

アクティブ吸収層向けタイル型 結晶シンチレーターの 読み出し光量測定

2022年3月4日

奈良女子大学

高エネルギー研究室 B4

今井彩加・田頭陽菜

目次

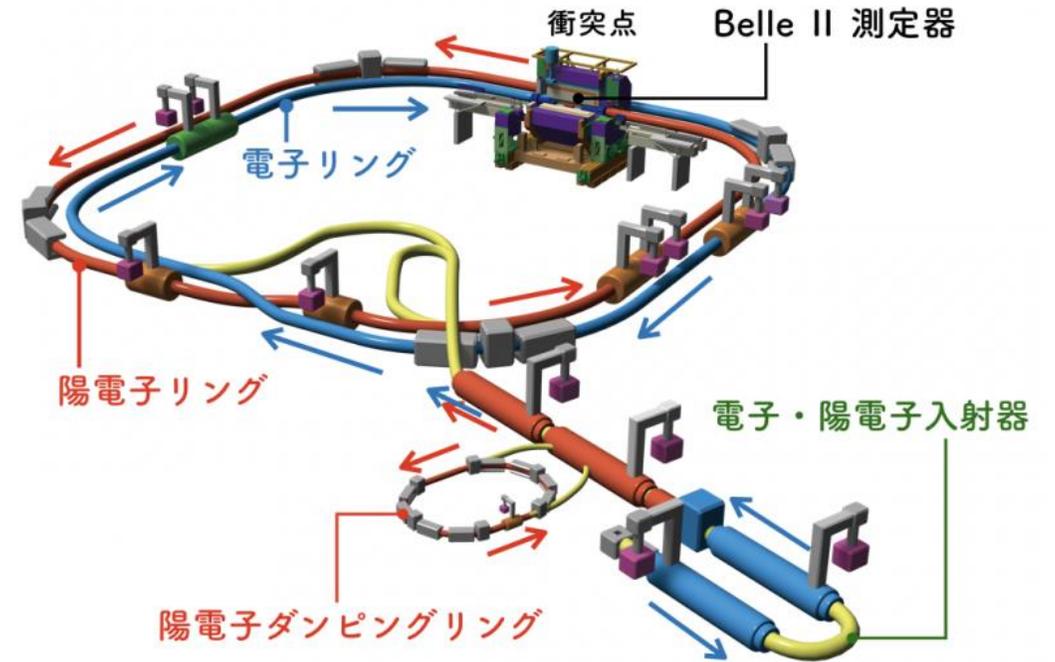
- はじめに
- 実験方法
- 実験結果
- まとめ

目次

- はじめに
- 実験方法
- 実験結果
- まとめ

Belle II実験

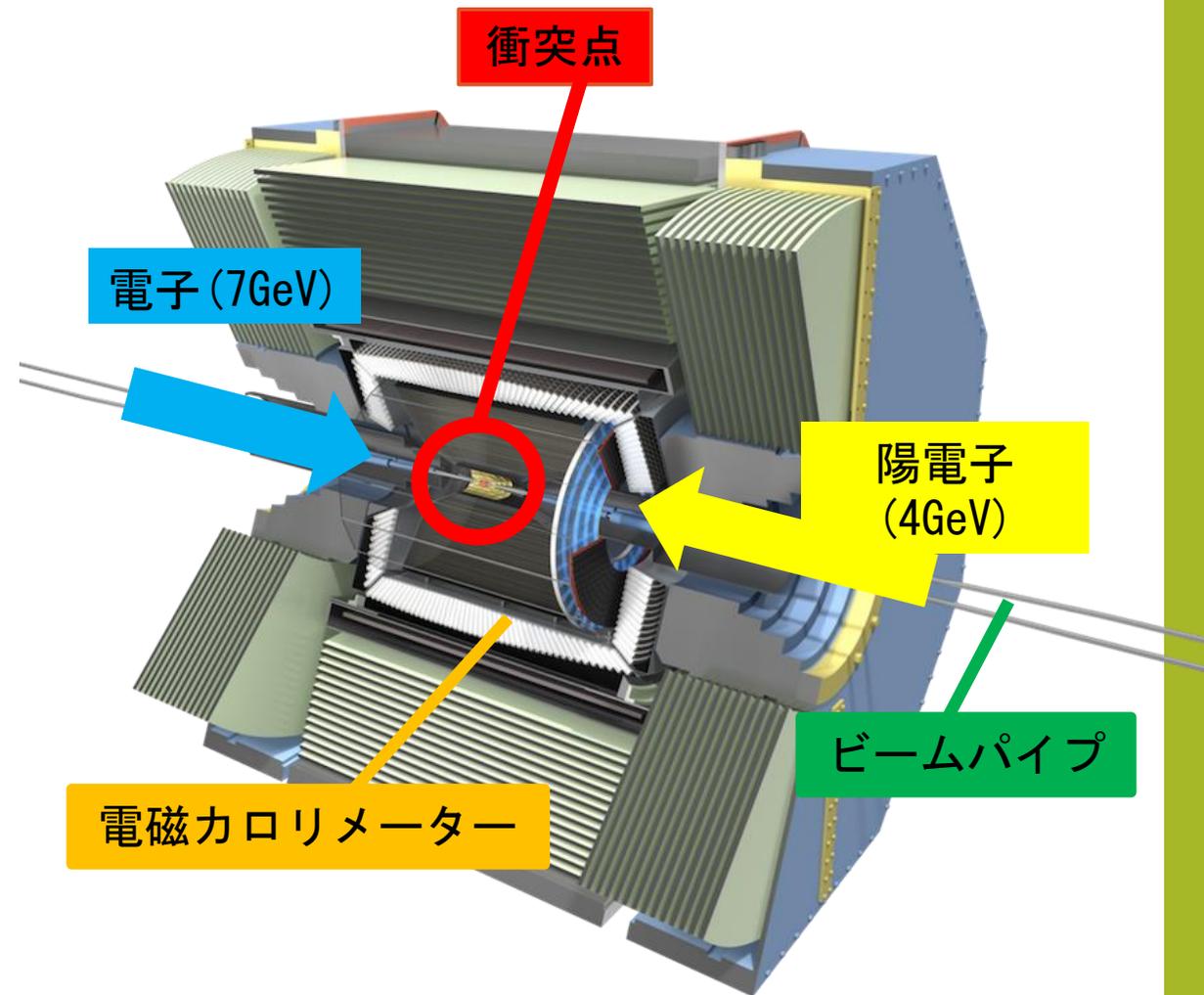
- SuperKEKB 加速器と Belle II 測定器を用いて行われる高エネルギー物理学実験
- SuperKEKB加速器では電子(7GeV)・陽電子(4GeV)を衝突させ、B中間子・反B中間子を生成している
- 粒子・反粒子の対称性の破れや新しい物理法則を探究する
- Belle II測定器では前身であるBelle測定器の50倍のデータを収集することを目標にしており、現在も運転を継続している



引用元 : <https://www.ipmu.jp/ja/20180323-SuperKEKB-Phase2Start>

Belle II 測定器

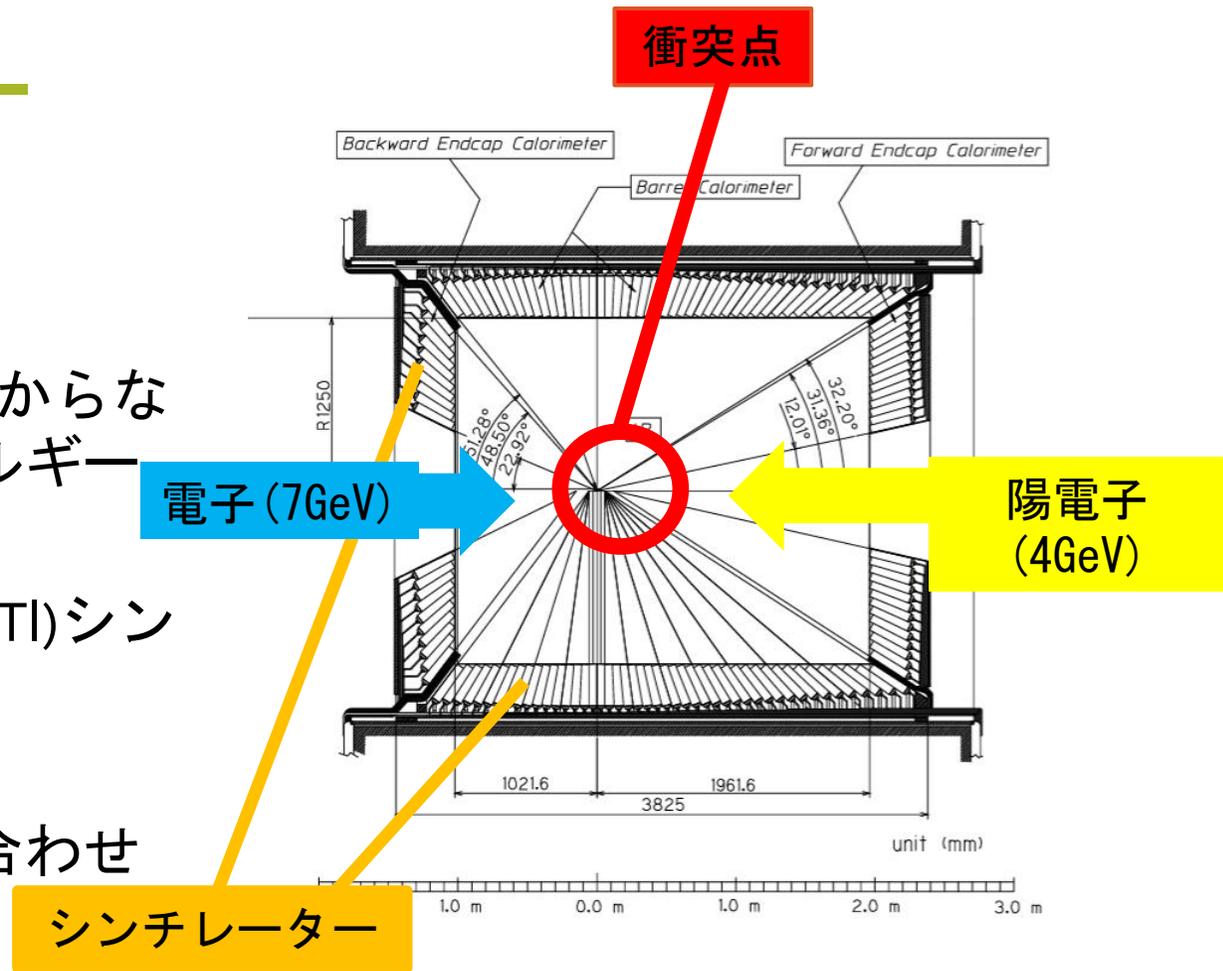
- 右図のビームパイプを中心として、衝突点の周囲を覆うように役割の異なる7種類の検出器を組み合わせた構造を持つ
- 内側は荷電粒子の飛跡検出系を形成している
- その外側に粒子識別（ARICH、TOP検出器）やガンマ線の検出を担う電磁カロリメーター（ECL）、KLメソン&ミュー粒子検出器がおかれている。



引用元 : <https://belle2pb.kek.jp/Detector/>

電磁カロリメーター

- γ 線や e^+, e^- の検出を行う
- 主に γ 線からの電子対生成と制動放射からなる電磁シャワーの生成を用いてエネルギーを測定する
- 現在のBelle II 検出器では8736本のCsI(Tl)シンチレーター結晶を使用している
- シンチレーターの大きさは $5.5\text{cm} \times 5.5\text{cm} \times 30\text{cm}$ でPIN-PDを組み合わせている

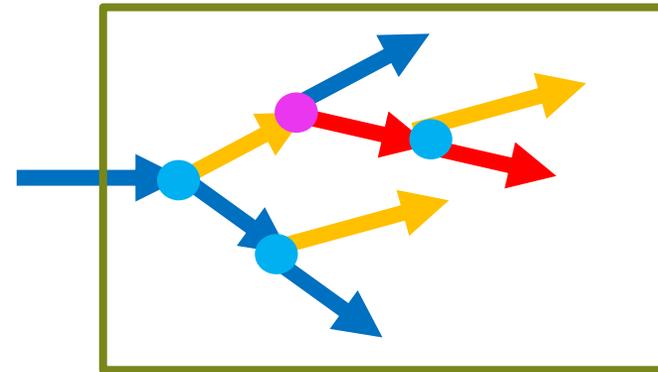


引用元：宮林謙吉 "Belle II電磁カロリメーター(ECL)" 高エネルギーニュース 33巻2号108ページ(2014)

電磁シャワー

- Belle IIで検出すべき電子・光子のエネルギーは数十MeV以上
- 電子は制動放射によるエネルギー損失が大きく、光子は電子対生成によるエネルギー損失が大きい
- これらの反応を繰り返して電磁シャワーを形成する
- 電磁カロリメーターでは発生した光を電気信号に変換してエネルギー損失を求めている

標的物質 電子 陽電子 光子



電子対生成

光子のエネルギーが1,022MeV以上のとき、光子が標的の原子核の近傍でクーロン場を受けたときに光子が消滅して電子と陽電子の対が生成される

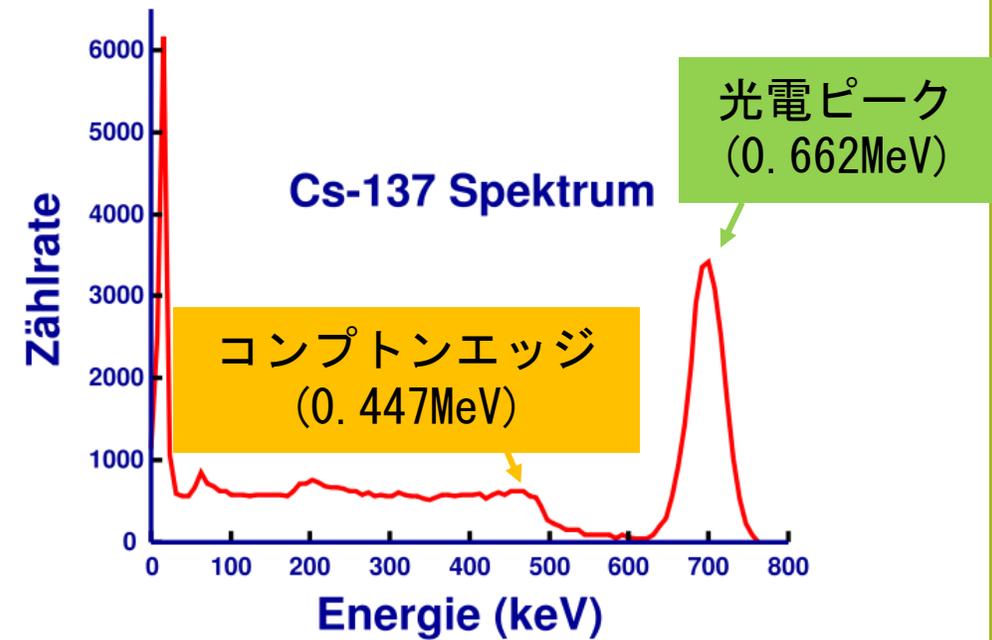
制動放射

荷電粒子がクーロン場において減速されたり軌道を曲げられたりしたときにそのエネルギーとして γ 線として放出する

光電ピークとコンプトンエッジ

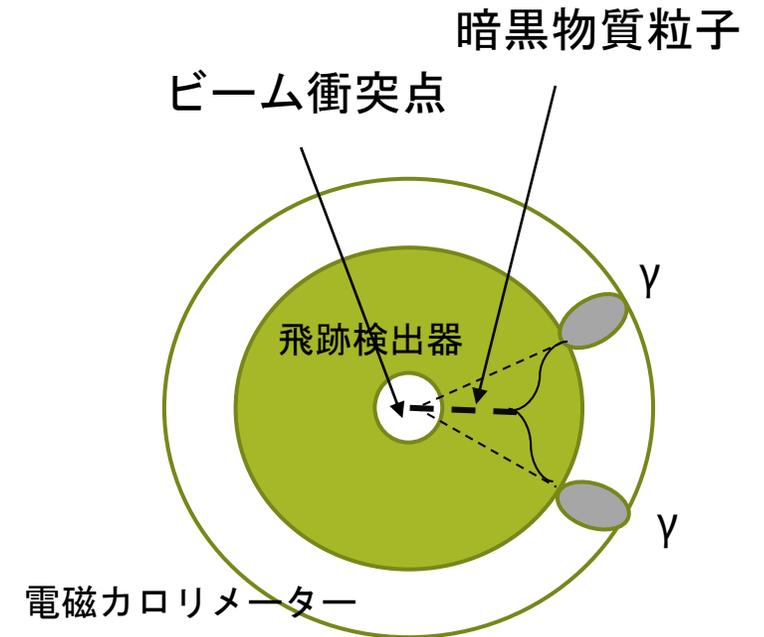
右図は ^{137}Cs を放射線源として使用したときにガンマ線が測定器に入射したときに検出器に与えられるエネルギースペクトルの図である。

- 0.662MeVの光電ピークは光電効果によるもの(光電効果とは物質に光を当てた時に電子が放出される現象)
- コンプトン散乱により発生する電子の上限エネルギーの位置で0.477MeVのコンプトンエッジが観察できる



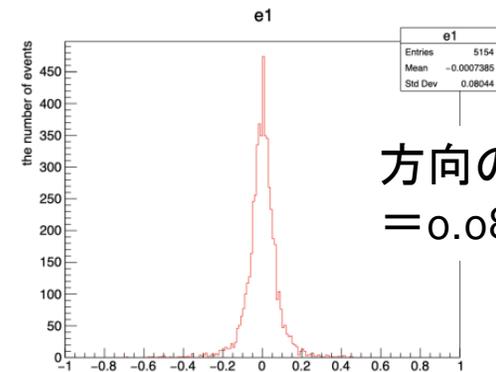
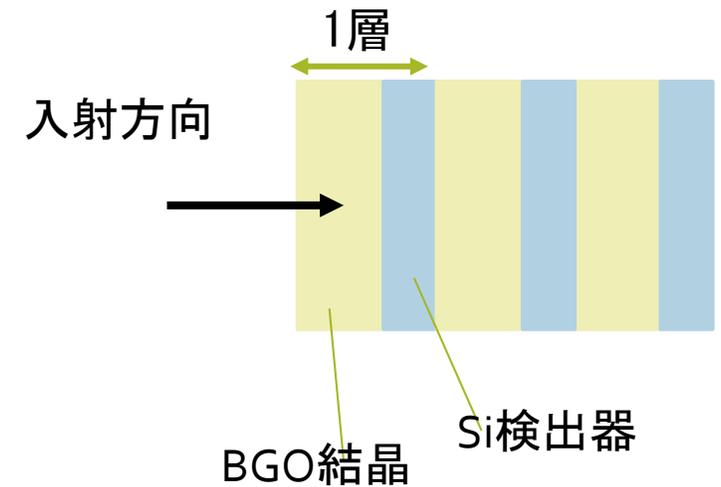
研究動機

