
Merger（合流部）の設計について

羽島良一（JAEA－ERL）

ビームダイナミクスWG

2006年8月24日

設計で考慮すべき点

- 合流エネルギー
 - ビーム質の維持
 - 周回中のエネルギー損失、広がりの考慮
- 幾何学形状
 - 3-dipole、2-step staircase、zig-zag、、、
- 設計計算コード
 - space charge、CSR、、
- 複数化？

合流エネルギー

ERLのエネルギー収支

$$E_{inj} + (E_{acc} - E_{dec}) = E_{loss} + E_{dump}$$

入射器が負うべき部分

主加速器が負うべき部分

周回中のロス

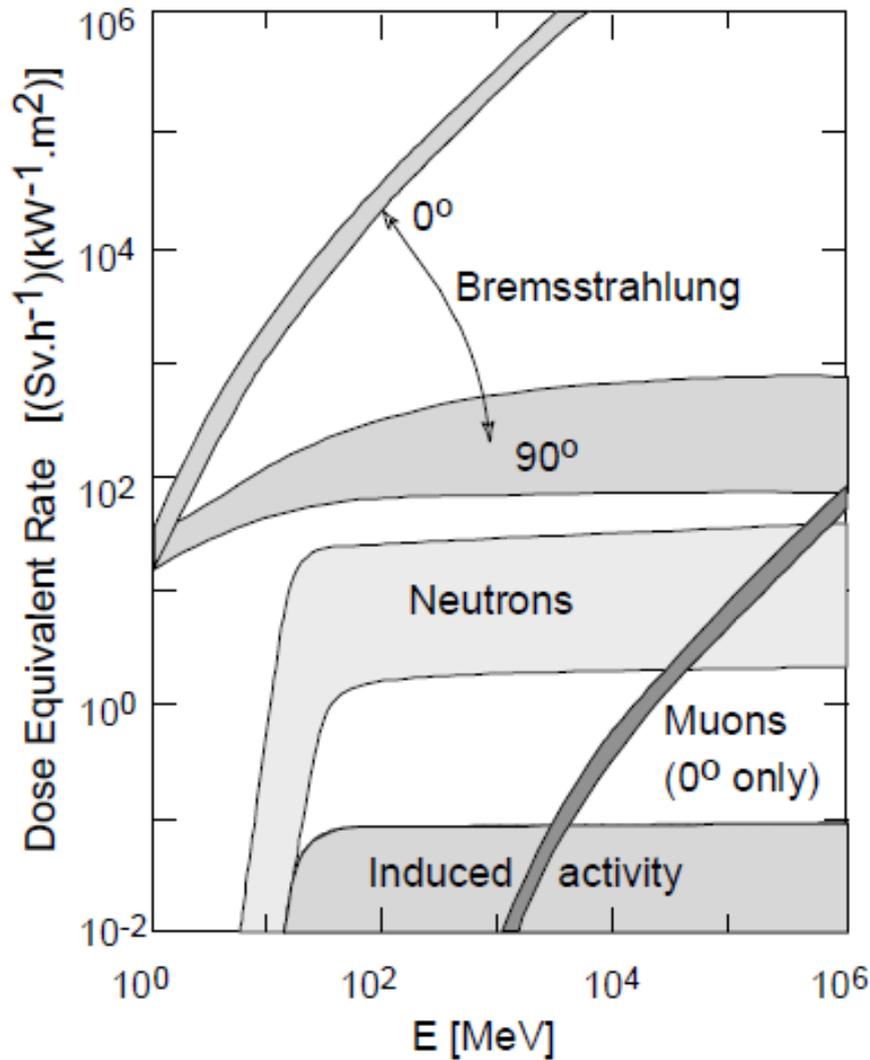
ダンプエネルギー

$$E_{dump} < 10\text{MeV} \quad \text{— 中性子発生を避けるため}$$

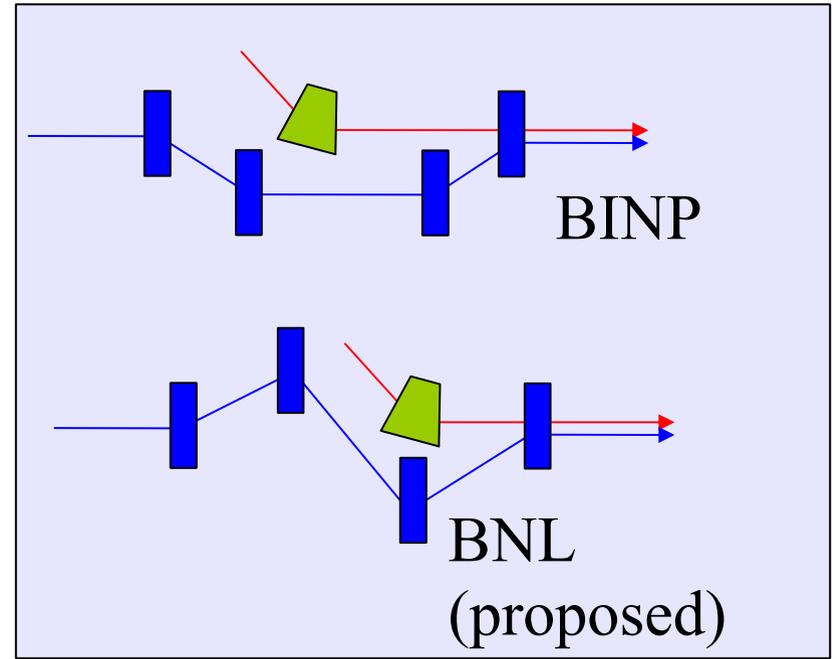
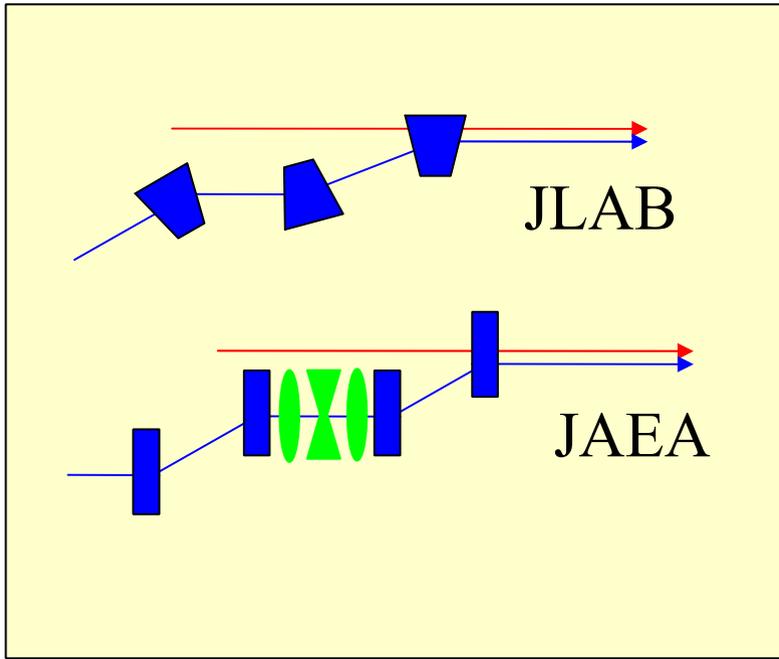
$$\Delta E < E_{dump} \quad \text{— 放射光発生によるエネルギー広がり}$$

