

# cERL-LCSS試験加速器の準備状況

2014.6.24

量子ビームレーザー打ち合わせ

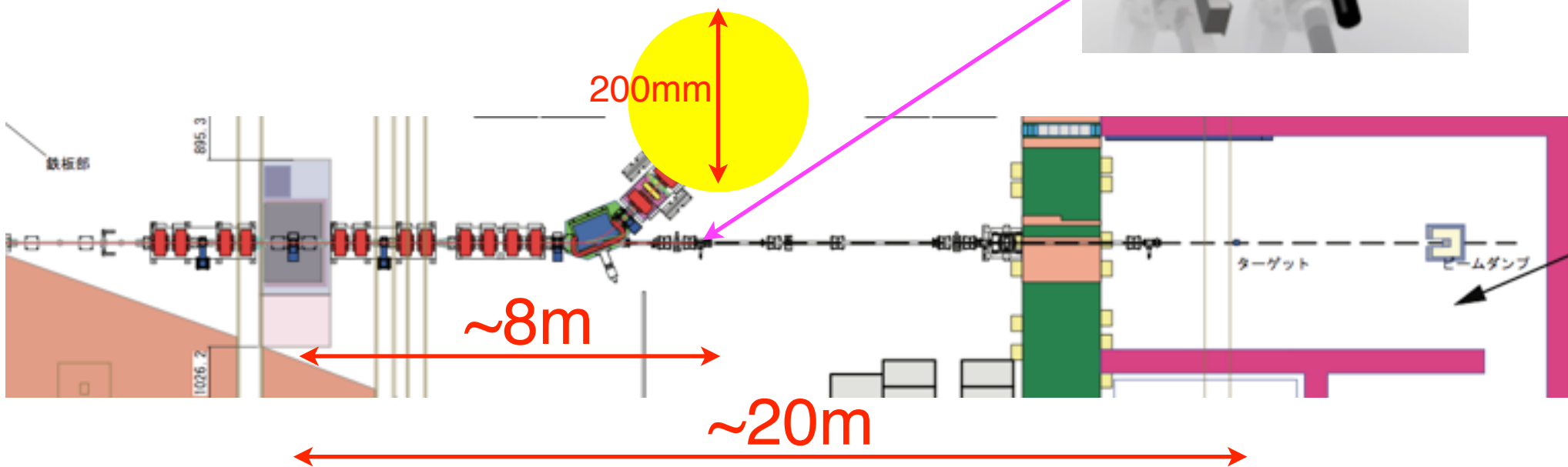
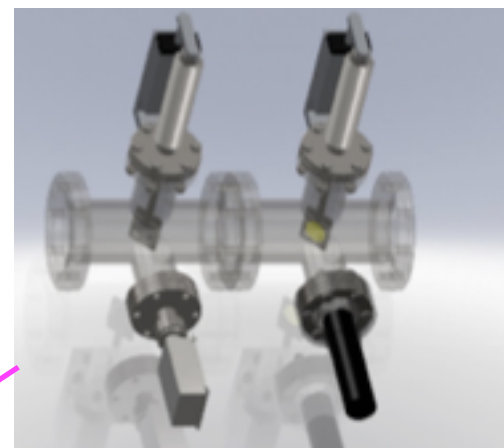
本田洋介

- 2015年2月から行うLCSSに向けて、5,6月のcERLの運転で出来るだけ準備を行った。
  - バックグラウンドの評価
  - ビームオプティクス試験
  - ビームローディング試験
- あとは、レーザー次第

# LC信号見積り

# LCレイアウト

- パラメータ
  - 電子ビーム： $E=20\text{MeV}$  ( $\gamma=40$ ), レーザー： $\lambda=1064\text{nm}$ , 衝突角18度
  - 生成されるX線は、最大7.0keV。(大気で減衰するので、Be窓で仕切った低真空ダクトで輸送)
  - X線の発散角は、 $1/\gamma$  ( $\gamma=40$ なので、25mrad)、( $1/\gamma$ のところではエネルギーは半減、全量の半分)
  - $1/(2\gamma)$ サイズは、加速器室内できるだけ近くだと、距離8m。直径200mm。
    - (遠いと、検出される信号量は距離 $^{-2}$ で減る)
- コミッションング用検出器の配置案
  - 収量を稼ぐため、前へ
  - 薄くて広いシンチレータを挿入して、PMTで見る
    - Ce:YAG 0.1mm,  $\Phi 30\text{mm}$



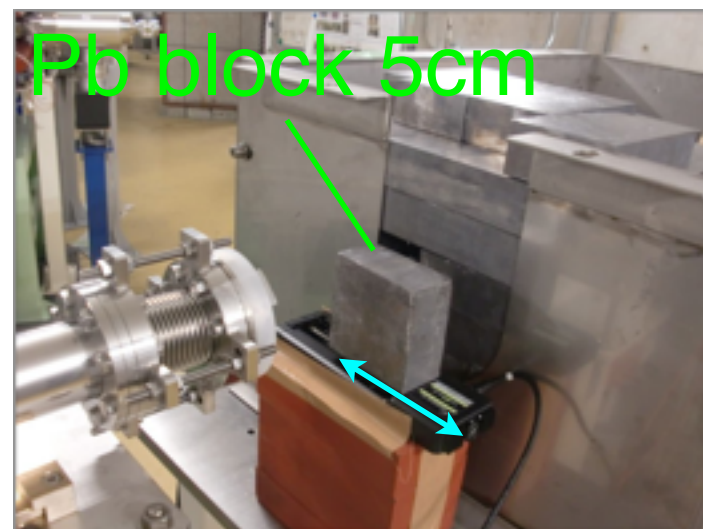
# LC見積り

- パラメータ
  - 電子ビーム
    - $E=20\text{MeV}$ , バンチ長 $3\text{ps}$ , エミッタンス $1\mu\text{m}$ , サイズ $100\mu\text{m}$
    - 繰り返し $1300\text{MHz}$ ,  $0.7\text{pC/bunch}$  ( $1\text{mA}$ )
    - $1\text{mA}$ ,  $1\text{ms}$ ,  $5\text{Hz}$  で、今の放射線申請上限 $10\mu\text{A}$ の半分。
  - レーザー
    - 波長 $1\mu\text{m}$ , バンチ長 $7\text{ps}$ , サイズ $100\mu\text{m}$
    - 繰り返し $162.5\text{MHz}$ ,  $0.2\text{mJ/pulse}$  ( $45\text{W} \times 1000$ )
- X線の収量
  - 衝突点下流 $8\text{m}$ の位置で、 $\phi 30$ の開口で、
  - $1\text{ms}$ の時間で、 $2000\text{ph}$ 。つまり、 $2\text{MHz}$ のレート
- コミッショニング時のビーム運転モード
  - バーストモード( $1\text{mA}$ ,  $1\text{ms}$ ,  $5\text{Hz}$ )を想定
    - X線信号でトリガかけられるかどうかには依存しない、外部トリガモード。
    - レーザーにバースト増幅する可能性もある。
  - (CWだと、バンチ電荷が小さいので、ビーム運転は楽。)
  - 衝突条件を探す段階で、余裕は見ておきたい。 $1\text{ms}$ で $200\text{ph}$ とか。
    - バックグラウンドが $10000\text{ph}$ として、統計ふらつき $100\text{ph}$ 。一応、有意に検出可能。
    - 位相フリーランで $360$ 度を埋めるとしても、数分(数10分)で測定完了。
    - 衝突位置スキャン等をやって、1時間程度(1シフト)で一応の結果がでるはず。
- バックグラウンド次第 (あと、レーザー次第)

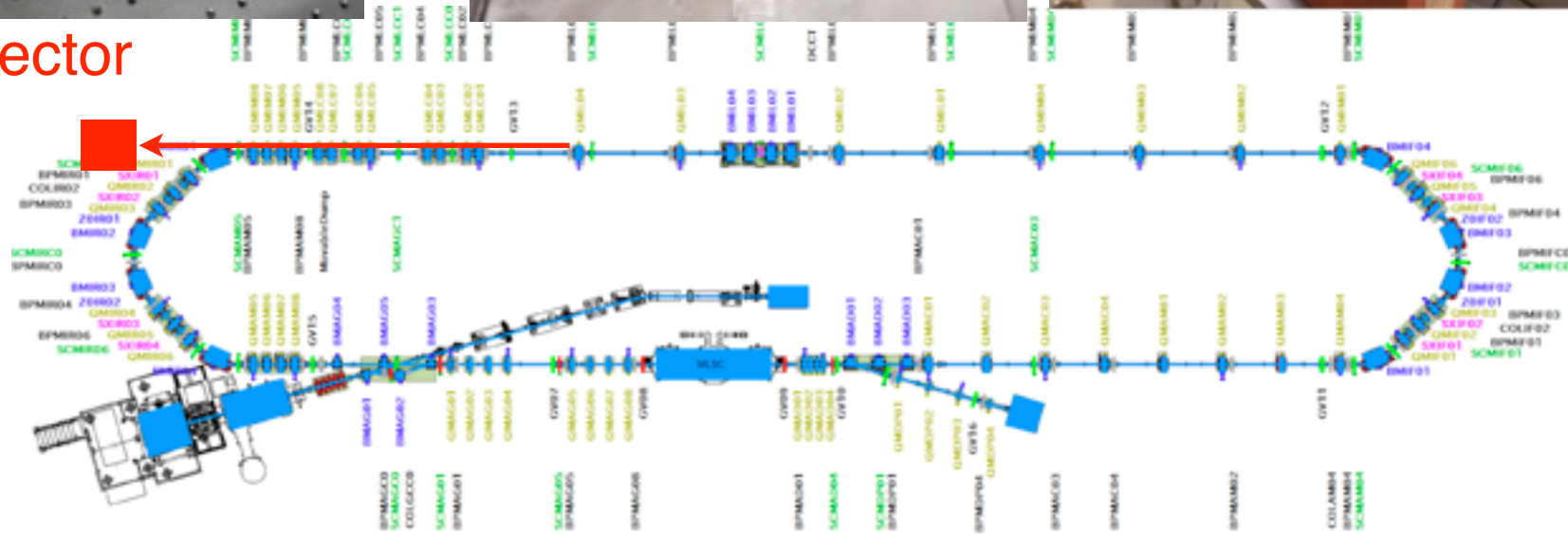
# バックグラウンド調査

# バックグラウンド測定

- cERLの運転中に、直線部軸上のバックグラウンドを測定した。
- 取り出しポートは、ビューポート越しの測定
  - 本来は、Be窓で取り出して、X線領域のバックグラウンドを測定したいところだが、危険とのことで断念。
- MeV領域のレートから外挿して、7keV領域のレートを見積もる。
- CsI(pure) 5cm x 5cm x 10cmを、PMT(H1161UV)で読み出すものを用意。(開口 5cm x 5cm)
- キャリブレーション: 20MeV=200mV (HV1300V)
- 軸上(IPから8m)に鉛のシールドを設置

