

LHC-ALICE実験における 電磁力ロリメータによる光子識別の ための時間情報の較正

(10/07/30)

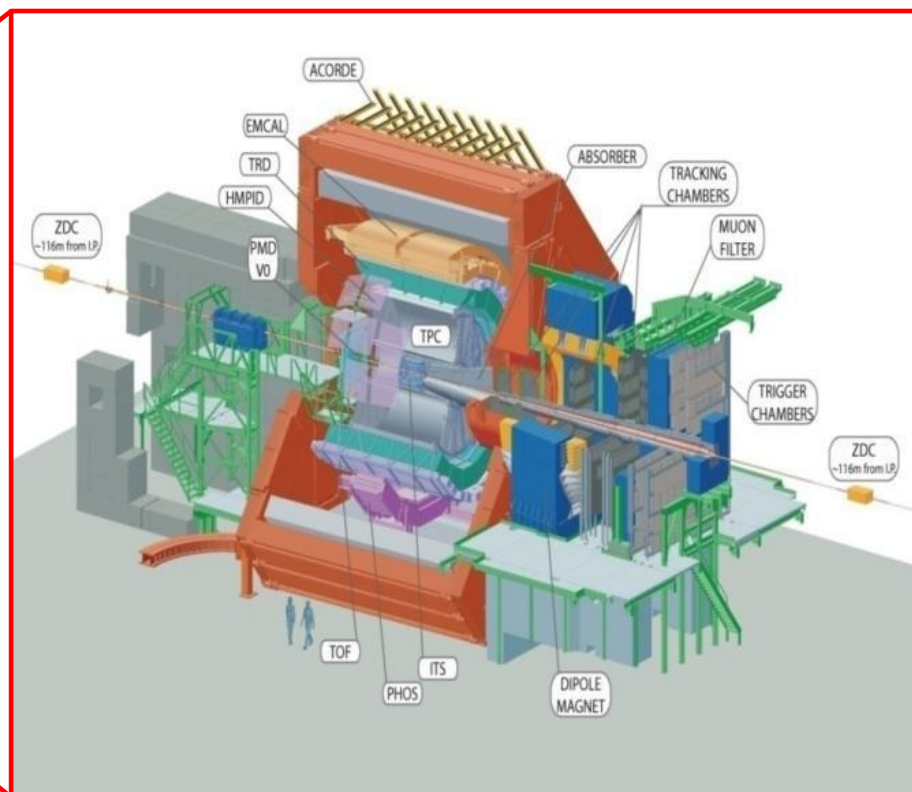
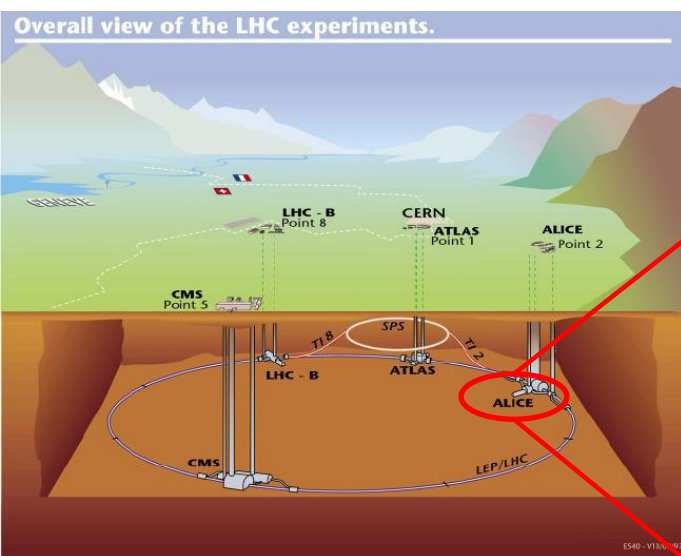
数理物質科学研究科
物理学専攻 博士前期課程 1 年
高エネルギー原子核実験研究室

近藤祐樹@CERN

List

- LHC-ALICE実験
- EMCal
- タイミング補正
- まとめ&今後の予定
- 宇宙史を振り返って

LHC-ALICE実験



LHC(Large Hadron Collider)

- ・ジュネーブ(スイス)に位置するCERN所有の大型ハドロン衝突型加速器
 - ・円周約27km
 - ・ $\sqrt{s_{NN}} = 5.5\text{TeV}$ 鉛+鉛
 - ・ $\sqrt{s} = 14\text{TeV}$ 陽子+陽子
- 世界最高エネルギーの粒子衝突実験である

ALICE実験

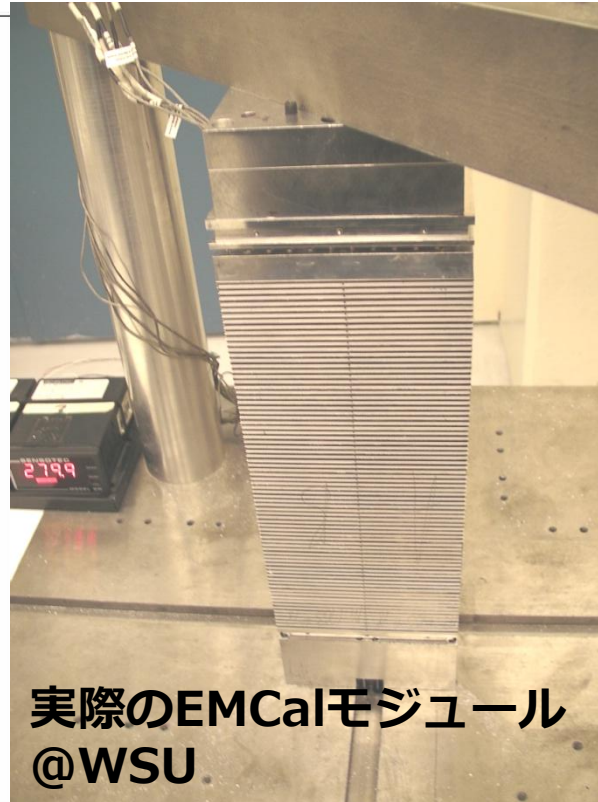
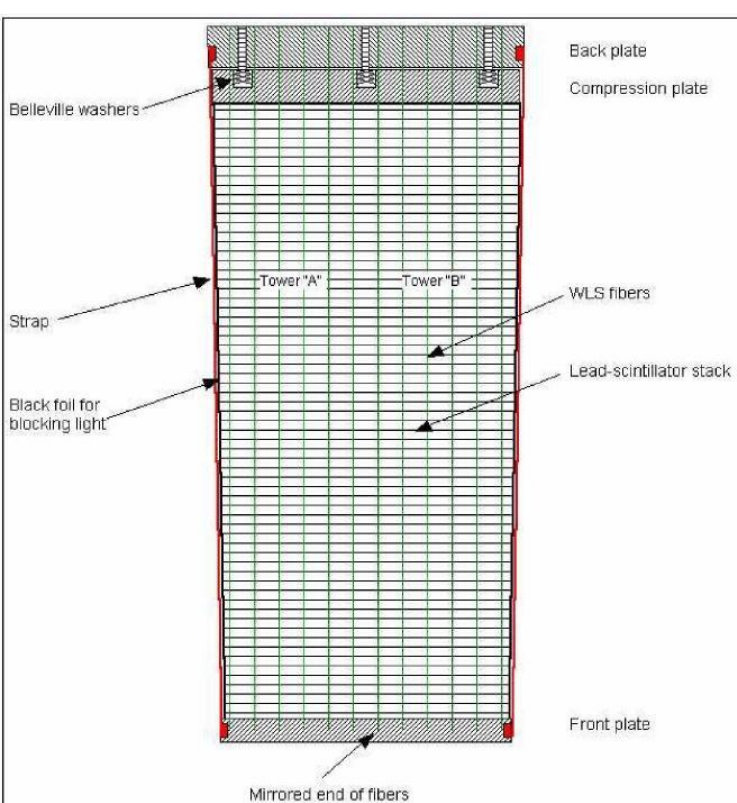
- ・ $\sqrt{s_{NN}} = 5.5\text{TeV}$ の鉛+鉛原子核衝突実験からQGPの物性を解明するところを目的としている

ALICE実験検出器

巨大なソレノイド電磁石の中心にビーム衝突点を置き、その周りにITS、TPC、TRD、TOF、HMPID、PHOS、EMCal等の測定様々な検出器がインストールされている。

EMCalについて

- ・ 目的：高エネルギー領域での光子と電子のエネルギー測定
- ・ サンプリング型の電磁力ロリメータ(Electro-Magnetic Calolimeter)
- ・ 本体は吸収体(鉛)とプラスチックシンチレータを交互に並べた77層の積層構造
- ・ 読み出しの光検出器はAPD(Avalanche Photo Diode)
- ・ 電磁力ロリメータ1つをモジュールと呼び、1つのAPDで読み出すモジュールの1/4をCellと呼ぶ

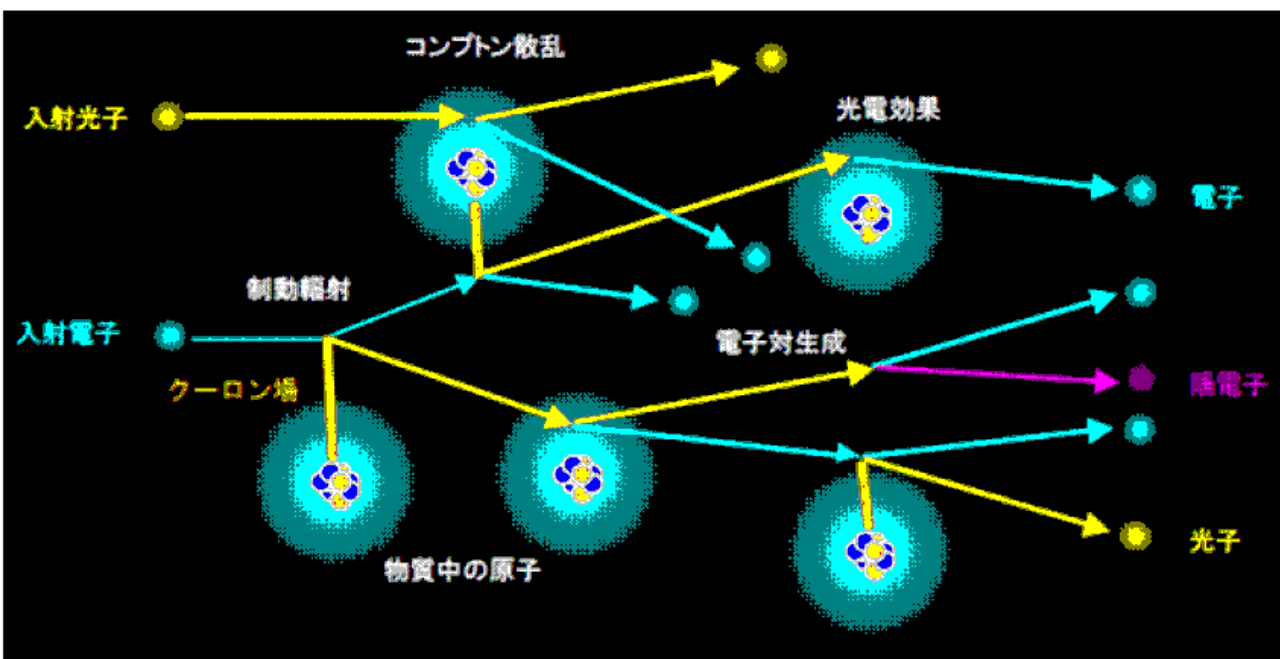


EMCalについて

- ・電磁シャワーについて

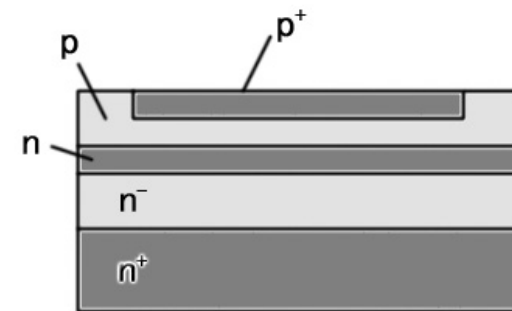
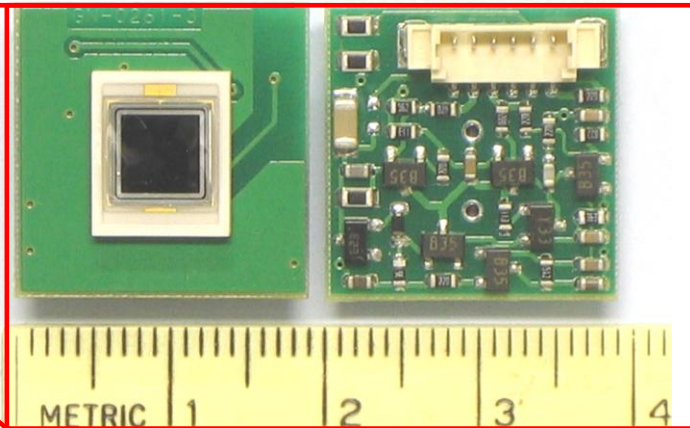
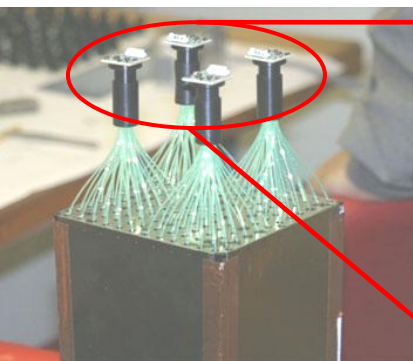
電子が物質中で制動放射によってエネルギーを失い γ 線を放出し、更に γ 線が電子・陽電子を対生成するカスケードシャワーを電磁シャワーと言う
これを利用した検出器が電磁カロリメーターである

