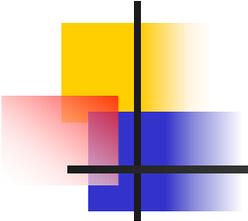


$\mu \rightarrow e \gamma$ 探索実験用 液体Xeカロリメータの γ ビームテストによる性能評価

東京大学 三橋利也

東大素七, 東大理^A, 早大理工総研^B, 高工研^C, 阪大^D
PSI^E, INFN-Pisa^F, BINP-Novosibirsk^G, 産総研^H

大谷航, 小曾根健嗣, 折戸周治^A, 菊池順^B, 久野良孝^D, 澤田龍^B, 鈴木 聡^B,
寺沢和洋^B, 道家忠義^B, 西口創, 春山富義^C, 真木晶弘^C, 真下哲郎, 三橋利也, 三原智,
森俊則, 八島純^C, 山下了, 山下雅樹^B, 吉村浩司^C, 吉村剛史^B, 大垣英明^H, 豊川弘之^H
A.A.Grebenuk^G, D.Grigoriev^G, I.Ioudine^G, D.Nicolo^F, S.Ritt^E, G.Signorelli^F



Outline

前回の学会のまとめ

2月に行われたBeam test では、分解能が予想より悪い。

液体Xe中のシンチレーション光の吸収が分解能の低下を引き起こしている。

今回のあらすじ

Introduction –MEG実験について

分解能が悪かったのは吸収長が非常に短かった(～7cm)ためである。

純化後、吸収長～100cmが達成された。
このとき期待される分解能について。

MEG experiment

目的: $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ 崩壊の探索(そして発見)
Br $\sim 10^{-14}$ のsensitivityを目指す。

Physics motivation:

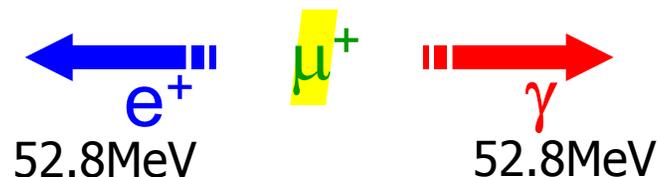
- * $\mu \rightarrow e \gamma$ は Lepton Flavor Violation 過程。charged lepton での LFV は未観測。
- * SUSY-GUT は一般に、実験的に探索可能な $\mu \rightarrow e \gamma$ 分岐比 (Br = $10^{-11} \sim 10^{-13}$) を予言。
- * 観測できれば SUSY の強力な証拠。

■ $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ signal: very simple

■ Background:

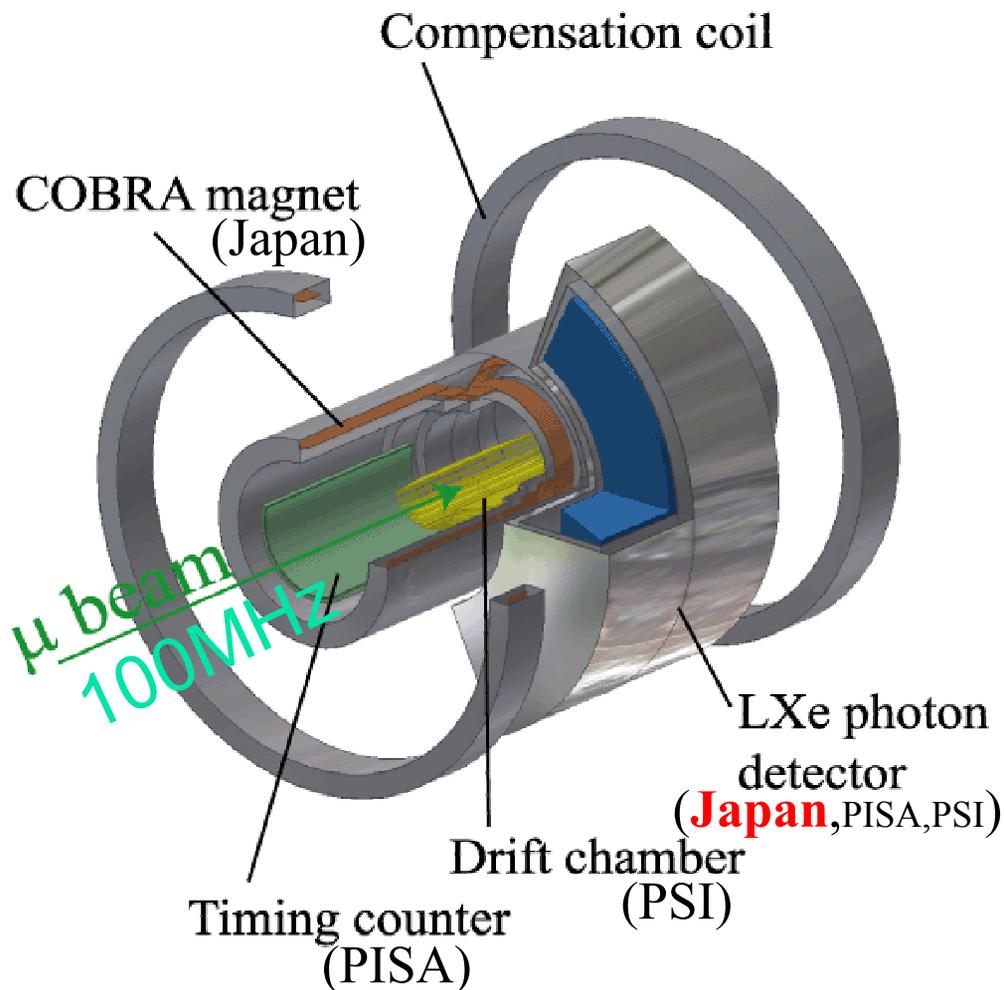
Prompt background: $\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu \mu \gamma$

