

# cERLのオプティクス設計の進捗状況

ERL検討会

4号館 セミナーホール

2011年2月15日(水) 14:00 ~

加速器第7研究系

島田 美帆、宮島 司、原田 健太郎、坂中 章悟、小林 幸則

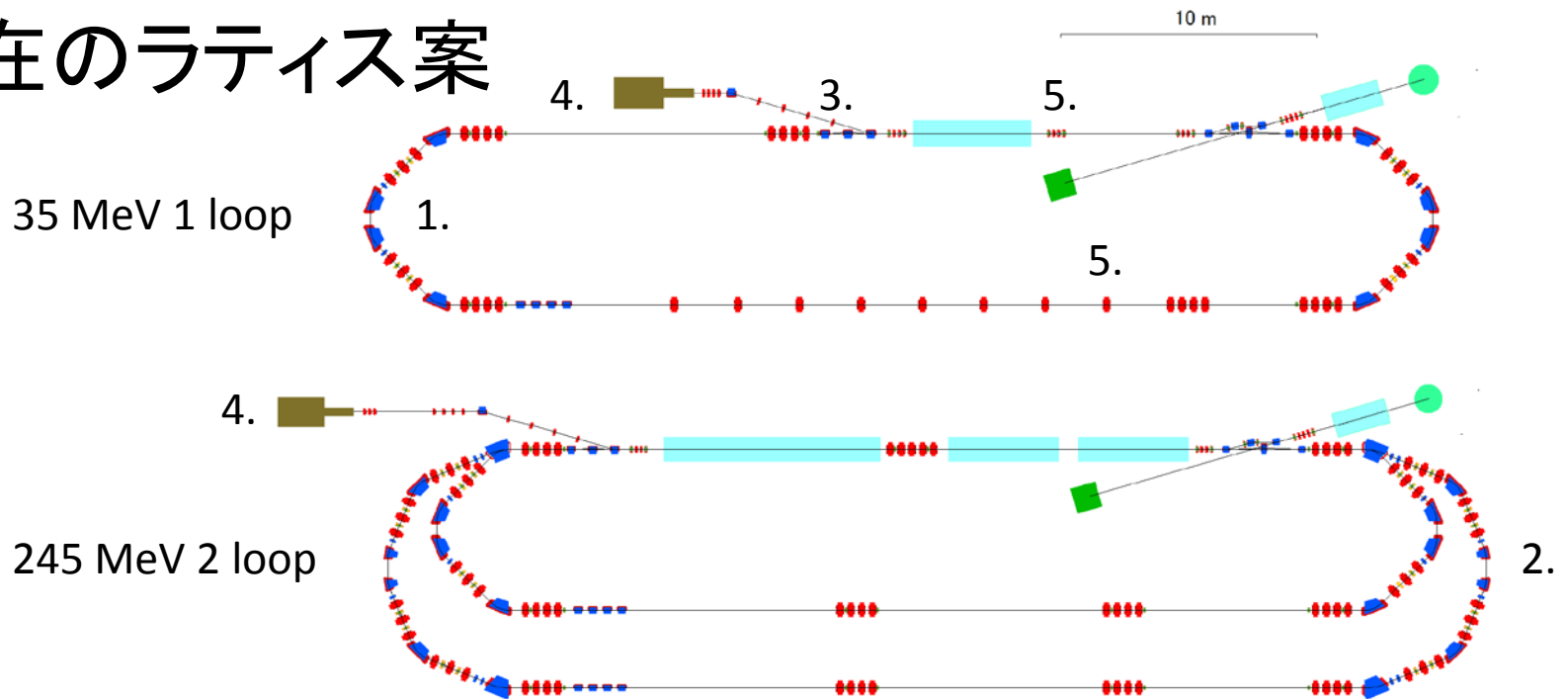
東京大学物性研究所

中村 典雄

日本原子力研究開発機構

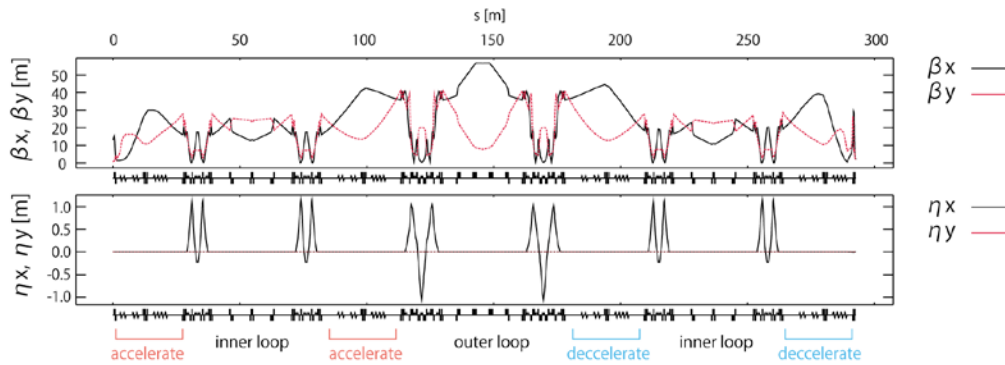
羽島 良一

# 現在のラティス案

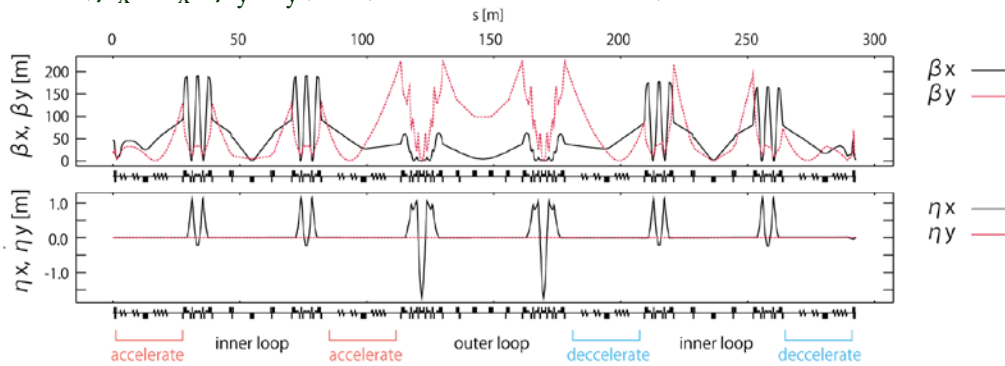


1. 周長補正のためのステアリング配置
  - 5 mm～数cm程度の調整が可能。
2. 外側ループ周長補正のためのラティス変更
  - 内側ループと同様にベンドの位置調整で5cm程度の周長補正ができるようにラティスを変更
3. 35MeV-versionでエネルギー回収直後で5MeVビームを周回部から取り出し
  - 5MeVビームが周回部に残っていると、35MeVビームの収束が困難なため。
4. ダンプの配置およびダンプライン
  - ベンドを間に挟み、ダンプ設置後も取り出し点の位置の微調節が可能となった。
5. 直線部のQの配置(特に35MeV-version)
  - 加速空洞がない部分にQを追加。
  - 逆Compton散乱用に収束点近くにQを配置し、その部分以外ではQを均等に配置。

