

cERLのオプティクスについて

ビームダイナミクスWG

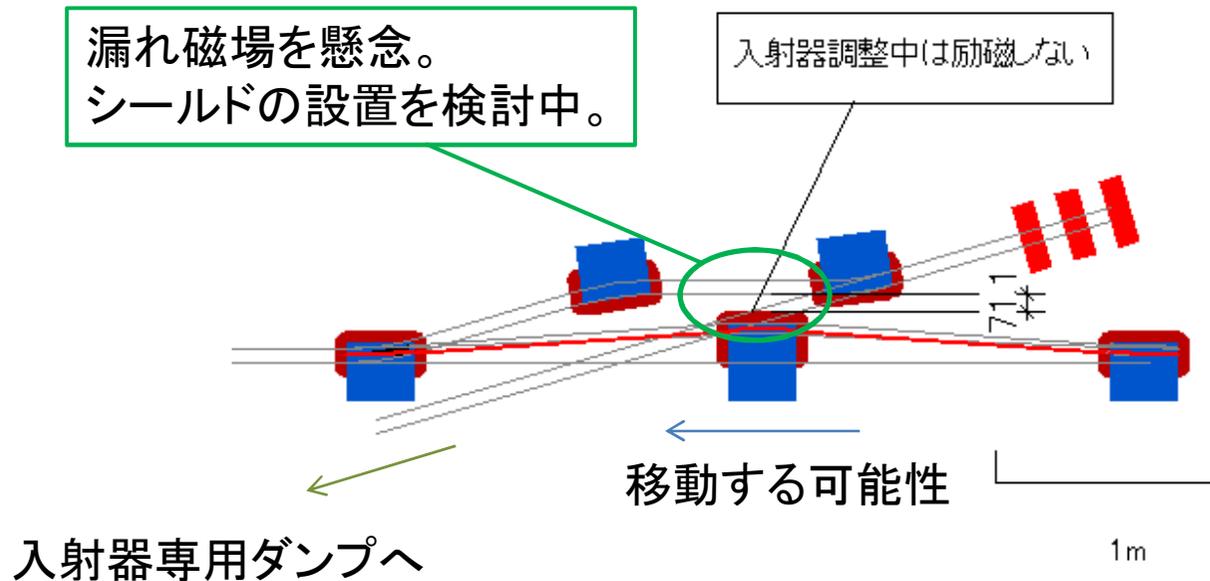
2月2日 14:00 ~

3号館5階会議室

島田 美帆

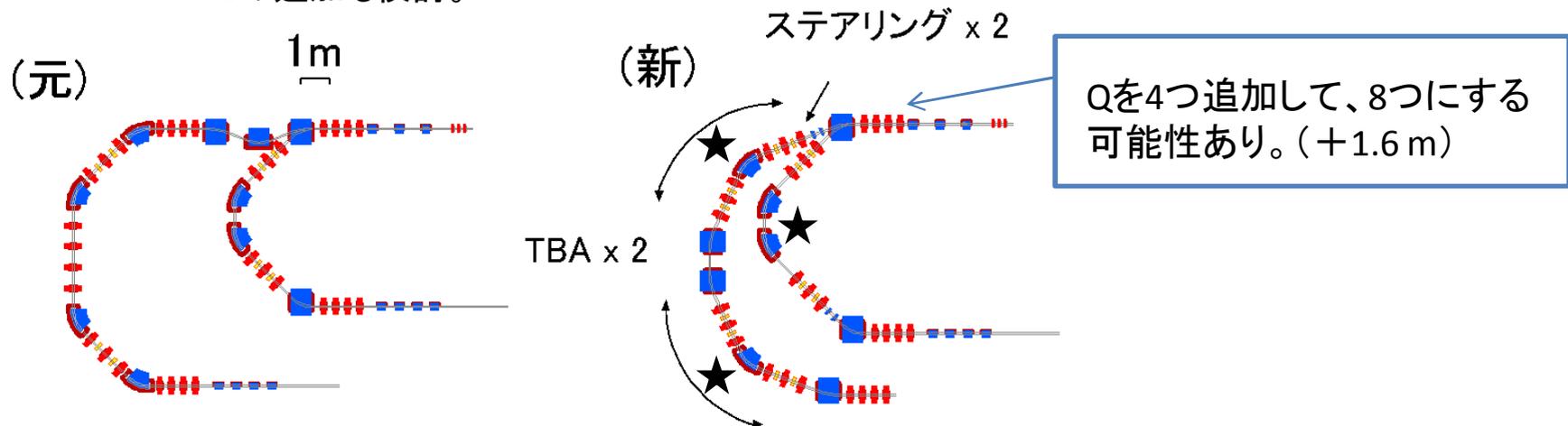
入射合流部

- エネルギー比1:4 (10MeV:40MeV)を合流の検討を開始した。
 - シケインのバンプの高さはおよそ100mm。
 - 中央のベンドの漏れ磁場が数Gaussになる見込み。今後、入射合流部の5~10MeVビームに対する影響を検討。
 - シールドを挿入する場合は入射器ダンプ誘導路を避ける必要がある。
 - 中央の磁石を動かす可能性がある。
 - 入射器ダンプ誘導路の形状を再検討する可能性もある。