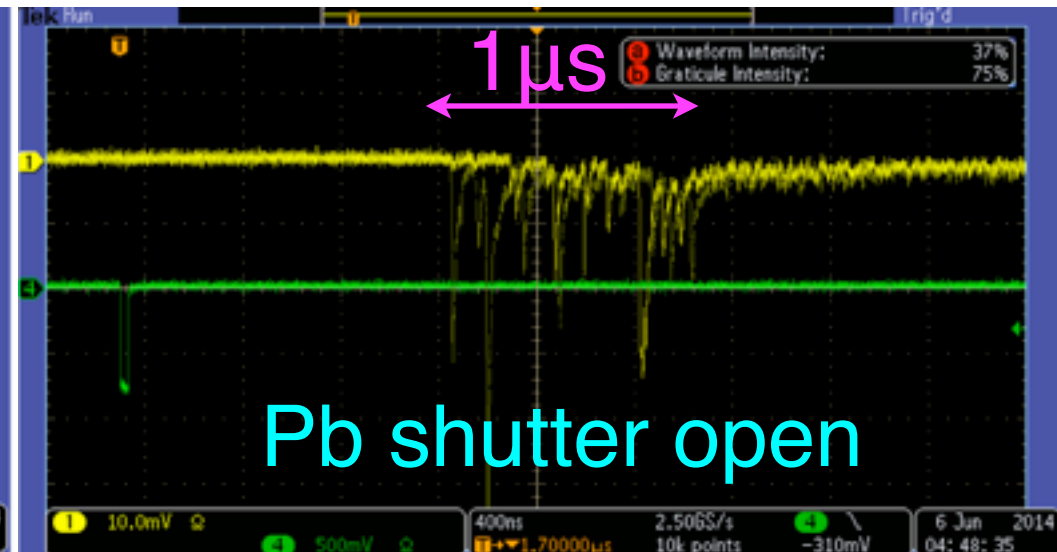
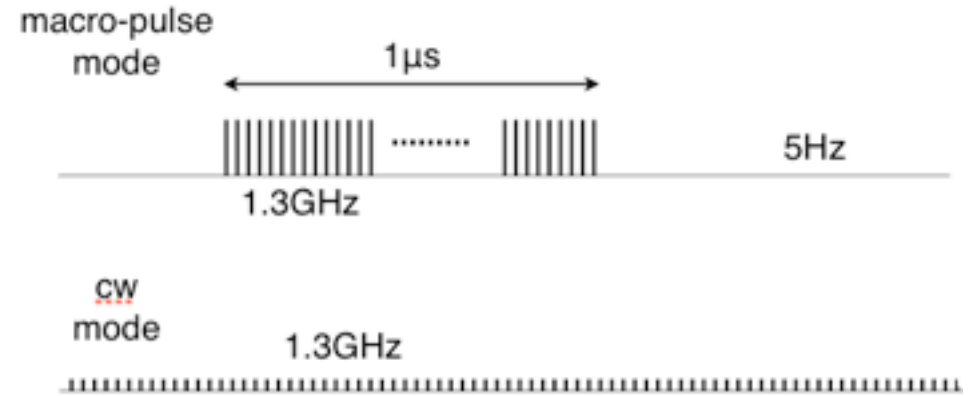


γ-detector



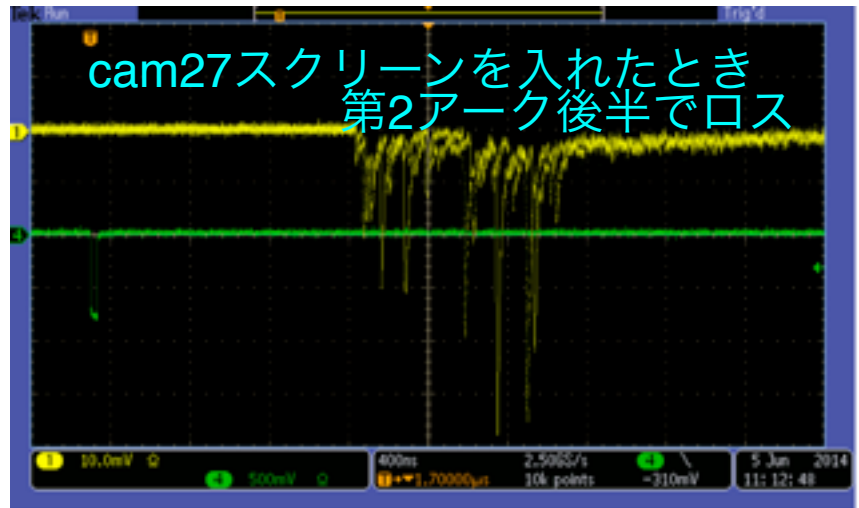
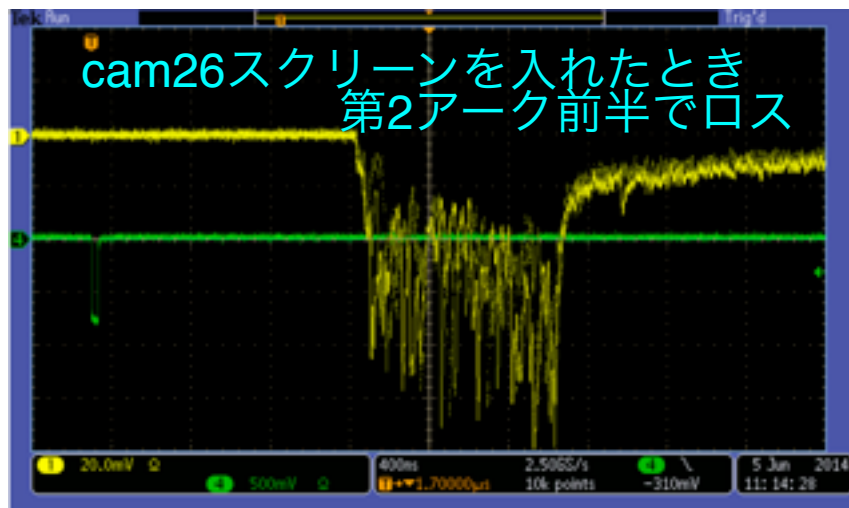
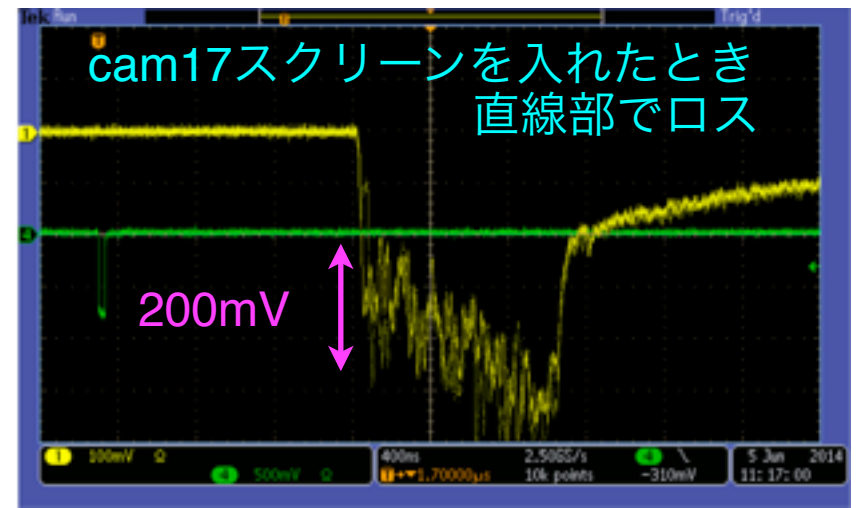
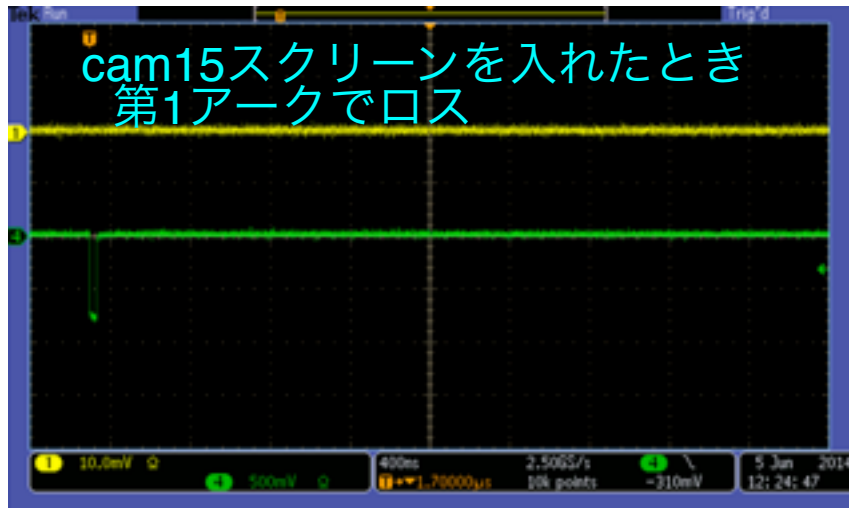
# バックグラウンド測定

- 運転モード
  - 調整モード： $20\mu\text{A}$ ,  $1\mu\text{s}$ のバースト運転
  - ビームは一周して減速し、ダンプへ
  - LCSS用の絞ったオプティクス
- 測定結果
  - open: MeVのパルスがパラパラ。
  - close: ほとんど信号なし。
- つまり、
  - バックグラウンドは直線部から来ている。
  - 数MeVのものが、MHzのレートで来ている。



