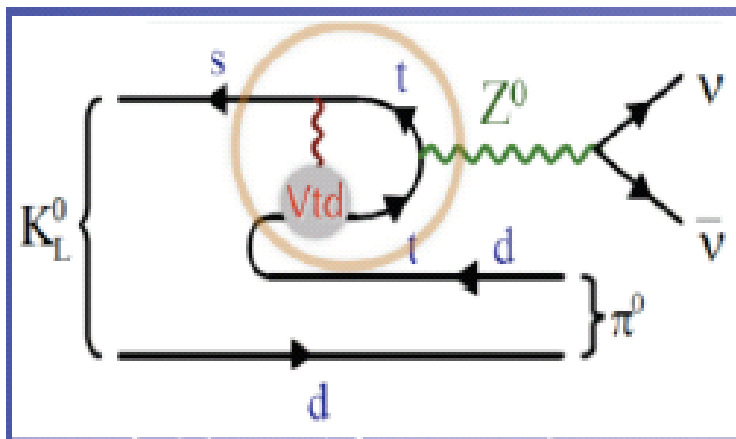


K^oTO実験
中性ビームプロフィールモニターを用いた
ビームラインコリメータのアライメント

高橋 剛

K⁰TO実験 (@J-PARC)

- K_L → π⁰νν崩壊
 - 崩壊率がCKM行列のη²に比例 (CP非保存)
 - 理論的不定性が小さい
 - SMの精密検証、New Physicsの探索
 - SM Br(K_L → π⁰νν) = 2.5 × 10⁻¹¹ → 観測例なし
- 世界初の観測を目指す実験

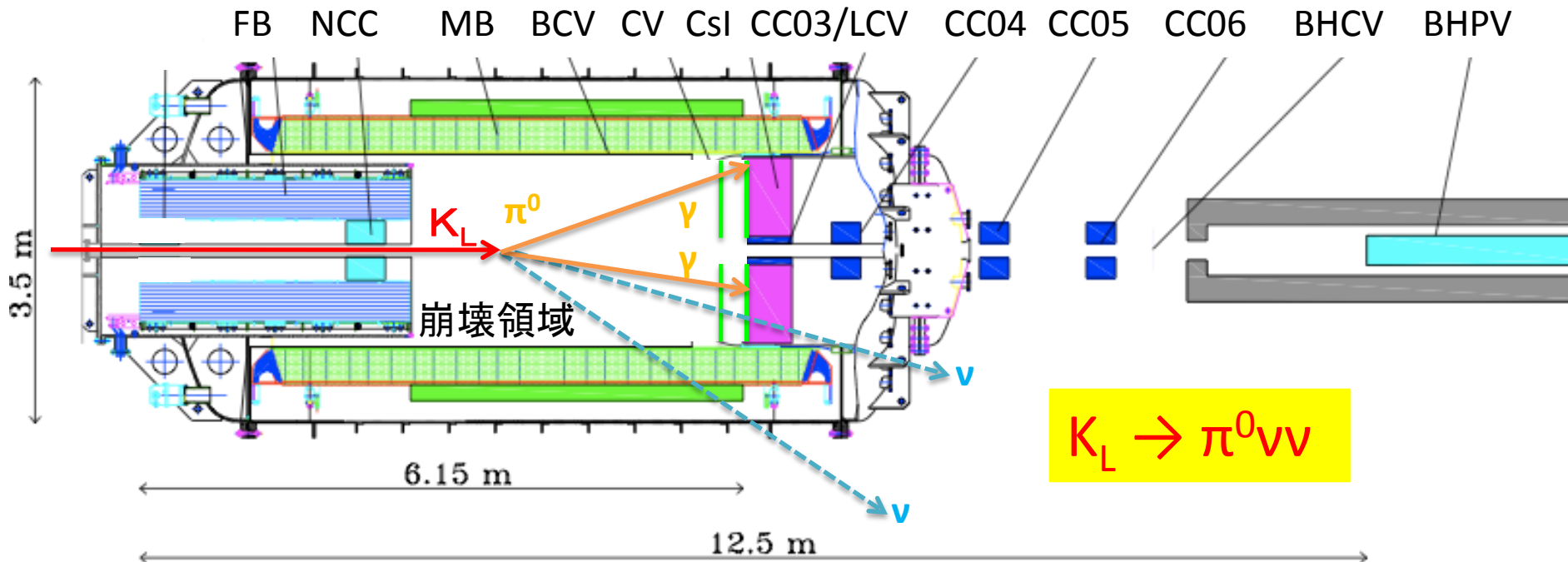


CKM行列

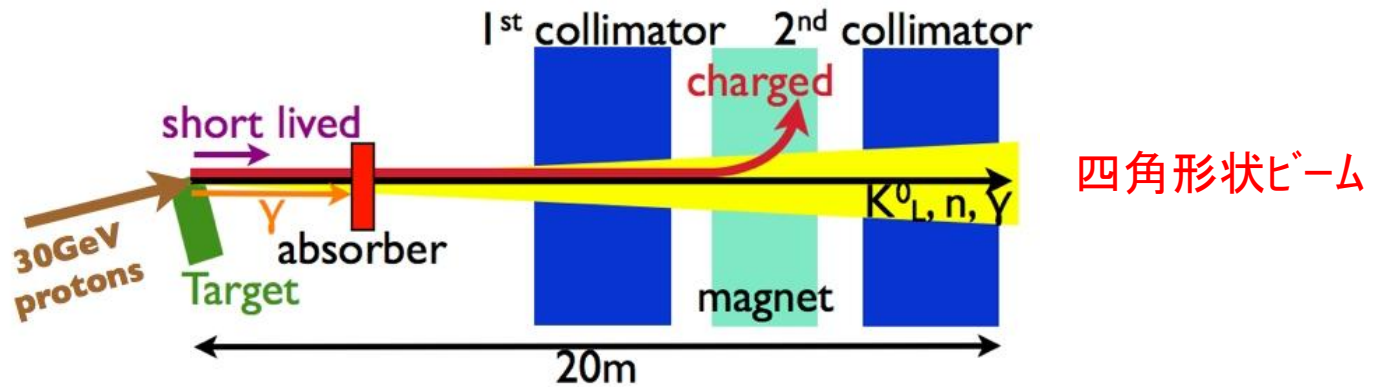
$$\begin{pmatrix}
 1 - \lambda^2/2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\
 -\lambda & 1 - \lambda^2/2 & A\lambda^2 \\
 A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1
 \end{pmatrix}$$

実験方法

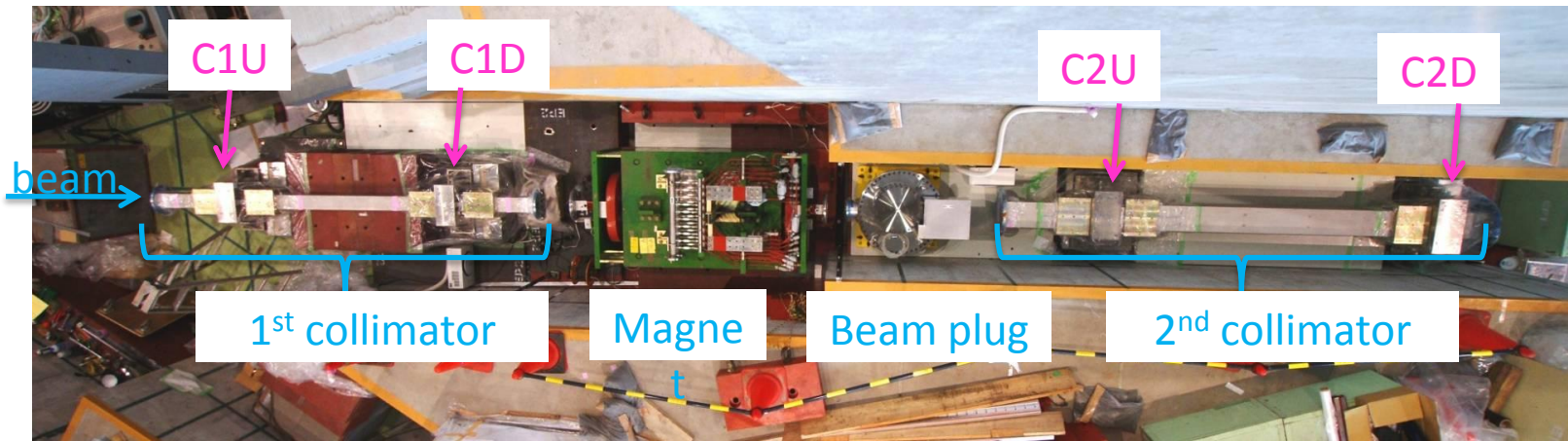
- シグナル同定: $\pi^0 + \text{nothing}$
- $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ をCsIカロリメータで検出。
- 崩壊領域をveto検出器で覆い、他に検出可能な粒子が生成していないことを確認。(vは検出できない。)



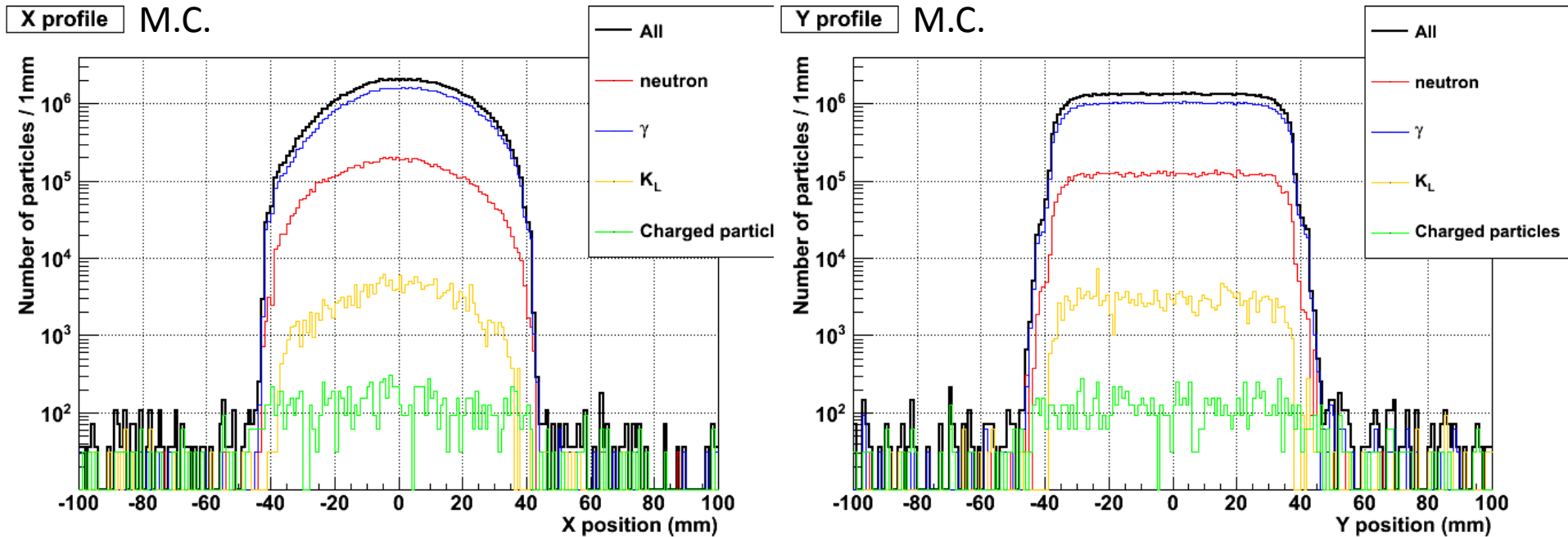
ビームライン



- 2つのコリメータがビーム形状・方向を決定。
- コリメータがずれ内壁が見えると多重散乱でビームが広がる。
 - この中性子と検出器の相互作用が主要バックグラウンド源
- 2つのコリメータのアラインメントが重要。→ 要求: 1mm以内
- 中性ビームプロファイルモニターが必要。



中性ビームプロフィール



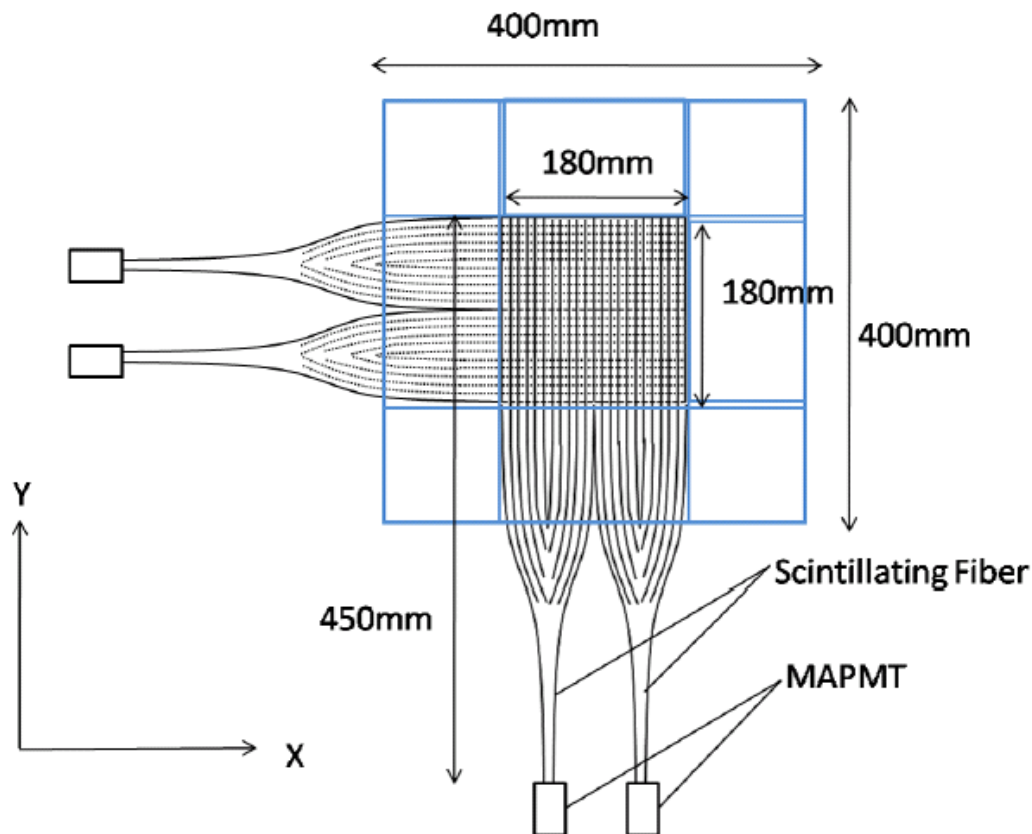
ビームライン・シミュレーションによるビームライン出口でのビームプロフィール

- ビームサイズ: 90cm (X方向) × 90cm (Y方向)
- γ が支配的 (γ absorberなし)

