

NPES3-AR beamline での ビーム試験

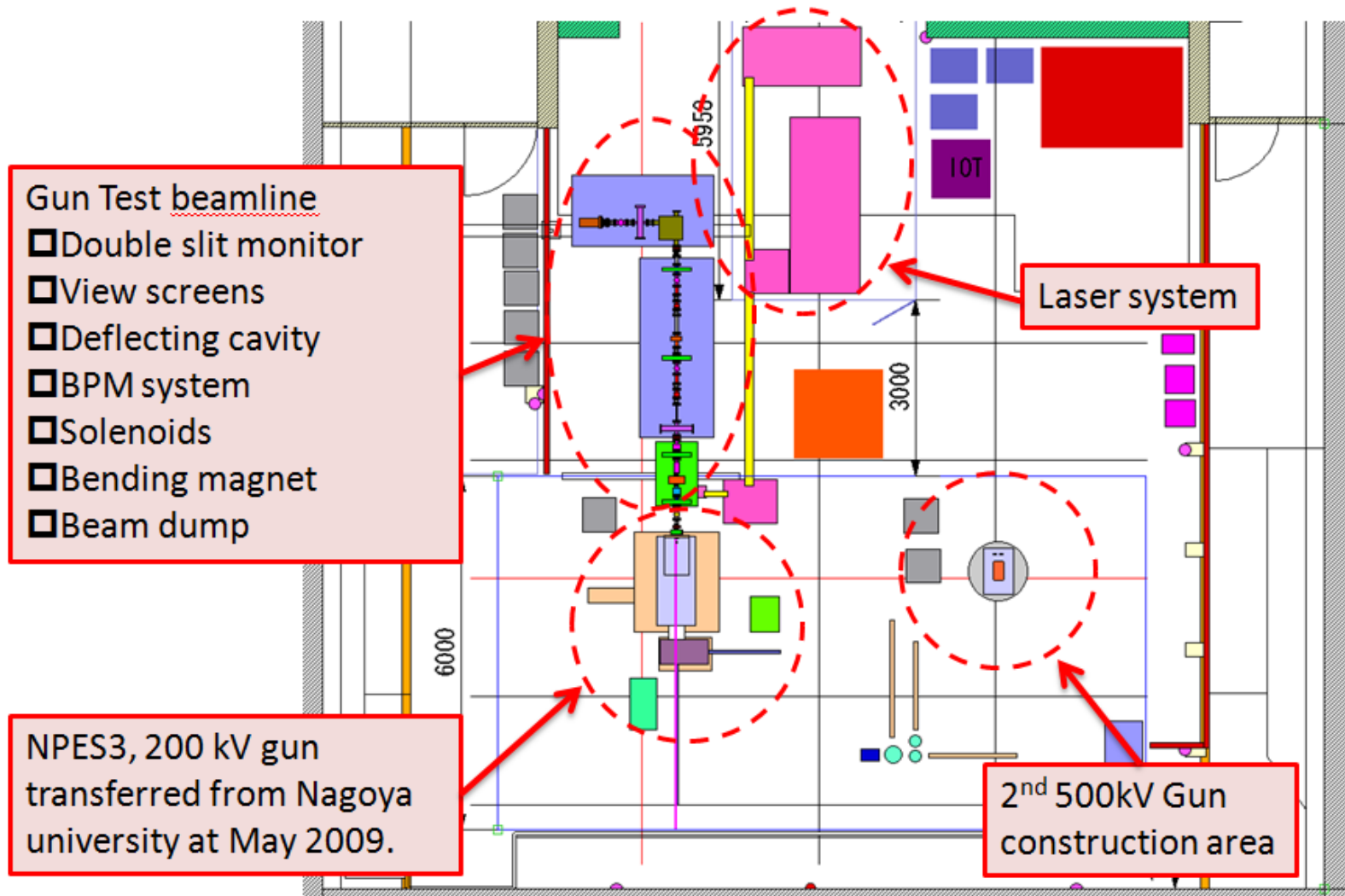
2010年6月21日(月)13時30分
第24回高輝度電子源開発G会合

高エネルギー加速器研究機構
宮島司、本田洋介、山本将博、内山隆司、松葉俊哉、帯名崇

NPES3-AR beamlineでのビーム試験

- 名古屋大学で開発されたNPES3電子銃がAR南棟に移設されて、運転出来る状態になった。
- 電子銃の高圧試験後に、100kVの加速電圧で、NPES3-ARビームラインでのビーム試験を開始した(ここでの名称:とりあえず、名古屋大学でのビームラインをNPES3-ARと呼ぶ)
- NPES3-ARビームラインでの試験で、ビーム制御の経験を積んだ後に、現在開発中の診断部ビームラインを接続して、本格的なビーム試験に入る。
- NPES3-ARビームラインでの試験の目的
 - NPES3電子銃本体の性能の確認(移設によってトラブルは生じていないか?)
 - 各機器の性能の確認(真空装置、ビーム診断装置、電磁石システム)
 - 低エネルギービームの制御に対して経験を積む

