

液体Xeグループ報告

2008年3月17日
測定器開発室会議
田中秀治

参加メンバー

- KEK: 冷凍・純化システム、PMTシステム、テスト
 - 田内利明、真木晶弘、春山富義、田中秀治、三原智、幅淳二
 - 笠見勝裕、鈴木祥仁
- 佐賀大: TPC、TPCシミュレーション、テスト
 - 杉山晃、東貴俊(D1)、青座篤史(M2)
- 放医研: PETとしての性能評価
 - 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、佐藤友厚(M1)、宮本健司(M1)
- 協力支援: KEK素核研回路室
 - 田中真伸氏
- レビューワー
 - 早稲田 宮島光弘氏、
 - KEK 海野義信氏

前回のレビューでのコメントについて

- 抵抗値の $10\text{M}\Omega$ で 2kV の電圧をかけると、 0.4W の消費電力となる。気泡がでるのではないか。
 - TPCシステムの抵抗は簡単に交換可能であり、 $1\text{G}\Omega$ 程度までは
 - 検討してみる。
 - 最終的にはこの抵抗値は放射線の線量で決まると考えている。
- cathode用の電極はメッシュ板である必要はない。
 - 金属板に変更した。
- それぞれのPADごとのゲイン(感度など)の較正をどうするのか。
 - 較正のための真空容器で使用可能なガンマ線ソースを購入
 - (Cs-137 , CS516タイプ, 10kB 及び α 線源(MEGで使用))
- パッドの材質のG10はアウトガスの問題があると思われる。
 - コストの問題が一番大きい。今回はFR4を使用するが最終的にはセラミックスを使用したいと考えている(業者問い合わせ中)。
- HV用抵抗はガラス抵抗がよい。→変更済み
- 一般に 3mm 間に $6\text{kV}/\text{cm}$ 以上(ドルフト領域の3倍程度)かけないとメッシュを透過しない
 - スペーサーギャップをコントロールして達成する。
- ガスでTPCのテストする意味があるのか。
 - 実験室の準備の遅れによりガスでの試験はしない。

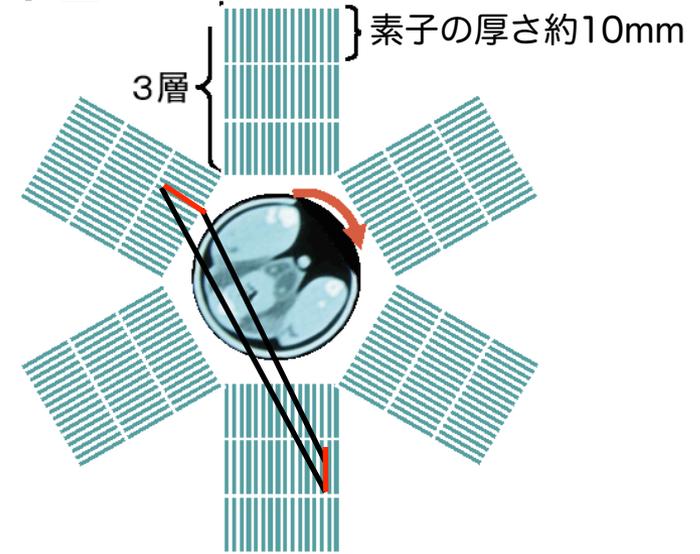
TXePET(液体キセノン検出器を用いた次世代PET)

次世代PET

次世代PET開発の課題

- A) 解像度の向上: γ 線位置精度の向上
(特にDOI)
: 雑音の除去
- B) 感度の向上 : 大アクセプタンス
(死角の最小化)

