

# 7.7 pC/bunch, 初期レーザー全幅16 ps の場合の入射器計算

2011年7月7日(木)  
ERLビームダイナミクスワーキンググループ  
高エネルギー加速器研究機構  
宮島 司

# 概要

- cERLの35 MeV運転に向けたオプティクス設定のための計算を進めている。
- 入射器の計算は77 pC/bunchのビームに対して進めていたが、cERLの初期運転状態を想定して、7.7 pC/bunchの計算を進めることになった。
- 前回の計算では、初期レーザーパルス全幅を自由パラメタにしていたが、現在のパルススタッキングで生成出来るものよりも長い値となっていた。
- 現在生成可能な幅は、16 psである。
- レーザーパルス全幅を16 psに固定して、電子銃から点Aまでのオプティクスを最適化した。点Aでのエミッタンス(x, y両方)とバンチ長の両方が小さくなるようにしている。
- また、パルス全幅と同時に初期レーザー直径も固定した場合について計算を行った。

# 目次

1. 電子銃から点B(入射器空洞出口)までの計算結果(1. パルス全幅のみ固定、2. パルス全幅、レーザー直径の2つを固定、の2通りについて計算)
2. 電子銃から点A(主空洞出口)までの計算結果(CSパラメタの制限範囲3)

## 点AでのCSパラメタの制限範囲

$$-2.0 < \alpha_x < -0.0$$

$$0.0 < \alpha_y < -2.0$$

$$0.5 \text{ m} < \beta_x < 15.0 \text{ m}$$

$$0.5 \text{ m} < \beta_y < 15.0 \text{ m}$$

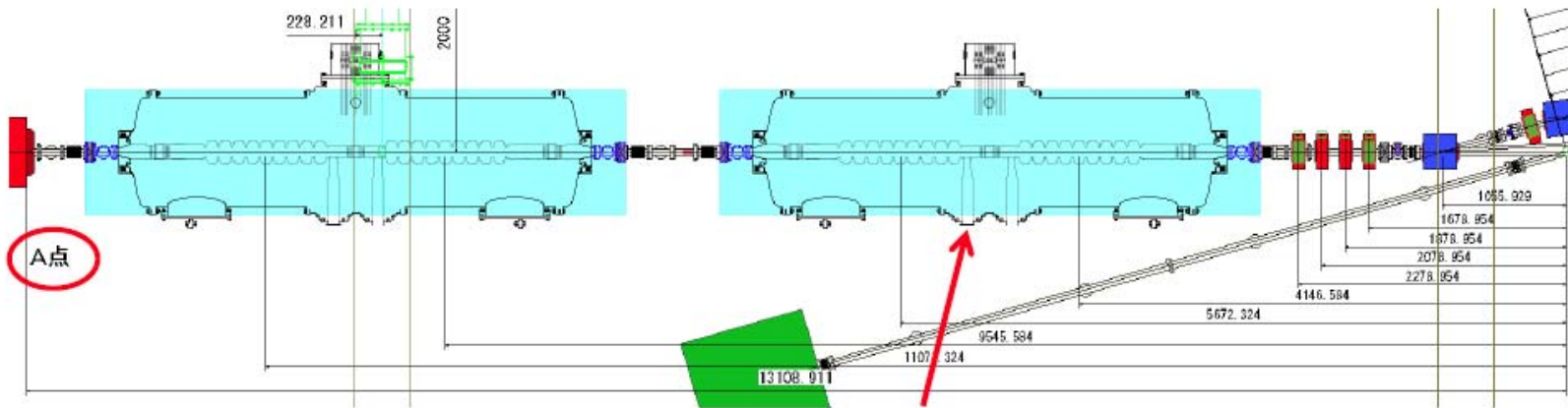
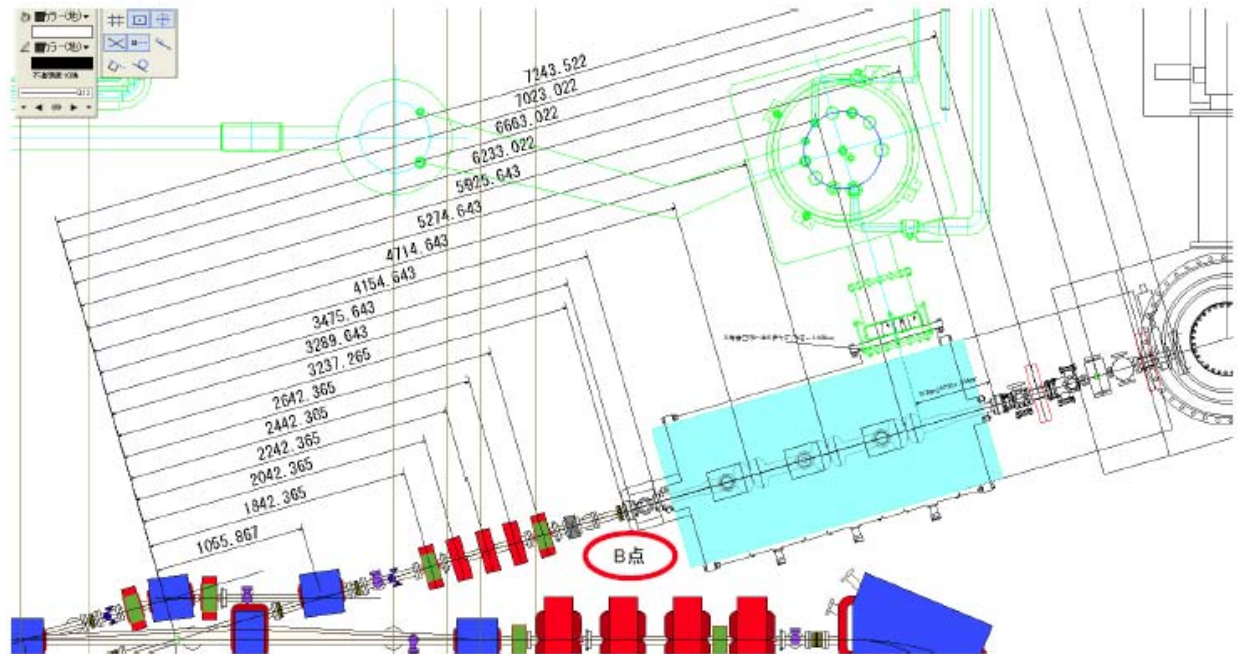
# レイアウト