✓ Accidental overlap: $\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu \mu + \gamma$ from e^+e^- 対消滅 etc



実験場所と時期: PSI(スイス)、2003-4年開始予定

MEG detector



γ detection

Liquid Xe detector

PMT:800本

Liquid Xe:~800L

e^+ detection

COBRA Spectrometer

- COBRA Magnet
- Drift Chamber
- Timing Counter

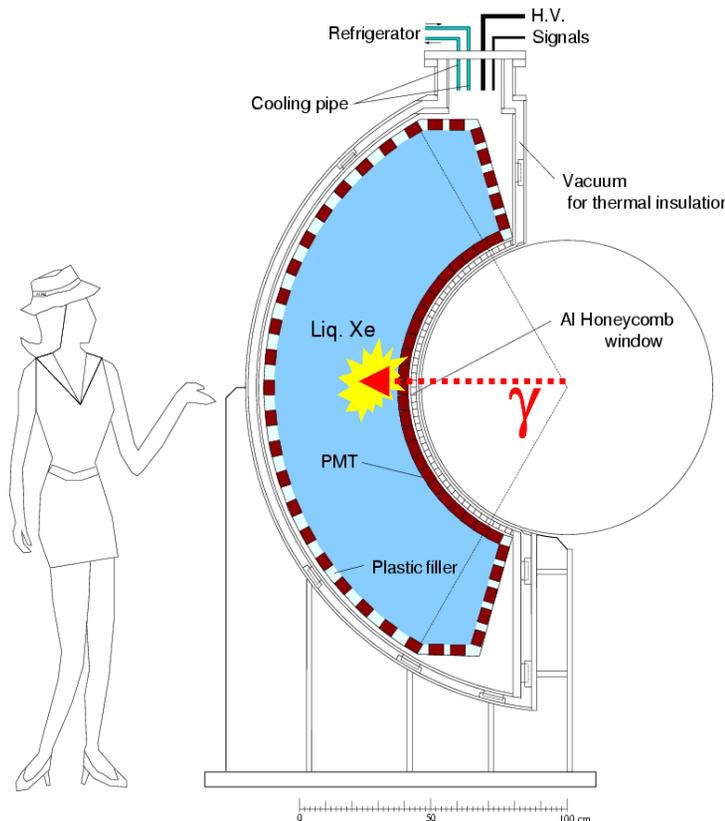
•Detector requirements:

エネルギー、角度、時間ともに優れた分解能が必要。

Br $\sim 10^{-14}$ を達成するには、
 $\Delta E_{\gamma} = 1.4\%$, $\Delta E_e = 0.7\%$,
 $\Delta \theta_{e\gamma} = 12\text{mrad}$, $\Delta t = 150\text{ps}$ (FWHM)

