

PRESENT STATUS OF THE KEK ELECTRON / POSITRON 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

The KEK electron/positron injector linac has maintained the high machine availability for several years, achieving frequent injections to four different rings without any serious troubles. In FY2007, a pulsed bending magnet for a 2.5-GeV electron beam was installed at the end of the linac to promote a top-up injection for the photon factory while keeping continuous injections to the KEKB rings. Various works are ongoing to realize a simultaneous injection scheme for four rings, entering the final phase. The number of the same type of troubles, however, has gradually increased for the last two years, even though the duration of each trouble has been kept quite short. This should be attributed to a lot of aging machine components. R&D and upgrade activities for SuperKEKB as well as the operation status are reported.

KEK電子・陽電子入射器の現状

1. 運転の概況

KEK電子・陽電子リニアックは、ここ数年高い可用性(図1)を維持し4つの異なるリングに安定に入射を続けている。昨年度は4リング同時入射の実現の一環として放射光リング(PF)用パルスベンドをリニアック終端部に設置し運用を開始した。また、PF(2.5 GeV)-KEKB(8 GeV)電子ビーム同時入射用共通オプティクスを用いて、両ビームを主にRFおよびタイミング系の変更のみで切替える方式(まだパルス毎ではない)を試みてきた。これまでのところ、大きな問題もなく運転を続けることができています。

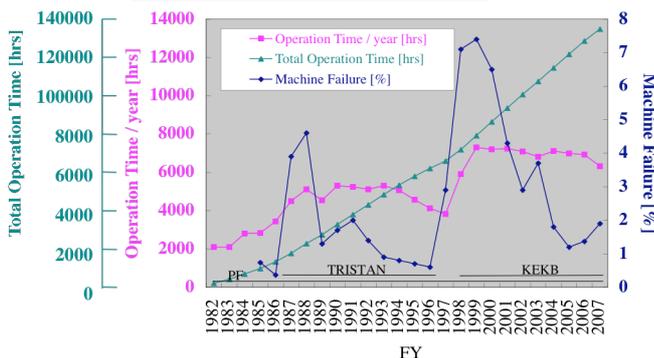


図1：入射器の運転時間と故障率の推移。

KEKBではCrab空洞を用いた衝突調整の成果が徐々に上がってきているが、ルミノシティが上がるにつれて寿命減少などの影響のため効率的な衝突調整がむずかしくなっており、次期運転からは電子・陽電子の同時入射の実現が強く求められている。一方PFでは来年秋からトップアップ運転を目指している。そこでパルス毎(最短20ミリ秒)に全く異なるビームを異なるリングに供給するためのイベントシス

テム^[1]の構築が喫緊の課題であったが、前期の運転でビームを用いた実証試験に成功した。さらに、4リング同時入射のための各種ビームスタディを精力的に行い、着実に成果を上げてきた。とくに電子・陽電子同時入射スキーム用の共通オプティクスに一つの候補が見つかり、PF-KEKB同時入射とあわせて3リング同時入射の実現へ大きく前進した。後期運転では、イベントシステムの試験運用を開始し、3リングパルス毎同時入射試験を予定している。

なお、パルス毎同時入射時の放射線安全の柱の一つとして開発、試験を続けてきた電荷制限装置^[2]が今春から運用を開始したが、これまでのところ全くトラブルもなく正常に動作している。

入射を妨げたトラブルではないが、今年前半の運転中に電子銃のグリッドエミッションの増大によるKEKBセプトムの放射化の問題が明らかになった。KEKBでは連続入射を行なうために、電子銃の高圧は常にONの状態にしていつでも入射が可能になるようにしている。電子・陽電子のモード切替中はビームゲートが閉となるが、この時間が無視できない長い時間となり、その間にグリッドエミッションが加速されセプトム(ビーム同期でOFF)を直撃していた。秋からの運転ではビーム待機中は電子銃の高圧のタイミングをはずしてグリッドエミッションが下流に加速されないようにする(試験^[1]は終了済み)予定である。

2. 運転統計(FY2007)^[3]

