

KEKB Optics と SAD

SADを用いて何をやりたいか

小磯晴代

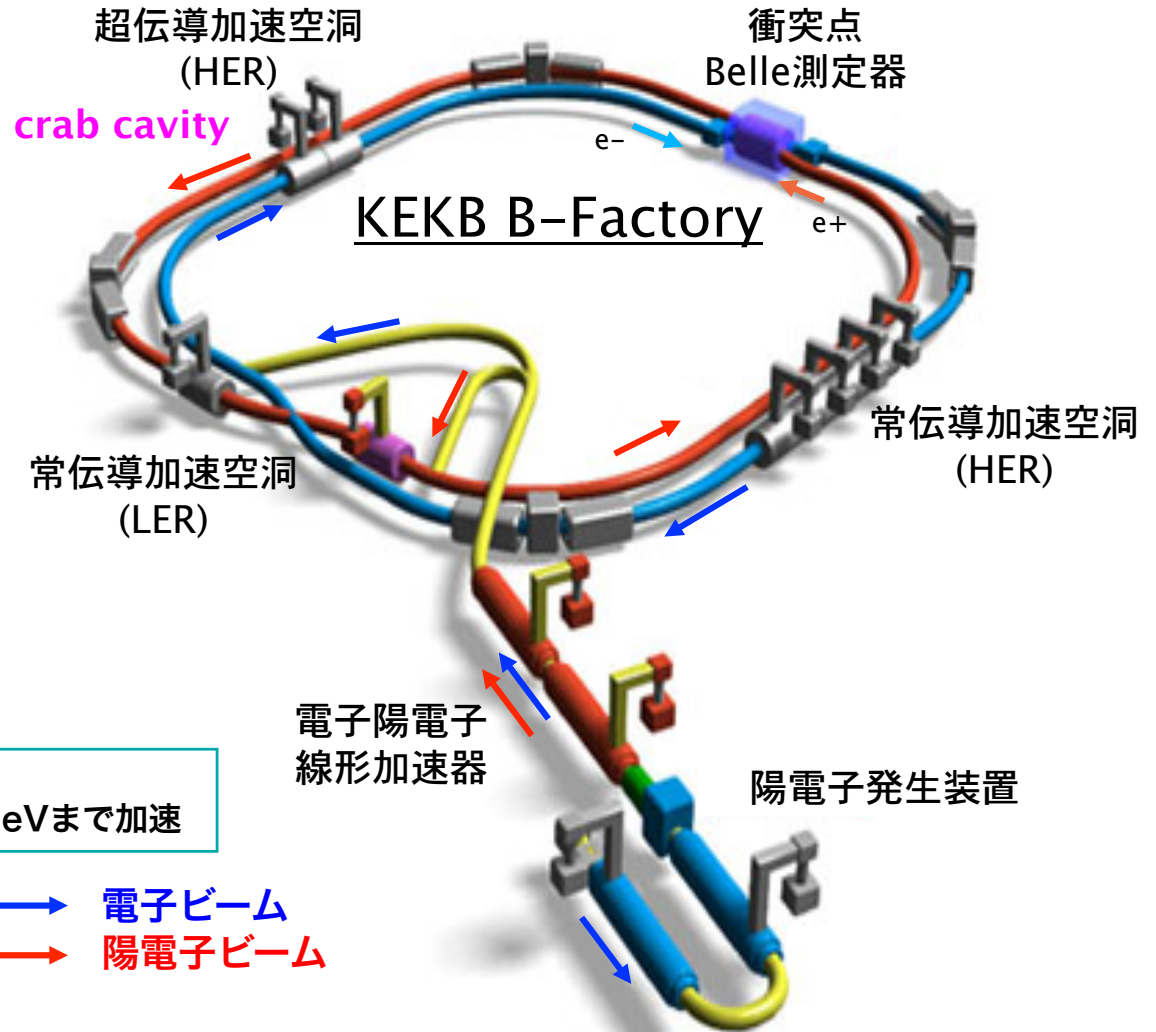
2006.9.6 @ Workshop SAD2006



<http://kekb.jp>

KEKB B-Factory

A Double-Ring Collider Delivering the World's Highest Luminosity



線形加速器で
電子8GeV、陽電子3.5GeVまで加速

→ 電子ビーム
→ 陽電子ビーム

8 GeV電子リング + 3.5GeV陽電子リング + 電子陽電子線形加速器
(HER) (LER) (J-Linac)

Lattice/Opticsへの要求(1)

衝突点垂直 β 関数(mm) : 基準値 10, 設計 8, 現状 6.5(L)/5.9(H),
SuperKEKB では 3

$$L = \frac{\gamma_{\pm}}{2er_e} \left(1 + \frac{\sigma_y^*}{\sigma_x^*} \right) \frac{I_{\pm} \xi_{\pm y}}{\beta_y^*} \left(\frac{R_L}{R_y} \right) \approx \frac{\gamma_{\pm}}{2er_e} \frac{I_{\pm} \xi_{\pm y}}{\beta_y^*} \quad \text{flat beam short bunch}$$

水平エミッタンス(nm) : 基準値 18, 可変範囲10~36, 現状 18(L)/24(H)

$$\xi_{\pm y} = \frac{r_e}{2\pi\gamma_{\pm}} \frac{N_{\mp} \beta_y^*}{\sigma_y^* (\sigma_x^* + \sigma_y^*)} R_y \approx \frac{r_e}{2\pi\gamma_{\pm}} \frac{N_{\mp}}{\epsilon_x} \sqrt{\frac{\beta_y^*}{\kappa \beta_x^*}} R_y$$

