

EUV-FEL 入射器の最適化計算 合流部出口まで

2015年11月10日(火)14時～
第99回ビームダイナミックスWGミーティング

宮島 司

目的と方針（前回のスライド）

- 目的
 - EUV-FEL 用の入射器の最適化計算
 - これまでは、入射器超伝導空洞出口まで最適化を実施
 - 合流部でどれくらいエミッタンスが悪化するかを見積もる
- 方針
 - 合流部の設計（cERLの合流部より機器配置の余裕を持たせたい）
 - 入射器超伝導空洞出口までの最適化結果を元にして、合流部の輸送条件を調整（空間電荷分散関数の調整）
 - 電子銃から合流部出口までの最適化計算
- ビーム条件
 - バンチ電荷：60 pC
 - 入射器エネルギー：10 MeV 程度（入射器 $E_{acc} < 7.3$ MV/m）
 - 入射器空洞：2 cell × 6 空洞

今回の目的と進捗

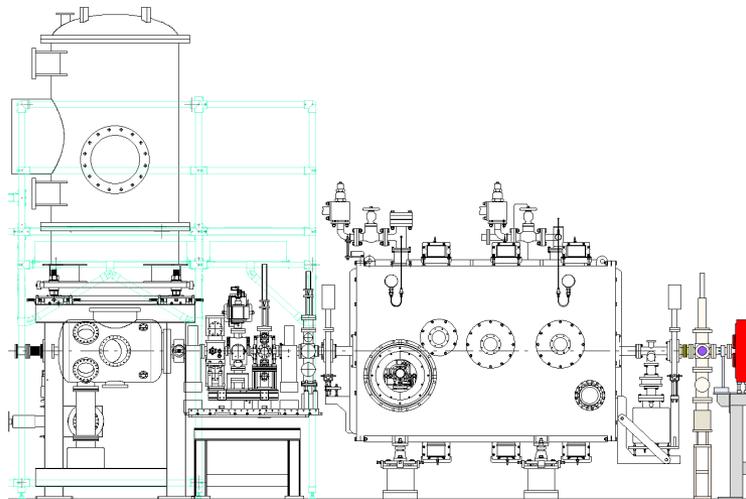
- 周回部で圧縮する際の条件として、バンチ長 1 ps、規格化エミッタンス 0.6 mm mradが望ましい
- これまでは、1 ~ 3 ps 付近で最適化計算を行ってきたが、1 ps 付近に焦点を当てる計算を行っている
- 進捗
 - 合流部を含めて計算したとき、粒子数依存性が大きいいため、粒子数を段階的に増やしながらか最適化を進めている
 - 粒子数 10 k, 20 k, 50 k のケースで、1 ps で 0.7 mm mrad 程度まで下がる条件が見つかった

入射器の配置(前回のスライド)