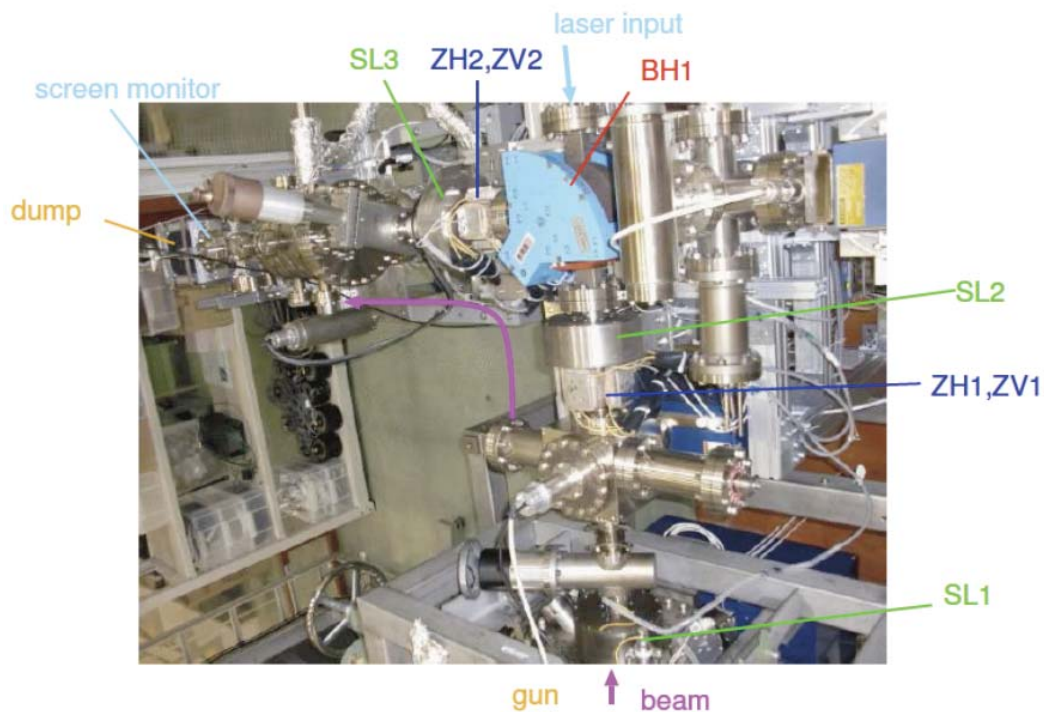
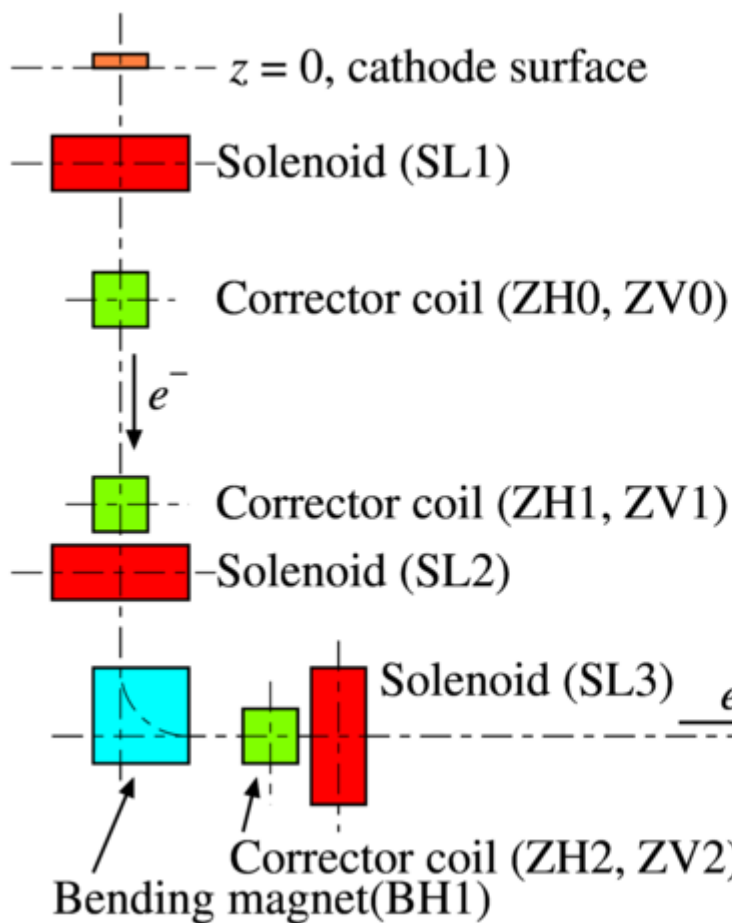
AR南棟のレイアウト (NPES3-Gunに新しいビームラインを接続した場合の図)



現状は、NPES3-GunにNPES3-ARビームライン(次のページ)を接続している。

NPES3-ARビームラインのレイアウト

- ビュースクリーン: 1台
- ビームダンプ: 1台
- ソレノイド: 3台
- 補正コイル(H, V): 3組
- 偏向電磁石: 1台



NPES3-ARビームラインの配置

カソード面からスクリーンまでの距離 : $s = 2.17 \text{ m}$

$z = 0$, cathode surface

Solenoid (SL1)

Corrector coil (ZH0, ZV0)

e^-

Corrector coil (ZH1, ZV1)

Solenoid (SL2)

View screen

e^-

Bending magnet(BH1)

Corrector coil (ZH2, ZV2)