ξ_y, β_y^* 一定ならば,

$$\kappa \equiv \epsilon_y / \epsilon_x$$

$$\epsilon_x \propto \frac{N_{\mp}}{\sqrt{\kappa \beta_x^*}}$$

Lattice/Opticsへの要求(2)

運動量圧縮率：バンチ長 4 mmとなるようにする

可変範囲 $-1 \sim +4 \times 10^{-4}$

現状の計算値 4.7 mm, 8 MV (L) / 4.8 mm, 15MV (H)

$$\sigma_z = \frac{c\alpha_p}{\omega_s} \sigma_\delta = \frac{C\alpha_p}{2\pi V_s} \sigma_\delta$$

c: Speed of light
C: Circumference
 σ_δ : Momentum spread

micro β optics で十分な光学口径を持ち、かつ、水平エミッタンスと運動量圧縮率の十分な可変範囲を確保できるラティスを設計せよ。

2.5 π unit cell

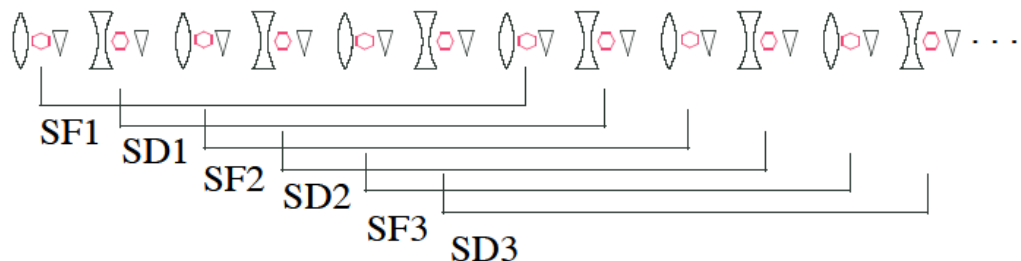
Noninterleaved chromaticity correction

Local chromaticity correction

様々なクロマティシティ補正方式

(1) Interleaved FODO ($\pi/3$)

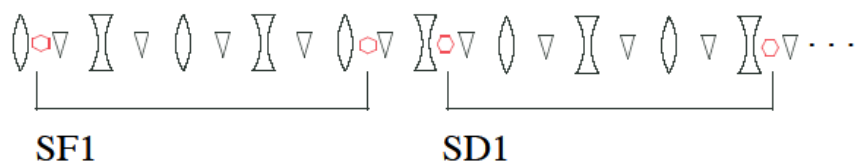
Heavy interference between sextupoles



∇	dipole
O	horizontal focusing quad
X	defocusing quad
O	focusing sext
X	defocusing sext

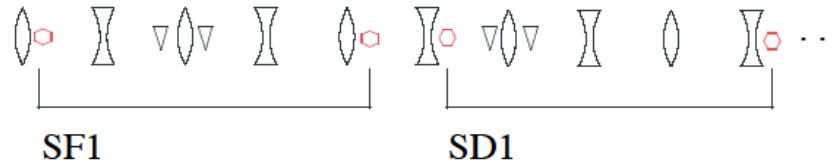
(2) Non-interleaved FODO ($\pi/2$)