- Belle II実験のCsI(Tl)カロリメーターは、ガンマ線の到来方向に対する感度がなく、数10cm進んで $\gamma\gamma$ に崩壊する暗黒物質粒子の質量決定やバックグラウンドから分離する性能が制限されている。
- CsI(Tl)シンチレーションの発光減衰時間が長いいため、パイルアップによる雑音レベルの上昇によるエネルギー分解能の悪化が予想される。
- ガンマ線の到来方向を再構成する機能を持ち、ビームバックグラウンドに起因するパイルアップを起こさないプリシャワー検出器の開発を行う。

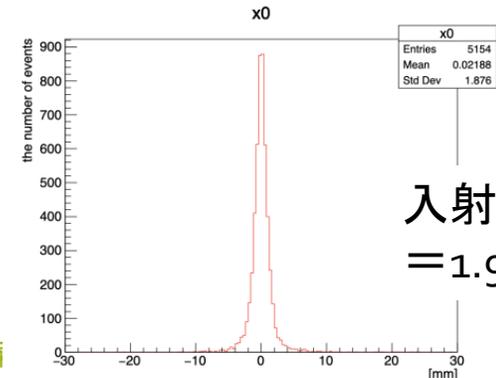


プリシャワー検出器

- 現在検討されているプリシャワー検出器はBGO結晶・Si検出器を1層とし3層から構成される
- BGO結晶シンチレーターでは電磁シャワーの生成・エネルギー損失の測定を行う
- Si検出器では電子・陽電子の通過位置の検出を行う
- 先行研究ではSi検出器を1mm角に分解した場合プリシャワー検出器の中心にエネルギー1GeVの γ 線を垂直入射させたとき、電磁シャワーの入射位置の分解能は1.9mm、方向の分解能は0.08radの精度で再構築できる可能性があるとわかっている



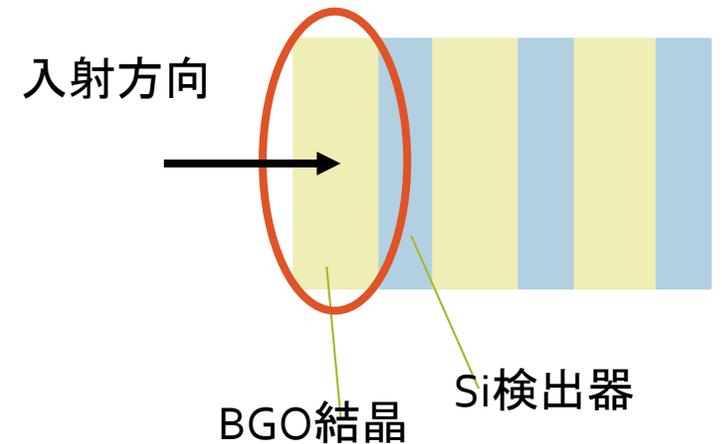
方向の分解能
= 0.08rad



入射位置の分解能
= 1.9mm

研究目的

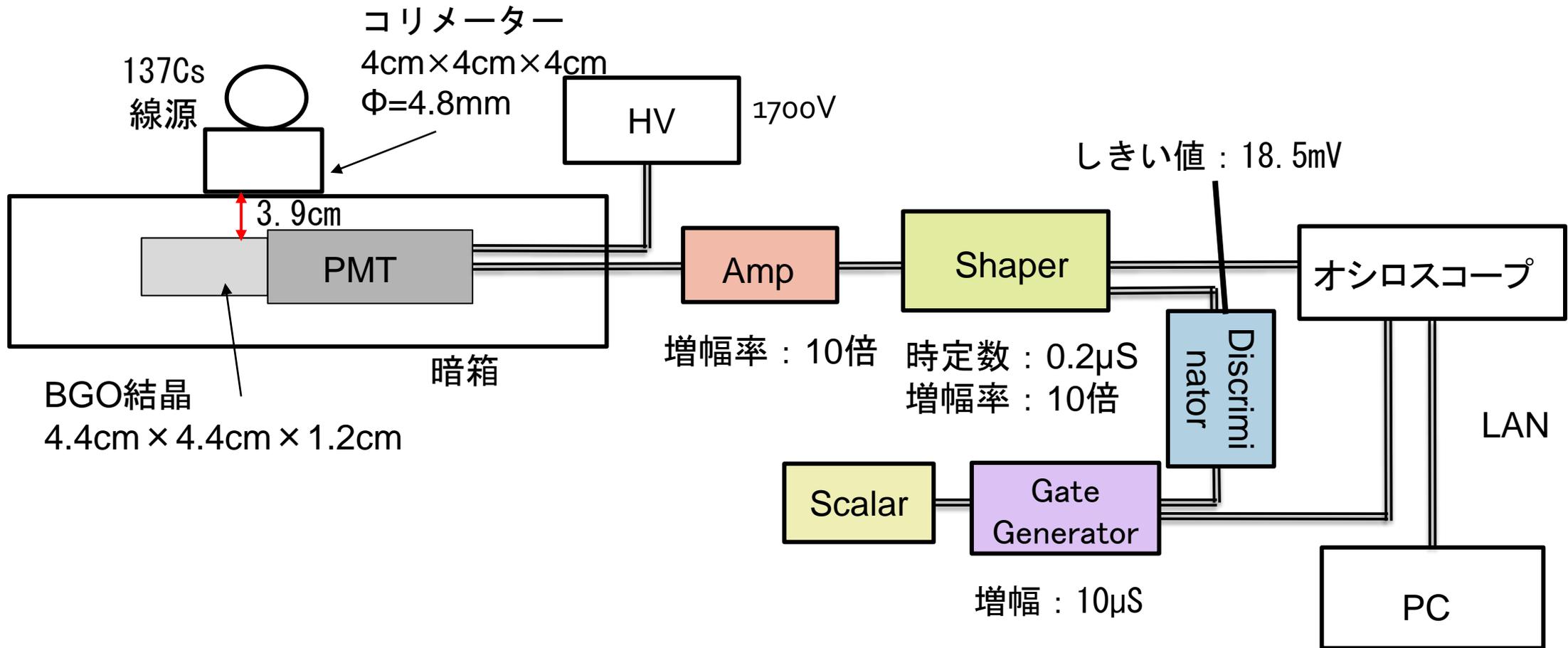
- 結晶シンチレーターの内部で同じエネルギーを損失してもその場所によっては信号パルスが大きさが異なる可能性がある
- 実際にどれくらい値が異なるのかを計測したい
- まずはBGO結晶1層を用いて実際に γ 線を測定し、どのくらいの精度でエネルギー測定を行えるのか調べた



目次

- はじめに
- 実験方法**
- 実験結果
- まとめ

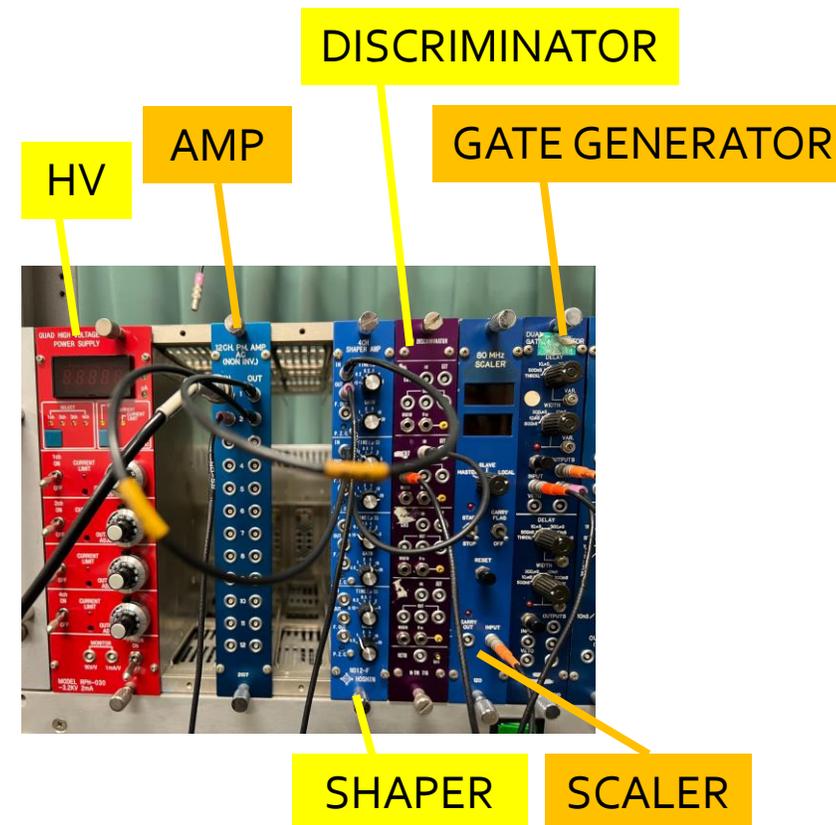
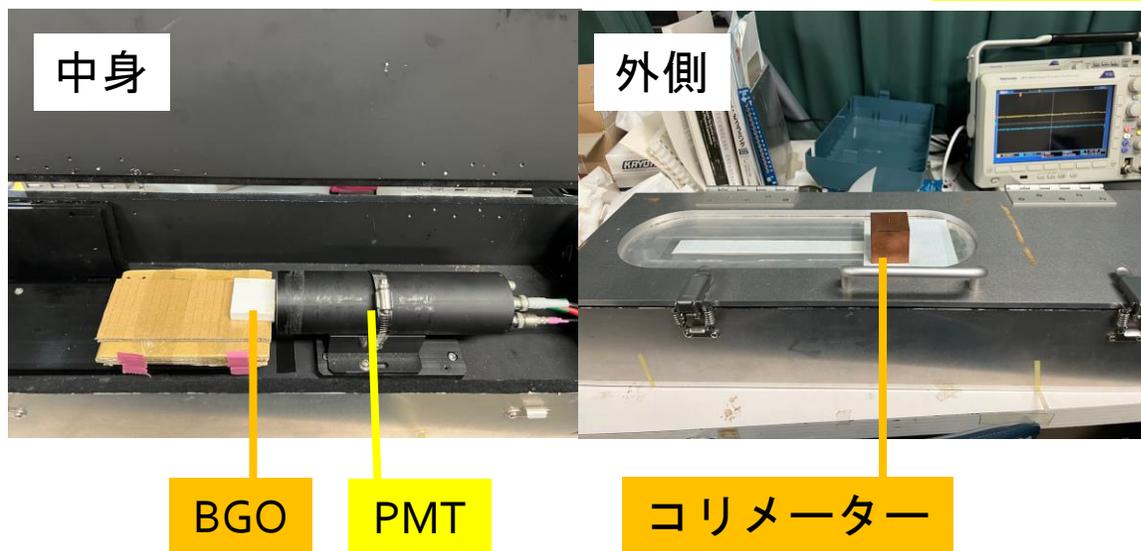
セットアップ



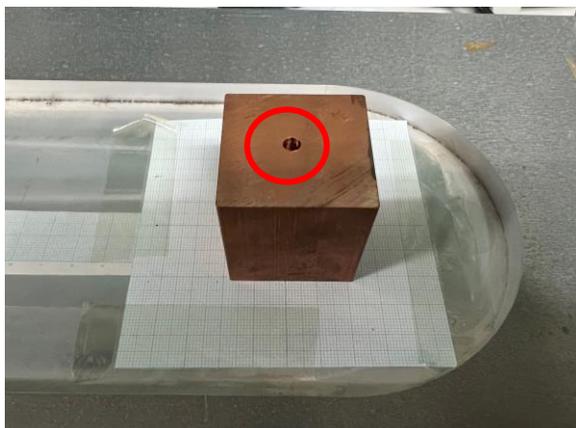
使用した装置①

- 全体図

左は暗箱の様子、右はモジュール
オシロスコープ



使用した装置②



コリメーター 4.0cm×4.0cm×4.0cm
真ん中に直径4.8mmの穴がある
この上に放射線源を置いて使用した
下に敷いている正方形のグラフ用紙
で置き場所を決定している



BGO結晶 4.4cm×4.4cm×1.2cm
周りに反射材を巻いている
PMTと接する側面に1.0cm×1.0cm角の
穴をあけた

^{137}Cs

この実験で使用した放射線源
 β 線を放出し ^{137}Ba になりその
 ^{137}Ba が γ 線を放出する
光電ピーク 0.662MeV
コンプトンエッジ 0.477MeV



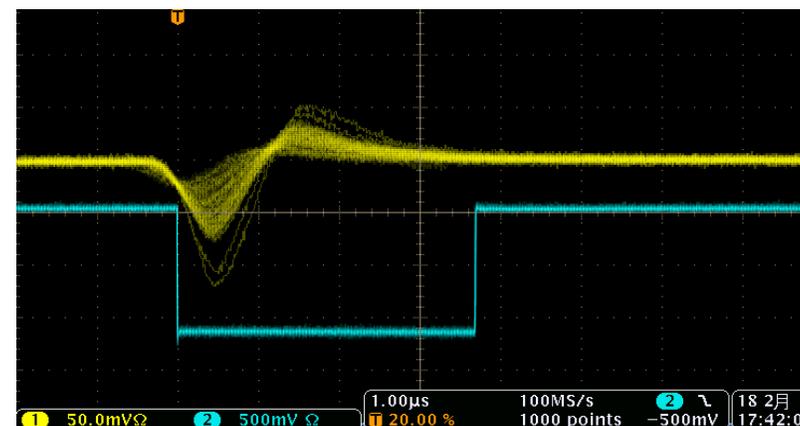
データ収集方法

- PCで20000回測定しその時の総計測時間もPC内で同時に測定
- 測定開始と同時にスケーラーも手動で電源オンにする。PCで計測漏れがあったパルスもカウントできるようにスケーラーを使用している。

→PCでの測定回数が20000回になったときに同時に止める

- スケーラーでの測定回数で20000回の時点での計測時間（手動測定）とその時点でのPCでのデータ読み込み回数を記録
- γ 線のエネルギーが場所によってどのくらい異なるのかを測定するためにコリメーターの位置を変えて、同様の方法で計測を行う

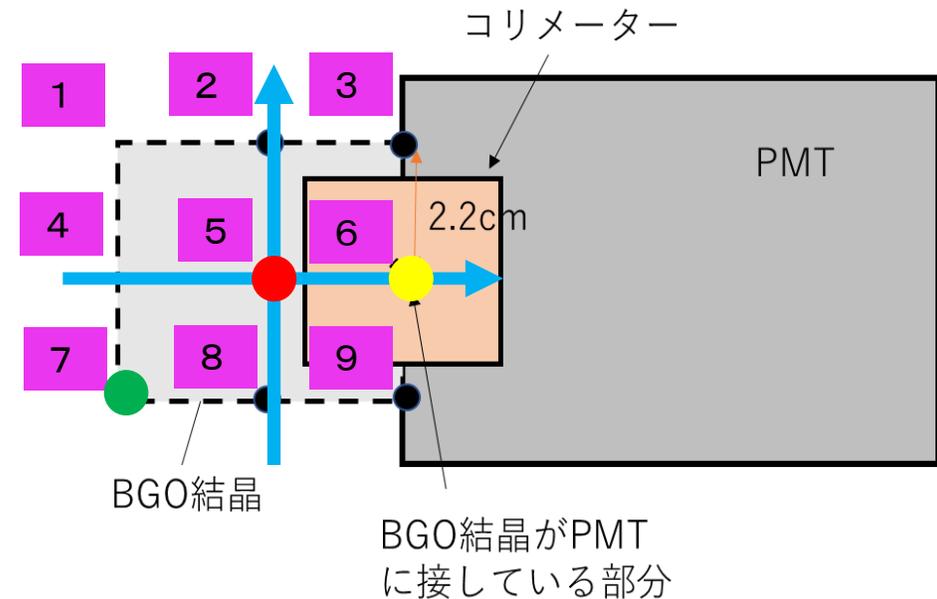
PCでは黄色のほうのパルスを計測、スケーラーは水色にディスクリミネーターの方形波パルスを計測している。



放射線源を置いた時のオシロスコープのスナップショット

コリメーターの位置の定義

- 真ん中の赤い点を(0,0)とする
- それ以外の位置は青軸を正負の基準として表す
- 例えば右図において
 - 黄色の点は(2.2,0)
 - 緑色の点は(-2.2,-2.2)となる