$\Delta E \sim 5\text{-}10\text{MeV} (?)$

電子ビームによる放射線発生



合流部の構成



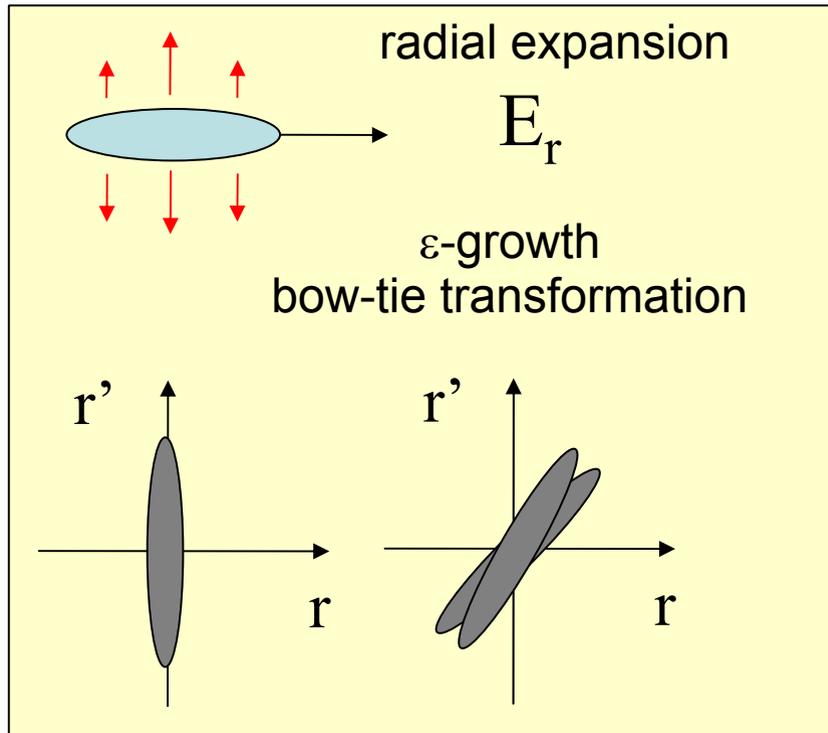
"slide injection"

周回部の設計自由度が大きい

"in-line injection"

周回部の偏向磁石位置に
制約

横方向空間電荷力によるエミッタンス増大

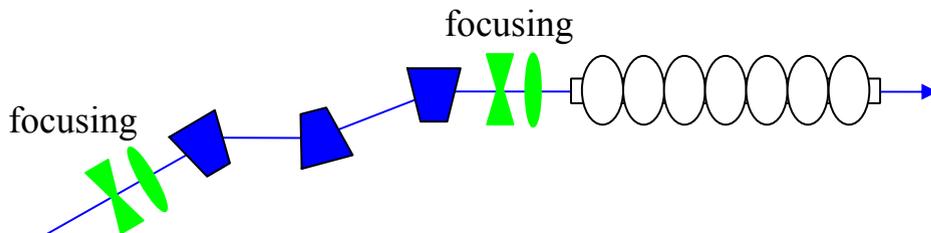


$$\sigma'' - \frac{(I / 2I_0)}{\sigma\beta^3\gamma^3} - \frac{\epsilon_n^2}{\sigma^3\beta^2\gamma^2} = 0$$