Liquid Xe γ calorimeter

液体Xe中にPMTを浸しXeからのシンチレーション光($\sim 175\text{nm}$)を捕らえることによってエネルギー、位置、タイミングを測る。



液体Xeの特長

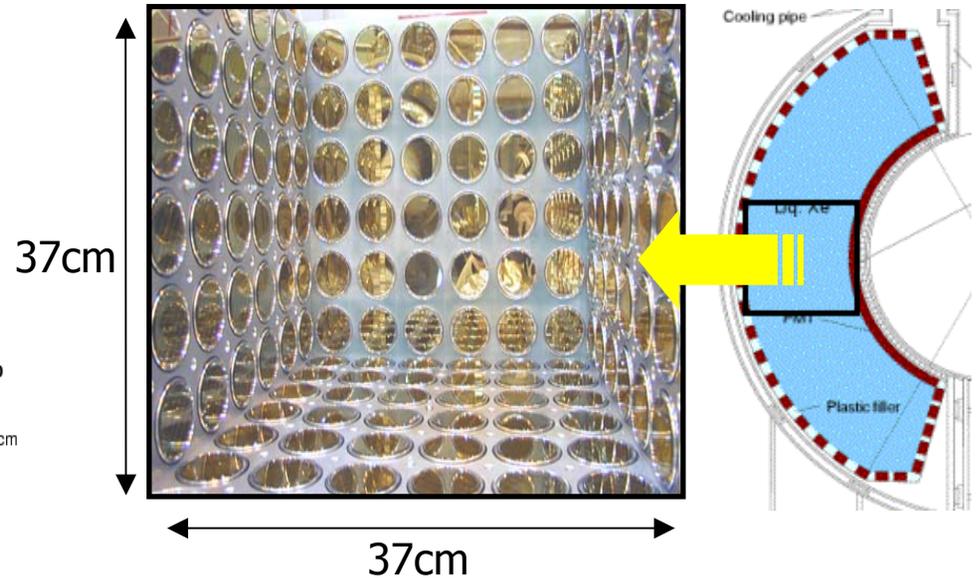
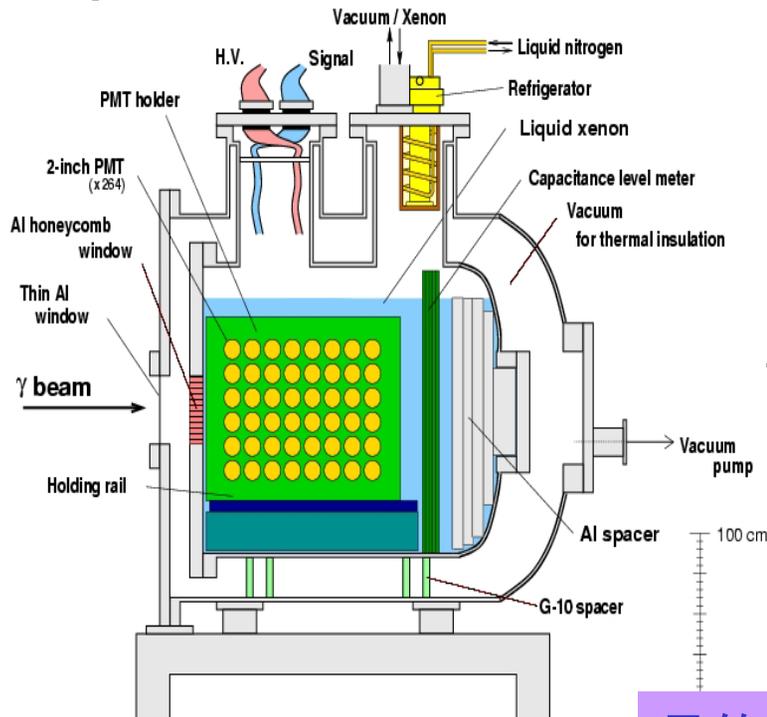
- High Light Yield
 $W_{ph} = 24 \text{ eV}$ ($\sim 75\%$ of NaI)
- Fast Decay
 τ (recombi.) = 45 nsec
→ pile up の減少。
- Homogeneous

