



MEG実験 run2011 液体キセノン検出器の 性能評価

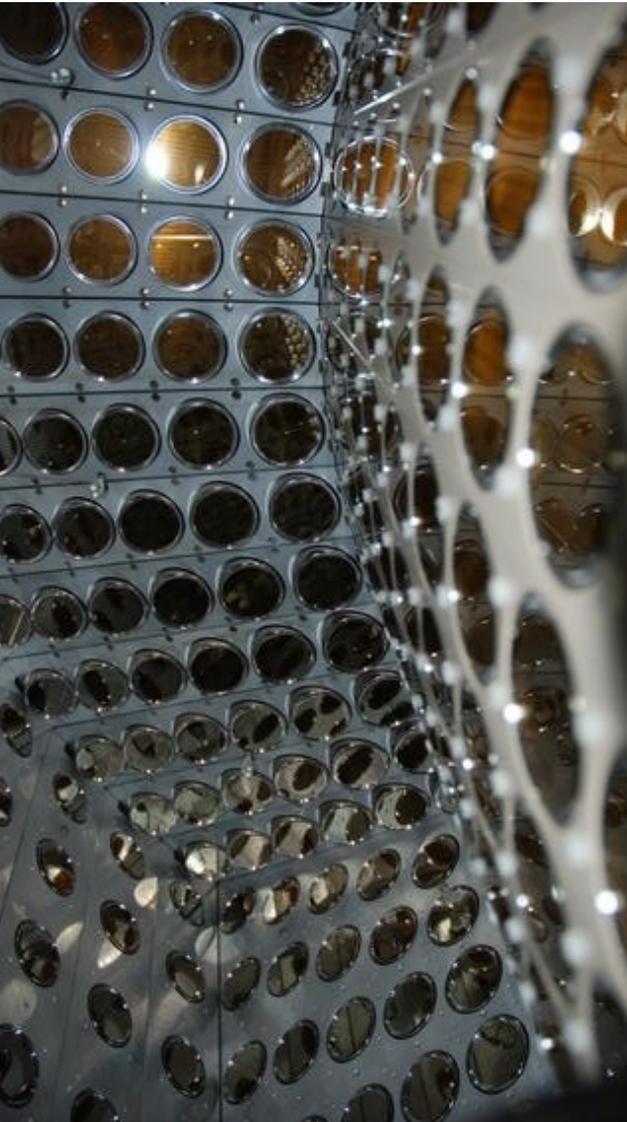
東京大学 理学系研究科 物理学専攻
金子大輔 他、MEG コラボレーション

コンテンツ

- ① MEG2011RUNにおける液体キセノン検出器の性能
- ② MCシミュレーションによる性能の調査

MEGの液体キセノンカロリメータ

Coordinates
for XEC

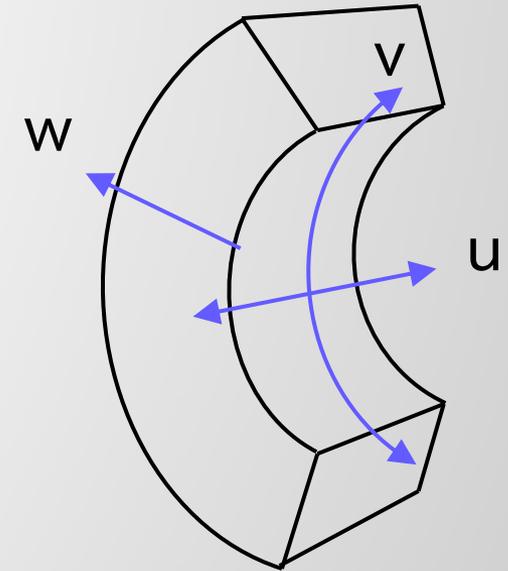


現時点で世界最大
2.7トンのXeが使用されて
いるガンマ線カロリメータ。

内面に846本の光電子増
倍管。run2007から運転
し、2011年末時点で832
本が生存。

キセノンのシンチレーショ
ン光を測定し、入射したガ
ンマ線の位置、時間、エネ
ルギーを再構成する。

Accidental Background
が見える領域に入りつつ
あり、分解能の向上が求め
られている。(特にEnergy)



Run 2010 の性能

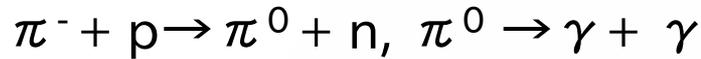
γ Energy	1.9%
u,v position	5mm
w position	6mm
γ timing	67ps
γ Efficiency	59%

(ターゲットから入射する
52.8MeVガンマ線について)

コンテンツ

- ① MEG2011RUNにおける液体キセノン検出器の性能
- ② MCシミュレーションによる性能の調査

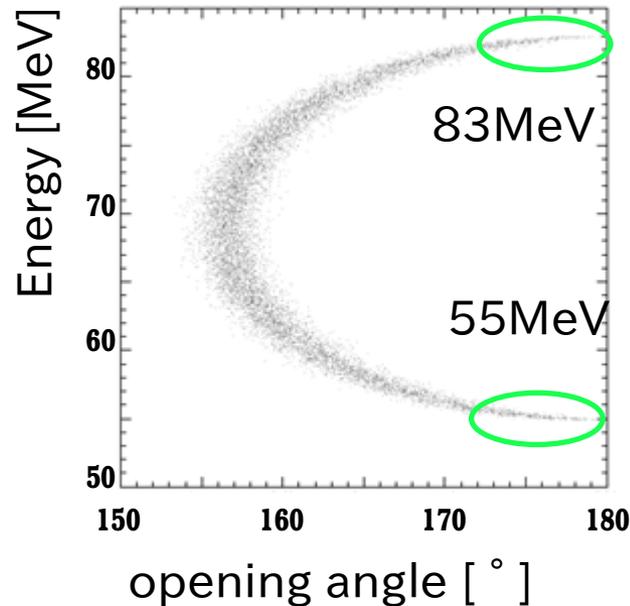
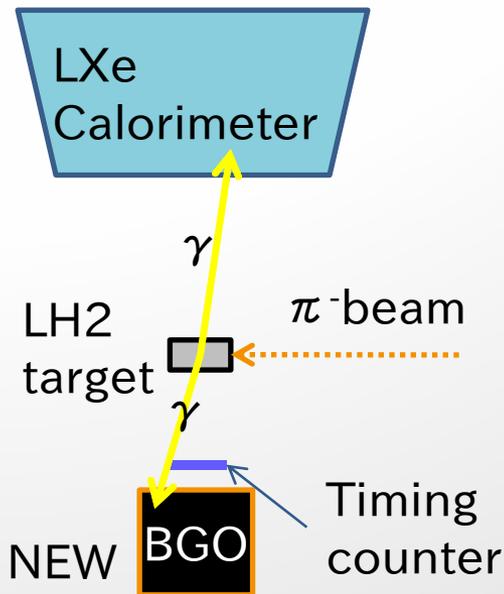
CEXによる校正



