

cERL phase 1コミッショニング報告

ERLBDWG
PF研究棟2階会議室

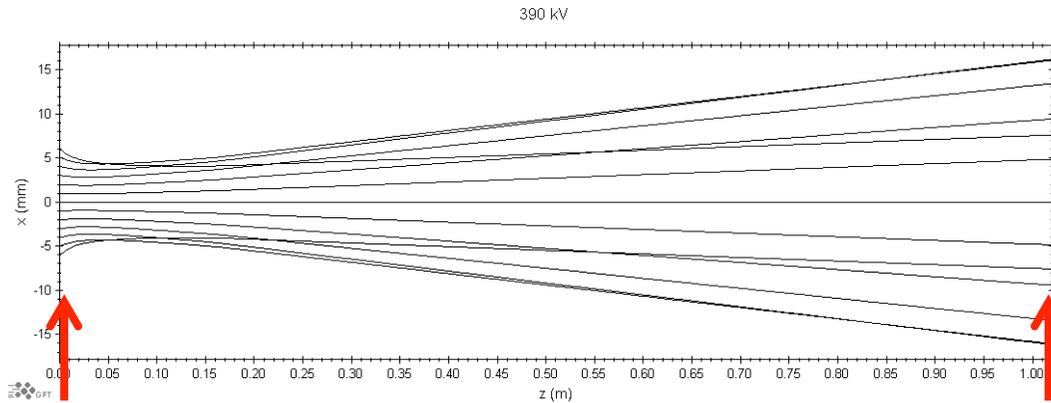
2013年6月17日(月)14時30分
加速器第七研究系
宮島 司

今後のcERLマシンスタディ項目(5/9打合せ事項に追加)

- 機器の性能試験 2013/6/7 宮島、坂中
 - バンチャー空洞試験 → 実施済み
 - LLRFスタディ、調整 → 4時間 ×3回程度を希望
 - CW運転テスト
 - 大電流試験(最大1 μ A)
 - ビーム損失評価(損失場所の推定、コリメータの調整)
 - Loss monitor / MPS系の整備 → 6/7 に実施予定
- ビーム調整法の確立
 - オプティクス診断・モニター類校正(スクリーン、BPM, slit, 偏向空洞) → 部分的に実施
 - オプティクス調整(最小エミッタンスの実現、数値計算との比較)
 - 周回部運転に向けたオプティクスの確立(周回部用のビーム品質を決める必要あり)
- ビーム品質の測定
 - エミッタンス測定(Solenoid-scan, Q-scan, slit-scan) → 低電荷では実施済み
 - バンチ長測定(偏向空洞立ち上げ) → 実施済み
 - バンチ電荷を上げた試験(空間電荷効果) → 来週から実施予定
(レーザー系の一部組み替えが必要。6/7 ~ 6/11 に予定)

電子銃収束力測定

- 電子銃電場によって生じる収束力の測定を実施
- 測定加速電圧: 200 kV, 390 kV



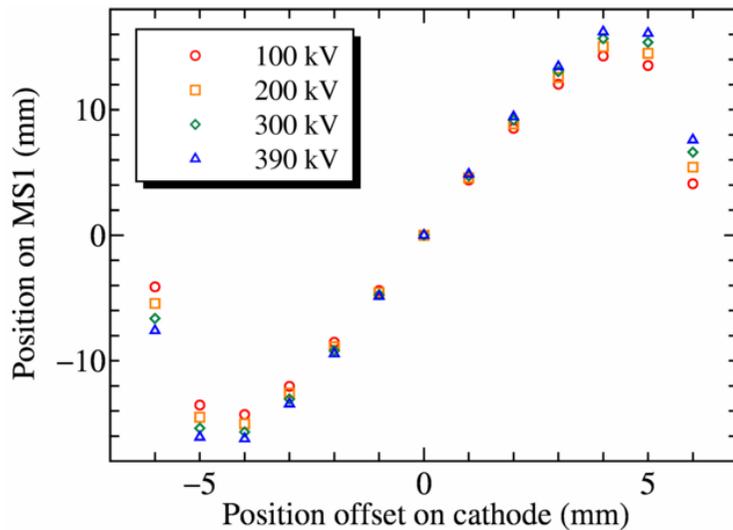
カソード面

MS1

カソード面上でレーザー位置を変えた時の軌道変化(GPTで計算)

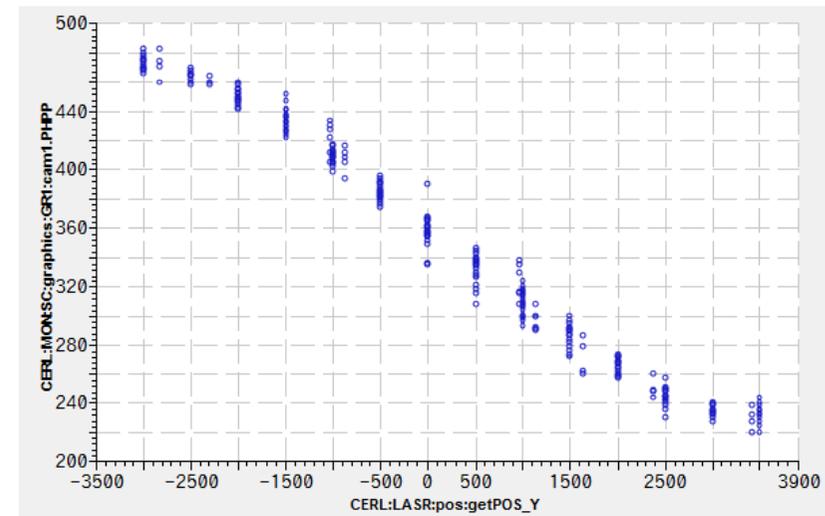
電子銃下流はドリフト空間(SL1をoff)なので、MS1上での位置変化の測定から収束力を測定できる

MS1上での位置変化(計算)



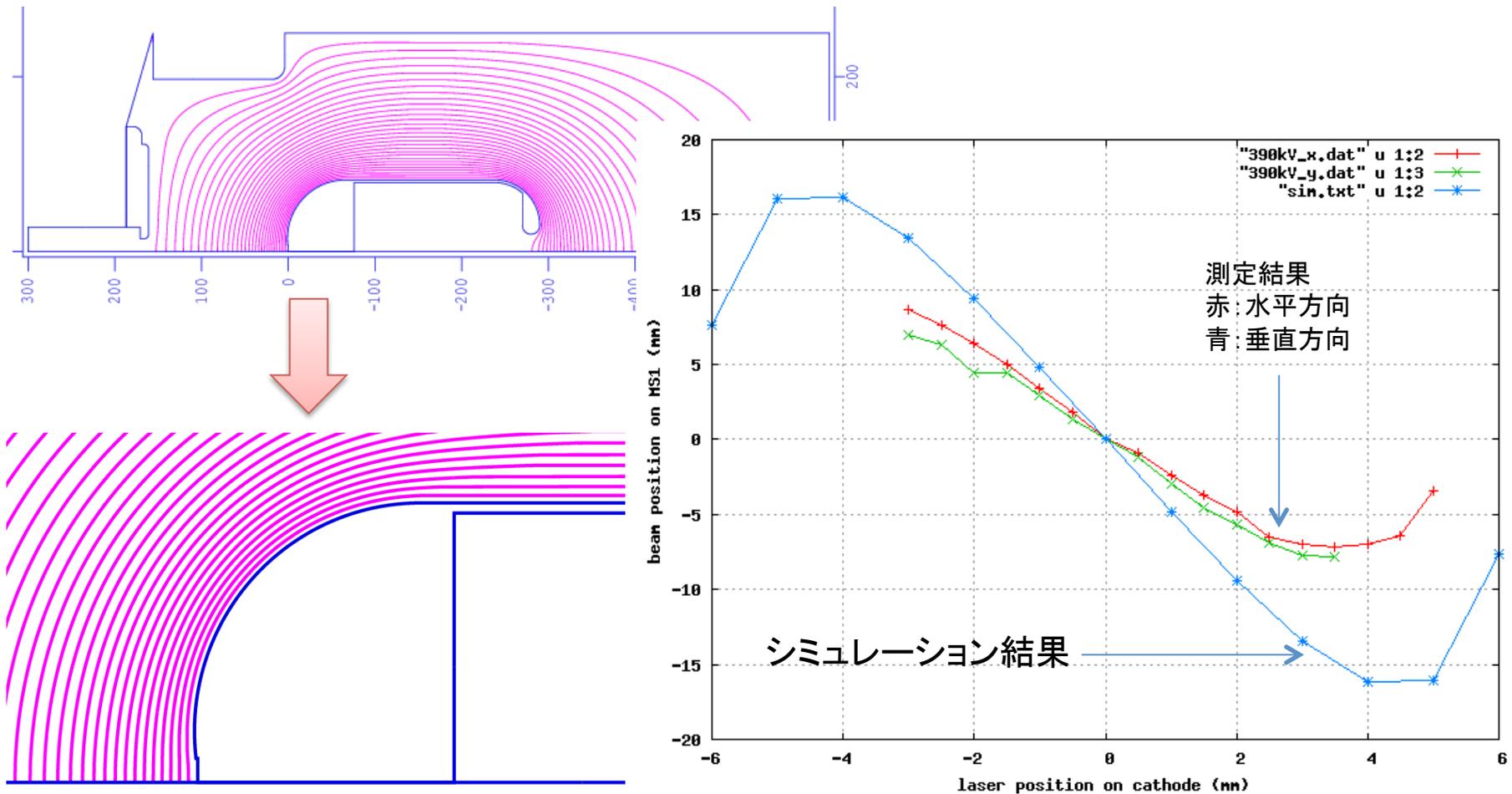
詳細な解析はこれから

測定結果(電子銃電圧200 kV)