結晶のシンチレータと異なり均質で大型の検出器の製作が容易。

液体Xeの主な性質

質量数	131.29
密度	3.0 g/cm^3
沸点、融点	165 K, 161 K
Radiation length	2.77 cm

Large prototype



PMT: 228本

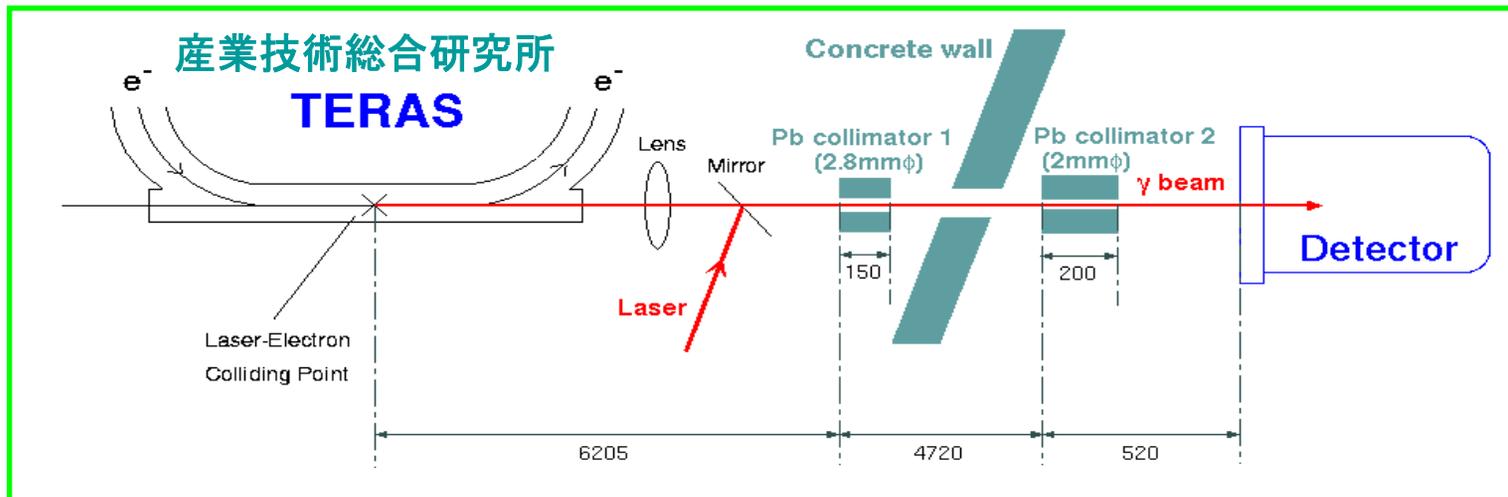
Xe有効体積: 68.6L

52.8MeVのガンマ線を検出
するのに十分な大きさ

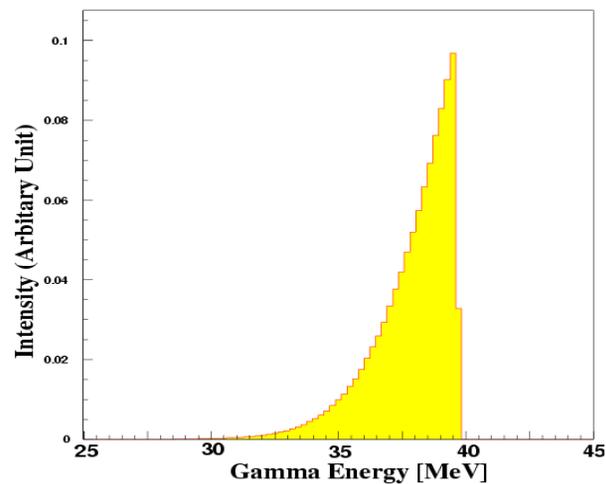
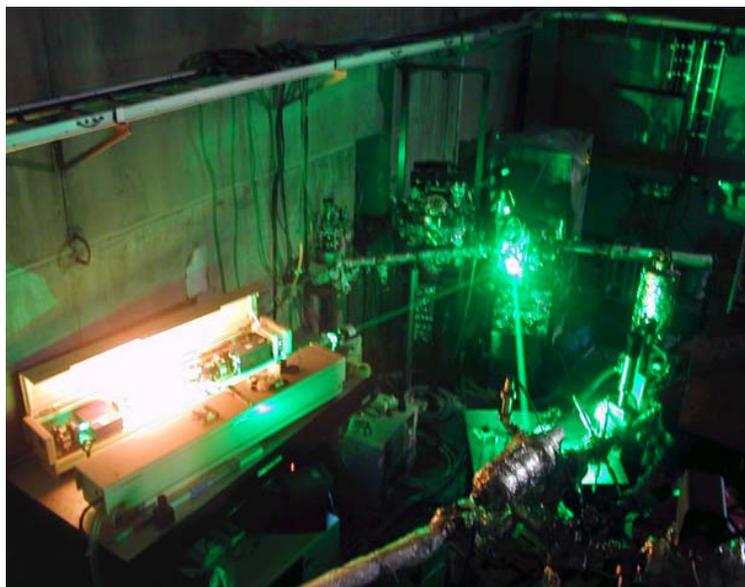
目的

- ★ 実機に近いエネルギーでの性能テスト
- ★ absorptionの影響を調べる。
- ★ PSIでの実験に近いセットアップの動作確認
PMT holder, cryostat, feedthrough, 冷凍機

Beam test @ TERAS



レーザー光を電子で散乱して、40MeVの γ 線をつくる



入射 γ 線のスペクトラム

Analysis

- Energy: Compton edge からの広がりで評価。
event selection (energy, conversion depth)

↓
入射Comptonのspectrum にgaussian をconvolute

- Position: 光量重心の方法。

1.event selection (energy,conversion depth)

↓
2.光量の分布のpeakを求める。

↓
3.解析に使うPMTの範囲を決める。

↓
4. 手順2.3を繰り返す、得られた光量の分布をfitする。

前回(2月)のBeam testの結果

Resolution (FWHM)

