

# KEK-Bファクトリー加速器

KEK加速器研究施設  
赤井 和憲

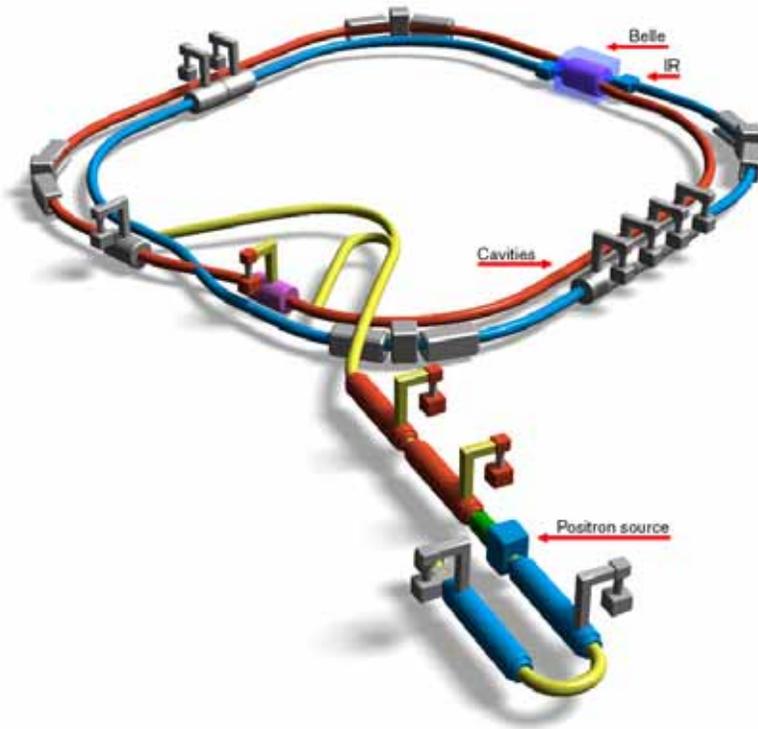
2004.5.20 京都大学

# 内容

1. KEKB加速器とは？
2. KEKBの構成と性能向上の歩み
3. KEKBの将来：Super-KEKB計画

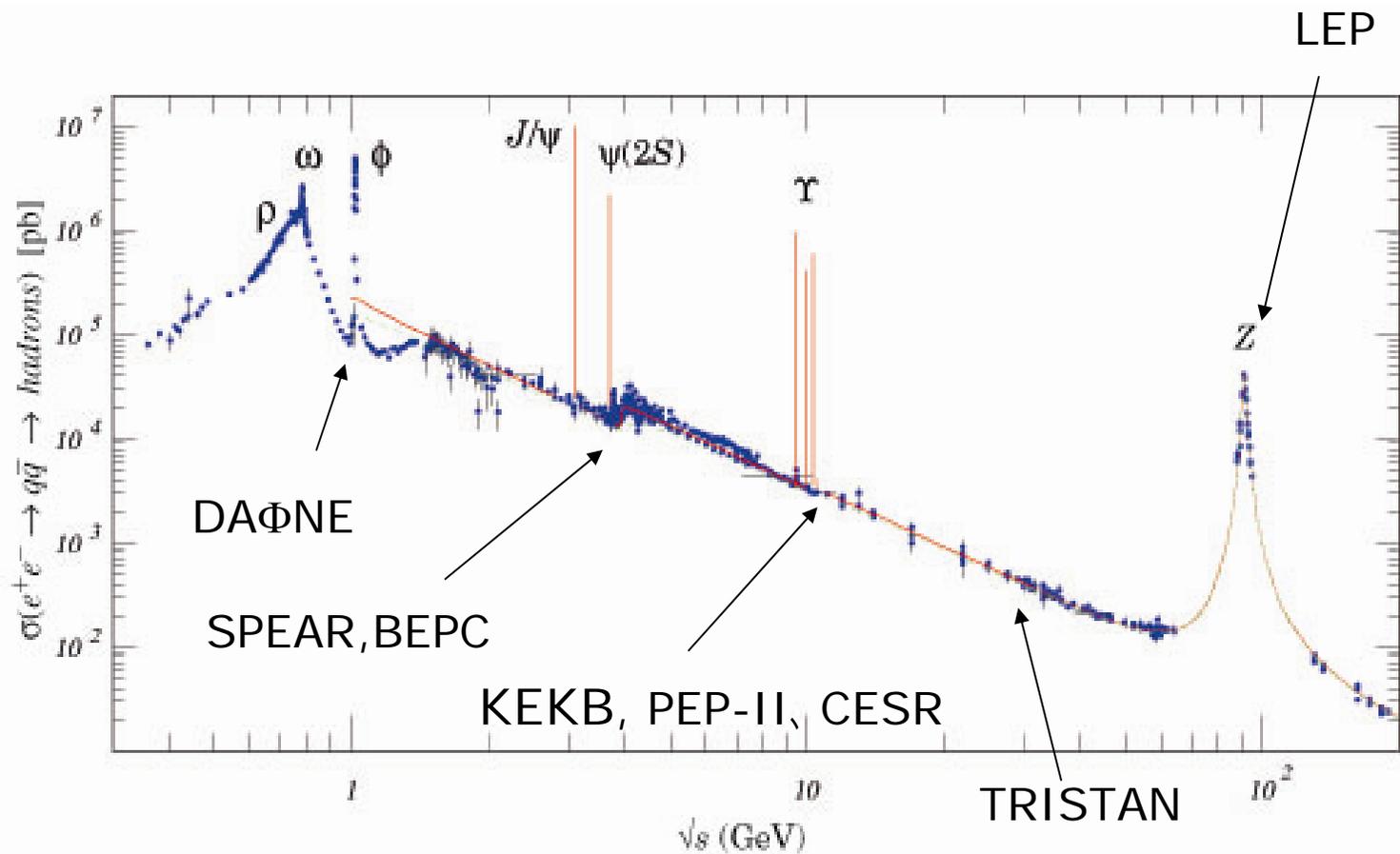
# Part 1. KEKB加速器とは？

- 電子( $e^-$ )陽電子( $e^+$ )衝突型加速器
- 非対称エネルギー、2リング型の加速器
  - 電子リング: HER/8GeV
  - 陽電子リング: LER/3.5GeV
- 非常に高いルミノシティでB中間子を大量生成



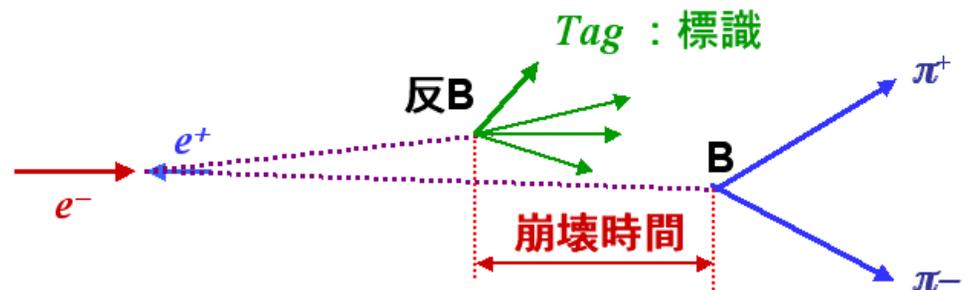
B Factory (B中間子の大量生成)

# 電子陽電子衝突型リングのエネルギー



# KEKB : 非対称エネルギーダブルリング コライダー

- 飛跡からB・反Bの崩壊時間の差がわかる。
- $e^-/e^+$ それぞれに独立のリングが必要。
- 加速器の設計・運転は単リングの2倍以上複雑





KEKB トンネルの中  
( 周長 3 km )

左が陽電子リング  
右が電子リング

Nikko

Mt. Tsukuba

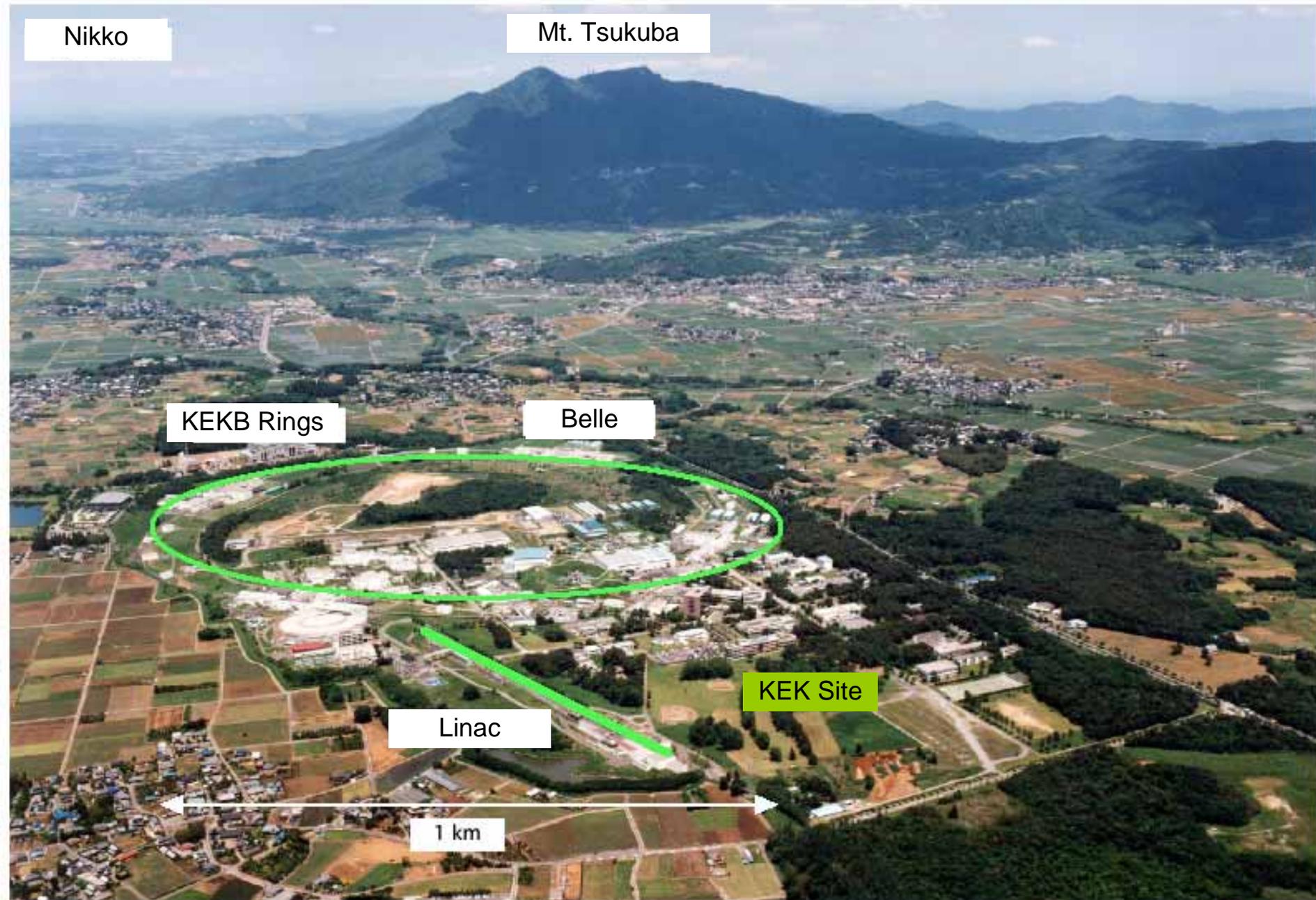
KEKB Rings

Belle

KEK Site

Linac

1 km



# 要求される性能：高いルミノシティ

KEKB デザインルミノシティ  $10^{34}/\text{cm}^2/\text{sec}$

KEKBのデザイン段階では、世界の加速器研究者の間では  
夢の数字と考えられていた

衝突型加速器の性能はルミノシティと呼ばれる  
パラメタであらわされる

反応の断面積

$$Y=L \sigma$$

1秒当たりの  
反応の数

ルミノシティ  
(輝度)

単位は  
[長さ<sup>-2</sup> 時間<sup>-1</sup>]

