

# MEBT study and end-to-end simulation

第3回 J-PARC加速器技術検討会

2002.12.17

KEK T. Kato



# 内 容

- ・ MEBT ビームテスト結果と計算結果
- ・ MEBT to L3BT simulation
  - LINSAC コード
    - ・ エラーシミュレーション
    - ・ 改良点
      - 磁石変位エラーの導入 (この夏の作業)
      - Beam transport line用のコードの整備
    - ・ 他のコードの利用状況

# MEBT beam study

---

- **Beam transport**
  - **Transmission**
  - **Transverse matching**
  - **Longitudinal matching**
  - **Emittance growth**
  - **Beam measurement**
  - **Comparison between measurements and calculation**
- **Chopped beam**

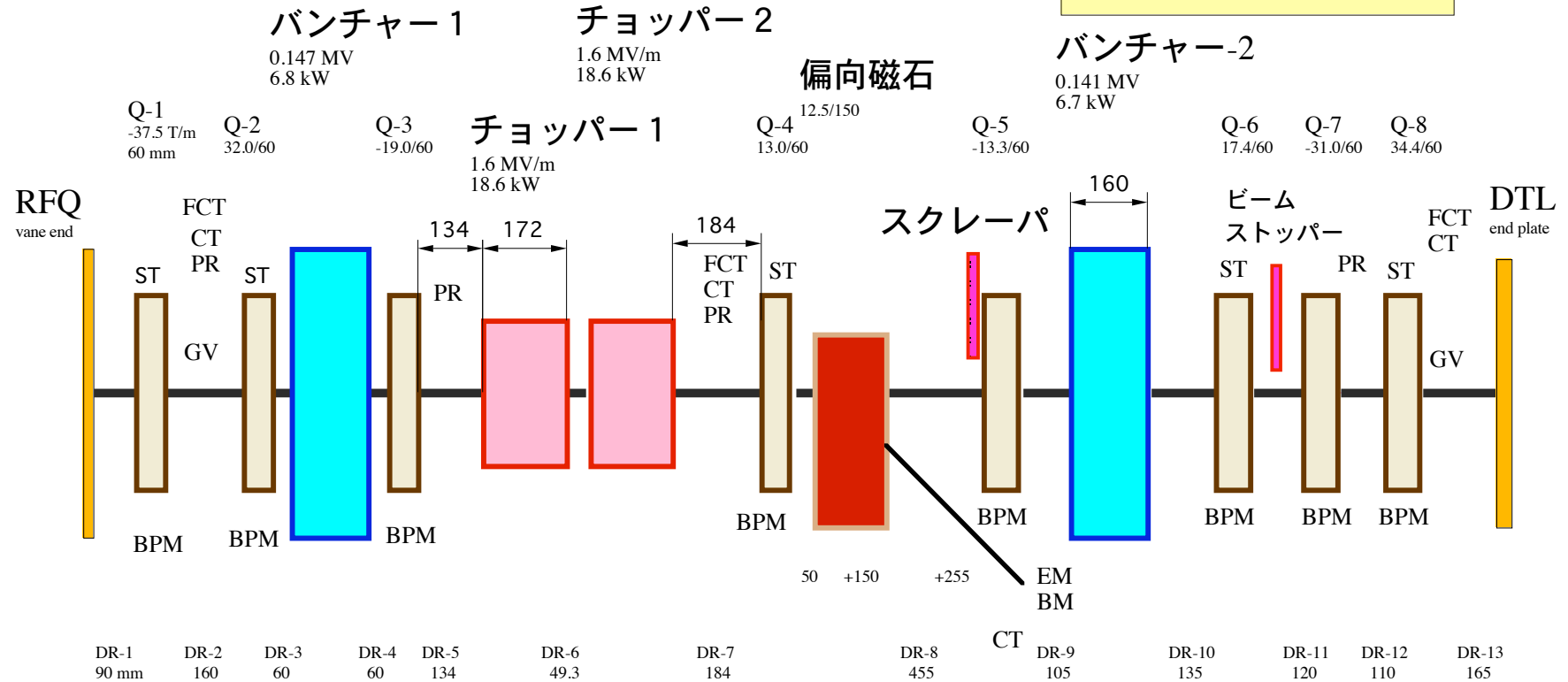
# MEBT layout

(少しの変更あり)

2001.10.29 T. Kato

四極磁石 8台、バンチャー 2台  
 偏向磁石 1台、チョッパー 2台

全長 2989.9 mm  
 Normal beam size < 10 mm  
 Deflected < 26 mm  
 Scraper at Q-5, r=9.5 mm



JPL

BPM = ビーム位置モニター CT = 電流モニター GV = ゲイトバルブ BM = バンチモニター --> バンチ長さ測定  
 EM = エミッタンスモニター FCT = 位相モニター --> ビーム平均エネルギー測定用 PR = プロファイルモニター

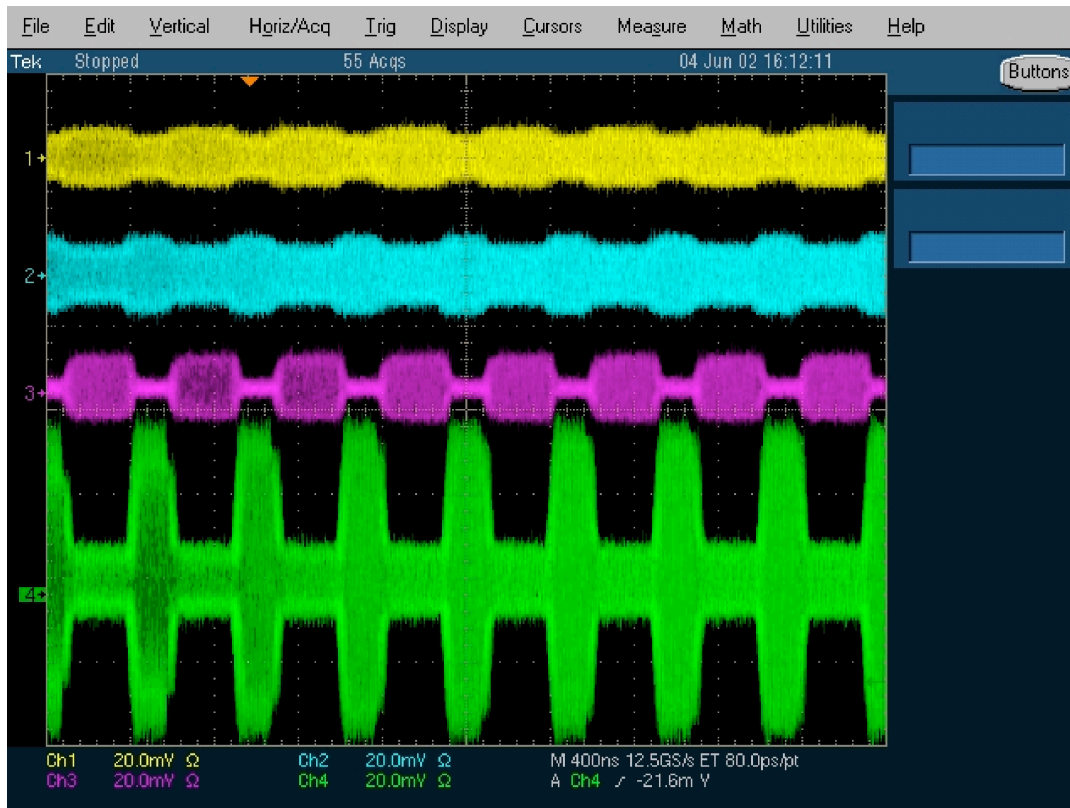


# MEBT Diagnostics

使用ビーム : 5mA - 25 mA, 5 Hz, 50 マイクロ秒

		計画	使用可
• <b>Current monitor</b>		<b>3</b>	<b>3</b>
• <b>Phase monitor</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	
• <b>Position monitor</b>		<b>8</b>	<b>8</b>
• <b>Steering magnets</b>		<b>5</b>	<b>1</b>
• <b>Profile monitor</b>		<b>3</b>	<b>0</b>
• <b>Emittance monitor</b>		<b>2</b>	<b>2</b>
• <b>Beam scraper</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	

# Chopped beam



Study開始3日のBPM波形

One RFD drive, 30 kW

1) BT line?

2) measurement system?

3) sufficient kick?

4) rf phase

5) bunch length?

6) DX (変位量は)

7) DX measured from BPM and from scraper?

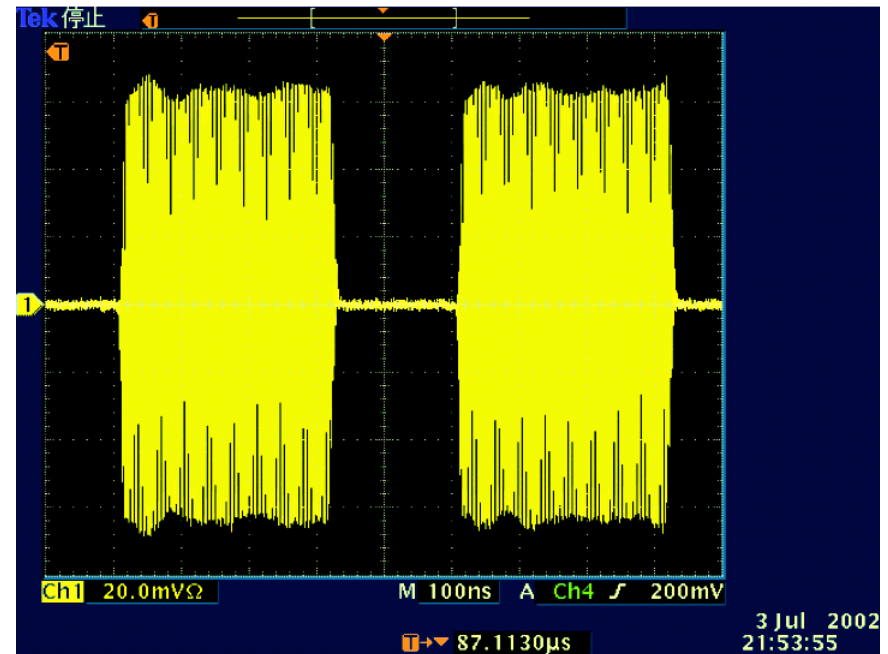
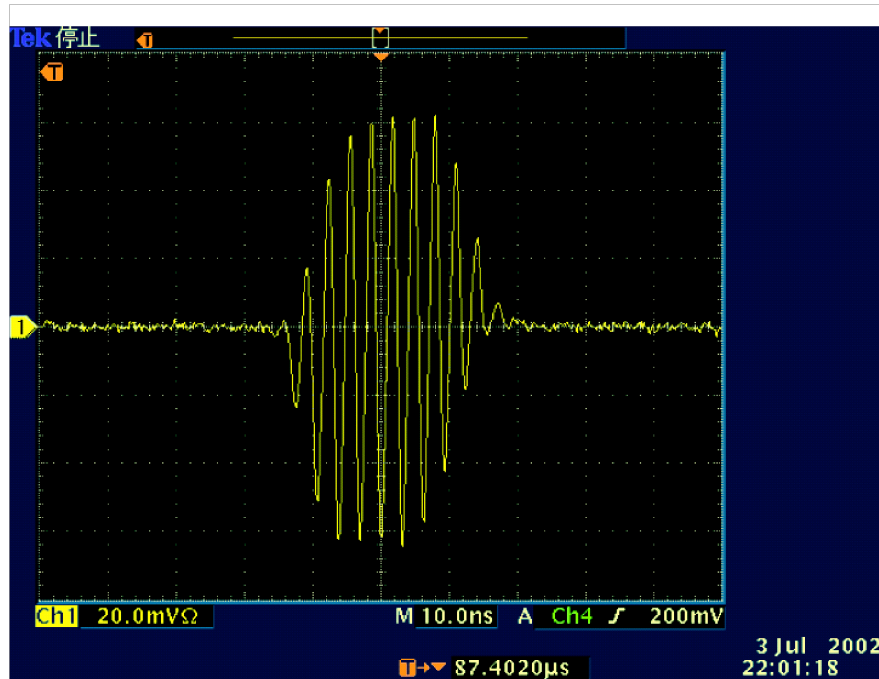
8) RFQ bunch?

