

PRESENT STATUS OF THE KEK ELECTRON/POSITRON INJECTOR LINAC

Y. Ogawa¹ for the electron/positron injector group
KEK, High Energy Accelerator Research Organization, Accelerator Laboratory
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

Abstract

The KEK electron/positron injector linac has been continuously operating for about ten months a year without any long shutdown, repeating frequent injections into four different rings (KEKB-LER/HER, Photon Factory-PF/AR). In January 2003, KEKB has started a continuous injection mode (CIM), in which keeping stored currents almost constant in both rings, the integrated luminosity of KEKB has been considerably improved by nearly 30 %. The CIM, however, imposes severe conditions on the injector linac concerning time for beam tuning and hardware maintenance to assure the high beam quality. Issues on linac operation and statistics in these situations are reported as well as various improvements carried out over a year. R&D activities including a future upgrade for SuperKEKB are also presented.

KEK電子・陽電子入射器の現状

1. はじめに

KEK電子・陽電子入射器では、一昨年秋からのKEKB陽電子2バンチ入射に引き続き本年1月からはKEKB連続入射を常時実施している。その結果KEKBにおける一日当りの積分ルミノシティが20-30%増加し、加速器として1/fb/dayを Belle (物理実験) に供給するまでに至っており、今や連続入射は KEKB のようなルミノシティマシンにおいて必須の技術となっていると言える。一方、入射器としてはビーム調整、機器の保守時間がほとんどとれないままビームを出し続けており、このような状況でのビーム性能維持とそれを支えるハードウェアの信頼性の確保が、最重要課題となっている。

また、KEKB連続入射は入射器がビームを供給している他のリングとのビームの取合いについて深刻な問題を投げかけている。他リングでは定期的な入射(日に1-2回)時以外に、ビーム性能改善のためのマシンスタディを連続した時間実施するのが非常に困難になってきた。そこで、KEKB、PF、AR同時入射(正確にはパルス毎入射)を実施するべく検討が開始された。

以下、昨年から現在までの運転と統計、ビーム性能維持とハードウェア等改善、KEKB連続入射に関する問題点とKEKB、PF、AR同時入射を含めた今後の展望について報告する。また、2004年度から本格的にユーザー運転を開始した低速陽電子実験用テストリニアックの運転の現状について概説する。

2. 運転と統計

2.1 ビーム品質管理と維持

KEKB連続入射が始まった結果、入射中に物理の

検出器やリングのビーム蓄積状態に影響を与えずにリニアックのビーム調整を実施しなければならなくなった。ビーム性能維持のためのビーム軌道、エネルギー幅などの調整においては陽電子発生用一次電子ビームの場合は直接リングの蓄積ビームに影響を与えないので必要に応じて入射中に実施^[1]しているが、電子ビームの入射中の調整は基本的に難しい。そのような場合におけるビーム調整のために、これまでにエネルギー幅測定用非破壊モニタとして8電極位置モニタを導入してきたが、本年からこれを用いたエネルギー幅最適化フィードバックの試験運用^[2]を開始した。一方、従来入射部付近から時々異常軌道が発生しビーム性能が著しく悪化する現象が見られるが、その原因究明^[3]も進んでいる。

2.2 運転統計

2003年度の入射器運転においては、2004年1月から開始されたKEKB連続入射によるビーム入射時間の増大に伴う影響が懸念されたが、今のところ直接的な故障率の上昇はなさそうである。表1に2003年度運転統計を、図1には最近5年間の運転統計の推移を示す。故障率がやや横ばいとなっているが、まだ統計が少ないので連続入射の影響と見るよりはむしろ老朽化の問題と捉えるべきかもしれない。全体的には入射器の運転は例年通り概ね安定であった。

表1: 2003年度運転統計

総運転時間	6,815 時間
マシンダウンタイム	253 時間 (3.7%)
ビームロスタイム	27 時間 (0.40%)

