

新しい  
エンブレム  
準備中

# バンチ圧縮時のバンチ長測定

- 今期の目標
- CTR測定装置とバンチ圧縮調整
- 干渉計信号解析

2017.4.12  
ERL検討会  
本田

# 目的

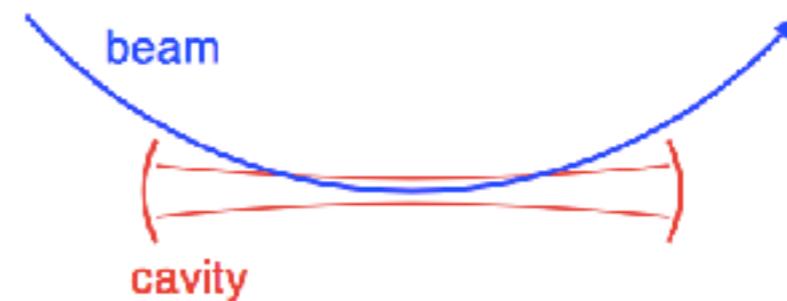
- cERLのテラヘルツ光源としての応用は、当初から想定されていた。
- この加速器の特徴：低エミッタンス、短バンチ、高繰り返しで連続運転。
- これを踏まえた挑戦的な開発テーマとして、共振器型回折放射(Resonant Coherent Diffraction Radiation)を提案。
  - 共振器で誘導放射(コヒーレントスタック)し、単なる足し合わせ以上のパワーを取り出す。インコヒーレントな場合に比較したゲインは、 $4/\text{共振器損失}$  倍になる。



- 以前に提案されたCSRのコヒーレントスタックの変化型といえる
  - (a) CTR/CDR
  - (b) CSR



- 高次横モード、ラジアル偏光
- 穴あき共振器にビーム通過



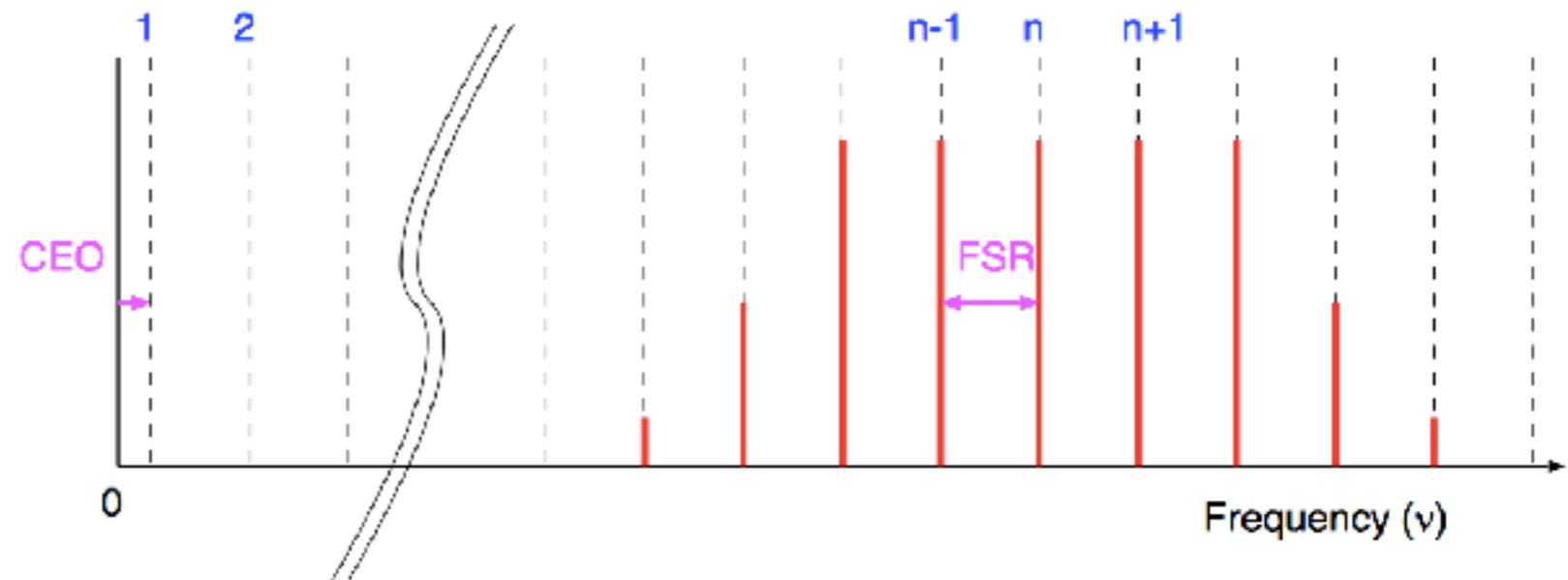
- 基本モード、水平偏光
- ミラーサイズとのとりあい

# 原理

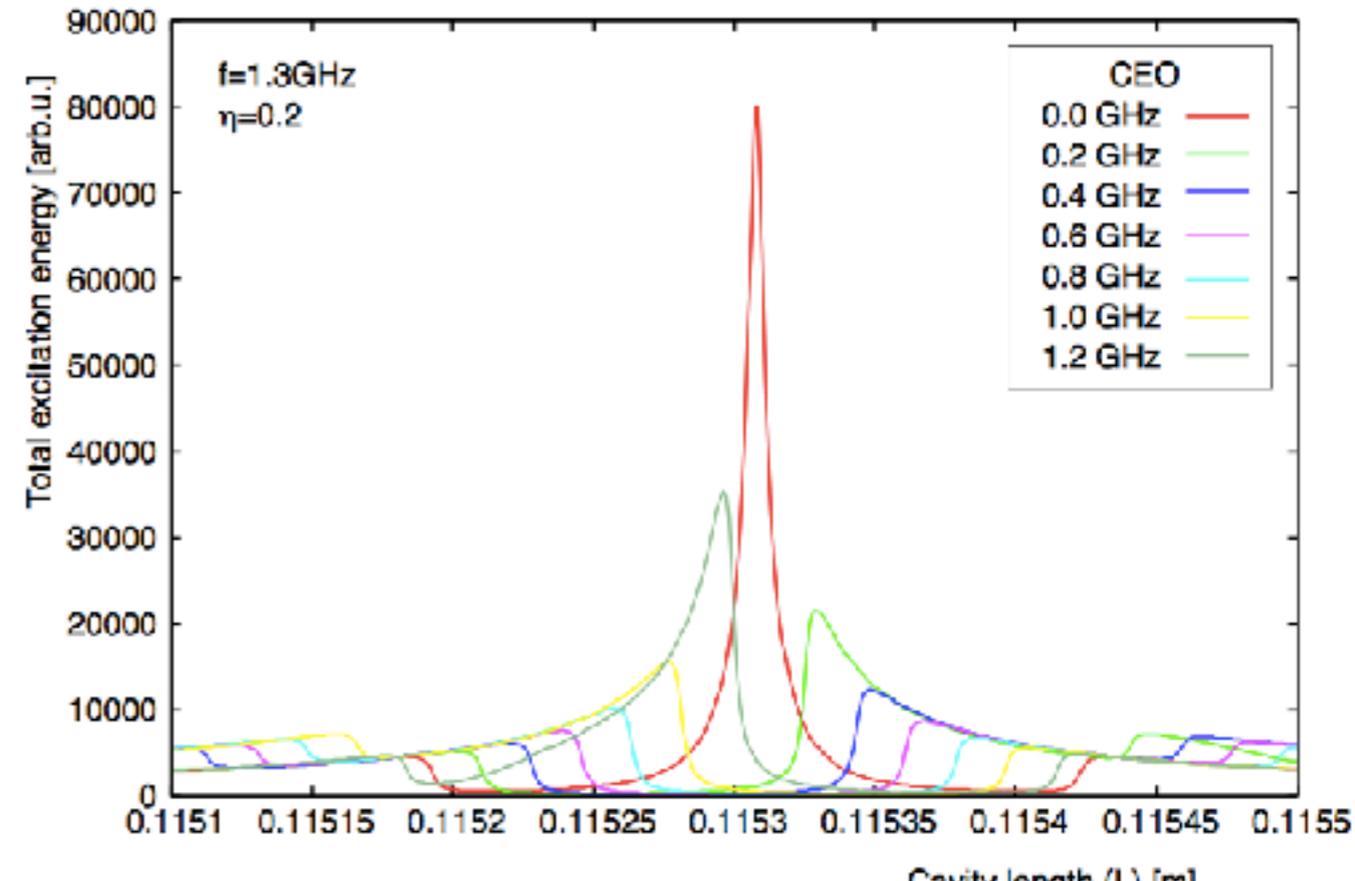
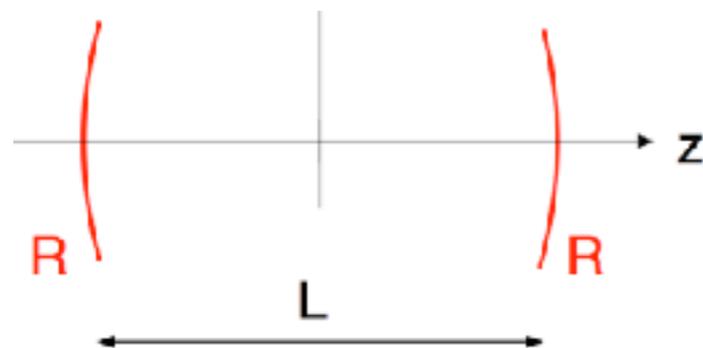
- 通常のアンジュレータを用いたFELと異なり、位相スリップが無い。
- 特別な共振器設計(Carrier envelope offset: CEO=0)をしたとき、全ての縦モード(周波数コム)を同時に励起できる。(対称共振器の場合、R=L)

