

Anode サイズの影響 250 kV Gun の電場分布

2008年12月2日(火)14時～
第32回ビームダイナミクスWGミーティング
KEK 3号館5F会議室

高エネルギー加速器研究機構 放射光源研究系
宮島 司

カソード直径による収束力の変化の検討

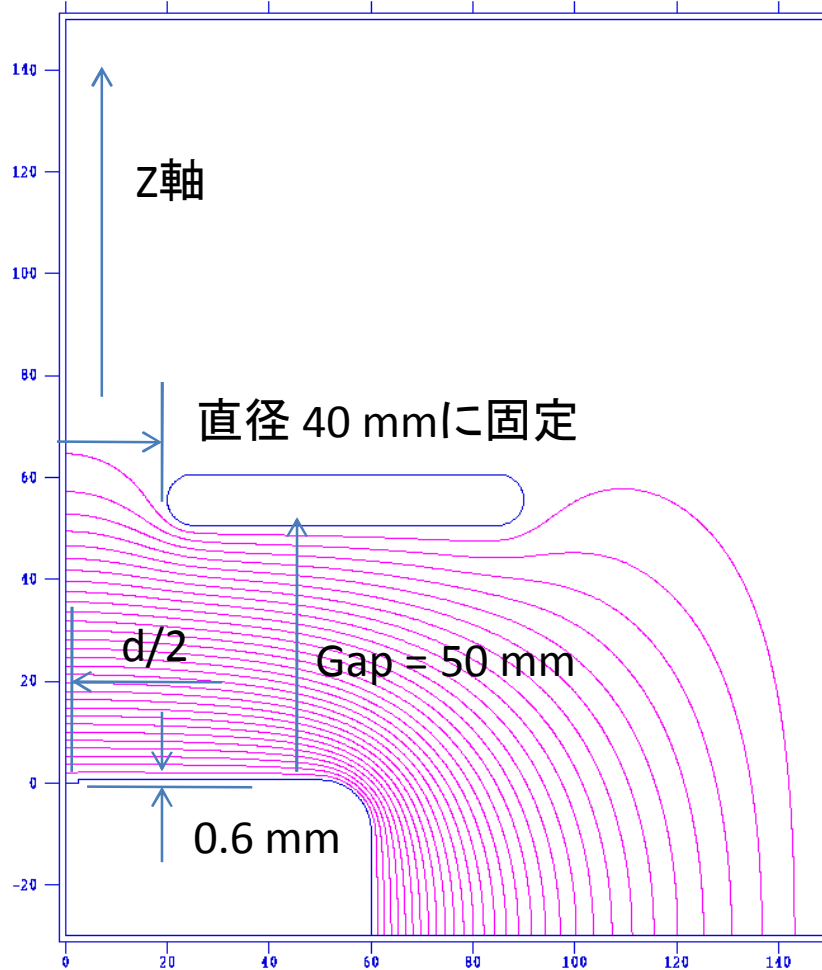
- カソードの直径が変化した場合、カソード近傍の電場分布が変化し、収束作用が変化する
- この影響を見積もるために、次の3つの計算を行った
 1. 電場による収束作用の影響: カソード表面で位置オフセットを持った単粒子のトラッキング
 2. 最小エミッタンス、ビームサイズの変化: Gun + solenoid のビームラインで、空間電荷効果ありでトラッキングする。初期粒子分布はビア缶分布。z=1 m の地点で、ビームサイズ、エミッタンスを計算。ソレノイドをスキャンしながらその影響を調べる。
 3. レーザ位置のオフセットの影響: 2. の計算で求めた最小ビームサイズを与えるソレノイドの強さに対して、カソード表面でレーザの位置がずれた場合の影響を計算する。

1. カソード近傍での収束作用の計算

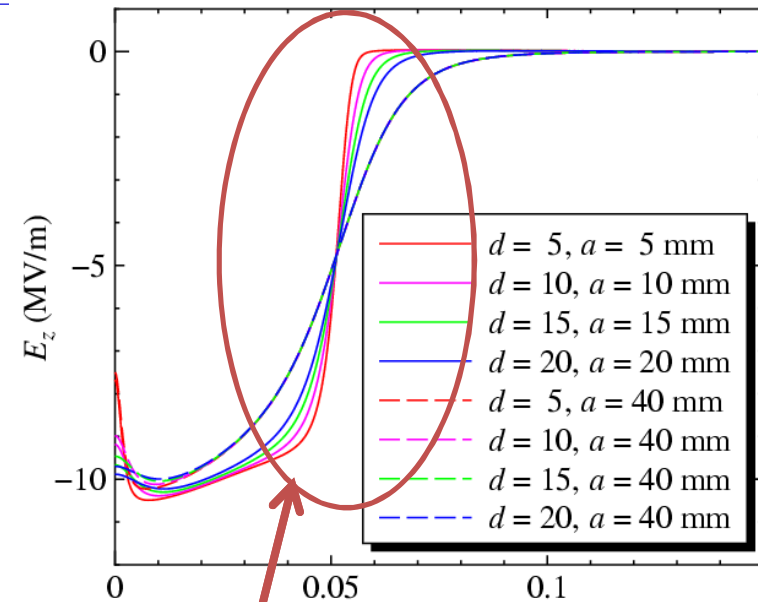
- Poisson/Superfish を用いて、2次元電場分布を作成
- カソード直径 d : 5, 10, 15, 20 mm
- アノード直径:
 - 計算1: アノード直径 = カソード直径
 - 計算2: 40 mm に固定
- カソード表面に単粒子を配置してトラッキングを行い、収束作用の影響を調べた
- カソード表面での単粒子の位置オフセット:
 - 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 mm
- 単粒子のトラッキングには、GPTを使用
- 空間電荷効果はなし

Gun の形状と1次元電場分布

Electrostatic problem, Cylindrical Electrode, Photo cathode gun, $d=5\text{mm}$, $\text{gap}=50\text{mm}$



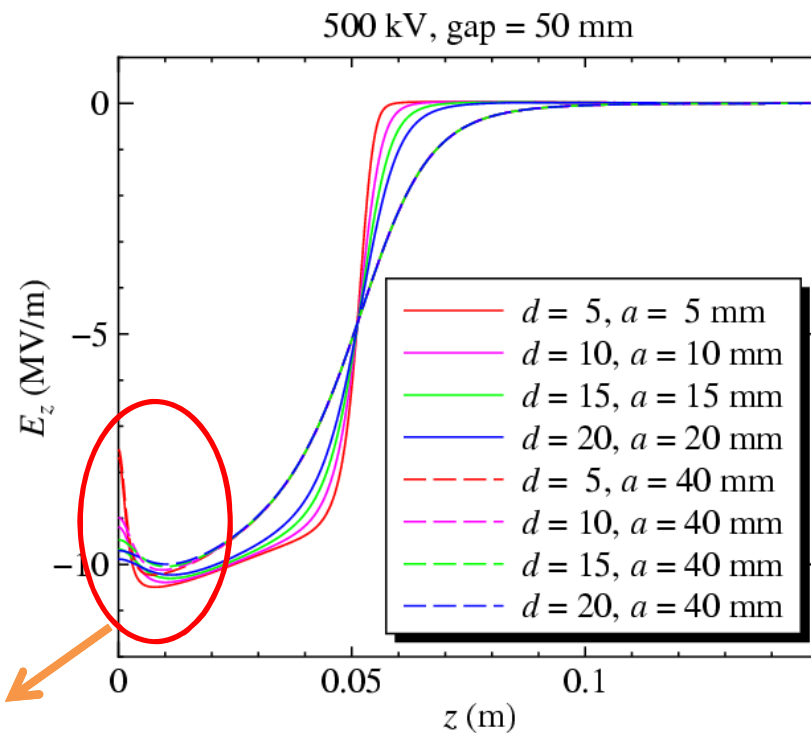
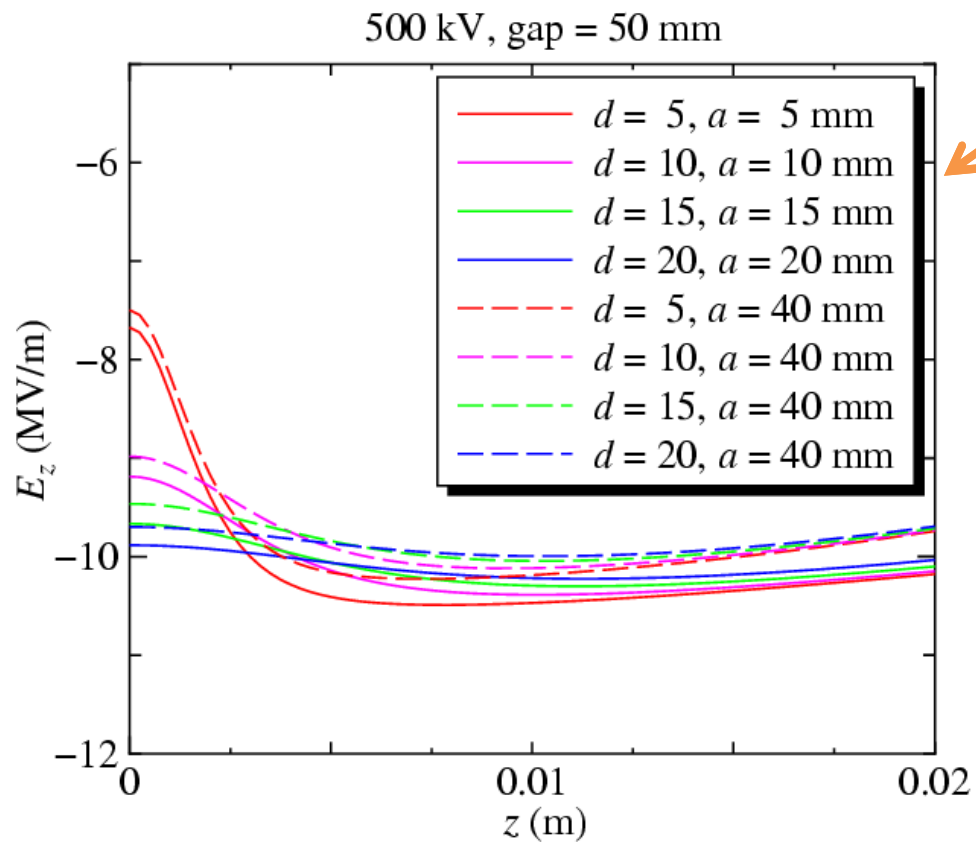
500 kV, $\text{gap} = 50\text{mm}$