電子銃収束力評価の結果

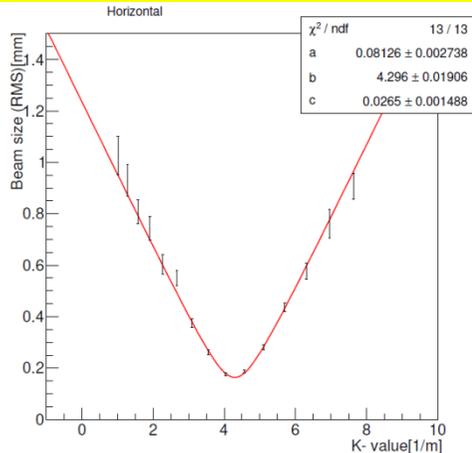
- 5/28に電子銃の収束力を測定した
- 大まかにシミュレーションと比較したところ、2倍弱程度実機の方が収束力が強いことがわかった
- カソード部分のへこみが大きいと、収束力が強くなる
- Poissonでこの結果を再現できる電場分布を作ってみる



微小電荷でのエミッタンス測定 (preliminary results)

- 微小バンチ電荷 (10 fC/bunch程度) でのエミッタンス測定を実施
- 空間電荷効果が効かないので、純粹に輸送路でのエミッタンス増大を評価可能

電子銃下流でのエミッタンス (390 keV)
Solenoid-scan法で測定
規格化エミッタンス: 0.1 mm mrad

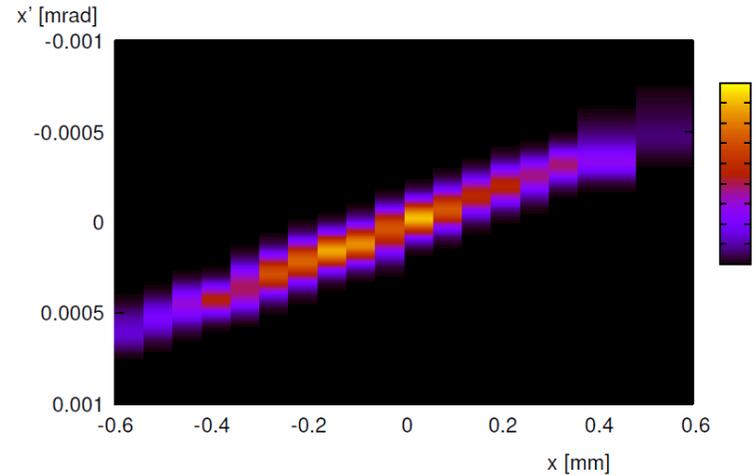


カソードの初期エミッタンス
カソード材質: GaAs
kT = 120 meV
d = 0.8 mm

$$\epsilon_n = \frac{d}{4} \sqrt{\frac{kT}{mc^2}}$$

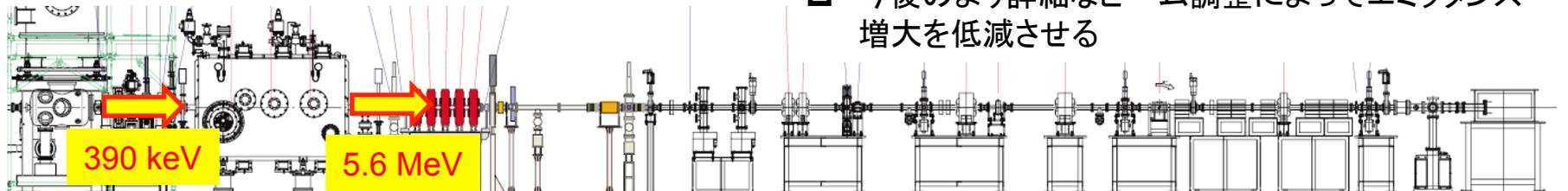
= 0.097 mm m]

超伝導空洞での加速後 (5.6 MeV)
Q-scan法、slit-scan法で測定
規格化エミッタンス: 0.195 mm mrad



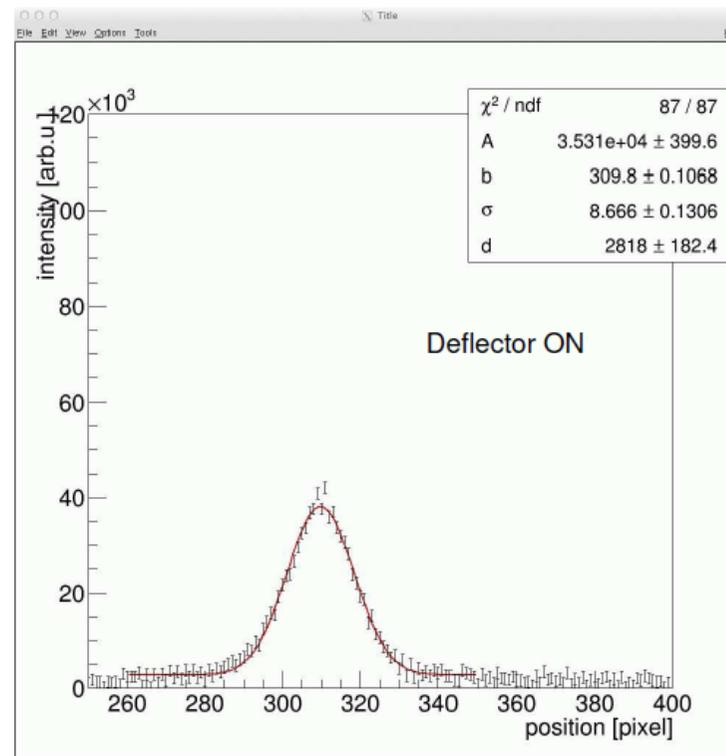
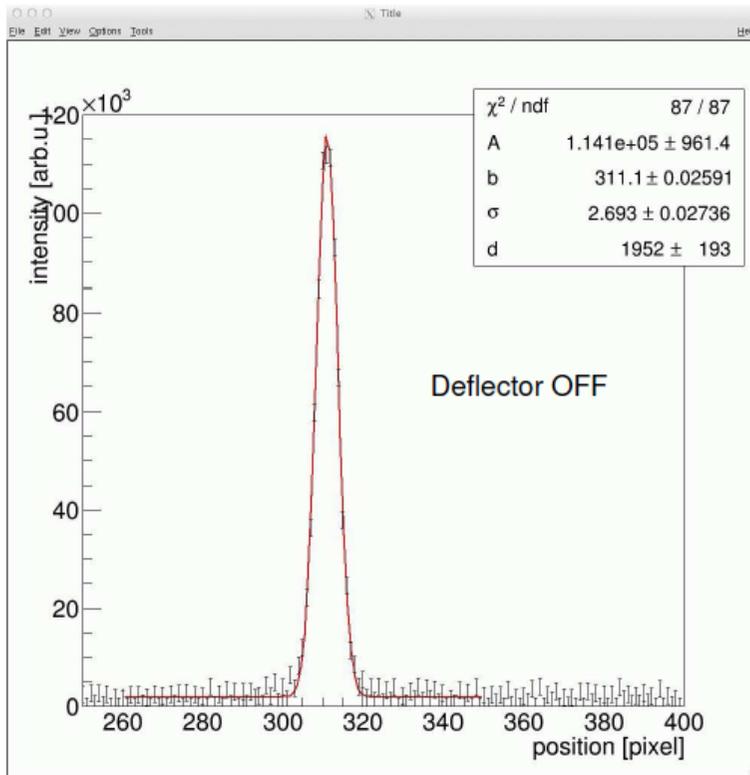
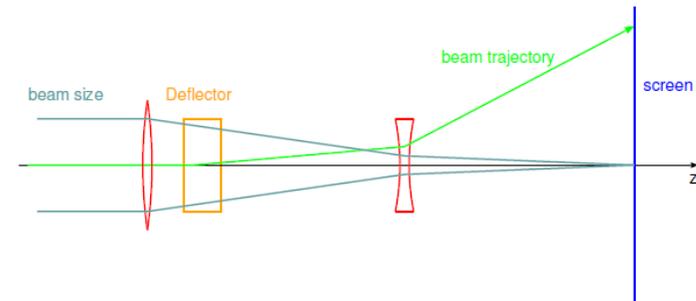
- カソードによって決まる初期エミッタンスと同程度であることが確認された
- ⇒ 輸送路でのエミッタンス増大は極めて小さい

- 詳細調整前でも加速後のエミッタンス増大は0.1 mm mrad程度と小さく抑えられている
- ⇒ 輸送路に大きな問題なし
- 今後のより詳細なビーム調整によってエミッタンス増大を低減させる



偏向空洞によるバンチ長測定

- 実施者: 本田さん
- 目的: 偏向空洞を用いてバンチ長を評価する
- 結果
 - 分解能: 0.69 psと評価された
 - バンチ長: 2.12 ± 0.03 ps