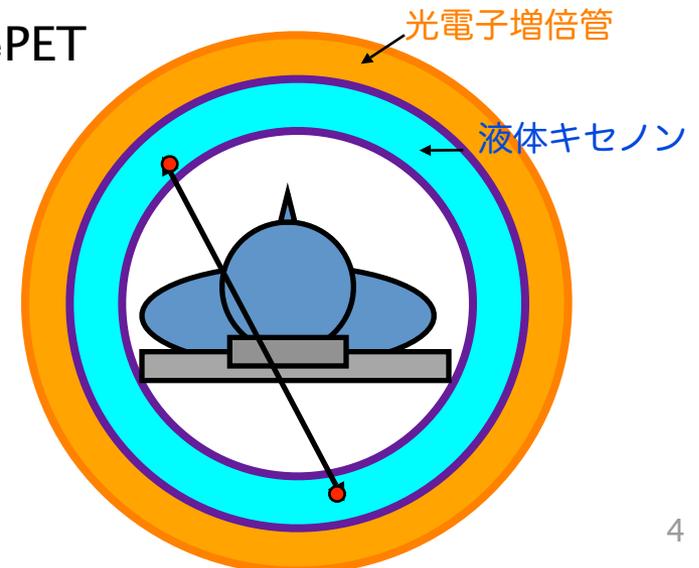
多層素子型PET



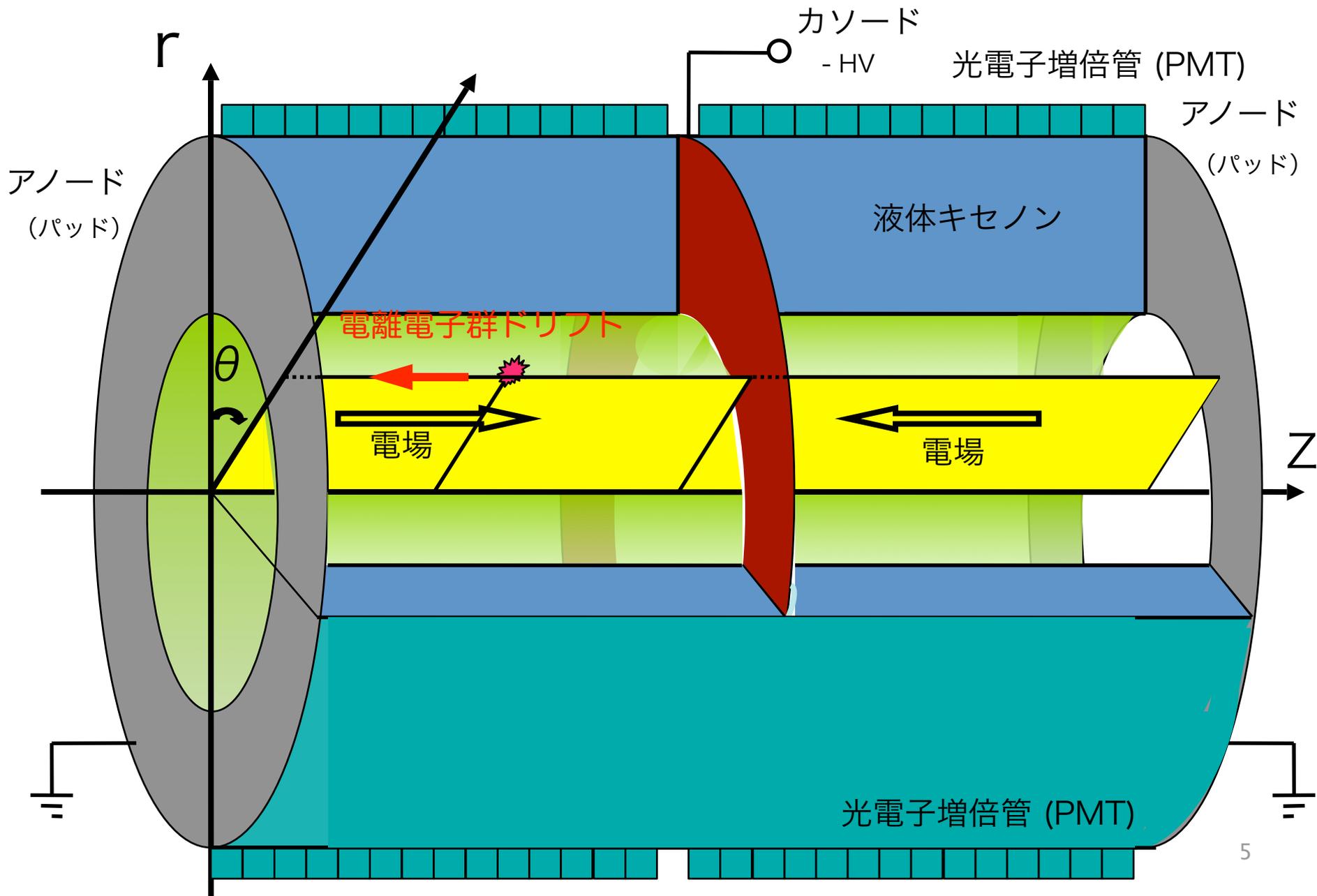
TXePETの開発戦略

- 0) 高エネルギー物理実験技術の応用 (TPC)
- 1) 511keV γ 線の高精度な三次元位置測定
電離電子検出で 1mm 以下 (含DOI)
- 2) 蛍光測定による γ 線変換時間の決定
時間精度 1 ns 以下
- 3) 液体媒体故の大アクセプタンス
周方向にシームレス

TXePET



TXePET:分割の無い液体キセノンTPC



期待される性能

- 3次元位置精度 (TPC)
 - $\sigma(x,y,z) = 0.2\text{mm}$
- エネルギー分解能 (TPC)
 - $\sigma = 6\%$ for $E_\gamma = 511\text{keV}$
- 時間分解能 (PMT)
 - $\sigma = 130\text{ psec}$
(TPC中のドリフト距離 < 24 cm)

2007年度予定 (当面の目標)

