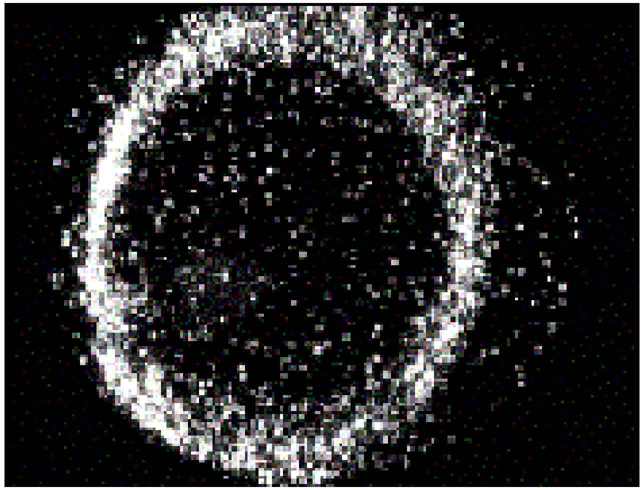
# 新型K/π識別装置
# Proximity focusing型
# エアロジェルRICHの開発研究

名古屋大学　N研
小酒井　良延

内容

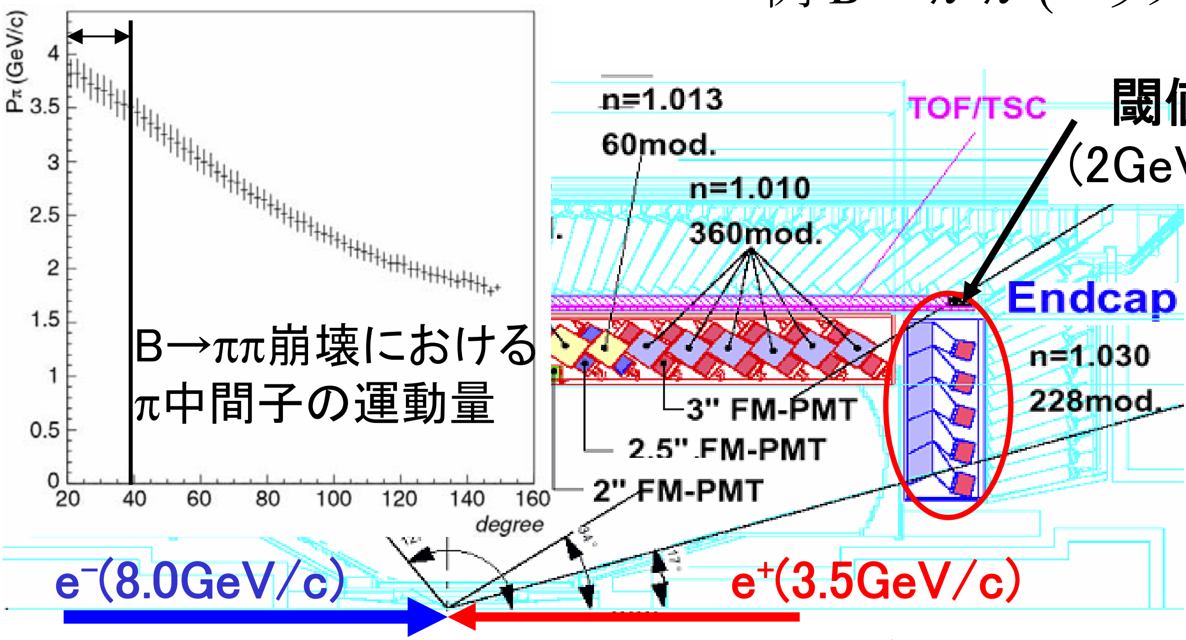
- イントロダクション
- Proximity focusing型エアロジェルRICH
- 新しい光学系のアイデア
- ビームテストとその結果
- 結論



# エアロジェルRICH開発の目的

**KEKBファクトリー実験**：電子陽電子衝突型加速器でB中間子を大量生成
B中間子系でのCP対称性の破れを測定

**Belle検出器**：B中間子の様々な崩壊モードの崩壊2次粒子を検出する
例 B→ π π (バックグラウンドモード B→K π )



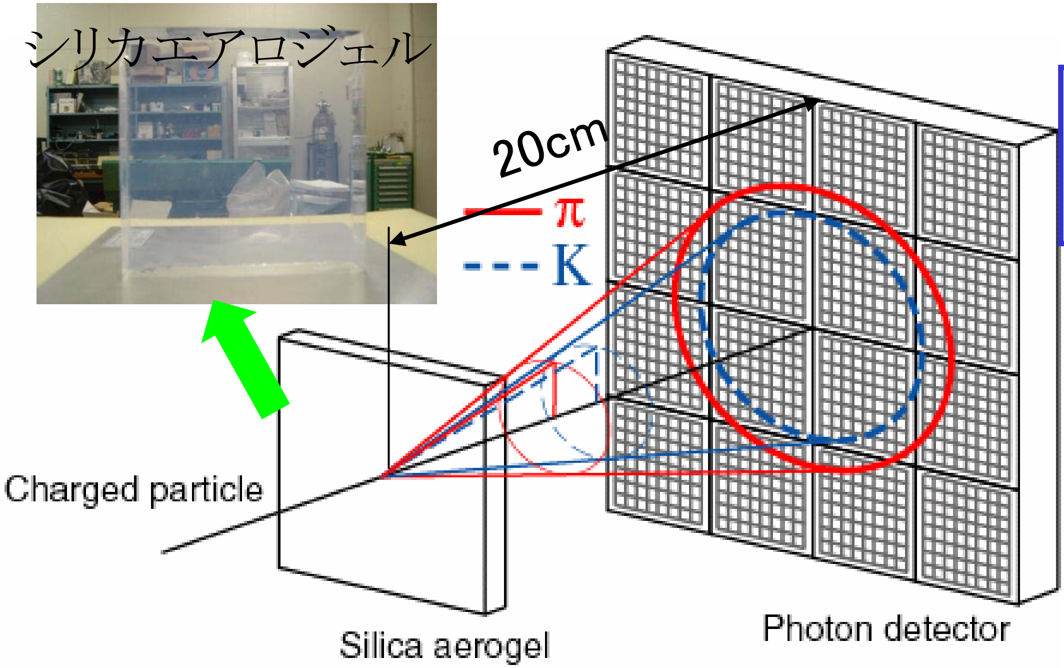

**閾値型チェレンコフカウンター**
(2GeV/c以上のK/πは識別不可能)

**新型K/π識別装置**
**エアロジェルRICHを開発**

エアロジェルRICHに要求されること

高運動量域(～4GeV/c)でK/ π 識別が可能
コンパクトであること(Endcapの奥行きは28cm)

# エアロジェルを用いた近接型リングイメージングチェレンコフ検出器




**エアロジェルRICH**

シリカエアロジェルを用いた
リングイメージング型チェレンコフ検出器

チェレンコフ放出角$\theta_c$を直接計算

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

π、Kのチェレンコフ角の差から粒子識別

特徴

●ミラーを排したシンプルな構造
（ Proximity focusing型 ）

➡ 高い技術を要する

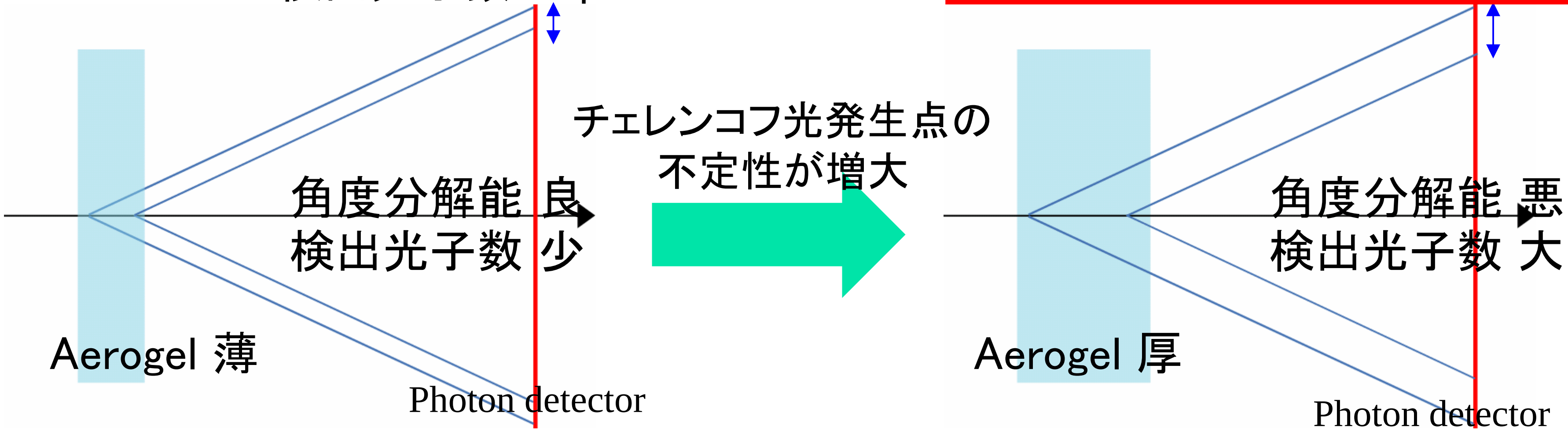
# エアロジェルRICHの能力

## チェレンコフ放出角$\theta_c$の決定精度

- 1光子当りの角度分解能：$\sigma\theta$
- 検出光子数：Npe

Proximity focusing の問題点

**検出光子数増加のために厚いエアロジェルを使用できない**




粒子識別能力：$$S = \frac{\theta_\pi - \theta_K}{\sigma_\theta}\sqrt{\mathrm{Npe}}$$

πとKのチェレンコフ放出角の差

$$\theta_\pi - \theta_K = 23\,\mathrm{mrad}$$

（屈折率：1.05、P = 4GeV/c）

Proximity focusingのポイント

薄いエアロジェルを用いた場合にどれだけ検出光子数を増加させるか

# これまでのエアロジェルRICH開発研究

## ～ 検出光子数 ～

エアロジェルの透過長の改善　15mm → 45mm (@400nm)
光検出器の有効面積の向上　約89%

## ～ビームテストの結果～

- 角度分解能 ～ 14 mrad
- 検出光子数 ～ 6個

2cmの薄いエアロジェルを使用
(チェレンコフ光発生点の不定性を抑える)

