

$\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ 探索実験用液体 Xe カロリメータの 40 MeV γ 線を用いた性能評価

小曾根 健嗣

(東京大学 素粒子物理国際研究センター)

内容

- $\mu \rightarrow e \gamma$ 探索実験
- 液体 Xe カロリメータ
- 産総研における予備実験
- 今後の予定

Collaboration

● 東大素粒子物理国際研究センター

小曾根健嗣, 浅井祥仁, 石田卓也, 大谷航, 佐伯学行, 西口創, 真下哲郎, 三橋利也, 三原智, 森俊則, 山下了

● 東大理学部

折戸周治

● 早大理工総研

岡田宏之, 菊池順, 澤田龍, 鈴木聡, 寺沢和洋, 道家忠義, 山下雅樹, 吉村剛史

● KEK 素核研

杉本康博, 春山富義, 真木晶弘, 八島純, 山本明, 吉村浩司

● 名大理学部

増田公明

● 阪大理学部

久野良孝

● PSI (Swiss)

S.Ritt 他

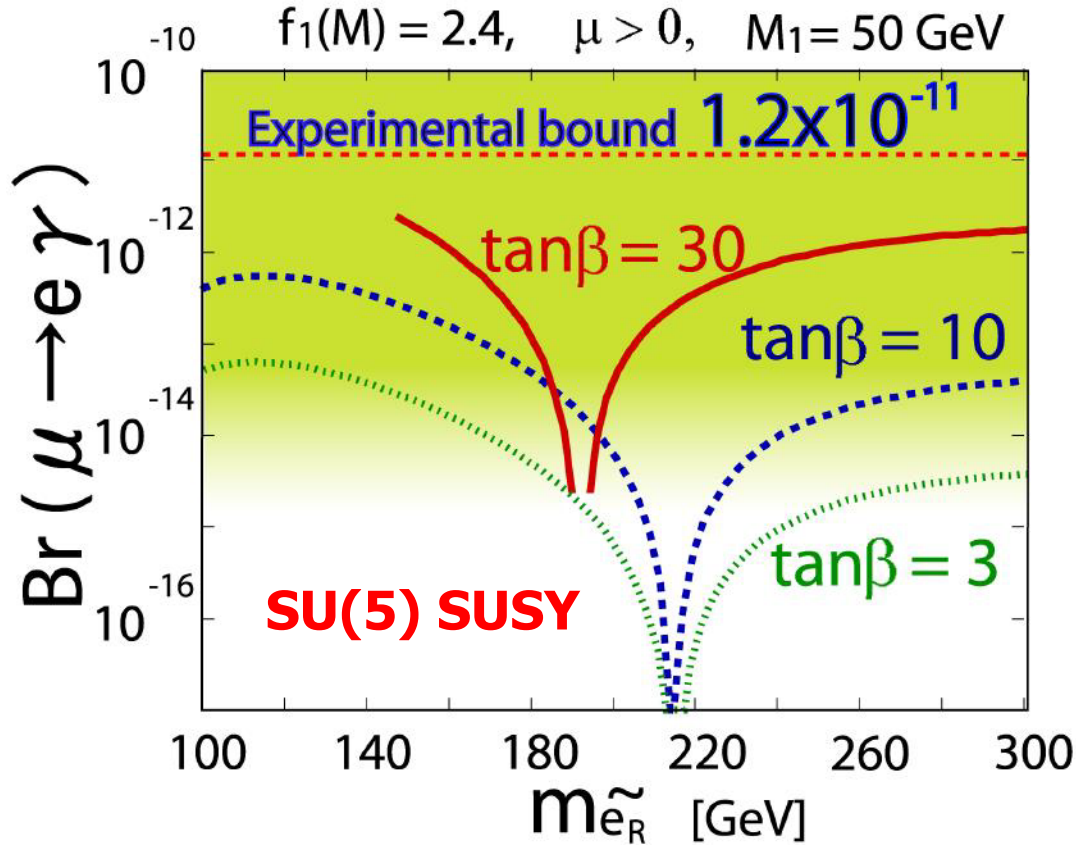
● INFN-Pisa (Italy)

D. Niccolo, G.Signorelli 他

● BINP-Novosibirsk (Russia)

A.A.Grebenuk, D.Grigoriev, I.Ioudine 他

Physics Motivation



最近の話題

- MEGA (~1999)
上限値で 1.2×10^{-11}
- SINDRUM II
 μe conversion による探索
- SK
- Anomalous Muon (g-2)

大型加速器実験に先駆けてSUSYの検証が可能。(2003年開始予定)

Signal and Backgrounds

- μ beam stopped on the target; $10^8/\text{sec}$
 - $E_e = 52.8 \text{ MeV}$, $E_\gamma = 52.8 \text{ MeV}$
 - $\theta_{\gamma e^+} = 180^\circ$

Back to back, in time

- **Main background sources**

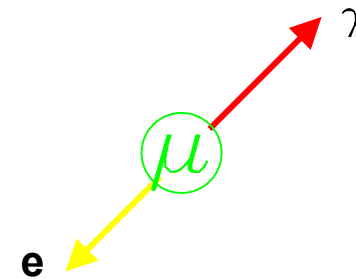
(1) Radiative μ^+ decay

(2) Accidental overlap

NOT back to back

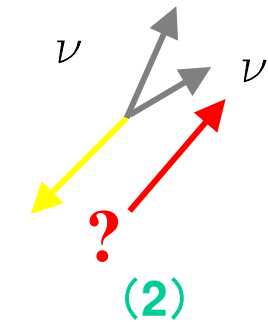
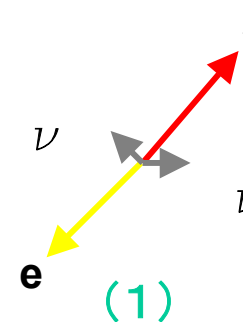
And NOT in time