反応断面積は物理法則で決まっている。高い反応  
レートは高いルミノシティによって得られる。

# 高いレミノシティーを得るには？

$$L = \frac{N_{e+} N_{e-} f}{4\pi\sigma_x^* \sigma_y^*} R_L$$

バンチに含まれる陽電子の数      バンチに含まれる電子の数

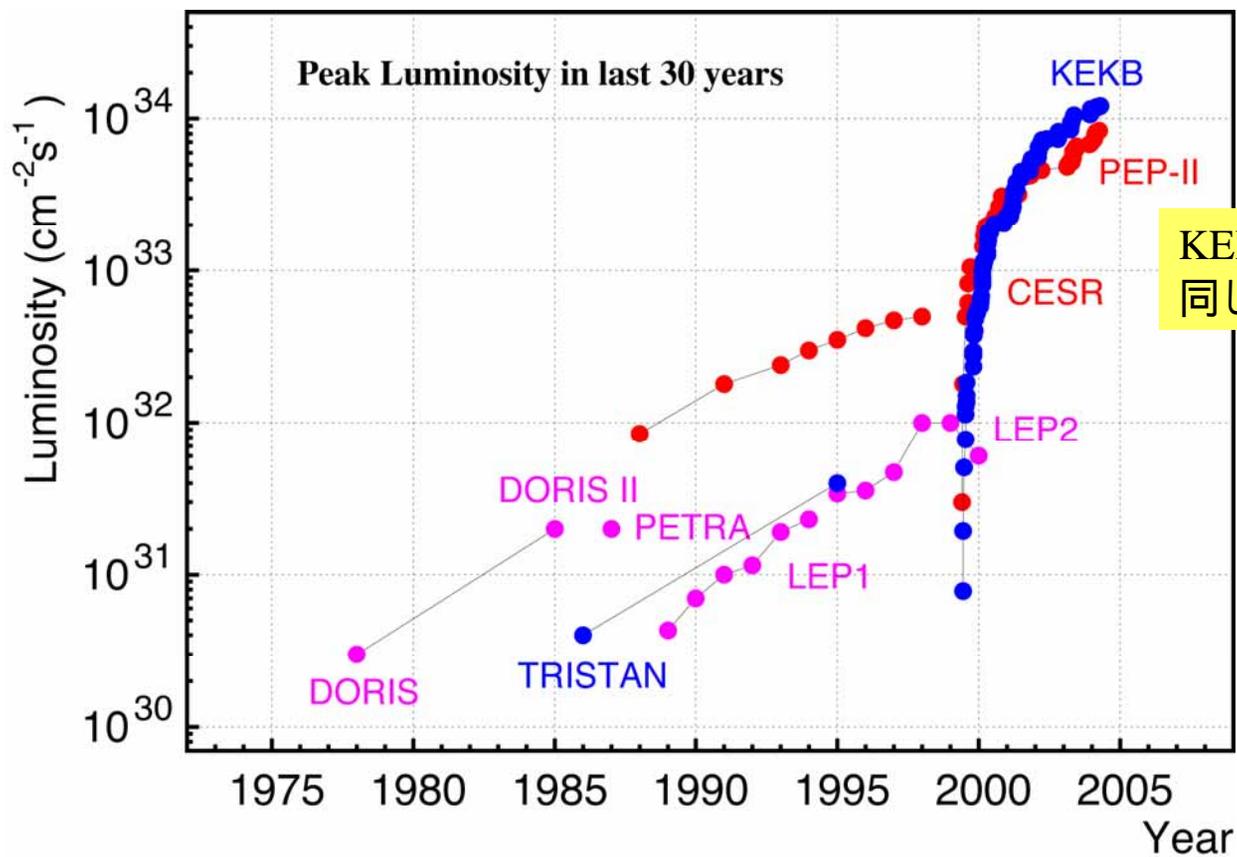
バンチの衝突頻度

幾何学的な要因による補正係数

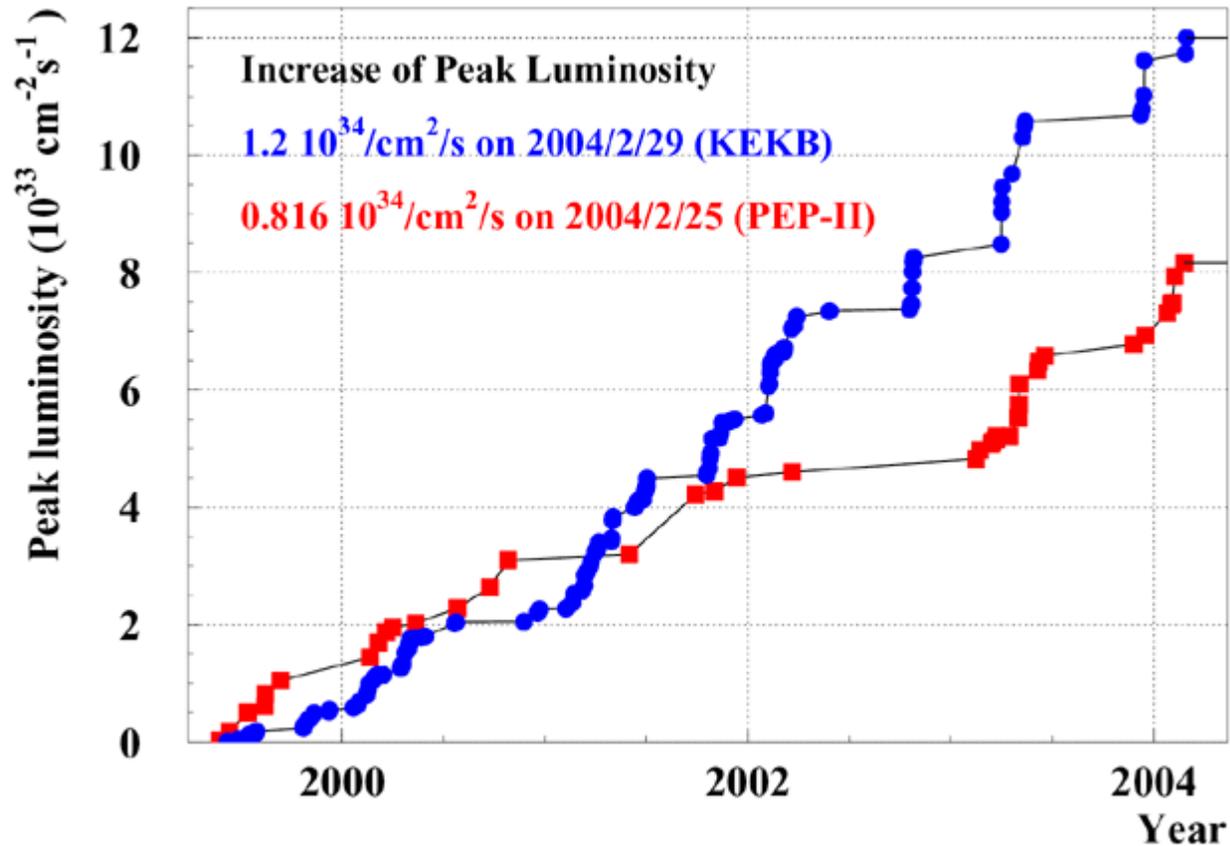
衝突点での水平方向のビームサイズ      衝突点での垂直方向のビームサイズ

- **大電流ビーム蓄積**
- **衝突点で小さいビームサイズ**
- **安定かつ高い精度で衝突を維持**

# 世界の加速器のルミノシティ変遷



# PEP-II との熾烈な競争



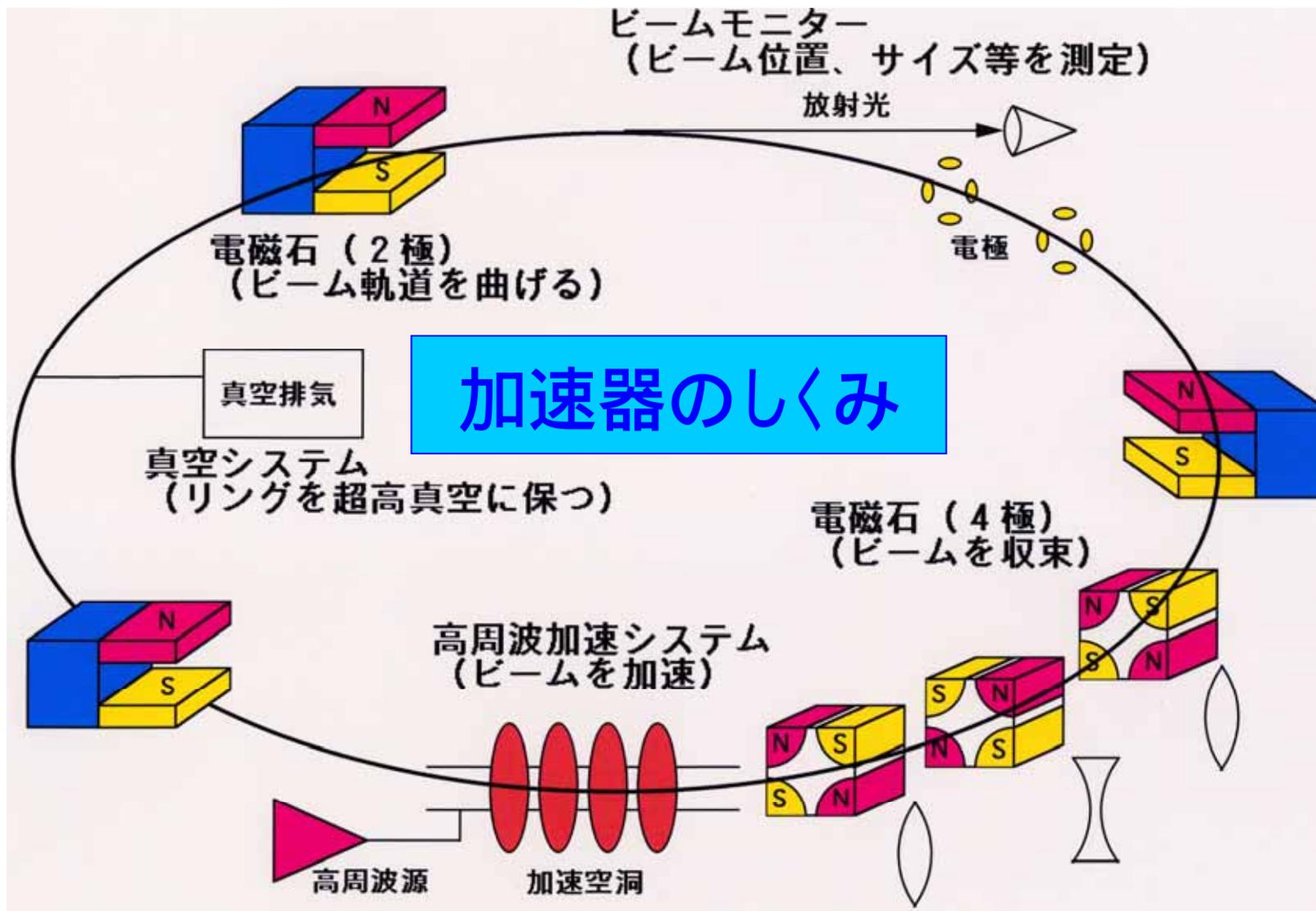
2001年4月にKEKBが逆転、以来差を引き離す。

# KEKBとPEP IIの到達点 (2004.5.20現在)

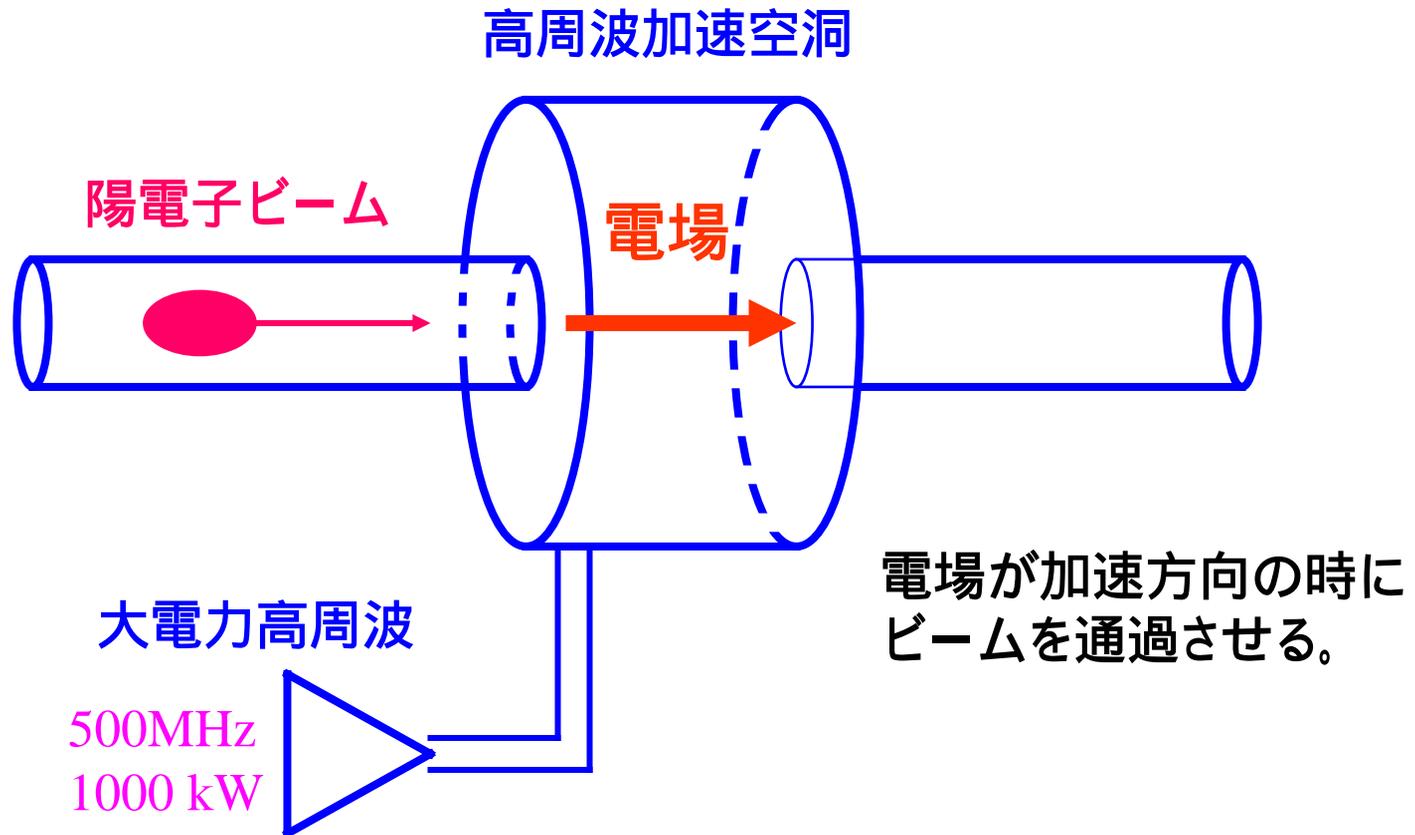
	KEKB		PEP II	
	Record	Design	Record	Design
<b>Peak luminosity</b> [ $\text{cm}^2/\text{sec}$ ]	$13.04 \times 10^{33}$	$1 \times 10^{34}$	$9.01 \times 10^{33}$	$3 \times 10^{33}$
<b>Integrated luminosity per day</b> [pb]	935	-	698	-
<b>Total Integrated luminosity</b> [fb]	258		206	
$I_{\text{beam}}$ LER [A]	1.65	2.6	2.43	2.14
$I_{\text{beam}}$ HER [A]	1.19	1.1	1.38	0.75
Number of bunches	1284	~ 5000	1561	1635
$\beta_y^*$ [mm] LER/HER	5.2/7	10/10	11/11	15/30
$\xi_y$ LER/HER	0.074/0.053	0.052/0.052	0.067/0.046	0.03/0.03
$v_x/v_y$ LER	45.511 / 43.553	45.52 / 45.08	38.52 / 36.56	32.28 / 35.18
$v_x/v_y$ HER	44.513 / 41.582	47.52 / 43.08	24.52 / 23.62	25.28 / 24.18

# Part 2 . KEKBの構成と性能向上 の歩み

- リング加速器のしくみ
- KEKBの設計、ハードウェアの特長
- KEKBの性能向上の歩み
- 入射器



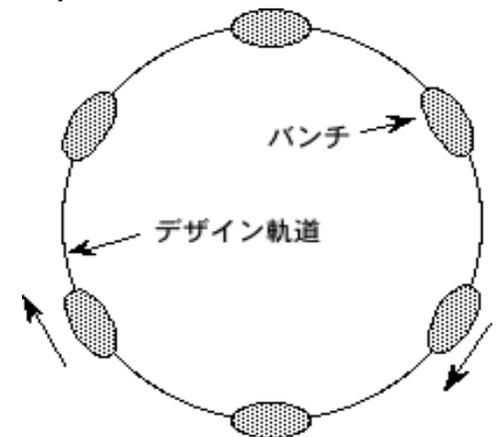
# 荷電粒子の加速のしくみ



# リング内の粒子分布 (バンチ)

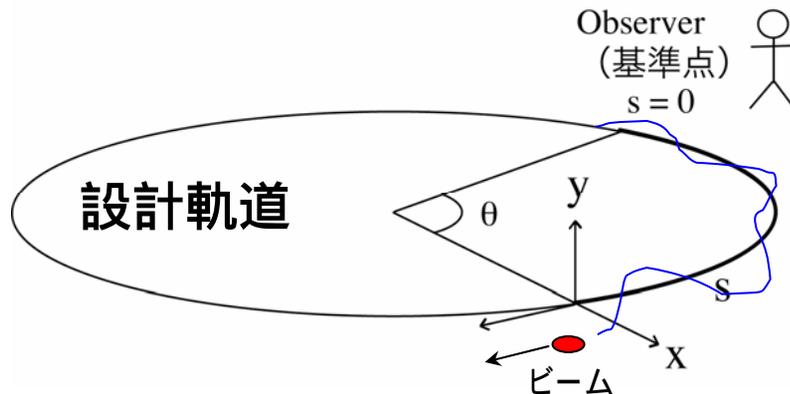
- バンチ

- ビームはリング内に一様に分布しないで、バンチと呼ばれる塊の集合になる。
- これは、高周波でビームを加速しているため、この高周波フィールドの適当な位相でのみ適切な加速が行えるためである。
- リングに存在できるバンチの数(の最大値)は、リングの周長と高周波の周波数で決まる (KEKBの場合5120)



# ベータトロン振動とチューン

- ビームは磁場から受ける力によって横方向 (x方向またはy方向) に振動を伴う運動をする。 **ベータトロン振動**。
- 力の性質は「復元力」。(例:ばねによる振動)
- 蓄積リングの場合、ビームがリング一周する時に何回振動するかを表すパラメータを**ベータトロン・チューン**と呼ぶ。(単にチューンと呼ぶこともある。)
- チューンは磁石の設定、配置によって決めることができる。
- チューンはビーム光学系における重要なパラメータである。



# バンチ内の粒子の分布

- 横方向(水平、垂直方向のビームサイズ)
  - リングの場所によって、ビームサイズが異なる
  - このビームサイズは、ビーム光学でレンズの役割を果たす四極電磁石(Quadrupole Magnet, Q Magnet)のリング内の配置に依存する -> 関数
- 進行方向(バンチ長)
  - 高周波加速の加速電圧、偏向電磁石の強さなどで決まる

# ビームサイズ

$$\sigma_x = \sqrt{\beta_x \varepsilon_x + \left( \eta_x \frac{\Delta p}{p} \right)^2} \quad \sigma_y = \sqrt{\beta_y \varepsilon_y + \left( \eta_y \frac{\Delta p}{p} \right)^2}$$

## – Beta function and emittance

$\beta_{x,y}$  **Beta function** (Optical parameter): リングの場所に依存

$\varepsilon_{x,y}$  **Emittance**: リングの場所に依存しない不変量

## – Energy Dispersion and energy spread

$\eta_{x,y}$  **Energy dispersion** (Optical parameter): リングの場所に依存

$\frac{\Delta p}{p}$  **Energy spread**: バンチ内の粒子のエネルギーの分布の広がり  
リングの場所に依存しない不変量

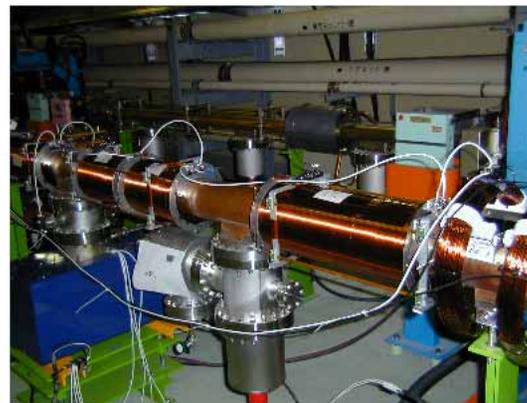
超伝導空洞:  
高加速電圧を効率よく発生

超伝導空洞で世界最高電流 $>1.2A$ の蓄積



有限交差角: 2ビームを容易に分離  
ユニークな超伝導最終収束磁石、常伝導特種電磁石群

リングコライダーとして世界最小ビーム  
サイズ( $2.2 \mu\text{m} \times 110 \mu\text{m}$ )を達成



## KEKBの特長

ソレノイド磁場により電子雲の発生を抑制



J-LINAC:  
限られたスペースで必要な入射エネルギーを達成  
陽電子2バンチ入射の実現

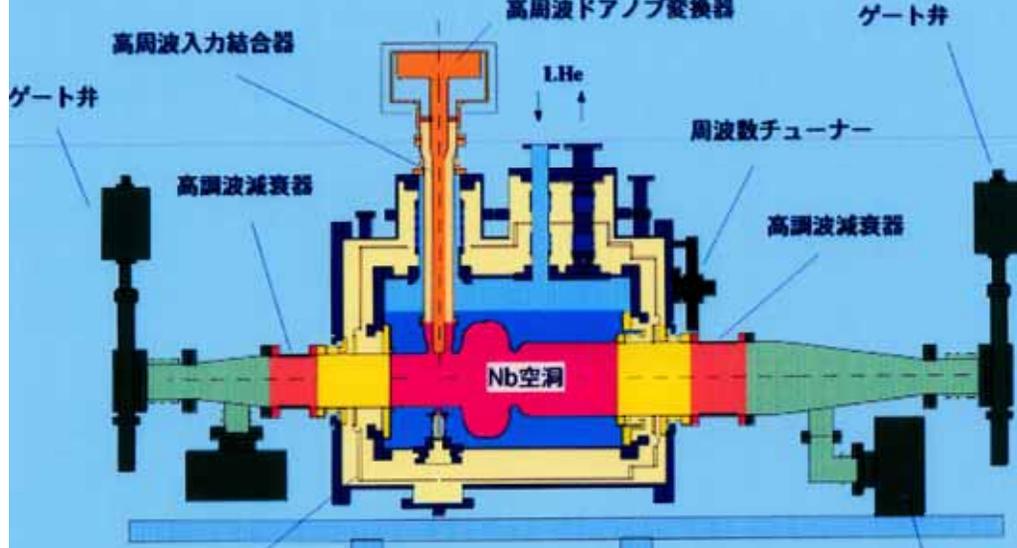
ARES空洞:  
巨大な蓄積エネルギーで大電流を安定に加速  
バンチ毎フィードバックで他の不安定性も抑制

$2.5\pi$ セルラティス:  
最小の非線形性と最大の柔軟性  
半整数共鳴線に0.005まで接近

# KEKB 超伝導加速空洞

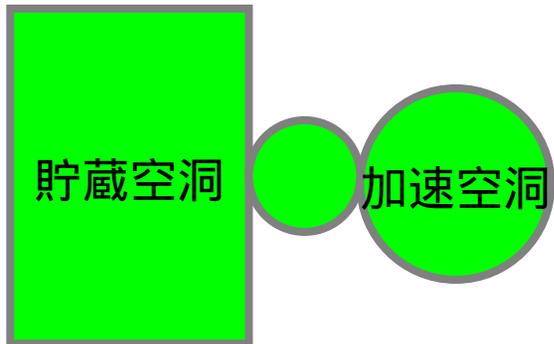
超伝導加速空洞としては

- ・蓄積ビーム電流が世界最大
- ・ビームへの供給パワーも世界最大



# KEKB-ARES 常伝導加速空洞

ビーム不安定に強く、  
大電流に適した、  
独創的な設計。

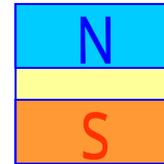




# KEKB電磁石群

(ビーム軌道を制御)

