

KEK 電子陽電子入射器の現状

小林 仁¹、電子陽電子入射器グループ
高エネルギー加速器研究機構
〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

概要

高エネルギー加速器研究機構の電子陽電子入射器は、KEKB の高エネルギーリング(電子 8.0GeV)、低エネルギーリング(陽電子 3.5GeV)、PF および PF-AR リング(電子 2.5GeV)にビームを切替えて入射している。各リング間の入射切り替えはスムーズに行われている。

KEKB への入射はその入射時間、入射回数の観点から入射器の主要な運転モードとなっている。KEKB はスタンフォードの PEP-II と同様の実験を行っている事から両者がその性能を競い合うのはある意味で自然の事であり、それがまた加速器の性能向上を押し進める一つの原動力になっている。最近では KEKB の改善が大きく進み、現在は世界最高のルミノシティを有する装置となっている。実験では時間積分したルミノシティが重要で、加速器自体の性能向上を図るとともに、出来るかぎり長時間運転する事が望ましい。その様な背景から、運転時間は 2000 年度も 7200 時間を越えた。

1. 運転統計

昨年(1999)年度は、運転時間が 7,296 時間とそれまでに比して大幅に伸びた。2000 年度は昨年とほとんど同じく、7,217 時間の運転を行った。この 10 年間の運転時間と故障率の推移を図 1 に示す。

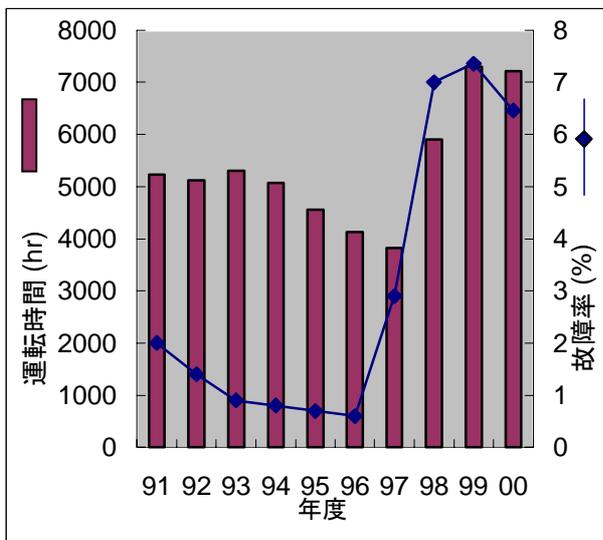


図 1 : 運転時間と故障率

1.1 全体の運転と故障

我々は、通常マシンダウンタイムと、ビームロスタイムの 2 つのデータを記録している。前者は故障の発生から修理完了までにかかった総時間である。加速器は冗長性を持って設計されており、一部の機器の故障時には、すぐにスタンバイ機が代わって運転される。したがってマシンダウンタイムには、運転に支障の無い時間が含まれる。さらに直接的な機器の故障の他に、自動運転記録用のコンピュータの停止等、運転者が便宜上追加した機器の故障も含めている。更に停電、地震といったリニアックから見ると不可抗力の停止も含まれているが、通常このマシンダウンタイムを故障率としている。一方、後者のビームロスタイムは、入射に支障のあった時間で定義している。例えば停電による停止は、マシンダウンタイムには含まれるが、このようなときには下流のリングもダメージを受け入射要請が無いので、このビームロスタイムには含まれない。2000 年度の主要な運転統計を表 1 に示す。

表 1 : 2000 年度運転統計

総運転時間 :	7,217 時間
マシンダウンタイム :	466 時間
ビームロスタイム :	54 時間

マシンダウンタイムは総運転時間に対して約 6.5% となり、わずかであるが 1999 年度より改善された。ビームロスタイムも昨年度に比してわずかに改善した。さて、多くのリングを抱える入射器では、一つ一つのリングの入射が、予定時間通りに正確に行われる必要がある。そのためにはリングへの入射率を一定に保つ事が重要である。さらには、入射している時間は、リング側にとっては利用できない時間帯であり、出来るだけ短くしたい。そのためには入射率を更に上げることや、入射前後の切り替え時間を短縮する事が望ましい。入射器では昨年報告したように各リングへの入射改善を図ってきた。入射している 4 つのリングの中では、PF リングは入射が 1 日にほぼ 1 回であり、改善の指標として適している。ここ 3 年間の PF リングの年間運転日数と、年間の総入射時間を表 2 に示す。この表に示すようにここ数年間の改善は大きい。KEKB の入射頻度が高く、時間短縮の必要に迫られたことが一番大きな理由であろうが、同時に KEKB の改造に伴ってのビームモニ

