

クラブ衝突のビーム物理

K. Ohmi (KEK)

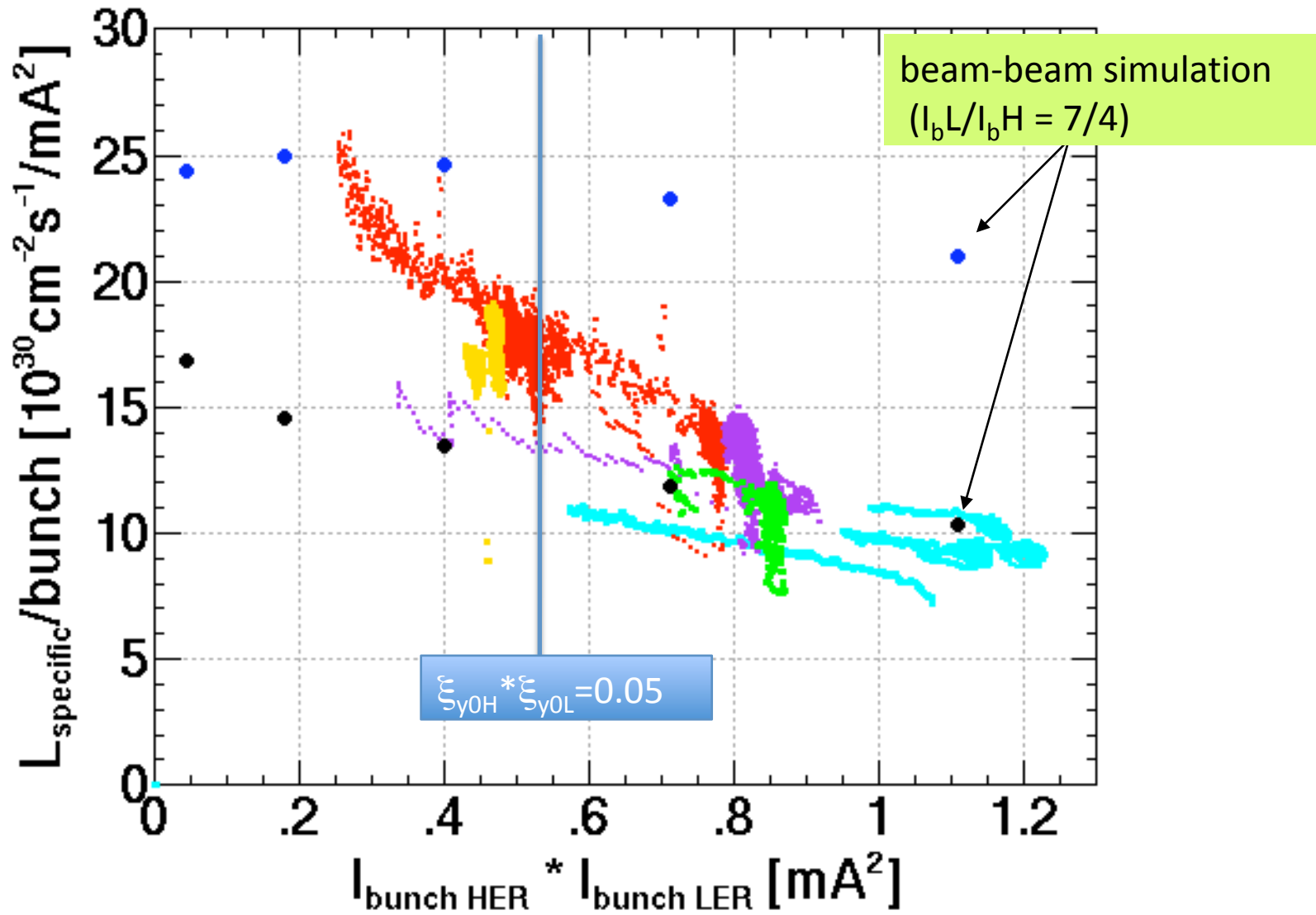
金茶会

10月17日 2008年, KEK

Contents

- KEKBでのクラブ衝突
- ルミノシティ最適化のためのknobスキャン
- ビーム寿命問題、Beam-beam halo estimation with weak-strong simulation.
- ビームビーム効果と加速器中の非線形成分
- 速い(ターン毎)ノイズ
- 傾いたビームによる効果、Emittance growth due to wake force with offset orbit and crabbing.

Measured luminosity in KEKB



ルミノシティ

- 素粒子の衝突頻度(s^{-1}) = $L \times \sigma_{\text{crs}}$
 σ_{crs} : 衝突断面積
- L : ルミノシティ ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)

$$L = f_{\text{rep}} \int_{-\infty}^{\infty} ds \int_{-\infty}^{\infty} dz_+ \int_{-\infty}^{\infty} dz_- \int_{-\infty}^{\infty} dx dy \rho_+(x, y, z_+; s) \rho_-(x, y, z_-; s) \delta(z_+ - z_- - s)$$
$$\approx \frac{N_+ N_-}{4\pi \sigma_x \sigma_y} f_{\text{rep}}$$

f_{rep} : ビーム(バンチ)の衝突頻度, ρ : バンチ内粒子分布
, N : バンチ内粒子数、 $\sigma_{x,y}$: ビームサイズ

KEKBでの値 $\sigma_x=100\mu\text{m}$, $\sigma_y=1\mu\text{m}$, $\sigma_z=6\text{mm}$, $N=5e10$,
 $f_{\text{rep}}=N_b c/L=150\text{ MHz}$.

ビームビームパラメータ(チューンシフト)

- 衝突の強さを表す無次元量
- リング内を運動する粒子の振動数シフト

$$\int F_y ds \approx \frac{Ne^2}{2\pi\epsilon_0} \frac{y}{\sigma_y(\sigma_x + \sigma_y)}$$

$$\Delta\nu_y = \xi_y \approx \frac{Nr_e}{2\pi\gamma} \frac{\beta_y}{\sigma_y(\sigma_x + \sigma_y)} \quad L = \frac{I\gamma}{r_p e \beta} \xi_y$$

- 振動数÷周回周波数をチューン(ν)という。周回に対し何回振動するか。
- 一般にチューンシフトは $\xi < 0.08$ 程度と見られている。
- KEKBクラブはその限界に挑戦しようという試み

円形衝突加速器におけるビームビーム限界

- バンチ内粒子数を増やせば、いくらでもルミノシティが上がるのか。
- ビームサイズを小さくすれば、いくらでもルミノシティが上がるのか。
- エミッタンス(ビームサイズ)増大によるルミノシティの低下
- エミッタンスは保存量ではないのか？

円形衝突加速器におけるビームビーム限界

- N 個の粒子を持ったビームの衝突
- $3N+3N$ の自由度

- Strong-strong model $6N$ 自由度
- Weak-strong model $3+1$ 自由度

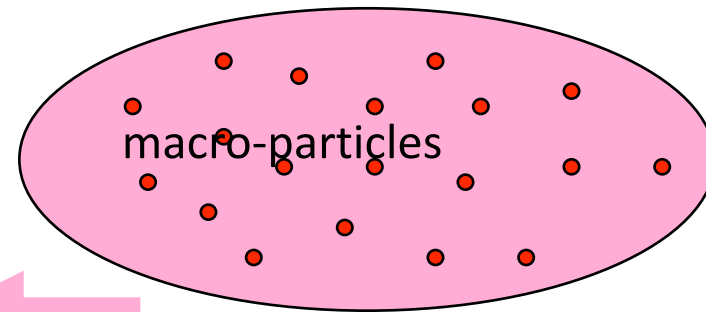
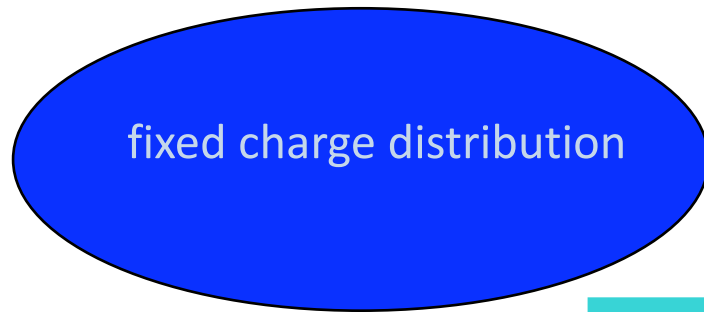
Model

KEKBでは主にstrong-strong modelを使ったシミュレーションが行われている

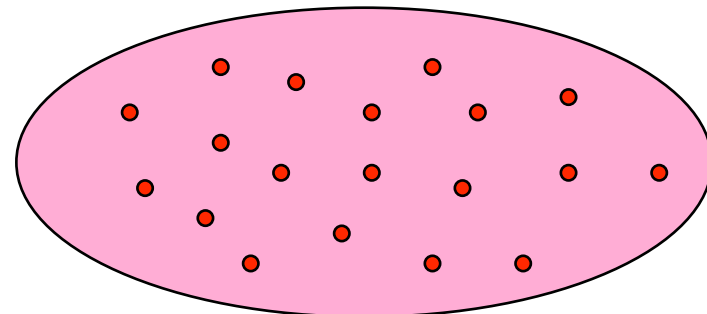
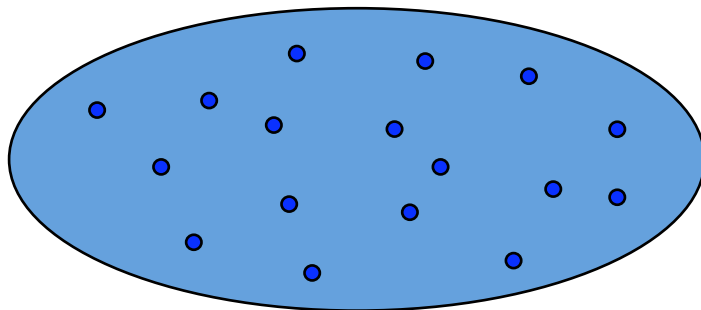
- Weak-strong model

Strong beam

weak beam

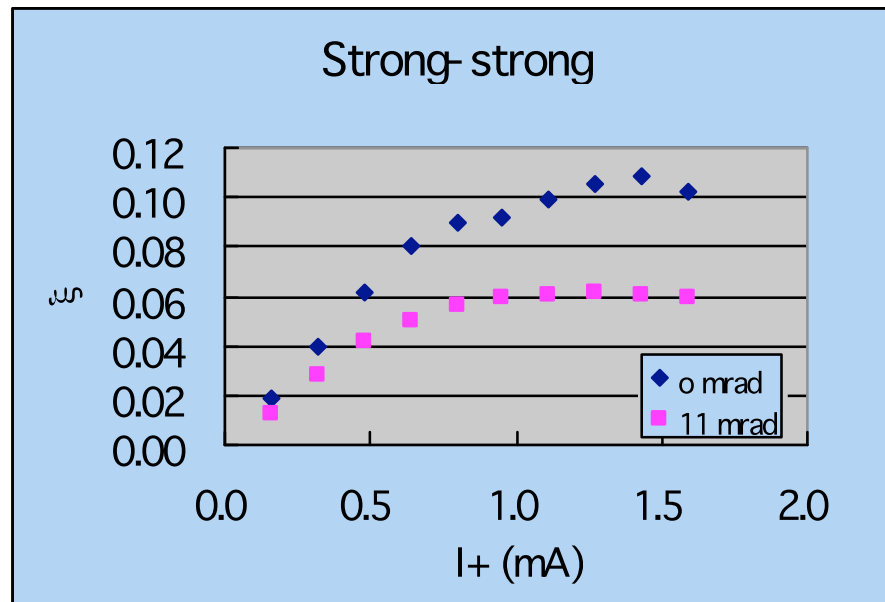
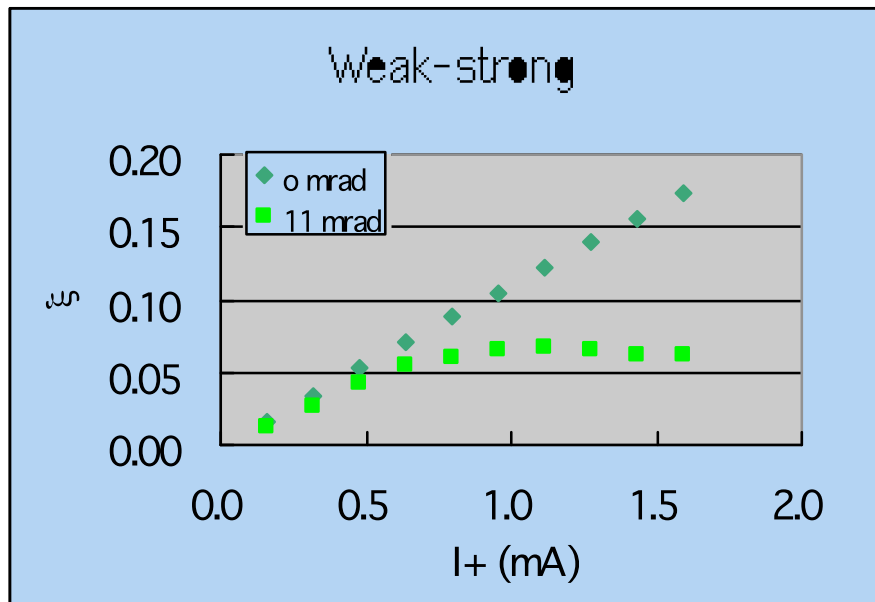


- Strong-strong model



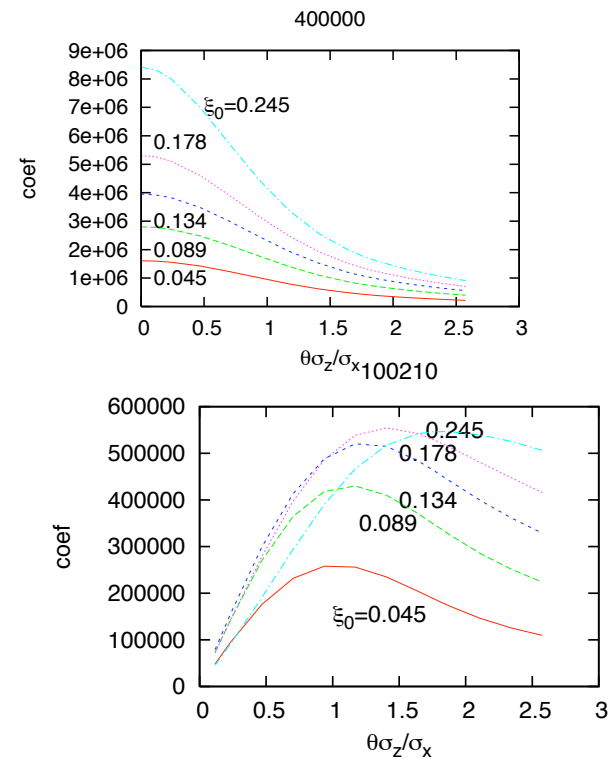
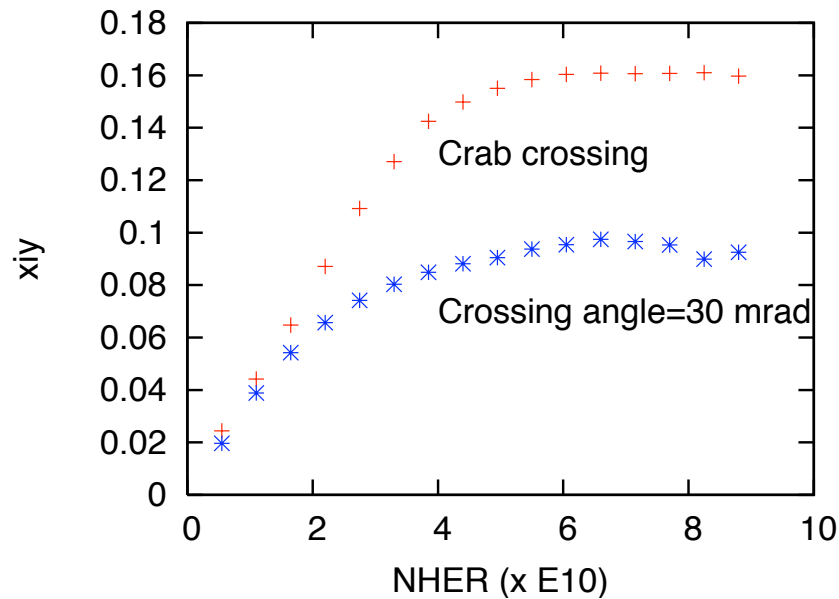
Gain for the crab crossing

The beam-beam parameter $\xi \sim L/I > 0.1$ can be achieved by the crab crossing.



交差角(crossing angle)

- x^4 , y^4 term decrease but another coupling term increases for crossing angle. A kind of symmetry breaking degrade luminosity performance.



Beam dynamics in circular colliders

- 力学変数 $\mathbf{x}=(x,p_x,y,p_y,z,p_z)$
- 加速器での1周の変換.