サンプリング型電磁カロリメーターは金属板等の吸収体で電磁シャワーを発生させ、シンチレーターの発光を光検出器で検出することによって光子および(陽)電子のエネルギーを測定することができる



EMCalについて

- APD(Avalanche Photo Diode)について



APDの構造の概要図

電磁シャワーがシンチレータ内を通過した際に発生するシンチレーション光をWLSファイバー(波長変換光ファイバー)を通してAPDまで光を伝達する

APDの基本的構造はPN 接合のダイオードであり、逆電圧を印加して使用する

→逆電圧を印加すると空乏層ができ、そこに光子が入射すると電子・正孔対を生成する

→電子は高電場領域であるアバランシェ領域で加速され、他の電子を励起する

このような過程が繰り返され、電子が雪崩的に増幅される

EMCalについて

- モジュール(電磁カロリメータ)12 個を一行に配置したものをストリップモジュールと呼び、ストリップモジュールを24個並べることで、モジュールを288個持つ(Cellは1152個)スーパーモジュール(Super Module)が出来上がる

- 現在は4つのスーパーモジュール(SM)
#0~3がインストールされている
今冬、更に6つのSMがインストールされる予定である

- #0, #2 : A-side
#1, #3 : C-side と呼ばれる
 $2 \times (5 + 1/3)$ SM's

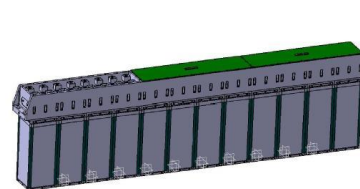


図 2.5 ストリップモジュール [2]

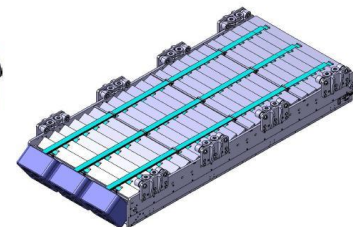
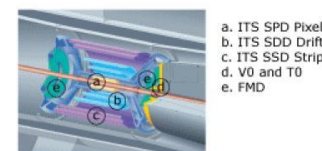
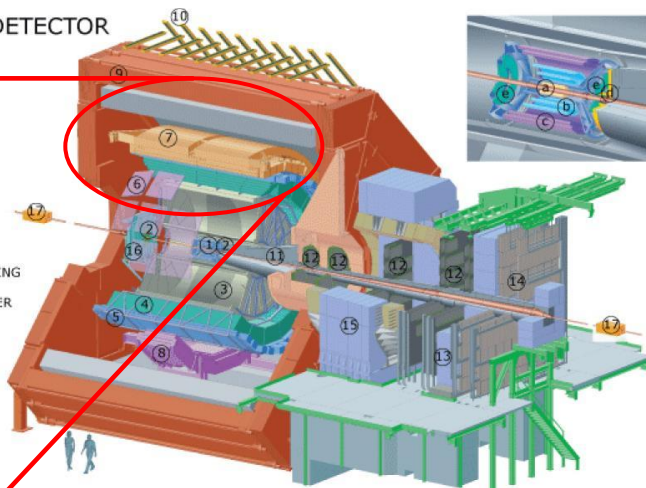


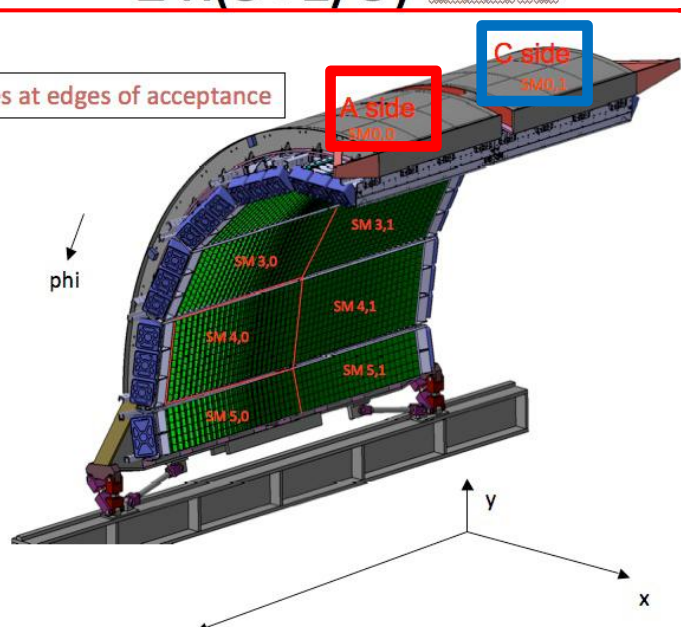
図 2.6 スーパーモジュール [2]

THE ALICE DETECTOR

1. ITS
2. FMD, T0, V0
3. TPC
4. TRD
5. TOF
6. HMPID
7. EMCAL
8. PHOS CPV
9. MAGNET
10. ACORDE
11. ABSORBER
12. MUON TRACKING
13. MUON WALL
14. MUON TRIGGER
15. DIPOLE
16. PMD
17. ZDC



- a. ITS SPD Pixel
- b. ITS SDD Drift
- c. ITS SSD Strip
- d. V0 and T0
- e. FMD



z Coordinate system according ALICE-INT-2003-038

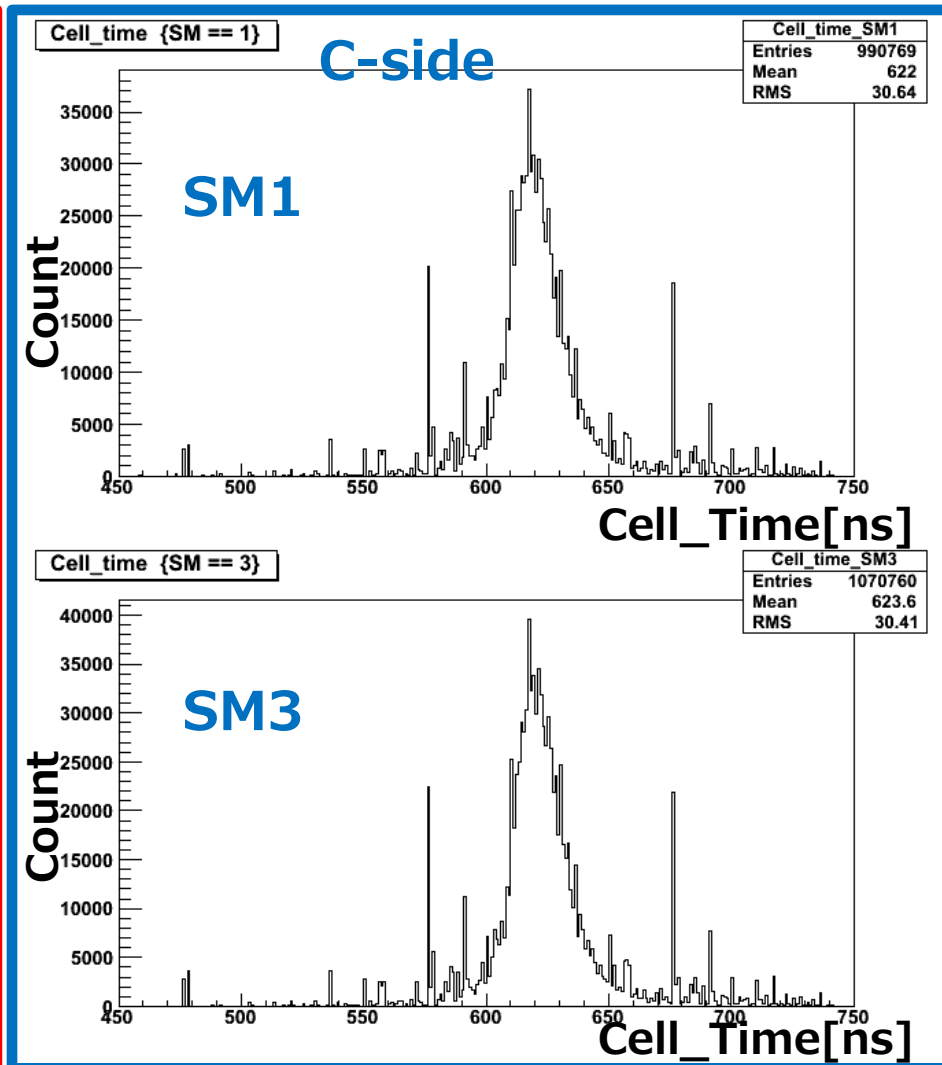
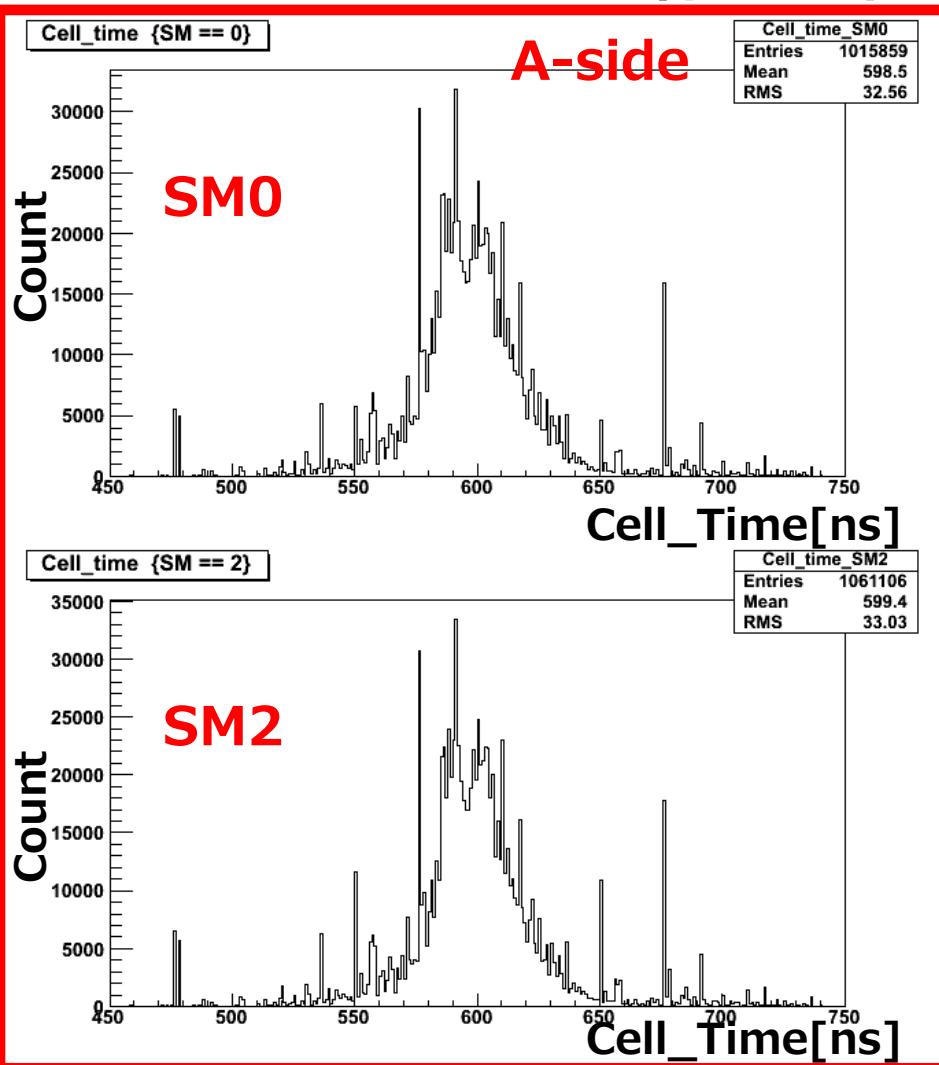
phi
eta
R(ip)