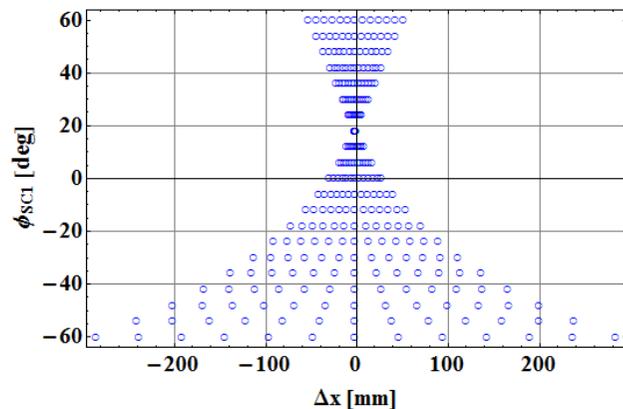
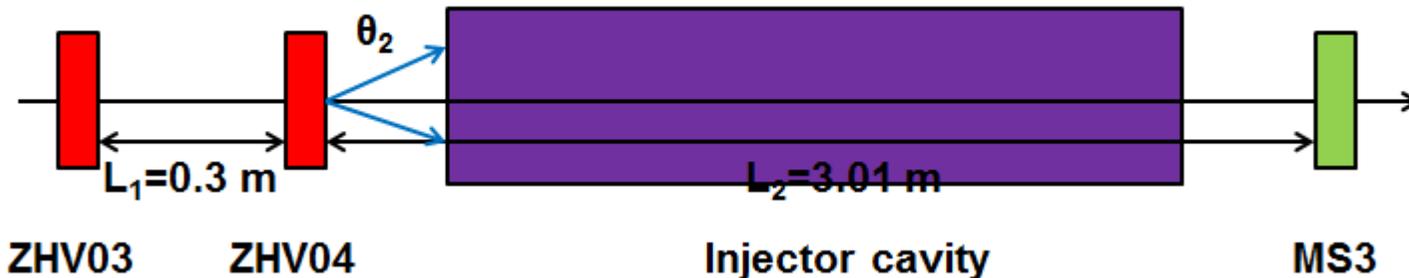


本田洋介: 診断ラインにおける偏向空洞を用いたバンチ長測定

超伝導空洞の収束力評価

- 実施者: Hwang-san、久米さん、原田さん、宮島
- 目的: 超伝導空洞による収束力の測定
- 結果
 - 入射器空洞#1のみで加速、 $E_{acc} = 7 \text{ MV/m}$, REF Phase = -130度 (T = 2 MeV)
 - 空洞手前の補正コイルをスキャンして、位相を変えながら下流スクリーンMS3でのビーム位置変化を測定
 - 幾つかの条件でQ-scan法でエミッタンスを測定
 - Hwang-sanがデータ解析中

Method 2. Check the effect of phase of cavity using ZHV04.



位相を変えると収束力が変化する
この収束力の変化によって、補正コイルで同じキック量を与えても、下流での位置の変動量が変わる

計算例(左図)

横軸: ビーム位置の変動量、縦軸: 空洞位相

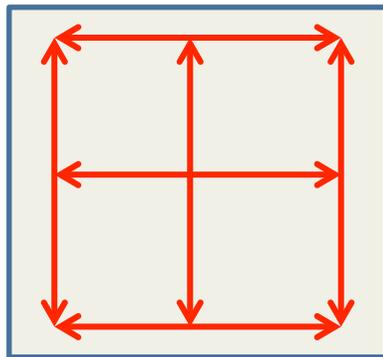
超伝導空洞の収束力評価

- 測定では、水平・垂直方向にそれぞれ振って、さらに空洞に入る位置を変えてマッピングを取った
- 現在、データ解析中

Method 2. Check the effect of phase of cavity using ZHV04.



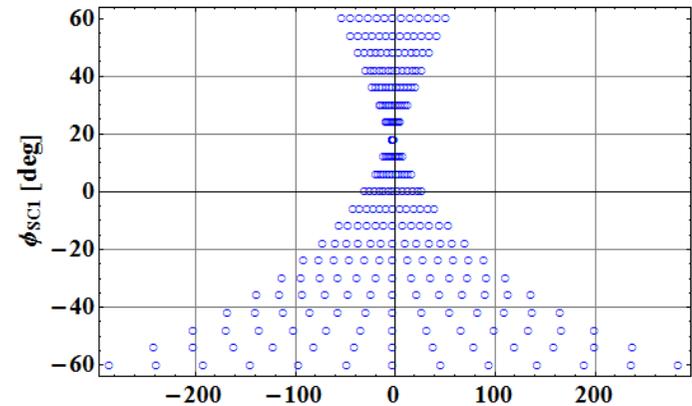
垂直方向位置



水平方向位置

サイン波で振る方向が矢印の方向
 水平方向、垂直方向の両方をそれぞれ振った
 空洞に入る軌道を変えて、左図のようなマッピングを取る

上記の測定の後、
 空洞を通過する位置を変えて、Q-scanによってエミッタンスを測定した。現在解析結果待ち。

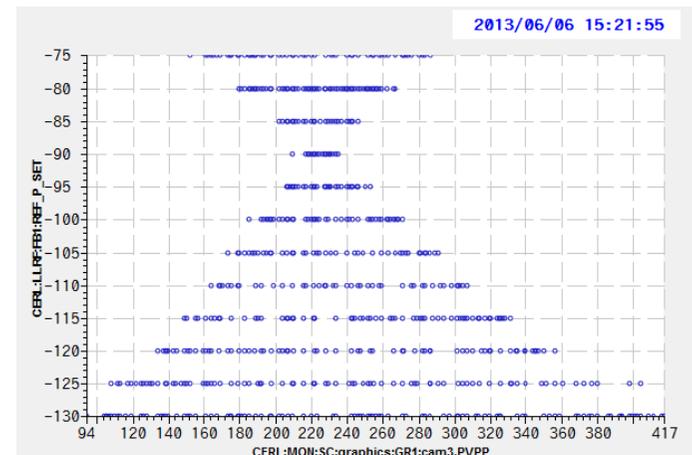


計算例

Δx [mm]



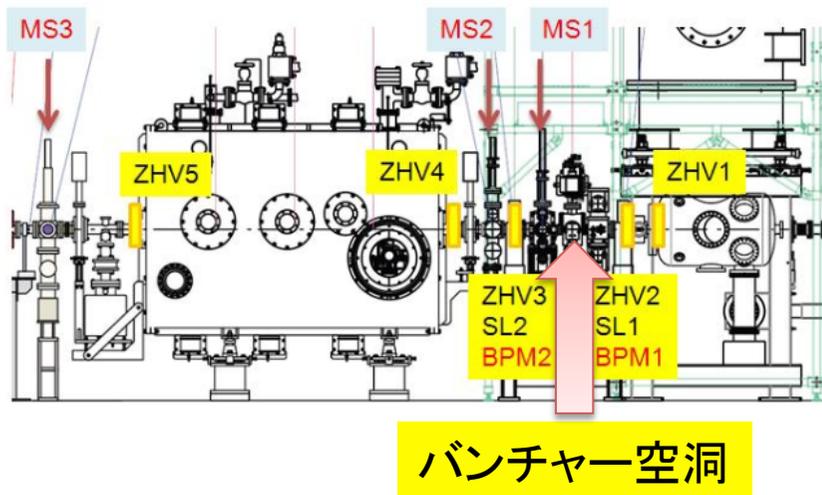
測定結果の一例



バンチャー空洞でのバンチ圧縮

- 実施者: 高橋さん、本田さん、島田さん、宮島
- 目的: バンチャー空洞でのバンチ圧縮の確認
- 結果
 - バンチャーでの最大加速試験: 90 kVで 452 keV ($\gamma\beta = 1.597$)
 - バンチング時の位相: -15 度 (40 kVで圧縮)
 - バンチ長: 1 ps の分解能で違いが見えず。0.5 ps 以下になっていそう(計算上での設定では、0.1 ps)

(1) バンチャー空洞での加速電圧の確認



電子銃電圧を基準 (390 keVビーム) にしてZH03の強さを校正

ZH03とMS2の距離が短いので精度は高くないが、設計(470 keV, transit time 込み)に近い値が得られた
⇒ **バンチャー空洞は正常に動いていることが確認された**

ZH03の磁場を変化させて、MS2上でのビーム位置の変化から運動量を測定

バンチャー空洞電圧: 90 kV
バンチャー空洞位相; $+80$ 度 (最大加速)