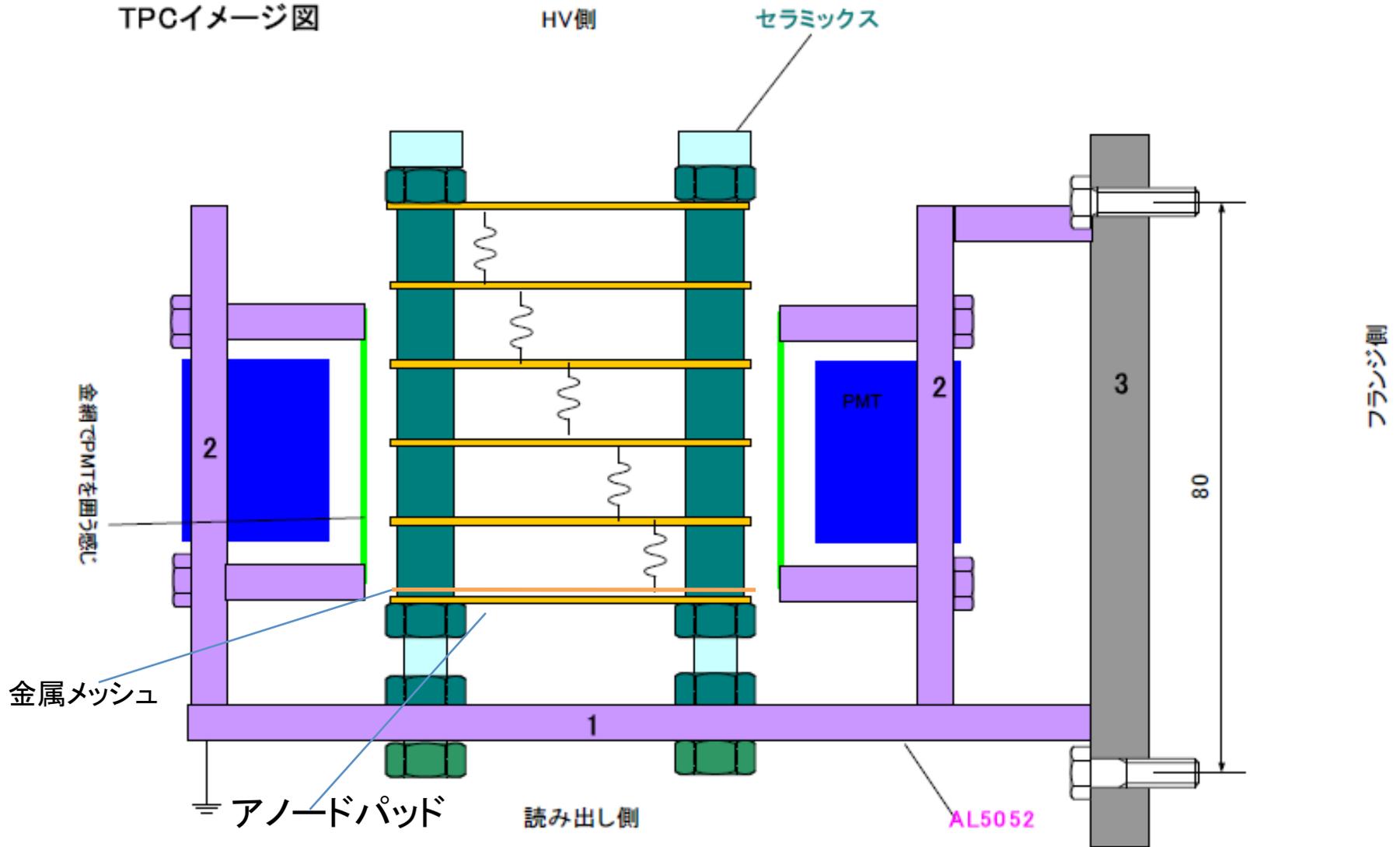
- △液体キセノン純化 (KEK パルス管冷凍機使用)
 - 酸素、水 (シグナル減衰)そして、クリプトン等(バックグラウンド)の除去 ppb以下
 - 不純物除去と測定方法の確立とTPCなどの使用素材の吟味
- ○素材チェック (液体窒素中 -200°C)
 - HVケーブル 碍子、(低温中での耐圧)
 - ハンダ使用の是非
 - コンデンサ、抵抗 (低温中の高周波特性、耐圧、温度特性)
 - フィードスルー
 - ヒートサイクルによる使用素材の劣化
 - ベーキング可能な材料選定

Cont'd

- △ ドリフト1cm程度のTPC(プロトプロトタイプ)製作
- △ 基本技術の習得 - テスト用冷凍容器使用
- × TPCの基本性能測定
 - 拡散(diffusion)、減衰(attenuation)、3次元位置の測定
 - 読みだし (ゲイン1):アノードパッド
 - 低電力低ノイズアンプのテスト(開発中のASICなど)
 - 位置、エネルギー精度の較正方法 (放射線源、宇宙線ミュオンなど)
 - シグナルのシミュレーション(電場、グリット電圧、ドリフト)

TPC試作機概念図

TPCイメージ図



基本構造をコの字型にすることでTPCのHV側、読み出し、抵抗のdaisy chain部、PAD読み出し部の全てにアクセスが可能になる。

(例えば向かって手前を抵抗チェーンにするなら反対側を読み出しにすればよい)
また製作時には各辺を独立に製作可能(1 静電部、2 PMT、3 フランジ接続部)