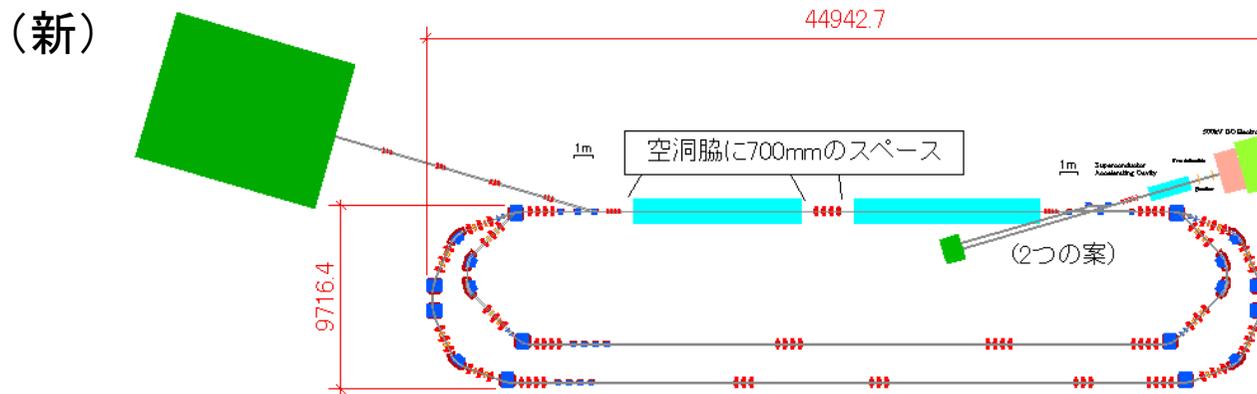
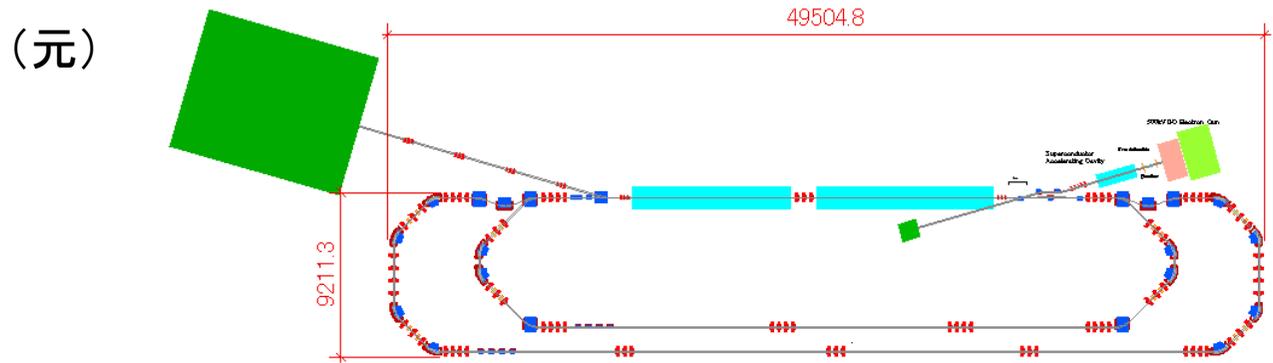
外側ループラティス案

- 分岐シケインの代わりにステアリングを2つ配置して中心軌道を補正
 - エネルギー比1:2で最適化してベンドを配置
 - ステアリングは小さいもので十分
 - 仮に100mmのサイズを確保している。200mの間隔で配置。
 - TBAが2つ入る。
 - 直線部に入るまでに位相進みによるエミッタンス増加抑制が可能(外側ループ中心のBはrectangularにする必要がある。)
 - オプティクスを滑らかにするために、★はセクターとしている。
 - 5GeV-ERLのラティスに近い。
 - 外側ループの分散関数フリーの部分でQの数が減った。
 - 外側・内側ループの入口の β 関数が独立に決められない。
 - 加速直線部で一番高いエネルギーのビームがずれたとき、外側ループ内の直線部のQで調整しなくてはならない。
 - Qの追加も検討。

