

粒子識別装置TOPカウンターの
120GeV π ビームを用いた
フォーカシング機構の検証と時間分解能

2011.3.11.Fri

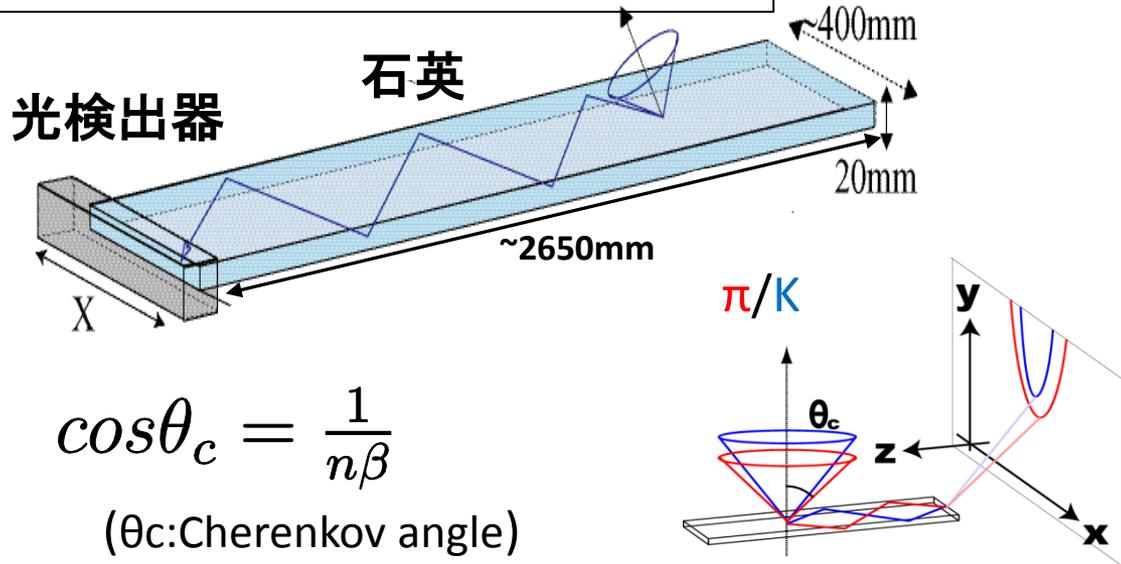
名古屋大学

高エネルギー素粒子物理学研究室 (N研)

有田義宣

TOPカウンターの原理と識別能力

TOPカウンター
(リングイメージ型チェレンコフ検出器)



$$\cos\theta_c = \frac{1}{n\beta}$$

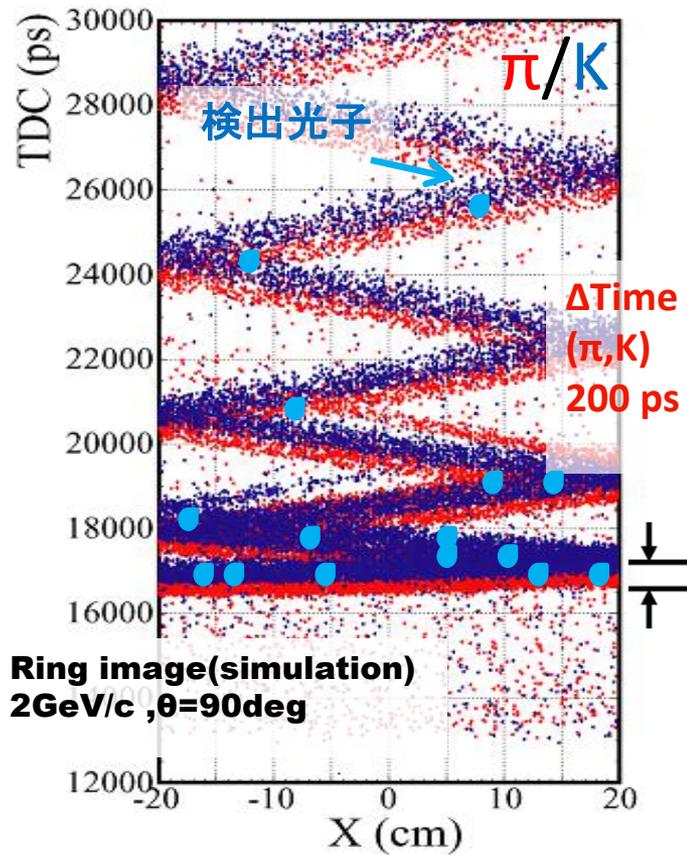
(θ_c :Cherenkov angle)

xと時間tの情報でリングイメージを再構成

検出できる光子数 ~ わずか 20個程度
K/ π のチェレンコフ光の時間差 ~200ps

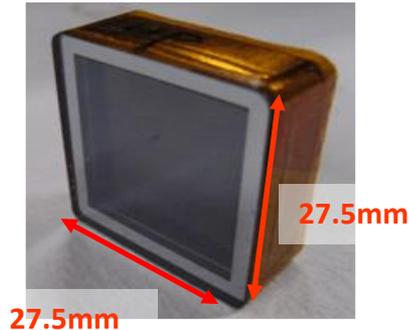
$$TOP \text{ 識別能力} = \frac{\Delta Time(\pi, K)}{\text{時間分解能}} \times \sqrt{\text{検出光子数}}$$

TOPカウンターのリングイメージ



TOPカウンター開発研究の現状

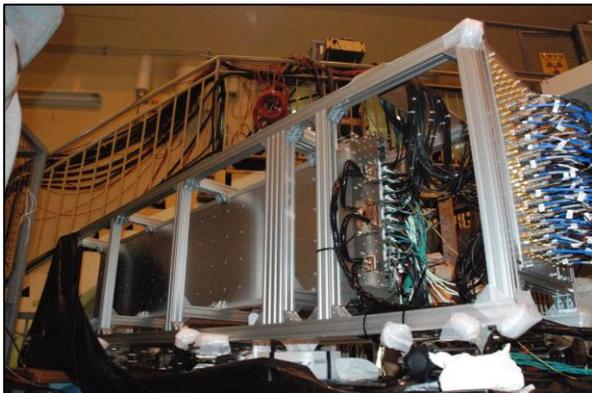
光検出器MCP-PMT(浜松ホトニクスと共同開発)



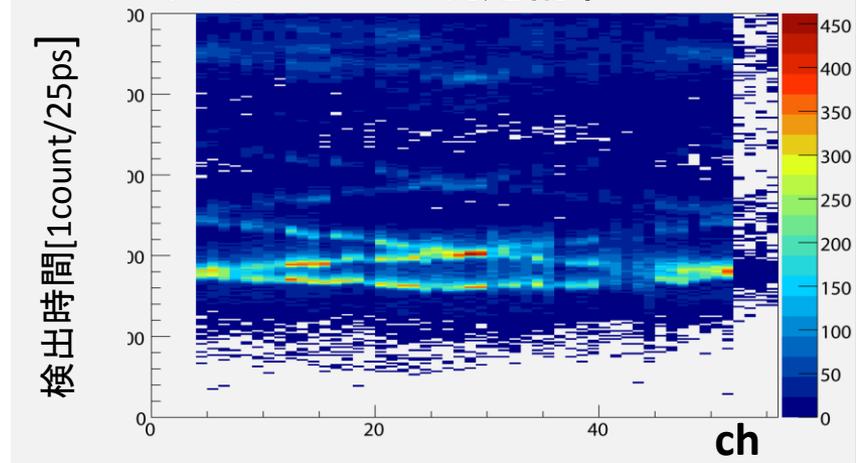
光検出器 MCP-PMT

1. 一光子検出可能 $\text{Gain} > 1 \times 10^6$
2. 時間分解能 $< 50\text{ps}$
3. 量子効率 $Q.E > 20\%$ (400nm)

TOPカウンター実機プロトタイプ



リングイメージ(測定結果)



