

# テラヘルツ観測、バンチ圧縮

cERLミニワークショップ

2015.7.30

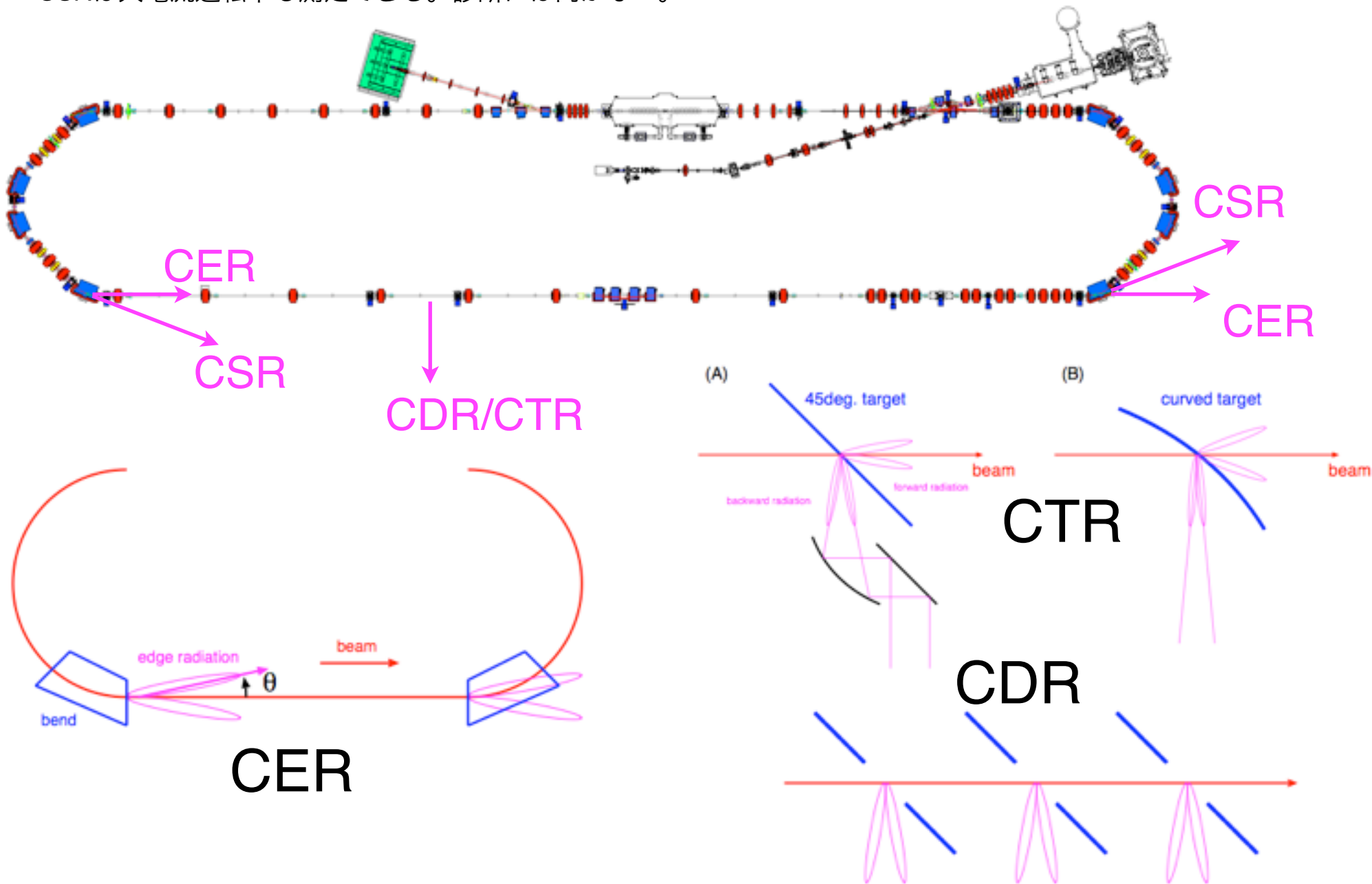
本田洋介

- cERLで考えられるテラヘルツ光源
- CSR観測 / CTR観測
- CTR干渉計バンチ長モニタ
- バンチ圧縮

# cERLでのテラヘルツ光源

# cERLでのテラヘルツ光源

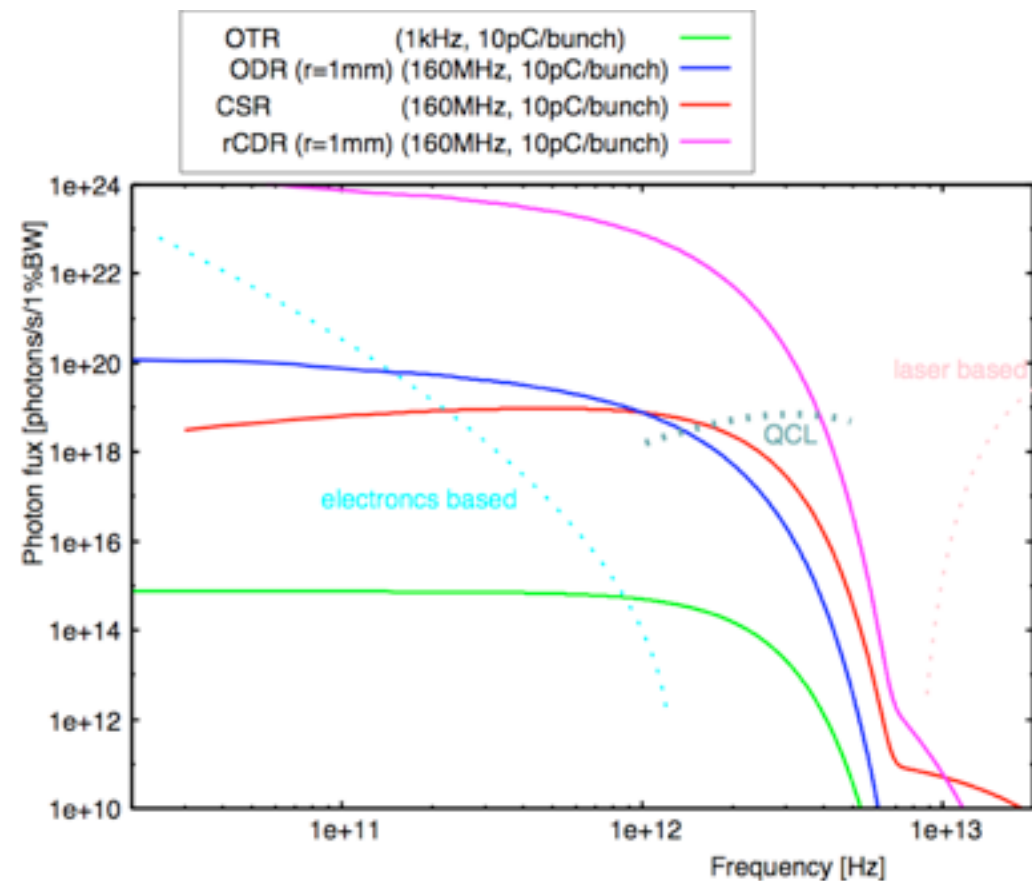
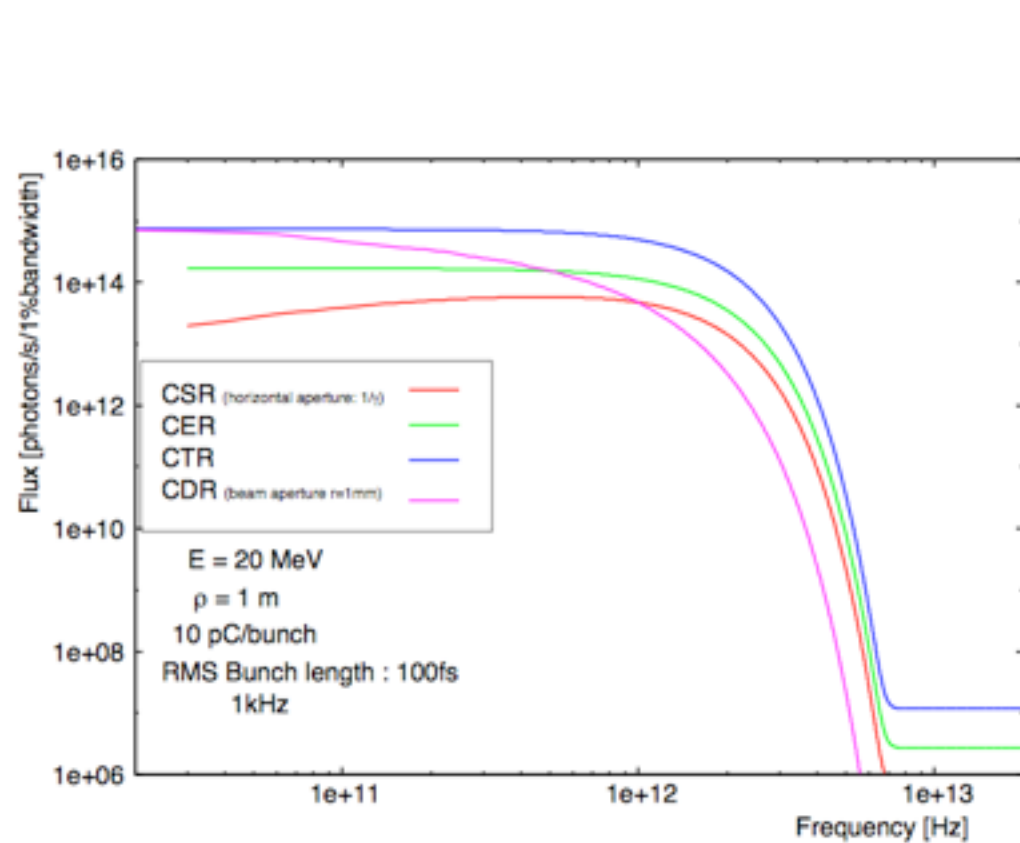
- CTRは破壊するので大電流には使えない。発光点があきりしているのが診断向き
- CSRは大電流運転中も測定できる。診断には向かない。



