

シミュレーションによる EIC ZDC の性能評価

EIC 日本グループ会合
2024/09/05

信州大学 高エネルギー研究室
大谷 麟太郎

目次

1. シミュレーションについて
2. 使用した ZDC のジオメトリ
3. 入射粒子のエネルギー再構成方法
4. 入射粒子のヒット位置再構成方法
5. photon の結果
 - 5.1. エネルギー再構成、5.2. エネルギー分解能、5.3. 位置再構成と分解能
6. neutron の結果
 - 6.1. エネルギー再構成、6.2. エネルギー分解能、6.3. 位置再構成と分解能
7. π^0 の不変質量再構成の方法
8. π^0 の不変質量再構成の結果

1. シミュレーションについて

- photon、neutron、 π^0 で共通な点

衝突点から ZDC 中心に向けて 1 つの粒子を打ち込むイベントを 10000 イベント、エネルギー毎に行った。

- 各粒子のエネルギー範囲

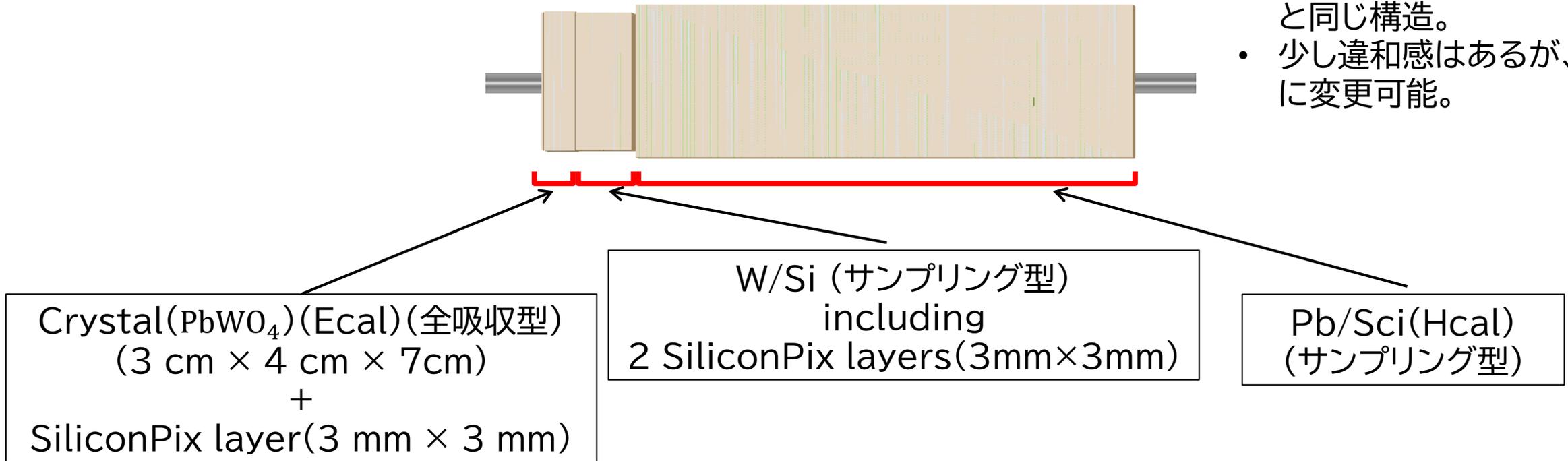
photon : 100~50000 MeV (0.1~50 GeV)

neutron、 π^0 : 100~100000 MeV (0.1~100 GeV)

2. 使用した ZDC のジオメトリ

➤ シミュレーションで使用しているジオメトリ

- シミュレーションのファイルを書き変えたものを使用。
- 2023/12 のバージョンと同じ構造。
- 少し違和感はあるが、容易に変更可能。



3. 入射粒子のエネルギー再構成方法

➤ ZDC の各層で落ちたエネルギーを足し上げて再構成している。

➤ エネルギー再構成の式

$$E_{reco} = E_{Ecal} + aE_{Wsi} + bE_{Hcal}$$

➤ 係数 a, b の求め方

python の statsmodels.api というモジュールを使用して、重回帰分析で算出した。

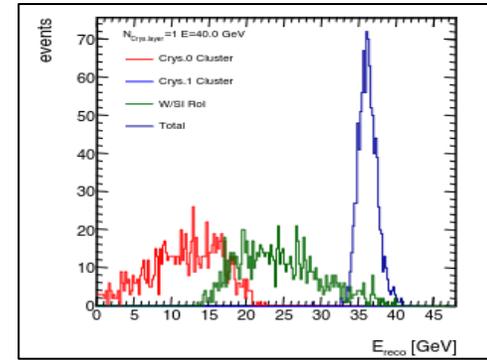
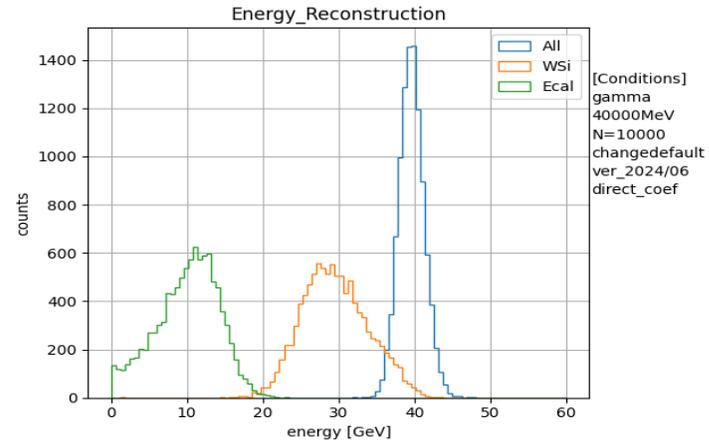
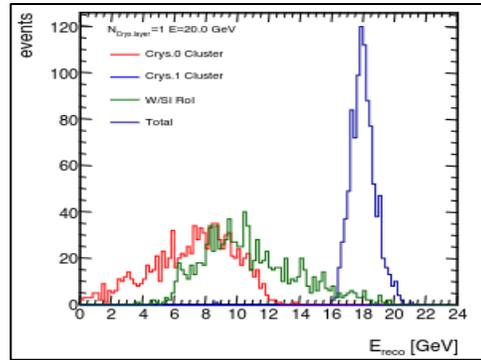
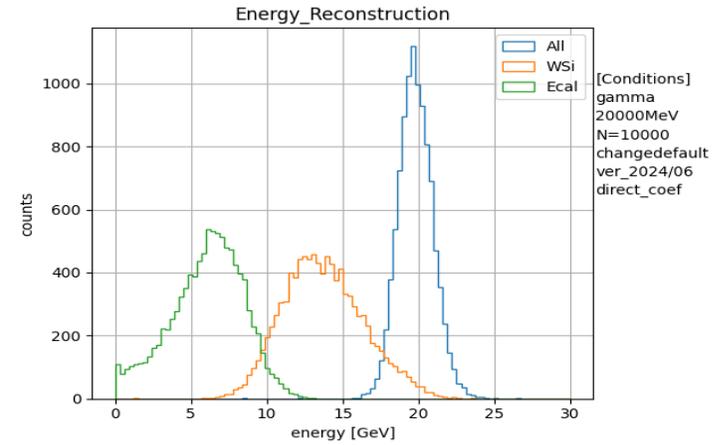
photon は $a \approx 176.8$ 、 $b \approx 23.5$

neutron は $a \approx 159.8$ 、 $b \approx 22.5$

4. 入射粒子のヒット位置再構成方法

- ZDC の特定のカロリメータで見られるヒット情報からエネルギー重心を取り、入射粒子のヒット位置を再構成する。(今回は x 軸方向の結果のみ記載)
- 今回 photon は Ecal、neutron は WSi を使用して得た結果を記載。
 - neutron については、今後 Ecal、Hcal も使った方法に変更予定

