Belle II 実験における ARICH検出器のアライメント II

東京都立大学

修士1年　岩城彩希

足立一郎[AB],古井孝侑[C],飯嶋徹[D],朴兌秀,岩田修一[E],角野秀一,河合秀幸[F],川﨑健夫[G],金道玄樹[B],高力孝[A],今野智之[G],汲田哲郎,Yun-Tsung Lai[H],松岡広大[A],本橋完太,西田昌平[AB],西村美紀[A],小川和也[I],小川了[J],清野義敬[I],庄子正剛[A],住吉孝行,田端誠[F],鶴藤昌人,宇野健太[I],渡辺啓太,米永匡伸,遊佐洋右[I]

東京都立大,KEK[A],総研大[B],東京大[C],名古屋大[D],産技高専[E],千葉大[F],北里大[G],IPMU[H],新潟大[I],東邦大[J]

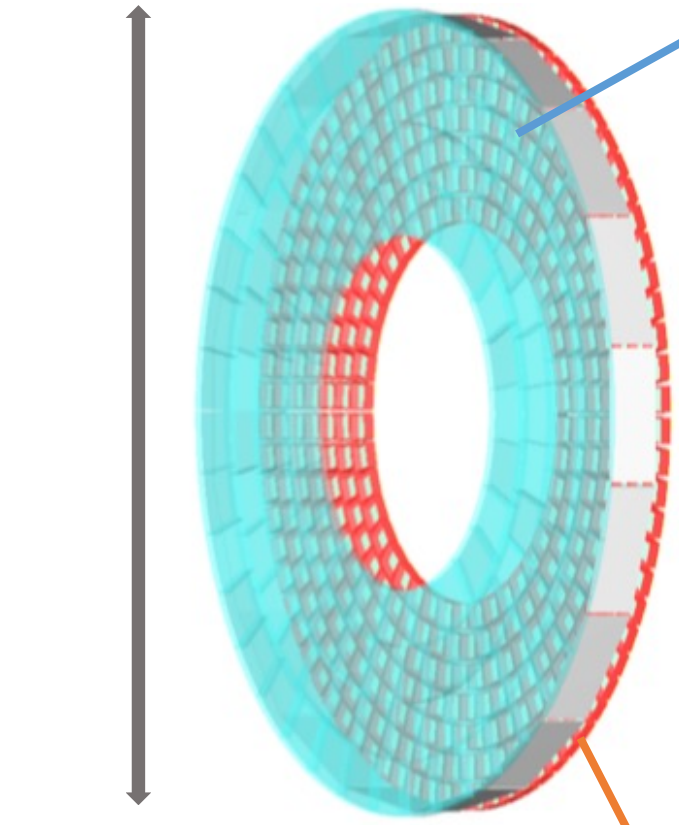
目次

- イントロダクション
  - ARICH検出器
- 研究内容(エアロゲルのアライメント)
  - 概要と手順
  - z方向のアライメント
  - x−y方向のアライメント
- まとめと展望

ARICH検出器

ARICH検出器(Aerogel Ring Imaging CHerenkov Counter)

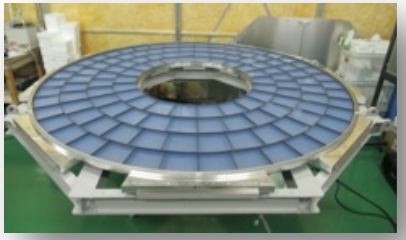
チェレンコフ光の角度の違いから荷電粒子の識別を行う



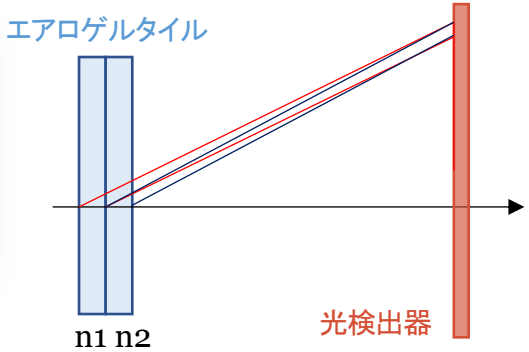
輻射体(シリカエアロゲル)

光検出器

デュアルレイヤー方式



エアロゲルタイル

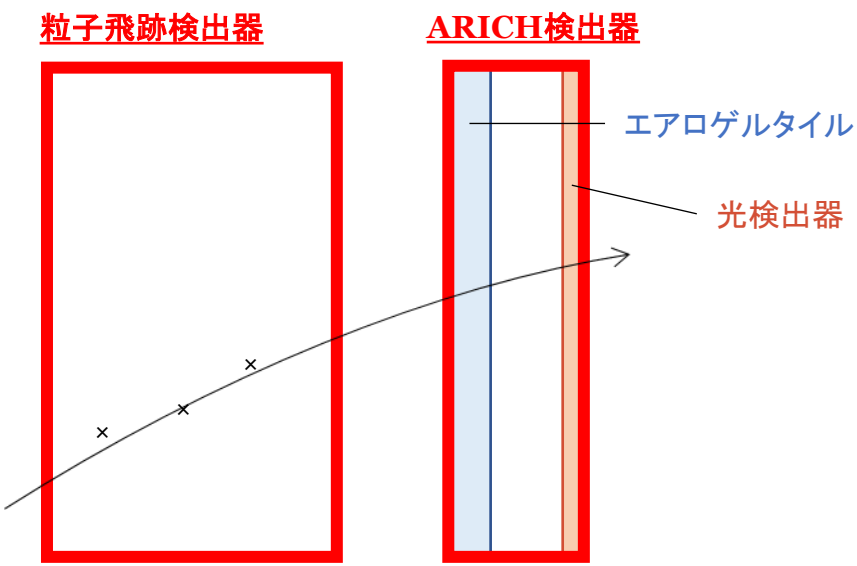


屈折率の異なる2層のシリカエアロゲル(n1=1.045,n2=1.055)がタイル状に敷き詰められている

(1層の厚さは2cm,タイルの数は124×2枚)

前講演との違い

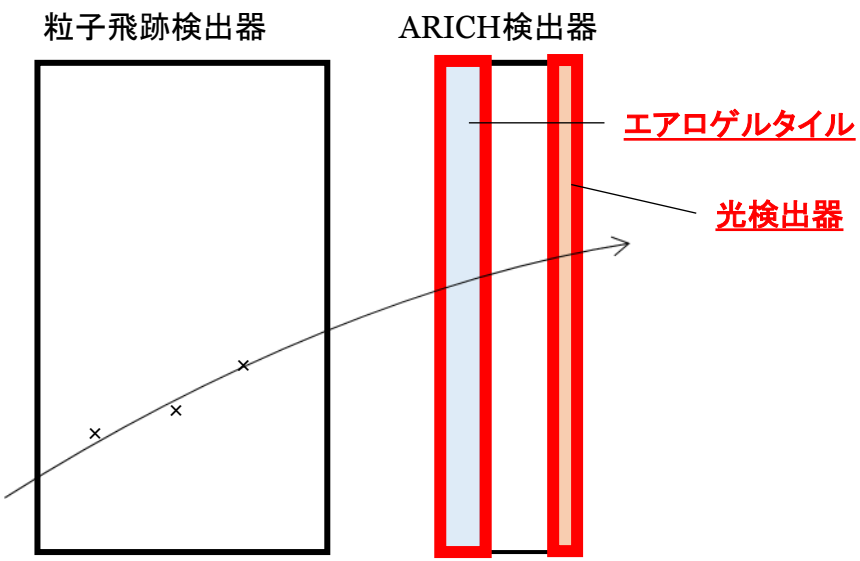
前講演のアライメント



ARICH検出器と粒子飛跡検出器間の相対的なアライメント

本講演のアライメント

(エアロゲルタイルのアライメント)