総数約3300台。  
0.1mmの精度で設置。



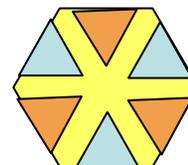
2極電磁石

ビームを曲げる、軌道補正



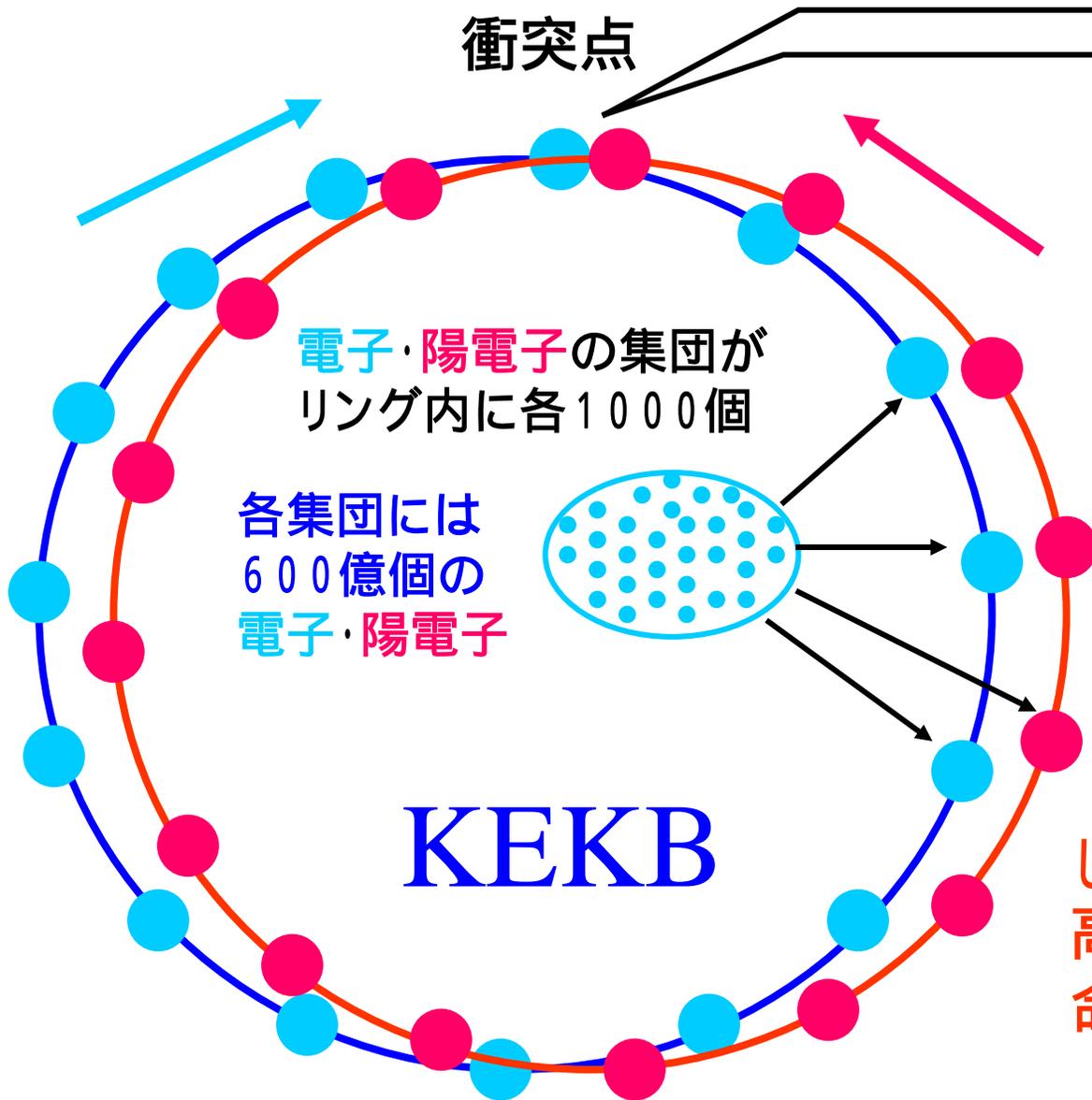
4極電磁石

ビームを収束させる



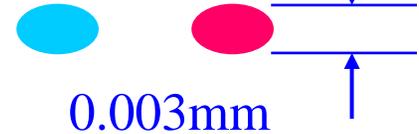
6極電磁石

ビームの色収差補正



衝突点

世界最小の  
ビームサイズ



電子・陽電子の集団が  
リング内に各1000個

各集団には  
600億個の  
電子・陽電子

KEKB

一周3 kmのリングを  
光速で約10億回  
回り続ける。

電子・陽電子の飛行距離  
= 約30億km

しかも3 km毎に  
高さ0.003mmの標的に  
命中させながら！

# KEKB 衝突バンチの様子

リングコライダーで世界最  
小のビームサイズ

平面交差角  
1.3度

電子 $5 \times 10^{10}$ 個

陽電子 $7 \times 10^{10}$ 個

高さ $2.3 \mu\text{m}$

長さ7 mm

各バンチは1秒間に10万回衝突  
各リングに1284バンチずつ蓄積



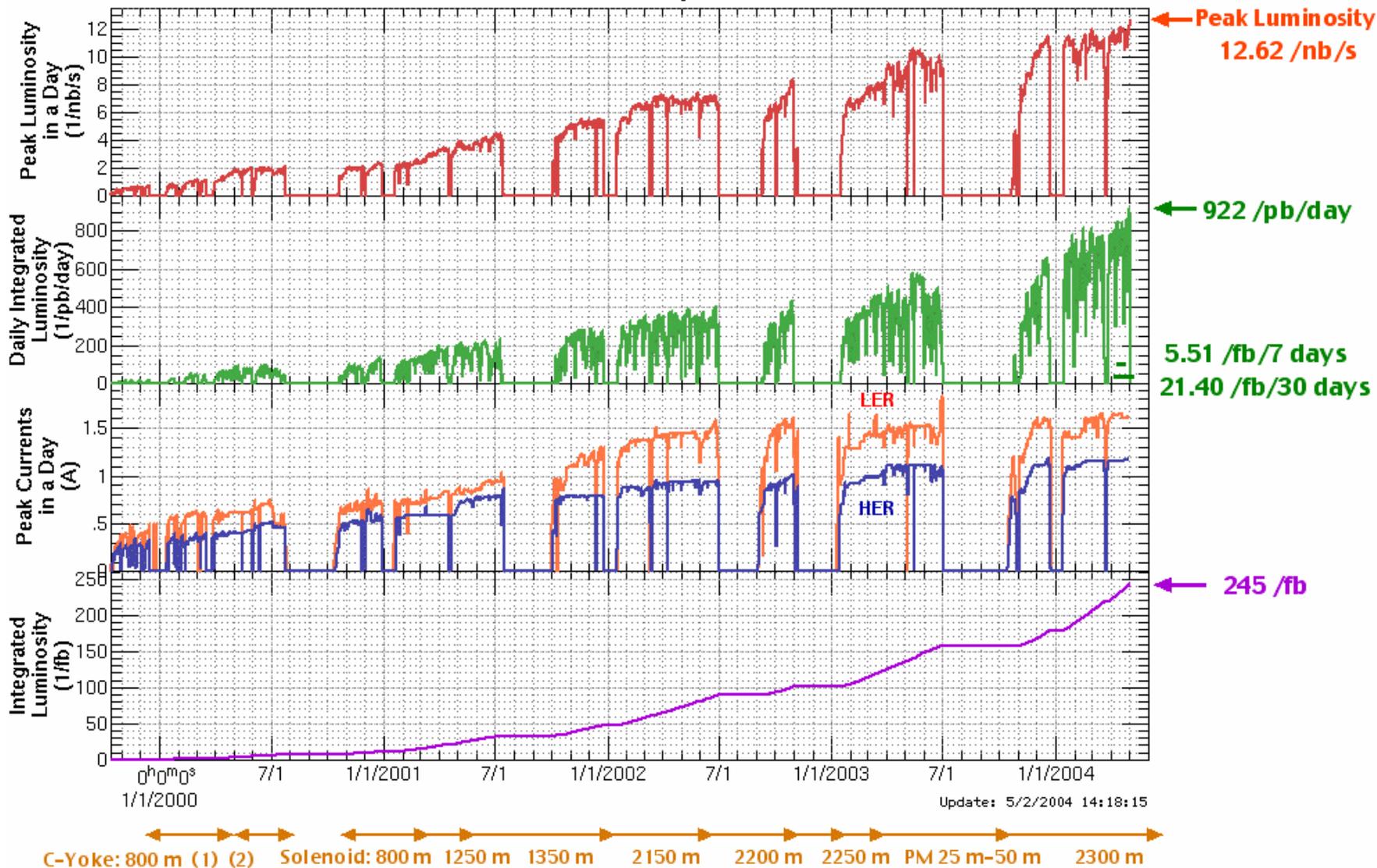
# KEKBの歴史

- 1989年: デザイン作業に着手
- 1994年: 予算通過、建設開始
- 1995年6月: KECB デザインレポート完成
- 1997年9月: 入射器リニアックKEKB用アップグレード完成、運転開始
- 1998年12月: HERビーム運転開始
- 1999年1月: LERビーム運転開始
- 1999年5月: Belle検出器装着
- 1999年6月: Belleで最初の素粒子反応観測
- 2001年4月: 当時の世界最高ルミノシティ( $3.4 \times 10^{33} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) に到達 (PEP-IIを越える)
- 2002年10月: 積分ルミノシティ、100 /fbに到達 (世界初)
- 2003年5月9日: デザインルミノシティ $10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ を達成 (世界初)
- 2004年2月: 積分ルミノシティ、200 /fb に到達 (世界初)
- 2004年5月現在: ルミノシティは $1.3 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  で世界記録を更新中

# ルミノシティ向上の歩み

Luminosity of KEKB  
Oct. 1999 - May 2004

→ 連続入射開始



# ルミノシティ向上を阻んだ諸問題

- 大電流ビームとの戦い
  - 加速器コンポーネントの発熱や放電による破損
  - ビーム不安定性
- 電子雲に起因する陽電子ビームサイズ増大
  - ソレノイド巻きによる対策
- ビーム・ビーム効果相互作用によるビームサイズの増大

# 大電流ビームの(悪)影響

- 不安定になったビームが機器を直撃
  - 真空機器を破壊
  - Belle検出器への多大な放射線
- ビームが誘起する強力な電磁場による放電や発熱で機器が破壊
- 機器のインピーダンスが起こすビーム不安定

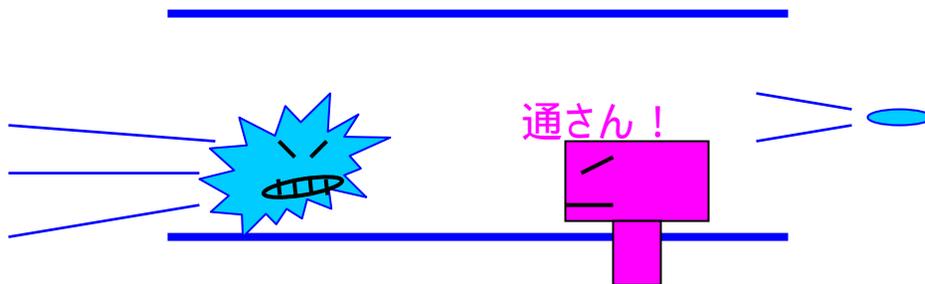
# 大電流ビーム直撃によるダメージ

## 一例：可動マスク

Belle検出器

可動マスク

「ビームが暴れたら僕が止めるよ。  
大事なBelle検出器様を守るために。」



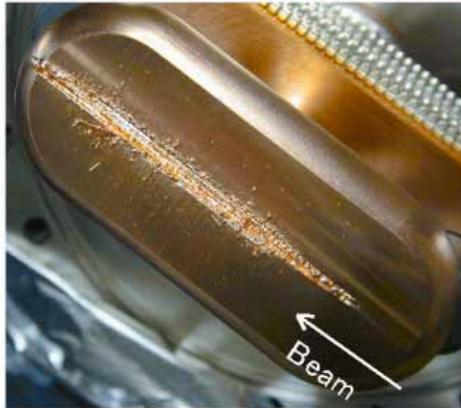
そして傷だらけになってしまった。



- (1) マスクの改良につぐ改良。
- (2) 不安定なビームはすばやく捨てる(アボート)。  
により、現在はほぼ解決。

# 大電流ビームによる各種真空機器の破壊

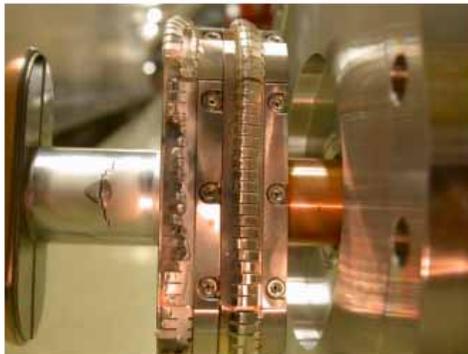
Movable Mask



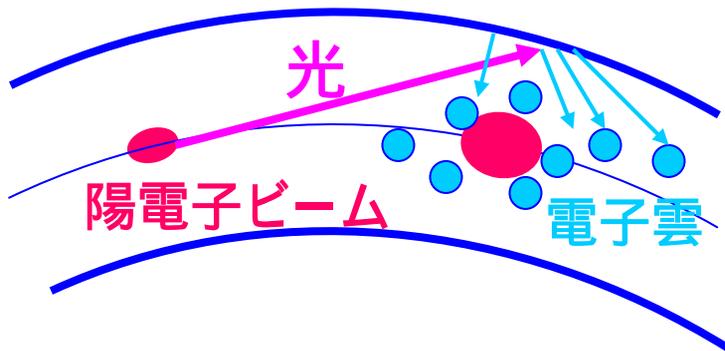
KEKB: Bellows



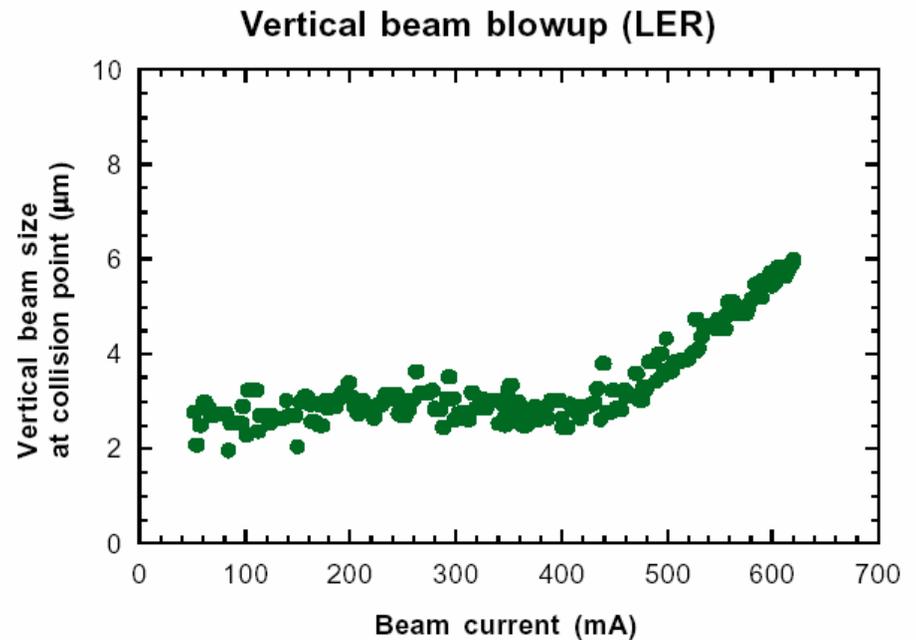
LER Septum Chamber



# 光電子雲による陽電子ビームサイズ増大

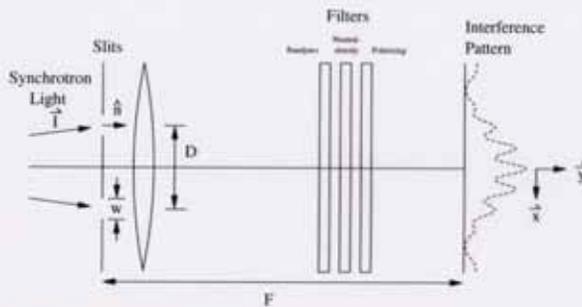


陽電子ビームが太り、  
ルミノシティが上がらない。



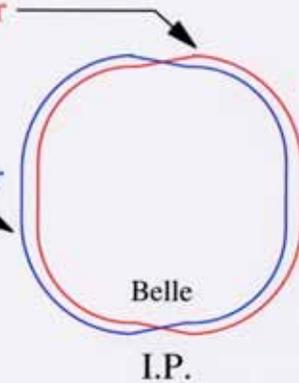
# 光干渉計によるビームサイズ測定

## SR Interferometry Beam-Size Monitor



LER SR Monitor  
Source Bend

HER SR Monitor  
Source Bend



各リング  
一カ所で測定

$$y(x) = I_0 \left[ \frac{\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} Fw\Phi x\right)}{\frac{2\pi}{\lambda} Fw\Phi x} \right]^2 \left( 1 + \gamma \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} Dx\right) \right)$$

where:  
 $\lambda$  = wavelength  
 $\Phi \propto \vec{l} \cdot \hat{n}$   
 $\gamma$  = Visibility

Find Visibility

$$\sigma_{beam} = \frac{\lambda L}{\pi DM} \sqrt{\frac{1}{2} \ln \frac{1}{\gamma}}$$

where:  
 $L$  = distance from source  
 $M$  = magnification

$$\sigma^* = \sigma(SRMon) \sqrt{\frac{\beta^*}{\beta(SRMon)}}$$

Translate  
to I.P.

# 電子雲対策(ソレノイド磁場)

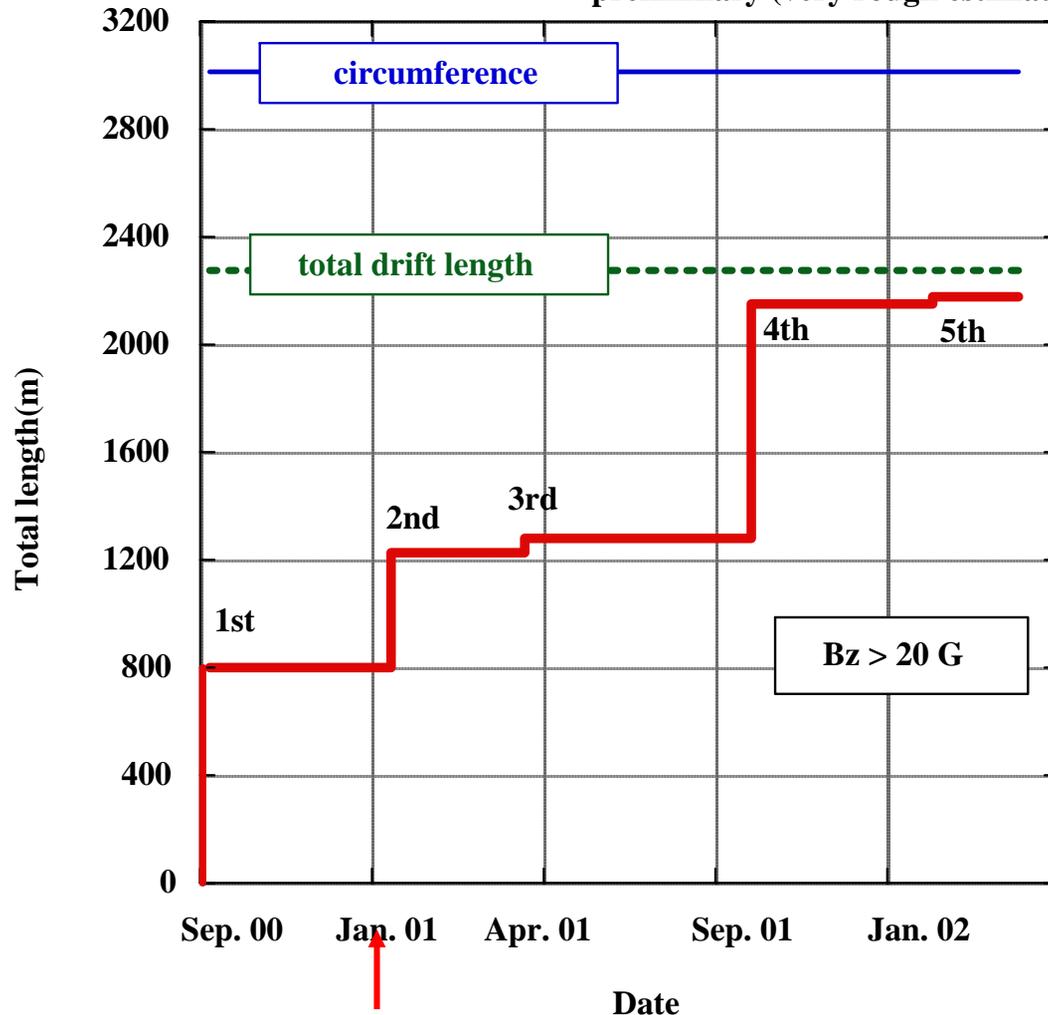
陽電子リング全周に、せっせと  
ソレノイドコイルを巻いた。  
(夏休み、正月休み)



# ソレノイドコイル巻きの歴史

## Total length of solenoid

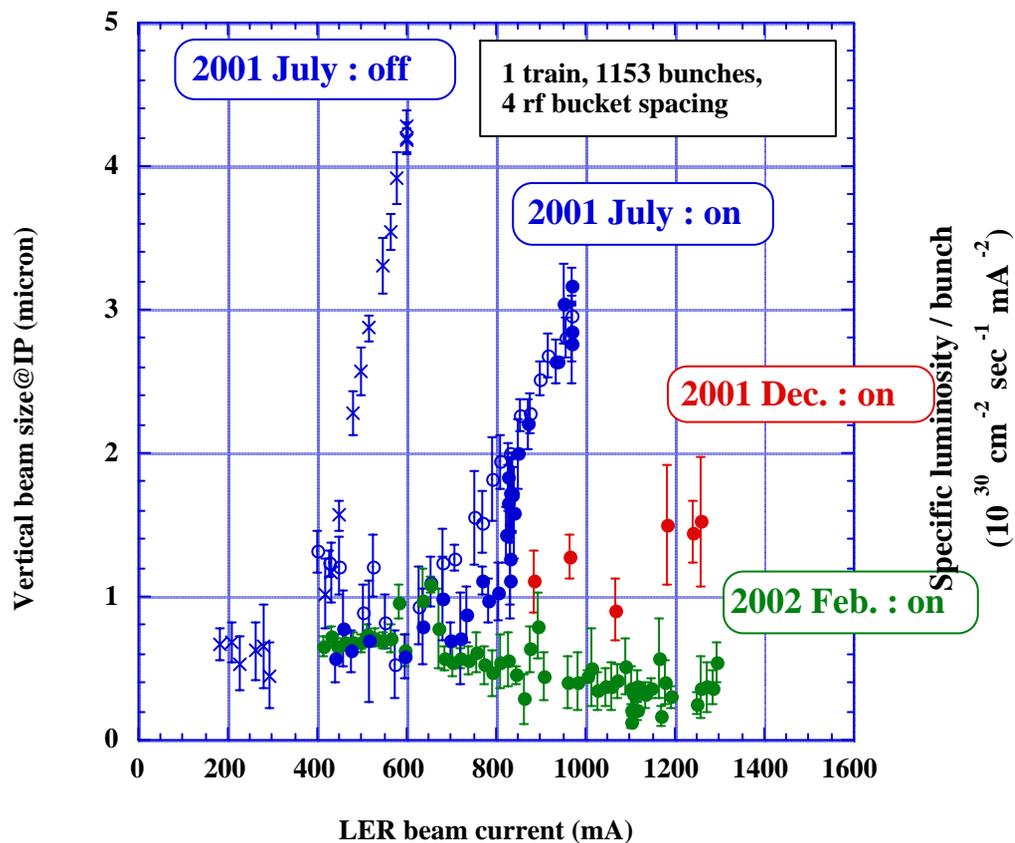
preliminary (very rough estimation)



