

液体キセノングループ報告

KEKDTP重点レビュー、2008年7月8日、KEK

田内利明

KEK：冷凍・純化システム、PMTシステム、TPC、テスト

田内利明、真木晶弘、春山富義、田中秀治、三原智、佐伯学行
笠見勝裕(冷凍システム構築)、鈴木祥仁 (モニター:Labview)

佐賀大：TPC、TPC/PETシミュレーション、テスト

杉山 晃、東貴俊 (D2)

東大：TPCテスト

森研究室、金子大輔 (M2)

放医研：PETとしての性能仕様とシミュレーション

熊田雅之、富谷武浩、寅松千枝

横浜国大：液体キセノン基本特性

中村正吾

協力支援：KEK素核研回路室、田中真伸氏

レビュワー：宮島光弘氏 (早稲田大)、海野義信 (KEK)

前回レビュー(3/17, 2008)でのまとめ

- 冷凍機の運転開始は4月下旬（システムの準備はできている）
 - クリーンルーム電源
 - コントロール用配管ラック
 - モニターシステム
- TPC本体（部品準備OK）
 - 部品準備
 - 読み出し、HV
- 液化システムの安定運転確認後の計画
 - グリッドにかける電場のシミュレーション（継続）
 - 収集電荷の電場依存性の確認（Xeの温度依存もできれば）
 - PMTのキャリブレーション（線源を用いる）
 - TPCとしての信号をオシロで確認後、CAMACでデータ収集
 - 読み出し部分のクロストークチェック
- 一番の問題は人手不足（実働）
 - 読み出しエレキ部分がまだ手付かず（図参照）
 - TPCグループ以外でエレキに興味をもってくれるところを当てる。

2008年度予定

1. TPCの基本性能測定 (継続)

2. 現在の真空テスト容器を使用して、 $2 \times 4 = 8$ 個の光電子増倍管 (PMT)、ドリフト距離12cm程度のTPCを作成する (基本性能試験)。このシステムにより、PMTマトリックスからのガンマ線反応時間の精密測定、その反応位置の3次元概略情報 (Region of Interest) 等の最小システム構築

3. エレクトロニクスの基本設計

- エレクトロニクスシステムグループの協力

4. TXePET シミュレーション (GATE, 性能評価)

- 放医研メンバー?、新人?

2008年度予算の概算

- (1) TPC本体 180万円
- (2) PMT用HV電源 70.5万円
- (3) PMT用HV分配器 37万円
- (4) PMT 8本 140万円
- (5) 液体キセノン液化・純化システム関係 100万円
- (6) READOUT electronics 200万円
- 合計 627.5万円 + 100万円 (液体Xe関係)

400万円承認

『PMTは買わない、PMTHV電源とリードアウトエレキを充実させよ』

2008年度 員等旅費要求額

佐賀大：1,001,500円

東大：294,000円

横浜国大：112,600円

放医研：91,900円

合計：1,500,000円

ホームページ

<http://www-jlc.kek.jp/~tauchi/index/LXeTPC/homepage/>

液体キセノン検出器

[English page](#)

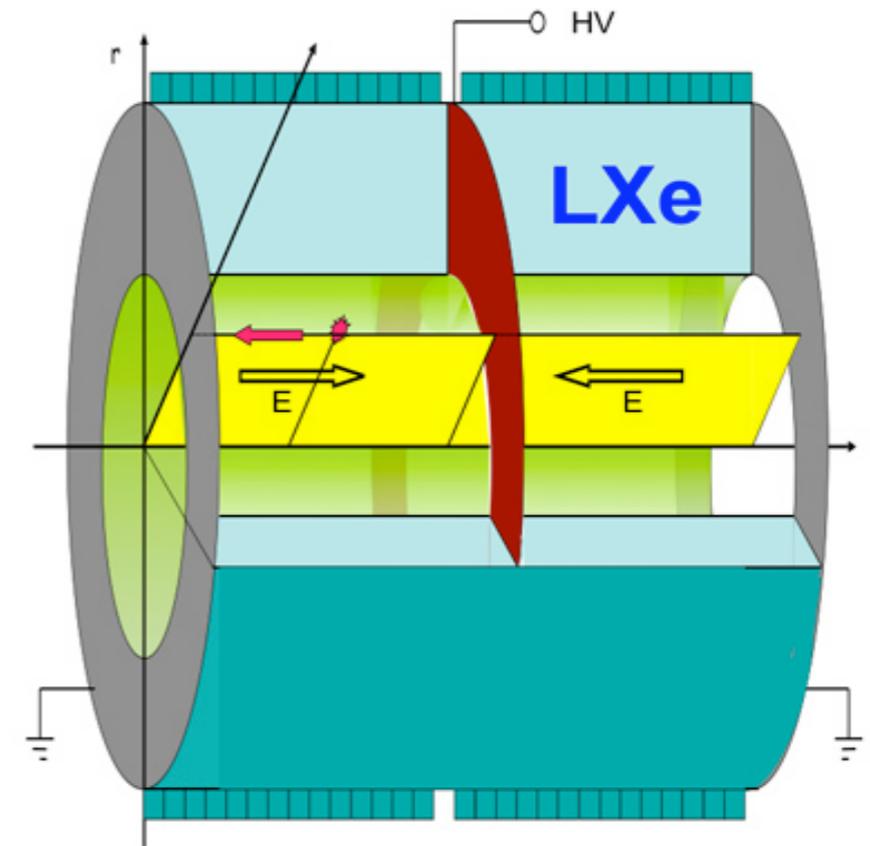
本研究開発の目的は、液体キセノンタイムプロジェクションチェンバー (TPC) を用いた、keV~MeVのエネルギー領域のガンマ線の3次元位置、時間及びエネルギーの高分解能検出器の開発である。

[お知らせ](#)

[定例打ち合わせ等のメモ・資料](#)

[レポートや資料](#)

[リンク](#)



液体キセノンTPCの概念図：
大きな画像 (144KB)はクリックするとダウンロードされます。

定例打ち合せ等のメモ・資料

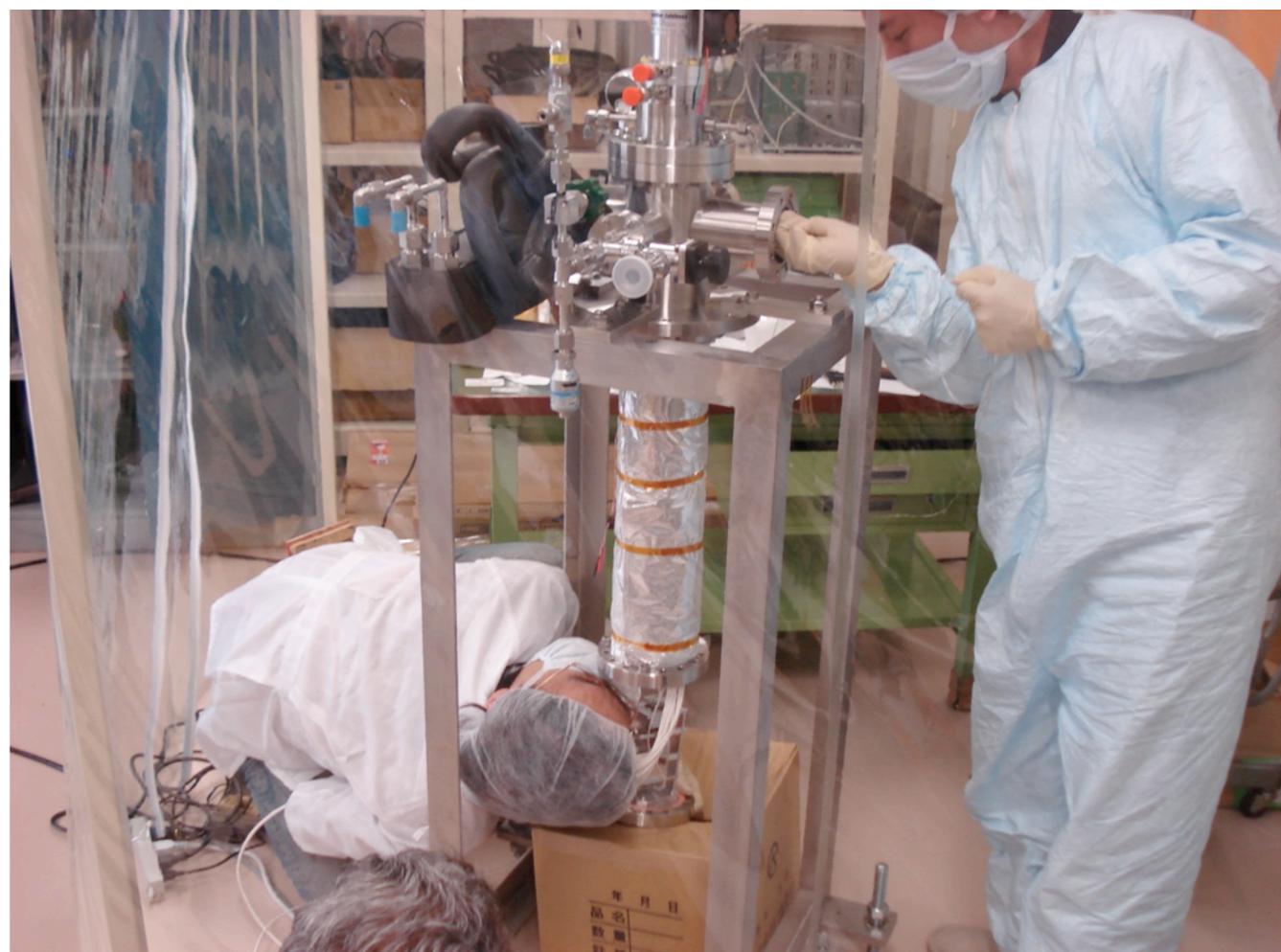
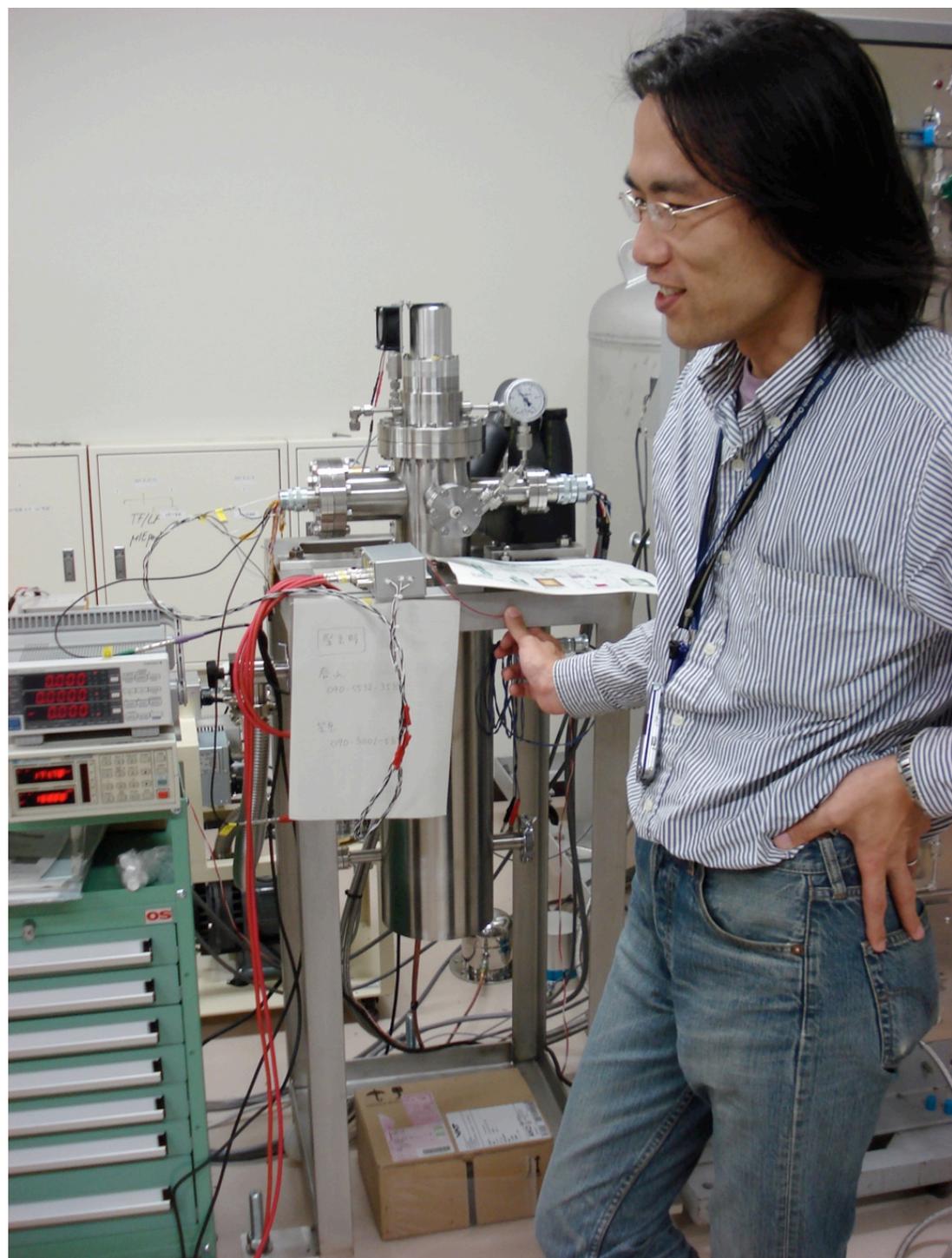
- [2008年7月3日](#); Nantes Subatech訪問、薬品類の保管、TPC試験報告、その他
- [2008年6月19日](#); 冷凍機関係、予算執行手続、測定関係、その他
- [2008年6月12日](#); 予算執行、来週以降の予定、主な試験項目、その他
- [2008年6月5日](#); 試験結果と宿題、その他
- [2008年5月22日](#); 新人紹介、冷凍・液化システム運転状況、TPC冷却試験状況、その他
- [2008年5月15日](#); TPC冷却試験計画、MEG トリガーボード、その他
- [2008年5月8日](#); TXePETロードマップ、液体キセノン低温試験報告、TPC準備状況、その他
- [2008年4月30日](#); 4/24 KEKDTP Review報告と質問状・回答、冷凍機の試運転、TPC準備状況、その他
- [2008年4月17日](#); インタビュー、TPCと液化システムの準備状況、低温用アンプ、その他
- [2008年4月10日](#); 共用施設のクリーンルーム使用方法、TPC準備状況、その他
- [2008年4月3日](#); 3/17レビューの報告、キセノン液化準備状況、TPC準備状況・配線チェック、 α 線 (Am) ソース、そして、アンプ、純化装置、その他
- [2008年3月13日](#); 定例打ち合せに代えて近況の報告
- 2008年2月28日; 実験室でのクリーンブースの組立て作業 - 無事終了
- [2008年2月21日](#); TPCのプロトタイプの準備状況(ケーブル配線、テストパルス試験)、液化システム組立て予定、工程表作成、密封線源、その他
- [2008年2月14日](#); 定例打ち合せに代えて近況の報告
- [2008年2月7日](#); TPCのプロトタイプの準備状況、配電盤工事終了後の予定、その他
- [2008年1月31日](#); TPCのプロトタイプの準備状況、ハンダ、超音波洗浄機、ブース、RG188ケーブル、TXテクノロジーショウケースのポスターセッション報告、その他
- [2008年1月24日](#); 今年度予算執行状況と予定、放射線チェックソースの保管場所、その他
- [2008年1月9日](#); TPCシミュレーション、洗浄、液化装置の新実験室への搬入、その他
- [2007年12月25日](#); 新実験室の現状、特に配電盤工事、今後の作業計画、その他
- [2007年12月7日](#); 進捗状況、TPC用部品、発注リスト、その他
- [2007年11月29日](#); 測定器開発室11月例会議での中間報告結果、新実験室の様子、今後の作業計画、その他
- [2007年11月22日](#); reviewer決定、測定器開発室11月定例会での報告、購入リスト、その他(議論、作業計画等)
- [2007年11月15日](#); プロトタイプTPC、予算執行、科研費申請、[NMLコンプレッサー室](#) [マスター工程表](#)
- [2007年11月1日](#); 冷凍機システム
- 2007年10月18日; [パッドデザイン](#)
- [2007年10月11日](#); TPCイメージ図、予定表、科研費
- [2007年10月4日](#); 整電部材料の最終提案、パッド、PMT固定部の設計

