

# 7.7pC運転(2015年5月～6月期)報告

2015年7月8日(水)

第97回ビームダイナミクスWGミーティング

宮島 司、本田 洋介、島田 美帆、高井 良太、帯名 崇、  
加古 永治、阪井 寛志、梅森 健成、  
山田 浩気(NAT)、沼田(NAT)、浅川(NAT)

# 報告内容

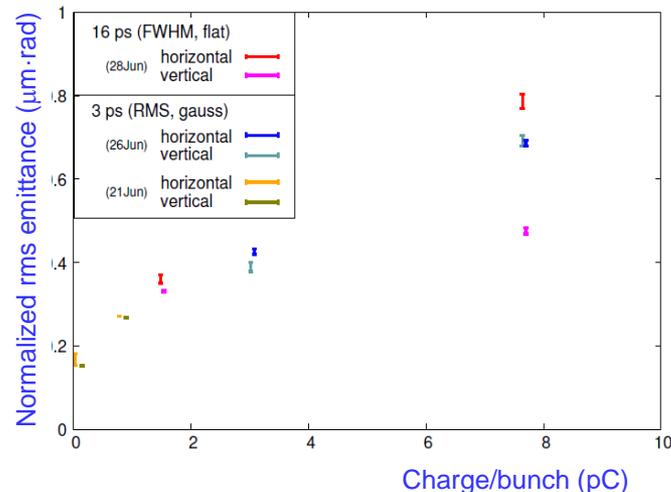
1. これまでの7.7 pC運転と今期の目標
2. 運転予定案と実際の運転経過
3. 入射器エネルギー増強
4. 低エネルギー領域のプロファイル非対称性
5. 入射器で加速後のビーム状態
6. 入射器空洞でのフィールドエミッション増加
7. 入射器エネルギー低減
8. 2.9 MeV入射での7.7 pCバンチ輸送
9. 今後の対策
10. まとめ

# これまでの7.7 pC運転

- 2013年6月
  - 入射器単体(5.6 MeV)、診断部輸送
  - 規格化エミッタンス(測定値): 0.8 mm mrad以下

規格化エミッタンスの測定結果 ( $\varepsilon_{nx} / \varepsilon_{ny}$ ), 単位 mm mrad

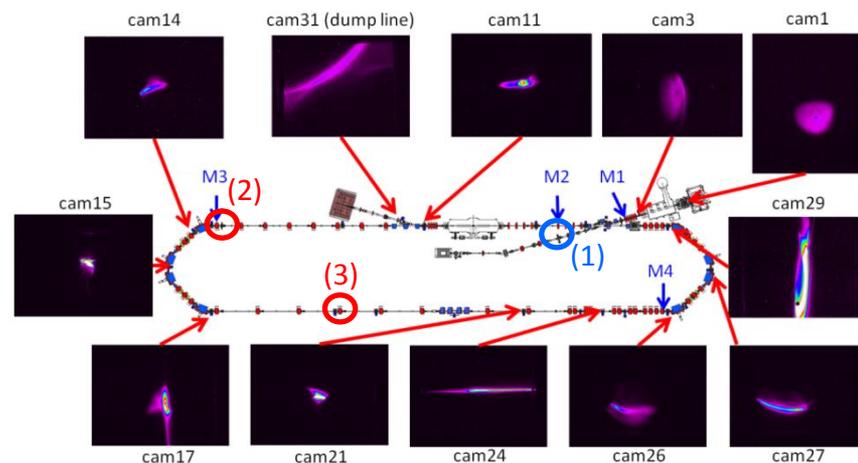
運転モード	(1)入射器 診断部
7.7 pC(短パルス)	0.8 / 0.5
7.7 pC(長パルス)	0.7 / 0.7



- 2014年6月
  - 入射器(2.9 MeV)、周回部(20 MeV)、周回部輸送
  - 規格化エミッタンス(測定値): 2.4 – 5.8 mm mrad

規格化エミッタンスの測定結果 ( $\varepsilon_{nx} / \varepsilon_{ny}$ ), 単位 mm mrad

運転モード	(1)入射器 診断部	(2)主空洞 出口	(3)第一 アーク後
20 fC	-	0.14 / 0.12	0.14 / 0.14
7.7 pC	2.5 / 2.9	2.9 / 2.4	5.8 / 4.6



# 2015年3月の7.7 pC運転

- 目的:
  - 7.7 pC/bunch(ピーク電流 10 mA相当)において、エミッタンス低減を図りたい
- 現状:
  - 入射器診断ライン < 0.8 mm mrad (Inj: 5.6 MeV)
  - 周回部: < 5.8 mm mrad(Inj: 2.4 MeV, Circ: 20 MeV)
- エミッタンスを増大させる原因の可能性
  - X-Y平面のプロファイルの非対称(空間電荷によってプロファイルが増大した結果、プロファイルが歪む?)
  - RF空洞による進行方向のX-Y面への射影(RF空洞の中心を通過しないと、射影が生じる)
- 今回は、まずX-Y面のプロファイルの非対称性の原因を探したい
- 方法: シングルキック応答を取る(入射器空洞手前の領域: 電子銃収束力、補正コイル、バンチャー空洞、ソレノイド) ⇒ 軌道中心からずれたところで線形からずれたキック力が生じていないか?
- 他には、レーザープロファイルの一様性も確認していきたい(これは、バンチ電荷を上げるときでOK)
- 初期レーザーパルス長は 3 ps gaussianで調整する(これで、ある程度モデルと実験を合わせられるようになってきたら、スタッキングを行って長いレーザーパルスにする)
- 2015年3月17日に実施

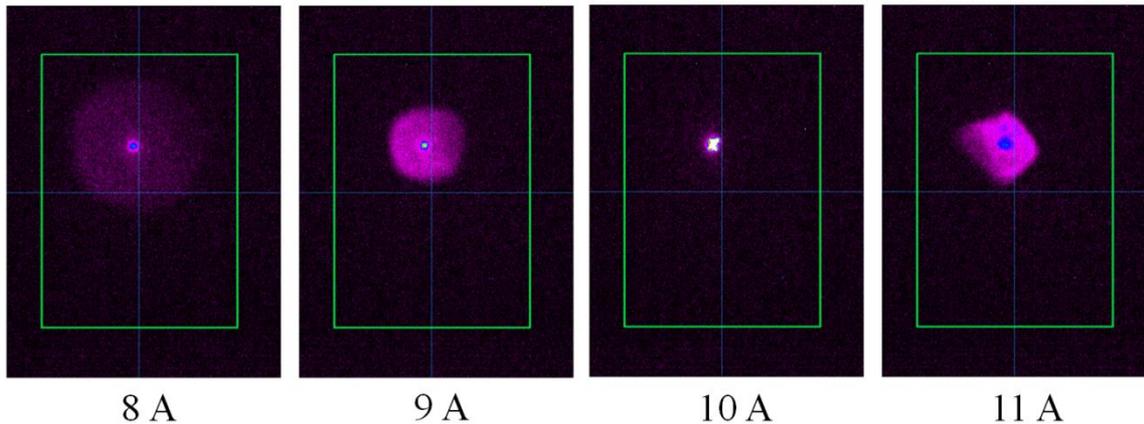
# 2015年3月の7.7 pC運転

- 2015年3月30日に実施
- ピーク電流 10 mA相当 (バンチ電荷 7.7 pC) で入射器5 MeVビームを診断ラインに輸送
- 以前は初期レーザーパルス長を伸ばしていたが、今回は 3 ps rms gaussianで輸送する (エミッタンスは悪化するが、初期バンチ長が明確になる)
- 設定
  - SI1 = 8.95 A
  - SL2 = 3.05 A
  - Vbuncher = 90 kV
  - Injector Eacc = 7 mV/m
  - スリットスキャナ位置でのビームサイズ: 1.4 mm
  - スリットスキャナ位置でのバンチ長; 2 ps
  - スリットスキャナ位置での規格化エミッタンス: 0.37 mm mrad
  - 5連Q、診断ラインQはオフ
- 結果
  - 7.7 pC/bunch, 3.85 pC/bunch, 0.77 pC/bunchの3つのバンチ電荷でソレノイドスキャン
  - プロファイルが可能な限り丸くなるように調整 ⇒ プロファイルの歪みは残る
  - 入射器でE = 5.46 MeVになるように調整 ⇒ 合流部Bで最大 5 A 制限に掛かる
  - E = 4.92 MeVで位相調整完了
  - 3/31に向けて、合流部入口のマッチングを実施

# 2015年3月の7.7 pC運転

- Cam1でプロファイルの非対称性が観測された
- これが、cam2まで行くと拡大されて四角いプロファイルになる
- ソレノイドの中心通し、ステアリングの磁場を下げる調整によって、可能な限り丸いプロファイルに近づけた

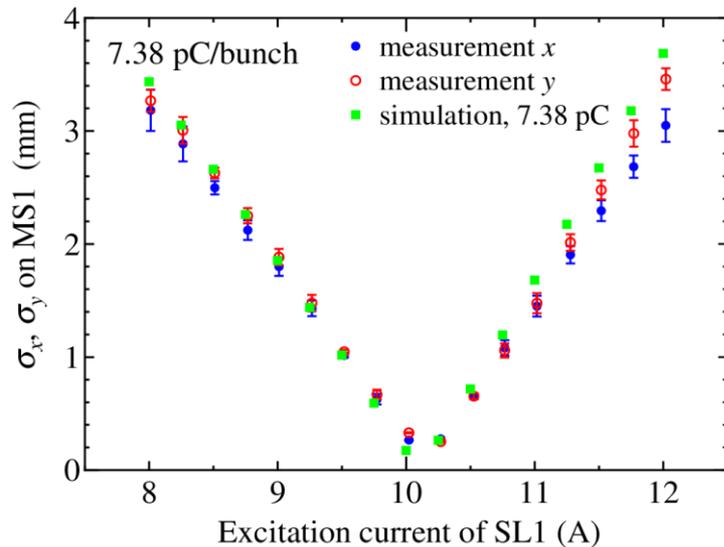
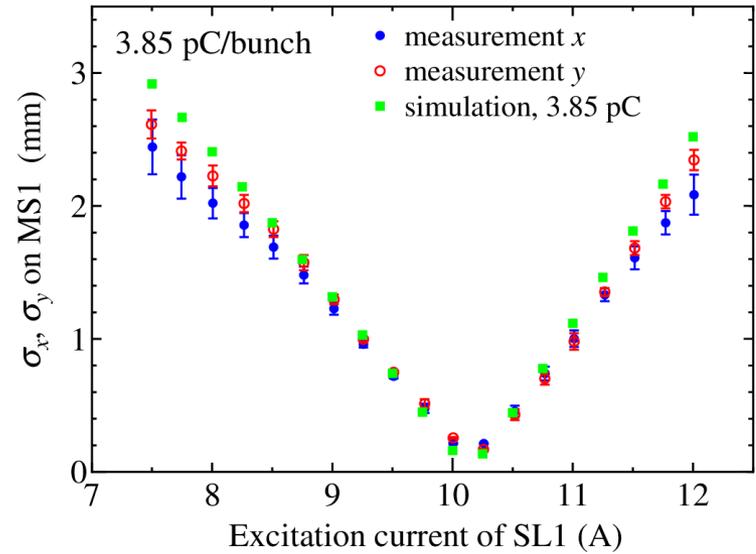
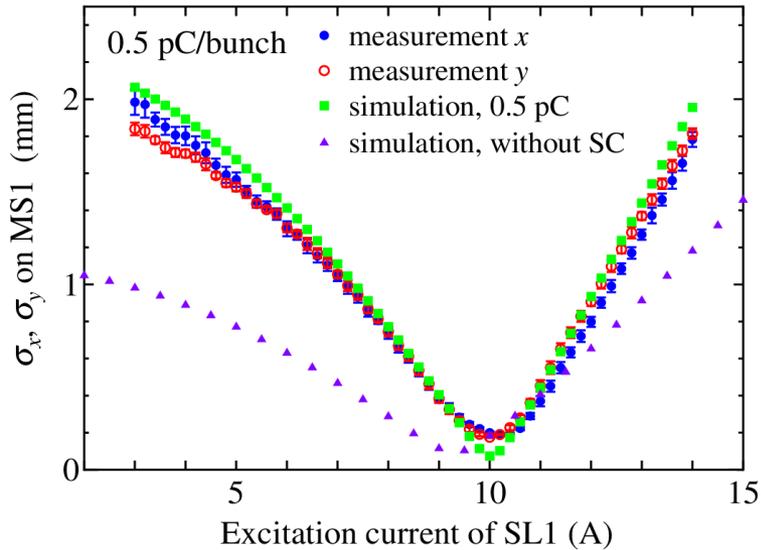
Cam1のプロファイル(SL1の)電流をかえたとき



上記の測定結果が、ほぼプロファイルの調整した限界  
7.7 pCでは、8-9 Aの励磁電流を使うので、そんなに悪くない状態まで持ってこれた

# 2015年3月の7.7 pC運転

- バンチ電荷を変えたソレノイドスキャンを実施
- モデルとの比較を実施した



- 初期レーザー時間形状
    - 3 ps, Gaussian (スタッキングなし)
  - 使用しているモデルは、低バンチ電荷で電子銃収束力を補正したもの
  - 補正モデルで、空間電荷力が込みの場合でも実験をかなり良く再現できている
- ↓
- 入射器空洞前までは、ある程度調整できるようにってきている

# これまでの7.7 pC運転のまとめ

- 入射エネルギー5.6 MeV 診断ライン輸送
  - 0.8 mm mrad以下の規格化エミッタンスになっている(設計では0.3 mm mradが最小値)
  - 診断部への輸送は比較的楽であった
- 入射エネルギーを2.9 MeVに下げて周回部輸送
  - 入射器空洞直後からプロファイルが歪んでおり、その後修正するのは難しい状態となっている ⇒ エネルギーは効きそう
  - ただし、このときは初期レーザーパルスのスタッキングを行っており、RF空洞の位相調整に敏感な状態であり、まだ調整しきれていなかった
- 2015年3月の予備試験
  - レーザーをスタックせず 3 ps gaussianで入射器加速前の試験を行った
  - プロファイルの歪みは残るが、モデルで実験をかなり再現できることが確認された
- 次の目標
  - 入射器エネルギーを5 - 5.4 MeVに上げて、周回部輸送し、エミッタンスを低減する調整法(RF位相調整とオプティクス応答測定+補正)を確立したい
  - 初期レーザー3 ps gaussianでRF空洞の位相の影響を調べたあと、パルススタッキングを実施してよりエミッタンスを下げたい

# 7.7 pC運転調整案(2015年5月～6月)

- 立ち上げ目標
  - バンチ電荷7.7 pCでのエミッタンス低減、周回路輸送
- 今回の設定(全エネルギー)
  - 入射器エネルギー: 5 – 5.4 MeV(冷凍機の負荷を見て調整する)
  - 主空洞: ML1 = 7 MV(調整用ノブ), ML2 = 7.16 MV(固定)
- 立ち上げ予定(案)
  - 6/8の週: 初期レーザーパルス長 3 ps rms でエミッタンス低減・周回調整
  - 6/15の週: 初期レーザーパルス長 16-32 ps FWHMでエミッタンス低減・周回調整
- やるべきこと
  - 入射空洞前の調整(プロファイル、軌道)
  - 入射位相調整(バンチャー、入射器空洞)
  - 診断ライン輸送(軌道調整、オプティクスマッチング)
  - 偏向空洞較正
  - 入射位相詳細調整(バンチ長の応答を見ながら調整)
  - スリットスキャナでのエミッタンス測定(ソレノイド、位相の応答を取る)
  - 合流部立ち上げ
  - 主空洞前マッチング
  - 主空洞位相調整
  - 周回部輸送調整(Circ FCまで)

# 実際の運転経過

- 6/8の週
  - 6/8(月): INJ#1-3: 7 MV/mで $E_{inj} = 5.45$  MeVまで加速
  - 6/9(火): 診断部へ輸送、プロフィールの歪み調査
  - 6/10(水): 主空洞位相調整、周回部輸送調整、プロフィールの回転が問題
  - 6/11(木): INJ\_CAV#3で放電発生、FB2: 7 MV/m  $\rightarrow$  5.5 MV/m へ下げる ( $E_{inj} = 4.89$  MeV)
  - 6/12(金):  $E_{inj} = 4.89$  MeVで周回部輸送、周回部FCまで到達
- 6/15の週
  - 6/15(月): 周回部でエミッタンス測定 (2-4 mm mrad)、バンチャー付近で放電が見られる
  - 6/16(火): 周回部バンチ長測定 (3 ps), cam1, cam2 でのプロフィール変化の調査を実施
  - 6/17(水): INJ\_CAV#1からも放電が発生、 $E_{inj} = 2.9$  MeVに下げる調整を実施
  - 6/18(木): レーザー直径  $d = 1 \rightarrow 2$  mmに変更した条件を計算、0.5 pCのCW調整を実施
  - 6/19(金): 0.5 pC, CW 運転調整
- 6/22の週
  - 6/22(月):  $d = 2$  mm,  $E_{inj} = 2.9$  MeV, 7.7 pC診断部輸送、エミッタンスとバンチ長応答を測定
- 2013年3月の運転では問題なかったが、今回は入射器  $E_{acc} = 7$  MV/m運転を継続できなかった
- 一度空洞で放電が始まると、Gun-FCの絶縁セラミックでチャージアップ $\Rightarrow$ 放電が起き、それがまた空洞の放電を引き起こすという悪循環となった
- 加速器を総合的に考えて、運転調整を行わないといけないと痛感

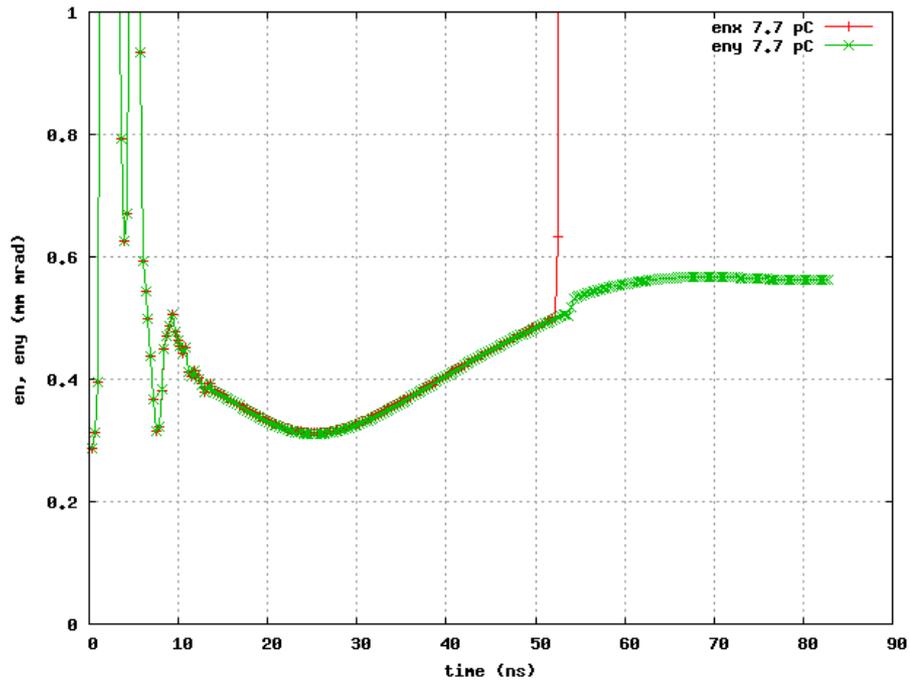
# 6/8(月): 入射器 5.4 MeV 運転調整

- 目標
  - エネルギーを設計条件に合わせる
  - Cam3(入射器空洞出口)で丸くてまとまったプロファイルを得ること
- 調整手順
  - バンチャーオフ、入射器空洞CAV#2-3オフで立ち上げ (CAV#1のみ立ち上げ、7.0 MV/m)
  - 低バンチ電荷で電子銃電極中心の測定
  - 7.7 pCでのソレノイドスキャン(空間電荷効果の確認)
  - 合流部でCAV#1の位相調整
  - CAV#2-3立ち上げ(7.0, 7.0 MV/m)、合流部で位相調整
  - バンチャー空洞立ち上げ(90 kV)、合流部で位相調整
  - 各空洞の軌道中心調整(cam3で丸いプロファイルにすること)
  - 診断ラインへ輸送
  - 診断ライン軌道調整、オプティクスマッチング
- 上記の手順通り位相を調整
- バンチャー空洞、入射器空洞の中心を通した(SL2の中心は通さず)
- ただし、cam3で丸プロファイルからずれている

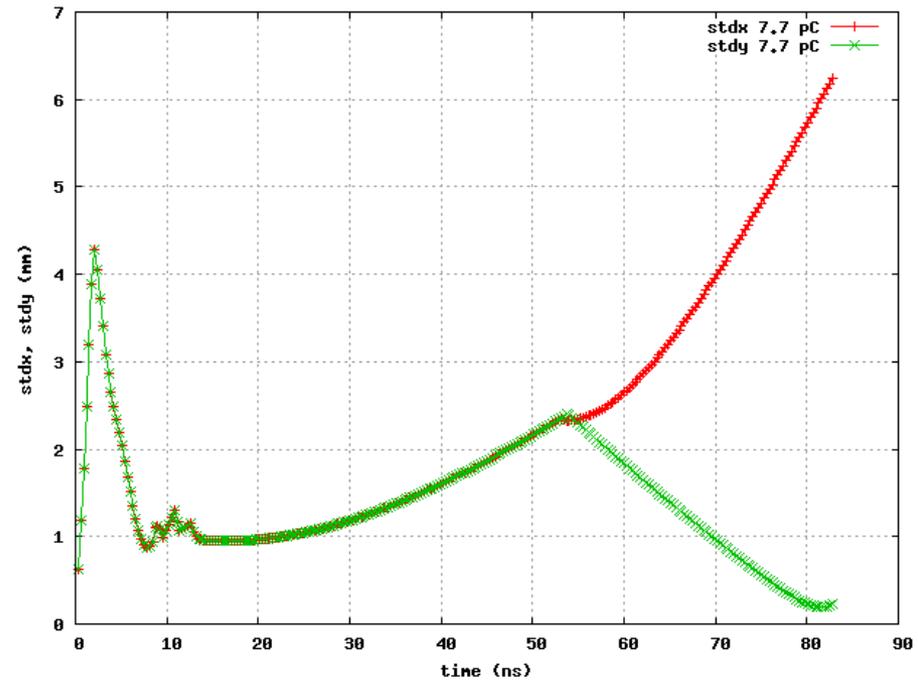
ここまで  
→

# 設計条件1： 入射器5.45 MeV、診断ライン輸送

## 規格化 rms エミッタンス



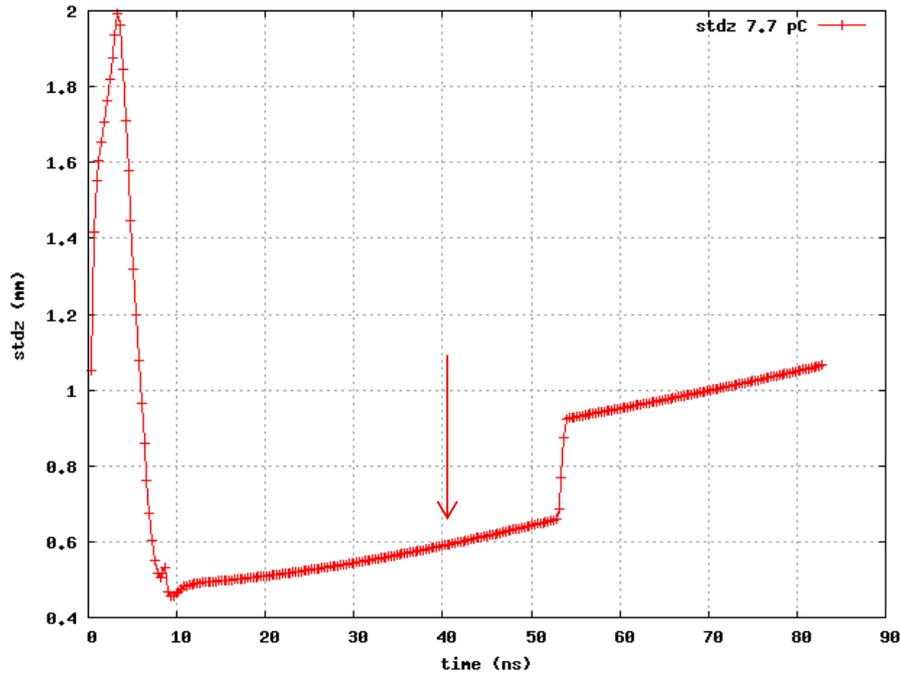
## Rms ビームサイズ



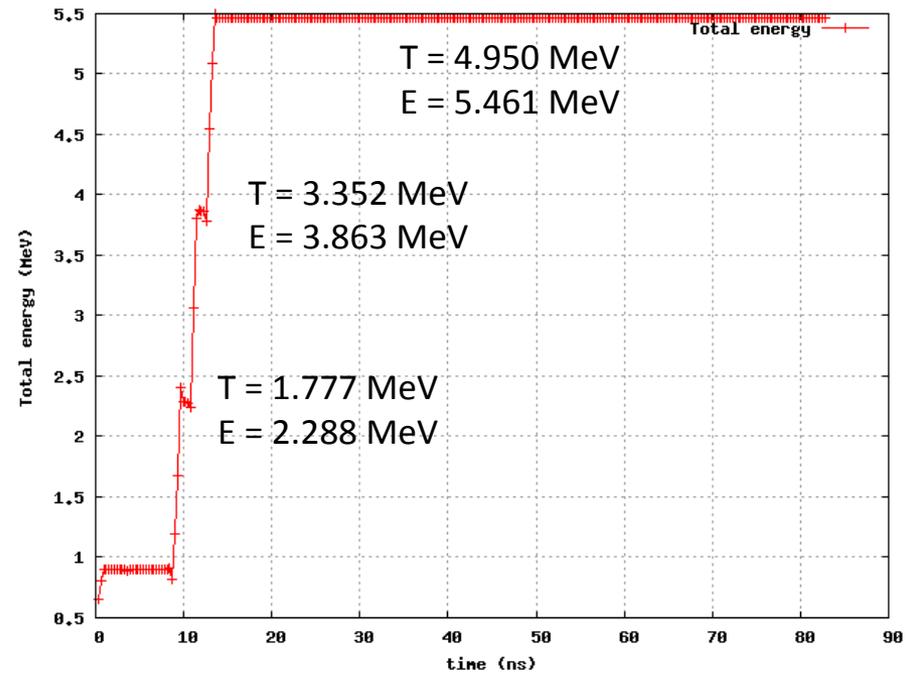
スリットの位置で0.4 mm mrad

# 設計条件1： 入射器5.5 MeV、診断ライン輸送

## Rms バンチ長



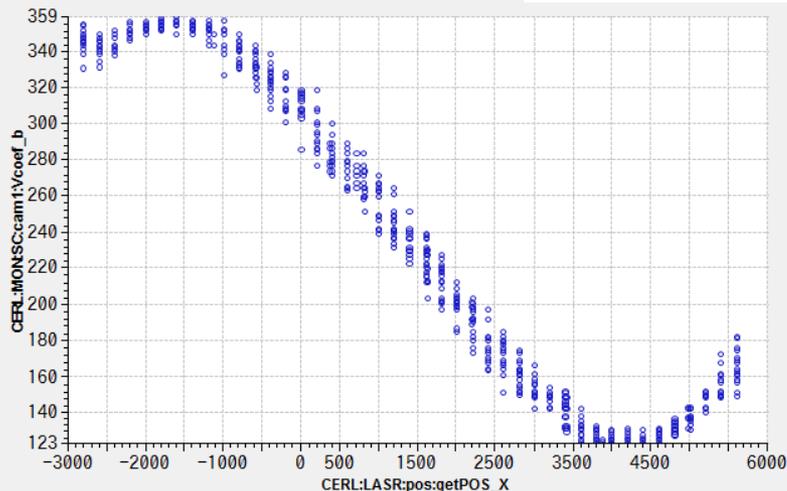
## 入射器エネルギー



偏向空洞付近で 2 ps

# 電子銃電極中心の測定

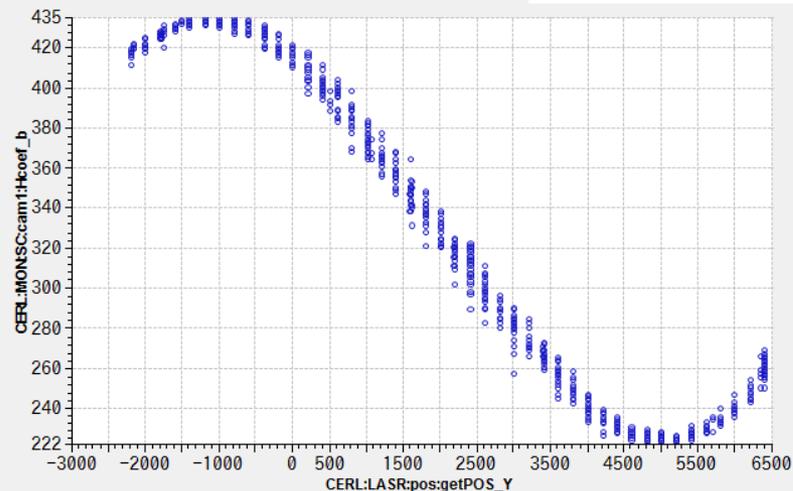
2015/06/08 15:15:00



<b>X Axis</b>	monitor	5600	
PV Name	CERL:LASR:pos:getPOS_X	Set PV	
Axis Limit	Min	-3000	Max 6000 AutoScale
<b>START</b>			
<b>Save</b>			
<b>Y Axis</b>	monitor	158	
PV Name	CERL:MON:SC:cam1:Vcoef_b	Set PV	
Axis Limit	Min	0	Max 0 AutoScale

水平方向

2015/06/08 15:29:30



<b>X Axis</b>	monitor	6400	
PV Name	CERL:LASR:pos:getPOS_Y	Set PV	
Axis Limit	Min	-3000	Max 6500 AutoScale
<b>START</b>			
<b>Save</b>			
<b>Y Axis</b>	monitor	262	
PV Name	CERL:MON:SC:cam1:Hcoef_b	Set PV	
Axis Limit	Min	0	Max 0 AutoScale

垂直方向

今回のレーザー照射位置

X = 1300

Y = 1900

とする

## 位相調整

### 順番

1. 入射器空洞1
2. 入射器空洞2(空洞3はデチューン)
3. 入射区空洞2+3(FB2 vector sum運転)
4. バンチャー空洞

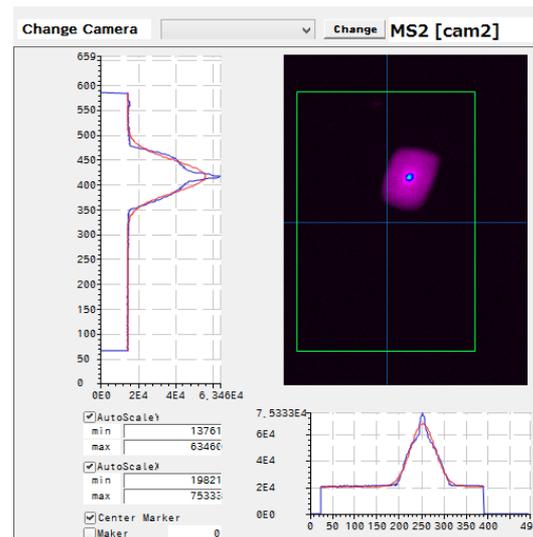
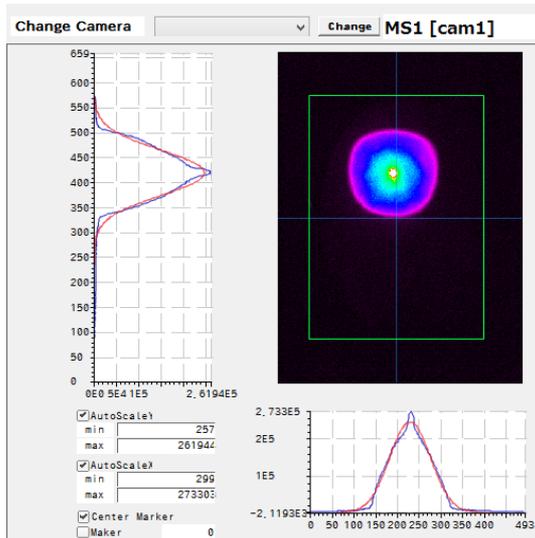
## 調整後のエネルギー測定結果

CAM8	
ROI	336 pixel
PeakPos	323 pixel
um/pixel	56.60 um/pixe
current	5.559 A
	-0.707500 mm

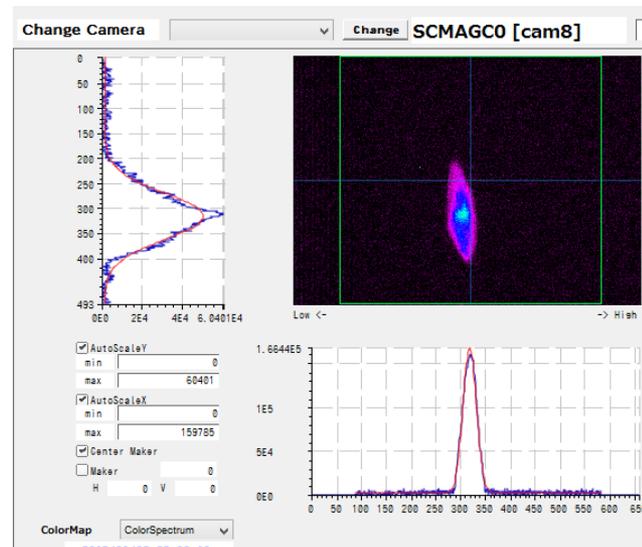
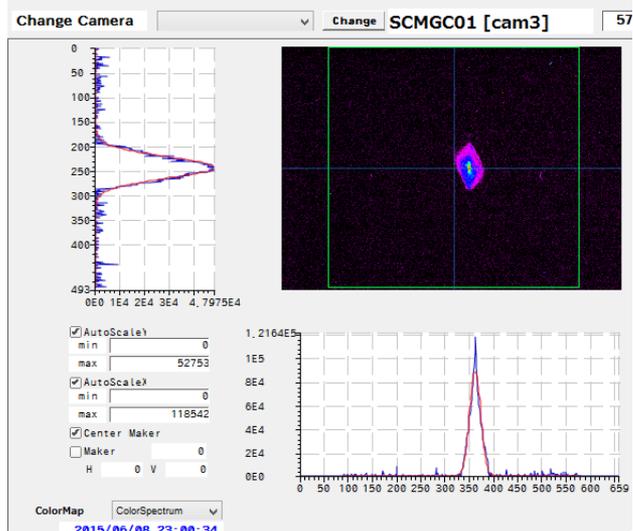
Peak Position	-0.7075 mm
Current	5.559 A

