

COMET ECAL開発研究のための beam testに向けた準備とシミュレーション研究



KYUSHU
UNIVERSITY

九州大学

大石 航 (修士1年 最高学年)

2013/ 2/ 19

第19回ICEPPシンポジウム@白馬村岳美山荘

内容

- ◉ 物理的背景

- ◉ 荷電レプトンのフレーバー非保存現象
- ◉ ミューオン電子転換事象 (μe conversion)

- ◉ COMET 実験

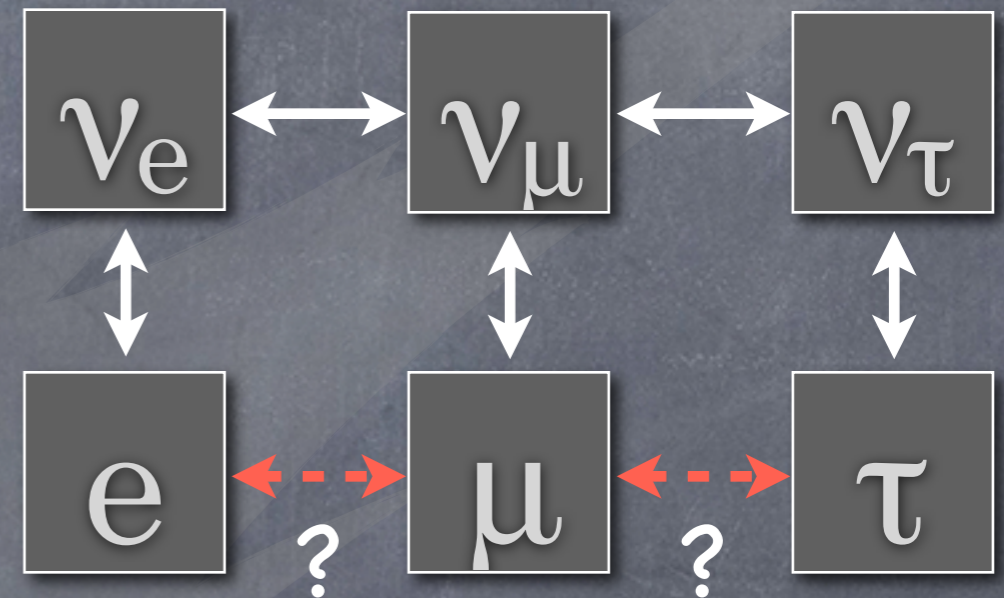
- ◉ 概要
- ◉ 電子カロリメータの研究開発とビームテスト
 - ◉ 準備とシミュレーション
- ◉ 今後の課題

COMET実験

μe conversion search experiment

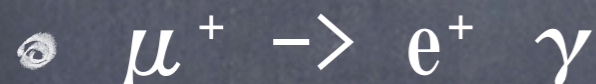
荷電レプトンのフレーバー非保存現象

- クォーク混合 (CKM行列)
- ニュートリノ振動
= 中性レプトン混合 (MNS行列)



- 荷電レプトンの混合は存在するか？

- charged Lepton Flavor Violation (cLFV)



- μ 発見後からの様々な実験 →

- 未だ発見されていない。

崩壊モード	分岐比の上限
$\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$	2.4×10^{-12}
$\mu^+ \rightarrow e^+ e^+ e^-$	1.0×10^{-12}
$\mu^- + \text{Au} \rightarrow e^- + \text{Au}$	7×10^{-13}
$\mu^- + \text{Ti} \rightarrow e^- + \text{Ti}$	4.6×10^{-12} 4.3×10^{-12}
$\tau^\pm \rightarrow \mu^\pm \gamma$	4.4×10^{-8}

cLFVと新物理

- cLFVは標準理論だとニュートリノ質量に依存

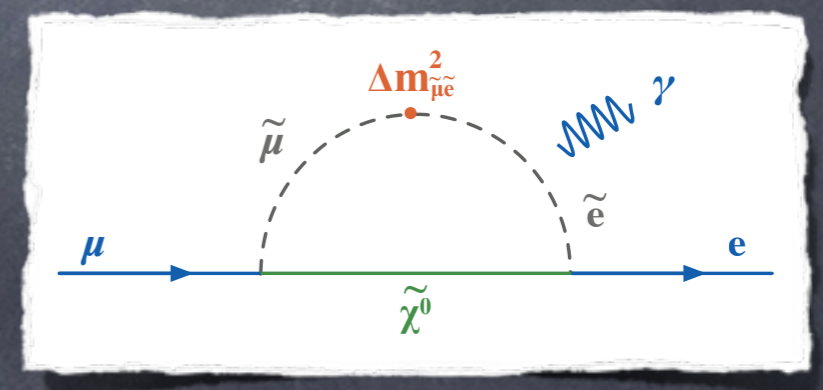
$$B(\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma) = \frac{3\alpha}{32\pi} \sum_i \left| U_{\mu i} U_{ei}^* \frac{m_{\nu_i}^2}{M_W^2} \right|^2 \simeq 10^{-60} \left(\frac{m_\nu}{10^{-2} \text{eV}} \right)^4$$

- SUSY-GUT, SUSY-Seesaw, little higgs modelなど様々なモデルがより高確率で起きるcLFVを予言している。

-> 現在の実験上限値より少し低い程度 $\sim 0 (10^{-15})$

- SUSYの場合はslepton mixingを經由して起きる。

$$m_{\tilde{l}}^2 = \begin{pmatrix} m_{\tilde{e}\tilde{e}}^2 & \Delta m_{\tilde{e}\tilde{\mu}}^2 & \Delta m_{\tilde{e}\tilde{\tau}}^2 \\ \Delta m_{\tilde{\mu}\tilde{e}}^2 & m_{\tilde{\mu}\tilde{\mu}}^2 & \Delta m_{\tilde{\mu}\tilde{\tau}}^2 \\ \Delta m_{\tilde{\tau}\tilde{e}}^2 & \Delta m_{\tilde{\tau}\tilde{\mu}}^2 & m_{\tilde{\tau}\tilde{\tau}}^2 \end{pmatrix}$$

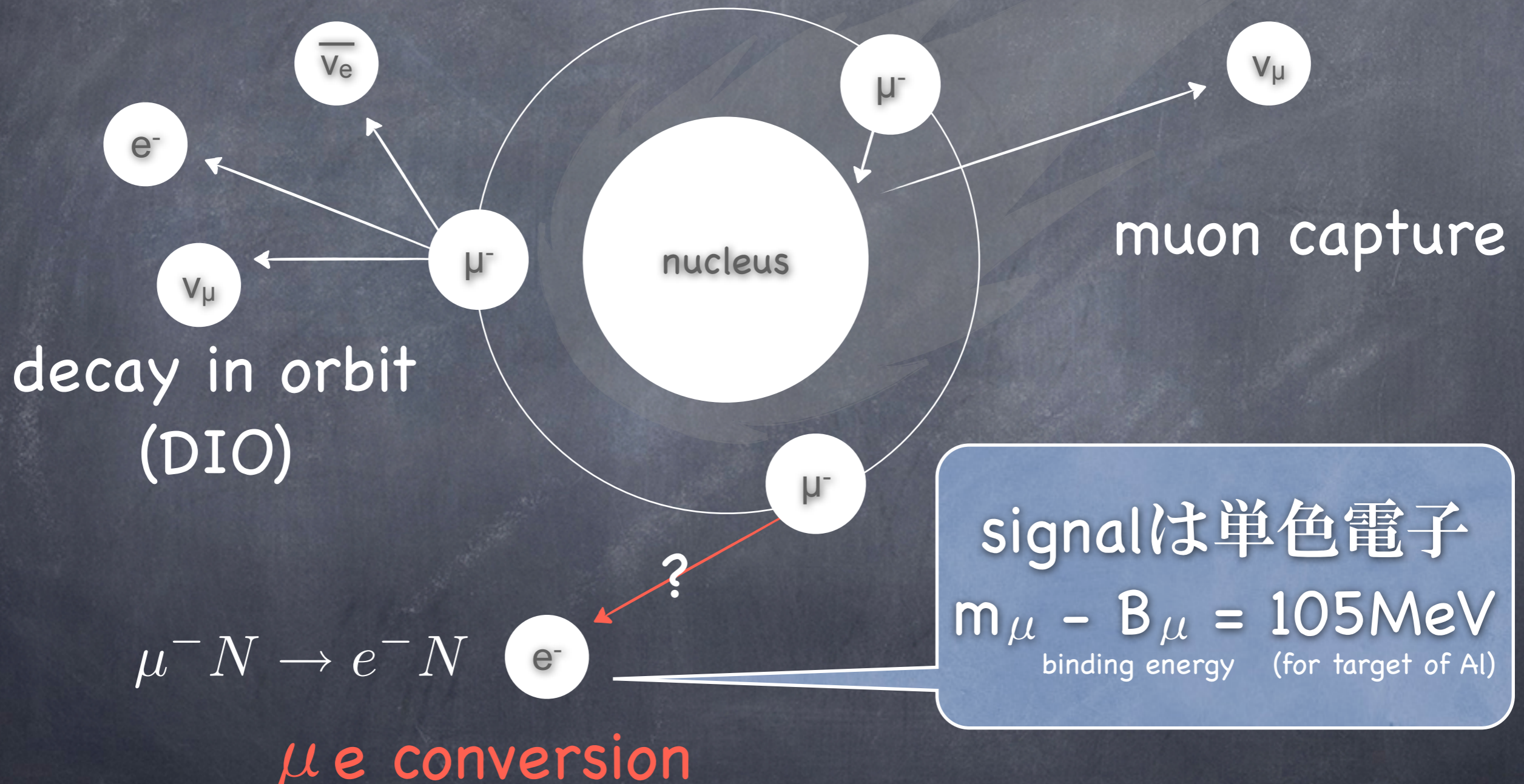


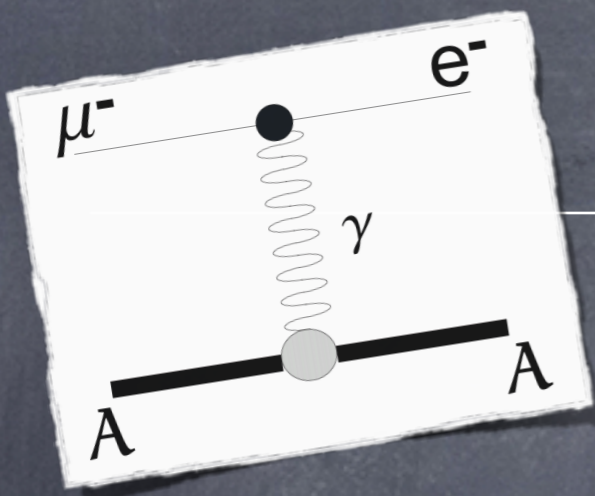
cLFV探索 = 標準理論を越える新物理探索

ミューオン電子転換現象 (μe conversion)

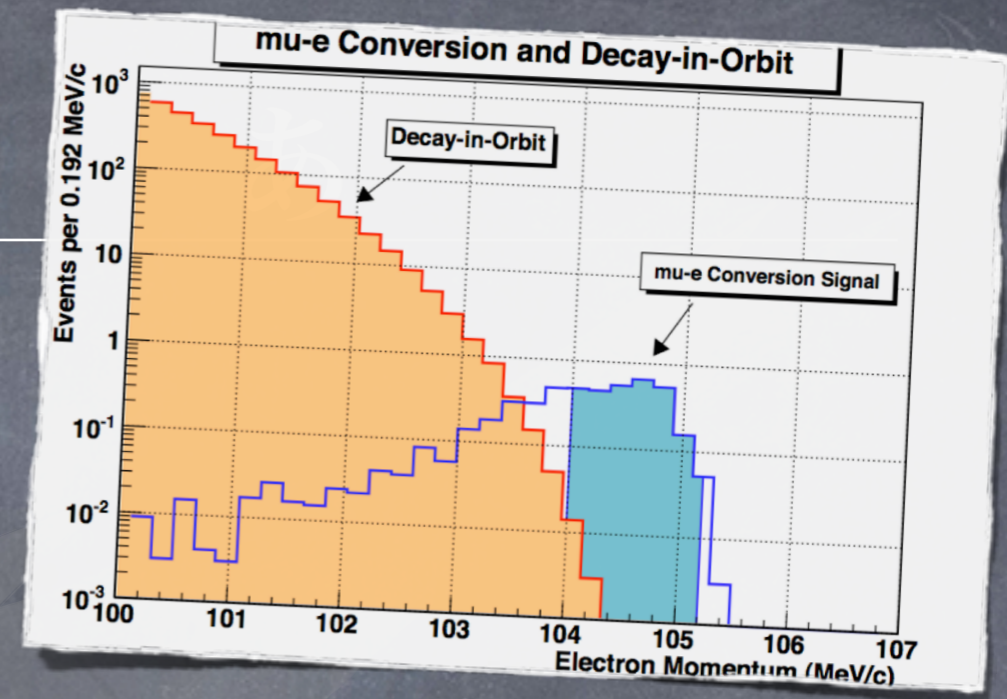
$$\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$$