入力ファイル: cerl\_inj8\_1.in  
(主空洞の位置が最新の配置と少し異なるが、とりあえずこの配置を採用)

最適化する点

- (1) A点(主空洞下流)
- (2) B点(入射部空洞下流)

今回の最適化では、B点でエミッタンスとバンチ長を最小化するように最適化した。



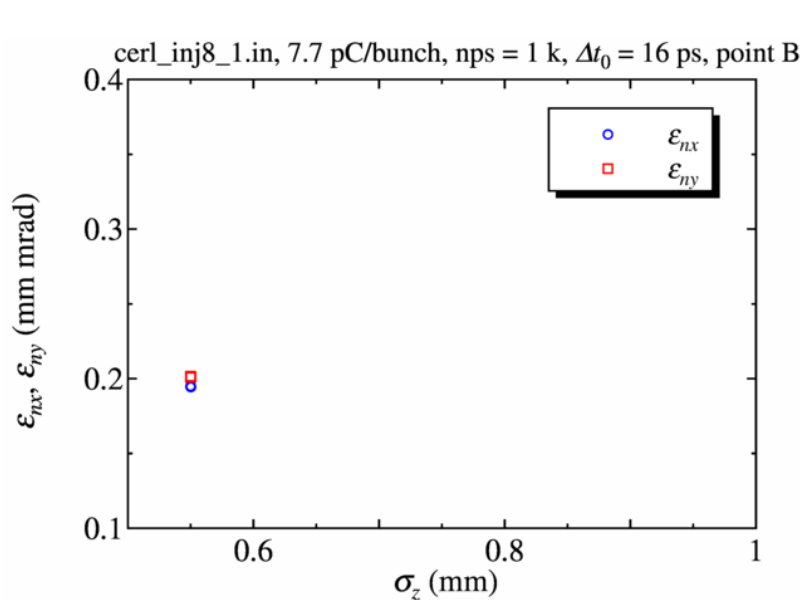
注: 今回の計算(35MeV)ではこの空洞は入れていない

# 1. 最適化計算の条件(点Bまで)

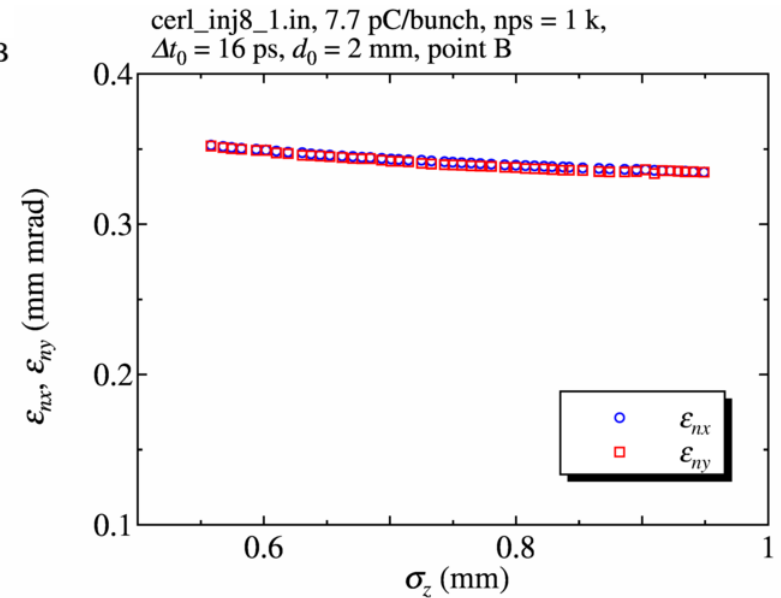
- 点Bでのエミッタンスとバンチ長がともに最小になるように各機器の設定値を最適化した。
- 点B(入射器空洞出口)での全エネルギーを最大で5.6 MeVに制限
- 粒子数: 1k particles (初期の最適化では、粒子数を減らして計算を高速化。ある程度値が決まったら、粒子数を段階的に増やして精度を上げる)
- 計算する部分: カソード面から点B(入射部空洞出口)
- 最適化した設定値
  - レーザー直径: dLAGA01[m] 可変範囲0.2e-3 4.0e-3 ⇒ 可変と2 mm に固定の2通りを計算
  - レーザー時間全幅: tlenLAGA01[s] 可変範囲2.0e-12 60.0e-12 ⇒ 16 ps に固定
  - ソレノイド1の強さ: BSLGA01set[T] 可変範囲0.02 0.05
  - ソレノイド2の強さ: BSLGA02set[T] 可変範囲0.01 0.05
  - バンチャー電場: ECBGA01set[MV/m] 可変範囲0.5 2.0
  - 空洞1電場: ECSGB01set[MV/m] 可変範囲10.0 15.0
  - 空洞2電場: ECSGB02set[MV/m] 可変範囲10.0 15.0
  - 空洞3電場: ECSGB03set[MV/m] 可変範囲10.0 15.0
  - 空洞1位相: PCSGB01off[deg] 可変範囲-30.0 30.0
  - 空洞2位相: PCSGB02off[deg] 可変範囲-10.0 10.0
  - 空洞3位相: PCSGB03off[deg] 可変範囲-10.0 10.0
- 点Bでエミッタンス等のビームの値が計算される
- 50個の設定値のセットを計算