P	5.42183 MeV/C
P0	5.43225 MeV/C
E	5.44586
E0	5.45624

## 7.7 pC運転時のプロフィール



Cam2で四角  
3/24のときも  
やや四角



Cam3では2014年6月(2.9 MeV運転)とは異なり、プロフィールがまとまった

# 6/9(火): 5.5 MeV 診断部輸送

- 目標

- 入射器診断ラインへの輸送
- 偏向空洞によるバンチ長測定
- スリットスキャナによるエミッタンス測定

- 調整手順

- 診断ラインへ輸送
- 診断ライン軌道調整、オプティクスマッチング
- 偏向空洞立ち上げ、較正
- 各位相を変えた時のバンチ長の応答を測定
- 位相の詳細調整
- スリットスキャナでエミッタンス測定(ソレノイド、位相条件を変えた時の応答を測定)

ここまで  
→

- 入射器空洞内の軌道調整を再実施した(大きなずれはなし)
- 入射器診断ラインへ輸送
- Cam5でのプロファイル応答がよくない(Qを変えるとプロファイルが回転するように見える)
- 上流側の調整: cam2で四角になるプロファイルを改善できず(中に入ってプロファイルをゆがめるものがないかを再調査するが、特にみあたらず)
- バンチ長測定: 2.7 ps 程度で大きくずれてはいなさそう
- HOMによる入射器空洞内の軌道測定(本田さん)

## 設定エネルギーの変更

変更前

Energy Disp (for K value) / Energy Calculator					
	GUN	INJ	CIR		calc
Total Energy E	0.901	3.4	20	MeV	100
Kinetic Energy T	0.39	2.889	19.489	MeV	99.489
momentum P (pc)	0.742	3.361	19.993	MeV/c	99.999
P ratio		1 :	5.948		
gamma	1.7632	6.6536	39.1389		195.6947
beta	0.8236	0.9886	0.9997		1

cam8で測定した結果、E = 5.45 MeV を設定する

Energy Disp (for K value) / Energy Calculator					
	GUN	INJ	CIR		calc
Total Energy E	0.901	5.45	20	MeV	100
Kinetic Energy T	0.39	4.939	19.489	MeV	99.489
momentum P (pc)	0.742	5.426	19.993	MeV/c	99.999
P ratio		1 :	3.6848		
gamma	1.7632	10.6654	39.1389		195.6947
beta	0.8236	0.9956	0.9997		1

cam6までの輸送後に、QMGC01とQMGC05の中心通しを実施したが、K値を変えると垂直方向にビームが分裂することがわかった。

明らかに応答がおかしい。

この調査のために、上流からビームプロファイルを調査していった。

cam1からやや円筒対称性が崩れ始め、cam2でひし形の形状になる。

cam3では一旦まとまったように見えるが、SL1を変えたときの挙動がおかしい。

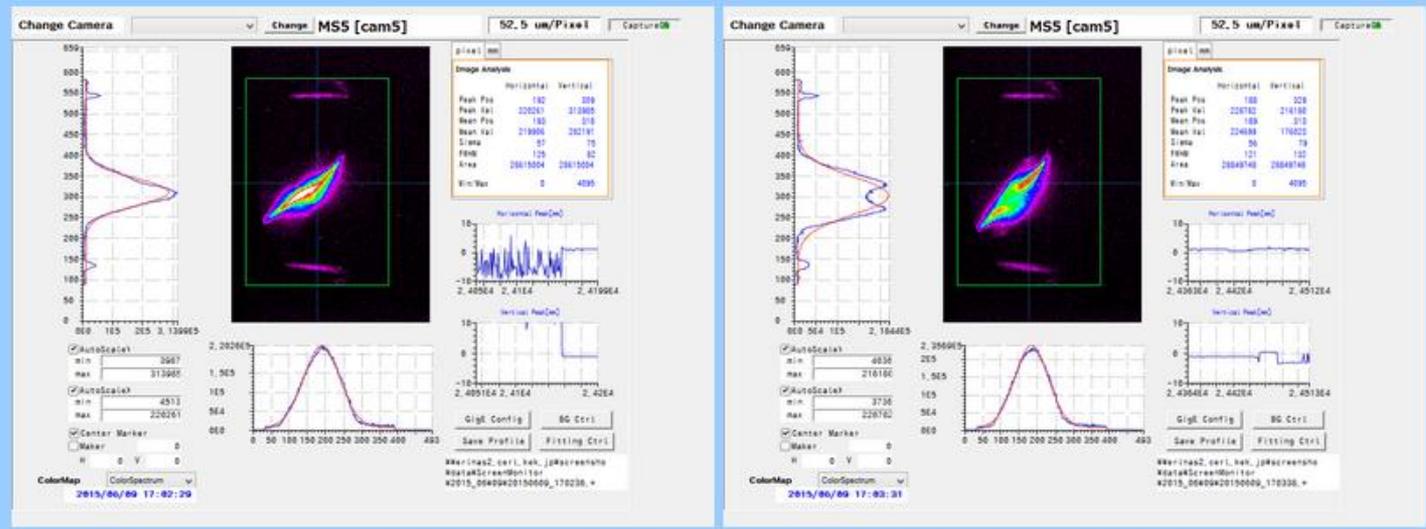
2013年6月28日に実施した、7.7 pC輸送試験ではcam1, cam2のプロファイルがもう少し円筒対称に近かった。

また、今回、cam2を見ながらプロファイルを調査すると、四角形に変形していくことがわかった。

今年の3月の予備スタディでもその影響が見えていたが、これをなくしないとモデル計算との一致は難しそう。

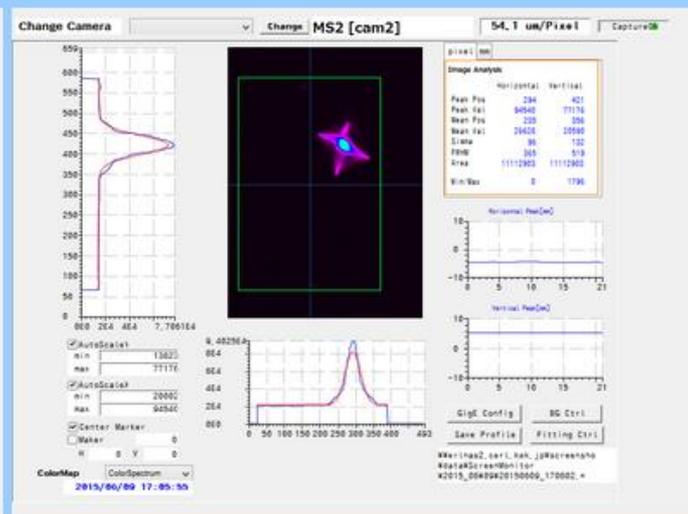
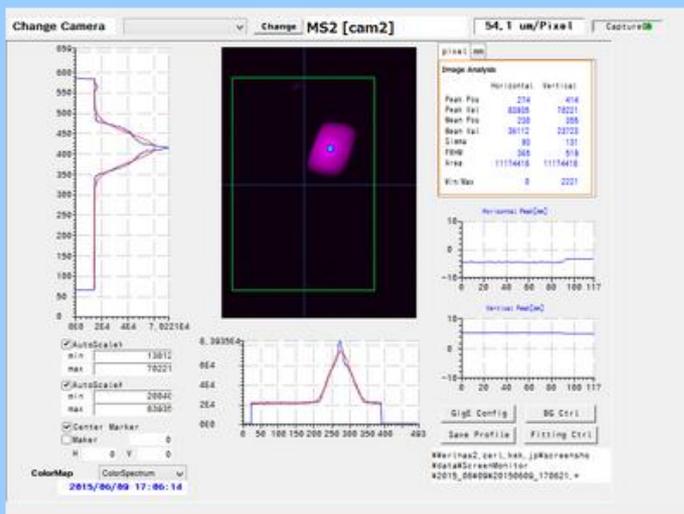
17.02.57

cam5のプロファイル (QMGC01を変える前と後)



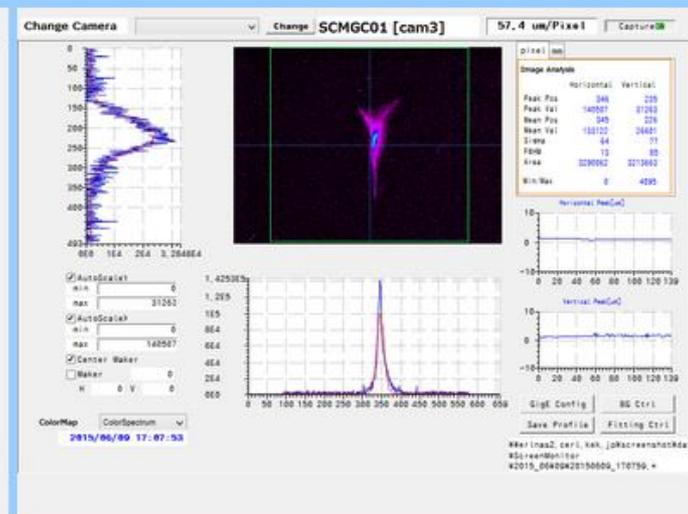
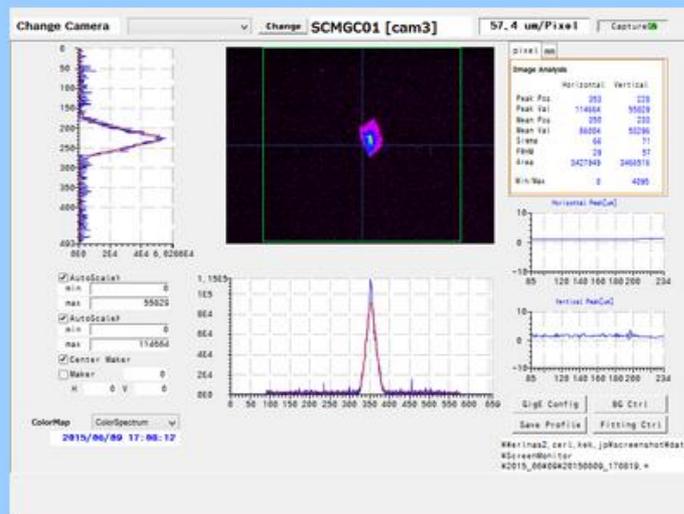
17.05.43

cam2の四角プロファイル  
(SL1 = 8.95A, 10.05 A)



17.08.57

cam3 のプロファイルの変化  
(SL1 = 8.95 A, 10.05 A)

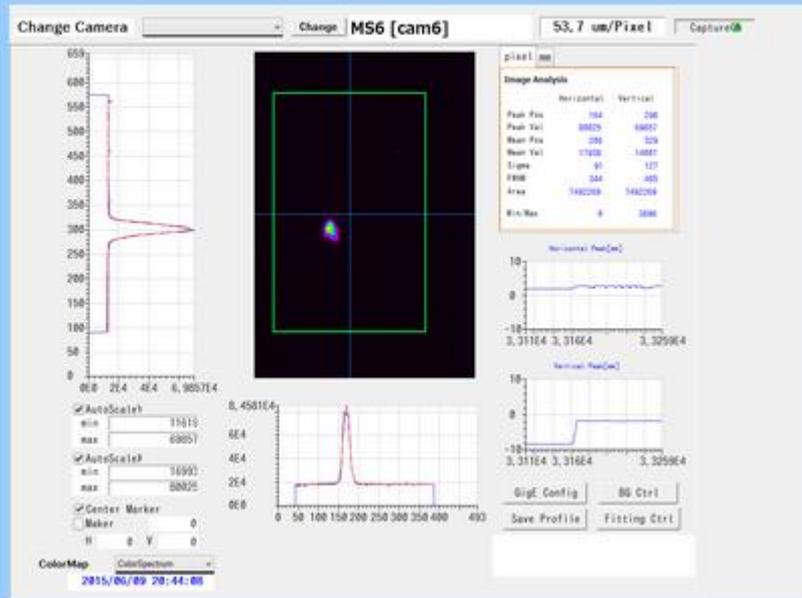


空間電荷が効いているので、過収束すると影響が拡大していそう

# バンチ長測定

20:44:32

deflector shifter 9V  
zero cross



deflector calibration

180度(2.6GHz)で384px

sin curve correction sqrt(2)倍すると、

540ps/256px=2.1ps/px

偏向したビームサイズ

$\sqrt{9.6^2 - 5.5^2} = 5.6\text{px}$

bunch length 2.7ps rms

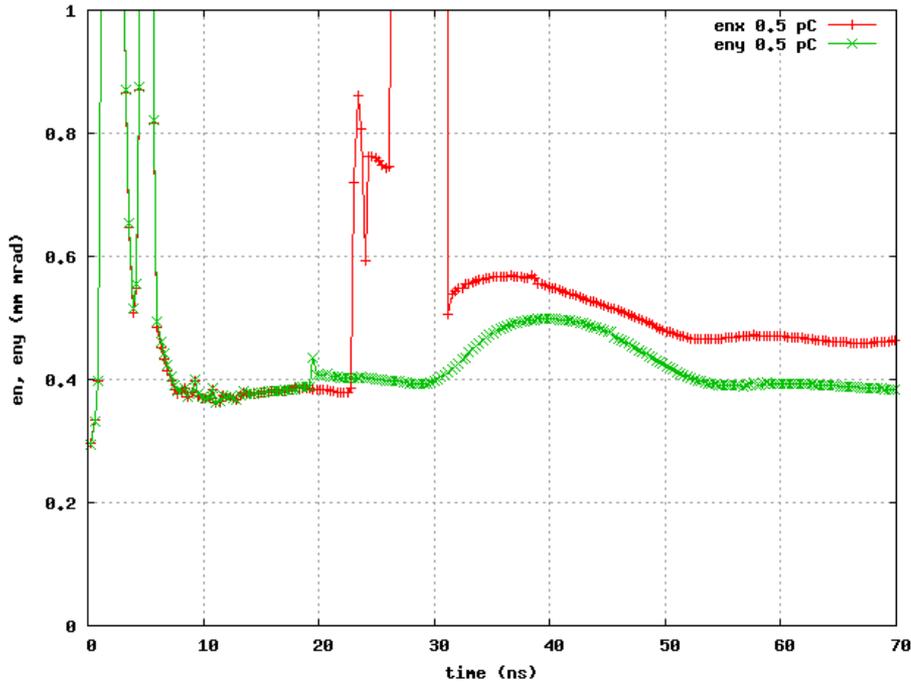
設計では 2 ps (0.6 mm)

大きくずれていないことが確認できた

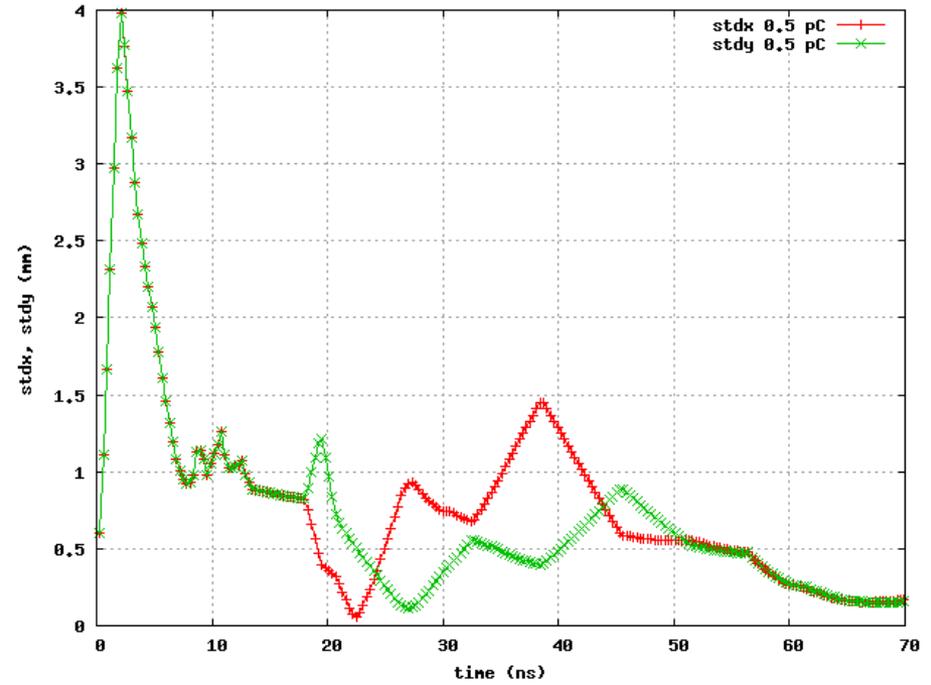
木曜以降に、バンチャーの位相と電圧  
をスキャンして応答をとる

## 設計条件2: 入射器5.45 MeV、周回部輸送

### 規格化 rms エミッタンス



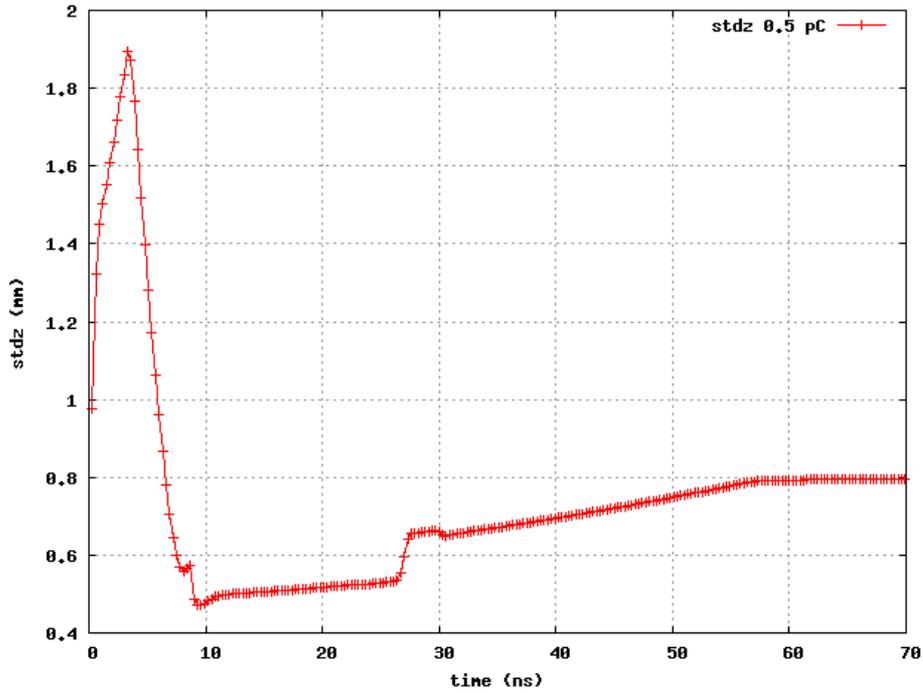
### Rms ビームサイズ



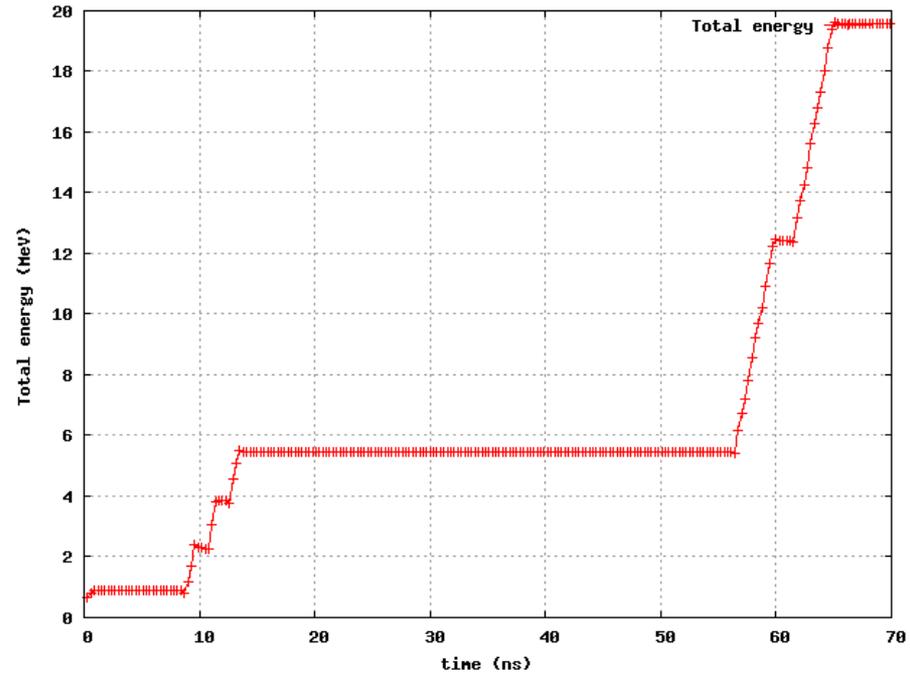
主空洞後、0.5 mm mrad

## 設計条件2: 入射器5.45 MeV、周回部輸送

### Rms バンチ長



### 入射器エネルギー



主空洞後、2.7 ps

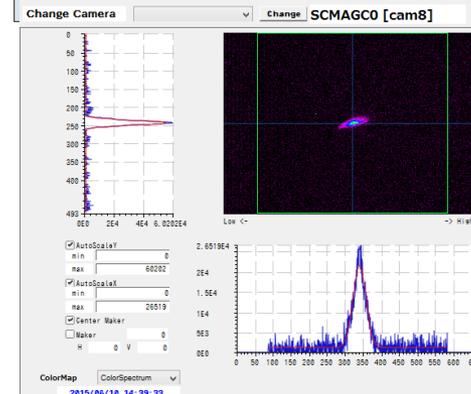
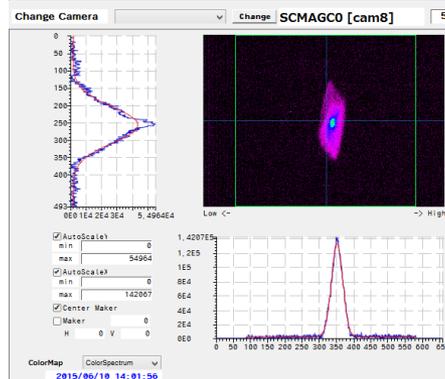
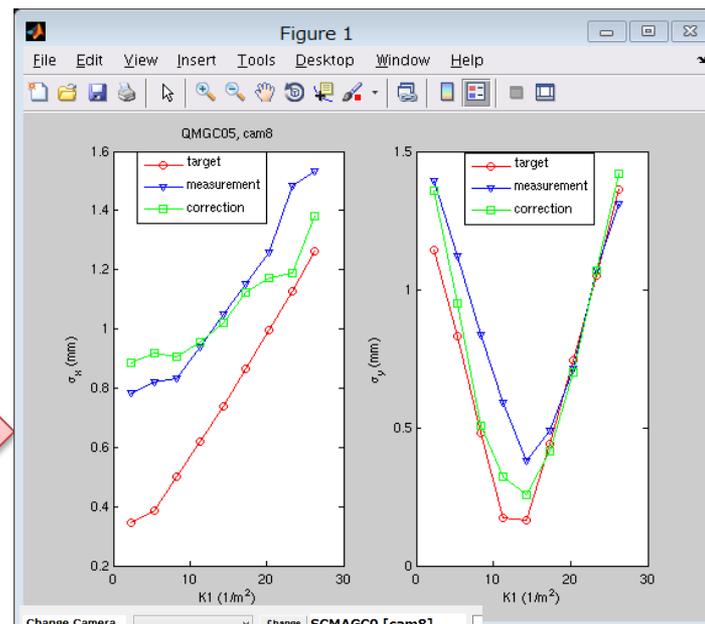
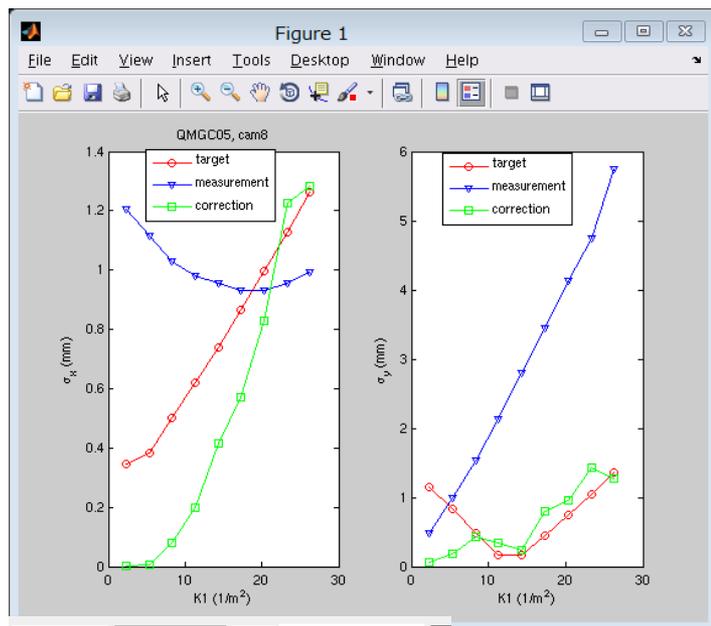
# 6/10(水): 5.5 MeV 周回部輸送

- 目標
  - 7.7 pCビームを周回部へ輸送
  - 主空洞の位相調整
- 調整手順
  - 合流部の軌道調整
  - 合流部入口(MP1)マッチング
  - 主空洞位相調整
- MP1でマッチングを実施した。ビームサイズ最小値が大きいため、設計よりもエミッタンスは悪化していると思われる
- 主空洞の位相調整からは島田さん、本田さんをお願いした
- 南直線部まで輸送できているが、XY面でのプロファイルの回転が生じている



# 合流部入口 (MP1) マッチング

- 7.7 pC用入射器光学
- 3回補正を実施した。かなり改善したが、ウェスト位置が高い



補正後もよく見ると、cam8でプロファイルのXY面内での回転が見える  
これが下流のプロファイル回転の原因になっている可能性があり、取り除きたい

20:40:03

7.7pC/bunchでcam22まで輸送。

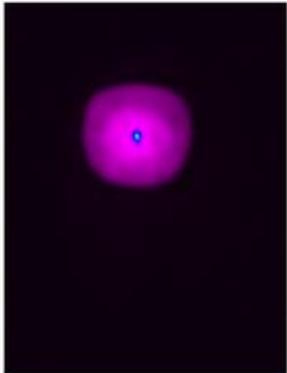
記念に全スクリーン測定を行う。

<http://erlserv1.kek.jp:8082/cERL/scrshot/ScreenLog/2015/06/10/203920/>

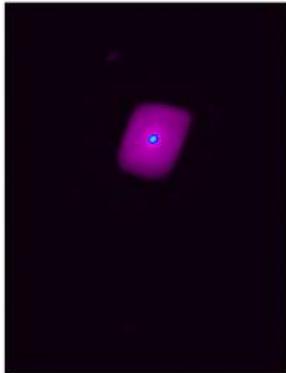
電磁石:20150610\_205457.log

ダンプシケインは励磁していない

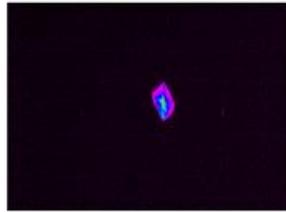
Screen Log 20150610\_203920



[20150610\\_203920\\_cam1.png](#)



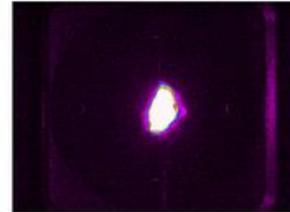
[20150610\\_203920\\_cam2.png](#)



[20150610\\_203920\\_cam3.png](#)



[20150610\\_203920\\_cam8.png](#)



[20150610\\_203920\\_cam9.png](#)



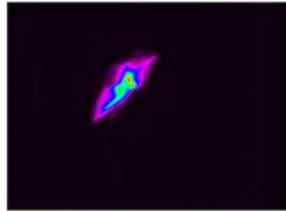
[20150610\\_203920\\_cam10.png](#)



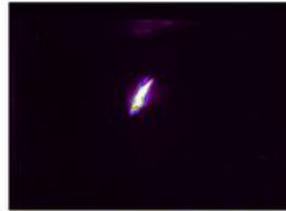
[20150610\\_203920\\_cam11.png](#)



[20150610\\_203920\\_cam12.png](#)



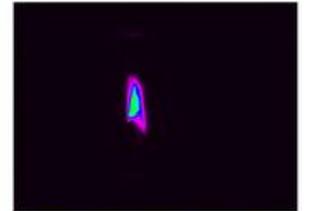
[20150610\\_203920\\_cam13.png](#)



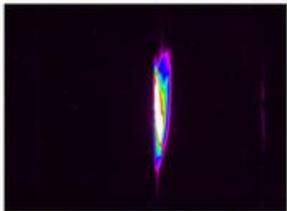
[20150610\\_203920\\_cam14.png](#)



[20150610\\_203920\\_cam15.png](#)



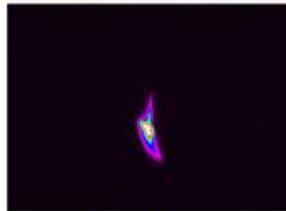
[20150610\\_203920\\_cam16.png](#)



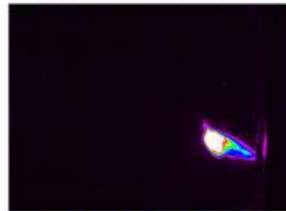
[20150610\\_203920\\_cam17.png](#)



[20150610\\_203920\\_cam18.png](#)



[20150610\\_203920\\_cam19.png](#)



[20150610\\_203920\\_cam21.png](#)



[20150610\\_203920\\_cam21A.png](#)



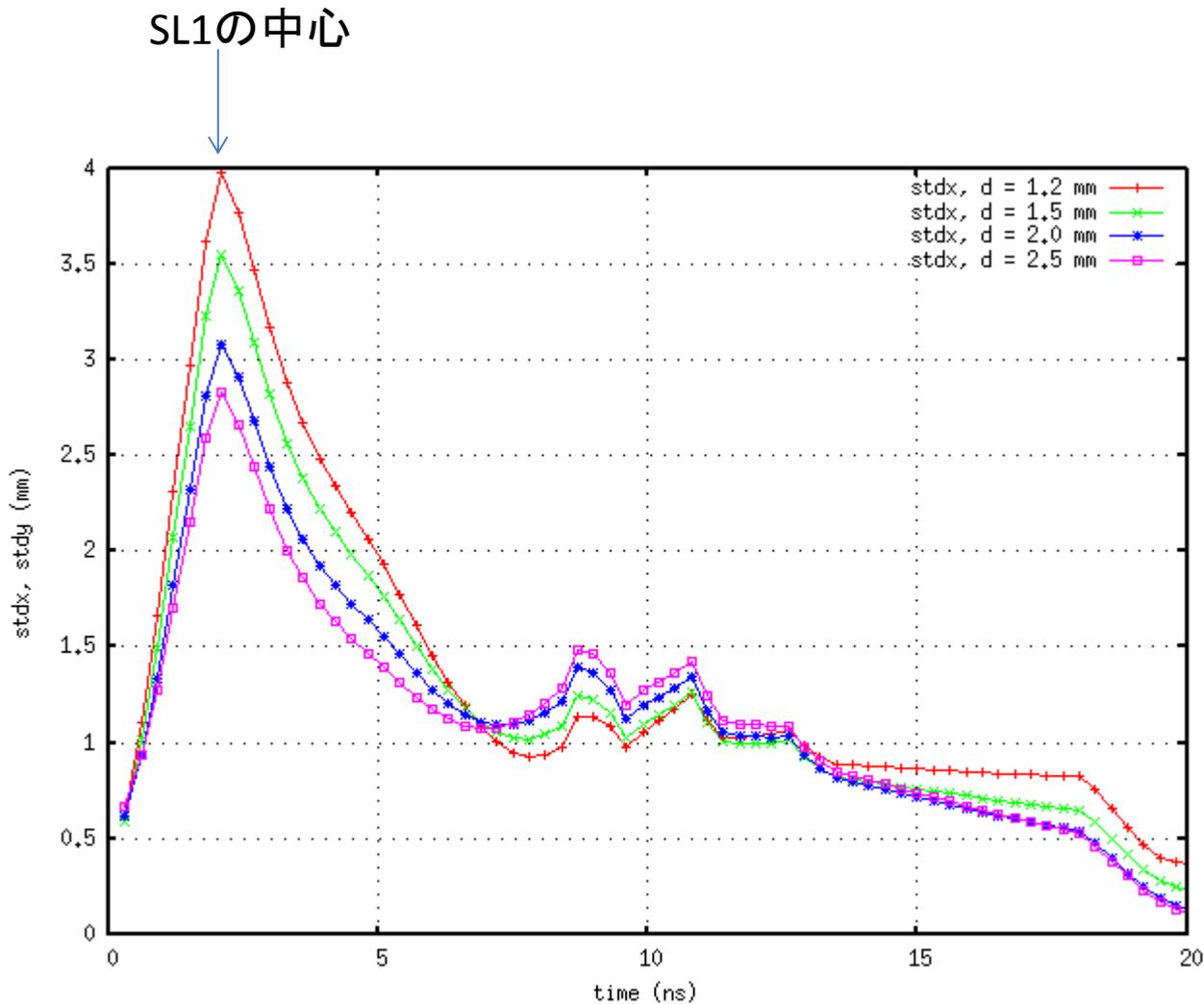
[20150610\\_203920\\_cam22.png](#)

# 6/11(木): 周回部輸送調整

- 目標
  - 7.7 pCビームを周回部FCへ
  - XY面内のプロファイルの低減
  - 周回部でのエミッタンス測定
- 調整手順
  - 主空洞前のマッチング
  - 主空洞後のマッチング
  - 周回部軌道調整、オプティクス調整
- 本日は主空洞前マッチングから開始して、周回部での回転をなるべく小さくしたあとに、エミッタンス測定を実施したい
- 他に調べたいこと(今後の予定案)
  - Cam2での非対称プロファイルの原因(山本さんの報告から、コーネルではソレノイド内の4極磁場による影響があったとのこと)、これをバンチ電荷を下げて、シングルキック応答で見えないか調査したい
  - 現状のハードウェアで非対称性を避ける調整: レーザースポット径を大きくして電荷密度を下げて、ソレノイド近傍のビームサイズを小さくする(とりあえず計算でビームサイズがどれくらい小さくなるか検証中)
  - 診断ラインでのバンチ長応答測定
  - 診断ラインでのエミッタンス測定
  - HOM-BPMを使用した入射器空洞内の軌道調整
  - 初期レーザースポット径を大きくしたら、非対称プロファイルを避けられるか

# 励起レーザー直径の影響

- 7.7 pC運転時にcam1, cam2でプロファイルの非対称性が見えている
- 磁場の非対称性に起因する場合、中心軸からずれるとその影響が強くなると推測される
- 電子銃からSL1までの区間のビームサイズは、空間電荷効果による発散力に支配されるため、ソレノイド等で修正することができない
- 代わりに、励起レーザー直径を大きくして空間電荷力を弱めて、この区間のビームサイズを下げた場合に、プロファイルの非対称性がどうなるかを測定したい
- ただし、初期エミッタンスが増加するというデメリットがある
  
