

# Belle II 実験における ARICH検出器のアライメント

東京都立大学

M2 岩城彩希

# 目次

---

- イントロダクション
  - BelleII実験とは
  - BelleII測定器
  - ARICH検出器
  - ARICH検出器の粒子識別性能
- 研究内容 (ARICH検出器のアライメント)
  - 概要
  - パラメータとずれについて
  - ずれの算出結果
- まとめと展望

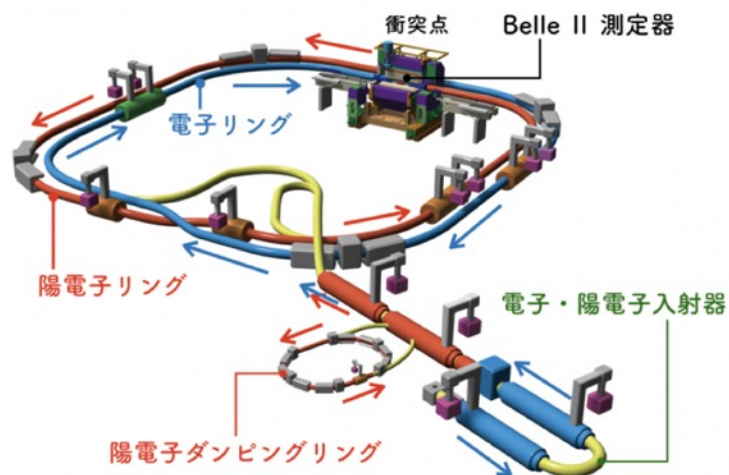
# Belle II実験とは

- ・世界中の約1,100人の研究者が参加する大型加速器実験
- ・素粒子の標準模型を精密に検証し、新しい物理理論の探索を行う。



SuperKEKB加速器

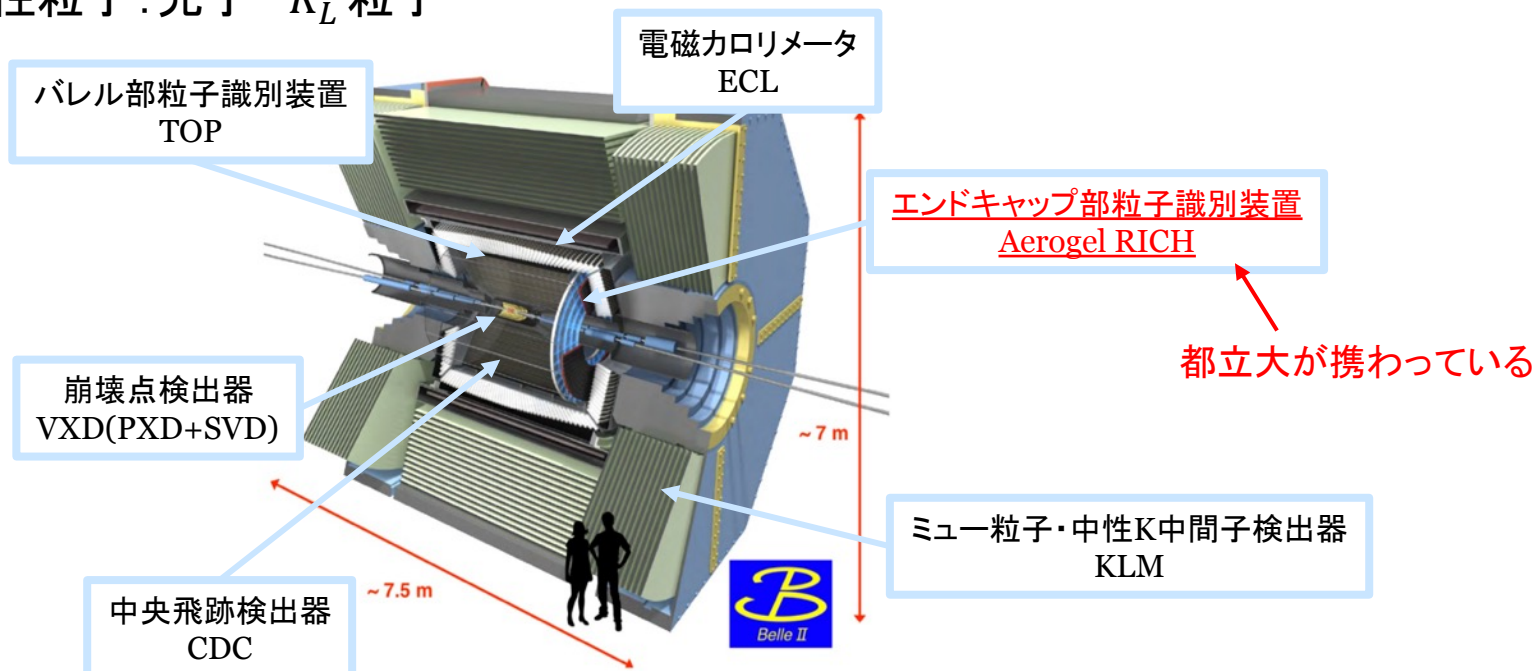
茨城県つくば市にある  
衝突型円形加速器



# Belle II測定器

粒子の種類, エネルギー, 運動量, 飛跡, 生成位置の情報を測定

- 荷電粒子: 電子・ $\mu$ 粒子・ $\pi$ 粒子・ $K$ 粒子・陽子
- 中性粒子: 光子・ $K_L^0$ 粒子

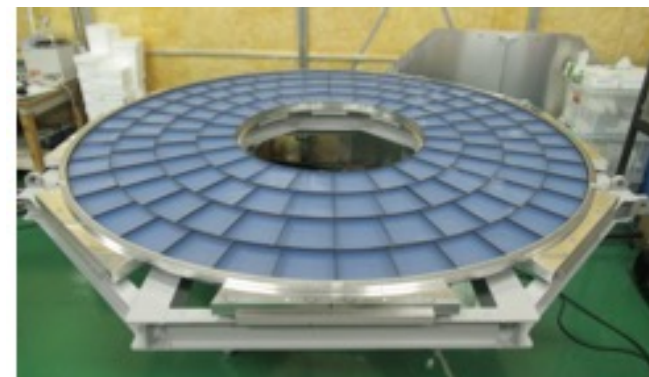
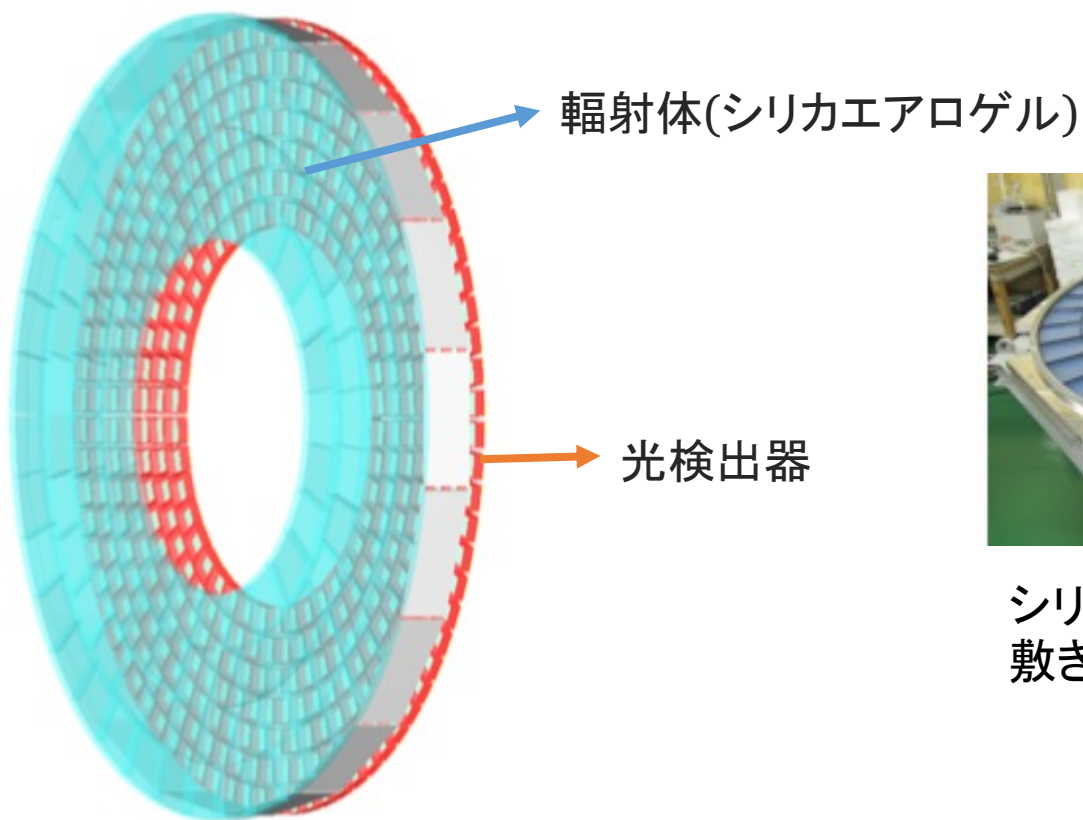


[https://www.belle2.org/project/super\\_kekb\\_and\\_belle\\_ii/](https://www.belle2.org/project/super_kekb_and_belle_ii/)

