

電子銃収束・発散力の測定結果

第74回ERL検討会
PF研究棟2階会議室

2013年7月17日(水)14時
加速器第七研究系
宮島 司

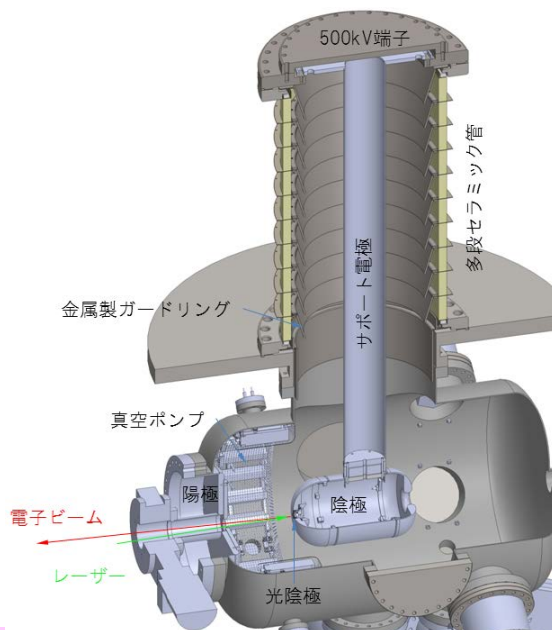
電子銃の収束・発散力測定のための目的

- 背景

- DC電子銃の場合には、電極形状により電子ビームに収束あるいは発散力を与えることができる
- ビームライン下流でのビーム性能を上げるには、上流側から正しくビームラインを理解できている必要がある