この頃効果が確認される

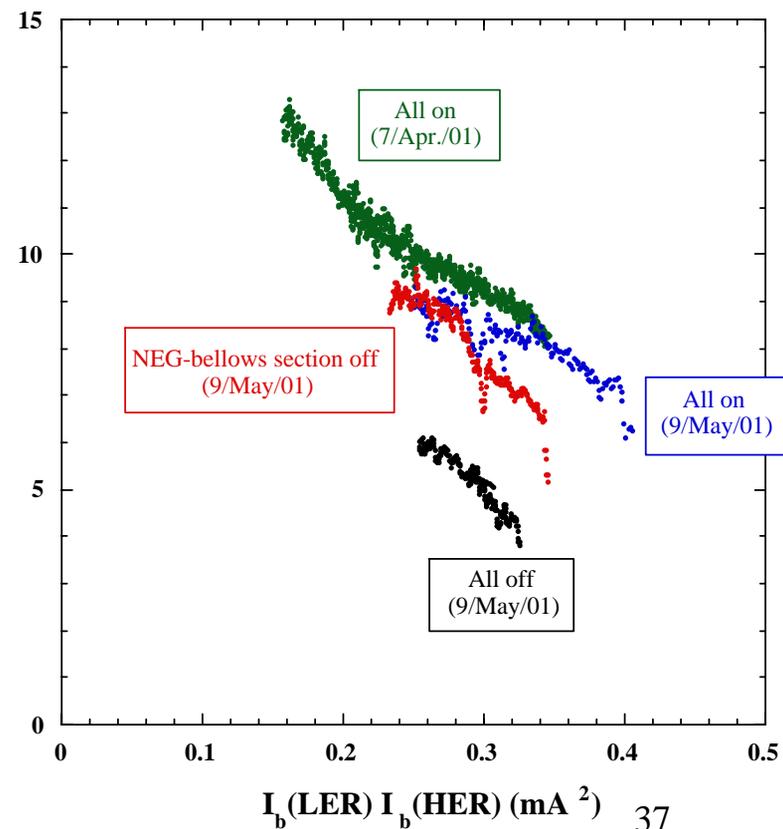
# ソレノイドの効果

## ビームサイズへの効果



## ルミノシティへの効果

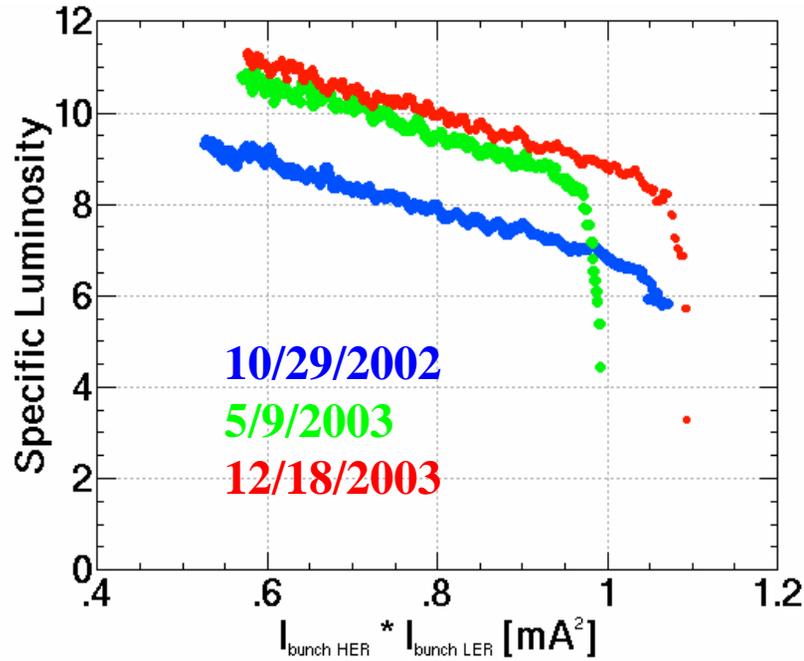
Effect of solenoid  
(after second installation)



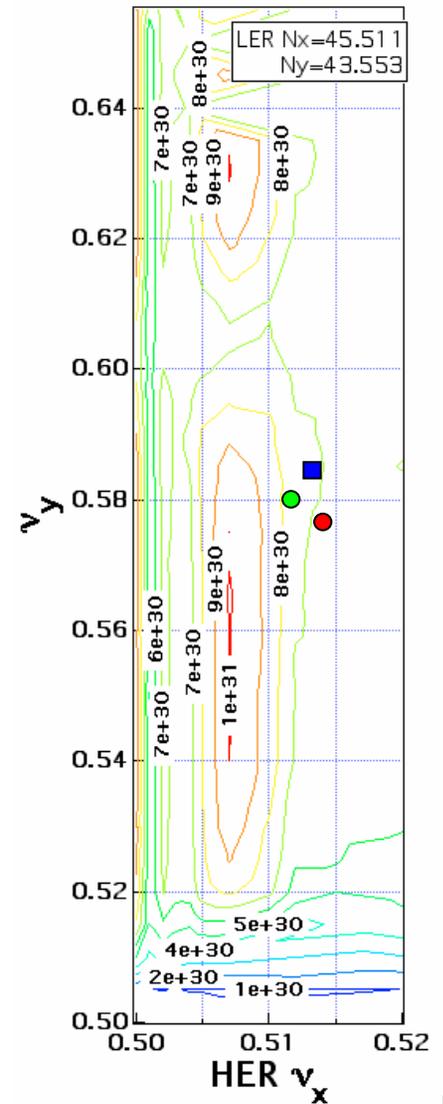
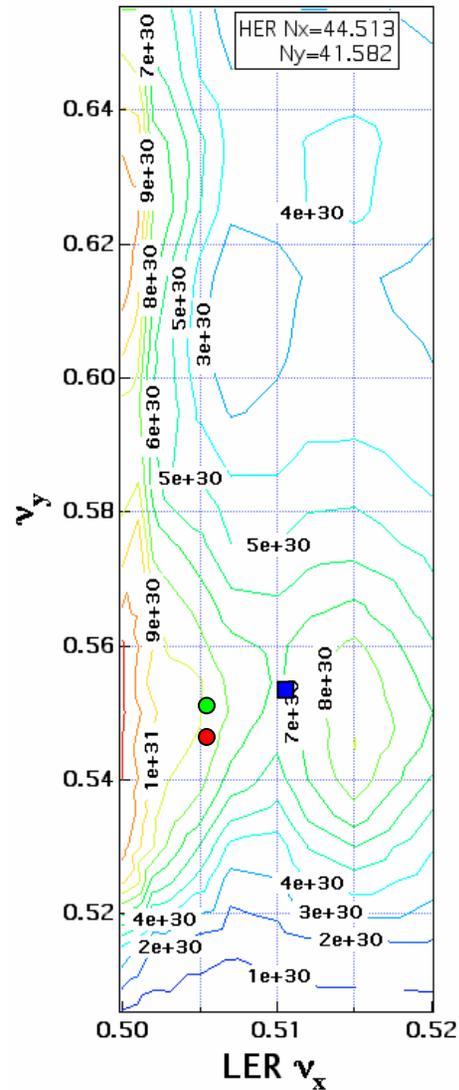
# ビームビーム効果によるビームサイズ増大の抑制

- より良いビームパラメタ (betatron tune等) の選択。  
Simulationで探し実際のマシンで実験する。
- マシン・エラーの(加速器のデザインからの誤差)軽減は必須。
- チューニングを行うためのソフトウェア(“tool”)の開発と整備。

# ベータトロンチューンとルミノシティ

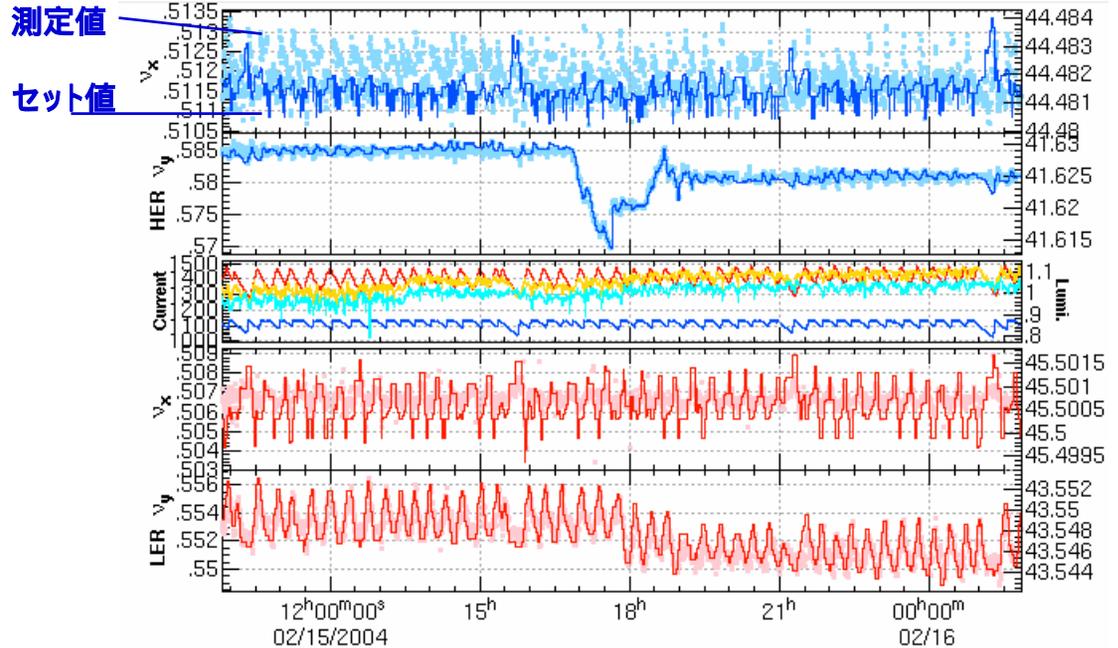
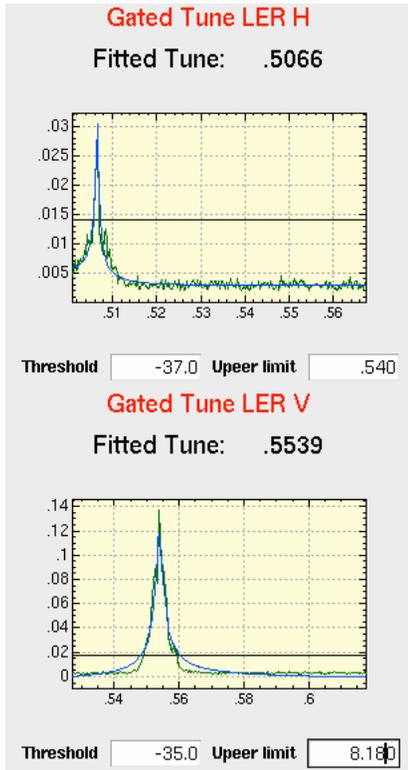


25% アップ



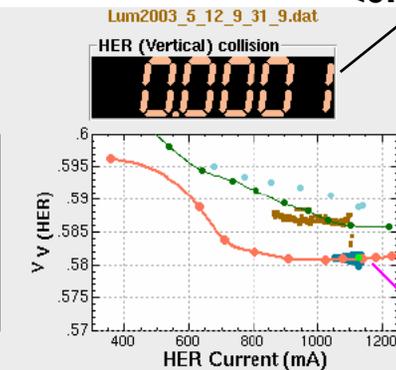
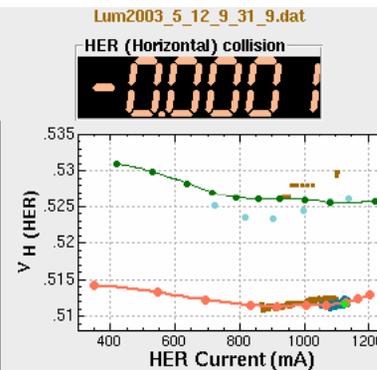
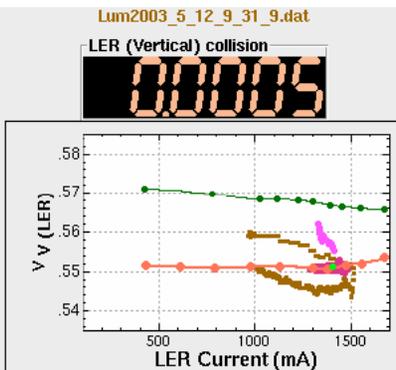
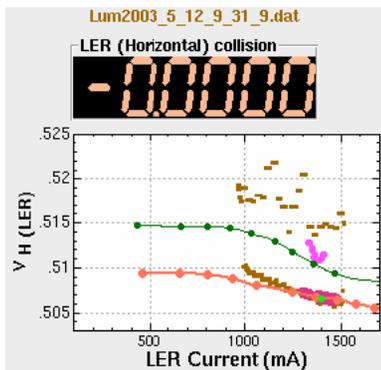
# マシンチューニング “tool” の例

## チューン フィードバック



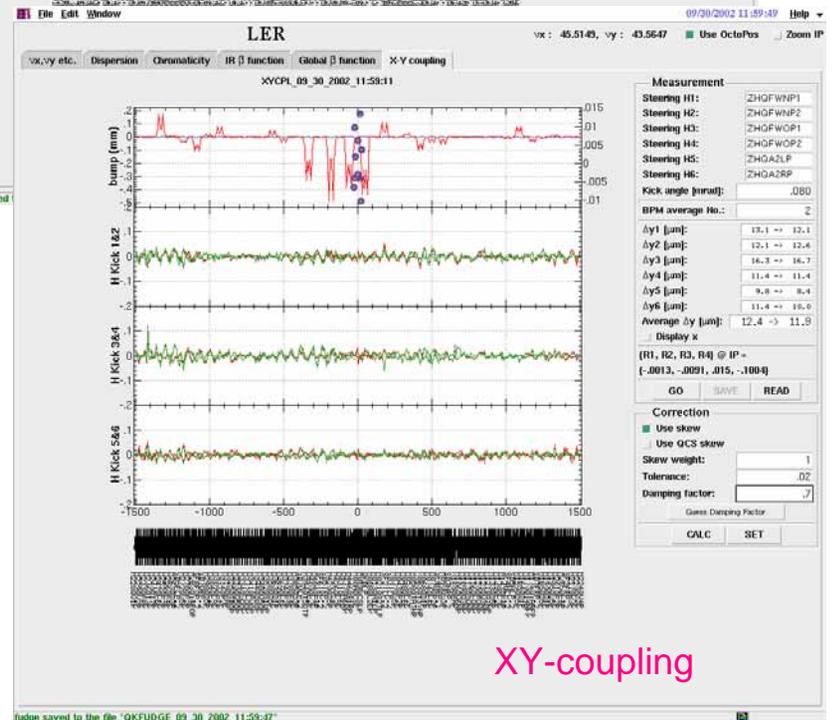
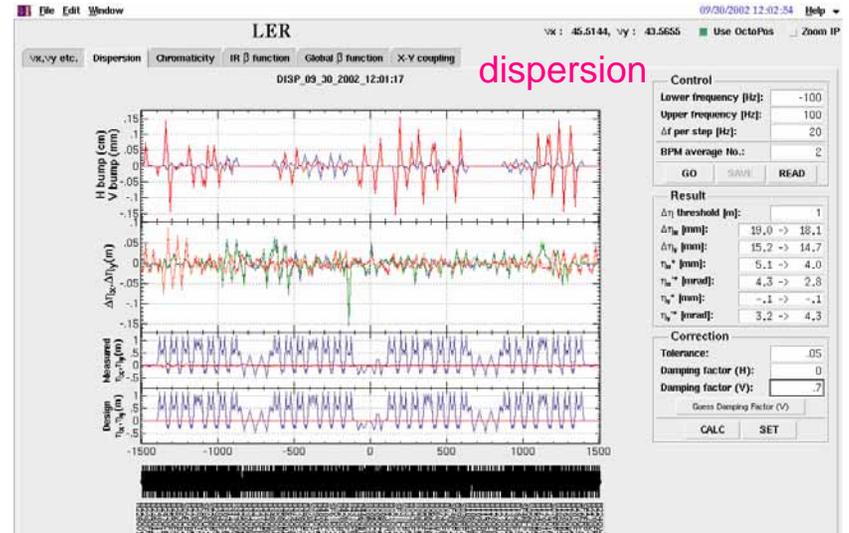
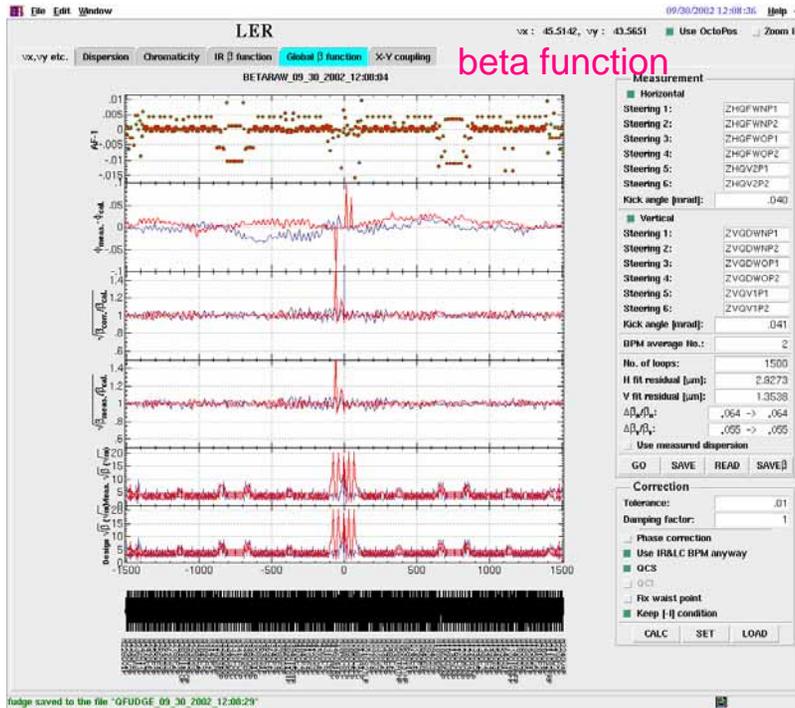
安定な運転に非常に効果的

Diff. is kept <0.0005



Ref. line

# Optics測定と補正



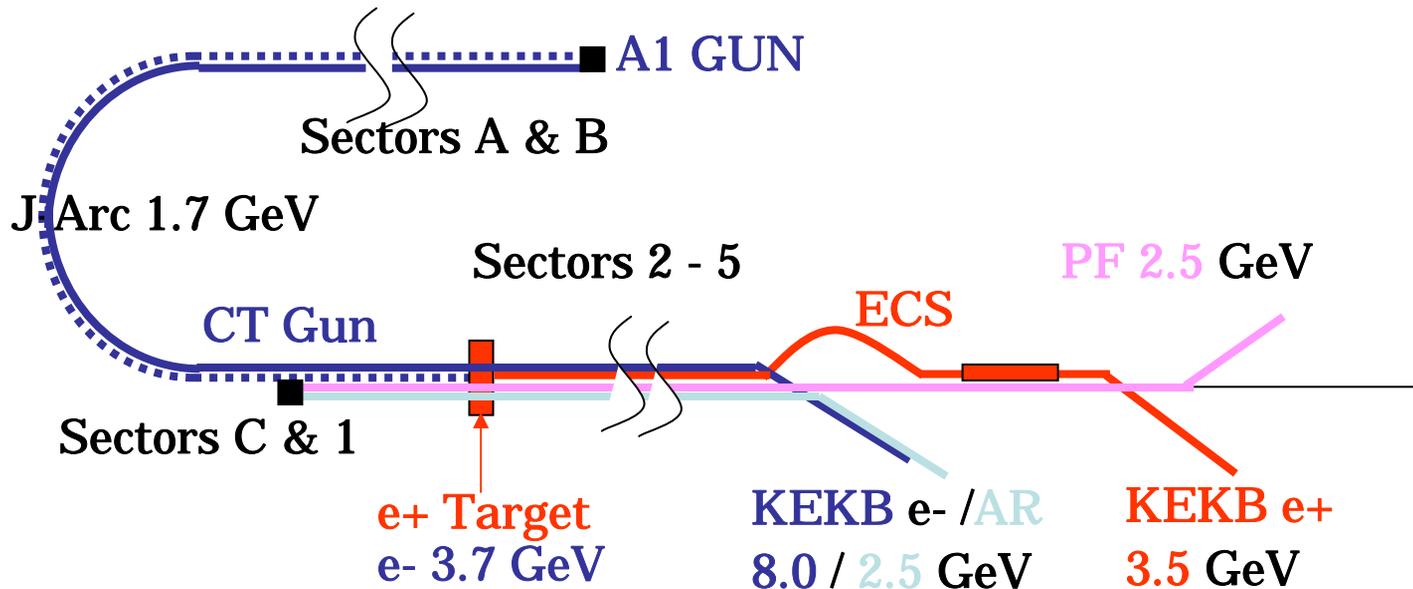
Knobs:

Local bumps at sextupoles  
Fudge factors for quads/skews

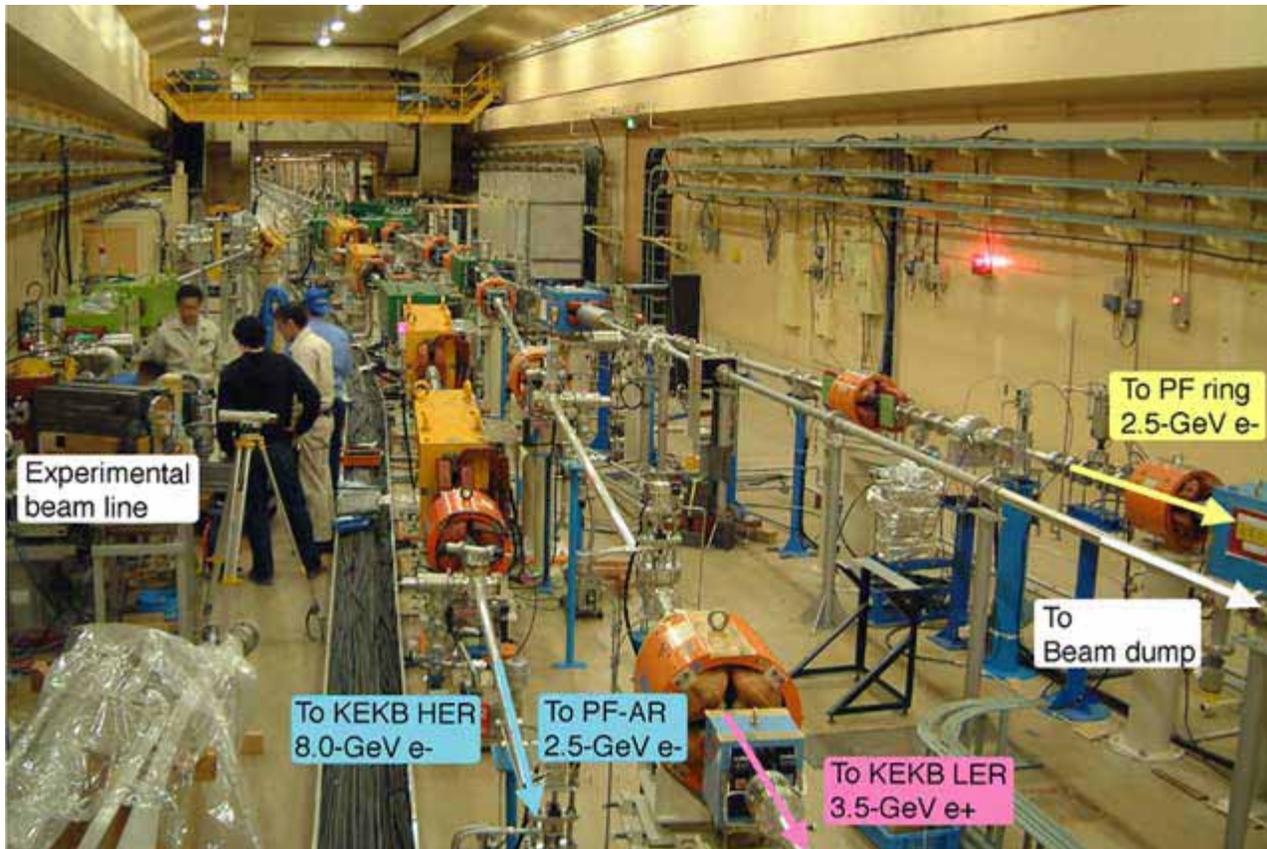
Works very well !

# 入射器の構成

## Schematic Linac Layout

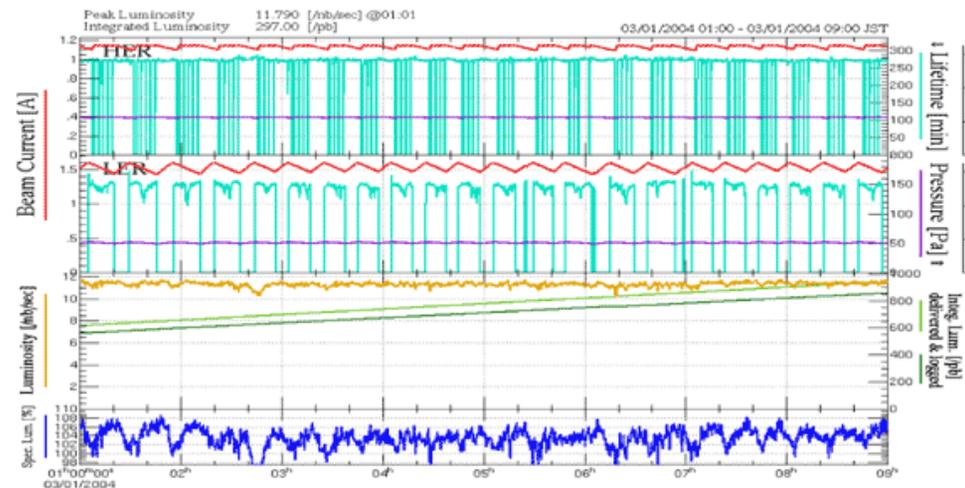
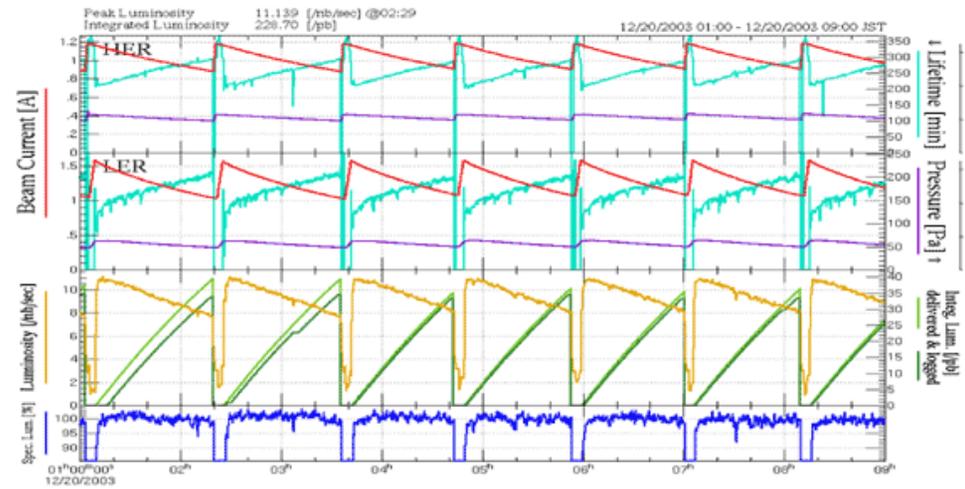


# 線形加速器下流のswitch yard



# 連続入射による積分ルミノシティ増加

- 入射中もデータを取り続ける。
- 10Hz入射
- 3.5msecのveto
- 加速器の状態を一定に保つことが可能になり運転が安定になる。



# 現在ピークルミノシティ 積分ルミノシティ 世界記録更新中

## 運転開始後5年間の継続的な努力

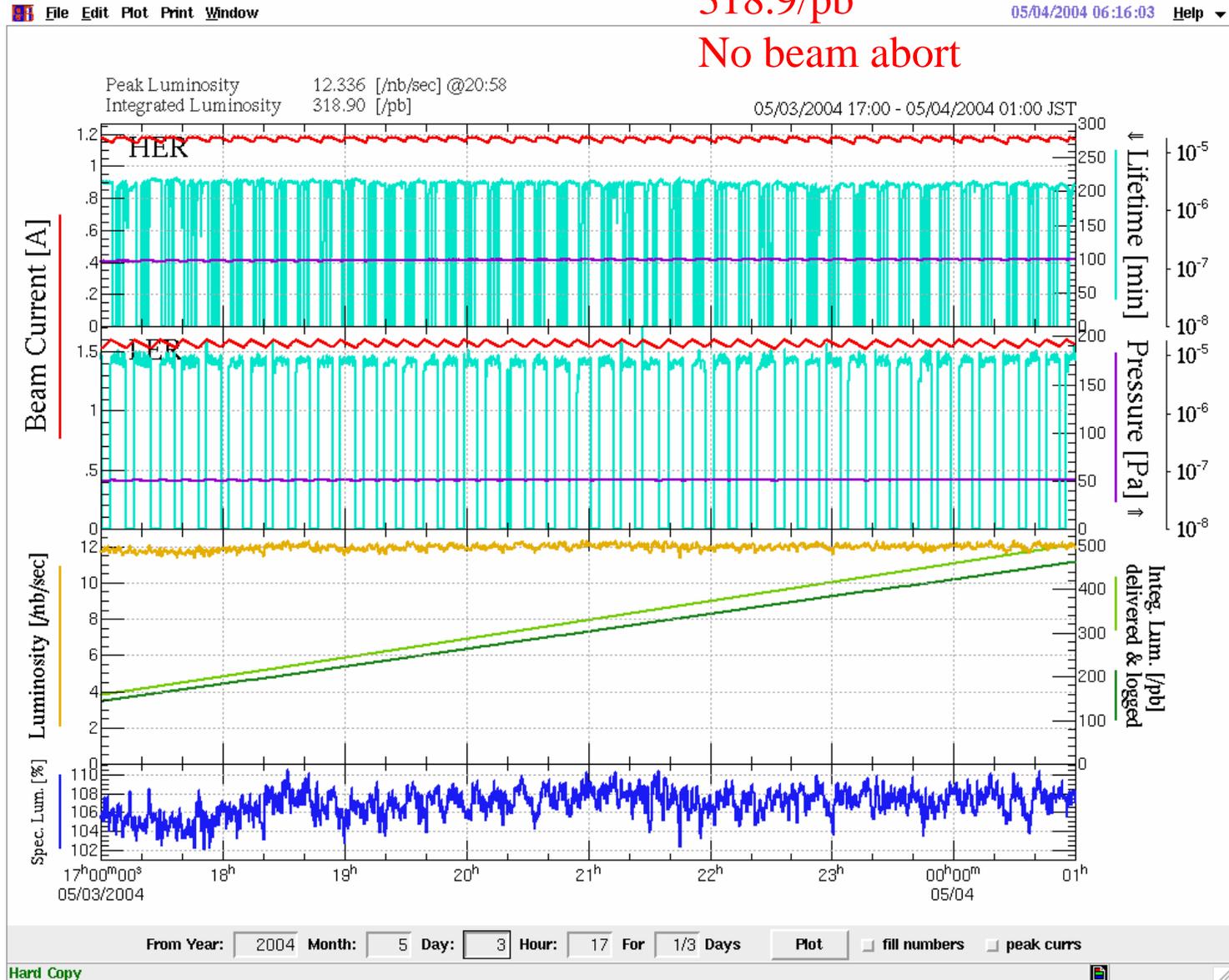
- 予想外の困難=「陽電子リングにおける光電子雲不安定性」の克服
  - ソレノイド磁場の半手巻きによる追加、全長2300m
  - ビームパラメータの変更による対応
- 大電流(LER 1.5 A, HER 1.1 A)の蓄積に伴う発熱・放電・破壊との闘い
  - 真空チャンバーの発熱、溶解(放射光、ビームエネルギー直撃等)
  - 可動コリメーターの破壊(ビームエネルギー直撃、放電、高次モード電磁場等)
  - ベローズ内部の破壊(放射光、放電、高次モード電磁場等)
  - 衝突点ベリリウムチャンバーの破損
- 1日24時間週7日日曜も休日もない連続運転、年間8-9ヶ月
  - 停止期間は機器の保守、修理と改造

# Best Shift (8 hours)

318.9/pb

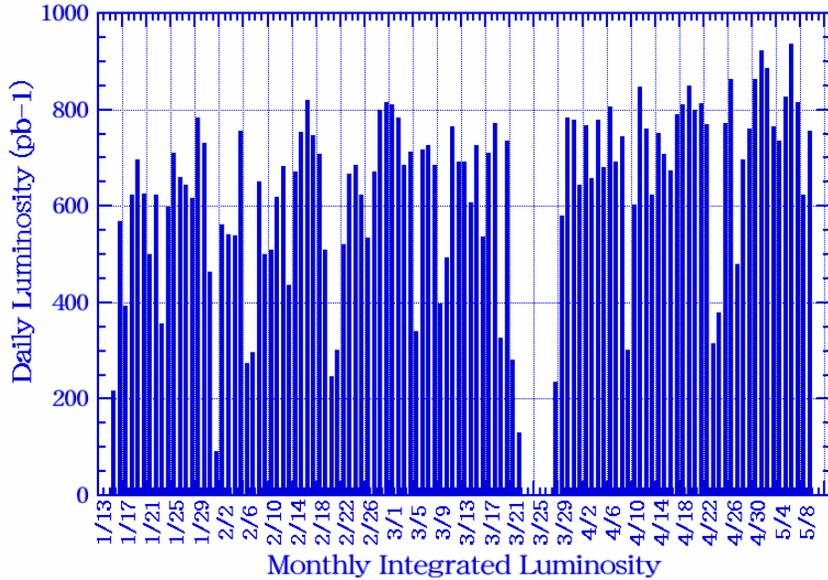
05/04/2004 06:16:03 Help

No beam abort

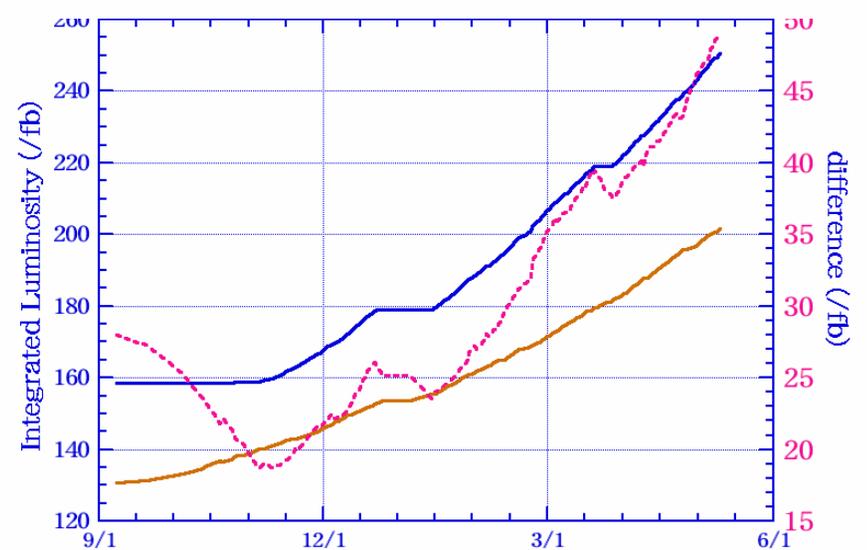
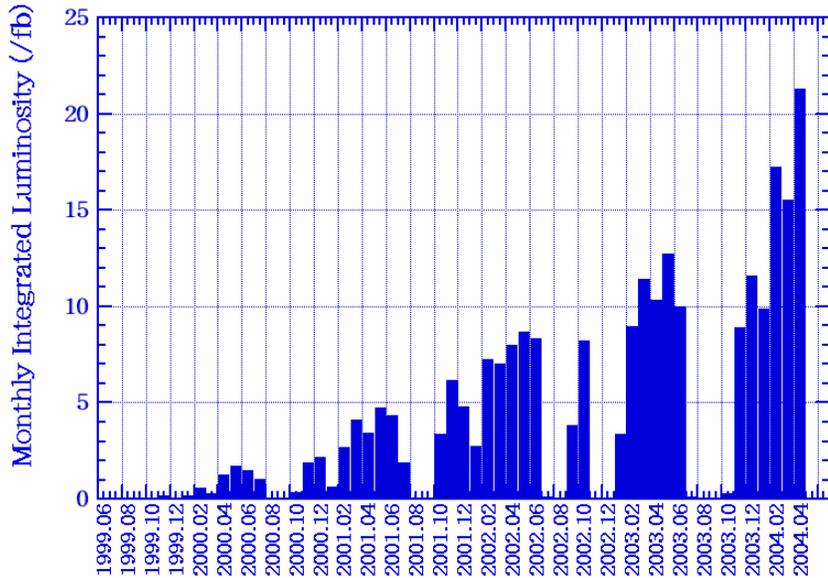
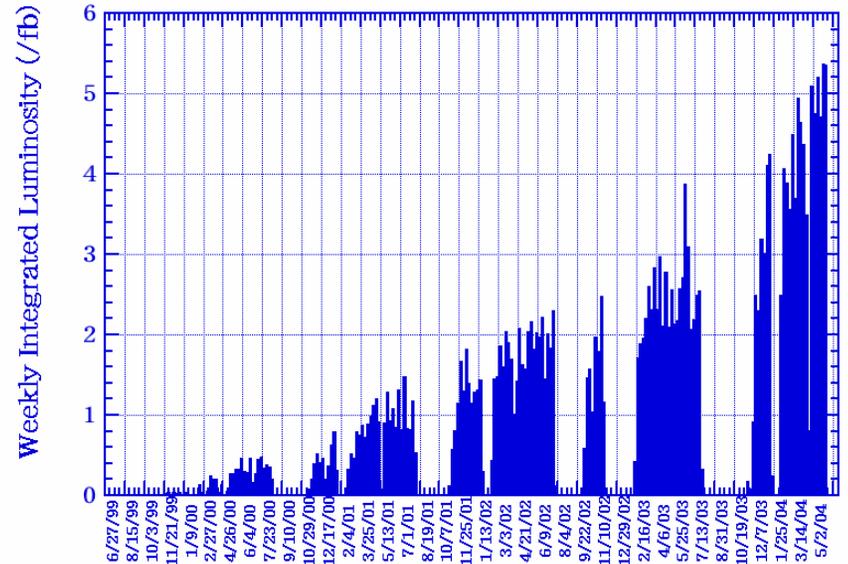