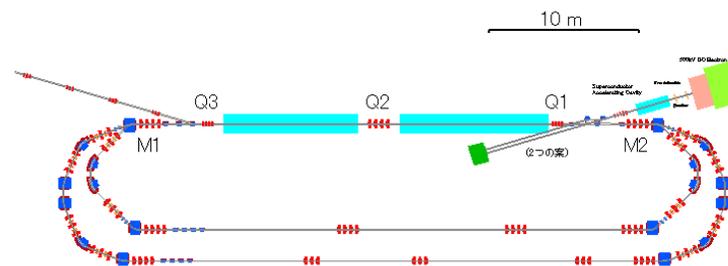


新しい周回部のラティスの面積

- 元のサイズ 49.5(東西) x 9.2(南北) [m]
- 新サイズ 44.9(東西) x 9.7(南北) [m]
空洞の脇の200mmのスペースに500mmを追加。
南北方向に0.5m伸びるが、東西方向に5m近く縮小する。



オプティクス設計方針1



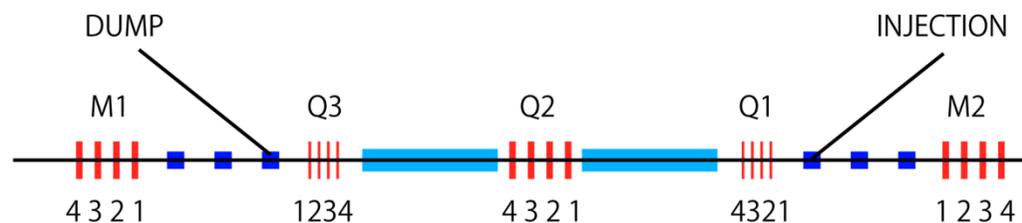
最初は、左右対称のオプティクスを考える。

1. 各コンポーネントの長さも左右対称とする。
2. ①、②、③を満たす。

1と2を満たせば、自動的に左右対称のオプティクスになる。

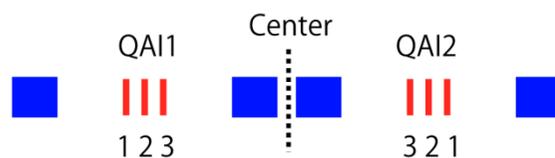
→エネルギー回収後のオプティクスを気にせず、加速だけで最適化すればよい。

直線部



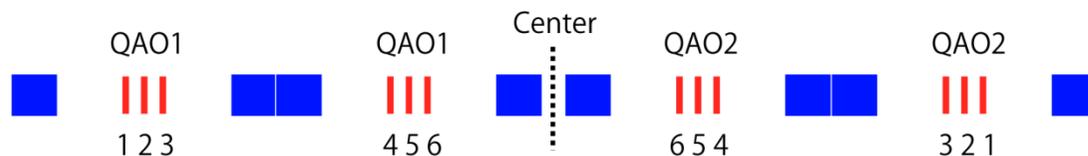
① $M2i = M1i, \quad Q1i = Q3i, \quad (i = 1,2,3,4), \quad Q21 = Q24, \quad Q22 = Q23$

内側ループ



② $QAI1i = QAI2i, \quad (i = 1,2,3)$
 $\alpha_x, \alpha_y, \eta' = 0 \quad \text{at center}$

外側ループ

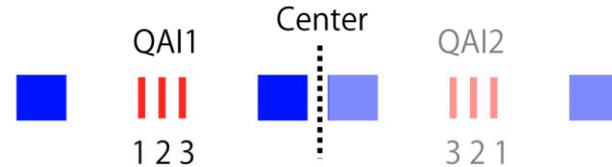


③ $QAO1i = QAO2i, \quad (i = 1,2,3,4,5,6), \quad \alpha_x, \alpha_y, \eta' = 0 \quad \text{at center}$

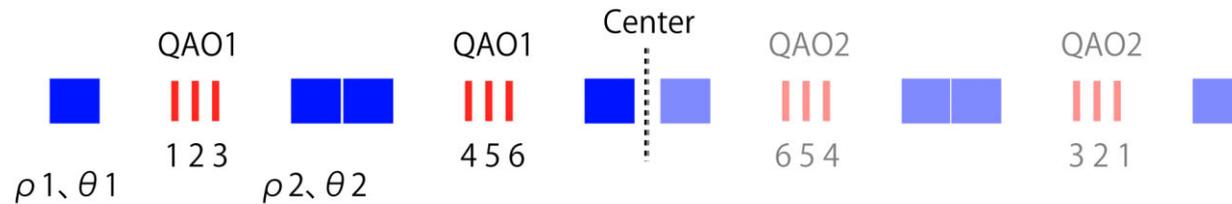
オプティクス設計方針2 (アイソクロナス・アクロマットのTBA)

どちらのループもオプティクスは左右対称。前半半分のみ計算する。

内側ループ



外側ループ 簡単化のため、さらに $QAO11 = QAO16$, $QAO12 = QAO15$, $QAO13 = QAO14$ という条件を加えた。



曲率半径、曲げ角がバンドによって異なる場合の転送行列は、次の通り。

$$M_t = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_0 & \frac{\Phi_1 - a_0 \rho_1 (1 - \cos \theta_1)}{\sin \theta_1} \\ \frac{a_0 \Phi_2 - \sin \theta_1}{\Phi_1} & \frac{1 + m_{12}(a, \theta_0) m_{21}(a, \theta_0)}{a} \end{pmatrix}$$

$$\Phi_1 \equiv \rho_2 \left(-\frac{\theta_1 + \theta_2}{\tan \theta_2} + \frac{\sin \theta_1}{\tan \theta_2} + \frac{R_{56}}{\tan \theta_2} + 1 \right)$$