⇒ Reduced down to 10^{-15} level



$\mu \rightarrow e \nu \nu \gamma$

$\mu \rightarrow e \nu \nu + \text{"}\gamma\text{"}$

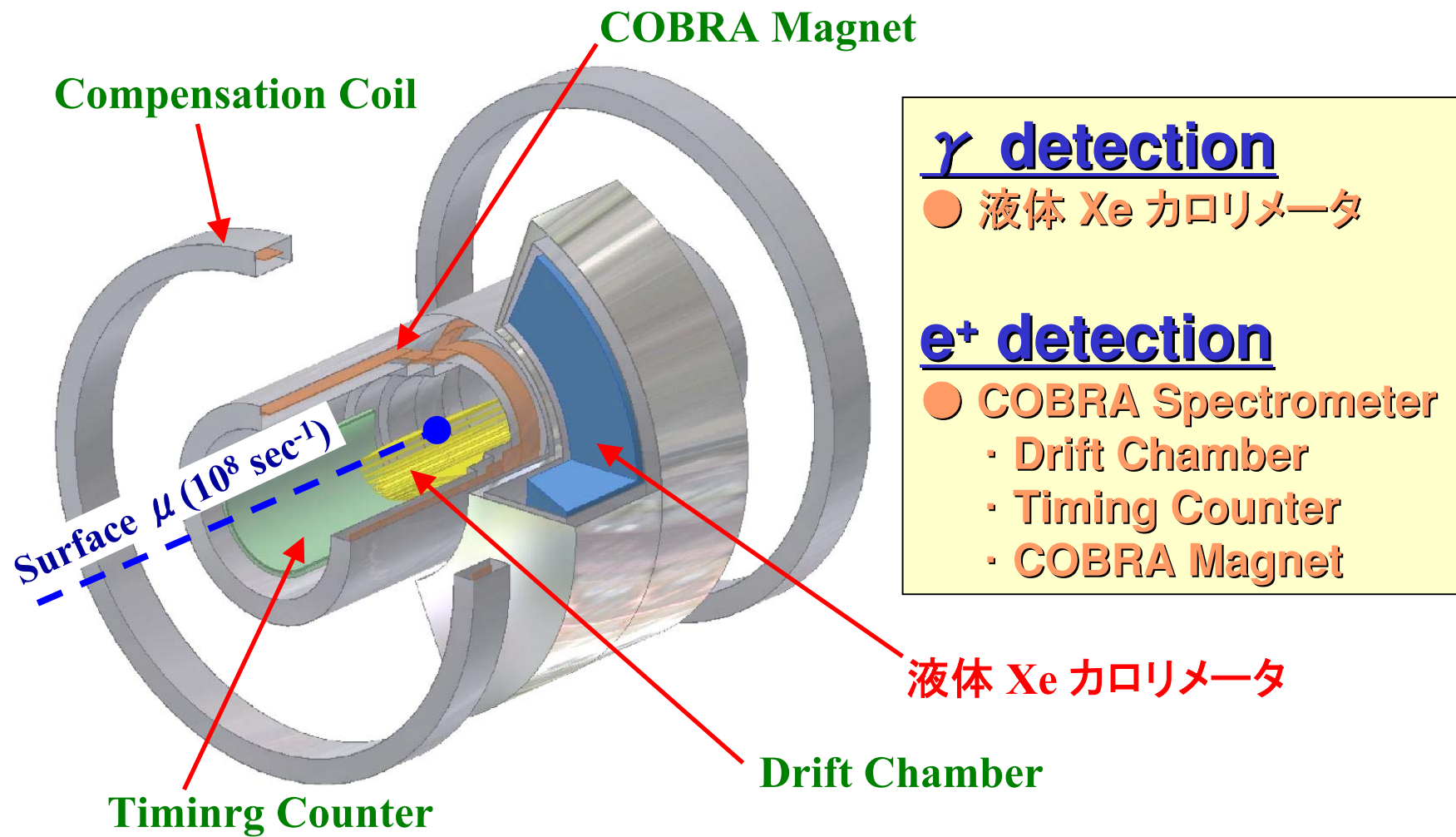


● 検出器に要求される分解能

$E_e : 0.3\%$, $E_\gamma : 0.6\%$,

$\theta_{e\gamma} : 5.1 \text{ mrad}$, $t_{e\gamma} : 64 \text{ psec}$

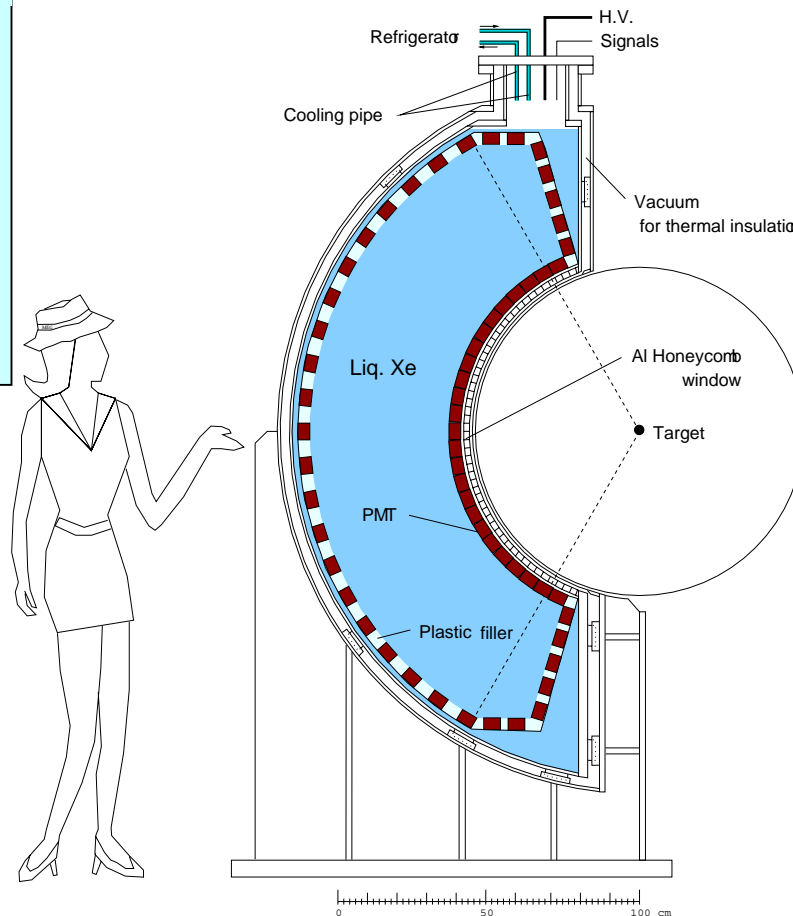
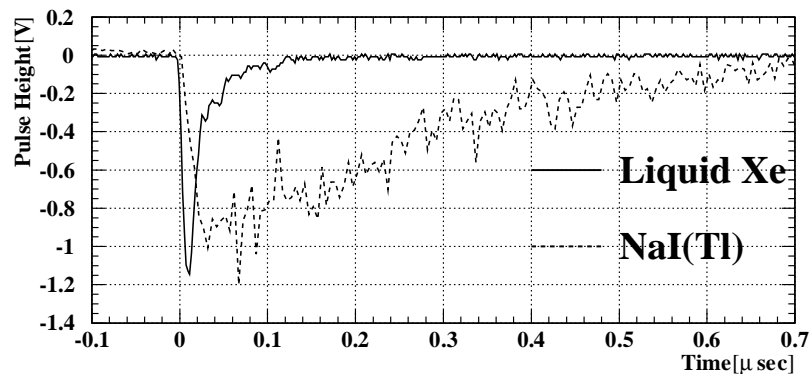
$\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ 探索実験用検出器



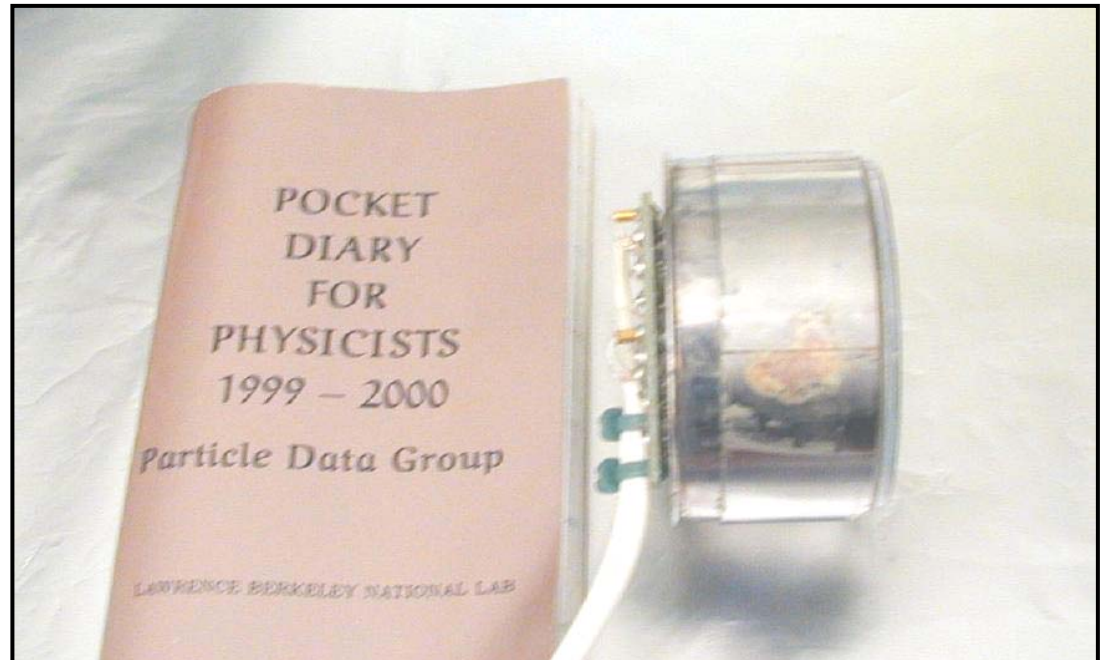
液体Xe カロリメータ

Why Liquid Xe Detector?