- $d = 1.2 \text{ mm}$  (通常設定),  $1.5 \text{ mm}$ ,  $2.0 \text{ mm}$ ,  $2.5 \text{ mm}$ についてGPTを用いてビームサイズを計算した



初期エミッタンスの変化

d (mm) en(mm mrad)

1.2 0.145

1.5 0.182

2.0 0.242

2.5 0.303

d = 1.2 mm  $\Rightarrow$  2.0 mm にした場合、SL1の位置でstdx = 4 mm  $\Rightarrow$  3 mm になる  
 d = 2.0 mm の場合について、非対称性が改善されるか見てみたい

# 6/11(木): INJ\_CAV#3放電 ⇒ 4.9 MeVへ

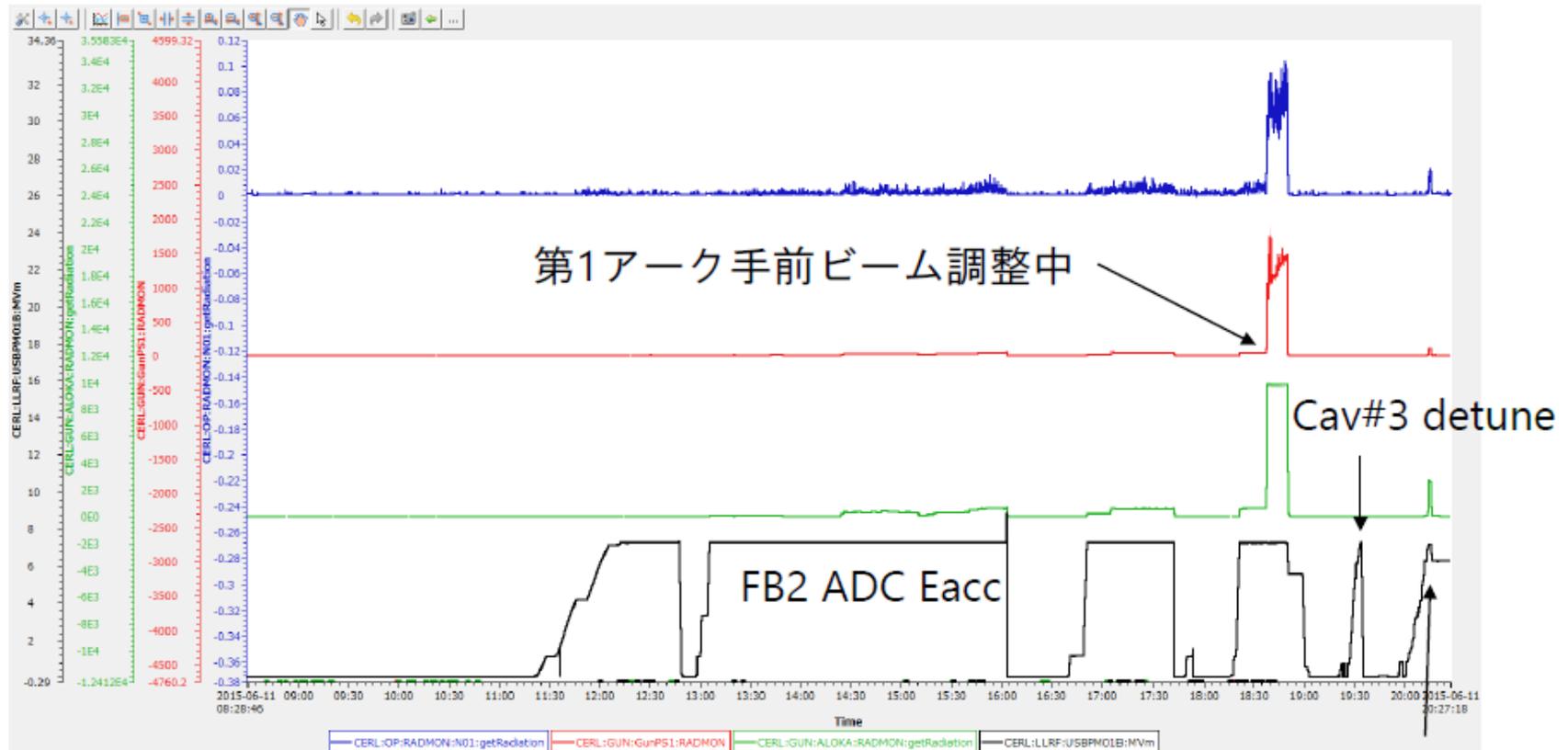
## 本日の報告 (主に入射器空洞)

- 12:54 エージング中 (?) 入射器X線増加
- 14:00頃 ビーム調整開始
- 14:12 入射器 HOM電圧が上がりX線増加、piezoのFBが外れる
- 14:20 入射部マッチングを実施
- 15:10 主空洞手前ビーム調整中にIJSC Cav#1が落ちて、ビーム停止。
  - 調査の結果、IJSC cav#3でクエンチ
  - 冷凍機の圧力上昇でIL。→圧力上昇前に落とすべきだった。
  - 超伝導空洞のGVが閉まった結果、真空が悪化。
- 17:20ごろ ビーム運転再開
- 17:43 第1アーク調整中、IJSC #2,3 RF down
  - alarmの閾値変更、クエンチモニタ設置
- 18:30頃 ビーム運転再開
- 18:37 第1アーク手前マッチング中、電子銃RadMonでビーム停止
  - IJSC #2,3のFEが原因と判明。
- 1時間程度、入射器空洞エージング
- 20:21 IJSC #1 RF down
  - IJSC #2を5.5MV/mまで下げて、電子銃のRadMonが下がり、ようやくビーム運転できる状況になる。
- 21:20頃 ビーム運転再開、入射エネルギー4.89MeV、周回エネルギー19.4MeV

詳しくは電子ログをご覧ください。

# cav#3の放電による電子銃RadMon上昇

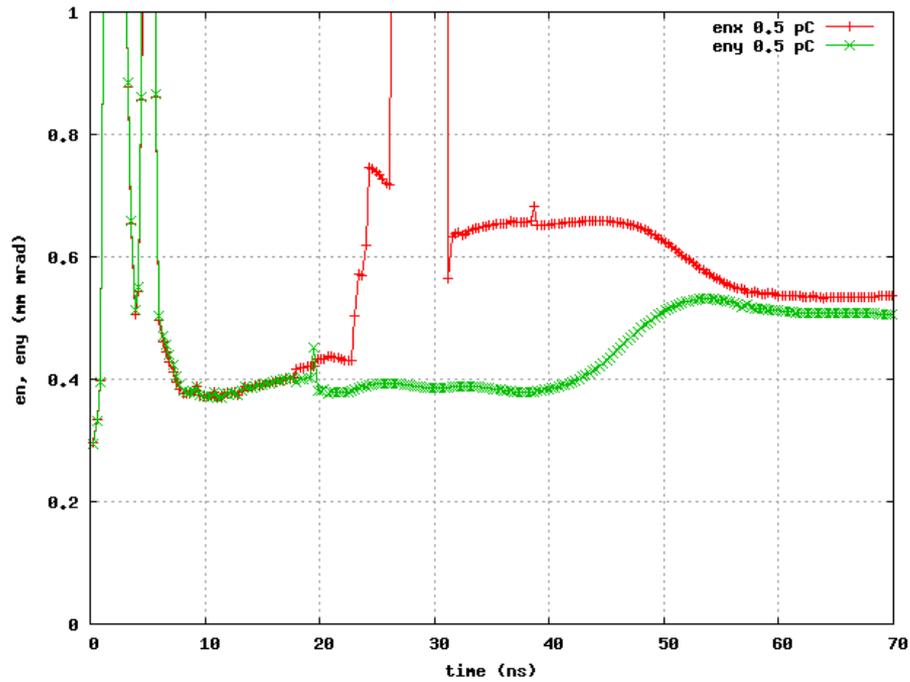
- Cav#3が7MV/mで放射線が上がり、6MV/mではほとんど見られない。
- Cav#3：0.4mSv/h（1年前） -> 7mSv/h。今週の初めと比べると20倍上昇。
- 入射器空洞の電圧を上げ始めてから、徐々に劣化した模様。



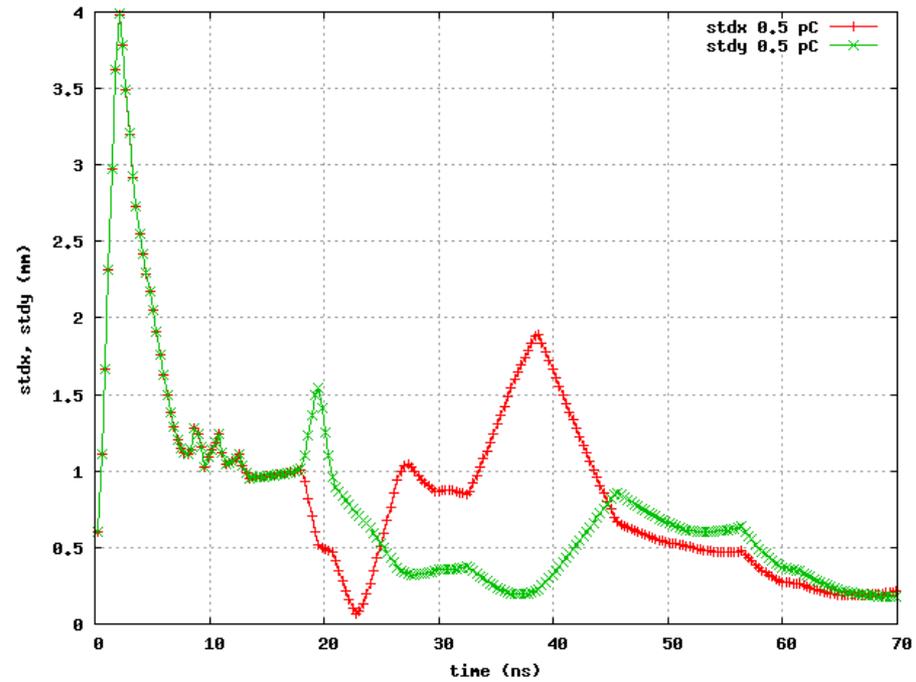
Cav#3 立ち上げ  
7MV/m -> 6 MV/m

# 設計条件3: 入射器4.89 MeV、周回部輸送

## 規格化 rms エミッタンス



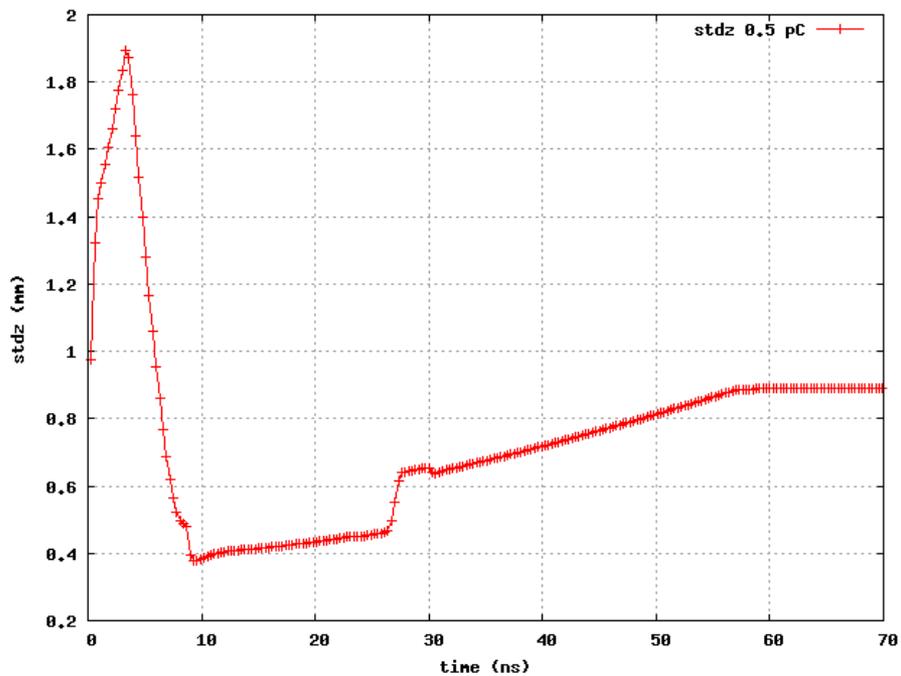
## Rms ビームサイズ



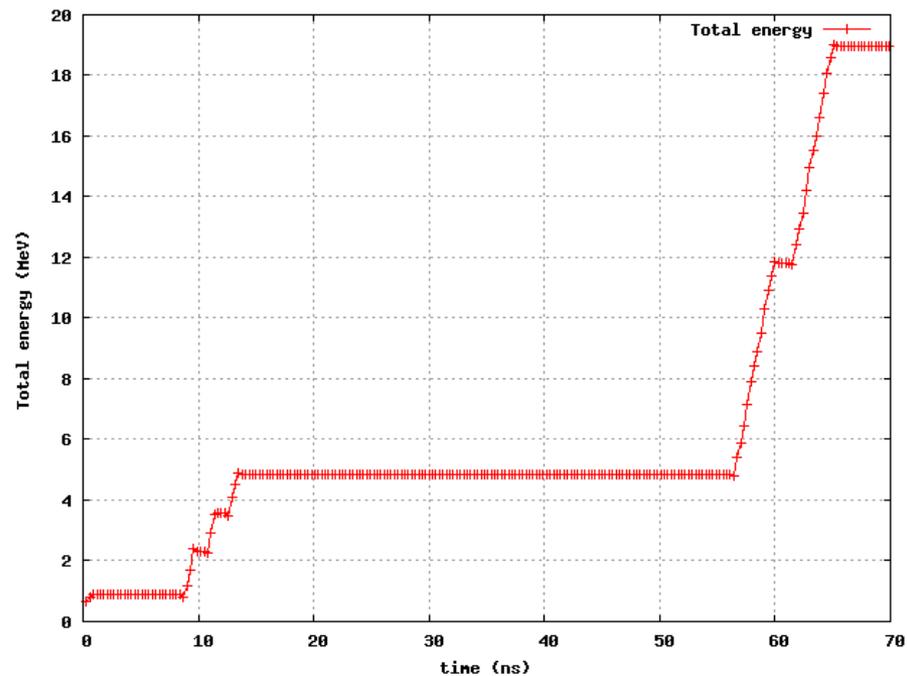
主空洞後、0.5 mm mrad

# 設計条件3: 入射器4.89 MeV、周回部輸送

## Rms バンチ長



## 入射器エネルギー

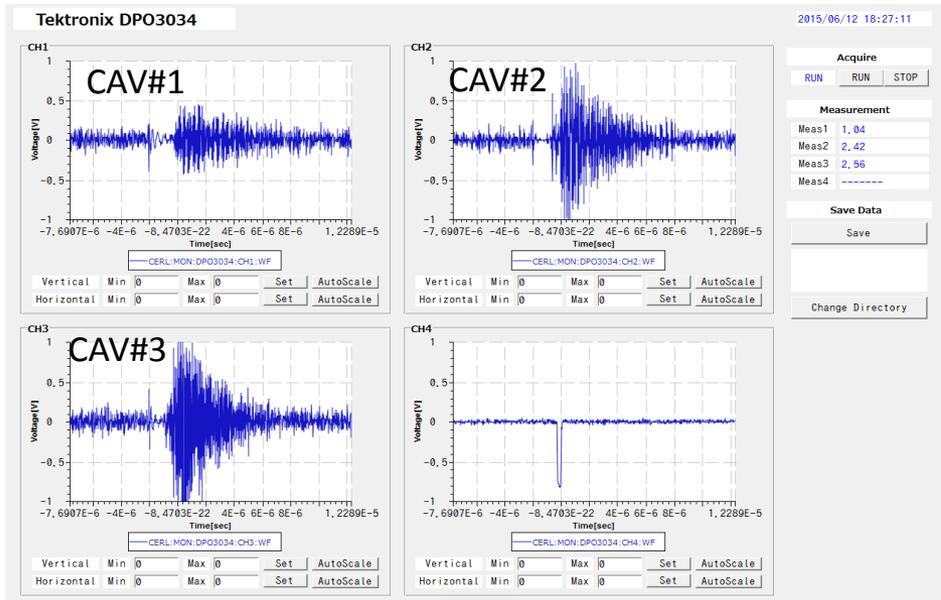


主空洞後、3 ps

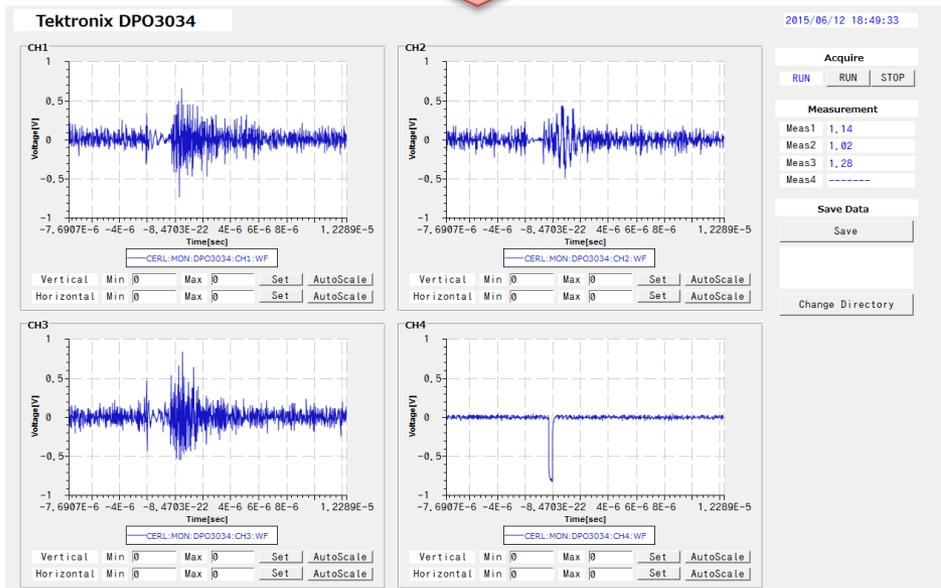
# 6/12(金): 入射器4.9 MeVで周回部輸送

- 15:54 入射空洞FB2を5.5MV/mに設定して、電子銃の放射線を30分間保持→大きな変化は見られなかったなので、この状態で運転することに決定
- 16:33 主空洞エージング開始
- 17:00頃 入射器・主空洞エージング完了
- 18:00頃 ビーム運転開始
  - 18:35頃 HOM-BPMを使った入射部軌道調整
  - 19:05頃 入射ビームマッチング
  - 20:18頃 主空洞位相調整、第1アーク手前マッチング
  - 22:17頃 7.7pC/bunch 可動FCに到達(今季初)
    - 周回部のビームは手調整だったが、昨年よりビームがまとまっている。
  - 22:32頃 CSR測定(SBD, THz camera)
  - 22:38頃 off crest加速、バンチ圧縮

# HOM-BPMを用いた入射器空洞内の軌道調整



調整前



調整後

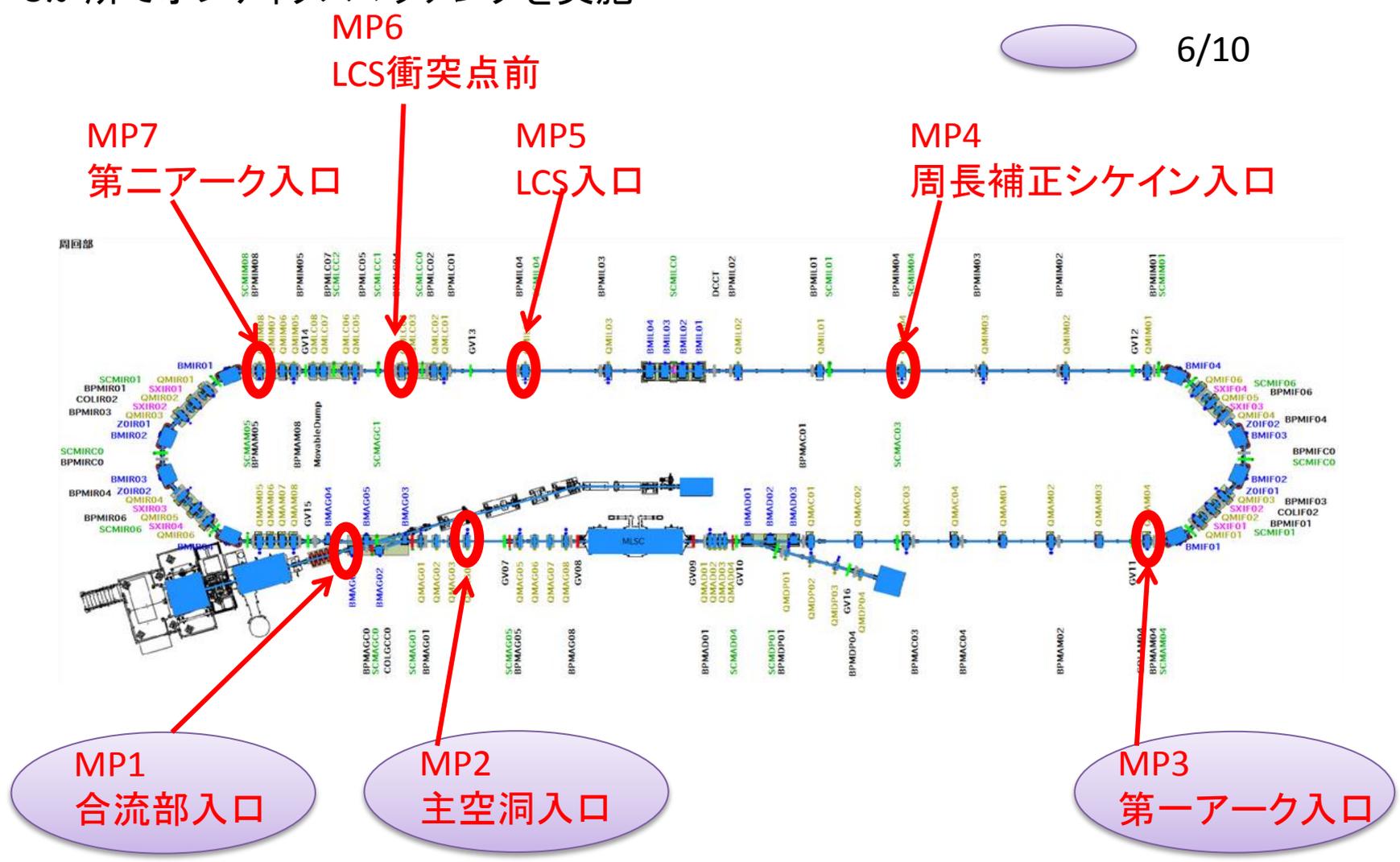
まだ、完全ではないが、HOM-BPMの信号強度を見ながら、軌道調整できることがわかった

⇒ 軌道調整の強力な手法となる

# 6/12運転におけるマッチング箇所

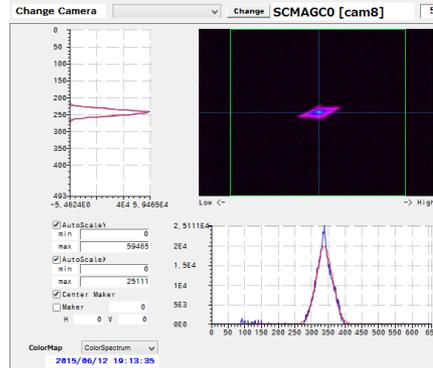
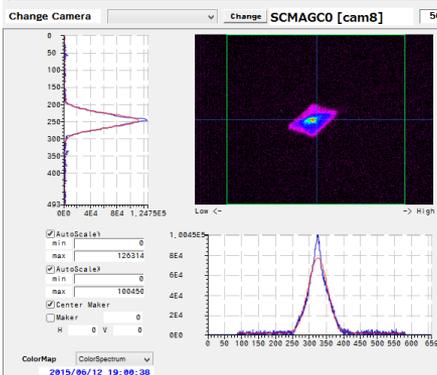
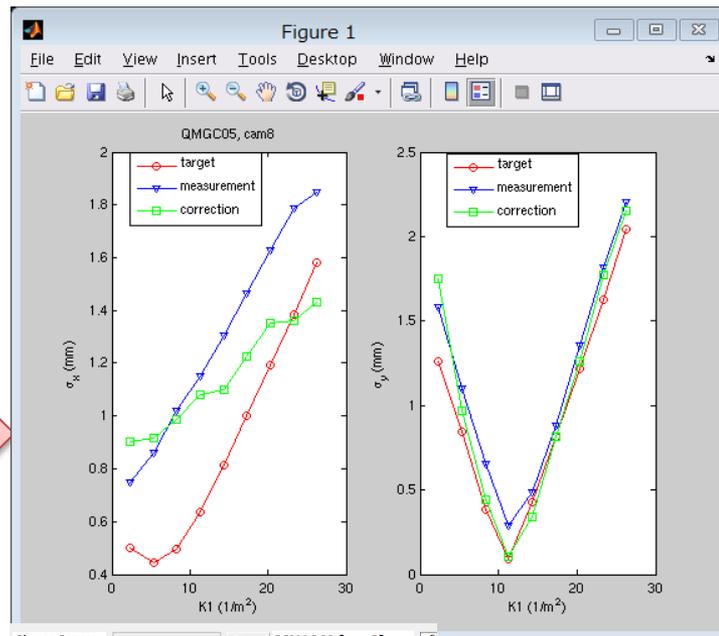
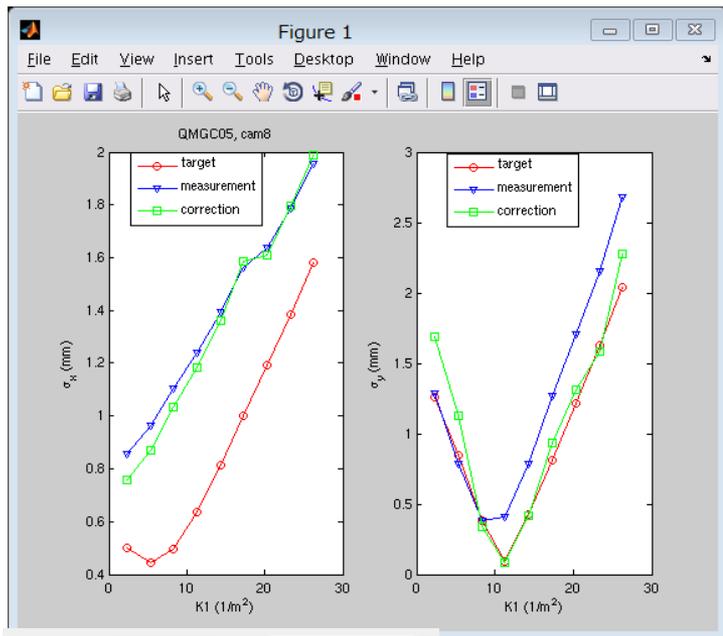
7.7 pC/bunch運転用に入射器のパラメタを変更  
3か所でオプティクスマッチングを実施

6/10



# 合流部入口 (MP1) マッチング

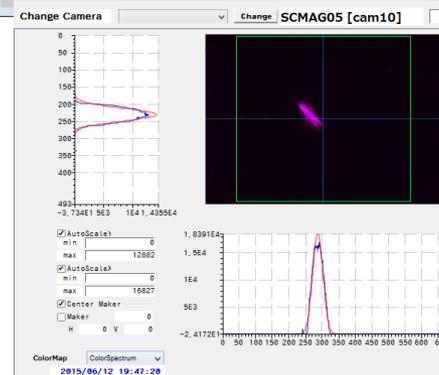
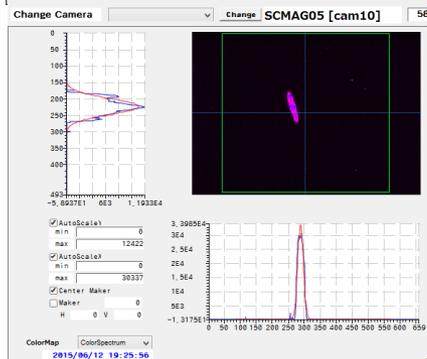
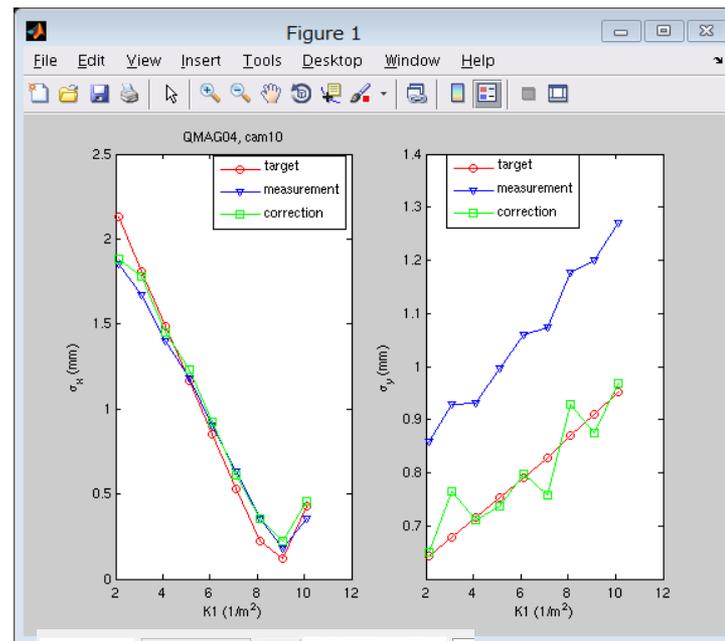
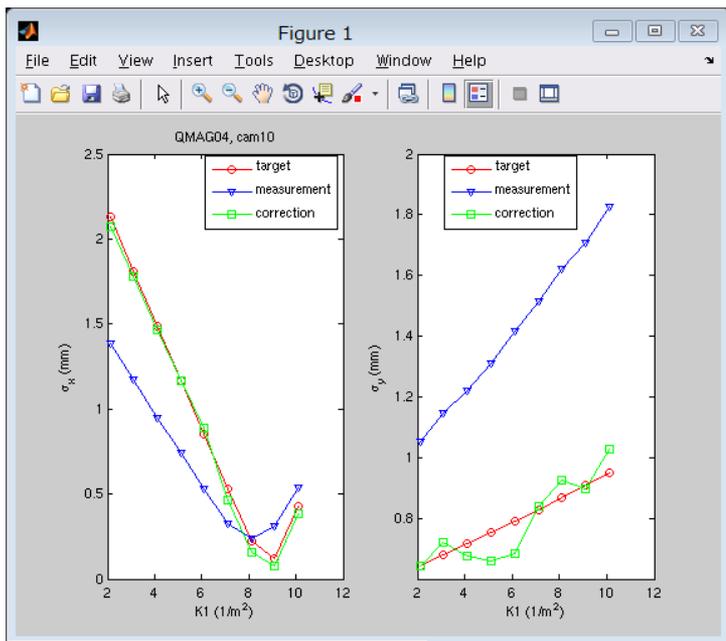
- 7.7 pC用入射器光学
- 1回補正を実施した。垂直方向はほぼ治った。水平方向の治りが悪い。



補正後もよく見ると、cam8でプロファイルのXY面内での回転が見える  
また、cam2で見た四角いプロファイルが、ここでも残っているように見える

# 主空洞入口 (MP2) マッチング

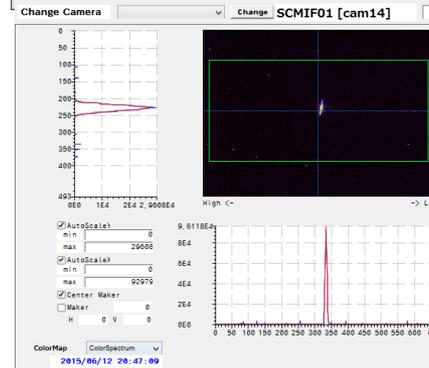
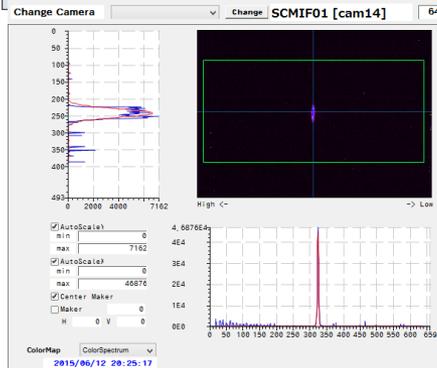
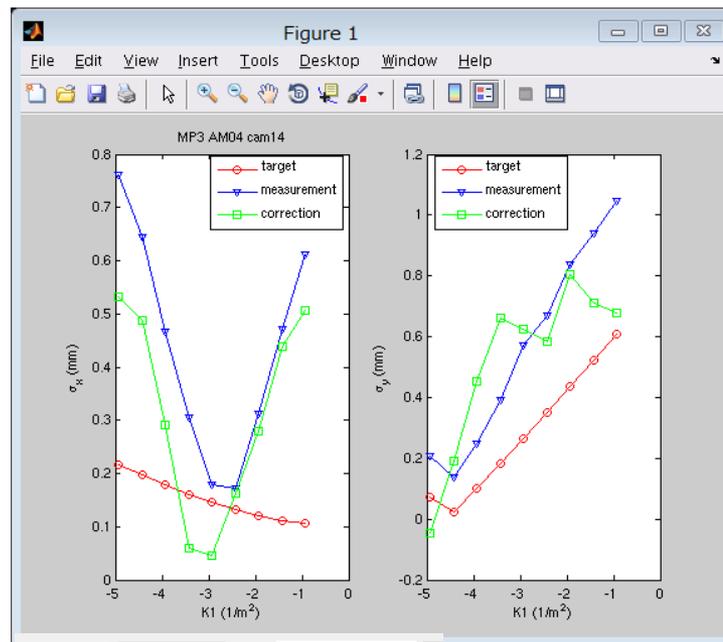
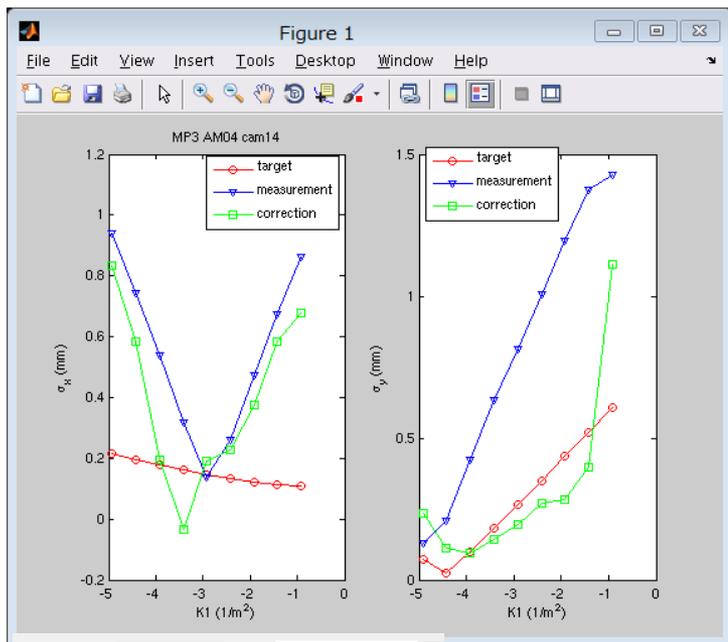
- 7.7 pC用入射器光学
- 3回補正を実施した。水平方向はほぼ設計通り、垂直方向は治りきらず。