# パワー比較

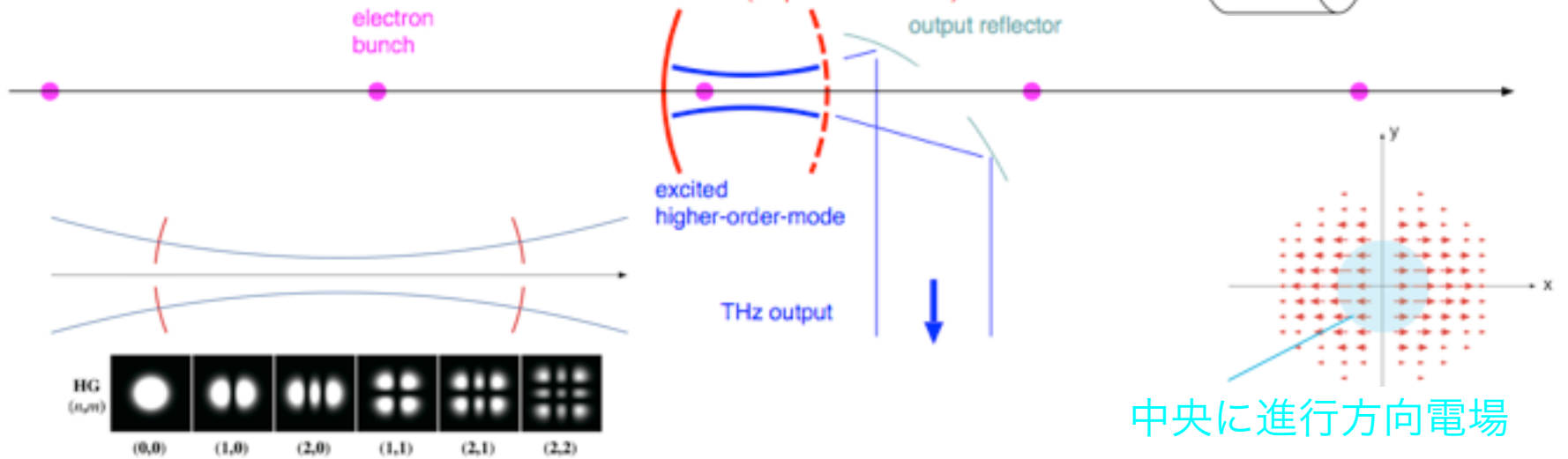
- 同じビーム条件で比較
  - 1kHzで全損失 (10nAロス)

- CDRとCSRについては大電流も可として比較
  - rCDRならもっと上が狙える

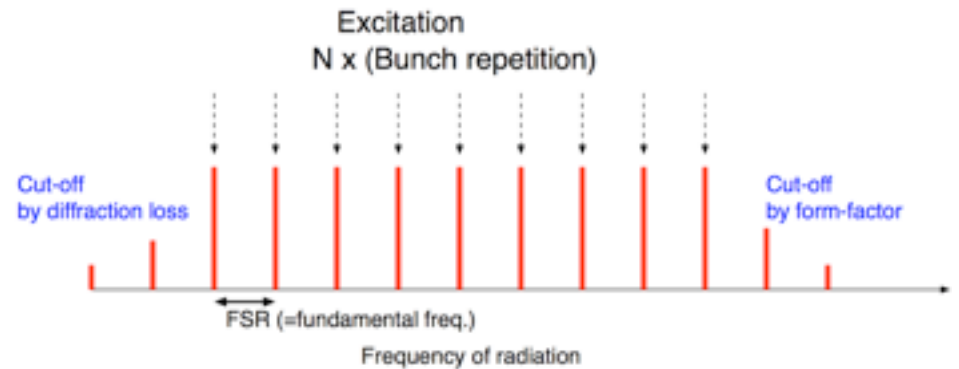


# CDR Resonator

- 共振器にコヒーレントスタック
- モードロックレーザーと同じ



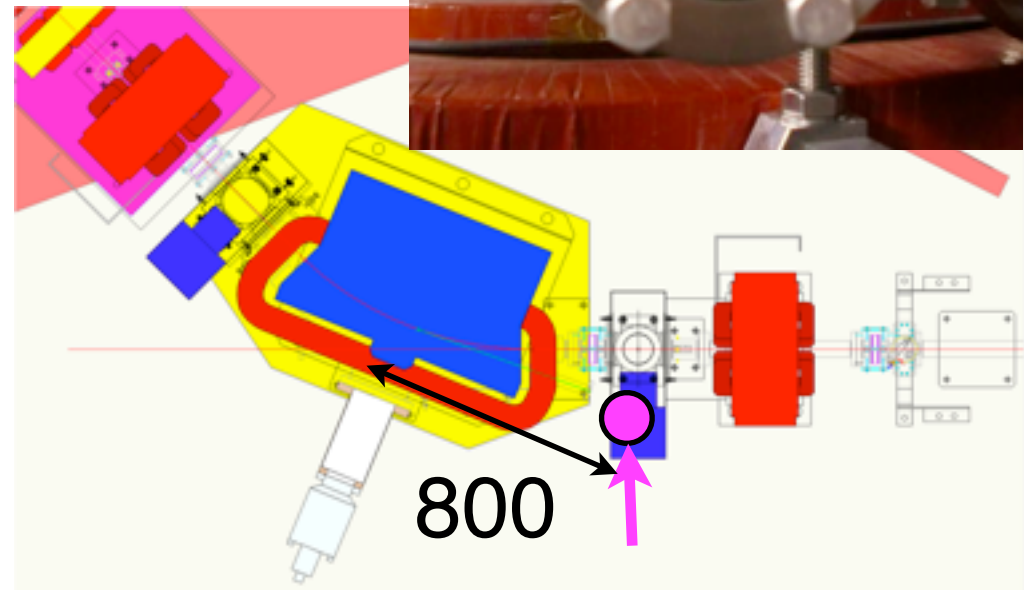
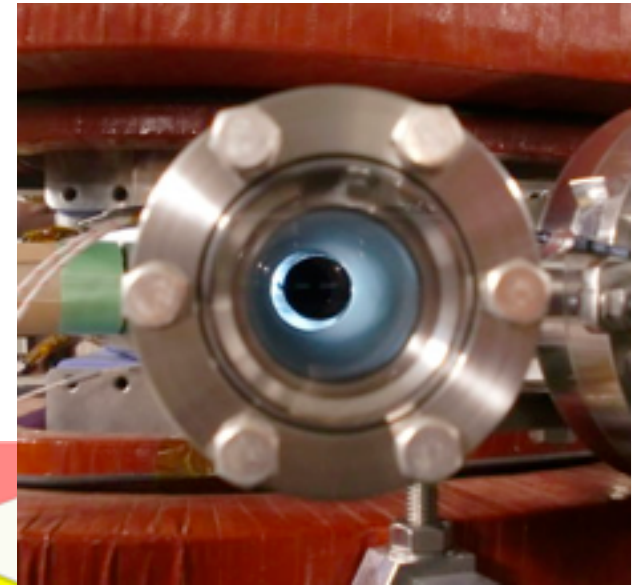
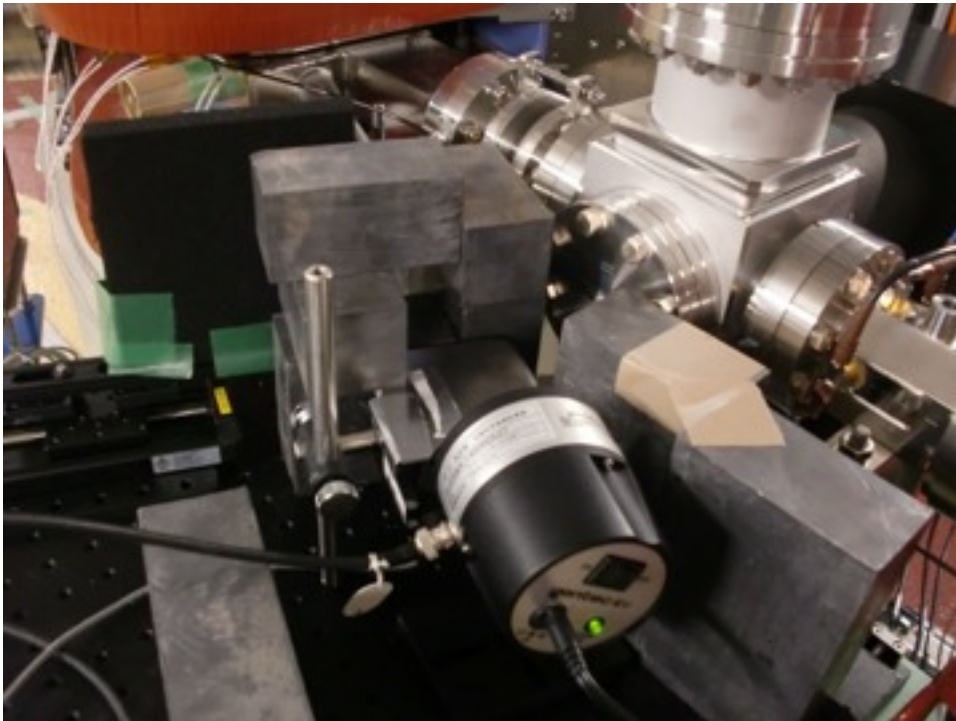
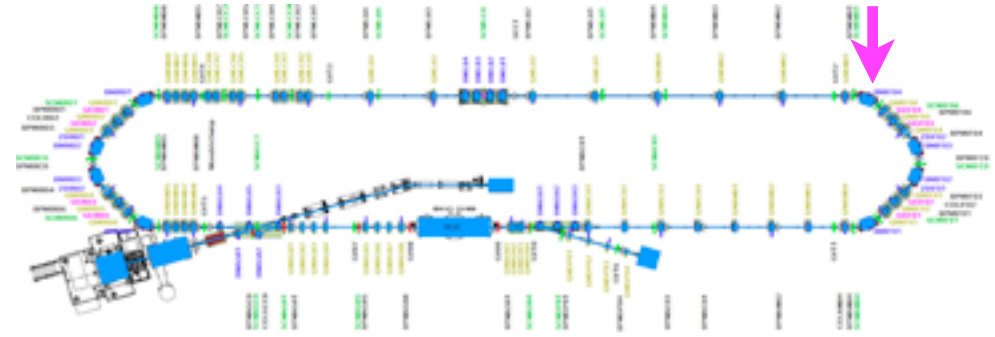
$$V_{\infty} = V_1 + V_1\sqrt{1-T} + V_1(\sqrt{1-T})^2 + \dots = \frac{V_1}{1-\sqrt{1-T}} \sim \frac{2V_1}{T}$$



# CSR/CTRの観測

# CSR

- ロングバンチまたはCWで測定
- 第1アーク出口ベンドの斜めポート
- ベンド中央から約800mmの距離で測定
- 焦電センサ型検出器
- DCには感度が無い
- 放射線でも信号が出てしまう。