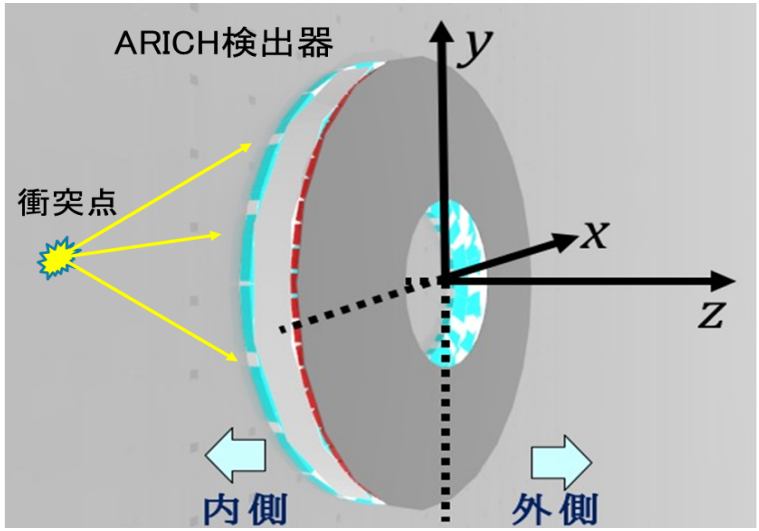


ARICH検出器内での
エアロゲルタイルと光検出器
間の相対的なアライメント

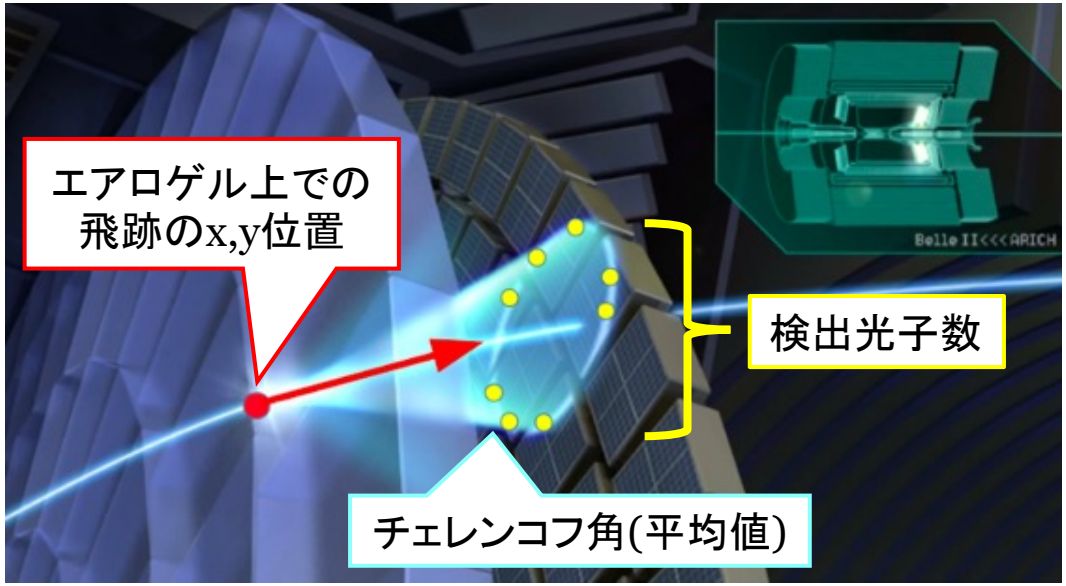
アライメントで使用する情報について

- $e^+e^- \to \mu^+\mu^-$事象を用いる。
(μ粒子の運動量は5GeV~7GeV)
- x-y方向とz方向でそれぞれエアロゲルタイルのアライメントを行う

座標軸



使用する情報



アライメントの手順

エアロゲルタイルのz方向アライメント

① 実験データ(DATA)とシミュレーションデータ(MC)の**チェレンコフ角度**のエアロゲル位置依存性を求める

② エアロゲルタイルのz方向の位置のずれを模擬したシミュレーションデータ(MC_tilted)を作成し，①と比較

（③ ソフトウェア上でエアロゲルの位置を補正）

今後の課題

エアロゲルタイルのx-y方向アライメント

① 実験データ(DATA)とシミュレーションデータ(MC)の**検出光子数**のエアロゲル位置依存性を求める

② エアロゲルタイルをz軸周りに回転させたシミュレーションデータ(MC_rotated)を作成し，①と比較

（③ ソフトウェア上でエアロゲルの位置を補正）

今後の課題

アライメントの手順

エアロゲルタイルのz方向アライメント

① 実験データ(DATA)とシミュレーションデータ(MC)の**チェレンコフ角度**のエアロゲル位置依存性を求める

② エアロゲルタイルのz方向の位置のずれを模擬したシミュレーションデータ(MC_tilted)を作成し，①と比較

（③ ソフトウェア上でエアロゲルの位置を補正）

今後の課題

エアロゲルタイルのx-y方向アライメント

① 実験データ(DATA)とシミュレーションデータ(MC)の**検出光子数**のエアロゲル位置依存性を求める

② エアロゲルタイルをz軸周りに回転させたシミュレーションデータ(MC_rotated)を作成し，①と比較

（③ ソフトウェア上でエアロゲルの位置を補正）

今後の課題

①チェレンコフ角の差(DATA − MC)

実験データ(DATA)とシミュレーションデータ(MC)のチェレンコフ角度のエアロゲル位置依存性を求める

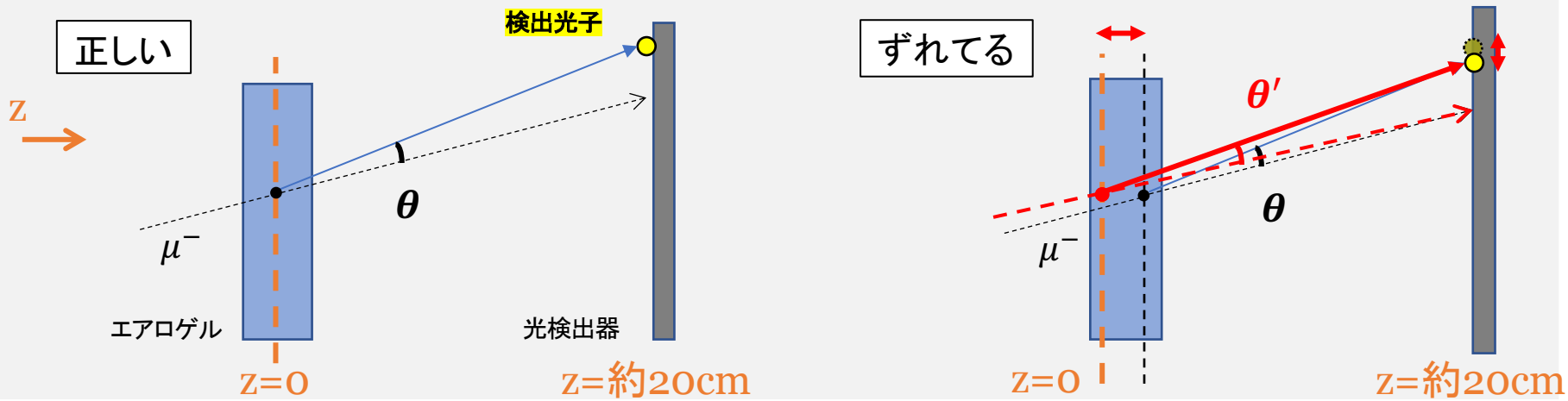
DATA

- 2019年3月～2020年6月
- 1340万イベント($e^+e^- \to \mu^+\mu^-$事象)

