

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, S. Hiramatsu, H. Hisamatsu, H. Honma, T. Honma, K. Hosoyama, T. Ieiri, N. Iida, H. Ikeda, M. Ikeda, S. Inagaki, S. Isagawa, 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, T. Kubo, 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, H. Nakanishi, K. Nakanishi, K. Nakao, H. Nakayama, 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, K. Shibata, T. Shidara, M. Shirai, A. Shirakawa, T. Sueno, M. Suetake, Y. Suetsugu, R. Sugahara, T. Sugimura, T. Suwada, 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,

High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan

Abstract

KEKB has been operated with crab cavities since 2007. The peak luminosity reached 16/nb/s in the crab crossing mode. This article presents recent progress of KEKB and near-term plans.

KEKB 加速器の現状

1. 運転の概要

KEKB B-ファクトリーでは、2007年2月に世界初のクラブ交差によるビーム運転が開始された^[1]。クラブ軌道をリング全周に伝播させるグローバル・クラブ方式が採用され、3.5GeV陽電子リング(LER)と8GeV電子リング(HER)それぞれに超伝導クラブ空洞が1台ずつ設置されている^[2]。

期間の履歴が図1に、2007年10月以降の履歴は図2に表示されている。現在までの総積分ルミノシティは854/fbに達し、ピーク・ルミノシティも16.1/nb/s(有限角交差での最高値の94%)を達成している(表1)。図1から、クラブ交差によって、有限角交差の場合より低いHER電流で効率よく高いルミノシティを得ていることが見てとれる。

重心系エネルギーはほとんどの期間 $\Upsilon(4S)$ (10.58 GeV)であったが、Belle実験グループの要請により $\Upsilon(5S)$ 近傍(10.83 - 11.02 GeV)と $\Upsilon(1S)$ (9.46 GeV)での運転も行なった。

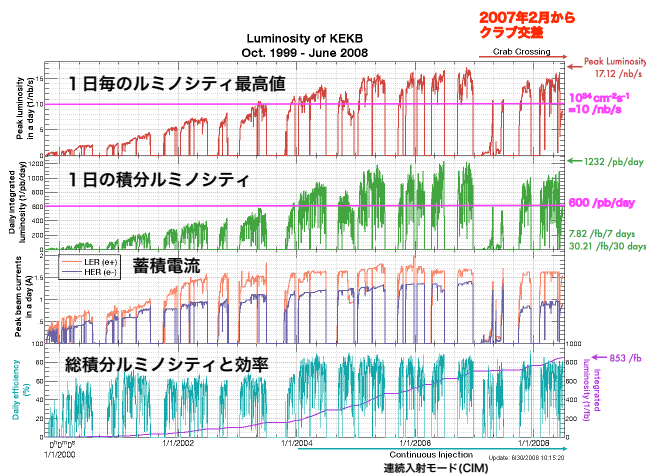


図1: KEKBの履歴

クラブ交差開始後2007年6月までは、主に小電流・小数バンチ(98 nsec = 49 rf bucket spacing、100バンチ)での衝突調整が行なわれ、2007年10月以降は大電流で順調に物理ランが遂行された^[3, 4]。KEKB全

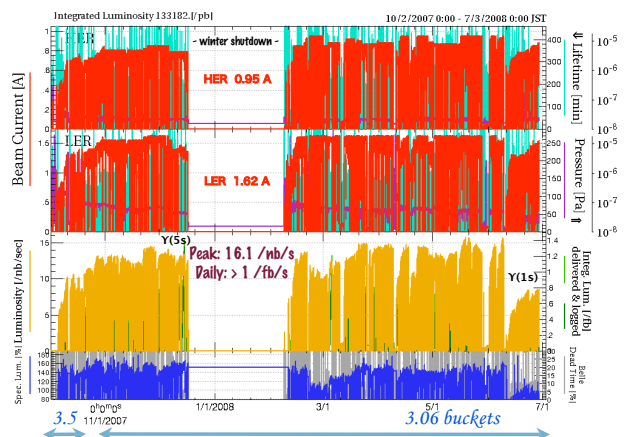


図2: クラブ交差による物理ラン(2007年10月から2008年6月)の履歴。LER電流は主にクラブ空洞HOM吸収体保護の観点から~1.62Aに制限されている。

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

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、クラブ以前 22 mrad 交差での最高値、設計値、に対応するパラメタを示す。

	5/19/2008		11/15/2006		Design		
	LER	HER	LER	HER	LER	HER	
Current	1.61	0.93	1.65	1.33	2.6	1.1	A
Bunches	1584		1389		5000		
Current/bunch	1.01	0.59	1.19	0.96	0.52	0.22	mA
Spacing	1.8 or 2.4		1.8 or 2.4		0.6		m
Emittance ϵ_x	15	24	18	24	18	18	nm
β_x^*	90	90	59	56	33	33	cm
β_y^*	0.59	0.59	0.65	0.59	1.0	1.0	cm
Hor. Size @IP	116	134	103	116	77	77	μm
Ver. Size @IP	1.1	1.1	1.9	1.9	1.9	1.9	μm
ξ_x	.099	.119	.116	.134	.039	.039	
ξ_y	.097	.092	.101	.056	.052	.052	
Luminosity	16.10		17.12		10		/nb/s
$\int \text{Lum}/1, 7, 30 \text{ days}$	1.092/6.49/23.0		1.232/7.82/30.21		~ 0.6/ - / -		/fb