$$\mu^- (A, Z) \rightarrow \nu_\mu (A, Z - 1)$$





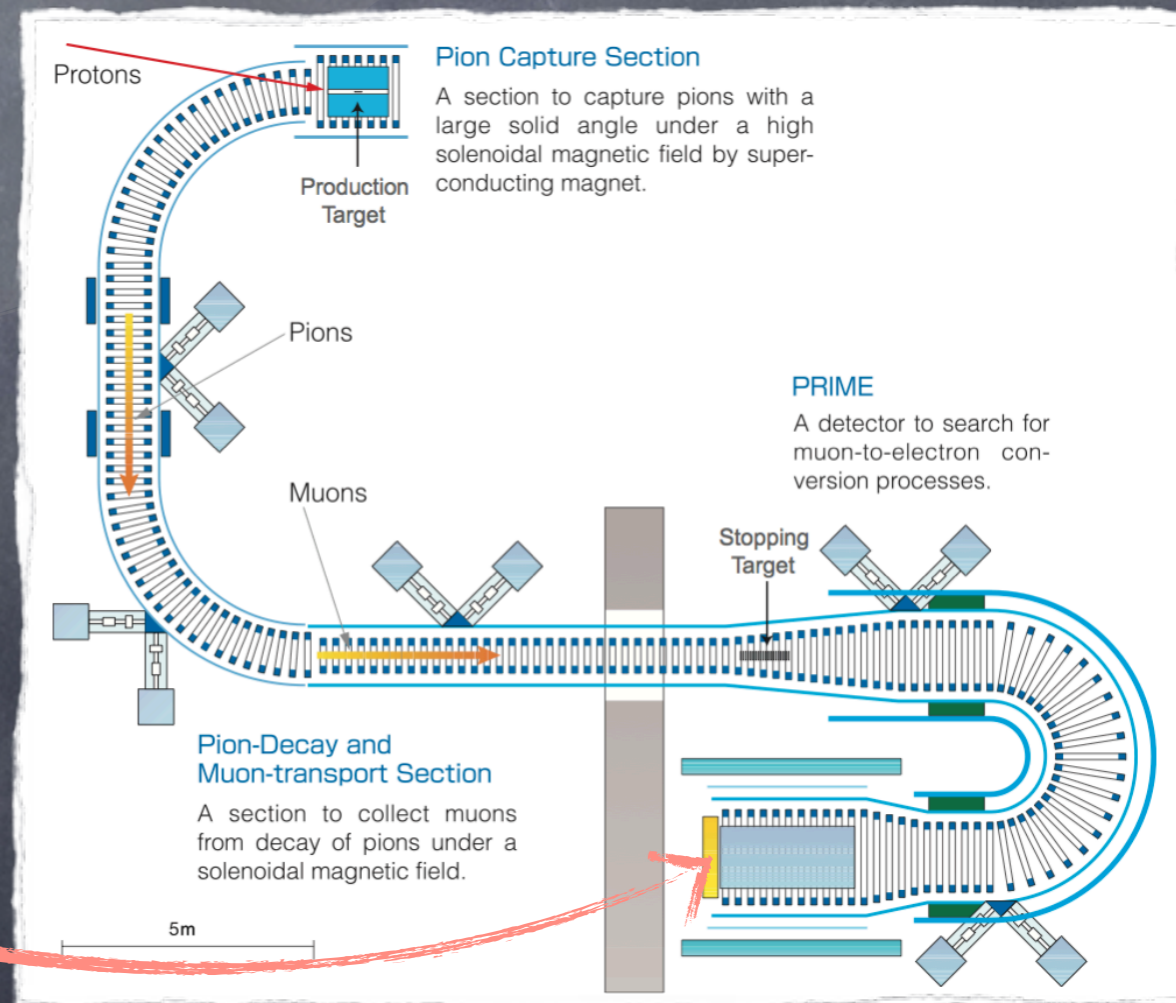
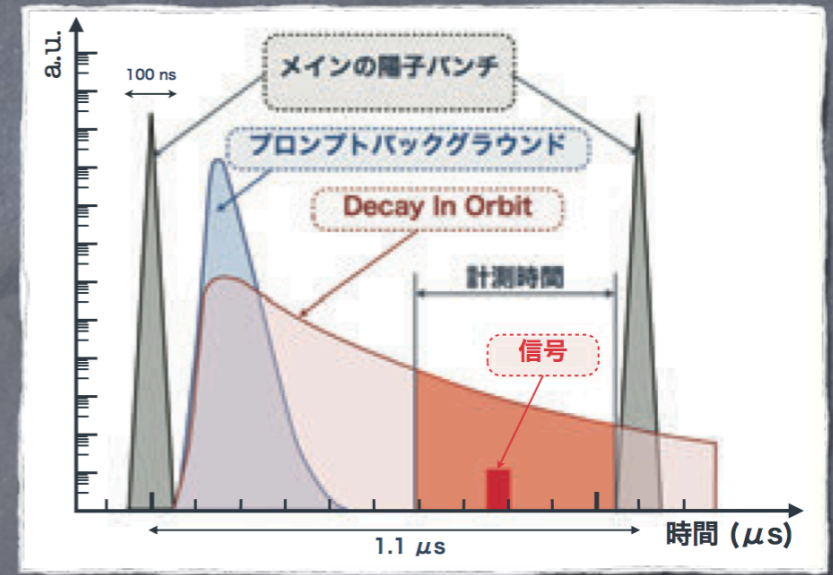
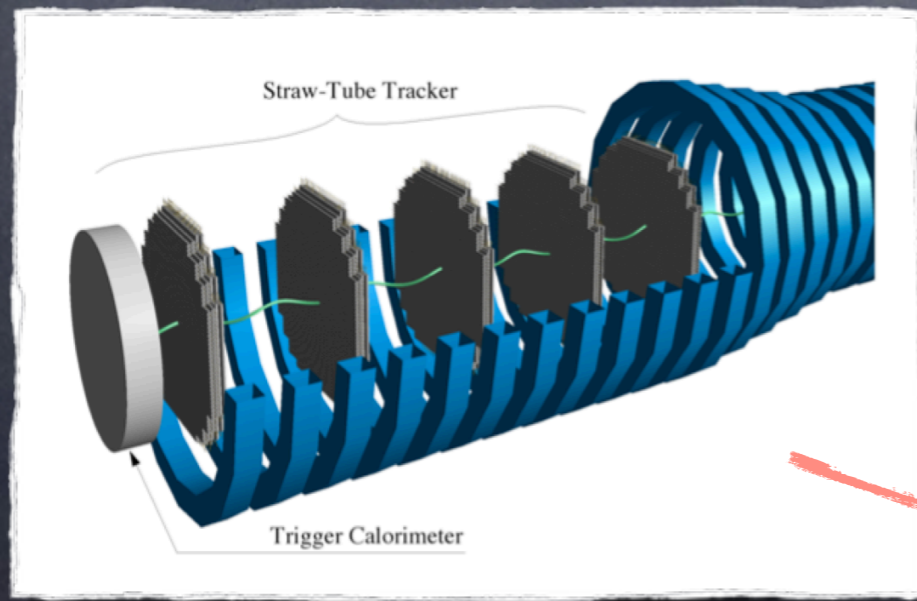
μe conversion



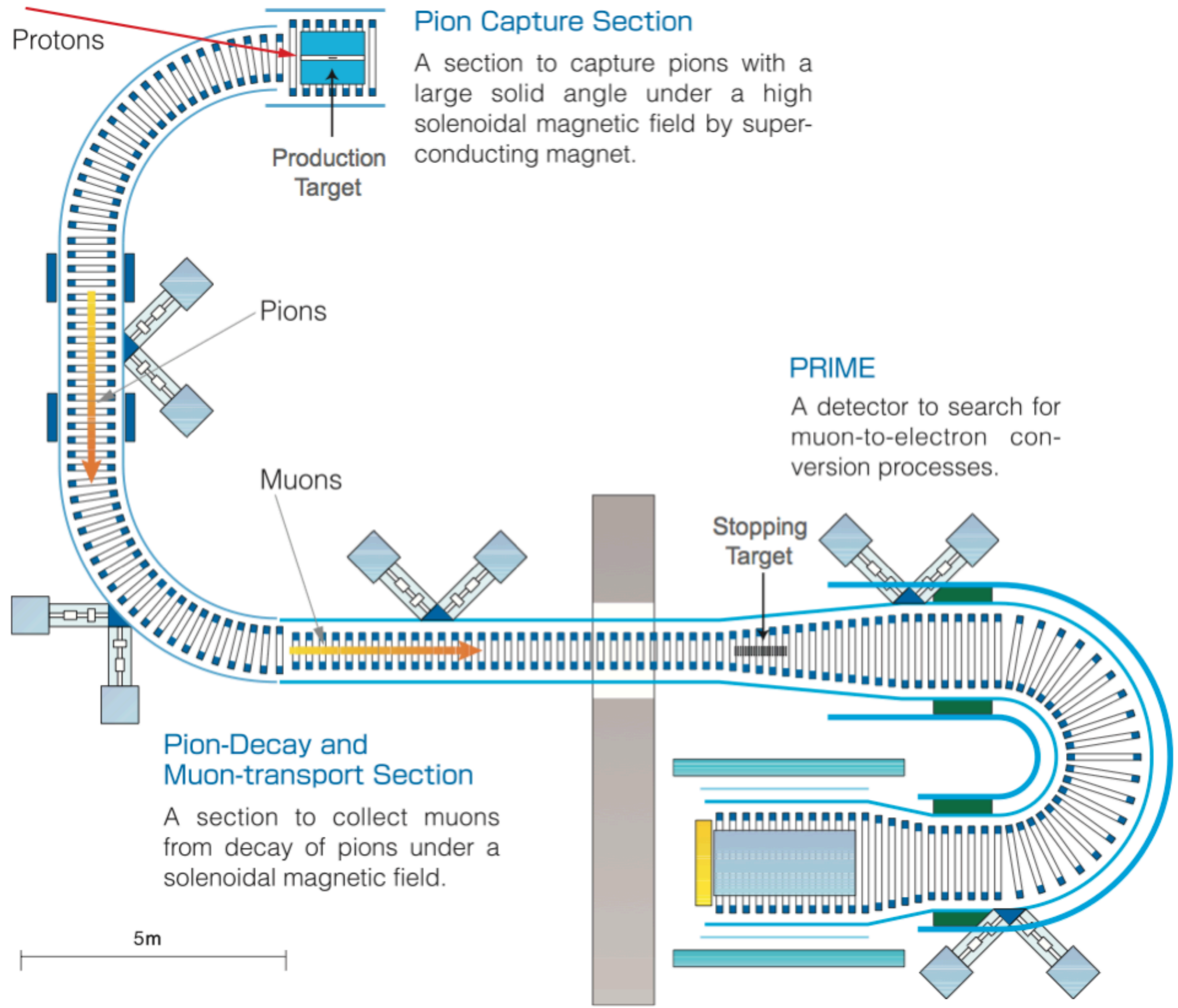
- $\mu \rightarrow e \gamma$ を内包するダイアグラム
 - ただし媒介する仮想粒子は光子以外 (Z, higgs) にも感度を持つ。
- 実験方法は放出される単色電子によるエネルギーピークを検出するのみ。
 - DIO-BGがシグナル近くにまで延びる (不可避なBG)。
 - 高いエネルギー分解能が要求される。
- accidental BGが無く、ビームの強さが制限されない。
 - ただしビーム起因のBGが主になるため質の良いパルスビームが必要。

COherent Muon to Electron Transition

- J-PARCの大強度パルス陽子ビームを使用
- 感度 10^{-16} (従来の1万倍) を目指す (理論予想域をカバー)
- 標的にはアルミニウムを使用。
- 高感度電子スペクトロメータを solenoid, straw tube tracker, crystal ECALで実現



J-
μ
感を
標
高
SC
CI



Pion Capture Section

A section to capture pions with a large solid angle under a high solenoidal magnetic field by superconducting magnet.

PRIME

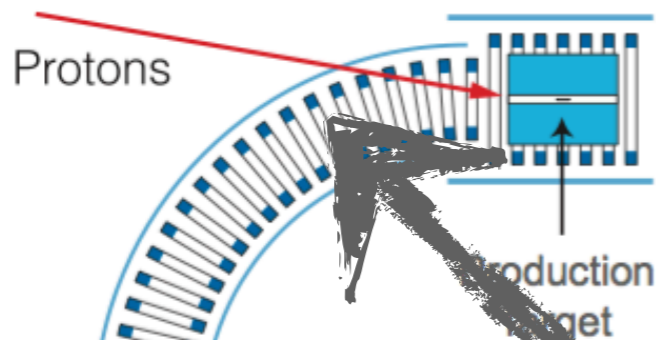
A detector to search for muon-to-electron conversion processes.

Pion-Decay and Muon-transport Section

A section to collect muons from decay of pions under a solenoidal magnetic field.