# 2 loop cERLの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

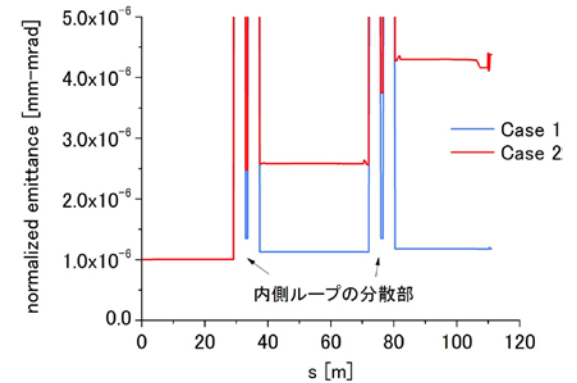


図1: Case 2は1周目の内側ループですでに規格化エミッタンスが10倍近くまで増加。

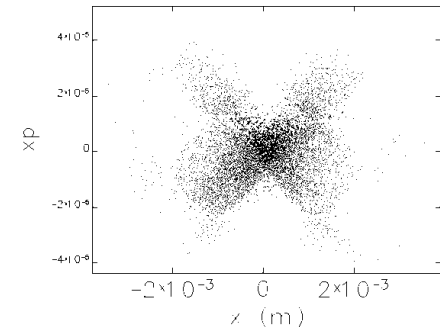


図2: Case2の1周目内側ループのReturn arcの直前のPhase Space

## 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。  
エネルギー回収直後のビームサイズがCase1のおよそ2~3倍。

# 内側ループのCSR wakeによるエミッタンス増加

- エミッタンス増加はアークCenterの $\beta_x$ に大きく依存

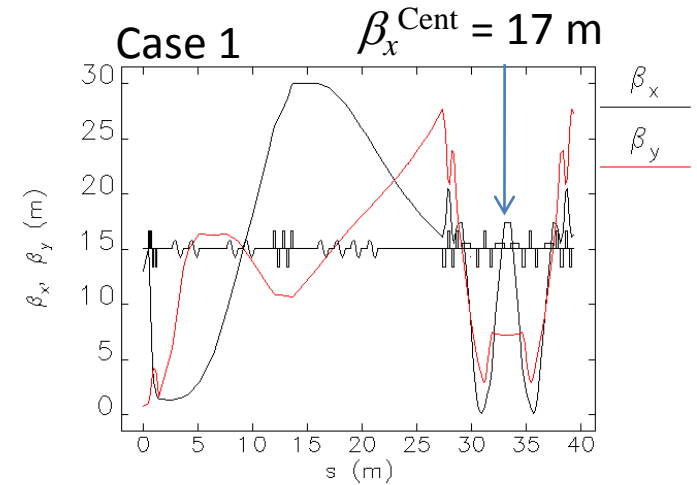
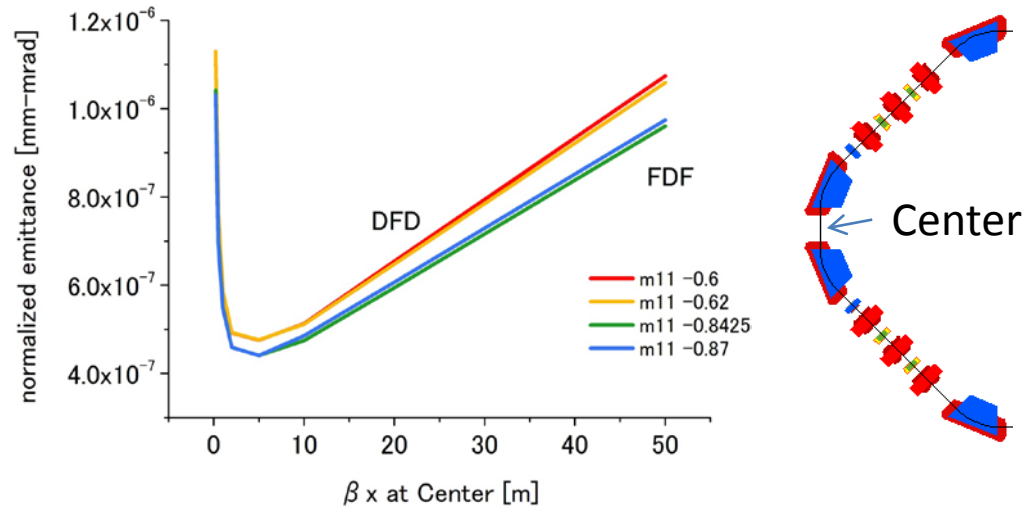
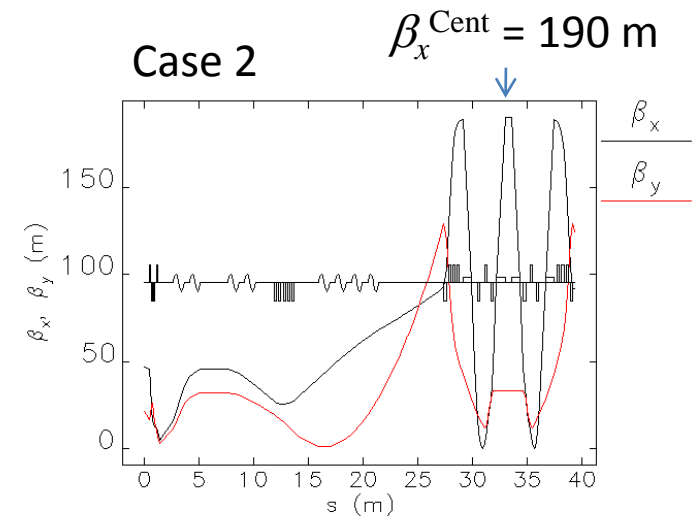


