

# X線自由電子レーザー施設SACLAにおける 高強度レーザーを用いた真空回折の探索II

清野結大, 山崎高幸<sup>A</sup>, 稲田聡明<sup>A</sup>, 難波俊雄<sup>A</sup>, 浅井祥仁,  
藪内俊毅<sup>B</sup>, 富樫格<sup>BC</sup>, 犬伏雄一<sup>BC</sup>, 大和田成起<sup>B</sup>,  
玉作賢治<sup>B</sup>, 矢橋牧名<sup>BC</sup>, 石川哲也<sup>B</sup>

東大理, 東大素セ<sup>A</sup>, 理研/SPring-8<sup>B</sup>, JASRI<sup>C</sup>

2017/03/18



# SACLAでの1st step実験

## 一つ前のトーク (山崎 18aK33-12)

- ・ 真空回折実験概要
- ・ 実験セットアップ

## このトーク

SACLAにて行った1st stepの真空回折実験について

- ・ ビームタイム  
2016/11 2.5日間
- ・ 各種パラメータ  
Probe XFEL : 9.8 keV  
Pumpレーザー : 2.5 TW & 10  $\mu\text{m}$ 集光
- ・ 目的
  - ✓ アライメント技術の確認
  - ✓ 課題の洗い出し
  - △ 本測定



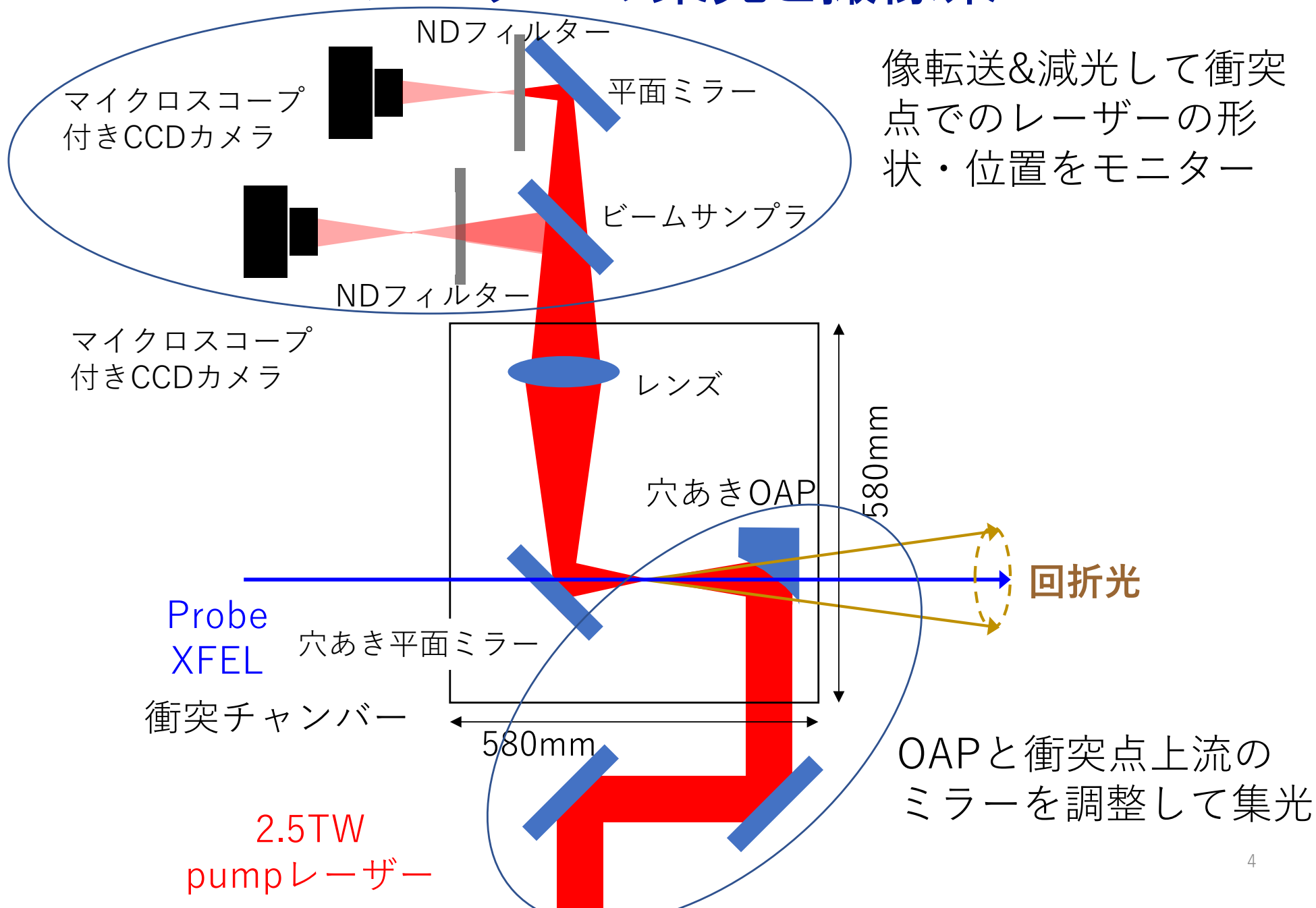
# 真空回折実験のポイント

- ・ シグナルを十分に得るために必要な要素
  - pumpレーザーの集光
  - 時間的な位置合わせ(ゼロ点、ふらつき)
  - 空間的な位置合わせ(ゼロ点、ふらつき)
- ・ バックグラウンドの抑制  
5×10<sup>11</sup> photons/pulseのprobeビームに由来。  
これをスリットでどこまで抑制できるか

