

# 大強度陽子ビームのためのマルチスクリーンを用いた 高ダイナミックレンジ2次元ビームプロファイルモニター



KEK / J-PARC

橋本義徳, 三橋利行, 手島昌己, 外山 毅

三菱電機システムサービス

秋野英之, 大森雄基, 大津 聡

# 目次



- 動機
- コンセプト
- J-PARC 3-50 ビームトランスポートライン
- OTR : 3GeV Proton Beam (Low  $\gamma$ )
- 大口径光学系 と検出器
- OTRと蛍光を用いた複合測定
- ビームコアとビームハローの同時計測 (次期計画)
- まとめ

# - 動機



何を見たいのか？それはどのようなモニターか？そして何ができるか？

ビームハロー:ビームロスにより加速器の放射化をもたらす  
ビームコア~ビームハローまでの2次元分布



高ダイナミックレンジのビームプロファイルモニター



⇒ J-PARC MR の入射ビーム診断 = RCSビームの診断

⇒ ビームコリメーションの診断

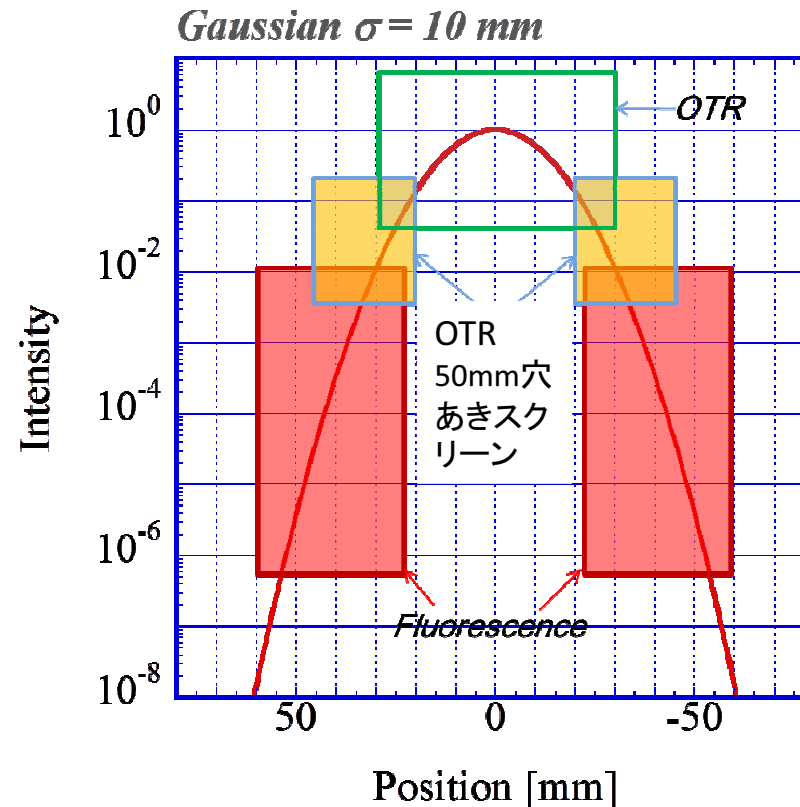
# - コンセプト (1)

## OTRと蛍光のコンビネーション計測:

ビームコアをマテリアルでのエネルギーロスの少ない10マイクロンチタンフォイルからのOTRで計測  
ビームハローをCrドープのアルミナスクリーンからの蛍光で測定



## 検出ゲインの最適化: イメージインテンシファイア



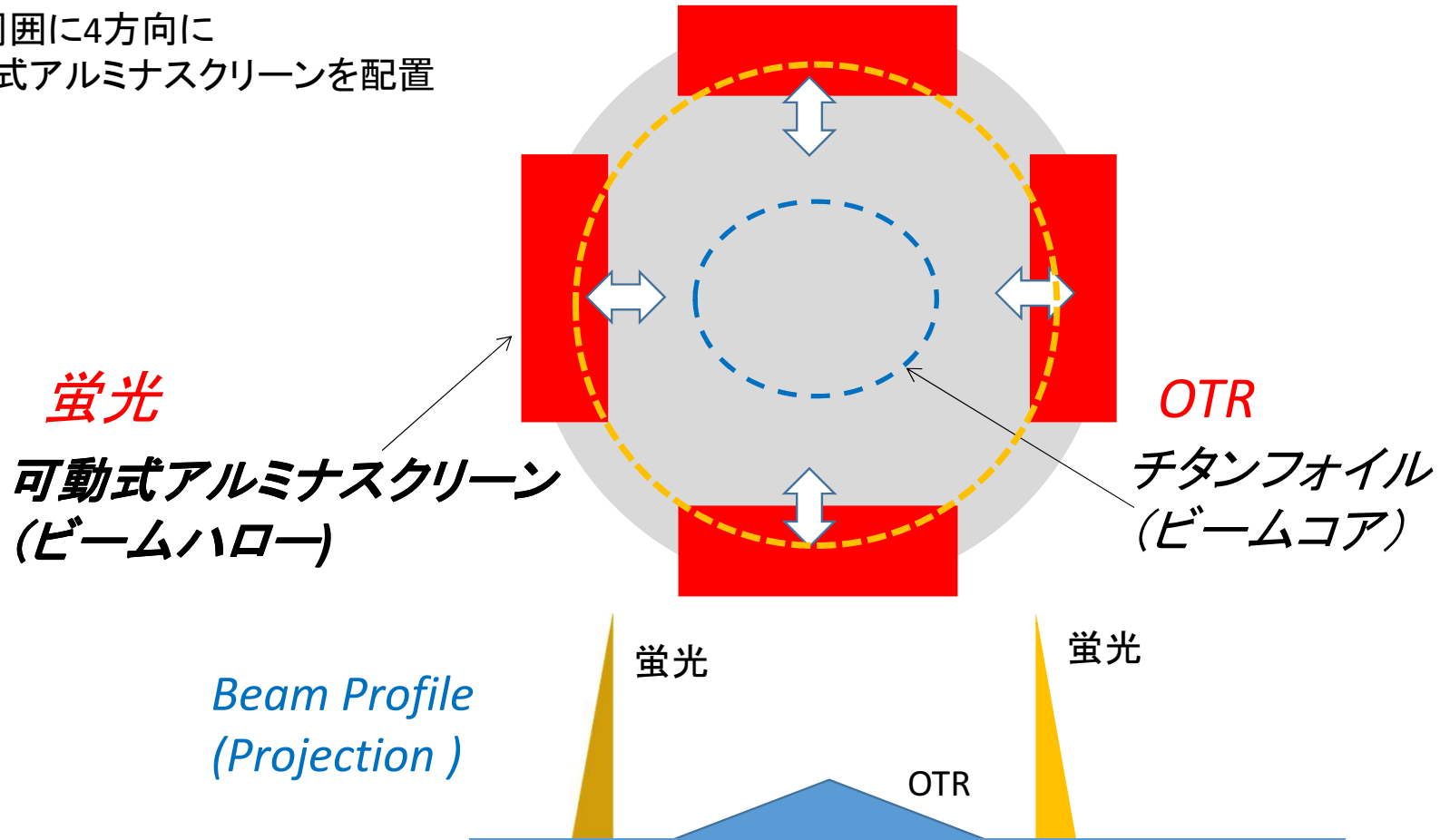
# - コンセプト (2)