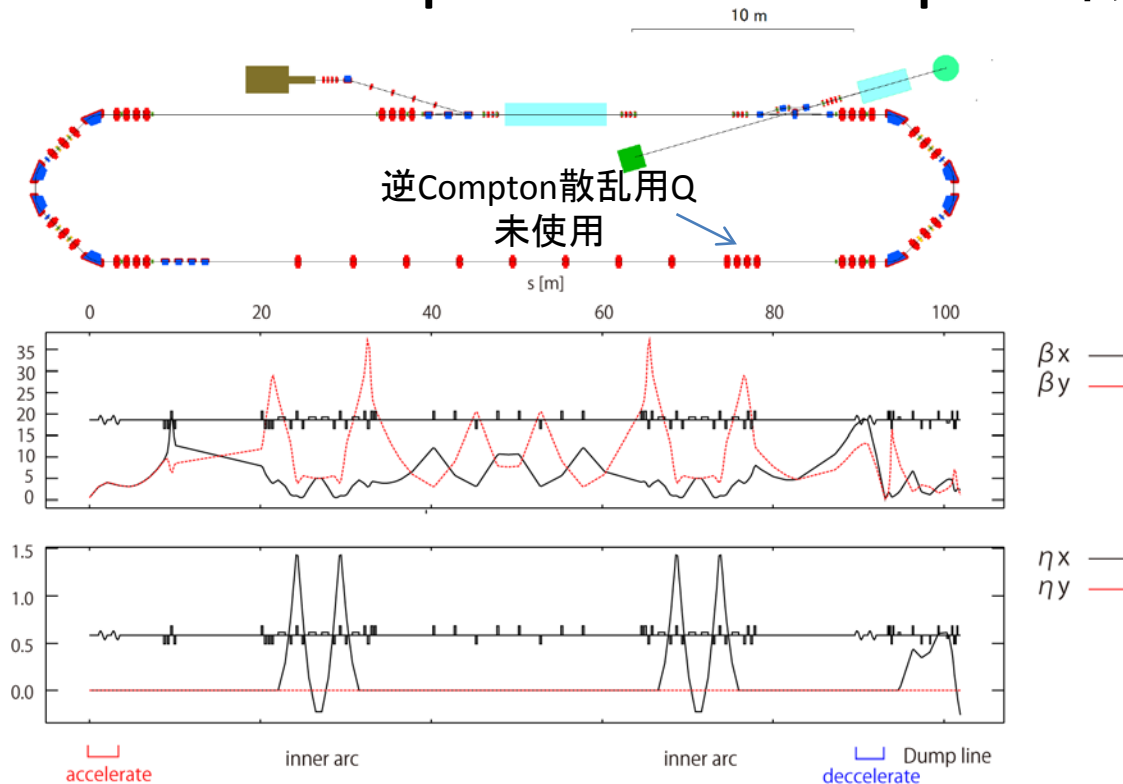
図: 内側ループ半周後のエミッタンス増加。m11はあるTripletのK値の組み合わせ。運動エネルギー35MeV, バンチ長3ps,  $\varepsilon_{nx} = 0.3$  mm-mrad, 電荷量77pCである。トラッキング粒子数は10000。

$\Delta\varepsilon_{nx}$  が2倍以下に抑えられる範囲は  $1 \text{ m} < \beta_x^{\text{Cent}} < 20 \text{ m}$

- Case 2でエミッタンスが大きくなったのは $\beta_x^{\text{Cent}} = 190$  mであったためと推定できる。
- 今後は適切な範囲内に収める。



# 1 loop 35 MeV のOptics設計の現状



CSRの電磁場は  
電子エネルギーに依らない

↓

35MeVの低エネルギーでは  
CSR wakeによる $\epsilon_{nx}$ 増加が顕著

↓

エネルギー回収後の  
ビームサイズの増加が深刻

CSR wakeの影響をelegant  
で最適化\*

\*空間電荷効果によるエンヴェロップの変化については無視した。

- CSR wakeによるエミッタンス増加を最小に抑えるため、アーク中央の $\beta$ 関数を5mとした。
- Dump lineで分散関数を閉じなかった理由は、 $\beta$ 関数が大きくなってしまったためである。
- 逆Compton散乱用のQは未使用である。

$\beta$ 関数の定義:

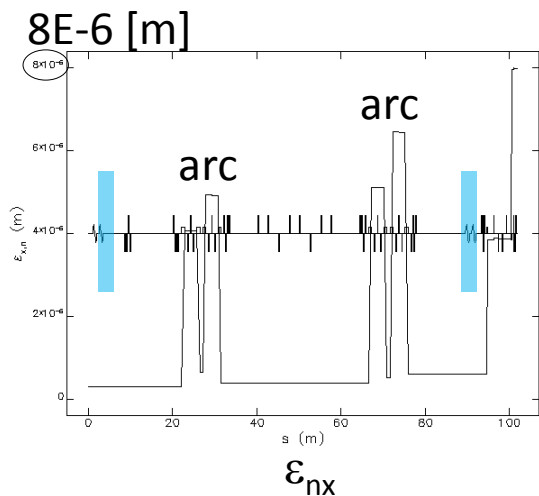
$$\sigma_{x,y} \approx \sqrt{\frac{\beta_{x,y} \epsilon_{nx,ny}}{\gamma}}$$