$$\text{FSR} = \frac{c}{2L}$$

$$\text{CEO} = \frac{c}{2L} \left( 1 - \frac{\varphi}{\pi} \right)$$



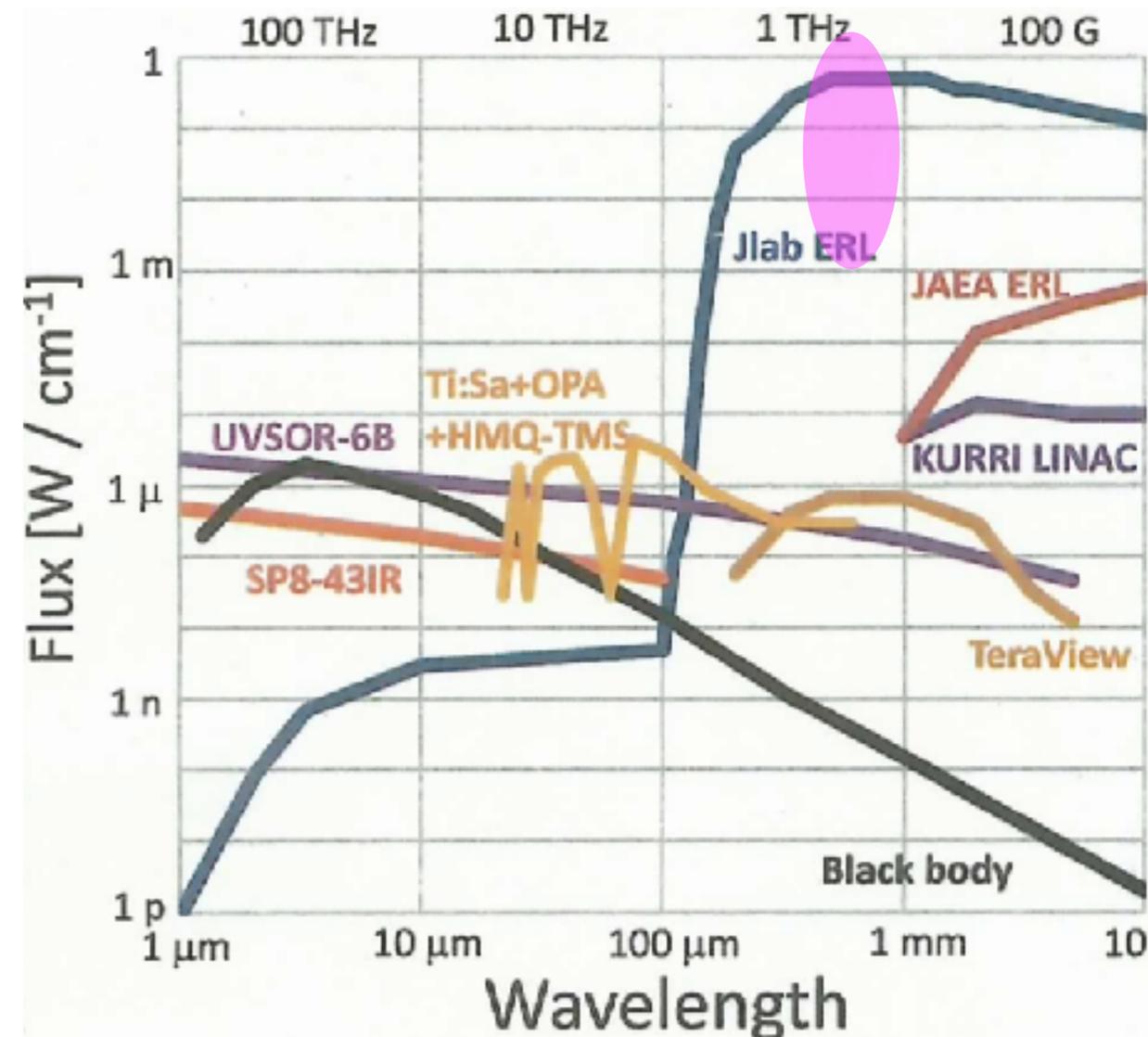
- 広帯域のモードロックテラヘルツ発振光源
- コンパクトなUndulator-less FEL



# パワー計算

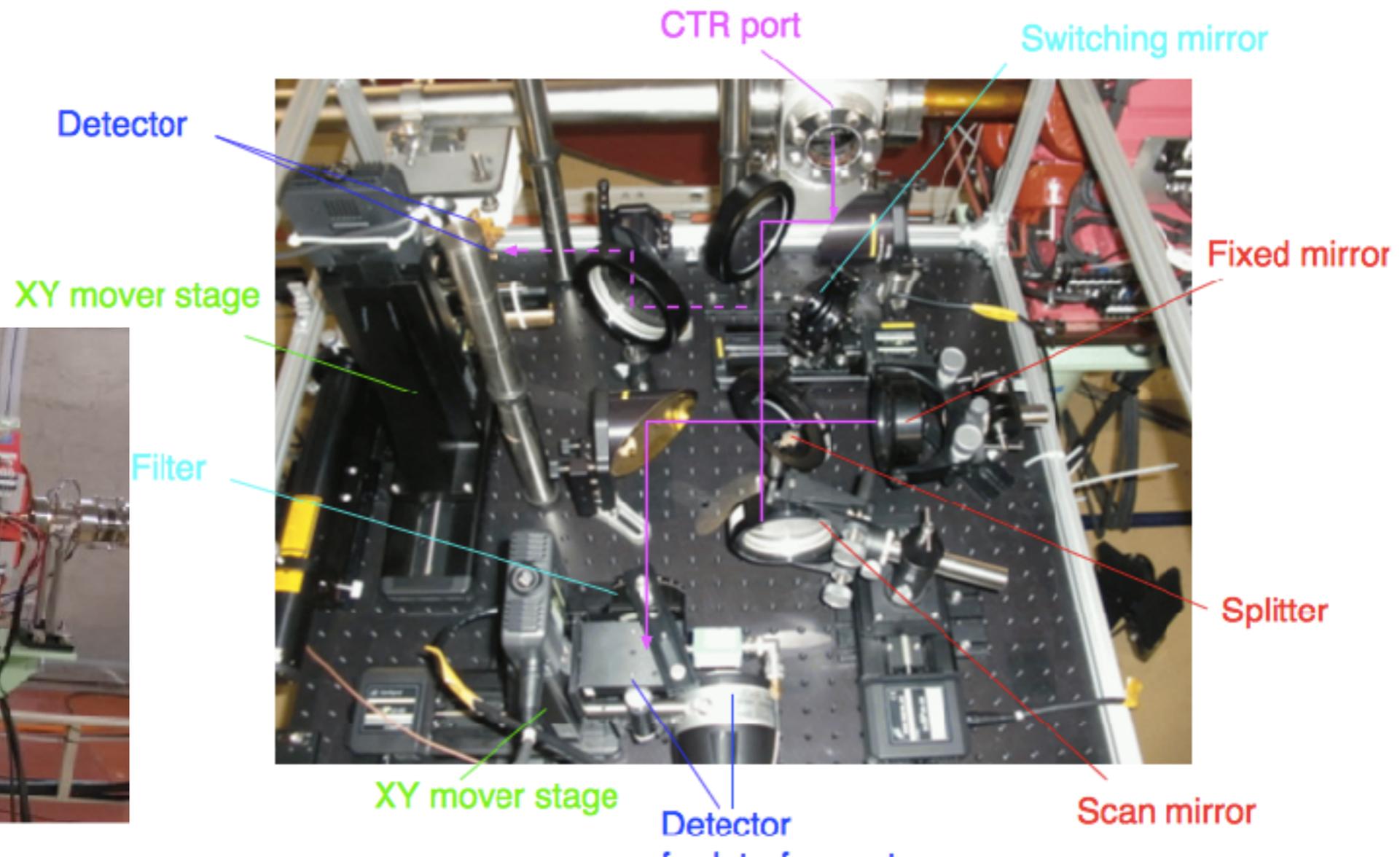
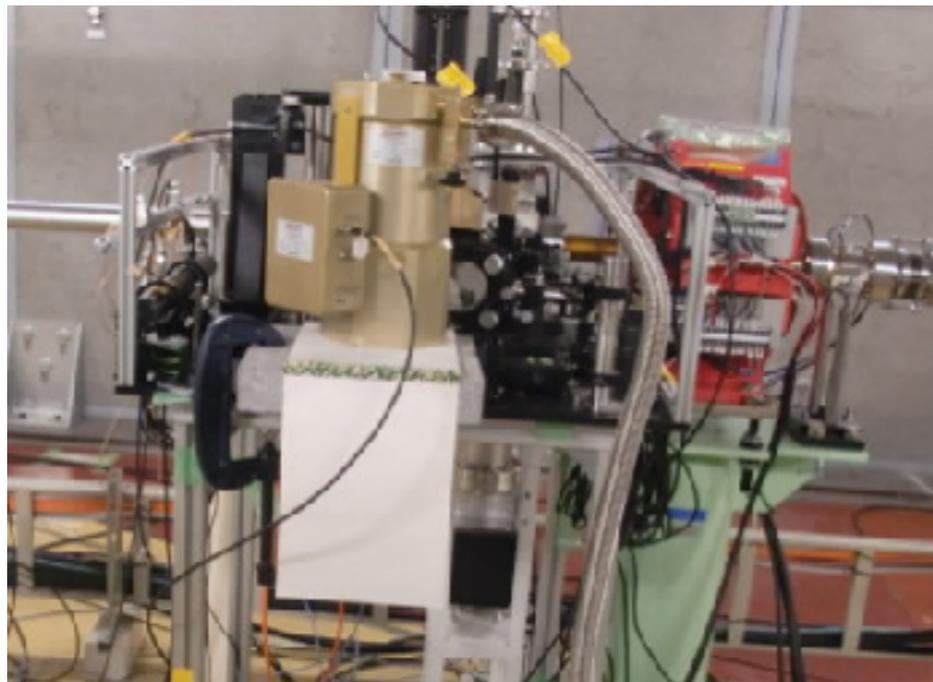
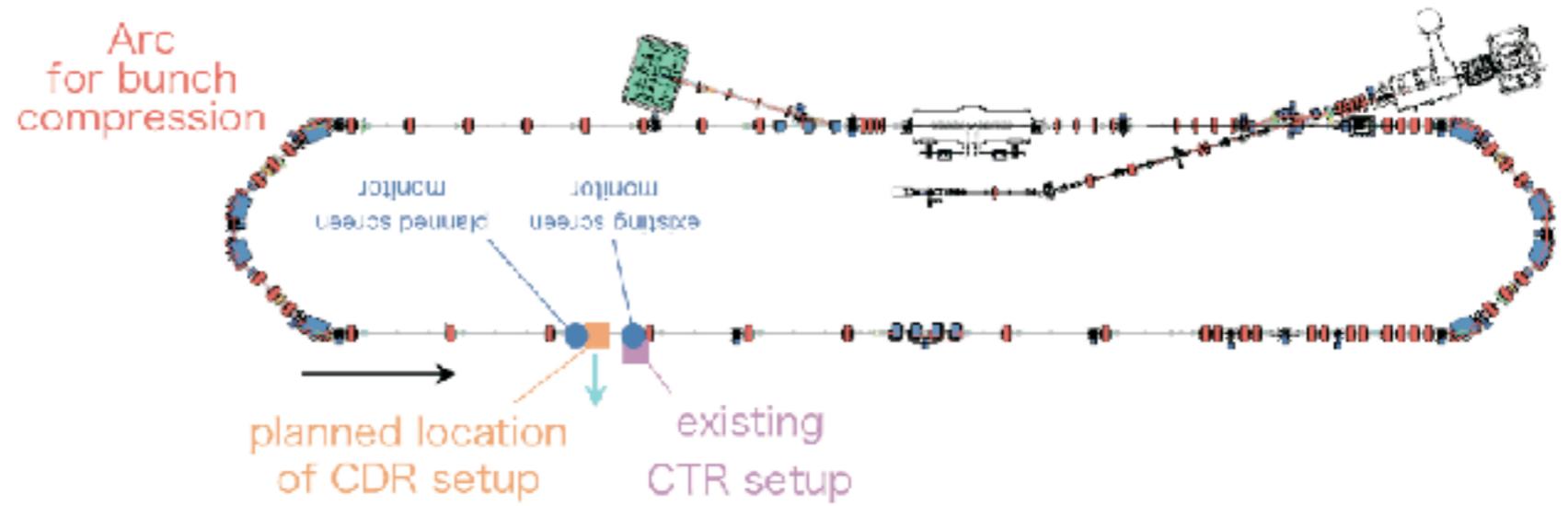
- それらしいパラメータで計算
  - 0.5THzあたりの10%バンド幅で、Wクラスの取り出しパワー
    - (有限のバンチ長、回折放射のカットオフ、取り出し後の輸送ロス、は考慮せず)
- [今期の目標] ビーム条件の確認 (一通りのデータを揃えたい)
  - 短バンチを再現性良く実現できるか。
  - 穴を通過させるにあたってエミッタンスを確認