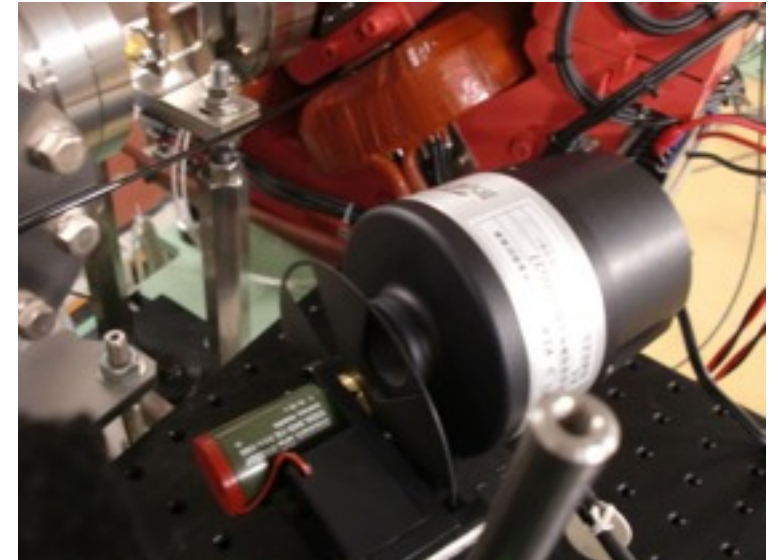
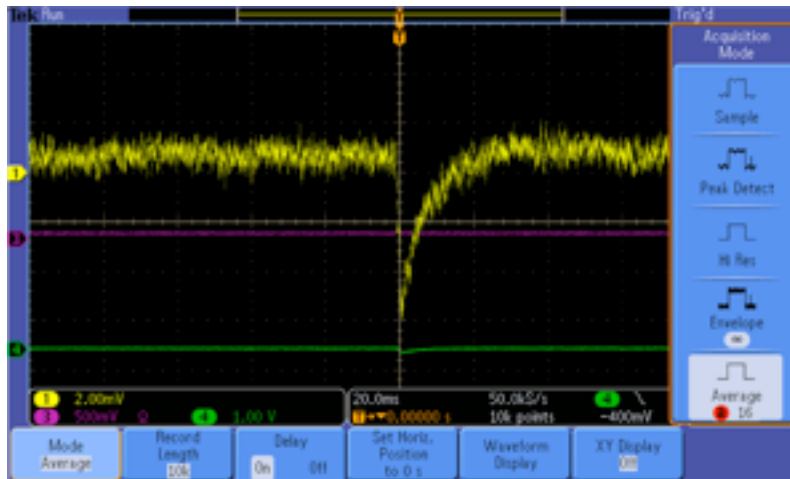


# CSRの確認

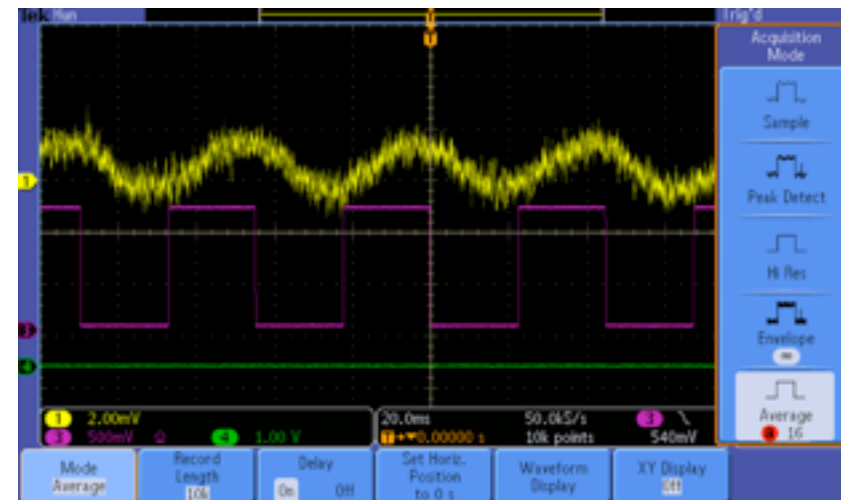
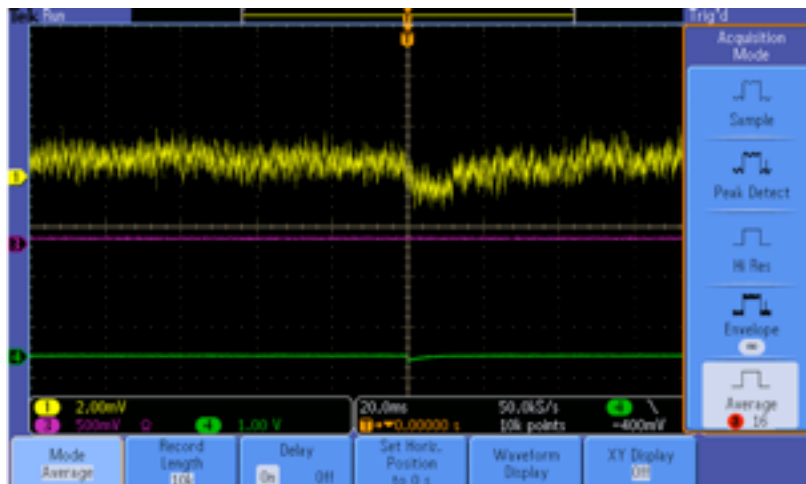
- ロングパルスモードで試験
  - $150\mu\text{A}$ ,  $1.6\text{ms}$ ,  $5\text{Hz}$
  - 放射線以外の信号を確認

- CWモードで試験
  - $30\mu\text{A}$ ,  $1.3\text{GHz}$
  - チョッパーで変調信号を検出

電磁波吸収体なし



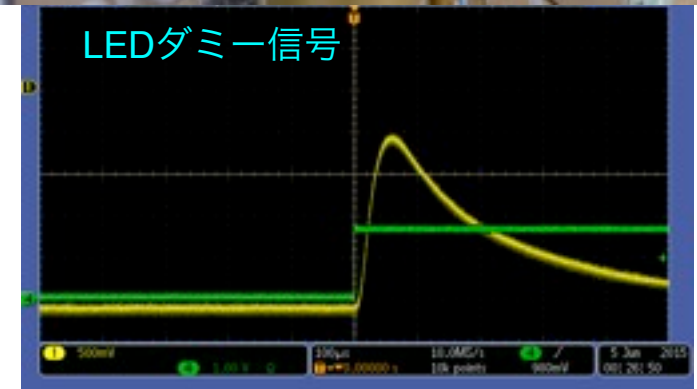
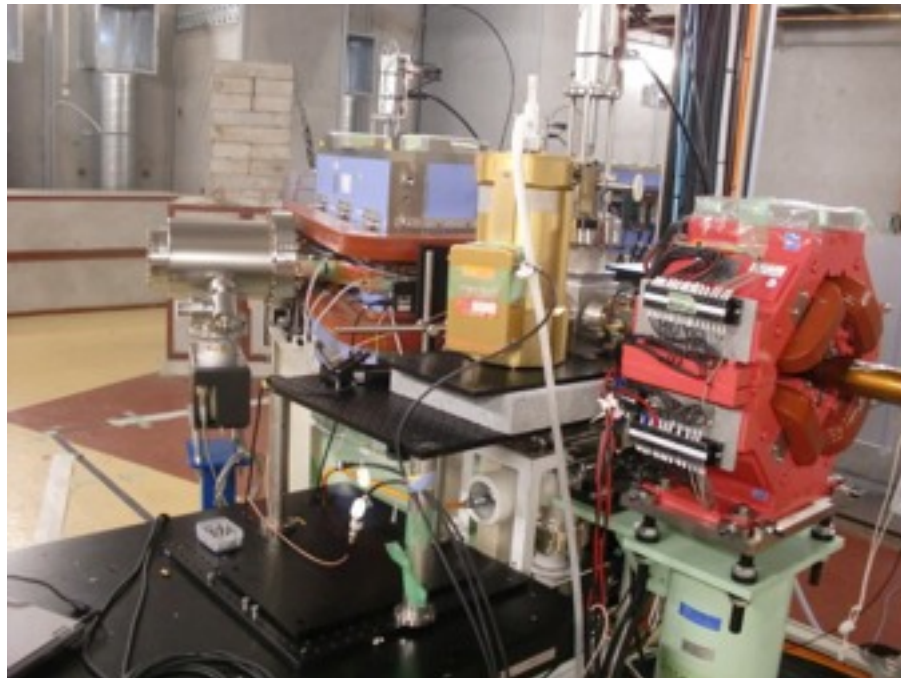
電磁波吸収体あり





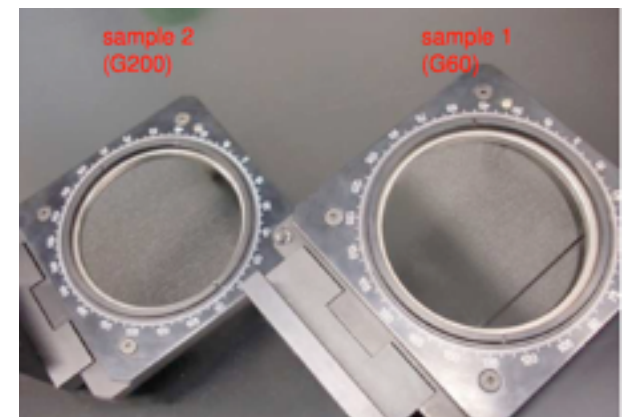
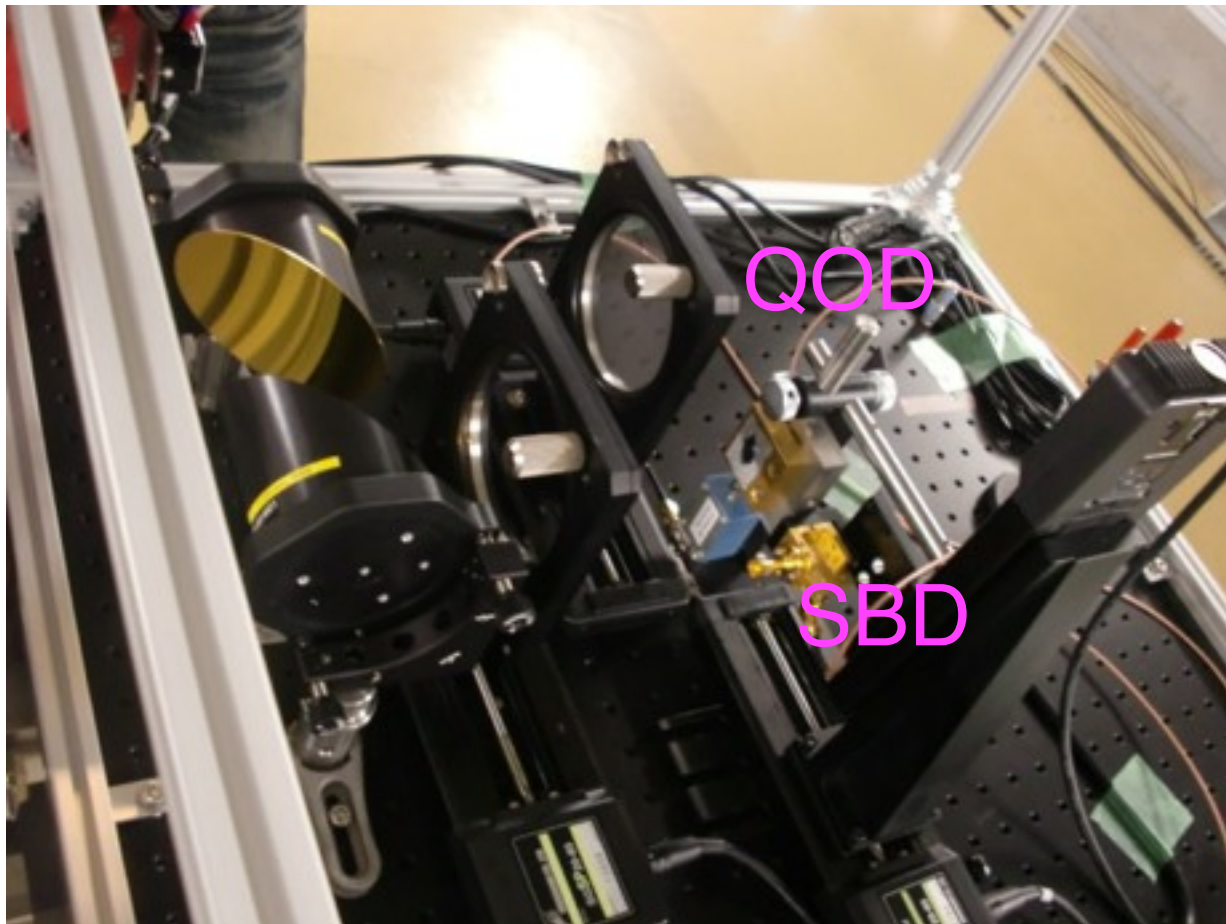
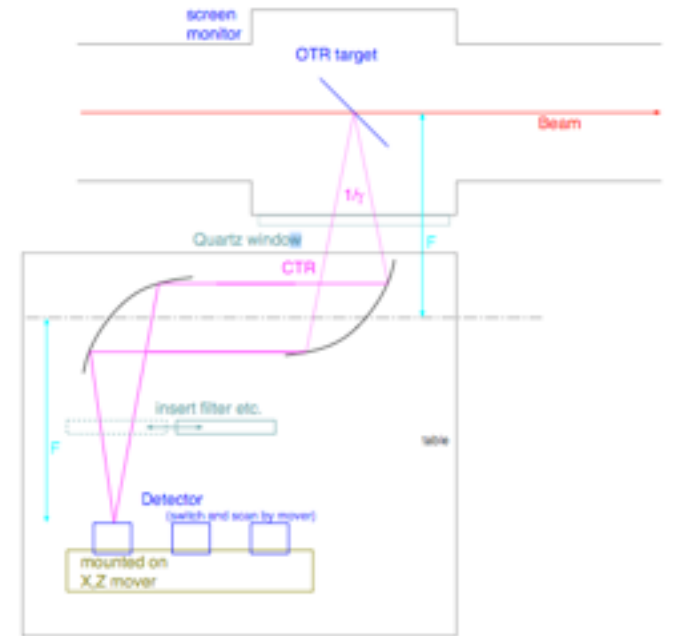
# ボロメータ

