

cERL主空洞フィールドエミッションの 電子損失シミュレーション

高エネルギー加速器研究機構

中村 典雄

2013年3月4日 ビームダイナミクスWG打ち合せ

目的

- cERL周回部運転に向けて放射線の申請や必要な遮蔽を行うために、主空洞フィールドエミッション(FE)による電子の損失シミュレーションを行って、電子の損失場所と損失分布を評価する。
- 今回は軸上の電子だけでなく、空間的に広がった電子分布を仮定して、損失場所と損失分布の精度を高める。

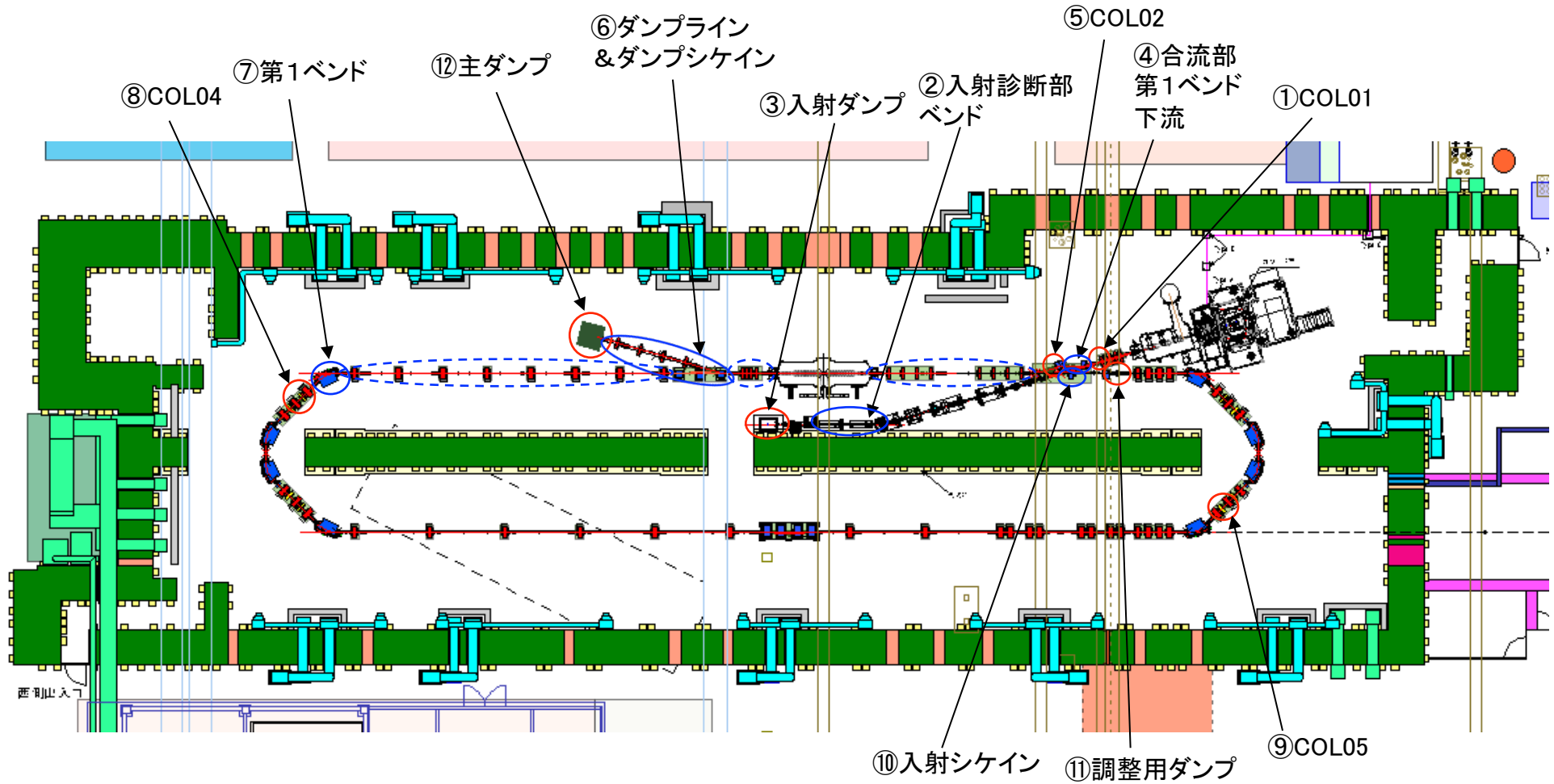
シミュレーションの方法

elegantの利用

- フィールドエミッションの分布設定
 - &bunched_beam 利用分布関数は限定
 - &sdds_beam 任意の分布が生成可能
- 運動量がずれた非近軸電子の扱い
Symplectic integrationを使うelementの利用
 - EDRIFT ドリフトスペース
 - CSBEND 偏向電磁石
 - KQUAD 四極電磁石
 - KSEXT 六極電磁石

全ビーム損失点候補

cERL配置図(2012.12.27)



加速勾配とビームエネルギー

(1) 主空洞加速勾配 $E_{\text{acc}} = 15 \text{ MV/m}$ (当初予定値)

加速エネルギー $T_{\text{acc}} = 15 \text{ MeV} \times 2 = 30 \text{ MeV}$

入射ビーム運動エネルギー $T_{\text{inj}} = 5 \text{ MeV}$

周回ビーム運動エネルギー $T_0 = 35 \text{ MeV}$

(運動量比 $p_0/p_{\text{inj}} = 6.44$)

(2) 主空洞加速勾配 $E_{\text{acc}} = 10 \text{ MV/m}$ (より現実的な値)

加速エネルギー $T_{\text{acc}} = 10 \text{ MeV} \times 2 = 20 \text{ MeV}$

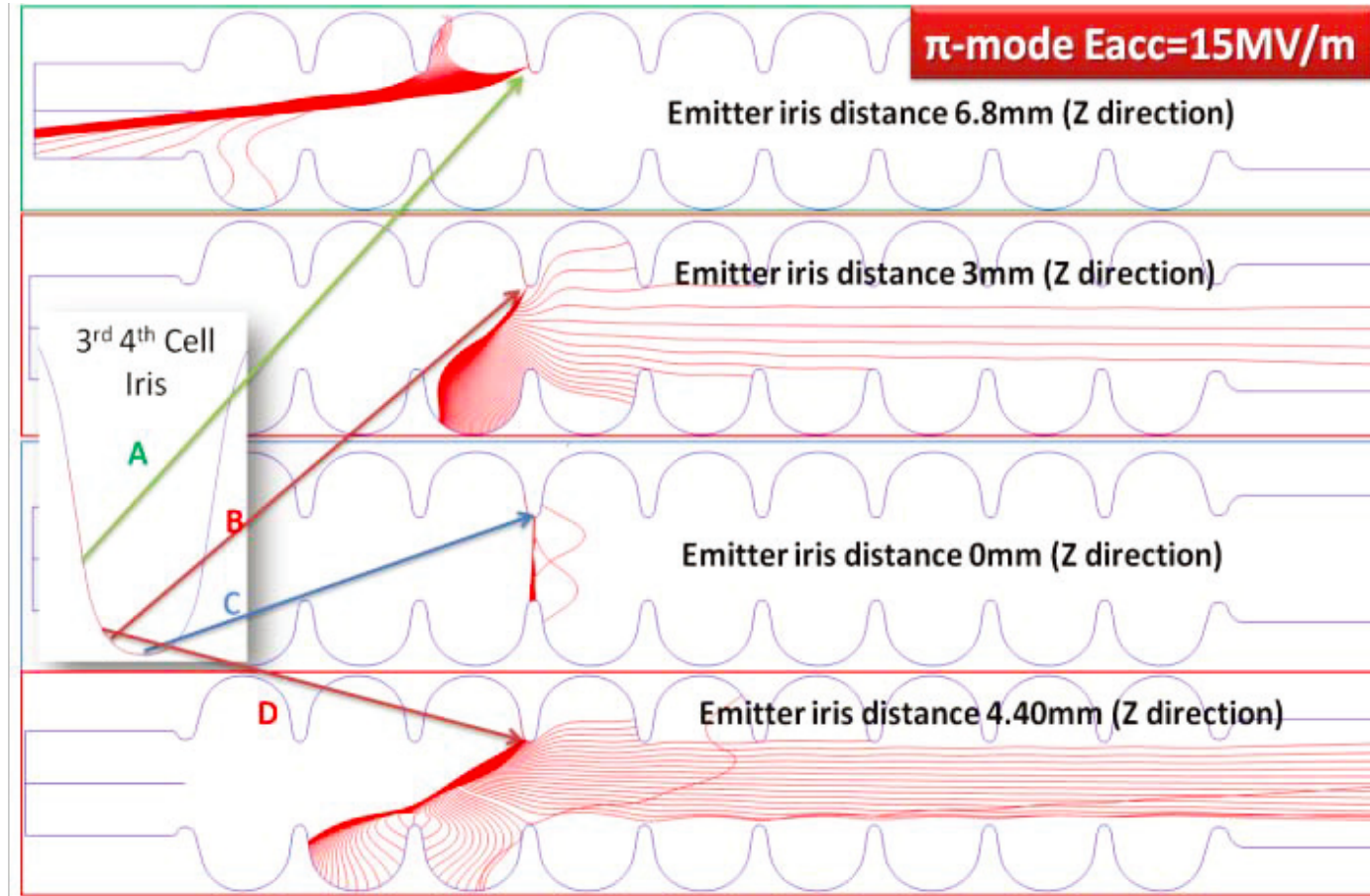
入射ビーム運動エネルギー $T_{\text{inj}} = 3.53 \text{ MeV}$

周回ビーム運動エネルギー $T_0 = 23.53 \text{ MeV}$

(運動量比 $p_0/p_{\text{inj}} = 6$ を仮定)

主空洞フィールドエミッション

主空洞フィールドエミッション電子軌跡の例

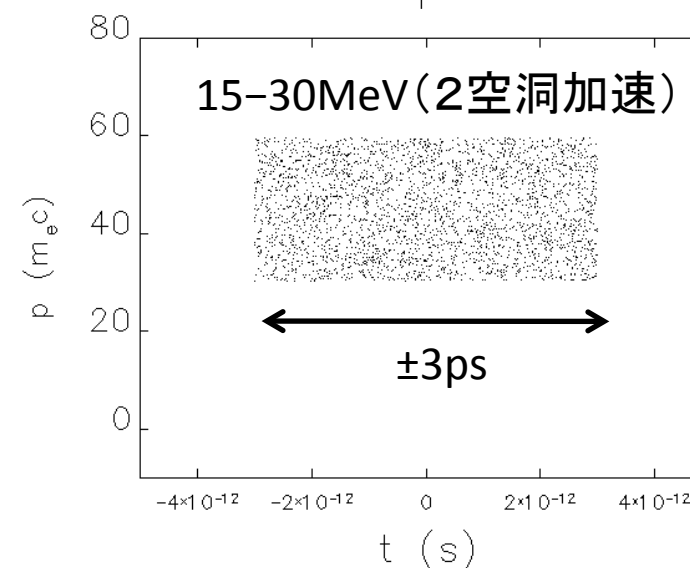
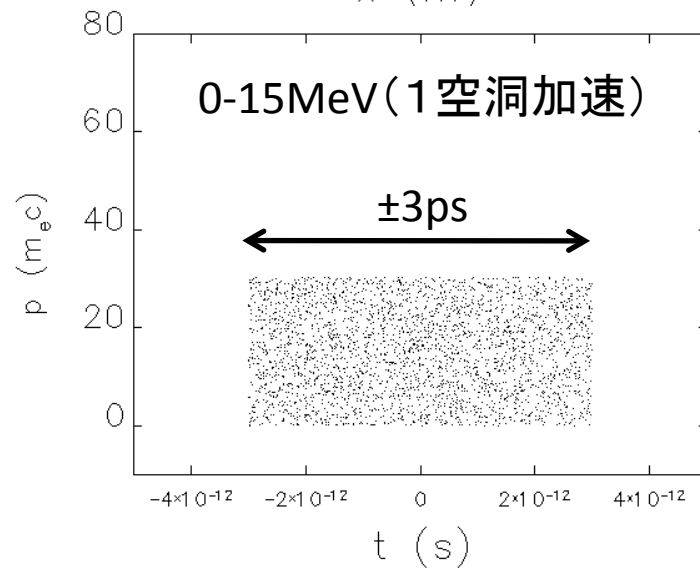
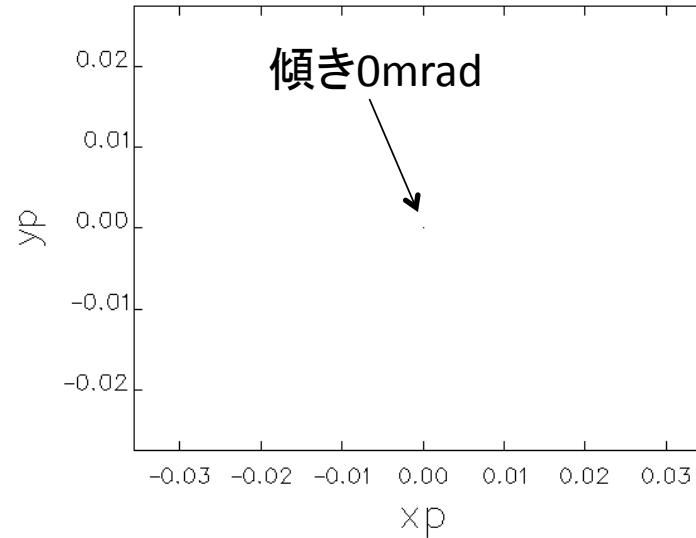
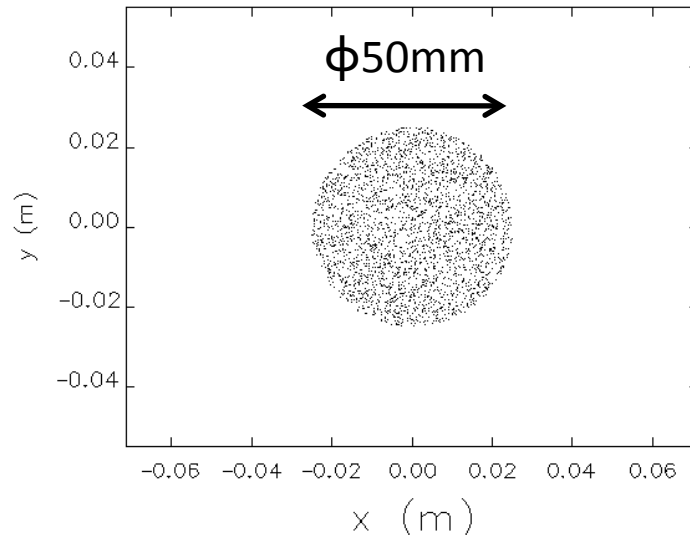


calculated by Enrico Cenni (Proc. of IPAC12 pp.295-297)