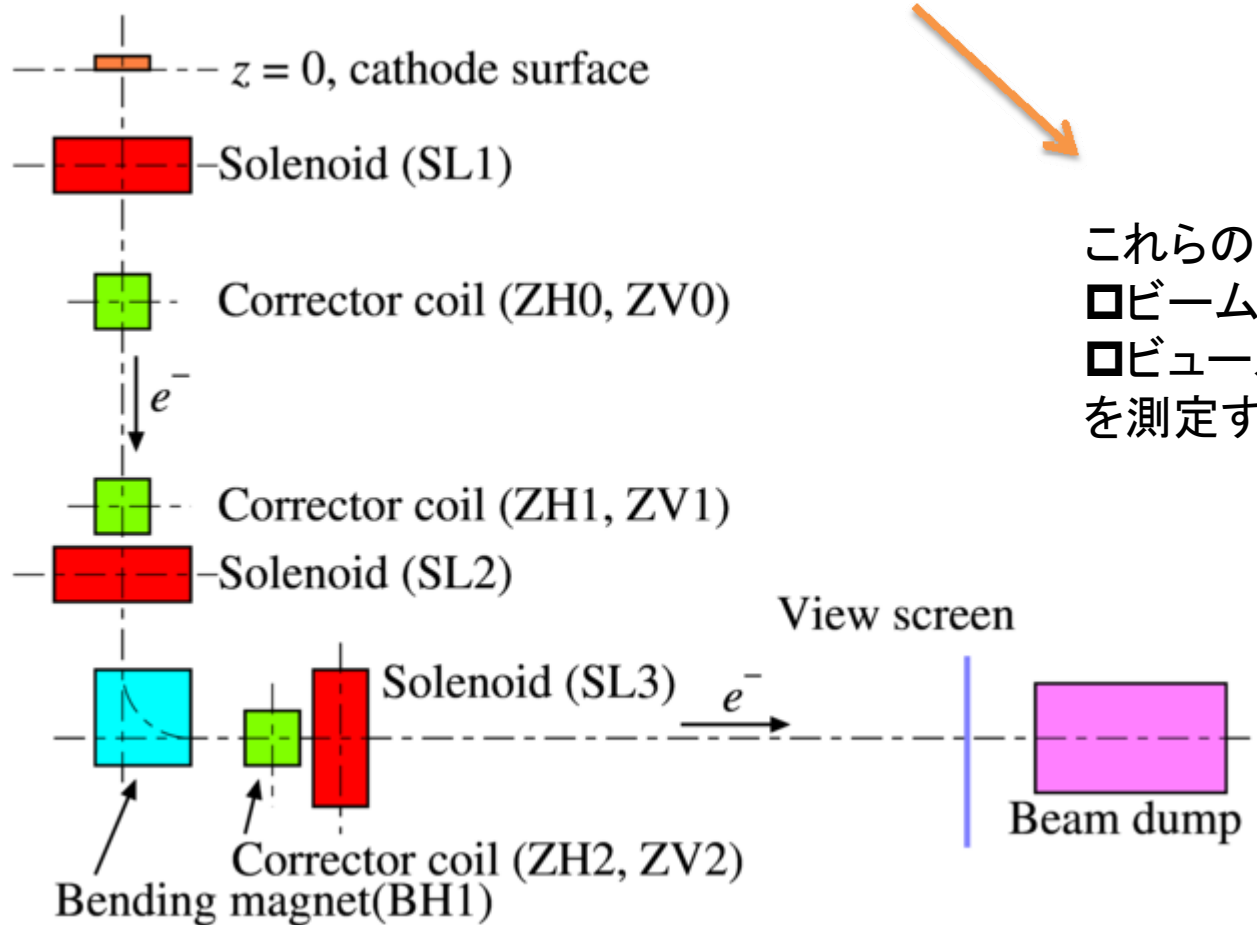
Solenoid (SL3)

Beam dump

	z (m)	x (m)	s (m)	z' (m)	x' (m)
カソード面	0.000	0.000	0.000		
SOL1入口	0.109	0.000	0.109		
SOL1中心	0.145	0.000	0.145		
SOL1出口	0.181	0.000	0.181		
ZH0, ZV0入口	0.326	0.000	0.326		
ZH0, ZV0中心	0.349	0.000	0.349		
ZH0, ZV0出口	0.371	0.000	0.371		
ZH1, ZV1入口	0.624	0.000	0.624		
ZH1, ZV1中心	0.654	0.000	0.654		
ZH1, ZV1出口	0.684	0.000	0.684		
SOL2入口	0.696	0.000	0.696		
SOL2中心	0.732	0.000	0.732		
SOL2出口	0.768	0.000	0.768		
BH1入口	0.878	0.000	0.878		
BH1出口	0.978	0.100	1.035	0.000	0.000
ZH2, ZV2入口	0.978	0.212	1.147	0.112	0.000
ZH2, ZV2中心	0.978	0.242	1.177	0.142	0.000
ZH2, ZV2出口	0.978	0.272	1.207	0.172	0.000
SOL3入口	0.978	0.286	1.221	0.186	0.000
SOL3中心	0.978	0.322	1.257	0.222	0.000
SOL3出口	0.978	0.358	1.293	0.258	0.000
screen	0.978	1.235	2.170	1.135	0.000
dump入口	0.978	1.340	2.275	1.240	0.000
dumpシールド端	0.978	1.620	2.555	1.520	0.000

調整可能な項目

- カソード表面でのレーザー位置: x, y
- ソレノイドの強さ: $SL1, SL2, SL3$
- 偏向電磁石の強さ: $BH1$
- 補正コイルの強さ: $ZH0, ZV0, ZH1, ZV1, ZH2, ZV2$



これらの調整項目を調整して、
□ビームダンプに到達する電流
□ビュースクリーンでの像
を測定する。

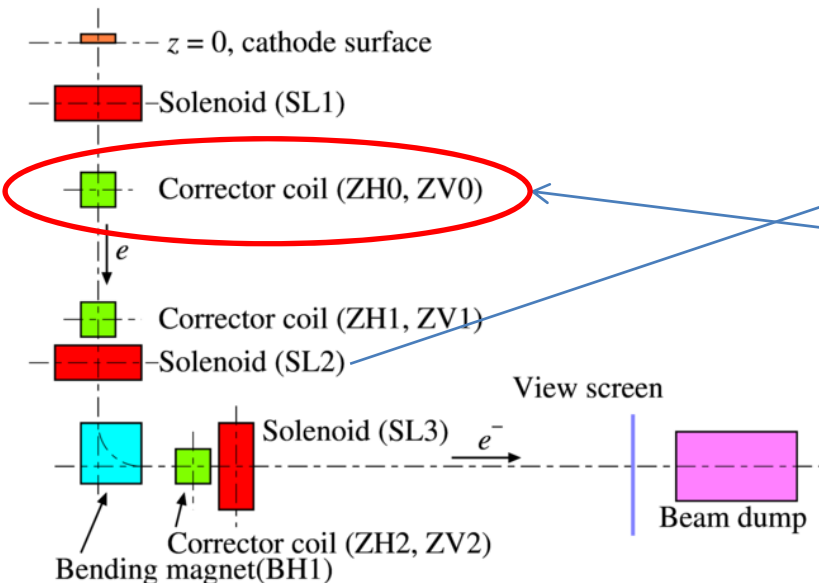
ビームの調整方法

ビームの精密な測定を行うためには、ビームをソレノイド電磁石の中心を通す必要がある(中心位置からずれるとプロファイルのゆがみが生じるため)

