

PRESENT STATUS OF THE KEK ELECTRON / POSTIRTON INJECTOR LINAC

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

Abstract

In the KEK electron/positron injector linac, we have pursued a simultaneous injection scheme for four different rings over the past year, while continuing normal frequent injections to all the rings without any serious troubles. In the course of machine studies, a common optics for three beams of KEKB 8-GeV electron, 3.5-GeV positron and PF 2.5-GeV electron was found and has been established by verifying real injections to three rings. The event system, which allows a pulse-to-pulse beam mode switching at the maximum rate of 20 msec, has been fully tested in various situations as well as the beam monitor system. Based on these successful results, we started simultaneous injections to three rings in April this year with a typical injection pattern of 12.5 pps for the KEKB two rings and 0.5 pps for the PF ring. Detailed operation status in the simultaneous injection mode as well as the usual operation statistics in FY2008 is reported.

KEK電子・陽電子入射器の現状

1. はじめに

KEK電子・陽電子入射器は4つの異なるリングに異なるビームを供給しているが、ここ数年下流のリングにパルス毎（最大50pps）に連続に入射（同時入射）する準備を進めて来た。昨年末にはKEKBの2リングに関して2秒毎の切替による連続入射試験を行った。その結果に基づきその後も改良を重ね、4リングのうち3リング（KEKB電子リング、陽電子リング、PF電子リング）について同時入射の実用化に成功し、2009年4月中旬から試験運転を行っている。入射の割り振りは各リングの状況にもよるが、概ねKEKBの2リングにはそれぞれ12.5pps、PFリングには0.5ppsのパターンで同時入射を続けている。

残るもう一つのリング、ARリングへのパルス毎入射はKEKの次期計画であるSuperKEKBの運転開始までには実現する必要がある、現在具体的な検討が始まったところである。

昨年度の通常の運転では、KEKBの運転時間が短くなり、とくに1月から3月はPFとARの入射のみを行った。そこでこの機会を利用して同時入射に関する各種の試験を実施するとともに、PFへも試験的に連続入射を行い同時入射スキームの運転上の問題点の洗いだしをした。したがって電子・陽電子入射器としての運転時間は例年並みの6500時間であり、前年度に比べて故障率（図1）に特別大きな変化はなかったが、大きな故障（陽電子標的の損傷：実際はKEKBが停止中に復旧作業をしたので運転に影響はなかった。）が一つあった。以下、2008年度の運転統計、故障の例として陽電子標的損傷の紹介、パルス毎の同時入射の実際について報告する。

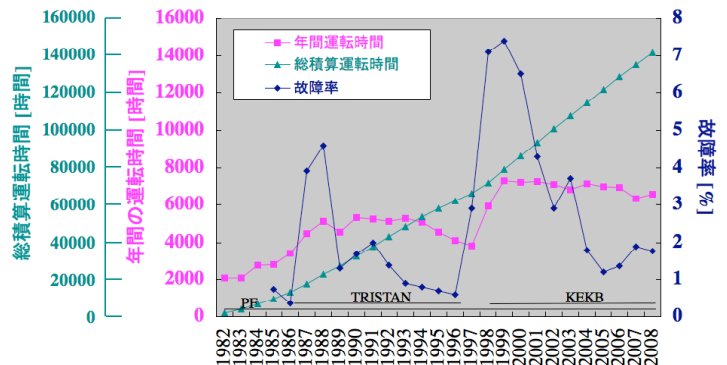


図1：入射器運転時間と故障率の推移

2. 運転統計 (FY2008)

2.1 運転時間・入射時間と故障率・入射遅延率

KEKBの2008年度の運転時間は前年度に比較して約1400時間減少し3849時間であったが、実入射時間は僅か164時間減の1847時間（運転時間に対して47%）となった。これは昨年末の2秒毎の連続入射などにより入射時間の割合が大幅に増えた結果である。同様なことは2009年1月からのPFの連続入射試験によるPF入射時間の増加（PFの運転時間も減少しているにもかかわらず）にも示されている。その結果、入射器としては見かけ上総運転時間やその内訳（図2）に大きな変化は見られない。