MC

- モンテカルロシミュレーション
- 1000万イベント($e^+e^- \to \mu^+\mu^-$事象)

z方向のアライメントでチェレンコフ角度の分布を見る理由

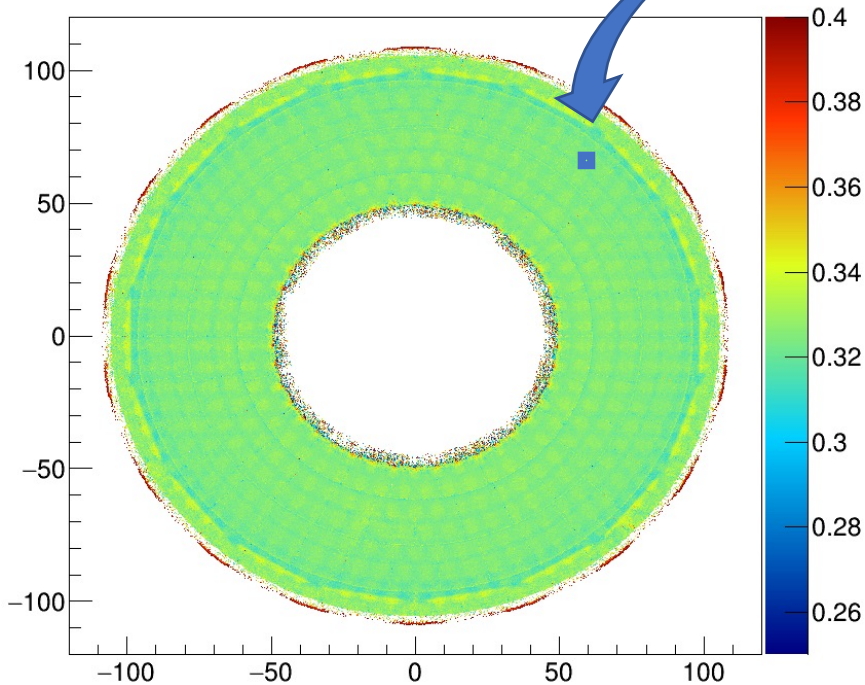


①平均チェレンコフ角の2次元マップ

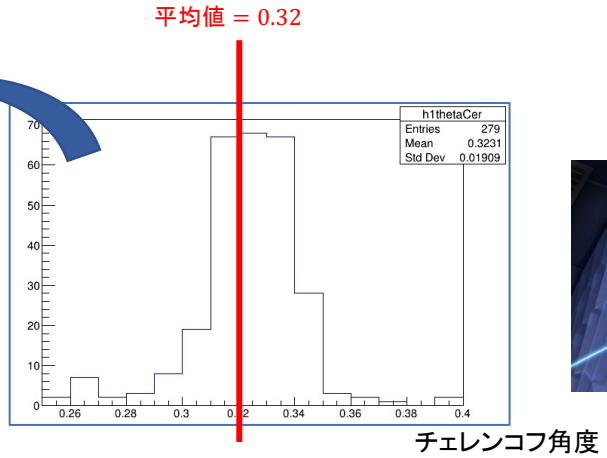
MCの平均チェレンコフ角度

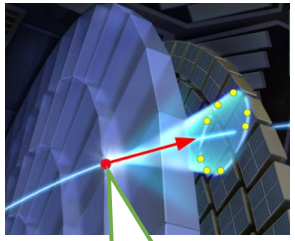
(1bin = 0.2cm×0.2cm)

MC



平均値をとる





縦軸:y位置[cm]

横軸:x位置[cm]

エアロゲル上での飛跡の位置

色:チェレンコフ角度の平均値[rad]