OTRと蛍光(FL)のコンビネーション計測  
スクリーン

☆チタンフォイルスクリーン⇒OTR

☆ビームの周囲に4方向に  
可動式アルミナスクリーンを配置

\*ビームから見たターゲットの配置



# - コンセプト (3)

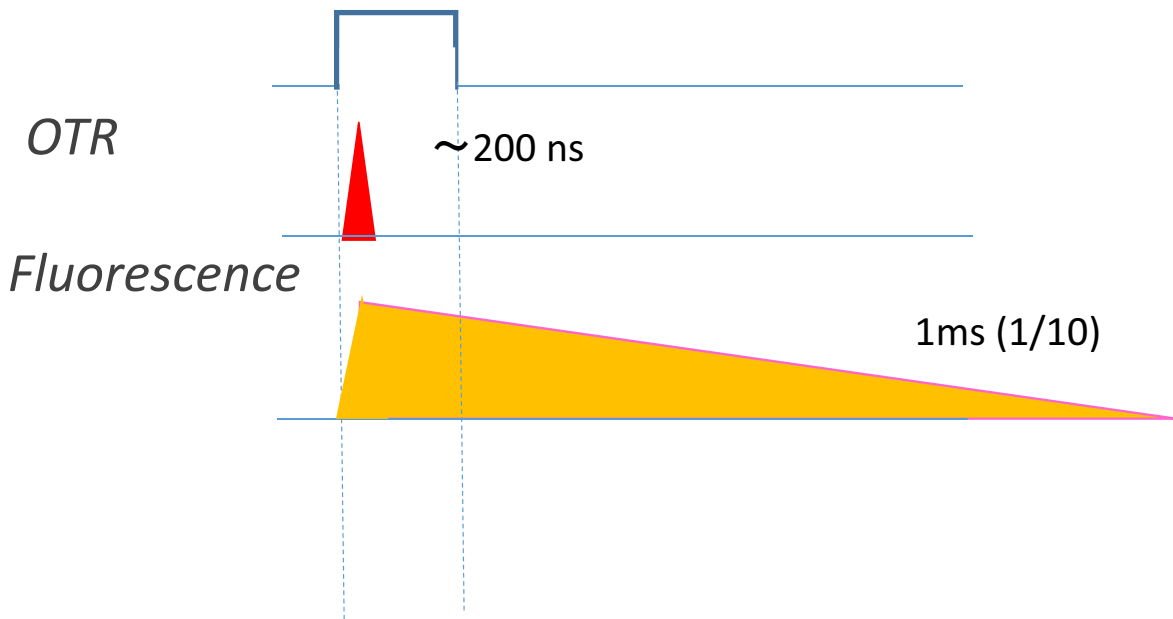
OTRと蛍光のコンビネーション計測

アルミナスクリーンからの光量調整

1ms の長い蛍光時間をもつ

⇒ II Gate を変えて光量を調整できる

## Exposure (I.I. Gate)

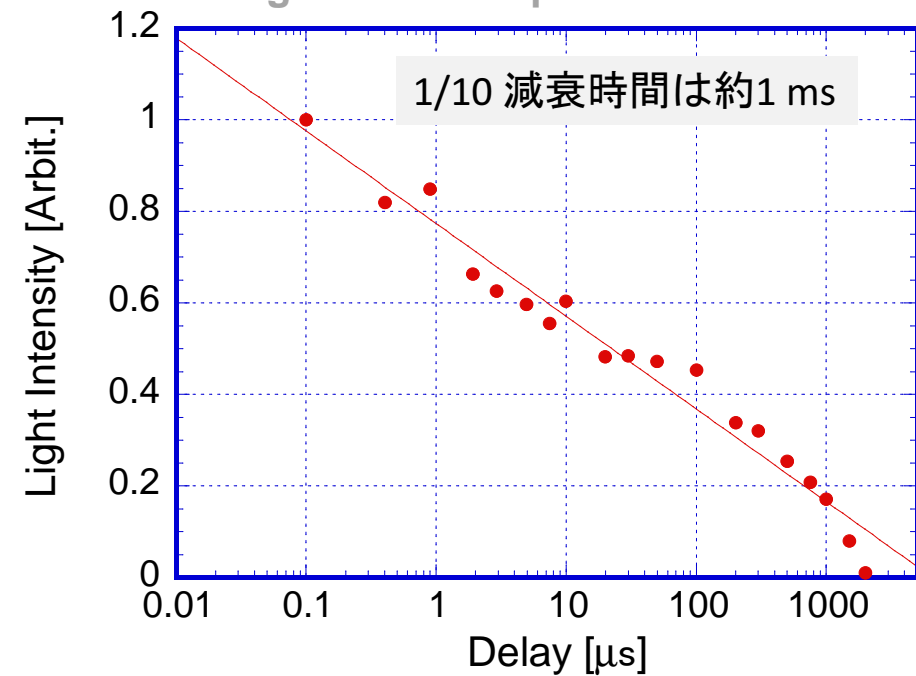


Crドーピングのアルミナスクリーンの蛍光時間

Beam: 3GeV Proton

$2.5 \times 10^{11}$ /bunch

## Afterglow of Cr doped Alumina



# - コンセプト (4)

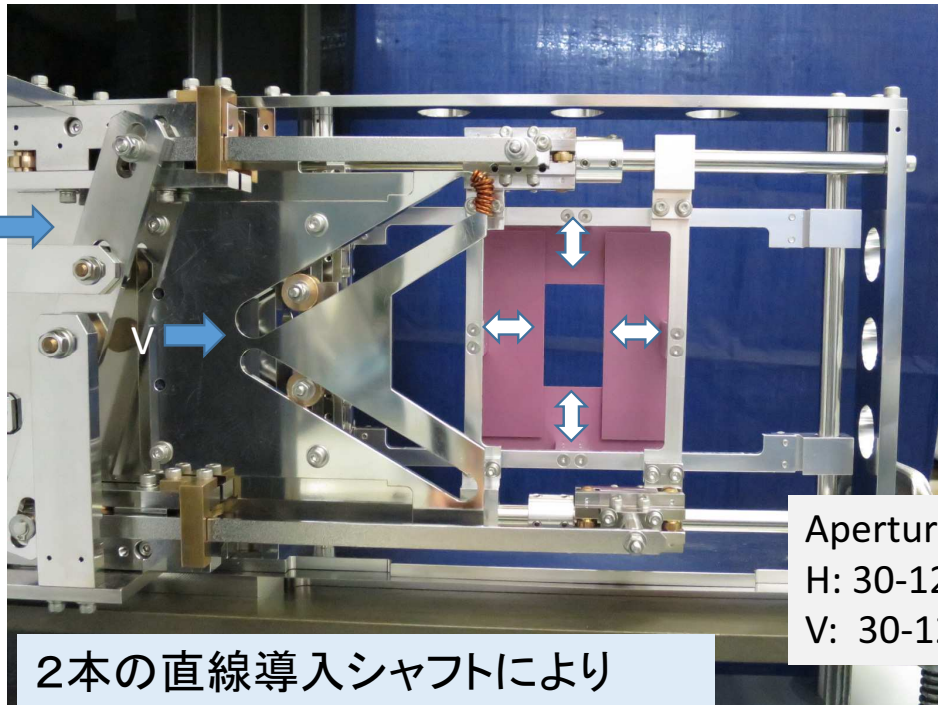
OTRと蛍光のコンビネーション計測

マルチスクリーンターゲット

⇒4方向可動式アルミナスクリーンの後方(13mm)に3連切り替え式スクリーンを挿入



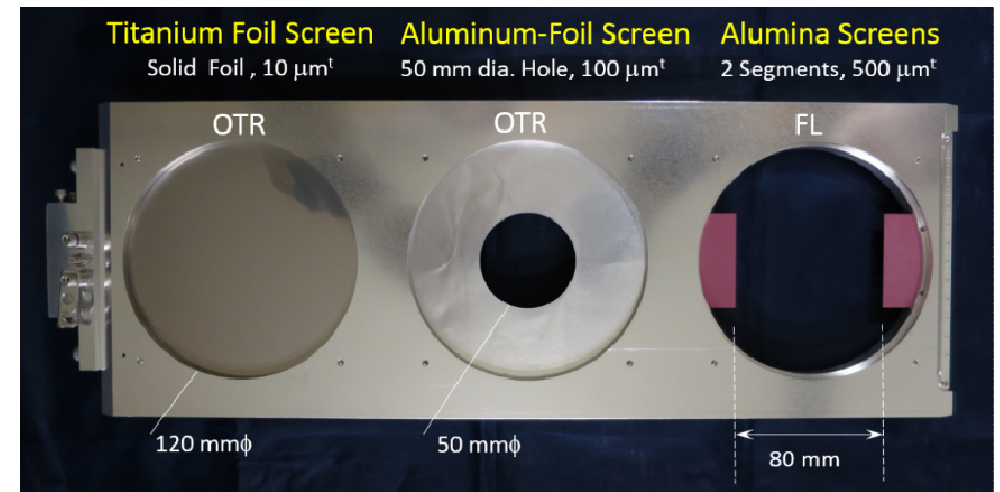
4方向可動式アルミナスクリーン



Aperture  
H: 30-125 mm  
V: 30-125 mm

2本の直線導入シャフトにより  
H, V のOpen/Close 動作をさせる.