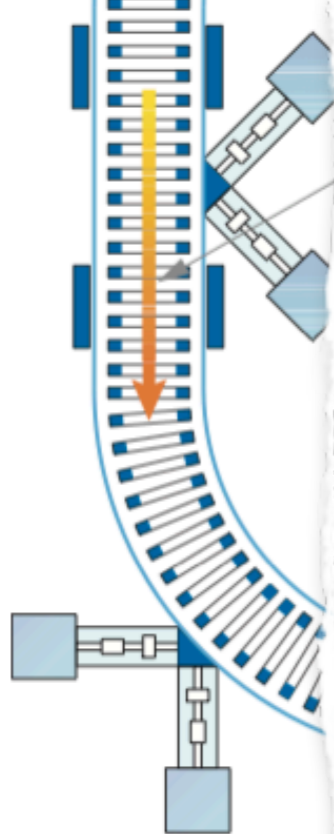
5m

J-
ム
感を
標
高
SO
CI

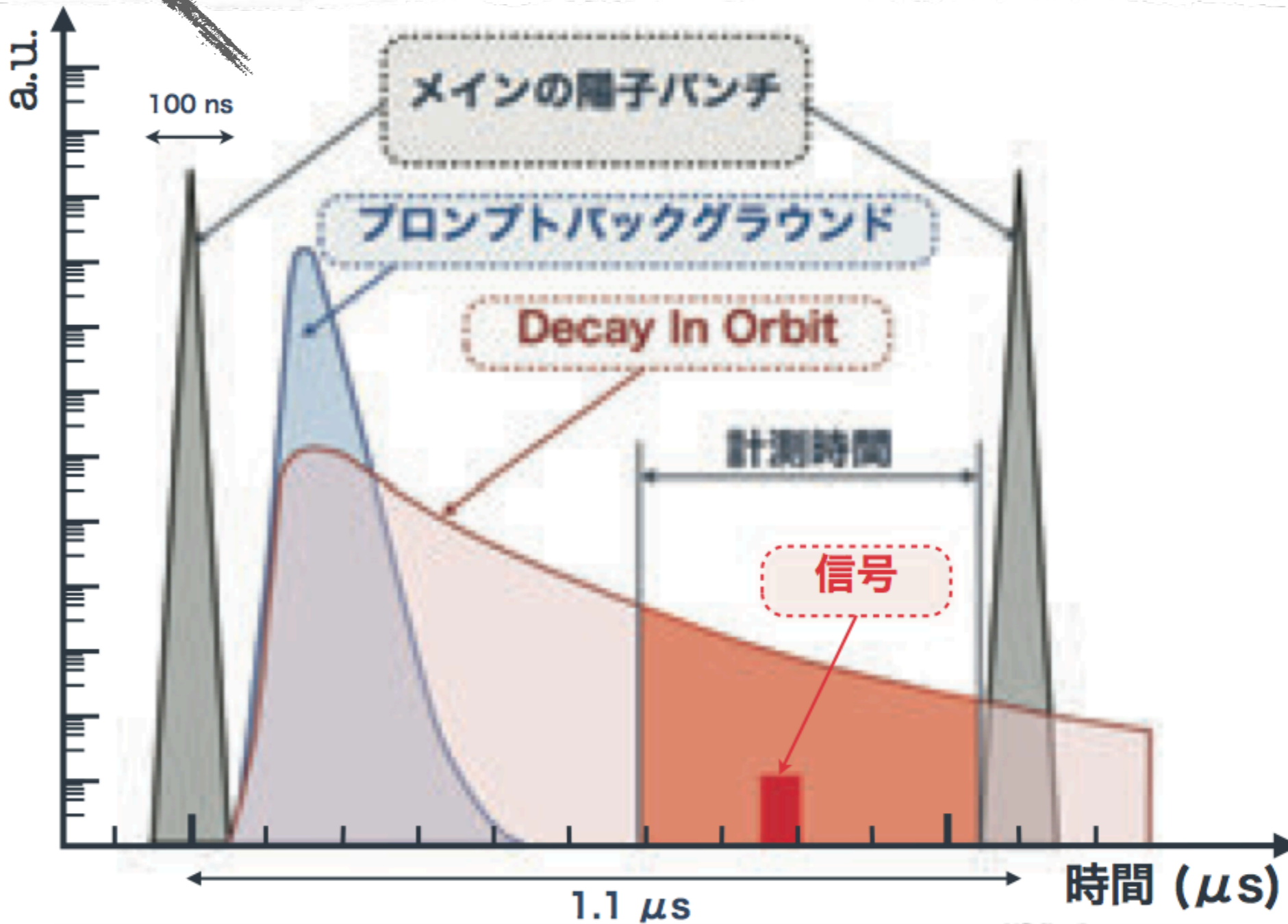


Pion Capture Section

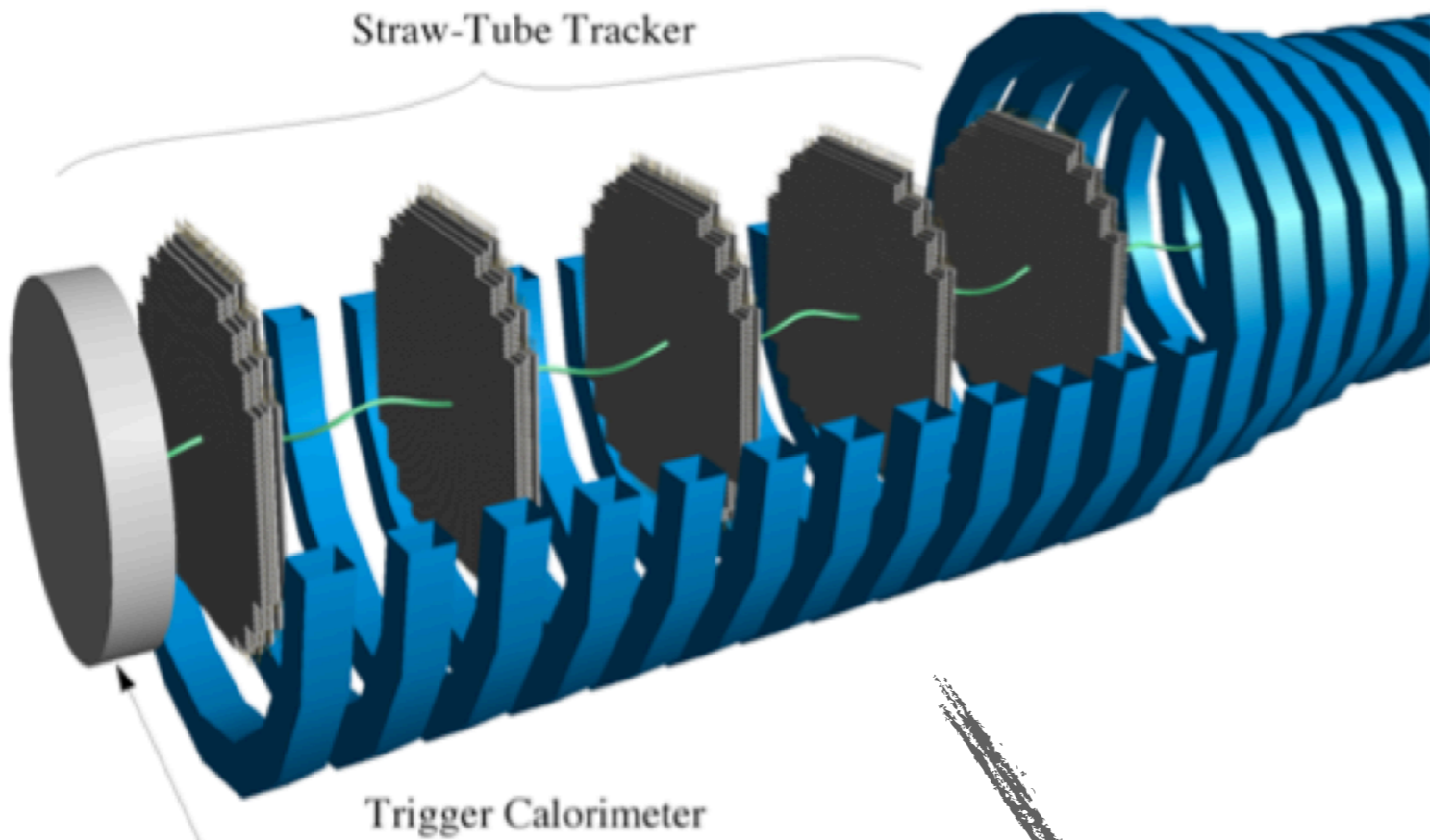
A section to capture pions with a large solid angle under a high solenoidal magnetic field by superconducting magnet.



Pic
Mu
A
fro
so

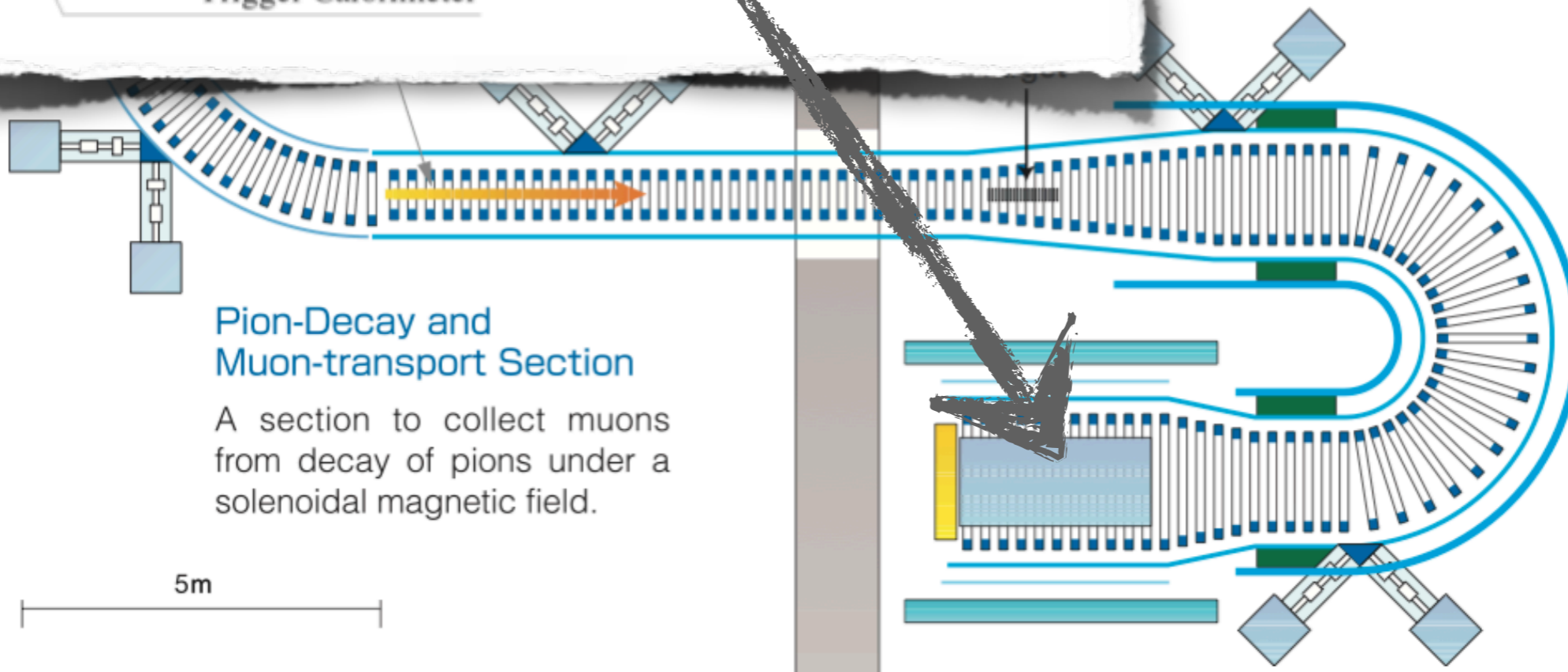


Straw-Tube Tracker



ME
ector to search for
-to-electron con-
on processes.

SC
CR



Pion-Decay and
Muon-transport Section

A section to collect muons
from decay of pions under a
solenoidal magnetic field.