z 軸上の1次元電場分布

アノード直径を変えると、アノード・カソード間の電場分布が変化

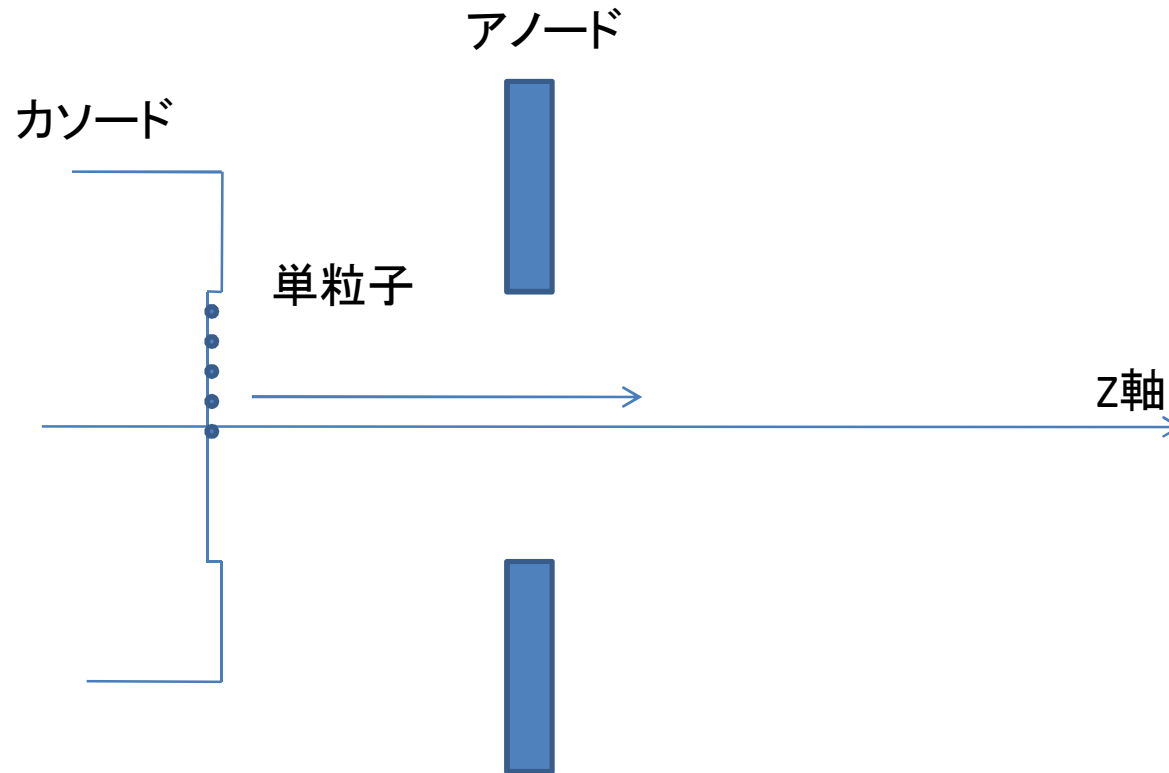
カソード近傍の拡大図



アノード直径を固定した影響

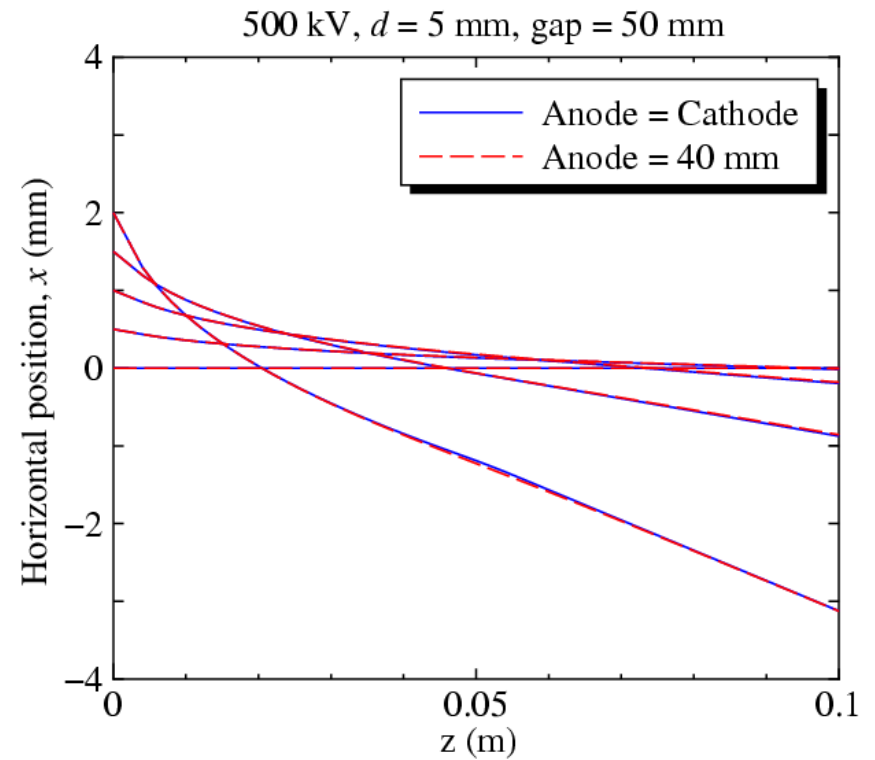
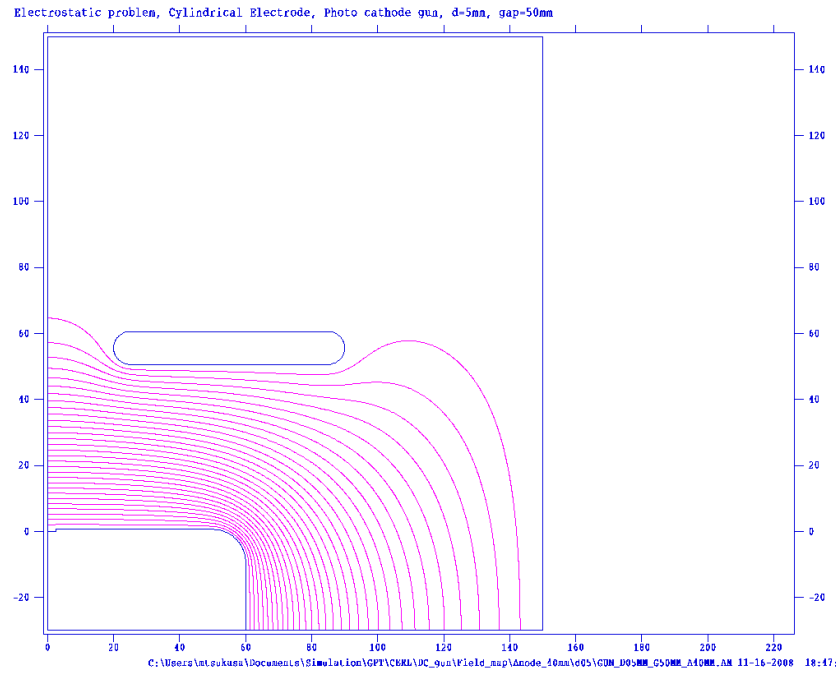
- (1) $z=20\text{mm}$ 以降は、アノード直径が同じなので、電場分布はカソード直径に依存しない
- (2) カソード近傍での変化はそれほど大きくない(d を小さくすると収束力が強くなる傾向は同じ)

単粒子のトラッキング



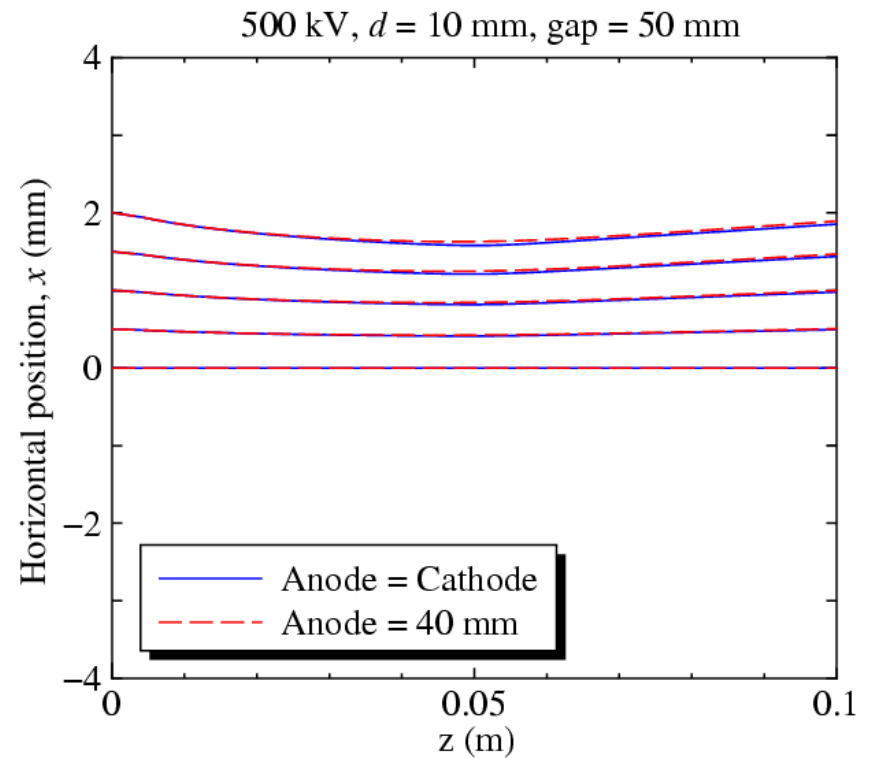
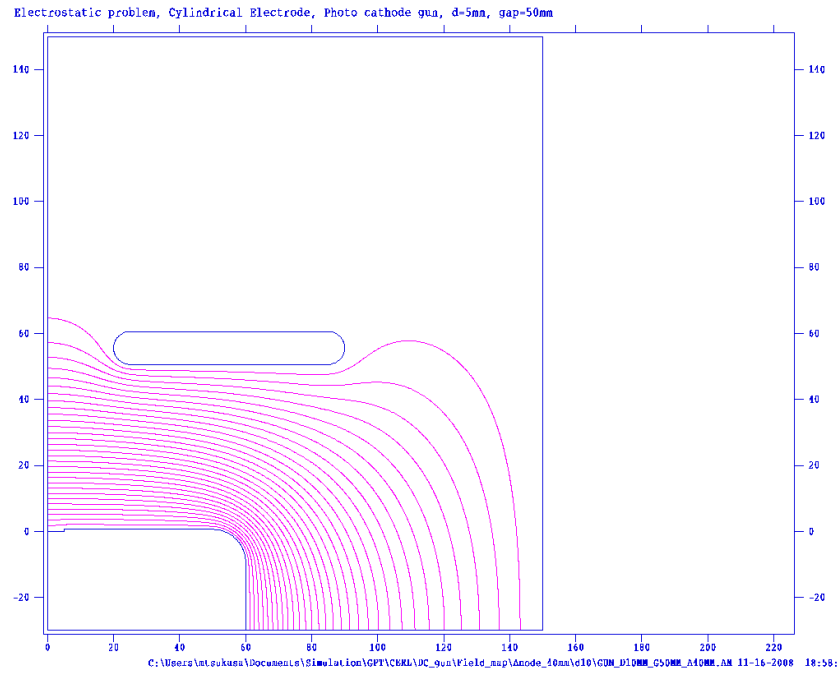
カソード表面に単粒子をオフセットさせて配置
電子銃の作る電場の下での軌道を計算
粒子間の空間電荷効果はなし、ソレノイド磁場もなし
カソード表面から、 $z=0.1$ m まで計算