- 今までは1THz以下くらいで測定
- もっとバンチが短くなって、高周波数で測定が必要になることに備えて、ボロメータの試験を始めた。
- 阪大から借りた。
- Heで4Kに冷やす必要があって、やっかい。
- 6月に何度か試みたが、Heの蒸発量が大きく、2.5時間しか持たない(本当は20時間もつはず)。ビーム測定に至らず。
- ともかく、He関係を使う準備を一通りバグだした
- 次の運転で再挑戦



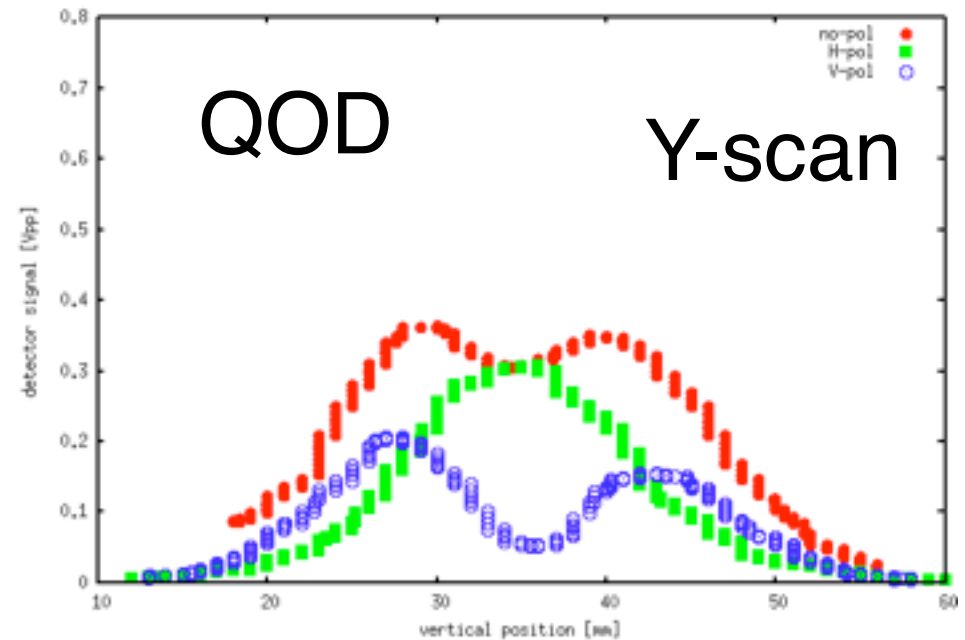
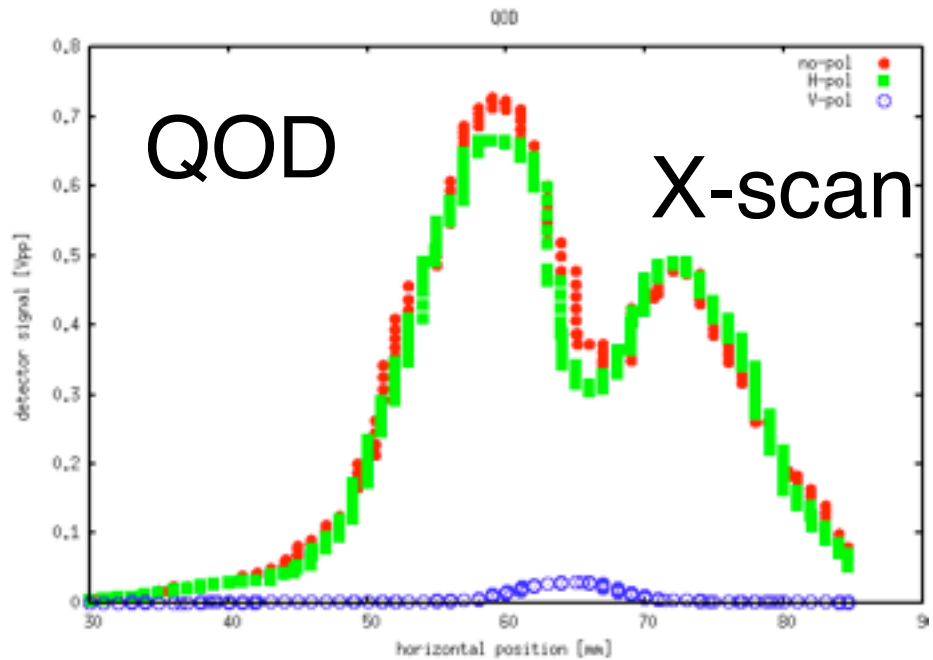
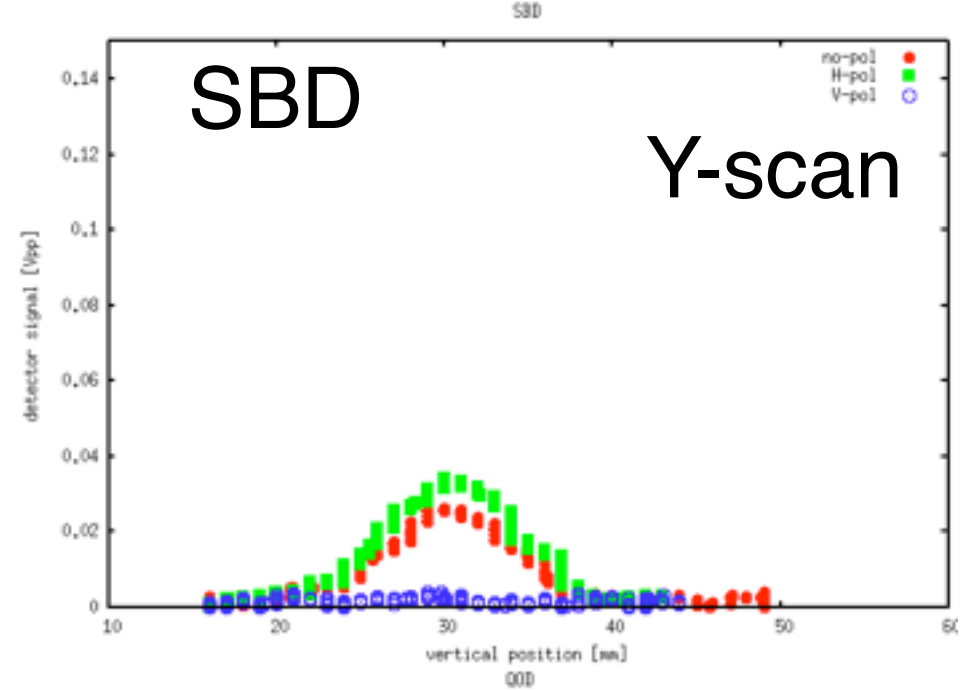
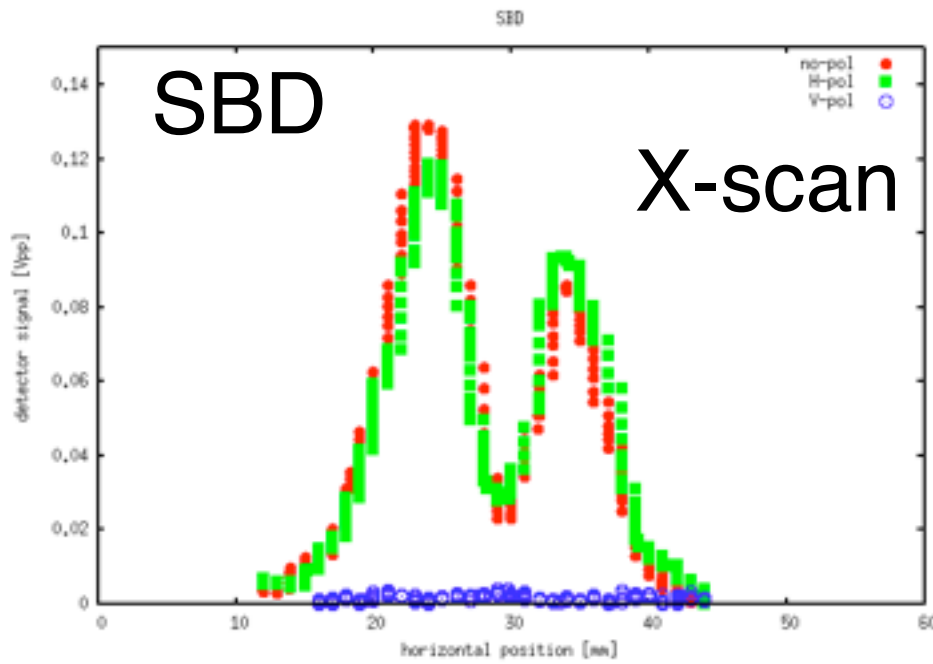
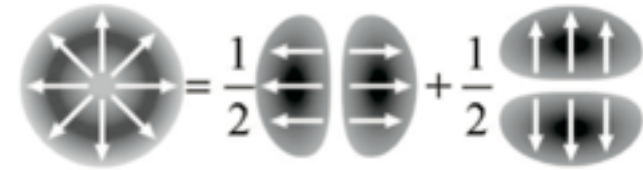
# CTR