5.1. photon エネルギー再構成

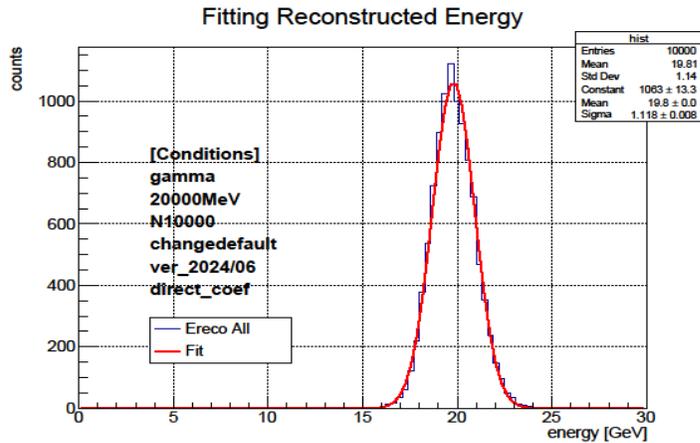


20 GeV エネルギー再構成

20 GeV
清水さんの資料
(2021年)

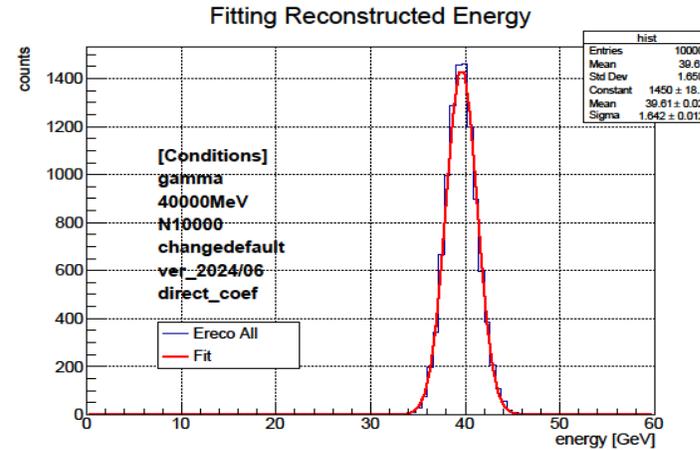
40 GeV エネルギー再構成

40 GeV
清水さんの資料
(2021年)



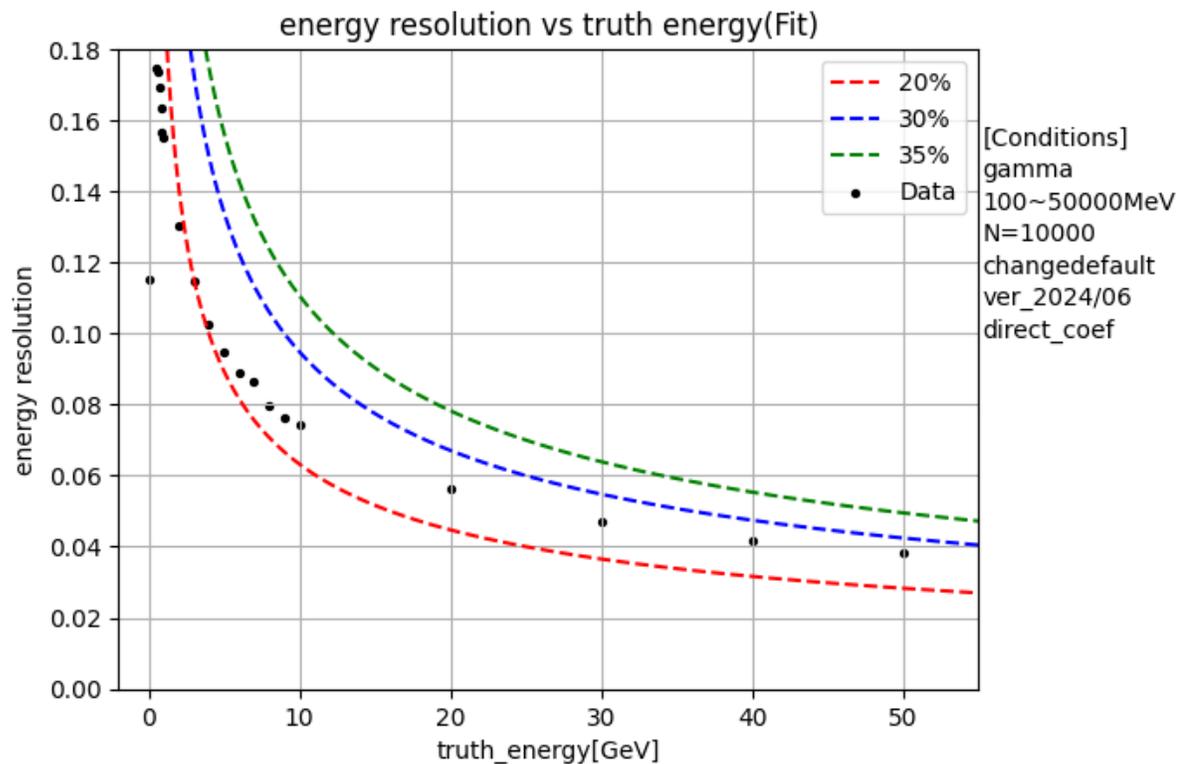
20 GeV フィット

※1 清水さんとは、使用している ZDC のジオメトリが違う。
 ※2 自分の結果はエネルギーのスミアリングをしていない。

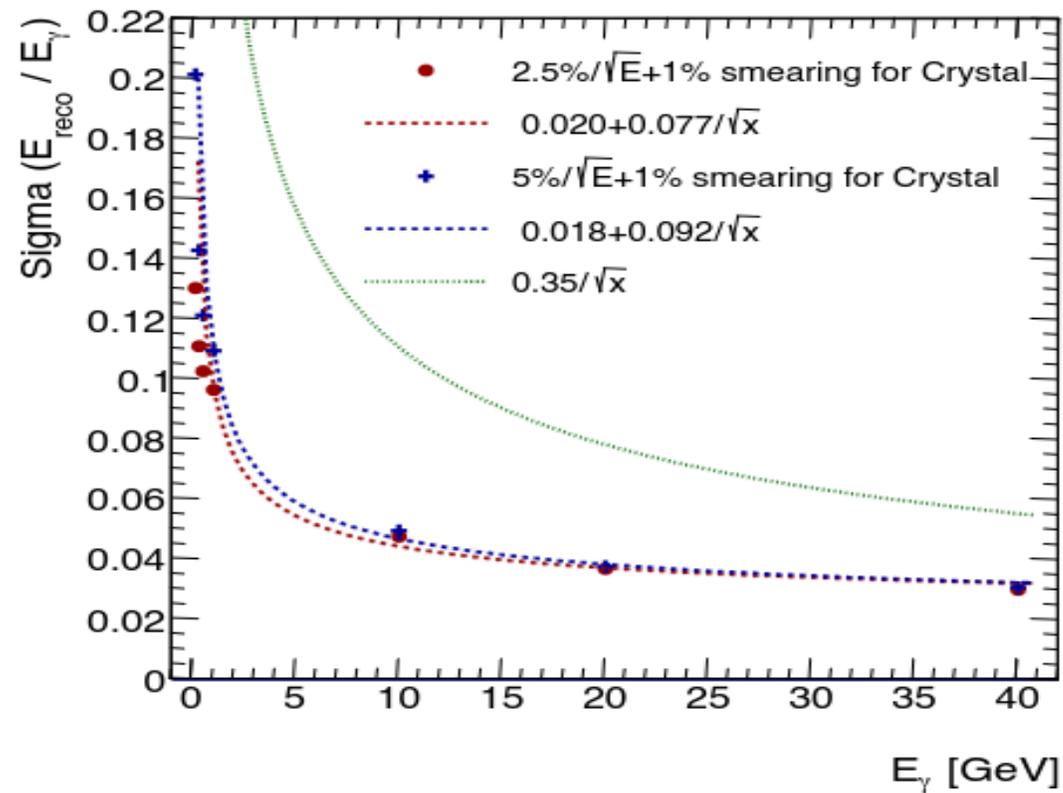


40 GeV フィット

5.2. photon エネルギー一解能

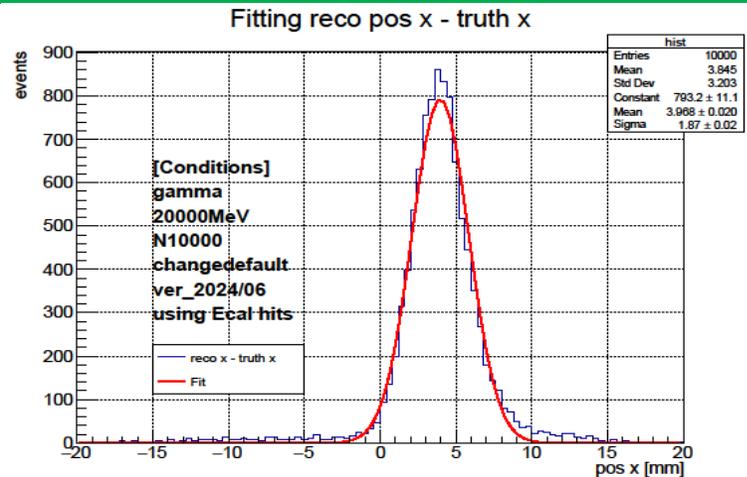


各エネルギー毎の分解能

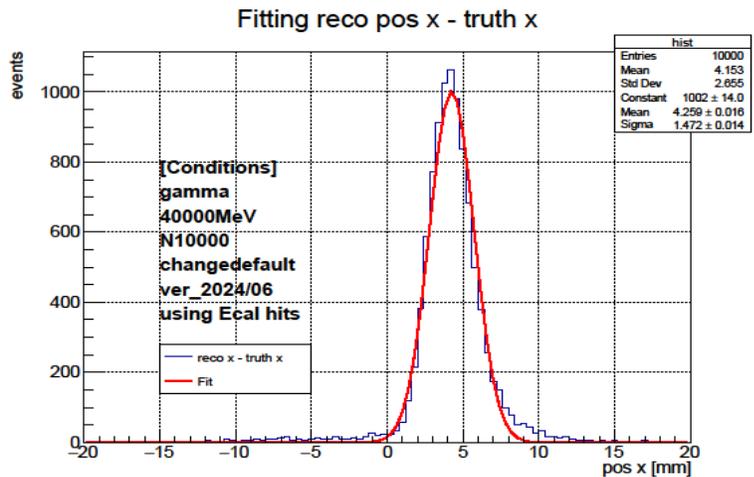


清水さんの資料(2021年)

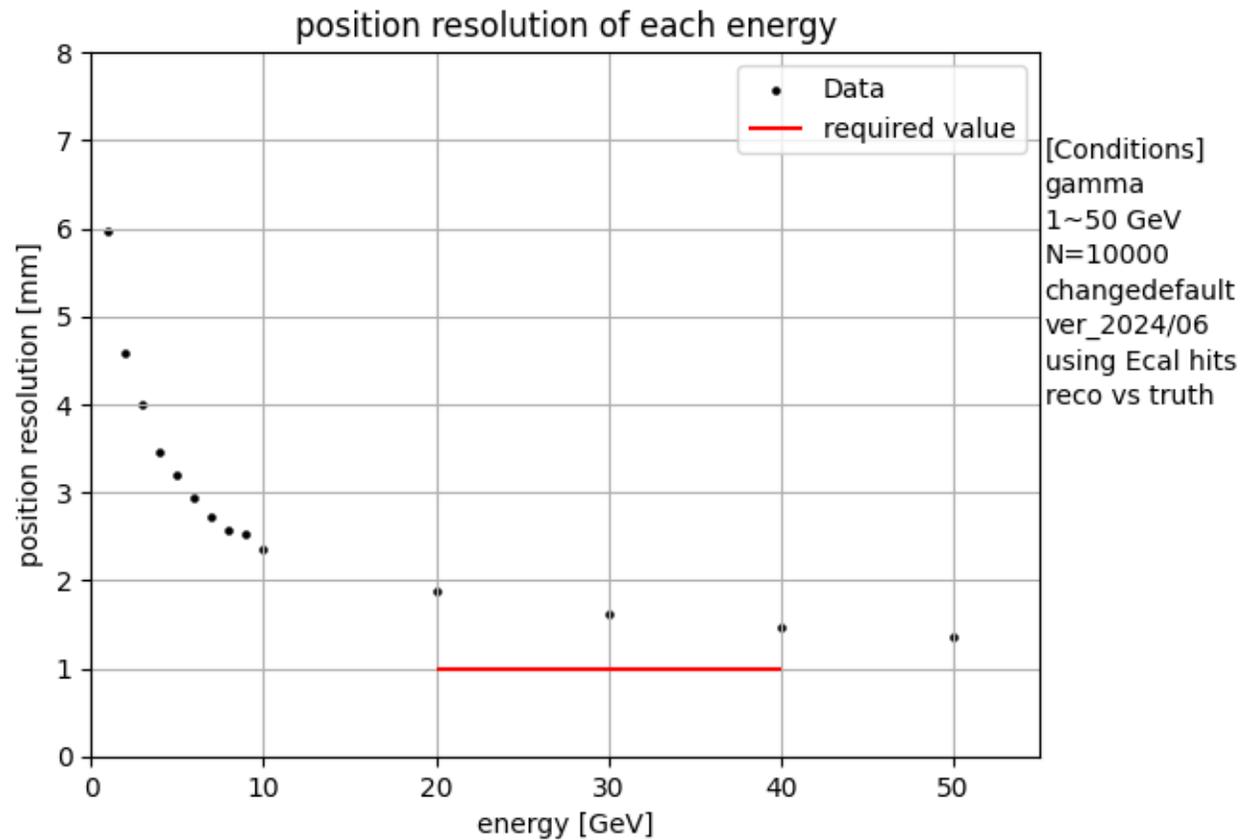
5.3. photon 位置再構成と分解能



20 GeV 位置再構成とフィット

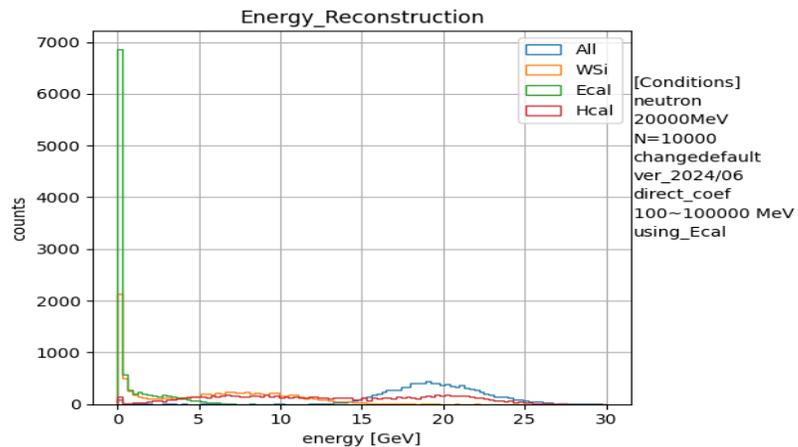


40 GeV 位置再構成とフィット

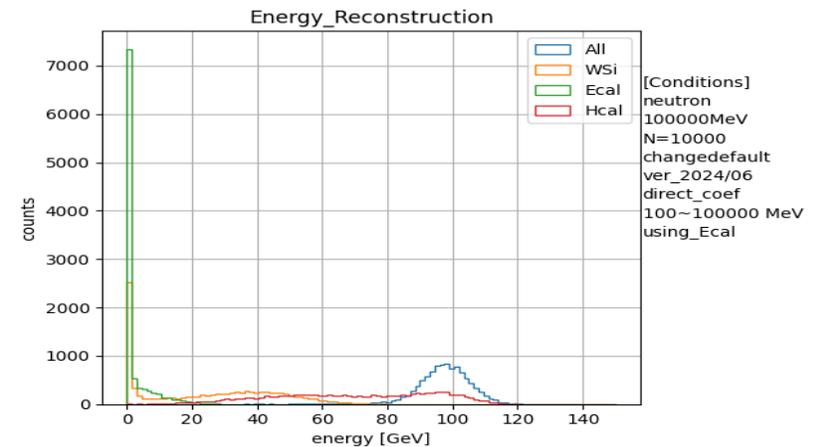


各エネルギー毎の位置分解能(1~50 GeV)