		コメント	case 1	case 2	case 3
バンチ繰り返し	f	cERL基本繰り返し	1.3 GHz		
バンチ電荷	q		0.7 pC/b	7 pC/b	7pC/b
運転モード			CW		
バンチ長		form factor=1	無限小		
共振器長	L	FSR=1.3GHz	0.1153 m		
ミラー曲率半径	R	共焦点型	0.1153 m		
損失	$\eta$		0.2	0.2	0.02
取り出し効率	T		0.1	0.1	0.01
ミラー穴直径			4 mm		2 mm
放射周波数	$\nu$	n=385	0.5 THz		
帯域幅	$\Delta n$	10%バンド幅	38		
共振器内部パワー	P		160 mW	16 W	1600 W
取り出しパワー	TP		16 mW	1.6 W	16 W



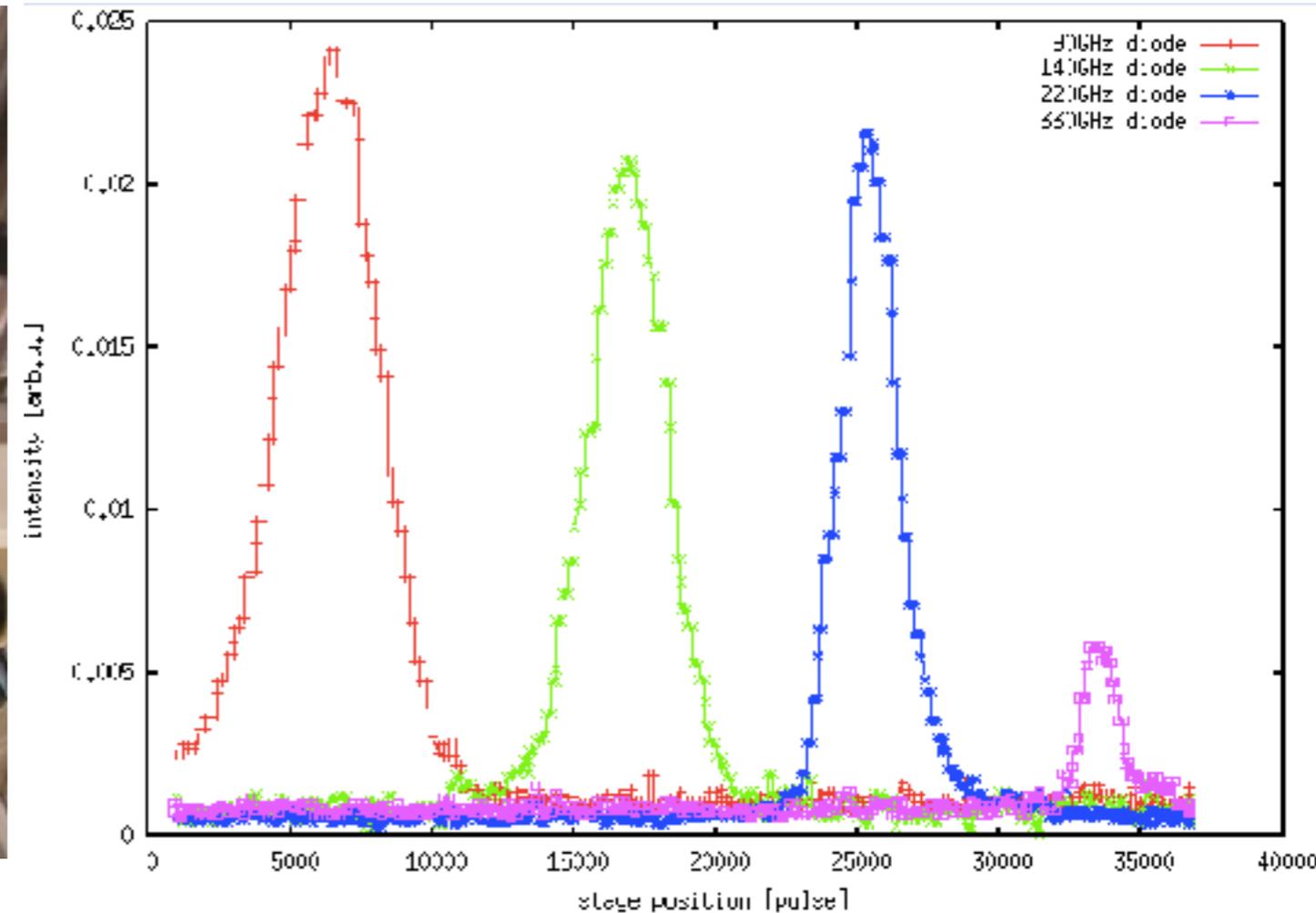
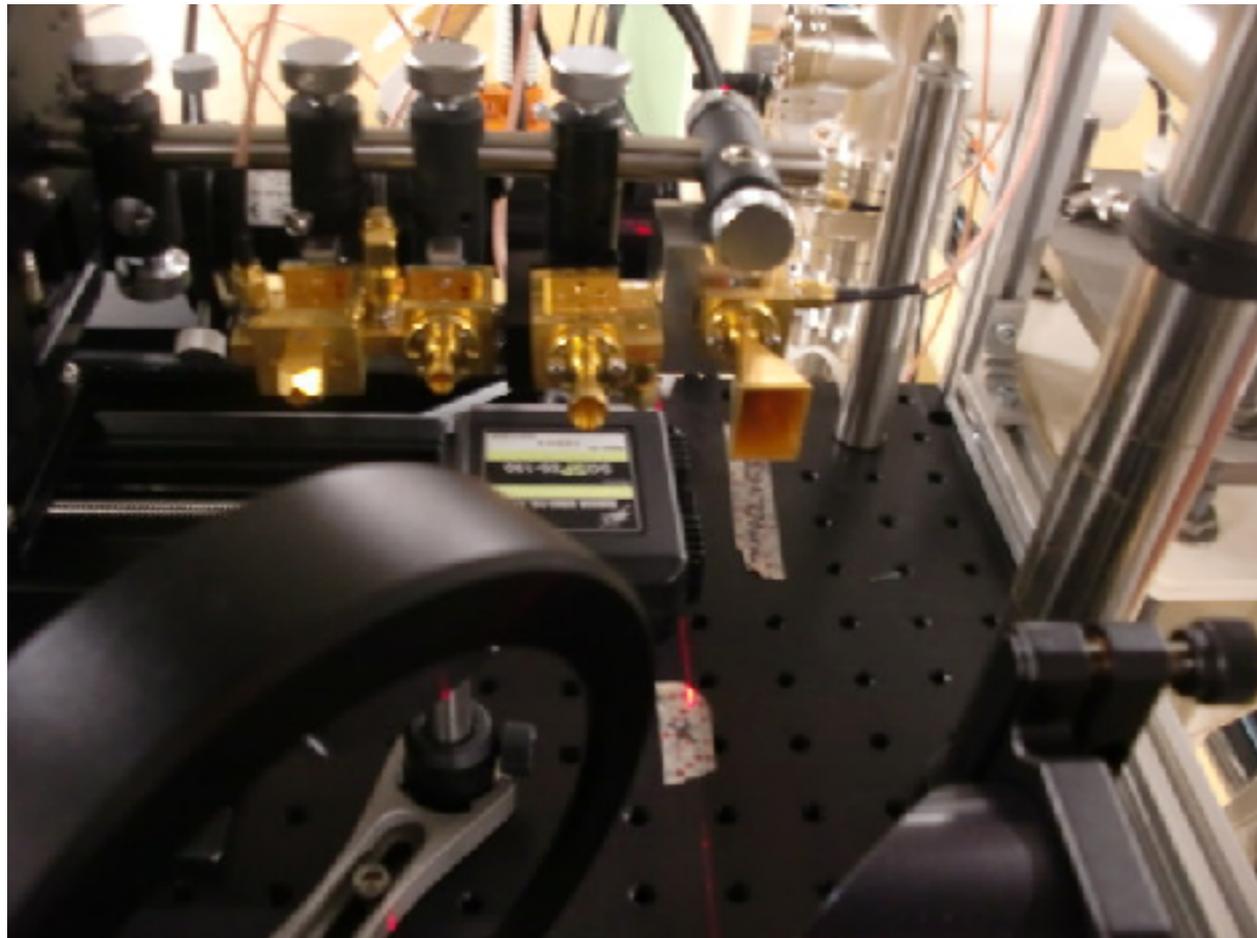
# CTR検出器