6/10 常陽新聞掲載『つくばIN』

6/3 常陽新聞からの再取材

5/22 最初のシンチレーション光
の観測

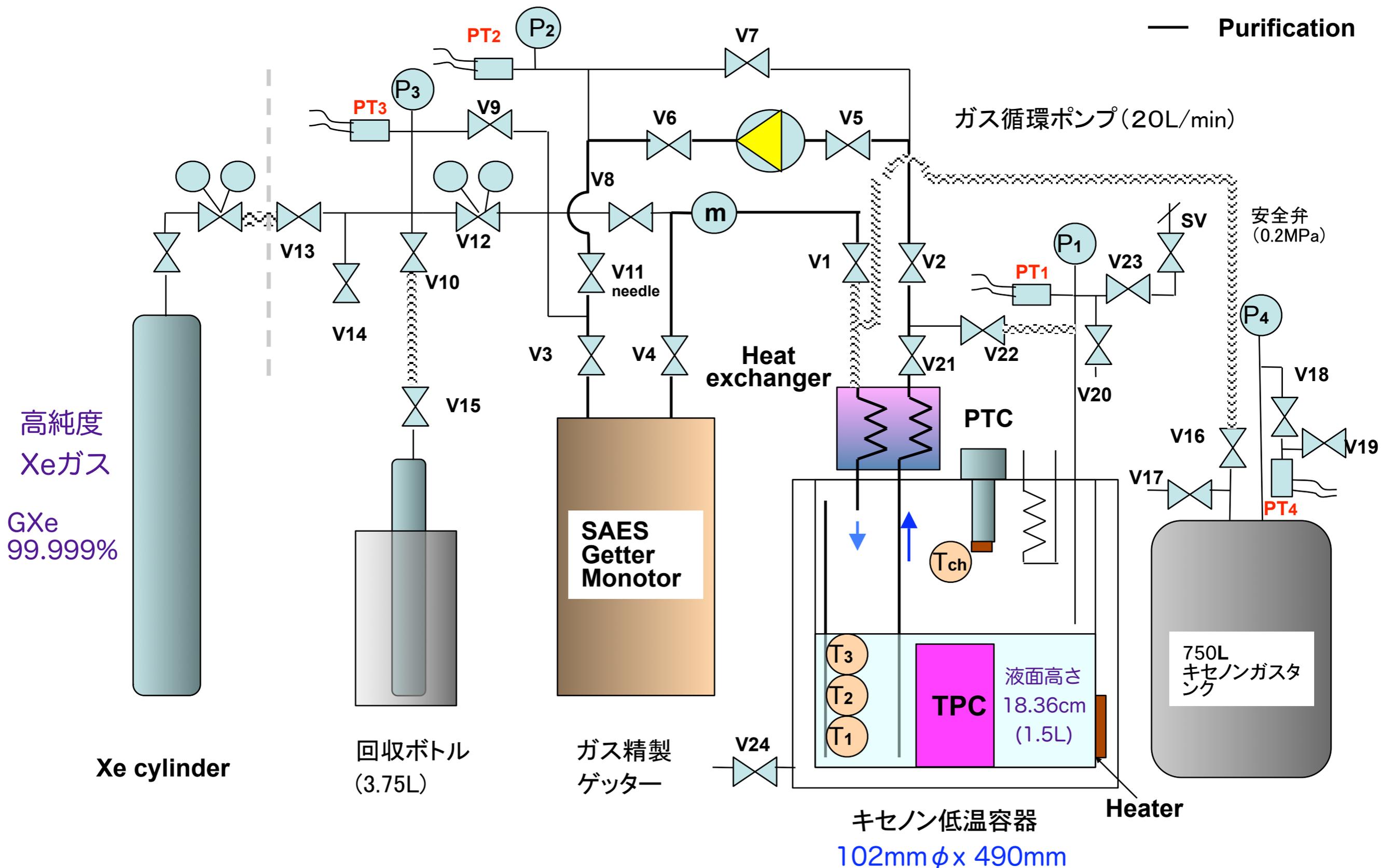
平成20年(2008)5月22日
シンチレーション光観測



液化・純化システム

June 2008

オイルフリー・ダイアフラムポンプ（エノモト）によるガス循環精製



LXe Cryogenic system at KEK

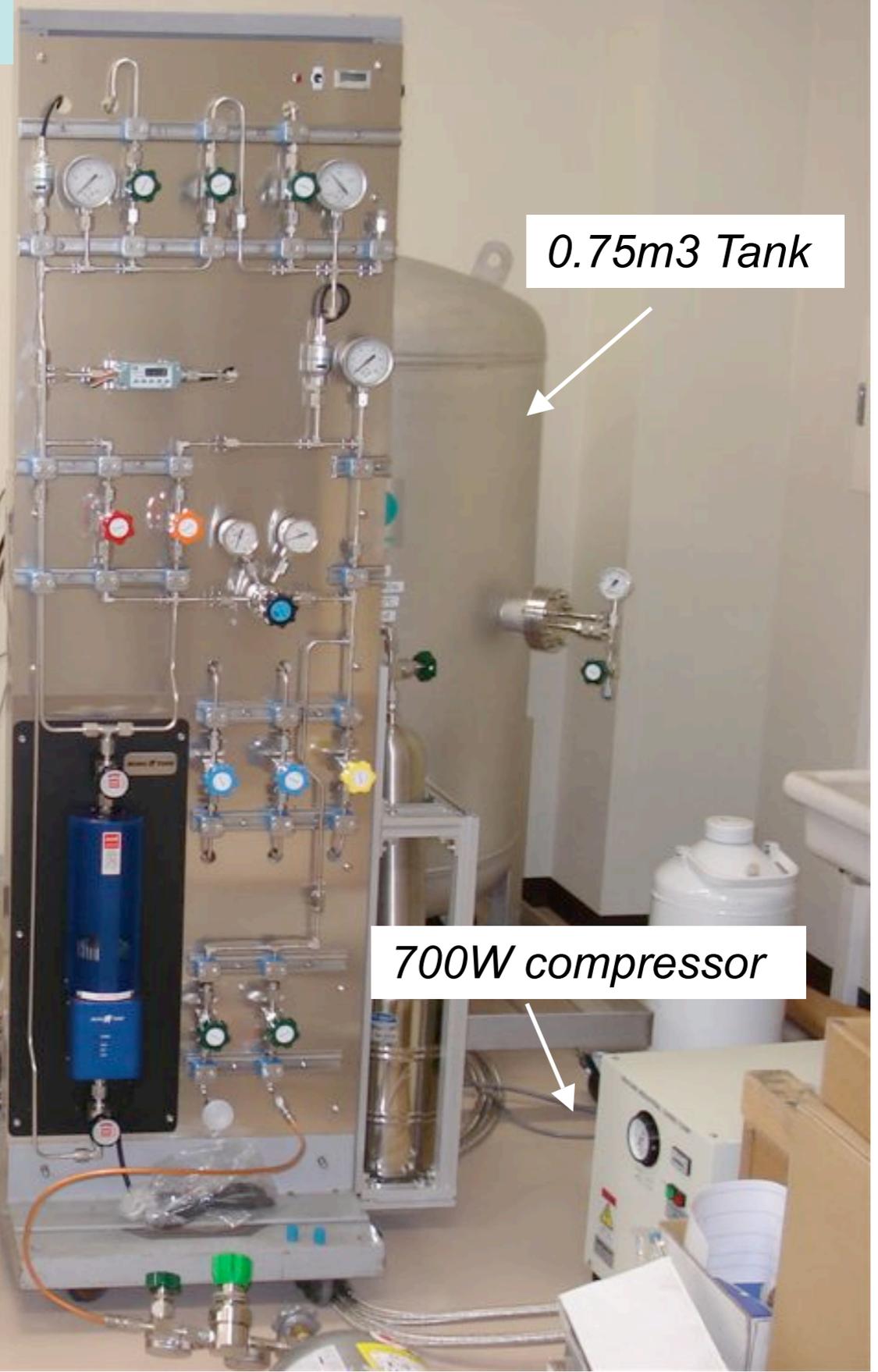
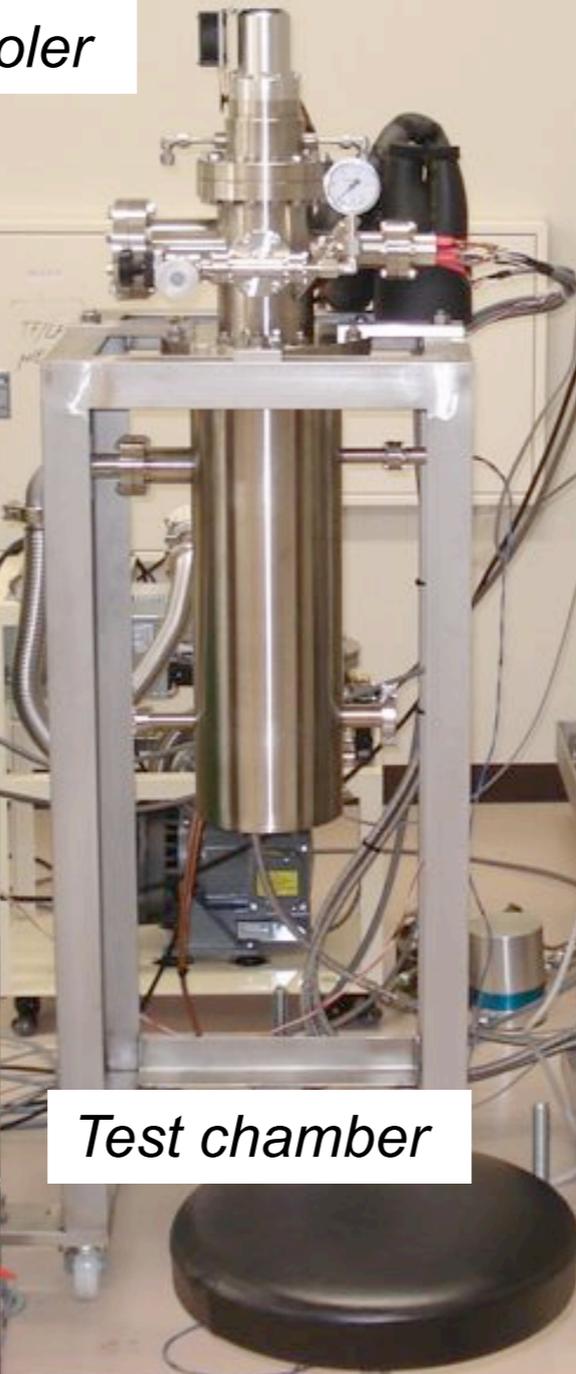
Gas handling panel

PT Cryocooler

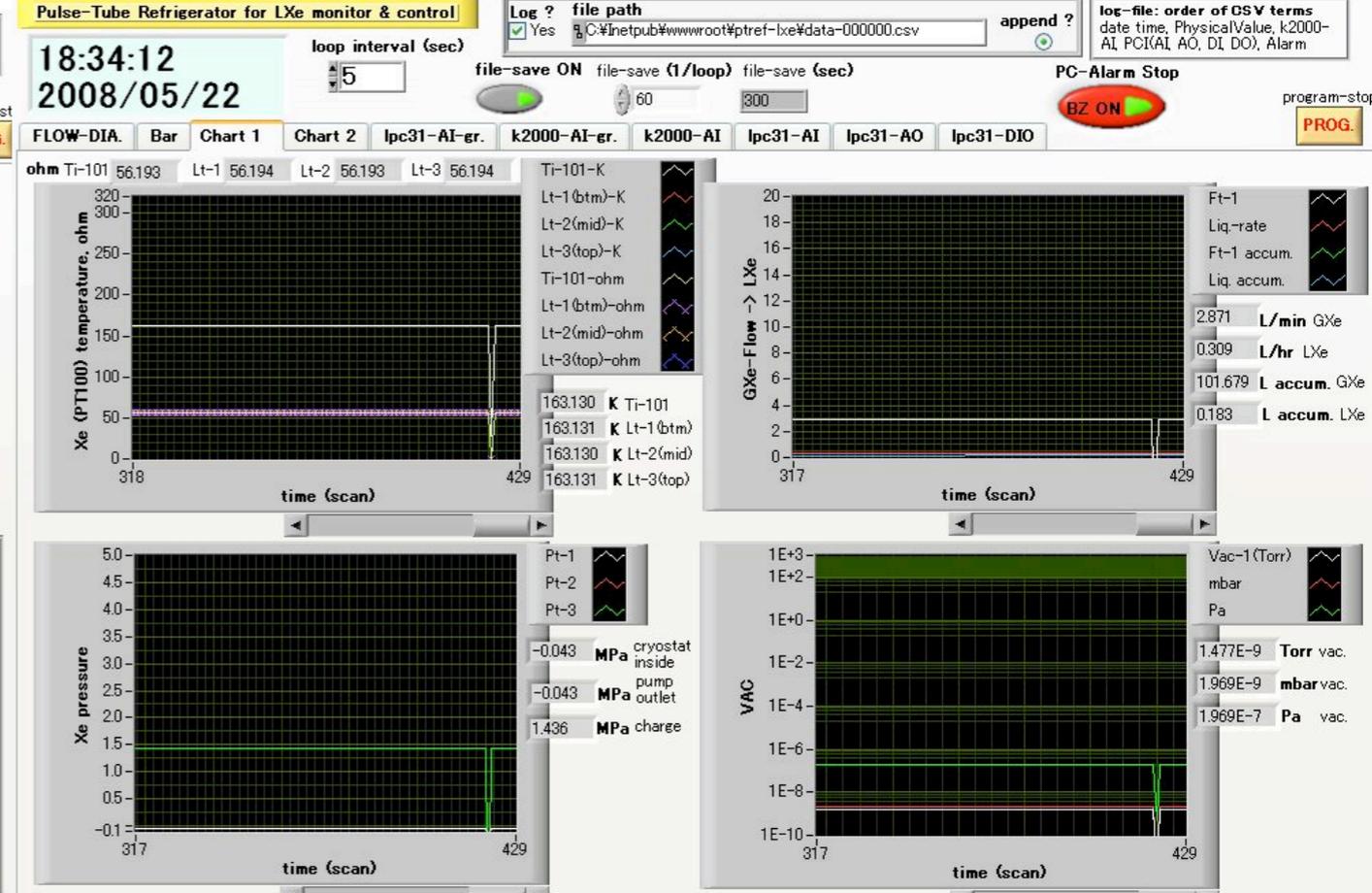
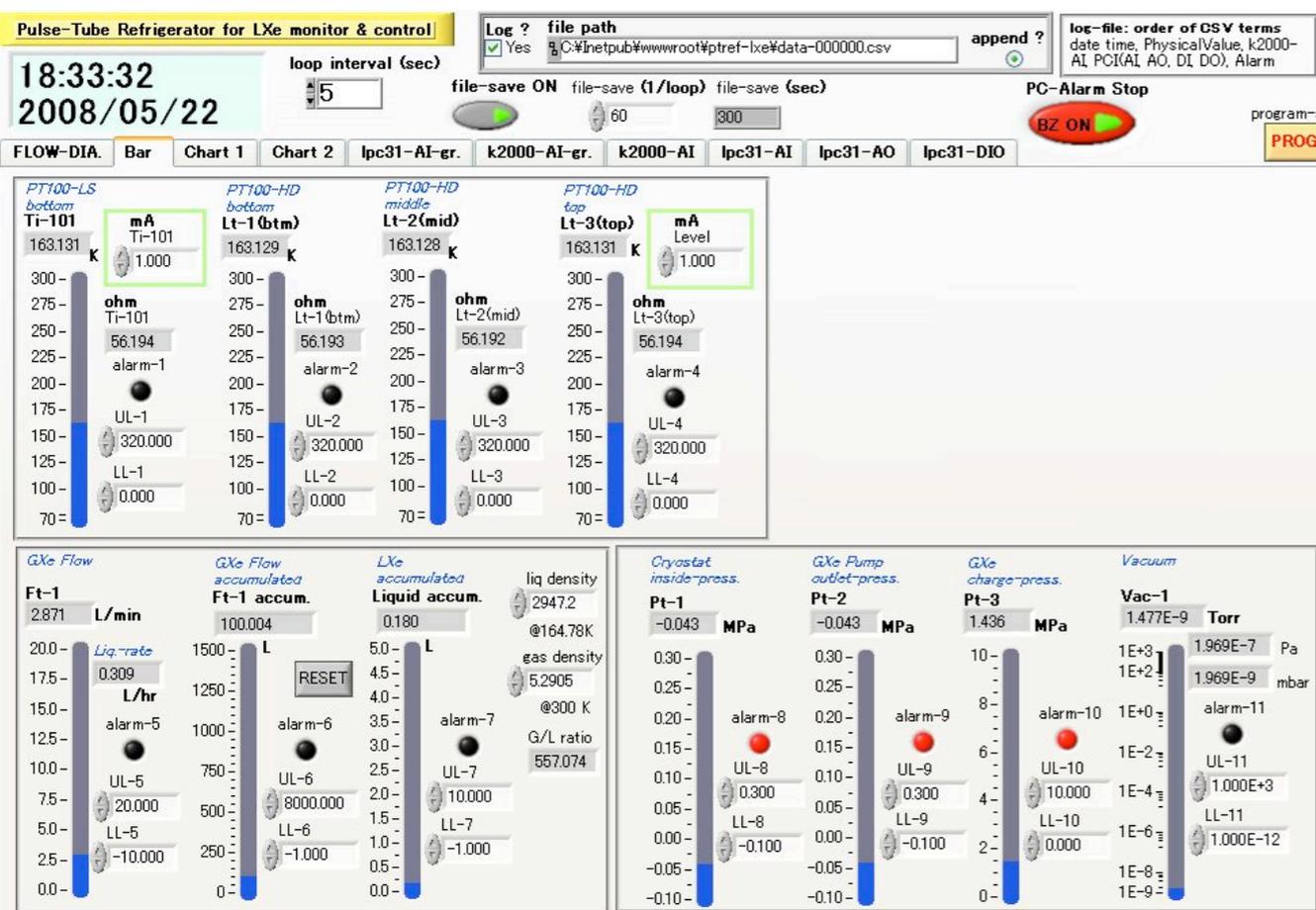
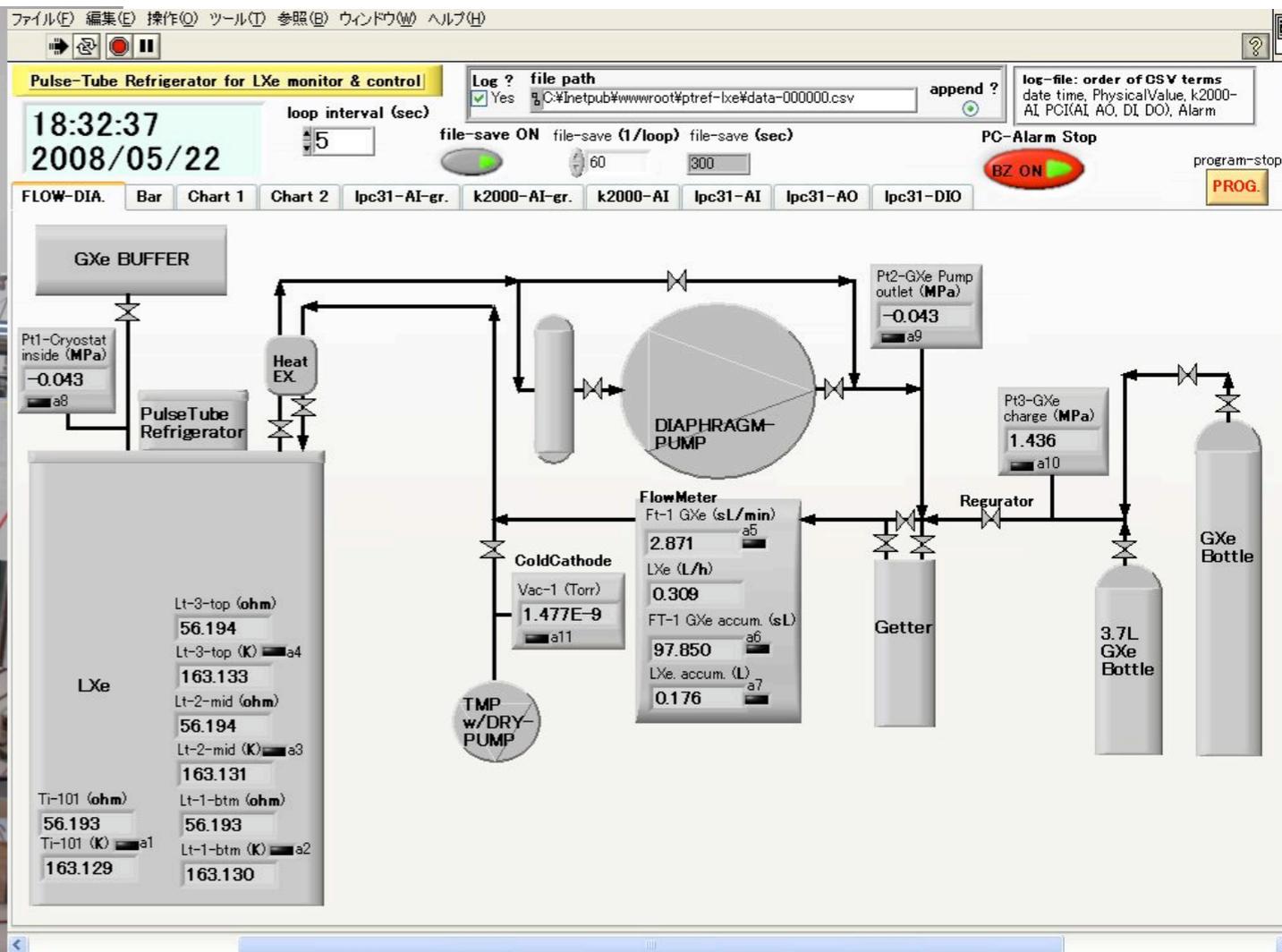
0.75m³ Tank

