

sPHENIX-INTT検出器を用いた 飛跡再構成アルゴリズムの開発と評価

奈良女子大学 修士2年

辻端 日菜子

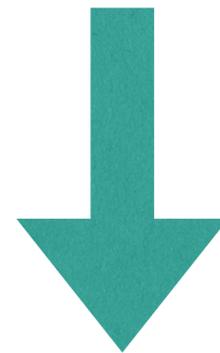
INTT フォローアップワークショップ@立教大学 2024.01.14

sPHENIX実験におけるINTTを用いた飛跡再構成アルゴリズムの開発

<飛跡再構成方法>

空間分解能に優れた検出器で飛跡再構成

既存のsPHENIX実験
の飛跡再構成



本研究

時間分解能に優れたINTTで衝突事象ごとに区別

- INTTは2023年、2024年のデータ収集にて正常に作動することが確認できている。
- ➡ 本研究では、INTT以外の検出器の稼働状況に左右されない飛跡再構成が可能である。
- INTTなどの検出器の調整にも利用。

【実験データ】

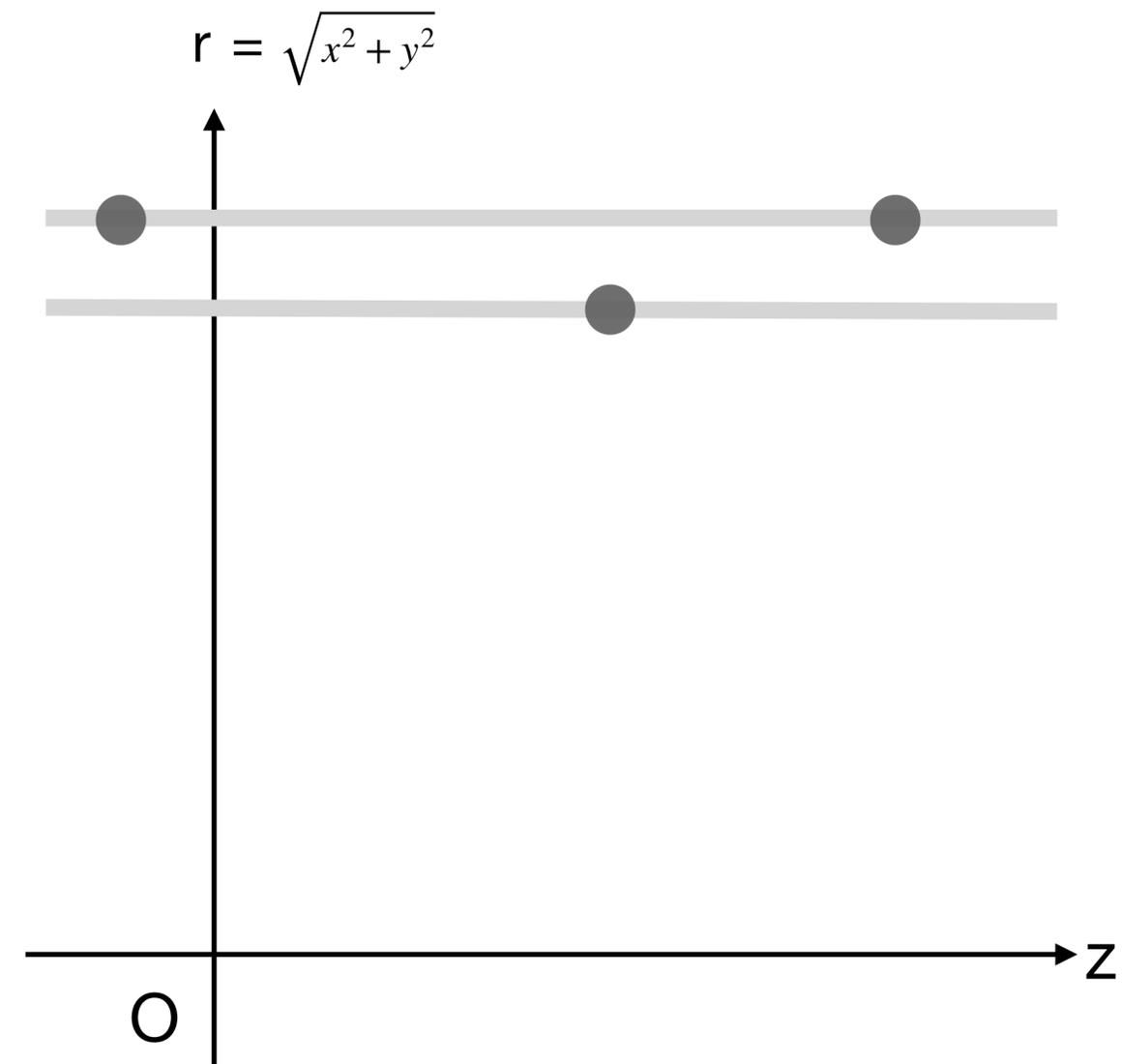
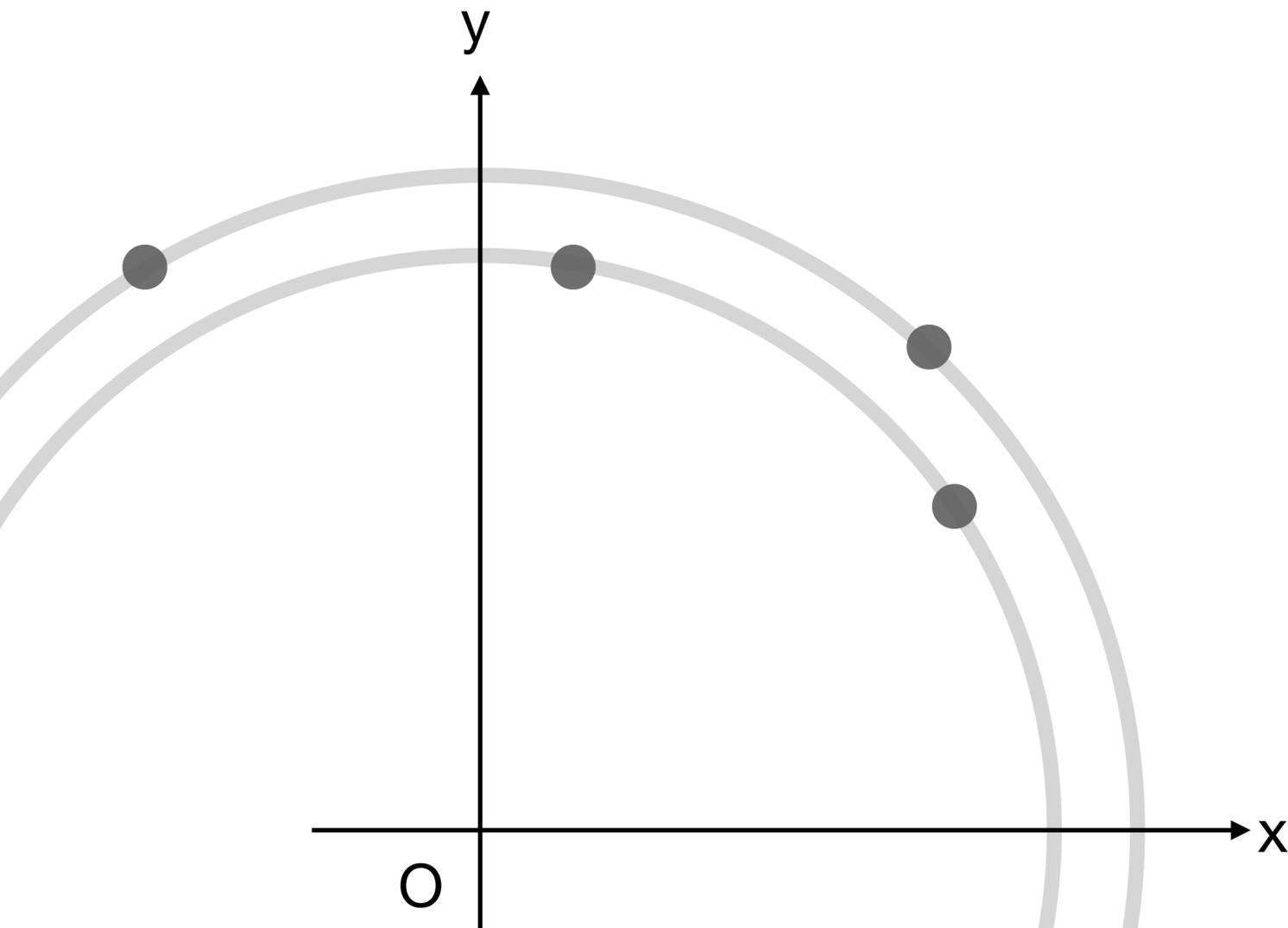
- Run40741 (磁場なし)
- Run41981 (磁場あり)
- 陽子陽子衝突 ($\sqrt{s} = 200\text{GeV}$)
- 解析イベント数：10Kイベント
- トリガー：MBD N&S ≥ 1
- ホットチャンネルカット・タイミングカット
- DAC0 : 30

【シミュレーションデータ】

- PYTHIA8 + GEANT4
- 陽子 + 陽子衝突 ($\sqrt{s} = 200\text{GeV}$)
- イベント数：100Kイベント
- 磁場なし / 磁場あり
- 衝突点：ガウス分布
 - 中心：(x, y, z) = (0, 0, 0)cm
 - 分布幅：(x, y, z) = (10^{-4} , 10^{-4} , 10)cm

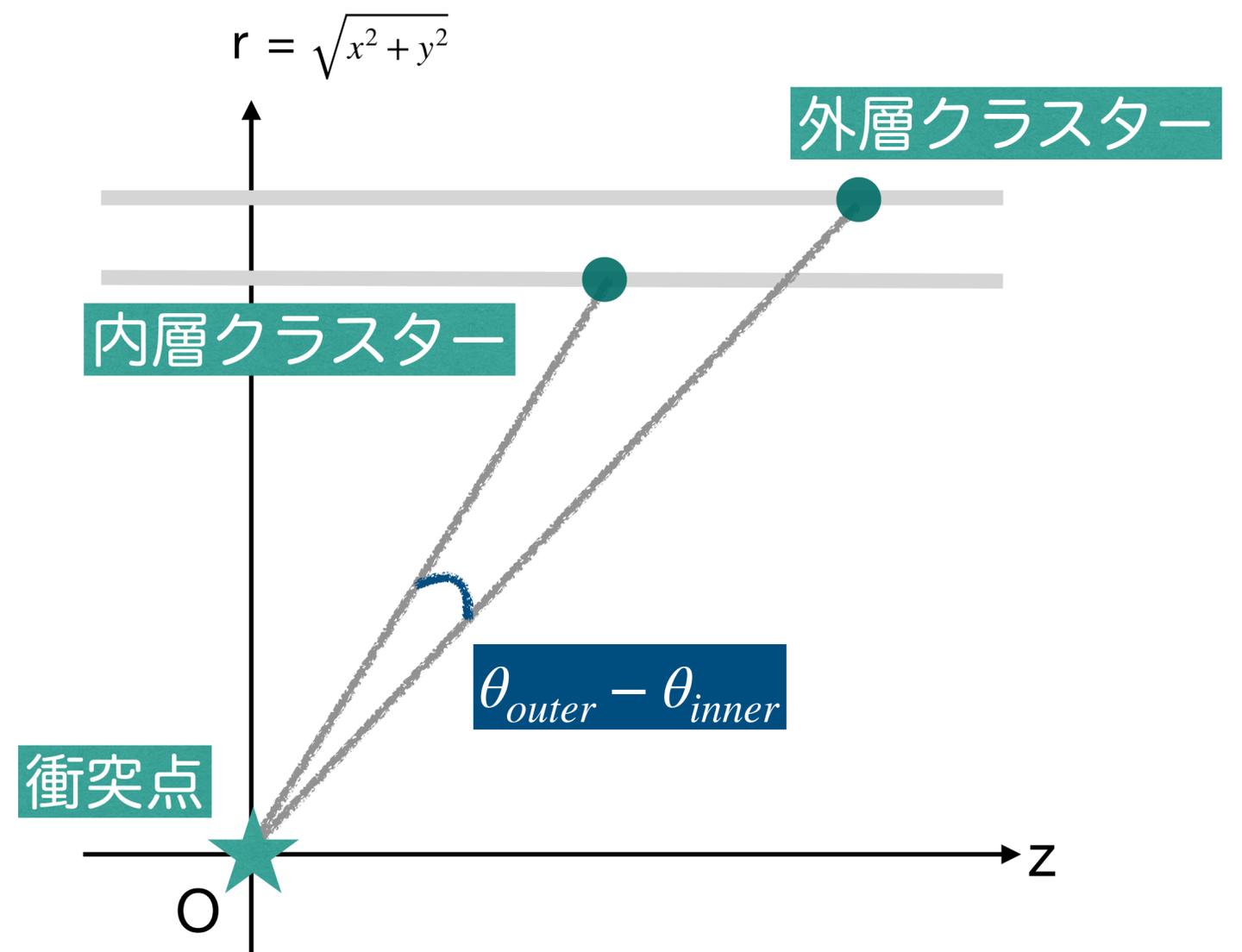
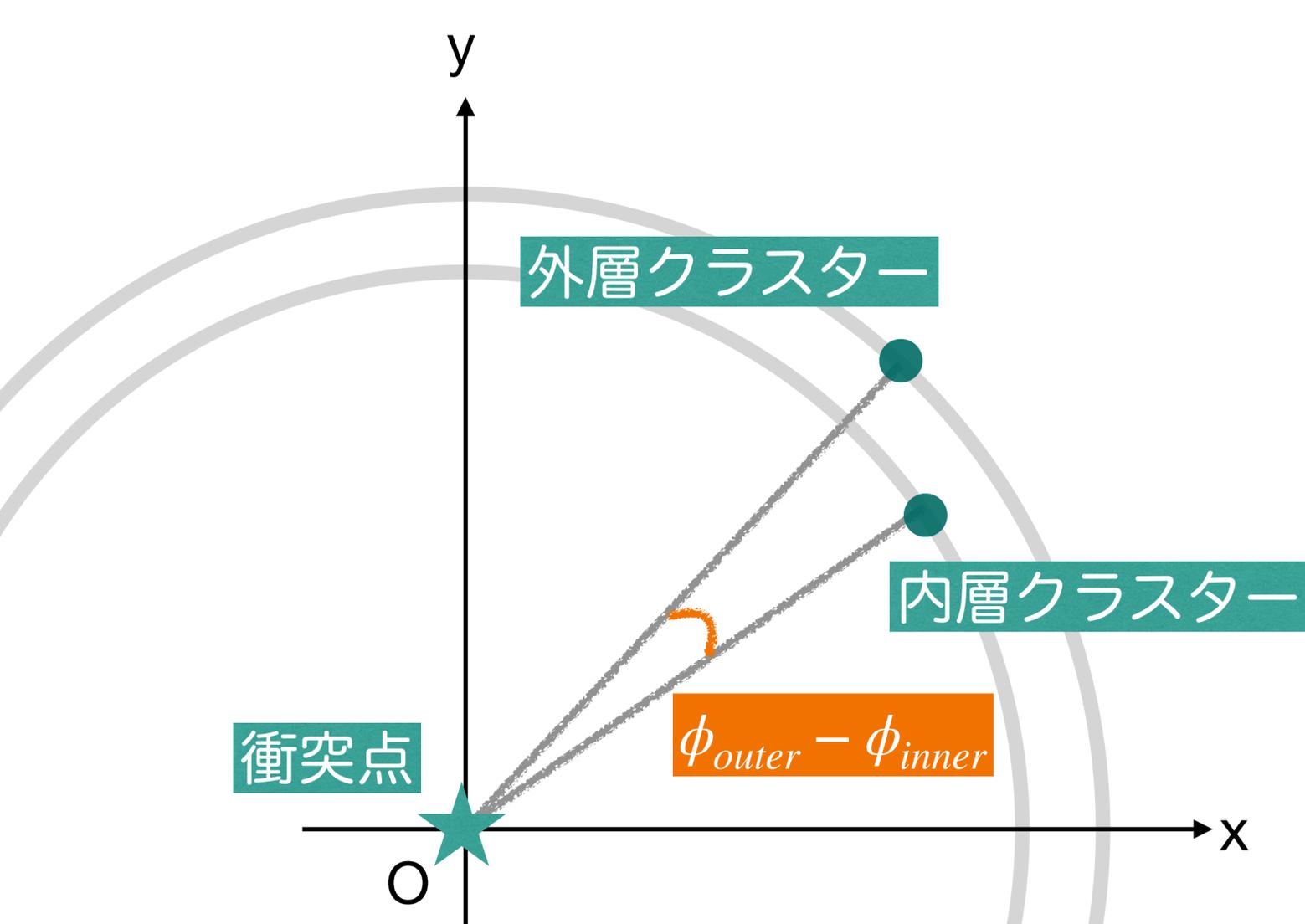
飛跡再構成方法

1. クラスターペアを選ぶ。
2. 組み合わせバックグラウンドを除去する。
3. 飛跡を最適化する。



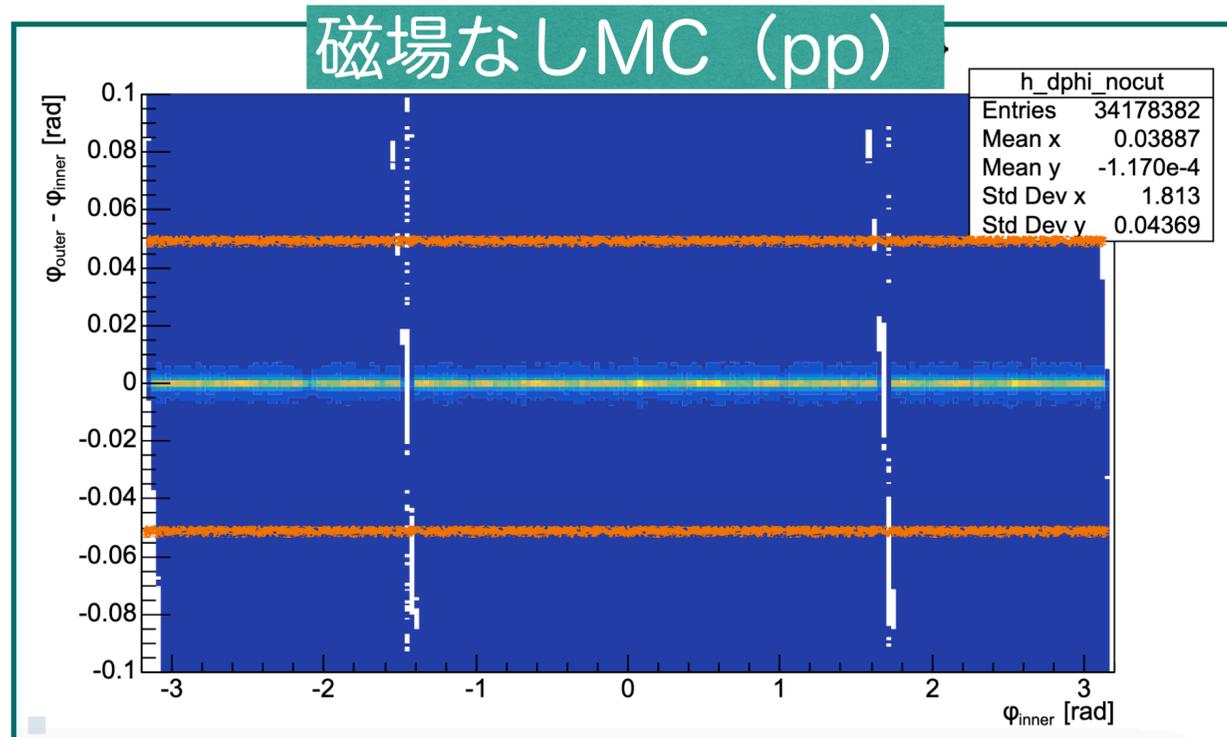
1. クラスタペアを選ぶ。

- 内層クラスター、外層クラスターをそれぞれ1点選ぶ。
 - このとき、クラスタペアの角度差を $|\phi_{outer} - \phi_{inner}| < 0.04$, $|\theta_{outer} - \theta_{inner}| < 0.2$ とする。

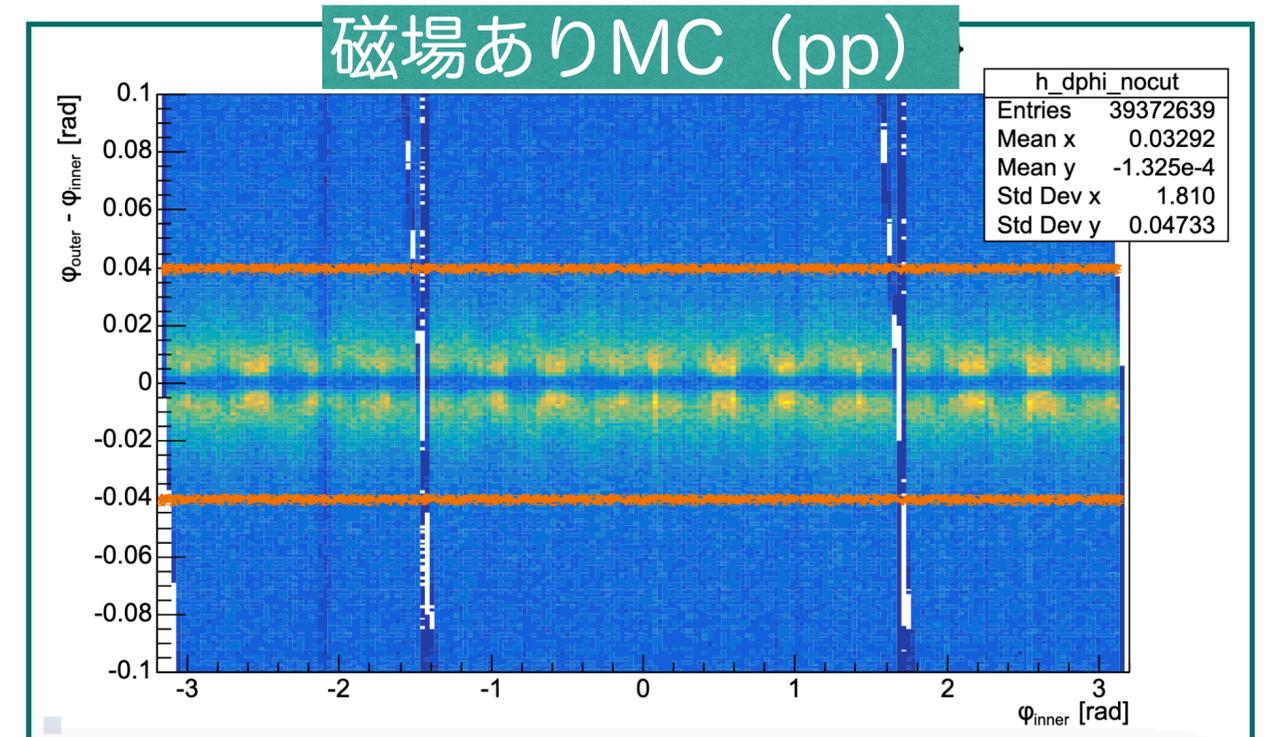


1. クラスタペアを選ぶ。

- 内層クラスター、外層クラスターをそれぞれ1点選ぶ。
- このとき、クラスターペアの角度差を $|\phi_{outer} - \phi_{inner}| < 0.04$, $|\theta_{outer} - \theta_{inner}| < 0.2$ とする。