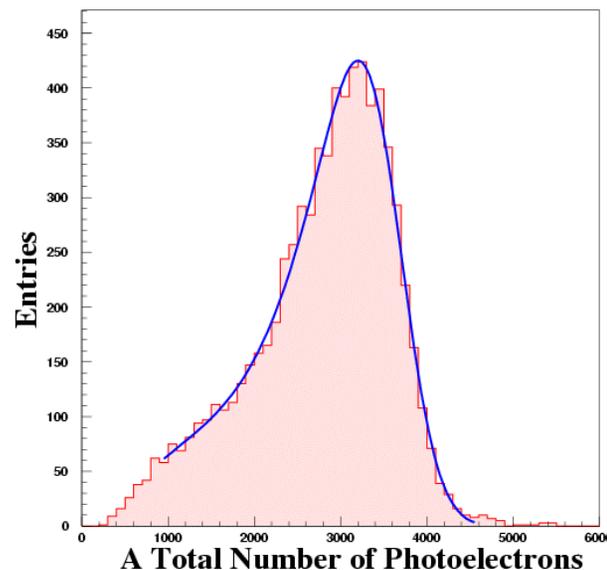
Energy:34.8%

Position:8mm

(PMTの中心にbeam入射時)

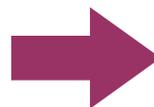


不満足な結果



データからわかったこと

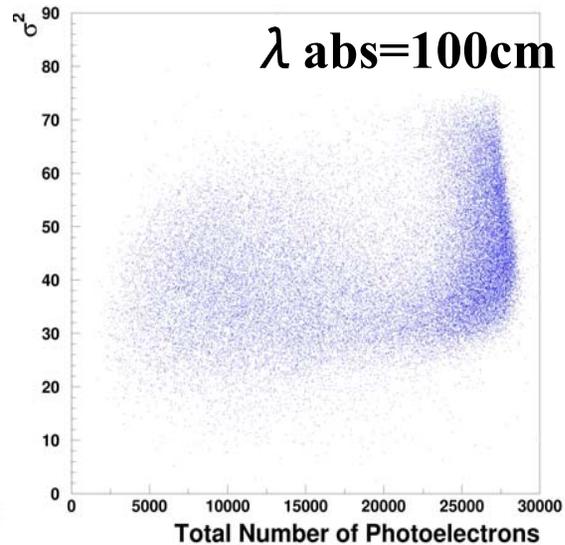
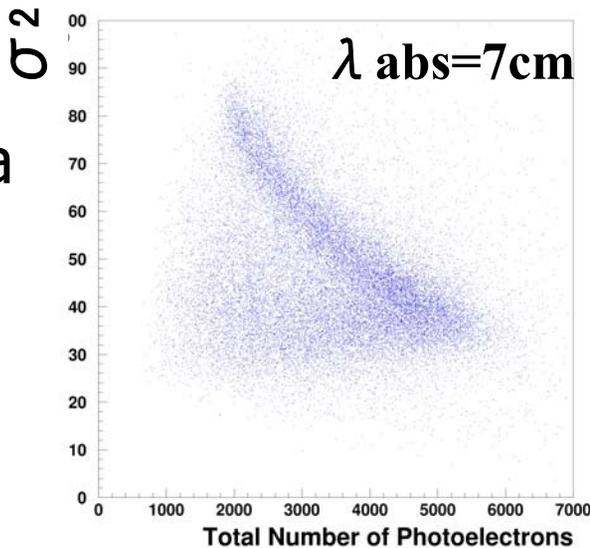
- 観測された光量が少ない:
シミュレーションの 1/9
- first conversionが深いevent
ほど光量が少ない



