



MEG実験 RUN2011 液体キセノン検出器の 較正とモニター

金子大輔 (東大,ICEPP)
他MEGコラボレーション
日本物理学会@弘前大学

Contents

Introduction

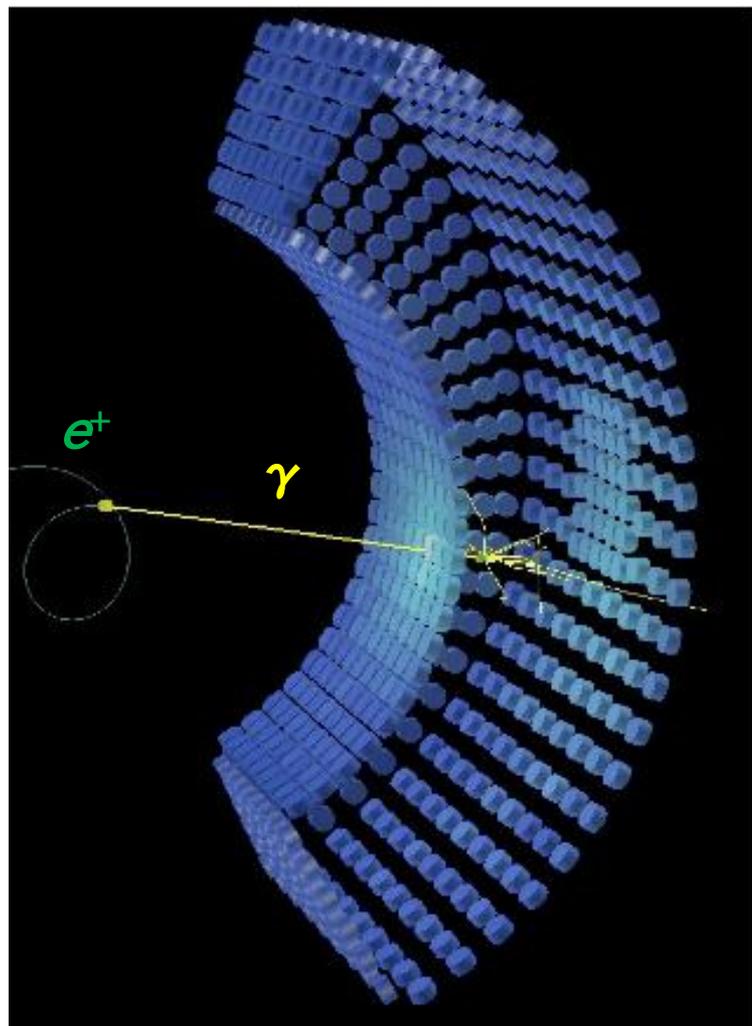
LXe Calorimeter Monitoring

Pion Charge Exchange Calibration

Set up of BGO Detector

Fast Result of CEX Calibration

MEG実験における液体キセノンカロリメータ



★ 900%の液体キセノンに846本の光電子増倍管が浸されている
(2011年9月現在、世界最大のLXe検出器)

★ 液体キセノンの特徴
光量(NaI(Tl)比75%)
減衰時間(4, 22, 45ns)
一様性 …etc.

★ 技術的課題
165Kで安定に保持
純度の管理

MEG実験で高いSensitivityに達するには
 γ 線のエネルギー分解能が特に重要。

Contents

Introduction

LXe Calorimeter Monitoring

Pion Charge Exchange Calibration

Set up of BGO & LYSO Detector

Fast Result of CEX Calibration

液体キセノンカロリメータの較正手段

LED : PMTのゲイン測定

α 線源 : PMTのQE測定

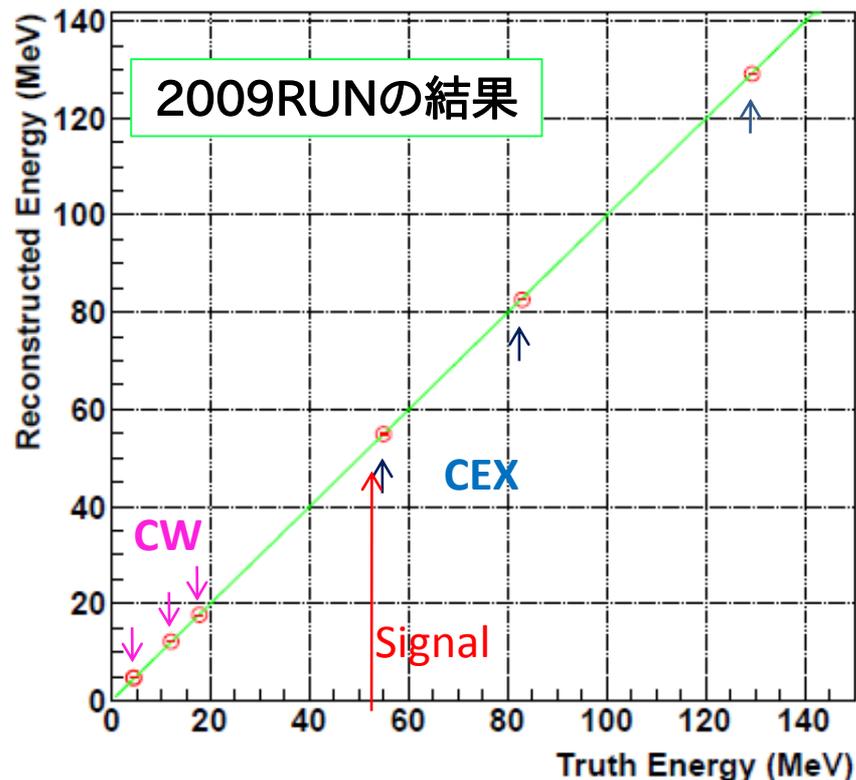
宇宙線 : 定期的にモニター

Am-Be線源
: 4.4 MeV γ

CW 加速器
: 17.6 MeV γ Li(p, γ)Be
: 4.4, 11.7 MeV γ B(p, γ)C

Neutron generator (new)
: 9.0 MeV γ Ni(n, γ)Ni*

Charge Exchange ($\pi^0 \rightarrow \gamma \gamma$)
: 55 MeV, 83 MeV, 129 MeV
↑ MEGシグナル(52.8 MeVに近い)



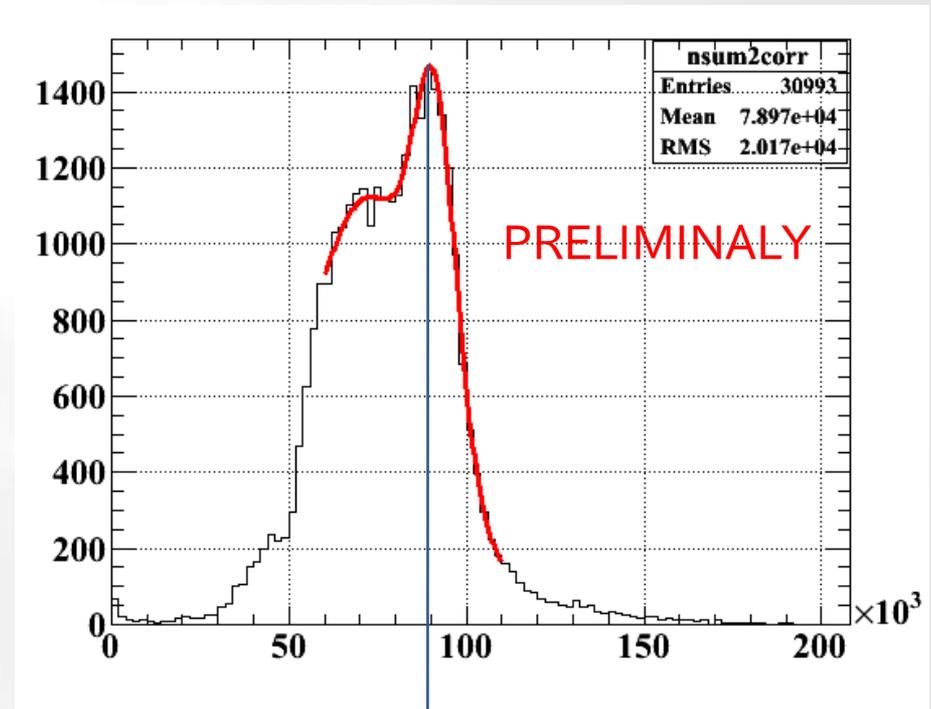
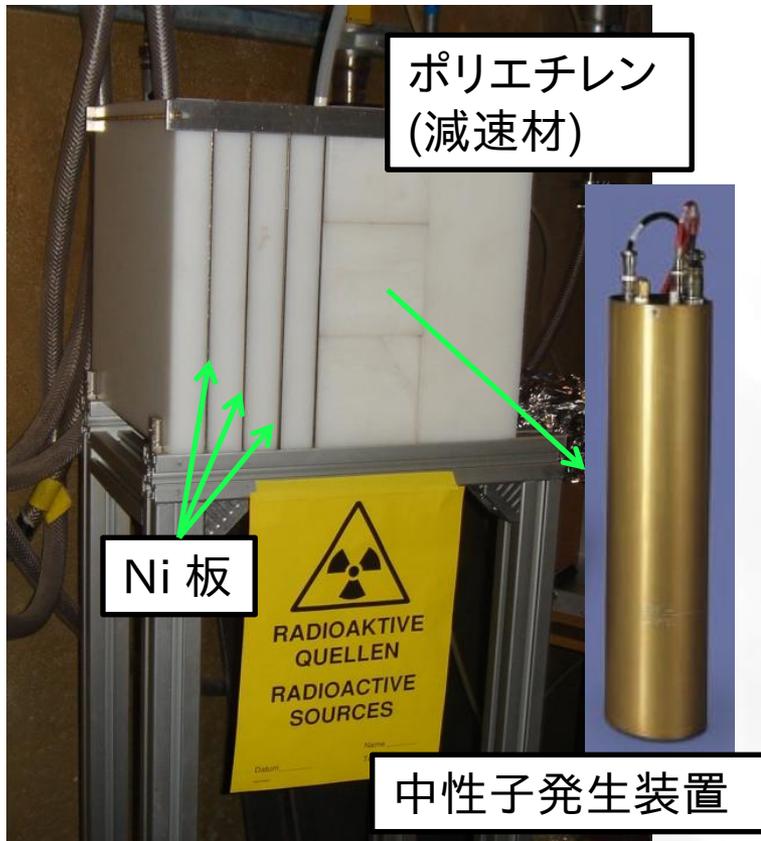
2010年までの γ 線エネルギースケール uncertainty は約0.3%と見積もられている。

