

PRESENT STATUS OF KEKB

H. Koiso*, T. Abe, K. Akai, M. Akemoto, A. Akiyama, M. Arinaga, K. Ebihara, K. Egawa, A. Enomoto, J. Flanagan, S. Fukuda, H. Fukuma, Y. Funakoshi, K. Furukawa, T. Furuya, K. Hara, T. Higo, H. Hisamatsu, H. Honma, T. Honma, K. Hosoyama, T. Ieiri, N. Iida, H. Ikeda, M. Ikeda, H. Ishii, A. Kabe, E. Kadokura, T. Kageyama, K. Kakihara, E. Kako, S. Kamada, T. Kamitani, K. Kanazawa, H. Katagiri, S. Kato, T. Kawamoto, S. Kazakov, M. Kikuchi, E. Kikutani, K. Kitagawa, Y. Kojima, I. Komada, K. Kudo, N. Kudo, K. Marutsuka, M. Masuzawa, S. Matsumoto, T. Matsumoto, S. Michizono, K. Mikawa, T. Mimashi, S. Mitsunobu, T. Miura, K. Mori, A. Morita, Y. Morita, H. Nakai, H. Nakajima, T. T. Nakamura, K. Nakanishi, K. Nakao, S. Ninomiya, M. Nishiwaki, Y. Ogawa, K. Ohmi, Y. Ohnishi, S. Ohsawa, Y. Ohsawa, N. Ohuchi, K. Oide, M. Ono, T. Ozaki, K. Saito, H. Sakai, Y. Sakamoto, M. Sato, M. Satoh, Y. Seimiya, K. Shibata, T. Shidara, M. Shirai, A. Shirakawa, T. Sueno, M. Suetake, Y. Suetsugu, T. Sugimura, T. Suwada, Y. Suzaki, S. Takano, S. Takasaki, T. Takenaka, Y. Takeuchi, M. Tawada, M. Tejima, M. Tobiyama, N. Tokuda, Y. Yamamoto, Y. Yano, K. Yokoyama, Ma. Yoshida, Mi. Yoshida, S. Yoshimoto, K. Yoshino, D. Zhou, Z. Zong,
 High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan

Abstract

KEKB has been operated successfully with crab cavities since 2007. The peak luminosity has recently been improved by tuning with skew sextupole magnets, and a new record of 21.08/nb/s has been achieved in the crab crossing mode. This article presents recent progress of KEKB.

KEKB 加速器の現状

1. 運転の概要

KEKB B-ファクトリーは、2007年2月に超伝導クラブ空洞を各リングに1台ずつ設置し、以降順調にクラブ交差によるビーム運転を行っている^[1]。有限角度衝突を大きく上回る衝突性能を目指して様々な調整を重ねてきたが、今期新たに試みた歪6極磁石(図1)を用いた衝突パラメータ調整により、クラブ以前の記録17.6/nb/sを更新し、2009年6月には設計値の2倍を超える21.08/nb/sを達成した。1日および7日間の積分ルミノシティも記録を更新し、総積分ルミノシティは963/fbに達している。

KEKB 全期間の履歴を図2に、2008年10月以降の詳細を図3に示す。歪6極磁石導入後のルミノシティ増加が顕著である。また、入射器からの電子陽電子同時入射が実用化され^[2]、パラメータ調整の効率が上がったことも、ルミノシティ向上に大きく貢献している。

2. 水平垂直カップリング

有限角度交差と比較して、クラブ交差においては、より精密な衝突点パラメータ調整・誤差補正が必要となる。最近のビームビーム・シミュレーションにより、衝突点における水平垂直カップリングの運動量依存性が、ルミノシティ低下を招く可能性が指摘され^[3]、これを補正するために、HERに20台、LERに8台の歪6極磁石が導入された。

KEKBでは、Belle測定器のソレノイド磁場を相殺する補償ソレノイドを設置し、衝突点の両側でそれぞれ $\int B_z(s)ds = 0$ となるように設計がなされてい