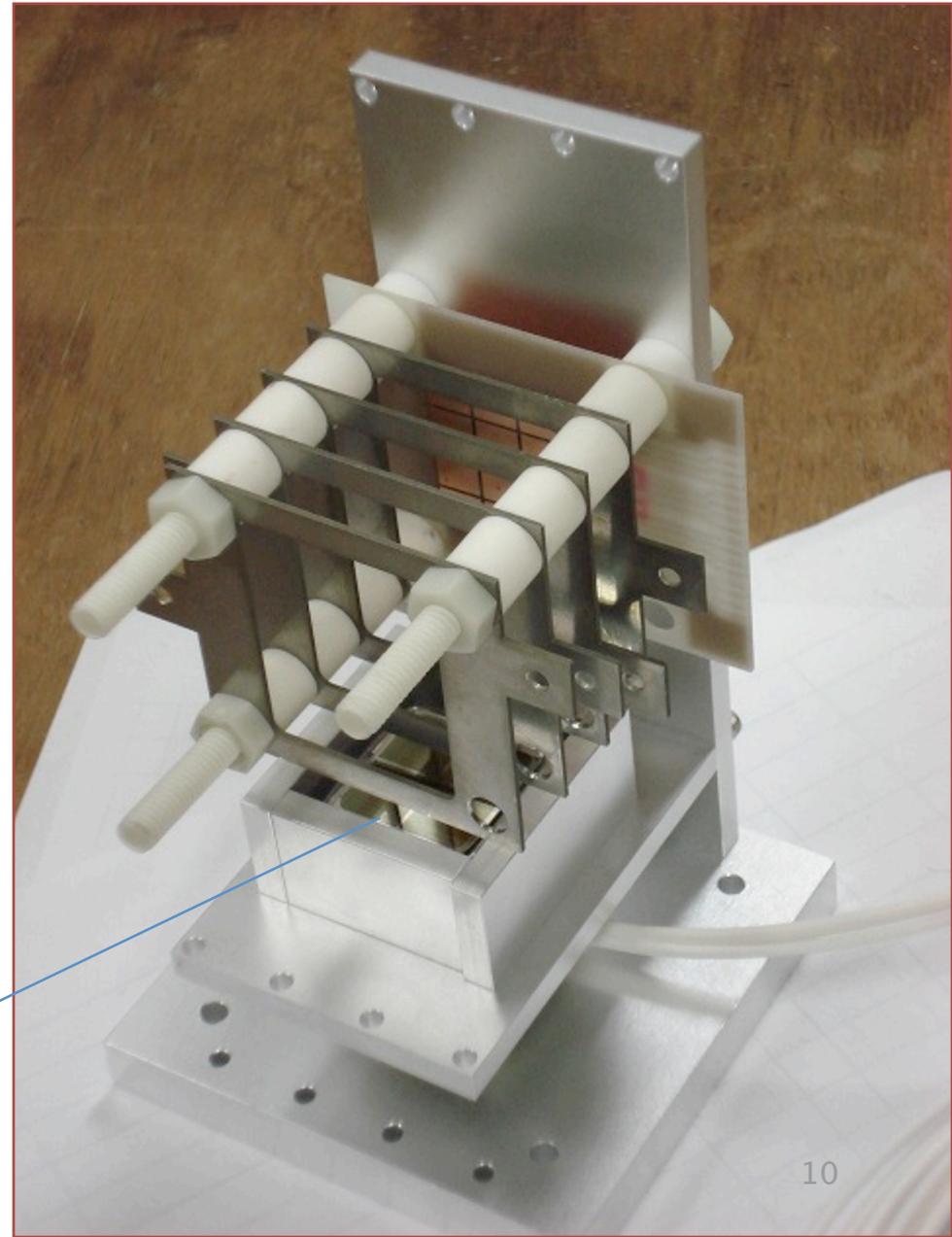
TPC本体の制作状況

◎真空容器取り付けのためのフレームを設計制作を行い、設置可能であることを確認した。

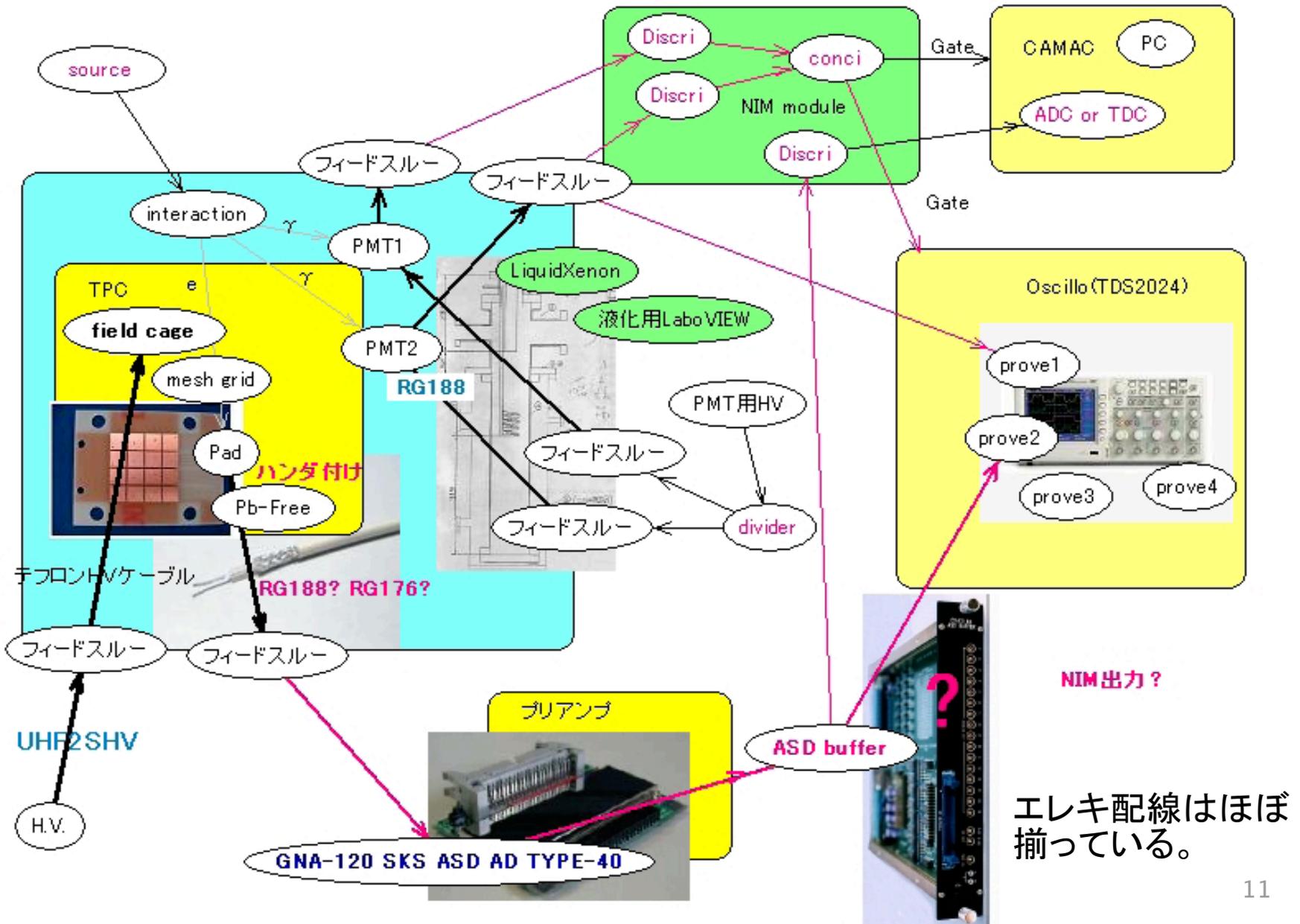
◎配線はフランジのフィードスルーを經由して外部に取り出すが、現在ほぼ部品準備を終えた。