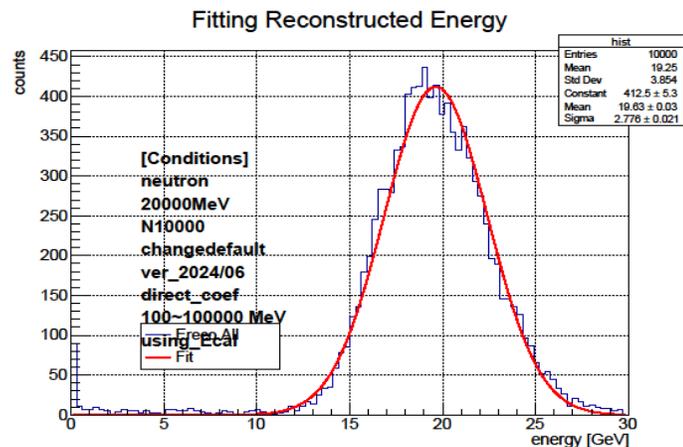
6.1. neutron エネルギー再構成



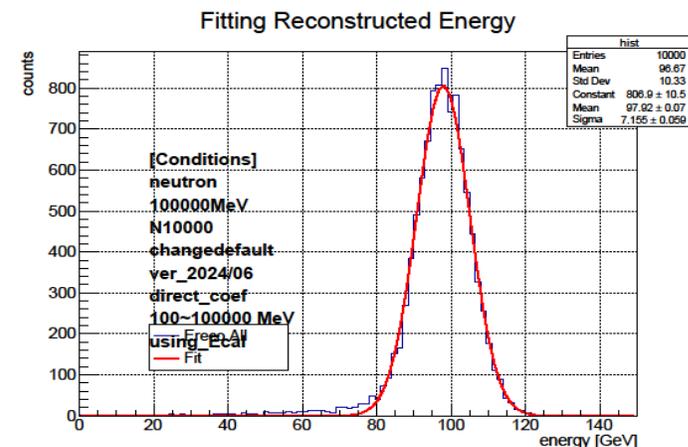
20 GeV エネルギー再構成



100 GeV エネルギー再構成

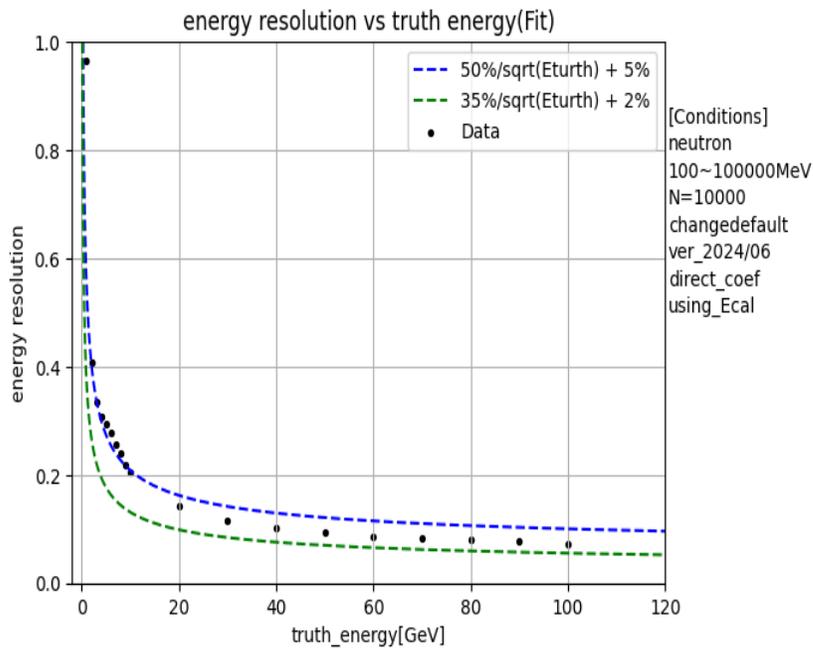


20 GeV フィット

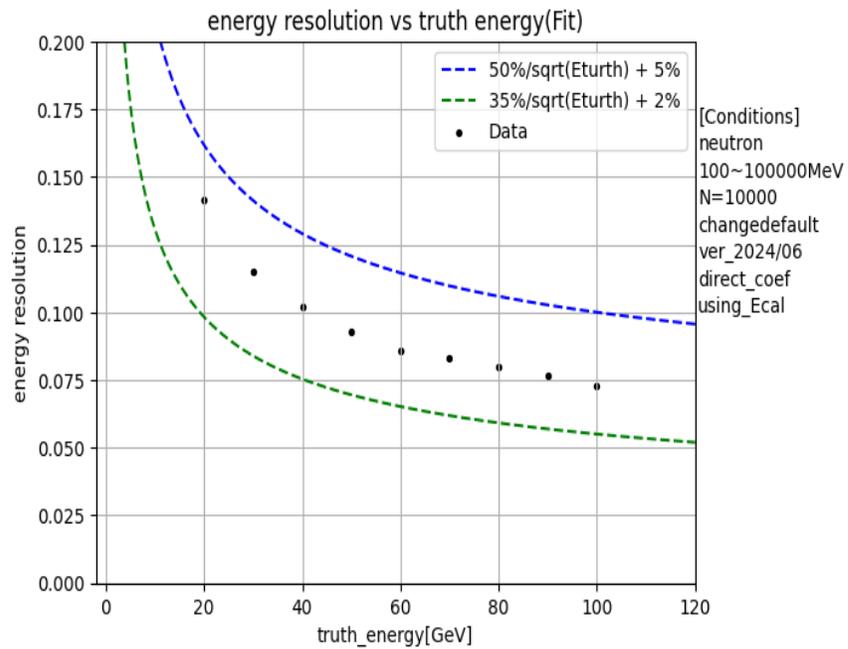


100 GeV フィット

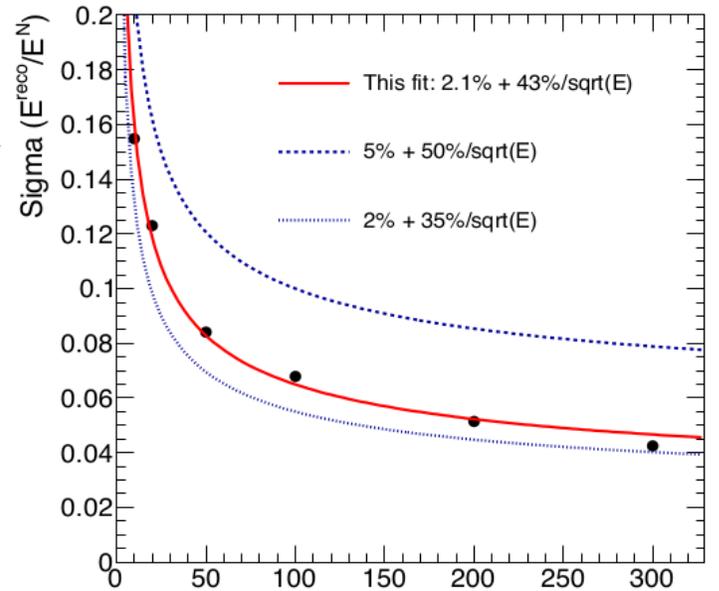
6.2. neutron エネルギー分解能



各エネルギー毎の分解能
(0.1~100 GeV)

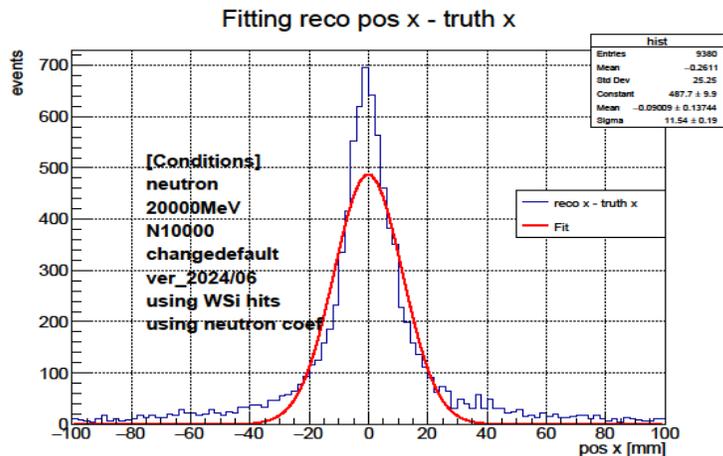


各エネルギー毎の分解能
(20~100 GeV)

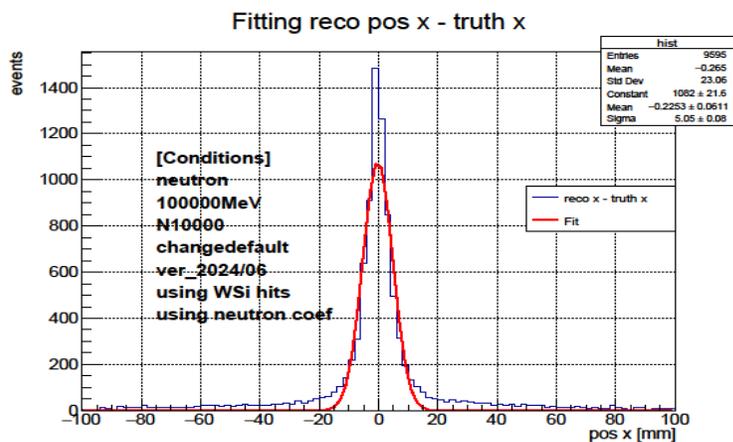


清水さんの資料
(2021年)

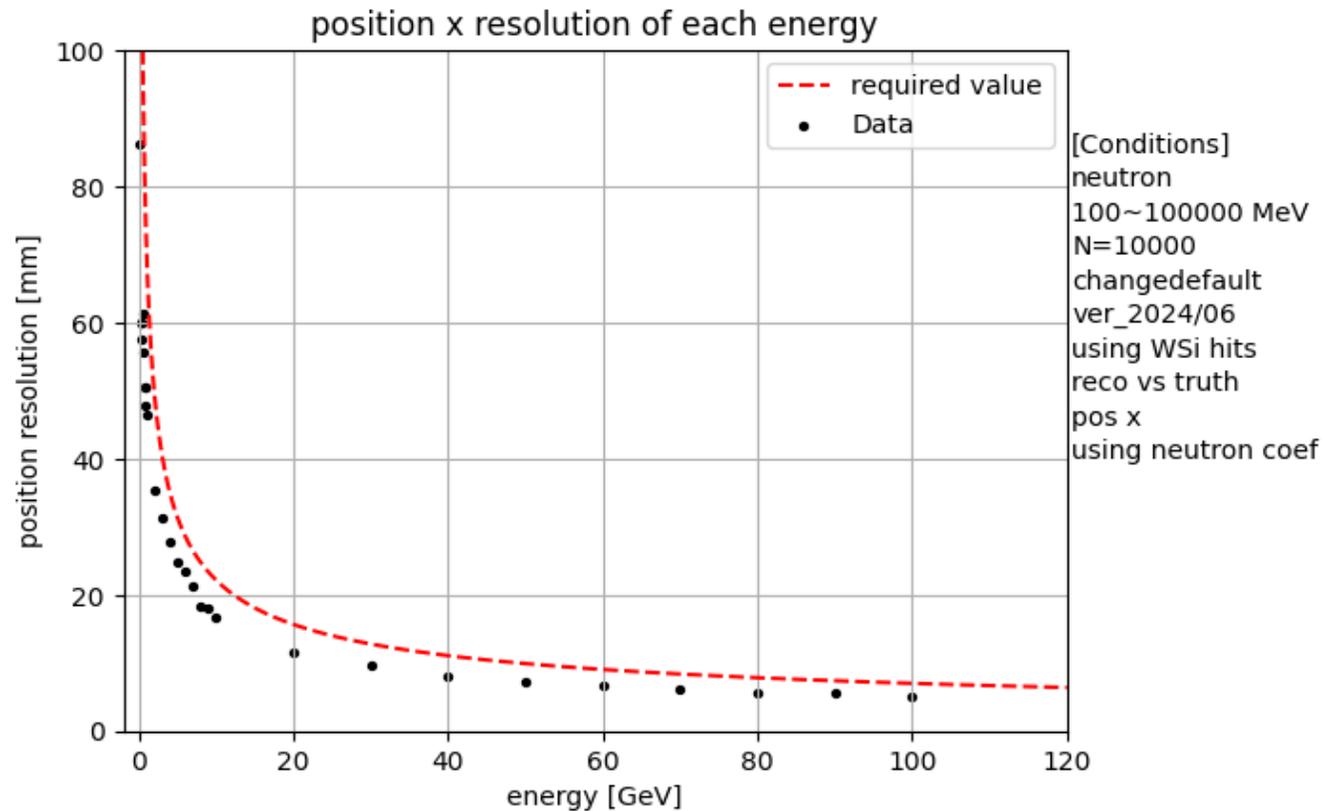
6.3. neutron 位置再構成と分解能



20 GeV 位置再構成とフィット

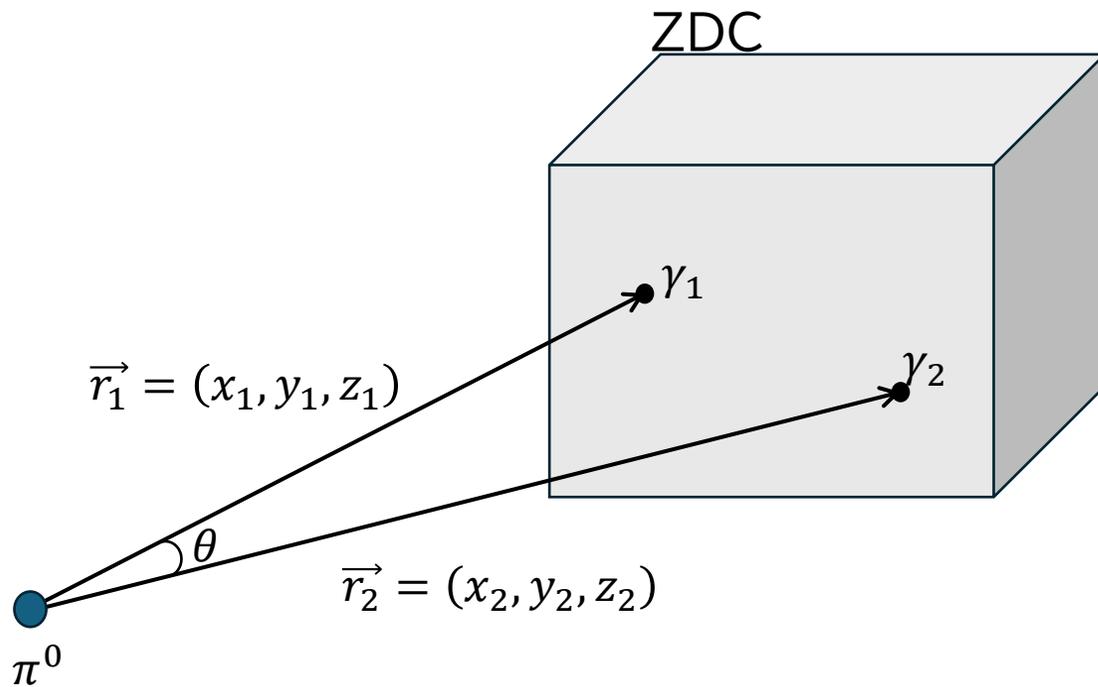


100 GeV 位置再構成とフィット



各エネルギー毎の位置分解能
(0.1~100 GeV)

7. π^0 の不変質量の再構成方法



※ π^0 入射方向は ZDC 中心に向けて固定

M_{π^0} : π^0 の不変質量 (理論値 135 [MeV/c²])

E_{γ_1} : γ_1 が持つエネルギー

E_{γ_2} : γ_2 が持つエネルギー

θ : 崩壊角度

$$M_{\pi^0} = \sqrt{2E_{\gamma_1}E_{\gamma_2}(1 - \cos \theta)}$$

\vec{r}_1 : γ_1 のヒット位置 ($r_1 = |\vec{r}_1|$)