規格化エミッタンス・ビームサイズに変化がない場合、 $\beta$ 関数はエネルギーに比例する。

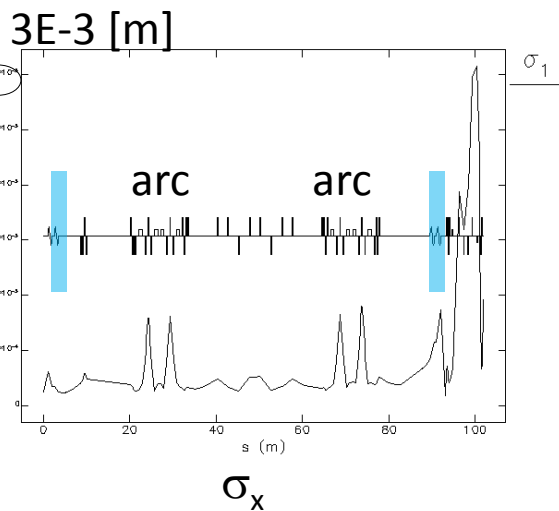
- 定義により、5MeVでは $\beta$ 関数が小さくなる傾向にあるが、ビームサイズが小さいとは限らない。

# Trackingの結果

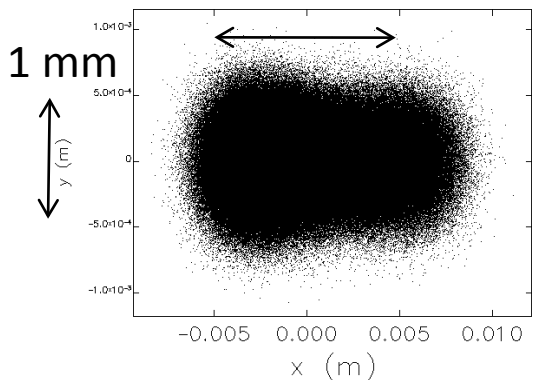
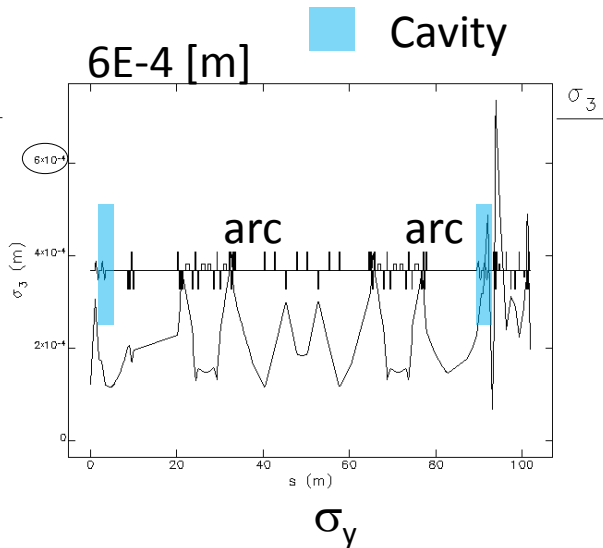
35MeV, 77pC,  $\varepsilon_n = 0.3$  mm-mrad,  $\sigma_z = 3$  ps, particle = 1E6



