

# cERL第一アークでの 空間電荷効果の影響

(第49回)ビームダイナミクスWGミーティング  
6月10日(木)14時  
3号館5階会議室

高エネルギー加速器研究機構 宮島 司  
Hwang Ji-Gwang and E. -S. Kim, Kyungpook National University

# 目的と手法

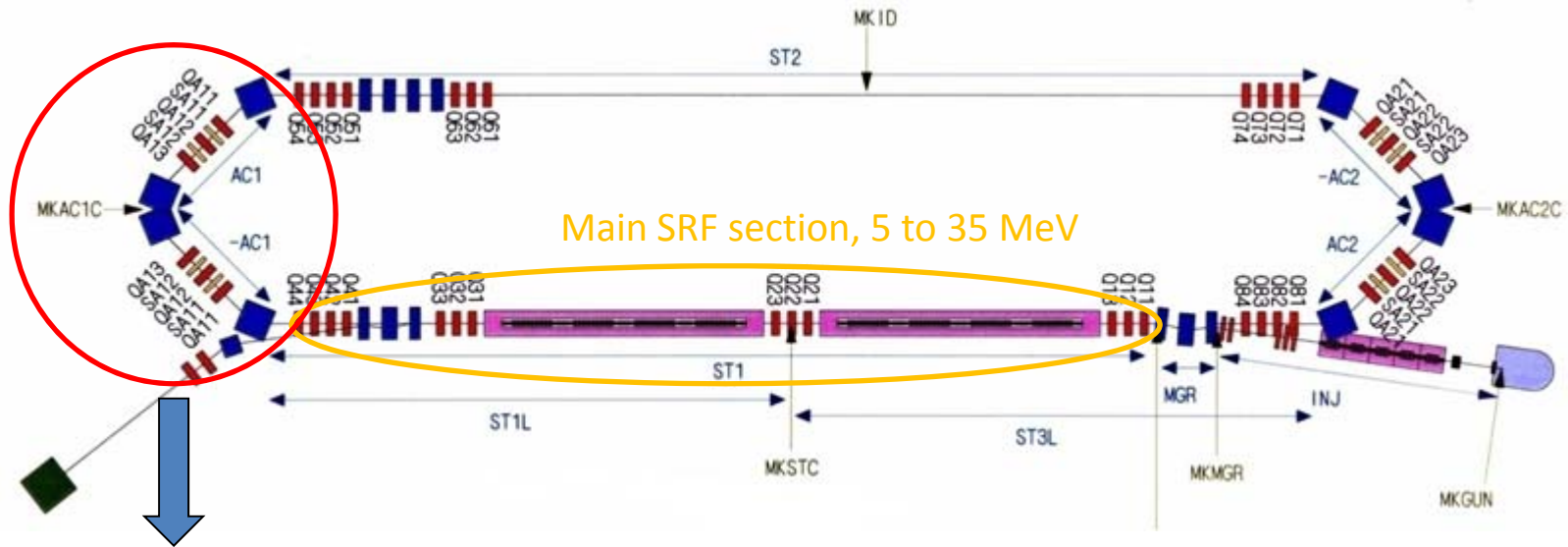
- 目的

- cERLのコミッショニング開始初期のビームエネルギーは、35 MeVになる可能性が高くなっている。
- このエネルギー領域だと空間電荷効果が効いてしまう可能性が高い。
- 手始めに、cERLの1ループバージョンのラティスを例として、第一アークに35 MeVのビームが通った場合どの程度影響があるか調べる。
- また、GPTを用いた start-to-end (S2E)シミュレーションの準備も兼ねている。

- 手法

- 空間電荷計算を含んだ粒子追跡計算によって、アーク部でビームの品質がどの程度変化するを見積もる。
- 計算コード: GPT (General Particle Tracer)
- 空間電荷計算法: 3次元メッシュ法 (アークでも有効なように改良したもの)
- 粒子数: 5000 (粒子数が少ないのは十分わかっているが、とりあえず見当をつけるため)

# 1ループ版の第一アーケ



## 1<sup>st</sup> arc section with 35 MeV

台本として、白神さんが作成した elegant の台本を用いて、第一アーケ部分のみを GPT で再現。

### 注意すべき点

Elegant では、行列ベース (各要素の行列を掛け算) であるが、GPT では実際に電磁石を配置している形になる。

例えば、偏向電磁石の場合

elegant: 軌道長と曲げ角を指定

GPT: 電磁石の位置座標と形状、磁場の強さを指定

従って、GPT だと正しく電磁石が配置されているかをチェックする必要がある。

Bunch: charge,total=77e-12

## Elegantの台本

M1:MARK

!---DRIFT---!