Charge EXchange 反応で得られるガンマ線で液体キセノン検出器の校正を行う。

2つの γ 線の角度を判別するために、反対側に別の検出器が必要。

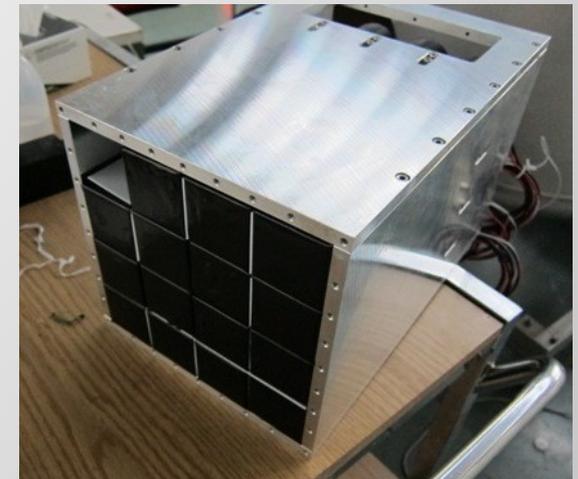
Run 2010 まで、NaI 検出器。2011にBGOに更新。



エネルギースケールの決定

エネルギー分解能の評価

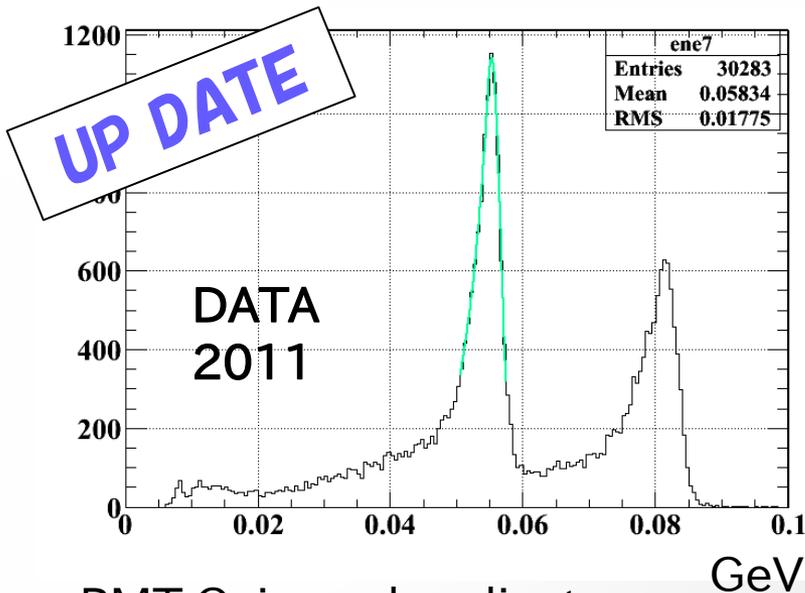
時間分解能の評価



組み立て中のBGO検出器

BGO検出器の性能

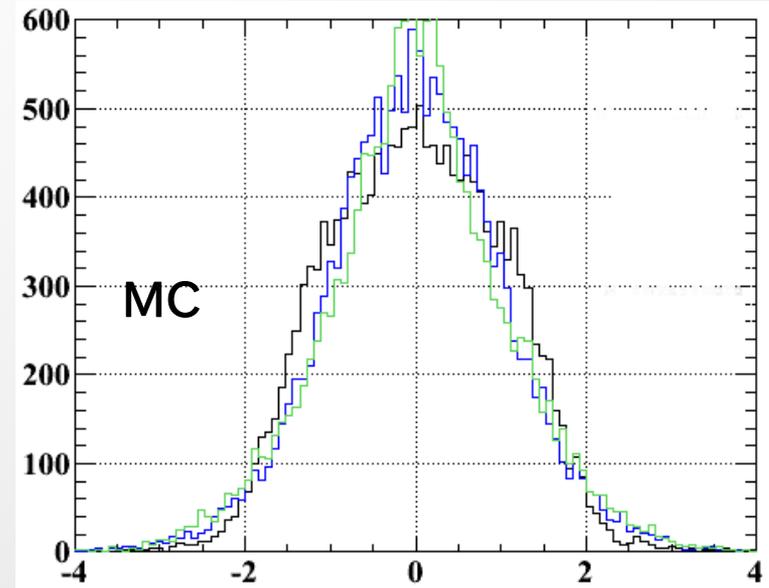
Energy Spectrum



- ・PMT Gain scale adjust
 - ・Waveform noise reduction
↓ 4.7% (2011Sep)
- $\sigma = 2.4\% @55\text{MeV}$
 $2.3\% @83\text{MeV}$

NaI 2010 実績 3.9% @55MeV

Position Error



(MChit位置) - (再構成位置) [cm]

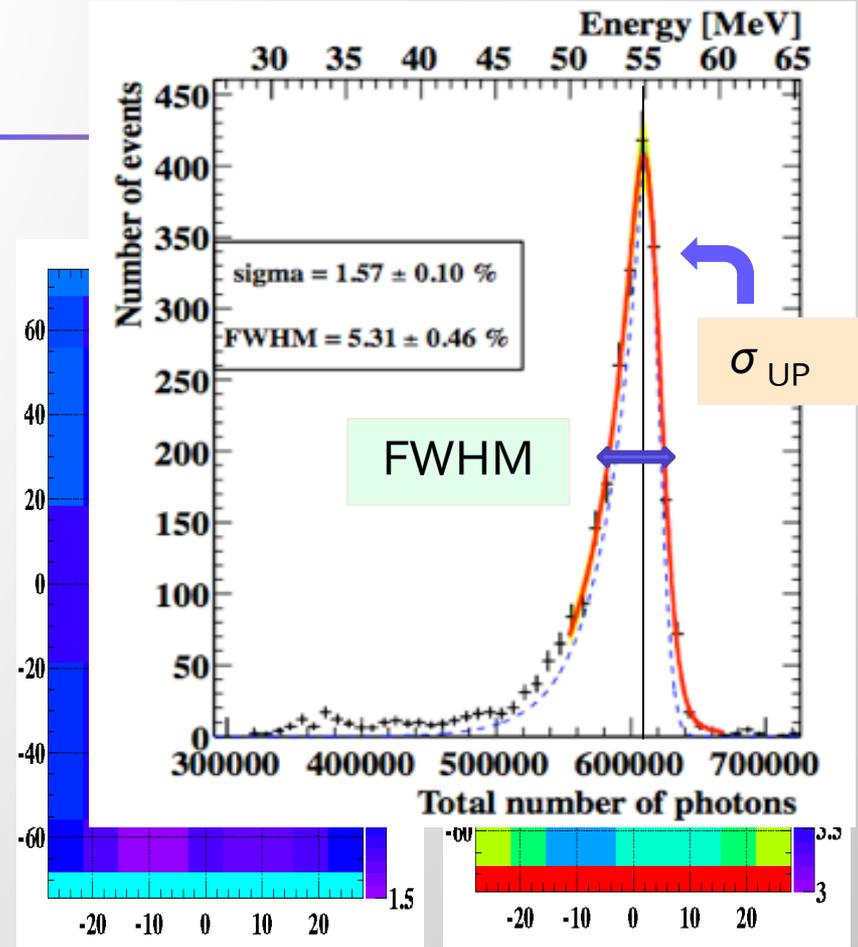
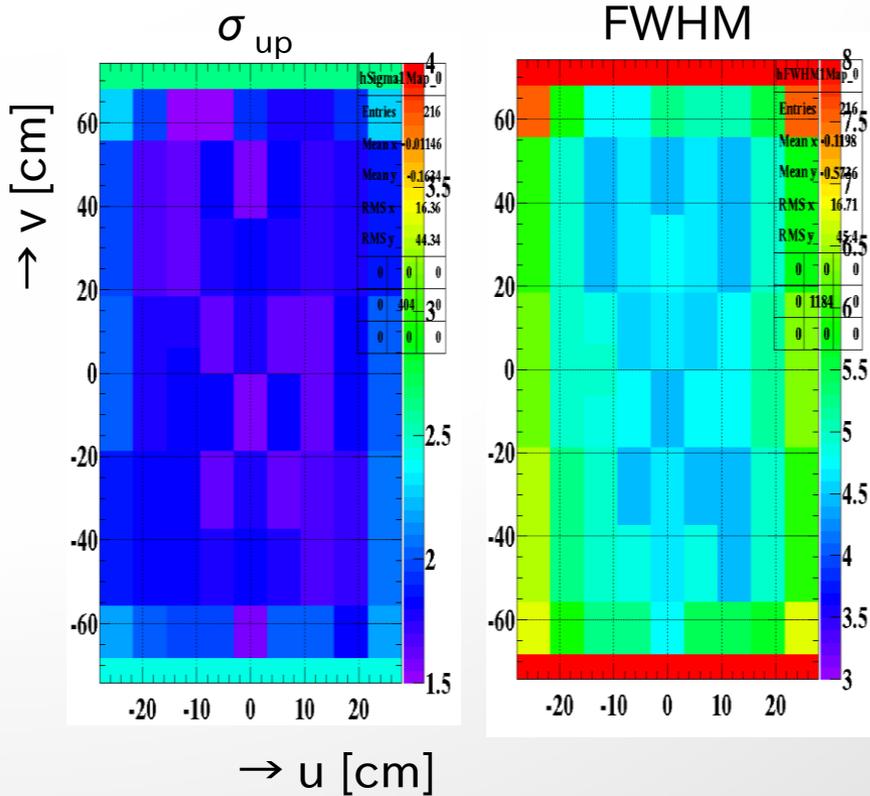
black : weighted mean of E
blue : weighted mean of \sqrt{E}
green : Fitting of E map