Aerogel RICHは $\pi$ 粒子・ $K$ 粒子・陽子の識別が可能

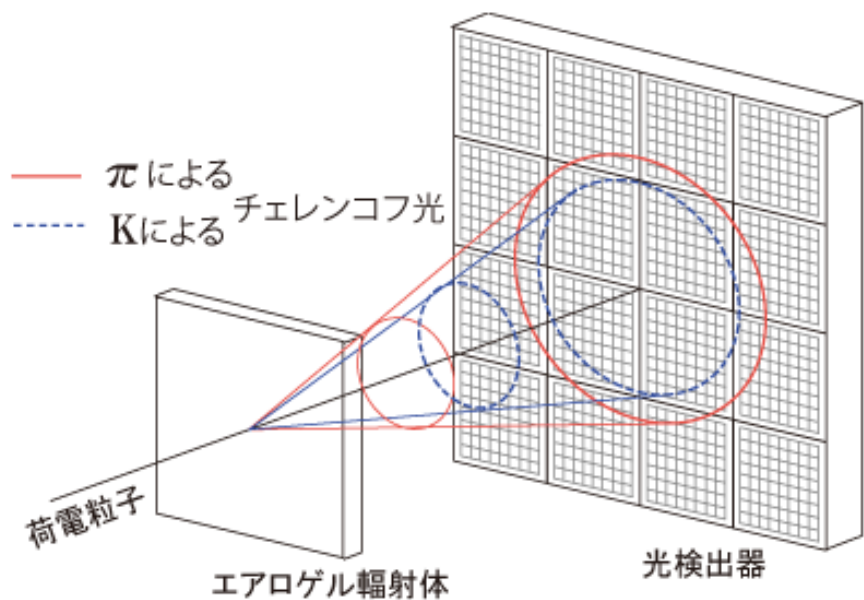
# ARICH検出器

ARICH検出器(Aerogel Ring Imaging Cherenkov Counter)



シリカエアロゲルがタイル状に敷き詰められている

# ARICHでの粒子識別の原理



- ① 荷電粒子がエアロゲルを通過する
- ② エアロゲル内でチェレンコフ光が円錐状に放射される
- ③ チェレンコフ光の光子を光検出器で検出(検出光子)
- ④ 2次元のリングイメージとして観測した検出光子からチェレンコフ角を算出

$$\cos \theta = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{m}{p}\right)^2}}{n}$$

$\theta$ : チェレンコフ角  
 $m$ : 粒子の質量  
 $p$ : 粒子の運動量  
 $n$ : エアロゲルの屈折率

↓  
チェレンコフ角の違いから  
粒子を識別

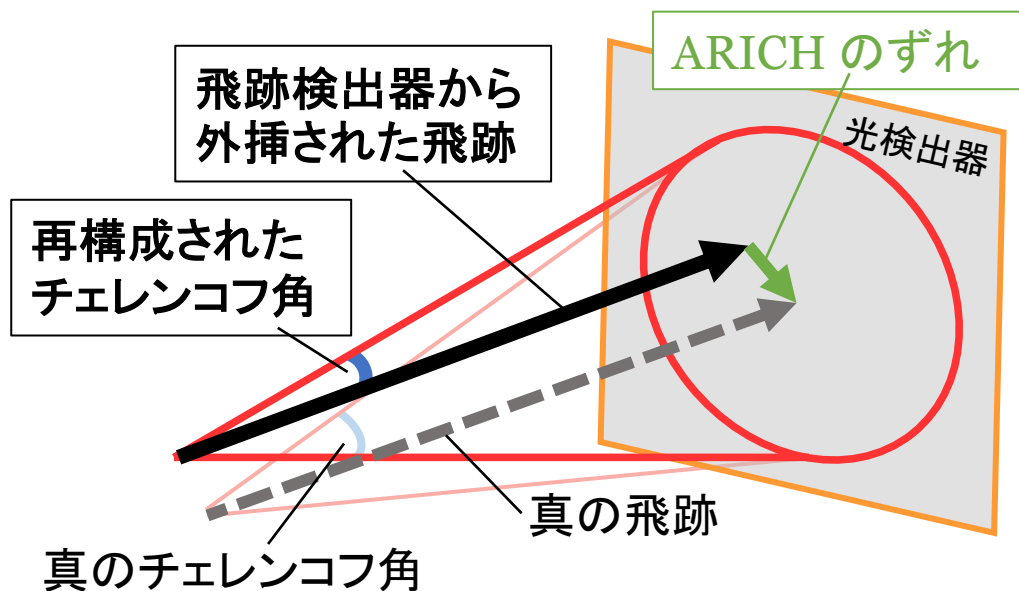
# アライメントの概要

ARICH の位置のずれは、検出器の粒子識別に影響を及ぼす  
→実際に取得されたデータとMCデータを使用して6パラメータの  
ずれの値を算出し、検出器全体のずれの補正を行うプログラムを  
組み込む