80 ~ 120 [deg]
[-0.7, 0.7]
4.3 [m]

タイミング補正

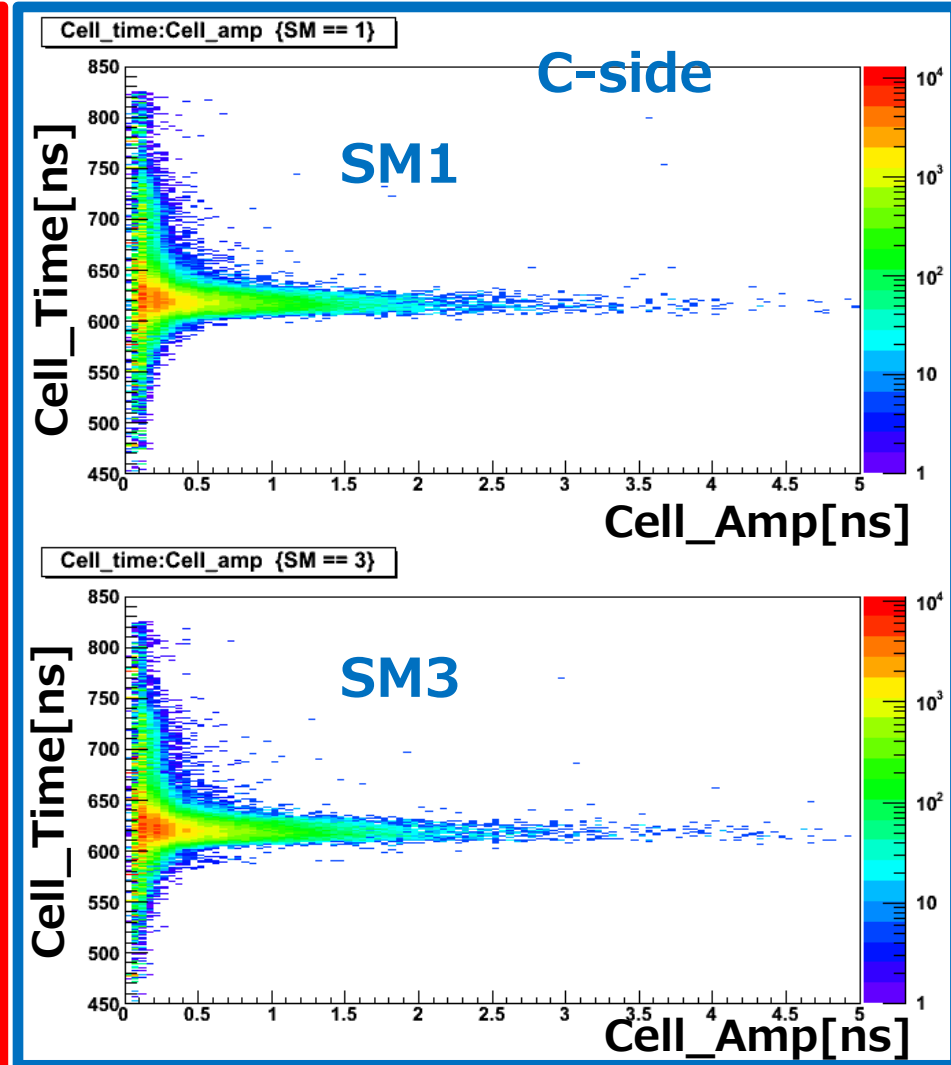
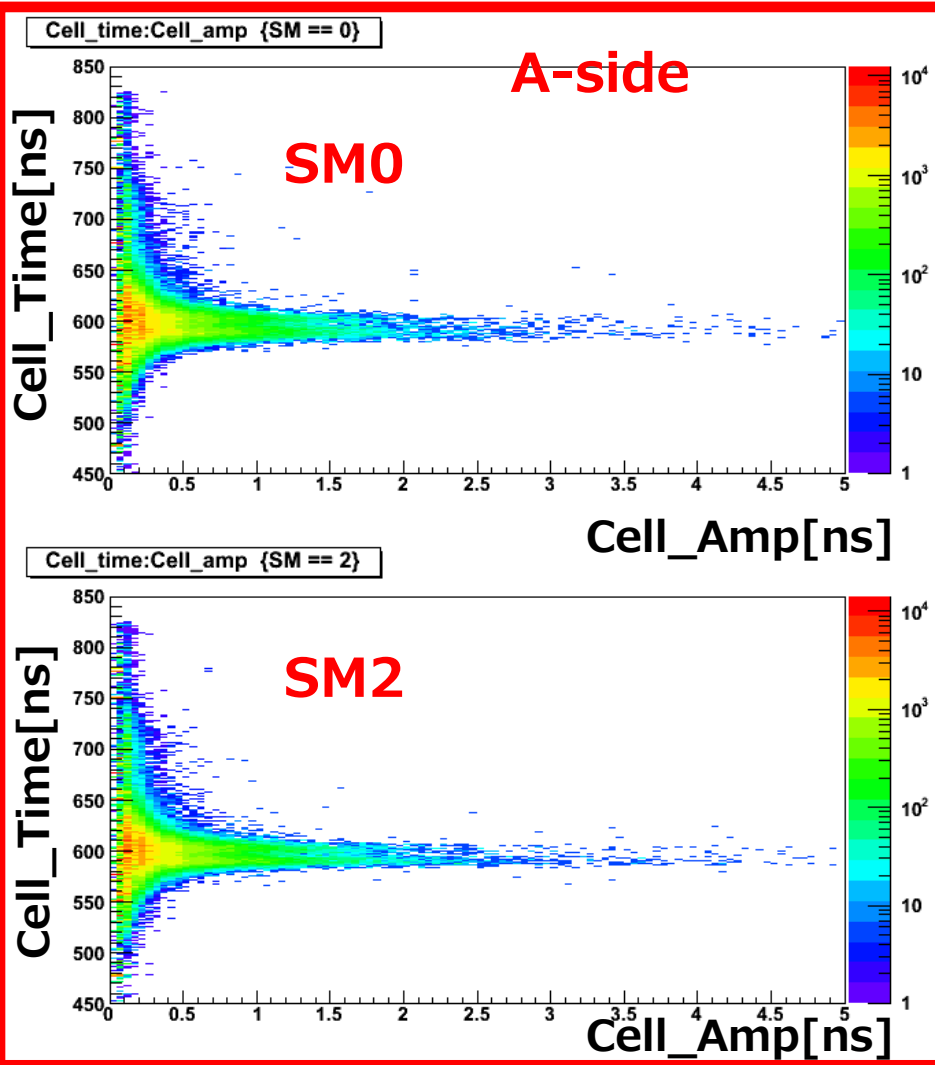
- ・ EMCalのCellに入ってきた粒子は、最終的にプラスチックシンチレータの発光を経てAPDによって読みだされ、ある基準となる時間に対してCellに入った粒子が検出されるまでの時間(Cellの時間情報),Cellに入った粒子のエネルギー(Cellのエネルギー情報)等が測定され、記録される
- ・ 4つのSMのCellにおいて、入射した粒子が作るCellの時間情報はイベント毎にCellの時間情報のずれが存在するため、Photonの識別をCellの時間情報とエネルギー情報を使って行うためには時間情報の補正(タイミング補正)をそれぞれのCellに対して行う必要がある
- ・ これまでPhotonに対するCell毎の時間情報の補正はこれまで行われておらず、今回の解析が初めてである
2GeVで1ns程度の時間分解能があれば、neutronとphotonの識別をする事が出来る