(1) ソレノイドの磁場を正弦波(周期は遅くて良い、1 Hzとか)で変化させる
⇒ビームがソレノイドの中心を通っていない場合、スクリーン上でのビームの重心位置が変動する。重心位置の変動がなくなり、プロファイルの大きさが変わるだけになったとき、ビームはソレノイドの中心を通ったことになる。

(2) ソレノイドの手前にある、補正コイル(SL1の場合はカソード面上のレーザーの位置)を変化させて、スクリーン上でのビームの重心の変動が小さくなるようにする

(3) これを上流のソレノイドから下流のソレノイドに向けて行う

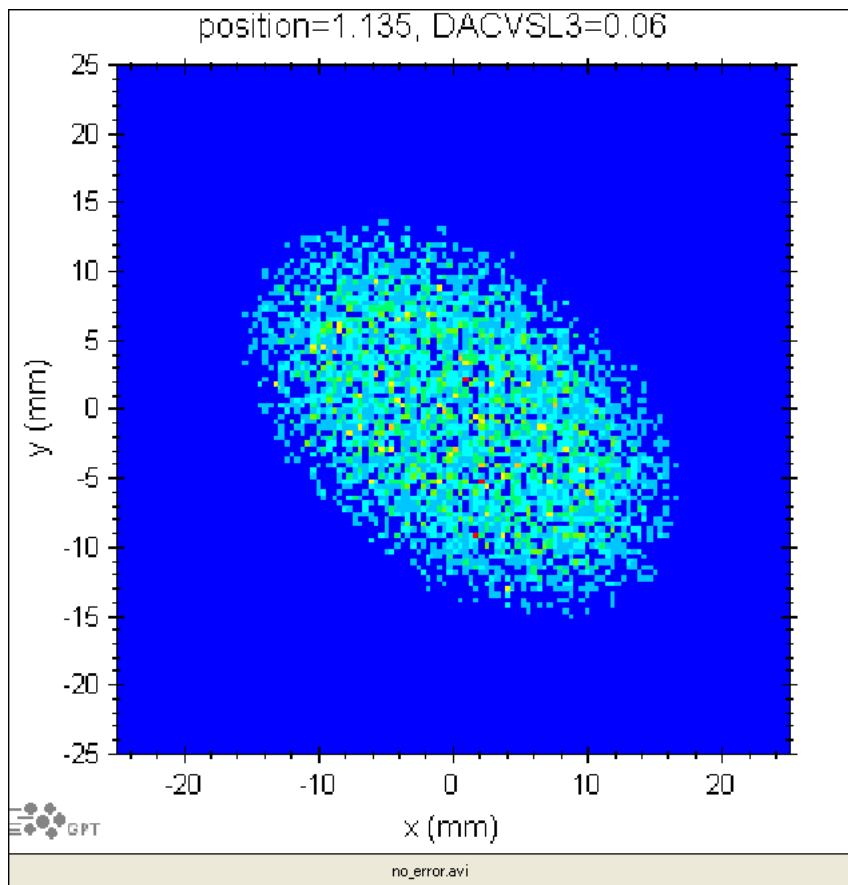


例: SL2の中心を通す場合

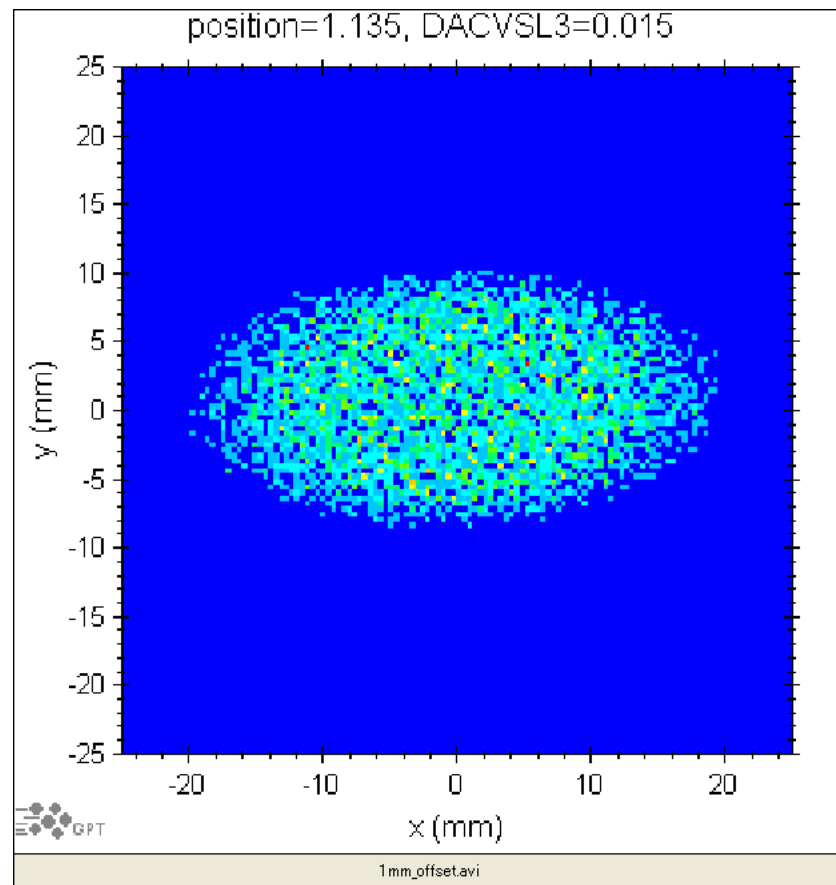
- (1) SL2の磁場を正弦波で振る
- (2) スクリーンでの重心位置を見ながら、ZH0, ZV0を調整する(補正コイルがソレノイドから近すぎると効果が小さいので、ZH1, ZV1ではなく、ZH0, ZV0を使用)