1st step実験では、現在利用出来る**2.5 TWレーザー**を用い  
**必要な技術・精度**を確認し、**初の真空回折探索**を目指す

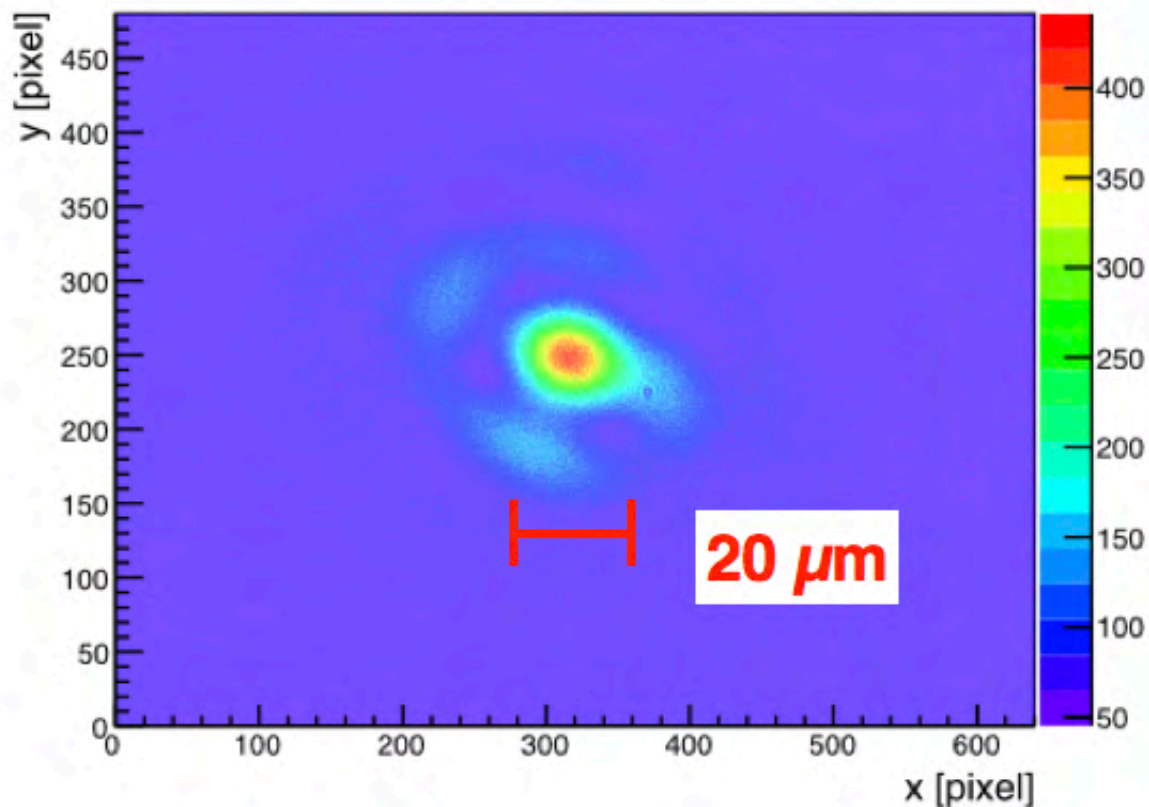
<b>目標値</b>	レーザー パルスエネルギー	レーザー 集光サイズ	空間 精度	時間 精度	BG抑制率
1st step(今回)	0.1 J	10 μm	10 μm	3 ps	10 <sup>-16</sup>
Final goal	12.5 J	1 μm	1 μm	0.3 ps	10 <sup>-16</sup>

# レーザーの集光と撮像系



# Pumpレーザーの集光

CCDカメラによる  
pumpレーザーの集光像



ビームサイズ( $2\sigma$ )

縦 :  $10\ \mu\text{m}$

横 :  $12\ \mu\text{m}$

→ 1st stepの  
目標サイズ( $10\ \mu\text{m}$ )達成

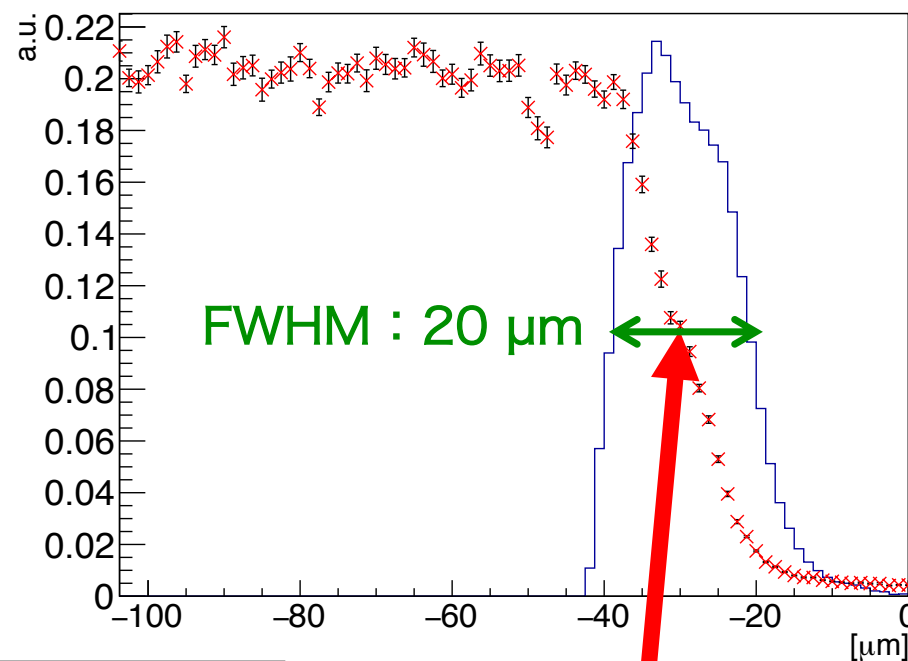
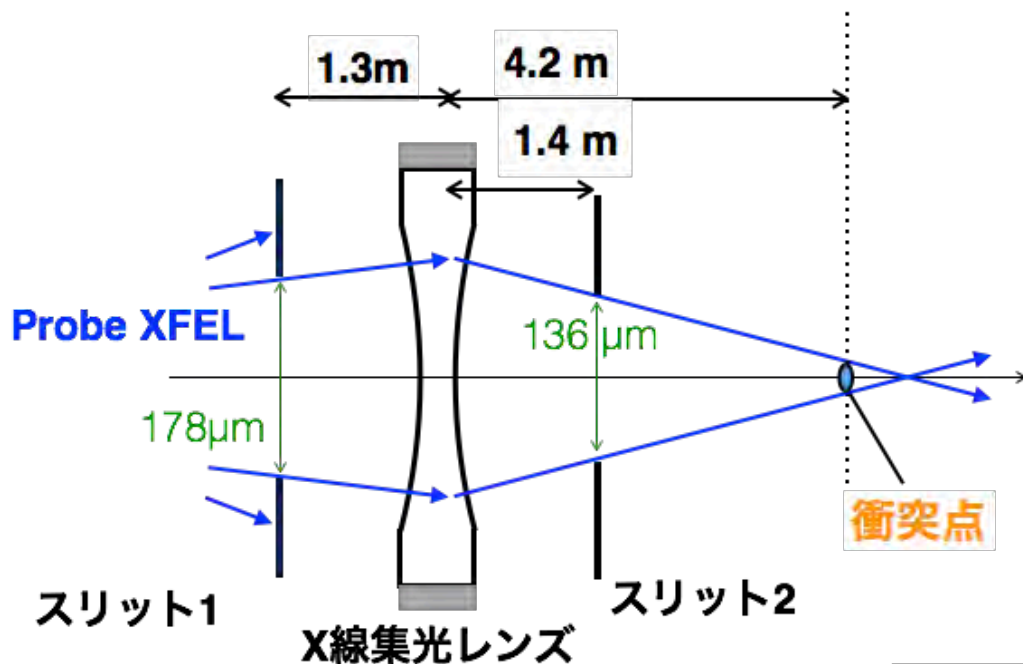
Probe XFELはpumpレーザー  
サイズの倍 $20\ \mu\text{m}$ 程度に調整  
(next slide)