ARICH がずれたとき

リングの位置と飛跡の位置が  
異なって再構成される  
→チェレンコフ角がずれて再構成される

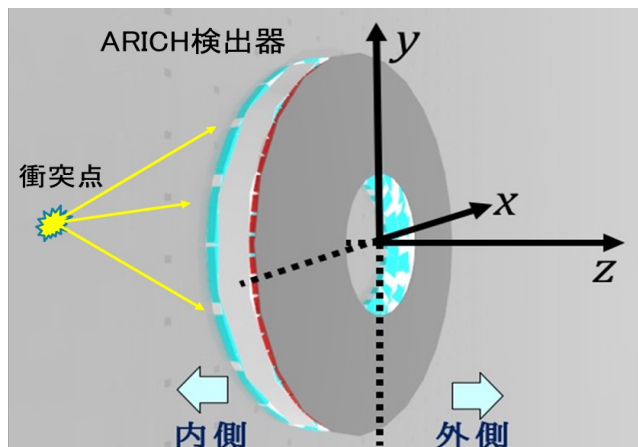
↑  
粒子識別性能に影響を及ぼす



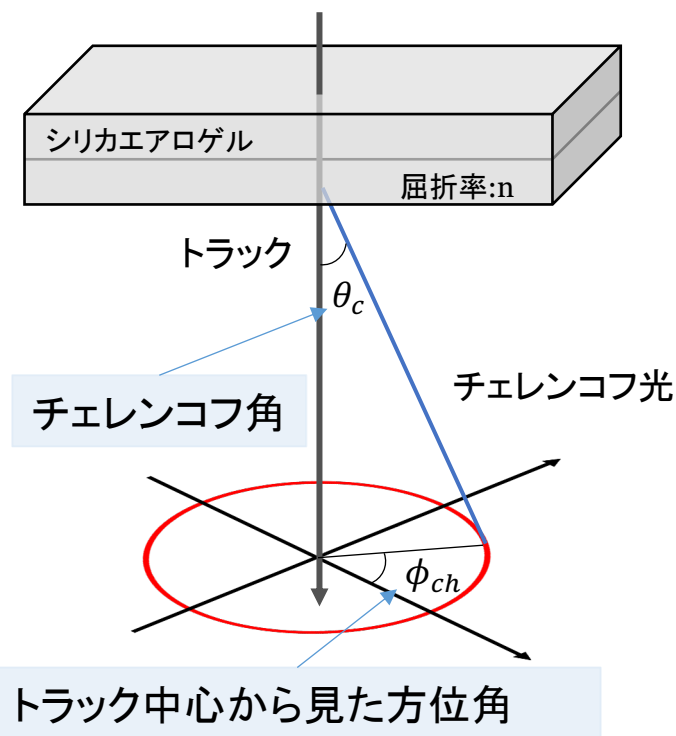


# アライメントで使用する情報

## 座標軸

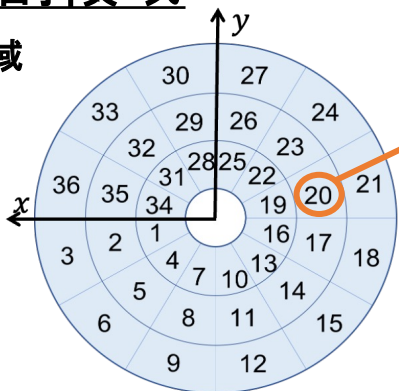


## 変数の定義



## ARICHの分割領域

36領域

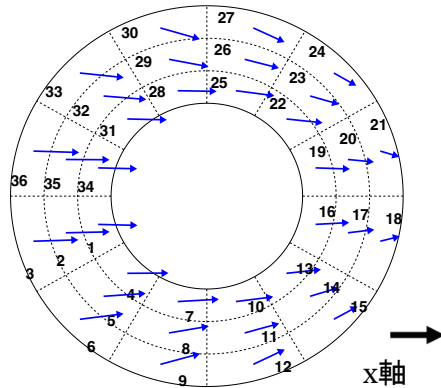


各領域で  
 $\theta_c$  の  $\phi_{ch}$  依存性をみる

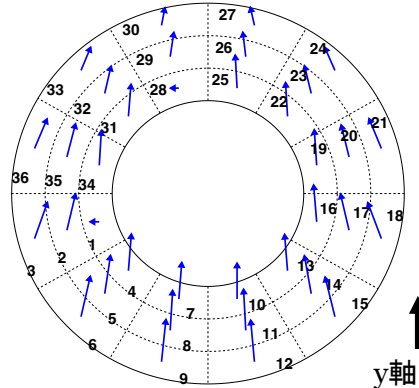


# 6パラメータのずれ

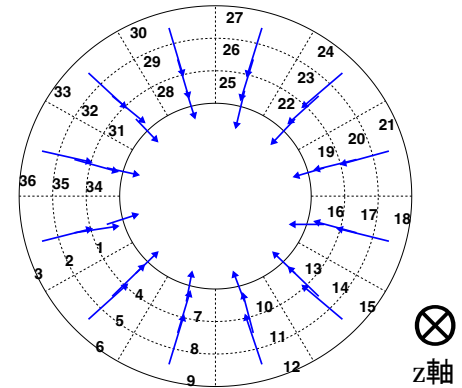
x 軸方向の並進



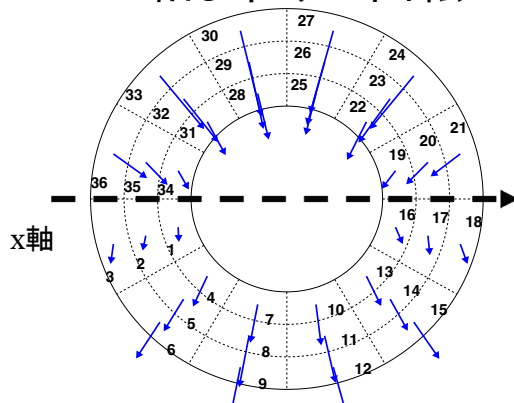
y 軸方向の並進



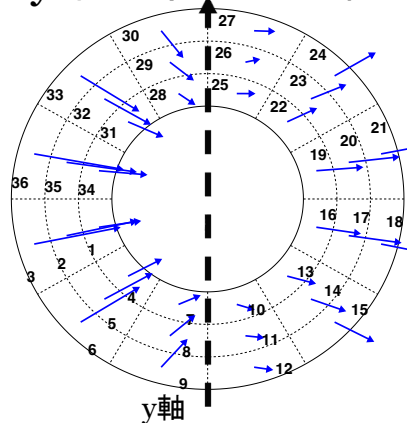
z 軸方向の並進



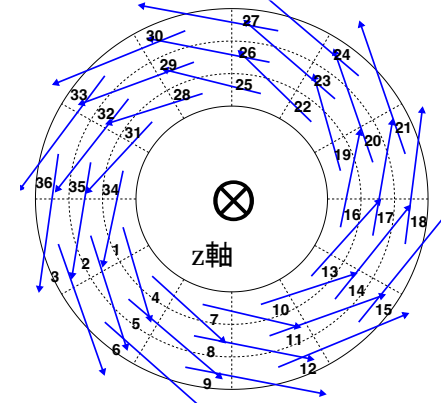
x 軸まわりの回転



y 軸まわりの回転

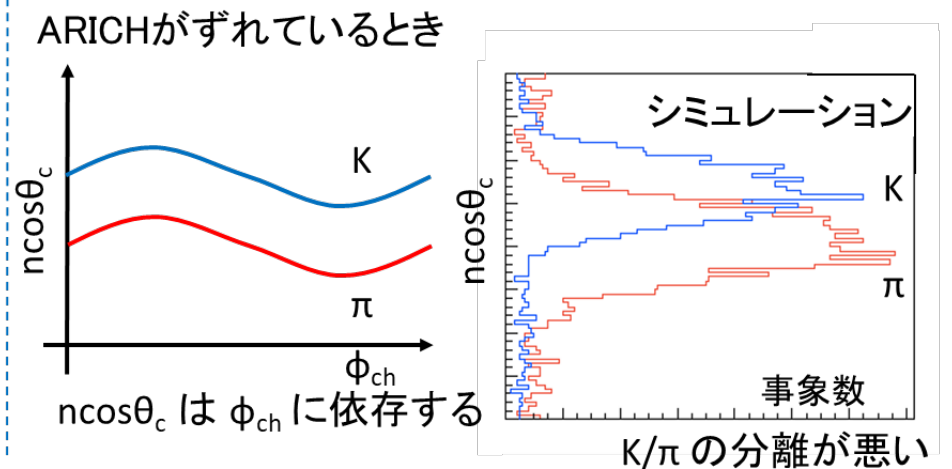
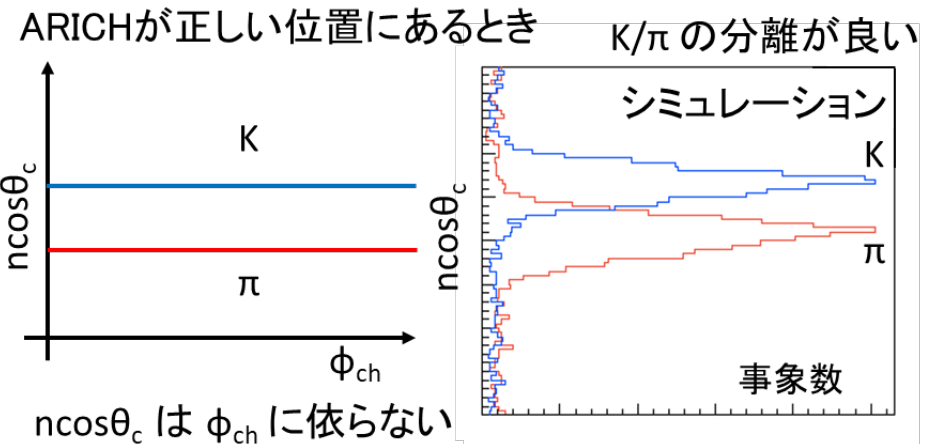
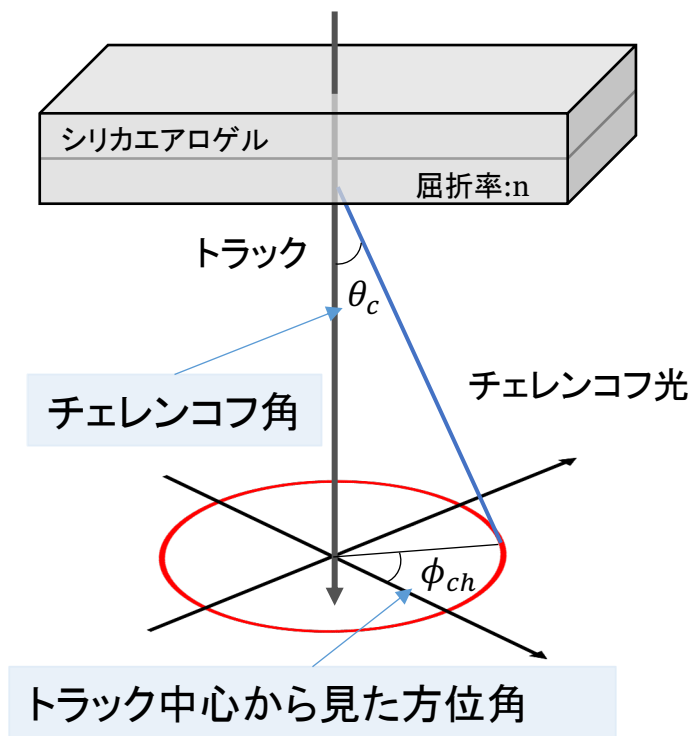


z 軸まわりの回転



並進方向、回転方向にそれぞれARICHをずらした時のシミュレーション結果

# $K/\pi$ 識別とずれの関係



→  $n \cos \theta_c$  の  $\phi_{ch}$  依存性を見れば、ARICH のずれがわかる！

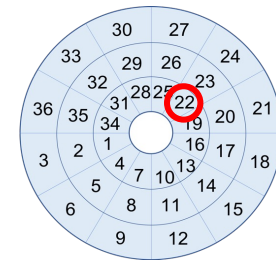
# アライメントの手順

$n\cos\theta_c$  の  
 $\phi_{ch}$  依存性

1. 実験データを用いてずれに関する情報を取得
2. 6パラメータ(xyz並進・回転)の正負のずれのシミュレーションデータを用いて、実験データのずれの値を算出

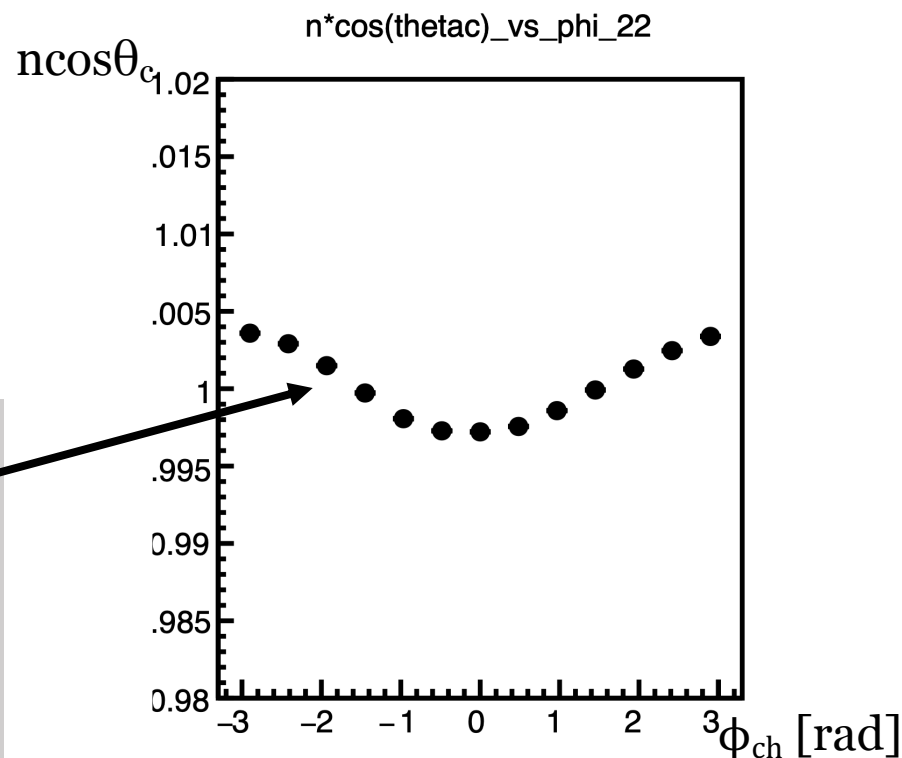
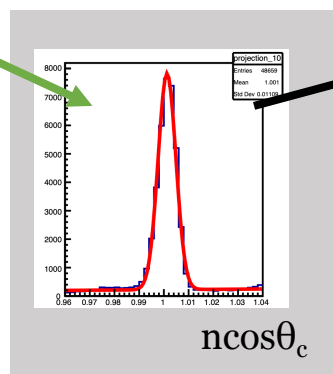
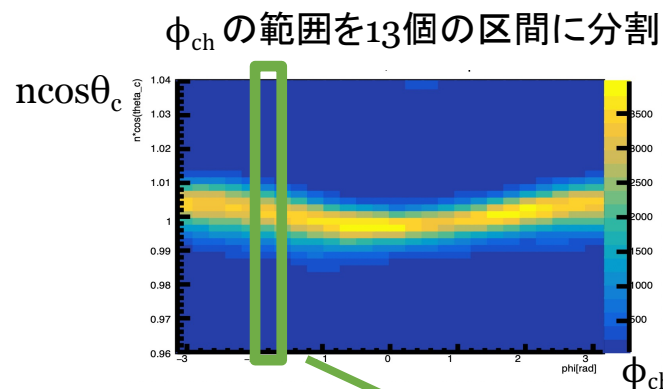
↑今回の発表

