

# cERLのBeam Opticsの続き

ERLビームダイナミクスWG

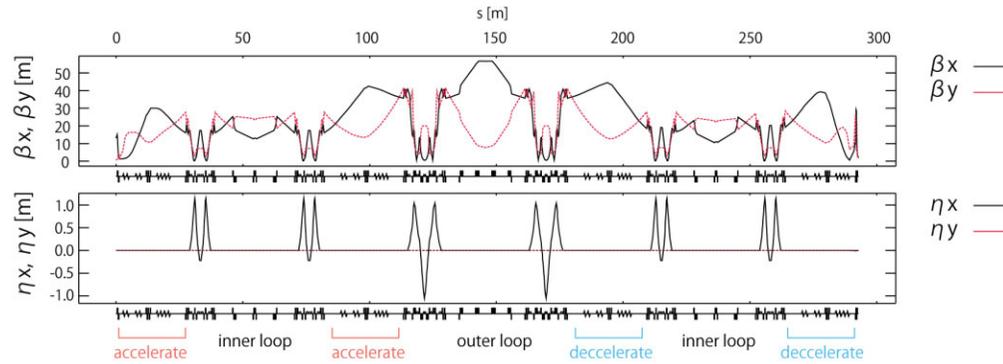
2011年2月2日(水)

3号館7階会議室 14:00～

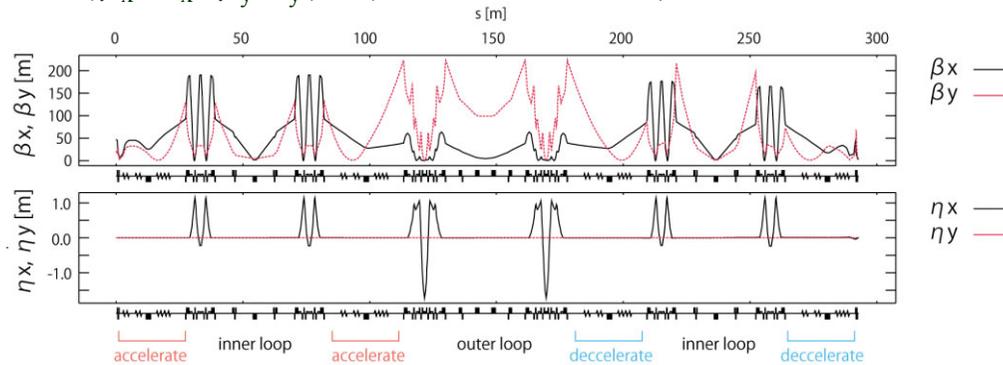
加速器第7研究系

島田 美帆

# Optics設計の現状



Case 1: 入射合流部出口で  
 $(\beta_x, \alpha_x, \beta_y, \alpha_y) = (13 \text{ m}, -2, 0.7 \text{ m}, 0)$  の場合



Case 2: 入射合流部出口で  
 $(\beta_x, \alpha_x, \beta_y, \alpha_y) = (47.1 \text{ m}, 1.65, 21.5 \text{ m}, 5.52)$  の場合