# Probe XFELサイズ

- 垂直方向にスリットを設置  
(垂直方向の角度発散を抑える)
- 衝突点での垂直方向サイズを  
20  $\mu\text{m}$ に合わせる

## Probe XFELのワイヤースキャン結果 (垂直方向)

ワイヤースキャン  
ワイヤースキャンの微分



FWHM  
垂直方向 : 20  $\mu\text{m}$   
水平方向 : 45  $\mu\text{m}$

レーザー(10  $\mu\text{m}$ )の倍  
程度に設定出来ている

# Probe XFELとpumpレーザーの時間合わせと精度

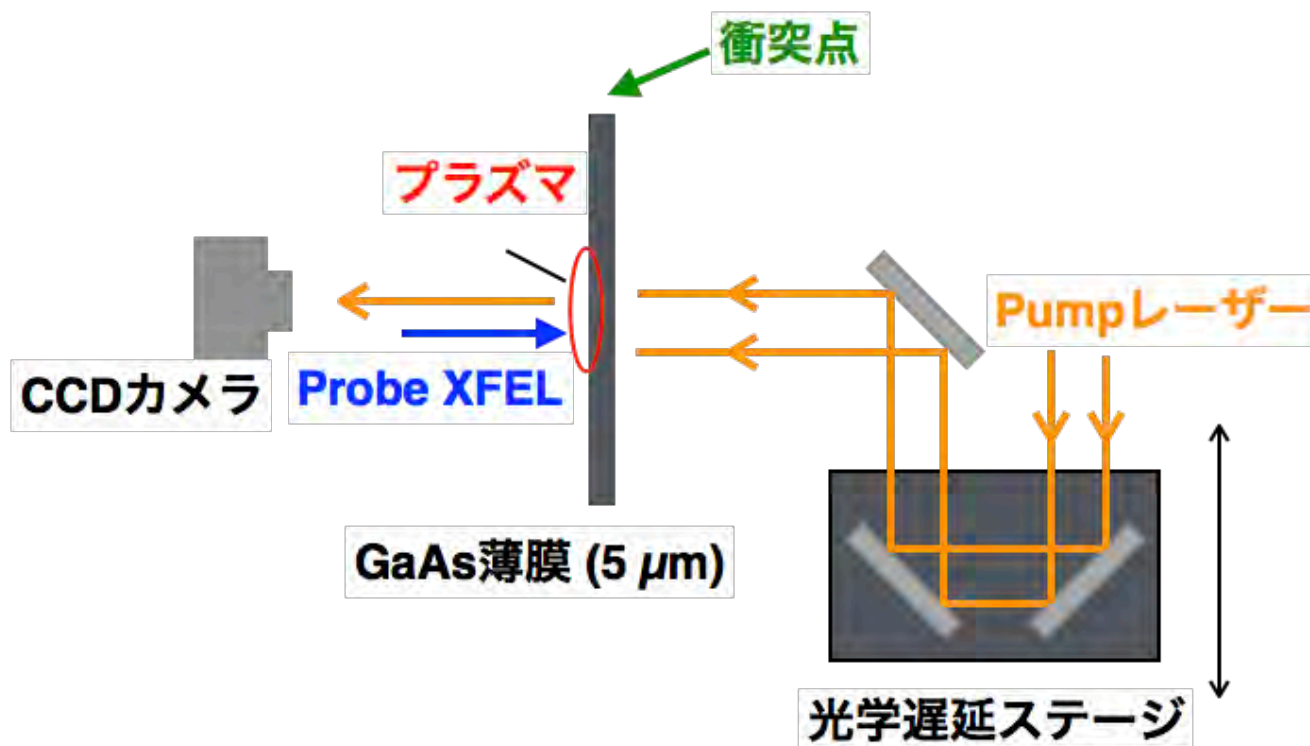
## 時間合わせ方法

衝突点にGaAs薄膜を設置し、probe XFELとpumpレーザーを照射するレーザーの透過率をCCDカメラでモニターしながら、レーザーに光学遅延をかける

Probe XFELを照射

→GaAs原子がプラズマ化( $\sim ps$ )

→レーザー光はプラズマを透過できないので、レーザー透過率が減少



# Probe XFELとpumpレーザーの時間合わせと精度

## 時間合わせ方法

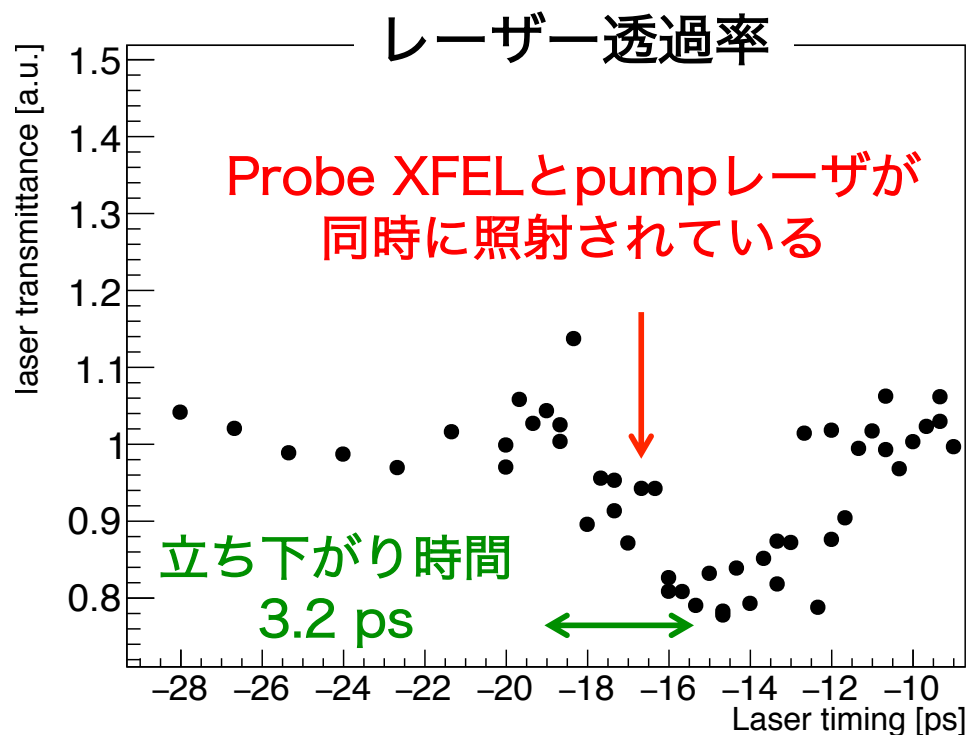
衝突点にGaAs薄膜を設置し、probe XFELとpumpレーザーを照射するレーザーの透過率をCCDカメラでモニターしながら、レーザーに光学遅延をかける