タイミング補正前



それぞれのSMごとのCellの時間分布
A-side, C-sideで傾向が分かっている

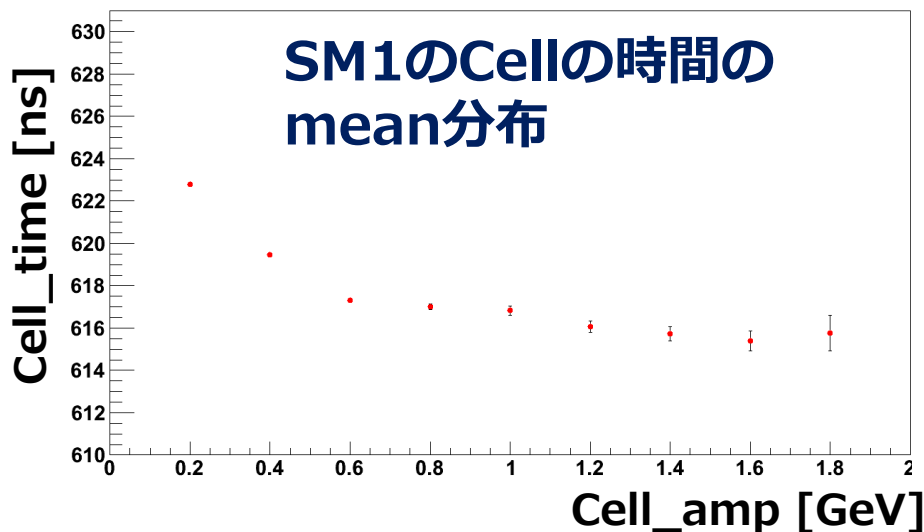
タイミング補正前



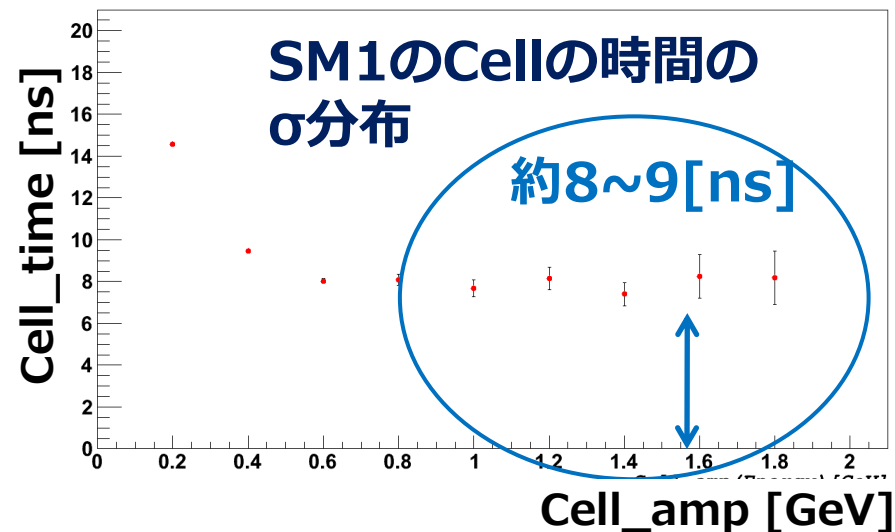
SMごとのCellの時間分布 vs Cellのエネルギー分布

タイミング補正前

Timing_mean1

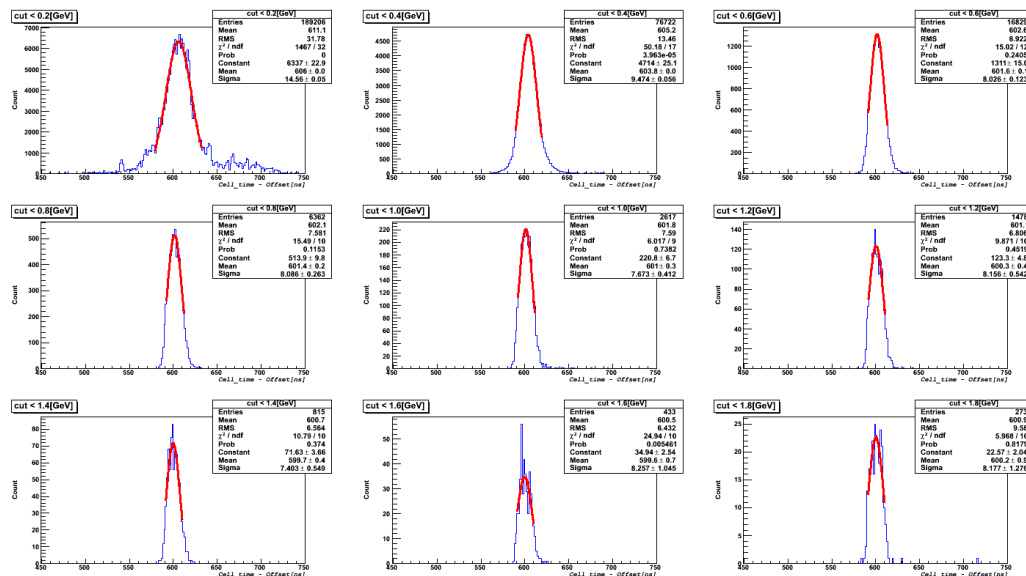


Timing_sigma1

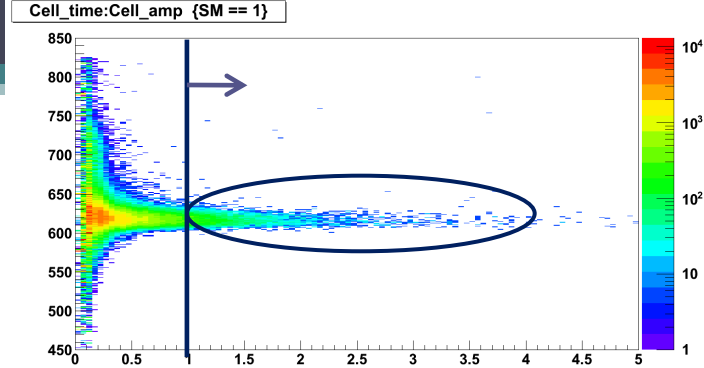


例としてSM1に対してタイミング補正を全く行わないで、Cellの時間を $\Delta E = 0.2 \text{ GeV}$ 間隔で区切り、Cellの時間のmean, σ を計算した

σ は1.8GeV付近で**8.4[ns]**程度



タイミング補正



タイミング補正手順

1, Cellのエネルギーが1GeV以上の部分はγフラッシュ(photon signal)であると考えられる全てのCellのイベントに対してtiming offsetを計算する
Timing Offsetの計算式は以下のようになっている

$$\text{timing offset} = \text{Cell_time} - \text{Expected_time} - T0 \text{ [ns]}$$

ただしここで

--Expected_time = (衝突点のvertexとそれぞれのCellの位置との距離)/光速
: 実際に期待される衝突点からのCellで検出されるまでの飛行時間