粒子識別能力 ～ 4σ

## 性能向上のための議論

エアロジェルを厚くして検出光子数の増加

⇒ 角度分解能が悪化するのでトータルでの性能向上につながらない

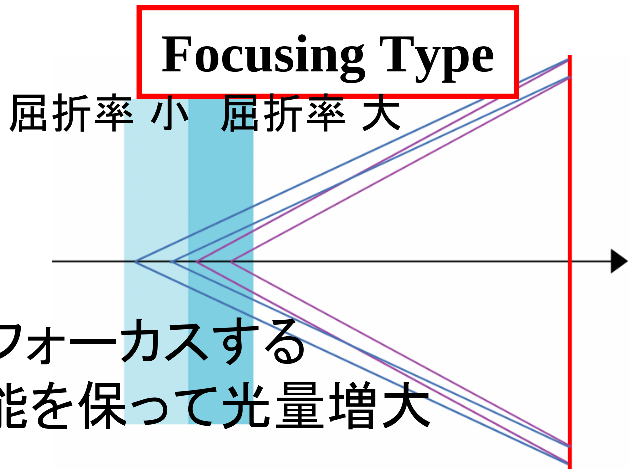
# デュアルラディエーター

## デュアルラディエーターの原理を考案

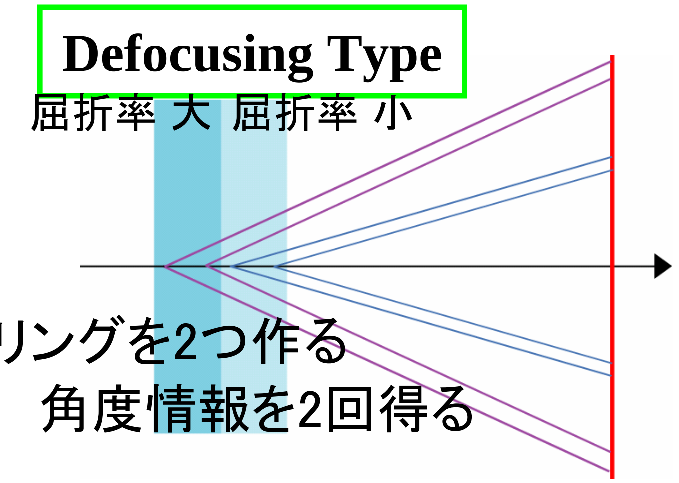
(屈折率の異なる2種類のエアロジェルを輻射体として使用)

目的：<u>角度分解能の悪化を抑えながら</u>
<u>検出光子数を増やして</u>検出器の性能を上げる。

■屈折率を自在に調節できるエアロジェルでのみ実現可能。

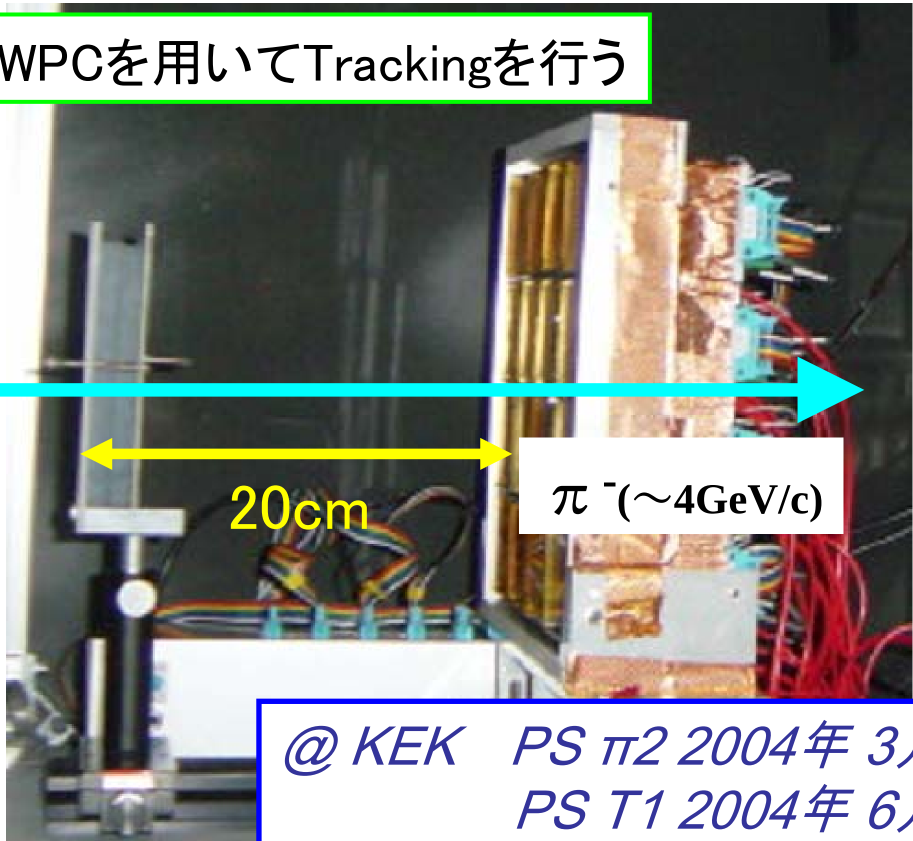



リングをフォーカスする
分解能を保って光量増大



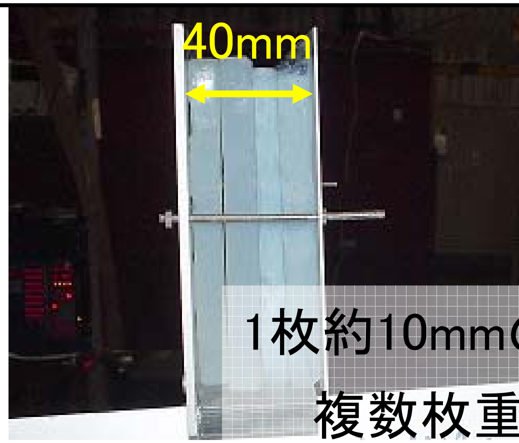

独立のリングを2つ作る
角度情報を2回得る

# エアロジェルRICHのビームテスト



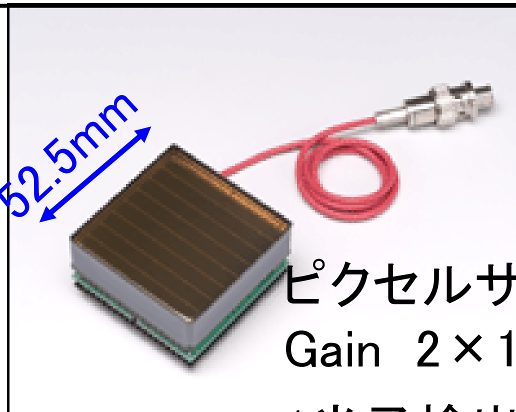

@ KEK　PS π2 2004年 3月
PS T1 2004年 6月

エアロジェル ラディエーター




1枚約10mmのサンプルを
複数枚重ねて形成

H8500 [Flat panel PMT]



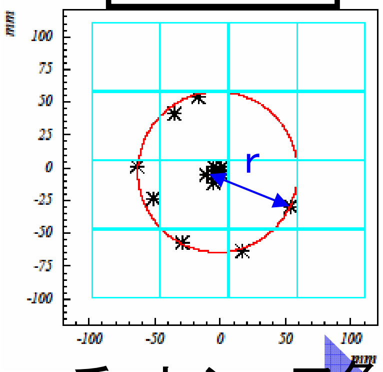

ピクセルサイズ〜5.8mm
Gain　2×$10^6$ @1100V
1光子検出可能

総チャンネル数 〜 1024 ch
（Flat panel PMT の 4×4 array）
光検出有効面積 〜 89%

# 従来型RICHの基本性能

Index : 1.046
Thickness 20.5mm
$\pi^-$(3GeV/c)

