

Operation Statistics of KEKB in FY2009

Manabu Tanaka ^{*,A)}, Hirohito Asai^{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

The KEKB B-factory(KEKB) started a collision experiment in 1999 and achieved the design luminosity of 10/nb/s in May, 2003. We achieved 21.08/nb/s (more than the double of the design luminosity), 550/pb/shift and 1479/pb/day in June, 2009. We installed crab cavities in February 2007. The method of luminosity tuning changed to some extent. We installed skew sextupole magnets in March, 2009 and the e+/e- simultaneous injection scheme was realized. After those, the peak and integrated luminosity improved drastically. In this report, we describe the operation statistics of KEKB in FY 2009.

2009 年度 KEKB 運転統計

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。2009 年 6 月にはピークルミノシティは大幅に更新され、21.08 /nb/s を記録している。また 1 シフト 8 時間あたりの最高積分ルミノシティは 550 /pb、1 日あたりでは 1479 /pb を記録している。

2007 年 2 月には、衝突ビームを 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。その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ている。2009 年 4 月からは Skew SX の導入や入射方法の改善によりルミノシティは飛躍的に向上した。図 1 にこれまでの KEKB の運転の歴史を示す。

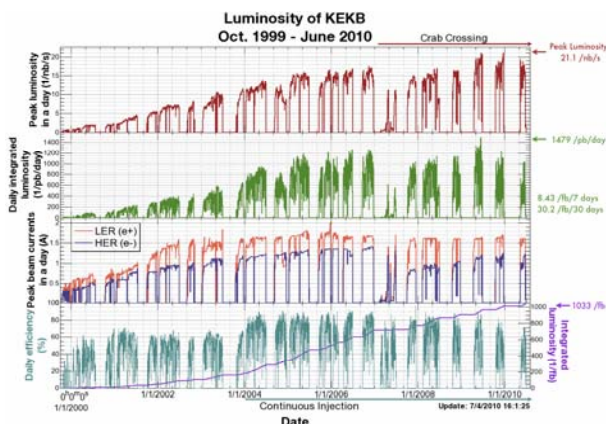


図 1 : KEKB の運転の歴史

2. 運転時間

KEKB はこれまで夏季の 2 ヶ月及び年末年始を除き約 9 ヶ月(年間約 5000~6000 時間)程度毎年運転を

行ってきた。図 2 に 2002~2009 年度までの年度別運転日数及び運転時間の統計を示す。KEKB の運転時間は 2004 年度の 275 日 6552 時間をピークに 2008 年度は 162 日 3849 時間、2009 年度は 150 日 3551 時間となり 2002~2007 年度までの平均運転時間 241 日 5724 時間と比べると 6 割弱となった。

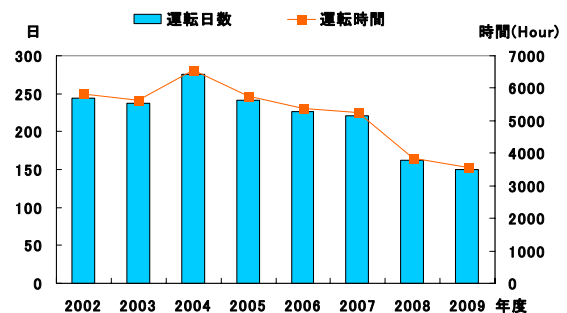


図 2 : 年度別運転日数及び運転時間

3. 運転内容

KEKB は毎年 9 ヶ月(年間約 5000~6000 時間)程度運転^{[3][4][8]}を行ってきた。運転の主たる目的は物理実験であるが加速器性能向上のためのスタディ(Beam Tuning、Machine Tuning や Machine Study)もある程度の割合で行われてきた。図 3 に年度別運転時間及び内容の推移、図 4 に年度別運転稼働率の推移を示す。2007 年度はクラブ空洞導入後の各種調整やマシンスタディのため、物理実験の割合が 50%以下まで減少していた。図 5 に 2009 年度運転時間及び内容詳細を示す。物理実験の割合は 70%強と 2005 年度までのレベル近くまで回復したが、KEKB は 2010 年度に運転を一旦終了しアップグレードが検討されていることもあり、加速器性能向上のためのスタディも行われた。