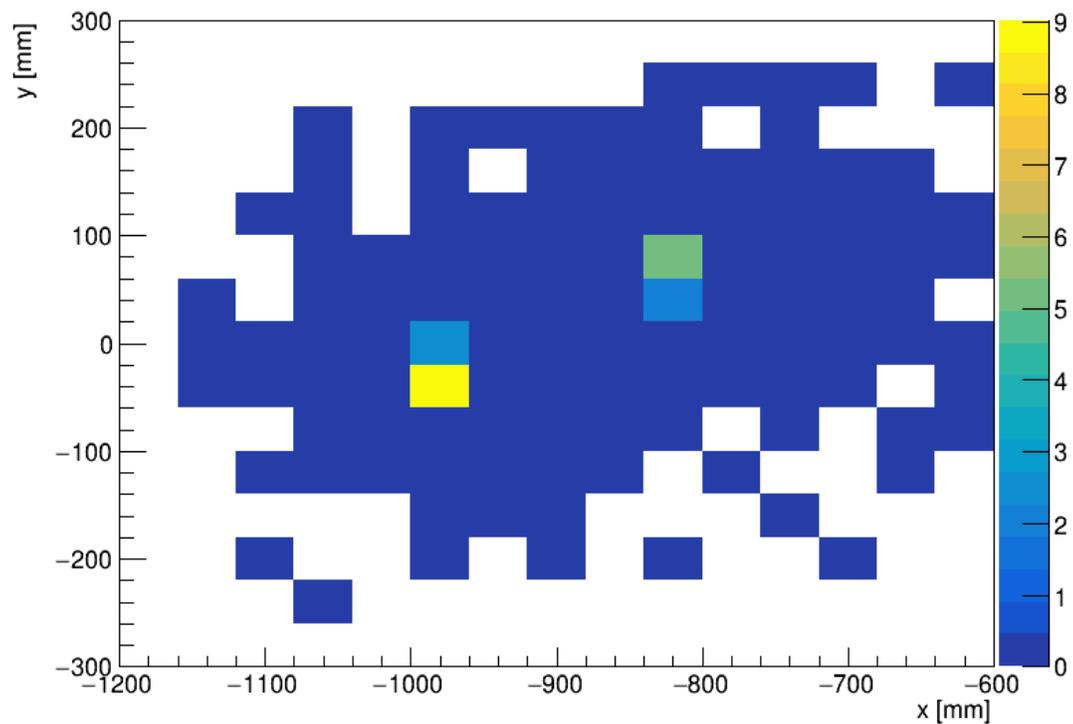
\vec{r}_2 : γ_2 のヒット位置 ($r_2 = |\vec{r}_2|$)

$$\cos \theta = \frac{\vec{r}_1 \cdot \vec{r}_2}{r_1 r_2}$$

7. π^0 の不変質量再構成方法

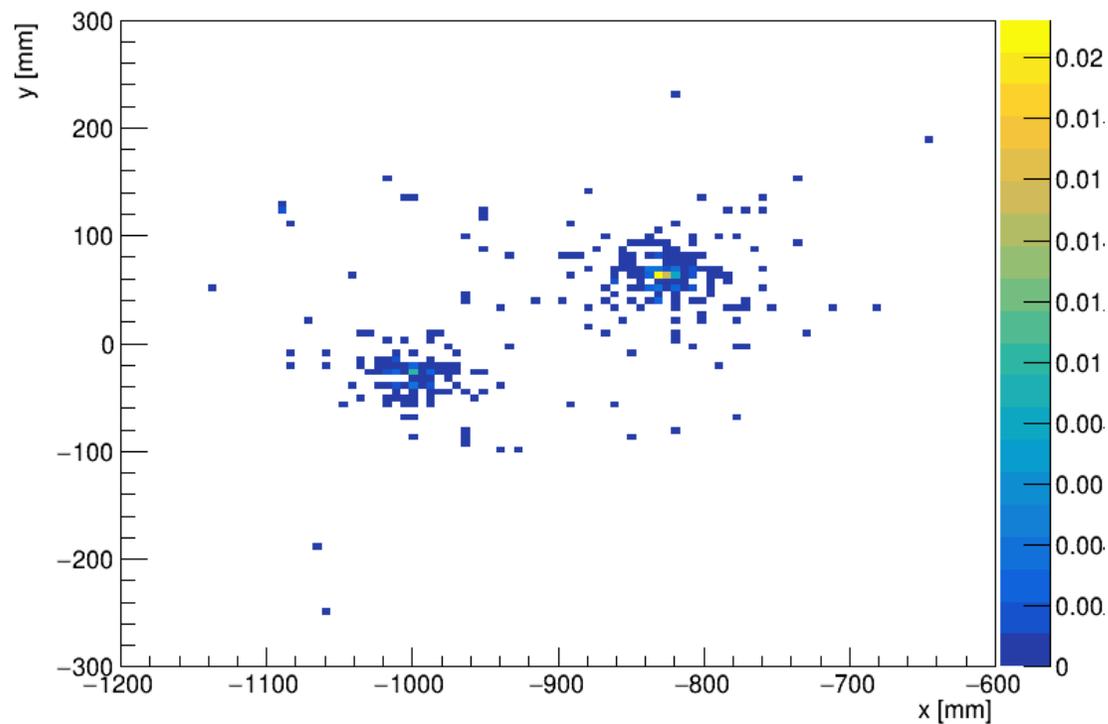
50 GeV の 1 イベントを Ecal(左)、WSi(右)で見ると

Ecal x vs y hit pos distribution



Ecal のヒット情報

WSi x vs y hit pos distribution



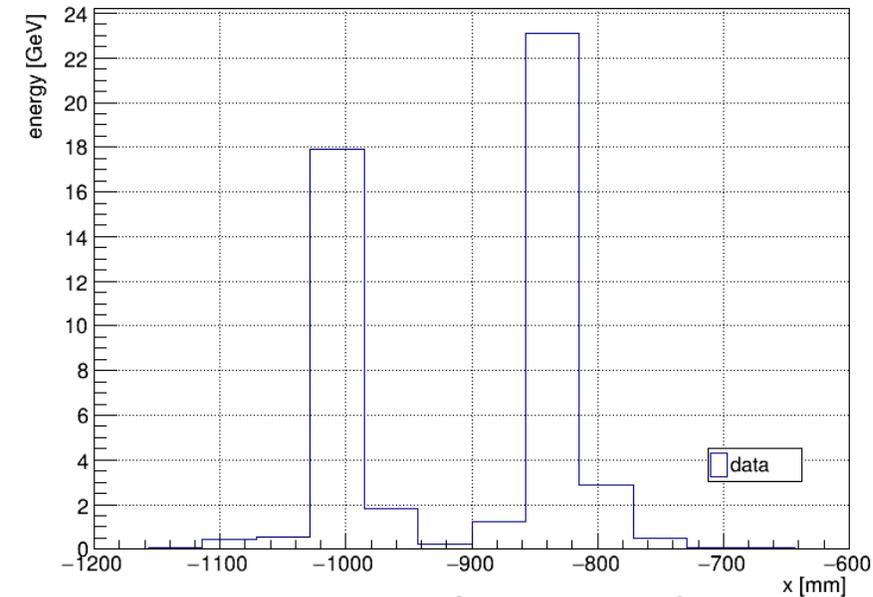
WSi のヒット情報

7. π^0 の不変質量再構成方法 (\vec{r}_1 、 \vec{r}_2 の算出法)

- 縦軸のエネルギーは Ecal と WSi で落ちたエネルギーを合計した値
- 横軸の bin 幅は Ecal に合わせている

前ページのヒストグラムの x 軸方向のみ

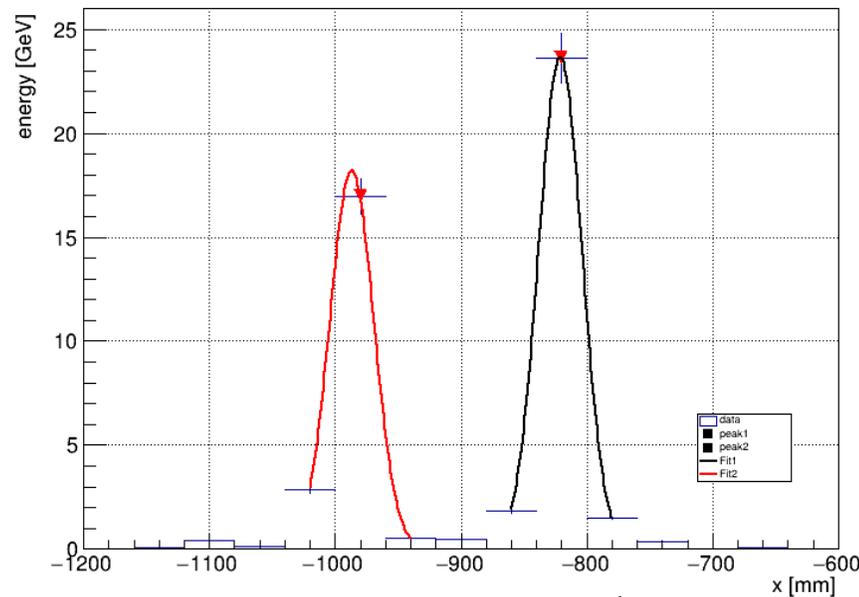
Ecal and WSi pos.x vs energy en=6234



50 GeV(1 イベント)



Ecal and WSi pos.x vs energy en=6234



フィッティング

▼ : peak finding で見つけたピーク

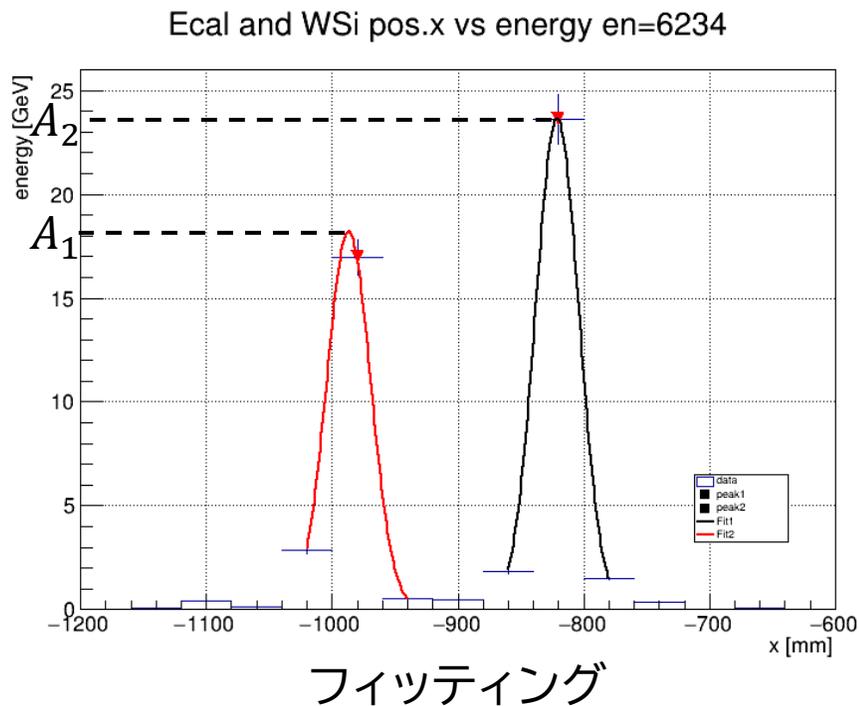
- ① 左図から2つのピークを見つける。
- ② それぞれのピーク周りでガウス関数でフィッティング
- ③ フィットした関数のそれぞれの mean 値を x_1 、 x_2 とする。
- ④ y 軸方向に対しても同様に行う。

$$\vec{r}_1 = (x_1, y_1, z_1)$$

$$\vec{r}_2 = (x_2, y_2, z_2)$$

※ z_1 、 z_2 については一定値
35790 mm (衝突点から
ZDC 前面までの距離)を使用

7. π^0 の不変質量再構成方法(E_{γ_1} 、 E_{γ_2} の算出法)



▼ : peak finding で見つけたピーク

- ① 先ほどのフィッティングから Amplitude(振幅)を得て、それぞれ A_1 、 A_2 とする。(A_1 、 A_2 は x 軸方向の値を使用)
- ② A_1 、 A_2 の比は、2つの光子が持つエネルギーの比と等しいと考える。すなわち、

$$A_1 : A_2 = E_{\gamma_1} : E_{\gamma_2}$$

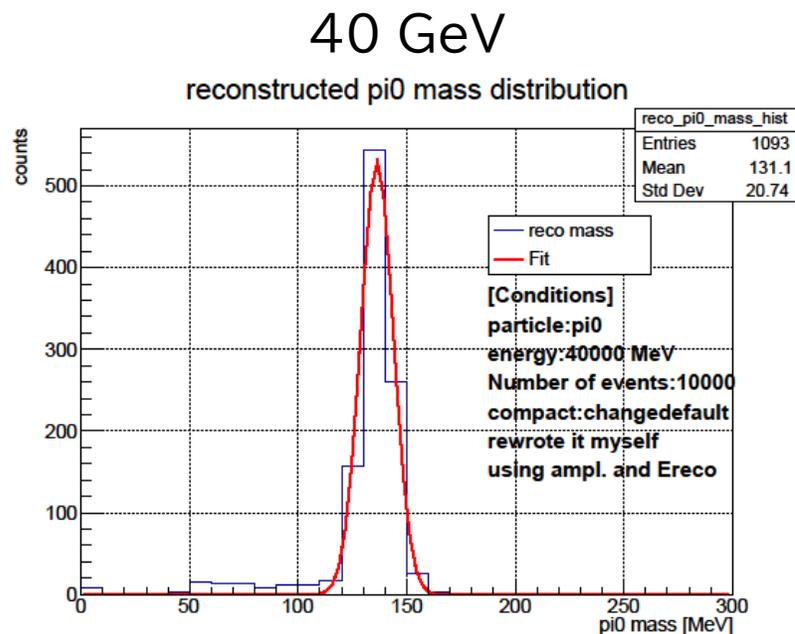
- ③ 全体のエネルギーを 1 光子の時と同様の方法で各イベント毎に再構成して、 E_{total} とする(サンプリングカロリメータ WSi で落ちるエネルギーにかける係数は 1 光子の時のものを使用)。
- ④ 上記で得た値から、

$$E_{\gamma_1} = \frac{A_1}{A_1 + A_2} E_{total}$$

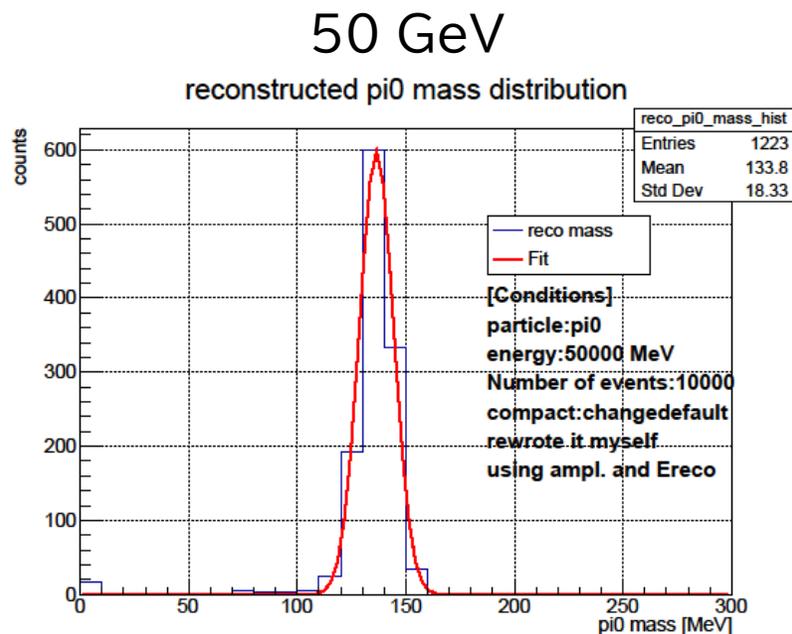
$$E_{\gamma_2} = \frac{A_2}{A_1 + A_2} E_{total}$$

