

KEK電子・陽電子入射器の現状

小川 雄二郎、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、加速器研究施設
〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1

概要

KEK電子・陽電子入射器は、1999年のKEKB運転開始以来、年末年始と夏の2か月を除いてほぼ連続7200時間におよぶ運転を行なっており、4つの異なるリングに頻繁に入射を繰返しつつ安定に稼働している。本年度は、昨年約1か月試行したKEKBへの陽電子2パンチ入射を通常運転として実施し、入射時間の短縮化によって積分ルミノシティの蓄積に貢献している。一方、将来のSuperKEKBに向けてのアップグレード計画（C-band化によるエネルギー利得倍増計画）等のR&Dを進めている。

1. はじめに

KEK電子・陽電子入射器は、1982年のPF（放射光実験施設）リングへの入射開始以来、本年3月までに総運転時間が10万時間を超えた。運転開始当初、年間運転時間は2000時間余であったが、TRISTAN実験開始後5000時間を上回るようになり、現在進行中のKEKB実験では、年間7000時間以上運転を行なっている。また、当初はPFリングのみの入射であったが、現在は4つのリングに異なる種類のビームを頻繁かつ安定に入射している。図1に示すように、運転時間の増加とともに故障率が一時的に増えたものの、その後確実に減ってきている。

昨年秋からは、KEKB陽電子2パンチビームの加速と入射を通常運転化した、また、PF-ARリングへの入射エネルギーを2.5 GeVから3 GeVに変更した。一方、低速陽電子生成のためのテストリニアック（低速陽電子施設^{[1],[2]}）の運転を開始した。

以下、KEK電子・陽電子入射器の運転と統計、維持改善、R&D等について現状報告を行なう。

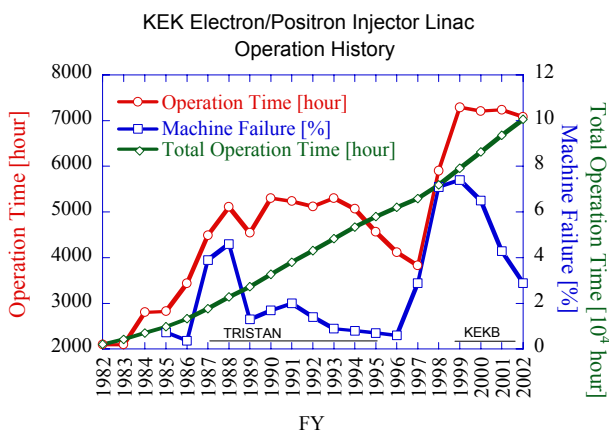


図1: KEK電子・陽電子入射器の運転履歴。

2. 運転と統計

2.1 運転管理

ビーム品質監視

KEKB入射ビームの品質管理としてビームパラメータの監視が重要であるが、ビーム軌道、電荷量、エネルギー幅などのほかに、ツイスパラメータ、リングへの入射率等を含めた監視^{[3],[4]}を強化してきた。その結果、入射が悪化した場合、その原因が入射器とリングのどちらにあるかが、Web上の画面を見るだけで比較的容易に分かるようになった。

運転記録システムの改善

KEK電子・陽電子入射器では、かねてより運転記録の電子化を行なってきたが、昨年よりPF-AR、KEKBの運転記録システムとしても運用が開始された。これにより、入射器からリングまでの運転状況の詳細をほぼリアルタイムでWeb上の画面で確認できるようになり、トラブルの際などに威力を発揮している。今回、ルーチン化した入力操作の自動化をさらに進めることにより、よりリアルタイムかつ内容の充実した運転記録^[5]が実現した。

また、入射毎のビーム情報の記録をWeb上で公開する準備も進めており、運転管理の飛躍的な改善が期待されている。

2.2 運転統計

2002年度の入射器運転においては、秋のKEKB運転再開時の陽電子標的パルスコイル水漏れ事故以外は、運転を妨げる重篤な故障はなく安定に運転を続けることができた。一方、KEKBリングでは、衝突点チャンバーの真空リークにより、約2か月の停止期間があったが、入射器は他のリングへの入射のため通常運転を続けた。表1に2002年度運転統計を示す。これを図2、図3に示すようにKEKB運転開始以来の4年間でみると、マシンの状態が着実に改善していることがわかる。また、週あたりのクライストロンのトリップ数も200回台^[6]（平均数10分に1回の割合）まで減少してきたことから、安定な運転が達成されていることが裏付けられる。

表1: 2002年度運転統計

総運転時間	7,086 時間
マシンダウンタイム	205 時間 (2.9%)
ビームロスタイム	23 時間 (0.32%)