- cam18のCTRの取り出し部
- CTR計測システム
  - 強度測定
  - 干渉計によるスペクトル測定
- 調整および測定に用いる。



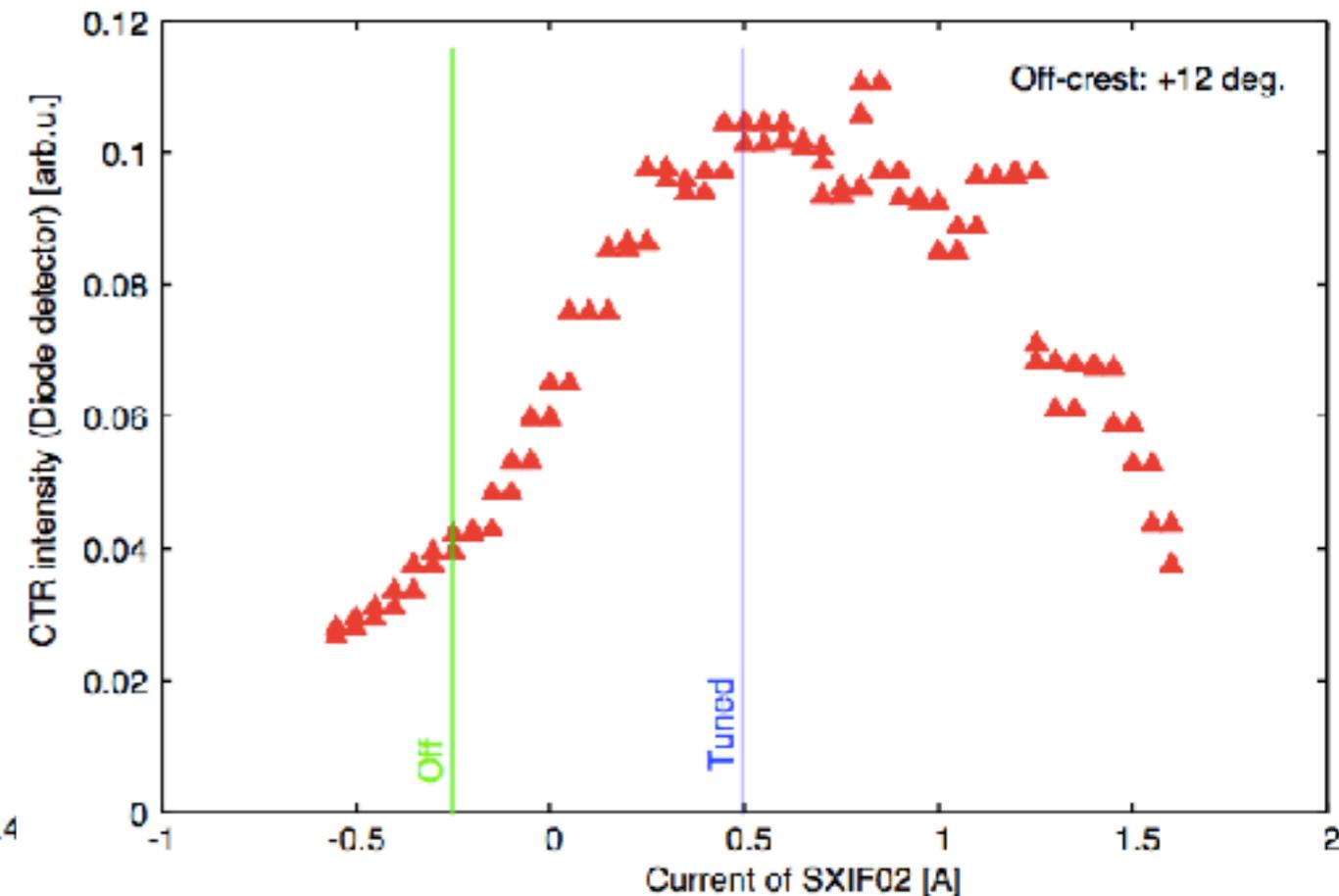
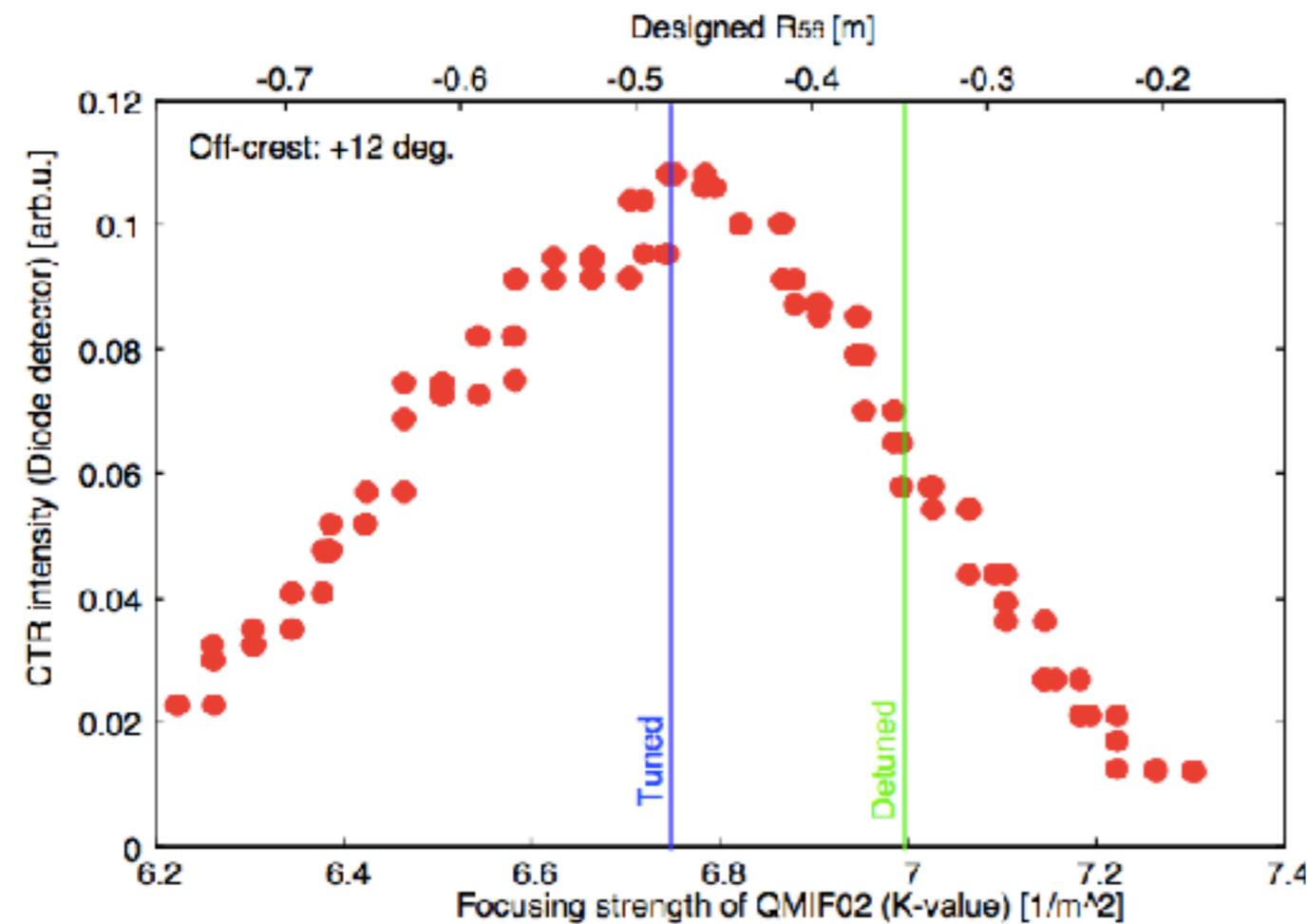
# CTR検出器

- 強度の検出
- 4つの狭帯域ダイオード検出器を並べた。(ステージで移動)
- 写真右から、90GHz, 140GHz, 220GHz, 330GHz
- バンチ圧縮調整時の指標には、330GHzのものを使った。
  - 信号が最大になるようにアーク部を調整する。



# バンチ圧縮調整の例

- 準備
  - アーク部軌道調整、cam18でビームサイズを小さくするよう微調整。
  - ML2の位相をずらす
  - アーク部スクリーン(cam14)で見て、エネルギーを合わせるようにML2の振幅を上げる。
- 調整
  - CTRの強度(330GHzダイオード)を測定しながら、
    - R56をスキャン、6極(上流側のみ)をスキャン、(交互に~2回)
  - 干渉計による測定