データ解析方法：波高分布作成

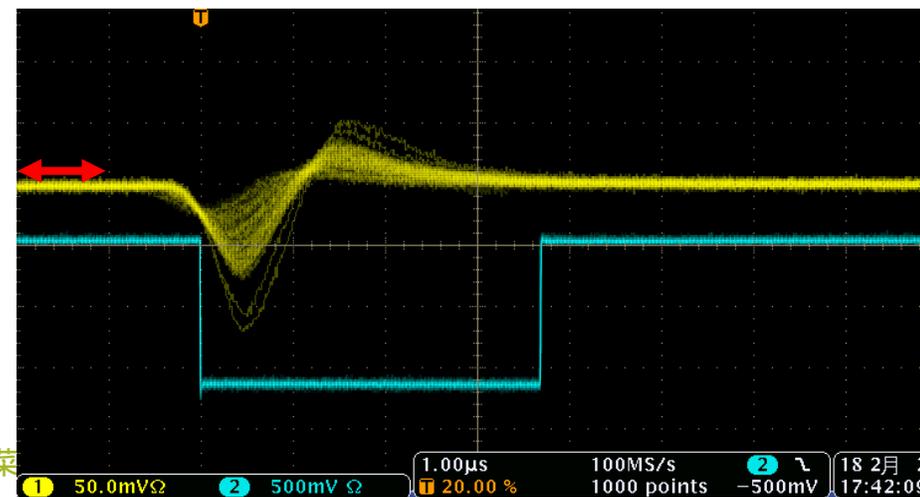
- 各エントリーにおいて100番目までのデータの平均値をゼロ点と定義し以下の計算式により算出

$$\text{ゼロ点} = \frac{\sum_{i=1}^{100} x_i}{100} \quad x_i : i\text{番目でのデータの値}$$

- 各エントリーにおいて波形の始まりである150番目から1000番目においてデータ点がゼロ点より小さいときのデータ点からゼロ点の値の引き算の積分を以下の式により算出

$$\text{積分値} = \sum_{i=110}^{300} (\text{ゼロ点} - x_i)$$

- これら2つの式で波高分布を作成した



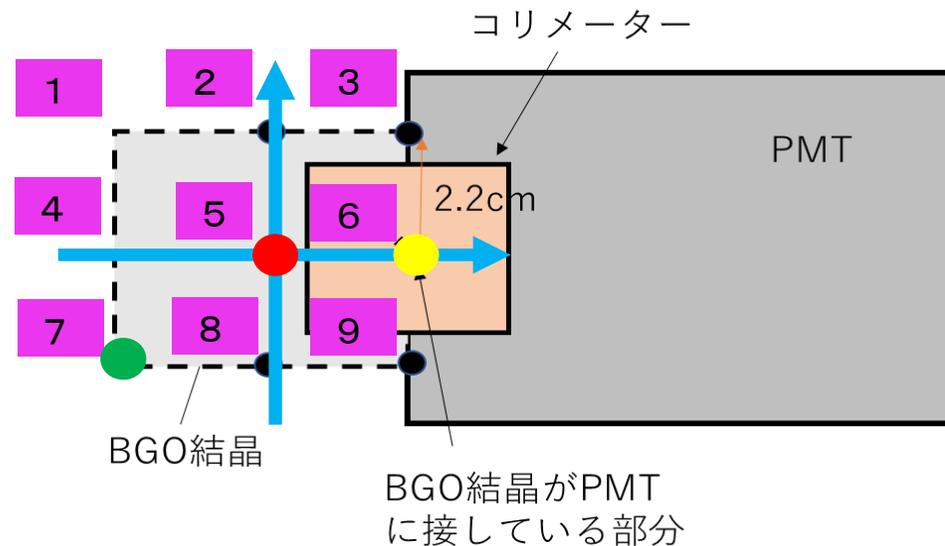
目次

- はじめに
- 実験方法
- 実験結果**
- まとめ

結果

- 再現性を確かめるために各場所で複数回測定を行った。

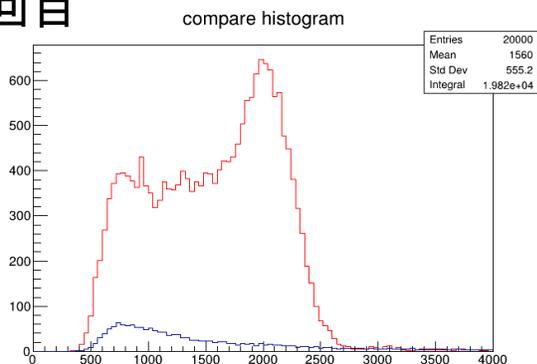
次のスライドからは抜粋して下の図の2番、5番、6番、8番について載せている。また、光電ピーク的位置を比較するためにガウス関数をフィットさせてmeanの位置も調べた。このmeanの値を光電ピークの値とした。



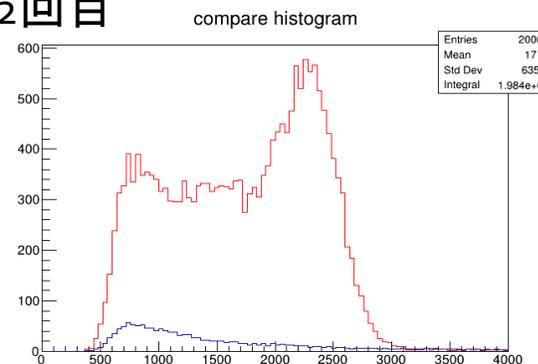
5 (0, 0) にコリメーターを置いた時 (BG0の真ん中)

赤色：線源あり
 青色：線源なし
 線源ありとなしの時の総カウン
 トの値で重みをつけている。

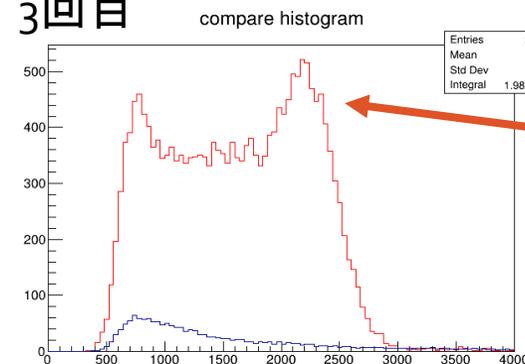
1回目



2回目



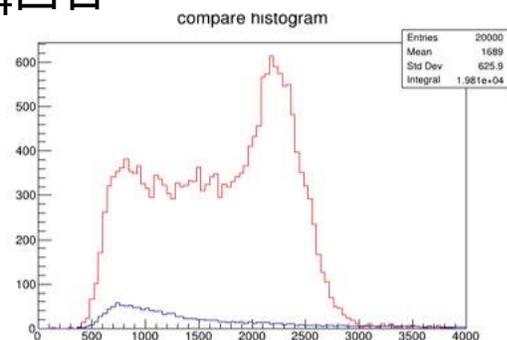
3回目



光電ピーク

コンプトンエッジは見
 られなかった

4回目



線源あり1回目
 総カウント： 1268574
 計測時間(秒)： 4003
 1秒当たりのカウン
 数： 316.9

線源あり2回目
 総カウント： 1429892
 計測時間(秒)： 3975
 1秒当たりのカウン
 数： 359.7

線源あり3回目
 総カウント： 1286493
 計測時間(秒)： 4003
 1秒当たりのカウン
 数： 321.4

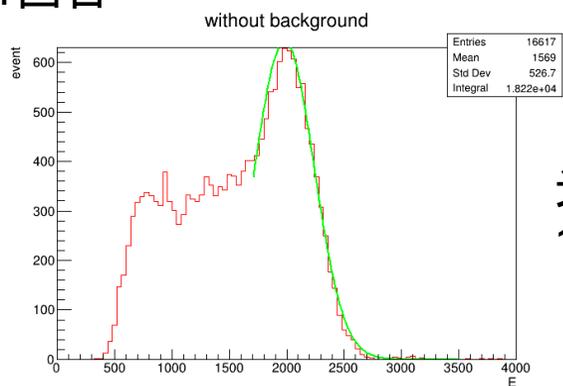
線源あり4回目
 総カウント： 1443130
 計測時間(秒)： 4008
 1秒当たりのカウン
 数： 360.1

線源なし
 総カウント： 114664
 計測時間(秒)： 4156
 1秒当たりのカウント数： 27.6

総カウント： PCでの測定回数2万でのスケーラーでの回数
 計測時間(秒)： PCで2万回測定までにかかった時間
 1秒当たりのカウント： 1秒当たりでのスケーラーでのカウント数

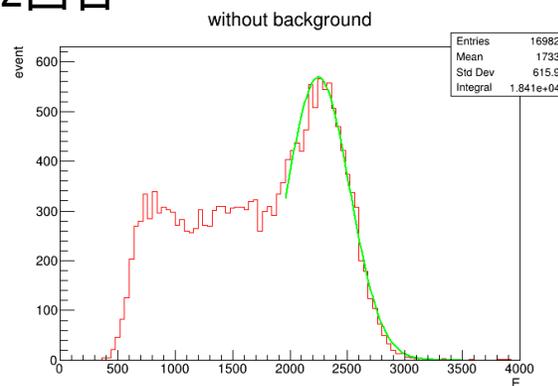
5 (0, 0) のガウス部分のFit結果

1回目



光電ピーク
1981 (E)

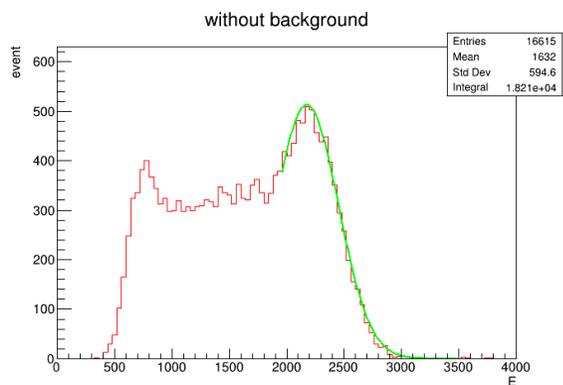
2回目



光電ピーク
2246 (E)

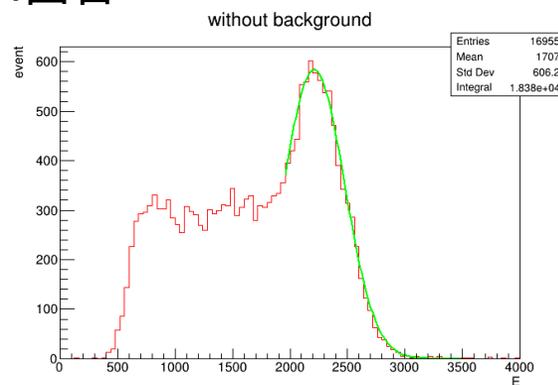
求めた4つの光電ピークの
値を平均すると、
 2150 ± 120 (E)
誤差は標準偏差

3回目



光電ピーク
2174 (E)

4回目



光電ピーク
2209 (E)

同じ位置での測定で違う形のヒストグラムになった考え得る原因と改善策

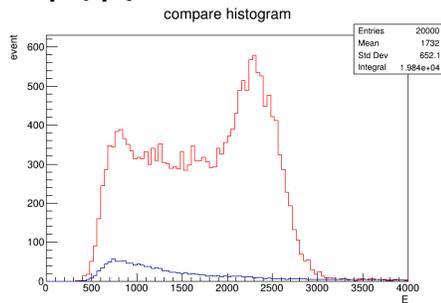
- コリメーターやBGOを置きなおしたときにわずかに位置がずれている。
- グリースなどで接着していないため、BGOがPMTに当たったり当たってなかったりする箇所が存在してしまい測定に影響が出てしまった可能性がある。

→下敷きのような薄い板状のものをPMTとBGOの間に挟んで、セットし終わった後にその板を抜いて均一に少しだけPMTとBGOの間に隙間を作った。

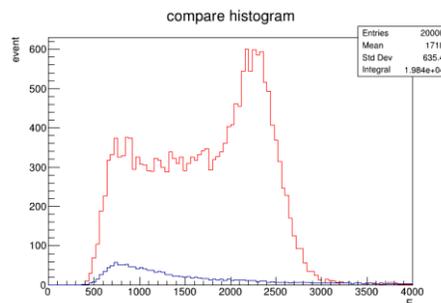
→コリメーターを置く位置を再確認し、BGOの位置も置きなおしたときにずれないように印をつけた。

5(0,0)の位置ではかりなおした結果

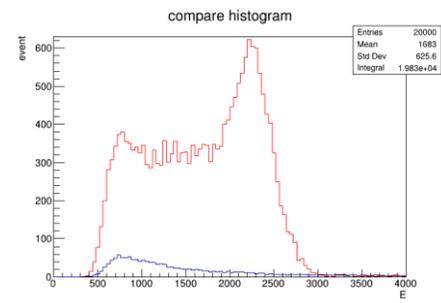
1回目



2回目



3回目



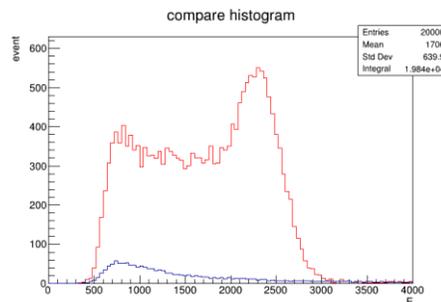
線源あり1回目
 総カウント : 1443202
 計測時間(秒) : 3996
 1秒当たりのカウント数 : 361.2

線源あり2回目
 総カウント : 1439200
 計測時間(秒) : 4005
 1秒当たりのカウント数 : 359.4

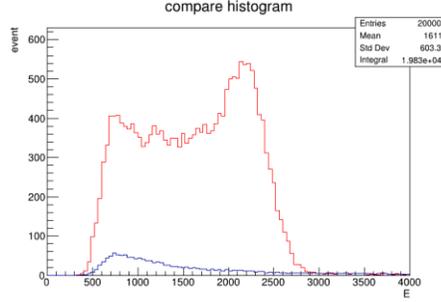
線源あり3回目
 総カウント : 1433036
 計測時間(秒) : 4006
 1秒当たりのカウント数 : 357.7

線源あり4回目
 総カウント : 1449059
 計測時間(秒) : 3987
 1秒当たりのカウント数 : 363.4

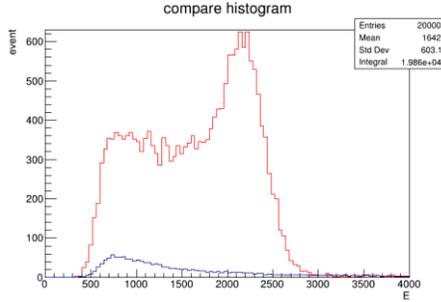
4回目



5回目



6回目



線源あり5回目
 総カウント : 1383002
 計測時間(秒) : 4006
 1秒当たりのカウント数 : 345.2

線源あり6回目
 総カウント : 1514312
 計測時間(秒) : 4016
 1秒当たりのカウント数 : 377.1

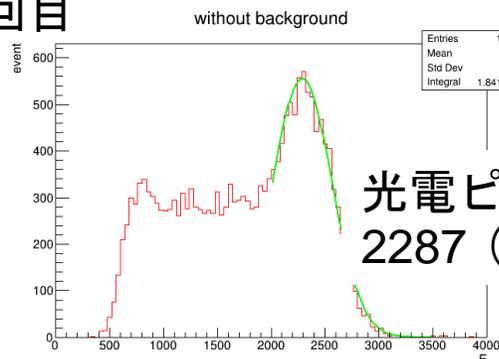
線源なし
 総カウント : 114664
 計測時間(秒) : 4156
 1秒当たりのカウント数 : 27.6

総カウント : PCでの測定回数2万でのスケーラーでの回数
 計測時間(秒) : PCで2万回測定までにかかった時間
 1秒当たりのカウント : 1秒当たりでのスケーラーでのカウント数

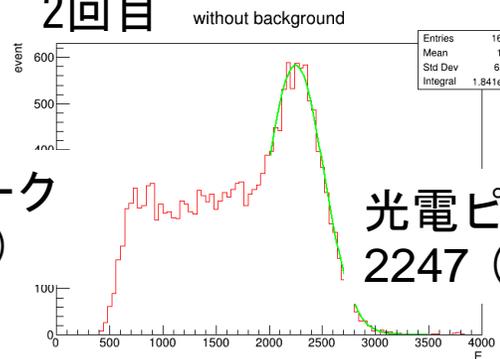
5 (0, 0) ではかりなおしたときのガウス部分のFit結果

前ページのヒストグラムからバックグラウンドを引いたヒストグラム

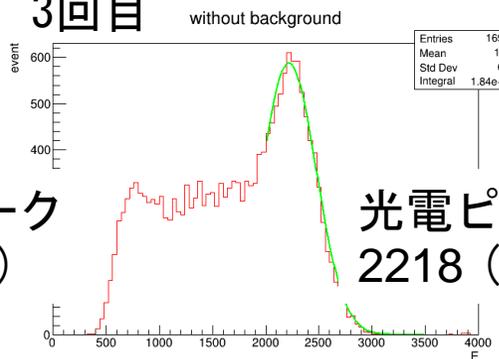
1回目



2回目



3回目

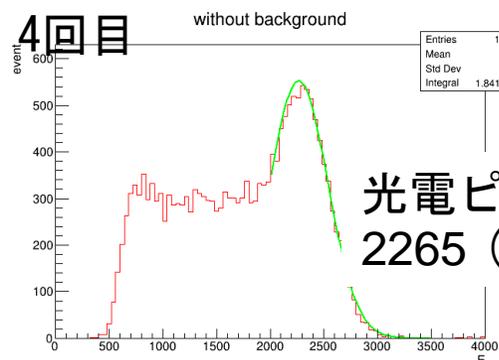


光電ピーク 2216±64 (E)

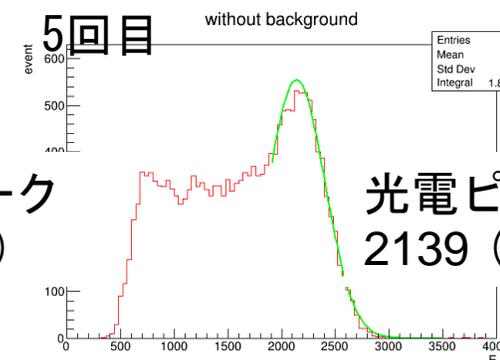
改善前と比較して光電ピークの値のばらつきは小さくなった

改善前 : 2150±120 (E)

