

PRESENT STATUS OF THE KEK ELECTRON/POSITRON INJECTOR LINAC

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

Abstract

The KEK electron/positron injector linac has been operated for about 7000 hours since FY1999, delivering four different beams to KEKB-HER(8 GeV, 1 nC, e⁻)/LER(3.5 GeV, 0.8 nC, e⁺), PF(2.5 GeV, 0.2 nC, e⁻) and PR-AR(3 GeV, 0.2 nC, e⁻). In FY2004, the continuous injection mode for the KEKB rings has been constantly implemented, making the injection time almost double. Although the high availability of the linac has been maintained even in these severe conditions without introducing any serious machine failures or beam degradation, a new issue concerning beam sharing among four rings has come out. The operational status and a new project to resolve this beam-sharing problem is described together with on-going various R&Ds for future accelerators.

KEK電子・陽電子入射器の現状

1. はじめに

2004年度は年間を通じてKEKB連続入射（リングの電流を一定に保つように入射を適宜続ける入射方式）が実施された結果、入射時間が倍増しそれに伴ってビームや機器の調整時間が大幅に減少した。それにもかかわらず故障時間や運転遅延時間に目立った増加はみられず、全体としてはむしろ減少傾向を示している。これは以下に述べるように徹底的かつ効率的な機器の保守の進め方、ビームを安定化させるための種々の努力などの成果と言えよう。

一方、昨年も報告したように放射光リングへの入射（通常1日に3~4回）やマシンスタディのための入射時には、KEKBと放射光リングの間での入射ビームの取合いが頻繁に起きるようになっている。そこで各リングへの同時入射スキームが検討され、本年度からはPFへのビームラインを改造してPF-KEKB同時入射を実現するプロジェクトが始動した。

本稿では入射器の現状と各種将来計画のための開発研究および同時入射プロジェクト^[1]の概略について報告する。また、低速陽電子実験用テストリニアックの現状も簡単に報告する。

2. 運転と統計

2.1 ビーム品質管理と維持

KEKB連続入射を1年間続けている間に各種非破壊的ビーム診断/調整方法を試験・実用化してビーム品質維持に努めて来た。ビームの軌道、エネルギー、エネルギー幅についてはフィードバックにより常に一定に保ち、一方ツイスパラメータはリニアックの各所で1シフト（8時間）に1回測定（ワイヤースキャナ使用）を行い、必要に応じてオプティクス補

正を行っている。また、加速管の放電やクライストロン関連の不調等で一時的にクライストロンの加速と待機を入替る場合には、専用のオプティクスパネルから簡単にオプティクス補正^[2]ができるようになっている。

一方、昨年前半期まで陽電子ビーム生成用の大電流一次電子ビームにおいて最上流から突然大きな軌道が発生して陽電子標的までの電荷量が減ってしまう現象^[3]が時々見られたが、調査の結果原因が特定された。これは入射部のセラミックでできたスクリーンモニタの帯電による影響であると予想して、夏の停止期間中に当該のスクリーンモニタを撤去しビーム試験を続けた結果明らかになったものである。

2.2 運転統計

2004年度の運転統計を表1に示す。今回から昨年まで使用して来たマシンダウンタイム、ビームロスタイムを故障時間、入射遅延時間と呼び変え、RFトリップ頻度も示すことにした。故障時間はマシンの故障から復旧までの時間とし、入射遅延時間はそのうち入射を待たせた時間である。また、RFトリップ頻度は年間の全トリップ回数を運転に使用しているクライストロンの個数59台と総運転時間で除したものである。RFトリップには故障に発展し運転を妨げるものだけでなく、短時間（10秒以内）で自動復旧し運転に影響を与えないものなどが含まれている。