- 目的

- JAEA 500 kV光陰極DC電子銃の実際の収束力を測定することによって、電子ビームにどのような収束・発散力が働いているかを調べる



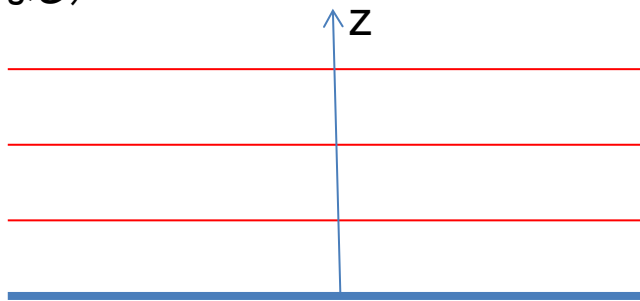
プレスリリース

「次世代光源用光陰極直流電子銃から500keV大電流ビーム生成に成功」より

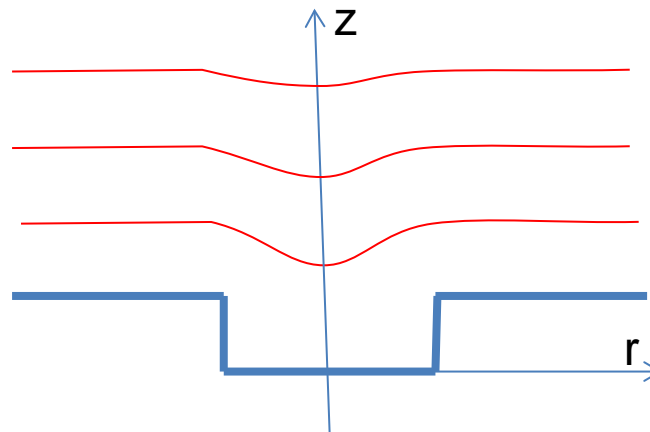
電子銃の収束・発散力

- 電子銃での収束・発散力の起源
 - 静電場の分布に起因

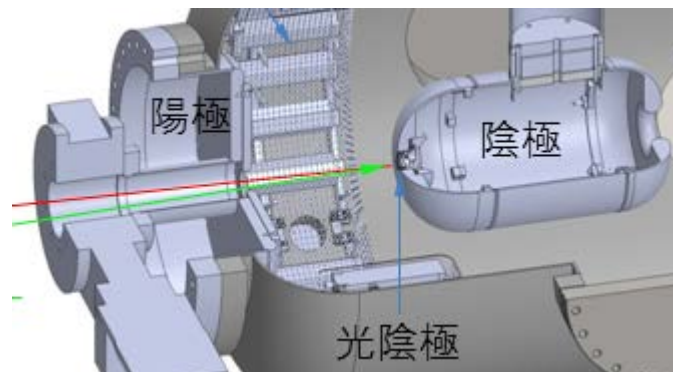
(1) 完全に平板の場合
等電位面も陰極に対して平行でr方向の電場成分はなし(収束・発散力なし)



(2) 陰極面に凹みがある場合
中心部分で電場が歪み、r方向の電場成分(収束力)が生じる



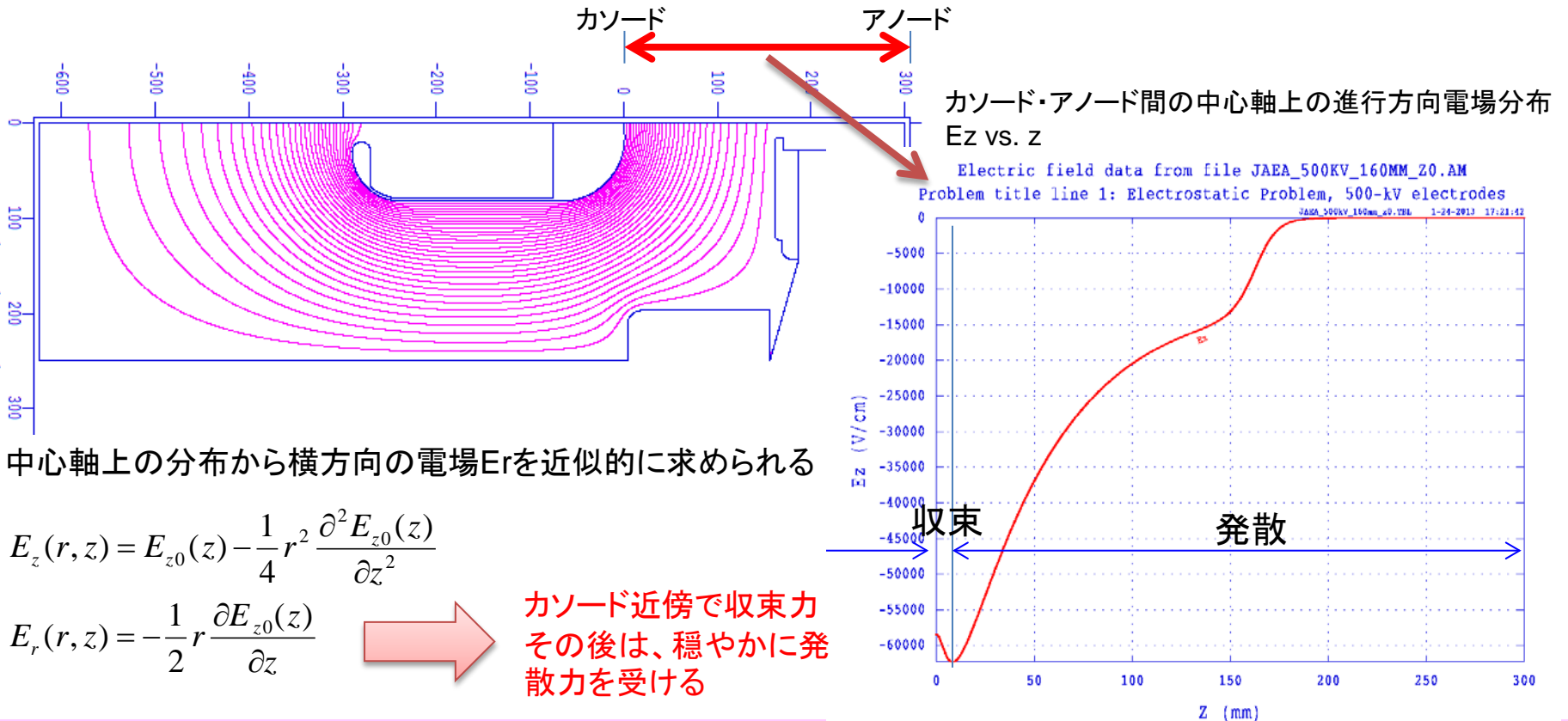
JAEA 光陰極500 kV電子銃の場合
カソードパックを入れる部分にわずかに凹みがあり、カソード近傍では収束力が働く