# 点Bでの結果 (左側: パルス全幅のみ固定、右側: パルス全幅、直径の両方を固定)

## (1) エミッタンス



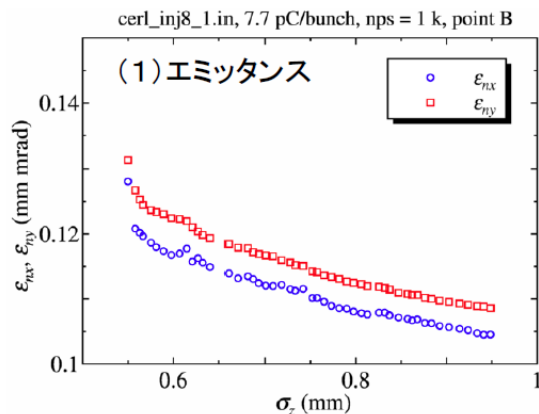
1: パルス全幅のみ固定



2: 全幅、直径の両方を固定

- パルス全幅のみ固定の場合、きれいな最適化曲線が得られなかった。
- 現在のプログラムでは、横軸が増加するに従い、縦軸が減少することを仮定しているため、途中で極小値をもつような場合には対応できていない。
- パルス全幅のみ固定の場合は、レーザー直径を調整することで、短いバンチ長の場合にもエミッタンスを下げられるのかもしれない。
- 左図の点は、バンチ長の制限範囲内(0.55 mm – 0.9 mm)での極小値と思われる。
- 値を比較すると、1: 全幅のみ固定では0.2 mm mrad、2: 両方固定では0.35 mm mradとなり、やはり直径を可変にした方が小さいエミッタンスを得られる。

# 前回の計算(全幅、直径両方可変)との比較

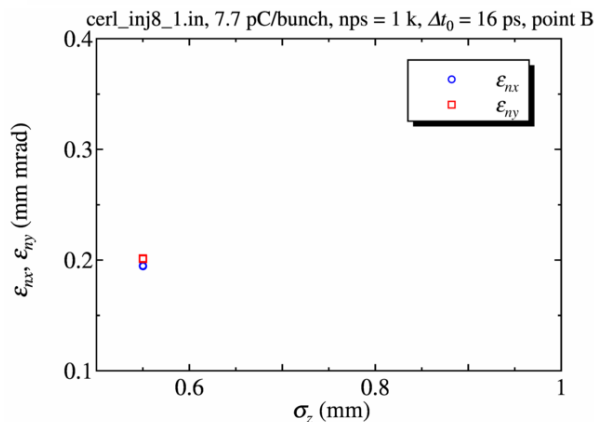


## 全幅、直径両方可変

初期全幅は長い方が小さいエミッタンスを与える

全幅は、設定最大値の60 ps  
直径は、0.3 mm (小さい値を好む)

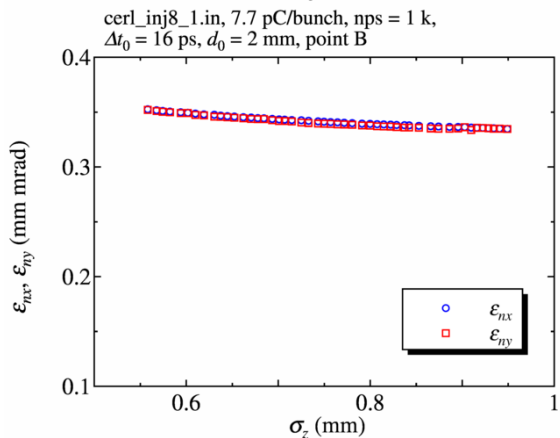
エミッタンス: 0.1 - 0.12 mm mrad



## パルス全幅(16 ps)のみ固定

直径は、0.5 mm (小さい値を好む)

エミッタンス: 0.2 mm mrad



## 全幅(16ps)、直径(2mm)の両方を固定

エミッタンス: 0.35 mm mrad

(後から、直径2mmは良くないことに気付いた)