上の2段：BPM-4のx-方向の対向電極の信号。RFD直後なので、変位が少ない。

下の2段：BPM-5のx-方向の対向電極の信号。スクレーパ直後。スクレーパは入れていない状態。下の信号から計算したビームの変位量=6.9 mm。偏向を受け

JPL 受けない部分の信号から、ビーム軸位置がわかる。400 ns/div, 4 mA

# チョッパー測定結果



チョッパーの立ち上がり時間(10ns)は、システムとしての性能限界まで到達。  
更なる改良は、アンタイチョッパーの導入によるが、それ以前にリニアック加速  
途中の振る舞いを測定する事が必要。  
LEBTプリチョッパーとの組み合わせにより、MEBTスクレーパの熱負荷を軽減。

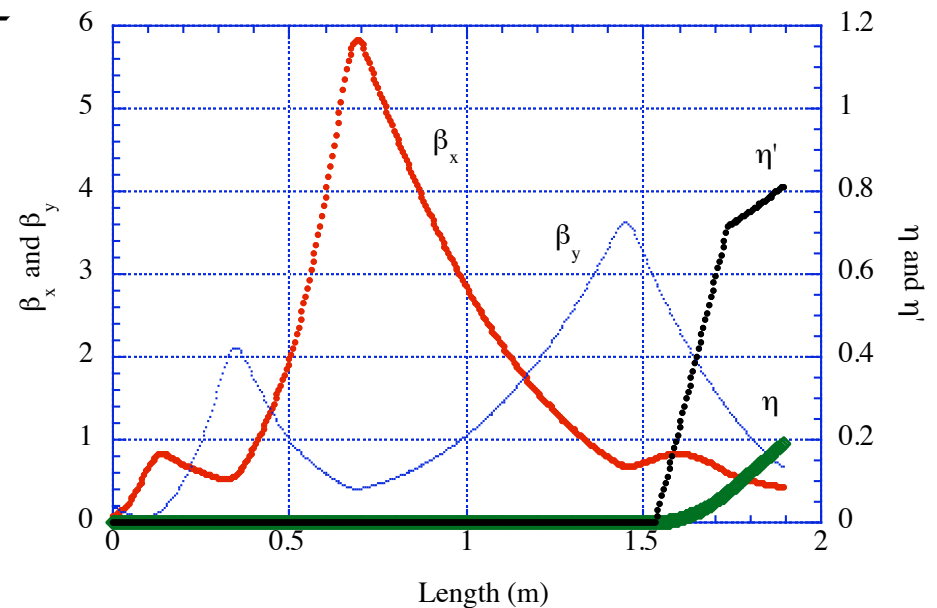
# Chopper + pre-chopper system

- Beam power on scraper: 800W
  - $3\text{MeV} * 50\text{mA} * 500\mu\text{s} * 25\text{Hz} * 0.44$
- Transient time
  - chopper 10 ns
  - pre-chopper 50 ns
- 70% decrease in scraper power is expected.
- プリチョッパーはエネルギー変調を利用している  
ので、過渡部分の位相が、チョッパーの許容範囲に入っているかどうか問題
  - ーーー>今後beam study

# 偏向電磁石を使った測定

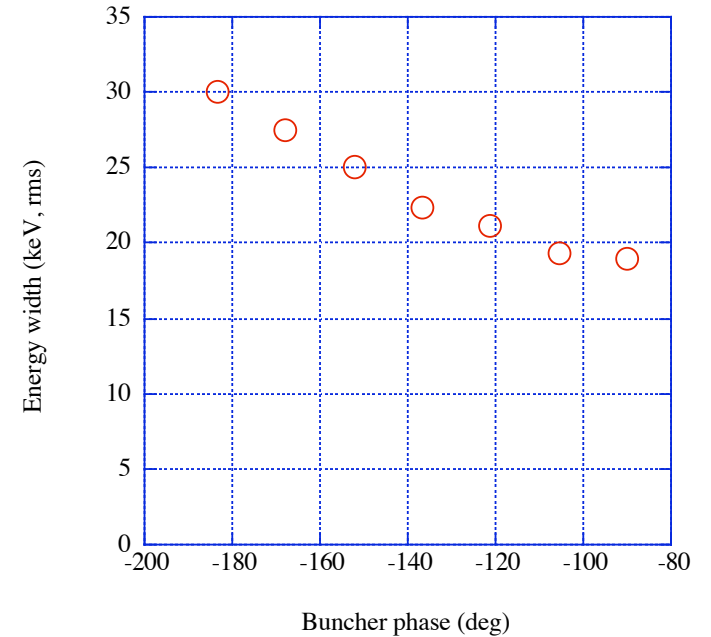
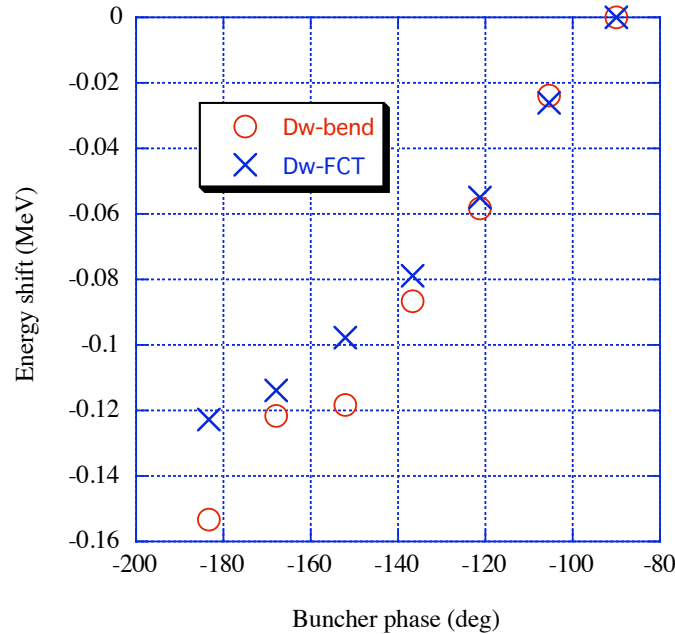
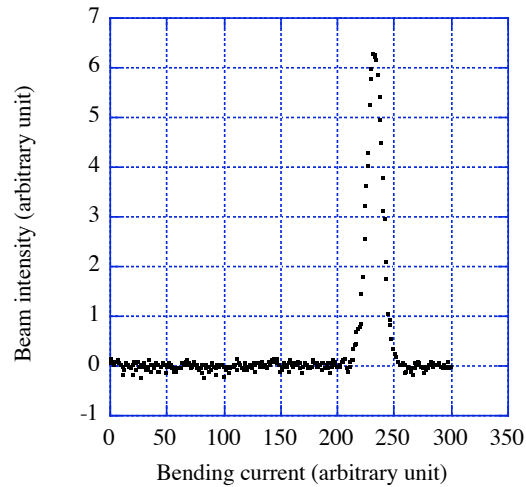
- エネルギー測定 (相対変化量)
- エネルギー幅測定 (相対変化量)
- 横エミッタンス測定
- ビーム種類測定

Ref:<http://jhfla.kek.jp/~kato/bendmeasure.pdf>



Example of bend beam-line parameters

# Energy and energy width



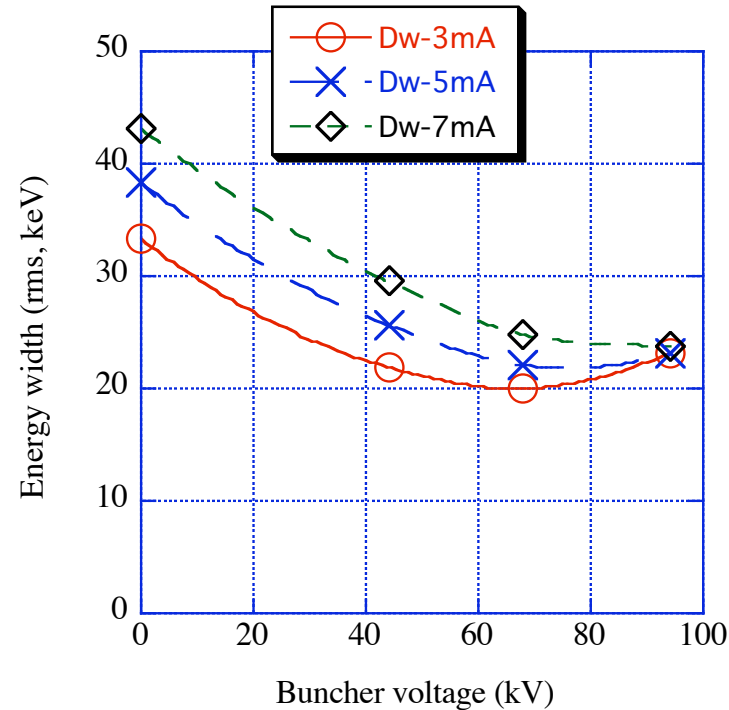
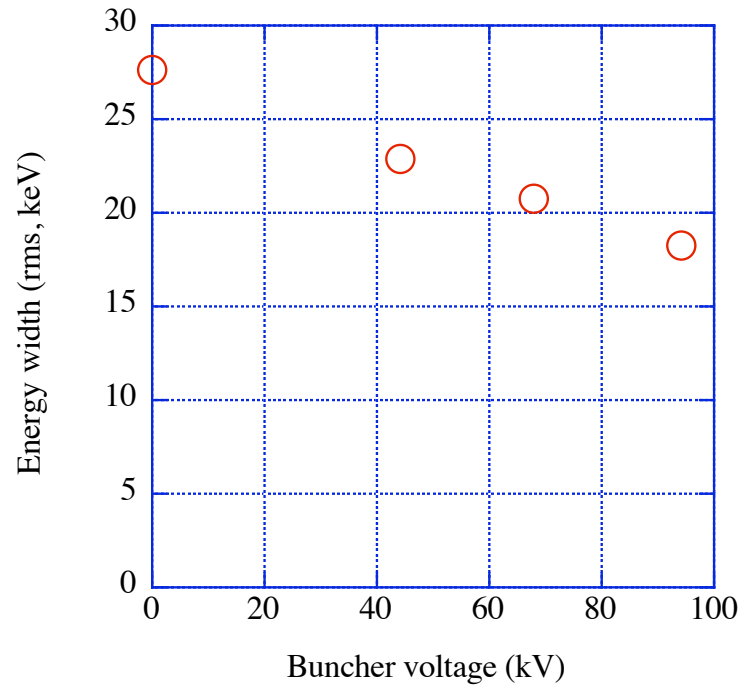
ベンド系測定  
データ