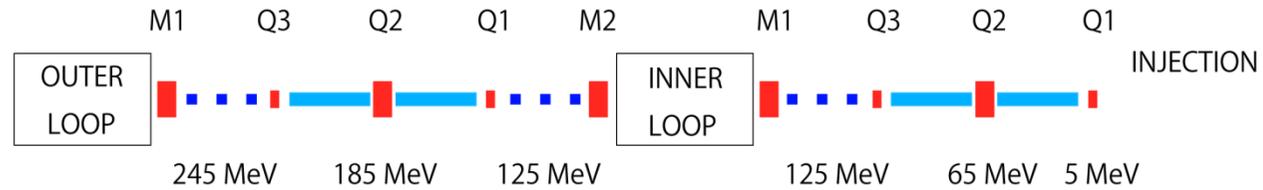
$$\Phi_2 \equiv -(\theta_1 + \theta_2) + \sin \theta_1 + R_{56}$$

この転送行列ではCenterのドリフトを無視しているため、修正が必要。

オプティクス設計方針3（直線部）

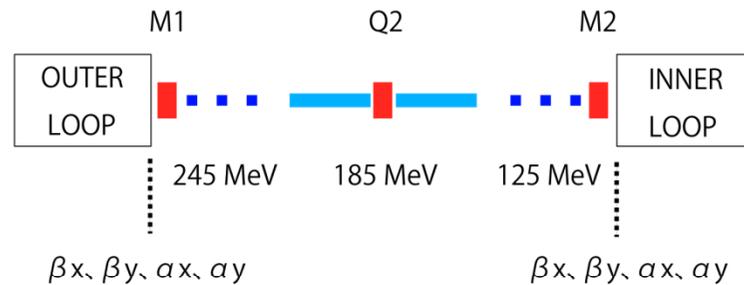
ループ前後の Twiss パラメータが決まった後の直線部のフィッティング方法

2回の加速を並べた図



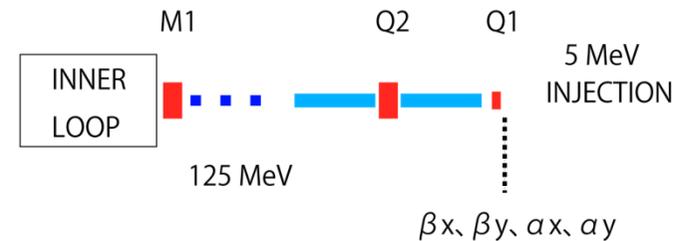
M1(=M2) の4つの変数を使って、ループ間のオプティクスのマッチングを行う。

ここで、Q2は適当な値を入れておき、弱いQ1およびQ3の収束力を無視する。



すでに決まっている M1 および Q2 を代入。

Q1 を使って、入射合流部出口の Twiss パラメータと合せる。



オプティクス設計方針3（直線部・補足）

左右対称のオプティクスにするために、2x2の転送行列Aに対して、以下の式が成り立つ必要がある。

$$\begin{pmatrix} x_f \\ x'_f \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} x_i \\ x'_i \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} x_i \\ -x'_i \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} x_f \\ -x'_f \end{pmatrix}$$

RFの収束力について、上の式が成り立つことを確認済み。ただし $\Delta\phi=0$ の場合。

Bodyの収束力

Edgeの収束力

$$\begin{pmatrix} \cos(\alpha) & \left[\frac{8}{\eta(\Delta\phi)} \right]^{1/2} \frac{\gamma_i}{\gamma'} \cos(\Delta\phi) \sin(\alpha) \\ - \left[\frac{\eta(\Delta\phi)}{8} \right]^{1/2} \frac{\gamma'}{\gamma_f \cos(\Delta\phi)} \sin(\alpha) & \frac{\gamma_i}{\gamma_f} \cos(\alpha) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \mp \frac{\gamma'}{2\gamma_{i(f)}} & 1 \end{pmatrix}.$$

ここで、

$$\alpha = \left[\frac{\sqrt{\eta(\Delta\phi)/8}}{\cos(\Delta\phi)} \right] \ln \left[\frac{\gamma_f}{\gamma_i} \right]$$

オプティクスの最適解

1. エミッタンス増大の原因

空間電荷効果、Touscheck効果、Intra-Beam-Scattering、CSR wake などによる影響を最小に抑えるためには、ビームサイズを大きいまま保持した方がいい。