⇒TOPカウンターについて、基本的な動作は確かめられている

波長分散効果による時間分解能の悪化

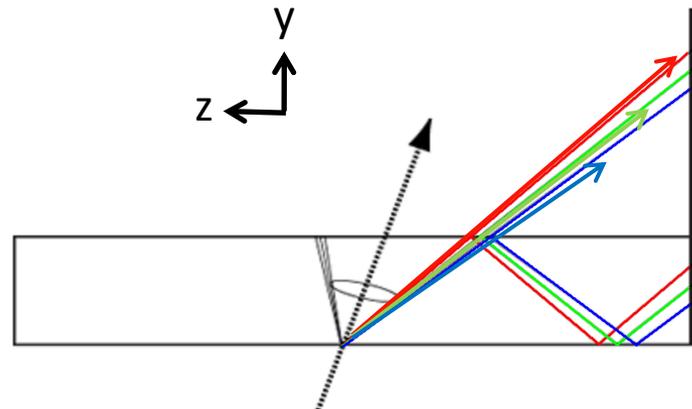
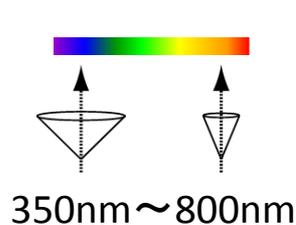
TOPカウンターの時間分解能を制限する要素

波長分散効果：屈折率の波長依存性による効果

□チェレンコフ角の違い

$$\theta_c(\lambda) = \cos^{-1} \left(\frac{1}{n(\lambda)\beta} \right)$$

$$\Delta\theta \sim 12\text{mrad}$$



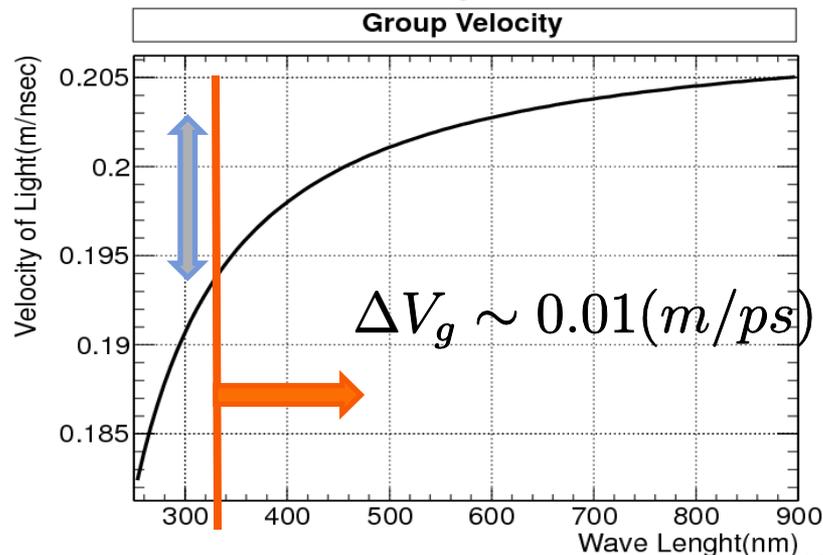
□光伝播時の群速度の違い

$$V_g(\lambda) = \frac{c}{n_g(\lambda)}$$

色(波長)が混ざると

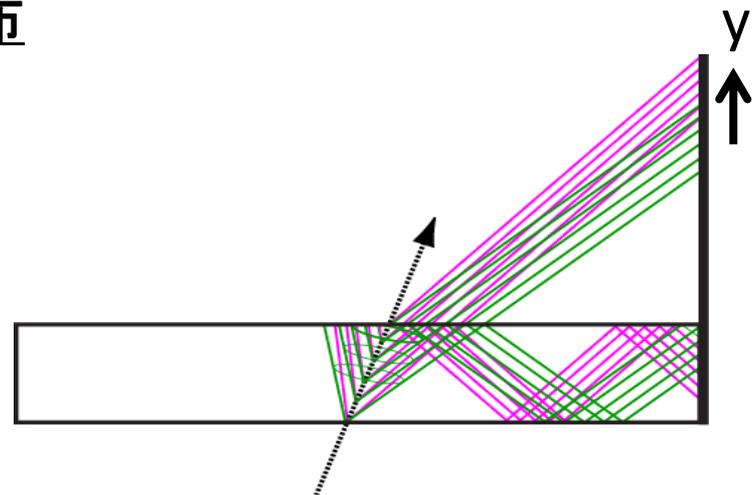
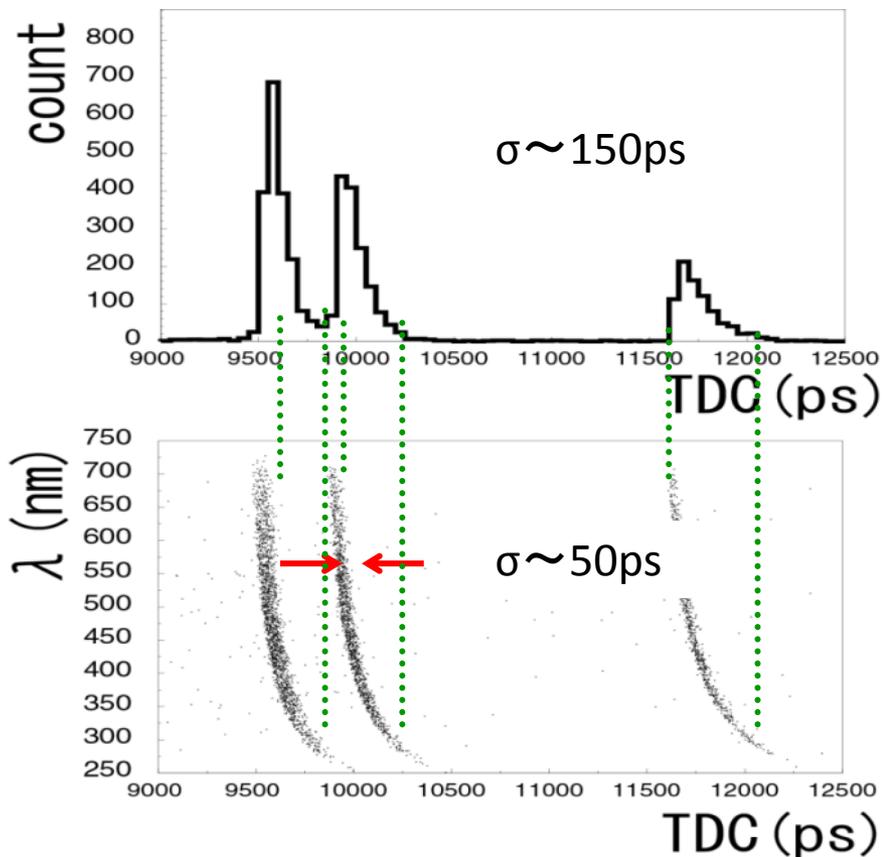
$\Delta t = 100 \sim 200\text{ps}$ の時間ふらつき