**Measured energy shift vs. buncher-1 phase. 23 mA. The energy shifts measured with two FCTs are also plotted.**

**Measured energy width. 23 mA.**



# Energy width vs. buncher voltage

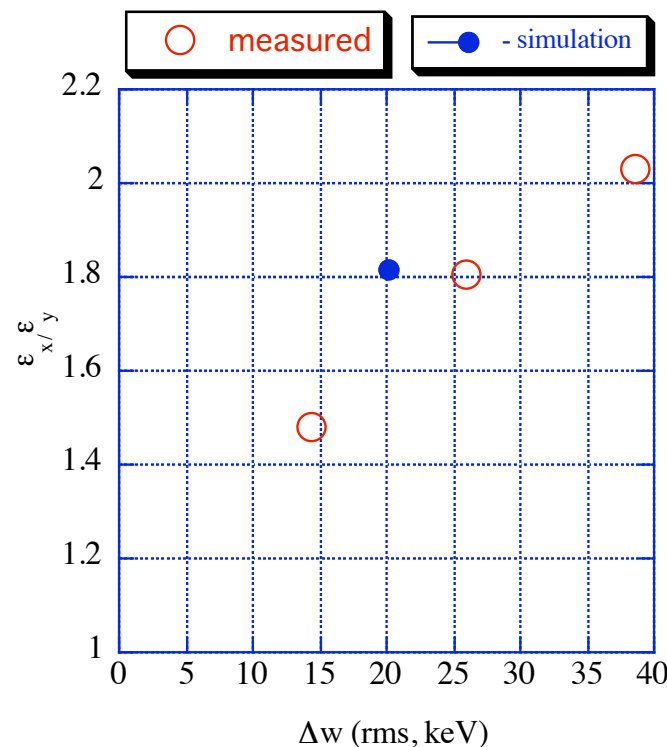
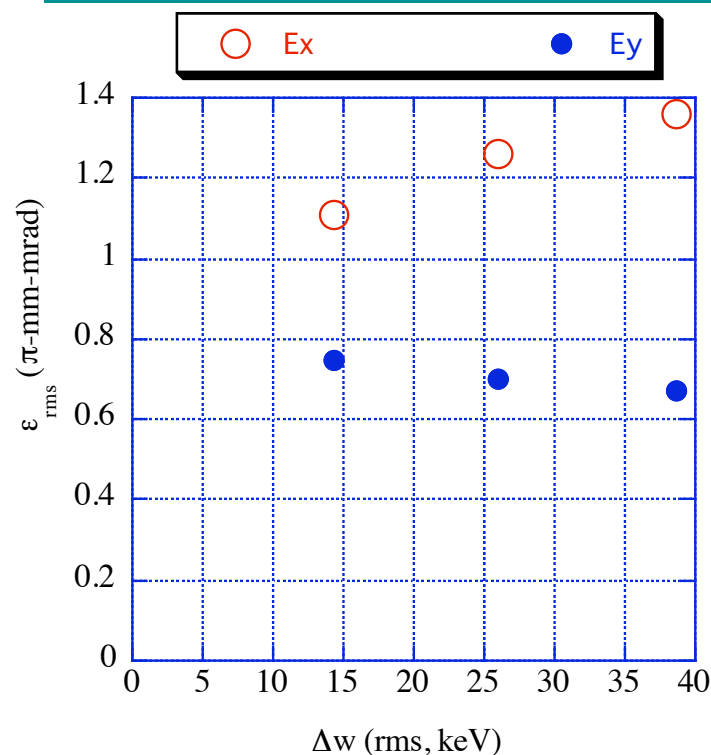


**Measured energy width vs. buncher voltage. 5 mA.**

エネルギー幅の計算値 (TRACE3D)。  
仮定：入射縦エミッタンスの大きさ、形。

TRACE3Dの仮定：一様分布。

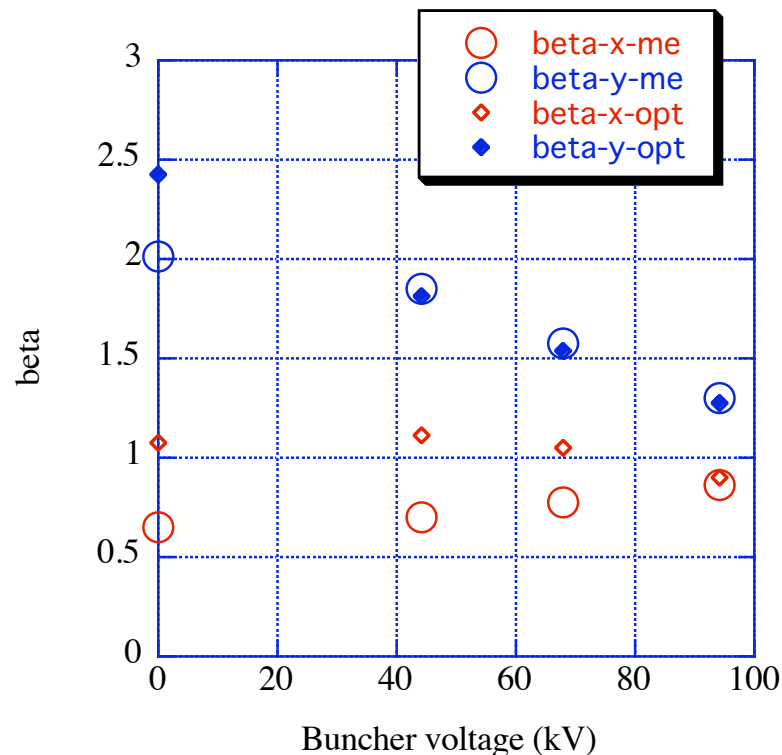
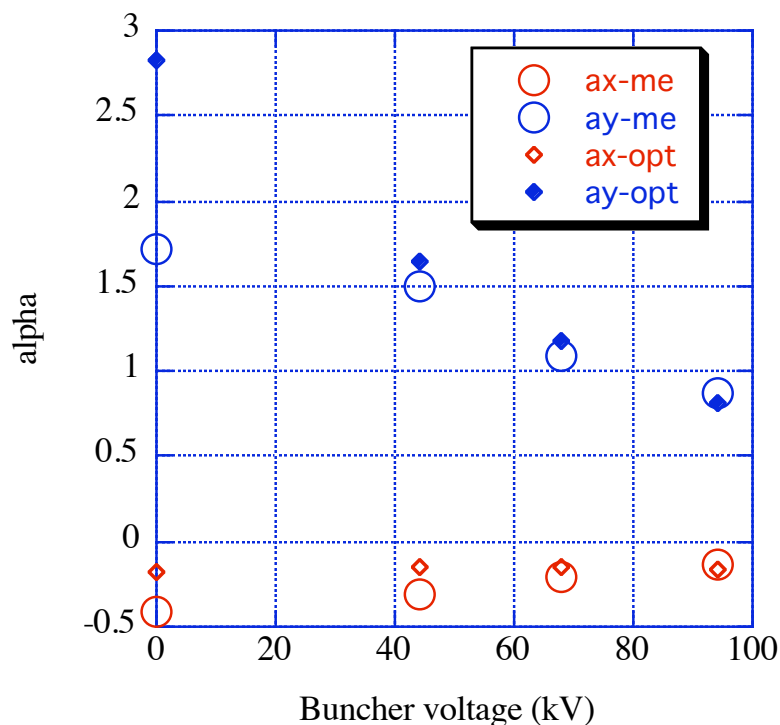
# Emittance measured in bend system



Bend系で測定した  $x$ ,  $y$  エミッタンス。  
バンチャー1電圧を変え、ビームのエネルギー幅を変化させて測定。21 mA。  
 $\epsilon_{rms}^{Ex}$ の増加はディスパージョンによる。  
 $\epsilon_{rms}^{Ey}$ の変化は、空間電荷効果とバンチャー電圧による。

左図データの  $\epsilon_{rms}^{Ex} / \epsilon_{rms}^{Ey}$  を図示。  
図中の青塗り丸印は、1年前のstudy提案書内の計算値。

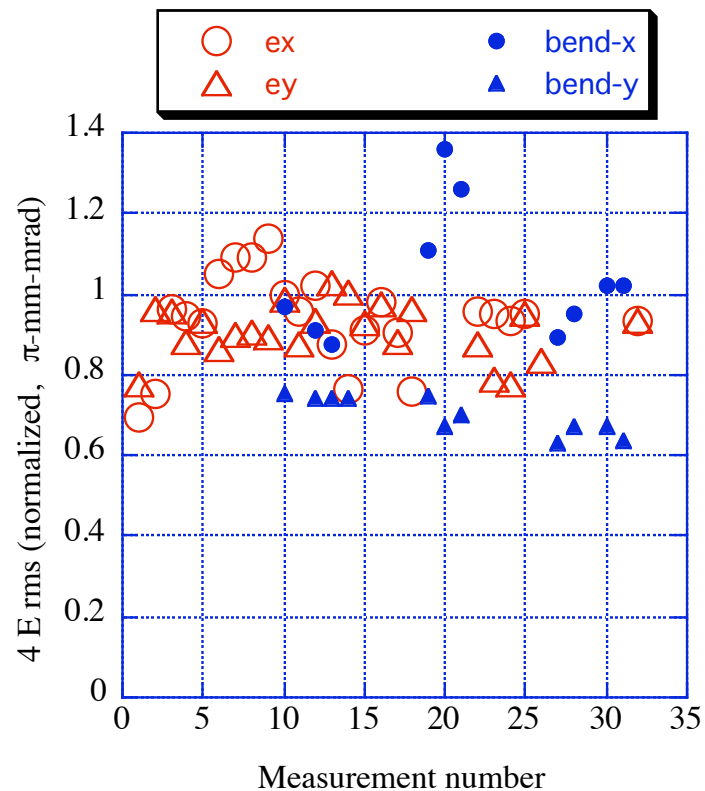
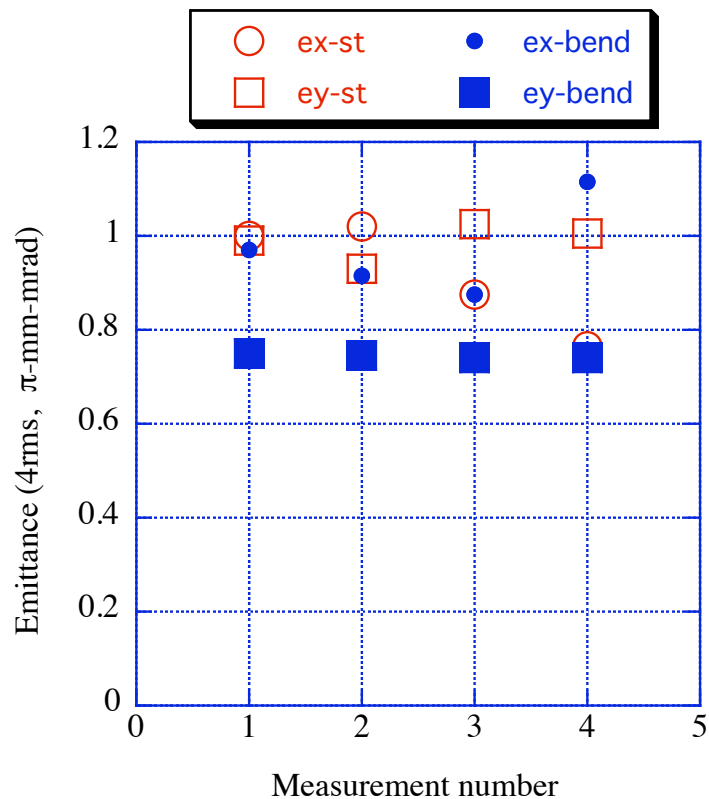
# Bend twiss parameters (measured vs. calculation)



Bend 系の twiss parameter  $\alpha$  のバンチャー電圧に対する変化:  
me=measurement, opt=calculation

Bend 系の twiss parameter  $\beta$  のバンチャー電圧に対する変化:  
me=measurement, opt=calculation

