

前回運転時のオプティクスについて

ビームダイナミクスWG
2014年10月16日(木)

加速器第7研究系
島田 美帆、中村 典雄

ベータ関数の測定(通常optics)

- 目的

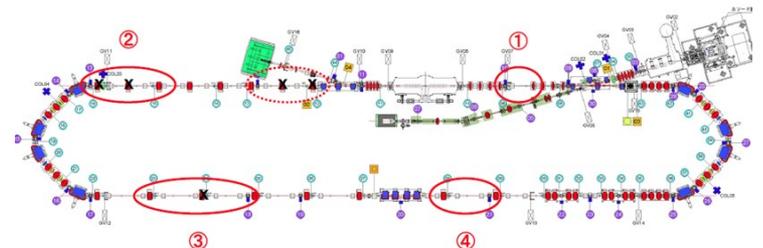
- LCS付近のビームサイズを調整する方法を確立する。
- Q scanの結果をもとにベータ関数を推定し、電磁石の設定値と合わせてビームサイズを推定、実測値と比較。

- 解析方法

- すべてのQ scanの結果からベータ関数・エミッタンスを算出。
- Q電磁石を6/13の設定値に合わせ、ビームサイズを計算し、実測値と比較する。

- 手元に残っているデータ

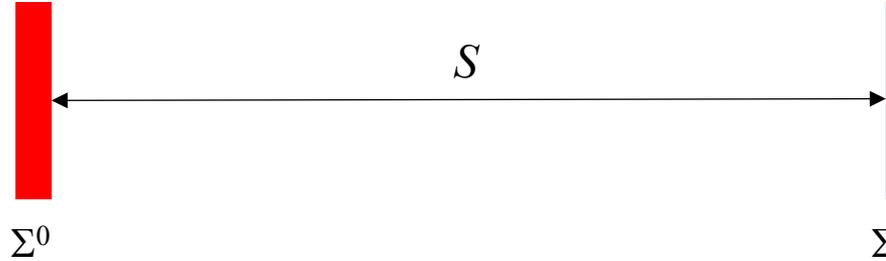
- 6/13に高井さんがエミッタンス測定のためにQ scanを実施(7か所)。
 - 通常のOptics。LCSで絞っていないが、Q scanの測定精度が一番高い。
 - Q scanのときに周辺のQの初期化をするなどしている。下流のスクリーンから順番に行った。
- 全スクリーンでビームプロファイルの測定を行っていない。
 - 前日の6/12には測定している。電磁石のパラメータは同じだが、レーザーのピーク電流を変えてしまったためか、ビームサイズは変わってしまった模様。
 - しかたないため、Q scanのデータで一部のみ確認する。



Q scanによるtwiss parameterの測定

四極電磁石Q(長さ L_Q)

スクリーン



ビーム行列 (Beam matrix)

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \Sigma_{11} & \Sigma_{12} \\ \Sigma_{21} & \Sigma_{22} \end{pmatrix} = \varepsilon_x \begin{pmatrix} \beta_x & -\alpha_x \\ -\alpha_x & \gamma_x \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \langle x^2 \rangle & \langle xx' \rangle \\ \langle xx' \rangle & \langle x'^2 \rangle \end{pmatrix} \quad \text{if } \langle x \rangle = 0$$

$$\varepsilon_x = \det \Sigma = \Sigma_{11}\Sigma_{22} - \Sigma_{12}\Sigma_{21} = \langle x^2 \rangle \langle x'^2 \rangle - \langle xx' \rangle^2$$

ビーム行列の転送: ただし、Sがドリフトスペース、thin lens近似が成り立つ ($k \ll 1/L_Q$) 場合

$$\Sigma = R\Sigma^0 R = SQ\Sigma^0 Q^T S^T$$

$$R = SQ = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ k & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ k & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1+kL & L \\ k & 1 \end{pmatrix}$$

k は正の符号でx方向に発散
(elegantの台本と逆符号)

四極電磁石直前のtwiss parameter

$$\sigma_x^2 = \Sigma_{11} = A(k-B)^2 + C = Ak^2 - 2ABk + (C + AB^2)$$

$$\varepsilon_x = \frac{\sqrt{AC}}{L^2}, \quad \beta_x^0 = \sqrt{\frac{A}{C}}, \quad \alpha_x^0 = \sqrt{\frac{A}{C}} \left(-B + \frac{1}{L} \right)$$