やはり、全幅、直径の両方を可変にしたものが、一番小さいエミッタンスを与える。

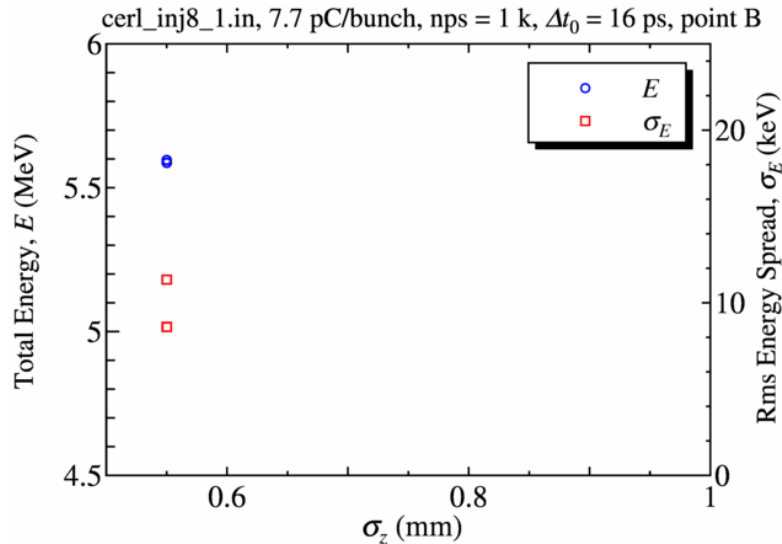
全幅のみを固定の場合は、両方可変の2倍くらい。



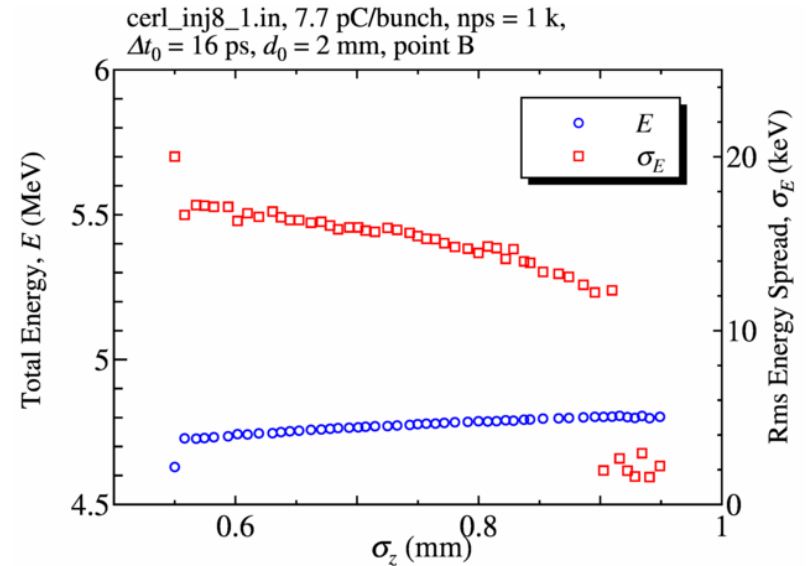
両方固定の場合に、直径が2mmと大きな値に設定してしまい、エミッタンスが大きく計算されてしまった。直径を0.5 mm くらいに固定すれば、0.2 mm mrad くらいのエミッタンスが得られそう。

次のステップ: 点Aまで増大させずに運べるか?

## (2) エネルギーとエネルギー拡がり



1: パルス全幅のみ固定

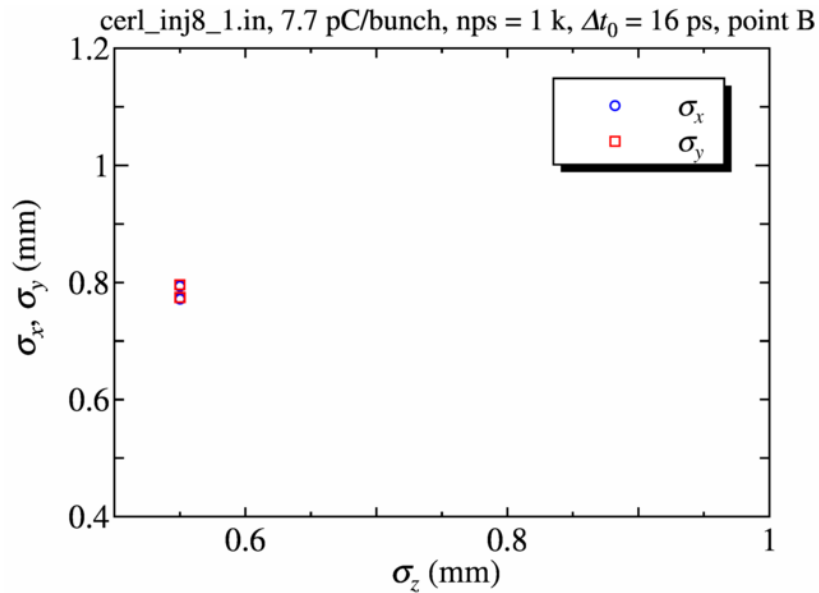


2: 全幅、直径の両方を固定

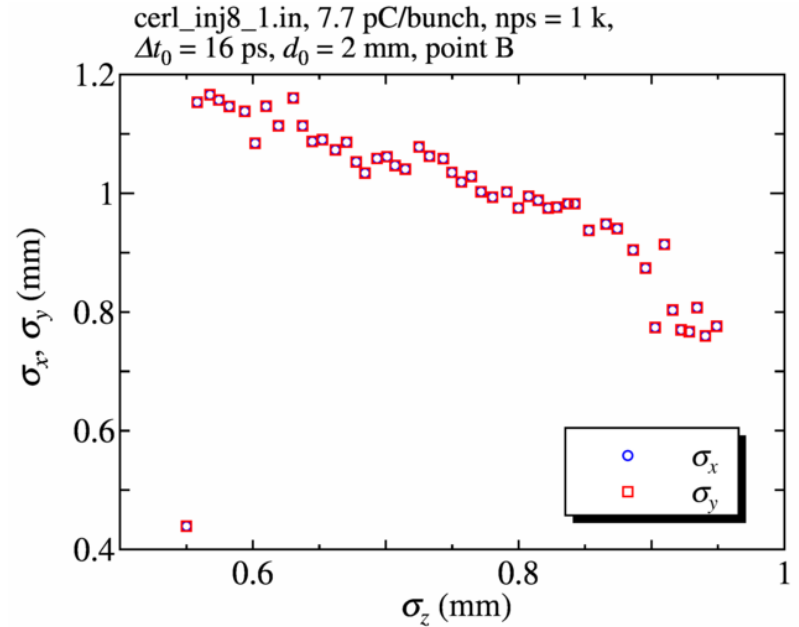
- 全幅のみ固定の場合は、制限最大値の5.6 MeVになっている。
- 両方固定の場合は、4.7 – 4.8 MeV付近になり、小さい値になってしまった。
- 通常は、エネルギーを上げた方がSCの効果が弱まりエミッタンスが下がるはず。
- 今回の場合、両方固定の場合には入射器空洞の2番目と3番目の加速電圧が低く抑えられている。(全幅のみ固定では14 MV/mであるが、両方固定では、10 MV/mくらいが選ばれている)
- 両方固定の場合、初期ビームサイズが大きいビーム(2mm)のエミッタンス補償をするのに、低い加速電圧が効いたのではと推測される。



### (3) 水平・垂直方向ビームサイズ



1: パルス全幅のみ固定



2: 全幅、直径の両方を固定

- 同じバンチ長0.55 mm付近で比較すると、B点でのビームサイズは2倍くらい両方固定の場合の方が大きい。

# B点までのまとめ

- 現実的なレーザーパルス全幅の値(16 ps)を設定して、入射器空洞出口までのビームラインパラメタの最適化を行った。
- 計算は2通り行い、1. 全幅のみ固定、2. 全幅、レーザー直径両方固定の2通りの計算を行った。
- 前回の計算(両方可変、ただし全幅はほぼ60 ps, 0.1 – 0.12 mm mrad)を比べると、全幅のみ固定でエミッタンスは2倍程度(0.2 mm mrad)、両方固定で3倍程度(0.3 mm mrad)となった。
- ただし、両方固定の場合には、直径が2 mmと大きくエミッタンス補償にはよくない値であった。
- 全幅を16 psに固定した場合には、初期レーザー直径を0.5 mmくらいに設定すると割と良いエミッタンスが得られそう。(それでも全幅が60 psに比べると2倍くらい大きい。)
- 次のステップは、これらのパラメタを元にして、主空洞出口(A点)までビームを輸送すること。
- A点までの輸送では、合流部でのエミッタンス増大を避けるようにする必要があり、必ずしもB点まで最適化したパラメタが有効とは限らない。
- また、5 MeVでは合流部でのエミッタンス増大が10 MeVの場合に比べてかなり効く。できれば入射エネルギーを上げたい。