主空洞フィールドエミッションの分布(1)

$$T_{\text{acc}} = 15 \text{ MeV} \times 2 = 30 \text{ MeV}$$

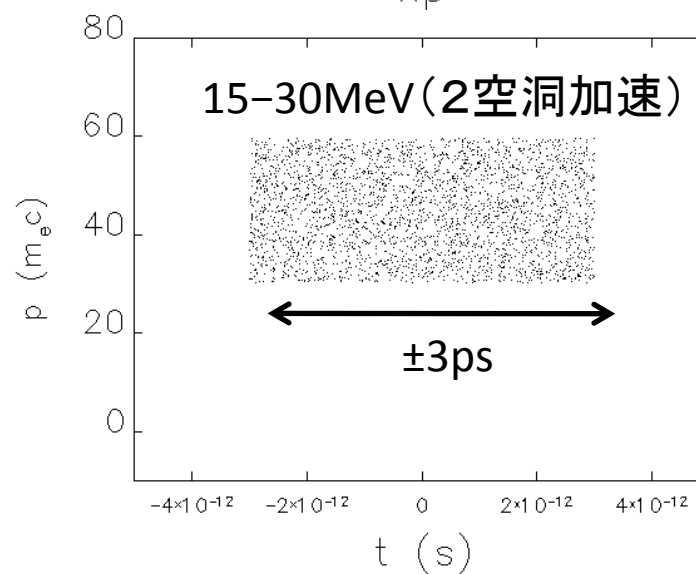
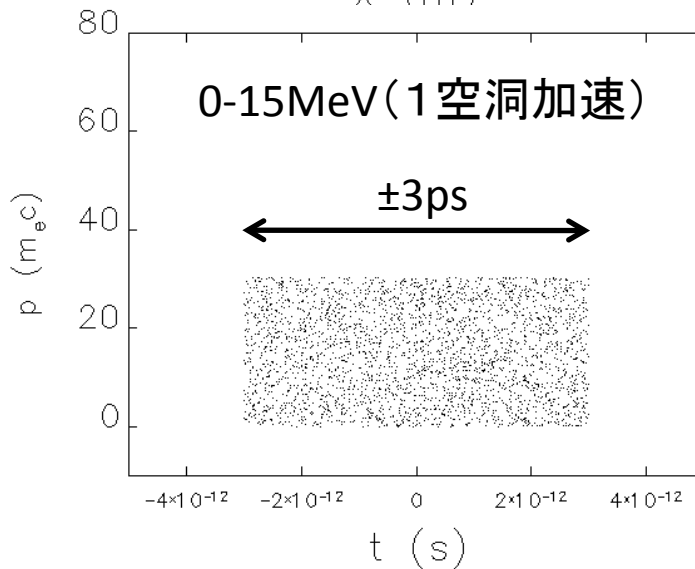
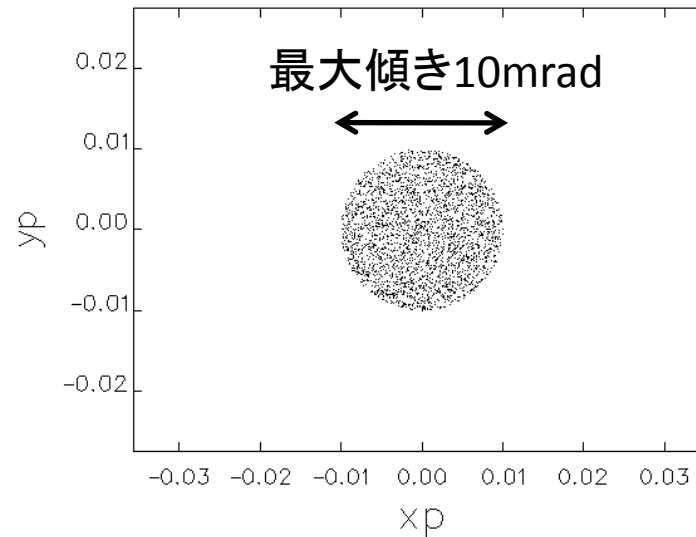
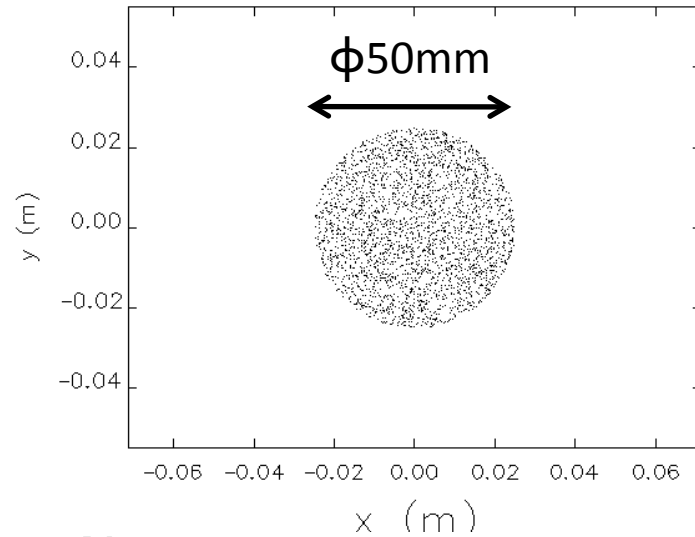
空間的に一様な平行ビームの場合



主空洞フィールドエミッションの分布(2)

$T_{\text{acc}} = 15 \text{ MeV} \times 2 = 30 \text{ MeV}$

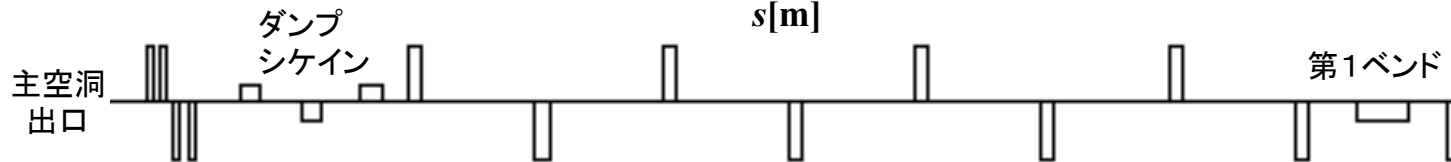
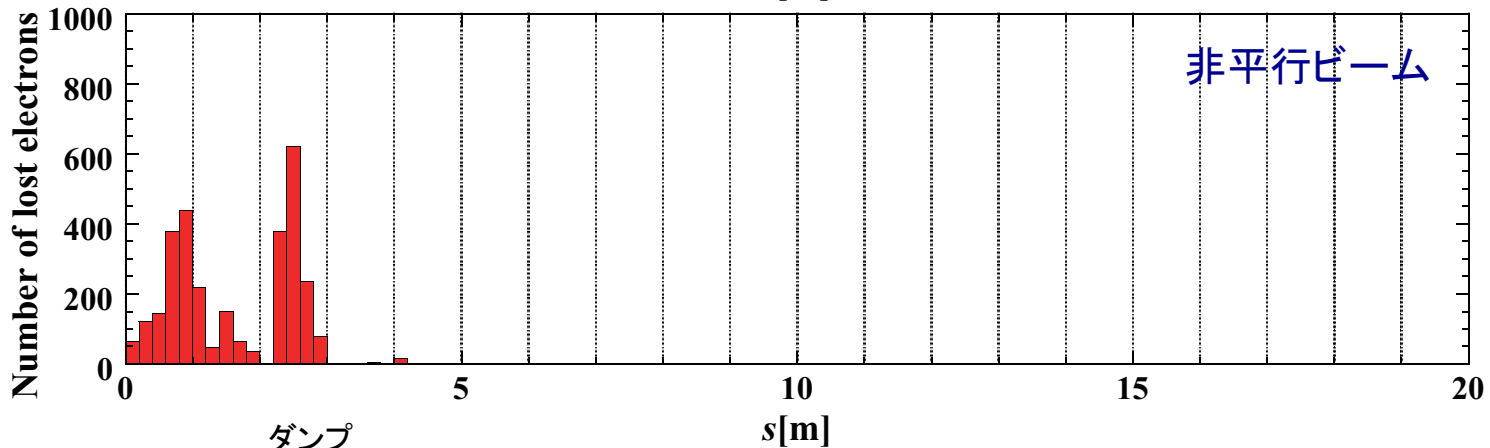
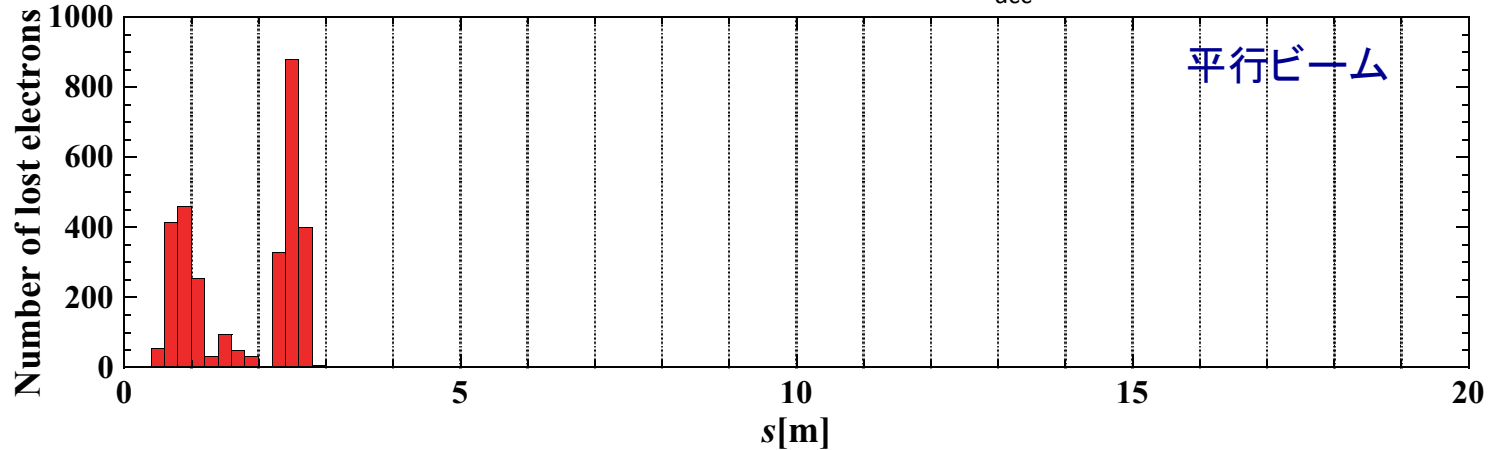
位置・角度共に一様な非平行ビームの場合



0-15MeV電子損失分布(順方向FE)

トラッキング粒子数3000

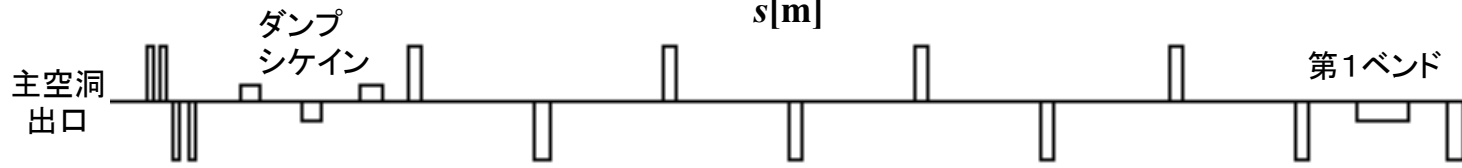
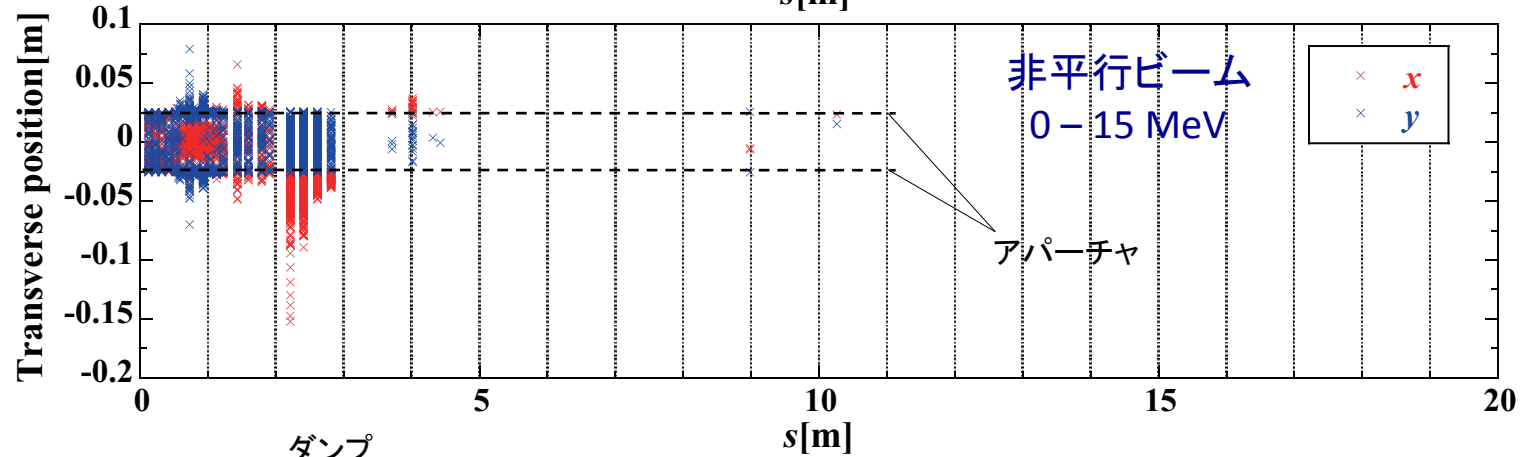
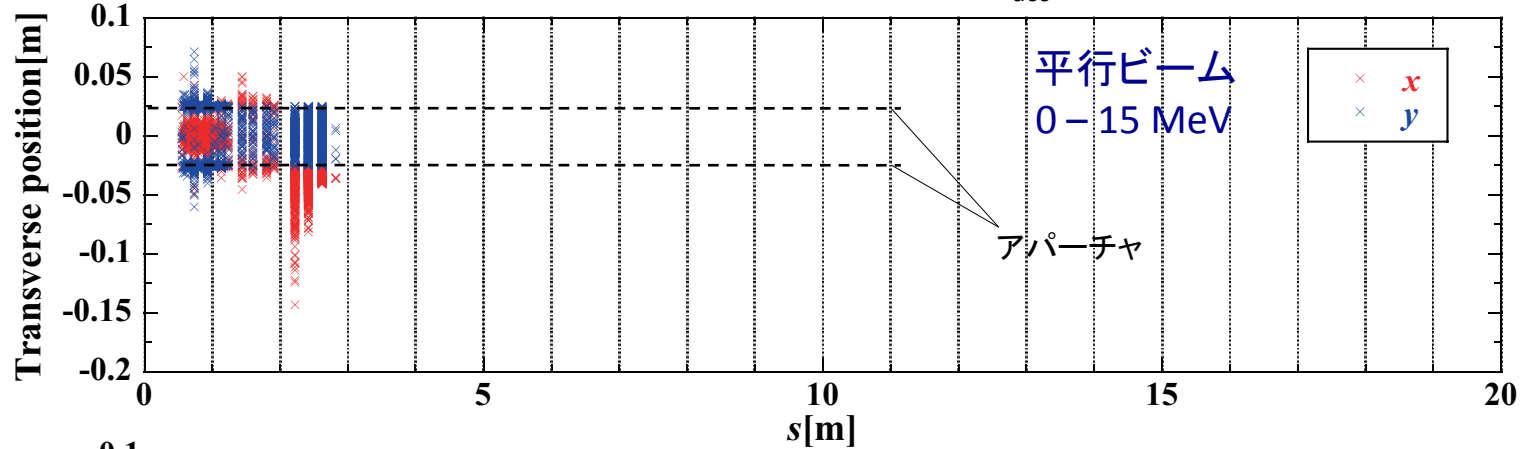
$T_{acc} = 15 \text{ MeV} \times 2 = 30 \text{ MeV}$



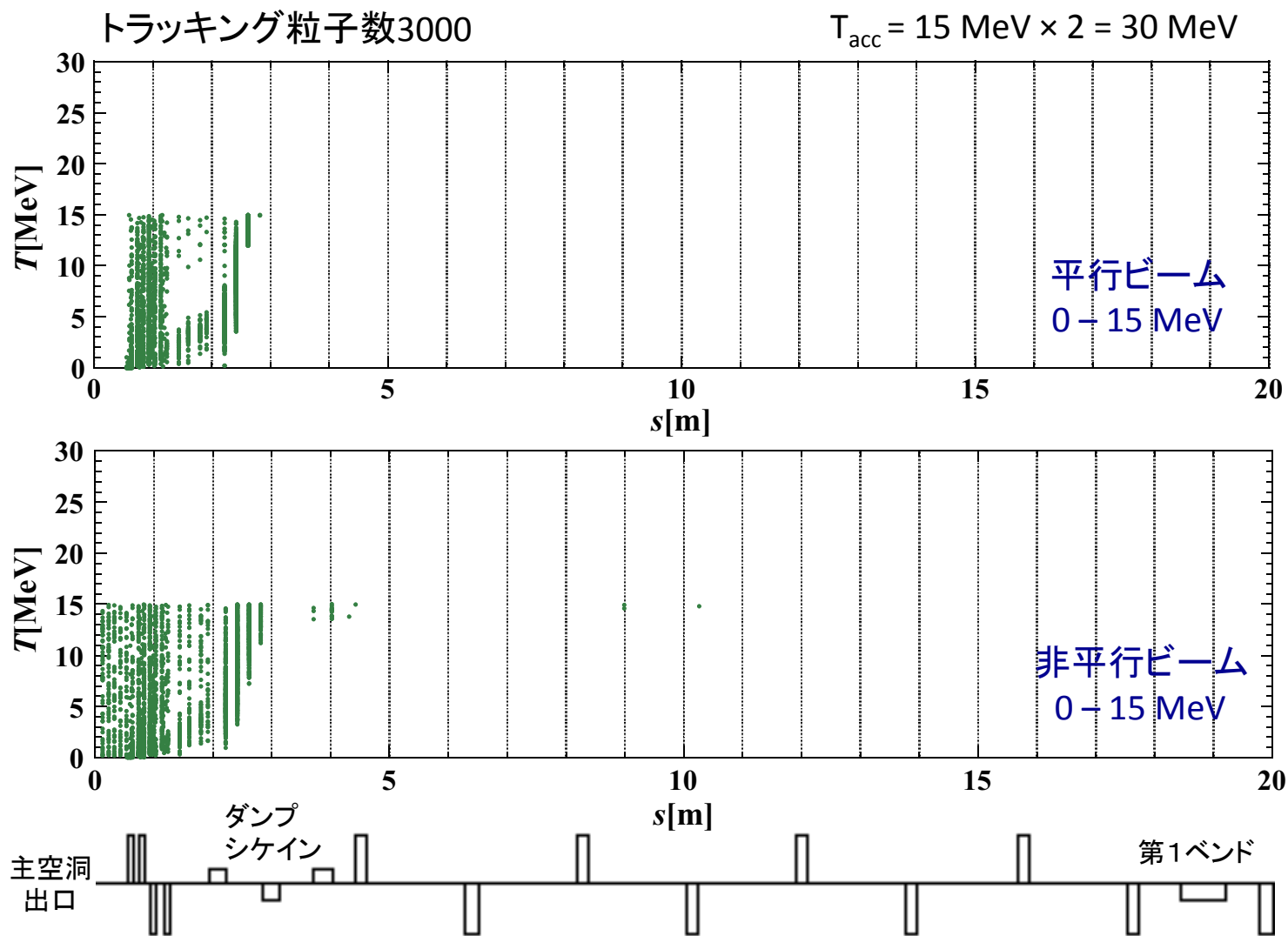
損失点でのx,y分布(順方向FE)

