

KEK 電子・陽電子入射器の現状

小川 雄二郎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

KEK 電子・陽電子入射器では KEKB 電子(8 GeV)・陽電子(3.5 GeV)、PF(2.5 GeV)、AR(2.5 GeV)の4つのリングに定常的に入射を行っており、年間運転時間が7200時間を超える。これまで、安定かつ信頼性の高い運転を続けてきたが、今年からは KEKB 陽電子リング(LER)への2バンチ入射運転を開始し、入射時間の短縮による積分ルミノシティ向上に大きく貢献している。さらに、物理実験を続けながら入射を続ける、いわゆる連続入射を試行的に行っている。したがって今後は実ビーム運転時間が年間数千時間に及ぶマルチビーム、フル稼働マシンとして、いかに性能を維持し向上するかが大きな課題となると考えられる。一方、近未来の KEKB のアップグレード(SuperKEKB)における、陽電子ビーム 8 GeV 化の準備研究(C-band 加速管を用いた高電界加速の研究)を開始している。現状と展望について報告する。

1. はじめに

KEK 電子・陽電子入射器では、年間10ヶ月に及ぶ総運転時間のなかで、異なる4つのリングへの入射とそのための頻繁なパラメータ切替、さらに入射の合間に(必要に応じて)ビーム調整や各機器の交換・調整が定常的に行なわれている。最も頻繁に入射を行なっているのは KEKB であるが、図1では、KEKB について1日の運転の様子(例)をルミノシティ・

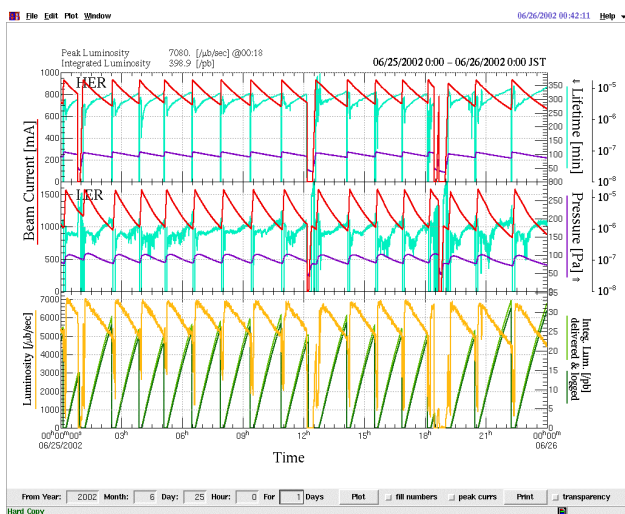


図1: KEKB Daily Snap @Two-Bunch Injection

電流の変化としてみる事ができる。今年度からは、陽電子入射時間の短縮のための2バンチ入射が開始された結果、1フィルあたりの物理実験時間が短くなり、入射の頻度は前年度に比較して5割程度増えている。このような厳しい運転状況のなかで、安定なビームを再現性良く維持することは簡単なことではないが、2週間毎の1回6時間の短期メンテナンスと、夏の2ヶ月程度のシャットダウン期間を利用して、安定運転を確保するための必要最小限度のメンテナンス作業が進められている。以下、運転統計、ビーム品質管理の様子、2バンチ入射と連続入射の現状、今後の展望(アップグレード)について、概説する。

2. 運転統計

KEKB の運転が本格的に開始された1999年を境に、総運転時間が7000時間を超えるようになってきたことは、昨年報告で述べられている^[1]。今年、KEKB 運転開始以来の3年間の運転統計についてやや詳細に調査した結果を報告する。なお、比較のために2001年度の運転統計を昨年の報告にならって表1に示す。昨年までは入射には直接影響を与えないマシンダウンタイムよりはむしろ、直接入射を妨げたビームロスタイムに注目したが、今年、KEKB での連続入射や将来のリニアコライダ - での運転を考慮して、マシンの性能を表す指標として、入射と無関係に総故障時間を用いることにした。また、従来 rf のトリップ(10秒から20秒で復帰)を故障時間に積算していなかったが、今回それも含めた統計もとってみた。図2左には、この3年間の運転時間と故障時間の積算結果を示す。rf トリップ時間の計算は、VSWR でのトリップは平均10秒間、その他は平均20秒間として、各々のトリップ回数をかけて求めたものである。図2右上には、その元となった故障・rf トリップ回数を示す。総運転時間は変わっていないが、故障時間、故障回数ともに毎年大きく減少し、マシンの状態が改善していることが分かる。

