

Operation statistics of KEKB

T.Kawasumi^{1,A)}, T.Aoyama^{A)}, S.Fuke^{A)}, Y.Funakoshi^{B)}, H.Iida^{A)}, T.Kitabayashi^{A)}, H.Koiso^{B)}, T.Nakamura^{A)},
T.Ohkubo^{A)}, Y.Satoh^{A)}, S.Shimomura^{A)}, K.Sugino^{A)}, K.Yoshii^{A)}, M.Yoshioka^{B)}

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

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

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

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

Abstract

KEKB accelerator has been operated since December 1998. In May 2003, we achieved the design peak luminosity $L_p = 1.00 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Up to now, KEKB recorded $L_p = 1.392 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. We have classified all KEKB machine time into the following four categories (1) operation time (2) collision time (3) beam tuning time and (4) machine failure time, to estimate the accelerator availability. In this paper we report the operation statistics of the KEKB accelerator.

KEKB運転統計

1. KEKBの歴史

KEKB^[1]は1998年12月に運転を開始してから電子(e-)を蓄積するHigh Energy Ring (HER) (8GeV)の入射、陽電子(e+)を蓄積するLow Energy Ring (LER) (3.5GeV)の入射を実現した後、1999年6月から衝突実験が開始された。その後ルミノシティは着実に向上し、2004年6月現在の最高ルミノシティは $1.392 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、積分ルミノシティ287.851/fbである。また、電流値も着実に増え6月現在、衝突実験時の最高電流は、HER 1220mA、LER 1650mAである。図1にKEKBのルミノシティ(ピーク(瞬間)ルミノシティ、1日当たりのルミノシティの積分値と全積分ルミノシティ)とビーム電流を示す。

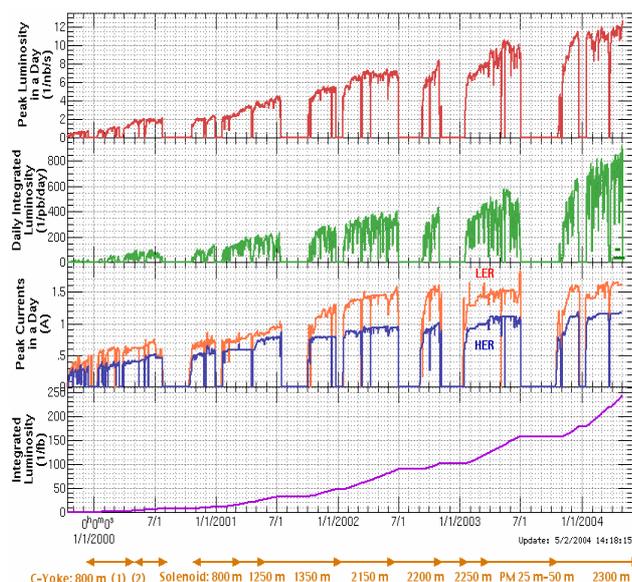


図1 KEKBのルミノシティとビーム電流の歴史

2. KEKBの運転

KEKBの運転は夏季(約2ヶ月間)及び年末年始の約一週間を除き、24時間休みなく運転を行い、年間約6000時間運転している。夏季の運転停止期間には装置の点検、改造が行われる。

運転期間中は、約2週間に一度木曜日にメンテナンスを設け、約8時間トンネル内入退域制限状態(LIMIT)にして装置の点検等が行われている。

運転の内訳は、主に衝突実験とビーム開発である。また、トラブル等があった場合は、すぐに通常の運転に戻れるよう迅速な対処を行っている。

3. KEKBの運転統計

3.1 KEKB運転統計

KEKB運転当初から運転に関する内容をKEKB運転Log^[2]に詳細に記載している。このLog内容からKEKB運転に関する主要なデータの統計をとっている。主要データとはKEKBの運転時間、衝突実験、ビーム開発、故障、その他(メンテナンス、LIMIT管理等)の統計である。