k の符号がelegantの台本と同じ場合。
異なる場合はBの符号が逆になる。

測定箇所

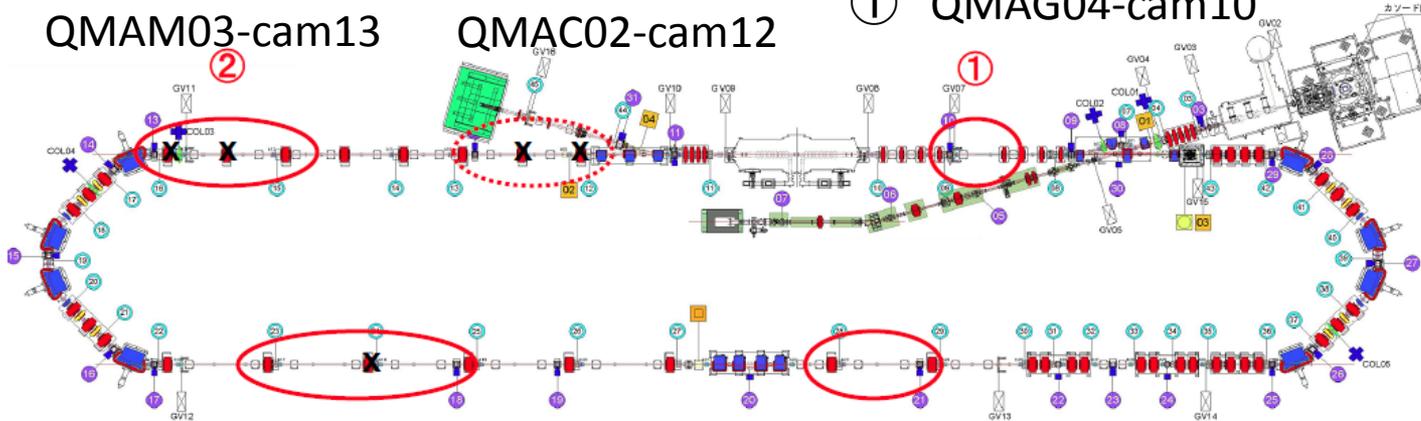
測定した7か所のうち、②~④のデータで解析

高井氏:スライド140613.pdfより

② QMAM02-cam13
QMAM03-cam13

QMAC02-cam12

① QMAG04-cam10



③ QMIM02-cam18
QMIM03-cam18

④ QMIL03-cam21

x : スキップしたQM

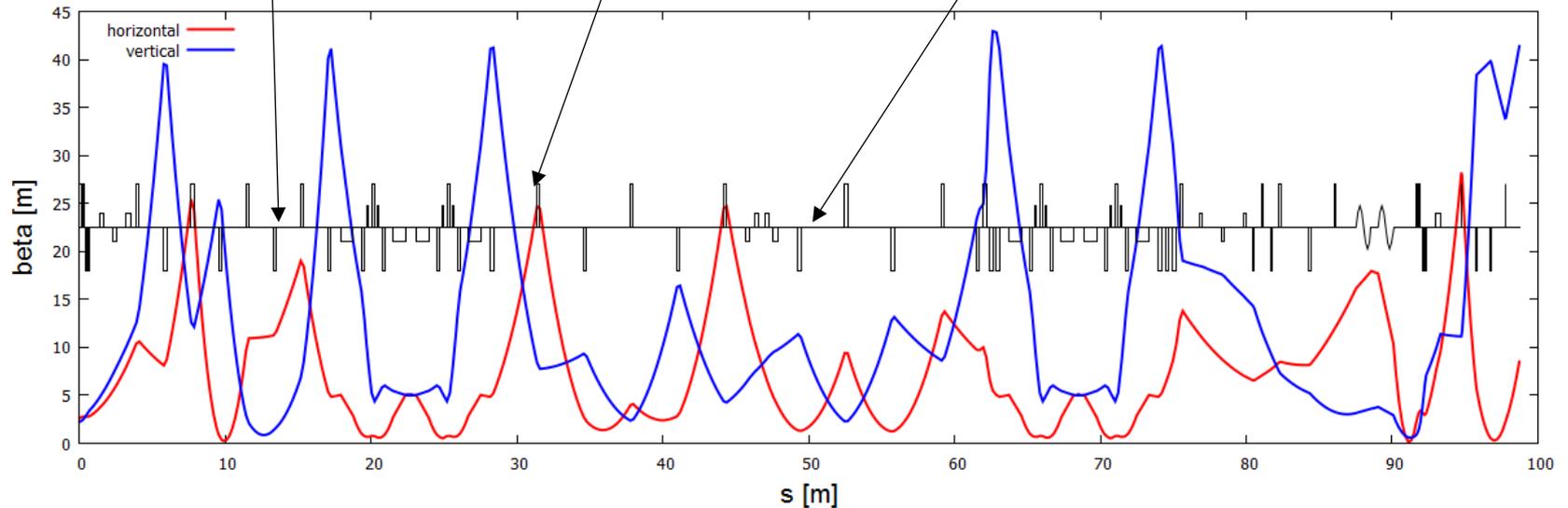
	規格化エミッタンス ($\epsilon_{nx}/\epsilon_{ny}$) [mm-mrad]	高井さんの結果 ($\epsilon_{nx}/\epsilon_{ny}$) [mm-mrad]
① QMAG04-cam10	0.139/0.135	0.147/0.138
QMAC02-cam12	<u>0.262/0.289</u>	
② QMAM02-cam13	0.144/0.124	0.144/0.123
QMAM03-cam13	<u>0.202/0.312</u>	
③ QMIM02-cam18	0.143/0.135	0.140/0.136
QMIM03-cam18	<u>0.099/0.190</u>	
④ QMIL03-cam21	0.129/0.152	0.133/0.154

下線部はエミッタンスの結果が他と異なる。

ベータ関数のデザインと測定結果

少なくとも α の符号は合っている。

QMAM02	Design	Q scan	QMIM02	Design	Q scan	QMIL03	Design	Q scan
betax	11.2	10.5	betax	24.7	19.7	betax	1.34	1.45
alphax	-0.162	-2.74	alphax	-2.58	-4.28	alphax	0.338	0.590
betay	1.35	9.62	betay	8.39	6.441	betay	11.4	6.84
alphay	-0.762	-6.03	alphay	3.32	1.07	alphay	-0.667	-1.98



測定した7か所のうち、②~④のデータのみ掲載

ベータ関数のデザインと測定結果

電磁石のパラメータ: 20140613_134814.log

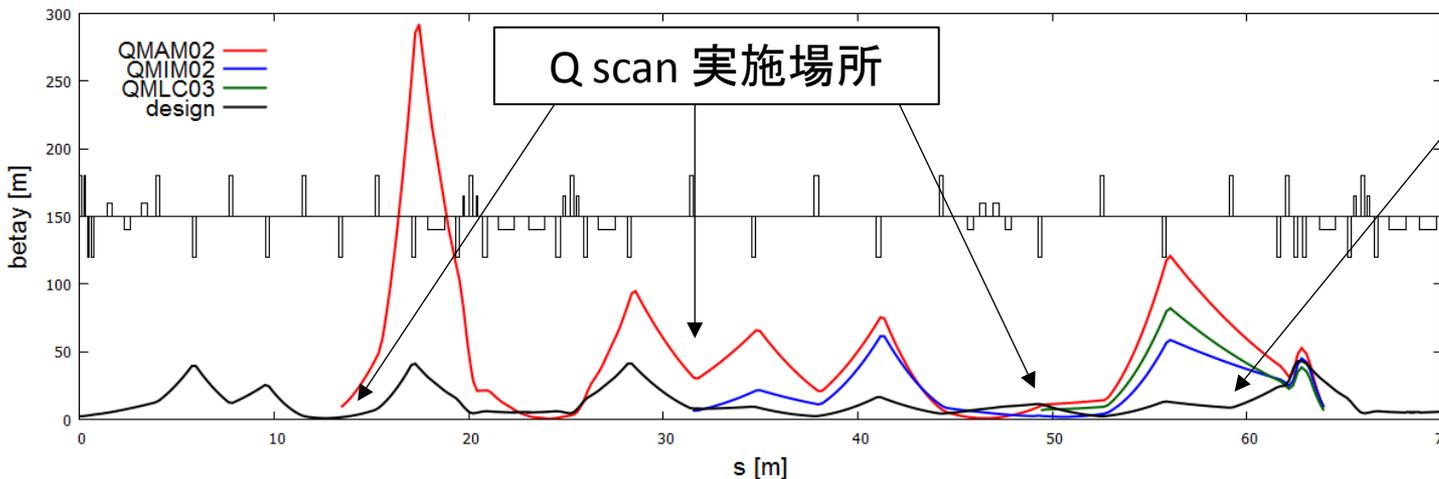
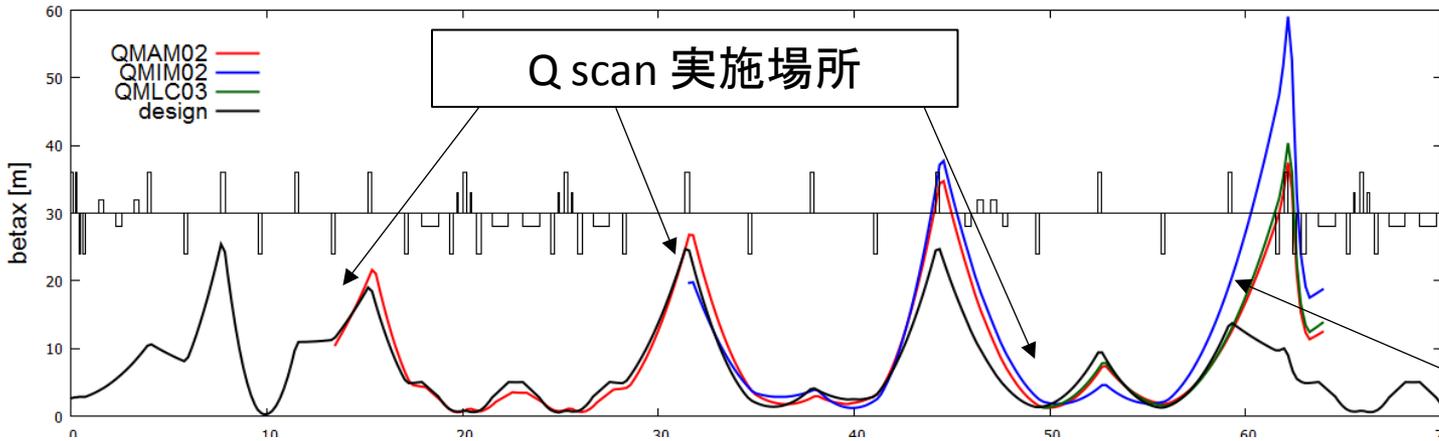
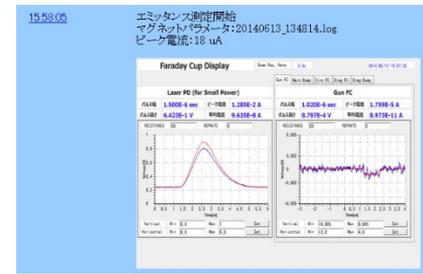
Q scan: 6/13 15:58に開始