RMS : 1.0 cm \leftrightarrow NaI 1.8 cm

2011年のXEC性能(暫定版)

☆ エネルギー分解能に若干改善

2010



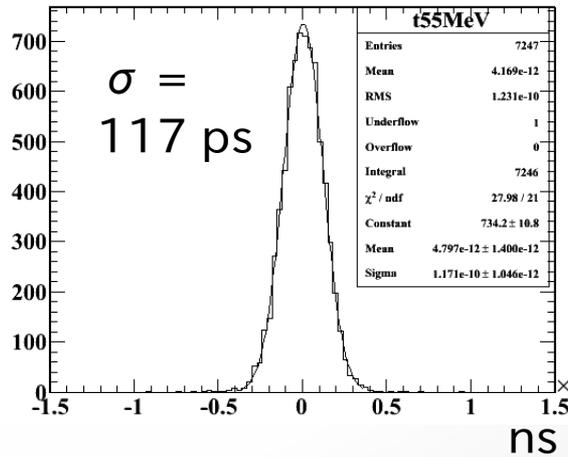
約1.9%

約1.7%

2011年のXEC性能(暫定版)

☆ 時間分解能は2010と同等

55MeV γ での $t_{\text{XEC}} - t_{\text{REF}}$

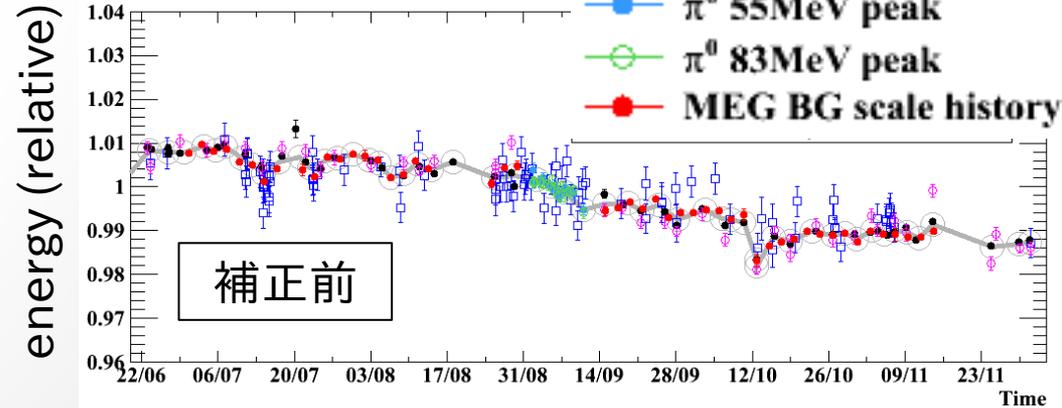


$$\sigma_{\text{XEC}55} = 117 \ominus 58 \ominus 78 = 65 \text{ ps}$$

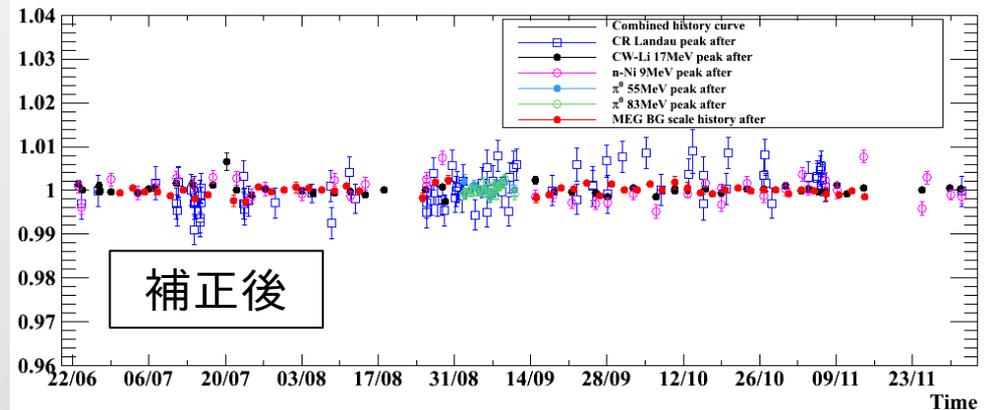
52.8MeVに外挿

$$\sigma_{\text{XEC}} = 67 \pm 3 \text{ ps}$$

☆ エネルギースケールの調節は終了



6月 MEG run 2011 12月



コンテンツ

① MEG2011RUNにおける液体キセノン検出器の性能

② MCシミュレーションによる性能の調査

A, 実機のエネルギー分解能の悪い原因

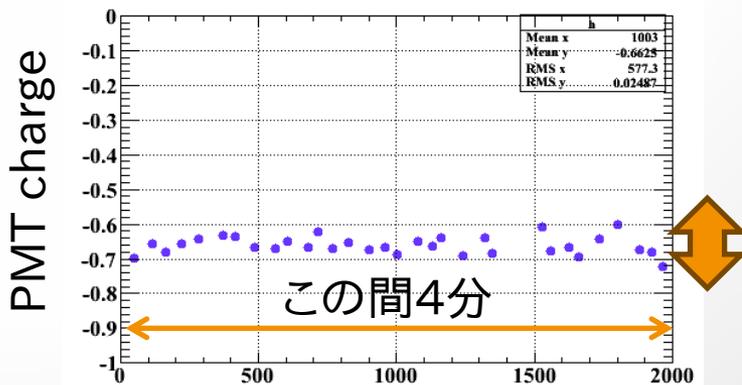
B, 反射を増加させる改良

MCでのXEC性能

MCでのエネルギー分解能は
データより良い。乖離の原因は何か？

MC : ~1.0% ↔ DATA : ~1.7%

以前の調査：
イベントごとにPMTのゲインを変化
させることで分解能を劣化させる。



Energy resolution	Correct	±5%	±10%	±15%	±20%
acceptance	1.27%	1.32%	1.82%	2.42%	4.32%
$ u < 15 \quad v < 30$	0.93%	1.03%	1.29%	1.66%	2.14%