- 光量が多い
 - $W_{ph} = 24 \text{ eV}$ (NaI: 17 eV)
- 速い立上がり→パイルアップの低減
 - τ (fast) = 4.2 nsec
 - τ (slow) = 22 nsec
 - τ (recombi.) = 45 nsec (75%)
- 液体なので一様・任意の形状可



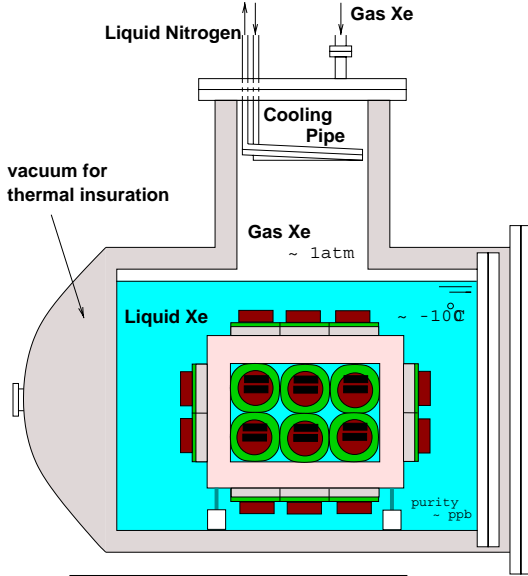
PMT (R6041Q)



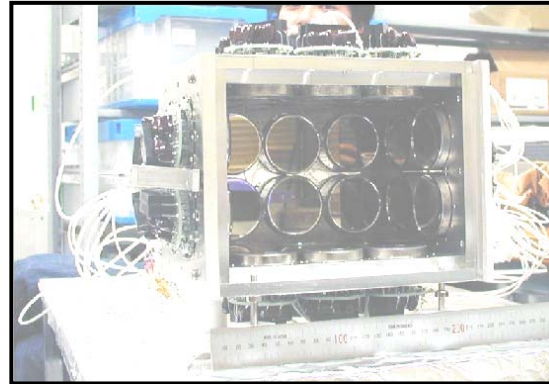
HAMAMATSU R6041Q の特長

- 真空紫外光を通す石英ウィンドウ
- Q. E. 10% (Typ.)
- - 100 度で安定動作
- 耐圧 3 atm
- Gain 10^6 (1kV 印加時)
- メタルチャンネル・ダイノード
- 可能な限り低物質量化してある

これまでの結果 — Small Prototype —



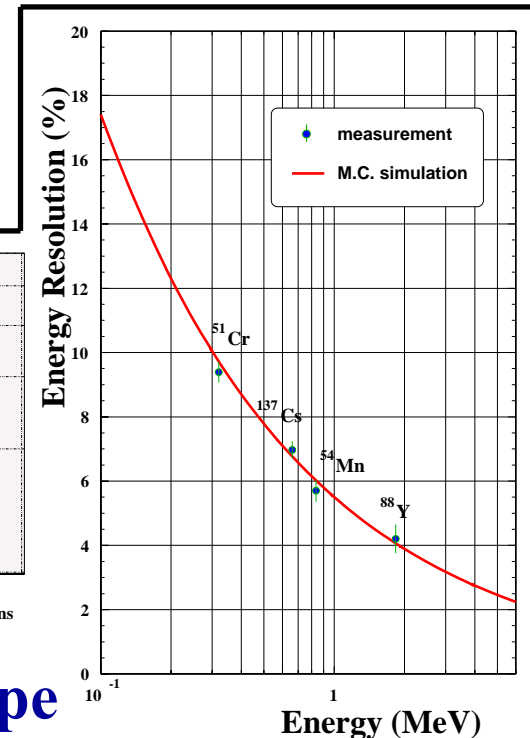
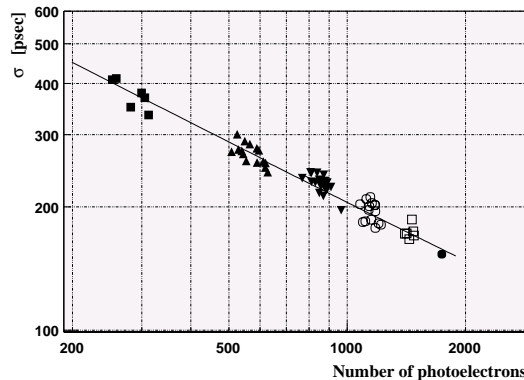
- γ 線源 (^{137}Cs , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{88}Y) によりテスト
- PMT の較正には α 線源 (^{241}Am) と LED



- 2.34 liter LXe
- 32 PMTs

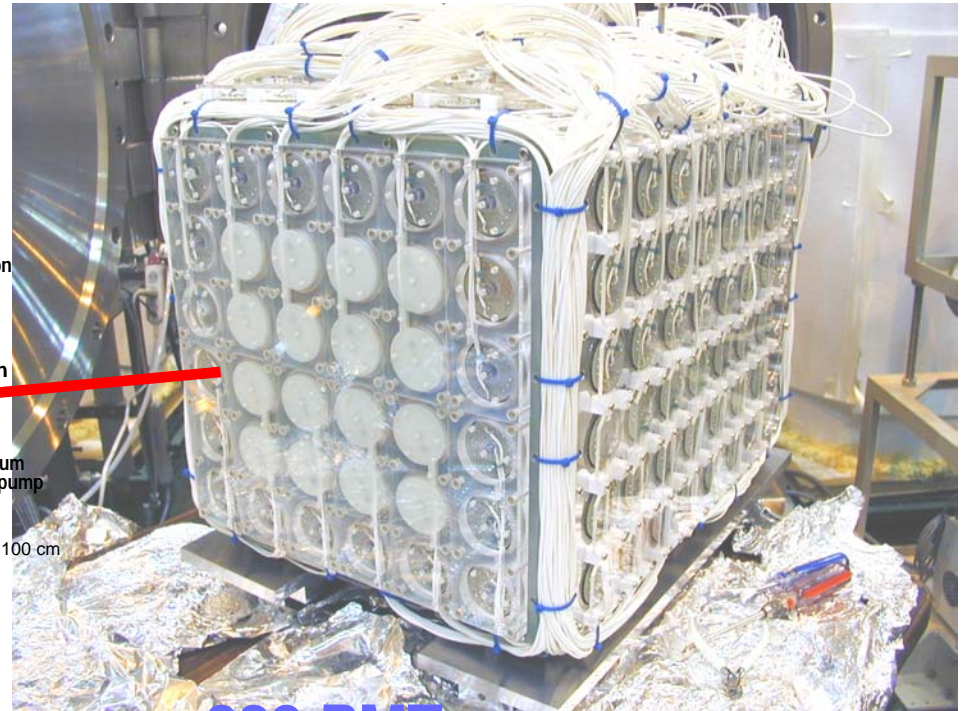
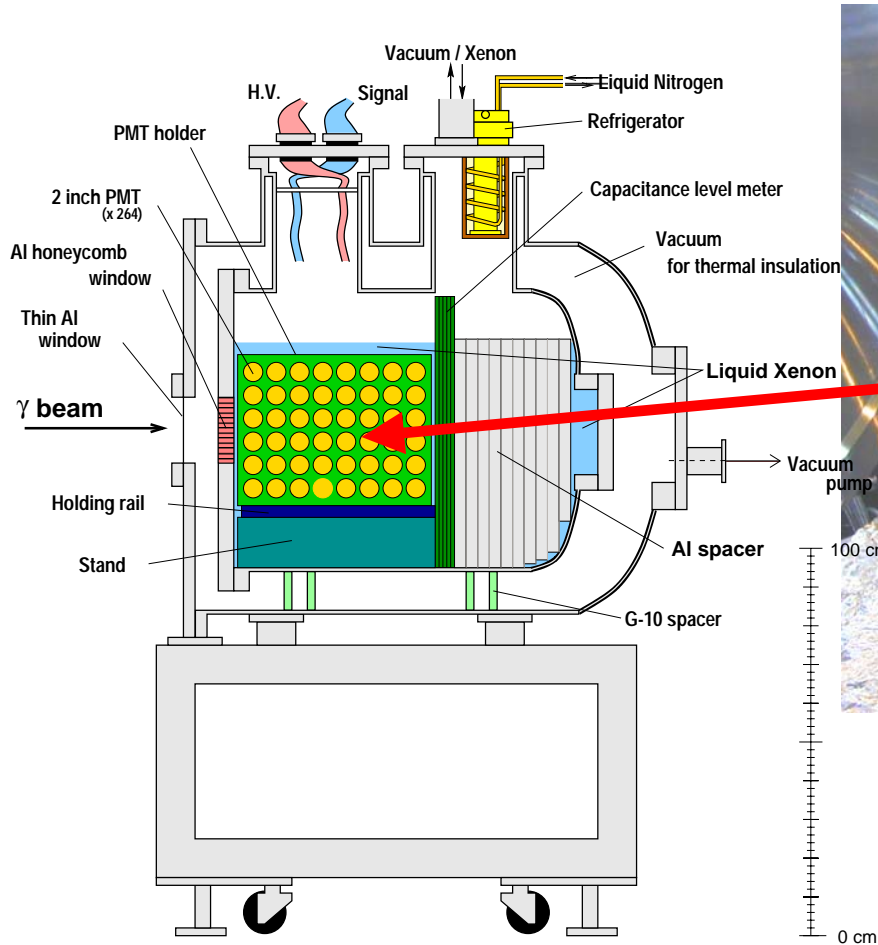
Test Result

