

# KEKB and SuperKEKB

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

## Abstract

KEKB has achieved the world-highest luminosity of  $2.108 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  in the crab crossing mode and has accumulated  $1040 \text{fb}^{-1}$  in total. KEKB has stopped beam operation and is now being upgraded to SuperKEKB, aiming at 40 times gain in the luminosity. In this paper, present status of KEKB and an overview of SuperKEKB will be presented.

## KEKB の現状と SuperKEKB

### 1 KEBK の現状と成果

KEKB 加速器は、2007 年に 3.5 GeV 陽電子リング (LER) と 8.0 GeV 電子リング (HER) にそれぞれ 1 台ずつ超伝導クラブ空洞を導入し、以後順調にクラブ交差による実用運転を行ってきた<sup>[1, 2]</sup>。HER の超伝導加速空洞が設置され冷凍機システムが整備されている日光直線部に、両リングのクラブ空洞を配置し、リング全周にクラブ軌道を伝搬させるグローバル・クラブ方式を採用した。衝突点とクラブ空洞の水平方向位相差を  $(n + \frac{1}{2})\pi$  にとり、電圧  $V_C$  やビーム・オプティクスの諸条件を調整して、

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

において、 $\theta_x$  が衝突点におけるビーム軌道の水平交差角の 1/2 (KEKB では 11 mrad) となるように合わせることによって、実質的な正面衝突が実現できる。



図 1: リング外側の LER に設置されたクラブ空洞。手前側には HER のビームパイプがある。

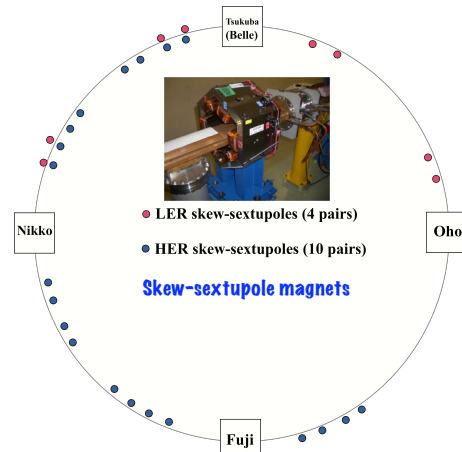


図 2: 歪 6 極磁石とその配置。歪 6 極磁石による調整により、ルミノシティは 15% 向上した。

有限交差角をもった衝突と比較して、クラブ交差では、より精密な衝突パラメータ調整が必要であり、水平垂直カップリングの運動量依存性が補正すべきもの一つとして指摘された。この予測にしたがって、2009 年に、小型の歪 6 極磁石を両リングに設置して、ルミノシティ調整ノブの一つとして使用したところ、クラブ空洞設置以前のルミノシティ記録を更新して、設計値の 2 倍を超える  $2.108 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  を達成することができた<sup>[3]</sup>。主要パラメータの比較を表 1 に示す。

クラブ交差によって、ピーク値だけでなく 1 日および 7 日間の積分値も記録を更新しており (1 日の積分ルミノシティ記録は設計値の約 2.5 倍)、2009 年内に全積分ルミノシティは最終目標値  $1000 \text{fb}^{-1}$  を達成した。

2010 年の運転は、Belle グループの要求にしたがって重心系エネルギーのスキャン (10.63 - 11.04 GeV) を行うとともに、真空コンポーネントの性能試験等 SuperKEKB に向けたマシンスタディに重点をお

表 1: 主要なマシン・パラメタ

	SuperKEKB		6/17/2009		11/15/2006		KEKB Design		
	LER	HER	LER	HER	LER	HER	LER	HER	
Energy	4.0	7.0	3.5	8.0	3.5	8.0	3.5	8.0	GeV
Eff. crossing angle	83		0(crab)		22		22		mrad
Current	3.6	2.6	1.64	1.19	1.65	1.33	2.6	1.1	A
Bunches	2500		1584		1389		5000		
Current/bunch	1.44	1.04	1.03	0.75	1.19	0.96	0.52	0.22	mA
Spacing	mostly 1.2		mostly 1.8		1.8 or 2.4		0.6		m
Emittance $\varepsilon_x$	3.2	5.2	18	24	18	24	18	18	nm
$\beta_x^*$	32	25	1200	1200	590	560	330	330	mm
$\beta_y^*$	0.27	0.30	5.9	5.9	6.5	5.9	10	10	mm
Hor. Size @IP	10	11	147	170	103	116	77	77	$\mu\text{m}$
Ver. Size @IP	0.048	0.062	0.94	0.94	1.9	1.9	1.9	1.9	$\mu\text{m}$
$\xi_x$	.003	.001	.127	.102	.116	.134	.039	.039	
$\xi_y$	.089	.081	.129	.090	.101	.056	.052	.052	
Luminosity	800		21.08		17.6 <sup>(*)</sup>		10		/nb/s
$\int\text{Lum.}/\text{day}$	-		1.479		1.232		~ 0.6		/fb
$\int\text{Lum.}/7\text{ days}$	-		8.43		7.82		-		/fb
$\int\text{Lum.}/30\text{ days}$	-		27.2		30.2		-		/fb