← MEG run 中で一つのPMTで、LEDイベントの電荷を並べたもの、ばらつきは3%程度。

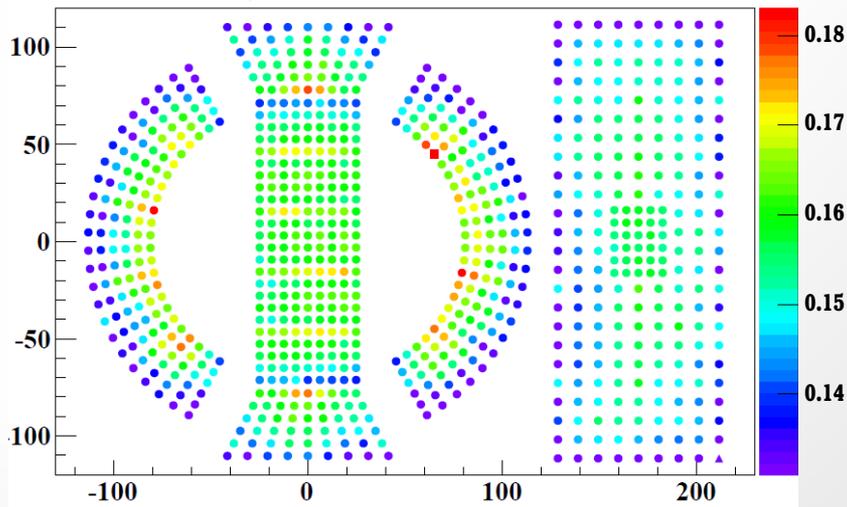
- 1、PMTのQEの誤差
- 2、photon 毎のゲインの変動

のある場合に付いて検討した。

MCスタディの結果 A-1

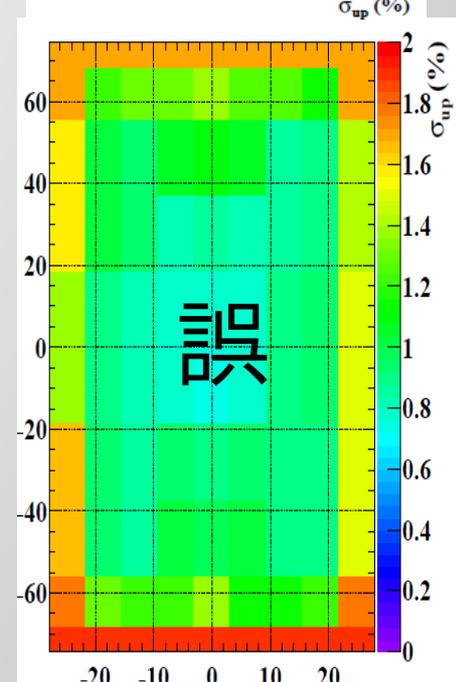
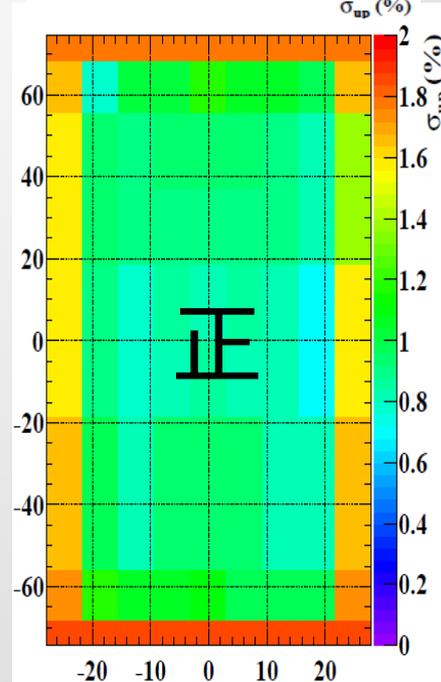
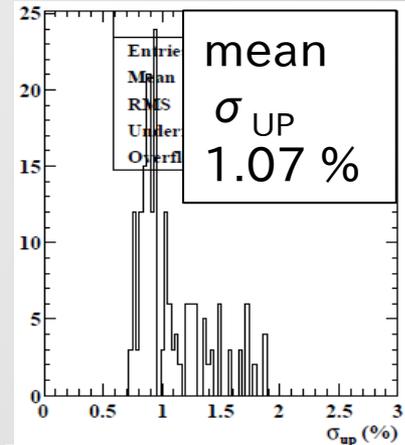
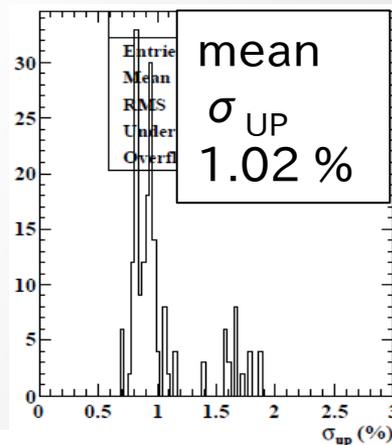
PMTのQE見積もりに系統的な誤差があった場合を想定。解析に用いるPMTのゲインを、異なるモデルのシミュレーションで作成。

使用したQEのマップ



結果

Q.E.に上図の様な、RMSで8%程度の誤差は、装置全体のエネルギー分解能に顕著な差をもたらさない。

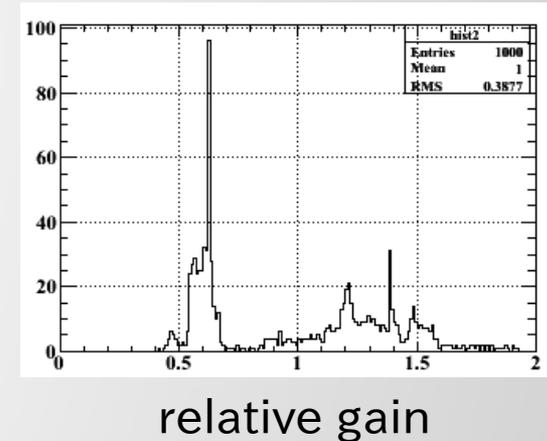


MCスタディの結果 A-2

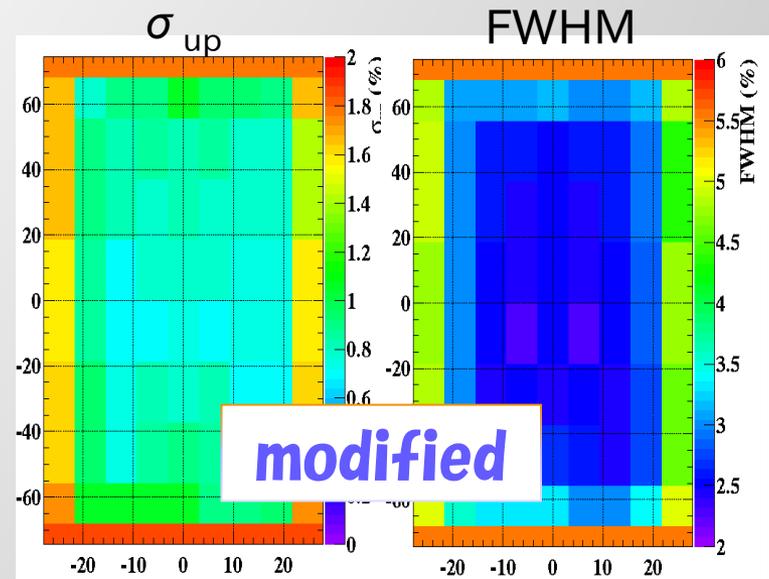
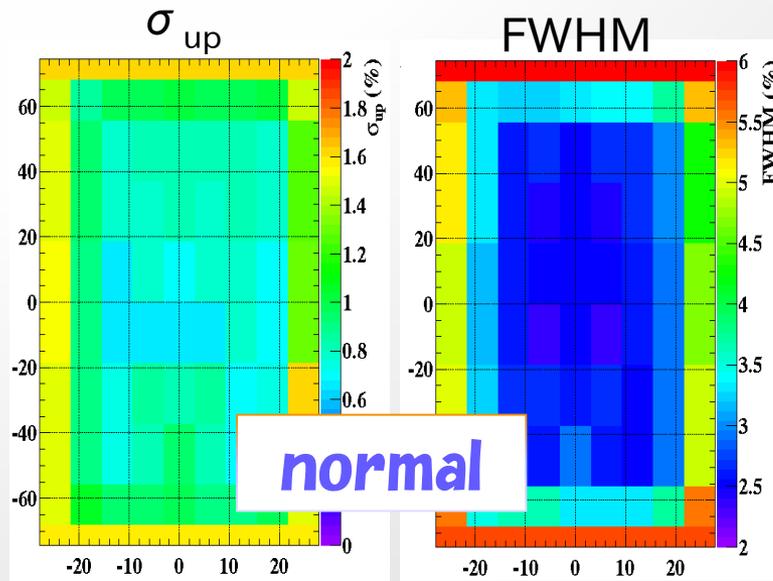
PMT内部の構造によるgainの不均一さを考慮した場合
データシートから位置によるgain依存性のtableを作成 →