として、各イベント毎に E_{γ_1} 、 E_{γ_2} を求める。

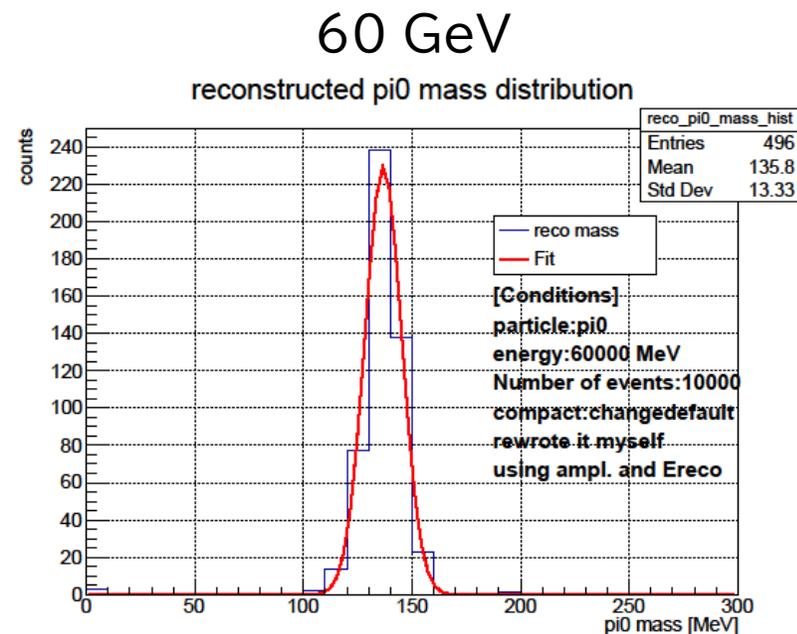
8. π^0 の不変質量再構成の結果



- エントリー数 : 1093
- mean : 136.3 [MeV/c²]
- Sigma : 7.5



- エントリー数 : 1223
- mean : 136.5 [MeV/c²]
- Sigma : 7.9



- エントリー数 : 496
- mean : 136.8 [MeV/c²]
- Sigma : 8.5

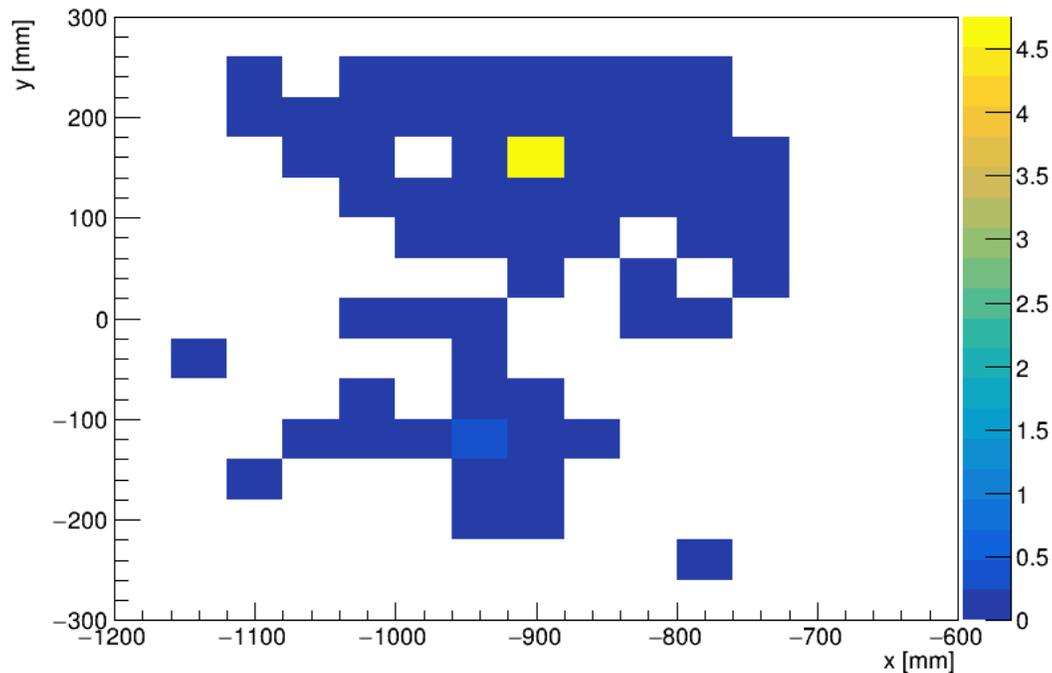
※ mean と sigma はフィッティングの統計情報

8. π^0 の不変質量再構成の結果 (~30 GeV)

- 崩壊角が大きくシャワーの漏れが顕著でエネルギー再構成が上手くいかない

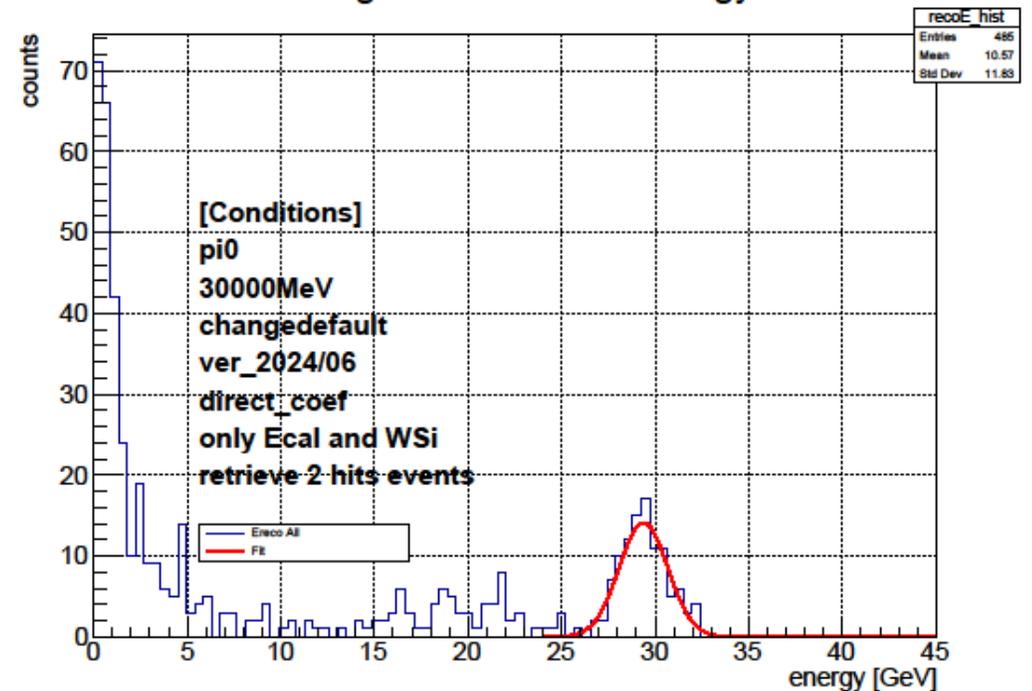
30 GeV Ecal ヒット情報(1 イベント)

Ecal x vs y hit pos distribution



30 GeV のエネルギー再構成

Fitting Reconstructed Energy

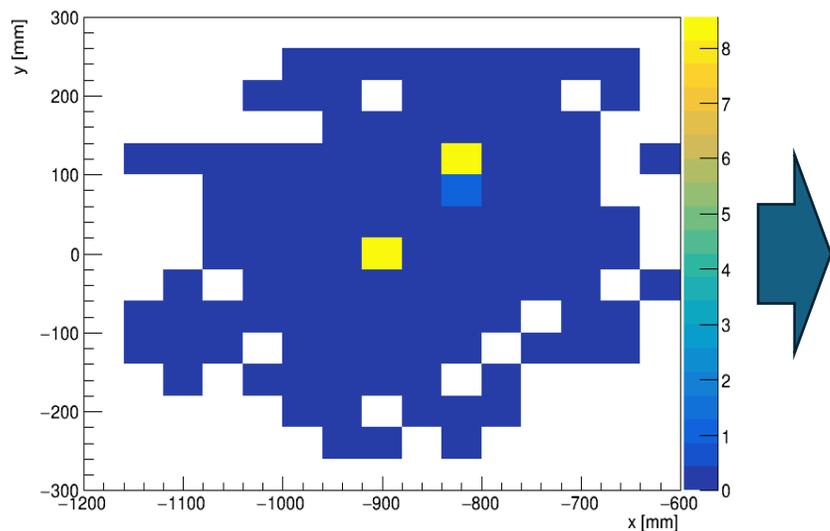


8. π^0 の不変質量再構成の結果(70 GeV ~)

- 崩壊角が小さくフィッティングが上手くいかないイベントが多い
- 2次元フィット等で改善できそう

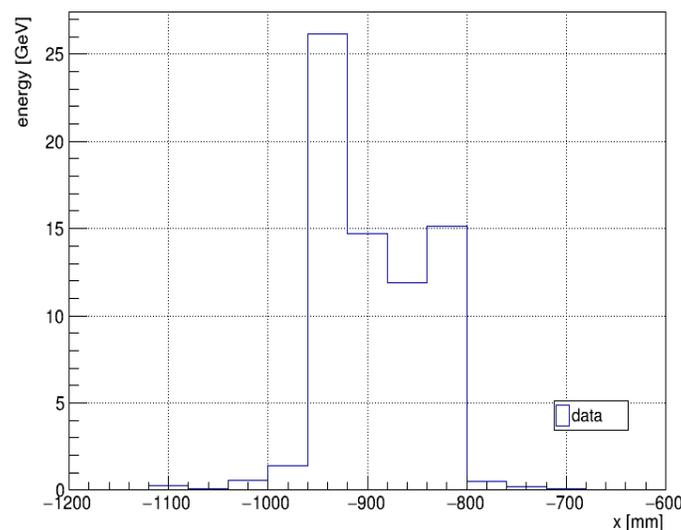
70 GeV Ecal ヒット情報(1 イベント)

Ecal x vs y hit pos distribution



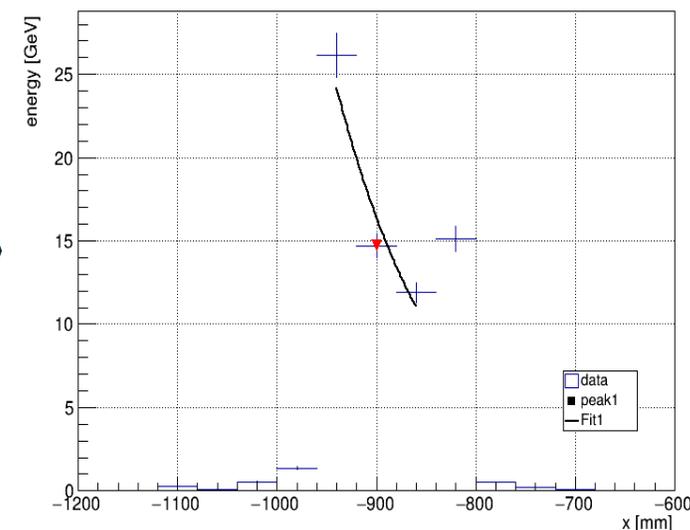
x 軸方向で見た時

Ecal and WSi pos.x vs energy en=8145



フィッティング

Ecal and WSi pos.x vs energy en=8145

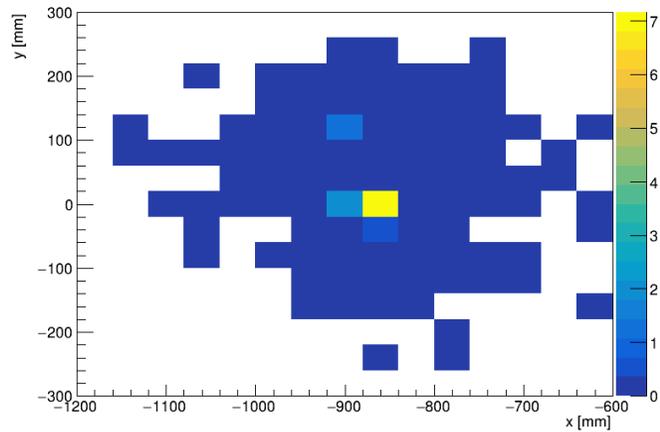


8. π^0 の不変質量再構成の結果(問題点)

➤ x, y 軸方向の両方でフィッティングが上手くいったイベントだけ取り出している。

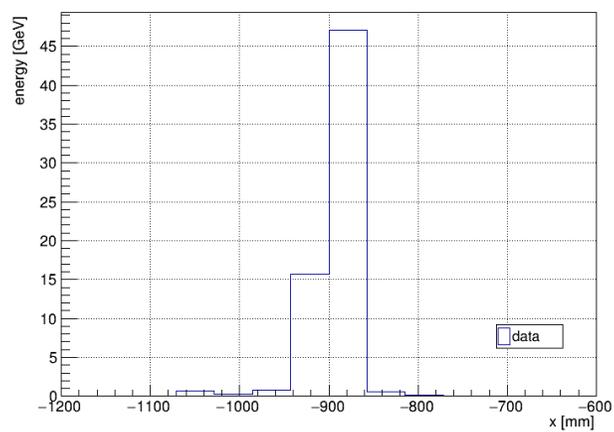
70 GeV Ecal ヒット情報(1 イベント)