* tmanabu@post.kek.jp

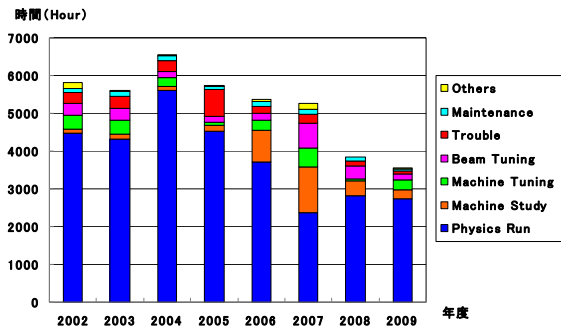


図 3 : 年度別運転時間及び運転内容

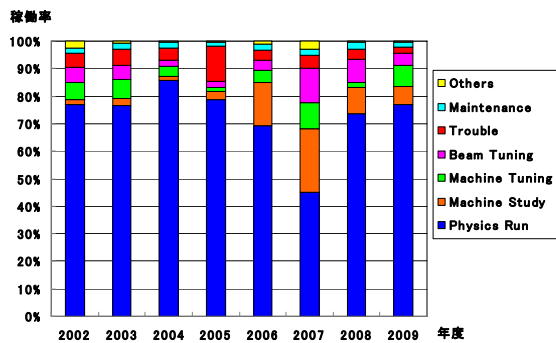


図 4 : 年度別運転内容詳細

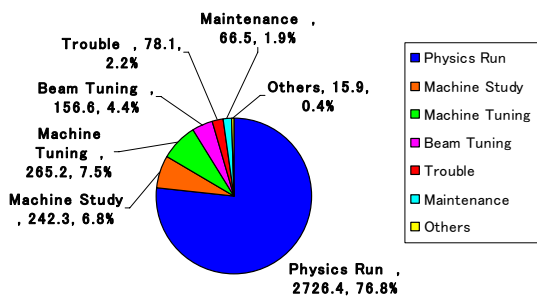


図 5 : 2009 年度運転内容詳細

4. クラブ空洞及びスキュー六極電磁石の導入

4.1 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きた。クラブ空洞導入前は HER/LER 1340/1662mA でピークルミノシティ 17.60/nb/s を記録していた。クラブ空洞導入後の 2008 年 5 月では 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ルミノシティの約 94% を達成していた。2009 年 6 月には HER/LER 1340/1662mA で 21.08/nb/s と HER100%、LER 約 98% 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 130% を達成している。このピークルミノシティ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。図 6 にクラブ空洞導入前後と 2009 年 6 月の HER、LER、ピークルミノシティの比較を示す。

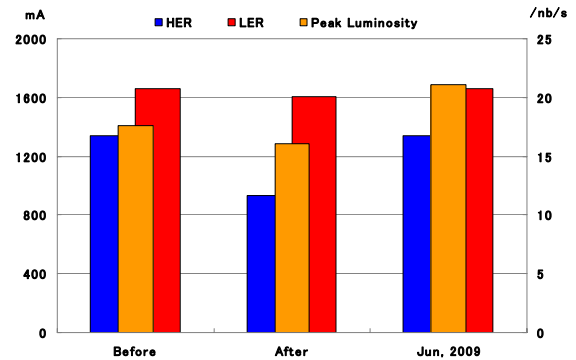


図 6 : クラブ空洞導入前後と 2009 年 6 月の HER、LER、ピークルミノシティの比較

4.2 スキュー六極電磁石

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、スキュー六極電磁石が 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 7 にスキ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。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 7 : スキ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. 積分及びピークルミノシティ