2.1 運転時間・入射時間と故障率・入射遅延率

2007年度はKEKBの運転時間が短くなり、それに伴

¹ E-mail: yujiro.ogawa@kek.jp

い総運転時間が前年度に比較して約600時間減少し6322時間となった。これは主に2007年5月の連休中にKEKBのクラブ空洞作業のため加速器運転を(KEKB始まって以来はじめて)停止したこと、秋の立ち上げを遅く(8月後半から9月初旬に)したこと、および暮れのシャットダウン時期を(クリスマスから12月中旬に)早めたこと等による。その結果、KEKBの入射時間が他のリングに比べて相対的に減少した。2004年度には総運転時間の半分を占めていたKEKB入射が2007年度には1/3(図2)を切っている。

図3に示すように、故障率は総運転時間の2%以下を維持しているが、前年度に比較してやや増加の傾向にある。故障のうち実際に入射遅延に至った割合は総運転時間の0.4%以下で入射に対する影響は相変わらず小さいが、やはり若干増えている。主たる原因は老朽化の問題(2.3節参照)ではないかと考えている。

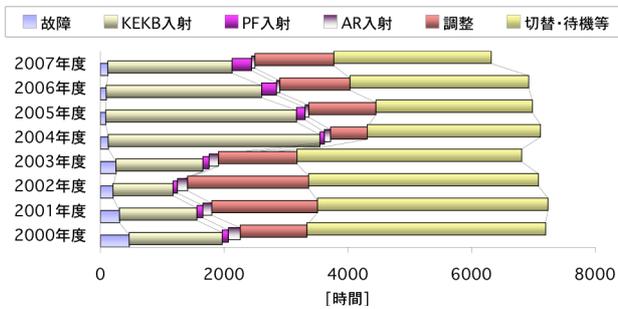


図2：年間運転時間の内訳の推移。

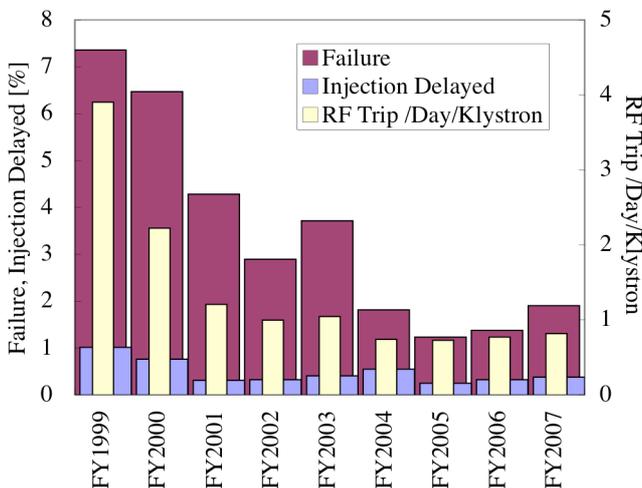


図3：故障率、入射遅延率、RFトリップ率の推移。

2.2 故障および入射遅延の内訳

図4、図5に故障および入射遅延時間の推移を示す。前年度までと比較して特徴的なのは、入射遅延時間の内訳(図5)の範疇で「others」が全体の半分を占めていること、故障(図4)・入射遅延時間のいずれにおいても「Earthquake/Thunder」が突出して多いことである。以下、この二点についてやや詳細に調べてみる。