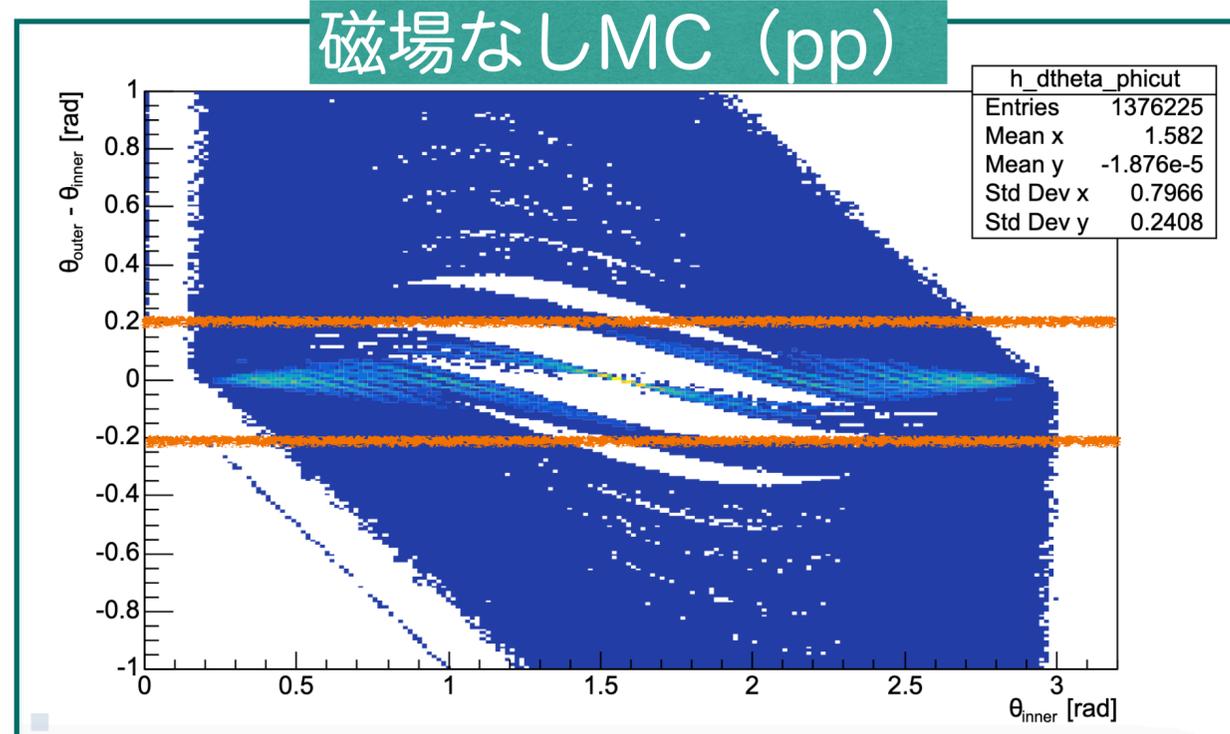


$\phi_{outer} - \phi_{inner}$ [rad]

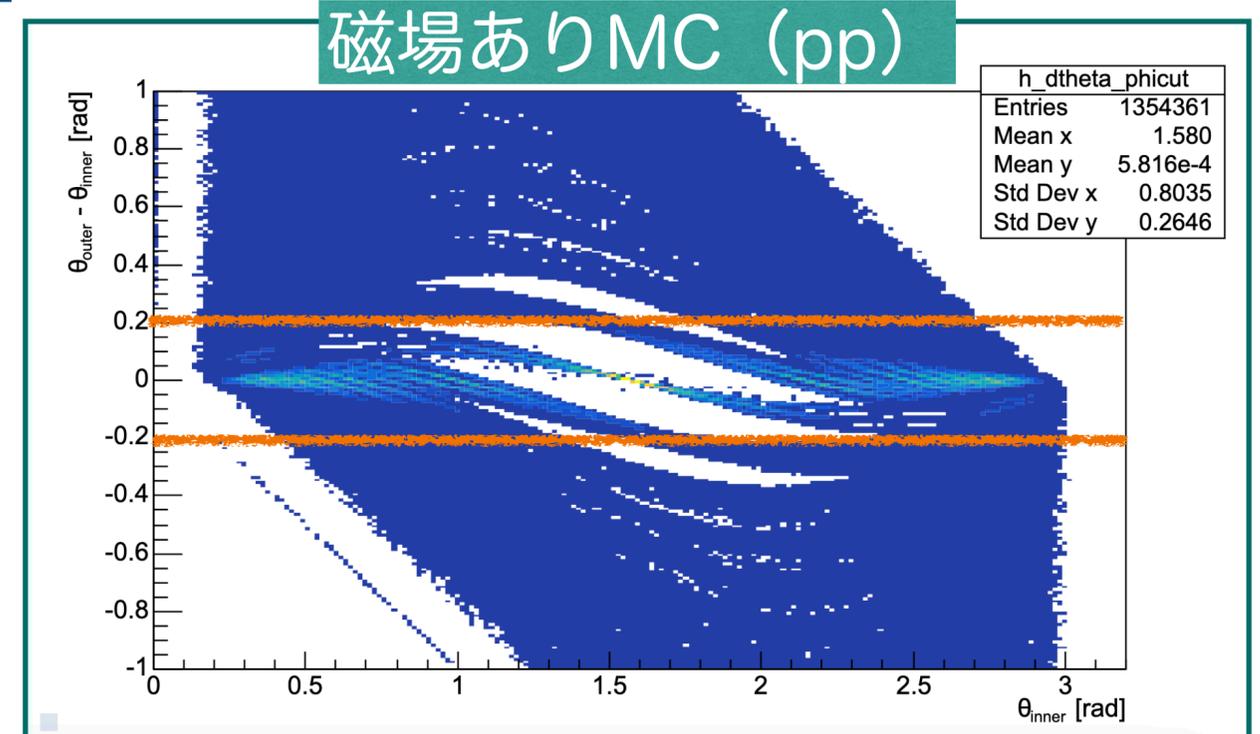


1. クラスタペアを選ぶ。

- 内層クラスター、外層クラスターをそれぞれ1点選ぶ。
- このとき、クラスターペアの角度差を $|\phi_{outer} - \phi_{inner}| < 0.04$, $|\theta_{outer} - \theta_{inner}| < 0.2$ とする。



$\theta_{outer} - \theta_{inner}$ [rad]

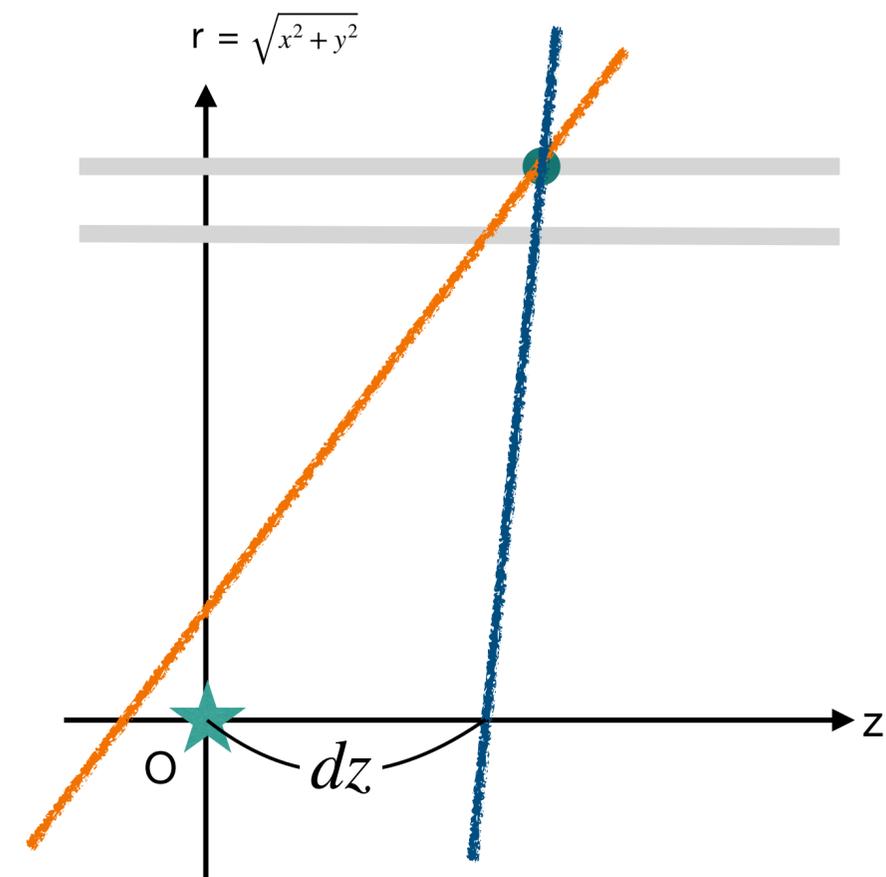
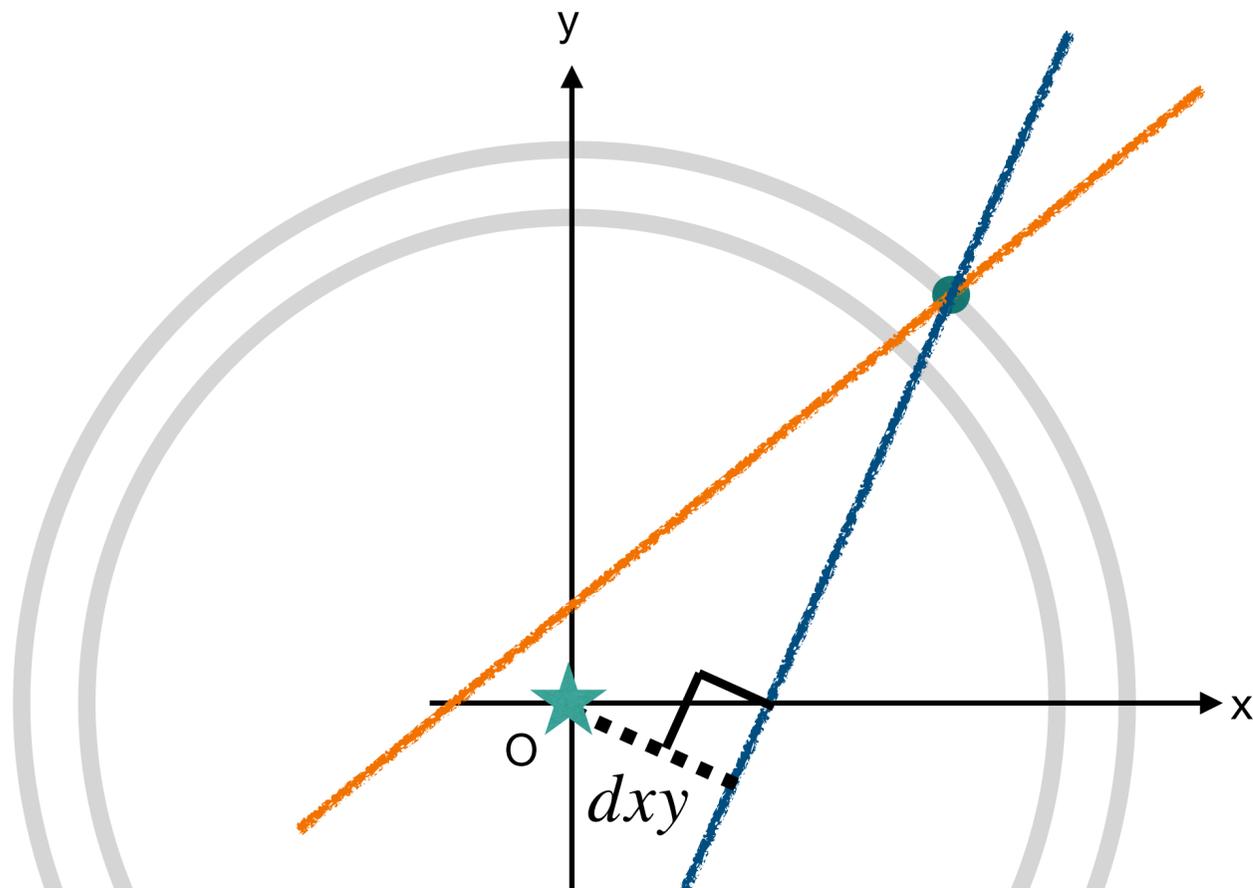


2. 組み合わせバックグラウンドを除去する。

- 1つのクラスターが複数のクラスターペアの構成要素になっている場合、最も小さい χ^2 を持つ飛跡のみを採用する。

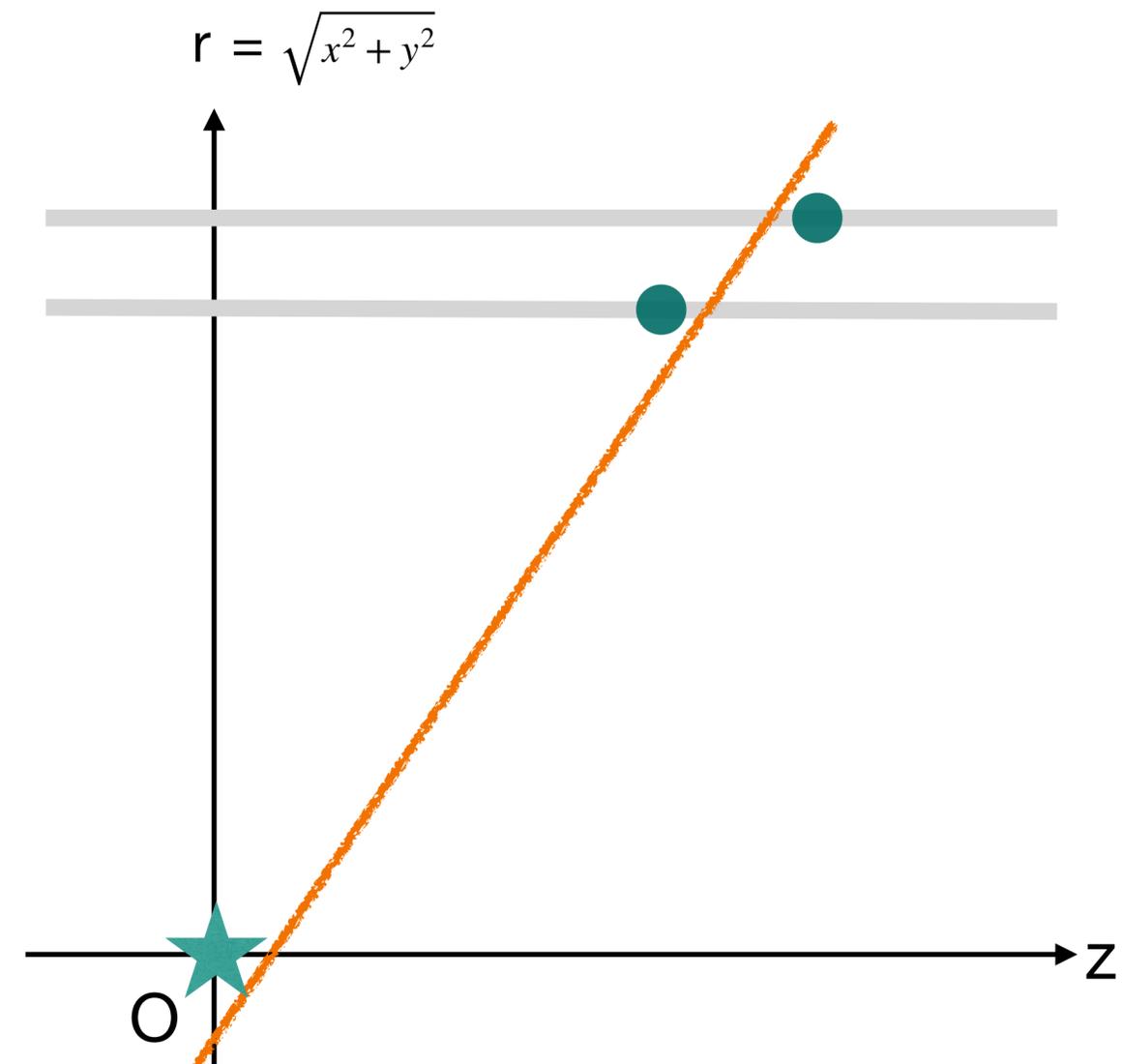
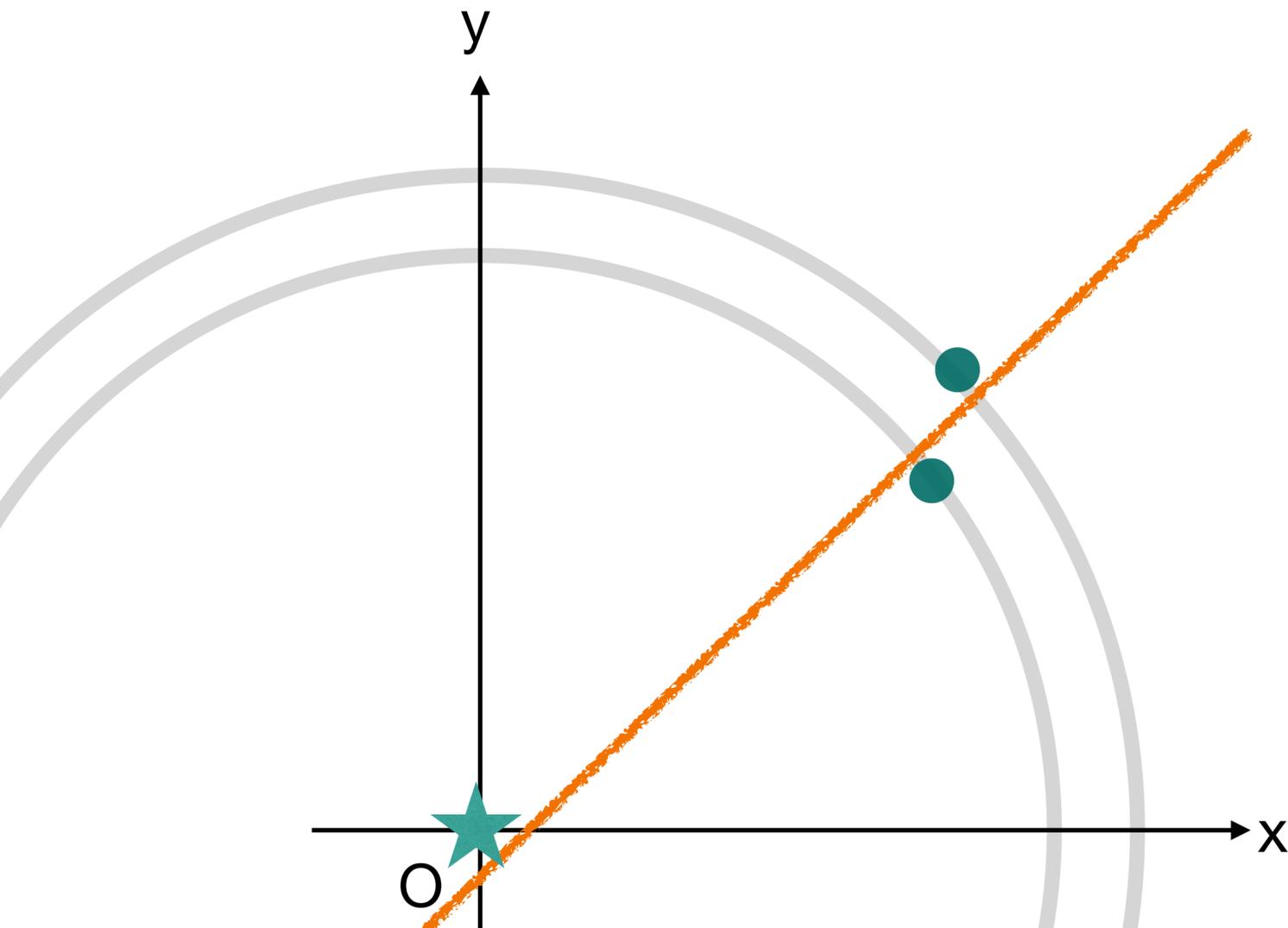
$$\chi^2 = \left(\frac{dxy}{\sigma_{xy}} \right)^2 + \left(\frac{dz}{\sigma_z} \right)^2$$

- dxy (dz) : x-y平面 (z軸) における衝突点と飛跡間の距離。
- $\sigma_{x,y}$ (σ_z) : x-y平面 (z軸) におけるINTTセンサーの分解能 $78\mu m$ (20mm)。



3. 飛跡を最適化する。

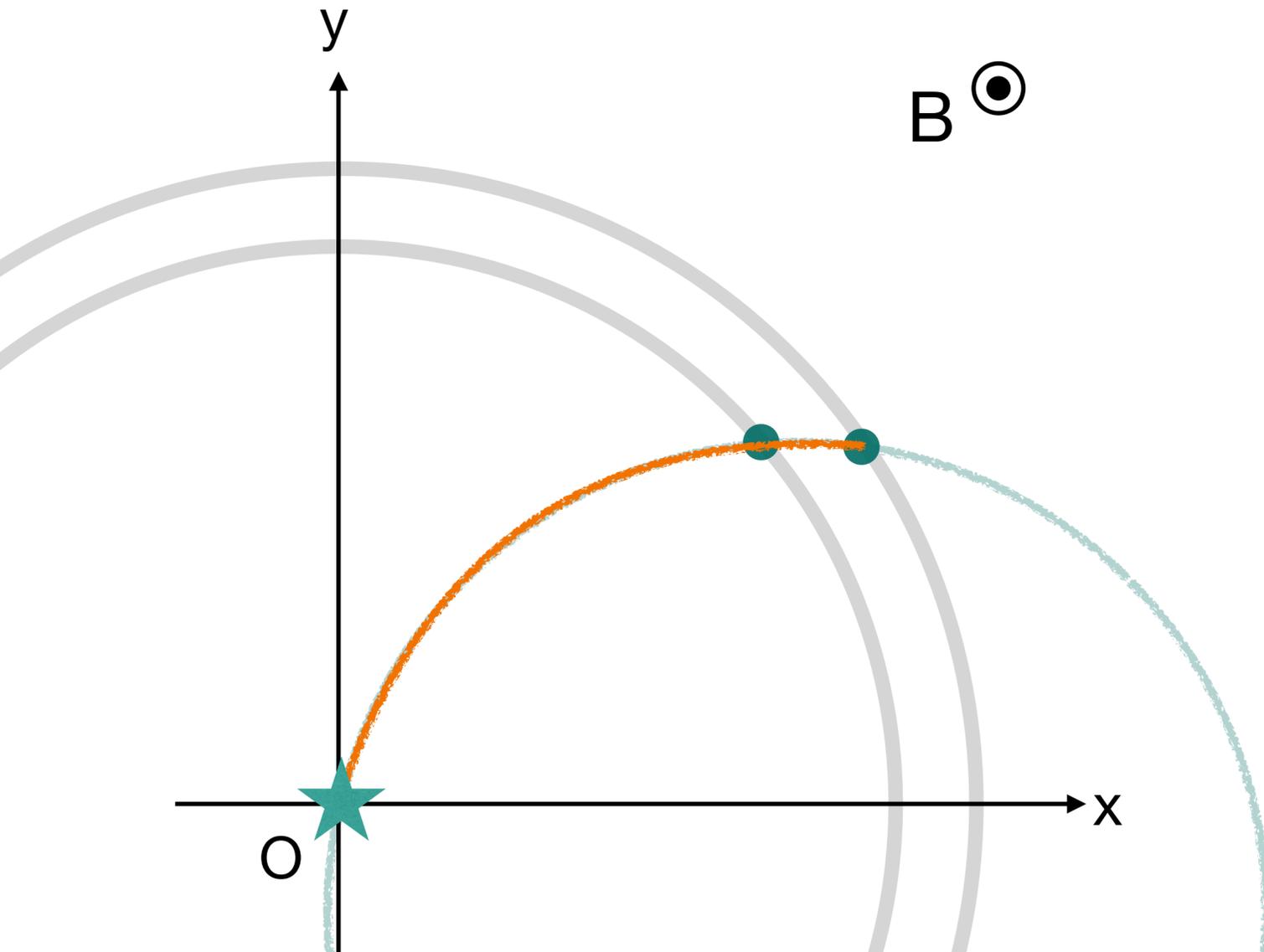
- 磁場なしデータの場合、衝突点、クラスターペアを最小二乗法によってフィッティングする。



3. 飛跡を最適化する。

磁場ありデータの場合、

- x-y平面：衝突点、クラスターペアを円で結ぶ。
- r-z平面：衝突点、クラスターペアを最小二乗法によってフィッティングする。



<運動方程式> および飛跡の円弧の半径より、 p_T を求めることができる。

$$m \frac{v_T^2}{R} = ev_T B$$

$$p_T = 0.3BR \quad [\text{GeV}]$$

- 本研究では、 $B = 1.4\text{T}$ を用いる。

アルゴリズムの評価

- 飛跡再構成効率
- 横運動量分解能

アルゴリズムの評価方法

- アルゴリズムの評価のため、シミュレーションを用いて飛跡再構成効率を求めた。

<飛跡再構成効率>

- 真の飛跡数に対する再構成された飛跡数の割合。

$$\text{effi.} = \frac{N_{\text{reco. tracks}}}{N_{\text{truth tracks}}}$$

【シミュレーションデータ】

- GEANT4
- 1粒子 (μ^-) / イベント
- 横運動量 p_T : 0~5 GeVの一様分布
- イベント数 : 100Kイベント
- 磁場なし
- 入射源 : ガウス分布
 - 中心 : $(x, y, z) = (0, 0, 0)\text{cm}$
 - 分布幅 : $(x, y, z) = (10^{-4}, 10^{-4}, 1)\text{cm}$
- 入射領域 : 全方位角、ビーム軸方向 $|z| < 22.8\text{ cm}$