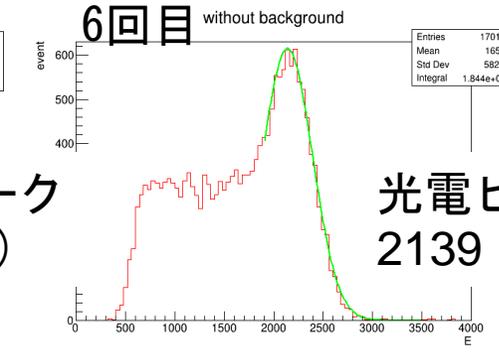
4回目



5回目



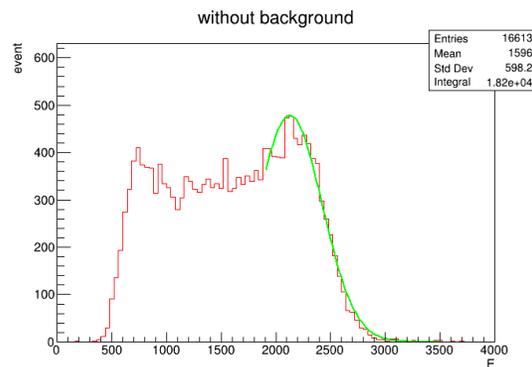
6回目



ほかの場所での測定結果

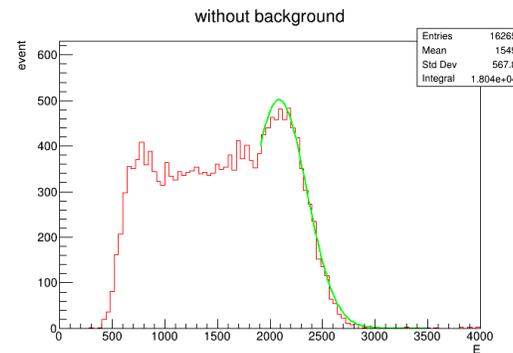
※それぞれ複数回測定したうちの1回目に測定したものを抜粋したもの

6番(2.2,0)のとき



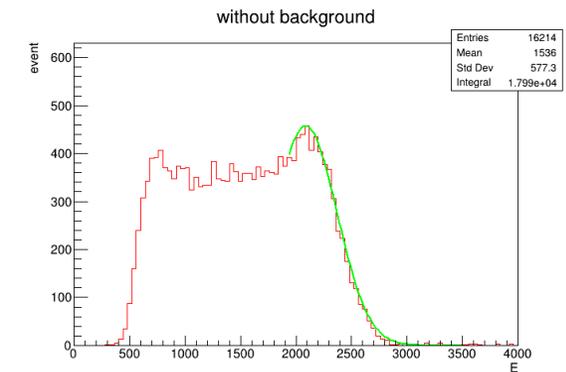
光電ピークの平均は
 2140 ± 39 (E)

2番(0,2.2)のとき



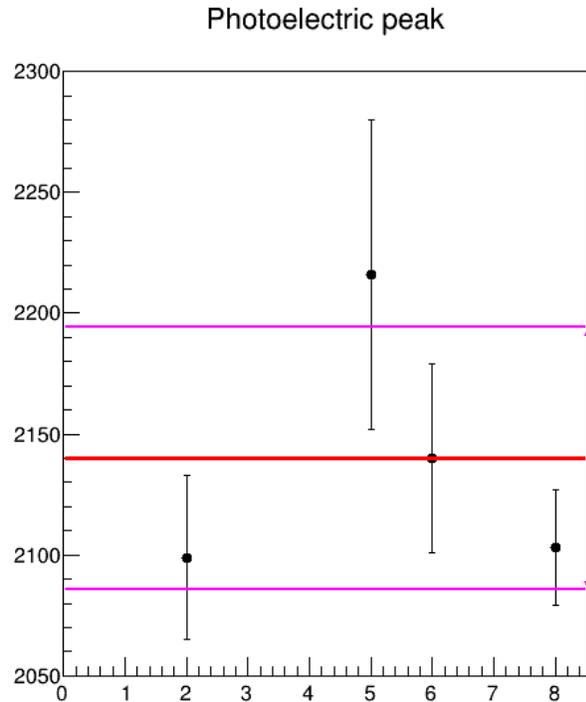
光電ピークの平均は
 2099 ± 34 (E)

8番(0,-2.2)のとき



光電ピークの平均は
 2103 ± 24 (E)

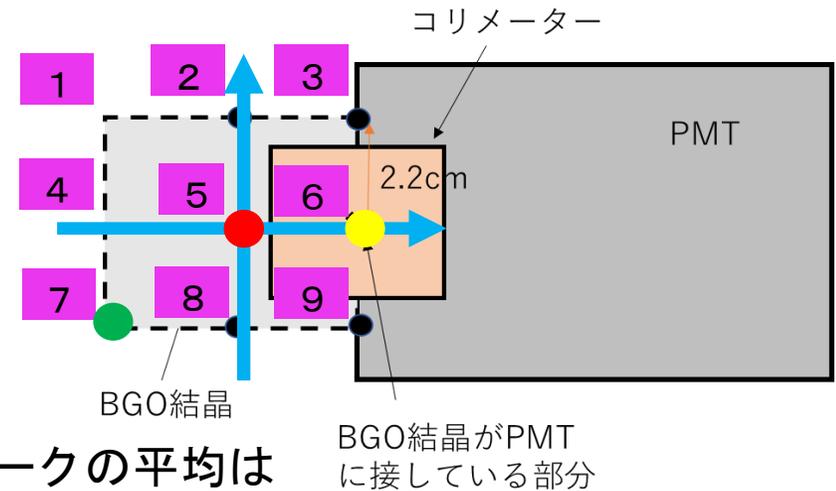
結果のまとめ



縦軸：イベント数
横軸：右図の番号に対応

4か所での光電ピークの標準偏差の範囲

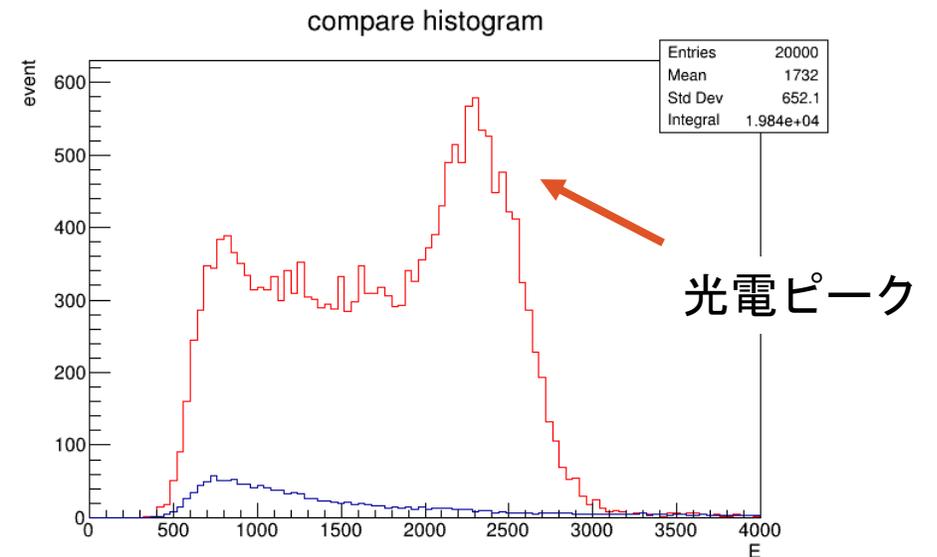
4か所での光電ピークの平均は 2140 ± 54 (E) (右図赤線)



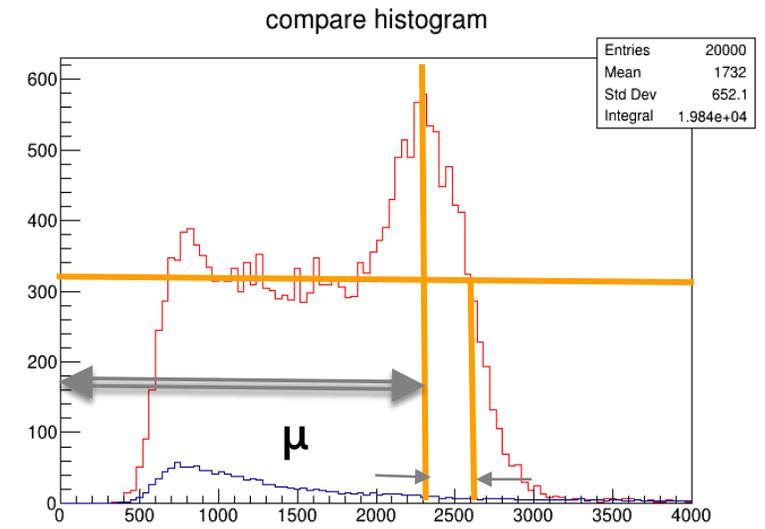
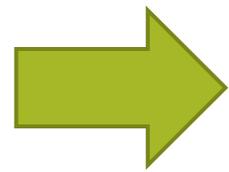
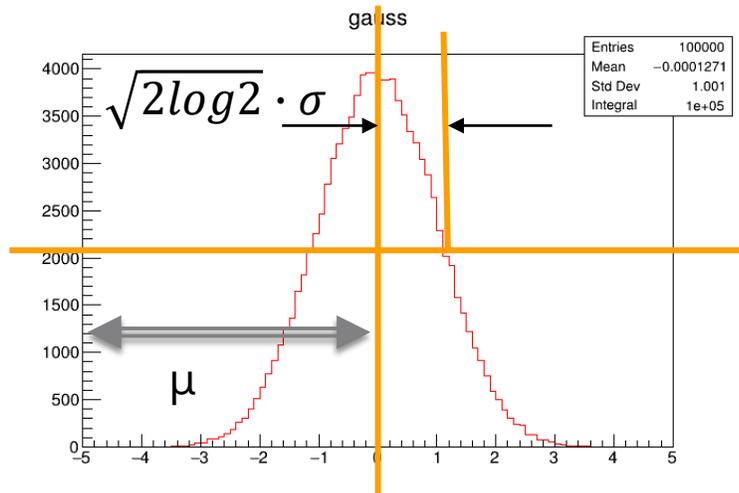
- 場所によって光電ピークの値に違いがある (今回だと最大で5%)
- 全ての測定でコンプトンエッジが分布から読み取ることができなかった

コンプトンエッジについて

- コンプトンエッジが見えないのはエネルギー分解能が原因ではないかと考え、分布を再現するシミュレーションを行うことにした。
- 光電ピークを描いている部分をガウス関数、コンプトン散乱をしている部分をコンプトンの断面積の式を用いてモンテカルロシミュレーションでそれぞれ乱数生成し、それを連結させてヒストグラムを作成した。
- 今回の乱数生成にあたって μ と σ の値は5番1回目における分布をモデルとした。
- 実験結果のような分布を描くのはエネルギー分解能がどれくらいのときなのかを調べた



分解能の見積もり



ガウス関数

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

$x = \mu$ の位置にピークがあるとすると

$$e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} = \log 2$$

$$x = \mu \pm \sqrt{2\log 2} \cdot \sigma$$

$\frac{\Delta}{\sqrt{2\log 2}}$ を σ の見積値とする。

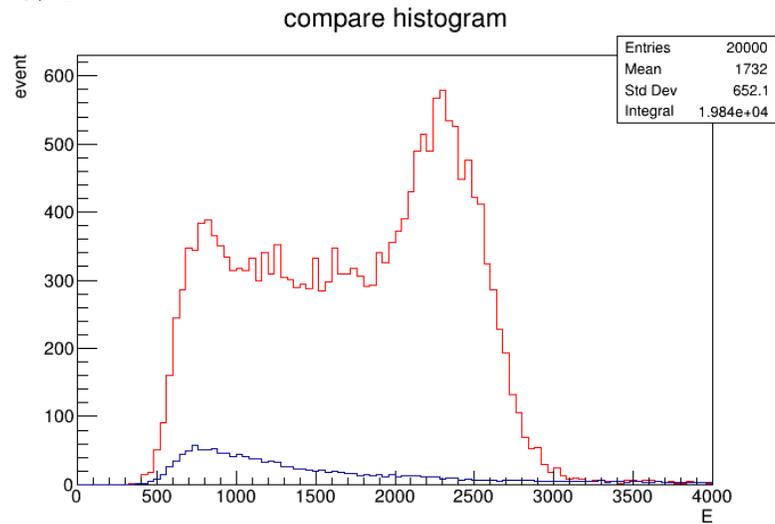
エネルギー分解能の見積値は σ/μ
 コンプトン散乱におけるエネルギー分布を、見積もった分解能と同じ値 σ をもつガウス関数でぼかす分布を作る乱数生成したものをヒストグラムにした。

シミュレーション結果

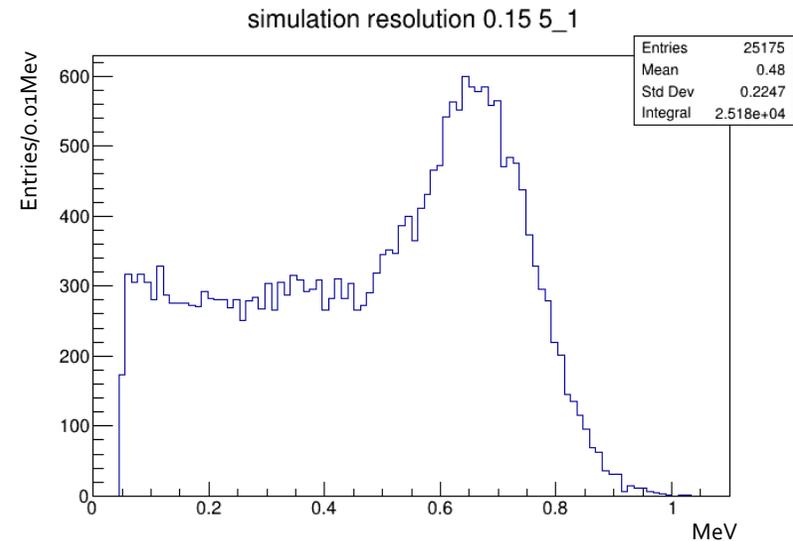
実際の実験結果

場所：5番（BGOの真ん中）

1回目の測定



1回目の測定をモデルにして
シミュレーションしたもの



エネルギー分解能：0.15

コンプトン散乱部分の乱数生成回数：14000

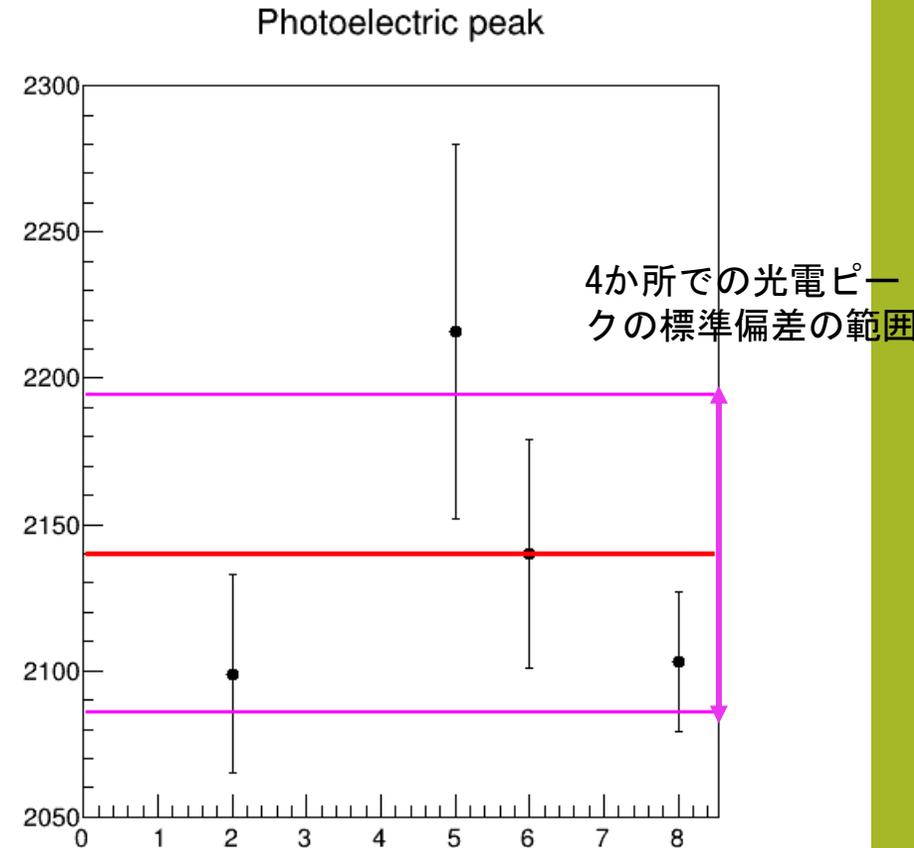
光電ピーク部分の乱数生成回数：13000

目次

- はじめに
- 実験方法
- 実験結果
- まとめ

まとめ (1)

- プリシャワー検出器のシンチレーション部分の検討を行った
- ^{137}Cs を用いてPMTで読み出しを行った
- シンチレーターの場所によって読み出し光量の標準偏差は約5%あった
- 同一の点で測定を繰り返すと標準偏差は約3%であった
- 以上より場所による読み出し光量に顕著な差があったとは言えない



縦軸：イベント数
横軸：測定位置の番号に対応

まとめ (2)

- 得たエネルギー損失のスペクトラムを理解するため

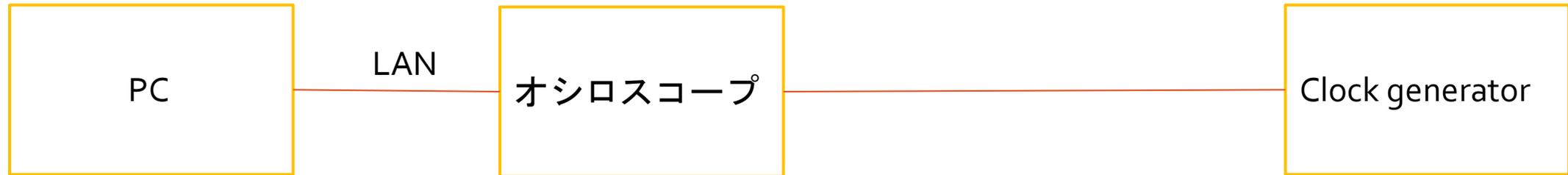
1. 光電ピークはガウス分布
2. コンプトン散乱は理論式に従って棄却法で生成したものを (1) の値から $\sigma_E/E \propto 1/\sqrt{E}$ の分解能の影響を受けると仮定

という設定でモンテカルロ法により擬似データを生成して比較した。

- 得たエネルギー損失スペクトラムはコンプトン散乱事象数:光電ピーク事象数=7:6程度、 $\sigma_E/E=0.15$ (0.662MeVの時)、 $\sigma_E/E \propto 1/\sqrt{E}$ という仮定とおおむね一致することが分かった。

メモ

スケーラーを使う動機



周波数 [Hz]	測定回数	Read errorの回数	測定時間	Read errorの起きている頻度 [sec]
1	300	16	444	27.8
10	3000	26	633	24.3
100	3000	19	590	31.1
500	3000	24	597	24.9
1000	3000	22	596	27.1