# バックグラウンド測定

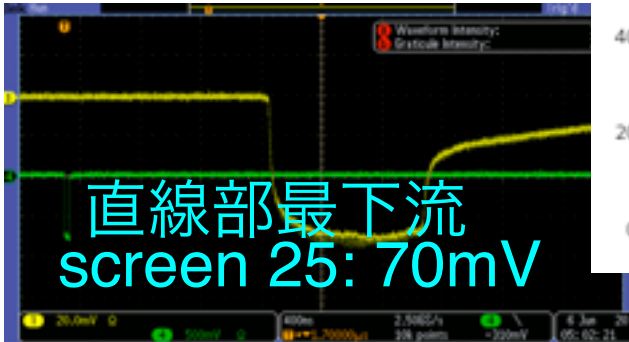
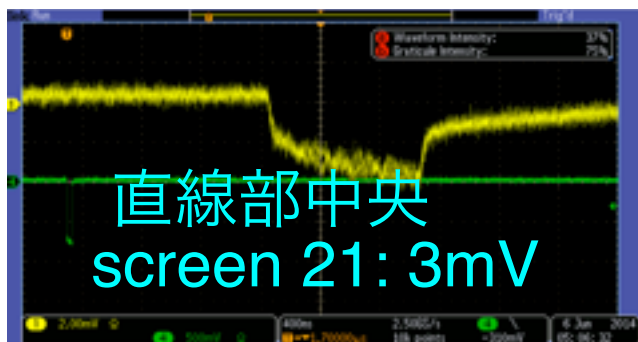
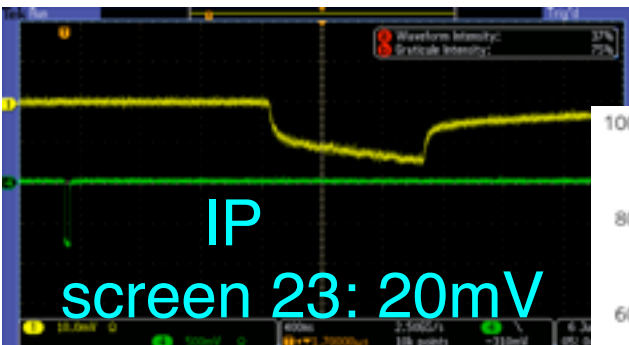
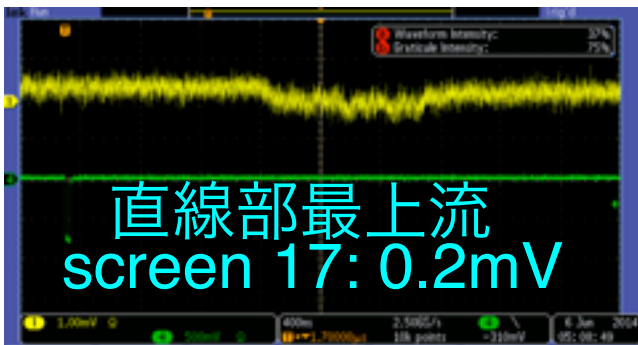
- ビーム損失位置の依存性の調査
  - 第1アークでのロス、検出器にバックグラウンドはやってこない。
  - 直線部だと、最大20MeVのバックグラウンドが来る。(キャリブレーションの確認)
  - 第2アークを半分以上通過できていれば、バックグラウンドは増えない。(減速出来ていなくても良い)



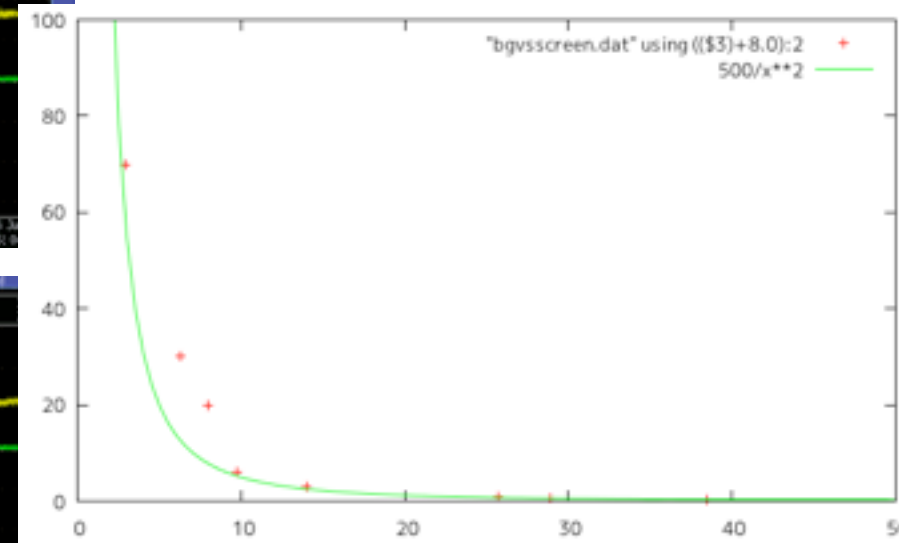


# バックグラウンド測定

- 距離依存性の確認
  - 直線部のスクリーンモニタを挿入して、バックグラウンドを発生させた。
  - スクリーンと検出器の距離によってどう変わるか。(PMTのHVは下げて測定。)
- 結果
  - 基本的に、バックグラウンド量は(距離)<sup>-2</sup>に比例することを確認
  - バックグラウンドも $1/r$ で広がる
  - 直線部は長いが、問題となるバックグラウンド源は下流が主である。



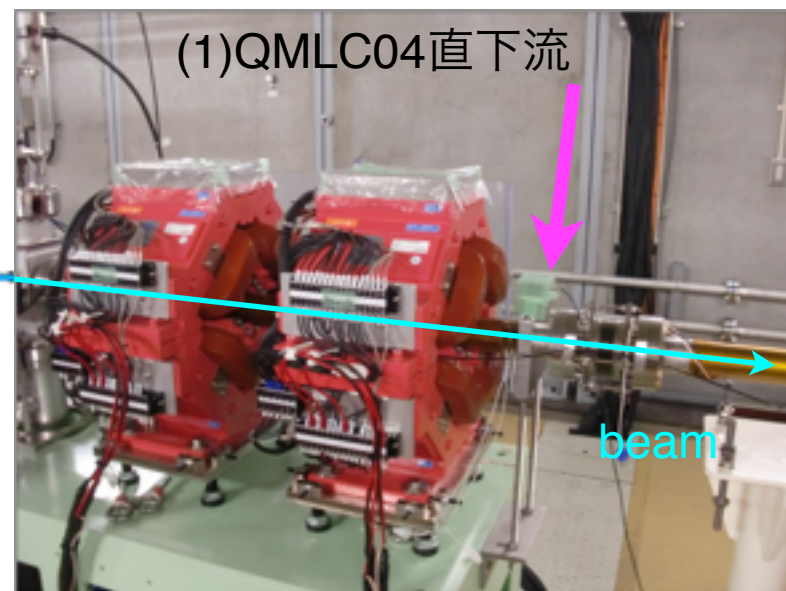
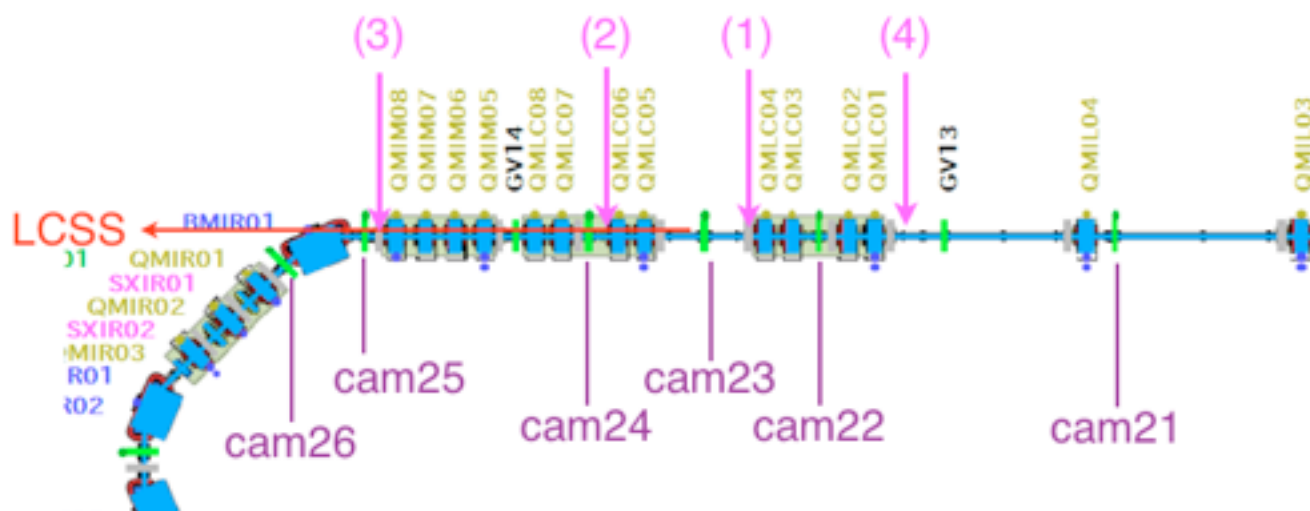
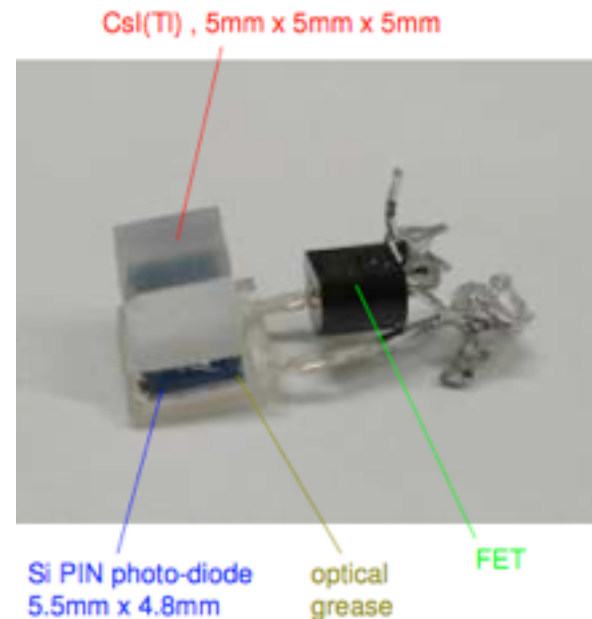
信号強度