3. 算出したずれの値をもとに実験データを補正



# 1. 実験データから情報を取得

検出器の36の各領域で、 $\phi_{ch}$  に対する  $n\cos\theta_c$  の分布を得る



## 2. ずれの算出

6パラメータ(xyz並進・回転)の正負のずれをそれぞれ模擬した12種類のシミュレーションデータを用いて、実験データのずれを算出

1で得た、実験データの  
 $n\cos\theta_c$  のフィット結果

+

12種類のシミュレーションデータの  
 $n\cos\theta_c$  のフィット結果

- ・ x並進±2mm
- ・ y並進±2mm
- ・ z並進±5mm
- ・ x回転±0.5rad
- ・ y回転±0.5rad
- ・ z回転±0.5rad

Fit



ARICH全体の6パラメータのずれを算出

## 2. ずれの算出

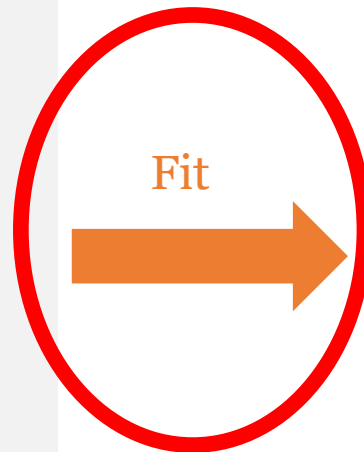
6パラメータ(xyz並進・回転)の正負のずれをそれぞれ模擬した12種類のシミュレーションデータを用いて、実験データのずれを算出

1で得た、実験データの  
 $n\cos\theta_c$  のフィット結果

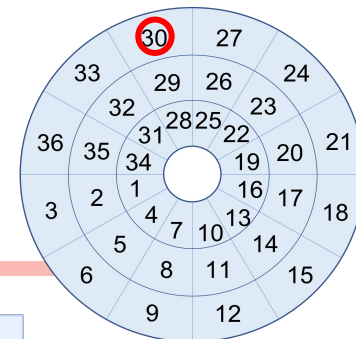
+

12種類のシミュレーションデータの  
 $n\cos\theta_c$  のフィット結果

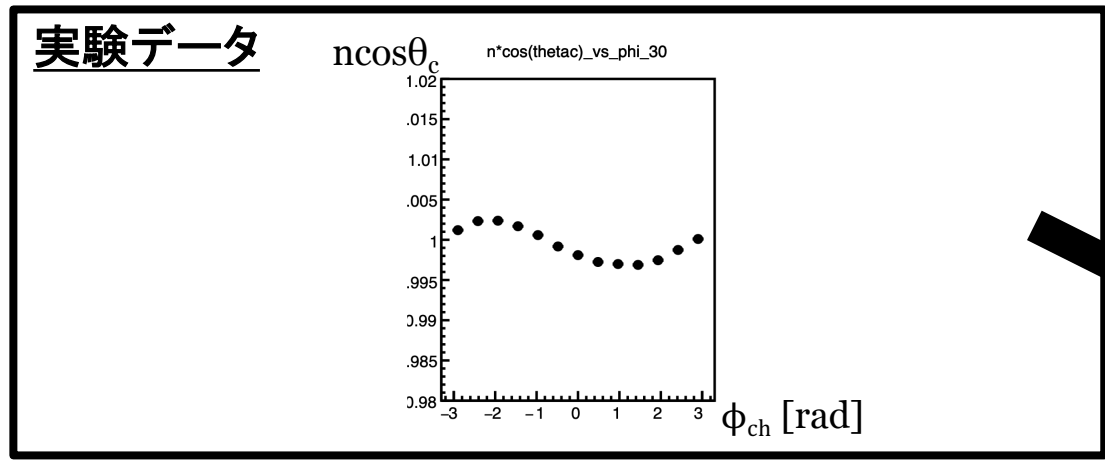
- ・ x並進±2mm
- ・ y並進±2mm
- ・ z並進±5mm
- ・ x回転±0.5rad
- ・ y回転±0.5rad
- ・ z回転±0.5rad



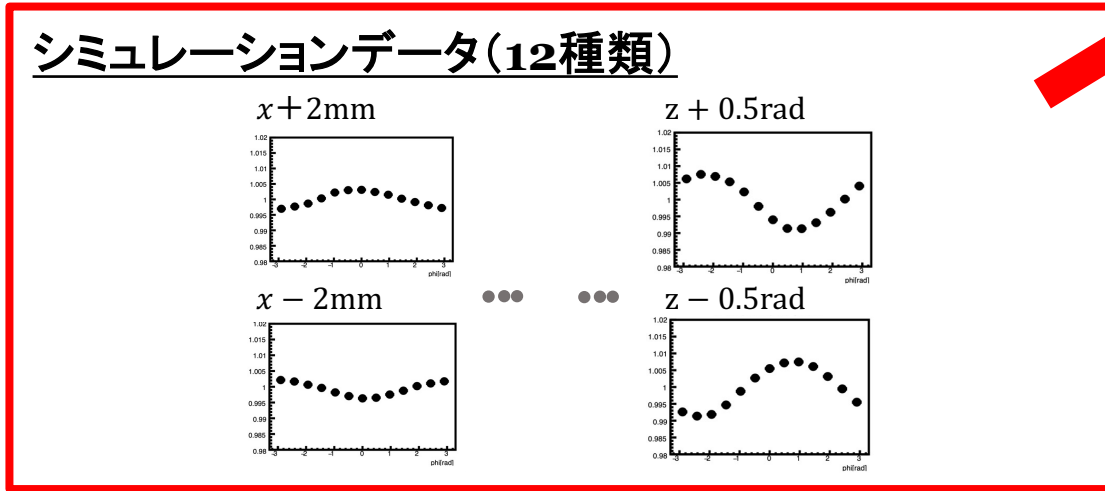
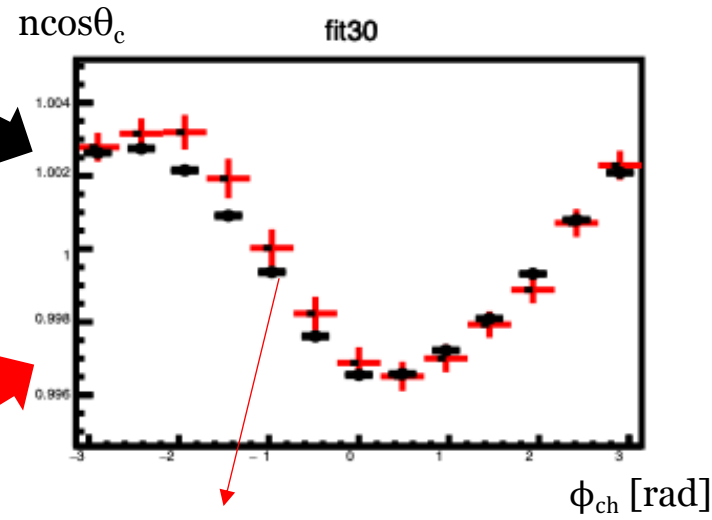
ARICH全体の6パラメータのずれを算出



# 2. ずれの算出方法



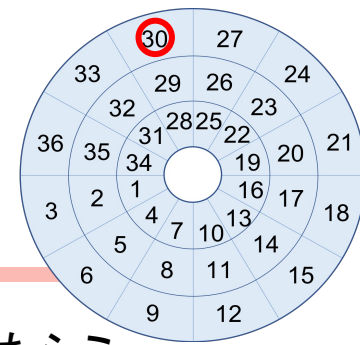
● : 実験データ  
+ : フィット結果



$f_{sim}$  (6パラメータ)  
xyz並進・回転

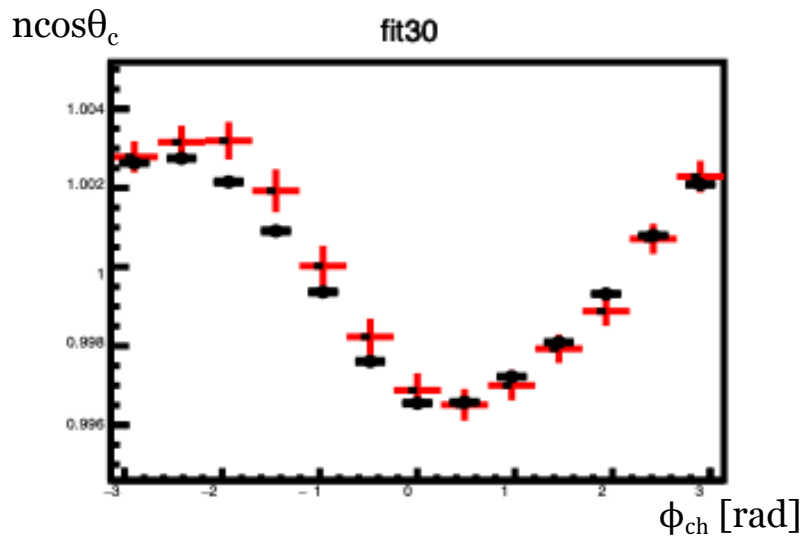
各点で $\chi^2$ を計算、  
36領域全体で足し合わせ  
→ xyz並進・回転のずれを算出





## 2. ずれの算出結果①

実際に、実験データ ( $\mu^+\mu^-$ , 1.51M events) と、各方向のずれを模擬したシミュレーションデータ (実験データと同様のカット、各0.14M events) を用いてずれを算出した。

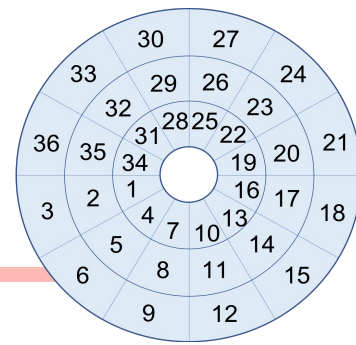


ずれの方向	算出したずれの値
x 軸並進方向 (mm)	$-1.466 \pm 0.014$
y 軸並進方向 (mm)	$-0.362 \pm 0.014$
z 軸並進方向 (mm)	$-0.177 \pm 0.032$
x 軸回転方向 (deg)	$0.032 \pm 0.005$
y 軸回転方向 (deg)	$0.053 \pm 0.002$
z 軸回転方向 (deg)	$0.052 \pm 0.001$