トラッキング粒子数3000

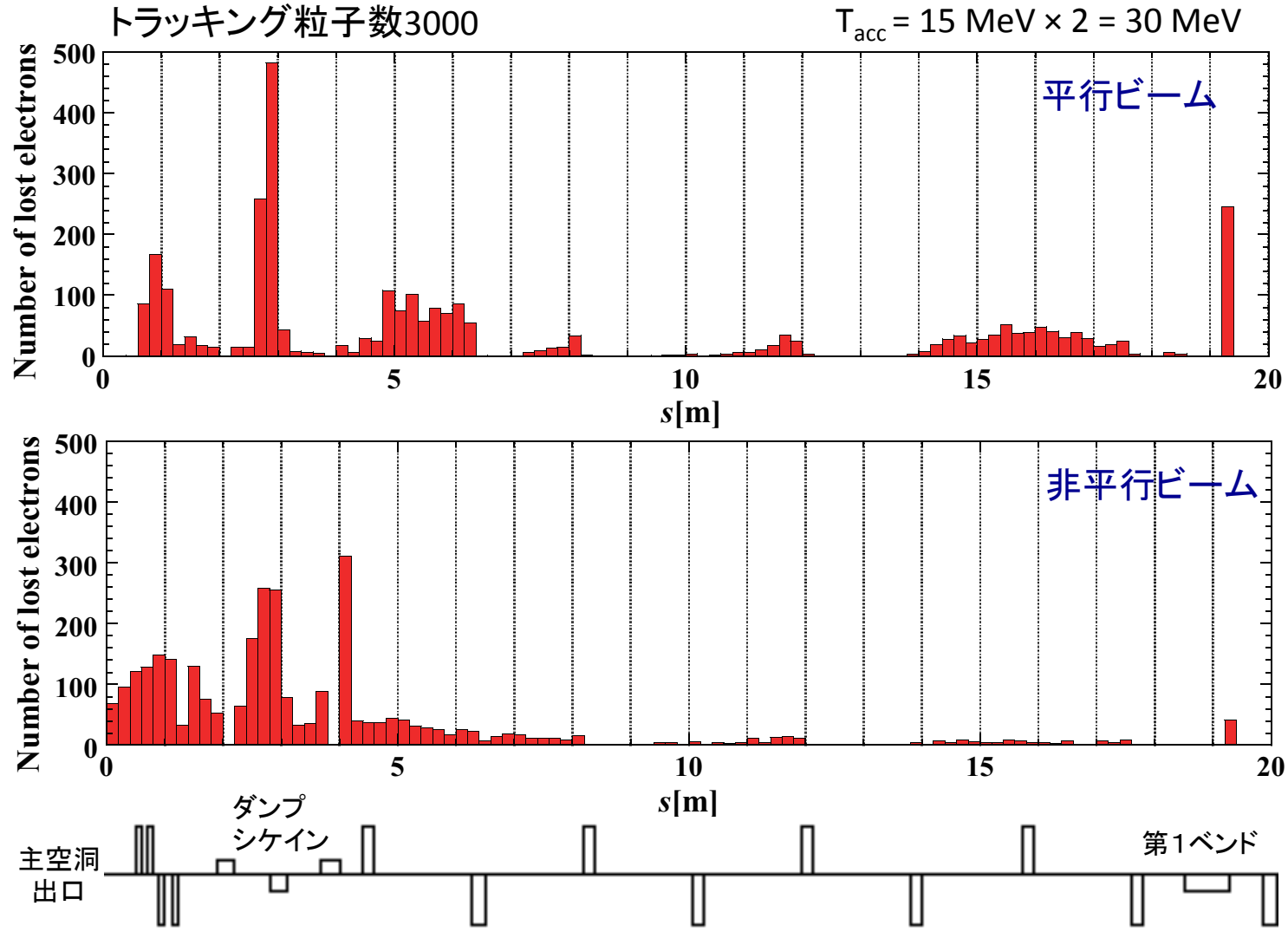
$T_{acc} = 15 \text{ MeV} \times 2 = 30 \text{ MeV}$



損失点での運動エネルギー分布(順方向FE)



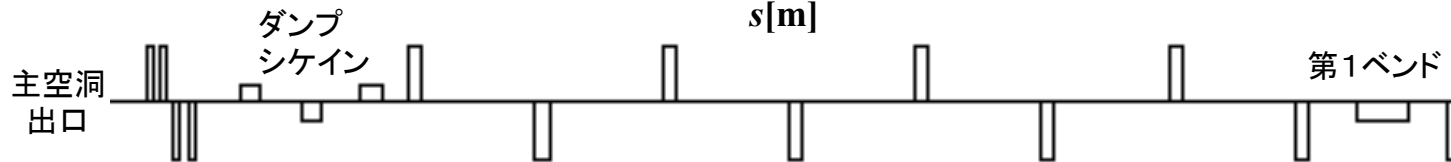
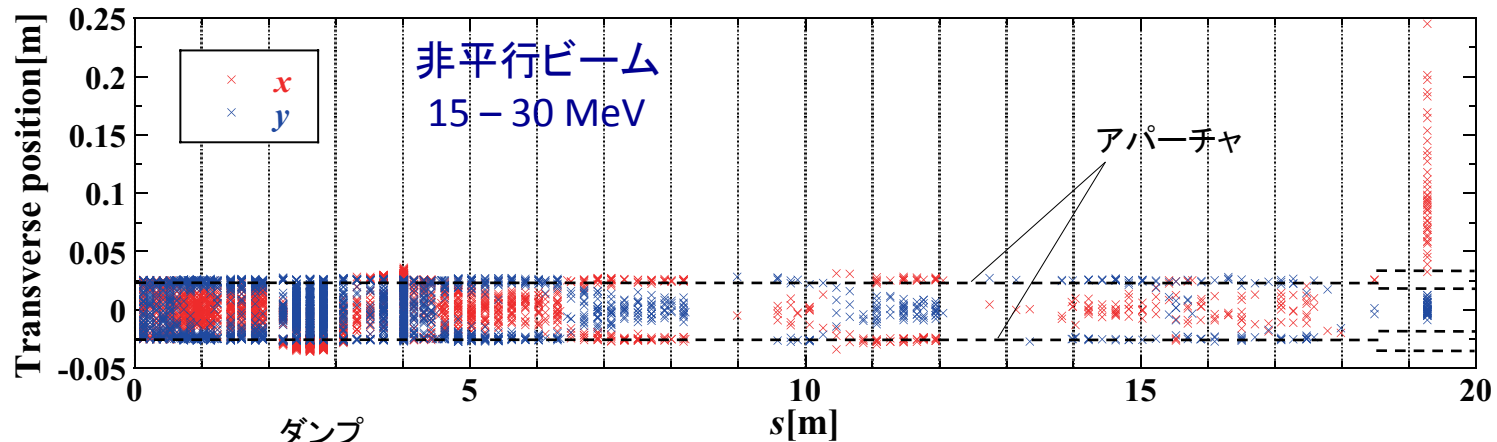
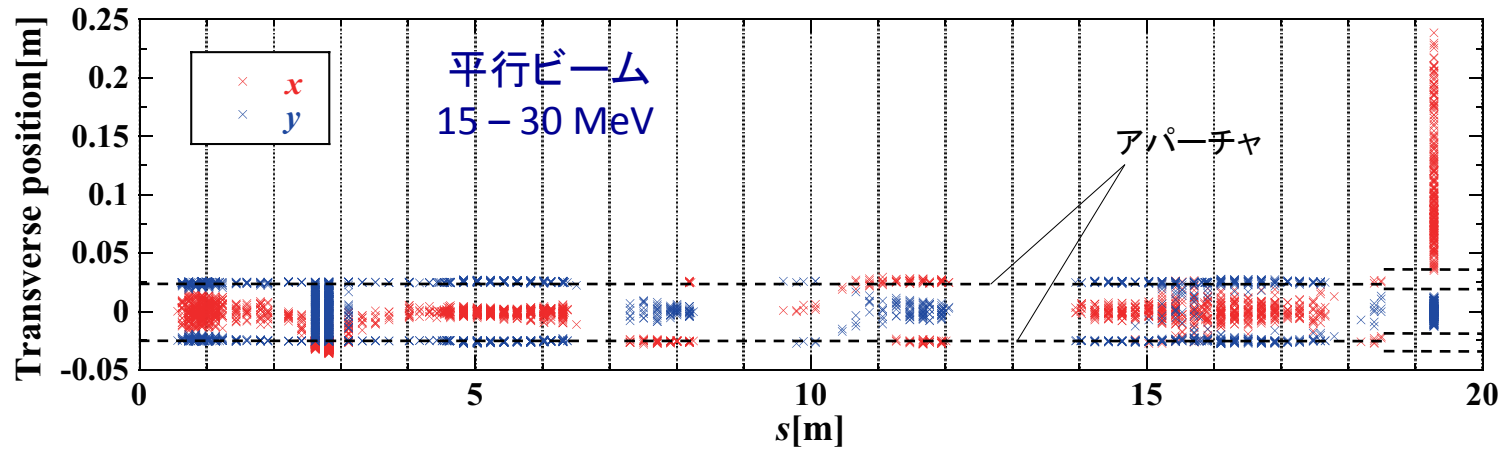
15-30MeV電子損失分布(順方向FE)



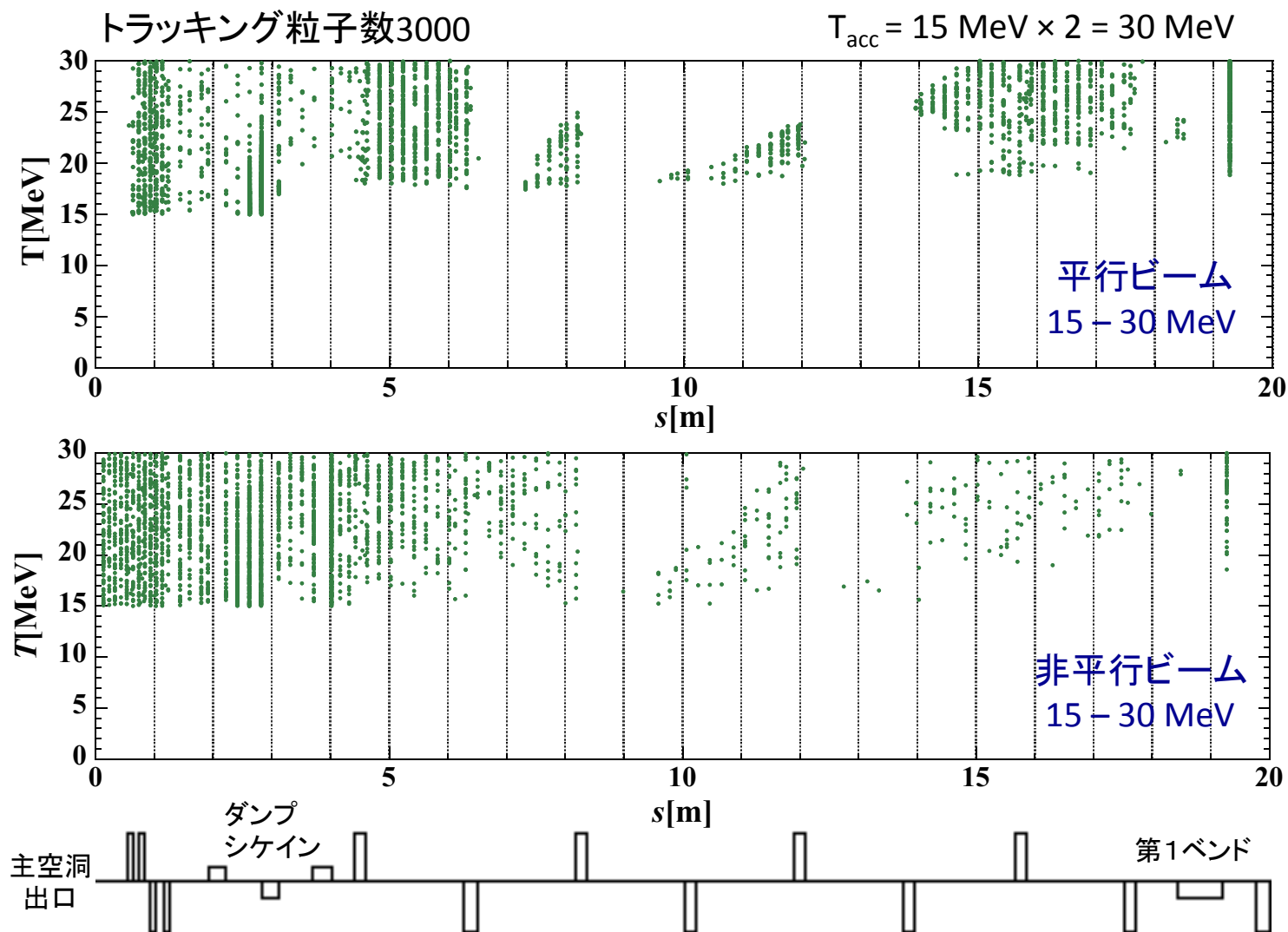
損失点でのx,y分布(順方向FE)

トラッキング粒子数3000

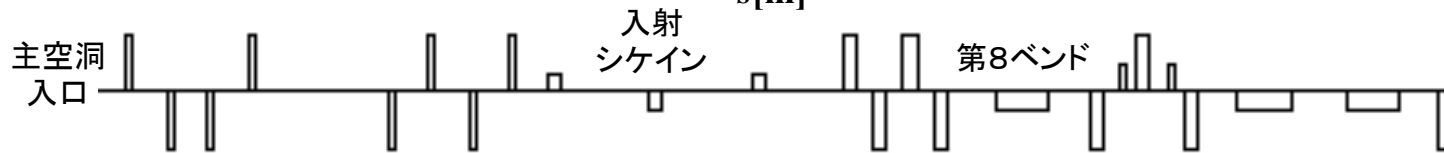
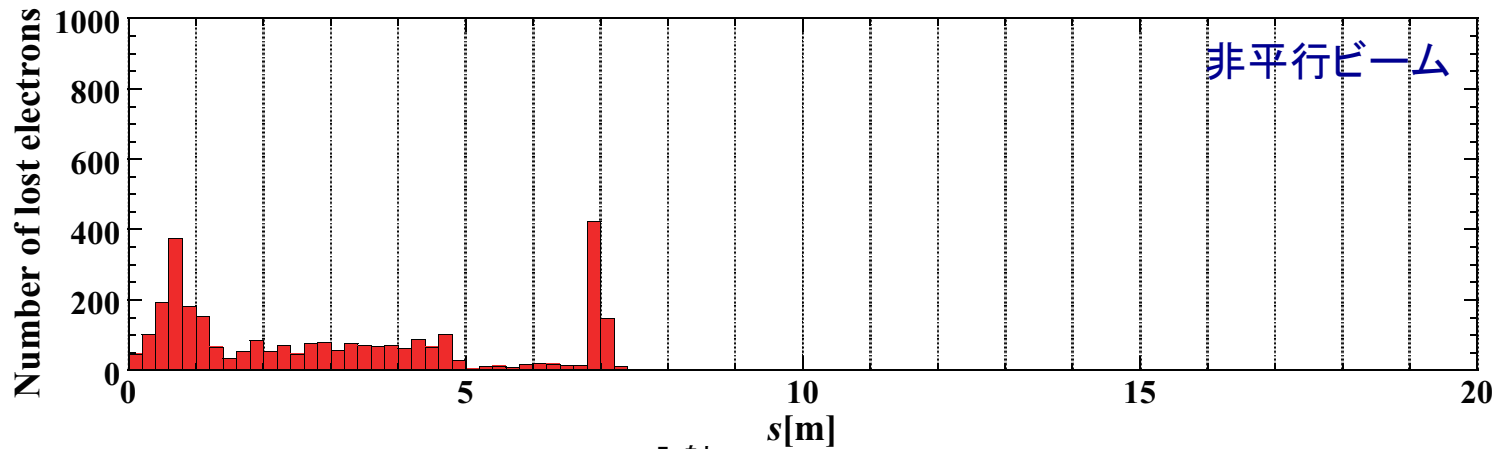
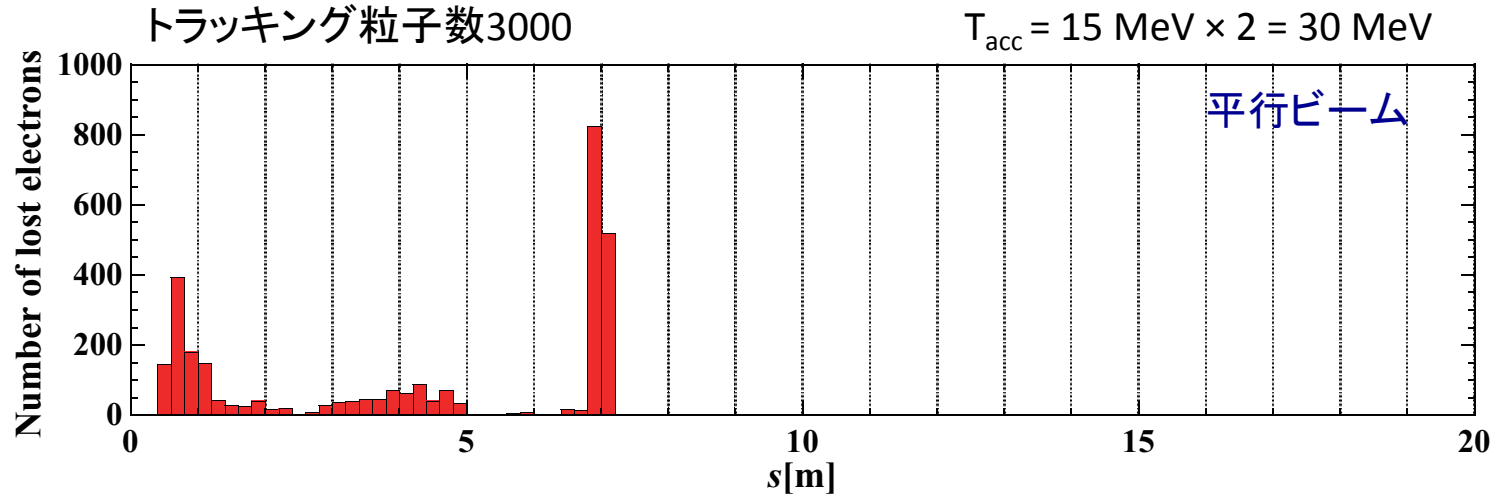
$T_{acc} = 15 \text{ MeV} \times 2 = 30 \text{ MeV}$