四角いプロファイルはわかりにくくなっているが、XY面内の回転が残っている入射器空洞を出たところから始まっているので、上流で対処することが重要。

# 第一アーチ入口 (MP3) マッチング

- 7.7 pC用入射器オプティクス
- 2回補正を実施した。綺麗な応答が取れないため、ある程度のところで先に進む。



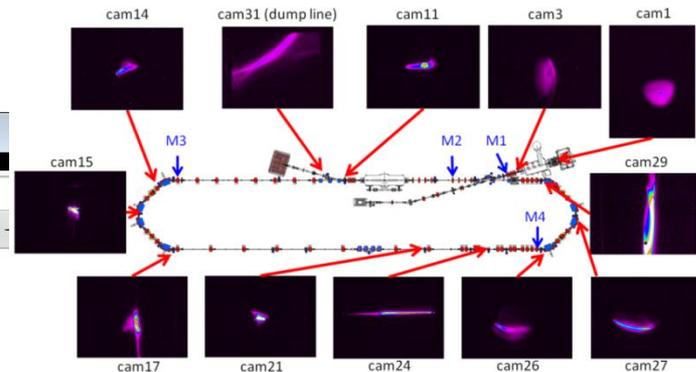
プロファイルはきれいにまとまっているように見える  
Qを変えた時の応答のばらつきが多いため、測定方法の改善が必要(あるいは上流の再調整)

# 周回部FCまで到達したときのプロファイル

Screen Log file index - Google Chrome  
 erlserv1.kek.jp:8082/cERL/scrshot/ScreenLog/2015/06/12/221929/

Screen Log 20150612\_221929

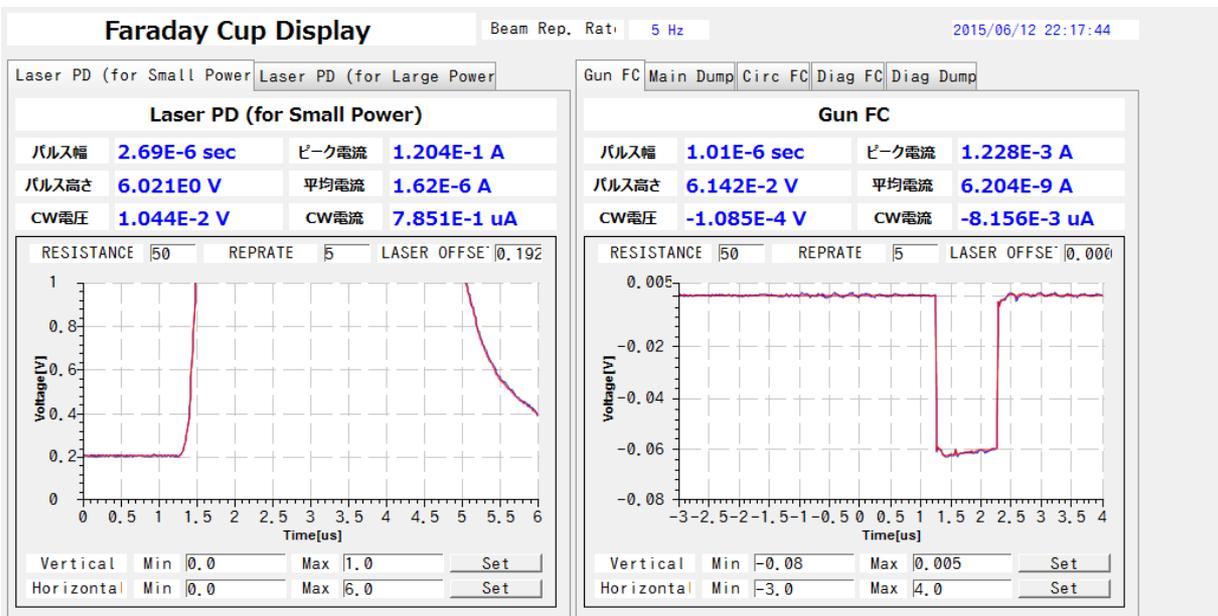
20150612 221929 cam1.png 20150612 221929 cam2.png  
 20150612 221929 cam3.png 20150612 221929 cam8.png 20150612 221929 cam9.png 20150612 221929 cam10.png  
 20150612 221929 cam11.png 20150612 221929 cam12.png 20150612 221929 cam13.png 20150612 221929 cam14.png 20150612 221929 cam15.png 20150612 221929 cam16.png  
 20150612 221929 cam17.png 20150612 221929 cam18.png 20150612 221929 cam19.png 20150612 221929 cam21.png 20150612 221929 cam21A.png 20150612 221929 cam22.png  
 20150612 221929 cam24.png 20150612 221929 cam25.png



Einj = 2.9 MeV  
 時のプロファイル

Einj = 2.9 MeV のときよりもプロファイルがまとまっている  
 もう一度上流から、非対称性を低減する調整と、詳細なマッチング・軌道調整を行えばもう少し改善しそう  
 (第一アーク以降は手動調整なので、マッチングプログラムを使って調整したい)

# 周回部FCまで到達した電流

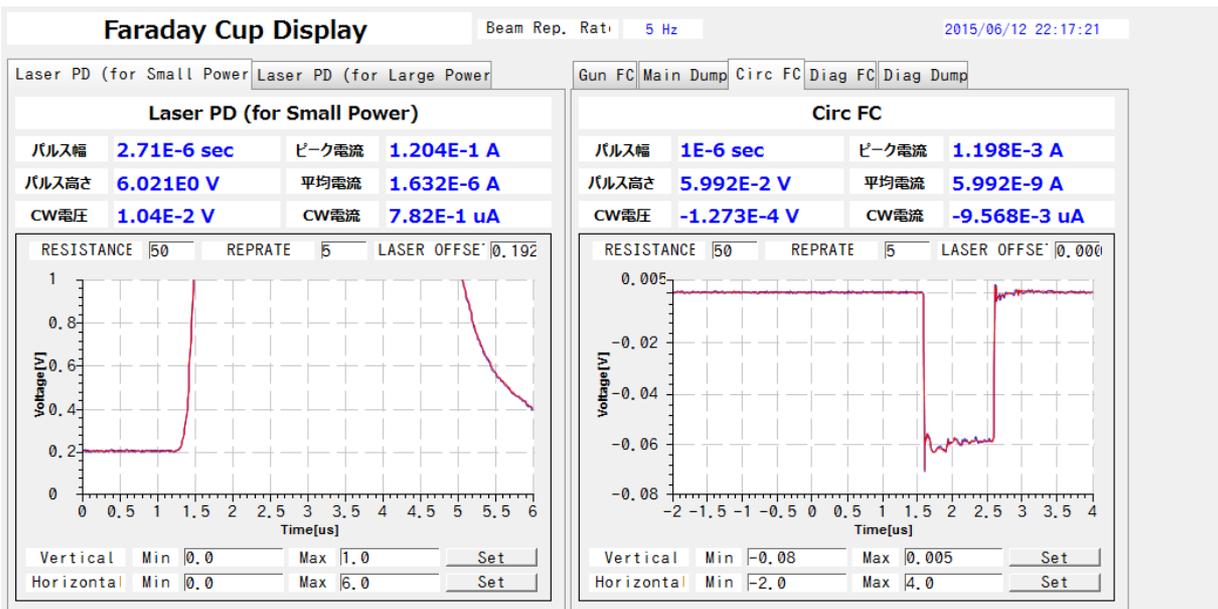


Gun FC: 1.23 mA

Circ FC: 1.20 mA

到達比率 (ただし、測定  
の揺らぎは考慮せず)

$$1.2/1.23 * 100 = 97.6 \%$$

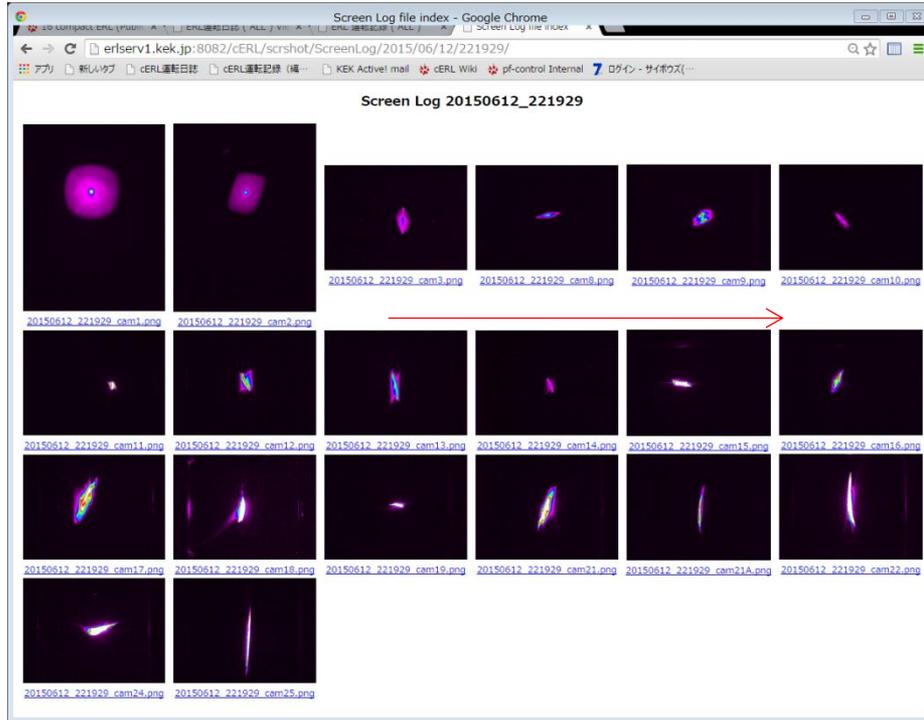


# 6/15(月): 周回部エミッタンス測定

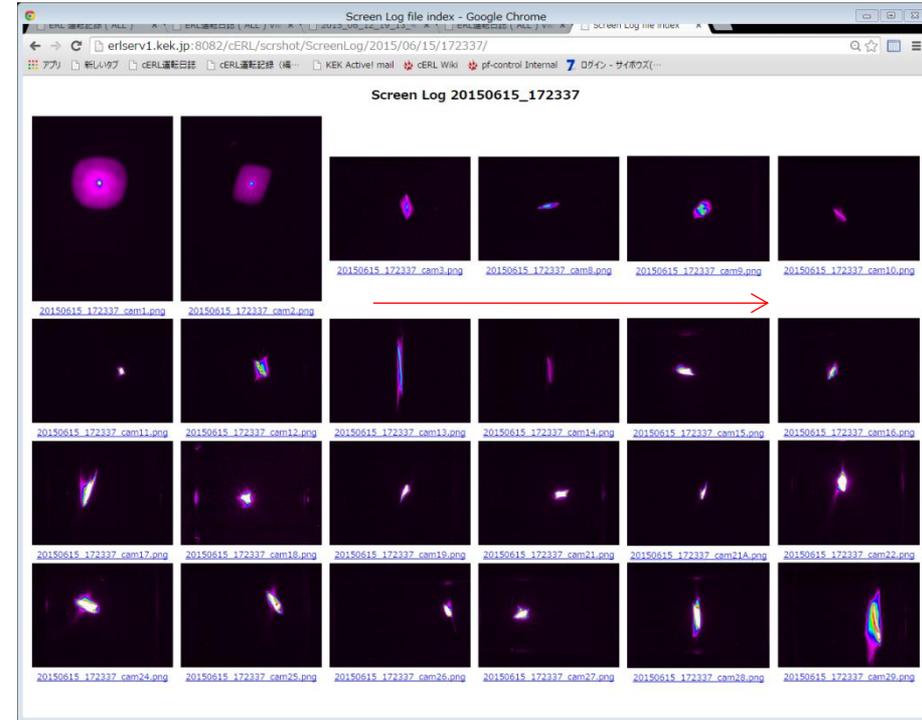
- 14:00 エージング完了、ビーム運転開始
- 17:22 7.7pC/bunchを可動FCに輸送
  - 周回部(QMAC01以降)のQを標準化してしまったために、金曜日の状態を再現せず、デザイン値を入れて調整しなおした。
  - 傍らでCSRの測定(偏光子のテスト)
- 18:00頃 7.7pC/bunchのQ scan、スクリーンテスト
  - 第1アーク手前、周長補正シケイン手前、直後の3箇所
  - レーザー強度とスクリーン上のビーム強度・位置関係の測定
- 21:00頃 0.5pC/bunchのQ scan
  - 7.7pC/bunchのopticsで輸送、大きな問題なし
  - 第1アーク手前、周長補正シケイン手前、直後の3箇所
- ハードウェア
  - レーザー:
    - レーザー室内の温度を安定するためにチラーを室外に出したところ、レーザーパワーに周期的な変動が見えるようになった。
  - バンチャー:
    - Gun FC挿入のタイミングで真空が跳ねているような現象があった。
  - 入射器空洞: 22:15頃 uTCAでDown。ノイズを拾った可能性。

# プロファイルの再現性

2015年6月12日（金）



2015年6月15日（月） 初期化前

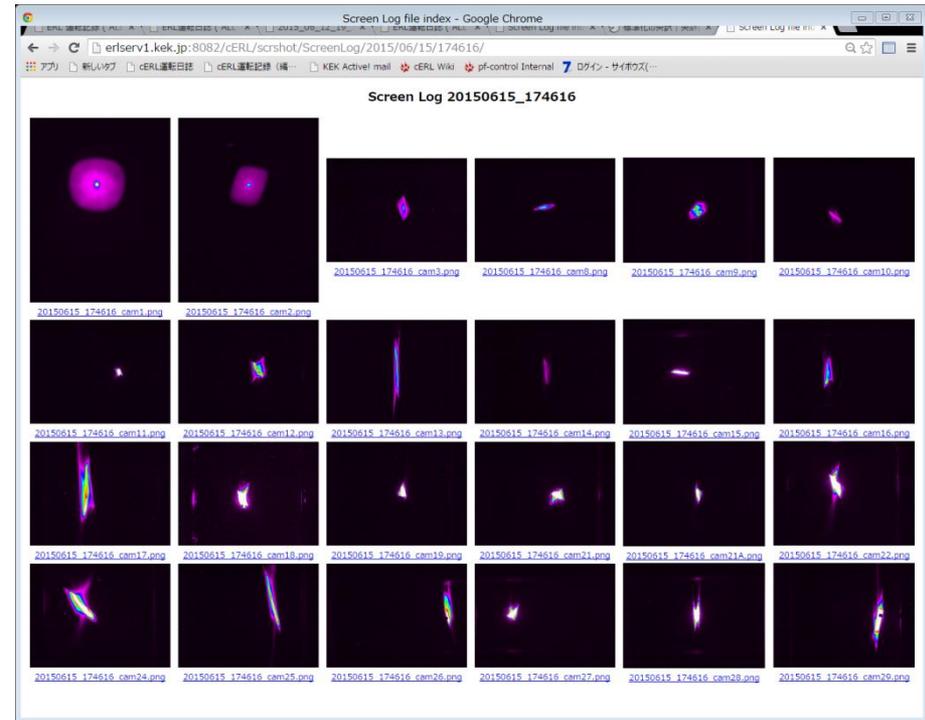
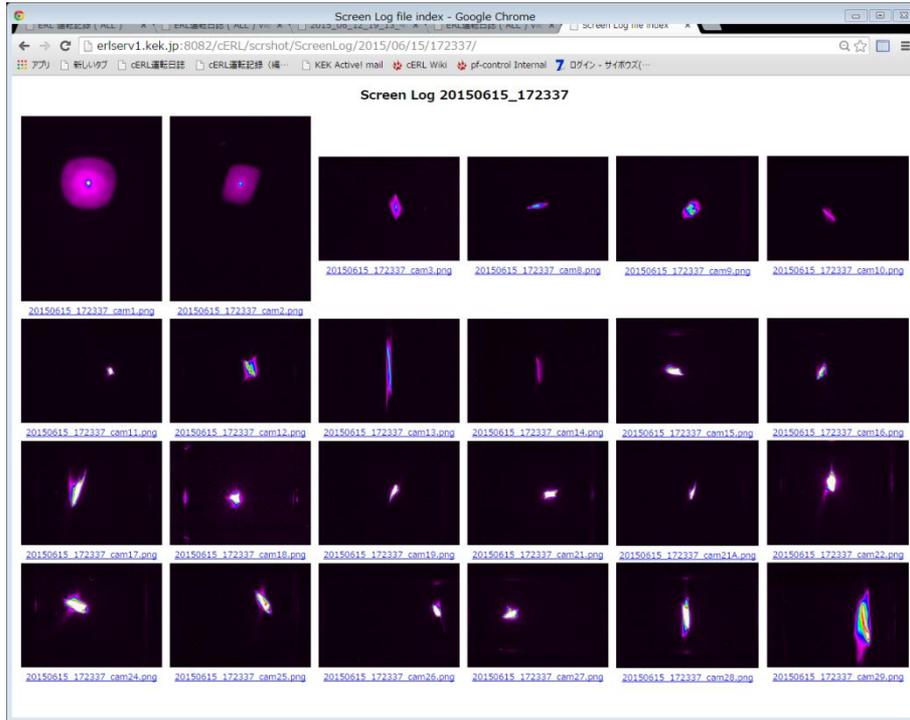


Cam13以降でプロファイルのずれが顕著になっているように見える

# プロファイルの再現性（電磁石初期化の影響）

2015年6月15日（月） 初期化前

2015年6月15日（月） 初期化後



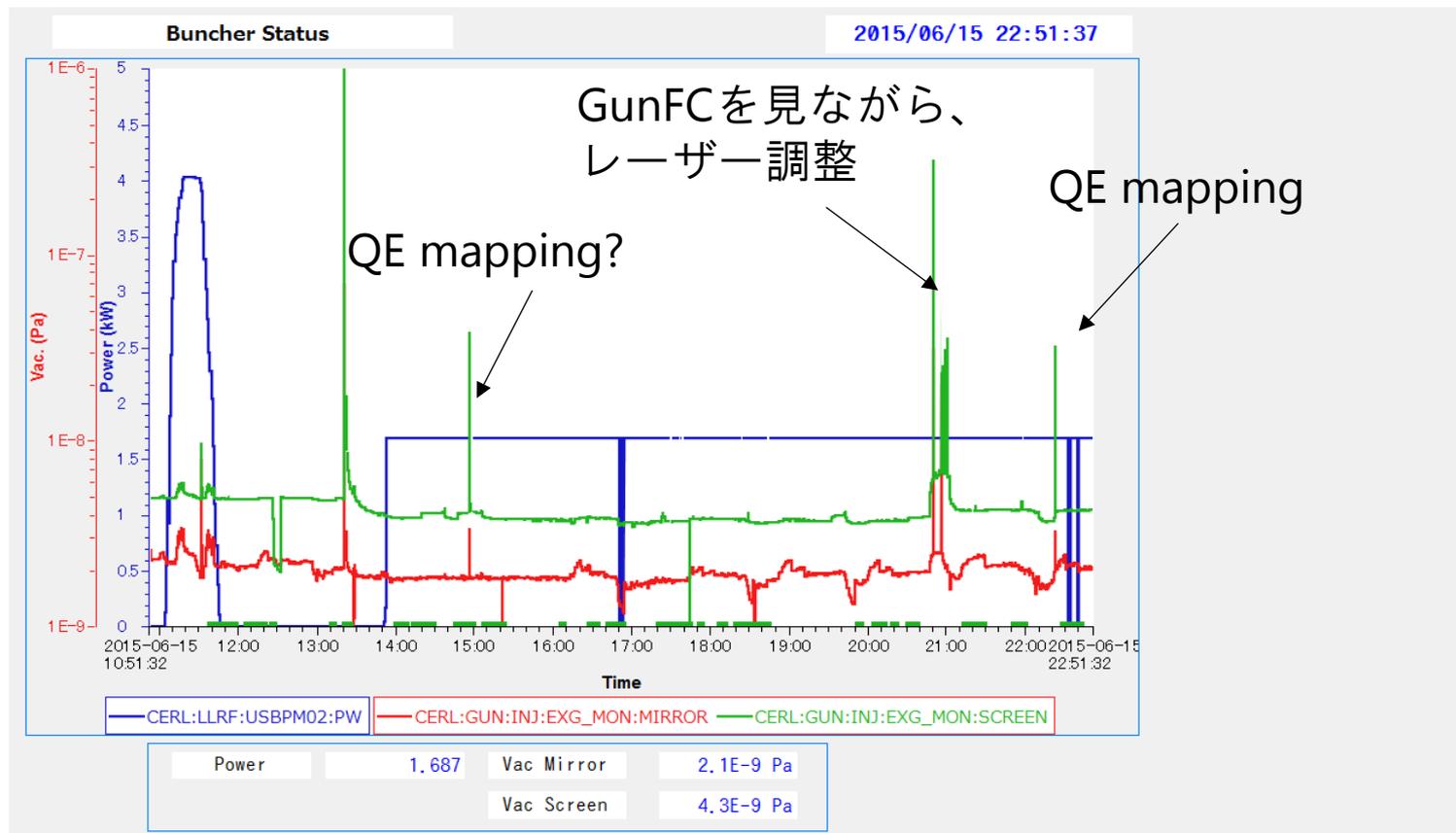
Section 2, 5の初期化を実施

プロファイルは変わっているが、周回部FCまで輸送できている

再現性の確保が今後の課題

# バンチャーの真空の跳ね

- Gun FCが入ったと思われるタイミングでバンチャーの真空が跳ねたが、因果関係は不明。

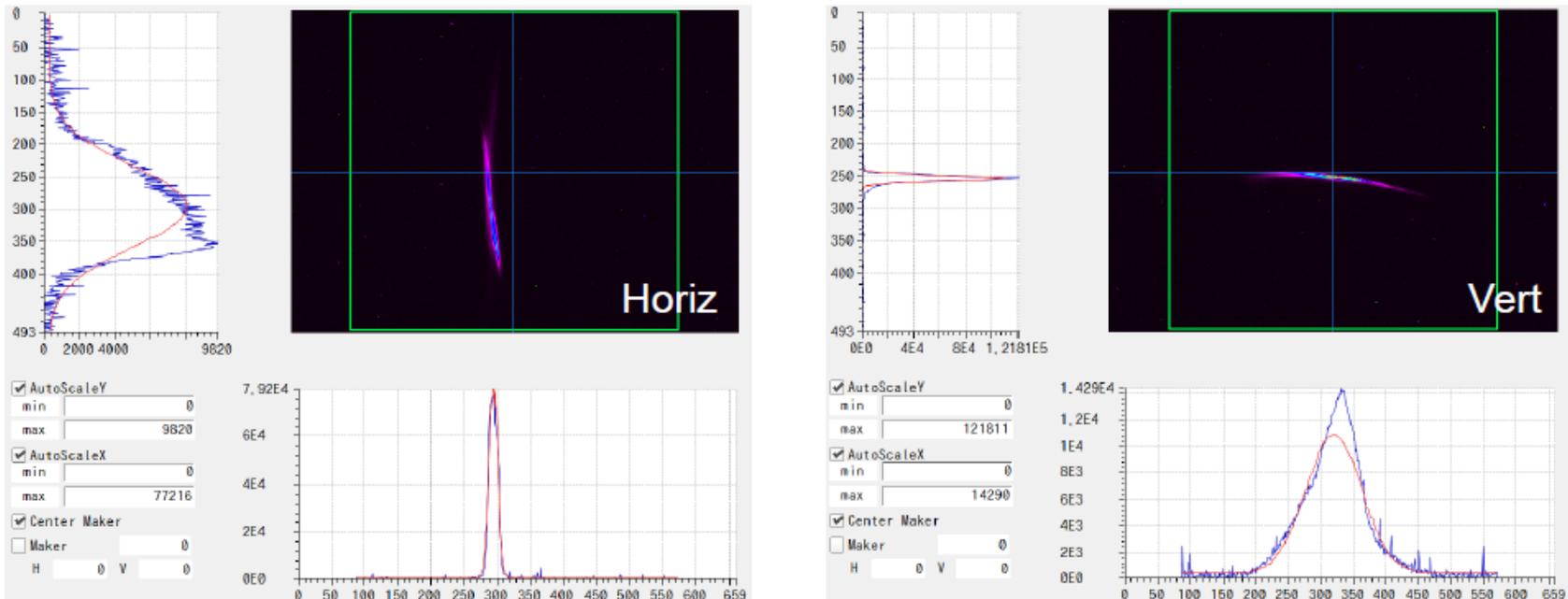


➡ このとき既に入射器空洞からのフィールドエミッションの影響が見えていたと思われる  
2015年6月16日（火）島田さん報告資料より

# 高電荷での周回部エミッタンス測定

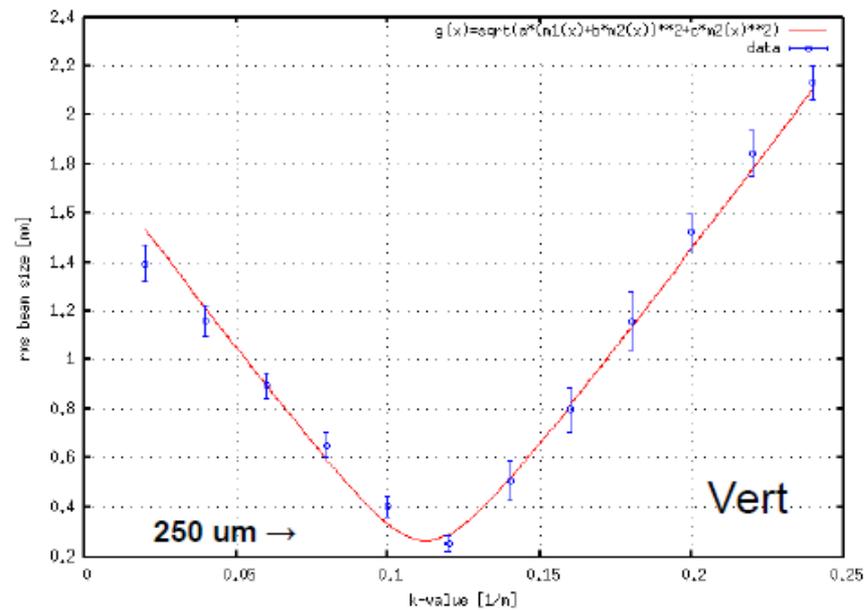
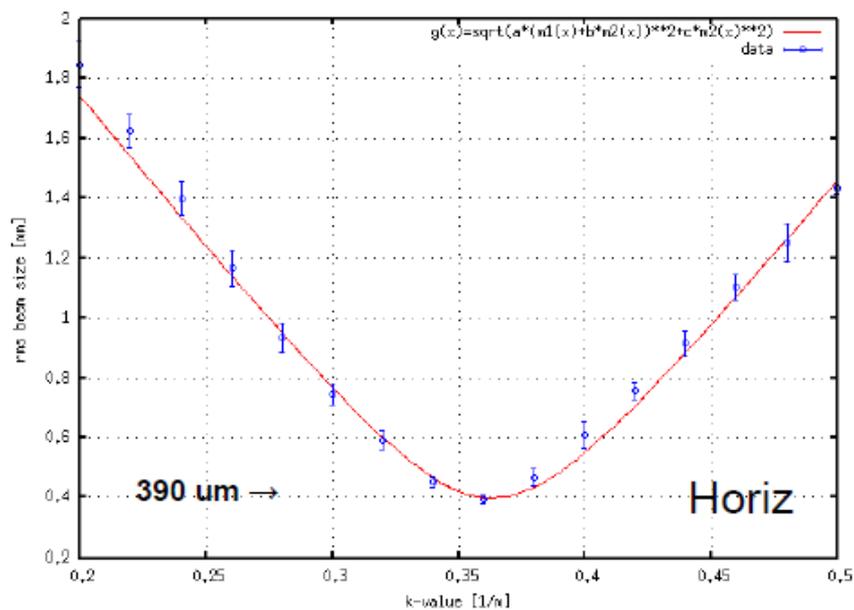
- ビーム条件: 7.7 pC/bunch, 162.5 MHz, 1 us burst, 5 Hz  
(1.25 mA peak, 6.3 nA average), short bunch (~3 ps)
- 測定日: 2015/6/15, とりあえず可動FCまで通した状態
- 測定箇所: ① 第1アーケ～周長補正シケイン(QMIM02 と MS18 を使用)  
② 主空洞後～第1アーケ(QMAM02 と MS13 を使用)
- QMAM03, QMAM04, QMIM03はK=0で標準化してスキップ

～ ウェスト位置でのビームプロファイル @ MS18 ～



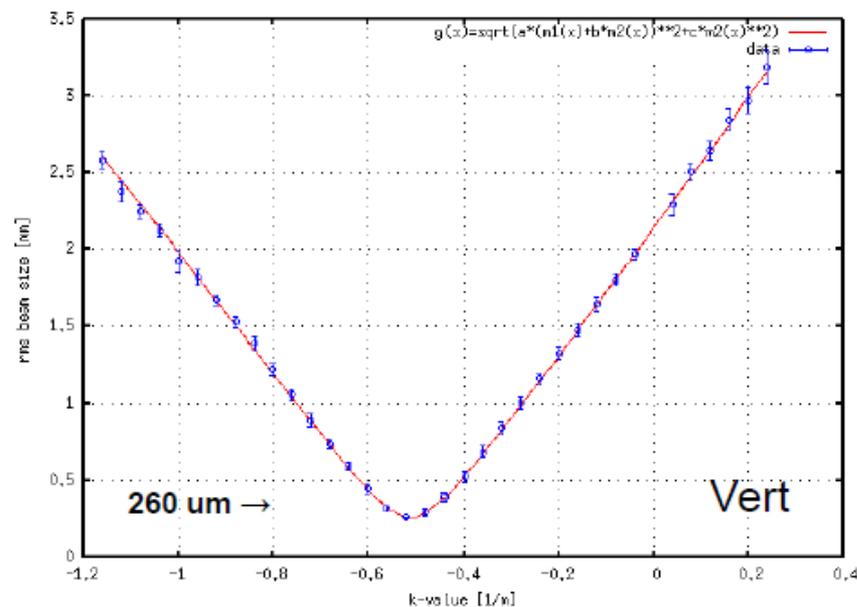
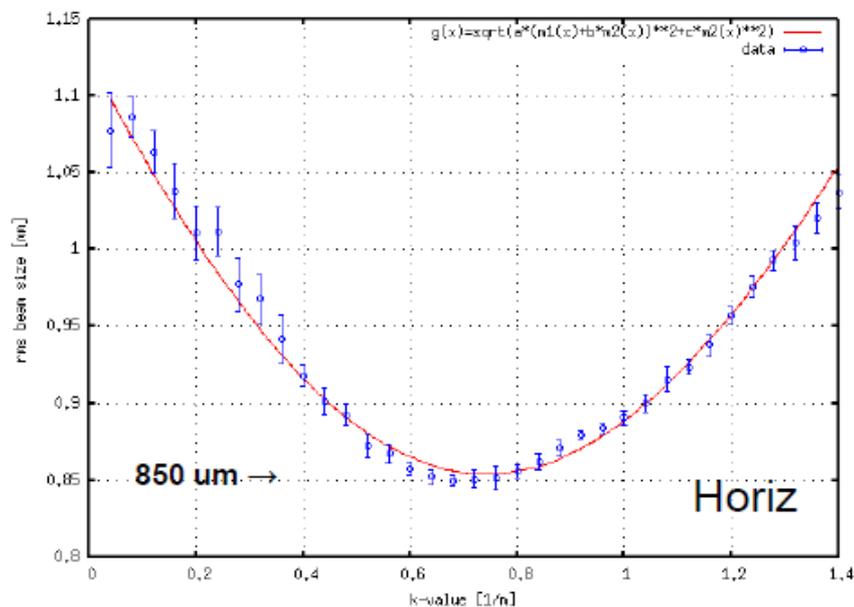
# 測定結果 ①第1アーク～周長補正シケイン

- QMIM02 と MS18 を使用 (Gain0, ND4, BG補正)
- 57.7  $\mu\text{m}/\text{pix}$ , QMIM02～MS18: 5888 mm (thick lens), 19.4 MeV
- 規格化エミッタンス  $\Rightarrow \underline{\varepsilon_x = 4.5 \pm 0.1 \mu\text{m}}, \varepsilon_y = 4.5 \pm 0.6 \mu\text{m}}$
- 前回(2014/6)よりは素直な応答



## 測定結果 ②主空洞後～第1アーク

- QMAM02 と MS13 を使用 (Gain0, ND4, BG補正)
- 57.5  $\mu\text{m}/\text{pix}$ , QMAM02～MS13: 4053 mm (thick lens), 19.4 MeV
- 規格化エミッタンス  $\Rightarrow \underline{\varepsilon_x = 1.90 \pm 0.02 \mu\text{m}}, \underline{\varepsilon_y = 2.39 \pm 0.03 \mu\text{m}}$
- 途中プロファイルが回転したり2ピークになることがあった
- 第1アーク後よりは小さい傾向？



# 最近の測定結果一覧

➤ 微小電荷 (< 0.05 pC/bunch)

$\varepsilon_x / \varepsilon_y$  [um]

	主空洞前	主空洞後	第1アーク後	LCS前
2014/6/13	0.15/0.14	0.14/0.12	0.14/0.14	0.13/0.15
2015/2/17	---	---	0.24/0.25	---
2015/2/19	---	---	---	0.17/0.19

➤ 中電荷 (0.5 pC/bunch)

2015/3/25	---	---	0.32/0.28	0.41/0.30
-----------	-----	-----	-----------	-----------

➤ 高電荷 (7.7 pC/bunch)

2014/6/19	---	---	42/15	---
2014/6/20	---	2.9/2.4	5.8/4.6	---
2015/6/15	---	1.9/2.4	4.5/4.5	---

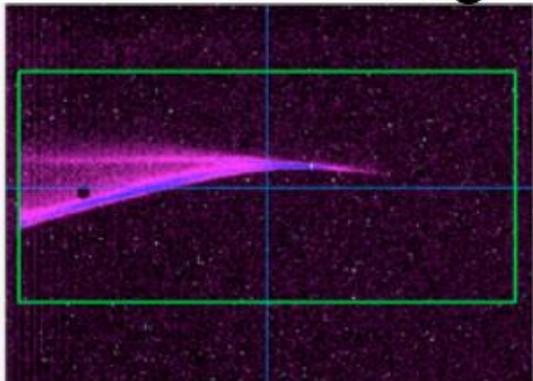
# 6/16(火): 周回部バンチ長測定

- 主空洞でのエネルギー広がり測定
  - エネルギー広がり測定 →  $1.7 \times 10^{-3}$
- 主空洞でのバンチ長測定 (ゼロクロス運転)
  - ML2: -137 deg が最大加速位相
  - ここから、 $\pm 90$  deg の位相でバンチ長を測定
  - +90 deg: 5.3 ps (ただしプロファイルが2つに分裂)
  - -90 deg: 3.3 ps (プロファイルはまともな形)
- Cam1, cam2 のプロファイル変化の調査
  - ソレノイド SL1 上流のステアリング (ZHV01) を変えた時の応答を測定 (詳細解析はこれから)
  - 応答の非線形性はあるが、プロファイルをゆがませるほどかは解析が必要

# ML2 +90deg.

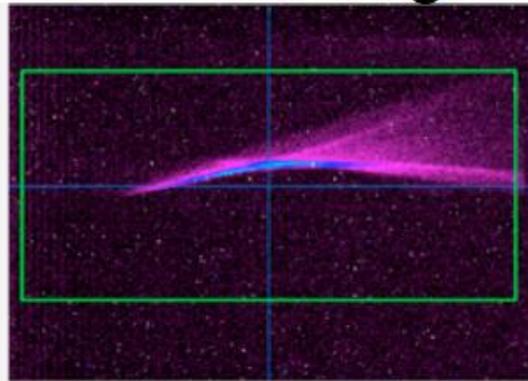
- cam14で見て、エネルギー拡がり測定
- 位相を微調整してキャリブレーション 65px/deg.
- 測定されたサイズ 160px RMS
- バンチ長の結果 5.3ps RMS

+90 -2 deg.