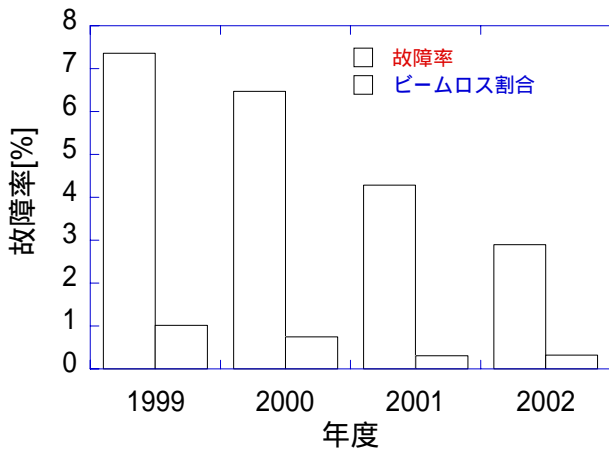


図2: 最近4年間の運転統計。

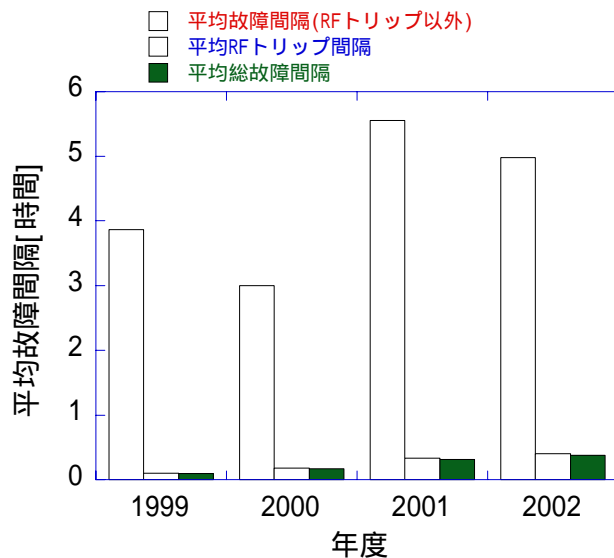


図3: 最近4年間の平均故障間隔(MTBF)。

3. 維持・改善

3.1 rf系

昨年秋から冬にかけて一時期サブプースターの入出力変動が観測され、各種調査が行なわれたが、その一環としてマスターオシレータ等が収容されている恒温槽の改善^[7](ペルチェ素子利用)を試みている。恒温槽の性能とrf位相の関係等を調査中である。

また、大電力クライストロン用パルス電源の負荷からの反射対策用として、あらたにEOLクリッパーを試作し動作試験^[8]を行っている。これにより、パルス電源の保護が強化され長寿命化に貢献すると思われる。

一方、長期連続運転中の多数のrf機器(クライストロン、rf窓など)の診断を定期的^[9]に実施すると

ともに、最小限の停止時間でクライストロンの性能劣化(エミッション減少: デップ試験によるヒーター特性測定)を調べる方法を検証^[10]している。デップ試験では通常のヒーター特性に要する約半日の試験工程が僅か5分となり、多数のクライストロンの性能劣化検査の飛躍的な高速化が期待されている。また、昨年来実施してきたサイラトロンの運転管理^[11]についてもデータベースを整備^[12]して、サイラトロンの寿命をある程度予測し、故障の未然発見を期している。その結果、より計画的なサイラトロンの運転管理が可能となり、実質的にビーム運転を妨げる時間が少なくなると予想される。

3.2 制御系

加速器を安定に運転するために制御系の果たす役割^[4]は年々重要度を増しているが、制御系を構成する各ハードウェアの監視も同時に進めなければならない。昨年秋より、タイミングとモニタ制御用VME計算機(27台)のリモート監視システム^[13]を導入した。これにより、機器の動作不良時の復旧および不良原因の特定に効果を上げている。

3.3 その他

冷却水温の立上がり改善

入射器では2週間に1度に短期メンテナンス(6時間)を実施して、各種機器の調査や不具合を改善しているが、マシンの再立上げ時に冷却水温特に加速管の水温が迅速に安定することが望まれていた。2m加速管の上流と下流での温度差0.1度に対し、加速位相が2度程度変化するので、水温がその範囲に短い時間で安定化することにより、マシンの立上げ時間は大幅に短縮される。昨年秋以来の施設の整備と調整^[14]により、これまで1時間弱必要としていた安定化の時間が、30分程度まで短くなりその分ビーム調整の時間にゆとりがもてるようになった。

真空監視

従来から行なってきた真空監視をより確実にするために、長期変動を観察して異常と思われるものは未然に調査、交換、修理を実施^[15]している。その結果、一昨年に比較して運転中の真空系の故障は減少してきたようである。

安全系

昨年秋の立上げ時に、下流のリングの一部からの安全信号が来ないために、入射器の運転が開始できなかったことがあった。KEK電子・陽電子入射器のように、異なる4つのリングに入射を行なっている場合、各リング加速器との安全系のリンクが、運転のために重要であることは言うまでもない。とくに、スクラップアンドビルトで加速器の改造を長年にわたって進めた場合、安全システムの変更が生じるが、各々の担当部分に留まらず相互の関係部分に対する理解をもたないと、上記のようなトラブルは避けが

