

# 電子銃におけるビームダイナミクス の話題(加速器学会発表から)

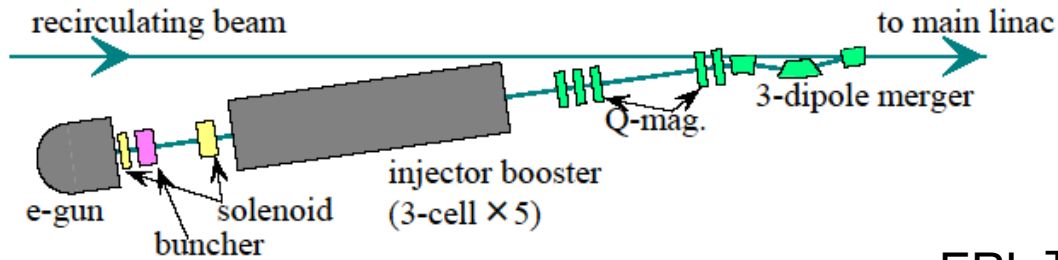
永井、羽島、飯島、西森、  
沢村、菊澤、峰原  
JAEA-ERL

2007年9月21日  
ERLビームダイナミクスWG

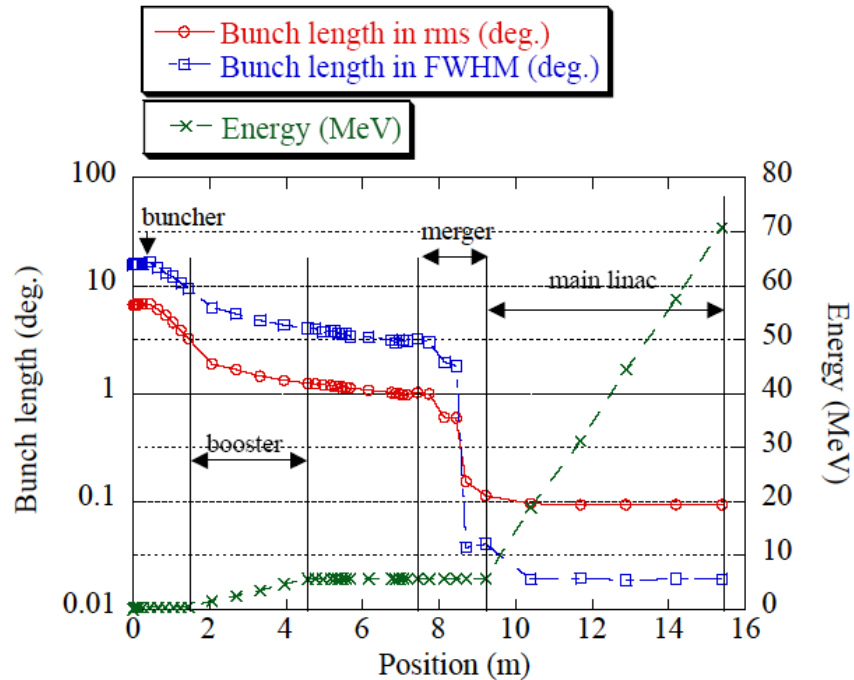
## DC電圧の安定度

- Cockcroft-Walton型DC電子銃
- 電源電圧の変動
  - 励振周波数より遅い成分→フィードバックで制御
  - 励振周波数成分→リップルとして残る
- 電圧変動の影響
  - タイミング、バンチ長、エミッタンス、エネルギーなどにジッターをもたらす