シンチレータ

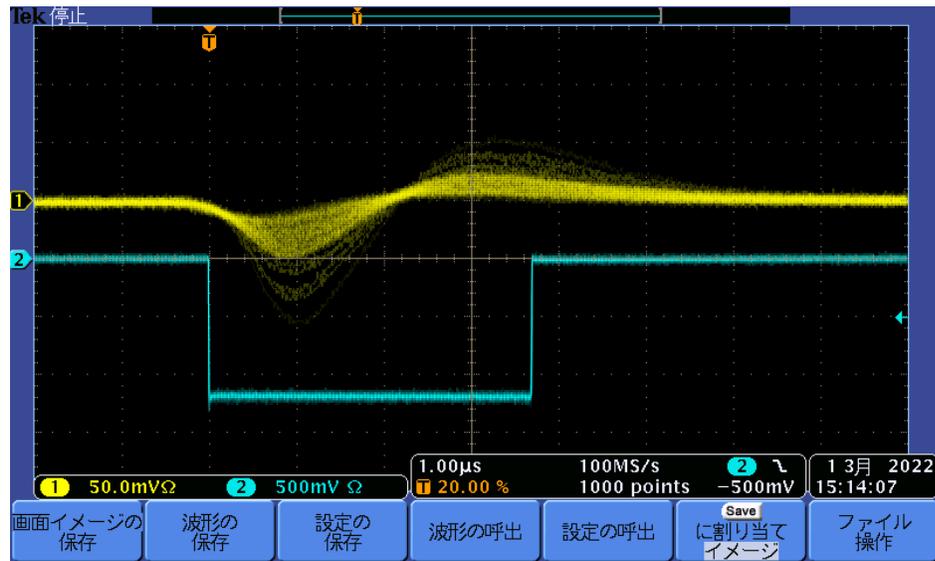
CsI(Tl)

- 大きさ : 5.5x5.5x2.2cm
- 密度 : 4.51g/cm³
- 潮解性あり
- 無色透明
- 最大発光波長 : 550nm
- 蛍光減衰時間 : 1000ns

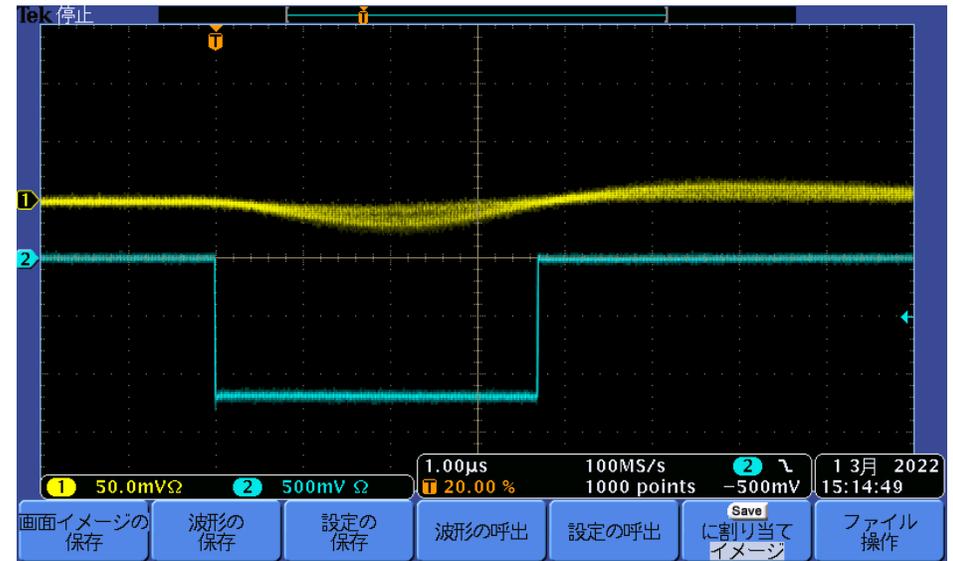
BGO

- シミュレーションで使っている方
- 大きさ : 4.4x4.4x1.2cm
- 密度 : 7.13g/cm³
- 酸化物の1つ
- 無色透明
- 最大発光波長 : 480nm
- 蛍光減衰時間 : 300ns

Shaper:0.5



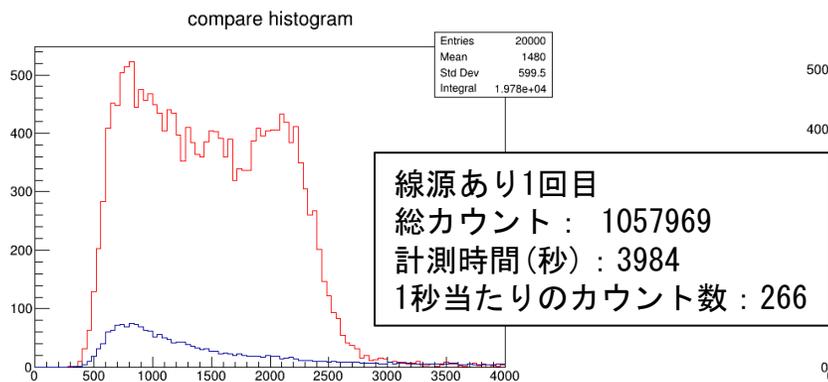
Shaper:1.0



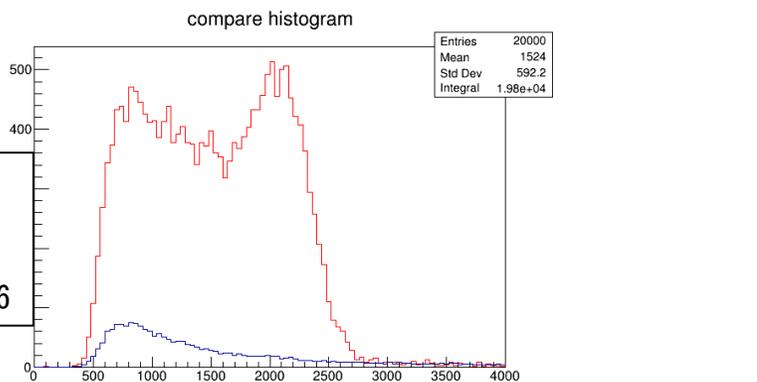
改善前

1(-2.2,2.2)にコリメーターを置いた時

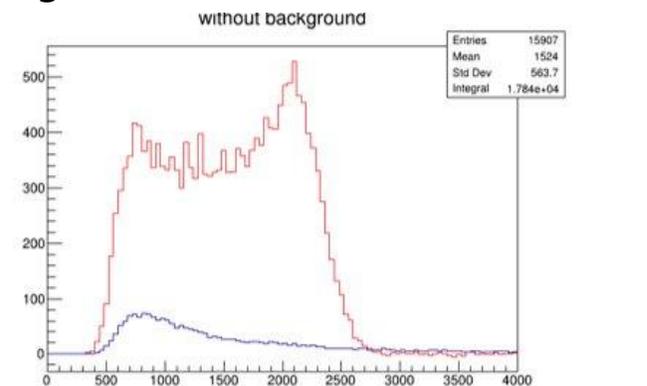
1回目



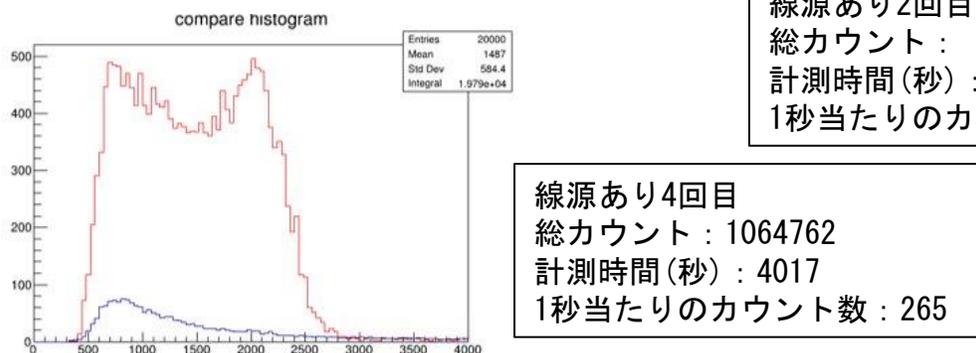
2回目



3回目



4回目

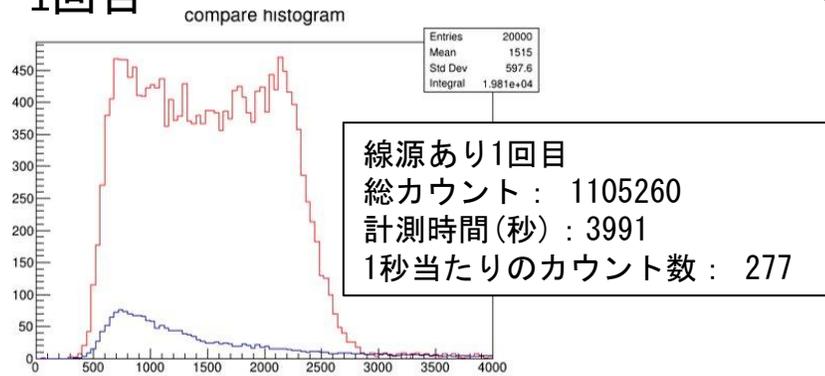


線源なし
総カウント: 118332
計測時間(秒): 4157
1秒当たりのカウント数: 29

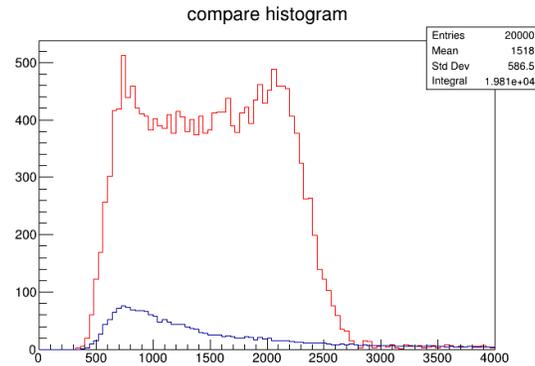
総カウント: PCでの測定回数2万でのスケラーでの回数
計測時間(秒): PCで2万回測定までにかかった時間
1秒当たりのカウント: 1秒当たりでのスケラーでのカウント数

2(0,2.2)にコリメーターを置いた時

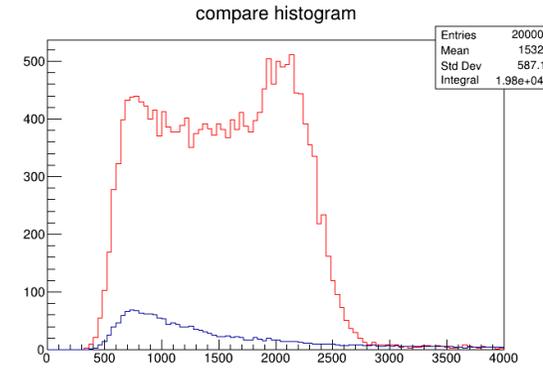
1回目



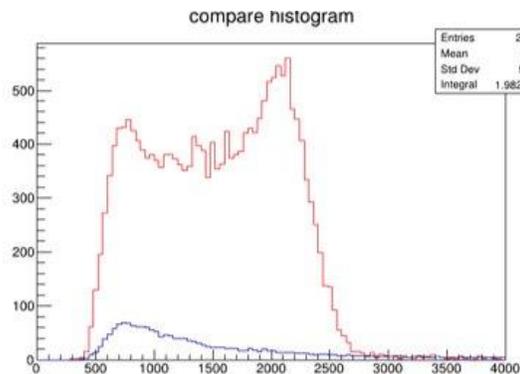
2回目



3回目



4回目



線源あり2回目
総カウント： 1098324
計測時間(秒)： 3987
1秒当たりのカウント数： 276

線源あり3回目
総カウント： 1158795
計測時間(秒)： 4014
1秒当たりのカウント数： 289

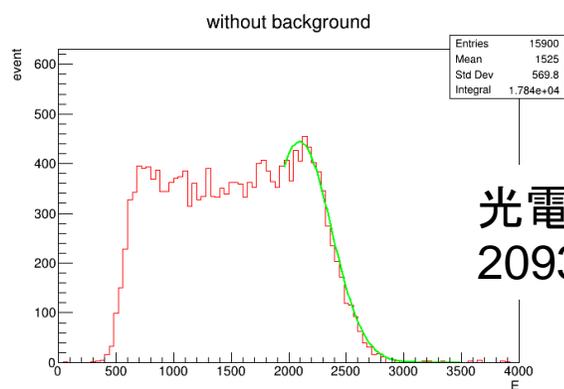
線源あり4回目
総カウント： 1211217
計測時間(秒)： 4023
1秒当たりのカウント数： 301

線源なし
総カウント： 119330
計測時間(秒)： 4146
1秒当たりのカウント数： 29

2(0, 2.2)のガウス部分のFit結果

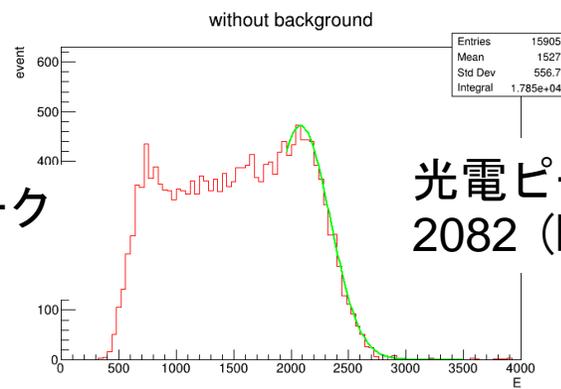
前ページの手istogramからバックグラウンドを引いたistogram

1回目



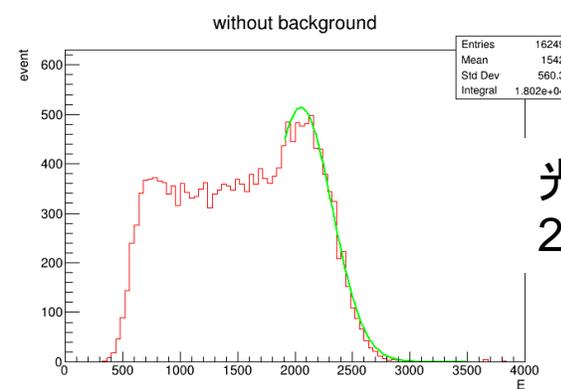
光電ピーク
2093 (E)

2回目



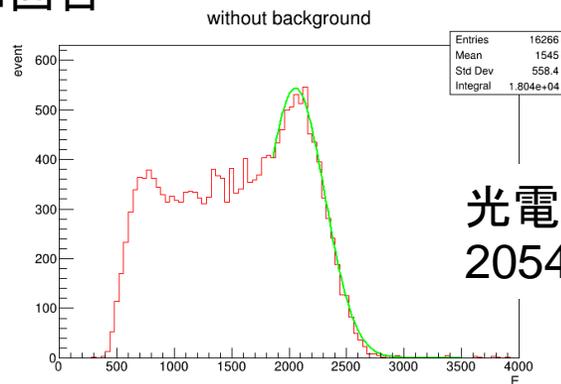
光電ピーク
2082 (E)

3回目



光電ピーク
2051 (E)

4回目

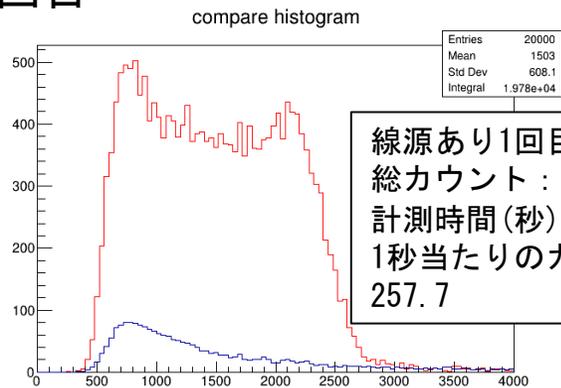


光電ピーク
2054 (E)

光電ピーク 2070 ± 21 (E)

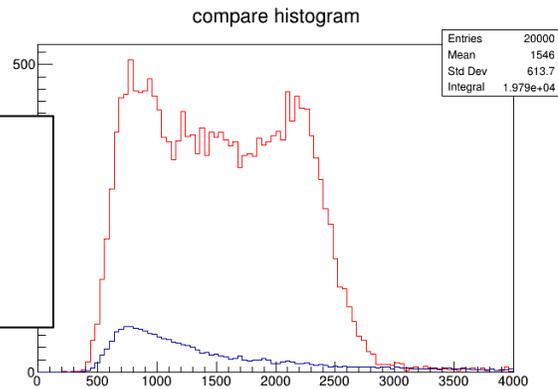
3(2.2,2.2)にコリメーターを置いた時

1回目



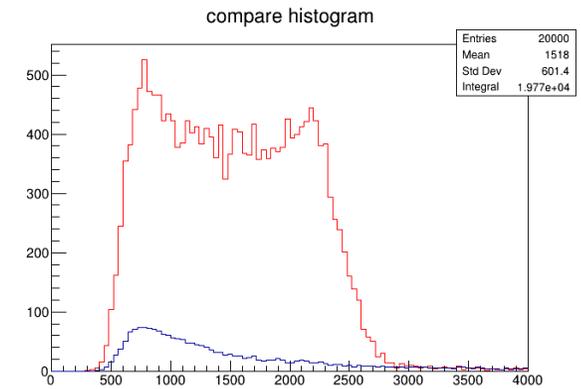
線源あり1回目
総カウント： 1031119
計測時間(秒)： 4002
1秒当たりのカウント数：
257.7

2回目



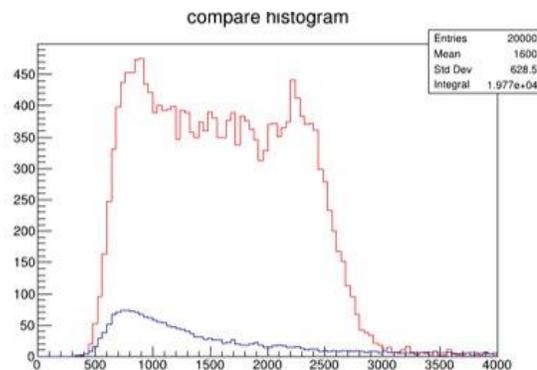
線源あり2回目
総カウント： 1054038
計測時間(秒)： 3983
1秒当たりのカウント数： 264.6