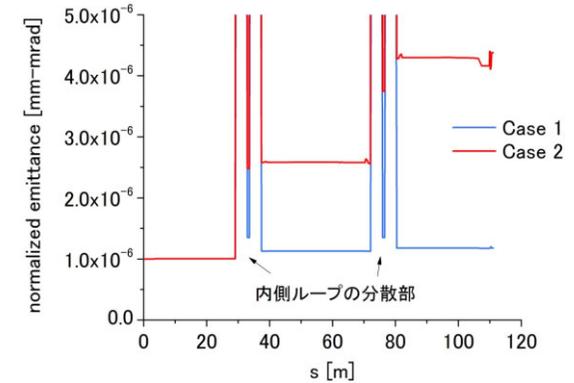


図1: Case 2は1周目の内側ループですでに規格化エミッタンスが10倍近くまで増加。

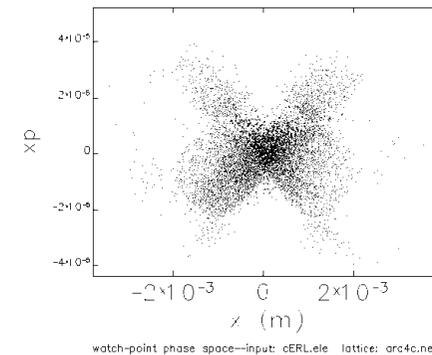


図2: Case2の1周目内側ループのReturn arcの直前のPhase Space

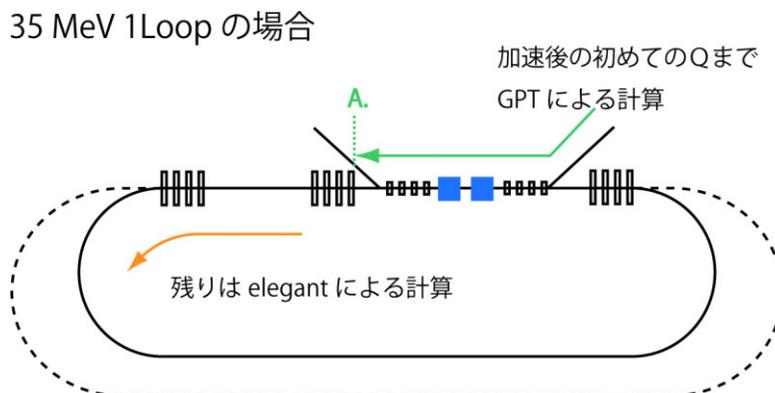
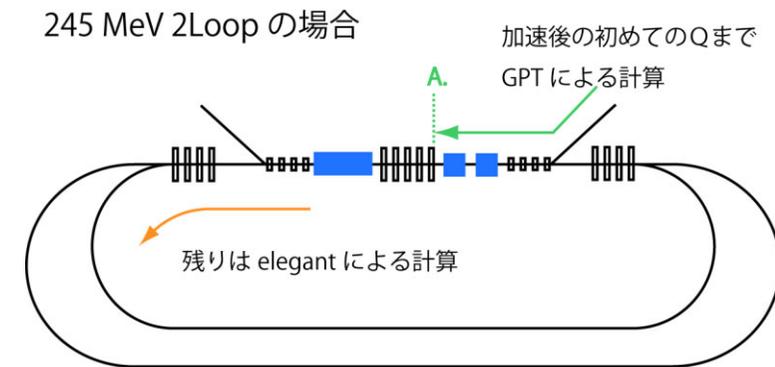
## 現在のOpticsの問題点

- Case 1: 入射器のOpticsと整合がとれていない。
- Case 2: CSR wakeによってエミッタンスが10倍も増加する。

# cERLのOptics設計方針

- S2Eシミュレーション(Start-to-End)
  - 場所やエネルギーによって、異なる計算コードで最適化し繋げる手法。

電子の運動エネルギー	計算コード	主な集団効果
35 MeV 以下	GPT	空間電荷効果
35 MeV 以上	elegant	CSR wake



ダンプまで適切な Optics の解がある  
A. のパラメーターの範囲を求める。

見つからなかった場合

elegant で求めた A. の Twiss パラメータの  
範囲を元に、入射部の Optics を最適化する。

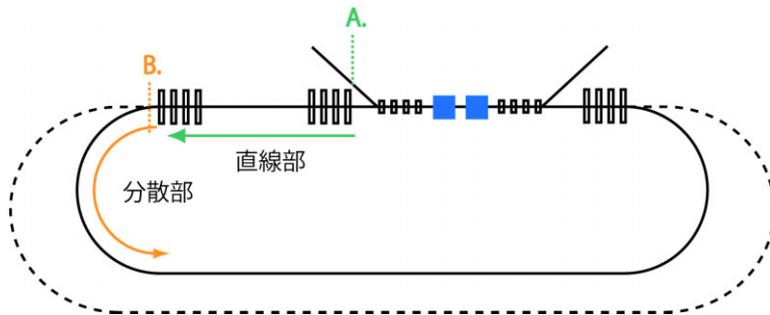
GPT で求めた A. の Twiss パラメータから  
周回部の Optics を最適化し、ダンプまで通す。