# 電圧変動の影響(モデル)

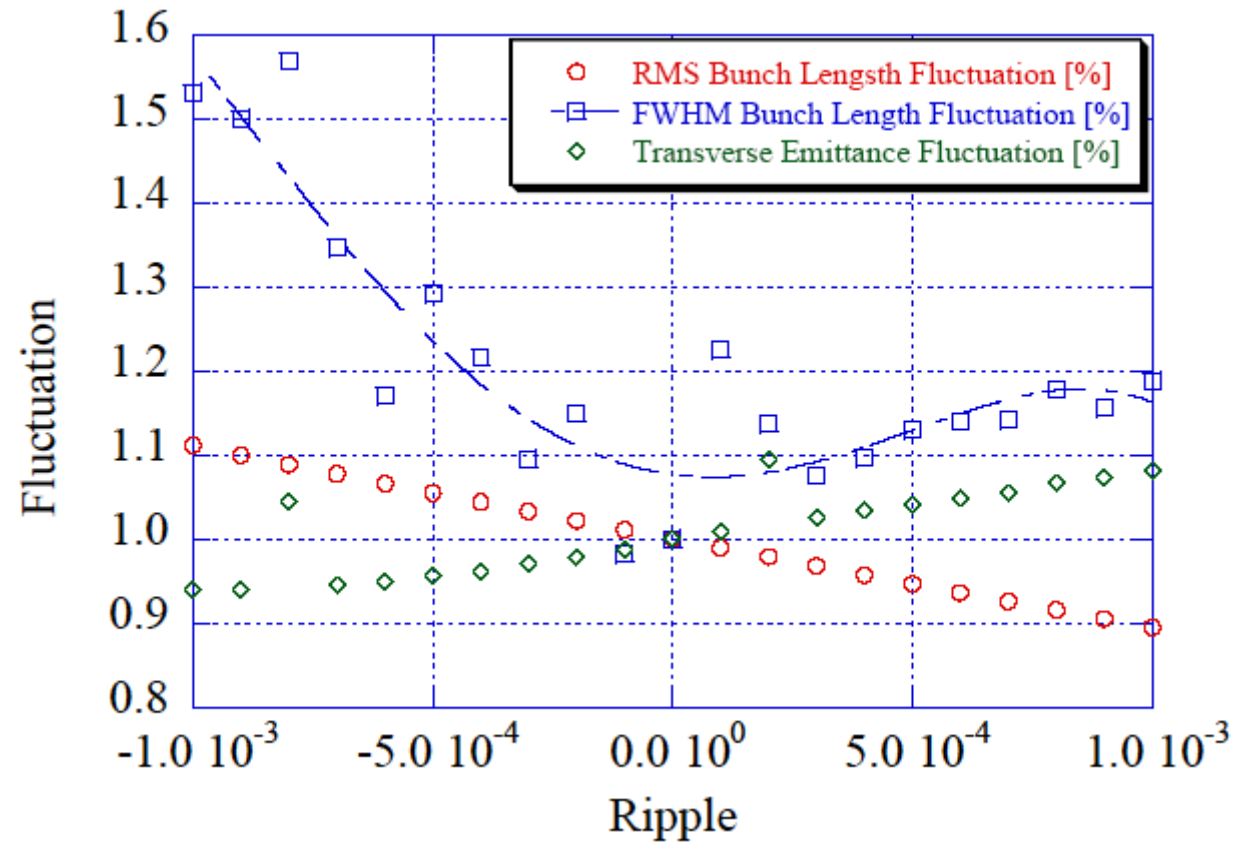


ERL入射器のモデル