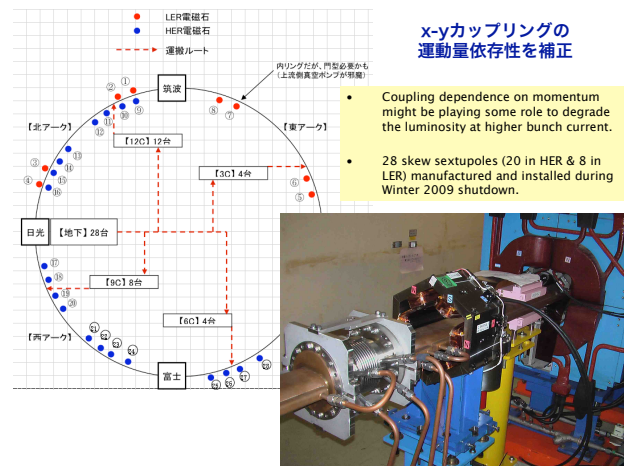


図1: 歪6極磁石とその配置。

る(図4)。この補償が最終収束磁石の衝突点側ドリフト空間内で完了していれば、全ての運動量の粒子に対して水平垂直カップリングは補正され、運動量依存性は発生しない。

KEKBの場合、ソレノイド磁場の一部が最終収束磁石に重なっているため、最終収束磁石群を最適な角度に回転するとともに、歪4極磁石を配置して、on-momentum粒子に対する水平垂直カップリング補正を行っている。off-momentum粒子に対してはカップリング補正が崩れ、したがってカップリングの運動量依存性が生じるが、有限角度衝突では問題にしていなかった。