1. cERLの配置

入射器超伝導空洞

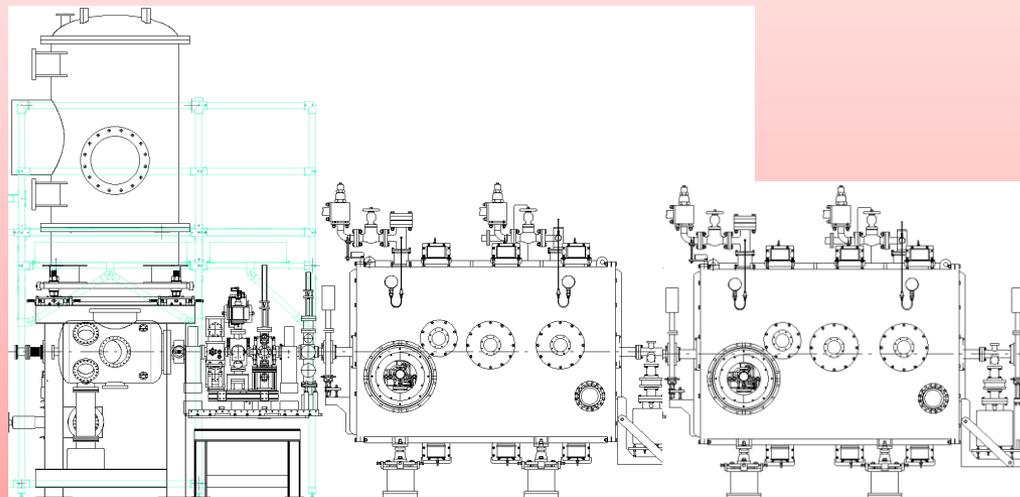
2 cell × 3 空洞



2. EUV-FEL用の配置

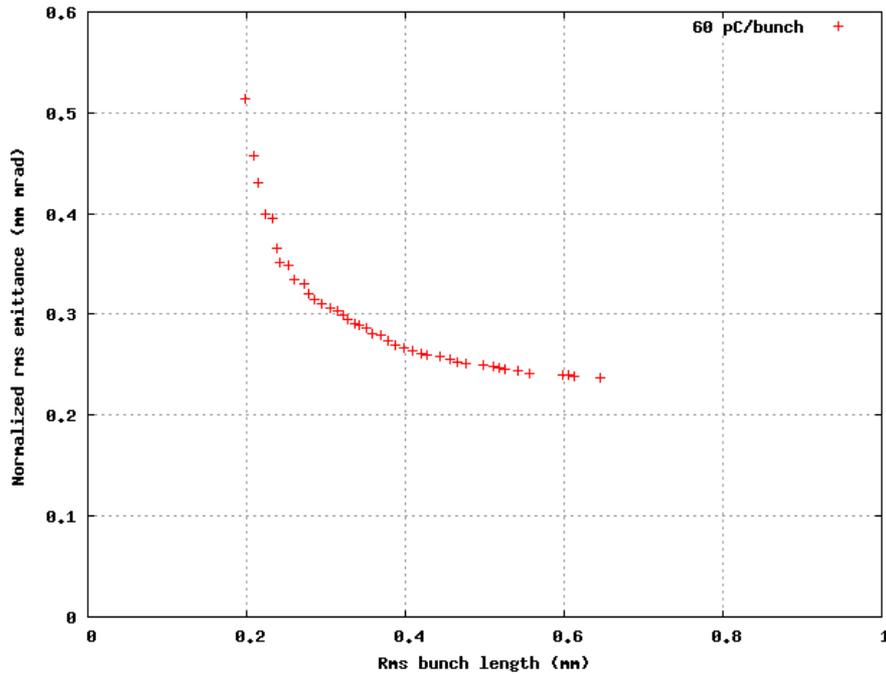
入射器超伝導空洞

2 cell × 6 空洞



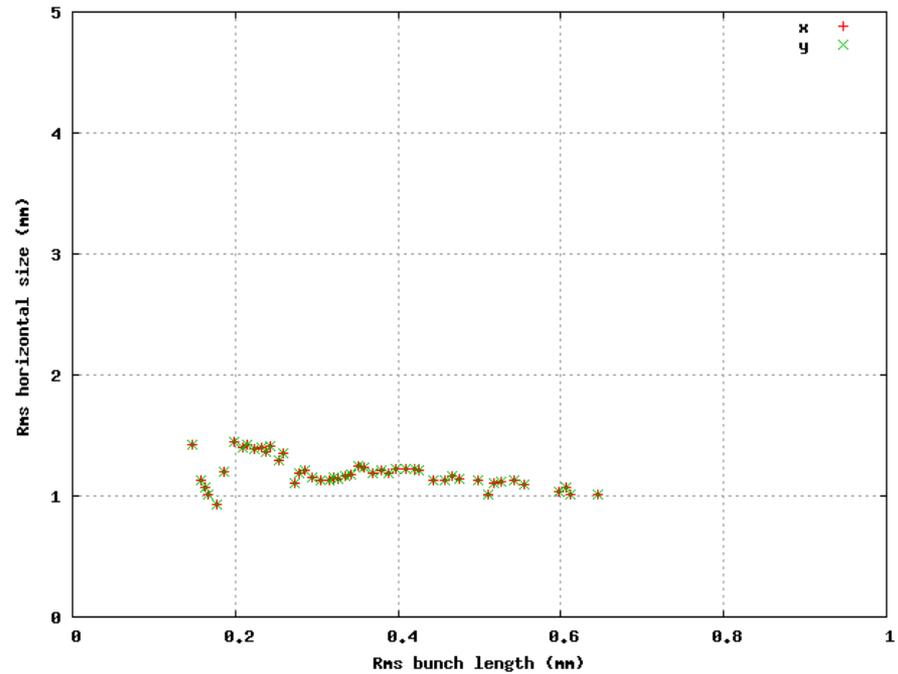
100 k 粒子の結果 (入射器出口)

規格化rmsエミッタンス



バンチ長 2 ps で 0.25 mm mrad
バンチ長 1 ps で 0.3 mm mrad

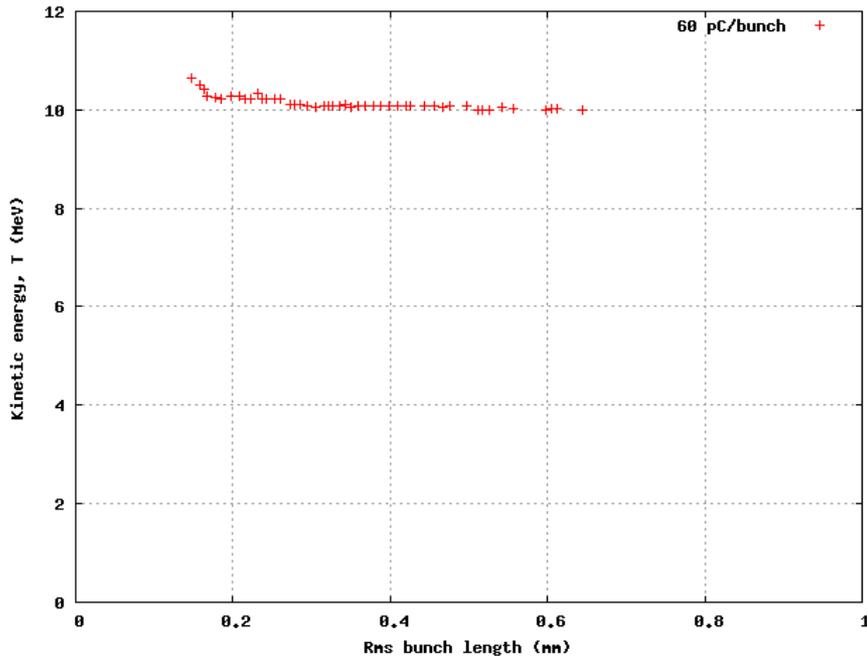
Rms ビームサイズ



バンチ長 2 ps で 1 mm

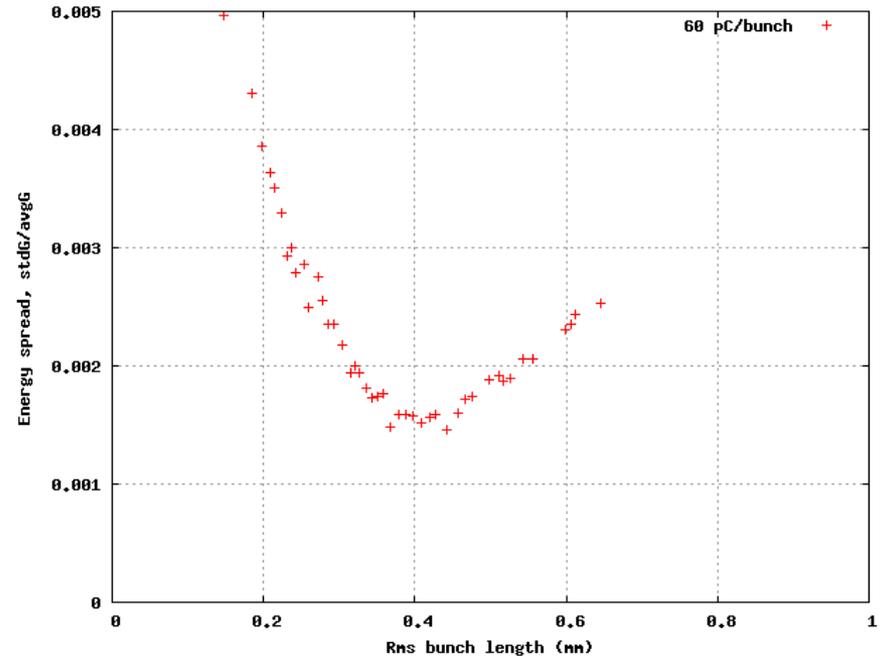
100 k 粒子の結果 (入射器出口)