ソレノイドを変更したときのビュースクリーン上でのプロファイルの変化

SL3でのビーム位置のずれなし

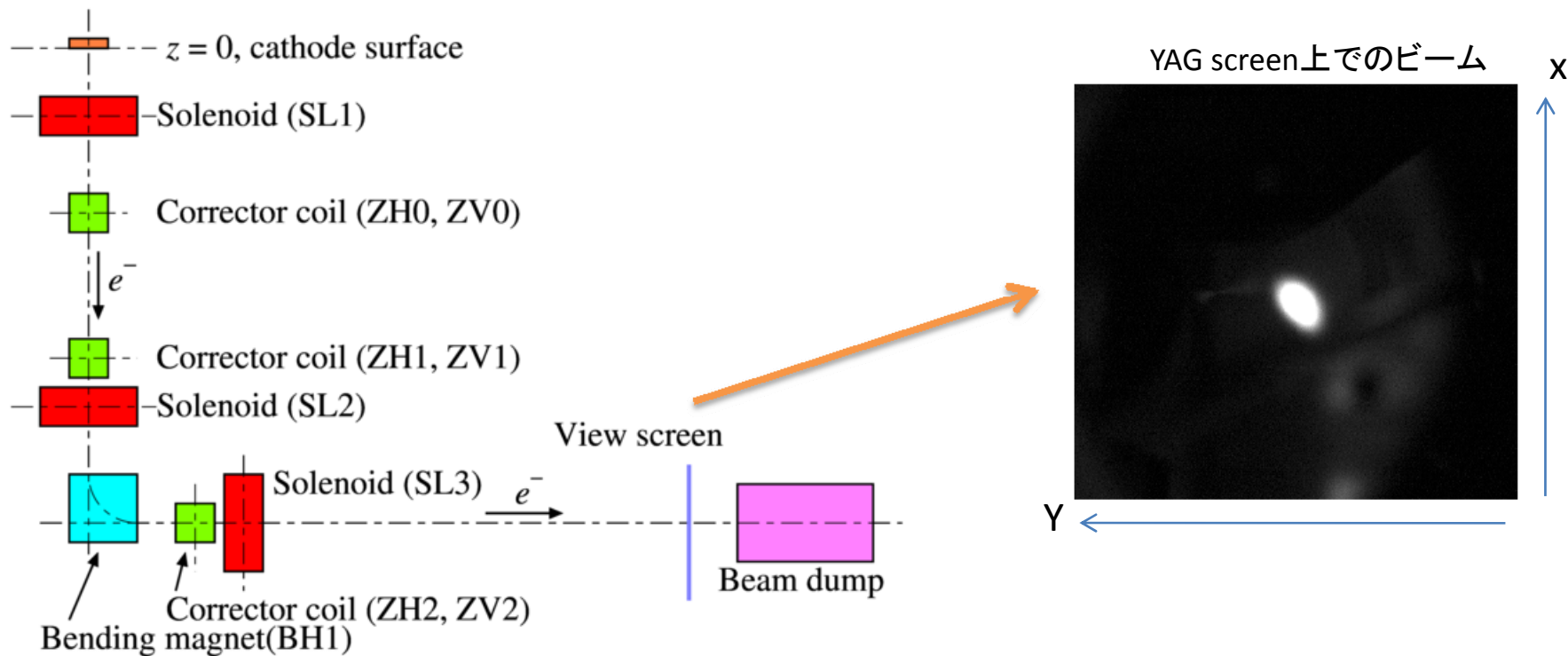


SL3でのビーム位置の1 mm



100kVビーム試験の結果

- ・加速電圧: 100 kVに設定 (ビームの運動エネルギーは 100 keV)
- ・レーザーは連続 (電荷が低くまたバンチ化されていないので、空間電荷はとりあえず無視できる)
- ・輸送効率は95%程度には到達 (HV電源から流れ出した量31.5nA、ビームダンプ電流30nA)
- ・レーザー位置、ステアリングの強さを調整し、ある程度ソレノイドの中心を通せるようになった。



•設定値:

- レーザースポットサイズ直径: $\phi 2\text{mm}$
- SL1のDACの設定値: 0.230 V
- SL2のDACの設定値: 0.040 V
- SL3のDACの設定値: 0.044 V

粒子トラッキングによる実験データの再現

•設定値:

- レーザースポットサイズ直径: $\phi 2\text{mm}$
- SL1のDACの設定値: 0.230 V
- SL2のDACの設定値: 0.040 V
- SL3のDACの設定値: 0.044 V