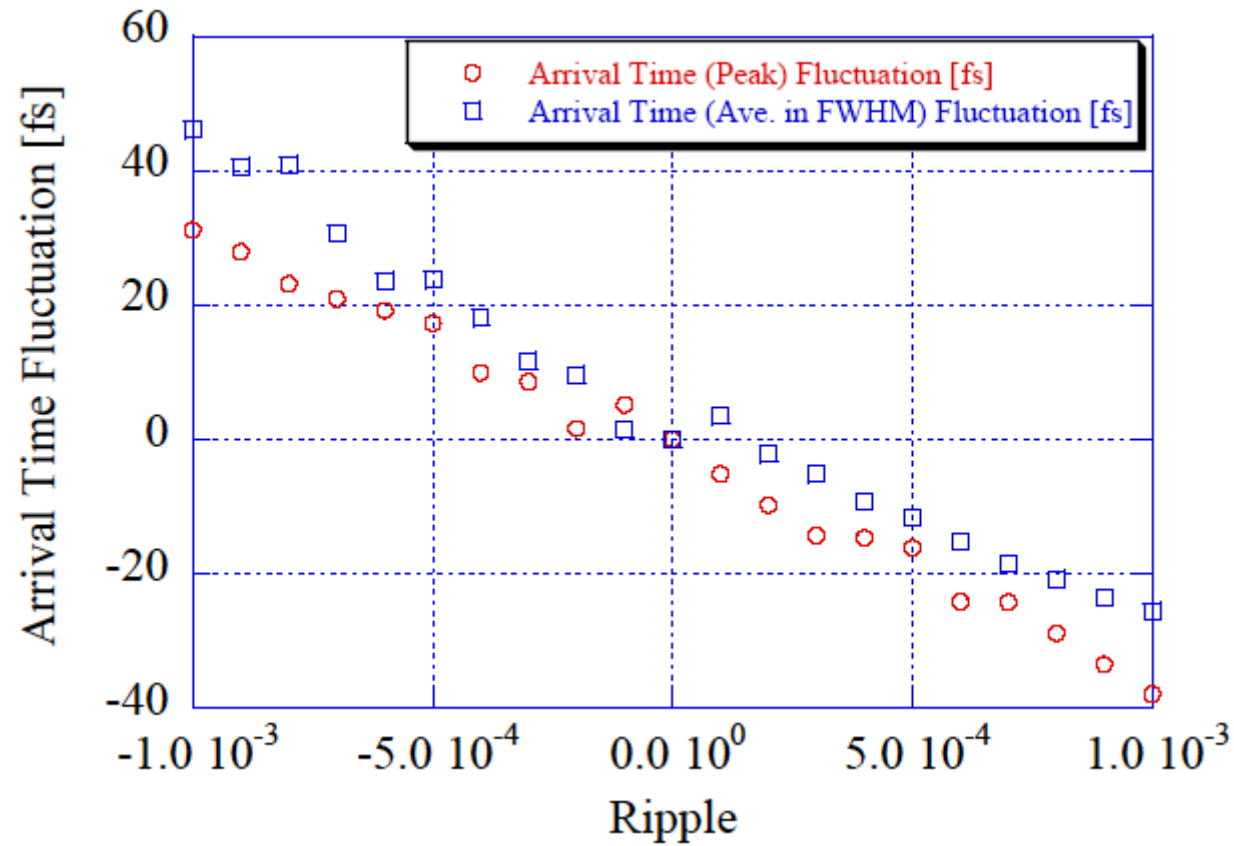


500kV 電子銃、5MeV 入射、  
70MeV 位置でエミッタンス最小と  