  GPT による低エネルギー電子の計算

  elegant による高エネルギー電子の計算

# 内側ループの最適化

- エミッタンスの増加は分散部のみで起こる。(十分高いエネルギーの場合)
- 先に内側ループのOpticsを決定した後に、直線部の最適化を行う。



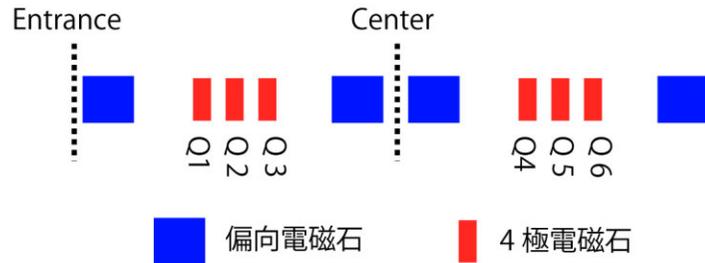
CSR wake によるエミッタンス増加が 2 倍以下である  
B. のパラメーターの範囲を求める。



B. の範囲を元に、A. の Twiss パラメータの  
取り得る範囲を決める。

# 変数の絞り込み (内側ループの最適化)

内側ループの分散部



10 個の変数    Q x 6  
Entrance もしくは Center の  $(\beta_x, \alpha_x, \beta_y, \alpha_y)$

以下の条件を加える

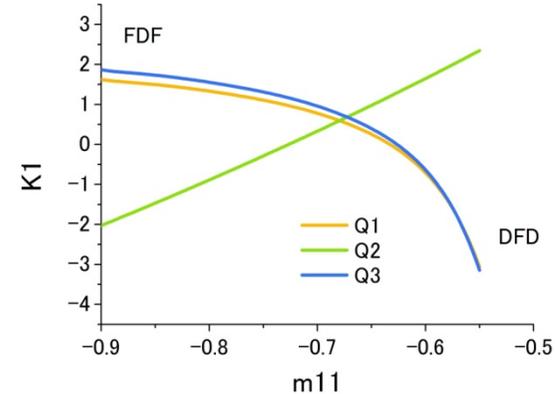
1. Achromat
2. Isochronous
3. Symmetric

1. 偏向電磁石間の転送行列は自由度が  $m_{11}$  のひとつのみ

$$M_t = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{11} & \frac{\rho[f(\theta) - m_{11}(1 - \cos\theta)]}{\sin\theta} \\ \frac{m_{11}(-2\theta + \sin\theta) - \sin\theta}{\rho f(\theta)} & \frac{1 + m_{12}(m_{11}, \theta)m_{21}(m_{11}, \theta)}{m_{11}} \end{pmatrix}$$

ここで  $f(\theta) \equiv -\frac{2\theta}{\tan\theta} + \cos\theta + 1$  である。 $(\theta)$  は偏向電磁石の偏向角  
偏向電磁石の曲率半径  $\rho$  は  $m_{12}$  の分子と  $m_{21}$  の分母にのみ現れる。  
この転送行列では Center のドリフトを無視している。