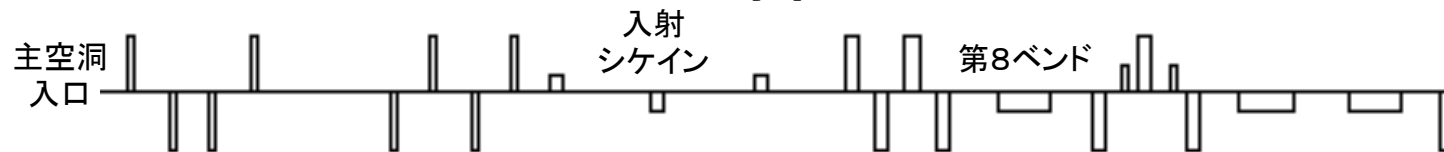
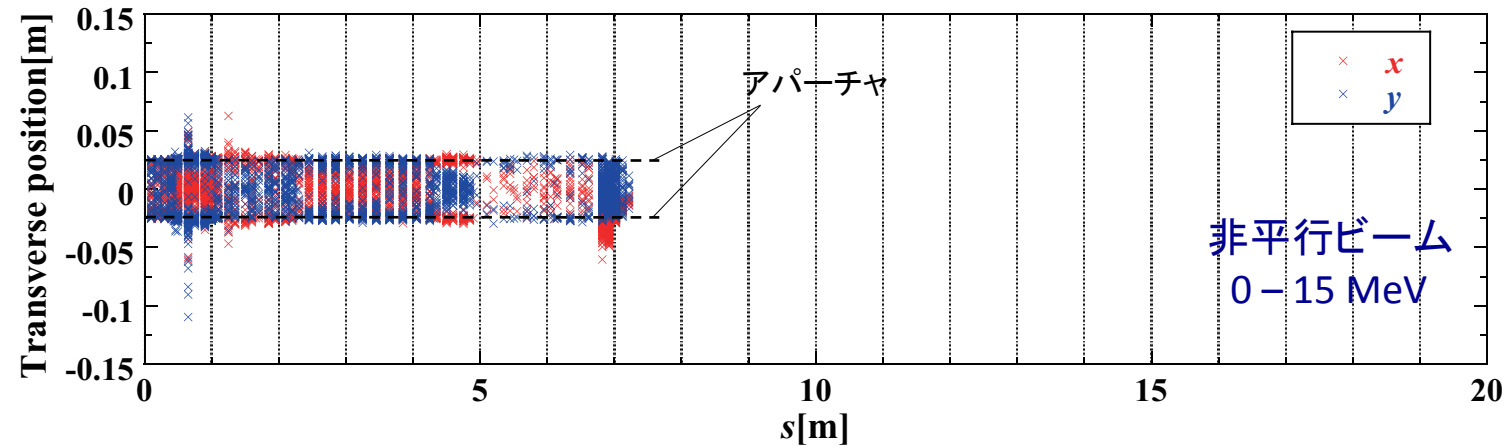
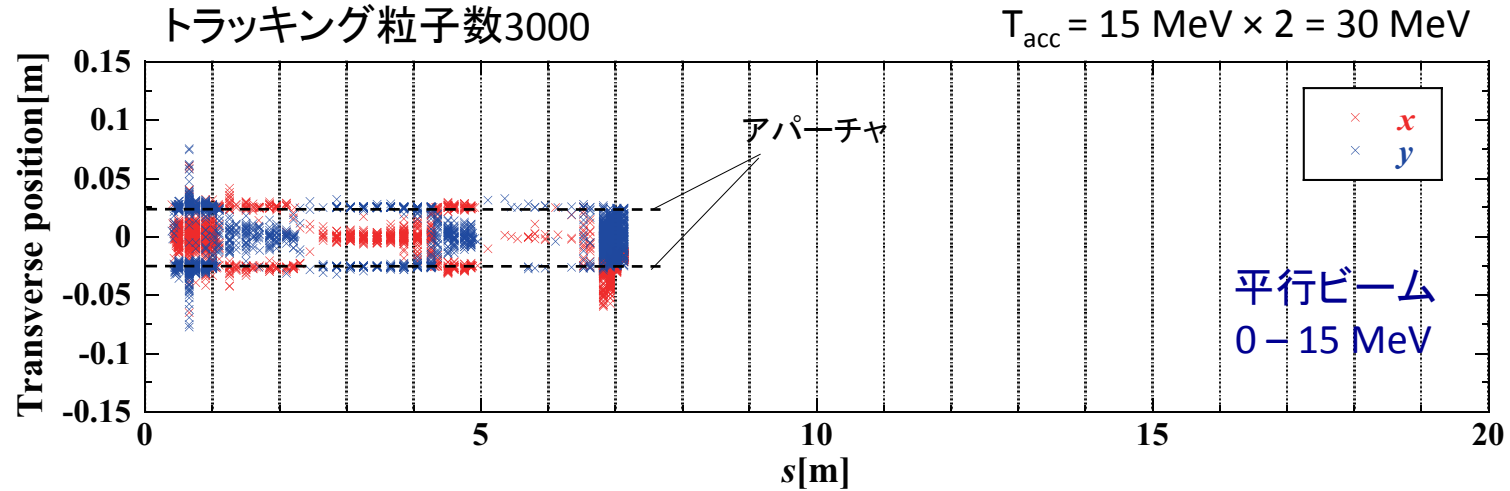
損失点での運動エネルギー分布(順方向FE)



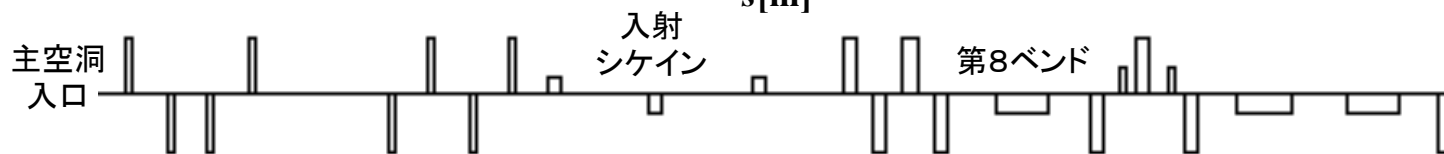
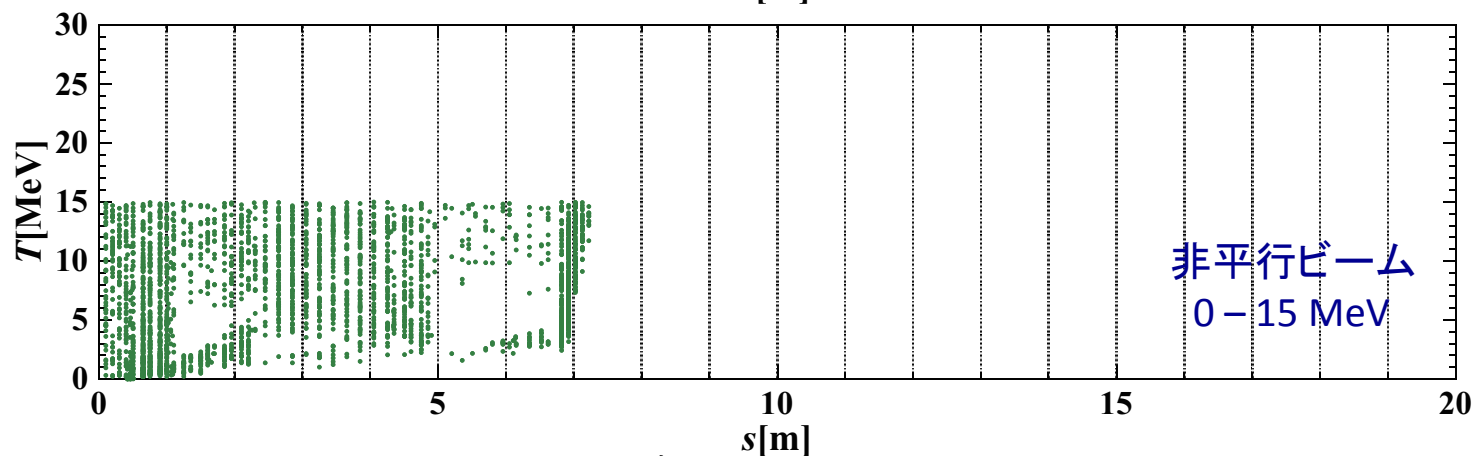
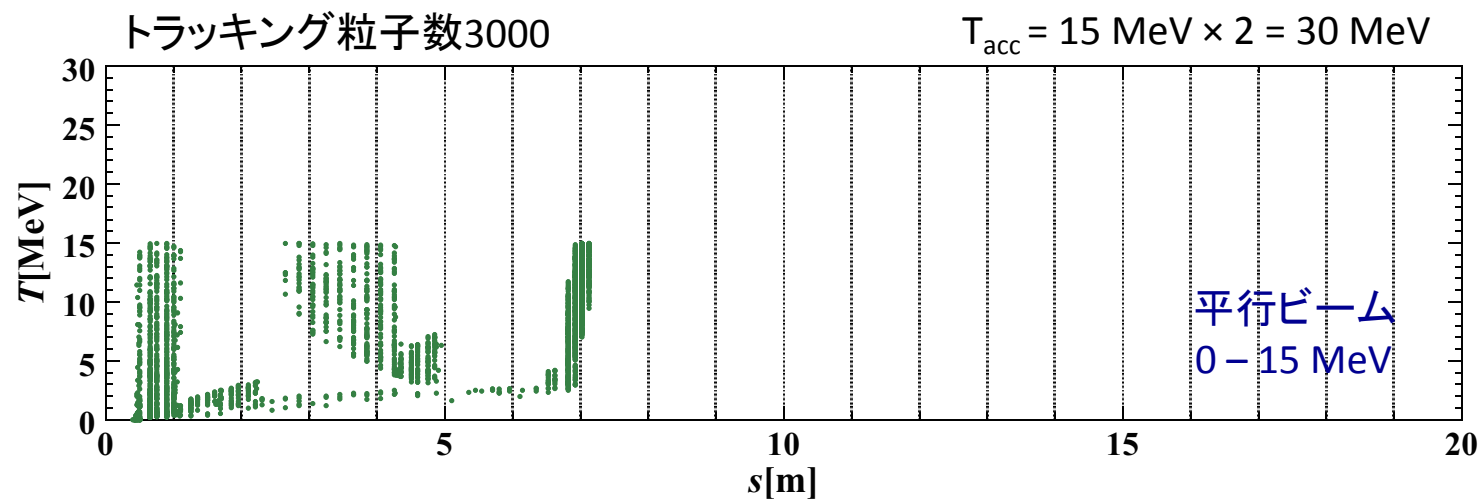
0-15MeV電子損失分布(逆方向FE)



損失点でのx,y分布(逆方向FE)



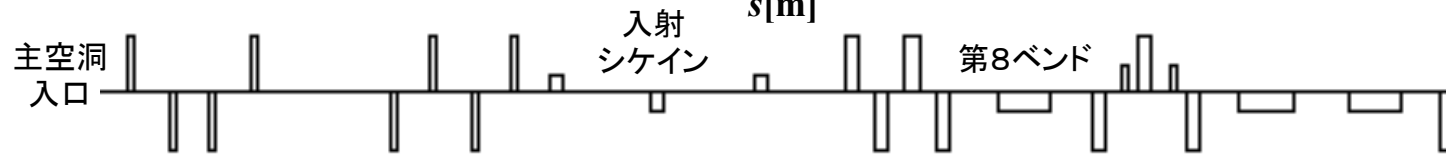
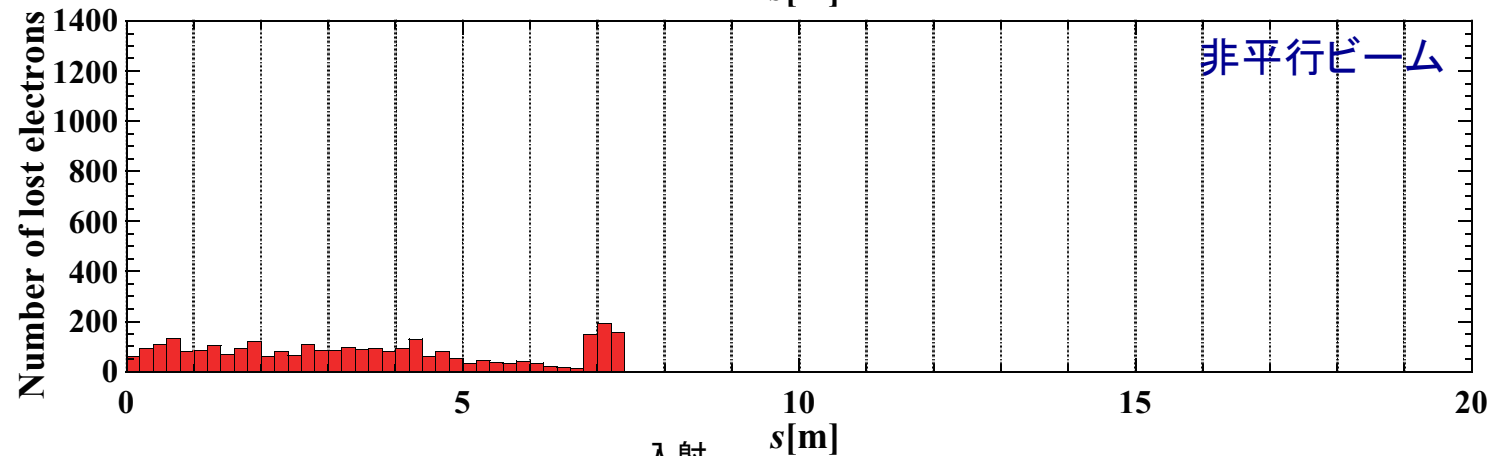
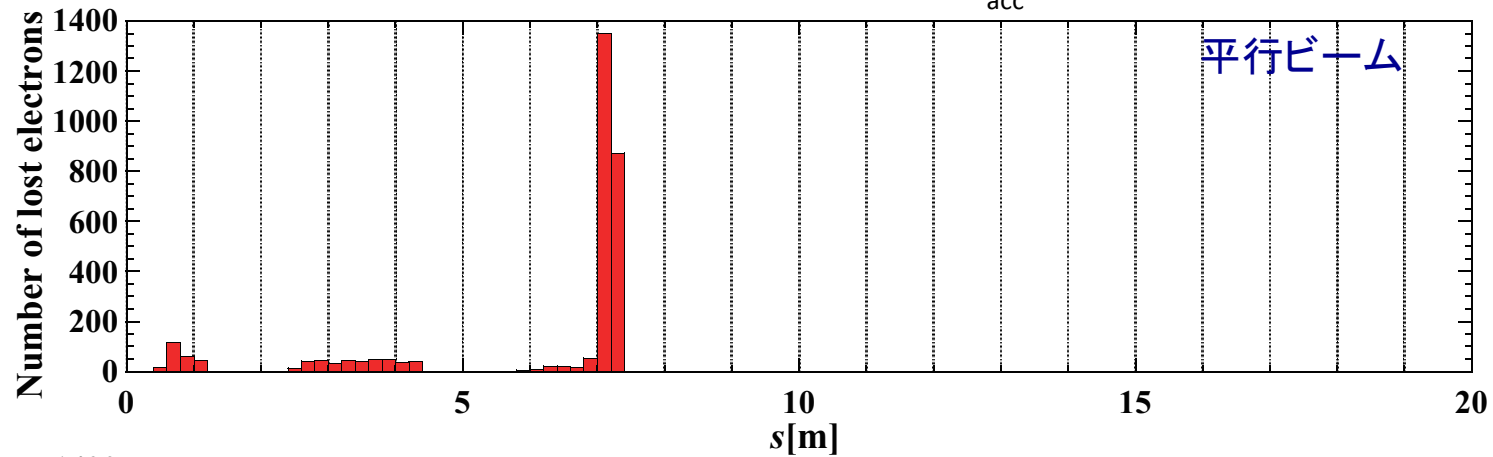
損失点での運動エネルギー分布(逆方向FE)