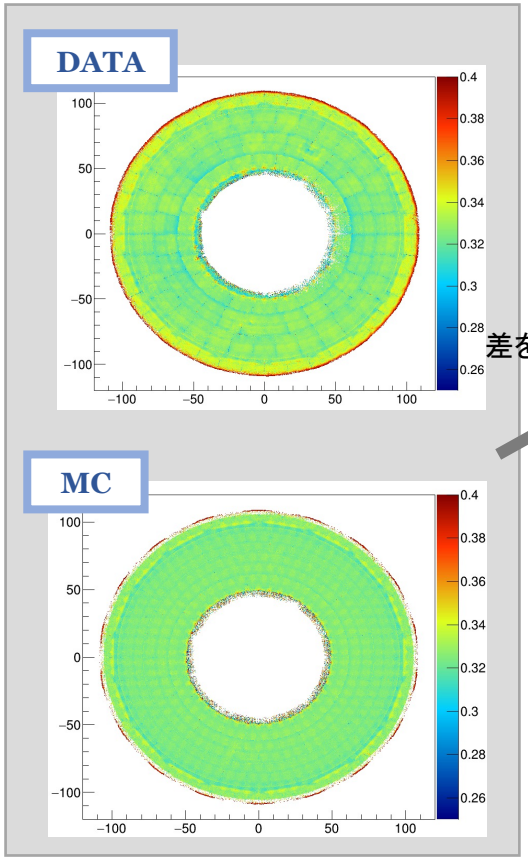
=

1ビンの領域から生じるチェレンコフ光子の角度平均

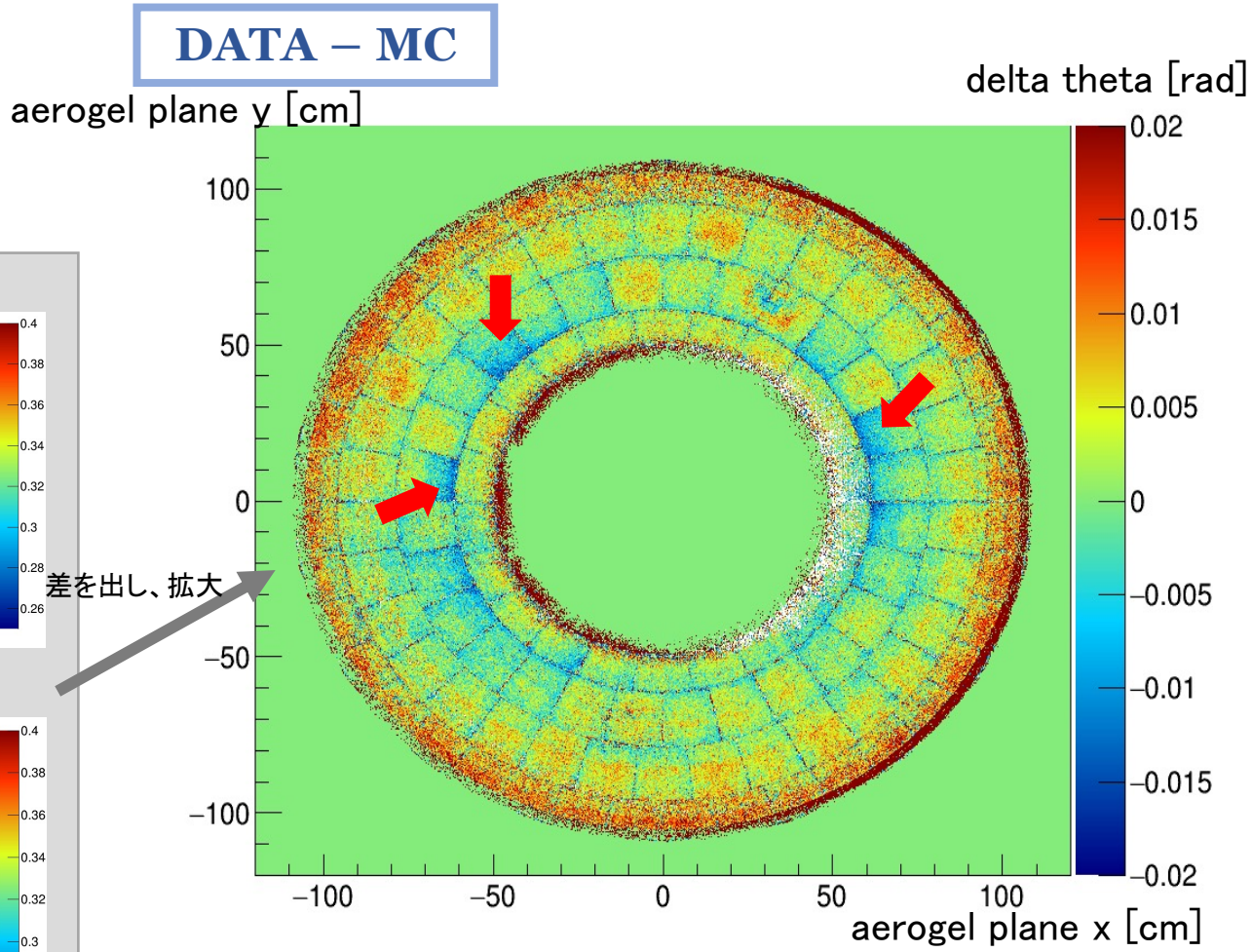
同様のDATAのマップを作り、差を計算する(DATA−MC)

①平均チェレンコフ角の差の2次元マップ

DATAとMCの平均チェレンコフ角度の差



差を出し、拡大



- チェレンコフ角が最大0.016[rad]の差

→エアロゲルを傾けたシミュレーションを作成し、比較する

アライメントの手順

エアロゲルタイルのz方向アライメント

① 実験データ(DATA)とシミュレーションデータ(MC)の<u>チェレンコフ角度</u>のエアロゲル位置依存性を求める

→チェレンコフ角が最大<u>0.016[rad]</u>の差

② エアロゲルタイルのz方向の位置のずれを模擬したシミュレーションデータ(MC_tilted)を作成し，①と比較

（③ ソフトウェア上でエアロゲルの位置を補正）

今後の課題

エアロゲルタイルのx-y方向アライメント

① 実験データ(DATA)とシミュレーションデータ(MC)の<u>検出光子数</u>のエアロゲル位置依存性を求める

② エアロゲルタイルをz軸周りに回転させたシミュレーションデータ(MC_rotated)を作成し，①と比較

（③ ソフトウェア上でエアロゲルの位置を補正）

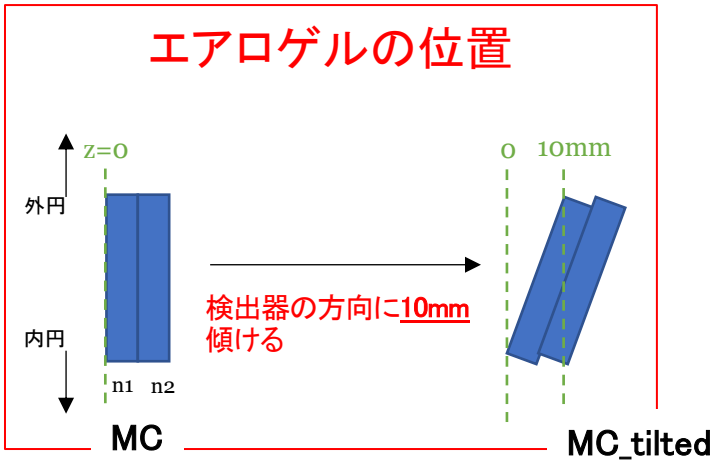
今後の課題

②シミュレーション

エアロゲルタイルのz方向の位置のずれを模擬したシミュレーションデータ(MC_tilted)を作成し，①の結果(最大0.016radのずれ)と比較

MC_tilted
- エアロゲルを検出器側に10mm傾けたもの
- 20万イベント($e^+e^- \to \mu^+\mu^-$事象)

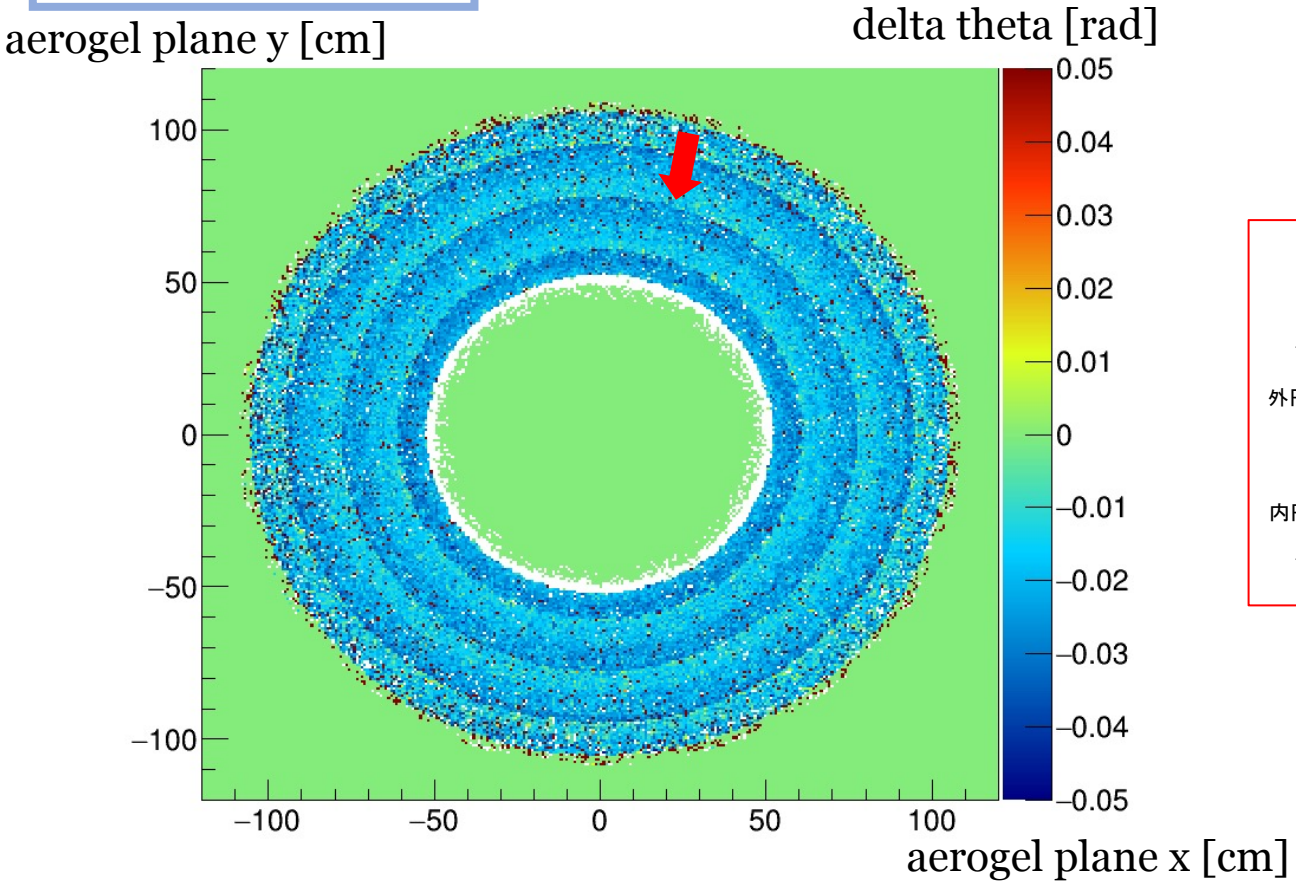
MC(①の一部)
- モンテカルロシミュレーション
- 16万イベント($e^+e^- \to \mu^+\mu^-$事象)