ZH02電流変化量; 2.8 A
MS2上での軌道変化量; 10.52 mm

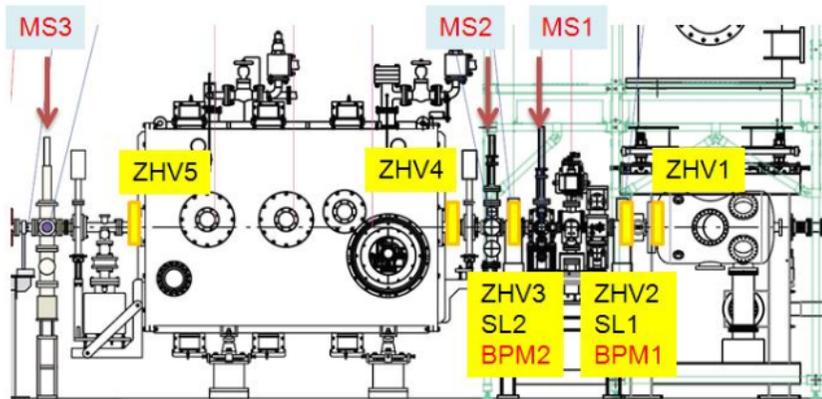


バンチャー空洞で加速後の運動量
 $\gamma\beta = 1.597$
 $T = 452$ keV

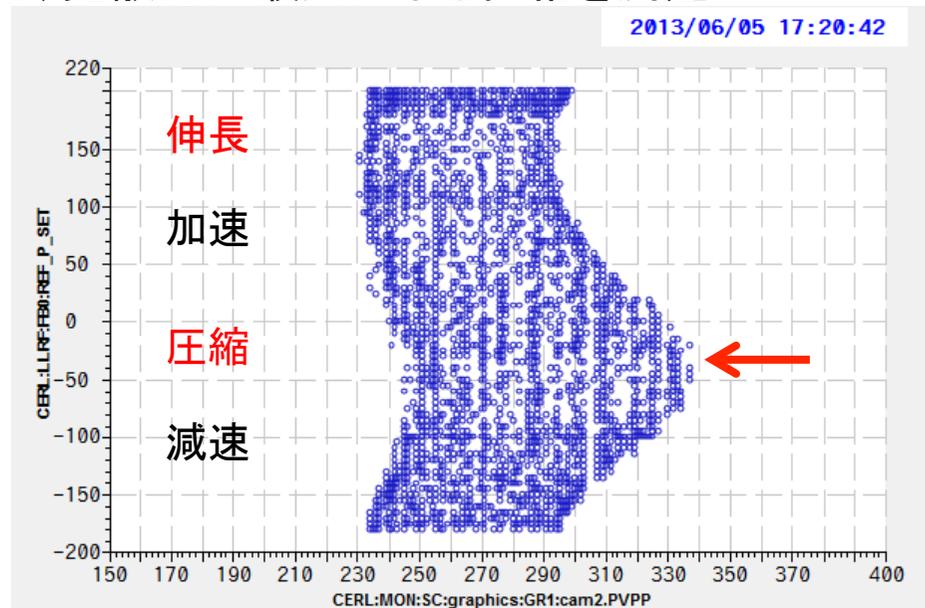
バンチャー空洞でのバンチ圧縮

(2)バンチング位相の確認

- 最大加速位相からバンチング時の位相を決める場合、そこから+90度か、-90度のどちらの場合でも、エネルギーゲインはゼロになる
- ただし、バンチ圧縮か、伸長かで異なる⇒我々のシステムではどちら側なのか確認する必要がある
- バンチング時($\Delta\phi=-90$ 度)は、横方向の発散力が最大になる
- 空洞手前の補正コイルZH02をscanして、発散力が最大になる位相を測定



縦軸:バンチャー位相(設定値)
横軸:MS2上でのビームサイズの拡がり

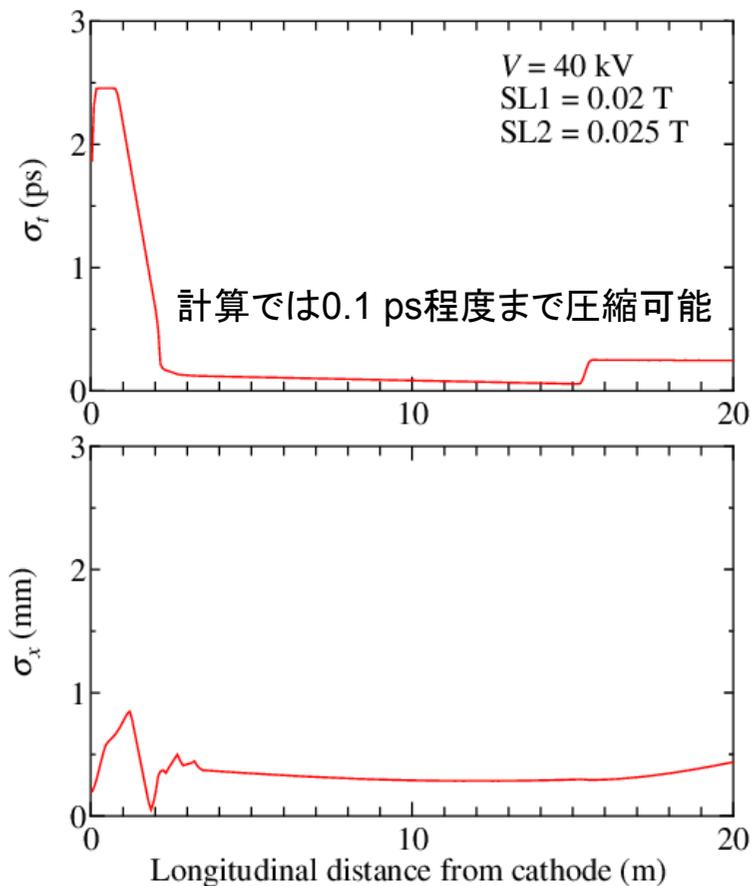


- 20度から-40度くらいでビームサイズ最大
- ⇒**発散力が最大**
- ⇒**バンチング時の位相はこちら側と確認された**

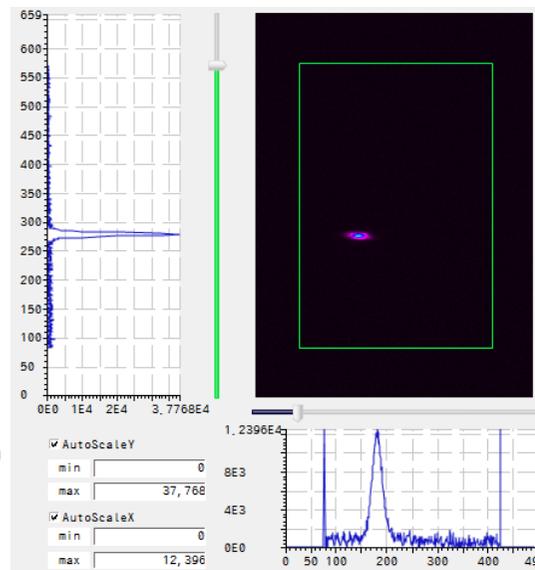
バンチャー空洞でのバンチ圧縮

(3)バンチ圧縮試験

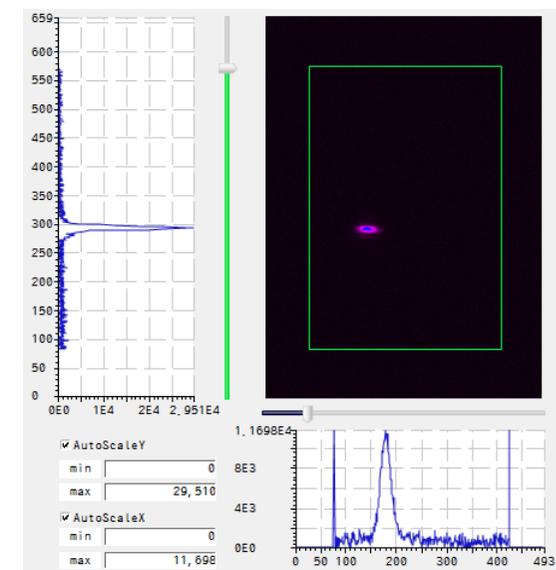
- バンチャー空洞を使って、3 ps rms ビームを圧縮する試験を行った
- バンチャー電圧:40 kV, バンチャー位相:-15度
- 計算では 0.1 ps 程度まで圧縮できる
- これを偏向空洞を使って測定