High momentum compaction



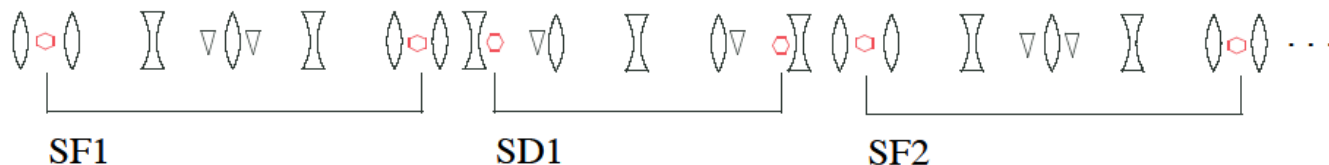
(3) Non-interleaved π -cell

Can't put SFs at $\pi/2$ phases



(4) Non-interleaved 2.5π -cell

Efficient allocation of sexts + flexible emittance/momentum compaction

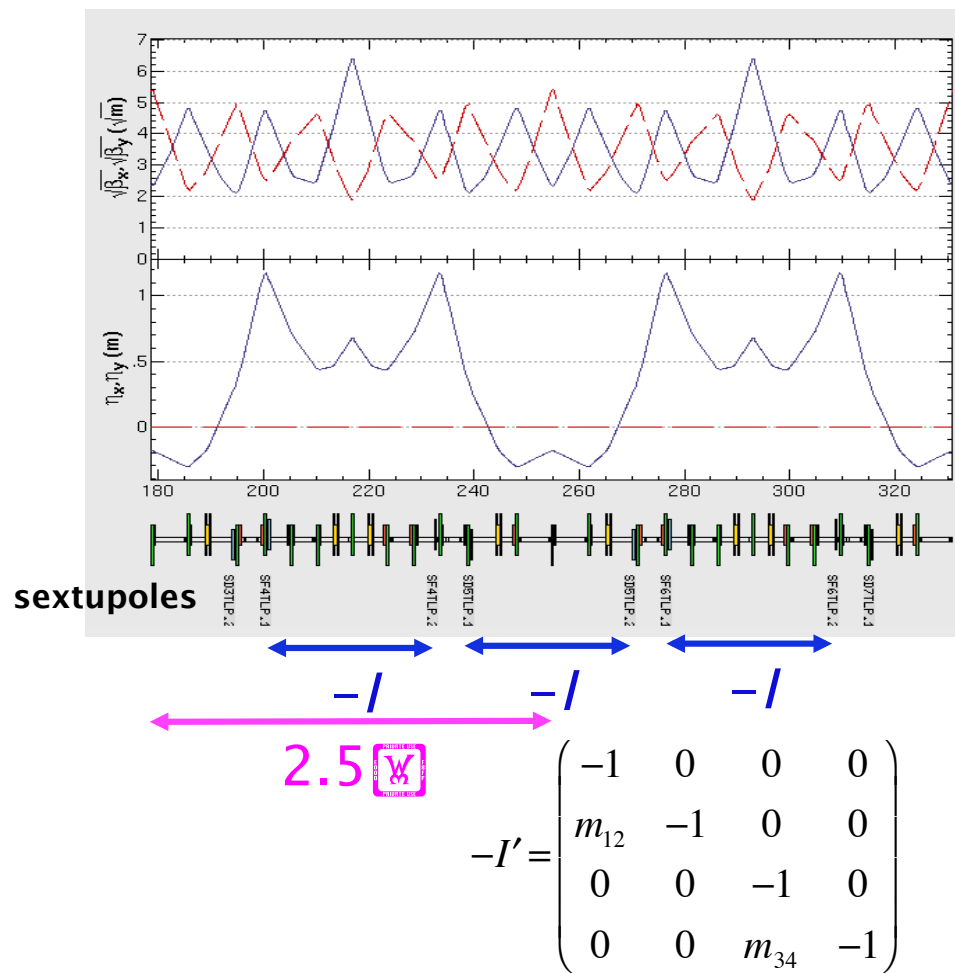


K.Oide

(1)~(4), (5) 2.5π cell+local chromaticity correction,

全てについて、リング全周のラティス設計・6極最適化・光学口径評価をSADを用いて行なった。

Noninterleaved 2.5π cell