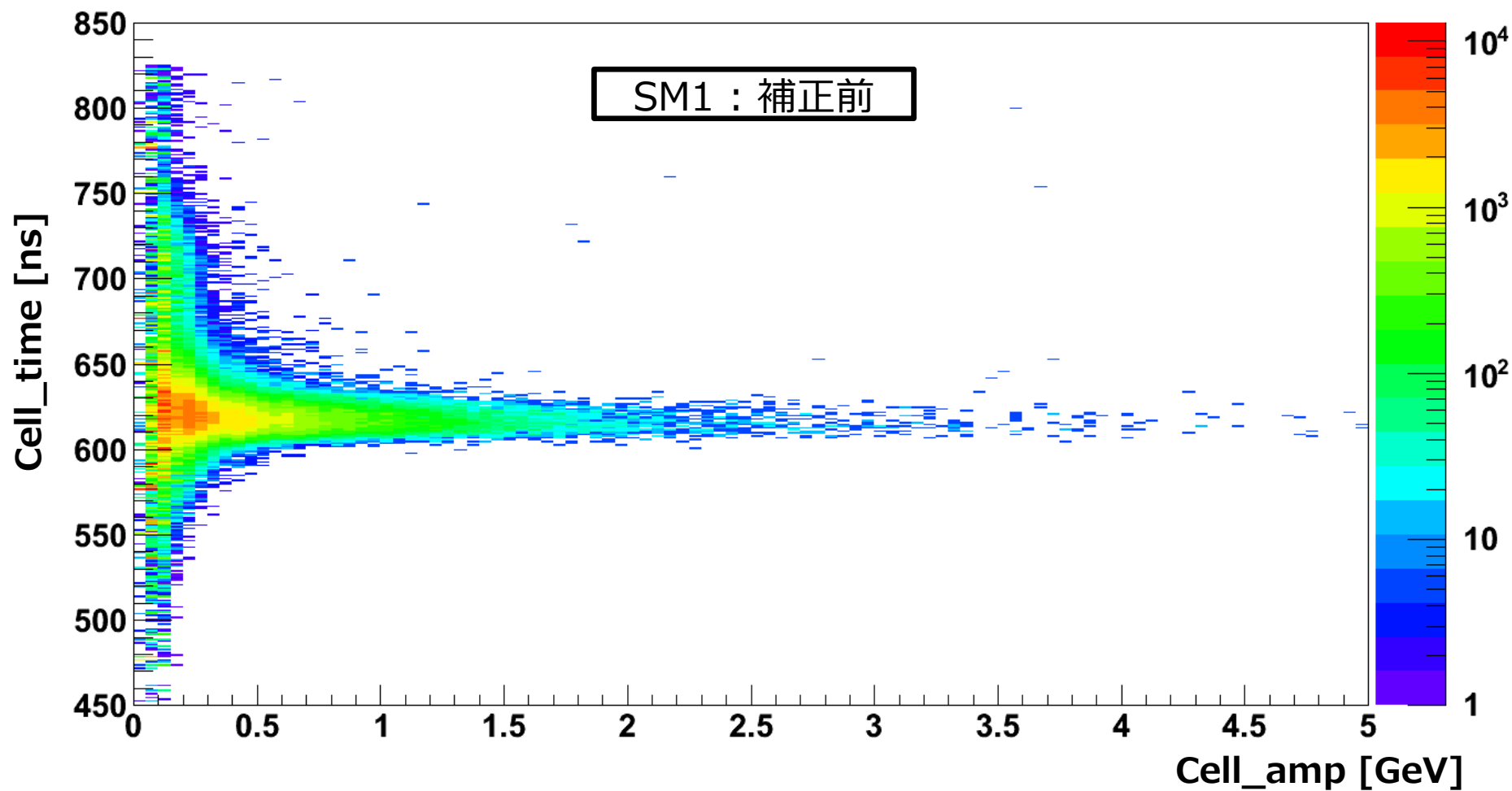
--T0: T0検出器からのイベントスタート時間情報

Offsetを計算し、それぞれのCellでのOffsetの平均を取る事で、全てのCellに対してのCell by CellなOffsetを求める

2, Cellの時間分布からそれぞれのCellに対してOffsetを差し引く事で、光子に対する時間情報(mean, σ)を評価する

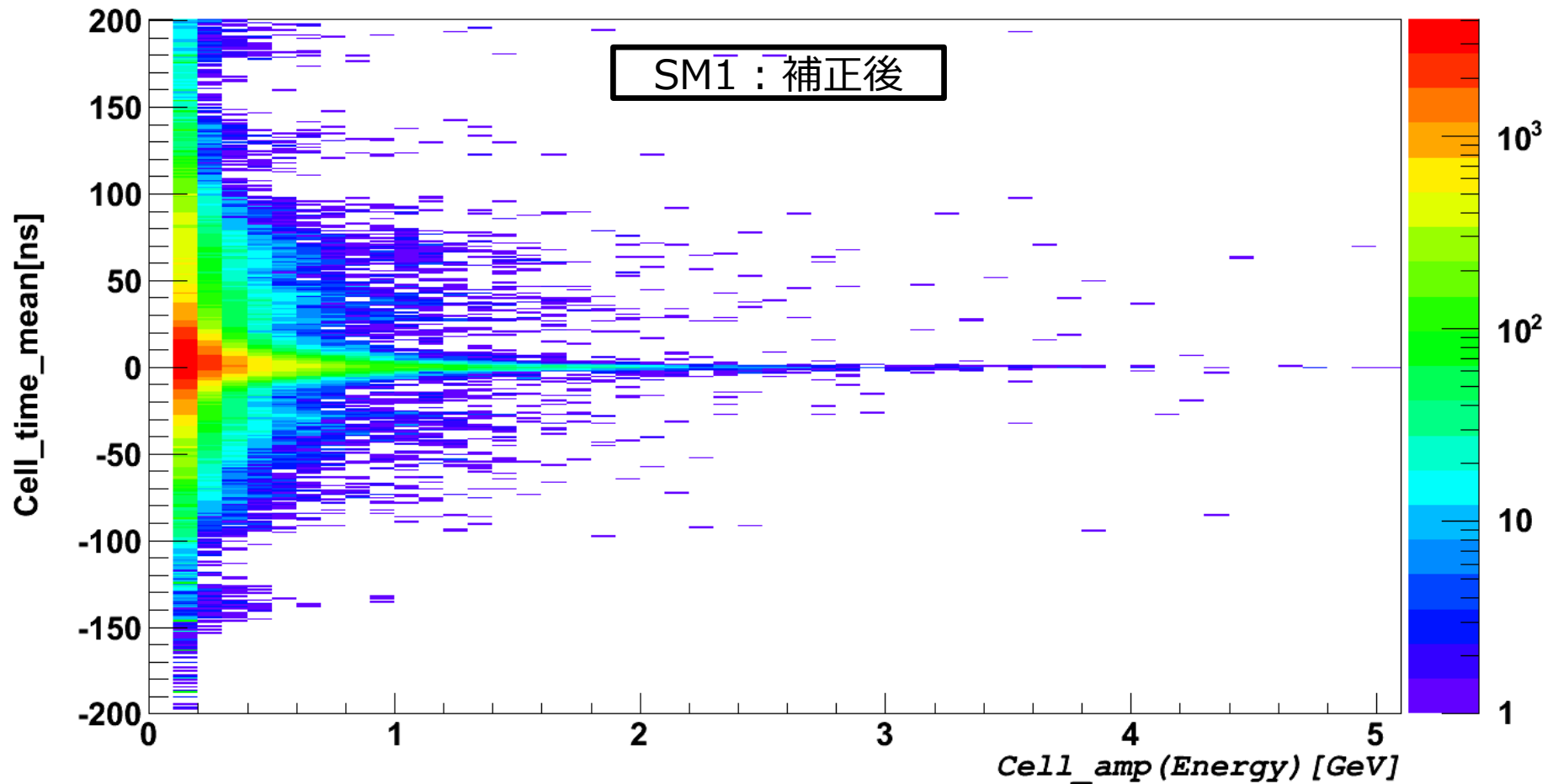
タイミング補正後

Cell_time:Cell_amp {SM == 1}



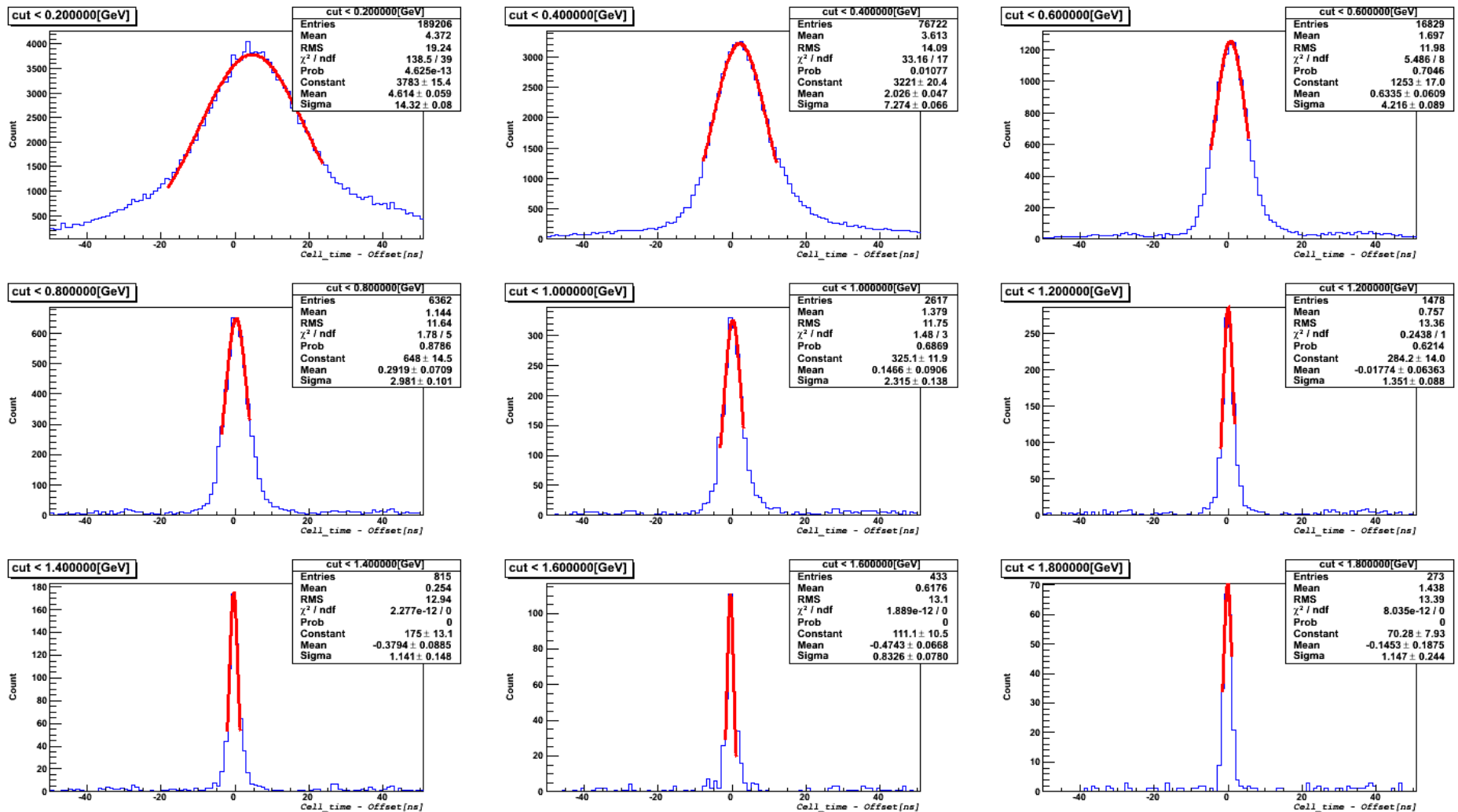
タイミング補正後

Cell_time - Offset vs Cell_amp



補正後のSM1のCellの時間分布 vs Cellのエネルギー分布
高エネルギー領域での補正をする事ができた

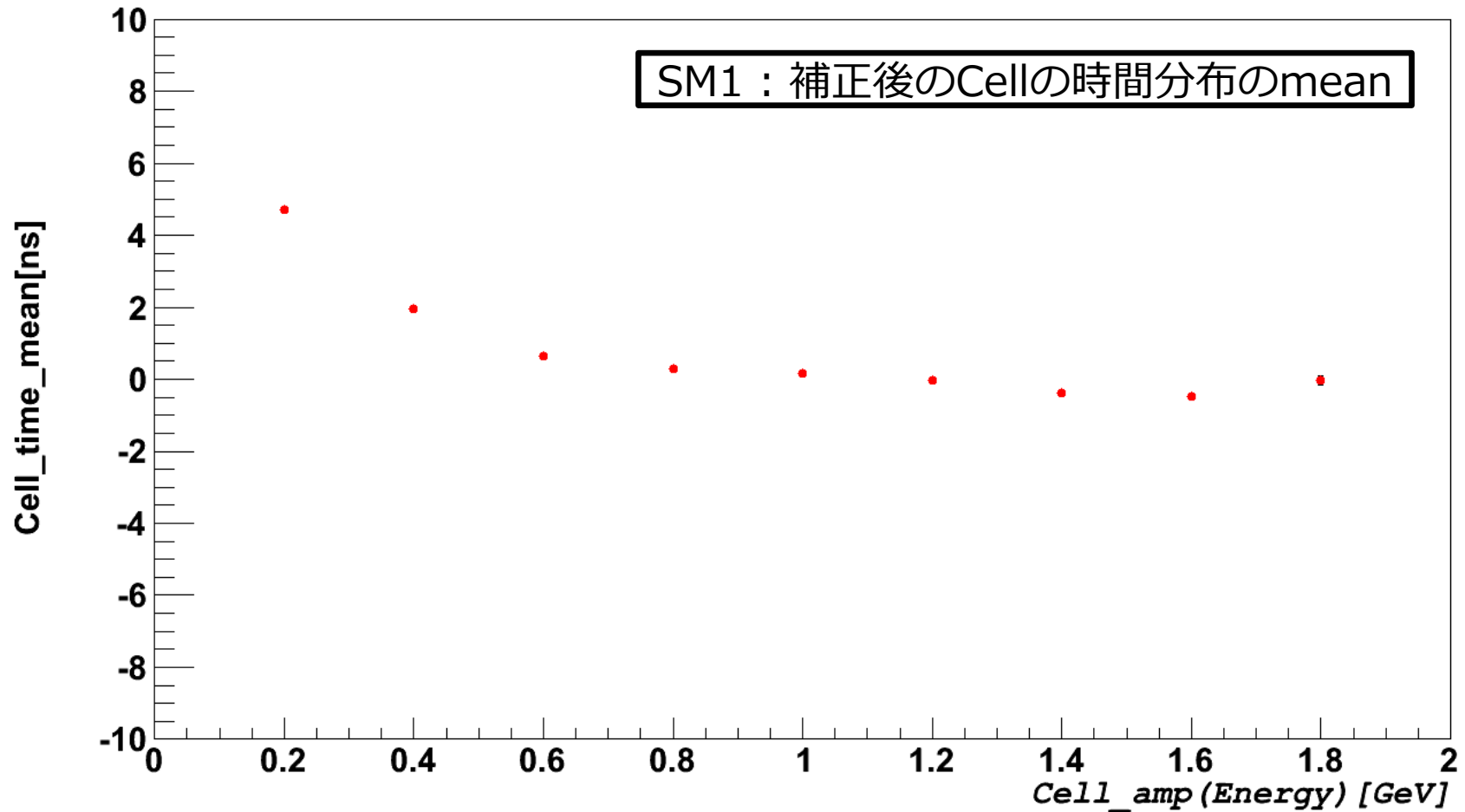
タイミング補正後



先程の相関図を同じように $\Delta E = 0.2 \text{ GeV}$ 間隔で区切り、Cellの時間分布のmean, σ を計算した

タイミング補正後

Timing_mean1

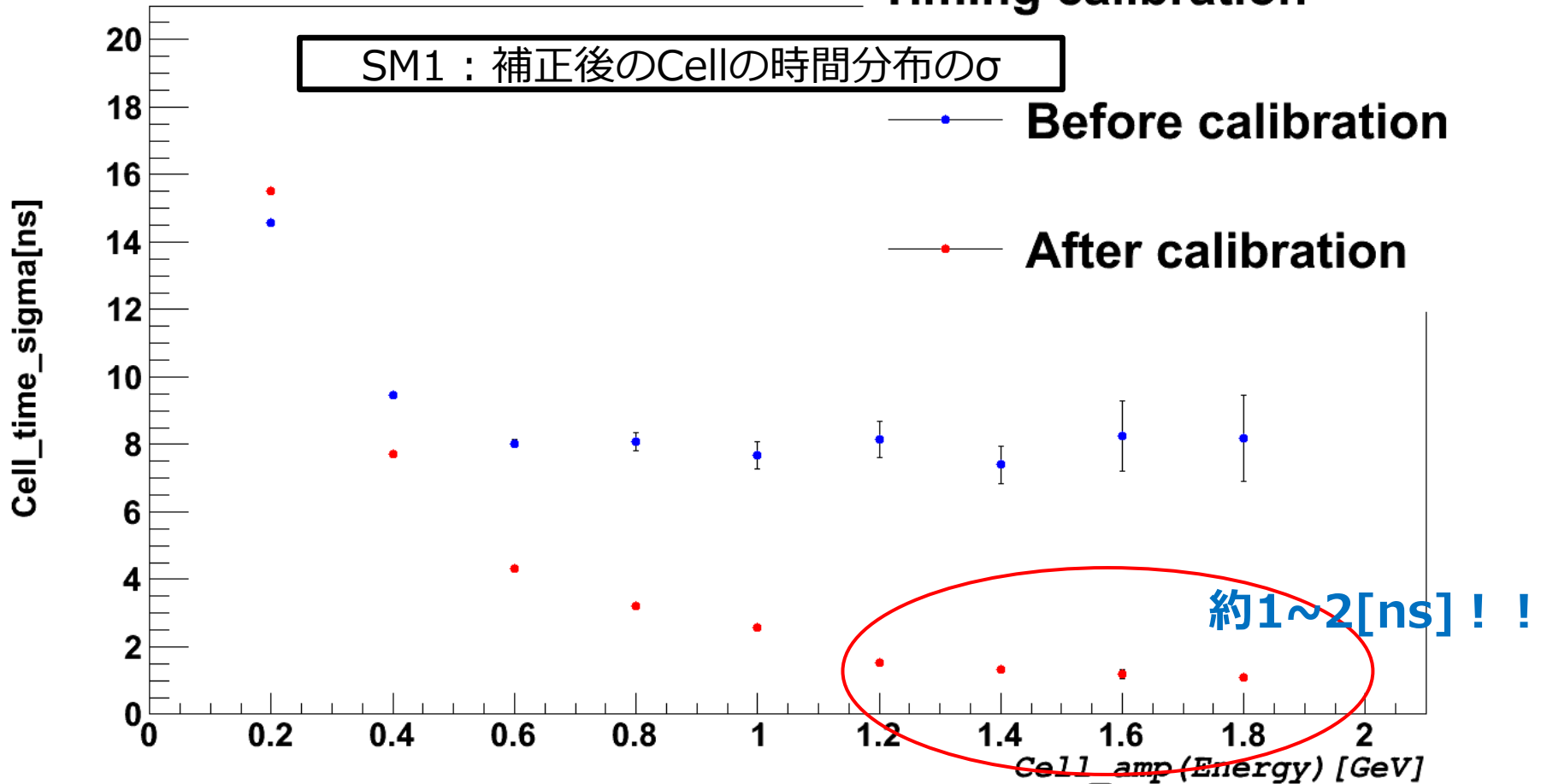


Cellの時間分布のmeanはエネルギーによってあまり変化しない
低エネルギー領域では、hadronおよびnoiseの影響で変化している

タイミング補正後

Timing_sigma1

Timing calibration



Cellの時間分布の σ はエネルギーが大きくなるにつれ小さくなる
補正した結果1.8GeV付近では**1.2[ns]**となった

まとめ&今後の課題

まとめ

- ・ EMCalのCell_timeに関してCell by Cellでタイミングの補正をし、最初に期待された時間分解能を達成する事が出来た

今後の課題

- ・ 今回は1つのRunだけを用いて解析したが、今後の課題として複数のRunでCellの時間分布からOffsetをそれぞれ求め、依存性を調べる必要がある
- ・ Cellの時間からEMCalクラスターの時間の計算
- ・ ALICEのofficial calibration data base(OCDB)へ今回計算したタイミング補正パラメータの登録