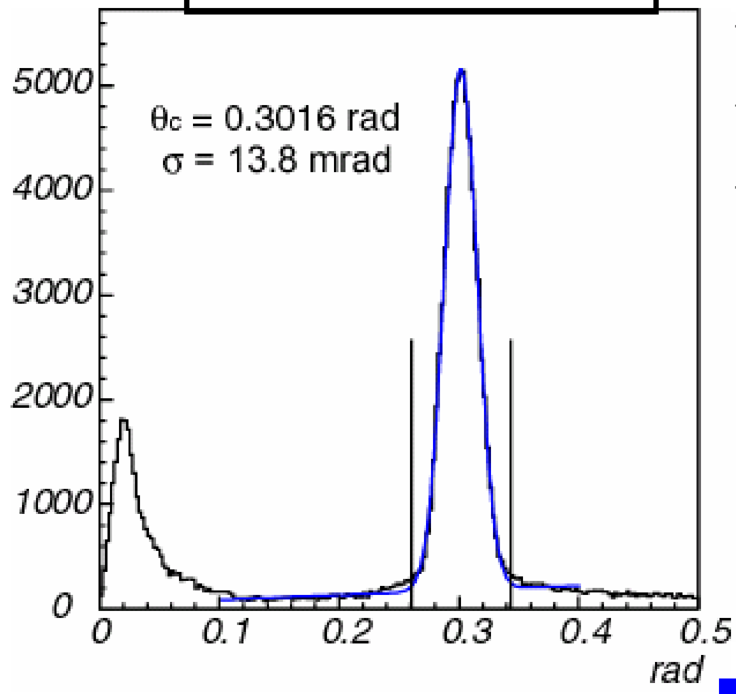
PMT Hit



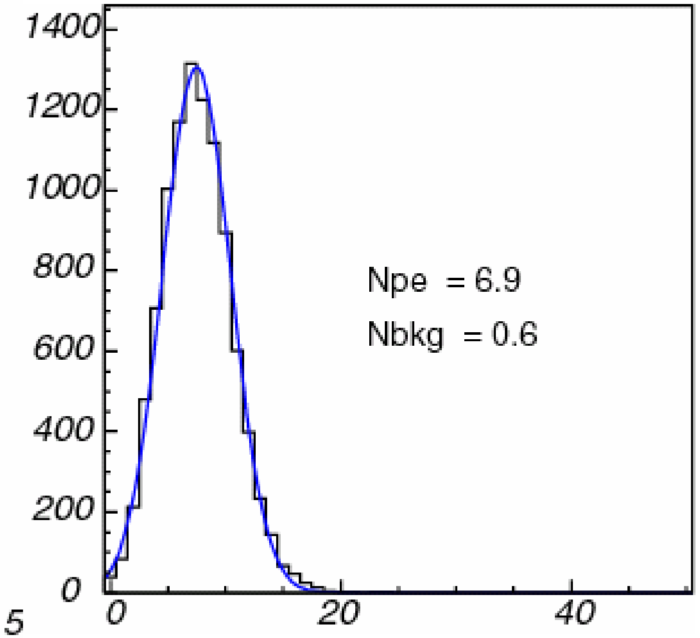
チェレンコフ角を再構成

$$\theta c = \tan^{-1}\frac{r}{d}$$

チェレンコフ角分布




検出光子数




■角度分解能 ～ 13.8mrad

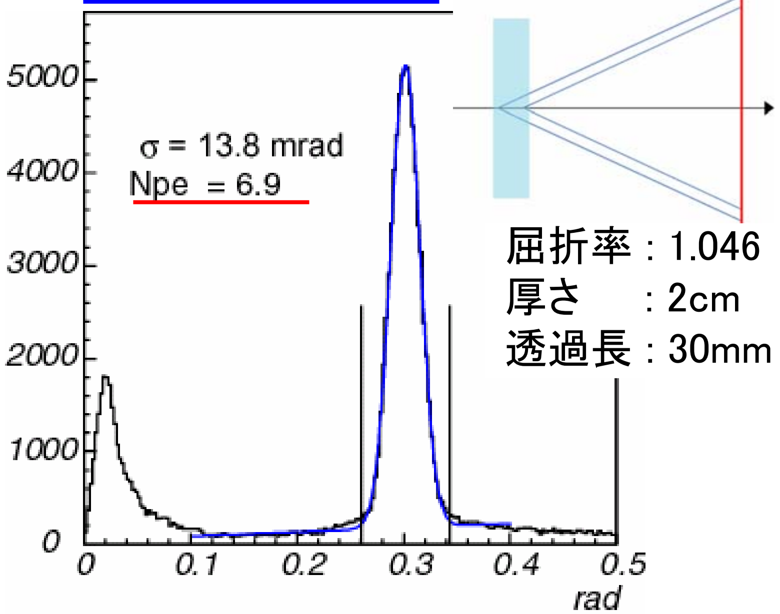
■検出光子数 ～ 6.9

角度分解能への寄与

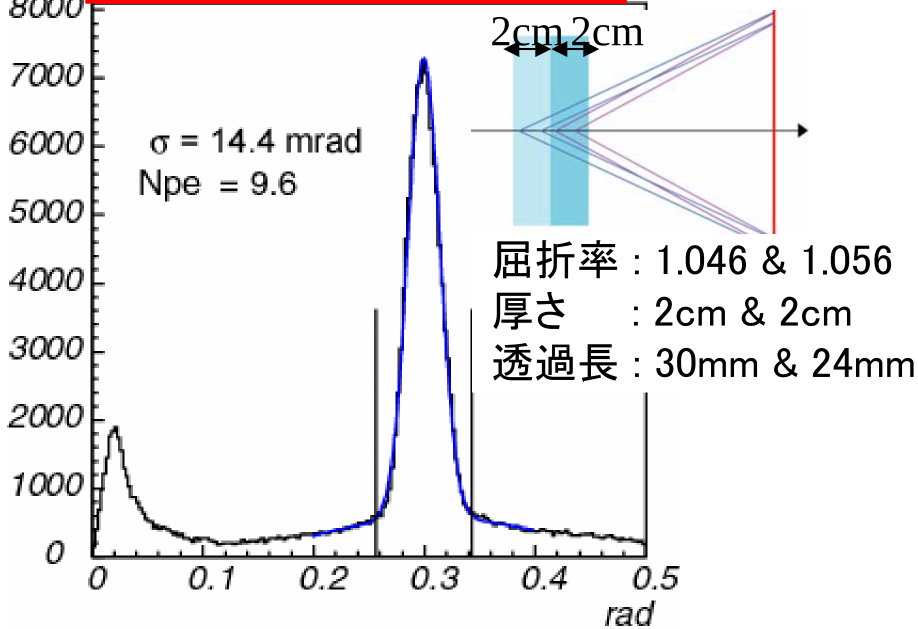
- エアロジェル厚（20mm）～ 8.3mrad
- PMTピクセルサイズ（5.8mm）～ 7.6mrad
- 屈折率波長依存性、エアロジェルの表面散乱 等　～6.0mrad

# Focusing型
# デュアルラディエーターの結果

従来型 (2cm)




Focusing dual radiator




Focusingデュアルラディエーターと従来型RICHの比較

従来型 (2cm)

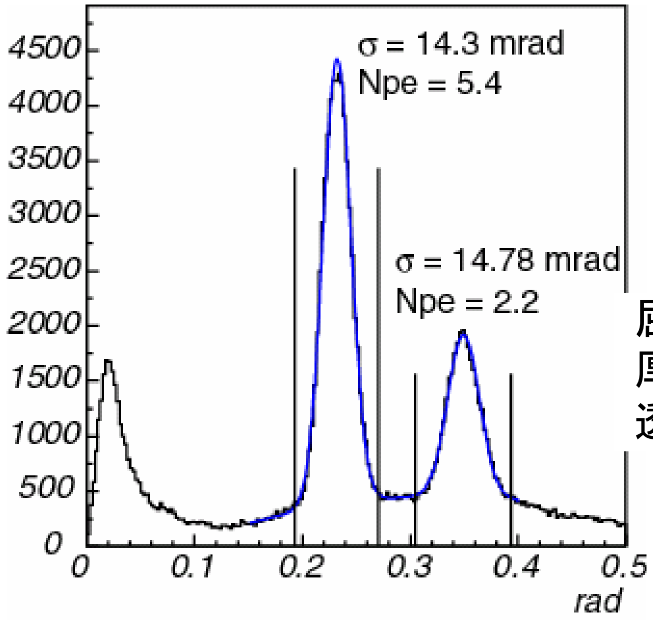
Focusing dual radiator

検出光子数は約40%向上
角度分解能の悪化なし

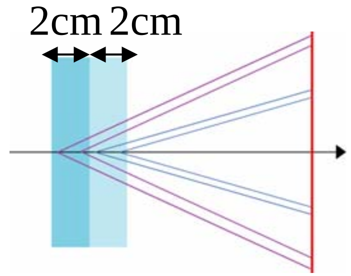
1トラック当りの角度分解能 : 4.6 mrad （従来型 : 5.3 mrad）

# Defocusing型
# デュアルラディエーターの結果

チェレンコフ角分布




Defocusing dual radiator




屈折率 : 1.056 & 1.027
厚さ : 2cm & 2cm
透過長 : 24mm & 19mm

完全に分離した
2重のチェレンコフリングを観測

それぞれの角度分解能は悪化せず

9.6個

検出光子数 : 5.4 + 2.2 = 7.4 ← Focusing型と比べてやや悪い
(Defocusing型の原理からくる問題ではない)