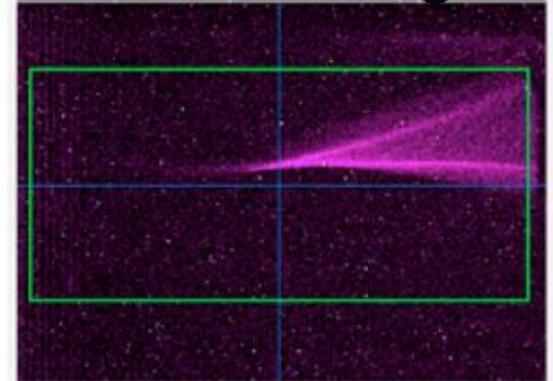
High <- -> Low

+90 deg.

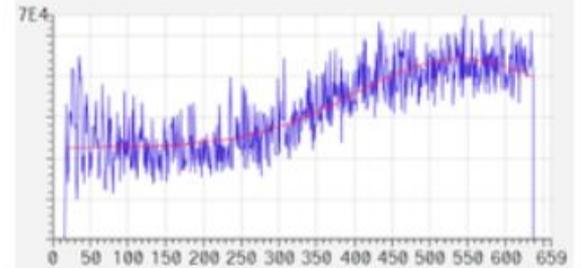
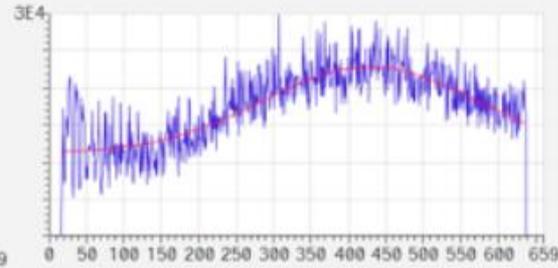
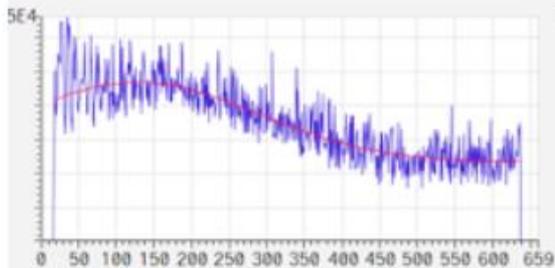


High <- -> Low

+90 +2 deg.



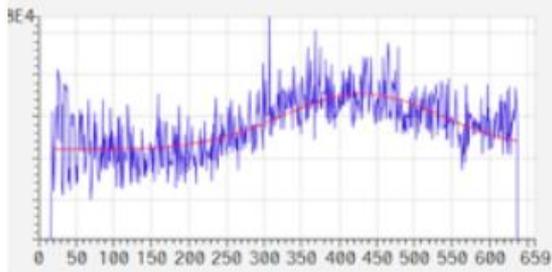
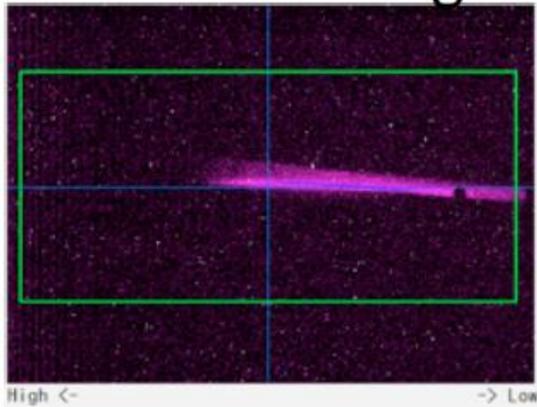
High <- -> Low



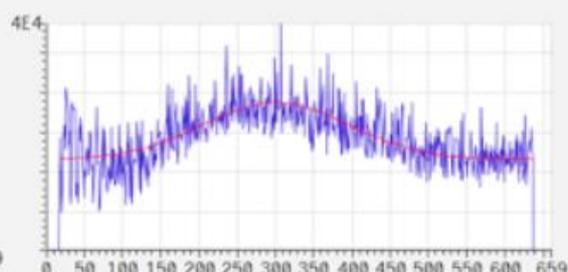
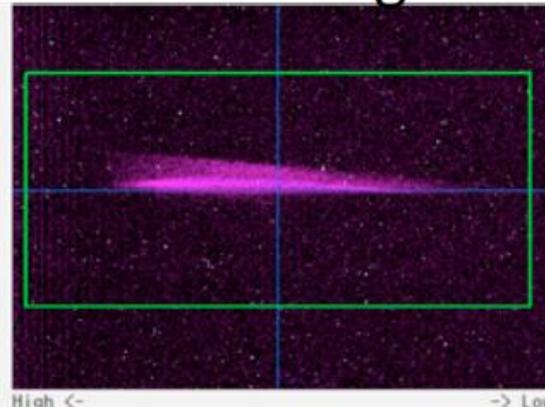
# ML2 -90deg.

- cam14で見て、エネルギー拡がり測定
- 位相を微調整してキャリブレーション 65px/deg.
  - ともかく、+90degのときと、-90degのときで校正係数が一致しているので、正しく測定できている。
- 測定されたサイズ 100px RMS
- バンチ長の結果 3.3ps RMS
  - +90degのときの結果は5.3ps。違いは、はじめからあるバンチ内でのエネルギーチャープか。

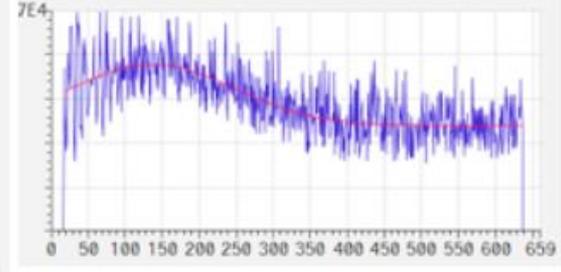
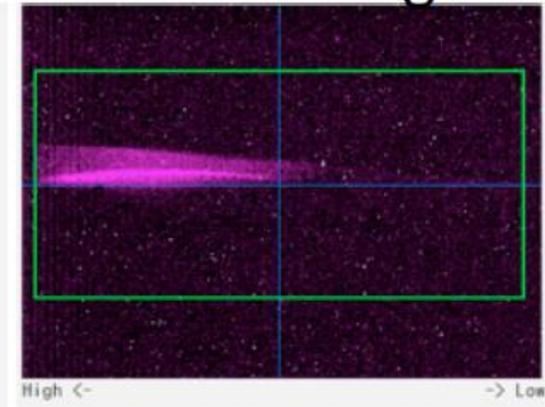
-90 -2 deg.



-90 deg.



-90 +2 deg.

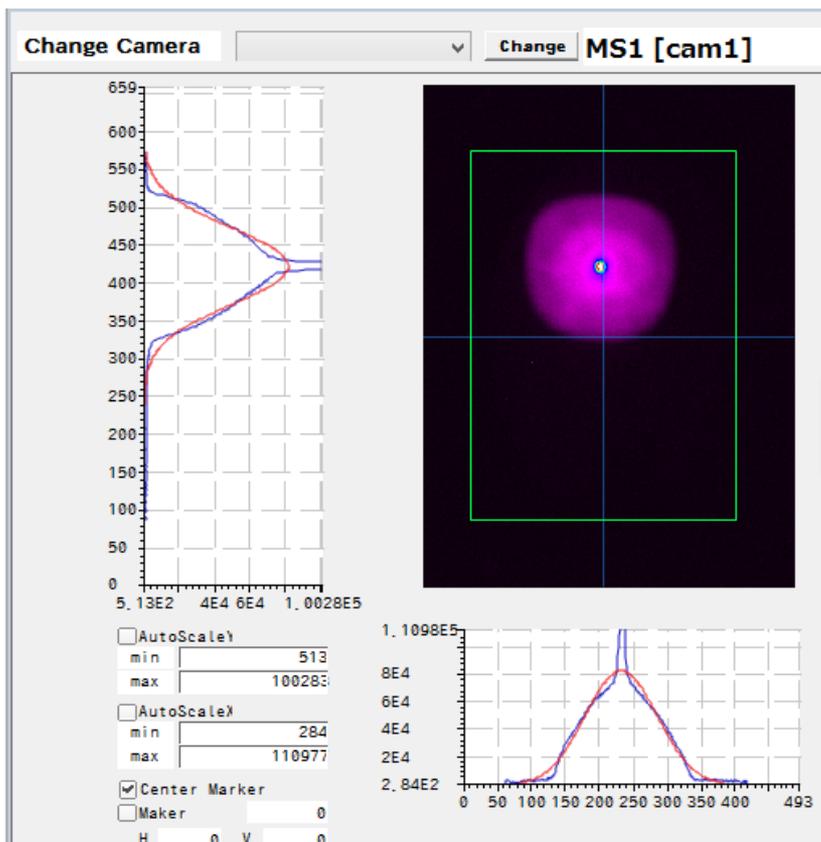


設計値は 3 ps rms なので、進行方向は極端にずれて輸送していることはなさそう

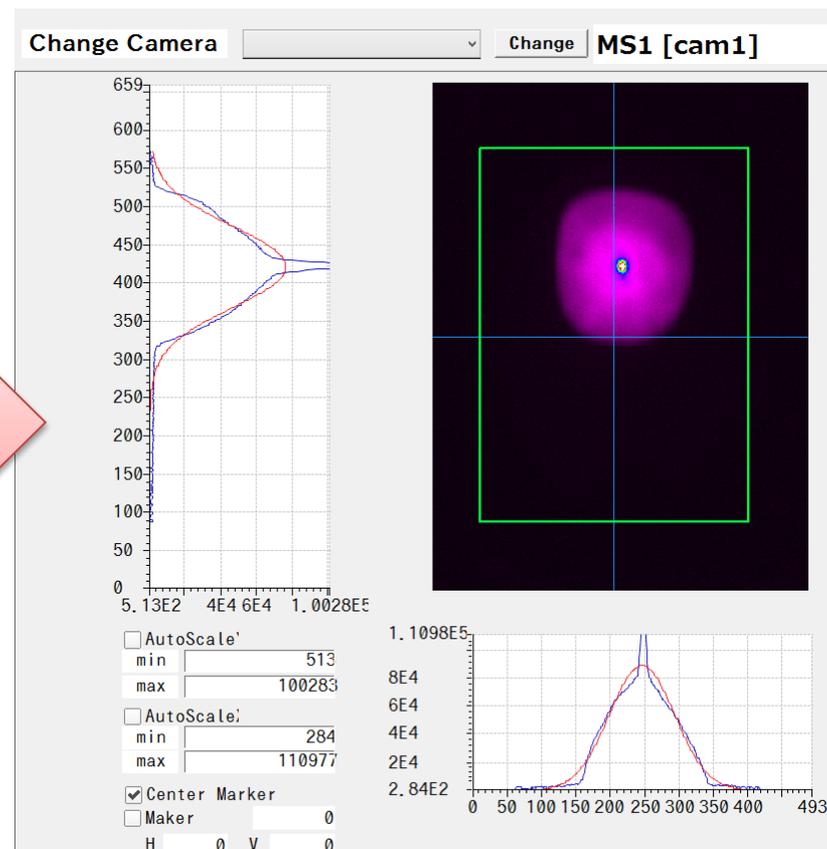
# cam1, cam2のプロファイル変化

- 6/15(月)のプロファイルに比べて、6/16(火)のプロファイルが大きく変化している
- 縦に伸びている(横に縮んでいる)ように見える

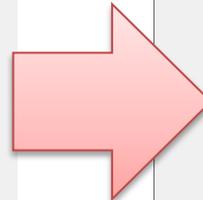
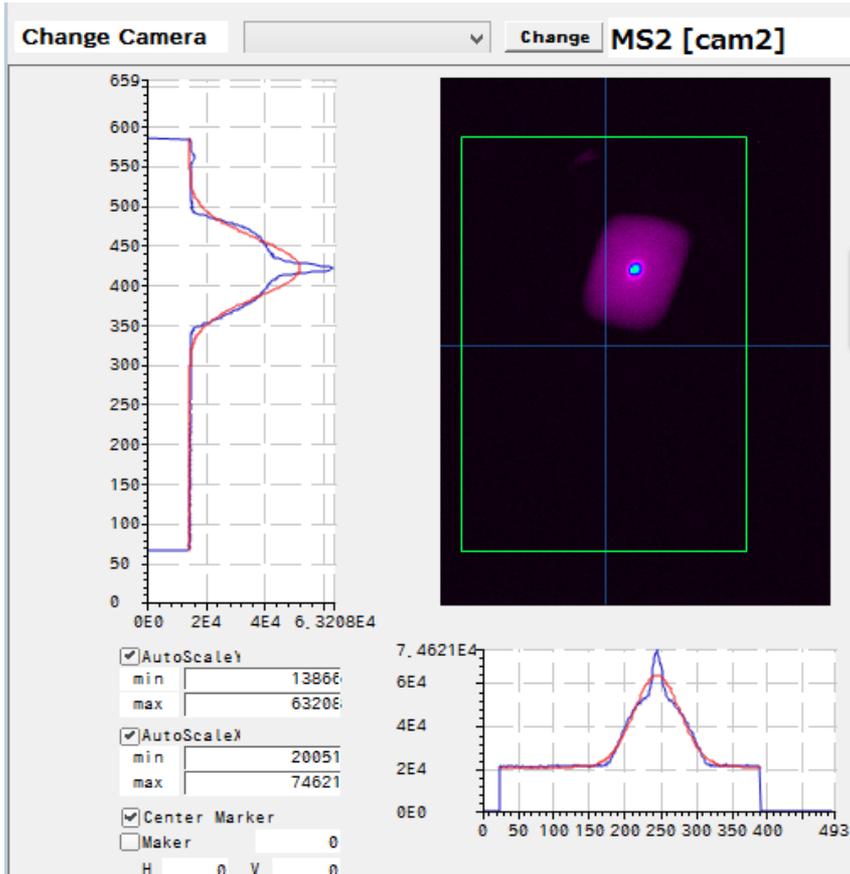
2015年6月15日(月)



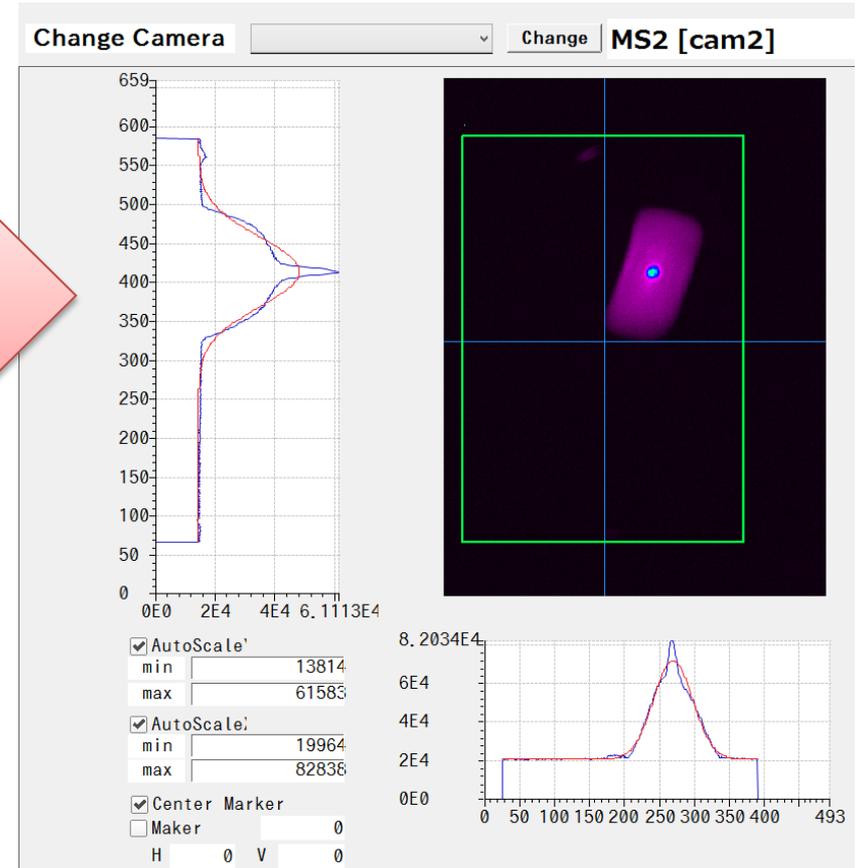
2015年6月16日(火)



2015年6月15日(月)

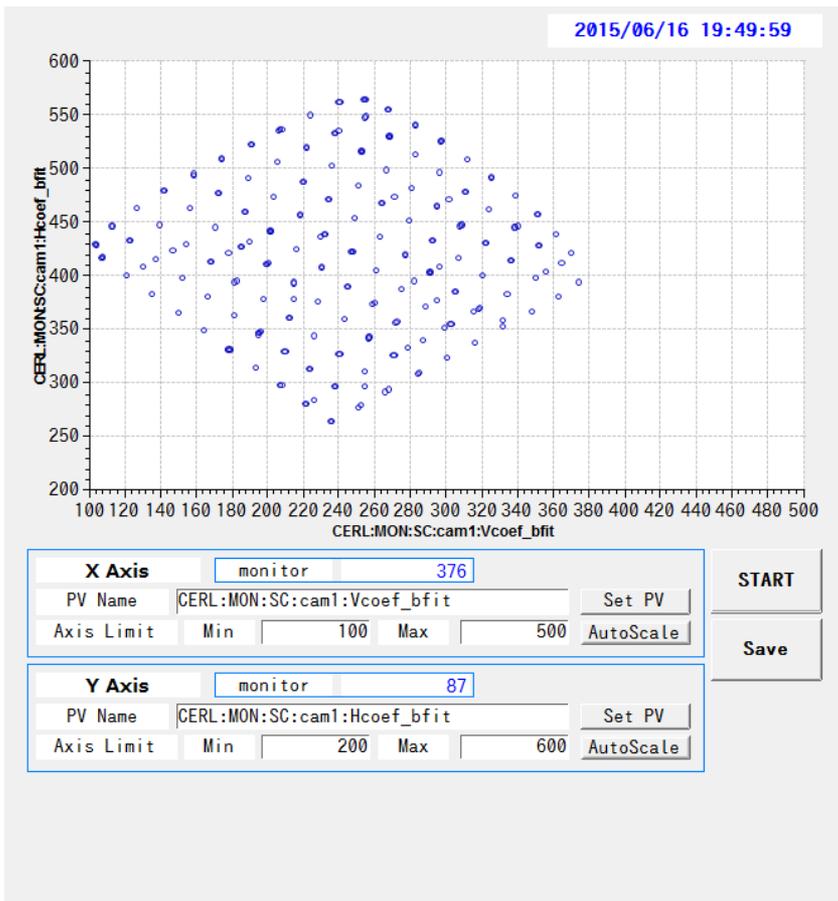


2015年6月16日(火)



19:48:46

## cam1での(ZHV01)スキャン結果 20150616\_194828.dat



下記の初期値から、 $\pm 2$  Aの範囲をスキャンする  
0.2 A step で取得する

ZH01: -1.68 A  $\rightarrow$  0,32 A

ZV01: -1.732 A  $\rightarrow$  0.268 A

ステアリングの初期値

ZH01 = -0.68 A

ZV01 = -0.732 A



詳細な解析はこれから  
XYのマップ作って、非線形な量を見積もる  
その後に、磁場を推定  
トラッキングを実施して、プロファイルの  
歪みの効果を検証する

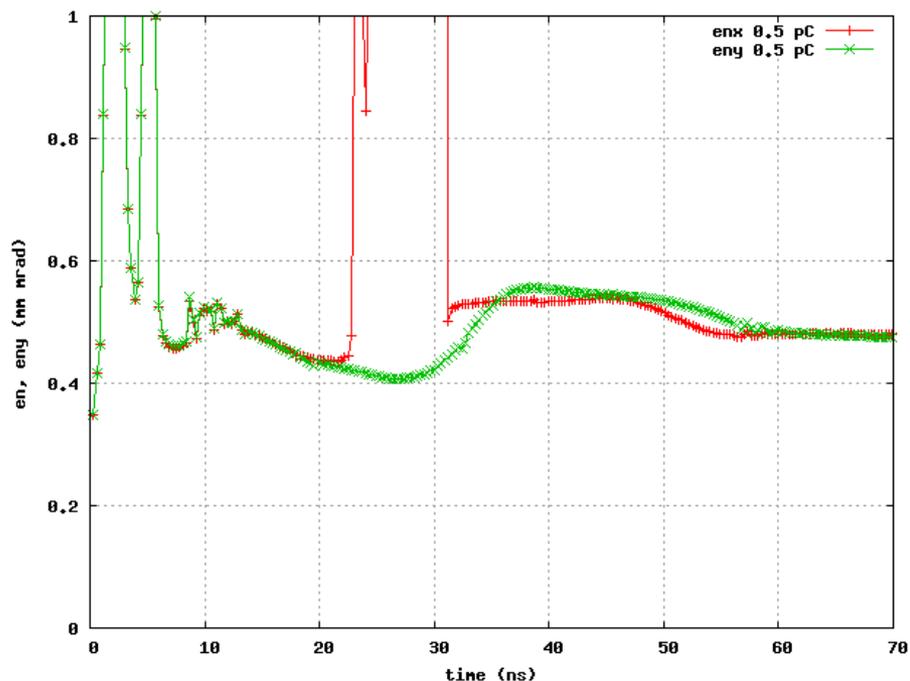


地上から1 m 付近で、この辺で2 Gauss程度の磁場がある  
以前がどうだったかはわからない

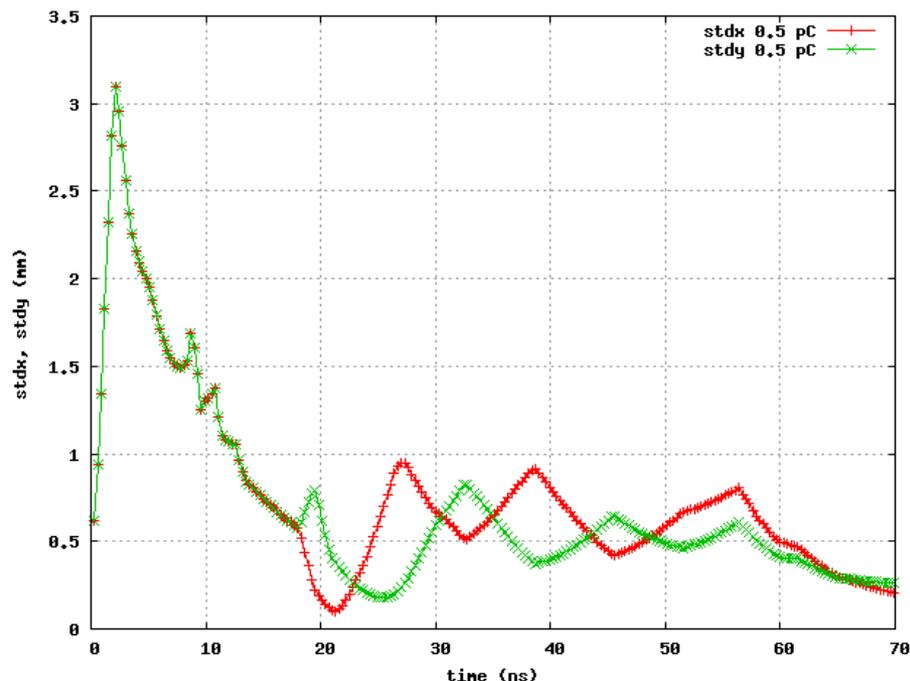
注:この影響と言っているわけではなくて、影響のありそうな候補の記録として示しています

## 設計条件4： 入射器4.89 MeV、周回部輸送（レーザー直径d = 2 mm）

### 規格化 rms エミッタンス



### Rms ビームサイズ

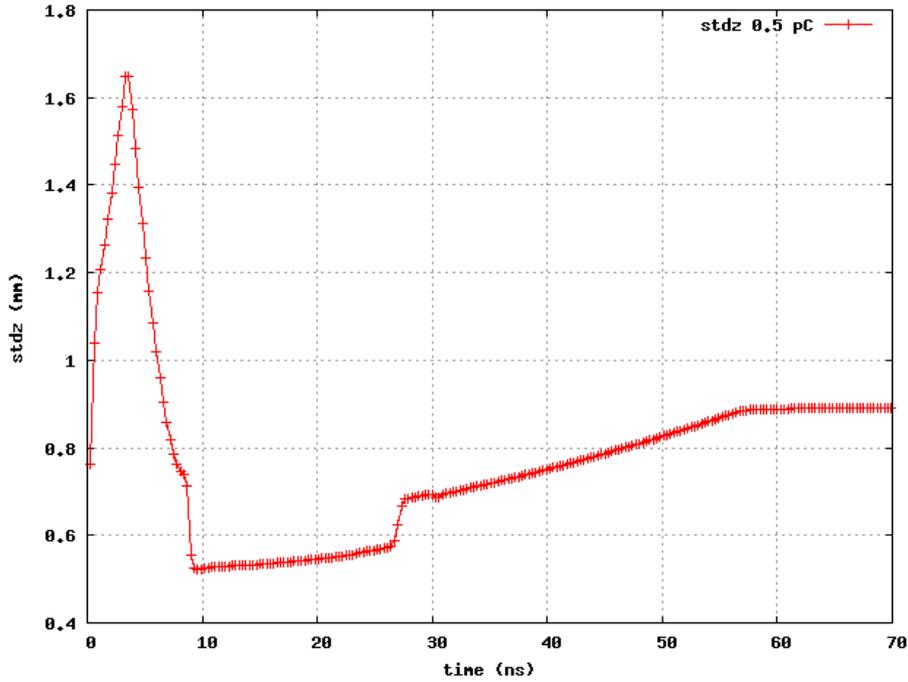


主空洞後、0.5 mm mrad

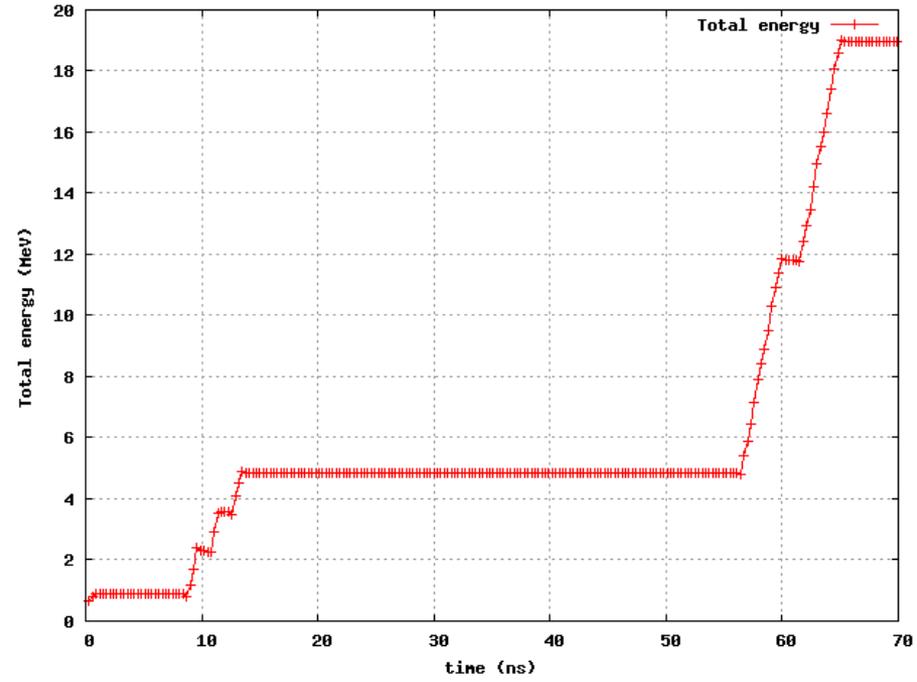
入射空洞後のエミッタンス変化が小さくまた、ビームサイズも小さく輸送できている（磁場の一様な領域を通せる）ので、かなり期待できそうな輸送条件にできた

# 設計条件4： 入射器4.89 MeV、周回部輸送 (レーザー直径d = 2 mm)

## Rms バンチ長



## 入射器エネルギー



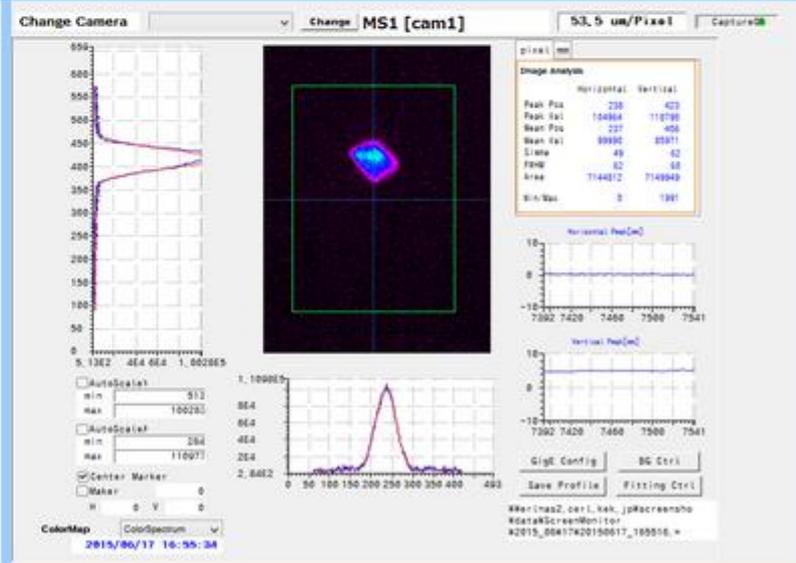
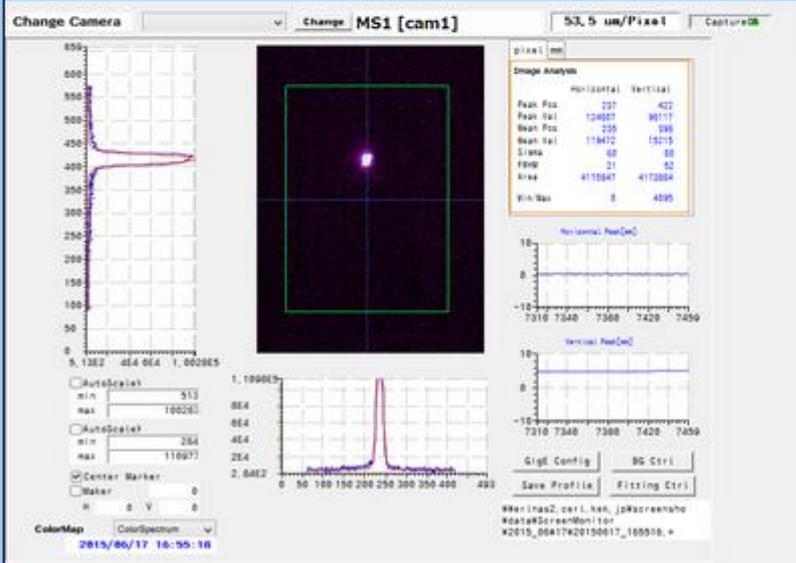
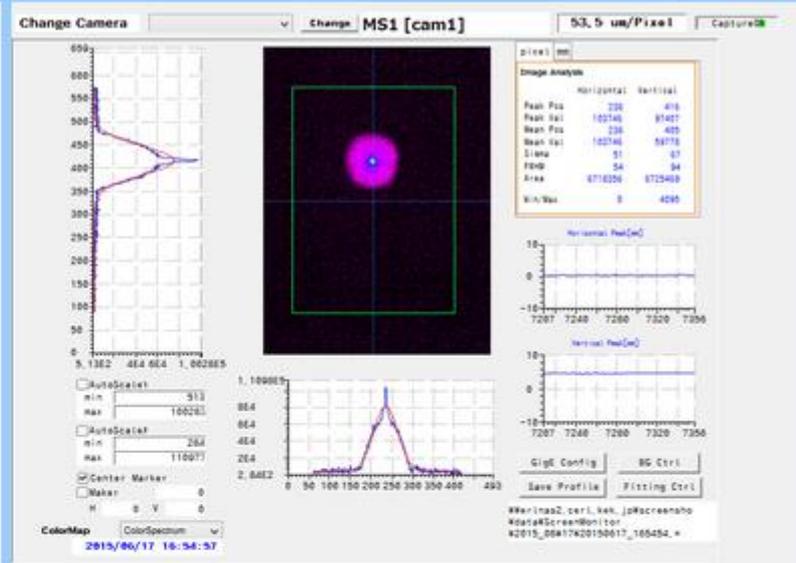
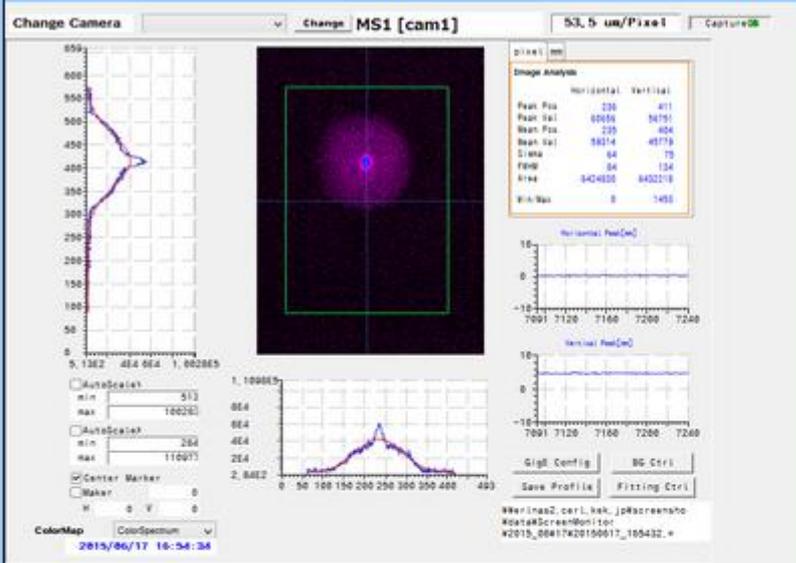
主空洞後、3 ps