# Emittance in bend and straight lines



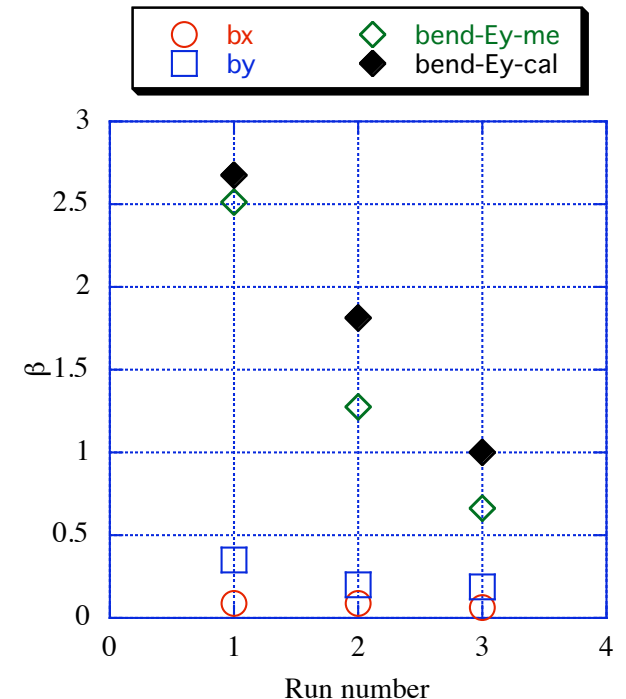
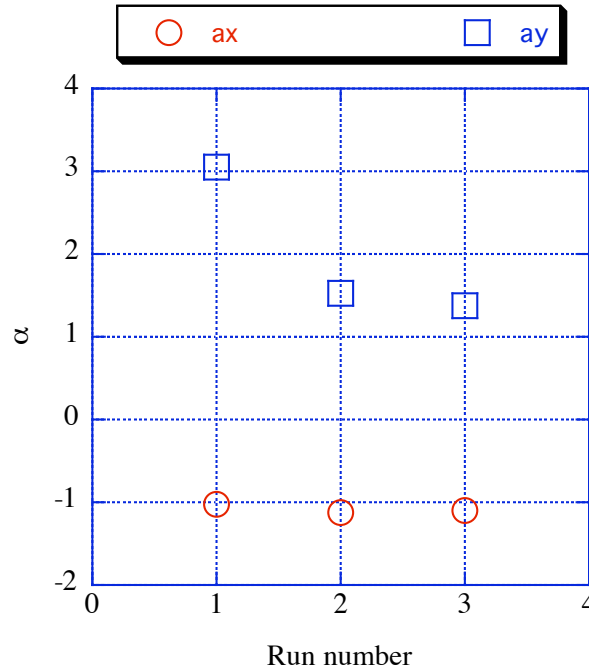
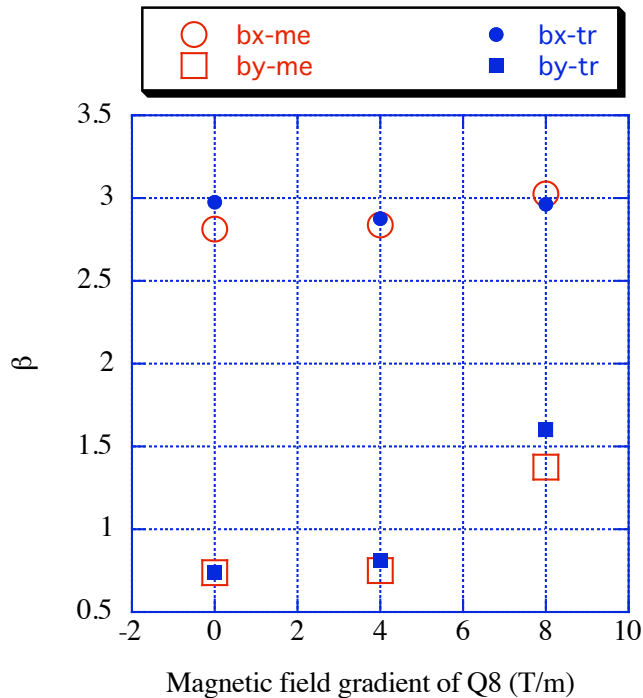
収束磁石を変化させた時のベンド系と直線系の横エミッタンス測定結果。21 mA。

JPL

2002. 6-7月の測定エミッタンス (ベンド系 (青、塗りつぶし) と直線系 (赤))

# Twiss parameters

(comparison between measured and TRACE3D cal.)



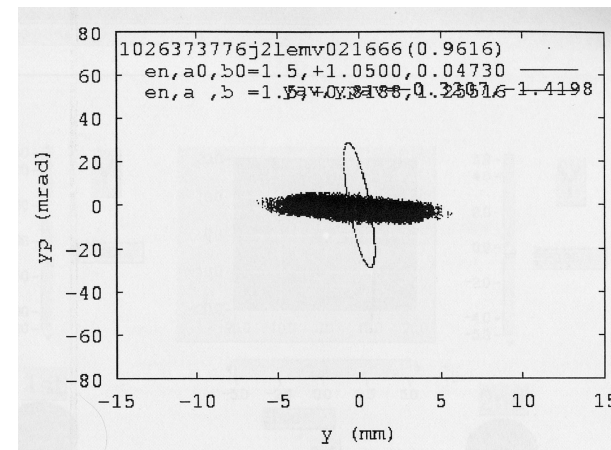
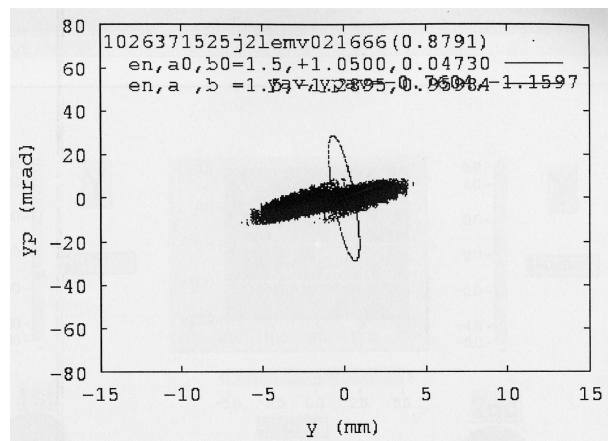
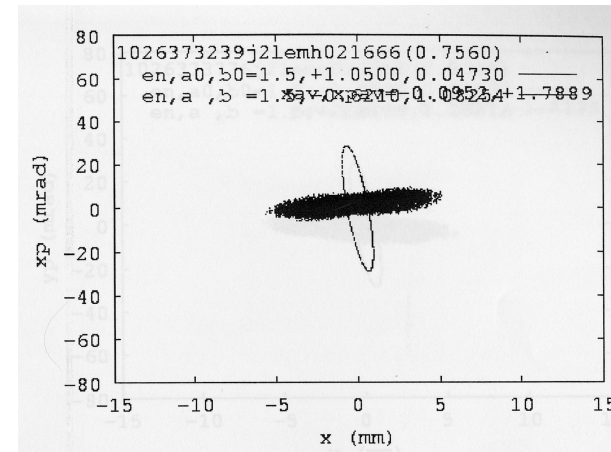
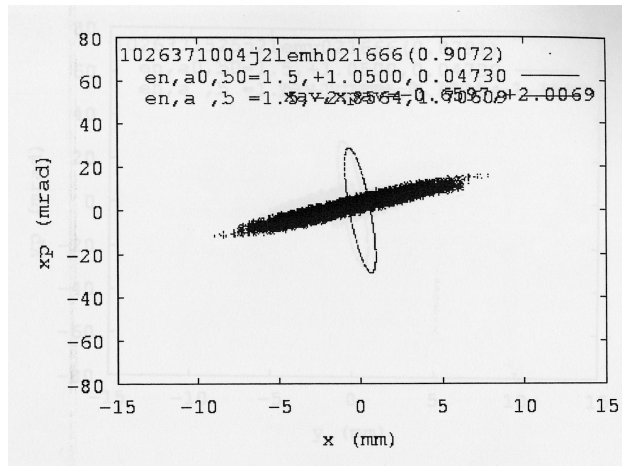
直線部の最後の磁石を大きく変化させた時の twiss parameters の測定値と計算値、21mA。

JPL

磁石を変化させたエミッタンス測定から、入射ビームの  $\alpha$  を計算。一定になるはず。

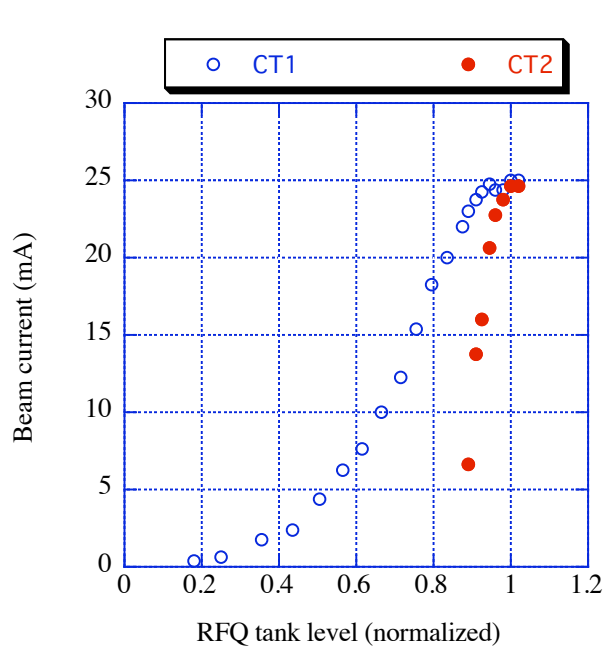
磁石を変化させたエミッタンス測定から、入射ビームの  $\beta$  を計算。更に、その値を使用して bend 測定 of  $\beta$  を計算して、測定値と比較。