水平方向: ベータ関数は設計通り、転送行列も設計通り

垂直方向: 黒線と他の線がずれていることからQMAM02の β 関数が設計とずれている。

: 赤、青、緑の線同志おおよそ一致するが、一致しない箇所もある。

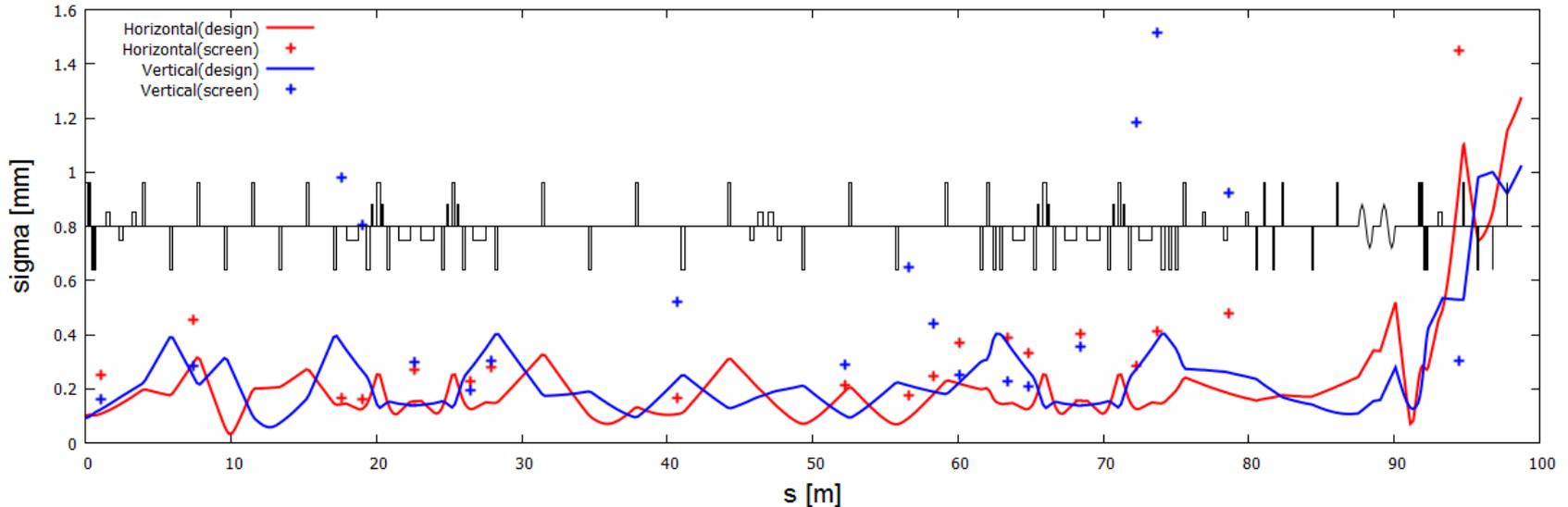
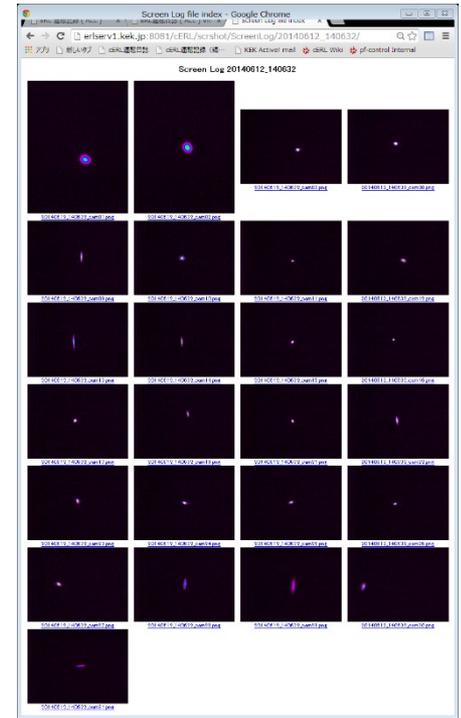
→ Q scan実施場所の間の転送行列に誤差? そのほかの誤差の積み重ね。



QのK値設定ミス
(励磁し忘れ)

Rmsビームサイズの検証(6/12)