¹ E-mail: yujiro.ogawa@kek.jp

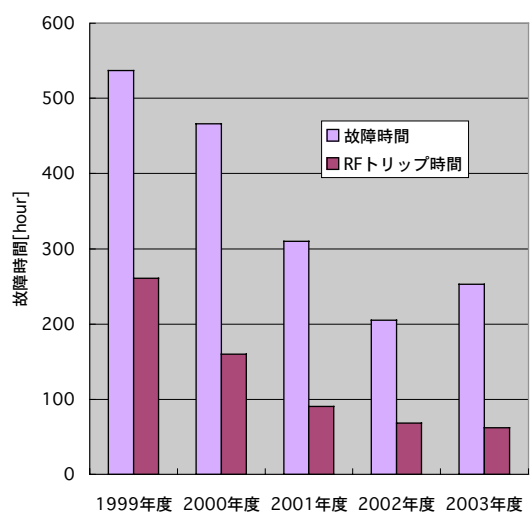


図1: 最近5年間の運転統計の推移

3. 維持、改善

3.1 rf系

KEKB連続入射による直接的な影響を最も強く受けたのがrf系の維持、改善に関わる仕事である。従来から続けているクライストロンアセンブリ、サイラトロン、rf窓の運転統計^[4]を更に有効に利用し故障、交換等の目安をたてているだけでなく、rf波形、電力、位相のモニターデータを効率的に取込むためにデータ収集系の自動化^[5]を進めている。

このような対策に加えて昨年度試験に成功したクライストロンのディップテスト^[6]を定期的にクライストロン全数で実施し、クライストロンの寿命の推定を行い夏期シャットダウン等での交換予定に役立てている。実際に全数(約60台)のディップテストを実施するためには、KEKB連続入射の合間(リング不調時、他のエネルギーの低いリングへの入射時など)を利用するだけでは時間が足りないため、この春から入射器の隔週のメンテナンス日にrfオンメンテナンス時間を組入れて、その時間(毎回2時間程度)に行うようにしている。

3.2 加速管

入射器にはすでに20年以上使用し続けている加速管が多く老朽化が進み、たとえば加速管の冷却水路からの大きな水漏れが発生する場合がある。このような場合でも、KEKB連続入射をできる限り妨げないように水漏れを短い時間に抑制するなどの工夫を凝らしている。最近発生した水漏れでは、船舶用のマルチメタルという水漏れ対策用物質を使用して水漏れ量を短時間に大幅に減少^[7]させることができた。

加速管の放電についてはトリップ時にクライストロンのパワーを一時的に下げて放電を抑え入射を継続しつつ、またパワーを徐々に回復させるという、きめの細かい対応で重大な事態に至らないようにし

てきた。トリップの絶対数が少ないので、このような人的な方法によって安定運転が維持されているが、より高電界加速を実現する場合はトリップ数も増えるので然るべき自動化が必要となると考えられる。そこでCバンド高電界加速試験(アップグレードの章参照)に合わせて、加速管エージング中の放電発生時に自動的にrfのパルス幅狭める仕組み^{[8]、[9]}を開発した。

3.3 制御系

制御系においても周辺機器の老朽化による運転障害の発生は避けられない。入射器では従来頻繁に使用してきた運転用タッチパネルシステムの老朽化が進み維持/保守が困難となったため、機能向上を目指してX-window上にオペレーターインターフェースを開発^[10]した。その結果、従来の機能維持だけでなく新しい機能の追加も容易に行えるようになり既に運転に頻繁に使用されている。

同様なことはネットワーク機器にも当てはまるが、この場合国際標準化を目指せば新しい機器の導入が容易になりシステムの信頼性が向上すると期待される。このような試み^[11]は、KEKB連続入射時にビーム性能を更に安定化するフィードバックループを追加する場合等にとくに威力を発揮すると思われるので、現在検討を進めている。

3.4 真空系

加速管内のフィールドエミッション等の影響でスクリーンモニター用の覗き窓が帯電・放電し真空リークを引起こすことがある。通常真空用の塗布材を塗りリークを抑えるが、場合によってはリークが止まらないことがある。そのような場合の対策として塗布材ではなく真空ジャケット方式^[12]を考案し、実際のリーク箇所に着用し経過を監視している。この方法は短時間で実施可能なためKEKB連続入射のため長時間真空作業ができない状況に適した方法である。

4. 低速陽電子用リニアック

低速陽電子実験施設では2003年度秋から本格的な実験^{[13]、[14]}が始まり、低速陽電子用リニアックの運転はPFの実験スケジュールに従い24時間連続運転を行っている。入射器のオペレータはビームの状態監視、ビームON/OFF、ハードウェア点検、安全確認等を実施している。

5. R&D

5.1 結晶標的を用いた陽電子生成実験

高品質な陽電子ビームを効率的に得るために、結晶におけるチャネリング放射によって発生する大量の光子を金属標的に照射して陽電子を生成する実験^[15]を行っている。2003年度は光子放出率の大きいダイヤモンドとシリコンの単結晶を使用した。これまでの結果からは絶対的な陽電子発生量は