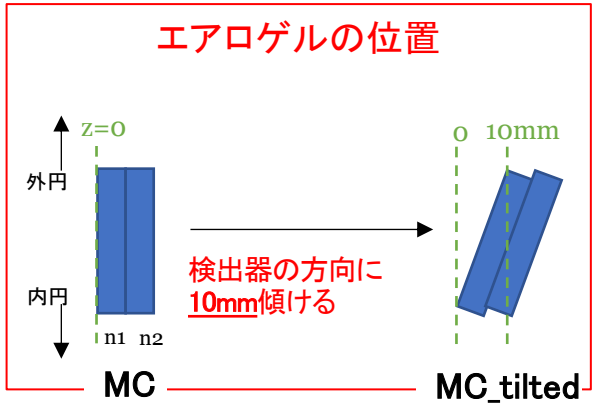


②シミュレーション結果

MC_tiltedとMCの平均チェレンコフ角度の差　(1bin = 0.8cm×0.8cm)

MC_tilted – MC





- チェレンコフ角の差は最大0.03[rad] (z方向に10mm傾けたとき)

→ ①の結果(最大0.016[rad]のずれ)は、**z方向に最大5.3mmのずれ**に相当する

アライメントの手順

エアロゲルタイルのz方向アライメント

① 実験データ(DATA)とシミュレーションデータ(MC)の<u>チェレンコフ角度</u>のエアロゲル位置依存性を求める

→チェレンコフ角が最大<u>0.016[rad]</u>の差

② エアロゲルタイルのz方向の位置のずれを模擬したシミュレーションデータ(MC_tilted)を作成し，①と比較

→①のとき、エアロゲルが検出器側に<u>約5.3mm</u>のずれ

（③ ソフトウェア上でエアロゲルの位置を補正）

今後の課題

エアロゲルタイルのx-y方向アライメント

① 実験データ(DATA)とシミュレーションデータ(MC)の<u>検出光子数</u>のエアロゲル位置依存性を求める

② エアロゲルタイルをz軸周りに回転させたシミュレーションデータ(MC_rotated)を作成し，①と比較

（③ ソフトウェア上でエアロゲルの位置を補正）

今後の課題

アライメントの手順

エアロゲルタイルのz方向アライメント

① 実験データ(DATA)とシミュレーションデータ(MC)の<u>チェレンコフ角度</u>のエアロゲル位置依存性を求める

→チェレンコフ角が最大<u>0.016[rad]</u>の差

② エアロゲルタイルのz方向の位置のずれを模擬したシミュレーションデータ(MC_tilted)を作成し，①と比較

→①のとき、エアロゲルが検出器側に<u>約5.3mm</u>のずれ

（③ ソフトウェア上でエアロゲルの位置を補正）

今後の課題

エアロゲルタイルのx-y方向アライメント

① 実験データ(DATA)とシミュレーションデータ(MC)の<u>検出光子数</u>のエアロゲル位置依存性を求める

② エアロゲルタイルをz軸周りに回転させたシミュレーションデータ(MC_rotated)を作成し，①と比較

（③ ソフトウェア上でエアロゲルの位置を補正）

今後の課題

①検出光子数の差(DATA – MC)

実験データ(DATA)とシミュレーションデータ(MC)の検出光子数のエアロゲル位置依存性を求める

(z方向のアライメントと同じデータ)

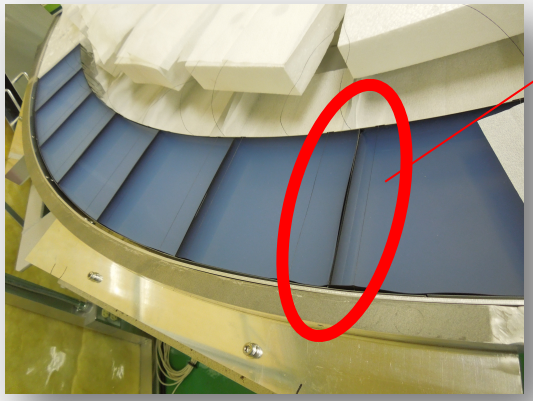
DATA

- 2019年3月～2020年6月
- 1340万イベント($e^+e^- \to \mu^+\mu^-$事象)

MC

- モンテカルロシミュレーション
- 1000万イベント($e^+e^- \to \mu^+\mu^-$事象)

x-y方向のアライメントで検出光子数の分布を見る理由



エアロゲルタイル間の隙間
…**3mm**(空間1mm、アルミニウム1mm、空間1mm)

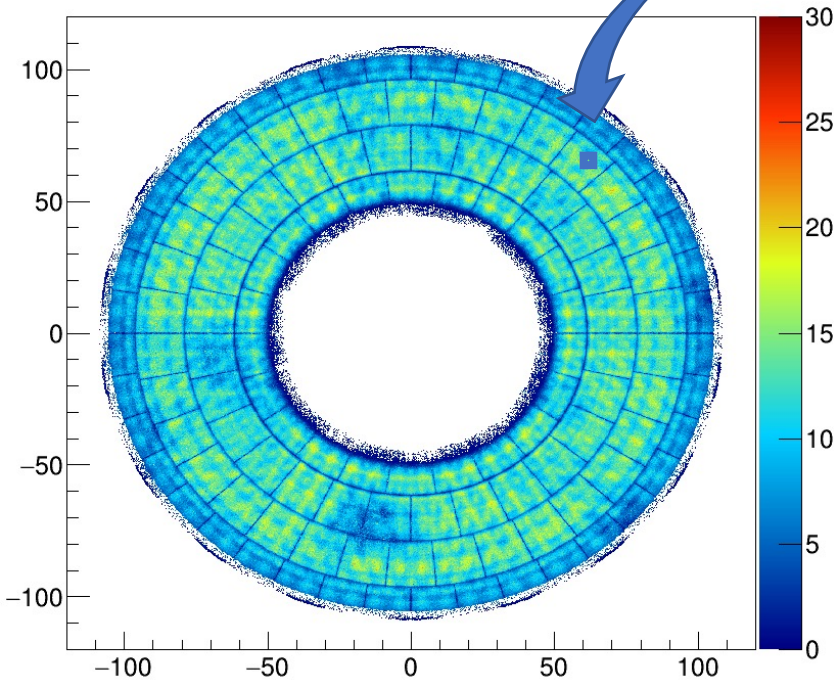
隙間部分では放出光子数が0となる
→x-y方向にずれているとき、検出光子数の分布に違いが見られる