分解能低下の最大の
要因はシンチレーション
光が液体キセノン中
で吸収されていること

Conversionの深さと光量の関係

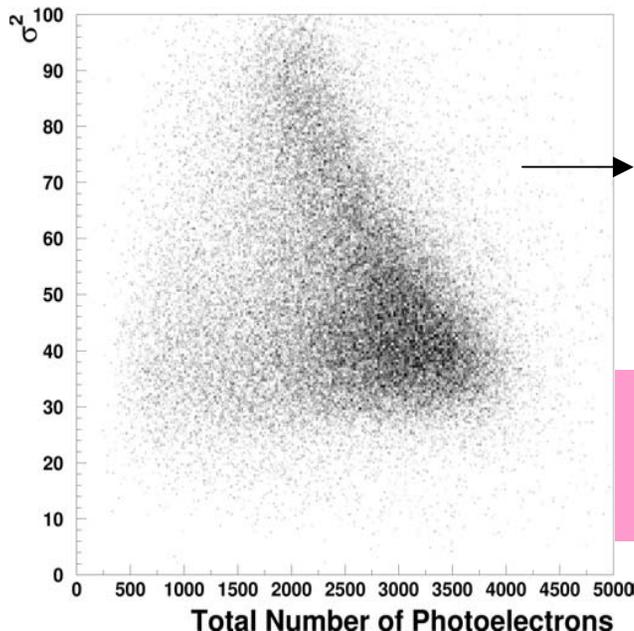
MC data



σ^2 : γ 線入射面
におけるシンチレー
ション光の広がり
を表す変数

σ^2 はconversion
の深さの目安

γ beam
data



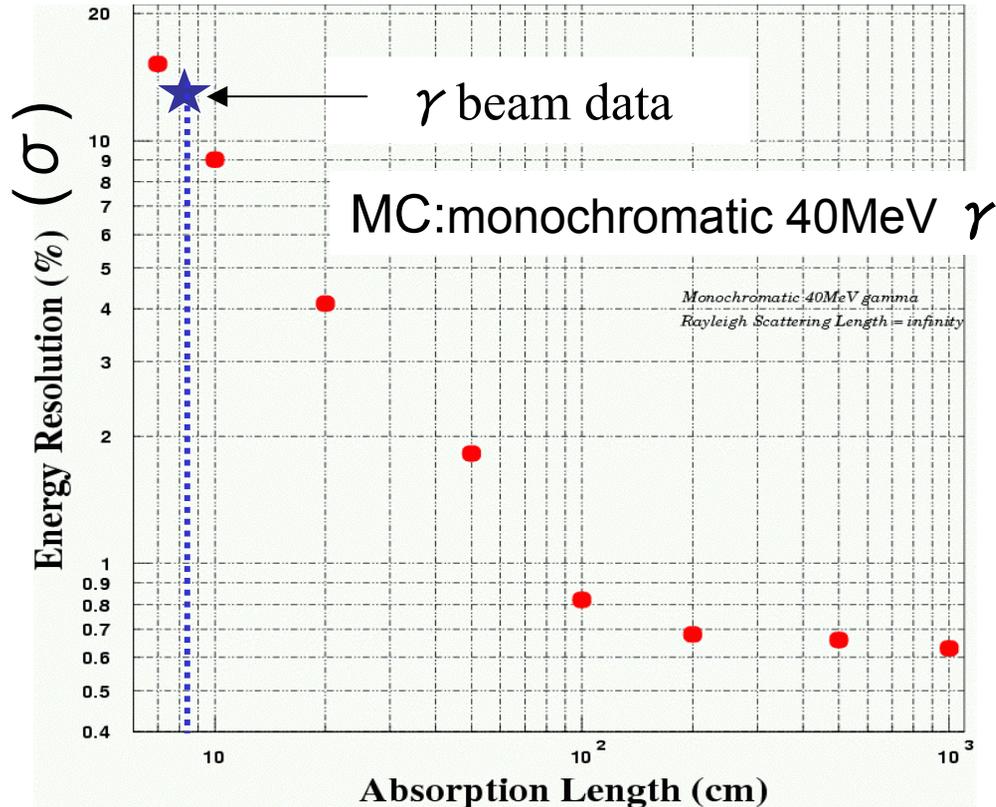
深いところでconversionしたevent
ほど光量が少なくなっている。

前回のbeam test時は吸収長が非
常に短かったことを裏付けている。

前回のBeam test時の吸収長の見積もり

エネルギー分解能に対して、吸収が与える影響が圧倒的に大きい

beam test で得られた ΔE から吸収長を見積もる



40MeVの単色 γ 線入射時の
吸収長とエネルギー分解能

吸収長	ΔE (FWHM)
7cm	35.7%
10cm	21.2%
50cm	4.3%
100cm	1.9%
500cm	1.6%