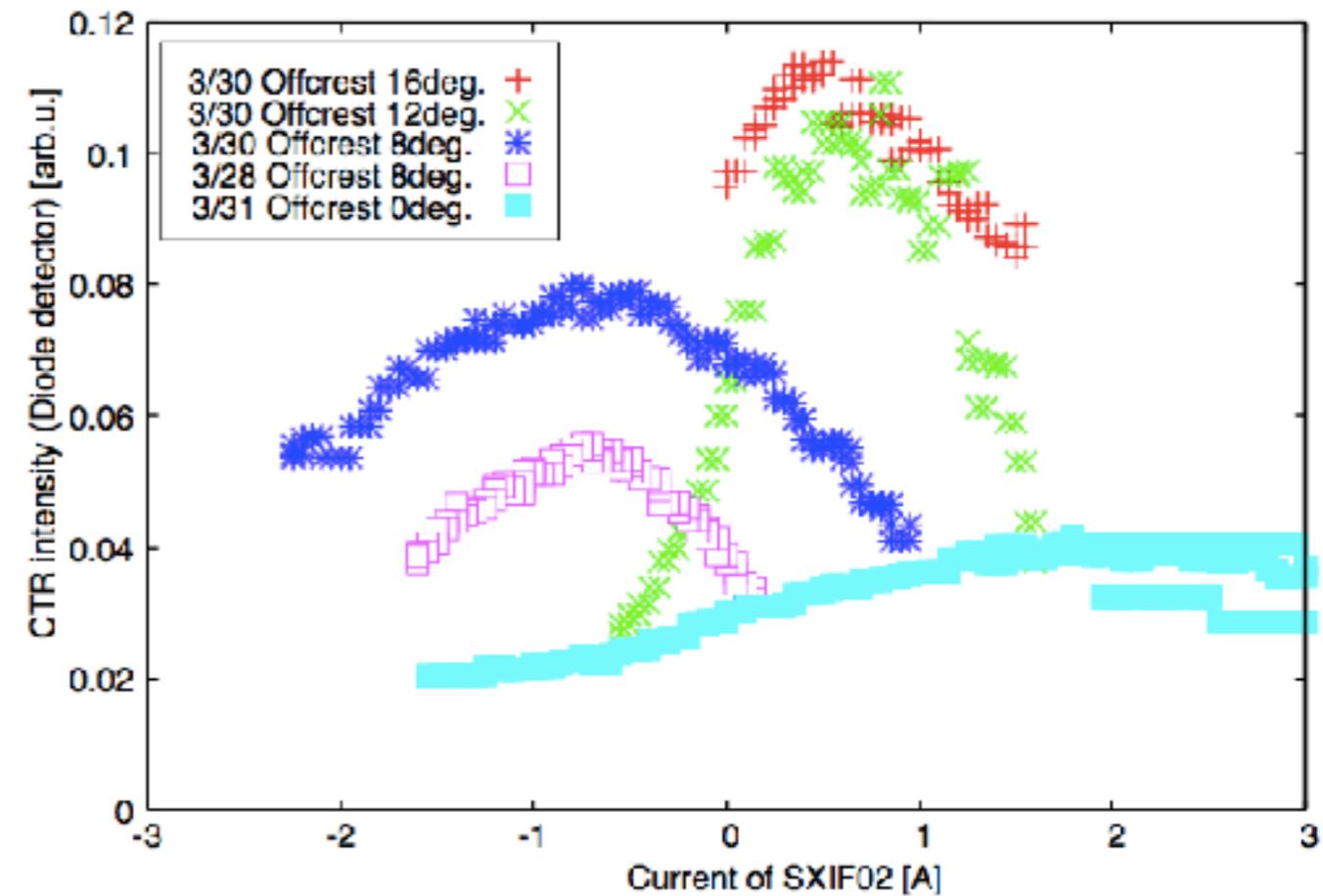
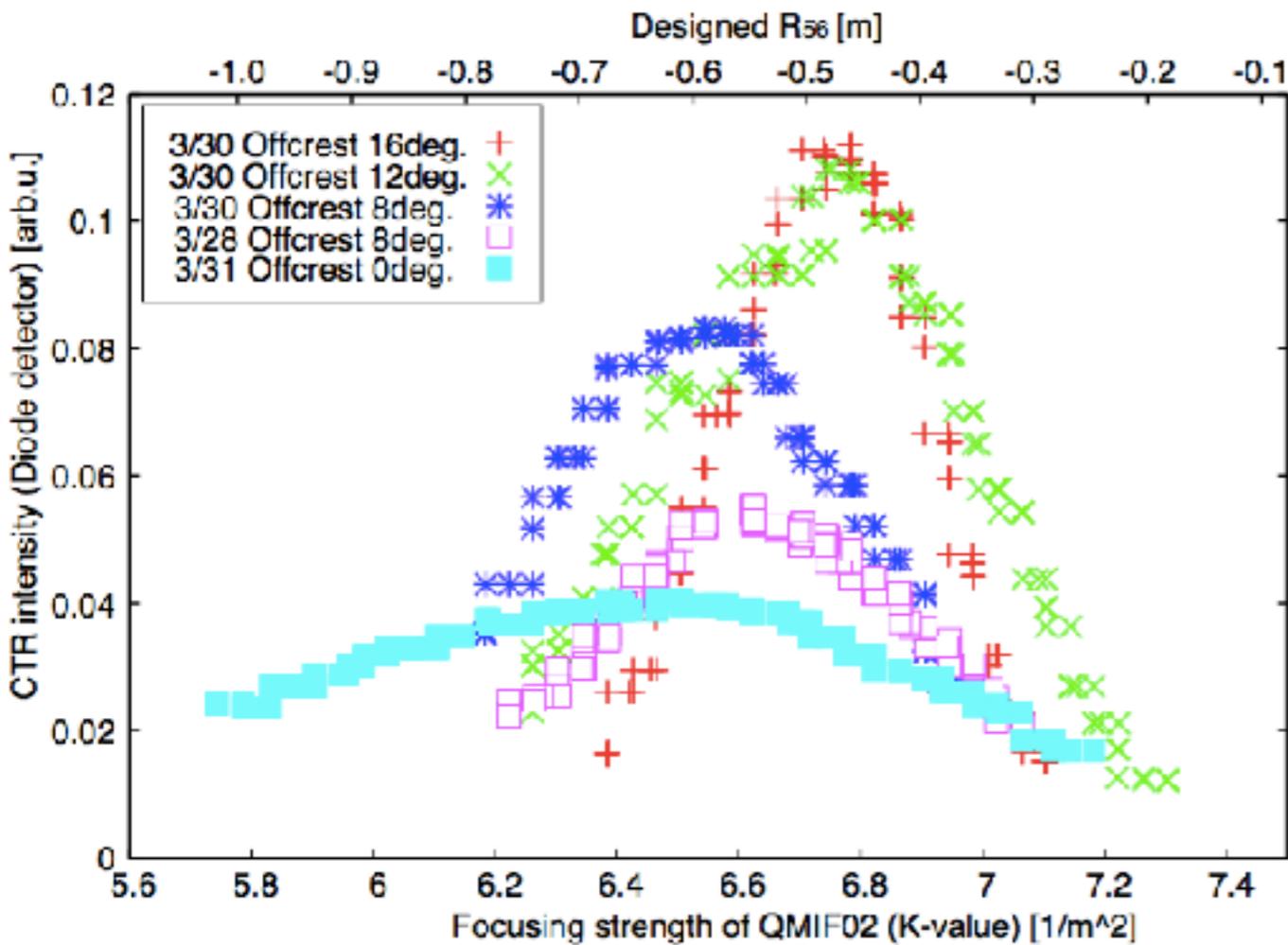


# ビーム試験

- 今期、以下の条件でCTR干渉計測定を行なった。
- バンチ強度 2pC/b、マクロパルス 200ns
  - [3/28]
    - Off-crest: +8deg.
      - Best tuned, R56 detuned, SX off
  - [3/30]
    - Off-crest: +12deg.
      - Best tuned, R56 detuned, SX off
    - Off-crest: +16deg.
      - Best tuned, R56 detuned, SX off
    - Off-crest: +8deg.
      - Best tuned
  - [3/31]
    - Off-crest: 0deg.
      - Best tuned
- (R56 detuned は、定量的にはあまり意味は無い)
- 結果的に+12degが最適。