宇宙史を振り返って

- Summer Student Lecture Programme 2010に参加
英語で最先端の話題のレクチャーを受け、非常に面白かった
- EMCal meetingに出席
自分の課題(タイミング補正)について発表した
初めて外国でのmeetingで発表…良い経験になったと考えたい…
- 今回の課題を進めるにあたって色々な助言を頂いた江角さん、中條さん、下村さん
宇宙史とは関係ないのにもかかわらず質問に丁寧に答えて頂いた坂田さん、佐野さん
色々な時に頼りになった同級生の皆様
他お世話になった全ての方々

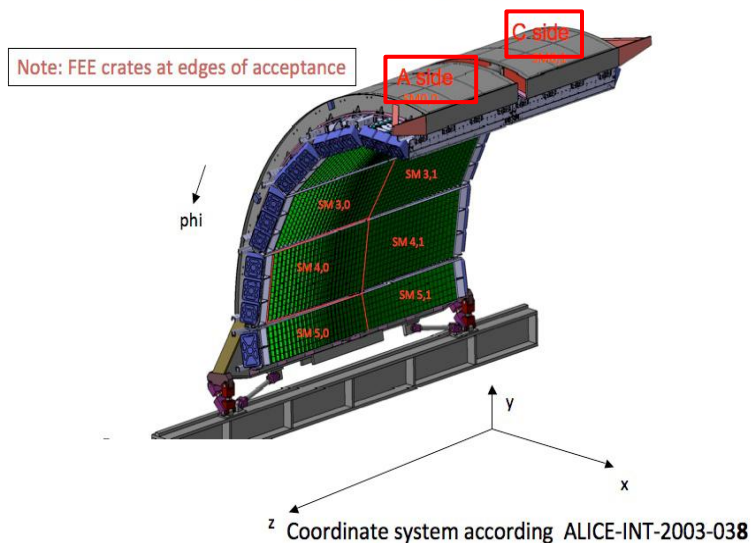
本当にありがとうございました

Backup slide

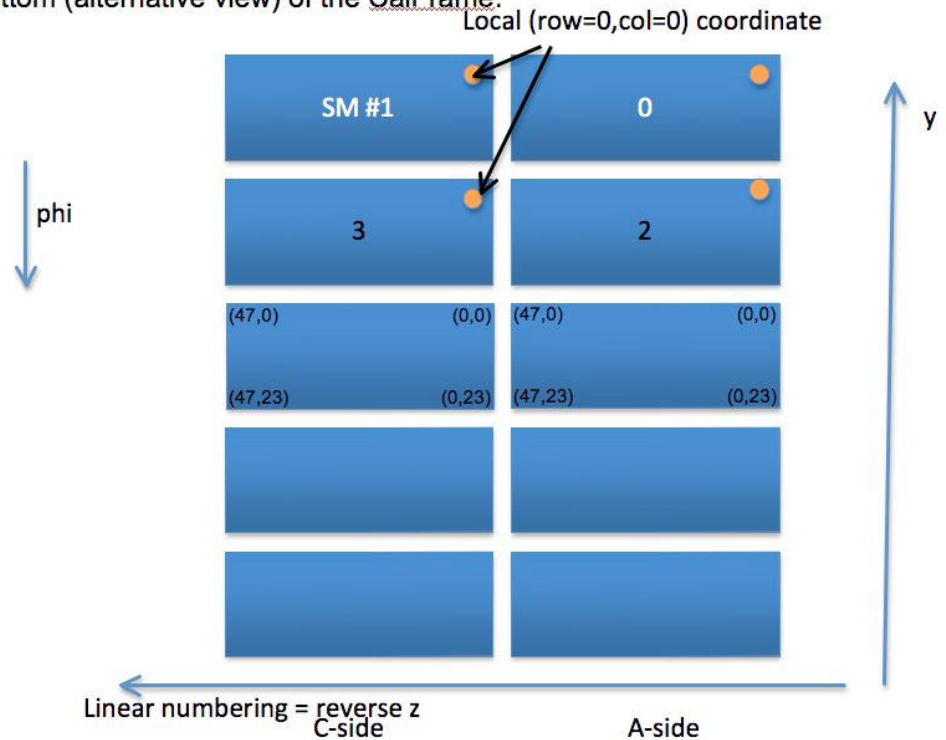
EMCalについて

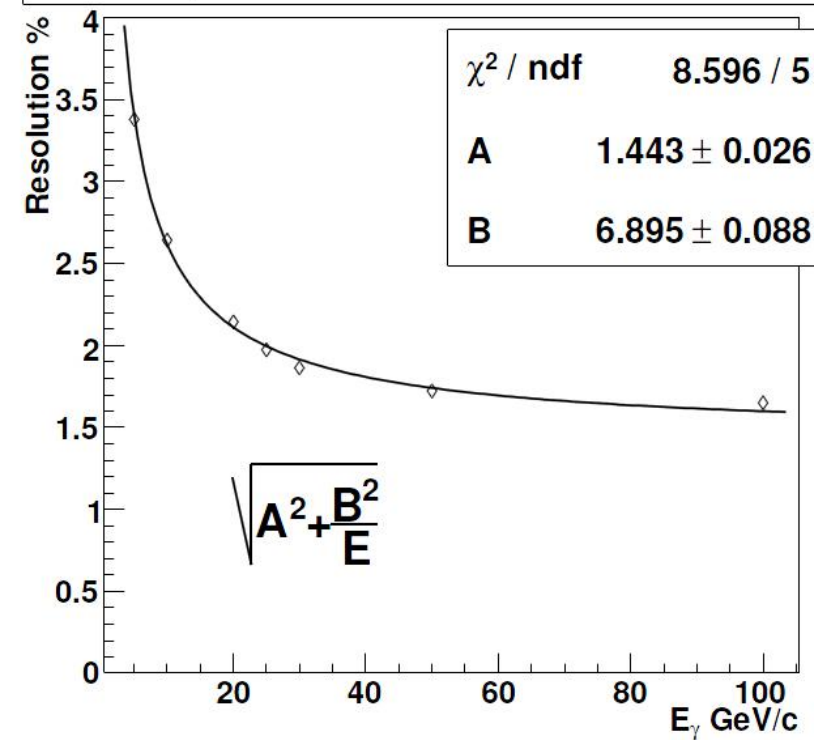
- #0, #2 : A-side
- #1, #3 : C-side
- と名前が付けられている

2 x (5+1/3) SM's



EMCAL, seen from back/magnet side – looking towards IP through EMCAL from the bottom (alternative view) of the CalFrame.



DE vs E_γ : 77 layers, 1.44mm(Pb)x1.76mm(Sc)**Table 2.1:** The EMCal Physical Parameters.

Quantity	Value
Tower Size (at $\eta=0$)	$\sim 6.0 \times \sim 6.0 \times 24.6 \text{ cm}^3$ (active)
Tower Size	$\Delta\phi \times \Delta\eta = 0.0143 \times 0.0143$
Sampling Ratio	1.44 mm Pb / 1.76 mm Scintillator
Number of Layers	77
Effective Radiation Length X_0	12.3 mm
Effective Moliere Radius R_M	3.20 cm
Effective Density	5.68 g/cm^3
Sampling Fraction	10.5
Number of Radiation Lengths	20.1
Number of Towers	12,672
Number of Modules	3168
Number of Super Modules	10 full size, 2 half size
Weight of Super Module	~ 7.7 metric tons (full size)
Total Coverage	$\Delta\phi = 110^\circ, -0.7 < \eta < 0.7$

タイミング補正

- Event selections:

-- Required physics trigger:

```
AliPhysicsSelectionTask* physSelTask = AddTaskPhysicsSelection();
```

-- z-vertex cut: $< \pm 10$ cm

- Removed EMCal bad channels.

-- Included bad channels written in;

PWG4/macros/AddTaskPartCorr.C (Gustavo).

-- Included suspicious bad channels;

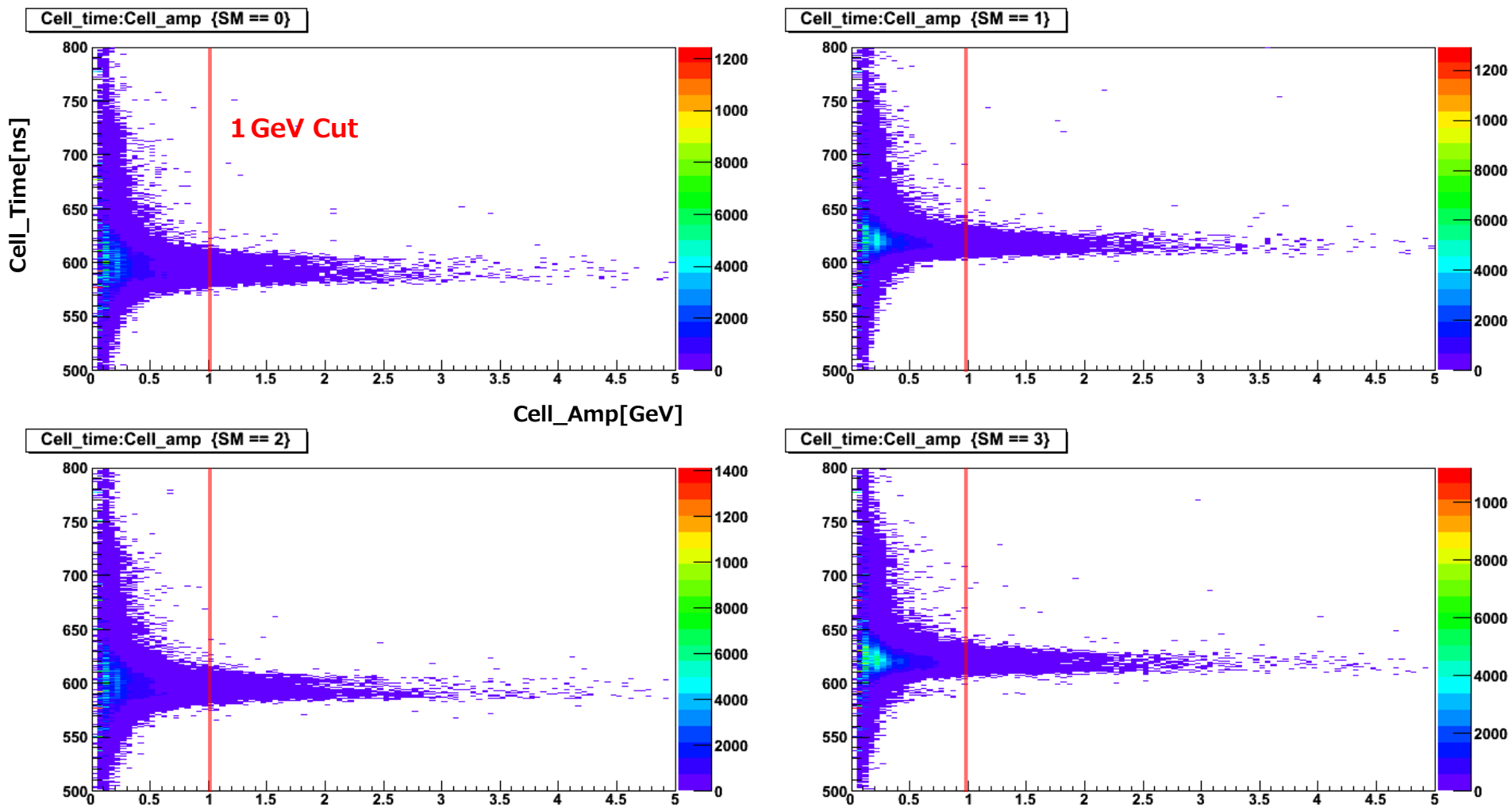
"Bad_Calib_Towers.txt" (Jun. 28, 2010, Terry).