運動エネルギー



運動エネルギー 10 MeV

Rmsエネルギー拡がり

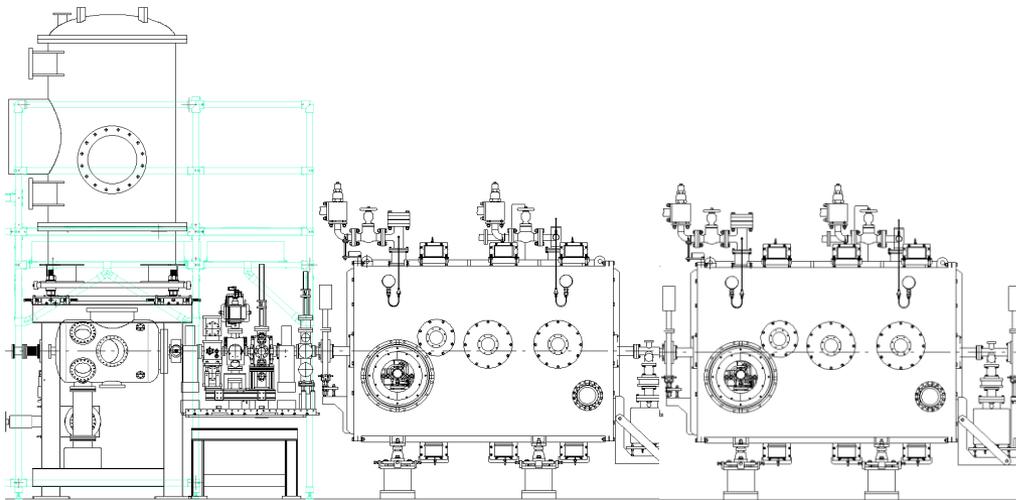


バンチ長 2 ps で 0.25 % 程度

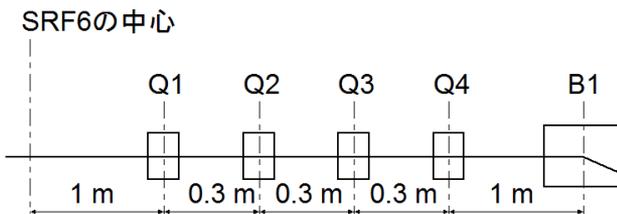
次に、合流部の形式について検討した

合流部を加えた条件での最適化 (前回のスライド)

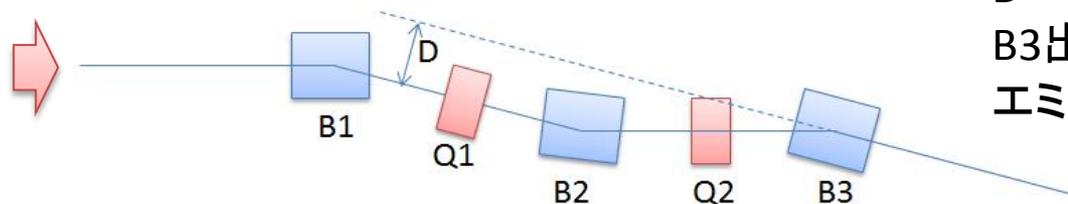
- 2 cell × 6 空洞の下流に、四極電磁石4台と合流部を配置
- この配置で、合流部出口から 0.3 m 地点での最適化を行う
- 最小化するパラメタ: 規格化エミッタンス(水平・垂直方向)、バンチ長



注: スケールはあっていません...



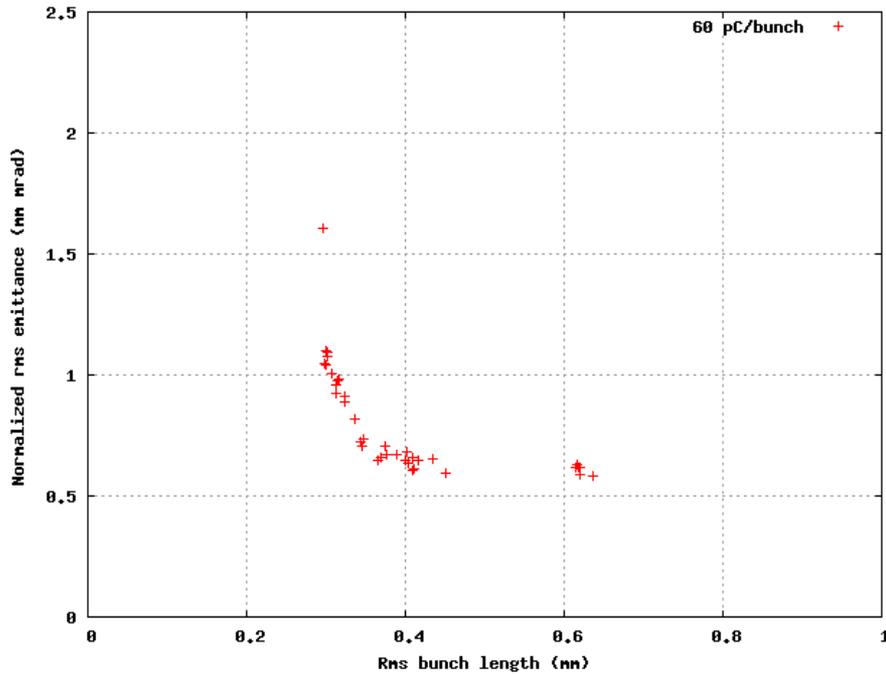
先ほどの自由変数に加えて、
この4台のK値も自由パラメタとして追加



D = 400 mmの合流部
B3出口から 0.3 m の位置で
エミッタンスとバンチ長を最小化

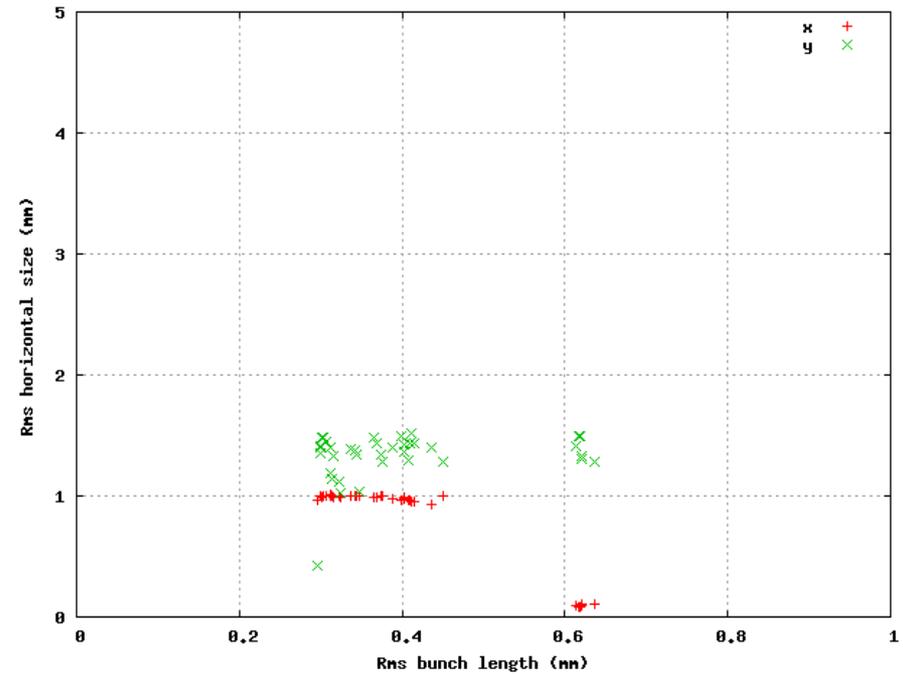
100 k 粒子の結果 (合流部出口、前回の結果)