Probe XFELを照射

→GaAs原子がプラズマ化(~ps)

→レーザー光はプラズマを透過できないので、レーザー透過率が減少

時間合わせの要求精度：±3 ps  
不定性：±1.6 ps  
→1st stepの目標精度達成





# Probe XFELとpumpレーザーの位置合わせと精度

## 位置合わせ方法

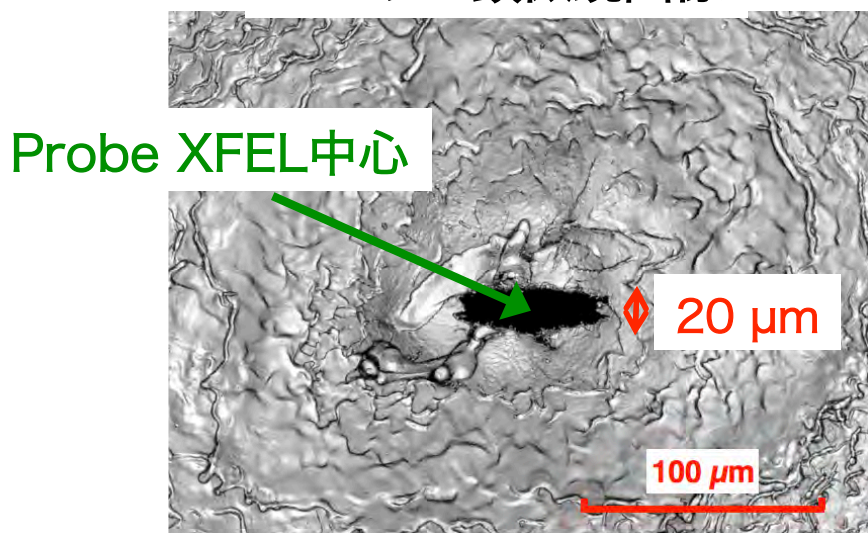
衝突点に設置した亜鉛薄膜(20  $\mu\text{m}$ 厚)にXFELとレーザーを照射し  
光学顕微鏡を用いて照射痕の位置を合わせる

ビームタイム後にレーザー顕微鏡で照射痕の相対距離を計測

Probe XFELの照射痕 : ビームサイズと同程度( $\sim 20 \mu\text{m}$ )の穴

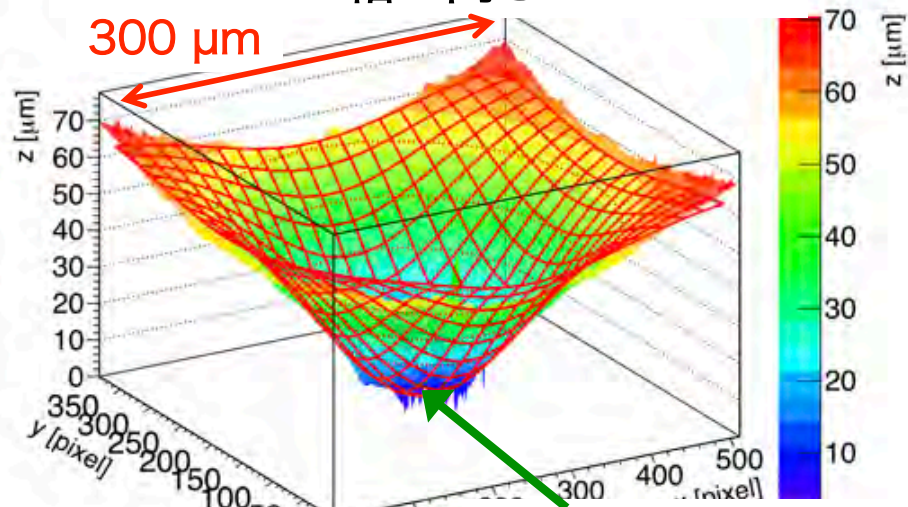
Pumpレーザーの照射痕 : 300  $\mu\text{m}$ 程度のくぼみ