700W compressor

Test chamber

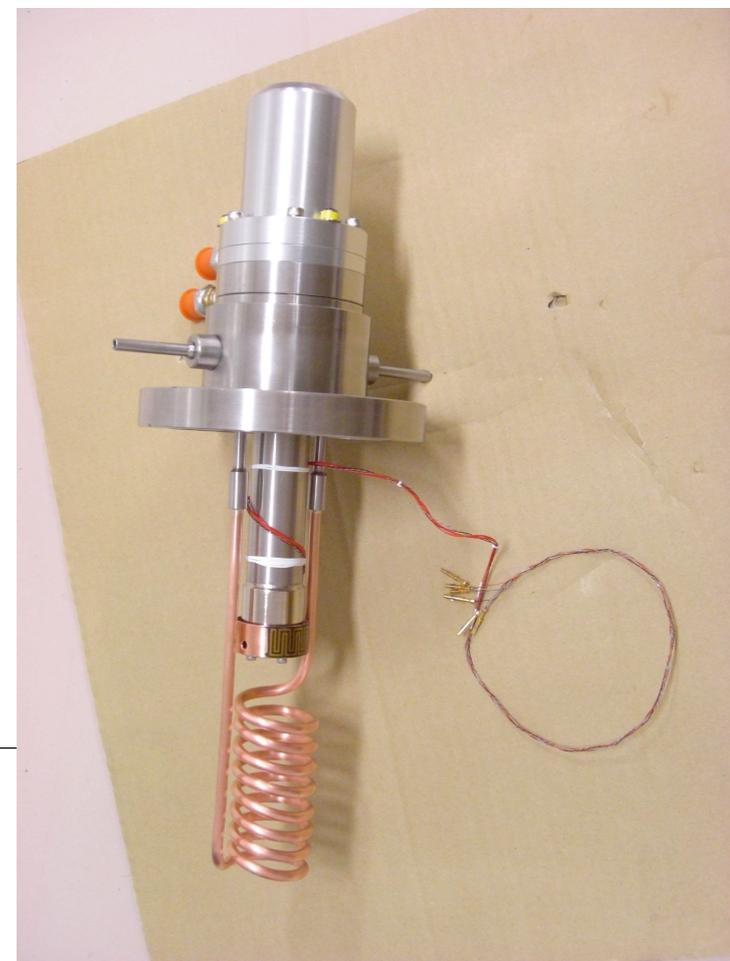


モニターシステム

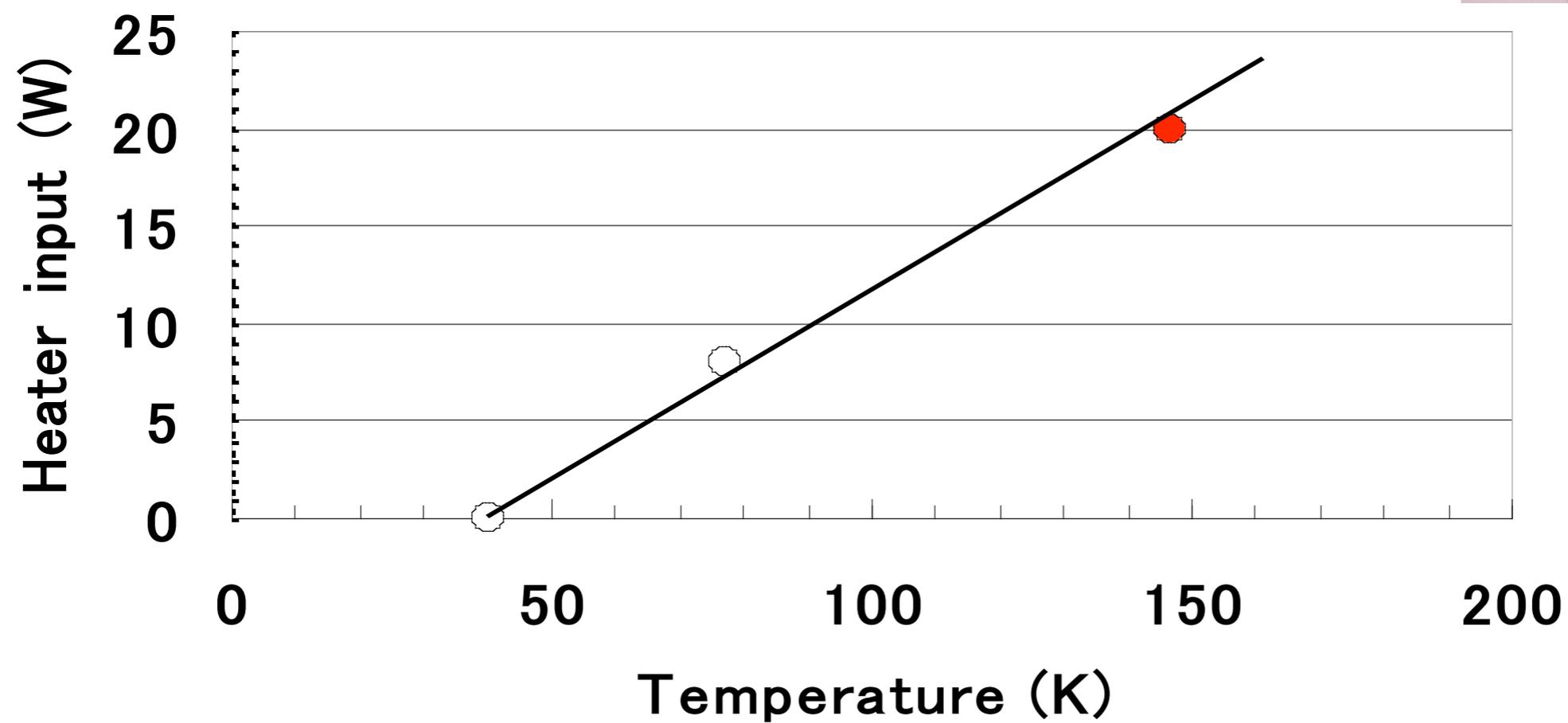


Cooling test of miniature PT Cryocooler

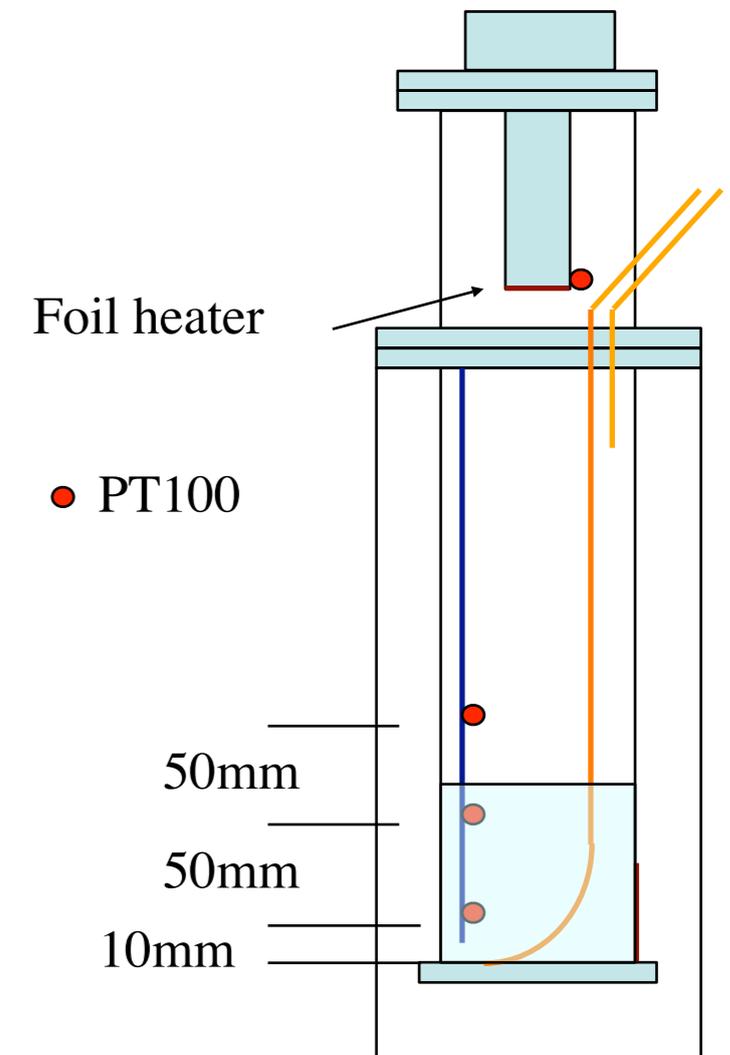
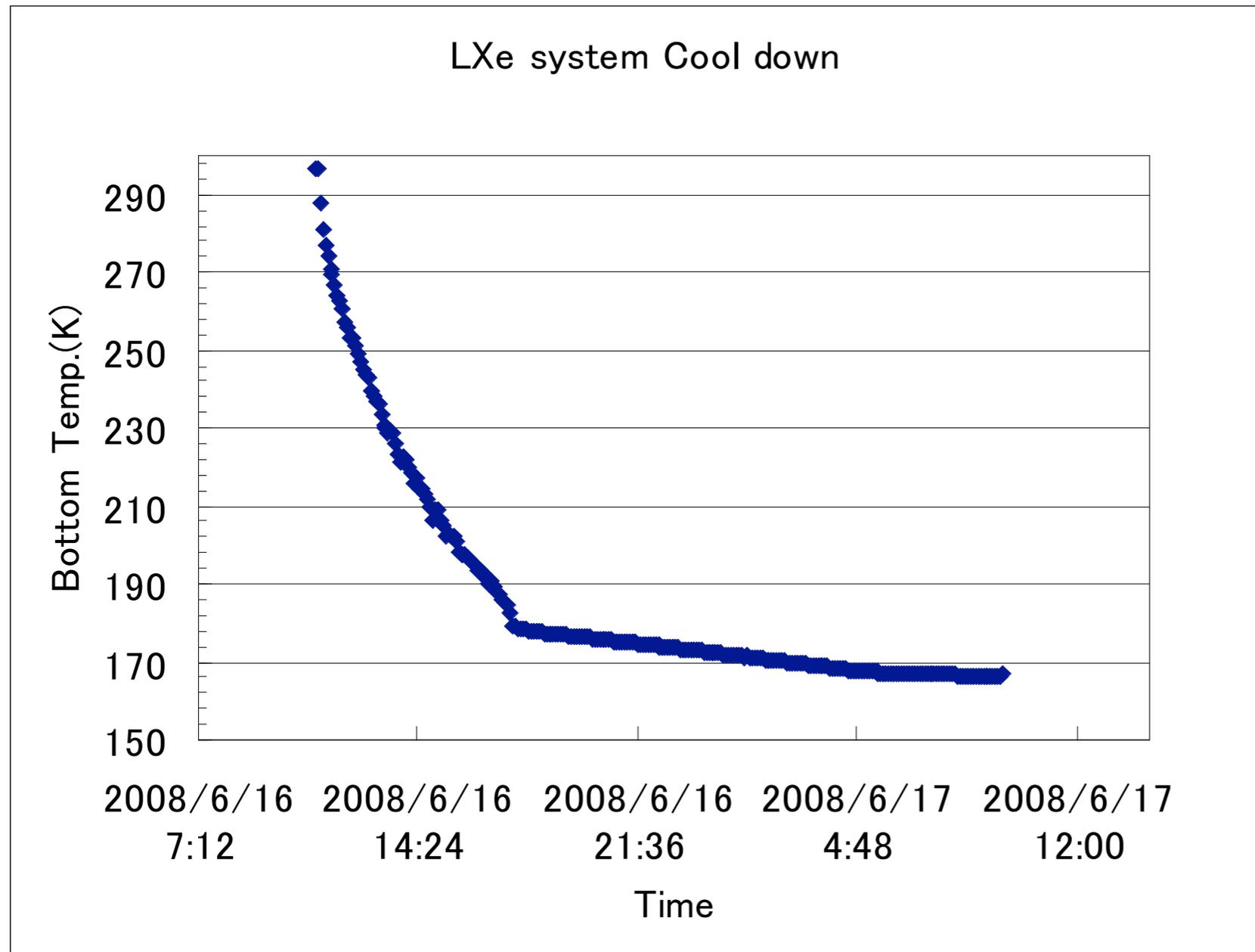
- PTR PDC08(8W at 77K:Iwatani)
- Air cooled compressor (700W at 50Hz)
- 20W at 147K confirmed → **24W at 165K**



Cooling Power PDC080 08/04/30



Cooling, Liquefaction, Pump circulation test



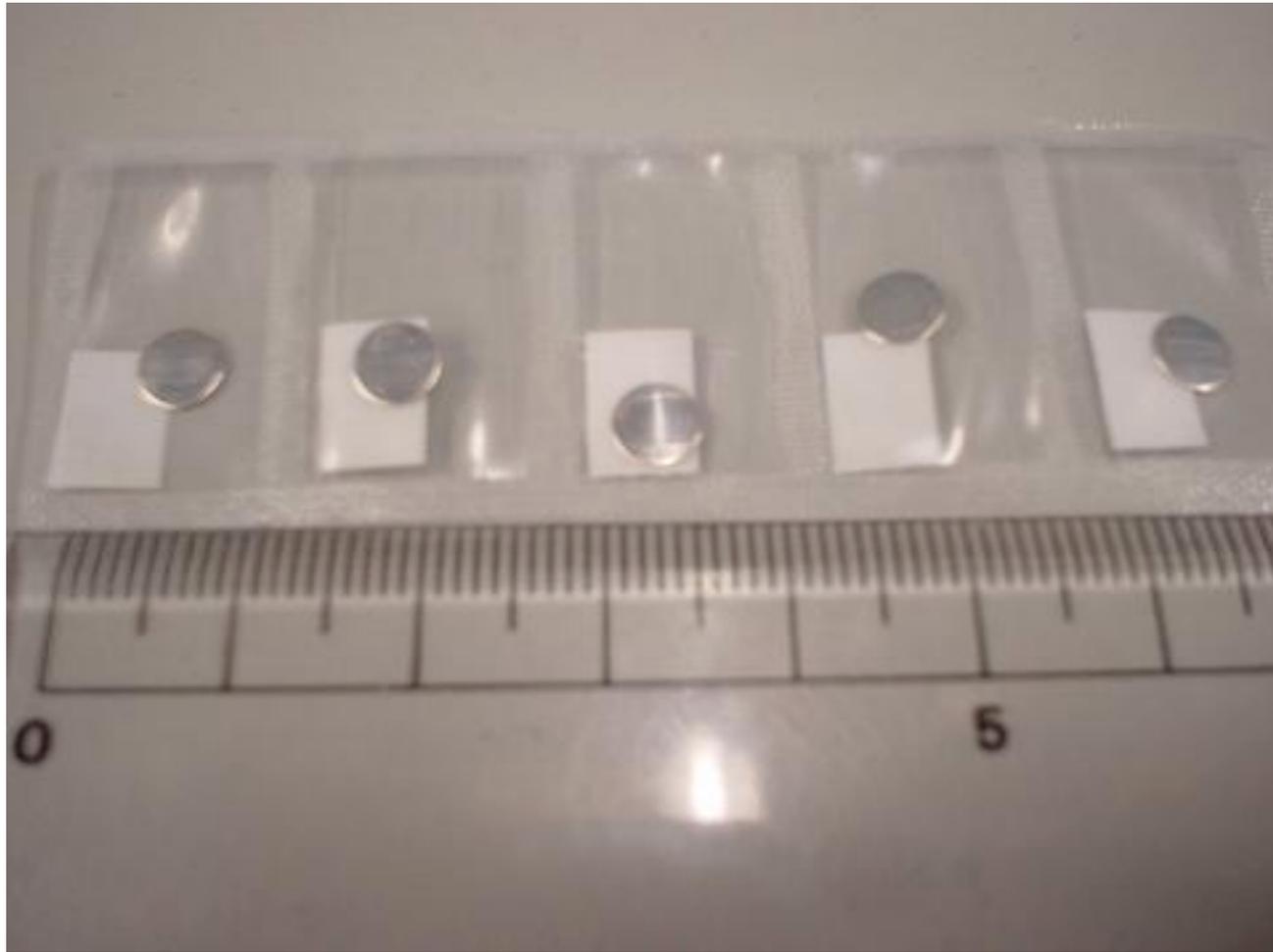
Results:

- 19 hrs for 1.2L liquefy by PT cryocooler only
- $\sim 0.16\text{L/h}$ liquefaction speed
- $\sim 2\text{ L/min}$ of pump circulation for purification

α線源

Am-241, 5.49MeV, 200 Bq

液体キセノン中使用

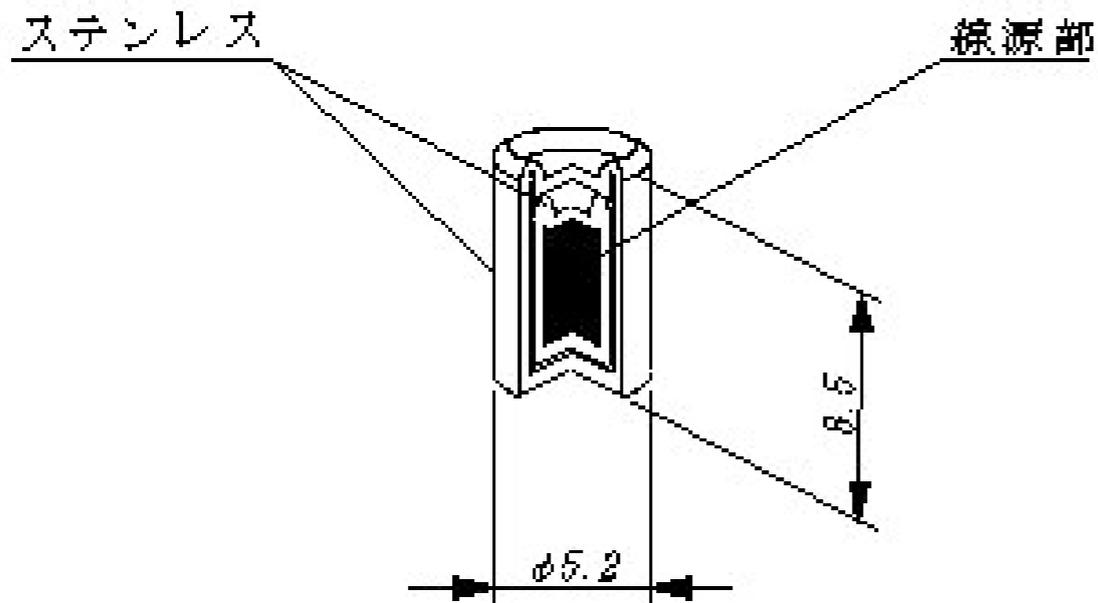


『MEGではこのプレートの裏側にネジをエポキシ接着剤(スタイキャスト)で接着して装置内に固定しています。

γ線源

Cs-137, 0.66MeV, 7KBq,

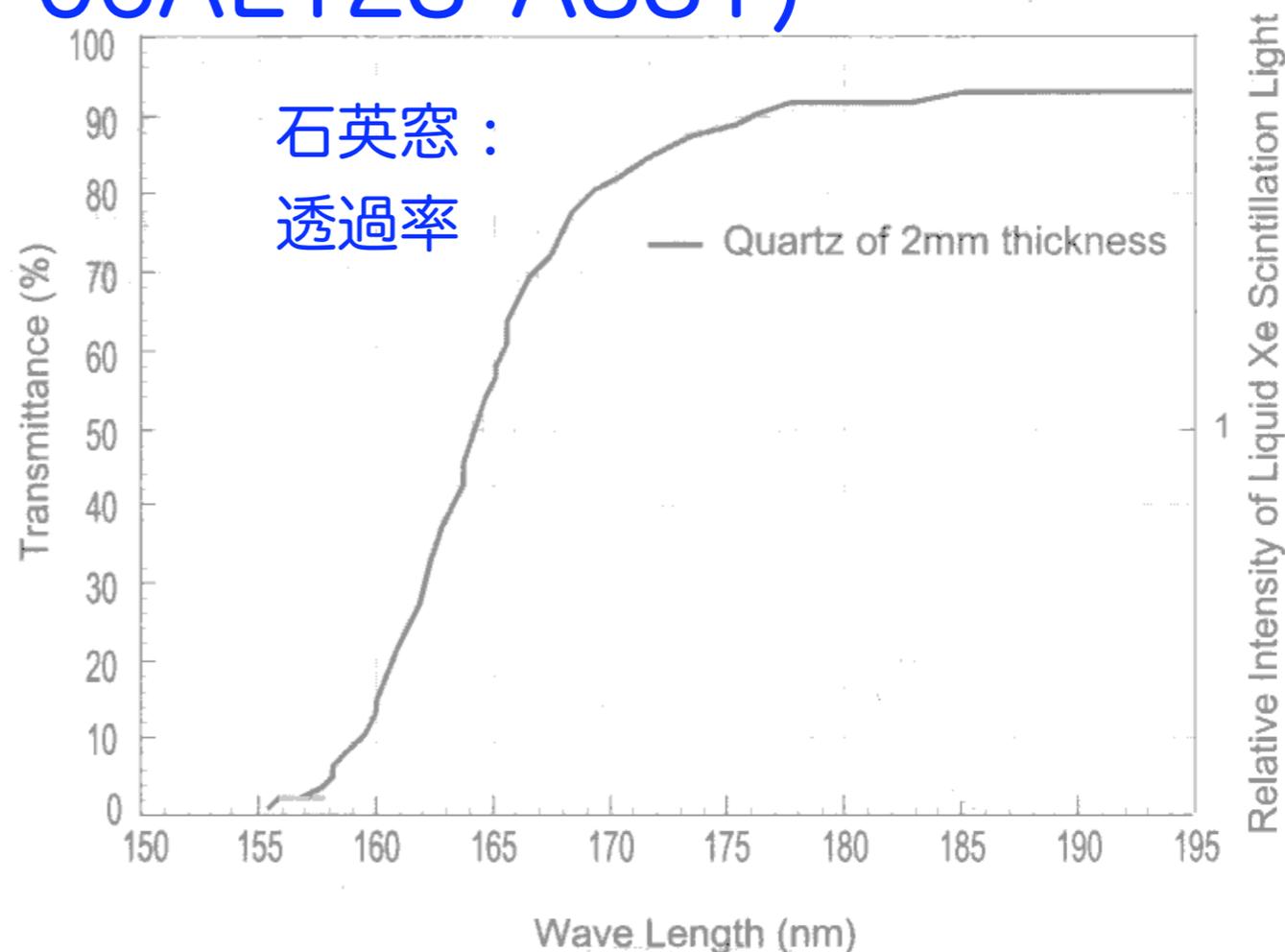
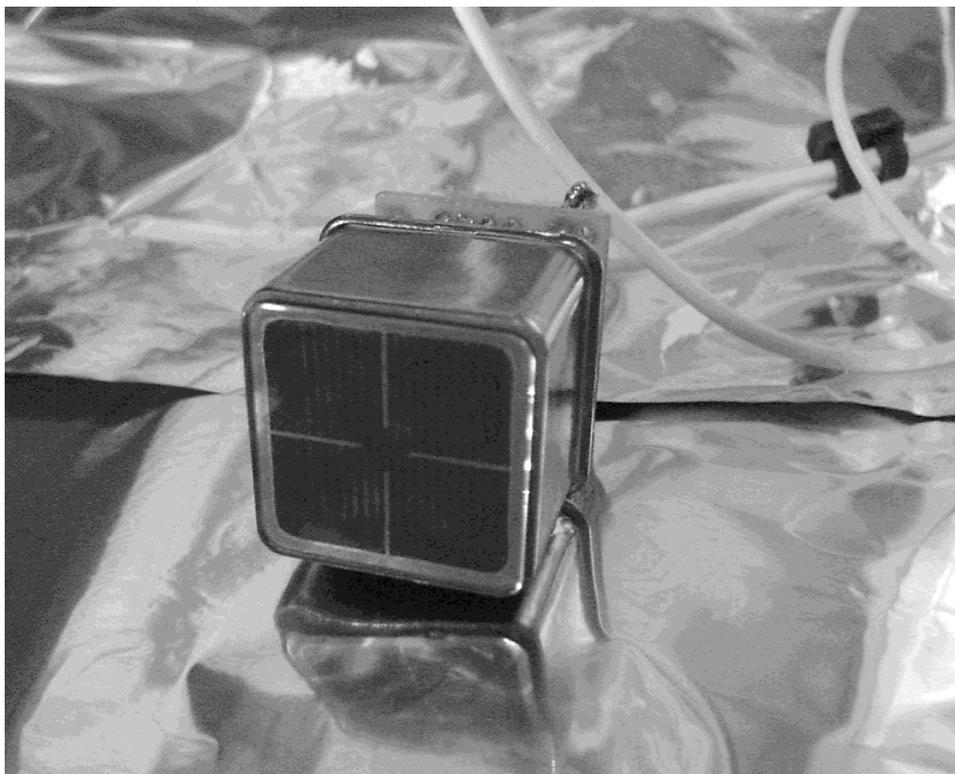
CS516 (日本アイソトープ協会製)



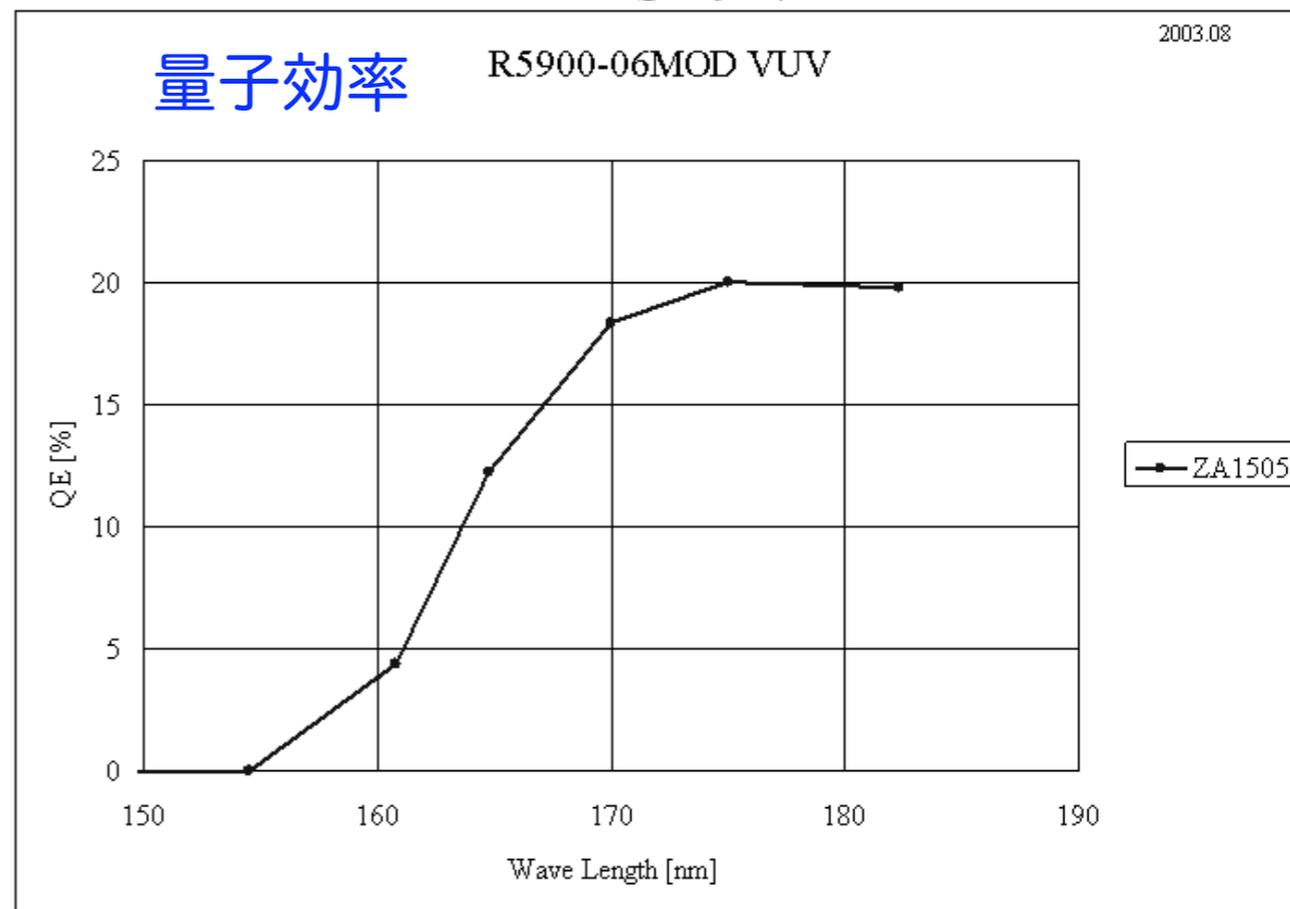
φ5.2×8.5mmのステンレス鋼(SUS316L)円柱状カプセルに溶接密封された線源です。