表1: 2001年度運転統計

総運転時間	7,239 時間
マシンダウンタイム	310 時間
ビームロスタイム	22 時間

以上のデータから各故障・rf トリップおよび総故障時間・回数に対応する MTBF (平均故障間隔)・MTL (平均故障時間)を算出したものが、図2右中央及び右下である。平均総故障間隔は毎年7-8割改

¹ E-mail: yujiro.ogawa@kek.jp

善し、2001年度は20分近くになってきた。この時間にはrfトリップ回数も入っており、これまでのKEKBへの入射形態（70 - 90分に1回の入射）では、通常平均故障間隔3 - 5時間の方が、実情に合った数字であると考えられるが、既述したように、今後は連続入射を想定すると、平均総故障間隔20分の方を安定運転上の目安とすべきであろう。

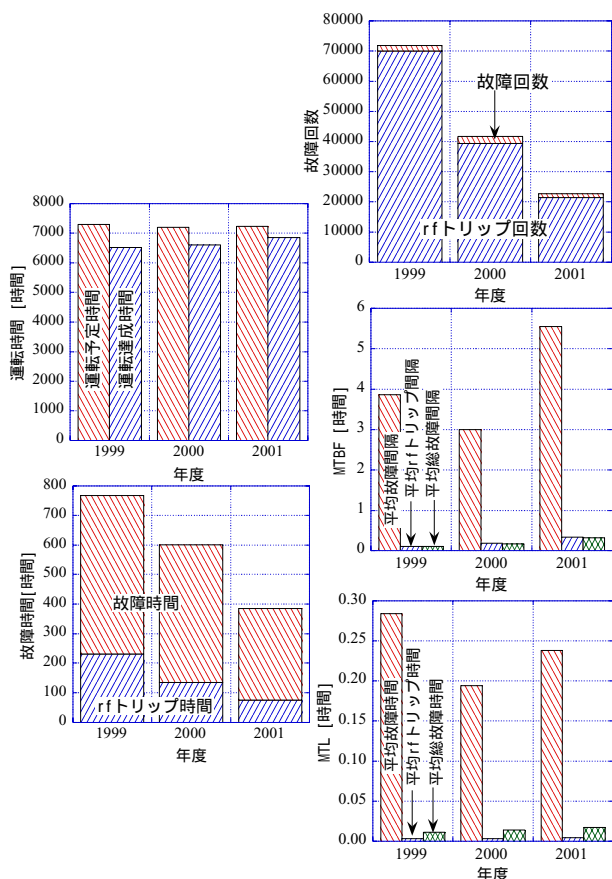


図 2: KEKB 本格的運転開始以来の運転統計

一方、平均総故障時間は横ばいで2001年度は約1分であるが、今後の連続入射を視野に入れると、この場合は逆にrfトリップ時間を除いた平均故障時間（15分程度）の短縮化の方が重要となってくると思われる。

3. ビーム品質向上・管理

3.1 ハードウェア・ソフトウェア改善・開発

・rf系

各コンポーネントにおいて、安定運転確保のために適宜改良・改善を進めているが、昨年以來、マスターオシレータから作っている各rf源(SHB1 [114MHz], SHB2 [571MHz], KEKB-Ring [508MHz], S-band [2856MHz])の位相・パワーモニターおよび調整機構を重点的に整備してきた^[2]。その結果、停電後等の立上げ時に、停電前の状態を確実に再現できるようになり、ビームの再現に大きく寄与している。ま

た、各クライストロンの入出力位相、パワー監視モニター表示システムを整備しているが、これによって故障時等に機器の診断が迅速にできるようになってきた^[3]。一方、クライストロン電源では、サイクロトンの寿命管理について、ビーム運転に対する重要度に応じてランク付けを行ない、交換予定を決めるなどの改善を図った結果、運転時のサイクロトン交換によるビームロス時間は事実上なくなった^[4]。