3連切り替え式スクリーン

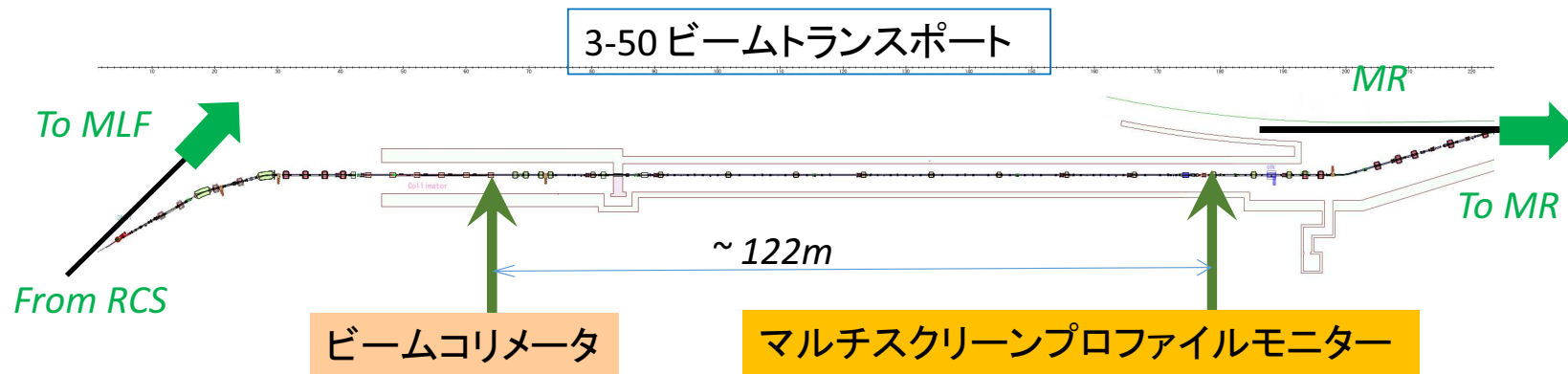
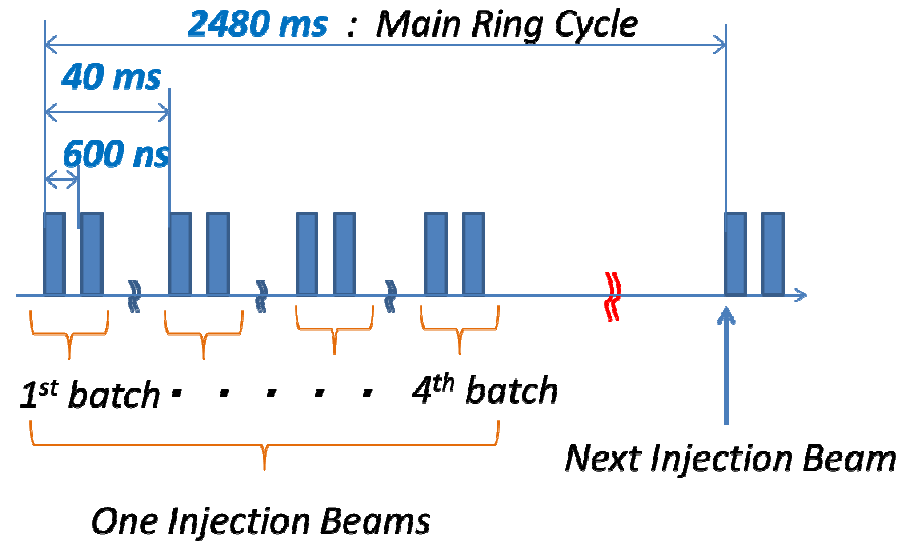


# - J-PARC and 3-50 ビームトランスポート



ビームエネルギー: 3 GeV  
ビーム強度:  $1.6 \times 10^{13}$  proton/bunch  
MR入射ビーム: 2 bunch  $\times$  4 batch

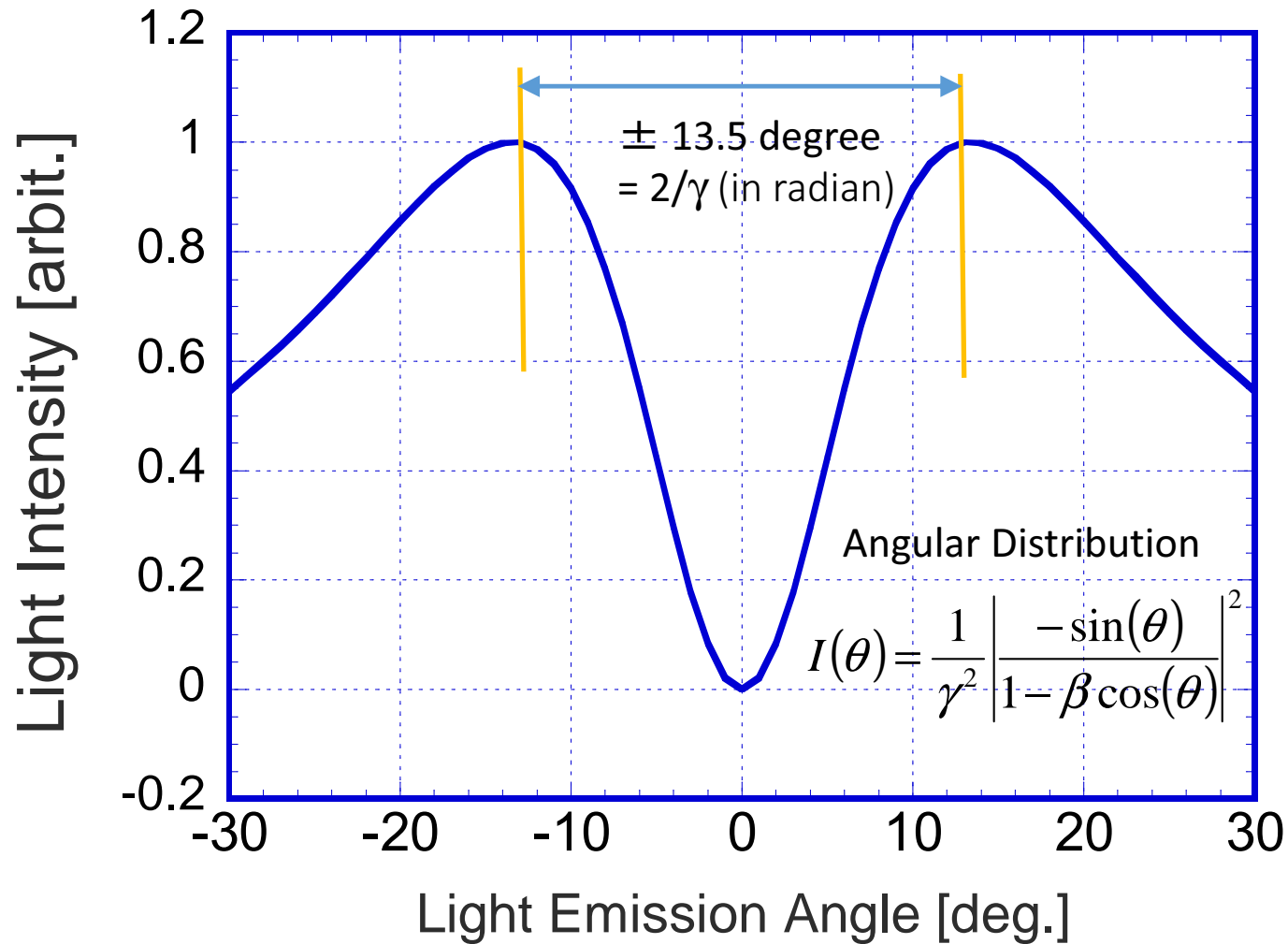
- シングルバンチ計測
- コリメータ: 122m 上流





# OTR : 3GeV Proton Beam (Low $\gamma$ )

- Low  $\gamma$  : 4.2 → 大きな角度広がり



\*  $\gamma=32$ @30GeVでは,  
 $2/\gamma \sim 3.6$  deg.

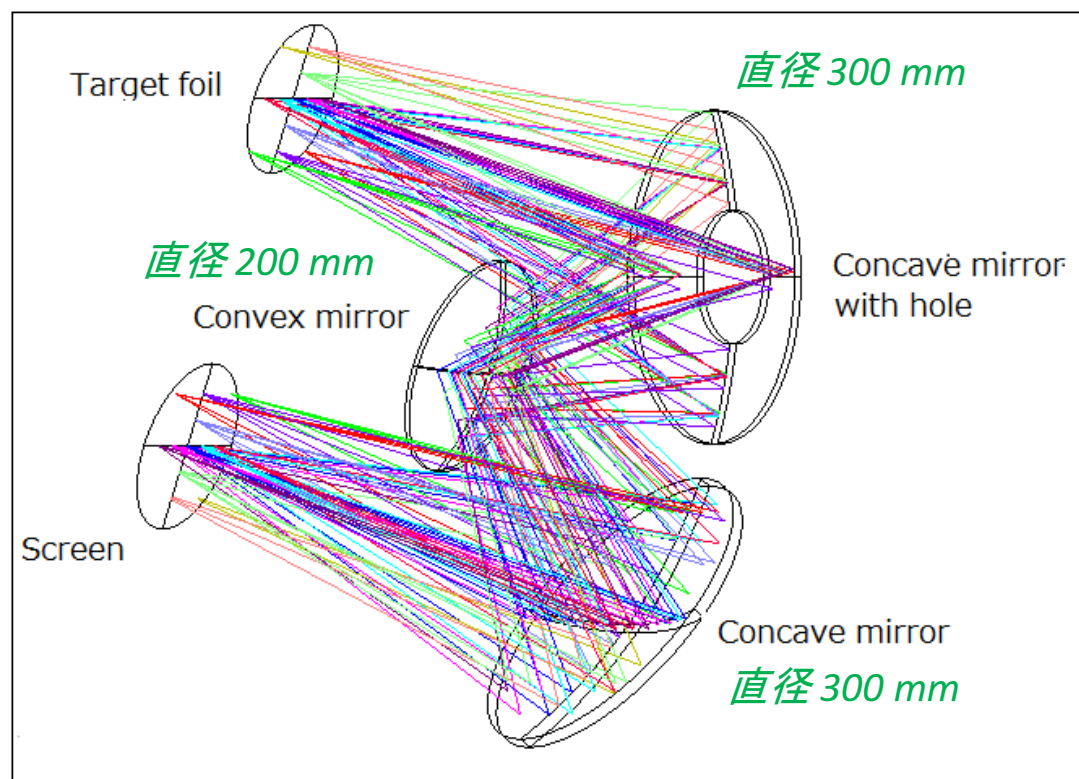
# 大口径光学系

- アクセプタンス ( $\pm 15$  deg.)
- 被写体領域 ( $100^H \times 80^V$  mm<sup>2</sup>)
- 真空中で使用するオフ軸光学系