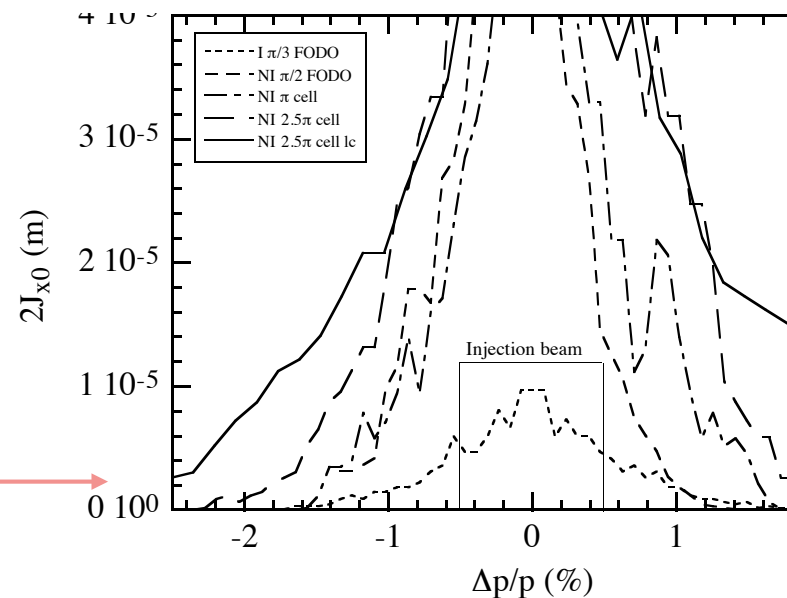


◆6極磁石を2台一組にし、入れ子にならないように配置する。

◆6極ペア間のビーム転送行列が $-I'$ となるようにし、非線形性を相殺する。

◆全周で52(H)/54(L)ペア。

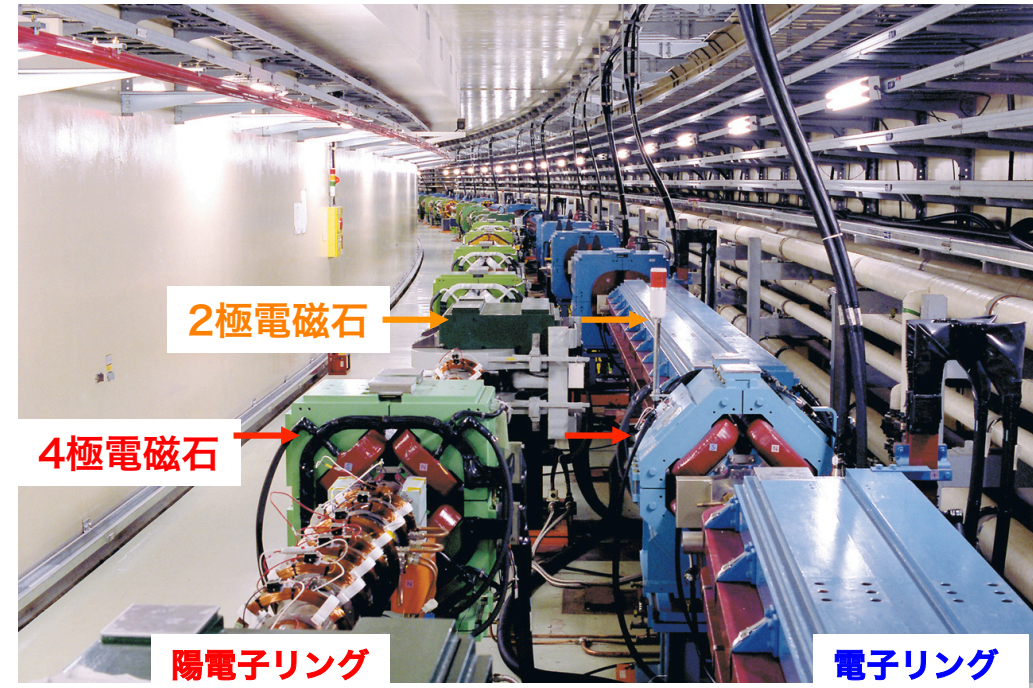
◆周長3km, 幅5mのTRISTANTンネルは 2.5π セルの設置に有利。



◆ 2.5π セルは光学口径が最も広い。

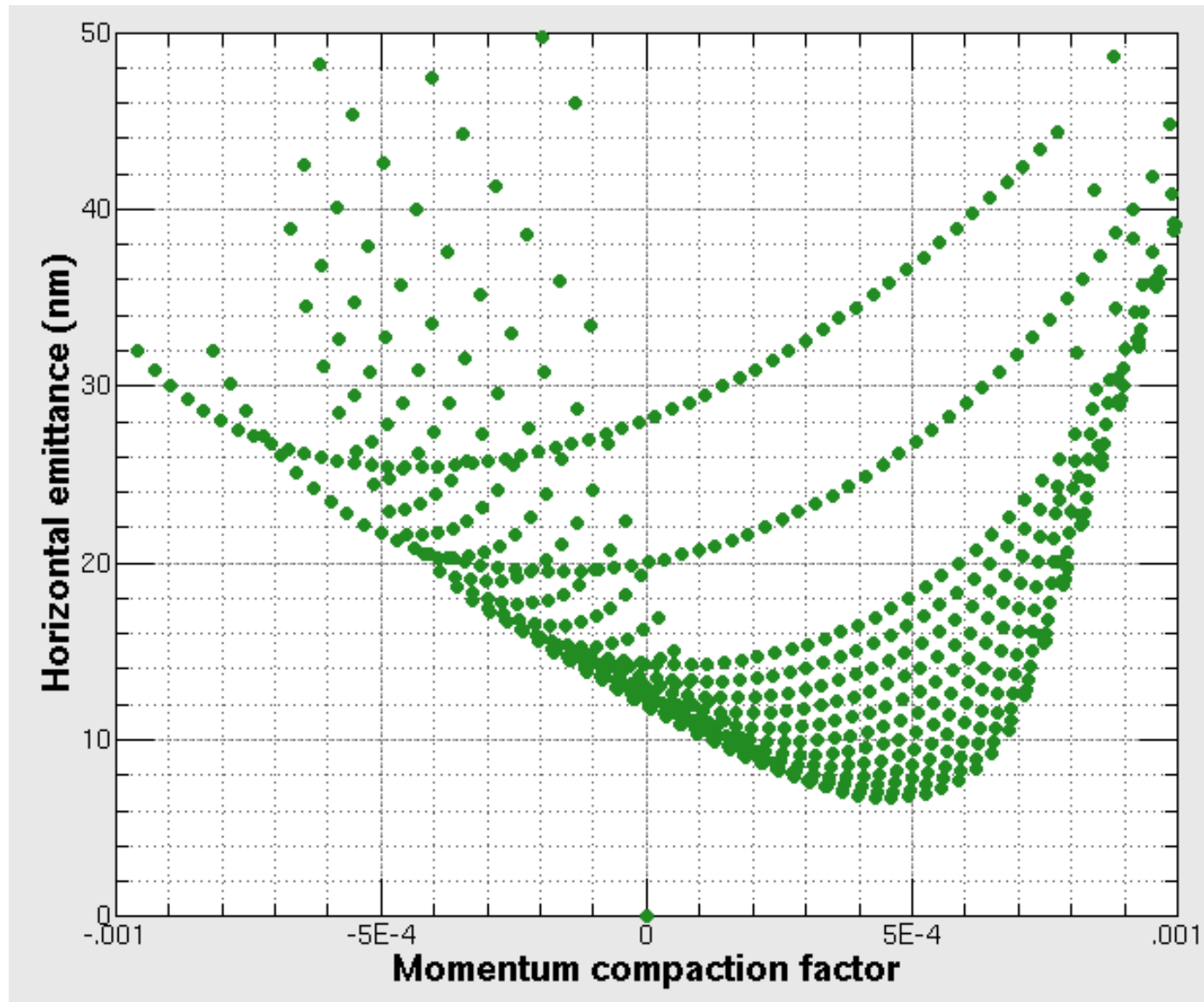
◆水平エミッタンス、運動量圧縮率の自由度が確保できる。

KEKBアーチ部トンネル内



曲線部
2/4/6極磁石が規則的に配置されている

2.5 π cell flexibility



LER 水平エミッタンスと運動量圧縮率の可変範囲 (cellのみ)