PMT (R5900-06AL12S-ASSY)

錦戸氏D論より



PMT size	26 × 26 mm ²
Photo-Cathode material	Rb—Cs—Sb
Size of effective area	18 × 18 mm ²
Typical Q.E.	20 %
Dynode Type	Metal Channel
Number of stages	12
Typical H.V.	800V
Typical gain	1 × 10 ⁷



液体キセノン中のPMTのゲイン測定

ゲイン G と光電子数 N_{pe} を、LEDパルスに対するPMTシグナルの
平均値 ($\langle ADC \rangle$)と広がり (σ^2) から計算した。

すなわち、

$$\sigma^2 = \sigma_o^2 + (eG/C)^2 N_{pe} = \sigma_o^2 + (eG/C) \langle ADC \rangle$$

$$\langle ADC \rangle = (eG/C) N_{pe}$$

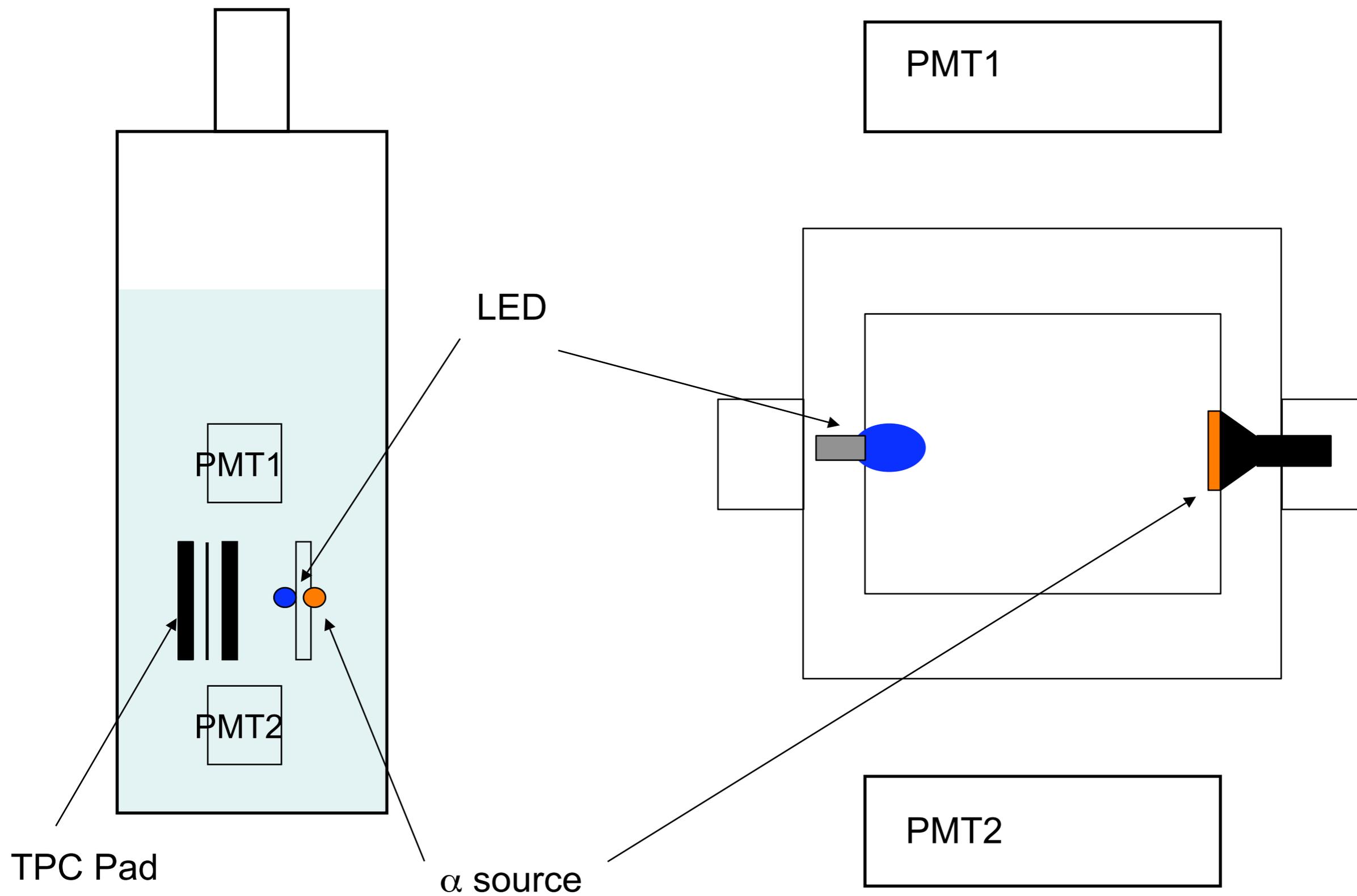
ここで、 σ_o^2 (~ 1) はペDESTALの広がり、 $C=0.25\text{pC/カウント}$ 、

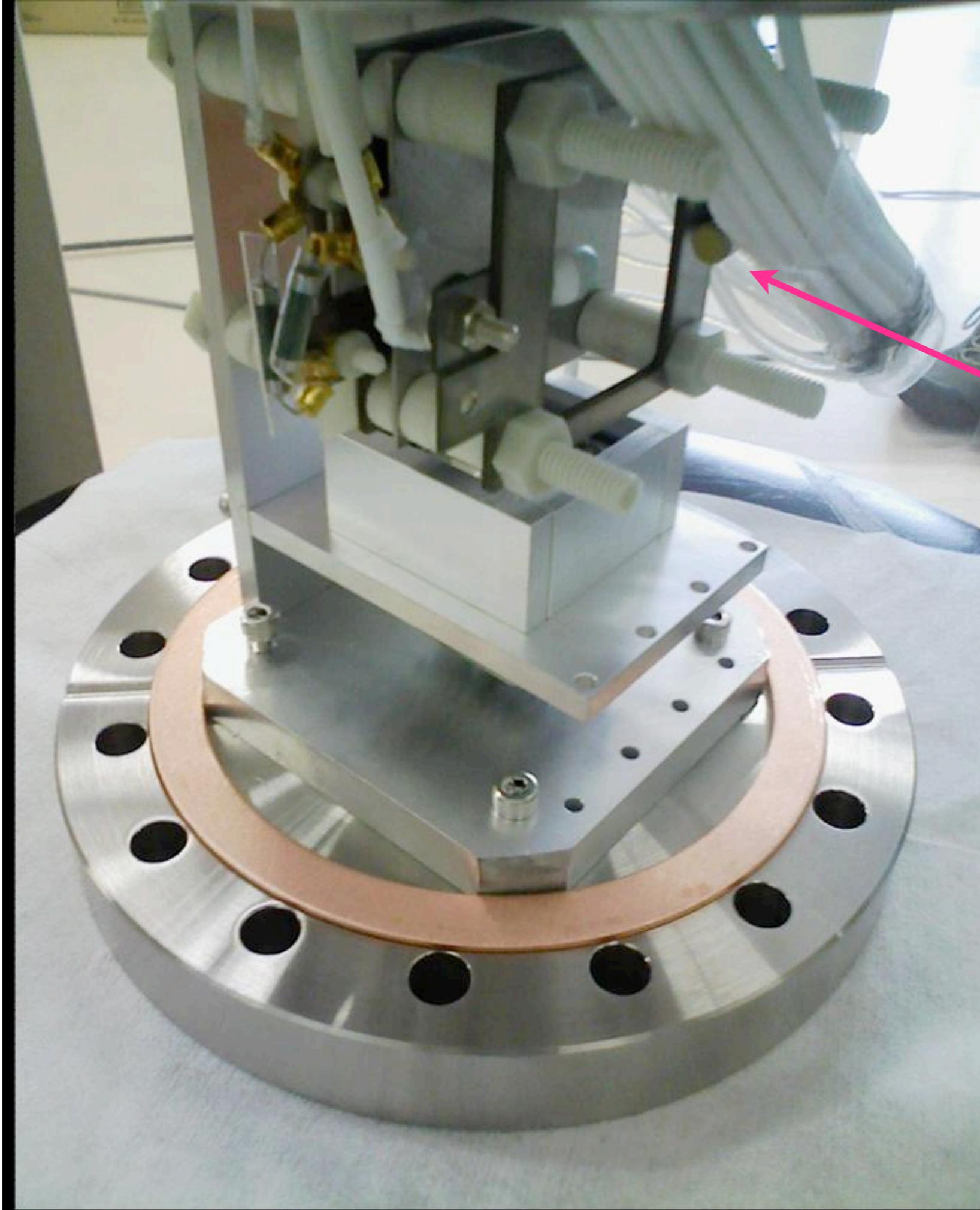
$e=1.6 \times 10^{-19}\text{C}$ である。したがって、

$$G = 1.6 \times 10^6 (\sigma^2 - \sigma_o^2) / \langle ADC \rangle$$

(注) G にはPMTシグナルにかかるすべてのスケールリングファクターがかかる。

キセノンチェンバー内の配置図

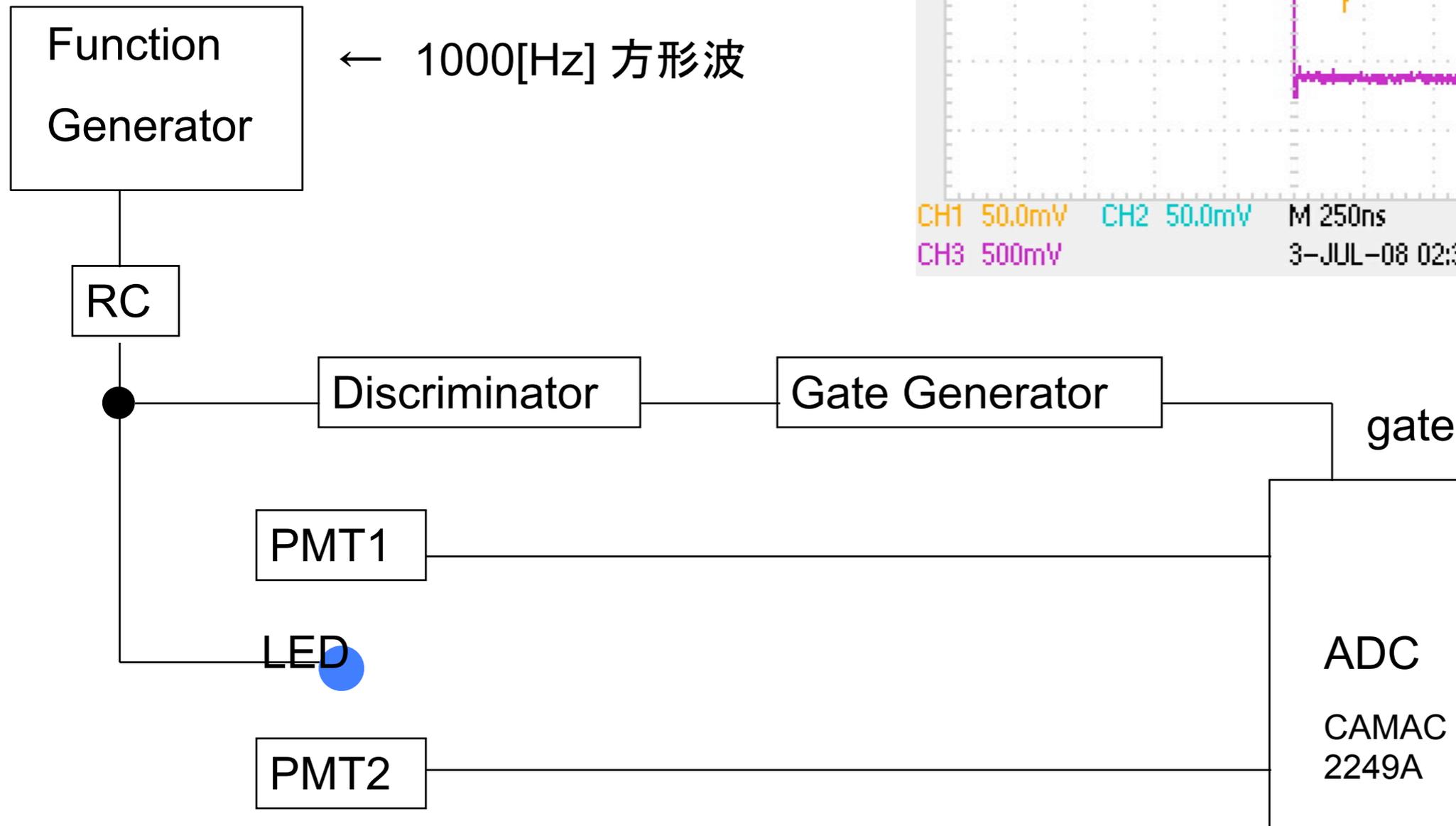




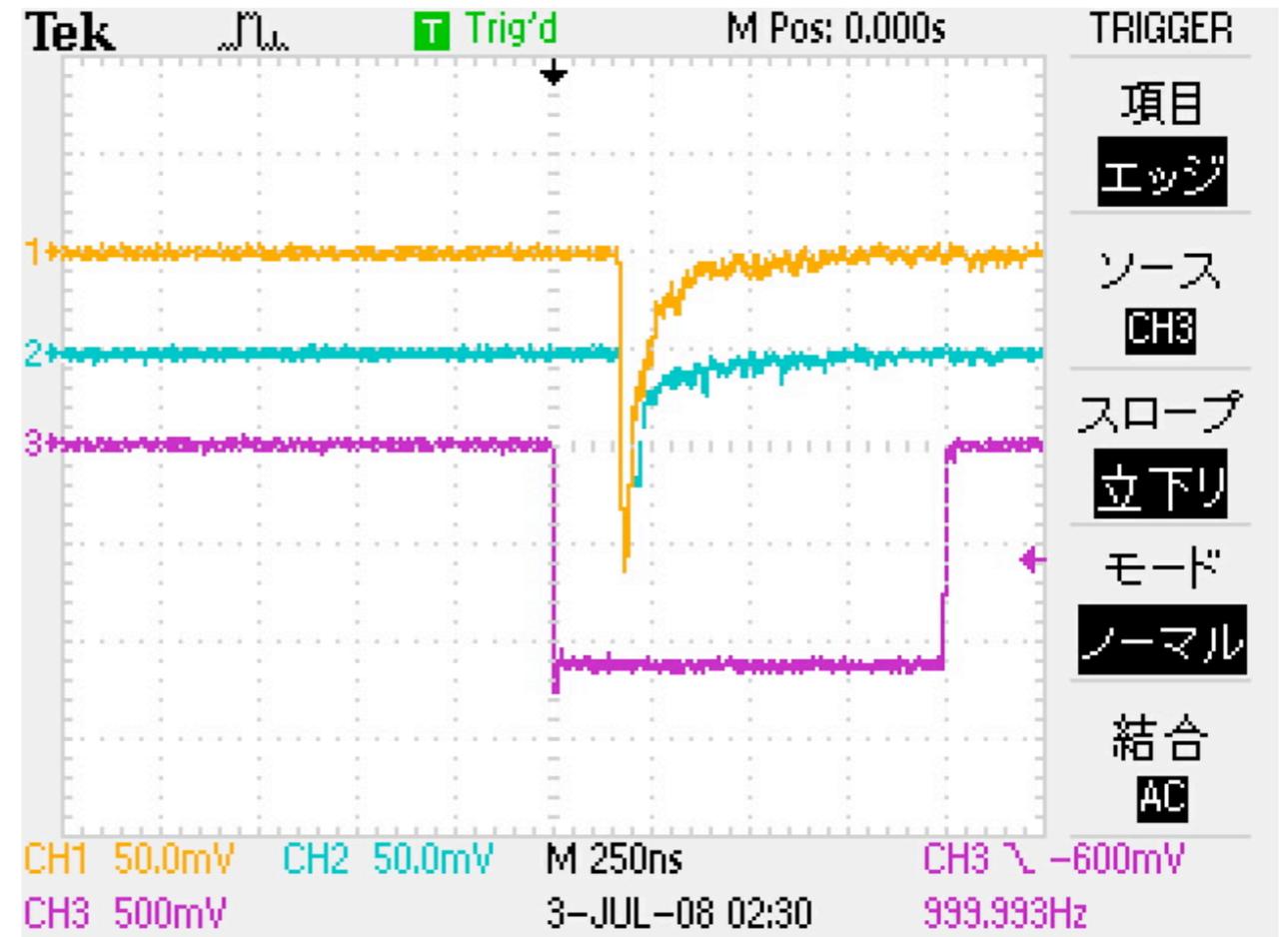
α線ソース
200Bq

測定システム

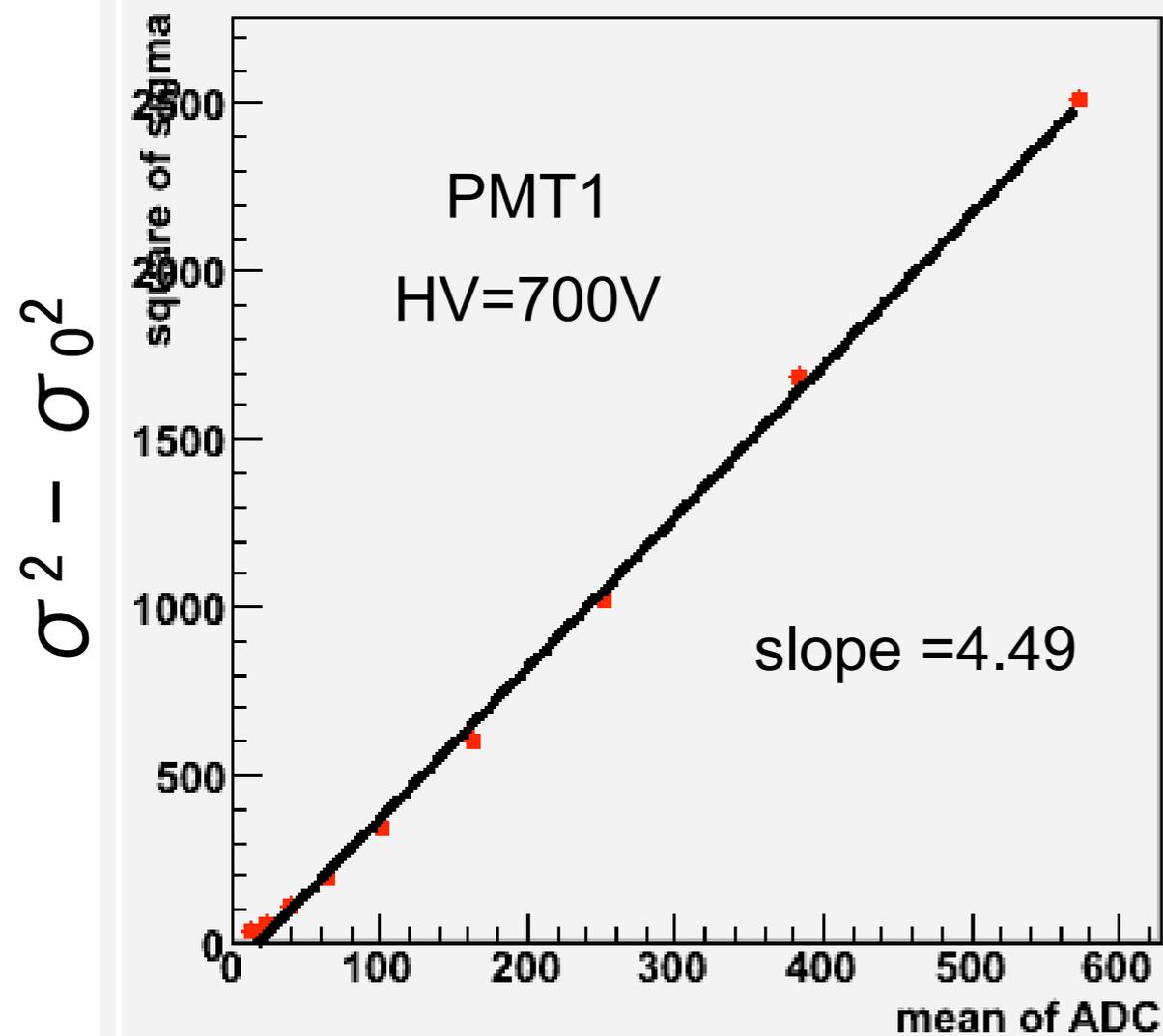
LEDによる波形 (PMT1、PMT2) →



← 1000[Hz] 方形波



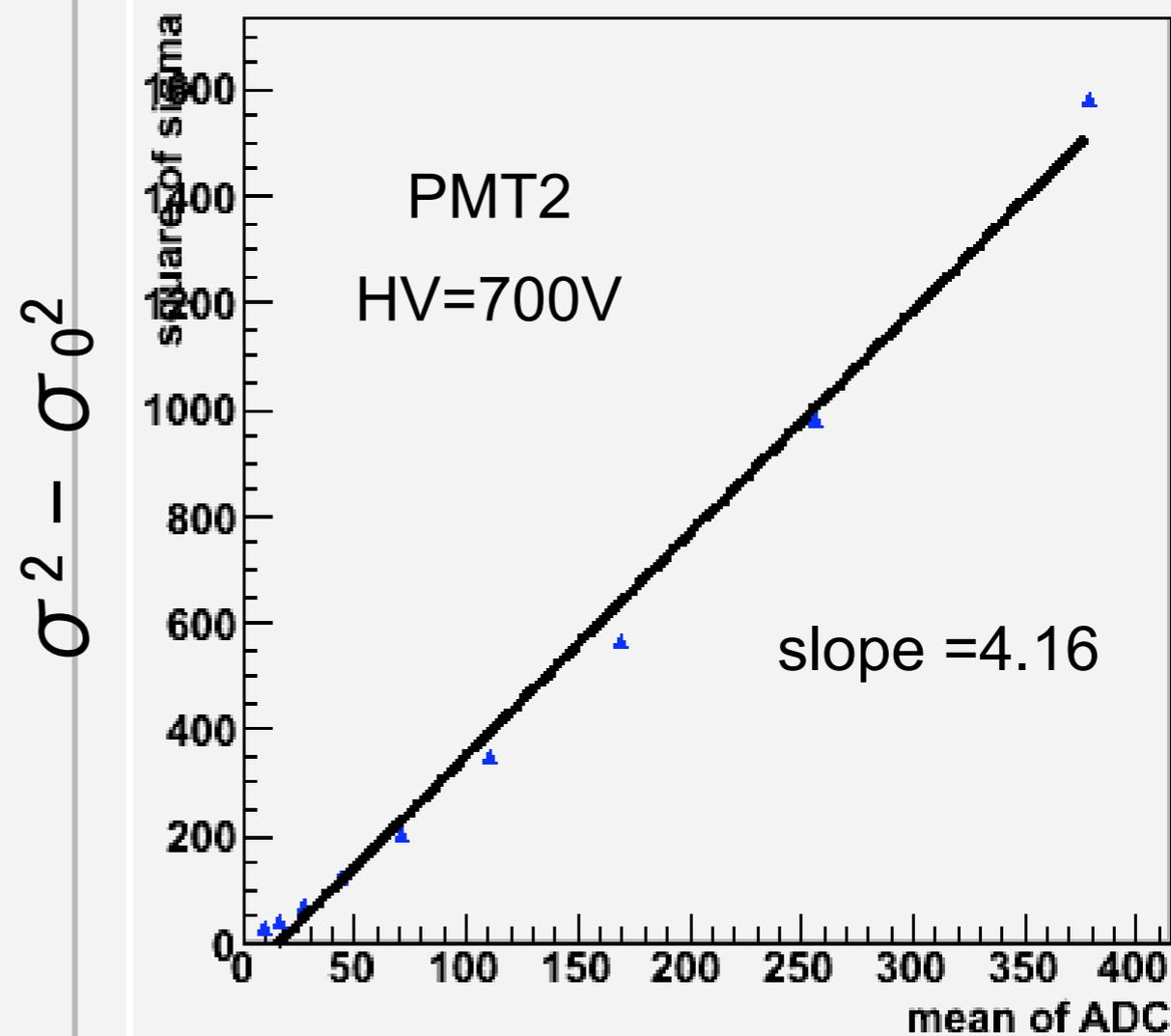
Gain Calibration with LED(PMT1)



