

Operation Statistics of KEKB

Takeshi Kawasumi^{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

KEKB accelerator has been operated since December 1998. We achieved the design peak luminosity of 10.00/nb/s. The present record is 17.12/nb/s. Detailed data of the KEKB Operation is important to evaluate the KEKB performance and to suggest the direction of the performance enhancement. We have classified all KEKB machine time into the following seven categories (1) Physics Run (2) Machine Study (3) Machine Tuning (4) Beam Tuning (5) Trouble (6) Maintenance (7) Others, to estimate the accelerator availability. In this paper we report the operation statistics of the KEKB accelerator.

KEKB 運転統計

1. はじめに

KEKB は、1998年12月に運転を開始し、電子を蓄積する High Energy Ring (HER:8GeV) への入射、陽電子を蓄積する Low Energy Ring (LER:3.5GeV) への入射を実現した。その後1999年6月から衝突実験が開始された。2004年より連続入射方式(Continuous Injection) が開始され、蓄積電流、およびルミノシティの高い状態で運転を継続する事が可能となった。2007年2月からクラブ空洞(特殊な超伝導空洞)を用いて、電子・陽電子ビームのバンチ(粒子のかたまり)を回転させ、より高いルミノシティを達成することを目指している。現在の最高ルミノシティは 17.12/nb/s、全積分ルミノシティは 853/fb である。図1 にKEKB History を示す。

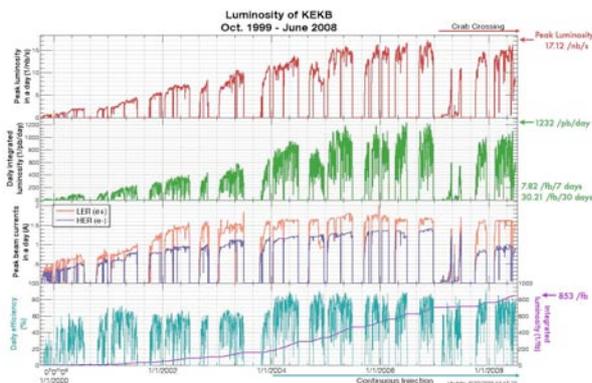


図1 : KEKB History

<http://www-kekb.kek.jp/History>

2. KEKB の運転

KEKBは、夏季及び年末年始期間を除き24時間連続して運転し、年間約6000時間運転している。夏季、

年末年始の運転停止期間は、装置の点検、改造が行われ、運転期間中は約2週間に一度の間隔でメンテナンス日を設け、約8時間の装置点検等が行われる。運転期間中は、主に衝突実験を行うが、加速器性能向上の為に、装置の調整、ビーム調整、各種 Study も随時実施している。故障発生時は、担当者へ連絡し、速やかに運転状態に戻れるように迅速な対処を行っている。

3. 運転統計

3.1 分類項目

KEKBの性能を評価し、その性能向上の方向を示唆する上で、運転に関する詳細なデータが必要となった。運転に関する分類項目を選定し、また重要項目であるトラブルに関する項目を細分類化し、明確に統計データが取れるように変更した。表1、表2に運転に関する分類、トラブルに関する分類項目およびその項目に関する内容を示す。

表1 : 運転に関する分類

分類項目	項目内容
Physics Run	物理実験 (衝突実験)
Machine Study	マシンスタディ
Machine Tuning	装置の調整
Beam Tuning	ビームを用いた運転調整
Trouble(運転停止)	運転停止に繋がる故障
Trouble(運転継続)	運転継続可能な軽故障
Maintenance	定期保守
トンネル内作業 (Maintenance 以外)	定期保守以外のトンネル内作業
その他	上記項目に該当しない作業