2. 定量的評価

空間電荷効果によるrmsビームサイズのenvelop equationは

$$\frac{\partial^2 \sigma}{\partial s^2} = \frac{K}{4\sigma}$$

「ERL入射部でのビーム力学」、宮島氏、OHO'08テキストより

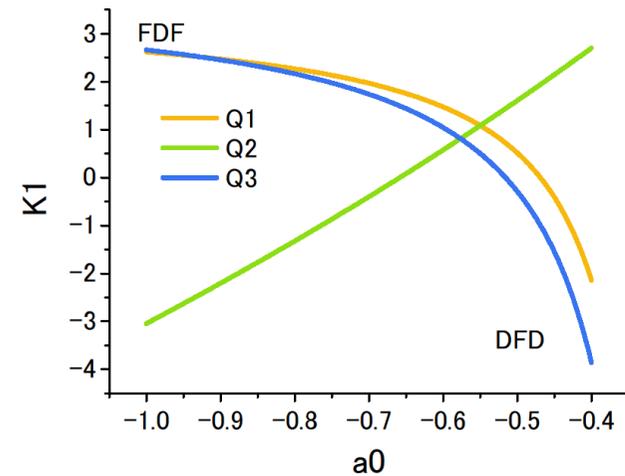
ここで、最適なオプティクスは

1. 最大ビームサイズをおよそ1mmまで広げ、
2. $\int 1/\sigma(s) ds$ が最小になるもの

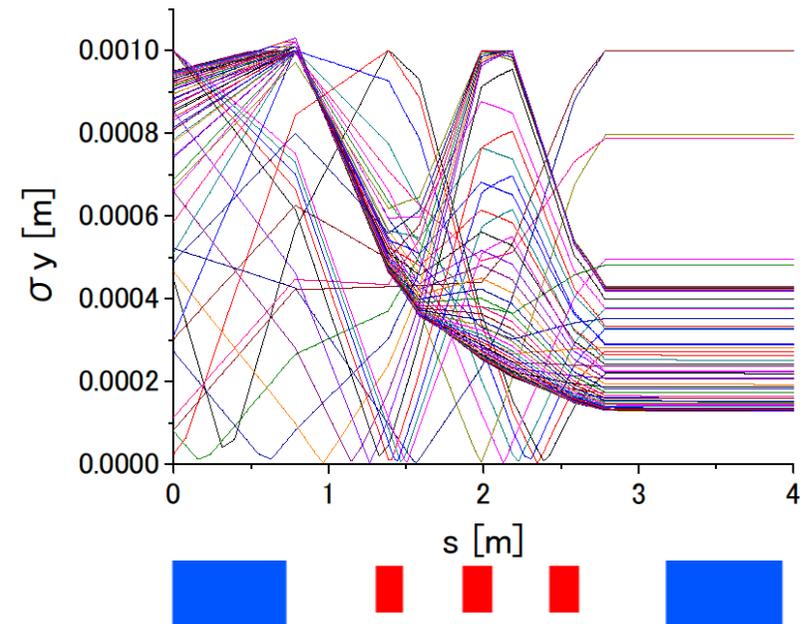
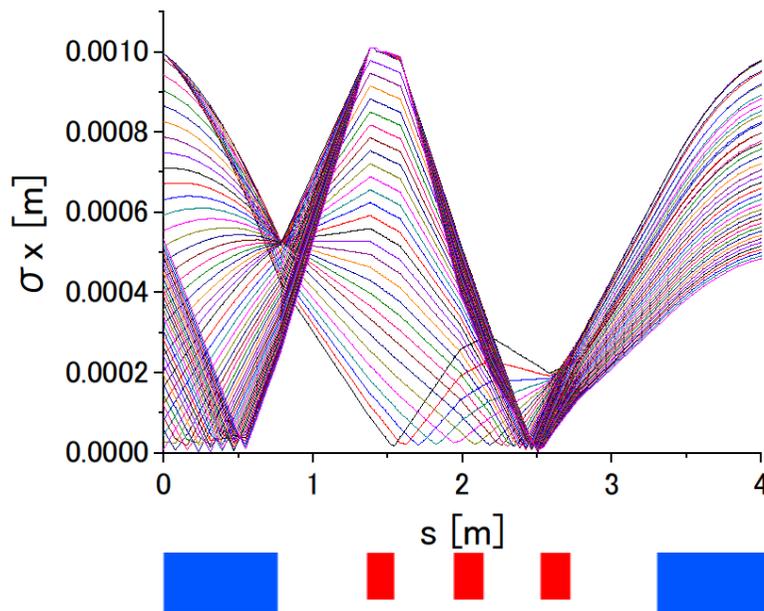
とした。

内側ループのケース

1. すべての取り得る k_1 値の組み合わせを求め
る。
2. 最大のビームサイズが1mmとなるオプティクス
を計算。(規格化エミッタンス1mm-mrad、エ
ネルギー広がり $1e-5$)
3. 2.で求めたオプティクスの中から、最適解を求
める。