運転時間: 停止期間を除くすべての時間。運転立ち上げのためのLIMIT期間や、メンテナンス期間を含む

衝突実験: 衝突実験中の時間。衝突実験のための入射を行っている時間も含む

ビーム開発: マシンStudyおよび衝突実験のための各種調整

その他: メンテナンス、LIMIT管理等

¹ E-mail: kawasumi@post.kek.jp

表1 に1998年12月～2003年12月までのこれら各項目の年間統計時間及び運転時間に対する割合を示す。表1 より、衝突実験の割合が増え、故障の割合が減少していることが分かる。運転の稼働率（（衝突実験+ビーム開発）/ 運転時間×100）が増え積分ルミノシティの向上に寄与するものと考ええる。図2 に運転稼働率の推移を示す。なおビーム開発のほとんどは衝突実験のための調整（Optics Correction等）であり、マシンStudy に費やす時間はおよそ1割から2割程度である。運転中はそのほとんどが衝突実験のための運転となる。

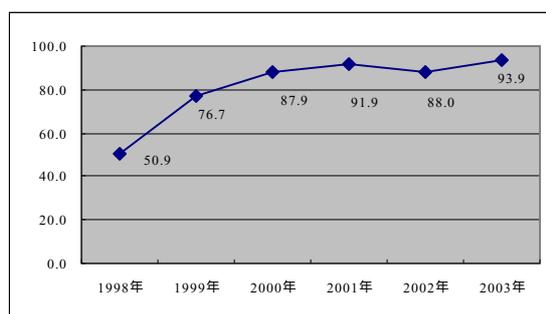


図2 KEKB運転稼働率

3.2 故障の内訳

KEKB運転時の故障原因は、以下のように大別できる。

- ・真空・・・真空リーク、チェンバー、ベローズ等の発熱、冷却水等
- ・電磁石・・・電磁石電源、電磁石冷却水等
- ・RF・・・冷却系、真空、電源等
- ・安全・・・安全システム系、放射線モニター、火災報知器作動等
- ・施設・・・冷却系、電力系等
- ・制御・・・計算機、通信系等
- ・ビームモニター（BM）・・・モニター系、フィードバック等
- ・Belle（Belle測定器）・・・冷却系、電源等
- ・その他・・・自然災害（雷、地震）等

図3 表2 に1998年12月～2003年12月までの原因別故障時間の推移、原因別故障時間統計を示す。

故障の大部分は、真空、電磁石で占められている。これらの故障の低減が全体での故障の低減に繋がった事がわかる。

運転開始当初、電磁石の故障の大部分は電磁石冷却水の流量低下によるものであったが、毎年の夏季メンテナンスにおいて流量の調整等の実施により減少していると考えられる。また、真空はリークが多く発生したが、各種の改造等を行った結果、故障時間が減り2003年は故障時間15時間と激減していることが分かる。

なお、2002年に真空の故障時間が増加しているが、2002年11月に起きた衝突点のベリリウムチェンバーの破損による真空作業が約114時間の長期間（2002年の真空故障時間全体の約58%）であったため多くなっている。

表1 KEK運転統計

	運転時間		衝突実験		ビーム開発		故障		その他	
	hr	%	hr	%	hr	%	hr	%	hr	%
1998年	663.0	100.0	0.0	0.0	337.5	53.3	32.0	5.1	263.5	41.6
1999年	5623.0	100.0	566.0	10.1	3746.5	66.6	722.0	12.8	588.5	10.5
2000年	6385.0	100.0	4014.5	62.9	1599.0	25.0	402.0	6.3	369.5	5.8
2001年	6300.0	100.0	4747.0	75.3	1040.0	16.5	288.5	4.6	224.5	3.6
2002年	5679.0	100.0	4286.5	75.5	711.5	12.5	401.0	7.1	280.0	4.9
2003年	5654.0	100.0	4400.5	77.8	909.0	16.1	143.0	2.5	201.5	3.6