NEUTRON GENERATOR

2010年に導入。

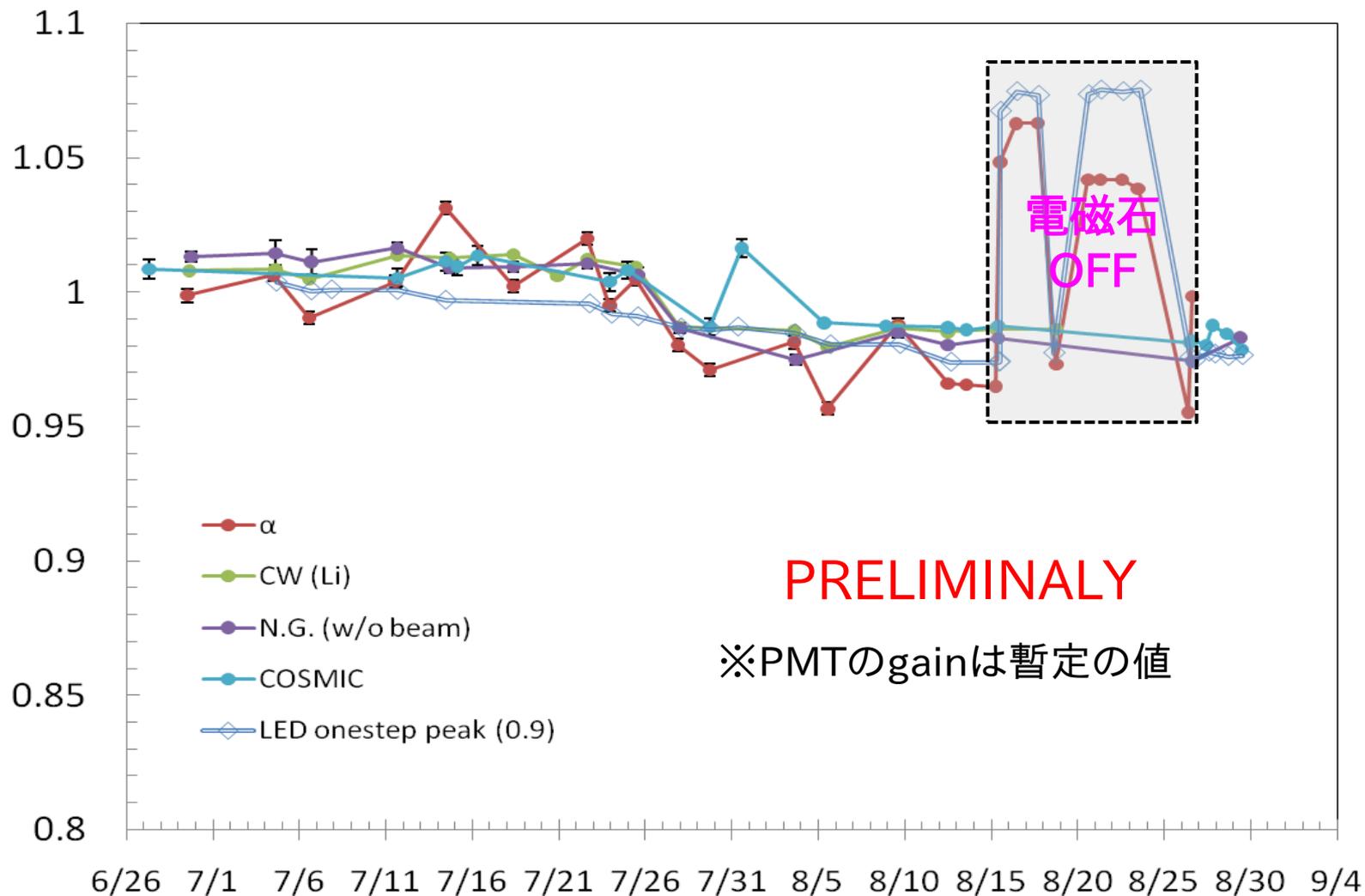
Niの熱中性子捕獲に伴い単色 γ 線、9.0MeVが放出される。

パルス状の放射をトリガーとリンクし、 μ ビーム使用時も利用できる。



9.0MeV Peak, $\sigma = 6.2\%$

RUN2011 光量モニター



Contents

Introduction

LXe Calorimeter Monitoring

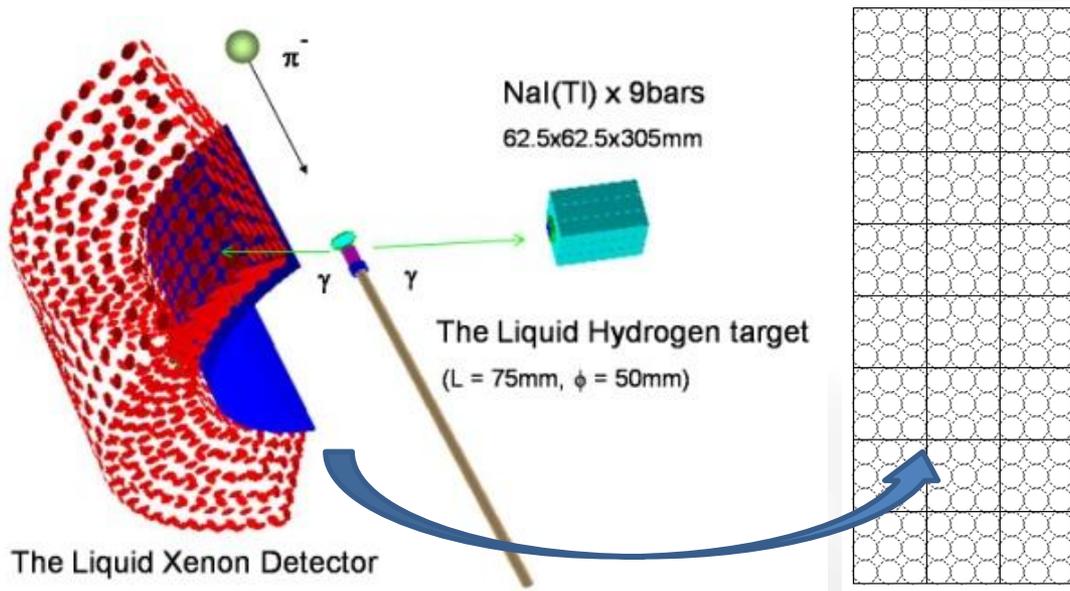
Pion Charge Exchange Calibration

Set up of BGO & LYSO Detector

Fast Result of CEX Calibration

CEX calibration

π^- 粒子のcharge-exchange反応 ($\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + n$) により π^0 が放出され、ただちに2つの γ に崩壊する。2本の γ 線が反対方向を向いているイベントだけを選ぶことで、単色に近い55MeVと83MeVの γ 線のみを取り出すことができる。



LXe検出器の特定の領域とタグ用の検出器でcoincidenceしたイベントを収集する。

タグ用の検出器を移動させながら、XECのacceptanceをスキャンしていく(24か所)。

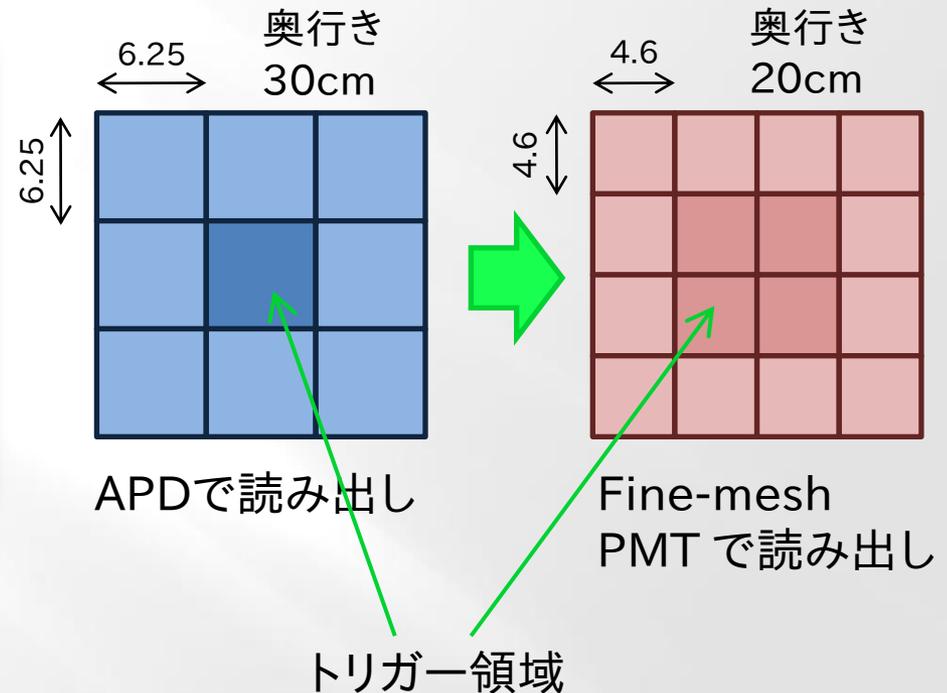
π^0 を介さない過程(Radiative Capture : $\pi^- + p \rightarrow \gamma + n$)により、129MeV 単色の γ も得られる。

タイミングの較正も可能。(時間分解能の良い別の検出器を併用)