15-30MeV電子損失分布(逆方向FE)

トラッキング粒子数3000

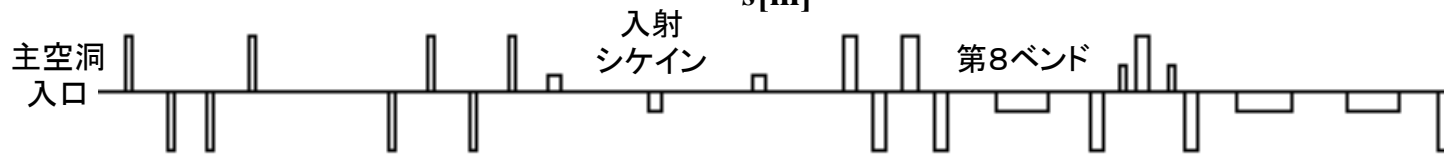
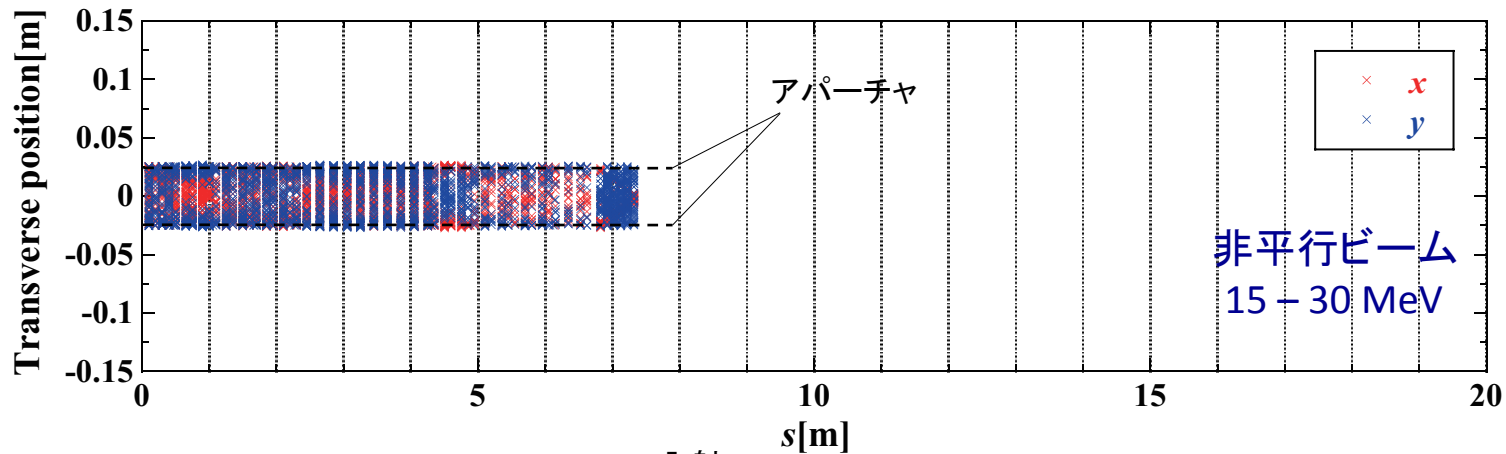
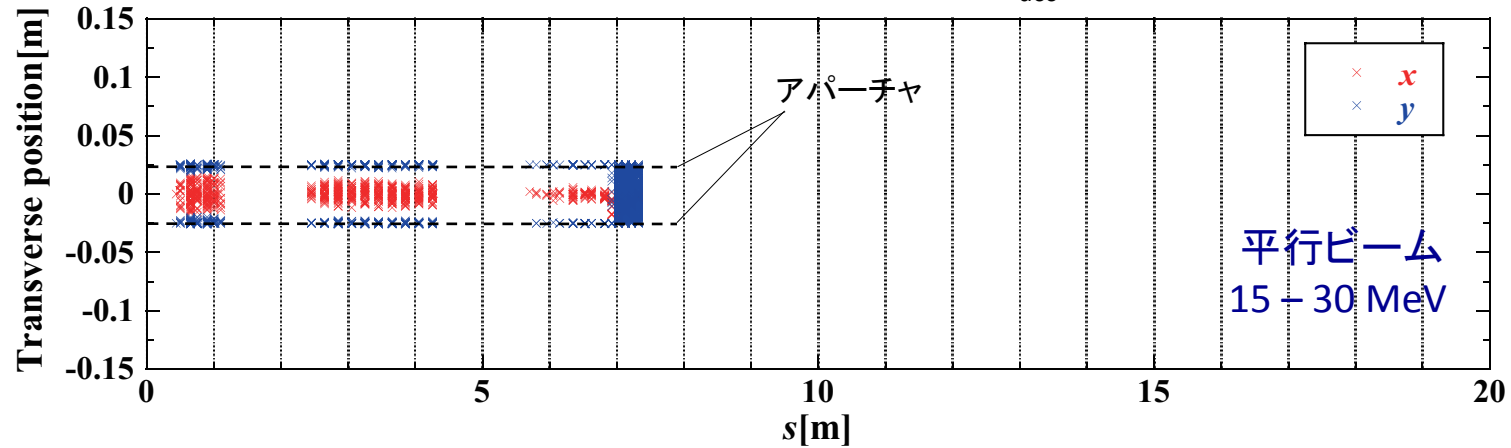
$T_{acc} = 15 \text{ MeV} \times 2 = 30 \text{ MeV}$



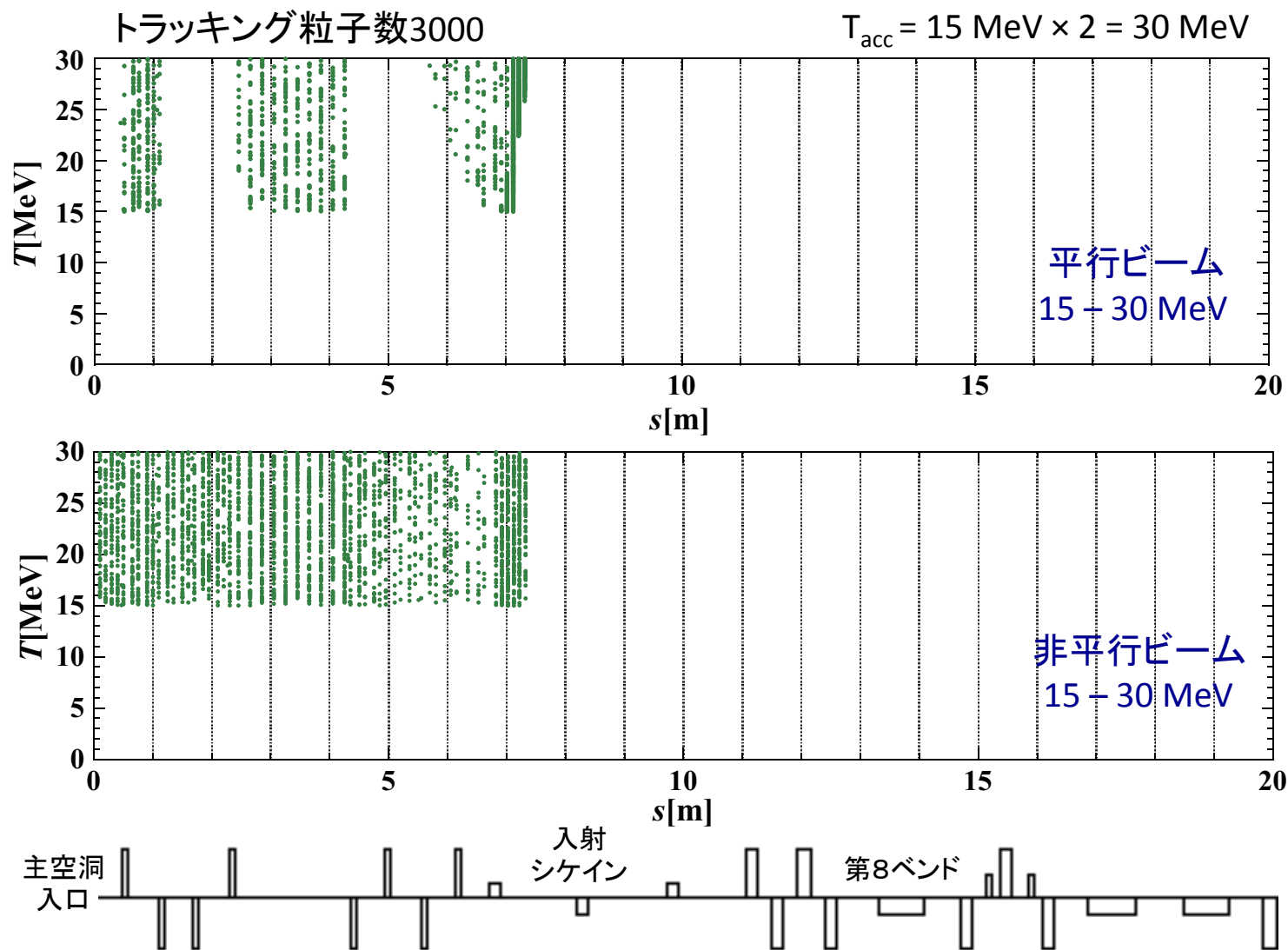
損失点でのx,y分布(逆方向FE)

トラッキング粒子数3000

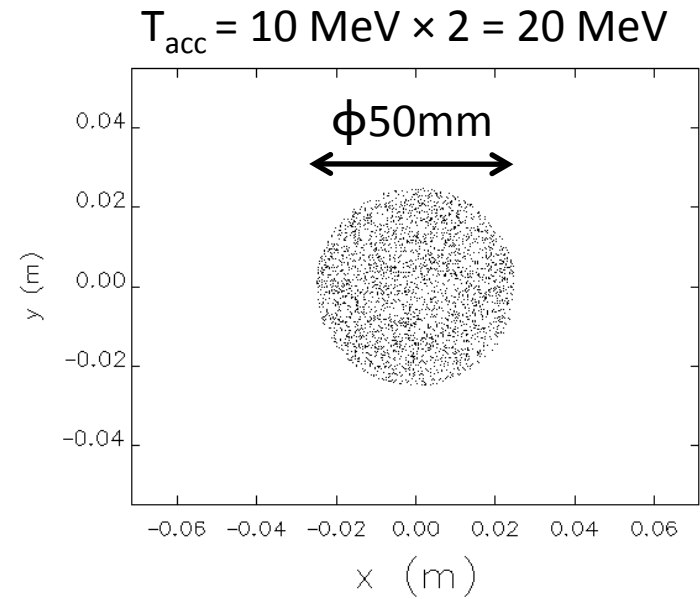
$T_{acc} = 15 \text{ MeV} \times 2 = 30 \text{ MeV}$



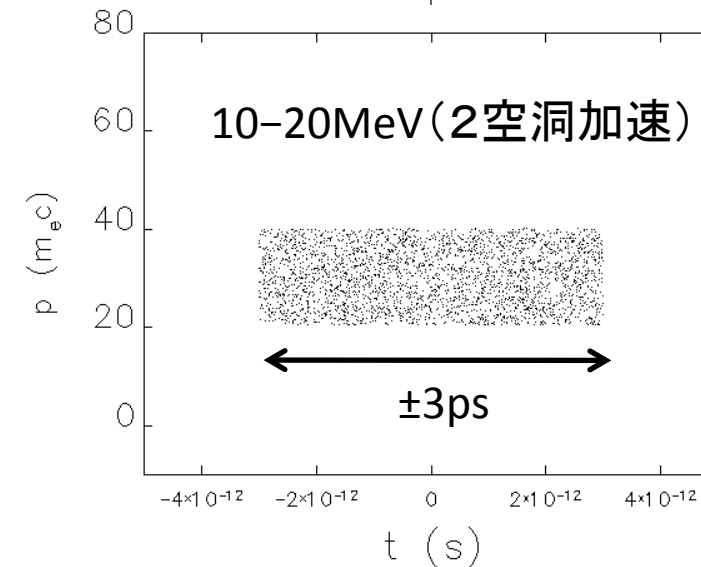
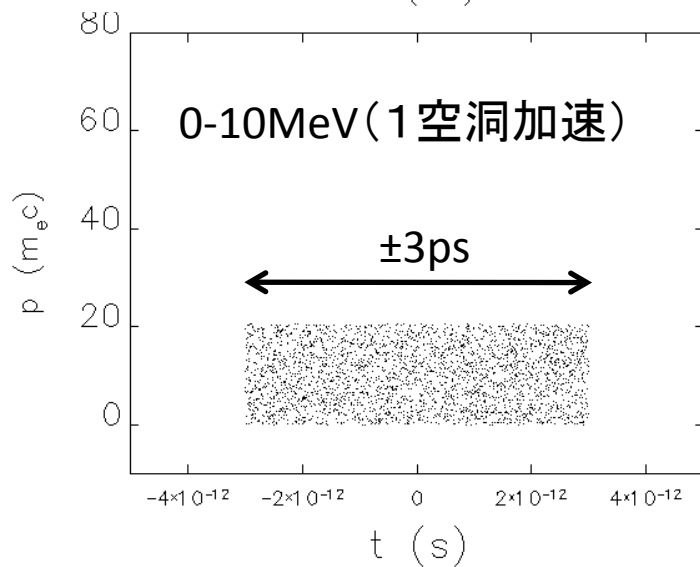
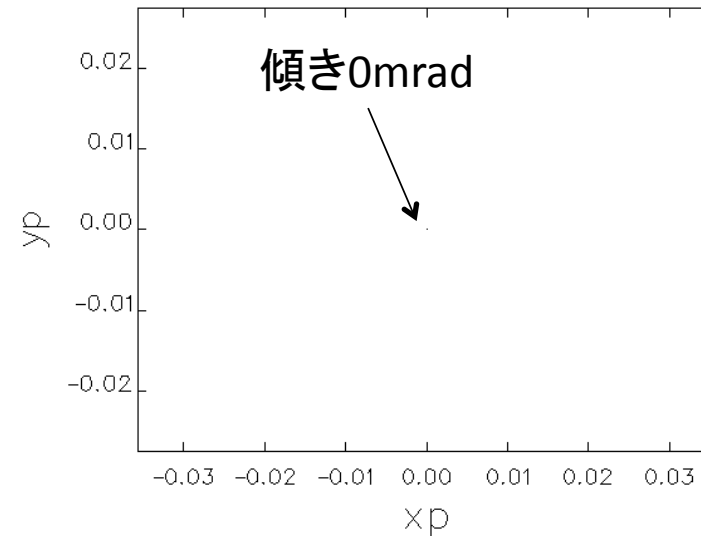
損失点での運動エネルギー分布(逆方向FE)



主空洞フィールドエミッションの分布(3)