¹ E-mail: hitoshi.kobayashi@kek.jp

タ類の充実が大きく貢献していると考えられる。KEKB の入射も一回当たりが必要としている時間は減ってきているが、入射回数が増えた事より、総入射時間は昨年とほとんど同じであった。

表 2 : 年度別 PF リングへの入射時間の推移

	運転日数(日)	総入射時間(時間)
1998 年度	178	249
1999 年度	221	161
2000 年度	236	100

昨年は、A-1、2-1 の 2 個所で加速管の構成の変更を行う大きな作業を行ったが、本年はそれに匹敵する作業はなかった。しかし、保守全体としては昨年と同様多くの作業が行われ、再発防止等の作業が積極的に行われた。

1.2 故障状況

前述のように 2000 年度は、約 6.5% のマシンダウンタイムとなったが、これらはほとんどが手際よく修理され大きな問題とはなっていない。ビームロスタイムは、入射を遅延させた時間と考える事が出来るが、全運転時間に対しては 0.75% であり、目立った遅延はなかった。2000 年度に 30 分以上の修理時間を要した故障は全体で、212 件あった。これは 1999 年度 (216 件) とほぼ同じである。しかし、完成直後であった 1999 年度には、繰り返し発生する故障が目立ったが、昨年からの取り組みが功を奏したのか繰り返して発生する故障は減ってきている。一方、より高度な運転が要求される中で、ビームのフィードバック系も多く組み込まれてきており、これらの不調や停止は今の段階では故障とは呼びにくいものも多々あるが、この中に含めている。そのような意味では構成機器の点数が増大している中で故障率が横ばいであるといえる。

これらの故障や不具合に関するデータの目的は、現在の加速器の稼働状況を分析し、効率的な運転に役立てることであるが、加えて将来に計画されている大型加速器に対して検討課題を提供することである。例えば、今の段階では各種のフィードバック系を試みている段階で、発生しているのは初期の不具合である事を承知しているが、将来の加速器では、フィードバック系が大きな位置を占めると予想され、今からデータとしては蓄積していきたいと考えている。

2. 日常の活動

高信頼性をもって運転するには日常の活動が非常に重要である。日常の活動を紹介する。

2.1 毎日または毎シフト

3 交代で運転する事から、各シフトは引継ぎを行う。この中で重要な事項の引き継ぎ、連絡を徹底する。

運転時の問題点等は必ず運転記録に記載されており、担当への連絡を含めて申し送りがなされる。

2.2 毎月曜日

毎週月曜日には前週の運転状況の報告を行い、その週の計画を立てる。この中で行われるクライストロンインタロックの状況報告については後述する。問題点に対しては、この打ち合わせで具体的に取るべき対策等を検討している。一例では、真空のトレンドを毎週確認しており、絶対値としてはかなり良い真空を保っている場合にも、トレンドを見ることで、不具合の可能性が指摘され、早期に対策を立て、故障を未然に防止した実績もある。設備機械関係も基本的に加速器の一部である。水温や空調の安定度が装置の性能を大きく左右する。毎週月曜には電子加速器全体の設備打ち合わせも行われている。

2.3 木曜日メンテナンス

リニアックは一度動き出すと基本的に連続運転である。そのため運転中の小さい不具合がたまってくる。また冷却水や、空調のような設備関係にも定期的なメンテナンスが必要である。先に述べたように、KEKB はルミノシティマシンであり、連続で運転し故障したら修理するのも一つの選択肢であろう。しかし、リニアックには KEKB のみではなく、PF リングのように必ず計画通りに運転すべき装置も接続されている。このメンテナンスをどう計画するかは、全体の稼働率を上げるためにはかなり重要な問題である。当初は毎週木曜日に保守を行っていたが、それを 2 週間に一度にした。この方が保守後の立ち上げ時間を考えると効率がよい。リニアックでは事前にどのような保守を行うかを web 上で申し込む方式を採用している。それに基づいて保守人員の配置計画を立てているが、今のところ保守日にはマンパワーは目いっぱいの状態である。保守の後には、必ず全保守内容を報告する立ち上げ打ち合わせを実施し、スムーズな立ち上げを心がけている。