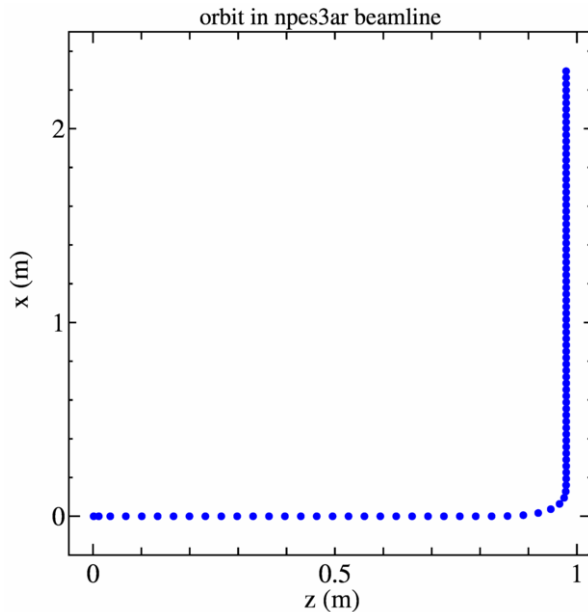
•GPT入力ファイル名: 'npes3ar1_2.in' (ZH, ZVも含む)

•計算条件: 空間電荷効果なし、粒子数はとりあえず1000個

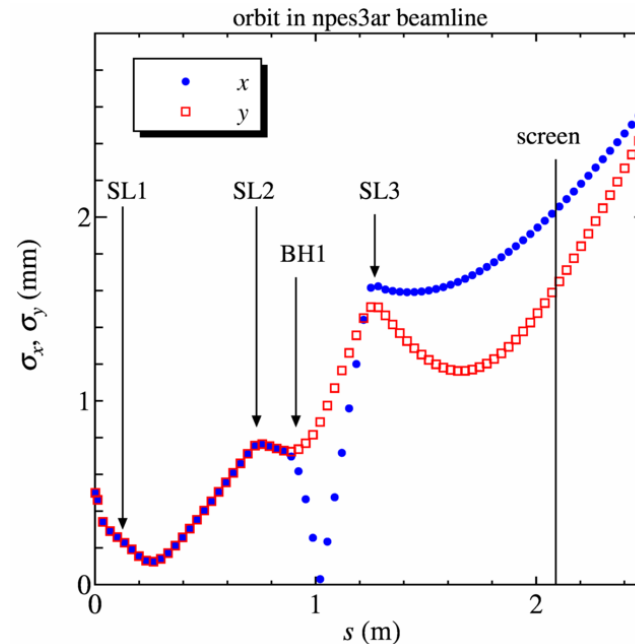
•電磁場分布

- Gun: NPES3_gun01_2D.gdf
- solenoid: NPES3_sol01_2D.gdf
- 偏向電磁石: GPT付属のコマンド, sectormagnetを使用