規格化rmsエミッタンス



バンチ長 2 ps で 0.6 mm mrad

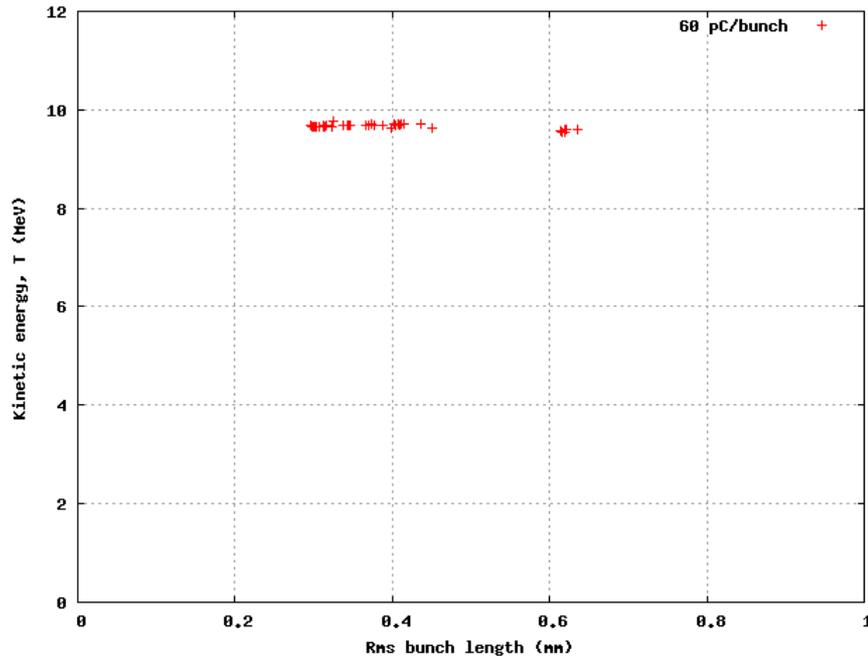
Rms ビームサイズ



バンチ長 2 ps で 1.5 mm 以下

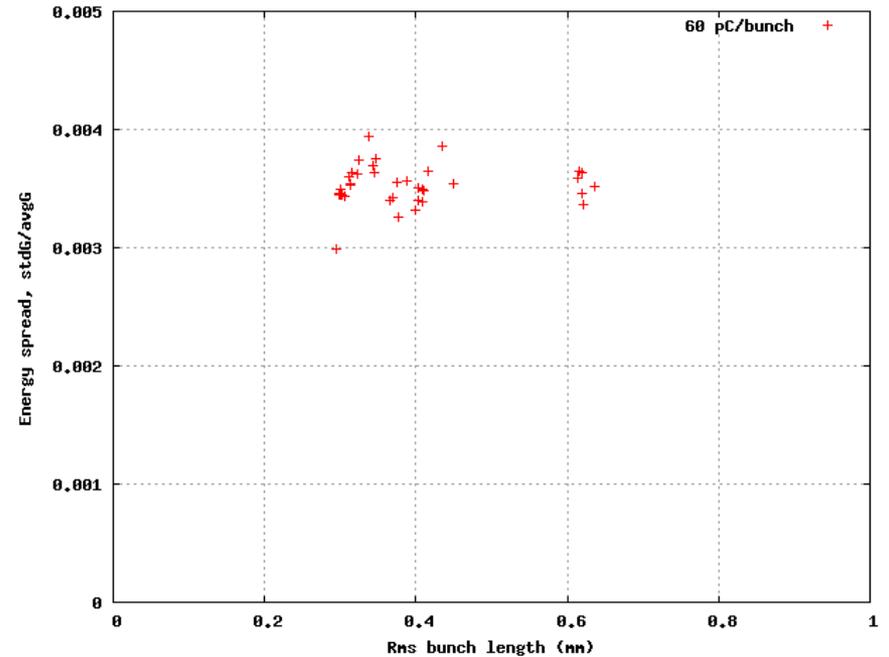
100 k 粒子の結果(合流部出口、前回の結果)

