

Luminosity tuning at KEKB

Manabu Tanaka^{1,A)}, Yoshihiro Funakoshi^{B)}

^{A)}Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd.

2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305-0045, Japan

^{B)}High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan

Abstract

We routinely make tuning on machine parameters related to beam collision at KEKB even during the physics experiment. The purpose of this adjustment (called “knob tuning”) is to maintain the high luminosity by optimizing the collision parameters and to obtain a even higher luminosity. In this report, we describe details of the knob tuning and its importance.

KEKBルミノシティ調整

1. はじめに

KEKB-factory(KEKB)^{[1][2]}は1999年から衝突実験を開始し、2003年5月にデザインルミノシティ10/nb/sを達成した。その後もルミノシティは着実に増え続け2005年6月1日現在では15.8/nb/sを記録している。また1シフト（1日を3シフトに分割）あたりの最高積分ルミノシティは396/pb、1日では1178/pbを記録している。このような記録の背景には様々な機器の調整や電流増加等があるが、常時衝突パラメータの調整を行ってきたことも少なからず貢献している。図1にこれまでのKEKBの運転の歴史を示す。

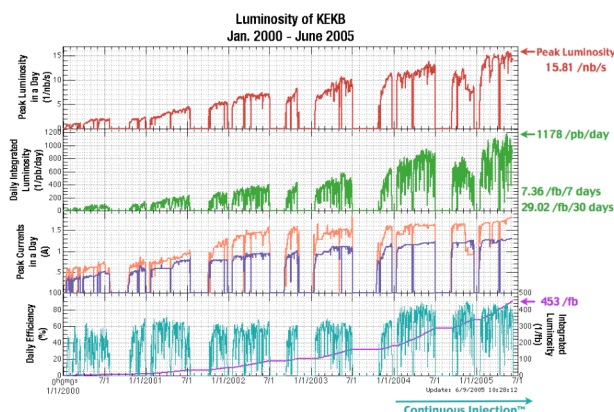


図1 KEKBの運転の歴史

2. 立ち上げ

現在KEKBでは1年のうち夏季期間と年末年始以外24時間加速器運転を行なっているが、2週間毎に1シフト（8時間）加速器運転を止め機器メンテナンスを行なっている。メンテナンスが終了すると物理実験へと移行するが多くの場合電磁石を初期化する必

要がある為、物理実験前に低電流（30mA程度）によるビームの光学補正(Optics Correction)を行なう。光学補正では β 関数やDispersion、X-Y Couplingの補正を行ないその後物理実験へと移行する。

3. 入射方式

2003年までは物理実験を1時間ほど行なったのち一時的にデータ取得をやめ、電子と陽電子を継ぎ足してからデータ取得をする方式を取っていた。しかし2004年からはデータ取得を行ないながら入射をする連続入射方式（CIM: Continuous Injection Mode）に成功し、以後この方式で物理実験の導入を続けている。従来の入射方式とCIM方式との総積分ルミノシティの違いは歴然であり、従来の入射方式では入射している間約10分×20回（約3時間）はデータが取れないのとBeam Lifeに従った電流減少とで平均ルミノシティは最高値の約80%にとどまっていた。一方CIM方式では入射に同期しデータ取得に3.5msecのVetoをかけるが、通常10Hz入射に対するロスが3%程度で約10分周期の電子・陽電子切り替えを行い、両リングの電流をほぼ一定に出来るので最高値に近いルミノシティを維持出来る。またルミノシティ調整に関しても以前の方式であれば実験開始直後は電流が高くルミノシティも良いのだが、電流が低くなってしまうとビームの状態などが変化してしまい低電流で衝突パラメータの調整を行なっても高電流では期待したほどのルミノシティが再現しないことが多々あった。また連続入射方式では電流を常に高い所で保つことによりビームからの放射光等の影響を受ける真空チャンバーの温度などが安定化され、その結果ルミノシティの変動も小さくなるという利

¹ E-mail: tmanabu@post.kek.jp

点があることがわかった。図2、3に各入射方式による1日の物理実験の様子を示す。

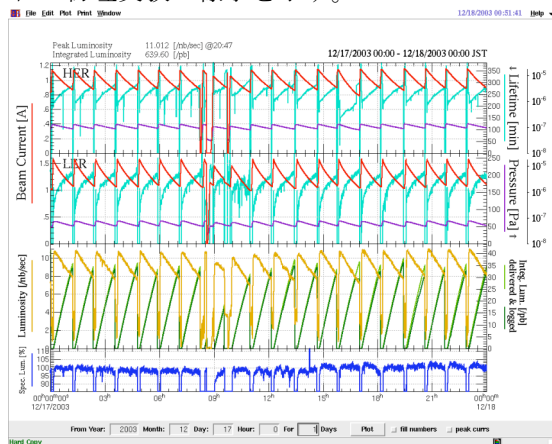


図2 2003年までの入射方式

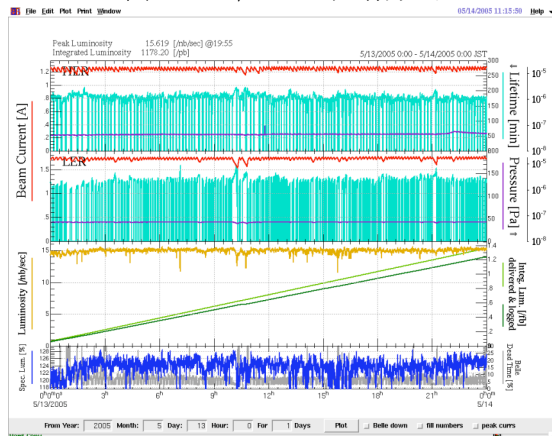


図3 CIM入射方式

4. ルミノシティ調整

4.1 iBump Feedback (iBump FB)