◎ブリーダー抵抗はガラス封入のものに交換

PMT



TPC配線

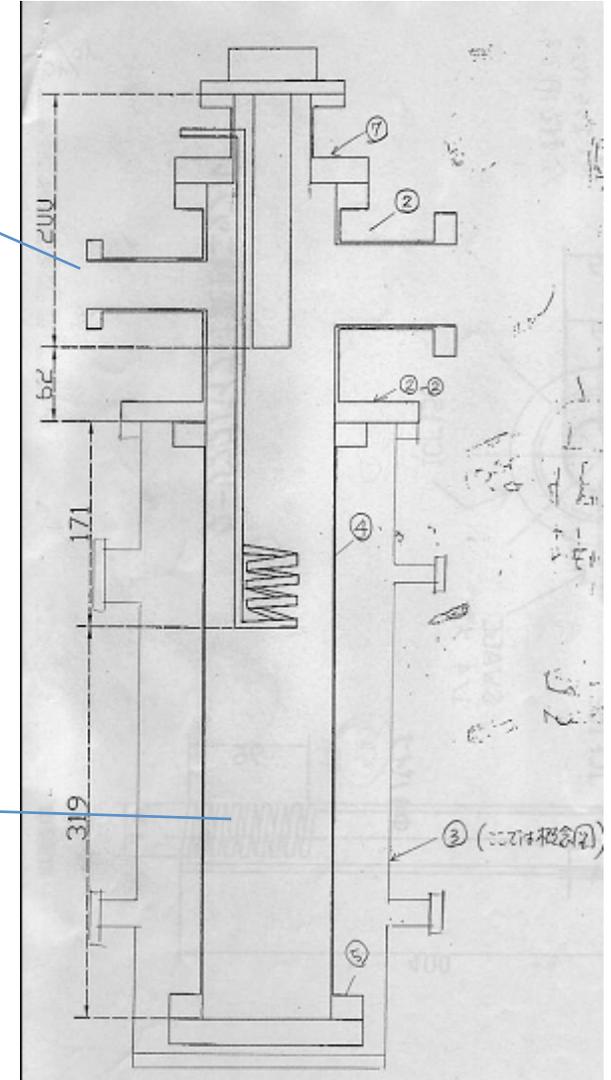


TPC配線部品

信号線はフィードスルー
経路で外に取り出す
(BURNDY製、ハウジング
部分はPEEK製に変更)



30kV耐圧の
シリコンケーブルを
HVラインに使用
(日星電気)し、
HV用は別のフランジから取り出す。



ハンダは極低温で使用可能なSn+Ag+Cu(アルミット製)を使用¹²

部品洗浄及びコーティングの可能性

- TPCの部品は素材に応じて洗浄形態が異なる
 - アルミの場合：アルカリ溶液洗浄
 - SUSの場合：酸溶液洗浄
 - ハンダ：水溶性フラックス＋水超音波洗浄（まだ実現できていない）
- PMTやケーブルなどは部品が複合しているため洗浄方法が不定になっている。
 - フッ素グリースによるコーティングかプラスチックによるモールドイングが可能であるか検討中。
- RG188信号ケーブルなどは被覆が不純物の原因となりうるのでその影響も確認する必要がある。

実験室の状況

- 2月中旬から配電盤使用可能となり、冷凍機システムの組立てが可能となる。(配管の主な部分はラックに組み込み済み)
- 冷凍機システムのコントロール用のLabviewは、低温グループの鈴木氏が立ち上げる予定である。現在モニターおよび非常時の処理(バルブコントロール)などが可能になっている。
- 液面センサー(Pt100)のキャリブレーションは終了。