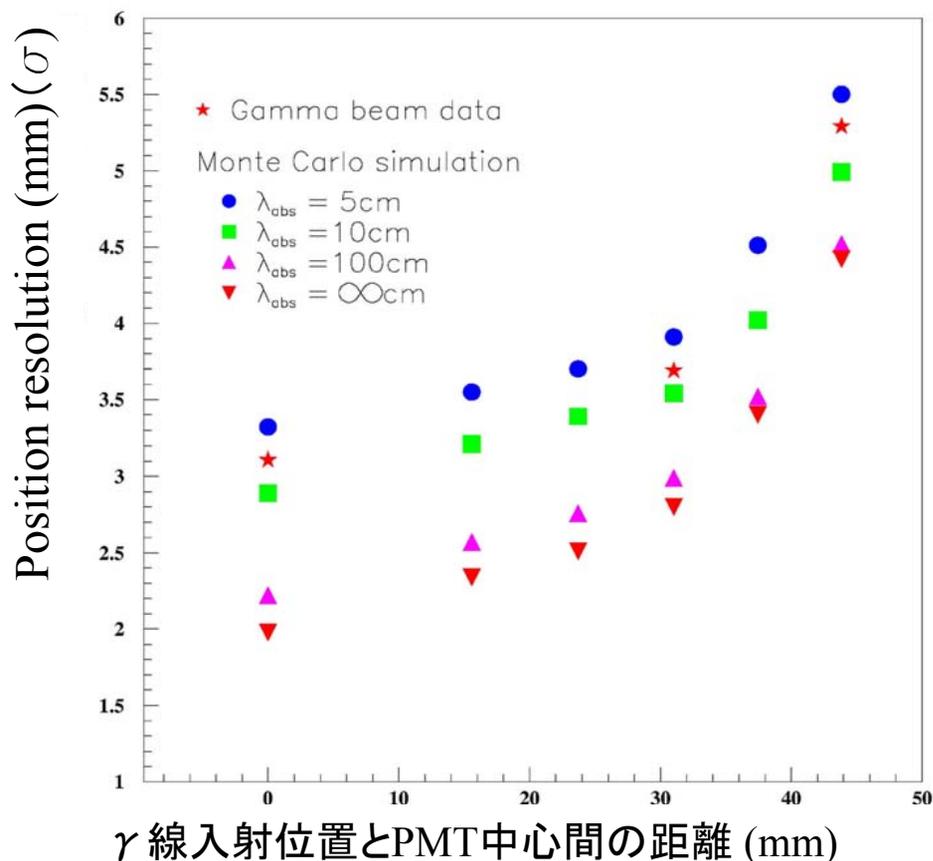
吸収長 \sim 7cm

前回のBeam test時の吸収長の見積もり

位置分解能の解析結果から吸収長を見積もる

MCと比較すると

どの入射位置でも
吸収長~7-8cm



吸収長のまとめ

Beam testの ΔE , Δx の解析結果



$\lambda_{\text{abs}} \sim 7-8\text{cm}$

宇宙線と α sourceを用いた解析:
前回のbeam test時 $\lambda_{\text{abs}} < 10\text{cm}$



詳細は
次のTalk(15aRH8)
(吉村@早稲田)

現在の吸収長は・・・

Xeを純化



吸収長 $\sim 100\text{cm}$ を達成

純化方法の詳細は次のTalk(15aRH8)(吉村@早稲田)

吸収長 > 100cm時の分解能

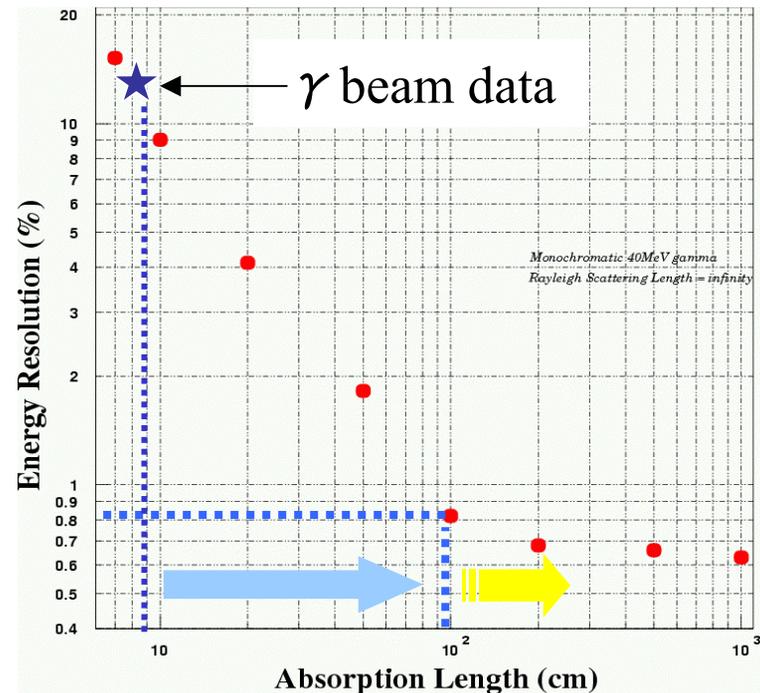
エネルギー分解能を決める要因:

吸収、calibration(<2.6%),gainの不安定性(<0.6%),noise(~0.4%)