偏向空洞OFF



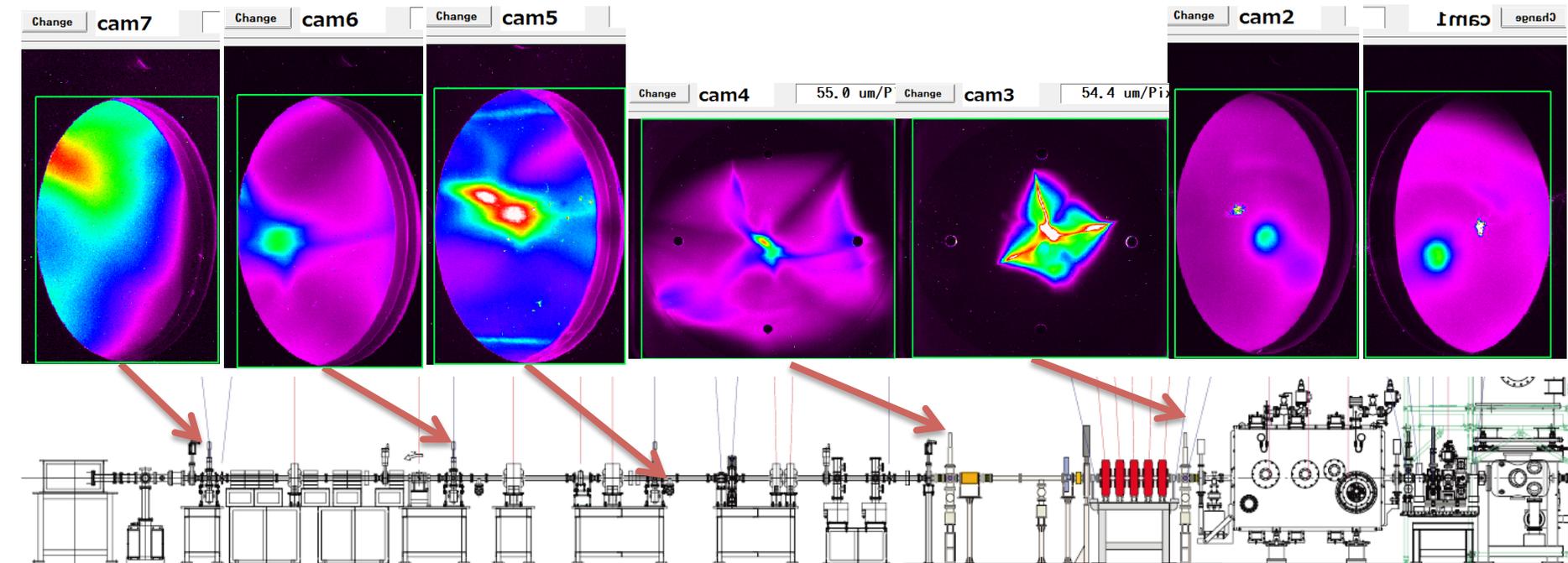
偏向空洞ON



偏向空洞ON/OFFしても、スクリーン上でのビームサイズの変化は観測されなかった
⇒偏向空洞法の分解能(1 ps程度)以下になっている
⇒仮にバンチ長が0.5 psだったとしてもこの分解能で有意な差があるはずなので、バンチ長はそれ以下と推測される

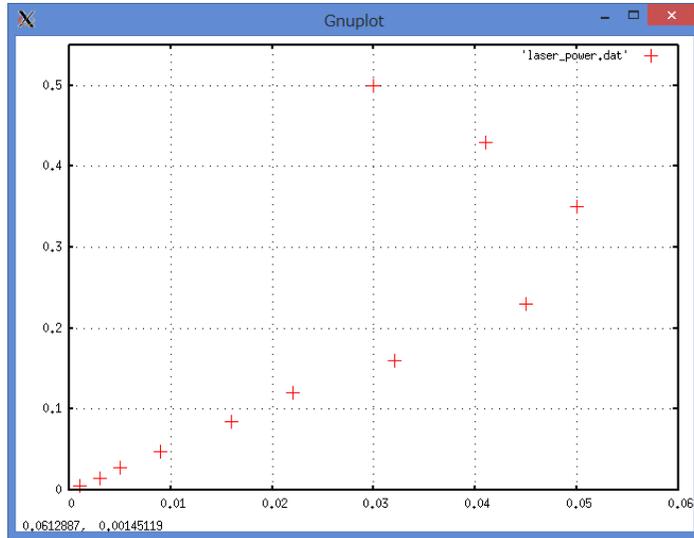
バンチ電荷増強予備試験

- 実施者: 本田さん、他
- 目的: レーザー出力を上げてどこまでバンチ電荷を上げられるかを調査
- 実施項目
 - バンチ電荷を上げながら、電子銃下流のBPM信号の和とダンプ電流の比較
 - 最大電荷輸送時(平均50 nA程度)の放射線サーベイ⇒側壁とRFと中二階で $0.0\mu\text{Sv/h}$
- 結果
 - 最大15 mA相当(バンチ電荷 12 pC/bunch)のビームを生成できた⇒Phase 1の目標を達成
 - オプティクスは無調整なので、Faraday Cupに比べて、ダンプでは到達電流が7割程度に減少



バンチ電荷増強予備試験

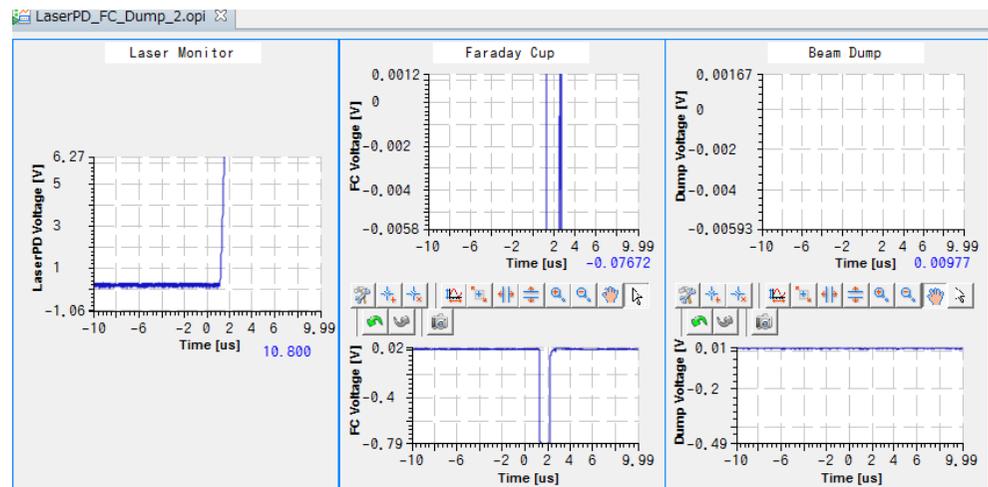
- バンチ電荷を変えながら、電子銃下流BPM信号の和(横軸)とダンプ電流(縦軸)を測定
- BPM信号は途中までは、ダンプ電荷に線形に依存



```
# BPM Sum, Dump, FC
1e-3 5e-3
3e-3 15e-3
5e-3 28e-3
9e-3 48e-3
1.6e-2 85e-3
2.2e-2 120e-3
# 10mV/div range -> 100mV/div
3.2e-2 160e-3
4.5e-2 230e-3
5.0e-2 350e-3
4.1e-2 430e-3
3e-2 500e-3
```

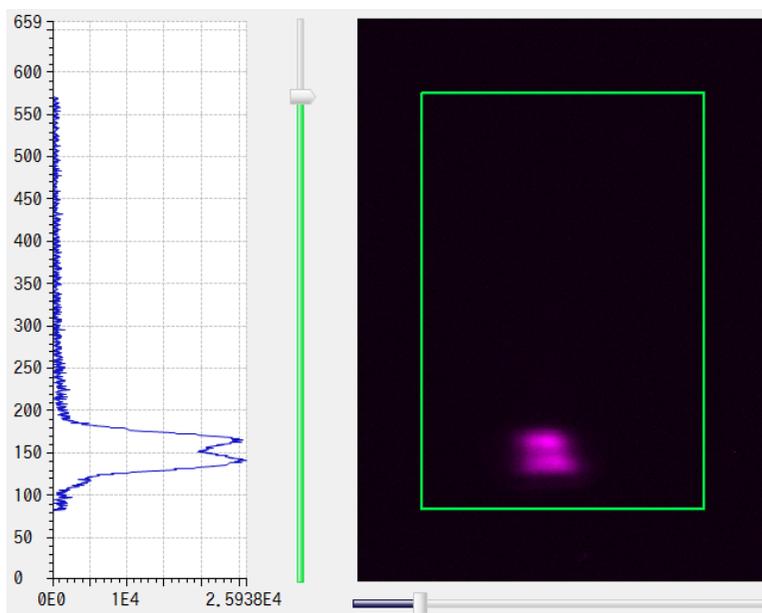


15 mA相当時のダンプ電流

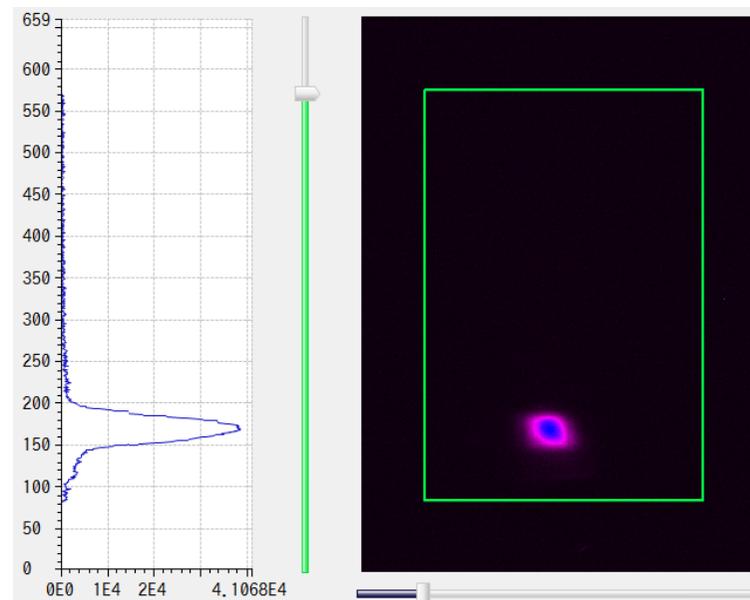


レーザーパルス長の伸長試験

- 実施者: 本田さん
- 目的: YVO4結晶をレーザー光路に入れて、レーザーパルス長を伸ばす
- 実施項目
 - 結晶を入れて、偏向空洞での変化を確認して調整