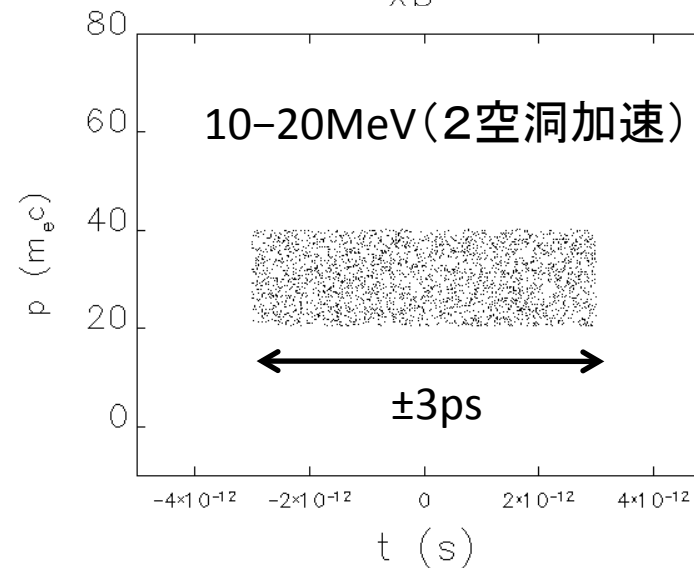
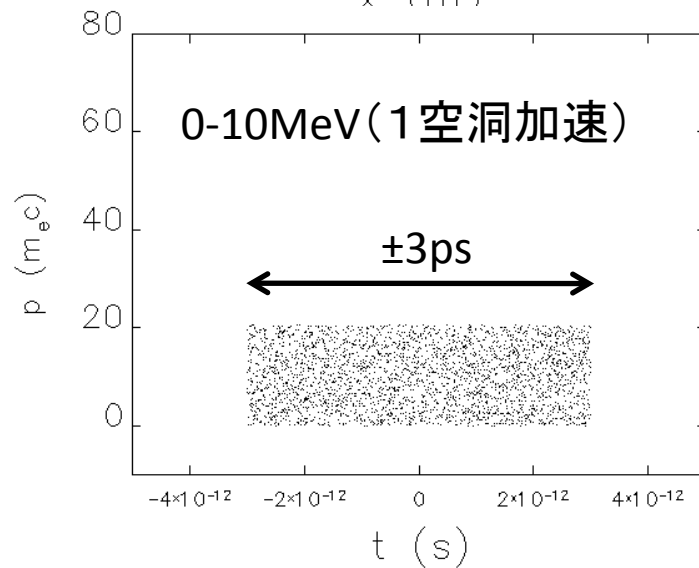
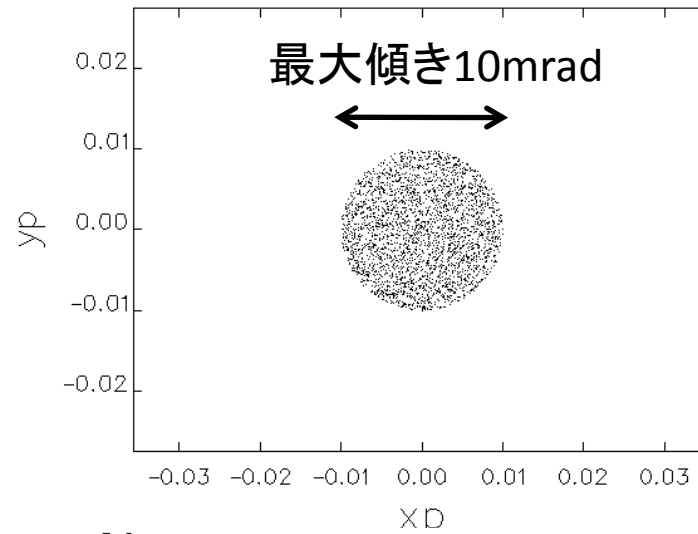
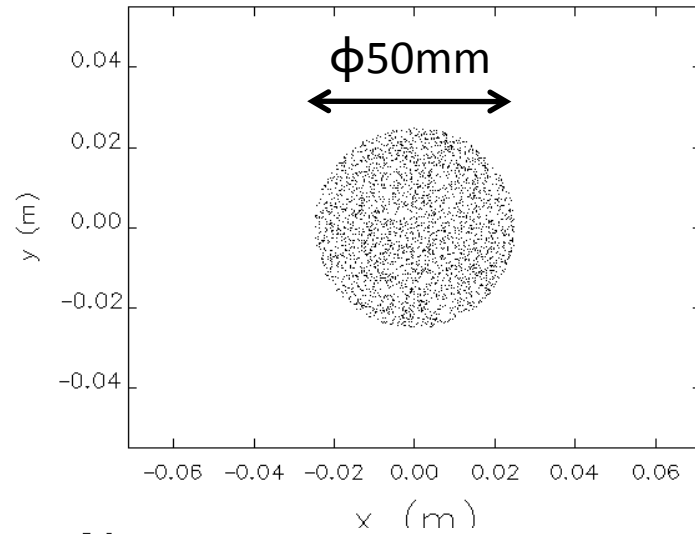
空間的に一様な平行ビームの場合



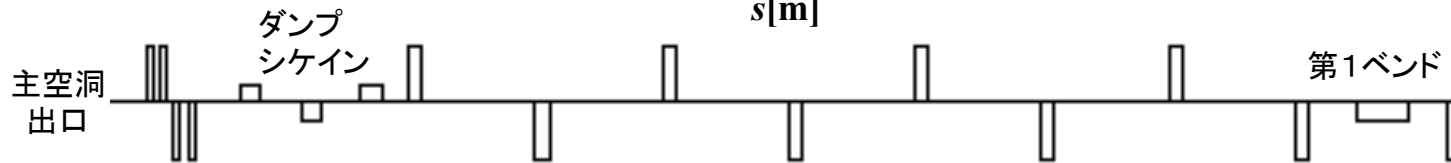
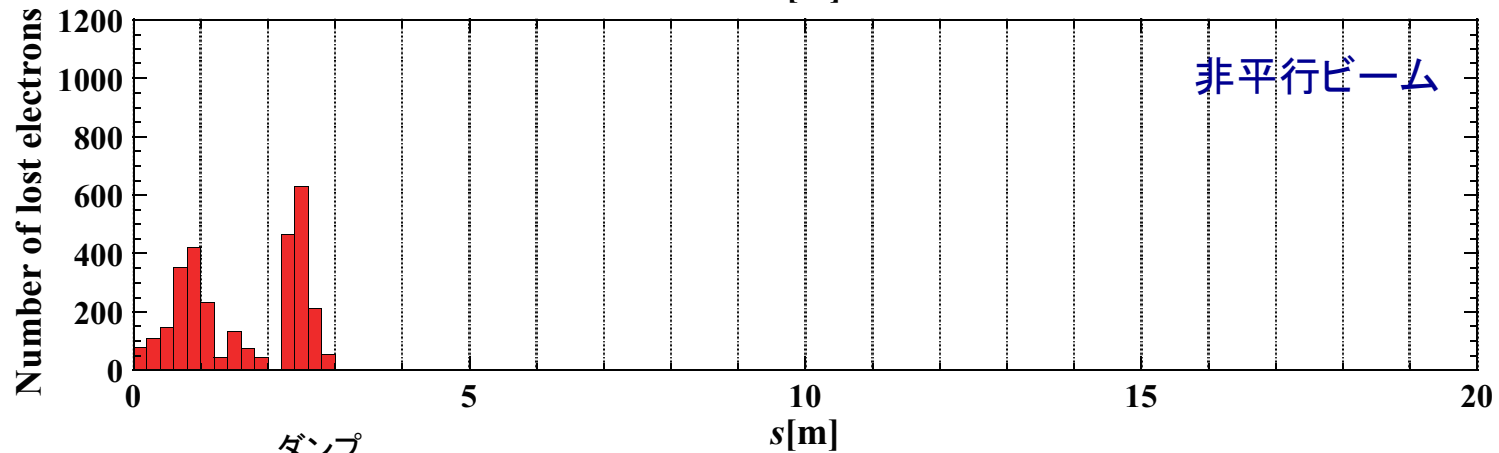
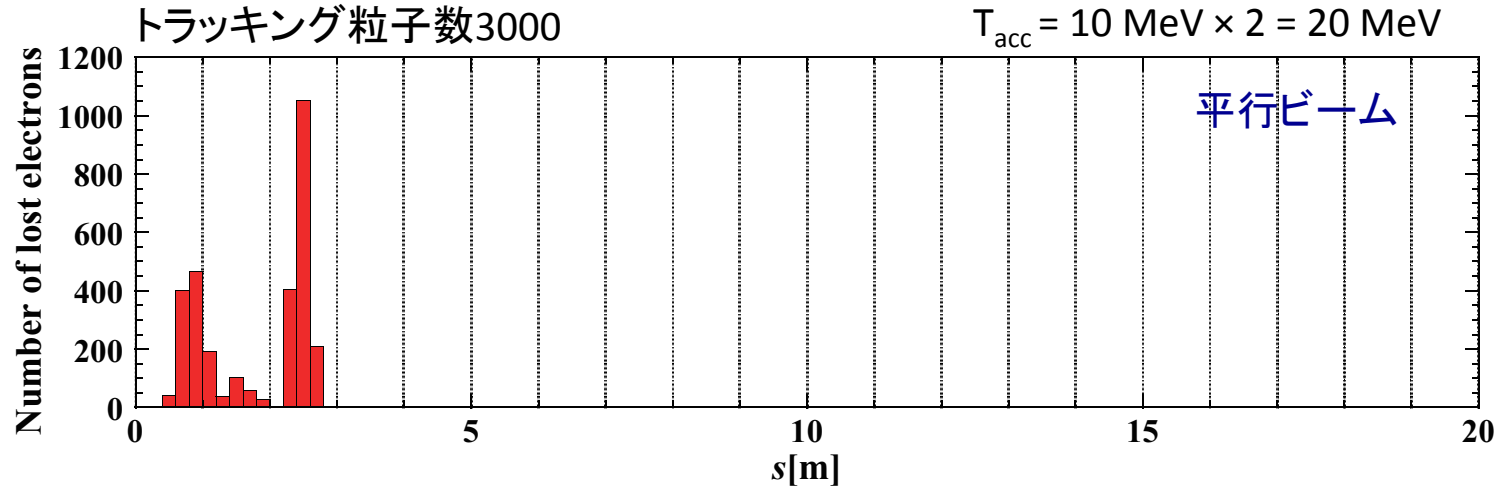
主空洞フィールドエミッションの分布(4)

$T_{\text{acc}} = 10 \text{ MeV} \times 2 = 20 \text{ MeV}$

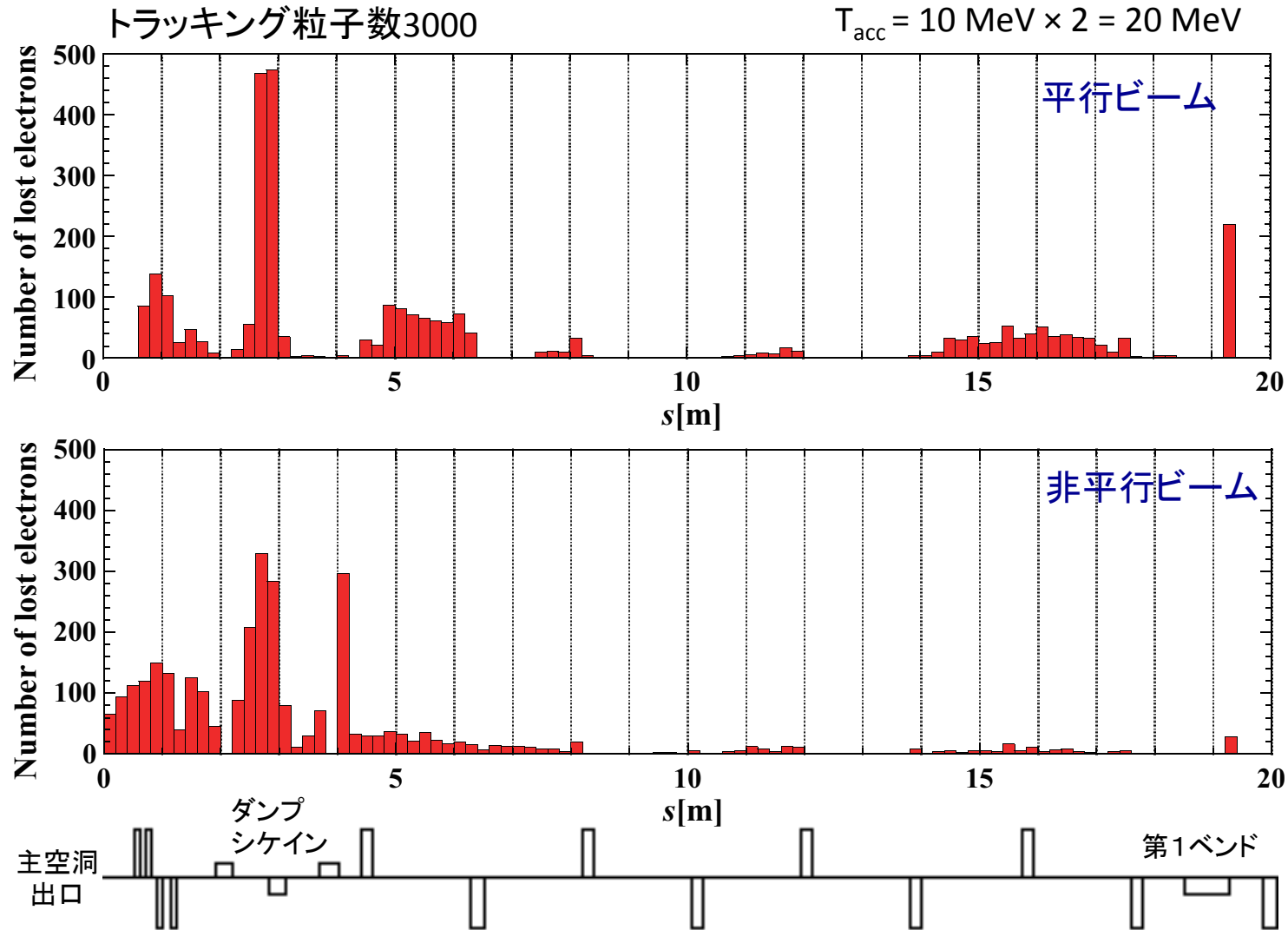
位置・角度共に一様な非平行ビームの場合



0-10MeV電子損失分布(順方向FE)



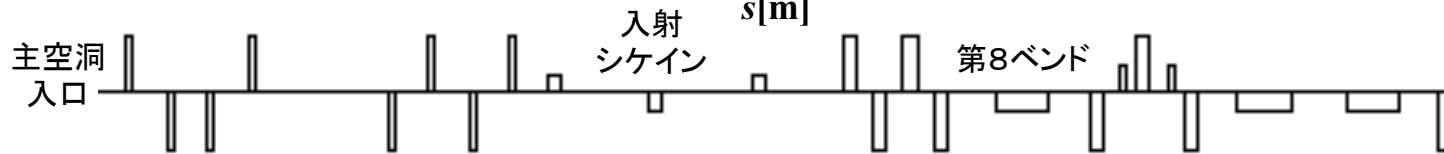
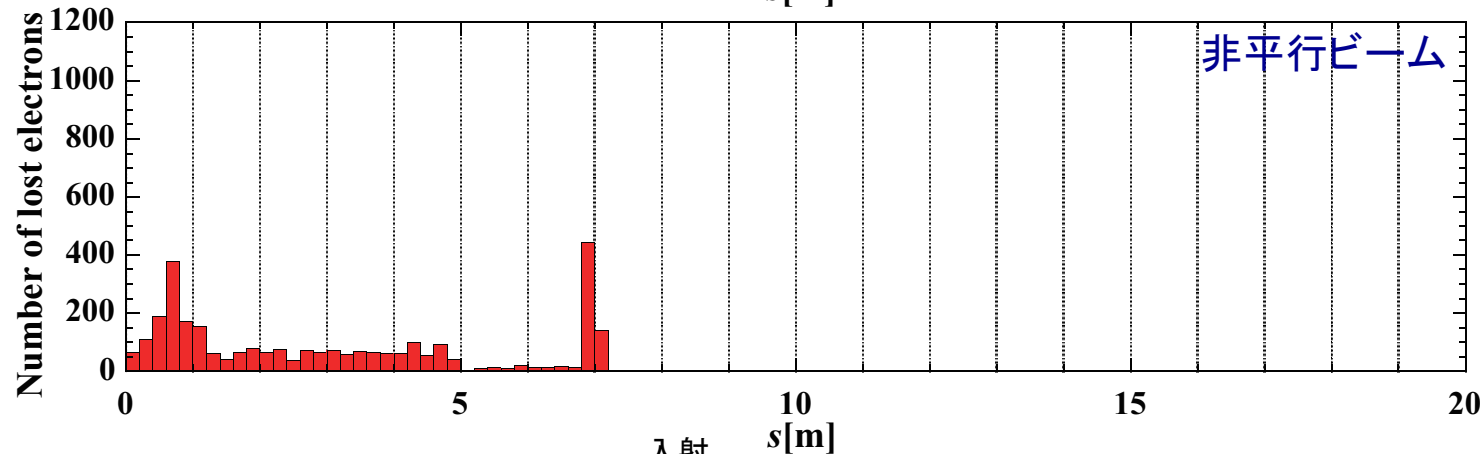
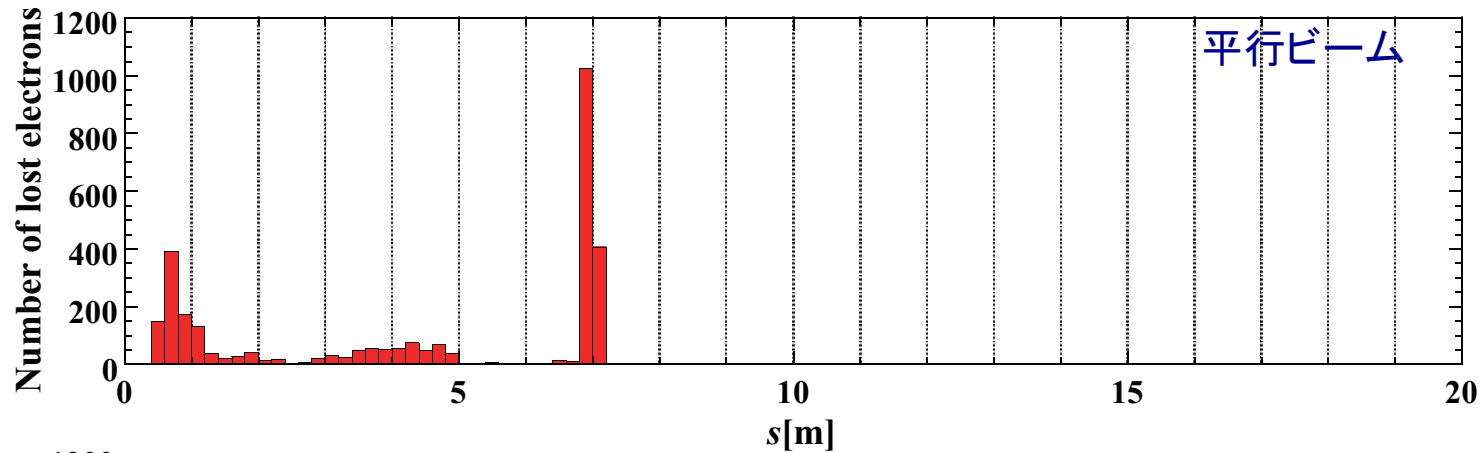
10-20MeV電子損失分布(順方向FE)