いた。

KEKB はピーク値、積分値ともに目標を上回る成果を上げ、2010年6月30日にリングのビーム運転を終了した。現在は、SuperKEKBに向けて改造に着手し、LERの解体に取りかかっている。本格的なBelle実験開始から11年間のKEKBの履歴を図4に示す。最終的な総積分ルミノシティは $1040\text{ fb}^{-1}$ に達している。

2003年以降ビーム電流がほぼ定常値になってからも(図4(3))、ビーム・パラメタ最適化、マシンエラー補正、衝突調整方法の開発などの積み重ねによって、ルミノシティは伸び続け(図4(1))、運転期間の終盤2009年にも記録を更新した。

## 2 SuperKEKBの概要

KEKBの実績を踏まえ、KEKBの資産をできる限り活用して、SuperKEKBでは、KEKBの40倍のピーク・ルミノシティ、 $8 \times 10^{35}\text{ cm}^{-2}\text{ s}^{-1}$ 、を目指す。ナノビーム方式に基づくSuperKEKBの設計・建設においては、衝突点で垂直方向ベータ関数を約 $300\ \mu\text{m}$ まで絞り込むことが最大の課題である<sup>[4]</sup>。電流増加と合わせて、目標ルミノシティを達成するには、以下のように加速器全般にわたる改造が必要となる<sup>[5, 6]</sup>。

- ビームエネルギーを4.0/7.0 GeVに変更
- 衝突点とそれを含む筑波直線部の改造
- 曲線部およびウィグラー部の光学系改良

- ビームパイプの交換
- 高周波加速システムの増強と再配置
- 陽電子源増強、陽電子ガンピングリング設置、RF電子銃を含む入射器増強、ビーム輸送・入射システム増強
- ビーム診断・制御システムの高速化と高精度化
- 冷却設備の増強

## 参考文献

- [1] T. Abe et al., Proc. of PAC'07, pp.27-31 (2007). Y. Funakoshi et al, Proc. of EPAC'08, pp.1893-1897 (2008).
- [2] K. Hosoyama et al., Proc. of SRF'07, MO405 (2007).
- [3] Y. Funakoshi et al, Proc. of IPAC'10, WEOAMH02 (2010). M. Masuzawa et al, Proc. of IPAC'10, TU-PEB009 (2010).
- [4] H. Koiso, in these proceedings, WEPL02.
- [5] T. Kamitani, in these proceedings, WELH03.
- [6] K. Akai, in these proceedings, EWH05.

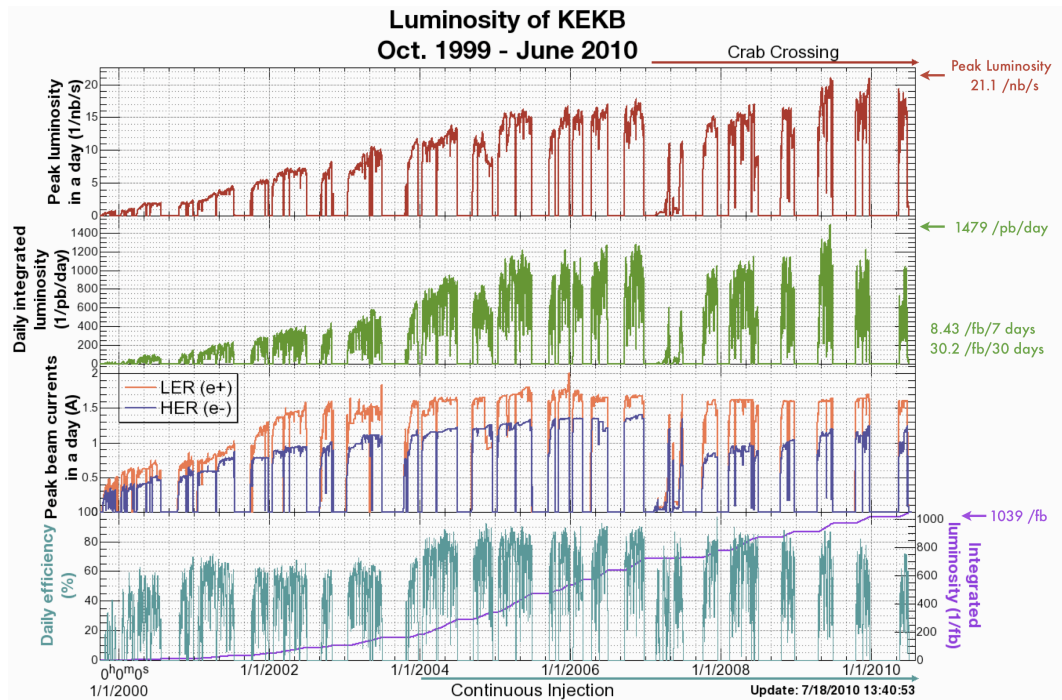


図 3: KEKB の全履歴: 上から、(1)1日毎のルミノシティ最高値、(2)1日の積分ルミノシティ、(3)1日毎の蓄積電流最大値、(4)総積分ルミノシティと効率。



図 4: SuperKEKB の概要