なるように最適化(SA)したもの。

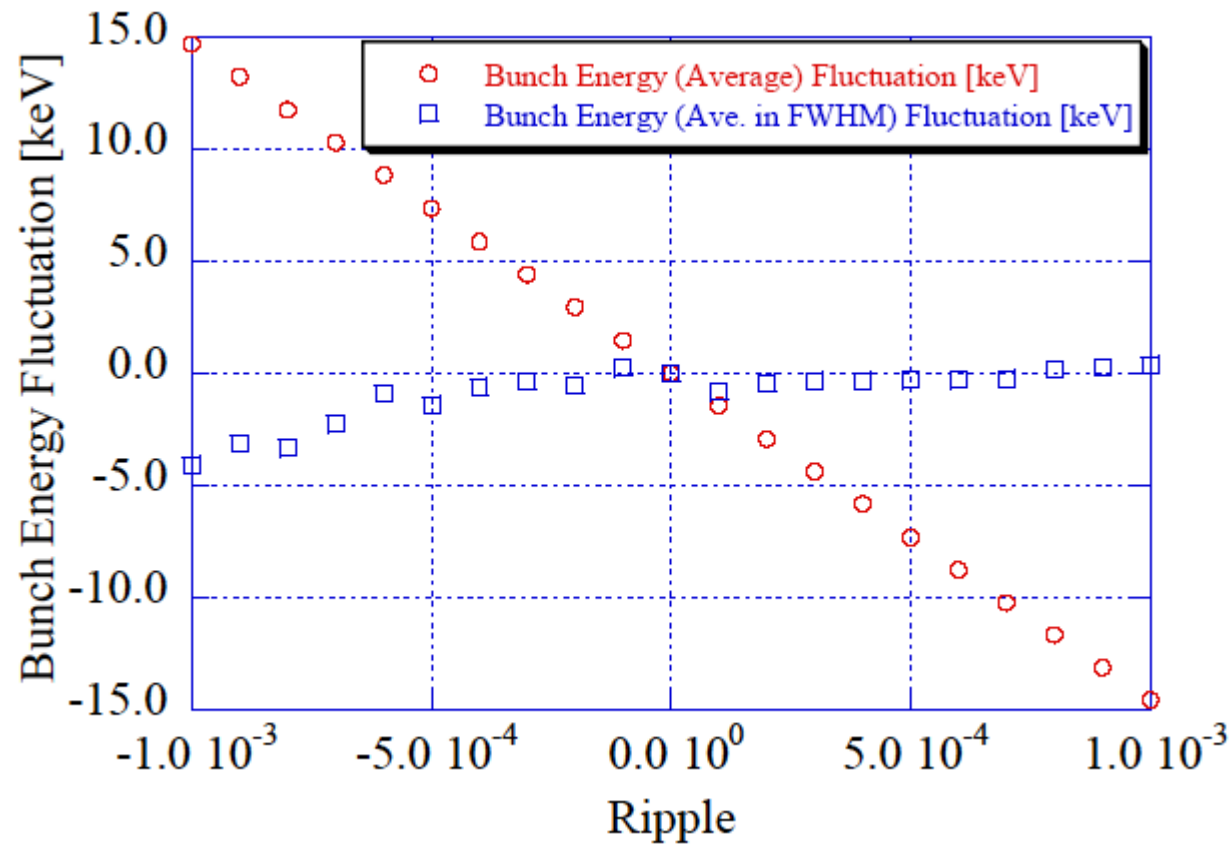
# 電圧変動の影響(バンチ長とエミッタンス)