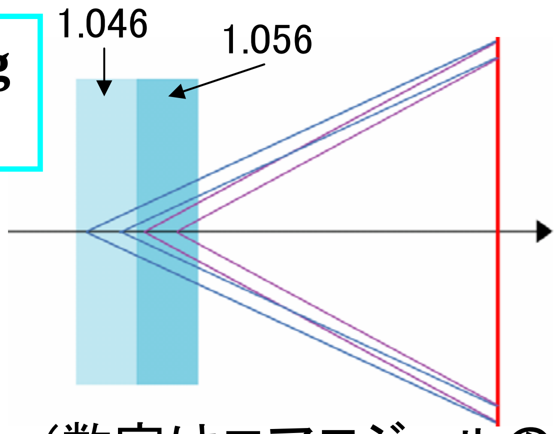
→ 透過長の改善で約8.9個が期待できる

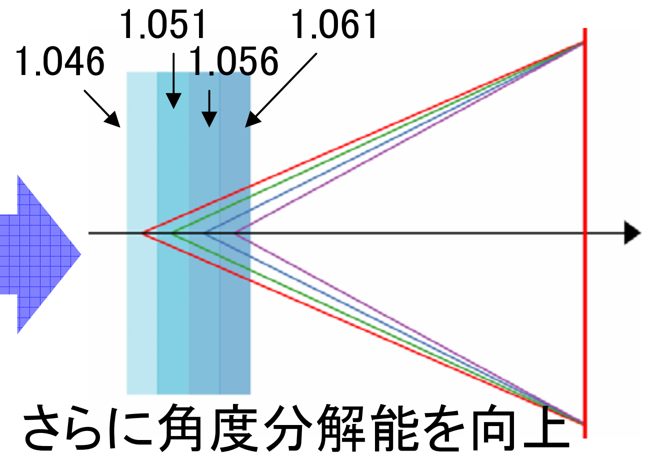
# マルチラディエーター
# エアロジェルRICH

さらなる性能向上

## デュアルラディエーターからマルチラディエーターへ

**Focusing RICH**

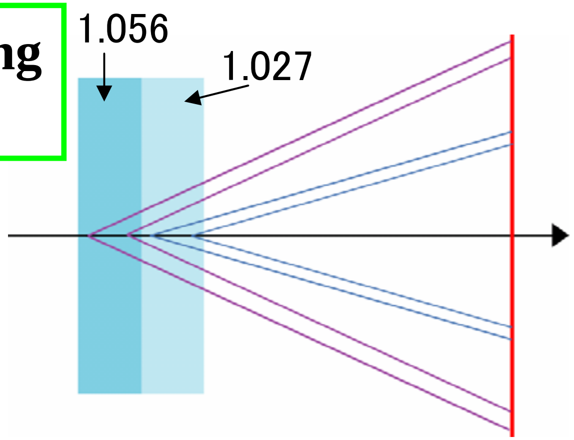


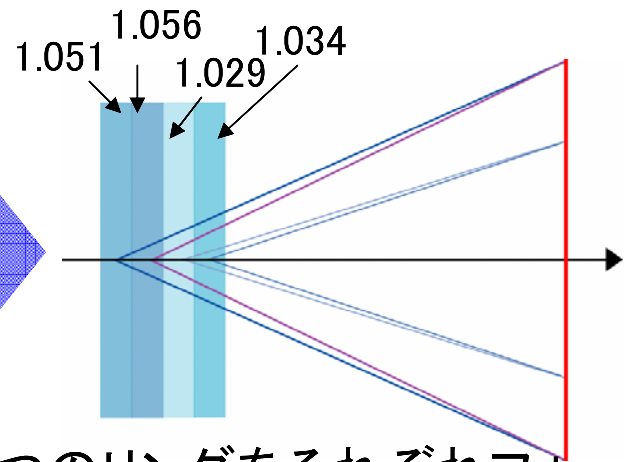




(数字はエアロジェルの屈折率)

さらに角度分解能を向上

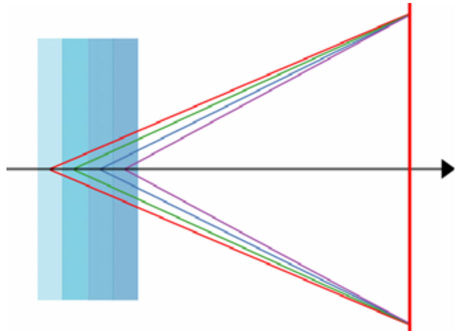
**Defocusing RICH**




2つのリングをそれぞれフォーカス

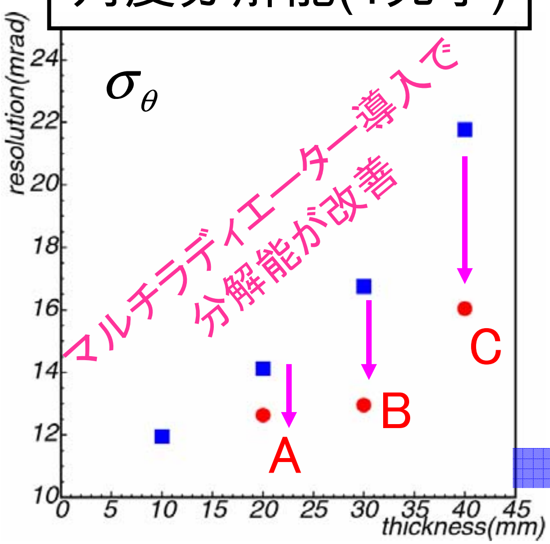
# Focusing型マルチラディエーターの結果



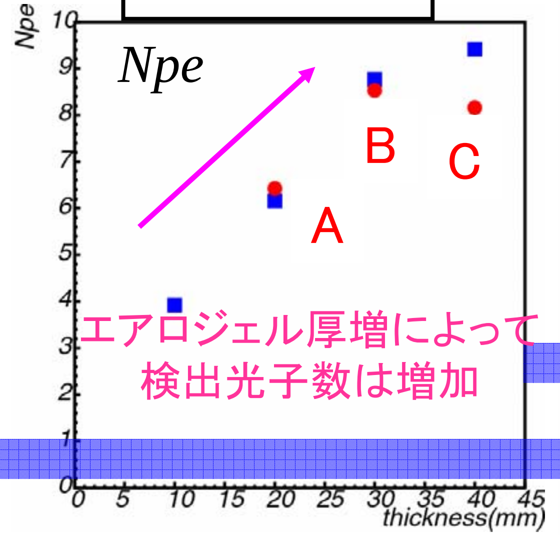
1トラック当りの角度分解能

$$\sigma_\theta(\mathrm{track}) = \frac{\sigma_\theta}{\sqrt{\mathrm{Npe}}}$$ で評価

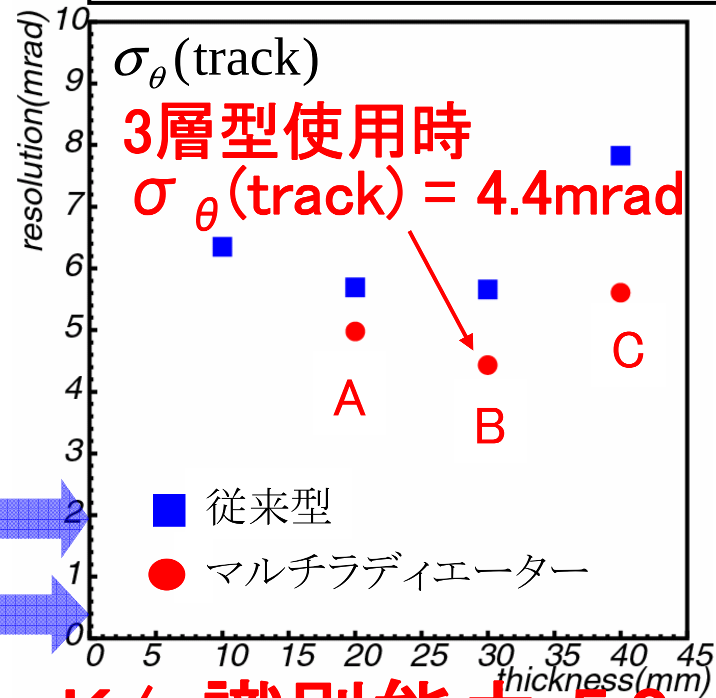
角度分解能(1光子)