(1) 加速器の周回

$$\mathbf{x}(s - \varepsilon) = M\mathbf{x}(s - C + \varepsilon)$$

(2) ビームビーム衝突(y 、 x も同様)

$$p_y(s + \varepsilon) = p_y(s - \varepsilon) - \frac{\partial U(\mathbf{x})}{\partial y}$$

- 周回写像 One turn map (transformation): 上の2つの変換の合成

$$\mathbf{x}(s + \varepsilon) \leftarrow \mathbf{x}(s - C + \varepsilon)$$

Weak-strong modelで考えると

- 3 自由度、(+1自由度、時間依存のため)
- 周期系
- 周回毎に3種類($\approx x, y, z$)の振動、振幅 J 、周回による位相変化 φ

$$H(x, p_x, y, p_y, z, p_z; s) = H'(J_1, \varphi_1, J_2, \varphi_2, J_3, \varphi_3; s)$$

$$\varphi(s + L) = \varphi(s) + 2\pi\nu$$

$$J_x = \frac{\gamma x^2 + 2\alpha x p_x + \beta p_x^2}{2}$$

古典力学で“解ける”ということ

- HがJのみで表され、 φ によらないような3つのJを変換（正準変換）で見つけることができる。
- はやりの言い方をすれば φ に対する対称性があればJという保存量が存在する。
- たとえば線形系。適当にスケールすれば位相空間で円運動
- 粒子はJ=定数の曲線に沿って運動。初期条件のJは不変、エミッタンス増大はしない。

$$\frac{dJ}{ds} = -\frac{\partial H}{\partial \varphi} = 0 \quad J = \text{const}$$

$$\frac{d\varphi}{ds} = \frac{\partial H(J)}{\partial J} \quad \oint d\varphi = 2\pi\nu(J)$$

- 解ける場合の例、線形系、1自由度

ビーム粒子の分布

- 外的摂動がない場合、初期値のJが保存される。普遍的な分布はJのみの関数

$$\psi(J(J_0, \varphi_0)) \quad \langle J \rangle = \varepsilon$$

- 拡散と減衰がある場合の平衡分布。

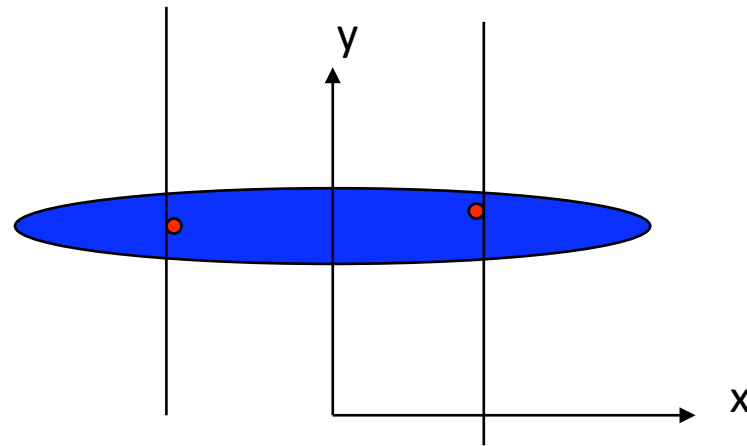
$$\psi(J) \approx \exp\left(-\frac{J_1}{\varepsilon_1} - \frac{J_2}{\varepsilon_2} - \frac{J_3}{\varepsilon_3}\right) \quad \varepsilon: \text{emittance}$$

“解けない”ということ

- 一般には解ける場合は少ない。上述以外はきわめて特殊なモデルしかない。
- $H(J)$ になるような J が存在しない。
- $J(J_0, \varphi_0) = \text{一定}$ で表される曲線が存在しない。
- Weak-strong的に見たbeam-beam限界の1つの見方。

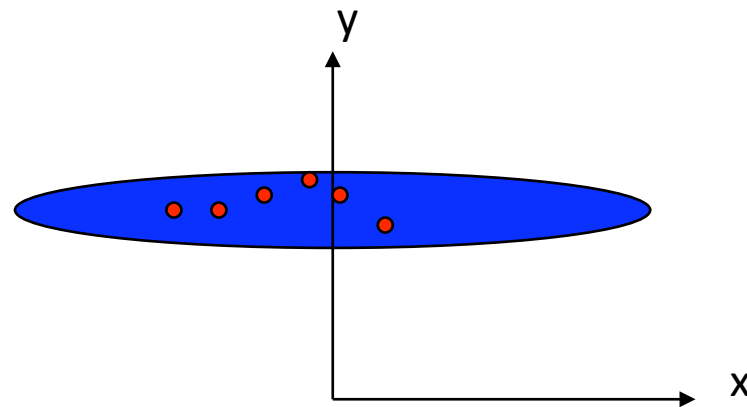
水平チューンを半整数に近づける $\nu_x=0.5$

- 粒子は固定した相手ビームの x と $-x$ で交互に衝突する。
- F_y が x と $-x$ で同じなので y - p_y 位相空間上での振動は同じ。
- 系は1次元に縮約されビームビームチューンシフトが高くなる。
- KEKB realizes a high luminosity with this technique.



$$v_x = 0.5 + \alpha$$

- $v_x = 0.5$ で $\langle p_x^2 \rangle$ は発散するので、 $v_x = 0.5 + \alpha$ で運動する。
- x はゆっくり変化.
- Y force is dependent of x . $U(x, y)$
- 粒子は様々な y - p_y 位相空間の中を運動。

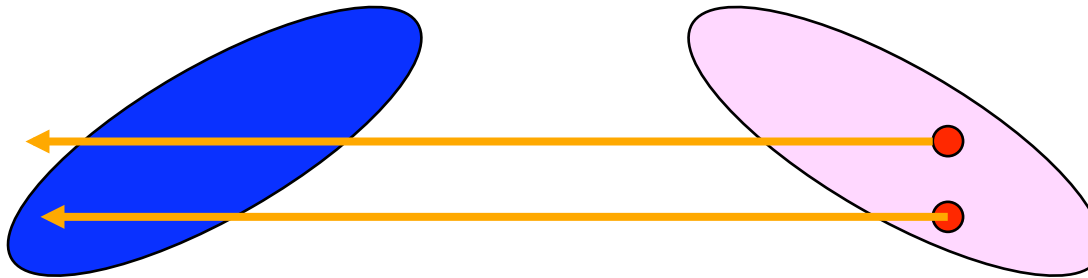


Crossing angle

- Crab crossing: symmetric for $x \rightarrow -x$



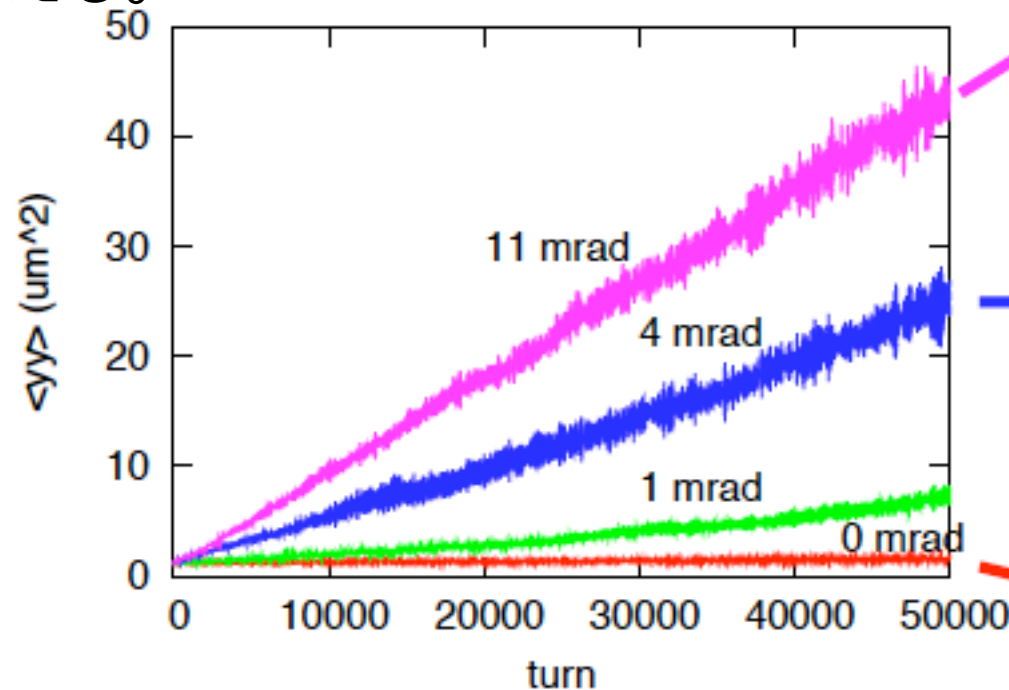
- Crossing collision: no symmetry for $x \rightarrow -x$



Beam-beam tune shift is not achieved 0.3 for crossing collision even at $\nu_x=0.5$

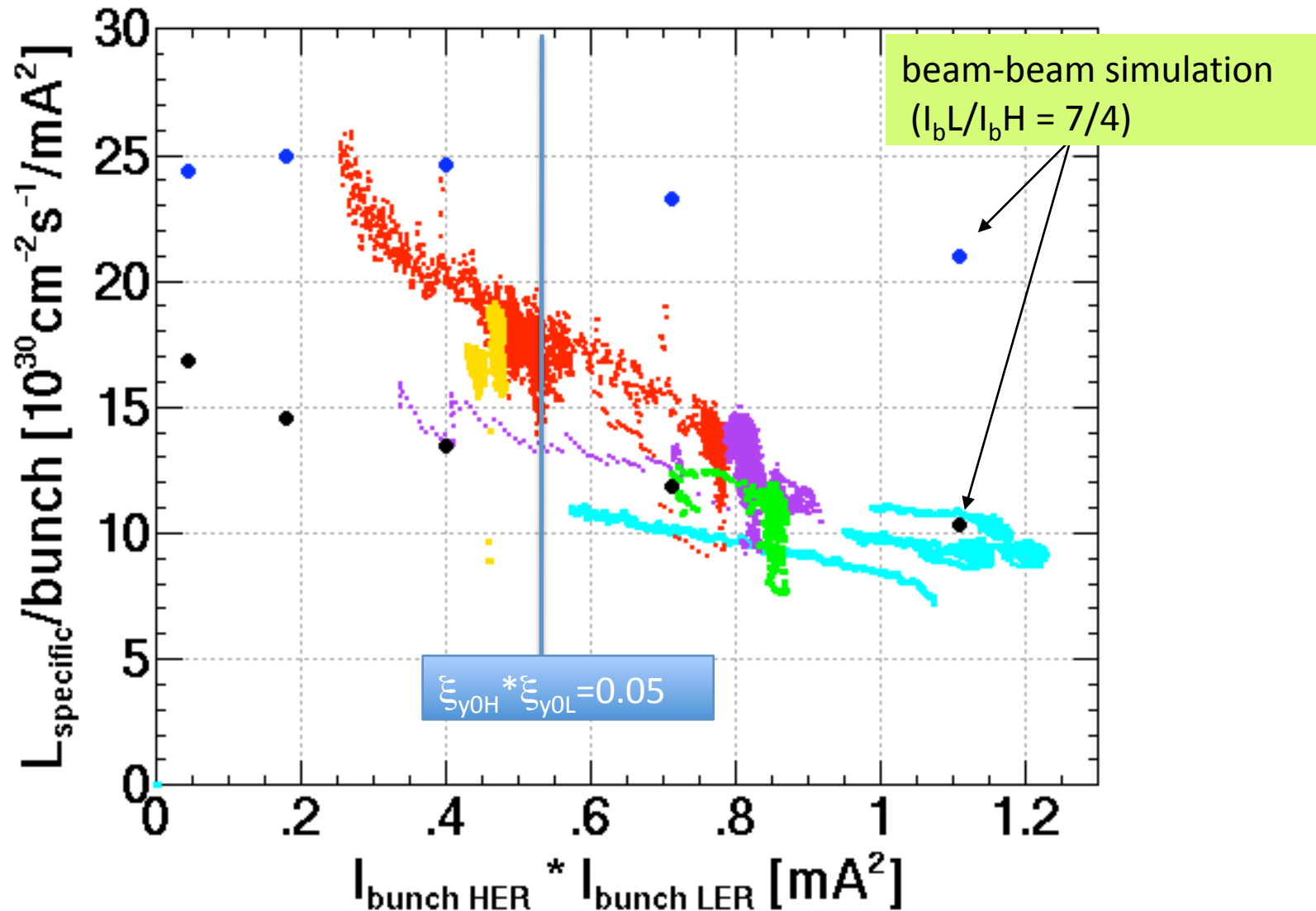
交差角による粒子分布の拡散

- Hamiltonian motion-位相空間体積は保存されているにもかかわらずy方向の位相空間面積(体積)は増大。
- $\sigma_y^2(t) = \sigma_y^2(0) + Dt$
- $D \sim \text{crossing angle}$
- 対称性の破れにより運動の自由度が実効的に増加して最も小さい位相区間体積を持ったy方向の運動に拡散が顕著に見える。

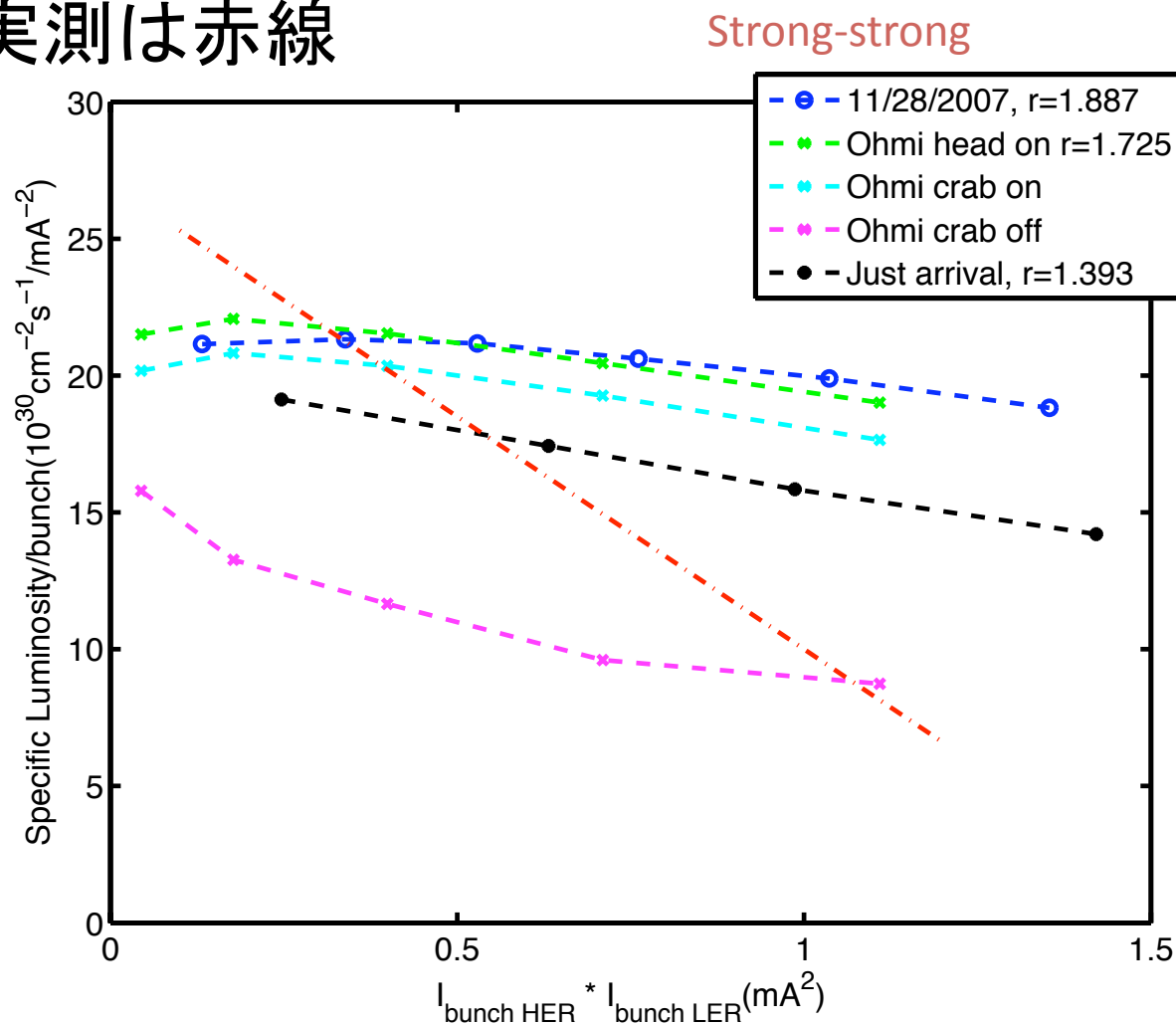


Measured and simulated luminosity in KEKB

Strong-strong



- Y. Cai (SLAC)によるクロスチェック
- 前ページと比べるのは緑(crab)とピンク(no crab)
- 実測は赤線



- クラブ空洞を使った正面衝突がルミノシティパフォーマンスを上げること自体には問題はない。
 - 正面衝突による高い対称性により可積分性を上げ、拡散を減らす。
 - 一般的にコードのバグはハミルトニアン^の性質(位相空間体積の保存)を壊し、エミッタンスを増大させルミノシティを落とす。
 - 良いコードほど高いルミノシティを示す。
-
- 問題はKEKBでそのための条件が達成できているのか。エラー、ノイズの問題。
 - これらは事前に許容度が評価されていて、実現可能と判断した。
 - 他の現象による影響はないのか。バンチ長伸長問題など。

衝突点でのLocal Optics error

- 衝突点でのLocal couplingやdispersionはルミノシティに大きく影響する。
- これらのパラメータはKEKBのスタート以来、日夜チューニングされ続けている。
- これらのパラメータはルミノシティに対して、幾何学的というより、力学的に効く。

ビーム粒子のリング1周の変換One turn map

$$M = \exp(- : \phi :) M_0$$

ϕ (衝突ビームの電磁ポテンシャル)は天から与えられている。
ルミノシティパフォーマンスは M_0 (IPでのoptics parameters)をどう制御するかによっている。

- KEBBでチューニングされているパラメータ。waist(ベータの極小が衝突中心にあっているか)、x-y結合(R1-4)、dispersion(エネルギーによる軌道のずれ, η)
- このチューニングをknob scanと言っている。

M_0

- 6x6 symplectic行列。21の独立パラメータを含む。
- 3つはチューン $\mu=2\pi\nu$ (3つの振動の周回毎の位相進度)
- 18個が衝突点でのTwissパラメータ。 $\alpha, \beta, R, \eta, \zeta$

$$M_0 = VUV^{-1} \quad V = HRB$$

$$U = \begin{pmatrix} \cos\mu_x & \sin\mu_x & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\mu_x & \cos\mu_x & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos\mu_y & \sin\mu_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\sin\mu_y & \cos\mu_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cos\mu_z & \sin\mu_z \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\sin\mu_z & \cos\mu_z \end{pmatrix}$$