3回目



線源あり3回目
総カウント： 1053151
計測時間(秒)： 4000
1秒当たりのカウント数： 263.3

4回目

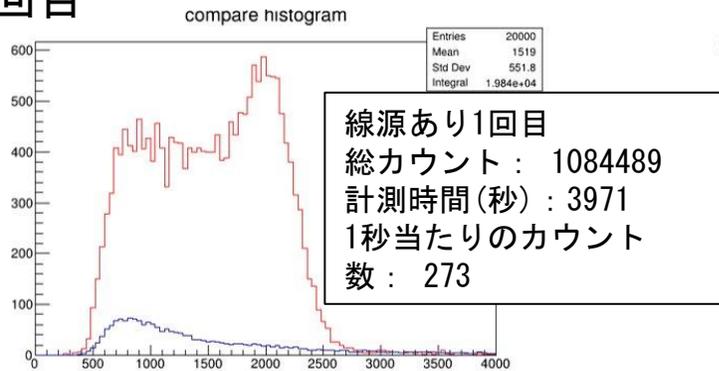


線源あり4回目
総カウント： 1077120
計測時間(秒)： 3986
1秒当たりのカウント数：
270.2

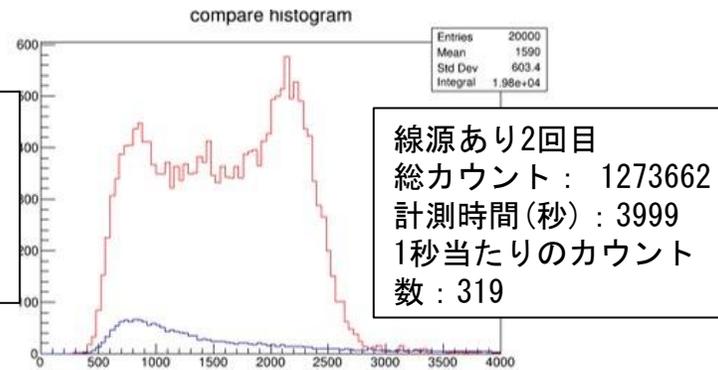
線源なし
総カウント： 120566
計測時間(秒)： 4134
1秒当たりのカウント数： 29.2

4(-2.2,0)にコリメーターを置いた時

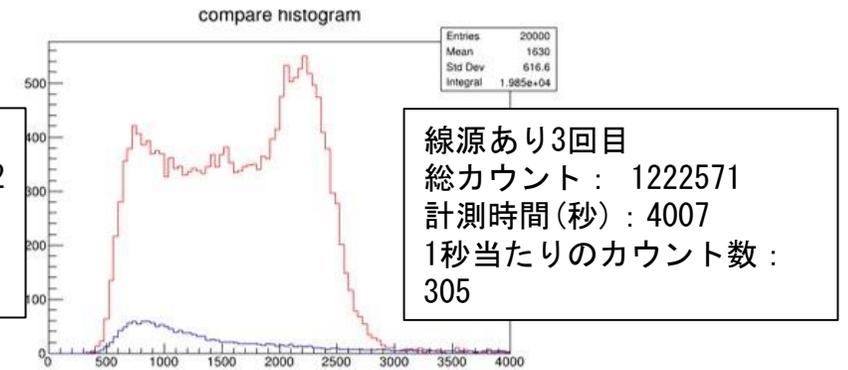
1回目



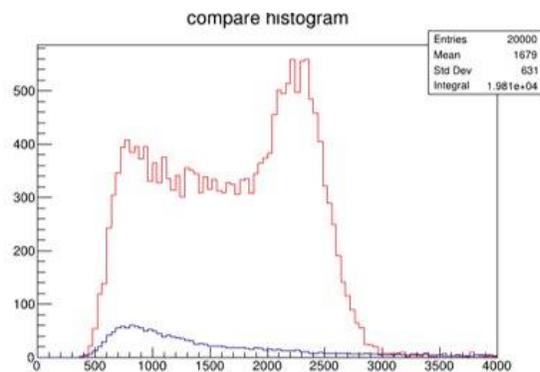
2回目



3回目



4回目

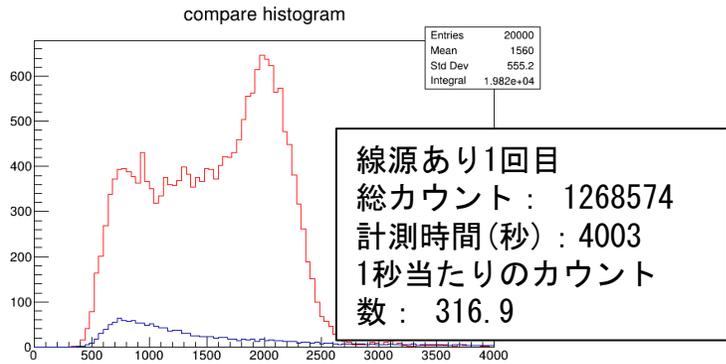


線源あり4回目
総カウント: 1281217
計測時間(秒): 3994
1秒当たりのカウント数:
320.8

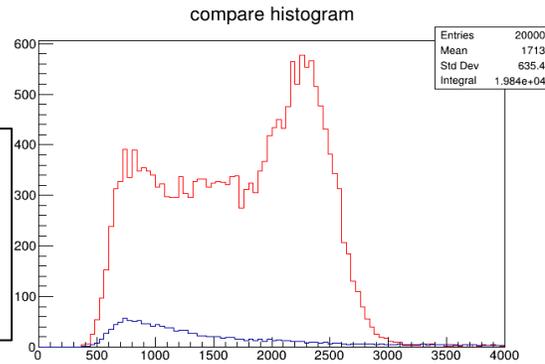
線源なし
総カウント: 117183
計測時間(秒): 4116
1秒当たりのカウント数: 29

5(0,0)にコリメーターを置いた時

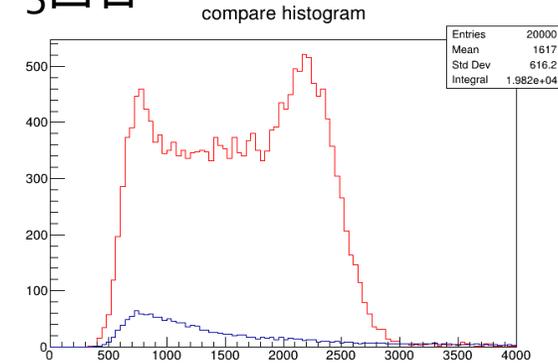
1回目



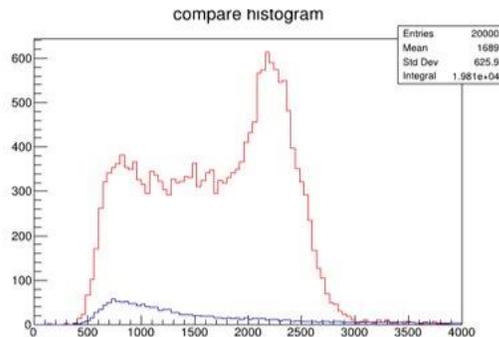
2回目



3回目



4回目



線源あり2回目
総カウント: 1429892
計測時間(秒): 3975
1秒当たりのカウント数: 359.7

線源あり3回目
総カウント: 1286493
計測時間(秒): 4003
1秒当たりのカウント数: 321.4

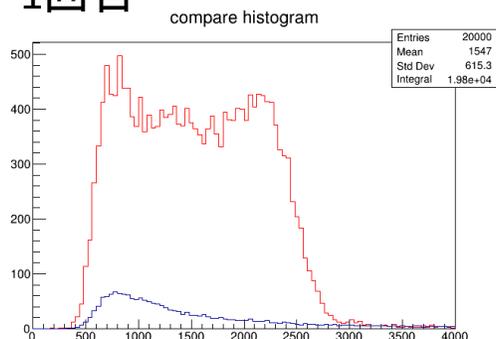
線源あり4回目
総カウント: 1443130
計測時間(秒): 4008
1秒当たりのカウント数: 360.1

線源なし
総カウント: 114664
計測時間(秒): 4156
1秒当たりのカウント数: 27.6

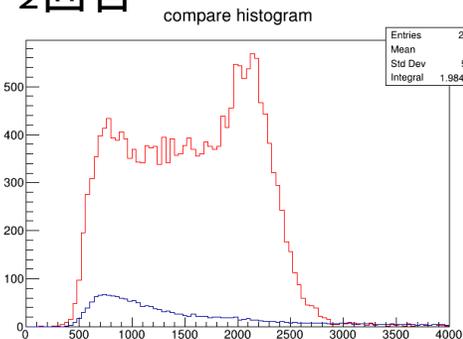
6(2.2,0)にコリメーターを置いた時 (PMTとBGOが隣り合っている位置)

赤色：線源あり
 青色：線源なし
 線源ありとなしの時の総カウン
 トの値で重みをつけている。

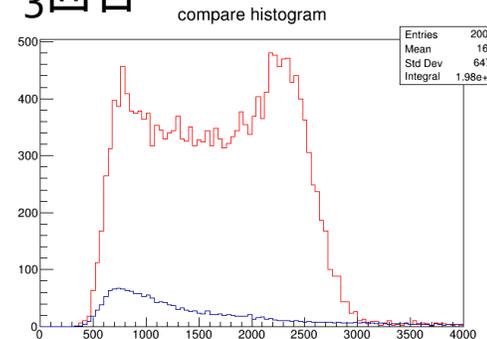
1回目



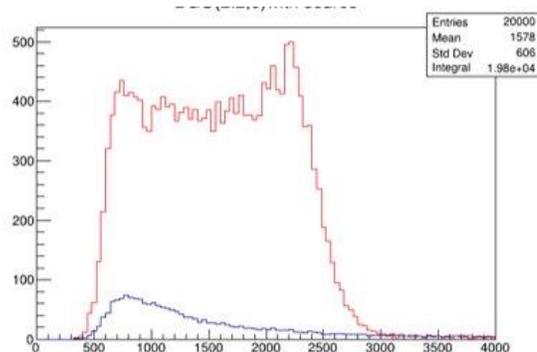
2回目



3回目



4回目



線源あり1回目
 総カウント：1118559
 計測時間(秒)：3989
 1秒当たりのカウント数：
 280

線源あり2回目
 総カウント：1249786
 計測時間(秒)：3997
 1秒当たりのカウント数：
 313

線源あり3回目
 総カウント：1253500
 計測時間(秒)：3978
 1秒当たりのカウント数：
 315

線源あり4回目
 総カウント：1189540
 計測時間(秒)：4010
 1秒当たりのカウント数：
 297

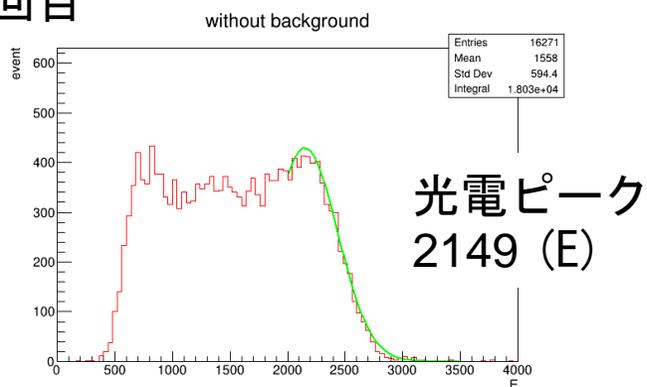
線源なし
 総カウント：112720
 計測時間(秒)：4124
 1秒当たりのカウント数：27.3

総カウント：PCでの測定回数2万でのスケーラーでの回数
 計測時間(秒)：PCで2万回測定までにかかった時間
 1秒当たりのカウント：1秒当たりでのスケーラーでのカウント数

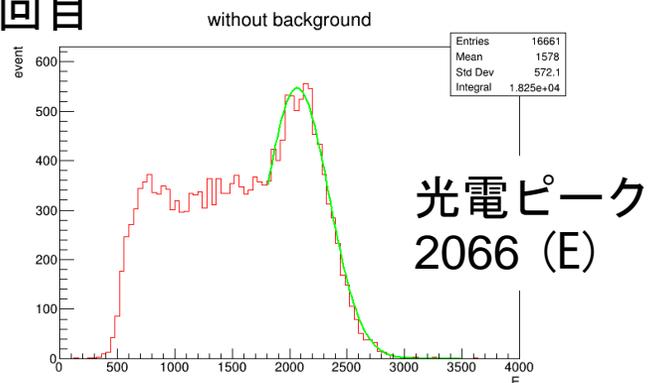
6 (2. 2, 0) のガウス部分のFit結果

前ページのヒストグラムからバックグラウンドを引いたヒストグラム

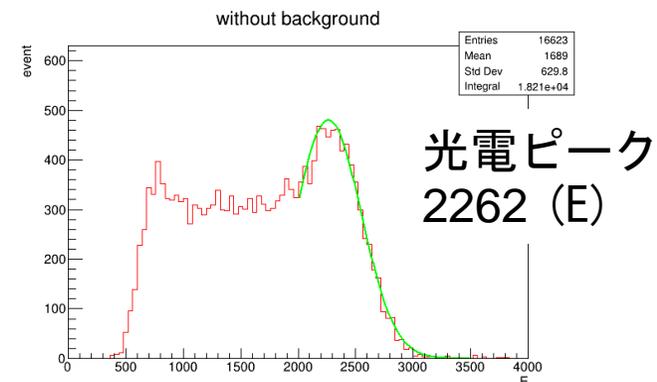
1回目



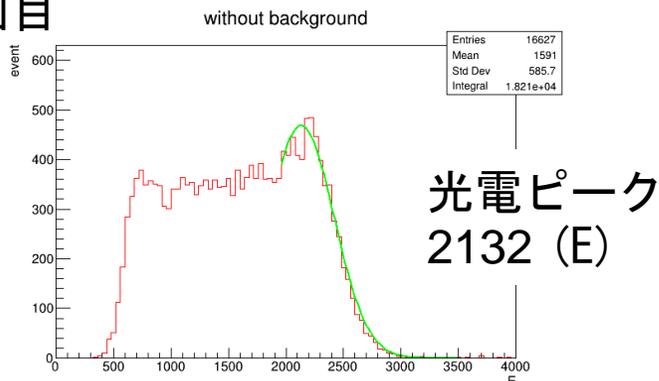
2回目



3回目



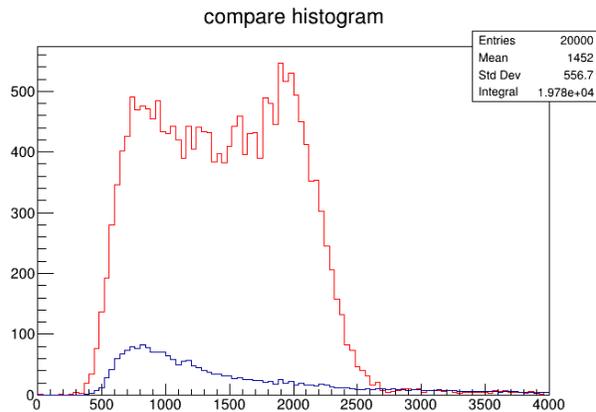
4回目



光電ピーク 2152 ± 81 (E)

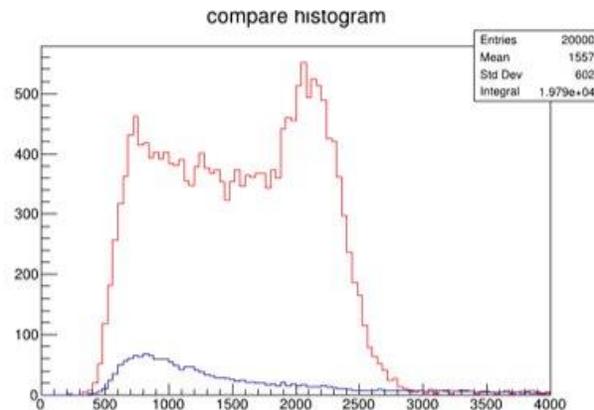
7(-2.2,-2.2)にコリメーターを置いた時

1回目



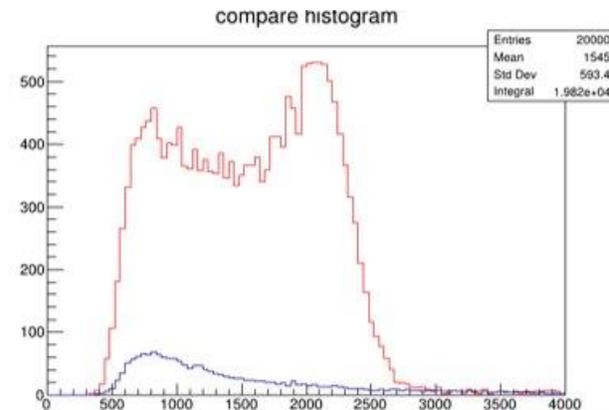
線源あり1回目
総カウント： 978364
計測時間(秒)： 3990
1秒当たりのカウント数： 245