# 点Aまでの最適化計算の方針

- 方針: 周回部とのマッチング条件を満たすように、点Bから点Aまでelegantで線形オプティクス(SCなし)で計算する。そのオプティクスを元にして、SCを入れてGPTで最適化する。
- 今回の報告では、周回部とのマッチング条件に合わせて、点AでのCSパラメタに制限を設けている。

- 点Aでの制限事項

- 全エネルギー: 35.5 MeV以下
- CSパラメタ

## 点AでのCSパラメタの制限範囲

$$-2.0 < \alpha_x < -0.0$$

$$0.0 < \alpha_y < -2.0$$

$$0.5 \text{ m} < \beta_x < 15.0 \text{ m}$$

$$0.5 \text{ m} < \beta_y < 15.0 \text{ m}$$

- その他

- 主加速空洞はすべてon crestで加速する(位相調整はなし)。

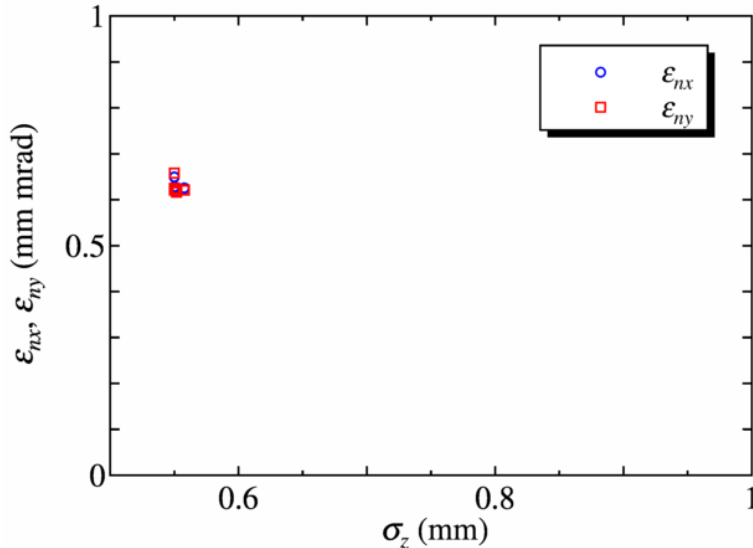
# 最適化計算の条件

- 粒子数: 1k particles (初期の最適化では、粒子数を減らして計算を高速化。ある程度値が決まったら、粒子数を段階的に増やして精度を上げる)
- 計算する部分: カソード面から点A
- 最適化した設定値
  - レーザー直径: dLAGA01[m] 可変範囲0.2e-3 4.0e-3
  - レーザー時間全幅: tlenLAGA01[s] 可変範囲2.0e-12 60.0e-12 ⇒ 16 psに固定
  - ソレノイド1の強さ: BSLGA01set[T] 可変範囲0.02 0.05
  - ソレノイド2の強さ: BSLGA02set[T] 可変範囲0.01 0.05
  - バンチャー電場: ECBGA01set[MV/m] 可変範囲0.5 2.0
  - 空洞1電場: ECSGB01set[MV/m] 可変範囲10.0 15.0
  - 空洞2電場: ECSGB02set[MV/m] 可変範囲10.0 15.0
  - 空洞3電場: ECSGB03set[MV/m] 可変範囲10.0 15.0
  - 空洞1位相: PCSGB01off[deg] 可変範囲-30.0 30.0
  - 空洞2位相: PCSGB02off[deg] 可変範囲-10.0 10.0
  - 空洞3位相: PCSGB03off[deg] 可変範囲-10.0 10.0
  - 4極電磁石のK値(合流部手前5台、周回部直線8台)[m-2]: 可変範囲-40 ~ 40(合流部手前5台)、-10 ~ 10(周回部直線8台)
- 点Aでエミッタンス、バンチ長、ビームサイズ、CSパラメタ、エネルギー拡がり、全エネルギーが計算される
- 50個の設定値のセットを計算