L150:DRIFT, L=0.15

L600:DRIFT, L=0.6

!---QUAD---!

QA11: KQUAD,L=0.2,K1=8.675358536213405,N\_KICKS=50

QA12: KQUAD,L=0.2,K1=-11.55017517821803,N\_KICKS=50

QA13: KQUAD,L=0.2,K1=9.857535760824618,N\_KICKS=50

!---BEND---!

BB45: CSBEN, L = "45 180 / 3.1415926535 \*", ANGLE = "45 180 / 3.1415926535 \*"&

E1=0.0, E2=0.0, HGAP=0.035, FINT=0.3, &

! synch\_rad=1, ISR=1, INTEGRATION\_ORDER=4, &

! n\_kicks=270, nonlinear=1, edge1\_effects=1, edge2\_effects=1;

BB90: CSBEN, L = "90 180 / 3.1415926535 \*", ANGLE = "90 180 / 3.1415926535 \*"&

E1=0.0, E2=0.0, HGAP=0.035, FINT=0.3,&

! synch\_rad=1, ISR=1, INTEGRATION\_ORDER=4, &

! n\_kicks=540, nonlinear=1, edge1\_effects=1, edge2\_effects=1;

!---SEXT---!

SA11: KSEXT,L=0.1,K2=0,N\_KICKS=8

SA12: KSEXT,L=0.1,K2=0,N\_KICKS=8

SA21: KSEXT,L=0.1,K2=0,N\_KICKS=8

SA22: KSEXT,L=0.1,K2=0,N\_KICKS=8

MALIN: MALIGN

AC1: LINE = (

Bunch,M1,BB45,M1,L600,M1,QA11,M1,L150,M1,SA11,M1,L150,M1,QA12,M1,L150,M1,SA12,M1,L150,&

M1,QA13,M1,L600,M1,BB90,M1,L600,M1,QA13,M1,L150,M1,SA12,M1,L150,M1,QA12,M1,L150,M1,SA11,&

M1,L150,M1,QA11,M1,L600,M1,BB45,M1)

## GPTの台本(抜粋)

#-----

# First Bending, 45 deg

#-----

xccs1 = (1-cos(thetaB11));

zccs1 = sin(abs(thetaB11));

ccs("wcs", xccs1, 0, zccs1, xxccs1, 0, xzccs1, 0, 1, 0, "ccs2");

b1BB01 = BBb01set;

b2BB01 = BBb02set;

KBB01 = - me \* c \* gammaB \* betaB / (qe \* RBB01);

BB01 = KBB01 \* LzBB45 \* b1BB01 / (2 \* (b1BB01 \* LzBB45 \* 0.5 + log(1.0 + exp(-b1BB01 \* LzBB45 \* 0.5))));

sectormagnet("wcs","ccs2", 1, BB01, 0, 0, 0, b1BB01, b2BB01);

#-----

# 3 quadrupoles and 2 sextupoles

#-----

#-----

# QA11, quadrupole magnet

#-----

LQA11 = LQA;

B2QA11 = -K1QA11 \* Pref;

#quadrupole("wcs", XQA11mgc, 0, ZQA11mgc, cos(thetaB11), 0, -sin(thetaB11), 0, 1, 0, LQA11, B2QA11);

quadrupole("ccs2", "z", 0.7, LQA11, B2QA11);

#-----

# SA11, sextupole magnet

#-----

LSA11=LSA;