in the limit of zero slice emittance

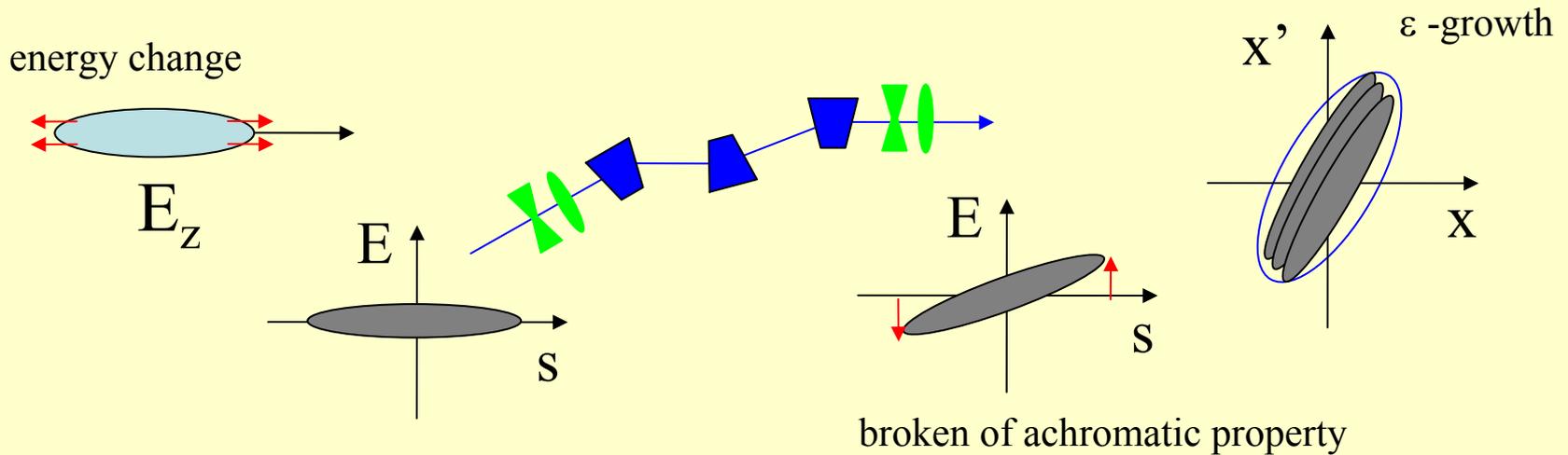
$$\epsilon_n \sim 0$$

$$\Delta\epsilon_n \sim \delta\sigma' \sigma\gamma \propto \gamma^{-2}$$



emittance compensation
by appropriate focusing

縦方向空間電荷力によるエミッタンス増大



see for example, [B.E. Carlsten et al., IEEE QE 27, 2580 \(1991\)](#).

assuming steady-state E_z $\Delta E / E = \delta = \delta_0 + \kappa(s - s_0)$

We can track bunch slice motion by linear matrix.

$$\epsilon^2 = (\epsilon_0 \beta_x + D^2)(\epsilon_0 \gamma_x + D'^2) - (-\epsilon_0 \alpha_x + DD')^2$$