Ecal x vs y hit pos distribution



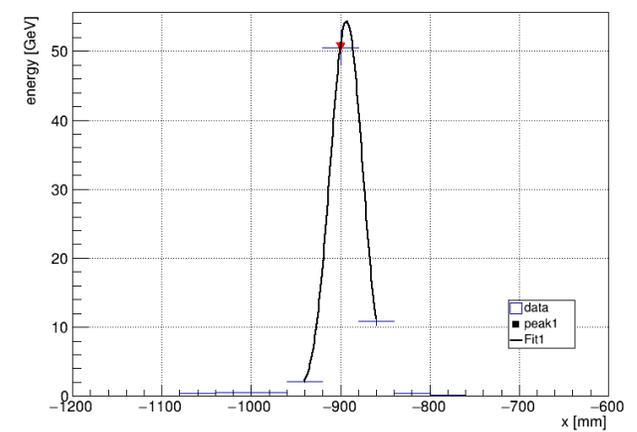
x 軸方向で見た時

Ecal and WSi pos.x vs energy en=5291



フィッティング

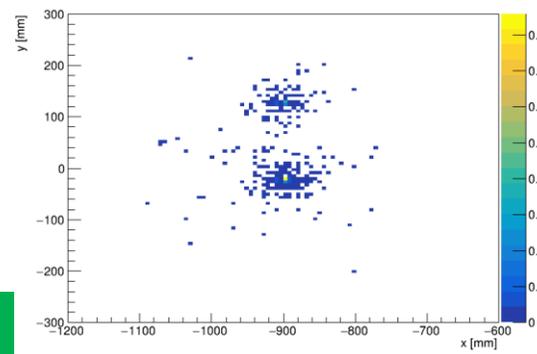
Ecal and WSi pos.x vs energy en=5291



※上のようなイベントについては、mass を再構成できていない

同イベントを WSi で見た時

WSi x vs y hit pos distribution

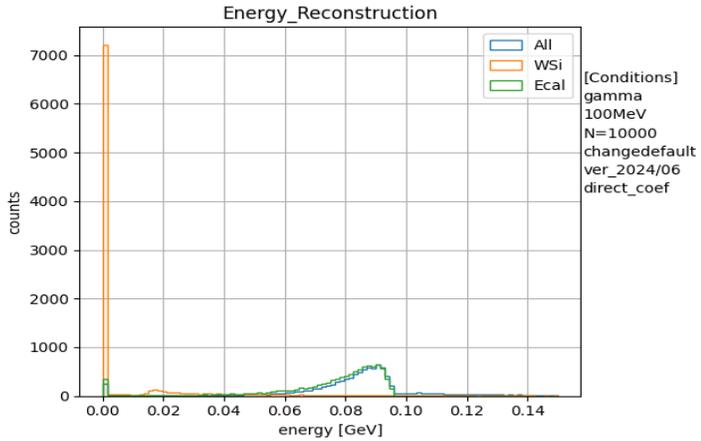


8. 今後の計画

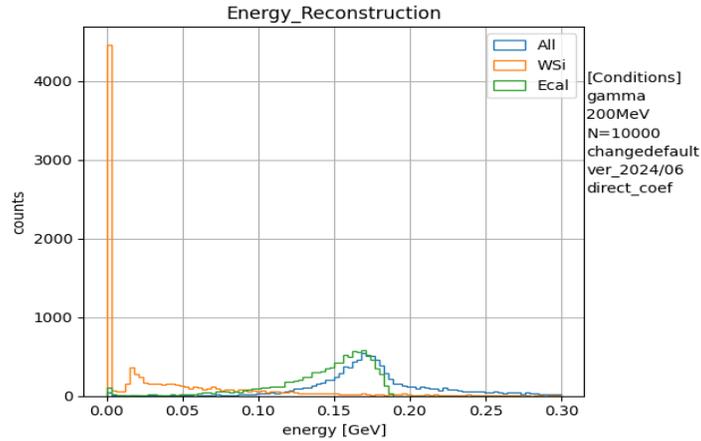
項目	やること	9月	10月	11月	12月	1月	2月
photon	Ecal、WSi 両方を使い位置分解能を算出	→					
neutron	Hcal を使って位置分解能を算出	→					
π^0	不変質量の再構成方法の改善	→					
Λ, Σ^0	不変質量の再構成			→			
その他	ZDC のジオメトリを変更して解析			→			