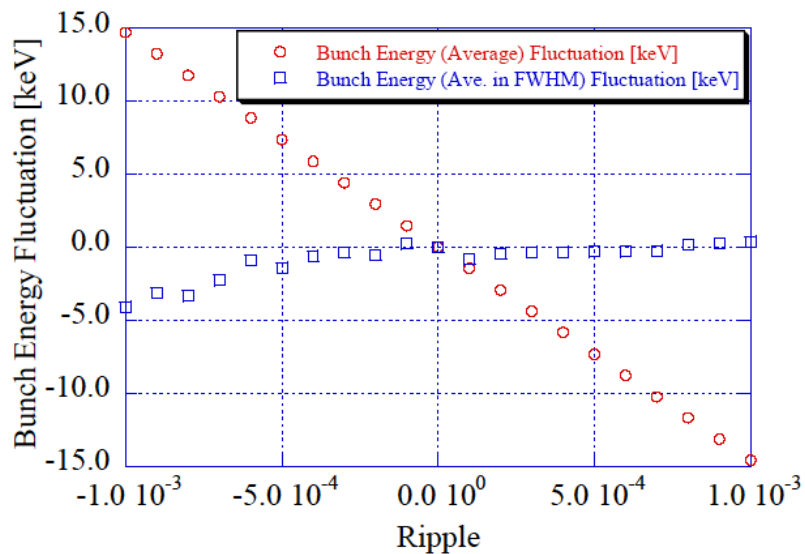
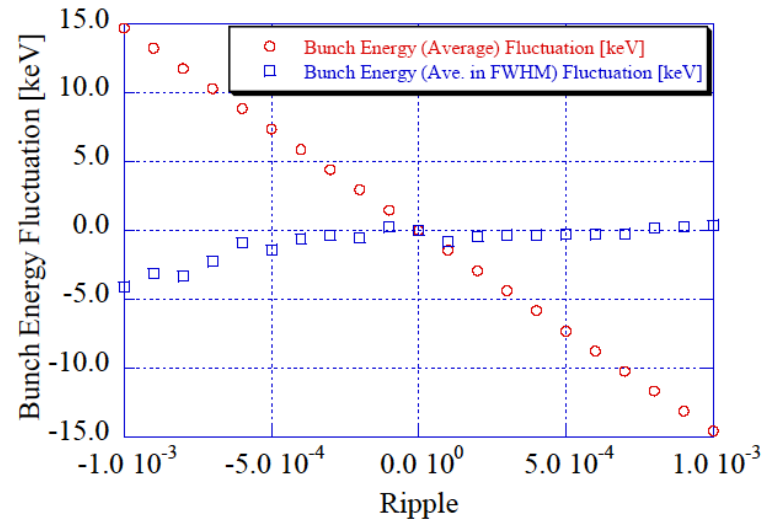
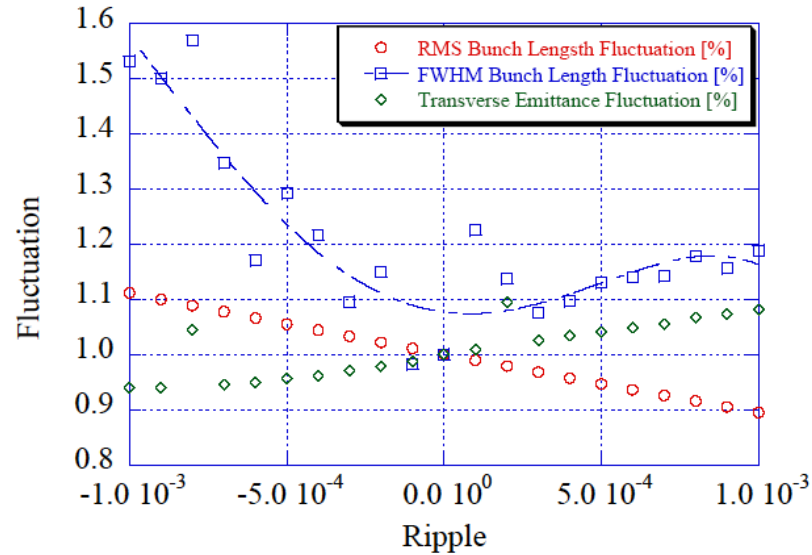
# 電圧変動の影響(バンチ到着タイミング)