2. Center では  $\alpha_x = \alpha_y = 0$



変数は  $\beta_x, \beta_y$  および  $m_{11}$  の3つのみ

- 10個の変数を3個まで少なくした。(手作業による最適化が可能に。)
- 最近のラティスの変更に伴い、計算し直した。

# $\beta_y$ による制限

- 最も強い制限は $\beta_y$ 関数によるものである。

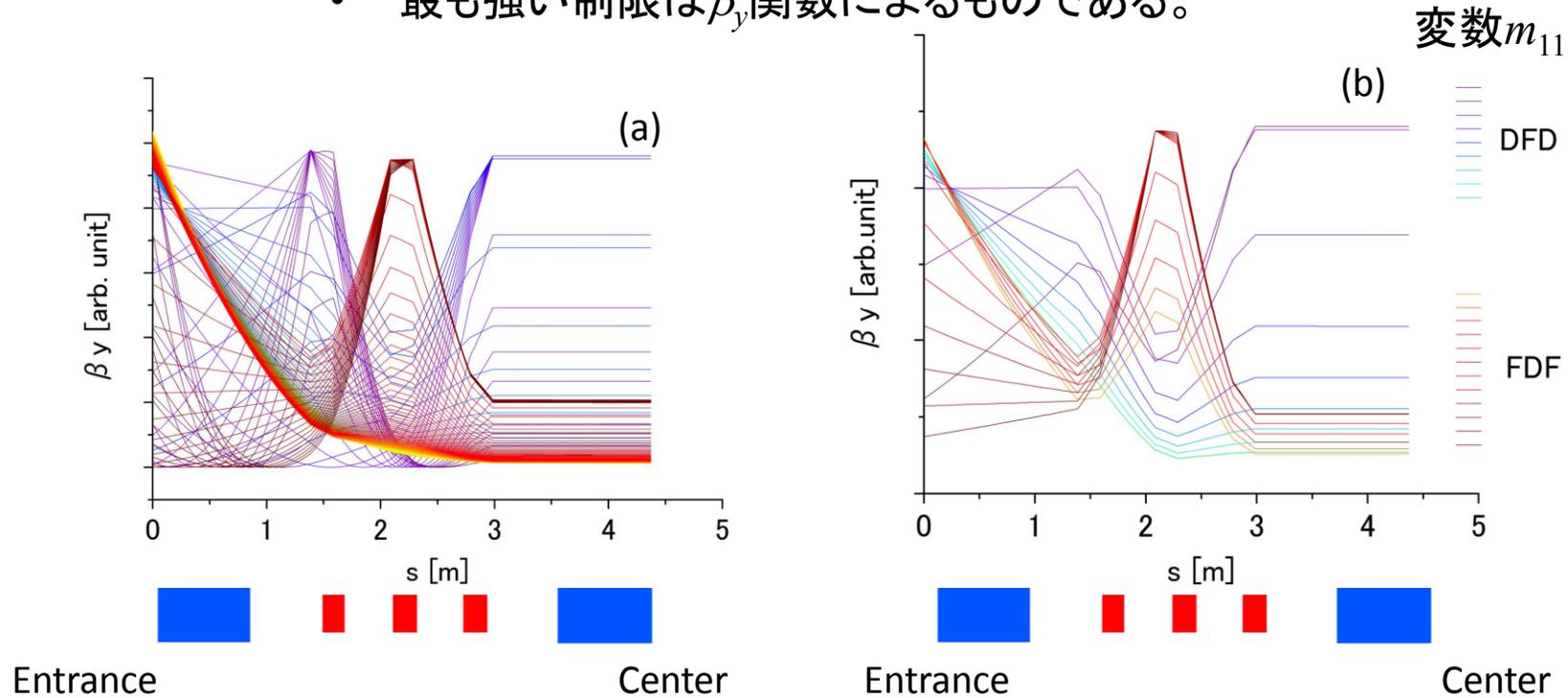


図: 内側ループのEntranceからCenterまでの $\beta_y$ 関数。Centerを中心に対称である。

(a)  $-0.55 < m_{11} < -0.9$  に対する分散部の $\beta_y$ 関数の形状。

(b) 図8(a)の $\beta_y$ 関数のうち、集光点を持たない滑らかな関数を抜粋したもの。

$\beta_y$ 関数に影響する変数は $m_{11}$ および $\beta_y^{\text{Cent}}$ の2つであるが、 $\beta_y^{\text{Cent}}$ は $\beta_y$ 関数の形状に大きな影響を与えないと仮定した。  
 $\beta_y$ 関数の形状が滑らかになる $m_{11}$ の範囲は以下の様になった。