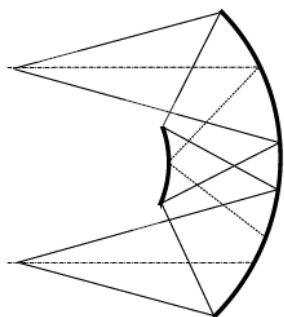
➡ オフナー光学系

\* 非点収差以外の収差は光学系が自動補正

## 主鏡を2分割



## オフナーリレー光学系 (オリジナル)



# 大口径光学系

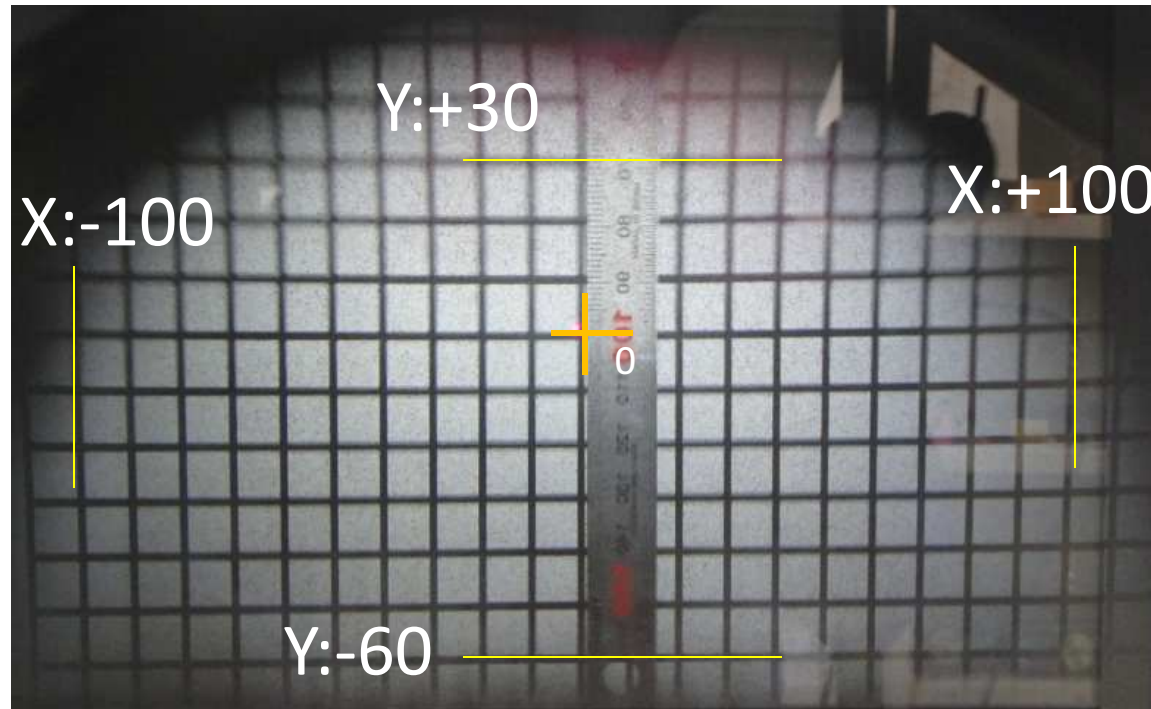
## 被写体領域

水平: 200 mm

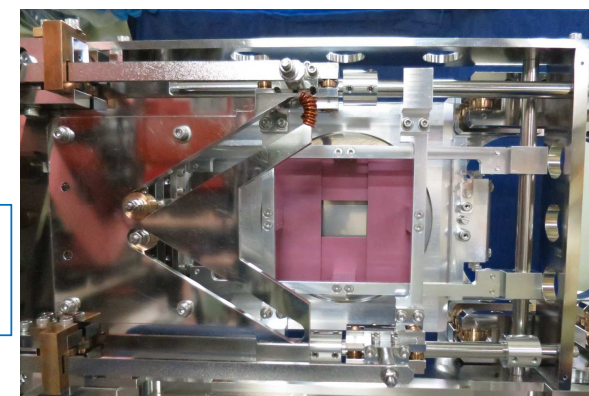
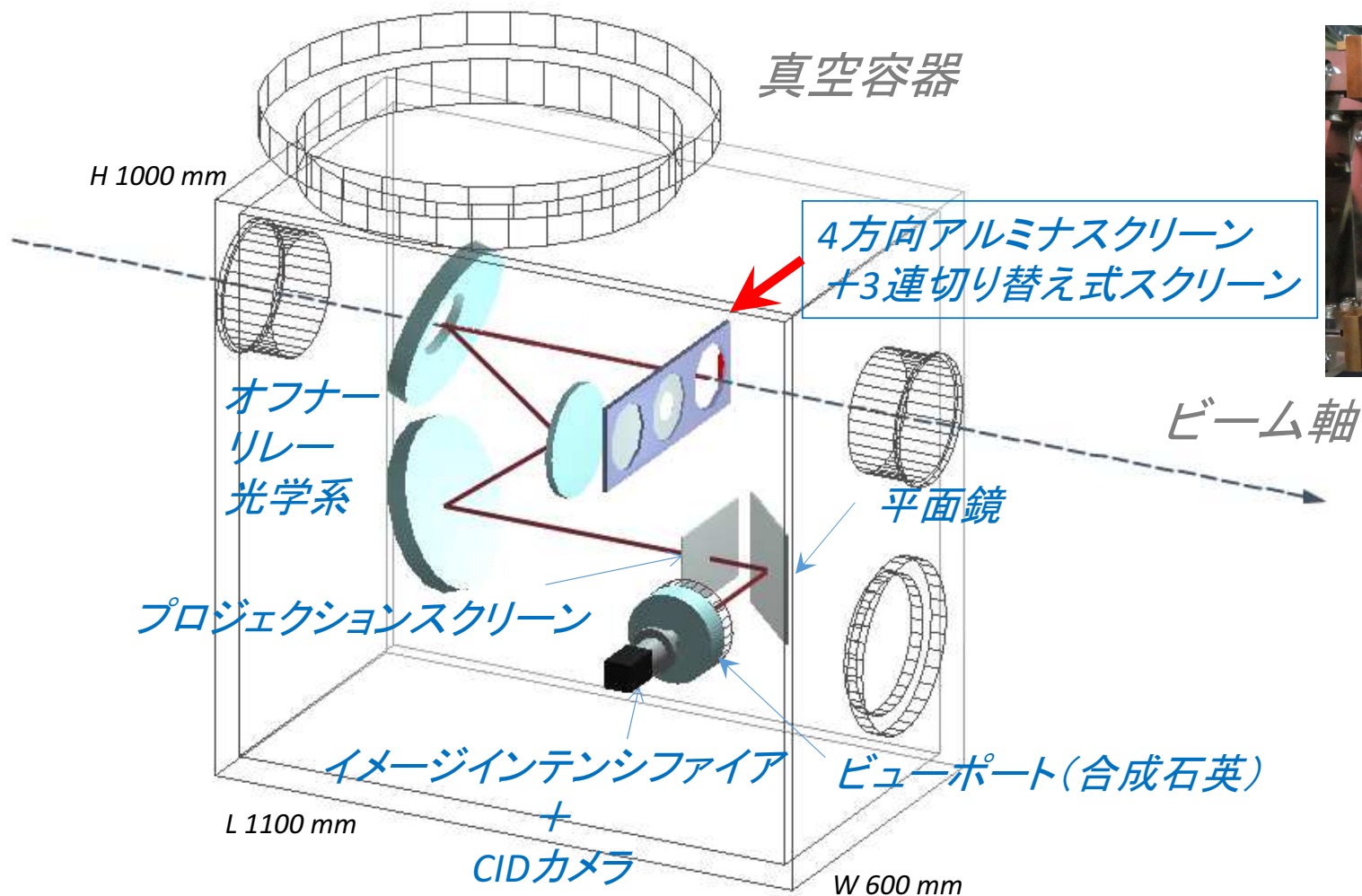
垂直: 90 mm



## グリッドパターンテスト



# 大口径光学系



# OTRと蛍光による複合測定



- 総合したビームプロファイルを得るためには、次の2つの比を用いた.