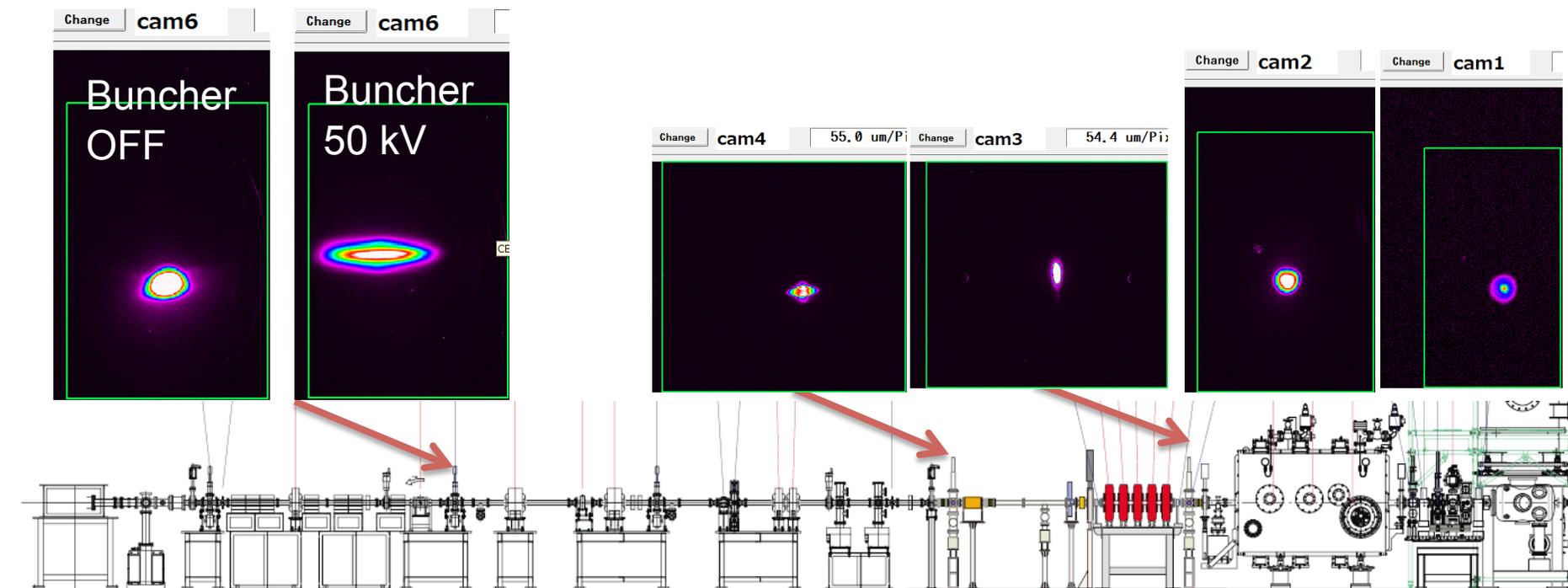
結晶(11.6 mm)を一つ入れた状態



手持ちの結晶で最大伸ばす
11.6 mm + 5.8 mm + 2.9 mm + 1.4 mm

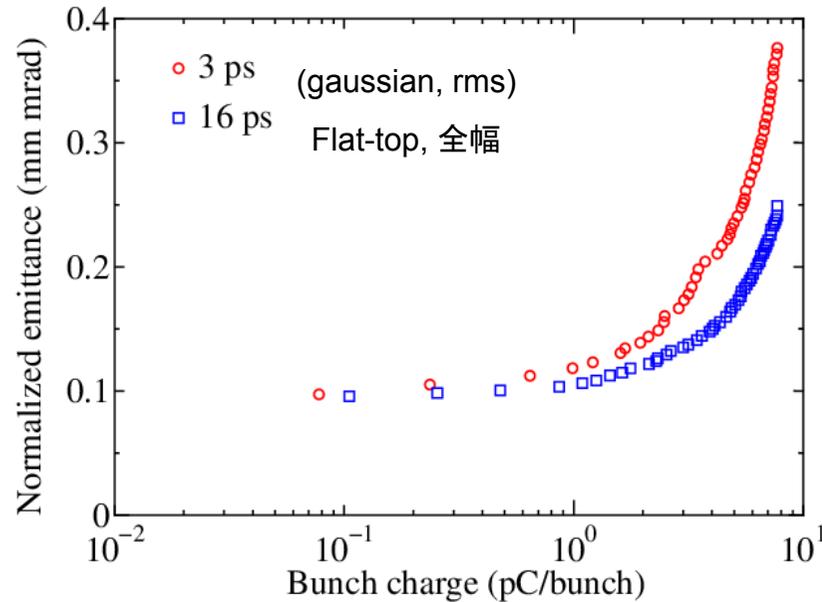
0.77 pC/bunch 輸送試験

- 実施者: 本田さん、島田さん、宮島
- 目的: 0.77 pC/bunch オプティクスを設定して、測定
- 実施項目
 - バンチ電荷を0.77 pC/bunch 相当に調整
 - 計算で求めたオプティクスに設定
- 結果
 - 超伝導空洞下流からビームが水平方向に広がり始める
 - バンチャー空洞のON/OFFで変化することがわかった⇒何らかの非対称性が生じている



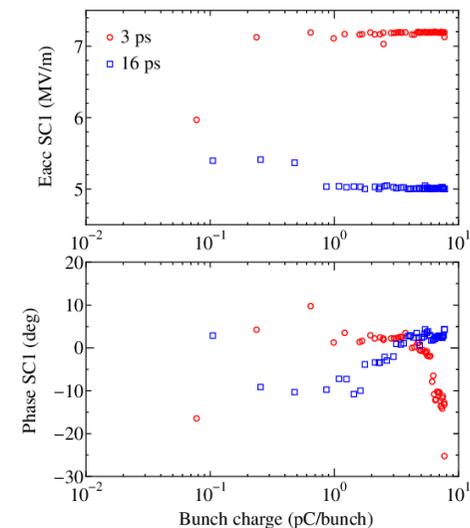
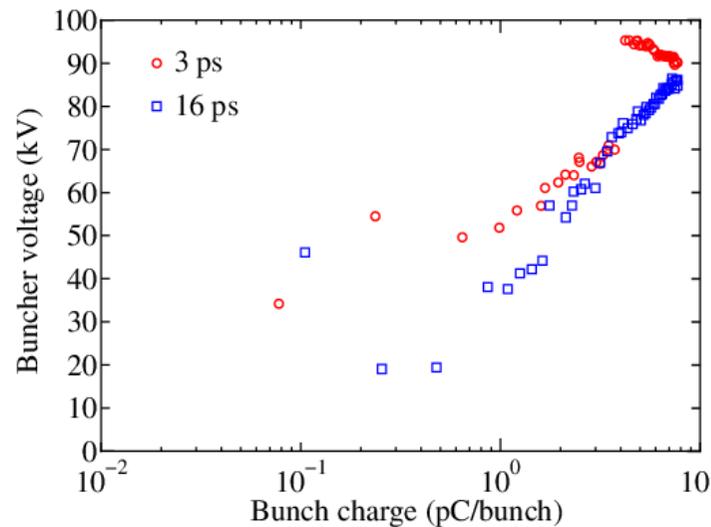
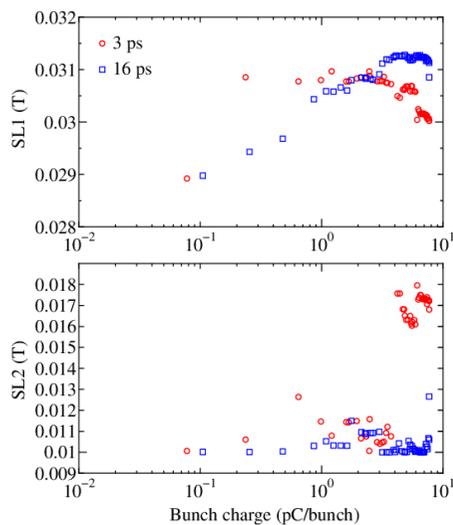
バンチ電荷の影響(計算)

