

THE KEK INJECTOR UPGRADE FOR THE FAST BEAM-MODE SWITCH

Masanori Satoh¹, for the IUC members²

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 injector with the maximum energy of 8-GeV electron and 3.5-GeV positron. It injects four different beams into four different rings. In order to enhance the operation efficiency, we have an injector upgrade plan aiming a quasi-simultaneous injection. In this paper, we will present the injector upgrade plan 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

1. はじめに

KEK入射器は、KEKB電子/陽電子・PF及びPF-ARリングへ、異なる電荷量・エネルギーのビームを供給している。PF及びPF-ARリングについては、通常1日2回の定時刻入射を行っている。一方、KEKBリングに対しては連続入射運転を行っており、電子/陽電子のビームモードを頻りに切り替え、両リングの蓄積電流値をほぼ一定に保っている。しかしながら、PF及びPF-ARのマシスタディ時においても、連続ビーム入射を要する場合があります。さらに、将来のPFトップアップ運転及びSuper-KEKBにおける電子/陽電子同時入射を考慮すると、入射器のビームモードをパルス毎に切り替え、4リングへ同時入射を行うためのアップグレードが不可欠となる。

2. 入射器アップグレード計画

2.1 概要

KEK入射器は、4つのリングへ異なる性質のビームを供給している。このため、各ビームモードに応じた運転パラメータ（電磁石磁場・rf位相・タイミング信号など）を設定する必要がある。通常、

KEKB電子/陽電子モードのパラメータ切り替えには約30秒を要する。一方、KEKBから他リング(PF・PF-AR)へのモード切り替えには、入射器最下流に設置されているエネルギー広がり圧縮システム(ECS)用偏向電磁石群の初期化を伴うため、3分程度を要する。表1に、ビームモード毎の主要パラメータをまとめた。

本アップグレードの最終目的は、入射器のrfパルス毎(最大50-Hz)にビームモードを切り替え、任意のビームパルスを任意のリングへ供給することである(図1)。このような高速ビームモード切り替えを実現すれば、各リングは他のリングの運転状態に因らず、擬似的に専用入射器を持つかの様なビーム入射が可能となる。本アップグレードは、以下に示す三つの段階を経て実現する。

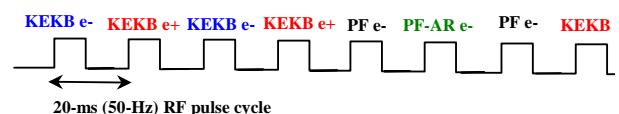


図1：高速ビームモード切り替え

表1：入射器ビームモードと主要パラメータ (アップグレード前)

ビームモード名称	KEKB 電子	KEKB 陽電子	PF	PF-AR
電荷量	1 nC	1 nC (一次電子: 10 nC)	0.1 nC	0.1 nC
入射ビームエネルギー	8 GeV	3.5 GeV	2.5 GeV	3 GeV ^(*)
最大ビーム繰り返し	50 Hz	50 Hz	25 Hz	25 Hz
電子源	A1電子銃	A1電子銃	CT電子銃	CT電子銃
ECS用偏向電磁石	ON (KEKB mode)	ON (KEKB mode)	OFF	ON (AR mode)

(*) 蓄積後、メインリングにて最大6.5 GeVまで加速する。A1電子銃は、600-m入射器最上流、CT電子銃は200-m地点に設置されている。

¹ E-mail: masanori.satoh@kek.jp

² Injector Upgrade Committee：PF/KEKB/Linacメンバーによる入射器アップグレード共同チーム

2.2 Phase-I

Phase-Iの目的は、KEKB/PFモード間の切り替え時間を短縮化することである。このため、昨年の夏期メンテナンス中に、PF-BTラインの一部を新規建設した^[1]。図2は、PF-BTラインとECS用偏向電磁石の位置関係を示している。Phase-I以前のPF-BTラインは、ECS電磁石下流に設置された振り分け偏向電磁石から分岐していた。KEKB/PFモード切り替え時のECS電磁石初期化を避けるために、加速管4本から成る加速ユニットを撤去し、ECS上流に振り分け偏向電磁石を設置した。これによる約160MeVのエネルギーマージン低下は、C-band加速ユニットにより補償することが可能である^[2]。

新PF-BTラインを用いたKEKB/PFモード間の往復切り替え時間は、旧ラインでの約5.5分から2.5分程度にまで短縮化された。図3は、PF入射中のKEKB運転状態を示したグラフである。Phase-I前では、蓄積電流値減少によるルミノシティ低下が明らかに見て取れるが、Phase-I後では切り替え時間が短縮されたため、ルミノシティへの影響を軽減することに成功した。