# Daily/weekly/monthly積分ルミノシティ

Daily Luminosity



Weekly Integrated Luminosity



# Part 3. KEKB加速器の将来

## Super B Factory計画の提案

# KEKB加速器の将来計画における目標

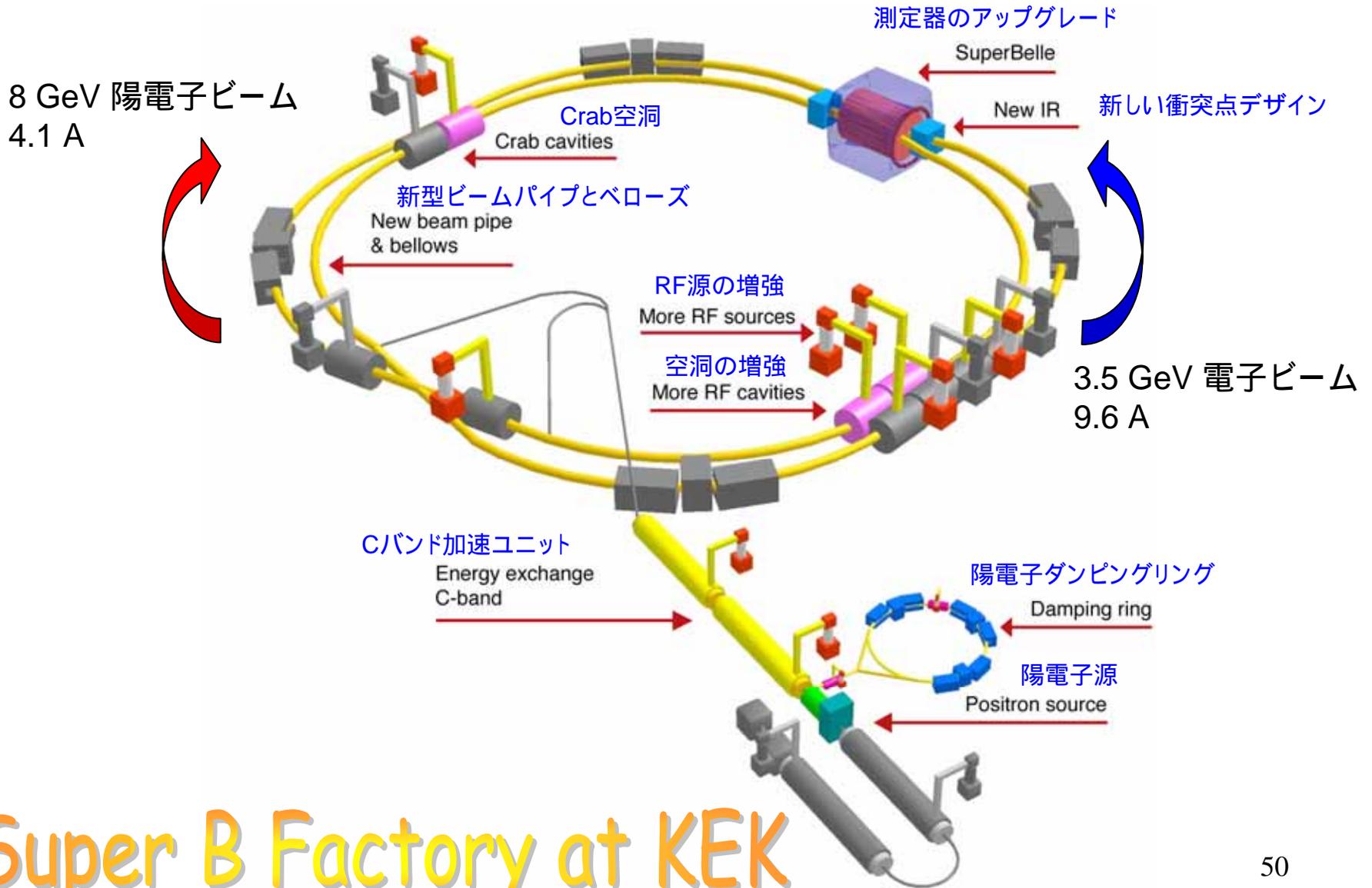
## ~ Super B Factory 計画 ~

- Bファクトリー実験で用いられているKEKB加速器の最高ルミノシティー (2004年5月現在) は、

$$L_{\text{peak}} = 1.3 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

- KEBB加速器の将来計画では、さらに高いルミノシティーを目指し  $2.5 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  を目標とする (約20倍)。 SuperKEKB計画
- アップグレードの時期は2009年頃を予定。

# SuperKEKBの概念図



Super B Factory at KEK



# 超高ルミノシティへの主要戦略

- SuperKEKB加速器ではKEKBの**約20倍**のルミノシティを達成するために、

- **ビーム電流を約4倍に増強する。**

- 1.6 A (LER) / 1.2 A (HER)    9.6 A (LER) / 4.1 A (HER)

- **$y^*$  関数を約1 / 2にする。**

- $y^* = 6 \text{ mm}$      $y^* = 3 \text{ mm}$  (ビームを絞る)
- バンチ長も 6 mm    3 mm に縮める。

- **ビーム・ビーム パラメータを約3倍にする。**

- $\xi_y = 0.05$      $\xi_y = 0.14$

**約24倍のゲイン**

# ビーム電流の増強

- (1) RFシステムの増強と改良
  - ビームパワーを補償するためにRFシステムの数に約2倍を増強。
  - クライストロン1台:空洞2台からクライストロン1台:空洞1台へ移行 (RFパワーの増強)。
  - LER-ARES空洞改造により結合バンチ不安定性を軽減。
  - 進行方向のバンチフィードバックシステムを装備。
  - 高次モード電磁波 (HOM) を受け止めるHOM damperの改良。
  - 空洞でのHOMパワーロスを軽減するためにロス・ファクター ( $\kappa$ ) を小さくする。(ex. 空洞とビームチェンバーの結合部を滑らかにする等)

$$P_{HOM} = \kappa \cdot T_0 \frac{I^2}{n_B}$$

ビーム電流

バンチ数

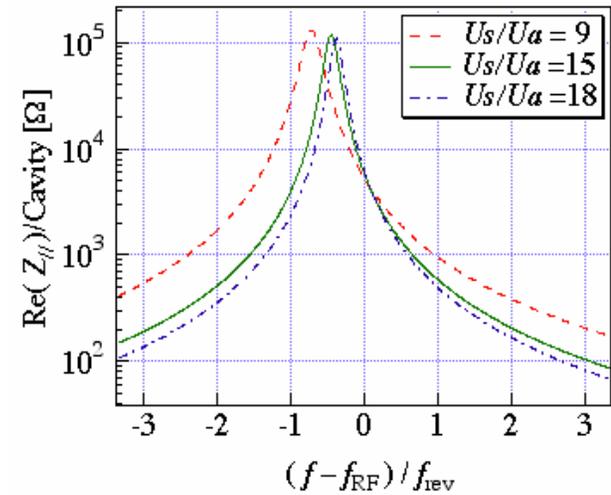
ビームがリング1周に要する時間

# RFユニットの増強

		KEKB		Super-KEKB	
		LER	HER	LER	HER
Oho	D4		3		14
	D5		3	8	2
Fuji	D7	5		10	
	D8	5		10	
Nikko	D10		4		6
	D11		4		6
Total		24		56	

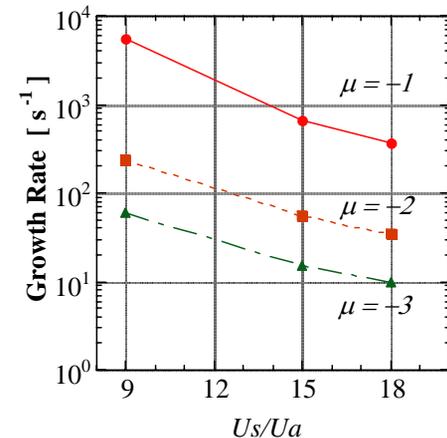
# LER-ARES空洞の改造

- The ARES in LER will be remodeled to increase the stored energy further.
- By enlarging the coupling hole between the A-C cavities,  $U_s/U_a$  will be increased from 9 to 15.
- Storage cavity is reused.



Coupling impedance for the  $p/2$  mode

	existing	modified
Energy ratio	1:9	1:15
Detuning (kHz)	65	45
Growth time (ms)	0.3	1.6
C-damper (kW)	41	26



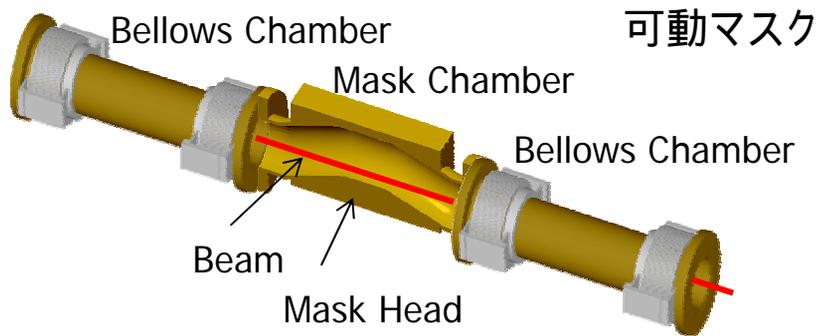
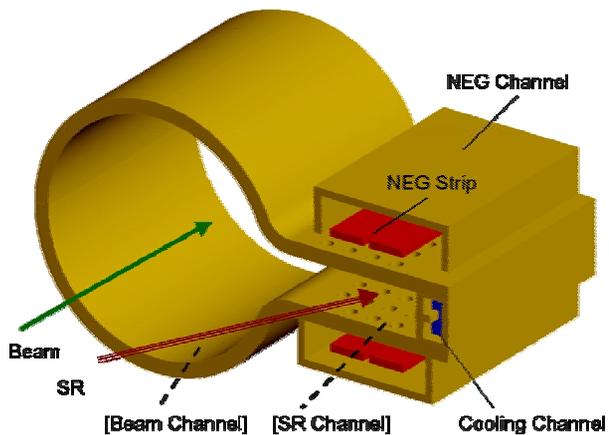
Growth rate as a function of  $U_s/U_a$

# ビーム電流の増強(つづき)

- (2) 真空機器の改造

- アンテ・チェンバーの導入。
  - 強力な放射光を受け止める。
  - 陽電子ビームに悪影響を及ぼす光電子雲を遮蔽する。
- HOMパワーロスの軽減。真空チェンバーを結合するためのベローズの改良。
  - フィンガータイプから楕型へ。
  - 強力なRFシールド。
  - ダメージに強い。
- 可動マスクシステムの改良。
  - HOMの発生を軽減するタイプ。
  - ビームによるダメージに強い。
- 特殊なHOM吸収体(HOM absorber)を装備。

# アンテ・チェンバー

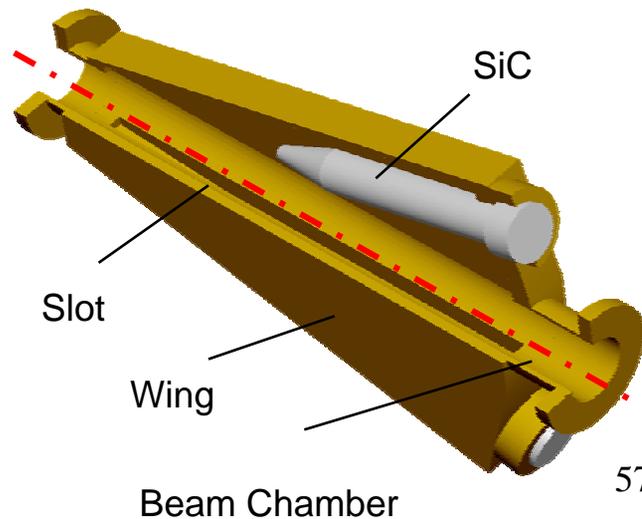


# 可動マスク

# 新型ベローズ

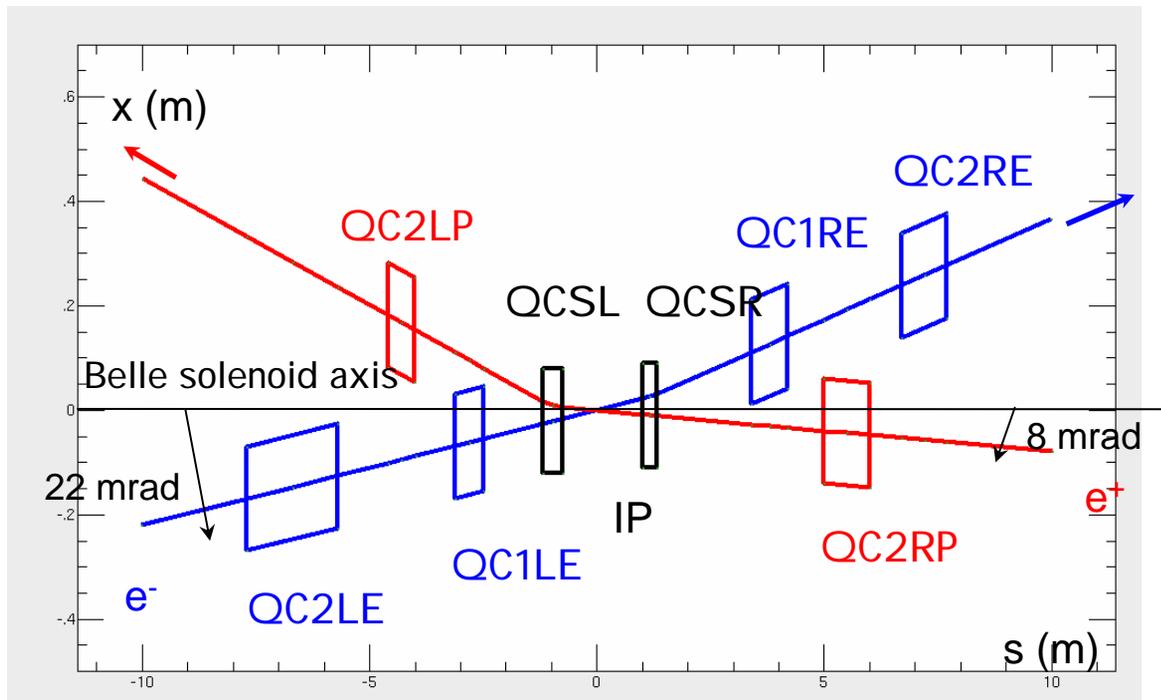


# HOM吸収体

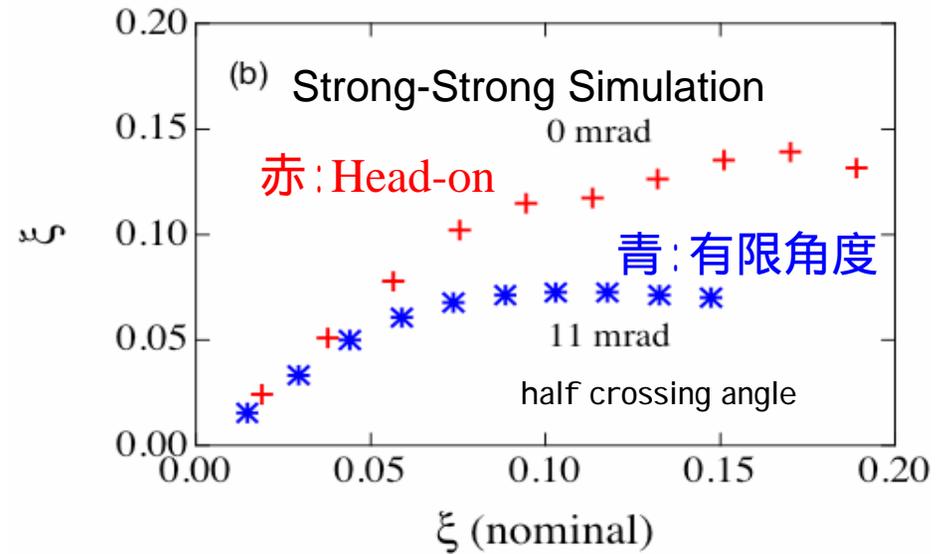
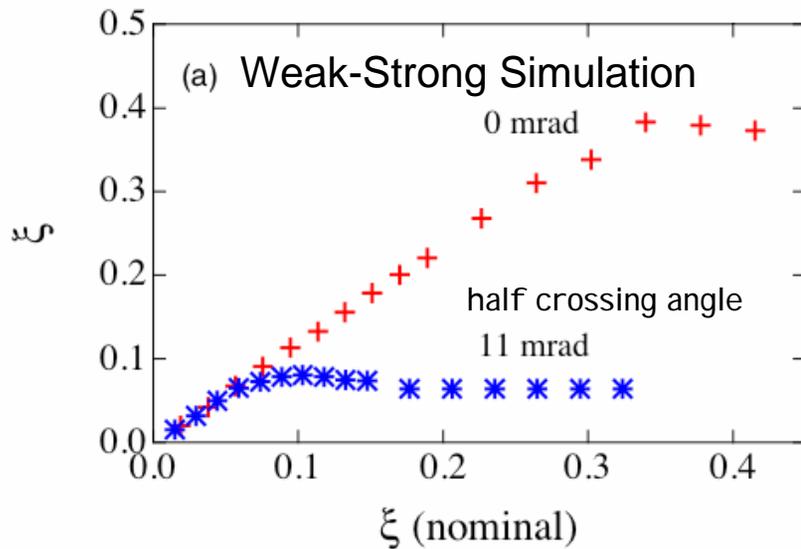


# 衝突点でより強くビームを絞る

- 衝突点での 関数、  $x^* / y^*$  を 20 cm / 3 mm に絞る  
30 mrad finite-crossing (有限交差角) > 22 mrad (KEKB加速器)
- 最終収束系の改良。
  - 最終収束磁石を衝突点に出来る限り近づける。
  - 衝突点まわりの特殊四極磁石も衝突点に出来る限り近づける。

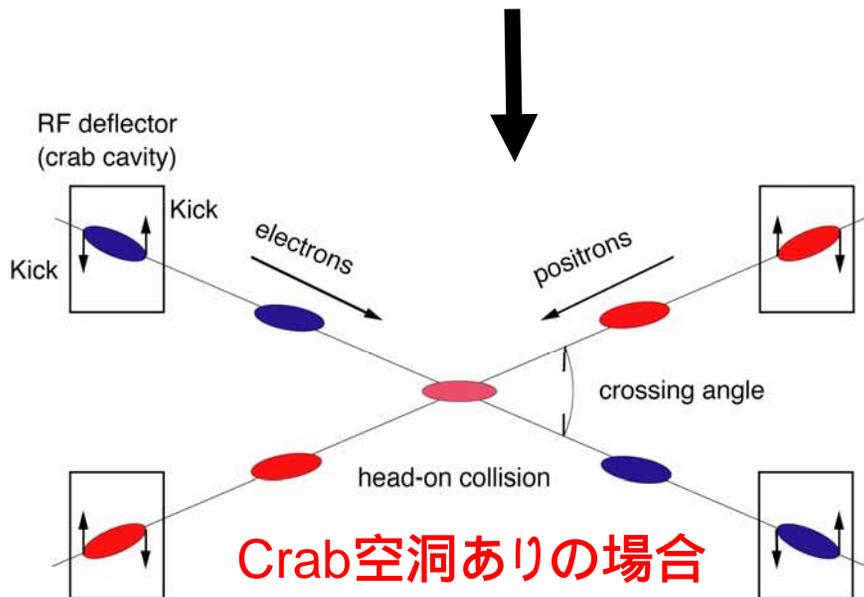
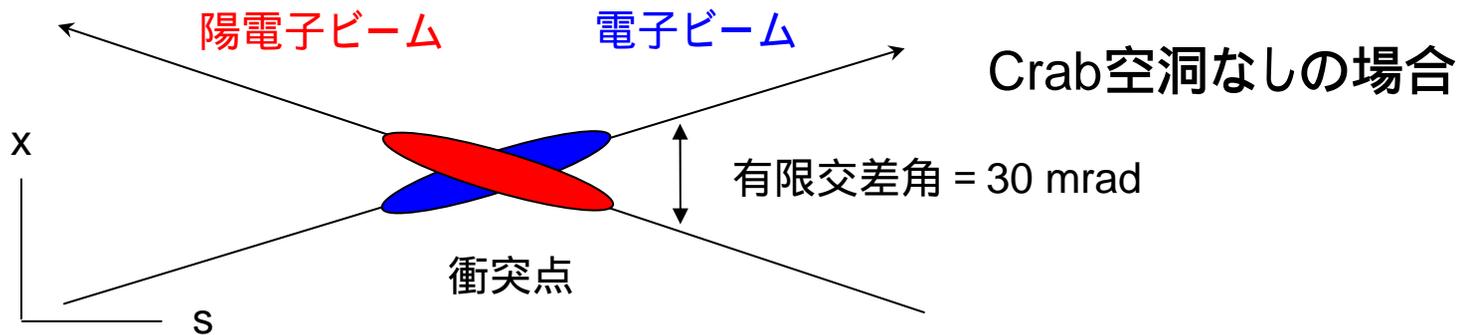


# Head-on衝突 vs 有限角度衝突

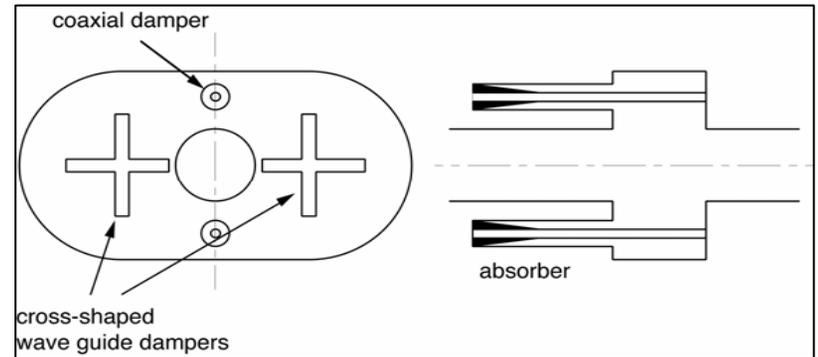


- Head-on衝突では高いビーム・ビーム パラメータが期待できる。
  - 但し、Weak-StrongとStrong-Strong モデルでは結果が約2倍違うが信頼性の高いStrong-Strongの方をデザインパラメータとしている。
- **有限角度のビーム軌道 + Head-onビーム衝突**  
= *Crab-Crossing* (ルミノシティ2倍以上にUP)