iBump FB^[3]とはHigh Energy Ring (HER) のステアリング電磁石12台(水平電磁石4台、垂直電磁石8台)を使ってHERの衝突点近傍にバンパを立てることによりLow Energy Ring (LER)の陽電子ビームとHERの電子ビームを最適な条件で衝突させる為のシステムである。原理的には2つのビームの衝突点での位置の差(offset)と角度の差(crossing angle)を水平、垂直の両方ともゼロにするのが最適である。KEKBでは垂直方向のoffsetとcrossing angleに関しては、これらの量を直接測定し出来る限りゼロに近く保つようなフィードバックを常時働かせている(但し実際の運用ではモニタ系のオフセット等の為に、測定量を経験的に求めたtargetの値に近くなるようにかけることになる)。水平方向のcrossing angleに関してはKEKBではIRの設計の簡略化などの為に比較的大きなcrossing angle(22mrad)を設計値として導入している。従って、この設計値に比べ十分小さな変動は問題にならずフィードバックは用いていない。また水

平方方向のoffsetについてはoffsetを直接測定しフィードバックすることが何度も試みられたが、グローバルな軌道補正との干渉などの為にうまく動作させることが出来ず、以下に示すように経験的に有効である方法をプログラム化した二種類のフィードバック(Easy FBとBeam Size FB)^[4]の併用で代用している。Easy FBとはiBump FBに使っていない衝突点付近の水平方向ステアリング電磁石(ZHQC2LE)の蹴り角の読値(KRB)と衝突点での水平方向のBumpの高さ(H-Offset)を一定の関係で追従させるものである。またマニュアル調整の場合はオペレータが水平方向のBumpの高さを直接調整(H-offset調整)しているが、KRBの追従と共にLERのBeam Sizeも見ながらH-Offset値を調整している。H-Offsetをプラス方向にするとルミノシティは低下しLER Vertical-Beam Sizeも小さくなる(ハズレ状態と呼んでいる)。逆にマイナス方向にするとルミノシティは高くなりV-Beam Sizeも小さくなるが、行き過ぎるとルミノシティが低くなり急激にV-Beam Sizeも太りBeam Lifeも短くなってしまう(エグレ状態と呼んでいる)のでルミノシティはエグレル寸前が一番良い。図4にエグレとハズレのイメージを示す。定常運転ではこのような現象を利用したFeedbackシステムとしてKRBを追従するEasy FB、LERのV-Beam Sizeの調整を自動化するBeam Size FBが用いられている。

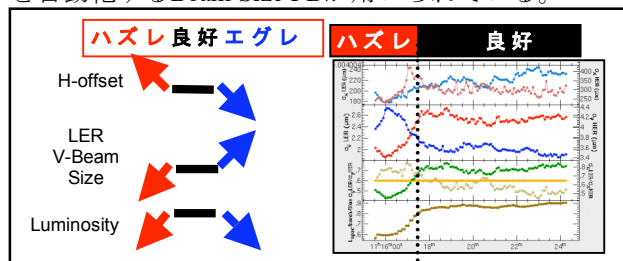


図4 エグレとハズレのイメージ

4.2 Knob調整

4.2.1 Knob

現在KEKBではiBump FBを行いながら以下の様なKnobの調整を行っている。

- LER V-Beam Size (目標とするV-Beam Sizeを決めて常にその値にH-offsetを調整しFeedbackする)
- 衝突点でのX-Y coupling、Vertical Dispersion (16台の6極電磁石を使い衝突点にcouplingやDispersionを作る)
- 衝突点でのWaist (衝突点に近い電磁石QCSとQC1を使用して各ビームの絞り位置を調整する)
- iBump V-Offset & Angle (iBump V-Offset & AngleのTarget値を決め最適値に設定する)
- Vertex Point (Belleから送られてくるデータを基にLERのRF位相を調節してVertex Pointを合わせる)
- ベータトロンチューン (HER、LER共にHorizontal、

Verticalのチューンを調整しルミノシティの最適値に合わせる。KEKBでは半整数共鳴線に近づければ近づけるほどルミノシティが上がる傾向がある。しかしHERではHorizontalを下げるとルミノシティは高くなるがPilot Bunchと呼ばれるチューン測定用Bunchがなくなってしまうチューンの制御が出来なくなるなどの問題がある。またLERではVerticalを下げるとTrainの先頭が欠けてなくなってしまうなど微妙な調整が必要である。)