1 photon 毎に、tableからランダムに値を取り出す。

	Normal	Fluctuated
σ_{UP}	0.82 %	0.82 %
FWHM	2.86 %	2.73 %



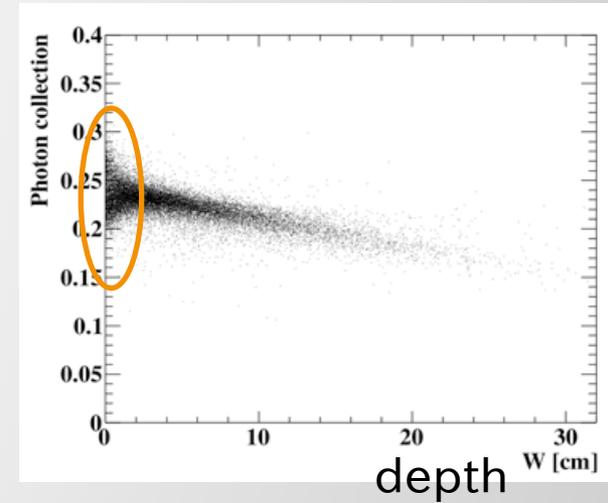
Photon毎のgainのずれは
統計的に均されてしまう。



MCスタディの結果 B-1

MCでのエネルギー分解能は、データより良いが、統計から期待される値よりは悪い。浅い(壁に近い)イベントはPMTと conversion point の相対位置による効果が顕著→

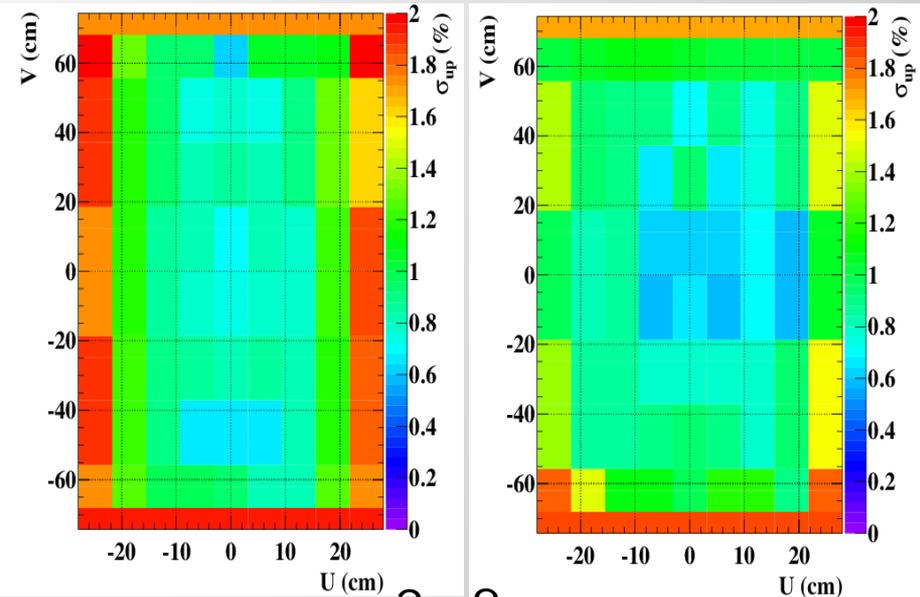
カロリメータ壁面での反射率を大きくすることが改良案の一つとして考えられている。PMTホルダーでの反射率を1とおいたシミュレーションで評価を行った。



深さ[cm]	反射率0.0	反射率1.0
0.8~3	1.54	1.06
3~8	0.94	0.85
8~22	0.85	0.85

σ_{UP} [%]

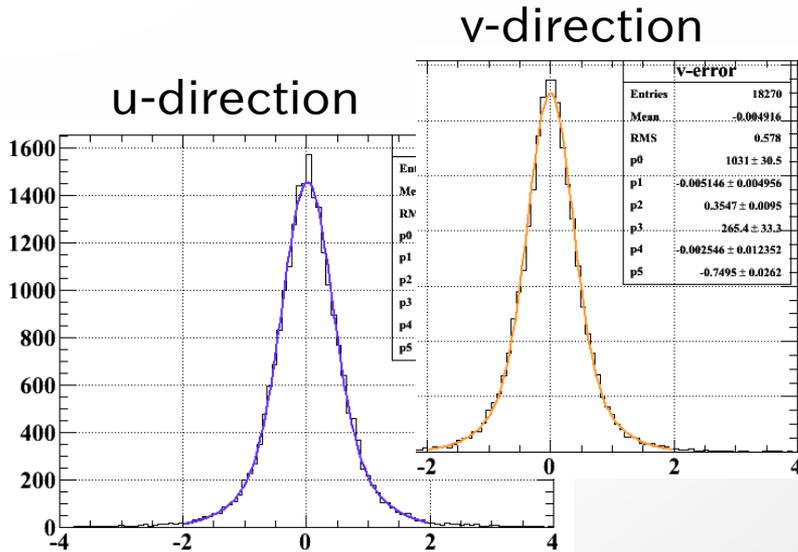
反射率が高い場合は、浅い領域、アクセプタンスの端のエネルギー分解能が良い。



反射率0 3~8 cm 反射率1

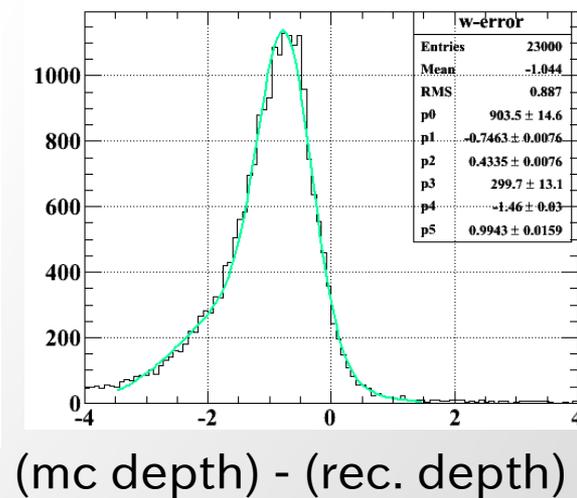
MCスタディの結果 B-2

反射光が多くなると、位置の再構成にも影響が出ることが予想される。



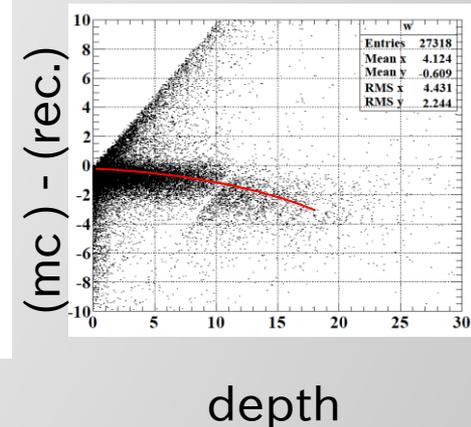
(mc pos.) - (rec. pos.)