1.5mmのシンチレーティング・ファイバーを敷き詰めてプロフィールを測定。

中性ビームプロフィールモニター(1)

- 1.5mm角シンチレーティング・ファイバー 120本 × 2面
- ビーム中の γ との相互作用(コンプトン散乱・対生成)
- MAPMTでの多チャンネル読み出し



中性ビームプロフィールモニター(2)

- 安価・小型のADCユニットを採用。

→ 多チャンネル化に伴うデータ収集系の大規模化・コスト増大を抑える。

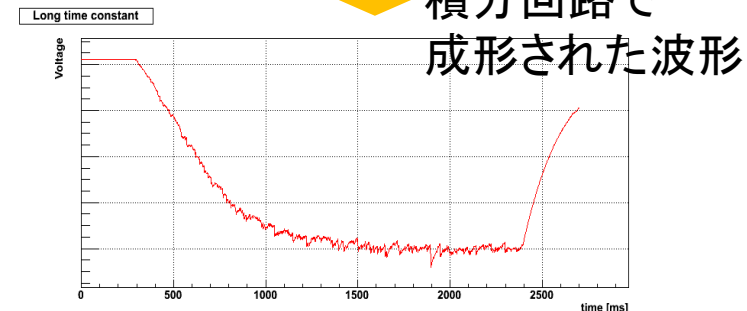
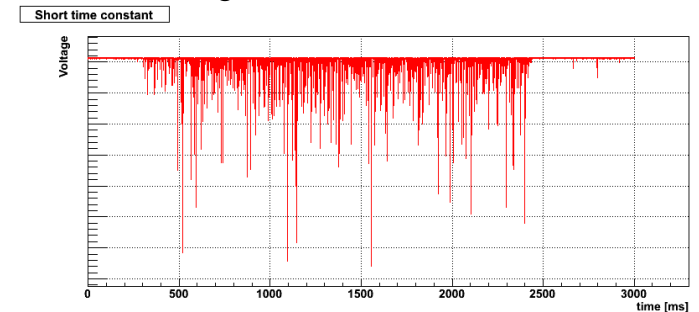


あるサンプリング間隔で電圧値をデジタル値に変換。
最大16ch入力。
USBインターフェース。

- MAPMTの信号を積分回路で波形整形。

→ この手法によりコンパクト・低コストの
検出器システムを実現。

→ 短時間でのプロフィール測定が可能。



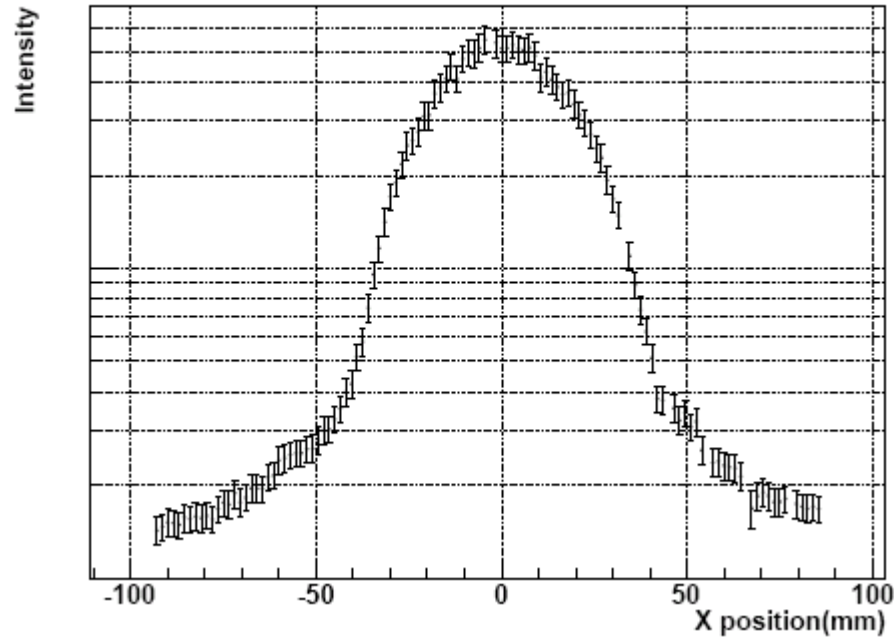
積分回路で
成形された波形

クロストーク: 7%以下
ダイナミックレンジ: 2~3桁

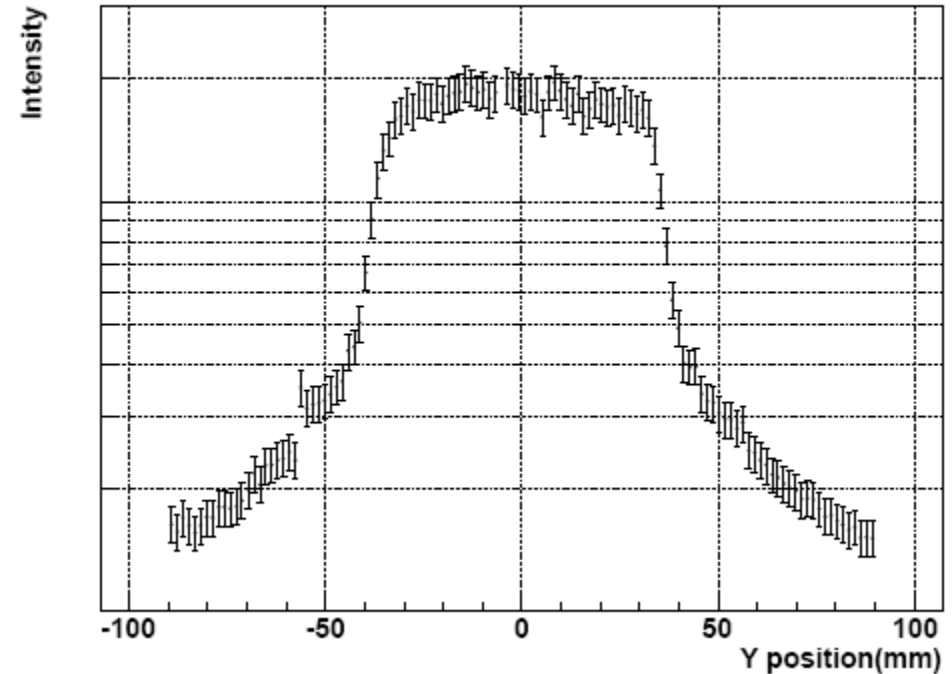
プロフィール測定

- ビームプロフィールモニターをインストールし、実際にビームプロフィールモニターを測定した。

X-profile

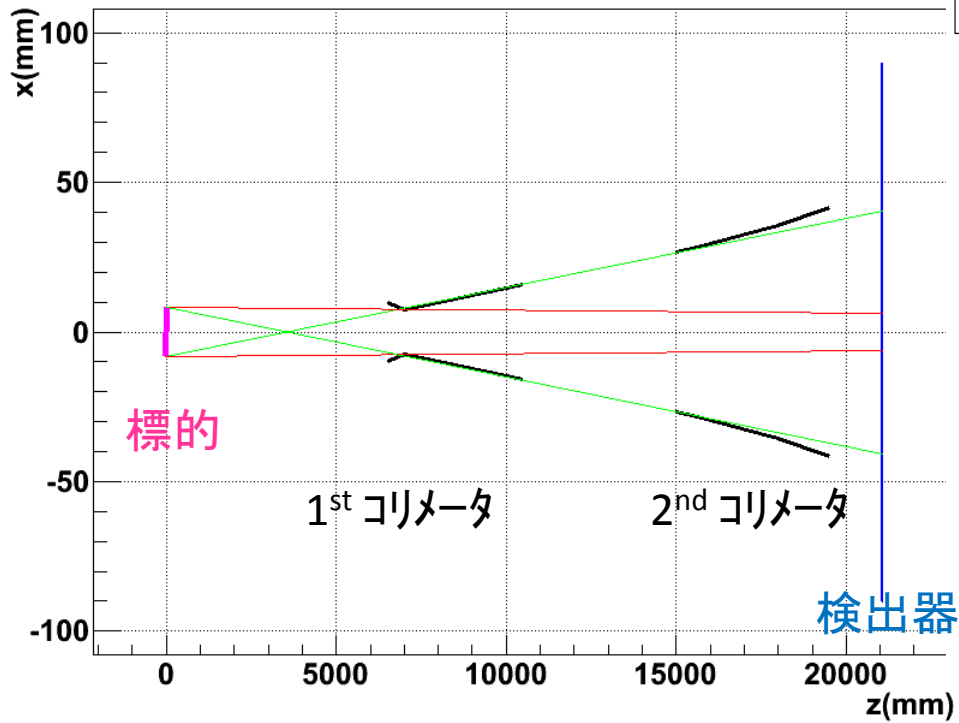


Y-profile

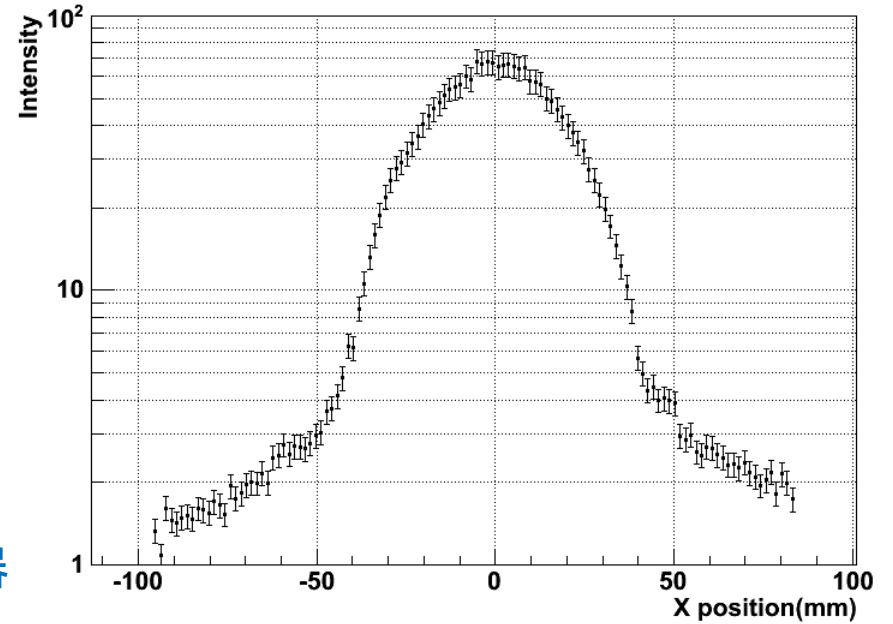


コリメータ位置の変位によるプロフィールの変化

Top View



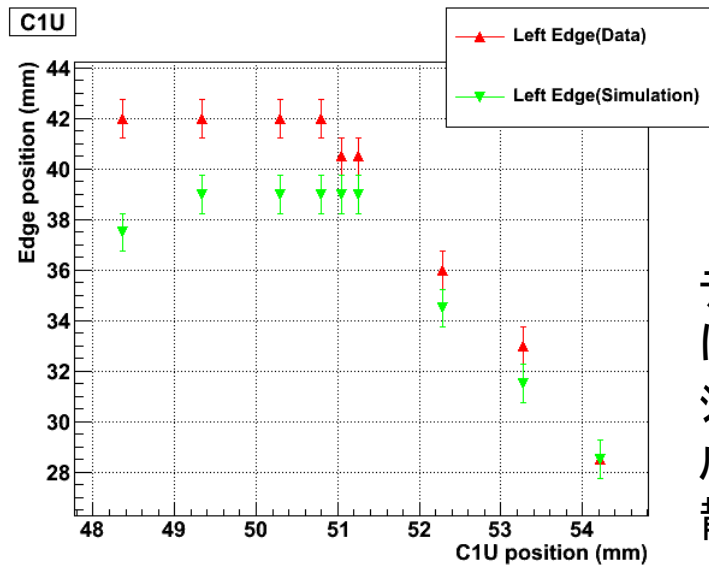
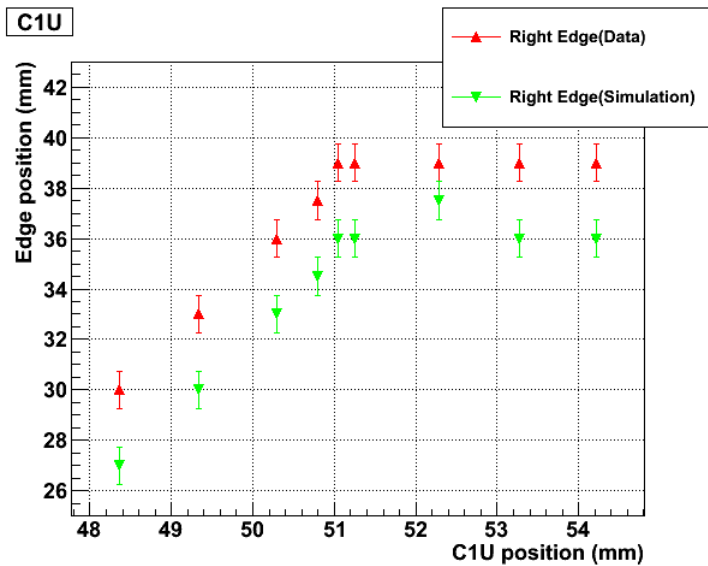
X-profile