一方、故障率は横ばいであるものの入射を遅延させた割合が増えている（図3）のは、同時入射ゆえ

¹ E-mail: yujiro.ogawa@kek.jp

の当然の結果であるが、昨年度においては大きな問題とはなっていない。

なおこの4月からのパルス毎の連続入射試験により、これまでの入射器の運転統計のとり方のままでは、下流へのリングへの入射割合を反映したものにならないので、現在変更を検討中である。

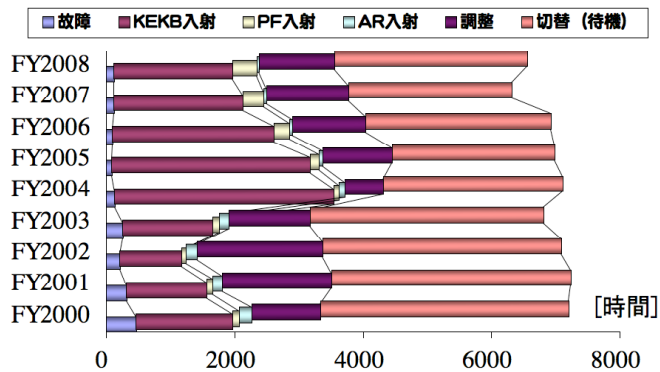


図2：運転時間の内訳の推移

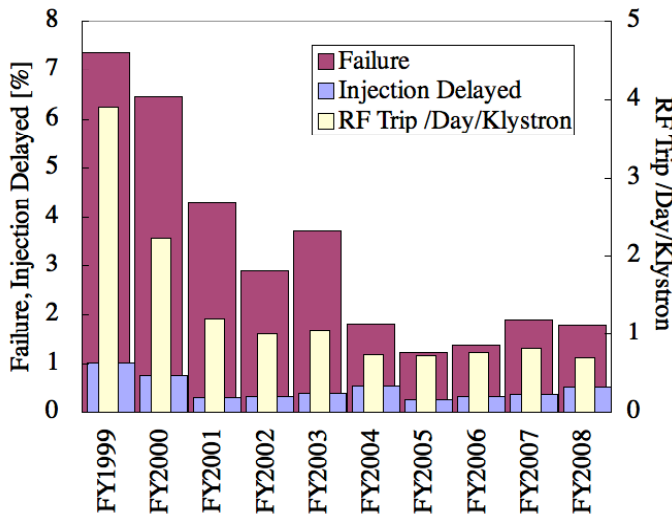


図3：故障率、入射遅延率、RFトリップ率の推移

2.2 故障および入射遅延の内訳

故障（図4）および入射遅延時間（図5）の統計の内訳についてみると、同時入射の試験が本格化した昨年度とそれ以前の一昨年度に興味深い違いが現れていることに気づく。それは、RF、BT（Beam Transport：主に電磁石と電源）、制御のいずれも故障時間は減少しているが、入射遅延時間はBT関係を除いて全て増えたことである。とくに制御ではトリガー系の信頼性が向上し故障は減少したが、入射遅延時間は大きく増えた。しかし、これも同時入射試験の影響と考えるべきである。たとえば、従来なら一台のクライストロンが不調となったとき、スタンバイのクライストロンと入れ替えることで入射遅延時間を最短にすることができたが、同時入射の場合は全てのビームについて影響を最小限にするには工夫が必要である。すなわちほとんど全ての機器の故障が直ちに入射遅延をもたらすと考えられる。今後の安定運転のあり方を示唆する結果である。