KEKB のような衝突型加速器の性能はルミノシティで表される。運転の主たる目的である物理実験が成功するためには、積分ルミノシティを増やすことが重要である。積分ルミノシティを上げるための固有の努力及びピークルミノシティを上げるための努力の両方が必要である。積分ルミノシティ向上のための努力としては、ビームアポートの頻度を減らすこと、マシンの故障率を減らすこと、ビームノイズによる検出器のデッドタイムを減らすことなどが重要である。KEKB のコミッショニンググループ (KCG) と運転員はピークルミノシティの更新を考えながら可能な限り積分ルミノシティが確保出来る状態で日夜ビーム調整^{[5][6][7][8]}を行っている。図 8 に年度別積分及び一日平均積分ピークルミノシティの推移、図 9 に 2009 年度月別積分及びピークルミノシティの推移を示す。

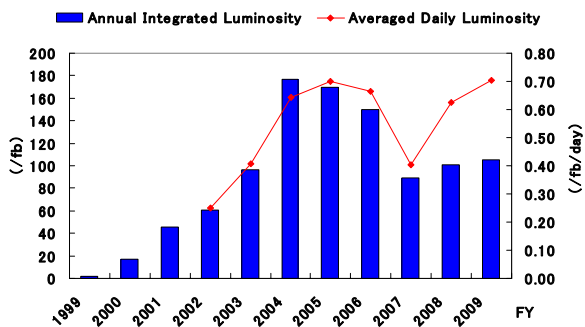


図 8 : 年度別積分ルミノシティ

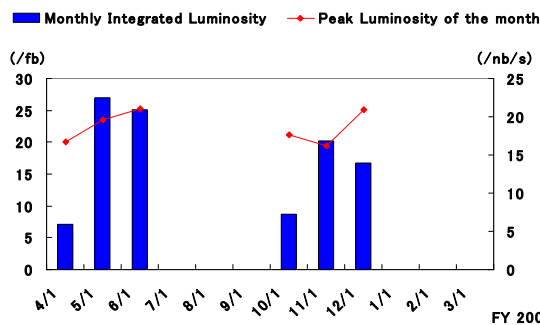


図 9 : 2009 年度月別積分及びピークルミノシティ

2009 年度の運転日数は 150 日で年間積分ルミノシティは 105.43/pb、ピークルミノシティは 21.083/nb/s であった。2009 年の運転日数あたりの 1 日積分ルミノシティは 0.70/fb/day と 2008 年度の 0.62/fb/day より増加した。2007 年度クラブ空洞導入後の 0.405/fb/day より飛躍的に増加している。クラブ空洞導入前での最高値 2005 年度の 0.701/fb/day と同じレベルまで回復した。平均 1 日積分ルミノシティはクラブ空洞導入前の 2006 年度は 0.66 /fb/day であったが、クラブ空洞導入直後の 2007 年度はクラブ空洞のマシスタディや各

種装置の調整等により 0.41 /fb/day と落ち込んだ。その後マシスタディや各種装置の調整等が進み 2008 年度は 0.62 /fb/day、2009 年度は 0.703/fb/day とクラブ空洞導入前の値まで回復し、大電流ビームの条件下でクラブ空洞が安定に動作することを実証した。ピークルミノシティに関しても従来の交差角付き衝突の場合より低いビーム電流で記録を更新している。

また入射方式の改善も積分及びピークルミノシティに貢献した。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。2009 年 12 月では HER と LER を同時入射 (パルス毎入射) 出来るようになった。図 10 に 2007 年 12 月と 2009 年 5 月の同時入射の比較を示す。

