Multi-Energy Linac方式によるPFリング入射に於いて、孔を通過させた電子ビームを用いたところ、安定なビーム入射を確認した。

一次電子ビームの高速軌道制御には、パルスステアリングを用いる。昨年度冬期メンテナンス中に、水平方向(3台)及び垂直方向(1台)のパルスステアリング電磁石を設置した。これらの電磁石は、既存の予備品を流用し、電源についても比較的安価な商用品を用いることにより、導入コストを抑えた。現在、本格運用に向けて、運転用ソフトウェアの整備を進めている。また、一次電子通過量をさらに向上させるために、パルス四極電磁石の導入も検討されている。

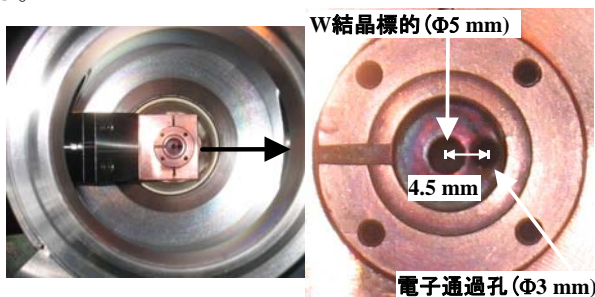


図2：孔空き陽電子生成標的

2.5 PF-AR入射

現状のPF-AR入射には、3 GeV電子ビームを用いている。その後、メインリングにて6.5 GeVまで加速し、ユーザー運転に供される。PF-AR Top-upを行うためには、6.5 GeV入射が必要となるが、これには、BTラインの電磁石及び電源の増強が必要であり、現状のトンネルスペースを考えると、AR-BTラインを6.5 GeV対応にすることは非常な困難を伴う。

しかしながら、Top-upを行わない場合には、KEKB陽電子モードと同一の3.5 GeV陽電子ビームを入射する方法が提案されている。この場合、AR-BT部の偏向電磁石電源改造・四極電磁石ボア径縮小及びこれに伴う真空ダクト交換を必要とする。さらに、AR-BT及びKEKB-BTは一部の区間が共通であるため、BT下流部において振り分け用パルス偏向電磁

石の新設を要する。詳細な振り分けラインの検討・設計は、今後進めていく予定である。

3. パルス偏向電磁石システム

KEKB及びPFリングへの高速ビームモード切り替えを行うためには、PF入射用ビームをPF-BT側へ選択的かつ高速に蹴り出すためのパルス偏向電磁石が必要となる。このため、昨年度冬期メンテナンス時(Phase-I)に設置した既存のDC振り分け偏向電磁石を、パルス偏向電磁石と交換した。表1に、パルス偏向電磁石システムの主要パラメータを示す。また、図3にパルス偏向電磁石の写真を示す。

現在、PFリングは2.5 GeV運転を行っているが、将来の可能性を考慮し、3 GeV入射まで対応可能な設計を行った。電源の最大繰り返しは25 Hzであり、出力電流は200 μ s幅の半サイン型である。また、電

表1：パルス偏向電磁石システム主要パラメータ

パルス偏向電磁石：	
ビーム曲げ角：	7 deg. (3 GeV)
最大磁場：	1.36 T
ギャップ：	157 x 30 mm (W x H)
コイル巻き数：	1ターン
パルス偏向電磁石電源：	
最大電流値：	32 kA (12.5 Hz) 27 kA (25 Hz)
パルス幅：	200 μ s (半サイン)
安定度：	0.1%
セラミックチェンバー：	
全長：	1200 mm
コーティング：	Ti (1 μ m)

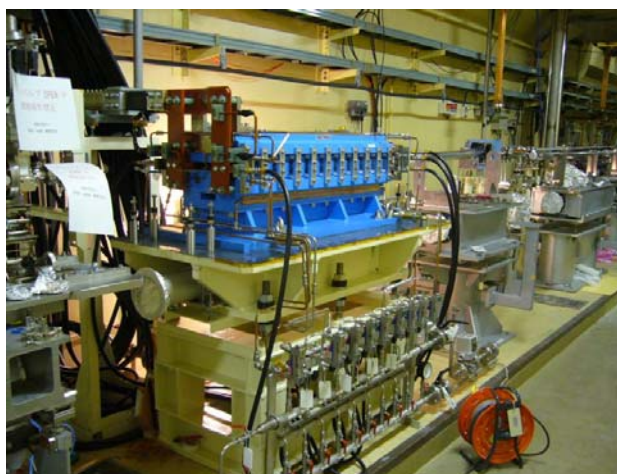


図3：パルス偏向電磁石

源の出力安定度は、短期・長期的のいずれに於いても0.1%以下を実現している。

パルス偏向電磁石部には、磁場遮蔽の影響から通常の金属製チェンバーが使用出来ないため、全長1200 mmのセラミックチェンバーを使用している。断面はレーストラック型であり、チェンバー内壁には約1 μ m厚のTiコーティングが施されている。これは、電気伝導度の確保によって壁電流を円滑に流し、

セラミックチェンバー部での発熱を抑制するための物である。

現在のPF入射は、1日2回の定時刻入射であるが、昨年度末のKEKB停止期間中の1週間を利用し、PFシングルバンチモードでのTop-upユーザー運転を行った。PF-BTに設置されたスリットを用い、入射電荷量を絞ることにより、リング蓄積電流値の安定度は 10^{-3} を達成した(図4)。また、パルス偏向電磁石を1週間連続運転した結果、安定性などに特に大きな問題は見られなかった。現在、PFリング側に於いても、Top-upユーザー運転のための各種マシンスタディーや準備作業が進められている。