(by EMCal group)

というカットをかけて以降の解析を行った

- 使用したRunは10b pass2 Run#115393

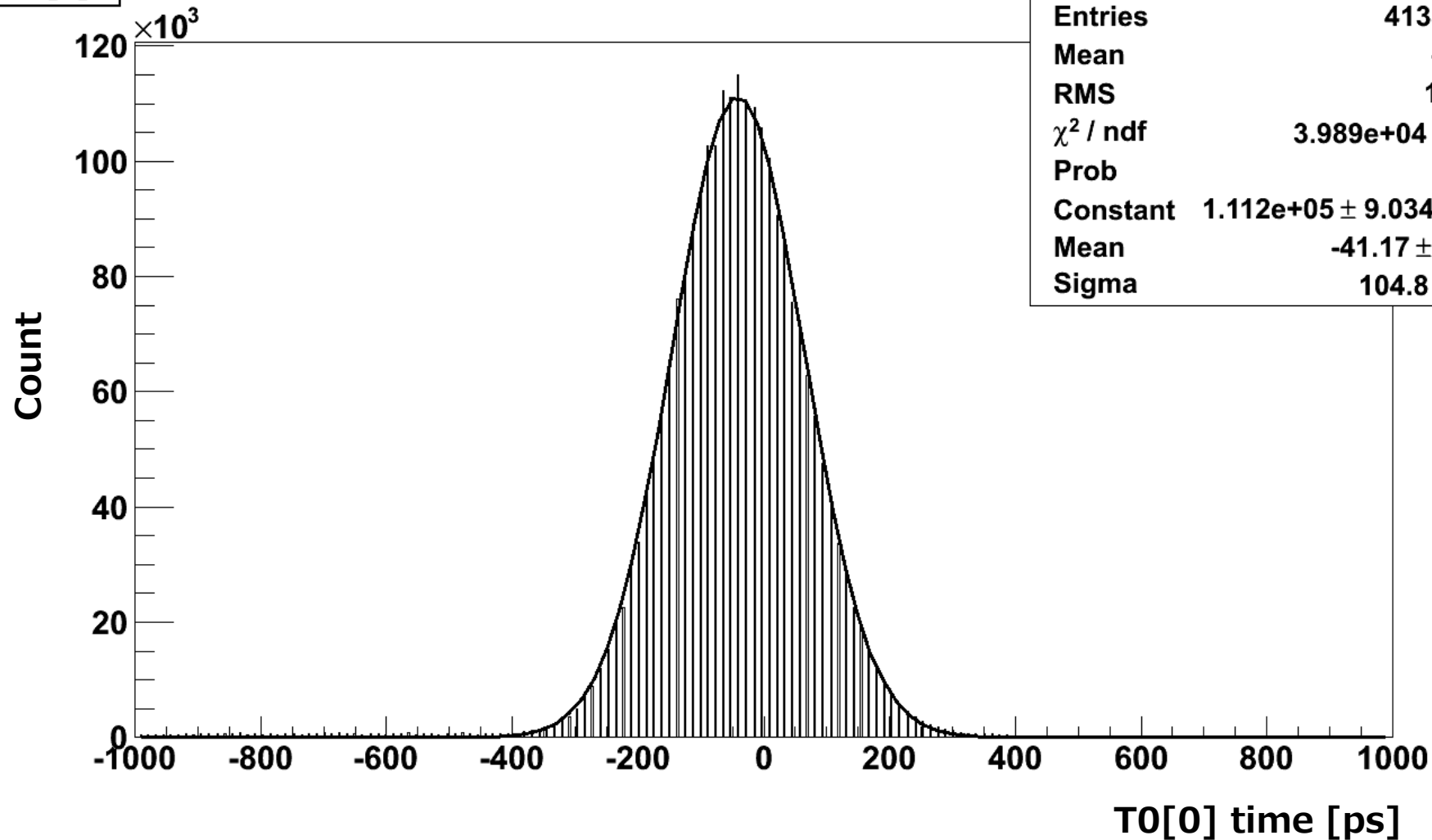
タイミング補正



1GeVでCutしてphotonだと思われる部分からOffsetを計算する

T0[0] distribution

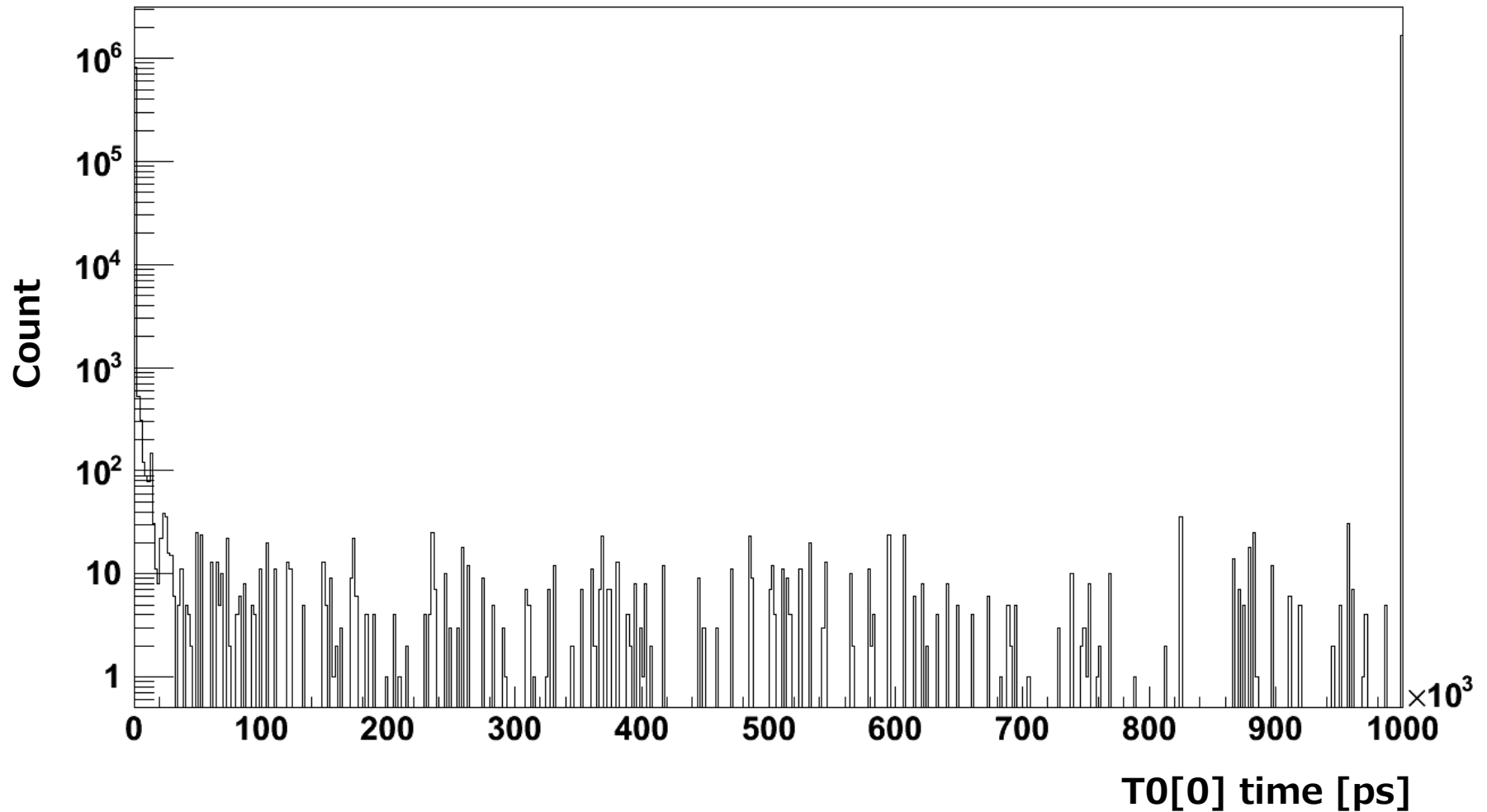
t0[0]



T0[0] distribution
999999 is error

T0[0] distribution

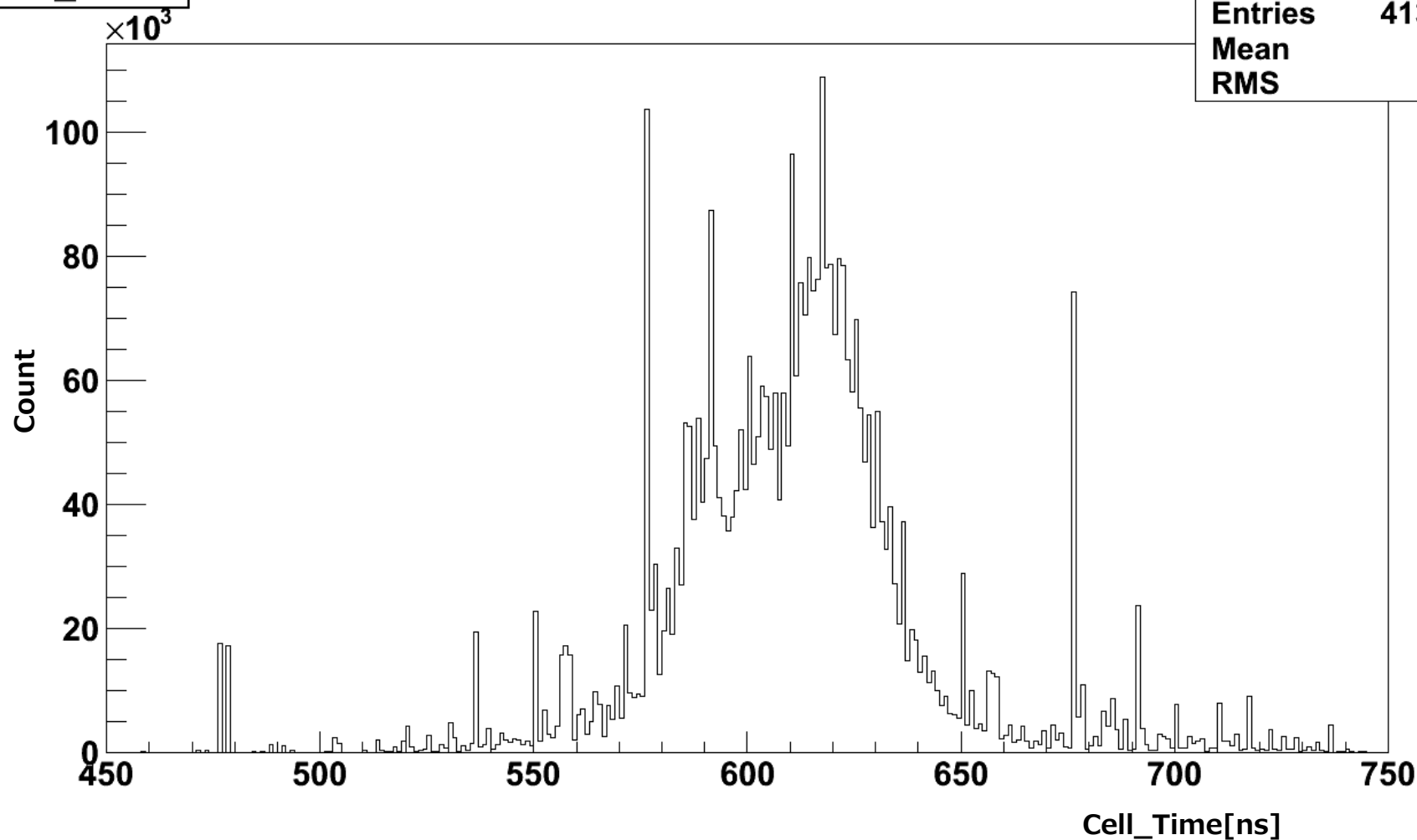
t0[0]