**LIMIT 1 :  $-0.6 < m_{11} < -0.62$  (DFD),  $-0.84 < m_{11} < -0.87$  (FDF)**

# CSR wakeによるエミッタンス増加

- エミッタンス増加に関わる変数は $\beta_x$ および $m_{11}$ のみである。

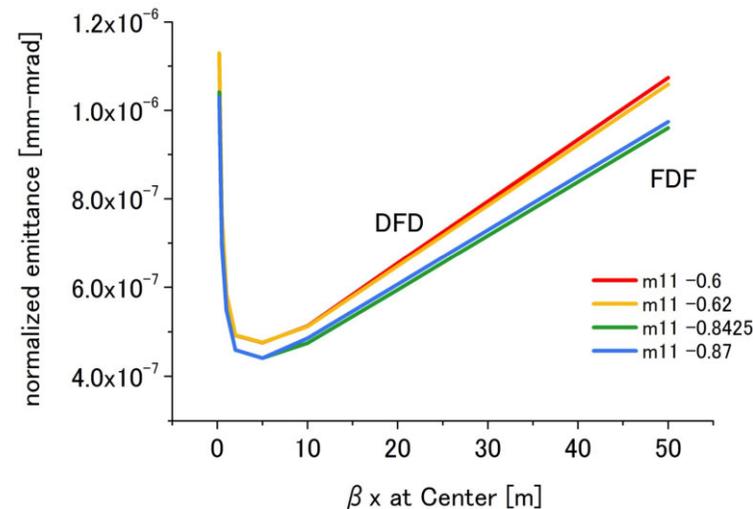


図: 内側ループ半周後のエミッタンス増加。運動エネルギー35MeV, バンチ長3ps,  $\varepsilon_{nx} = 0.3$  mm-mrad, 電荷量77pCである。トラッキング粒子数は10000。

$\Delta\varepsilon_{nx}$ に影響する変数は $m_{11}$ および $\beta_x^{\text{Cent}}$ の2つであるが、 $m_{11}$ の影響は $\beta_x^{\text{Cent}}$ に比べて微少である。適切な $\beta_x^{\text{Cent}}$ の範囲を $\Delta\varepsilon_{nx}$ が2倍以下に抑えられる範囲とした。