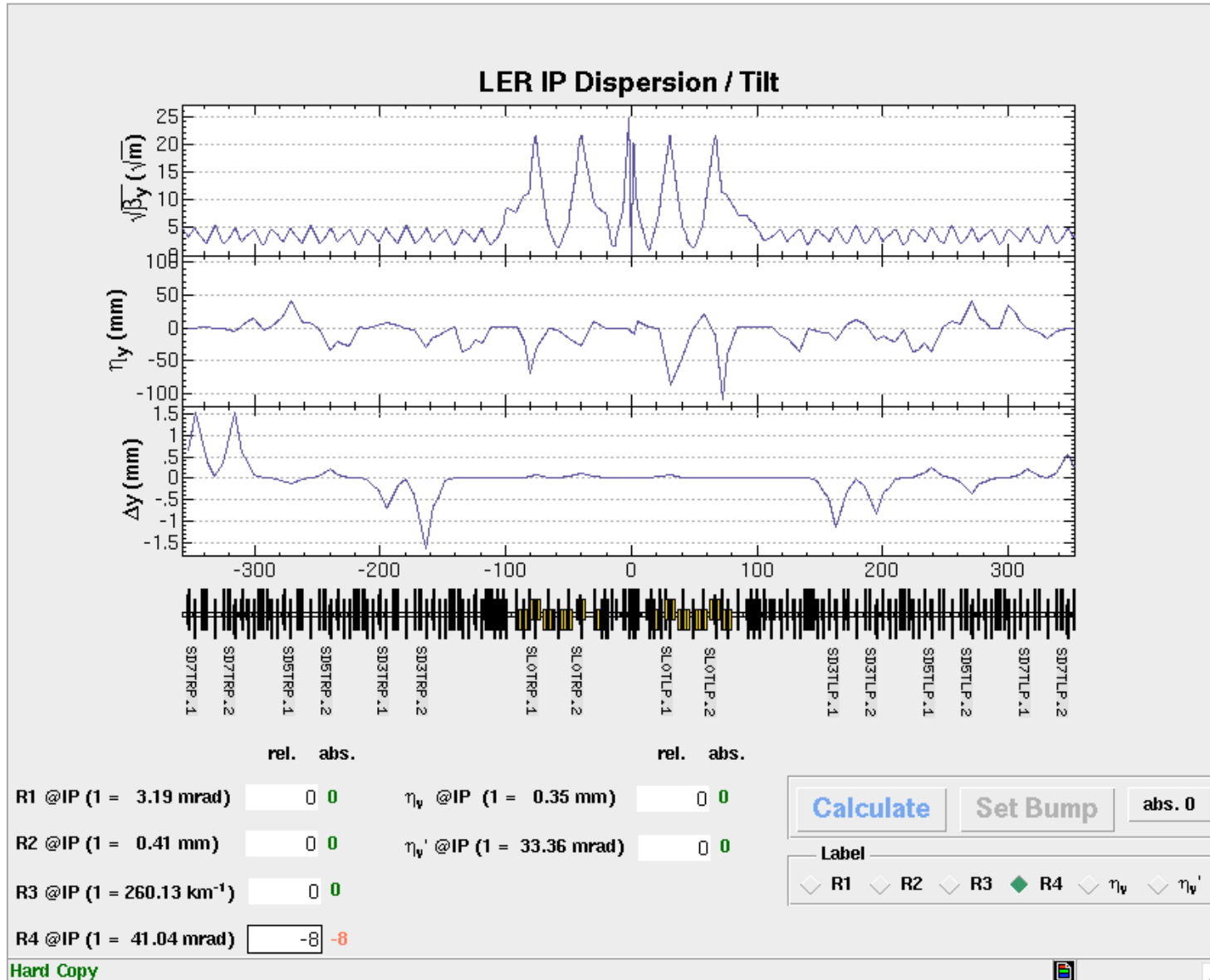
$$R = \begin{pmatrix} r & 0 & R_4 & -R_2 & 0 & 0 \\ 0 & r & -R_3 & R_1 & 0 & 0 \\ -R_1 & -R_2 & r & 0 & 0 & 0 \\ -R_3 & -R_4 & 0 & r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} \sqrt{\beta_x} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\alpha_x/\sqrt{\beta_x} & 1/\sqrt{\beta_x} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{\beta_y} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\alpha_y/\sqrt{\beta_y} & 1/\sqrt{\beta_y} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sqrt{\beta_z} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\alpha_z/\sqrt{\beta_z} & 1/\sqrt{\beta_z} \end{pmatrix}$$

クラブと同じ効果

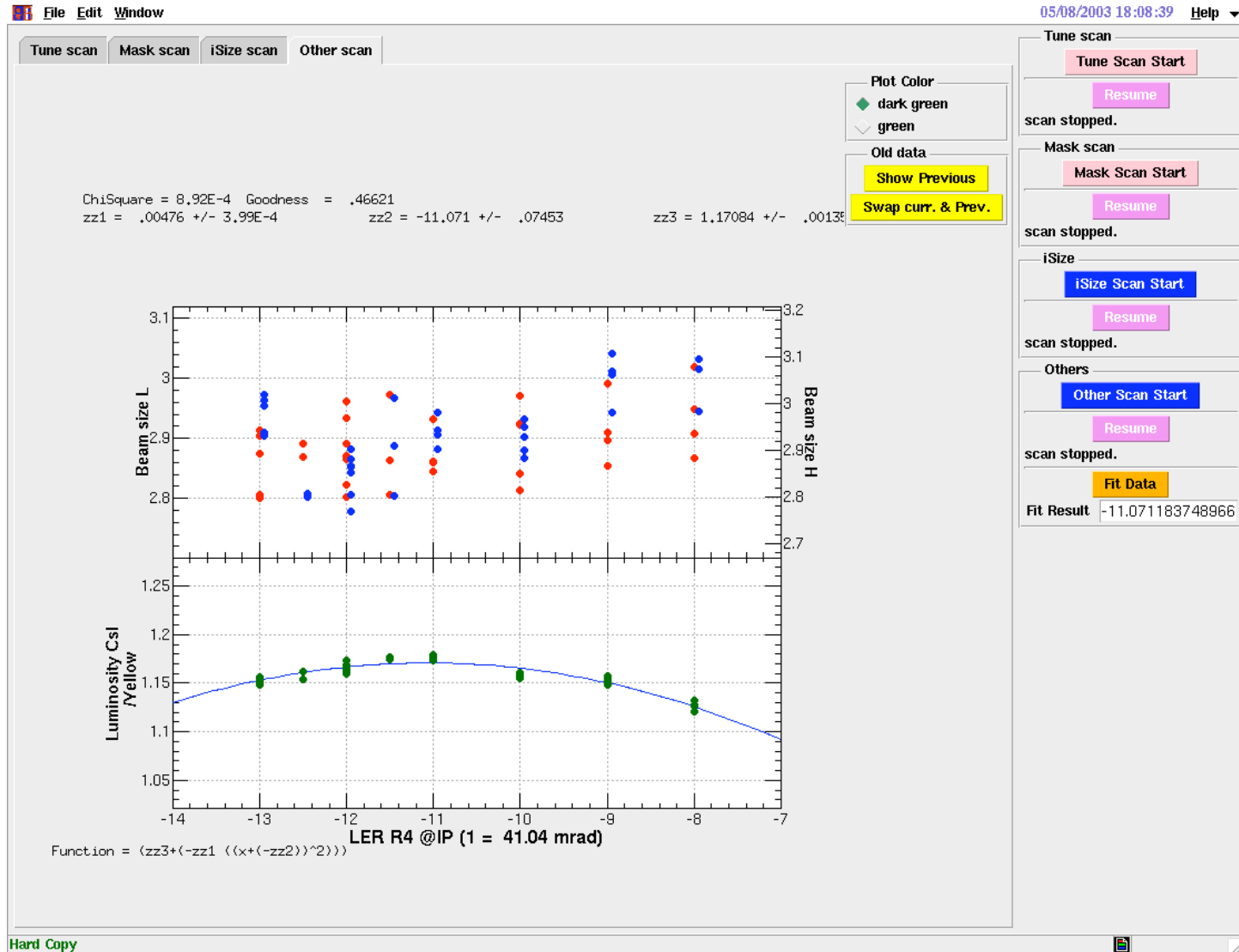
$$H = \begin{pmatrix} a & 0 & d_1 & d_2 & \zeta_x & \eta_x \\ 0 & a & d_3 & d_4 & \zeta'_x & \eta'_x \\ d_4 & -d_2 & b & 0 & \zeta_y & \eta_y \\ -d_3 & d_1 & 0 & b & \zeta'_y & \eta'_y \\ -\eta'_x & \eta_x & -\eta'_y & \eta_y & c & 0 \\ \zeta'_x & -\zeta_x & \zeta'_y & -\zeta_y & 0 & c \end{pmatrix}$$

- Optics parameters are controlled by local bumps



KEKB

- スキヤンの実例、X-y coupling LER R₄

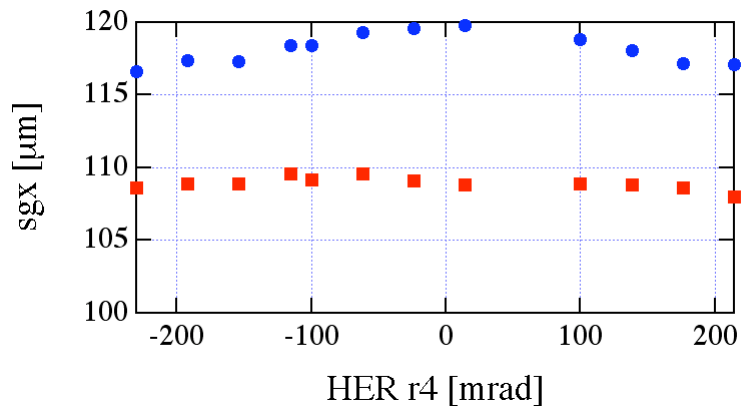
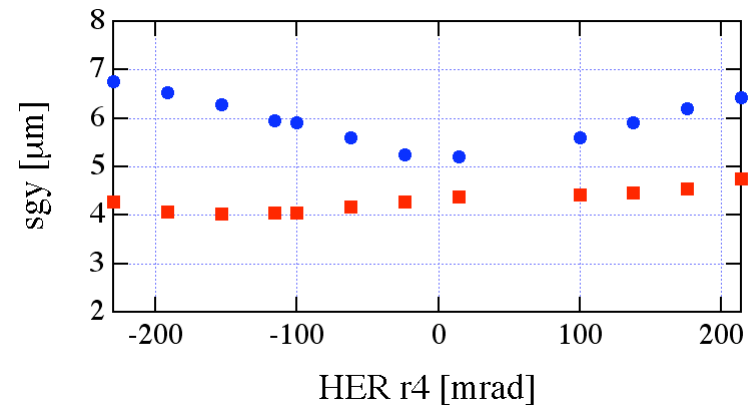
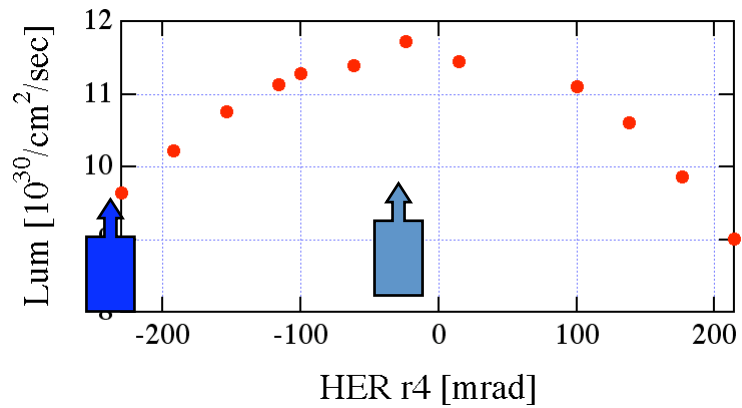


knob scanのシミュレーション

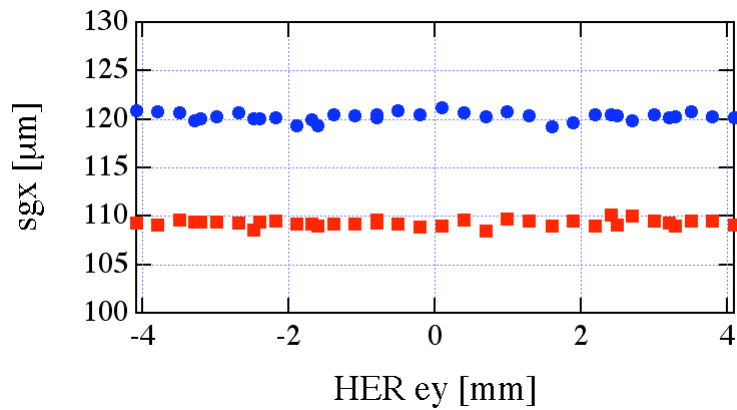
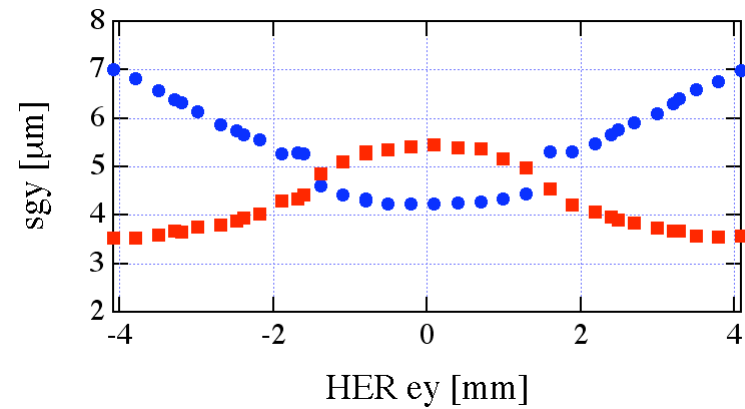
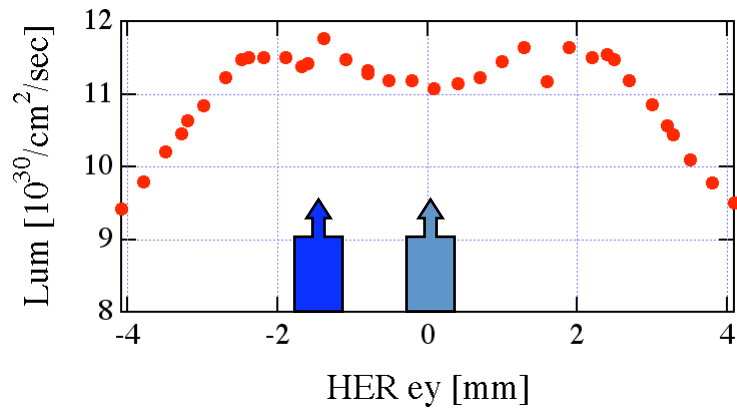
M. Tawada

- Current 0.8/1.4 mA/bunch (HER/LER)
- $\varepsilon_x = 24/18$ nm (HER/LER) 1% coupling
- $\beta_{x/y} = 80/0.7$ cm (both)
- $\nu_{x/y/z} = 0.511/0.580/0.025$
- KEKBではHER、LERのR1-4, η_y, η'_y (12 parameters) が日夜スキャンされている。このプロセスをシミュレーション。
- 最近はDown hill simplex 法も導入されたので、これについてもシミュレーションを行った。

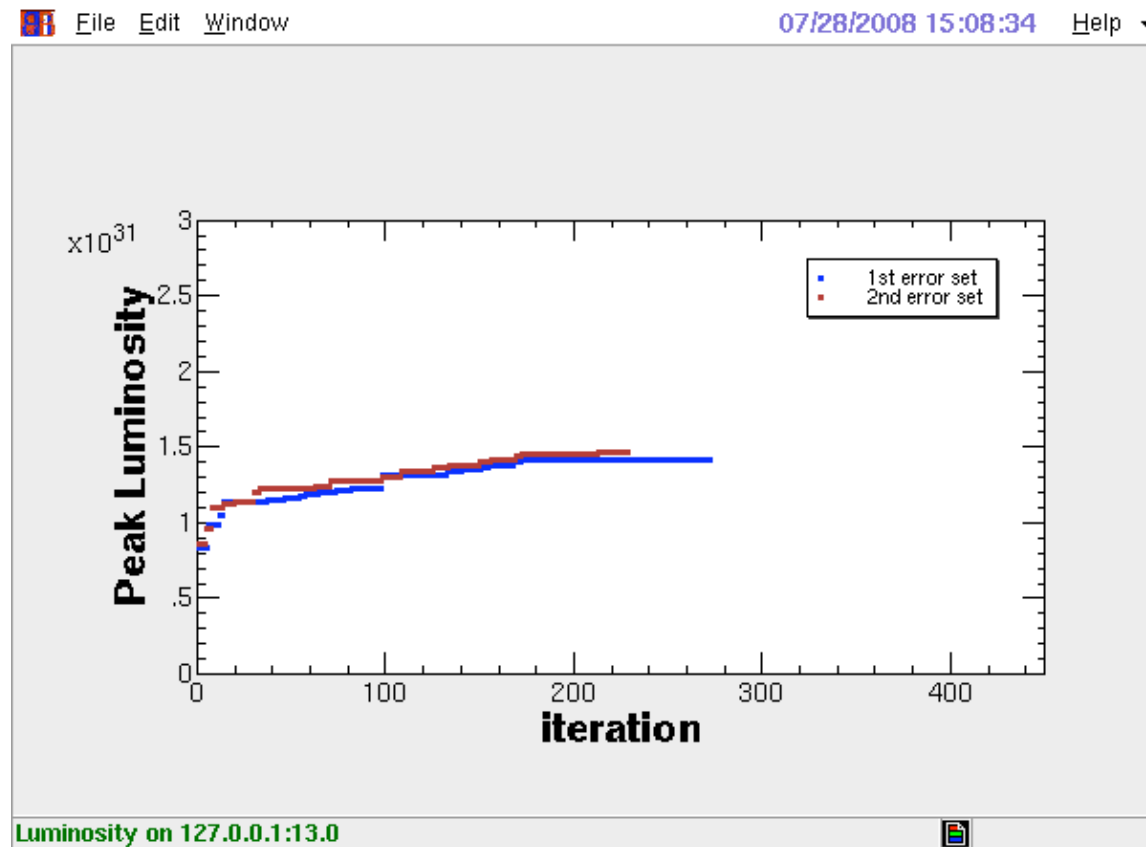
HER r4, example I (シミュレーション)