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%

2011年の変更点 B

タイミング計測に使用していた検出器(プラシン、鉛コンバータ付)をLYSO結晶を用いたものに更新する。

種類	プラシン	LYSO
比重(g/cm ³)	1.0	7.4
波長(nm)	~420	428
減衰時間(ns)	~3	40

★検出効率の向上が見込まれる
阻止能が大きくなる

▲時間特性はプラシンの方が良い
光量の増加で埋め合わせ可能か



1個の結晶を両側で読み出す
同型の検出器2枚重ねで使用

Contents

Introduction

LXe Calorimeter Monitoring

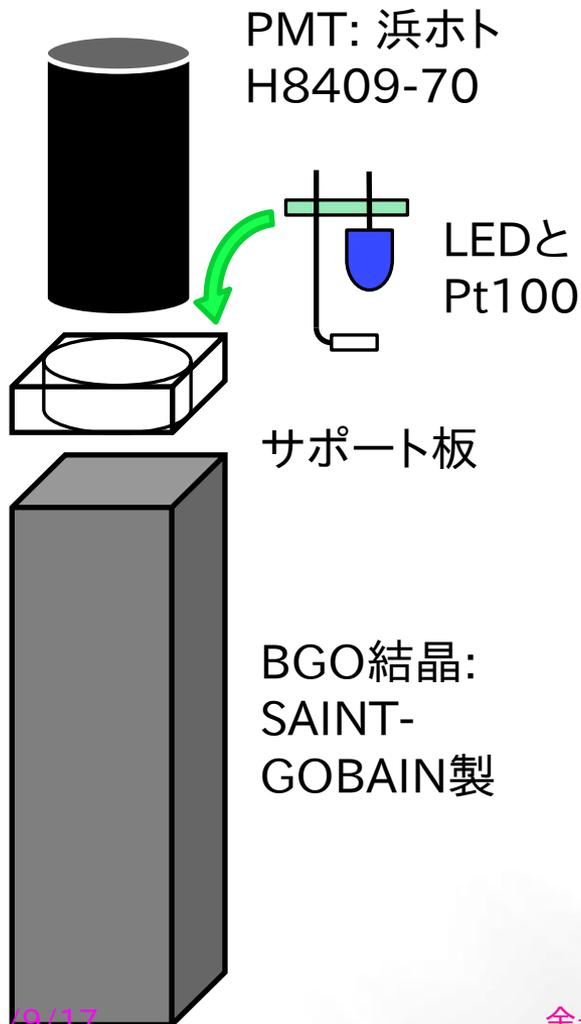
Pion Charge Exchange Calibration

Set up of BGO & LYSO Detector

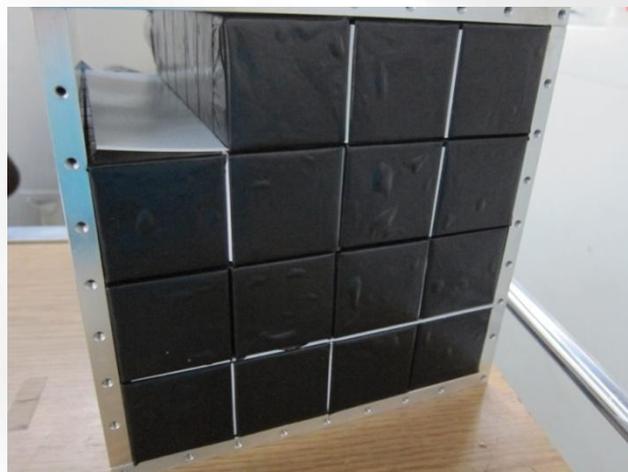
Fast Result of CEX Calibration

BGO 設計と製造

NaI 検出器の移動装置はそのまま用い、結晶とそれを保持するケースを交換



← 接着には optical cement を使用した



← パッキング 確認の様

BGO検出器の較正

BGO検出器の較正手段

LED : モニター用

宇宙線 : energy deposit 約60MeV

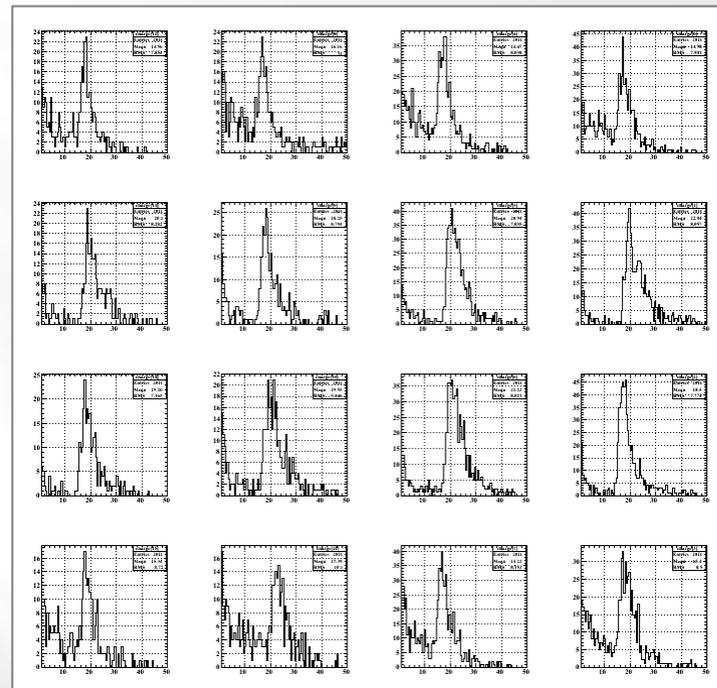


PMTのHV調節に使用

CW : ターゲット位置から入射
エネルギーが既知(17.6MeV)



energy scaleの(仮)決定に使用。
(CEXと合わせて最終的な値を決める)



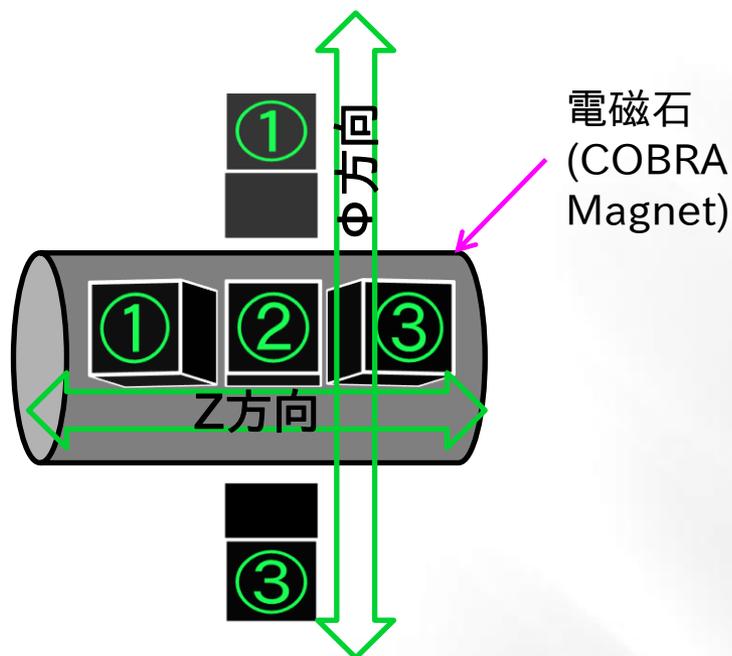
各16chでの宇宙線landauピーク
縦4本のcoincidenceをトリガー
条件にしている、

BGO検出器の較正

検出器の位置依存性

陽電子スペクトロメータ用ソレノイド磁石からの漏れ磁場にPMTが影響を受ける可能性がある。

50[gauss] 程度 \oplus 角度変化 約 30°
場所による依存性がどの程度か、確認する。



PRELIMINALY

	Gain 相対値(②基準)			σ (%)
	①	②	③	
Φ	1.00397	1	1.00016	0.226
Z	1.00302	1	0.99331	0.497

位置によるgainのばらつきは、他のuncertaintyと比較して小さい。

2011年 CEX スケジュール

今年のCEXrunは
9/2～9/12に計画



9/2 昼	π^0 run DAQ 確認
9/2 夜 ~ 9/6 深夜	π^0 run Scan 1回目
9/7	XEC・BGO 単独 DAQ
9/7 夜 ~ 9/10 夜	π^0 run Scan 2回目
9/11	XEC単独 DAQ
9/12	別位置でDAQ

←LYSOカウンターの時間分解能
が良くなかったためLYSO検出器
を以前の装置に戻して測定。

所要時間 約2時間30分/15万event (2010の半分)

トリガーレート

(XEC+BGO) 12.5Hz(2010は4.6Hz)

(XEC+LYSO) 5.4Hz(2010は2.7Hz) *DAQ効率改善も含む(約1.3倍)