Xeガスハンドリングパネル

- ・配管はSUS-BA管
- ・VCR継手
- ・自動溶接
- ・サエスゲッター
- ・ダイアフラムポンプ
- ・半導体クリーン仕様部品
等、組込み済み

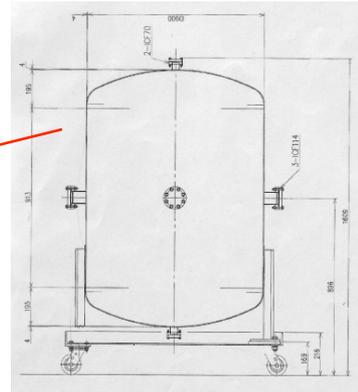
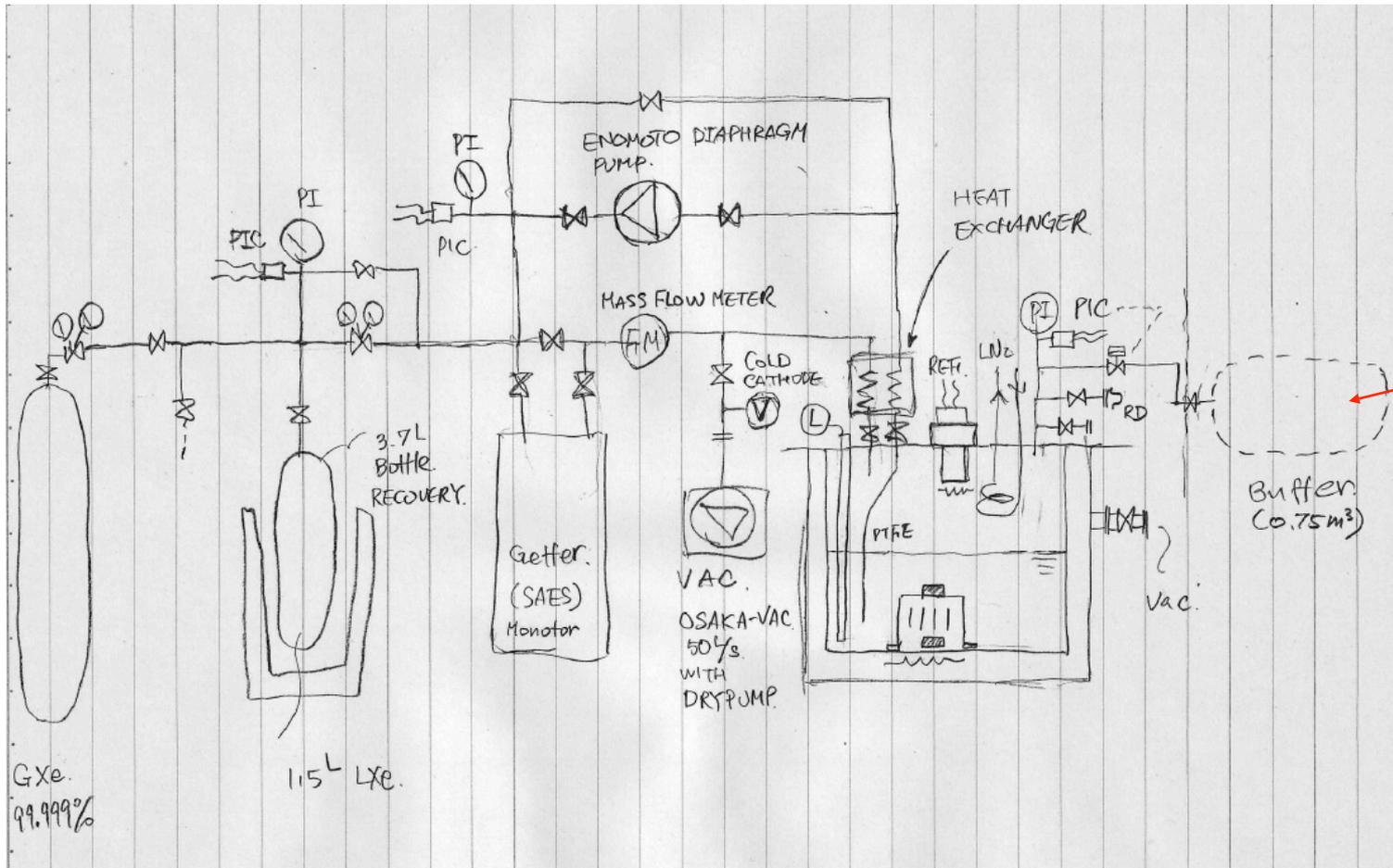
- ・0.75m³のバッファタンク
- ・チェンバーへの配管
- ・温度センサー、液面検出装置
- ・LabVIEWモニターシステム
等を準備中

- ・3月24日の週にチェンバーとつなぎ
試運転(キセノン液化、保持、回収)
の予定



LXeプロトタイプ実験システム

- ・LXe 1-2L対応
- ・高純度Xeガスをゲッターで超高純度に
- ・パルス管冷凍機で液化、保持
- ・ダイヤフラムポンプによるガス循環精製



0.75m³
バッファタンク
'製作中)