⇒時間分解能の大きな悪化を招く



波長分散効果による時間分解能の悪化

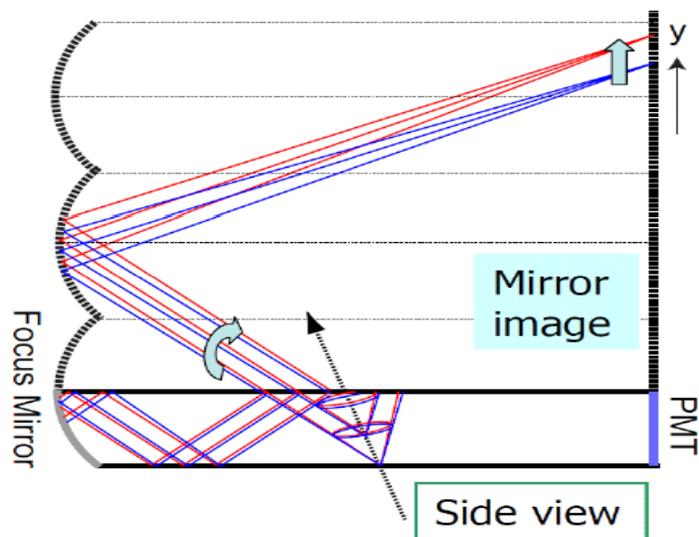
TOPカウンターで検出される光子の時間分布



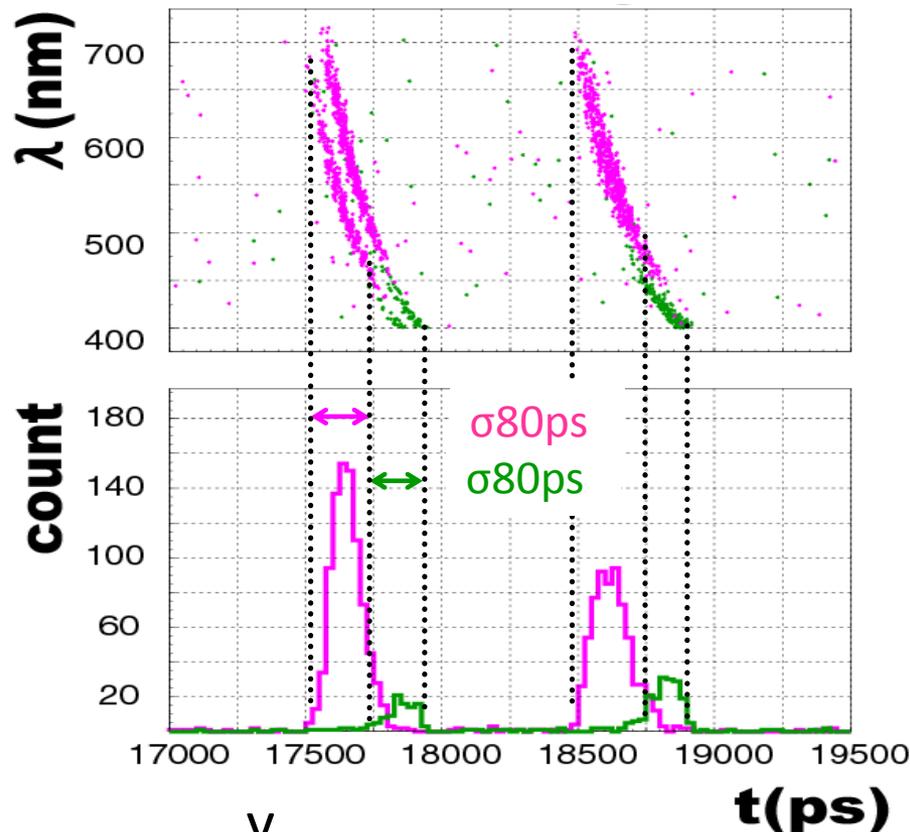
y方向のPMTチャンネルで、波長を分解すれば時間差は小さくなる

チェレンコフ光の波長依存性

波長分散効果を抑えるアイデア:フォーカシング



PMTのチャンネルでy方向を検出



フォーカシングミラー

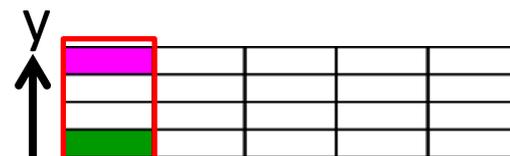
で波長によるチェレンコフ角の違い
を利用し、y方向に強く

波長分解させる

シミュレーションでは

時間分解能が改善すると予想

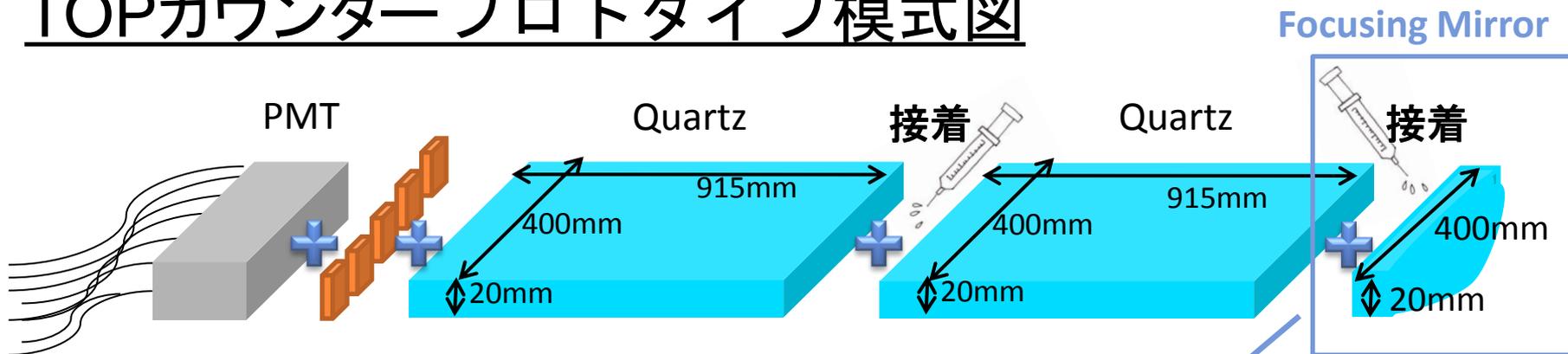
⇒まだ、原理自体が実験で確かめられていないので検証する必要がある



MCP-PMT

フォーカシングミラーを実装したプロトタイプ

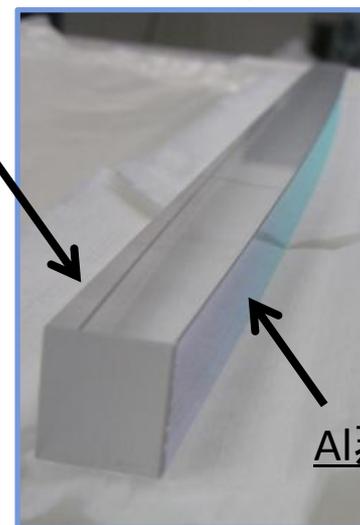
TOPカウンタープロトタイプ模式図



フォーカシングミラー (石英に蒸着)