- CTRセットアップ(cam18のOTR)
- 2種類の検出器
  - SBD (140~220 GHz) (島田さんから借用)
  - QOD (100~1000GHz) (アリシェフから借用)
- 検出器に偏光特性がある。
- ワイヤグリッド偏光子を挿入



# プロフィール測定

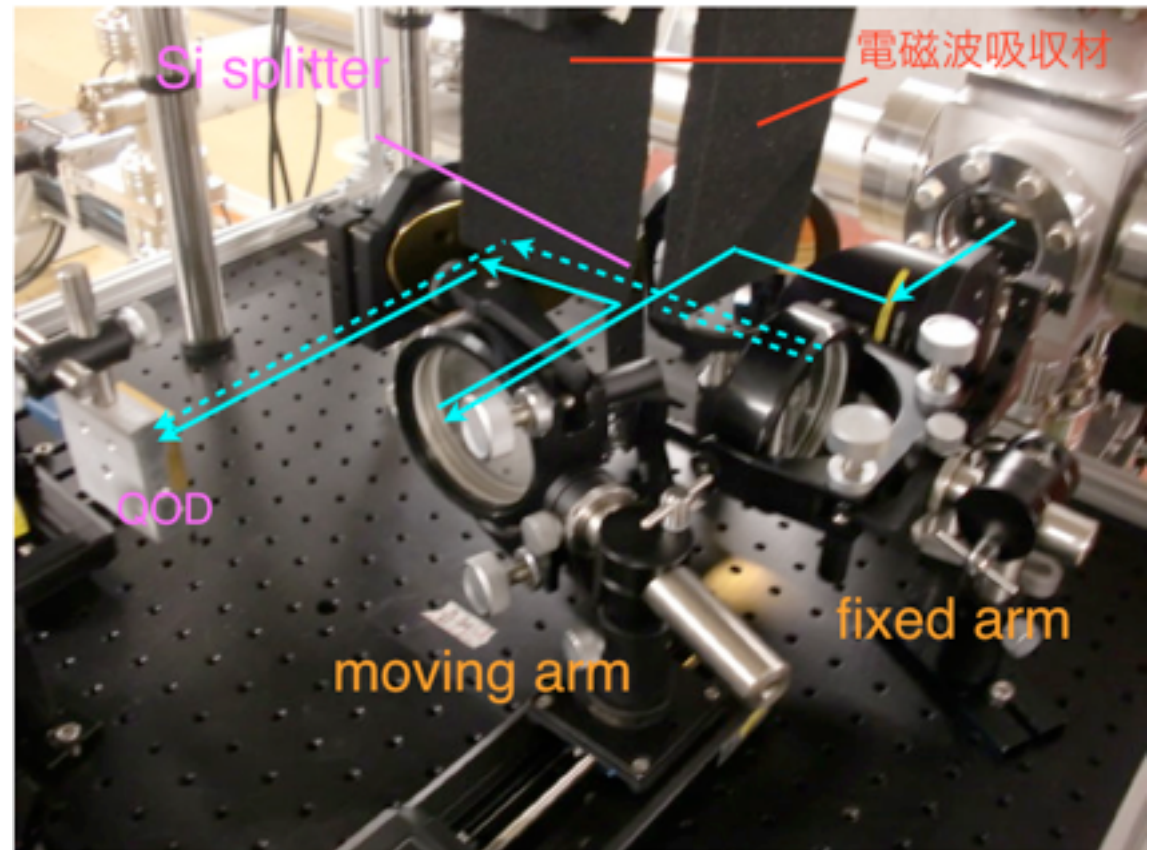
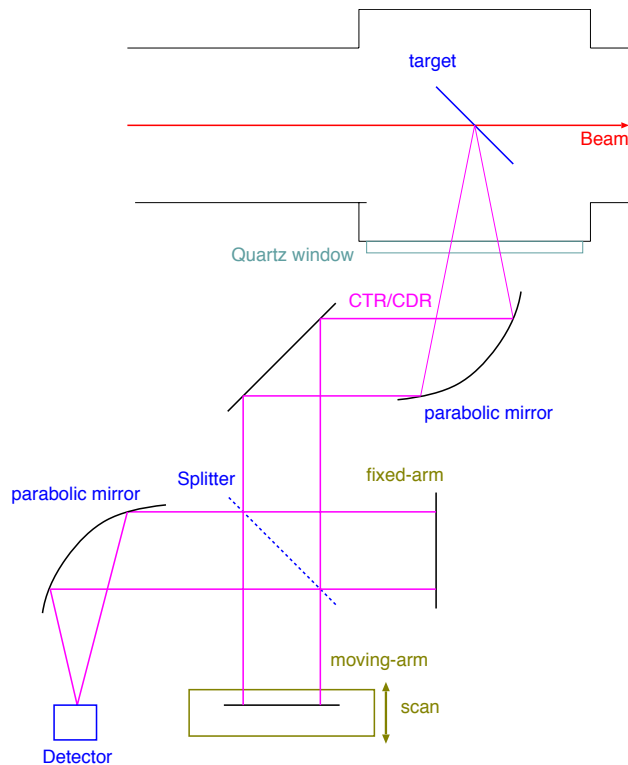
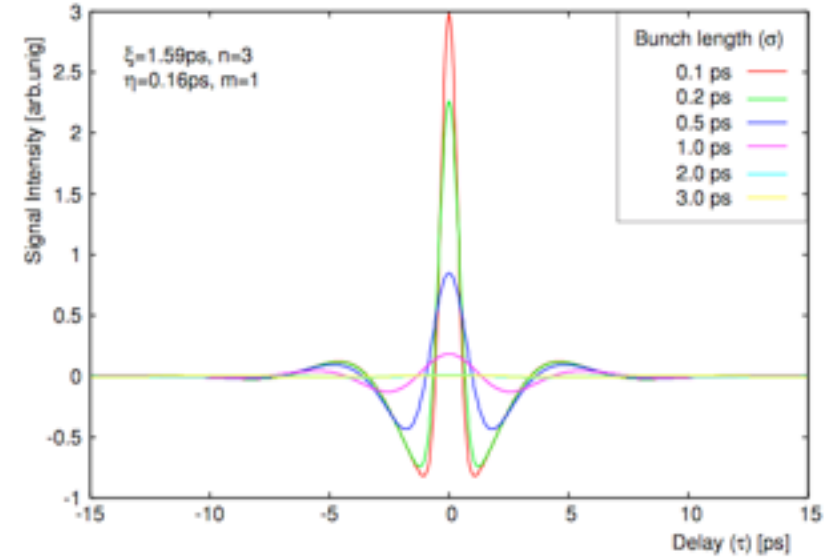
- 検出器はXYステージに乗っていて、プロフィールを測定できる。
- 本来ラジアル偏光ドーナツビームであるところが、偏光選択し2山に見える。



CTR干渉計バンチ長モニタ

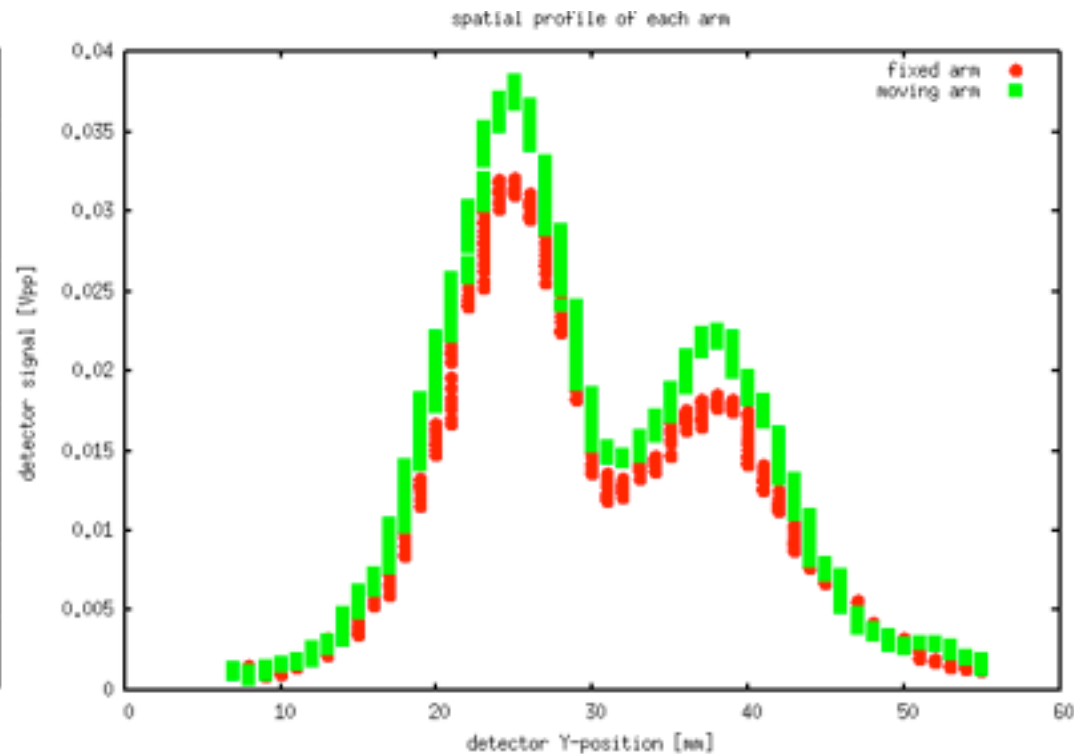
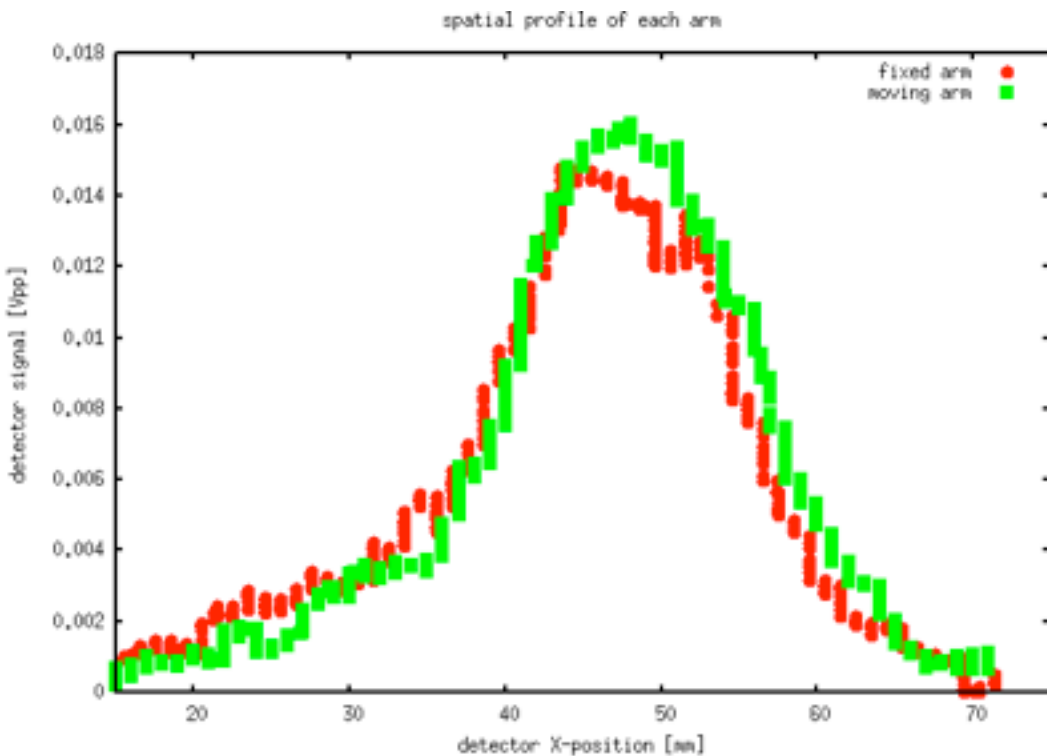
# CTR干渉計