back up

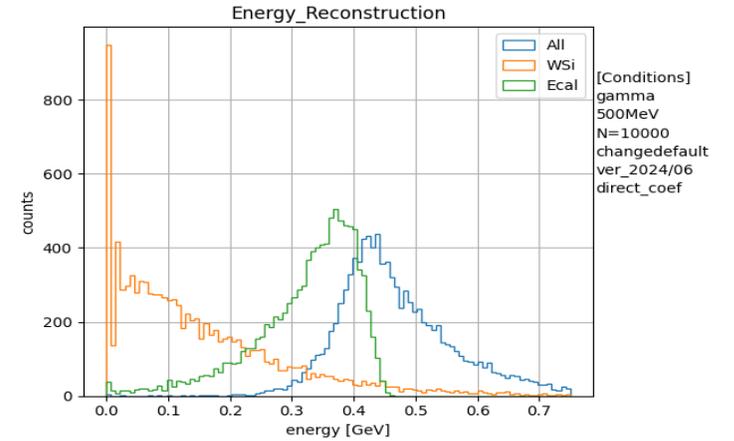
photon エネルギー再構成



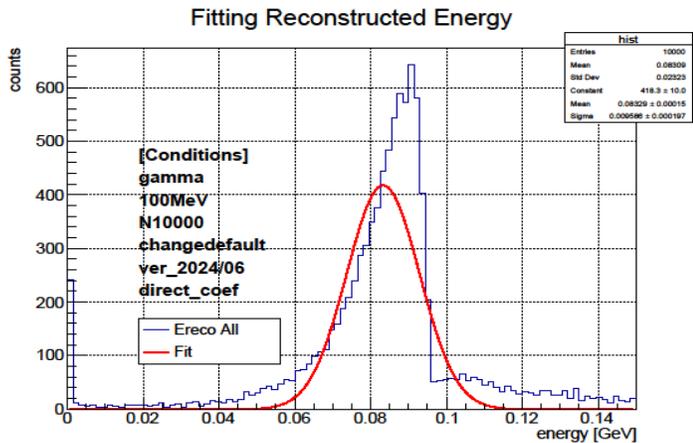
100 MeV エネルギー再構成



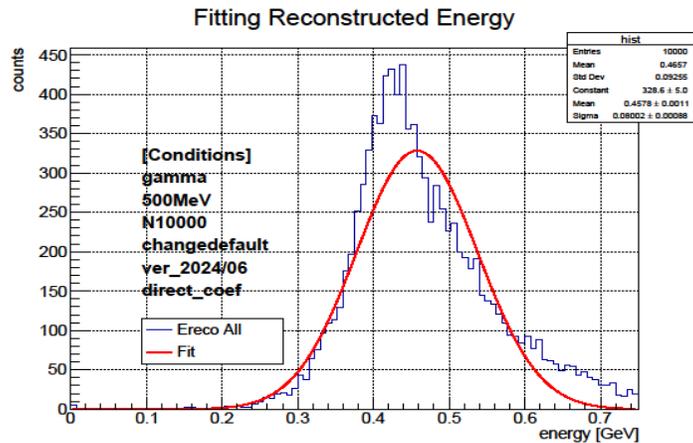
200 MeV エネルギー再構成



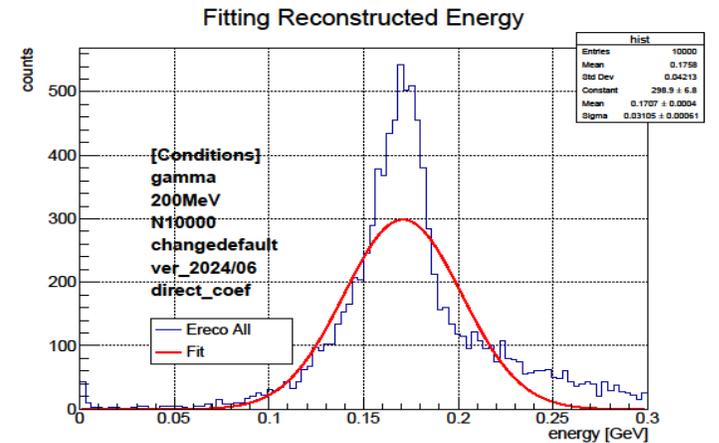
300 MeV エネルギー再構成



100 MeV フィット

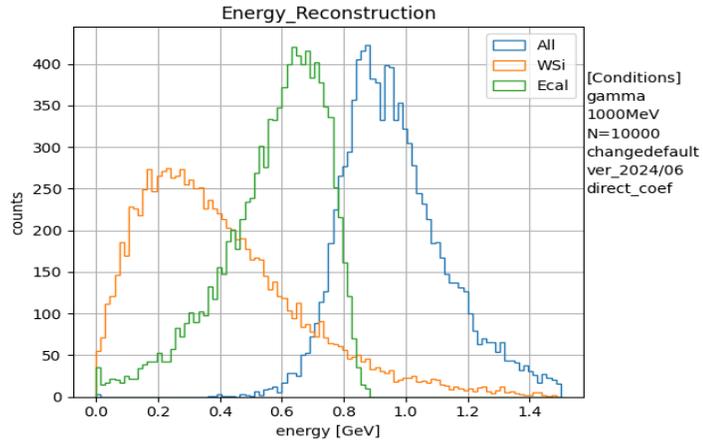


200 MeV フィット

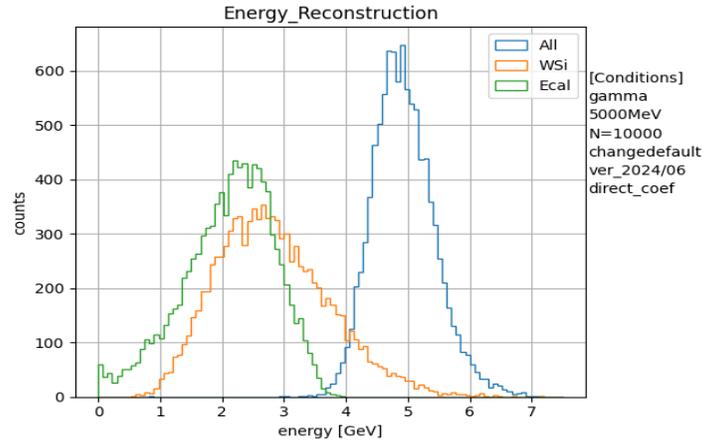


300 MeV フィット

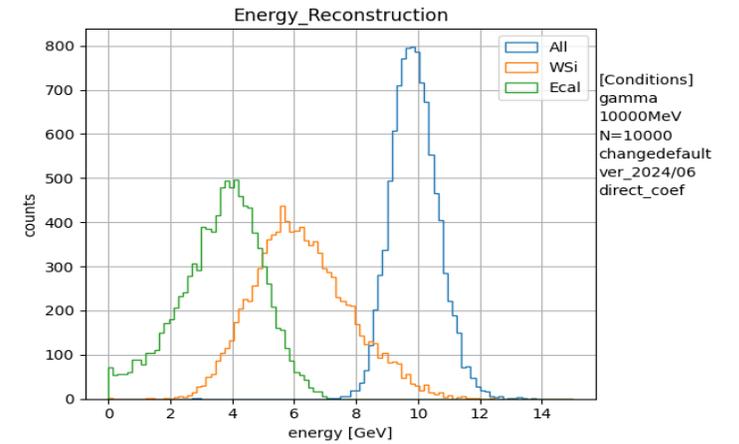
photon エネルギー再構成



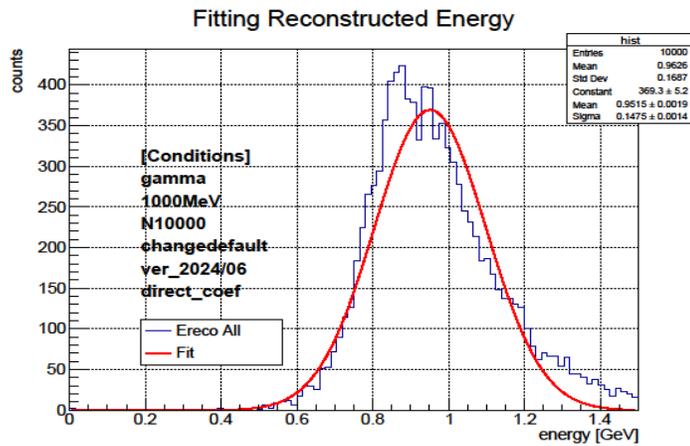
1 GeV エネルギー再構成



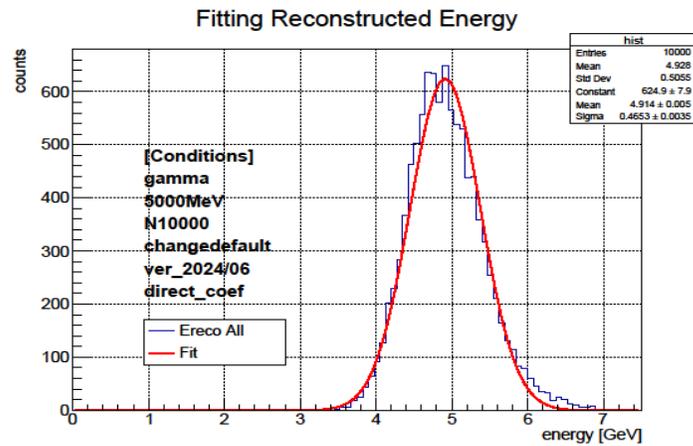
5 GeV エネルギー再構成



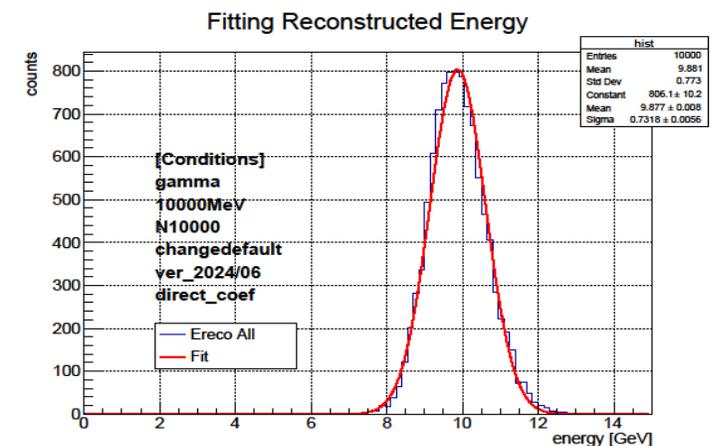
10 GeV エネルギー再構成



1 GeV フィット

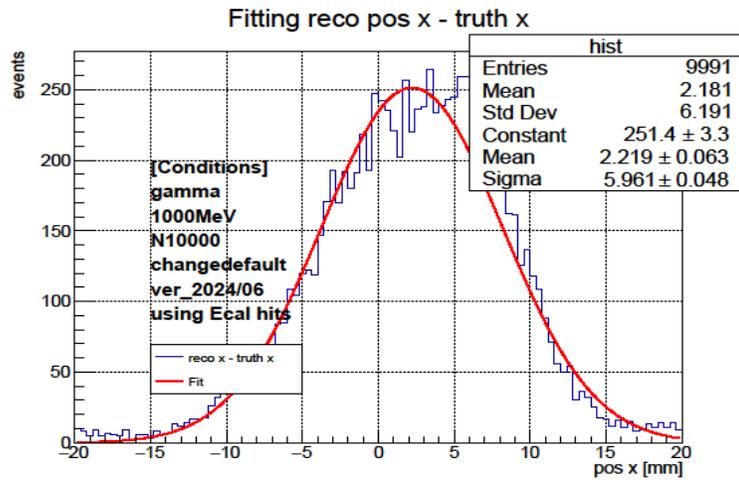


5 GeV フィット

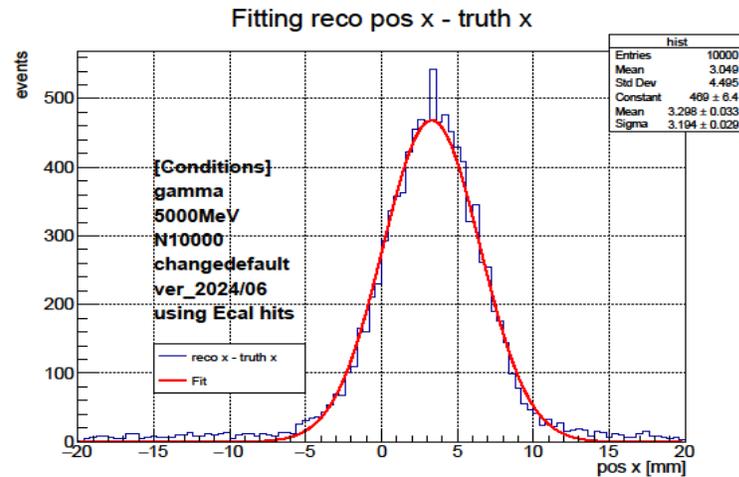


10 GeV フィット

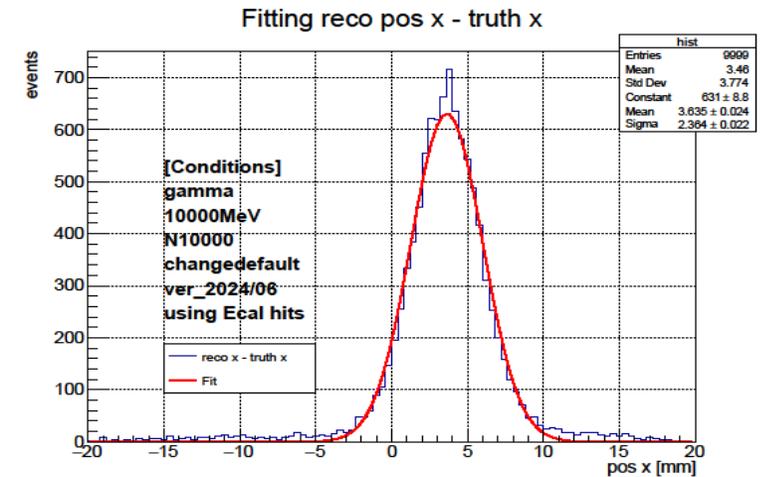
photon 位置再構成



1 GeV 位置再構成とフィット

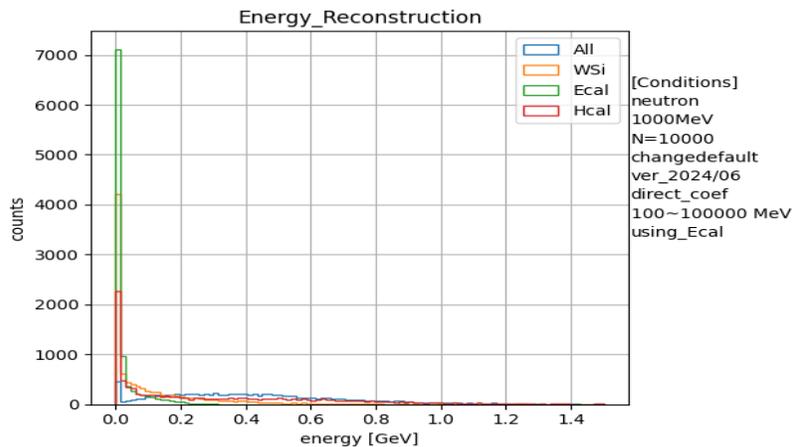


5 GeV 位置再構成とフィット

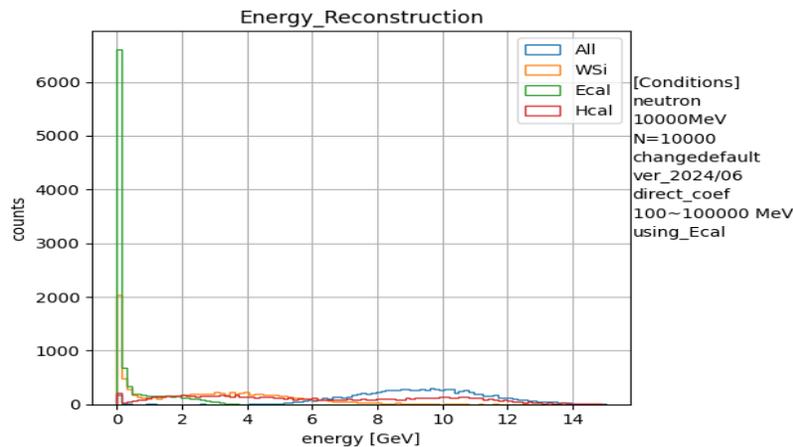


10 GeV 位置再構成とフィット

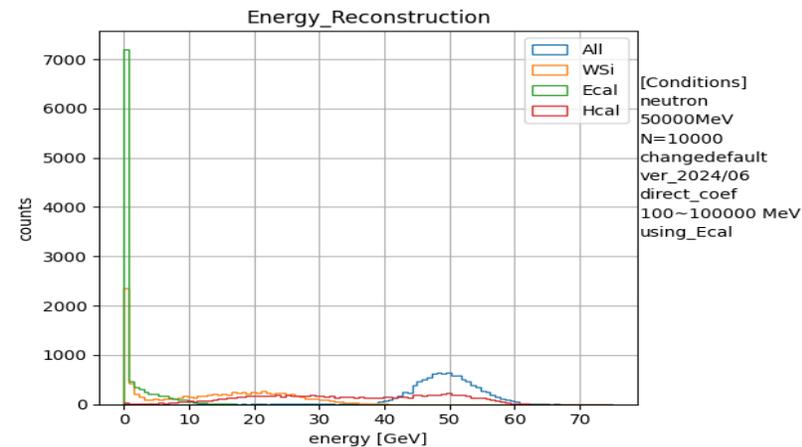
neutron エネルギー再構成



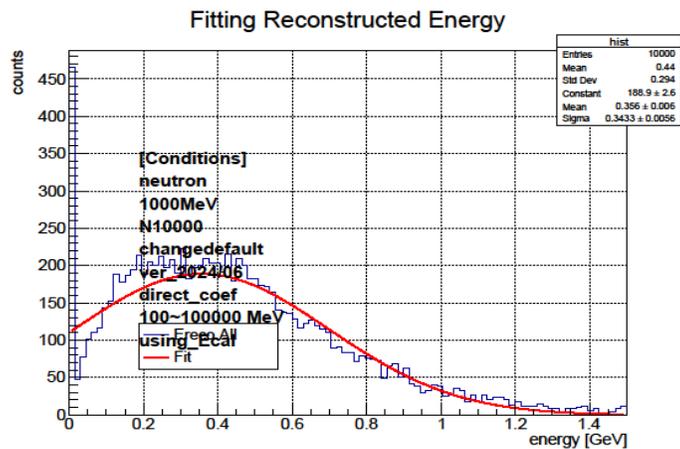
1 GeV エネルギー再構成



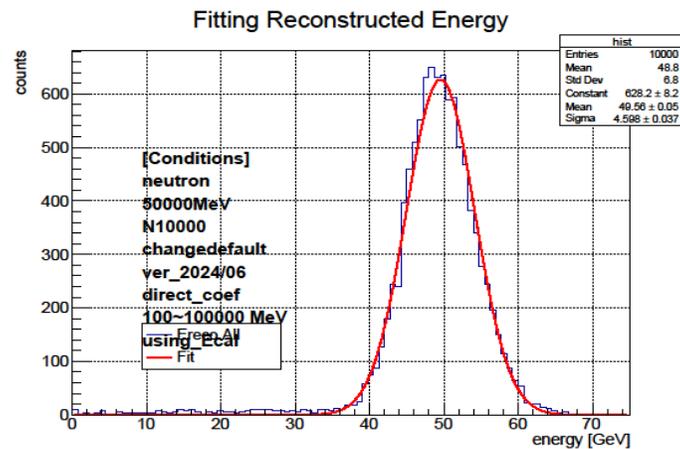
5 GeV エネルギー再構成



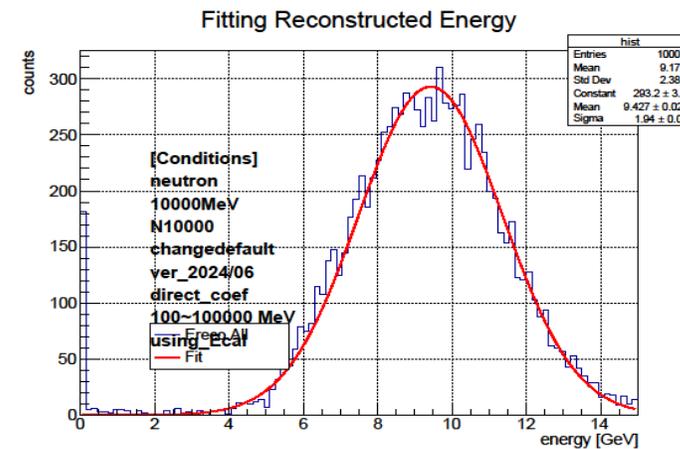