52.8 MeV まで外挿すると
 時間分解能 ~ 50 psec
 エネルギー分解能 $\sim 1\%$
 位置分解能 ~ 2 mm



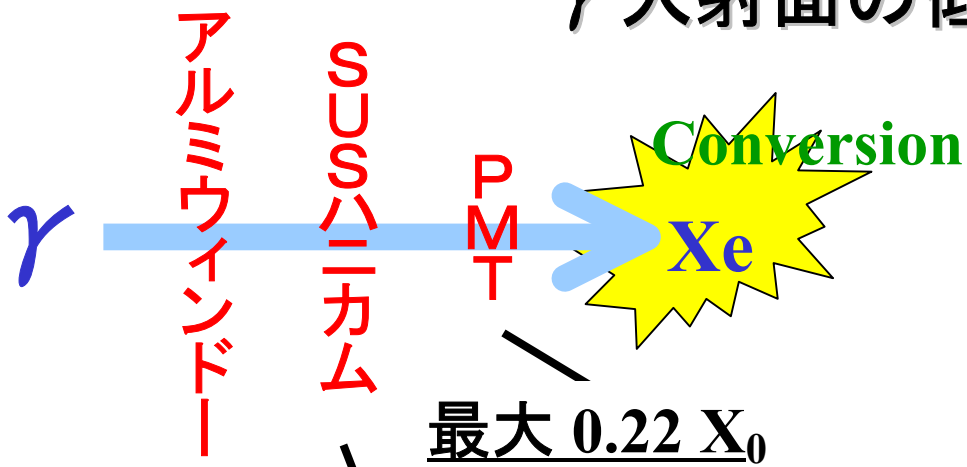
本当に52.8 MeV でそうなるの? → Large Prototype

Large Prototype

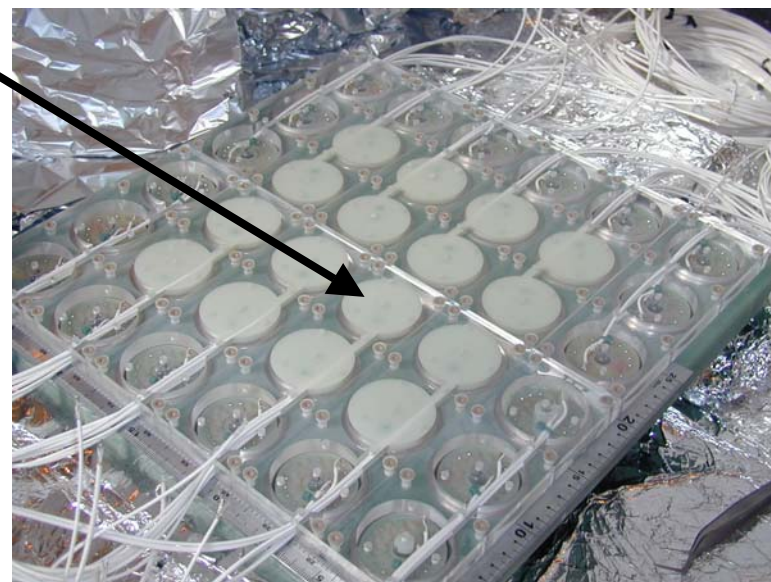
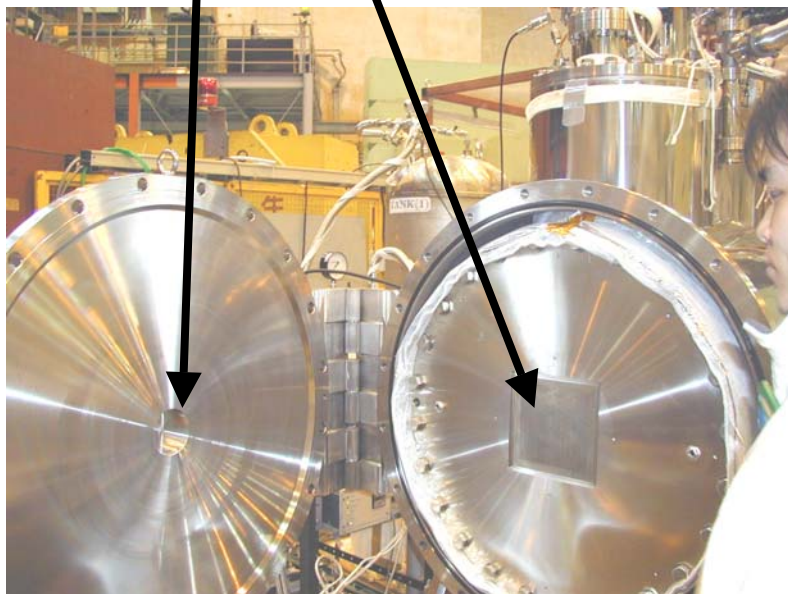


- 228 PMTs
- 68.6 liter LXe
- 40 MeV での性能評価

γ 入射面の低物質量化



	X_0 (cm)	厚さ
液体Xe	2.87	—
G10	19.4	$0 \sim 0.15 X_0$
アクリル	34.4	$0.009 \sim 0.04 X_0$
RTV	数十	$0 \sim 10^{-2} X_0$

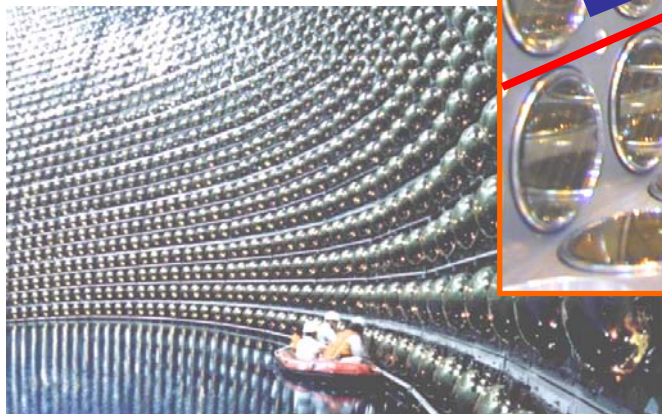
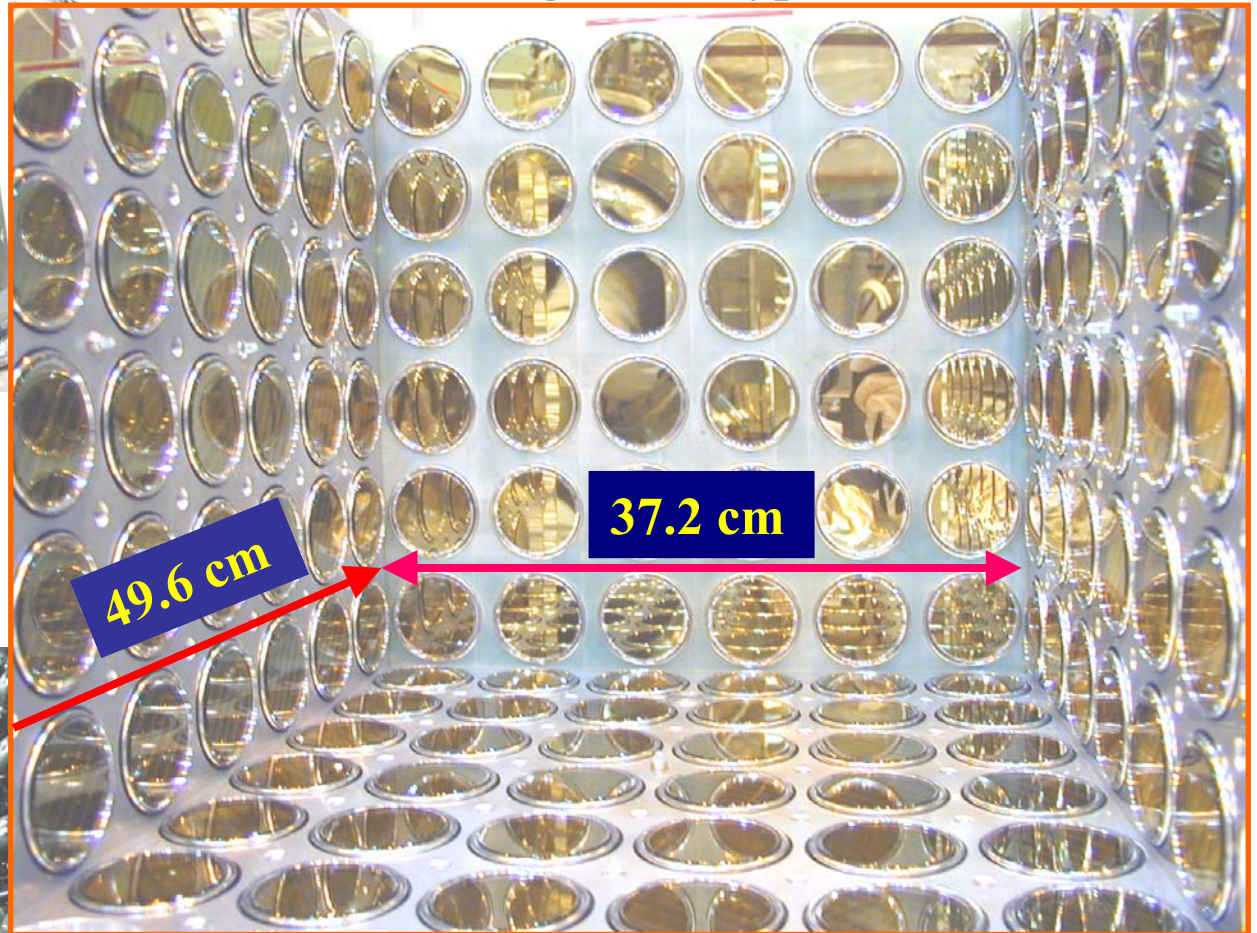