$d = 5 \text{ mm}$



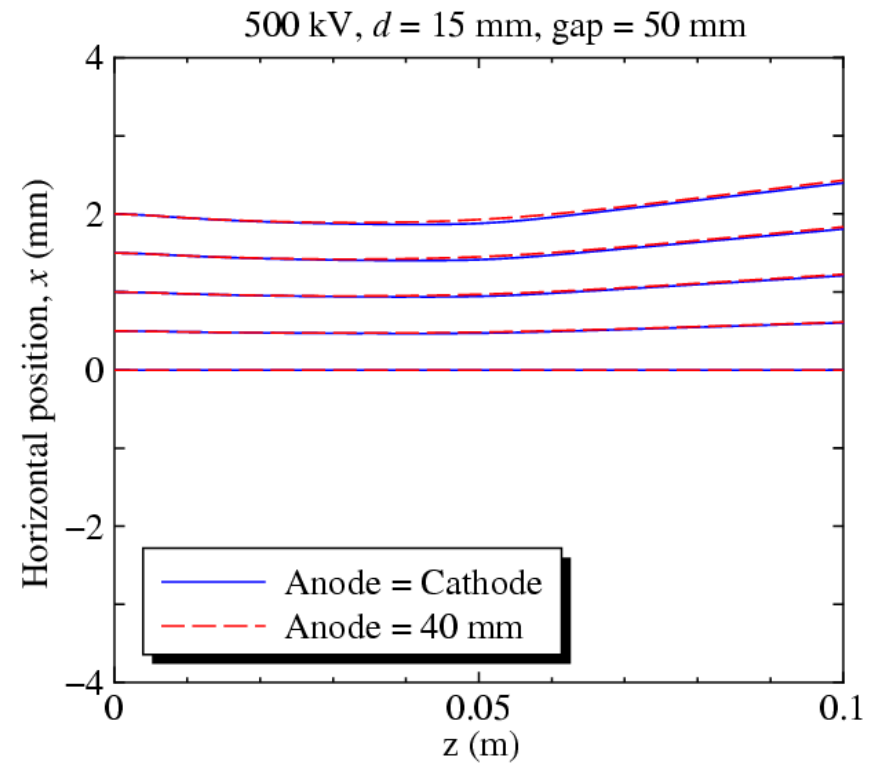
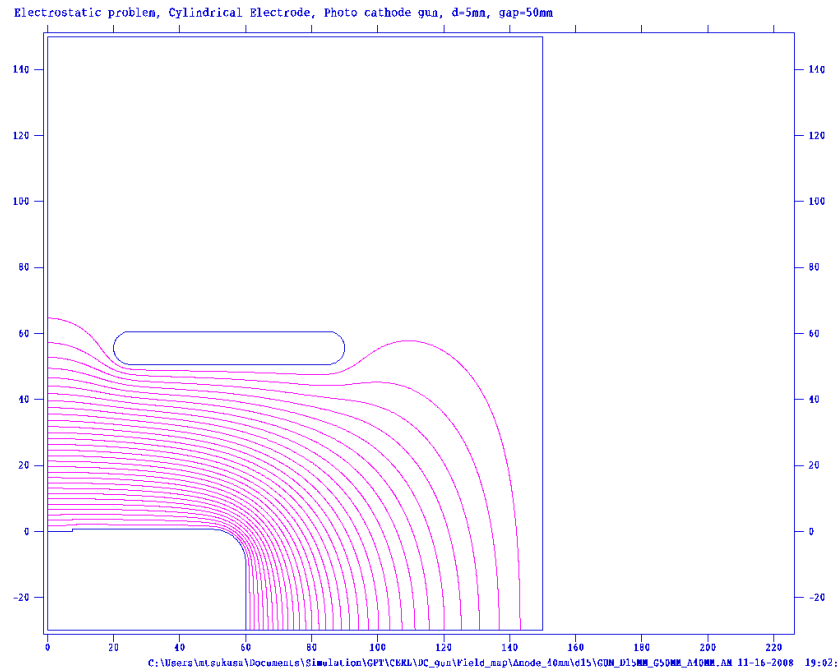
アノード周辺で僅かに異なる

$d = 10 \text{ mm}$



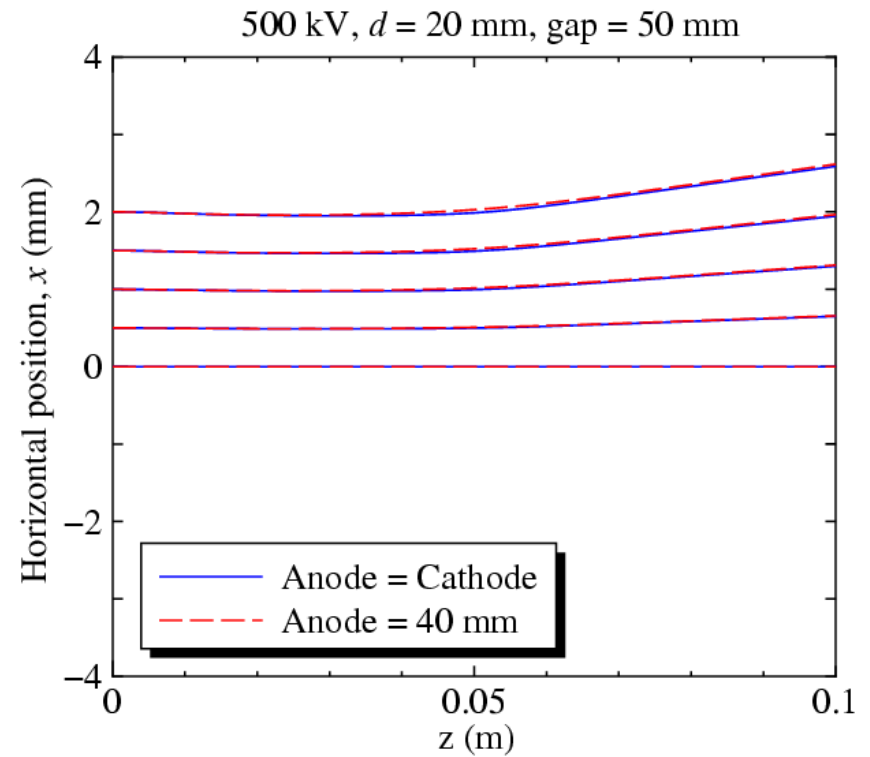
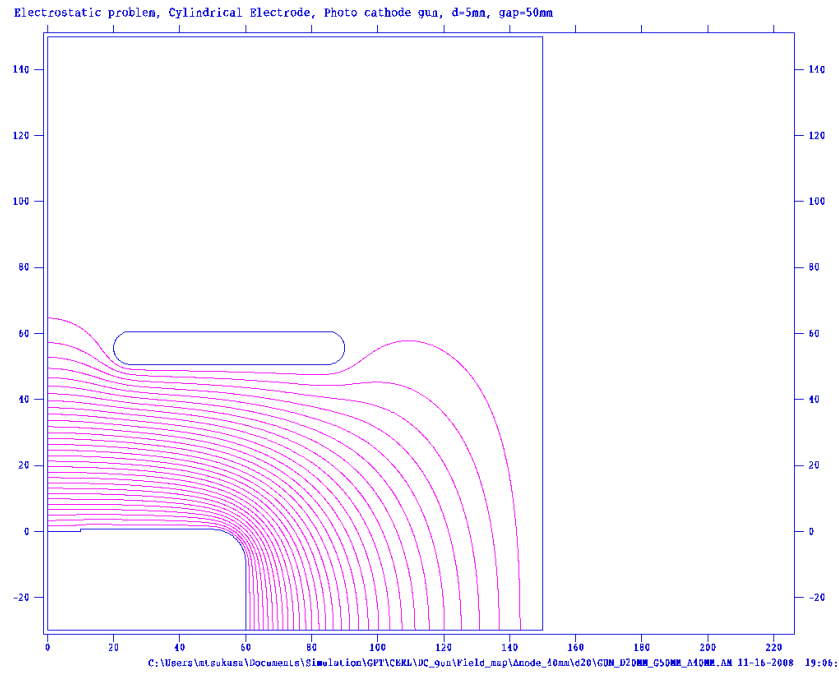
アノード周辺で、中心から離れた位置でずれが生じる

$d = 15 \text{ mm}$



アノード周辺で、中心から離れた位置でずれが生じる

$d = 20 \text{ mm}$



アノード周辺で、中心から離れた位置でずれが生じる

単粒子トラッキングのまとめ

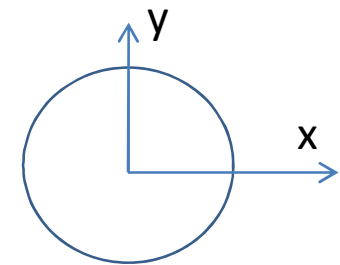
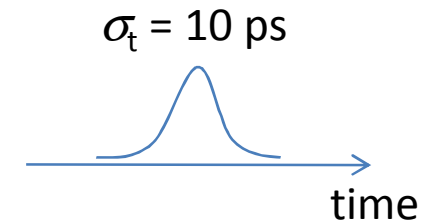
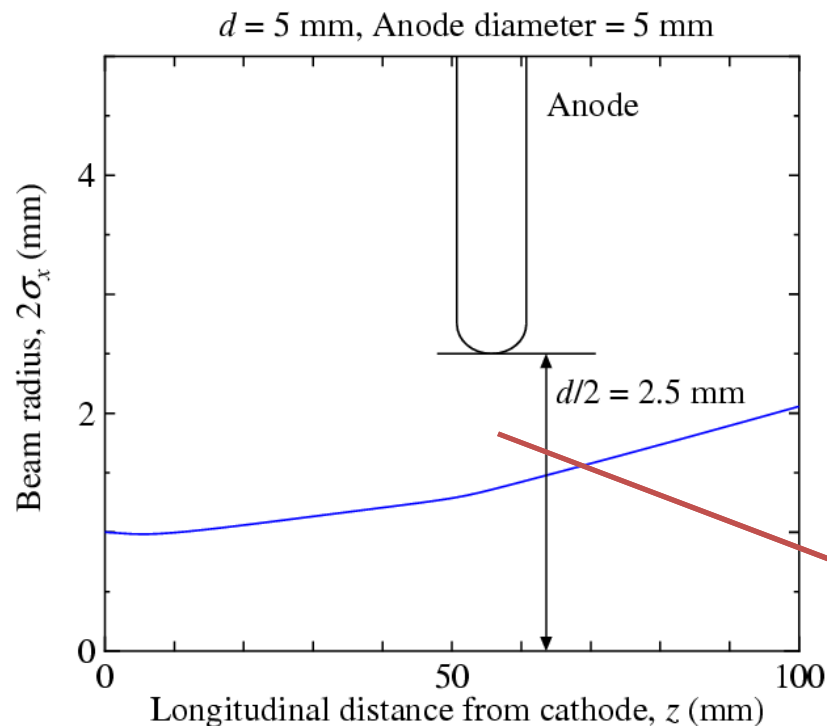
- アノード直径を固定した場合、アノード近傍粒子の軌道が僅かに変化する
- 収束力の変化は、ビーム位置が中心から遠くなると大きくなる傾向にある