レーザー顕微鏡画像



左図と同じレーザー顕微鏡画像

Z軸 : 高さ



# Probe XFELとpumpレーザーの位置合わせと精度

## 位置合わせ方法

衝突点に  
光学顕微鏡

ビームタイム  
Probe  
Pump

### 位置合わせ結果

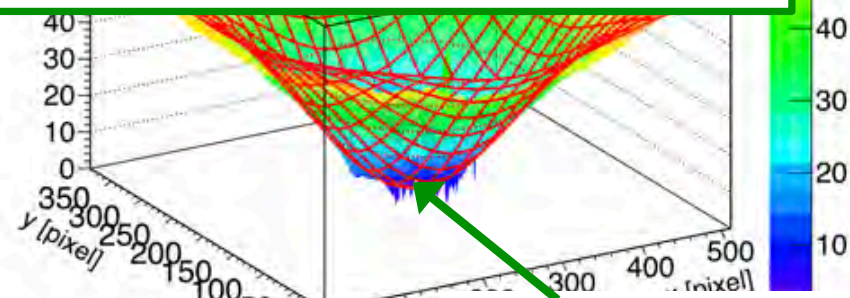
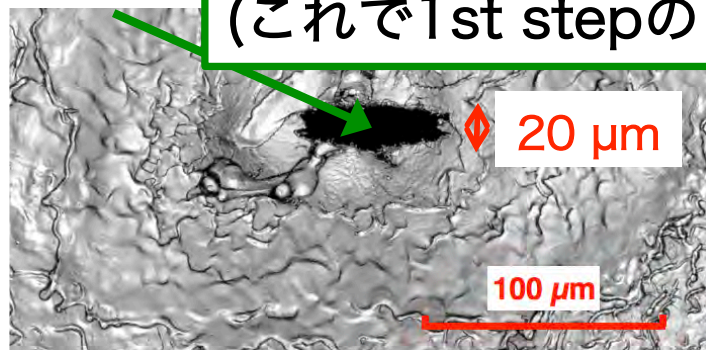
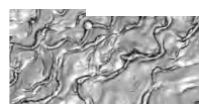
	縦	横
レーザーサイズ(2 $\sigma$ )	10 $\mu\text{m}$	12 $\mu\text{m}$
XFELサイズ	20 $\mu\text{m}$	40 $\mu\text{m}$
XFELとレーザーの 相対距離	12 $\pm$ 4 $\mu\text{m}$	4 $\pm$ 2 $\mu\text{m}$

→レーザーとXFELは半分程度重なっている

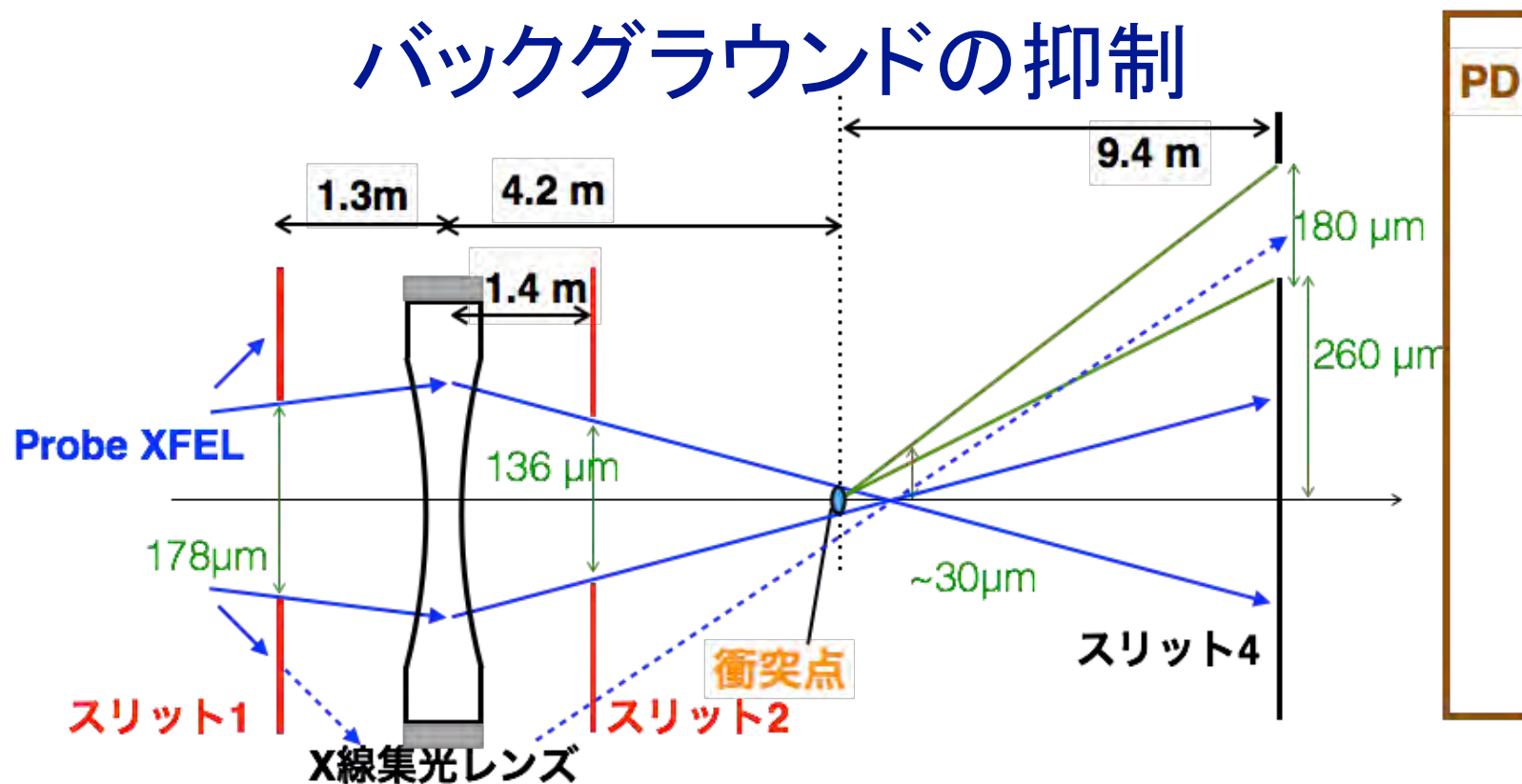
※次回以降はビームタイム中にレーザー顕微鏡を使用して位置合わせを行う予定

(これで1st stepの目標精度10  $\mu\text{m}$ を達成)