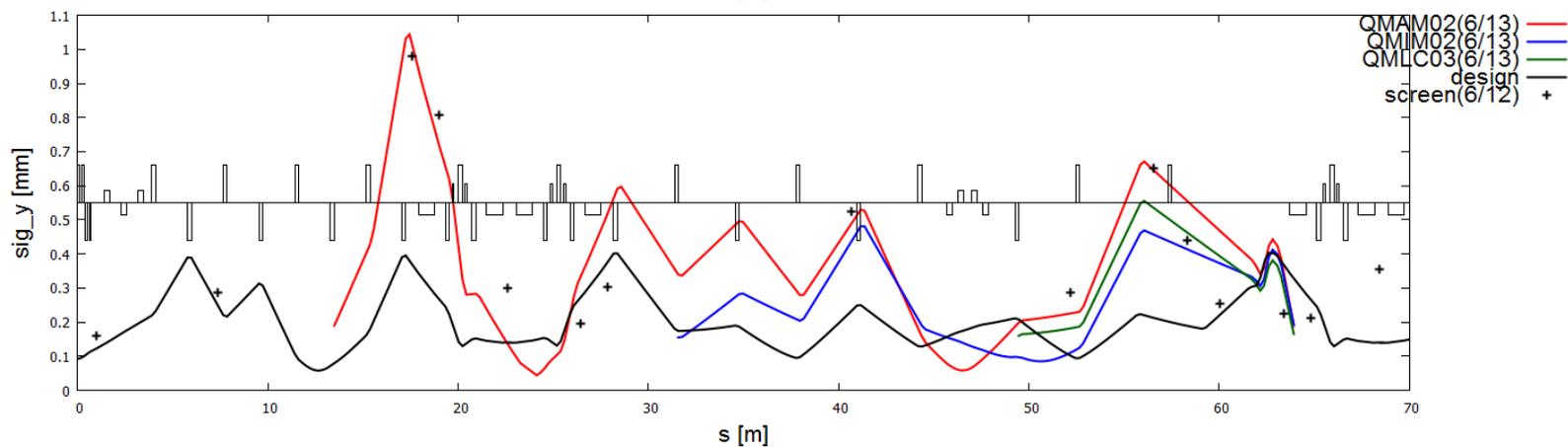
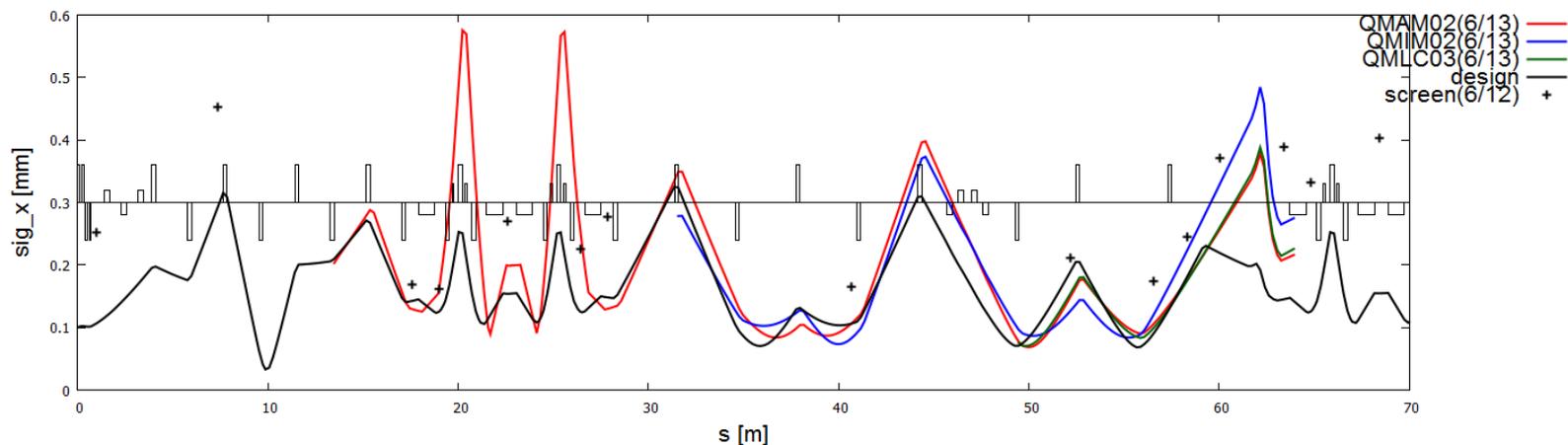
- Rmsビームサイズのデザイン値と測定結果を比較
- デザイン値
 - 通常のoptics(normal-20140520.emi)
 - $S=0$ の β 関数とQのK値もデザイン値
 - 規格化エミッタンス: $\epsilon_{nx}=1.46e-7$, $\epsilon_{ny}=1.52e-7$ (6/13の測定結果に近い。)
 - エネルギー広がり: $\sigma\delta=1.75e-4$ 、バンチ長: $\sigma z=570e-6$ m
- スクリーン測定結果
 - 2014/6/12 : 通常optics, 数fC/bunch
 - 自動スクリーン測定結果よりrmsサイズの情報を取得(H(V)Fit_sigma、20140612_140632)
- 比較の結果: 合っているとはいいがたい。。



Rmsビームサイズの検証(6/12&13)

電磁石のパラメータ: 20140613_134814.log

6/12と6/13で電磁石の設定は同じ(未確認のソレノイドを除く)だが、レーザーの強度が異なる。エネルギー広がり の推定値はいい加減なため、分散部の水平方向のビームサイズは予測と異なる。上流のQ scanで下流のビームサイズを予測。実測値と合っている？(デザイン値とは異なるが)



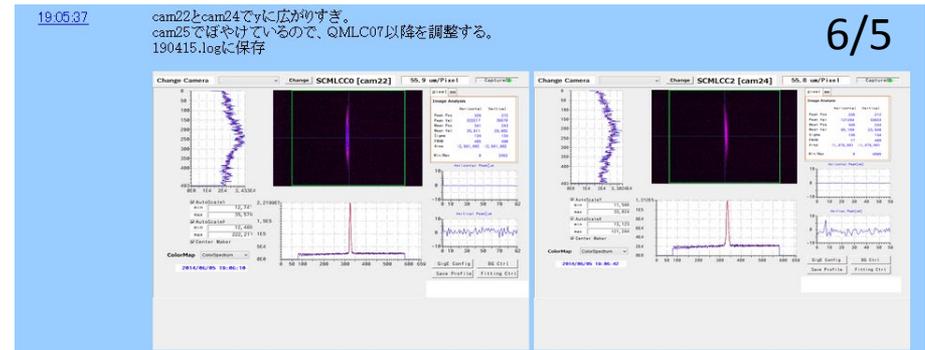
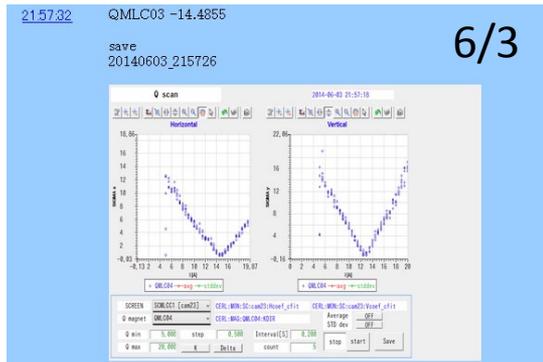
ベータ関数の推定 (LCS optics)