アノードサイズの影響

- アノードサイズ
 - 計算1:カソードサイズと同じ
 - 計算2:直径40mmに固定
- この場合、アノード直径が小さいとビームがアノードに当たる可能性がある。
 - 最小直径 $d = 5 \text{ mm}$ の場合、ビームはアノードに当たるか？
 - 当たる場合には、どれくらいのアノード直径にするべきか？

アノード直径5mmの場合、 ビームはアノードを通過できるか？

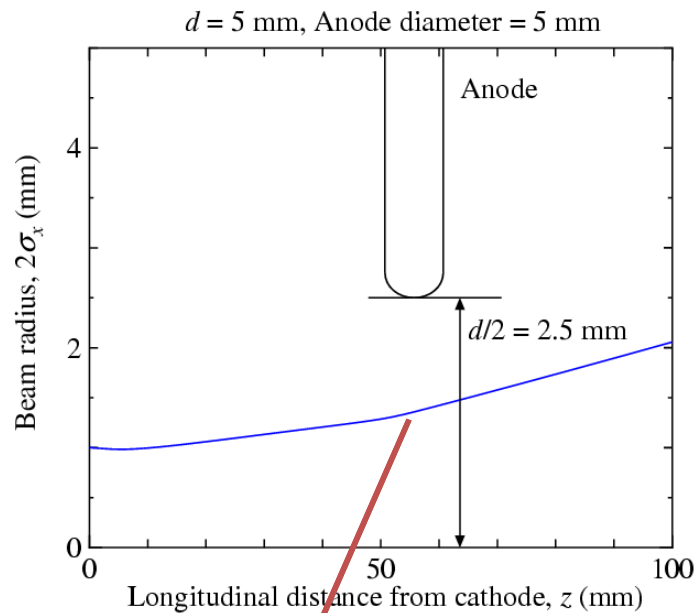
- アノード直径を5 mmとして、ビームがアノードに当たらずに通過できるかを計算した
- 加速電圧: 500 kV
- 初期ビーム分布(-80 pC)
 - 進行方向: ガウス分布
 - 横方向: 一様分布



$$\sigma_x = 0.5 \text{ mm}$$

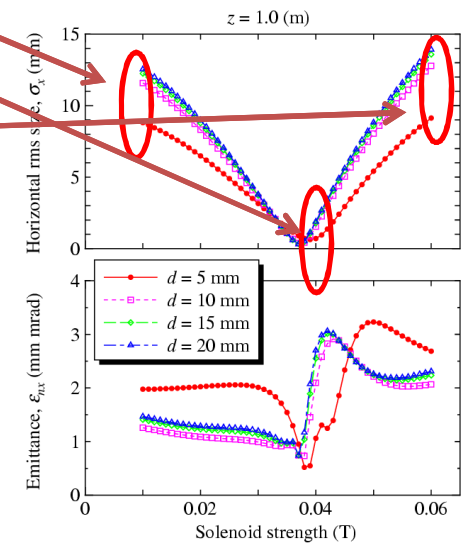
ビーム半径: 1.0 mm

このケースでは、ビーム
はアノードに当たらない



ソレノイドの強さを変えたらどうなるか？

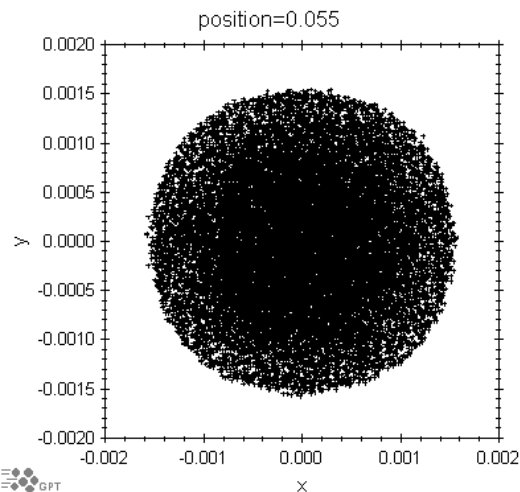
- (1) Sol = 0.010 T
- (2) Sol = 0.039 T
- (3) Sol = 0.060 T



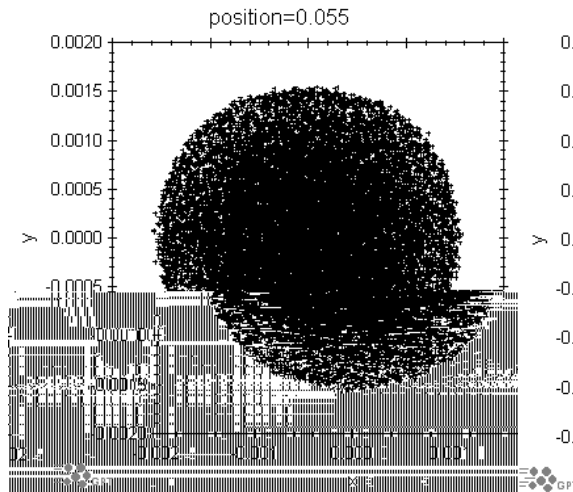
アノードの位置で、ビームサイズの大きな違いはない

アノードの位置でのビーム断面

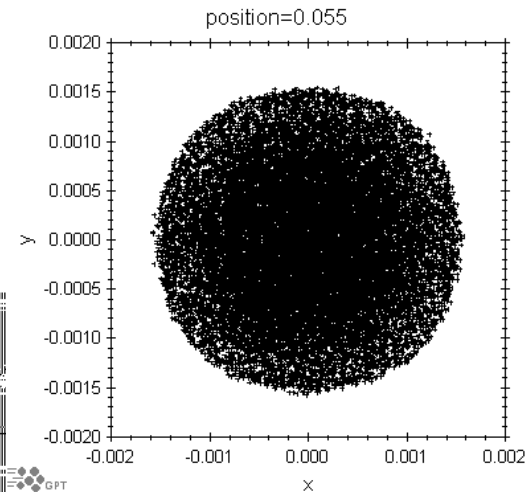
(1) 0.010 T



(2) 0.039 T



(3) 0.060 T



アノード直径5mmの場合、 ビームはアノードを通過できるか？

- 最小直径 $d = 5 \text{ mm}$ の場合、ビームはアノードに当たるか？

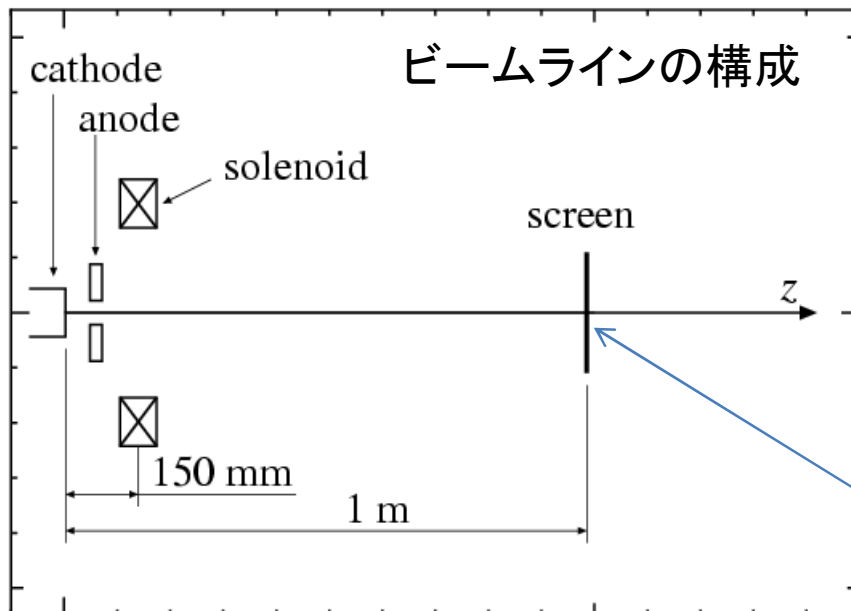
最小直径でも、初期ビーム半径1mmの場合には、ビームはアノードに当たらない(ただし、カソード表面でのレーザーの位置オフセットがない場合)

- 当たる場合には、どれくらいのアノード直径にするべきか？

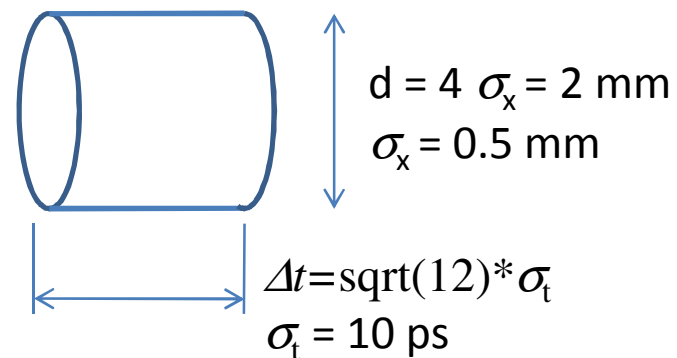
アノード位置でのビーム半径は、1.35 mm。レーザー位置オフセットがない場合は、アノード直径 2.7 mmでビームは当たる。これにレーザー位置オフセット分を加えた直径にする必要がある。また、初期ビームサイズが大きくなると、ビームがアノードに当たる可能性がある。

2. Gun + solenoidビームラインでの計算 アノード直径を固定した場合

- 異なる d を持った4つの2次元電場分布を使って、Gun + Solenoidのビームラインでの空間電荷効果がある場合のビームサイズ、エミッタンスを計算する
- 初期レーザーのスポットサイズ、時間パルス幅は固定、ソレノイドの強さをスキャンする
- レーザーはカソード中心に照射されるとする
- GPTを使用(空間電荷効果計算: 3D mesh)