Probe XFEL中



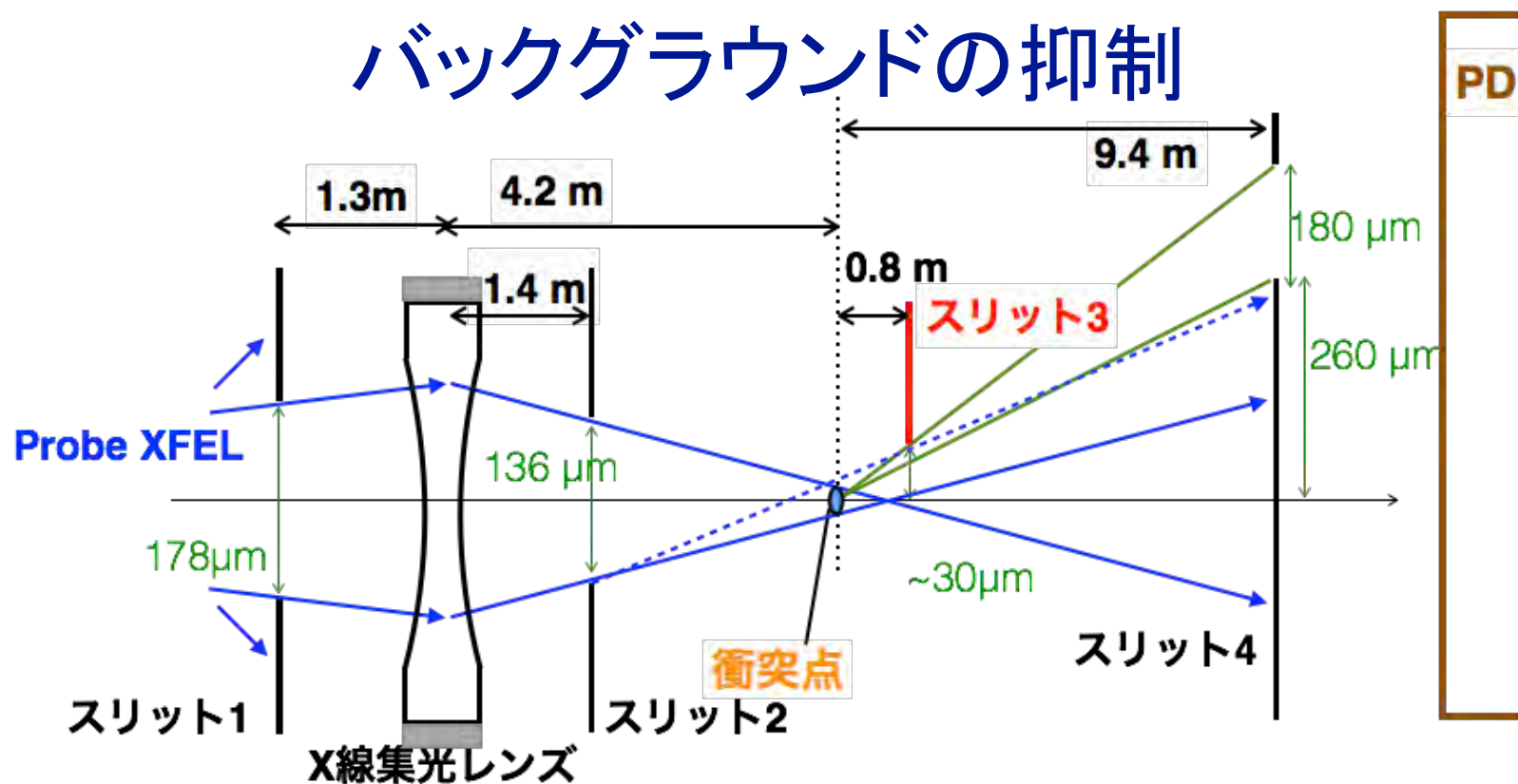
# バックグラウンドの抑制



BG抑制の作戦は2つ

1. スリット1,2でprobe XFELの角度発散を抑える
2. スリット3で散乱光の検出器へのパスを切る

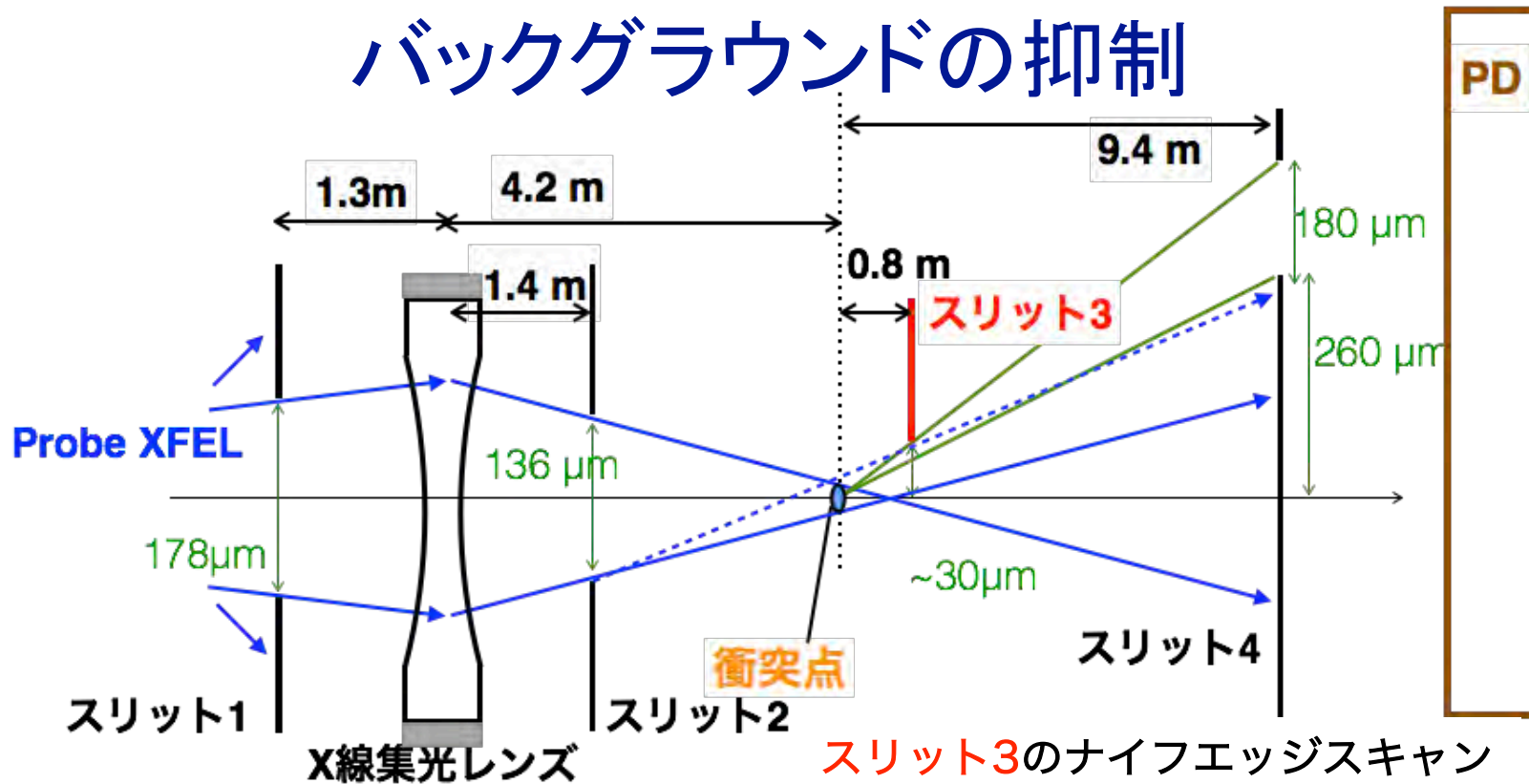
# バックグラウンドの抑制



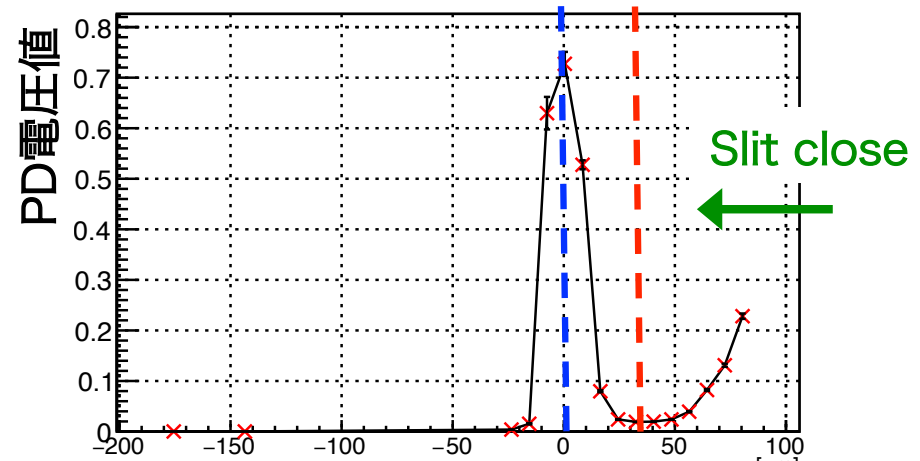
BG抑制の作戦は2つ

1. スリット1,2でprobe XFELの角度発散を抑える