・タイミング系

これまでにタイミングモジュールの改良・交換・整備を順次進めるとともに、タイミング系の基幹ソフトウェアを更新してきたが、その結果、タイミング系の信頼度が向上しただけでなく、複雑なタイミング調整(SLED タイミング調整による2バンチのエネルギー補償等)が可能となり、ビーム調整に大きく貢献した^{[5], [6]}。

・ビーム運転表示

頻繁にビームモードを切換え、入射・調整を続けている場合、現在の運転状態を簡単に知る手段があると便利である。現在、WEBベースのビームのリアルタイム表示システムが運用開始されている^[7]。これによって、どのビームが異常であるかなどが簡単に分かるようになり、マシンの全体的な診断に役立っている。

3.2 ファシリティ監視・整備

従来から、クライストロンギャラリ - 温度、特に入射部付近の室温と大電流ビーム品質の間の相関や、メンテナンス後の立上げ時の冷却水温の変化とビーム性能の関係などが有意にあることが示されていたが、これらファシリティ自体の改善・更新を順次進めるとともに、毎週定期的に、施設関係者・加速器グループ両者の打合せを行ない、ファシリティの総合的な監視・整備を行なってきた。その成果が次第に上がってきており、たとえば2週間に一度のメンテナンス日（実質6時間）に入射器の重要部分（入射部やマスターオシレータ部等）が電気工事のために停電することがあったが、あらかじめ最重要部には特別なラインを引いて停電を避けるなどの処置を行ない、復電後は既述のrfモニタを駆使して停電前の状態を迅速に再現できている^[8]。これは、加速器グループと施設関係者のチームワークのなせる技であったといえよう。

3.3 ビーム診断

安定なビームを維持するために、定期的に各種のビームパラメータを測定しているが、ビームの加速位相の測定（いわゆるフェージング）を2週間に一度行なっている。クライストロン59台全数について位相を変えてエネルギーを測定しクレスト位相を求めているが、現在、フェージング測定および取得データの設定の自動化を進めている^[9]。ビームの加速位相を常に把握できれば各位置でのエネルギーを正確に知ることができるので、リニアックにとってフェージングの自動化は本質的に重要であり、オプティ

クス調整やビームのエネルギー幅などの調整が系統的に行なえるようになると期待される。

4 . KEKB 陽電子 2 バンチ入射

昨年度から陽電子 2 バンチ加速試験^[10]を進めてきたが、今年度 4 月 23 日~5 月 16 日、6 月 18 日~25 日まで、延べ約 1 ヶ月間 2 バンチ入射 (図 3) を安定に続けることができた。調整により KEKB ビームトランスポート (BT) ラインの終端での電荷量は次第に増え、平均 0.8 nC、最大 0.9 nC となり、LER への入射率も平均 2.5 mA/s、最大 3.4 mA/s を記録した。