SADによるラティス設計

ラティス設計/モデル構築

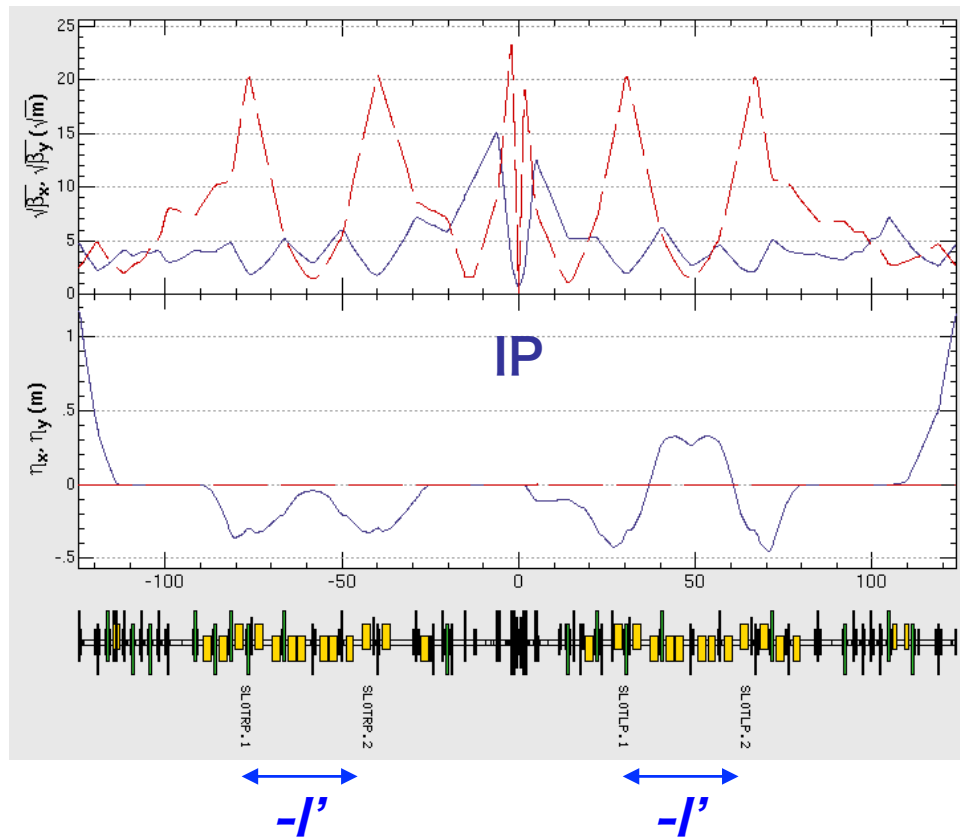
- optical/geometrical matching
 - オプティクスと幾何的条件 (例えば, TRISTANトンネルに2リング横並びに配置) を同時にマッチングできる.
 - FitFunctionを使えば任意の条件を課すことができる.
 - SADのfit/goはなかなか賢い. とにかく解を探してくる.
- coupling element の matching
- solenoid, multipole
 - solenoid と multipole 重ね合わせ.
 - QCS は K0-K15, SK0-SK15 で表されている.

6極最適化/光学口径

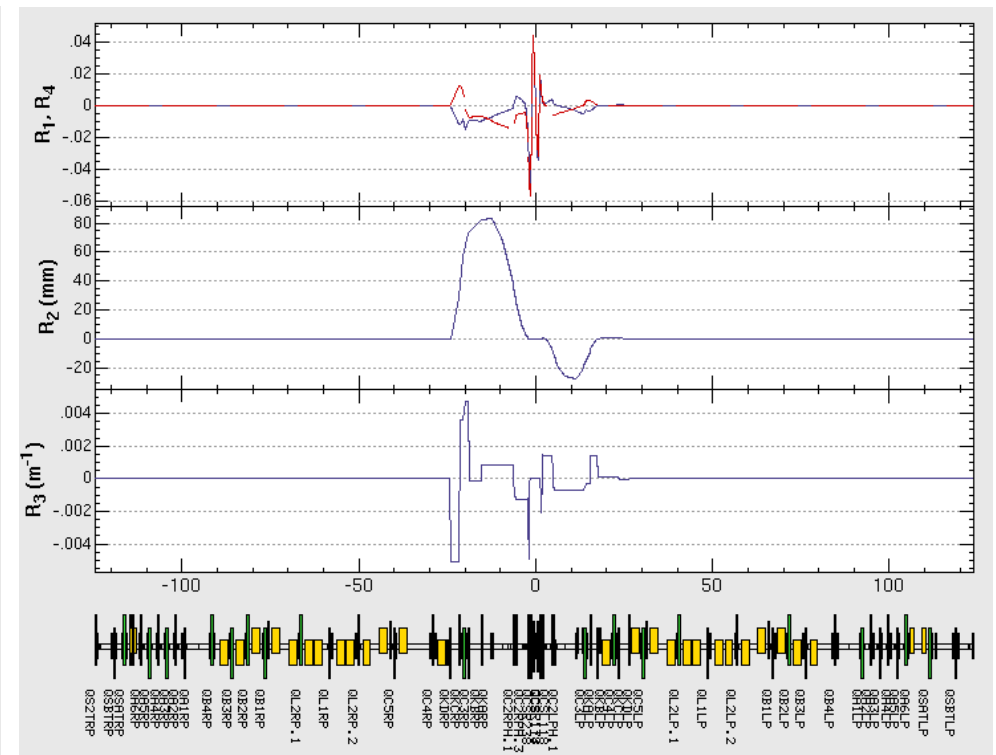
- off-momentum matching 運動量幅 $> \pm 2\%$ (LER)
- finite-amplitude matching 横方向有限振幅を持つ粒子についてのマッチング.
- 6D full-symplectic tracking
- Touschek寿命評価
 - intrabeam, $J_{x,y} + J_z < A$ のアーチャーに対して評価

IR optics (LER)