プロフィールのEdgeの動きに注目してコリメータの位置を調べる。

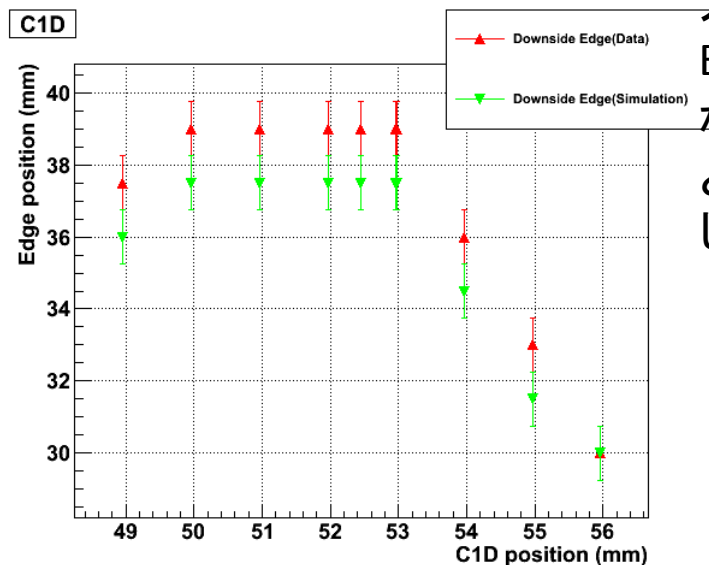
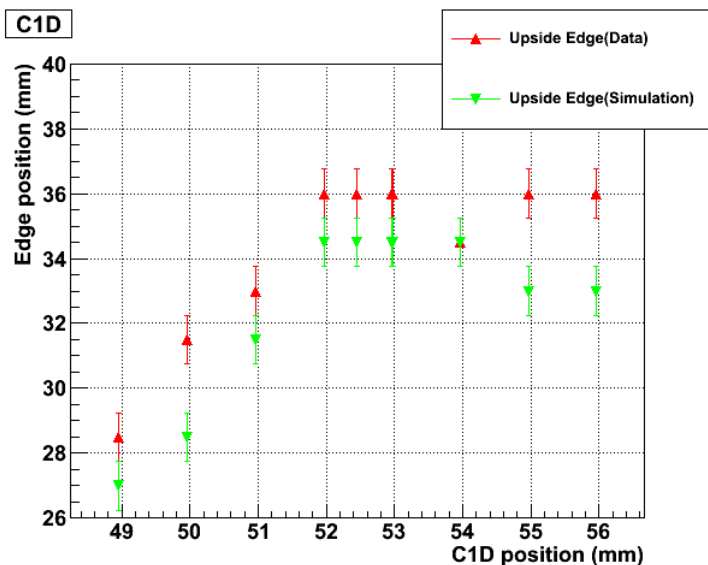
シミュレーションとの比較

測定データ(赤)とシミュレーション(緑)との比較の一例



横軸: コリメータ位置
縦軸: Edge位置

データとシミュレーションの値に差が見られるのは、シミュレーションは簡易なモデルで考えており粒子の散乱などの効果を取り入れていないため。Edgeが動き始める位置などの振る舞いはデータとシミュレーションでよく一致している。

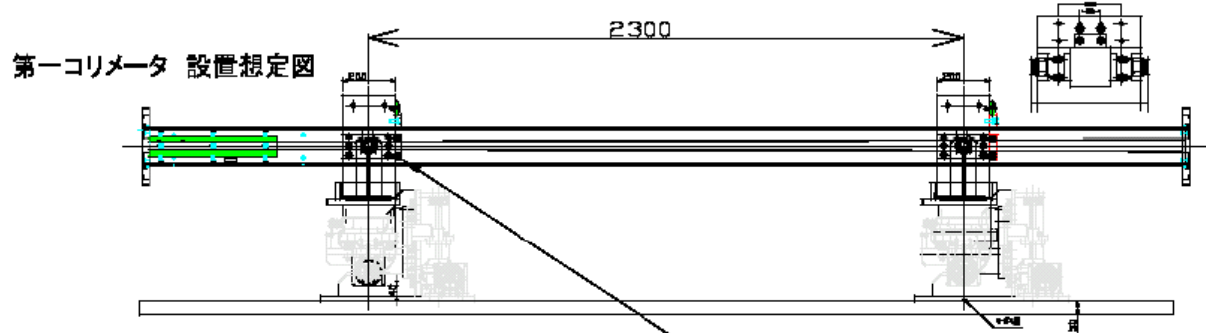


まとめ

- K⁰TO実験 (KL → $\pi^0\nu\nu$ 崩壊探索)でのバックグラウンド源となるハロー中性子を抑えるため、ビームラインコリメータのアラインメントが重要である。
- コリメータの位置確認は直接、中性ビームプロフィールを測定することで行う。
- そのためのビームプロフィールモニターを開発。短時間でのプロフィール測定とコンパクト・安価な検出器システムを実現した。
- このビームプロフィールモニターを用いて、プロフィールの表れるEdge位置やビームYieldの変化を測定し、コリメータのアラインを行った。

Back up

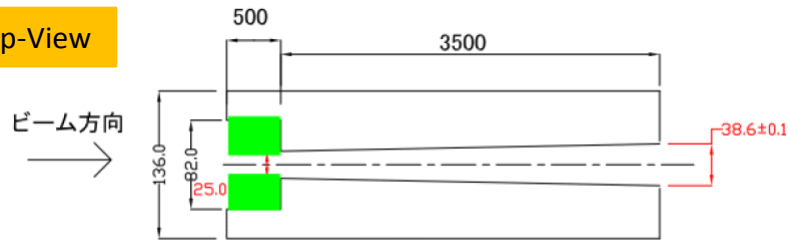
コリメータ



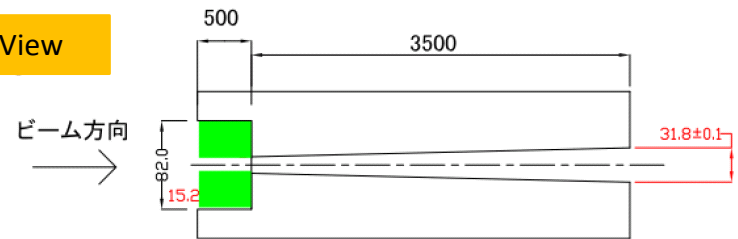
1st Collimator

ステッピングモーター

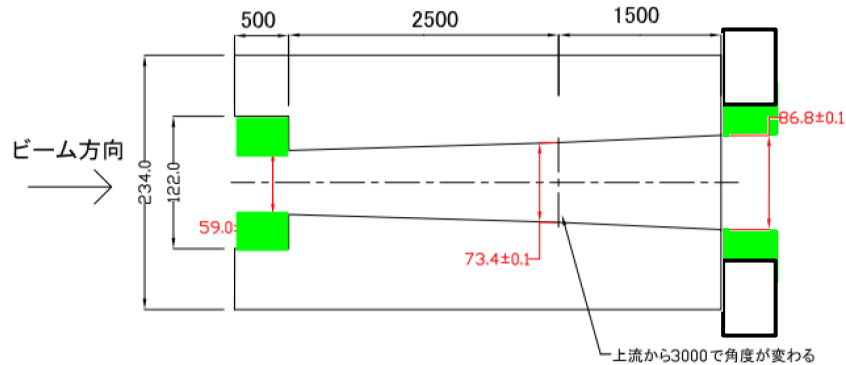
Top-View



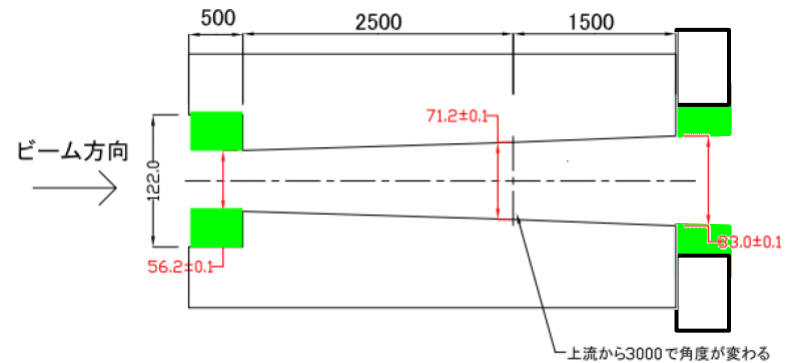
Side-View



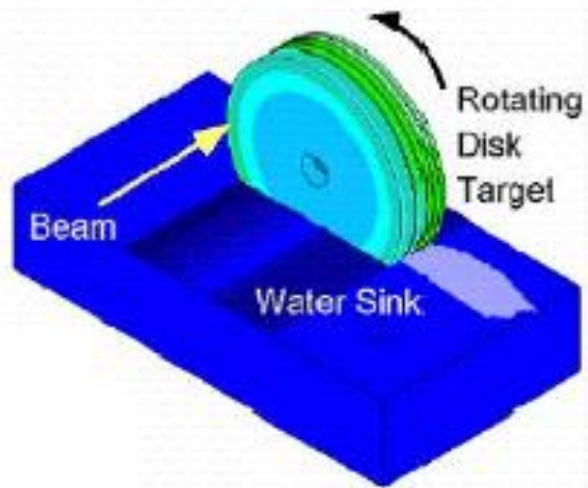
2nd Collimator



Tungsten(50cm) + Iron



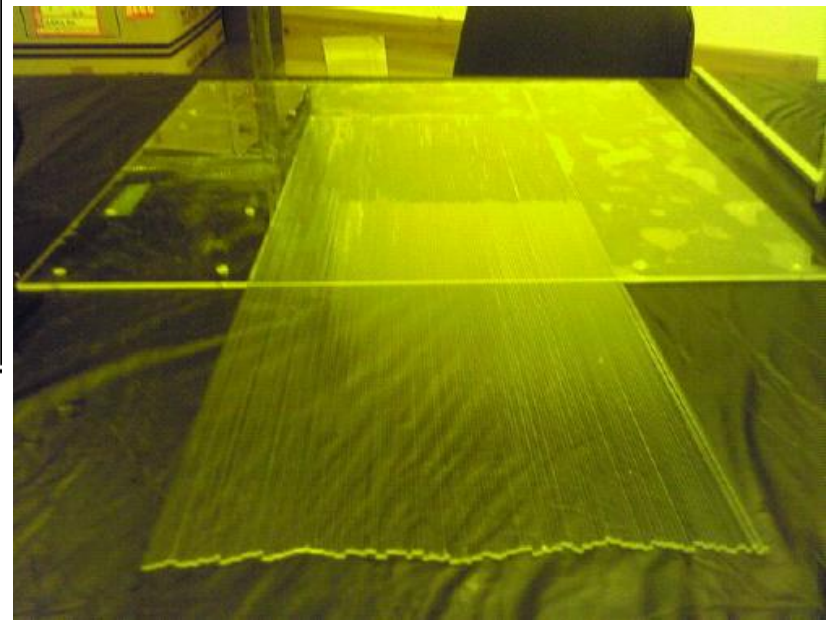
標的/absorber



シンチレーティング・ファイバー

- KURARAY single-clad SCSF-78SJ

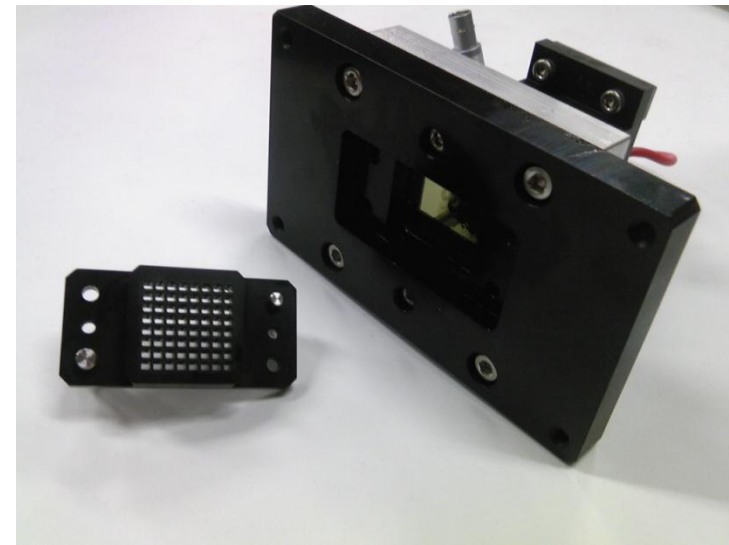
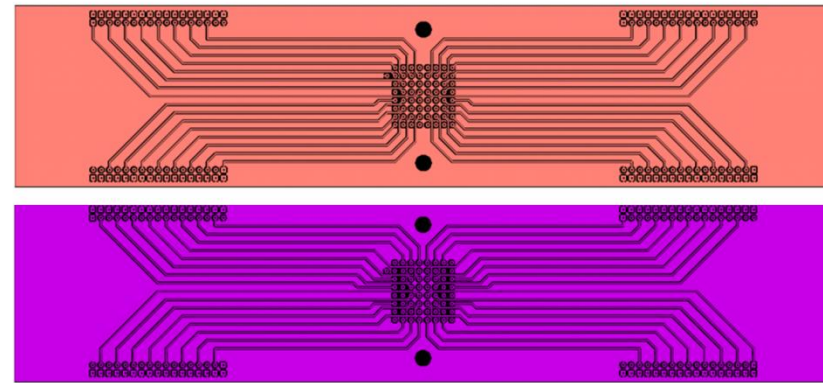
Parameter	Value
Number of planes	2
Number of scintillating fibers	120/plane
Fiber size	$450 \times 1.5 \times 1.5 \text{ mm}^3$
Fiber pitch	1.5 mm
Fiber materials	Single-clad scintillating fiber
Emission wavelength peak	450 nm
Decay time	2.8 ns
Attenuation length	4.0 m