2. スリット3で散乱光の検出器へのパスを切る

# バックグラウンドの抑制



スリット3のナイフエッジスキャン



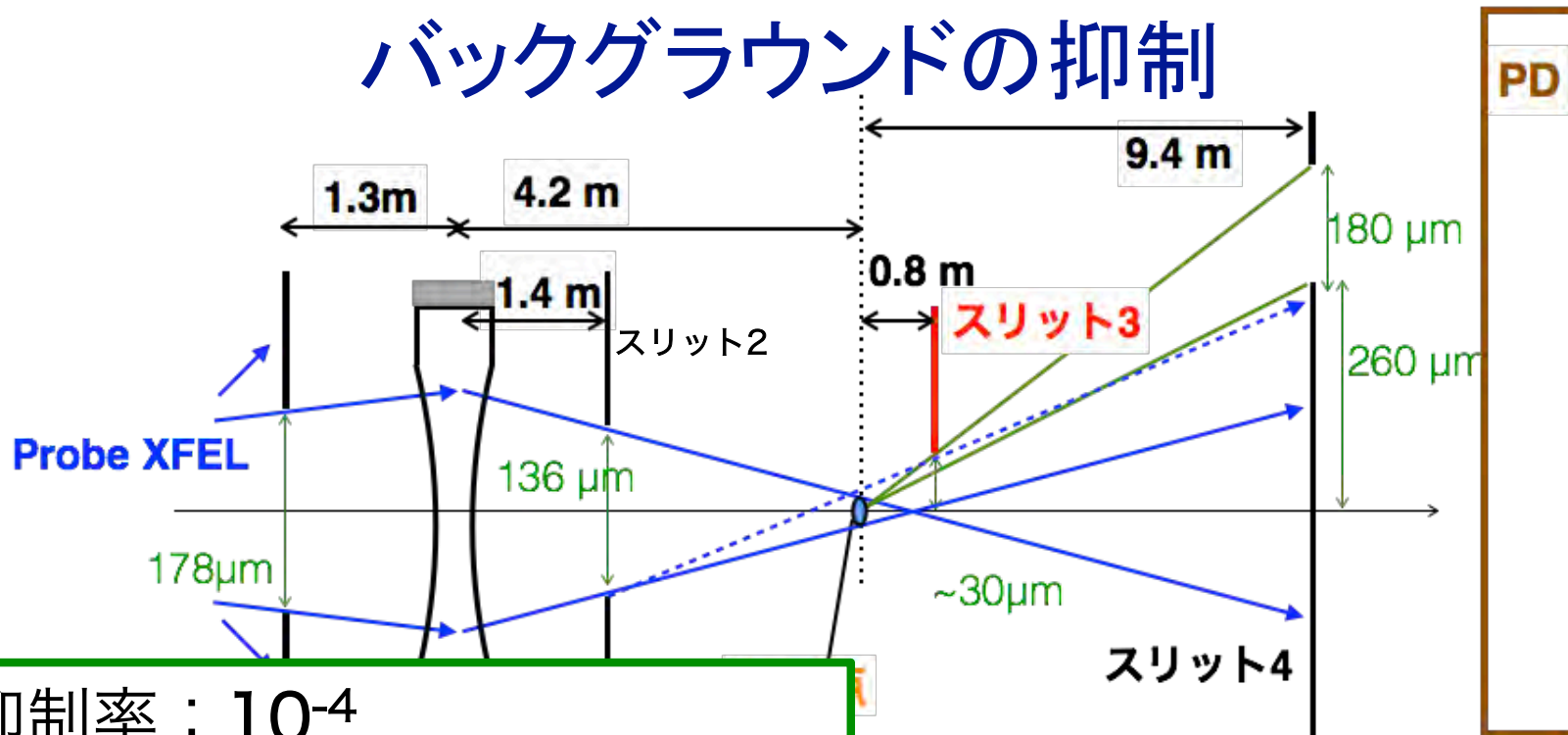
Probe XFEL光軸 上図のスリット位置

BG抑制の作戦は2つ

1. スリット1,2でprobe XFELの角度発散を抑える
2. スリット3で散乱光の検出器へのパスを切る



# バックグラウンドの抑制

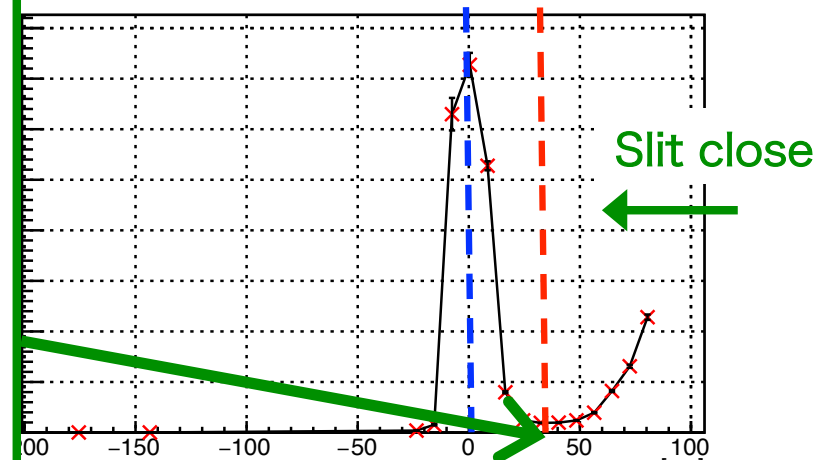


BG抑制率： $10^{-4}$

(目標： $10^{-16}$ )