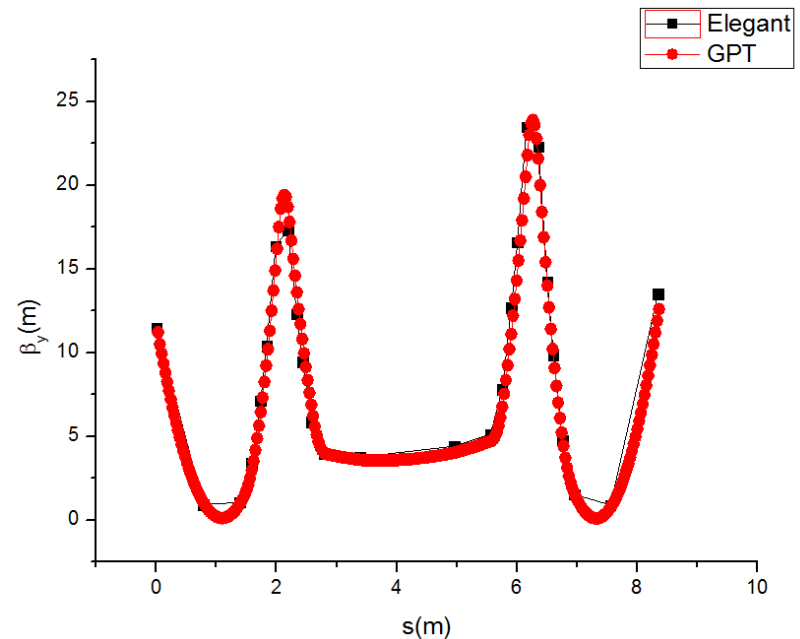
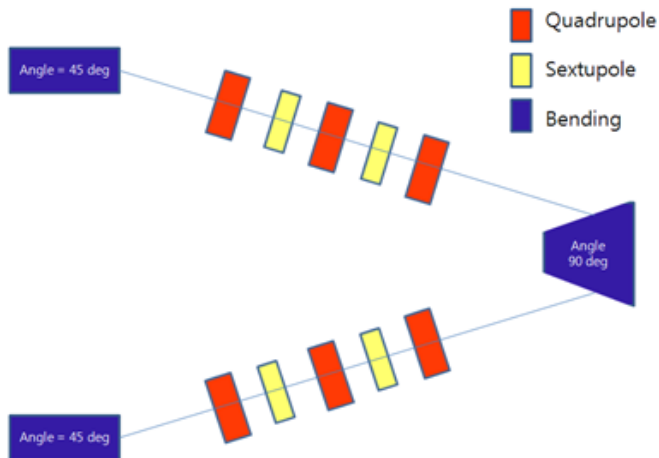
B2SA11 = -K2SA11 \* Pref;

#sextupole("wcs", XSA11mgc, 0, ZSA11mgc, cos(thetaB11), 0, -sin(thetaB11), 0, 1, 0, LSA11, B2SA11);

GPTの場合は、空間に一つ一つ電磁石を置いていくことになる。

# 第一アークの台本のチェック

GPTの台本を作った後に、空間電荷効果なしで粒子を走らせ、ベータatron関数をelegantと比較する。



Initial Courant-Snyder parameters:

$$\begin{aligned}\alpha_x &= 1.3177, \\ \beta_x &= 0.9863 \text{ m}, \\ \alpha_y &= 12.9075, \\ \beta_y &= 16.2181 \text{ m}.\end{aligned}$$

空間電荷効果なしの場合で、elegantとほぼ同じ結果を得ることができた。この結果によってGPTの台本は正しいと考えて、空間電荷ありの計算に進む。

# 計算の初期パラメタ

- 初期パラメタ
  - バンチ長: 1 ps
  - バンチ電荷: 80 pC
  - Rmsエネルギー拡がり: 0.1e-3
  - バンチの形状: x, y, z方向ともにガウシアン(実際のビームの形状とは異なるので注意)
- 初期運動エネルギー(KE0)を変えて、ビームパラメタの変化を計算