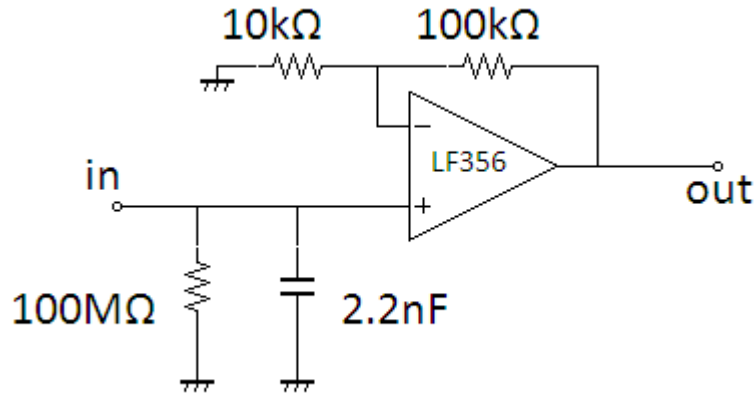
MAPMT

- HAMAMATSU H8804

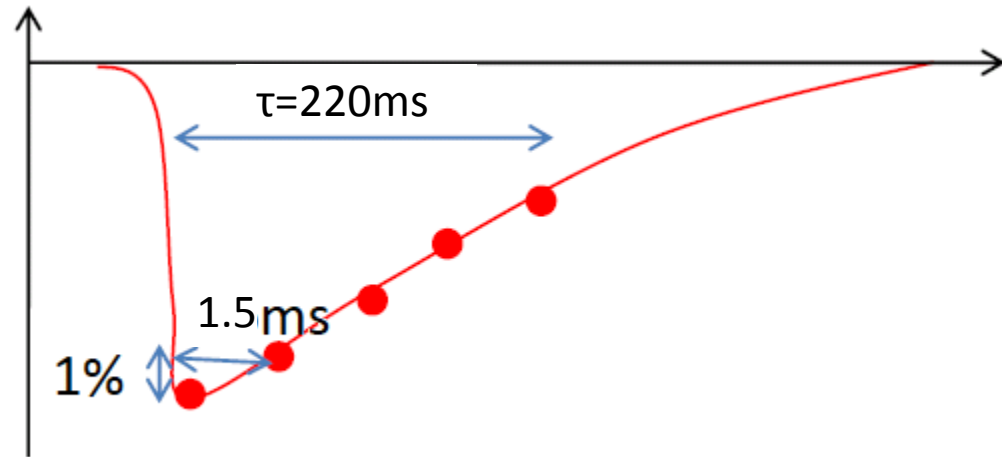
Parameter	Description/Value
Spectral response	300 ~ 650 nm
Wavelength of maximum response	420 nm
Photocathode material	Bialkali
Window material	Borosilicate glass
Quantum efficiency	Typ. 21 % (at 390nm)
Anode size	2mm × 2mm
Anode array	8 × 8
Dynode structure	Metal channel dynode
Number of dynode stage	12
Supply voltage	Max. -1000 V
Dark current per channel	Typ. 0.2 nA (max. 2nA)
Weight	Approx. 60 g



RC 積分回路



Parameter	Value
入力段	JFET
入力バイアス電流	30 pA
入力オフセット電流	3 pA
入力インピーダンス	$10^{14}\Omega$
直流電圧利得	106 dB
スルーレート	12V/ μ s
帯域幅	5M Hz



ADCユニット

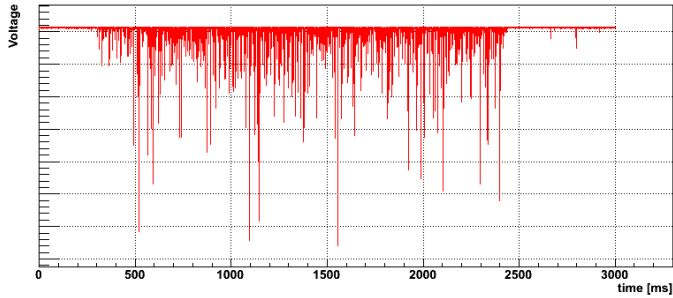
- タートル工業 TUSB-1612ADSM-2Z

Parameter	Value
Number of channels	16
Number of bits	12
Conversion rate	Max. 100kHz
Input impedance	1M Ω
Input range	$\pm 2.5V$
Internal memory size	12 bit \times 32K

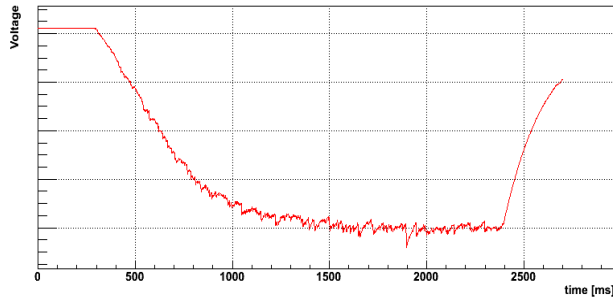


中性ビームプロフィールモニター(3)