# 電圧変動の影響(バンチエネルギー)



# 電圧変動の影響

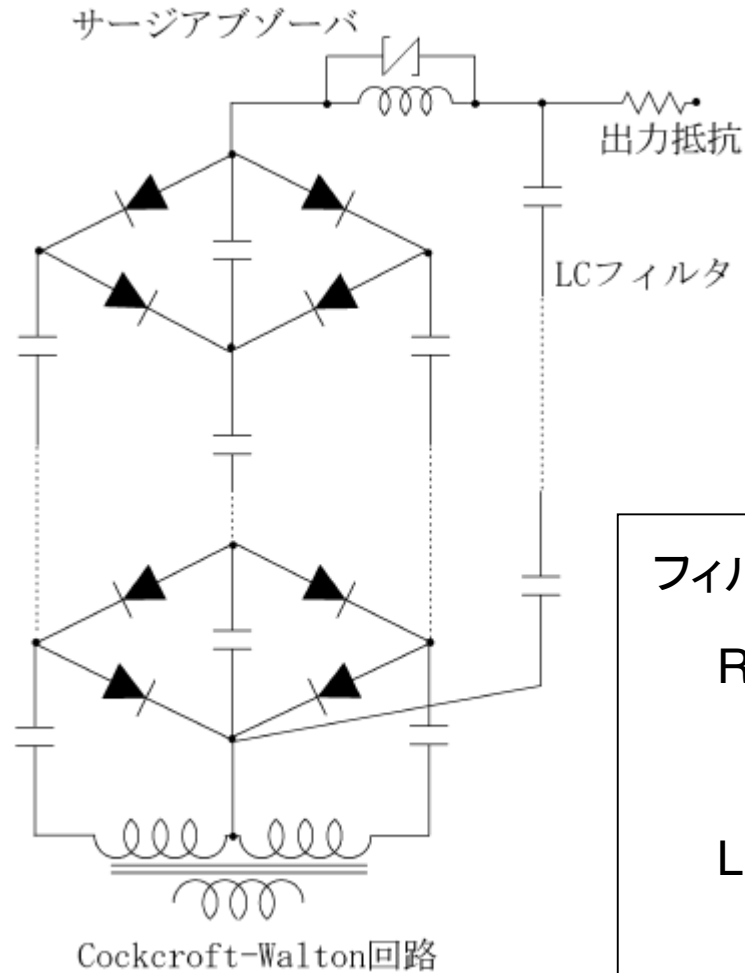


$\Delta E/E = -0.1\%$  の時、  
FWHMバンチ長は50%伸びる  
タイミングは40fs、エネルギーは15keV の変動



タイミングとエネルギーはRF位相で決まる  
収束点に収束するが、バンチの形状(時間波形)  
には、歪みが生じる。

# Cockcroft-Walton 型電源のリップル



$$\delta V = \frac{I}{2fC} \cdot n \quad [V]$$

$\delta V$ : リップル  
 $I$ : 電流  
 $f$ : 励振周波数  
 $C$ : 各段のキャパシタンス  
 $n$ : 段数

$f$  ~ IGBT等の回路素子から制限  
 $C, n$  ~ 大きさから制限

フィルタによるリップルの減衰

RC フィルタのリップル減衰比

$$R = 1/(4\pi^2 fRC)$$

LC フィルタのリップル減衰比

$$R = 1/(4\pi^2 f^2 LC)$$

抵抗による損失なし、 $f^2$  で減衰の利点



## 250kV、500kV 電源の仕様

250kV(現在試験中)では

出力電流 : 50mA

駆動周波数 : 20kHz

ステージ当りの静電容量 : 8.4nF

ステージ段数 : 6

フィルタ・インダクタンス : 1.2H

フィルタ・静電容量 : 1.4nF



安定度 :  $1.4 \times 10^{-4}$

(実測 :  $1.9 \times 10^{-4}$ )