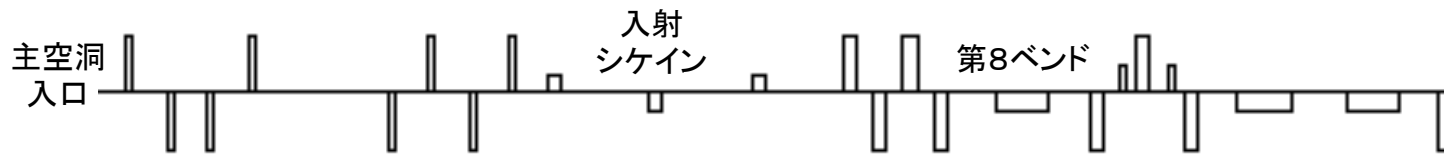
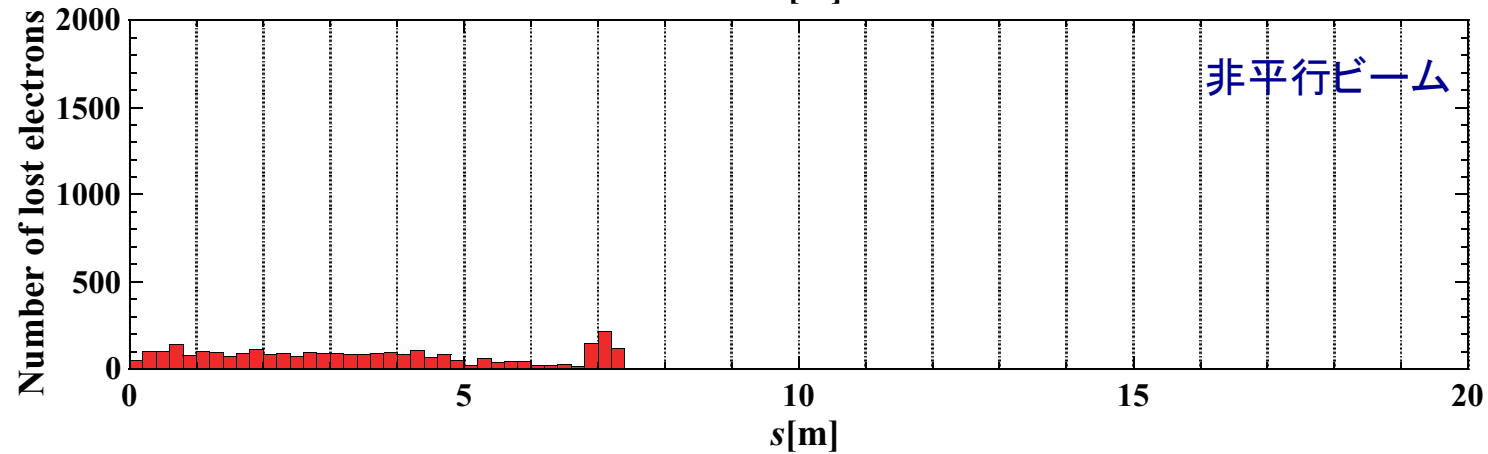
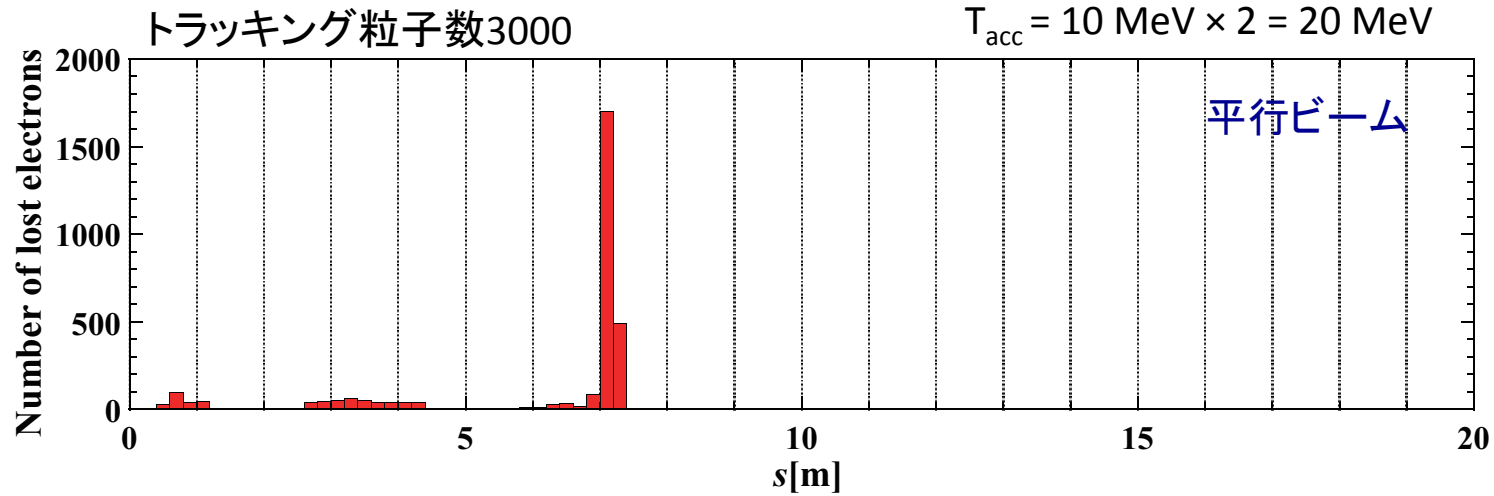
0-10MeV電子損失分布(逆方向FE)

トラッキング粒子数3000

$T_{acc} = 10 \text{ MeV} \times 2 = 20 \text{ MeV}$



10-20MeV電子損失分布(逆方向FE)



補足資料

放射線の方向を決定する損失場所での電子の水平・垂直各方向での角度分布を図示した。

ヒストグラムの見方(注意)

(1) 水平方向(赤)と垂直方向(青)の角度の度数を表しているが、青の度数(柱)の上に赤の度数(柱)が乗っている。2色の柱は重なってはいない。

(2) x'_{rms} , y'_{rms} は各分布の2乗平均平方根(rms: root mean square)を表している。

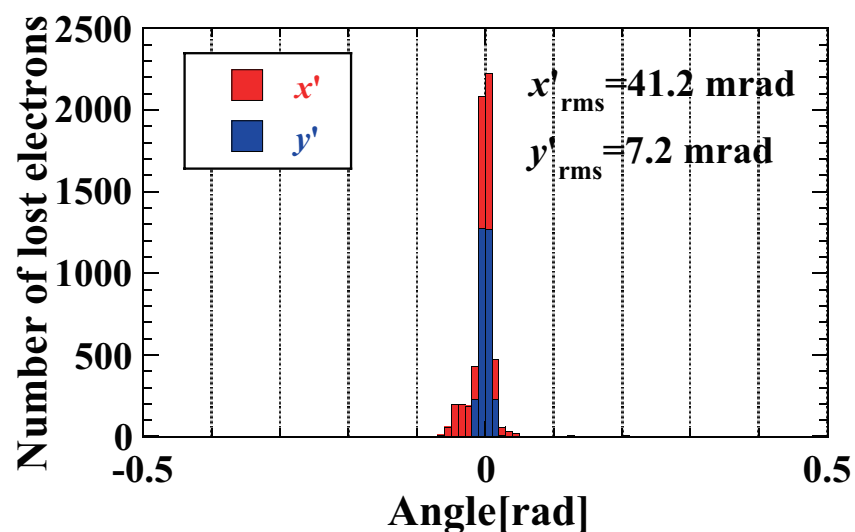
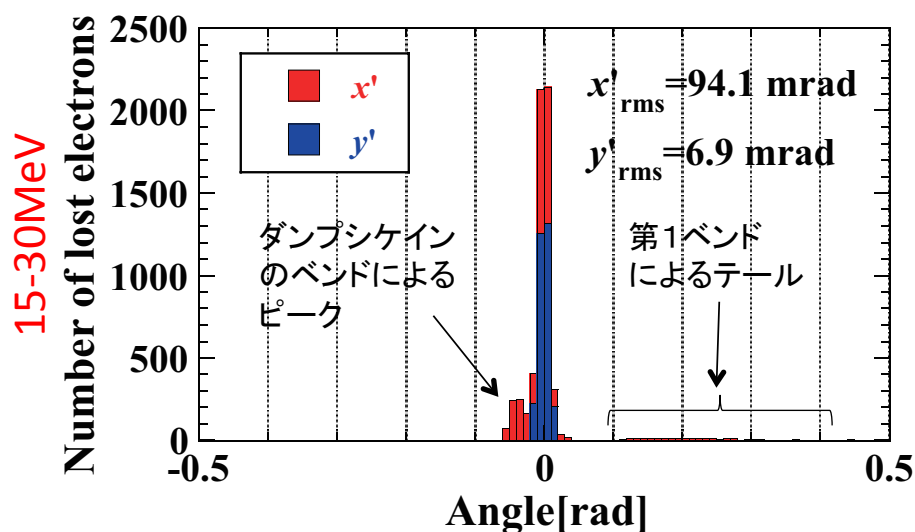
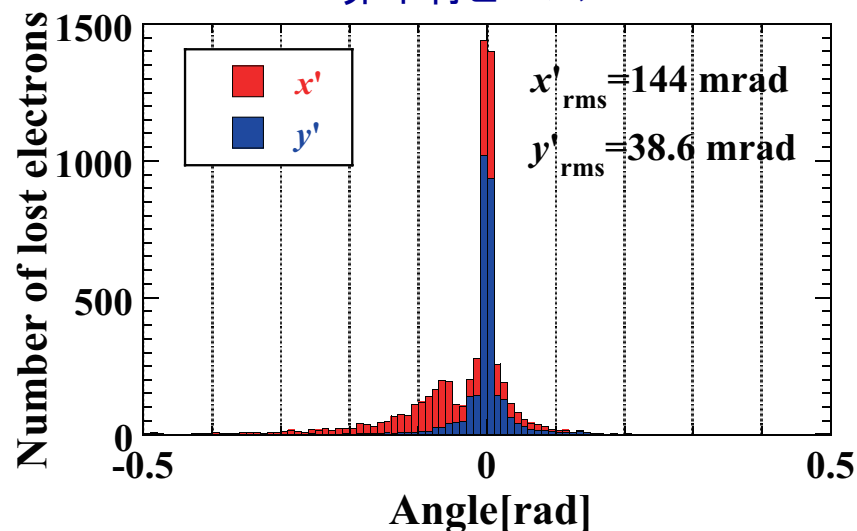
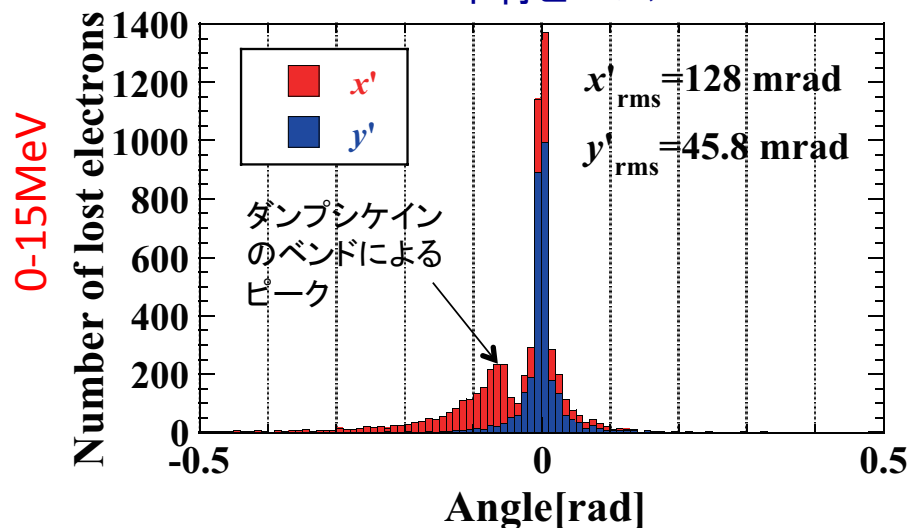
損失電子の角度分布 (順方向FE)

トラッキング粒子数3000

$T_{acc} = 15 \text{ MeV} \times 2 = 30 \text{ MeV}$

平行ビーム

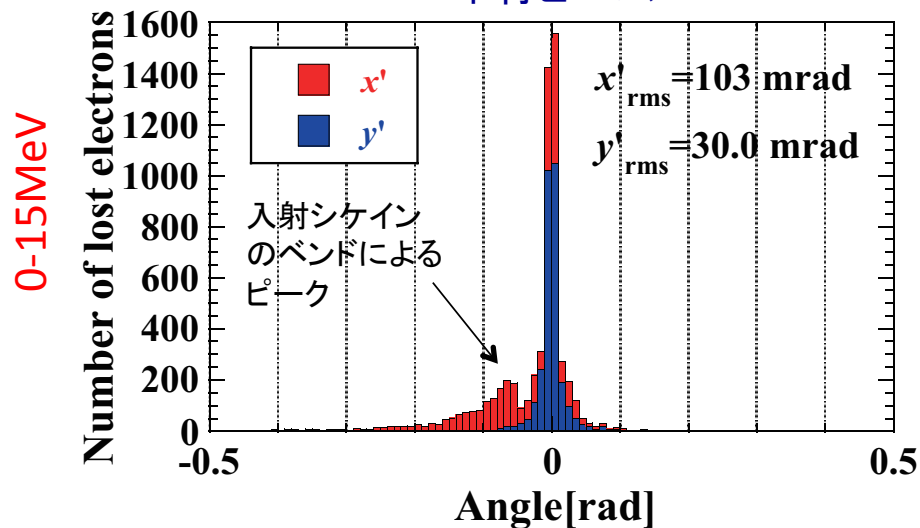
非平行ビーム



損失電子の角度分布 (逆方向FE)