¹ E-mail: kawasumi@post.kek.jp

表2: トラブルに関する分類

項目	主な故障内容
真空	真空リーク、チェンバー、ベローズ等の発熱破損、冷却水等
電磁石	電磁石電源、冷却水等
BT	セプタム、キッカー、電磁石電源、冷却水
RF	冷却系、真空、空洞、制御、KLY電源等
安全	安全システム、放射線モニター、火報等
施設	冷却水、電力系等
制御	計算機、通信系等
BM	ビームモニター、Bunch by bunch FB等
Belle	計算機、通信、各種測定装置等
LINAC	RF、電磁石等
冷凍機	超伝導冷却系 (RF、QCS、Belle)
その他	自然災害 (落雷、地震)、瞬停等

3.2 運転統計データのWeb 上での公開

運転統計作成は、主にKEKB運転Log データを元に、該当する分類項目欄への時間入力、および内容欄への調整、故障等の内容入力である。入力された時間は、自動集計され、視覚的に分かりやすいようグラフ表示している。表1、表2 で示した分類項目の他にも Machine Tuning、Beam Tuning 項目も細分類化しており、どのような調整を行っていたか集計できるようにになっている。尚、これらのデータはKEK 所内から閲覧できるようになっている。図2、図3 にKEKB運転統計 Web ページの一例を示す。

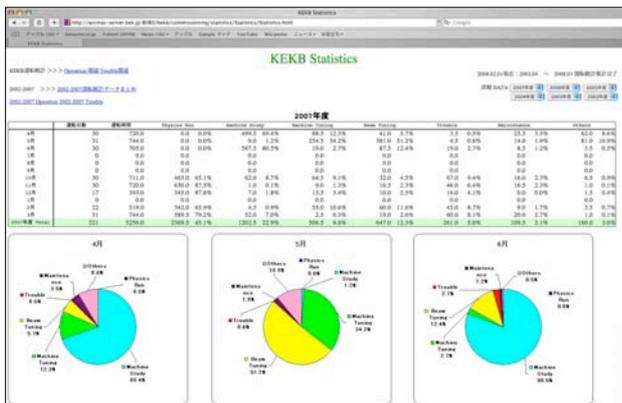


図2: Webページ(運転統計データとグラフ)

2007 年度(2007.04)		記録 Data														
日付	曜日	項目	時間	内容	項目	時間	内容	項目	時間	内容	項目	時間	内容	項目	時間	内容
4月1日	日	24.0	Beam-Beam Tune Shift, Collision Tuning(Oral QND)	24.0												
4月2日	月	24.0	Collision Tuning(Oral QND)	23.0												
4月3日	火	24.0	Phase Slump Program Test, Collision Tuning(Oral QND)	13.5	RF Main-ESRM Tuning	1.0										
4月4日	水	24.0	Collision Tuning(Oral QND)	19.0	Main#1 Hand-Adjustment	1.5		1.5								
4月5日	木	24.0	Collision Tuning(Oral QND)	21.5	SRM Tuning	2.0										
4月6日	金	24.0	Collision Tuning(Oral QND)	19.0	Main#1 Hand-Adjustment, SRM Tuning	2.5		1.5		1.0						

項目	時間	内容	項目	時間	内容
Beam Tuning	0.0		Trouble (運転停止)	0.0	
Physics Connection	1.0	1.0		4月1日	日
Physics Connection	0.0			4月1日	月
Physics Connection	0.0			4月1日	火
Physics Connection	2.0	1.5	SRM	4月4日	水
Physics Connection	0.5	0.5		4月5日	木
Physics Connection	1.5	1.5		4月6日	金

図3: Webページ (詳細データ)

4. 統計データ

4.1 運転時間の統計データ

年度別の運転時間のグラフを 図4、年度別の稼働率のグラフを 図5 に示す。年間の運転時間は、2004年度がピークで、6552時間である。2006年度、2007年度は、クラブ空洞導入等の為、運転時間が短くなっている。2007年2月からクラブ空洞を用いた運転が開始され、Machine Tuning, Machine Study の割合が増加している。2002年度から2007年度までの平均では、Physics Run: 72.8%, Machine Study: 7.5%, Machine Tuning: 5.3%, Beam Tuning: 5.0%, Trouble: 6.1%, Maintenance: 2.0%, Others: 1.3% である。トラブルやメンテナンス、その他を除いた実際の運転の稼働率 (Physics Run + Machine Study + Machine Tuning + Beam Tuning) / 運転時間×100) は、2005年度に故障の影響で大きく下がっているものの、約90%以上で推移している。