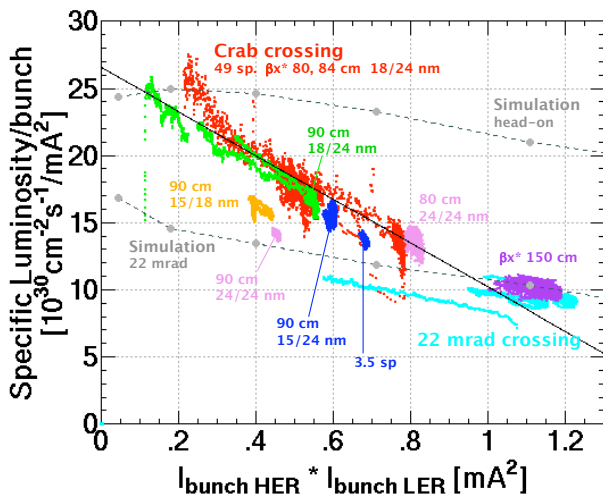


図 3: 様々な運転条件におけるスペシフィック・ルミノシティ。破線はビームビーム・シミュレーションによる予想値^[5]を表している。

2. クラブ空洞電圧とクラブ角

グローバル・クラブ方式では、衝突点におけるクラブ角 θ_x は

$$\theta_x = \frac{\omega_{rf} V_C}{cE} \frac{\sqrt{\beta_x^C \beta_x^*} \cos(|\psi_x^* - \psi_x^C| - \pi\nu_x)}{2 \sin(\pi\nu_x)} \quad (1)$$

と表される。衝突点とクラブ空洞の位相差は $(n + \frac{1}{2})\pi$ に合わせる。実用可能なクラブ空洞電圧 V_C に応じて、 $\theta_x=11 \text{ mrad}$ (衝突点における軌道交差角の半分) となるように、衝突点とクラブ空洞の β 関数 β_x^* 、 β_x^C を調整する。現在の標準的な V_C は 0.825(LER)、1.367(HER) MV であり、クラブ空洞の冷却を強化し、さらに V_C を上げる予定である。

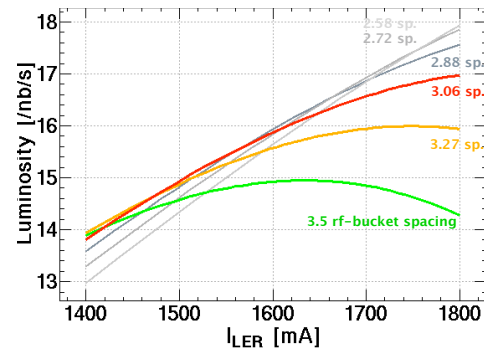


図 4: 平均バンチ間隔を変えた場合のルミノシティ推定値。電流比は実績に従って $I_{\text{LER}}/I_{\text{HER}}=1.705$ とした。

3. ルミノシティ調整

3.1 バンチ間隔

図 3 に見られる様に、クラブ交差におけるスペシフィック・ルミノシティは、バンチ電流積が大きくなるに従い、シミュレーションの予想値から離れ、直線的に低下する。この傾向を図中の実線で近似し、バンチ間隔を変えてルミノシティを推定すると図 4 になる。

有限角交差の場合、電子雲による LER 垂直ビームサイズ増大を避けるため、最短バンチ間隔は平均 3.5 rf バケツに制限されていた。クラブ交差では平均 3.06 バケツまでバンチ間隔を短縮することが可能となり、ルミノシティ向上に結びついている。3.06 バケツ間隔でも、49 バケツ間隔の場合とほぼ同じスペシフィック・ルミノシティに達している。現状の LER 電流ではさらにバンチ間隔を短縮する利点はほとんどない。