HER ey, example 2



Down Hill Simplex 法のシミュレーション



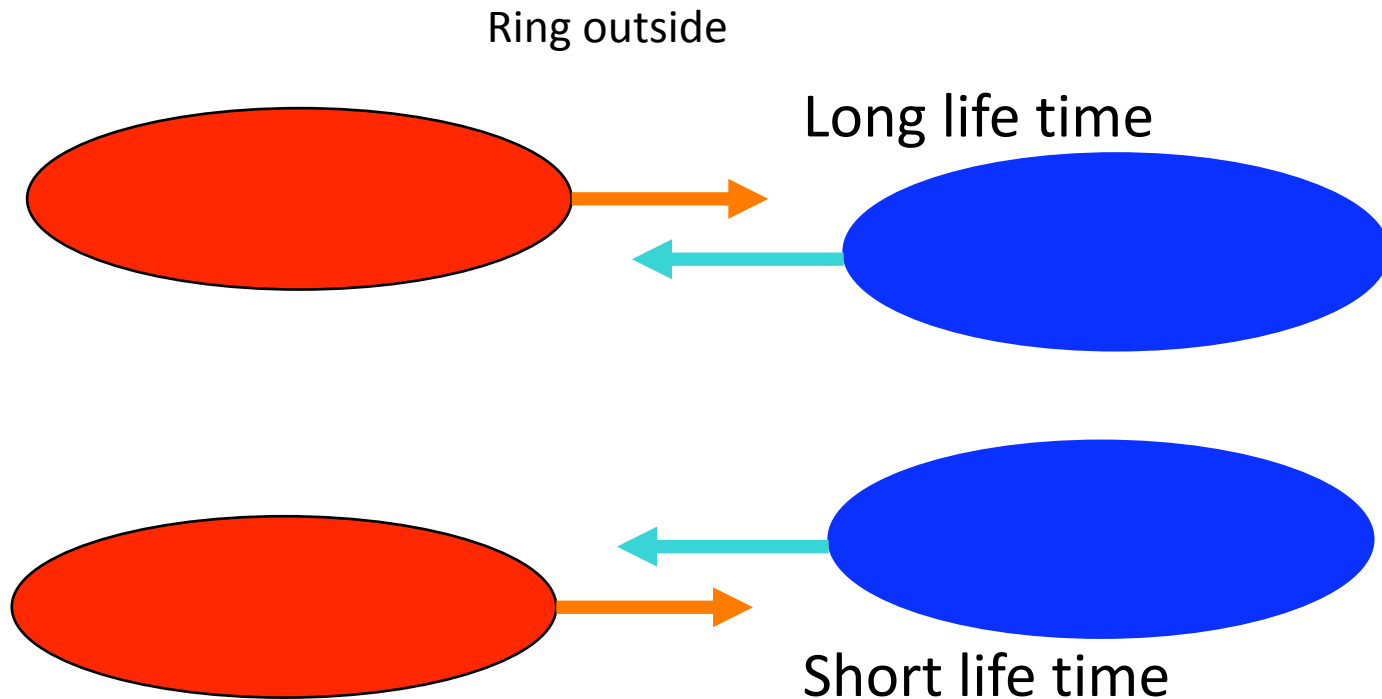
エラーがなければ 2.4×10^{31} まで行くべきだが、途中で迷い込んでしまっている。 $1.4-1.5 \times 10^{31}$

knob scanシミュレーションのまとめ

- R1 と R4 が同時に同じ値を持つのは単なる回転なのでルミノシティは変わらない。
- スキャンシミュレーションでもスキャン後R1=R4に対して不定性が見える。
- ちなみに実験ではR1=R4をキープしつつ変えるとルミノシティも変わってしまう。
- エラーがKEKBのスキャンの2-3ユニット程度なら、通常knob scanでも、SimplexでもR1=R4の不定性をのぞけば、正しい値に収束する。
- エラーが5ユニット以上あると60%位のルミノシティで飽和してしまう。

クラブ運転でのミステリー

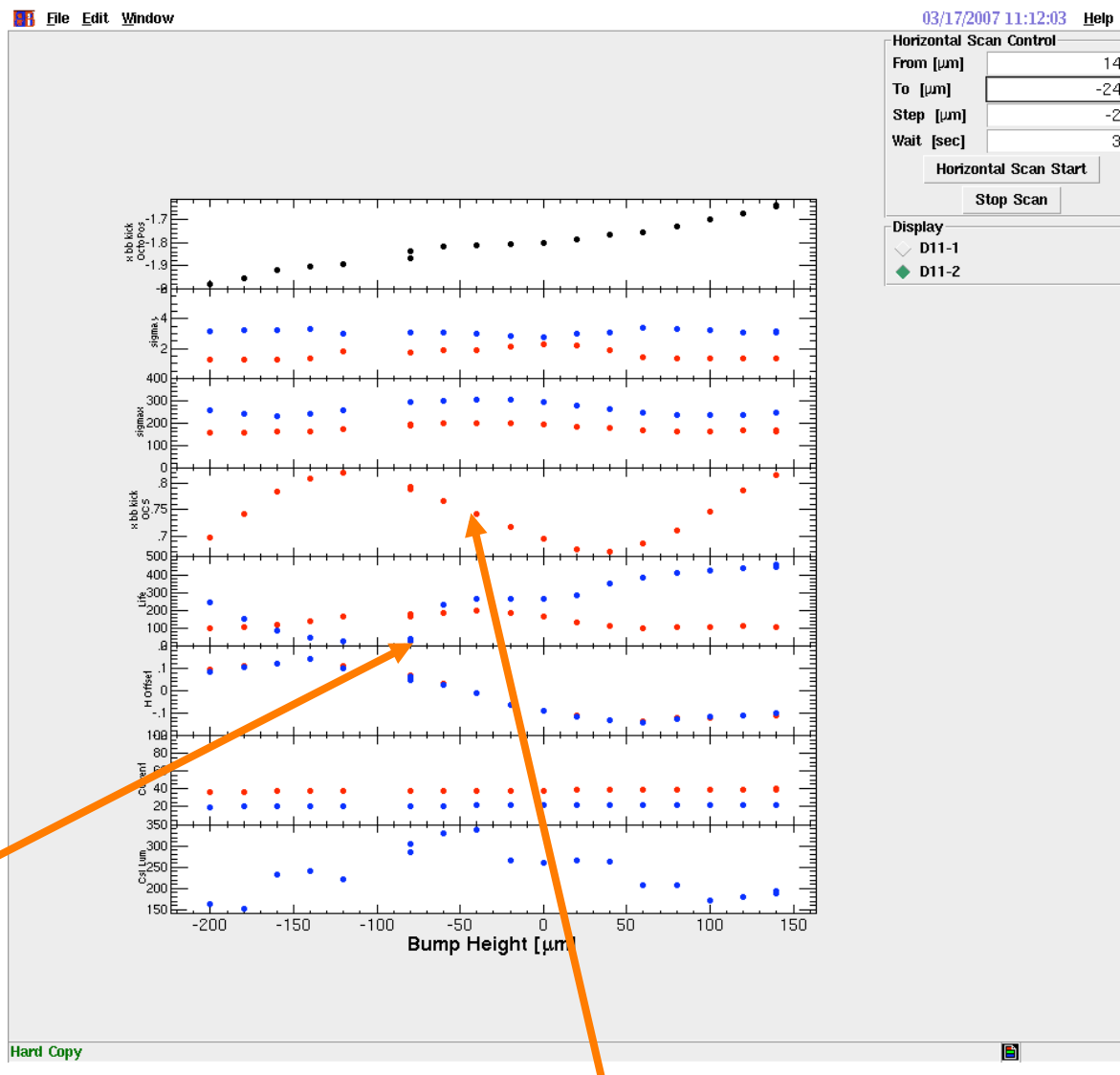
- 衝突時の水平方向のずれに対して非対称
- HERが衝突点で外側にある状態ではビーム寿命が短くなる (特にLER)
- 同様の非対称はクラブ無しの時も見られたが、クラブを入れればなくなると期待していた。
- 当然ながら非対称はシミュレーションでは再現しない。



Horizontal offset scan

- ビーム電流を上げるほど衝突をLERが外側になるよう、ずらす必要がある。
- 必然的にルミノシティは下がってしまう。

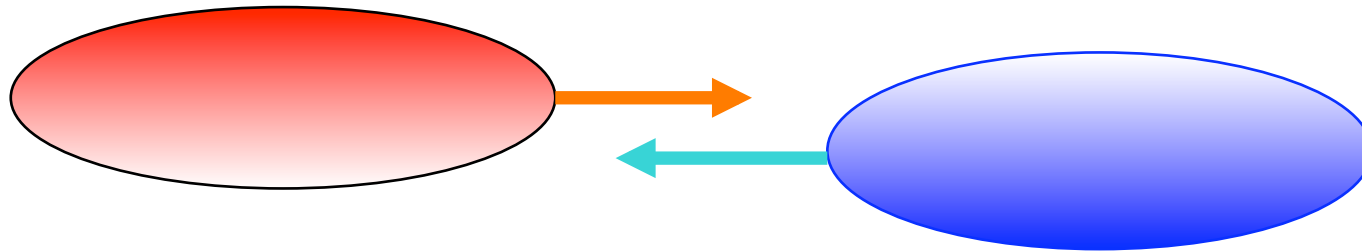
HER life
LER life decreases
depending on the
condition



Collision center given by the
beam-beam kick

明らかに対称性が崩れている

- 密度非対称か? 自発的対称性の破れ



- ベータがHER外側、LER内側が小さい? 必然的対称性の破れ
 1. クラブウェスト的な非線形があると起こりうる。
 2. KEKBの場合は非線形がキャンセルするようなリング構造なので、そういった非線形はエラーによってしか生じない。
 3. 衝突点でのHamiltonian

$$H = axy^2$$

$$H = axp_y^2 \quad \text{crab waist term}$$

非線形成分の評価(必然的対称性の破れ)

• 衝突点での6極成分評価 要符号チェック

$$X = \frac{x}{\sqrt{\beta}} \quad P_X = \frac{\alpha x + \beta p_x}{\sqrt{\beta}} \quad k_x = \frac{\beta_x^{3/2} K_2}{6} \quad k_y = \frac{\beta_x^{1/2} \beta_y K_2}{6}$$

$$J_X = \frac{X^2 + P_X^2}{2} = \frac{\gamma x^2 + 2\alpha_x x p_x + \beta_x p_x^2}{2}$$

$$\exp(-: F_3 :) \exp(-: \mu J :) = \exp(-: \phi J :) \exp(-: k_x X^3 + k_y X Y^2 :) \exp(-: (\mu - \phi) J :)$$

$$= \exp(-: \phi J :) \exp(-: k_x X^3 + k_y X Y^2 :) \exp(+: \phi J :) \exp(-: \mu J :)$$

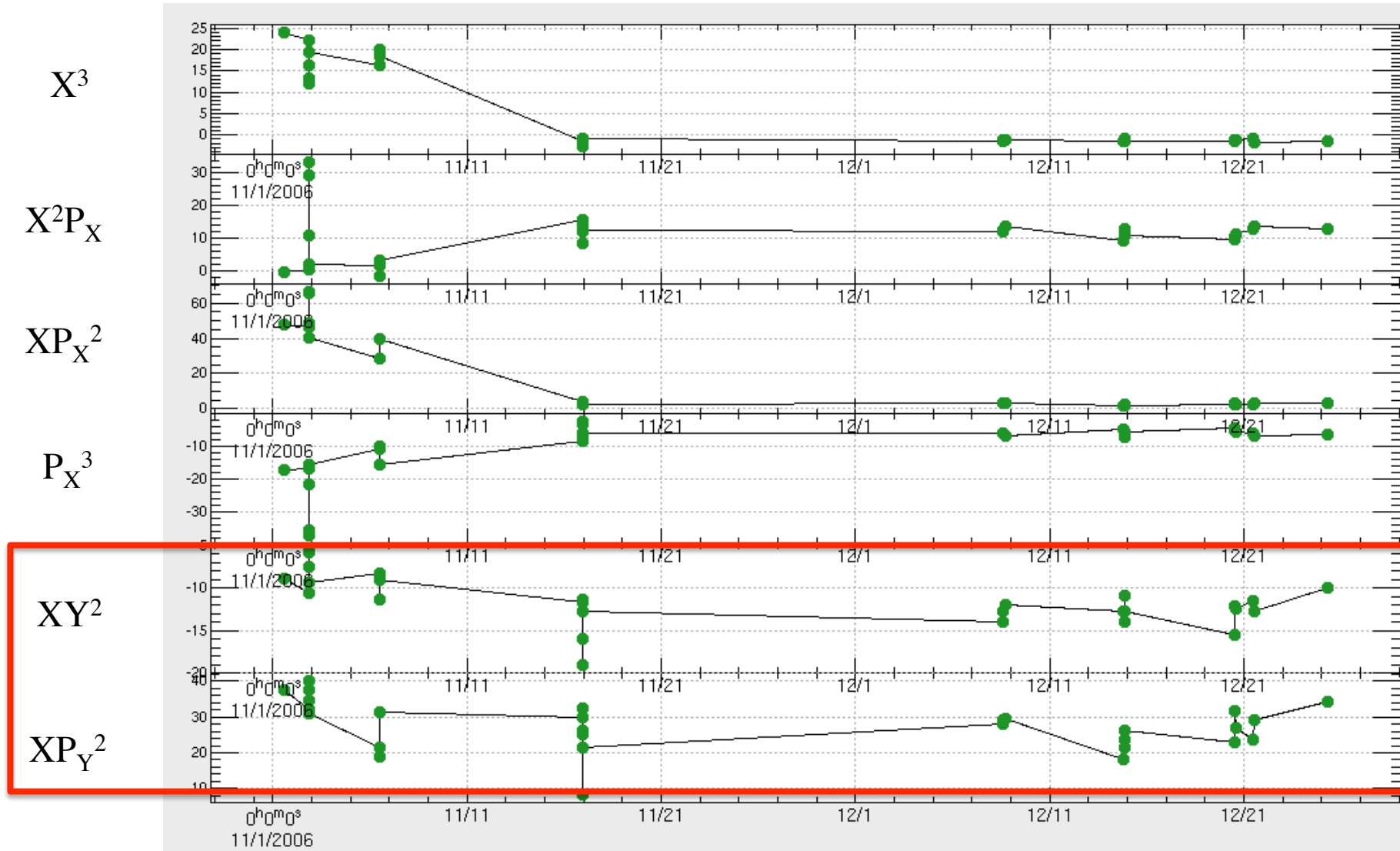
$$= \exp(-: k_x (X \cos \phi + P_X \sin \phi)^3 + k_y (X \cos \phi_x + P_X \sin \phi_x)(Y \cos \phi_y + P_Y \sin \phi_y)^2 :) \exp(-: \mu J :)$$

$$F_3 = k_x (X \cos \phi + P_X \sin \phi)^3 + k_y (X \cos \phi_x + P_X \sin \phi_x)(Y \cos \phi_y + P_Y \sin \phi_y)^2$$

$$F_3 \approx \oint \left[k_x (X \cos \phi + P_X \sin \phi)^3 + k_y (X \cos \phi_x + P_X \sin \phi_x)(Y \cos \phi_y + P_Y \sin \phi_y)^2 \right] ds$$

$$\phi = \phi^* - \phi(s)$$

beta測定の結果から六極のIPに対する効果を推測



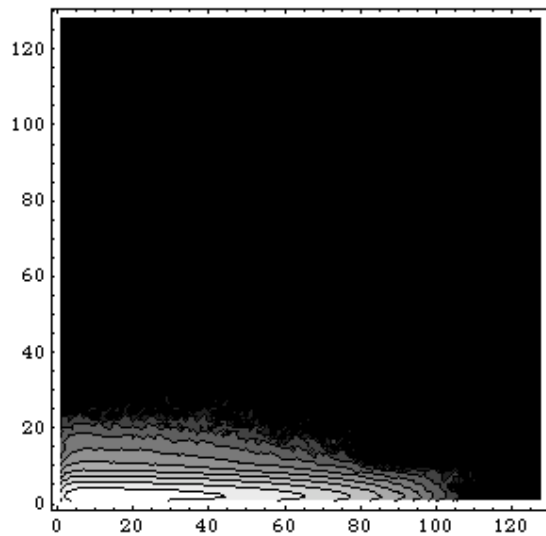
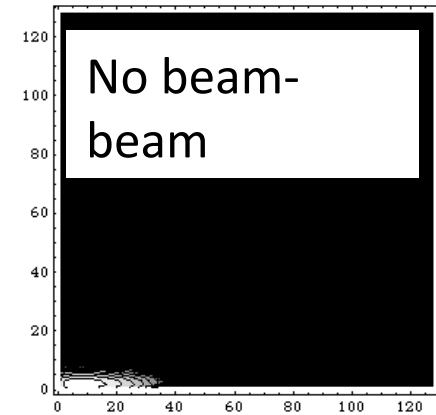
Beam-beam相互作用による寿命問題

- 世の中の標準的考え方
- ビームからの力を受け、分布にハローが現れ、寿命が短くなる。
- weak-strong simulationによる評価。
- 比較的少数の粒子を用い、長時間トラッキング。
- Aperture $H \sim 30 \sigma_x$, $V \sim 75 \sigma_y$ ($A_x \sim 12 \mu\text{m}$ $A_y \sim 1 \mu\text{m}$).

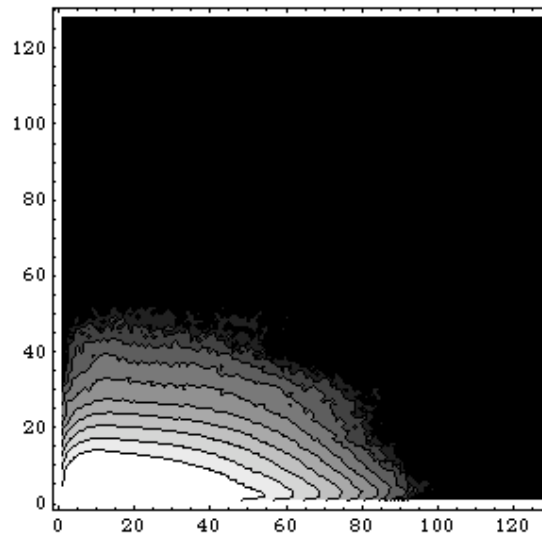
Simple arc transformation using matrix trans.