タングステン単結晶に劣るようである。

5.2 カーボンナノチューブを用いた電子銃の開発

低エミッタンスビーム実現のため、カーボンナノチューブを冷陰極とするフィールドエミッション型電子銃の開発^[16]を進めている。これまでに加速電圧100 kV、数十ナノ秒、ピーク電流0.1 Aのビーム加速に成功している。更に各種改善を進めれば1Aを越えるビーム加速が期待される。

5.3 GLCTA(Global Linear Collider Test Accelerator)開発

リニアコライダー計画のためのrf源に関する系統的なR&D^[17]を行っているが、この一年でより実機に近い形での試験加速器システムの構築が進んだ。

6. アップグレード

6.1 KEKB、PF、AR同時 (パルス毎) 入射

KEKB連続入射の効率向上のためには、入射器がビームを供給している他のリングへの入射を同時 (パルス毎) に行えるようにする必要がある。これが実現できれば、他のリングにおいて入射を連続的に行うマシンスタディも自由に行えるようになる。そのためには入射器としてはパルス毎に異なるエネルギー、電荷量のビームを加速しなければならない。方法としてはバイパスライン案と共通のオプティクスで異なるエネルギーを加速する案の二つを主として検討してきた。後者については、実際に現在のリニアックを用いてビーム試験^[18]を進めている。これまでのところ、適当なエネルギーに最適化したオプティクスを用いれば異なるエネルギーのビームが加速可能であることが示されたが、ビーム品質について検討を進めているところである。

一方、KEKBが陽電子入射時は陽電子標的が挿入されるが、この操作は機械的なものでパルス毎に行うことはできないので標的からの2次電子ビームの加速 (PF、AR用) を検討している。これまでの加速試験によれば陽電子ビームと同等の品質が得られることが確認されたが、標的直後の加速位相を調整することによって所謂「速度集群」を実現しエネルギー幅やエミッタンスの改善を目指したい。

6.2 SuperKEKBのためのCバンド加速システム

SuperKEKBでは陽電子ビームの入射エネルギーを3.5 GeVから8 GeVに高くすることが要請されている。陽電子標的からリニアック終端までの距離が限られているので加速利得を倍増することによってエネルギー増強を実現する。そのために一昨年来Cバンド加速システムの開発を進めているが、今回、加速管1号機での長期rf運転、加速試験、rfパルス圧縮器および改造型加速管2号機^[19]の製作、rf窓の高電界試験^[20]などについて大幅な進展があった。今後、最終的

な構成に近いシステムでの加速試験を行う予定である。

参考文献

- [1] 花村幸篤 “KEK電子陽電子入射器における高品質ビーム維持”、These proceedings.
- [2] 佐藤政則 “8電極非破壊モニタによるエネルギー広がり計測”、These proceedings.
- [3] 諏訪田剛 “電流モニター用セラミックダクトの結合インピーダンスの評価”、These proceedings.
- [4] 今井康雄 “KEK電子陽電子ライナックにおける高周波源の維持管理”、These proceedings.
- [5] 片桐広明 “KEK電子陽電子入射器のRFデータ収集”、These proceedings.
- [6] 中尾克巳 “電子、陽電子ライナックにおける大電力クライストロンディップ試験の結果”、These proceedings.
- [7] 池田光男 private communication.
- [8] 池田光男 “リアルタイムRFパルス短縮用トリガシステム”、These proceedings.
- [9] 矢野喜治 “リアルタイムRFパルス圧縮システム”、These proceedings.
- [10] 工藤拓弥 “KEK電子LINACにおける仮想タッチパネルシステムの開発”、These proceedings.
- [11] 古川和朗 “加速器制御のためのネットワーク接続機器の開発”、These proceedings.
- [12] 柿原和久 private communication.
- [13] 栗原俊一 “高強度低速陽電子ビームを用いたNEG表面からのポジトロニウムTOFスペクトル”、These proceedings.
- [14] 草野史郎 “KEK低速陽電子施設における高速波形収集及び解析システムの開発”、These proceedings.
- [15] 諏訪田剛 “8 GeV電子ビームによるシリコン及びダイヤモンド結晶標的を用いた陽電子生成実験”、These proceedings.
- [16] 穂積康文 “カーボンナノチューブ冷陰極を持つフィールドエミッション電子銃の開発”、These proceedings.
- [17] 福田茂樹 “GLCTAにおけるRF源のR&D計画”、These proceedings.
- [18] 大西幸喜 private communication.
- [19] 紙谷琢哉 “SuperKEKB計画の為のKEK電子陽電子ライナックのCバンド化R&Dの現状”、These proceedings.
- [20] 竹中たてる “Cバンドレゾナントリングを用いた高周波窓の大電力試験”、These proceedings.