検出器の検出効率

NaI→BGO 2.4倍、鉛preshower→LYSO 1.6倍

Contents

Introduction

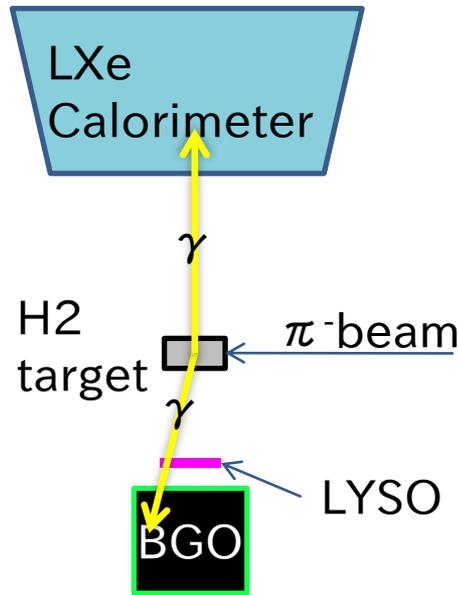
LXe Calorimeter Monitoring

Pion Charge Exchange Calibration

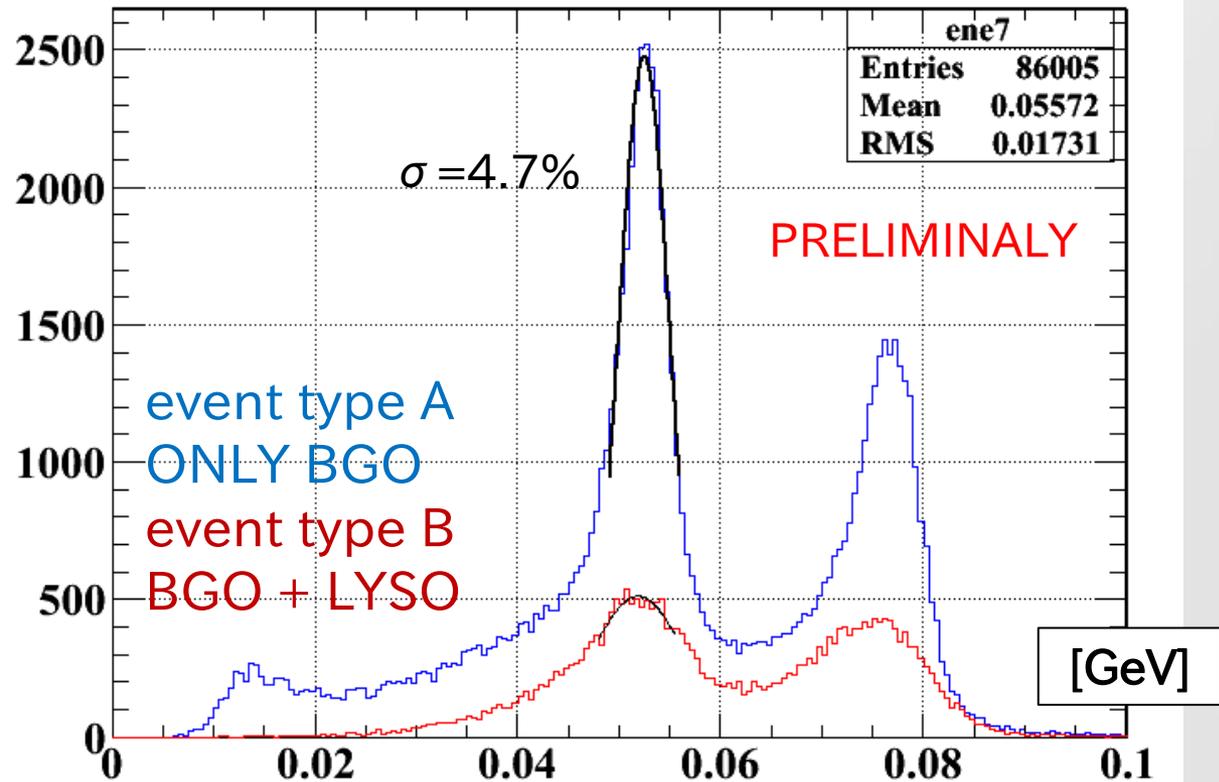
Set up of BGO & LYSO Detector

Fast Result of CEX Calibration

BGO検出器でのスペクトラム

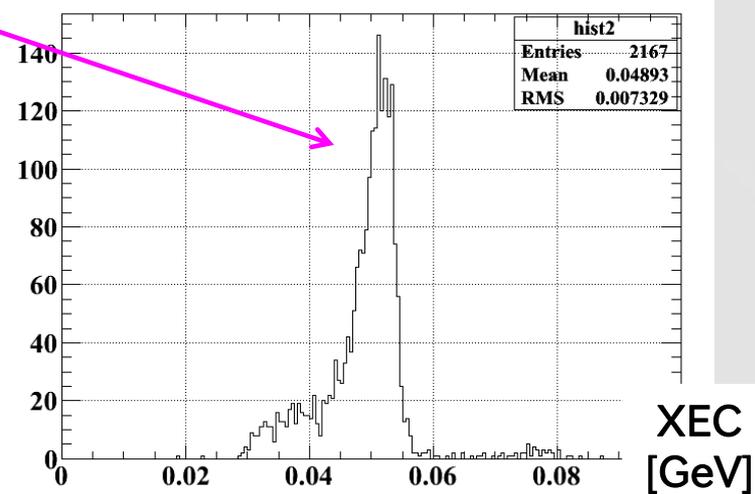
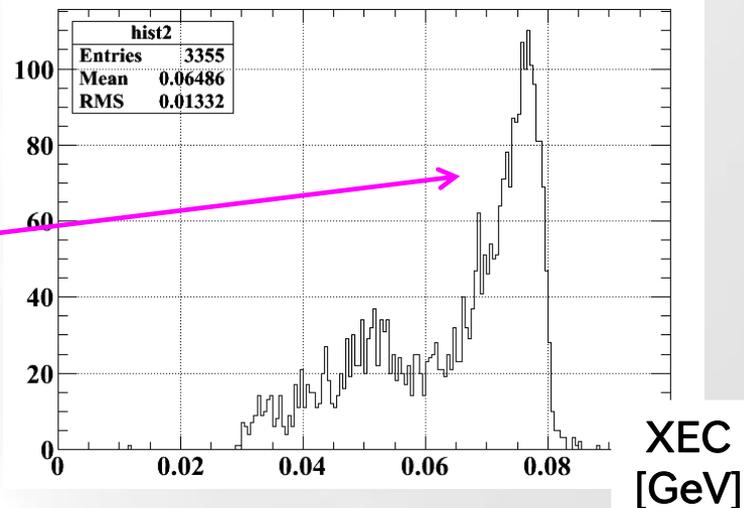
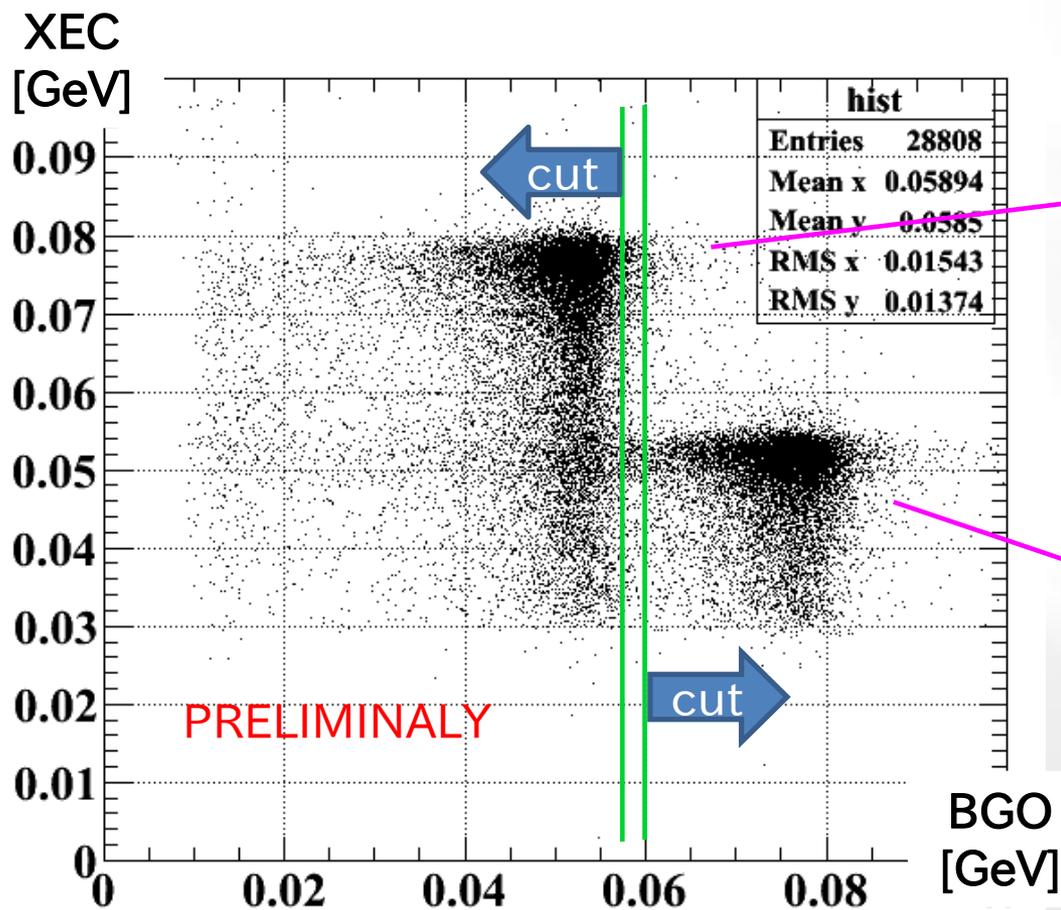


検出器の配置
(上から見た図)