# 6/17(水) : $E_{inj} = 4.9 \text{ MeV} \Rightarrow 2.9 \text{ MeV}$ の決断

- 入射器空洞Cav#1のFEが大きいため、運転エネルギーを下げる決断
  - 高勾配運転のため主空洞再度エージング
- ビーム運転開始
  - 15:49頃: レーザー直径2mmでソレノイドスキャン
  - 17:50頃: 1mmに戻すために入室
  - 18:30頃: 0.5pC/bunchのビーム調整開始
    - 入射器空洞位相調整(CAV#2,3間も)
  - 20:45頃: 第2アークまで到達
  - 20:49頃: 主空洞軌道調整
  - 22:04頃: 主空洞位相調整

# レーザー直径2mmでのソレノイドスキャン

- 入射器空洞#1からのフィールドエミッションが増えたため、加速勾配を7 MV/mから下げる必要がある。
- 4 MV/mくらいなら安定に運転できそうだが、加速勾配を下げて7.7 pC調整をするには、輸送設計条件の再計算、位相再調整が必要となる。
- が、輸送設計条件の再計算には1日程度の時間が必要。
- 現状は、エネルギーを下げた状態の輸送設計条件がない状態。
- このため、本日の7.7 pC調整は諦めて、入射エネルギー $E = 2.9$  MeV運転調整を前倒しで実行することにしたい。
- 今週の予定案
  - 6/17(水):レーザー直径 $d = 2$  mmでのソレノイドスキャン、 $d = 1.0$  mmに戻して $E = 2.9$  MeV 輸送調整(0.5 pC)。
  - 6/18(木):周回調整、コリメタ調整、CW調整
  - 6/19(金): $E = 2.9$  MeVでの7.7 pC調整試験( $d = 2$  mm、診断ライン輸送、エミッタンス測定)
- レーザーピンホールを直径1mmから2mmに変更(電荷密度を下げるため)
- SL1スキャンを実施して、モデルと比較する



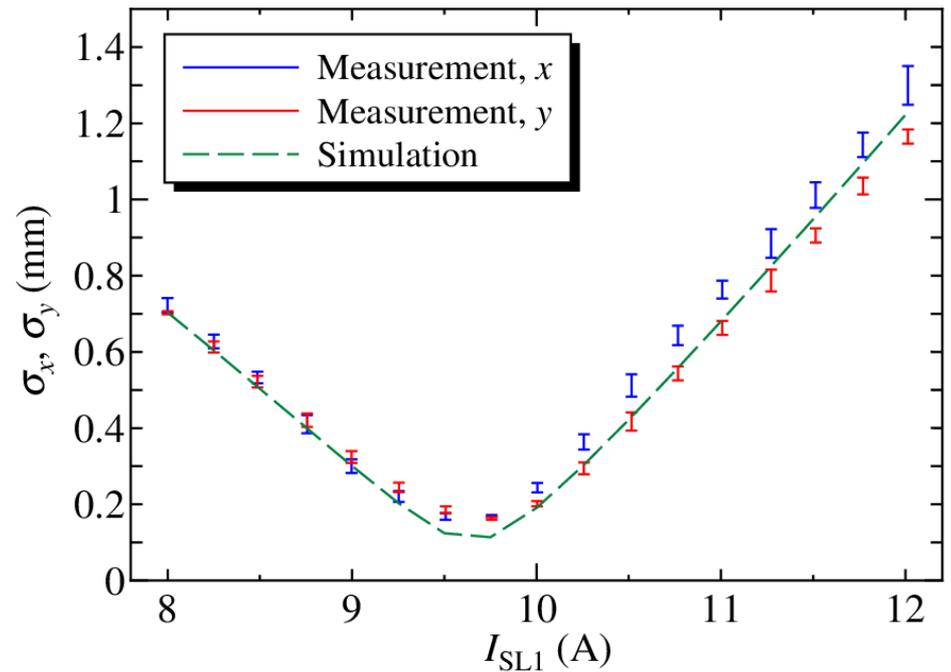
プロファイルの非対称性は改善しているが、まだ残っている  
 ⇒ 電荷密度を下げて、SL1でのビームサイズを小さくすることは効果がある

0.54 pC/bunch

初期レーザーパルス長: 3 ps

レーザー直径: 2 mm

ほぼモデルで実験結果を再現できている  
過収束したあと、XYの非対称性が見える



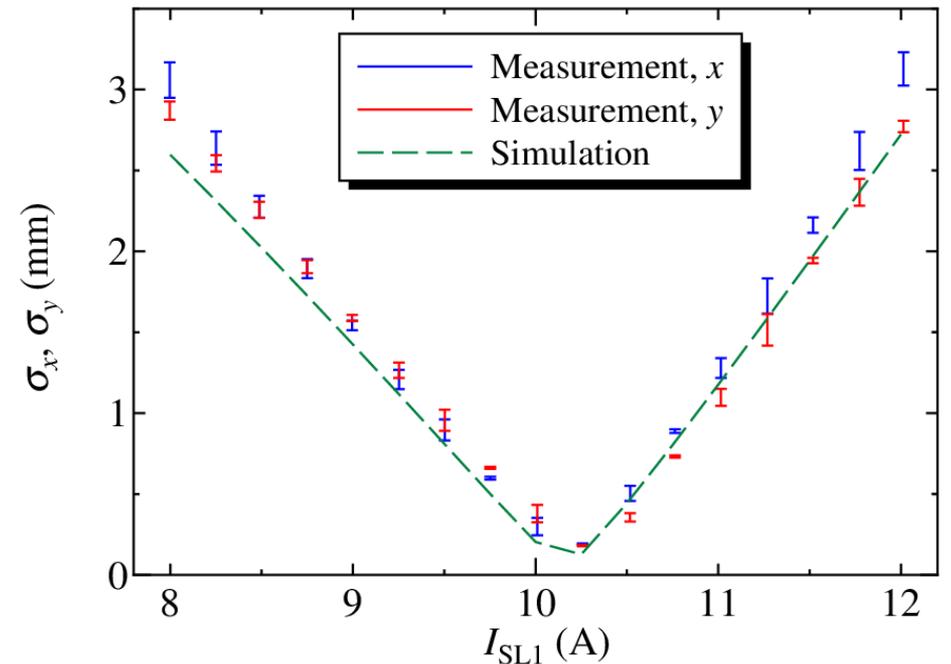
7.6 pC/bunch

初期レーザーパルス長: 3 ps

レーザー直径: 2 mm

モデルと実験結果はかなり近いが、  
0.5 pCに比べるとずれが大きい

ビーム条件の確認、モデルの確認を  
行い、よりモデルによる再現性を高めたい

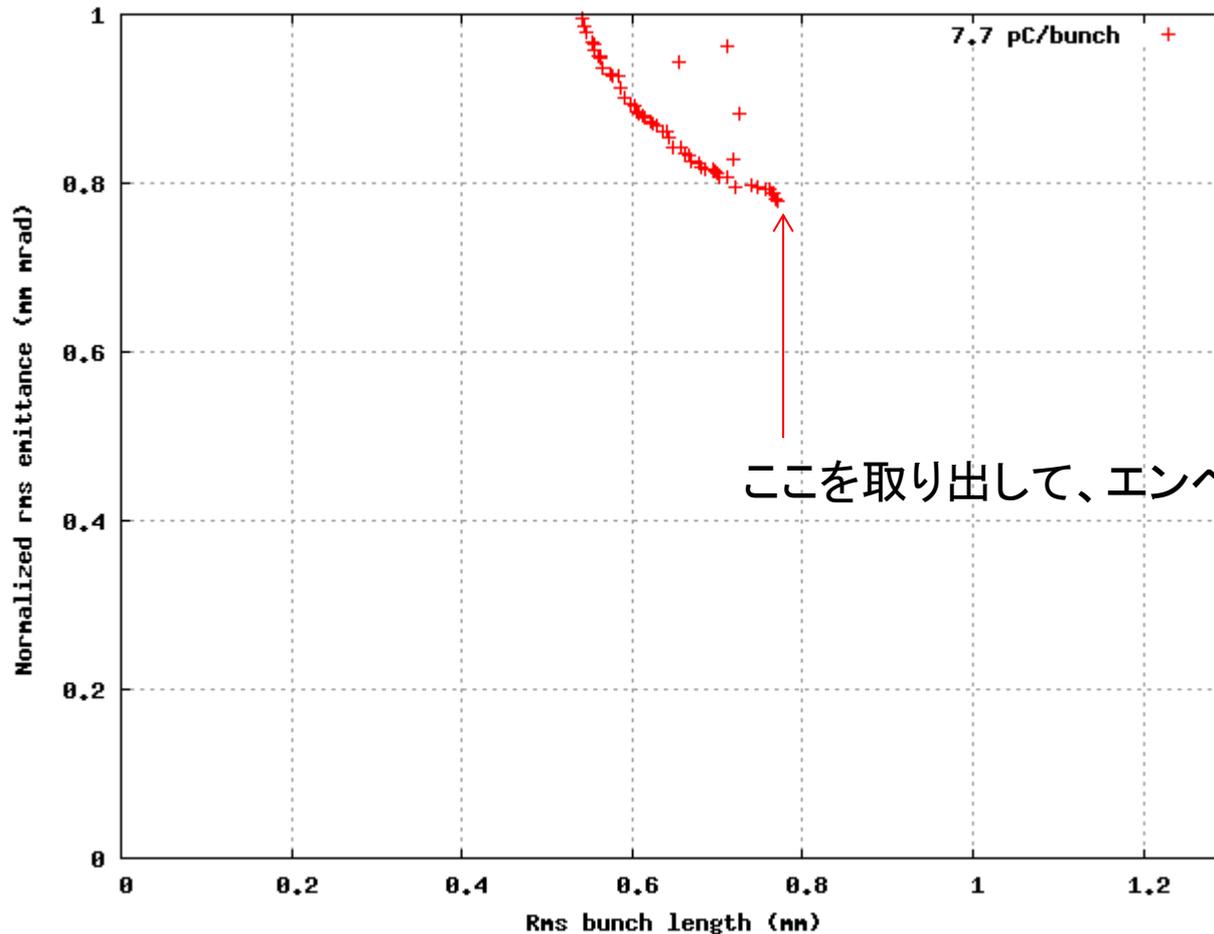


## 7.7 pC, $E_{inj} = 2.9 \text{ MeV}$ , $d = 2\text{mm}$ 周回部輸送設計条件

- (土日)に入射器エネルギーを2.9 MeVに下げた状態で、周回部に輸送できる条件を計算した
  - バンチ電荷: 7.7 pC
  - 初期レーザースポット直径: 2mm (空間電荷力を弱めるため)
  - 入射器エネルギー:  $E = 2.9 \text{ MeV}$
- 手順
  1. 主空洞出口(A点)でのエミッタンス最小化(SL1, SL2, バンチャー電圧の最適化、INJ#1位相差、5連Q、8連Q)
- 結果
  - エミッタンスはぎりぎり 1 mm mradを切れる程度
  - 入射器の $E_{acc}$ を下げたため、空洞による収束力低下、入射器空洞下流でビームサイズが大きくなる  $\Rightarrow$  このため合流部近傍でビームサイズが増大し、おそらく設計通りに輸送できないと思われる( $\sigma_{dx} \sim 6 \text{ mm}$ )
  - これを抑制するには、可能な限り、INJ#1の加速勾配を上げたい
  - 以前にINJ#1の加速勾配を下げた方がエミッタンスを下げられるというのは、あくまで12 MV/mとかから下げた方が良いというはなしで、現状の 3.3 MV/mというのはすでに非常に低い値になっている
  - 今週スタディを実施しても、2014年6月から大きく下げるのは難しい  $\Rightarrow$  その場しのぎでは厳しい
- 今後
  - INJ#1の $E_{acc}$ を現状運転可能な 4 MV/m にした場合の輸送条件の設計を行う
  - あるいは、INJ#1の $E_{acc}$ が回復すれば、4.9 MeV輸送条件を試したい

# 手順1 (主空洞出口A点での最適化)

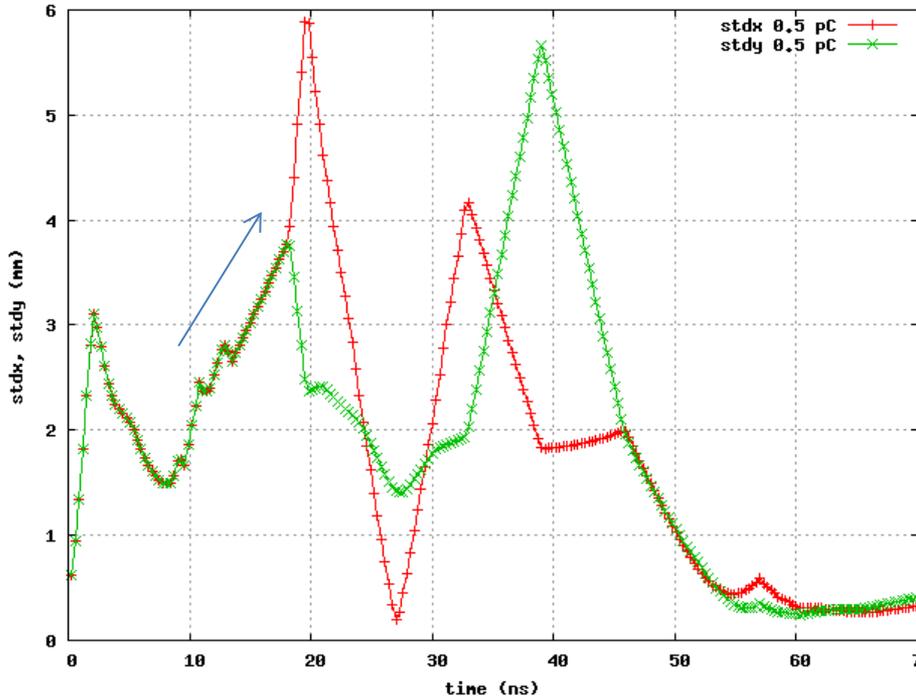
SL1, SL2, バンチャー電圧の最適化、5連Q、8連Qの最適化も同時に行う  
(INJ#1の位相条件も最適化するが、入射器エネルギー変更せず)



ここを取り出して、エンベロープを計算

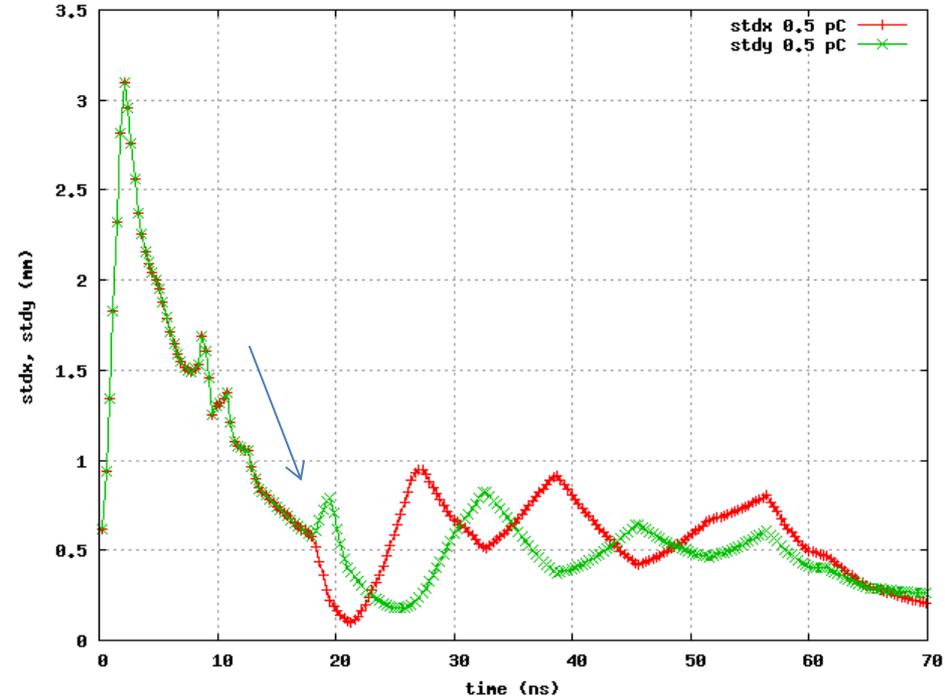
# Rms ビームサイズ

## 2.9 MeV入射器



入射器を出た後で急激に増加  
このため、主空洞に入るまでにビームサイズの大きい部分ができる  
6 mm まで大きくすると望まない磁場の影響を強く受けてしまう  
INJ#1の加速勾配が低いため、収束とエミッタンス補償を同時に行えていない

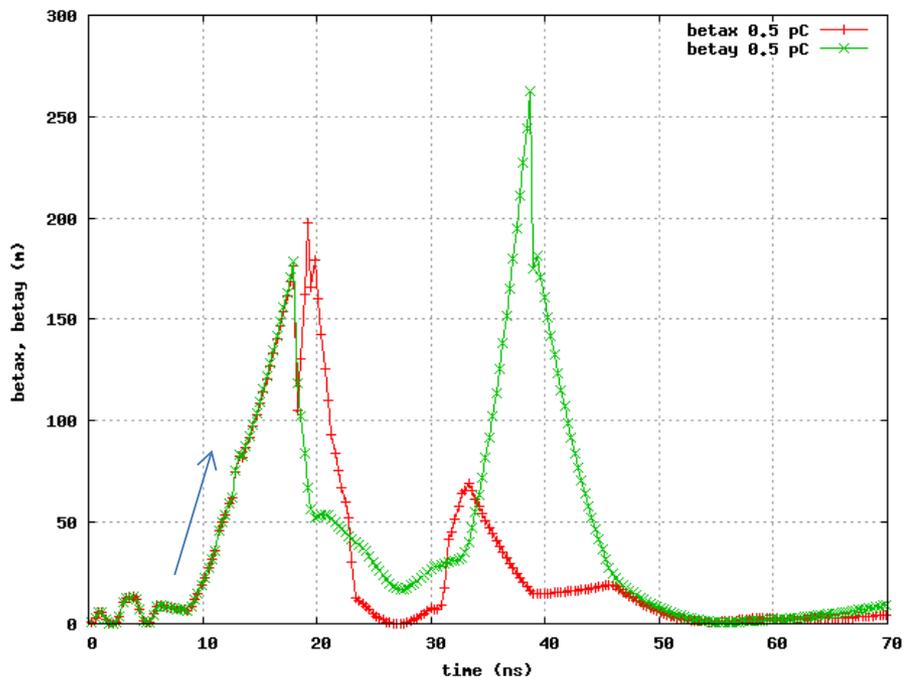
## 4.9 MeV入射器



入射器を出た後に減少傾向  
このため、主空洞に入るビームサイズをうまくコントロールできていた  
(ただし、周回部へのマッチングはできていない)

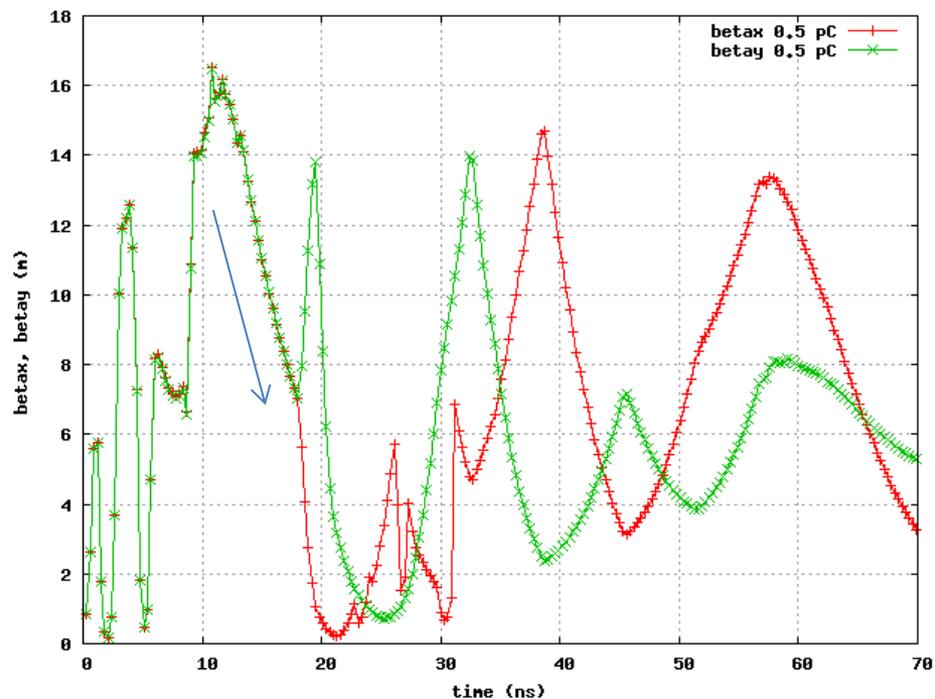
# Betatron function

## 2.9 MeV入射器



入射器を出た後で急激に増加  
このため、主空洞に入るまでにbetaの  
大きい部分(200 m)ができてしまう

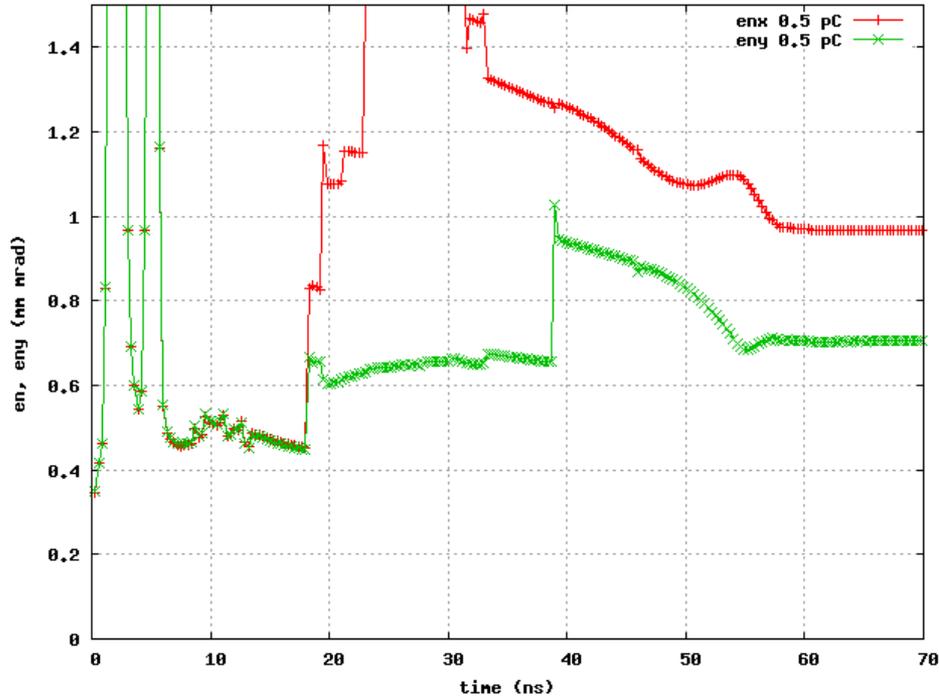
## 4.9 MeV入射器



入射器を出た後に減少傾向  
このため、主空洞に入るbetaをうまく  
コントロールできていた  
(ただし、周回部へのマッチングはでき  
ていない)

# 規格化rmsエミッタンス

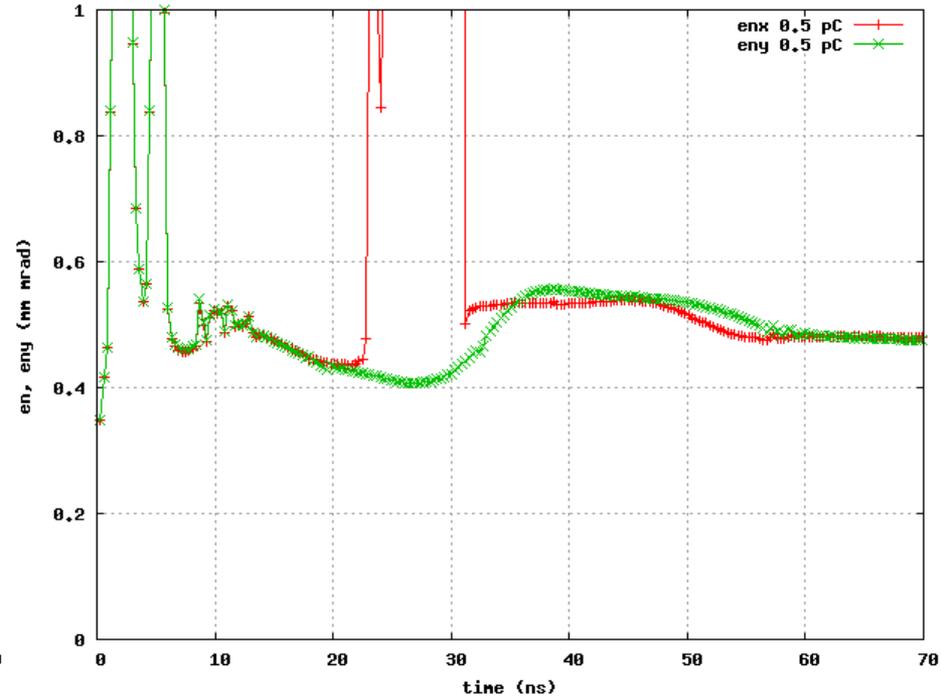
## 2.9 MeV入射器



主空洞を出たあとで、1.0 mm mrad

合流部に入ったところで急に増加  
このビームサイズのコントロールができていない

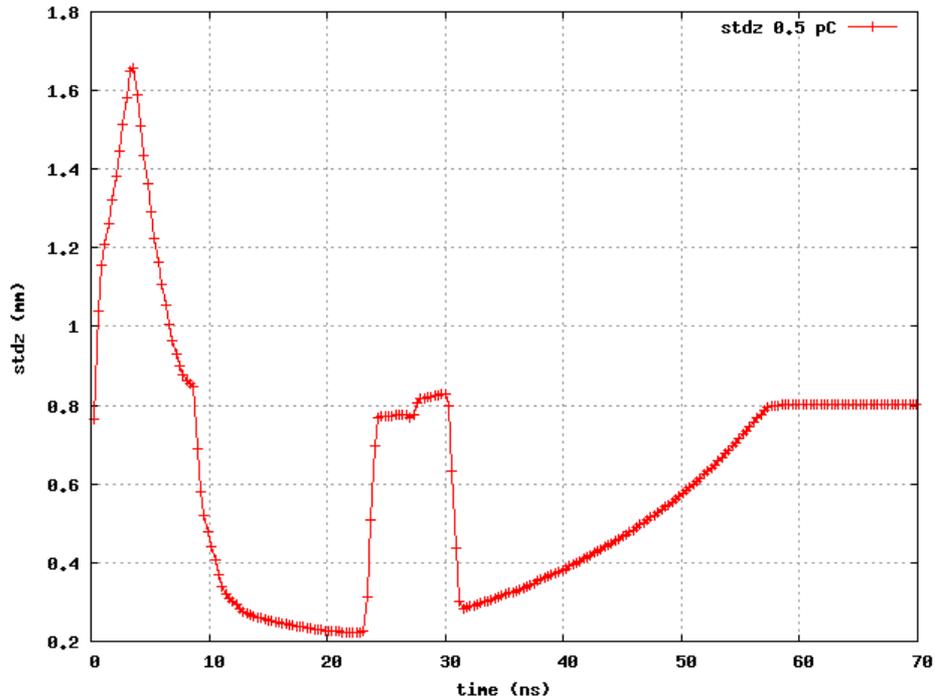
## 4.9 MeV入射器



主空洞を出たあとで、0.5 mm mrad

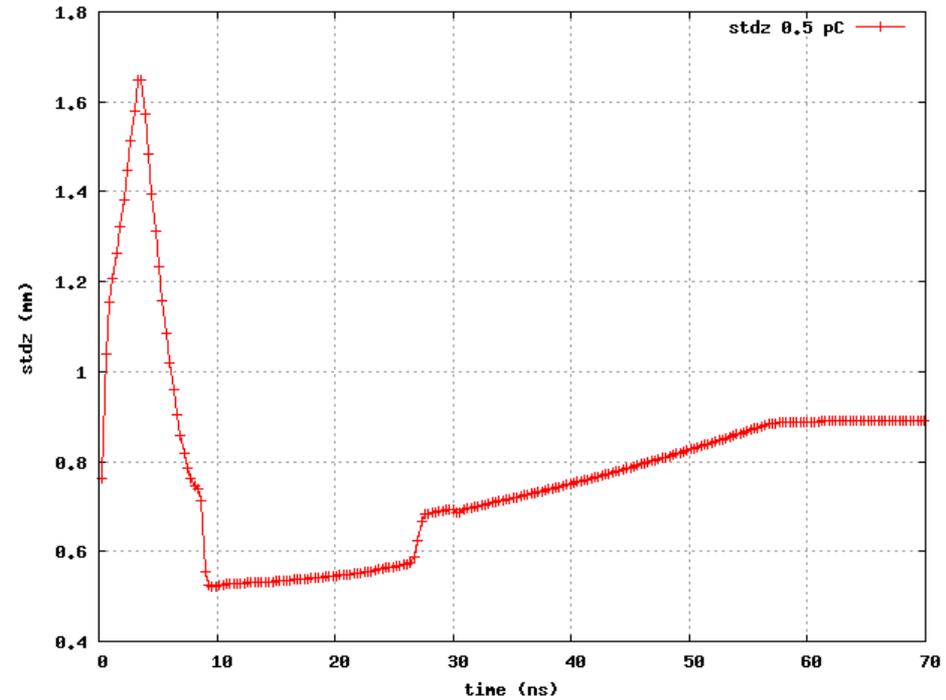
# Rms バンチ長

## 2.9 MeV入射器



主空洞を出たあとで、0.8 mm

## 4.9 MeV入射器



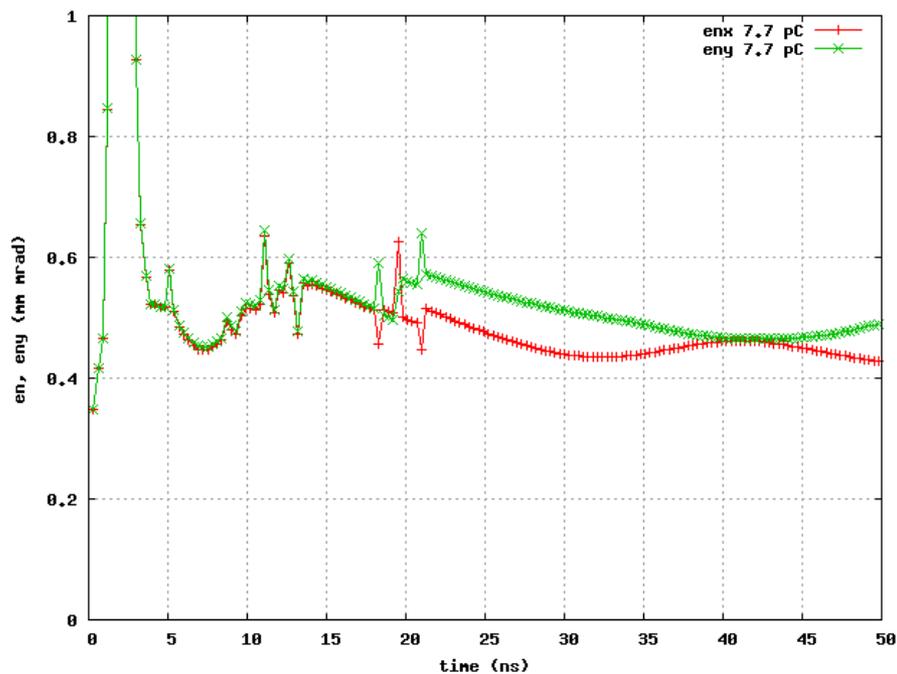
主空洞を出たあとで、0.9 mm

# Einj = 2.9 MeV, d = 2 mmのまとめ

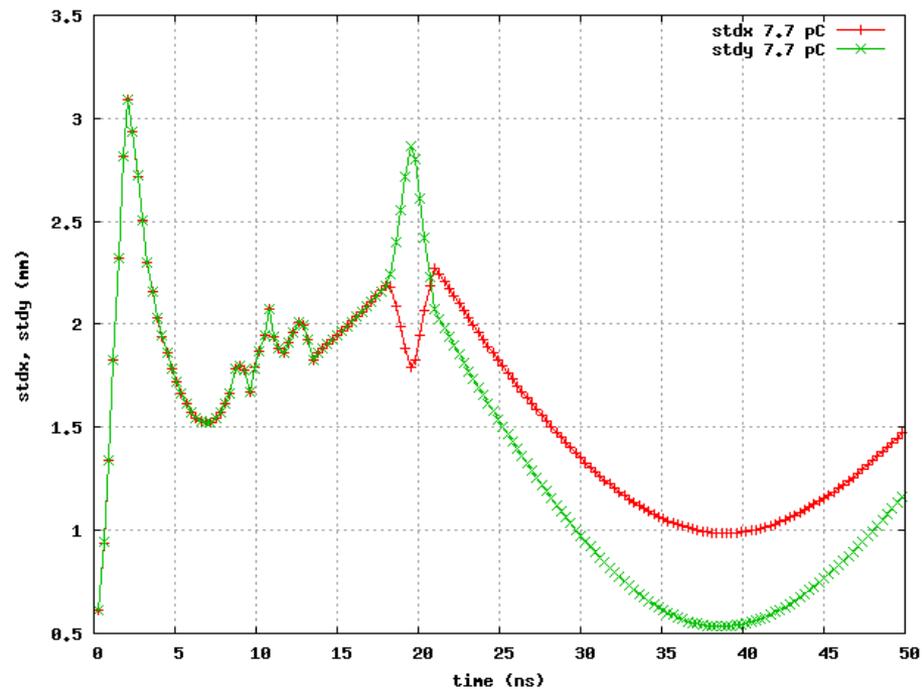
- 今期予定していた、5.4 MeV (あるいは少し下げて、4.9 MeV) 入射では、設計段階である程度ビームサイズも絞れ、調整していけば設計に近づけていけそうな見込みがあった ( $E_{acc} = 7 \text{ MV/m}$ )
- フィールドエミッションにより、 $E_{acc}$ を下げることになり、結局2.9 MeV入射 ( $E_{acc} = 3.3 \text{ MV/m}$ ) となったため、新たな輸送条件の設計を行った
- が、エミッタンス補償をすると入射器出口でビームサイズが発散傾向になるのを抑えられなかった (INJ#1の $E_{acc}$ を上げると改善できる)
- 入射器出口でビームサイズが発散傾向になると主空洞までの間でどうしてもビームサイズの大きい領域 (< 4 mm) ができてしまい、2014年6月のときと同様に望まない磁場領域を通すことになり、輸送中に品質悪化を起こすと思われる
- 現状の2.9 MeV入射条件では、エミッタンスを下げた周回輸送は厳しそう
- 今後の対策案
  - INJ  $E_{acc}$ を可能な限り上げる(加速位相の調整が必要)
  - あるいはINJ#1の $E_{acc}$ を可能な限り上げて、INJ#2-3の $E_{acc}$ はエネルギーを保持するように下げる
  - レーザーパルススタッキング(ただし、3 ps gaussianで調整がきちんとできるようになってからでないか)