カソード表面での初期粒子分布

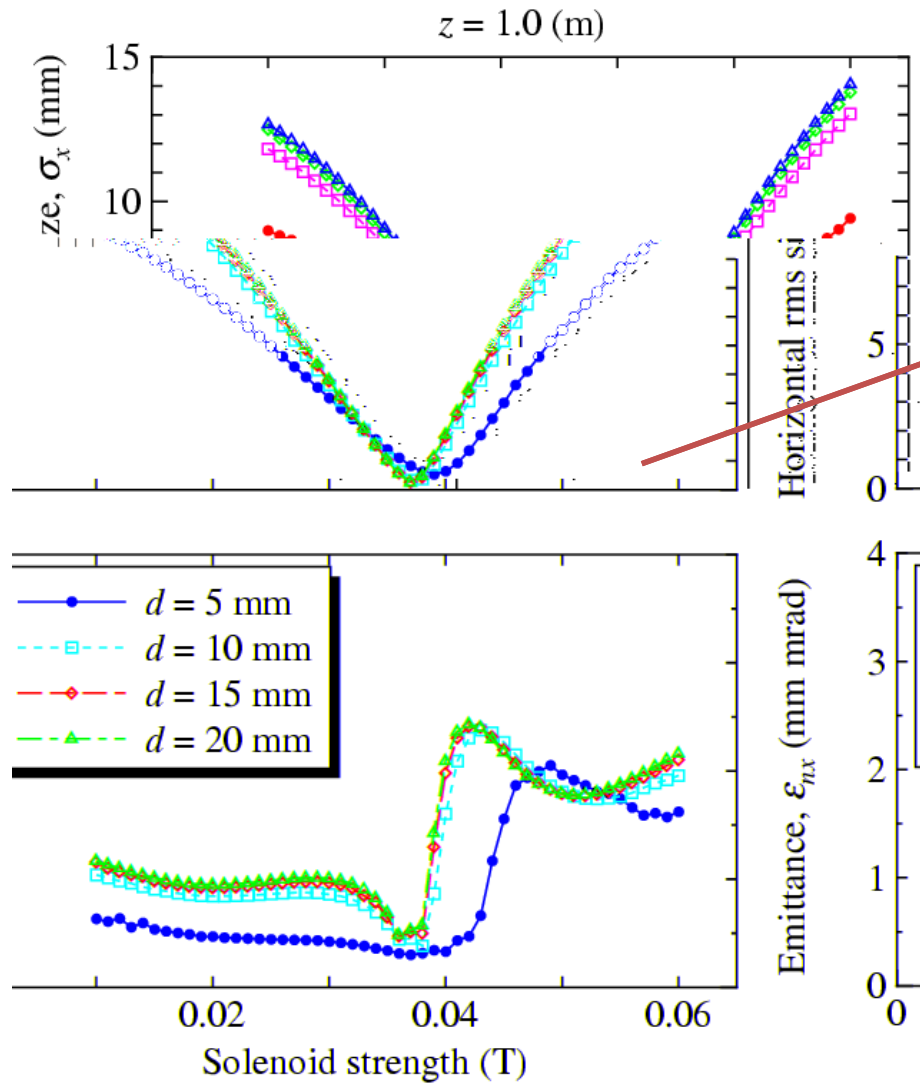


$z = 1.0 \text{ m}$ の位置で、ビームの中心位置、rms ビームサイズ、規格化エミッタンスを計算

GPTのパラメタ

- 粒子数: 20 k
- バンチ電荷: -80 pC
- 電子銃加速電圧: 500 kV
- カソード表面でのkT: 50 meV
- ソレノイドのスキヤン範囲: 0.01 T to 0.06 T
- 空間電荷効果計算: 3D mesh (open boundary)
- 電子銃電場分布: $d = 05, 10, 15, 20$ mm
- ソレノイド磁場分布: JAEA 補正コイル付きタイプ

ソレノイドスキヤンの結果 アノード直径を固定した場合



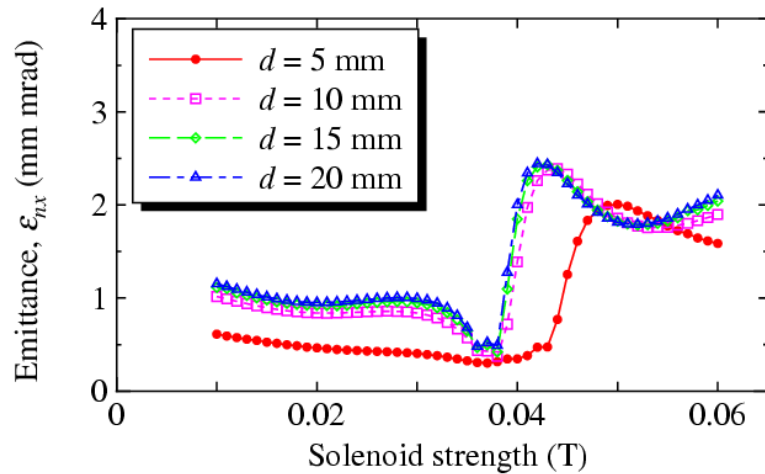
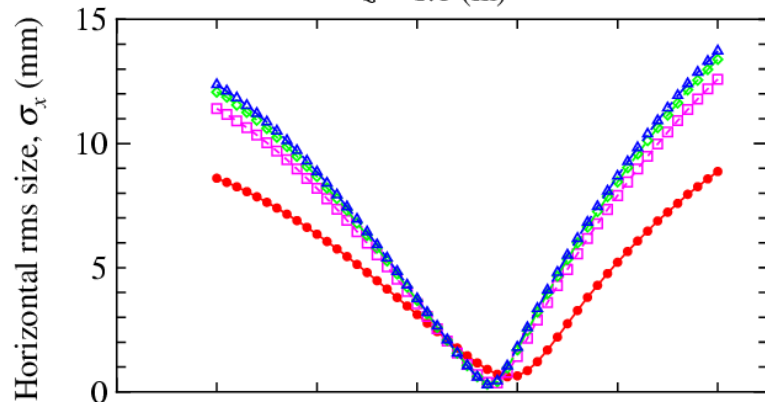
最小ビームサイズを与える
ソレノイドの強さ

- (1) $d = 5$ mm: sol = 0.039 (T)
xrms = 0.605 mm
- (2) $d = 10$ mm: sol = 0.037 (T)
xrms = 0.363 mm
- (3) $d = 15$ mm: sol = 0.037 (T)
xrms = 0.306 mm
- (4) $d = 20$ mm: sol = 0.037 (T)
xrms = 0.281 mm

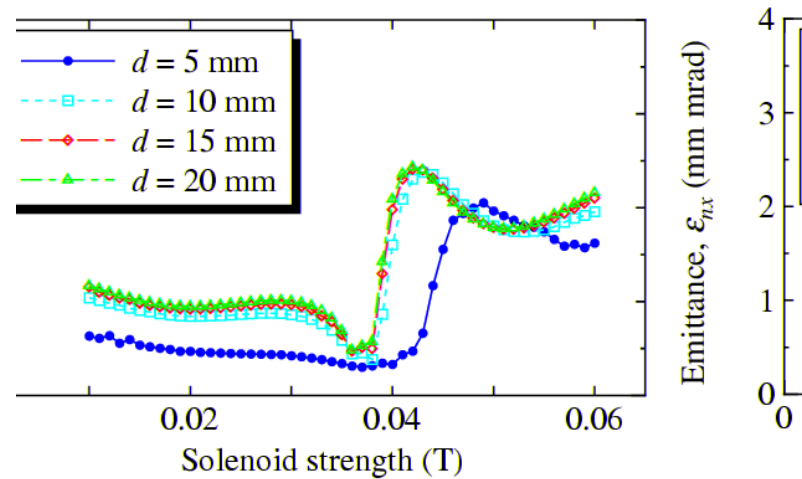
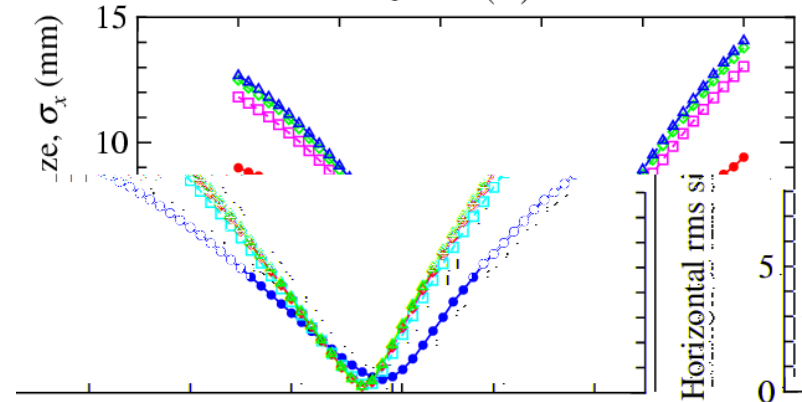
d が小さい方が、小さい規格
化エミッタンスを与える。

カソード直径の影響

アノード直径 = カソード直径
 $z = 1.0$ (m)



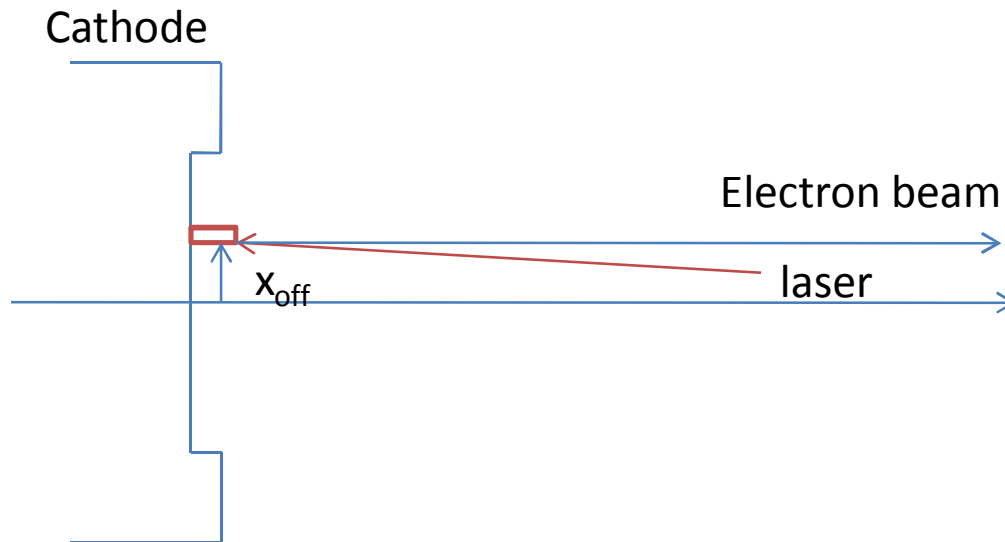
アノード直径 = 40 mm
 $z = 1.0$ (m)



ビームサイズの違いが見られる
エミッタンスの変化はあまりなさそう

3. レーザー位置のオフセットの影響 アノード直径を固定した場合

- ソレノイドスキャンの結果から得られた、最小ビームサイズを与えるソレノイドの強さに対して、レーザー照射位置が変化したときの影響を計算する
- カソード表面でレーザー照射位置をずらしながら、 $z = 1.0$ m の位置で、ビームの中心位置、ビームサイズ、規格化エミッタンスを計算する