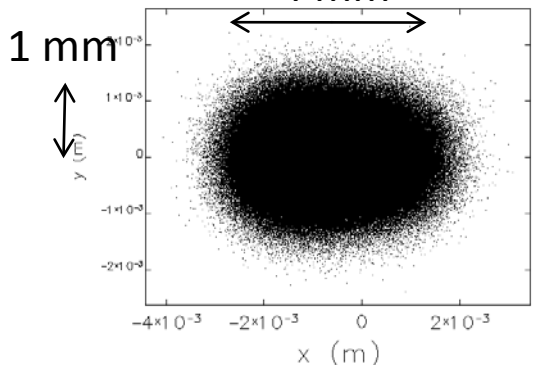
10 mm



4 mm



ダンプレイン



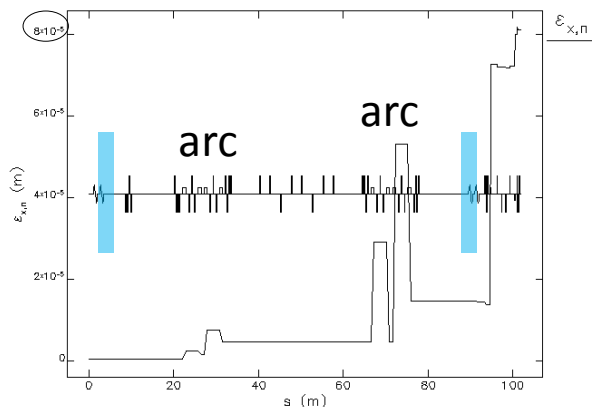
減速中の空洞内

- 最大ビームサイズ
  - 減速空洞内:  $\sigma_x=0.87$ mm
  - ダンプライン:  $\sigma_x=3.1$ mm
- 最大の $\varepsilon_{nx}$ 
  - 周回部(arc以外): 6E-7
  - ダンプライン: 7E-6
  - ダンプラインで10倍に悪化
- 垂直方向のrmsビームサイズは1mm以下となった。

# Trackingの結果

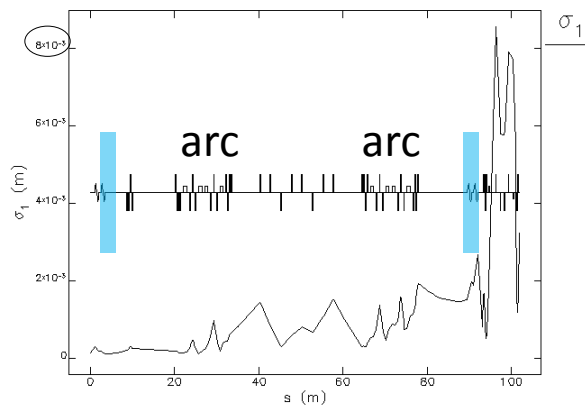
35MeV, 77pC,  $\epsilon_n = 0.3$  mm-mrad,  $\sigma_z = 1$  ps, particle = 1E6

8E-5 [m]



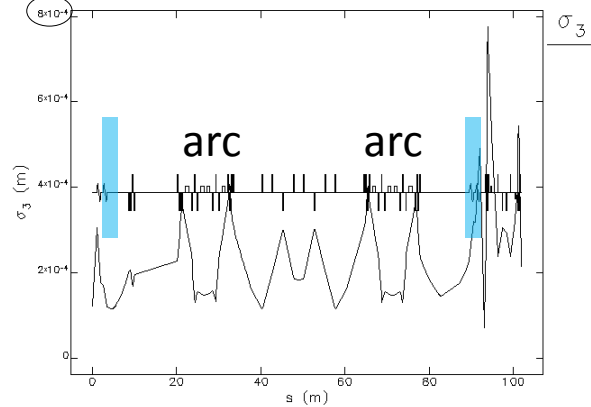
$\epsilon_{nx}$

8E-3 [m]



$\epsilon_{ny}$

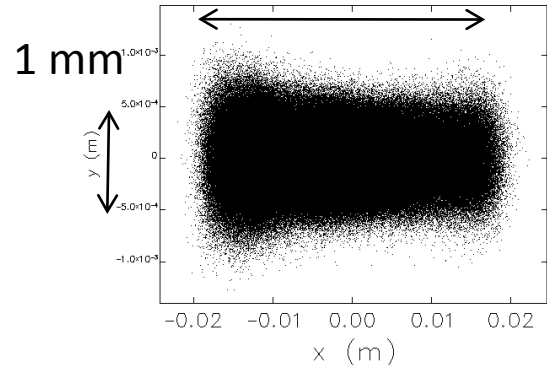
8E-4 [m]