3. 運転データ

リニアックでは多くの運転データが蓄積されている。ここでは毎週月曜日に報告される各クライストロンユニットのインタロックステータスの報告から 1 例を報告する。

KEKB の改造で、加速電界は 20MV/m と従来の 8MV/m と比してかなり高くなった。クイストロンのマイクロ波窓と、導波管系にもう一枚入れてあるマイクロ波窓の保護のため、全クライストロンユニットに定在波比(VSWR)インタロックが設置されている。数多いインタロックの中で VSWR インタロックは、比較的頻繁に動作するものである。たとえ 1 パルスでも VSWR が規定値を上回ると、数秒間トリガを切って待機し、運転を再開する。この回数をクライストロンユニット毎に毎週積算し、先に述べた月曜日の報告事項としている。目安として、1 週間に 30 回を越えたものについて、検討を加えており、場

合によって加速電圧を下げる等をおこなう。これらの加速管は、一般的にはまた時期を見てじっくりとエージングすることで加速電圧を回復できるようである。

将来のリニアコライダなどを考えると高電界化は重要な課題である。一方、高電界下ではマイクロ波の放電はおきやすいと考えられる。これに対してどのような対策が効果的かは、議論を必要とするところであろう。入射器では1パルスでも反射を検出すると数秒間はマイクロ波の供給を止め、それから再投入する方式を採用している。一つの興味は、絶対値としてこのインタロックがどのような頻度で働くかという事であるが、最近154日間の運転では、1週間に59ユニットの総計で550回から350回の間に分布しており、1時間平均では3.3回から2.1回程度となる。平均的な加速電界は、21.6MV/mであった。同じ期間を通して、このVSWRインタロックが動作した回数は、もっとも少ないユニットで30回であった。つまり5日間で1回程度インタロックが動作した事になる。ほぼ同じ加速電界強度で、この間に500回を越えてインタロックが動作したユニットも2台あった。装置は50Hzで連続運転されており、この間に全モジュールは、約 4×10^{10} パルス動作している。このうちの数百パルスを問題とするので、ノイズ等の他の要因で動作した回数について不確かさが残っている。

6. まとめ

入射器は基本仕様を達成し、切り替えやビーム再現性等もほぼ満足のいく状態となった。どのような状況でも入射器が運転できない状態では下流側のリングは運転できないので、入射器に対する要求は尽

きることはない。日々の地道な保守に対する努力が非常に重要であり、多方面からの改善が図られている^{[1]-[6]}。R&Dでは現在入射器で特に力を入れている事は、1パルス内に2バンチを加速する事で、より多くの陽電子ビームを加速し、入射時間の短縮を目指している^{[7][8]}。陽電子標的や収束系の改善による陽電子ビームの増強も検討されている^{[9][10]}。さて、今後の大きな加速器を考えると、この加速器はわずか59ユニットではあるが、リニアックの運転上各種の問題を提起しているように思う。先に述べたVSWRインタロックなども更に詳細に内容を検討する必要がある。また、より安定なビームを目指して安定度の基礎データの解析も行われている^[11]。上述のリングへの入射用の加速器とはまったく別に低速陽電子実験用の加速器の建設がすすめられている。この加速器が完成すると、入射用の加速器と独立に低速陽電子の実験を行う事が出来る^{[12][13]}。

参考文献

- [1] 池田光男 他 This proceedings
- [2] 中島啓光 他 This proceedings
- [3] 明本光生 他 This proceedings
- [4] 松本利広 他 This proceedings
- [5] 上窪田紀彦 他 This proceedings
- [6] 白川明広 他 This proceedings
- [7] 小川雄二郎 他 This proceedings
- [8] 古川和朗 他 This proceedings
- [9] 紙谷琢哉 他 This proceeding
- [10] 古川和朗 他 This proceeding
- [11] 諏訪田剛 他 This proceeding
- [12] 大越隆夫 他 This proceeding
- [13] 栗原俊一 他 This proceeding