一方、冷却水および施設関係は老朽化対策のおかげで故障時間も入射遅延時間も減少した。今後さらなる老朽化対策が必要であることを示していると言えよう。

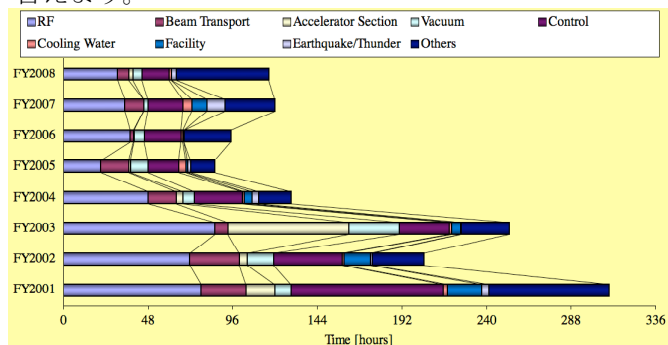


図4：故障時間の内訳と変遷

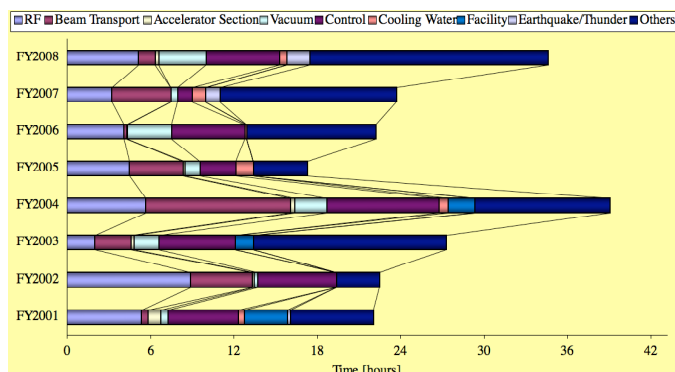


図5：入射遅延時間の内訳の変遷

3. 故障の例—陽電子標的（結晶）破損

昨年秋のKEKB運転再開時に、陽電子リング入射点直前のスクリーンが入ったままであることに気づかず数日間50ppsで入射を続けた（このことは調査後判明した。）結果、標的後の陽電子ビームの電荷量が急激に減少した。その後、電荷量はほぼ一定で推移し入射にも大きな障害もなかったので大きな問題と考えていなかったが、今年1月以降の同時入射スタディ中に、さらに少しずつ陽電子の電荷量が減少し始めたため、その原因の調査を開始した。調査は標的前の一次電子ビームの特性や標的後の陽電子収集系、加速システム、RF源、タイミング系などあらゆる部分にわたって行われたが、陽電子減少の原因は判明しなかった。最後に、標的自身の異常を疑い、ビームを用いて手がかりが得られないか模索を続けた。その結果一次電子ビームの標的に当たる位置を大きく変えるとビームが透過する場所があることに気づいた。そこで一次電子ビームの標的への入射位置をスキャンし、標的後の電荷量を測定したところ、標的からはずれたところを透過するビームが観測（図6）された。これは電子通過用の穴（同時入射のために開けてある）とは反対側であったため、標的の損傷と推定した。

3月末の短期停止期間を利用して標的をとりはずして調べた結果、タングステンの結晶が一部破損し下落していた（図7）ことが判明した。

破損の原因は標的装着時の作業ミスによるもので、結果として標的の冷却が不十分となり、50pps連続運転時に剥がれ落ちたと考えられる。現在は1年前まで使用していた標的に交換して使用しているが、陽電子電荷量は予想通り回復した。