$$(D, D') = \Delta \kappa_{rms} (\zeta_x, \zeta_x')$$

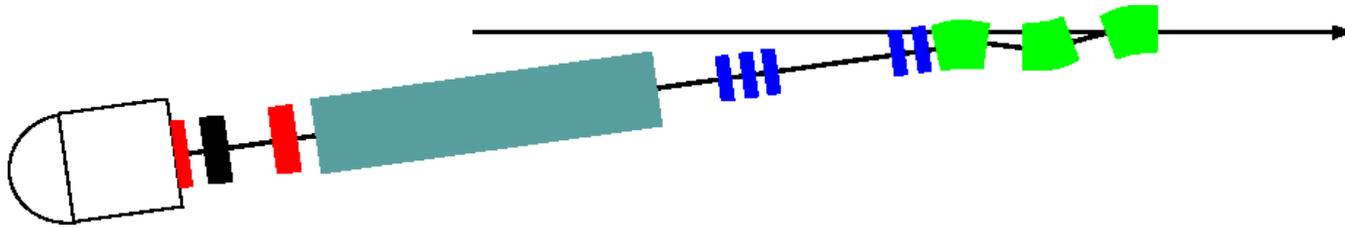
$$E_z \propto \gamma^{-1}$$

$$\Delta E / E \propto \gamma^{-2}$$

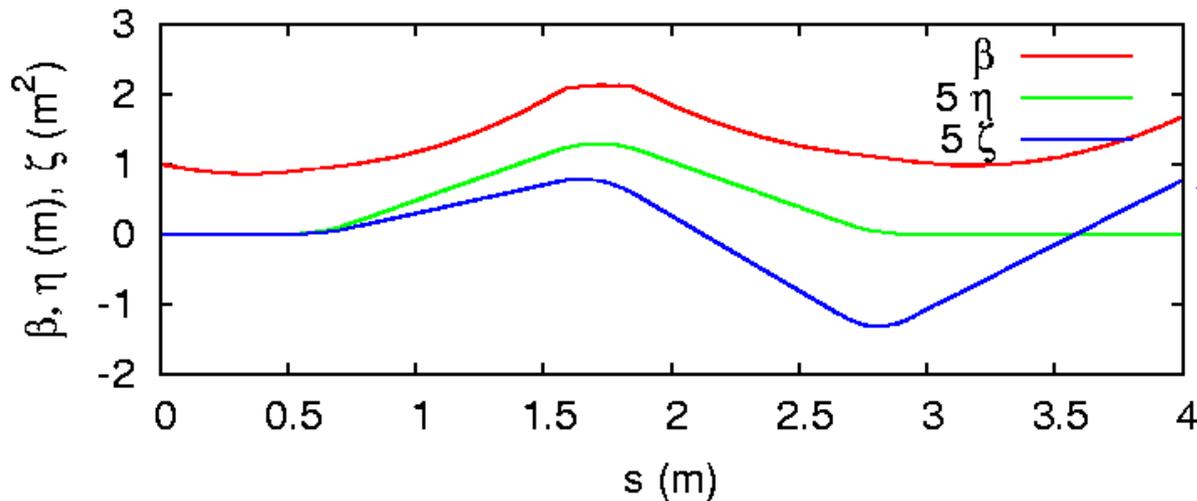
similar to the CSR case

$$\Delta \epsilon_n \propto \gamma^{-3/2}$$

3-dipole merger



縦方向空間電荷による分散関数 (ζ)



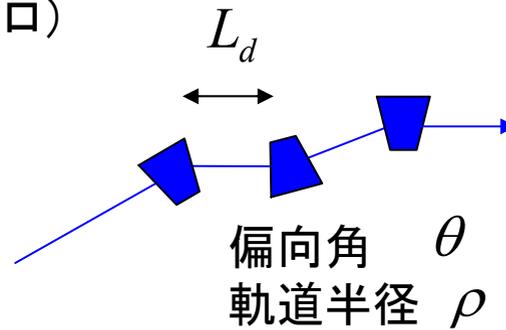
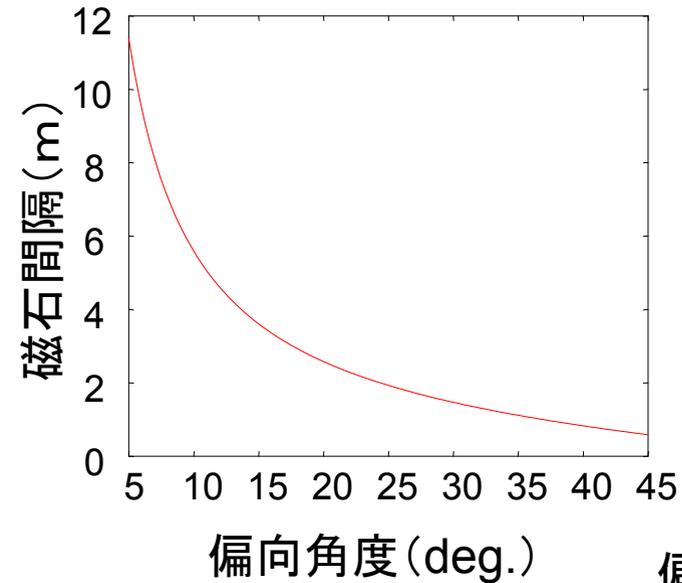
エミッタンス増大

ζ の残留成分を小さくするには、なるべく浅い角度、かつ、合流部の全長が短くなるようにするのがよい。

3-dipole merger の設計

アクロマティックになる条件(エッジ角=ゼロ)