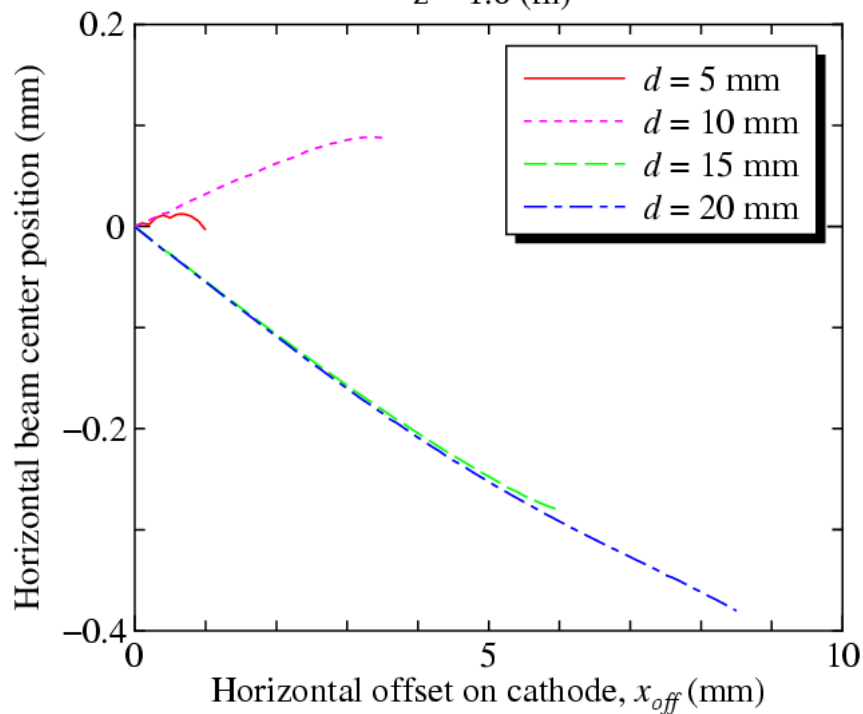


最小ビームサイズを与える
ソレノイドの強さ

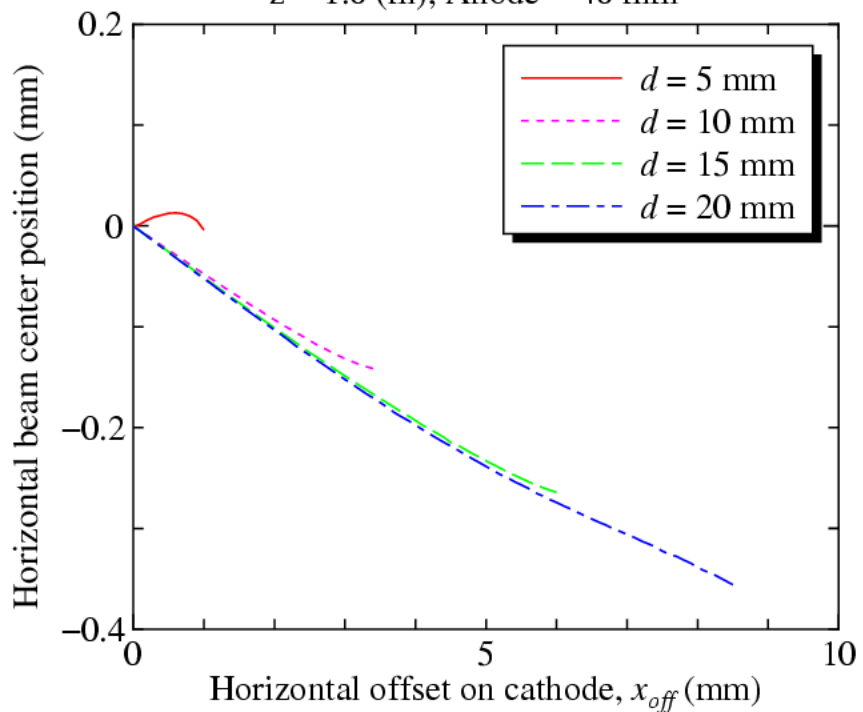
- (1) $d = 5$ mm: $sol = 0.039$ (T)
 $x_{rms} = 0.605$ mm
- (2) $d = 10$ mm: $sol = 0.037$ (T)
 $x_{rms} = 0.363$ mm
- (3) $d = 15$ mm: $sol = 0.037$ (T)
 $x_{rms} = 0.306$ mm
- (4) $d = 20$ mm: $sol = 0.037$ (T)
 $x_{rms} = 0.281$ mm

ビームの中心位置の変化

アノード直径 = カソード直径
 $z = 1.0$ (m)

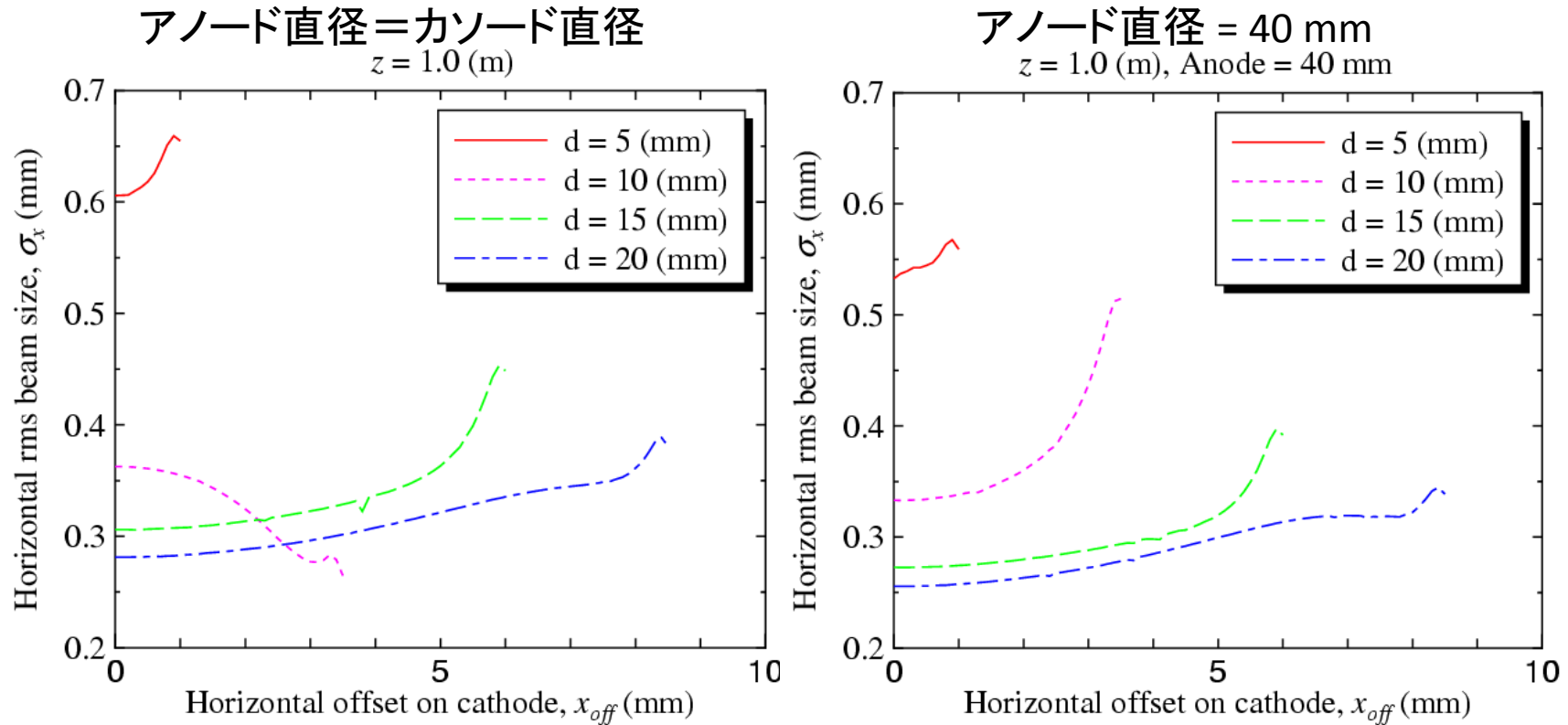


アノード直径 = 40 mm
 $z = 1.0$ (m), Anode = 40 mm



$d = 10$ mm の時に傾向が異なるのは、ソレノイドの強さが異なるため

ビームサイズの変化

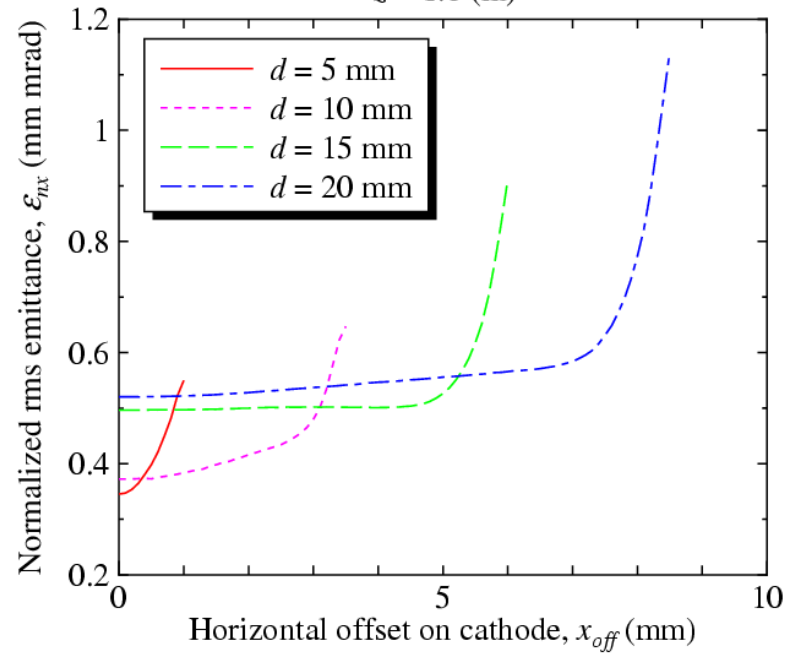


アノード直径40 mmの方が、小さいビームサイズを与える。
ビームサイズに対するアノード直径の影響は無視できない

規格化エミッタンスの変化

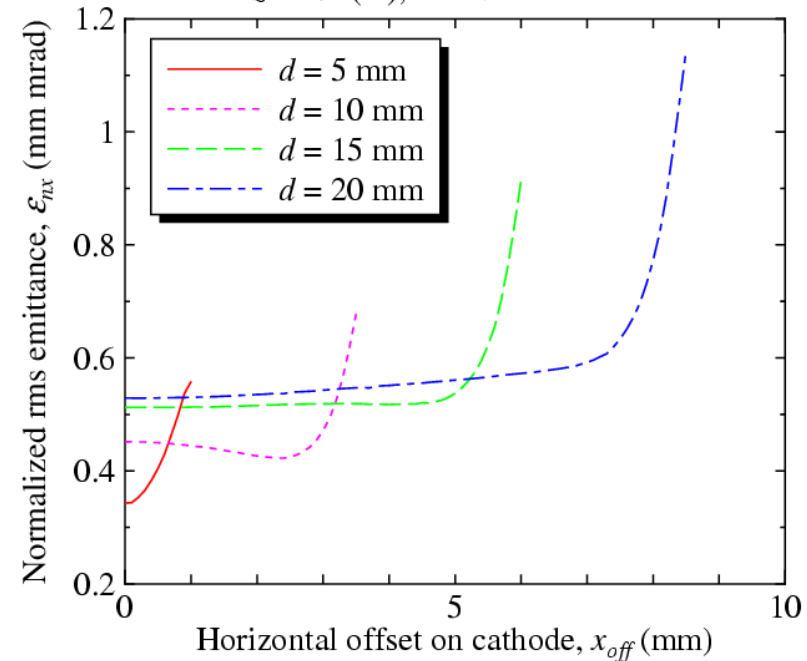
アノード直径 = カソード直径

$z = 1.0$ (m)