$$\text{LIMIT 2 : } 1 \text{ m} < \beta_x^{\text{Cent}} < 20 \text{ m}$$

# Entranceでの $\beta$ 関数のマッチングによる制限

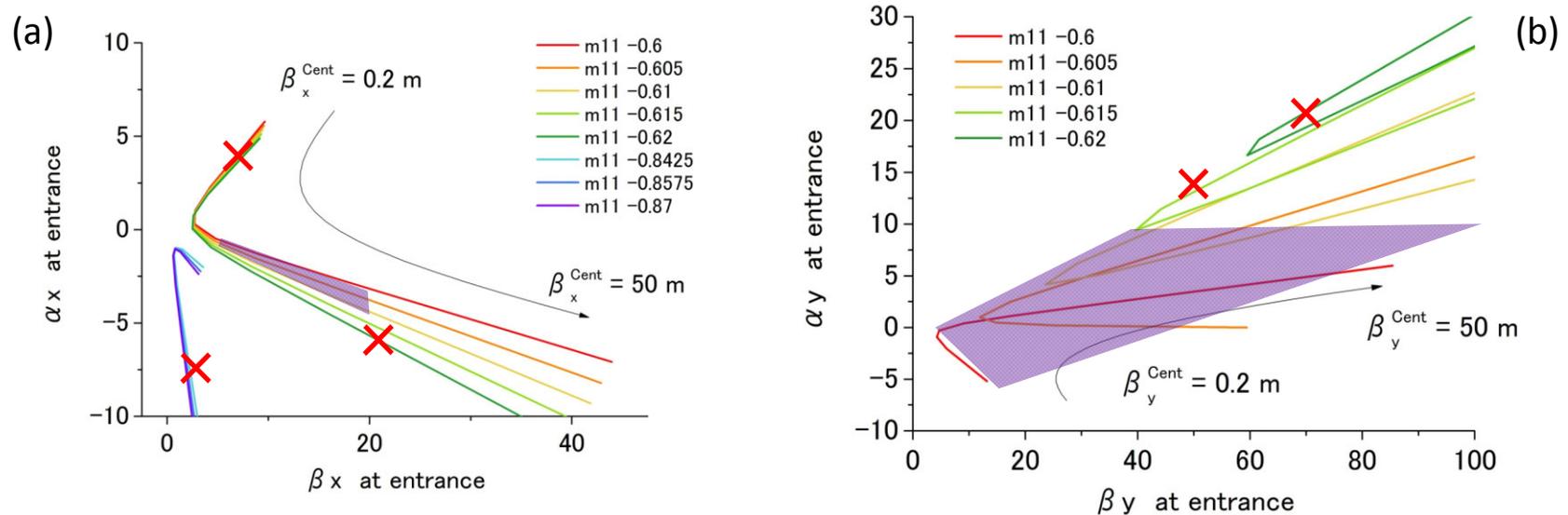


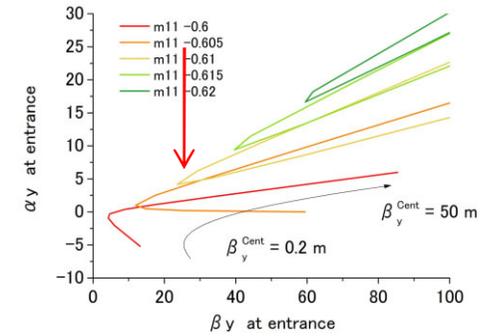
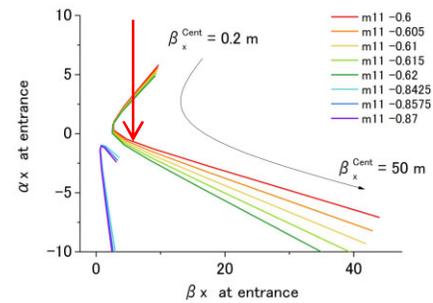
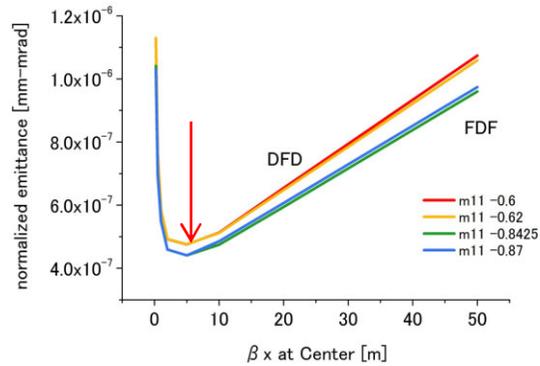
図 : EntranceのTwissパラメータ。(a) 水平方向 (b) 垂直方向

FDFのケースでは、Entranceで  $(a_x, \beta_x)$  の取り得る範囲が狭く、マッチングが困難。  
 変数  $m_{11} < -0.61$  ではEntranceで  $a_y > 10$  の解しか存在しない。