検出器からの距離

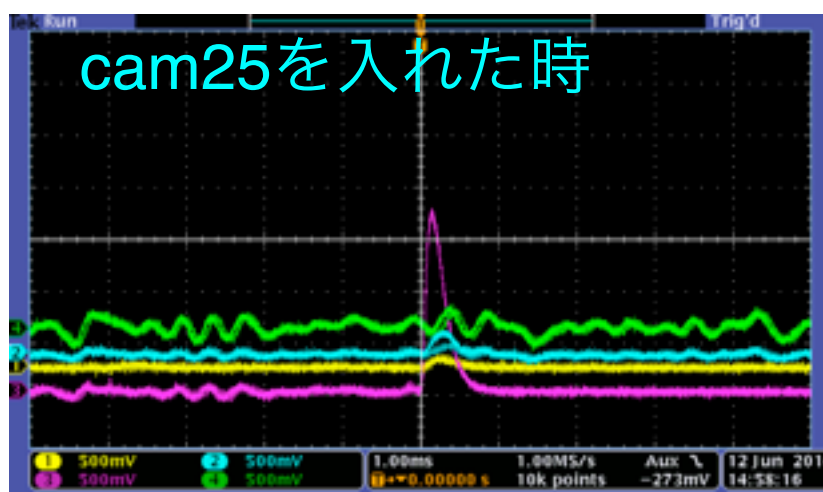
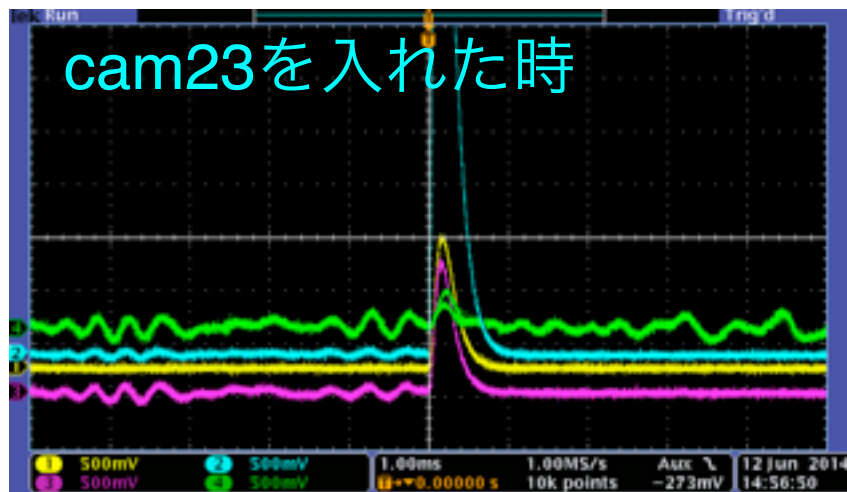
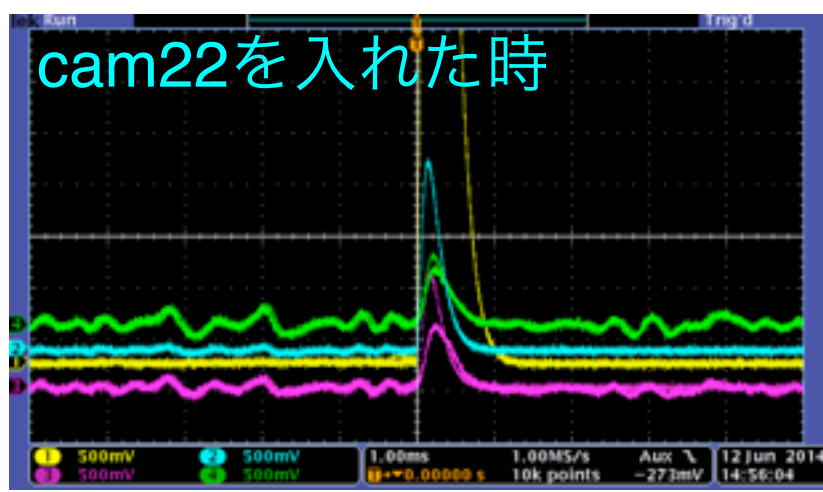
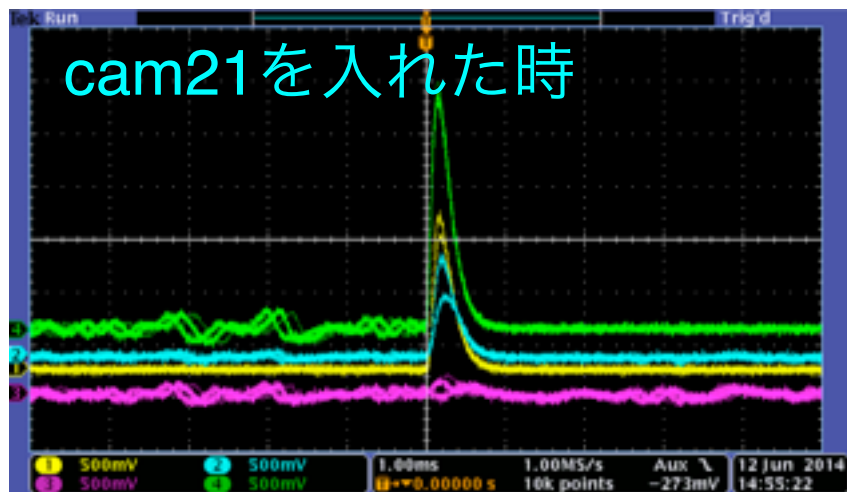
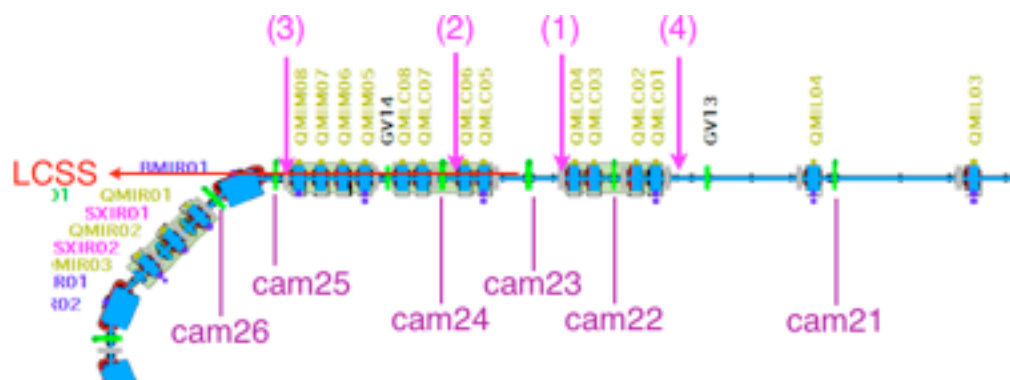
# バックグラウンド源の調査

- 簡易ロスモニタ
  - CsI(Tl)をフォトダイオードで読みだし。局所的なロスが分かる。
  - 安価(5000円くらい)
- 設置
  - (1) QMLC04(衝突点前のダブレット)の直下流
  - (2) QMLC06(衝突点後のダブレット)の直下流
  - (3) QMIM08(南直線最後)の直下流
  - (4) QMLC01の上流
- ビーム条件
  - 通常のオプティクス/LCSS絞ったオプティクス
  - 調整モード  $20\mu\text{A}$ ,  $1\mu\text{s}$



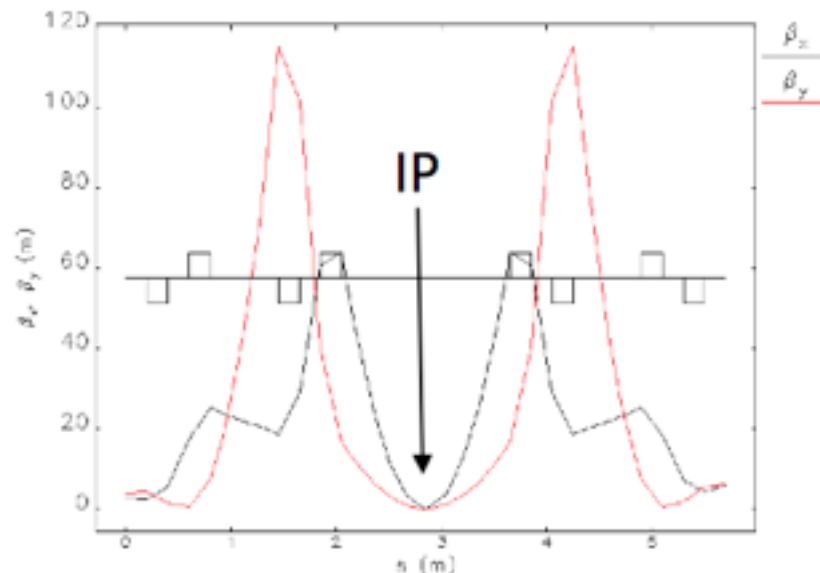
# バックグラウンド源の調査

- ロスモニタの信号例
- 信号
  - (4)緑、(1)黄、(2)青、(3)赤
- スクリーンを入れてロスさせて信号を確認
- ロスした点から下流1mくらいに信号が出る