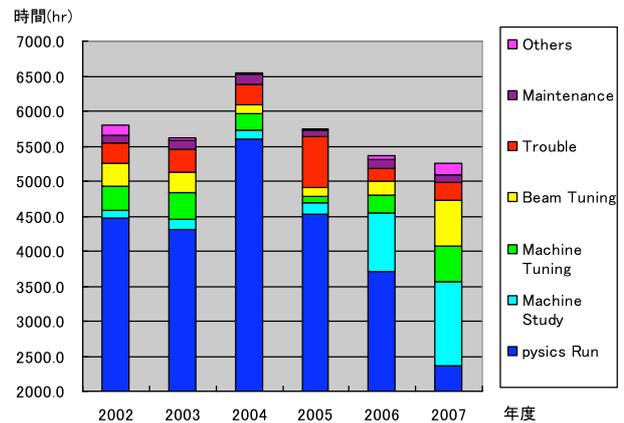


図4: 年度別運転時間

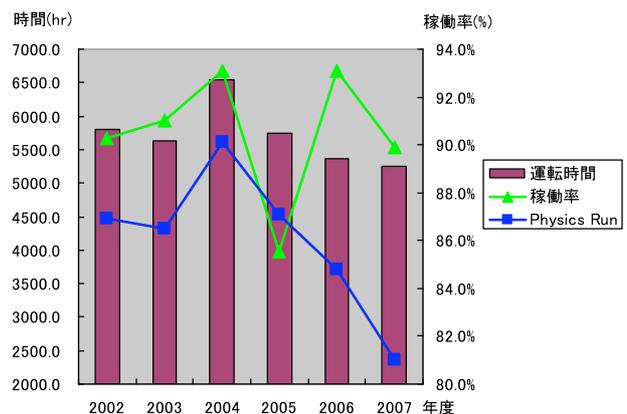


図5: 年度別稼働率

4.2 故障時間の統計データ

年度別故障時間のグラフを 図6 に示す。2005年度は、Belle 測定器のケーブルコネクタ破損によるトラブルの影響で故障時間が増加した。2007年度は、東京電力事故による瞬停の影響で故障時間が増加した。復旧に長時間を要するようなこれらのトラブル

を除けば、故障全体の時間は、減少傾向である。故障頻度が高いものは、比較的復旧時間が短く。故障頻度が低い突発的なものは、復旧時間が長い傾向にある。

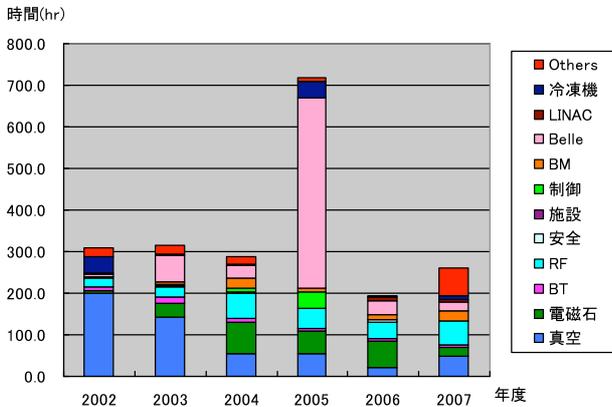


図6: 年度別故障時間

図7 に真空、電磁石、RF の年度別故障回数と復旧までに要した平均時間のグラフを示す。主な故障原因は、真空、電磁石、RFであり、故障時間全体の約50%を占めている。また、故障回数の割合も多く約63%を占めている。