# MEBTのエミッタンス測定

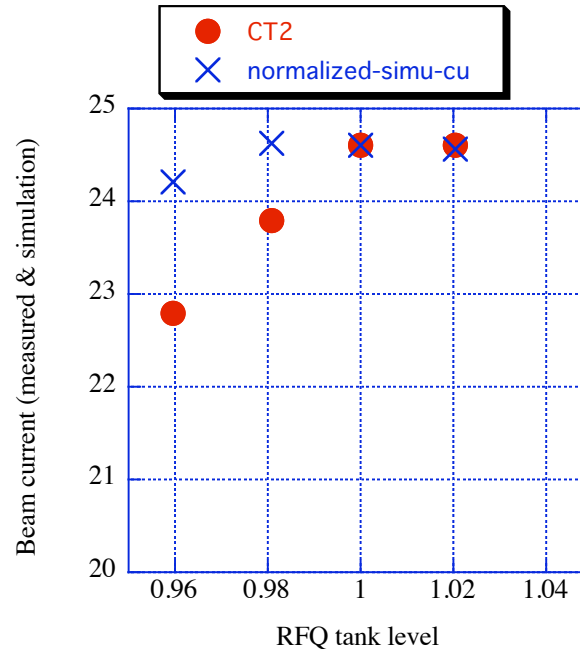




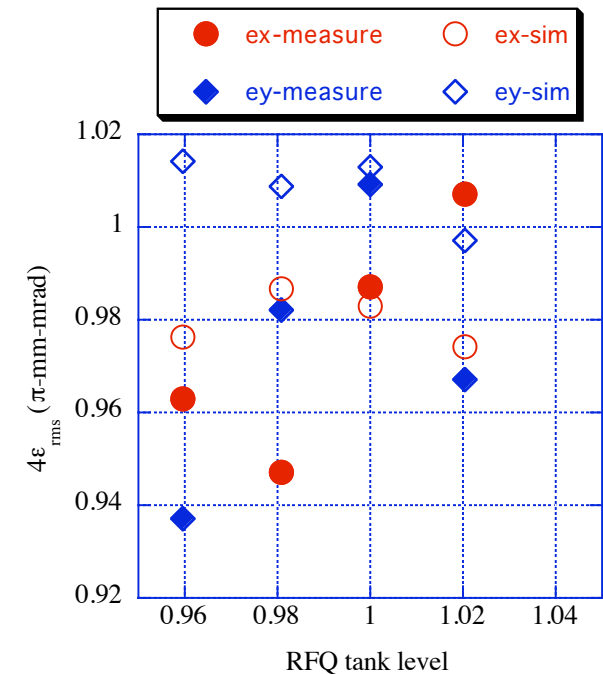
# RFQ beam



**Beam current by CT1 and CT2 vs. RFQ relative tank level.**



**Measured CT2 and simulation results (by Kondoh) vs. RFQ tank level.**



**Measured (after MEBT) and simulation emittances (by Kondoh) vs. RFQ tank level.**

# RFQとMEBTの整列

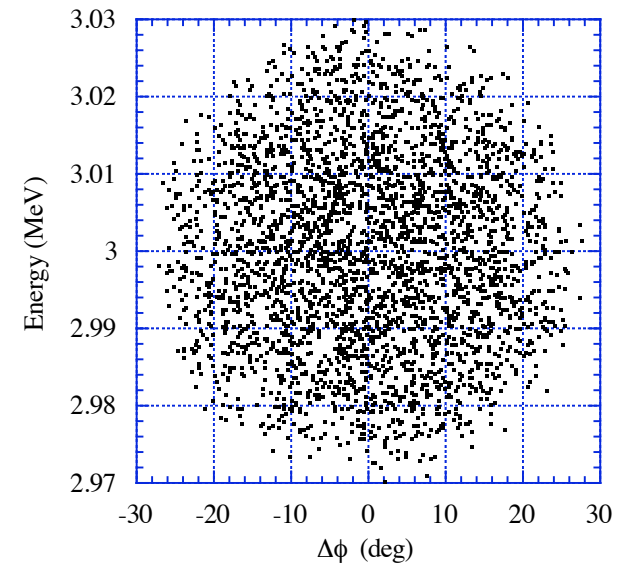
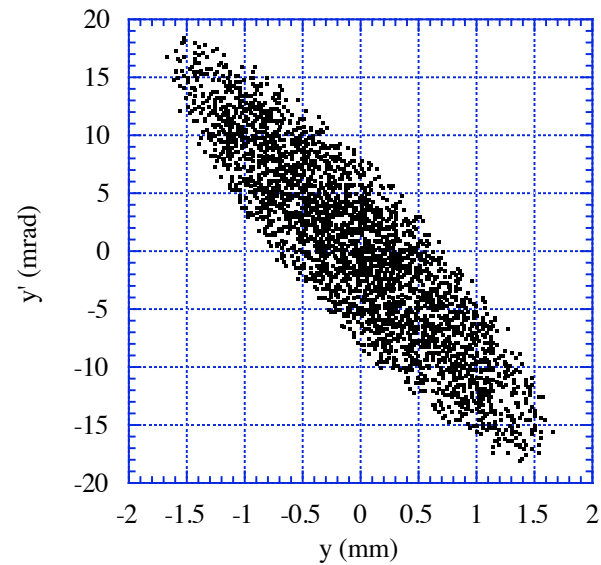
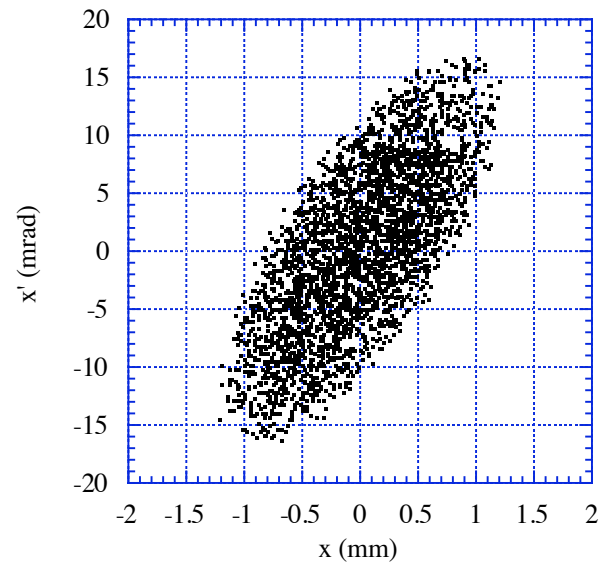
steering	off	on	
Beam transmission	93.1	98.4 *	%
Ex(4rms)	0.98	0.91	$\pi$ -mm-mrad
Ey(4rms)	0.97	0.88	$\pi$ -mm-mrad

\* CT1 に50 KeV  
ビームが含まれ  
ているので、正  
確ではない

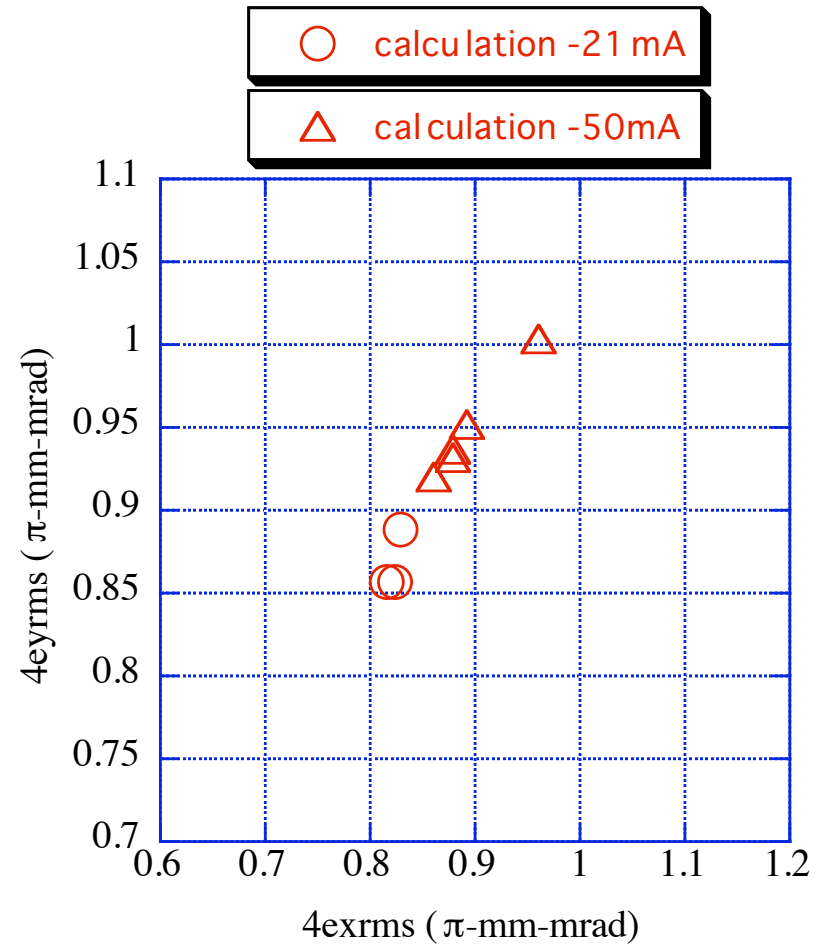
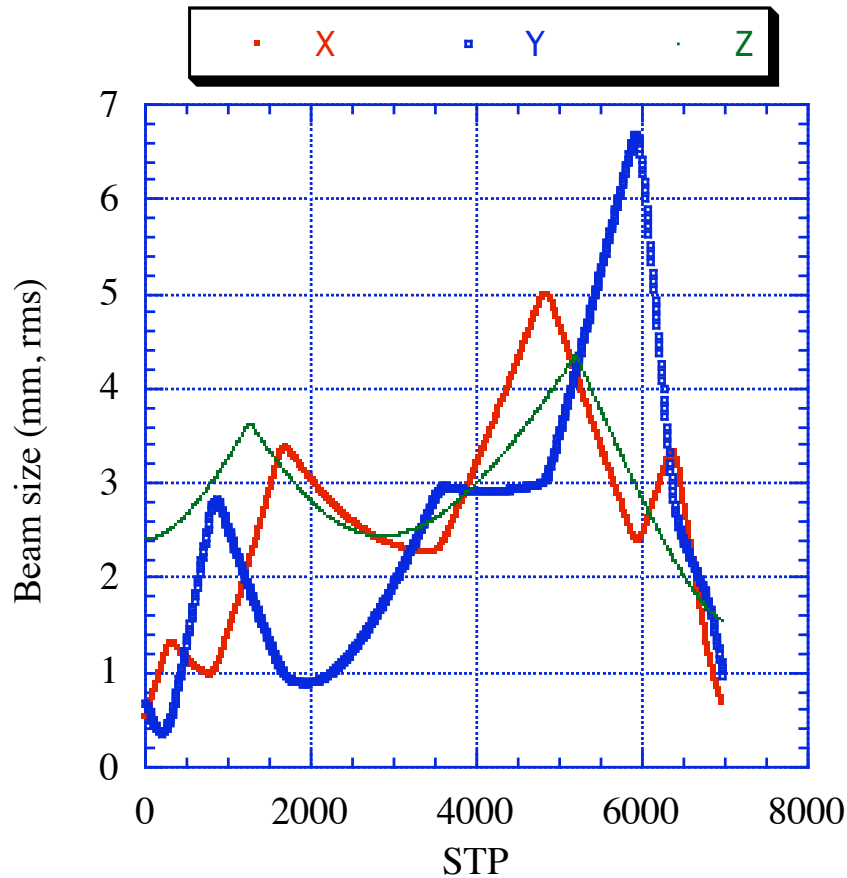
Steering ON: MEBTの第1磁石 Q1において y 方向へ約 2.8 mrad偏向

例えば、入射エラー  $\Delta y = -0.1\text{mm}$ ,  $\Delta y' = 1.5\text{ mrad}$  が想定できる

# MEBT simulation: 3 MeV入射ビーム



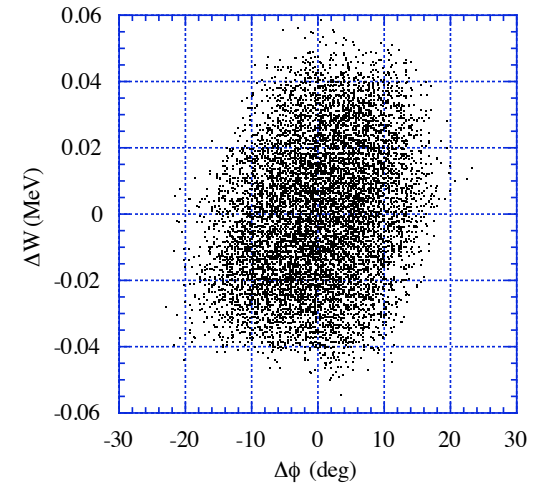
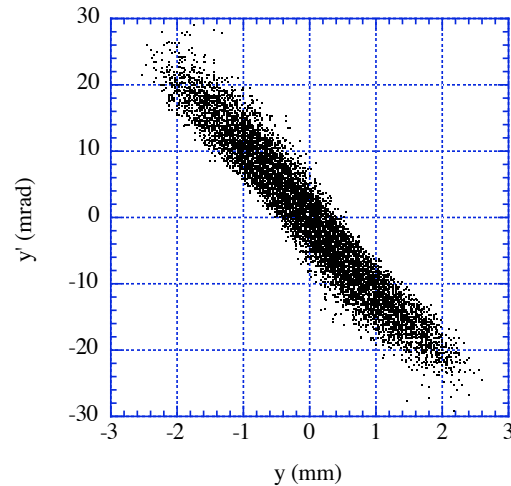
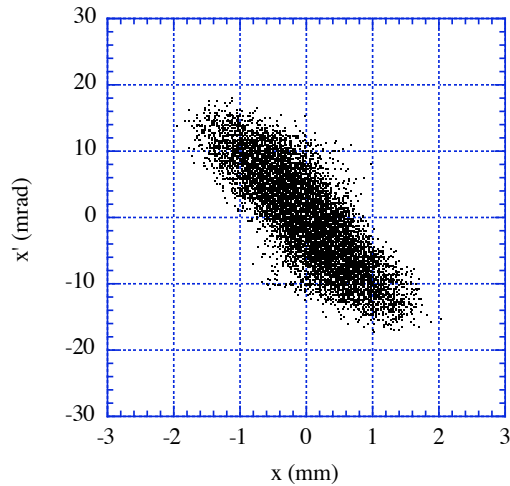
# MEBT計算結果 (1)