T0[0] distribution
999999 is error

タイミング補正

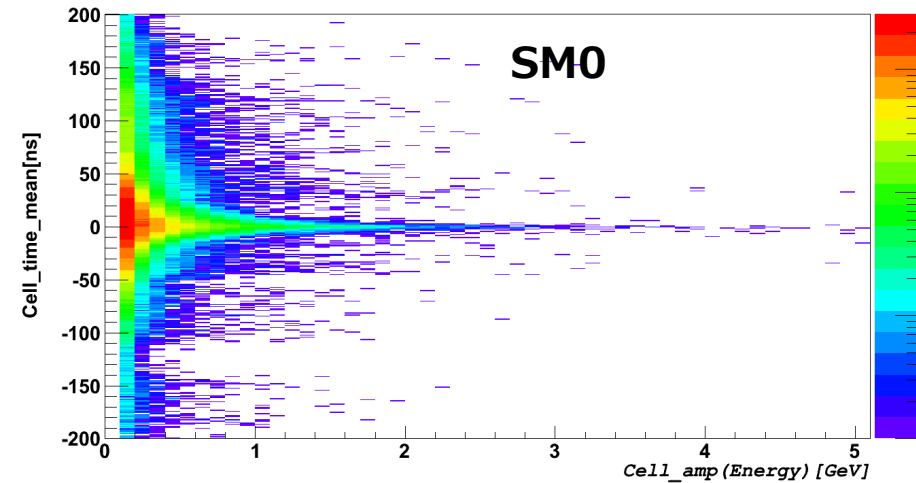
Cell_time



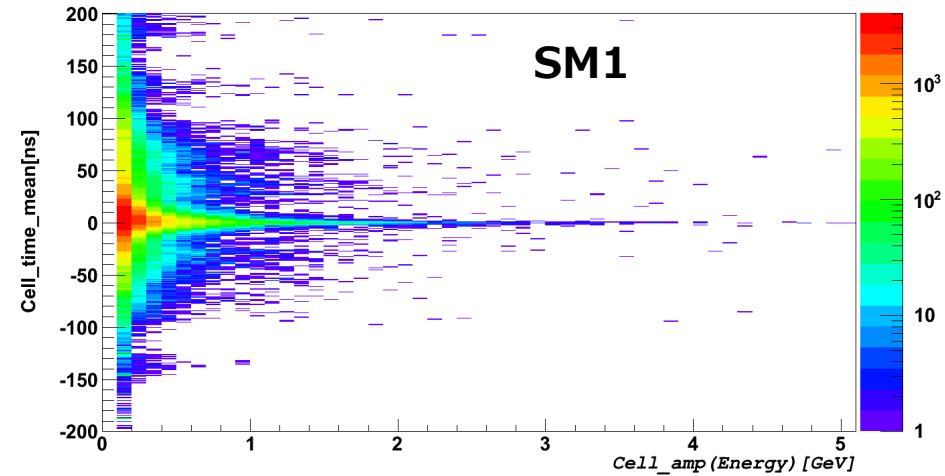
全体のCellの時間分布

タイミング補正

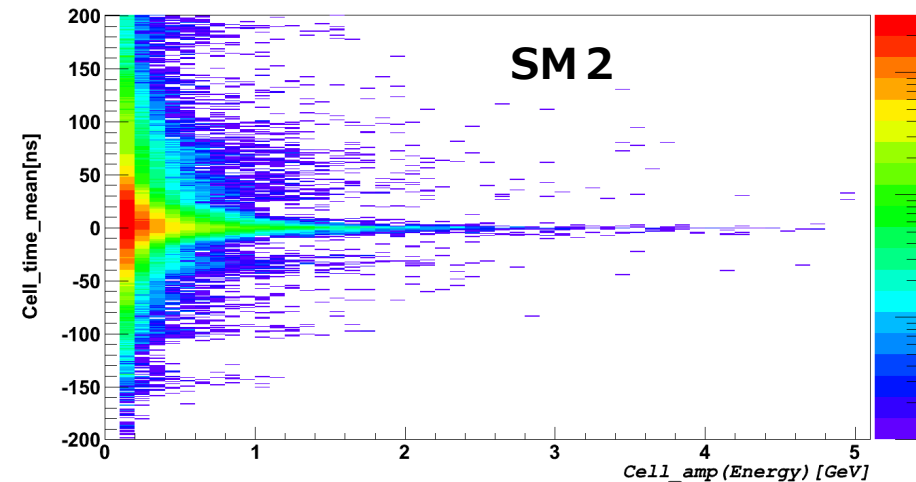
Cell_time - Offset vs Cell_amp



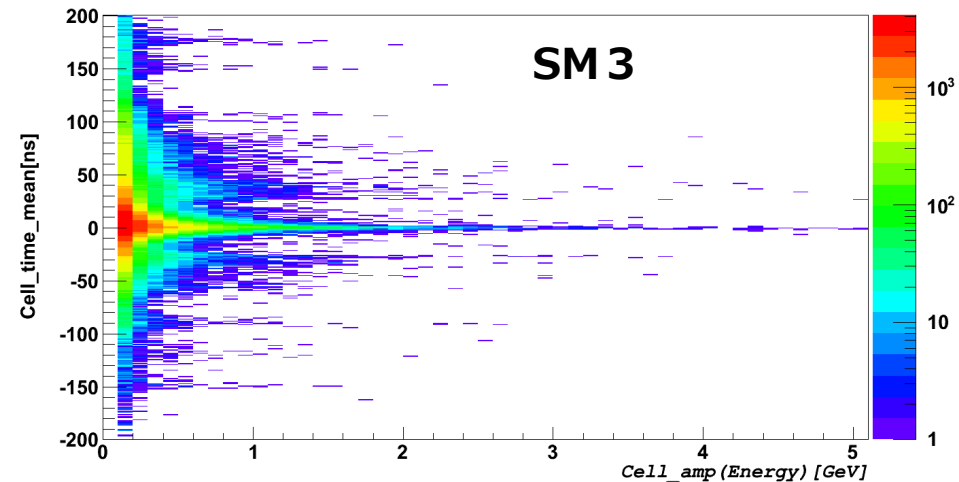
Cell_time - Offset vs Cell_amp



Cell_time - Offset vs Cell_amp



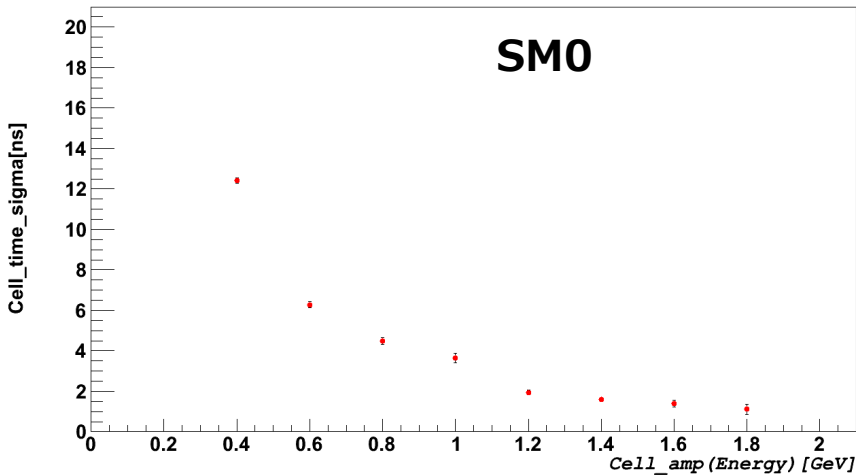
Cell_time - Offset vs Cell_amp



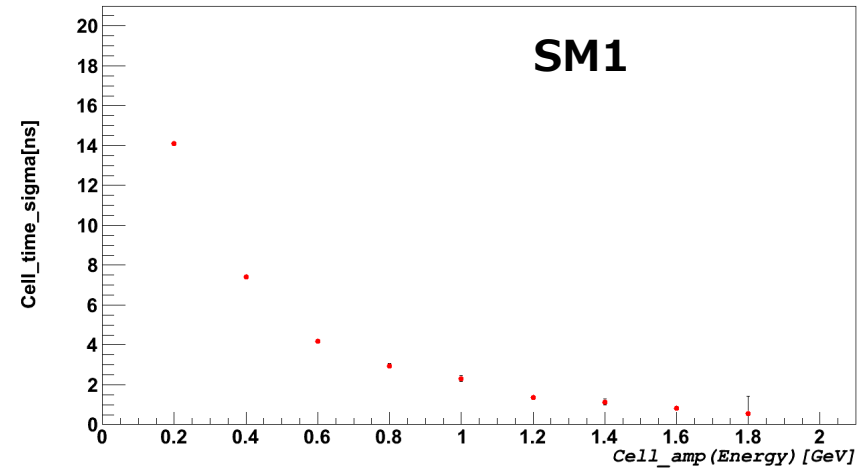
それぞれの補正したSMごとのCellの時間分布 vs Cellエネルギー分布

タイミング補正

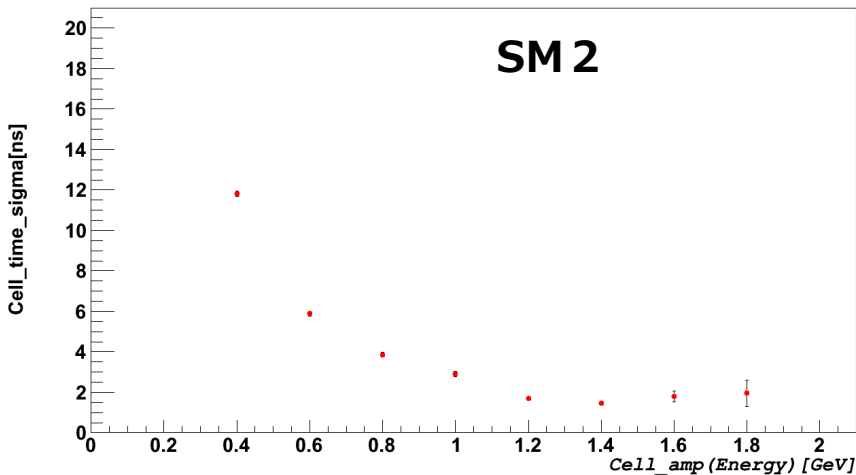
Timing_sigma0



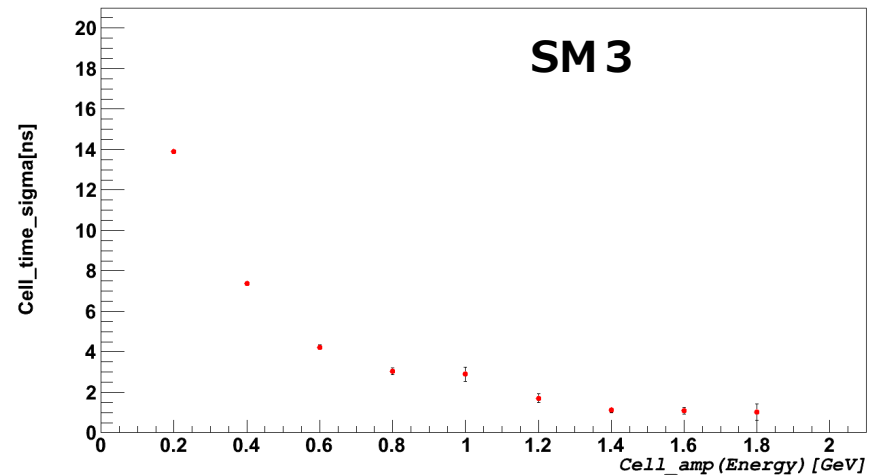
Timing_sigma1



Timing_sigma2



Timing_sigma3



全てのSMについてCellの時間分布の σ を1.8GeV付近で1~2[ns]まで補正する事が出来た

WLS ファイバーとは、WaveLength Shifter と呼ばれる特定の波長をある決められた波長に変換する物質が混入されたファイバーである。今回用いるY-11 はALICE 実験に限らず、多くの電磁力ロリメータの実験で使われているマルチクラッドWLS ファイバーである。

型番のY-11 はWaveLength Shifter の種類を表す。Y-11 は下図3.8 のようにだいたい400nm~480nm 程度の波長の光を取り込み、WLS ファイバー内部のWaveLength Shifterにより480nm~550nm 程度の波長の光に波長を変換して発光させる事ができる。

また、(200) の200 はWaveLength Shifter の濃度を表している。MSJ のM はマルチクラッドである事を表し、このWLS ファイバーはコアの周りに2 重にクラッドを持つ。

マルチクラッドは普通のシングルクラッドに比べて全反射の条件が緩く、減衰長が長い。これは今回用いるプラスチックシンチレータの最大発光ピーク波長が420nm 程度であることを考えれば、シンチレーション光の伝達に適切であると言える。クラック（ファイバーを折り曲げすぎた時にファイバー中にできる傷）を起こさないように、実際に使用する際には慎重な取り扱いをする必要がある。