アノード直径 = 40 mm

$z = 1.0$ (m), Anode = 40 mm



エミッタンスに対するアノード直径の影響は、ビームサイズに対する場合に比べて小さい

まとめ

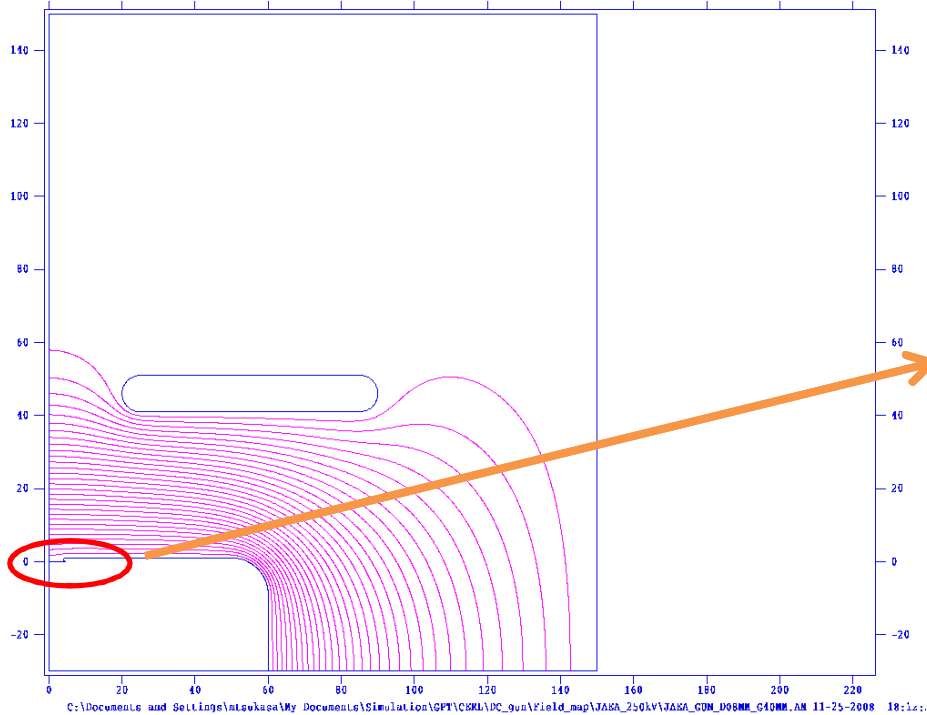
- アノード直径を40mmに固定した場合について、Poisson/Superfishを用いて2次元電場分布を作成した。
- アノード直径を固定した場合、カソード直径の変化による電場分布の変化は、カソード近傍のみで生じる
- 単粒子のトラッキングを行い、影響を確認した。ビームの位置が中心から離れたときに、アノード近傍で粒子軌道の違いが見られた
- Gun + Solenoid ビームラインで、初期ビア缶分布のビームに対して、ビームサイズ、規格化エミッタンスを計算し、ソレノイドスキャンを行った。
- アノード直径の影響は、エミッタンスに対しては小さそうだが、ビームサイズに対しては無視できない
- 最小ビームサイズを与えるソレノイドの強さに対して、レーザー照射位置がずれたときの影響を計算した。
- アノード直径を40 mmにした方が、最小ビームサイズが小さくなることを確認した
- エミッタンスに対するアノード直径の影響は、ビームサイズに対する場合に比べて小さそう

250 kV Gun の電場分布の作成と シミュレーション

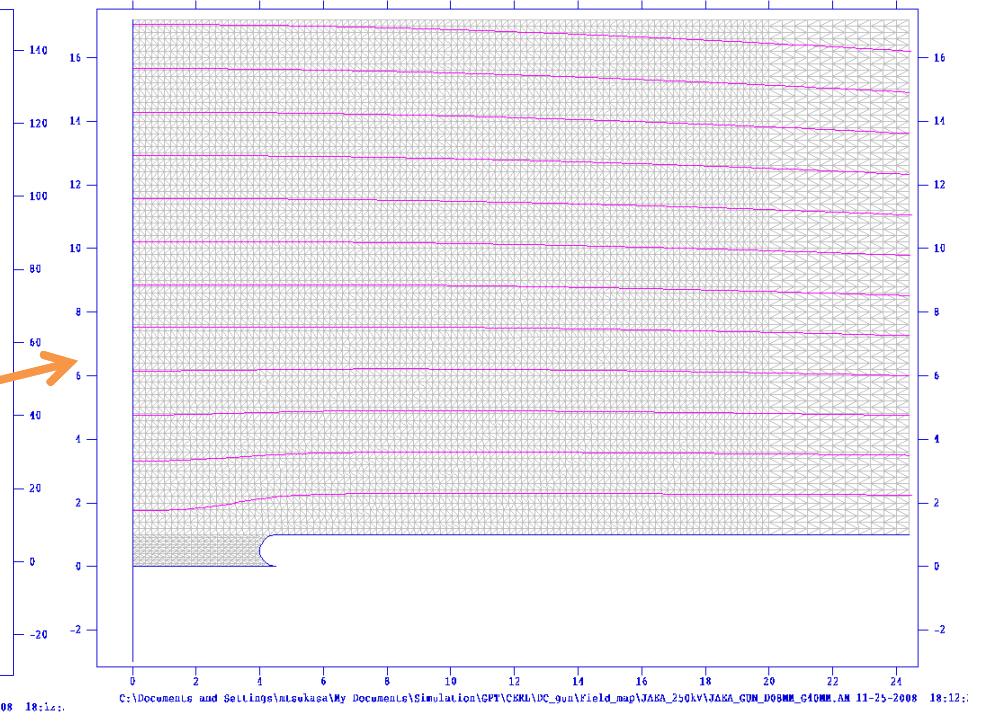
250 kV Gun

- 250 kV Gun 用の電場分布を、Poisson/Superfishを使って計算した。

Electrostatic problem, Cylindrical Electrode, JAEA Photo cathode gun, d=8mm, gap



Electrostatic problem, Cylindrical Electrode, JAEA Photo cathode gun, d=8mm, gap

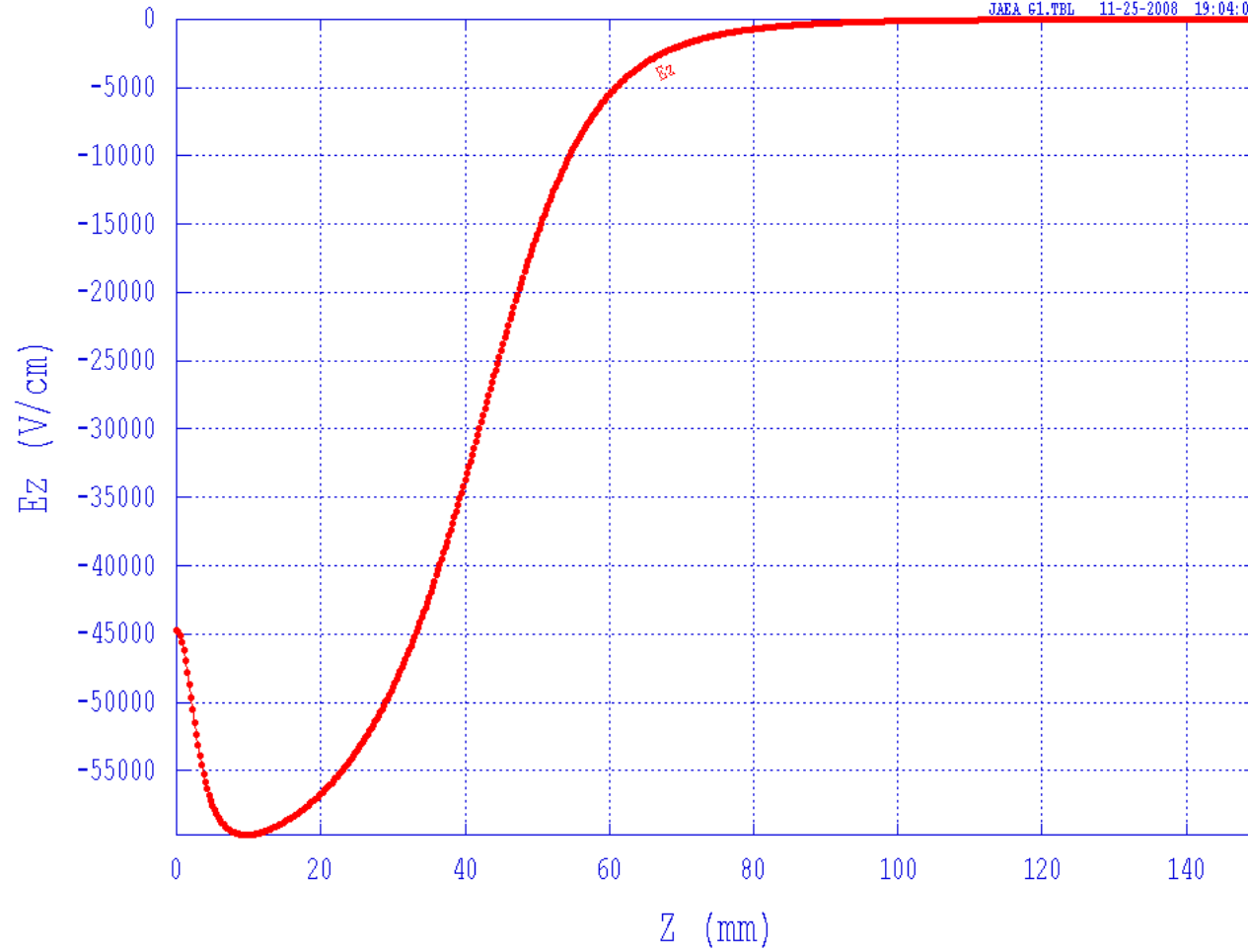


1次元電場分布

Electric field data from file JAEA_GUN_D08MM_G40MM.AM

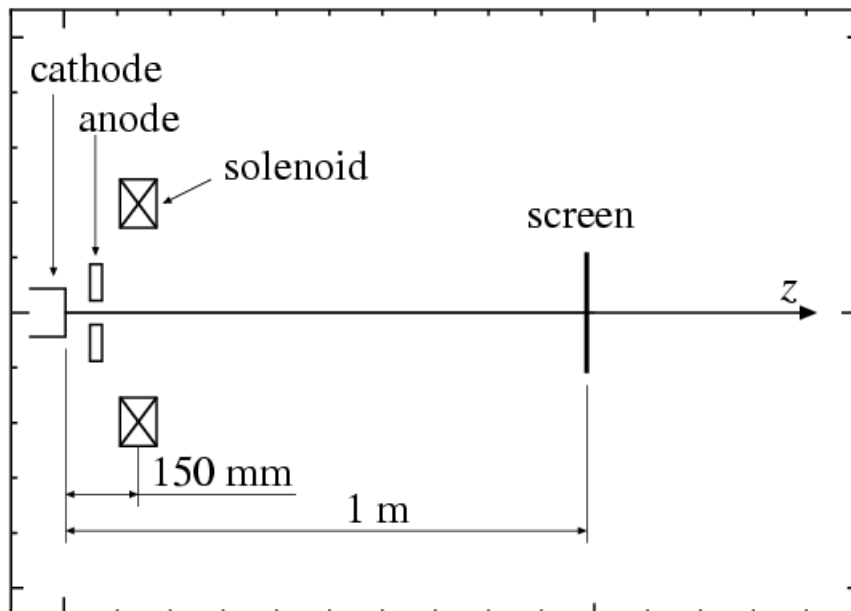
Problem title line 1: Electrostatic problem, Cylindrical Electrode, JAEA Photo cathode gun, d=8mm, gap