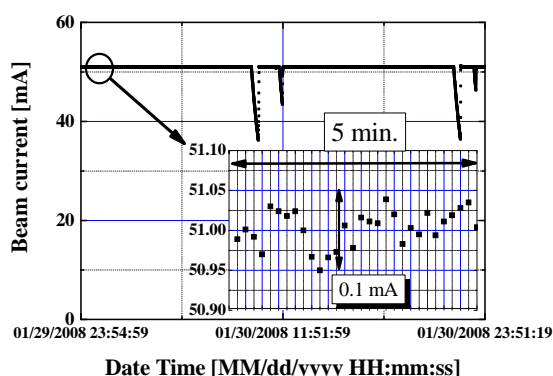


図4：シングルバンチトップアップスタディーに於けるPFリング蓄積電流値安定性

4. その他の新システム

4.1 電荷制限システム

高速ビームモード切り替え運転では、入射器ビーム運転をこれまで以上に複雑化させることとなる。このような運転を実現するためには、高いビーム安定性及び高信頼性の放射線安全システムが必要となる。放射線安全の目的は、安定したビーム加速の監視及び機器の保護にあるため、ビーム強度の監視及び制限を、高い信頼性をもって実現するための電荷制限システムが不可欠となる。このため、ハードウェアを基本とした信頼性の高い電荷制限システムを開発し^[5,6,7]、安定な運用を実現している。

4.2 新タイミングシステム

現状の入射器タイミングシステムは、約150台のTD4/TD4Vと呼ばれる遅延信号生成モジュール及び多数のNIMモジュール(Fan out等)を複雑に組み合わせた構成となっている。現状のシステムを用いた高速タイミング制御及び複雑なビームモード管理は困難であるため、タイミングシステムのアップグレードが必要とされてきた。

本計画では、新タイミングシステムとして、VME64x-bus ベースの Event Generator/Receiver (EVG/EVR)システムの採用を決定した^[8,9,10]。新シス

テムでは、EVG及びEVRを光ファイバー接続することにより、イベント情報(ビームモード)・RFクロック・タイムスタンプ及びデータバッファ等の情報を同時かつ高速に送信することが可能である。また、EVG/EVRを使用した場合、現タイミングシステムで使用されているモジュールの数を大幅に低減することが可能となり、耐障害性の向上が見込まれる。現在は、本年度秋からの運用に向け、運転用ソフトウェアの開発が進められている。また、複雑なビームモード管理に対応するためのソフトウェア開発・更新^[11]も精力的に進めている。

5. まとめと今後の課題

KEK入射器アップグレード計画の最終目的は、入射器ビームモードを高速に切り替えることにより、4リング同時入射を実現することである。本計画は、三つのPhaseから構成される段階的アップグレードである。現在、KEKB・PFの同時入射を目指したPhase-II及びPhase-IIIの準備が進められている。4リング同時入射の実現により、各リングに於ける物理実験のみならず、加速器マシンスタディーを含めた総合的ビーム運転効率の飛躍的向上が期待される。

参考文献

- [1] 佐藤政則・IUC(Injector Upgrade Committee: 入射改善グループ), “高速ビームモード切替のためのKEK入射器アップグレード”, 日本加速器学会誌, 日本加速器学会, 第3号 第2巻 (2006).
- [2] M. Satoh, et al., “The KEK Linac Upgrade for the Fast Beam Mode Switch”, Proc. of EPAC 2006, Edinburgh, 26-30 June 2006, pp.855-857 (2006).
- [3] N. Iida, et al., “NEW BEAM TRANSPORT LINE FROM LINAC TO PHOTON FACTORY IN KEK”, Proc. of EPAC 2006, Edinburgh, 26-30 June 2006, pp.1505-1507 (2006).
- [4] Y. Ohnishi, et al., “Design and Performance of Optics for Multi-Energy Injector Linac”, Proc. of LINAC2006, Knoxville, 21-25 August 2006, pp.46-48 (2006).
- [5] T. Suwada, E. Kadokura, M. Satoh, and K. Furukawa, “New beam-charge interlock system for radiation safety at the KEKB injector linac”, Review of Scientific Instruments, Vol.79, 023302 (2008).
- [6] 門倉英一他, “PLCによるKEKB入射器の放射線安全のためのビーム電荷インターロックシステム II”, These proceedings.
- [7] 諏訪田剛他, “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)”, These proceedings.
- [8] K. Furukawa, T. Suwada, M. Satoh, E. Kadokura, A. Kazakov, “TIMING SYSTEM UPGRADE FOR TOP-UP INJECTION AT KEK LINAC”, Proc. of EPAC 2006, Edinburgh, 26-30 June 2006, pp.3071-3073 (2006).
- [9] 古川和朗他, “KEK 電子入射器の高速ビーム切り換え機構”, These proceedings.
- [10] 草野史郎他, “KEK Linacにおけるイベントシステム用ソフトウェアの開発”, These proceedings.
- [11] 工藤拓弥他, “KEK-LINACにおけるパラメータ管理”, These proceedings.