$\epsilon_{nz}$

Cavity

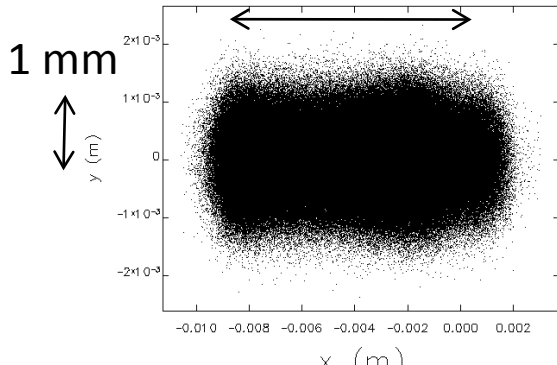
40 mm



watch-point phase space--input: ALL.ele lattice: ALL.lite

ダンプリン

10 mm



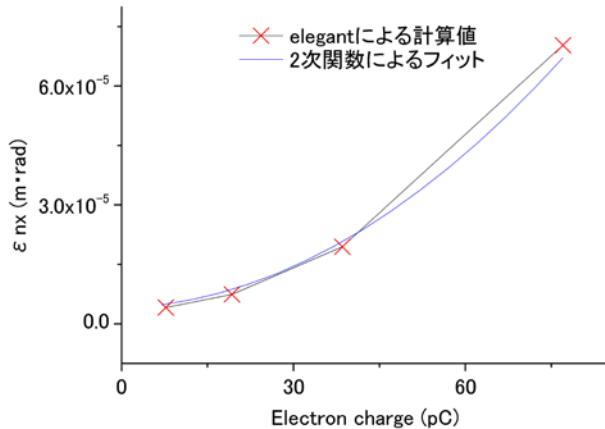
watch-point phase space--input: ALL.ele lattice: ALL.lite

減速中の空洞内

- 最大ビームサイズ
  - 減速空洞内:  $\sigma_x=2.7$ mm
  - ダンプライン:  $\sigma_x=8.6$ mm
- 最大の $\epsilon_{nx}$ 
  - 周回部(arc以外):  $1.5E-5$
  - ダンプライン:  $8E-5$
- 垂直方向のrmsビームサイズは1mm以下となった。
- 3psのケースに比べて、ビームの質の劣化が激しい。

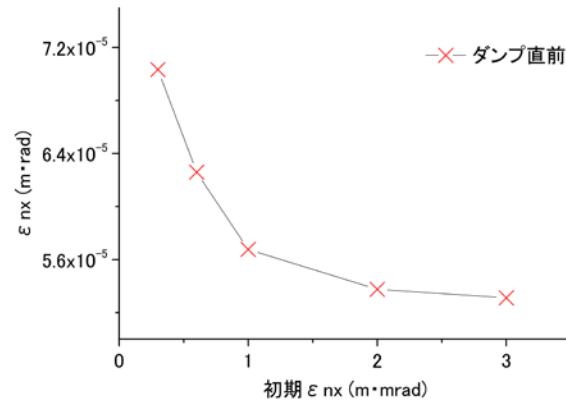
# Trackingの結果 (規格化エミッタンス: $\epsilon_{nx}$ )

35MeV, particle = 1E4 (1E6の結果と若干異なる。)



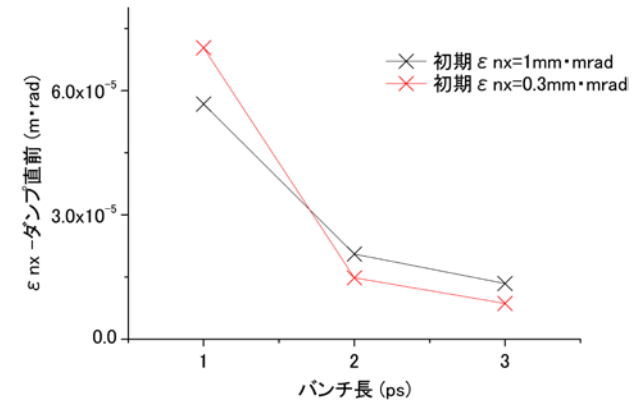
## 電荷量依存性

( $\sigma_z = 1\text{ps}$ , 初期 $\epsilon_{nx} = 0.3\text{mm}\cdot\text{mrad}$ )



## 初期 $\epsilon_{nx}$ 依存性

( $\sigma_z = 1\text{ps}$ , 77 pC)



## バンチ長依存性

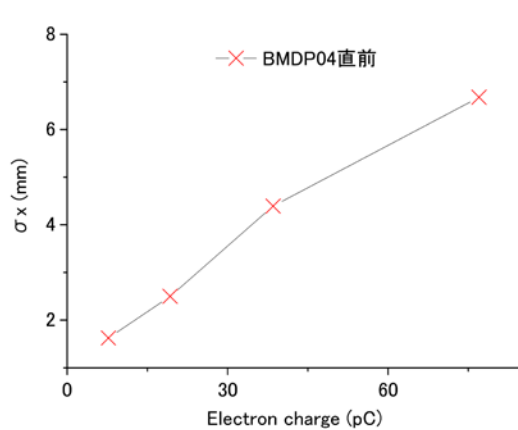
(77 pC)