5m

COMET ECAL

- セグメント化された結晶カロリメータで入射電子の位置と運動エネルギーを測定。

- 結晶はGSOかLYSOの採用を予定。

- 読み出しはAPD (5x5 mm² Hamamatsu)

- 役割

- 粒子識別

- ストロー飛跡検出器だけでは電子を特定できない。

- ストロー飛跡検出器による運動量測定への補助

- 運動量誤認識を防ぐため、運動エネルギーから予想される運動量と比較。

- イベントトリガーの生成

- エネルギー105MeV付近のイベントをトリガーする。

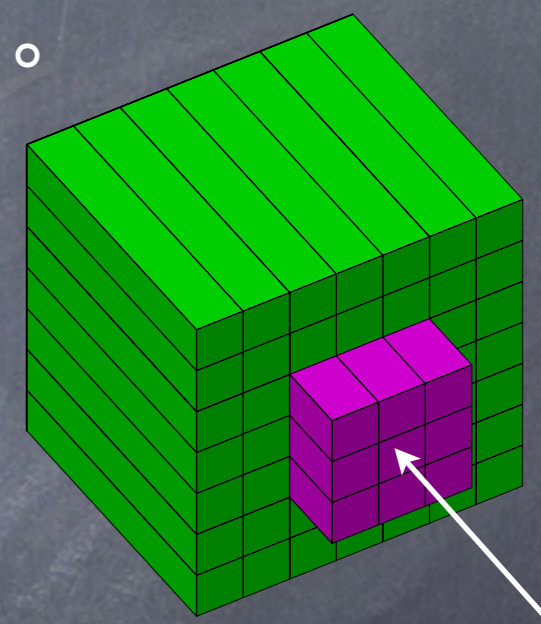
	GSO(Ce)	LYSO
Density (g/cm ³)	6.71	7.40
Radiation length (cm)	1.38	1.14
Moliere radius (cm)	2.23	2.07
Decay constant (ns)	600, 56	40
Wave length (nm)	430	420
Refraction index	1.85	1.82
Light yield (NaI(Tl)=100)	3, 30	83

Beam test of crystals @ J-PARC

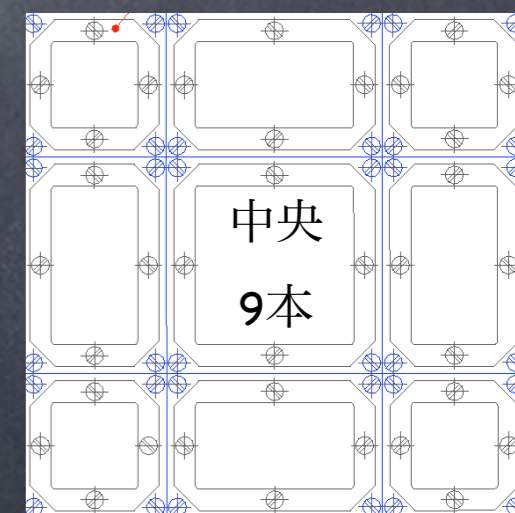
- J-PARCにてGSO/LYSOのビームテストを3月に予定している。

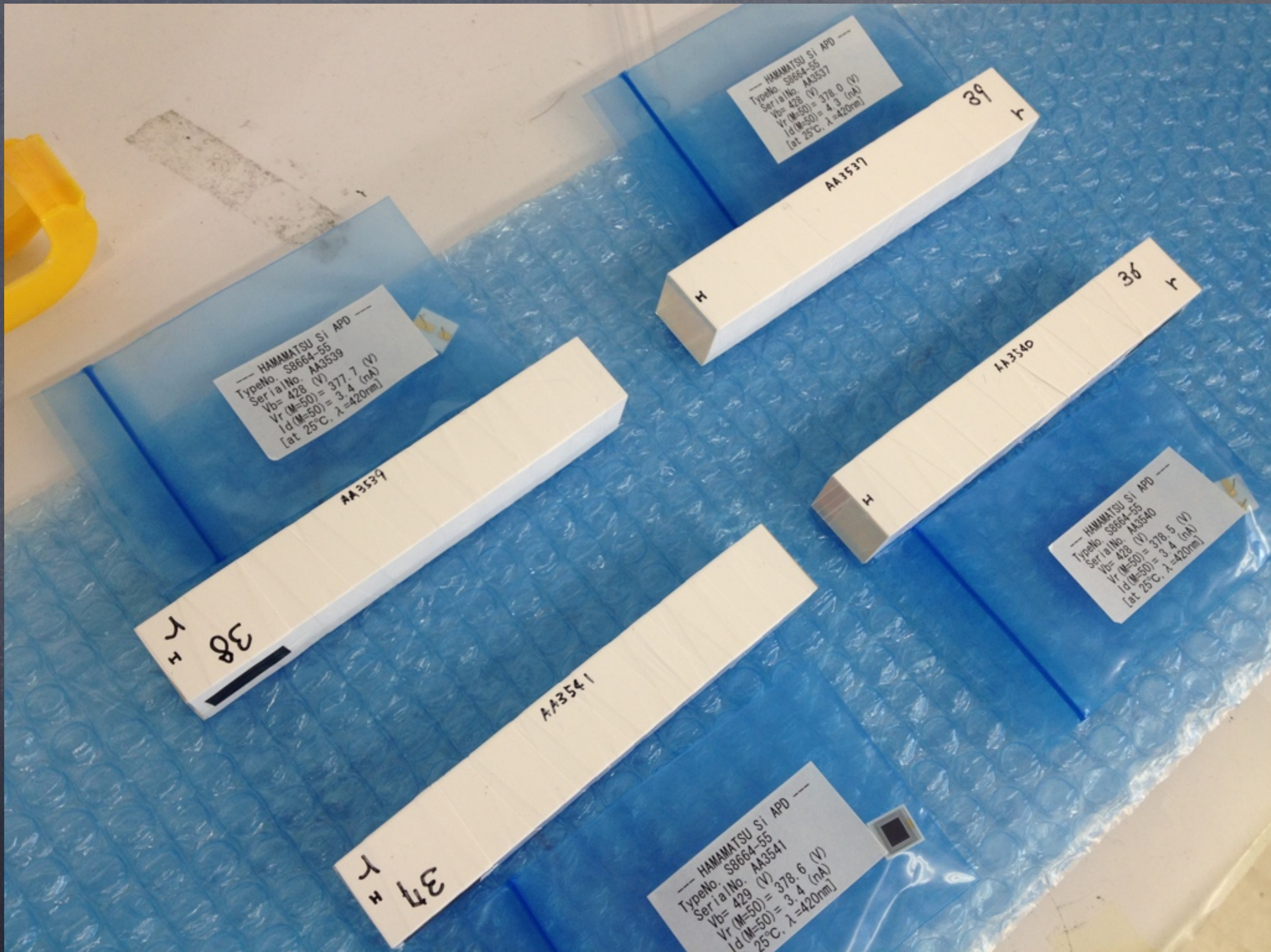
結晶配置 7×7

- GSOとLYSOの性能の違いをテストする（予定）。
 - 実機へ搭載する結晶の決定ないし検討。



- 運動エネルギー100MeVの電子ビームを照射
 - 周囲：緑 $2 \times 2 \times 12 \text{cm}^3$ GSO
 - 中央：ピンク $2 \times 2 \times 15 \text{cm}^3$ GSO/LYSO（随時入替）
- 中央の9本を主役に測定を行う（周囲は補助）





HAMAMATSU Si APD
TypeNo. S8664-55
Serial No. AA3539
Vb= 428 (V)
Ir (M=50) = 3.7 (nA)
Id (M=50) = 3.4 (nA)
[at 25°C, λ=420nm]

HAMAMATSU Si APD
TypeNo. S8664-55
Serial No. AA3537
Vb= 428 (V)
Ir (M=50) = 3.78 (nA)
Id (M=50) = 4.3 (nA)
[at 25°C, λ=420nm]

HAMAMATSU Si APD
TypeNo. S8664-55
Serial No. AA3540
Vb= 428 (V)
Ir (M=50) = 3.78 (nA)
Id (M=50) = 3.4 (nA)
[at 25°C, λ=420nm]

HAMAMATSU Si APD
TypeNo. S8664-55
Serial No. AA3541
Vb= 429 (V)
Ir (M=50) = 3.78 (nA)
Id (M=50) = 3.4 (nA)
[at 25°C, λ=420nm]

AA3539
38
H

AA3537
39
H

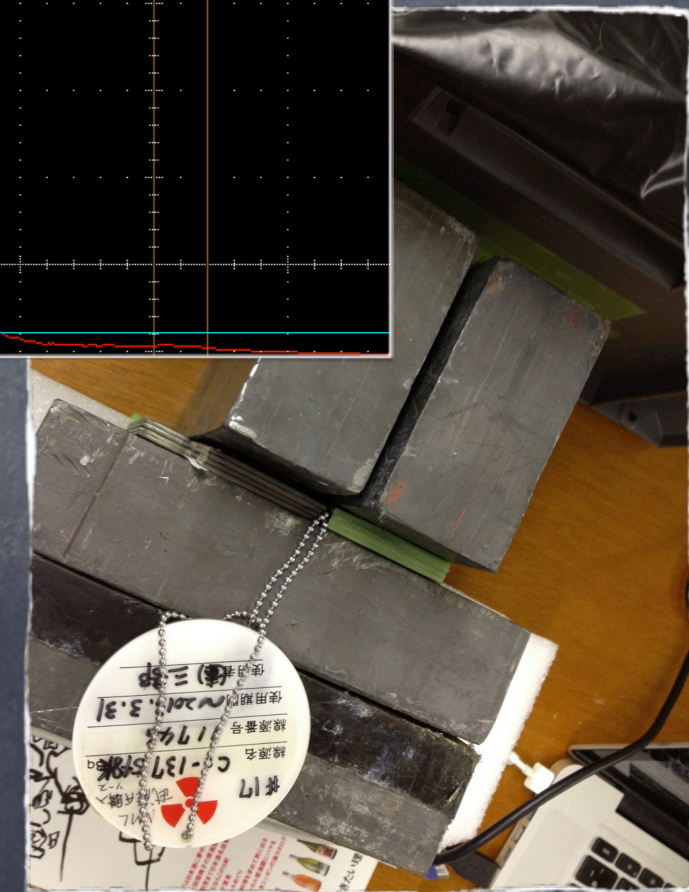
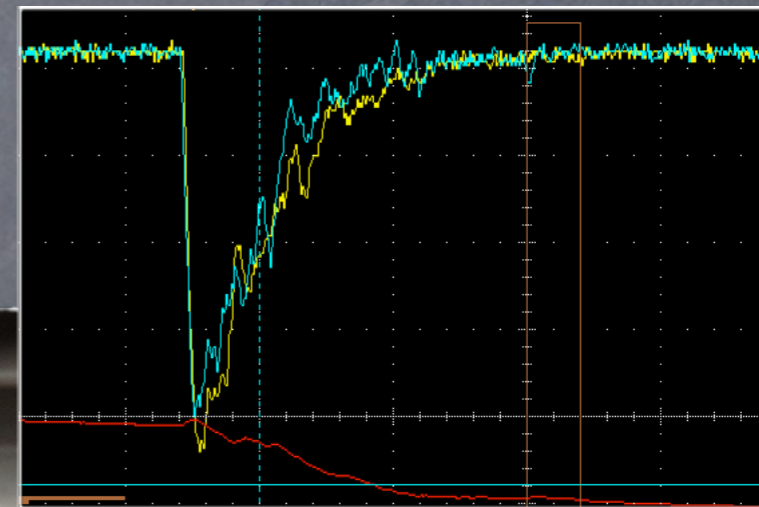
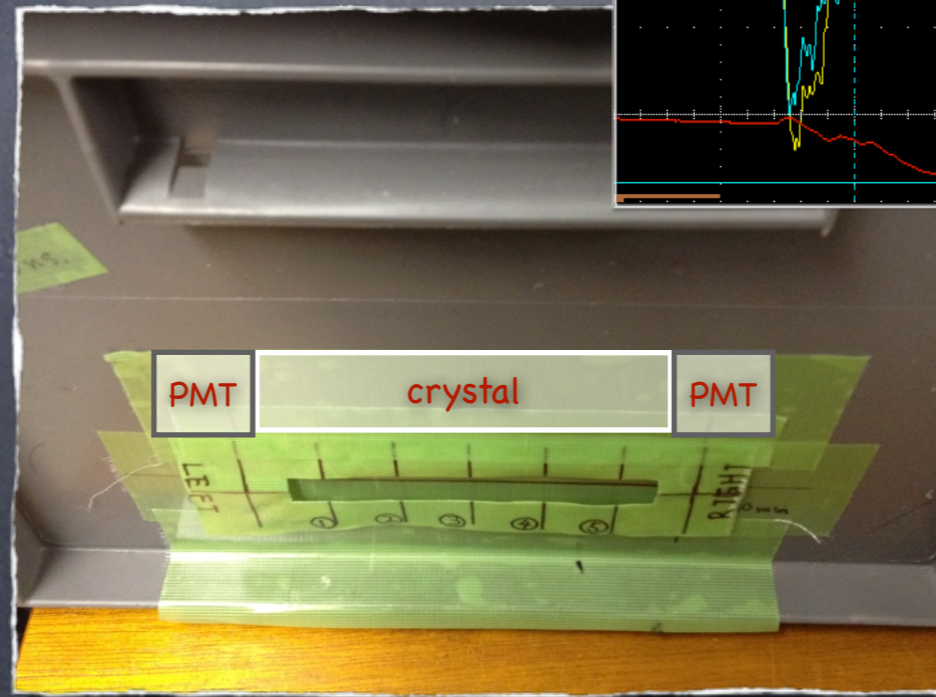
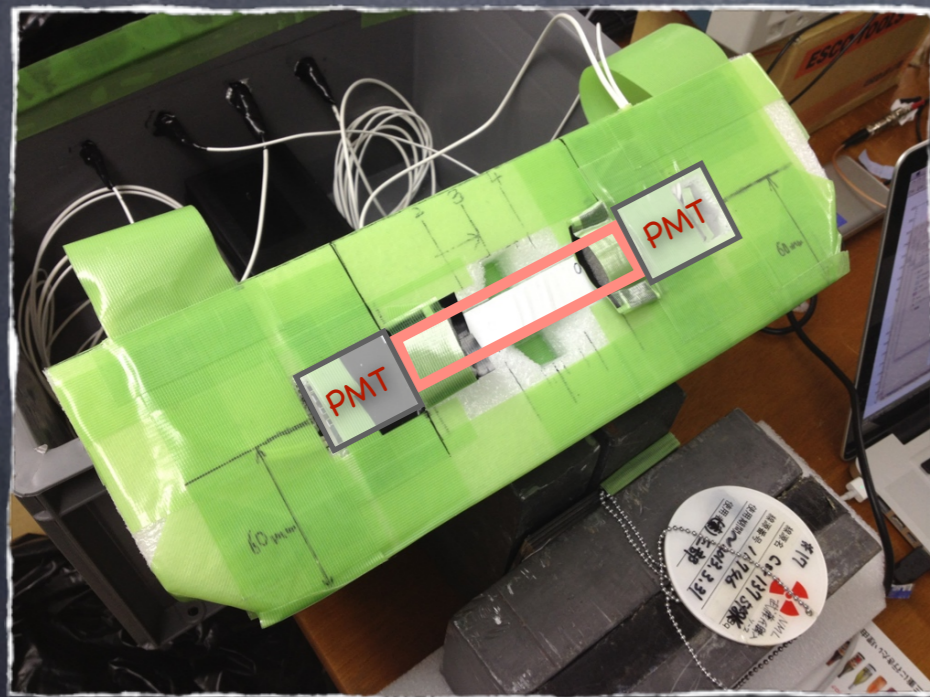
AA3540
36
H