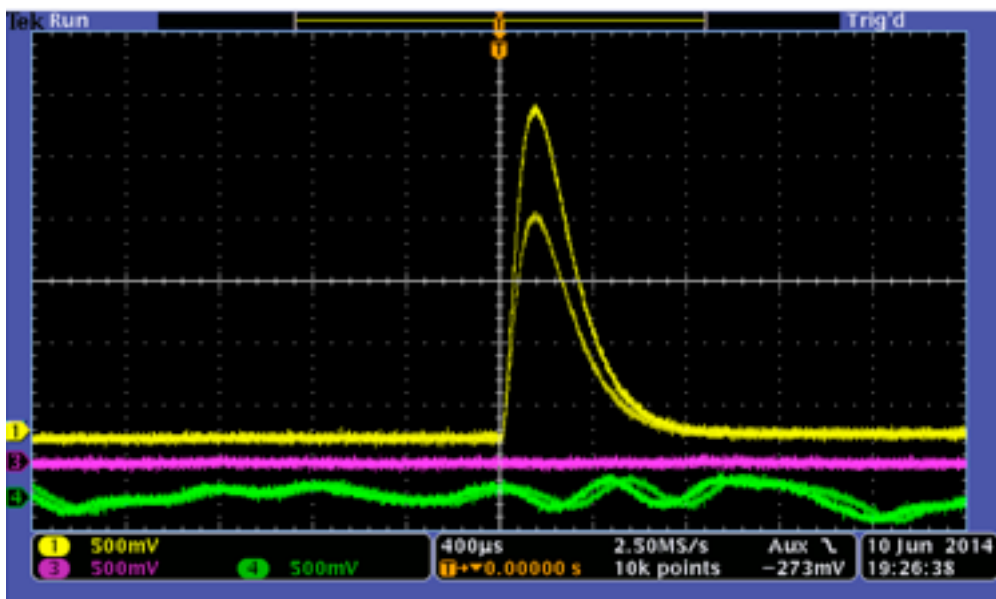


# バックグラウンド源の調査

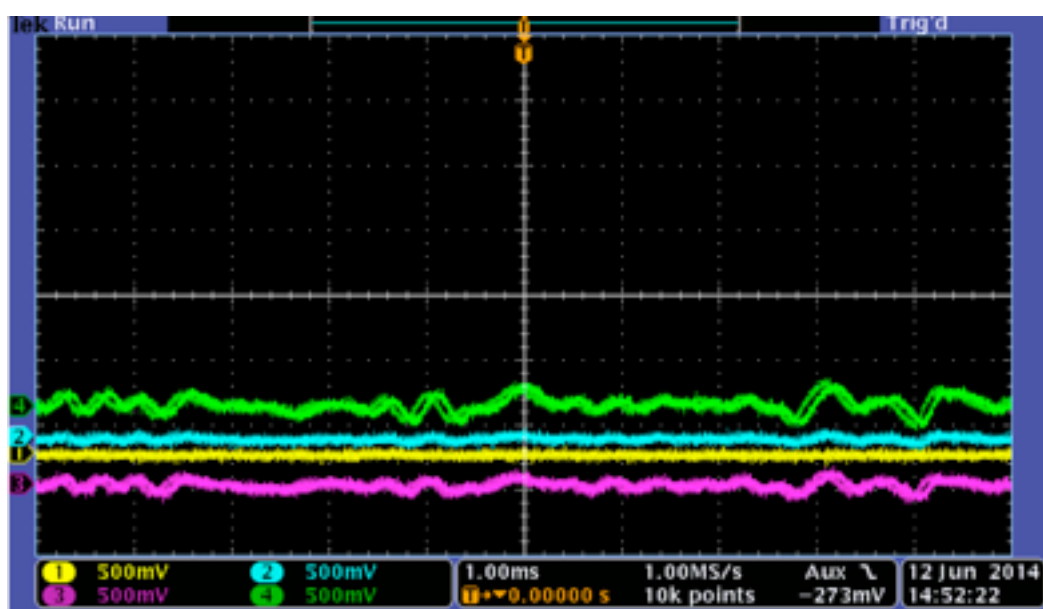
- ビームオプティクスによってロスの様子が異なることを確認
- 運転モード： $20\mu\text{A}$ ,  $1\mu\text{s}$ の調整モード
- LCSS収束したオプティクス
  - (黄)QMLC04下流, (赤)QMIM08下流, (緑)BMIR01下流
  - 収束ダブレット付近に局所的なロス
- 通常オプティクス
  - 有意な信号は見られない。
- 絞ったオプティクスにしたことで、収束ダブレット付近でベータ関数が大きくなり、ビームハローがダクトにかすっている。



## LCSSオプティクス(6/10)



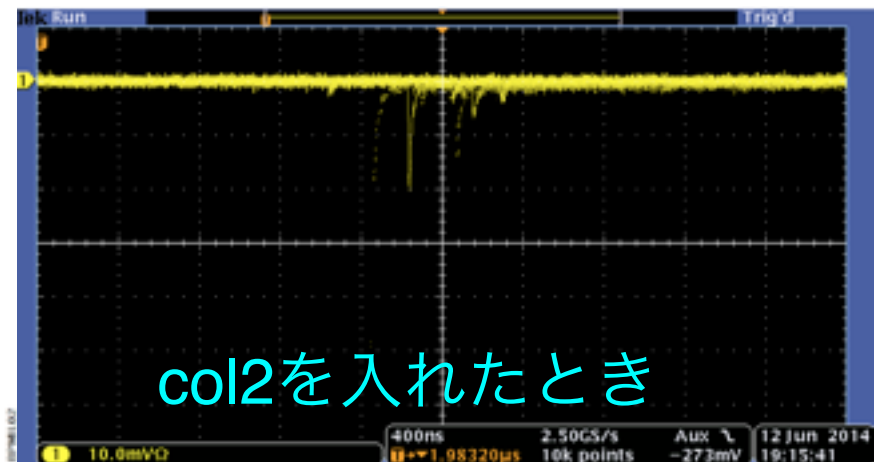
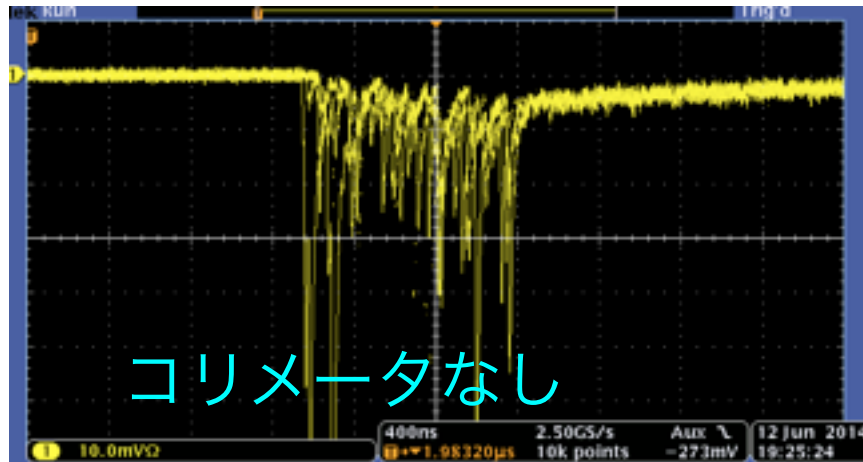
## 通常オプティクス(6/12)





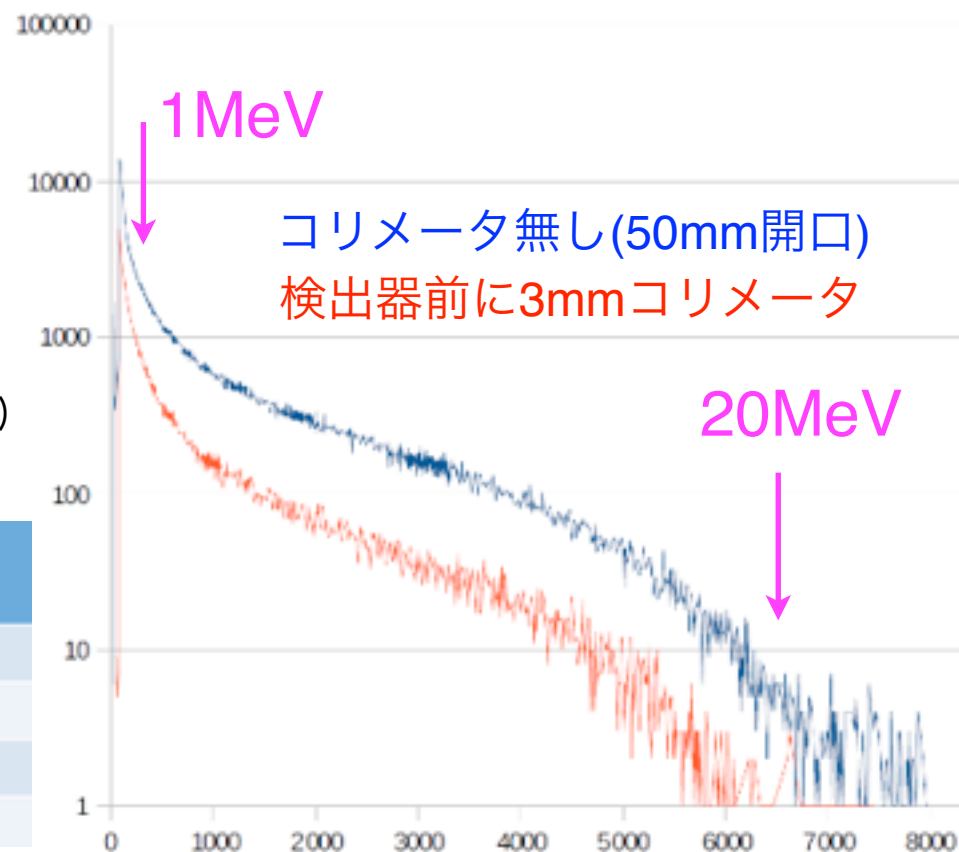
# バックグラウンドの低減

- 大電流運転時の放射線を抑える目的で、ビームハローを削るコリメータが設置されている。
  - col2：合流部。加速前の分散のあるところ。
  - col3：第1アーク分散の大きいところ。
  - 他にもいくつかあるが、あまり効かない。
- 通常の絞らないオプティクスでの試験
- 軸上Csl検出器のバックグラウンドを見ながら、コリメータを入れていく
  - ビームコアを明らかに削り始める1mm手前くらいまで入れると、バックグラウンドが減る。



# バックグラウンドスペクトル

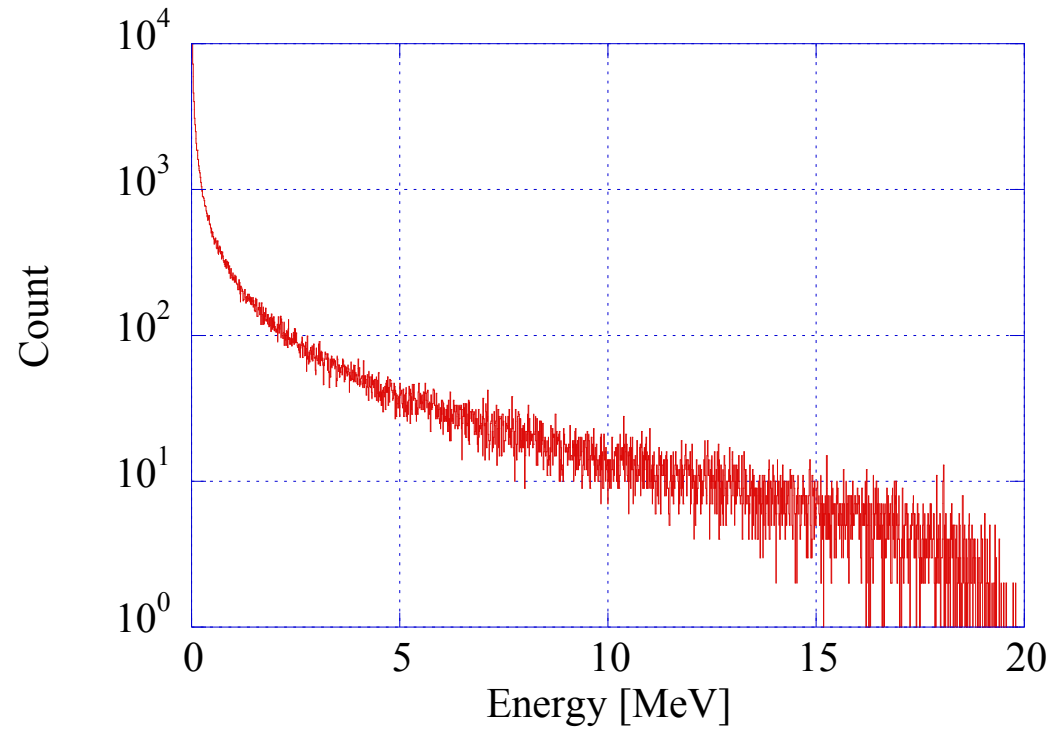
- 測定しているのは高エネルギーのバックグラウンド、低エネルギー側はどうなっているか推測したい。
  - CsI(pure)の信号をスペクトル測定(MCA)
  - 信号がパイルアップしないように、超低電流のcw運転で。(0.6  $\mu$ A)
  - (数100keVから下はPMT暗電流に埋もれて見えない)
- 結果
  - ブロードなスペクトルで、低エネルギーほどレートが高いことを確認。
  - LCSS用の絞ったオプティクスだと、通常オプティクスより1桁高い
  - ビームコリメータを使って、2桁減らす事ができる。(かなり攻めた配置)
- いいかげんな見積り
  - できるだけのコリメータを入れた条件で、
  - 200keV~20MeVで30MHz(at 1mA)
  - 適当に外挿し、5keV~100keVで3MHz(at 1mA)と読む
  - X線領域のバックグラウンド3000個/(1ms,1mA)
- 見通し
  - 高エネルギーに不感、低エネルギーに高感度の検出が必須
    - 薄いシンチでいけそうではある(MeV領域を3桁落とす)
    - MeV領域の寄与はX線領域のBGに対して無視できる