$$L_d / \rho = \cot \theta - \tan(\theta / 2)$$



偏向角度を小さくすると、磁石間隔が大きくなる。



偏向角度を非対称にし、エッジ角をつけることで解決

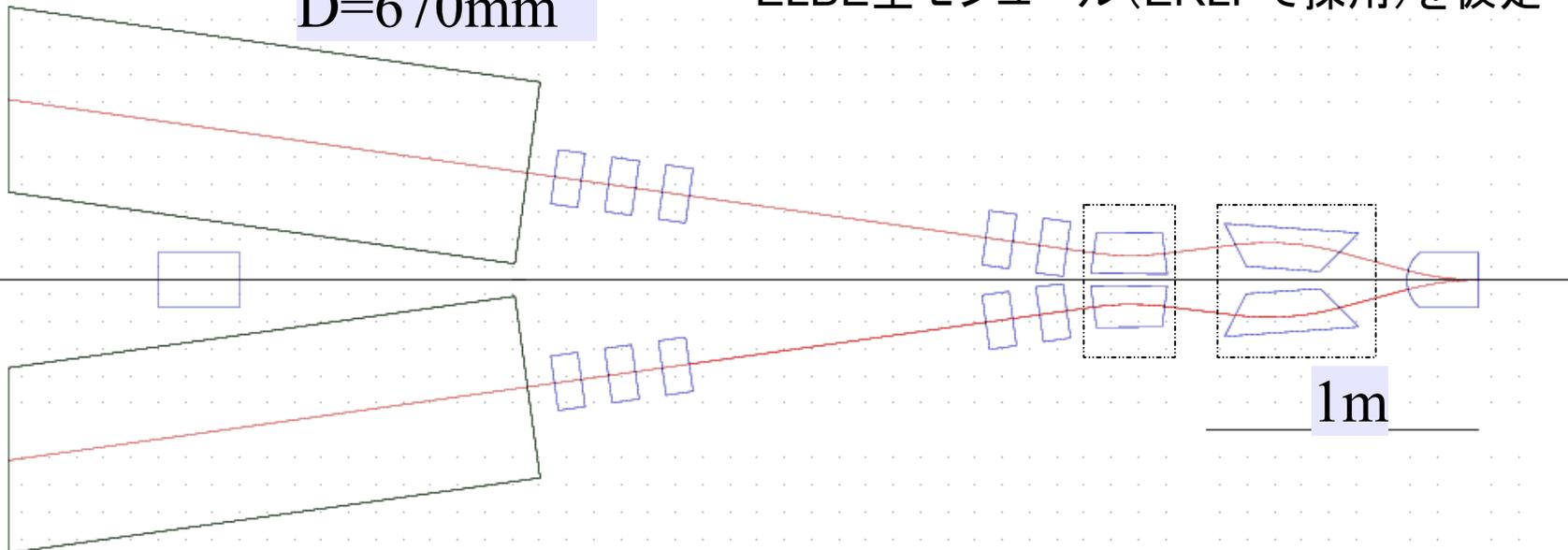
1. 機器の干渉がない範囲で、できるだけ浅い角度で入射
2. 磁石間隔が短くなるように、偏向角度の組み合わせ、エッジ角を調整
3. エミッタンスが小さくなるように前後のQの値を調整
4. 周回軌道がアクロマティックになるように、高エネルギー側上流に偏向磁石を追加