面方向の誤差
コア成分の σ は約4mm



(mc depth) - (rec. depth)

深さの再構成にオフセットが見られる
コア成分の σ は約5mm



反射率が高い場合も、位置分解能に影響は現れない。

まとめ

- ☆ 液体キセノン検出器はrun 2011の間無事にデータを取得した。
- ☆ run 2011 データの物理解析に向けて、性能評価が進められている。
暫定的な結果だが、エネルギー分解能が改善した。
- ☆ MCシミュレーションを用いて、実際の検出器の分解能がMCに及ばない原因について調査した。調査した項目は決定的な原因ではない。

別の要因を探索 PMT光電面のphotonの入射位置を用いる
PMTcathodeの反射率
Xeの対流によるゆらぎ

- ☆ 改良案の一つ、壁面での反射率を高くした場合について調査を行った。
壁に近いイベントのエネルギー分解能が良くなる。

→現実的なケースの調査。

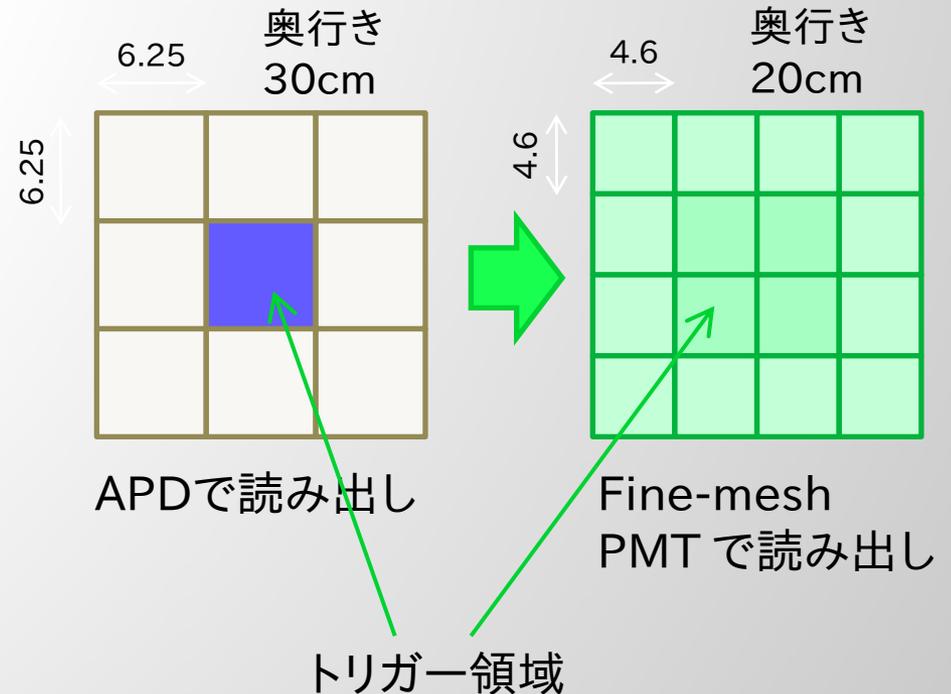
おわり

おまけ

2011年の変更点 A

2010年まで γ 線のタグに用いていたNaI測定器を、BGOを用いたものに更新する。

種類	NaI(Tl)	BGO
比重(g/cm ³)	3.67	7.13
放射長(cm)	2.59	1.12
Moliere半径(cm)	4.13	2.23
光量(相対値)	100	21
波長(nm)	410	480

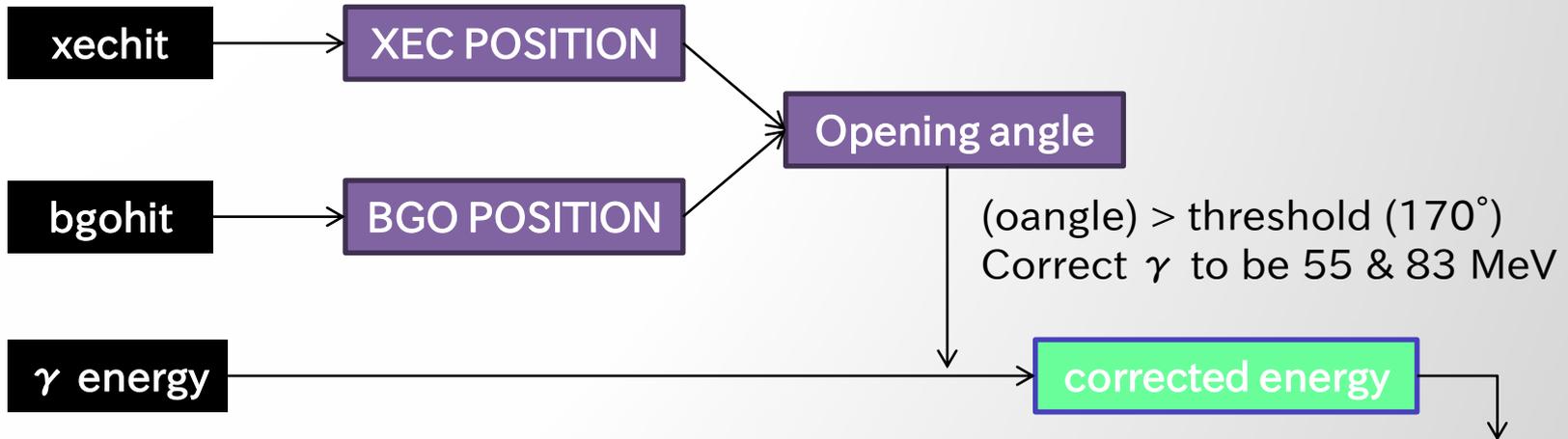


★改善が期待される項目

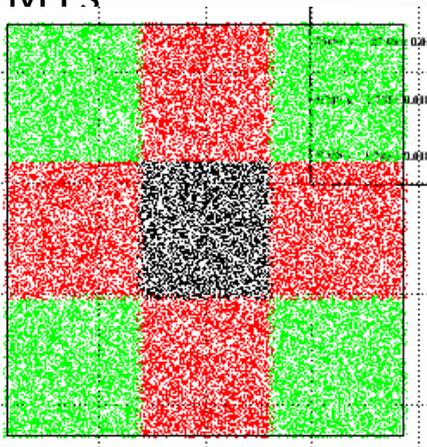
1. アクセプタンス → CEX期間を短縮可能
2. 位置分解能
3. エネルギー分解能

要求値は $\sigma = 7\%$ (@55MeV) NaIの実績3.9%

Event reconstruction & analysis



Events are sorted to 3 types ← One CEX patch lies on 3× PMTs

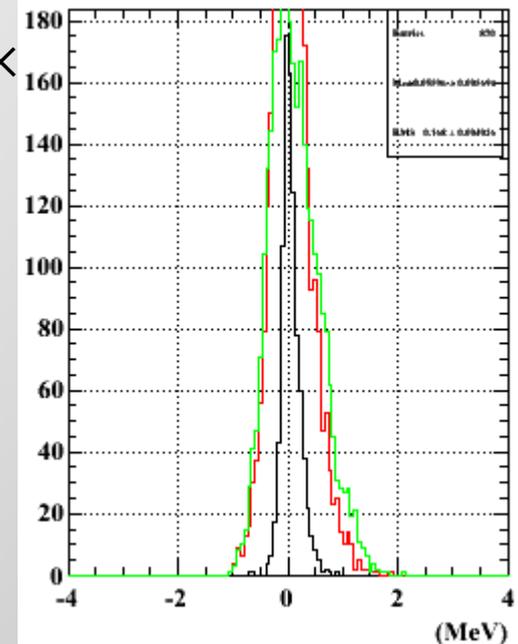


Black ID=0

Red ID=1

Green ID=2

Events are treated separately for each position ID



Results by reconstruction methods

Some reconstruction ways are prepared for this study

For XEC

- A. MC 1st conversion point + random
- B. MC 1st conversion point
- C. Reconstruction from generated γ