# Crab空洞を用いたCrab-Crossing



大電流用Crab 空洞 (開発中)

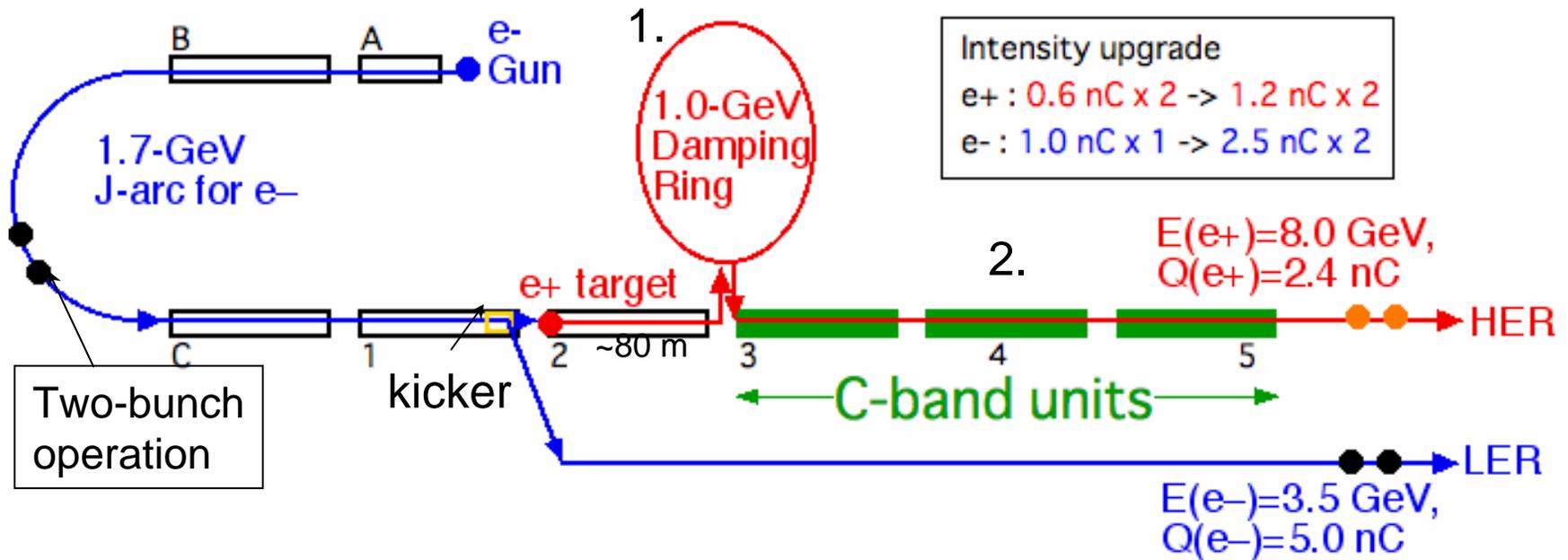


(実現すれば世界初)

# リングへビームを供給する入射器の改良

- ビームエネルギー交換：光電子雲効果の軽減と入射の効率化

8 GeV電子 / 3.5 GeV陽電子    8 GeV陽電子 / 3.5 GeV電子



- 陽電子ダンピング・リング (1 GeV)
- Cバンドを用いた陽電子エネルギー 8 GeV化 (e- LER / e+ HER)  
Cバンド: 40 MeV/m    Sバンド: 20 MeV/m

# その他の主要アイテム

- ビーム光学系の基本コンセプトはKEKB加速器を踏襲。
- ソレノイド磁石
  - 陽電子ビームに対する光電子雲の有効的な遮蔽
- 大電流に耐え得る高性能ビーム・モニター
  - ビーム位置モニター
  - 光干渉計によるエミッタンス測定
- 強力なバンチ・フィードバックシステム
  - 横方向バンチ・フィードバックシステム
  - 進行方向バンチ・フィードバックシステム
- 高速なビーム・アポートシステム
- 強力な冷却システム
- 大電力の安定供給
- 信頼性の高い制御システム
- ...

# 主要マシンパラメータ

Parameter		LER	HER	Unit
Beam current	$I$	9.4	4.1	A
Number of bunches	$n_b$	5018		
Horizontal beta at IP	$\beta_x$	20		cm
Vertical beta at IP	$\beta_y$	3		mm
Bunch length	$\sigma_z$	3		mm
Emittance	$\varepsilon_x$	24		nm
Coupling	$\kappa$	1		%
Crossing angle	$\theta_x$	30 with crab-crossing		mrad
Momentum compaction	$\alpha_p$	$2.7 \times 10^{-4}$	$1.8 \times 10^{-4}$	
RF voltage	$V_c$	15	20	MV
Synchrotron tune	$\nu_s$	0.031	0.019	
Vertical beam-beam	$\xi_y$	0.14 (0.28)		
Luminosity	$L$	2.5 (5)		$\times 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Beam-beam parameter is obtained from simulations: strong-strong (weak-strong)

# 結論

## • KEKBの現状

- ルミノシティがデザイン値の $1 \times 10^{34}$  /cm<sup>2</sup>/sを超え、 $1.3 \times 10^{34}$  /cm<sup>2</sup>/sに達した。
  - 設計段階では世界の加速器研究者の間では夢の数字であった。
- ピーク値、積分値ともルミノシティがライバルのPEP-II (SLAC) より5割近く高く、世界最高記録を更新し続けている。
  - PEP-II が比較的conventionalな設計方針をとったのに対してKEKBはいくつもの新しい技術を導入してより高いルミノシティを目指した。
- 様々な困難に遭遇し、克服してきた。

## • 将来計画

- KEKBの経験をもとに、次のステップであるSuperKEKB計画の準備を行っている。
- KEKBデザイン値と比べてビーム電流で4倍、衝突点での $\beta^*$ を1/2、ビーム・ビームパラメタを3倍にすることにより $2.5 \times 10^{35}$  /cm<sup>2</sup>/sを目指している。

これ以降は予備スライド

# ルミノシティーを決める要因

## ルミノシティーを表現する基本的な式

$$L = \frac{\gamma_{e\pm}}{2er_e} \left( 1 + \frac{\sigma_y^*}{\sigma_x^*} \right) \left( \frac{I_{e\pm} \xi_{e\pm}}{\beta_y^*} \right) \left( \frac{R_L}{R_{\xi_y}} \right)$$

Lorentz factor  $\gamma_{e\pm}$   
 ビーム電流  $I_{e\pm}$   
 ビーム・ビーム パラメータ  $\xi_{e\pm}$   
 衝突点でビームが互いに及ぼし合う力の大きさ  
 古典電子半径  $r_e$   
 衝突点でのx方向とy方向のビームサイズの比  $1 + \frac{\sigma_y^*}{\sigma_x^*}$  (flat beam) 1 ~ 2 %  
 衝突点でのy方向の関数  $\beta_y^*$   
 衝突点でのビームの絞り量「焦点深度」  
 幾何学的な要因による補正係数  $\frac{R_L}{R_{\xi_y}}$  0.8 ~ 1 (short bunch)

ルミノシティーはビーム電流とビーム・ビーム パラメータの積に比例し  $\beta_y^*$  関数に反比例する。

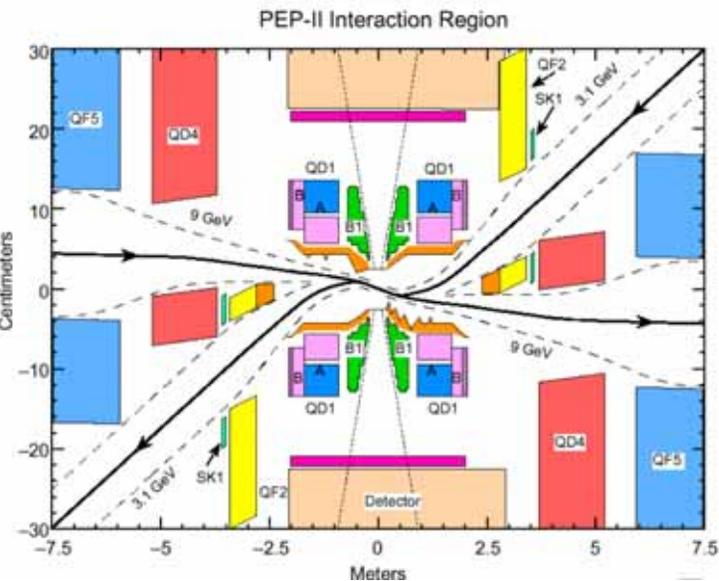
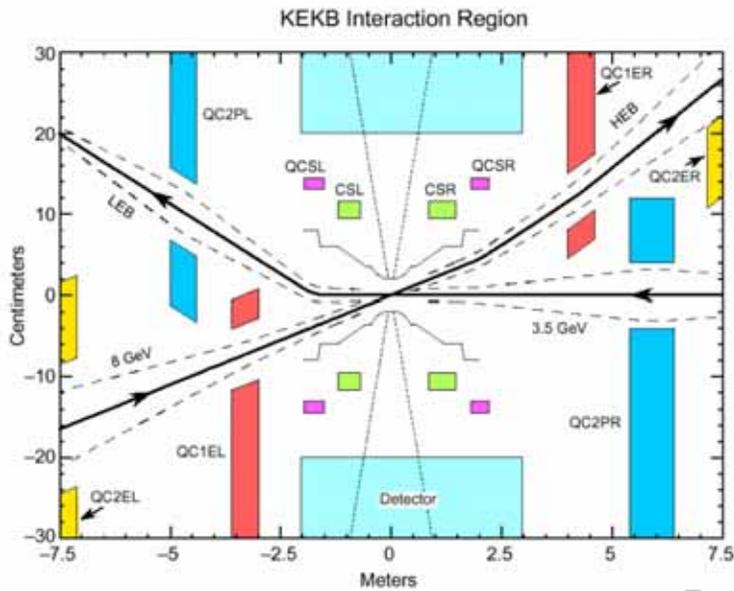
# KEKBとPEP IIとの比較(デザイン)

	KEKB	PEP II
Feature	Aggressive	Conservative
Luminosity	$1 \times 10^{34}/\text{cm}^2/\text{sec}$	$3 \times 10^{33}/\text{cm}^2/\text{sec}$
RF	ARES + SCC	Conventional
Crossing angle	$\pm 11$ mrad	0 mrad (Convention)
Lattice	Special ( $2.5\pi$ cell)	Conventional
BPM	Conventional	Single pass
Injector	Upgraded Linac	SLC Linac
LER Vac. chamber	Cu	Al ante chamber TiN coating

# KEKBとPEP IIとの比較 (デザインパラメータ)

	KEKB		PEP II	
	LER	HER	LER	HER
Peak luminosity [ $\text{cm}^2/\text{sec}$ ]	$1 \times 10^{34}$		$3 \times 10^{33}$	
Beam Energy [GeV]	3.5	8.0	3.1	9.0
$I_{\text{beam}}$ [A]	2.6	1.1	2.14	0.75
Number of bunches	~ 5000		1658	
$\beta_y^*$ [mm]	10		15	30
$\sigma_1$ [mm]	4		10	
Momentum compaction	$1 \sim 2 \times 10^{-4}$		$1.5 \times 10^{-3}$	$2.4 \times 10^{-3}$
RF Voltage [MV]	10	17.9	9.5	18.5
Beam-Beam parameter $\xi_x / \xi_y$	0.039/0.052		0.03/0.03	

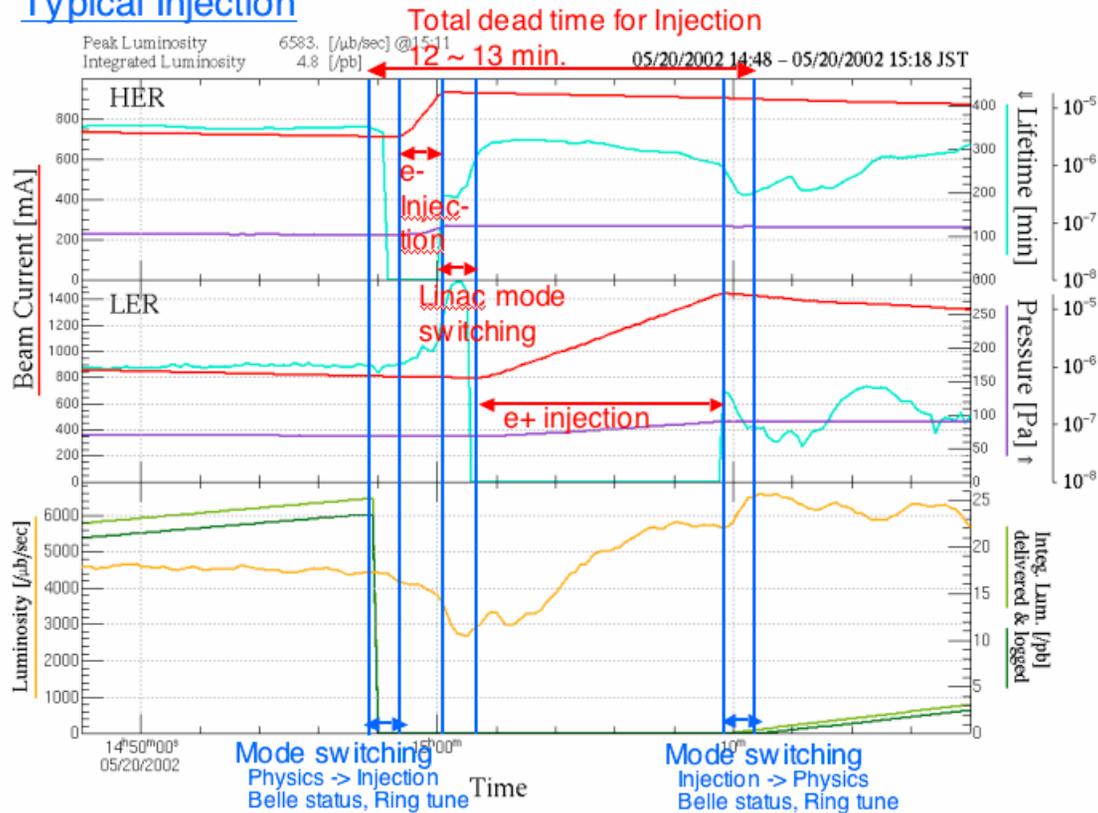
# KEKBとPEP IIとの比較 (IR)



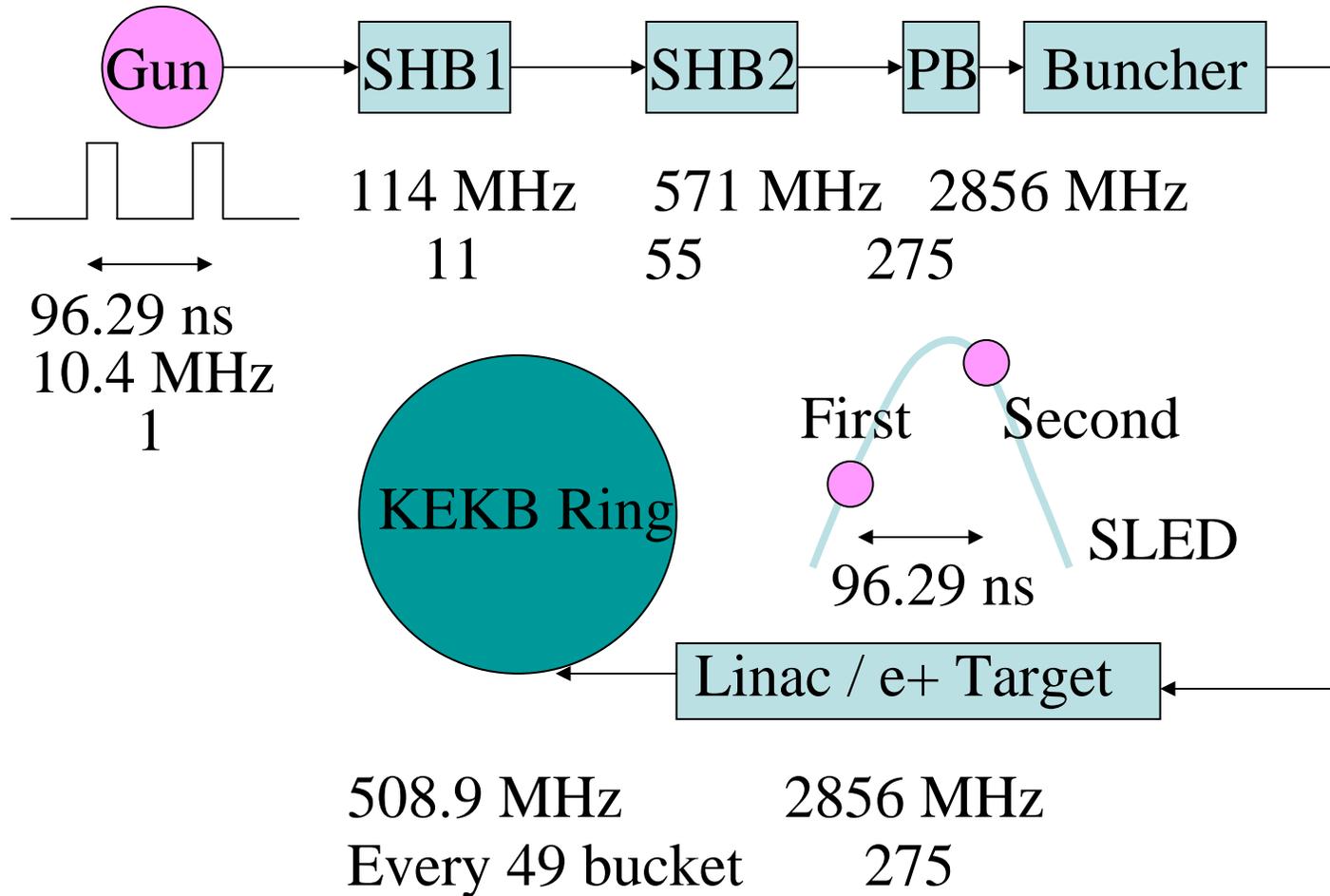
	KEKB		PEP II	
	LER	HER	LER	HER
Crossing Angle [mrad]	$\pm 11$		0	
Final focus quadrupole	Superconducting		Permanent	
$\beta_x^* / \beta_y^*$ [cm]	33/1		37.5/1.5	75/3
Natural chromaticity $\xi_x / \xi_y$	-72.4/ 111.5	-84.2/ 105.7	-51.8/ 55.1	-35.7/ 46.7
Other features	<ul style="list-style-type: none"> <li>Local chromaticity correction (LER)</li> <li>Crab cavity (in planning)</li> </ul>			

# 入射時間

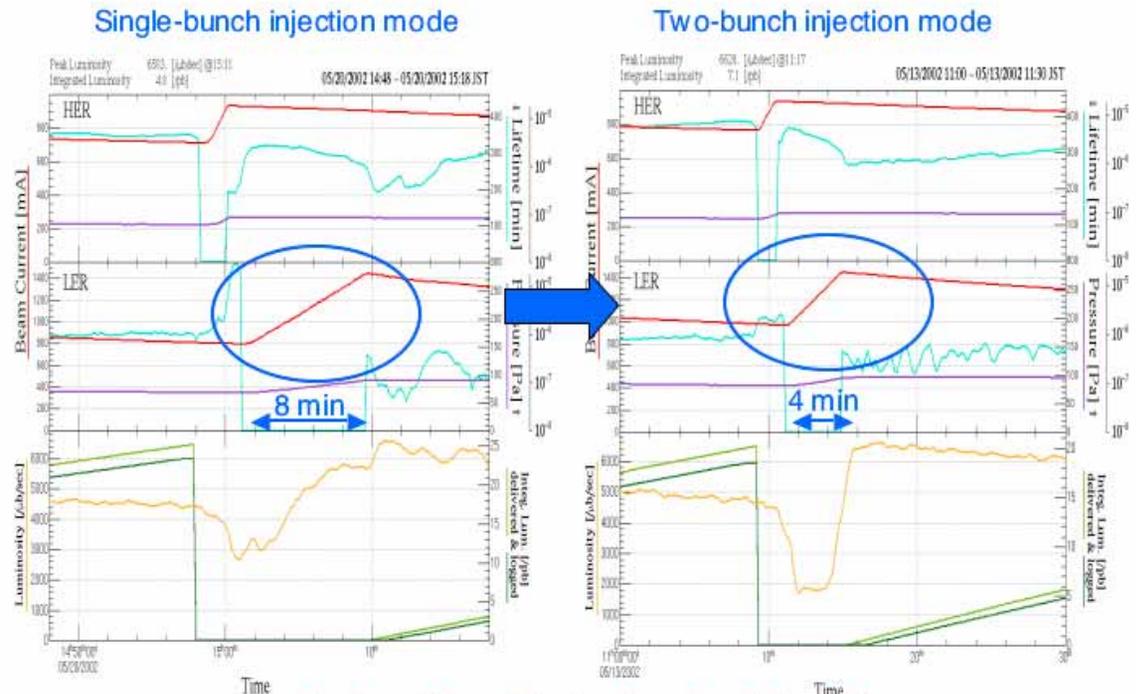
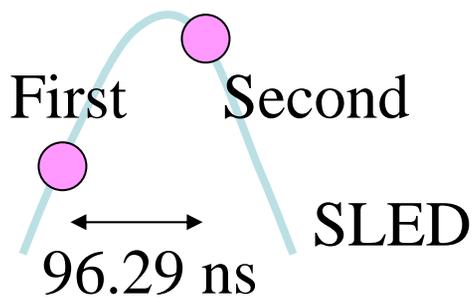
## Typical Injection