- BGは $5 \times 10^{11}$  photons/pulseの生ビームに由来
  - スリット2より上流からの光の直線のパスはない(BGstudyで確認済)
  - スリット3付近に生ビームの2桁落ち程度のX線のフラックスあり  
→これがスリット3で散乱or回折したか
- BG源の理解
- BG源に応じたジオメトリの変更

スリット3のナイフエッジスキャン



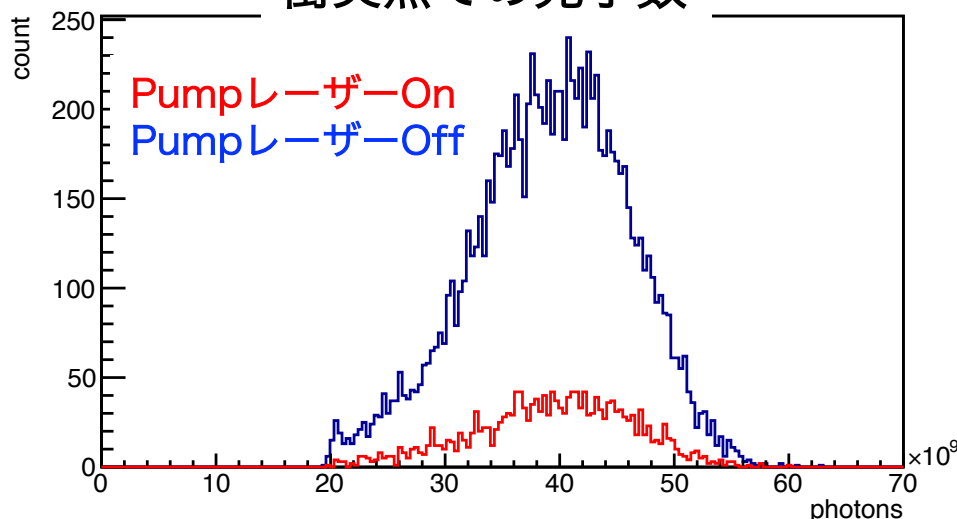
Probe XFEL光軸 上図の赤のスリット位置

# 本測定結果

10分間の本測定を行った

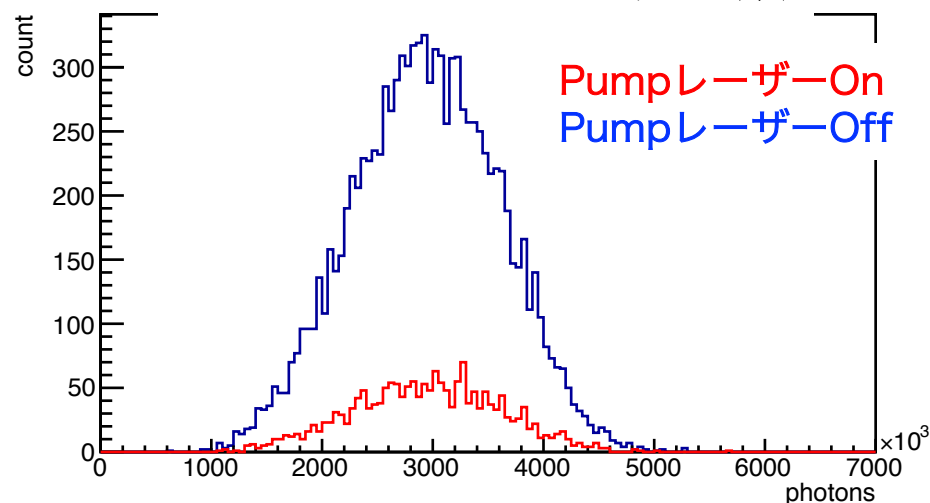
レーザー照射時、非照射時の光子数を比較してLimitを計算

衝突点での光子数



レーザー-On  $3.94 \times 10^{10}$  photons/pulse  
レーザー-Off  $3.91 \times 10^{10}$  photons/pulse

スリットを通過した光子数



レーザー-On  $2.942 \times 10^6$  photons/pulse  
レーザー-Off  $2.937 \times 10^6$  photons/pulse

## 感度

シグナル反応確率  $1.1 \times 10^{-22}$  photons/1 Xray

検出効率  $3.9 \times 10^{-20}$  photons/1 Signal photon

→最終的な感度

QED理論値より  $4 \times 10^{34}$  程度悪い感度

# 今後の予定

## 来年度

- ・ SPring-8でのBG study
  - BG源の特定
  - ジオメトリの変更でBG抑制率を $10^{-4} \rightarrow 10^{-12}$
- ・ 2.5 TWレーザー10  $\mu\text{m}$ 集光 & OBGでの1st step実験
  - 成功すると、真空回折を探索する初めての実験
  - 感度はQED理論値まで34桁 $\rightarrow$ 20桁下

## 再来年度以降

- ・ 500 TWレーザー1  $\mu\text{m}$ 集光での実験
  - 感度はQED理論値に到達
  - 真空回折現象の初観測



# まとめ

- 非一様な高強度電磁場中では、光が伝播する際に回折が起こることがQEDで予言されているが、未検証
- 本実験では高強度電磁場を500 TWレーザーで生成し、SACLAのXFELをprobeとして真空回折を観測する
- 時間・位置のアライメントは1st step実験の目標精度達成  
来年度中に1st step実験を行い、初の真空回折探索を行う予定
- 真空回折現象観測にはレーザーを1  $\mu\text{m}$ に集光し、それに応じて  
時間・位置のアライメント精度も向上させる必要がある
- 再来年度以降にSACLAの500 TWレーザーを用いて実験を行い、  
QEDで予言される真空回折の初観測を行う