optics	電流[ $\mu$ A]	コリメータ	カウント数 [kcps]	1 mA相当 [Mcps]
通常	0.6	無	165	275
		Col2-Right	6.3	10.5
LCS	0.05	無	150	3000
		Col2、Col3	1.3	26

# 残留ガス起因の評価

- EGSでの計算(永井)
  - 大気での20MeV電子の計算をして、9.3m, 1mA,  $1 \times 10^{-6}$ Pa としてスケールした結果
  - 364cps (200keV)。検出器に飛び込むのは1msに1個以下。
- 残留ガス起因は無視出来る。
  - 真空を良くしてもバックグラウンドは減らない。

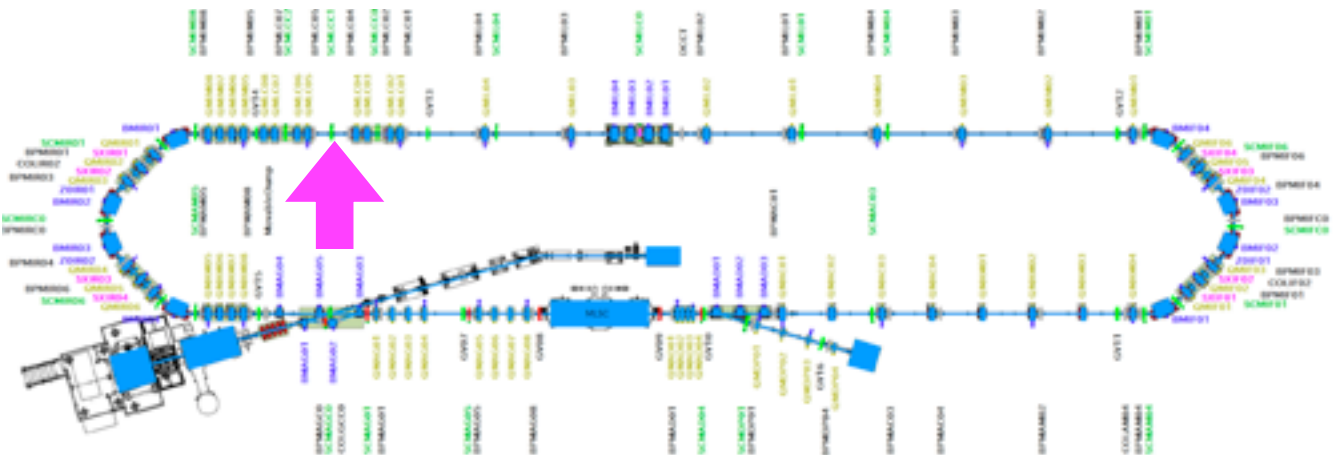
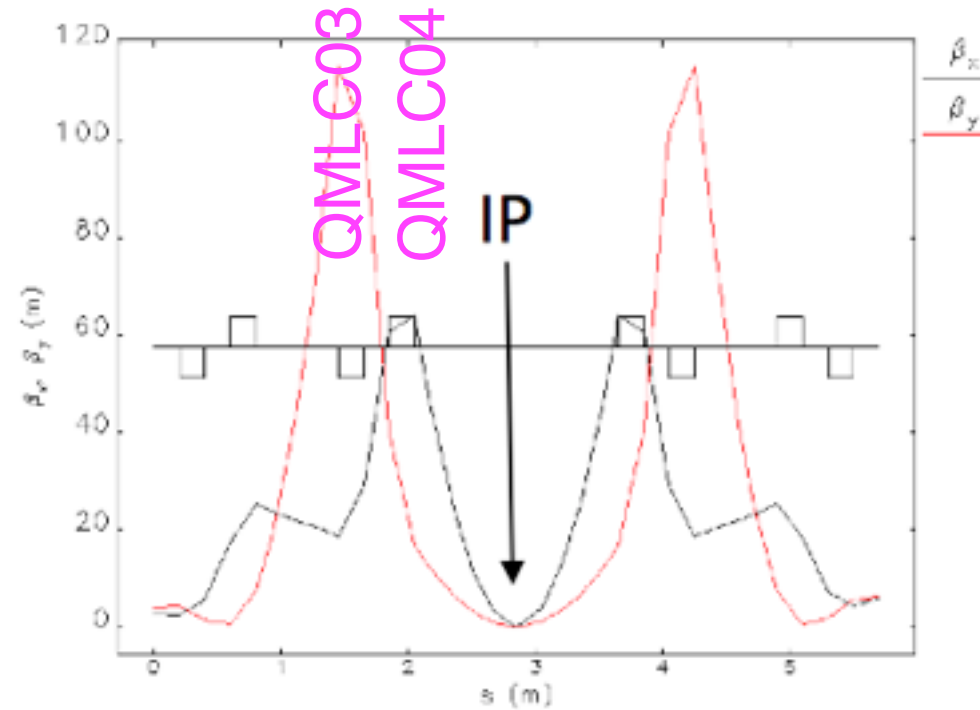


ビームオプティクス



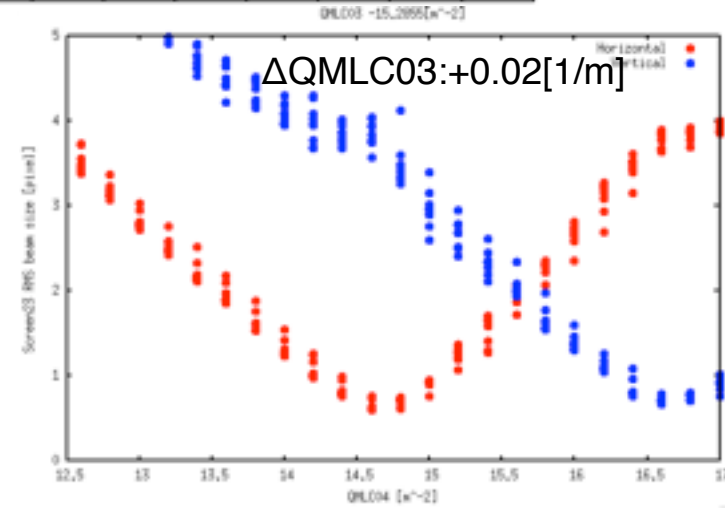
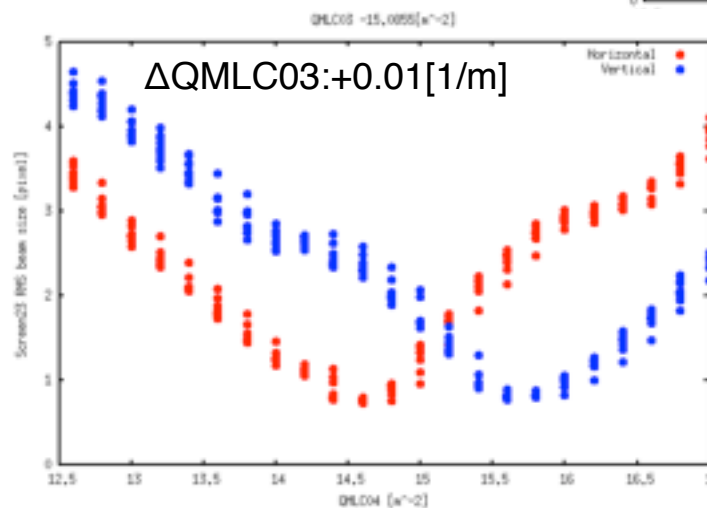
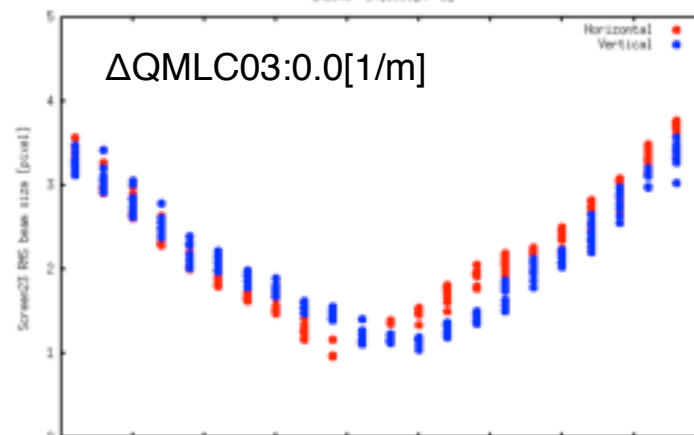
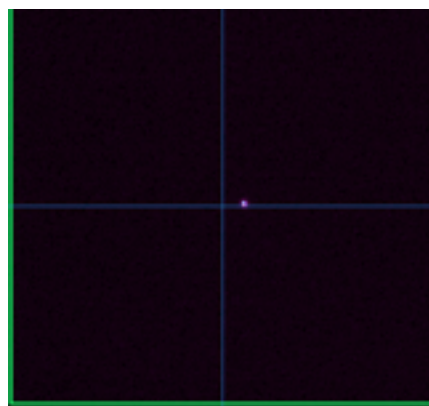
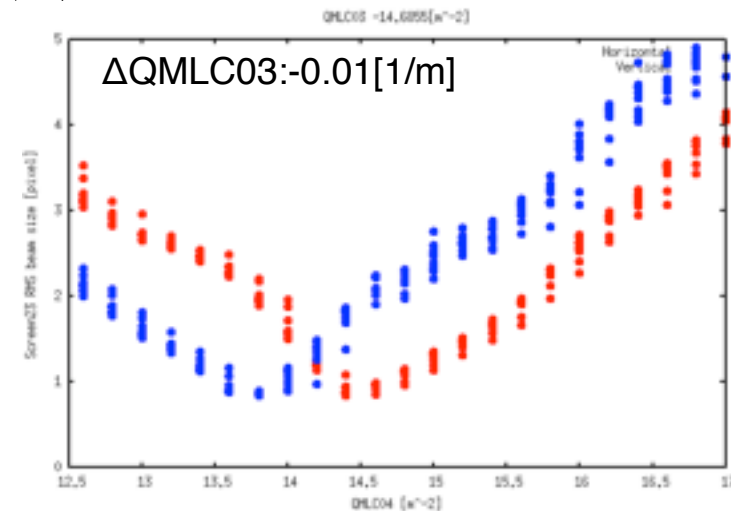
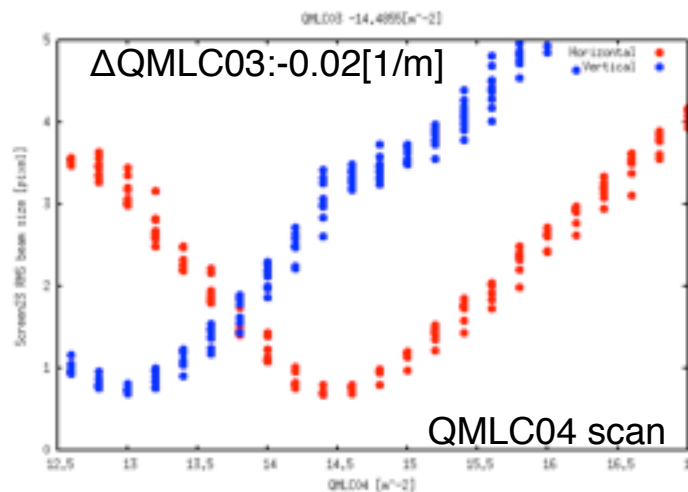
# ビーム収束の試験