LCS付近のK値設定の推移 (6/3-6/5)

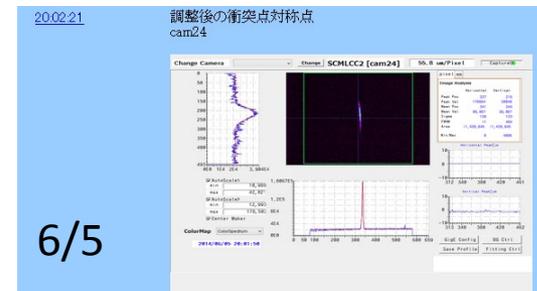
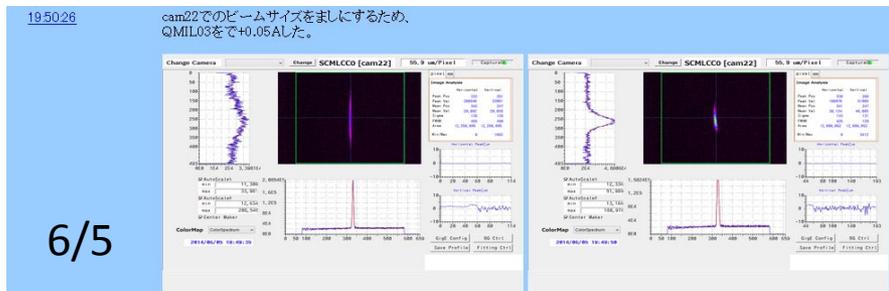
(6/13のQ scanより測定の精度が悪い。)

Case 1. 6/3当初はelegantの台本通りに入力

Case 2. 6/3の夜遅くに、xとy方向で同じK値で最小になるように、QMLC03とLC04を微調整。
 おそらく、6/5 19:05:37のときと同じデータ。
 → 電磁石ログ153316.log(ほとんど190415.logと同じ。)



Case 3. 6/5 19:50:26ごろにcam22とcam24profileを整えるために、QMIL03を+0.05Aとする。
 → 電磁石ログ204408.log(ログを見る限りこのファイルに保存しているはず)

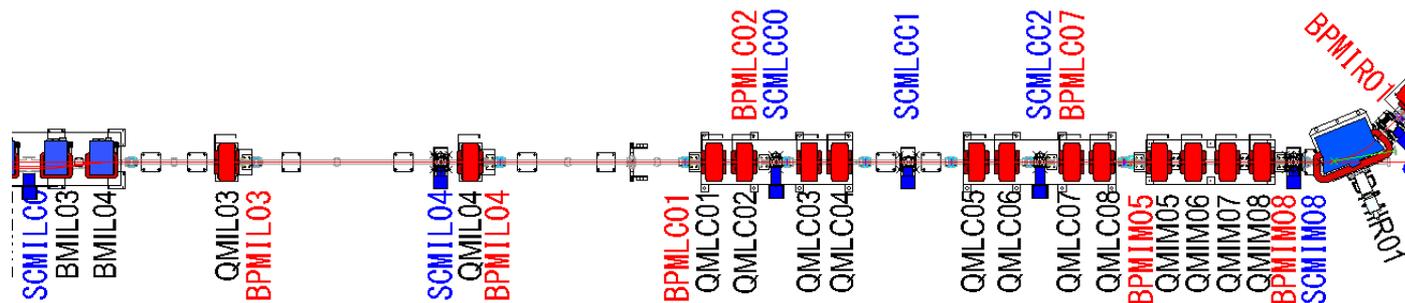


LCS付近のK値設定の推移(6/3-6/5)

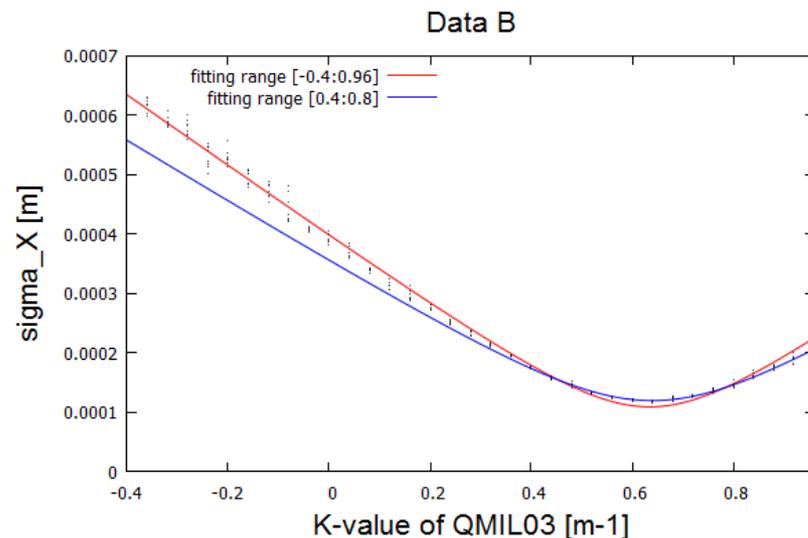
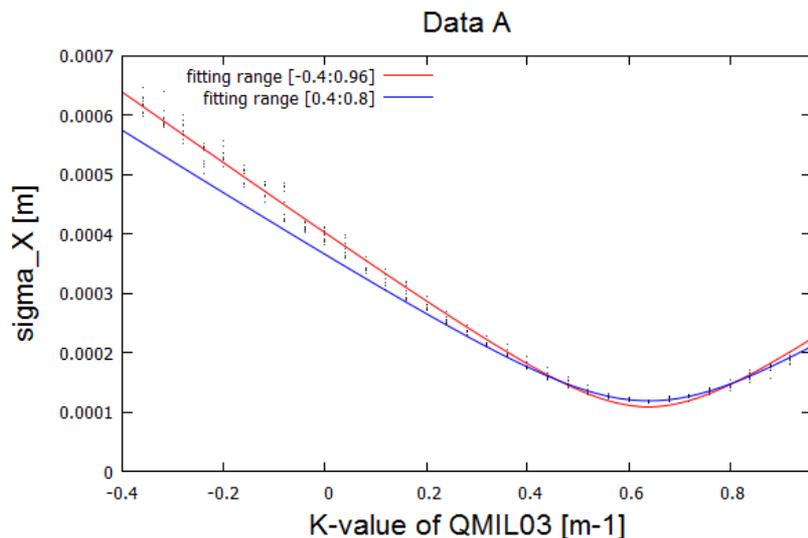
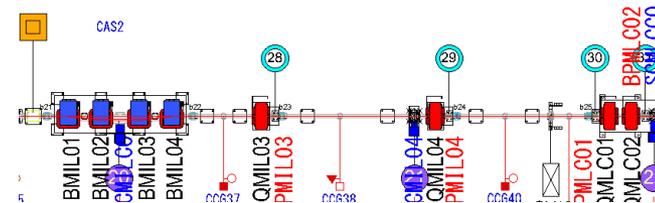
	Case1 Design	Case2(6/3設定) IMON	設計値との差の 割合	Case3(6/5設定) IMON	設計値との差の 割合
QMIL03	-0.091737631	-0.09165	-0.0009552	-0.04155	-0.547078
QMIL04	0.176051189	0.17624	0.00107248	0.17624	0.0010725
QMLC01	-1.948004171	-1.94743	-0.0002947	-1.9475	-0.000259
QMLC02	0.784956574	0.78472	-0.0003014	0.78472	-0.000301
QMLC03	-1.040565649	-1.09555	0.05284083	-1.10277	0.0597794
QMLC04	0.982012455	1.06704	0.086585	1.06698	0.0865239
QMLC05	0.982012455	0.98205	3.8232E-05	1.12716	0.1478062
QMLC06	-1.040565649	-1.04047	-9.192E-05	-1.103	0.0600004
QMLC07	0.697061408	0.69733	0.00038532	0.78533	0.1266296
QMLC08	-1.677773673	-1.67738	-0.0002346	-1.94757	0.1608062