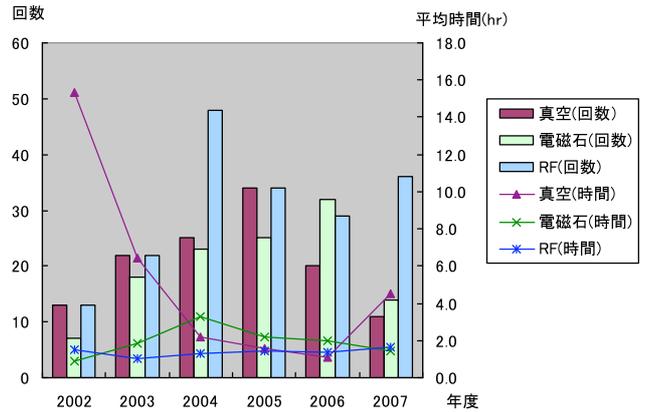


図7: 真空, 電磁石, RF 発生回数と復旧時間

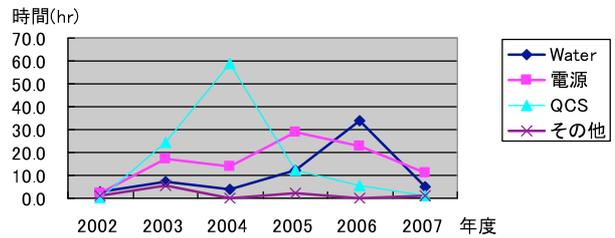


図8: 真空故障原因の時間推移

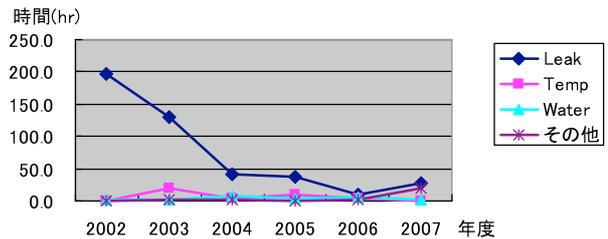


図9: 電磁石故障原因の時間推移

真空は、2005年度まで発生回数が増加傾向であったが、2006年度、2007年度と減少傾向に変化している。また、平均時間は、2002年度、2003年度と非常に高かったが、2004年度以降は復旧時間も短くなってきている。これは、図8のグラフが示すように、故障の主原因である真空リークが減少しているからである。電磁石は、2006年度まで発生回数が増加傾向であったが2007年度は、14件と減少した。これは、図9のグラフが示すように、2004年度に非常に高かったQCS電源の故障時間が大きく減少していることと、2006年度まで増加傾向にあった電磁石電源、冷却水の故障時間が減少した為である。RF は、2004年度まで発生回数が増加傾向でその後は、30~40件程度で推移している。2006年度からクラブ空洞用いた運転が開始された影響で、RF に関する故障要因が増え、実際の故障回数も増加したと考えられる。このような真空、電磁石、RF の故障回数、時間推移の結果は、次に挙げる原因によるものと考えられる。

- ・ 平均電流の増加、経年劣化による故障回数の増加
- ・ 装置等不具合の改良等による故障回数減少
- ・ 経験や知識の積み重ねによる、故障への予防策、作業時間の短縮化

安全、制御、Belle、冷凍機等比較的故障頻度が少ないトラブルに関しては、明確な傾向は得られなかった。故障回数も少なく、同一原因の故障が少ないことや、復旧時間が長いことも原因と考えられる。(2002~2007年度 平均復旧時間: Belle 8.8時間、冷凍機 6.8時間)

5. まとめ

KEKB は、高ルミノシティを目指し、入射方式や調整方法等の改良、また新しい装置の導入等を行っている。多くの項目データを集計できるようになったことで、より詳細に運転状況の把握、分析が行え、状況の変化や故障率の変動等も分かるようになった。今後も継続して運転統計データを取り、運転状況や運転の傾向を数値として明確に把握し、KEKB 運転向上に貢献していきたい。

謝辞

本論文を書くにあたり御助言、御指導を下さった方々に御礼申し上げます

参考文献

- [1] Satoshi Fuke, et al., "Operation Statistics of KEKB" Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan And the 31st Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai, August 2-4, 2006