- ・Al蒸着
- ・球面状
- ・曲率半径5000mm

石英

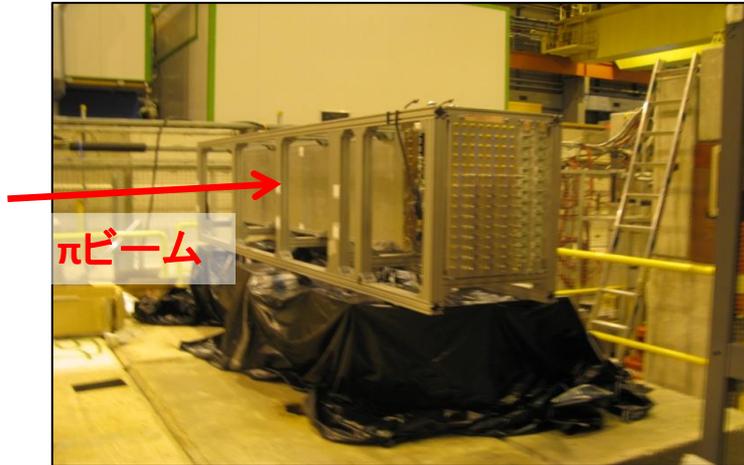


⇒このプロトタイプを用いてフォーカシングの検証

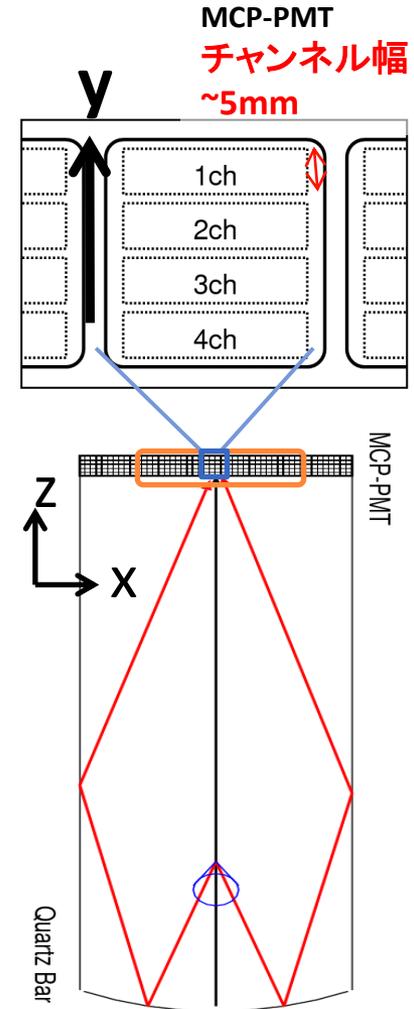
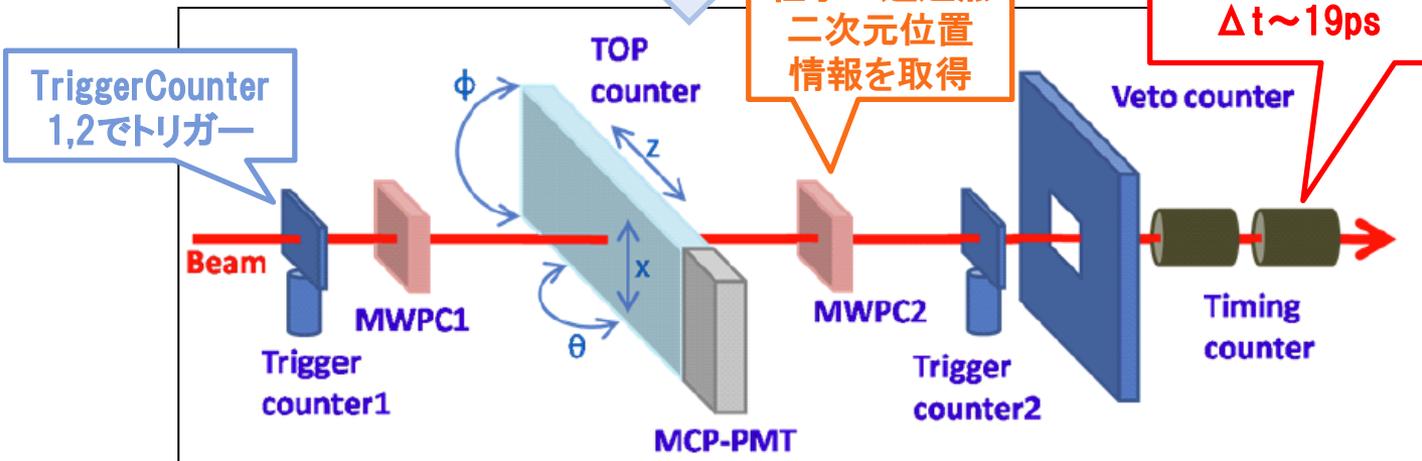
ビームテストによるフォーカシング検証

T4-H6-Bビームライン
(CERN,SPS)

-single π^+
-120GeV/c
($\beta \doteq 1$)



Beam test セットアップ

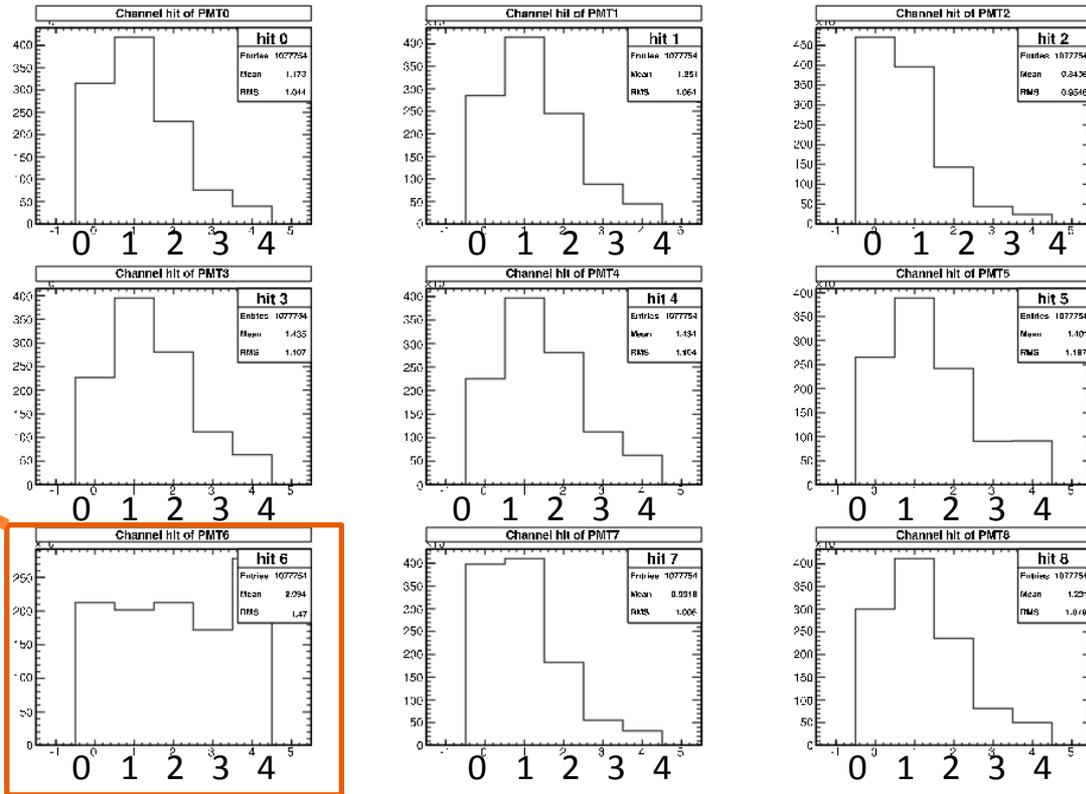


9本のPMTを使用
(本番は15本でカバー)

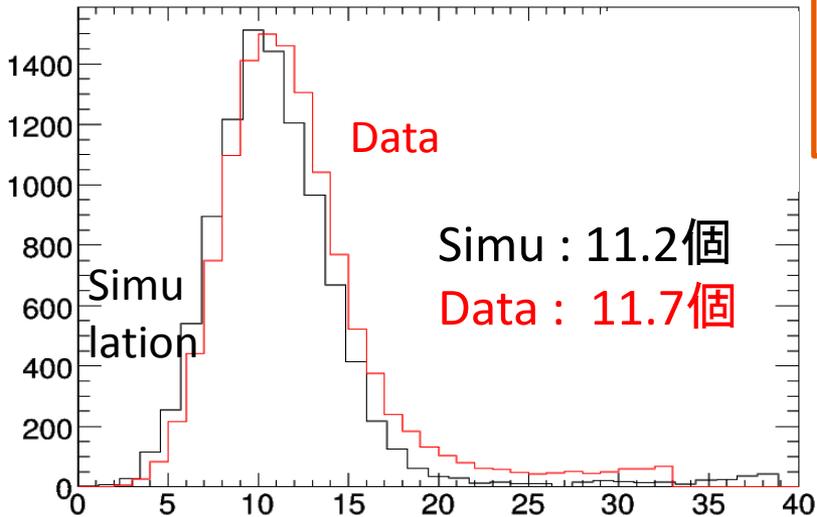
検出光子数の評価

1粒子入射あたりの
各PMT(9本)のチャンネルヒット数
 ⇒1PMTに平均して1~2個の検出

○チャンネル間のクロ
 ストークが多い。
 ⇒評価するときには除く



検出光子数比較(PMT8本)