設計値との差(比率) : (IMON-Design)/Design

設定値とIMONの差はおおむね0.1%程度かそれ以下と思われる。
赤字は意図的にデザイン値と変えたQである。



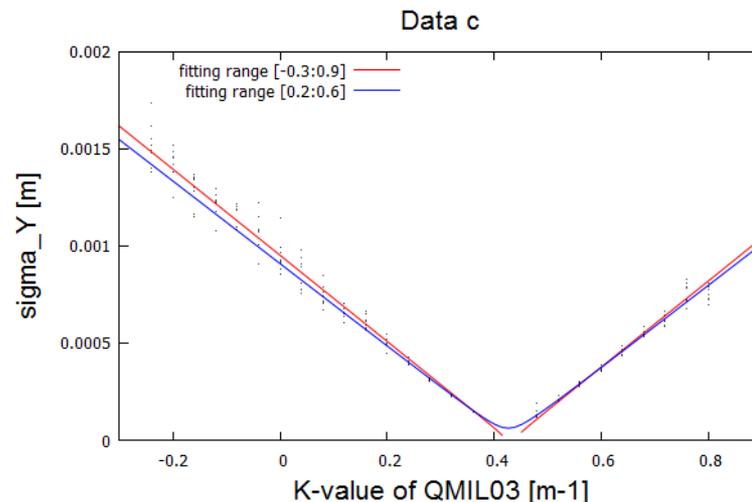
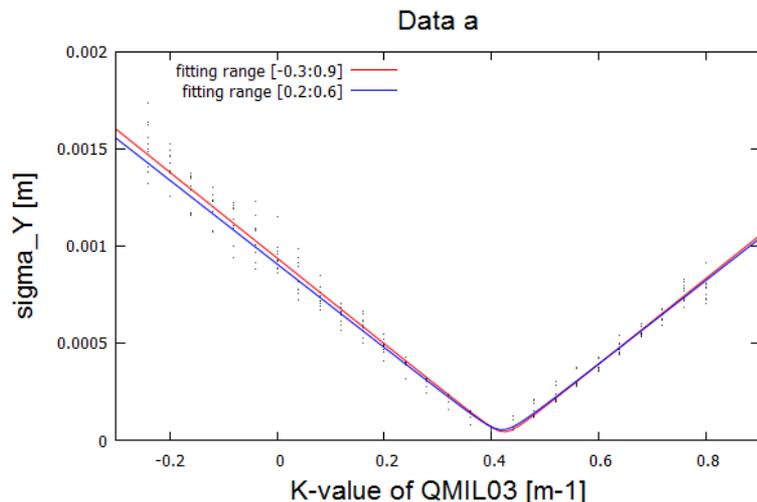
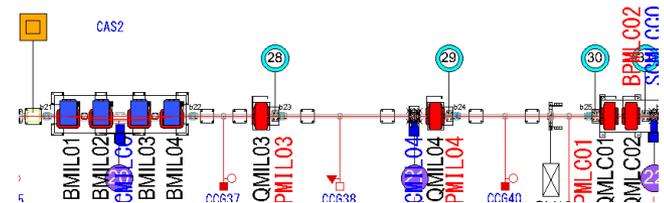
QMIL03-cam21(horizontal)



測定日(6/5)	K値のフィッティング範囲 [m ⁻¹]	β_x [m]	α_x	ϵ_{nx} [mm-mrad]
データa	-0.4 ~ 0.96	5.6 (±2%)	-1.6 (±2%)	0.33 (±2%)
データa	0.4~0.8	4.6 (±2%)	-1.3 (±2%)	0.32 (±2%)
データb	-0.4 ~ 0.96	5.6 (±2%)	-1.6 (±2%)	0.32 (±2%)
データb	0.4~0.8	4.4 (±2%)	-1.3 (±2%)	0.31 (±2%)
デザイン値 (QMIL03直前)		1.3	0.15	

データa : 元のデータ、データb : K値を変えた直後の2データを消去

QMIL03-cam21(vertical)