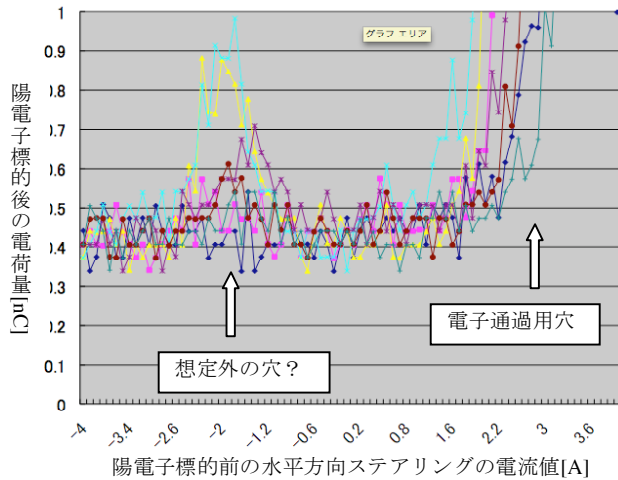


図6：陽電子標的のビームによるスキャン。各線は垂直方向のスキャンを表す。電荷量測定は陽電子と電子の区別がつかない。

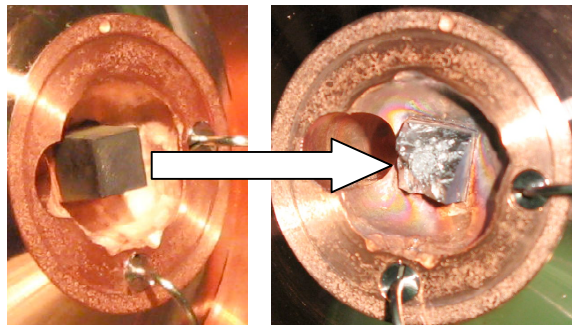


図7：タングステン結晶標的の破損、左は破損前、右が破損後。

4. パルス毎の同時入射

4.1 準備実験の経緯と機器の整備

8GeV、2.5GeVの電子および3.5GeV陽電子ビーム（一次大電流電子ビームを含む）を共通のオプティクス（3リング共通オプティクスと呼ぶ）でリニアック全長にわたってビームロスなく通す解を求め、実際のビームを用いて修正を加えた結果、3ビーム同時加速に成功した。下流へのオプティクスマッチングは基本的には2.5GeV電子ビームについてはリニアック内で行い、その他は下流へのビームラインの先頭で実施した。

各ビームの軌道、エネルギー、エネルギー幅については、セクタ毎のパルスステアリング、半導体移相器などによりパルス毎に変更する。全体を担うイベントシステムの総合試験をPFリングに連続に入

射する期間等に行い、営業運転時の信頼度を上げることができた。

4.2 KEKBにおける2秒毎の同時入射試験

KEKBではCrab空洞の導入によりルミノシティの向上を目指していたが、ルミノシティの上昇とともにビーム寿命が短くなるので、同時入射の試験を早めて昨年暮れに行うことにした。ただ、このときは入射位相の変更が2秒以下では不可能だったため、2秒毎の交互入射を試験した。ルミノシティ調整はこれだけでもかなり改善されたが、パルス毎同時入射の必要性はより高まってきた。

4.3 PF連続入射試験

今年の1月から3月までの入射運転はPFとARのみであったので、検討の結果PF連続入射を試験的に実施し、同時入射システムの総合動作試験とした。また、これによってPFのユーザー実験において連続入射の有効性が改めて示されたので、4月以降の運転で3リング同時入射を行うことを決定した。

4.4 3リング同時入射運転

図8には3リングの蓄積電流の変化の様子を示す。それぞれのリングの状況にもよるが、概ね安定に入射が継続されていることが分かる。

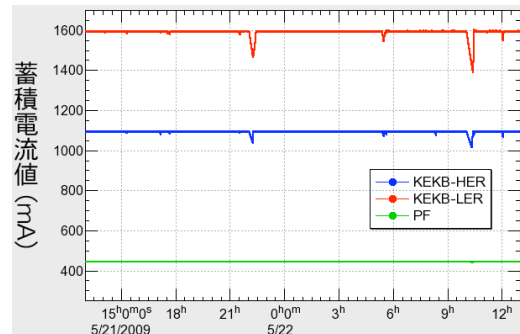


図8：3リング同時入射時の各リングの蓄積電流（約1日）。KEKBのビームが減少しているのはAR定時入射（10時と22時）によるものである。

5. SuperKEKBへ向けて

電子・陽電子入射器は、SuperKEKB計画においていくつかの改造^[1]を求められている。改造期間は概ね3年間であるが、KEKB以外への入射、とくにPFへの連続入射を継続しながら改造と運転維持を行わねばならない。また同時入射については、SuperKEKBの運転開始までに残るARへのパルス毎入射を実現する必要がある。

参考文献

- [1] T.Kamitani, “KEKB入射ライナックのアップグレード計画”, in these proceedings.