

Luminosity Tuning at KEKB -2

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

A) Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd
2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, Japan, 305-0045

B) High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, Japan, 305-0801

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 an even higher luminosity. We installed crab cavities in February 2007. The method of luminosity tuning changed to some extent and some new tuning method were introduced. In this report, we describe the developments after the 2nd annual meeting of particle accelerator society of Japan 2005.

KEKBルミノシティ調整 -2

1. はじめに

KEKB-factory (KEKB) ^{[1][4]}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。第2回加速器学会(2005年7月)報告^[3]後、ピークルミノシティは着実に増え続け前回報告時の15.8/nb/sから2006年11月には17.12/nb/sを記録している。また1シフトあたりの最高積分ルミノシティは396/pbから426/pb、1日あたりでは1178/pbから1231/pbへと着実に進歩している。

2007年2月に、ビーム衝突を22mradの交差角付き衝突から正面衝突と同等の状態にするクラブ空洞を世界で初めて導入した。マシンスタディ後、クラブ空洞は現在に至るまで通常の物理ランで使用され、大電流ビームの条件下で安定に動作することが実証された。ピークルミノシティに関しては従来の交差角付き衝突の場合よりずっと低いビーム電流で2008年5月には16.10/nb/sを記録している。クラブ空洞導入に伴いルミノシティ調整方法も多少変わり、新しい調整方法も導入されている。図1にこれまでのKEKBの運転の歴史を示す。

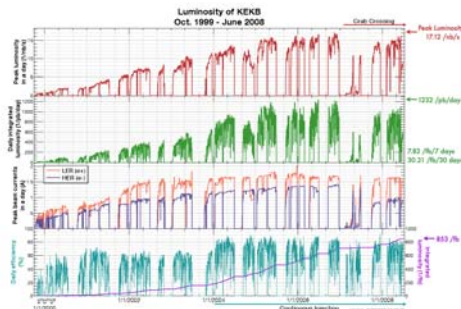


図1 : KEKBの運転の歴史

2. 入射方式

2003年までは物理実験を1時間ほど行ったのち一時的にデータ取得をやめ、電子 (HER) と陽電子 (LER) を継ぎ足してからデータ取得を再開する方式を取っていた。2004年からはデータ取得を行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を続けてきた。CIM方式は入射器のLERターゲット部の制限により、HERとLERの切替を約10分間隔とされてきたが、入射器グループの努力により切り替え間隔を大幅に短縮することに成功し、ビーム電流値をより一定に保つことが出来るようになった。電流値を常に一定値近くに保つことで、ビームからの放射光等の影響を受ける真空チェンバーの温度変化が小さくなり、その結果ルミノシティの変動も小さくなってルミノシティ調整に更に有利となった。現在では約5分程度のサイクルでHERとLERを切り替え入射している。図2、3、4にCIM方式導入前後と現在の様子 (1シフト8時間分) を示す。CIM方式導入後と現在の様子は見た目ではさほど変わらないように見えるが、HERとLERの切り替え間隔が短く入射が頻繁になった為、HER及びLERの電流値減少がCIM方式導入後より少なく高電流を維持しているのがわかる。

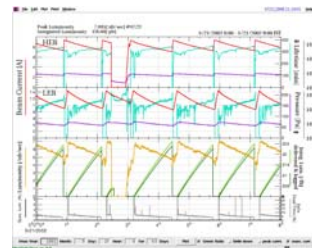


図2 : CIM方式導入前

¹ E-mail: tmanabu@post.kek.jp

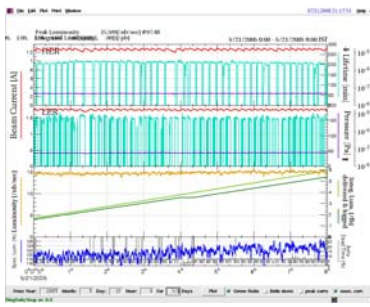


図3：CIM方式導入後



図4：現在の様子

3. クラブ空洞の導入

KEKBでは2006年までビームを22mradの交差角付きで衝突させていたが、2007年2月にクラブ空洞を導入し、以後正面衝突と同等の状態でも物理実験を行っている。クラブ空洞導入前はHER 1340mA、LER 1662mAでピークルミノシティ17.12/nb/s、導入後はHER 934mA、LER 1605mAで16.10/nb/sとHERは約70%、LERは約95%の電流値で、クラブ空洞導入前のピークルミノシティの約94%を達成している。図5、6にクラブ空洞導入前後でそれぞれピークルミノシティの最高値が記録された日の様子を示す。