設計例

2系統の入射器を切り替えて使用できる設計例

Cryomodule
D=670mm

→ ELBE型モジュール(ERLPで採用)を仮定



軌道半径 1m

偏向角度 $15^\circ - 22^\circ + 15^\circ = 8^\circ$

エッジ角 中央のみ -20°

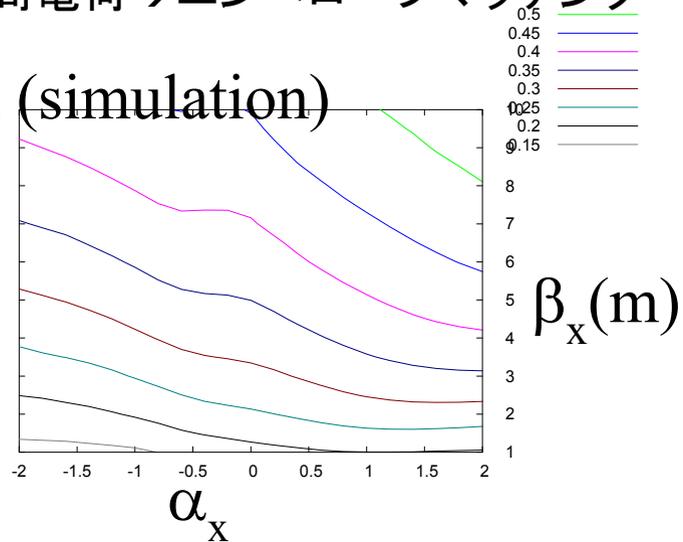
磁石間隔 0.316m

3-dipole 合流部のエミッタンス増大

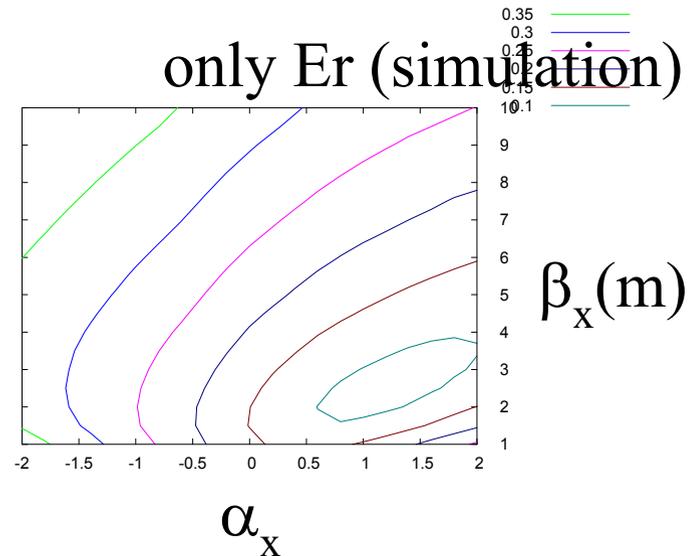
横方向空間電荷 → 四極磁石による適切な収束
 縦方向空間電荷 → エンベロープマッチング

合流部入り口での α 、 β を調整

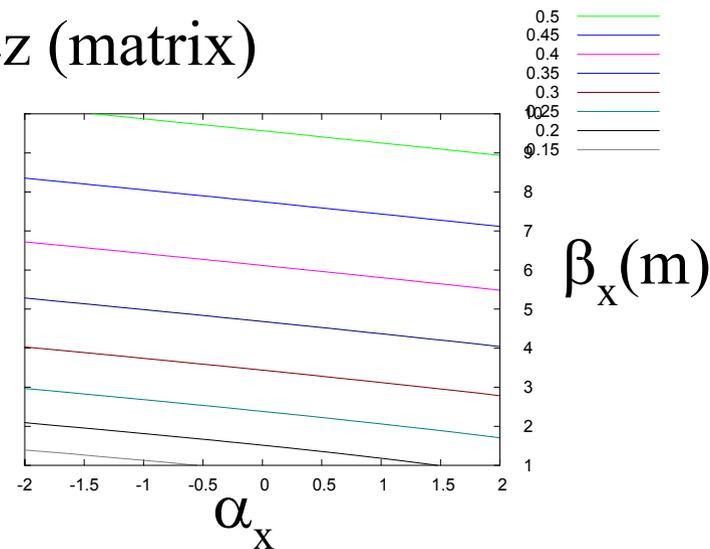
only Ez (simulation)



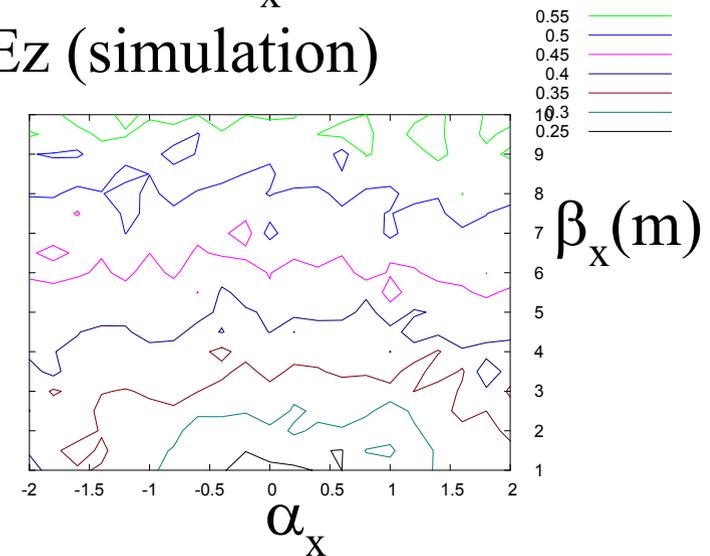
only Er (simulation)



only Ez (matrix)



Er+Ez (simulation)



2系統入射器の同時利用

組み合わせ例

低エミッタンス、大電流 = high-coherence mode ERL

大電荷、低繰り返し = ultrafast mode ERL or XFEL

2系統の入射エネルギーを変えておけば、同時利用可能。