AA3541
37
H

ビームテストに向けての準備

光量の位置依存性測定

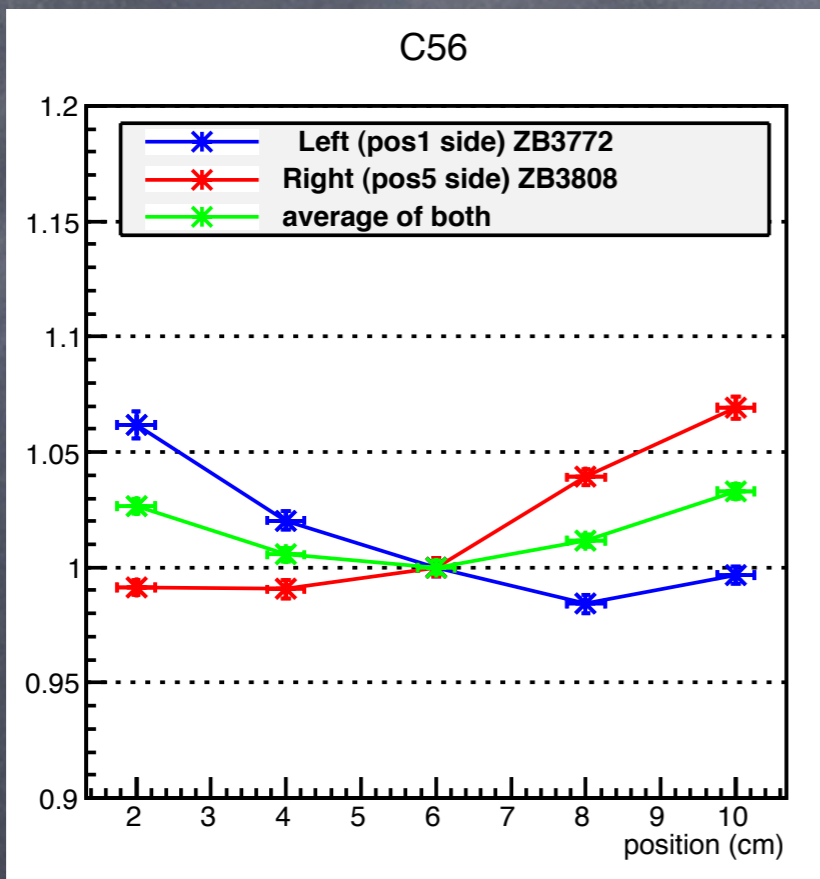
- 結晶の光量の偏りの測定
 - 結晶成長時、ドーピングするCe密度の位置依存性により光量違いがある可能性がある。
- PMTを結晶両端にとりつけ、線源 (^{137}Cs 662keV γ -ray) を5カ所に照射。
 - LYSOは ^{60}Co を3カ所に照射
- 両端のADCピークの変化度合いを見る。



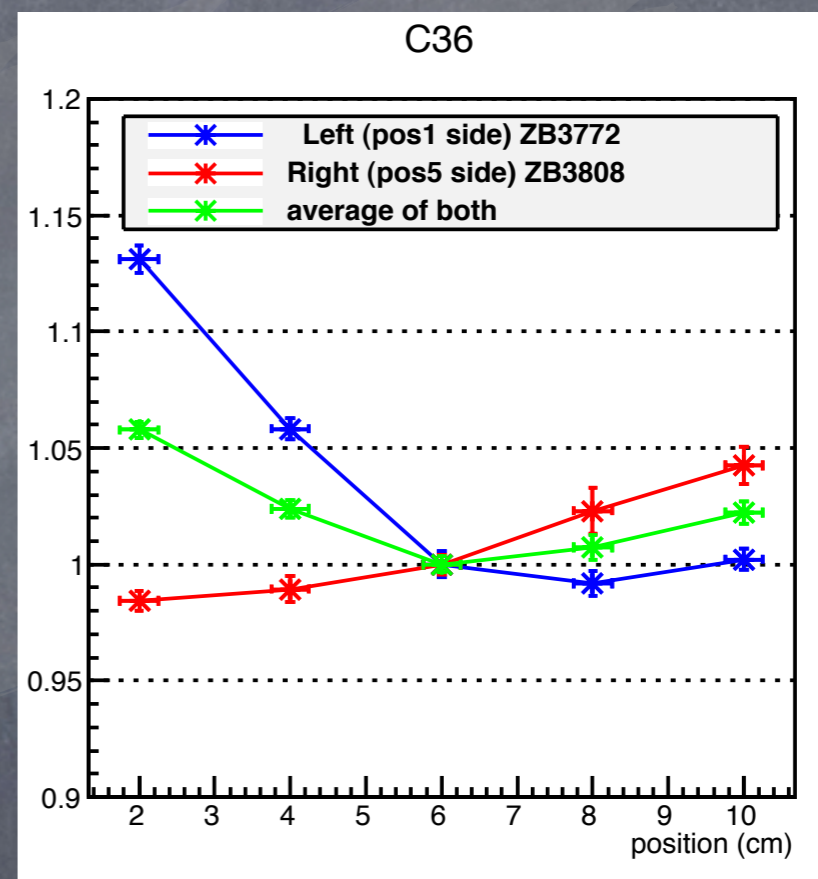
GS0の測定結果

各結果は中央の値=1になるようにしてある

Ceが均一だと思われる例



Ceが不均一だと思われる例



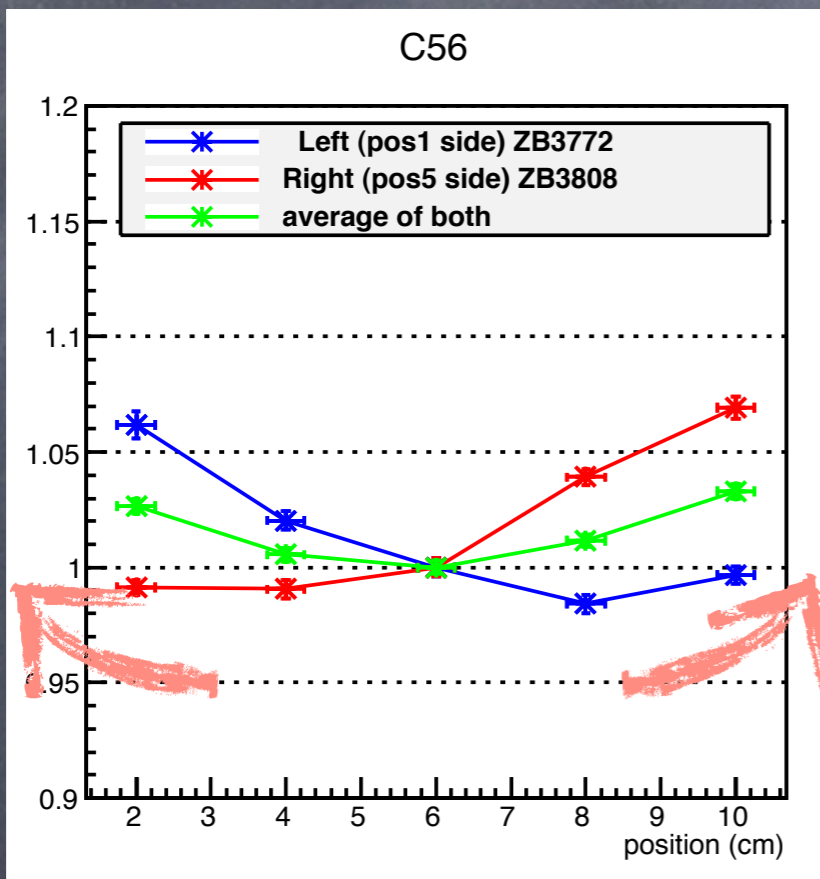
青：左側のPMTの信号の強さ
赤：右側のPMTの信号の強さ
緑：平均値

APDは左側設置が良い
(なるべく端に設置)