# A点での計算結果

## (1) エミッタンス

cerl\_inj8\_1.in, 7.7 pC/bunch, nps = 1 k,  $\Delta t_0 = 16$  ps, point A



今回の結果

CSパラメタの制限範囲1

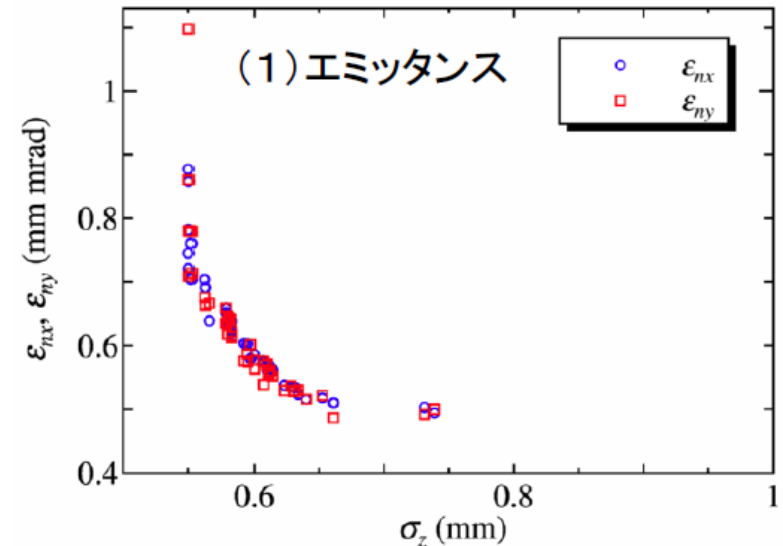
$-5.0 < \alpha_{max} < 5.0$

$-5.0 < \alpha_{phay} < 5.0$

$0.1 \text{ m} < \beta_{etax} < 20.0 \text{ m}$

$0.1 \text{ m} < \beta_{etay} < 20.0 \text{ m}$

cerl\_inj8\_1.in, 7.7 pC/bunch, nps = 1 k, point A

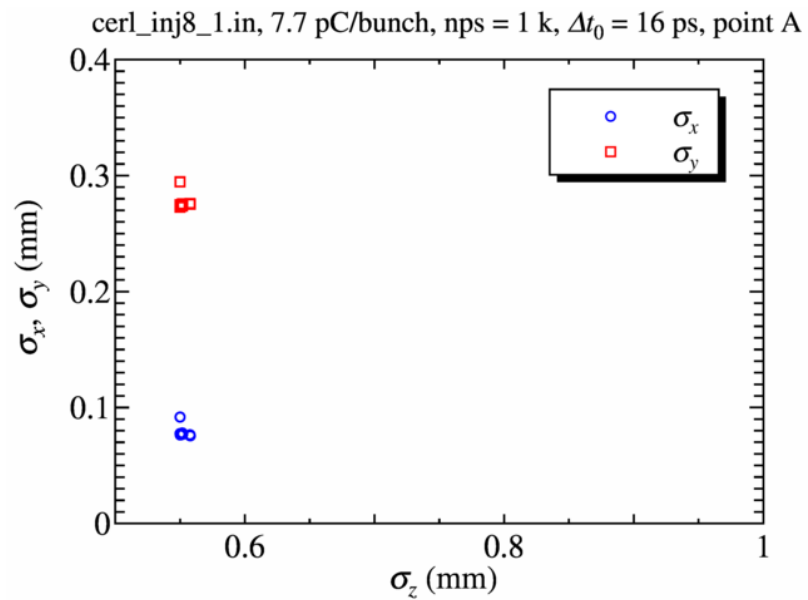


前回のCSパラメタ制限範囲1の結果

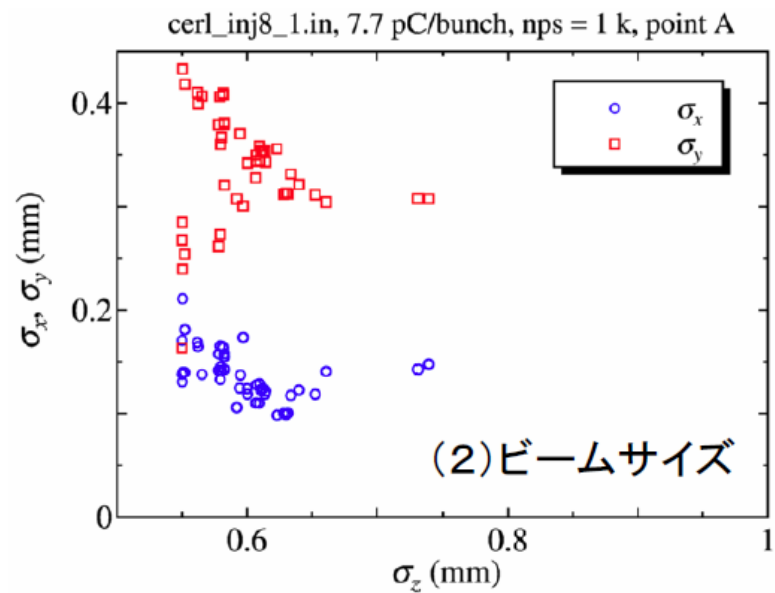
- 前回の計算で最小エミッタンスを得ていたケースと比較すると、割と近いエミッタンスが得られている。
- 前回(制限範囲1): 0.7 mm mrad, バンチ長0.55 mm
- 今回: 0.6 mm mrad、バンチ長0.55 mm
  
- 幅広いバンチ長で解は得られていないが、今回の方が短いバンチ長(0.55 mm)で比較すると、小さいエミッタンスが得られている。
- より合流部にマッチしたビームが作れたのか？