JAEA 61.TBL 11-25-2008 19:04:06

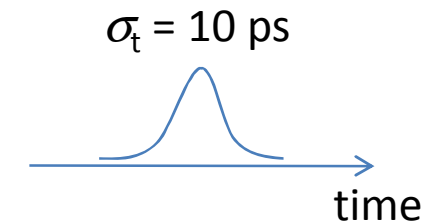


250 kV gun のシミュレーション

- アノード位置($z = 55 \text{ mm}$)の位置でのビームサイズ、カソード表面でのビームサイズをスキャン
- ソレノイドスキャン、 $z = 1.0 \text{ m}$ の位置でビームサイズ、エミッタンスを計算、カソード表面でのビームサイズを固定



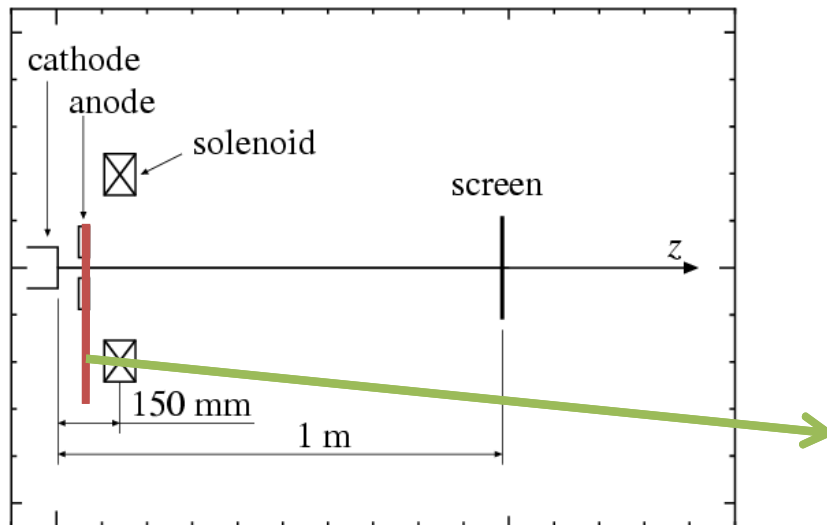
- 粒子数: 20 k
- バンチ電荷: -80 pC
- 電子銃加速電圧: 500 kV
- カソード表面での kT : 50 meV
- ソレノイドのスキャン範囲: 0.01 T to 0.06 T
- 空間電荷効果計算: 3D mesh (open boundary)



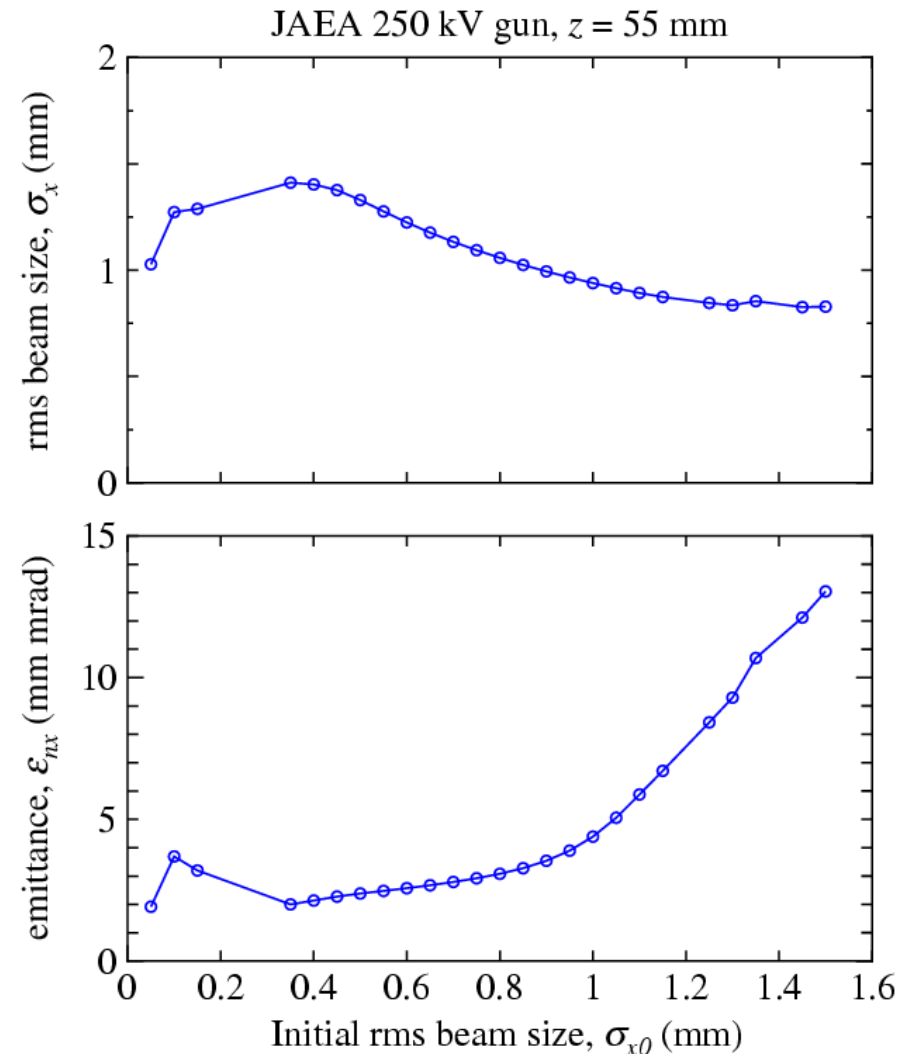
横方向分布もガウス分布

$$\sigma_x = 0.5 \text{ mm}$$

アノード位置でのビームサイズ

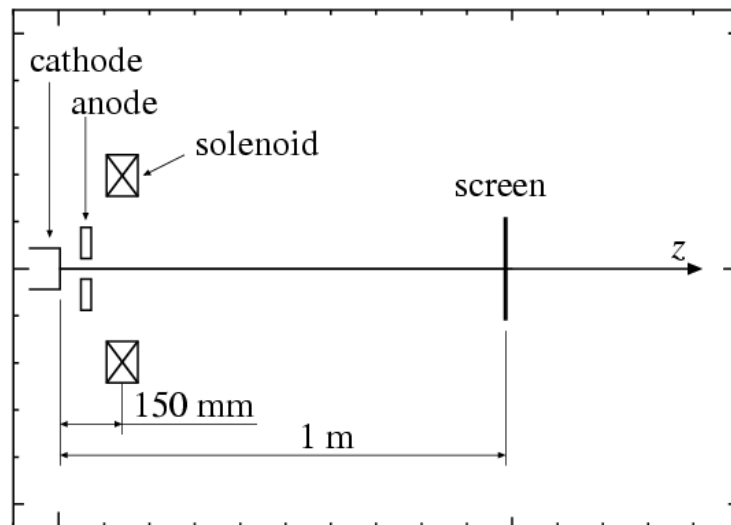


GPTのエラーによっていくつか計算結果が得られない初期ビームサイズがあった
ビームサイズは最大で1.5mm
6 σ として、9mm
250kV Gunの場合には、アノード直径は少なくとも10mm以上必要

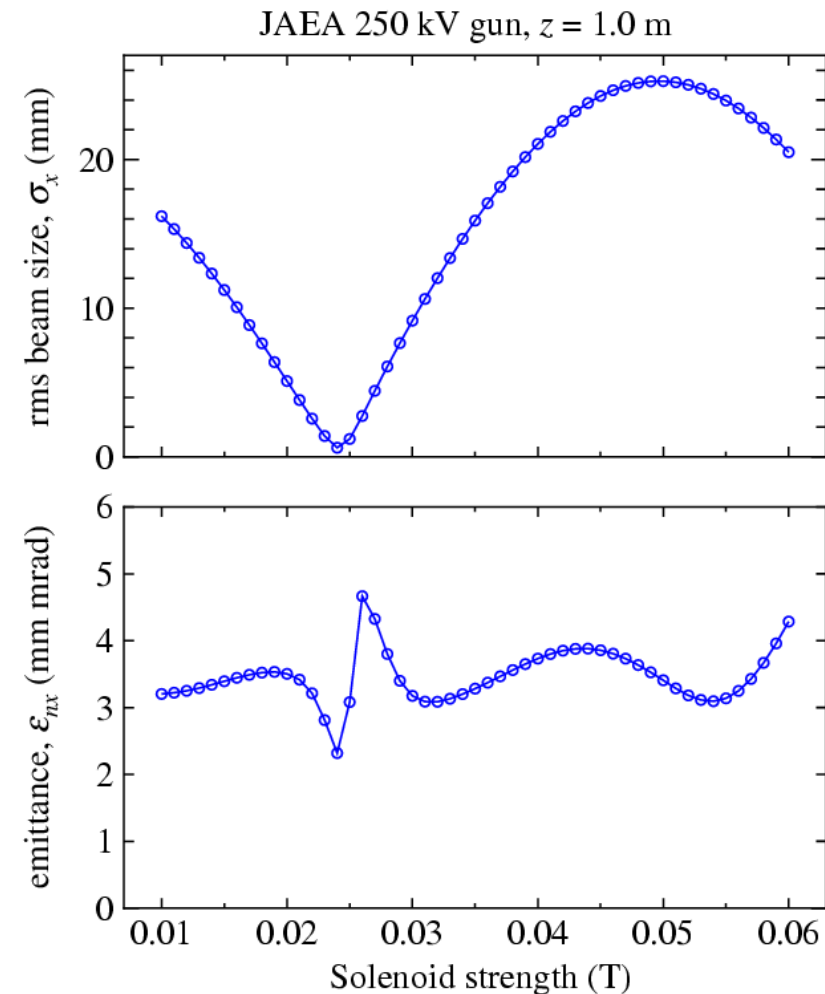


ソレノイドスキャン(z=1.0m)

初期ビームサイズは固定: $\sigma_x = 0.5$ mm



- ソレノイドの強さ 0.024 Tで、最小ビームサイズとなる



250kV Gun シミュレーション

- JAEA電子銃用の電場分布をPoisson/Superfishを使用して作成した
- カソード直径:8 mm
- アノード直径: 40 mm
- ギャップ: 40 mm
- アノード位置でのビームサイズを調べるためにGPTを用いてトラッキングを行った
- アノード直径は少なくとも、10 mm以上は必要
- ソレノイドスキャンを行った
- $\sigma_x = 0.5$ mmの場合、0.024 Tのときにビームサイズは最小となる
- 今後、エミッタンス測定用スリットの位置でのビームを計算する