2005年3月から9月の間、PFリングでは直線部増強工事が行われていた。このため、2005年秋の立ち上げ時には、通常よりも長期にわたる真空焼きだし運転が必要とされたが、モード切り替え時間が大幅に短縮されたため、KEKB運転への影響を最小限に抑えることができた。図4は、PFリングのビーム入射効率を示している。新PF-BTの運用後は、入射効率が向上すると共に、入射効率のばらつきも低減したことが見て取れる。

2.3 Phase-II

Phase-IIにおいては、KEKB電子/PF間の高速度モード切り替えを実現する。現状のビームモード切り替えにおいては、モード毎に電磁石磁場のパラメータ変更を行っている。高速なモード切り替えを行うためには、全ての電磁石システムをパルス化することが必要であるが、膨大なコストを考慮すると現実性に乏しい。そこで我々は、現行電磁石システムを用いて実現可能な"Multi-Energy Linac"方式を採用する^[3]。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、同一の電磁石磁場設定値を用いる。ビームエネルギーに関しては、励振系rf位相を変更することにより高速制御する。計算機シミュレーション及びマシンスタディの結果より、原理的な困難はないことが検証された。さらに詳細なスタディを継続している。

また、Phase-Iにて設置した振り分け用偏向電磁石をパルス化する必要がある。パルス偏向電磁石及び電源の試験が進行中であり、本年冬期メンテナンス中の設置を目指している。さらに、KEKB電子/PFモードにおける使用電子銃を共通化する必要がある

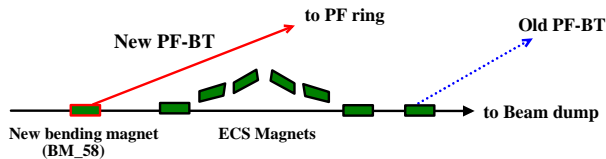


図2：新PF-BTラインとECS偏向電磁石の配置

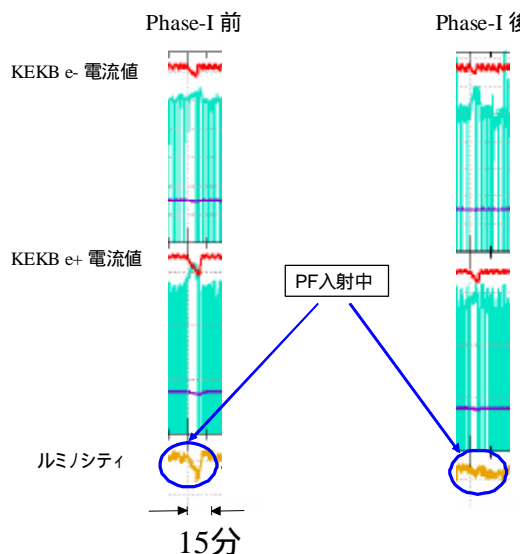


図3：KEKBリングの運転状況(Phase-I前後の比較)

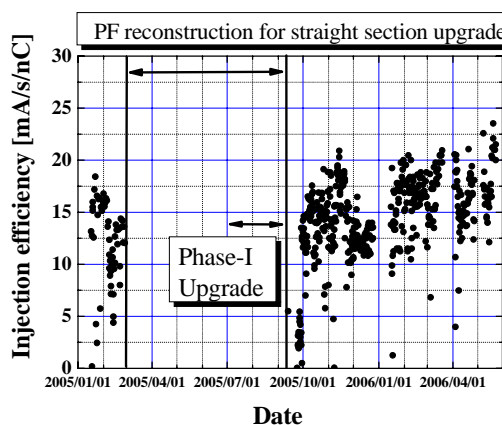


図4：PFリングのビーム入射効率

ため、PFモードにおいてもA1電子銃を使用する。この他にも、複雑なビームモードを取り扱うためのタイミングシステム^[4]及びビーム位置モニタ用データ収集系^[5]のアップグレードが進行中であり、本年夏に一部のシステムを更新予定である。振り分け偏向電磁石パルス化の後、詳細なマシンスタディを継続し、来年秋からのKEKB電子/PF同時入射を目指している。

2.4 Phase-III

Phase-IIIでは、KEKB陽電子モードを含めた高速モード切り替えを行う。現在のKEKB電子/陽電子モードの切り替えは、陽電子生成標的部位の機械的な挿入・取り出しにより運用している。しかしながら、機械駆動機構の高速制御は困難であり、長期運転での耐久性確保も容易ではない。パルス電磁石を使用した標的部バイパスビームラインの建設は、コスト及びスペースの問題から困難である。

そこで我々は、陽電子生成標的の横に孔を空け、電子ビーム軌道を高速制御することによる電子/陽電子高速切り替え方式を採用する。本方式の実証実験のため、昨年夏期メンテナンス中に、試験用標的を設置した(図5)。陽電子生成標的は、直径5mmのタングステン非結晶であり、電子ビーム通過用孔の直径は3mmである。それぞれの中心間距離は、4.5mmである。本標的を用いた場合、陽電子モードでは上流からの電子ビームを標的部分に衝突させ、電子モードでは標的横の孔部分を通過させることになる。