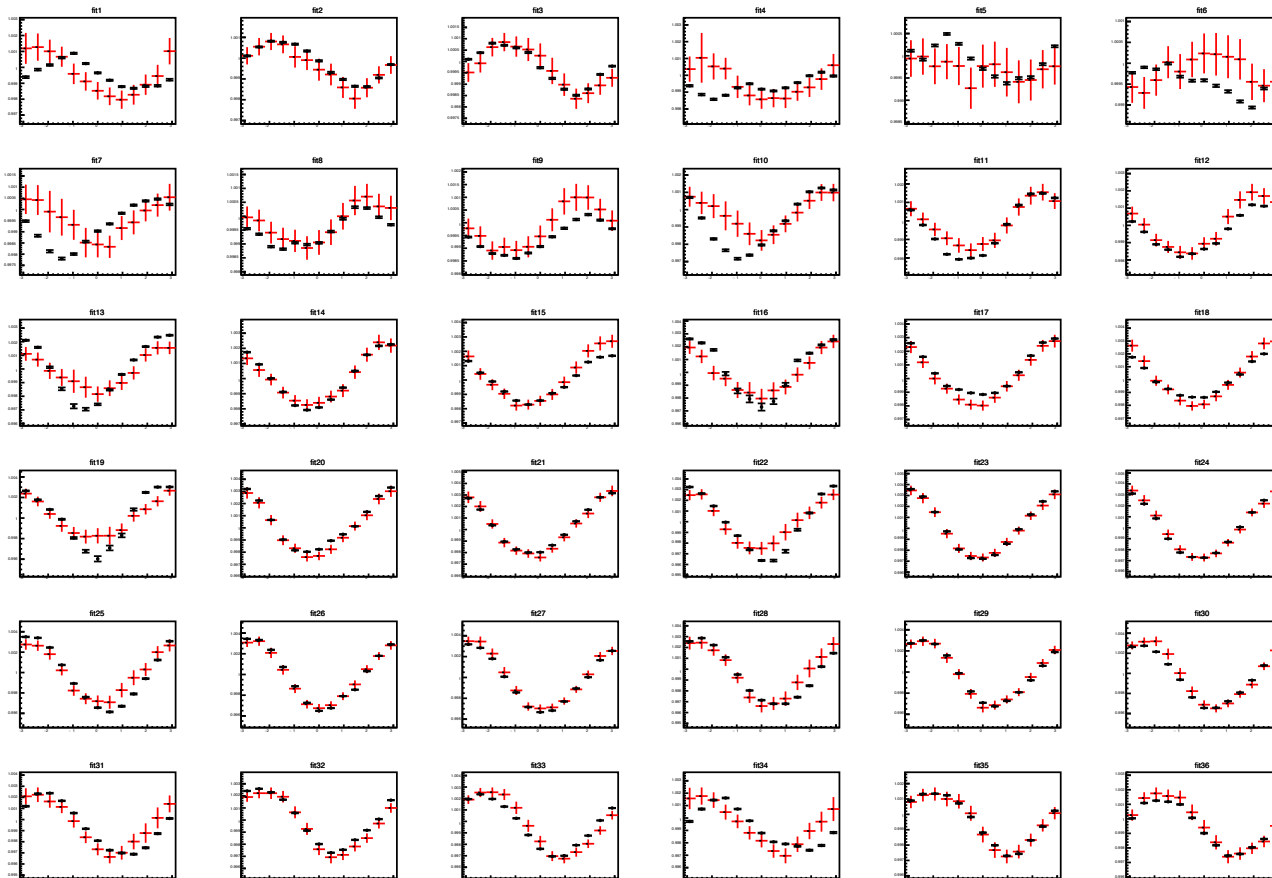
**preliminary**

ずれの値も設計上されていた想定内

# 2. ずれの算出結果②



## 36領域でのフィットの結果



# まとめと展望

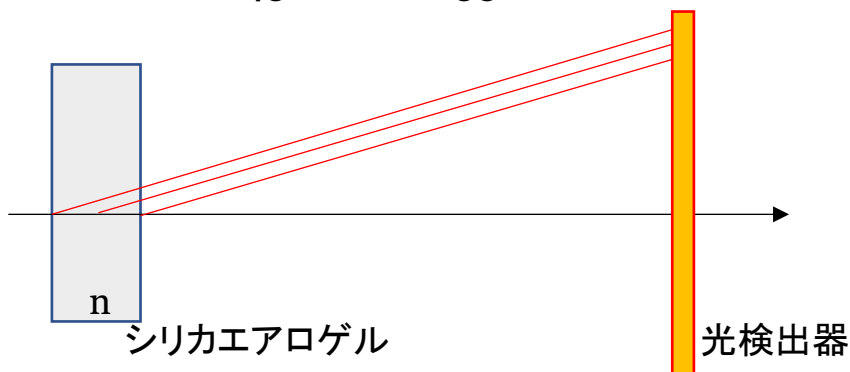
---

- 実験データとずれを模擬したシミュレーションデータを用いてARICH検出器のずれの値の取得を行った。
- 実際にずれを補正するプログラムを作成し、適応する。
- ARICHのずれが及ぼすK/ $\pi$ 粒子識別性能について調べる。