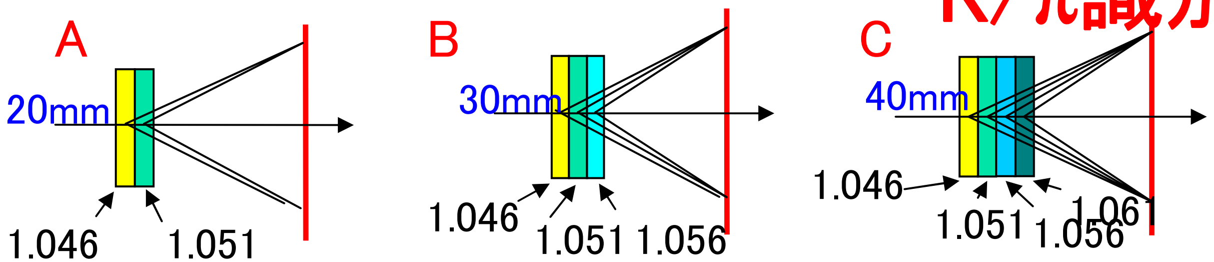

検出光子数



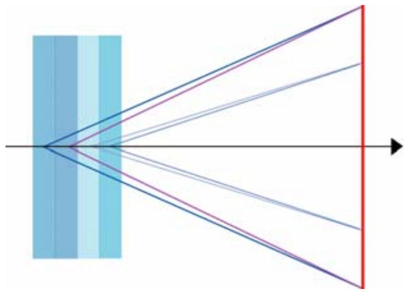

1トラック当りの角度分解能

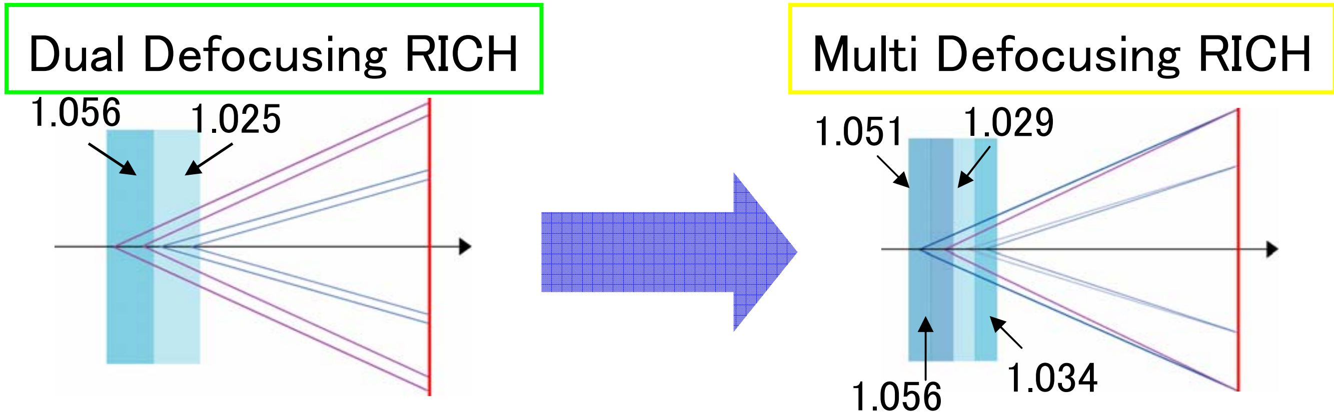


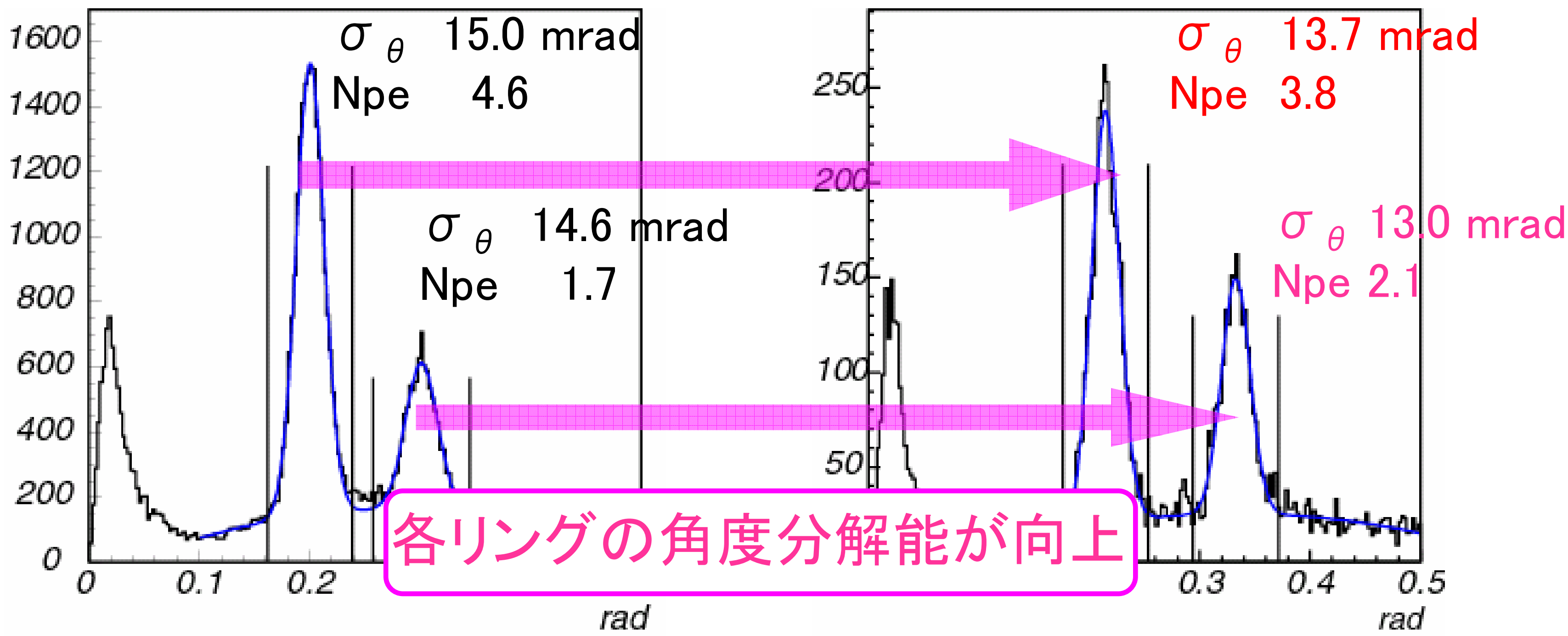

**K/π識別能力 5.0σ**



# Defocusing型
# マルチラディエーターの結果





# ビームテストのまとめ

デュアルラディエーターの原理を検証するためにビームテストを行った

## ■デュアルラディエーターの期待どうりの動作を確認

➢Focusing型　角度分解能を損なわずに検出光子数を増加

従来型 2cm　: 6.9
Dual radiator 4cm　: 9.6
(約40%増加)

➢Defocusing型　完全に分かれた2重のチェレンコフリングを観測

さらなる性能向上を狙い、マルチラディエーターの原理を導入した

## ■マルチラディエーターによって角度分解能も向上

➢Focusing型　角度分解能の悪化を強く抑え、且つ検出光子数を増やした

1光子当たりの角度分解能 : 13.0 mrad、検出光子数 : 8.5
(3層型Focusingマルチラディエーター)

従来型 2cm : 13.8mrad
6.9個

➢Defocusing型　より角度分解能の良い2重のチェレンコフリングを観測

内側リング : 15.0mrad → 13.7mrad
外側リング : 14.6mrad → 13.0mrad

# 結論

Proximity focusing型エアロジェルRICH
の開発研究を行った。

Proximity focusing 型の問題である、厚い輻射体を使用できないという
原理的な問題を「デュアル、マルチラディエーター」というアイディアで解決した

■<u>高運動量領域(4GeV/c)におけるK/π識別能力</u>

■**識別能力～5.0σ**（3層型Focusingマルチラディエーターの場合）

従来型～4.0σ　Dual radiator～4.6σ

◆ $\theta_{\pi} - \theta_{K}$ ～22 mrad

◆ $\sigma_{\theta}(1\text{track}) = \sigma_{\theta}/\sqrt{\text{Npe}}$ ～4.4 mrad

従来型 : 5.3 mrad
Dual radiator : 4.6 mrad

**Bファクトリー実験での高いK/π識別が期待できる**

# Back up

# シリカエアロジェル

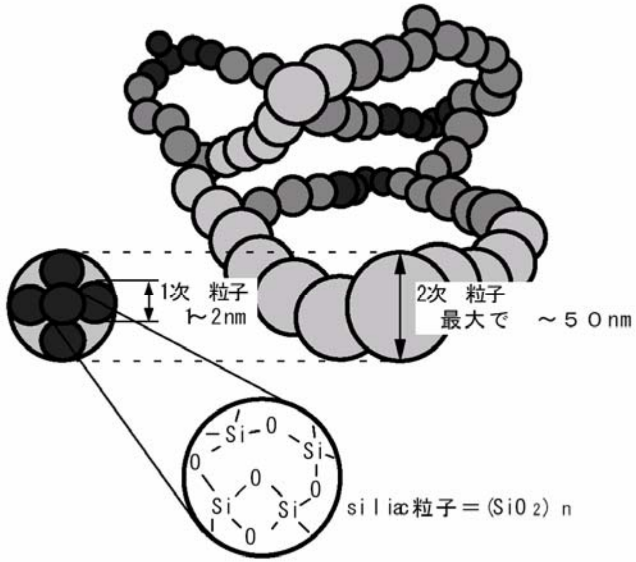
構造

主成分は$SiO_2$
空隙部分が90%以上を占める。

➡ 低密度、低屈折率

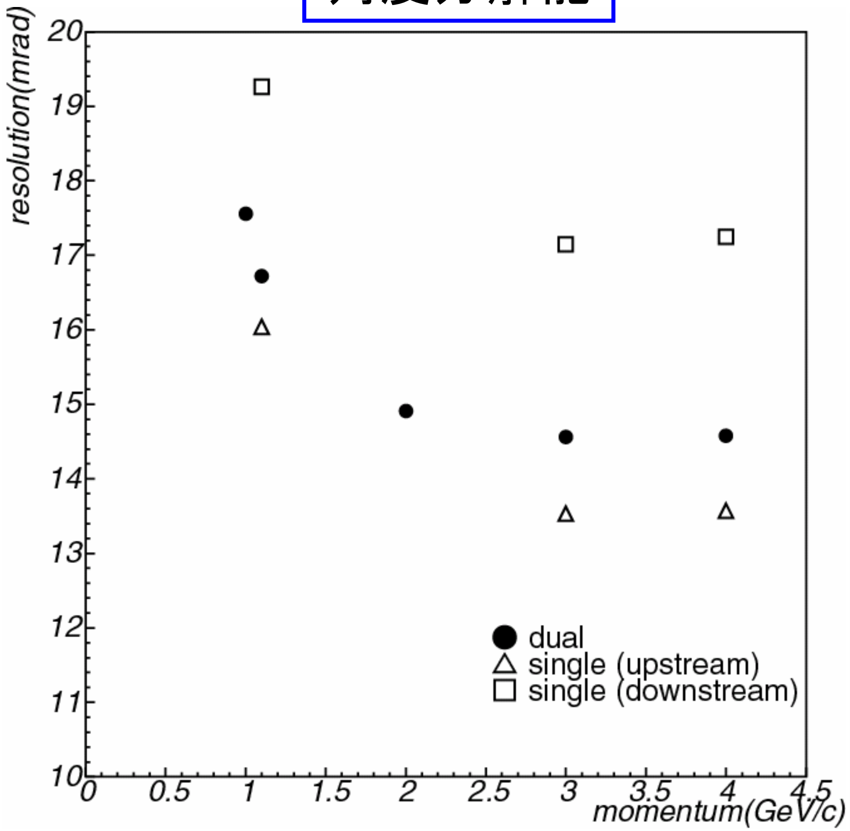
| 物質 | 屈折率 | 密度 |
|---|---|---|
| エアロジェル | 1.007～1.07 | 0.0281～0.281 |
| 空気 | 1.00028 | 0.001293 |
| 水 | 1.3428 | 0.99984 |
| ガラス | 1.48～2.00 | 2.4 ～ 2.6 |