500kV(実証器用)では

出力電流 : 100mA

駆動周波数 : 40kHz

ステージ当りの静電容量 : 16.8nF

ステージ段数 : 12

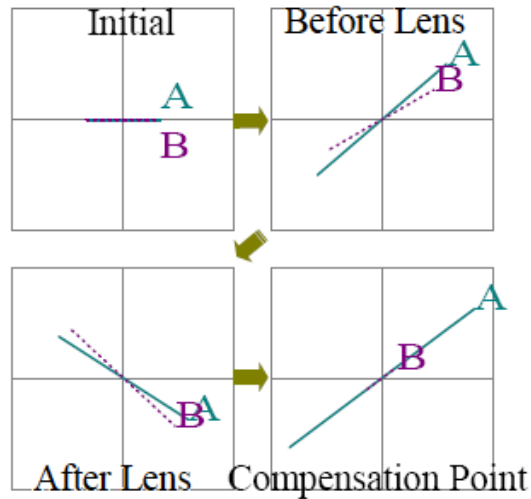
フィルタ・インダクタンス : 1.2H

フィルタ・静電容量 : 1.4nF



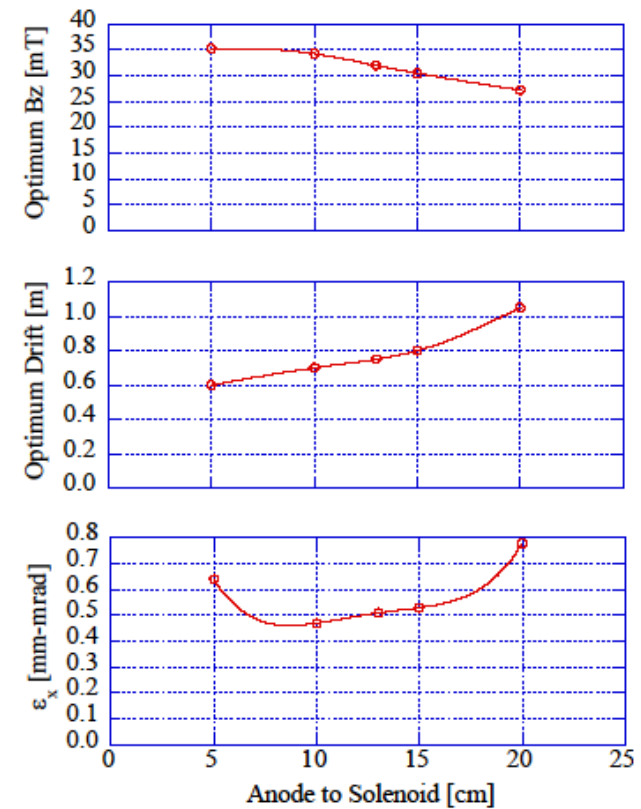
安定度 :  $1.7 \times 10^{-5}$

# 250 kV 電子銃におけるソレノイドによるエミッタンス補償



ソレノイド下流でエミッタンスが補償される。

非線形効果が入ると、完全には補償されない。



250 kV, 77 pC バンチに対する  
ソレノイドの最適位置、強度

# ソレノイド磁石の設計と製作

$$\varepsilon_{n,rms} = \frac{er_0|B_{z0}|}{8m_0c}$$

カソード面上の磁場はエミッタンスになる。  
0.1 mm-mrad を得るには、  
カソード半径1mm のとき、1mT 以下が必要。

バックリングコイルによるカソード磁場の打ち消し

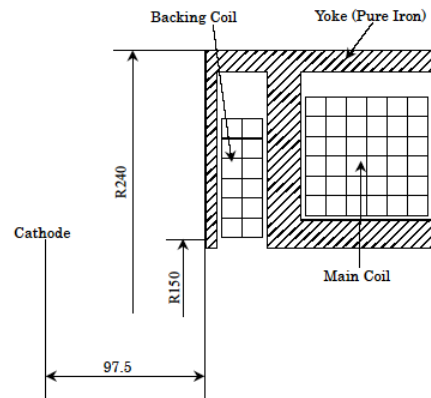