Local chromaticity correction

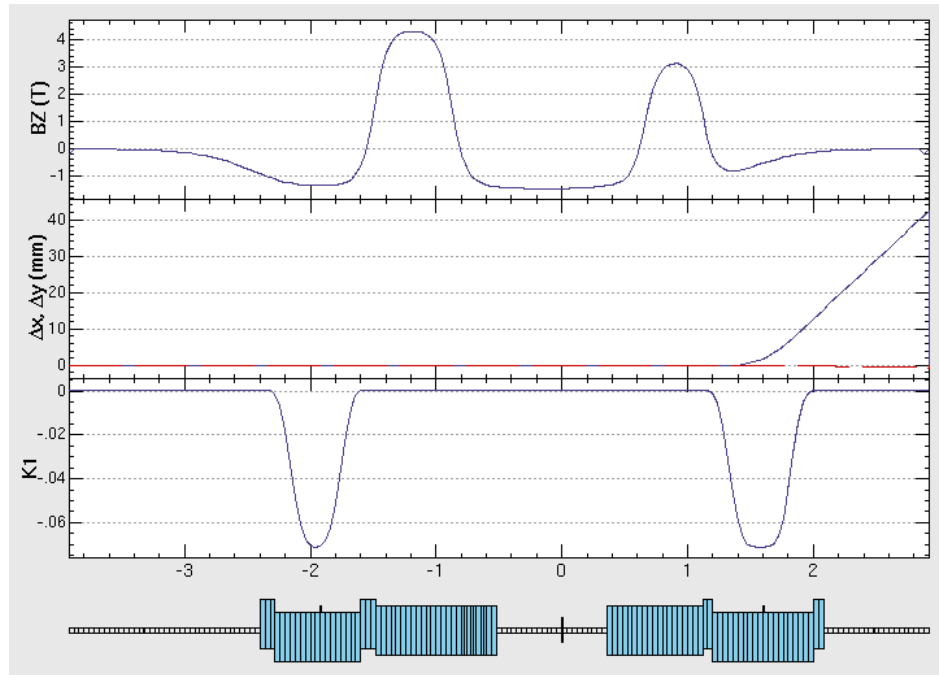


Coupling elements



IR optics (LER)