- 7.7 pC/bunch (10 mA相当)までのバンチ電荷の影響を評価



Free parameters

1. SL1
2. SL2
3. バンチャー電圧
4. CAV#1, E_{acc}
5. CAV#1, 位相



0.77 pC/bunch 用のオプティクス

初期レーザーパルス長: 3 ps gaussian

1.18373e-07 -9.87612e-13

○設定値

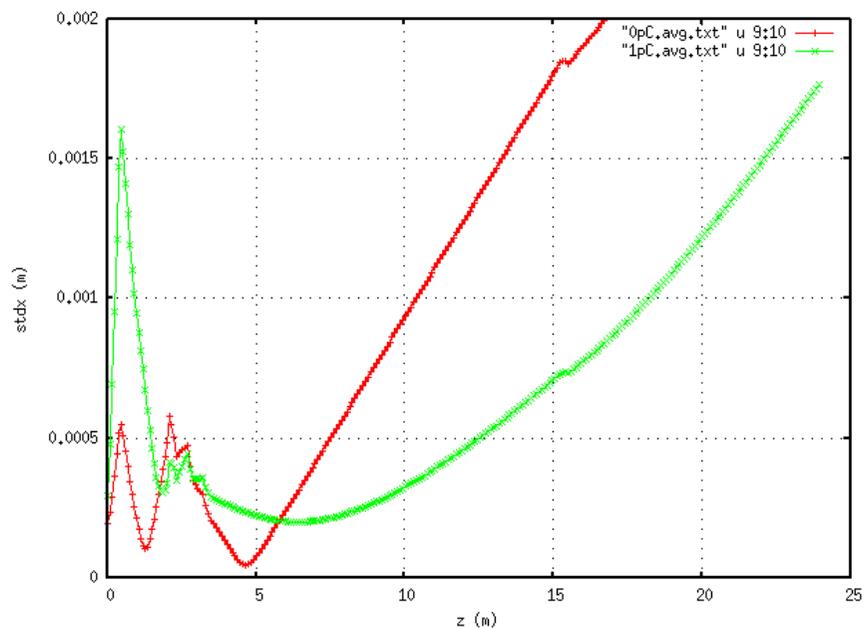
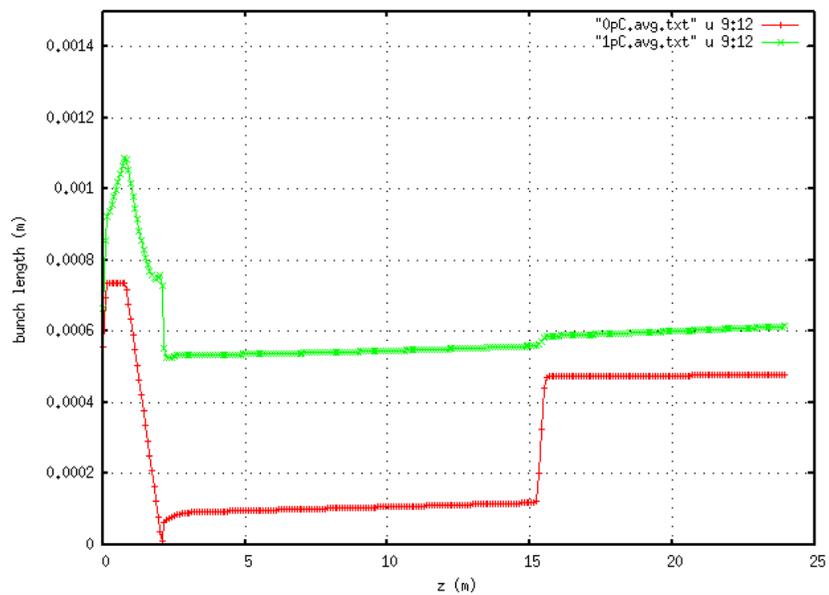
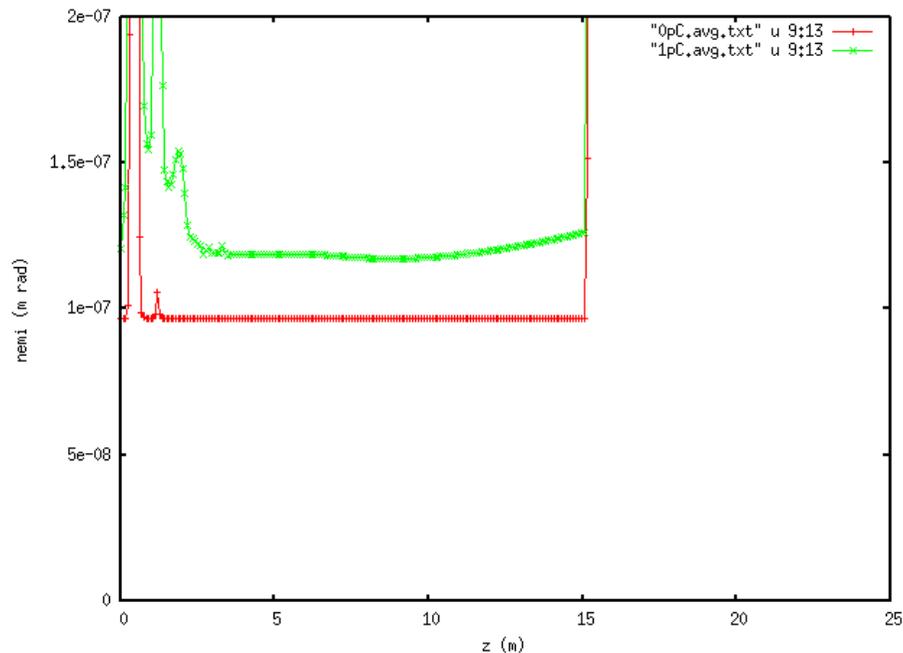
SL1 0.0307997

SL2 0.0114667

V 51.8422

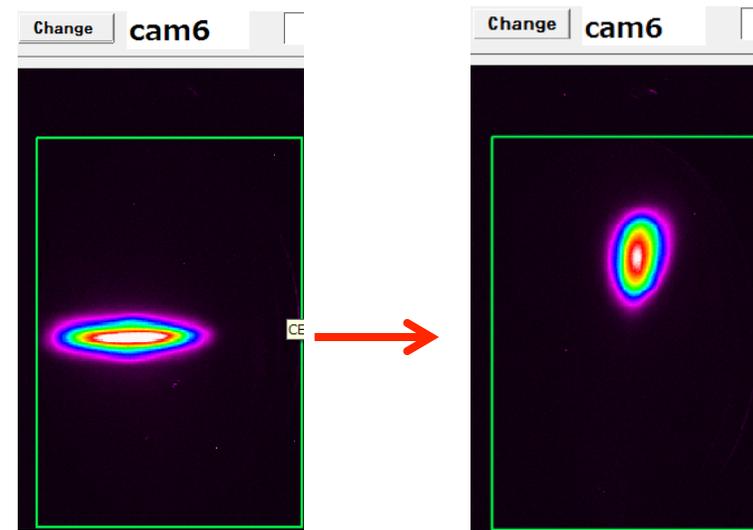
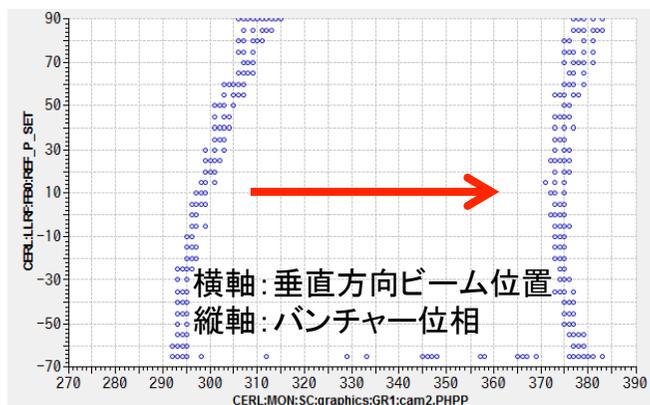
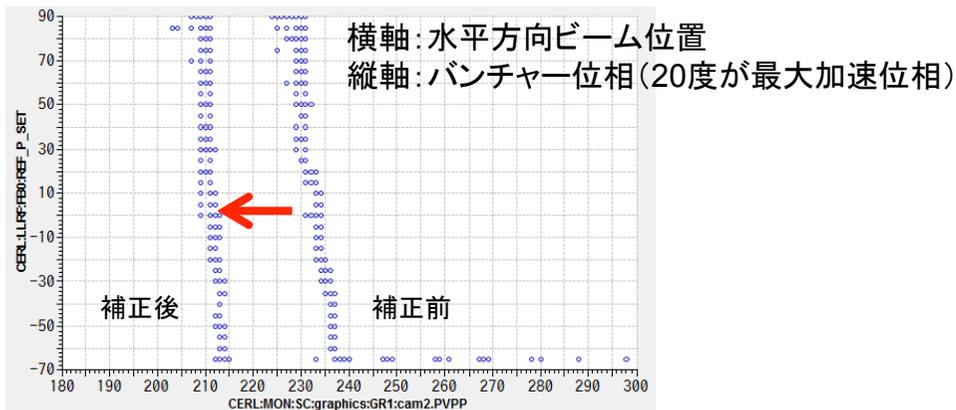
Eacc1 7.10984

phase1 1.27268



バンチャー空洞内の軌道調整

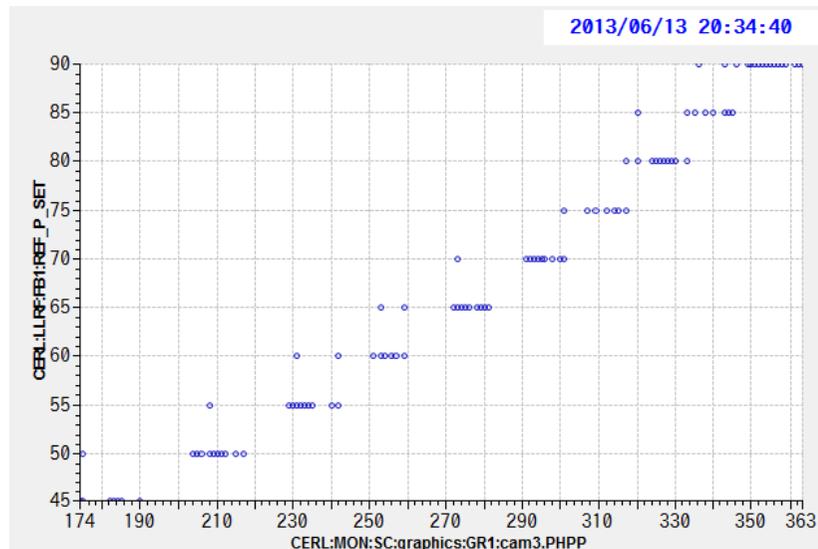
- 実施者: 本田さん、久米さん、西森さん、宮島
- 目的: バンチャー空洞の中心を通すように軌道を調整して、超伝導空洞下流でのプロファイル変化を確認する
- 実施項目
 - バンチャー空洞の位相を変えながら、MS2上でビーム位置が変化しないように、空洞手前の補正コイルを調整