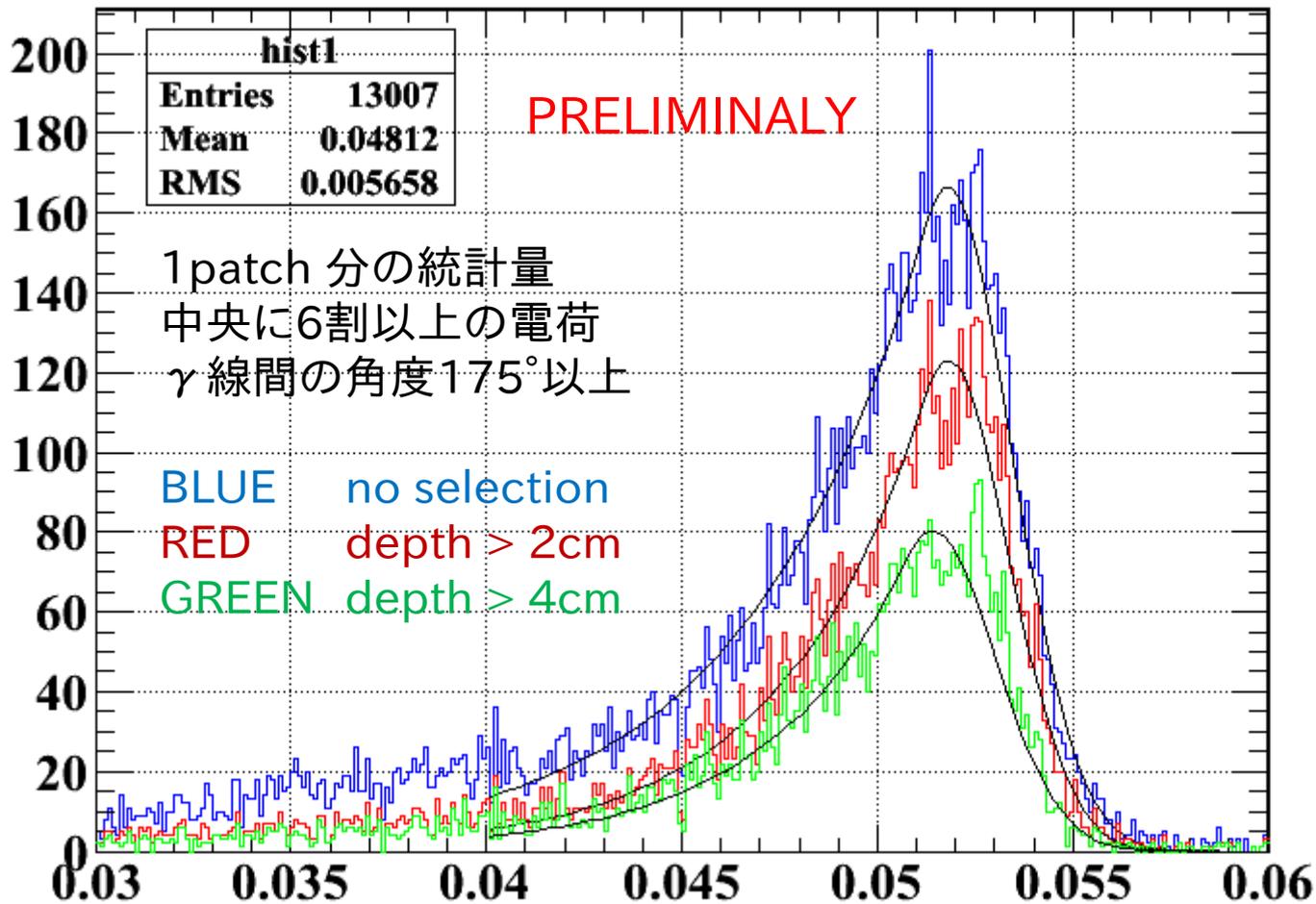


シグナル波形のノイズ除去などはまだ行っていない。
55MeVと83MeVの γ 線を区別するには十分な分解能

BGO検出器による γ 線の選別



液体キセノン検出器の結果



exponential-gaus
関数でFitすると、右
側のガウシアン部分
は $\sigma=3\%$ 程度。

- ・PMTのゲイン
- ・PMTのQE
- ・場所依存性の補正
等で去年並みになる
事が期待される。

まとめと今後

Run2011も安定してデータを取得している。

BGO検出器、LYSOカウンターの製作・据付は無事に終了した。

2011年のCEX runのデータ取得を完了した。

BGOは正常の動作

- ・検出効率には期待通りの改善がみられた。
→今後、スケジュールはより効率化できる
- ・エネルギー分解能は去年より悪いが、十分。

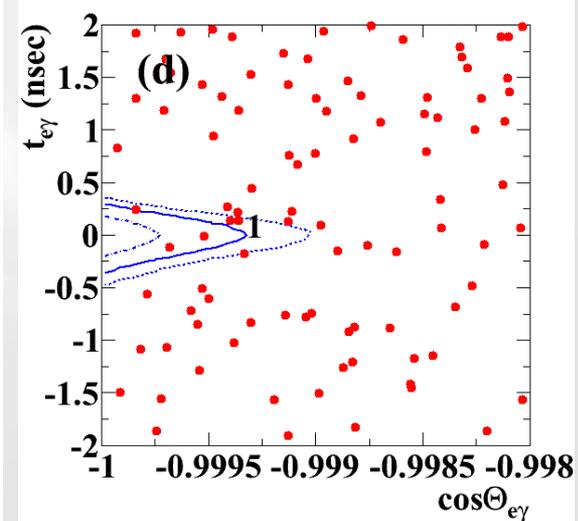
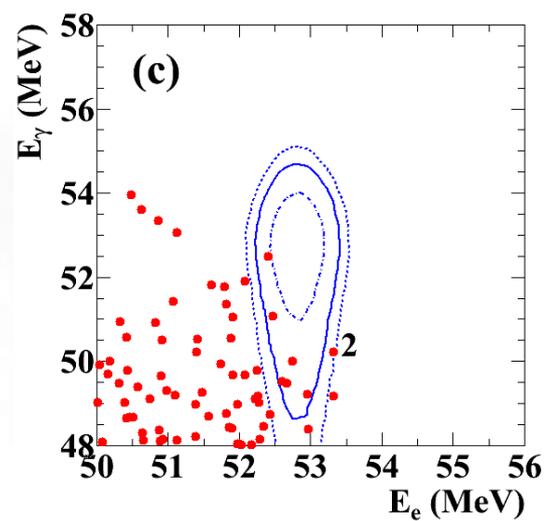
Xe検出器の分解能評価の準備が整った。

来年のCEXへ向けて

- ・解析結果から、スケジュールを最適化。
- ・LYSOのスタディを行う。

Thank you for your listening !!

MEG2010 result

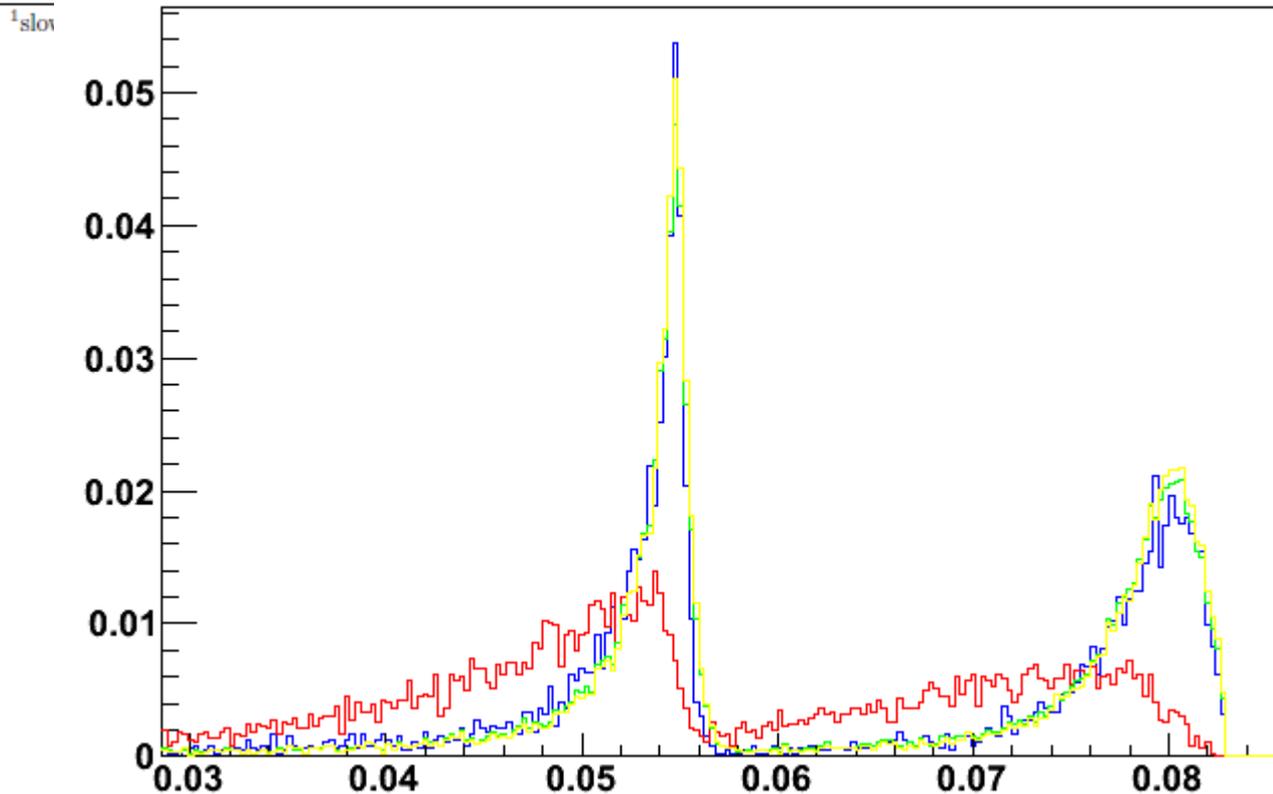


MEG2010年の結果より

Ni (n γ)

反応	ニッケルの天然存在比 (%)	捕獲断面積 (barns)	エネルギー (MeV)
$^{58}\text{Ni}(n, \gamma)^{59}\text{Ni}^*$	67.88	4.4	9.000
$^{60}\text{Ni}(n, \gamma)^{61}\text{Ni}^*$	26.23	2.6	7.820
$^{62}\text{Ni}(n, \gamma)^{63}\text{Ni}^*$	3.66	15	6.838
$^{64}\text{Ni}(n, \gamma)^{65}\text{Ni}^*$	1.08	1.52	6.098

	LXe	LAr	NaI(Tl)	CsI(Tl)	BGO	LSO(Ce)	PbWO ₄
Density (g/cm ³)	2.98	1.40	3.67	4.51	7.13	7.40	8.3
Radiation length (cm)	2.77	14	2.59	1.86	1.12	1.14	0.89
Mollier radius (cm)	4.2	7.2	4.13	3.57	2.23	2.07	2.00
Decay time (ns)	45	1620	230	1300	300	40	30/10 ¹
Emission peak (nm)	178	127	410	560	480	420	425/420 ¹
Relative output	75	90	100	165	21	83	0.083/0.29 ¹