軸対称の場合の電場分布と収束・発散力

- 軸対称の場合(電子を考える):
 - 軸上の進行方向電場 E_z が減少する部分(絶対値では増加) \Rightarrow 軸から r 方向に外向きに電場が生じる \Rightarrow 電子には収束力
 - 軸上の進行方向電場 E_z が増加する部分(絶対値では減少) \Rightarrow 軸から r 方向に内向きに電場が生じる \Rightarrow 電子には発散力

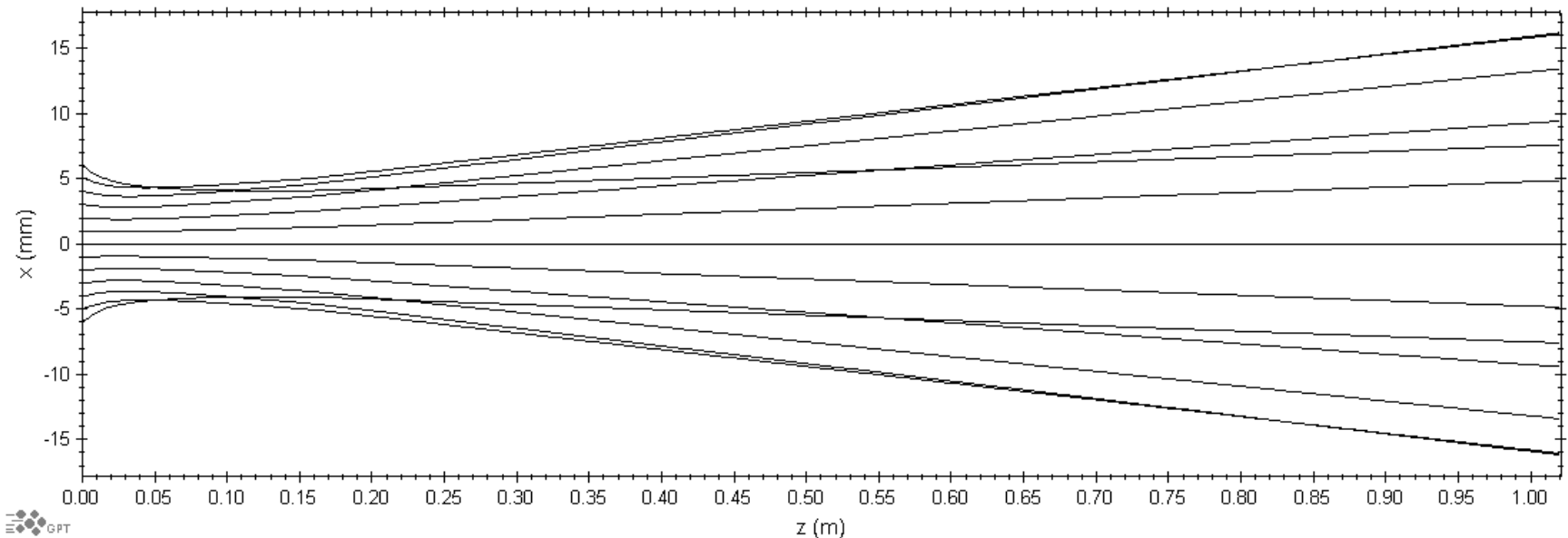
JAEA 光陰極500 kV電子銃の電場分布



粒子トラッキングによる収束・発散力の確認

- 西森さんから頂いた電場分布を基に電子のトラッキングを行い、収束・発散力を確認
- 電子銃全体としては、発散力として働く

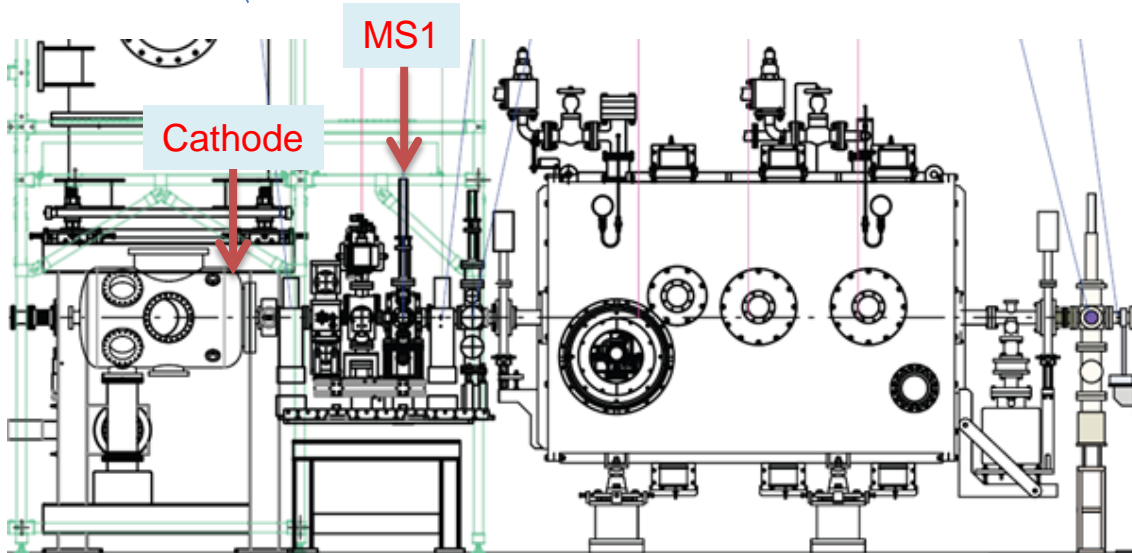
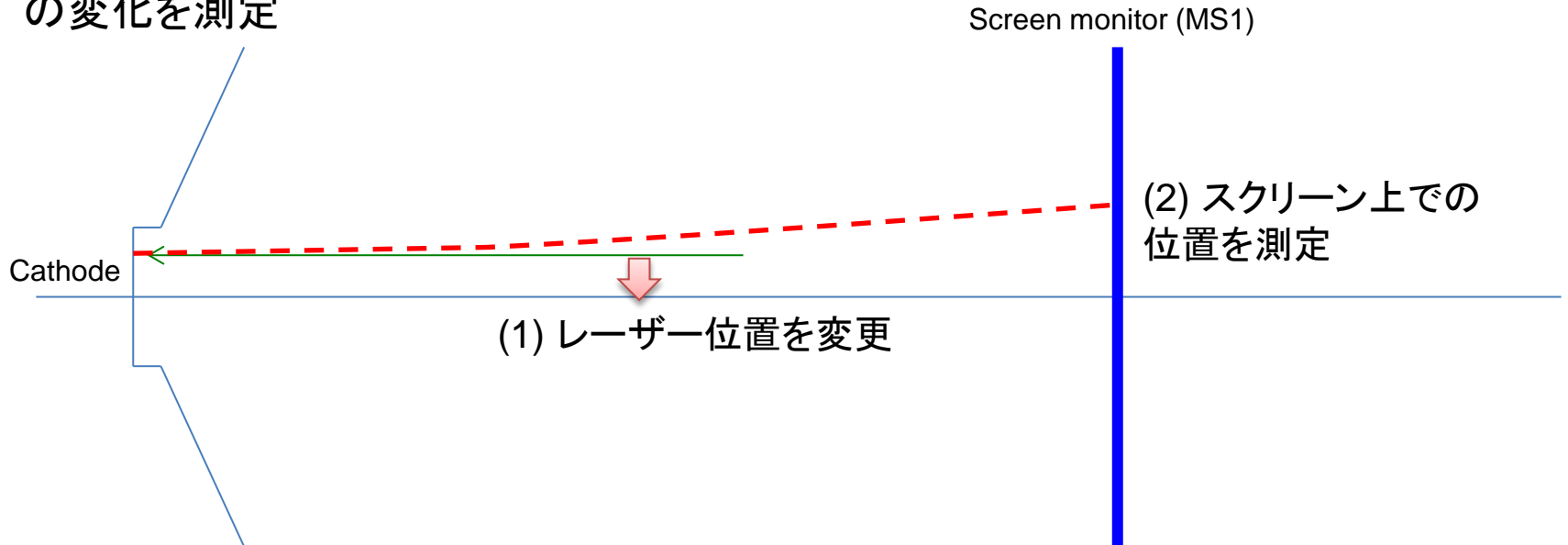
390 kV