2回目



線源あり2回目
総カウント： 1138334
計測時間(秒)： 4011
1秒当たりのカウント数： 284

3回目

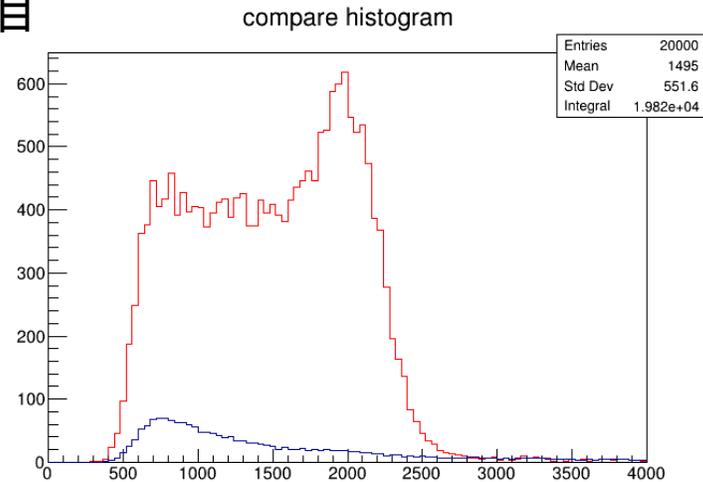


線源あり3回目
総カウント： 1144126
計測時間(秒)： 4030
1秒当たりのカウント数： 284

線源なし
総カウント： 114781
計測時間(秒)： 4182
1秒当たりのカウント数 ⁴⁶27

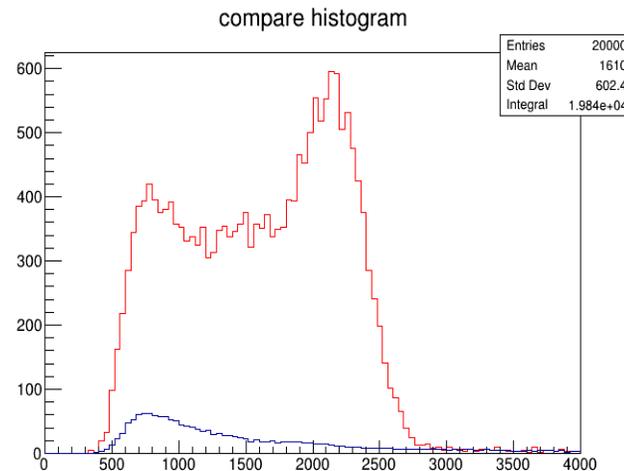
8(0,-2.2)にコリメーターを置いた時

1回目



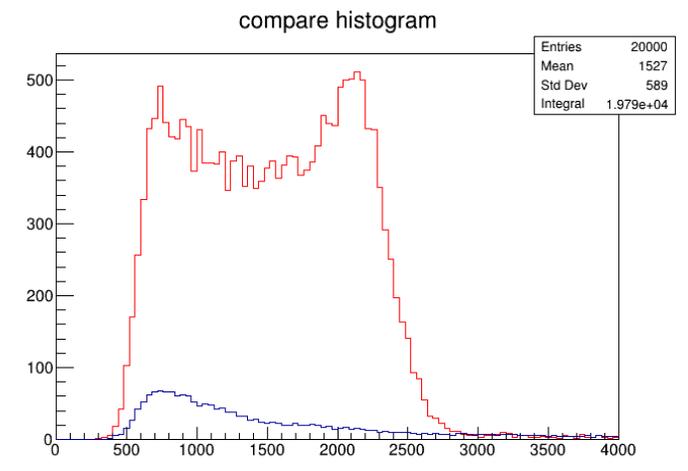
線源あり1回目
総カウント : 1154088
計測時間(秒) : 3997
1秒当たりのカウント数 : 289

2回目



線源あり2回目
総カウント : 1267296
計測時間(秒) : 4010
1秒当たりのカウント数 : 316

3回目



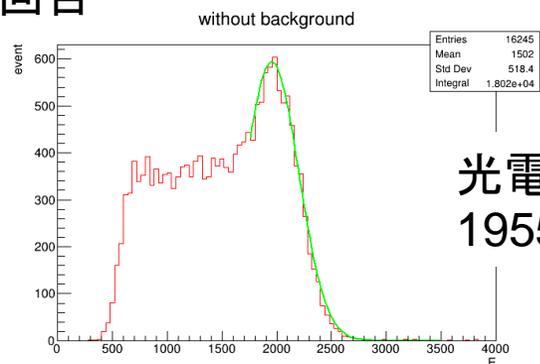
線源あり3回目
総カウント : 1138120
計測時間(秒) : 4023
1秒当たりのカウント数 : 283

線源なし
総カウント : 112943
計測時間(秒) : 4218
1秒当たりのカウント数 : 27⁴⁷

8 (0, -2. 2) のガウス部分のFit結果

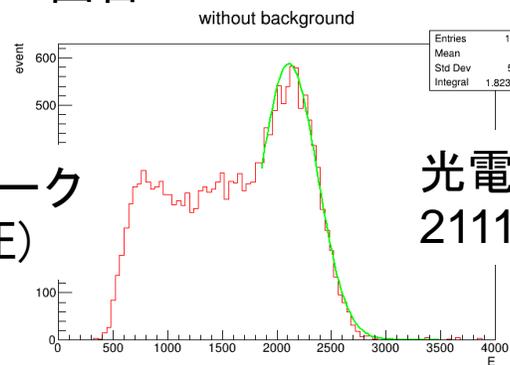
前ページのヒストグラムからバックグラウンドを引いたヒストグラム

1回目



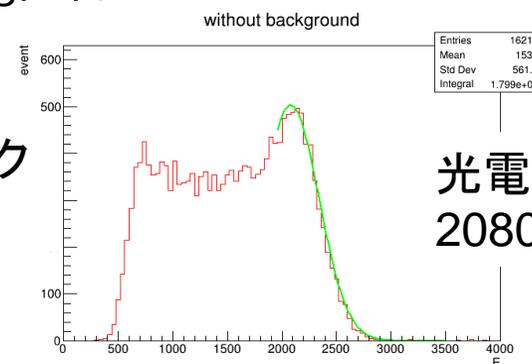
光電ピーク
1955 (E)

2回目



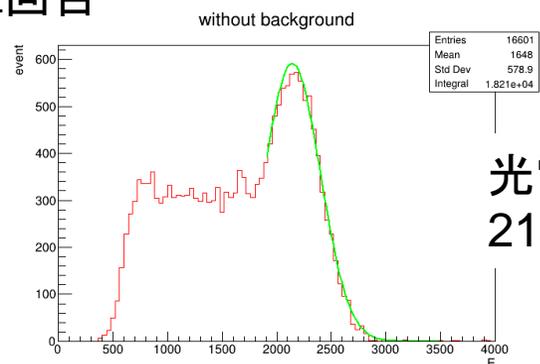
光電ピーク
2111 (E)

3回目



光電ピーク
2080 (E)

4回目

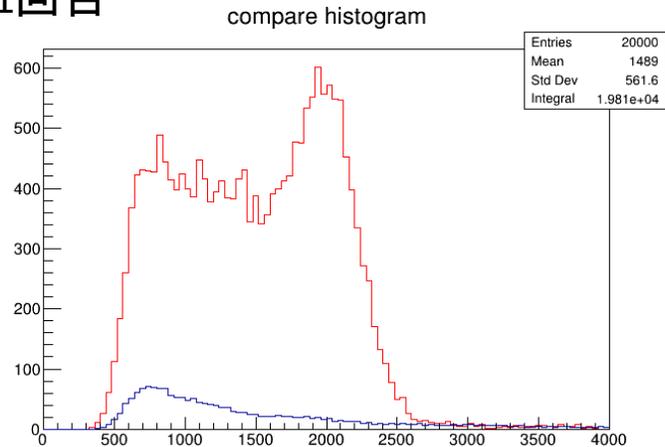


光電ピーク
2138 (E)

光電ピーク 2071 ± 81 (E)

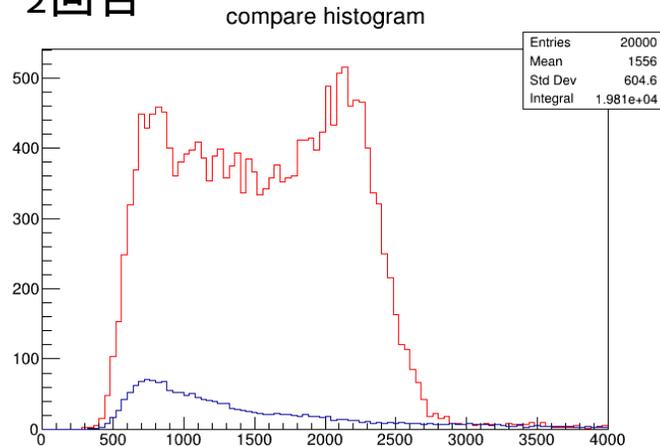
9(2.2,-2.2)にコリメーターを置いた時

1回目



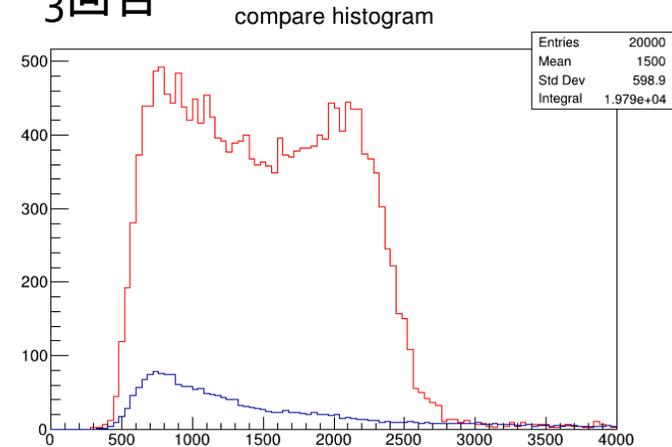
総カウント : 1104249
計測時間(秒) : 4010
1秒当たりのカウント数 : 275.4

2回目



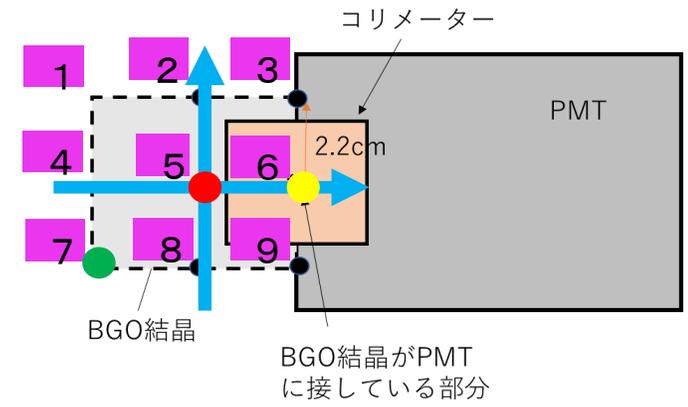
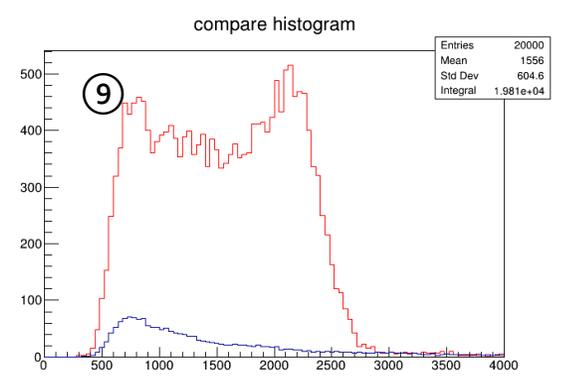
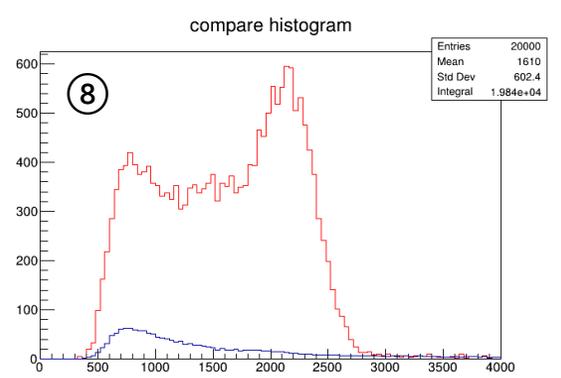
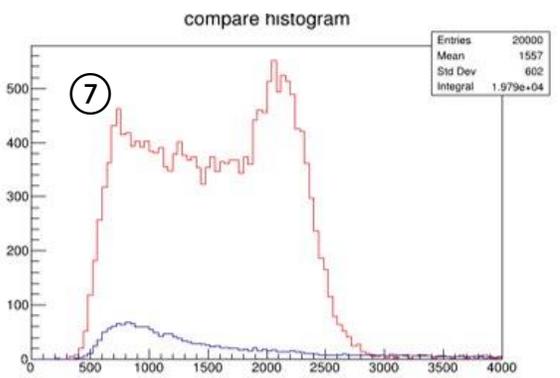
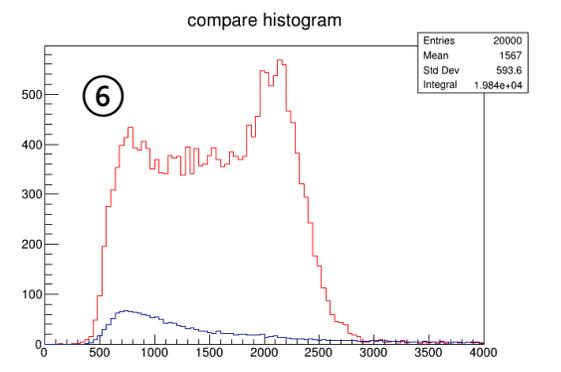
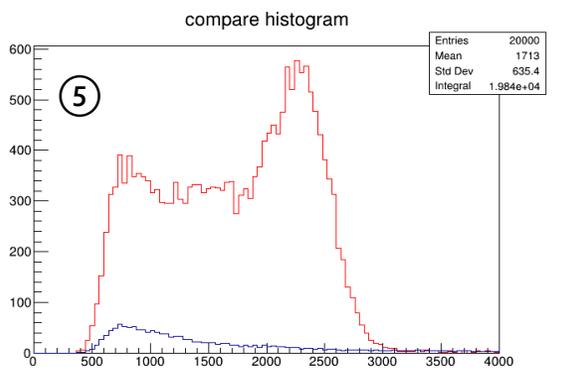
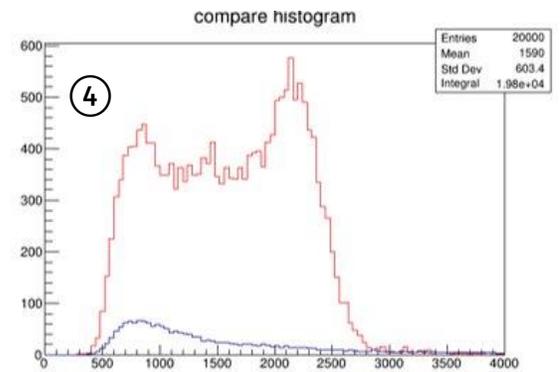
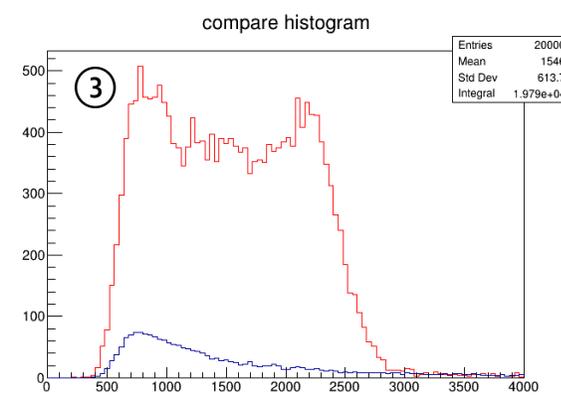
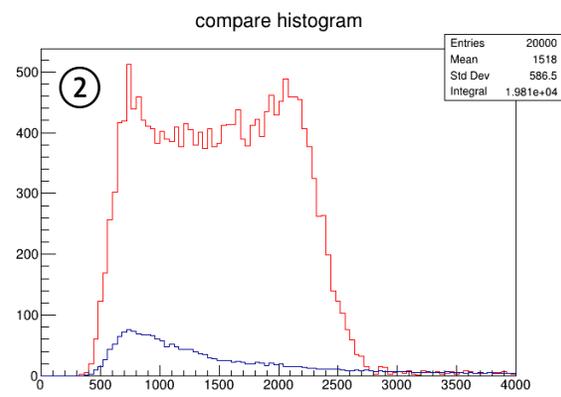
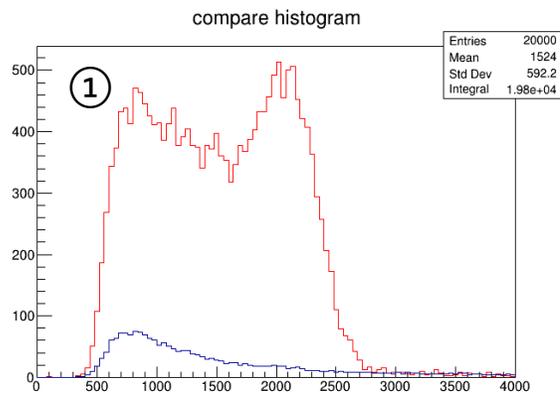
総カウント : 1137666
計測時間(秒) : 3995
1秒当たりのカウント数 : 284.8

3回目



総カウント : 1029446
計測時間(秒) : 3986
1秒当たりのカウント数 : 258.3

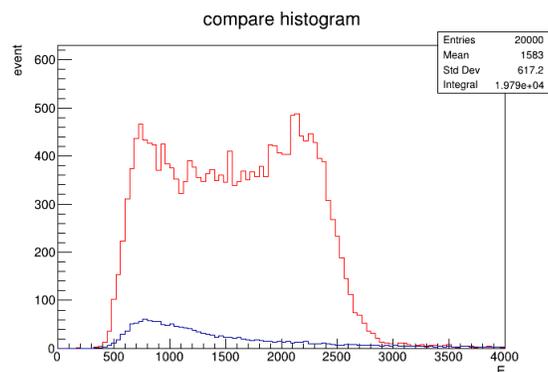
線源なし
総カウント : 112411
計測時間(秒) : 4184
1秒当たりのカウント数 : 26.9



改善後

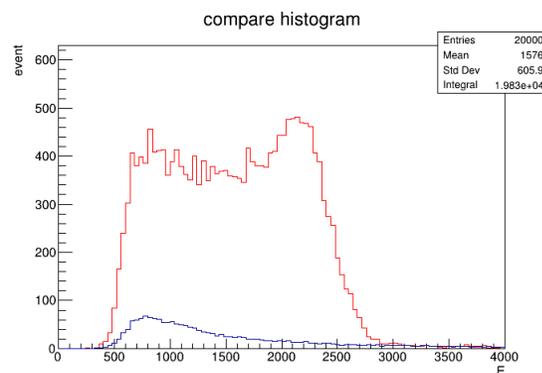
6 (2.2, 0) の位置ではかりなおした結果

1回目



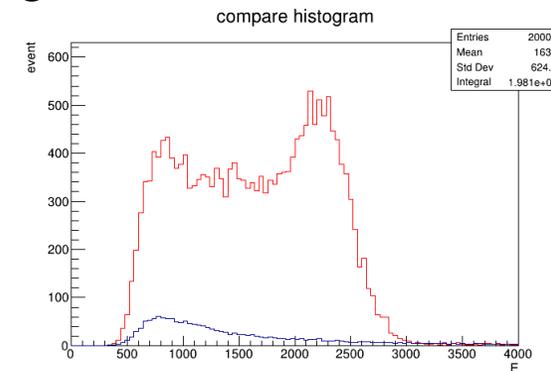
線源あり1回目
総カウント : 119521
計測時間(秒) : 4020
1秒当たりのカウント数: 297.4