H-axis $0-12.8\sigma_x$ ($0.1\sigma_x/\text{unit}$) V-axis $0-64\sigma_y$
($0.5\sigma_y/\text{unit}$)

Contour plot with log scale

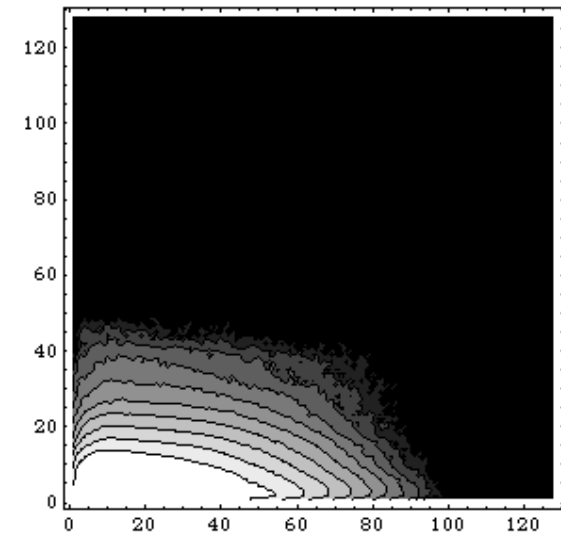


$0 \mu\text{m}$



$+100 \mu\text{m}$

$-100 \mu\text{m}$



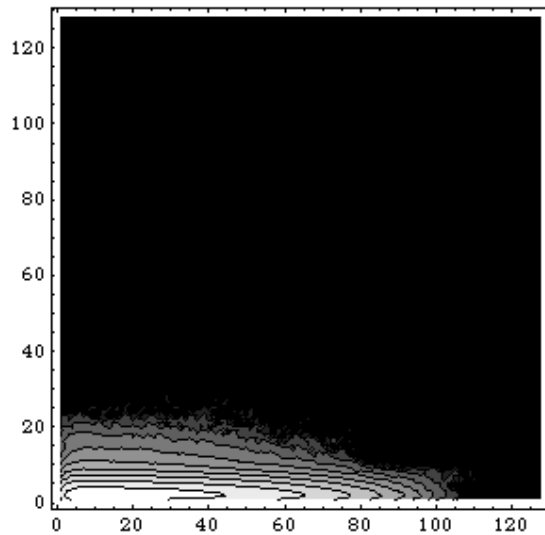
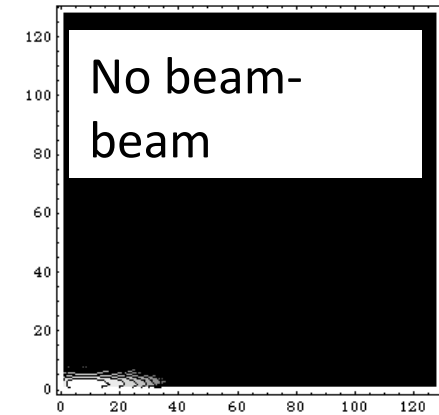
Symmetric for Horizontal offset
The hor. and ver. halo do not matter.

Beam-beam life time

Simple arc transformation
using matrix trans.

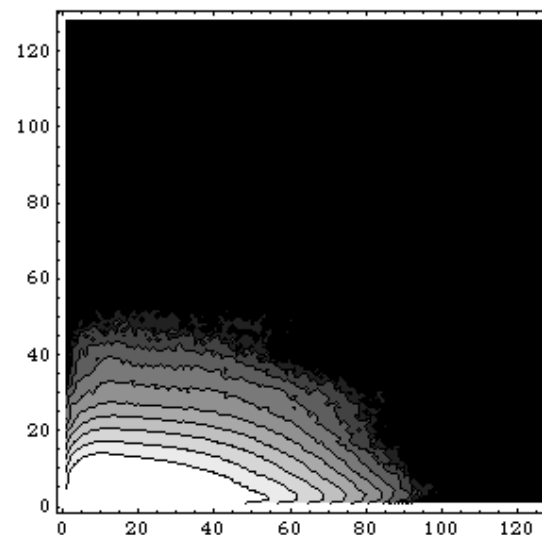
H-axis $0-12.8\sigma_x$ ($0.1\sigma_x/\text{unit}$) V-axis $0-64\sigma_y$ ($0.5\sigma_y/\text{unit}$)

Contour plot with log scale

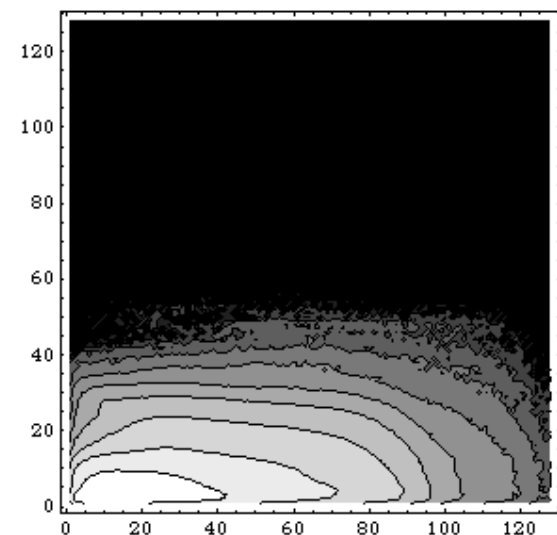


0 μm

mrad



+100 μm



$\theta=11$

- 水平垂直Haloはビーム寿命には影響しない程度
- 水平オフセットにより垂直ハローが形成されるが対称的
- Crossing angleがある方が圧倒的にhaloが大きい

ビームサイズの制御により衝突相手の寿命を救えるはず

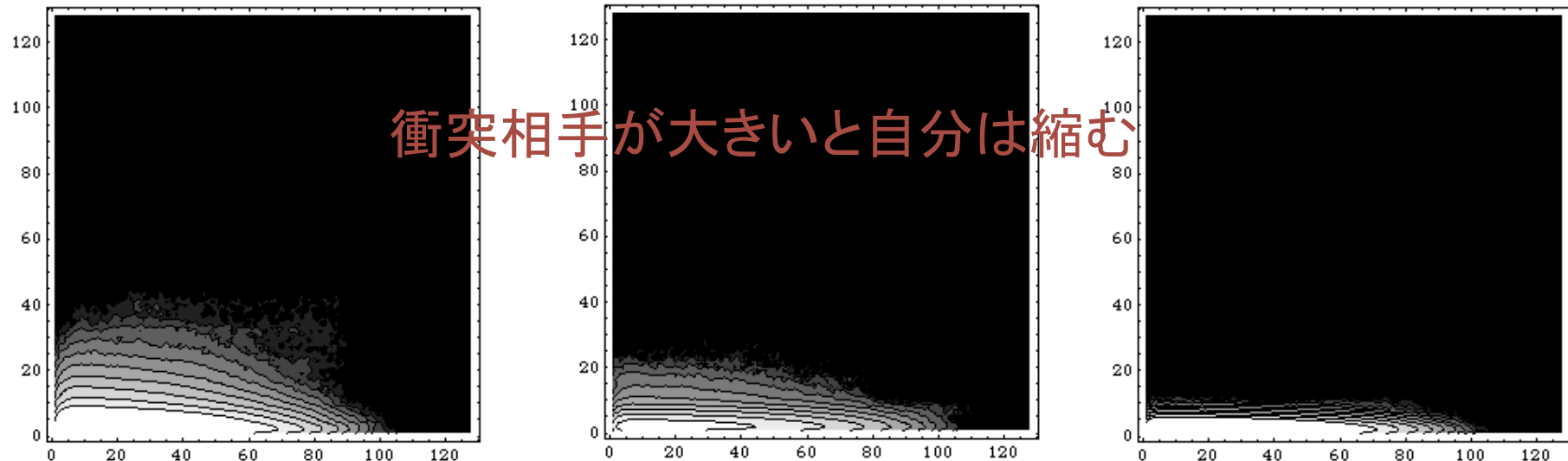
実験では期待したような効果がない。
定性的にこのモデルとはあっていない。

ε_y 衝突相手のエミッタンス

0.6×10^{-10}

1.8×10^{-10}

5.4×10^{-10}



H-axis $0-12.8\sigma_x$ ($0.1\sigma_x/\text{unit}$) V-axis $0-64\sigma_y$ ($0.5\sigma_y/\text{unit}$)

ビーム寿命に関するまとめ

- ガウス分布のビームにぶつかる、weak-strong simulationでビームハローを評価した。
- ハローはビーム寿命に影響するようには見えない。
- 寿命の非対称も見えない。
- この種の寿命は相手ビームをy方向にふくらませると、伸びることが常識的にもSimulationでもみられるが、実際はそうならない。
- 寿命問題のメカニズムが別物。Intrabeam effect (生出, 大西)、物理的アパーチャ問題、クラブの電圧が低いいためベータ関数を大きく取らざるを得ない。(船越)

リング内の非線形(Lattice nonlinearity)と ビームビーム非線形力の干渉

- リング非線形がルミノシティに影響している兆候
 1. Golden orbitの存在
 2. IP optics parametersをいくらチューニングしても、ラン毎にルミノシティが変わる。
 3. チューンの整数部分がルミノシティに影響している様子
 4. ある部分(ウィグラー)のopticsを歪ませると、ルミノシティが悪くなる。

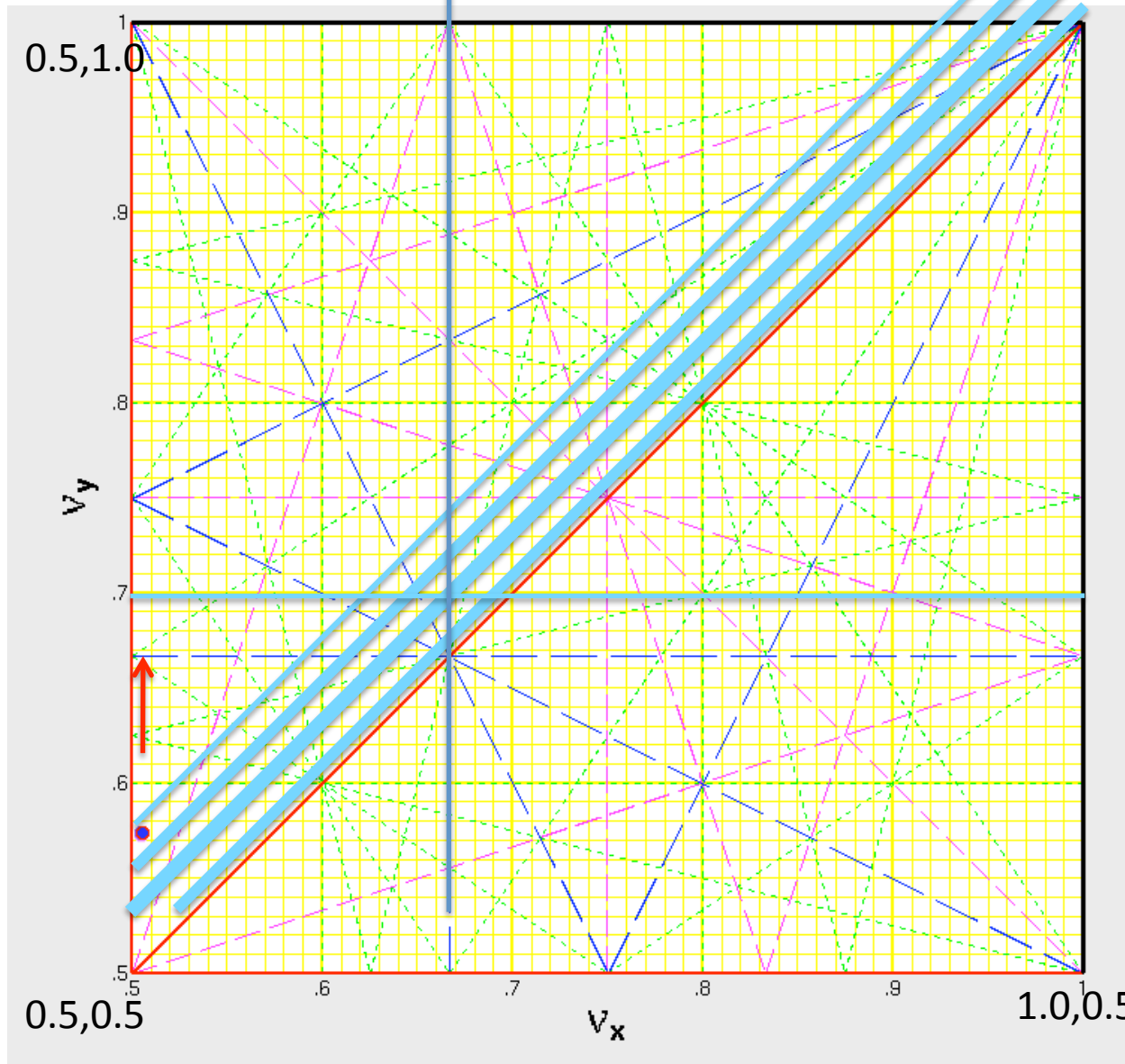
リングの非線形とは非線形の強さと、その場所のoptics parameterを1周分積分したもの。

n次の非線形

$$H_n \approx \oint [K_n(s) \beta^{n/2}(s) \cos n\phi_y(s)] ds$$

lattice nonlinearityの測定

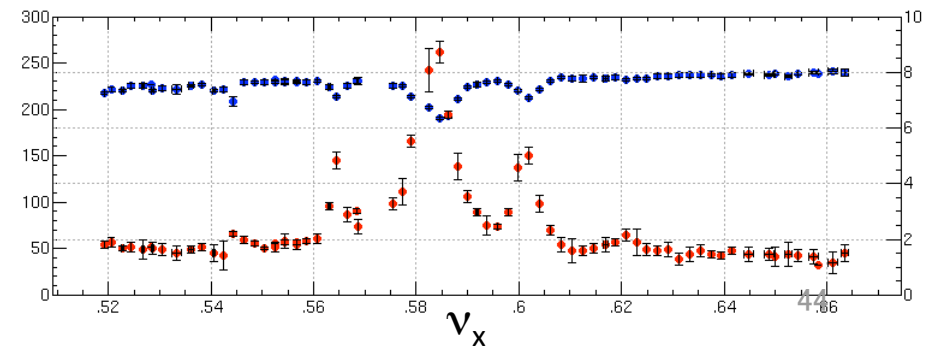
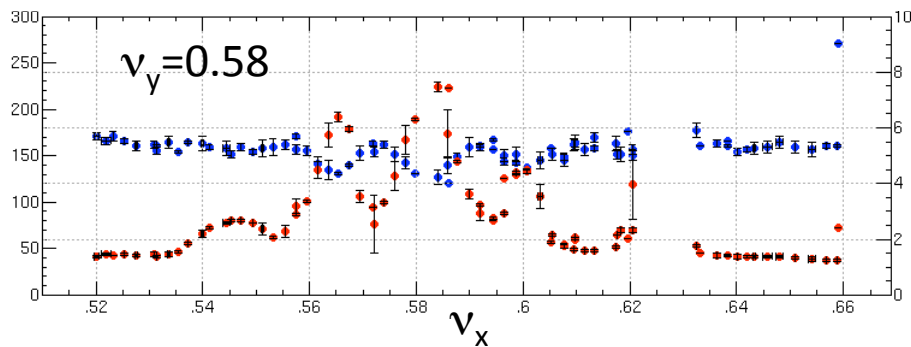
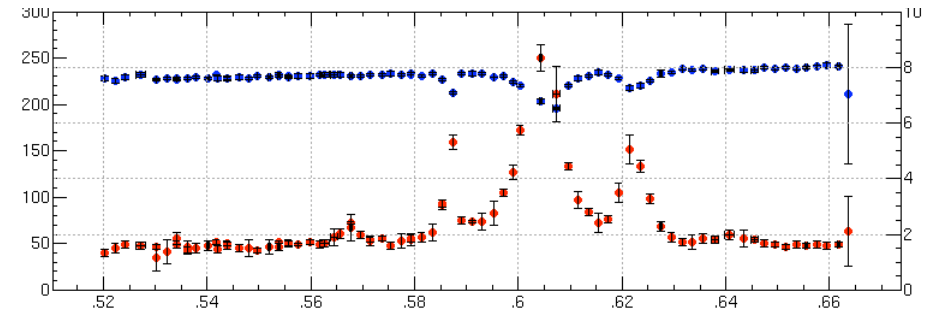
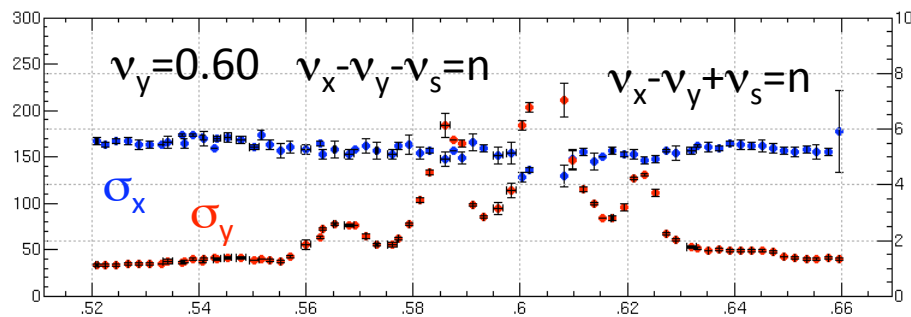
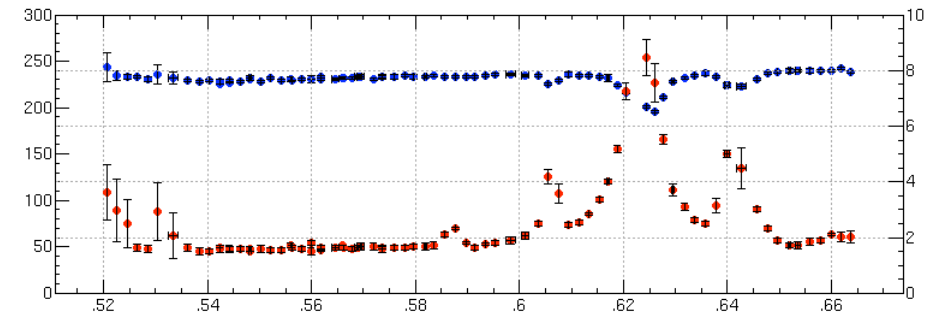
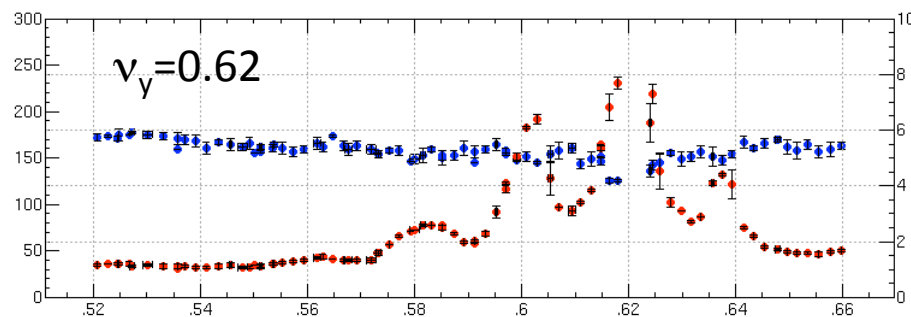
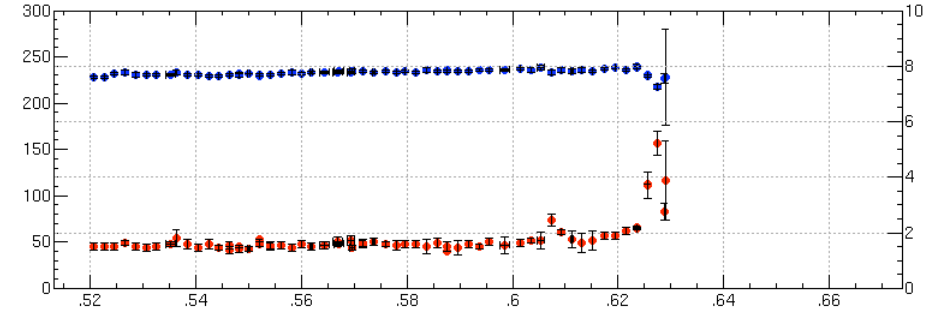
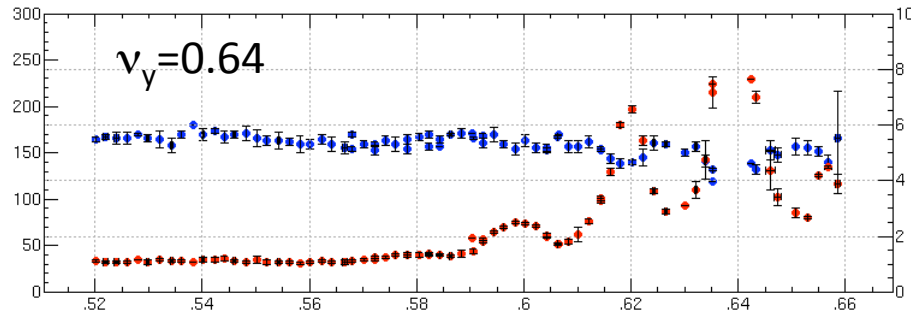
Tune scan of LER beam size without collision