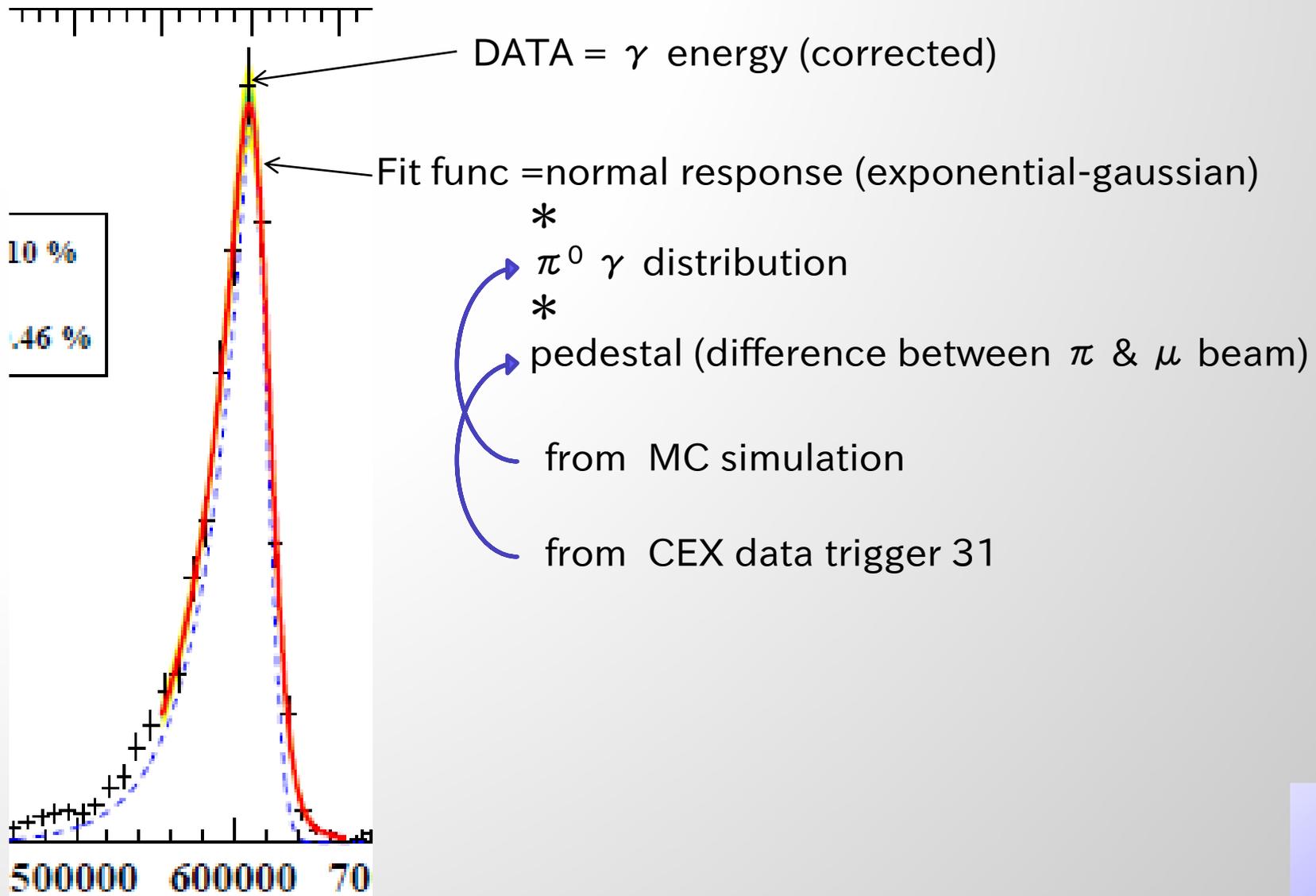
For BGO

- ア. Use center coordinate
- イ. Mean of energy deposit
- ウ. Conversion point
- エ. Reconstruction from generated γ

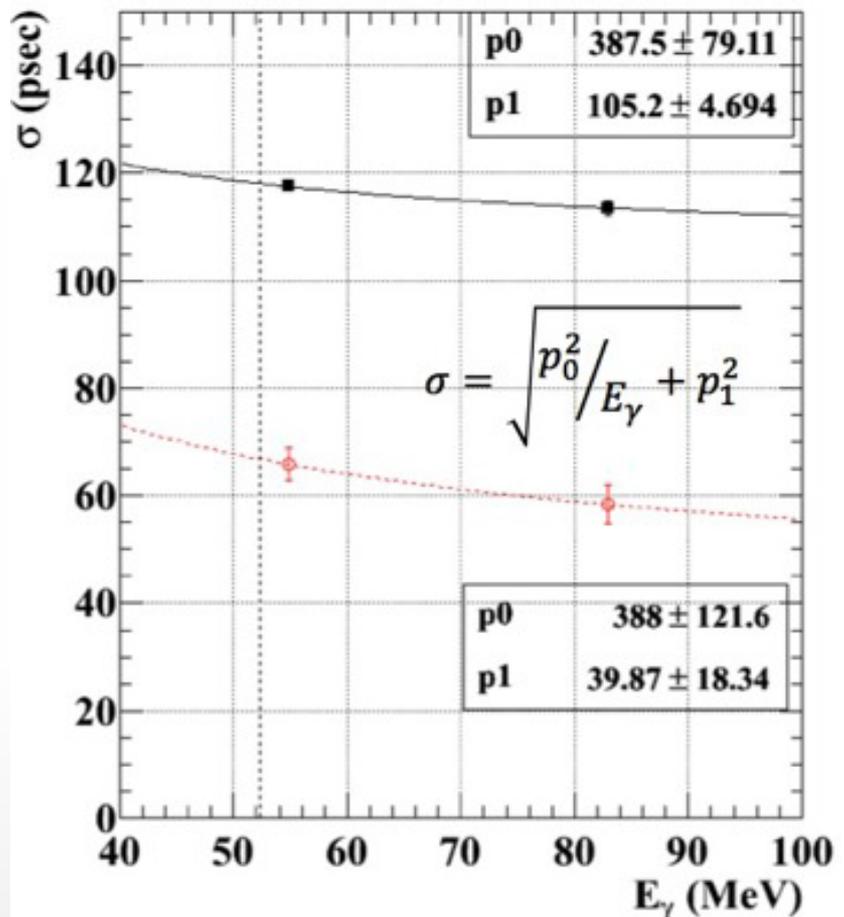
RMS of 55MeV peak	Ultimate case	If BGO is ideal	BGO normal	BGO center	XEC no random	Nearest to real
XEC	C	C	C	C	B	A
BGO	エ	ウ	イ	ア	イ	イ
ID = 0	0.27 %	0.30 %	0.30 %	0.33 %	0.39 %	0.41 %
ID = 1	0.61 %	0.64 %	0.65 %	0.71 %	0.80 %	0.81 %
ID = 2	0.78 %	0.82 %	0.83 %	0.95 %	0.97 %	0.98 %

Opening angle cut is 170° in all cases.