backup

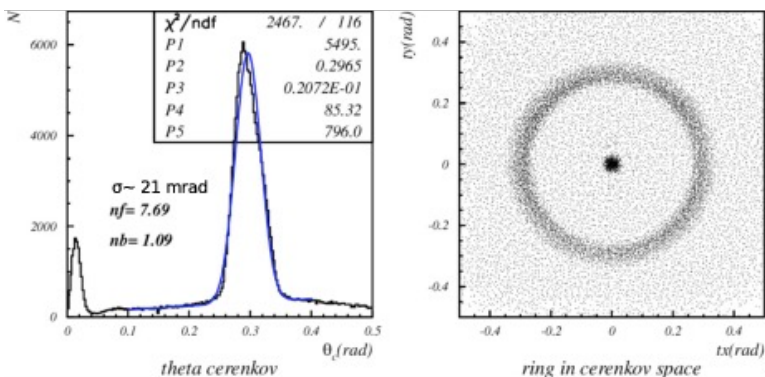
# デュアルレイヤー方式

屈折率が $n_1=1.045$ と $n_2=1.055$ の二枚を使用し、検出光子数を減らさず、角度分解能を向上させている。

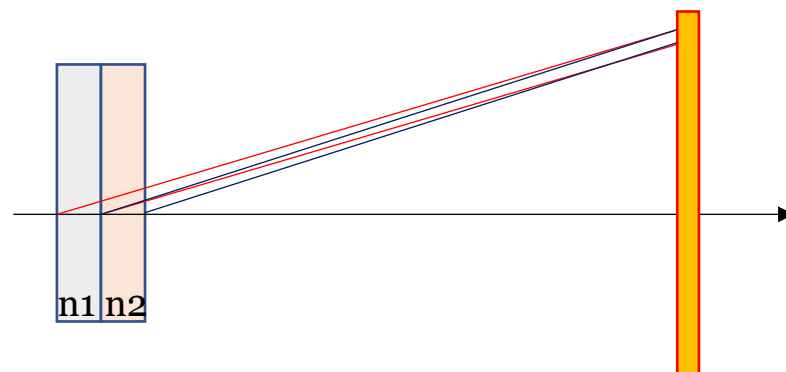


シリカエアロゲル

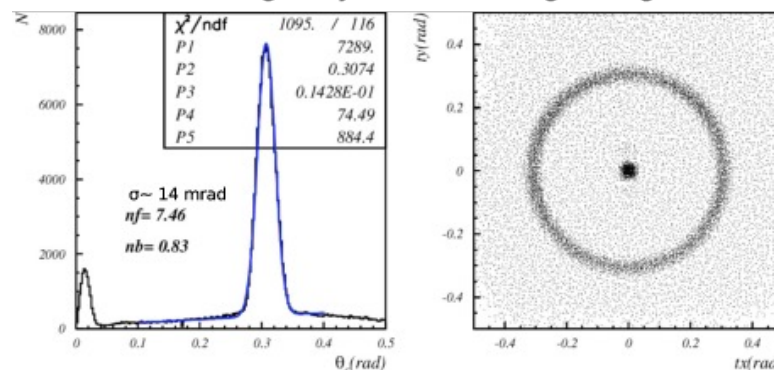
Single 4cm aerogel layer



角度分解能: 21mrad 光子数: 7.69

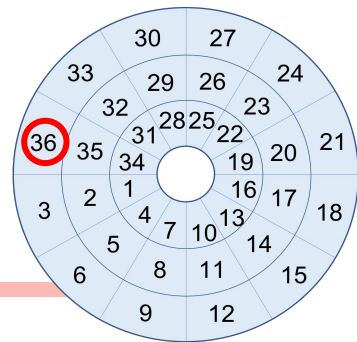


Two 2cm aerogel layers in focusing configuration



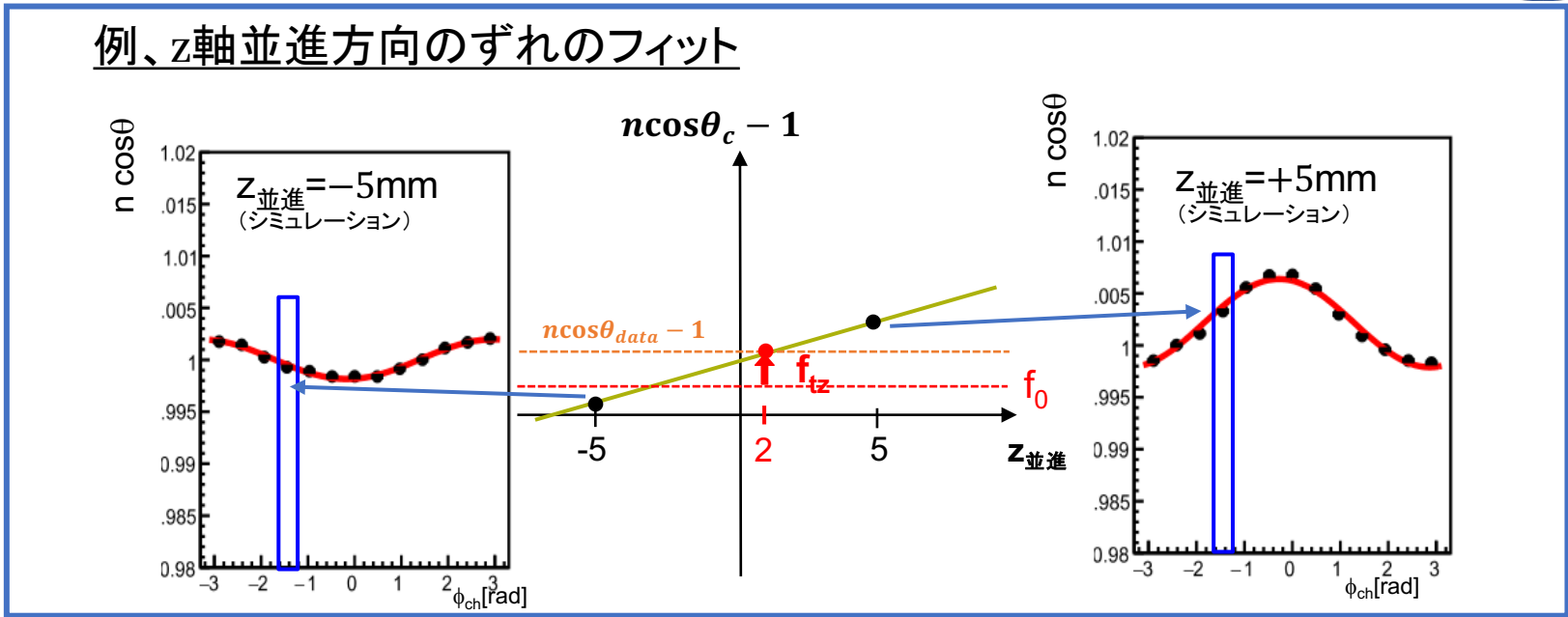
角度分解能: 14mrad 光子数: 7.46

本研究で用いた $n \cos \theta_c$ の $n$ は2つのエアロゲル層からの光子の放出確率を重みとした加重平均の値。  
 $(n \cos \theta_c)^{-1}$ は粒子の速度に対応しており、屈折率に依らない値である。



# 2. ずれの算出方法の詳細

例、z軸並進方向のずれのフィット

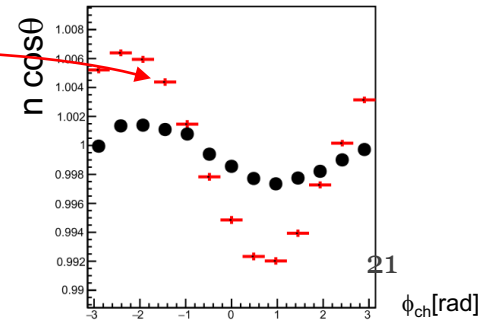


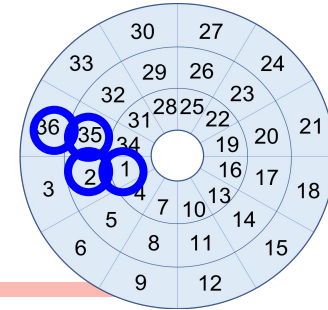
フィット値:  $n \cos \theta_{fit} = 1 + f_{tx} + f_{ty} + f_{tz} + f_{rx} + f_{ry} + f_{rz} + f_0$

誤差:  $\Delta n \cos \theta_{fit} = (\Delta f_{tx}^2 + \Delta f_{ty}^2 + \Delta f_{tz}^2 + \Delta f_{rx}^2 + \Delta f_{ry}^2 + \Delta f_{rz}^2)^{1/2}$

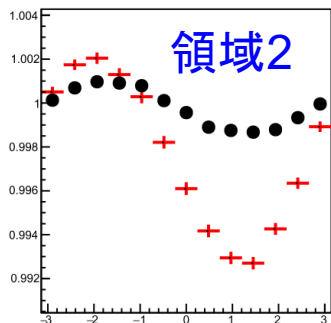
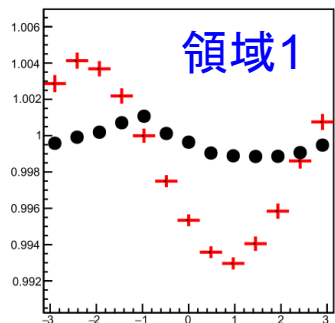
実データ:  $n \cos \theta_{data}$

誤差:  $\Delta n \cos \theta_{data}$

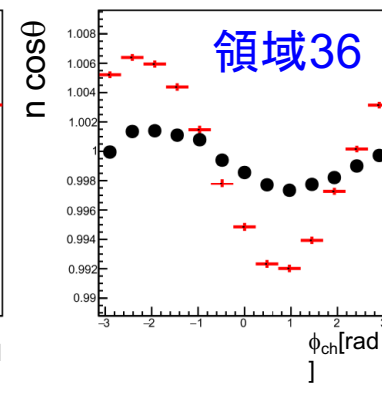
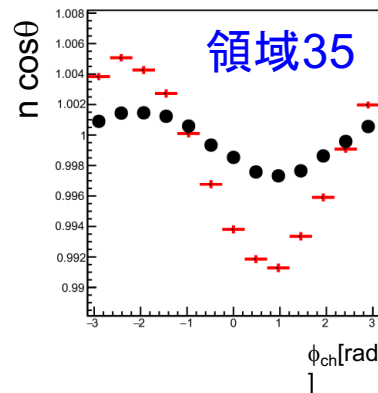




# 2. ずれの算出方法： $\chi^2$



...



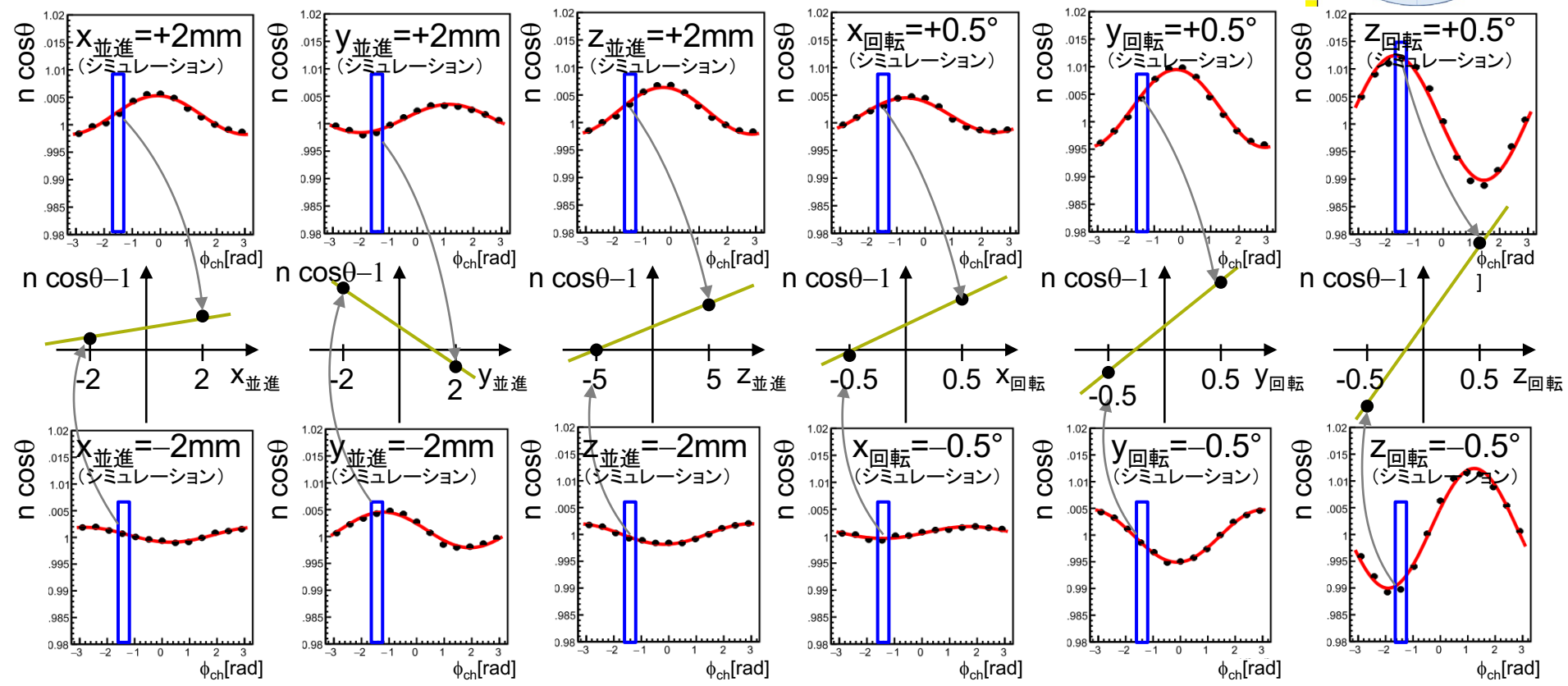
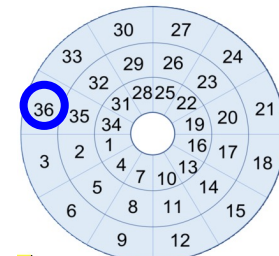
$$\chi^2 = \sum_{\text{全領域, 全データ点}} \frac{(\text{ncos}\theta_{\text{data}} - \text{ncos}\theta_{\text{fit}})^2}{\Delta \text{ncos}\theta_{\text{data}}^2 + \Delta \text{ncos}\theta_{\text{fit}}^2}$$