- 実験で、これを測定し、電子銃(電極形状)が作る収束・発散がどのようになっているかを調べる

測定方法

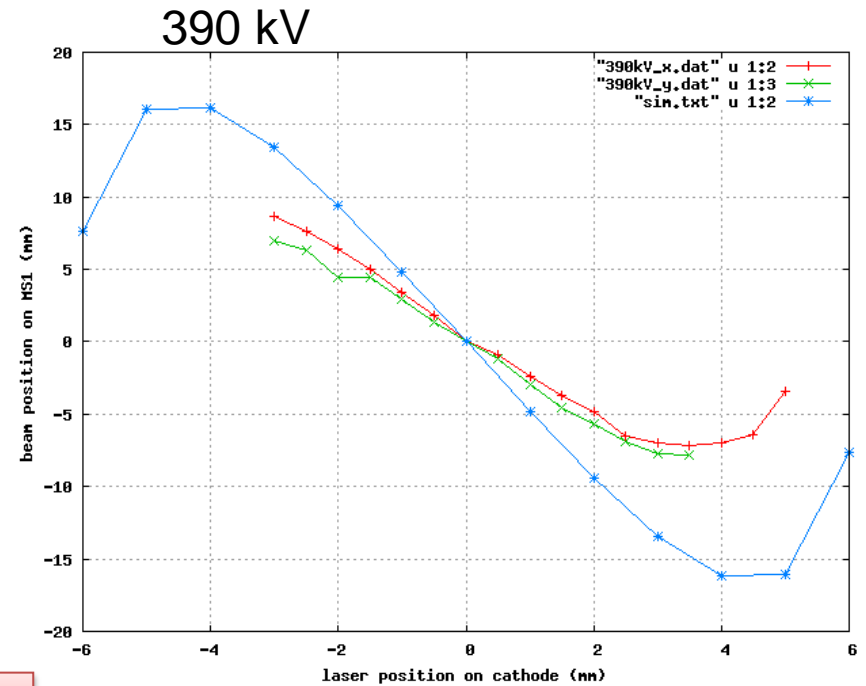
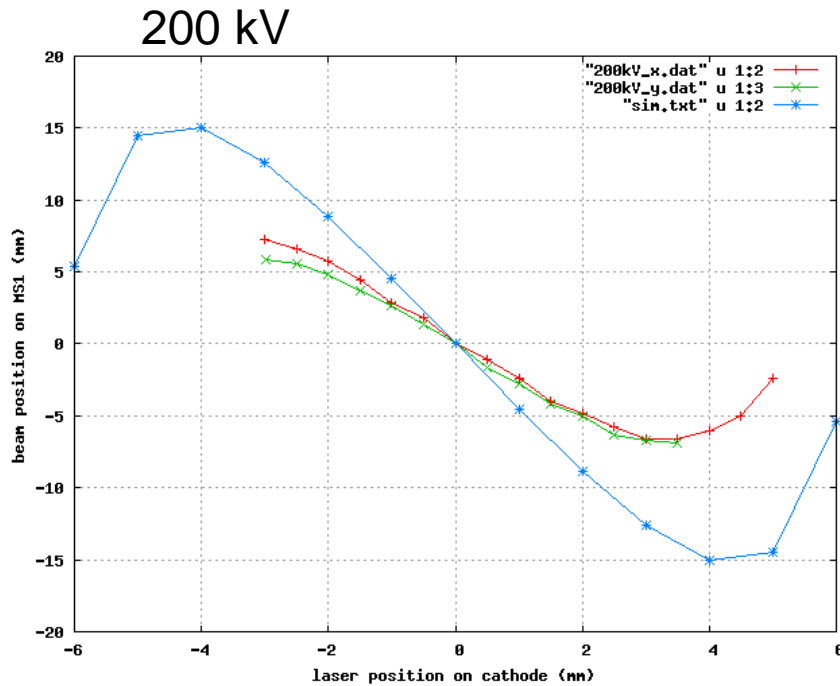
- カソード面のレーザー照射位置を変えながら、下流のスクリーンMS1上でのビーム位置の変化を測定