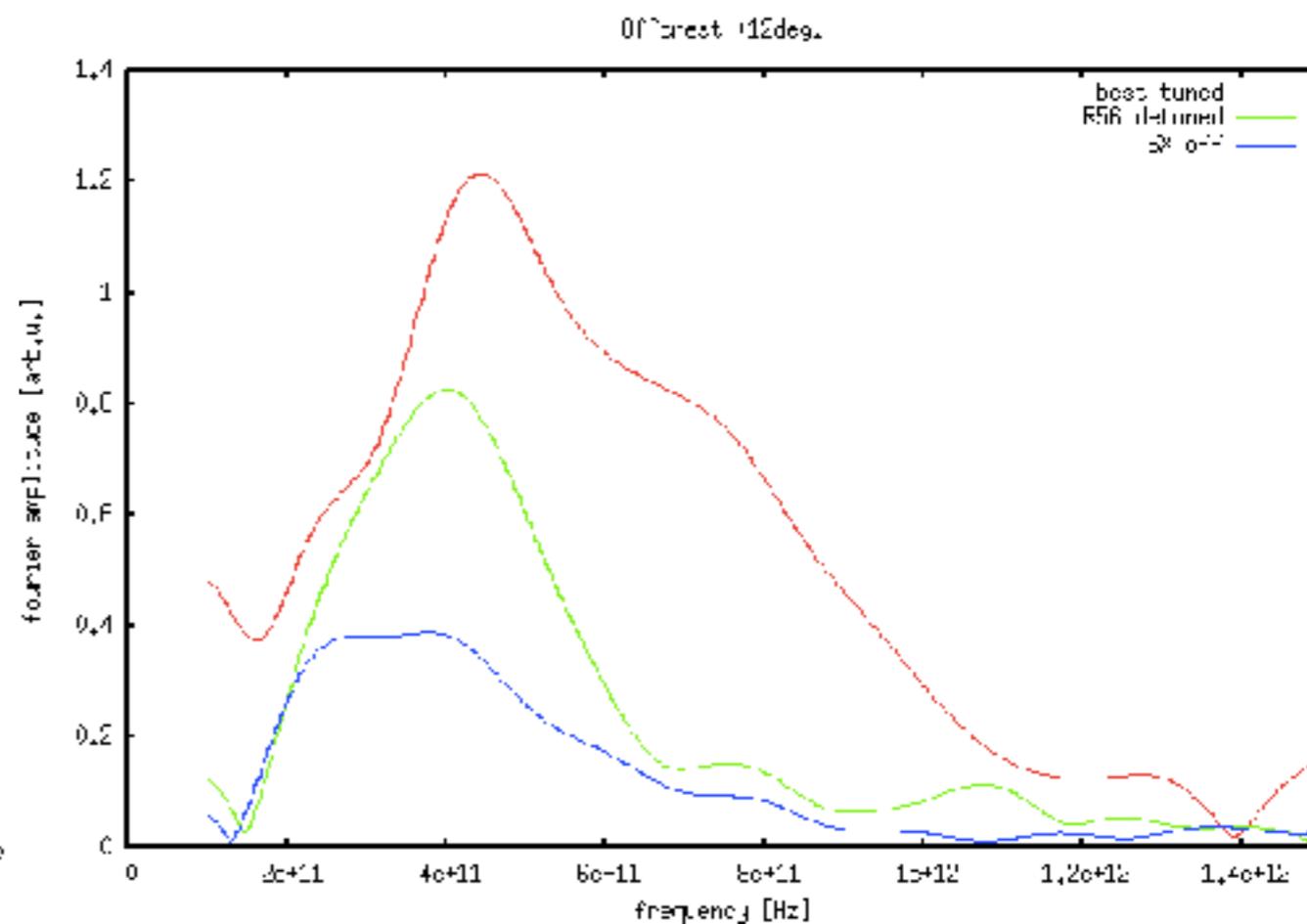
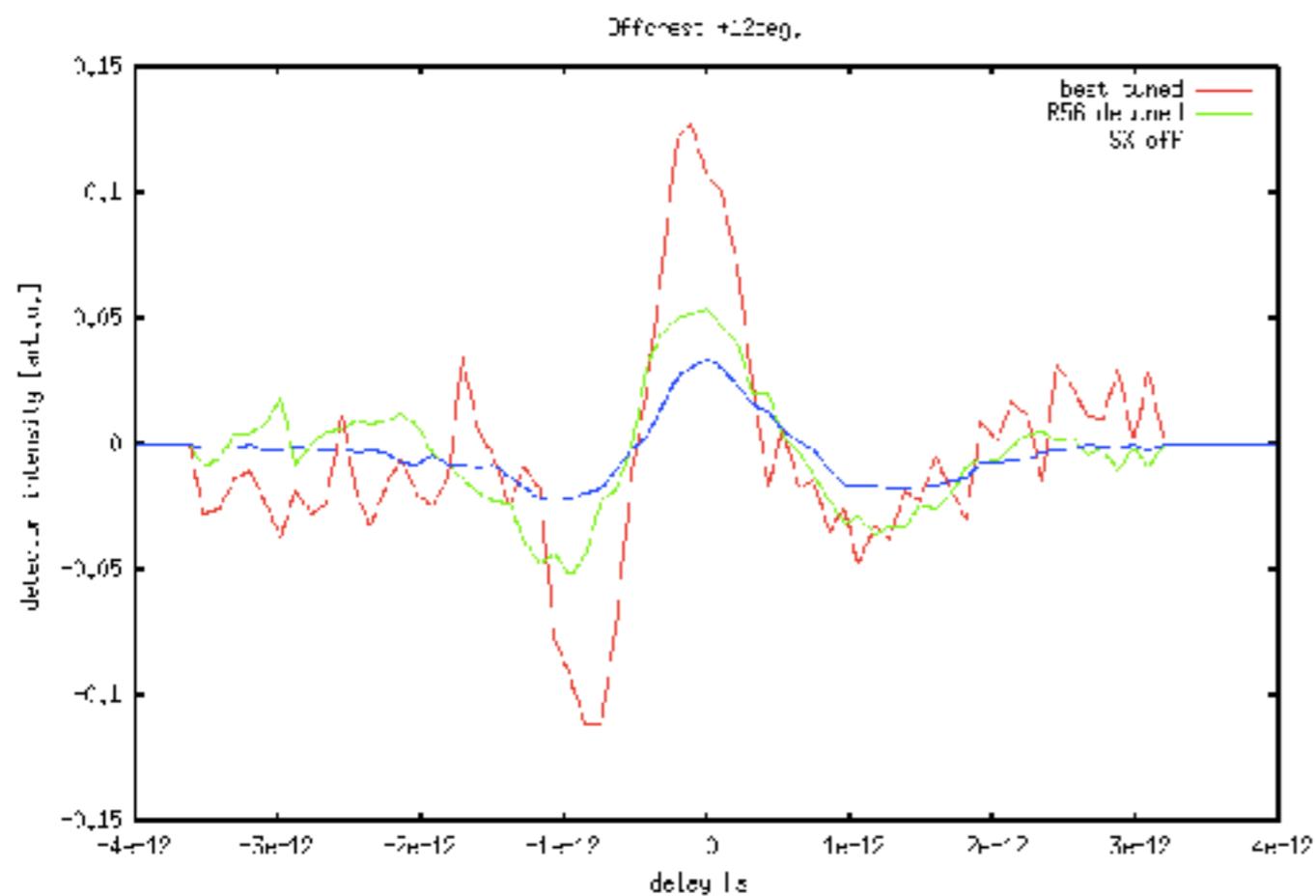
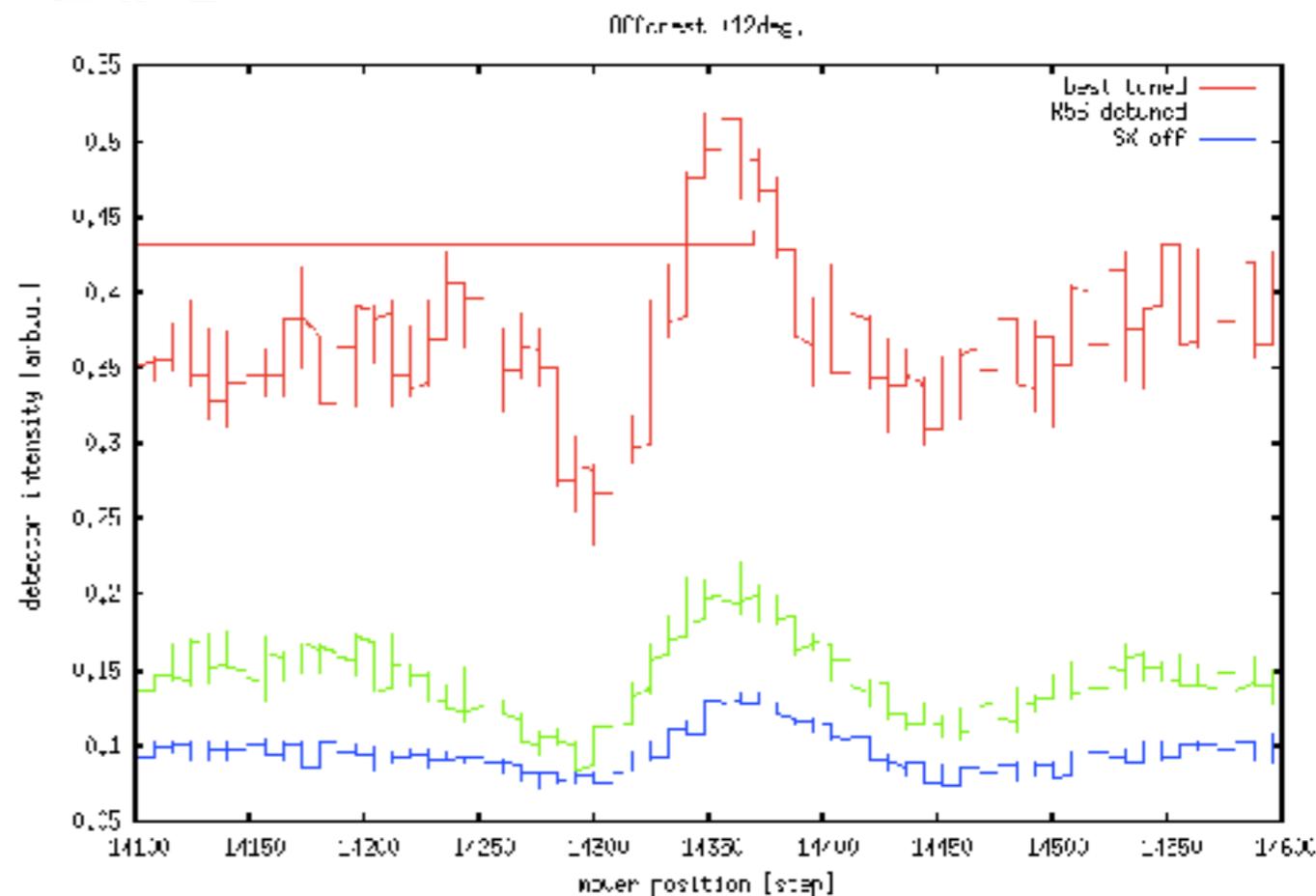
# バンチ圧縮調整の例

- 前ページの全ての場合の調整例
- R56スキャン
- SXスキャン
- Off-crest 0 deg.の場合でも、何らかの圧縮が見られる。初期バンチのチャープの影響