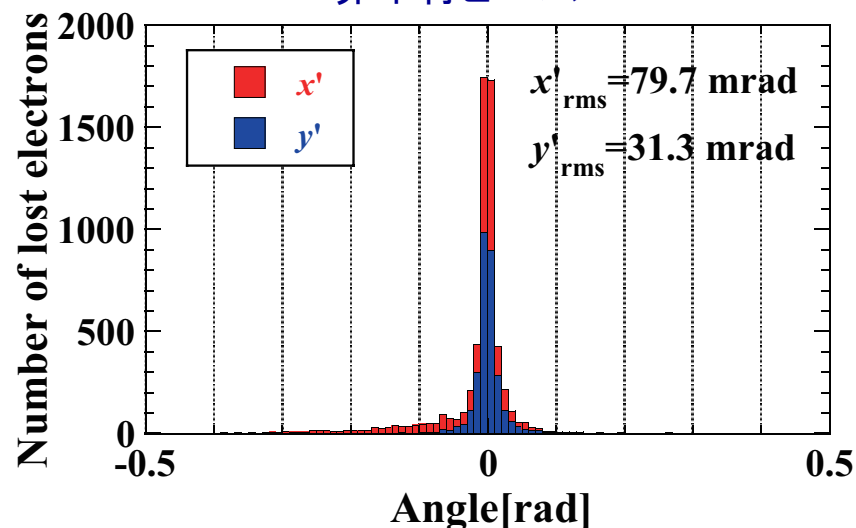
トラッキング粒子数3000

平行ビーム

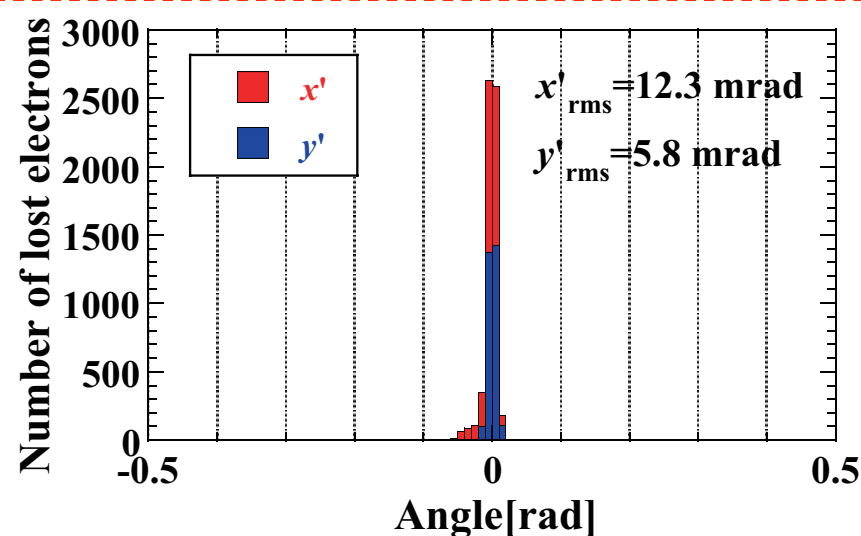
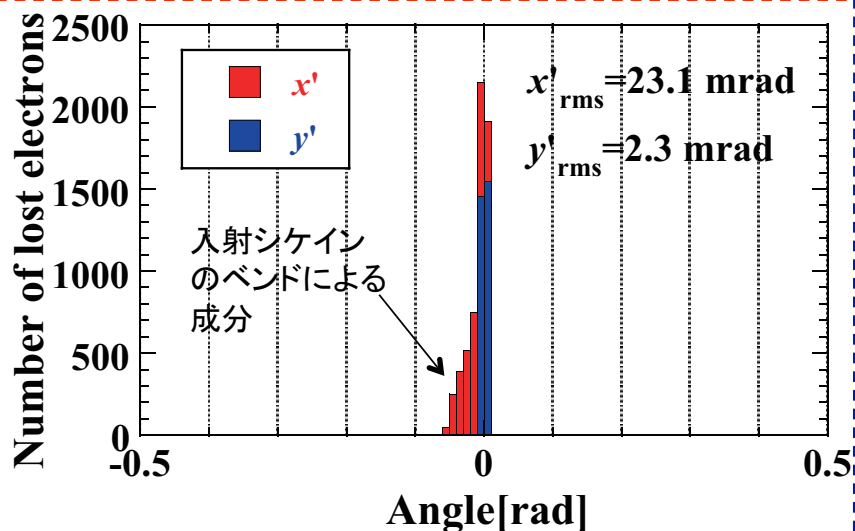


$T_{acc} = 15 \text{ MeV} \times 2 = 30 \text{ MeV}$

非平行ビーム



15-30MeV



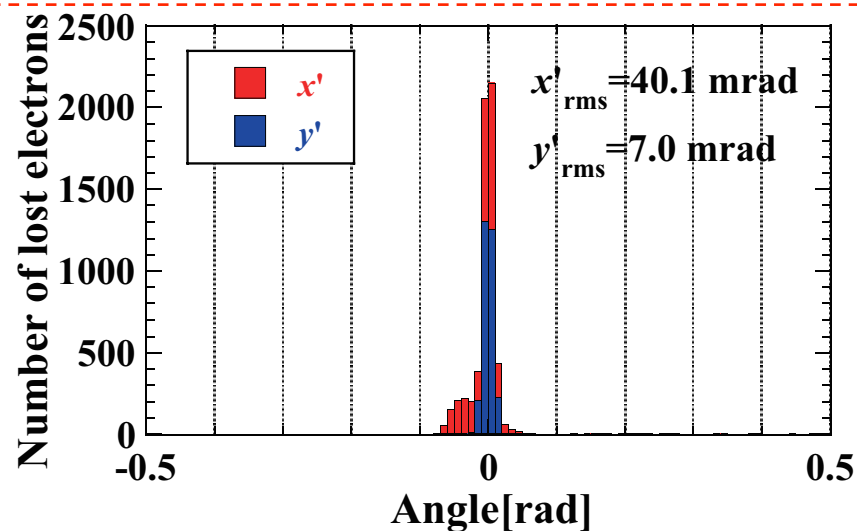
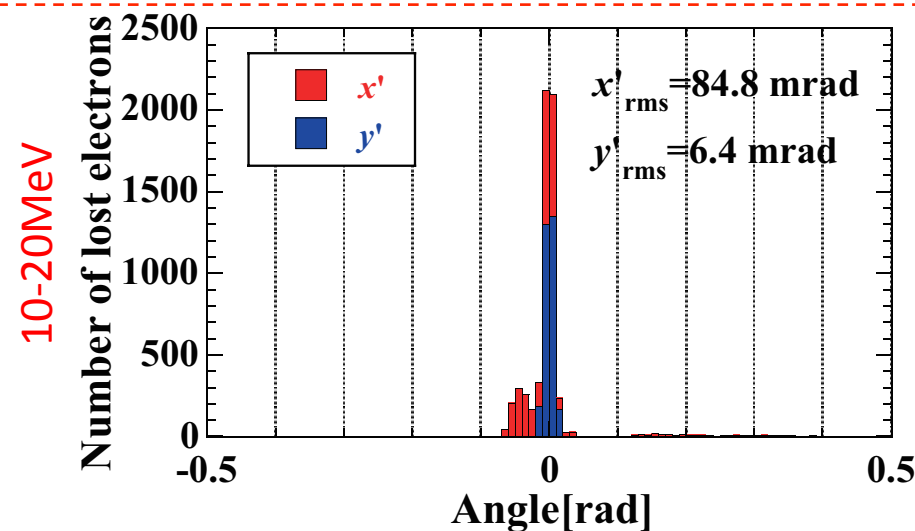
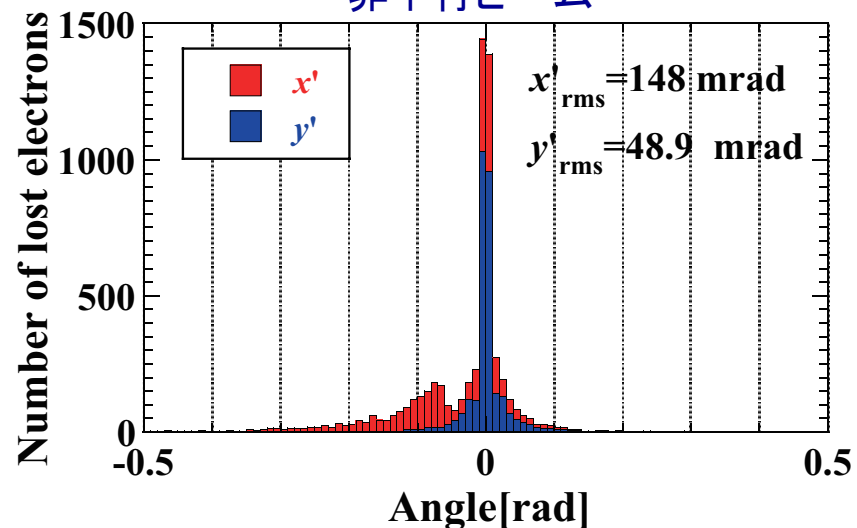
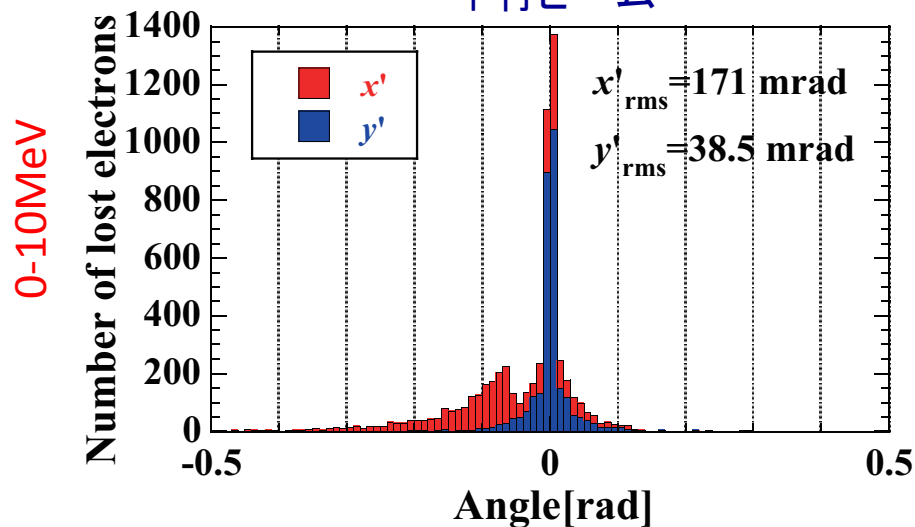
損失電子の角度分布(順方向FE)

トラッキング粒子数3000

$T_{acc} = 10 \text{ MeV} \times 2 = 20 \text{ MeV}$

平行ビーム

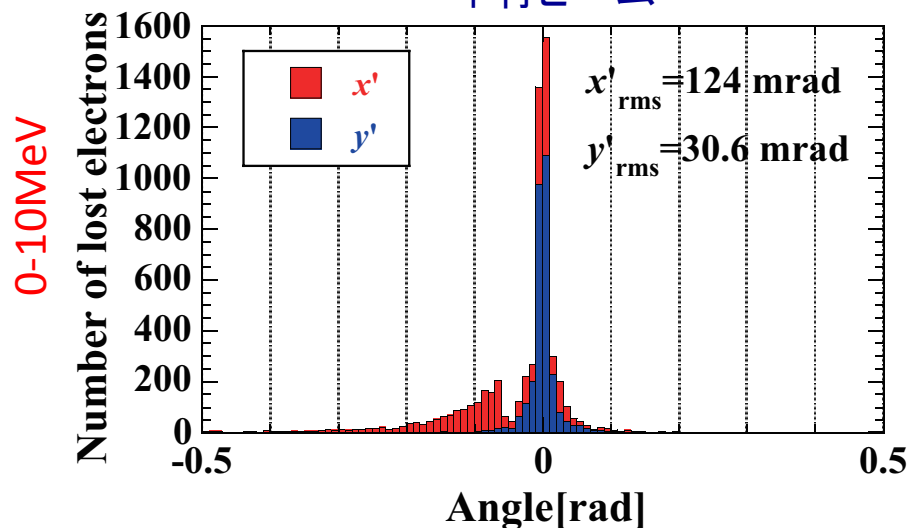
非平行ビーム



損失電子の角度分布 (逆方向FE)

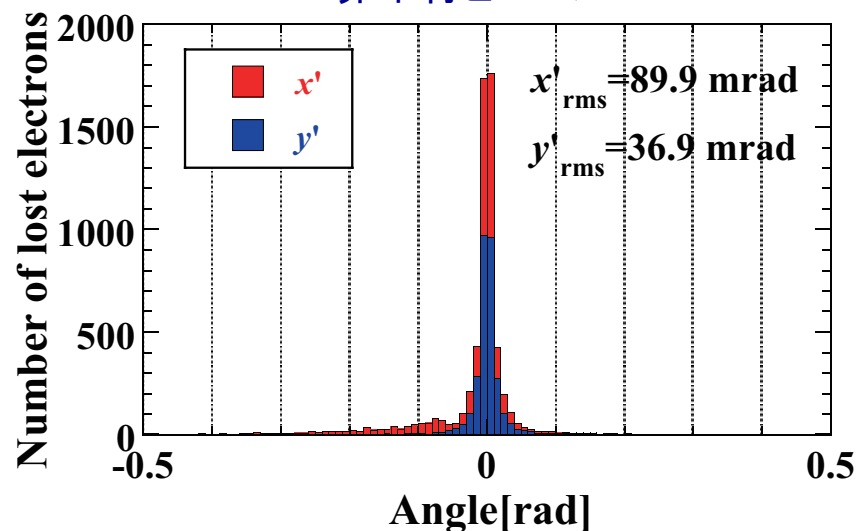
トラッキング粒子数3000

平行ビーム

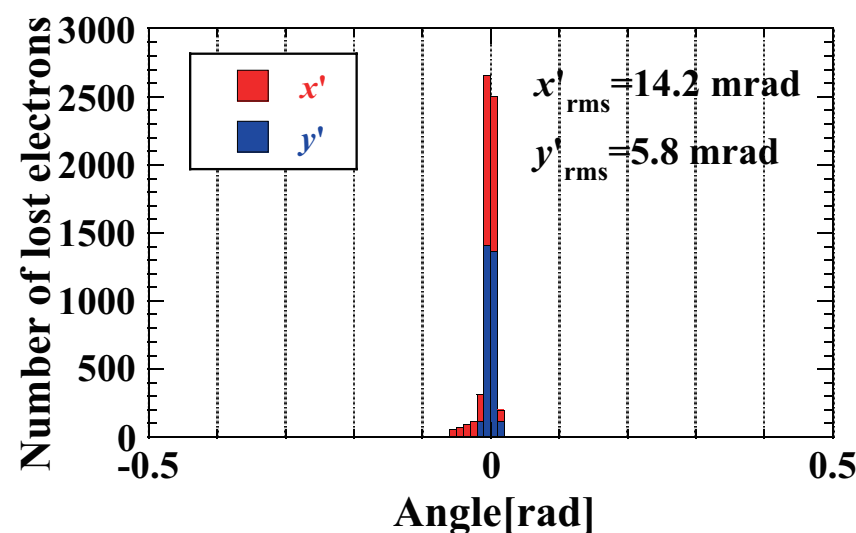
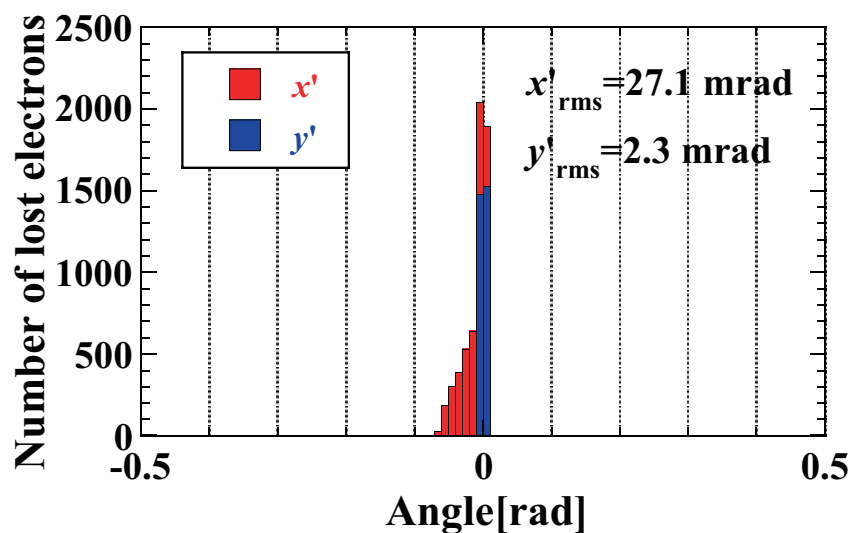


$T_{acc} = 10 \text{ MeV} \times 2 = 20 \text{ MeV}$

非平行ビーム



10-20MeV



まとめ

- シミュレーションによって、損失点とその場所での電子の位置、角度、運動エネルギーが計算され、前回の損失場所の評価が概ね正しいことを確認できた。即ち、順方向のフィールドエミッション(FE)は、ダンプシケインまでで大部分が損失し、生き残りは第1バンドまでで損失する。逆方向のFEは、入射シケインまでで損失する。
- 電子分布の空間的広がりによって特に入射及びダンプシケイン前のビームラインでも無視できない損失が起きる。
- 加速勾配の違いによる損失分布の差は小さい。また、初期の電子角度分布による差はあるが、損失場所の範囲を大きく変えるものではない。