まとめ

- 冷凍機の運転開始は3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。

資料

エレクトロニクスシステム概要

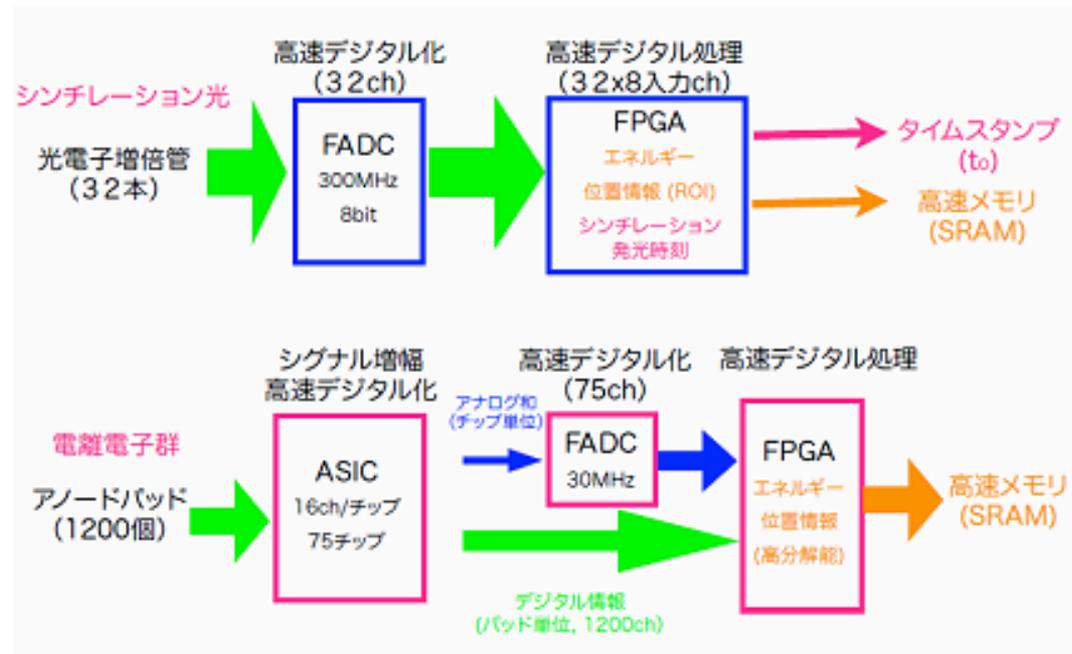


図5:エレクトロニクスシステムの概要。
シンチレーション光の情報 (ROI情報)、電離電子の情報 (精密位置、エネルギー情報)をそれぞれFPGA技術用いてオンボードでパイプライン処理する。

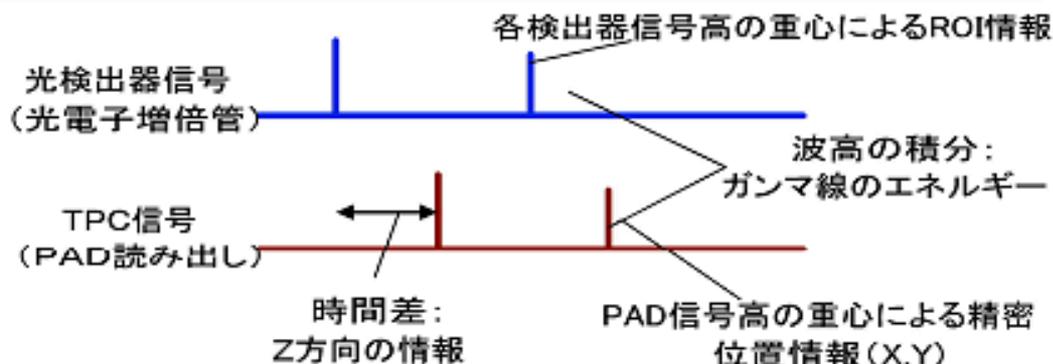


図6:エレクトロニクスボード上でパイプライン処理される信号情報の概念図。

収集電荷とエネルギー分解能の電場依存

Gridなしの3.5mm
ギャップの平行板
チェンバー

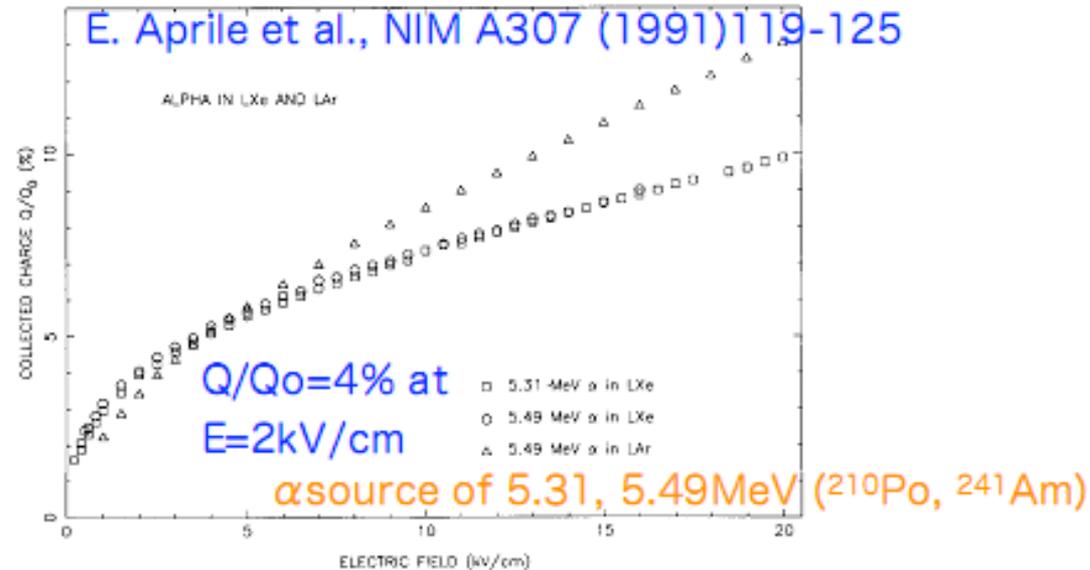


Fig. 5. Collected charge (Q/Q_0 %) vs. electric field for ^{210}Po in liquid xenon (\square) and ^{241}Am in liquid xenon (\circ) and liquid argon (\triangle).