$\langle \text{ADC} \rangle$

PMT1 : $7.00 \cdot 10^6$

Gain Calibration with LED(PMT2)



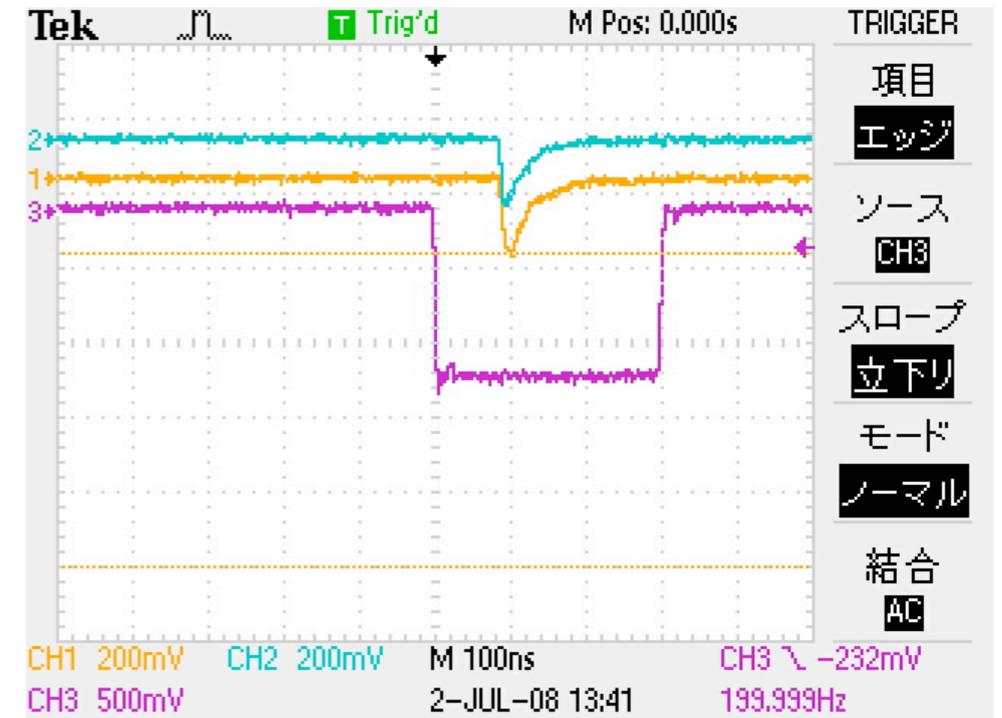
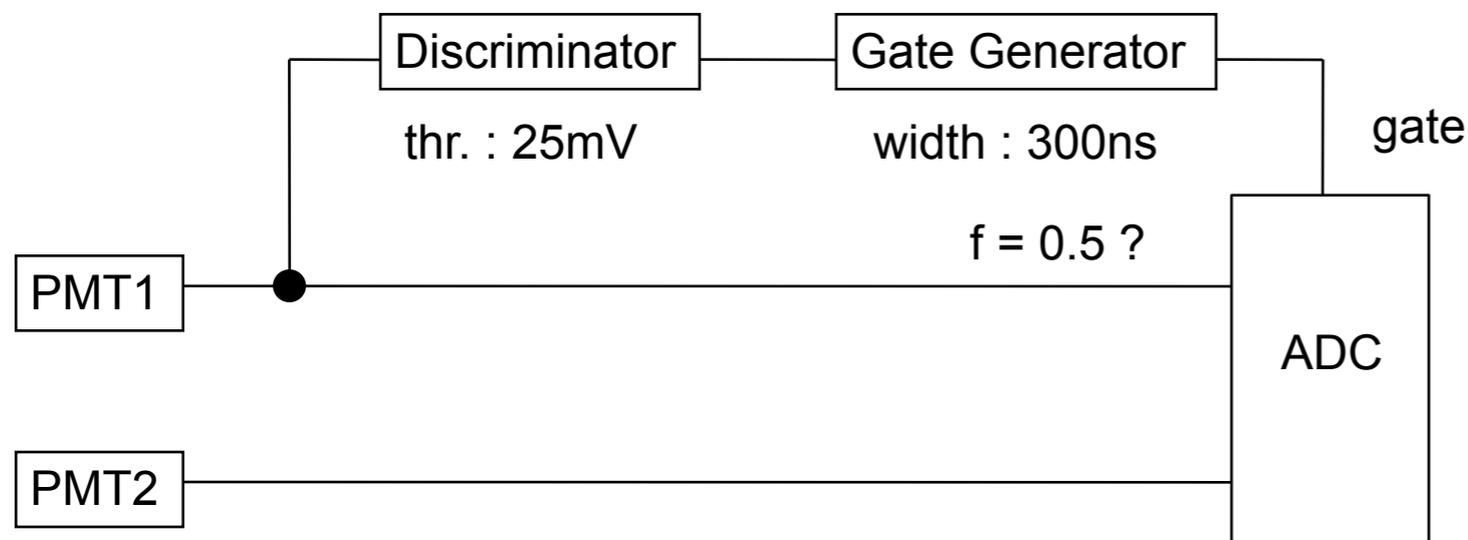
$\langle \text{ADC} \rangle$

PMT2 : $6.48 \cdot 10^6$

α線源からの信号測定

容器内部に取り付けたAm²⁴¹(半減期: 432y)

のα線(5.4MeV)から発生したシンチレーション光を測定。



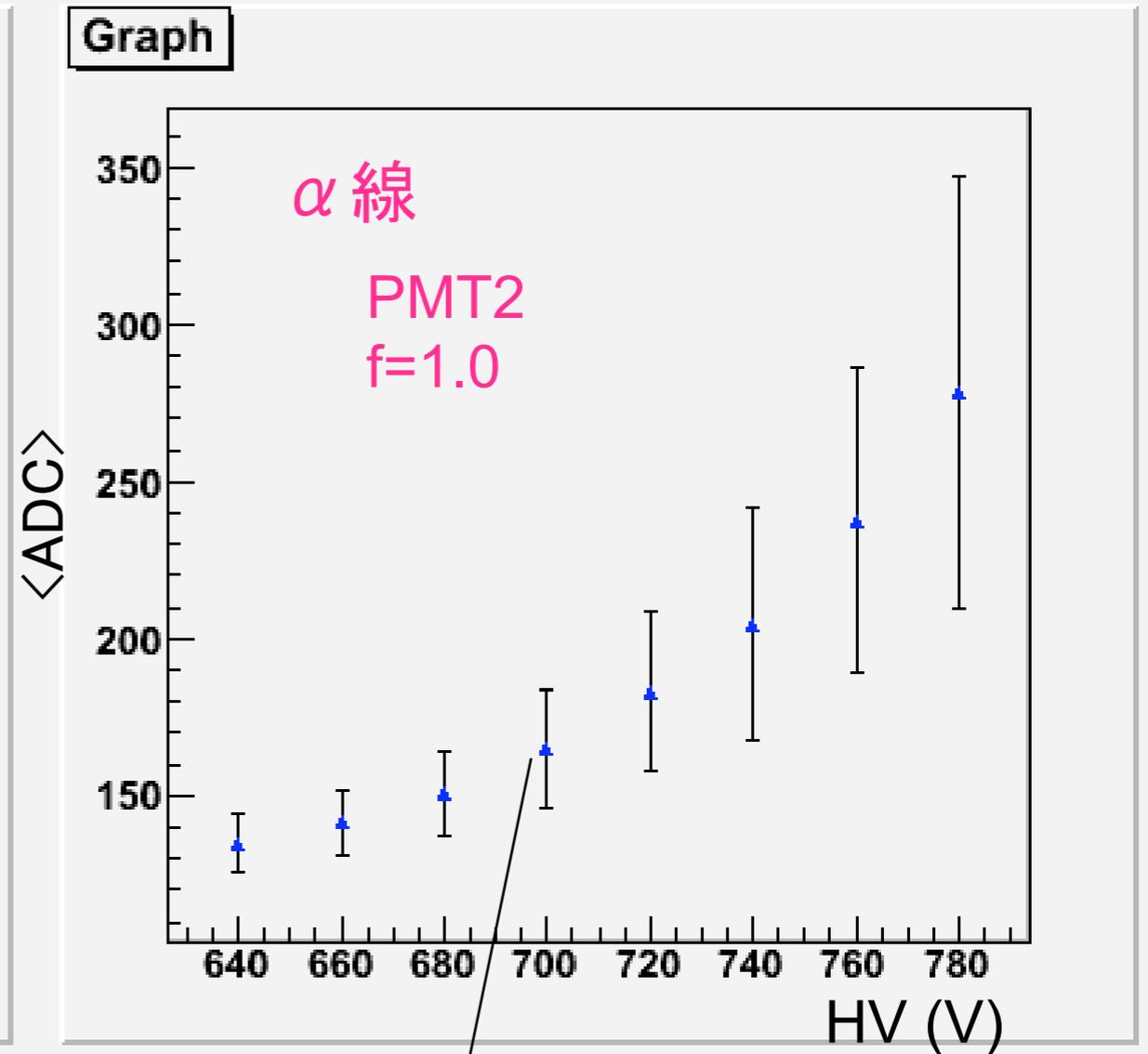
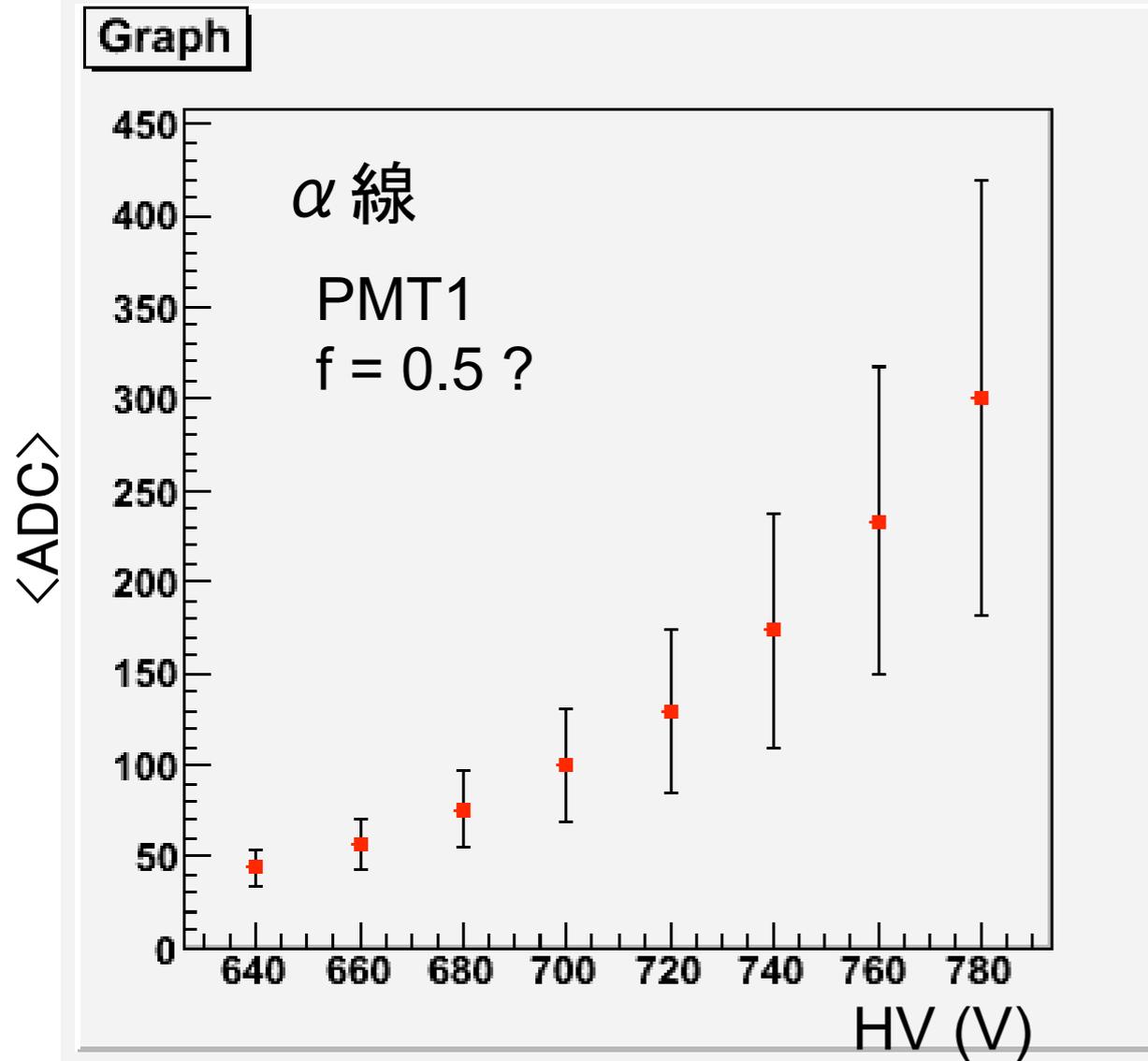
液体Xeのシンチ光1個当たり必要なエネルギー: 23eV

$$N_{\text{photon}} = 5.5 \times 10^6 [\text{MeV}] / 23[\text{eV}] = 2.3 \times 10^5$$

$$Q = N_{\text{photon}} \times \frac{\Omega}{4\pi} \times Q.E. \times Gain \times e = 2.3 \times 10^5 \times 1.2 \times 10^{-2} \times 0.2 \times 6.5 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$= 560 \text{ pc} = 2240 \text{ counts (期待値)}$$

線源からPMT=5cm
光電面=2cm×2cm



164 counts (HV=700V)