## 注意点

GPTでbetaやalphaなどのTwissパラメタを計算するには、実際に多数の粒子をトラッキングして、そのrms値から計算する必要がある。

このため、初期Twissパラメタと一致するような粒子の初期分布を生成する必要がある。(実際には、電子銃からアーク入口まで粒子トラッキングを行ってきた分布を設定するのが望ましい)

今回は、次のページに示す方法で初期分布を生成した。

# 初期パラメタの与え方

## 固定されるパラメタ

- (1) 初期Twissパラメタ:  $\alpha_{x0}$ ,  $\beta_{x0}$ ,  $\alpha_{y0}$ ,  $\beta_{y0}$
- (2) 規格化エミッタンス:  $\epsilon_{nx0}$ ,  $\epsilon_{ny0}$

## Initial Courant-Snyder parameters:

$$\begin{aligned}\alpha_x &= 1.3177, \\ \beta_x &= 0.9863 \text{ m}, \\ \alpha_y &= 12.9075, \\ \beta_y &= 16.2181 \text{ m}.\end{aligned}$$

$$\sigma_{x0} = \frac{1}{\sqrt{\gamma\beta}} \sqrt{\beta_{x0}\epsilon_{nx0}}$$

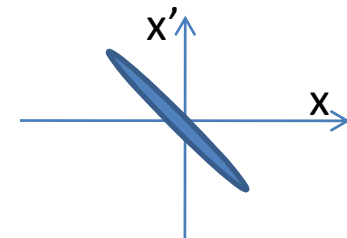
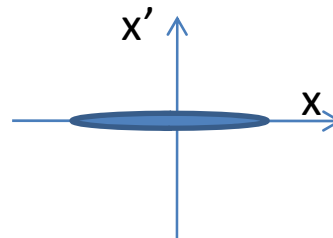
今回は、初期位置でのTwissパラメタが同じになるようにしているので、エネルギーが異なる場合、 $\gamma\beta$ が変化し、初期rmsビームサイズは一緒にならない。

## 位相空間の回転量の計算

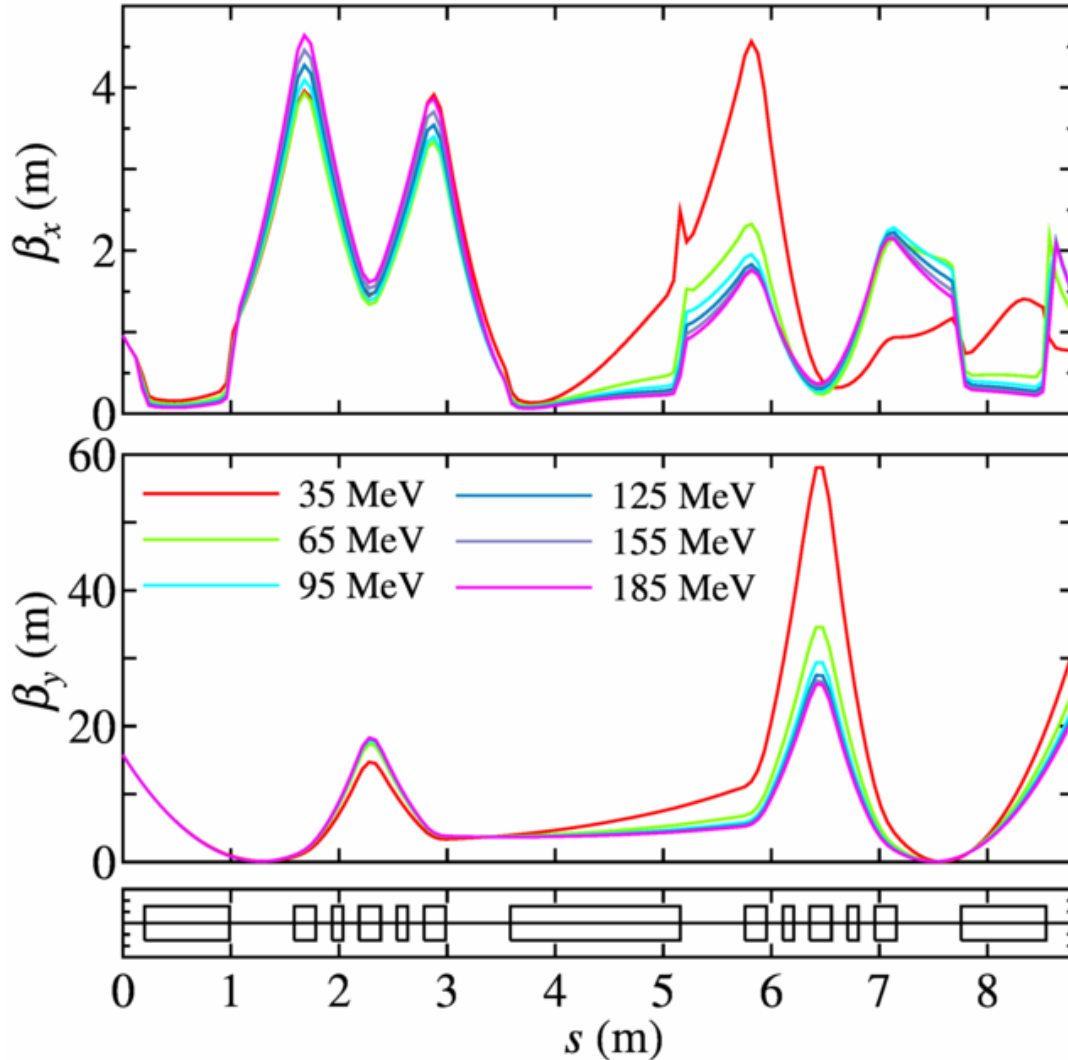
$$\begin{aligned}\text{div}_x &= -\epsilon_{nx0} * \alpha_{x0} / (x_{rms} * x_{rms}); \\ \text{div}_y &= -\epsilon_{ny0} * \alpha_{y0} / (y_{rms} * y_{rms});\end{aligned}$$