図3：ソレノイド電磁石の形状

主コイル: 280A x 36 turn  
ヨーク中最大磁場: 1.32 T

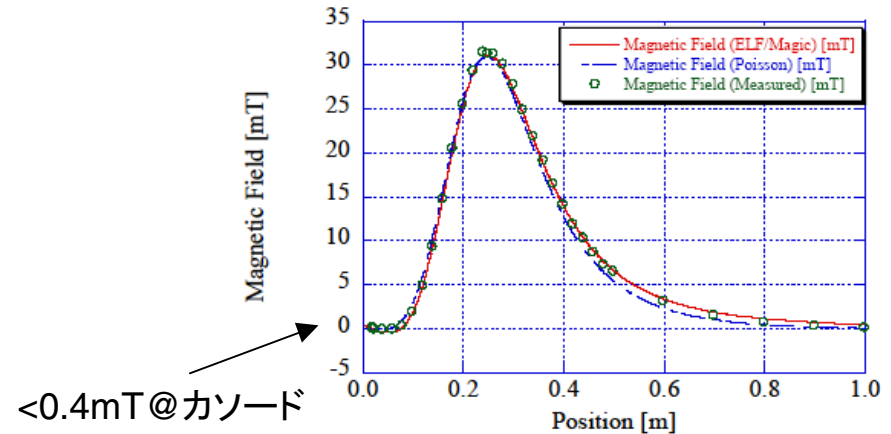


図4：ソレノイド電磁石の磁場分布

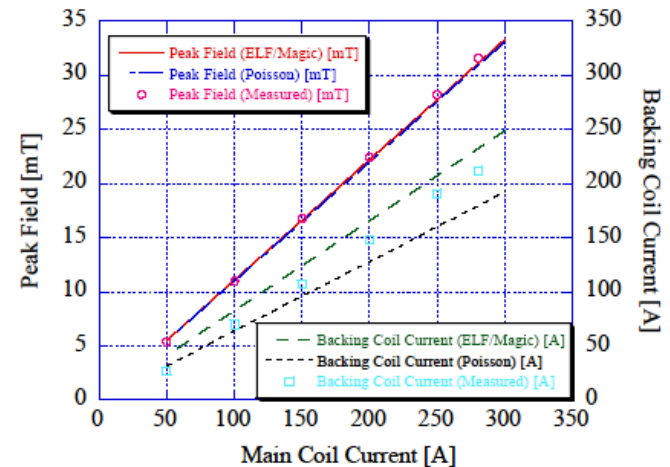


図5：主コイルの励磁電流に対するピーク磁場強度とバックリング・コイルの励磁電流

# ソレノイド励磁によるエミッタンス補償(250kV電子銃)

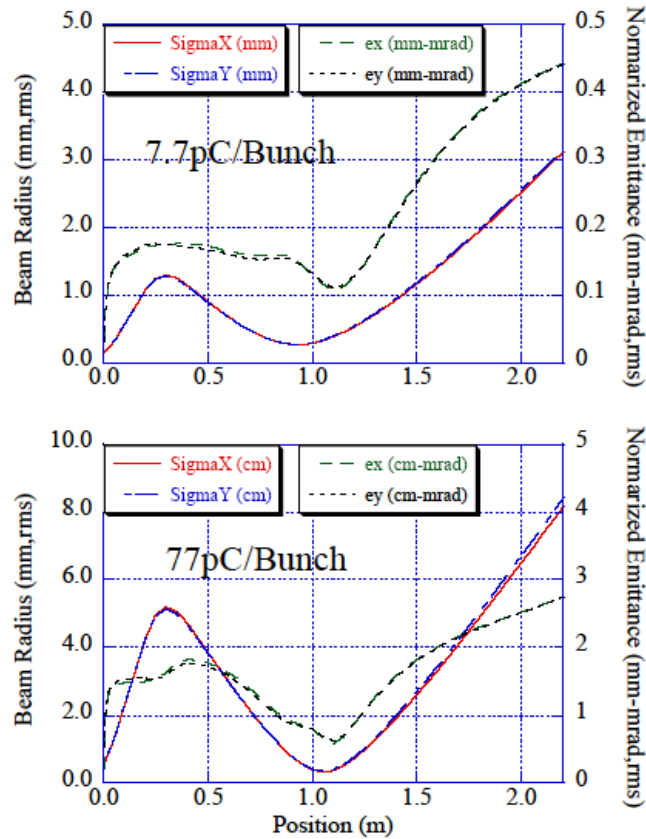


図6：ソレノイドによるエミッタンス補償

7.7pC  $\rightarrow$   $B = 23.8\text{mT}$ ,  $\epsilon_n = 0.11 \text{ mm-mrad}$

77pC  $\rightarrow$   $B = 25.1\text{mT}$ ,  $\epsilon_n = 0.59 \text{ mm-mrad}$

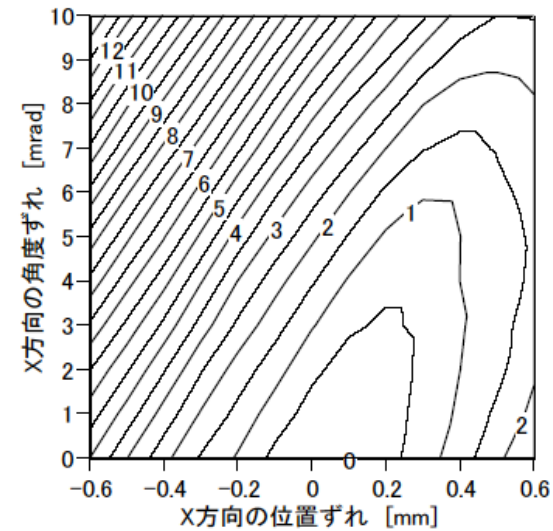


図7：ミスアラインメントの影響

エミッタンス増大率(%)

位置、角度精度を 0.3mm, 5mradとすれば、増大は1%に抑えられる。