10 GeV エネルギー再構成



1 GeV フィット

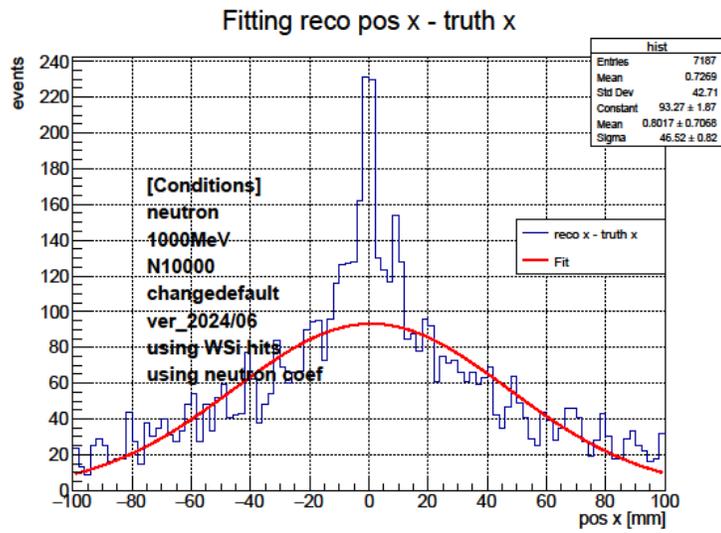


5 GeV フィット

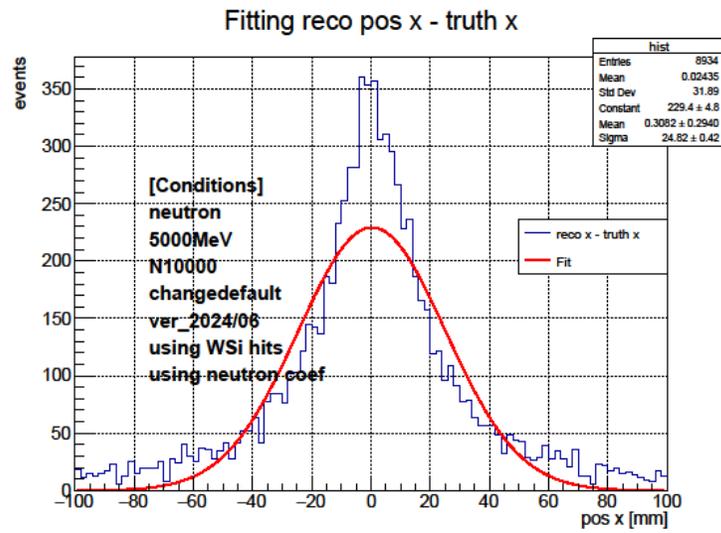


10 GeV フィット

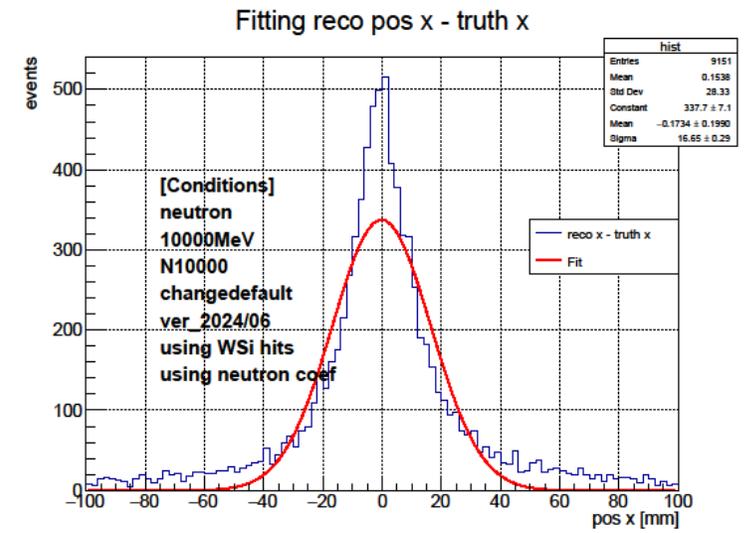
neutron 位置再構成



1 GeV 位置再構成とフィット

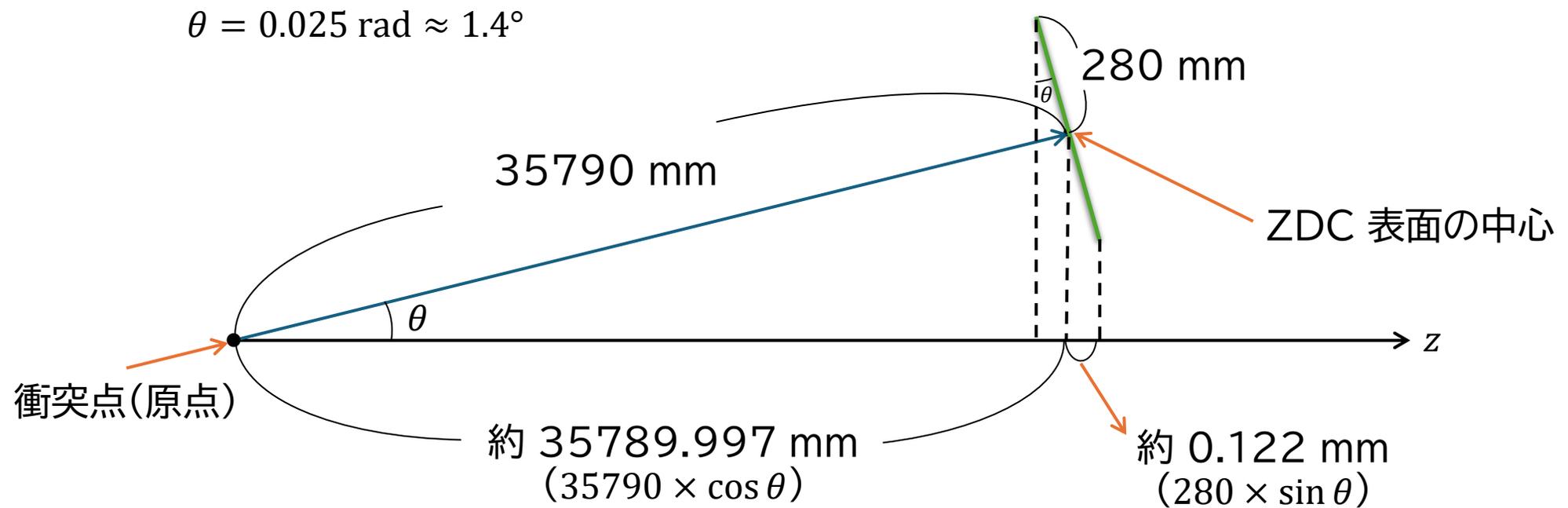


5 GeV 位置再構成とフィット



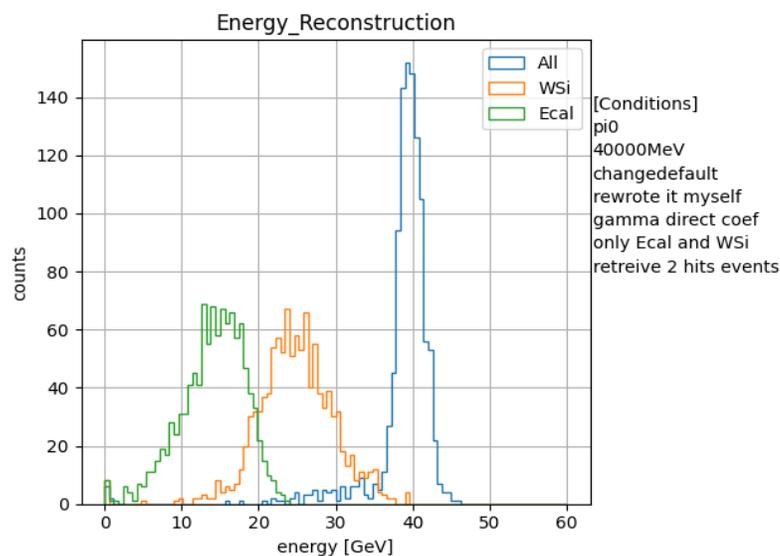
10 GeV 位置再構成とフィット

z_1 、 z_2 の近似について



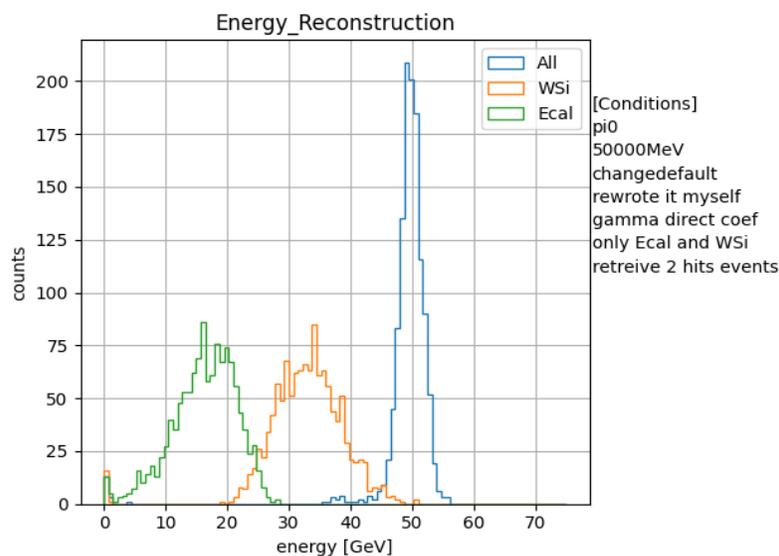
π^0 エネルギー再構成 結果(40~60 GeV)

40 GeV



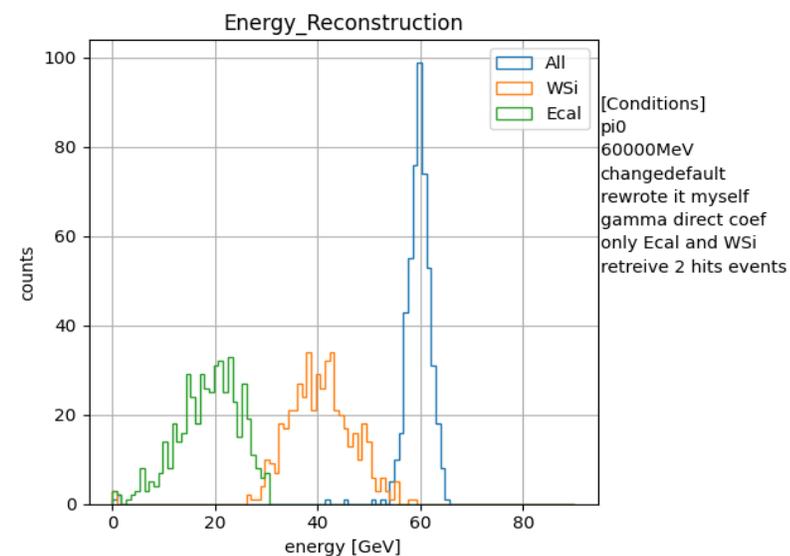
エントリー数 : 1093

50 GeV



エントリー数 : 1223

60 GeV

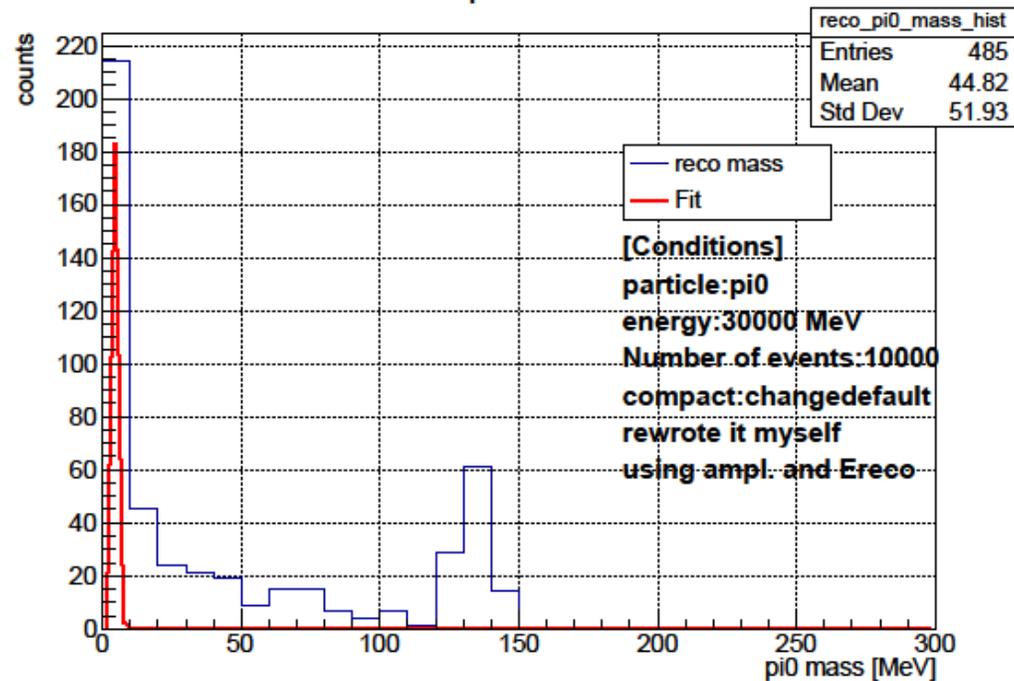


エントリー数 : 496

π^0 不変質量再構成 結果(30 GeV)

30 GeV

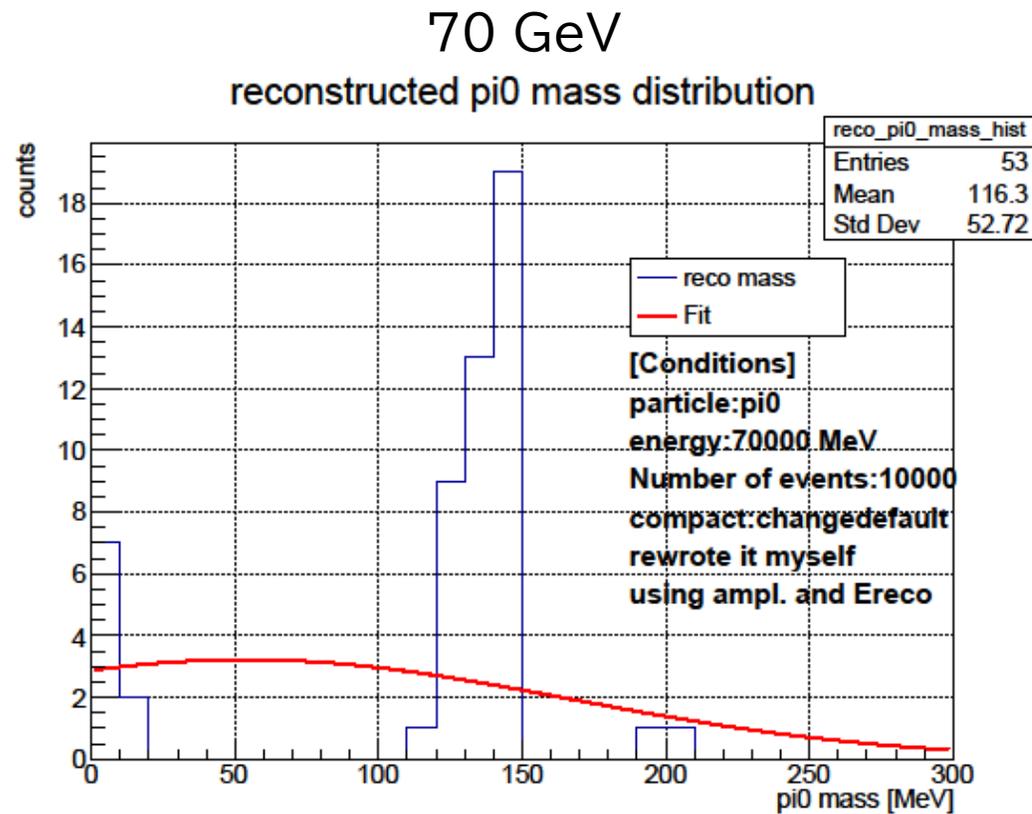
reconstructed pi0 mass distribution



- エントリー数 : 485

π^0 不変質量再構成 問題点(70 GeV~)

- x, y 軸方向の両方でフィッティングが上手くいったのは 53 イベントだけ



- エントリー数 : 53

π^0 不変質量再構成

表 フィットtingが上手くいっているイベント数

	x 軸方向(のみ)	y 軸方向(のみ)	両方	どちらか
40 GeV	1528(435)	2159(1066)	1093	2594
50 GeV	2395(1172)	3219(1996)	1223	4391
60 GeV	2502(2006)	3587(3091)	496	5593
70 GeV	2062(2009)	3571(3518)	53	5580
80 GeV	1020(1007)	3131(3118)	13	4138
90 GeV	230(223)	2559(2552)	7	2782

※ y 軸方向の方がフィッティングが上手くいっているのは、シミュレーションで使用しているEcal(Crystal)が 4 cm(x) × 3 cm(y) であるため