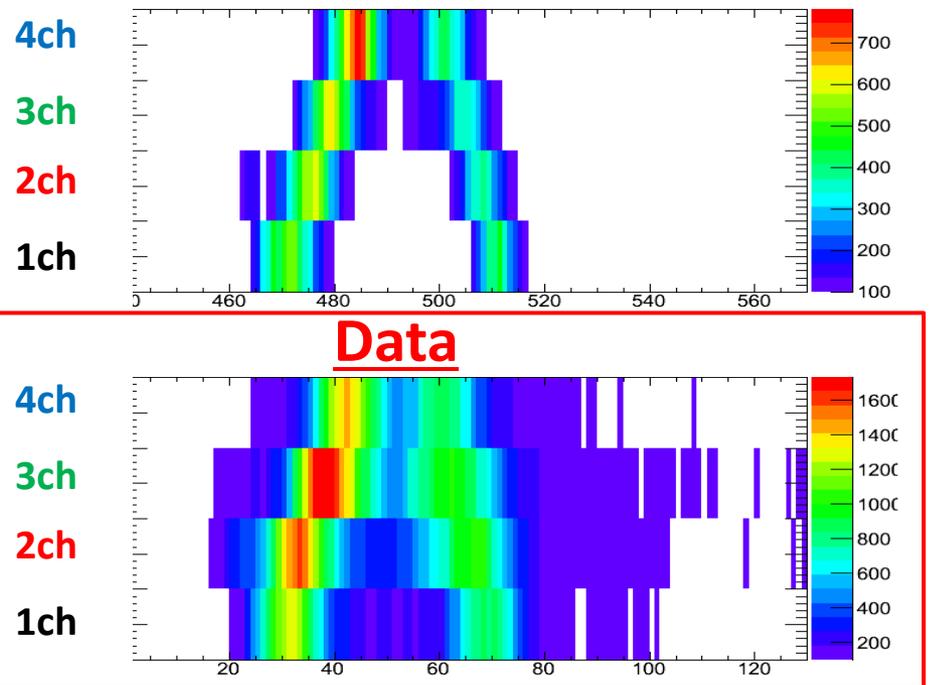
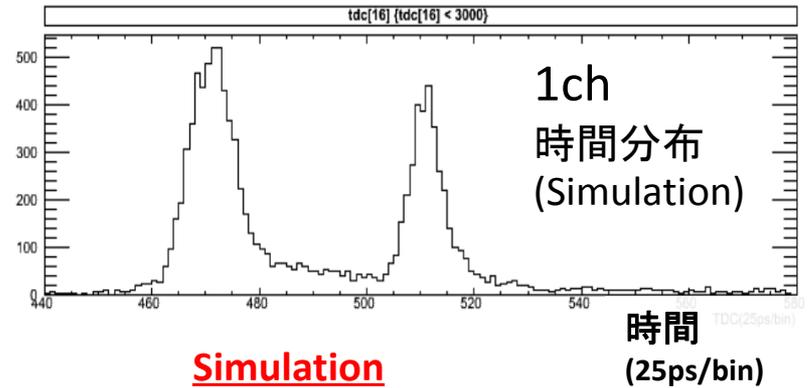
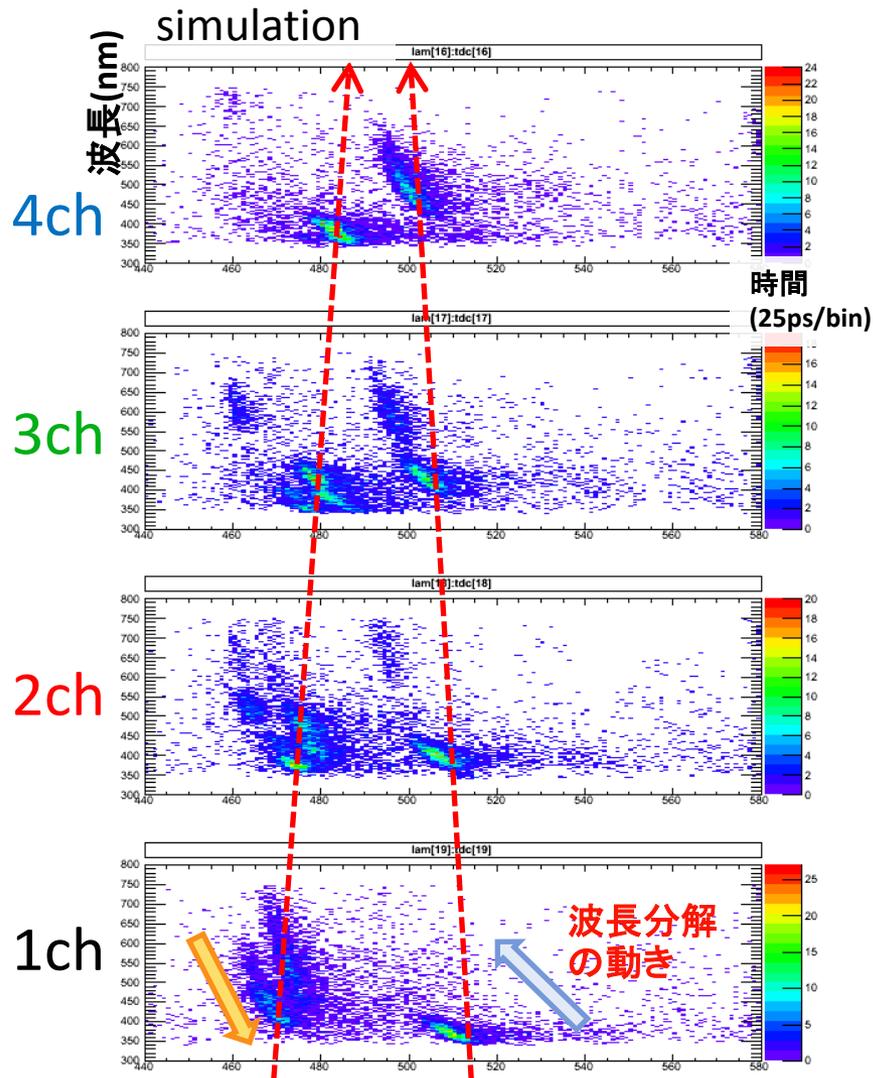


8本のPMT
 平均11.7個

➔

15本のPMT
 平均21.9個

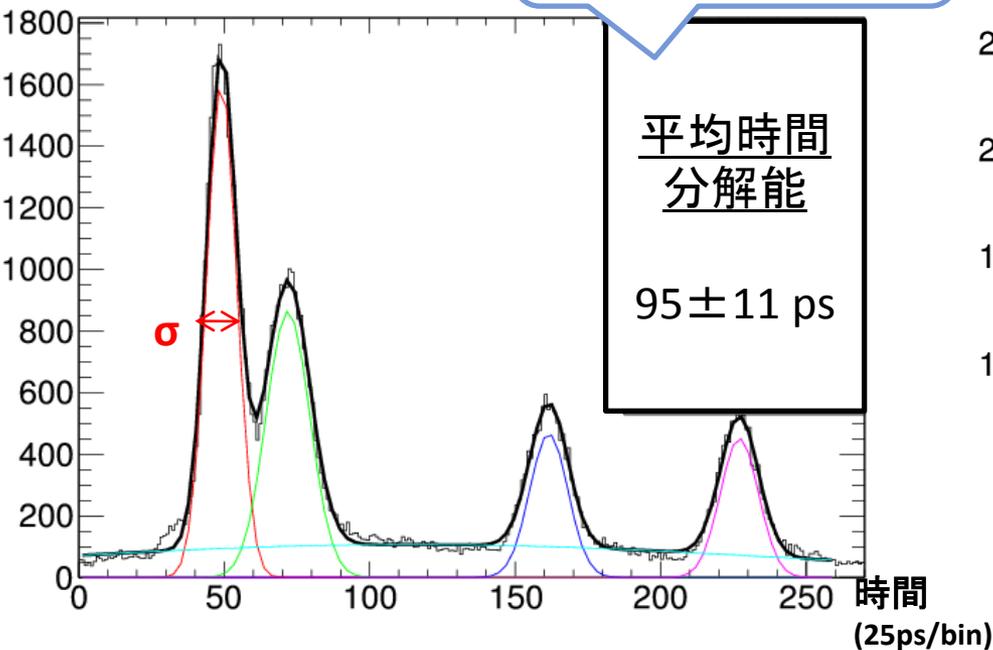
結果：フォーカシングによる色分解



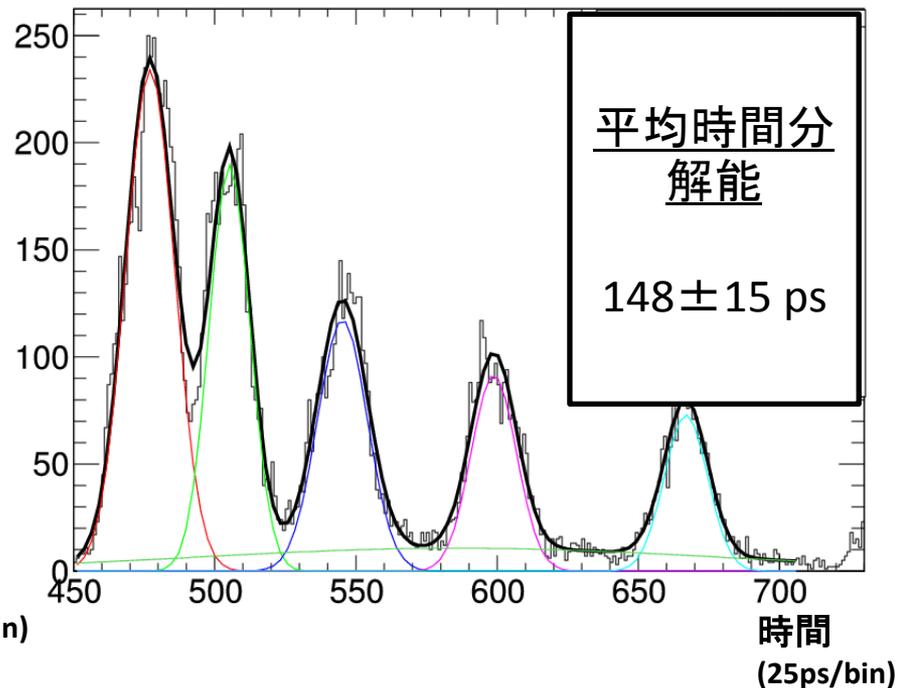
ピークの時間移動を確認 ⇒ フォーカシングによる色分解を確認

結果：時間分解能の評価(1)