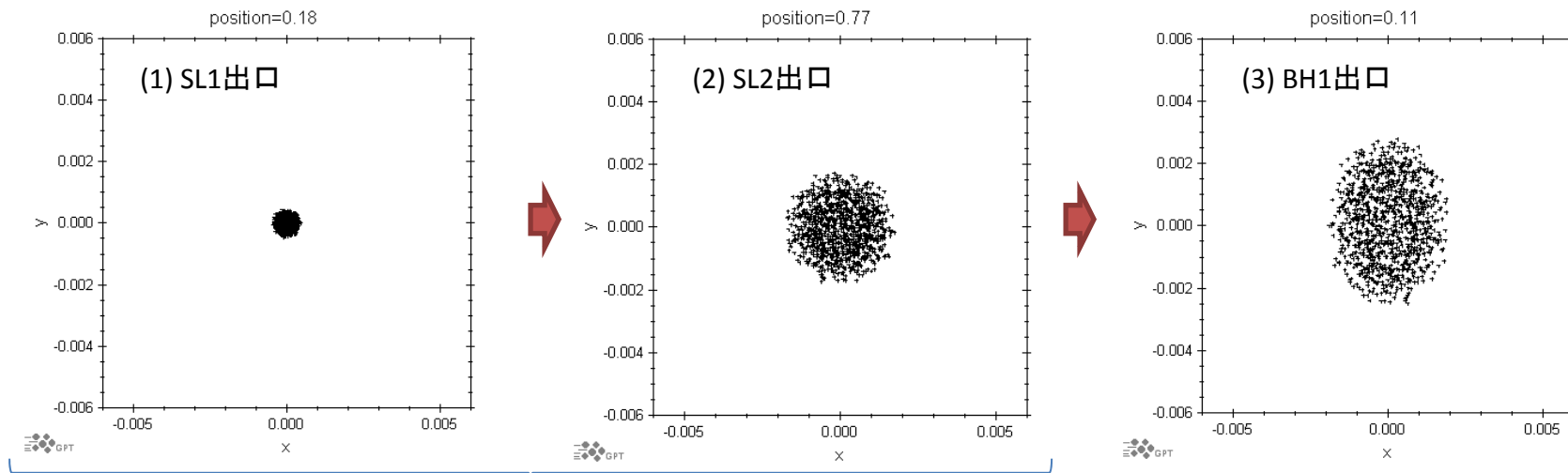
(1) ビームの軌道



(2) ビームエンベロープの変化

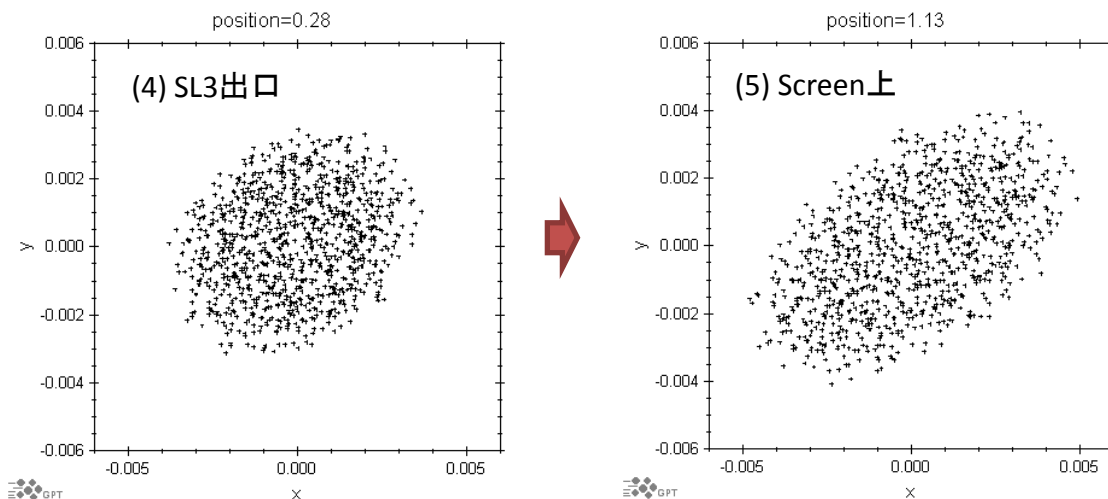


各要素でのx-y空間でのビームプロファイル



この範囲では、ビームに円筒対称性がある。

偏向電磁石によって、円筒対称性が崩れる。Y方向に伸びた楕円分布となる。ここでは、まだ傾きは無い。

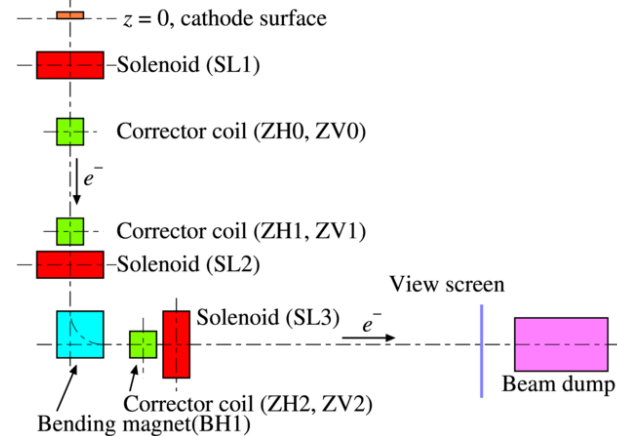


SL3による回転によって、楕円分布が傾く。

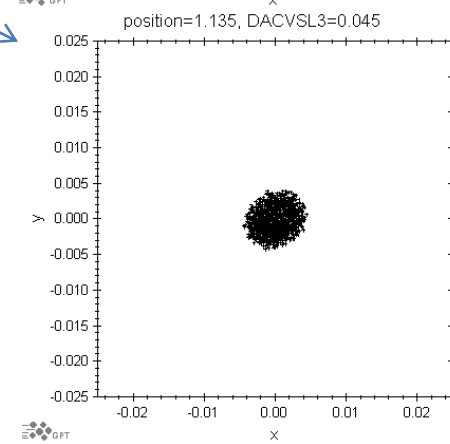
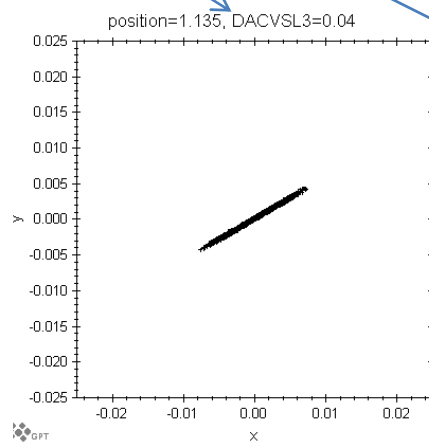
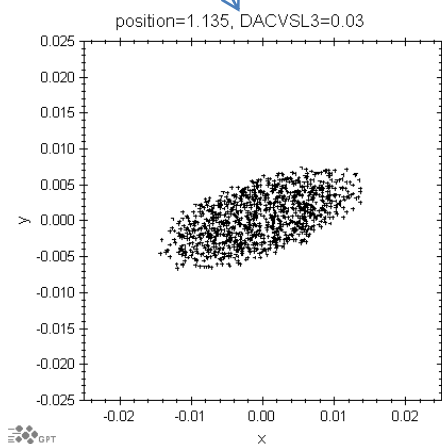
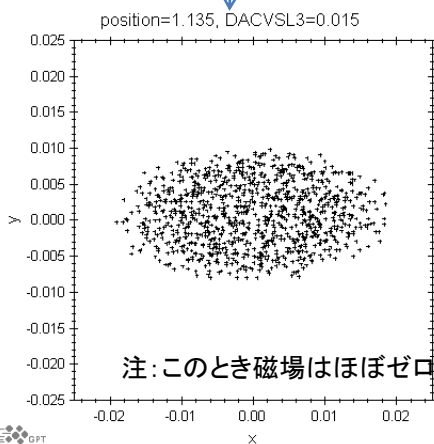
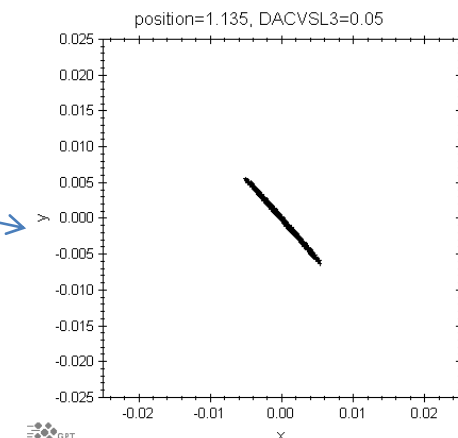
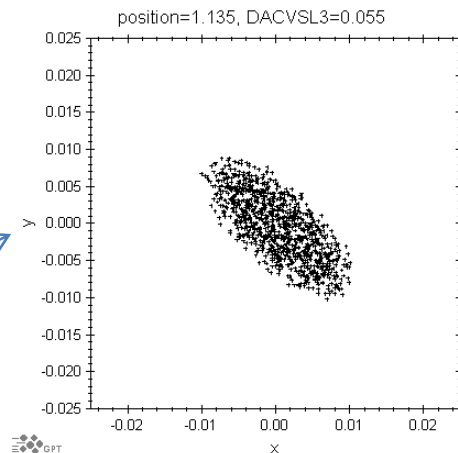
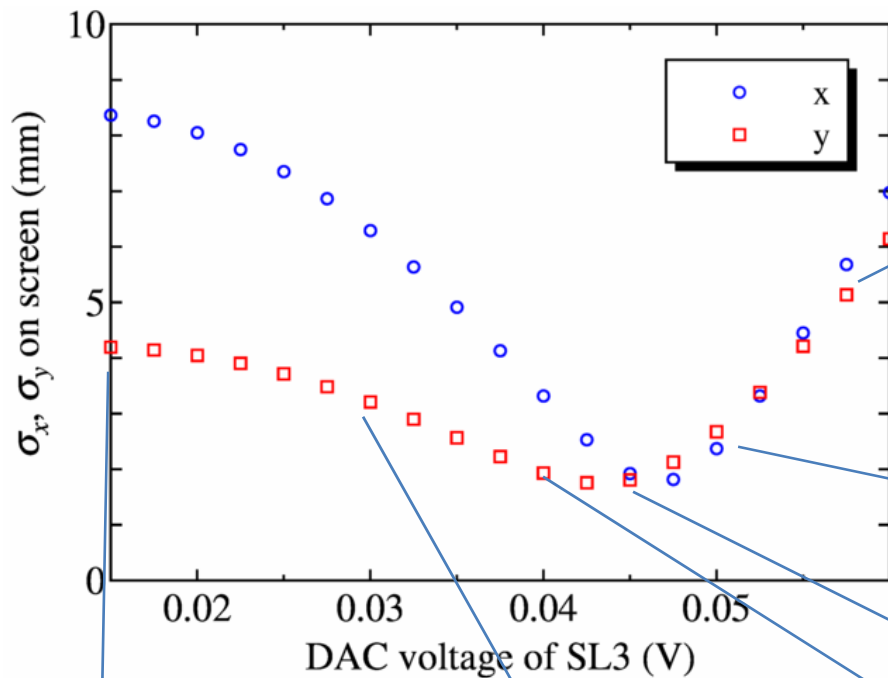
SL3からscreenまでの自由空間を進む間にサイズが変化。