$\chi^2$ の計算にフィット値の誤差 (シミュレーションの統計誤差) を考慮

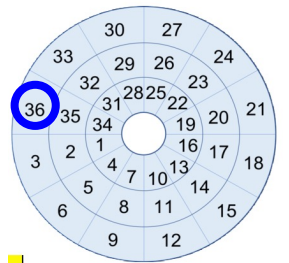
36領域で $\chi^2$ が最小になるようにフィット値を最適化



# 1. シミュレーション結果より、各ずれに対応する直線を作成 (領域36, $-1.7 < \phi_{ch} < -1.2$ の例)



## 2. あるフィット値におけるncosθの値を計算

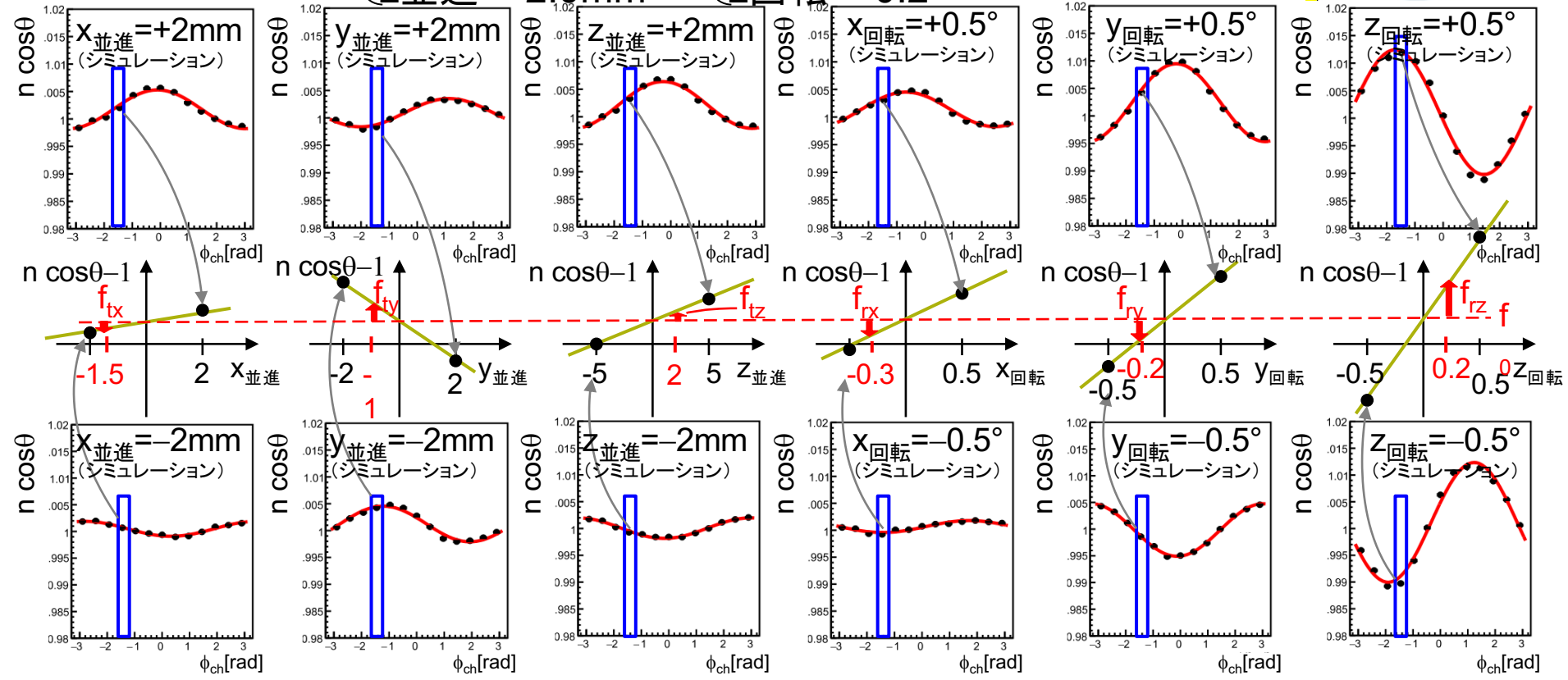


例:フィット値

x並進=-1.5mm  
y並進=-1.0mm  
z並進=+2.0mm

x回転=-0.3°  
y回転=-0.2°  
z回転=+0.2°

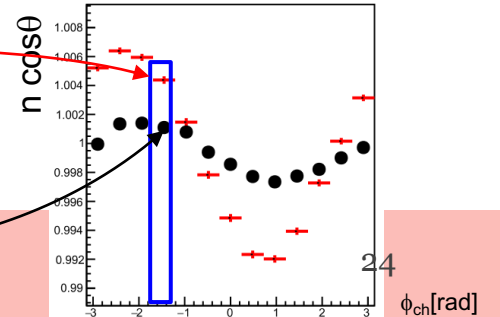
のとき



フィット値:  $n \cos \theta_{fit} = 1 + f_{tx} + f_{ty} + f_{tz} + f_{rx} + f_{ry} + f_{rz} + f_0$

誤差:  $\Delta n \cos \theta_{fit} = (\Delta f_{tx}^2 + \Delta f_{ty}^2 + \Delta f_{tz}^2 + \Delta f_{rx}^2 + \Delta f_{ry}^2 + \Delta f_{rz}^2)^{1/2}$

実データ:  $n \cos \theta_{data}$   
誤差:  $\Delta n \cos \theta_{data}$



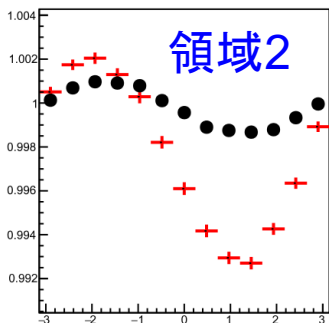
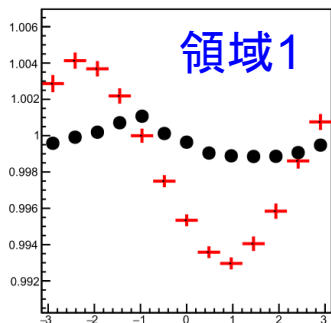
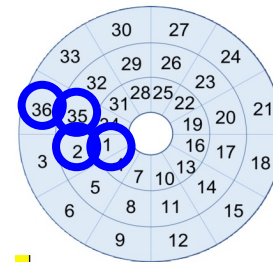
### 3. あるフィット値における $\chi^2$ の計算

例:フィット値

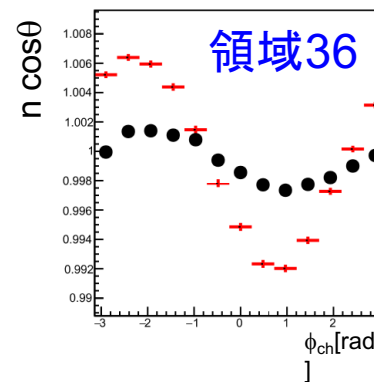
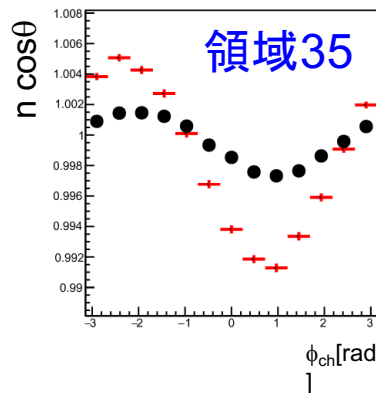
$\left\{ \begin{array}{l} x \text{並進} = -1.5\text{mm} \\ y \text{並進} = -1.0\text{mm} \\ z \text{並進} = +2.0\text{mm} \end{array} \right.$

$\left\{ \begin{array}{l} x \text{回転} = -0.3^\circ \\ y \text{回転} = -0.2^\circ \\ z \text{回転} = +0.2^\circ \end{array} \right.$

のとき



...

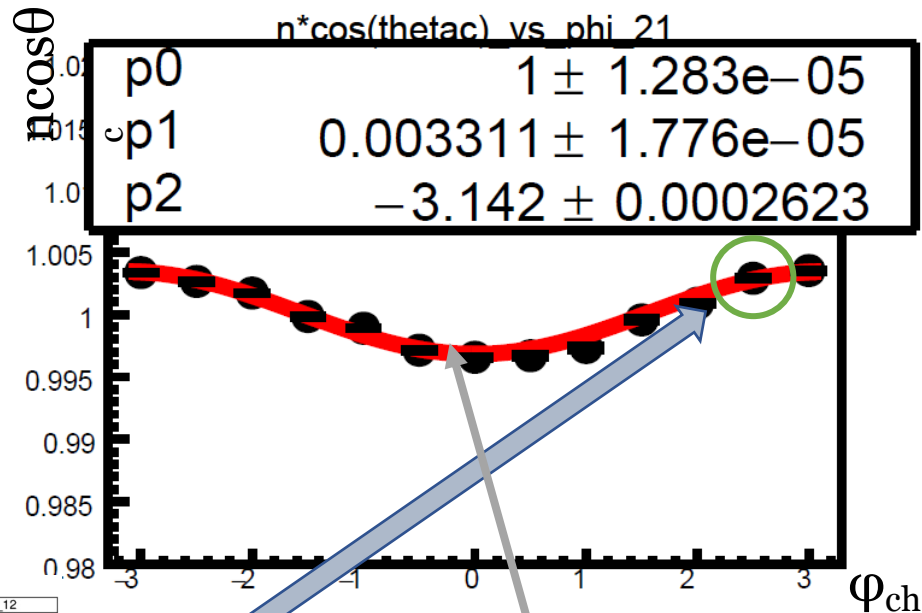
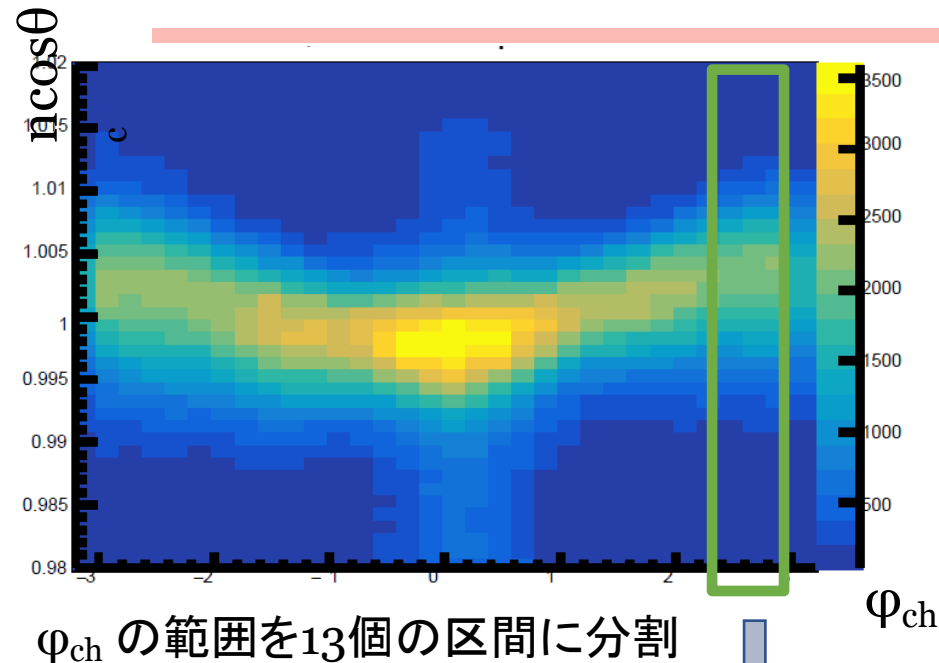
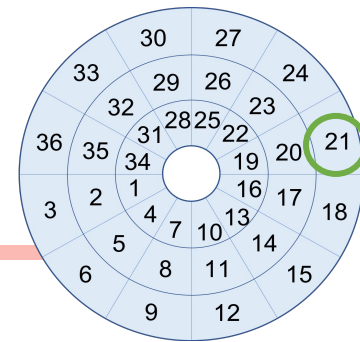


$$\chi^2 = \sum_{\substack{\text{全領域,} \\ \text{全データ} \\ \text{点}}} \frac{(\text{ncos}\theta_{\text{data}} - \text{ncos}\theta_{\text{fit}})^2}{\Delta \text{ncos}\theta_{\text{data}}^2 + \Delta \text{ncos}\theta_{\text{fit}}^2}$$