- cam18のOTRポート(外側向き)
- 原理
  - $1/r$ の発散角のOTRをパラボラミラーで平行化
  - マイケルソン干渉計で光路差をスキャン
  - 広帯域の検出器で測定
- ダイオード検出器(QOD)
- 帯域100~1000GHz
- Siプリッタ (300 $\mu$ m or 100 $\mu$ m)



# それぞれの光路の調整

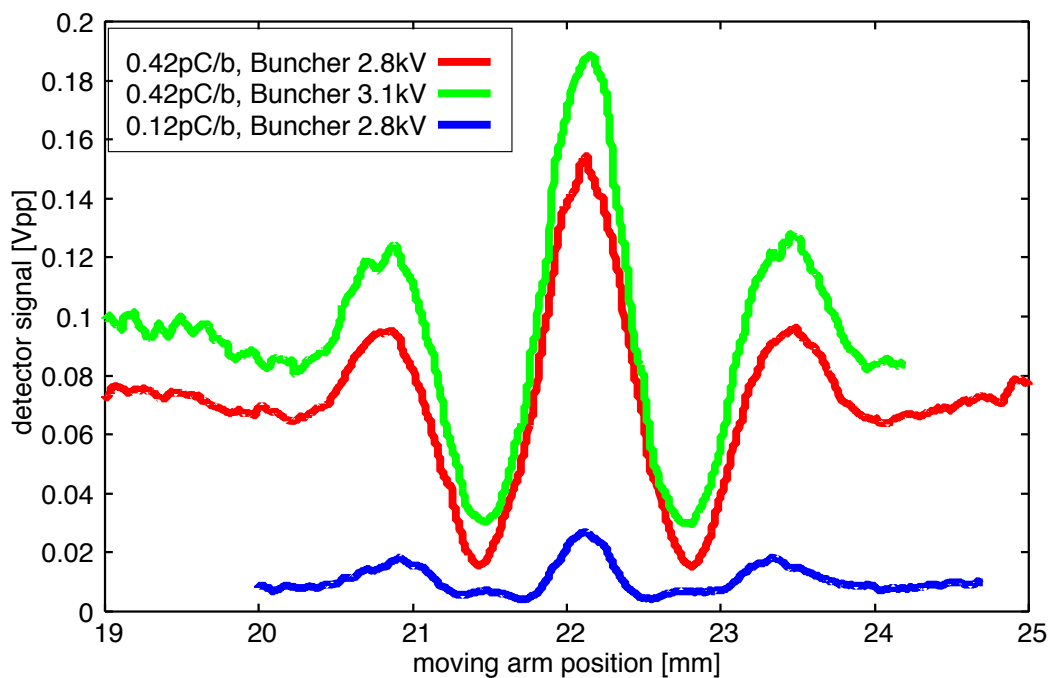
- 片方の光路に電磁波吸収体を挿入し、検出器位置での信号分布を確認
- 水平、垂直共に、良く合っている
- 強度バランスも良い。



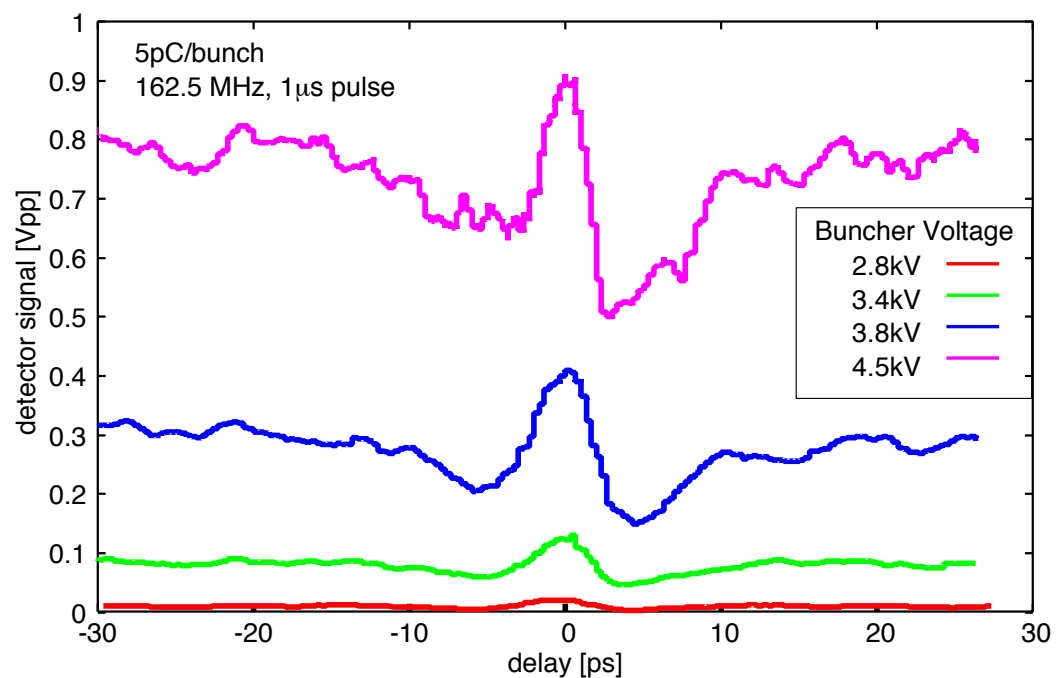
# 干渉計信号

- 飛び込みで時間を見つけて測定
- バンチャーでバンチ長を変化させた(アーク部でのバンチ圧縮はまだ)
- 波形に応答が見られる事を確認
  - バンチ長を短くすると、強度が上がり、中央の幅が狭くなる
- 確認しておくべきこと
  - 検出器の線形性、構成要素の周波数依存性、、、

300 $\mu$ mスプリッタを使用



100 $\mu$ mスプリッタを使用



# 解析の原理

## 1次フィルタモデル

### 自己相関 (振幅干渉計)

時間差をつけて振幅足し合わせによって、

$$h(\omega) \propto \int \rho(t)e^{-i\omega t} dt + \int \rho(t)e^{-i\omega(t+\tau)} dt$$

$$|h(\omega)|^2 \propto |\tilde{\rho}(\omega)|^2 (e^{i\omega\tau} + e^{-i\omega\tau}) + \text{const.}$$

電荷密度分布の自己相関が得られる

$$\begin{aligned} V(\tau) &= \int N^2 |h(\omega)|^2 S_1(\omega) d\omega \\ &= N^2 S_1 \int |h(\omega)|^2 d\omega \\ &\propto \int \rho(t)\rho(t+\tau) dt + \text{const.} \end{aligned}$$

理想的な仮定では、ガウス型パルスなら、ガウス型の相関信号

$$\rho(t) \propto e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \quad V(\tau) \propto e^{-\frac{\tau^2}{4\sigma^2}}$$

### ただし、仮定として

発光および検出の周波数特性が平坦

周波数特性に依存した位相のずれが十分小さい

### 実際には

輸送路や検出器に周波数特性がある

低周波数成分のカットオフを想定

得られる波形はカットオフ周波数 ( $1/\xi$ ) と次数に依存する

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

## 2次フィルタモデル

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{\sigma^2}} e^{-\frac{\tau^2}{4\sigma^2}} - \frac{4}{\sqrt{\sigma^2 + \xi^2}} e^{-\frac{\tau^2}{4(\sigma^2 + \xi^2)}} + \frac{6}{\sqrt{\sigma^2 + 2\xi^2}} e^{-\frac{\tau^2}{4(\sigma^2 + 2\xi^2)}} \\ - \frac{4}{\sqrt{\sigma^2 + 3\xi^2}} e^{-\frac{\tau^2}{4(\sigma^2 + 3\xi^2)}} + \frac{1}{\sqrt{\sigma^2 + 4\xi^2}} e^{-\frac{\tau^2}{4(\sigma^2 + 4\xi^2)}} \end{aligned}$$