<各変数の定義>

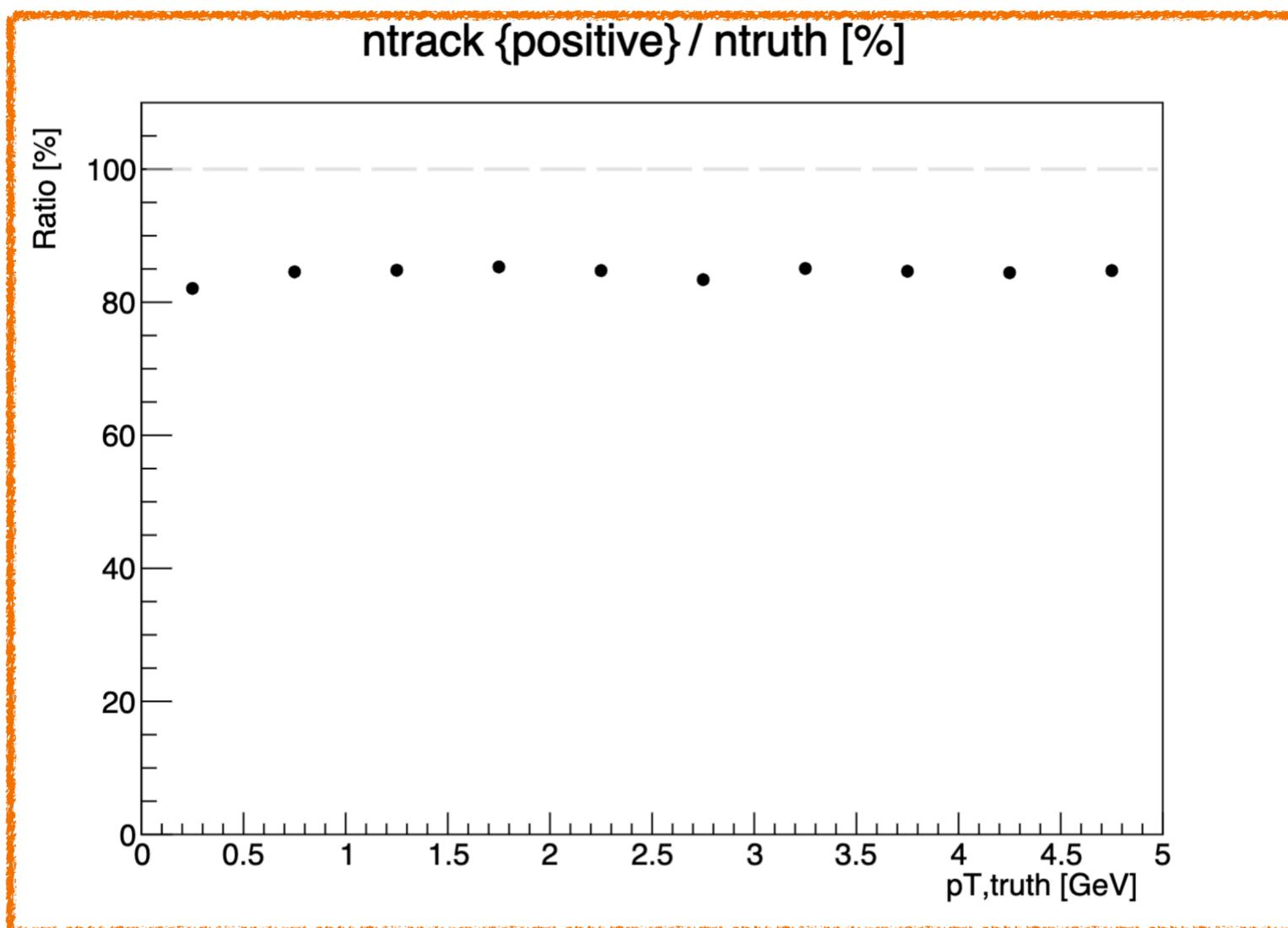
$N_{\text{reco. tracks}}$: 正しく再構成された飛跡数

シミュレーションにおいて、クラスターはそのクラスターを作った真の飛跡と同じIDを持つ。その飛跡の再構成に用いられた内層、外層クラスターがどちらも同じIDを持つとき、その飛跡は正しく再構成されたとして数える。

$N_{\text{truth tracks}}$: 真の飛跡数

以下の条件のように、INTTが測定できない飛跡は数えない。

- 非荷電粒子 (γ, n, K^0, π^0)
- 位置的に内層センサー、外層センサーを通らないもの
 - 真の飛跡が $r=7, 10\text{cm}$ を通るときの z 座標を算出、その z 座標が $|z| \leq 22.8\text{cm}$ でないもの



- 左図：真の飛跡の横運動量 $p_{T, \text{truth}}$ [GeV] の関数とした真の飛跡数に対する再構成された飛跡数の割合[%]。

- <平均効率>

$$\frac{N_{\text{reco. tracks}}}{N_{\text{truth tracks}}} = 84.40 \pm 0.12 \%$$

- なぜ再構成効率が、84.4%なのか？

再構成効率の検証

- 非効率の原因を調べるため、シミュレーションおよび飛跡再構成のうち、どの過程においてどのくらい効率が落ちているのかを検証した。

< 真の飛跡と再構成された飛跡の関係 >

- 真の飛跡 (PHG4Particle)



- INTTを通過する粒子 (PHG4Hit)



- INTTでの粒子の検出

- ヒット (TrkrHit)



- クラスタリング

- クラスター (TrkrCluster)



- 飛跡再構成

- 再構成された飛跡

再構成効率の検証

- 非効率の原因を調べるため、シミュレーションおよび飛跡再構成のうち、どの過程においてどのくらい効率が落ちているのかを検証した。

< 真の飛跡と再構成された飛跡の関係 >

- 真の飛跡 (PHG4Particle)



- INTTを通過する粒子 (PHG4Hit)



TrkrHitTruthAssoc

- ヒット (TrkrHit)



TrkrClusterHitAssoc

- クラスター (TrkrCluster)

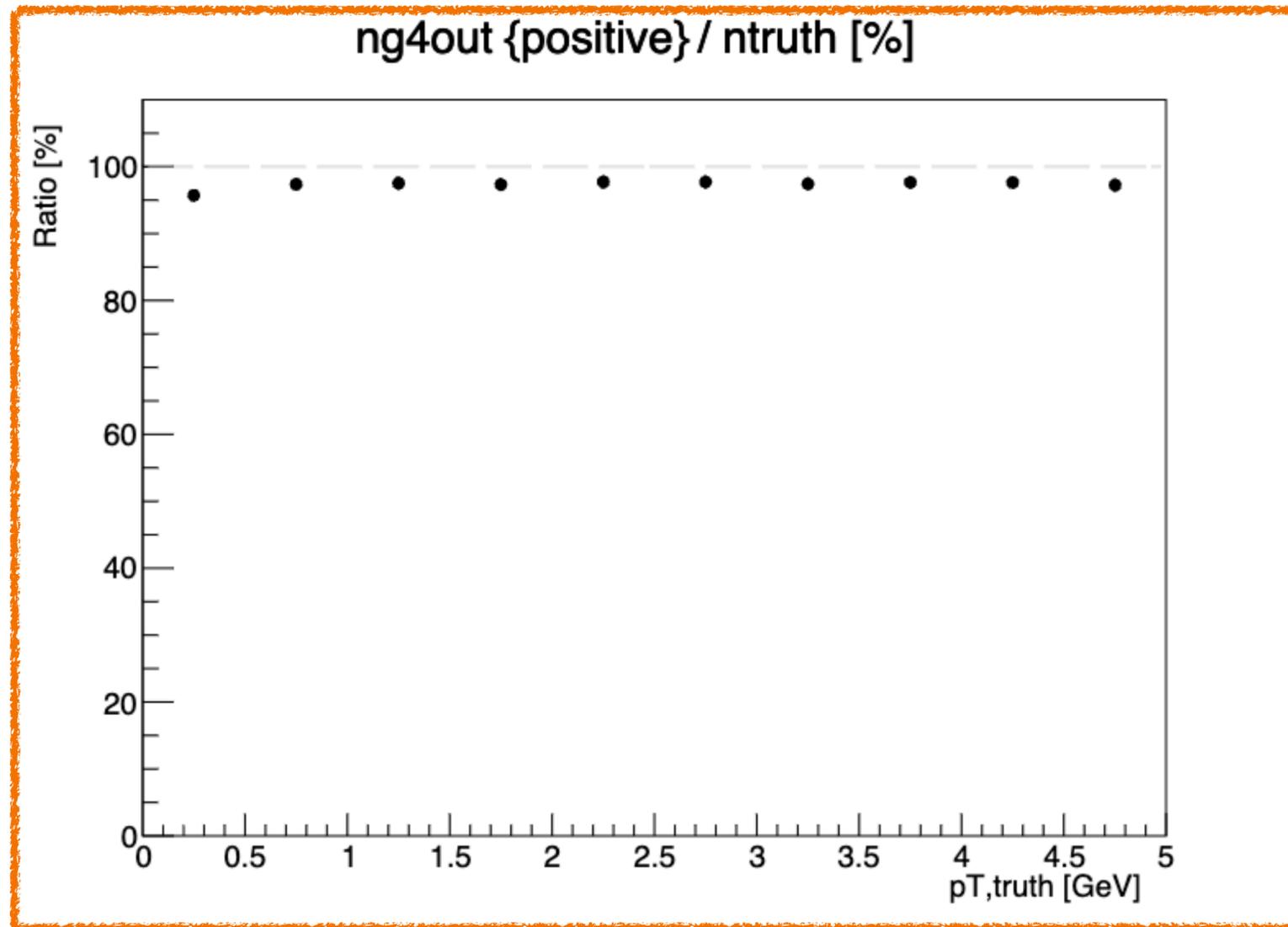


- 再構成された飛跡

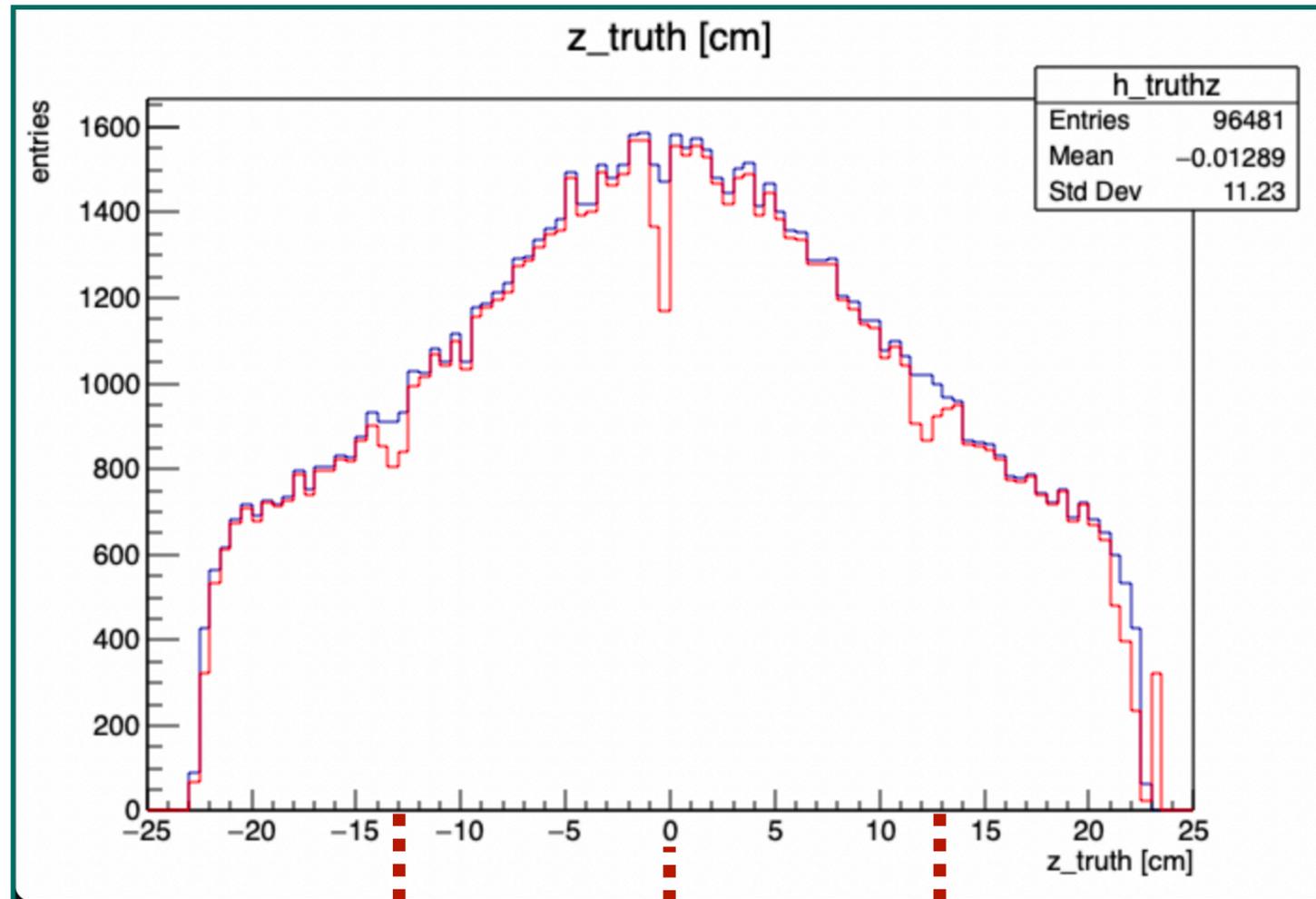
- 飛跡ごとに再構成された飛跡から真の飛跡までを辿れるようにした。それぞれの過程前後での効率を算出することができる。

$$\frac{N_{\text{reco. tracks}}}{N_{\text{truth tracks}}} = \frac{N_{\text{outer g4hits}}}{N_{\text{truth tracks}}} \times \frac{N_{\text{outer clusters}}}{N_{\text{outer g4hits}}} \times \frac{N_{\text{cluster pairs}}}{N_{\text{outer clusters}}} \times \frac{N_{\text{reco. tracks}}}{N_{\text{cluster pairs}}}$$

$$\frac{N_{\text{reco. tracks}}}{N_{\text{truth tracks}}} = \frac{N_{\text{outer g4hits}}}{N_{\text{truth tracks}}} \times \frac{N_{\text{outer clusters}}}{N_{\text{outer g4hits}}} \times \frac{N_{\text{cluster pairs}}}{N_{\text{outer clusters}}} \times \frac{N_{\text{reco. tracks}}}{N_{\text{cluster pairs}}}$$



- 真の飛跡数に対する、INTTの外層センサーを通過した粒子数の割合[%]を真の飛跡の横運動量 $p_{T,\text{truth}}$ [GeV]の関数として表したものの。
- 平均効率： 97.34 ± 0.05 %
- ➡ <仮説> 約3%の非効率の原因は、INTTセンサー間に存在する粒子を検出できない領域（非アクティブ領域）ではないか？

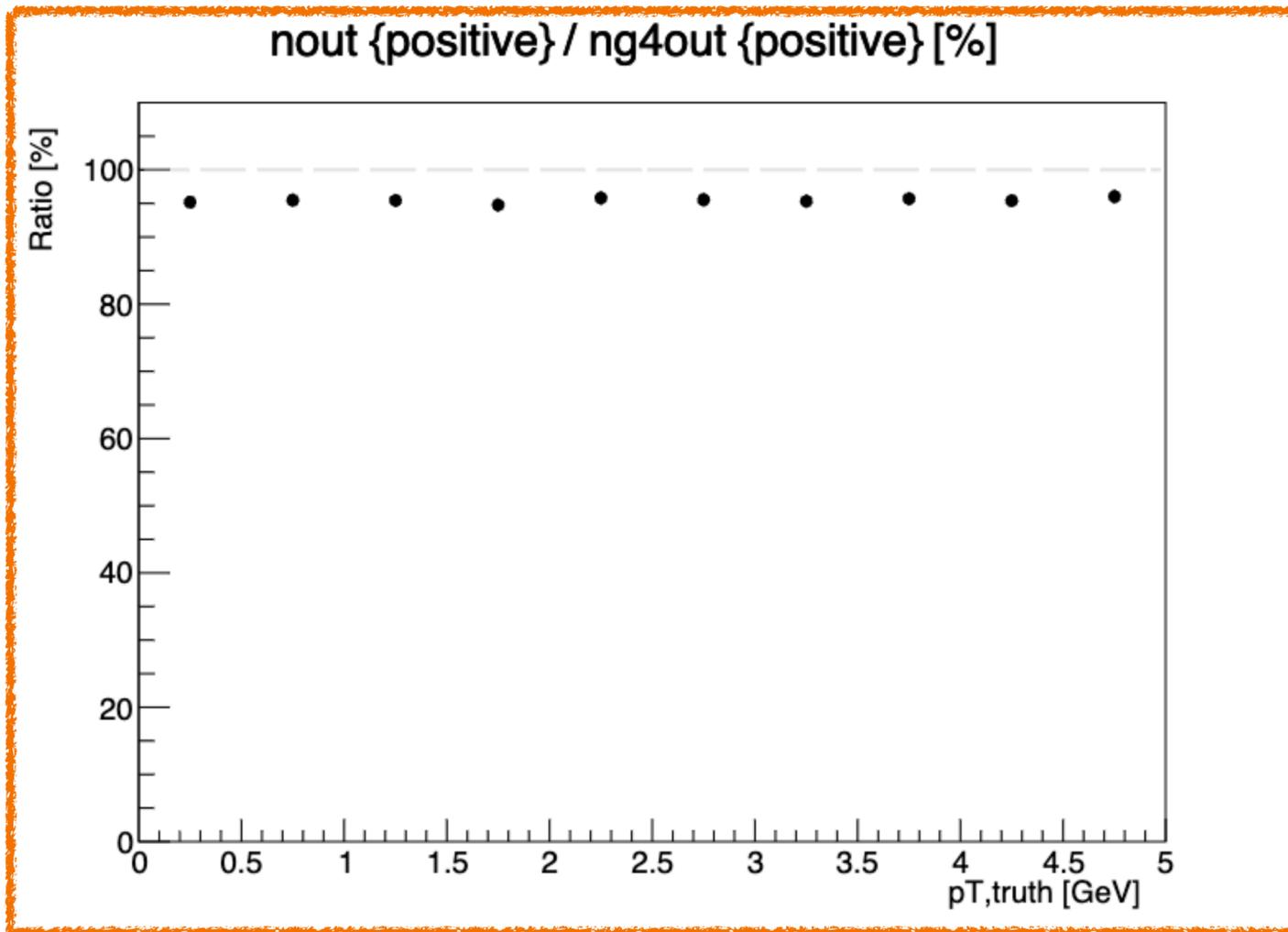


INTTラダー

$$\frac{N_{\text{outer g4hits}}}{N_{\text{truth tracks}}} = 97.34 \pm 0.05\%$$

- 左図：全ての真の飛跡（青）、INTTの外層センサーを通過した粒子（赤）が外層バレル（ $r = 10\text{cm}$ ）を通過したときの z 座標 [cm]
 - 分布において、全ての真の飛跡に対して、INTTの外層センサーを通過した粒子の数が大幅に減少している部分が3つある。
 - その3箇所はセンサー間の非アクティブ領域に一致する。
- ➡非アクティブ領域幅を確認し、非効率が一致するか確認する予定。

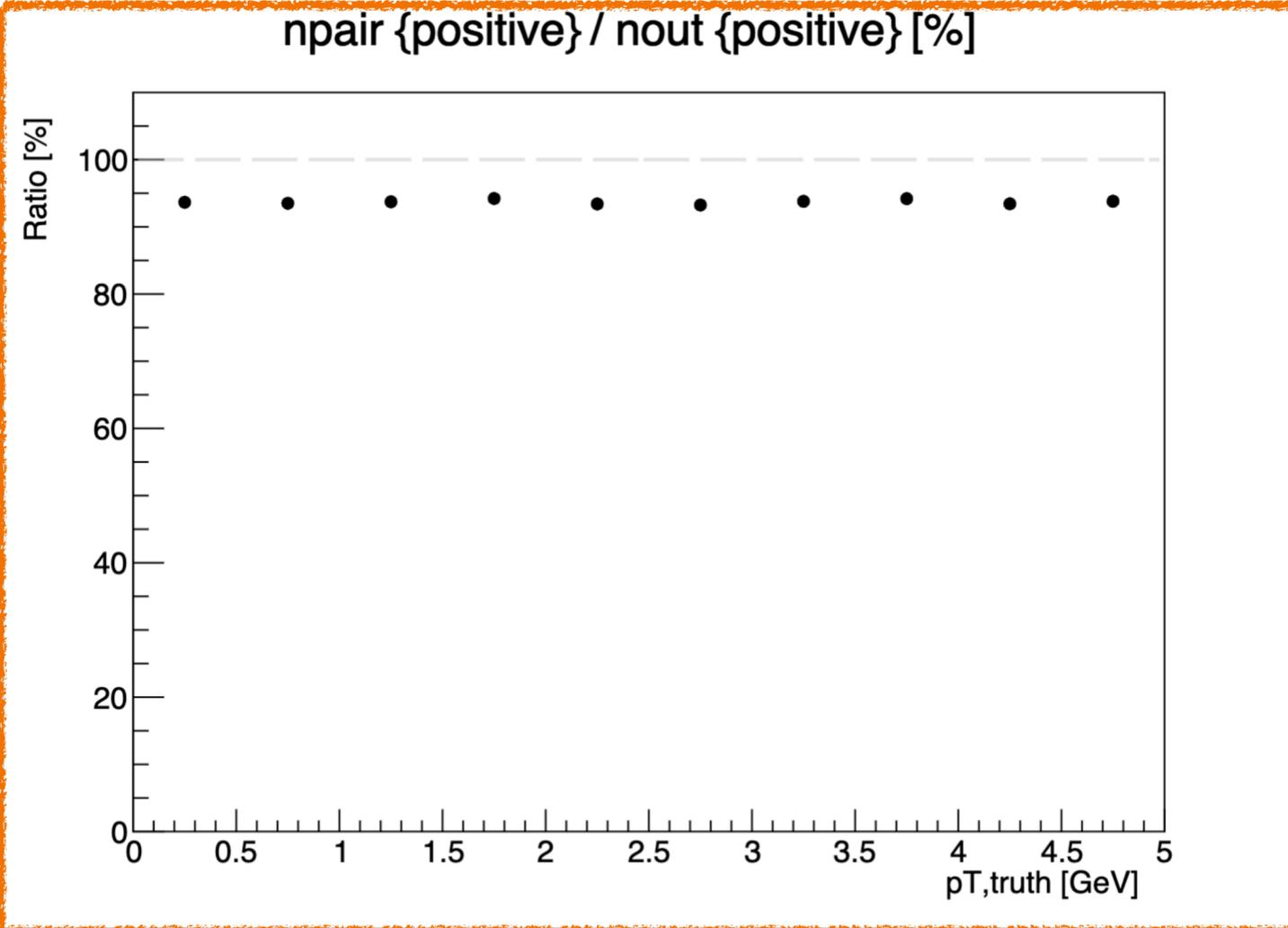
$$\frac{N_{\text{reco. tracks}}}{N_{\text{truth tracks}}} = \frac{N_{\text{outer g4hits}}}{N_{\text{truth tracks}}} \times \frac{N_{\text{outer clusters}}}{N_{\text{outer g4hits}}} \times \frac{N_{\text{cluster pairs}}}{N_{\text{outer clusters}}} \times \frac{N_{\text{reco. tracks}}}{N_{\text{cluster pairs}}}$$



- INTTの外層センサーを通過した粒子数に対する、外層センサーで検出されたクラスタの割合[%]を真の飛跡の横運動量 $p_{T,\text{truth}}$ [GeV]の関数として表したものの。
 - 平均効率： $95.47 \pm 0.07\%$
 - シミュレーション上の5%のデッドチャンネルにより非効率が生まれる。
- ➡ 実際にシミュレーション上のデッドチャンネルの設定を確認する予定。