## A点での計算結果

### (2) ビームサイズ



今回の結果

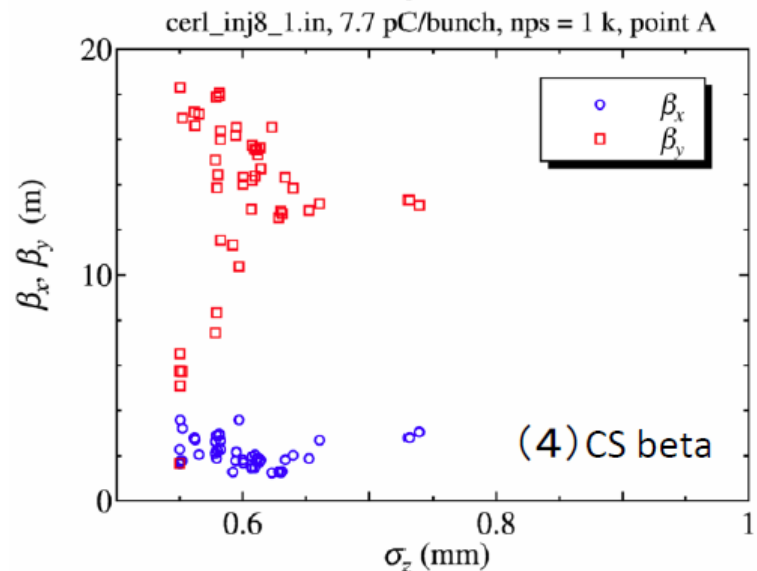
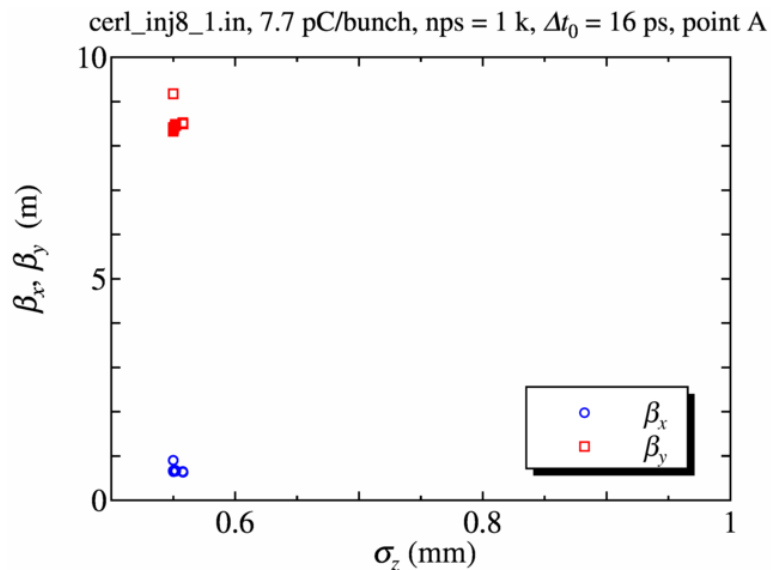
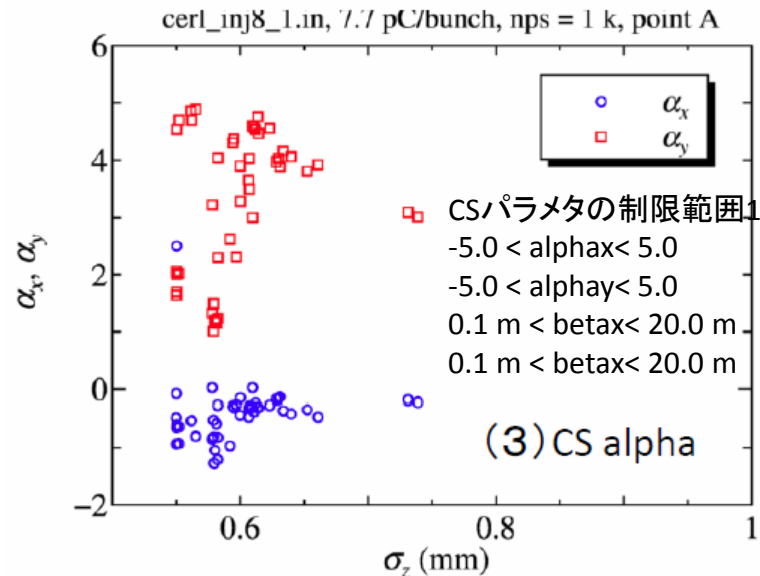
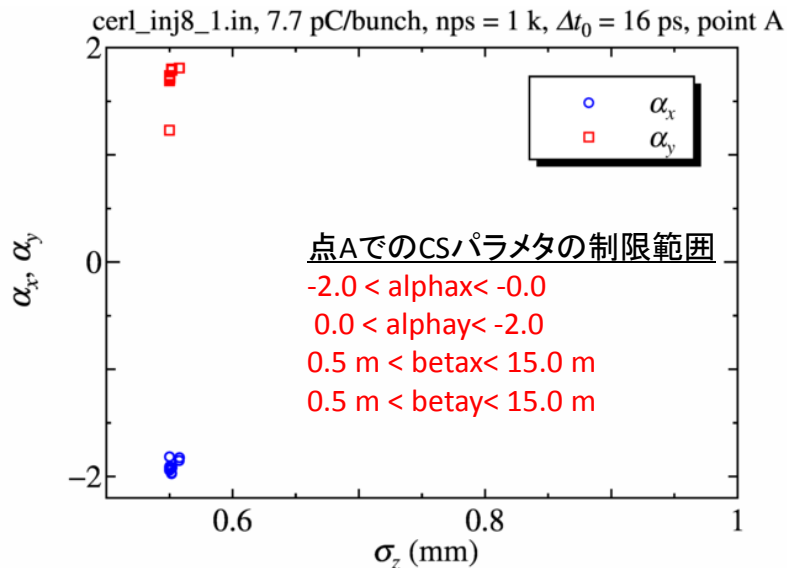