Mini – Kamiokande



↑ Small Prototype

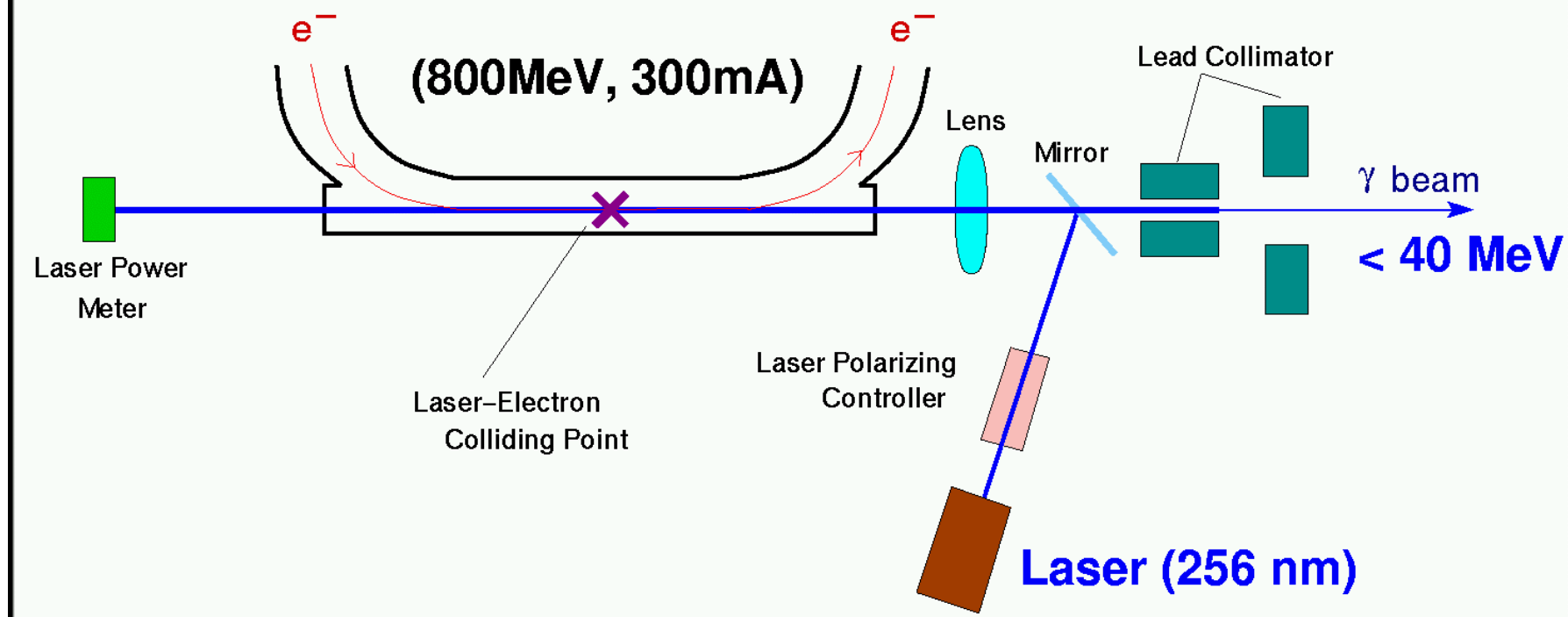
↓ Large Prototype



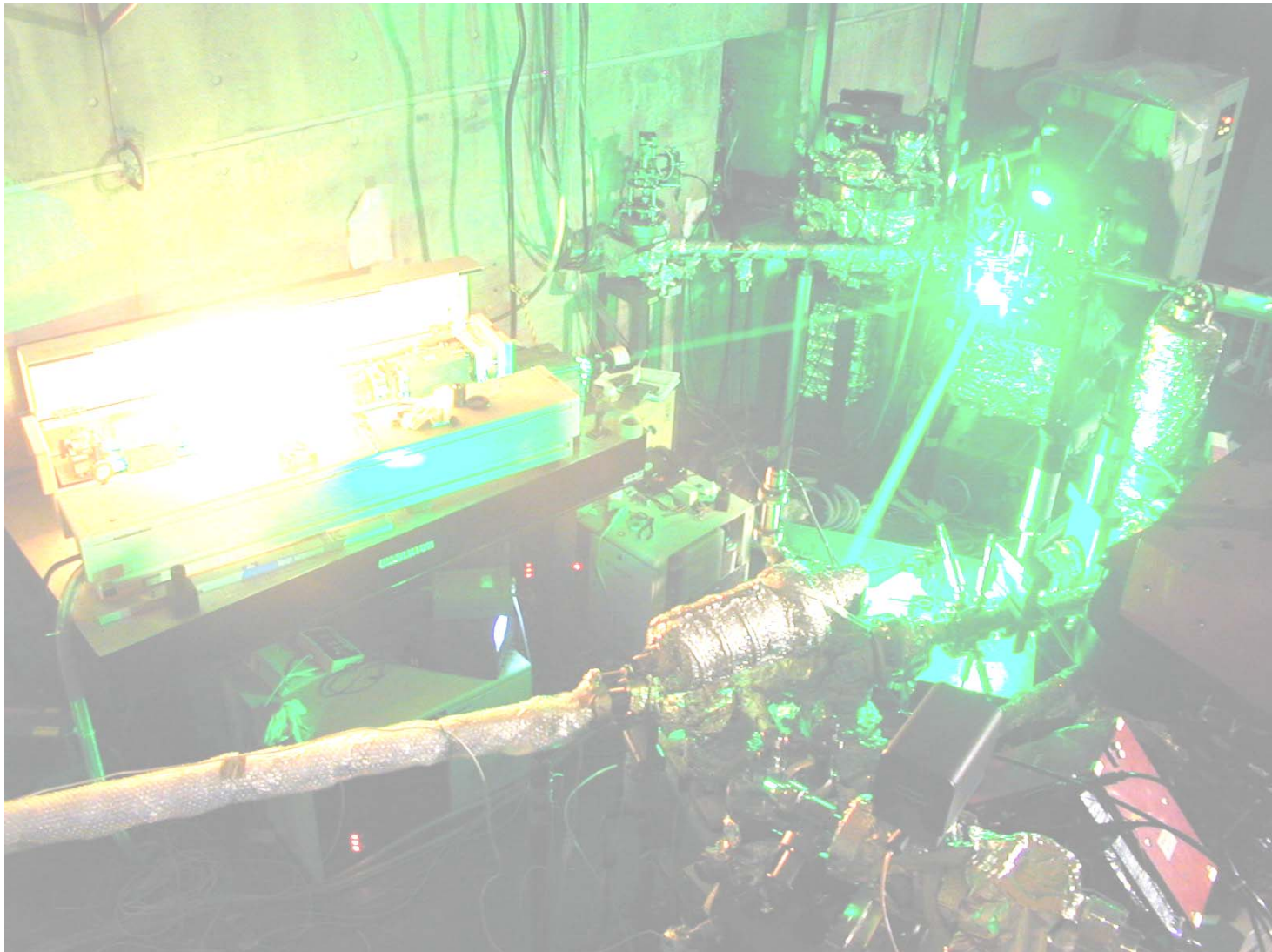
← Super Kamiokande (こっちの方がもちろんでかい！)