シリカ粒子の3次元ネットワーク構造

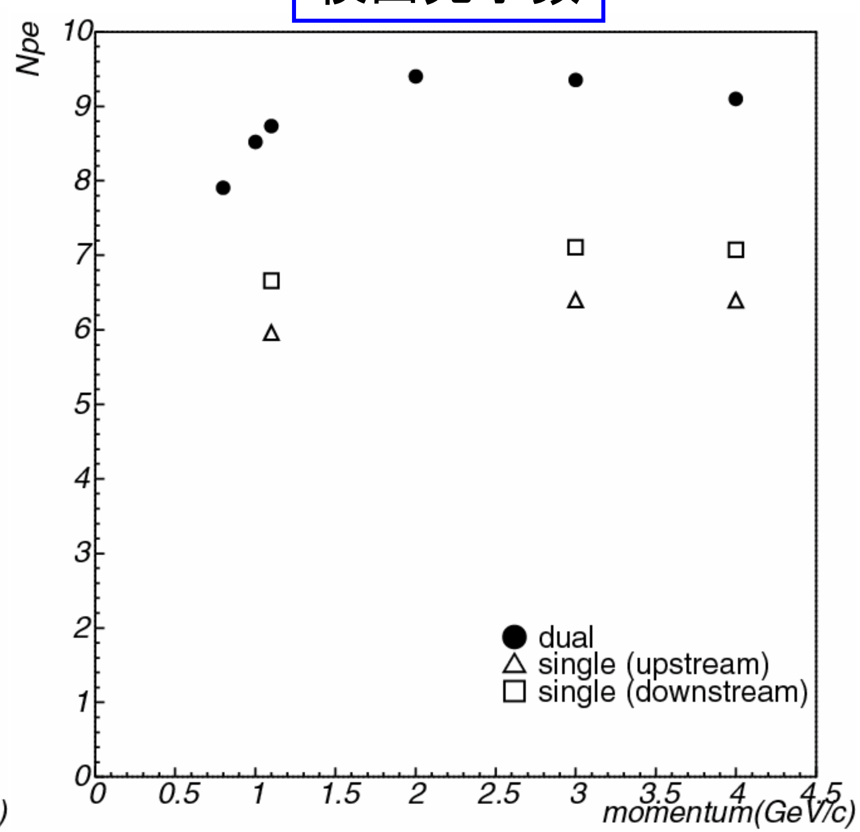



# Focusing型デュアルラディエーター 運動量依存性

角度分解能

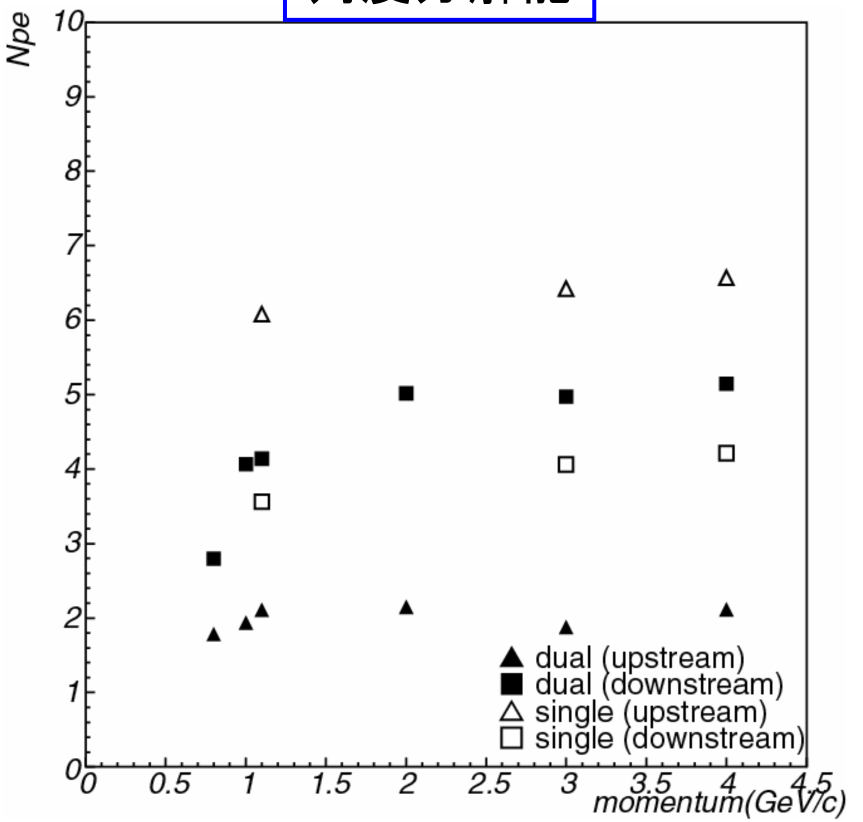



検出光子数

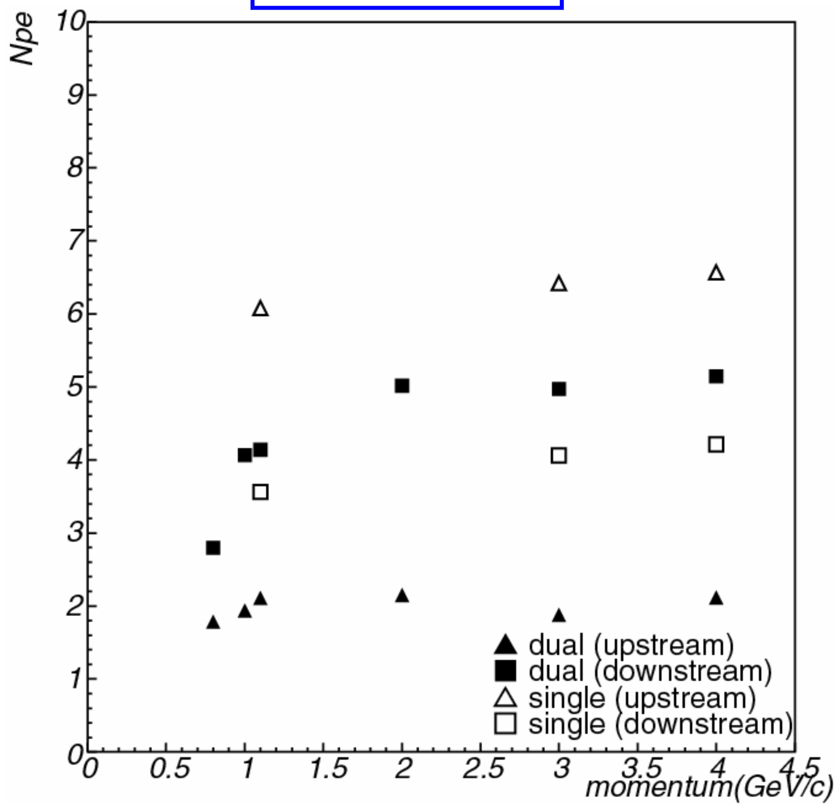


# Defocusing型デュアルラディエーター
# 運動量依存性

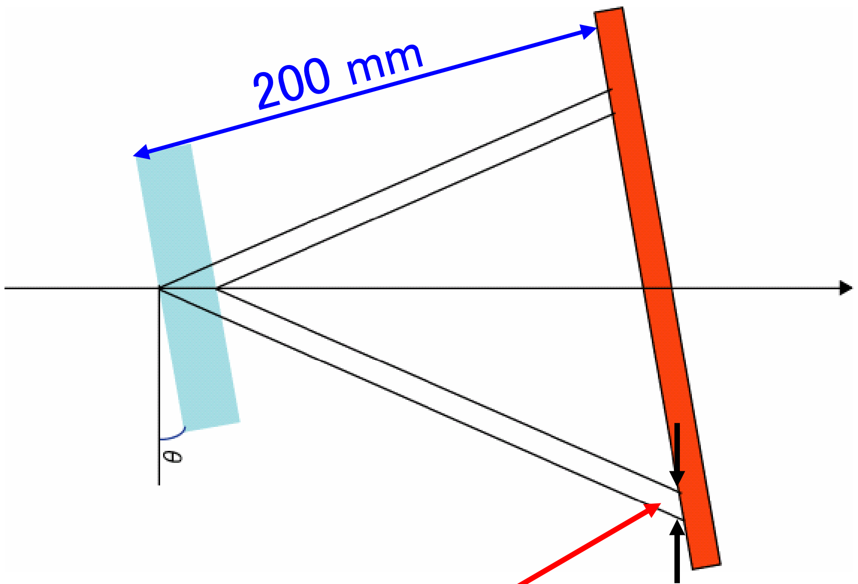
角度分解能



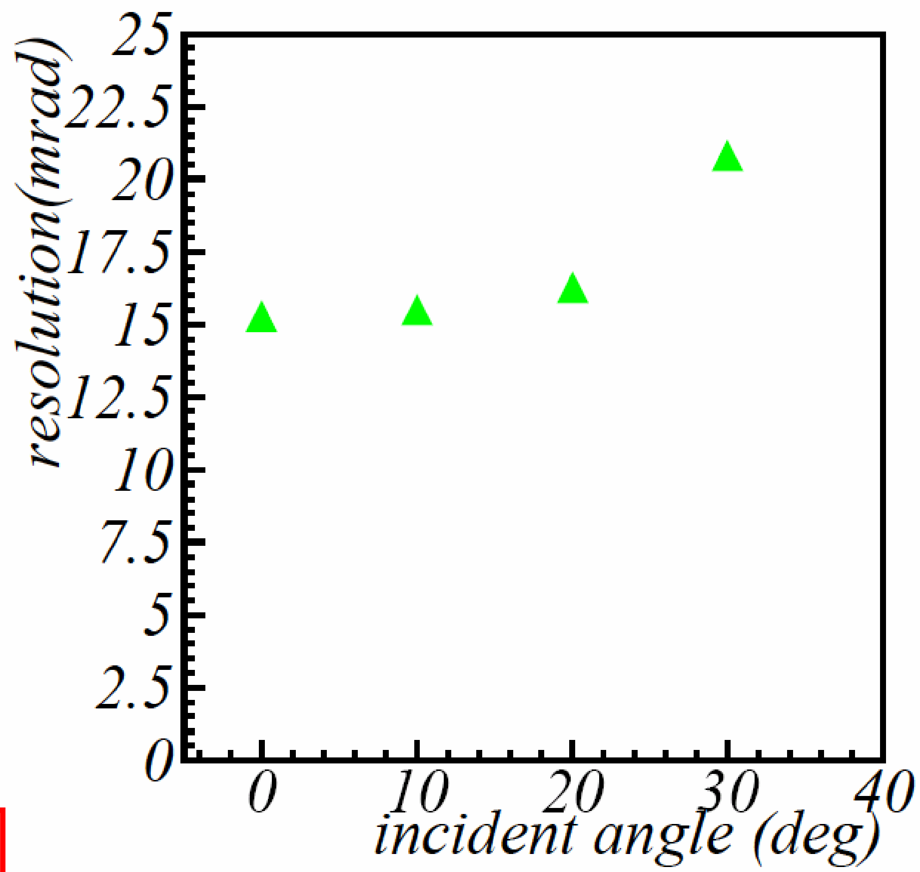

検出光子数



# 角度分解能の入射角依存性

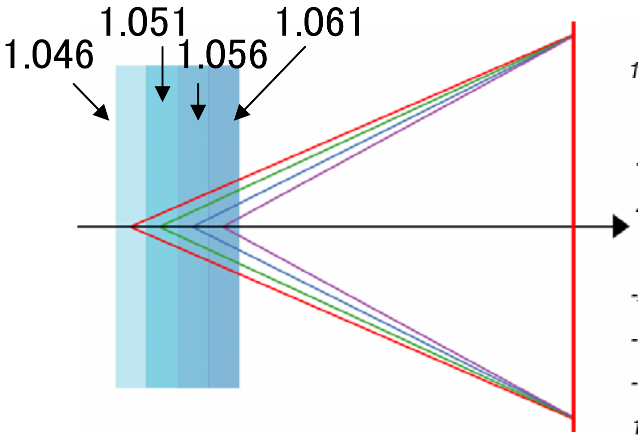