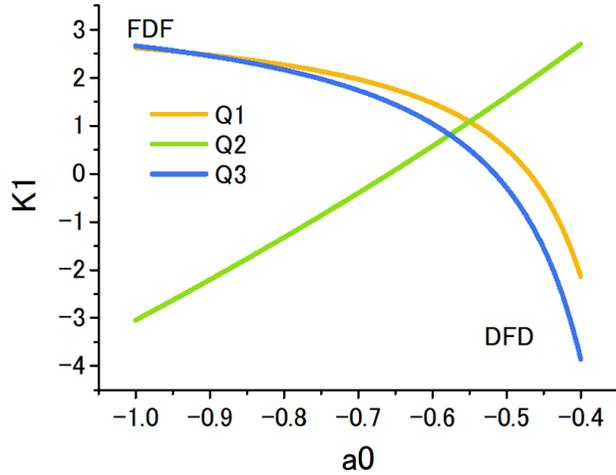


TBAのQの取り得る K_1 値

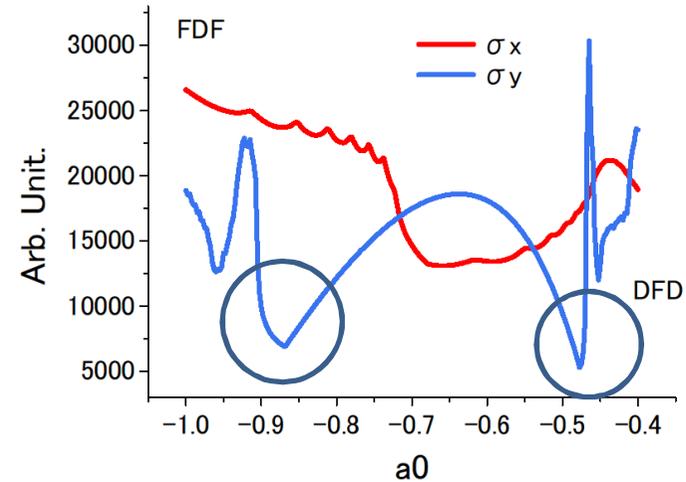


TBAのビームサイズ 左:水平方向、右:垂直方向

最適なオプティクス（内側ループ）

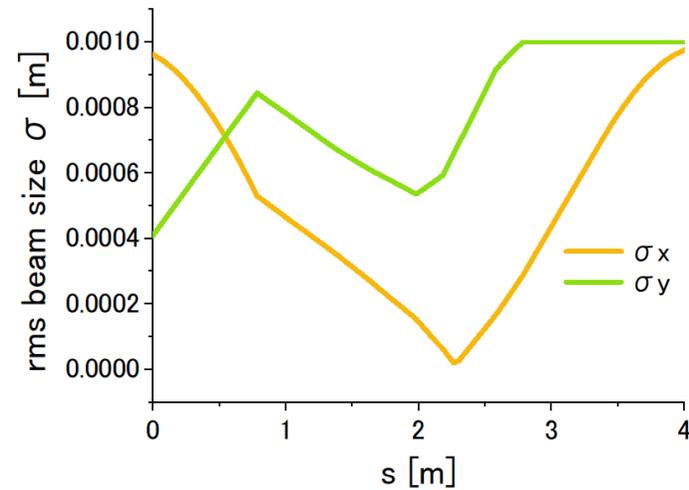
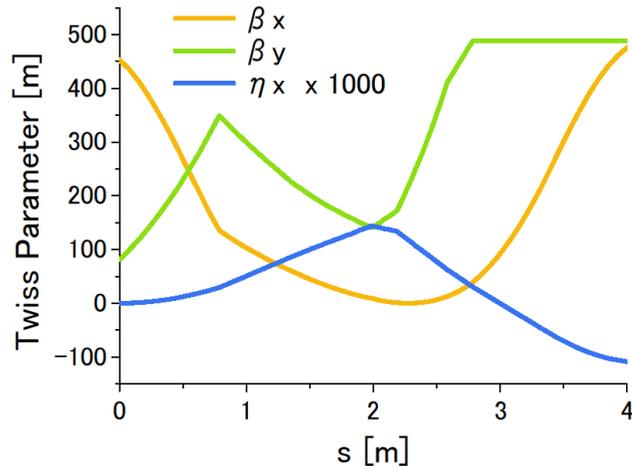