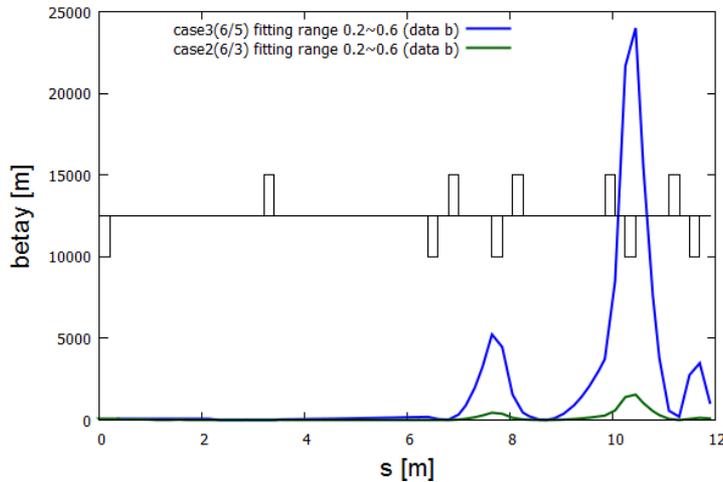
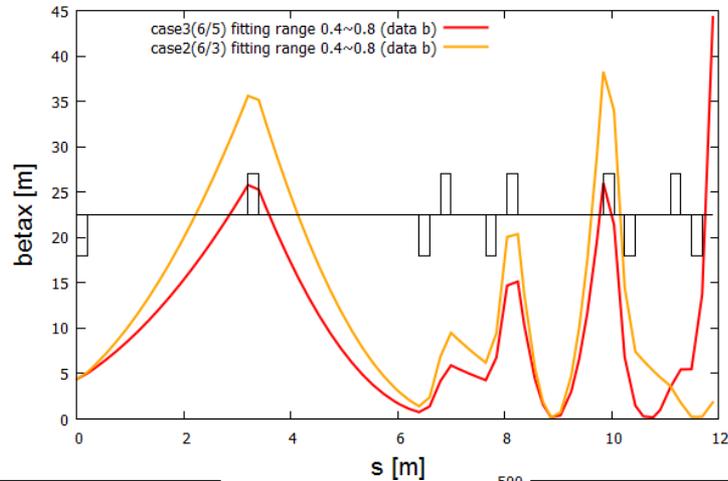


測定日(6/5)	K値のフィッティング範囲 [m ⁻¹]	β_y [m]	α_y	σ_{ny} [mm-mrad]
データa	-0.3 ~ 0.9	52 (±130%)	-3.6 (±130%)	0.47 (±40%)
データa	0.2~0.6	41 (±20%)	-2.6 (±20%)	0.56 (±15%)
データb	-0.3 ~ 0.9	61 (±400%)	-4.5 (±400%)	0.40 (±40%)
データb	0.2~0.6	46 (±10%)	-3.2 (±10%)	0.50 (±10%)
データc	-0.3 ~ 0.9	-	-	-
データc	0.2~0.6	35 (±20%)	-2.4 (±20%)	0.65 (±15%)
デザイン値		28	-0.64	

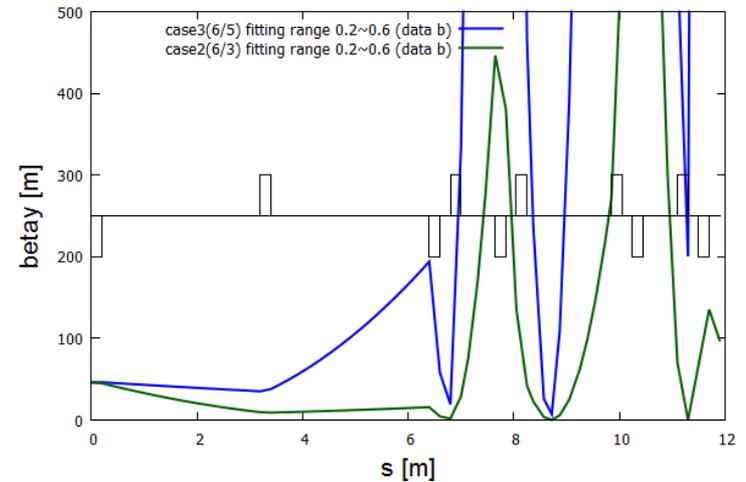
データa : 元のデータ、データb : K値を変えた直後の2データを消去、データc : データbから2pixel以下のデータを消去

ベータ関数

QMIL03の β 関数にQ scanによる測定値を入れて計算。



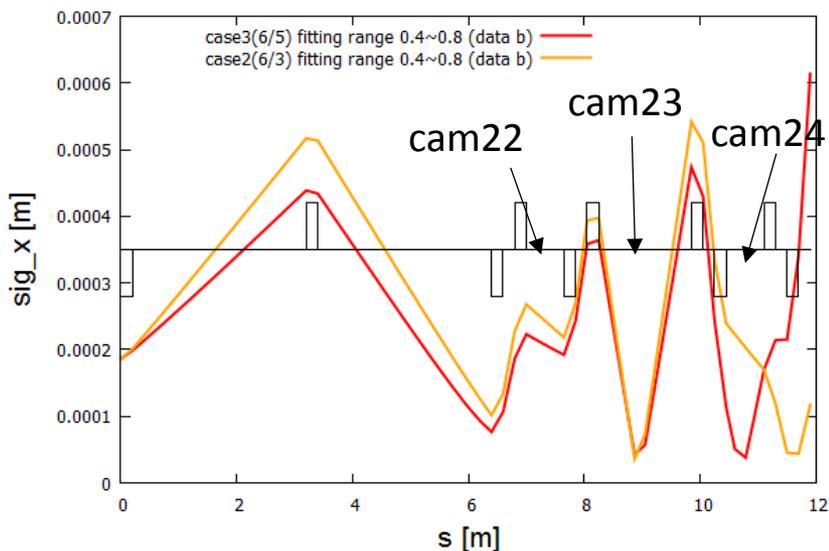
拡大図



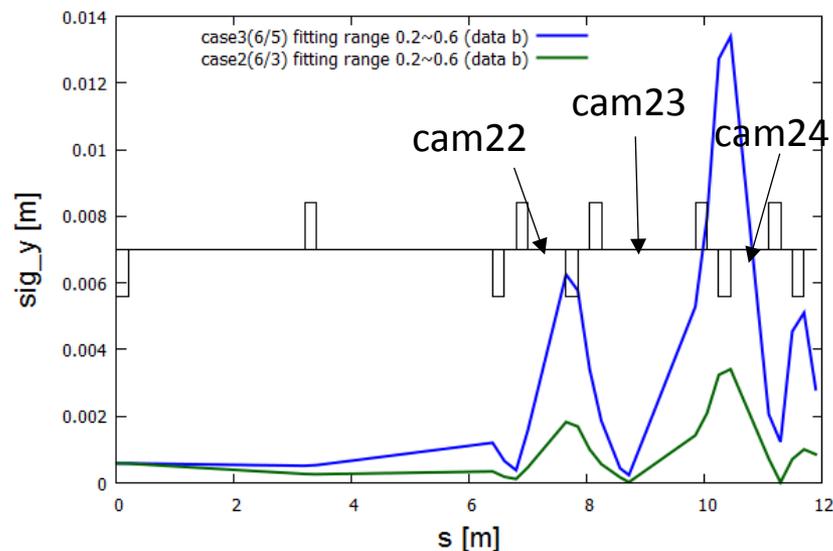
実測では、 xy ともにスクリーンで最小になるように設定したが、計算上の集光位置が(特に y 方向で)手前にある。
(想定より、先で集光していることになる。)
垂直方向で β 関数が桁違いの大きさになっている。