電子銃とMS1の間にはソレノイド電磁石とバンチャー空洞があるが、これらはすべてオフにして、純粋に電子銃による収束・発散効果のみを測定するようにした。

測定結果

- 電子銃加速電圧: 200 kV, 390 kVで測定



測定結果: 赤(水平方向)、緑(垂直方向)
計算結果: 青(軸対称なので、x,yは同じ)

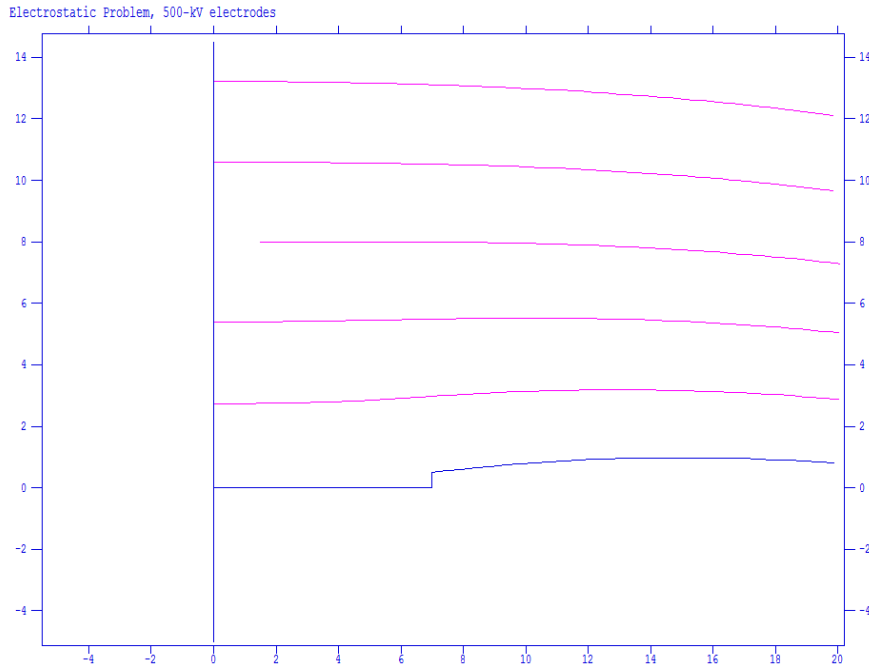
測定結果では、水平・垂直方向で大きな差はない⇒軸対称にできている
しかし、計算結果と合わない