TBAのQの取り得るK1値



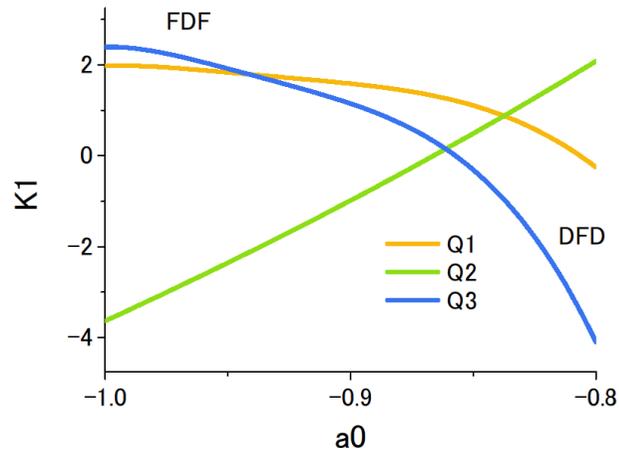
$1/\sigma$ の積分値

- DFDとFDFに $1/\sigma_y$ の積分が最小になるところがある。(SADなどでOpticsを探すと、およそこの範囲の答えを出す。)
- DFD($a_0=-0.425$)の方で K_1 および $\delta(1/\sigma_y \text{の積分})/\delta K_1$ が小さいため、これを最適解とする。
- ビームサイズを優先したため、 β 関数は大きくなった。

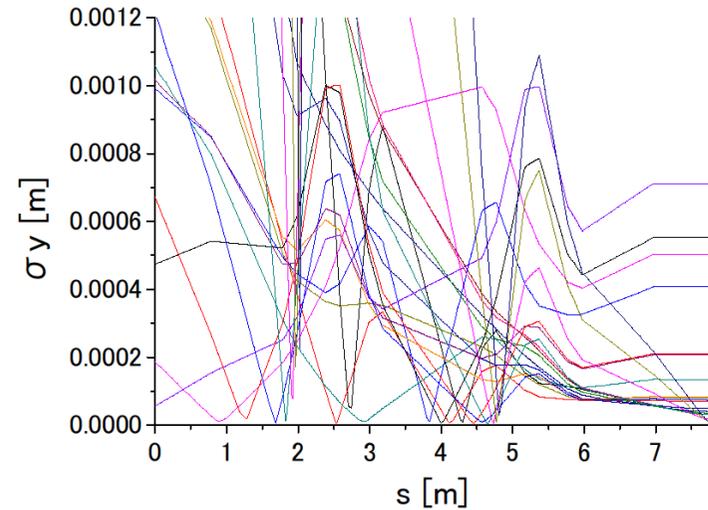
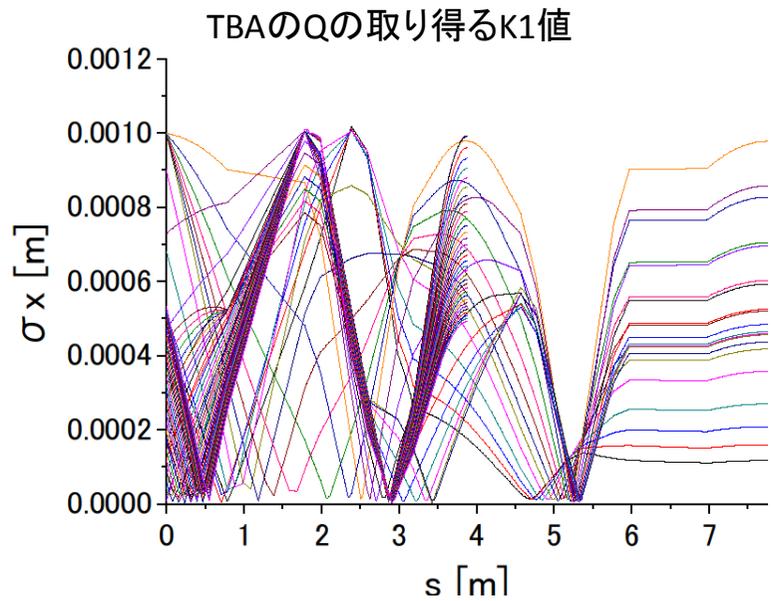


TBAの β 関数、分散関数、rmsビームサイズの最適解

外側ループのケース

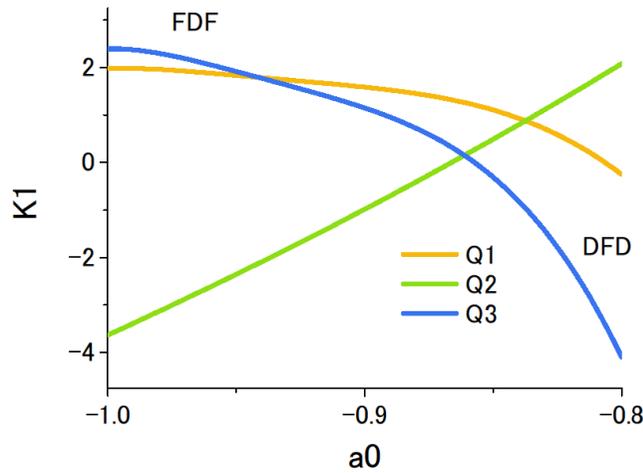


- Tripletとベンドの配置が非対称である。
- σ_y は $a0$ に対して複雑に変化する。
- $-0.85 < a0 < -0.92$ で σ_y の最大値が1mmになるオプティクスを発見できず。