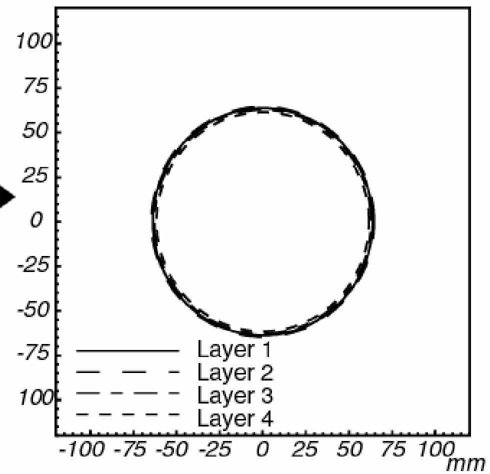

Photon detector 上での
広がりが増大

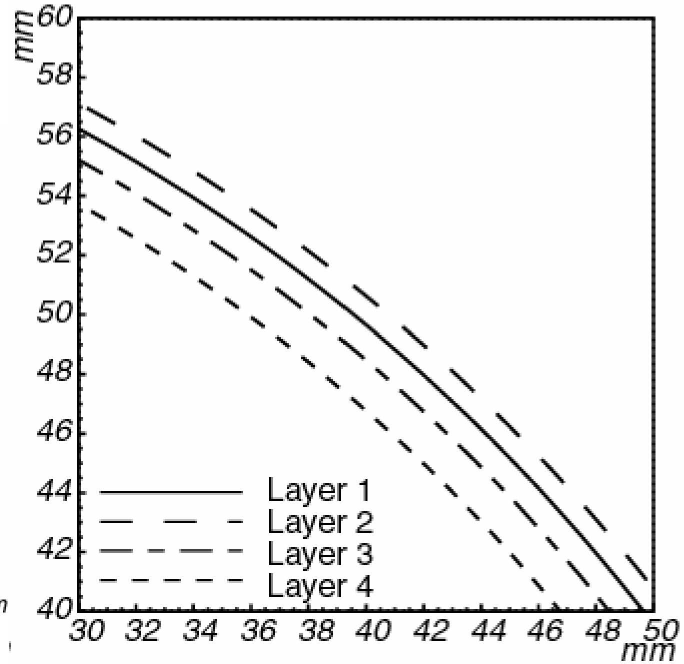


# Focusingのずれ

## 角度分解能



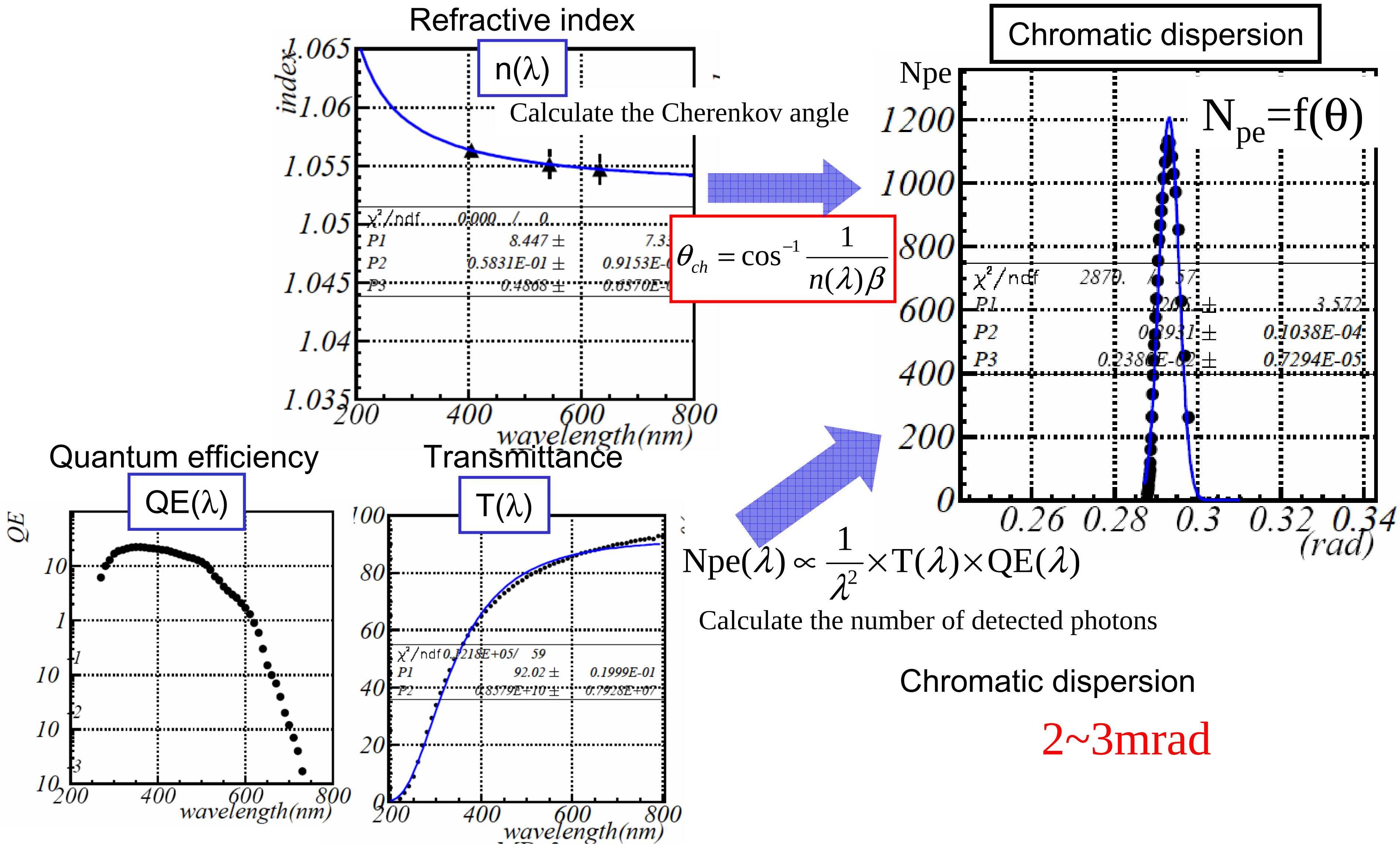

各層のエアロジェルをそれぞれ
単一でチェレンコフリングを測定

| layer | index | radius(mm) |
|---|---|---|
| 1st | 1.046 | 63.76 |
| 2nd | 1.051 | 64.52 |
| 3rd | 1.056 | 62.84 |
| 4th | 1.061 | 61.54 |