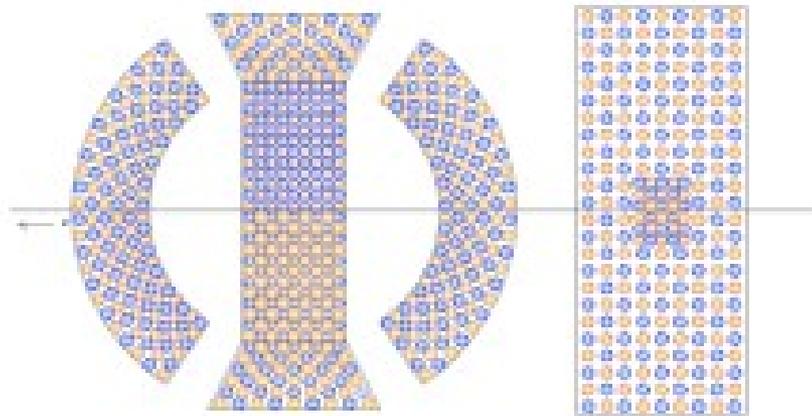
Evaluation of XEC energy resolution



XEC timing



intrinsic timing resolution

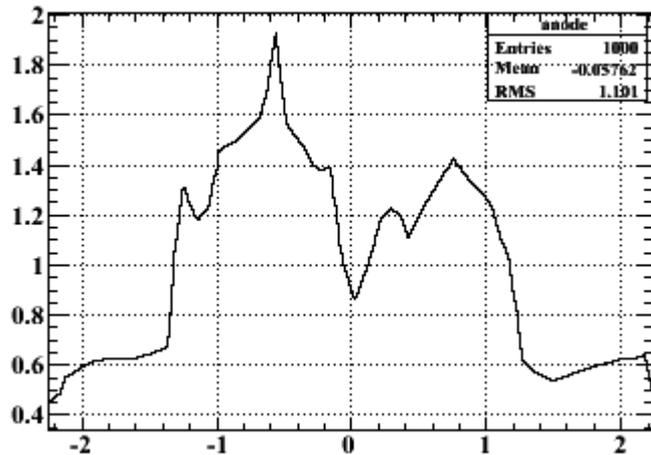


Calculated by $T_{\text{odd}} - T_{\text{even}}$

37.5 ps @55MeV

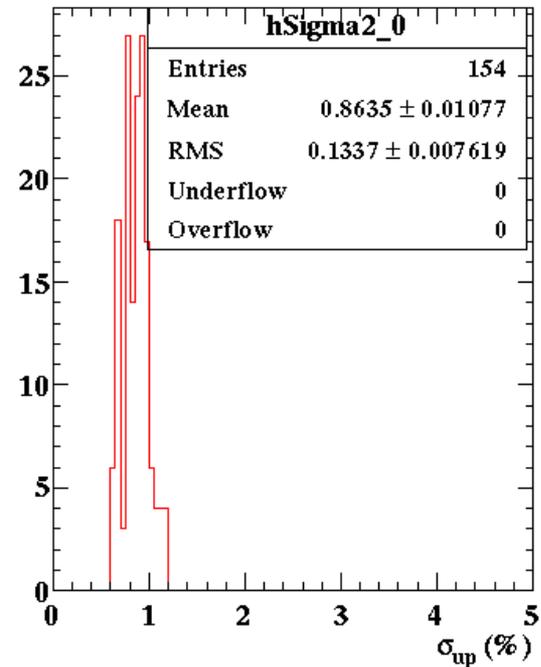
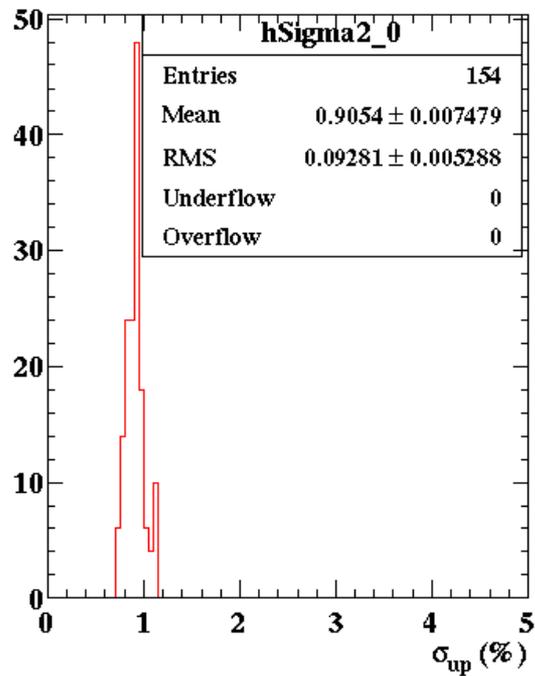
30.2 ps @83MeV

Gain fluctuation of XEC PMT



← PMT Gain Distribution

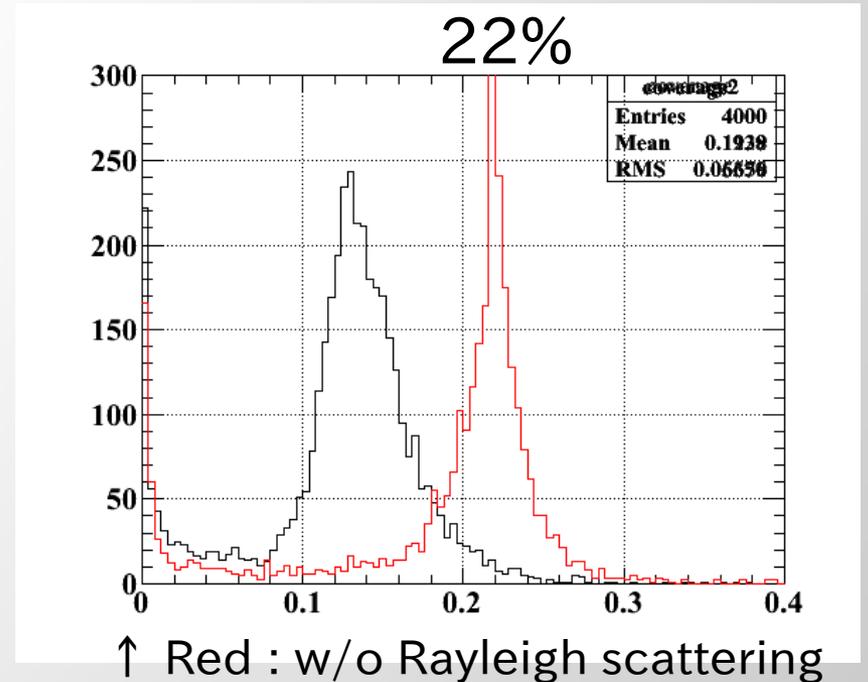
Gain factor = 0.6 ~ 1.5



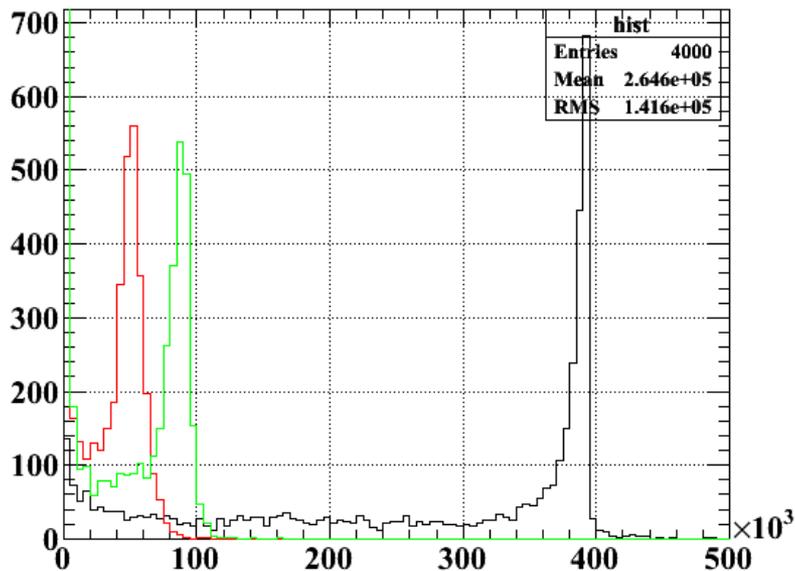
PMT Effective Coverage

Plot of $\left(\frac{\text{Directly reached photon}}{\text{Generated scintillation photon}} \right)$

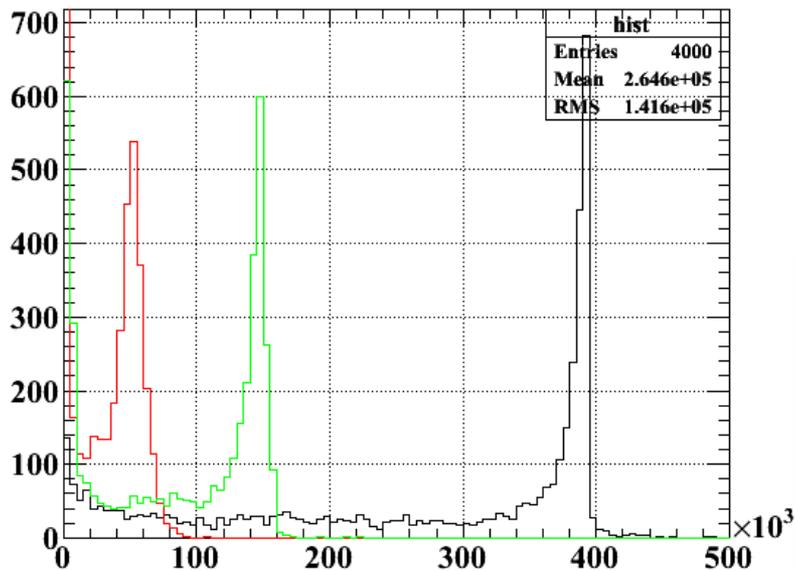
Event is generated over all interesting region.
Reflection ratio is 0.



Number of detected photons



reflectivity 0



reflectivity 1

u,v slice