σ^2/mean から

Gain = 3.9×10^6

期待値 = 2240 counts

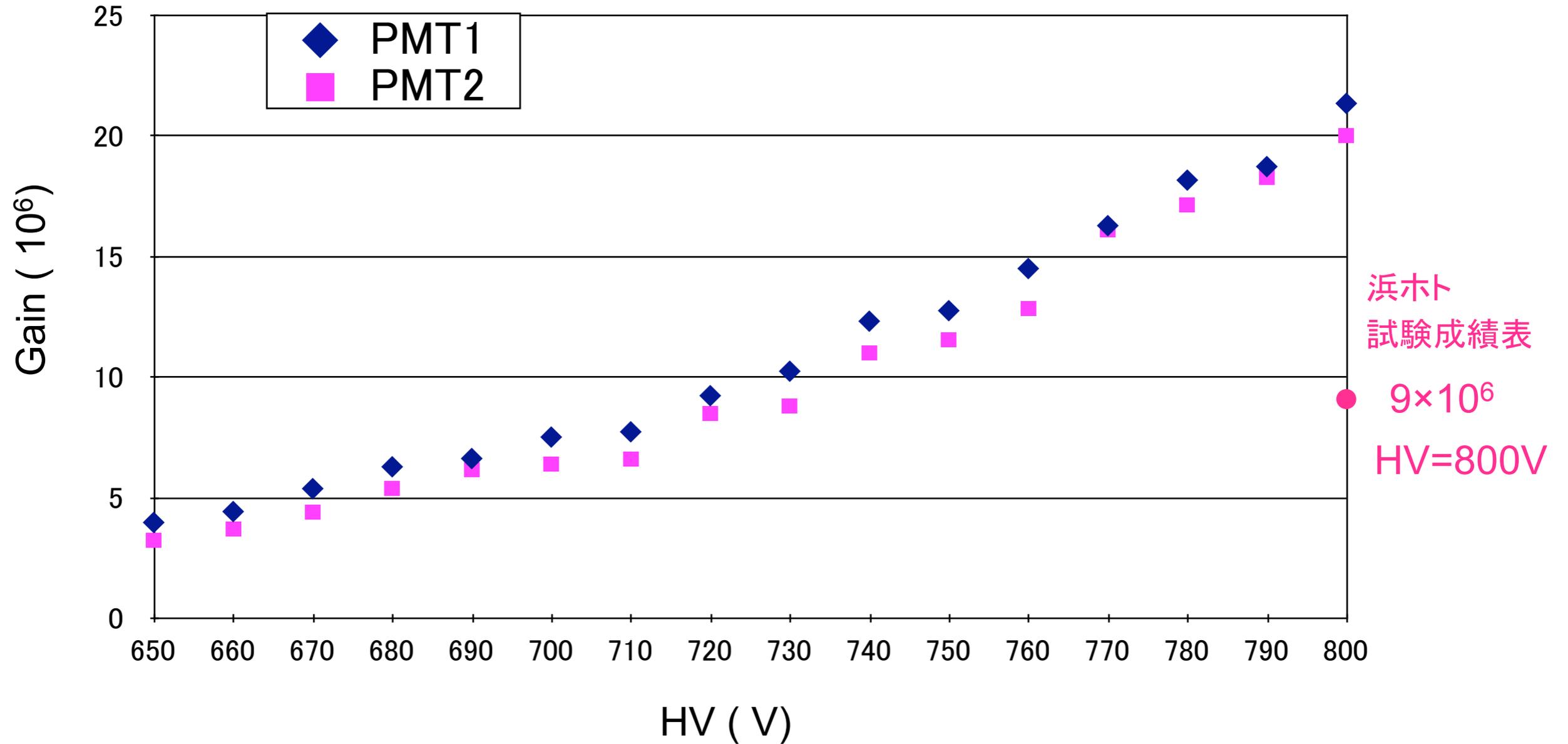
液体Xeが汚れていることによる効果か？

幾何的な配置の影響？

ゲイン見積もりの不定性

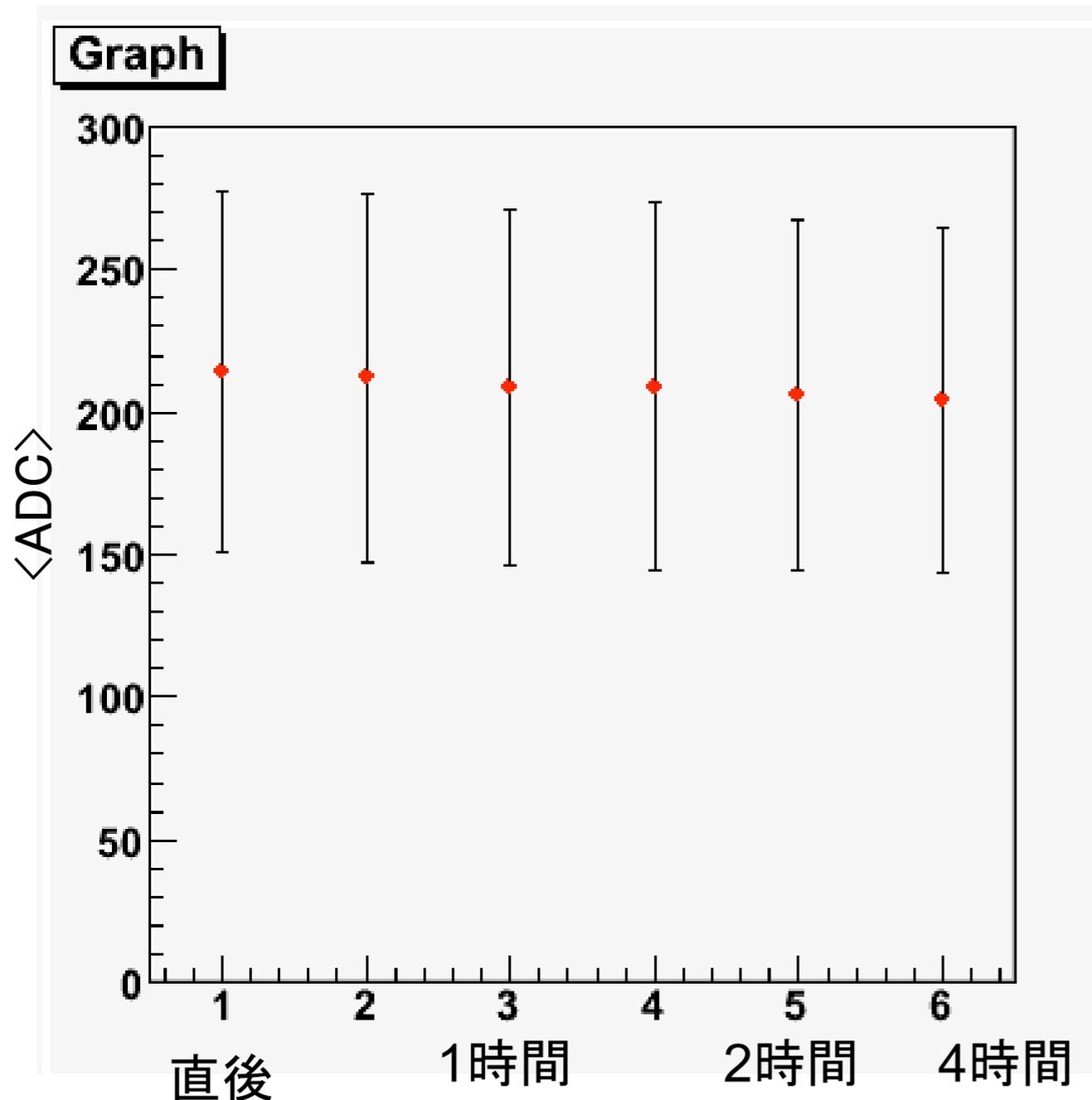
有効電荷の謎との関連？

PMT1,2 ゲインのHigh Voltage依存性



ガス純化(ゲッター)中のシンチレーション光の変化

キセノンガス循環用のポンプを動作させながら定期的にADCデータを取得
電圧730V、ソースはアメリシウム線源、配線は先の実験と同じ

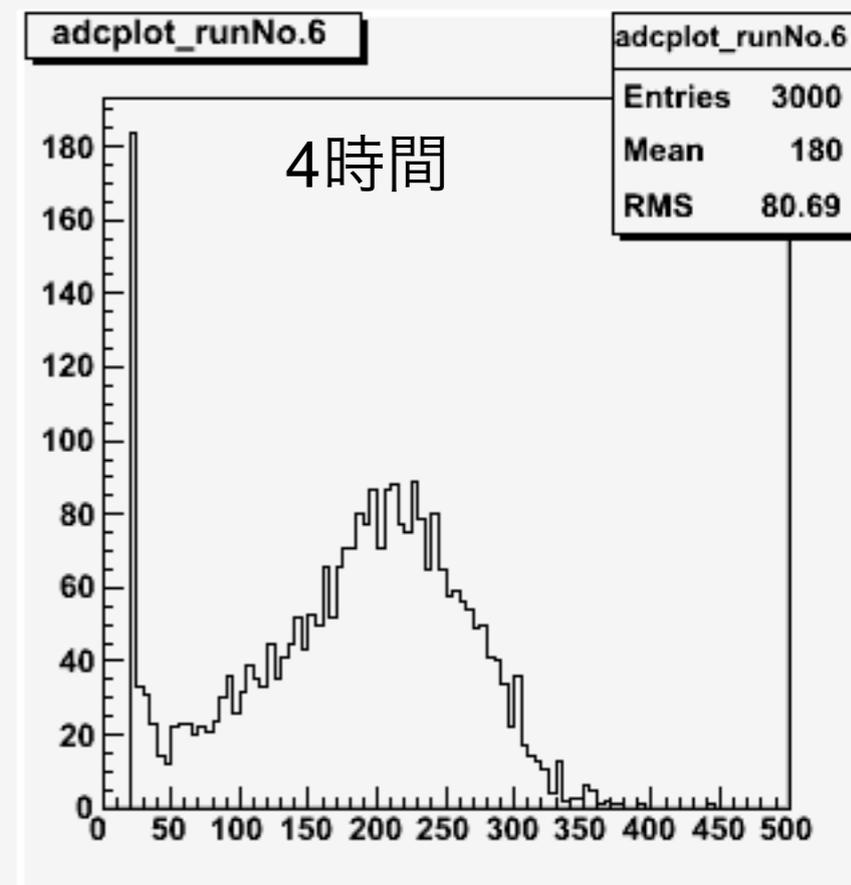
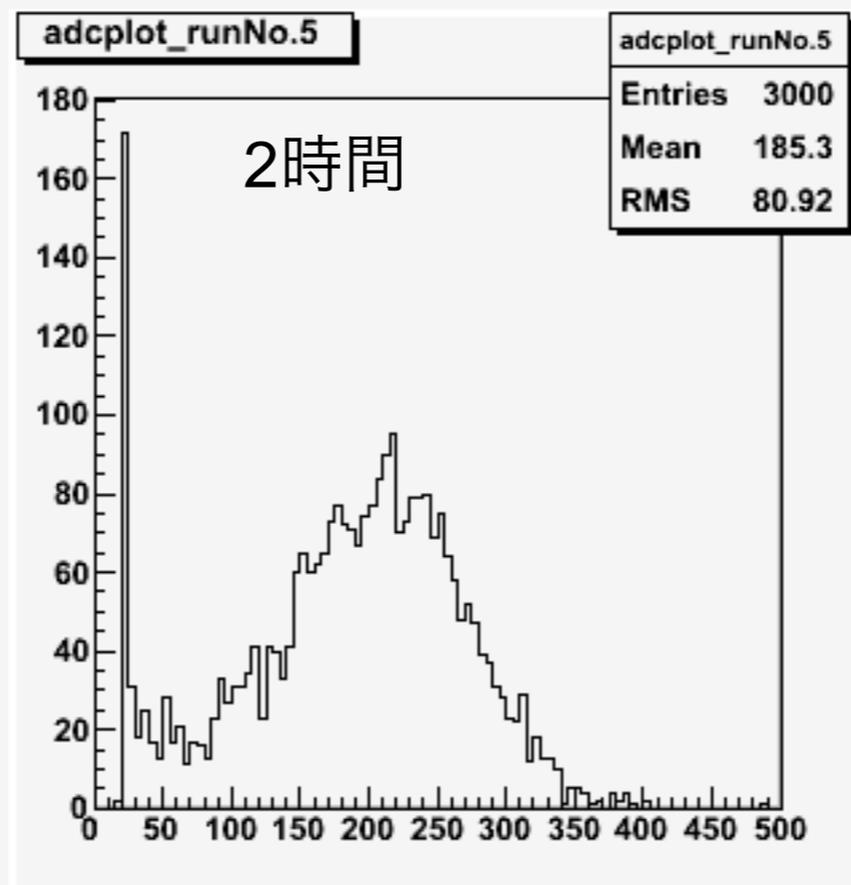
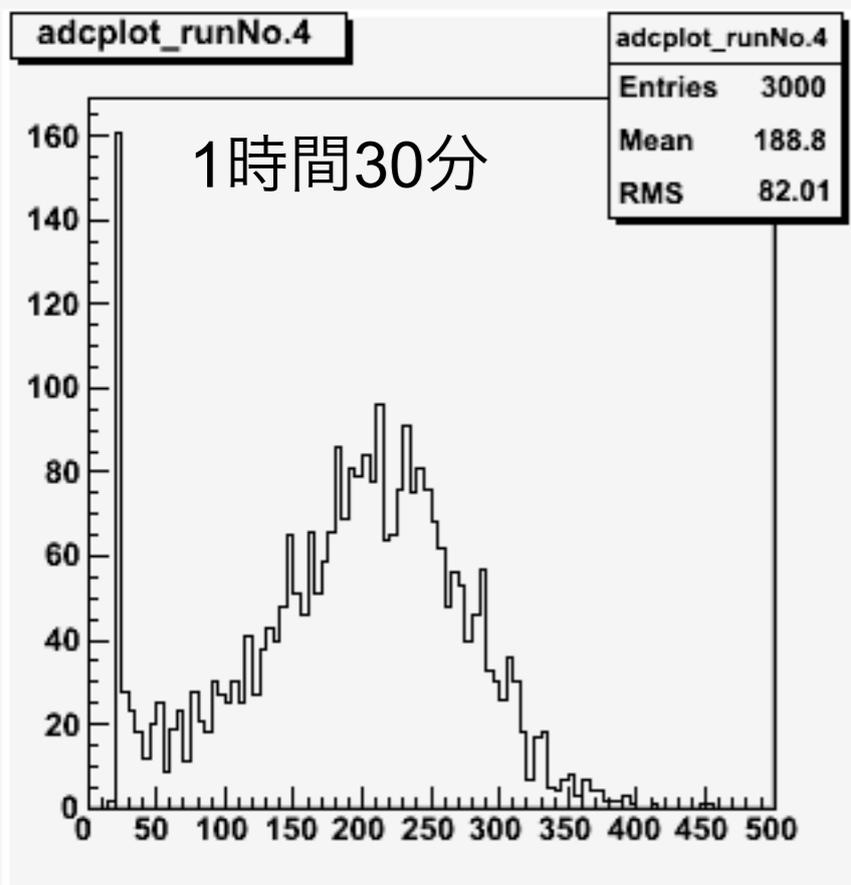
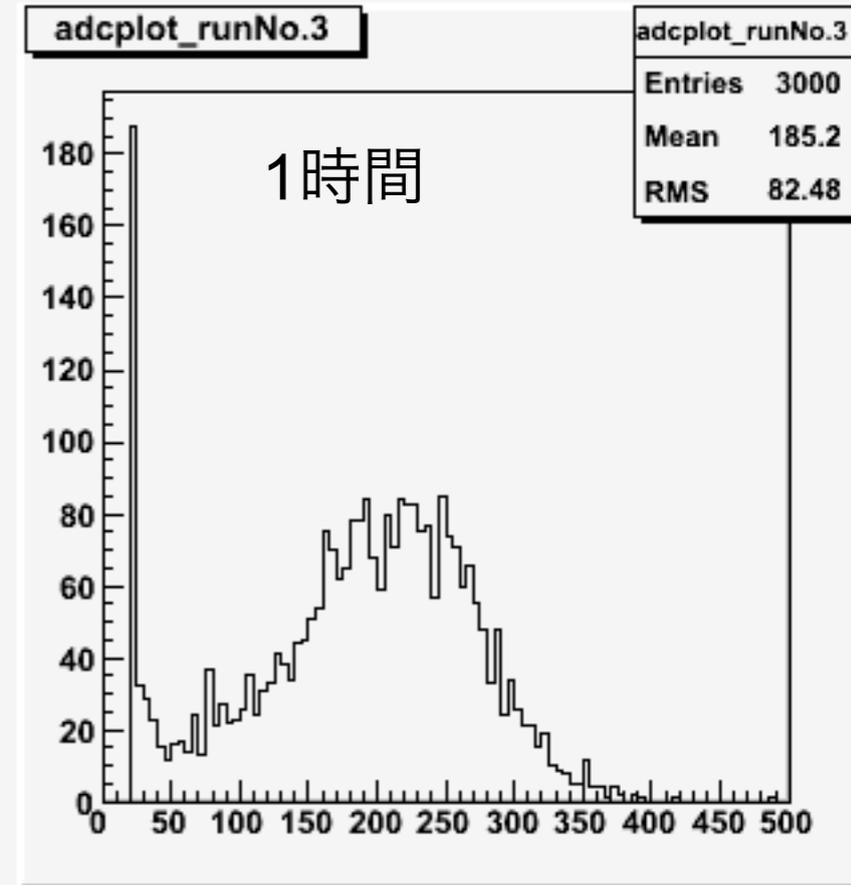
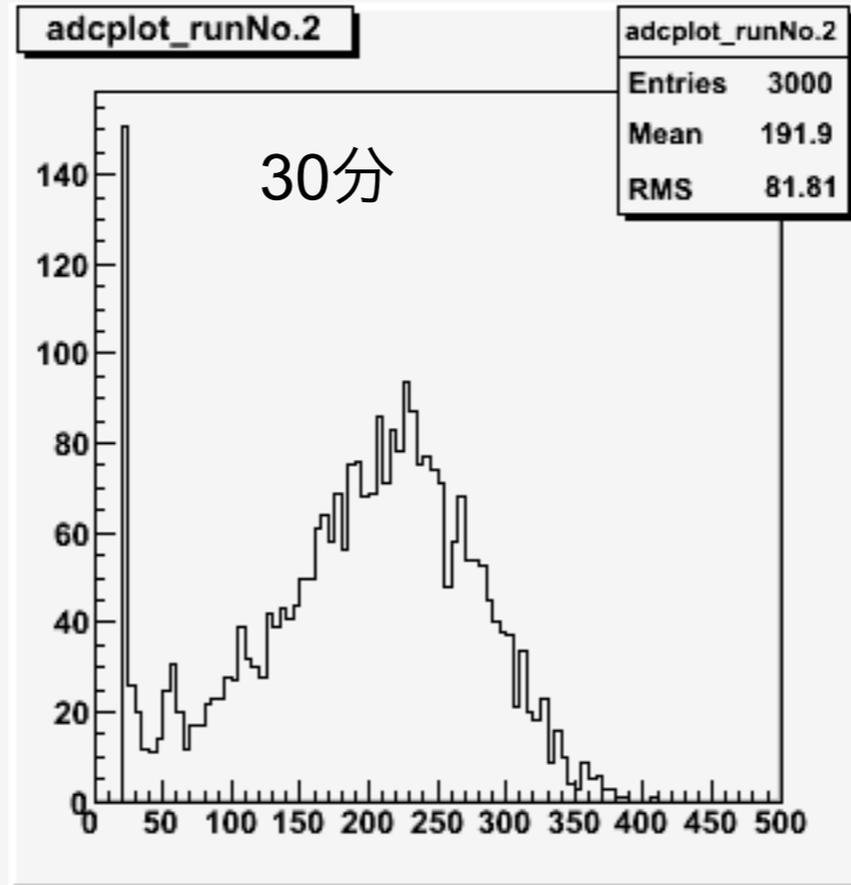


ガスの流量は約2時間で容器内の体積分が一巡する見積もり

今回の純化テストでは
ほとんどシンチレーション光の強度は変化しなかった。

既に水・酸素等は既に十分少ない？

純化テストでのシグナル分布



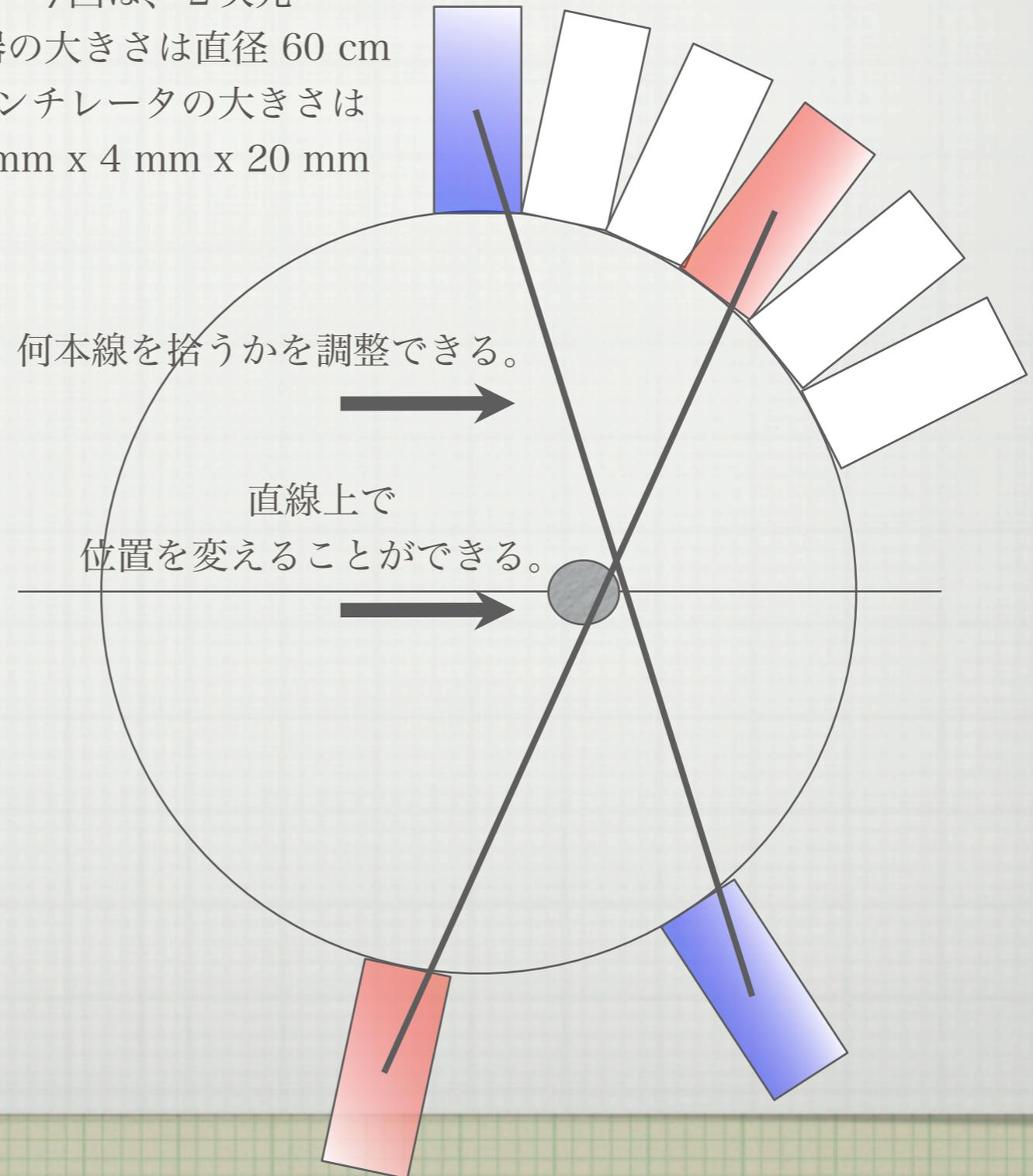
PET シミュレーション

Takatoshi Higashi

固体シンチレータ (2次元)