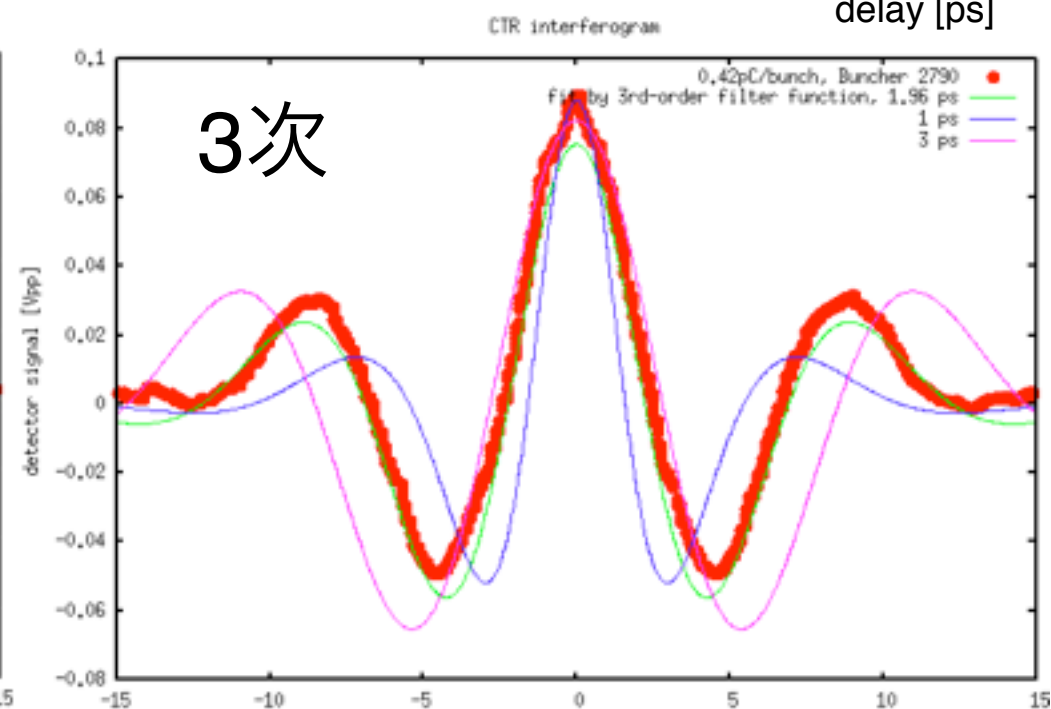
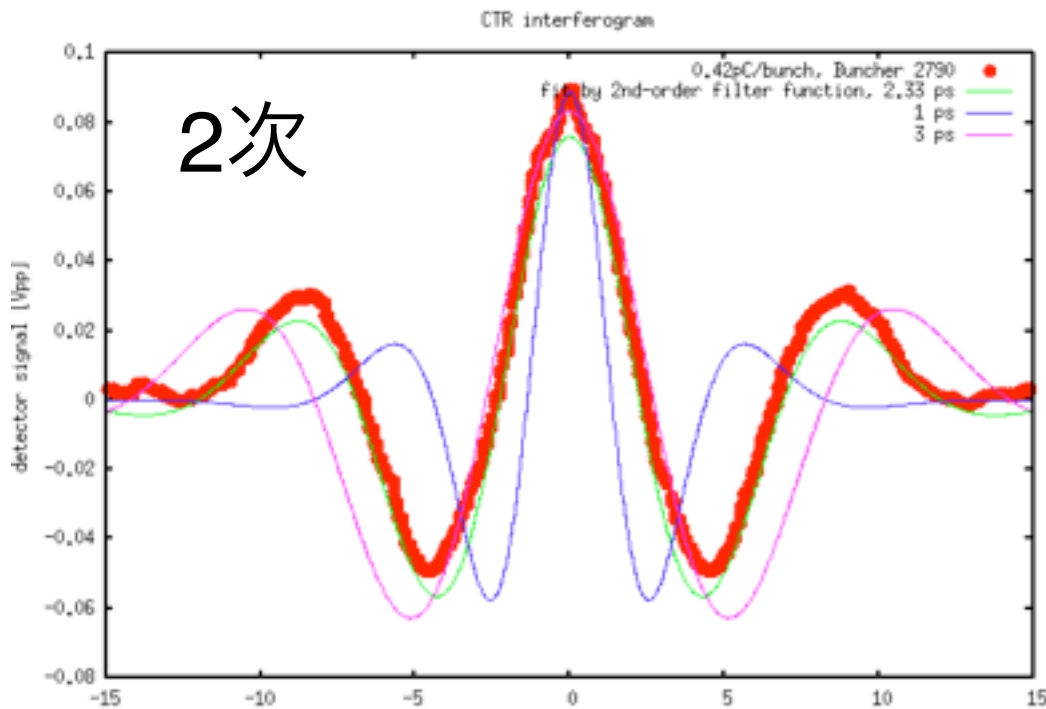
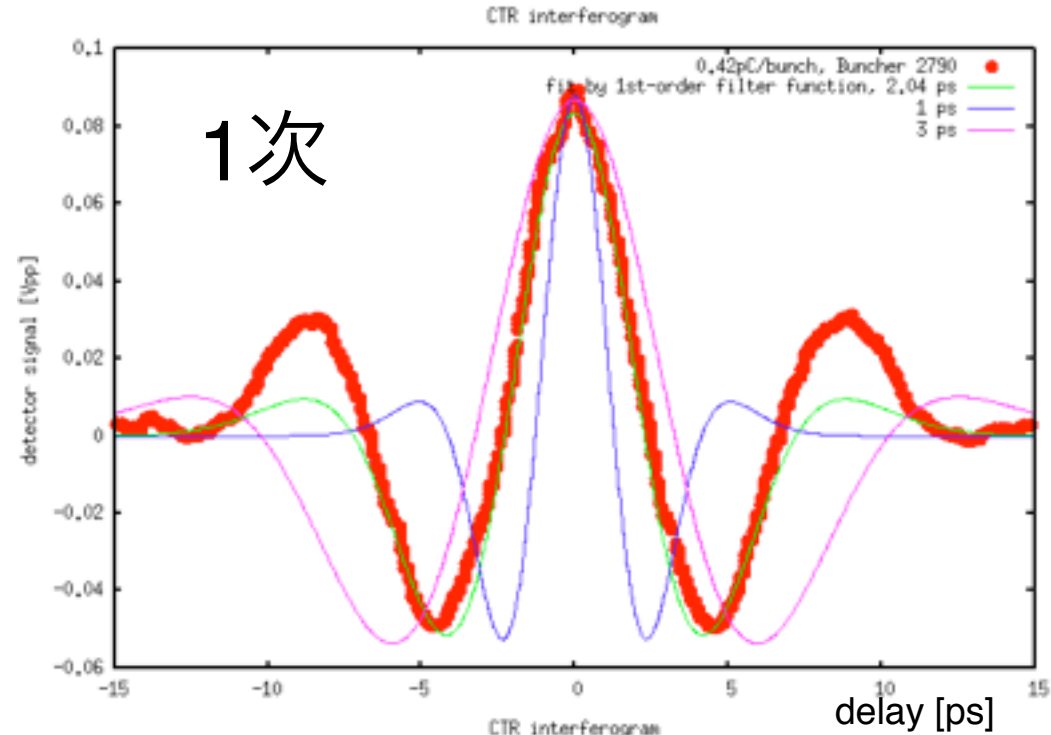
## 3次フィルタモデル

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{\sigma^2}} e^{-\frac{\tau^2}{4\sigma^2}} - \frac{6}{\sqrt{\sigma^2 + \xi^2}} e^{-\frac{\tau^2}{4(\sigma^2 + \xi^2)}} + \frac{15}{\sqrt{\sigma^2 + 2\xi^2}} e^{-\frac{\tau^2}{4(\sigma^2 + 2\xi^2)}} \\ - \frac{20}{\sqrt{\sigma^2 + 3\xi^2}} e^{-\frac{\tau^2}{4(\sigma^2 + 3\xi^2)}} + \frac{15}{\sqrt{\sigma^2 + 4\xi^2}} e^{-\frac{\tau^2}{4(\sigma^2 + 4\xi^2)}} \\ - \frac{6}{\sqrt{\sigma^2 + 5\xi^2}} e^{-\frac{\tau^2}{4(\sigma^2 + 5\xi^2)}} + \frac{1}{\sqrt{\sigma^2 + 6\xi^2}} e^{-\frac{\tau^2}{4(\sigma^2 + 6\xi^2)}} \end{aligned}$$



# 解析

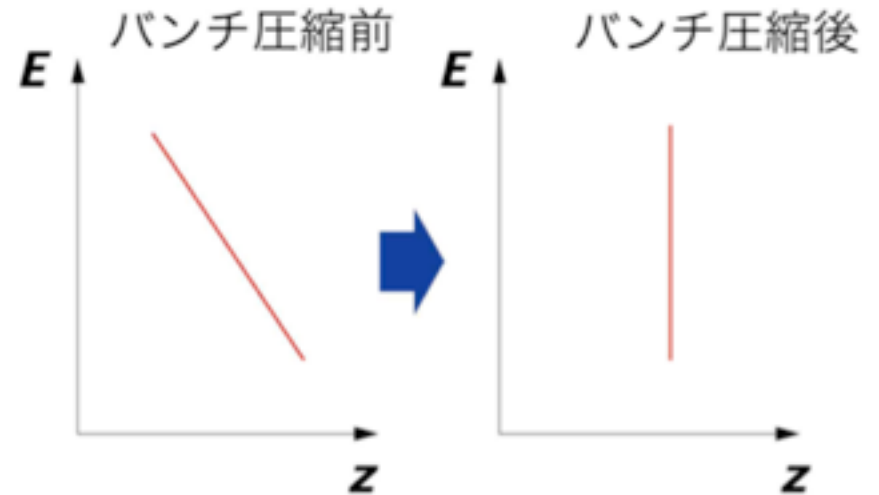
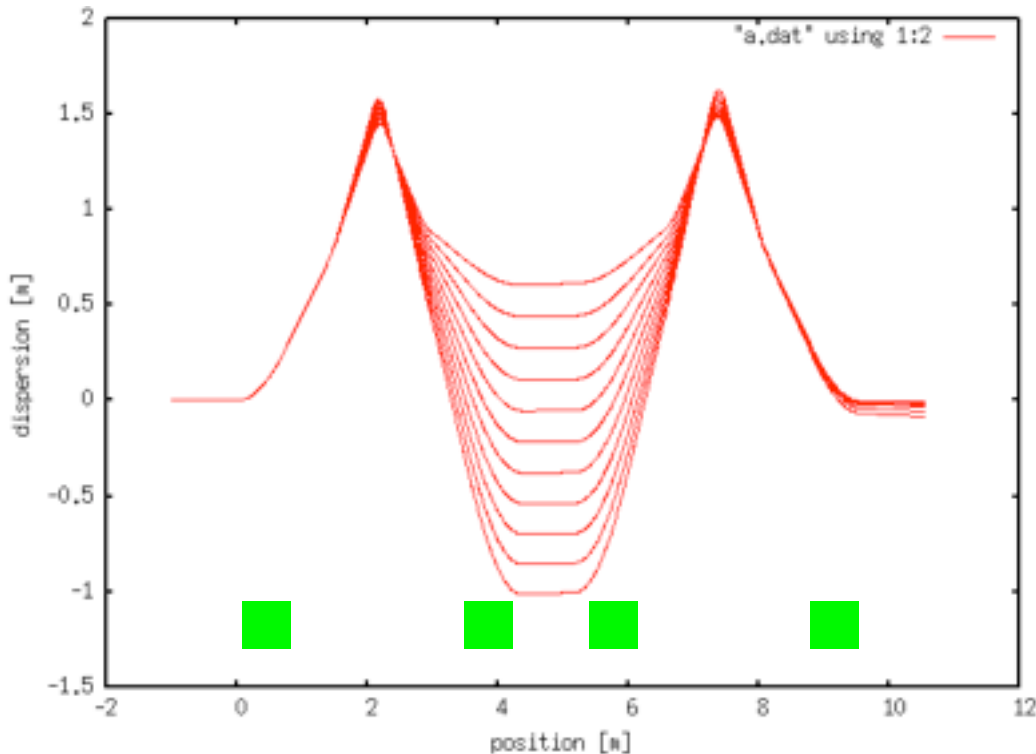
- $600\mu\text{A}$  ( $0.42\text{pC/bunch}$ )、通常のバンチャー電圧
- フィット関数に依存するRMSバンチ長の結果
  - 1次フィルタ関数：2.04 ps
  - 2次フィルタ関数：2.33 ps
  - 3次フィルタ関数：1.96 ps
- どの関数形でも2ps程度、1ps or 3psにはならない。



バンチ圧縮

# アーク部バンチ圧縮の原理

- 原理：主空洞ML2をオフレストにしてエネルギーチャープを作り、アーク部分散で位相空間がシフトする。
- 第一アークの分散を調整して、有限な長手方向の分散R56をつくる。
  - アーク部の6個のQ-magをきまった比率で動かして、
    - 出口では横方向の分散をゼロに保ちながら
    - R56を自由に調整する。
  - R56の指標はアーク頂点の分散値



$$\Delta z = R_{56} \frac{\Delta E}{E_0}$$
$$R_{56} = \int \frac{\eta(s)}{\rho} ds$$