## 初期ビームパラメタの与え方

- (1) 規格化エミッタンスを下記の用に設定  
 $\epsilon_{nx0} = 5.25771e-7;$   
 $\epsilon_{ny0} = 5.77755e-7;$
- (2) 初期rmsビームサイズを計算
- (3) x, y方向でそれぞれ、alphaの値に応じて位相空間分布に傾きを与える
- (4) これらの値を元にして、準乱数で粒子分布を生成



# 計算結果

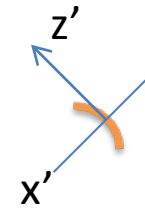


## ベータatron関数

125 MeV程度までは違いが大きい

注意:

偏向電磁石の中では、x方向のベータatron関数が正しく計算されていない。粒子分布の出力(toutコマンド)の問題によって、ビームが曲がっている状態だとエミッタンスのずれが大きくなる。直線部では正しく計算されている。



大きさに書くと、偏向電磁石の中では有限なバンチ長のビームは曲がっている。GPTのtoutでは、この分布が出力される。この分布からrms値を計算するとx'面に対しても、z'方向の速度成分が入ってきてしまい、位相空間での広がりが大きくなってしまう

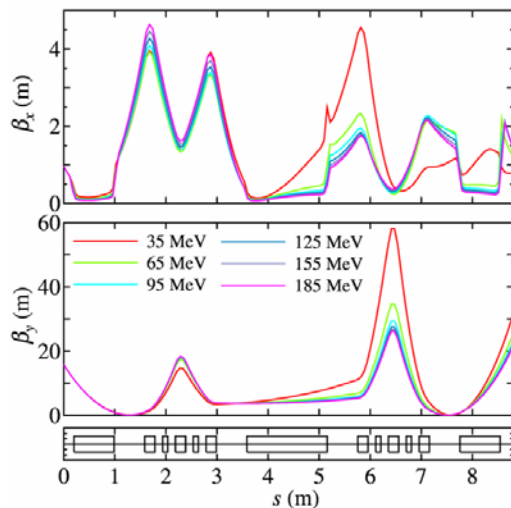
$$\beta_x = \frac{\langle x_c^2 \rangle}{\epsilon_x}$$