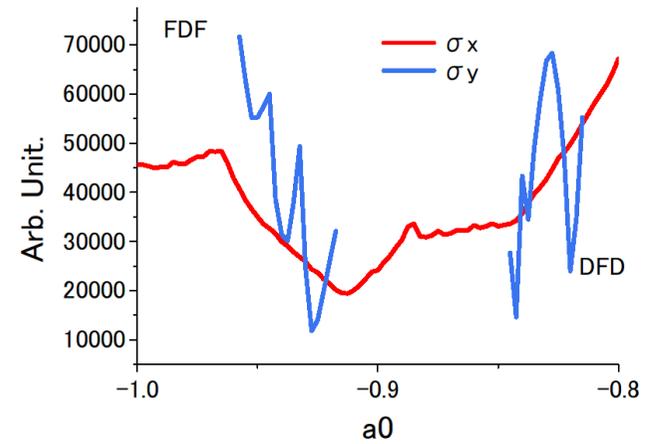


TBAx2のビームサイズ 左:水平方向、右:垂直方向

最適なオプティクス（外側ループ）

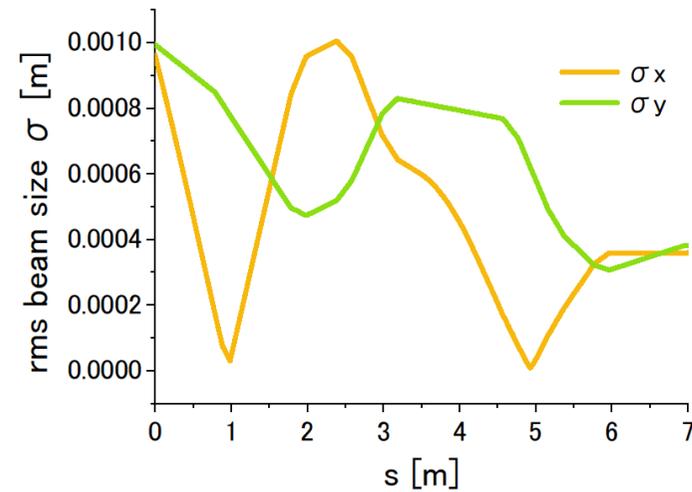
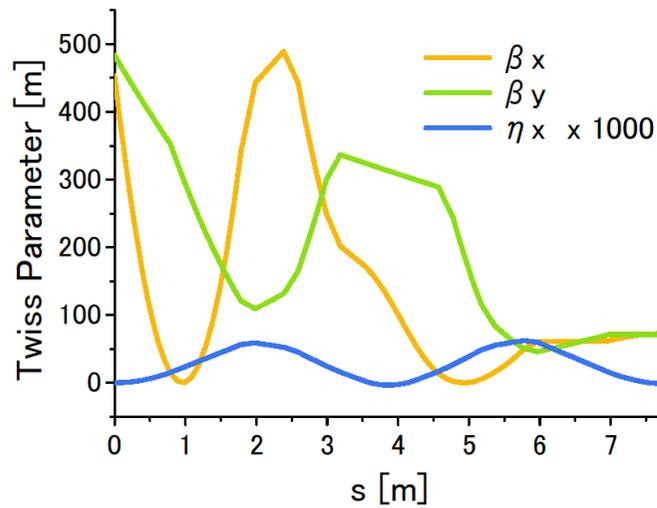


TBAのQの取り得るK1値



$1/\sigma$ の積分値

- σ_y の最大値が1mmになるオプティクスを発見できなかったところは除く。



TBAの β 関数、分散関数、rmsビームサイズの最適解

- 内側ループと同様に、DFD($a_0=-0.425$)の方で K_1 および $\delta(1/\sigma_y\text{の積分})/\delta K_1$ が小さいため、これを最適解とする。

まとめと今後の方針

- cERLのラティスの変更について報告。
 - 1:4のエネルギー比に対応できる合流部の設計を始めた。
 - 外側ループをTBAx2として、敷地面積をせまくした。
 - 空洞の脇にスペースを空けた。
- 内側ループと外側ループのオプティクスを決定した。
 - 以下の条件で最適化
 - 空間電荷効果などによるエミッタンス増大の影響を最小に抑える。
 - K1が小さく、そのずれに対して影響の少ない。
 - すべての取りうるベータ関数を求めた。
 - 極値解に陥る心配がない。
 - ビームサイズ、空間電荷効果対策などの最適解の条件が異なる場合は、再計算する必要がある。
 - どちらのループもDFDがよい。
- 今後は、加速直線部のマッチングを行う。
 - SADはRF focusingの効果が入っていない。
 - elegantはフィッティングの方法がわからない。(SADのcouplingに相当するコマンドはあるでしょうか?)
 - TBAと同様に自作のprogramで行うか?