表1: 2004年度運転統計

総運転時間	7117 時間
故障時間（総運転時間比）	129 時間（1.8%）
故障の内入射遅延時間	39 時間
RFトリップ頻度	0.7 回/日/台

¹ E-mail: yujiro.ogawa@kek.jp

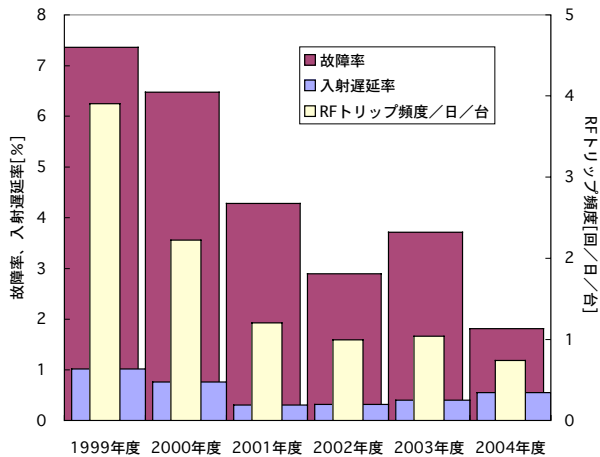


図1：6年間の運転統計の推移。

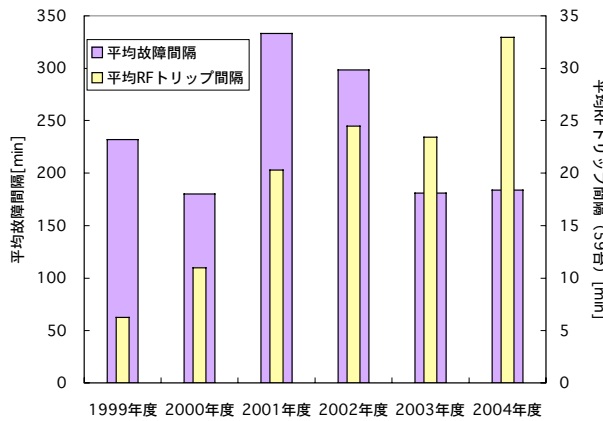


図2：MTBFの推移

図1には6年間の運転統計の推移を示す。総運転時間に対する故障率、およびRFトリップ頻度は減少傾向である。一方、入射遅延率（総運転時間比）はKEKBへの入射時間の増加とともにやや増えているが、十分許容範囲内であろう。図2には故障時間とRFトリップについてMTBFを示す。RFトリップの統計については詳細な報告^[4]を参照されたい。

3. 維持、改善

3.1 rf系

KEKB連続入射によるrf系への影響の評価を進めている。RFトリップ頻度が既述のように改善しているのは、トリップ時の対応法が確立してきた結果であると思われる。ハードウェアの維持改善については、従来の維持管理作業を続ける一方、さらに一歩踏み込んで故障の予測を目指した取組みも進めている。昨年からは始めたクライストロンのディップ試験^[5]は定常的に実施され、ディップの深いクライストロンに対しては適宜エミッション試験までに行い交換時期を検討している。サイラトロンについては納入時の受入れ試験^[6]を強化して初期段階からの不具合を少なくし、一方定期的なレンジングの実施による故障予測を試みている。また、高周波窓^[7]についても定

期的な計測や統計から不具合の兆候を捉え、適切な保守作業を実施するようにしている。モジュレータにおいては制御ユニットの動作試験システムの更新^[8]を行い試験の効率化を進めている。

運転への直接的影響はないが故障の予兆の可能性のある事象を系統的に観測することを試みている。その一例がクライストロンのrf波形のパルス毎の欠けとその波形診断^[9]、^[10]である。これはある一つのパルスにおける事象からクライストロンの動作異常を洗い出そうというものである。このようなパルス毎の異常探査のための観測は連続入射時に必須の技術の一つである。詳細な報告^[9]、^[10]を参照されたい。

3.2 制御・モニタ系

年間運転時間が7000時間を越えるようになってからすでに数年がたち、その間の運転・制御によって蓄積された知的資源（ハードウェア及び人的資源）は膨大なものになる。この資源を安定な運転のために有効利用することが重要なことは言うまでもないが、各種資源の維持のためには制御システムの寿命をできるだけ伸ばす必要がある。制御系ではそのための方策^[11]にとくに力を入れてきた。その一例として、制御システムの長期安定運用を実現するものと考えられるPC-Unixを用いた高可用性クラスタシステムの評価^[12]を行った。一方、人的資源の共有化に関しては、リニアックの制御系をEPICSへ移行する準備^[11]も進めている。

膨大な知的資源の利用の一つとして各種制御機器情報の履歴を様々な形（とくに運転に直接役立つ形）で容易に表示可能なシステムの開発^[13]も行われ、実際に安定運転の実現に役立っている。

3.3 施設

KEKBリニアックのビームにおいて機器の冷却水温の安定化はビーム品質を維持するための必要条件である。たとえば加速管の冷却水温度は公称0.1℃以下、実際はそれより遥かに安定しているが、外気温が大きく上昇すると冷却水システムに影響が出て水温が上昇する。これは冷却能力の問題だけでなくシステムの老朽化によるものと考えられる。しかしシステムの更新は色々な意味で容易ではないので、リニアック側の負荷に変化がある場合は冷却水システムの運転員にその旨伝え対処を依頼し、一方冷却水温が変化し始めた場合は逆にリニアックの運転員に連絡が入りそれに応じたビーム調整（主としてエネルギー幅の調整）を実施している。このような施設と加速器の緊密な連携^[14]もまた、加速器の安定運転に大きく寄与している。

4. 低速陽電子用リニアック

低速陽電子実験施設ではユーザー運転を開始して以来とくに大きな故障も無く安定にビームを供給している。

5. R&D

5.1 結晶を用いた陽電子発生用標的の開発

陽電子生成のために単結晶標的を用いればチャネリング効果により同じ厚さで比較した場合生成量が増えることが確認されて来たが、絶対量を増やすためには大電流ビームを結晶に照射しなければならない。その場合、リニアックにおける短バンチビームの作る超高電磁場が陽電子生成機構に影響を与える可能性が指摘されている。シリコン結晶の場合について照射電流を変えてその影響を調べた。詳細は文献^[15]を参照されたい。