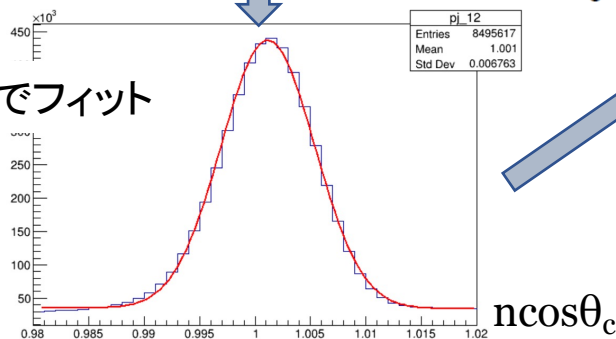
$\chi^2$ の計算にフィット値の誤差 (シミュレーションの統計誤差) を考慮

$\chi^2$ が最小になるようにフィット値を最適化

# 過去のずれの導出方法(先行研究)



ガウス関数+一次関数でフィット

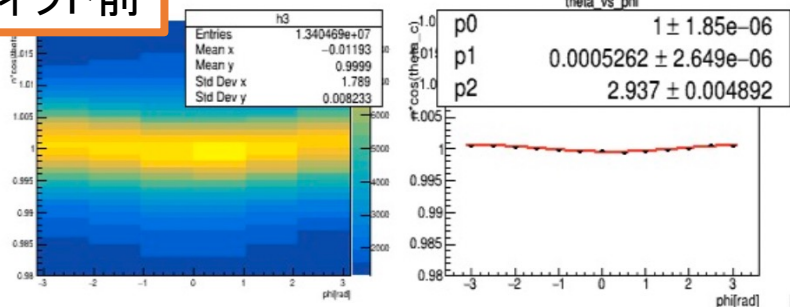


- :  $\phi_{ch}$  のデータ点 (13個)
- : COS 関数によるフィット

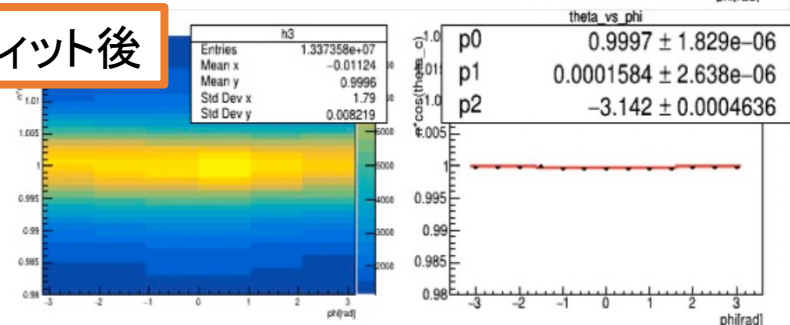
# ずれの導出方法の改良

## 過去の手法

### フィット前



### フィット後

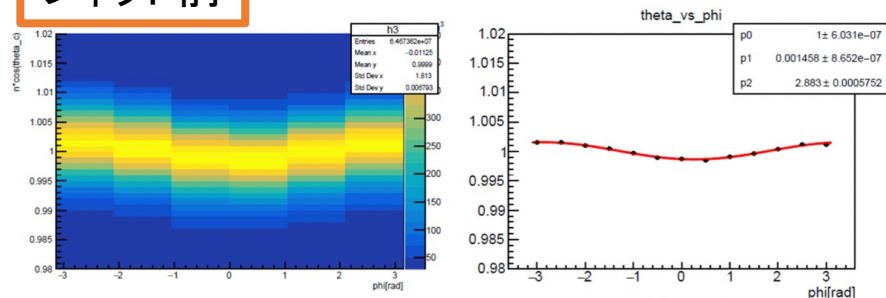


- BhaBha事象
- $n \cos \theta_{ch}$  vs  $\phi_{ch}$  をcos関数でフィットし6パラメータのずれを算出

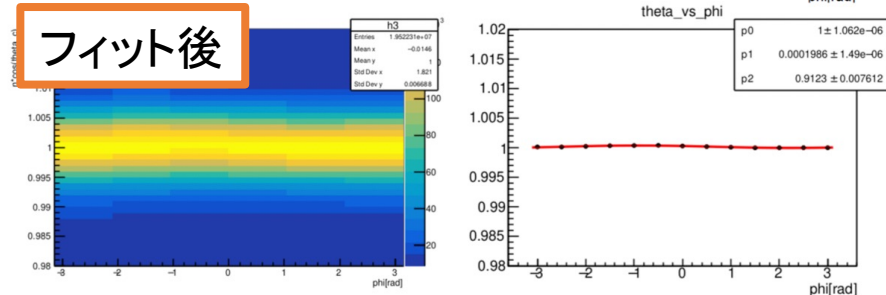
36領域×6種

## 今回の手法

### フィット前



### フィット後



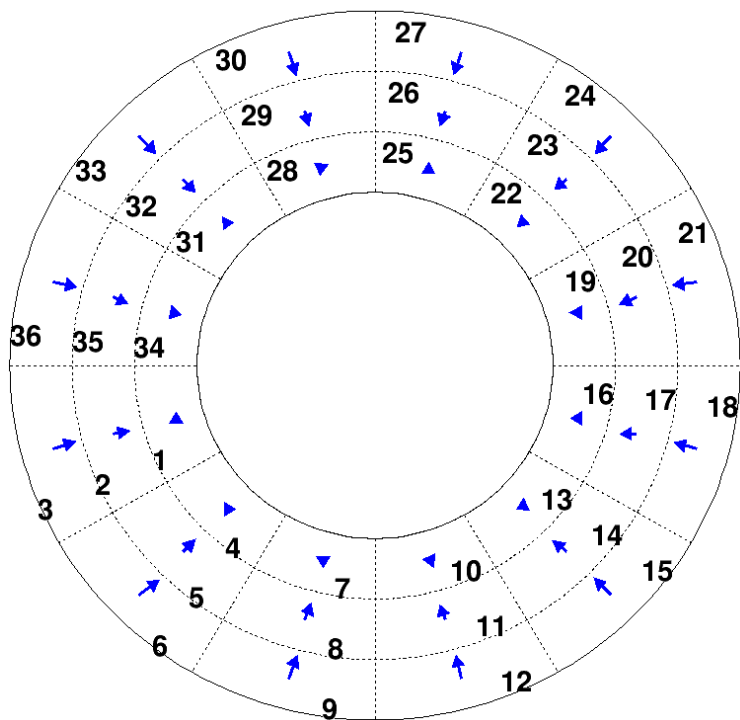
- mu-pair事象
- $n \cos \theta_{ch}$  vs  $\phi_{ch}$  を各データ点の値でガウスフィットし6パラメータのずれを算出

36領域×13領域×±6種

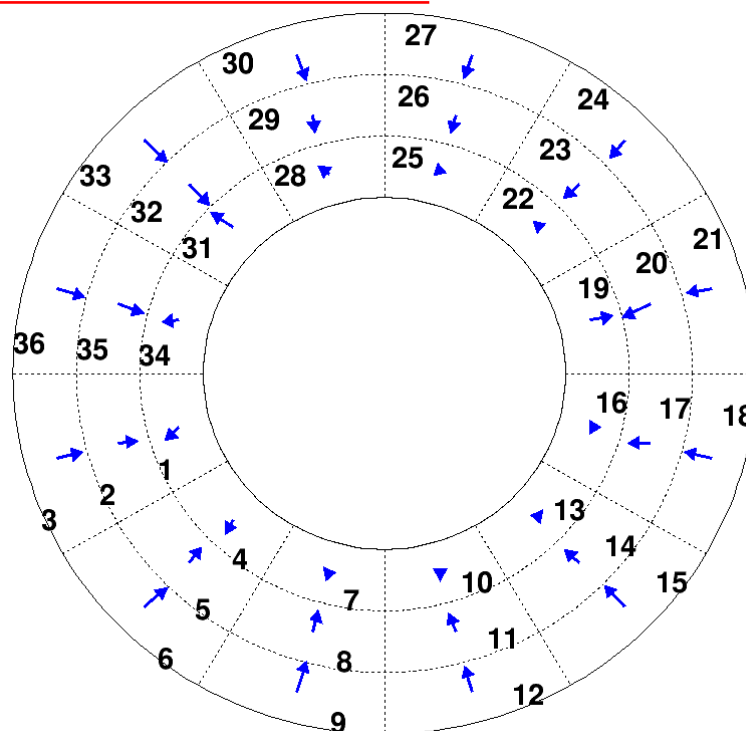
# エアロゲルアライメントとの関係

同じMCでの、現在のエアロゲルアライメント有or無のARICHのずれの矢印表示

## エアロのアライメント無



## エアロのアライメント有



エアロゲルのアライメントもグローバルアライメントに影響ありそう(特に内側)  
→どれくらい影響があるのか定量的に調べる(今後)