イメージインテンシファイアのゲイン比:  $G_R$

$$G_R = G_{1000} / G_{SET}$$

$G_{1000}$ : MCP1000V のときのゲイン(最大)

$G_{SET}$ : 測定時にセットしたMCP電圧でのゲイン

蛍光／OTRの光量比:  $Y_R$



OTR 測定データ → データ/ $G_R$

蛍光測定データ → データ/ $Y_R/G_R$

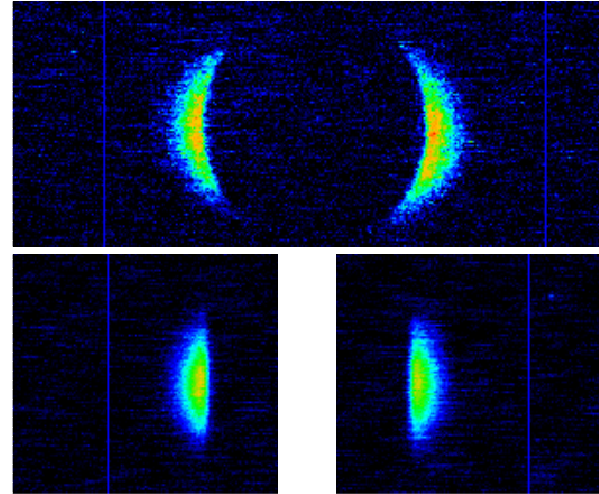
# OTRと蛍光による複合測定

$Y_R$ : 光量収量比 蛍光/OTR (1)



測定光量比:  $Y_{MR}$   
 OTR測定時のI.I.ゲイン:  $G_{OTR}$   
 蛍光測定時のI.I.ゲイン:  $G_{FL}$

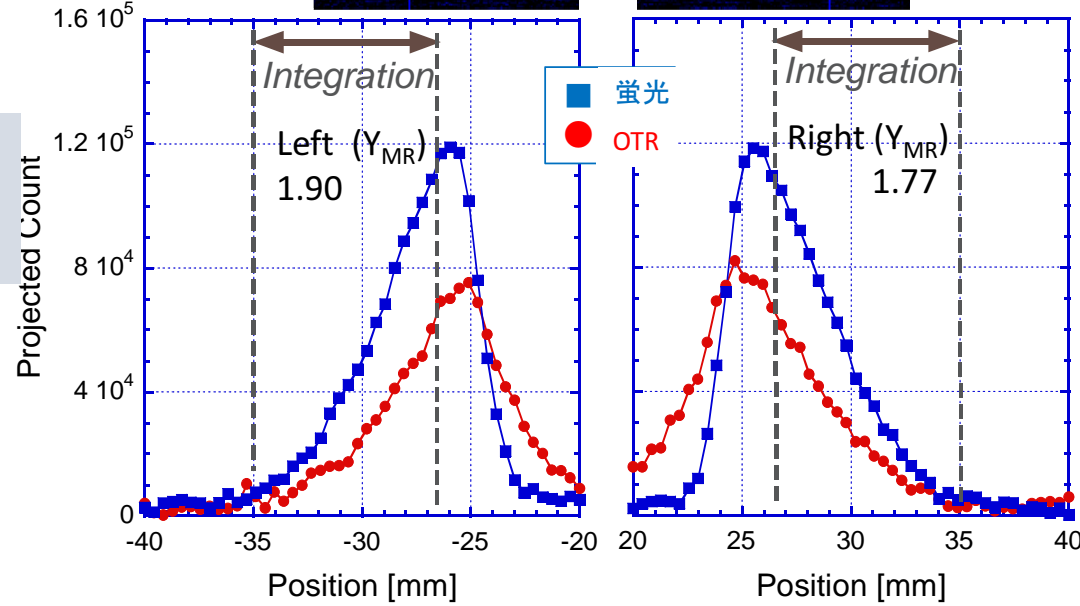
↓

$$Y_R = Y_{MR} \times G_{OTR} / G_{FL}$$


OTR  
50 mm 穴あきスクリーン

蛍光  
アルミナスクリーン  
エッジ: ±25 mm

積分比 (avg.)  
 $= Y_{MR}$   
 $= 1.84 \pm 0.07$



# OTRと蛍光による複合測定



$Y_R$ : 光量収量比 蛍光/OTR (2)

測定光量比:  $Y_{MR}$   
 OTR測定時のI.I.ゲイン:  $G_{OTR}$   
 蛍光測定時のI.I.ゲイン:  $G_{FL}$

↓

$Y_R = Y_{MR} \times G_{OTR} / G_{FL}$

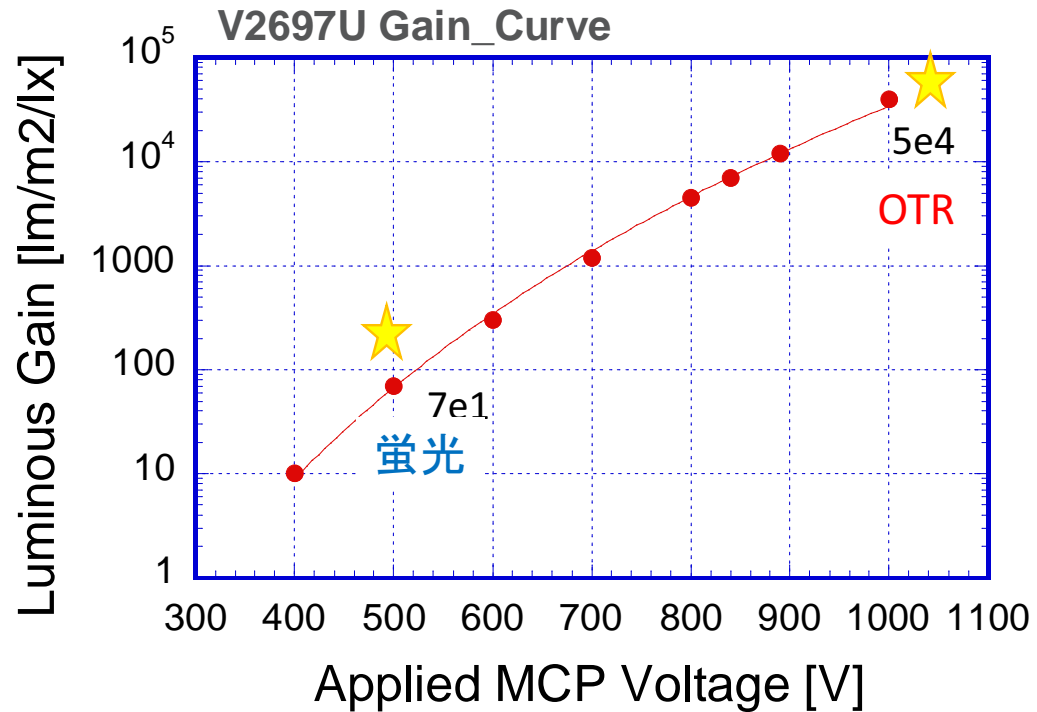
I.I. のゲイン比:  $G_{OTR} / G_{FL}$   
 = MCP 1000V/MCP 500V  
 =  $5e4 / 7e1$   
 = 714.3

↓

$Y_R = Y_{MR} \times G_{OTR} / G_{FL}$

=  $1.84 \times 714.3$

= 1314.6



@ II Gate time :10 μs

### 3-50 BTコリメータの効果(1)

H-V アルミターゲットのエッジ位置を変えてハローの分布を測定

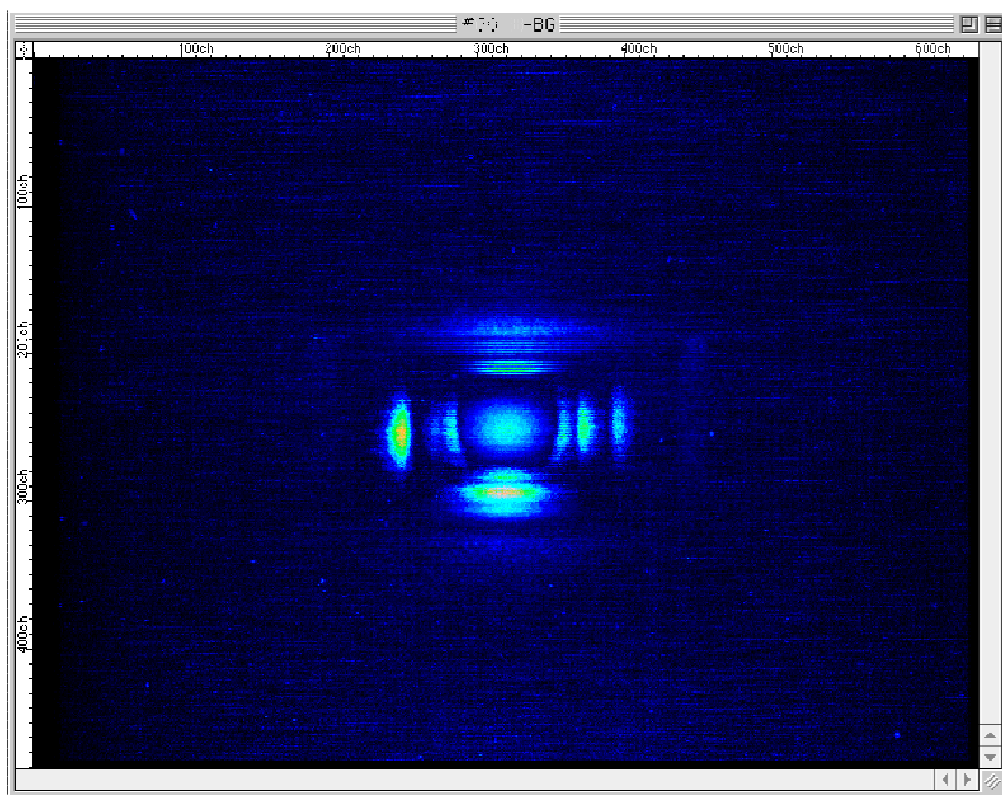
☆II ゲインは, アルミターゲットの位置ごとに最適化

☆120m 上流のコリメータ ON とOFF の比較 (RCS 50 $\pi$ ペインティング入射ビーム)