再構成効率まとめ

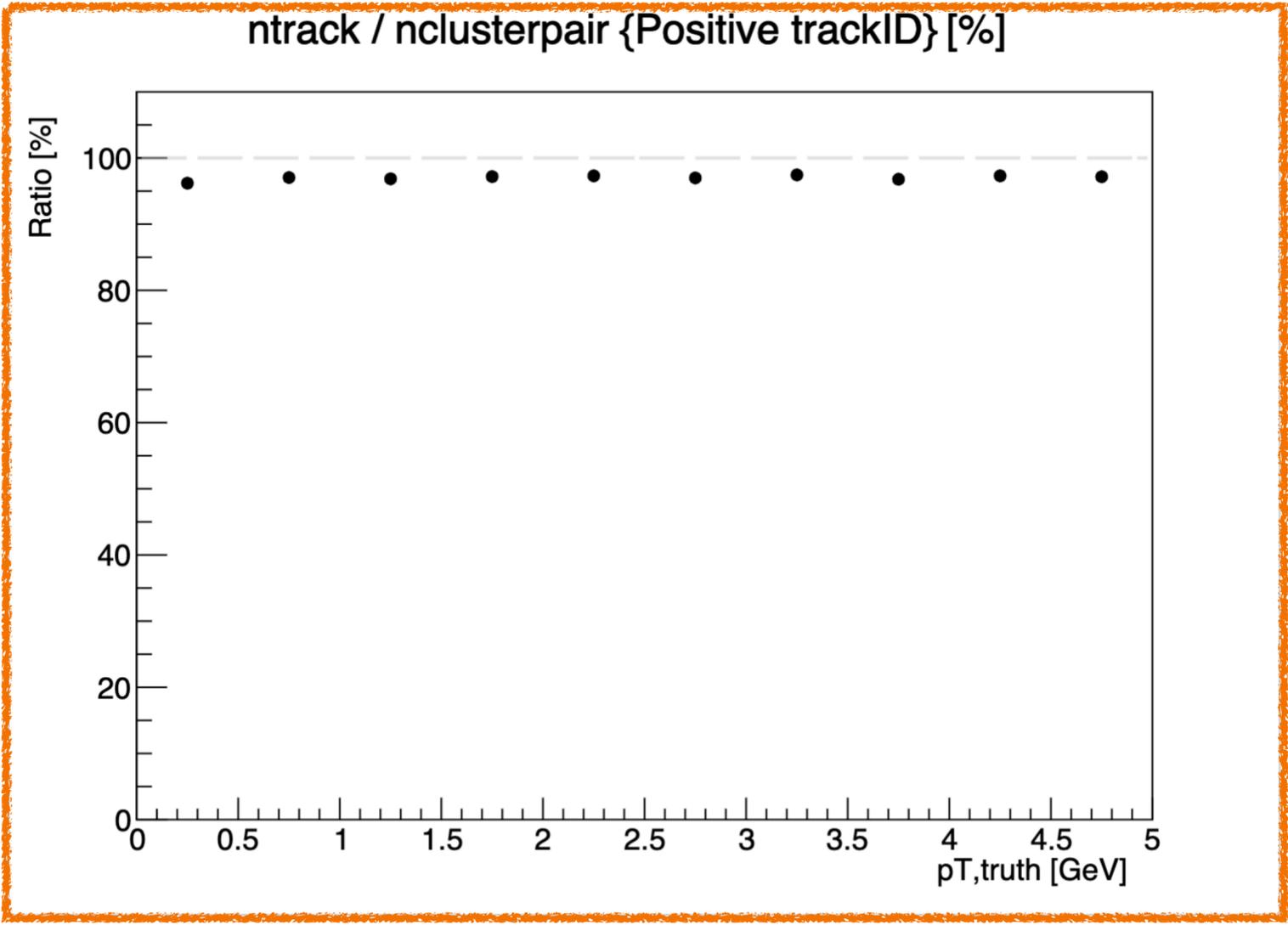
$$\frac{N_{\text{reco. tracks}}}{N_{\text{truth tracks}}} = \frac{N_{\text{outer g4hits}}}{N_{\text{truth tracks}}} \times \frac{N_{\text{outer clusters}}}{N_{\text{outer g4hits}}} \times \frac{N_{\text{cluster pairs}}}{N_{\text{outer clusters}}} \times \frac{N_{\text{reco. tracks}}}{N_{\text{cluster pairs}}}$$



- INTTの外層センサーに入射した粒子が内層センサーでも検出される割合[%]を真の飛跡の横運動量 $p_{T,\text{truth}}$ [GeV]の関数として表したものの。
- 平均効率：93.70 ± 0.08%
- 外層クラスターの生成効率 (~93.0%) と同程度である。

再構成効率まとめ

$$\frac{N_{\text{reco. tracks}}}{N_{\text{truth tracks}}} = \frac{N_{\text{outer g4hits}}}{N_{\text{truth tracks}}} \times \frac{N_{\text{outer clusters}}}{N_{\text{outer g4hits}}} \times \frac{N_{\text{cluster pairs}}}{N_{\text{outer clusters}}} \times \frac{N_{\text{reco. tracks}}}{N_{\text{cluster pairs}}}$$



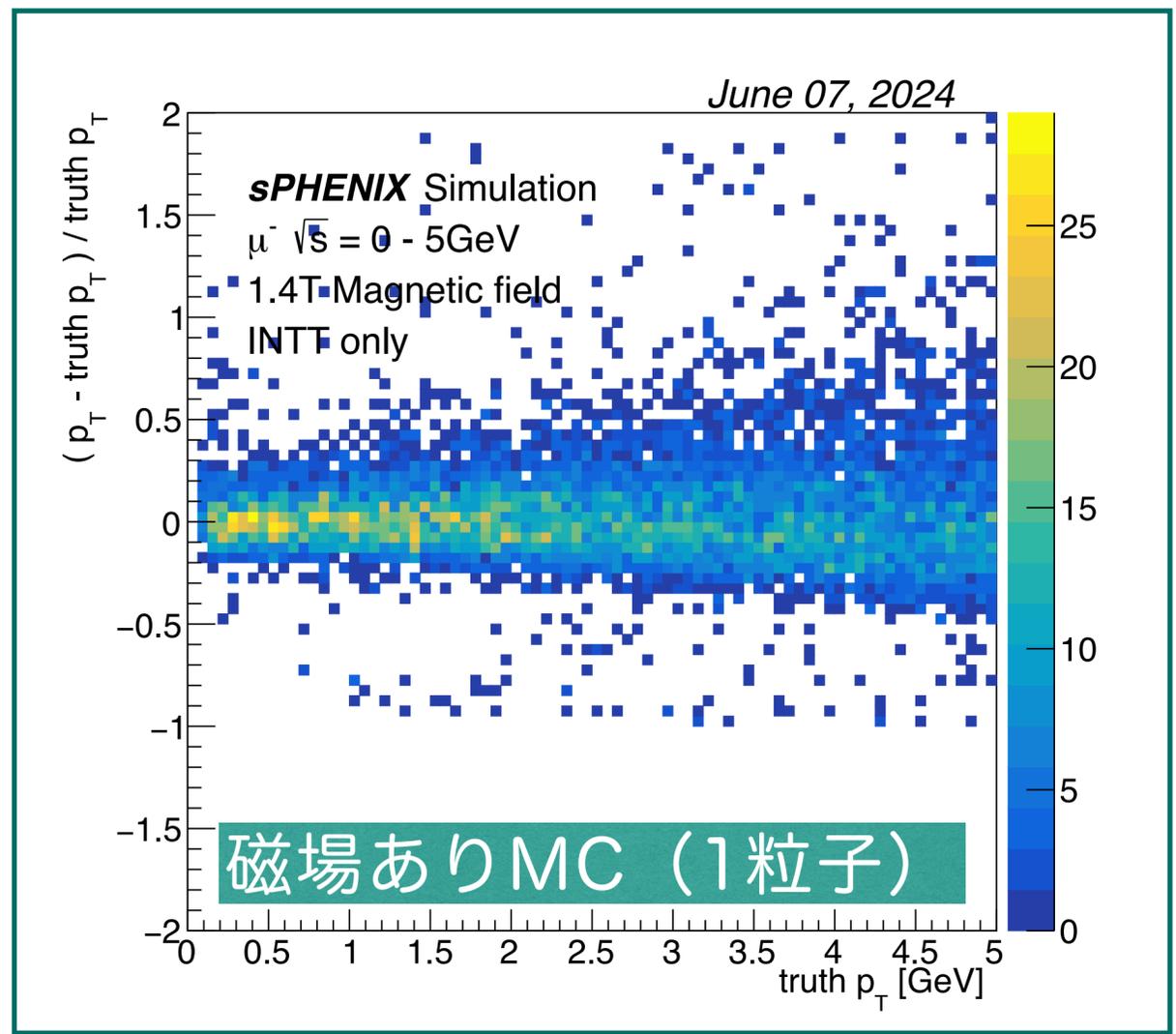
- INTTの内層、外層にクラスターが存在する場合、その粒子を再構成できる割合[%]を真の飛跡の横運動量 $p_{T,\text{truth}}$ [GeV]の関数として表したものの。
- 平均効率： $97.03 \pm 0.06\%$
- アルゴリズム（角度カット）の影響を受ける。

横運動量分解能

- アルゴリズムの評価として、横運動量分解能を算出した。
- 左図：真の飛跡の横運動量 $p_{T,truth}$ に対する再構成された飛跡の横運動量 $p_{T,reco.}$ との差分の割合を、 $p_{T,truth}$ の関数として表したものの。

$$\frac{p_{T,reco.} - p_{T,truth}}{p_{T,truth}}$$

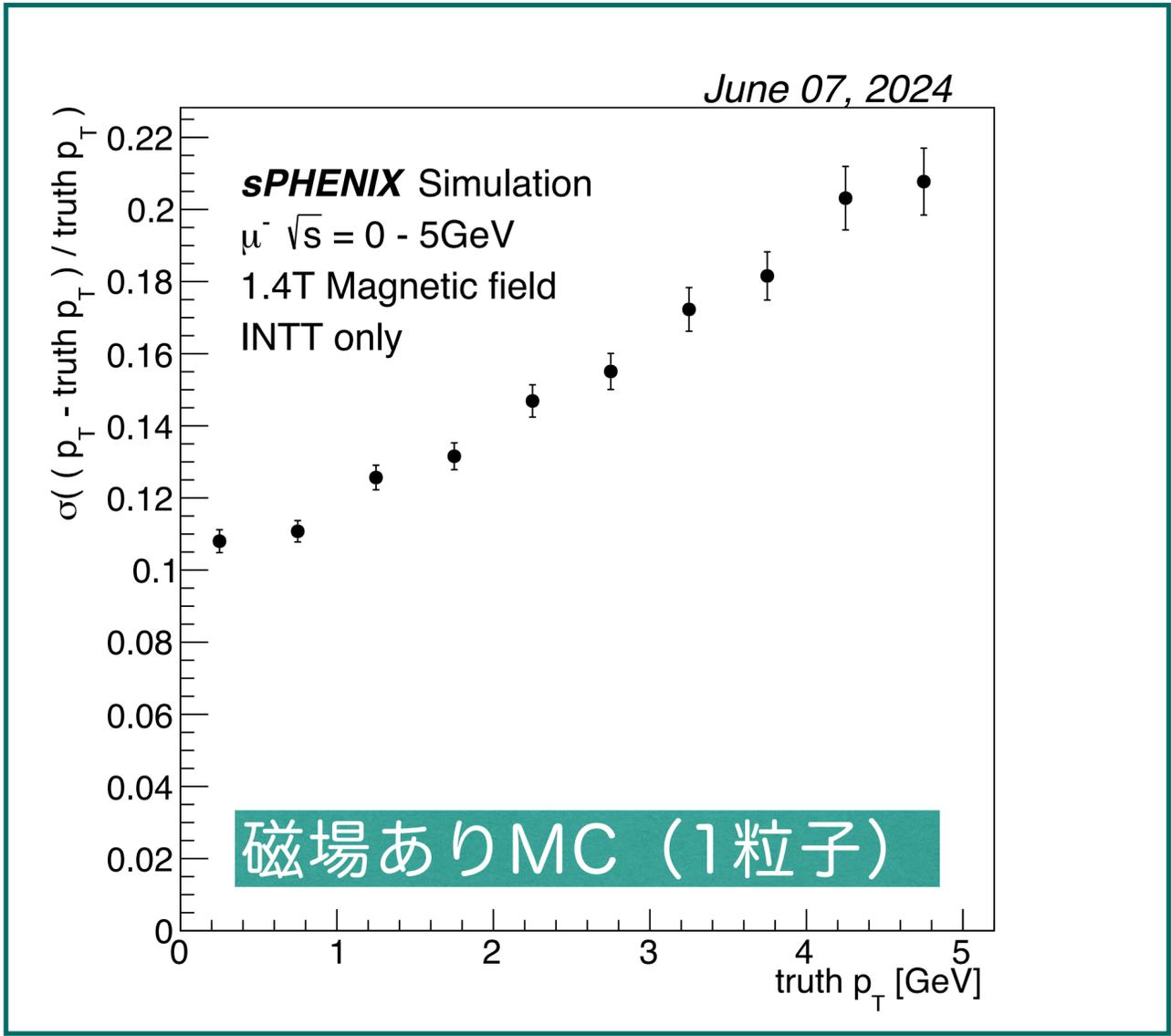
- 【シミュレーションデータ】
- GEANT4
 - 1粒子 (μ^-) / イベント
 - 横運動量 pT : 0~5 GeVの一様分布
 - イベント数 : 100Kイベント
 - 磁場あり
 - 入射源 : ガウス分布
 - 中心 : $(x, y, z) = (0, 0, 0)$ cm
 - 分布幅 : $(x, y, z) = (10^{-4}, 10^{-4}, 1)$ cm
 - 入射領域 : 全方位角、ビーム軸方向 $|z| < 22.8$ cm



横運動量分解能

- アルゴリズムの評価として、横運動量分解能を算出した。
- 左図：真の飛跡の横運動量 $p_{T,truth}$ に対する、再構成された飛跡の横運動量 $p_{T,reco.}$ との差分の割合の幅を、 $p_{T,truth}$ の関数として表したものの。

$$\frac{p_{T,reco.} - p_{T,truth}}{p_{T,truth}}$$



- 真の飛跡の横運動量 $p_{T,truth} = 1 \text{ GeV}$ において、10%程度の横運動量分解能を持つ。

結果

- 2024年に収集された磁場ありデータを用いて、飛跡再構成を行なった。

色線：再構成された飛跡

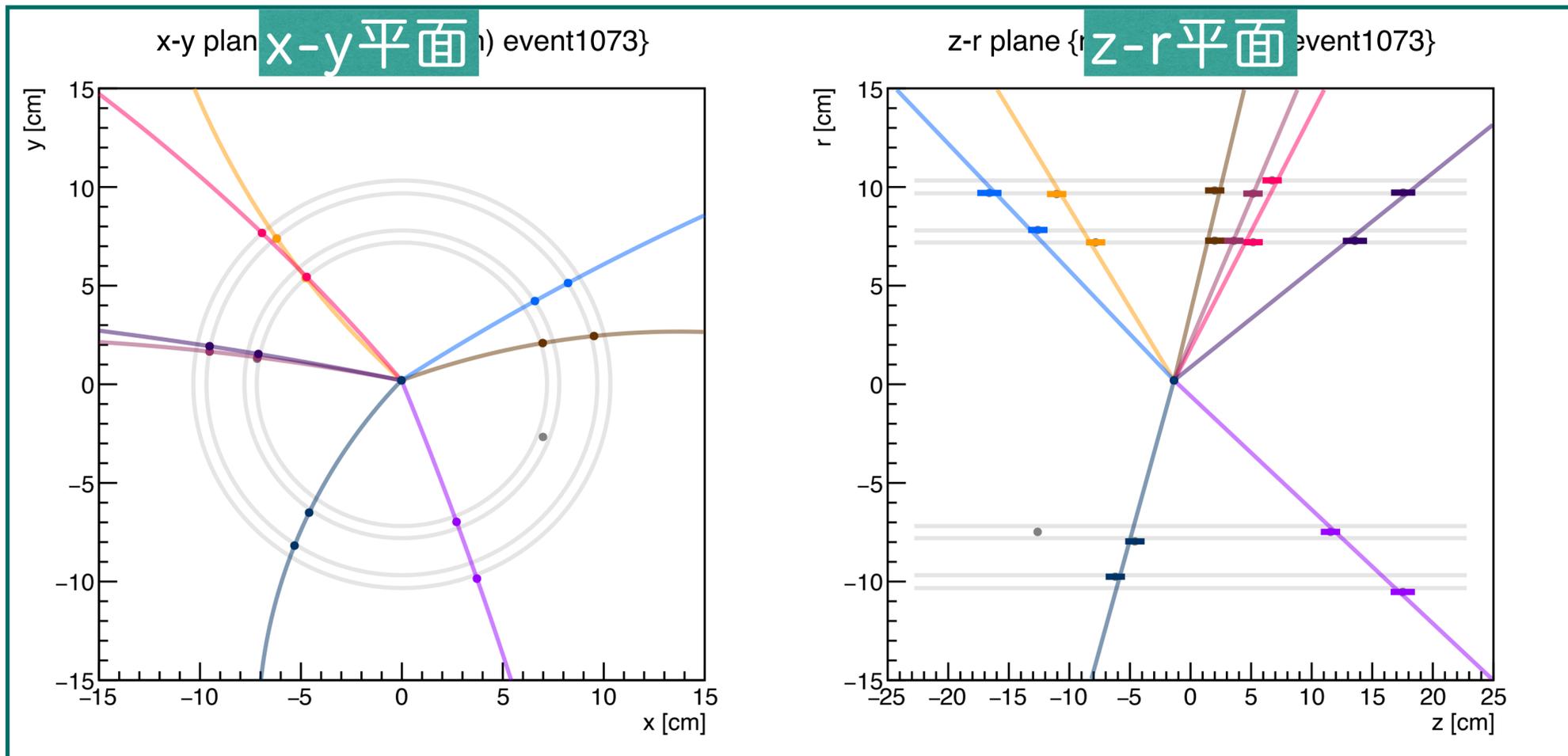
色点：再構成に使われたクラスター
(それぞれの色は両平面で共通)

黒点：それ以外のクラスター

- 2024年に収集されたデータでも飛跡再構成をすることができる。

- 今後の課題として、定量的な評価をする予定。

- 各パラメータ（飛跡の角度など）をシミュレーションと比較するなど？



【sPHENIX-IN TT検出器を用いた飛跡再構成アルゴリズムの開発と評価】

- 2024年に測定されたデータを用いて飛跡再構成を行った。
 - 評価として各パラメータのシミュレーションとの比較などを行う予定。
- シミュレーションを用いて横運動量分解能、飛跡再構成効率の算出を行った。
 - 飛跡再構成効率は84.40%であり、非効率の原因はセンサー間の非アクティブ領域、デッドチャンネル、アルゴリズム中の角度カットによるもの。
 - 横運動量分解能は1 GeVで10%程度。

【今後の課題】

- MC上のデッドチャンネルの設定の確認。
- 2024年のデータを用いた飛跡再構成の評価
 - 各パラメータのシミュレーションとの比較？
- (異なるシミュレーション設定 (陽子陽子衝突・磁場) における検出効率の算出)

BACK UP

- 非効率の原因を調べるため、シミュレーションおよび飛跡再構成のうち、どの過程においてどのくらい効率が落ちているのかを検証した。

< 真の飛跡と再構成された飛跡の関係 >

- 真の飛跡 (PHG4Particle)



- INTTを通過する粒子 (PHG4Hit)

INTTヒットへの変換

- ヒット (TrkrHit)

クラスタリング

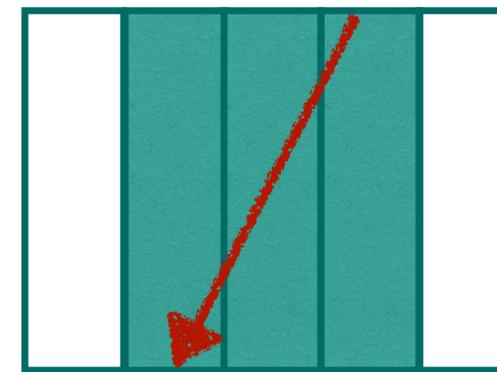
- クラスター (TrkrCluster)

飛跡再構成

- 再構成された飛跡

< クラスタリング >

- 粒子が複数のセンサーセルを横断して通過するとき、1つの粒子が複数のヒットとして記録されてしまう。それらのヒットを1クラスターとしてまとめる。



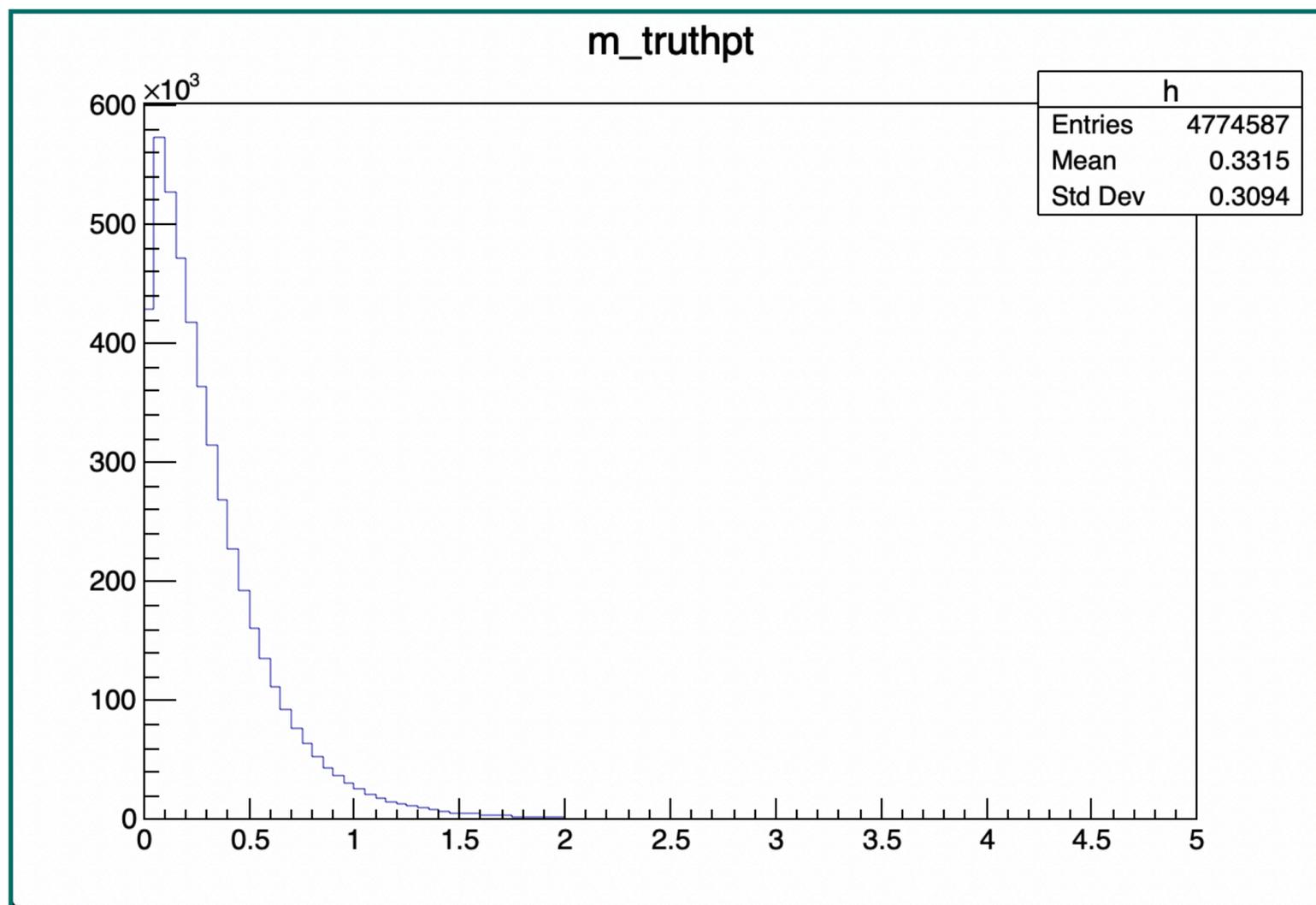
3 ヒット



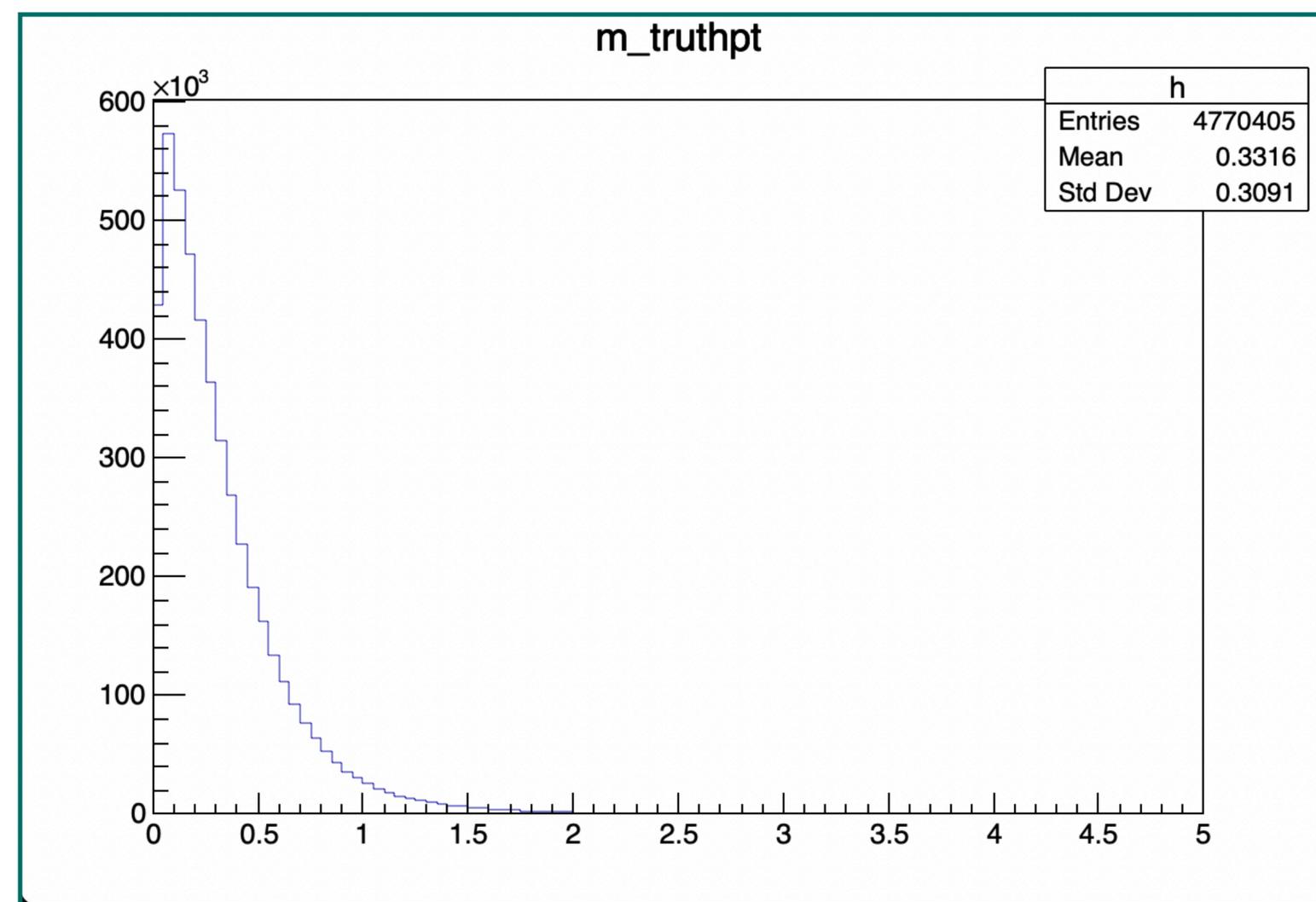
1 クラスター

真の飛跡の横運動量 $p_{T,\text{truth}}$

磁場なしMC (pp)