Short time constant



Long time constant



シンチレーティングファイバー

ADCユニット

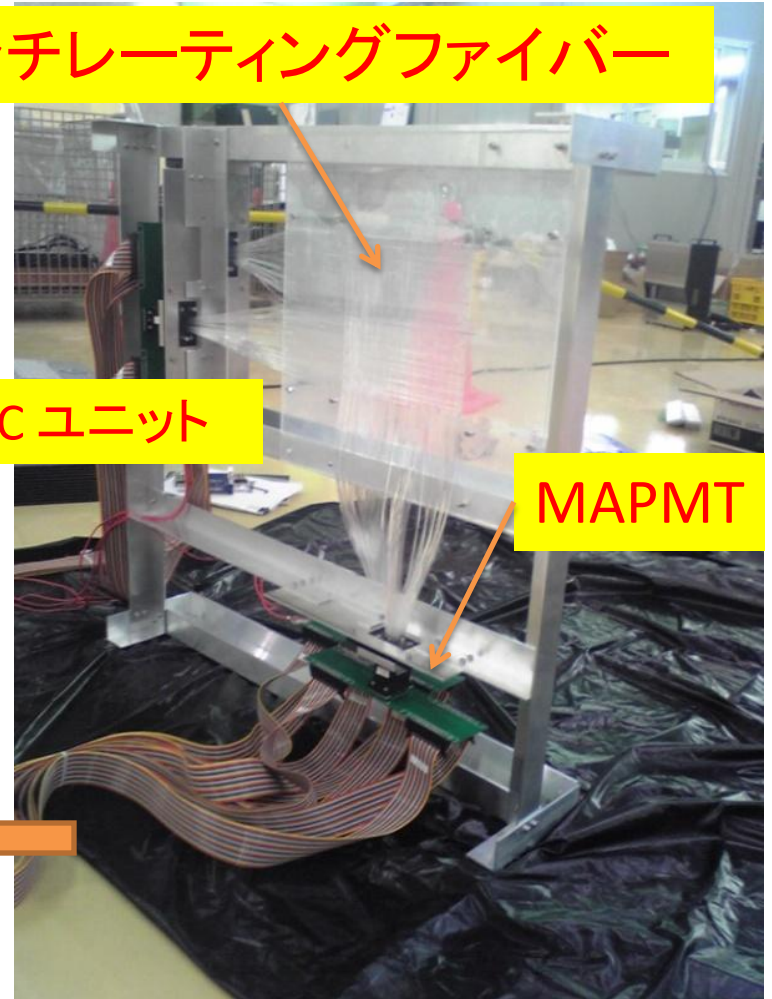
MAPMT

USB

コンピュータ

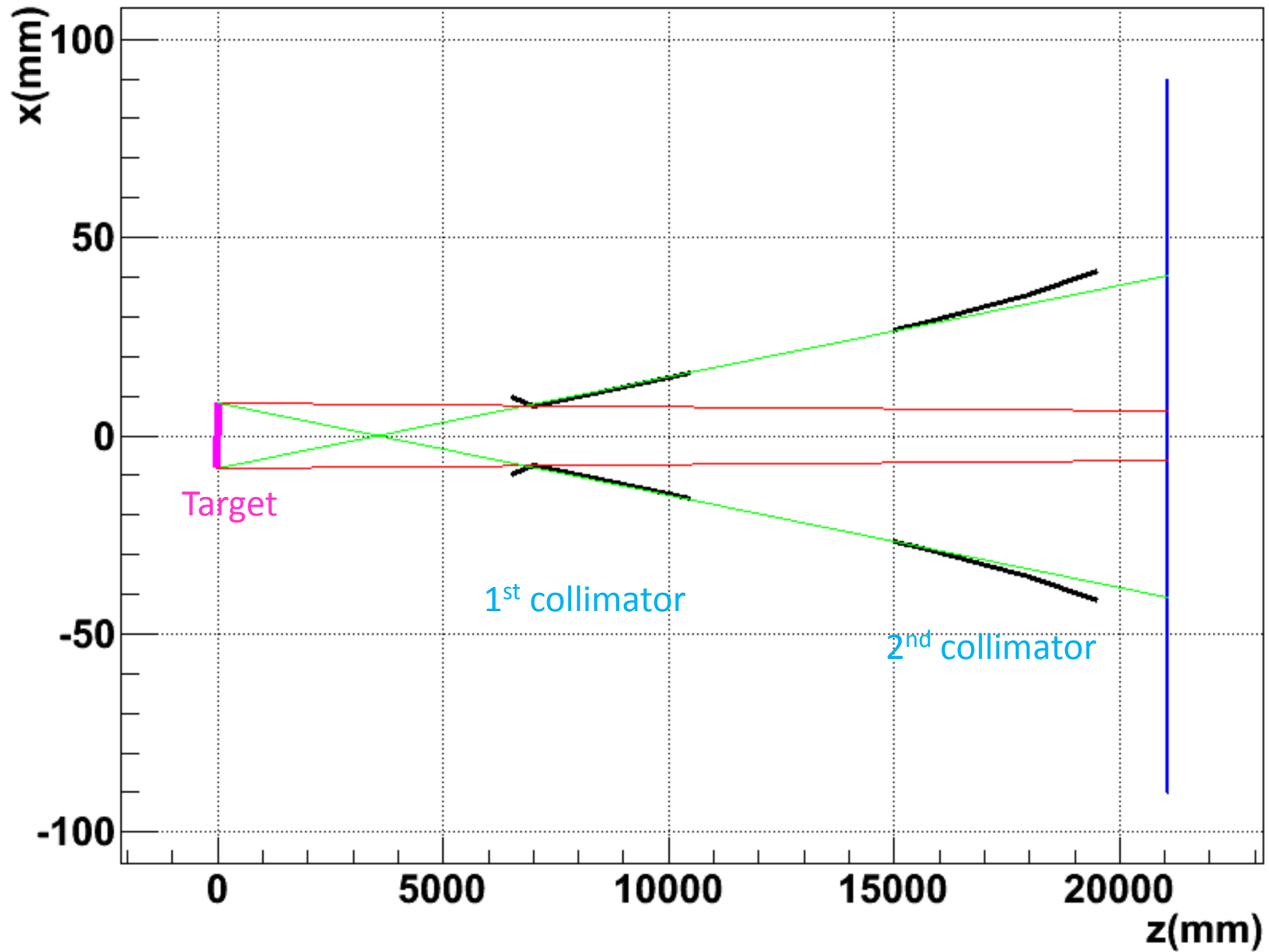


RC積分回路
時定数 220ms



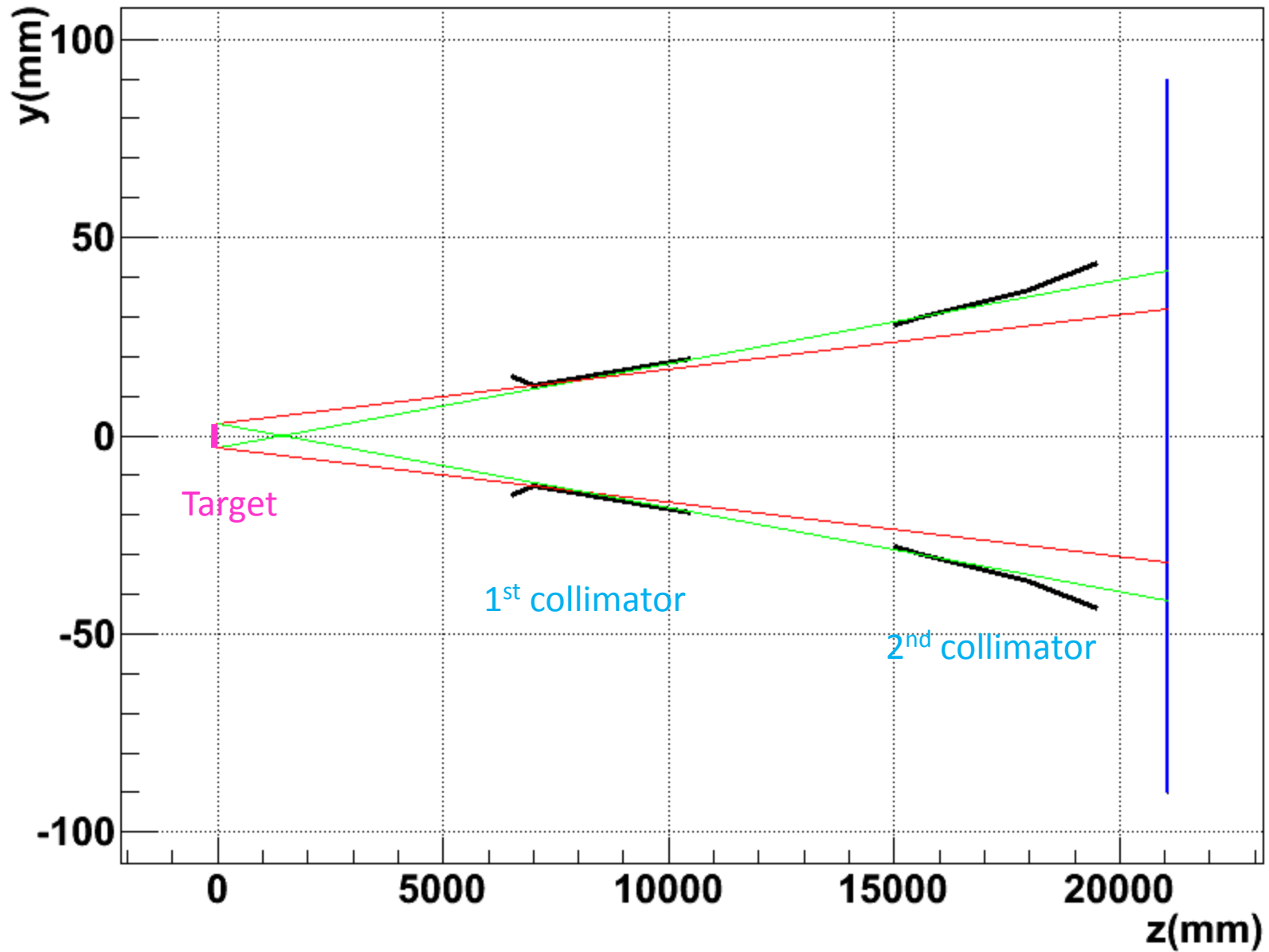
Top View

コリメータ・レイアウト X

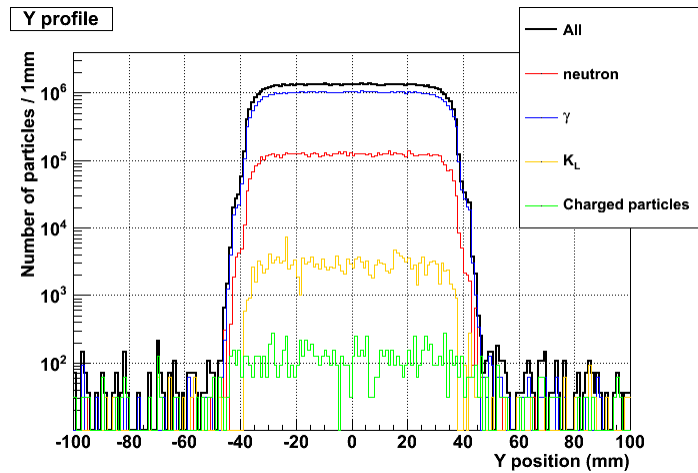
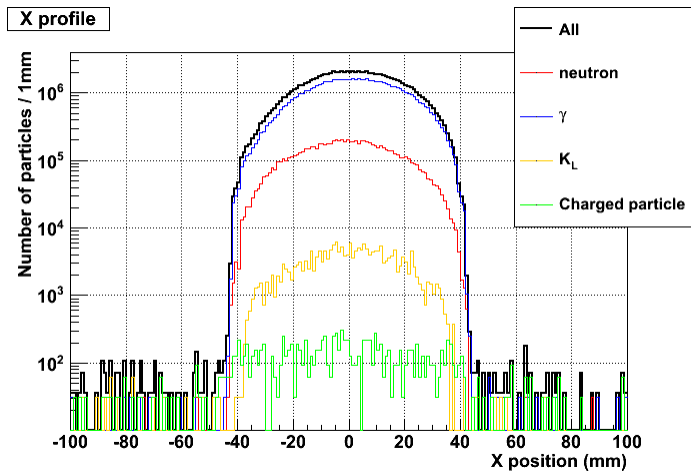
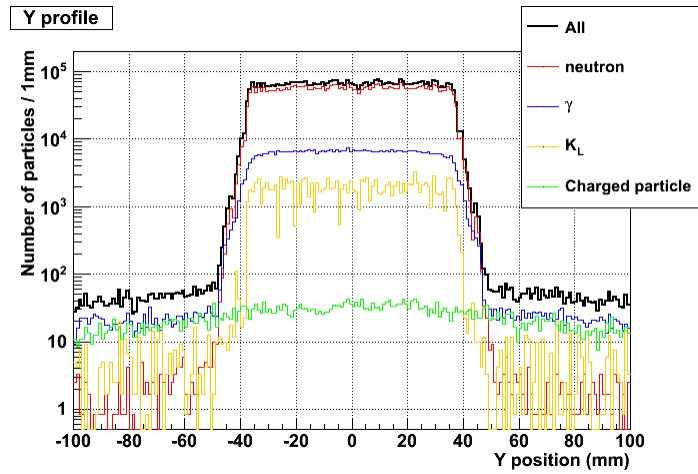
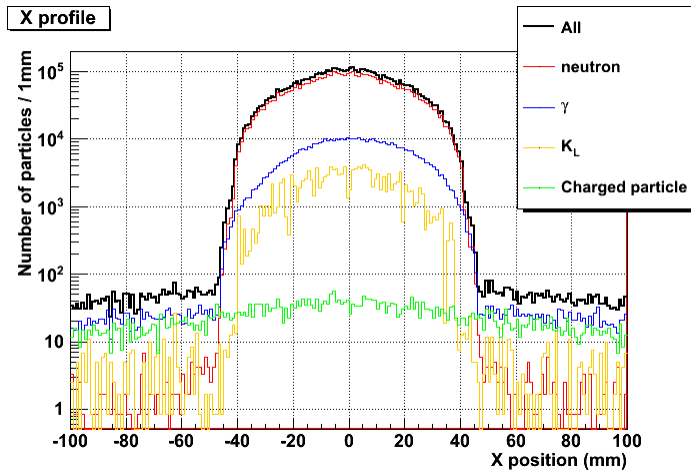


Side View

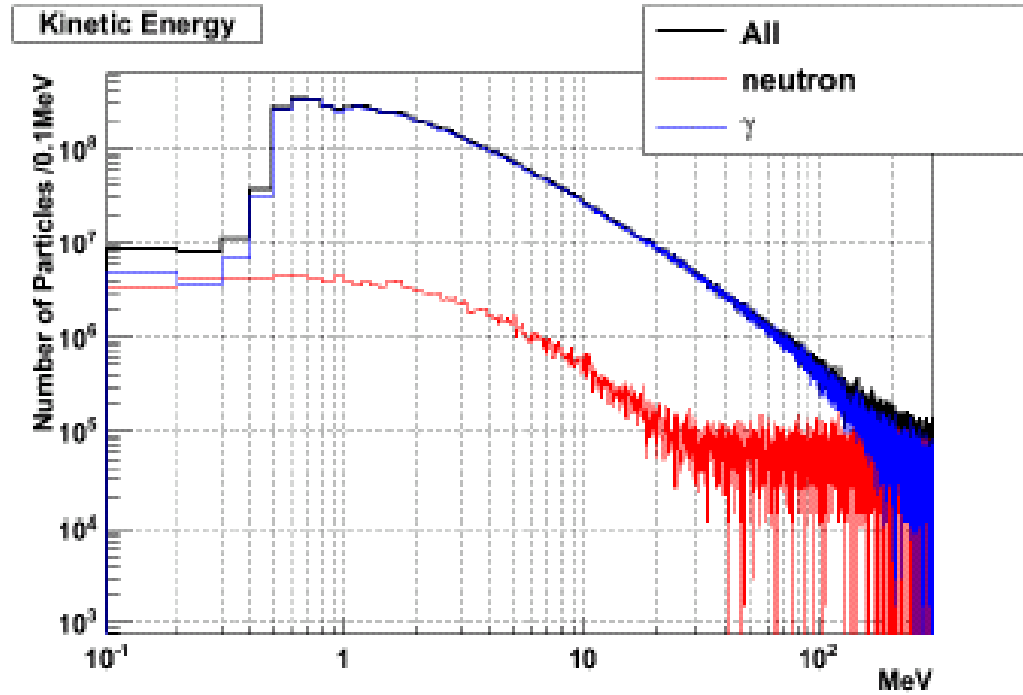
コリメータ・レイアウト Y



ビームライン・シミュレーション

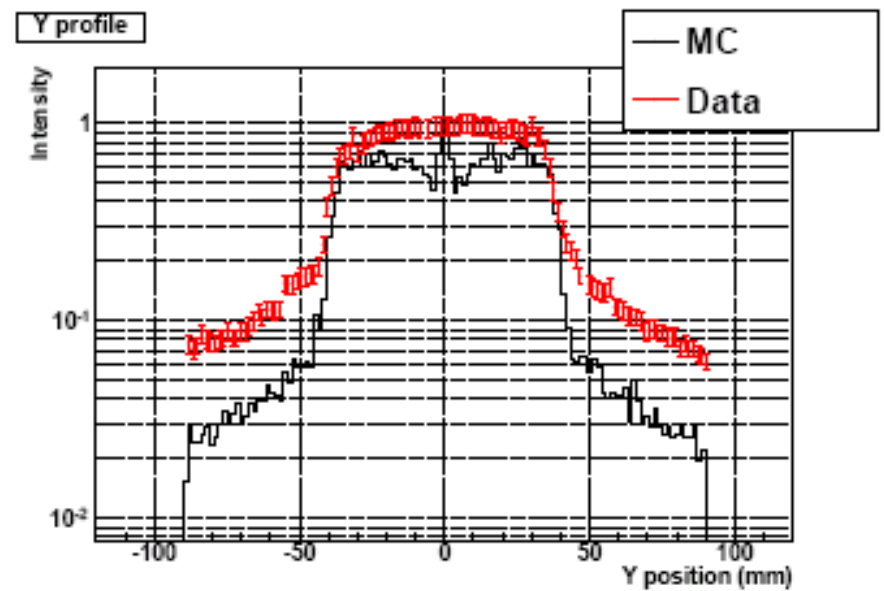
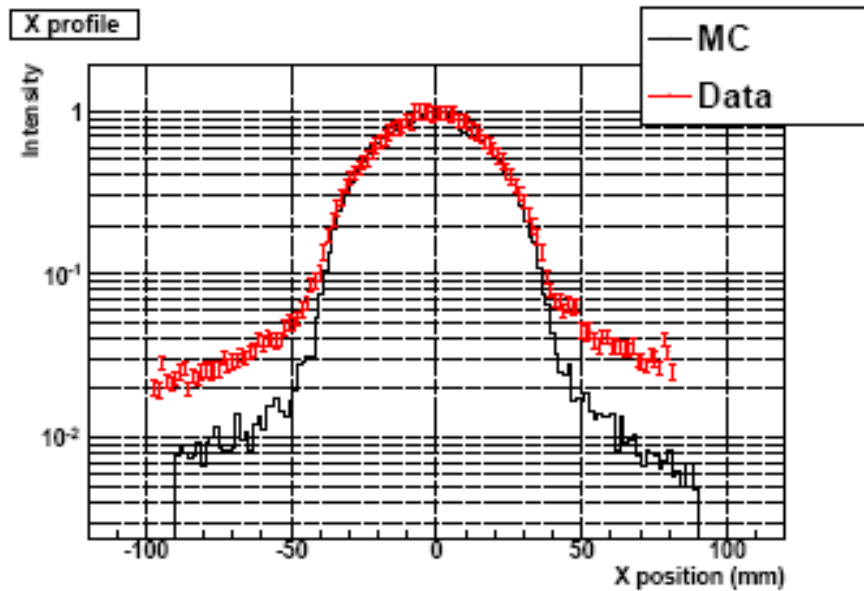


ビームライン・シミュレーション

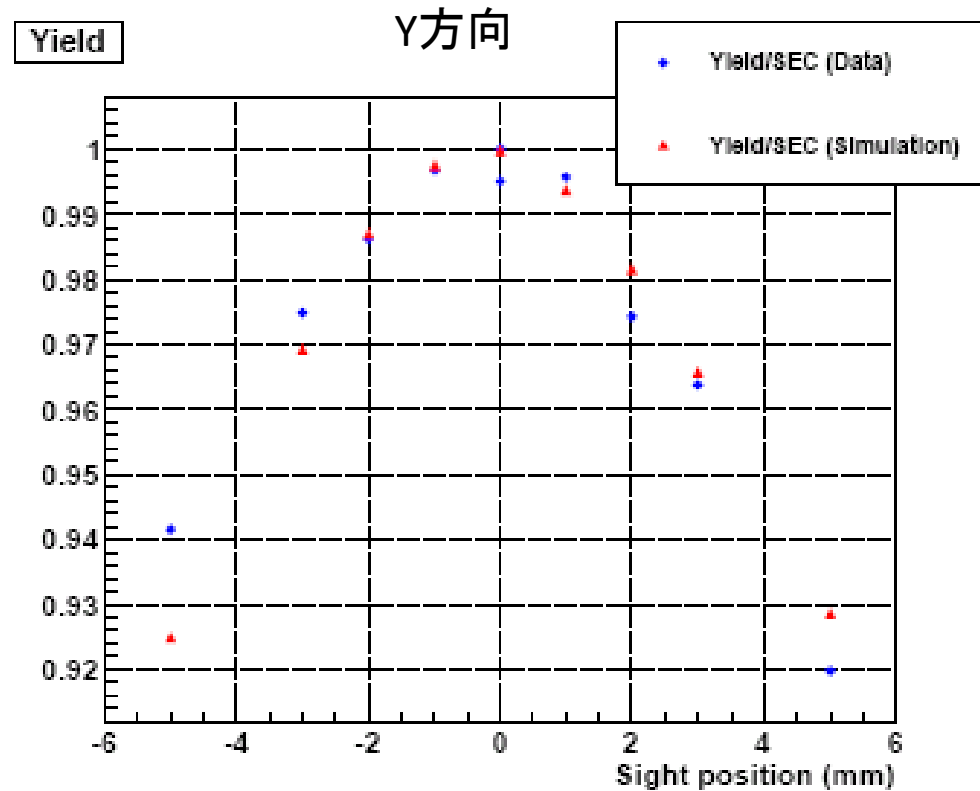
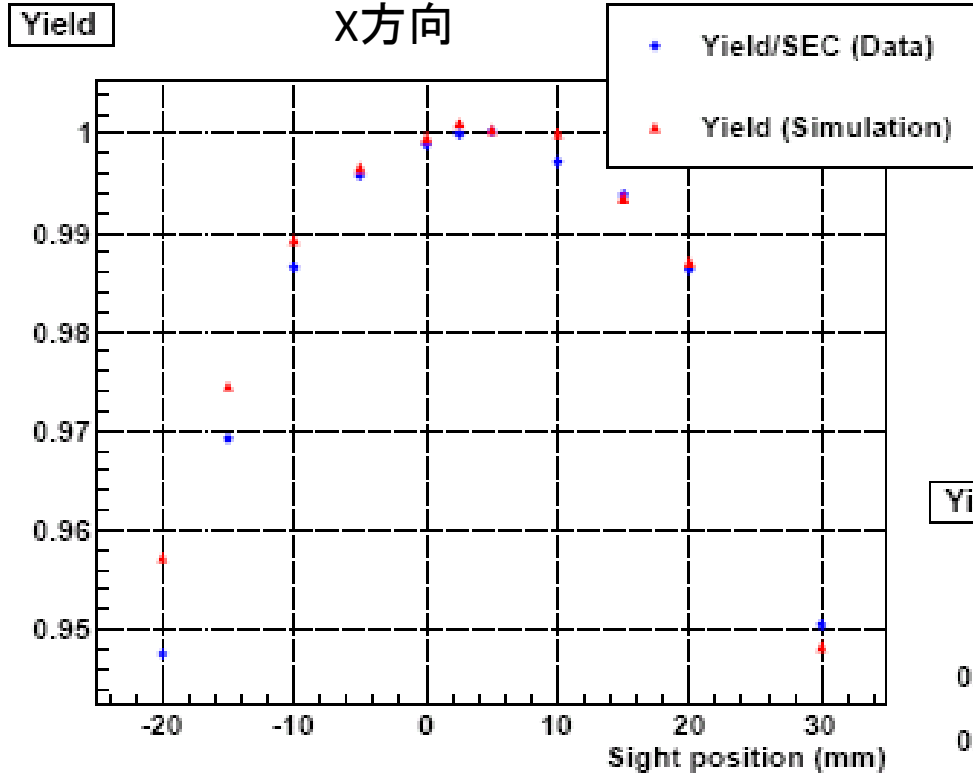