LER $v_s = -0.0240$

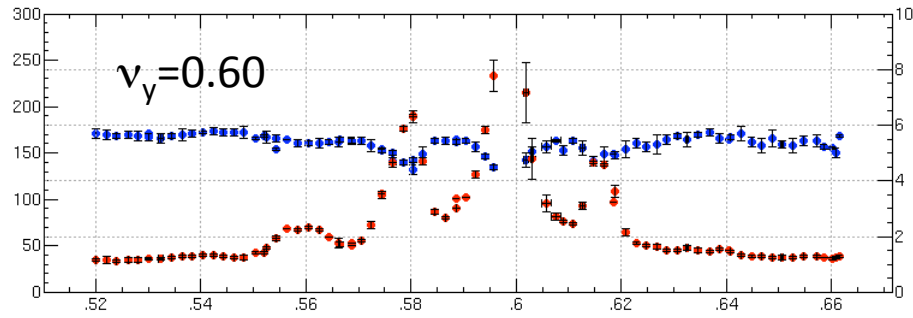
Y. Ohnishi, K. Ohmi

HER $v_s = -0.0209$

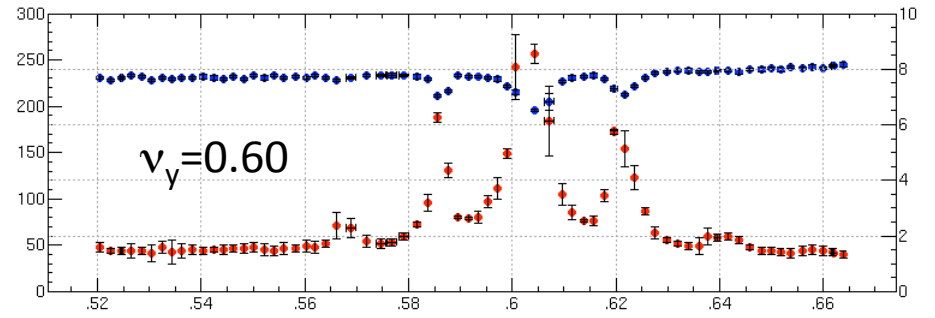


LER

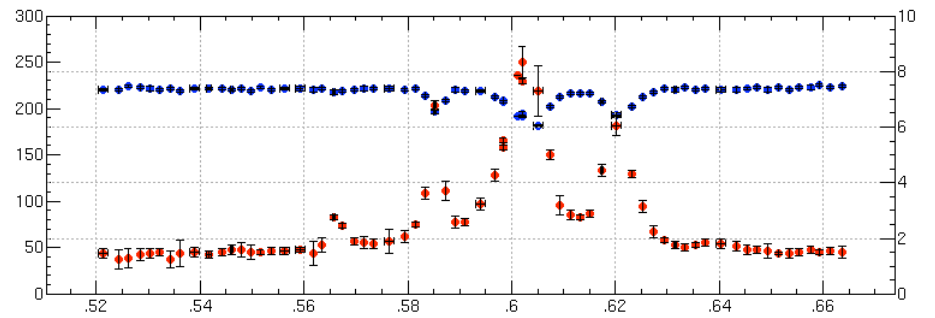
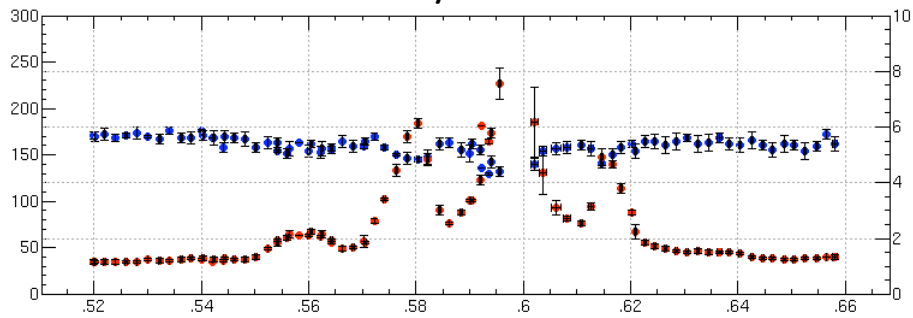
Knob = 0 / CRAB ON



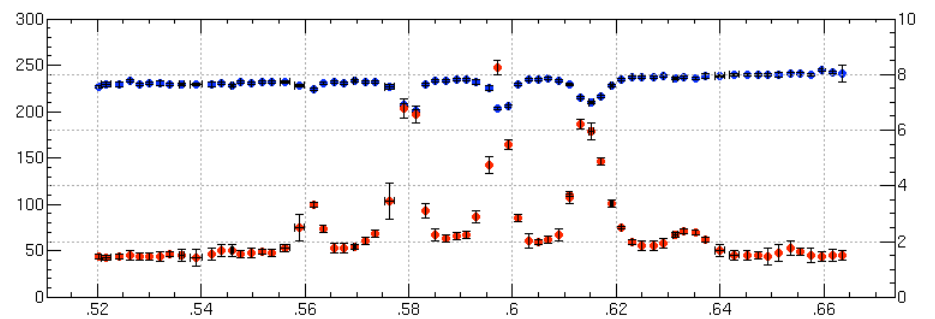
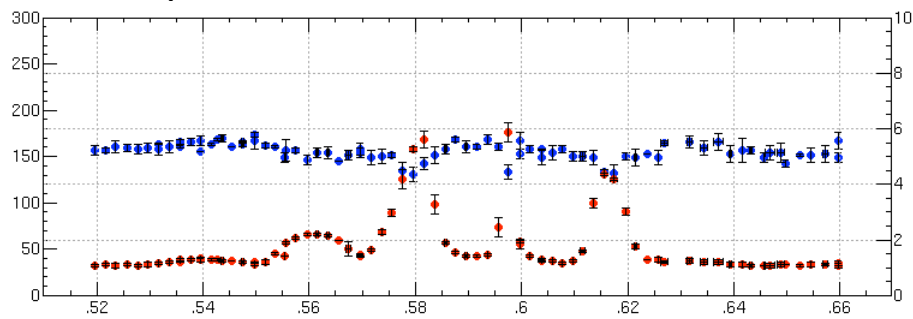
HER



Knob = 0 / CRAB OFF



After optics correction Knob = 0 / CRAB ON



v_x

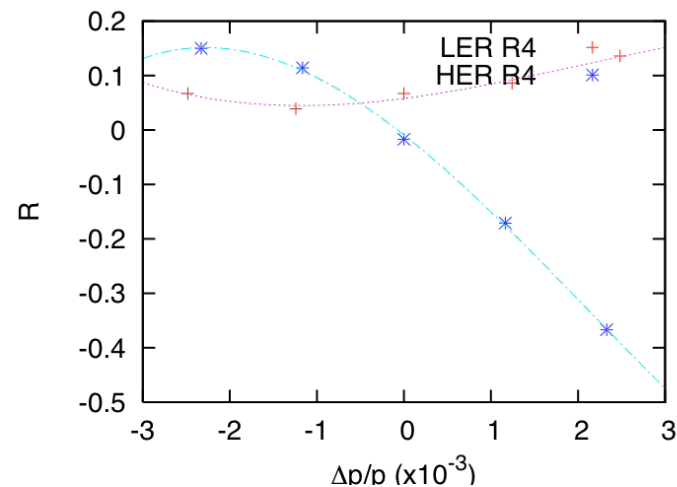
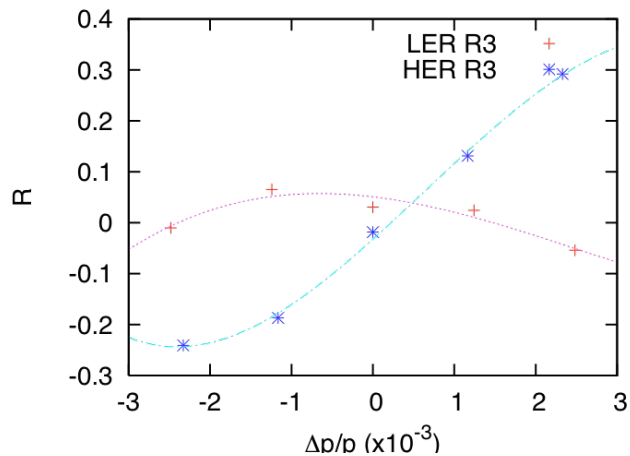
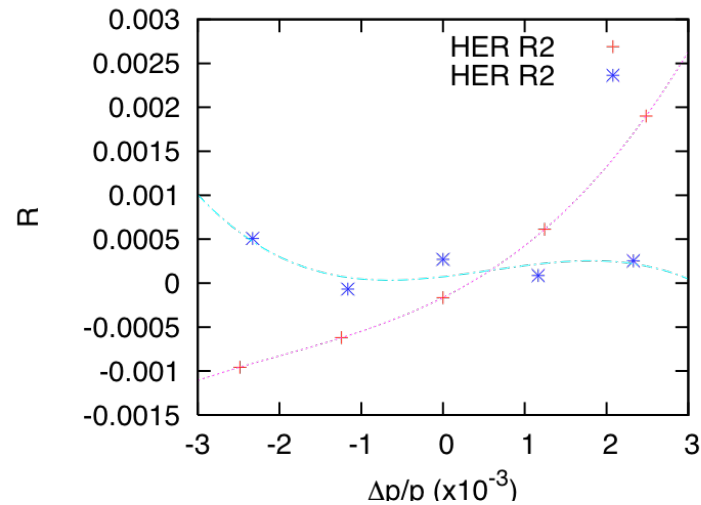
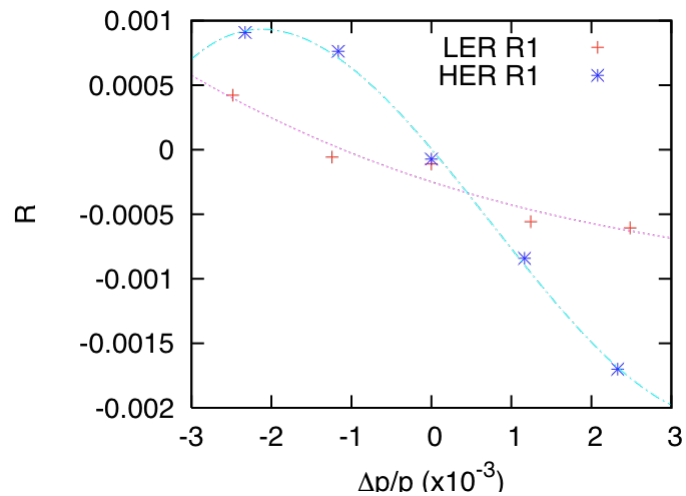
v_x

Coupling chromaticity can cause the resonance lines

Measurement of off momentum R

Y. Seimiya, K. Ohmi, H. Koiso, K. Oide

$$R_i(\delta) = R_{i0} + R_{i1}\delta + R_{i2}\delta^2 + R_{i3}\delta^3$$



R chromaticity of LER

- $R_{10}=-0.0002486$, $R_{11}=-0.1998$, $R_{12}=21.64$, $R_{13}=-0.007131$
- $R_{20}=-0.0001642$, $R_{21}=0.4696$, $R_{22}=103.1$, $R_{23}=0.1062$
- $R_{30}=0.05080$, $R_{31}=-19.06$, $R_{32}=-12881$, $R_{33}=10.26$
- $R_{40}=0.05796$, $R_{41}=20.71$, $R_{42}=6807.$, $R_{43}=-6.861$

R chromaticity of HER

- $R_{10}=5.586e-06$, $R_{11}=-0.7320$, $R_{12}=-71.60$, $R_{13}=0.1849$
- $R_{20}=7.242e-05$, $R_{21}=0.1058$, $R_{22}=50.58$, $R_{23}=-0.1720$
- $R_{30}=-0.03256$, $R_{31}=143.9$, $R_{32}=10266.$, $R_{33}=-31.63$
- $R_{40}=-0.009200$, $R_{41}=-126.1$, $R_{42}=-18058.$, $R_{43}=16.28$

Reconstruct Hamiltonian from the R measurement

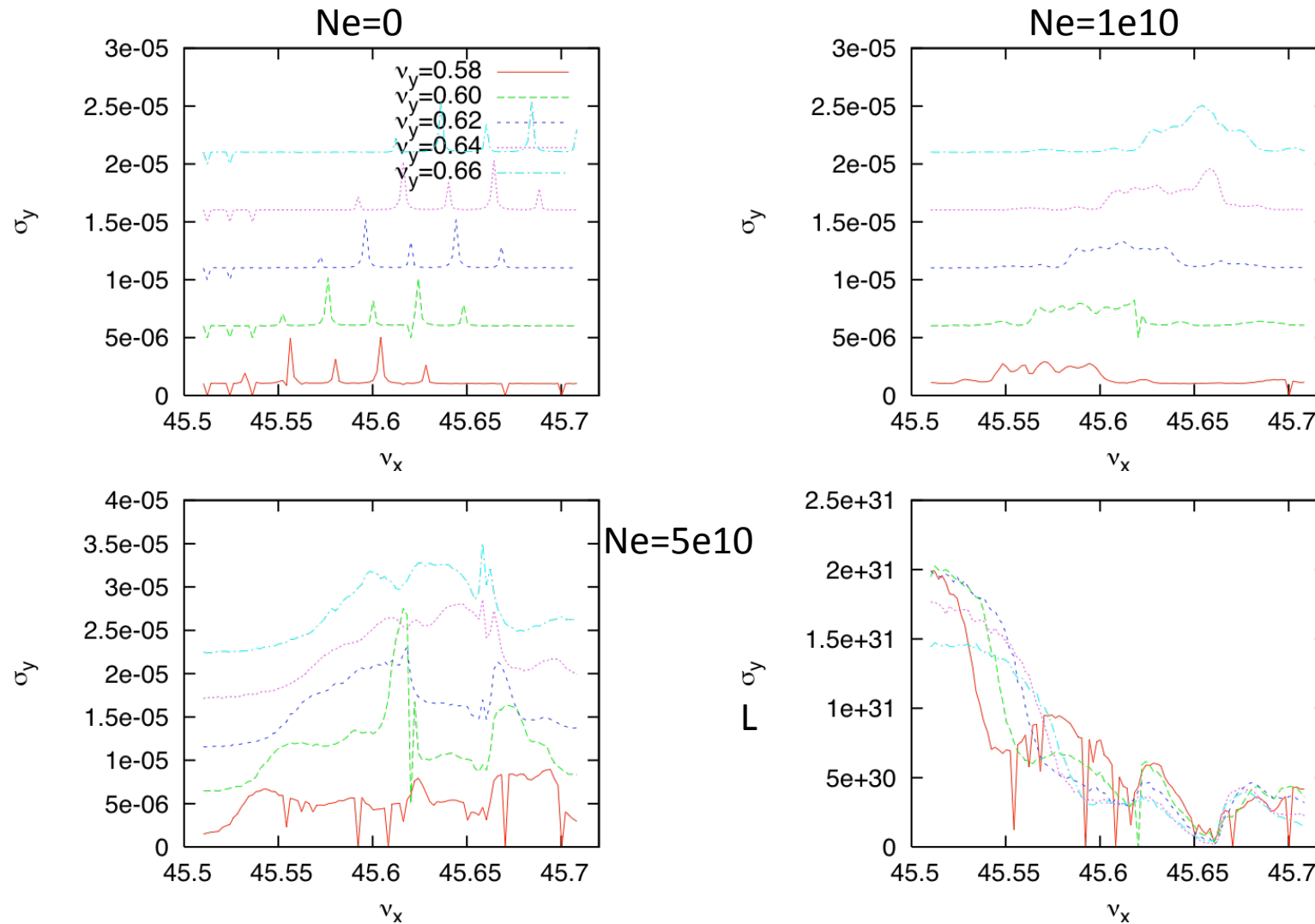
Y. Seimiya, K. Ohmi

- Nonlinear chromaticities (off momentum tune) were also measured.
- 10 chromaticities in each order of δ are given.
- The chromaticities correspond to the coefficient of Hamiltonian.

