

BEAM-QUALITY MAINTENANCE AT THE KEK ELECTRON/POSITRON INJECTOR LINAC

Kotoku Hanamura^{1,A)}, Yujiro Ogawa^{B)}

A) Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd.
2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-0045

B) High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

The KEK electron/positron injector linac injects electron and positron beams into four different rings. The total operation time amounts to 7000 hours per year, where injections to the KEKB rings are primary modes of the linac operation from the standpoint of the duration and the frequency of injection. The KEKB has started a positron two-bunch injection mode in 2002 and a continuous Injection mode in 2004, which have imposed some difficulties in beam tunings for linac stable operation. Beam-tuning procedures for maintaining beam quality even during the continuous injection mode, which have been accumulated based on the operation experience, is reported.

KEK電子陽電子入射器における高品質ビーム維持

1. はじめに

KEK電子陽電子入射器(図1)では4つの異なるリングにビームを供給しており、運転時間は年間約7000時間^[1]におよぶ。主要な入射先であるKEKBへの入射は2002年に陽電子の入射時間を短縮することを目的に2バンチ入射^[2]モード、2004年には入射を行いつつ物理実験のデータを取得する連続入射運転モードが開始された。KEKBへの入射は入射時間、入射回数の観点から入射器の主要な運転モードになっている。KEKBへの入射時間とKEKBのビームトランスポート(BT)ダンプラインでの月別調整時間は図2のようになる。これまで入射の合間に行われていたDump Modeでの各種ビーム調整及びビーム測定回数が減り、入射中に行われるようになった。

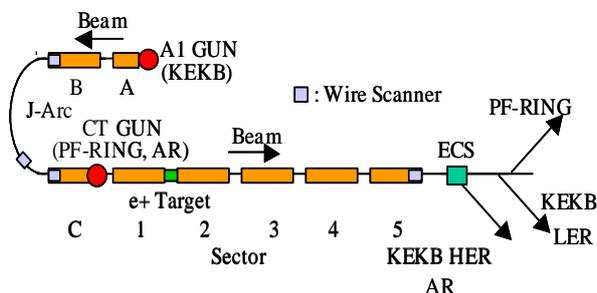


図1: 入射器レイアウト

高品質ビームの条件とは所定の電荷量を保ち、エネルギー幅が小さく、再現性に優れた安定したビームである。電子、陽電子を頻りに切り替えて入射を行っているため、所定より電荷量の少ないビームや

再現性に乏しく不安定なビームはリングへの蓄積率に影響を与え、入射に時間がかかり衝突実験の効率低下に繋がる。エネルギー幅の広いビームは下流リングのバックグラウンドノイズを増加させ、リングの測定器が測定データの取れないデッドタイムの発生やビームアポートを誘発してしまう。

入射器では電子ビームは比較的安定で、ビーム調整の多くは陽電子2バンチビームの調整に注がれている。

本稿では、高品質のビームを維持するために必要なビーム測定、調整について報告する。

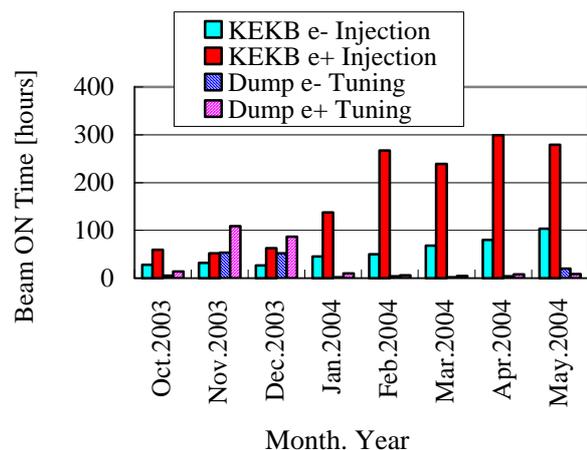


図2: 月別のビームON時間の変化

2. ビーム測定とビーム調整

ビームの品質維持にはビーム測定がビーム調整の

¹ E-mail: hanamura@post.kek.jp

指標になる。主な測定項目としてパンチ長、ビーム軌道、電荷量、エネルギー、エネルギー幅、ビームプロファイル、ビームサイズ等^[3]が挙げられる。ここでは入射器運転で常時行われているビーム測定とビーム調整を述べると共にビーム品質維持の有効性について述べる。

2.1 ビーム軌道、電荷量

入射器のBT上に設置されている90台のストリップライン型のビーム位置モニタ(BPM)によって全領域にわたってビーム軌道と電荷量が表示されている。陽電子ビーム入射時はA~1セクター（陽電子ビーム発生用大電流1次電子ビーム）までを拡大したorbit画面と通常(Aセクター~KEKB BT終端)画面を同時に表示させている。またKEKB Injection History画面（図3）を監視することで、KEKB BT終端の電荷量、入射率及び入射効率推移の把握が可能で、入射不調時に原因が入射器側かリング側にあるかが推測できる。