Monitoring tools of LXe detector

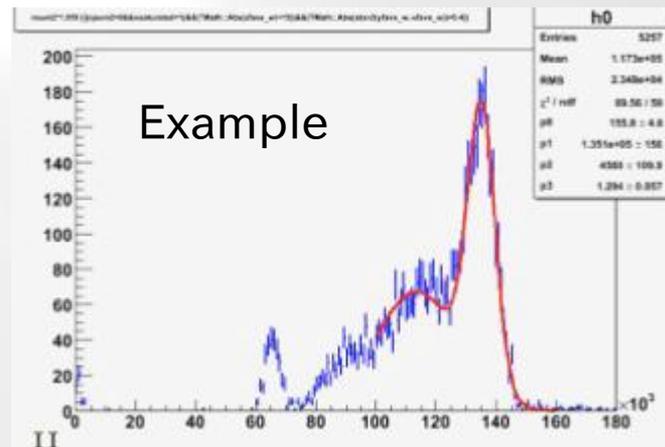
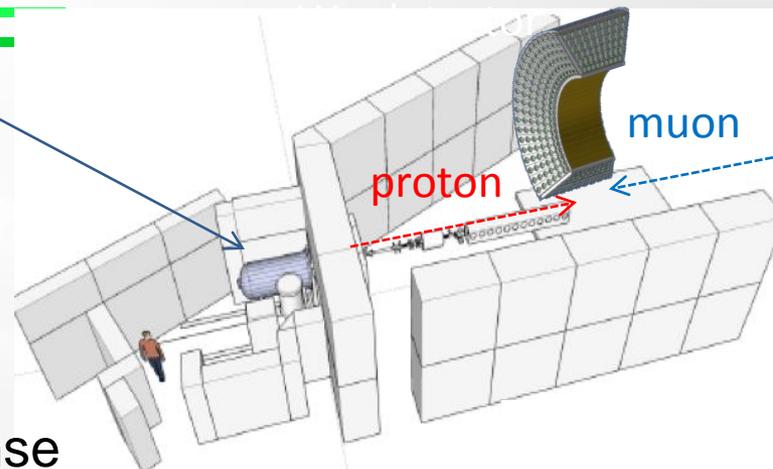
Cockcroft-Walton accelerator

Nuclear reaction by protons

$\text{Li}(p, \gamma)\text{Be}$ 14.6, 17.6MeV

$\text{B}(p, \gamma)\text{C}$ 4.4, 11.7MeV

Useful to monitor the light yield and
to check the uniformity of detector response

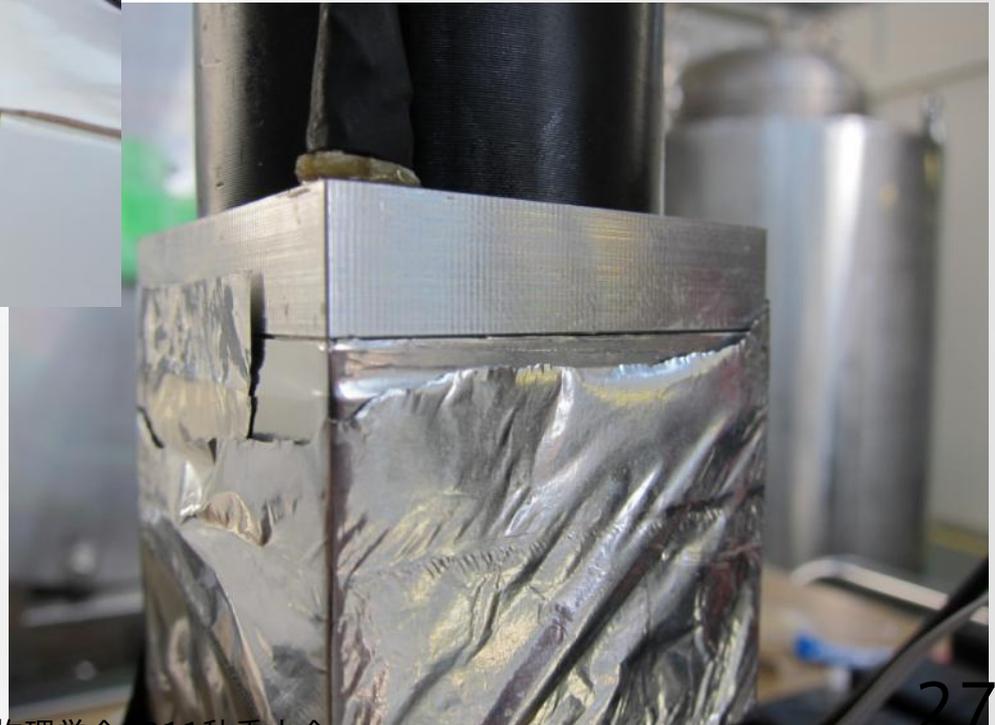


Connecting work

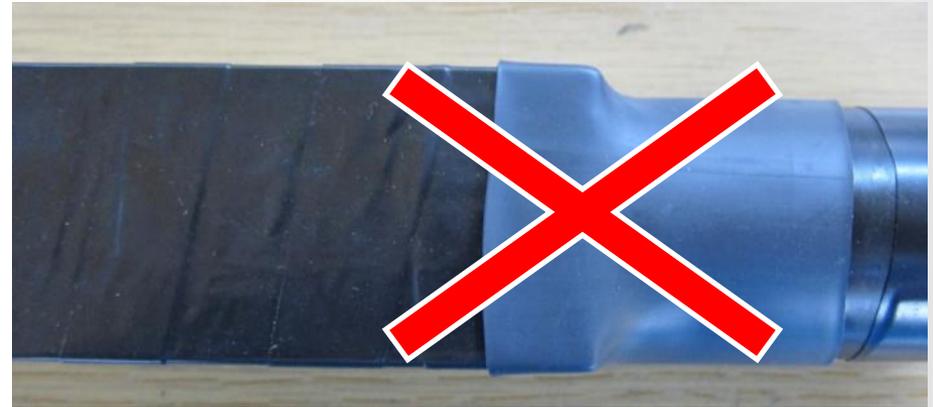


← BGO & PMT were hold until cement cured in case

Just after connect BGO & PMT →



Taping for shading



At first, I thought to use heat-shrinking tube at connecting part.

This found out to be too thick to installation of BGO casing.

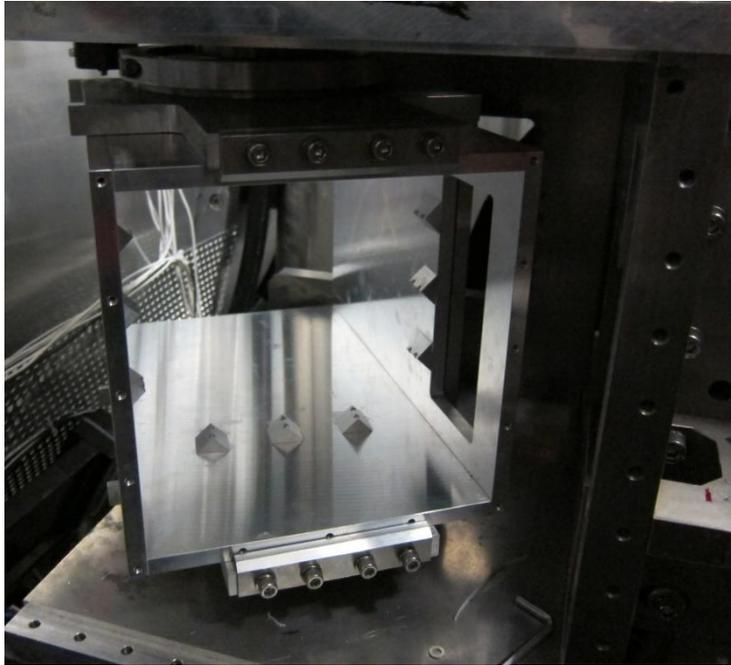


Changed to usual taping

← LED & Pt100 are soldered to base plate.