運動エネルギー



運動エネルギー 10 MeV弱

Rmsエネルギー拡がり

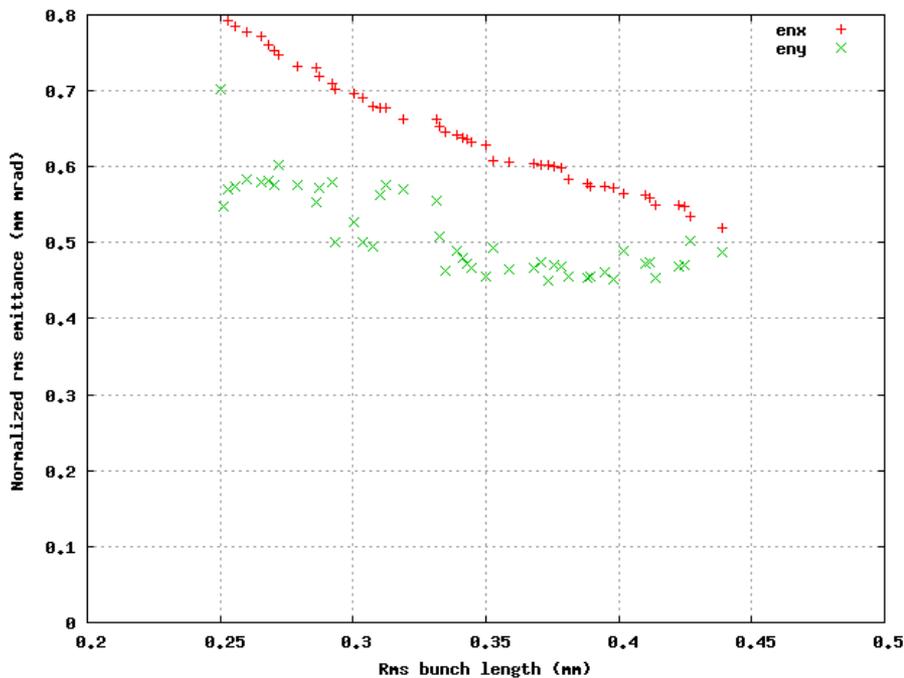


バンチ長 2 ps で 0.35 % 程度

バンチ長 2 ps の条件を基に時間発展を計算

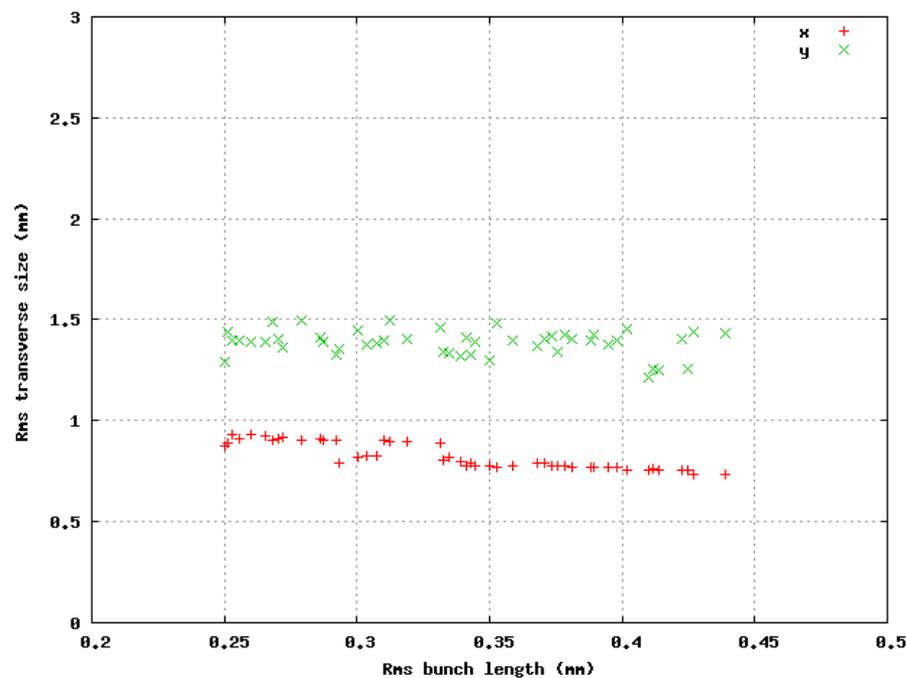
1 ps 付近を重点的に計算、nps = 10 k

規格化rmsエミッタンス



バンチ長 1 ps で 0.7 mm mrad

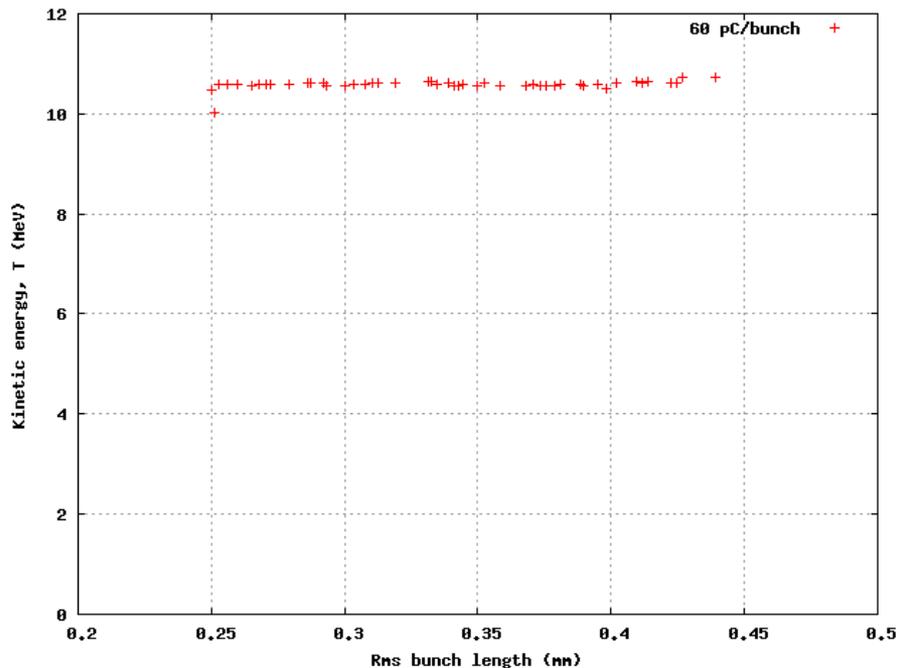
Rms ビームサイズ



バンチ長 1 ps で 1.5 nm 以下

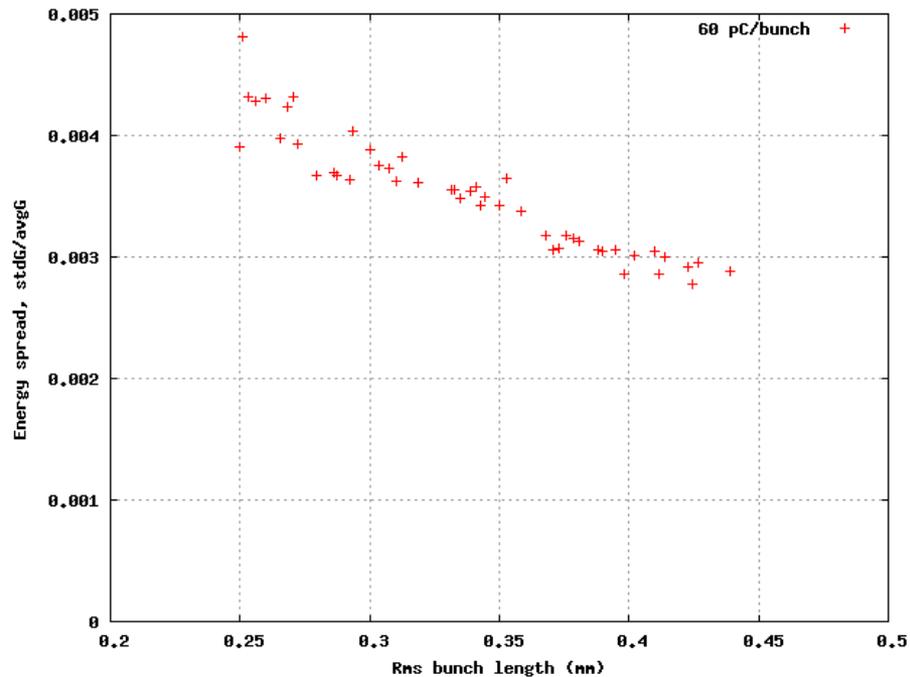
1 ps 付近を重点的に計算、nps = 10 k

運動エネルギー



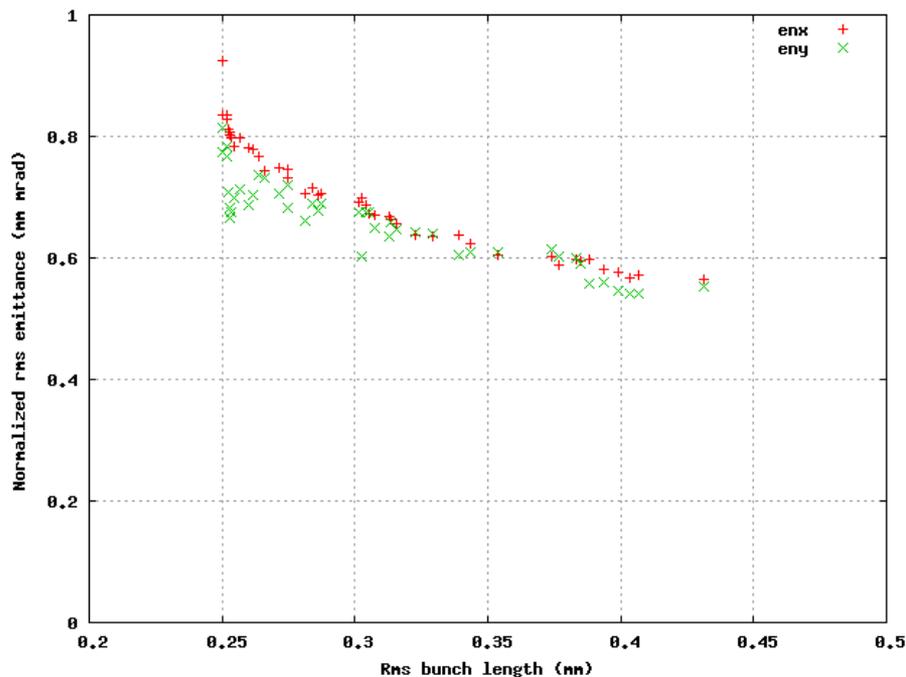