100cmの吸収長 40MeVの単色 γ 線MCによると: $\Delta E \sim 1.9\%$

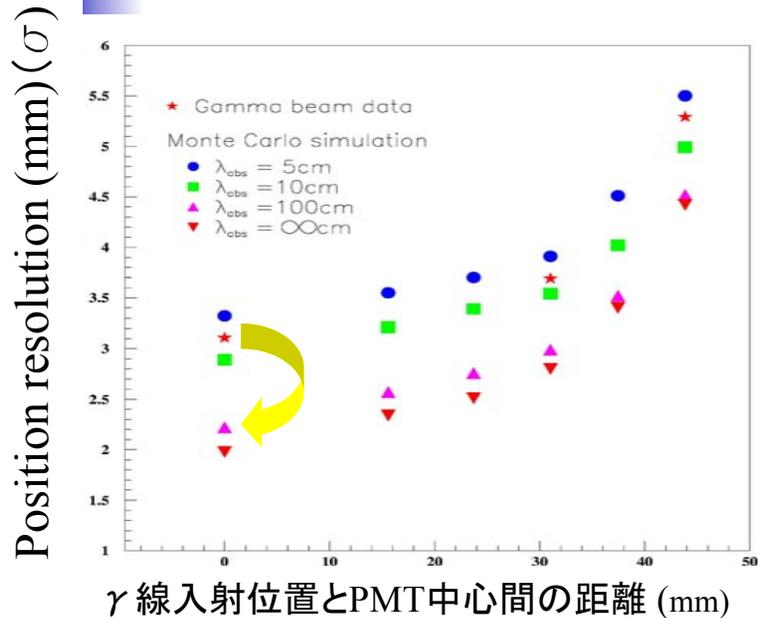
40MeVの単色 γ 線入射時の
吸収長とエネルギー分解能

吸収長	$\Delta E(\text{FWHM})$
7cm	35.7%
10cm	21.2%
50cm	4.3%
100cm	1.9%
500cm	1.6%



全ての要因を加味すると、吸収長 > 100cm で $\Delta E < 3.3\%$

吸収長 > 100cm時の分解能



位置分解能についても吸収長が伸びると分解能の向上が期待できる。

吸収長が100cmのとき
 $\Delta x \sim 5\text{mm}$ (FWHM)
(PMTの中心に入射時)

Large Prototype では $\lambda_{abs} > 100\text{cm}$ ならば:
 $\Delta E < 3.3\%$, $\Delta x < 5\text{mm}$ (PMTの中心に入射時) (FWHM)
が期待できる。

分解能向上の方策

各PMTのQEのcalibration(gasXeを用いる)

さらに吸収長を長く(純化方法の改良)

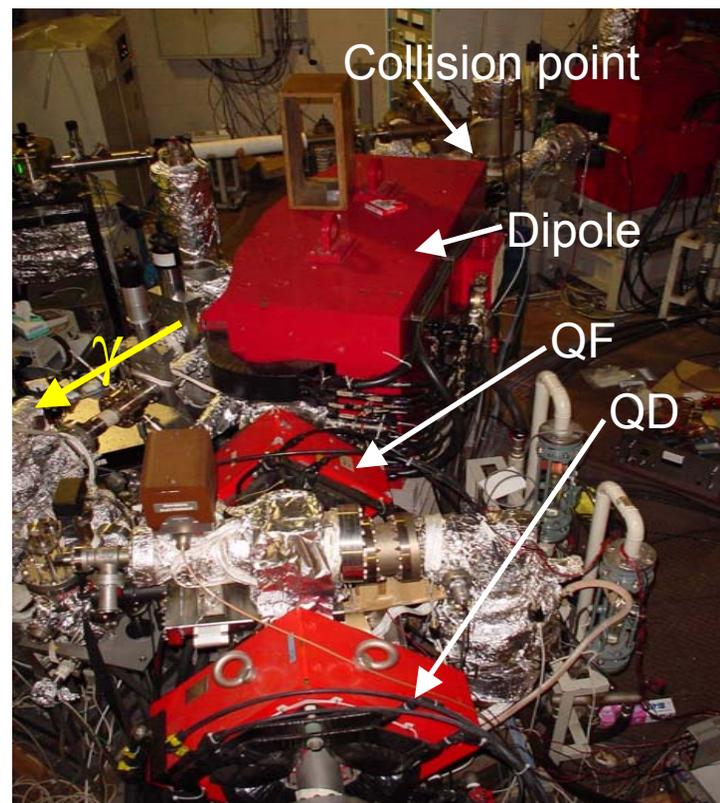
新しいPMT(higher Q.E.)

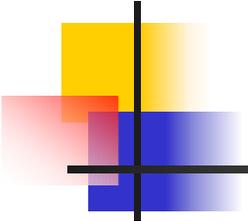
エネルギー再構成のアルゴリズム改良

今後の予定

- 10月にTERASでbeam testを行い、吸収長 $> 100\text{cm}$ のときの検出器の性能を評価する。
- 時間分解能についても測定を行う。

- back-scattered electron をstart signalにして、時間分解能の測定する。
- electronのtagに成功。





Summary

- 新しい $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ 探索実験のための液体Xeガンマ線検出器の開発を行っている。
- 前回のbeam testでは良い分解能が得られなかったが、主な原因は液体キセノン中でのシンチレーション光の吸収である。
- $\lambda_{\text{abs}} > 100\text{cm}$ でのLarge prototypeの分解能は $\Delta E < 3.3\%$, $\Delta x < 5\text{mm}$ と期待される。
- 次のbeam test を10月に行う予定。