# 測定例

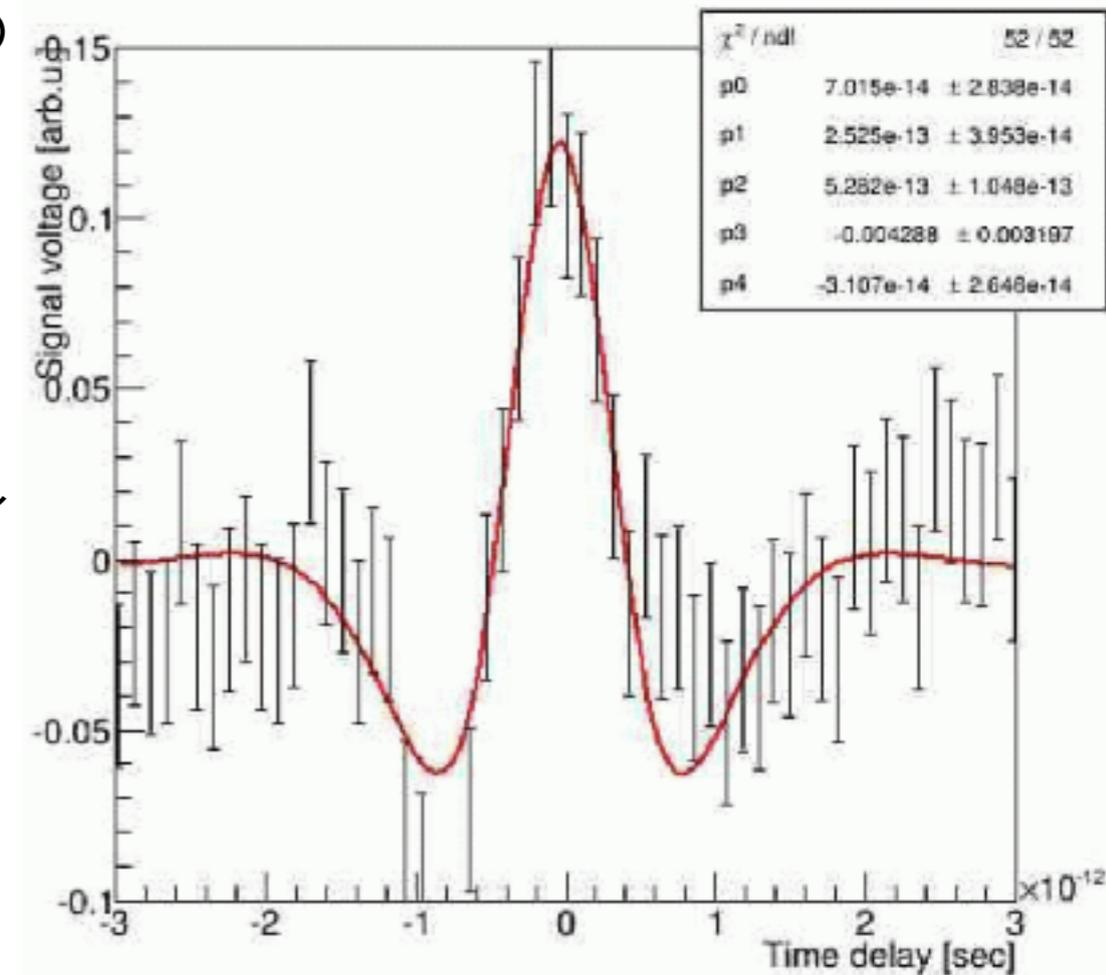
- +12degの例 (最も短いと思われる場合)
- それぞれ
  - 生データ
  - 平均化, オフセット調整, 時間スケール
  - フーリエ変換



# 解析

たとえば？

- バンチ長をある程度定量的に評価したい。
  - 必ずしもガウシアンとは限らない形を一つの値で表すので、どうしても無理は残るが。
- 本来、ガウス分布のフーリエ変換はガウス分布。なので、フーリエ変換結果をガウス分布でフィットしたら、もとのバンチ長がでる。
  - システムには低周波カットオフがあるのでやりにくい
- 低周波遮断フィルターモデルで、時間領域でフィッティング。(カットオフ時定数ともパラメータ。)
  - カットオフはガウス型。
  - モデルとの合い具合を系統的な誤差とした。

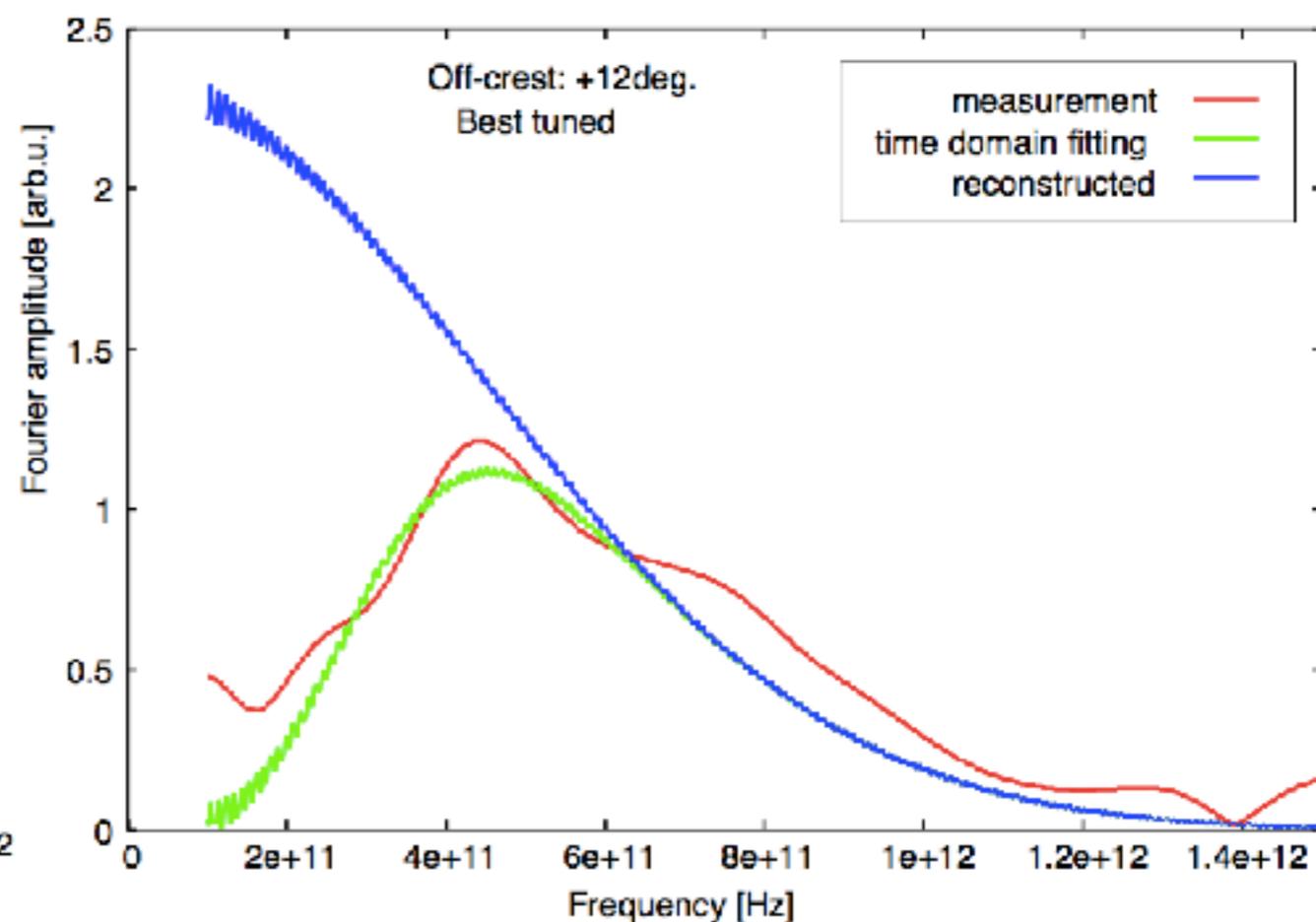
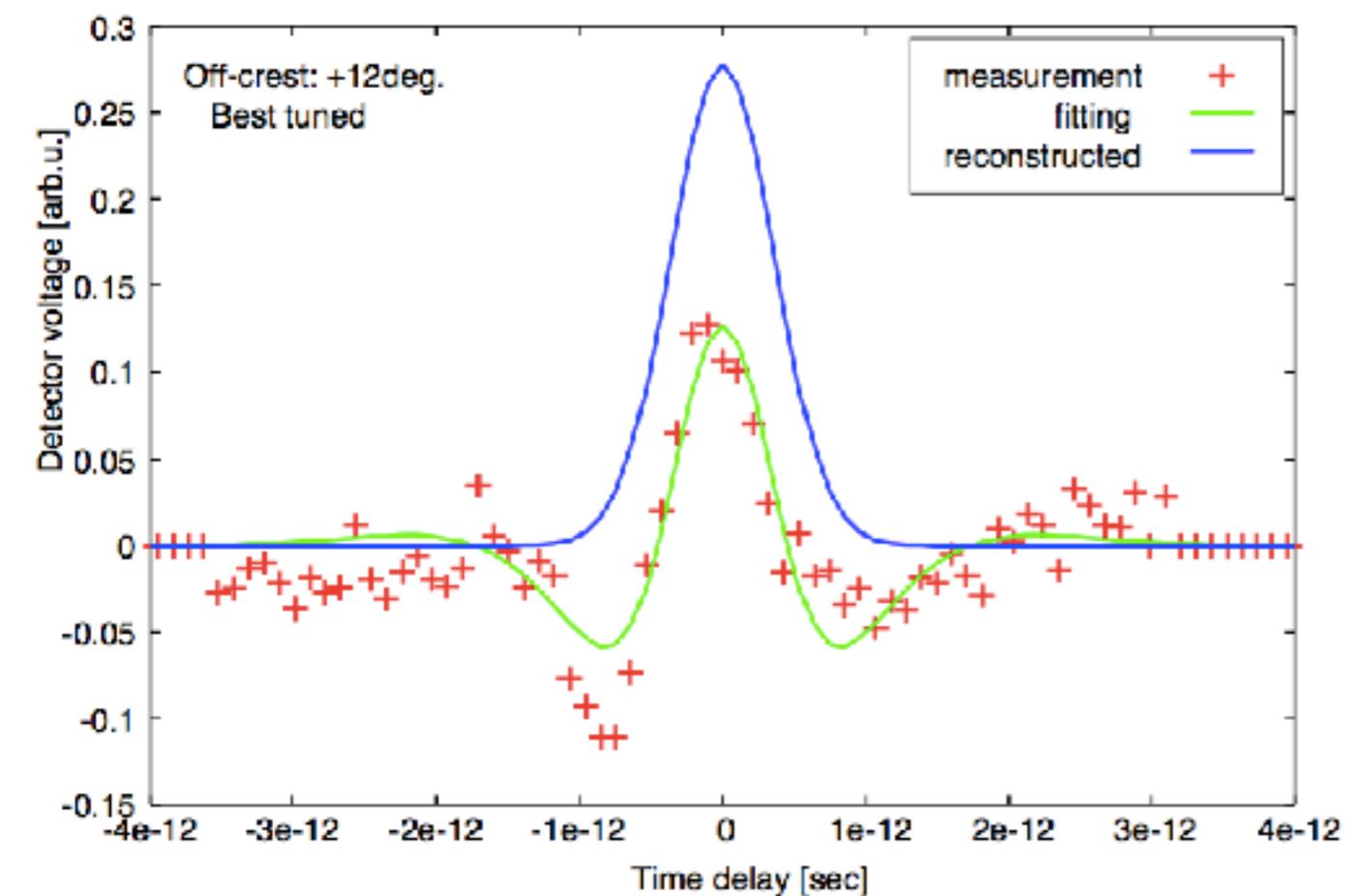


$$V(\tau) \propto \frac{1}{\sqrt{\sigma^2}} e^{-\frac{\tau^2}{4\sigma^2}} - \frac{2}{\sqrt{\sigma^2 + \xi^2}} e^{-\frac{\tau^2}{4(\sigma^2 + \xi^2)}} + \frac{1}{\sqrt{\sigma^2 + 2\xi^2}} e^{-\frac{\tau^2}{4(\sigma^2 + 2\xi^2)}}$$

$$V(\tau) = A \left[ \frac{1}{\sqrt{\sigma^2}} e^{-\frac{(\tau - \tau_0)^2}{4\sigma^2}} - \frac{2}{\sqrt{\sigma^2 + \xi^2}} e^{-\frac{(\tau - \tau_0)^2}{4(\sigma^2 + \xi^2)}} + \frac{1}{\sqrt{\sigma^2 + 2\xi^2}} e^{-\frac{(\tau - \tau_0)^2}{4(\sigma^2 + 2\xi^2)}} \right] + C$$