①平均検出光子数の2次元マップ

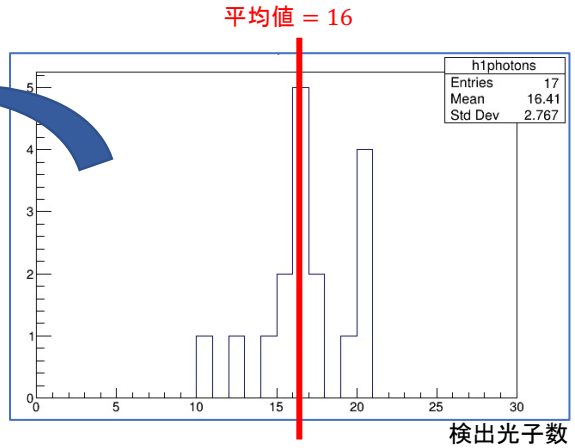
MCの平均検出光子数

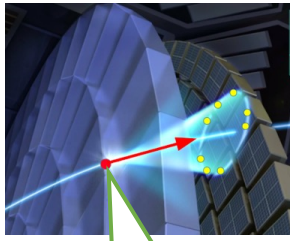
(1bin = 0.2cm×0.2cm)

MC



平均値をとる





縦軸:y位置[cm]

横軸:x位置[cm]

エアロゲル上での飛跡の位置

色:検出光子数の平均値

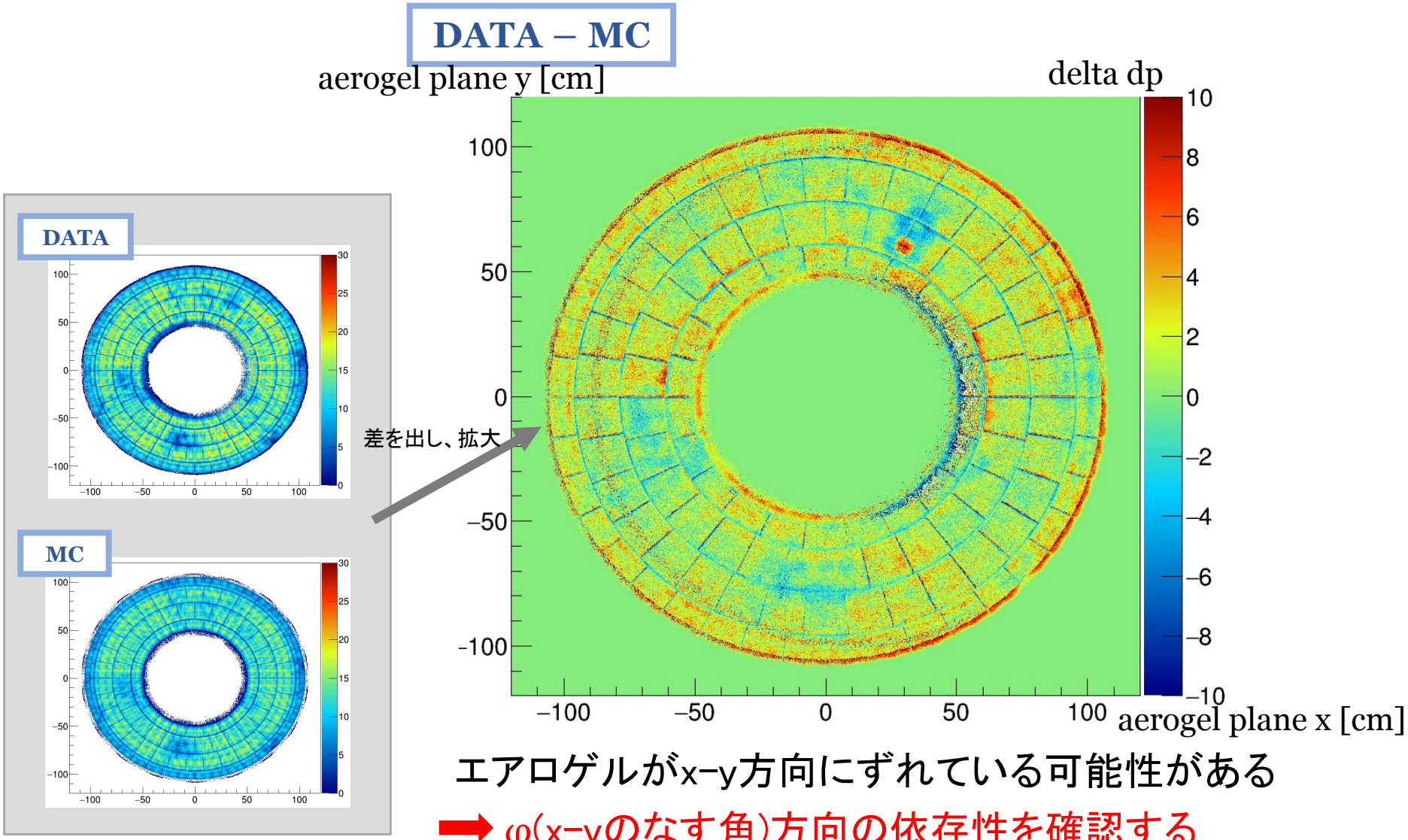
=

1ビンの領域を通過した粒子の平均検出光子数

同様のDATAのマップを作り、差を計算する(DATA−MC)