運動エネルギー 11 MeV弱

Rmsエネルギー拡がり



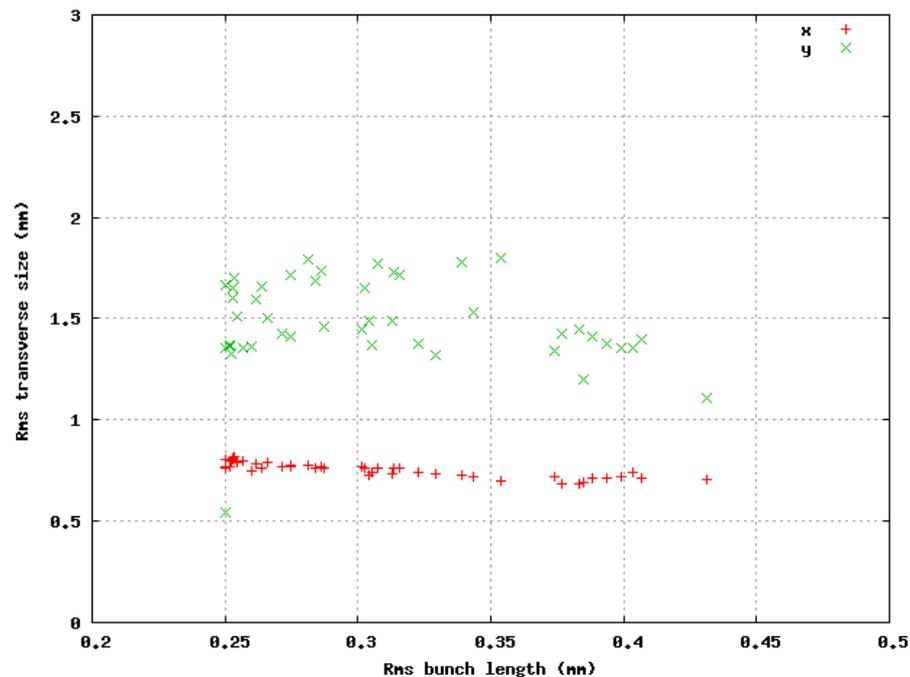
1 ps 付近を重点的に計算、nps = 50 k

規格化rmsエミッタンス



バンチ長 1 ps で 0.7 mm mrad

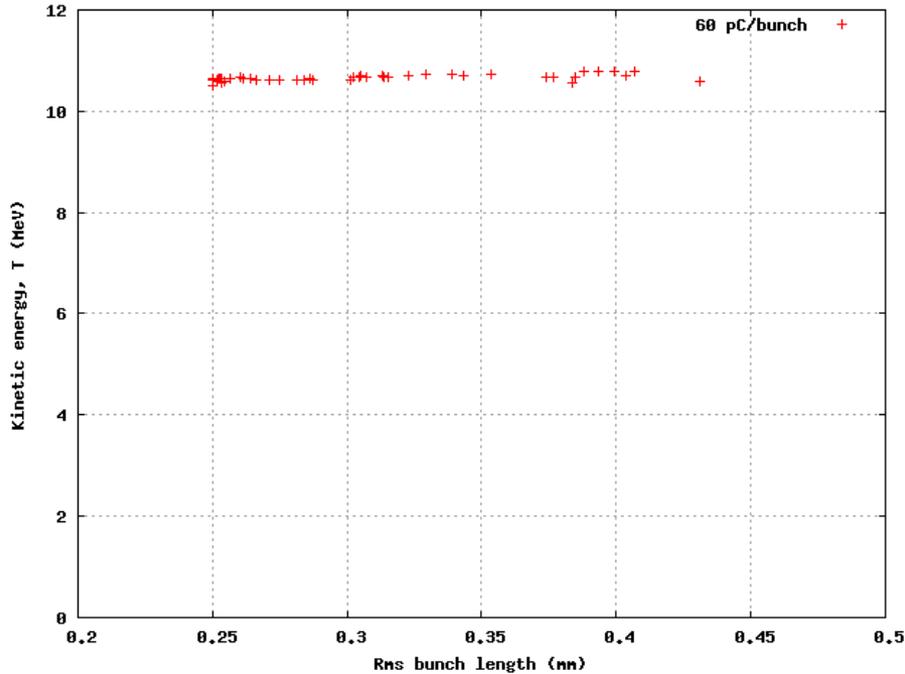
Rms ビームサイズ



バンチ長 1 ps で stdx = 0.8 mm, stdy = 1.8 mm

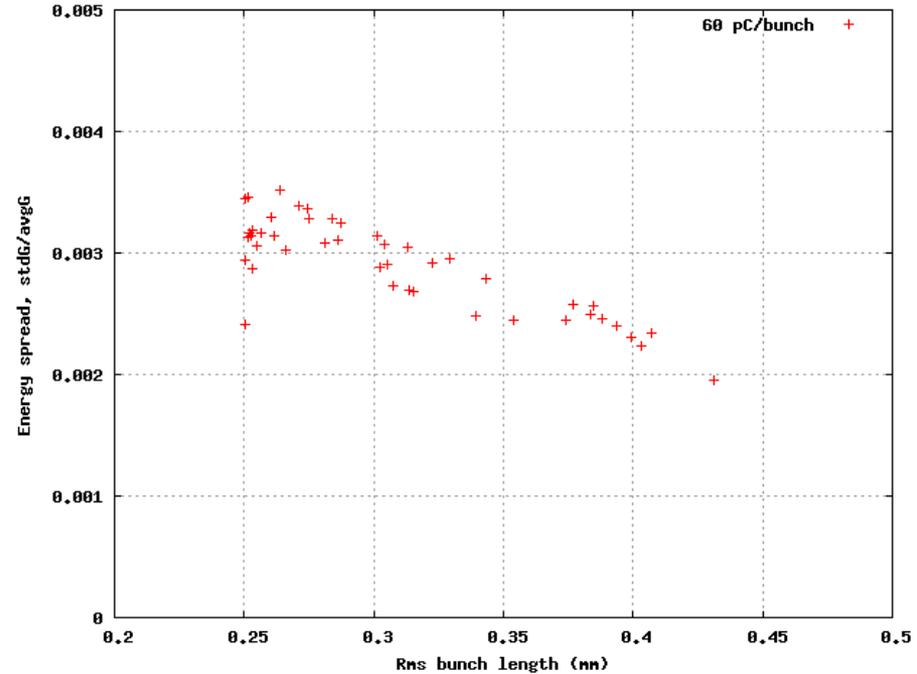
1 ps 付近を重点的に計算、nps = 50 k

運動エネルギー



運動エネルギー 11 MeV弱

Rmsエネルギー拡がり



バンチ長 1 ps で 0.31 % 程度

合流部を入れると、エミッタンスの粒子数依存性が大きくなるが、最適化を進めるとエミッタンスはおおよそ同じ値に落ち着く(0.7 mm mrad)