$$H_I = \sum_{n=1} \left(a_n x^2 + b_n x p_x + c_n p_x^2 + d_n xy + e_n x p_y + f_n p_x y + g_n p_x p_y + \right. \\ \left. u_n y^2 + v_n y p_y + w_n p_y^2 \right) \delta^n$$

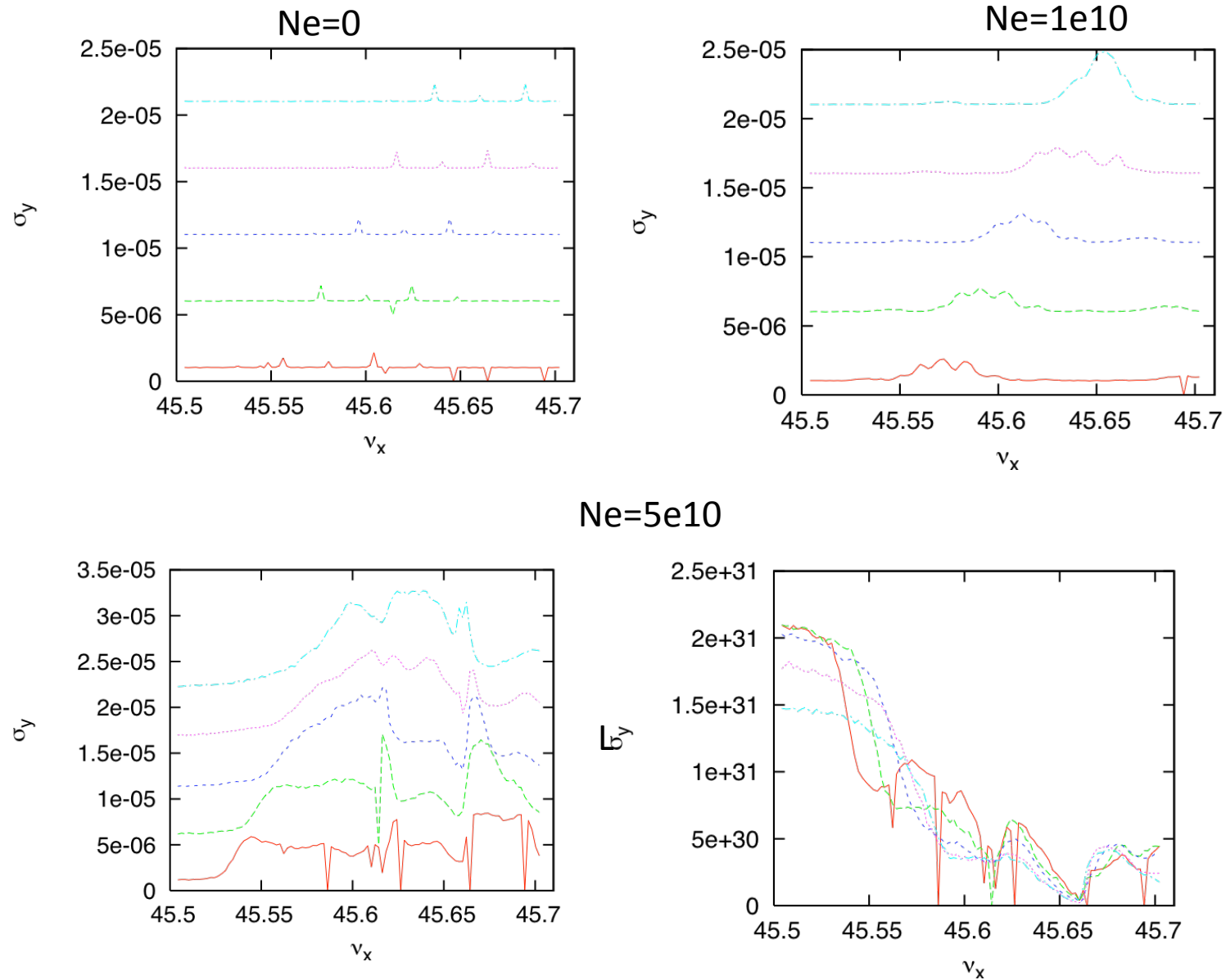
Beam-beam simulation with the chromatic Hamiltonian

Measurement data at Feb 26, 2008 Bad condition



Measurement data at Dec. 12, 2005

Good condition without crab



非線形のまとめ

- 現状ではあまりルミノシティに効いていない。
- クロマティシティ測定結果とルミノシティの相関を今後調べる。
- 他にビームをkickして非線形からくるチューン広がりによる振動の減衰を測定したが、非常に小さい。
- KEKBは非線形が少ない設計になっていて、実際もその通りになっている。

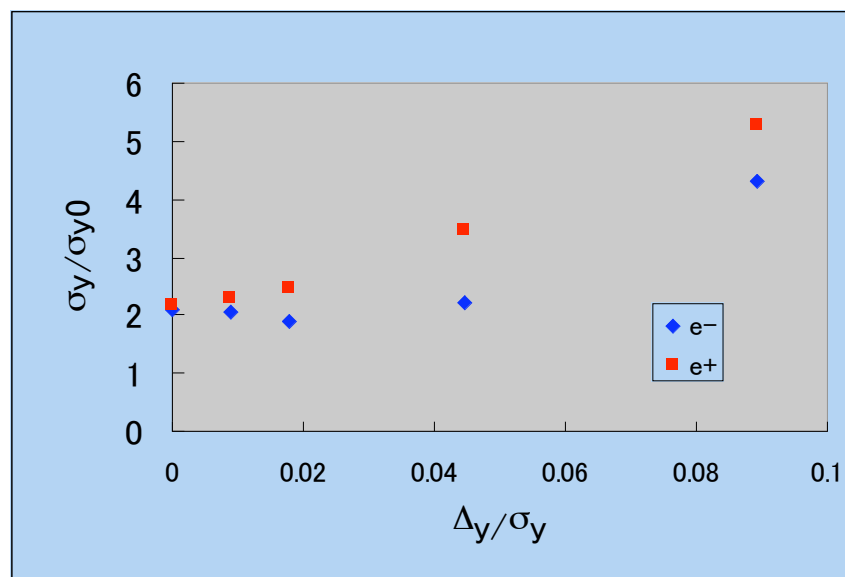
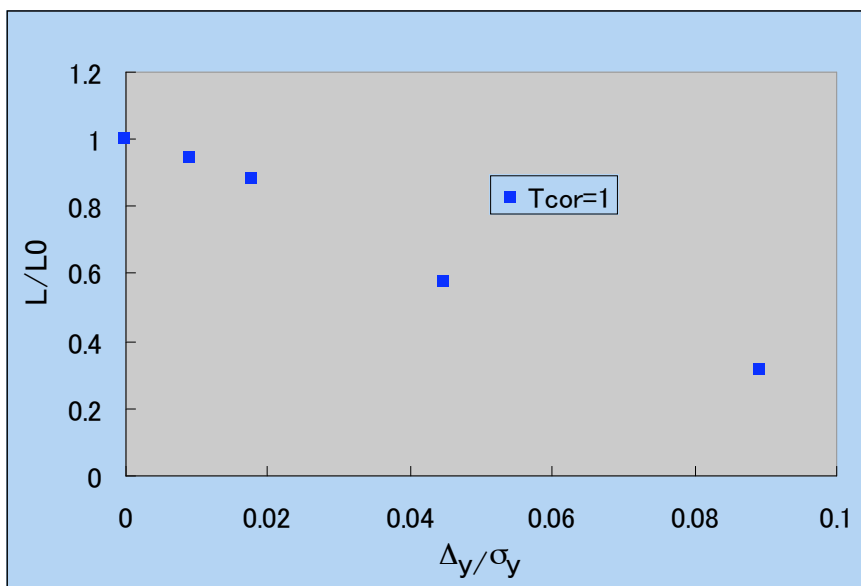
外的ノイズ

- 速い(ターン毎に相関がない)ノイズはビームビームパフォーマンスに影響する。
- e+e- collidersでは放射励起とcomparableなノイズはルミノシティに影響する。
- Weak-strong modelの観点からは、ビーム粒子は放射のようなインコヒーレントノイズとフィードバックノイズのようなコヒーレントノイズは区別がつかない。
- 放射励起 $\Delta y^2 = 2\sigma_y^2 / \tau$, $\tau = 4000$ turn for KEKB. ノイズレベルは $\Delta y / \sigma_y = 0.022$.
- フィードバックノイズのようなダイポールキック $\sim 2\%$ は 20% のルミノシティロスを起こす。
- その劣化はbeam-beam parameterに依存する. 高いbeam-beam parameterでは厳しくなる, $\sim \xi^2$.

External diffusion: Vertical offset noise (Hawaii05)

- Since the beam-beam system is chaotic, such noise enhances the diffusion of the system.
- Luminosity degradation for the noise without correlation between turns.

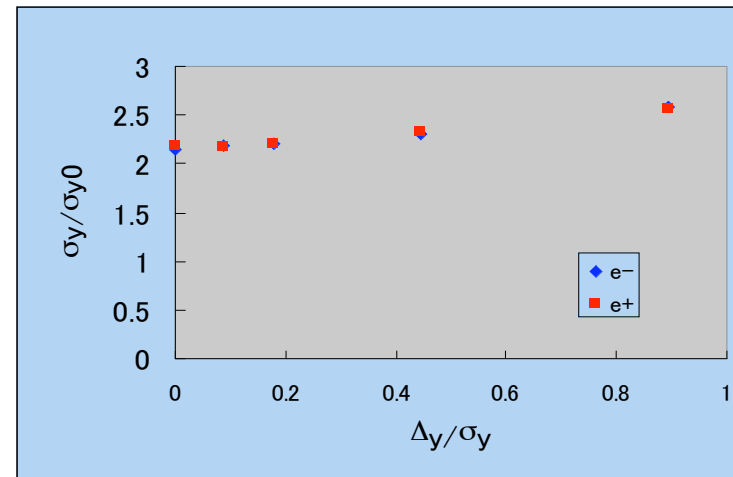
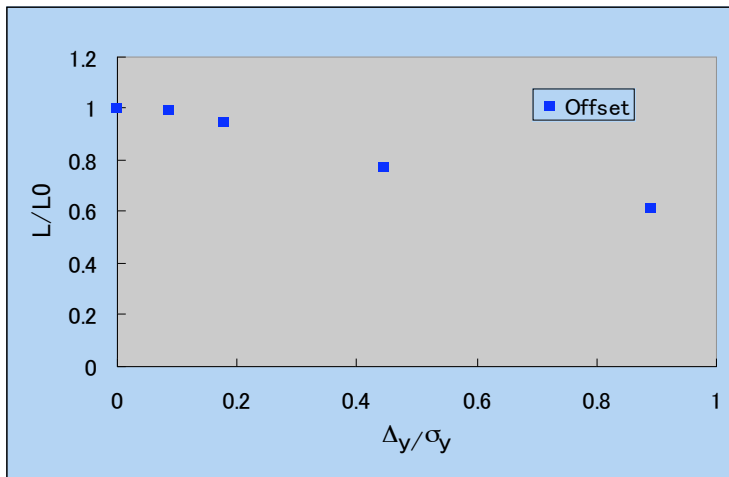
$$\langle \Delta y(t) \Delta y(t') \rangle = \Delta y^2 \delta(t - t')$$



Orbit offset (static) (Hawaii05)

- Static vertical offset. Tolerance is easier than the fast noise.
- For slower variation than radiation damping time, emittance can be an adiabatic invariant.

$$\langle \Delta y(t) \Delta y(t') \rangle = \Delta y^2 \exp(-t/\tau) / 2\tau$$

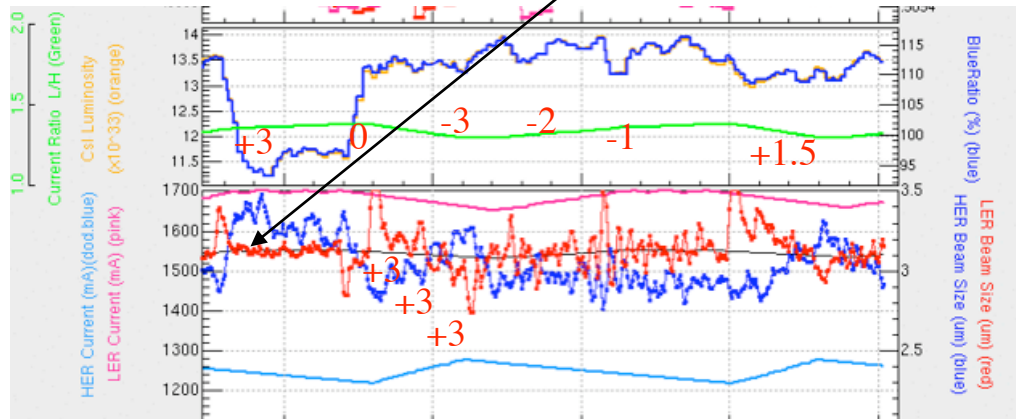


1/20 compare than that for fast noise

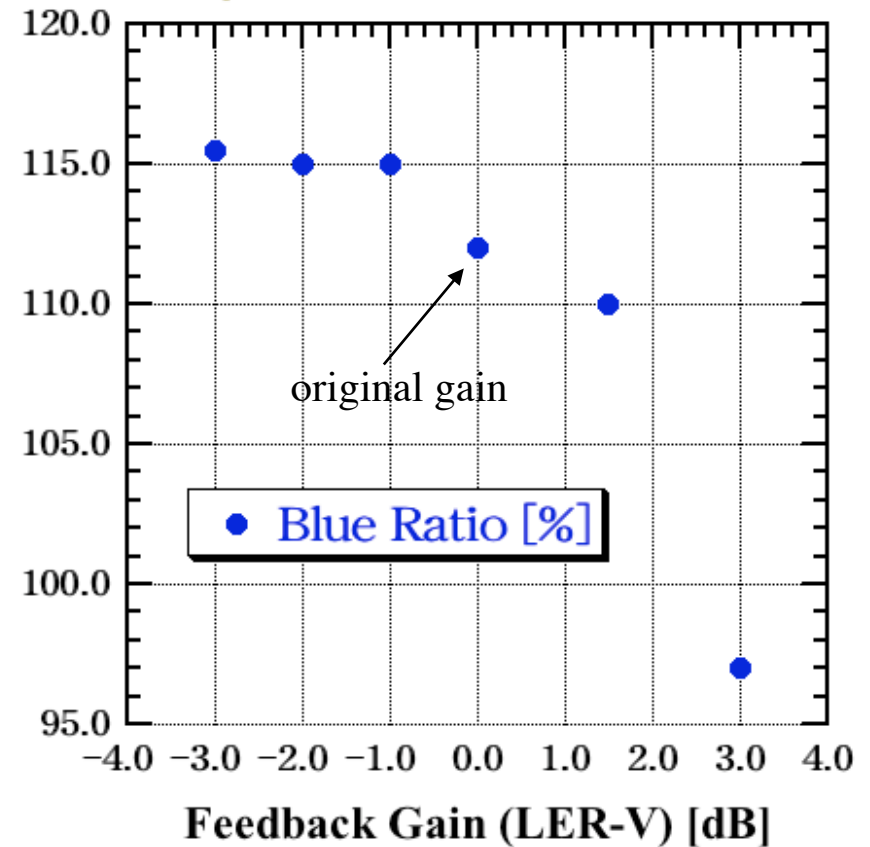
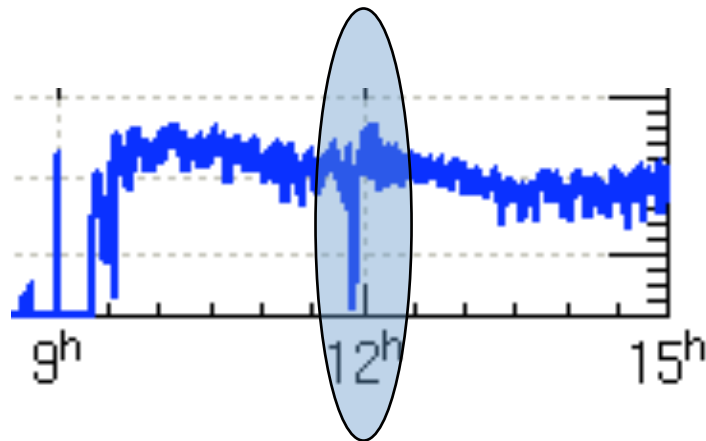
Specific Luminosity vs FB Gain

KEKB

Specific Lum. vs FB Gain



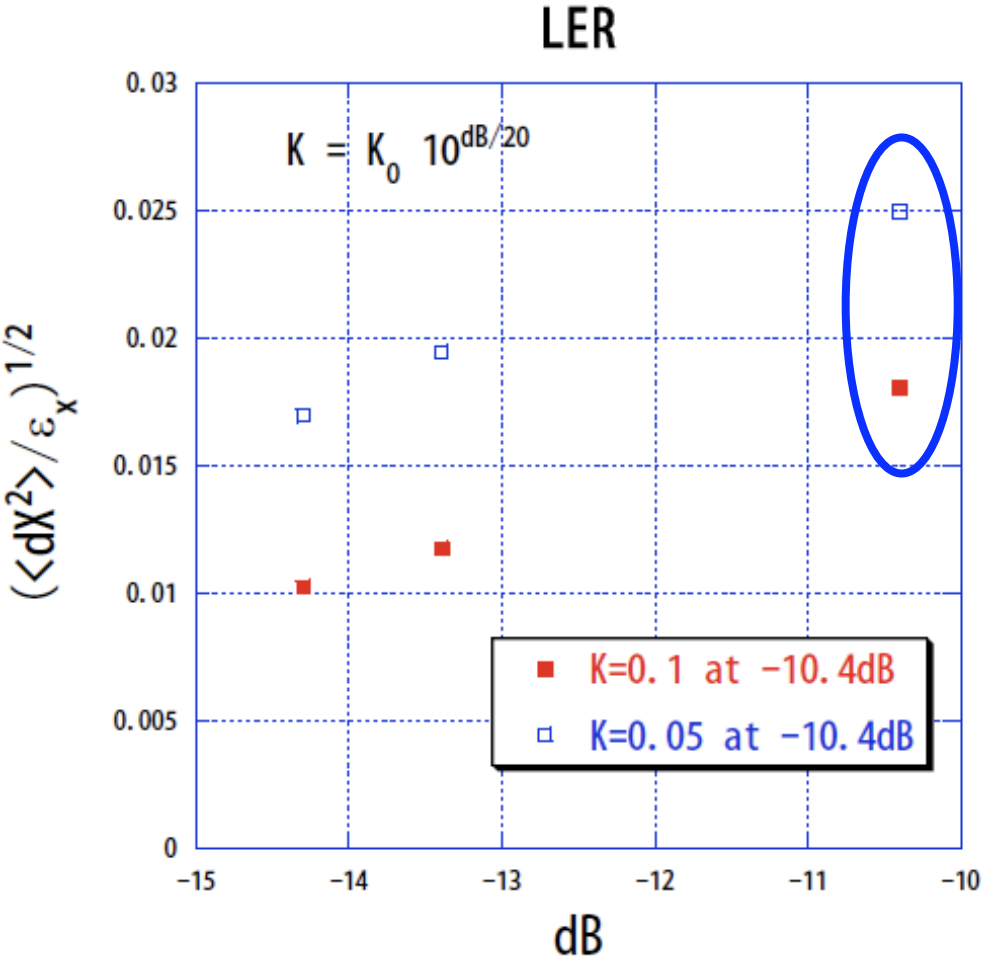
Blue Ratio [%]



FB gain of the LER vertical affects the specific luminosity.
The other gains (LER H, HER H/V) bring no effects.