コリメータ調節後の、初期状態（測量時）からのコリメータ位置の動き

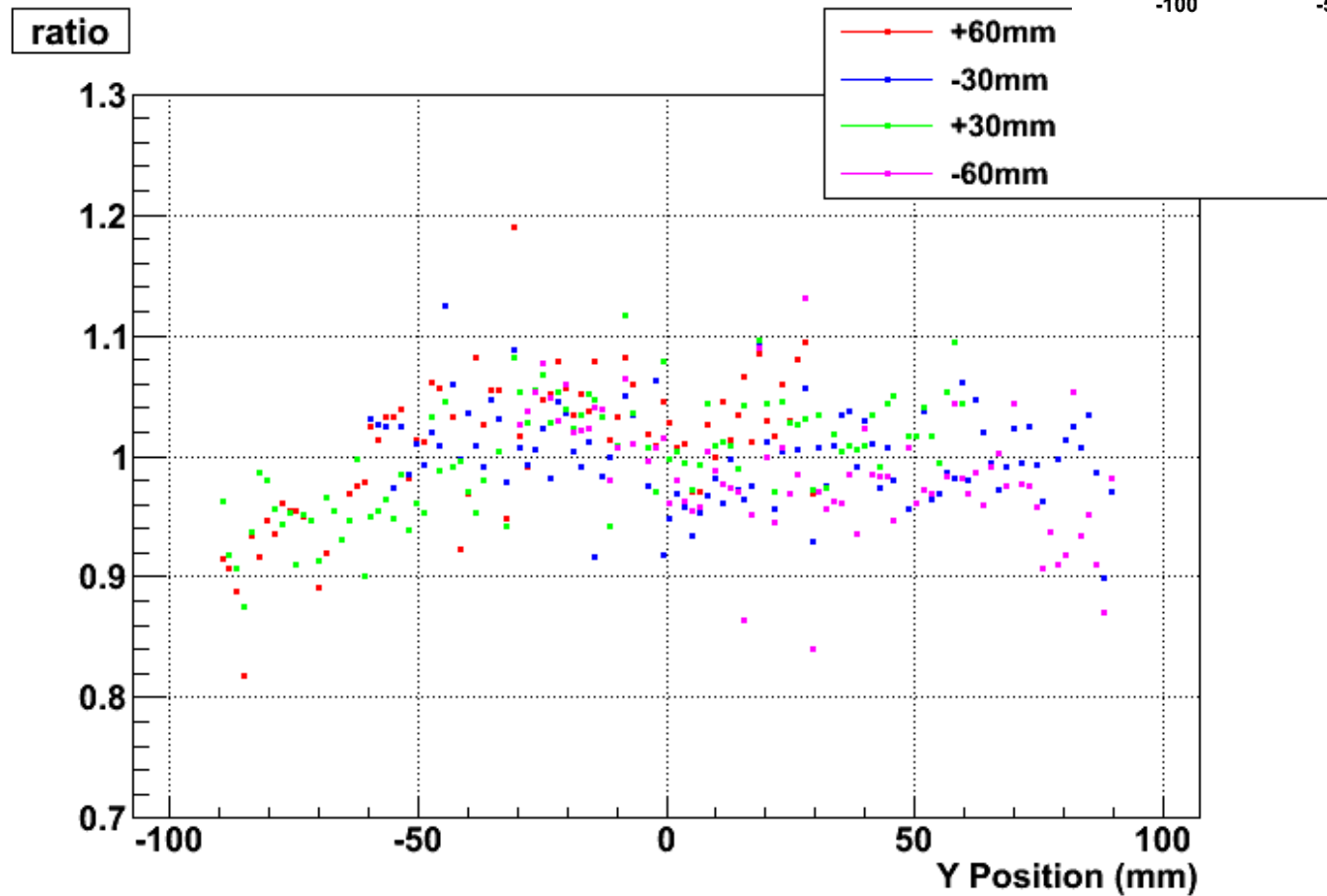
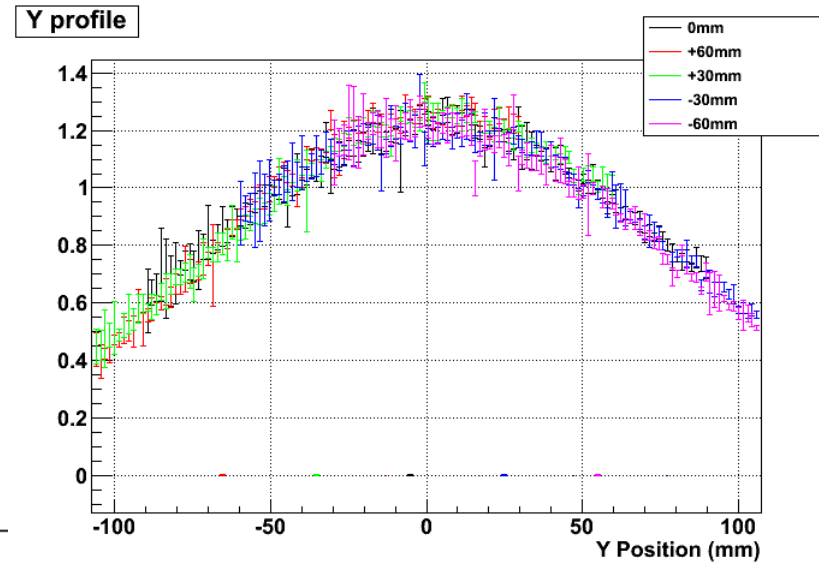
	C1U	C1D	C2U	C2D
X direction	0.33mm	0.83mm	-0.40mm	-1.31mm
Y direction	-0.13mm	-0.60mm	-0.77mm	1.03mm



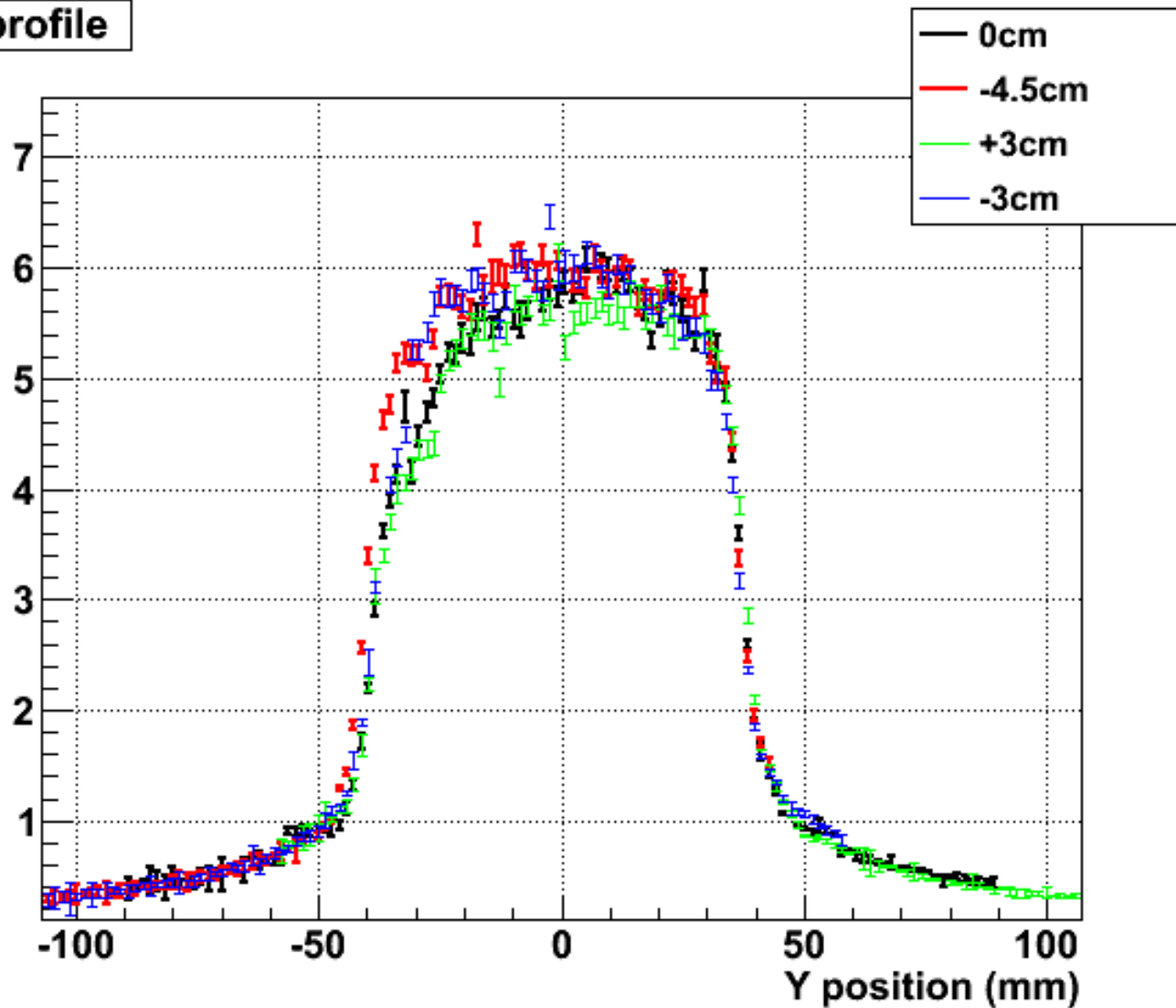
シミュレーションとの比較(2)



キャリブレーション

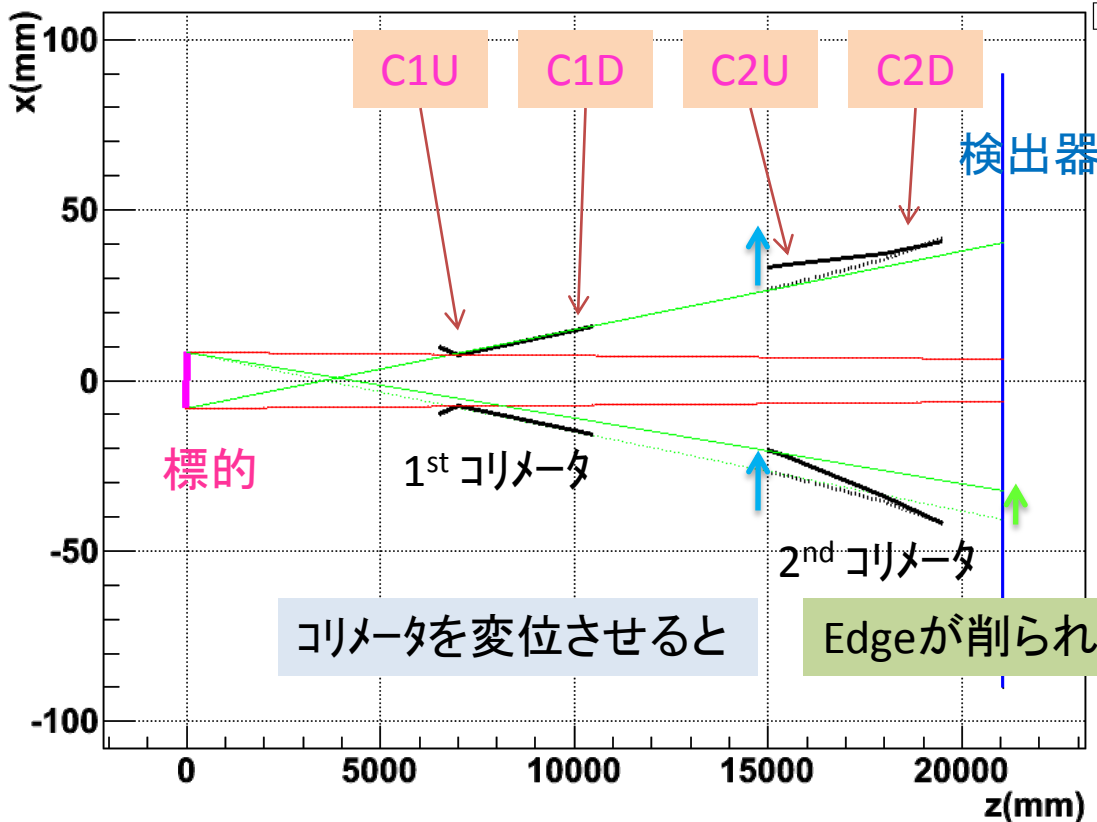


Y-profile



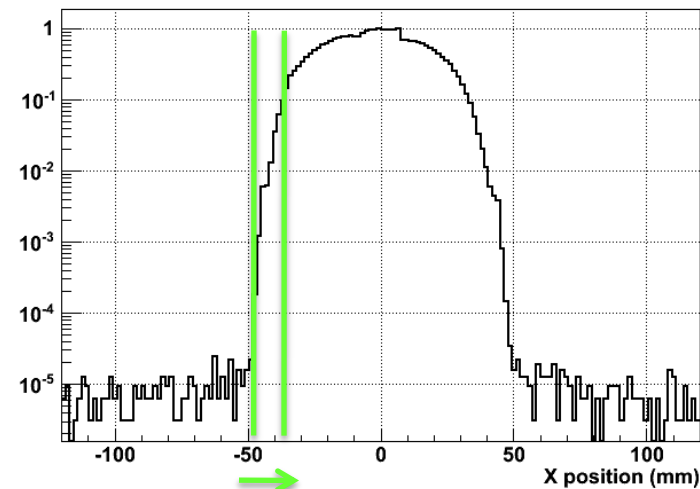
コリメータ位置の変位に伴うプロファイルの変化(1)