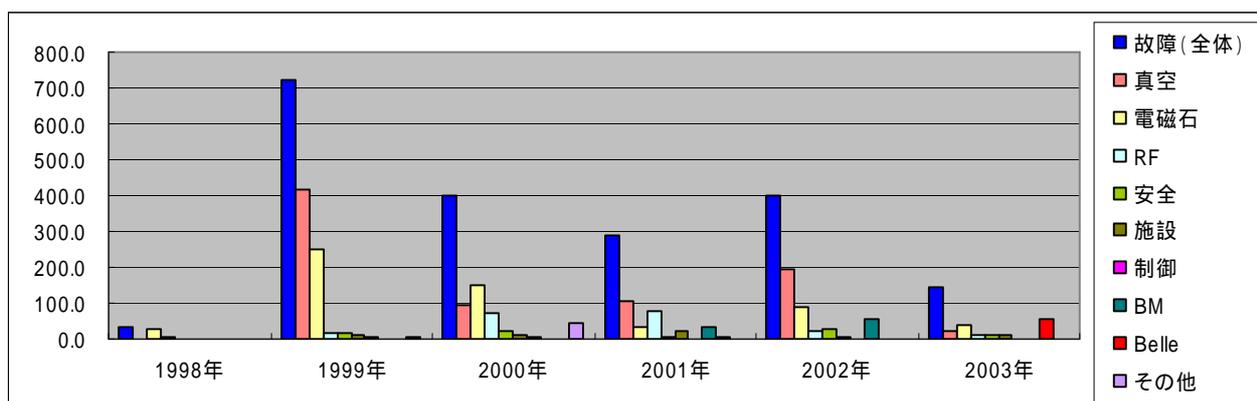


図3 原因別故障時間

表2 原因別故障時間統計

		真空	電磁石	RF	安全	施設	制御	BM	Belle	その他
1998年	hr	0.0	28.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	%	0.0	87.5	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1999年	hr	416.5	250.0	15.5	17.0	9.5	5.5	0.5	0.0	7.5
	%	57.7	34.6	2.1	2.4	1.3	0.8	0.1	0.0	1.0
2000年	hr	93.0	152.0	74.0	23.5	12.0	4.5	0.0	0.0	43.0
	%	23.1	37.8	18.4	5.8	3.0	1.1	0.0	0.0	10.7
2001年	hr	104.0	32.5	80.5	7.0	23.0	0.0	35.0	6.5	0.0
	%	36.0	11.3	27.9	2.4	8.0	0.0	12.1	2.3	0.0
2002年	hr	196.5	88.0	23.5	26.0	7.0	0.0	56.0	1.5	2.5
	%	49.0	21.9	5.9	6.5	1.7	0.0	14.0	0.4	0.6
2003年	hr	21.5	37.0	10.0	9.0	9.5	0.0	0.0	56.0	0.0
	%	15.0	25.9	7.0	6.3	6.6	0.0	0.0	39.2	0.0

4. ルミノシティと電流増加

KEKBはルミノシティ向上のため、ビーム電流を増やす努力を続けている。これは加速器コンポーネント（特に真空関係）の発熱、破損等を引き起こし故障の原因になる。図1の電流の増加、表1の故障時間の減少から、KEKBはこれらの問題を克服してきたといえる。

5. 現在のKEKB運転状況

KEKBは約1時間を1つの周期とした繰り返しの運転をしていた。電子と陽電子のビームを順番に入射した後衝突実験を開始し、しばらくして電流が減少すると再入射（入射中はデータをとれない）するというものであった。

今年になり本格的に連続入射方式（1秒間に10回の割合でビームの入射を繰り返しながら、その間もデータを取り続ける）を採用した。連続入射方式はビーム入射中も実験を続けられるため、ロスタイムをなくすることができるだけでなく、ルミノシティを最大に近い状態に保つことができる。また、加速器の状態を一定に保つことができるようになり、より安定した運転を行えるようになった。

6. まとめ

KEKBは運転をしながら成長している加速器であり、その過程には多種にわたる多くの困難があった。いろいろなアイデアや改造等によりこれらを克服し、より安定に運転をすることができた結果、運転の稼働率が向上したと考える。

今後も運転統計をとり、運転状況を数値で明確に把握できるようにしKEKBの運転稼働率向上に貢献していきたいと思う。

謝辞

運転統計に作成に携わるたくさんの方々、および本論文を書くにあたりご助言、ご指導を下さったKEKB職員の方々にお礼申し上げます。

参考文献

- [1] K.Oid for the KEKB Accelerator Team, "Past Present, and Future of KEKB" Proceedings of the 14th Symposium on Accelerator Science and Technology, Nov.11-13,2003.
URL:<http://conference.kek.jp/sast03it/WebPDF/1BA2.pdf>
- [2] K.Yoshii, et al., "Zope Based Electronic Operation Log System - Zlog", 第一回日本加速器学会年会・第29回リニアック技術研究会プロシーディングス, Aug.4-6,2004