# 設計条件5: 入射器2.9 MeV、診断部輸送 (レーザー直径d = 2 mm)

## 規格化 rms エミッタンス



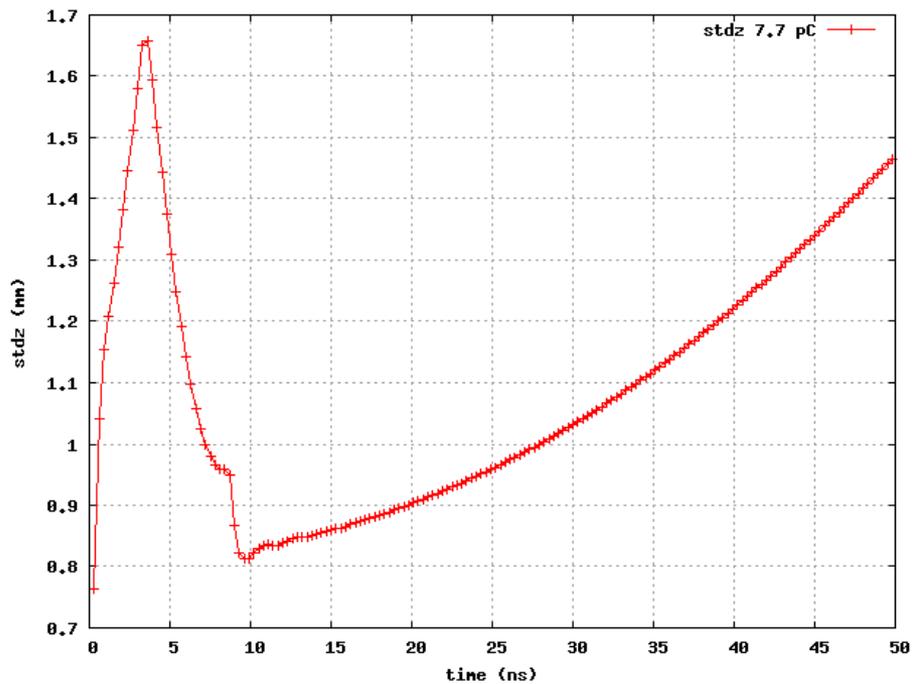
## Rms ビームサイズ



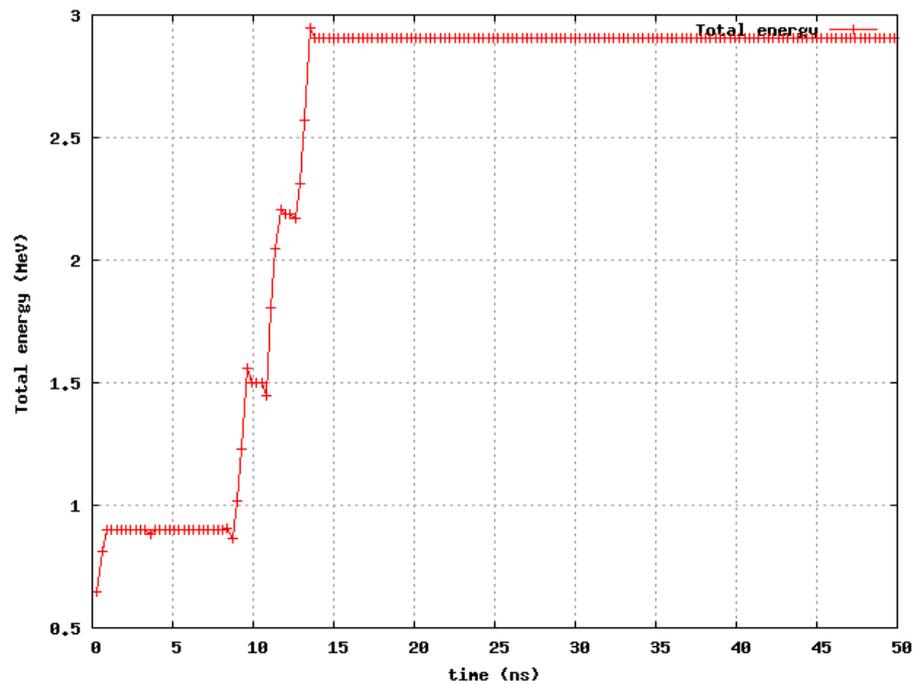
スリットキャナの位置で、0.5 mm mrad

# 設計条件5: 入射器2.9 MeV、診断部輸送 (レーザー直径d = 2 mm)

## Rms バンチ長



## 入射器エネルギー



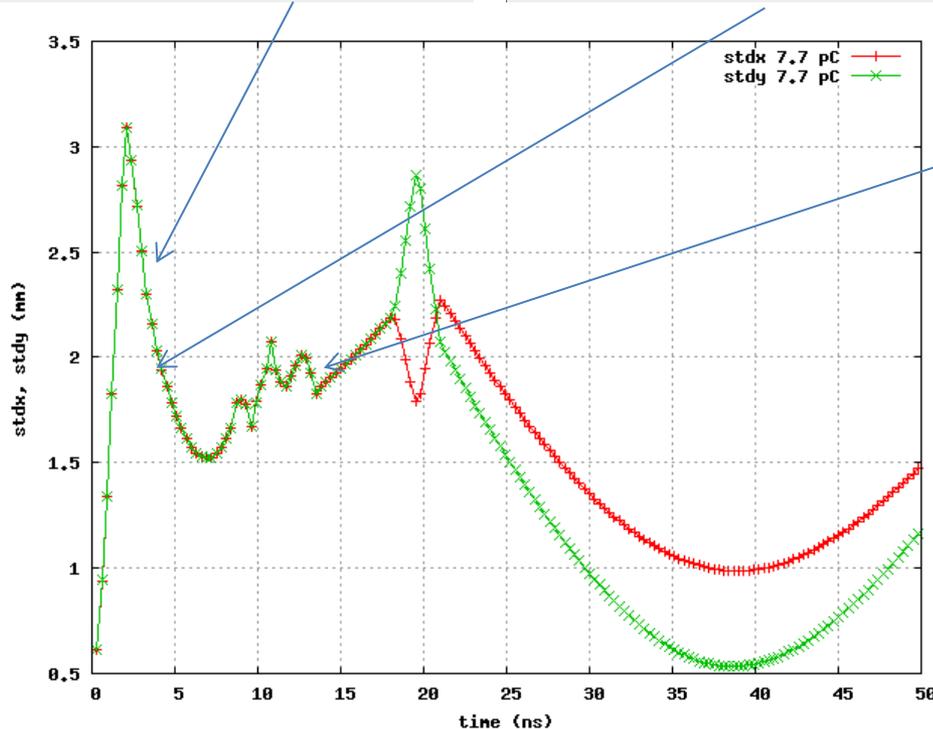
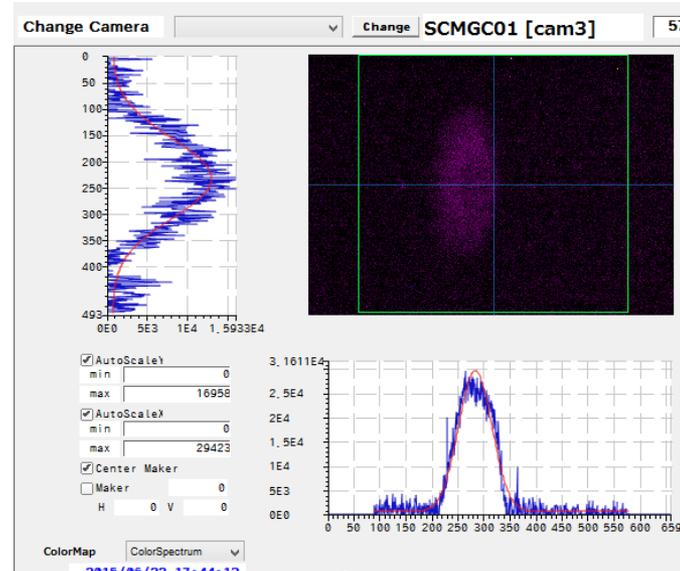
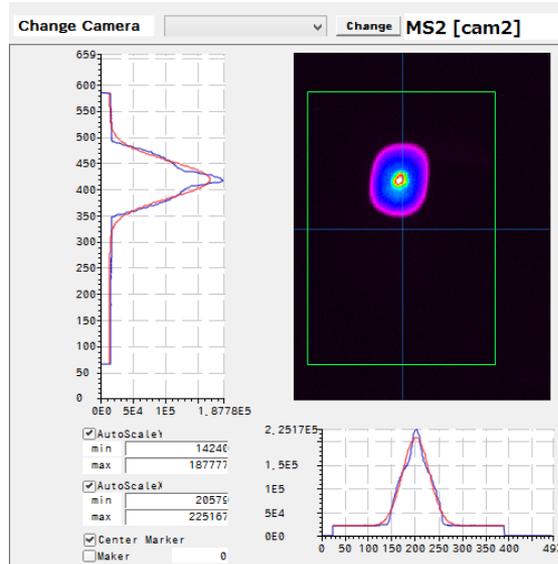
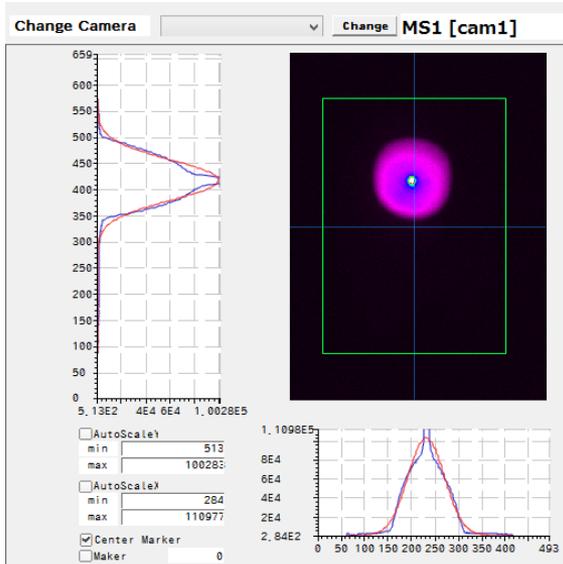
偏向空洞で、4 ps

# 6/22(月): $E_{inj} = 2.9 \text{ MeV}$ , $d = 2 \text{ mm}$

## 診断ラインでのビーム性能評価

- 7.7 pCバンチ電荷ビームを診断ラインに輸送し、バンチ長の応答、スリットスキャン法によるエミッタンス測定を行った
- 輸送条件
  - $E_{inj} = 2.9 \text{ MeV}$  (INJ1-3で均等加速、通常設定)
  - $Q = 7.7 \text{ pC}$
  - レーザースポット直径:  $d = 2 \text{ mm}$
  - 輸送光学: 6/16(金)に報告した条件(本資料後半に添付)
- 結果
  - Cam3で縦長プロフィール(上流の軌道を変えたが、改善できず)
  - Cam5でプロフィールが大きくことなる(合流部の電磁石の通し方でプロフィールが大きく変わる)  $\Rightarrow$  いつもの方法のマッチングは断念、手動で調整
  - Cam5でプロフィールをまとめて、スリットスキャン
  - 偏向空洞でバンチ長測定  $\Rightarrow$  計算との一致は悪くない
- まとめ
  - 2.9 MeV でバンチ電荷を上げると入射器空洞出口でビームサイズが増大、これを診断ラインまで輸送すると望まない磁場の領域でプロフィールが大きくゆがむ
  - ただし、進行方向は横方向のプロフィールが多少変わっても大きな影響は受けない
  - 進行方向のモデルを合わせるためにバンチ長依存性を測定  $\Rightarrow$  バンチャー位相、電圧、バンチ電荷依存性はかなりモデルに近いことが確認できた

# 入射器近傍のプロファイル

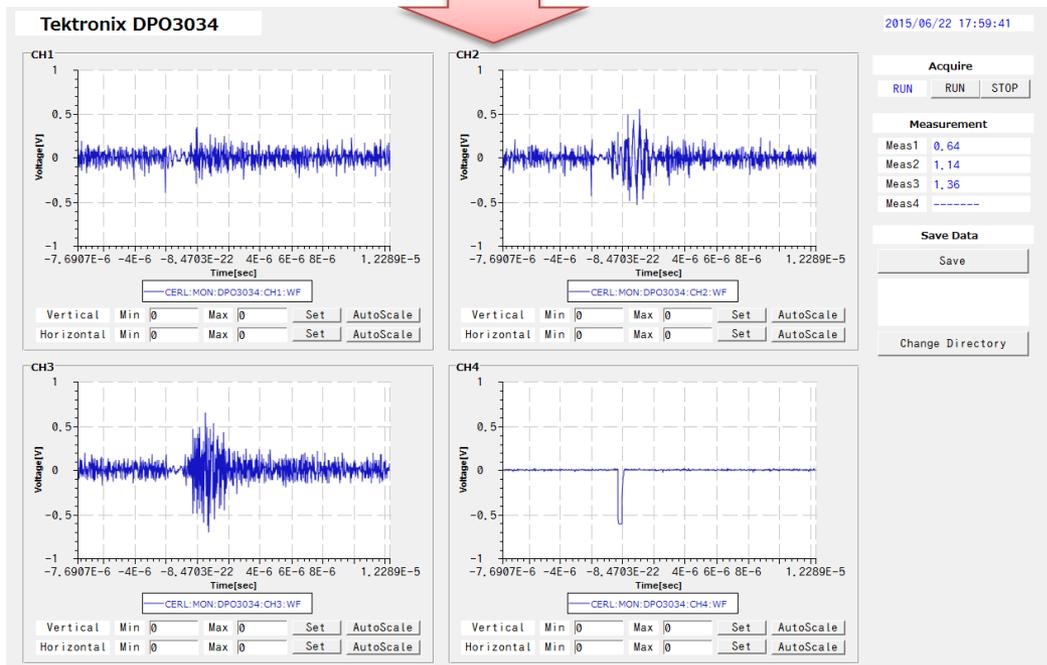
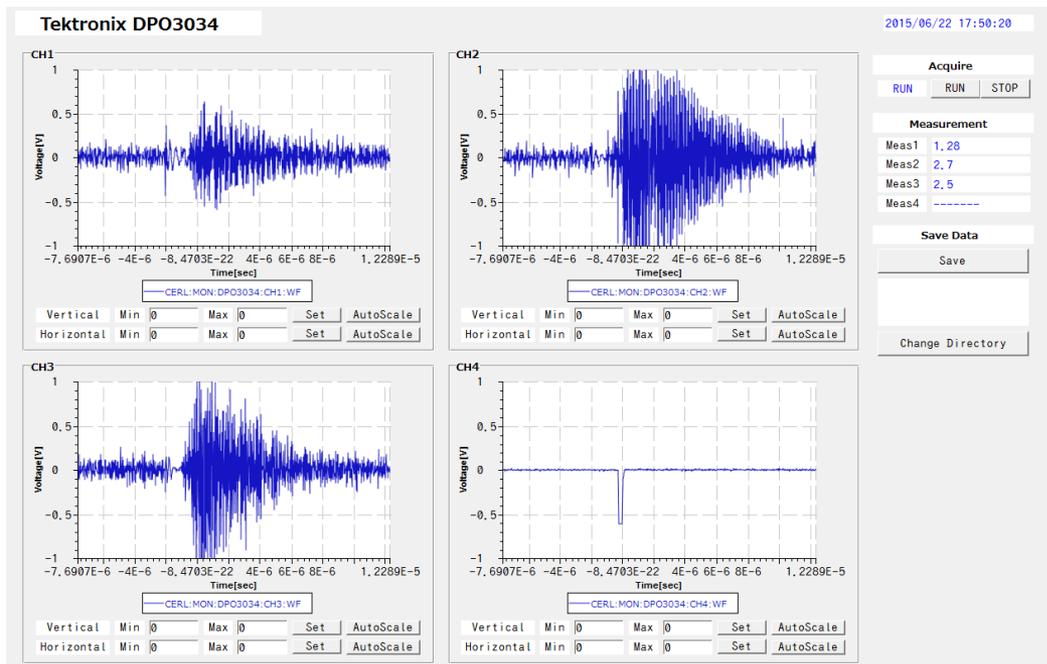


ピンホール直径を2mmにしたので、  
プロファイルの非対称性は改善

入射器空洞は  
HOM-BPMの信号を下げるように調整  
しかし、  
Cam3で垂直方向に  
ビームが伸びている  
(軌道の通り方では対処できず)

# 入射器軌道調整

## HOM-BPMの信号が小さくなるように調整



# Cam5のプロファイル

設計では1対2の横長であり、一応その方向だが、サイズがかなり大きい

Change Camera ▼ Change MS5 [cam5] 52.5 um/Pixel Capture ON

	Horizontal	Vertical
Peak Pos	251	336
Peak Val	143282	479185
Mean Pos	241	335
Mean Val	124137	478593
Sigma	72	62
FWHM	233	51
Area	28049600	28049600
Min/Max	0	4095

Horizontal Peak [mm]

Vertical Peak [mm]

1.4171E5

1E5

5E4

-9.3057E3

0 50 100 150 200 250 300 350 400 493

min 2485

max 479185

min 3112

max 143282

Center Marker

Maker 0

H 0 V 0

ColorMap ColorSpectrum

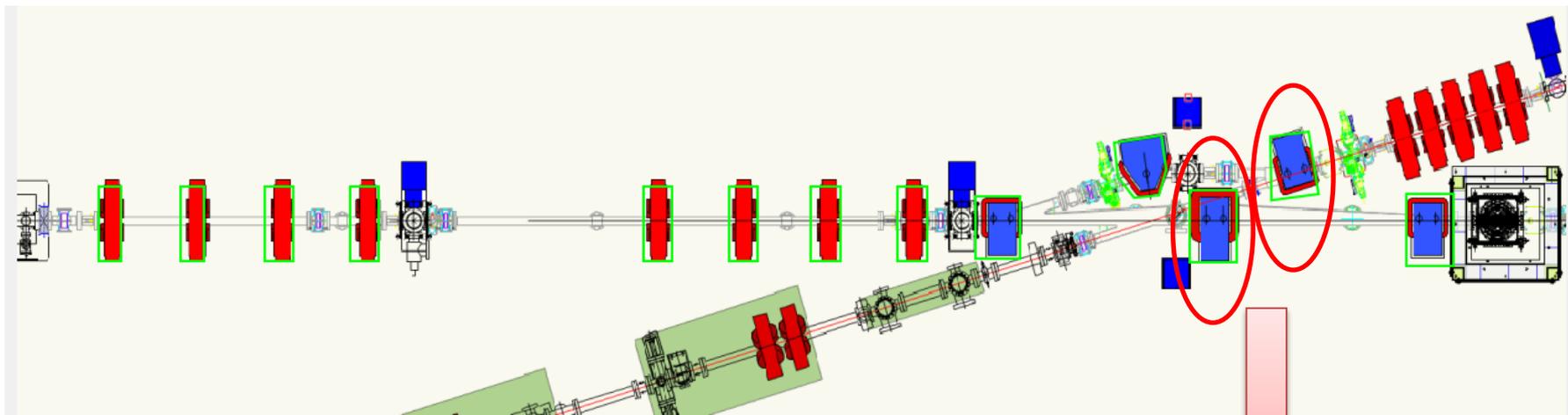
2015/06/22 18:23:59

GigE Config BG Ctrl

Save Profile Fitting Ctrl

¥¥erlnas2.cerl.kek.jp¥screensho  
¥data¥ScreenMonitor  
¥2015\_06¥22¥20150622\_182356.\*

合流部の電磁石の通し方でプロファイルが変わる。  
ZHBMAG01は矩形を直角に通るが、  
ZHBMAG05はビームが斜めに入射するため、通し方によって影響を受ける



初期化しても残留磁場があるため、  
ここの通し方でプロファイルが変わることを確認した

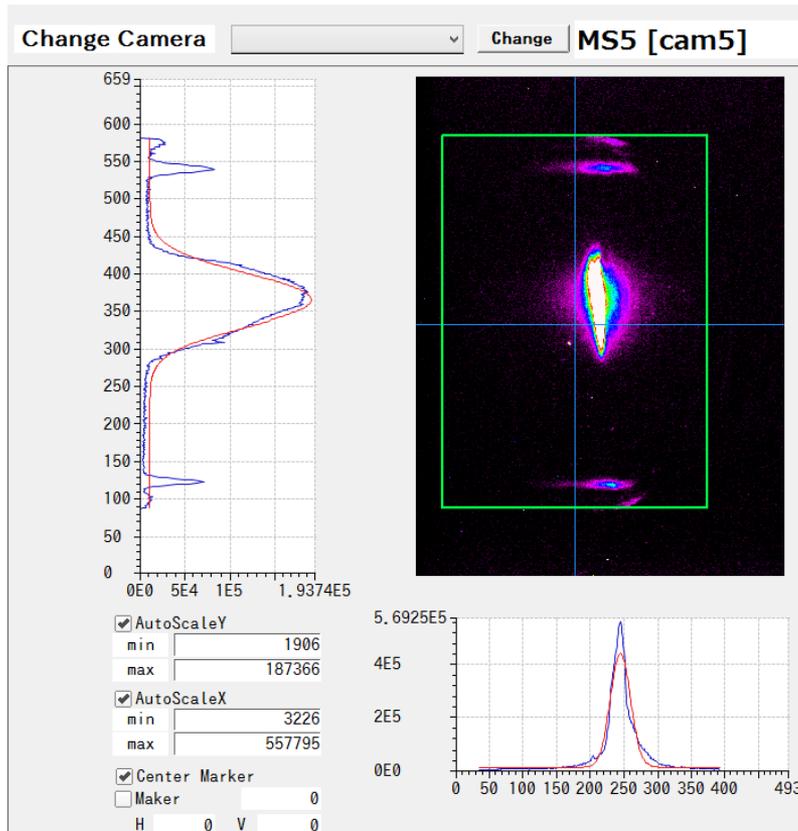
7.7 pCでビームサイズが広がったため、  
影響が顕著に見えるようになっていると思われる

# スリットスキャン法によるエミッタンス測定

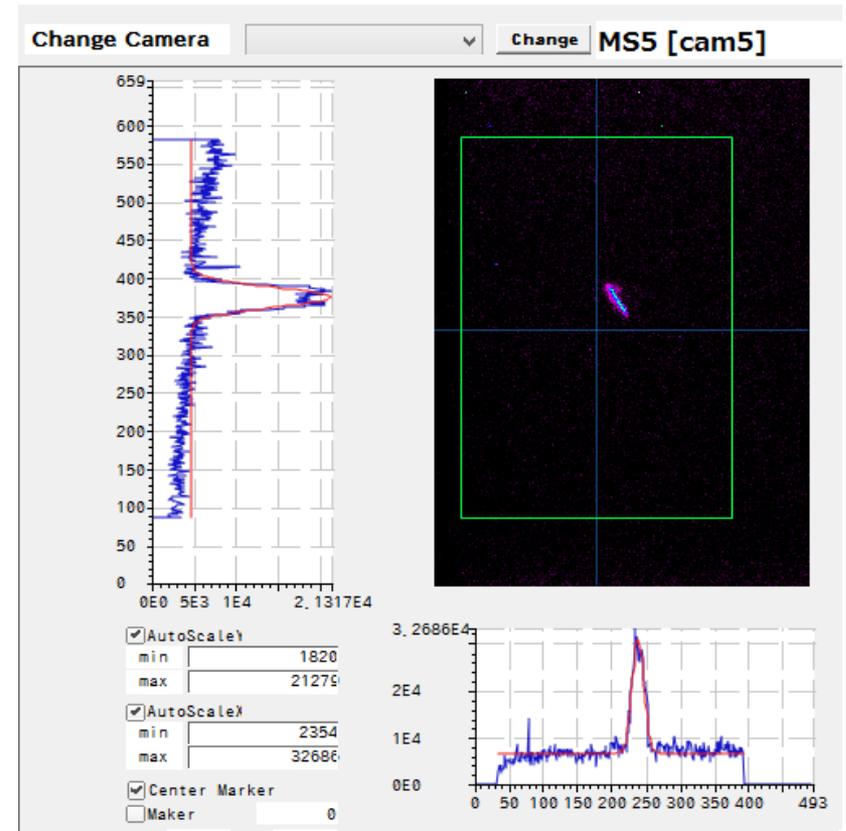
Cam5でプロフィールをまとめて、エミッタンス測定を行った

ただし、スリットを入れた時に、プロフィールが傾き、斜め方向に運動量拡がりがある(カップリングが生じている)ことがわかった

スリットできる前



水平スリットで切ったとき

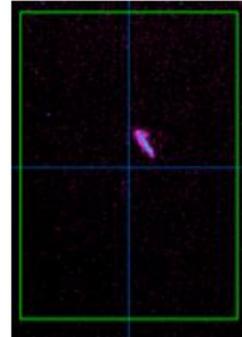


# スリットスキャンによるエミッタンス測定結果

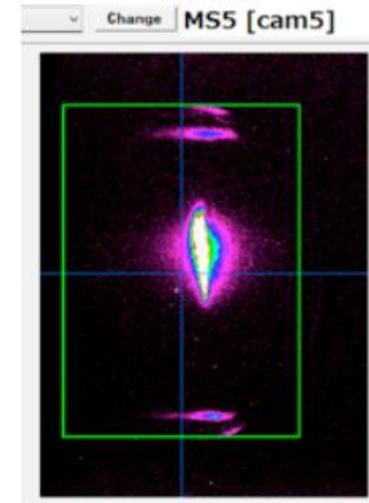
## 今回の結果

- 2015. 6/22
- 7.7pC/bunch, injector2.4MeV
- 結果
  - norm. H-emittance : 2.7  $\mu\text{m}$   $\pm$  0.2  $\mu\text{m}$
  - norm. V-emittance : 2.9  $\mu\text{m}$   $\pm$  0.2  $\mu\text{m}$

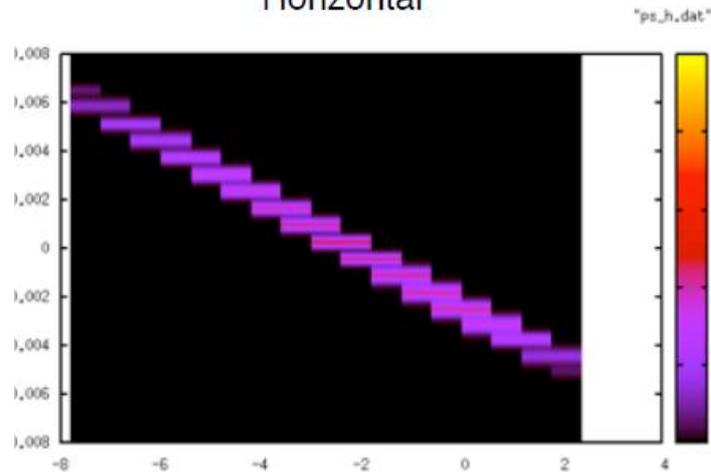
水平スリットで切ったとき



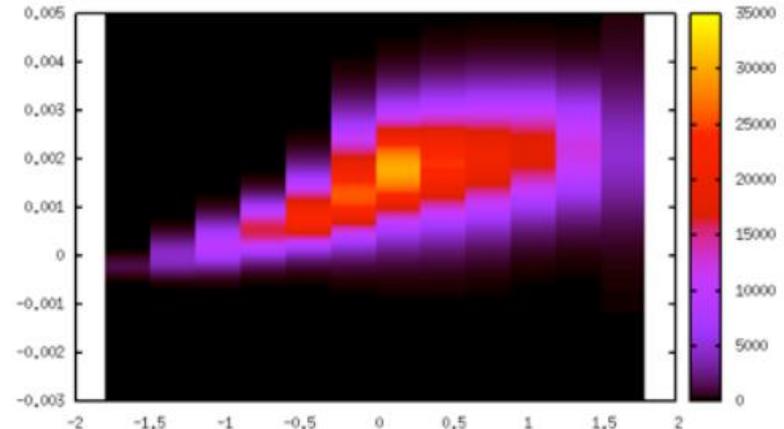
切る前



Horizontal



Vertical

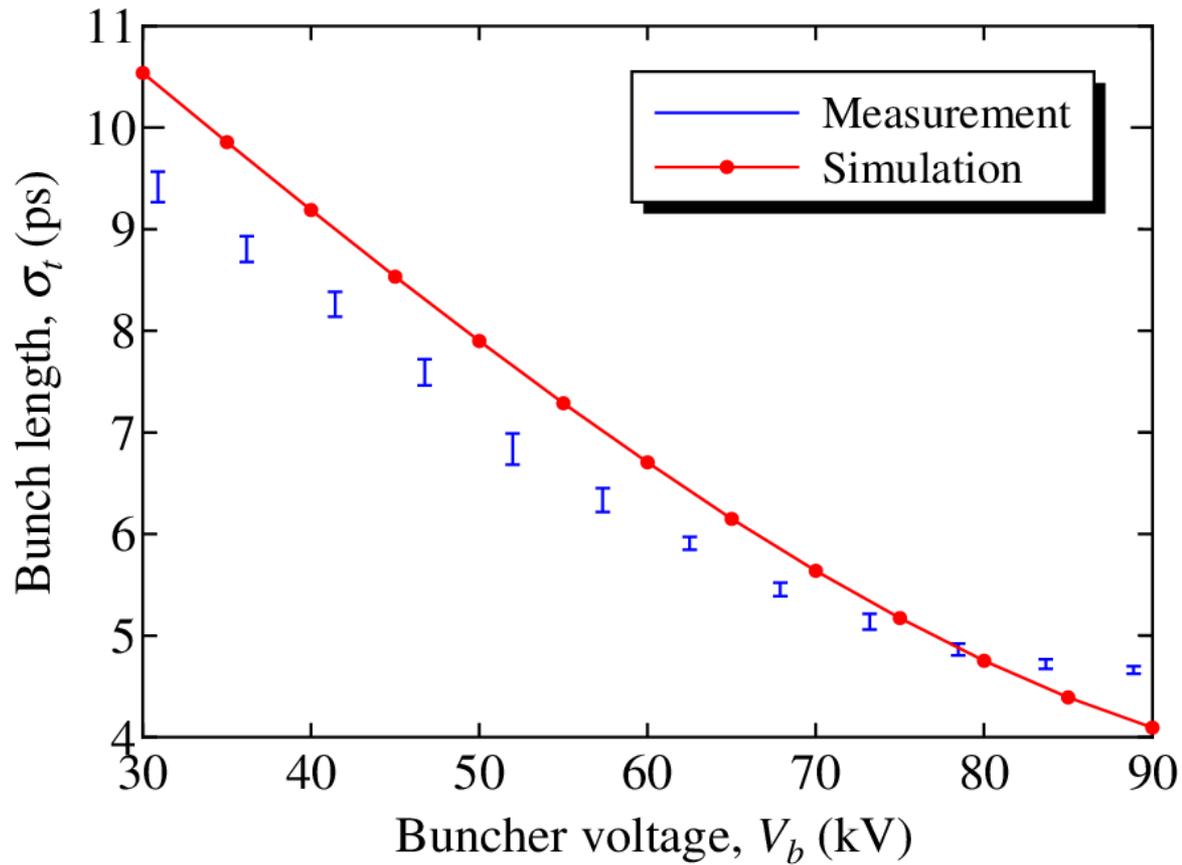


## バンチ長の応答測定

目的： 高バンチ電荷時の進行方向ビームダイナミクスのモデルを検証するため

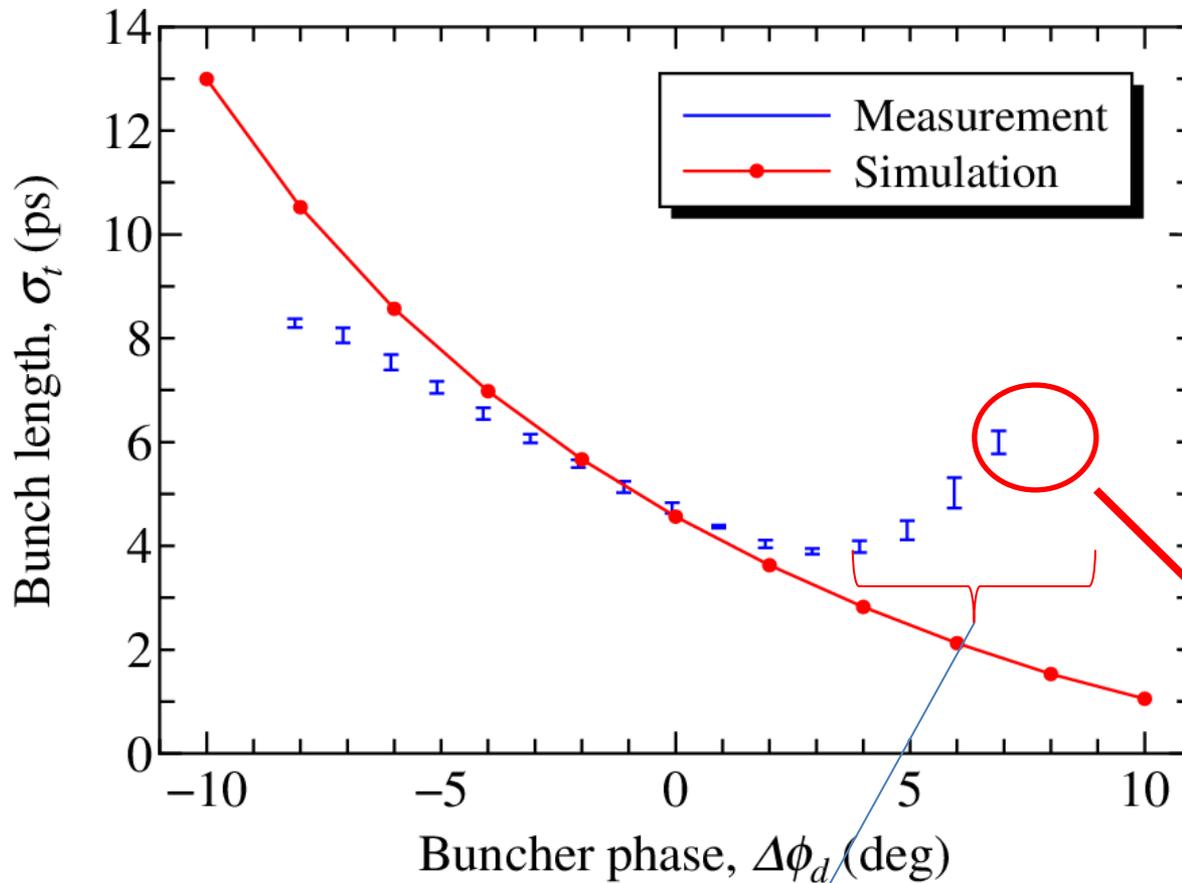
方法： バンチャー位相・電圧、入射器1の位相、バンチ電荷を変えたときのバンチ長の応答を偏向空洞を用いて測定する