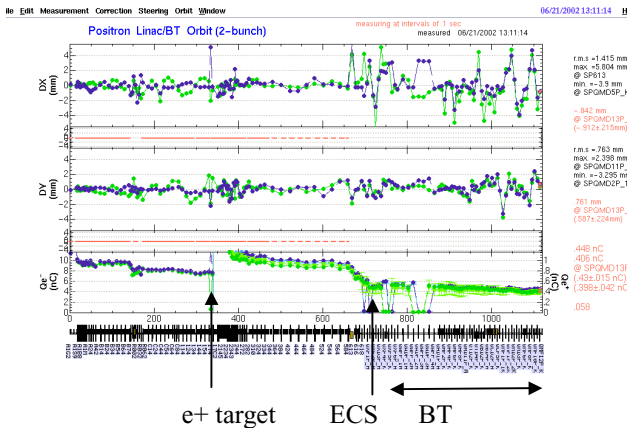


図 3: 2 バンチビームの軌道(上)・電荷量(下)
濃色: 1 バンチ、薄色: 2 バンチ

5 . KEKB 陽電子連続入射

物理実験における積分ルミノシティを有効に蓄積するために、入射を連続的に行ないつつデータを取得するモードを 1 月末に試行した。結果は一部の検出器の動作を除いて良好で、1 日あたりの積分ルミノシティが 2~3 割増えた。調査の結果、検出器の問題もほぼ解決したので、秋からは連続入射が本格化するとと思われる。図 4 に連続入射試行時の KEKB の様子を示す。この時点では PF-AR (放射光利用) の入射頻度が多く、その度ごとに入射が中断しているが、秋からは PF-AR の入射間隔が長くなると期待されるので、積分ルミノシティの増加にさらに期待が持てる。

連続入射が始まると、これまで入射の合間に行なってきた各種ビーム調整・診断を入射中に行なわなければならないだけでなく、不具合のある機器の調整や交換が簡単に行なえなくなる。したがって、非破壊的なビームモニタを用いた調整・診断をさらに充実化するとともに、マシン全体にマージンをもたせる必要があると考えている。今後、入射器の運転統計がどのように変化するかは興味のあるところであるが、入射器としては、当面これまで通りの体制をとって様子を見るつもりである。

KEKB status during continuous injection

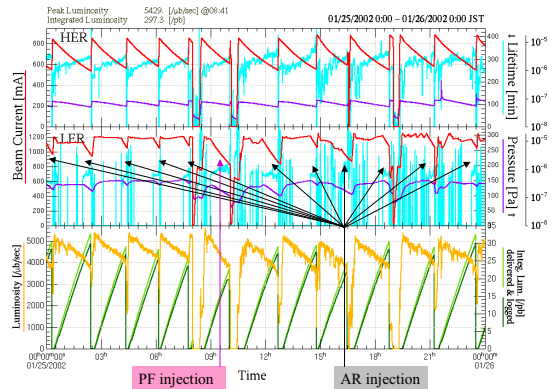


図 4: KEKB 陽電子連続入射時の Daily Snap

6 . アップグレード

入射器では、安定運転の維持と同時に、SuperKEKB を目指した陽電子ビーム 8 GeV 化のための R&D^[11]、^[12]を進めている。また、陽電子生成標的改良のために結晶標的を用いた実験^[13]を行なっている。こうした新しい試みも、期待されるビーム品質を常に評価しつつ行なわれているが、その成果は現在のビーム運転の経験に負うところが大きいと思われる。今後も安定なビーム運転を維持しビーム性能向上を目指しつつ、アップグレードを進めていきたい。

参考文献

- [1] 小林 仁, “KEK 電子陽電子入射器の現状”, Proceedings of the 26th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, Aug. 1-3, 2001.
- [2] 矢野 喜治, “KEKB 入射器マスターオシレーターのモニターシステム”, These Proceedings.
- [3] 川瀬 雅人, “KEK Injector Linac 高周波源の出力及び位相監視用モニタープログラム開発”, These Proceedings.
- [4] 明本 光生, “KEK 8GeV リニアックでのサイラトロン使用状況”, These Proceedings.
- [5] 古川 和朗, “KEK 電子入射器におけるタイミングシステム”, These Proceedings.
- [6] 草野 史郎, “KEK 電子陽電子入射器のタイミング系ソフトウェアの構築”, These Proceedings.
- [7] 上窪田 紀彦, “WEB ベースの KEK 入射器ビームのリアルタイム表示システム”, These Proceedings.
- [8] 大越 隆夫, private communication.
- [9] 工藤 拓弥, “KEK 電子陽電子入射器におけるフェージングシステムの開発”, These Proceedings.
- [10] 小川 雄二郎, “KEKB ライナックにおけるよう電子倍増のための大強度 2 バンチ加速”, Proceedings of the 26th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, Aug. 1-3, 2001.
- [11] 紙谷 琢哉, “KEK 電子陽電子入射ライナックの改造計画について”, These Proceedings.
- [12] 中島 啓光, “将来計画用小型パルス電源”, These Proceedings.
- [13] 諏訪田 剛, “4 及び 8GeV 電子ビームによるタングステン単結晶標的を用いた陽電子生成実験”, These Proceedings.