今回は、2次元
容器の大きさは直径 60 cm
シンチレータの大きさは
4 mm x 4 mm x 20 mm

- 線源の位置を変えて位置の精度を確認する。
- 拾う直線の本数を変えて位置の精度を確認する。
- シンチレータの長さを長くする。



線源の位置を変える

3本の直線を参照し
交点を求める

中心から遠ざかる(容器の端)ほど、位置分解能が悪くなる。

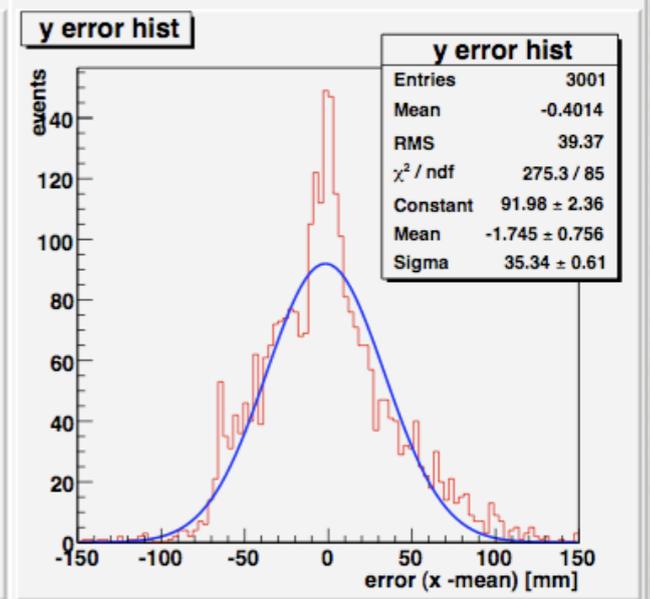
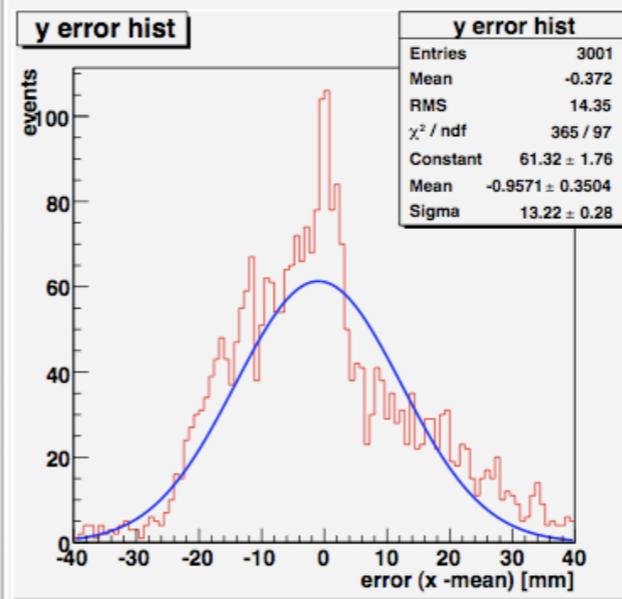
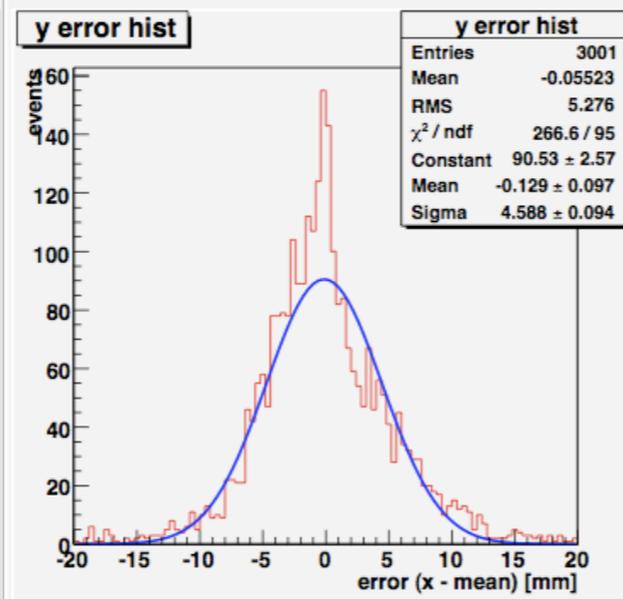
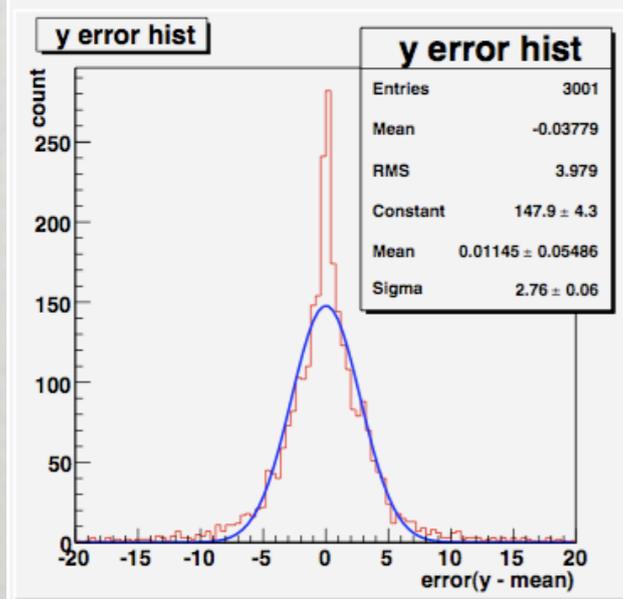
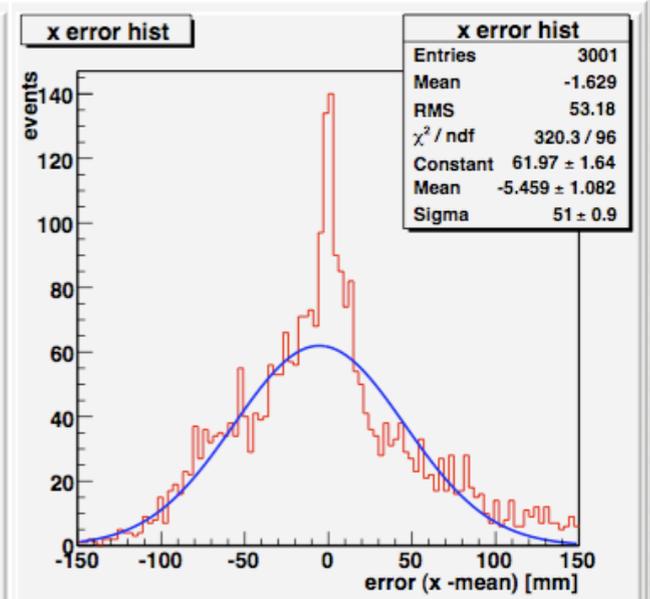
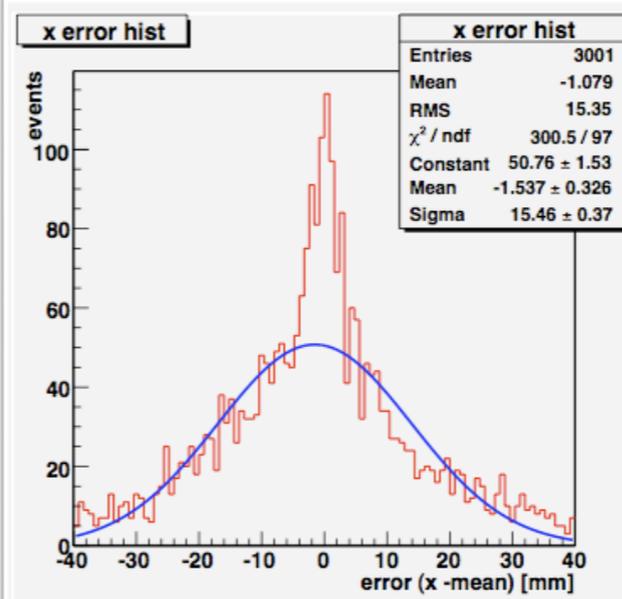
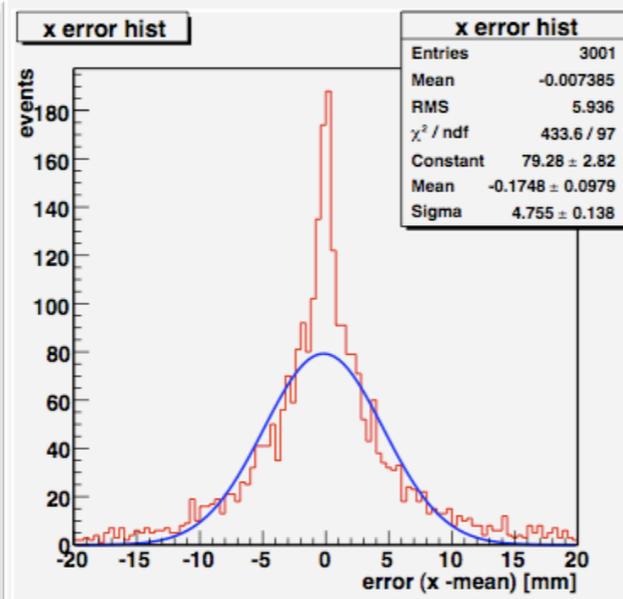
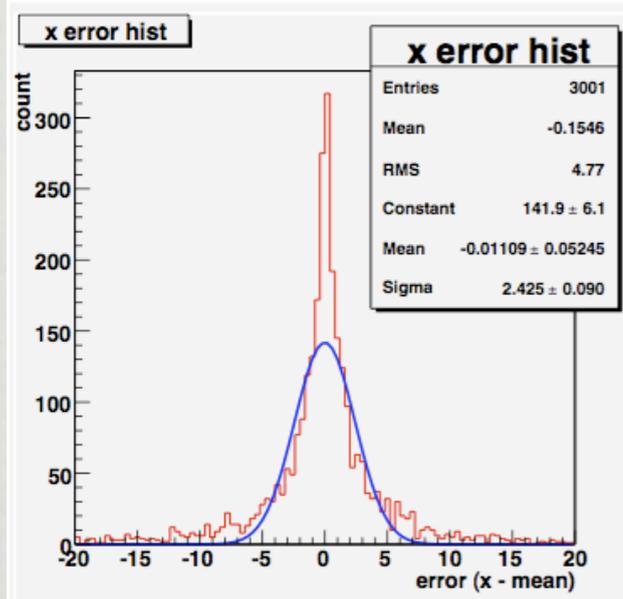
原点からの距離

10 mm

100 mm

200 mm

290 mm



拾う直線の本数を変える

線源の位置は原点から 50 mm 離れた場所。

$$\sigma_{x(y)} = \sim 4.5\text{mm}$$

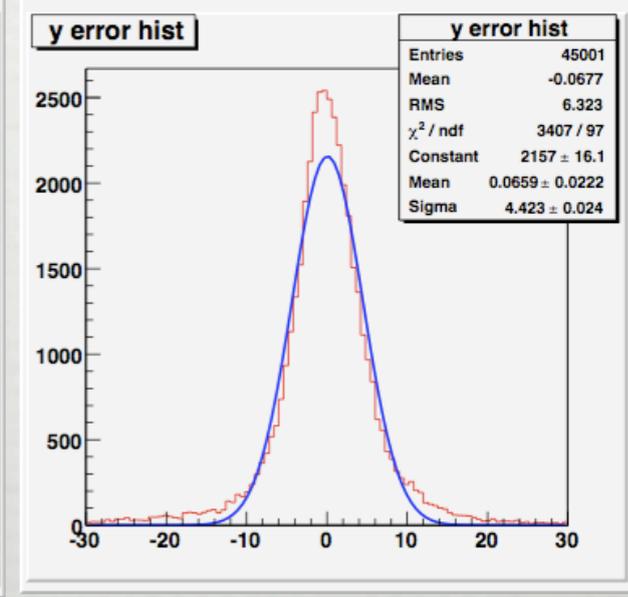
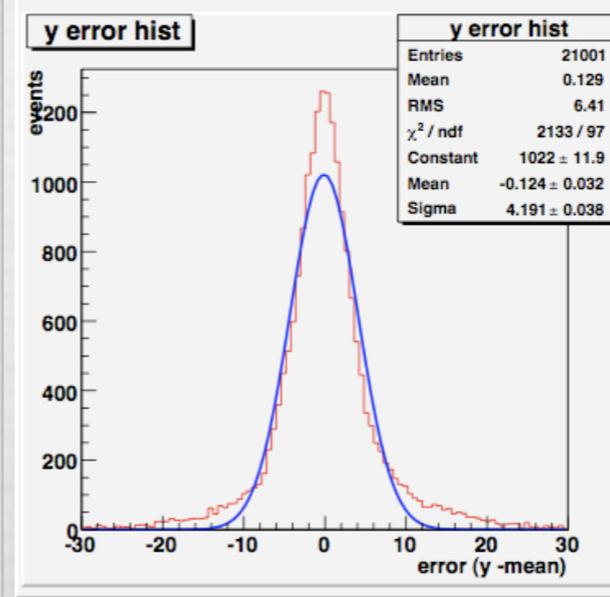
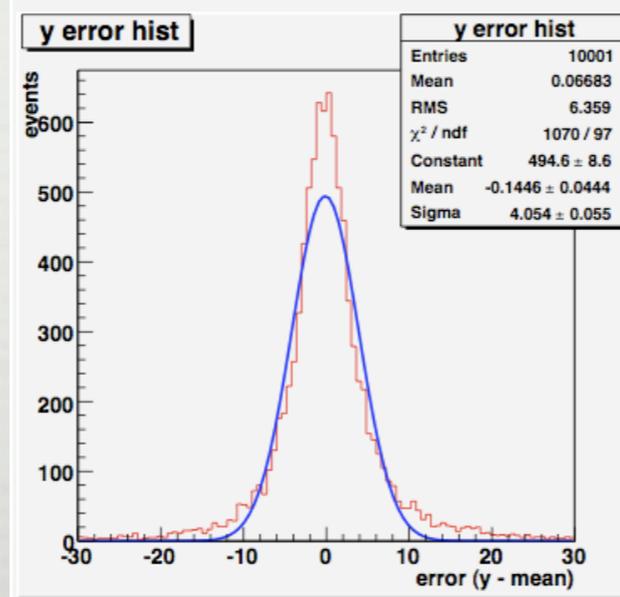
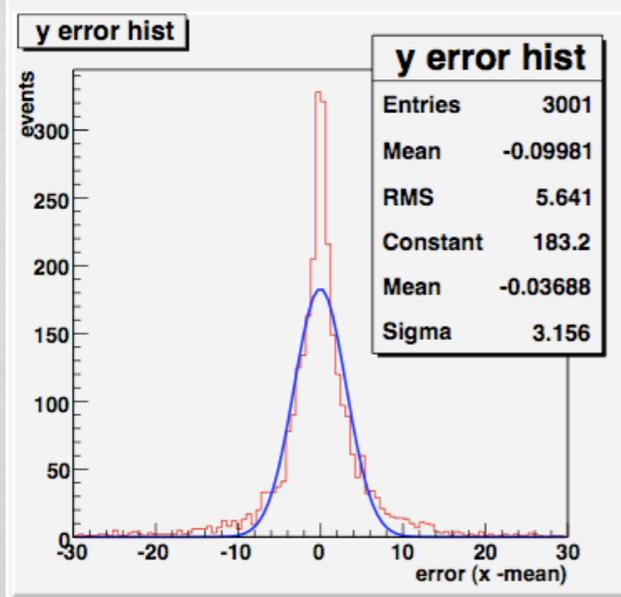
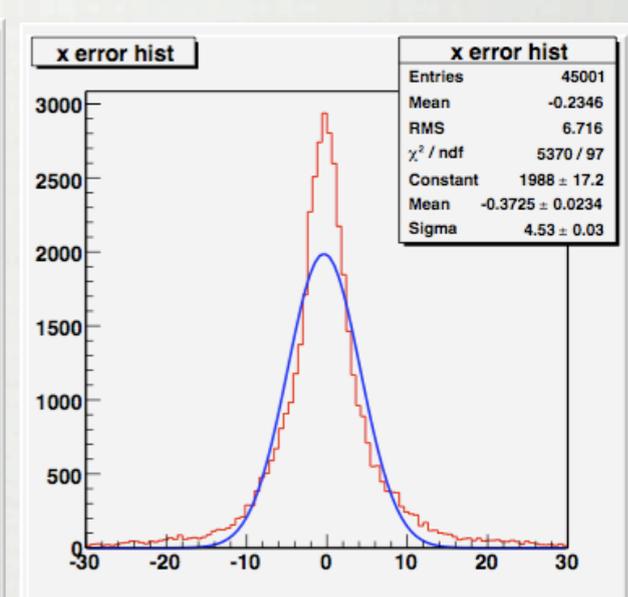
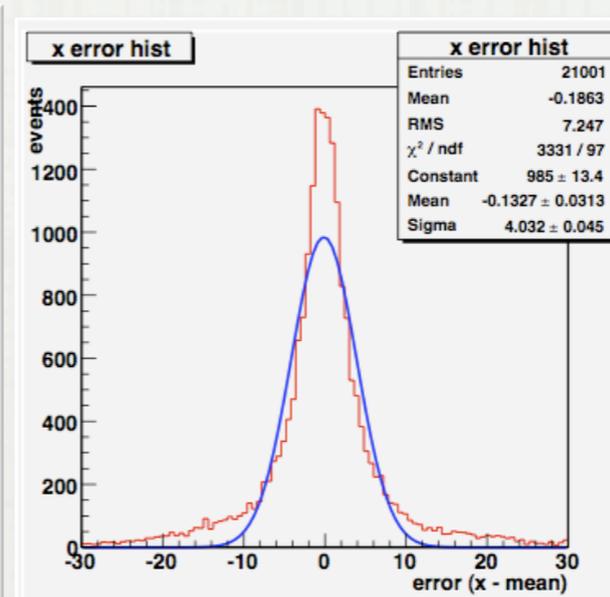
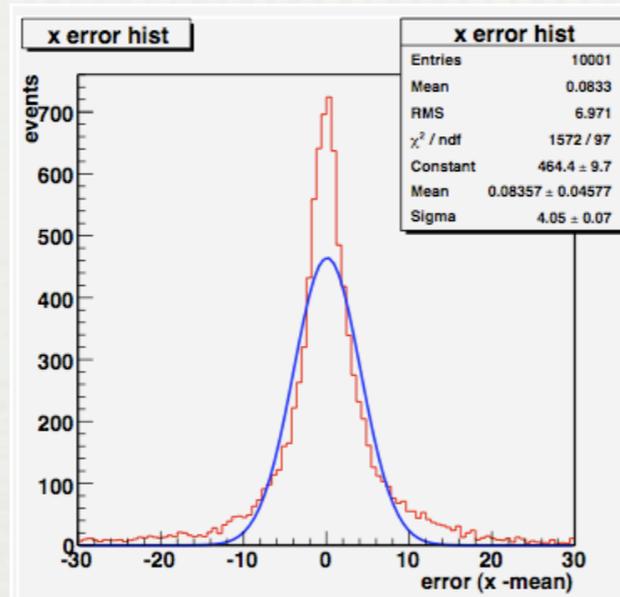
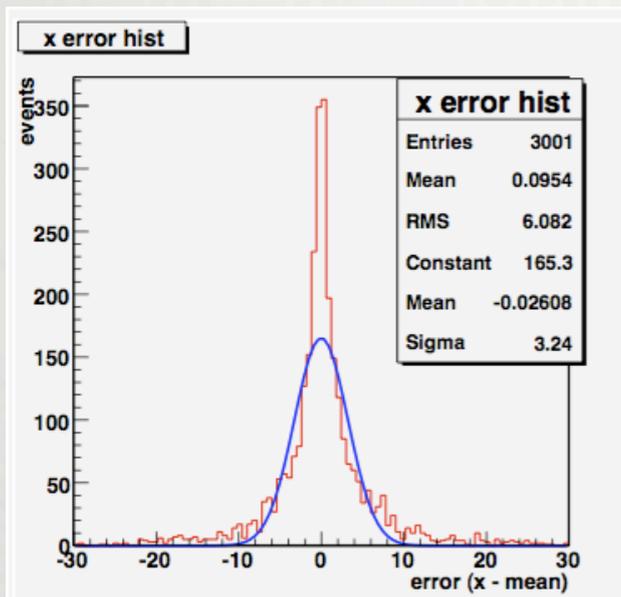
5 本以上増やしてもあまり変わらない。

3本

5本

7本

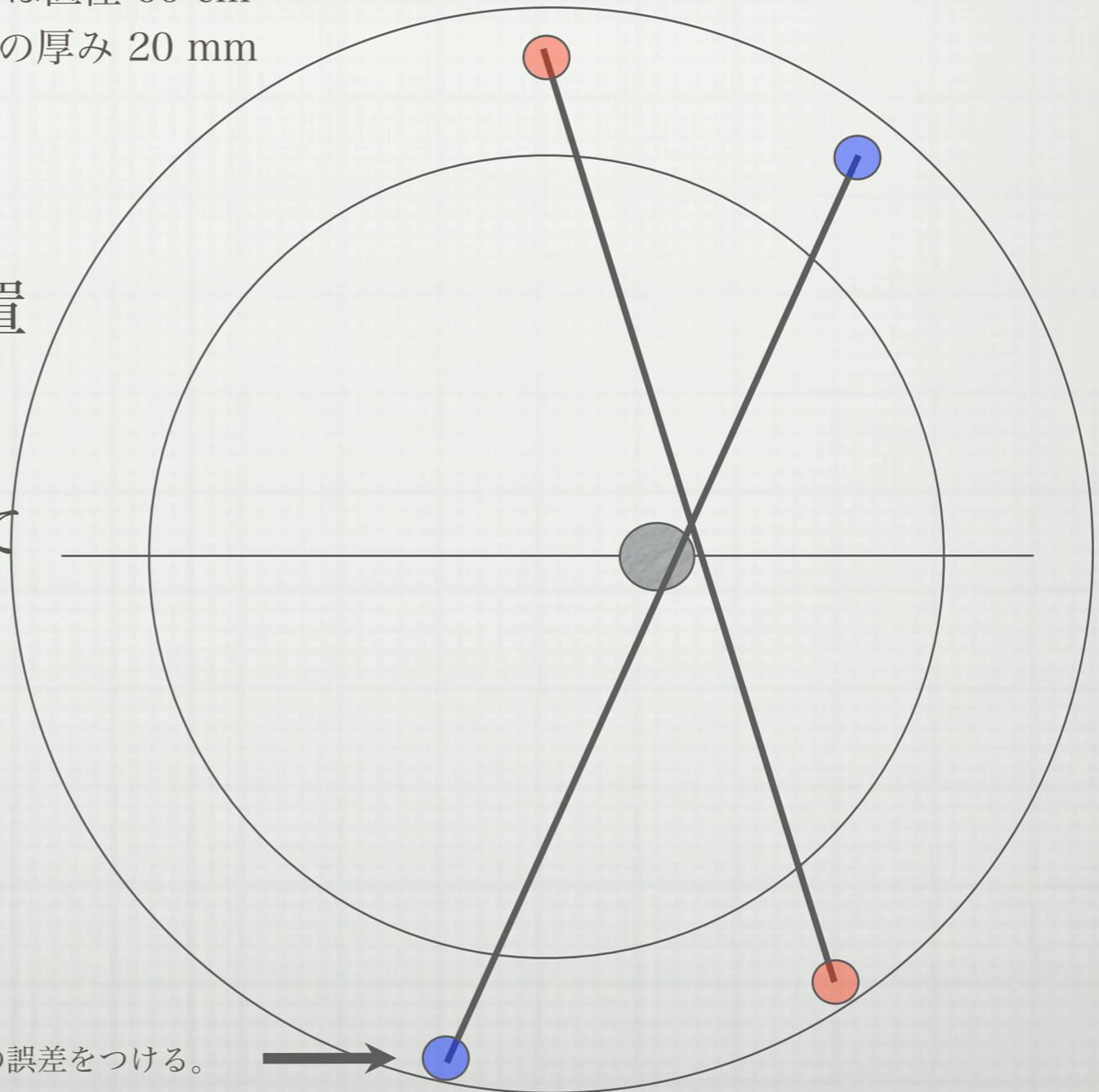
10本



液体シンチレータ (2次元)

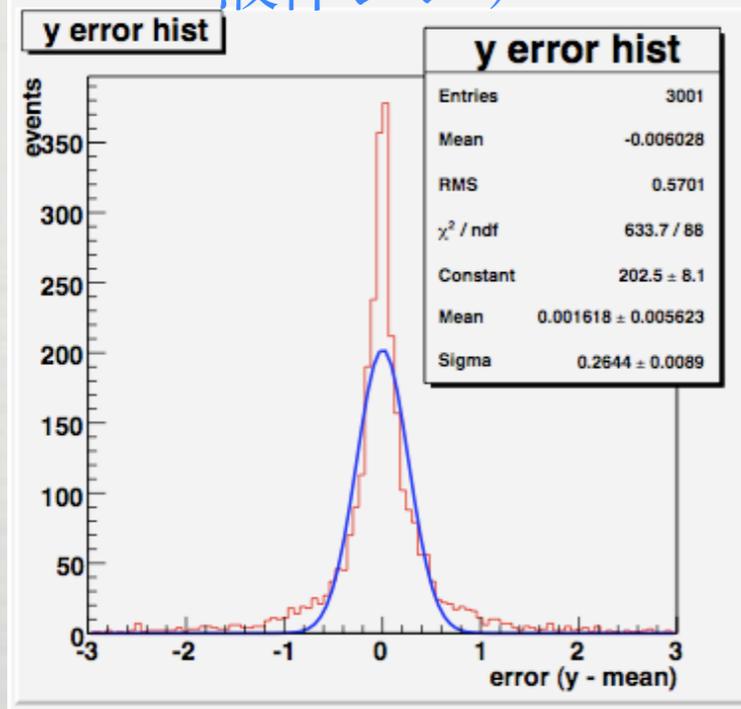
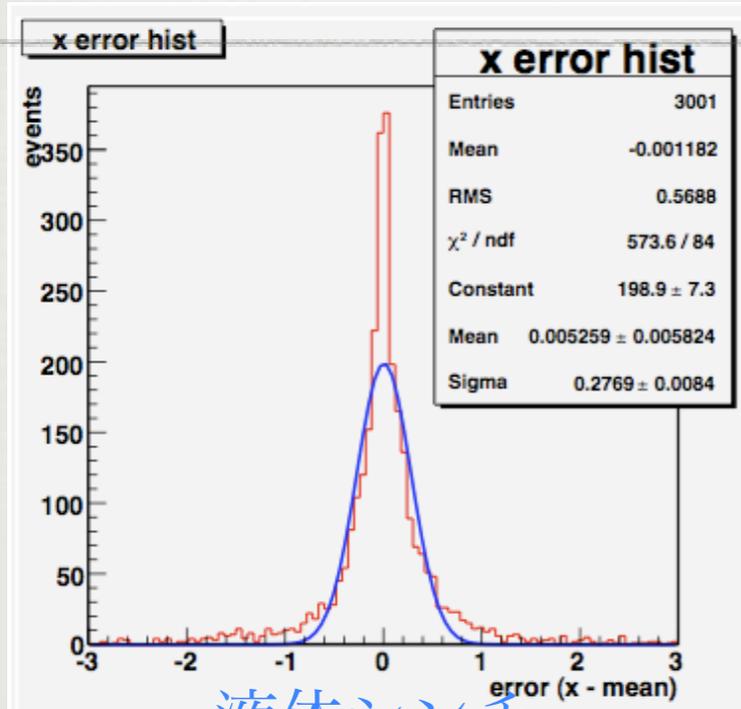
今回は、2次元
容器の大きさは直径 60 cm
シンチレータの厚み 20 mm