## バンチャー電圧の影響

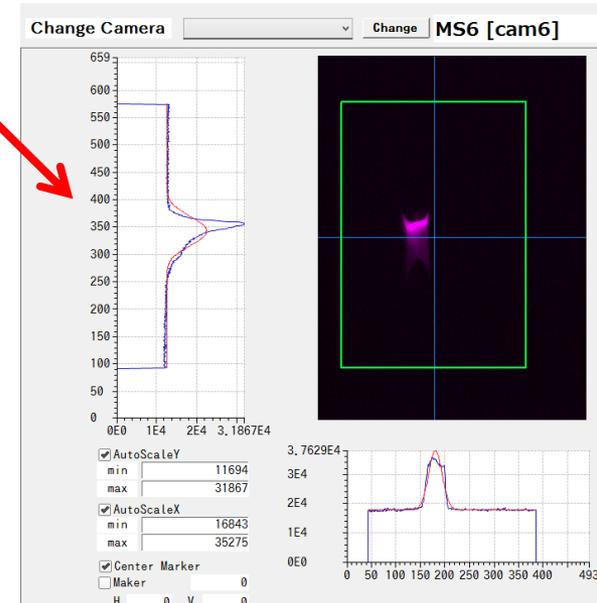


バンチャー電圧とバンチ長の関係は大きくずれていなさそう

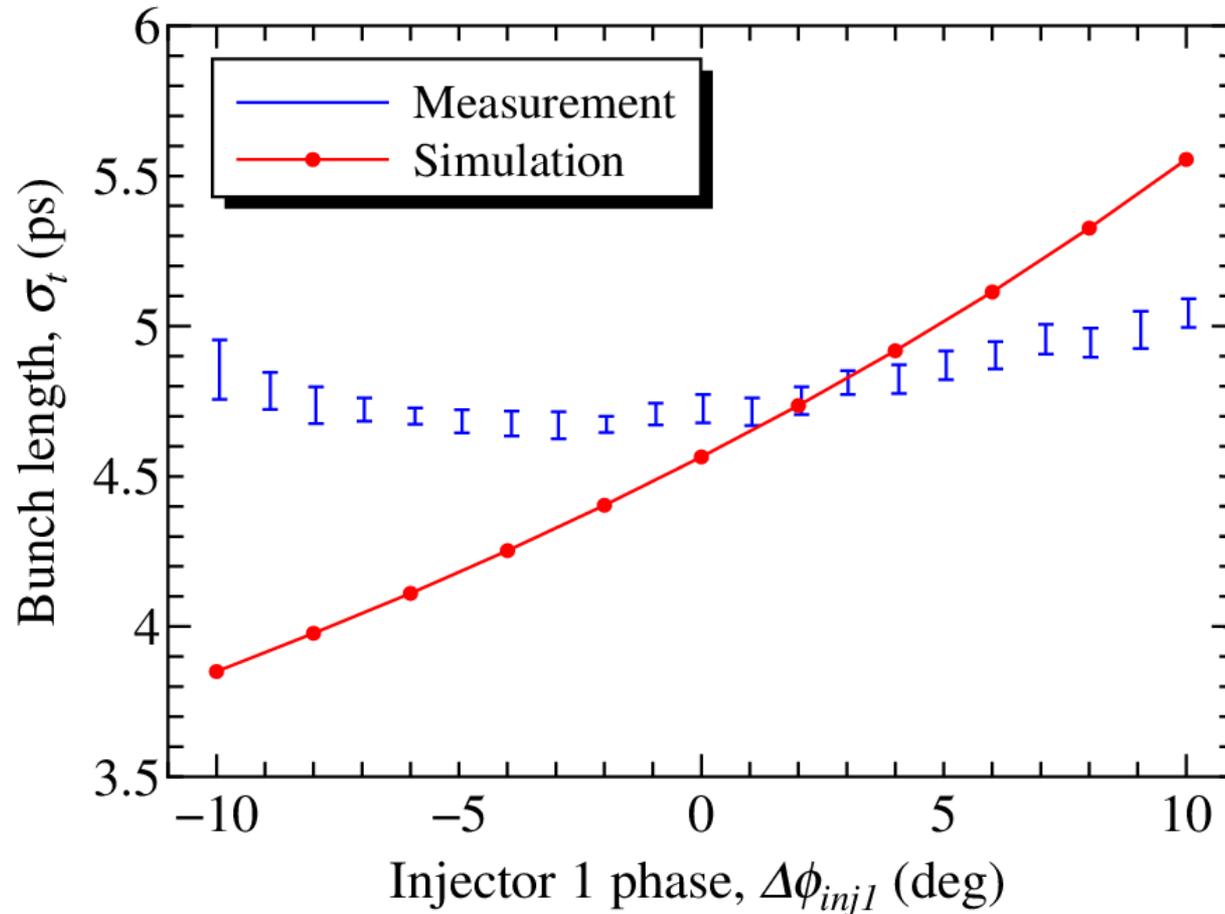
# バンチャー位相の影響



ガウシアンフィットしたサイズから  
 バンチ長を求めているため、  
 テイルも込みでフィットしてしまい、  
 バンチ長を長めに評価している可能性が高い



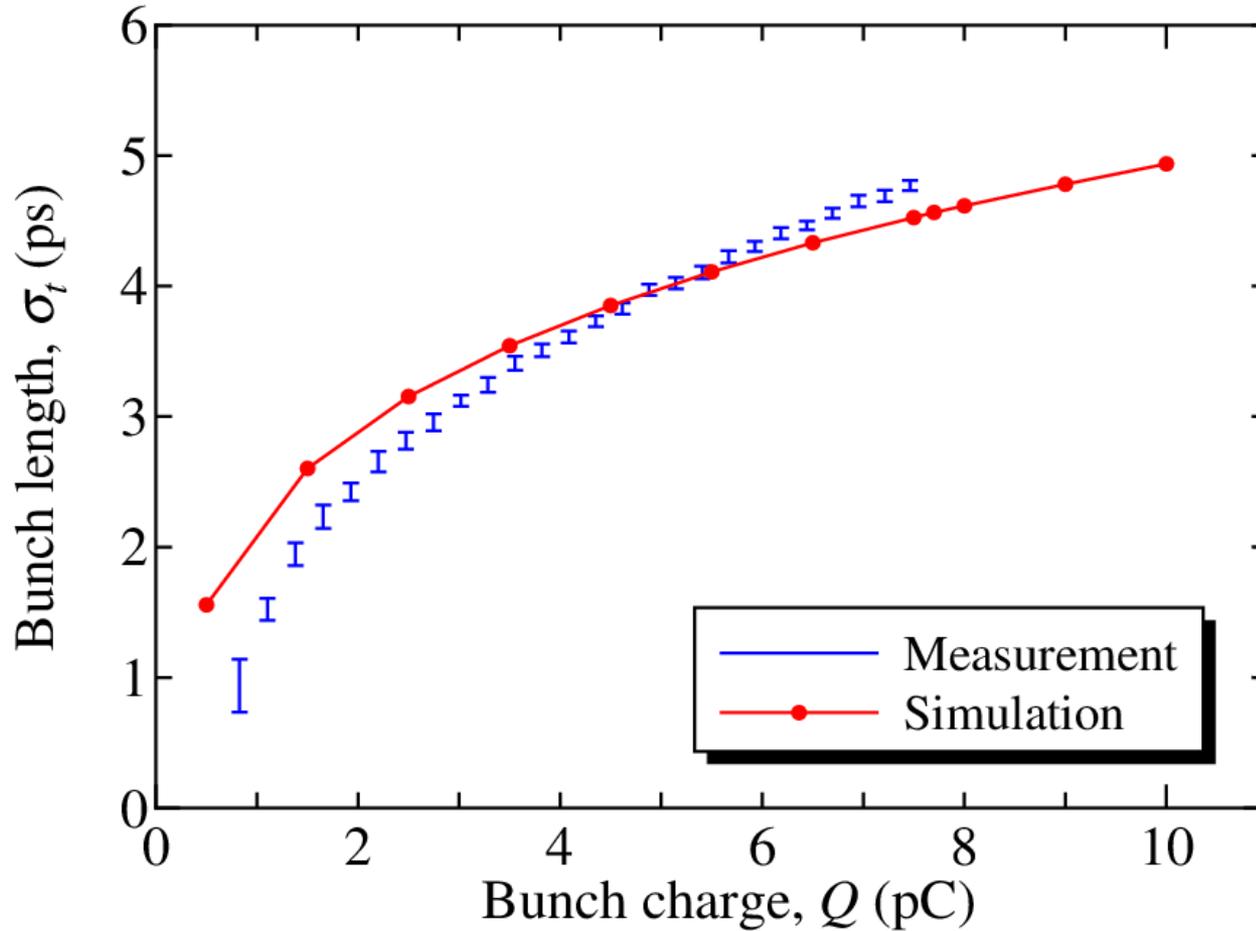
## 入射器 #1 位相の影響



計算との一致はあまりよくない・・・

他の空洞との位相関係にも依存するので、原因を調査すること

## バンチ電荷の影響



設計と近い応答を示している

この応答測定結果を元に、位相・電圧の詳細マッチングを次の機会に試したい

# 診断部輸送のまとめ

- 7.7 pCビームを診断ラインに輸送した
- エミッタンス測定、バンチ長測定を実施
- 横方向ビームダイナミクスは、望まない磁場の影響を強く受けるため、まだ一致は良くない
- 規格化rmsエミッタンスの測定値
  - 水平方向:  $2.7 \mu\text{m} \pm 0.2 \mu\text{m}$
  - 垂直方向:  $2.9 \mu\text{m} \pm 0.2 \mu\text{m}$
- 進行方向ビームダイナミクスは、バンチャーの影響、バンチ電荷の影響はモデルでよく再現できていそう
- 入射器空洞#1の位相の影響については今後調査が必要
- 今回試した応答を測定する方法で、進行方向のダイナミクスを設計に近づけていくことは可能であると思われる(進行方向マッチング)

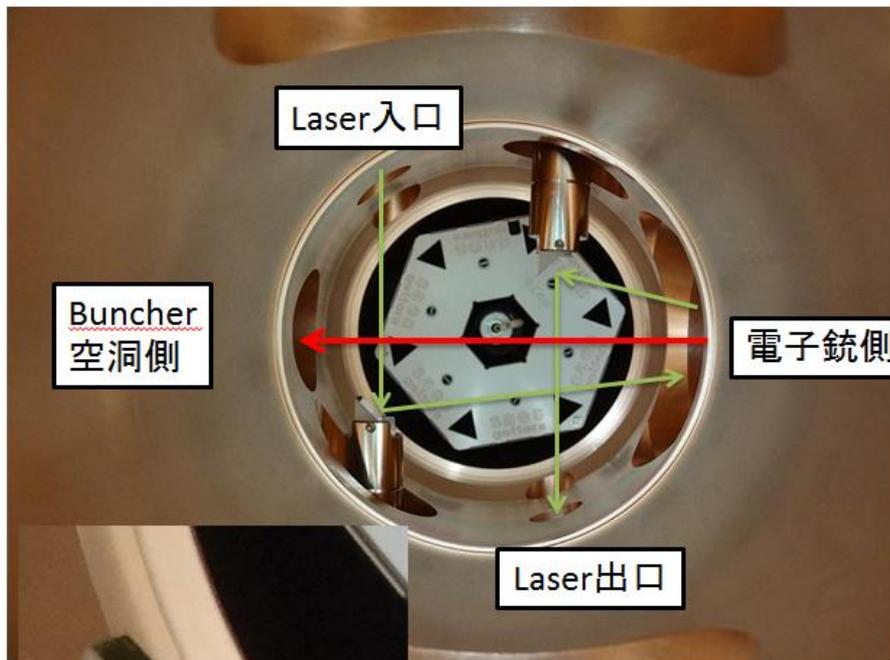
# レーザー導入ミラーチャージアップの影響

- レーザー導入ミラーがチャージアップしたと過程して、cam1, cam2のビームプロファイルにどのような影響があるかをシミュレーション(GPT)で評価した
- レーザーミラーの位置付近に点電荷を配置(Q1, Q2)
- 今回は、 $Q = Q1 = Q2$  ( $Q < 0$ )として、 $Q$ を変えた時の影響を計算
- レーザー直径  $d = 1.2$  mm
- 輸送条件
  - 0.5 pC 輸送
  - 7.7 pC 輸送
- 計算条件
  - 空間電荷効果あり: 3d-mesh
  - マクロ粒子数: 10k



注: 今回の計算では、電荷の配置が実際のレーザーミラーの逆だった...

# Laser導入部内部(真上から見た写真)



2015年6月29日  
山本さん資料より



注: 今回の計算では、電荷の配置が実際のレーザーミラーの逆だった・・・  
プロファイルの非対称の向きが逆になる・・・

# バンチ電荷 0.5 pC

Q = 100 pC

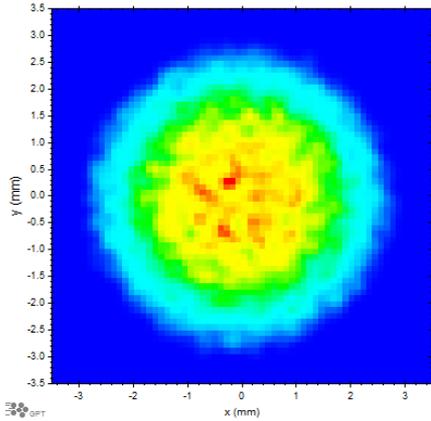
Q = 500 pC

Q = 1 nC

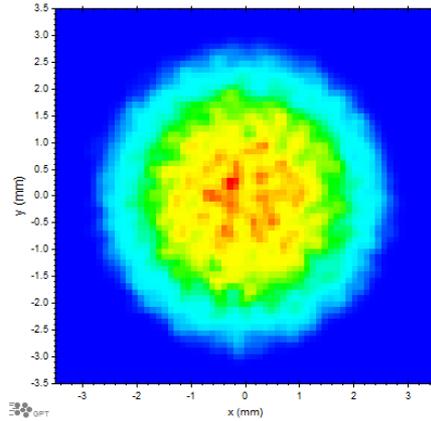
Q = 2 nC

cam1

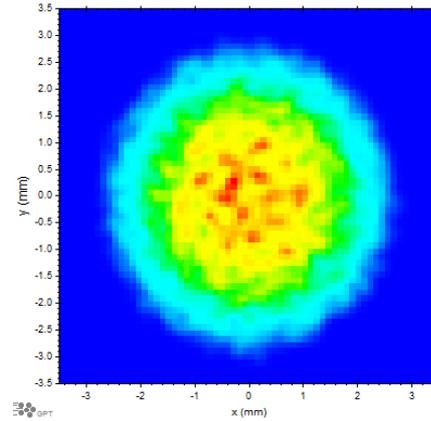
position=1.02074



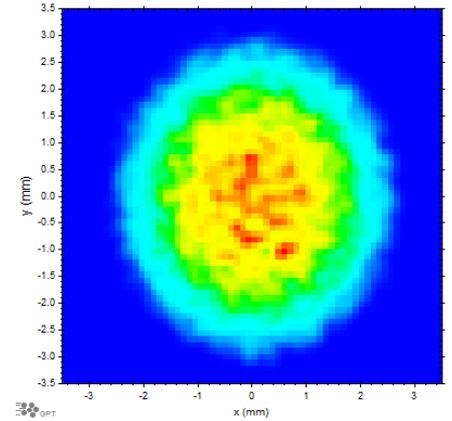
position=1.02074



position=1.02074

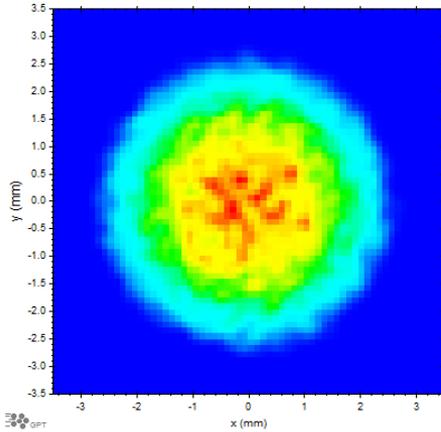


position=1.02074

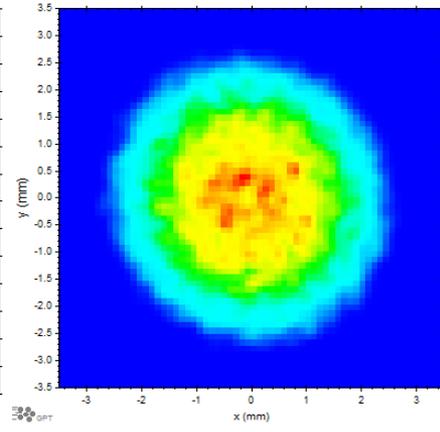


cam2

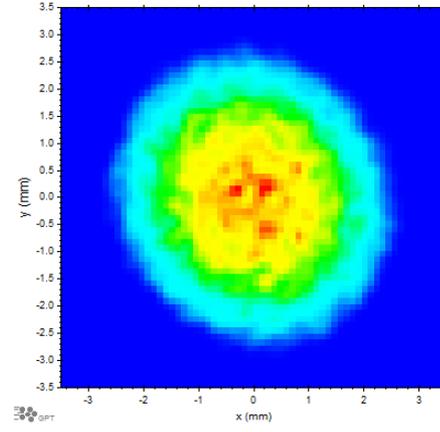
position=1.37223



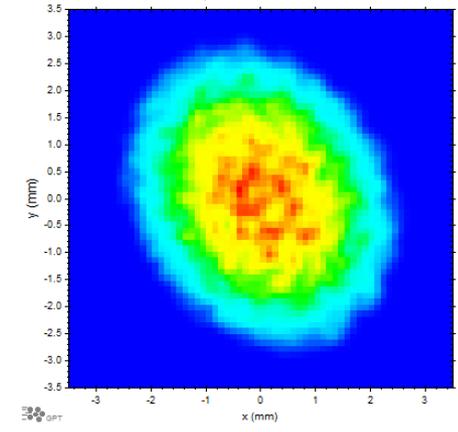
position=1.37223



position=1.37223



position=1.37223



# バンチ電荷 7.7 pC

Q = 100 pC

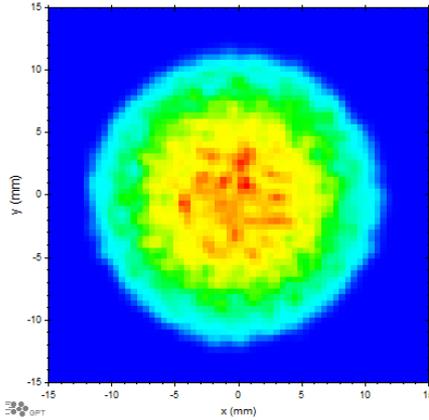
Q = 500 pC

Q = 1 nC

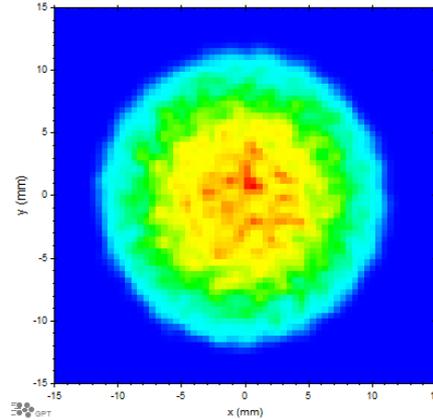
Q = 2 nC

cam1

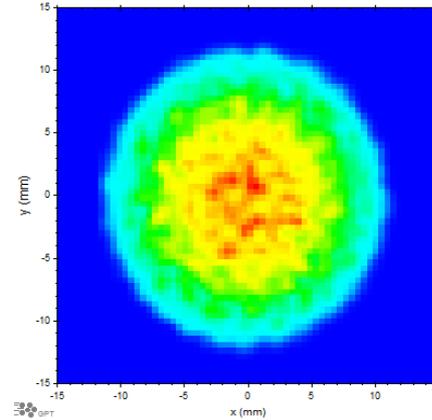
position=1.02074



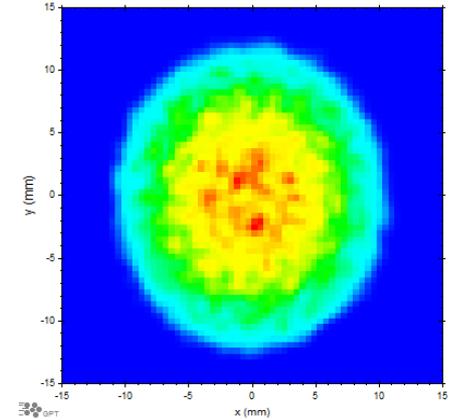
position=1.02074



position=1.02074

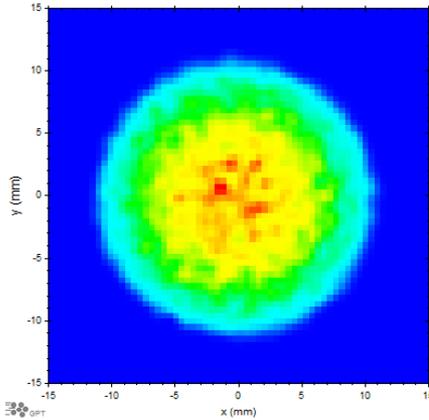


position=1.02074

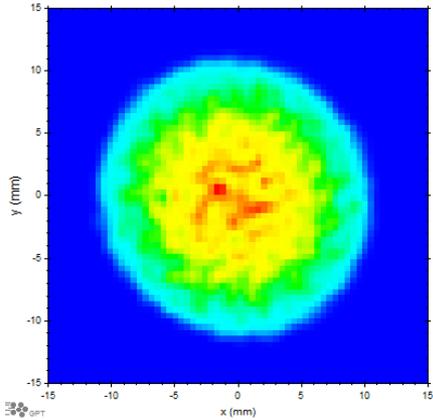


cam2

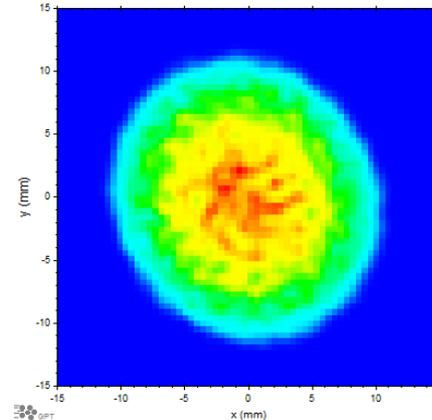
position=1.37223



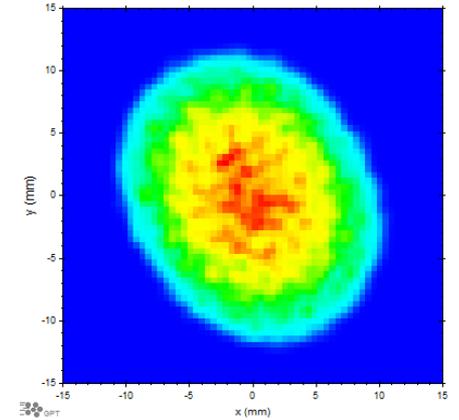
position=1.37223



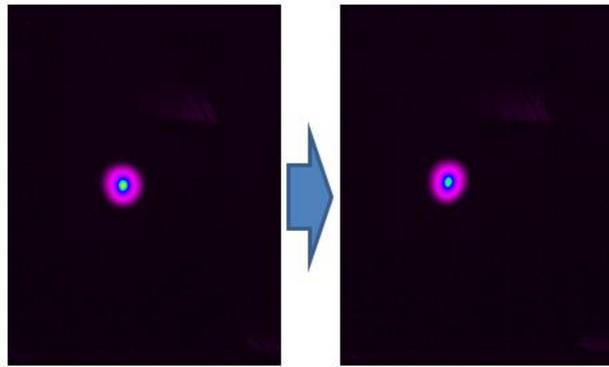
position=1.37223



position=1.37223

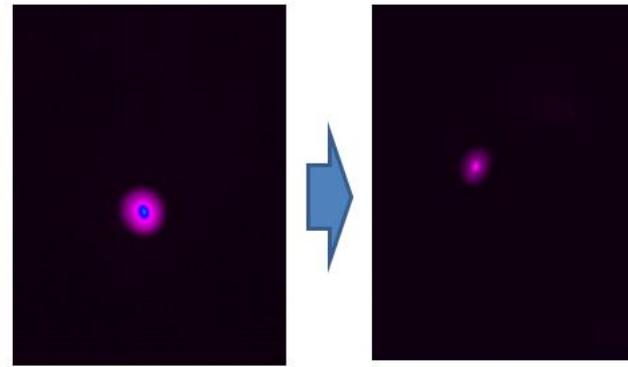


# CW運転前後のcam2位置でのビーム位置変化(1)



6/2 16:20

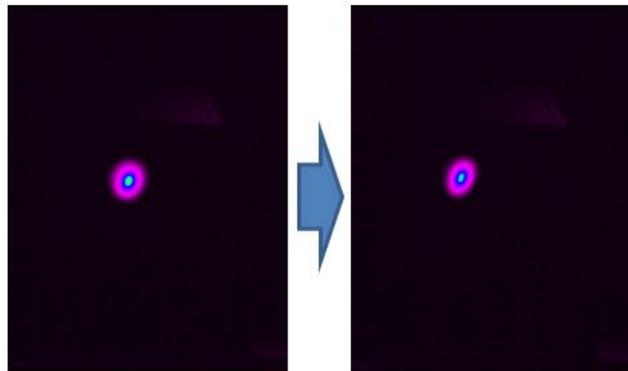
6/2 22:44



6/24 19:28

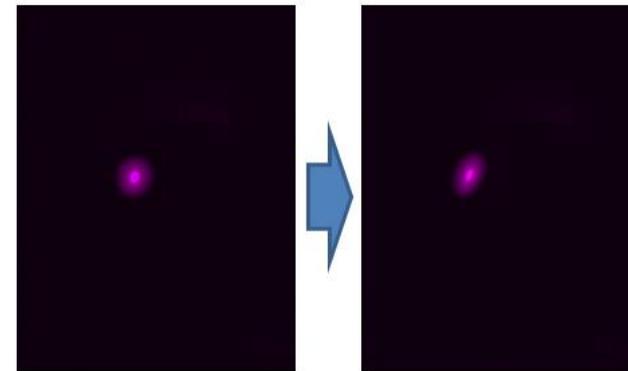
6/24 23:02

0.5 pCのとき



6/19 18:48

6/19 22:43

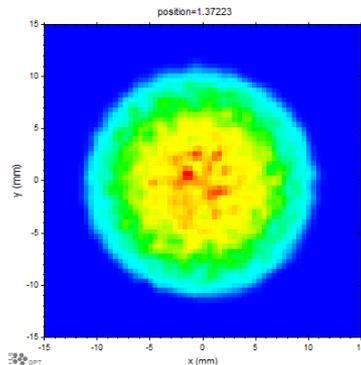


6/25 15:28

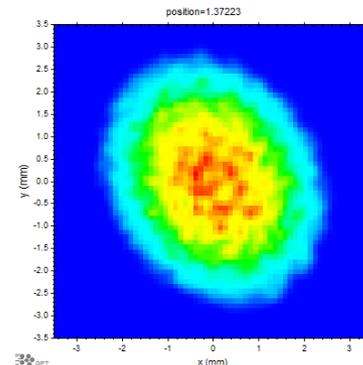
6/25 22:49

2015年6月29日  
山本さん資料より

100 pC

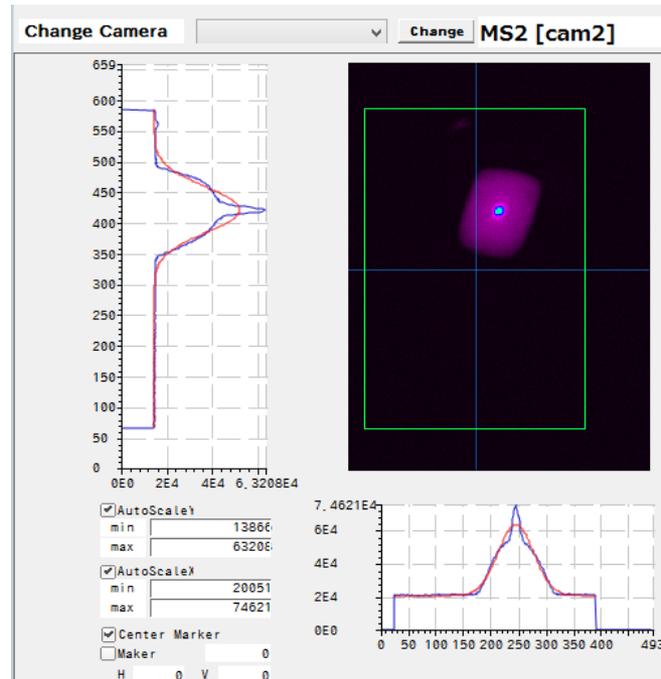
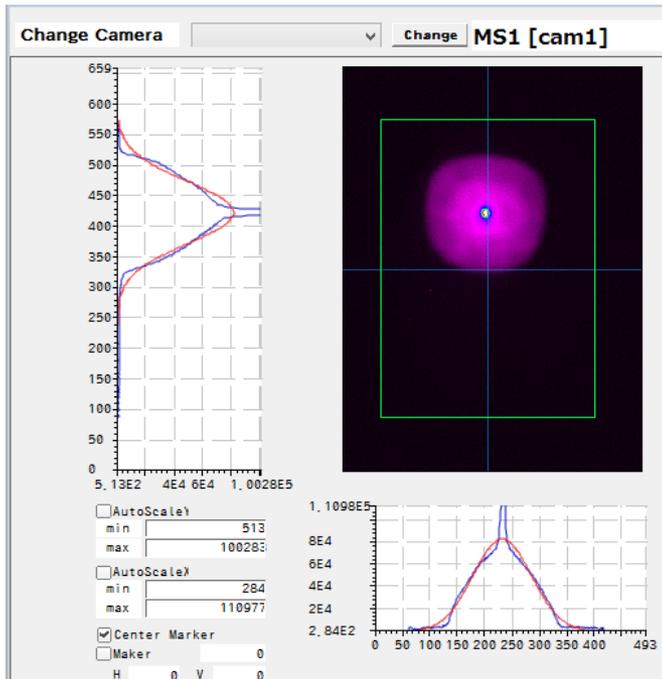


2 nC



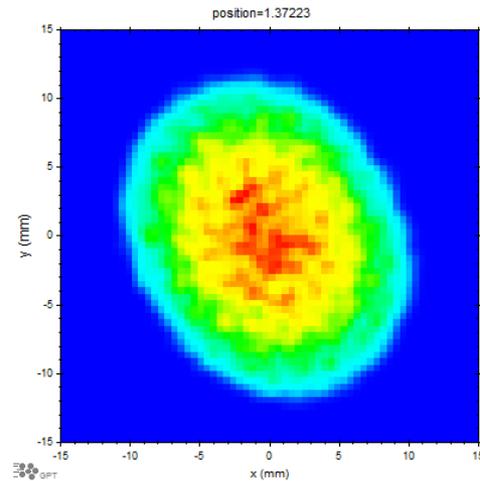
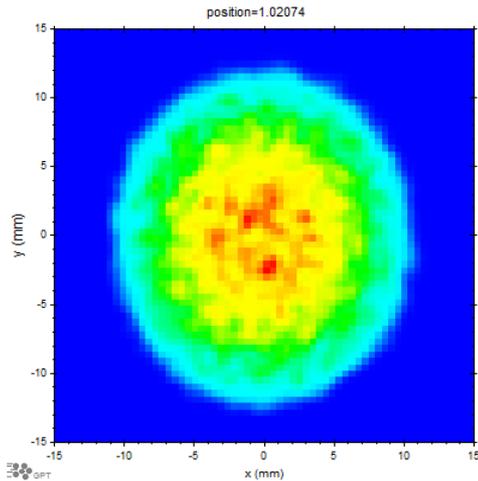
実際のチャージアップ量はまだ見積もれていないが、電荷がいることによってプロファイルが歪むことは確認できた。次、楕円の縦横比で比較してみる

## 7.7 pCのとき(d = 1.2 mm)



## 実験結果

単純にチャージアップだけではなく、磁場の非一様性による非線形効果も絡んでいそう



シミュレーション  
2 nCチャージアップ

# ミラーのチャージアップまとめ

- 0.5 pC, CW運転の前後でプロファイルが変化するのを再現できるか、シミュレーションで検証してみた
- nC程度チャージアップするとプロファイルが歪むことがわかった
- 次は、測定結果から楕円の縦横比を計算してシミュレーションからチャージアップ量を見積もってみる
  
- 7.7 pCのときにも同様の計算を行ってみた(ただし、レーザー直径は  $d = 1.2 \text{ mm}$ )
- 7.7 pCの場合も、nC程度チャージアップすると、プロファイルが歪むことが確認できた
- 仮に電荷量を上げるためにレーザー強度を上げた結果、ミラーのチャージアップが起きているとしたら、7.7 pCのときにもミラーを交換した効果によって、プロファイルの非対称性が改善される可能性がある
- ただし、単純にチャージアップだけでは実験のプロファイルは再現できないため、これに磁場の非一様性による非線形が絡んでいると思われる
- ステアリングの応答測定等から、非線形成分を推定して、シミュレーションを行ってみる

# 今後の対策

- 課題

- 電子銃～入射器空洞入口間(cam1, cam2)のプロファイルの歪み

- 夏に金属ミラーへ交換し、チャージアップを抑制
    - この区間の望まない磁場の推定と補正方法(追加コイル、あるいはコイルの有効範囲の拡大)の検討
    - 外部磁場の遮蔽(どのように対策するか?)
    - エネルギー増強(390 kV ⇒ 500 kV、現在改造中)
    - 電荷密度を下げる対策(RF位相をある程度制御できそうなことが確認できたので、パルススタッキングを導入する)

- 入射器空洞出口でのプロファイルの増大

- 入射器空洞の3次元電磁場計算(現在は2次元分布で計算)
    - CAV#1の加速勾配の上昇: 3.3 MV/m ではエミッタンス補償とビームサイズ制御の両立が難しい、4 MV/m 程度で良い輸送条件がないか検討する
    - SL1,バンチャー, SL2の軌道調整
    - (加速勾配の上昇による、エネルギー増強)