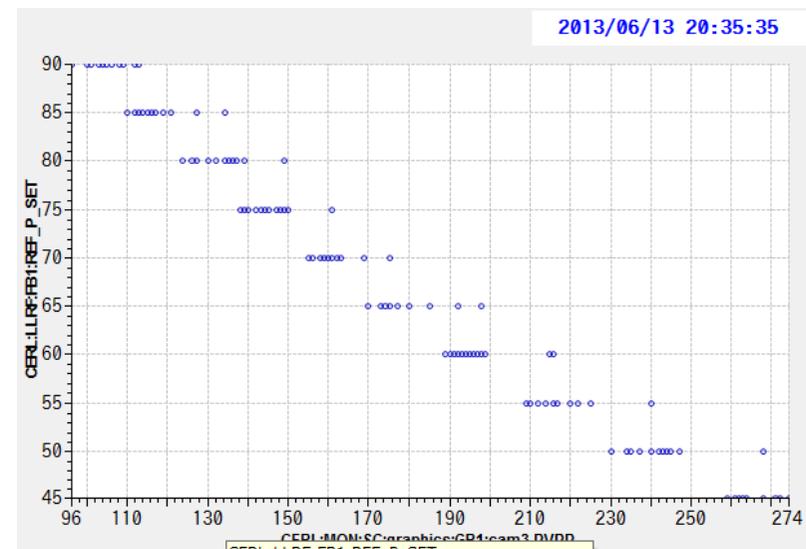
- 前日のプロファイル(左側)に比べて、バンチャー空洞調整後は形状が丸に近づいた(詳細調整は未実施)
- バンチャー空洞内の軌道によって下流で影響が出ることが確認された
- 次回にバンチャー空洞中心を通して、詳細なオプティクス調整を実施する

空洞収束力評価

- 実施者: Hwang-san、久米さん、宮島
- 目的: CAV#1内の軌道が変化したときのエミッタンス増加を測定するため
- 実施項目
 - CAV#1の中心にビームを通す⇒完了
 - 軌道を変えながらのエミッタンス測定⇒未完了 (KLY Pfインターロックでダウンのため)
- 結果
 - 計算の結果を用いて、ほぼ空洞中心を通せた



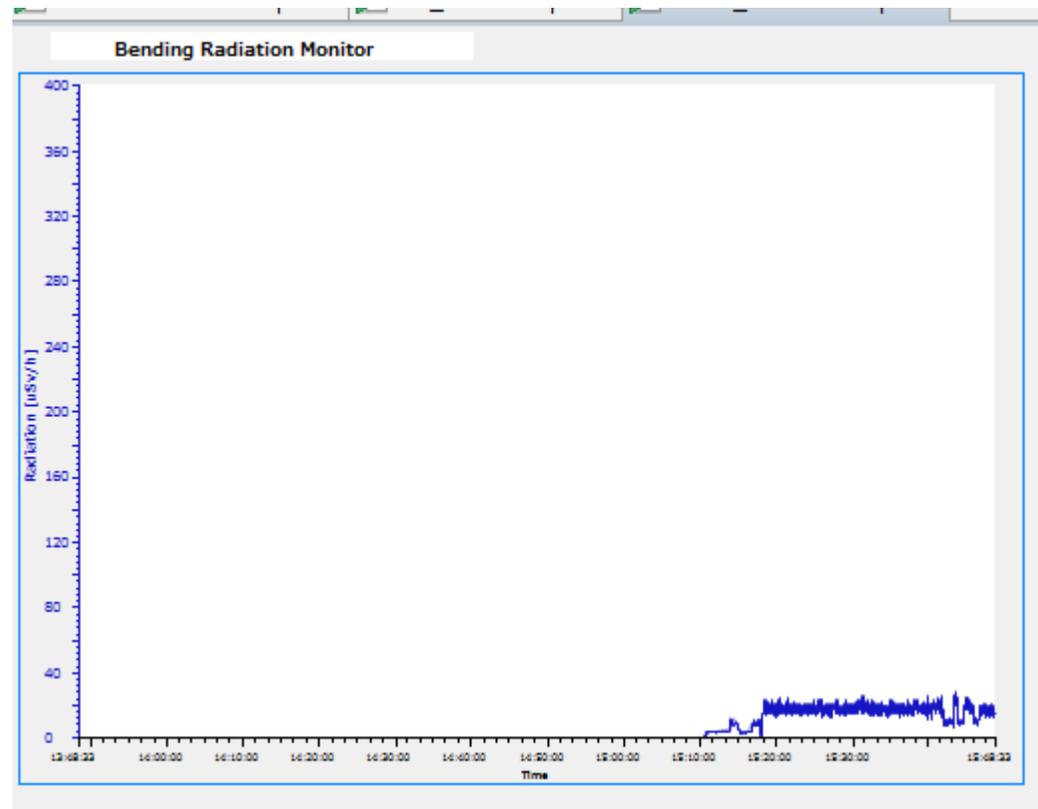
horizontal peak position as a function of the phase when the strength of ZH04 and ZV04 are -0.05 and -2.3, respectively



vertical peak position as a function of the phase when the strength of ZH04 and ZV04 are -0.05 and -2.3, respectively

ロスモニター試験

- 実施者: 下ヶ橋さん、坂中さん



テスト中のbending radiation monitor

B-magで逆に曲げて、モニター方向に損失するようにした
先週(150 pAで800 $\mu\text{Sv/h}$)に比べて、損失が大幅に減少していた

スタディ項目

○LLRF関係

6/3の週:4時間 ⇒ 実施完了

- Feedback Gain Scan + 安定度の測定
- piezo scan (survey of on-resonance)

6/10の週 4時間

- 今週の残り。
- Inj1のRFに300Hzのリップルがのることの原因調査。
(300Hzのリップルはバンチャーと300kWklyのHVにのっているが、Inj1のHVには載っていない)
- (loop delay 測定) ←(終わらなければ次週の火曜日にまわす)

6/17の週 4時間 or More (ビーム有)

- VectorSumキャリブレーション。
離調などを変えてビームの安定度を確認。
2,3の導波管長さを変えても良い。(確認のため)
- ビームローディングについても同期してモニターを行う。
(たとえビームローディングが小さくとも。。)
タイミングよくローディング補正が可能か、プログラムの試験をおこなう。

○軌道関係

- 低電荷での輸送中のエミッタンス増加の低減
- オプティクス調整

○モニター関係

- BPM校正、6/10の週、4時間
- ロスモニター試験(ダンプまで通った状態、5nAで波形観測)、2時間、6/17の週

○空洞関係

- 6/24の週 超伝導空洞試験(ピエゾを使った機械振動測定)、3時間
- 6/24の週後半(木、金希望)、1.8 K運転試験(立ち上がり時間を確認、)、4時間

6/17の週の予定

- やりたい項目
 - ビーム輸送系の詳細調整(低電荷)
 - 0.77 pC/bunchでの詳細調整、ビーム品質測定
- 予定案
- 17日(月):
- 18日(火): 超伝導空洞立ち上げ、低電荷でのビーム輸送系詳細調整(オプティクスパラメタの把握(特に超伝導空洞手前で測定結果を計算で再現できるようにしたい))、ロスモニタ試験(50 nA希望)
- 19日(水): 0.77 pC/bunchでの詳細調整(電荷を変えた時の影響の評価、ビーム品質測定)
- 20日(木): できれば、LLRF関係、モニター関係スタディ
- 21日(金): 0.77 pC/bunchでの詳細調整(6/19の結果をもとにする)
- バンチ電荷量とレーザーパルス幅
 - スクリーン挿入時のビームロス量を5 nAにする話がでた。
 - マクロパルス幅1 μ s, 5 Hzの時: 最大 0.77 pC/bunch
 - マクロパルス幅 1 μ s, 1 Hzの時: 最大 3.85 pC/bunch
 - パルス幅: 3 ps gaussian, 16 ps flat-top
 - 今週の最大平均電流: 5 nAを上限とする(マシン側の安全系を確認するため)
 - 50nAで線量は問題ないということになった。以後、最大平均電流を50 nAに引き上げ(6/14打合せ)。

コメント: スクリーン挿入時のビームロス量に注意。平均50 nAを最大とする。

cERLスケジュール2013年6月

6

June

ビーム調整項目案(2013.05.24)

2013

平成25年

Sunday	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday
						1 前ページ に記載
2	3 周回部申請 空洞冷却	4	5	6	7	8 バンチャー空洞立ち上げ、バンチ長測定、CW試験
9	10 空洞冷却	11	12	13	14	15 大電荷試験1(機器調整、オプティクス調整)
16	17 空洞冷却	18	19	20	21	22 大電荷試験2(ビーム品質測定)
23	24 空洞冷却	25	26	27	28	29 周回部運転に向けた調整 昇温