西森さんに相談して、カソード付近の電極形状を再確認した。

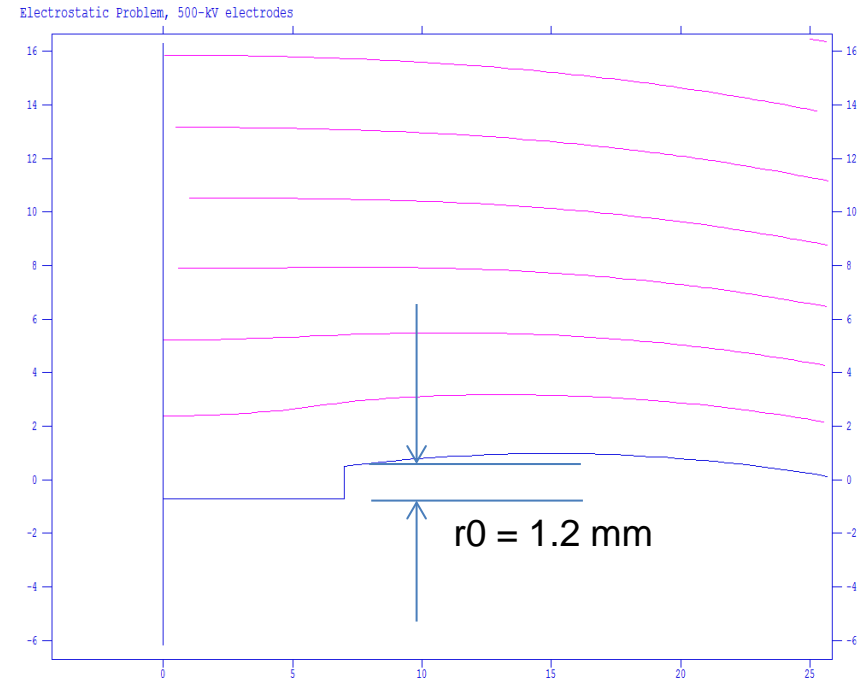
カソード電極付近の凹み

- 凹みの部分のわずかな違いが下流では大きく見える
- カソード電極のPoisson入力ファイルでは、カソードパックと電極の間隙が異なるとのことであった
 - 元の入力ファイル: 間隙が0.5 mm
 - 西森さんから頂いた情報: 間隙が1.2 mm
- とりあえず、いくつかの凹みを試してみることにした ($r_0 = 0.9, 1.0, 1.2$ mm)