# 2バンチ入射



# 2バンチ運転による入射時間の短縮



**e+ Injection Rate is doubled!**  
**-> Shorter Injection Time**

# ルミノシティ最大化のためのマシンデザイン / 技術

## 世界最高の革新的な加速器設計

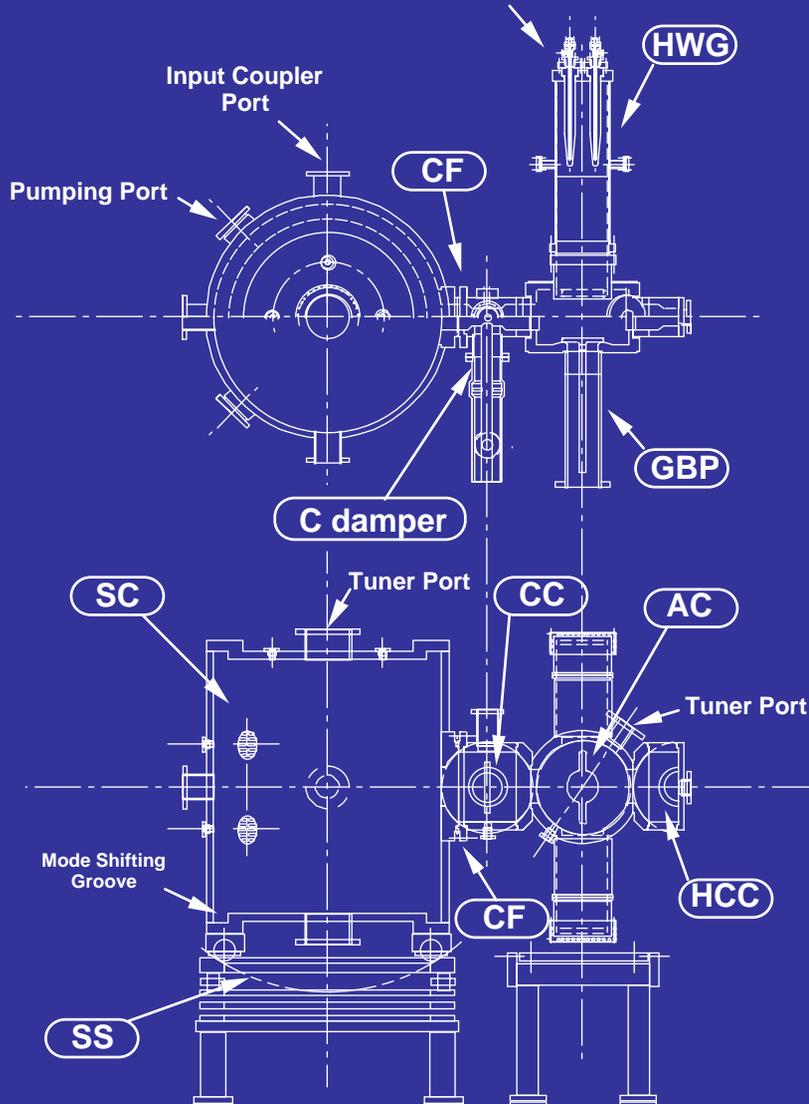
- 有限交差角に基づく衝突点配置、特殊超伝導・常伝導電磁石
- 最大の柔軟性、最小の非線形性を持つ新型ビーム光学系とそれを可能にした高精度電磁石群
- 大電流を安定に加速するARES常伝導空洞
- 世界最高蓄積電流を誇る超伝導空洞
- 大電流に耐える超高真空システム
- 高精度ビーム診断・安定化装置群
- 世界標準EPICSを世界最大規模で実現した制御系
- 陽電子2バンチ入射をも可能にした強力な入射器とビーム輸送系

# Accelerator Resonantly coupled with Energy Storage

## ARES

3-cavity system stabilized with the  $1/2$ -mode operation

Two SiC bullets per Waveguide

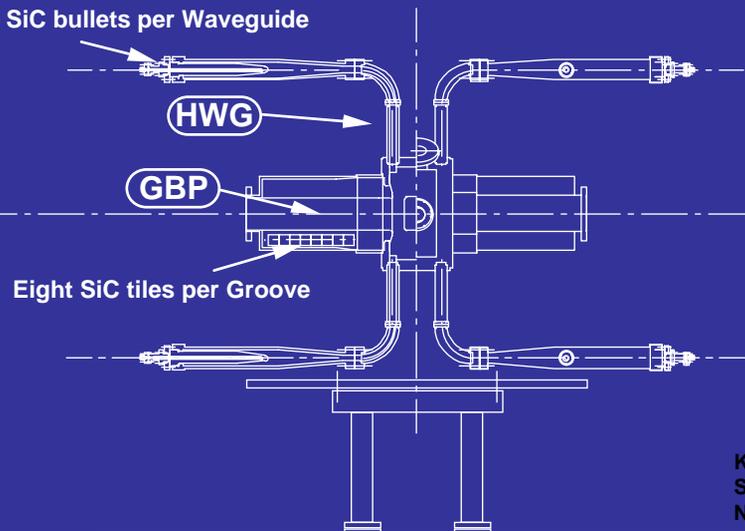


AC: Accelerating Cavity (HOM-damped)

SC: Storage Cavity (TE013)

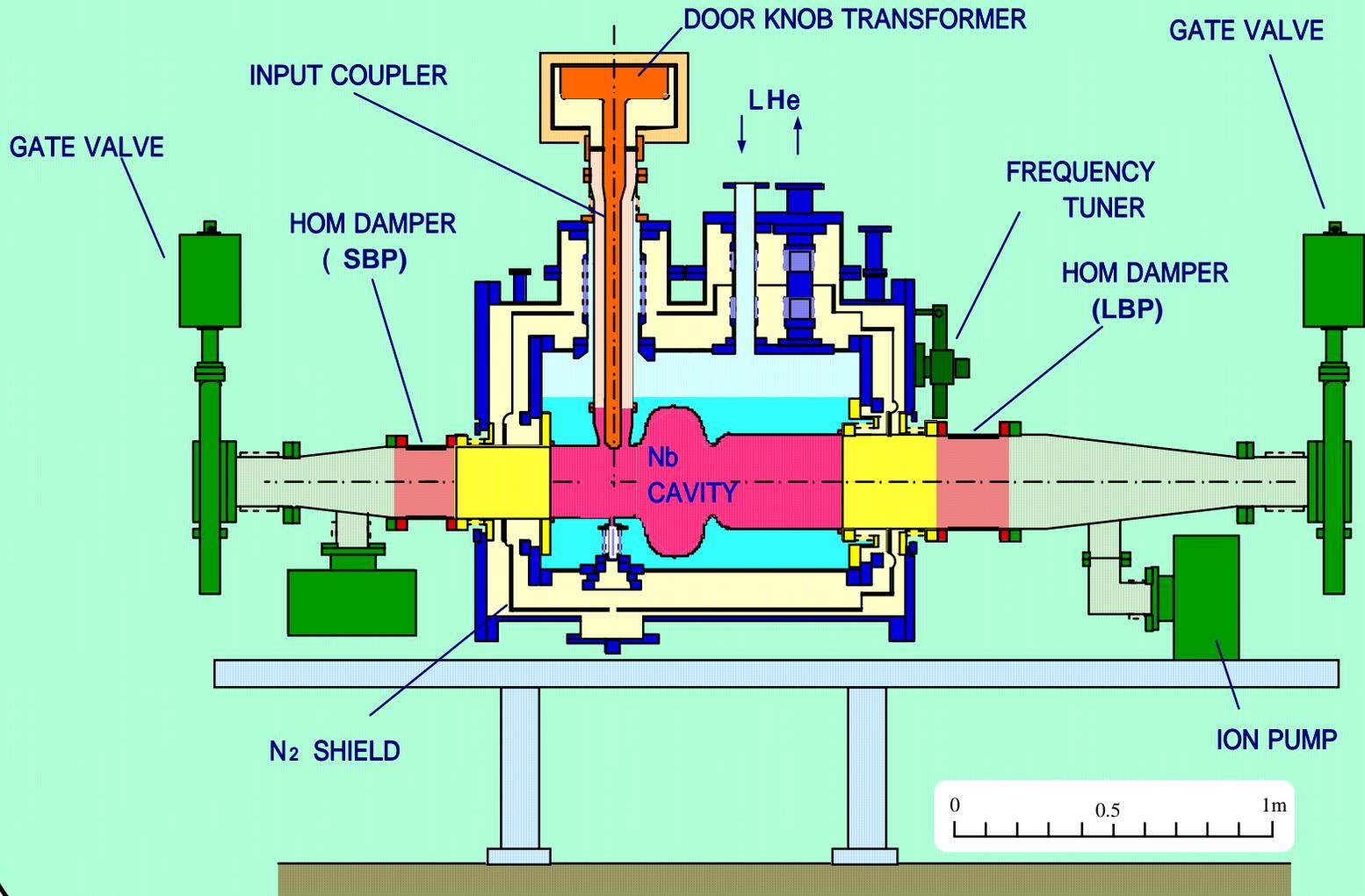
CC: Coupling Cavity damped with an antenna-type coupler (C damper)

Two SiC bullets per Waveguide



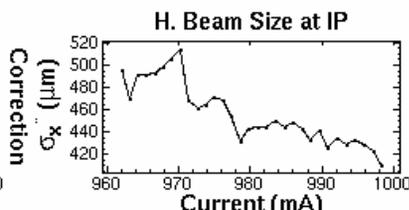
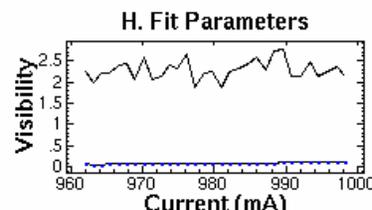
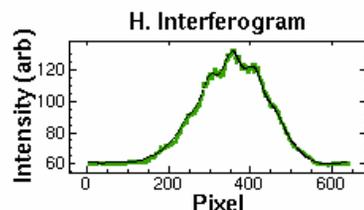
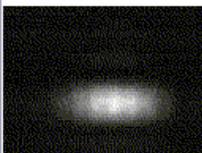
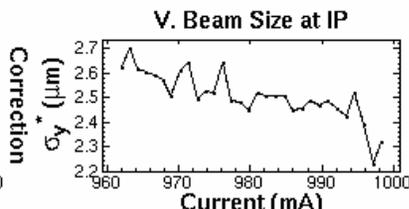
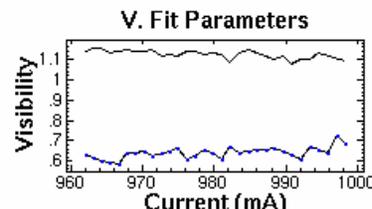
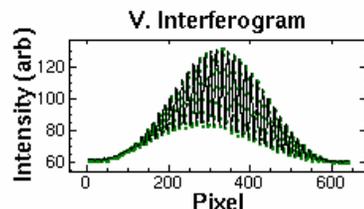
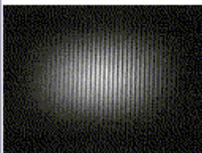
# Superconducting Damped Cavity for KEKB

T. Furuya

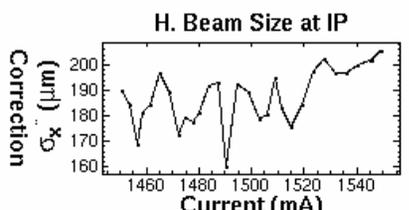
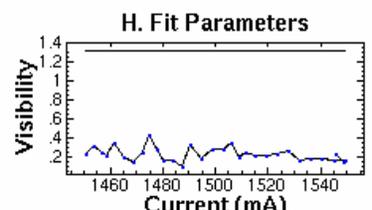
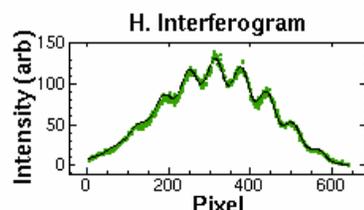
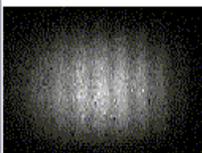
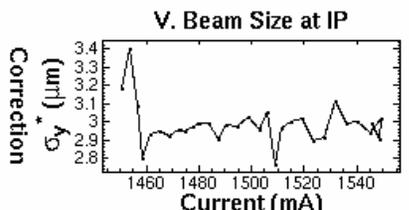
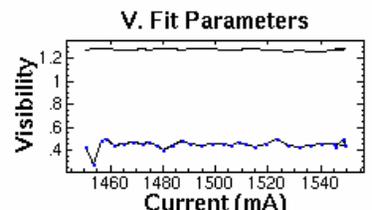
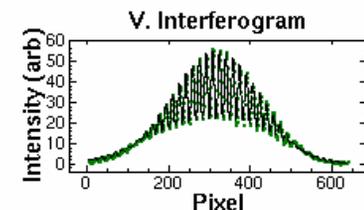
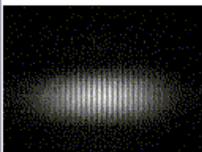


# 光干渉計によるビームサイズ測定

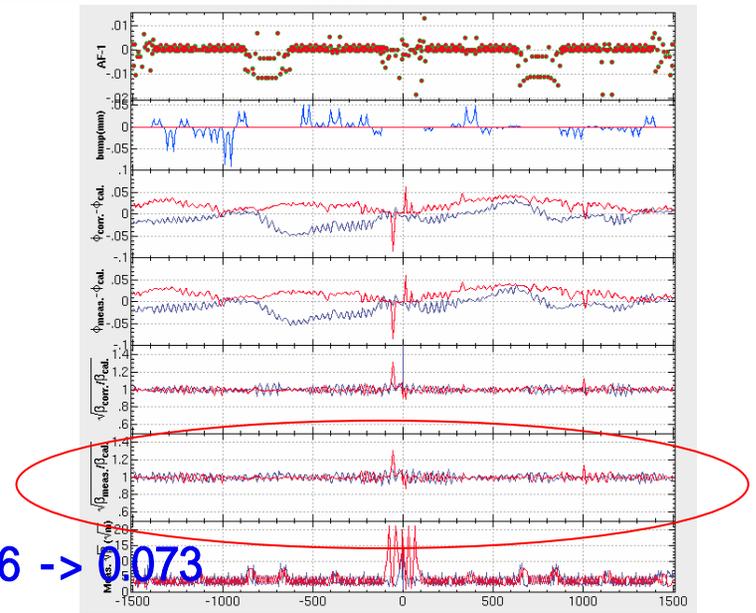
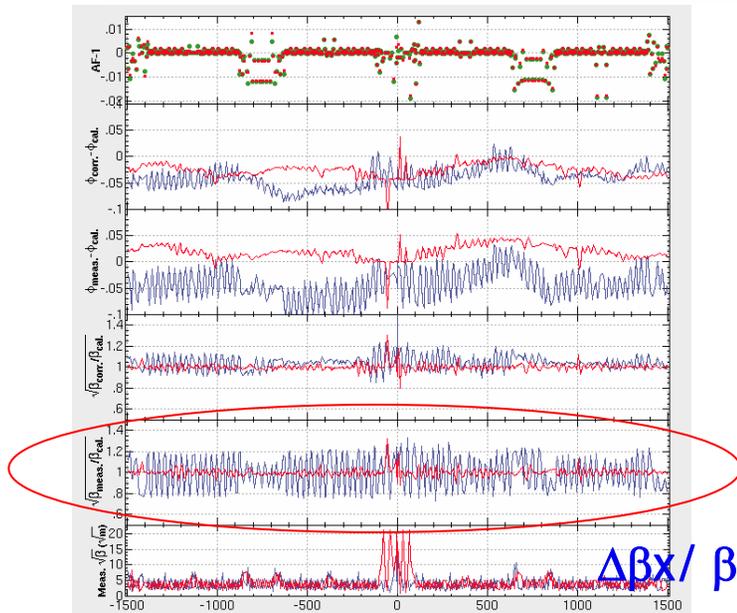
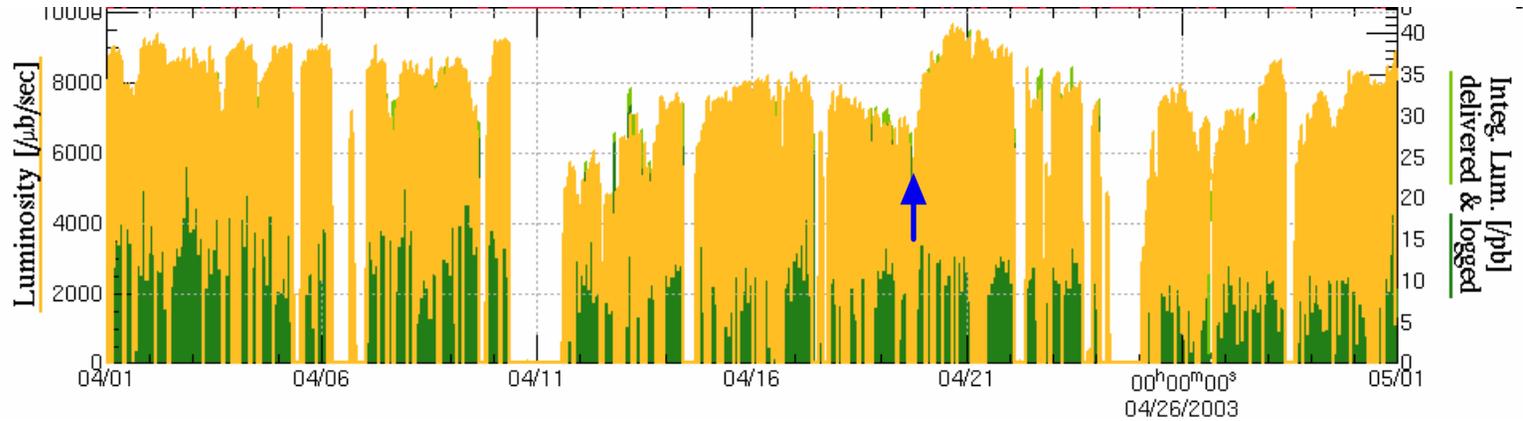
**HER  
Synchrotron  
Radiation  
Monitor**



**LER  
Synchrotron  
Radiation  
Monitor**



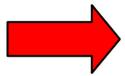
# Optics補正 (beta function補正)



$\Delta\beta_x / \beta_x$  rms 0.296  $\rightarrow$  0.073

# 高いビーム・ビーム パラメータの追求

- ビーム・ビーム パラメータにはリミットがある。
  - 大きくなるにつれて衝突確率は上がるがバンチ不安定性も増す。  
ある値を超すとバンチがばらける(ビーム・ビーム リミット)。
- ビーム・ビーム パラメータの見積もりには数値シミュレーションに頼らざるを得ない。
- 衝突するビームに含まれる粒子数は $10^{11}$ 個を超えるので、そのままではシミュレーションはできない。



モデルを仮定する。

- **Weak-Strongモデル**
  - 一方のビームをガウス分布に固定して、もう片方のビームはマクロ粒子(～10万個)で記述する。
- **Strong-Strongモデル**
  - 両方のビームをマクロ粒子(～10万個)で記述する。