たい。そこで、安全系の横断的グループ^[16]を一時立上げて、相互のインターロック配線等の認識を共通化することにした。その結果、以後そのような問題は発生していない。

4 . 陽電子2バンチ定常入射

昨年試験的に実施した陽電子2バンチ入射は、昨年秋から定常運転に供されている。平均入射率は2.5-3 mA/sとなり、これまでのほぼ半分の時間で陽電子入射が終了している。通常の入射方法は、50 ppsで10パルス毎にシングルバンチの入射を1パルス行なうことにより、リング内のバンチ電流の平滑化を実現している。

5 . マシンスタディ

昨年秋の2か月のKEKB停止時期を利用して実施したマシンスタディを紹介する。

5.1 8電極ビームプロファイルモニタ

ストリップライン型8電極モニタを開発し、非破壊ビームプロファイルモニタとして試験^{[17], [18]}を行なった。これを用いれば、分散のないところではビームサイズ、分散の大きいところではエネルギー幅を、非破壊で観測できるようになる。オプティクス診断とエネルギー幅測定の簡便化に期待が寄せられている。

5.2 マルチバンチウェーク場を利用した後続バンチ軌道制御

陽電子2バンチ発生のための大電流一次電子ビームにおけるマルチバンチ横方向ウェーク場は、ビーム軌道調整においてできるだけ抑制する必要がある。ミスアライメントなどで先頭バンチが中心軌道からずれると横ウェーク場が発生し後続バンチ(96ns後方)の軌道が振られる。後続バンチを独立に制御する電磁石はないので、2つのバンチが異なる軌道をとって陽電子標的の同一のスイートスポットに導かれなくなり陽電子生成量が減少してしまう。

ここでは、先頭バンチにローカルバンブ軌道をたて、それによって生ずるウェーク場によって後続バンチの軌道を制御する方法を考案^[19]しビーム試験を行った。実験により後続ビームがキックされることは示されたが、シングルバンチのウェーク場によるエミッタンスの増加の問題等の検討が必要であることが分かった。

5.3 結晶標的を用いた陽電子生成実験

KEK電子・陽電子入射器では、都立大などとの共同研究として結晶標的を用いた陽電子源の開発^[20]を

進めてきた。タングステンの単結晶を用いた実験である程度の成果を上げ、今回、ガンマ発生率の高い軽い結晶標的と重い非結晶金属標的を組合せた陽電子生成実験を行なった。軽い結晶としてはダイヤモンドが有望であることが実証されたが、実用には厚いダイヤモンドが必要であり、実験結果を踏まえ更なる検討を進めている。

6 . アップグレード

SuperKEKB計画では、陽電子の光電子不安定性によるビームブローアップを抑制するために陽電子ビームのエネルギーを3.5 GeVから8 GeVに上げる必要があるとされている。入射器では、陽電子標的のあと適当なところからC-band化して加速利得を倍増させる計画^[21]である。そのR&Dが昨年来順調に進んでおり、rf源に関してはほぼ終了し、この夏に加速管の高電界試験とビーム加速を実施する予定である。

参考文献

- [1] 池田光男、“低速陽電子実験用リニアックの電子銃”、These proceedings.
- [2] 白川明広、“テストリニアック安全システムの構築”、These proceedings.
- [3] 飯田直子、大西幸喜、Private communication.
- [4] 古川和朗、“制御システムと加速器運転”、These proceedings.
- [5] 草野史郎、“The operation logbook system at KEKB linac and ring”、These proceedings.
- [6] 矢野喜治、Private communication.
- [7] 矢野喜治、“KEKB入射器のマスターオシレータ”、These proceedings.
- [8] 本間博幸、“EOLクリッパーの試作と動作”、These proceedings.
- [9] 諸富哲夫、“KEKライナックにおけるクライストロン及び高周波窓の維持管理について”、These proceedings.
- [10] 中尾克巳、“大電力クライストロンのヒータ特性測定のためのデブ試験”、These proceedings.
- [11] 明本光生、“KEK 8 GeVリニアックでのサイラトロン使用状況”、These proceedings.
- [12] 国安 祐、“KEK Injector Linacサイラトロン運転管理”、These proceedings.
- [13] 工藤拓弥、“KEK-LINACにおけるVME計算機のシステム監視”、These proceedings.
- [14] 大越隆夫、Private communication.
- [15] 柿原和久、Private communication.
- [16] 吉岡正和、Private communication.
- [17] 諏訪田剛、“ストリップライン多電極を用いたビームサイズ計測への応用”、These proceedings.
- [18] 佐藤政則、“非破壊ビームエネルギー広がりモニタのデータ収集システム”、These proceedings.
- [19] M. Sato et al., “Two-Bunch Orbit Correction using the Wake Field Kick”, PAC2003.
- [20] 古川和朗、“高エネルギー電子と結晶標的を用いた陽電子生成実験”、These proceedings.
- [21] 福田茂樹、“SuperB計画の為にKEK電子陽電子ライナックCバンド化計画”、These proceedings.