LINSACmebt計算時のビームサイズの変化

BTパラメータを変えた計算結果の例

# MEBT計算結果 (2)



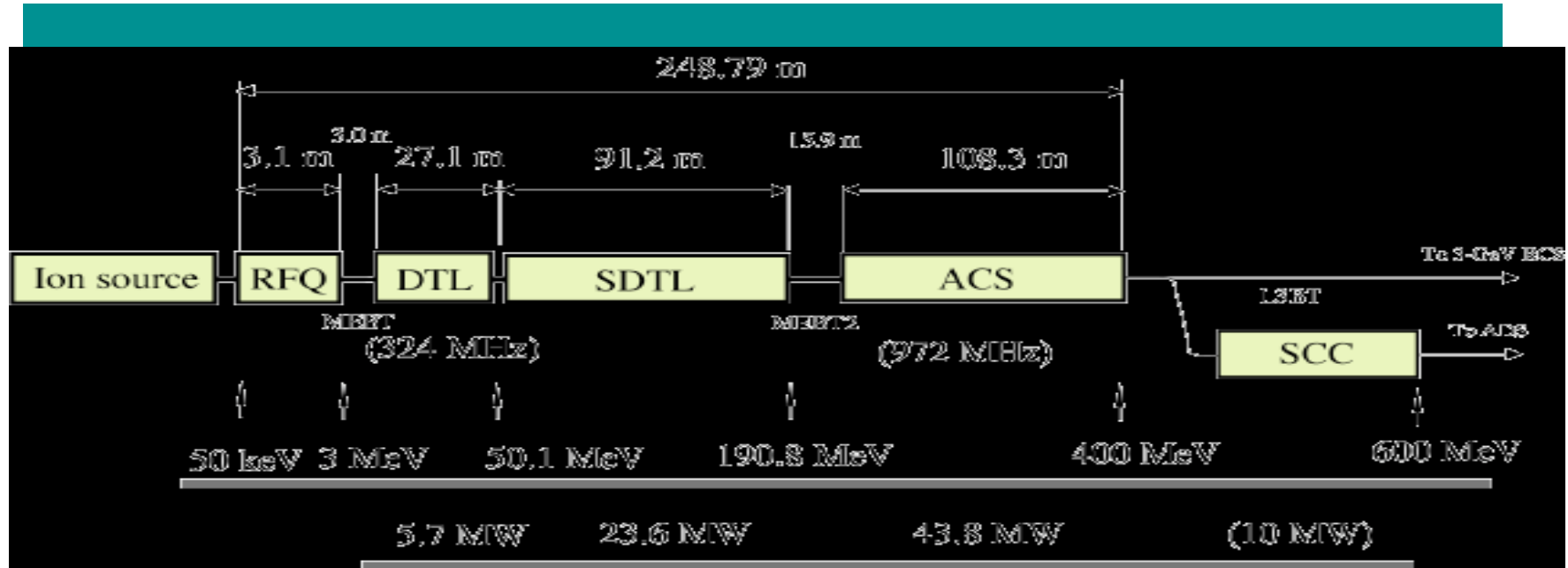
	Rms	90%	99%	$\pi$ -mm-mrad, 9600 粒子
Ex in	0.198	0.806	1.06	
Ex out	0.222	0.947	1.73	
Ey in	0.201	0.818	1.08	
Ey out	0.233	0.997	1.84	

# MEBT - まとめ

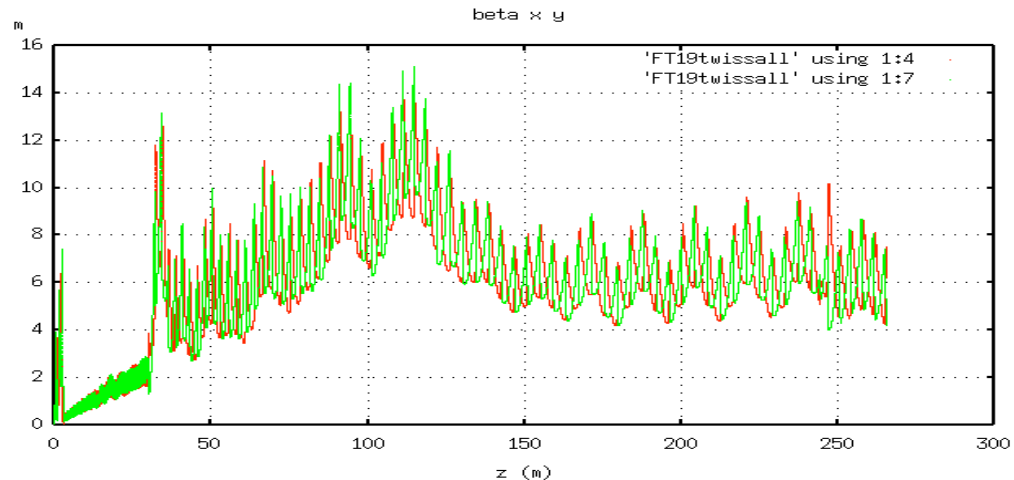
- ・ 実験、計算とも、同程度のエミッタンス増加
- ・ 測定エミッタンス形状に特に問題はないが、チューニングによっては、filamentationがみられる
- ・ 計算エミッタンスには、わずかのfilamentationが認められるが、それ以降の計算結果から判断して、支障ではない
- ・ 測定したchop beam の立ち上がりがよいので、以前に評価した不安定粒子の割合は改善される可能性がある



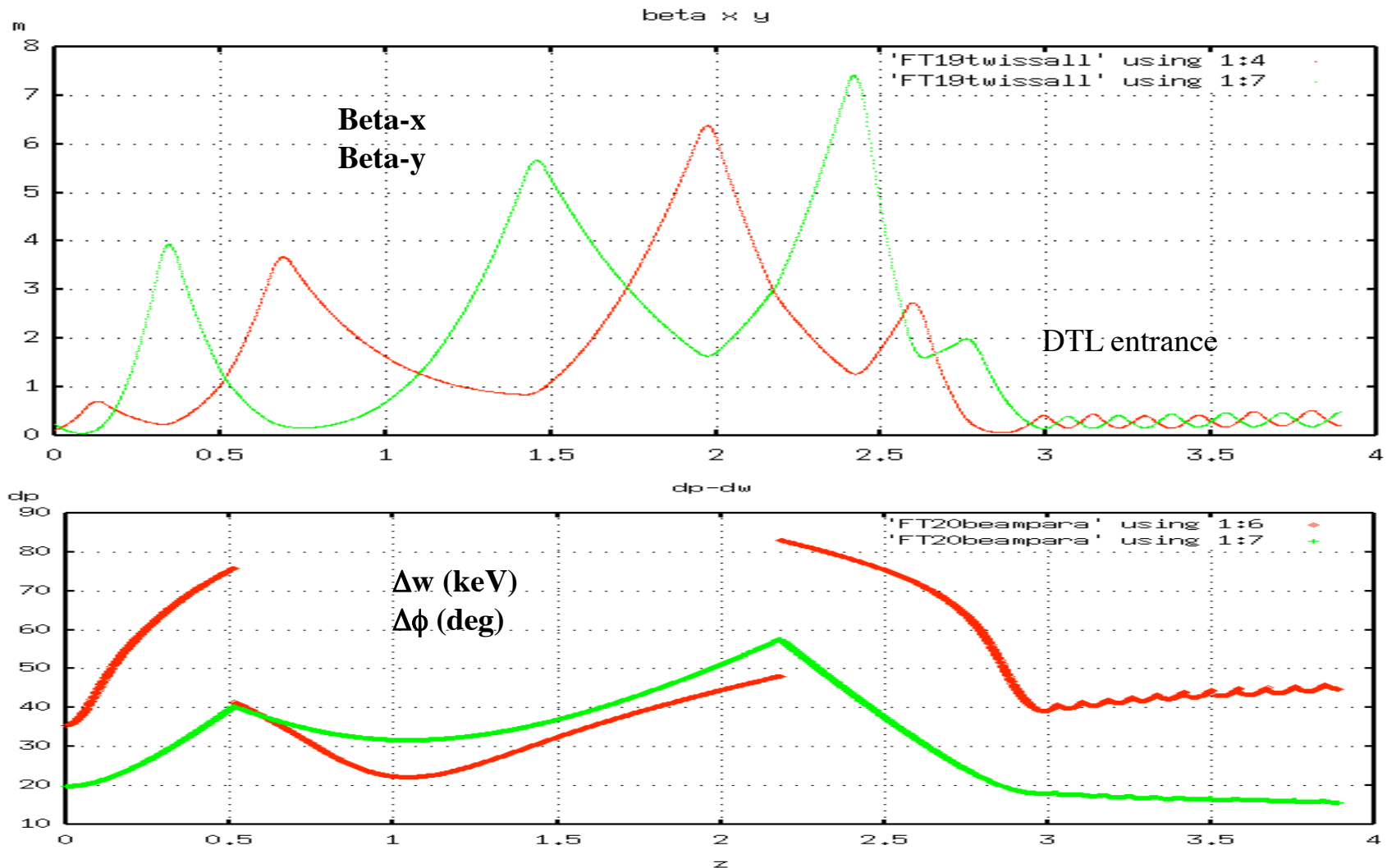
# 400-MeV Linac layout



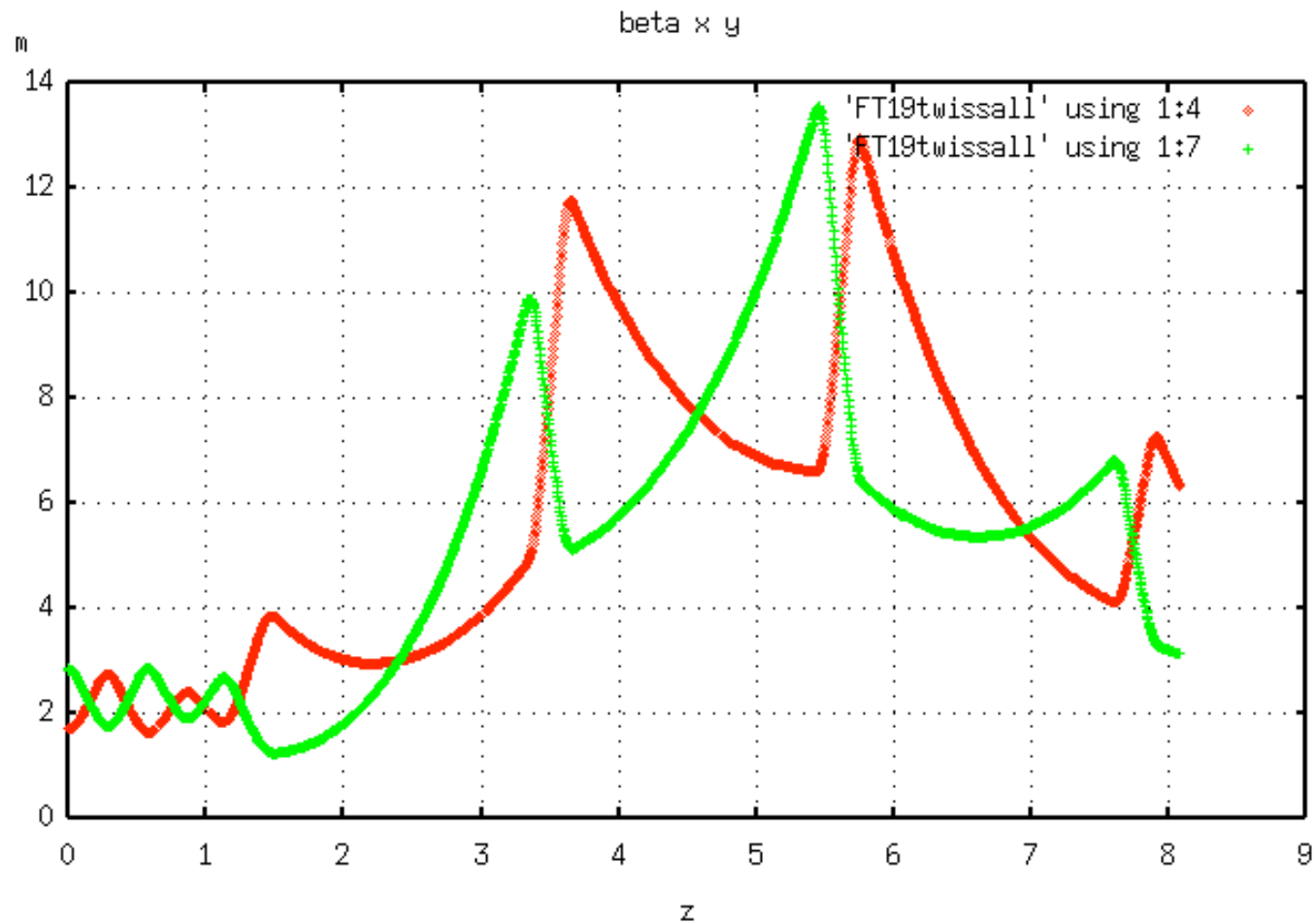
$\beta$  - function  
 200 MeV version  
 MEBT-DTL-SDTL-A0BT