2回目



線源あり2回目
総カウント : 1185322
計測時間(秒) : 4020
1秒当たりのカウント数: 294.9

3回目

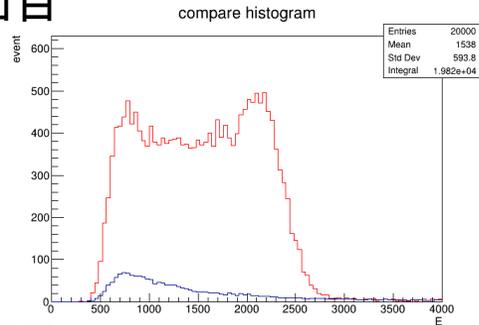


線源あり3回目
総カウント : 1250086
計測時間(秒) : 4013
1秒当たりのカウント数: 311.5

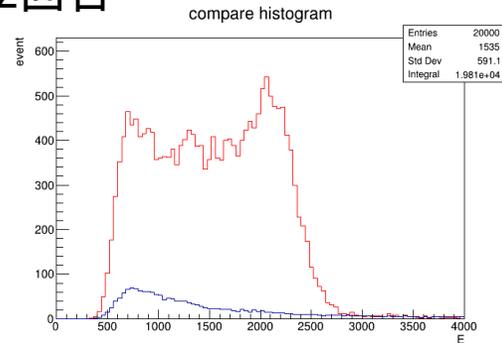
線源なし
総カウント : 112720
計測時間(秒) : 4124
1秒当たりのカウント数 : 27.3

2(0, 2.2)の位置ではかりなおした結果

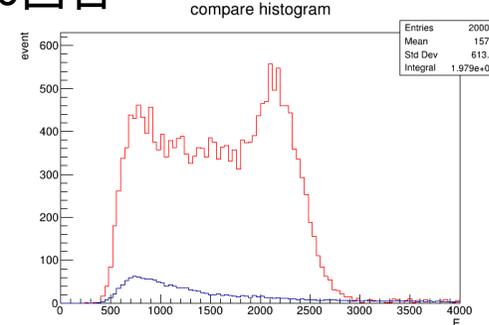
1回目



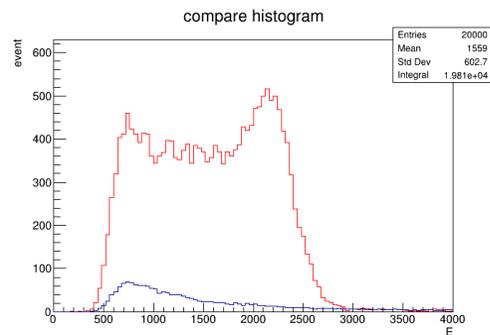
2回目



3回目



4回目



線源あり1回目
 総カウント : 1181296
 計測時間(秒) : 4021
 1秒当たりのカウント数 : 293.8

線源あり2回目
 総カウント : 1174762
 計測時間(秒) : 4033
 1秒当たりのカウント数 : 291

線源あり3回目
 総カウント : 1256730
 計測時間(秒) : 4018
 1秒当たりのカウント数 : 313

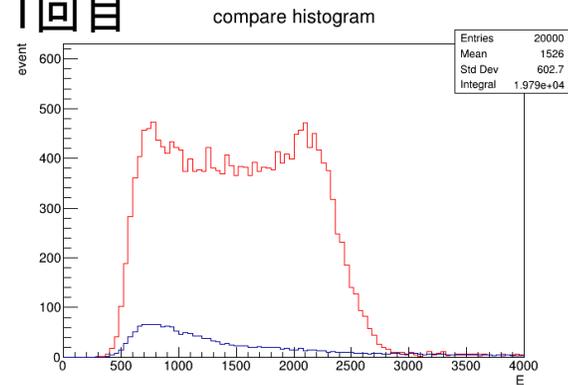
線源あり4回目
 総カウント : 1252475
 計測時間(秒) : 4027
 1秒当たりのカウント数 : 311

総カウント : PCでの測定回数2万でのスケーラーでの回数
 計測時間(秒) : PCで2万回測定までにかかった時間
 1秒当たりのカウント : 1秒当たりでのスケーラーでのカウント数

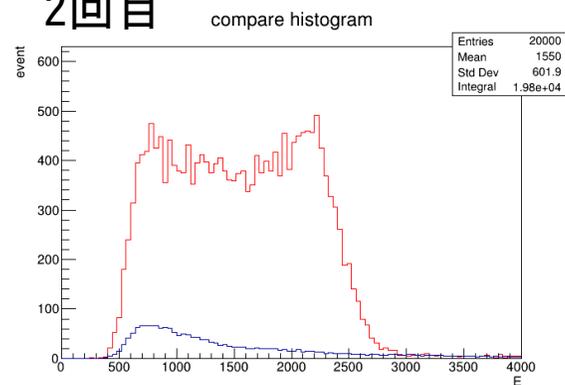
線源なし
 総カウント : 119330
 計測時間(秒) : 4146
 1秒当たりのカウント数 : 29

8 (0, -2.2) の位置ではかりなおした結果

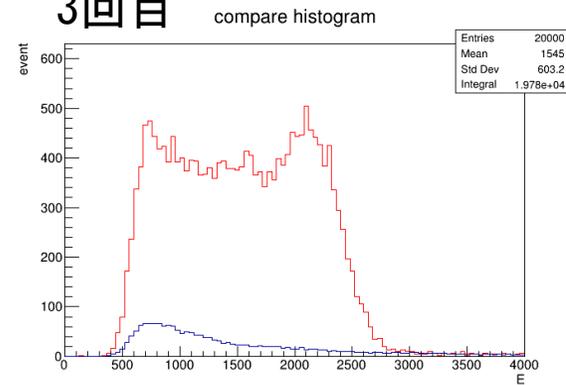
1回目



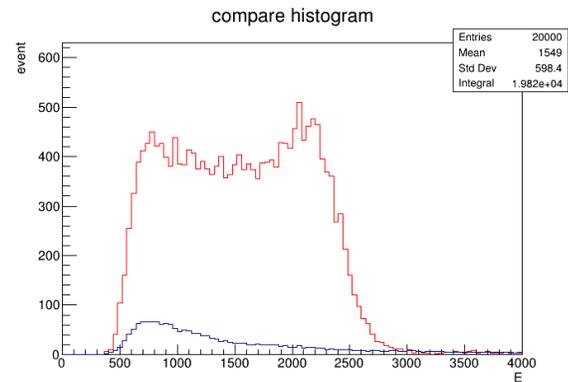
2回目



3回目



4回目



線源あり1回目
 総カウント： 1151200
 計測時間(秒)： 4026
 1秒当たりのカウント数：286

線源あり2回目
 総カウント： 1141882
 計測時間(秒)： 4011
 1秒当たりのカウント数：285

線源あり3回目
 総カウント： 1138482
 計測時間(秒)： 4012
 1秒当たりのカウント数：284

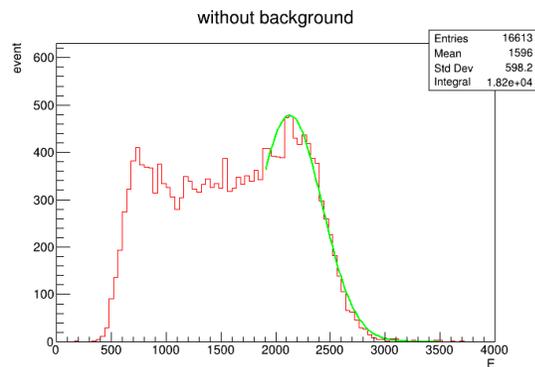
線源あり4回目
 総カウント： 1149286
 計測時間(秒)： 4027
 1秒当たりのカウント数：285

線源なし
 総カウント： 112943
 計測時間(秒)： 4218
 1秒当たりのカウント数： 27

6 (2.2, 0) ではかりなおしたときのガウス部分のFit結果

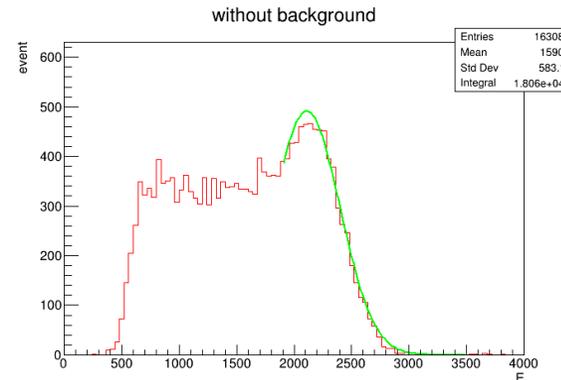
前ページのヒストグラムからバックグラウンドを引いたヒストグラム

1回目



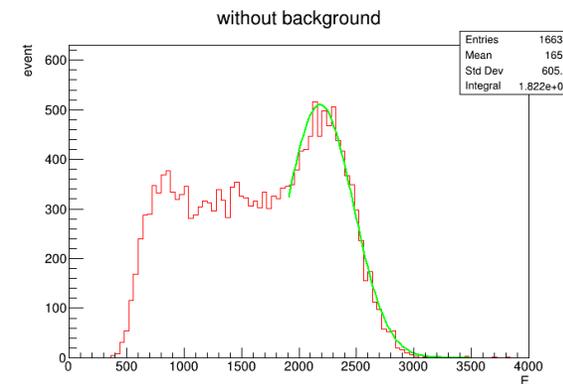
光電ピーク
2128 (E)

2回目



光電ピーク
2109 (E)

3回目



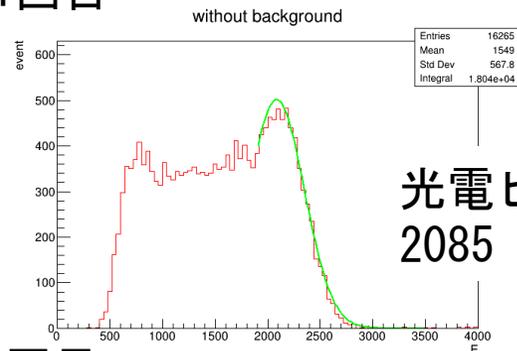
光電ピーク
2184 (E)

光電ピーク 2140 ± 39 (E)

2(0, 2.2)ではかりなおしたときのガウス部分のFit結果

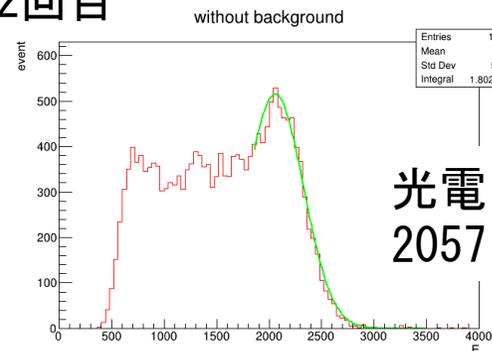
前ページのヒストグラムからバックグラウンドを引いたヒストグラム

1回目



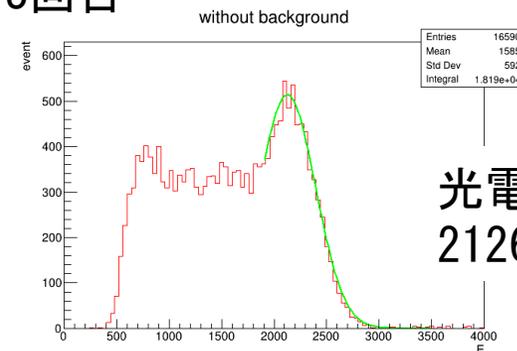
光電ピーク
2085 (E)

2回目



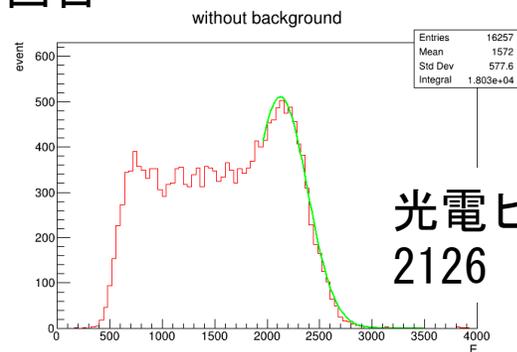
光電ピーク
2057 (E)

3回目



光電ピーク
2126 (E)

4回目



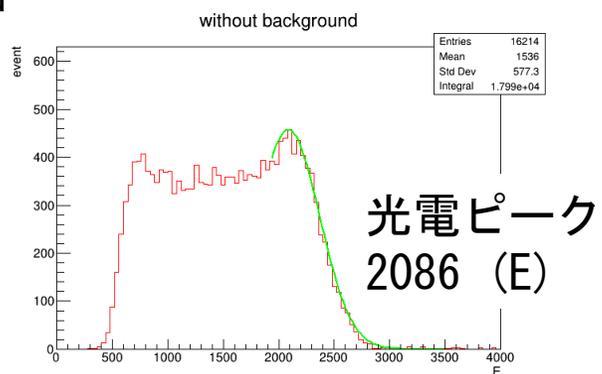
光電ピーク
2126 (E)

光電ピーク 2099 ± 34 (E)

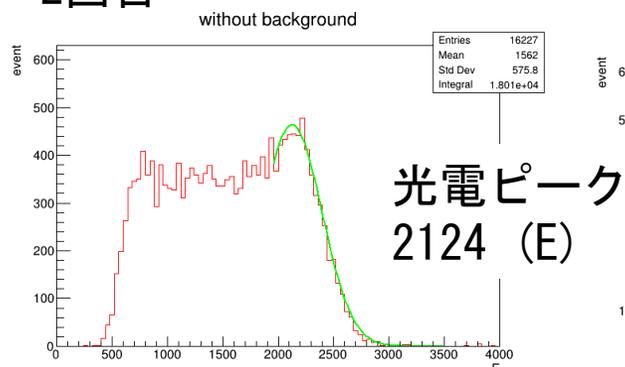
8 (0, -2.2) ではかりなおしたときのガウス部分のFit結果

前ページのヒストグラムからバックグラウンドを引いたヒストグラム

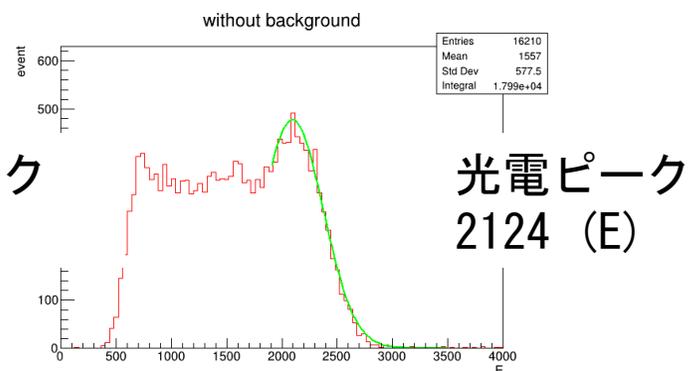
1回目



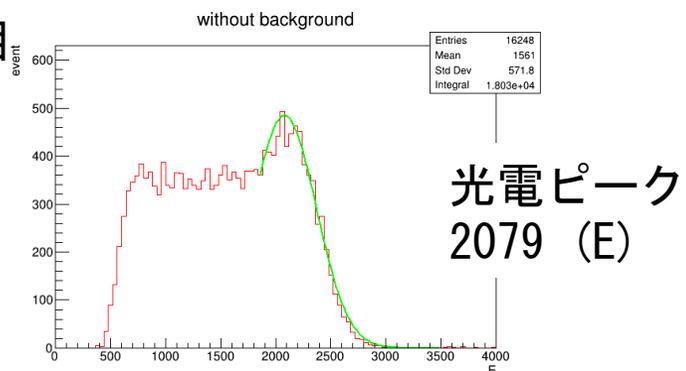
2回目



3回目



4回目



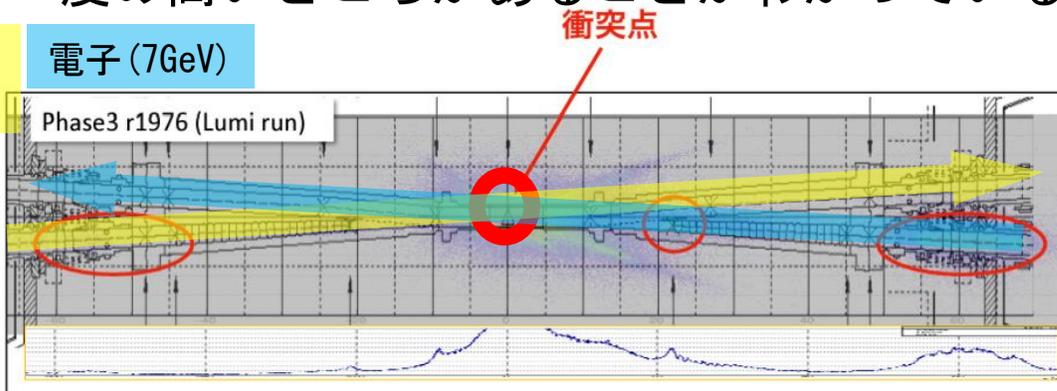
光電ピーク 2103 ± 24 (E)

現状の問題点

- 測定したい物理現象の γ 線だけでなく、ビームバックグラウンドの γ 線も同時に測定している
- 現在使用しているCsI(Tl)結晶は発光減衰時間が長いいためバックグラウンドのpileアップが雑音レベルの上昇をもたらしているのが問題となっている
- Belle II実験ではバックグラウンド γ 線が衝突点から2mくらい離れたところに発生頻度の高いところがあることがわかっているが排除はできない

陽電子
(4GeV)

電子 (7GeV)



○ …ホットスポット(バックグラウンドの発生源)