図2、3に示すように、クラブ交差の大電流実用運転において歪6極磁石によるビーム調整は顕著な効

* E-mail: haruyo.koiso@kek.jp

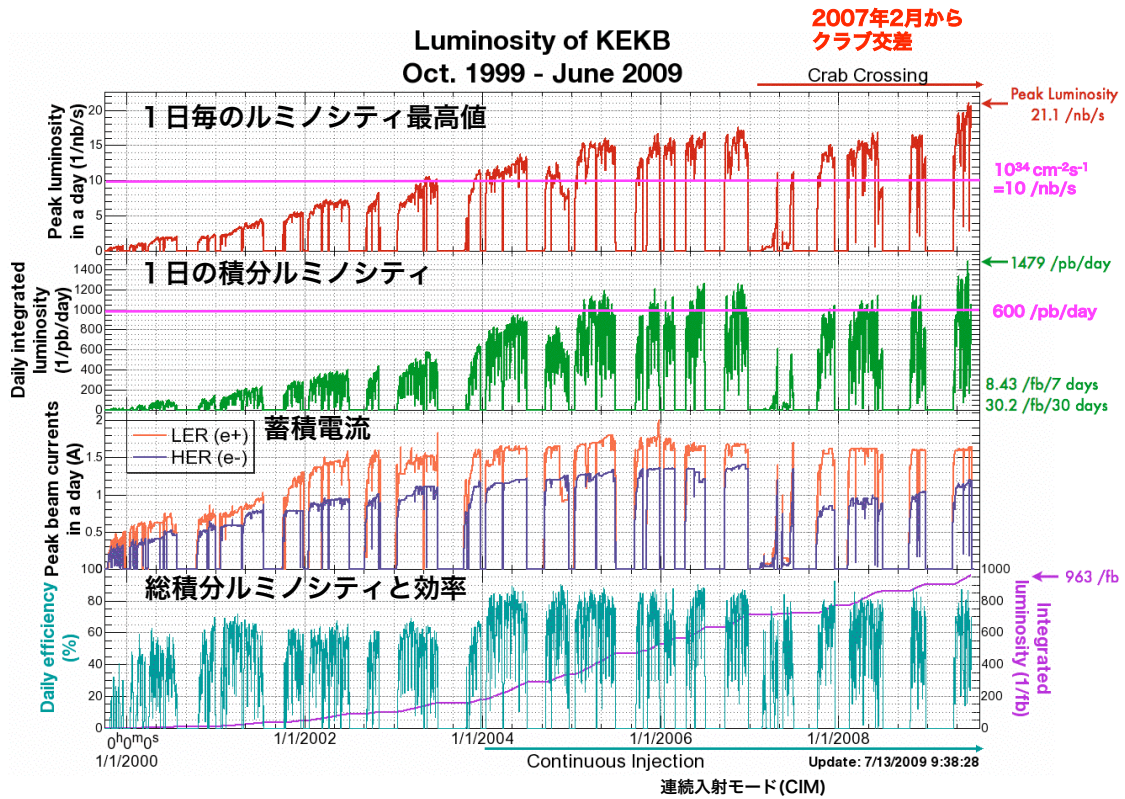


図 2: KEKB の履歴。 <http://www-acc.kek.jp/kekb/History/index.html>

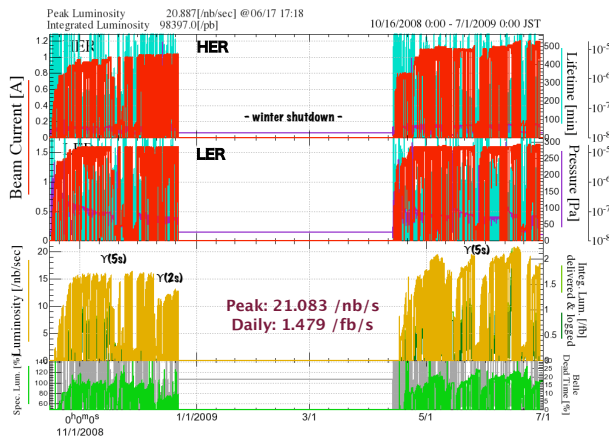


図 3: 2008 年 10 月 ~ 2009 年 6 月の運転履歴。重心系エネルギーは主に $\Upsilon(5S)$ (10.87 GeV) であり、一部 $\Upsilon(2S)$ (10.02 GeV) で運転を行なった。冬期休止期間中に至 6 極磁石が設置された。

果を顕し、HER 電流増加と合わせて ~20% のルミノシティ向上に結びついた。主要なビームパラメタを表 1 にまとめている。

なお、至 6 極磁石によるビーム調整は、少数バンチの衝突実験においては、有限角度交差に対してもクラブ交差と同様の効果を発揮することが確かめられている。

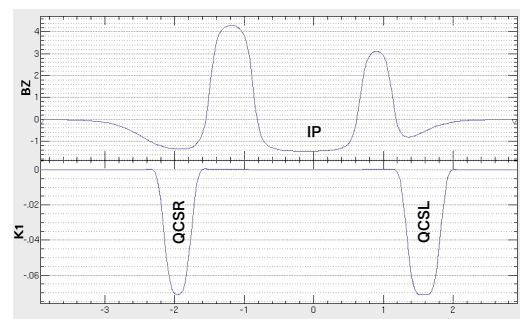


図 4: 衝突点近隣のソレノイド (上) および超伝導 4 極磁石 (下) 磁場分布。

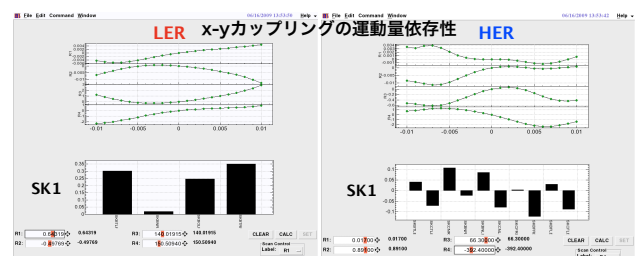


図 5: 至 6 極磁石調整パネル。至 6 極磁石は 2 台 1 組として HER 10 電源、LER 4 電源に接続されている。

表 1: KEKB のビームパラメタ。左からそれぞれ、クラブ交差での最高値、前年のクラブ交差最高値、クラブ以前 (22 mrad 交差) の最高値、設計値、に対応するパラメタを示す。バンチ間隔はクラブ交差 / 有限角度交差の場合、平均 3.06 / 3.5 rf bucket spacing。(*) はルミノシティモニタ再校正により変化した値。