ビームサイズ

QMIL03直前の β 関数はQ-scanの測定値を使用。
規格化エミッタンスは0.3mm-mradと仮定



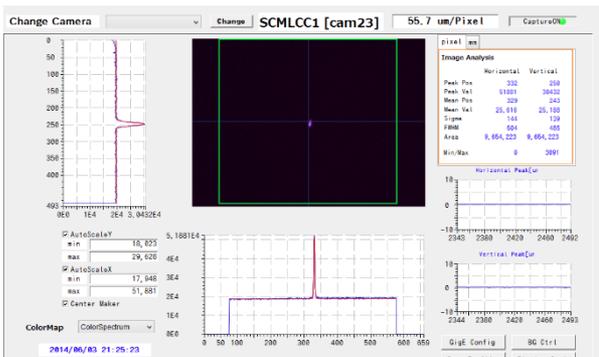
σ_x [mm]	case2	case3
cam22	0.24	0.21
cam23	0.074	0.057
cam24	0.2	0.038



σ_y [mm]	case2	case3
cam22	1.1	3.8
cam23	0.43	1.7
cam24	2.0	7.6

実測ではcam23で集光しているはずだが、K値をもとに計算すると手前で集光している。
(想定より、遠くで集光している。)
Cam22, cam24でy方向のビームサイズを小さくしたが、計算で説明できない
(逆に大きくなっている。)

実測データ



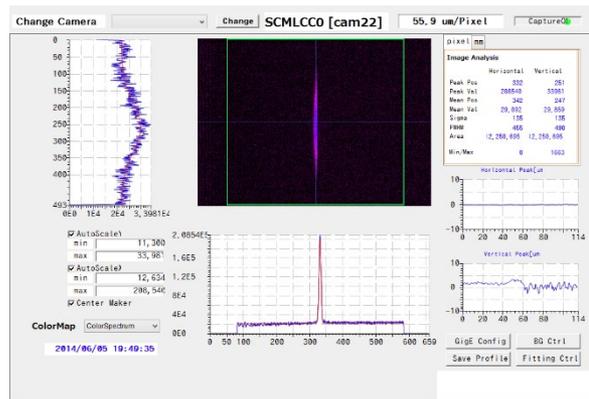
case1 ? 20140603_212635.log

本田さんによるcam23の推定値 (case3)

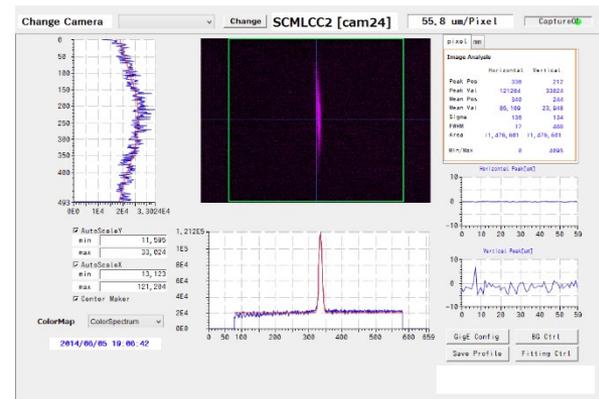
- ウェストサイズは
 - vertical $8.2\mu\text{m}$
 - horizontal $10.9\mu\text{m}$
- 誤差は傾きの読み取り精度とすると、10%くらい。

心眼による測定値 (カッコ内は定規で測った結果)

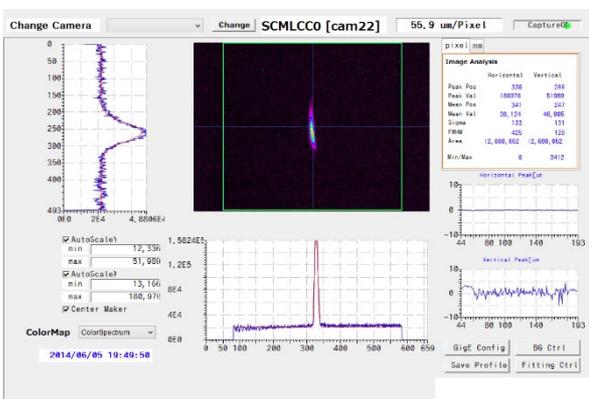
σ_x [mm]	case1	case2	case3
cam22		0.3	0.6(0.25)
cam23	<0.1?		
cam24		0.3	0.3(0.15)



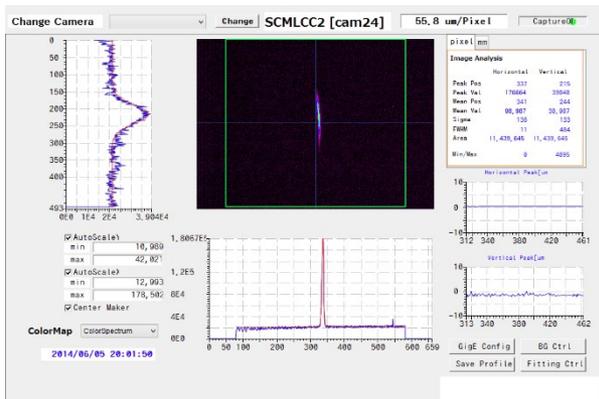
case2



case2



case3



case3

σ_y [mm]	case1	case2	case3
cam22		6	1.8 (1.5)
cam23	~0.25		
cam24		6	2.2 (1.7)

現段階のまとめと問題点

- 6/12-13の通常opticsと6/5-6のLCSのopticsについて検討を行った。
- 通常optics (6/13)
 - Q scanでベータ関数を測定し、その後のビームサイズを計算した。
 - 実測値と比較したところ、まあまあ合っていた。
 - 垂直方向の β 関数は、デザインと大きくずれていた。
- LCS optics (6/5)
 - Q scanの測定精度が6/13よりも悪い(ベータ関数の推定値の精度も悪い)
 - 実測ではcam23で収束しているはずだが、K値をもとに計算すると手前で収束している。(想定より、遠くで収束している。)
 - Cam22, cam24でy方向のビームサイズを小さくしたが、計算で説明できない。
- 今後
 - LCS opticsに対する誤差(β 関数、K値など)の影響を調べる。
 - Opticsの調整方法を検討する。