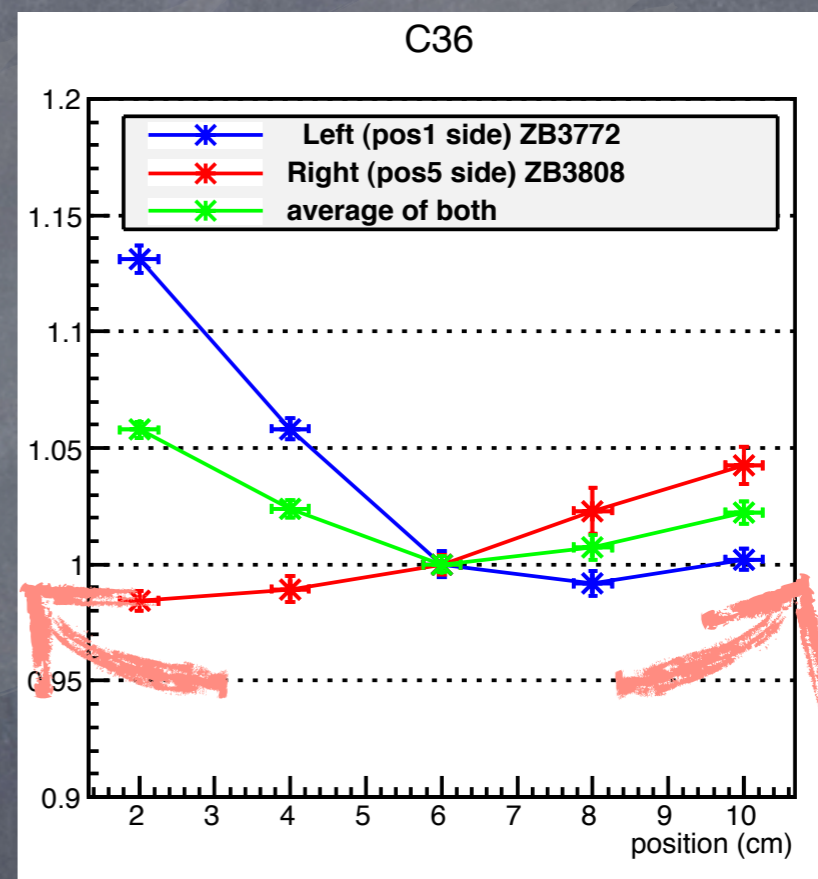
GS0の測定結果

各結果は中央の値=1になるようにしてある

Ceが均一だと思われる例



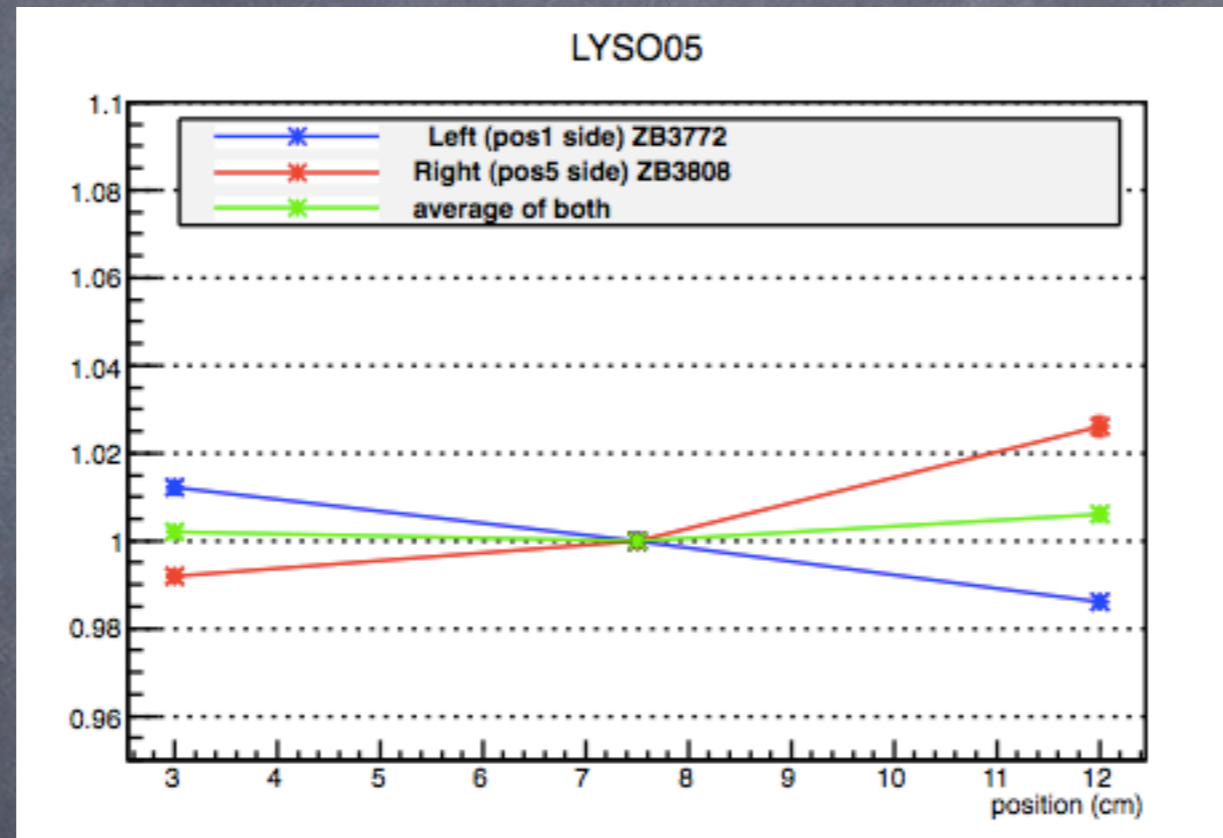
Ceが不均一だと思われる例



全ての測定で両端での光量の若干の増加が見られた。
原因は現在不明→ opticalな条件かも？

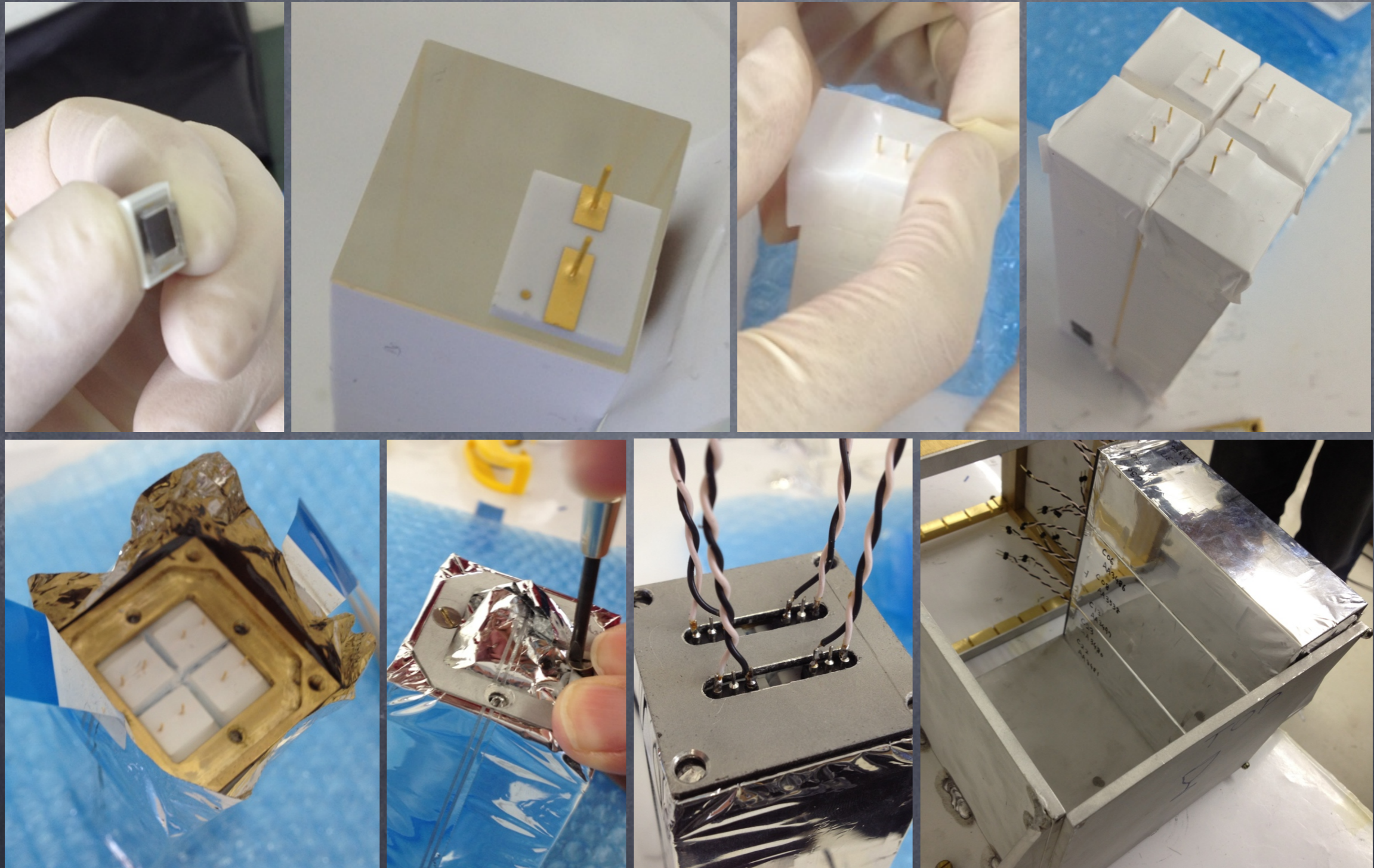
LYSOの測定結果

各結果は中央の値=1になるようにしてある



全体的に極端な偏りはみられなかった。
(大きくても～2%程度)

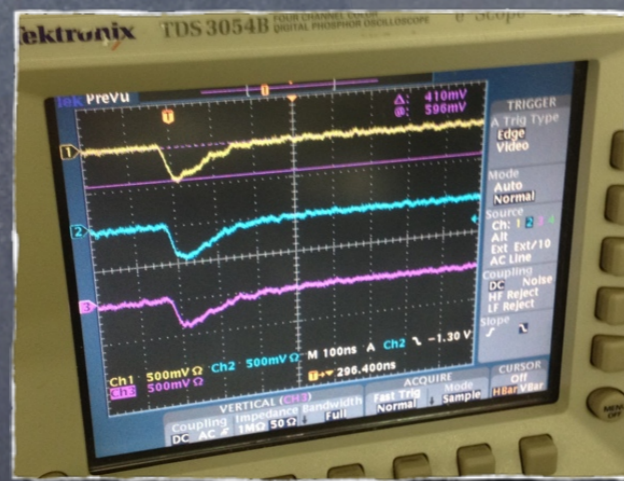
実機への組上げ (APD取付け&ラッピング)



宇宙線の測定テスト

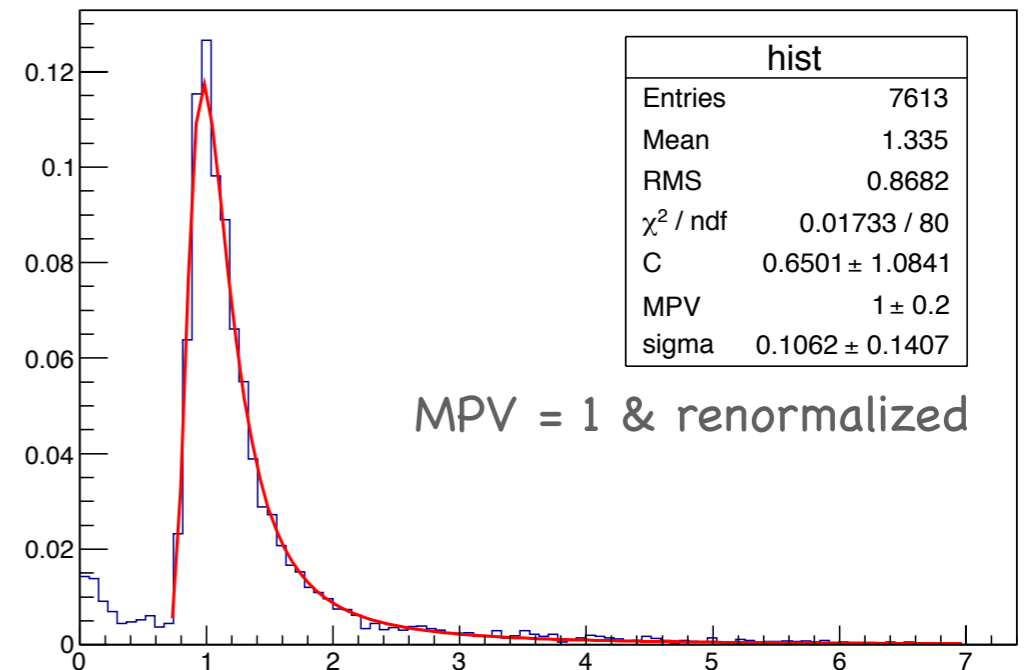
- 製作した GSO 2x3ブロック の縦3つを用いて宇宙線を測定。
 - 実機のフロントエンドプリアンプボード (ロシア製作) も同時にテスト
 - ノイズとの戦い
- ch1 & ch3をトリガーとしてch2の信号のADCを取得

muon



trigger

Cosmic ray at ch2 (ch1&ch3 coincidence)