凹み: $r_0 = 0.5$ mm



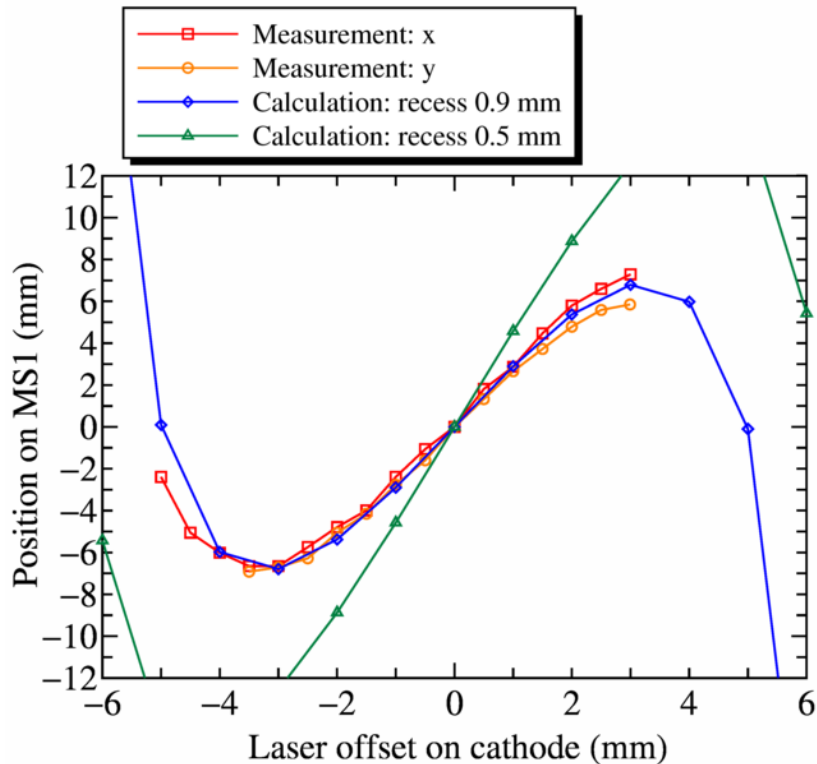
凹み: $r_0 = 1.2$ mm



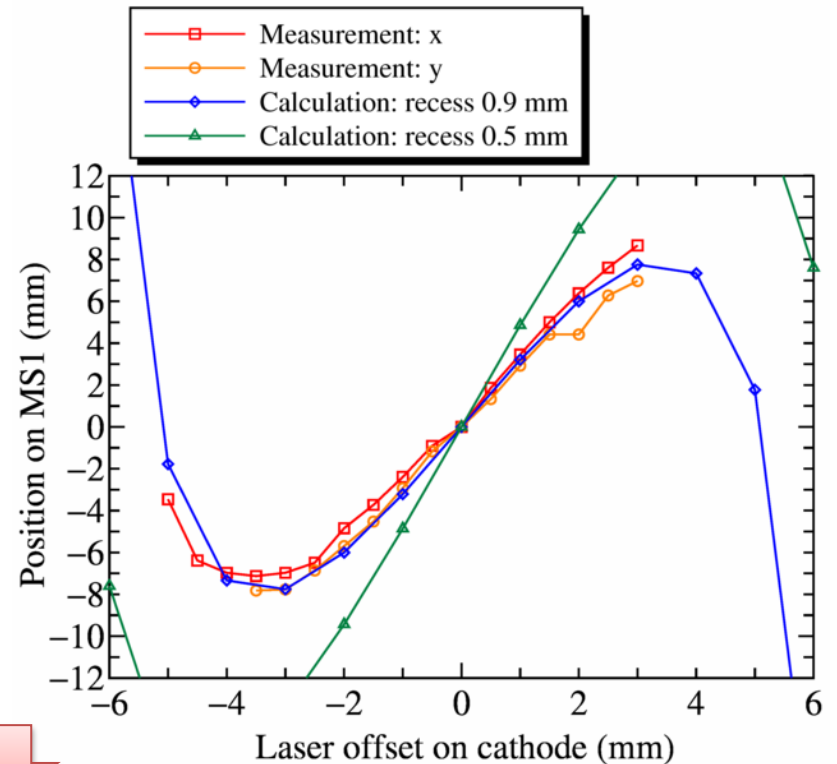
カソード凹みの決定

- $r_0 = 0.9 \text{ mm}$ のとき実験結果を最もよく再現した

200 kV



390 kV



$r_0 = 0.9 \text{ mm}$ のとき、二つの異なる電圧で実験結果をよく再現している

この結果より、シミュレーションで使用する電場分布として、 $r_0 = 0.9 \text{ mm}$ の凹みをもつ電極形状で計算したものを利用することとした。

まとめ

- 電子銃の電場による収束・発散力を実験的に測定するために、レーザー位置を変えながらMS1上でのビーム位置変化の応答を測定した。
- この結果、これまでシミュレーションで使用していた電極形状では、測定結果を再現できないことがわかった。
- カソード付近のわずかな電極形状の違いでも、下流では大きく見えるため、カソード部分の凹みをわずかに変えながら、電場分布を計算して、トラッキングを実施した。
- カソード部分の凹みが0.9 mmのときに最もよく測定結果を再現することがわかった。
- この測定以降では、cERL phase1 コミッショニング用の計算では、カソード凹み 0.9 mmの電極形状を用いて計算を行っている。