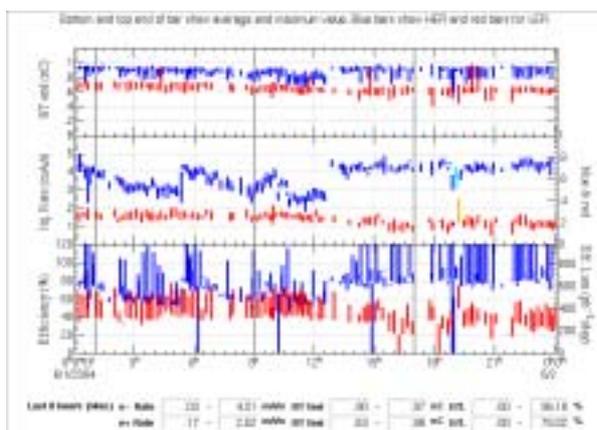


図3：KEKB Injection History画面。上段：KEKB BT終端の電荷量、中段：入射率、下段：入射効率、青線（濃）：電子、赤線（淡）：陽電子を表わす。

入射器では主に大電流の陽電子2パンチ用ビームの軌道調整が行われているが、陽電子の電荷量はターゲット直前までの1次電子ビームの電荷量で決まると言っても過言ではない。

A,Bセクターのステアリングコイルの電流値調整で水平・垂直方向のビーム軌道を揃え1パンチ目と2パンチ目の電荷量を同等にする。必要に応じてサブハーモニックバンチャー(SHB1, 2)、サブブースター(SB_A, B)の位相、4極電磁石のマッチングを調整し180度偏向部(J-Arc)での電荷量減少を最小限にする。J-Arcを通過したビームを陽電子生成標的（ターゲット）まで導き、ターゲットに当たる角度、直前のオプティクスを調整し電荷量を増加させる。

ターゲット以降の陽電子ビームは、ビーム軌道をステアリングコイルの電流値変更で調整し、2~5セクターの電荷量を見てSB_2~SB_4の位相、KEKB BTの電荷量を見てSB_5の位相を調整し電荷量を維持する。

2.2 エネルギー幅

J-Arc、入射器終端偏向部、KEKB側偏向部でのビームスクリーンモニタを見てエネルギー幅を測定している。エネルギー幅の調整はバックグラウンドノイズに影響するため非常に重要な調整である。

連続入射運転開始以前は、入射の合間毎にDump Modeで調整を行っていた。連続入射運転開始後は、J-Arc中央に設置されているビーム非破壊型の8電極BPM^[4]やJ-Arcに設置されているワイヤースキャナを用いて測定している。測定器側のローカルラン実施時には、スクリーンモニタの写真、ビーム軌道データ、調整パラメータを記録している。（図4）

J-Arcのスクリーンモニタの映像もしくは8電極BPMのデータよりSB_A, Bの位相を調整する。KEKB側スクリーンモニタ（エネルギー分散の大きいところ）の映像より電子ビームはSB_C~4の位相、陽電子ビームはターゲット以降のSB_2~4の位相を調整し、エネルギー幅を最適に保っている。

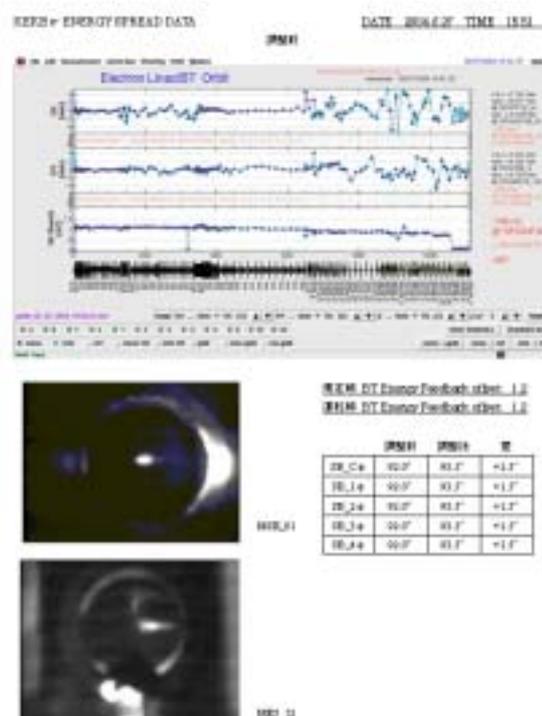


図4：エネルギー幅データ測定。上図：KEKB電子(8GeV)ビーム軌道と電荷量（上段：水平方向軌道、中段：垂直方向軌道、下段：電荷量）の表示画面、中・下図：スクリーンモニタ映像、右表に調整パラメータを表わす。

2.3 ビームサイズ

J-Arcの前後（B, Cセクター）、入射器終端に設置された4台1組のワイヤースキャナを用いて、1日3回入射中にビームサイズ及び形状の測定（図5）を行い、Twissパラメータを求め、データを管理している。常にビーム形状の把握をすることで良好な状態を維持することができ、過去のデータ比較も容易にできる。ビーム状態に大きな変化が見られた時はオ