Screen上での見え方

偏向電磁石によって、円筒対称性が崩れ楕円分布になり、その後のソレノイドによる回転によって傾いた楕円分布になる。



通常オプティクスでSL3をスキャンした場合のscreen上でのプロファイルの変化



SL3をスキャンしたときの、ビュースクリーンでの像(xy空間への射影)

(a) Measurement



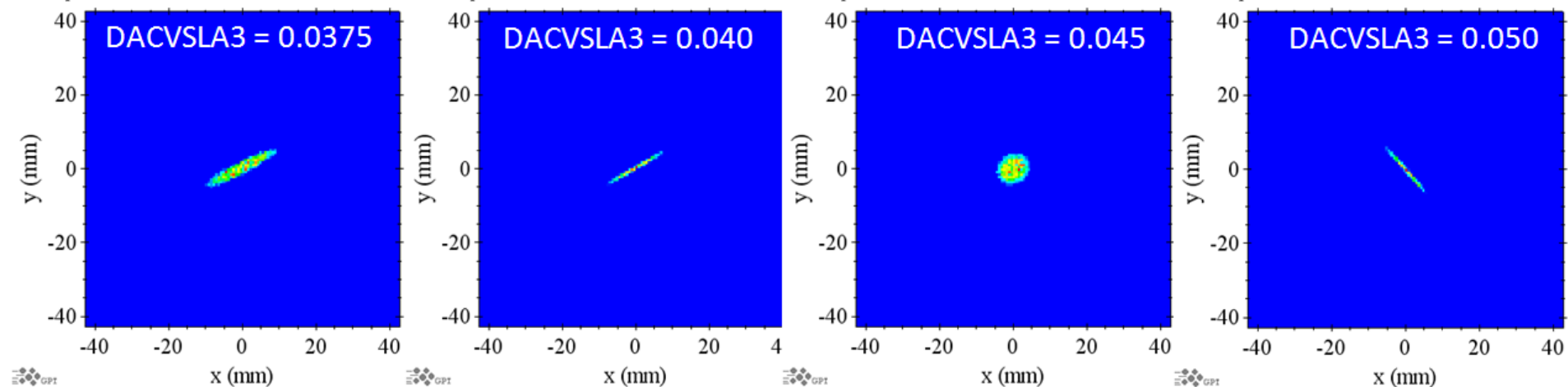
(b) Simulation

position=1.135, DACVSL3=0.0375

position=1.135, DACVSL3=0.04

position=1.135, DACVSL3=0.045

position=1.135, DACVSL3=0.05



ソレノイドの設定値は、測定とシミュレーションでまだ完全には一致していないが、SL3の磁場に対する応答はほぼ合っている。

まとめ

- NPES3-ARビームラインでの、100 kV加速電圧でビーム試験を開始した。
- ビームラインパラメタの調整後、輸送効率は95%程度には到達（HV電源から流れ出した量31.5nA、ビームダンプ電流30nA）
- ビームをソレノイドの中心を通すように再調整した後、シミュレーションとほぼ同じ傾向を示すビームプロファイルを得ることができた。
- これから
 - ビュースクリーンの較正
 - プロファイルからビームのrmsサイズを計算できるようにする
 - ソレノイドスキャンによるエミッタンス測定
 - よりビーム測定に適したオプティクス再現