実験データ



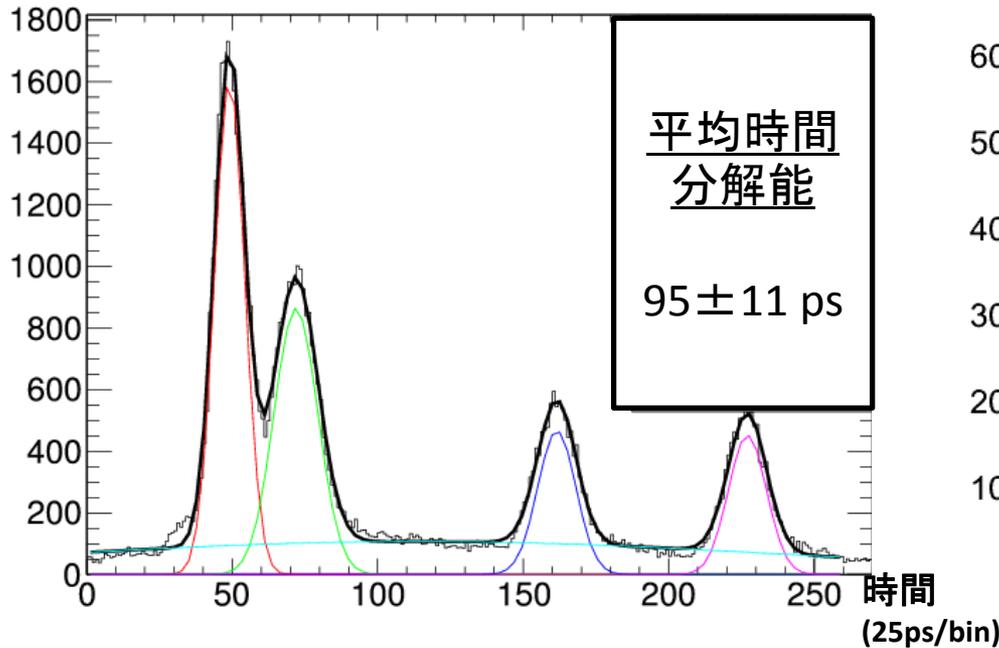
Simulation(ミラーなし)



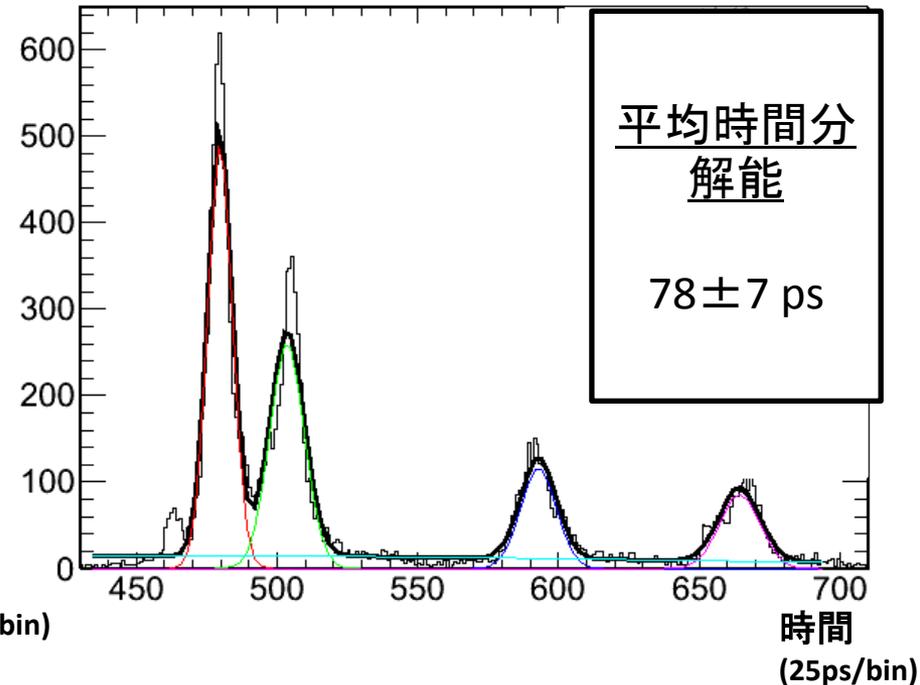
ミラーなしのシミュレーションと比較すると、
時間分解能は 148 ps → 95 ps に改善している。
フォーカシングによって波長分解された結果、時間分解能が向上している！

結果：時間分解能の評価(2)

実験データ



Simulation(ミラーあり)

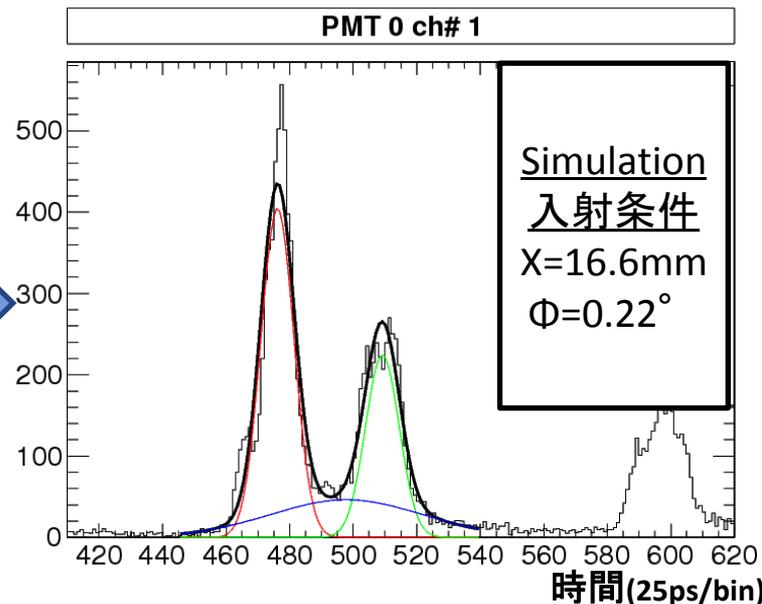
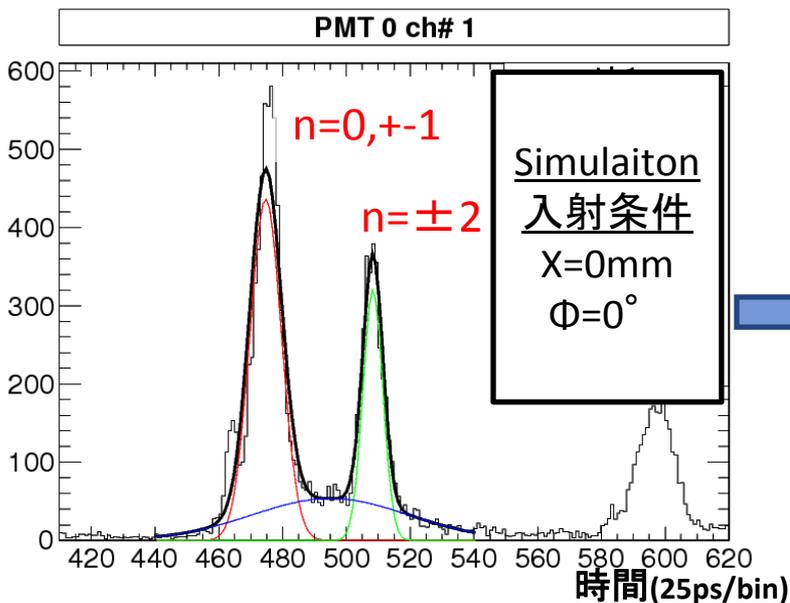