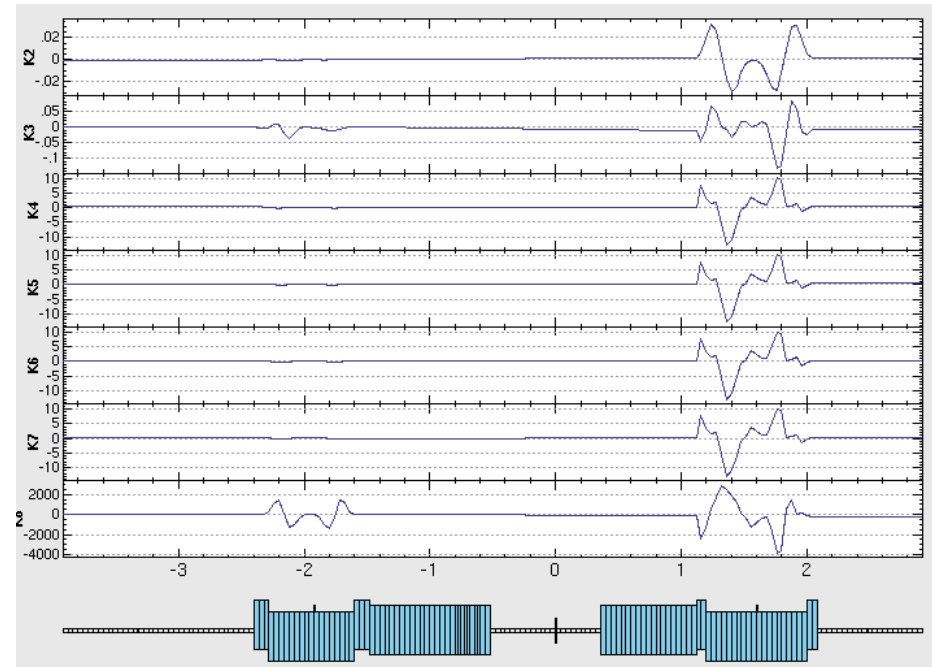
Belle solenoid/軌道/QCS K1



QCSR

QCSL

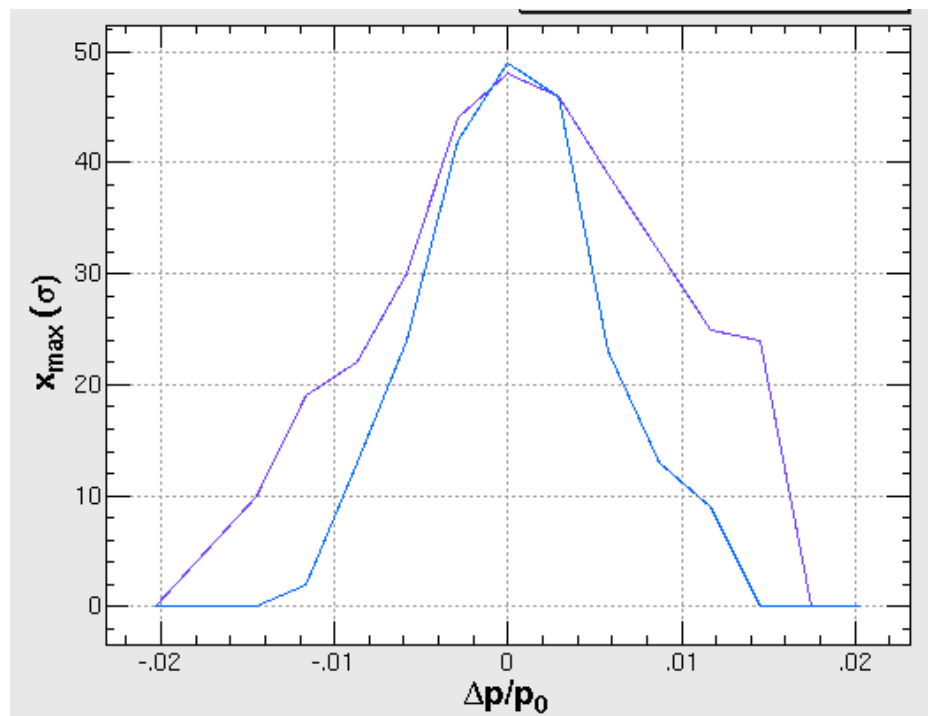
Higher multipoles



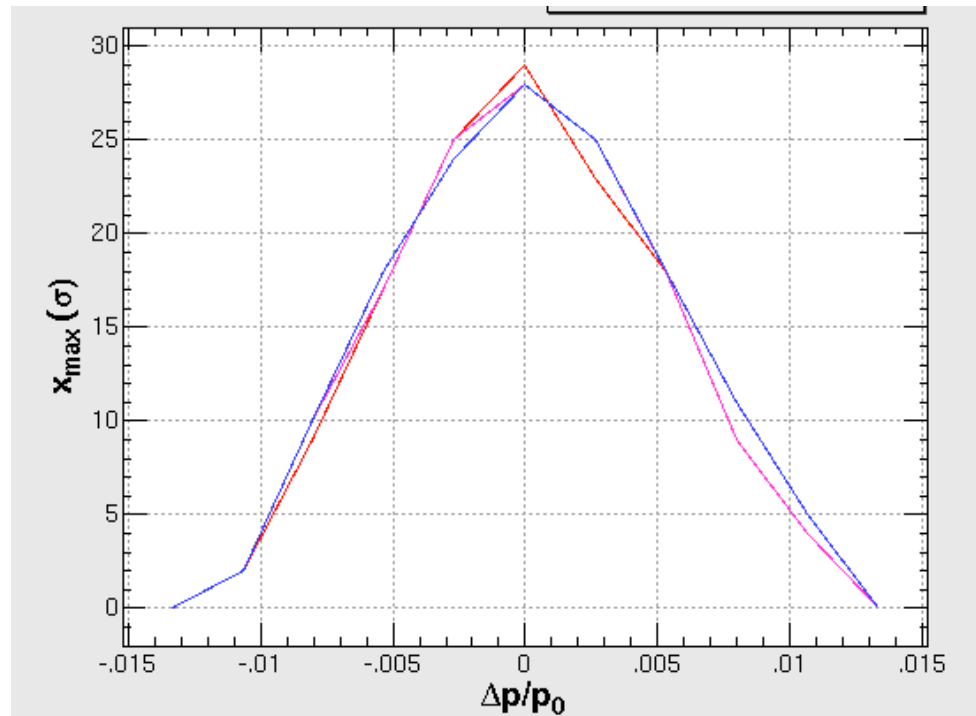
ソレノイド磁場のある領域を4cm毎の区間に分割
1区間内は磁場(B_z , K_0 , K_1 , K_2 - K_{15} , SK_0 - SK_{15})一定
QCSLは35.1mm オフセットしている.