①平均検出光子数の差の2次元マップ

DATAとMCの平均検出光子数の差

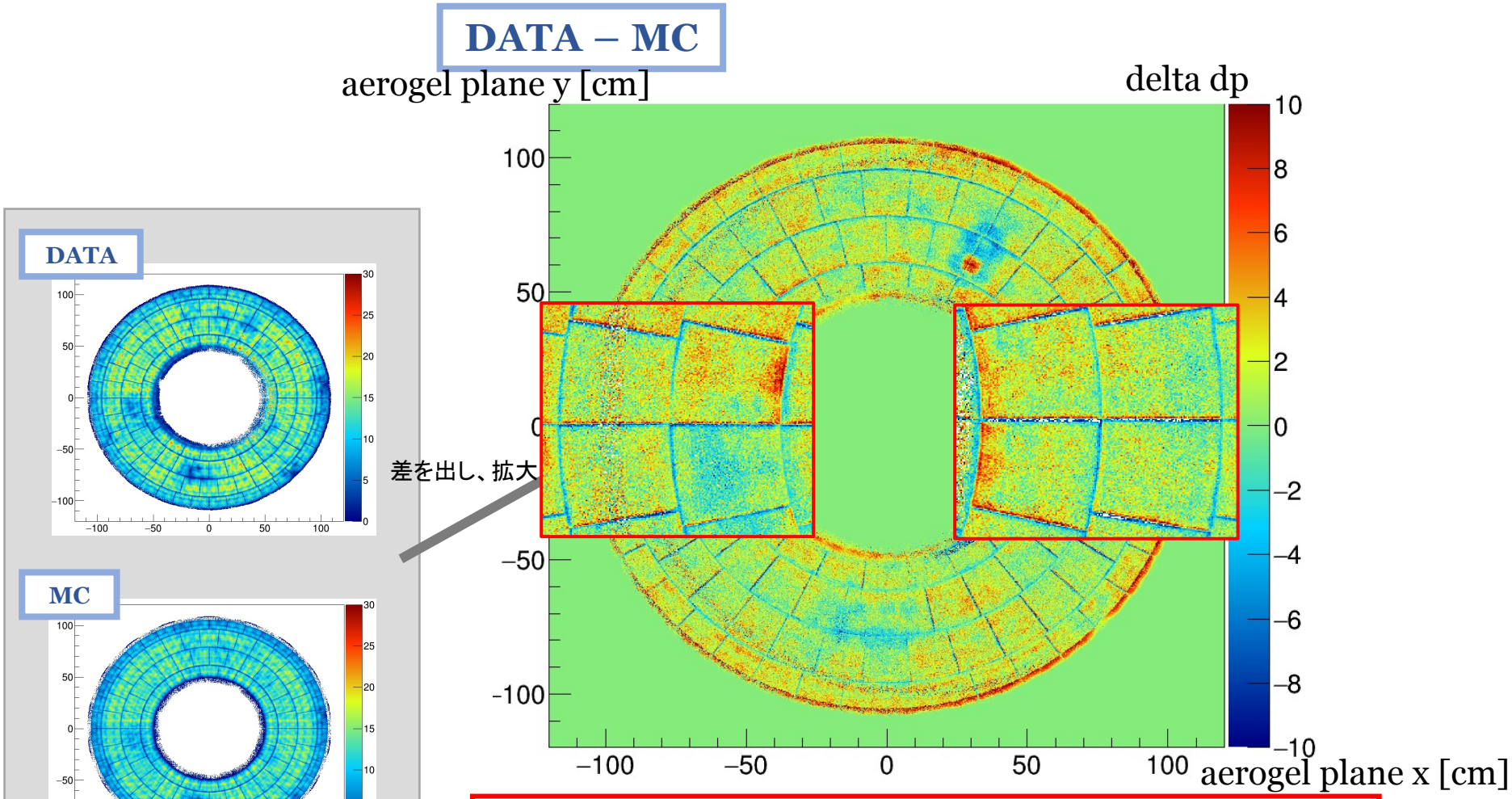


エアロゲルがx−y方向にずれている可能性がある

➡ φ(x−yのなす角)方向の依存性を確認する

①平均検出光子数の差の2次元マップ

DATAとMCの平均検出光子数の差



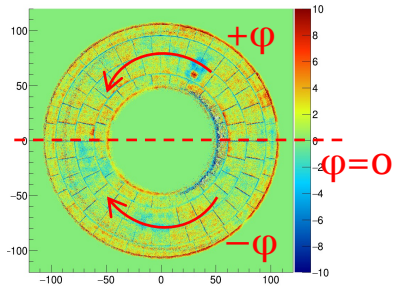
エアロゲルがx−y方向にずれている可能性がある

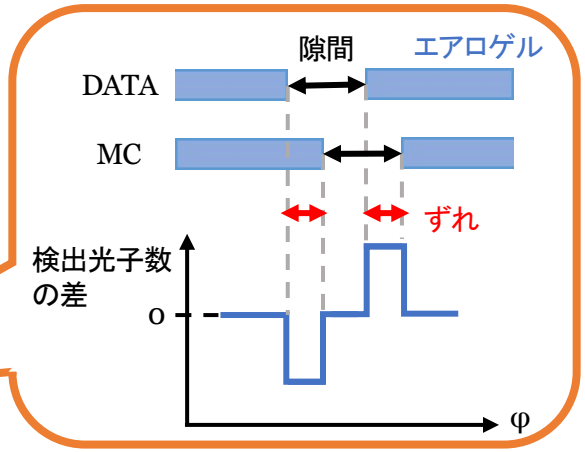
➡ φ(x−yのなす角)方向の依存性を確認する

①平均検出光子数の差のφ依存性

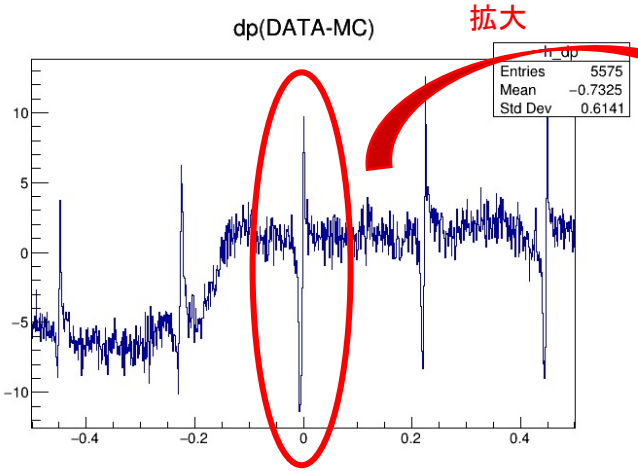
平均検出光子数の差のφ依存性

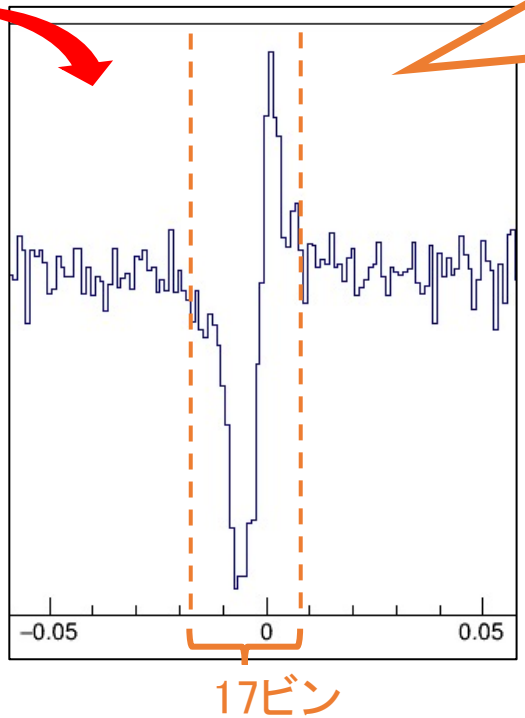
（エアロゲルタイルの2層目）





DATA – MC





横軸: φ位置($-\pi < \varphi[\mathrm{rad}] < \pi$)

縦軸:平均検出光子数の差(DATA−MC)

ビン幅:0.001[rad]

- 差が大きい部分は17ビン程度(=約0.017[rad])
- 設計上のエアロゲルタイル間の隙間(約0.0042[rad])を考慮すると、φ=0付近で**約0.0064[rad]の差**

アライメントの手順

エアロゲルタイルのz方向アライメント

① 実験データ(DATA)とシミュレーションデータ(MC)のチェレンコフ角度のエアロゲル位置依存性を求める

→チェレンコフ角が最大0.016[rad]の差

② エアロゲルタイルのz方向の位置のずれを模擬したシミュレーションデータ(MC_tilted)を作成し，①と比較

→①のとき、エアロゲルが検出器側に約5.3mmのずれ

（③ ソフトウェア上でエアロゲルの位置を補正）

今後の課題

エアロゲルタイルのx-y方向アライメント

① 実験データ(DATA)とシミュレーションデータ(MC)の検出光子数のエアロゲル位置依存性を求める

→φ方向にエアロゲルが約0.0064[rad]の差

② エアロゲルタイルをz軸周りに回転させたシミュレーションデータ(MC_rotated)を作成し，①と比較

（③ ソフトウェア上でエアロゲルの位置を補正）

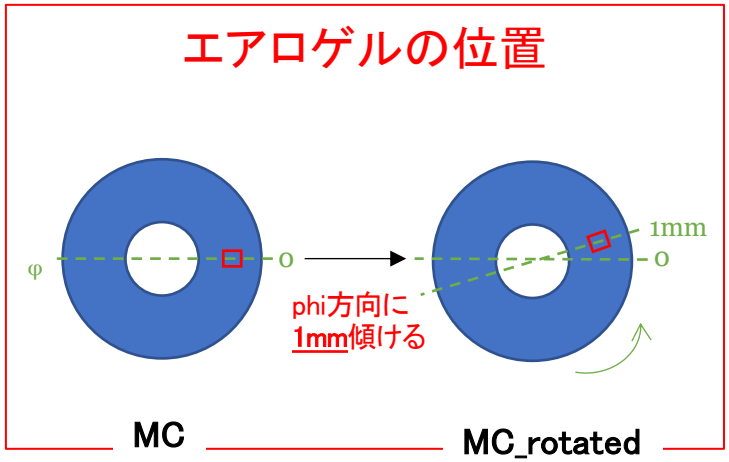
今後の課題

②シミュレーション

エアロゲルタイルをz軸周りに回転させたシミュレーションデータ(MC_rotated)を作成し，①と比較

MC_rotated
- エアロゲルをφ方向に1mm回転させたもの
- 15万イベント($e^+e^- \to \mu^+\mu^-$事象)