産業技術総合研究所

Storage Ring TERAS



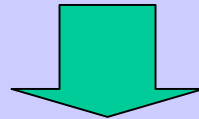
2 倍波モード(20 MeV)



パルス管冷凍機

- 70W@165K (圧縮機2.2 kW)で運転
- キセノン液化後約100時間の安定動作を確認
(キセノンの液化・回収には液体窒素を使用)

PMTの発熱(18W)、cableでの熱流入(約10W)が支配的。
本実験ではPMT数が4倍になるのでtotalで160Wにのぼる。



250W級冷凍機 × 2で液体キセノンを安定に維持

かつ

キセノンの液化・回収にも使えるようにする。

今回の実験の意義 — 予備実験 —

- 初の大型液体Xeカロリメータ
 - 200本を超えるPMTの動作確認
 - 冷凍機の安定動作の確認
 - トリガー、DAQ、配線の確認
 - 分解能評価
- あらゆる問題を洗い出し、
10月の産総研におけるビームテストで
最終的に検出器の性能評価する。

性能評価方法

入射させる γ 線

- electron による tag はしない。
- monochromatic な γ 線ではない。(コンプトンエッジ)
- 直径1mm のコリメータにより全エネルギーを入射させる。

評価方法

エネルギー:

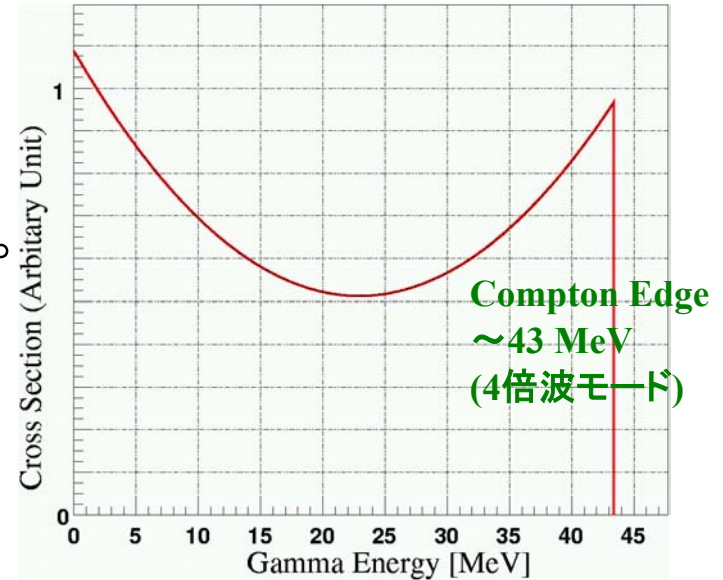
PMT に入射した全光量を算出し、**コンプトンエッジの広がり**から求める。

位置:

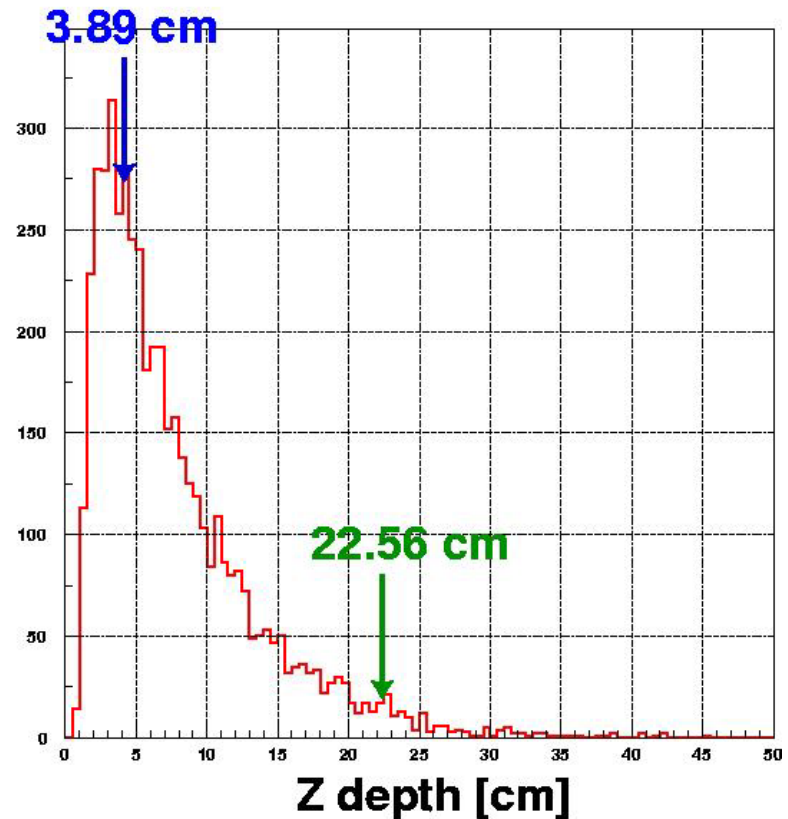
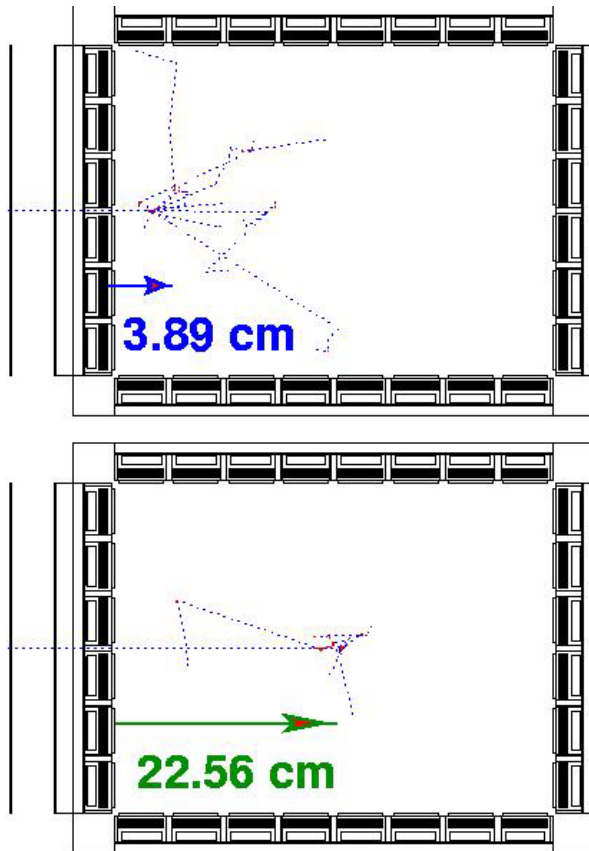
PMT に入る**光量の分布**より求める。

