

Luminosity Tuning at KEKB - 3

Manabu Tanaka^{1,A)} and 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 skew sextupole magnets in March, 2009 and the injection method changed to some extent. In this report, we describe progress in luminosity tuning after the 5th annual meeting of Particle Accelerator Society of Japan held in 2008.

KEKBルミノシティ調整 - 3

1. はじめに

KEKB B-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。第5回加速器学会(2008年8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17.12/nb/sから2009年6月にはデザインルミノシティの倍以上の21.08/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426/pbから550/pb、1日あたりでは1231/pbから1479/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。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ている。また2009年4月からは入射方法の改善やスキュー六極電磁石の導入によりピークルミノシティは飛躍的に向上し21.08/nb/sを記録している。図1にこれまでのKEKBの運転の歴史を示す。

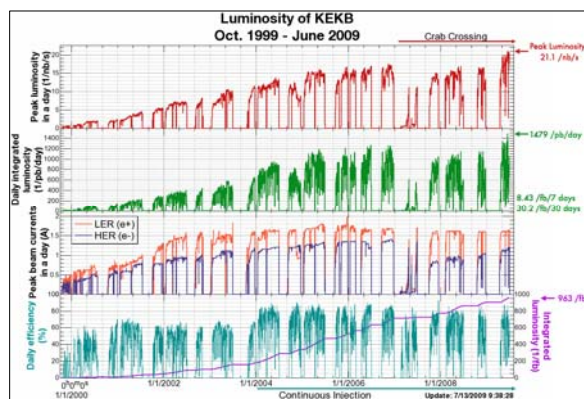


図1: KEKBの運転の歴史

2. 入射方式の改善

前回(2008年度)も入射方式に関して報告を行ったがその後も大きな改善が達成された。

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。図2と3にCIM方式導入前後の様子を示す。CIM方式は入射器のLERターゲット部の制限により、HERとLERの切替えを約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てきた。昨年度の報告時では約5分程度の間隔でHERとLERを切り替え入射していた。その後入射方式は更に改善され、現在ではHERとLERを同時入射(パルス毎入射)出来るようになった。同時入射ではHERとLERの電流値を常に一定値に保つことで、ビームからの放射光等の影響を受ける真空チャ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。図4と5に昨年度報告時と現在の様子(1シフト8時間分)を示す。CIM方式導入前後から昨年度と現在の様子は大きく変化し、HERとLERの切り替え間隔が短く入射が頻繁になった昨年度報告時と比べても一目瞭然である。HER及びLERの電流値減少が昨年度報告時より少なく、ライブ表示色(水色)の間隔を見ても入射間隔が短く高電流を維持しているのがわかる。また同時入射が実用化され電流値は常に一定となったため、ルミノシティ調整は入射タイミングを選ばず行うことが出来るようになり格段に速くなった。

¹ E-mail: tmanabu@post.kek.jp

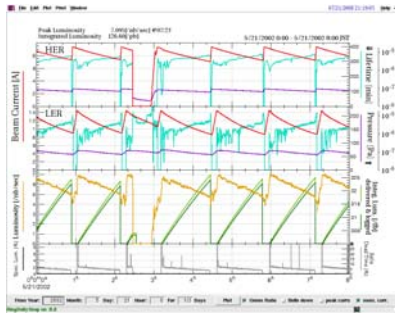


図 2 : CIM方式

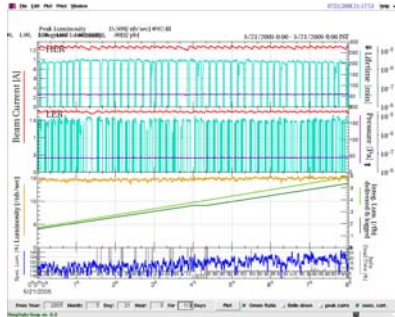


図 3 : CIM方式



図 4 : 昨年度報告時の様子



図 5 : 現在の様子

3. クラブ空洞

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の物理実験を行っている。クラブ空洞導入前はHER/LER 1340/1662mAでピーク luminositiy 17.60/nb/sを記録していた。クラブ空洞導入後、昨年度の報告時にはHER/LER 934/1605mAで16.10/nb/sとHER約70%、LER約95%の電流値でクラブ空洞導入前のピーク luminositiyの約94%を達成していた。昨年度の報告後はHER/LER 1188/1637mAで21.08/nb/sとHER約89%、LER約98%の

電流値で、クラブ空洞導入前のピーク luminositiyの約130%を達成している。このピーク luminositiyの向上は主には後述するスキュー六極電磁石の導入によってもたらされたが、HERビーム電流を増やしたことも寄与している。HERビーム電流を増やすことが可能になった理由は、オプティクスの変更によりLERクラブ空洞付近のアーチャーが広がったこと及び衝突点での β_x を緩めたためである。表1にクラブ空洞導入前後のHER、LER及びピーク luminositiyの比較、図6と7にクラブ空洞導入前後にピーク luminositiyの最高値が記録された日の様子を示す。また図8にピーク luminositiy 21.08/nb/sを記録した日の様子を示す。

表 1 : クラブ空洞導入前後のHER、LER及びピーク luminositiyの比較

	HER (mA)	LER (mA)	Luminosity (/nb/s)
クラブ空洞導入前	1340	1662	17.60
2008年度	934	1605	16.80
2009年度	1188	1637	21.08