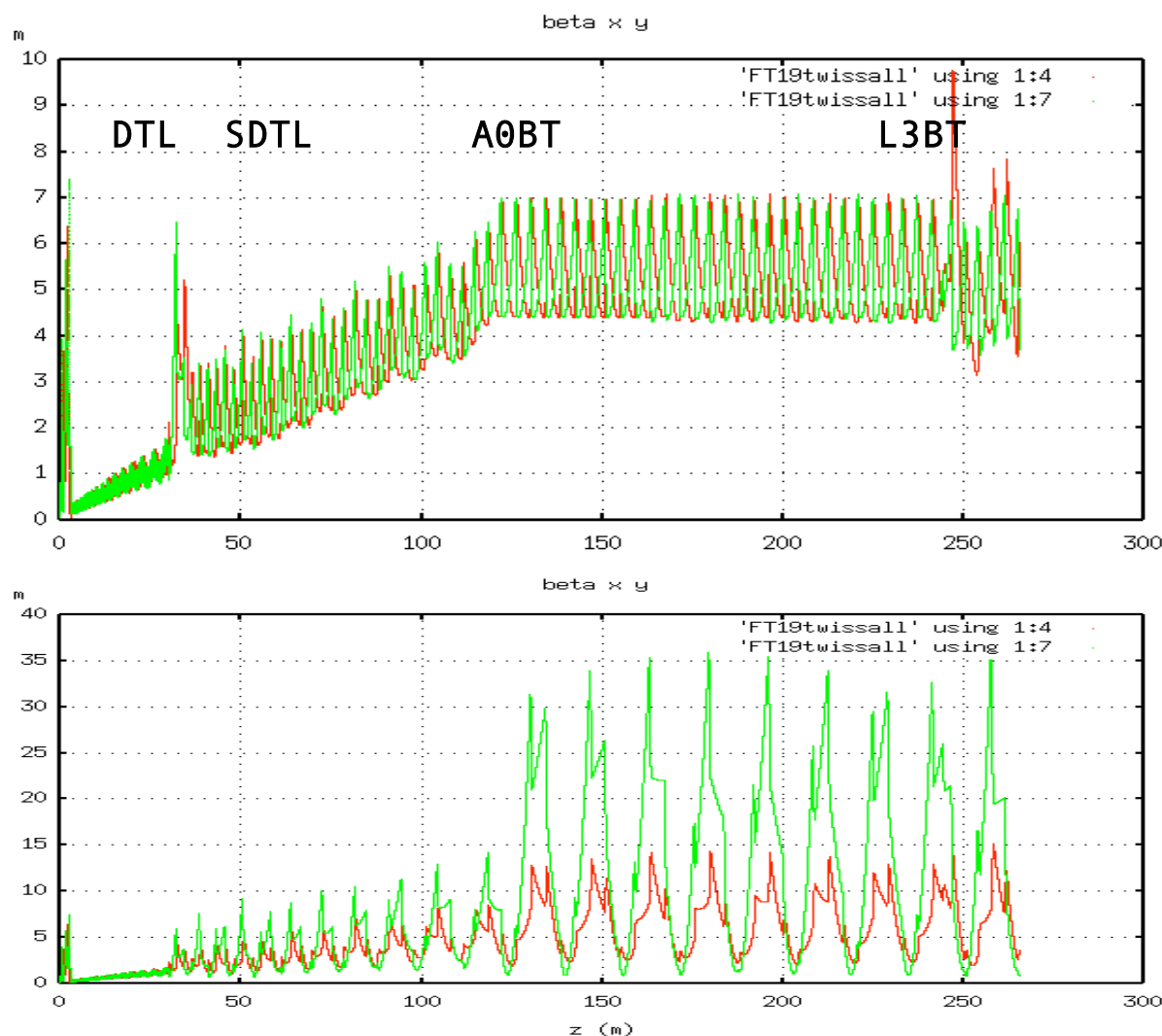
# Matching section (1) MEBT-DTL



# Matching section (2) DTL-SDTL



# Commissioning beam: 3 MeV



下図と比べた時の修正点：

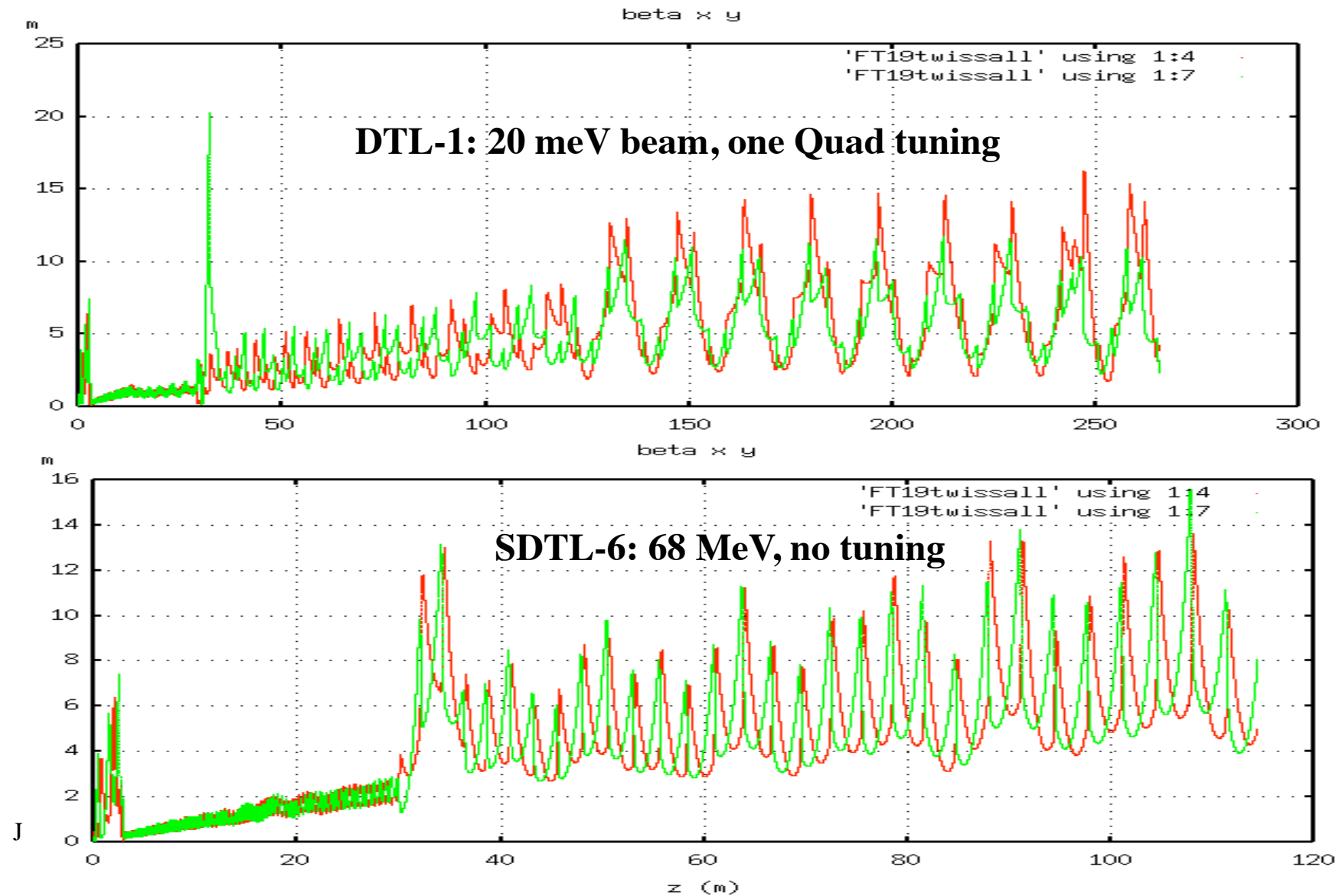
- 1) DTL-SDTLマッチング部を修正
- 2) SDTL-A0BT部は $\beta\gamma$ に従う値に戻し、更にわずかに修正。
- 3) L3BT入射部は修正していないので、ミスマッチが認められる。