実験結果とシミュレーションの結果が異なる。原因はなにか？

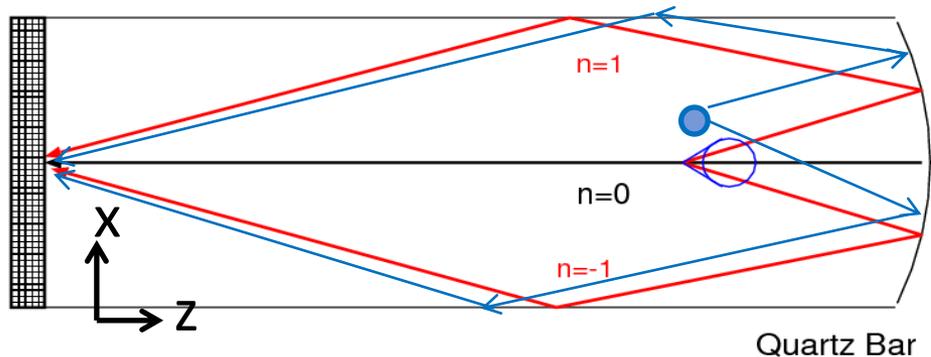
1. 粒子入射条件(入射位置のずれ)によるもの
 2. 石英内伝播中(石英面取りなど)での散乱
- ⇒これらについて、シミュレーションで考慮しきれていないのではないか

時間分解能悪化の原因

入射条件を
現実に近づける
る
ビーム入射位置 x と、
角度 Φ について、シミュ
レーションで評価



MCP-PMT



入射 x がずれることで
ふたつの経路に時間差が生まれる

1 st peak $\sigma(\text{ps})$	16ch	17ch	18ch	19ch
Data(w/Cut)	120.1	129	128.3	115.7
Simu	103.4	124.4	77.1	78.7
+alignment (x, Φ)	122.9	154.1	124.6	113.5

○入射位置(角度)が影響する可能性が強い
⇒さらに精度の良いアラインメントが必要

まとめ

CERNの120GV π ビームを用いて、TOPカウンターの識別能力を決める時間分解能を改善させるフォーカシングの検証を行なった

結果

フォーカシングミラーを用いたTOPカウンターのプロトタイプを用い、

1. 検出光子数は8本のPMTで11.7個 \Rightarrow 本番の15個では21.9個
2. フォーカシングミラーによって色分解が行なわれていることを確認
3. フォーカシングによって**時間分解能が平均148ps \rightarrow 95psに改善**

課題

時間ふらつきについてシミュレーションとの相違の理解

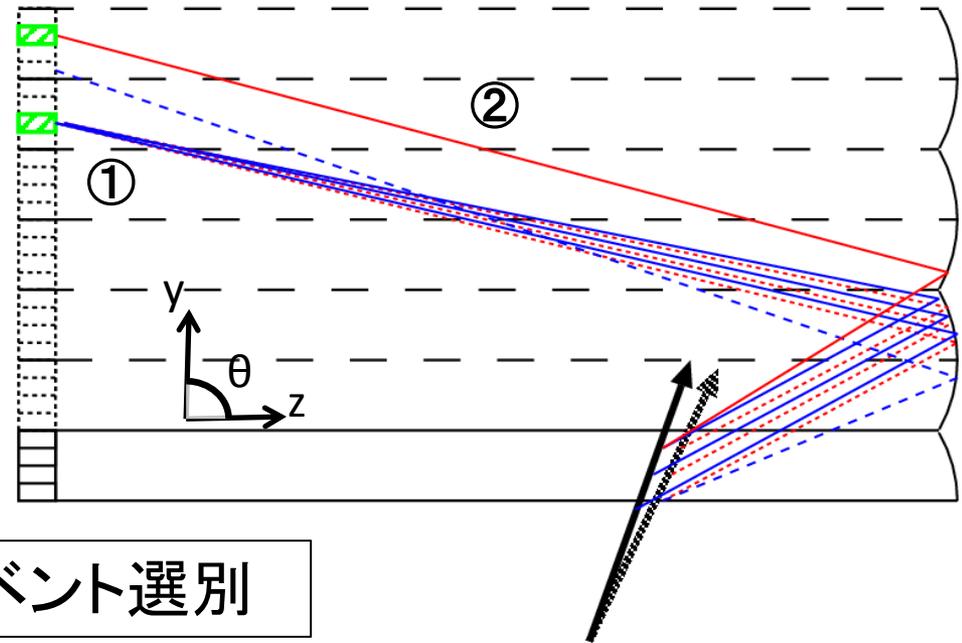
\Rightarrow 入射位置のアラインメントの影響。

さらに精度の良いアラインメントが必要

方法：入射条件の選別

入射時のふらつきによって

- ① 角度がずれることで色が混合し、時間分布をもつ
 - ② ミラー反射によって新しい経路ができる
- ⇒特に θ 方向の角度ずれが波長分解に影響



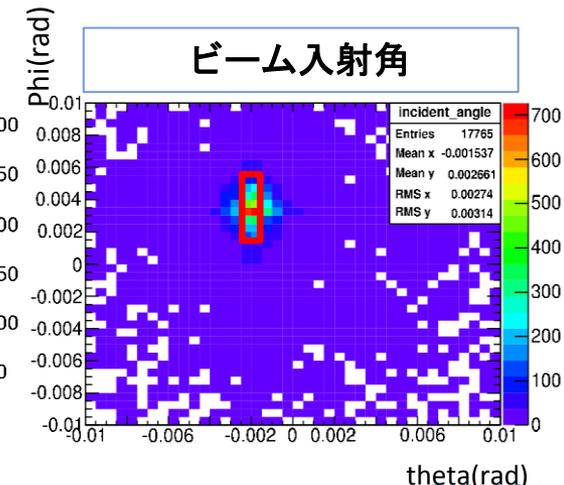
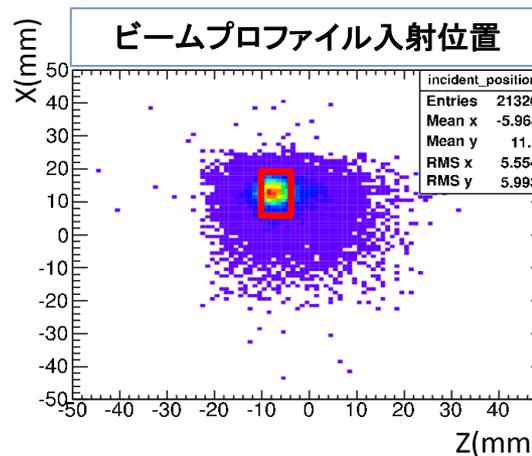
粒子の入射情報(MWPC)からイベント選別