チェレンコフ角のずれ

5～10 mrad

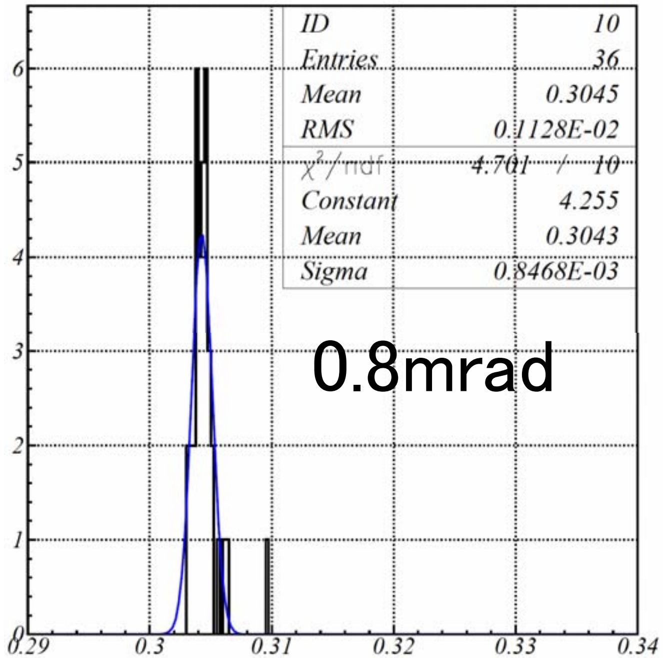
# 屈折率波長依存性による誤差




Chromatic dispersion

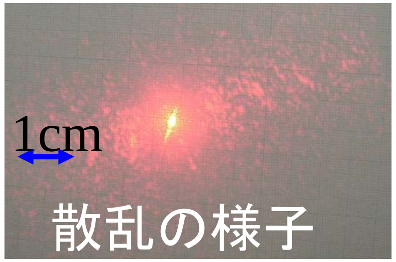
2~3mrad

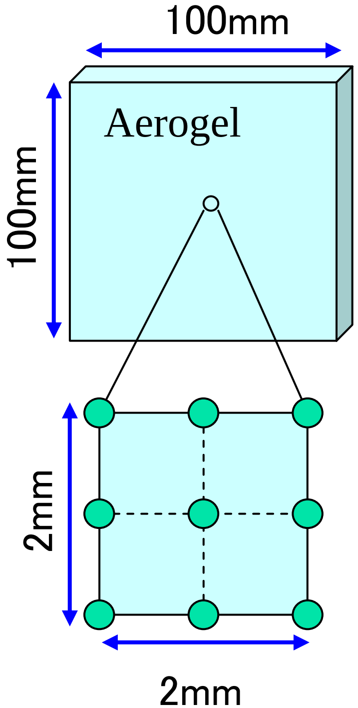
# エアロジェルの屈折率非一様

# エアロジェル表面での光散乱

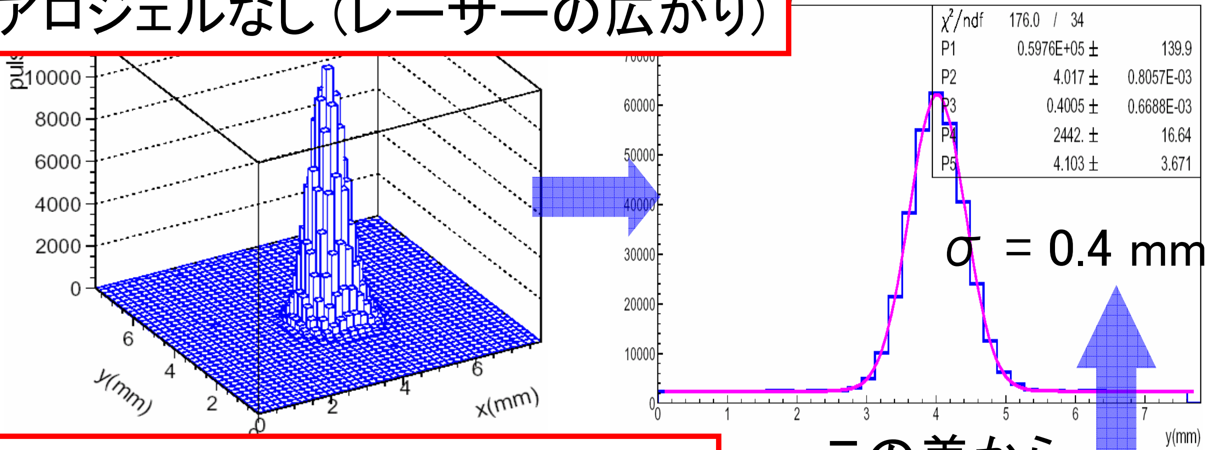
赤色レーザーを用いて散乱光の強度分布を測定



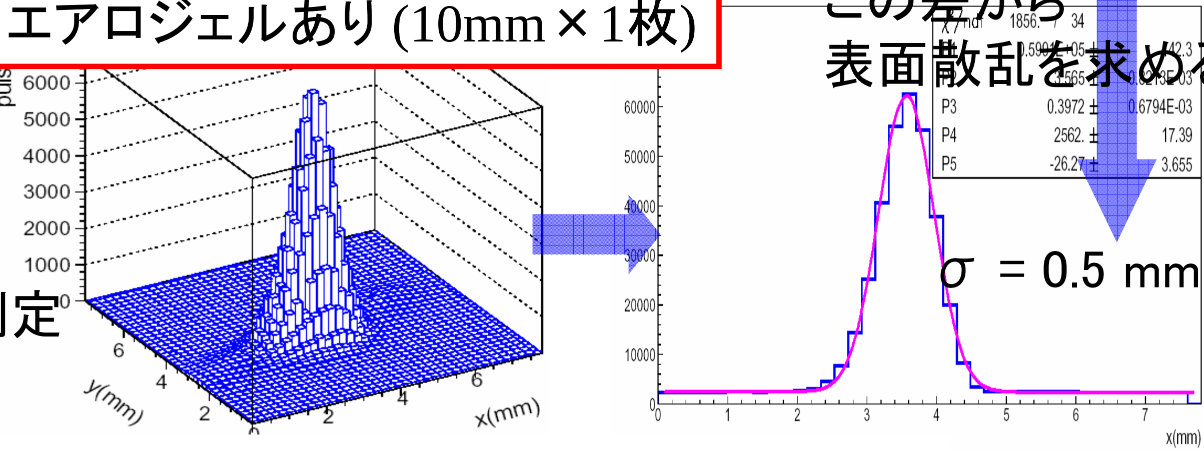

中央の2mm角を1mm毎に測定
計9点の平均で評価

エアロジェルなし (レーザーの広がり)




この差から
表面散乱を求める

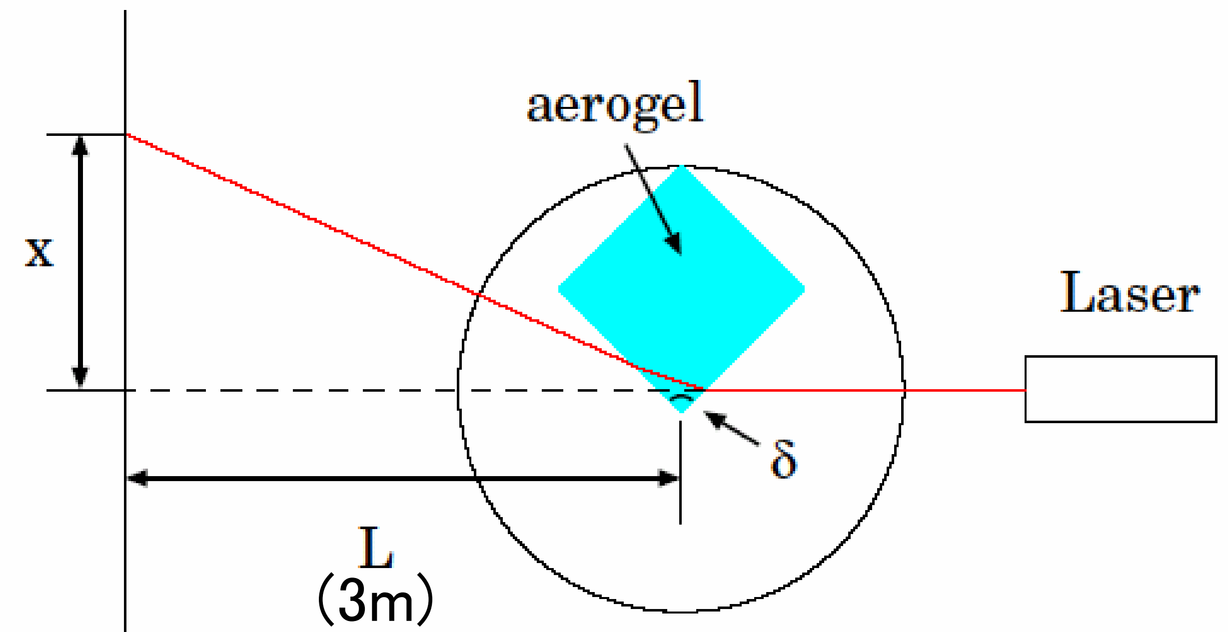
エアロジェルあり (10mm×1枚)




表面散乱による角度分解能の悪化 ～ 0.2 mrad

RICHの角度分解能(14 mrad)にほとんど影響しない

# フラウンフォーファー法による
# エアロジェル屈折率の測定




$$\theta \cong \tan^{-1}\left(\frac{x_{min}}{L}\right) \quad , \quad n = \frac{sin\left(\frac{\theta+\delta}{2}\right)}{sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}$$

測定精度 ± 0.0003

（今回使用しているエアロジェルの屈折率 1.030～1.060）

# デュアルラディエーターRICHの開発研究

（屈折率を調節できるエアロジェルでのみ実現可能）

➡ 試作機を用いたビームテストで検証

**角度分解能、検出光子数を評価**

測定項目
1. 従来型エアロジェルRICHの測定(2cmの輻射体)
2. 従来型エアロジェルRICHの測定(4cmの輻射体)
3. Focusing型デュアルラディエーターRICHの測定（計4cmの輻射体）
4. Defocusing型デュアルラディエーターRICHの測定(計4cmの輻射体)