$$\text{LIMIT 3 : } -0.6 < m_{11} < -0.61$$

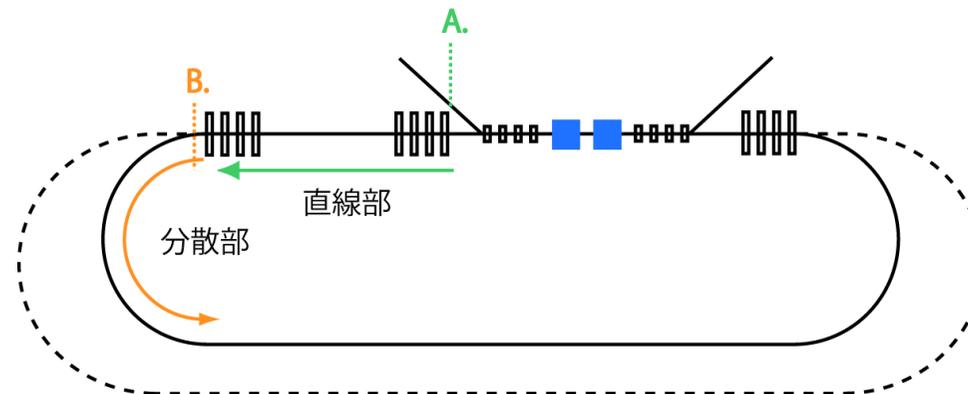
LIMIT 1~3により、 の範囲がB.のTwissパラメータの取り得る範囲となる。

# A. の Twiss parameter の範囲の導出



点B.のtwiss parameter

- エミッタンス増加が最小となるのは  $\beta_x^{Cent} = 5$  m のときである。
- 内側ループのCenterで  $(\beta_x^{Cent}, \beta_y^{Cent}) = (5 \text{ m}, 5 \text{ m})$ 、 $m_{11} = 0.61$  のケースのみで計算した。



# 点A.のtwiss parameterの範囲

## 入射器Gr.に伝えた範囲

betay/betax [m]	10	20	30	40	50	60	70	80	90
10	21.4	10.7	2.1	0.6	0.2	0.0	0.1	0.2	3.1
15	15.9	9.1	6.0	0.7	1.2	0.2	3.2	3.9	4.3
20	19.6	20.7	5.5	0.2	1.9	3.3	4.0	4.8	5.5
30	16.6	0.7	12.0	4.8	0.8	10.4	5.3	6.5	7.3
40	21.2	19.4	8.6	6.1	2.1	3.0	6.7	8.3	8.8
50	3.9	3.3	1.2	2.0	2.9	3.6	4.9	7.1	10.2
60	7.6	4.8	2.5	3.4	4.8	5.4	3.5	12.9	10.7
70	5.0	4.0	0.9	2.2	4.6	5.7	5.1	9.4	13.4
80	12.2	9.9	5.4	1.1	4.5	5.7	2.7	0.6	15.4
90	13.4	0.9	4.1	0.8	5.0	6.0	1.6	0.1	3.3

## 点A.のFittingの方針

- (bx, by, ax, ay)の4つ全てを一致することは困難。
- $\beta$ 関数は正確にfitするようにした。
- $\alpha$ はゼロ付近になるようにした。
- Equationに重みを付けた。
- $\beta$ 関数の範囲は10~90m。

## 本来の範囲(島になっている。)

betay/betax [m]	10	20	30	40	50	60	70	80	90
10	21.4	10.7	2.1	0.6	0.2	0.0	0.1	0.2	3.1
15	15.9	9.1	6.0	0.7	1.2	0.2	3.2	3.9	4.3
20	19.6	20.7	5.5	0.2	1.9	3.3	4.0	4.8	5.5
30	16.6	0.7	12.0	4.8	0.8	10.4	5.3	6.5	7.3
40	21.2	19.4	8.6	6.1	2.1	3.0	6.7	8.3	8.8
50	3.9	3.3	1.2	2.0	2.9	3.6	4.9	7.1	10.2
60	7.6	4.8	2.5	3.4	4.8	5.4	3.5	12.9	10.7
70	5.0	4.0	0.9	2.2	4.6	5.7	5.1	9.4	13.4
80	12.2	9.9	5.4	1.1	4.5	5.7	2.7	0.6	15.4
90	13.4	0.9	4.1	0.8	5.0	6.0	1.6	0.1	3.3