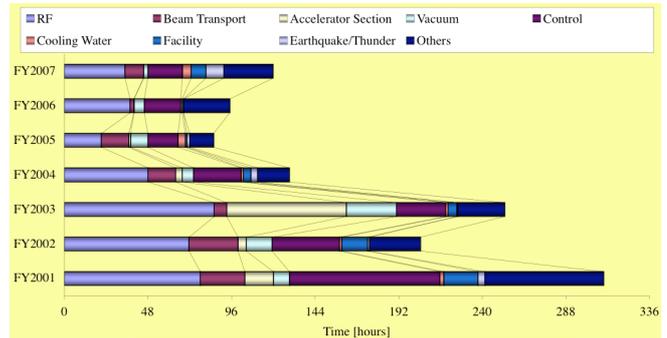


図4：故障時間の内訳の変遷。

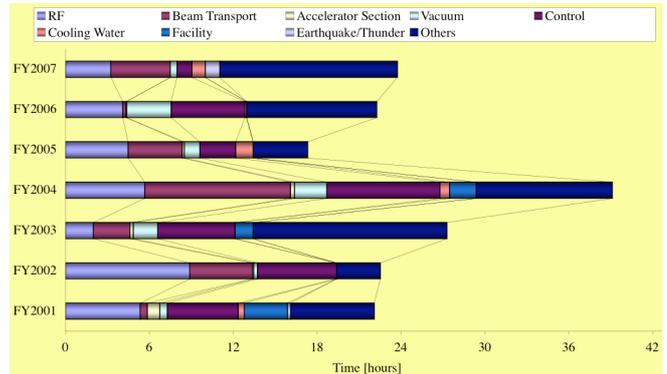


図5：入射遅延時間の内訳の変遷。

入射遅延「others」の内訳

この範疇には、オペレーションミス、原因不明の現象(自然復旧など)、メンテナンス時作業ミス、ビームスタディの後遺症、同時入射のためのソフトウェア更新に関わる(不可避の)バグなど分類のしにくいものが数多く入っている。このうち、スタディ後遺症、ソフトウェアバグについては、頻繁な入射中の限られた時間での作業の結果なので、故障というのは本来ふさわしくないが、2007年度の入射遅延の大きな原因の一つである。しかし、これらは今後改善される筈である。原因不明の現象については、その時点では判明せずともあとで時間を取って調査を実施し解決したものも少なくないが、パルス毎同時入射が始まった場合は要注意である。

故障・入射遅延「Earthquake/Thunder」の内訳

これは全て2007/3/3に起きた研究所付近の落雷によるノイズが安全系のラインに乗り、Readyが落ちたことによる。機器自体は故障もなく直ちに復旧したが、インターロックのチェックを行い、放射線管理上の内部検査を受けて運転が再開されるまでにおよそ1時間を要した。安全システムとしては、ノイズに対する対策を強化することにしたが、入射遅延となるのはやむを得ない事例である。なお、2007年度の統計には含まれていないが、今年に入って大きな地震が続き、とくに5月以降の地震ではシールド扉の瞬時開閉によるReady落ちが目立っている。これに対する対策を現在検討中である。

2.3 老朽化の例

故障とRFトリップ(60台)に関するMTTF(Mean Time to Failure、図6)によれば、故障について悪

化の兆しが見えている。この理由は、個々の故障時間は昨年並みであるが故障回数が増え始めているためであり、故障の回数の増加は老化によるものと考えるを得ない。たとえば数の多いクライストロン用電磁石電源の冷却用ファンが一斉に壊れ始めているので、対策を講ずる予定である。

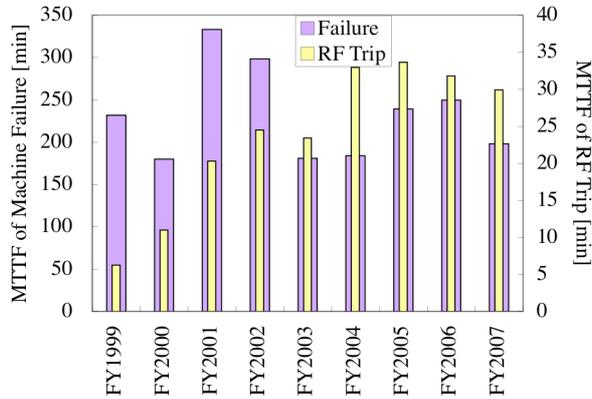


図6：故障とRFトリップに関するMTTFの変遷。

図7をみると、設備関係のMTTF(Mean Time to Failure)が昨年度急に増えているが、これは主に空調の不調によるものである。幸い、オペレータのビーム調整により運転に支障をきたすまでには至っていないが、老化対策が望まれる。