5.2 カーボンナノチューブを用いた電子銃の開発

エミッタンスがよく大電流がとれる電子源の開発は次世代加速器に必須の要件である。ここ数年開発を続けて来たカーボンナノチューブを用いた電界放出陰極電子源^{[16], [17]}において、通常の酸化熱陰極電子銃に迫る性能が得られてきた。今夏には実際のビームラインに組込んで加速試験を実施する予定である。

5.3 超伝導リニアコライダーのためのrf源開発

次世代のリニアコライダーは国際共同開発により超伝導リニアックの建設を目指すことが決まったのを受けて、KEKでは超伝導リニアック試験施設の建設が始まった。入射器のrfグループは主に高電界加速空洞の試験を行うためのLバンドのrf源の開発^[18]を進めている。

6. アップグレード

6.1 4リング同時入射

昨年から検討して来たKEKB-HER/LER, PF, ARの4つのリングへのパルス毎の入射（4リング同時入射）のプロジェクト^[1]が進行中である。今夏にKEKB-HERとPFの同時入射実現のためにPFの新ビームラインの建設を行う。新ラインはKEKB用のECS電磁石の前からパルス電磁石でPF用ビームを切り出してPFのBTラインに導くものである。こうすることによってKEKBに8 GeV電子ビームを10 Hzで連続入射しつつPFに2.5 GeV（最大3 GeV）の電子ビームを25 Hzで入射可能となる。

6.2 SuperKEKBのためのCバンド加速システムの開発

SuperKEKBではリングにおける光電子不安定性のために陽電子ビームのエネルギーを現在の3.5 GeVから8 GeVに増やす可能性があるため、入射器では陽電子ビームのエネルギー増強としてCバンド加速システムの開発^[19]を行って来た。これまでにrf源、加速管、パルス圧縮器などの開発が進み、昨年はいくつかを組合せて実際のリニアックに組み込みビームを用いた加速試験を行った。その結果1メータ加速管

で定格の42 MV/mの加速利得を得たが、さらに数ヶ月のエージングによりトリップ頻度も大きく改善した。今夏はこれに加えて改良型1メータ加速管3本^[20]、^[21]を追加して実機モデルの1ユニット（160 MV）を構成しビーム試験を実施する予定である。

参考文献

- [1] 佐藤政則. “4リング同時入射”, These proceedings.
- [2] 大西幸喜. Private communication.
- [3] 諏訪田剛. “KEKB入射器の運転時におけるビーム軌道変動の考察(II)”, These proceedings.
- [4] 矢野喜治. “KEK電子・陽電子入射器におけるRFトリップの現状”, These proceedings.
- [5] K.Nakao et al., “Dip Test, the Quick Measurement of Cathode Activity of the High Power Klystron in KEKB Injector Linac”, Proceedings of the 2005 Particle Accelerator Conference.
URL: <http://www.sns.gov/pac05/pac05.shtml>
- [6] 明本光生. “KEKBリニアックに於けるサイクロトロン現状”, These proceedings.
- [7] 東福知之. “KEK電子陽電子入射器におけるクライストロンおよび高周波窓の維持管理”, These proceedings.
- [8] 中島啓光. “クライストロンモジュレータコントロールユニット試験システムの開発”, These proceedings.
- [9] 吉田光宏. “クライストロンのRF波形欠けの原因追跡と波形診断用FPGAボードの開発”, These proceedings.
- [10] 片桐広明. “FPGAによる高周波計測及び制御”, These proceedings.
- [11] 古川和朗. “加速器制御資源の維持とEPICSの利用”, These proceedings.
- [12] 草野史郎. “PC-Unixを用いた高可用性クラスタシステム”, These proceedings.
- [13] 工藤拓弥. “KEK-LinacにおけるWebベース機器履歴表示システム”, These proceedings.
- [14] 竹中たてる. Private communication.
- [15] 諏訪田剛. “高電磁場が及ぼすシリコン結晶による陽電子生成実験”, These proceedings.
- [16] 穂積康文. “カーボンナノチューブ冷陰極を持つ電界放出電子銃の開発(2)”, These proceedings.
- [17] 池田光男. “特性X線を用いた電子銃ビームの微小サイズ精密測定”, These proceedings.
- [18] 福田茂樹. “KEK超電導試験装置(STF)のRF源の開発”, These proceedings.
- [19] 紙谷琢哉. “SuperKEKBのためのCバンド加速管開発の現状”, These proceedings.
- [20] 杉村高志. “角無しカプラーを採用したCバンド加速管”, These proceedings.
- [21] 横山和枝. “SuperKEKB用C-band加速管2号機の開発”, These proceedings.