Top View



X profile

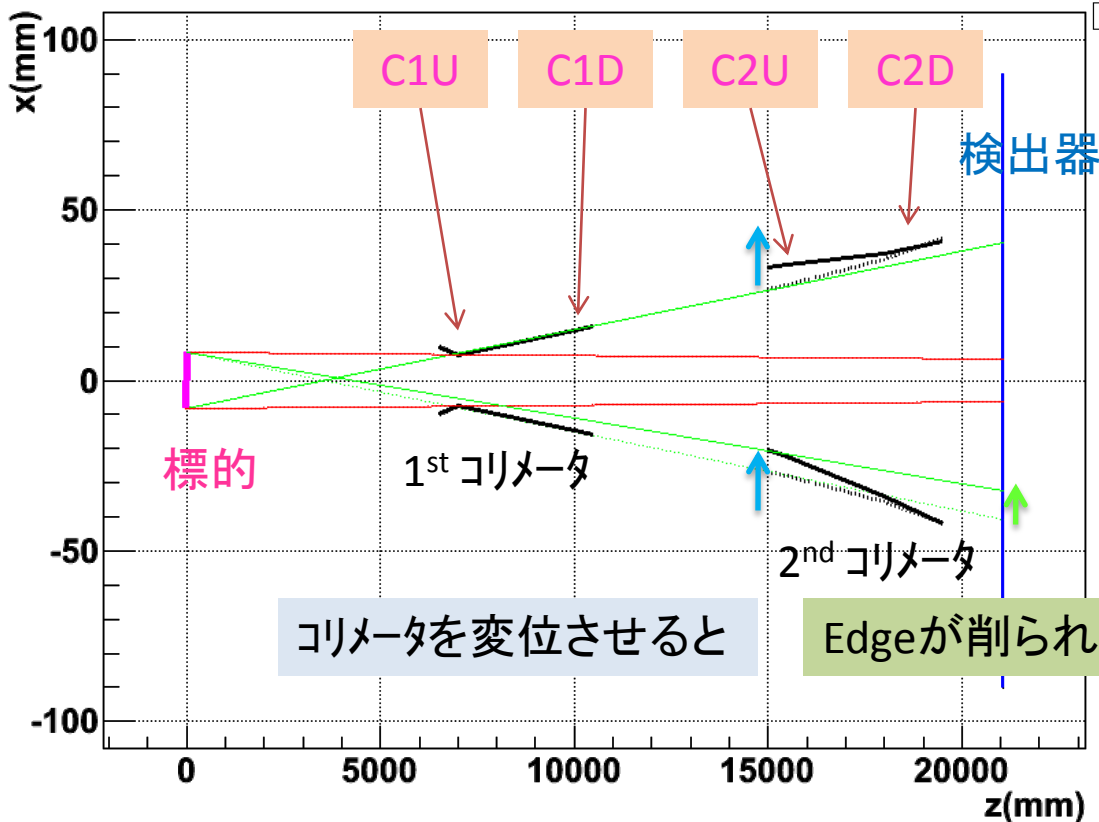
粒子数プロファイル



- Edge位置の変化を調べることでコリメータの位置を確認。

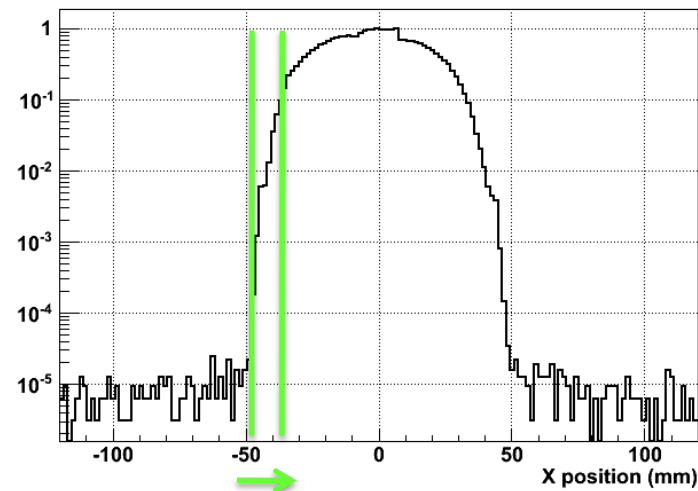
コリメータ位置の変位に伴うプロファイルの変化(1)

Top View



X profile

粒子数プロファイル

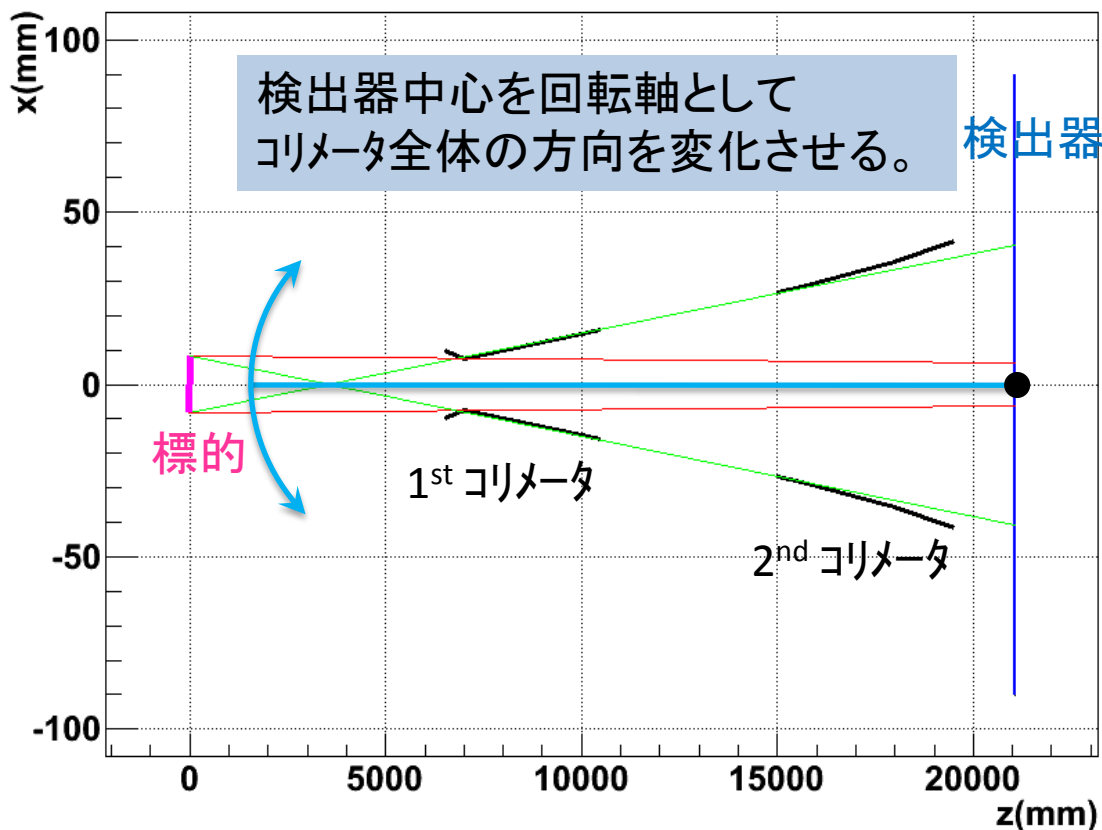


ビームEdgeが削られる。

- コリメータ位置を変位させると、コリメータ内壁が入り込んでビームEdgeを削り出す様子が表れる。
- これらの変化を調べることでコリメータの位置を確認。

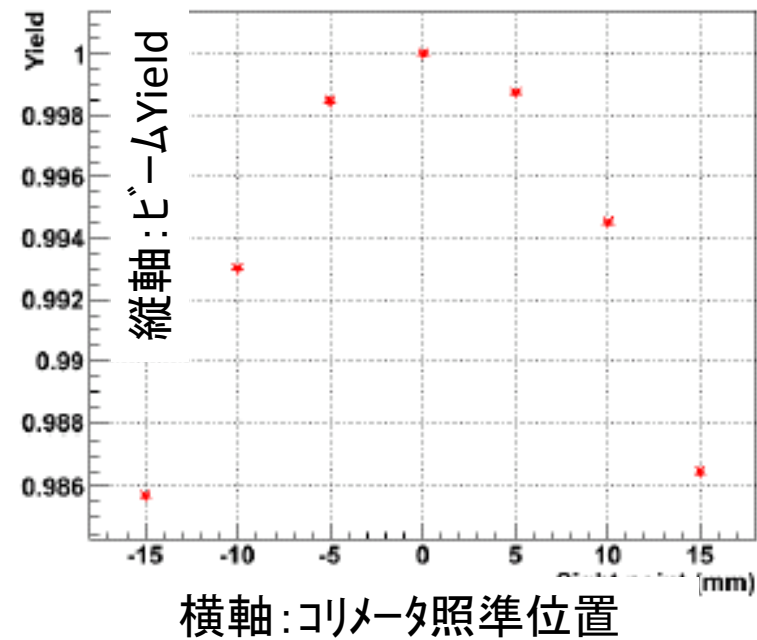
コリメータ位置の変位に伴うプロファイルの変化(2)