## 点A.のFittingの結果

- 全てのケースで $\beta$ 関数は正確にfitできた。
- $\alpha$ はゼロから外れるケースが多かった。
- 左図は $\alpha_x, \alpha_y$ の絶対値の最大値。ゼロから外れているほど、fittingがよくないことを示す。

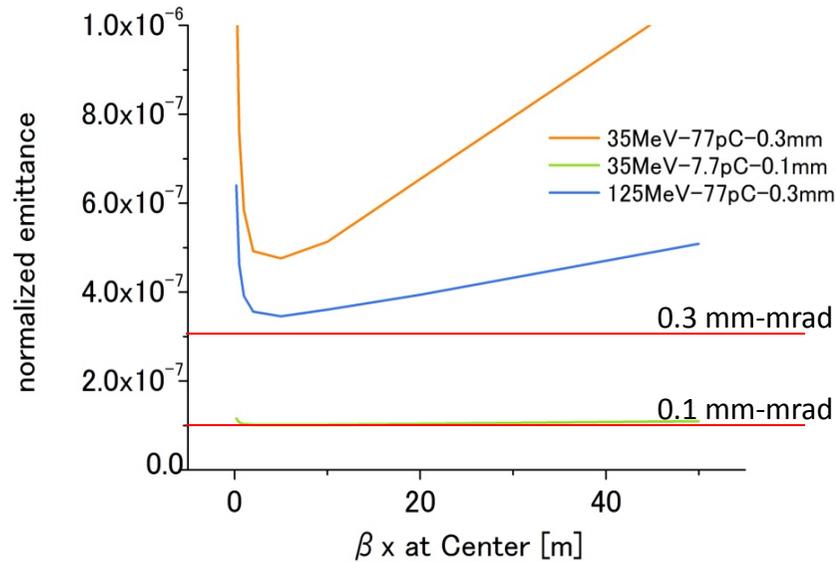
黄緑 : 良い  
 オレンジ : 普通  
 赤 : 悪い

## elegant命令文

equation = "0 betax 10 - abs 10 \* + betay 10 - abs 10 \* + alphax 0 - abs + alphas 0 - abs + "

# 電子バンチの条件を変更

- CSR wakeの影響が異なるので、 $\beta_x^{\text{Cent}}$ の条件が変わる。



以下の3つの条件で計算

- 35 MeV, 77 pC, 0.3 mm-mrad, 3 ps
- 35 MeV, 7.7 pC, 0.1 mm-mrad, 3 ps
- 125 MeV, 77 pC, 0.3 mm-mrad, 3 ps

- どのケースも、 $\beta_x^{\text{Cent}} = 5$  mのときにエミッタンス増加が最小になる。
- 35 MeV, 77 pCのケースが最もCSR wakeの影響が大きい。
- 125 MeVのケースは35 MeVのケースに比べてエミッタンス増加がおよそ1/3~1/4である。(エネルギーに反比例か?)
- 7.7 pCのときは、35 MeVの場合でもCSR wakeの影響は無視してよさそう。
- バunch長が1 psまで短くなると、さらにエミッタンス増加は大きくなる。

LIMIT 2 :  $1 \text{ m} < \beta_x^{\text{Cent}} < 20 \text{ m}$  (35 MeV, 77 pC),  
 $5 \text{ m} < \beta_x^{\text{Cent}} < 50 \text{ m}$  (125 MeV, 77 pC),  
制限なし (35 MeV, 7.7 pC)

# まとめ

- CSR wakeによるエミッタンス増加が問題になったため、Opticsの再計算を行っている。
- CSR wakeの影響はほとんど内側ループ中央の $\beta_x$ で決まり、 $\beta_x=5$  mが最適である。
- 分散部のトリプレットの極性は、マッチングの容易なDFDとした。
- S2Eシミュレーションの切り替え箇所(点A.)のtwiss parameterの暫定案を求めた。
- 7.7 pC、3 psの場合は、CSR wakeの影響はほとんどないため、ビームサイズは $\beta$ 関数でほぼ決まる。