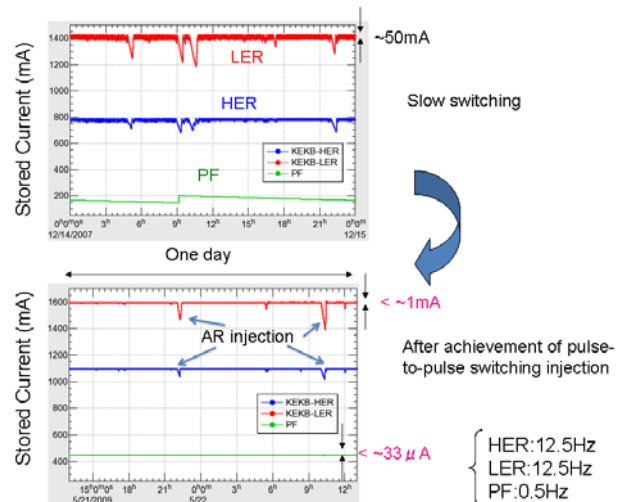


図 10 : 2007 年 12 月と 2009 年 5 月の同時入射の比較

6. 故障時間

図 11 に年度別トラブルの推移、図 12 に 2009 年度のトラブル内訳を示す。年度別トラブルの推移に関しては、これまで Belle 測定器トラブルも集計の対象としていた。今回は 2005 年度の Belle 測定器トラブルだけ突出していた為、Belle 測定器トラブルを除いた加速器側のみの集計となっている。2008 年度の故障時間は合計 123 時間、内訳は真空 33.5 時間、RF33 時間、電磁石 15 時間、BT10 時間、その他 26 時間となっている。その他 26 時間のうち 19 時間は 6 月の停電によるものであった。2009 年度の故障時間は合計 78 時間、内訳は真空 8.2 時間、RF20.7 時間、電磁石 6.1 時間、BT27 時間、冷凍機 10.3 時間となっている。故障時間合計では 2008 年度の 6 割弱と少なかったが BT トラブルの割合が増加した。詳細については電磁石の冷却水インターロックによるダウンが頻発し入射を中断して復旧作業に多くの時間を費やした。

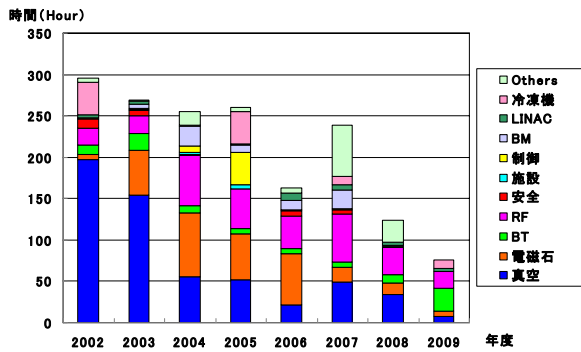


図 1 1 : 年度別トラブルの推移

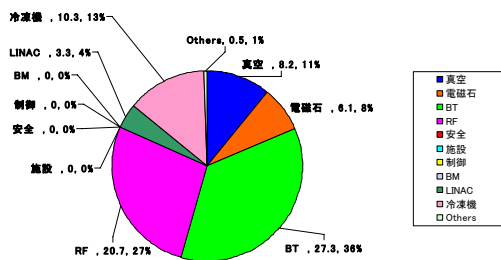


図 1 2 : 2009 年度トラブル内訳故障発生頻度

7. まとめ

スキ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。2009 年度終了分までの総積分ルミノシティは 1018/fb、クラブ空洞を用いた運転でのピークルミノシティは更新され 21.08/nb/s となった。KEKB 加速器は 2009 年度分の運転は小さなトラブルはあったものの、長期間運転停止するような大きなトラブルもなく終了することが出来た。

8. 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-Factory Design Report, KEK Report 95-7 (1995)
- [2] <http://kekb.jp>
- [3] T.Kawasumi, et.al., "Operation statistics of KEKB" Proceedings of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Funabashi, August. 4-6, 2004
- [4] M.Tanaka, et.al., "Operation Statistics of KEKB in FY 2008" Proceedings of Particle Accelerator Meeting 2009, JAEA, Tokai, Naka-gun, Ibaraki, Japan.
- [5] 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.
- [6] 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.

- [7] M.Tanaka, et.al., "Luminosity tuning at KEKB - 3" Proceedings of Particle Accelerator Meeting 2009, JAEA, Tokai, Naka-gun, Ibaraki, Japan.
- [8] M.Tanaka, et.al., "Luminosity Tuning and Operation Statistics at KEKB" Proceedings of The 7th International Workshop on Accelerator Operations, KAERI, Daejeon, Korea, April. 12-16, 2010.