ブティクスのマッチングをとる調整を行う。特に重要視されているのが5セクターのマッチングである。

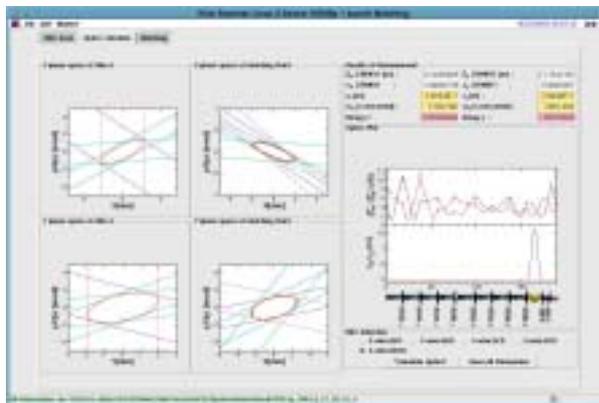


図5：ワイヤスキャナ測定

2.4 フェージング

大電力クライストロンの最大加速位相（クレスト位相）を測定（フェージング^[5]）している。様々な要因により、RFの出力、位相に変動あるいはドリフトが生じるため、常にクライストロンのクレスト位相を測定し、その変動に合わせて調整を行う必要がある。フェージングは電子ビームを使用しビームエネルギー測定法を用いて行っている。図6にフェージングデータ測定例を示す。

クレスト位相が基準値から大きく離れるとビームエネルギーの不足、エネルギー幅の悪化によりビーム品質が低下する。したがってRFトリップ多発によりクライストロンの出力を下げたところや、出力や位相を監視しているRFトレンドグラフで変化が見られたところは直ちにフェージングを実施している。

これまでは2週間毎に測定し、運転用パラメータに反映させてきたが、全数のクライストロンのフェージングを行うには3,4時間を要するため、KEKB連続入射モード開始以降は定期的な測定ができなくなった。そのため大きな変化が見られた箇所については、エネルギーフィードバックの動作を確認しながら、位相を調整することでクレスト位相を求めている。

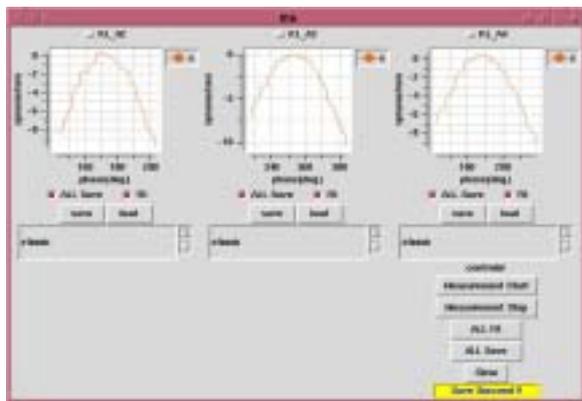


図6：フェージングデータ測定

3．トラブル時の対応

3.1 クライストロントリップ

連続入射運転中にクライストロンがトリップすると、ビーム状態が変化してリング側バックグラウンドに悪影響を与える。対策としてトリップと連動して入射を停止することをソフト上でを行い、クライストロンが立ち上がり定常状態に戻ってから入射を再開している。

連続トリップする場合は、クライストロンの出力を下げた立ち上げるか、待機状態（スタンバイ）のクライストロンと入替えて入射を継続する。不調クライストロンの場所によっては、オプティクス調整が必要になる。

3.2 環境変化

冷却水温度やクライストロンギャラリーの温度変化が大きく起きた場合には、ビーム品質に大きな影響を与える。特に温度変化の影響を受けやすいものは、加速管の冷却水温度である。

許容範囲を超えた変動が起きた場合の対応として、監視プログラムが警告するため、異常箇所を確認後当該サブプスターの位相を調整することでビーム状態の改善を図る。

4．まとめ

連続入射運転が開始され入射の合間に、ビーム測定、ビーム調整が行なえる時間の確保ができなくなった。ビーム測定を行うことで現状の把握、過去のデータとの比較、状態変化した時期の特定等が判るようになった。また常時パラメータの最適化を行うことで、リングへの安定したビーム供給が可能となった。

今後ビーム品質維持のために新たな調整方法を模索し、これまで以上に高品質ビームを供給しリングの衝突実験の効率向上に貢献していきたいと思う。

参考文献

- [1]小川雄二郎, "KEK電子・陽電子入射器の現状", Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokai, July 30 - August 1, 2003.
- [2]小川雄二郎, "KEKBライナックにおける陽電子倍増のための大強度2パンチ加速", Proceedings of the 26th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, Aug 1 - 3, 2001.
- [3]小川雄二郎, "電子線形加速器の概要", OHO2002, Tsukuba, August 26 - 30, 2002.
- [4]佐藤政則, "非破壊型ビームエネルギー広がりモニタの高速データ収集システム", Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokai, July 30 - August 1, 2003.
- [5]工藤拓弥, "KEK電子陽電子入射器におけるフェージングシステムの開発", Proceedings of the 27th Linear Accelerator Meeting in Japan, Kyoto, Aug 7 - 9, 2002.