- 電荷量依存性:  
電荷量が大きいほど $\epsilon_{nx}$ 増加が著しい。電荷量の2乗に比例する。
- 初期 $\epsilon_{nx}$ 依存性:  
初期 $\epsilon_{nx}$ が小さいほどCSR wakeの影響が大きくなるため、 $\epsilon_{nx}$ がより増加する。
- バンチ長依存性:  
バンチ長が短いほど、 $\epsilon_{nx}$ がより増加する。その影響は初期 $\epsilon_{nx}$ が小さいほど大きい。
- RF cavityの振幅・位相の0.1%の誤差:  
 $\epsilon_{nx}$ に関しては3%程度の変化



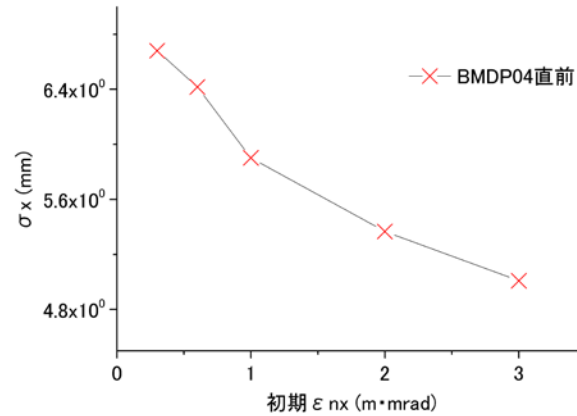
# Trackingの結果(水平方向rmsビームサイズ: $\sigma_x$ )

35MeV, particle = 1E4 (1E6の結果と若干異なる。)



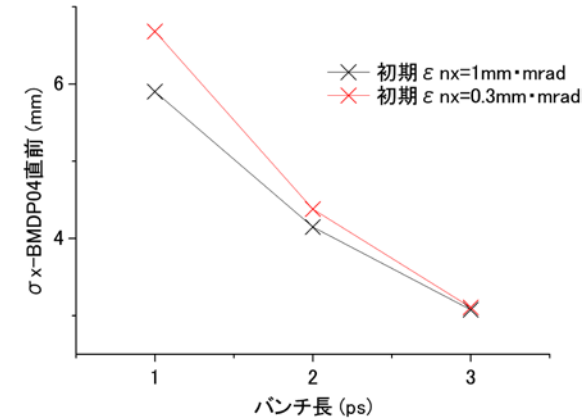
## 電荷量依存性

( $\sigma_z = 1\text{ps}$ 、初期 $\epsilon_{nx} = 0.3\text{mm}\cdot\text{mrad}$ )



## 初期 $\epsilon_{nx}$ 依存性

( $\sigma_z = 1\text{ps}$ , 77 pC)



## バンチ長依存性

(77 pC)

- 電荷量依存性:  
電荷量が大きいほど $\sigma_x$ の増加が著しい。Opticsにも依存するため、電荷量の2乗に比例しない。
- 初期 $\epsilon_{nx}$ 依存性:  
初期 $\epsilon_{nx}$ が小さいほどCSR wakeの影響が大きくなるため、 $\sigma_x$ がより増加する。
- バンチ長依存性:  
バンチ長が短いほど $\sigma_x$ がより増加する。  
 $\epsilon_{nx}$ とは異なり、バンチ長に依らず初期 $\epsilon_{nx}$ が小さいときに増加量大きい。
- RF cavityの振幅・位相の0.1%の誤差:  
 $\sigma_x$ に関しては4%程度の変化

# まとめ

- 2つのラティスの設計を進めている。
  - 周長補正などを考慮に入れたラティスの変更を行った。(詳細は別の打ち合わせの資料を参考)
  - 35MeV運転時には、5MeVビームをエネルギー回収直後に取り出す。
- 2 loop-ERL
  - 入射合流部のTwiss parameterを入射器のOpticsを合せたところ、CSR wakeの影響が大きくなった。
  - アーク中央の $\beta$ 関数が1m~20mのから大きく外れていたことが原因であると推測した。
- 35 MeV 1 loop-ERL
  - 比較的エネルギーが低いため、CSR wakeの影響が大きい。
  - エミッタンスやビームサイズは以下の条件で増加してしまう。  
短いバンチ長(1ps)、小さな初期エミッタンス(0.3mm $\cdot$ mrad)、大きな電荷量(77pC)
  - 77pC, 1ps, 0.3mm $\cdot$ mradのケースでは水平方向のビームサイズが全幅で4cmを超えることもある。