- LCSS用のオプティクス
  - アーク部は同じ(アクロマート、アイソクロナス条件)、直線部を変更。
  - ダブレット(QMLC03,04)で、水平と垂直を同時に収束する。
  - それなりに設計のオプティクスが確立していれば、ダブレットの微調整で行けるはず。
- オプティクス調整時の運転モード
  - 調整モード、 $20\mu A$ ,  $1\mu s$ 運転で測定
  - 空間電荷無視出来る条件
- 測定
  - IPにCe:YAGスクリーン( $100\mu m$ 厚)。
  - 分解能 $50\mu m$ (1pixel相当)。



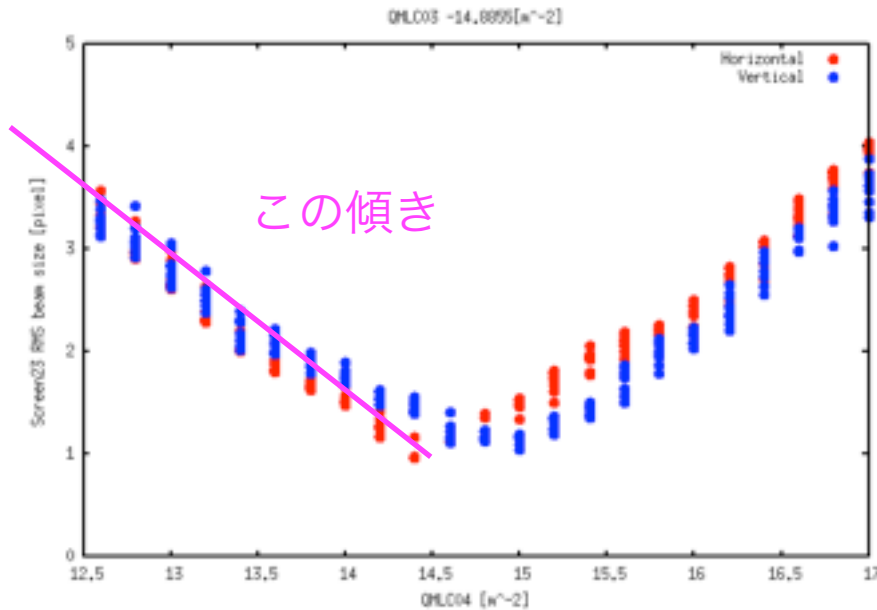
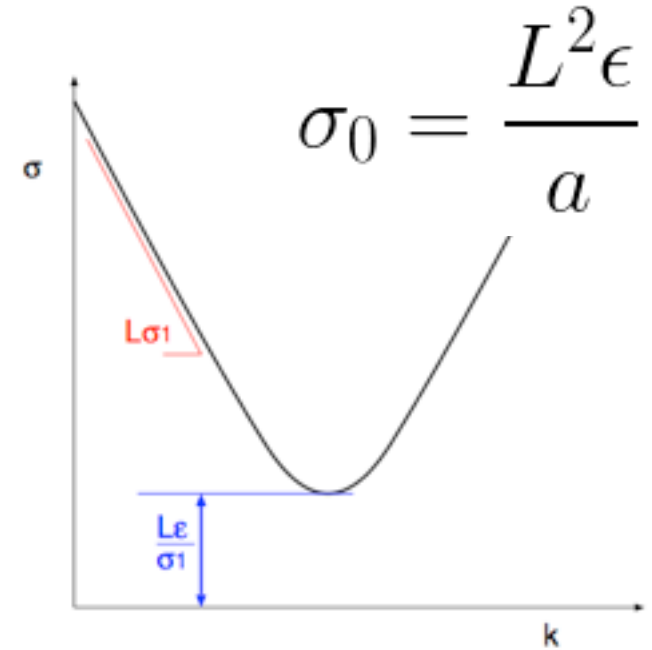
# ビーム収束の試験

- IPの調整
  - QMLC03,04の調整
  - IPスクリーンで見ながら、Q-scanを行う。
  - 水平、垂直が同時に焦点になる組み合わせに調整。
- 1pixel (50 $\mu$ m) (分解能以下)に絞れることが確認できた。



# ビーム収束の試験

- スクリーンモニタの測定の分解能以下だが、どのくらい絞っているつもりか。
- 線形オプティクスでは、ウェストサイズは、以下から求まる
  - $L = 0.9 \text{ m}$  (QMLC04からIPまでの距離)
  - $r \epsilon = 0.2 \mu\text{m}$ とする ( $\epsilon = 5\text{nm}$ )
  - Qスキャン測定で得られた傾き ( $d\sigma/dk$ )を  $a$
- $\sigma_0 = 10 \mu\text{m}$ に向けて絞っていることになる。
- ただし、実際に絞れているかは別。



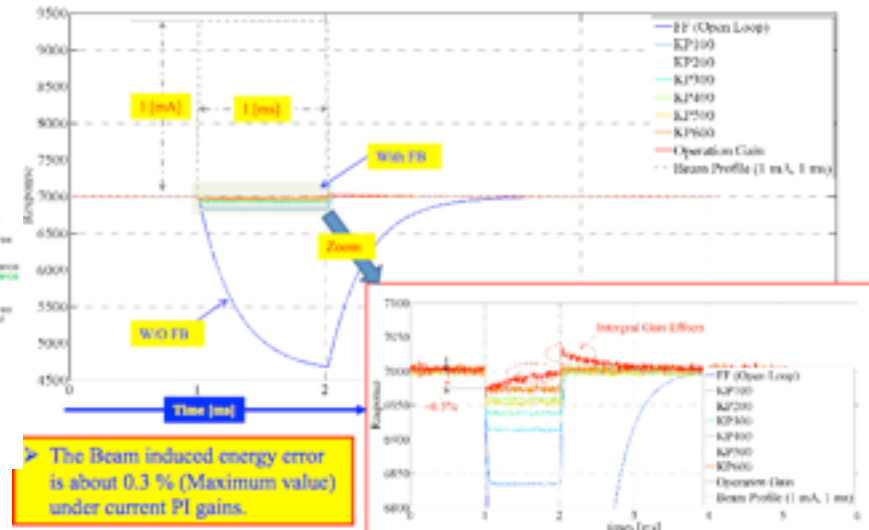
ビームローディング

# ビームローディングの影響

- 1mA, 1msの運転をすると、ビーム負荷がかなりある。
- エネルギー回収をする主加速空洞では原理的には問題無いが、
- エネルギー回収されない、入射器部では、加速エネルギーが下がり得る。
- LLRFのデジタルフィードバック
  - 空洞の透過信号をIQ測定し、振幅と位相を一定にするよう、RF源にフィードバックする
  - 変動を1/ゲインに抑え込むが、ゲインは有限なので、多少残差が生じる。計算では0.3%。
- 電子銃の電圧降下
  - 出力抵抗(1M $\Omega$ )が入っていて、電圧降下が生じる。計算では1kV。
- 入射器診断部で影響を確認した。
  - ベンド下流の分散部の軌道で測定



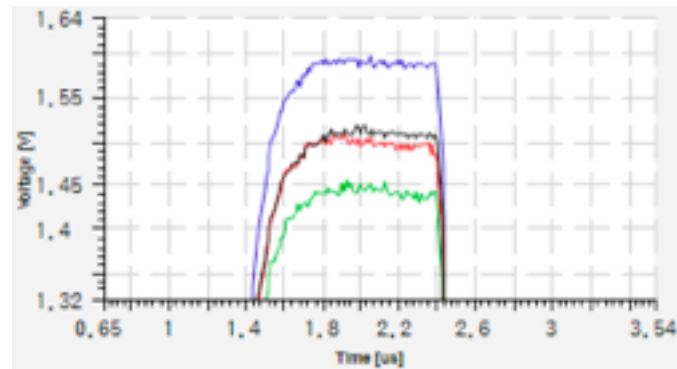
## Feedback Effects (1 ms, 1 mA)