Top View



Total Yield

シミュレーション結果

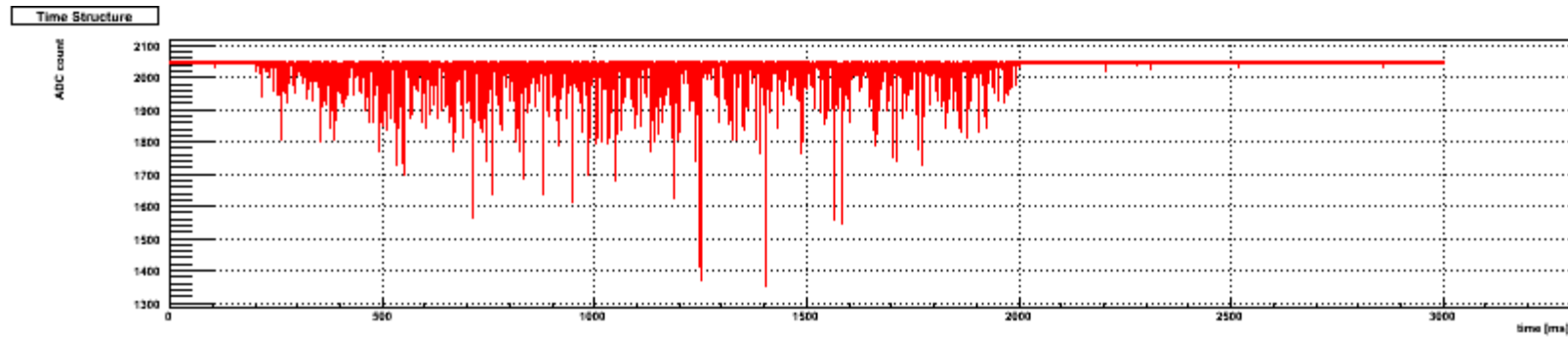


↑: ビームの粒子数のYieldの変化

- コリメータ照準が標的中心からずれているとビームYieldが落ちる。
- ビームYieldの変化を調べ、コリメータ照準の方向を調べる。

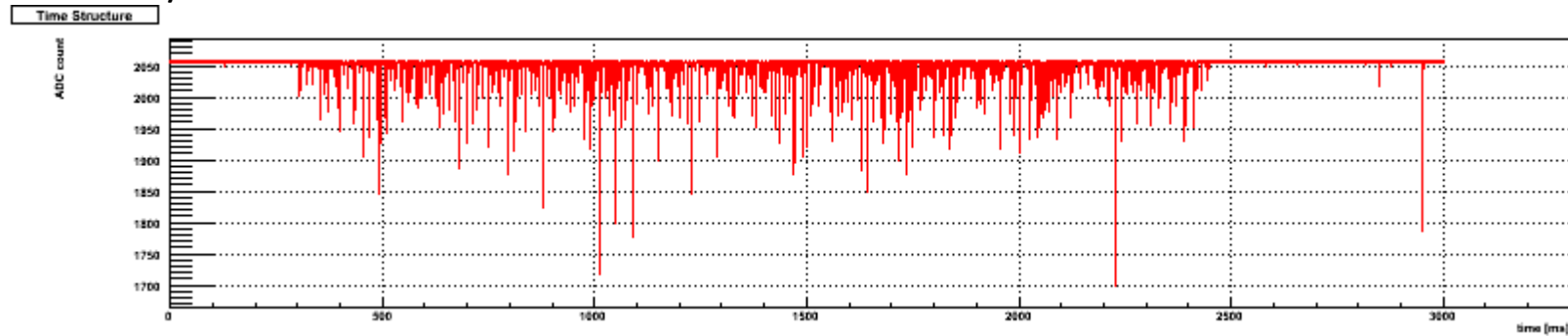
Time structure

2010 2/19



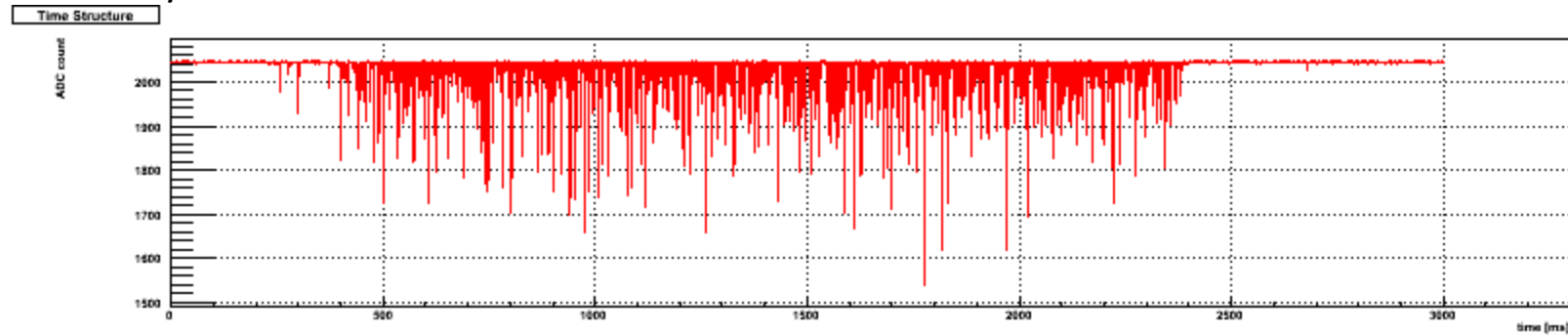
16.5%
 $\pm 0.9\%$

2010 10/15 23:33~



10.4%
 $\pm 0.9\%$

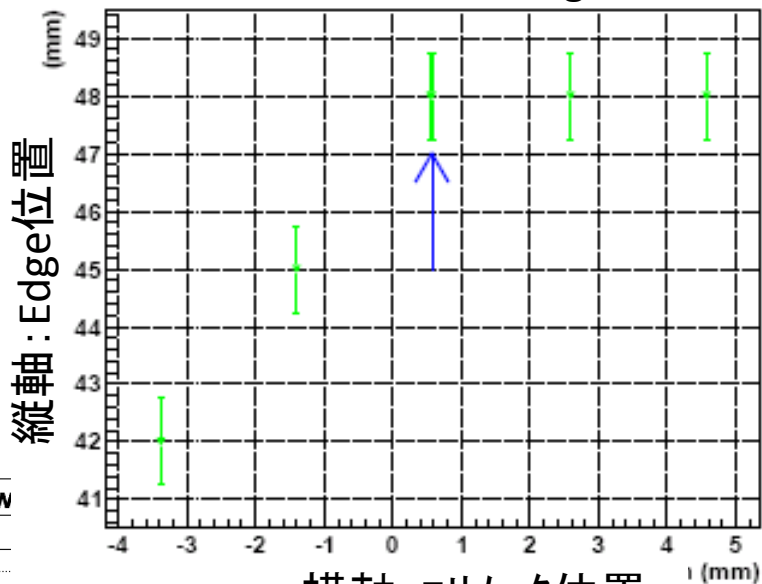
2010 10/31 22:35~



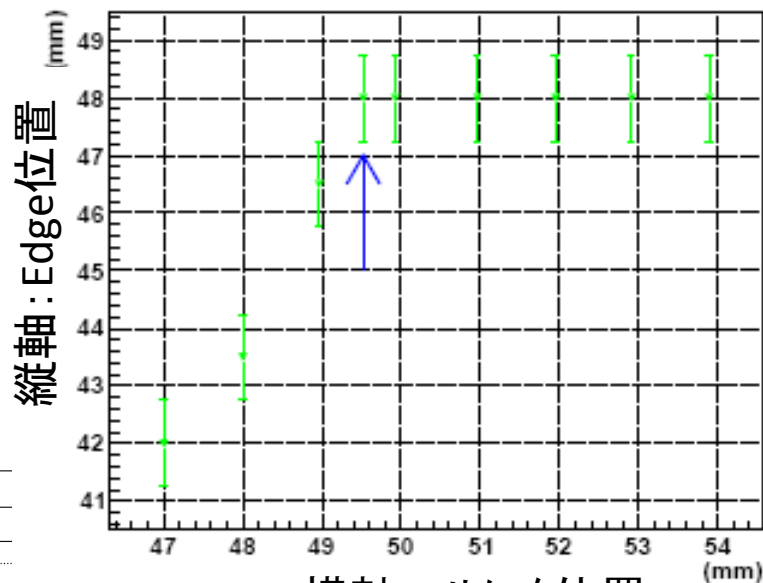
17.5%
 $\pm 1.9\%$

測定データの例(1)

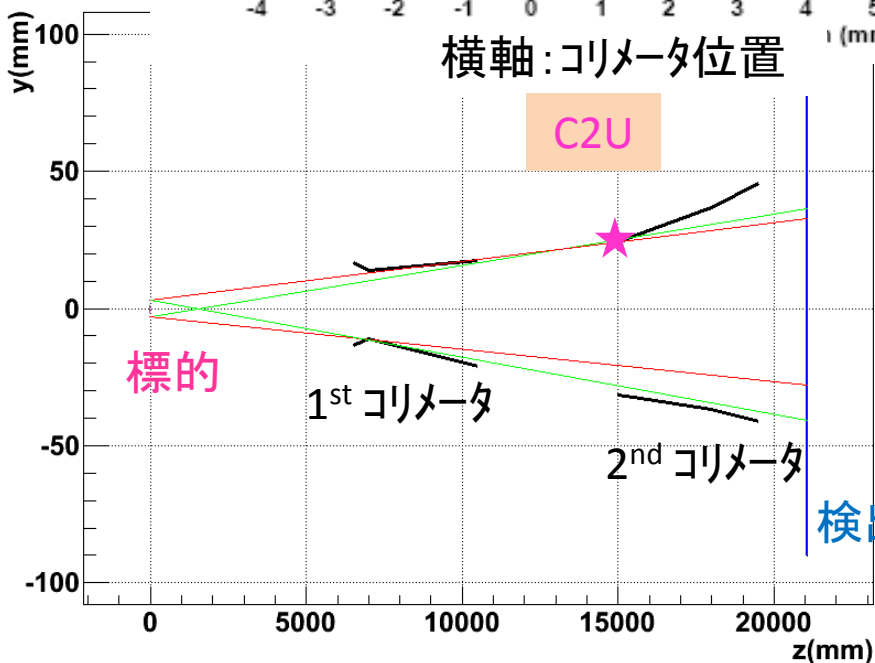
C2Uを動かしたときのEdgeの動き



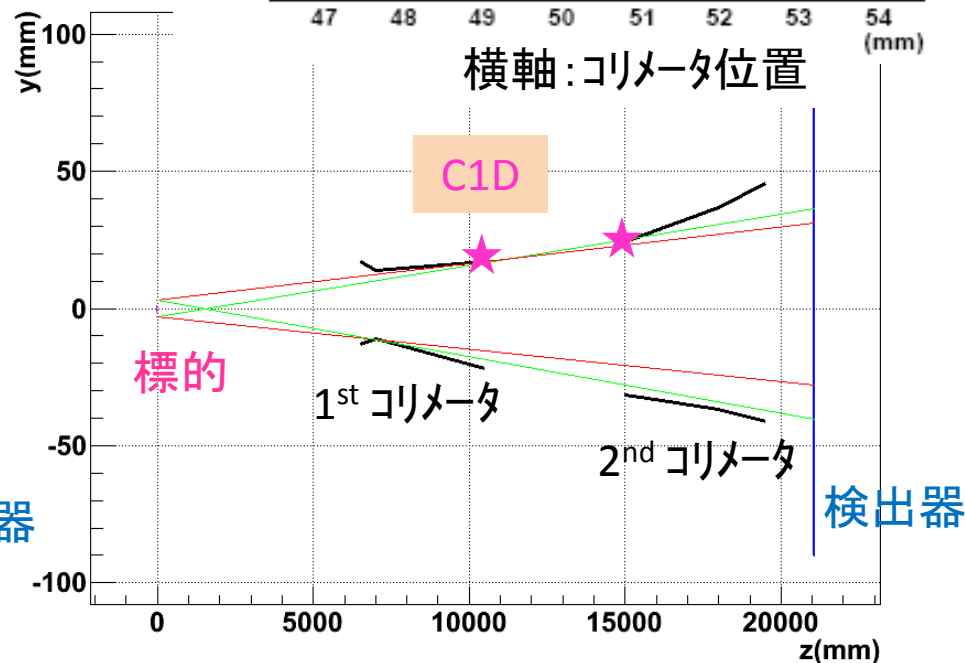
C1Dを動かしたときのEdgeの動き



Side View



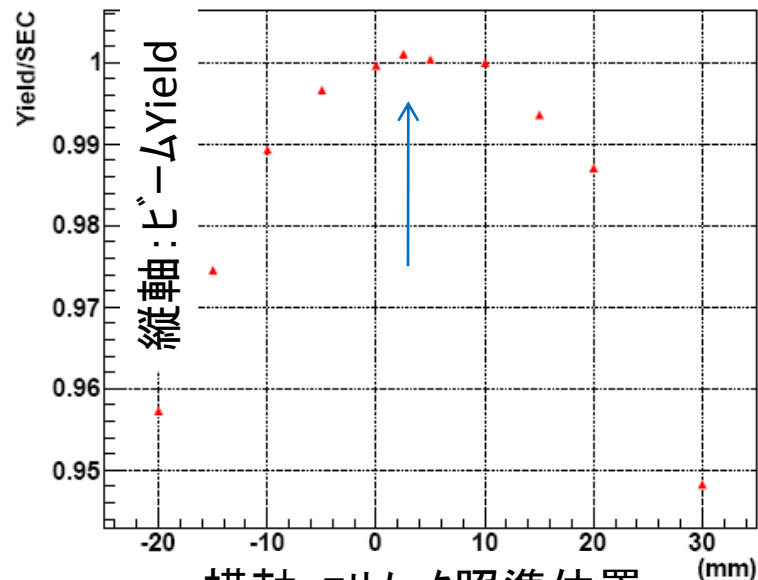
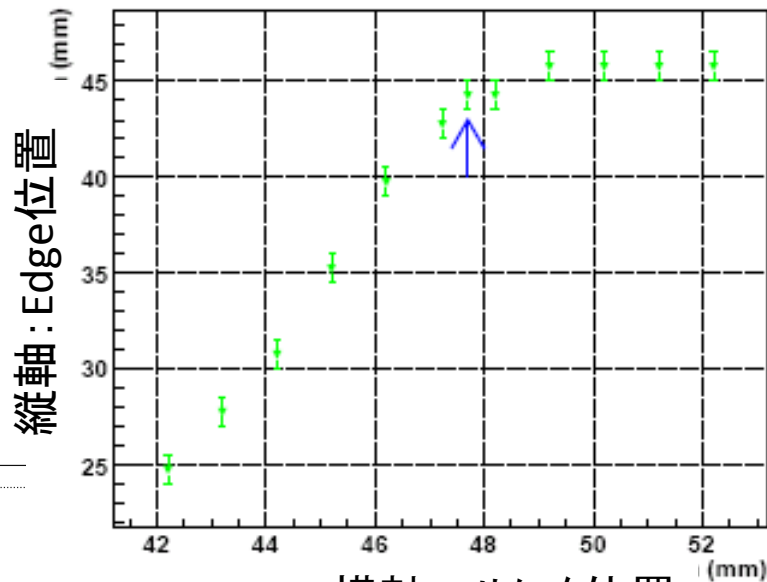
Side View



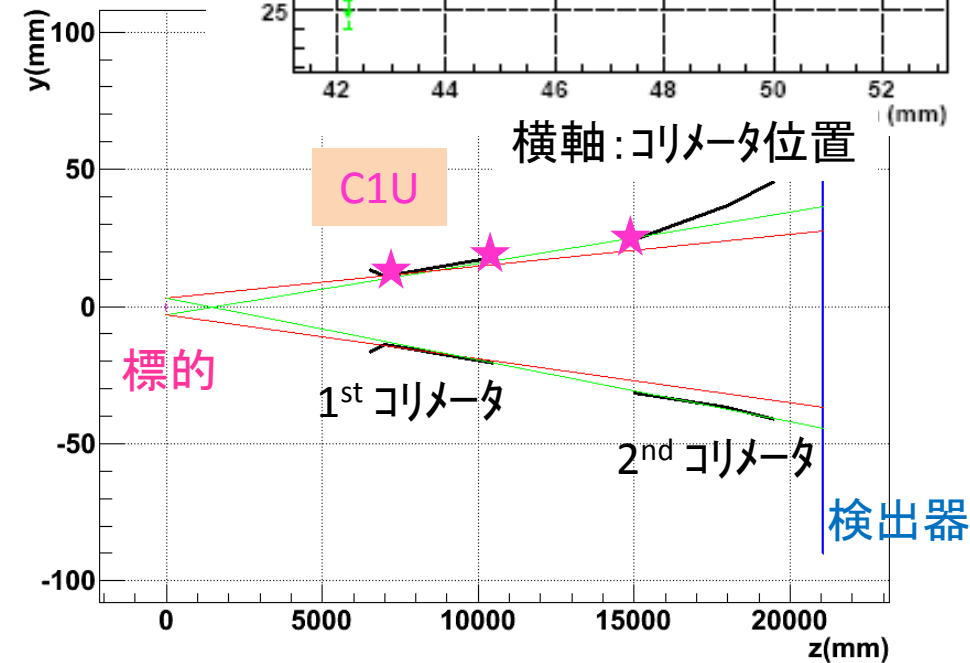
測定データの例(2)

コリメータ照準位置の変位に対するYieldの変化。

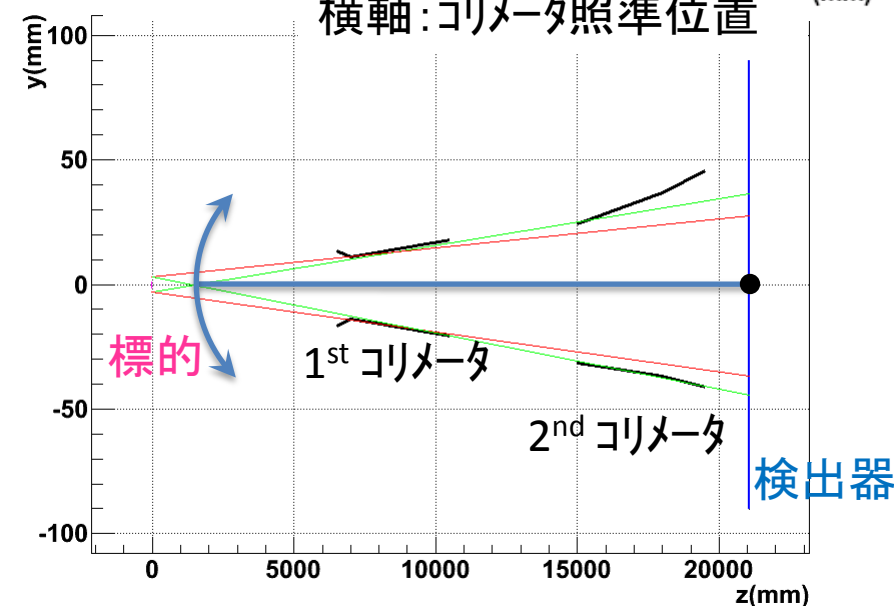
C1Uを動かしたときのEdgeの動き



Side View



Side View



ハロー中性子バックグラウンド

- K_L ビームには γ や中性子も含まれる。
- K_L ビームに付随してビーム軸から広がって出てくるハロー中性子が存在する。
- ハロー中性子はビーム軸付近の検出器と反応し、 π^0 や η (2γ に崩壊)を生成しバックグラウンドになる。