ベータatron関数はこの式で計算されるので、それぞれrmsサイズと規格化エミッタンス次のページに示す。



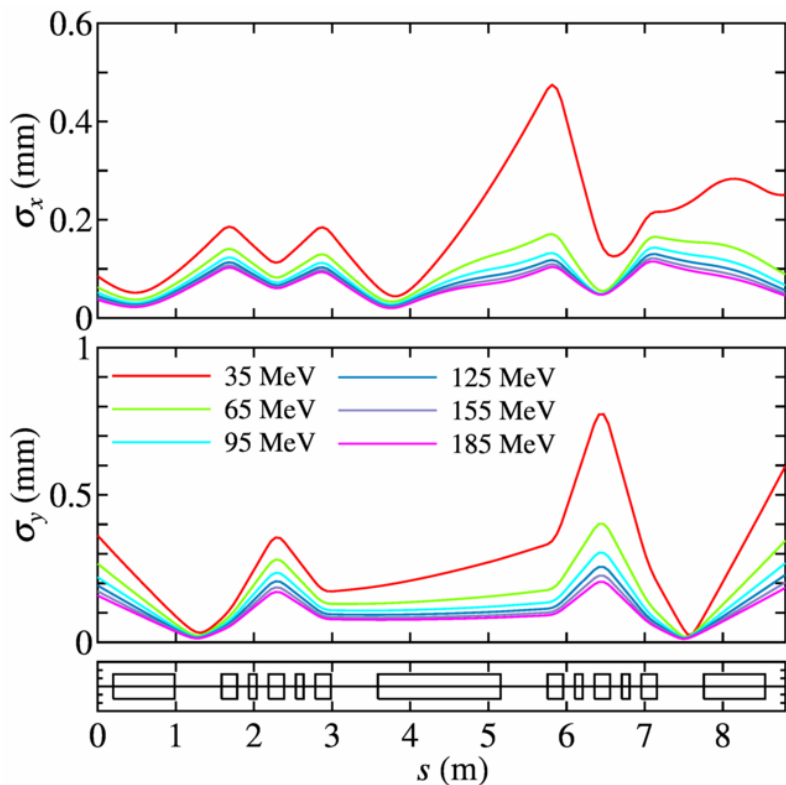
$$\sigma_x = \frac{1}{\sqrt{\gamma\beta}} \sqrt{\beta_x \epsilon_{nx}}$$