- 線源の位置を変えて位置の精度を確認する。
- 拾う直線の本数を変えて位置の精度を確認する。



±0.5mm程度の誤差をつける。

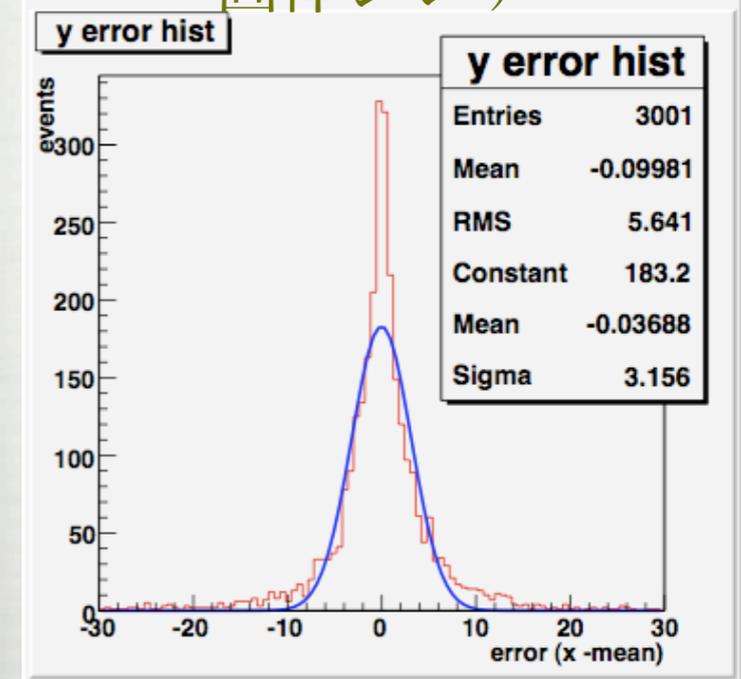
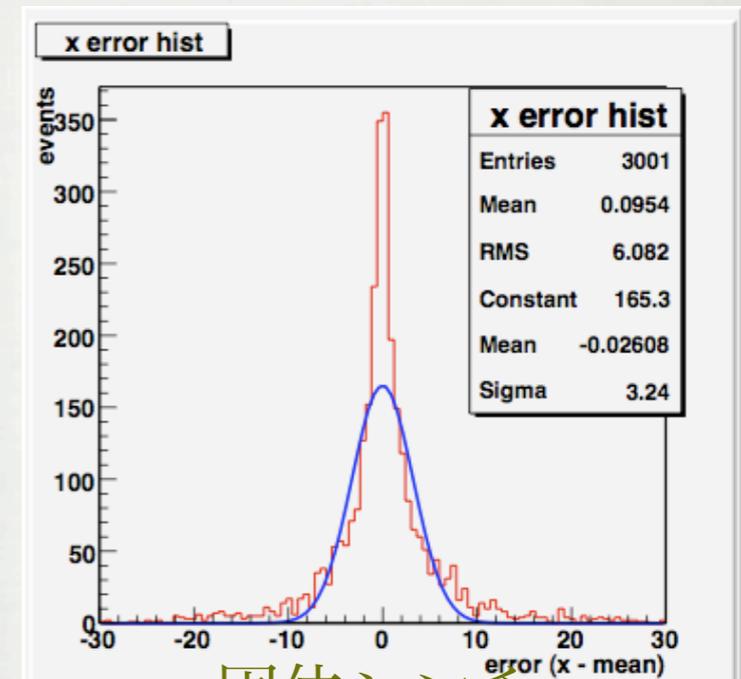
結果



固体シンチレータに比べ
エラーが大幅に少ない。

線源は原点から
50 mmの位置

3本の直線から
交点を参照

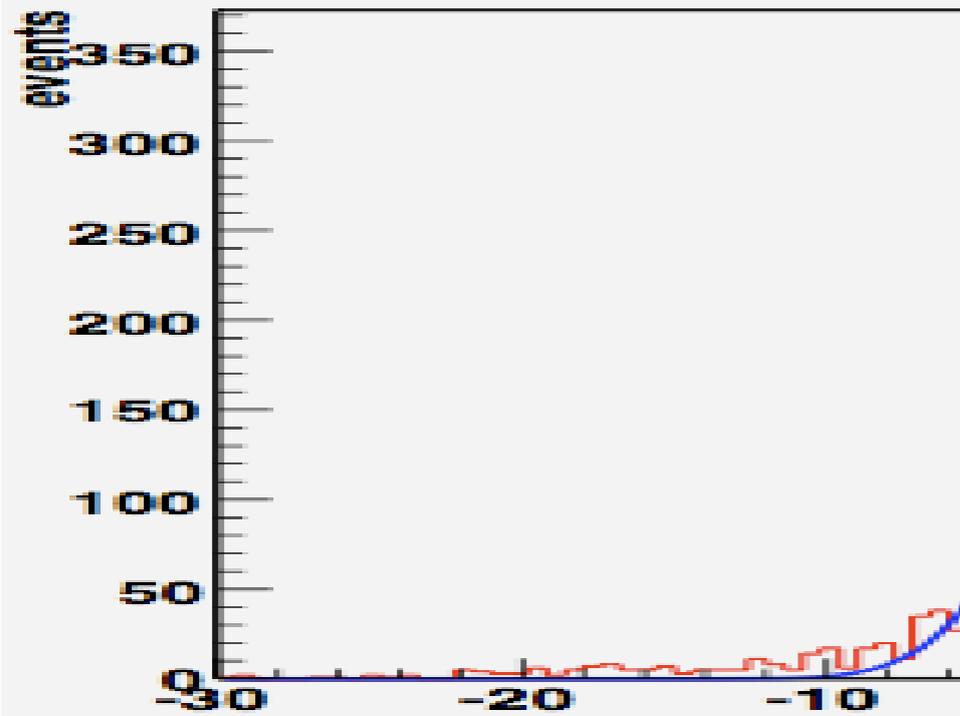


線源は原点から50 mmの位置
3本の直線から交点を参照

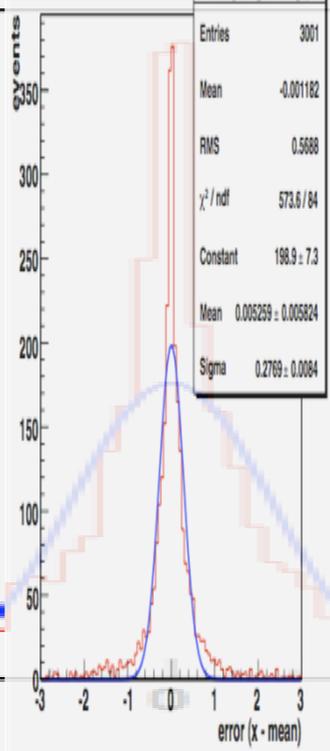
液体シンチ

固体シンチ

x error hist



x error hist

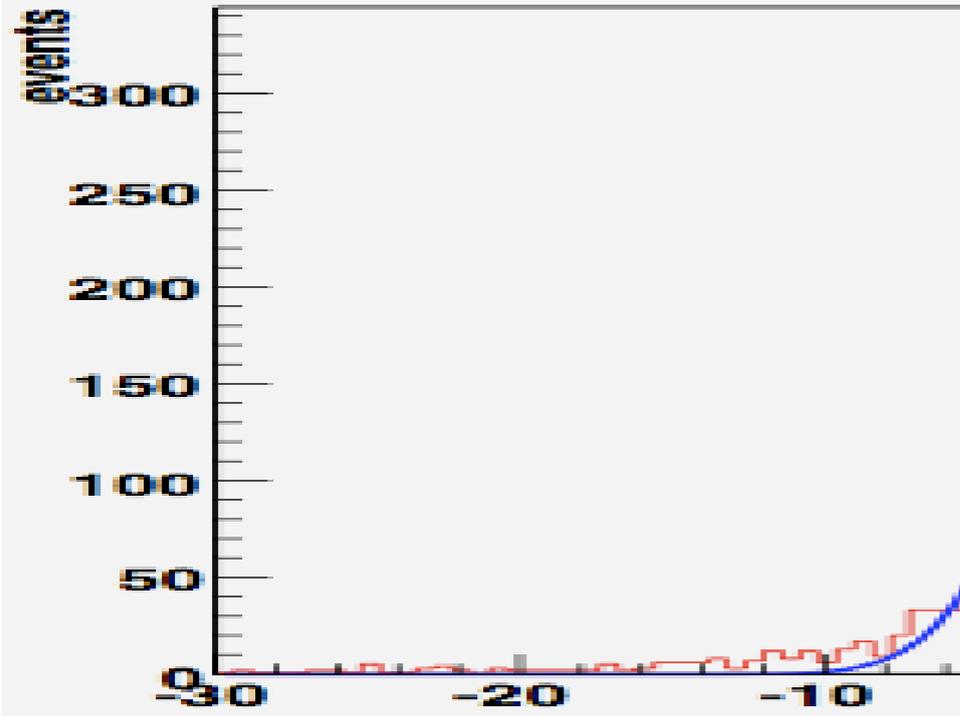


Entries	3001
Mean	-0.001182
RMS	0.6688
χ^2 / ndf	573.6 / 84
Constant	198.9 ± 7.3
Mean	0.006269 ± 0.005824
Sigma	0.2769 ± 0.0084

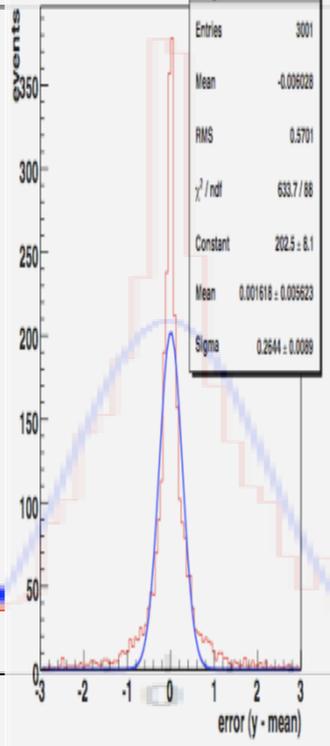
x error hist

Entries	3001
Mean	0.0954
RMS	6.082
Constant	165.3
Mean	-0.02608
Sigma	3.24

y error hist



y error hist



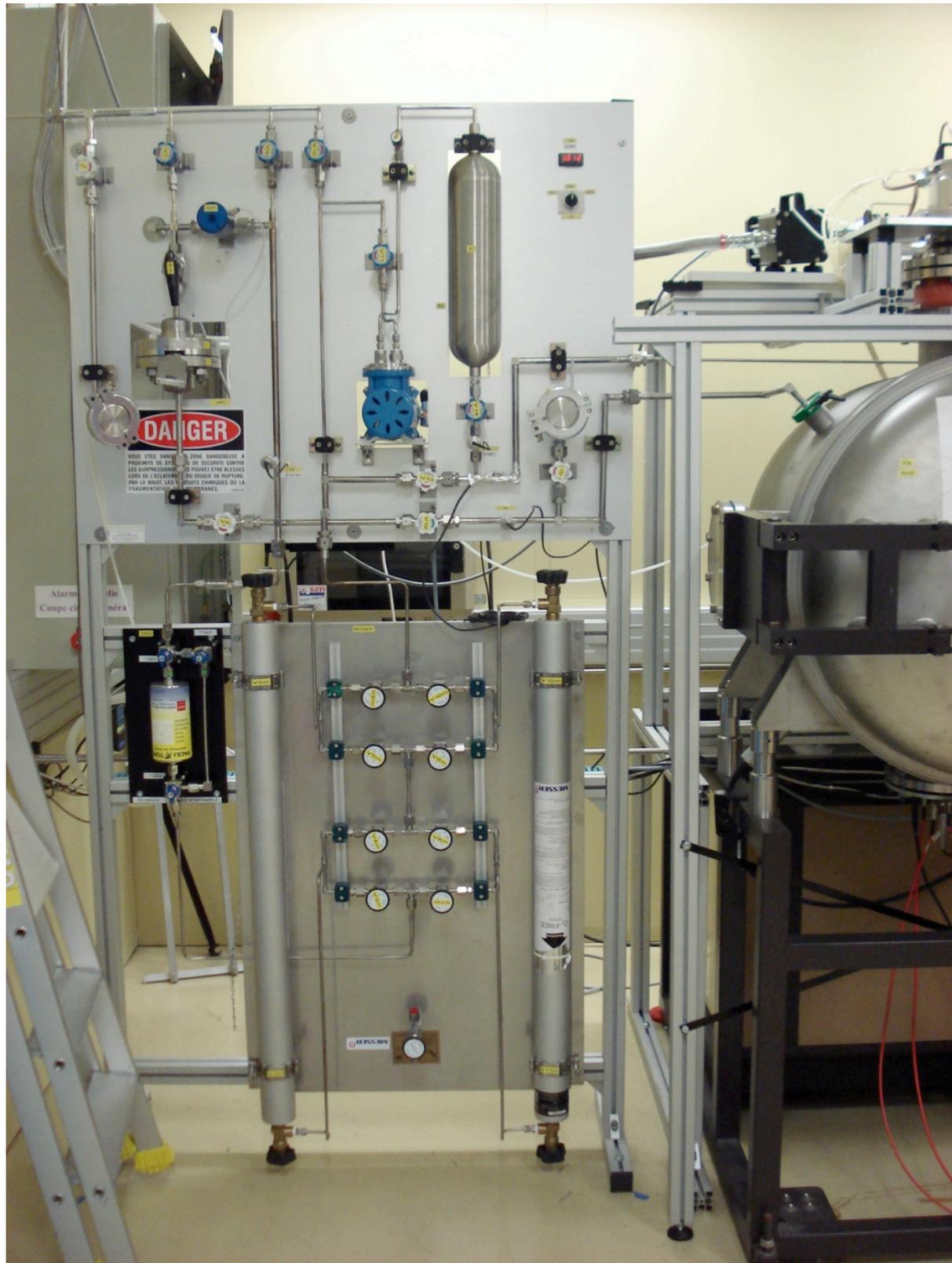
Entries	3001
Mean	-0.006028
RMS	0.5701
χ^2 / ndf	633.7 / 88
Constant	202.5 ± 8.1
Mean	0.001618 ± 0.005623
Sigma	0.2644 ± 0.0089

y error hist

Entries	3001
Mean	-0.09981
RMS	5.641
Constant	183.2
Mean	-0.03688
Sigma	3.156

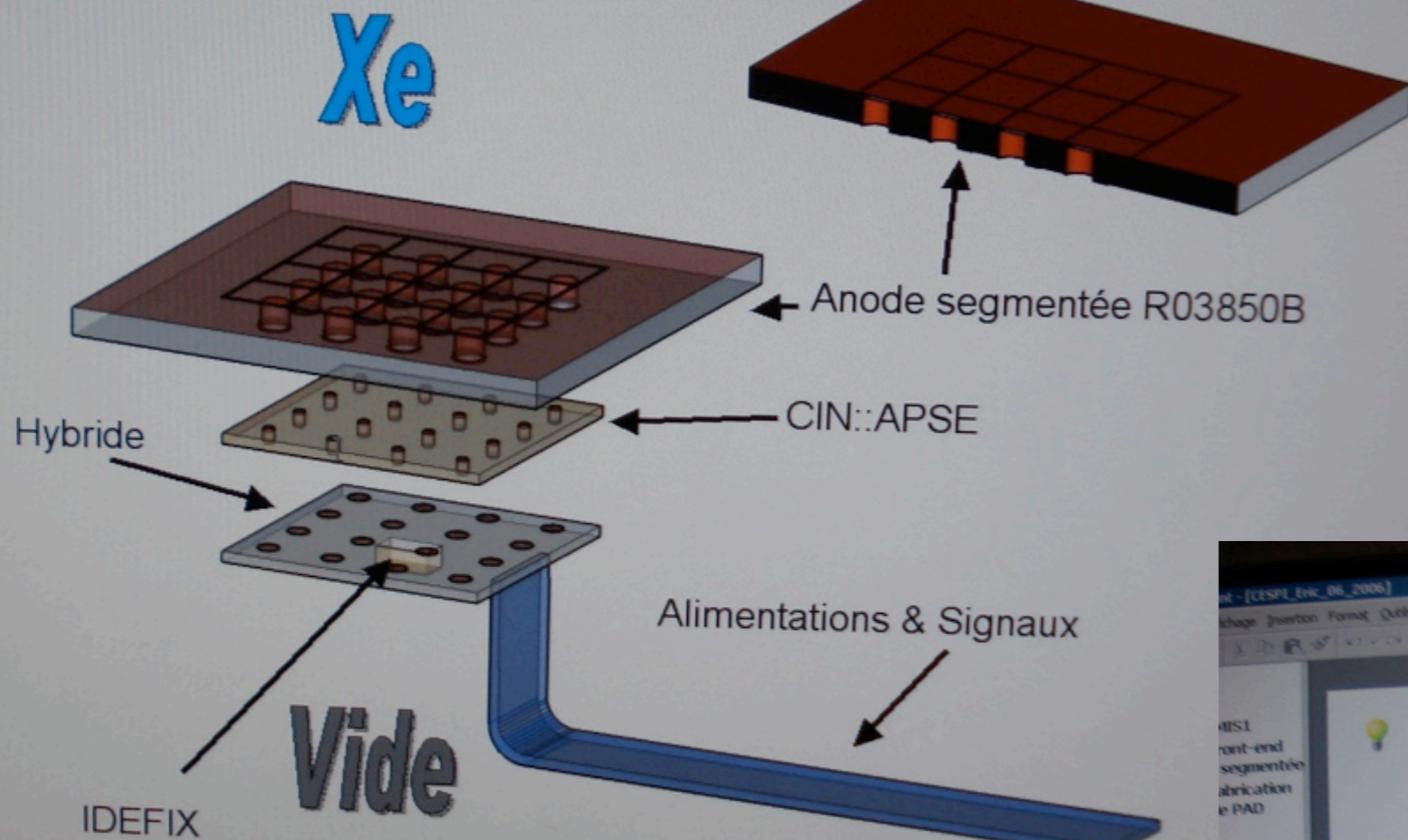
Subatech 液体キセノングループ

2008.6.16 Nantes 訪問, Dominique Thers氏グループと議論



Front-End Readout system (Subatech)

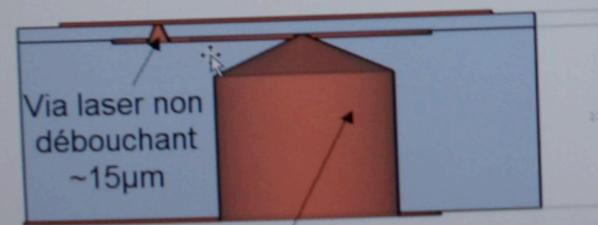
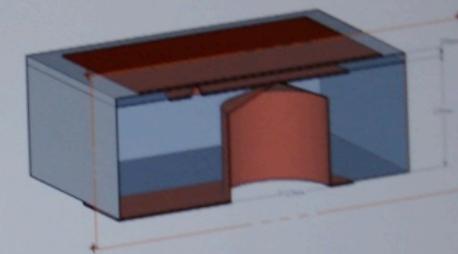
Montage du front-end avec l'anode segmentée



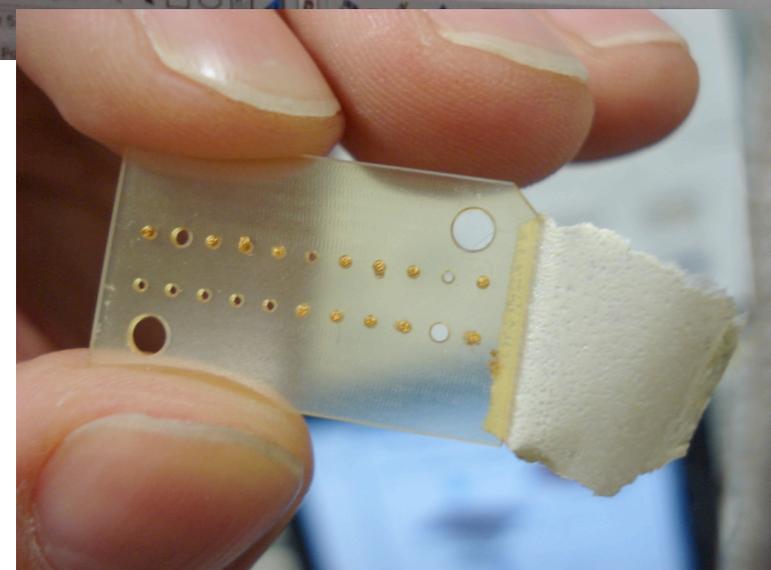
Détail sur la fabrication du plancher de PAD

Matériaux: RO4380B

- Céramique renforcée avec de la fibre de verre (ep=2.5mm).
- Coefficient de dilatation proche de l'inox et du cuivre (17ppm/°C)
- Bonne caractéristique diélectrique (Facteur de dissipation 0.004)



- Mise en place d'un banc de test
- Tenue mécanique (ESPI)
 - Tenue en température (Azote)
 - Caractérisation électrique du plancher (bruit)
 - Validation de la connectique anode / front-end (Hybride+CIN::APSE)



まとめ

1. 液化・純化システムの完成、順調な運転

- 純化性能の測定必要

2. 液体キセノンからのシンチレーション光を観測した (宇宙線とガンマ線ソース)。

3. 液体キセノン中のPMTのゲイン測定

- ゲイン測定の不定性の解明必要：LEDと α 線の違い
- α 線シグナルが小さい！ 原因究明が必要； γ 線ソースも使用

4. PETシミュレーション

- 簡易シミュレーションで基本性能評価を行った
- 今後、GATE (GEANT4)による詳細な研究を行う

5. TPCのシグナル測定を行う予定