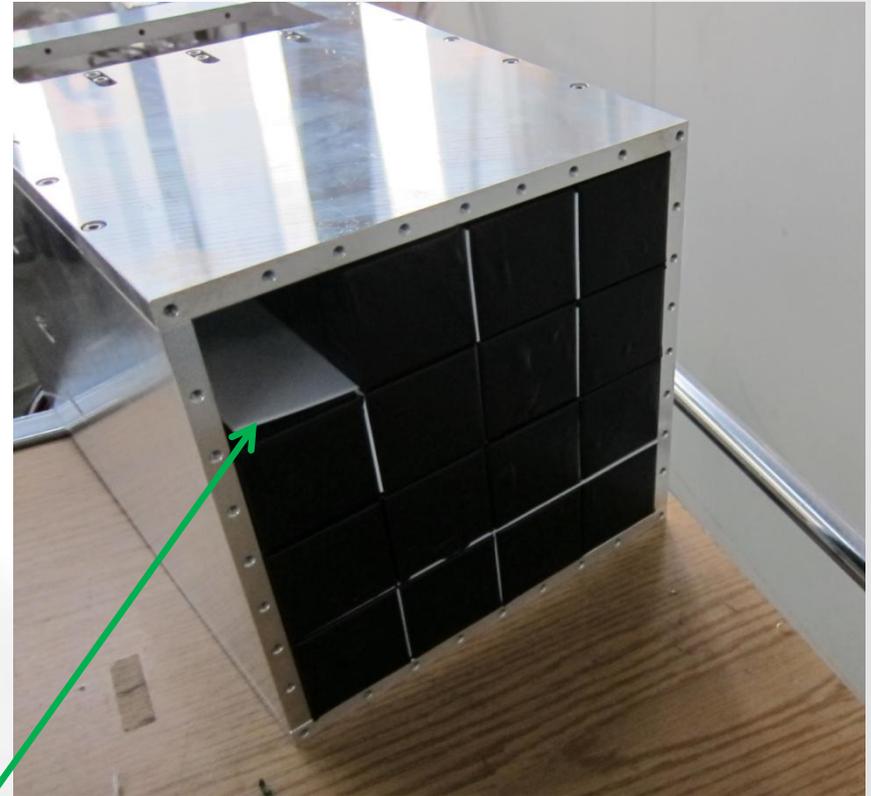


Insertion of BGO detector



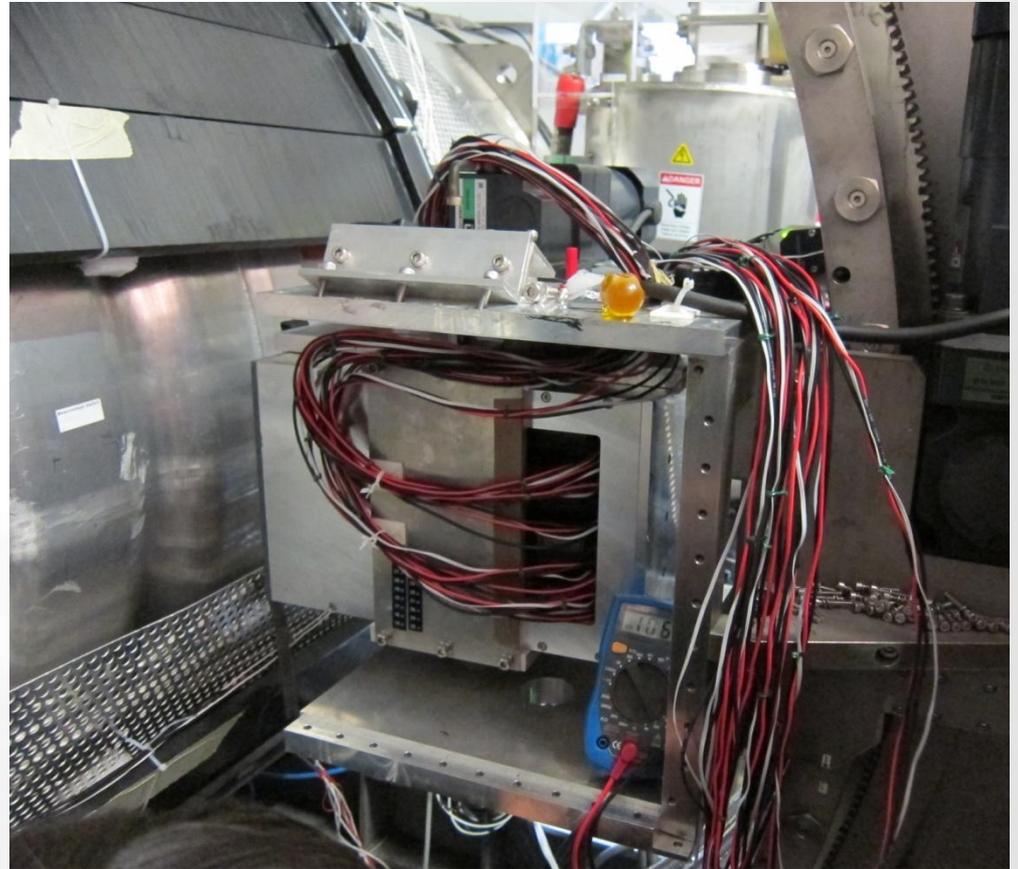
Replaced inner detector case

1 mm thick Teflon plate for spacing & less friction



BGO detectors in casing

Cabling around detector case

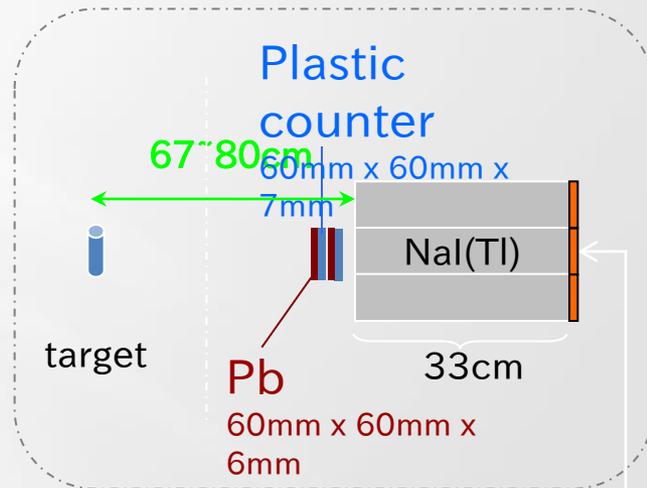
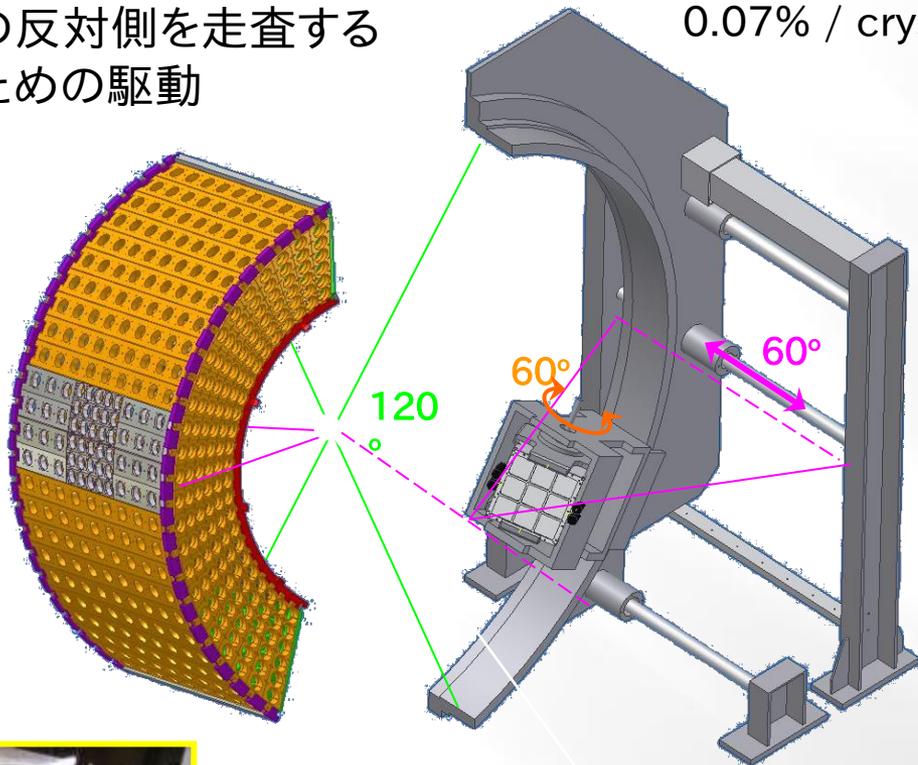


Cables (Signal, HV, LED, Pt100) go out of inner case through window on both side. And wind inside outer case, come out from hole on the top of outer case.