磁場ありMC (pp)



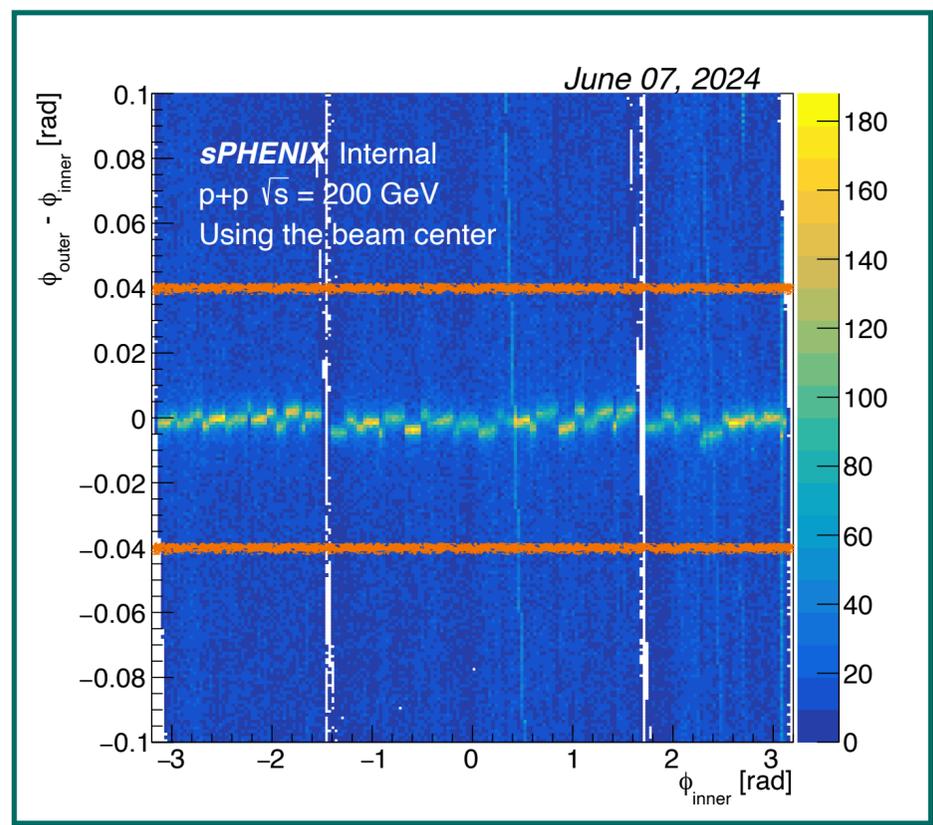
飛跡再構成アルゴリズム (2/4)

1. クラスタペアを選ぶ。

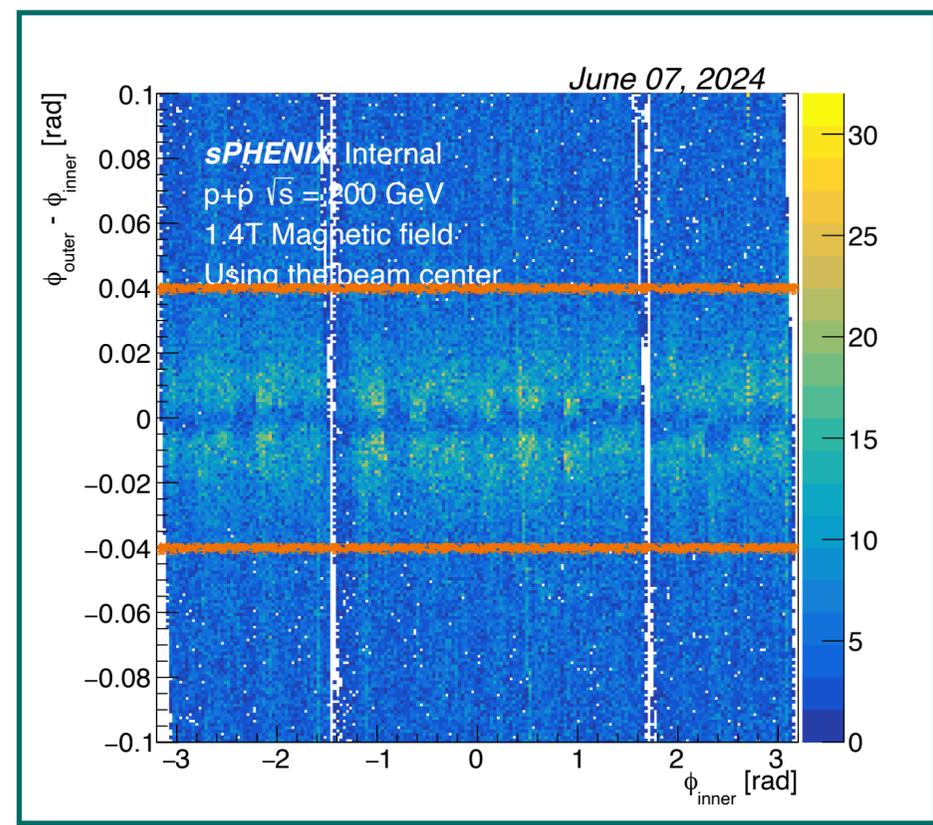
- 内層クラスター、外層クラスターをそれぞれ1点選ぶ。
- このとき、クラスターペアの角度差を $|\phi_{outer} - \phi_{inner}| < 0.04$, $|\theta_{outer} - \theta_{inner}| < 0.2$ とする。

$\phi_{outer} - \phi_{inner}$ [rad]

磁場なし実験データ



磁場あり実験データ



1. クラスタペアを選ぶ。

- 内層クラスター、外層クラスターをそれぞれ1点選ぶ。
- このとき、クラスタペアの角度差を $|\phi_{outer} - \phi_{inner}| < 0.04$, $|\theta_{outer} - \theta_{inner}| < 0.2$ とする。

磁場なし実験データ

$\theta_{outer} - \theta_{inner}$ [rad]

磁場あり実験データ

研究結果：再構成された飛跡（磁場なし）

- 2024年に収集された磁場なしデータを用いて、飛跡再構成を行なった。

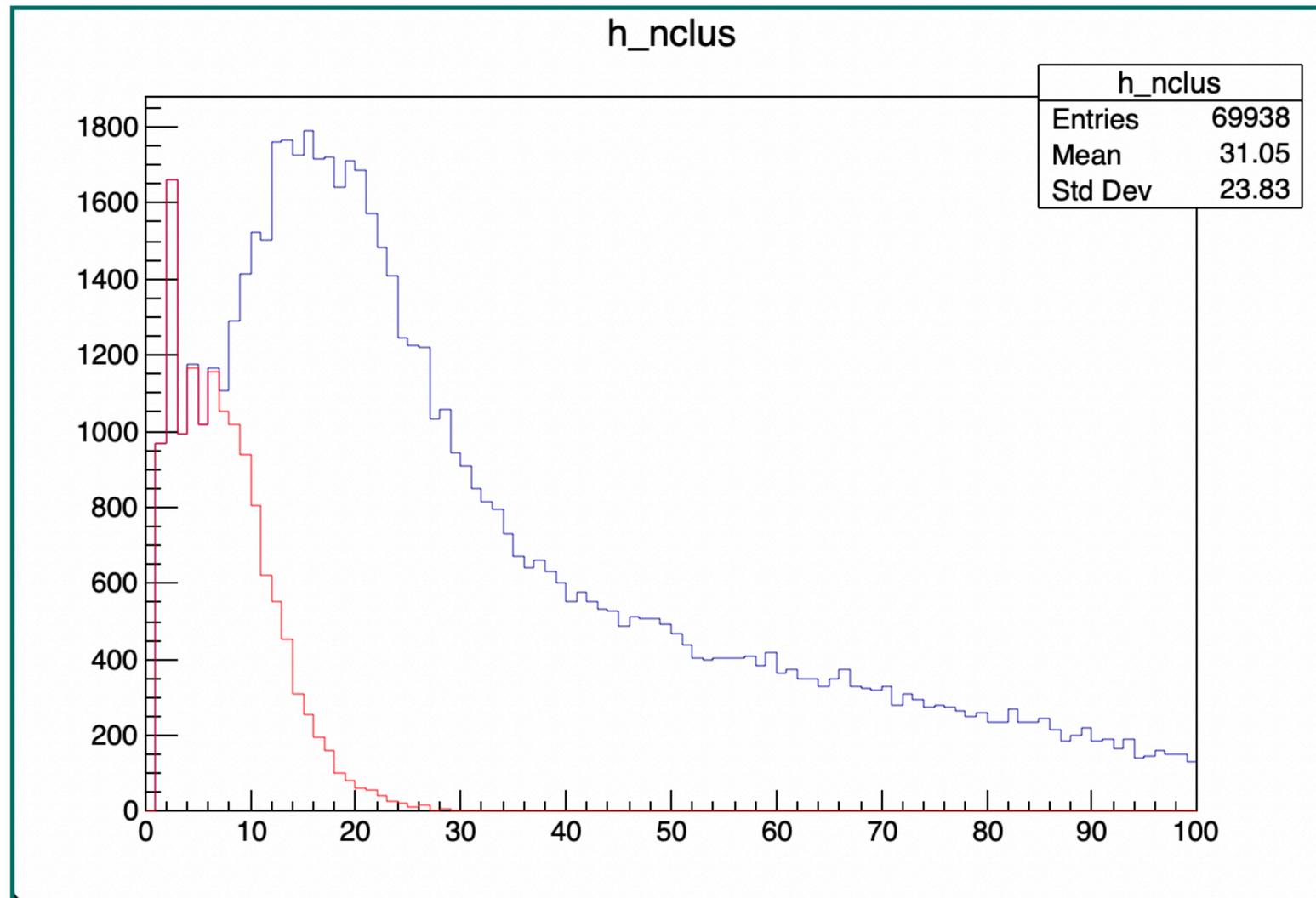
色線：再構成された飛跡

色点：再構成に使われたクラスター

黒点：それ以外のクラスター

x-y平面

z-r平面

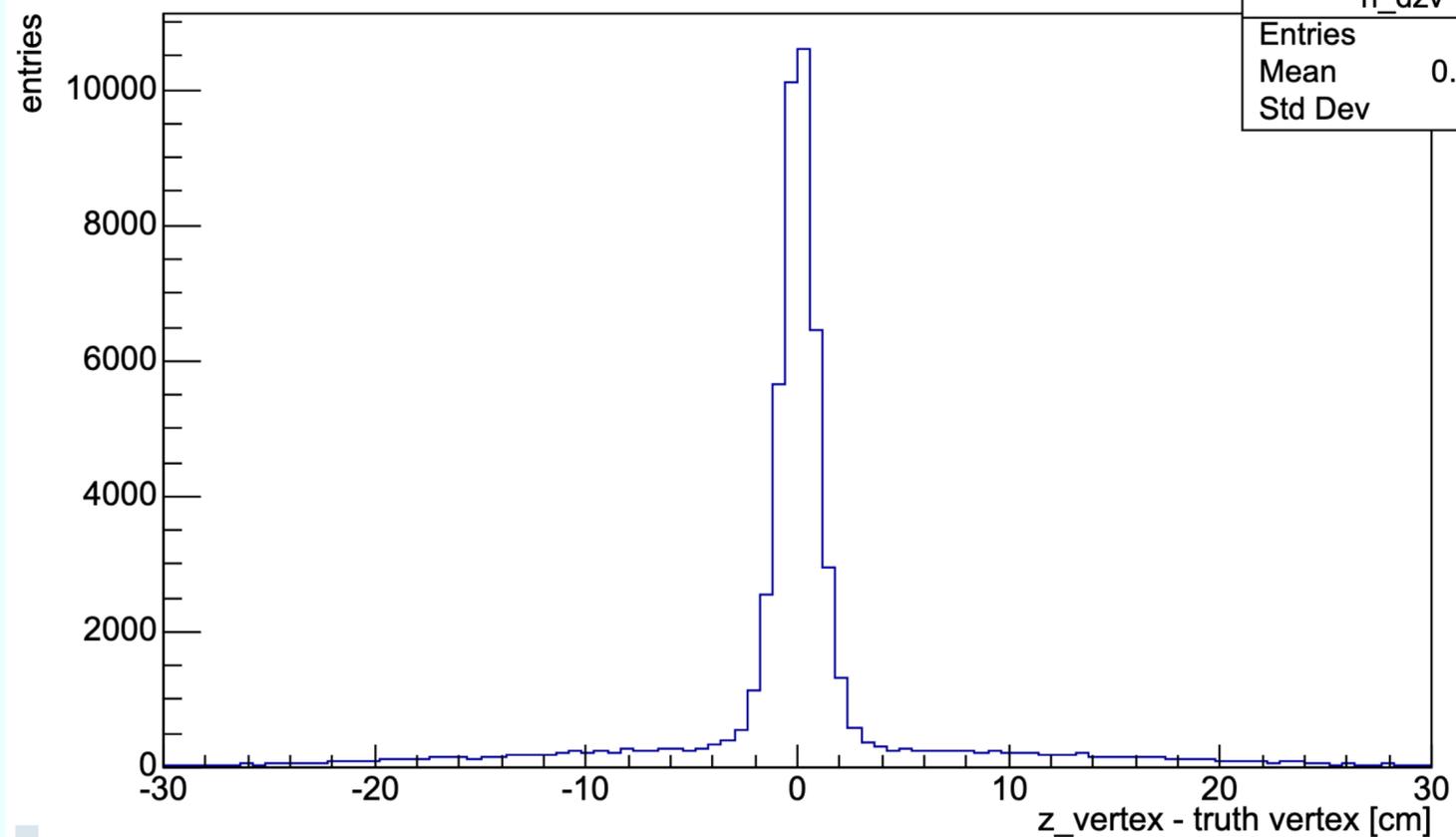


- InttZVertexFinderを用いたときに、z_vertexが再構成されないイベントがある。
- ➡ イベント内のクラスター数が少ない場合にz_vertexが再構成されないのではないか？
 - 青：全イベント（69938イベント）
 - 赤：z_vertexが再構成できなかったイベント（13780イベント）
- イベント内のクラスターが少ない場合にはz_vertexは再構成されない。

- (シミュレーションの飛跡再構成にはtruth vertexを使用。)

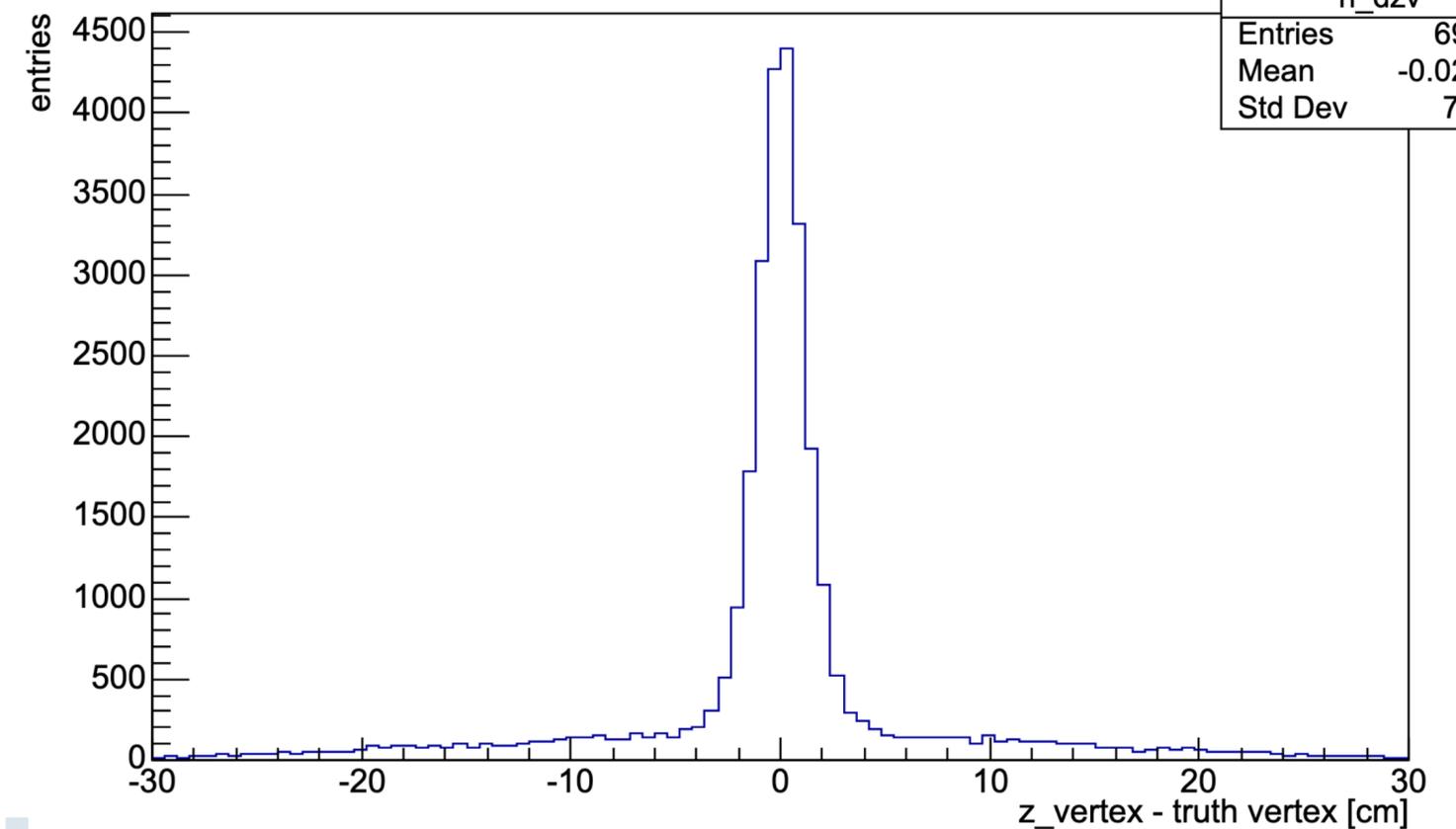
磁場なしMC (pp)

z_vertex - truth vertex [cm]

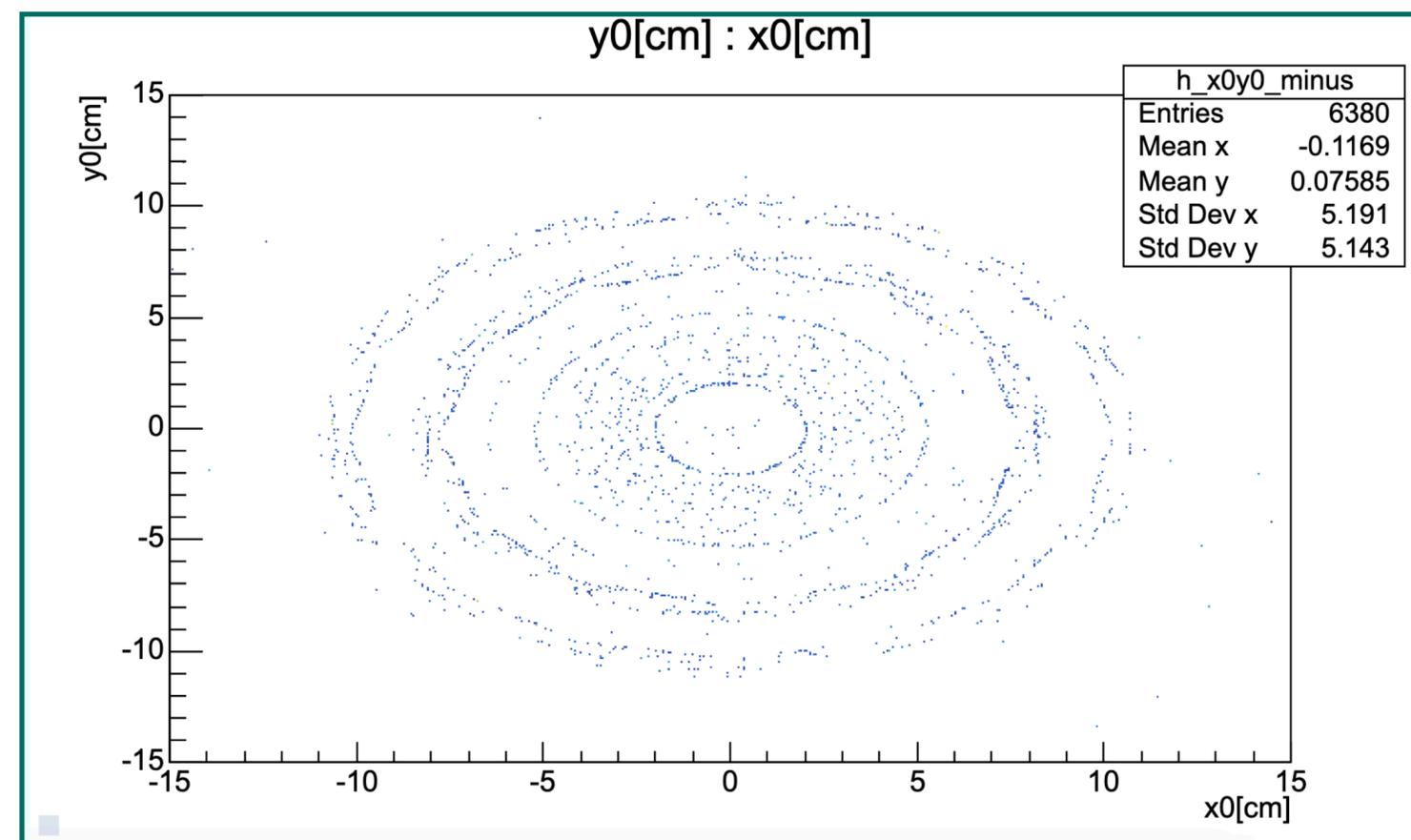
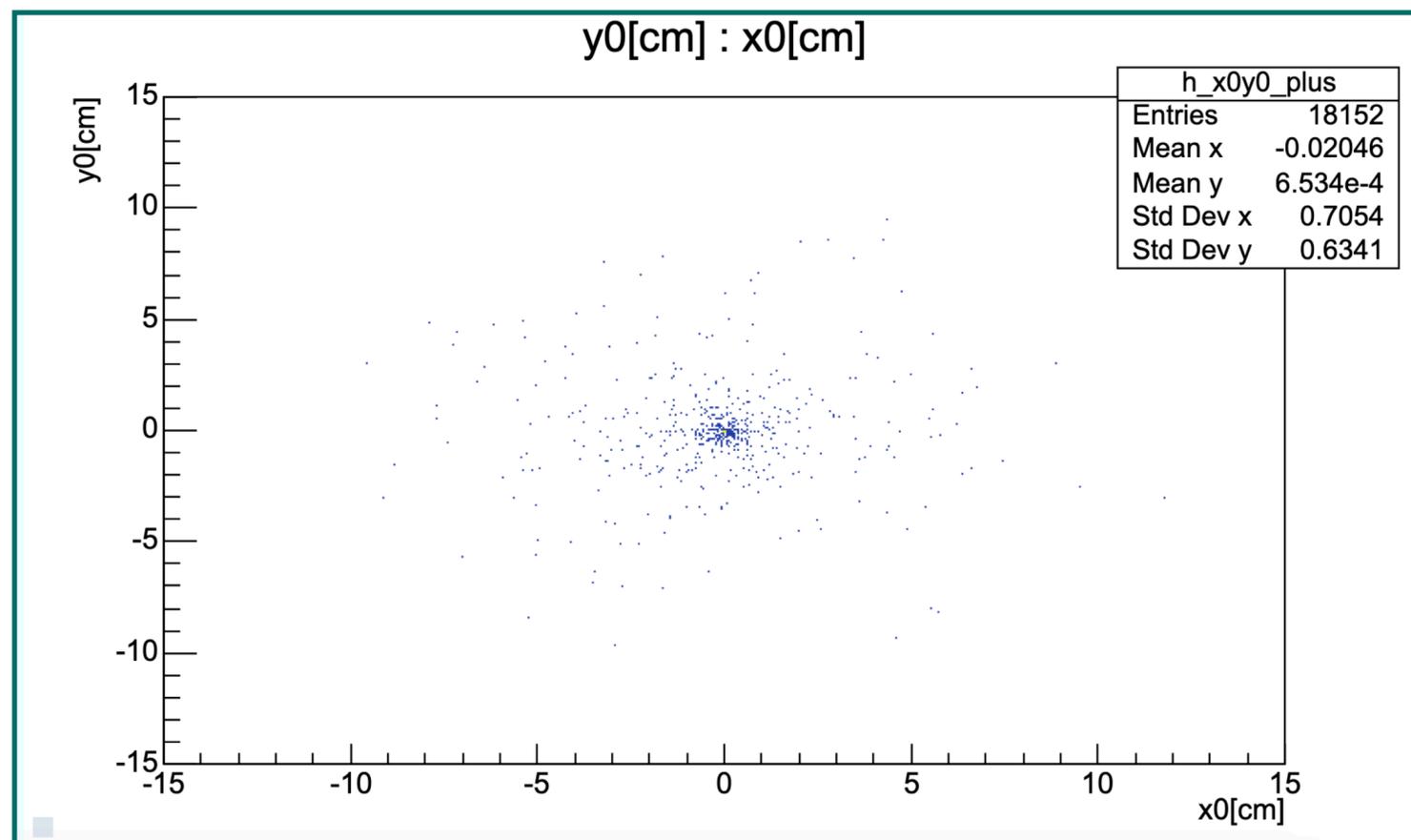