まとめ

- バンチ長 1 ps 付近を重点的に最適化した
- バンチ電荷は60 pC
- 粒子数 50 k の結果
 - バンチ長 1 ps
 - 規格化rmsエミッタンス 0.7 mm mrad
 - 運動エネルギー 11 MeV
 - エネルギー拡がり 0.31 %
- 合流部を含めての計算だと、エミッタンスの粒子数依存性が大きくなる
- 質問
 - 何か緩和してよい条件はないでしょうか？
- 今後の予定
 - 今回求めた条件で、粒子数を変えた時のエミッタンスの変化を評価する
 - よりエミッタンスの下がる条件はないかの探索(電子銃の電極形状変更など)
 - 主空洞1台目くらいまでを含めた最適化(エミッタンスがほぼ固定される)
 - 誤差解析

Cornellの入射器出口でのエミッタンス(計算と測定結果)

Adam Bartnik et al., PHYSICAL REVIEW SPECIAL TOPICS—ACCELERATORS AND BEAMS 18, 083401 (2015)

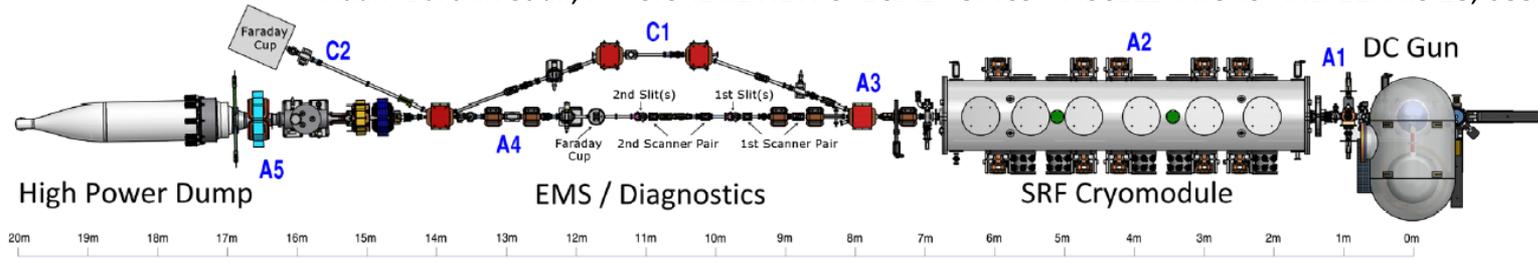


FIG. 1. Top view of the Cornell injector. The deflecting cavity (not shown) is located between the second EMS slit pair and the A4 Faraday cup.

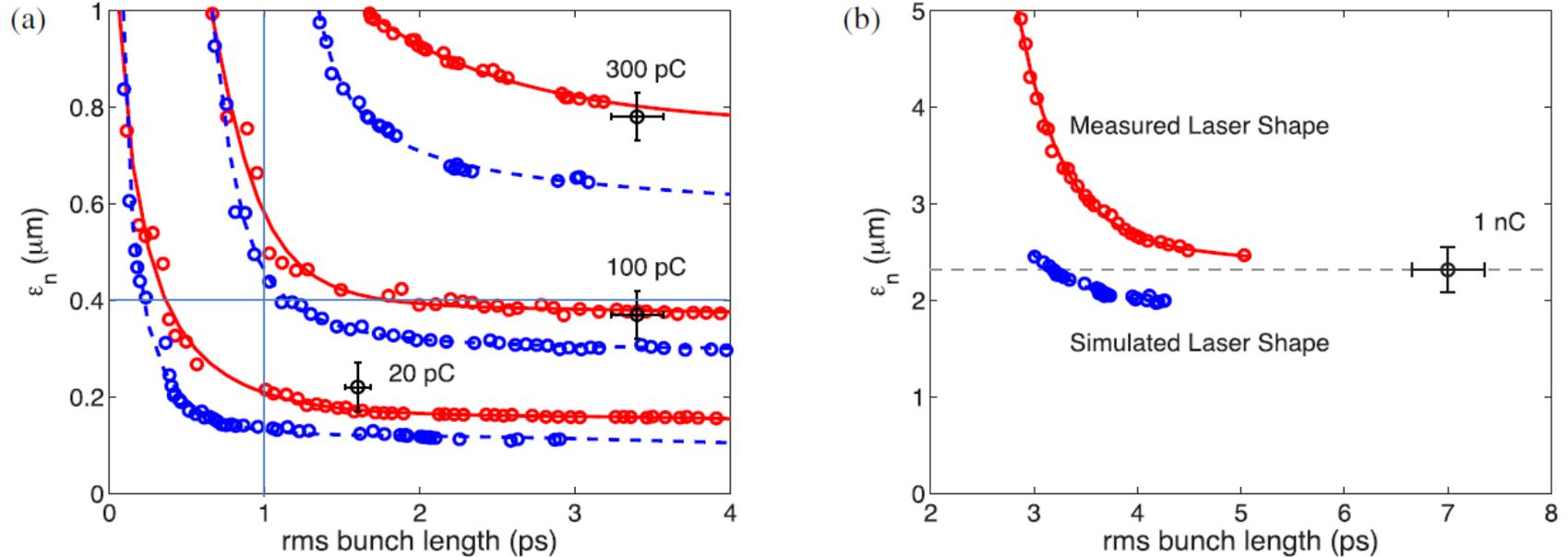


FIG. 10. Comparison of the optimal average 100% transverse emittance for 20–300 pC bunch charges (a) and 1 nC bunch charge (b). Shown in blue are the optimizations using an ideal, varied laser shape. In red are the optimization results using the measured transverse laser profile and fix shaping crystal angles. Measured values are shown in black.

前回の入射器出口で、1 ps, 0.3 mm mrad という結果とほぼ同じくらいか

Cornellの合流部出口でのエミッタンス(計算と測定結果)

Colwyn Gulliford et al., PHYSICAL REVIEW SPECIAL TOPICS - ACCELERATORS AND BEAMS 16, 073401 (2013)

TABLE III. Measured and simulated projected horizontal (a), and vertical (b) emittances.