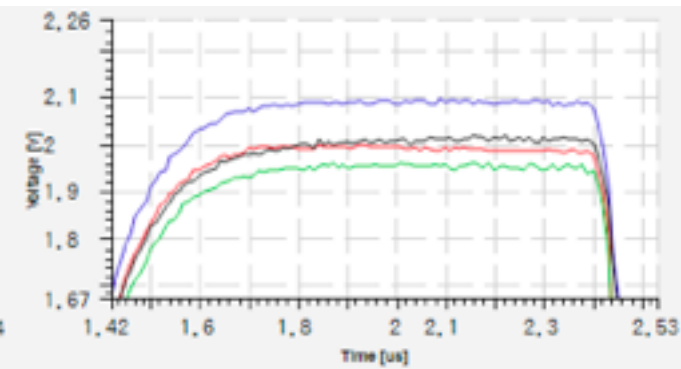
# ビームローディングの影響

- BPM信号で確認。
  - 赤(left)と黒(right)の差分が、位置に比例(Logアンプ特性)。別途、キャリブレーション確認した。
- $1\mu\text{s}$ モードでは変化無し
- $1\text{ms}$ モードでは0.5%の変化

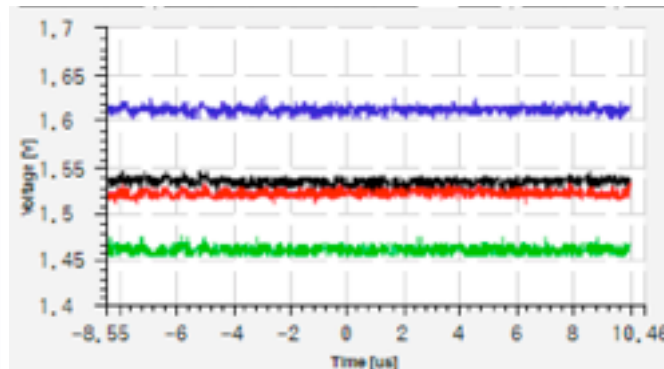
0.16mA,  $1\mu\text{s}$ のとき



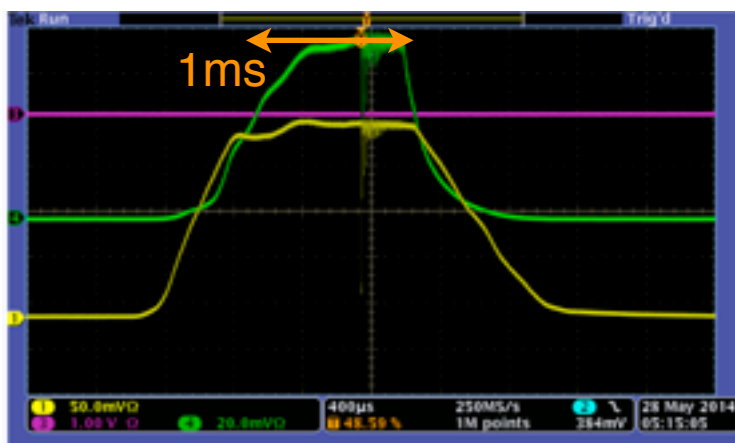
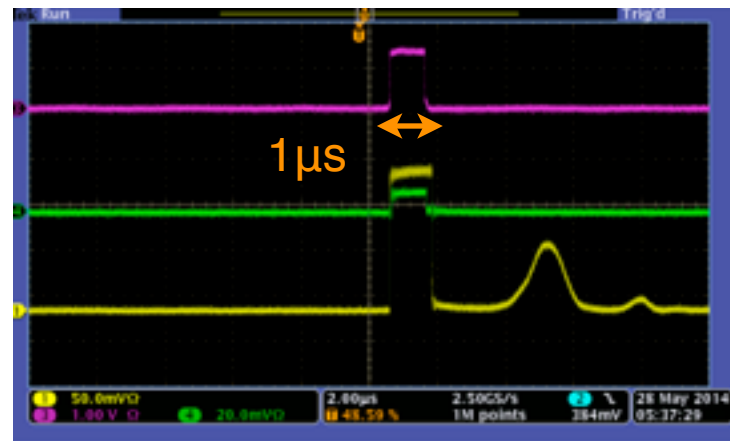
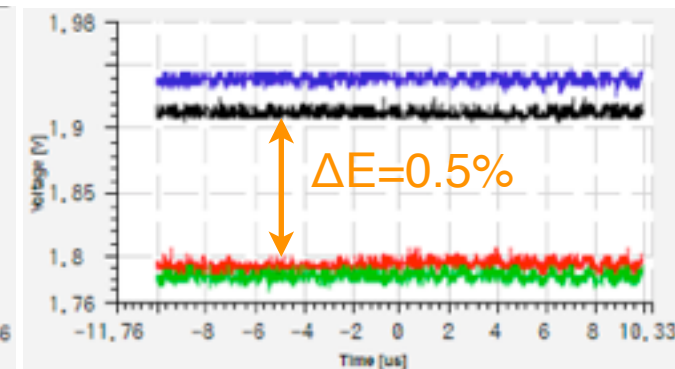
0.9mA,  $1\mu\text{s}$ のとき



0.16mA,  $1\text{ms}$ のとき



0.9mA,  $1\text{ms}$ のとき

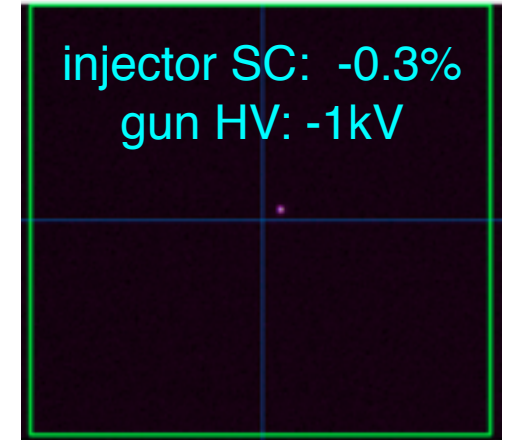
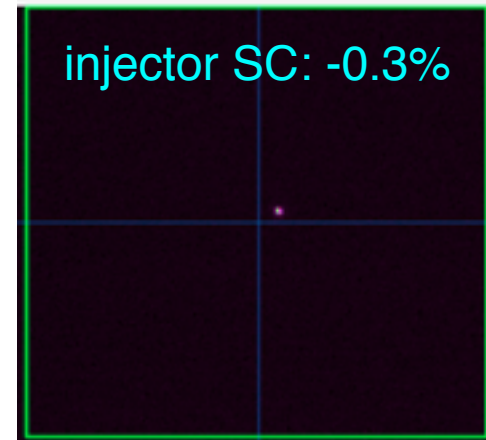
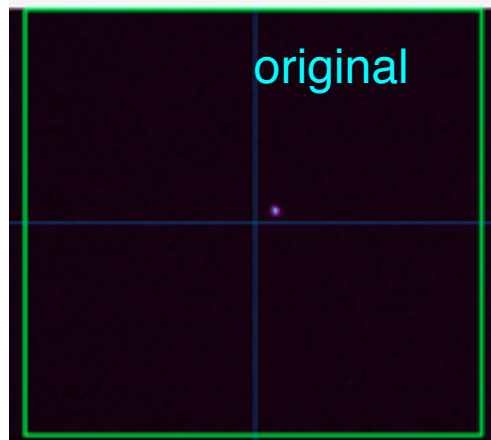




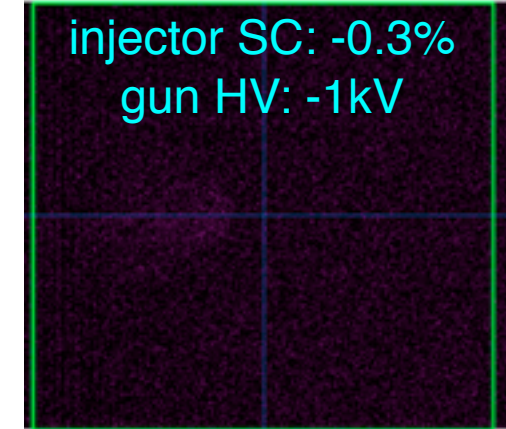
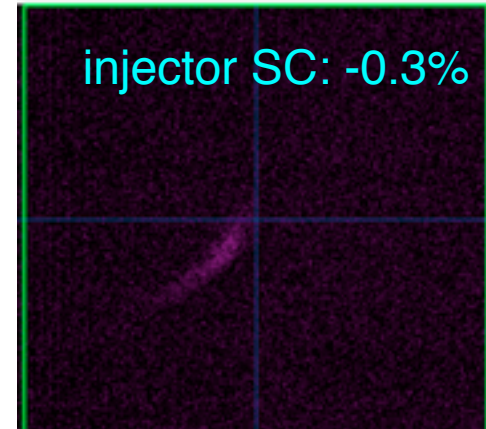
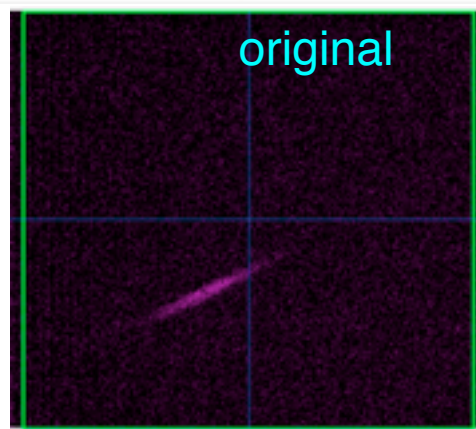
# ビームローディングの影響

- LCSS衝突点でのローディングの影響を直接測定したいが、
  - 1msビームでは、スクリーンモニタが使えない。
- ビームローディングを疑似して、ビームを周回させる。
  - 通常運転でビーム周回と衝突オプティクスを調整したうえで、
  - 入射器空洞の振幅を0.3%下げる。
  - 電子銃を1kV下げる。
- 結果、変化は見られない。衝突点での影響は1pixel以内。
- ただし、減速後には影響が拡大され得る。

衝突点



ダンプライン  
(減速後)



# まとめ

- ビームと検出器はなんとかかなりそう? レーザー次第。
- 理想的な条件で $S/N=1$ 
  - なんとなく余裕を見ているのがファクタ2,3
  - しかし、最初見つける時は理想的に当たらない
  - レーザーは余裕を見ていない(むしろ多めに言っている)
- バックグラウンドを減らす可能性
  - 収束オプティクスで損失を減らす最適化
  - バーストよりCWのほうが、バックグラウンドが3倍少ない
  - ビーム繰り返しを1300MHz ->162.5MHz
  - X線コリメータ