35 MeVの場合、上記の式では単純にスケール出来なさそう。

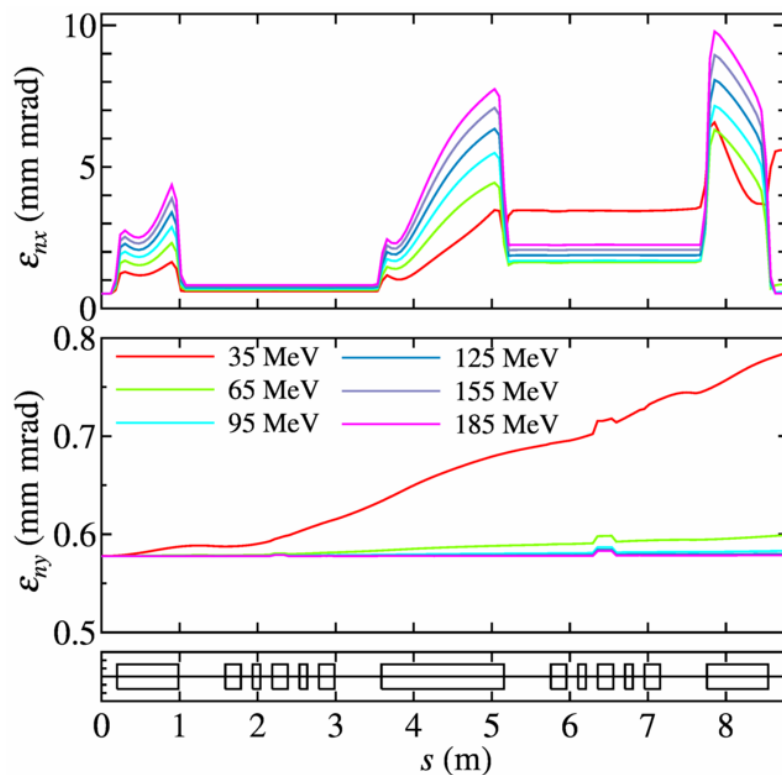


125 MeVくらいまで行くとy方向の規格化エミッタンスの変化は小さくなっている。x方向については、軌道のずれなどの影響を調べる。

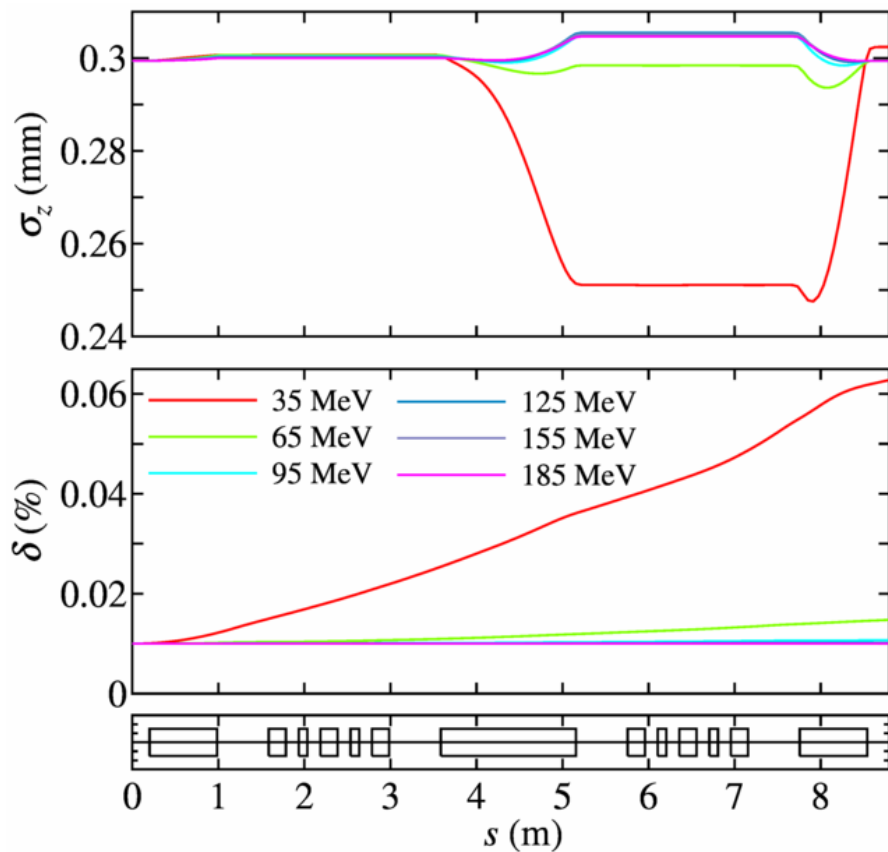
### Rmsビームサイズ



### 規格化エミッタンス



## バンチ長とエネルギー拡がり



バンチ長の35 MeVでの振る舞いについては、R56の値とt-gamma空間での位相空間分布を見比べてみる予定

エネルギー拡がりエネルギーが低いと増加していく傾向が顕著  
125 MeVくらいにするとほぼエネルギー拡がりの変化は無視できそう。

# まとめ

- cERLの1ループバージョンのラティスを例として、第一アークに35 MeVのビームが通った場合どの程度影響があるか調べた。
- 35 MeVの場合だと、ビームサイズの変化、エネルギー拡がりの変化が大きく見られる。
- 125 MeV程度までエネルギーを上げれば影響はかなり小さく出来そう。
  
- 今回は、見当をつけるために5000個の粒子で行ったので、粒子数を上げてより精密に見積もれるようにする。
- 偏向電磁石内でのエミッタンスの計算の問題については引き続き対策を考える。
- 入射部、主加速空洞部、第一アークを繋げて粒子トラッキング出来るように準備を進める。