前回のCSパラメタ制限範囲1の結果

- ビームサイズは近い値となっている。

# A点での計算結果

# ○CSパラメタ

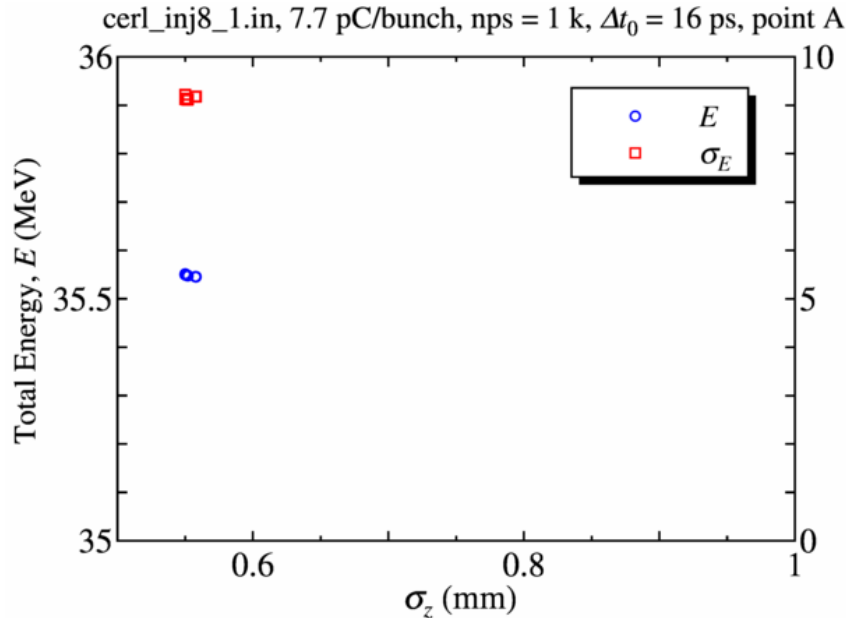


今回の結果

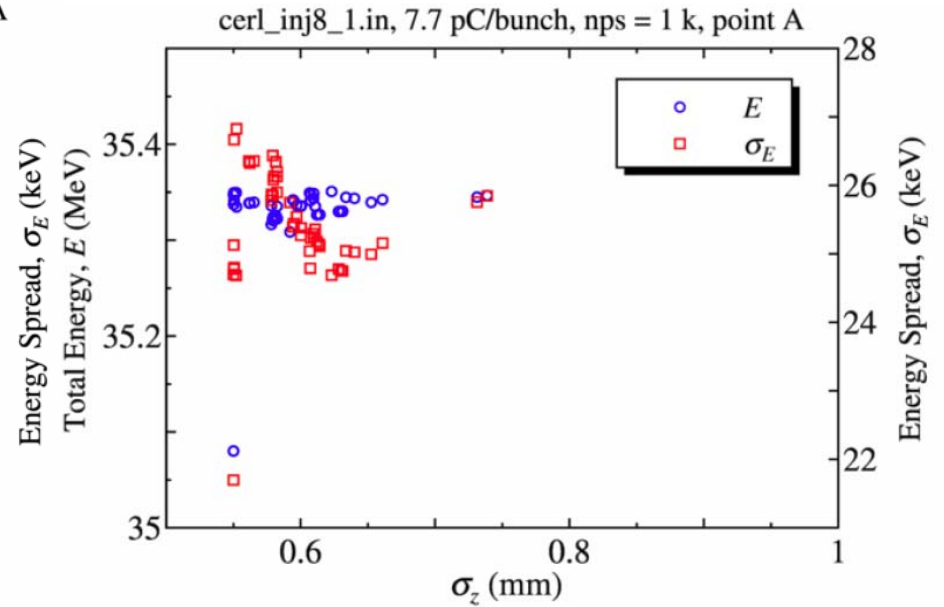
前回のCSパラメタ制限範囲1の結果

## A点での計算結果

### (5) エネルギー、エネルギー拡がり



今回の結果



前回のCSパラメタ制限範囲1の結果

- エネルギーはともに、35.5 MeV付近となっている。
- エネルギー拡がりは、今回の場合  $\text{std}E = 5$  keV となり、前回の  $\text{std}E = 25$  keV に比べると小さい値となった。
- 以上をまとめると、レーザーパルス全幅16 ps に固定した方が、全般的に良さそうな値を示している。



# 点Aまでのまとめ

- レーザーパルス全幅を16 psに固定して、点Aまでのビームラインパラメタの最適化計算を行った。
- 初期パラメタとして、全幅を16 psに固定して最適化したパラメタセットを用いて、点Aまでの最適化を行った。
- 今回の計算ではバンチ長0.55 mm近傍のごくわずかな範囲でしかパラメタセットを得られていない。
- 前回の計算で最小エミッタンスを得ていたケースと比較すると、割と近いエミッタンスが得られている。
  - 前回(制限範囲1): 0.7 mm mrad, バンチ長0.55 mm
  - 今回: 0.6 mm mrad, バンチ長0.55 mm
- エネルギーはともに、35.5 MeV付近となっている。
- エネルギー拡がりは、今回の場合stdE = 5 keV となり、前回の stdE = 25 keVに比べると小さい値となった。
- レーザーパルス全幅16 ps に固定した方が、点Aでは全般的に良さそうな値を示している。
- 点Bまでの最適化では可変の場合の方が全幅固定の場合より小さいエミッタンスを与えているが、全幅固定の場合の方が合流部でのエミッタンス増大抑制に良いパラメタになっていたのかもしれない。
- 次のステップ:
  - 粒子数を増やして精度を向上させる
  - エンベロープを計算する

# 合流部でのエミッタンスの増加

- KNUのHwang-sanに、羽島さんの線形解析に基づいて合流部でのエミッタンス増大のエネルギー依存を見積もってもらった。
- 合流部の形状は、cERLで使うものを使用。
- この結果は、初期Twissパラメタのみを可変にして合流部出口でエミッタンス増大が最小になるように計算している。
- ただし、粒子分布などは調整しておらず、必ずしも厳密な最小値を示しているわけではない。
- しかしながら、ビームエネルギーの依存性がある程度は示せている。
- この結果を参照すると、5 MeVと10 MeVでは2倍くらいエミッタンス増大が違いそう。

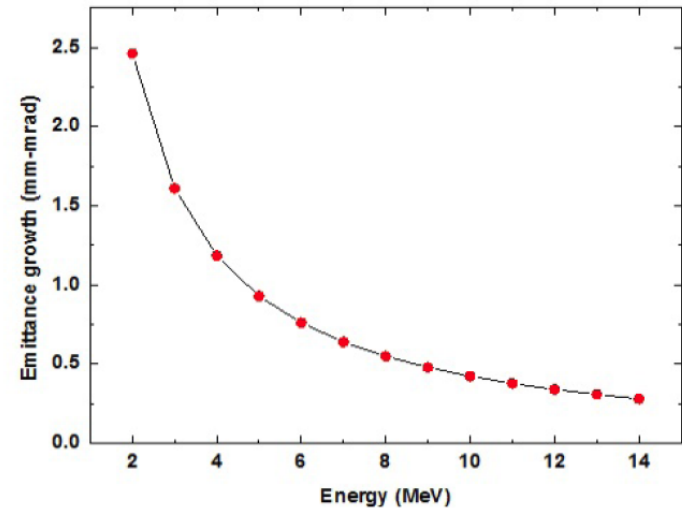


Figure 3.16: Energy dependency of the horizontal emittance growth in merger section.

77 pC/bunchの電荷に対して計算