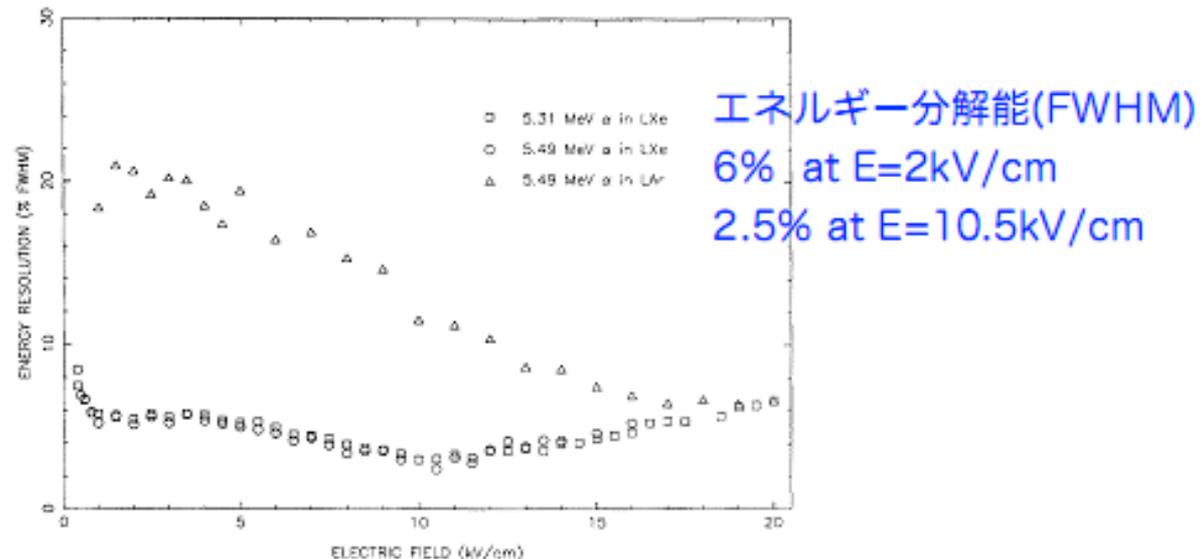
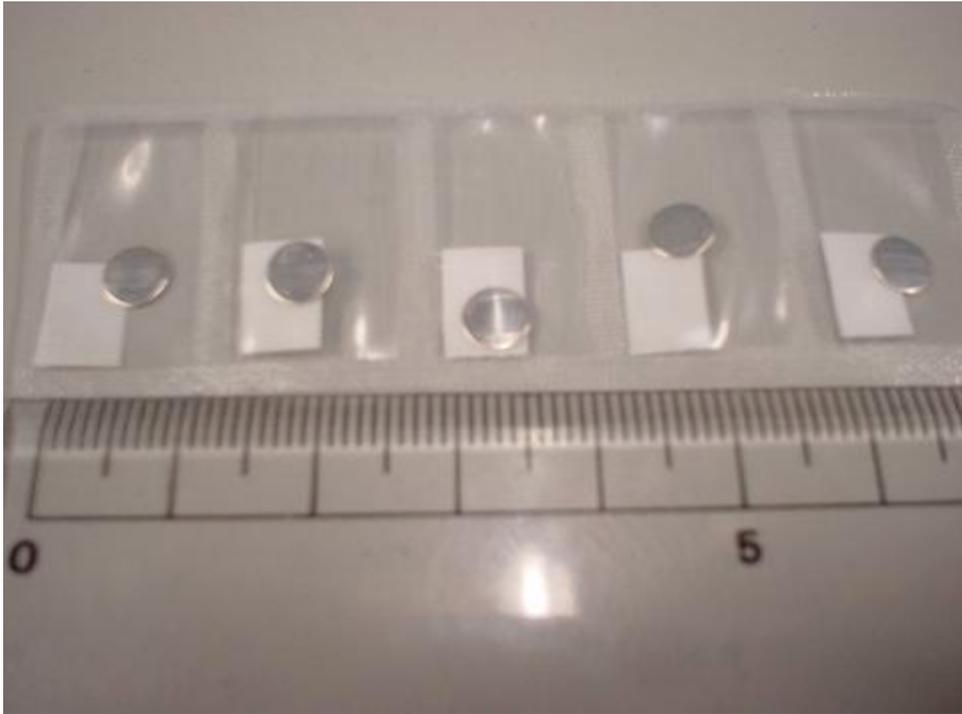


Fig. 6. Noise subtracted energy resolution vs. electric field for ^{210}Po in liquid xenon (\square) and ^{241}Am in liquid xenon (\circ) and liquid argon (\triangle).

α 線源



『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。』