50 mAビーム用の磁場設定を $\beta\gamma$ の比に従って磁場を変化。従って、

- 1) マッチングセクション、
- 2) 加速からBTに変わるA0BT入口(空間電荷効果の変化が大きい)ではミスマッチが大きい。

電流：50 mA

# Commissioning beam: 20 MeV, 68 MeV

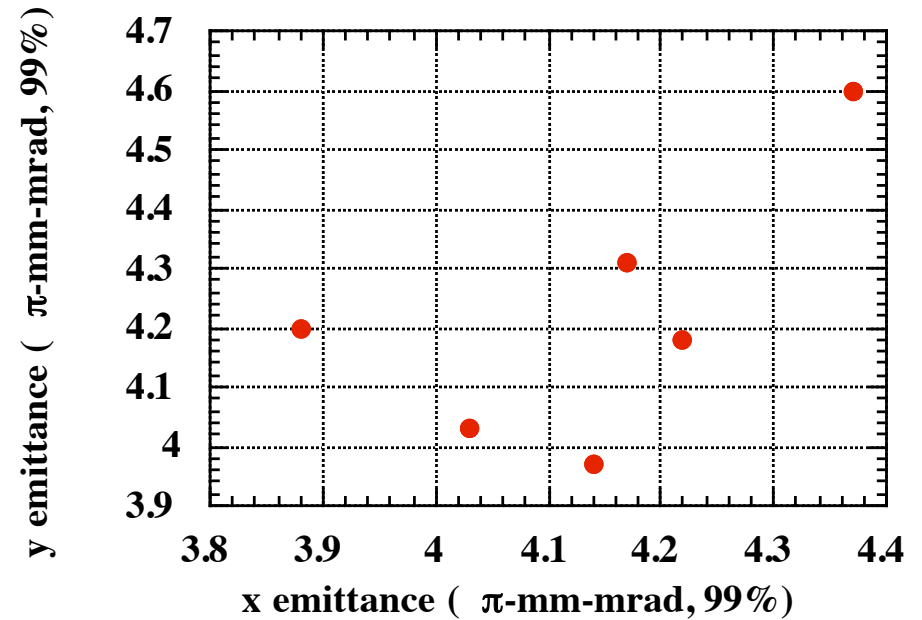
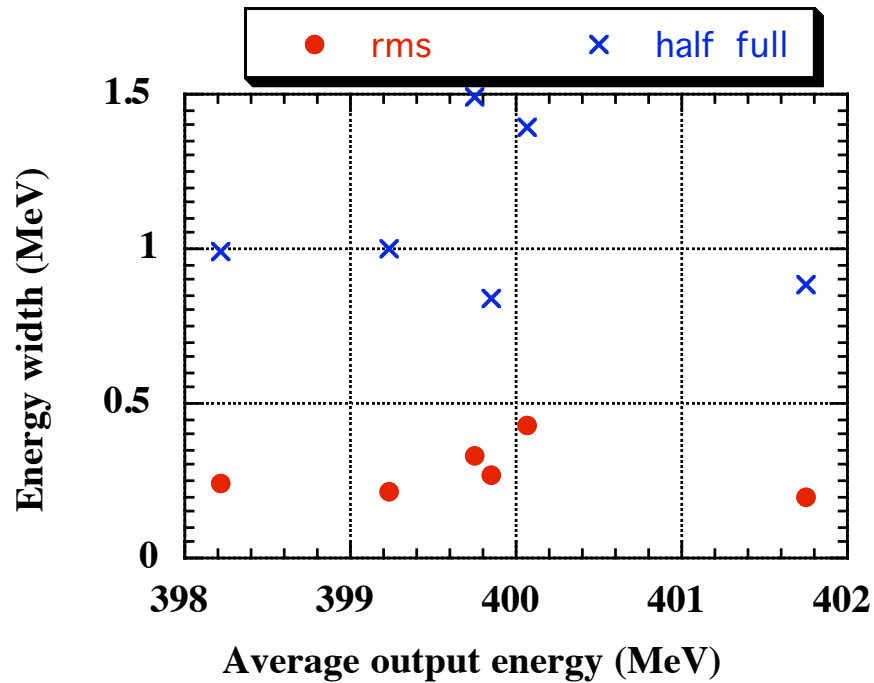


# Simulation (400 MeV)

- 3200 & 9600粒子
  - エラーなし
  - エラー 1
    - 電場エラー  $\pm 1\%$ 、 $\pm 1$ 度、磁石変位  $\pm 0.05$  mm
  - エラー 2
    - 電場エラー  $\pm 1\%$ 、 $\pm 1$ 度、磁石変位  $\pm 0.1$  mm
  - MEBT - ACS - L3BT (arc2まで)
- LINSAC code

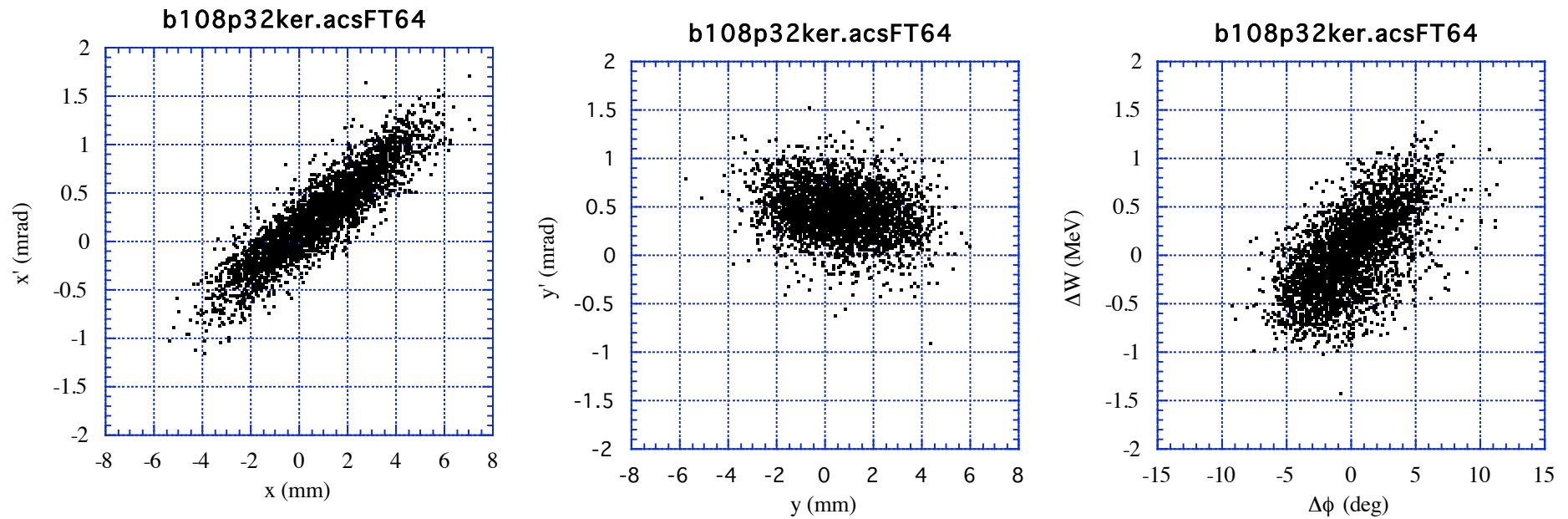


# エラー分布の効果



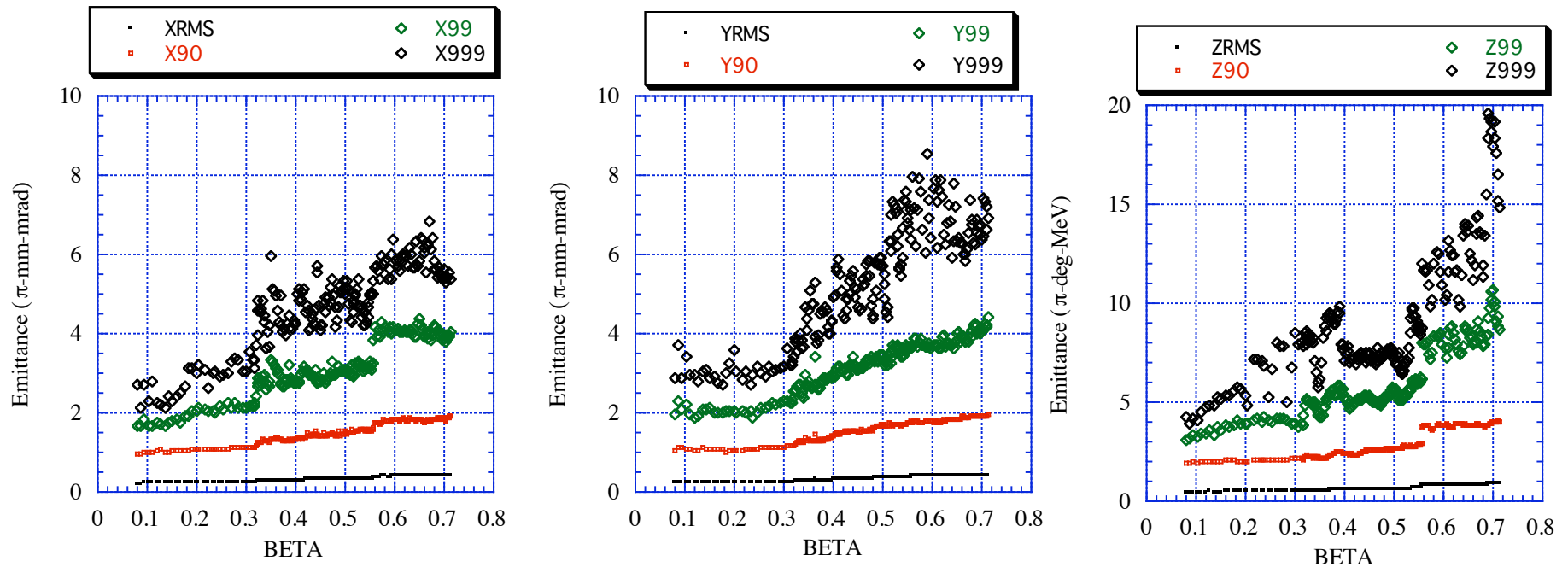
加速電場  $\pm 1\%$ , 1度のエラー (DTL, SDTL, ACS)、磁石 $50\mu\text{m}$ 、ACSエラーの分布だけ変えた場合の計算結果

# ACS 出力エミッタンス



エラー 1, 3200粒子

# エミッタンス増加



エラー 1, 3200p, MEBT-DTL-SDTL-MEBT2-ACS

不十分な点 : MEBT2の調整、transitionでのマッチング、バンチャー、チョッパー用のコード部分の改良

# エミッタンスのまとめ (ACS出口まで)

	$\pi$ -mm-mrad						$\pi$ -MeV-deg MeV MeV				
	xrms	x90	x99	yrms	y90	y99	zrms	z90	z99	dWrms	dWmax
<b>INPUT</b>	<b>0.199</b>	<b>0.814</b>	<b>1.06</b>	<b>0.201</b>	<b>0.816</b>	<b>1.09</b>					
<b>3200粒子</b>											
<b>a107no-error</b>	<b>0.371</b>	<b>1.63</b>	<b>3.35</b>	<b>0.390</b>	<b>1.71</b>	<b>4.10</b>	<b>0.874</b>	<b>3.80</b>	<b>8.81</b>	<b>0.258</b>	<b>1.18</b>
<b>b108 error-1</b>	<b>0.416</b>	<b>1.93</b>	<b>4.03</b>	<b>0.434</b>	<b>1.95</b>	<b>4.40</b>	<b>1.01</b>	<b>4.42</b>	<b>9.52</b>	<b>0.427</b>	<b>1.39</b>
<b>b113 error-2</b>	<b>0.500</b>	<b>2.28</b>	<b>4.74</b>	<b>0.522</b>	<b>2.41</b>	<b>5.12</b>	<b>1.28</b>	<b>5.57</b>	<b>14.8</b>	<b>0.314</b>	<b>1.35</b>
<b>9600 粒子</b>											
<b>a109 no-error</b>	<b>0.391</b>	<b>1.75</b>	<b>3.86</b>	<b>0.388</b>	<b>1.72</b>	<b>3.81</b>	<b>0.886</b>	<b>3.89</b>	<b>9.07</b>	<b>0.258</b>	<b>1.17</b>

JPL

**Error-1:  $\pm 1\%$ ,  $\pm 1\text{deg}$ ,  $\pm 0.05\text{ mm}$  Error-2:  $\pm 1\%$ ,  $\pm 1\text{deg}$ ,  $\pm 0.1\text{ mm}$**

# シミュレーション&コード

- ・ **まだチューニングは不十分**
  - 今回の結果は、時間の制約からLINSAC を使ったチューニング作業をしていない
    - ・ 入射チューニング
    - ・ 収束系のチューニング
- ・ **LINSACmebt**
  - デバンチャー&バンチャー部分の加速ギャップは1ギャップによる一定の電圧を使用していたが
  - ACS空洞タイプを使用した結果との比較をみると、10%程度、縦エミッタンスが増加している事が判明
- ・ **並列化の促進**    x 8, X 1 6, X 3 2

# Simulation code for proton linac

## Availability of input files:

	<b>MEBT1</b>	<b>DTL</b>	<b>SDTL</b>
<b>PARMILA</b>	<b>Ready</b>	<b>Preparing</b>	<b>Ready</b>
<b>IMPACT</b>	<b>Ready</b>	<b>Preparing</b>	<b>Ready</b>
<b>LINSAC</b>	<b>Ready</b>	<b>Ready</b>	<b>Ready</b>

	<b>MEBT2</b>	<b>ACS</b>	<b>L3BT</b>
<b>PARMILA</b>	<b>Ready</b>	<b>Ready</b>	<b>Ready</b>
<b>IMPACT</b>	<b>Ready</b>	<b>Ready</b>	
<b>LINSAC</b>	<b>Ready</b>	<b>Ready</b>	<b>Ready</b>