	6/17/2009		5/19/2008		11/15/2006		Design		
	LER	HER	LER	HER	LER	HER	LER	HER	
Eff. crossing angle	0(crab)		0(crab)		22		22		mrad
Current	1.64	1.19	1.61	0.93	1.65	1.33	2.6	1.1	A
Bunches	1584		1584		1389		5000		
Current/bunch	1.03	0.75	1.01	0.59	1.19	0.96	0.52	0.22	mA
Spacing	mostly 1.8		mostly 1.8		1.8 or 2.4		0.6		m
Emittance ϵ_x	18	24	15	24	18	24	18	18	nm
β_x^*	120	120	90	90	59	56	33	33	cm
β_y^*	0.59	0.59	0.59	0.59	0.65	0.59	1.0	1.0	cm
Hor. Size @IP	147	170	116	147	103	116	77	77	μm
Ver. Size @IP	0.94	0.94	1.1	1.1	1.9	1.9	1.9	1.9	μm
ξ_x	.127	.102	.099	.119	.116	.134	.039	.039	
ξ_y	.129	.090	.097	.092	.101	.056	.052	.052	
Luminosity	21.08		16.8(*)		17.6(*)		10		/nb/s
$\int \text{Lum.}/\text{day}$	1.479		1.092		1.232		~ 0.6		/fb
$\int \text{Lum.}/7 \text{ days}$	8.43		6.49		7.82		-		/fb
$\int \text{Lum.}/30 \text{ days}$	27.2		23.0		30.2		-		/fb

3. スペシフィック・ルミノシティ

衝突点における水平垂直カップリングの運動量依存性調整によって、明らかなルミノシティ向上が見られたが、まだスペシフィック・ルミノシティはシミュレーションで期待される値には達していない。

クラブ交差においては、バンチ電流積の大きな領域まで高いスペシフィック・ルミノシティを保ち、高いビームビーム・パラメタを達成することが期待されている。しかし図 6 に示す様に、現実のスペシフィック・ルミノシティはバンチ電流積の増加とともに急速に低下する。

ビーム寿命短縮のため衝突パラメタを適切な値に保てないことが、大バンチ電流領域におけるルミノシティ低下の一因と考えられ、今期、以下の対策を試みた。

(1) LER ビーム寿命は、クラブ空洞上流の放射光マスク部アパーチャによって制限されていた可能性が高い。2008 年夏期休止期間に LER クラブ空洞を設置している直線区間の 4 極磁石配線を変更し、クラブ空洞での水平ベータ関数 β_x^C を変えずに、放射光マスク近傍の β_x 最大値を以前の 1/2 以下に抑えた。

(2) LER クラブ空洞の冷却を強化 (3.7 °K) し、クラブ電圧の増加を試みたが、期待どおりの電圧増を達成できなかったため、定常の 4.4 °K 冷却に戻した。(衝突点におけるクラブ角は $V_C \sqrt{\beta_x^C \beta_x^*}$ に比例するので、 V_C が上げれば $\sqrt{\beta_x^C}$ を小さくできる。)

(1) により、バンチ電流積で 1.5mA^2 の領域まで調整範囲を広げることができたが、スペシフィック・ルミノシティに大きな改善は見られなかった。

クラブ交差で達成された垂直ビームビーム・パラメタは依然として ~0.09 に止まっている。0.1 以上の高い垂直ビームビーム・パラメタを実現するには、さ

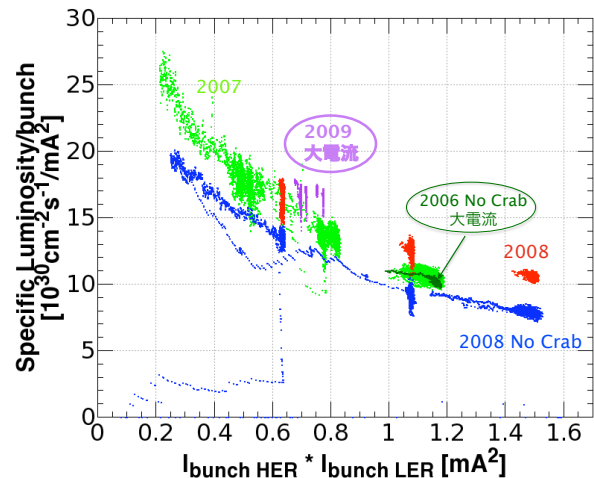


図 6: スペシフィック・ルミノシティの電流積依存性。大電流と記してあるものは実用運転 (物理ラン) 時の、他は 100 バンチ、98 rf bucket spacing のデータ。2009 年大電流以外は至 6 極磁石 OFF。

らに精密な衝突調整・誤差補正が必要と考えられる。

参考文献

[1] Y. Funakoshi et al, Proceedings of EPAC2008, pp.1893-1897.
T. Abe, Proceedings of PAC2007, pp. 27-31.
[2] Y. Ogawa et al, in these proceedings.
[3] D. Zhou et al, to be submitted to Phys. Rev. ST BA.