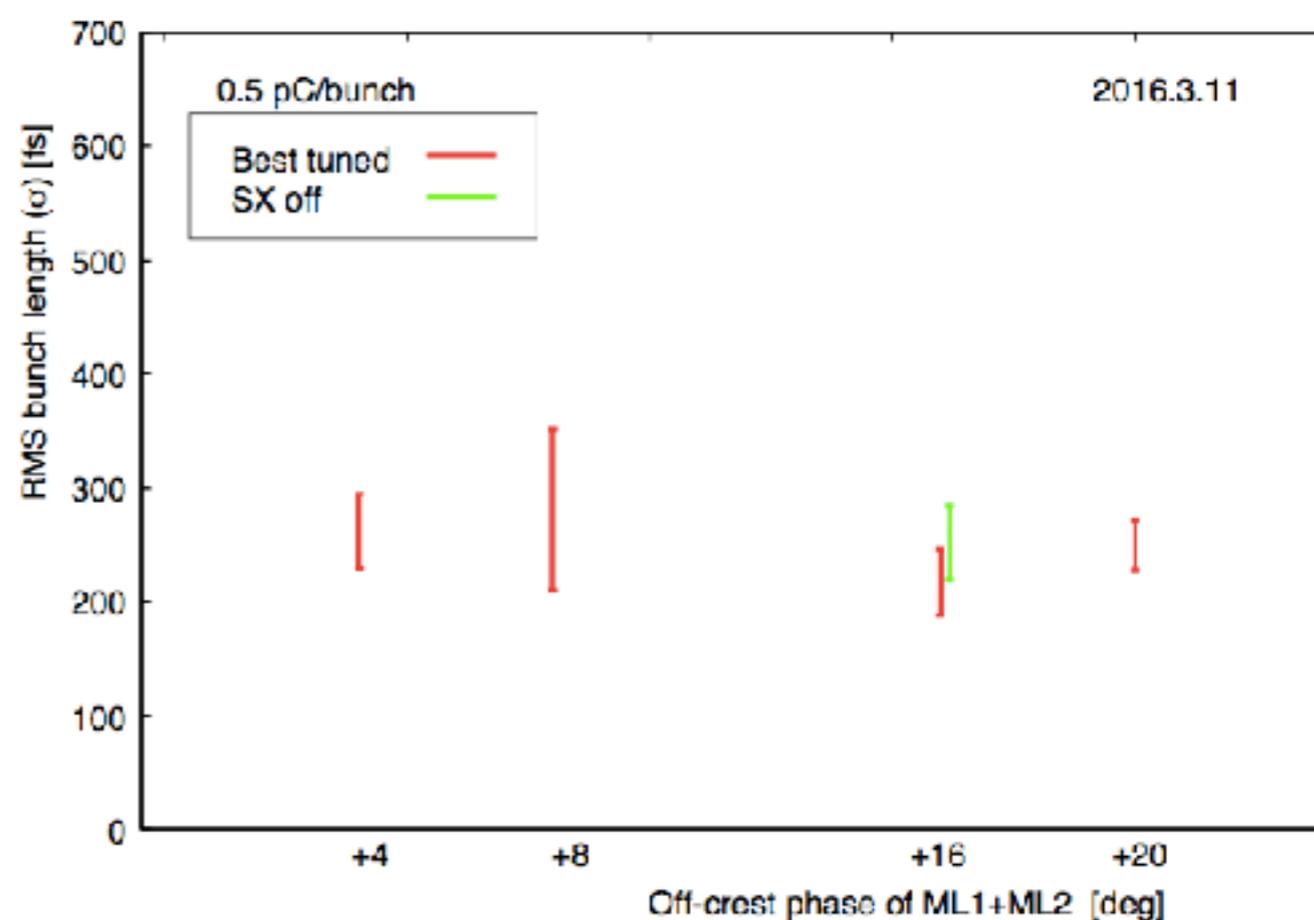
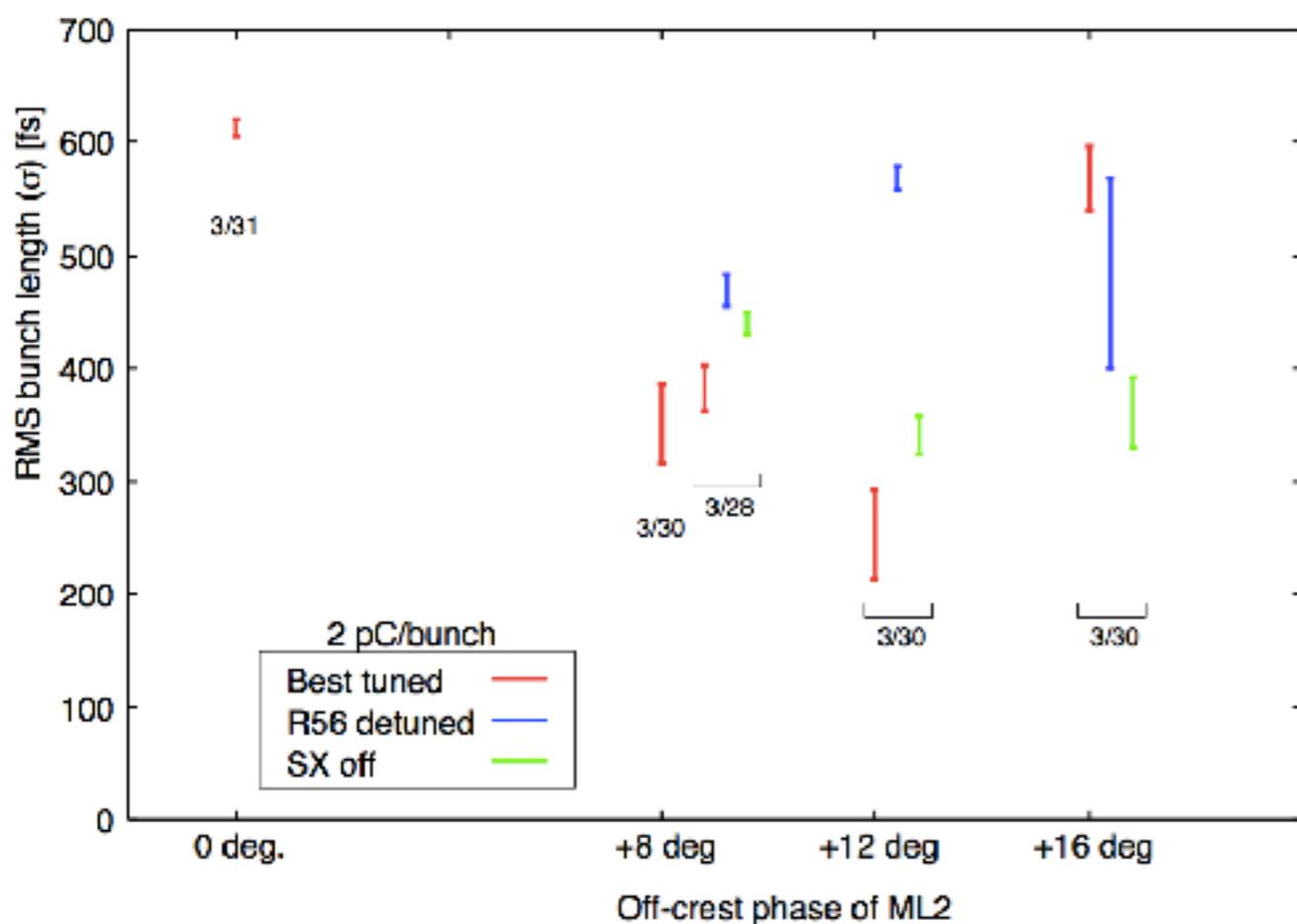
# 解析例

- 時間領域で低周波フィルターモデルでフィット
  - フィットされた $\sigma$ がバンチ長
  - 非対称性や何やかやの効果が、 $\sigma$ の誤差として得られる。
- フィットされた結果から低周波数カットオフを外し( $\xi$ を無限大)、本来の形状を再構成する。
- これをフーリエ変換し、本来のスペクトルとする。



# バンチ長の結果

- 今期の全測定のみまとめ
- フィットされて出た $\sigma$
- +12deg.の条件で、最も短いバンチが得られた。RMS 250 $\pm$ 50 fs
- 去年のデータも同様に解析しなおすと、バンチ長はほぼ同じ。
  - 去年は0.5pC/b
  - オフクレスト角度依存性が異なるように見える。
  - 去年はML1,2同時に位相ずらし、今年はML2だけ。エネルギーも異なる。



# まとめ

- 今期のビームタイムで、最終週にバンチ圧縮関係で計2日間くらいの時間が取れた。
- 目標は、共振器型回折放射実験を見据えて、短バンチかつ低エミッタンスのビーム運転の確立。(バンチ電荷は2pC/bとした。)
- オフクレスト角度を変えて、バンチ圧縮の最適化調整を行なった。
- 今回の運転条件では、ML2 オフクレスト+12度で、最も短バンチが得られた。
- 干渉計信号の解析結果、RMS 250+-50 fsと評価。