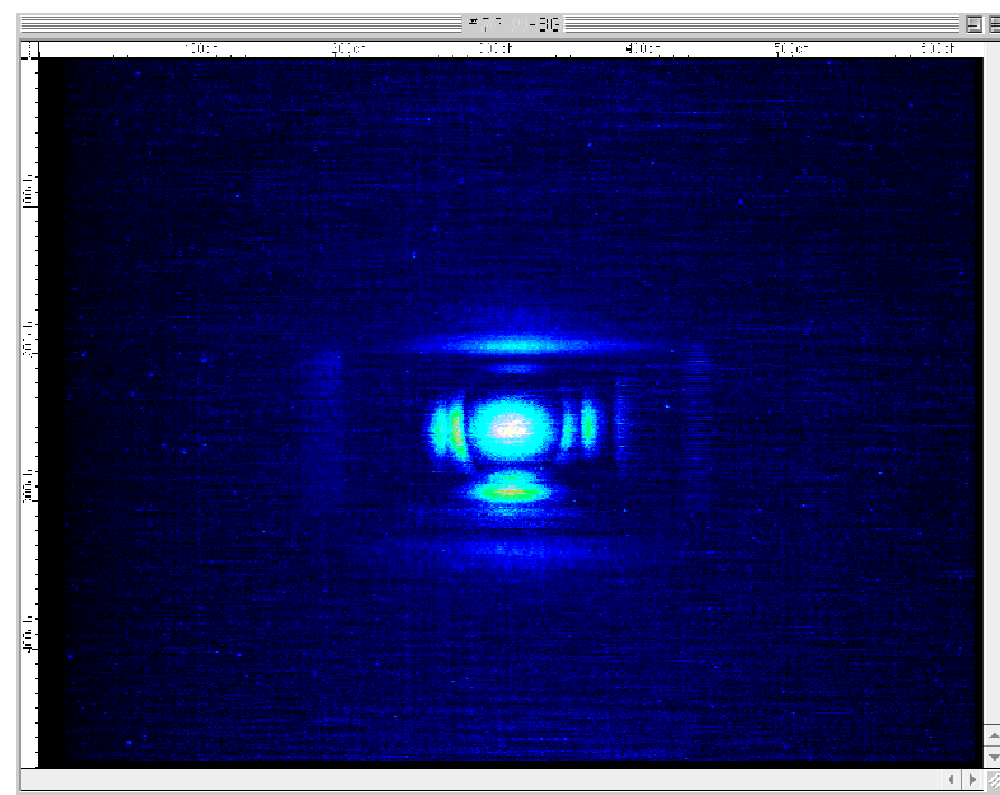


各位置で5回計測の平均のイメージをスーパーインポーズ

コリメータ:OFF



コリメータON





### 3-50 BTコリメータの効果(2)

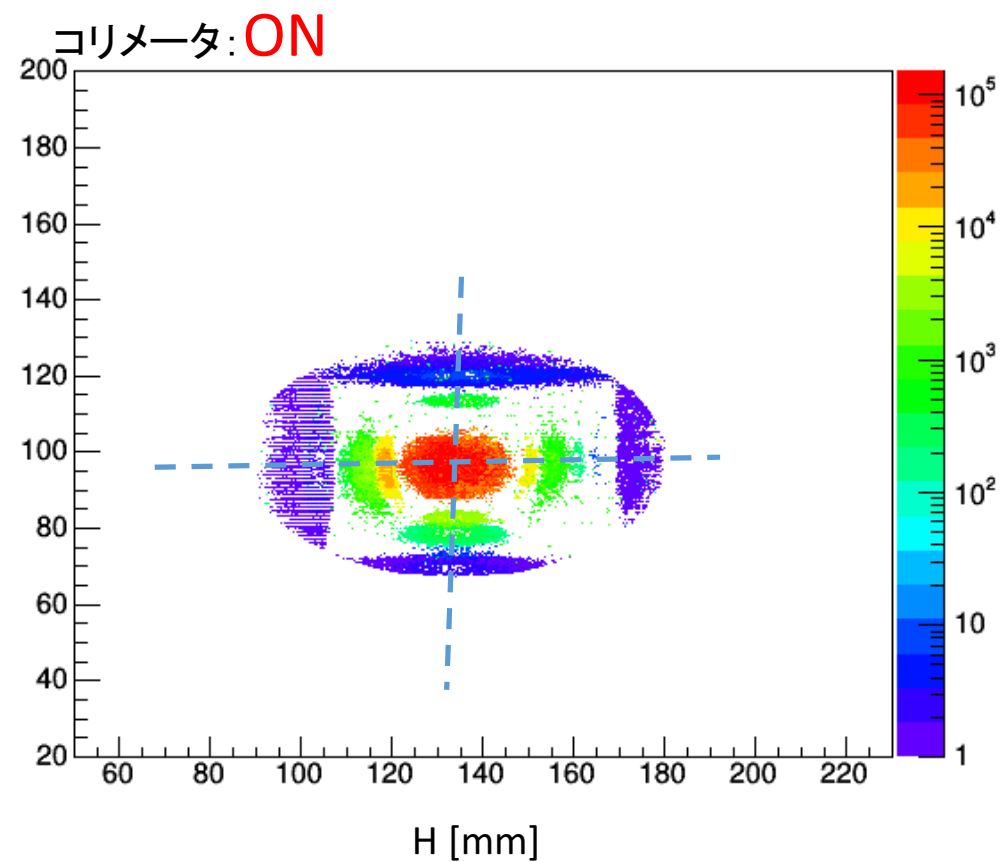
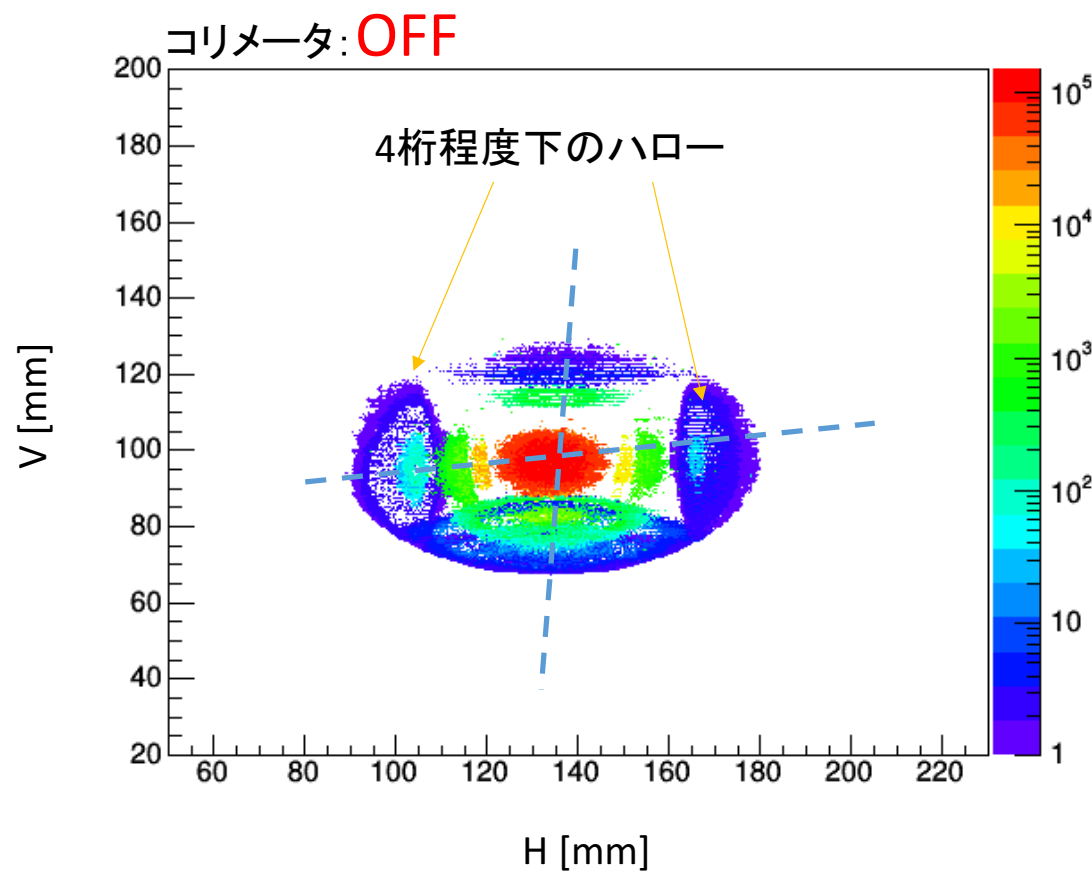
2次元ハロー分布によるコリメータ効果の考察