4.2.2 Knob調整の方法

現在、KEKBでは約10分周期で電子・陽電子の切り替えを行い、両リングの電流比をほぼ一定にしている。HER入射中はLER V-Beam Sizeが安定しない為スキャンは行わない。安定させようとFeedbackするとルミノシティが低下してしまう為である。LER入射中はLERのV-Beam Sizeとルミノシティが比較的安定している為この期間にKnobスキャンを行う。Knobを調整するとHERとLERのV-Beam SizeとiBump V-Offset、V-Angleが振られるのでBeam SizeとiBump V-Offset、V-AngleのFeedbackが落ち着いてからスキャンを開始する。あるKnobについて数点スキャンし、その点を二次関数でフィットし最適値を決めこれを全てのKnobに対し行なう。ただしルミノシティは良いのだがBeam Lifeが短かったり、Dead Time (BelleがデータをLossする割合)が高かったり、入射Beamが入らないなどの現象もあり得るので総合して最適値を探すことになる。ベータトロンチューンに関してはプロット図を利用し傾向を見てチューンを調整する。図5にKnobスキャンの様子、図6にベータトロンチューンのプロット図を示す。

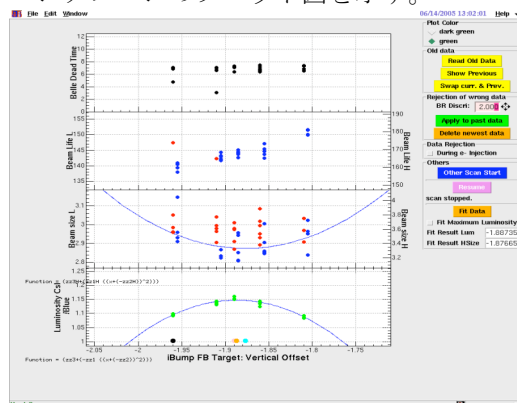


図5 Knobスキャンの様子

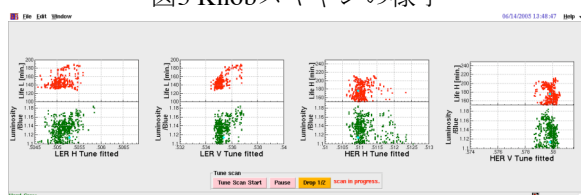


図6 ベータトロンチューンのプロット図

5. まとめ

図7にある日のKnob調整によるルミノシティ向上の様子を示す。Knob調整をしてルミノシティが上がっているのがわかる。一度BeamをAbortしてしまふと元の状態に戻るまで1時間位要することもある。

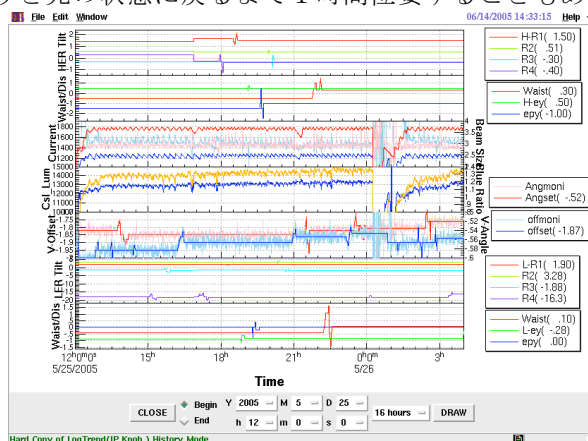


図7 Knob調整によるルミノシティ向上の様子

Optics Correctionでは理想とされるOpticsに出来る限り近づくように補正をかけるのだけどそれだけで高いルミノシティが出る訳ではない。その理由としてはOptics Correctionの補正の精度が充分ではないことや低電流で行われる補正時と大電流で行われる物理実験時ではマシンの状態が異なることなどが考えられる。このためルミノシティを上げかつ高い状態に保つためには常時Knob調整を行うことが必要である。また何らかのトラブルによりBeamの状態が変わってルミノシティが低下した場合Knob調整を行わなければルミノシティは回復しない。現在はKnob調整を調整に慣れた人が行っているがやはりそれでも個人による調整の差は出てくる。これからは誰が調整しても同じになるような指標を作っていかなければいけない。

謝辞

本論文を書くにあたりご助言、ご指導を頂きましたKEKB KCGの方々にお礼申し上げます。

参考文献

- [1] KEB B-Factor Design Report, KEK Report 95-7(1995)
- [2] Haruyo Koiso, et al., "Present Status and Future Plans of the KEB B-Factor", Proceedings of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Funabashi, Aug. 4-6, 2004.
- [3] M. Masuzawa, et al., "IP ORBITAL FEEDBACK FOR COLLISION TUNING AT KEB", Proceedings of EPAC2000, June 2000.
- [4] M. Tanaka, et al., "KEKB加速器 iBump Feedbackの調整による高ルミノシティの持続" Proceedings of the 14th Symposium of Accelerator Science and Technology, Tsukuba, Nov. 11-13, 2003.