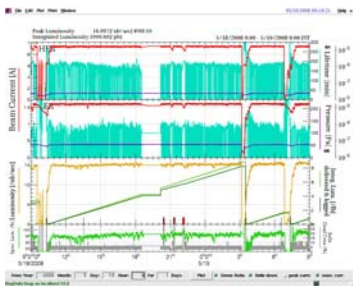


図5：クラブ空洞導入前のルミノシティの様子

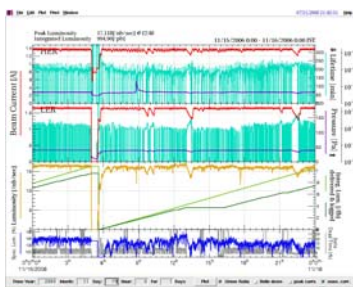


図6：クラブ空洞導入後のルミノシティの様子

4. Knob調整

4.1 iBump Feedback (iBump FB) の変更

iBumpFB^[2]とはHERのステアリング電磁石を使って、HERの衝突点近傍にバンプを立てることによりLERとHER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。従来から垂直方向のoffsetとcrossing angleに関しては、これらの量を出来る限りゼロに保つようにフィードバックを常時働かせていた (実際の運転ではモニタ系のオフセットの為、測定量を経験的に求めた目標値付近になるようにかけている)。水平方向のcrossing angleに関しては比較的大きな値 (22mrad) の為フィードバックさせてはいなかった。水平方向のOffsetについては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 (iBump FBに使用していない衝突点付近の水平方向ステアリング電磁石の蹴り角の読値と水平方向のBumpの高さを一定の関係で追従させるEasy FB、LERのBeam Sizeをある一定値にするBeam Size FB) を用いていた。交差角付き衝突から正面衝突と同等の状態にするクラブ空洞導入に伴い、それまで使用されていた水平方向のoffset用のフィードバック (Easy FB、Beam Size FB) は廃止された。その代わりに水平方向の目標値 (H-Target) を定め、常にその近辺にFBするようiBumpを調整する方式 (beam-beam kickを用いる) に変更され、衝突点でのビームの位置と角度を常に一定にするようにしている。ただし垂直方向のoffsetとcrossing angleに関しては、従来の方式をそのまま踏襲している。現在用いている方法は、offsetに関してはoffsetによって相手ビームによって受けるkick (beam-beam kick) を軌道の変化として検出するbeam-beam deflection法である。

4.2 現在のKnob調整

現在KEKBではiBump FBを行いながら主に以下のKnob調整を行っているが、基本的なKnobは以前と一緒である。Knob調整で大きく変わった点は入射間隔の短縮によりKnob調整間隔 (Scan毎の移動間隔) が以前の10分間隔の半分以下になったことと、主なTuning KnobであるX-Y Coupling、Vertical Dispersion用Knobを最大12次元で調整するDownhill Simplex Methodの導入である。

4.3 主なTuning Knob

iBump FB : H-Target、V-Offset、V-Angleの目標値を最適値にする。最適値でない場合ルミノシティが低くBeam Lifeが安定しないことがある為、ルミノシティ調整の最初に行うことが多い。またHERやLERのCoupling、Dispersionを一通りScanした後に再度行うこともある。

X-Y Coupling、Vertical Dispersion : 衝突点に

CouplingやDispersionを作り、当たり方を調整する。

Waist : 各Beamの衝突点での絞り位置を調整する。

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ルミノシティは上がる傾向にあるが、下げ過ぎるとHERではチューン測定用のバンチが無くなってしまったりLERでは先頭バンチが欠けて無くなったりする。2007年度にはベータトロンチューン調整によるLERの先頭バンチ欠けの防止対策としてパルス四極電磁石が導入された。