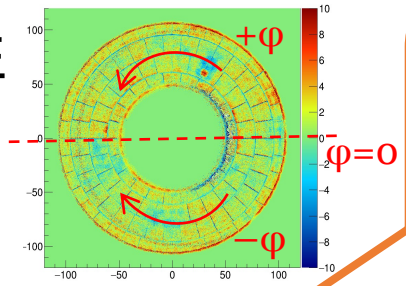
MC(①の一部)
- モンテカルロシミュレーション
- 80万イベント($e^+e^- \to \mu^+\mu^-$事象)

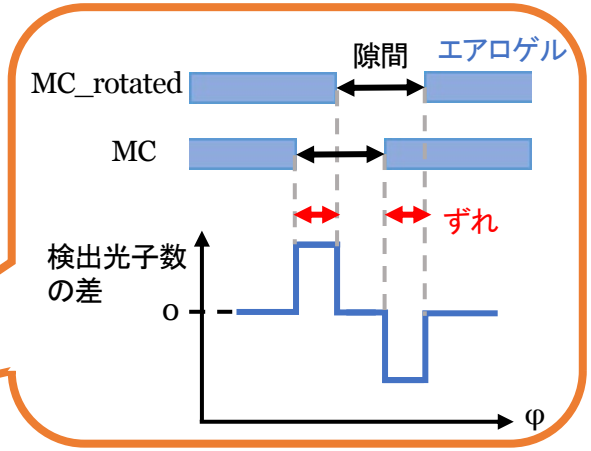


②シミュレーション結果

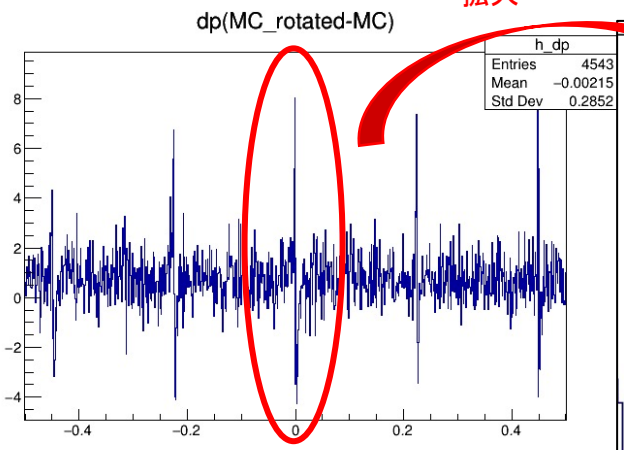
エアロゲルを1mm回転させたときの
平均検出光子数の差のphi依存性
(エアロゲルタイルの2層目)

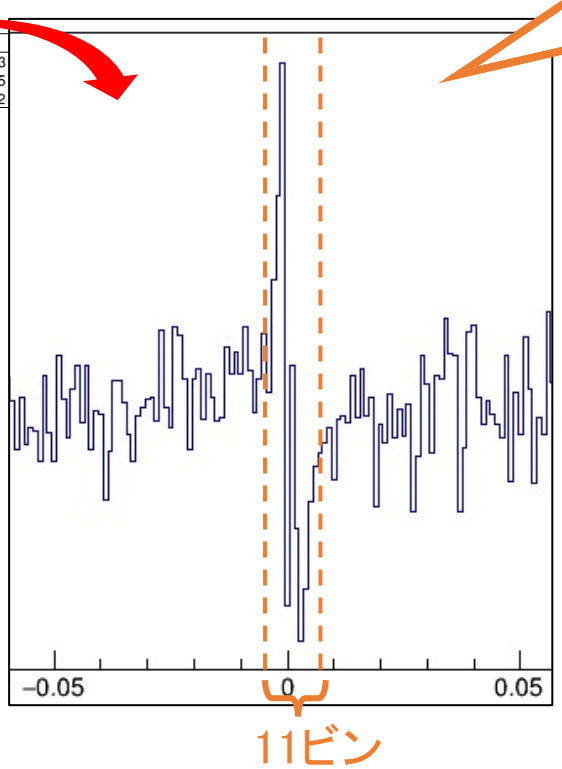
MC_rotated – MC





拡大





横軸: φ位置($-\pi < \varphi[\mathrm{rad}] < \pi$)

縦軸:平均検出光子数の差(MC_rotated−MC)

ビン幅:0.001[rad]

- 差が大きい部分は11ビン程度(=約0.011[rad])
- 設計上のエアロゲルタイル間の隙間(約0.0042[rad])を考慮すると、φ=0付近で約0.0034[rad]の差

(φ方向に1mm回転させたとき)

→ ①の結果(0.0064[rad]の差)は、<u>−φ方向に約1.9mmのずれ</u>に相当する

アライメントの手順

エアロゲルタイルのz方向アライメント

① 実験データ(DATA)とシミュレーションデータ(MC)の<u>チェレンコフ角度</u>のエアロゲル位置依存性を求める

→チェレンコフ角が最大<u>0.016[rad]</u>の差

② エアロゲルタイルのz方向の位置のずれを模擬したシミュレーションデータ(MC_tilted)を作成し，①と比較

→①のとき、エアロゲルが検出器側に<u>約5.3mm</u>のずれ

（③ ソフトウェア上でエアロゲルの位置を補正 ）

今後の課題

エアロゲルタイルのx-y方向アライメント

① 実験データ(DATA)とシミュレーションデータ(MC)の<u>検出光子数</u>のエアロゲル位置依存性を求める

→φ方向にエアロゲルが<u>約0.0064[rad]</u>の差

② エアロゲルタイルをz軸周りに回転させたシミュレーションデータ(MC_rotated)を作成し，①と比較

→①のとき、エアロゲルがz軸周りに<u>約1.9mm</u>のずれ

（③ ソフトウェア上でエアロゲルの位置を補正 ）

今後の課題

まとめと展望

まとめ

- 実験データを用いてエアロゲルタイルが正しい位置に設置されているか確認を行った。
- チェレンコフ角度分布の違いをシミュレーション結果と比較することで、エアロゲルタイルのz方向のずれを見積もった
- 検出光子数の分布の違いをシミュレーション結果と比較することで、エアロゲルのx−y方向のずれを見積もった

→特定の箇所で、エアロゲルタイルのz方向のずれは最大5.3mm、x−y方向のずれは約1.9mmに相当する可能性がある

展望

- ソフトウェア上でのエアロゲルの補正プログラムを作成し、適応させる