(a) Horizontal projected emittance data.

19 pC Measurement Type	$\epsilon_{n,x}(100\%)$	$\epsilon_{n,x}(90\%)$	$\epsilon_{n,x}(\text{core})$	f_{core}	$\epsilon_{n,x}(\text{core})/f_{\text{core}}$
Projected EMS	$0.33 \pm 0.02 \mu\text{m}$	$0.23 \pm 0.02 \mu\text{m}$	$0.14 \pm 0.01 \mu\text{m}$	67%	$0.21 \pm 0.01 \mu\text{m}$
Time-resolved EMS	$0.28 \pm 0.02 \mu\text{m}$	$0.21 \pm 0.01 \mu\text{m}$	$0.14 \pm 0.01 \mu\text{m}$	72%	$0.19 \pm 0.01 \mu\text{m}$
GPT simulation	$0.31 \mu\text{m}$	$0.19 \mu\text{m}$	$0.07 \mu\text{m}$	59%	$0.12 \mu\text{m}$
77 pC Measurement type	$\epsilon_{n,x}(100\%)$	$\epsilon_{n,x}(90\%)$	$\epsilon_{n,x}(\text{core})$	f_{core}	$\epsilon_{n,x}(\text{core})/f_{\text{core}}$
Projected EMS	$0.69 \pm 0.05 \mu\text{m}$	$0.51 \pm 0.04 \mu\text{m}$	$0.28 \pm 0.2 \mu\text{m}$	64%	$0.44 \pm 0.03 \mu\text{m}$
Time-resolved EMS	$0.66 \pm 0.05 \mu\text{m}$	$0.48 \pm 0.04 \mu\text{m}$	$0.29 \pm 0.2 \mu\text{m}$	67%	$0.43 \pm 0.03 \mu\text{m}$
GPT simulation	$0.72 \mu\text{m}$	$0.44 \mu\text{m}$	$0.17 \mu\text{m}$	51%	$0.33 \mu\text{m}$

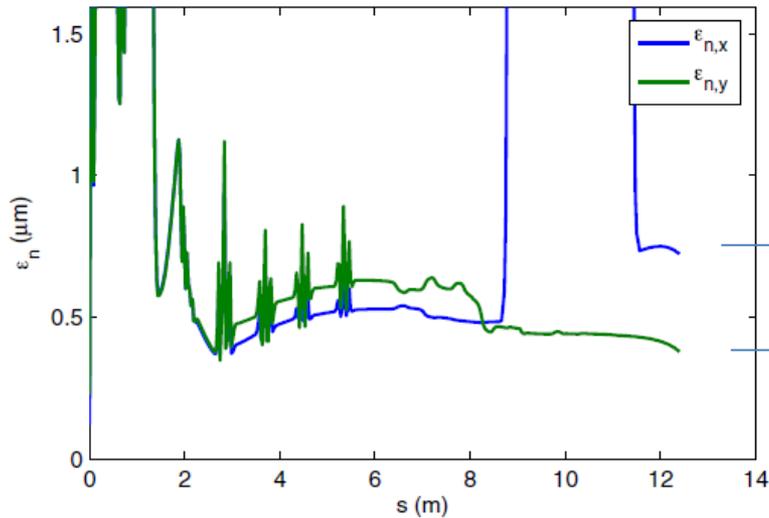
(b) Vertical projected emittance data.

19 pC Measurement type	$\epsilon_{n,y}(100\%)$	$\epsilon_{n,y}(90\%)$	$\epsilon_{n,y}(\text{core})$	f_{core}	$\epsilon_{n,y}(\text{core})/f_{\text{core}}$
Projected EMS	$0.20 \pm 0.01 \mu\text{m}$	$0.14 \pm 0.01 \mu\text{m}$	$0.09 \pm 0.01 \mu\text{m}$	70%	$0.13 \pm 0.01 \mu\text{m}$
GPT simulation	$0.16 \mu\text{m}$	$0.11 \mu\text{m}$	$0.06 \mu\text{m}$	64%	$0.09 \mu\text{m}$
77 pC Measurement type	$\epsilon_{n,y}(100\%)$	$\epsilon_{n,y}(90\%)$	$\epsilon_{n,y}(\text{core})$	f_{core}	$\epsilon_{n,y}(\text{core})/f_{\text{core}}$
Projected EMS	$0.40 \pm 0.03 \mu\text{m}$	$0.29 \pm 0.02 \mu\text{m}$	$0.19 \pm 0.01 \mu\text{m}$	70%	$0.27 \pm 0.01 \mu\text{m}$
GPT simulation	$0.37 \mu\text{m}$	$0.25 \mu\text{m}$	$0.11 \mu\text{m}$	59%	$0.19 \mu\text{m}$

このときのバンチ長はいくらか？

Cornellの合流部出口でのエミッタンス(計算と測定結果)

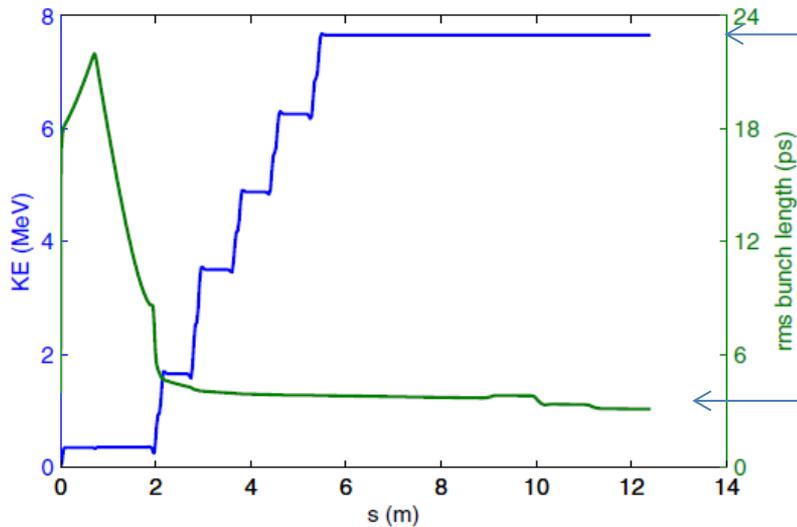
Colwyn Gulliford et al., PHYSICAL REVIEW SPECIAL TOPICS - ACCELERATORS AND BEAMS 16, 073401 (2013)



(d) Projected emittance for 77 pC/bunch..

$E_{n,x} = 0.72 \text{ mm mrad}$

$E_{n,y} = 0.37 \text{ mm mrad}$



(f) Kinetic energy and bunch length for 77 pC/bunch.

運動エネルギーは 7.5 MeV くらい

バンチ長は 3 ps