磁場ありMC (pp)

z_vertex - truth vertex [cm]

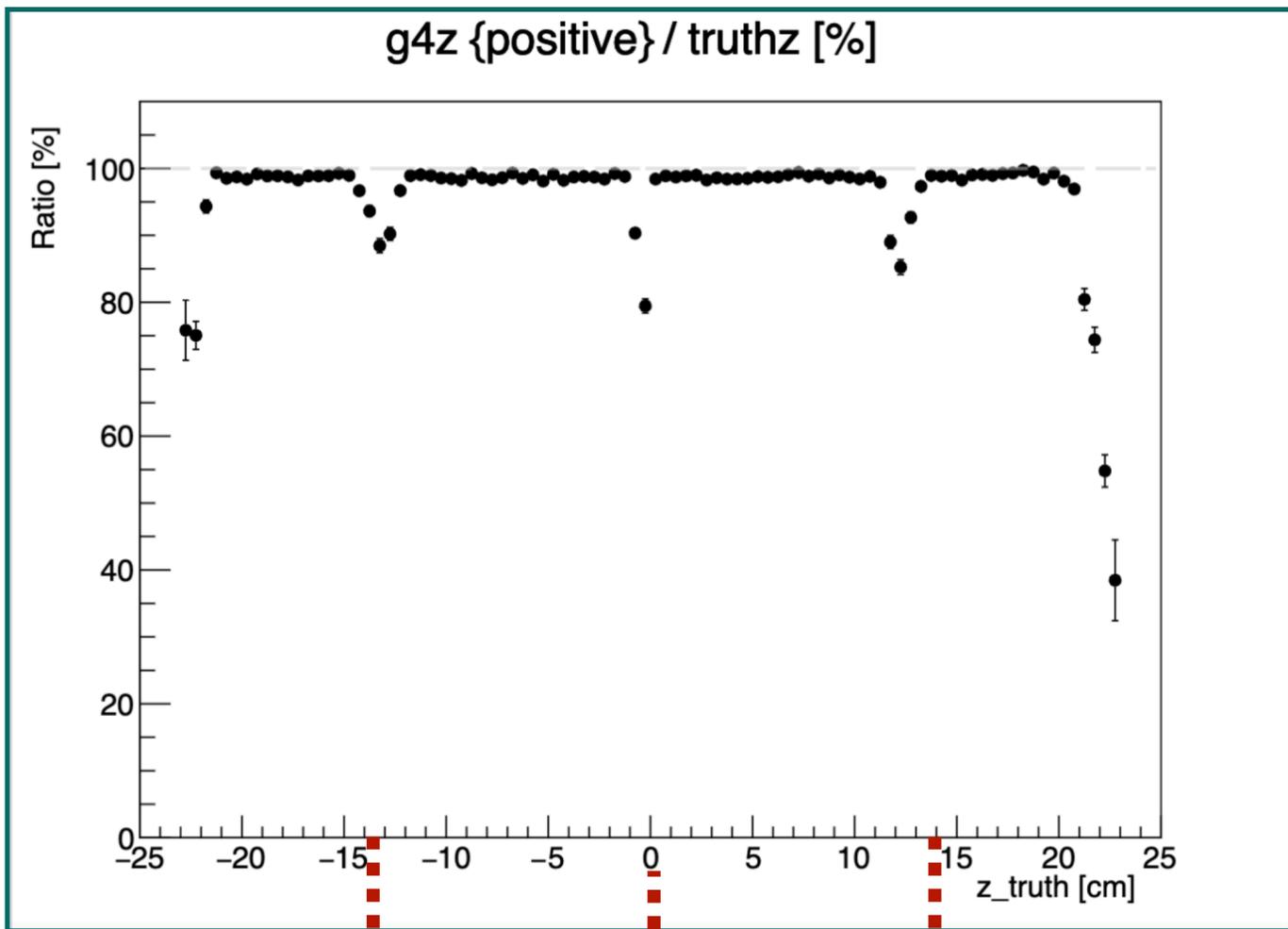


- トラックIDの正負ごとに、x-y平面上の生成点を調べた。



- 正のトラックIDを持つ粒子は原点（衝突点）付近で生成されている。
- 負のトラックIDを持つ粒子の分布は検出器の形状に一致しており検出器との相互作用において生成されている。

非アクティブ領域



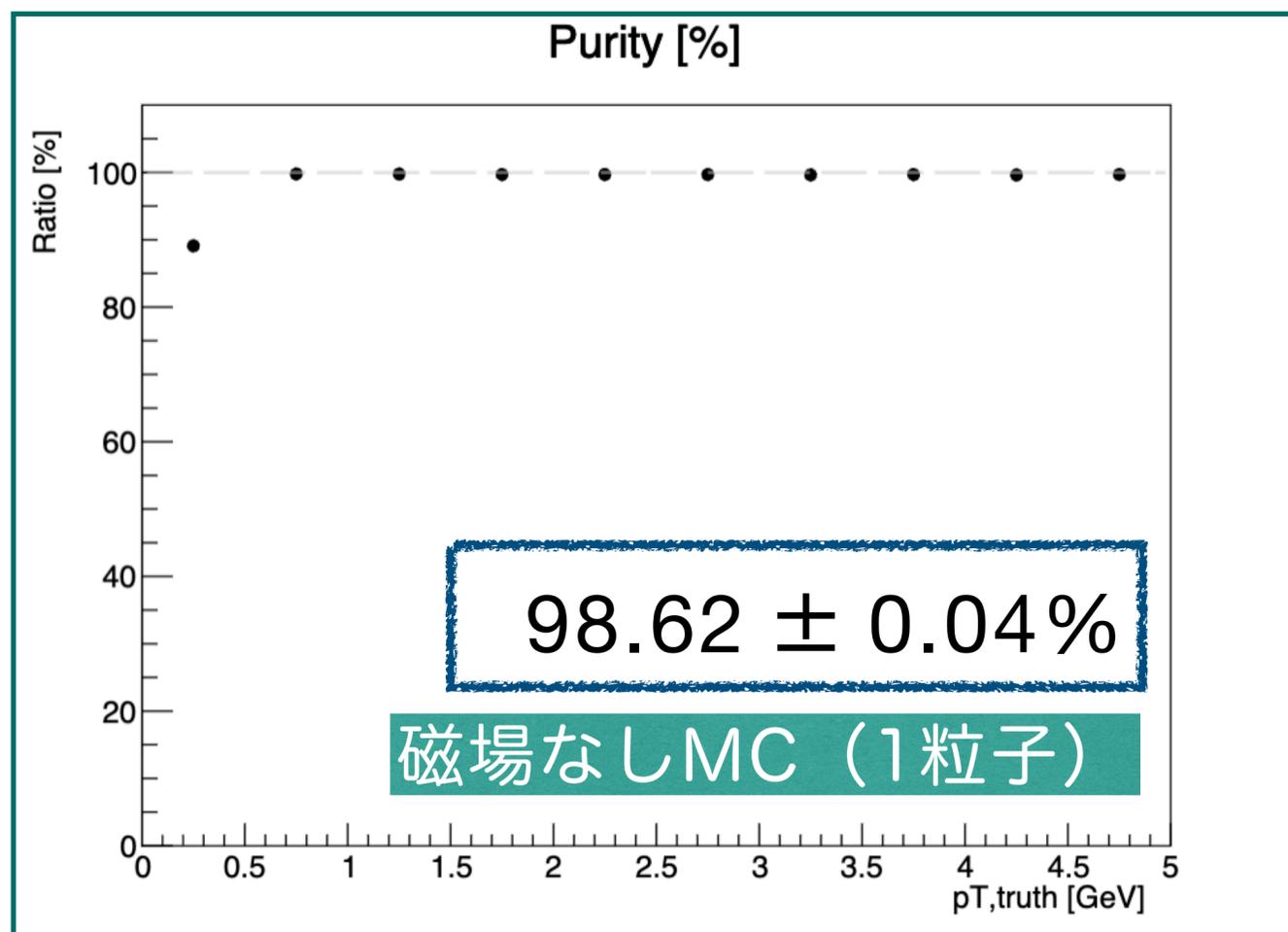
INTTラダー

$$\frac{N_{\text{outer g4hits}}}{N_{\text{truth tracks}}} = 97.34 \pm 0.05\%$$

- 左図：全ての真の飛跡（青）、INTTの外層センサーを通過した粒子（赤）が外層バレル（ $r = 10\text{cm}$ ）を通過したときのz座標 [cm]
- 分布において、全ての真の飛跡に対して、INTTの外層センサーを通過した粒子の数が大幅に減少している部分が3つある。
- その3箇所はセンサー間の非アクティブ領域に一致する。

	Layer 0	Layer 1	Layer 2
Radial position (min.) (mm)	23.7	31.4	39.1
Radial position (max.) (mm)	28.0	35.9	43.4
Length (sensitive area) (mm)	271	271	271
Active area (cm ²)	421	562	702
Number of pixel chips	108	144	180
Number of staves	12	16	20

Table 3: Parameters of the sPHENIX MVTX design.



- <純度>

$$\frac{N_{\text{correct reco. tracks}}}{N_{\text{all reco. tracks}}}$$

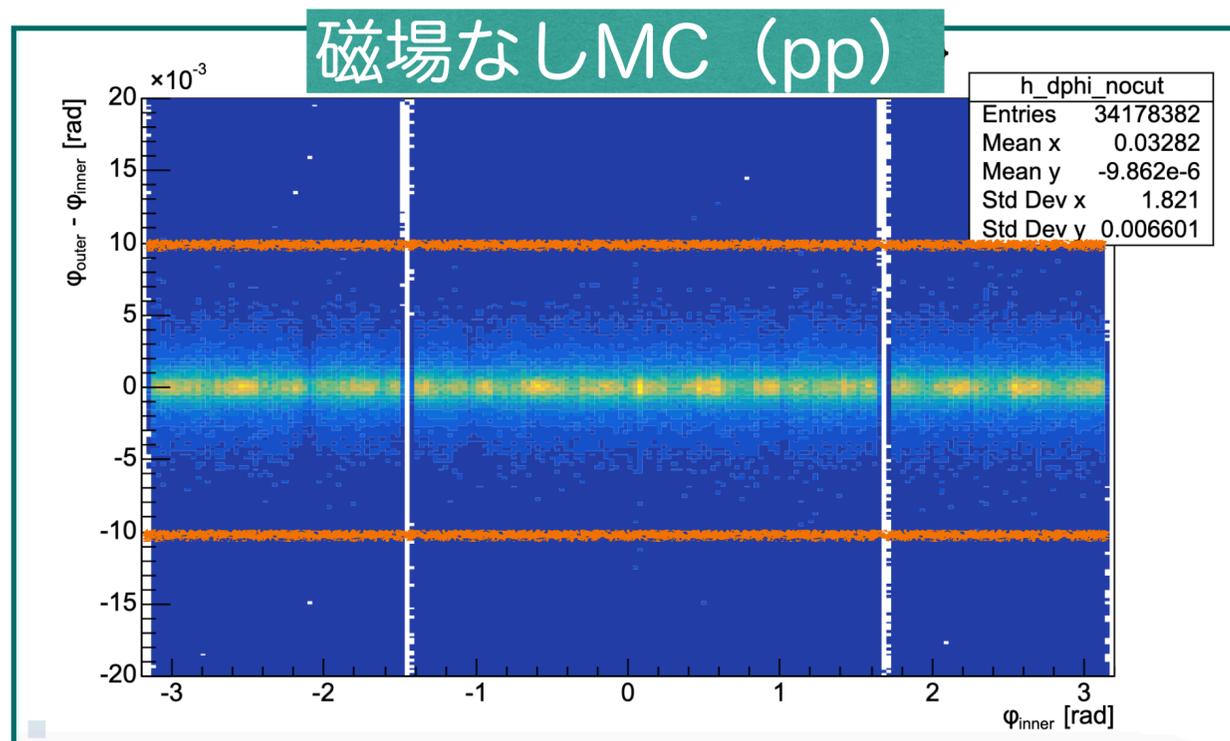
$N_{\text{correct reco. tracks}}$: 正しく再構成された飛跡数
 (飛跡を構成するクラスターペアが同じIDを持つ)。

$N_{\text{all reco. tracks}}$: 全ての再構成された飛跡数。

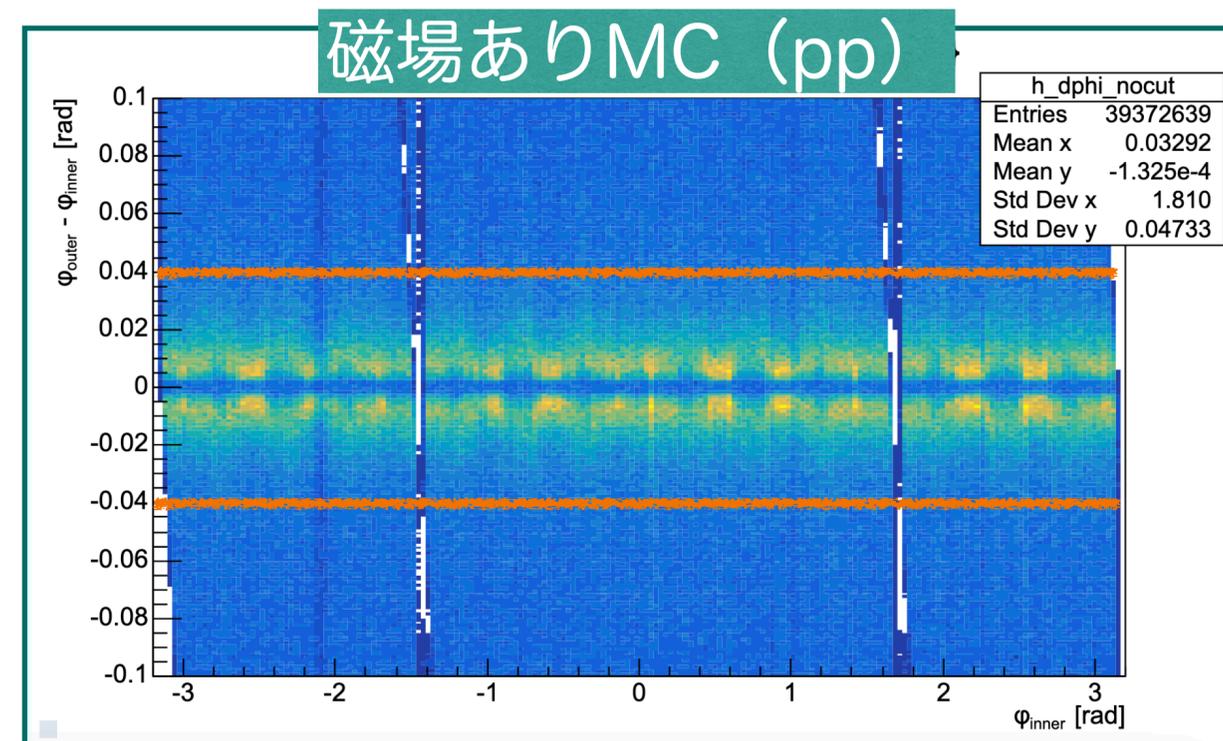
- 低い p_T での非効率性は多重散乱によって角度カットの範囲外の飛跡が多くなるためと考えられる。

1. クラスタペアを選ぶ。

- 内層クラスター、外層クラスターをそれぞれ1点選ぶ。
- このとき、クラスターペアの角度差を
 - 磁場なし： $|\phi_{outer} - \phi_{inner}| < 0.01$, $|\theta_{outer} - \theta_{inner}| < 0.2$ 、
 - 磁場あり： $|\phi_{outer} - \phi_{inner}| < 0.04$, $|\theta_{outer} - \theta_{inner}| < 0.2$ とする。



$\phi_{outer} - \phi_{inner}$ [rad]



Run 40741 Trigger Configuration

LL1 input channel	Triggerdelay	switchyard
0	0	1
1	0	0
2	0	1
3	0	3
4	0	4
5	0	5
6	0	6
7	0	7
8	0	8
9	0	9
10	0	10
11	0	11
12	0	12
13	0	13

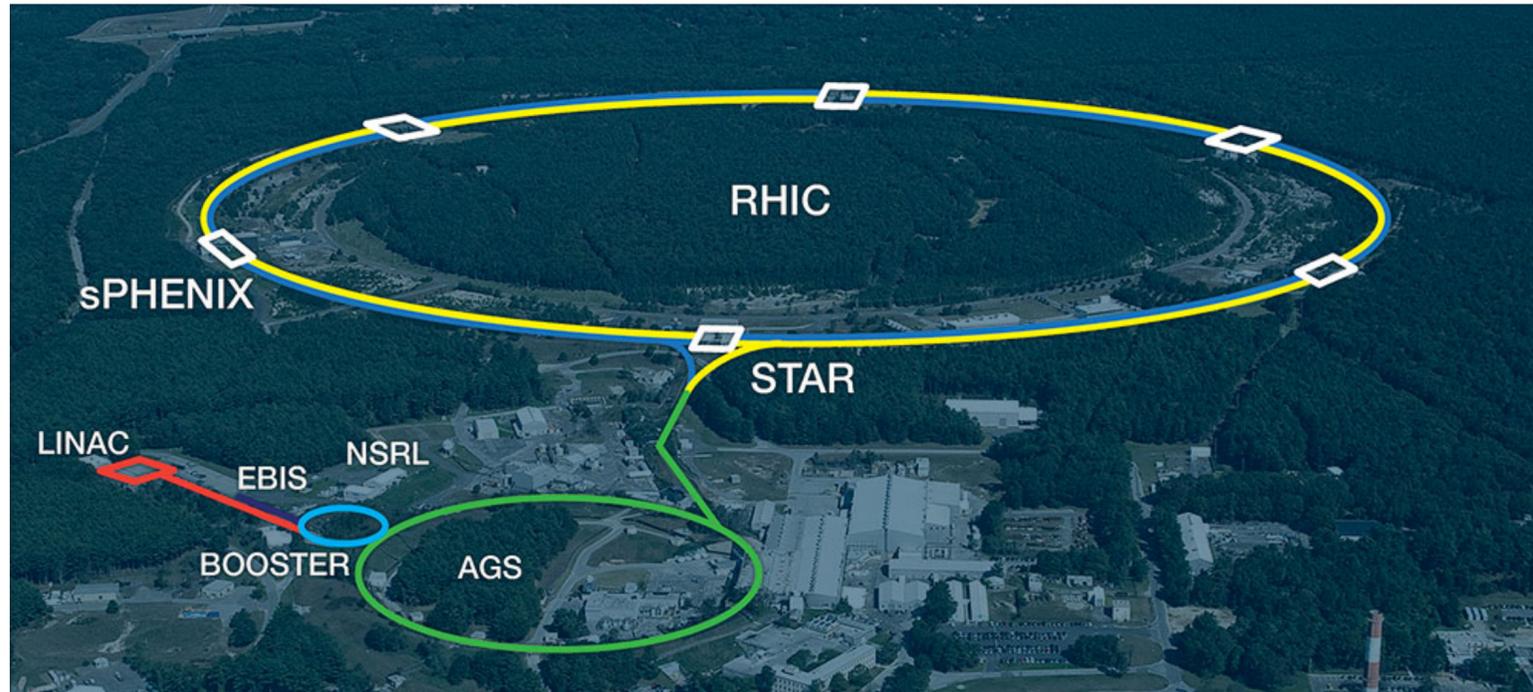
Trigger input channel	Name	enabled	Scaledown	Raw	Live	Scaled	Live (%)
0	Clock	yes	off	3529193895	1233164876	0	34.9
1	ZDC North	yes	off	5401526	1818012	0	33.7
2	ZDC South	yes	off	6012112	2035012	0	33.8
3	ZDC Coincidence	yes	off	386522	131664	0	34.1
4		yes	off	2434347	853521	0	35.1
5		yes	off	0	0	0	0
6		yes	off	0	0	0	0
7		yes	off	0	0	0	0
8	MBD S >= 1	yes	off	43185665	15095717	0	35.0
9	MBD N >= 1	yes	off	40551262	14206631	0	35.0
10	MBD N&S >= 1	yes	off	16521538	5795674	1807560	35.1
11	MBD N&S >= 2	yes	off	5617087	1971037	0	35.1
12	MBD N&S >= 1, vtx < 10 cm	yes	off	1271587	446180	0	35.1
13	MBD N&S >= 1, vtx < 30 cm	yes	off	3341149	1171582	0	35.1

Run 41981 Trigger Configuration

LL1 input channel	Triggerdelay	switchyard	Trigger input channel	Name	enabled	Scaledown	Raw	Live	Scaled	Live (%)
0	0	0	0	Clock	yes	off	5273012474	3328472954	0	63.1
1	1	0	1	ZDC South	yes	off	6836266	4312837	0	63.1
2	0	1	2	ZDC North	yes	off	7493587	4729244	0	63.1
3	5	2	3	ZDC Coincidence	yes	off	373457	235637	0	63.1
4	5	3	4	HCAL Singles	yes	off	80	40	0	50.0
5	0	5	5	HCAL Coincidence	yes	off	0	0	0	0
6	0	6	6		yes	off	0	0	0	0
7	0	7	7		yes	off	0	0	0	0
8	3	8	8	MBD S >= 1	yes	off	63312788	39962839	0	63.1
9	3	9	9	MBD N >= 1	yes	off	60990804	38498645	0	63.1
10	3	10	10	MBD N&S >= 1	yes	1400	26698955	16852188	12028	63.1
11	3	11	11	MBD N&S >= 2	yes	off	7386691	4662028	0	63.1
12	3	12	12	MBD N&S >= 1, vtx < T1	yes	off	157845	99662	0	63.1
13	3	13	13	MBD N&S >= 1, vtx < T2	yes	off	818403	516957	0	63.2

未編集

- QGP
- 高エネルギー原子核衝突実験



QGP (Quark-Gluon Plasma)

宇宙初期に存在した高温・高密度なクォーク・グルーオンのプラズマ状態。

- 米国ブルックヘブン国立研究所に存在する重イオン衝突型加速器RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider)を使用。
- 2023年5月より試運転開始、