$$1. \Delta\theta < 0.5\text{mrad}$$

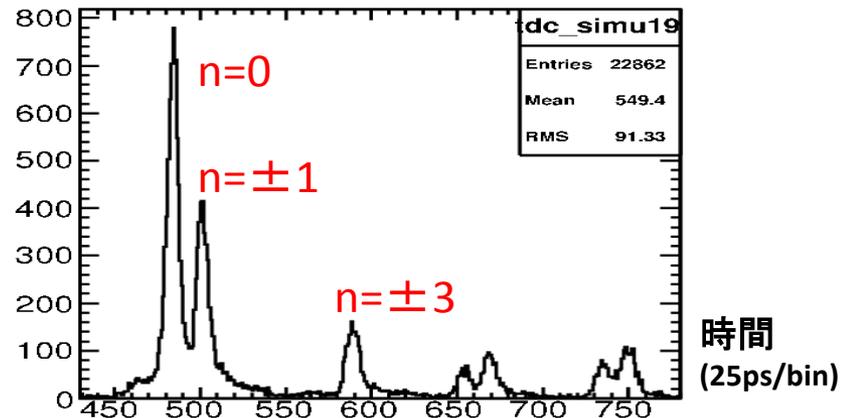
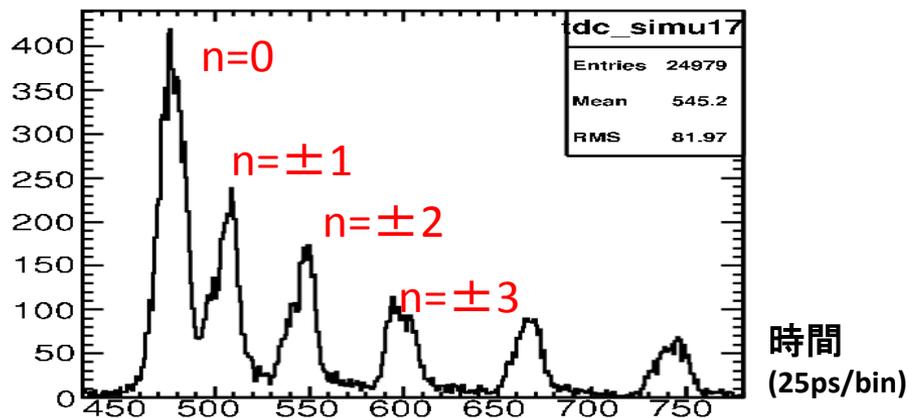
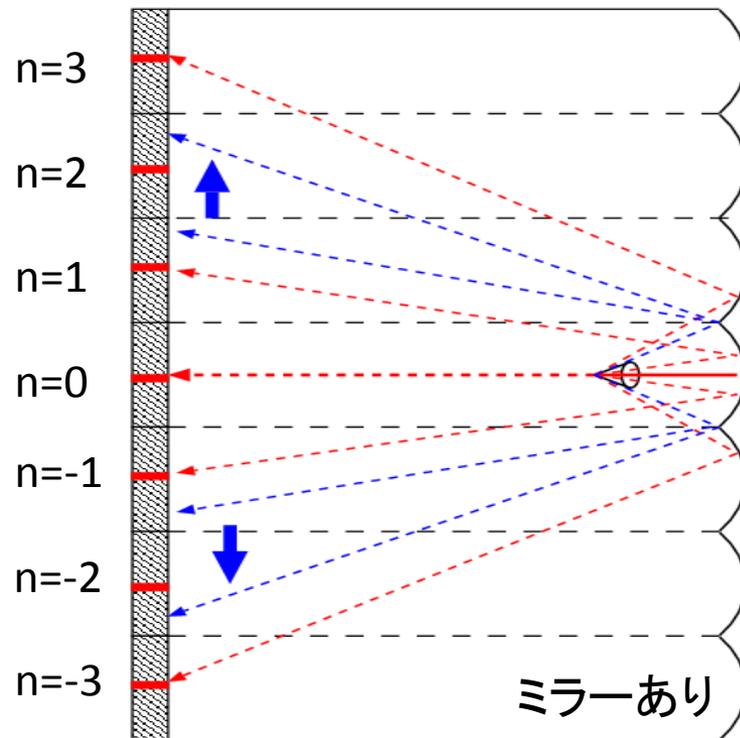
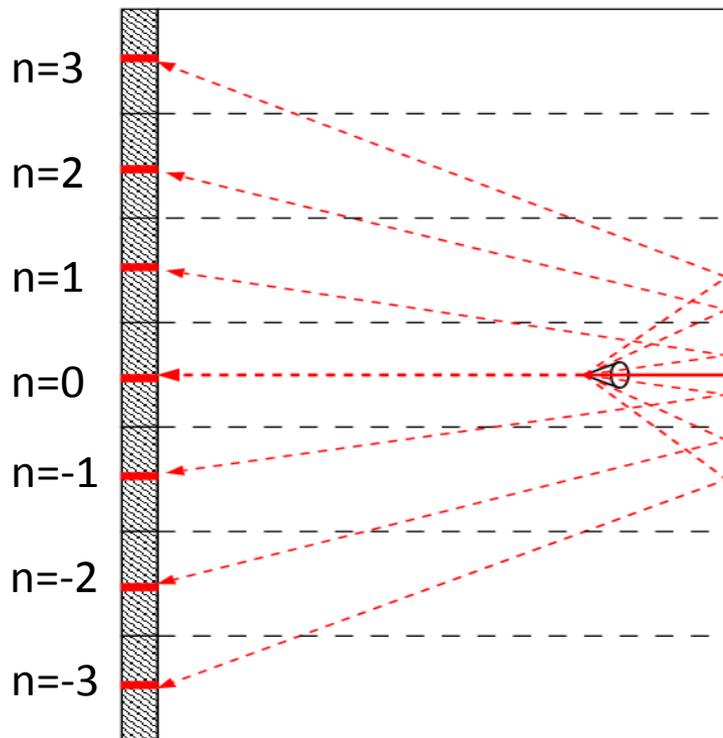
$$2. \Delta Z < 2\text{mm}$$

$$3. \Delta X < 5\text{mm}$$

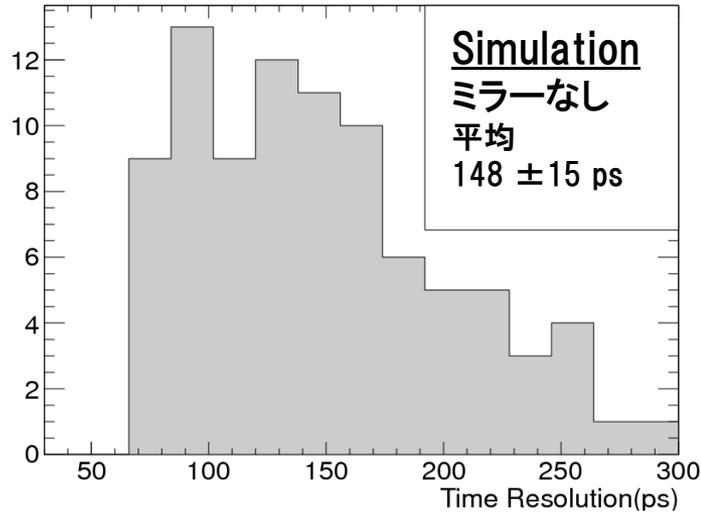
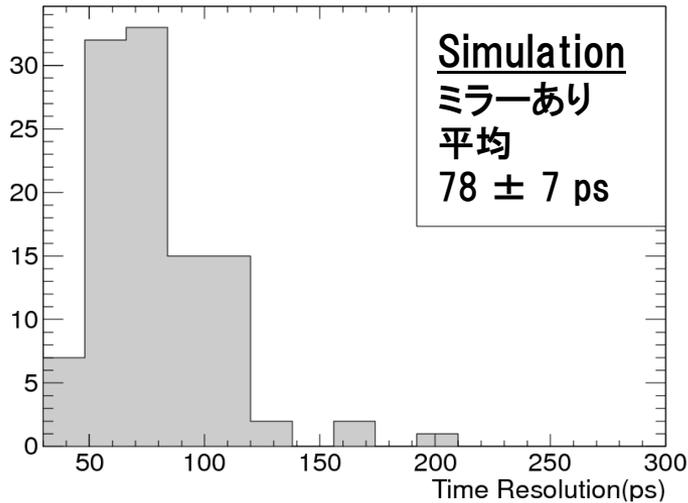
$$4. \Delta\Phi < 2\text{mrad}$$



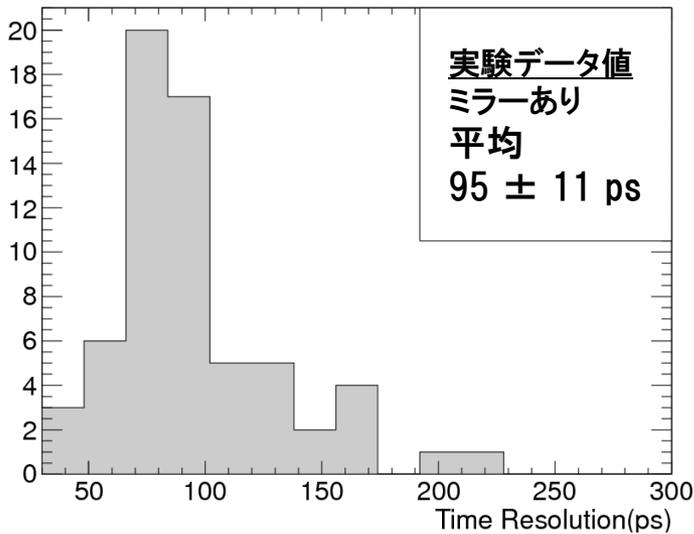
反射経路



結果：時間分解能の評価(2)



ミラーありのsimulation
を基準として、
識別能力の近似式から
誤識別率を求める



	時間分解能(ps)	誤識別率 $\epsilon_{\pi, K}(p=3\text{GeV}/c)$
ミラーあり (Simulation)	78 ± 7	2%
ミラーなし (Simulation)	148 ± 15	$22 \pm 4\%$
Data	95 ± 11	$7 \pm 3\%$

フォーカシングによって識別能力
は向上する！