Speculated beam noise for the kicker noise

KEKB



This noise level should affect the luminosity.

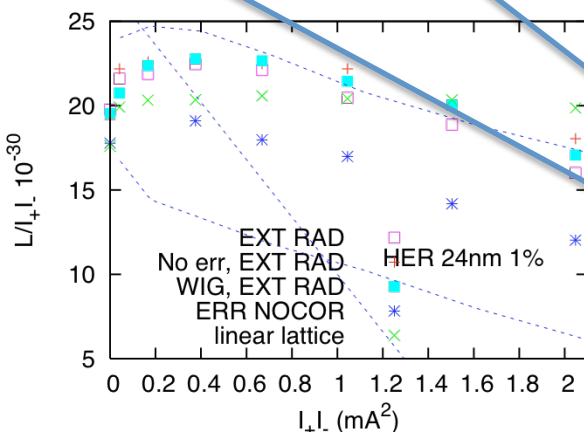
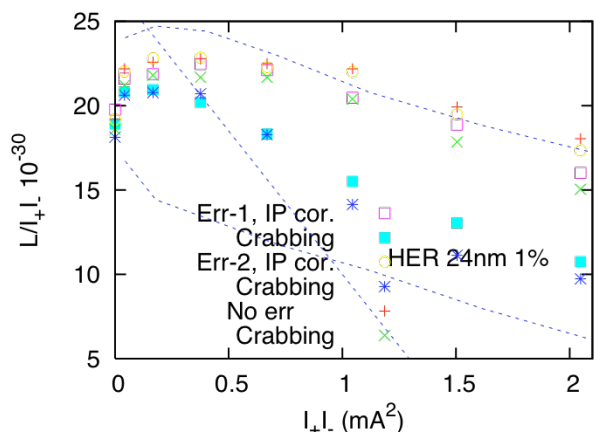
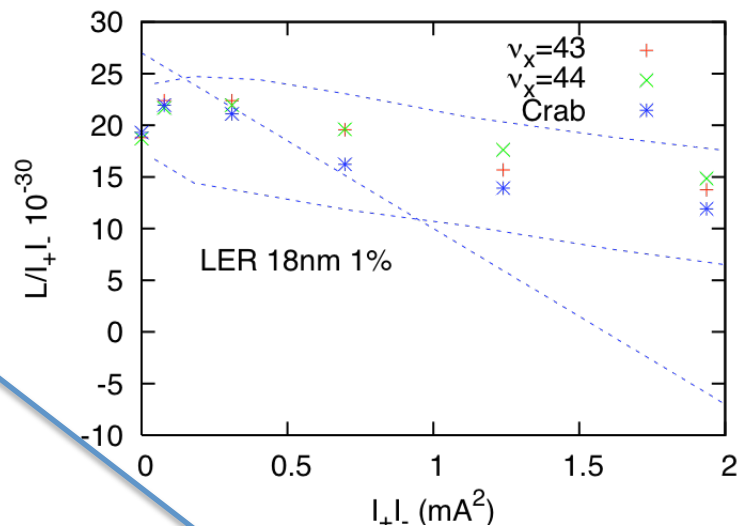
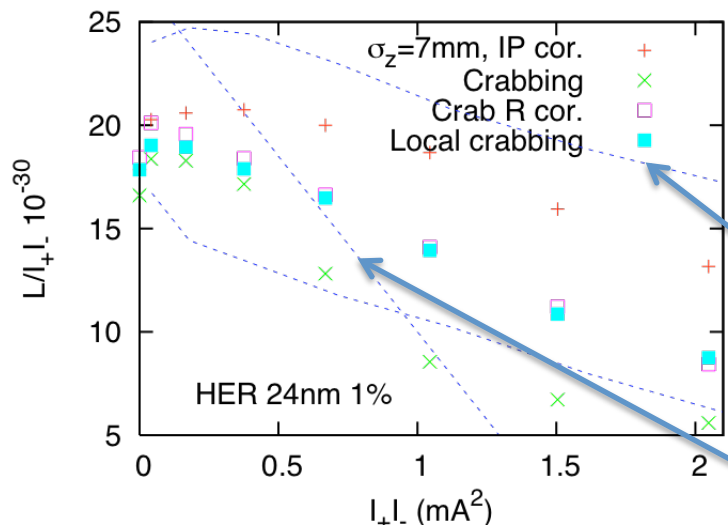
The luminosity degradation can be explained by the feedback noise.

SAD simulation

-

LER weak

HER weak



Strong-strong sim.

Measured lum.

リング内で傾いているビームの効果

Effects of the transverse wake force

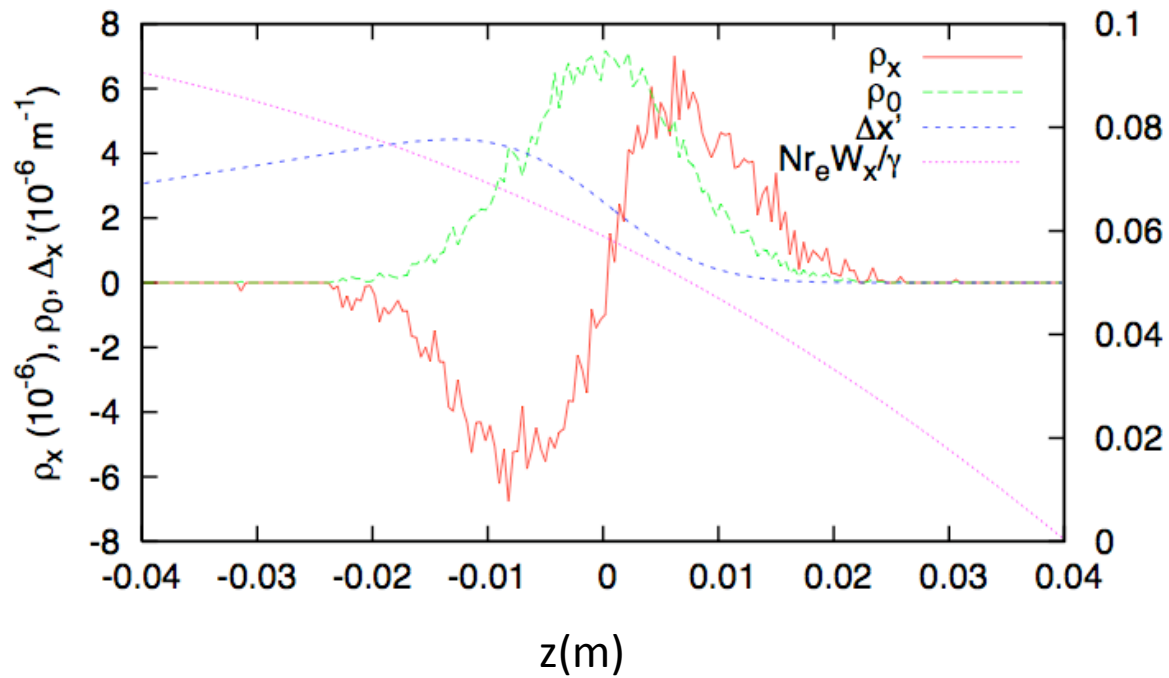
- 横方向Wakeの測定 (家入).

$$\left(\frac{dv_x}{dI}\right)_{I=0} = -\frac{r_e W_0}{8e\gamma\omega_0} \beta$$

$$W_0 = \left(\frac{dv_x}{dI}\right)_{I=0} \frac{8e\gamma\omega_0}{r_e\beta} \quad \left(\frac{dv_x}{dI}\right)_{I=0} = 4A^{-1}$$
$$= 1.7 \times 10^6 \text{ m}^{-2}$$

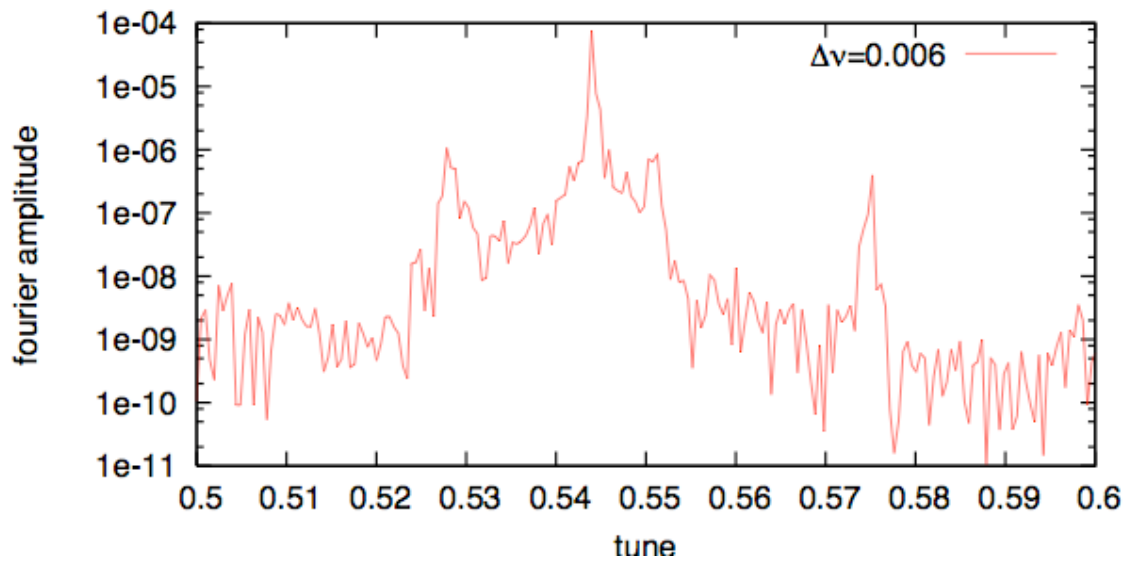
$$\Delta x'_2 = \frac{Nr_e W_0}{\gamma} \sigma_x = 7.5 \times 10^{-6}$$

$$\Delta x'_{crab} = \frac{eV'}{E} \sigma_z = \frac{eV_0}{E} \frac{\omega_{rf} \sigma_z}{c} = 1.25 \times 10^{-4}$$



*wake $z=0\sim-0.08$

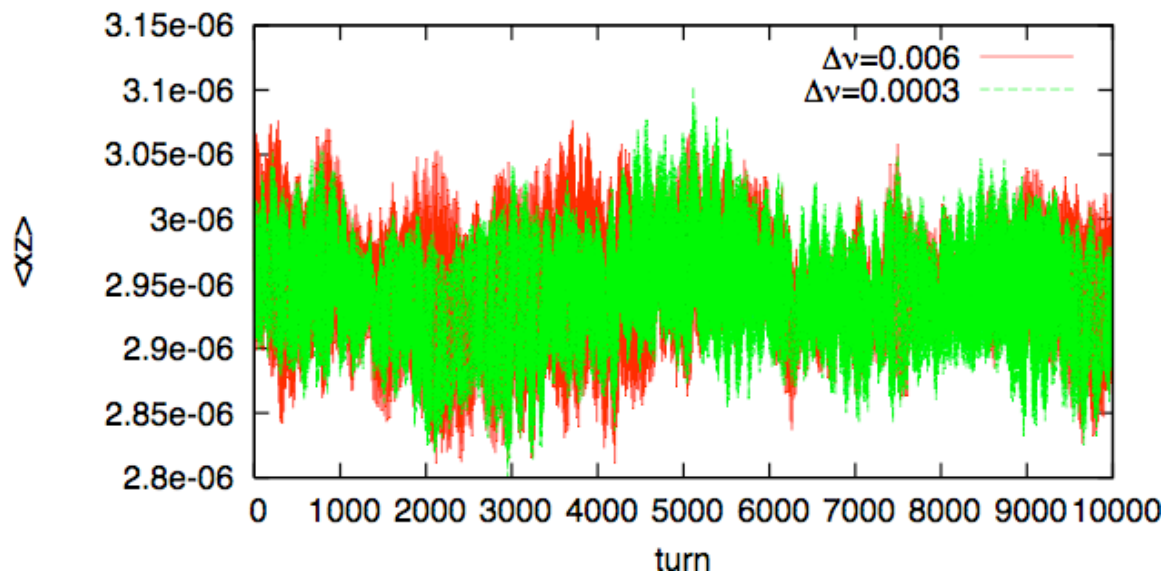
Even $\Delta v=0.006$, the kick is 1/30 of crab kick



$v_x=0.55$

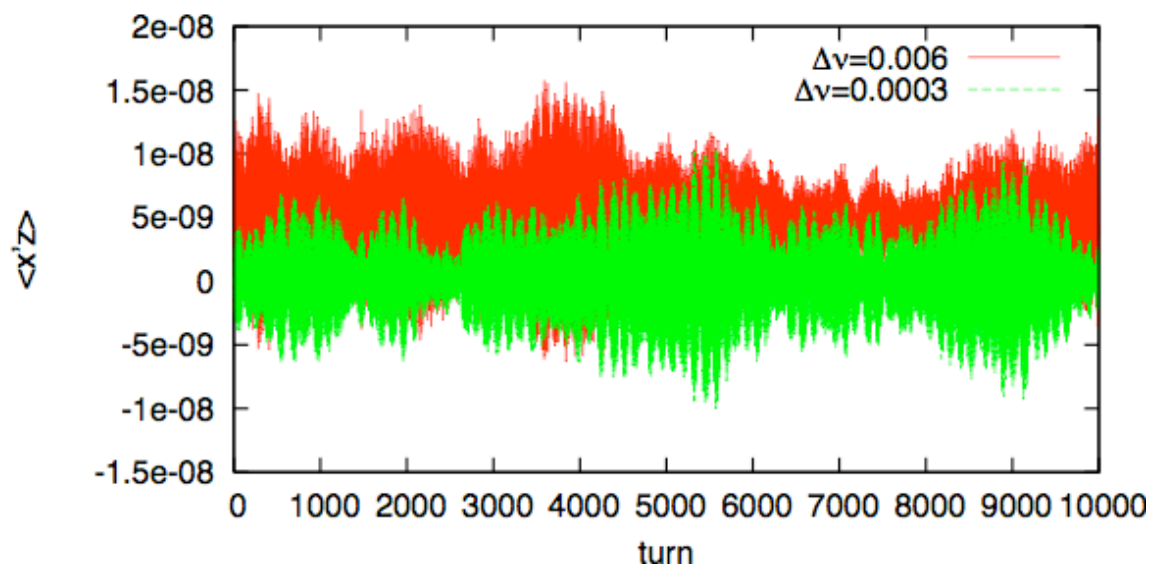
Spectrum by simulation with this condition

$$\Delta x'_{crab} = \frac{eV'}{E} \sigma_z = \frac{eV_0}{E} \frac{\omega_{rf} \sigma_z}{c} = 1.25 \times 10^{-4}$$



Change of equilibrium distribution

- $\langle xz \rangle$ does not change.
- $\langle x'z \rangle$ change a little $\sigma_x, \sigma_z/30$.



The wake effect of x-z tilt beam is weak.

Strong head-tail instability arise before some effect is seen.

まとめ

- ルミノシティはクラブ衝突により2倍になるべきである。
 - 現状はそうはなっていないのは、エラー、ノイズ、知られていない効果があるからである。。
 - Linear optics error は日夜チューニングを重ねているが、ルミノシティ低下の可能性としては依然大きい。
 - ルミノシティ低下と、寿命減少が1つの原因から来るのか、別なのかははっきりしない。
 - 寿命は一般的に言われている、ビームビームハローによるものではない。
 - リングの非線形を評価した。クロマティシティに関連した共鳴が観測されたが、ルミノシティに影響するようには見えない。弱い3次共鳴 ($3\nu_y=n$) も見えている。
 - ノイズは十分小さいと思われる。feedback gainを調整している。
 - SADがある程度ルミノシティ低下を示している。インテンシティゼロでも低下しているので、エミッタンスがずれているのではないか。(要check)
-
- 非線形成分の測定と、ルミノシティの相関を調べる。
 - バンチ長が悪さをしていないかを調べる。
 - 物理アパーチャを広げた効果。
 - 負モーメントムコンパクション。