4.4 他のTuning Knob

Crab Tilt : Crab付近にCouplingを作り、衝突点でのVertical Crab角を補正する。

Horizontal Dispersion : 8ペアの6極電磁石を使い衝突点でのHorizontal Dispersionを調整する。

Vertex Point : 3分毎にBelle検出器から送られる衝突位置情報を元にLERのRF位相を調整し、HERとLER Beamの衝突位置が定位置に来るようにする。

Chromaticity : SXを調整しビーム寿命を延ばすことを目的に調整する。調整によりルミノシティにも影響することもあるが、主たる目的はビーム寿命を延ばす事である。

4.5 Downhill Simplex Methodの導入

2007年10月より、これまでの単体Knob Scanの方法を進化させたDownhill Simplex Method (DSM) によるScanを導入した。DSMでは主なTuning KnobであるX-Y Coupling、Vertical Dispersion用Knobを最大12Knob使用し、ある一定のアルゴリズムに従いKnob Scanをする。Data取得のタイミングはこれまでのKnob Scanと同じで、HERを入射しLER入射後にDataを取得する。Data取得後DSMにより次の点へ移行し(移行中にHER及びLERを入射する)入射終了後Data取得を行い、この動作を目標値が収束するまで繰り返す。Scanは主としてルミノシティ向上を目標に行うが各Beam Size 最小で行うこともある。

2008年6月現在ではメンテナンス後の立ち上げ(エネルギー変更等による電磁石初期化、光学補正(Optics Correction)後)はX-Y Coupling、Vertical DispersionなどのKnobは多くの場合、0からの状態でDSMを使用しルミノシティを指標にKnob探しを行っている。図7、8にDSM時のルミノシティ向上の様子、調整中のKnobの動きの様子を示す。DSMによりルミノシティが鋸歯のようになりながら徐々に上昇し、12Knobが常に変化している様子がわかる。このDSMの導入によりルミノシティの低い状態からの復帰がかなり速くなった。DSMでKnobの最適値を探した後は、DSM中に大きく変動したKnobを単体で再Scanしたり、iBump (H-Target、V-Offset、V-Angleの目標値)、Waist、Crab Tilt、Horizontal Dispersion、チューン等を絶え間なく調整している。



図7 : DSMによるルミノシティ向上の様子

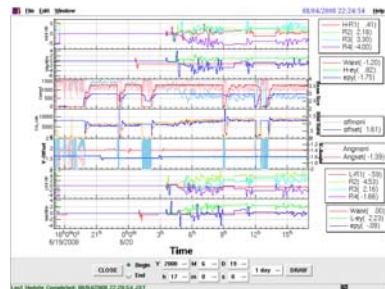


図8 : DSM時のKnobの動き

5. まとめと今後の展望

DSMの導入により前回報告時に問題となっていた個人によるKnob調整の差はある程度改善された。DSMではKnobをある程度ルミノシティを高い状態に迅速に移行することが出来るが、それ以外のKnobも調整しないと更に高い状態に持っていくことが出来ない。

Crab空洞の導入後、バンチ電流が高い領域では、ルミノシティはシミュレーションどおりではなく頭打ちの状態となっているが、その原因が解明されればルミノシティは大きく飛躍することが期待される。さらにHER、LERの同時入射が計画されている。同時入射が実用化されれば電流値は常に一定となり、ルミノシティ調整も入射タイミングを選ばず行うことが出来る。これからもルミノシティ向上に向け、更に努力をしていきたい。

6. 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 コミッショニンググループの方々にお礼申し上げます。

参考文献

- [1] KEKB B-Facility Design Report, KEK Report 95-7 (1995)
- [2] M.Masuzawa, et.al., "IP ORBITAL FEEDBACK FOR COLLISION TUNING AT KEKB", Proceedings of EPAC2000, June 2000.
- [3] M.Tanaka, et.al., "Luminosity tuning at KEKB" Proceedings of the 2nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tosu, July. 20-22, 2005.
- [4] <http://kekb.jp>