光強度: 4~5桁のレンジで計測できた。

コリメータを入れることで, コアより4桁程度小さい水平方向のハローが減少する。

左右・上下のハローの分布は, 回転に関して傾きをもっている

⇒コリメータを入れるとこの傾きが小さくなる傾向があるようだ。



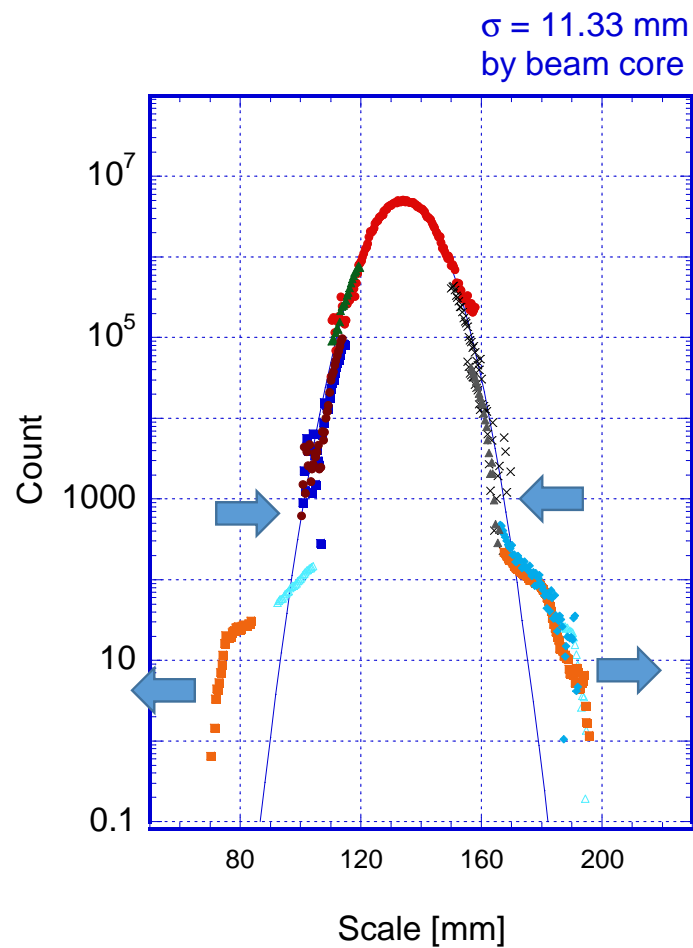
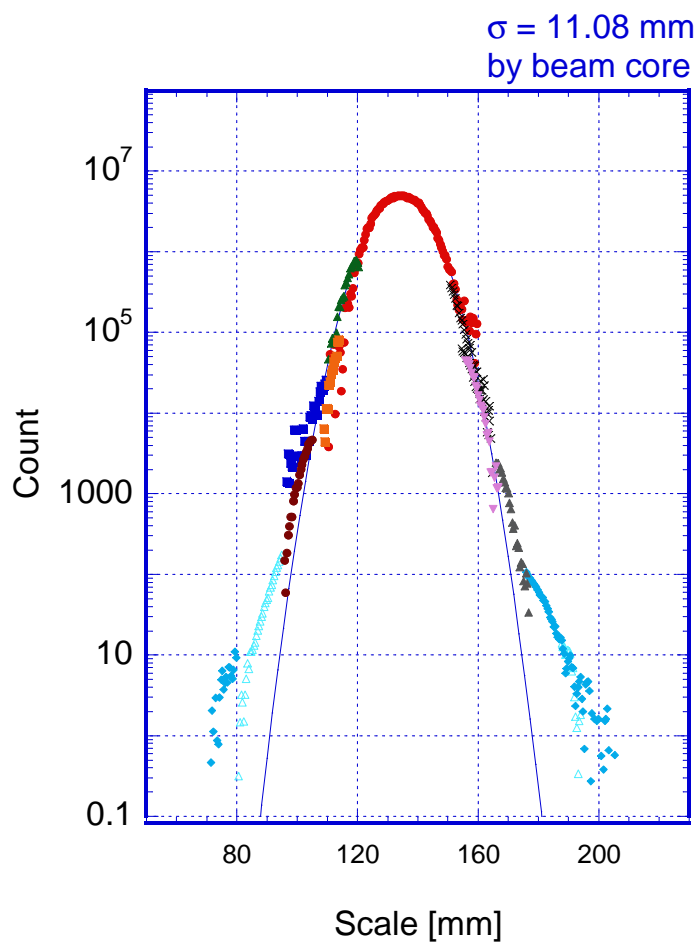
3-50 BTコリメータの効果(3) プロファイルを6桁程度のダイナミックレンジで測定  
 ビームコアより6桁下でのサイズは、120 mm 程度まで大きい。



Horizontal

Collimator OFF

Collimator ON



☆ビームコアの4桁～5桁下のところにウエストが出現

☆6桁下の領域では、ビームサイズが広がった。

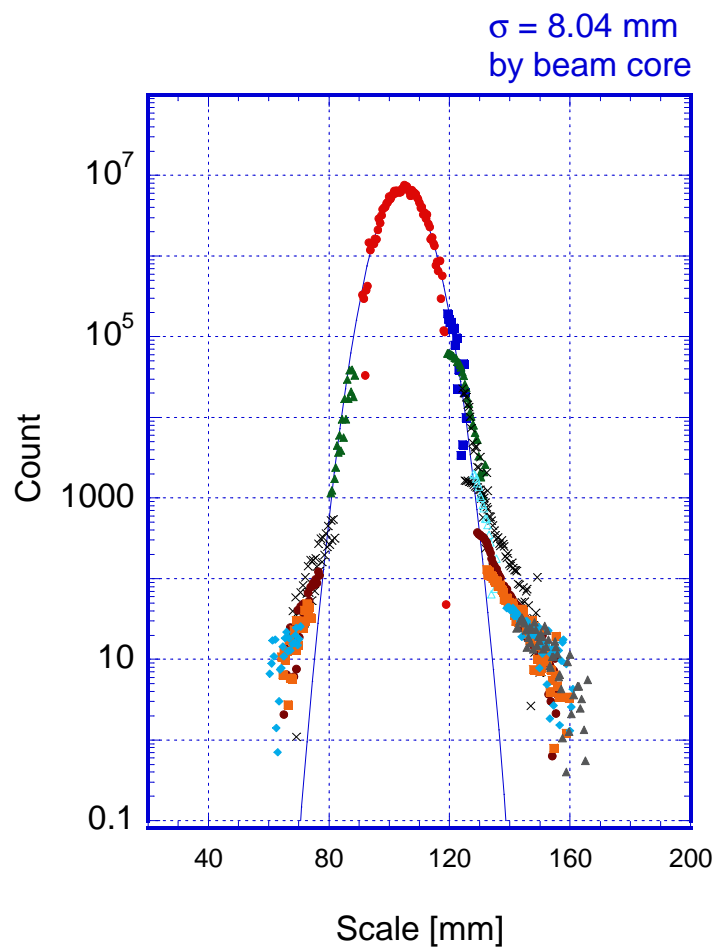
# 3-50 BTコリメータの効果(4)

Vertical

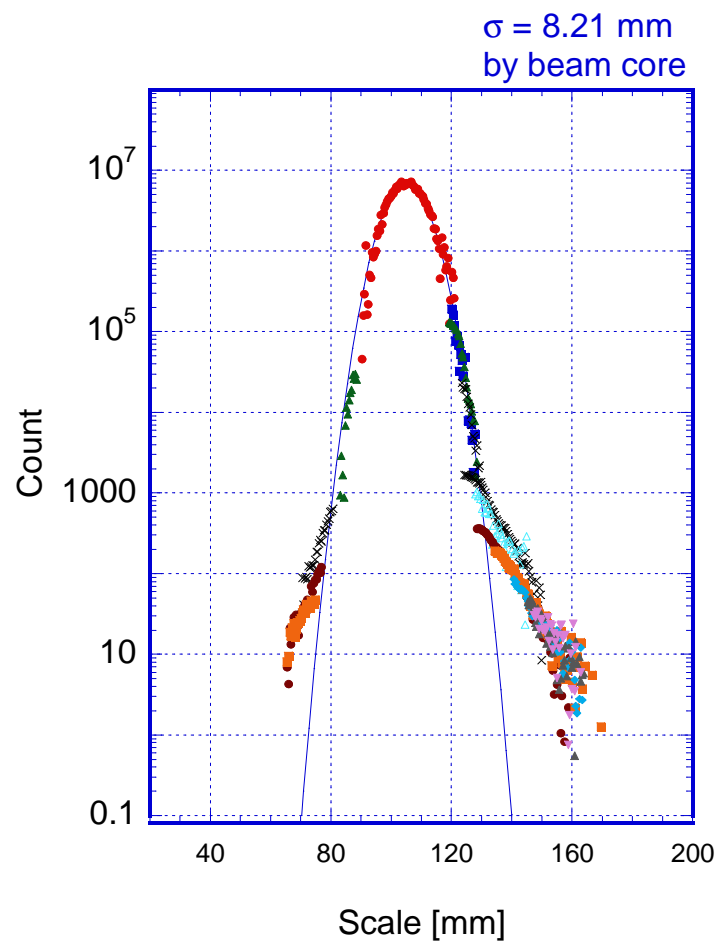
☆Vertical では、大きな違いが見られなかった.