Nal detector

液体キセノン検出器
の反対側を走査する
ための駆動

solid angle
0.07% / crystal

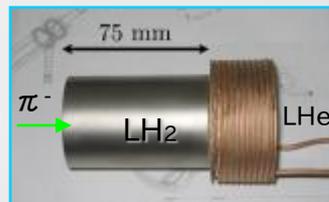


駆動により
磁場の向き・強さが
変動するため、
APDを採用

検出器全体の
時間較正を行う
タイミングカウン

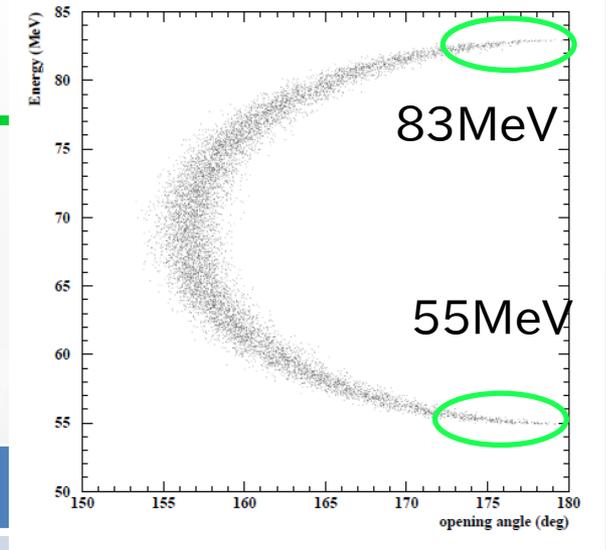
タ

液体水素ターゲット



x 9

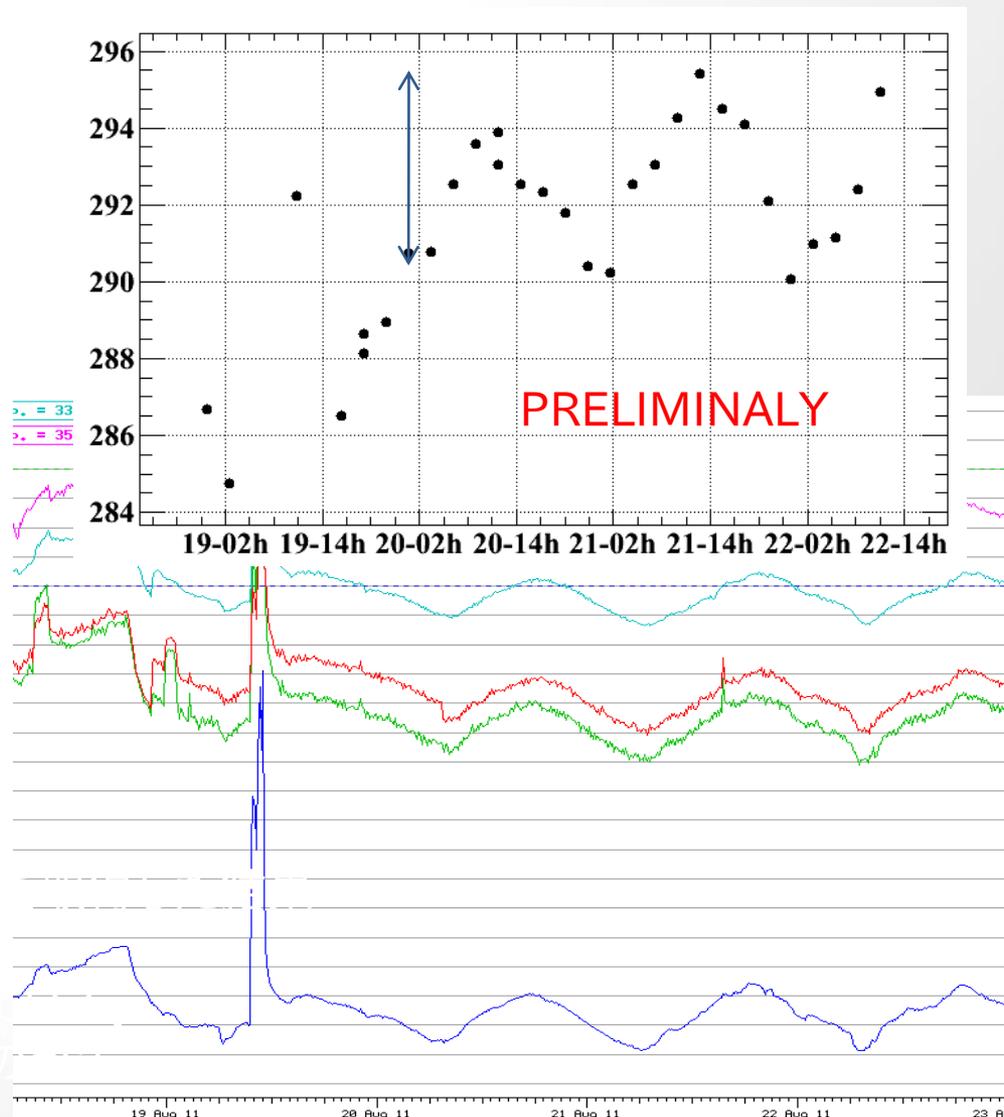
31



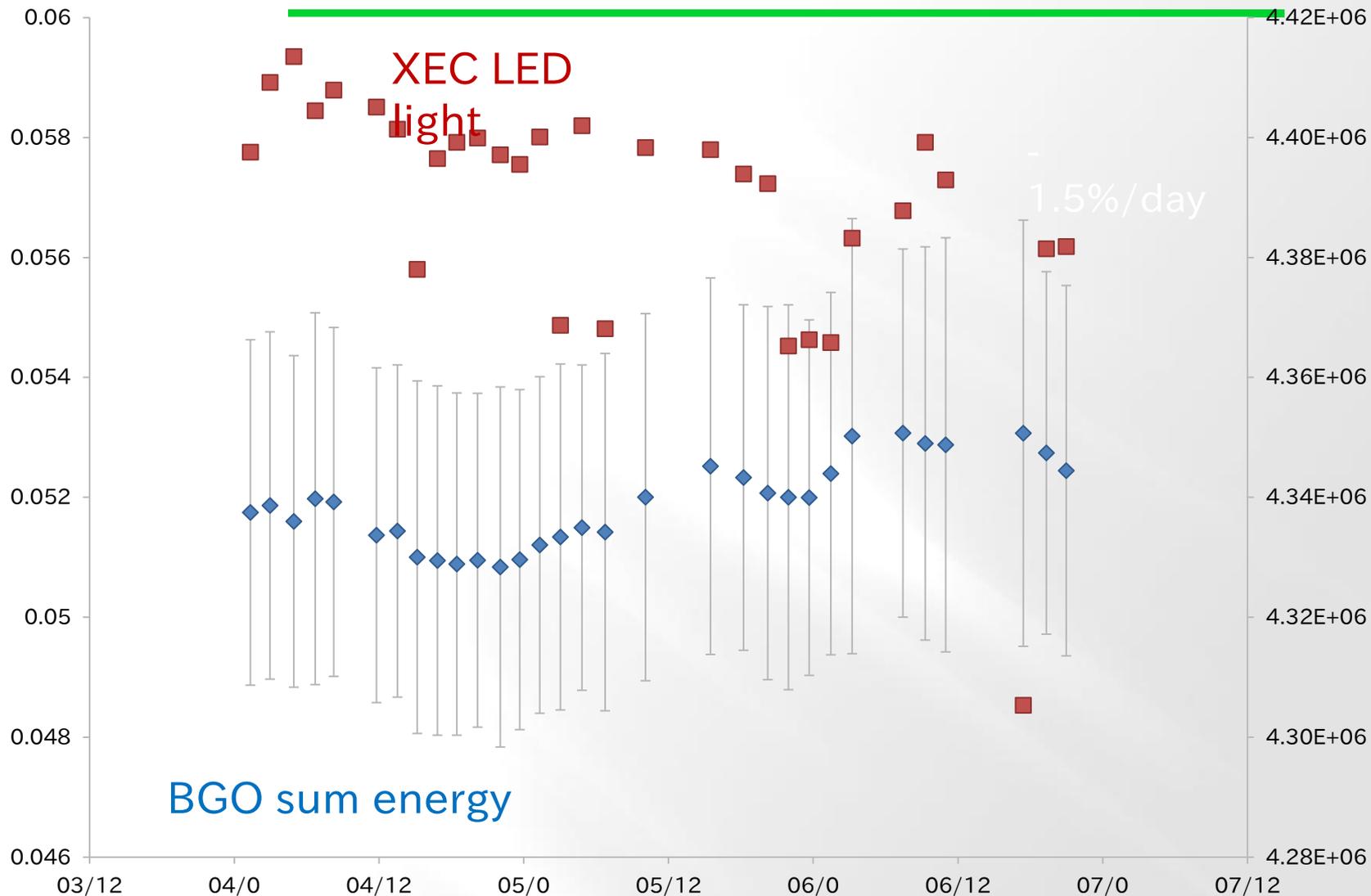
NaI(Tl)	種類	
3.67	比重(g/cm ³)	7.13
APD	光読出し	PMT
6.25角×30	結晶寸法(cm)	4.6角×20
17%	トリガー効率*	38%
10%/K (APD)	温度依存性	-0.9%/K (BGO)
	磁場依存性	
ペルチェ素子で 温度をコントロール		位置(磁場)による ゲイン差を調査要

BGO detector characteristics

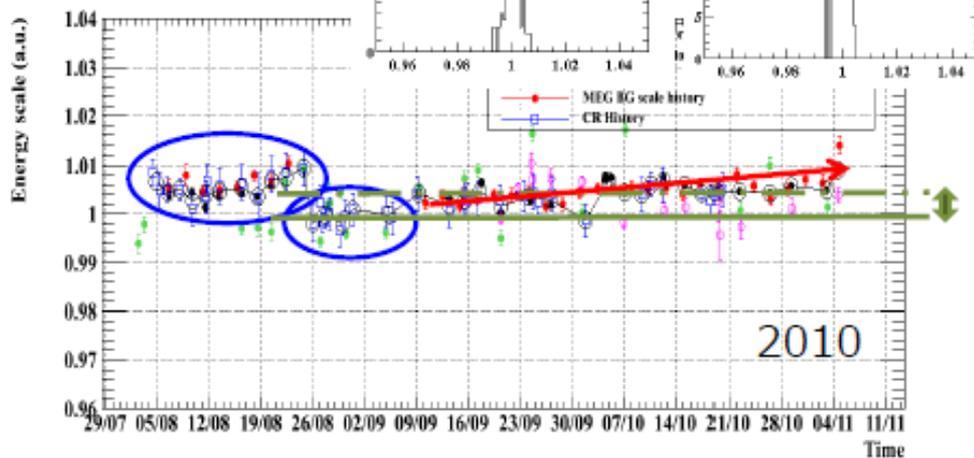
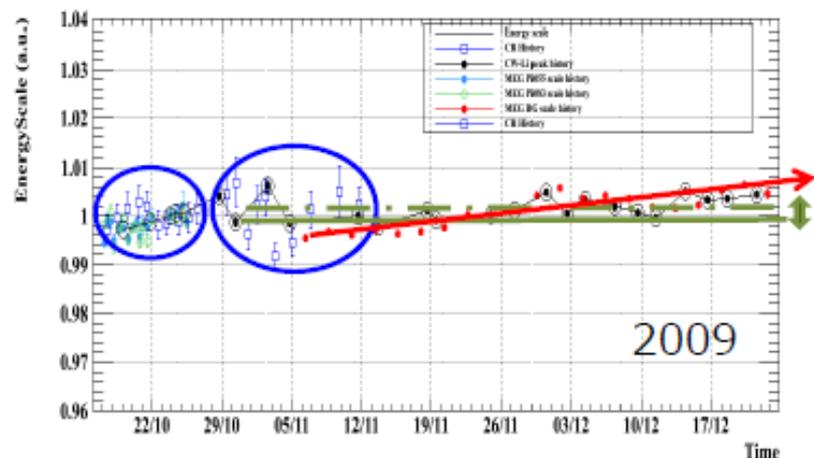
温度依存性



History of BGO & XEC gain in CEX



Energy scale uncertainty



$$0.161 \oplus 0.060 \oplus 0.183 \oplus 0.1 \oplus 0.194 = 0.33 \%$$

$$0.095 \oplus 0.125 \oplus 0.119 \oplus 0.1 \oplus 0.224 = 0.31 \%$$

- ① Precision of CR level : $0.057 \oplus 0.151$, $0.077 \oplus 0.064$
- ② Average scale factor : $0.21 / \text{sqrt}(12)$, $0.432 / \text{sqrt}(12)$
- ③ Time variation : $\text{CW_HistoryRMS} \ominus \text{CW_precision} = 0.183$, 0.119
- ④ π^0 peak accuracy : systematic from opening angle 0.1 (we reduced this from 0.3)
- ⑤ Position variation : $\pi^0_Uniformity\text{RMS} \ominus \pi^0_precision = 0.194$, 0.224

- Energy-scale uncertainty was one of the contributing systematics on final result, but not dominating one any more.