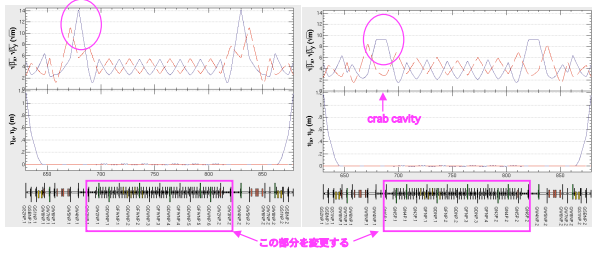


図 5: LER クラブ空洞部オプティクス変更予定。 β_x の最大値を下げる。

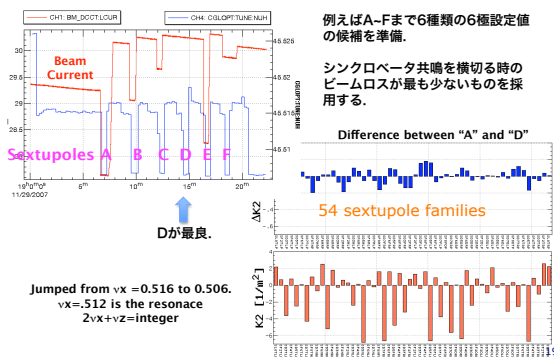


図 6: 6 極最適化の例。自由度は LER/HER で 54/52。

3.2 β_x^* , ε_x , α_p

2007 年 10 月以降、物理ランの過程で以下のように、衝突点 β 関数、水平方向エミッタンス ε_x 、運動量圧縮率 α_p について様々な設定を試みた。主な結果を図 3 に示す。(*) は小数パンチ運転。)

	LER	HER	
β_x^*	80, 90, 100,	150(*)	cm
ε_x	15, 18, 24	18, 24	nm
α_p	-6.4(*), 3.2~3.3	-3.4(*), 3.4	10^{-4}

現在、ビーム寿命減少のため衝突パラメタ (例えば、衝突点における両ビームの水平方向オフセット) を適切な値に維持できないことが、大パンチ電流領域でのルミノシティ低下原因の一つと考えられている。ビームビーム効果によるオプティクスの乱れを考慮すると、LER ビーム寿命は、クラブ空洞放射光マスク部のアパーチャによって制限されている可能性が高い^[3]。その対策として、 β_x^* が大きく (150 cm) β_x^C が小さいオプティクスを試み、保持できるパンチ電流は増加したが、ルミノシティ向上には至らなかった (図 3)。今後 LER クラブ空洞部の 4 極磁石配線を変更し、更なるアパーチャ拡大を図る (図 5)。

3.3 シンクロトロン・ベータトロン共鳴

高ルミノシティを得るために、KEKB では水平ベータトロン・チューン ν_x をできる限り半整数に近づ

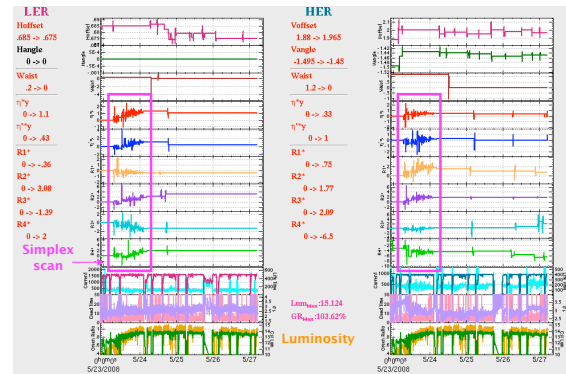


図 7: ルミノシティ調整の履歴。1 パラメタ毎のスクランが基本であるが、複数パラメタの downhill simplex 法による最適化も効果を上げている。

けている (ν_x 端数部は LER/HER で 0.505/0.509)。これは同時にシンクロトロン・ベータトロン共鳴線 $2\nu_x + \nu_s = \text{integer}$ に近く、単独ビームでも寿命・ビームサイズに影響が出る。

共鳴線の強さはクロマチシティ補正に大きく依存する。KEKB では 6 極磁石の自由度が大きく、クロマチシティ補正の選択肢が非常に広いが (図 6)、モデル計算による評価と現実の性能は食い違う場合が多い。今後、オフ・モーメントム・オプティクスを含めた、さらに高精度のオプティクス測定・補正を目指す。

シンクロトロン・ベータトロン共鳴が差共鳴 $2\nu_x - \nu_s = \text{integer}$ となり、影響が緩和されることを期待して、これまでに 2 回負 α_p での運転を試みた。初回に LER で発生した単パンチ縦方向不安定性は、今回 α_p の絶対値を 2 倍にすることで抑制されたが、安定な運転条件は確立できなかった。

3.4 調整ノブ

ルミノシティ調整のために 20 以上の局所的調整ノブが用意されている (衝突点の垂直方向ウエスト・x-y カップリング・ディスページョン、クラブ空洞での x-y カップリング等)。現状ではこれらのノブを、ルミノシティ・ビームサイズ・寿命のみを観測量として最適化している (図 7)。現在進行中の、電子・陽電子同時入射^[6]の実現により、ノブ調整の大幅な効率化が期待されている。

参考文献

- [1] T. Abe et al., Proceedings of PAC2007, pp.27-31.
- [2] T. Hosoyama et al., Proceedings of SRF2007, MO405.
- [3] T. Abe et al., Proceedings of PAC2007, pp.1487-1489.
- [4] Y. Funakoshi et al, Proceedings of EPAC2008, pp.1893-1897.
- [5] K. Ohmi et al, Proceedings of EPAC2008, pp.2596-2598.
- [6] Y. Ogawa et al, in these proceedings.