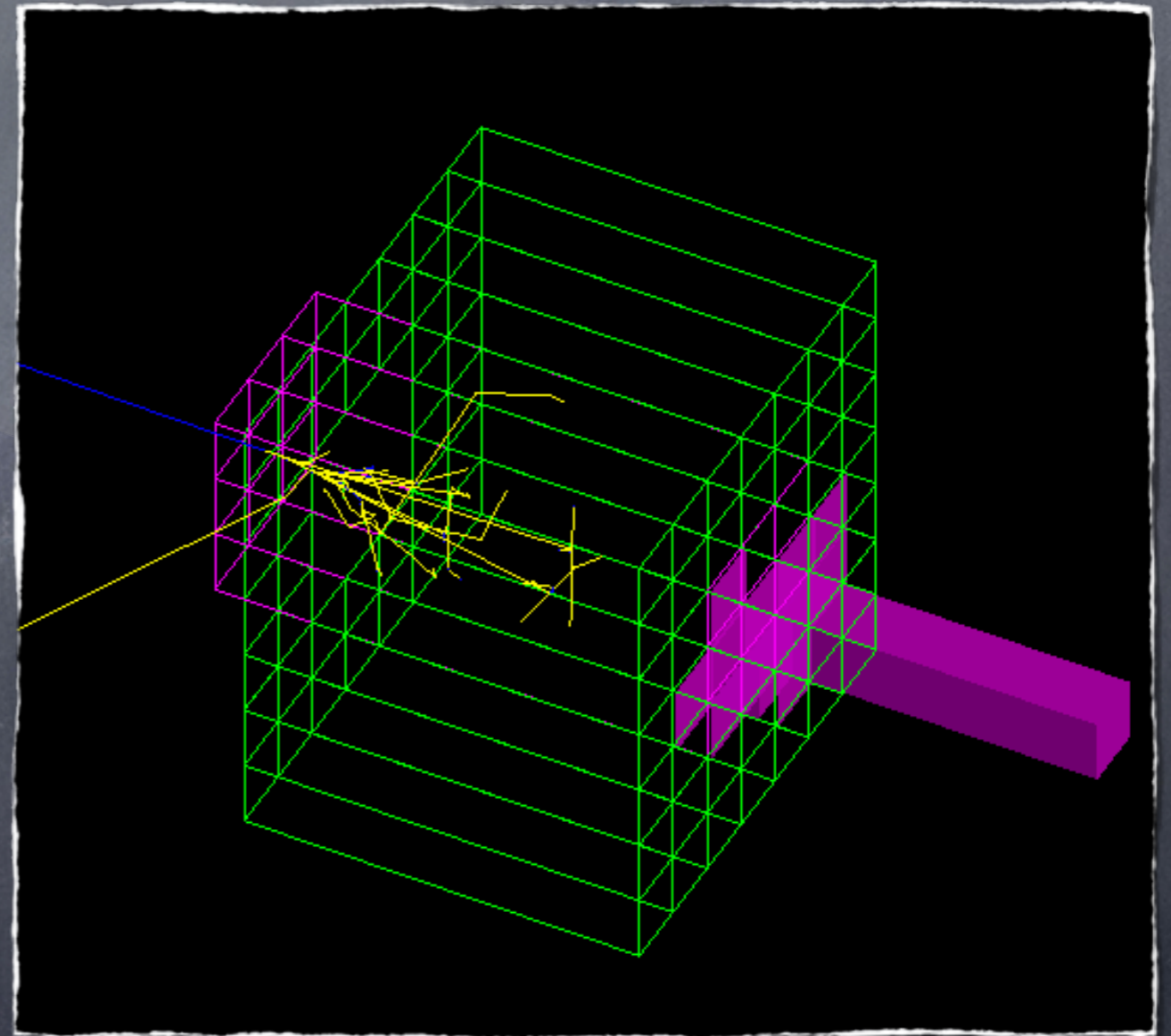


Geant4 シミュレーション

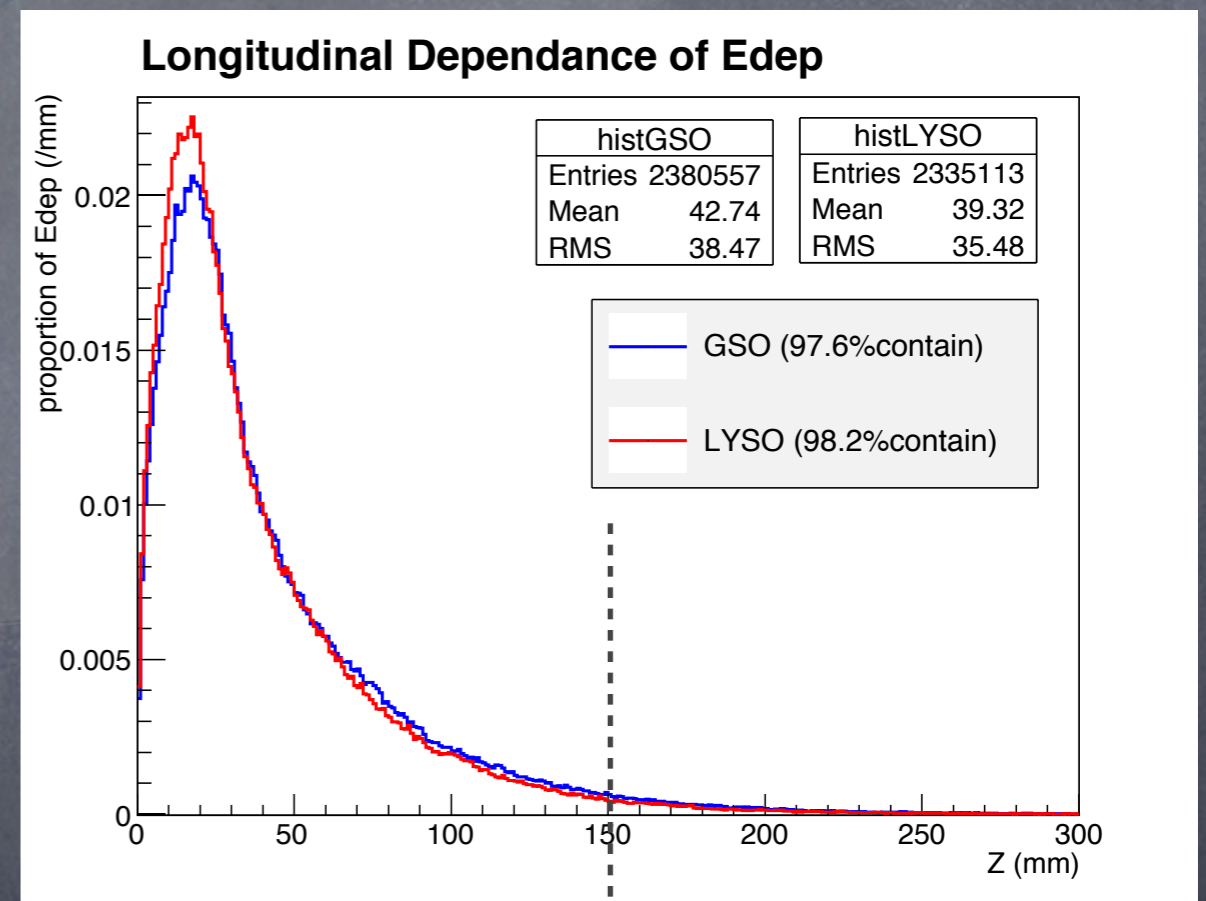
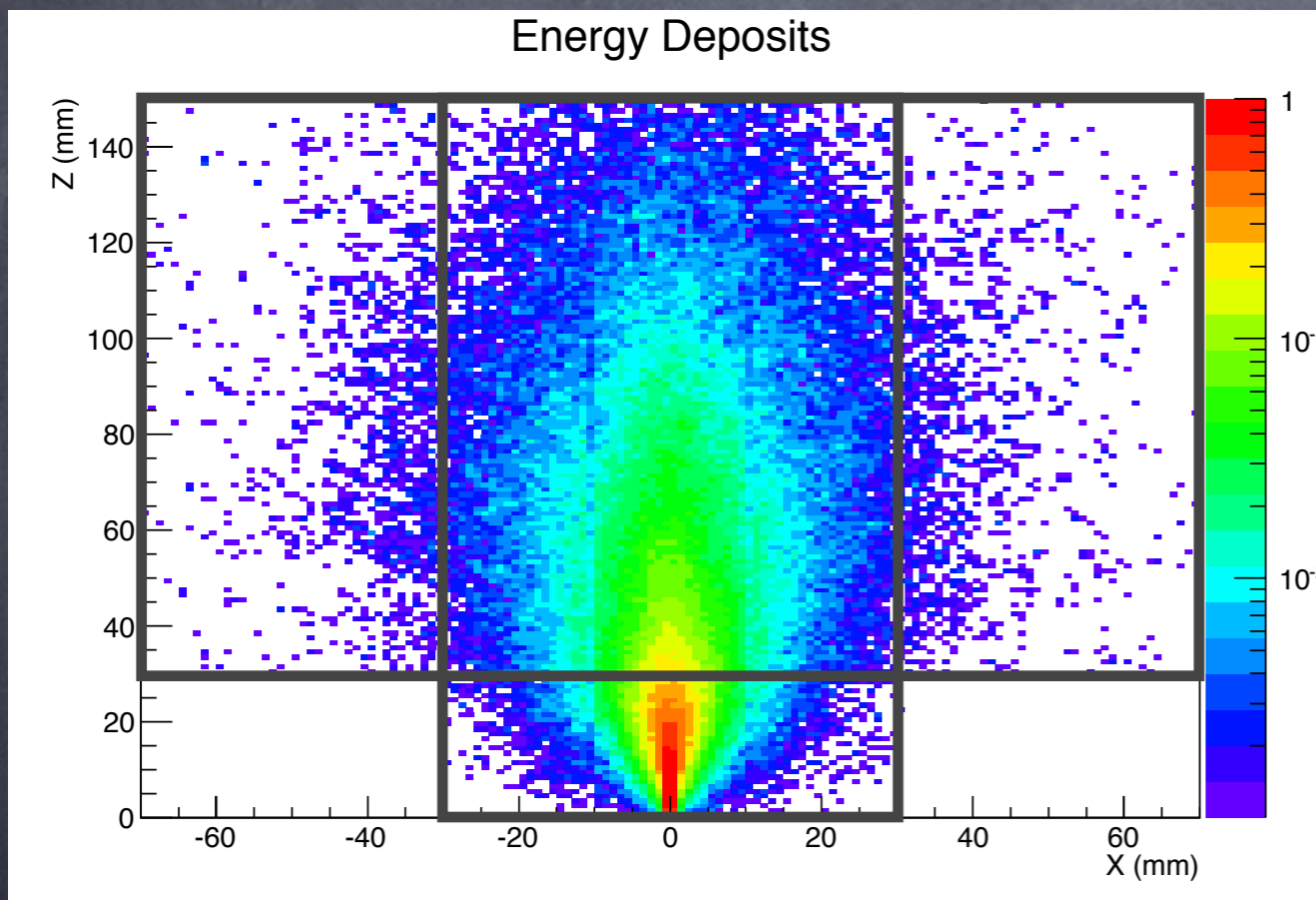
- Geant4.9.5.p02を使用
- ビームテスト時に測定、考慮すべき事項を予め吟味することが主目的。

100MeV e^- 照射例

(中央9本 GSO)



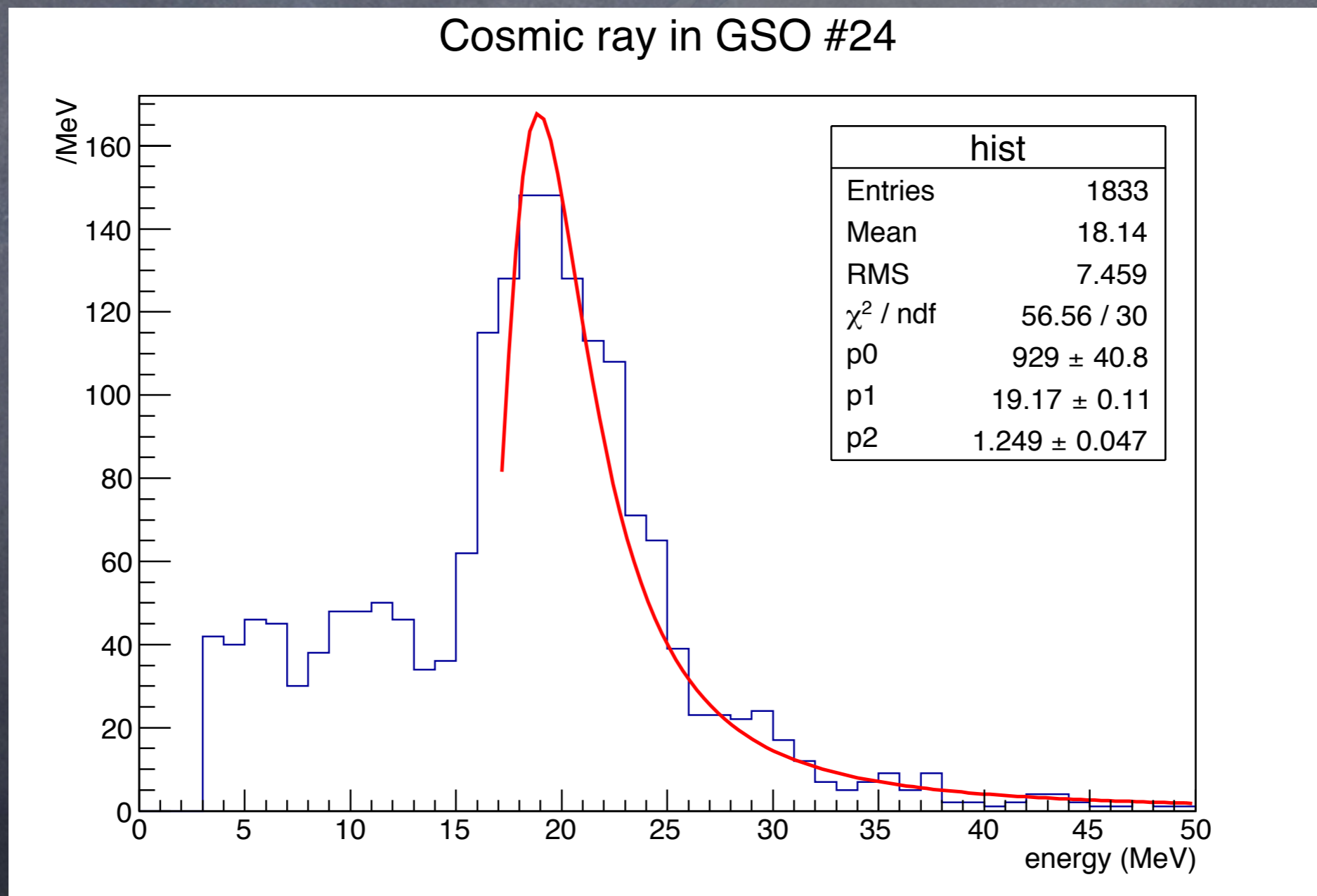
エネルギー吸収率



殆どのシャワーが吸収される。

宇宙線によるキャリブレーション

- 各結晶のエネルギー絶対値を見積もる。



まとめ

- COMETは $\mu e\text{-conv.}$ を従来の1万倍良い精度で探ろうと計画中。
- 現在ECAL開発のため、結晶のビームテストに向けて準備中。
- **実機関連**
 - 全結晶について両端での光量差を測定し、APDを取付ける側を決定した。
 - APD取付けからラッピングまで行い実機の形にまで仕上げた。
 - 宇宙線を測定しプリアンプボードと併せて正常動作を確認した。
- **シミュレーション**
 - 実機を再現し、最低限の情報は得られるようにした。
 - 宇宙線による校正のため、宇宙線によるエネルギーデポジットを見積もった。

今後の課題

● 実機関連

- APDについての理解がグループ全体で不足気味。
- APDとプリアンプボードの接続ケーブルが貧弱でノイズが大きい
 - 全て同軸線に取り替える必要有（宇宙線測定では臨時で3つ作製）
- APDの温度モニタリングを予定しているのでセンサーを取り付ける。

● シミュレーション

- オプティカルフォトンのシミュレーションを加えたい。
- 定量的には難しいかもしれないが、定性的にでも何か見積もれないか。
 - 宇宙線の測定データを再現するよう設定できるかもしれない。