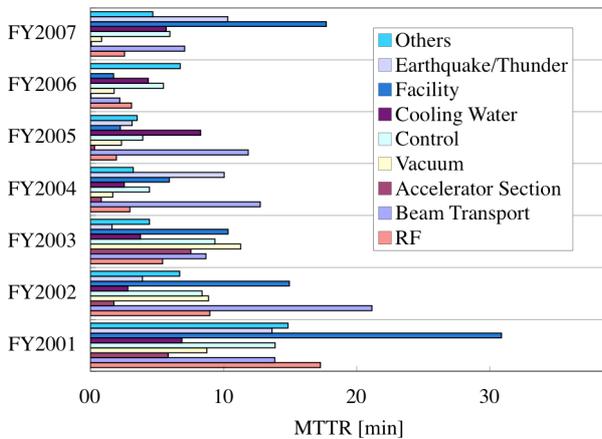


図7：故障内訳のMTRの推移。

3. 同時入射のためのビームスタディ

3.1 Q電磁石のファッジ係数の測定

リニアックにおいて異なるエネルギーのビームを共通のオプティクスで通し、下流のリングに整合させるためには、ビーム光学系のモデルと実際のマシンがこれまでより精度よく一致している必要がある。具体的にはエネルギー（加速利得）と四極磁石の磁場の両方の精度が問題となる。エネルギーについては、各加速ユニットの加速利得をrfのクレストに対する位相やタイミングなどから積算した値がリニアック終端で各リングのエネルギーに一致するよう規格化することにより、ある程度の精度で知ること

ができる。たとえば運転中にクライストロンが一本不調となるなどの事態が生じた場合でも、重要な場所でない限り局所的なズレにとどまるとされる。そこで、モデルと実測のズレは全て四極磁石の磁場に対するファッジ係数に取り込むことにした。なお、エネルギー誤差が効くような場合は、リニアック終端より下流の各リングへの輸送路で光学整合を補正することになる。図8にはシングルキック軌道をモデルと比較して求めたファッジから四極磁石の結線誤りを発見し、修正した結果実測とモデルがよく合うようになった例^[3]を示す。

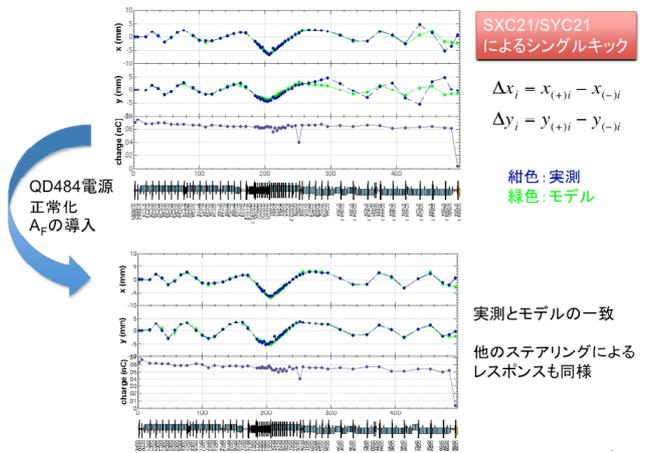


図8：四極磁石のファッジ測定と設定の効果。

3.2 共通オプティクスと独立軌道補正

実測とモデルとの一致を確認後、KEKB-PF電子、KEKB電子-陽電子の共通オプティクスを計算で求め、ビーム試験を行った。その結果前者はほぼ完成し、後者は、一つの解が実用につながる可能性を確認することができた。また、これらの共通オプティクスでの各ビームの独立軌道補正の方法のビーム試験にも成功した。詳細は別途報告^[4]される予定である。

なお、パルス毎同時入射では陽電子標的の抜き差しをすることができないので、電子ビームは標的横に開けた穴を通すことになる。このためのパルスステアリングを用いたローカルバンブ軌道の調整も行った。

KEKでは今後のロードマップが示され、SuperKEKBが主要な計画の一つとして推進されようとしている。これまで進めてきたR&Dとともにパルス毎同時入射はSuperKEKBにおける必須の技術である。

参考文献

- [1] K.Furukawa, et al., “KEK 電子入射器の高速ビーム切り換え機構”, These proceedings.
- [2] T. Suwda et al., “KEKB入射器における放射線安全のためのビーム電荷制限システム (III)”, *ibid*.
- [3] 鈴木和彦, Private communication.
- [4] Y.Ohnishi et al., “Design and Performance of Optics for Multi-energy Injector Linac”, to be submitted to LINAC08.