時間: 入射光量の多いPMTからの
TDCデータより求める。

- **位置・時間分解能**については、検出器を二分し、
それぞれで得られる**位置・タイミングの差**を分解能とする。



GEANT3 によるM.C. simulation

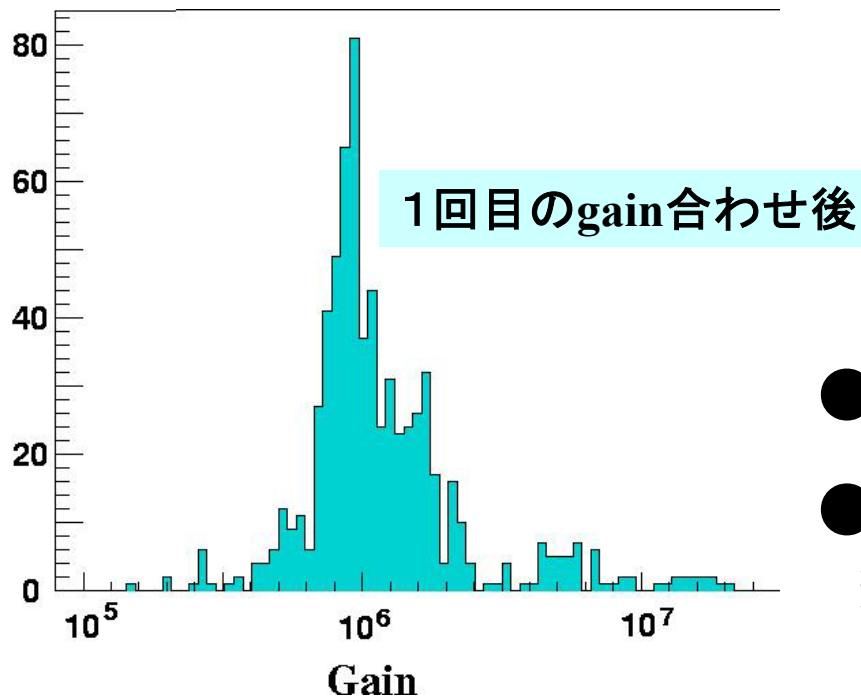


位置分解能: $\delta x, \delta y \sim 4\text{mm}, \delta z \sim 16\text{mm}$ FWHM

エネルギー分解能: 1.4% FWHM

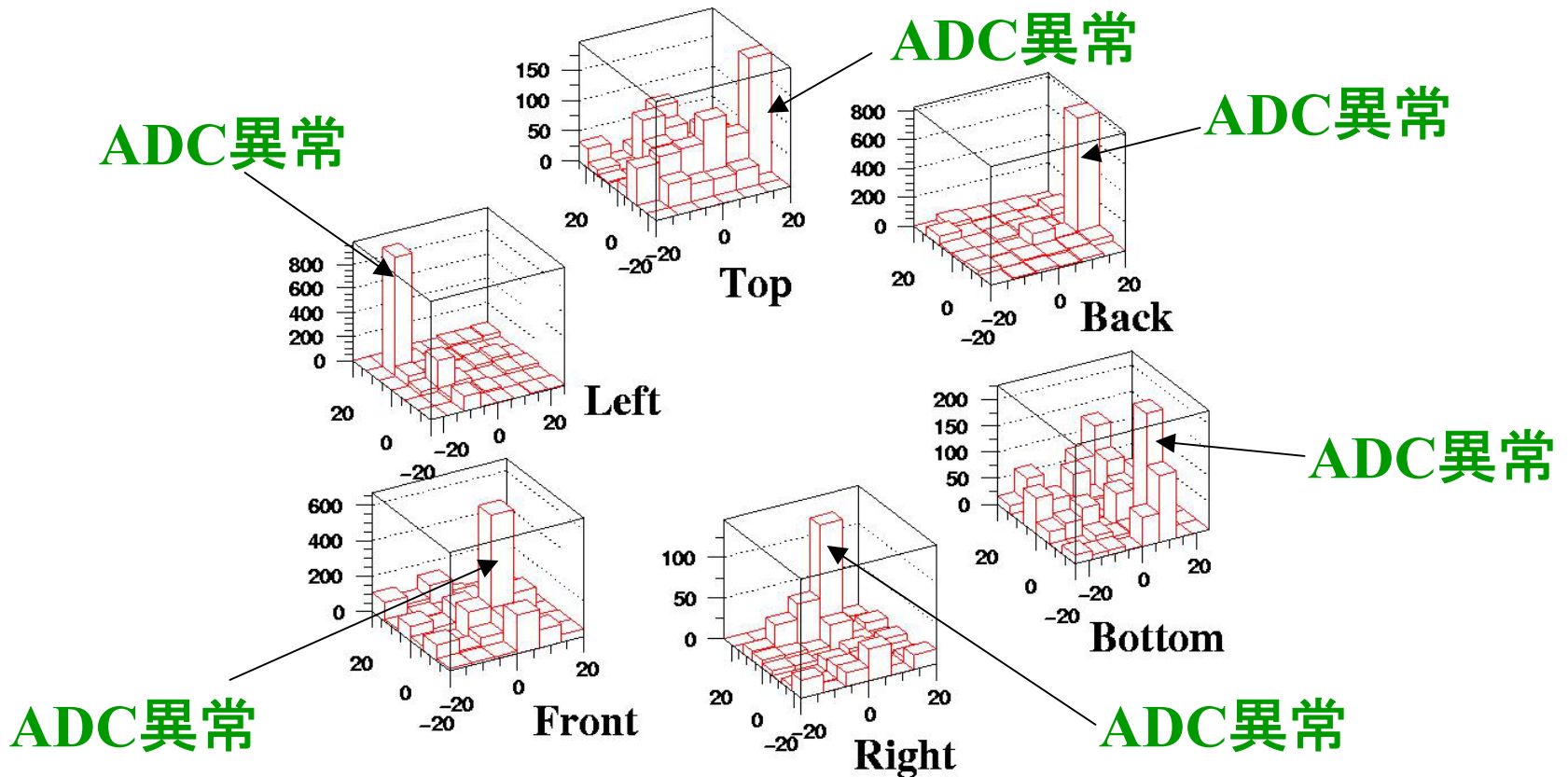
LED による PMT の gain 較正

- 検出器内部8ヶ所に設けた LEDを光らせ gainを算出。



- gain は 10^6 に設定
- HV調整とLEDによるdata収集を繰り返してgainのばらつきを1%以内に抑える。

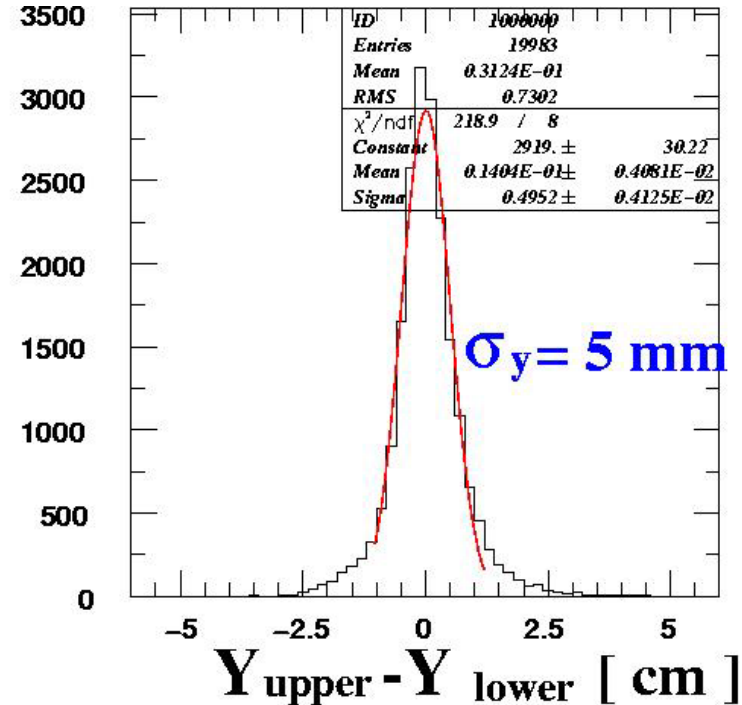
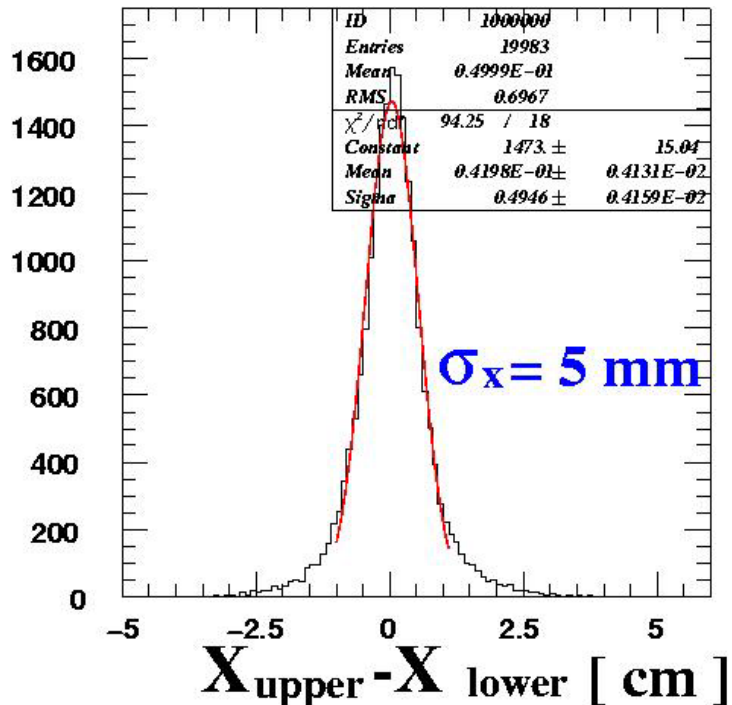
実験データ