● その他

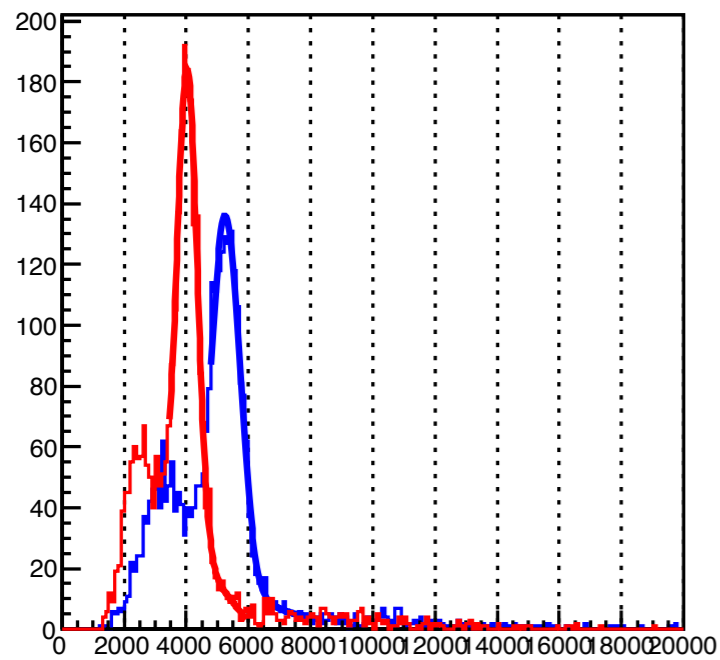
- ビームテスト時のアナライザも作成する予定。

参考

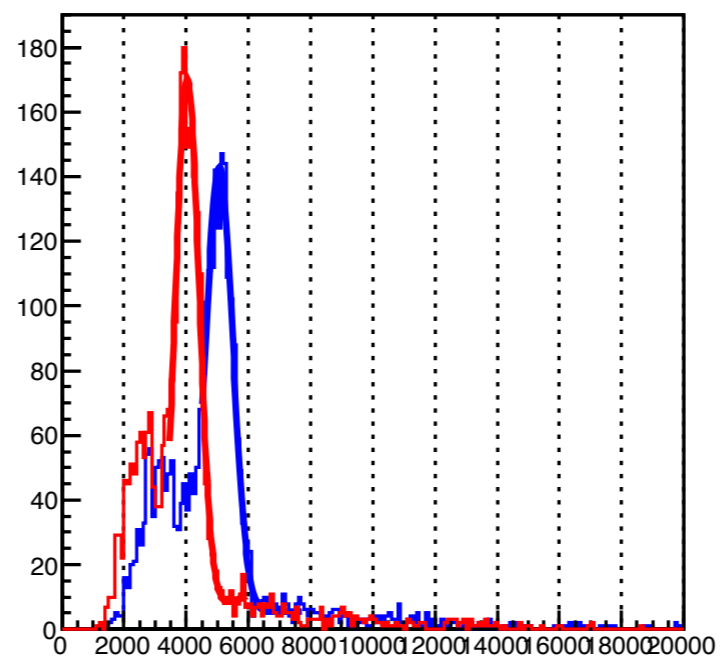
- 佐藤 朗, www.rcnp.osaka-u.ac.jp/Divisions/plan/kokusai/ws_files/asato.pdf
- 西口創, 高エネルギーニュース 31-3, pp.219-227 (2012)
- 青木正治, 高エネルギーニュース 31-3, pp.228-237 (2012)
- 江口 陽介, “ミューオン電子転換過程探索のためのカロリメータ開発” (2009)
- F. Deppisch et al, Nucl.Phys.B752 pp.80-92 (2006)
- www.hep.ucl.ac.uk/lfv/comet/

backup

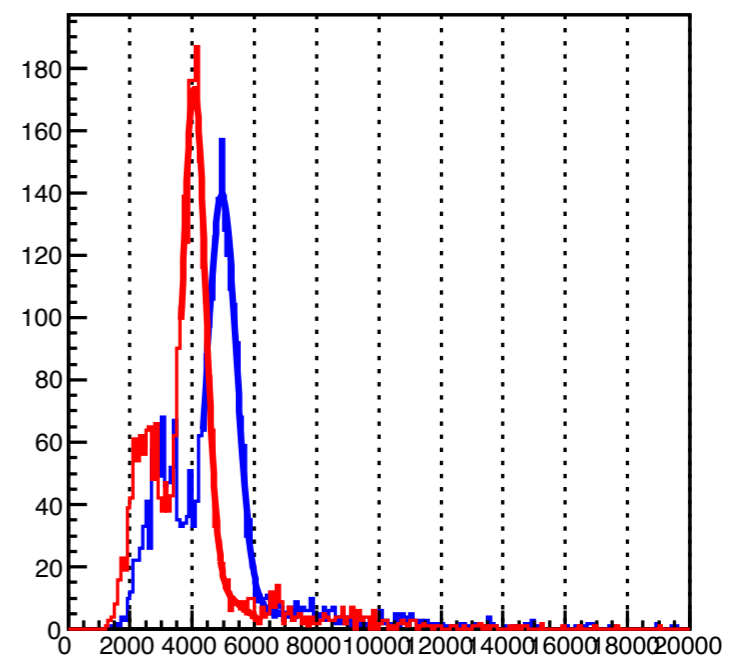
Position 1



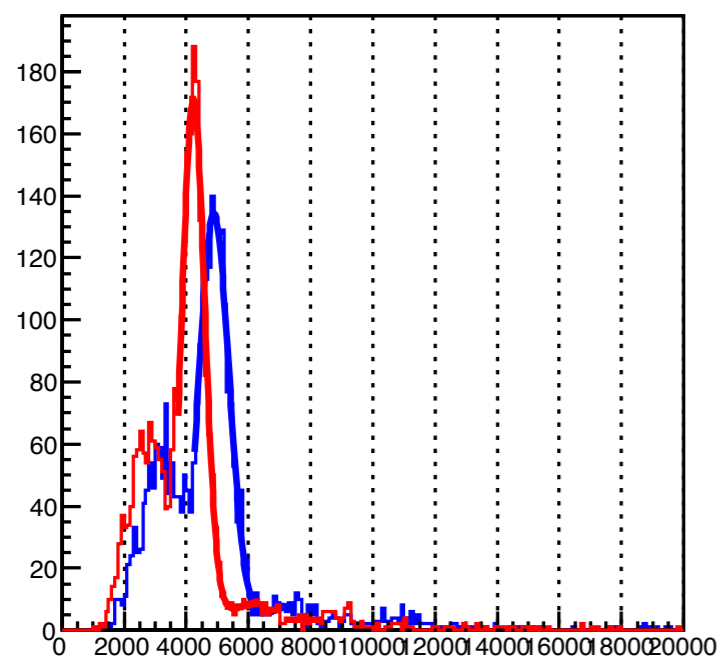
Position 2



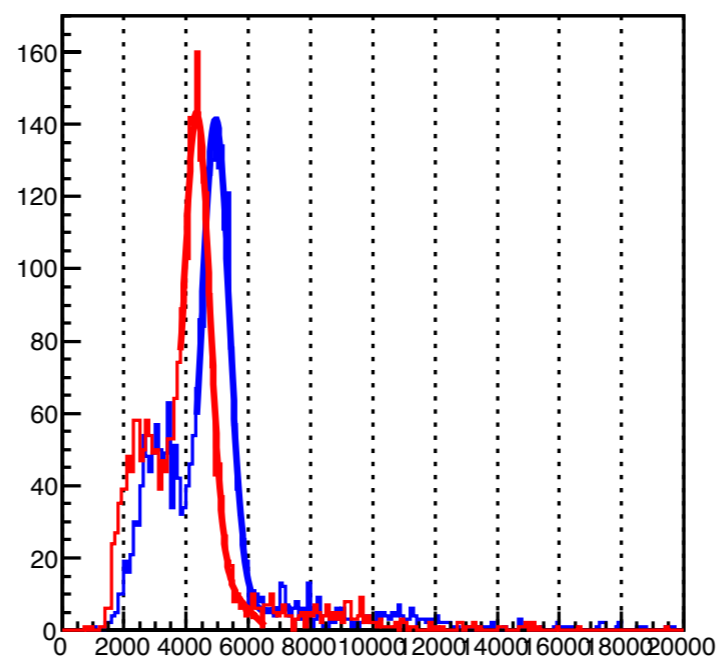
Position 3



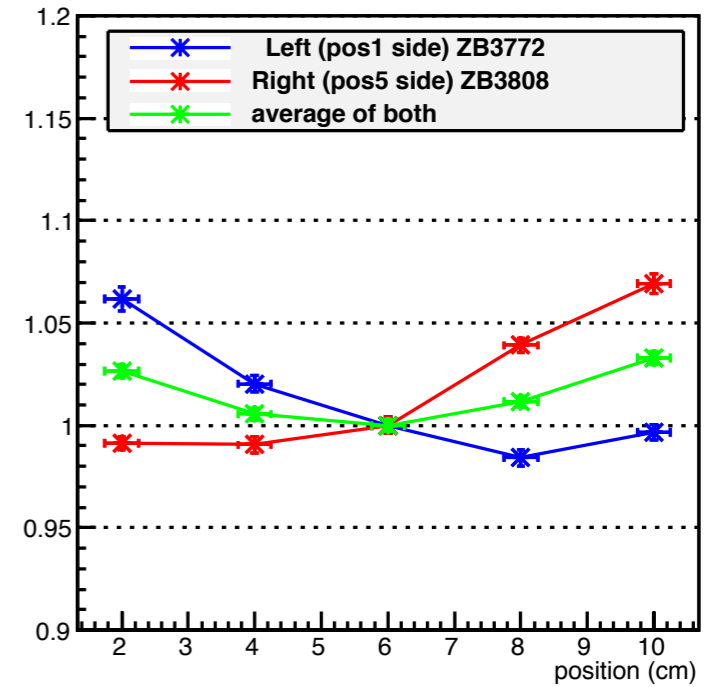
Position 4

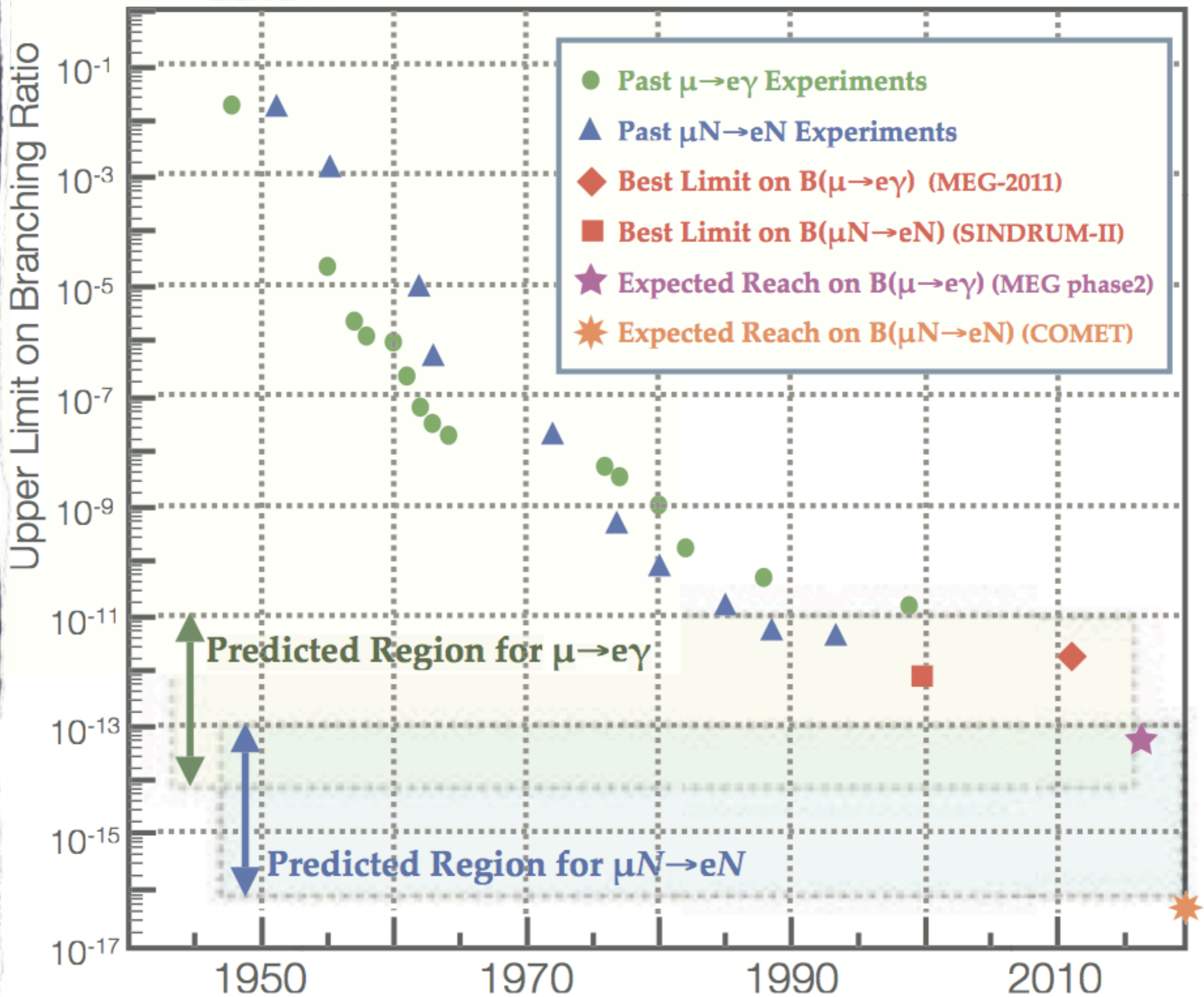


Position 5



C56





$pZ:(pX^{**2} + pY^{**2})^{**0.5} \{edep\}$