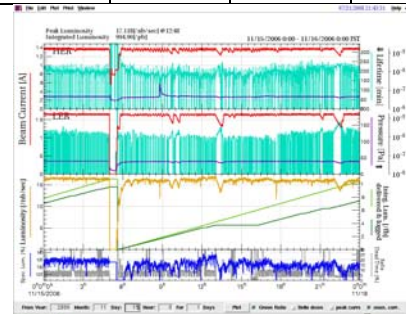


図 6 : クラブ空洞導入前の luminositiyの様子

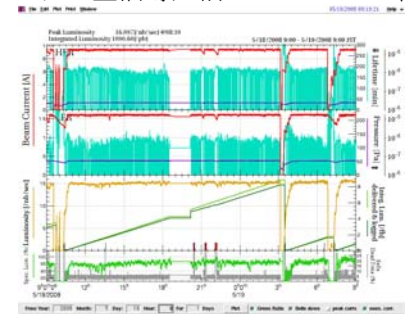


図 7 : クラブ空洞導入後の luminositiyの様子

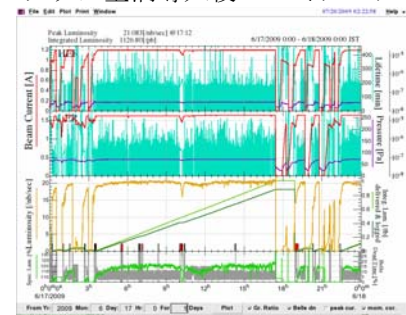


図 8 : ピーク luminositiy 21.08/nb/sを記録した日の様子

4. スキュー六極電磁石の導入

通常加速器ではビーム内粒子の水平及び垂直方向の運動は、互いに干渉しないように設計されているが、現実の加速器では磁石の設置誤差やビーム軌道の磁石中心からのずれなどによって発生する水平垂直結合を補正する必要がある。これまでは運転エネルギーでのビーム粒子に対して水平垂直結合を補正していたが、エネルギーがずれたビーム粒子の水平垂直結合を補正する為、スクュー六極電磁石が2009年3月にHERリングに20台、LERリングに8台導入された。エネルギーがずれたビーム粒子の水平垂直結合を補正したことによりピークルミノシティが飛躍的に向上した。図9にスクュー六極電磁石を導入した時のルミノシティの様子(1日分)を示す。スクュー六極電磁石を導入前までのルミノシティは16.3/nb/s程度であったが、導入後ルミノシティは飛躍的に向上し18.5/nb/sを記録している。

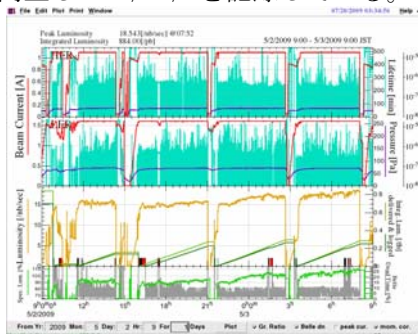


図9：スクュー六極電磁石を導入した時のルミノシティの様子(1日分)

5. Knob調整

通常リング全体の軌道補正はContinuous Closed-orbit Correction (CCC)と呼ばれるシステムにより約10秒間隔で行われている。衝突点での軌道補正はCCCでは補正精度も補正速度も十分でないため、iBump FB^[4]と呼ばれるシステムで衝突点だけで軌道補正行っており、約1秒間隔で補正が行われている。これらはお互い別物として扱われておりiBump FBが衝突点に作るバンプの大きさをCCCに教えることによりCCCは衝突点での軌道を知ることになる。実際Knob調整をするとリング及び衝突点の軌道に乱れが生じるがCCCとiBump FBにより軌道が補正されるまで待たなくては行けない。通常のKnob調整ではリング内にある6極電磁石を用い衝突点にCouplingやDispersionを作り、両ビームの当たり方を調整する。CCCでの軌道変動はそれほど気にすることなく主に衝突点での軌道変動が補正されるまではデータ取得を停止し軌道変動収束後データ取得を行い、次のKnobへ変更するようにしている。

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を導入してきた。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。データ取得はHER、LERとそれ

ぞれ入射した後にデータ取得をしてきたが、入射方式の改善により蓄積電流が常時一定となり常時Knob Scanが可能となった。

ルミノシティが大きく向上したことによりビームの当たり方のわずかな変化でもルミノシティに影響が見られるようになった。その1例がVertex Pointの調整である。Vertex Pointの調整は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 ビームの衝突位置が定位置に来るようにするものである。スクュー六極電磁石導入前にもVertex Pointの調整を止めながらKnob調整を行うことはあったが、シフト担当者によってはRF位相変化が微小な為、Vertex Pointを常に一定に自動調整しながらKnob調整をすることもあった。しかしスクュー六極電磁石導入後のルミノシティでは明らかにVertex Point変化時(LER RF位相調整時)にルミノシティに影響が見られるようになった為、Vertex Pointの調整を自動から閾値を超えた時のみ手動で調整するように変更した。

前回(2008年度)の報告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、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探しを行っていたが、最近Tune測定用の非衝突Bunch(Pilot Bunch)を用いた衝突点でのX-Y Couplingの直接測定が試みられ、まだ測定精度の問題はあるもののある程度実用上使える見通しが出てきた。

6. まとめ

Crab空洞導入以来、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たが、スクュー六極電磁石の導入によりルミノシティは大きく飛躍した。またHER、LERの同時入射が実用化され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ようになった。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。

7. 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-Factor Design Report, KEK Report 95-7 (1995)
- [2] <http://kekb.jp>
- [3] M.Tanaka, et al., "Luminosity tuning at KEKB - 2" Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Higashihiroshima, Aug. 6-8, 2008.
- [4] M.Masuzawa, et al., "IP ORBITAL FEEDBACK FOR COLLISION TUNING AT KEKB", Proceedings of EPAC2000, June 2000.