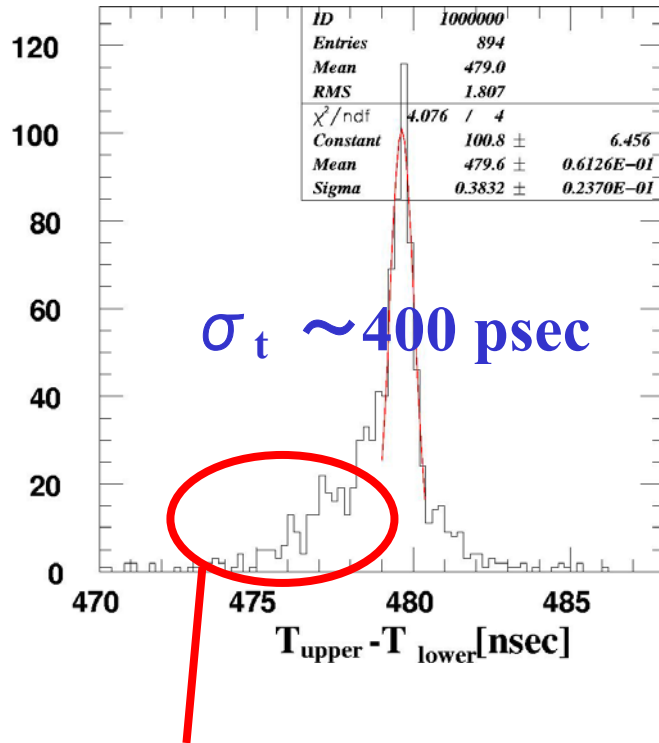
Gain 較正が正しく行われず、gain の高い玉がADCのampを破壊。それをきっかけに雨後の筈の如く次々にADCが発狂。

位置分解能

- gain 較正及びADCに異常のない玉は**10本**
- それらを2つのグループに分け、それぞれの**光量重心**を求める。その差を位置分解能とする。



時間分解能



- 位置分解能同様2つのグループに分け、それぞれのTDCの平均値を求め、その差を時間分解能とする。
- ADC異常のためTime Walk補正が不可能。

ADCの値を用いてTime Walk補正が出来ないため
光量の少ないeventがtailを引く。

予備実験を終えて

- 冷凍機の安定した動作が検証できた。
- DAQおよびトリガーは期待通り動いた。
- ADCに対する保護回路が必要。
(例えばbuffer amp. や attenuator や divider を入力前に設ける)
- gain 較正を正しく行えばADCは暴走しない。
- 十分な分解能評価はできなかった。
- 同じ過ちを2度してはいけない。次は成功します。

今後の予定

- 故障したものの修理
 - HV, ADC, PMT の修理・交換
- 正確な gain 較正方法の確立
- 貴重なデータをもとにシミュレーションの tuning
- Xe のシンチレーション光の **attenuation length 測定**
→ 宇宙線を使った測定は澤田の talk で。

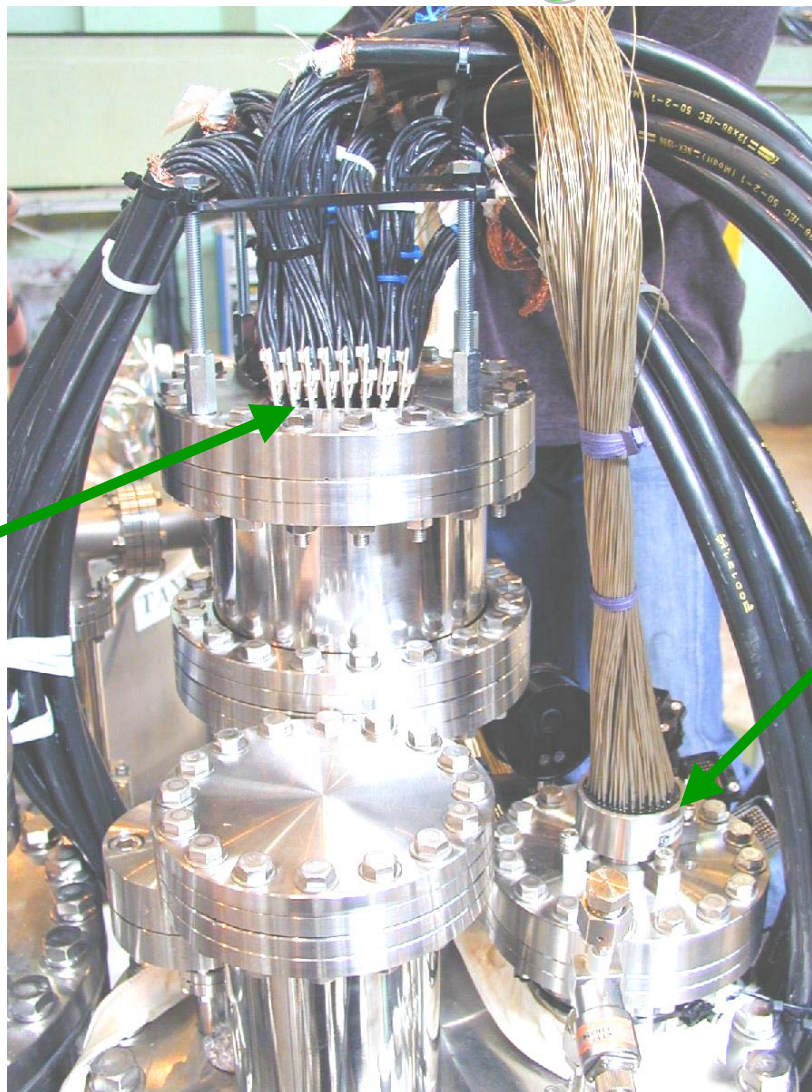
10月中旬より産総研にてビームテスト開始

詳しくは...

<http://meg.icepp.s.u-tokyo.ac.jp>

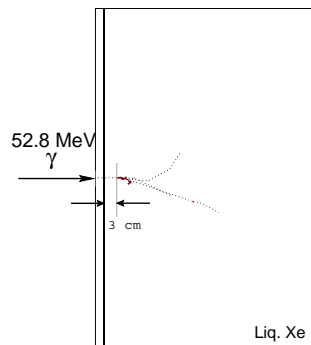
Feedthrough

Signal

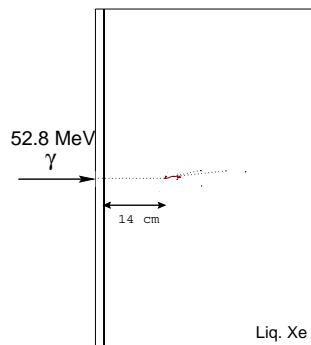
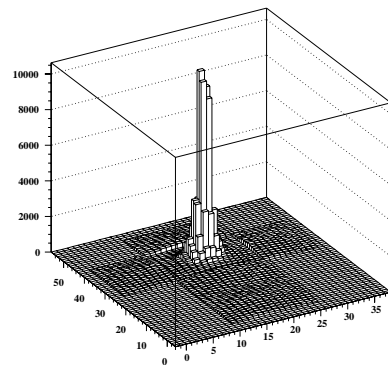


HV

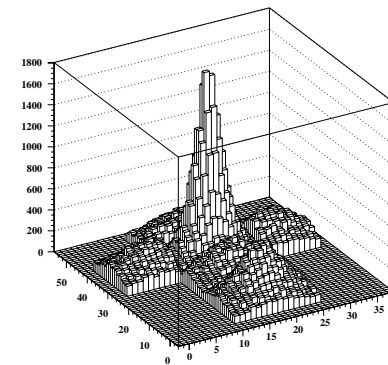
GEANT3 によるM.C. simulation (old data)



(a)



(b)



- Signal is distributed over many PMTs in most cases
- Weighted mean of PMTs on the front face
→ $\delta x \sim 4\text{mm}$ FWHM
- Broadness of distribution
→ $\delta z \sim 16\text{mm}$ FWHM
- Timing resolution
→ $\delta t \sim 100\text{ps}$ FWHM
- Energy resolution
~ 1.4% FWHM
depends on light attenuation in LXe