Collimator OFF



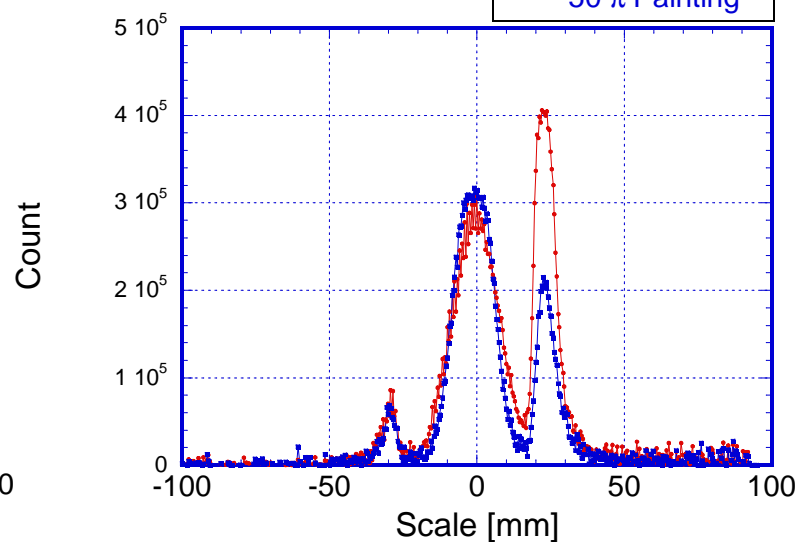
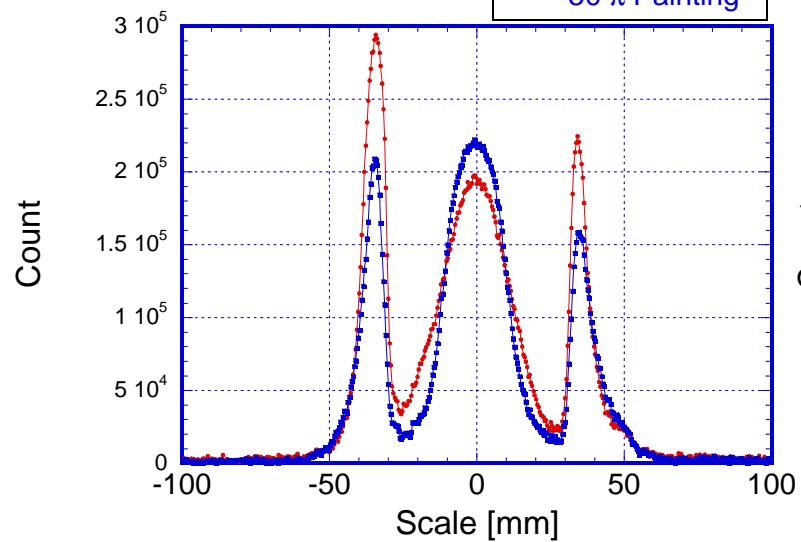
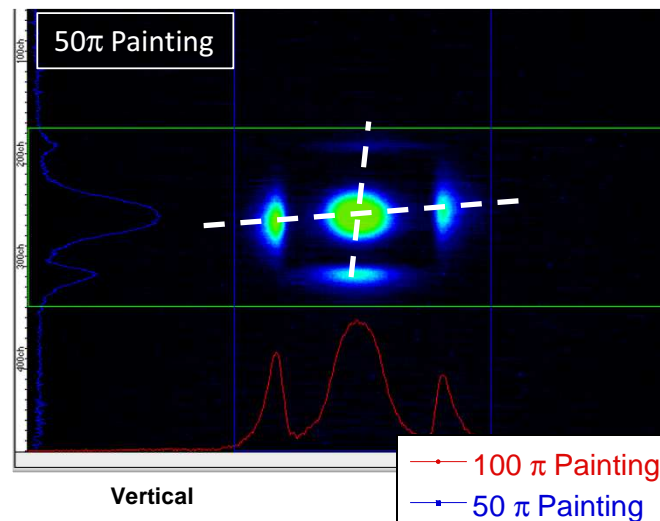
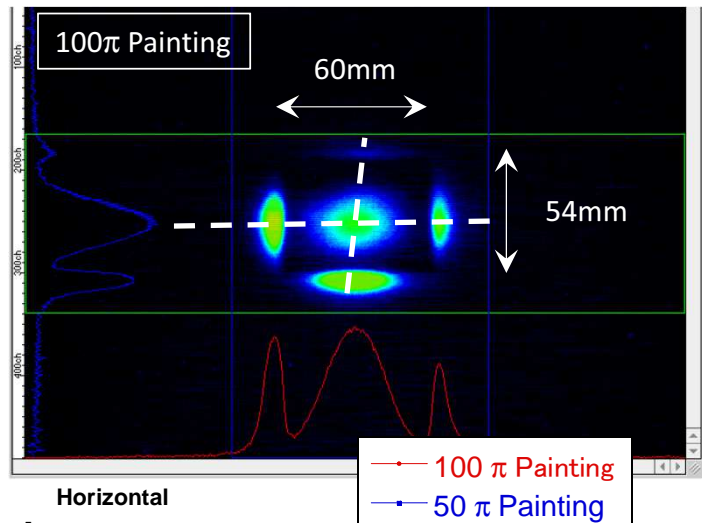
Collimator ON



# ビームコアと4桁下のハローの同時計測: RCS 入射ビームのペインティング領域の違い

アルミナスクリーンのエッジ: 位置固定

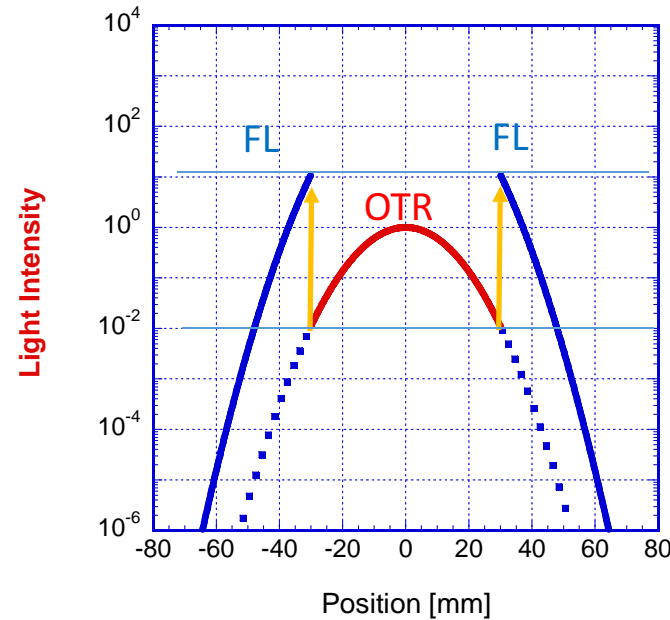
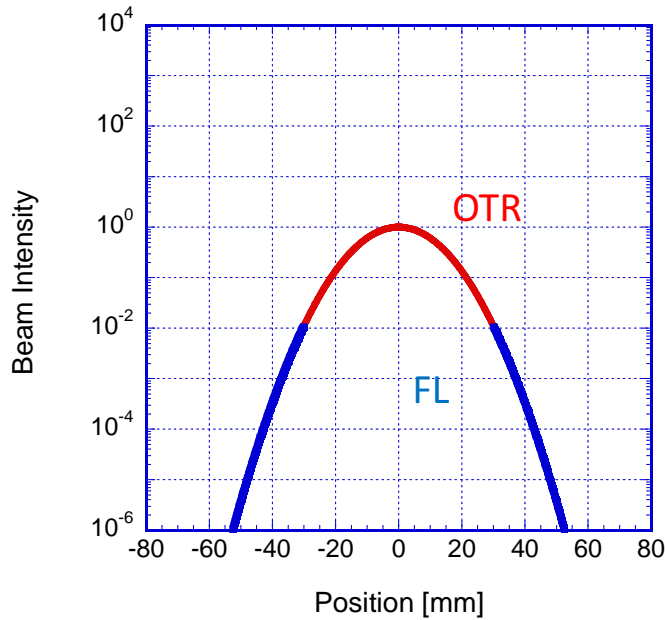
K1-2 bunch : 2.99e13/2bunch 5AVG



☆50 p Painting の方が  
ビームがシャープ

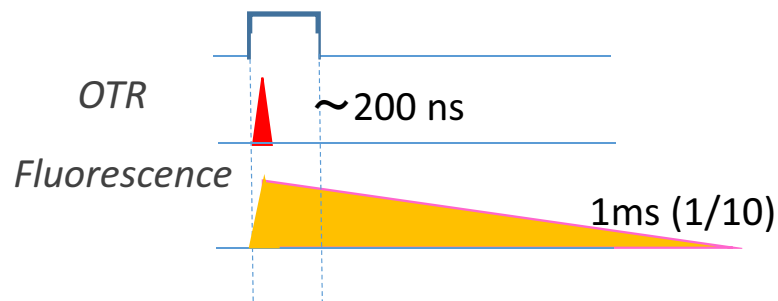
☆ハローを結ぶラインの  
顕著な回転が見られる。

# ビームコアとビームハローの同時計測: FL/OTR を1000に選ぶ



この3けたの領域を  
60~80dB ダイナミックレンジの  
CMOSカメラで計測

## Exposure (I.I. Gate)



FL/OTR = 1314 @II Gate = 10  $\mu$ s



**FL/OTR = 1000**

まとめ:

1: OTR とアルミナスクリーンからの蛍光を組み合わせることでビームコアからハローまでを2次元で計測できた.

2: プロジェクションしたプロファイルでは, 6桁程度のダイナミックレンジがあることを確認した.

3: 次のステップとしてビームコアからビームハローまでの同時計測を予定している.