<実験目的>

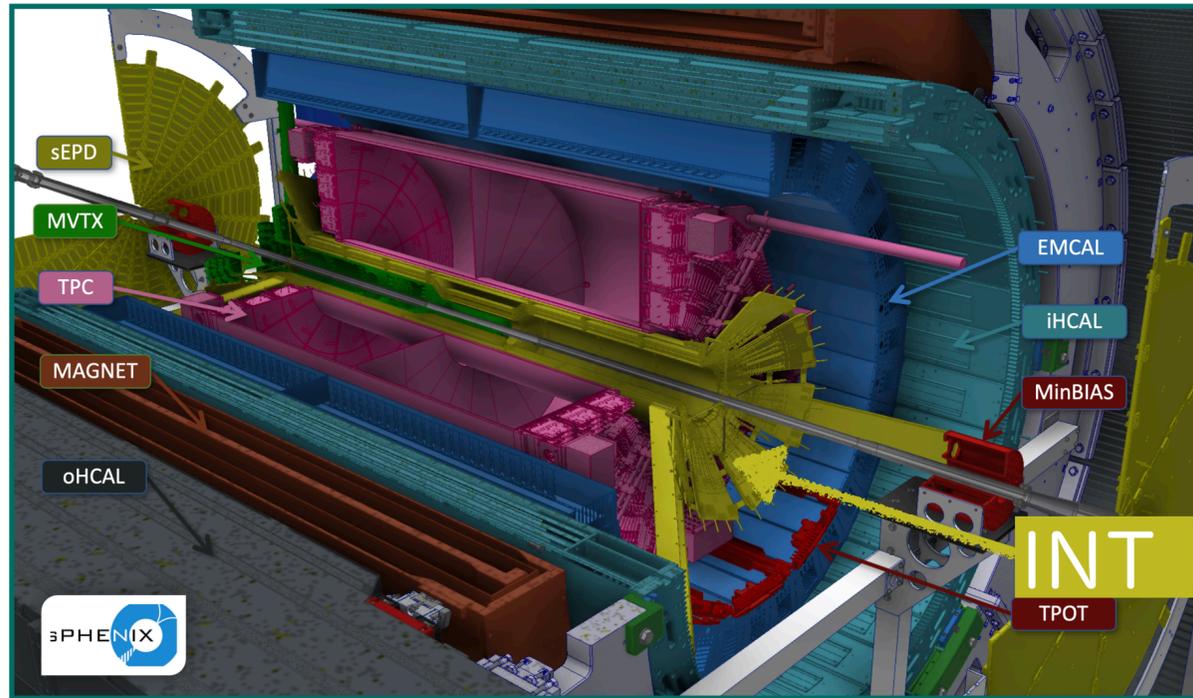
- QGPを生成し、その性質を理解すること。

<sPHENIX実験のビーム粒子>

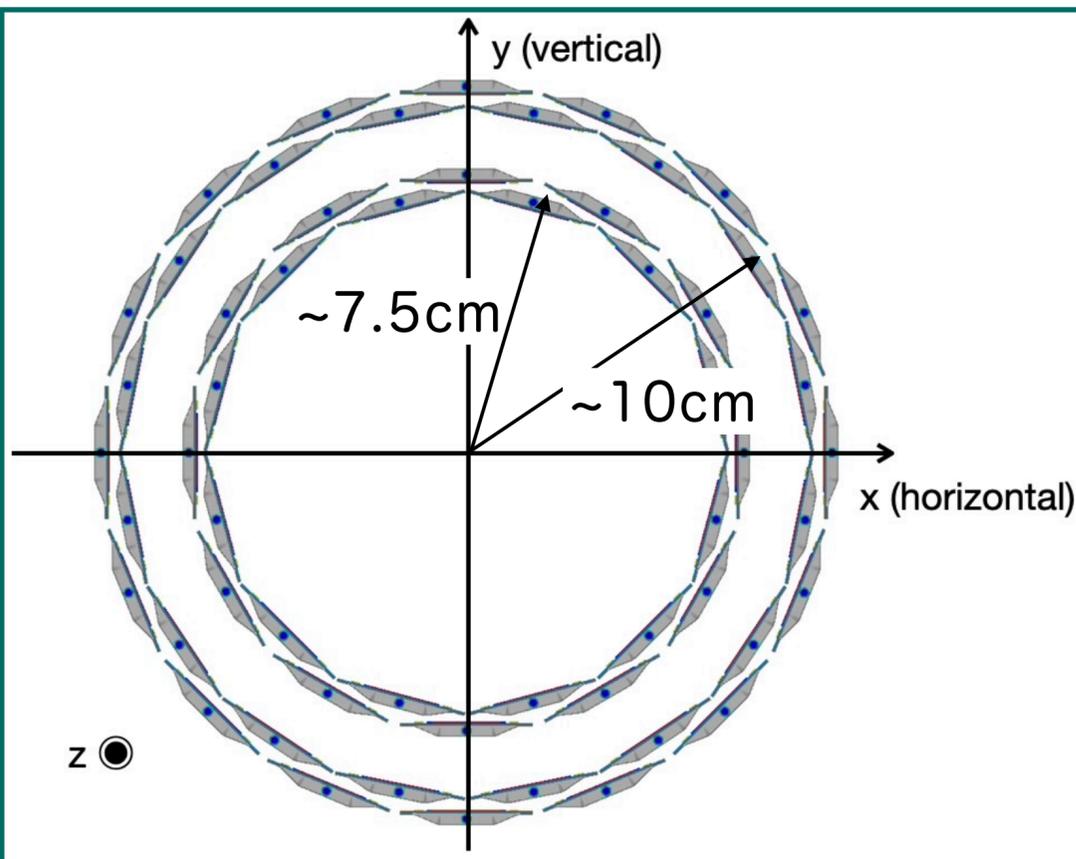
核子対あたりの衝突エネルギー200GeV

2023年：磁場なし金金衝突（試運転）

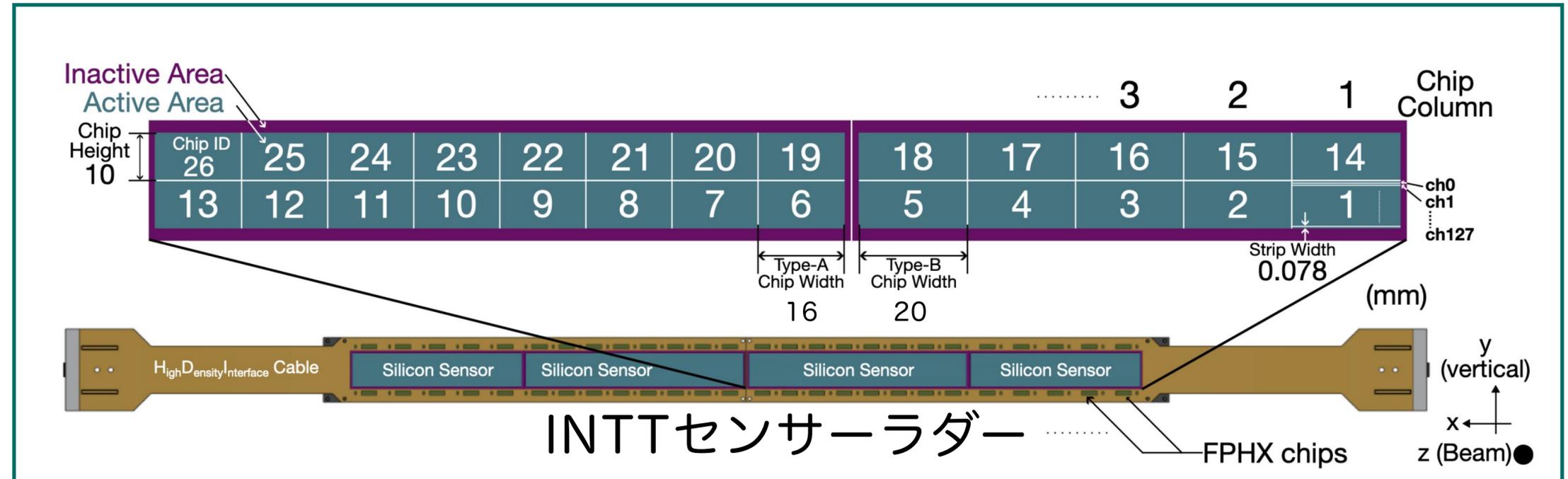
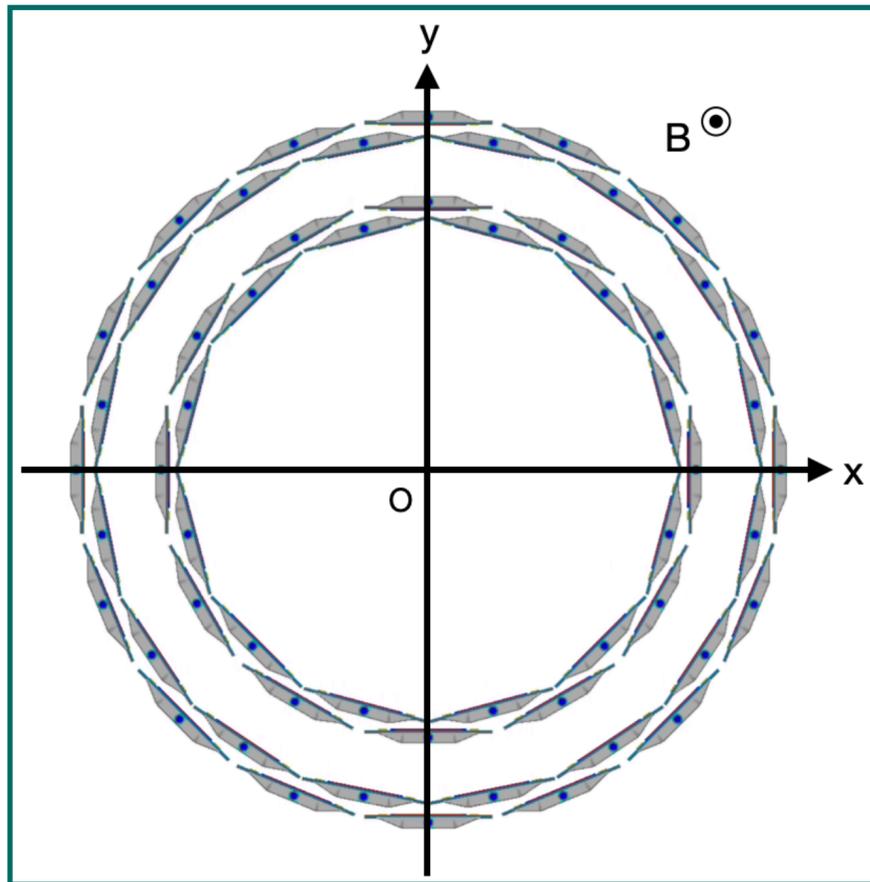
2024年：磁場あり陽子陽子衝突



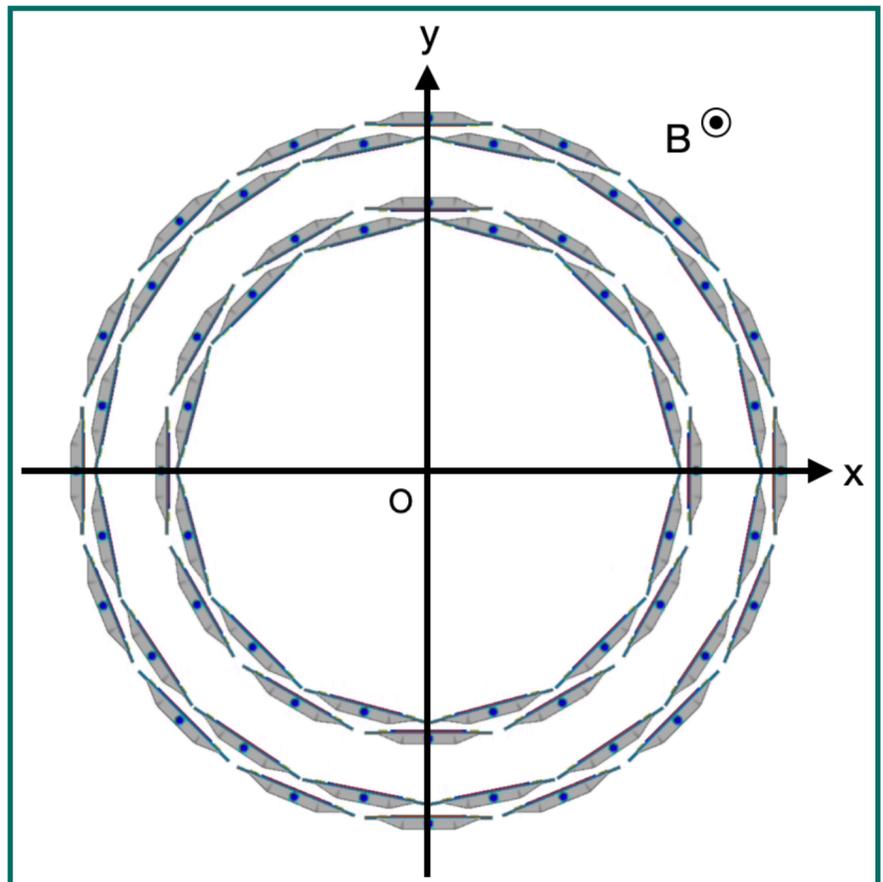
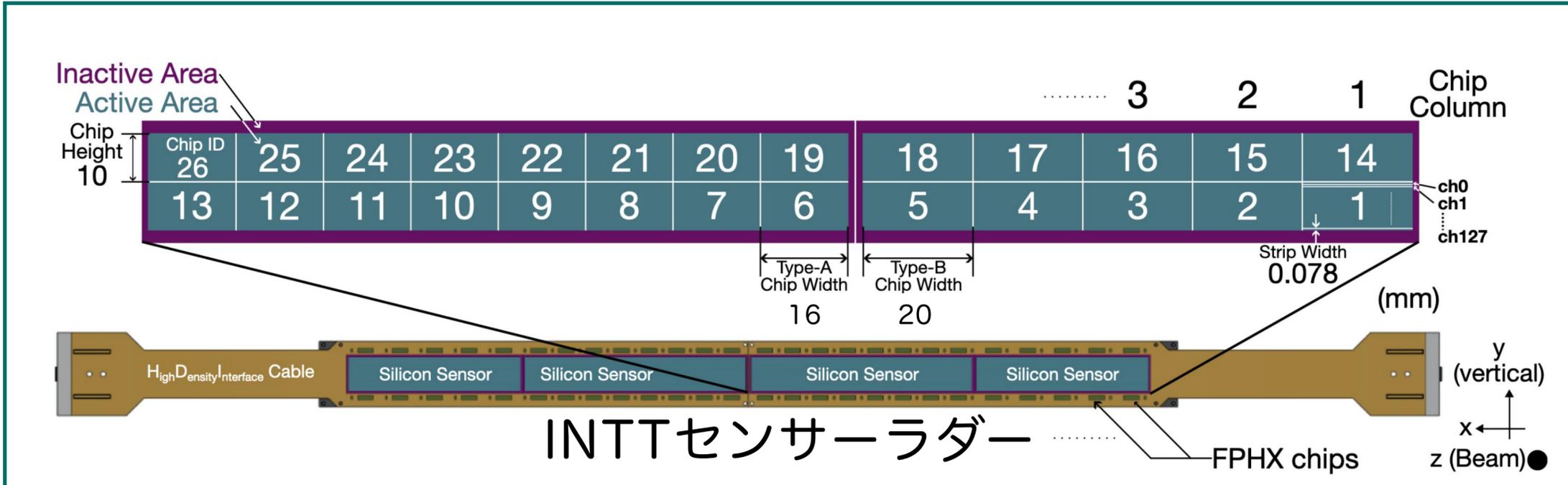
- sPHENIX実験の3つの飛跡検出器の1つ。
- ビーム軸からR ~ 7.5cm, 10cmに位置する。
- 56本のセンサーラダーで2層の樽状をなしており、全方位角、擬ラピディティ $|\eta| < 1.1$ を覆う。
- 1ビームバンチ交差時間以下の高い時間分解能を持つ。
- 計37万のシリコンストリップで構成。
- 1ストリップサイズ：78 × 320 × 16000 (または20000) μm^3



中間飛跡検出器INTT



- sPHENIX実験の3つの飛跡検出器の1つ。
 - INTTは1ビームバンチ交差時間以下の高い時間分解能を持つ。
- ビーム軸から $R \sim 7.5\text{cm}$, 10cm に位置する。
- 56本のセンサーラダーで2層の樽状をなしており、全方位角、擬ラピディティ $|\eta| < 1.1$ を覆う。
- 1ストリップサイズ： $78 \times 320 \times 16000$ (または20000) μm^3



INTT has 56 sensor ladders.
 One sensor ladder has two silicon sensor modules.
 One silicon sensor module has 26 silicon sensors (Type-A \times 16, Type-B \times 10).
 One silicon sensor has 128 strips of $78 \mu\text{m} \times 16 \text{ mm}$ (Type-A) or 20 mm (Type-B) $\times 320 \mu\text{m}$.

- Some tracks pass through ladders multiple times.
- How many tracks pass through multiple times?
- <Ratio>

$$\frac{N_{\text{track ID (multi. times)}}}{N_{\text{all track ID}}}$$

$N_{\text{trackID (multi. times)}}$: The number of track ID of truth tracks pass through ladder multiple times.

$N_{\text{all trackID}}$: The number of track ID.

- Clusters have same ID are counted separately so far.

Single Particle

	B-off (inner cluster)	B-off (outer cluster)	B-on (inner cluster)	B-on (outer cluster)
Ratio[%]	0.14	0.13		

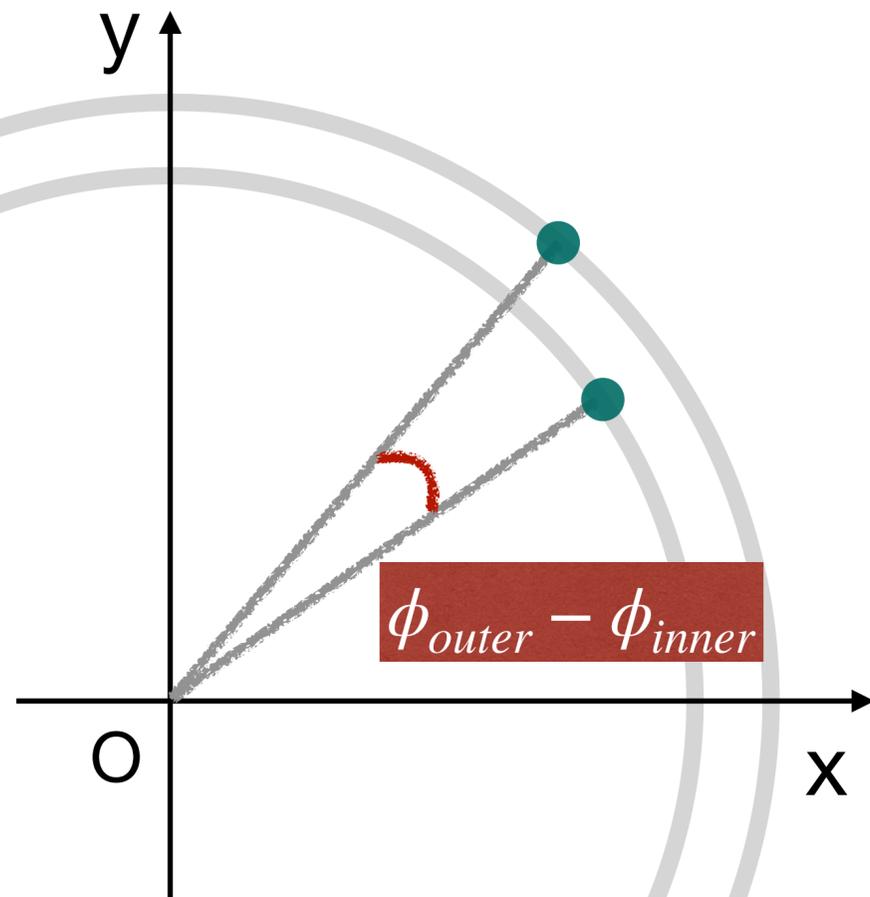
	B-off (inner cluster)	B-off (outer cluster)	B-on (inner cluster)	B-on (outer cluster)
Ratio[%]	0.32	0.21		

Plot1, 2 : $\phi_{\text{outer}} - \phi_{\text{inner}}$

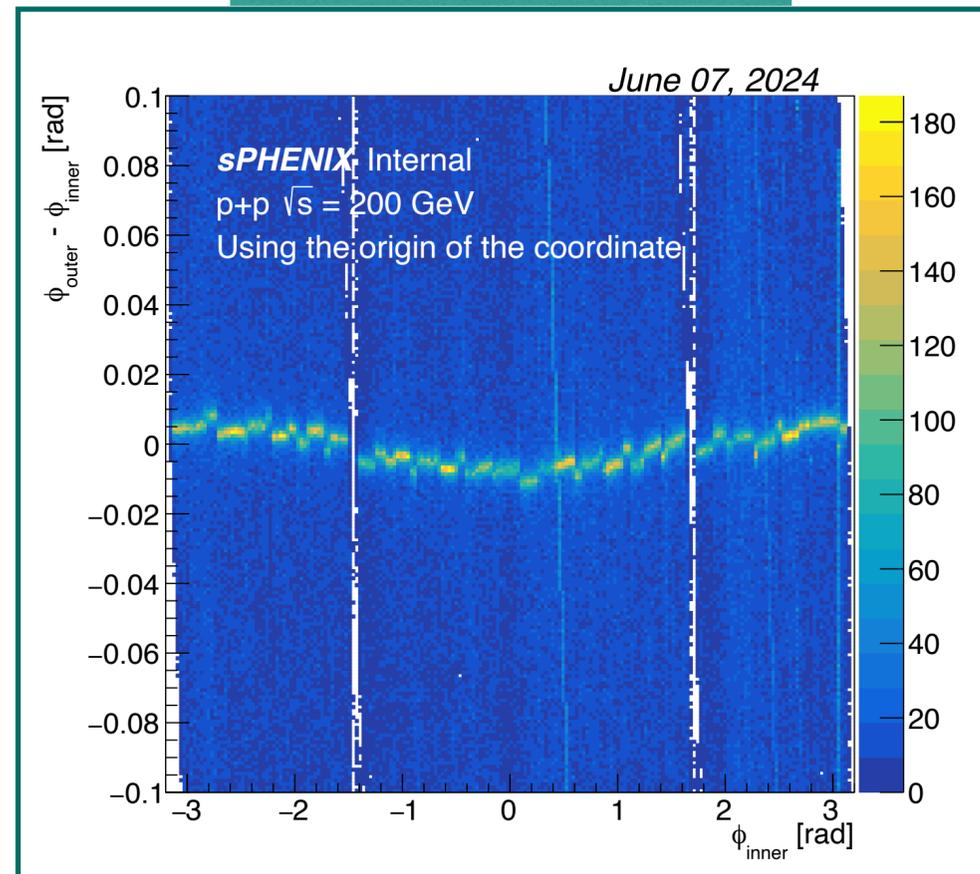
Used data : 40741 without B-field

49

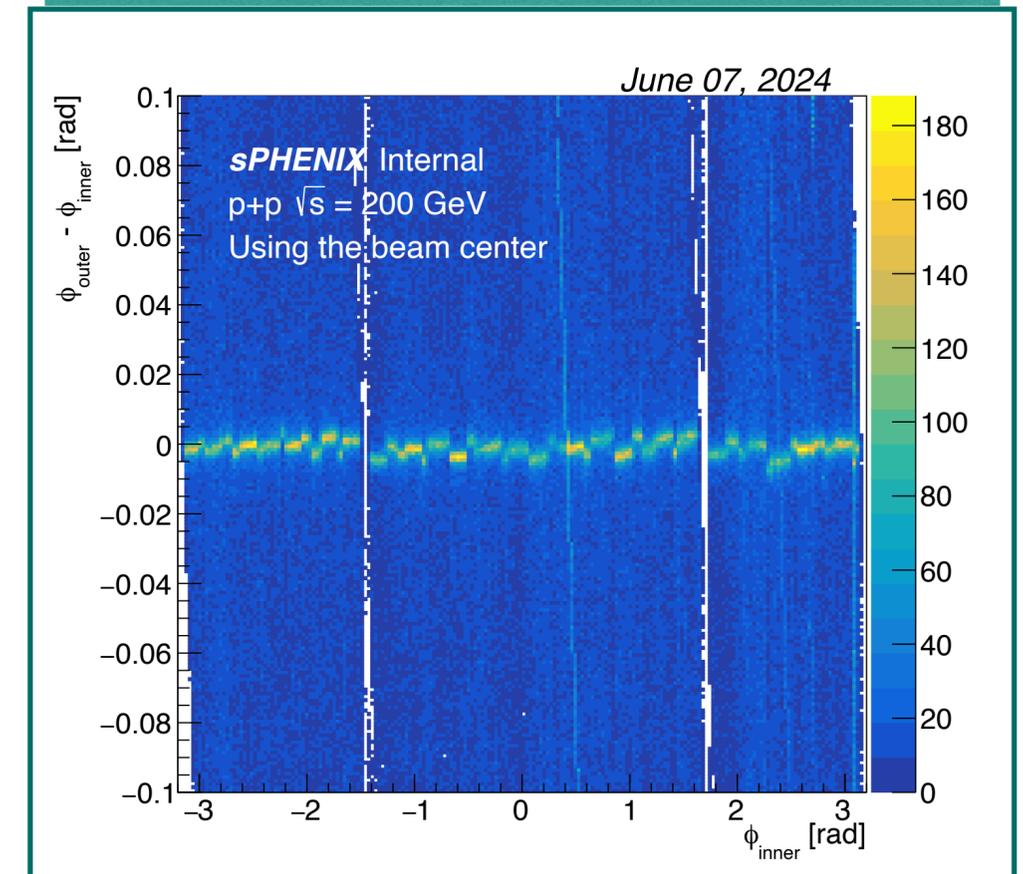
- Left(Right) plot shows angular differences btw the inner and the outer layer clusters from the origin of the coordinate (the beam center) in the x-y plane.