# R56調整パネル

- クリックすると、R56を自由に調整できるツールを準備
- 頂点の分散が変わるのが確認できる。

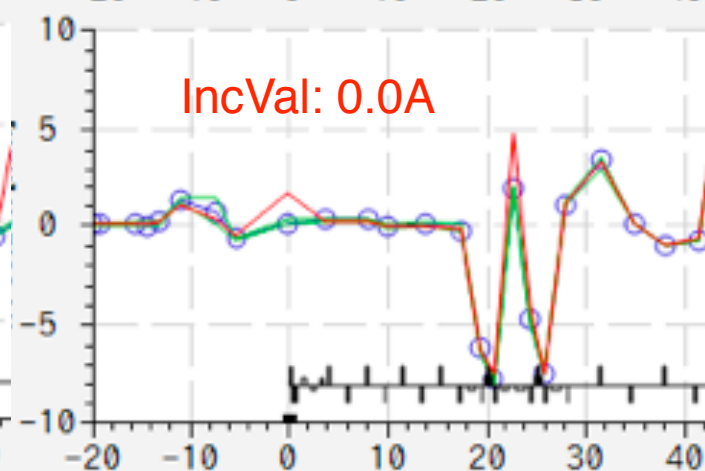
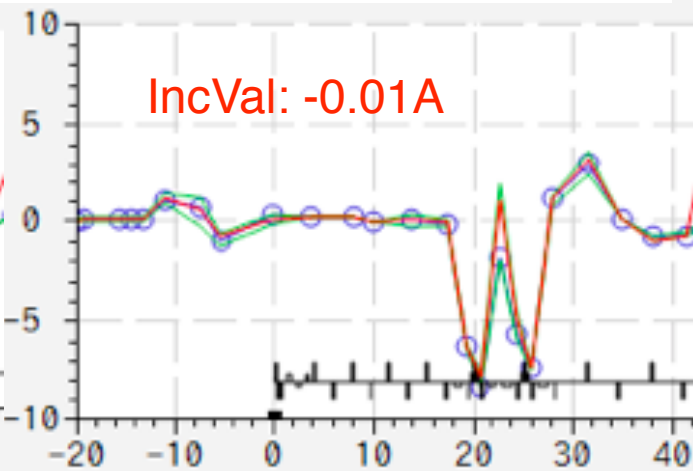
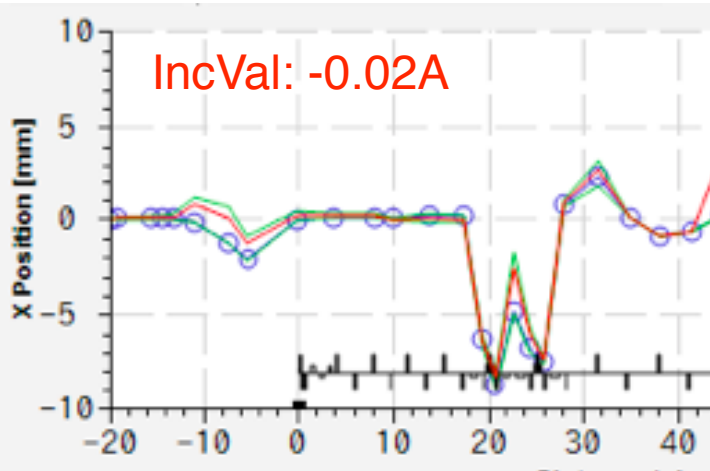
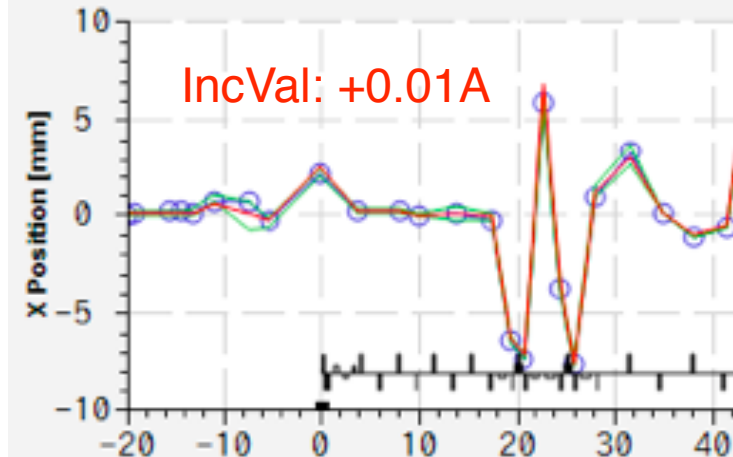
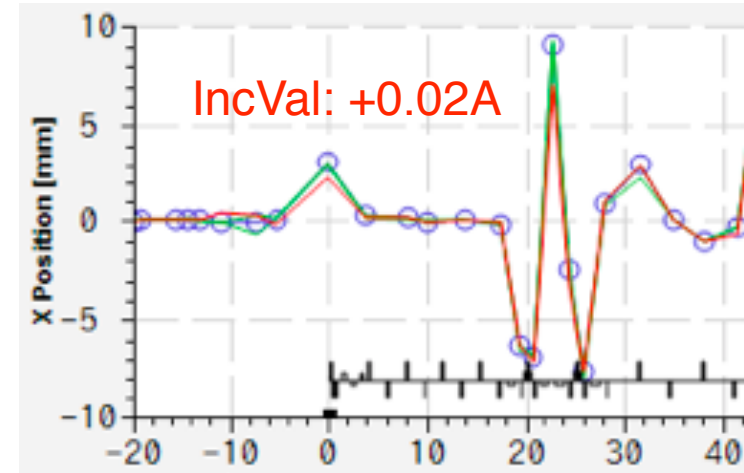
Longitudinal Dispersion Control

QMI02-05(I) QMI02-05(I)

$\Delta$  R56[m] 0.700

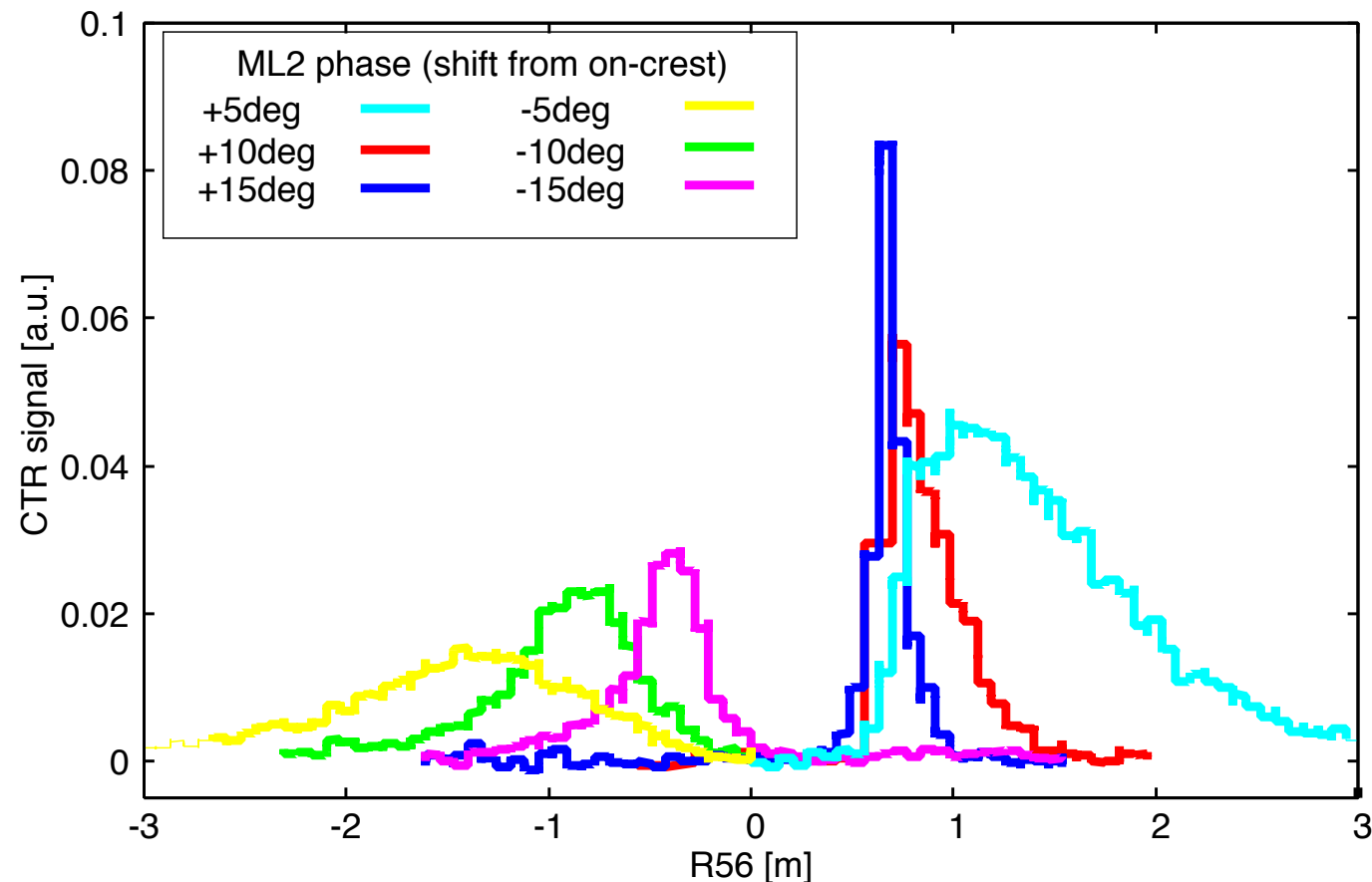
IncVal[A] -0.01 0.01 Reset

Name	Ratio	Base	Delta	I[A]
QMI01	0.5	-0.113	-0.005	-0.118 A
QMI02	4	0.554	-0.04	0.513 A
QMI03	3	-0.135	-0.03	-0.166 A
QMI04	3	-0.135	-0.03	-0.164 A
QMI05	4	0.554	-0.04	0.513 A
QMI06	0.5	-0.113	-0.005	-0.118 A



# バンチ圧縮

- CTRをSBD140~220GHzで検出。
  - 干渉計での片腕を遮蔽して、単に強度検出 (バンチが短くなると、信号が増えるはず。)
- ビーム条件：1.8pC/bunch, 162.5MHz, 1us-burst
- バンチ圧縮調整
  - ML2を通常の位相から少しシフト
  - 位相がずれた分、エネルギーが下がるが、それを振幅を上げて補償
  - CTR信号の強度を見ながら、R56を調整する
- 結果、それっぽい応答を確認した。



# まとめ

- テラヘルツ光源の準備として、バンチ長モニタの立ち上げを行って来た。
- (短バンチになるとLCSSのルミノシティを上げることができるというこじつけ)
- いかんせん、時間がほとんどとれていない
  - 10分とか、1時間とか、の空き時間を狙って飛び込み