図6は、マシンスタディ時の入射器ビーム軌道及び電荷量を示したものである。ここでは、KEKB用8-GeV電子モードを用いて、通常運転の方法(標的をビームラインに挿入しない)及び標的横の孔を通過させる場合を試験した。この結果、孔を通過した電子ビームの電荷量は、通常運転方式の約90%であり、本方式による電子/陽電子高速切り替えは実用可能であることを確認した。さらに高い通過量を目指し、孔の位置や形状に関する検討を継続している。また、パルス毎の電子/陽電子モード切り替えのためには、標的部の上流及び下流へ、パルス電磁石を設置する必要がある。これらの具体的な検討は今後進めていく予定である。さらに、チャネリング効果

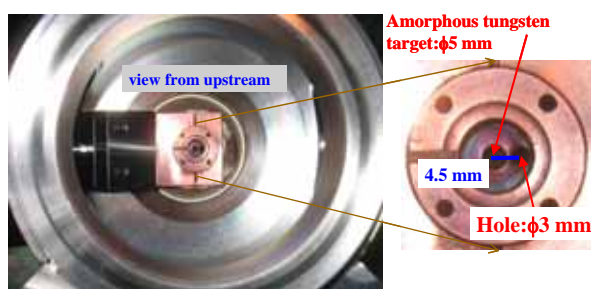


図5：孔空き陽電子生成標的の写真

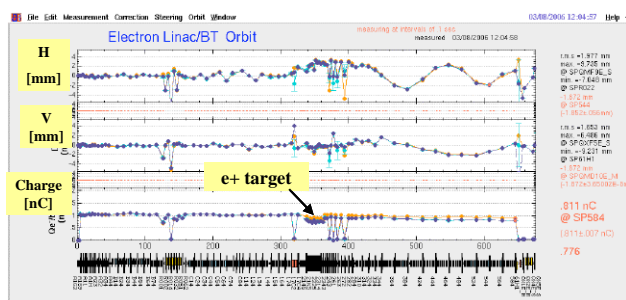


図6：孔空き陽電子生成標的スタディの結果
水平方向ビーム軌道(上段)、垂直方向ビーム軌道(中段)、電荷量(下段)を示している。

による陽電子生成量増大を図るため、標的にタングステン結晶を用いる計画も並行して進めている^[6]。

2.5 PF-AR入射

上記Phase-IIIと平行して、PF-AR入射を含めた高速モード切り替えを検討する必要がある。現在、PF-ARリングは、3-GeV電子モードを入射し、その後、メインリングにて最大6.5-GeVまで加速している。PF-ARのトップアップ運転を行うためには、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要求され、かなりのコストが必要となる。

PF-ARのトップアップ入射を行わない場合には、KEKB陽電子モードと同様に、3.5-GeV陽電子モードを入射する方式が一つの解として提案されている。この場合、BT部の偏向電磁石電源改造及びBT下流部での振り分け用パルス偏向電磁石の設置などが必要とされる。詳細な振り分けラインの検討は、今後進めていく予定である。

3. まとめと今後の課題

KEK入射器のアップグレード計画の目的は、入射器のビームモードを高速に切り替えることにより、4リングへ同時入射をおこなうことである。これにより、各リングは他リングの運転状況に因ることなくビーム入射を行うことが可能となり、各リングのアクティビティがさらに向上することが期待できる。本アップグレードは、三つのPhaseを経て段階的に実施されるが、Phase-Iの新PF-BTライン建設は、昨年無事完了し、KEKB/PFモード間の切り替え時間短縮化に成功した。既存システムからの変更を最小限に抑えるため、共通の磁場設定値を用いて異なるエネルギーのビームを輸送する“Multi-Energy Linac”方式及び孔空き標的方式による電子/陽電子モード切り替え方式を提唱し、原理実証を行った。これらのスタディに関しては、さらに詳細な検討を継続している。また、複雑なビーム運転モードに対応するためのタイミングシステム及びビーム位置モニタ用データ収集システムに関するR&Dを進めている

参考文献

- [1] 飯田直子他、“KEKにおけるLINACからPFへの新ビーム輸送路の設計および建設”、本学会論文集。
- [2] 紙谷 琢哉他、“SuperKEKBのためのCバンド加速管開発の現状”、本学会論文集。
- [3] 大西幸善他、“KEKBリングとPFリングのための異なるエネルギーに対応したビーム光学系の設計”、本学会論文集。
- [4] 古川和朗他、“KEK 電子陽電子入射器における高速ビーム切り替えシステムの構築”、本学会論文集。
- [5] M. Satoh et al., “BPM DAQ System Using Fast Digital Oscilloscope”, to be published in Proc. of LINAC'06, Knoxville, USA, August 2006.
- [6] 諏訪田剛他、“KEKB入射器における単結晶標的を利用した陽電子生成実験”、本学会論文集。