from (0, 0)cm



from (-0.019, 0.198)cm



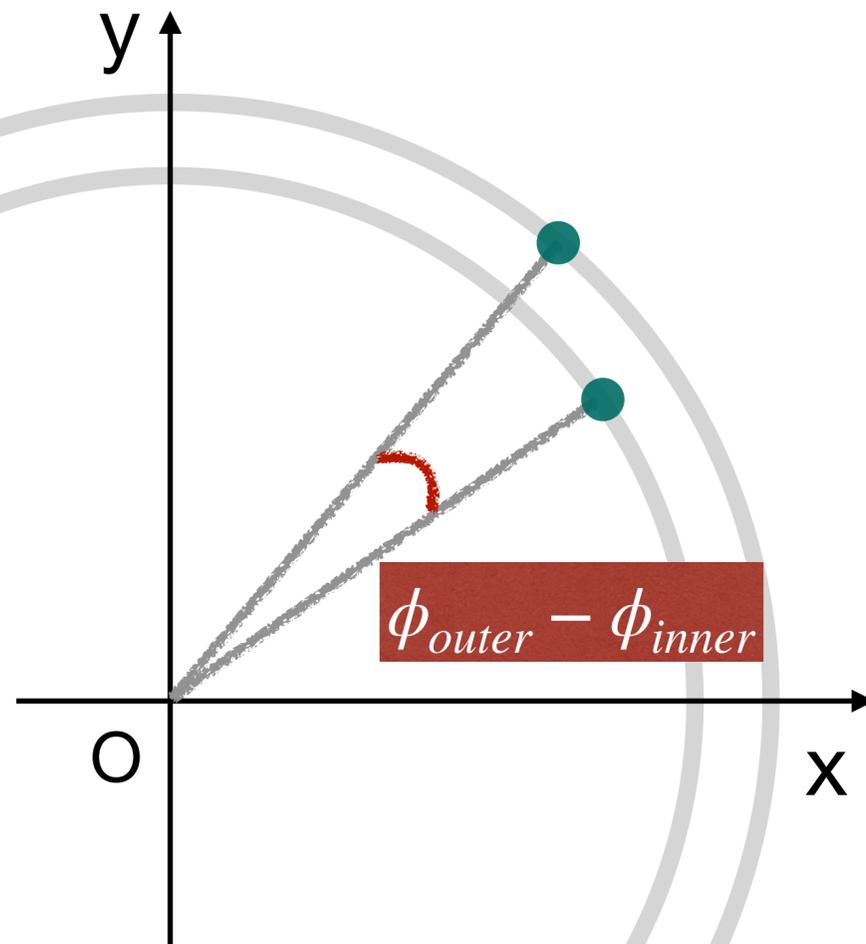
- These distribution have good correlations.
- Using the beam center, the shape becomes straight.

Plot3, 4 : $\phi_{\text{outer}} - \phi_{\text{inner}}$

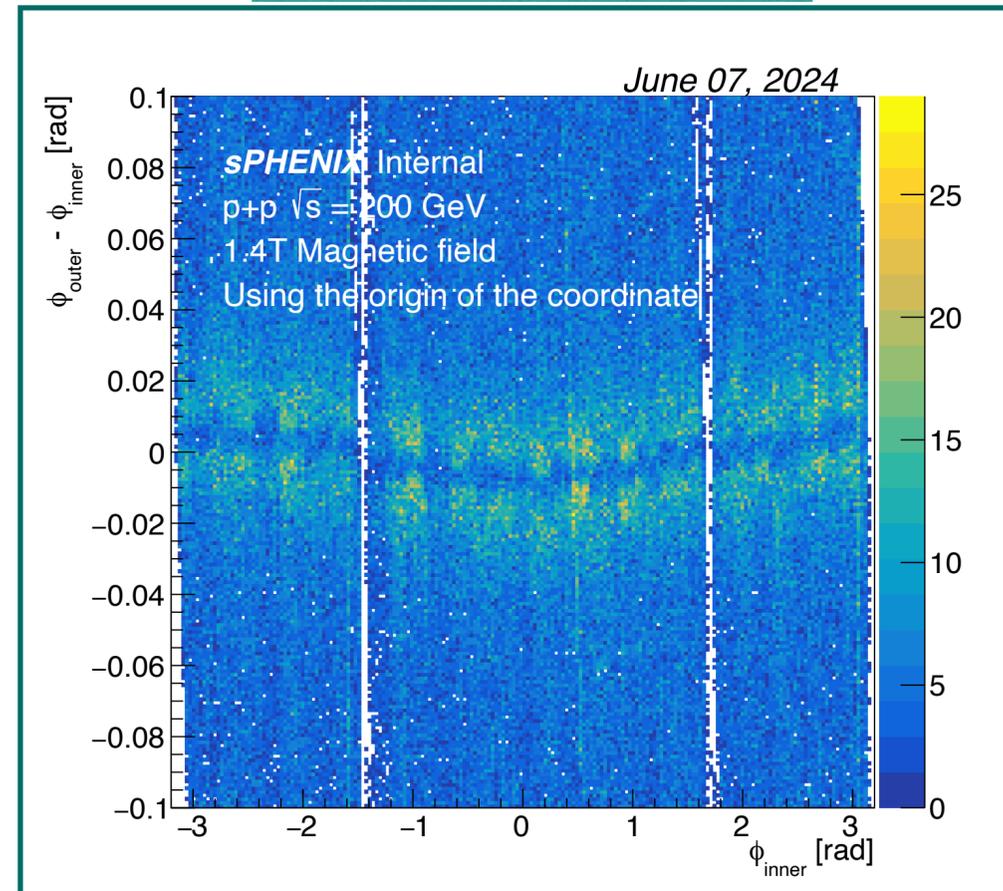
Used data : 41981 with B-field

50

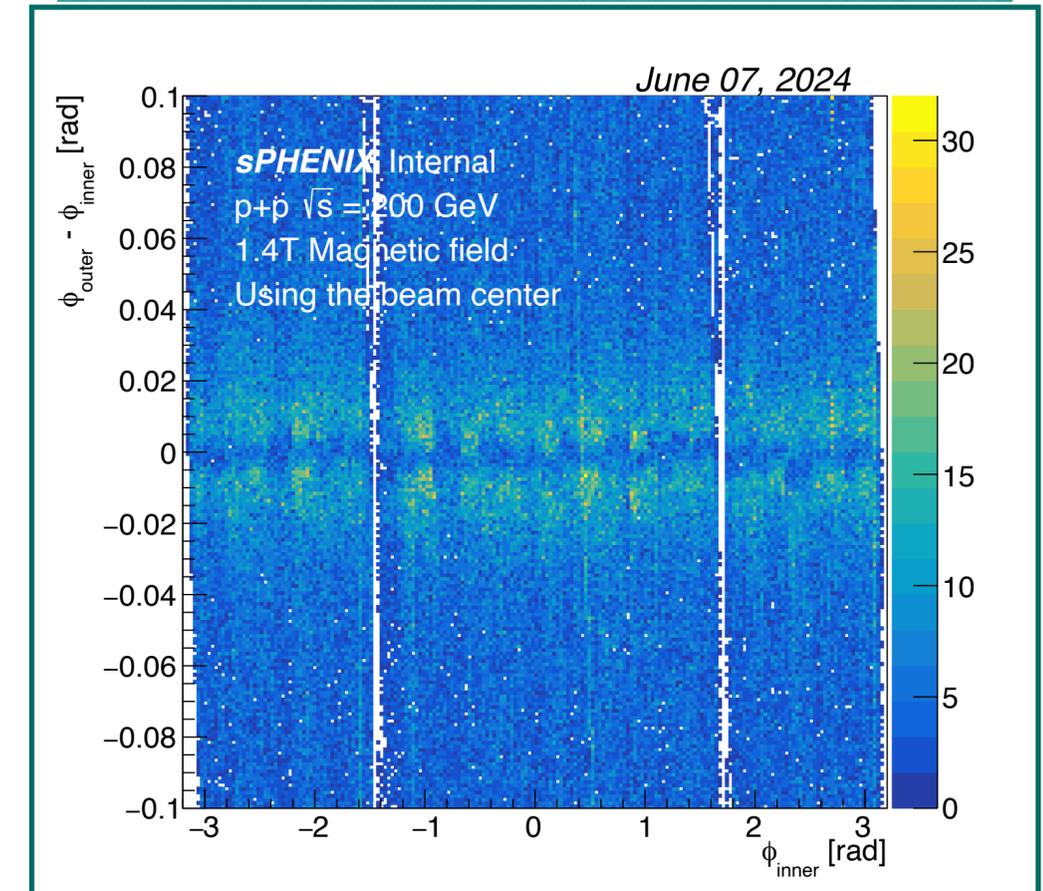
- Left(Right) plot shows angular differences btw the inner and the outer layer clusters from the origin of the coordinate (the beam center) in the x-y plane.



from (0, 0)cm

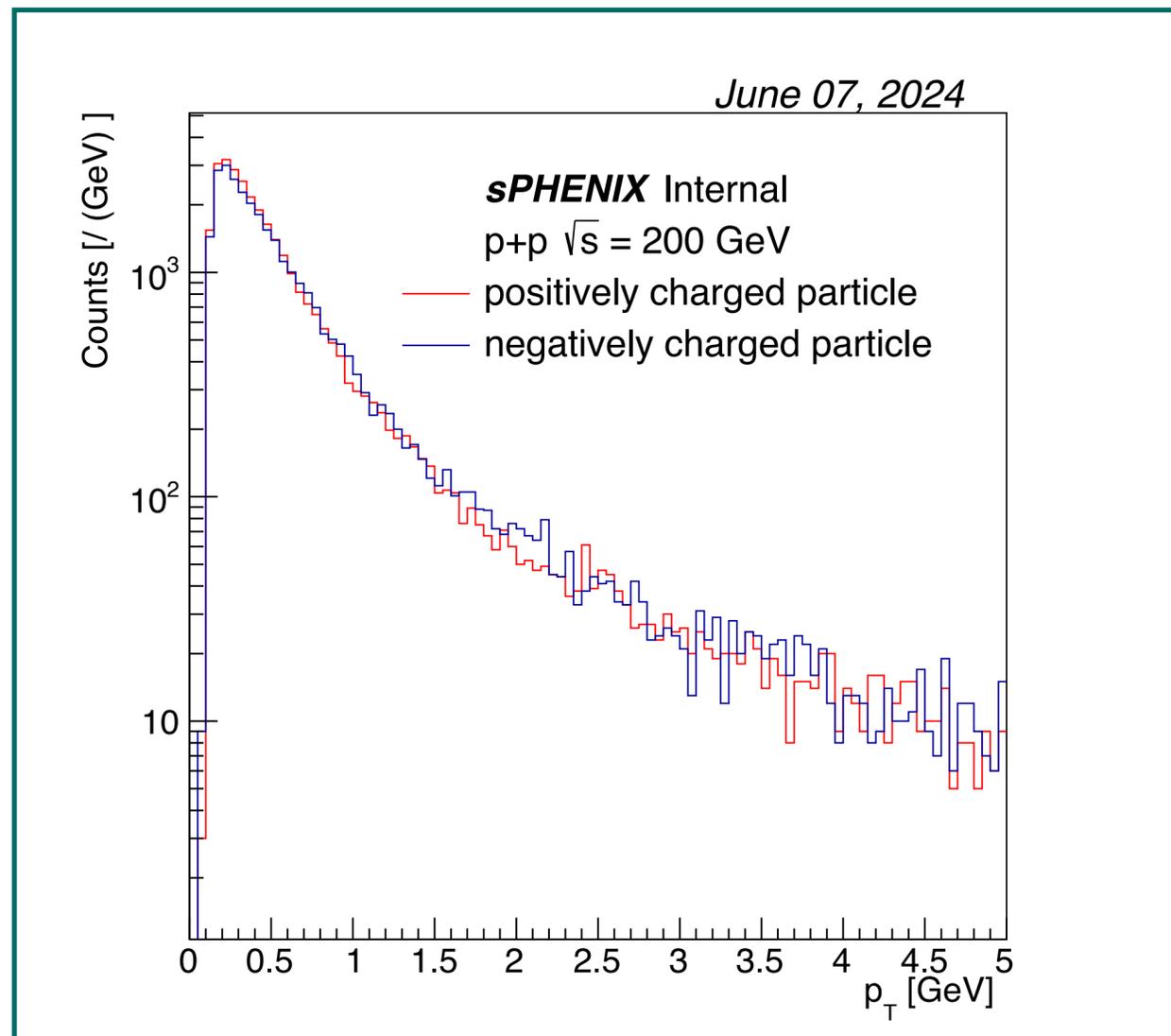


from (-0.019, 0.198)cm



- These distribution have good correlations.
- Using the beam center, the shape becomes straight.

Used data : 41981 with B-field



- pT is obtained with data with magnetic field.

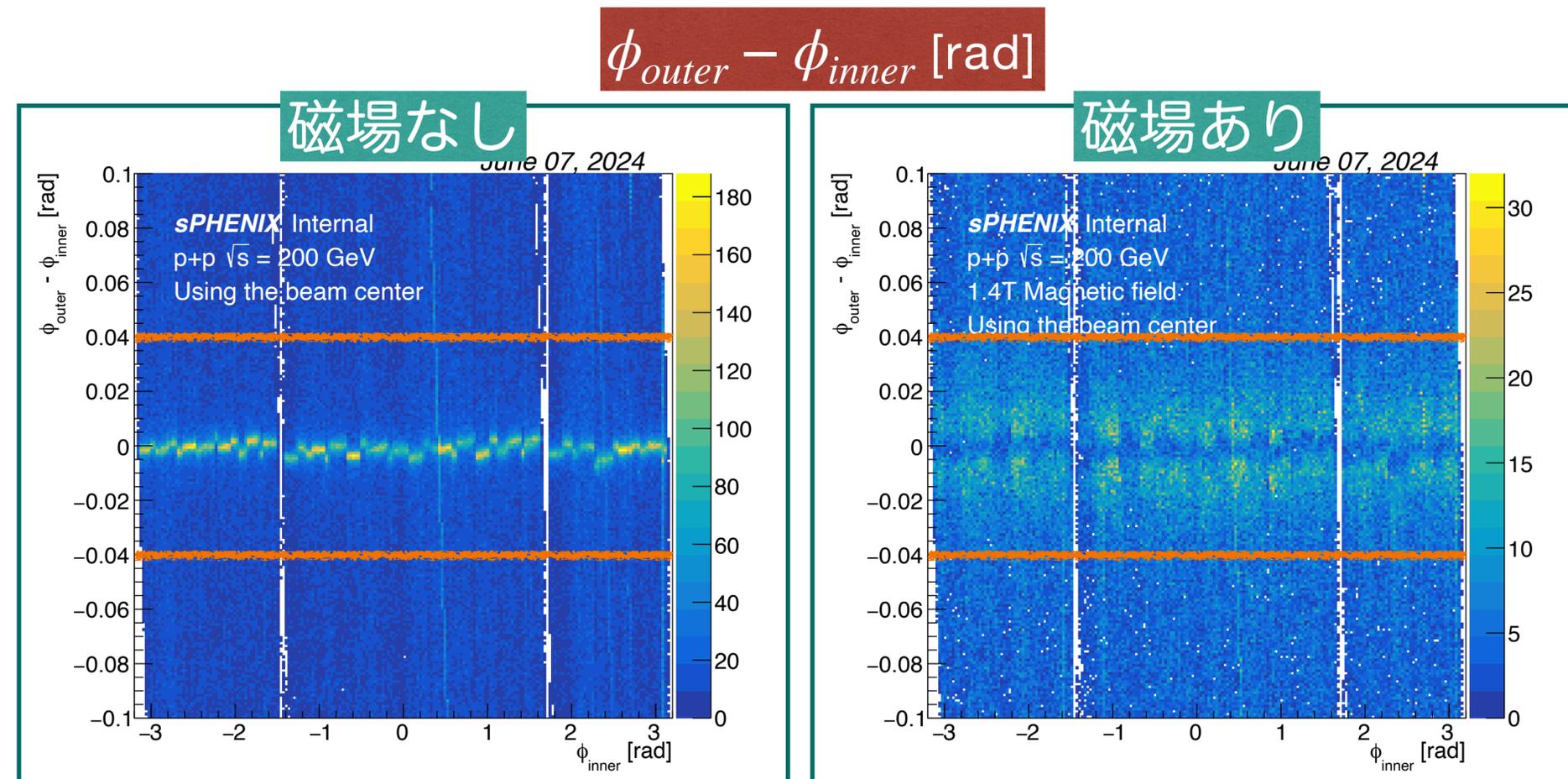
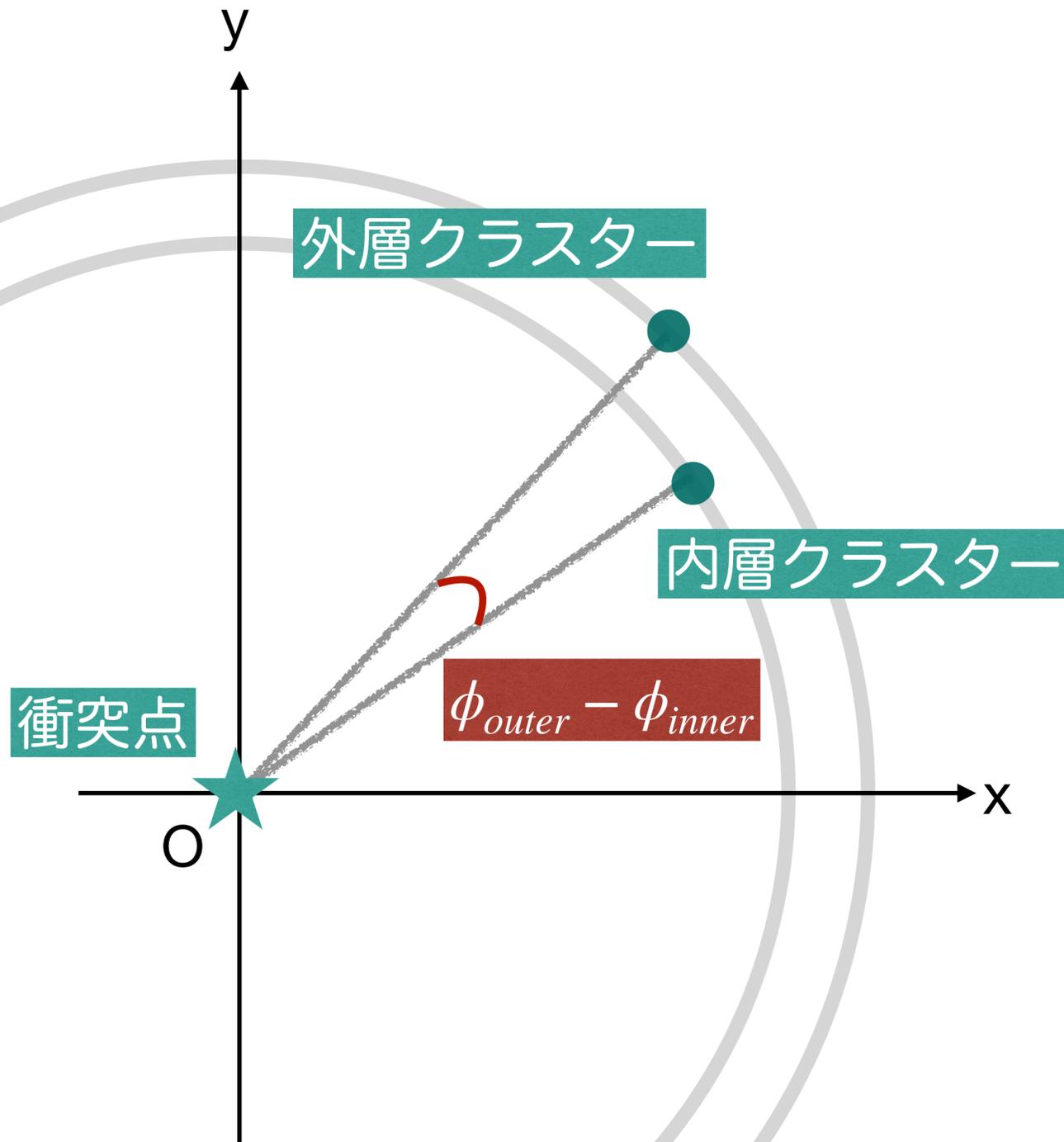
Red : positively charged particles
Blue : negatively charged particles

- We could confirm that the number difference of positively and negatively charged particles are at the level of 1.9%.
- It has to be well studied...

飛跡再構成アルゴリズム

1. クラスタペアを選ぶ。

- 内層クラスター、外層クラスターをそれぞれ1点選ぶ。
- このとき、クラスターペアの角度差 $|\phi_{outer} - \phi_{inner}| < 0.04$ とする。



研究方法：結果の検証方法

多重散乱において散乱角が小さい場合、その散乱角の角度分布は0を中心としたガウス分布で与えられる。
その標準偏差は次式。

$$\theta = \frac{13.6\text{MeV}}{\beta c p} z \sqrt{\frac{x}{X_0}} \left[1 + 0.088 \log_{10} \left(\frac{x z^2}{X_0 \beta^2} \right) \right]$$

βc : 入射粒子の速度[m/s] p : 入射粒子の運動量[MeV]

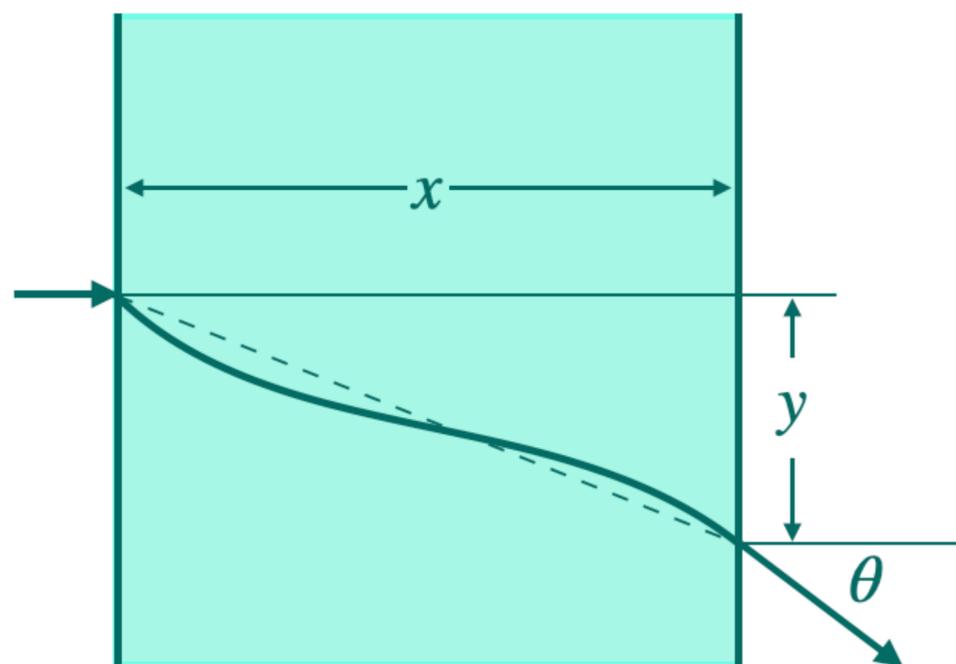
z : 入射粒子の電荷[C] x : 対象の厚み[m]

X_0 : 対象の放射長[m]

また入射ビーム軸からのずれ y は、

$$y = x \tan \theta \approx x \theta$$

と近似できる。



→入射ビーム軸からのずれ y はhit分布の広がり（標準偏差）に対応している

編集用