最近のDynamic Aperture

LER DX/DY=50/9.8



HER DX/DY=50/8.6

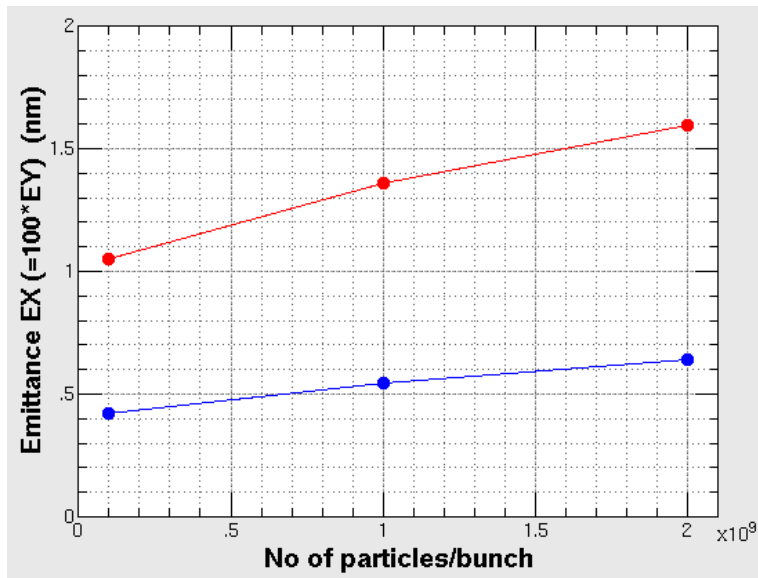
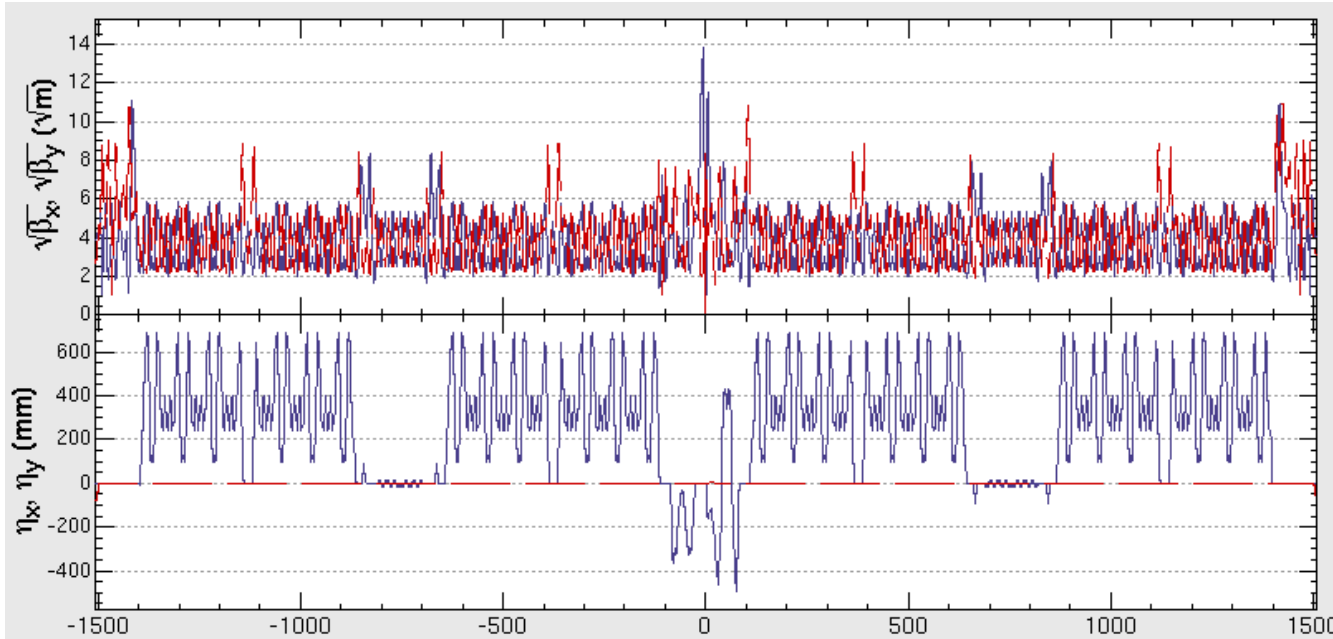


2 or 3種類の6極設定について評価 1000 turns
On-momentum transverse aperture はIR特殊磁石の多重極成分で決まる。
Momentum apertureは6極設定で決まる。

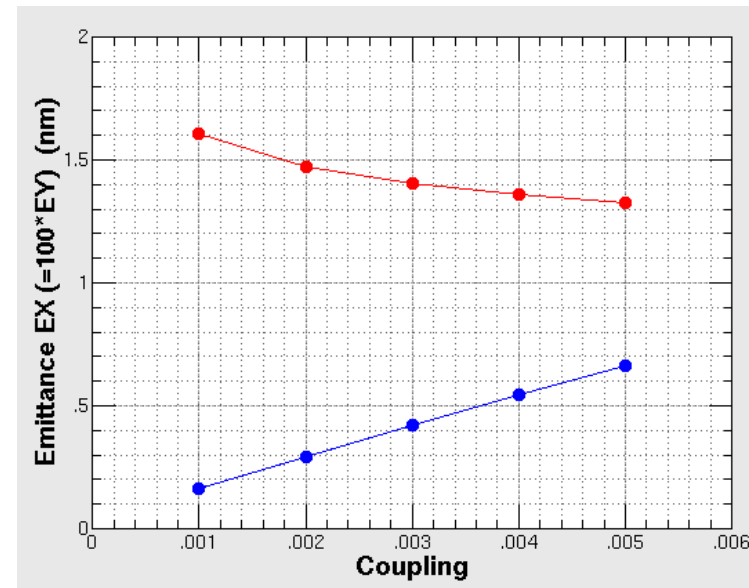
LCスタディ用ラティス

Beam energy = 2.3 GeV
 Vc = 2.224 MV
 Bunch length = 4.61 mm

wiggler 台数は現在と同じ



EX(赤), EY(青)



No. of particles/bunch = 1E9の場合

SADを用いて…

ラティス設計から運転まで

- わかっている物理的効果はできる限り取り入れる。
 - kinematical term, nonlinear Maxwellian fringe, linear fringe, etc
 - ソレノイド磁場分布, BEND F1, QUAD F1
- 磁場測定/磁場計算の結果を取り入れて、何回でも手直しする。
 - 有効長, 多重極磁場(IR特殊磁石)
- 実際のビーム運転に使用できるオンラインモデルを作る。
 - オプティクス補正を行い, 現実のマシンの応答(例えば軌道)をモデルに近づける。
- ルミノシティ向上につながる可能性を徹底的に追及する。
 - 膨大なパラメタ空間が未探索, 例えば水平エミッタンス。

課題

- off-momentum optics 補正
- 6極磁場の効果的な最適化法
-

MAD→SAD変換

現状

- 標準的なエレメントの標準的な記述ならば、機械的に変換できる。
- エレメント、ビームラインの間接的な定義には対応していない。
- とにかく動くSAD台本を作ることが先決なので、毎回個別に対処している。
 - 時にはMAD台本の方を手直しする。
- これまでにBEPCII, IL Damping Ring, CLIC Final Focus, の台本を変換した。

今後

- 取り扱うビームライン/エレメントを全て明示的に書き出してあれば、変換は機械的にできる。
- SAD側に対応するエレメントがない場合もある。
- 双方に対応するものがある場合は、逆変換は簡単に書ける。