

次世代PETにむけたプロトタイプ 液体キセノン検出器の開発と現状

藤井祐樹 東京大学

液体キセノン開発グループ

高エ研, 佐賀大, 東大, 横国大

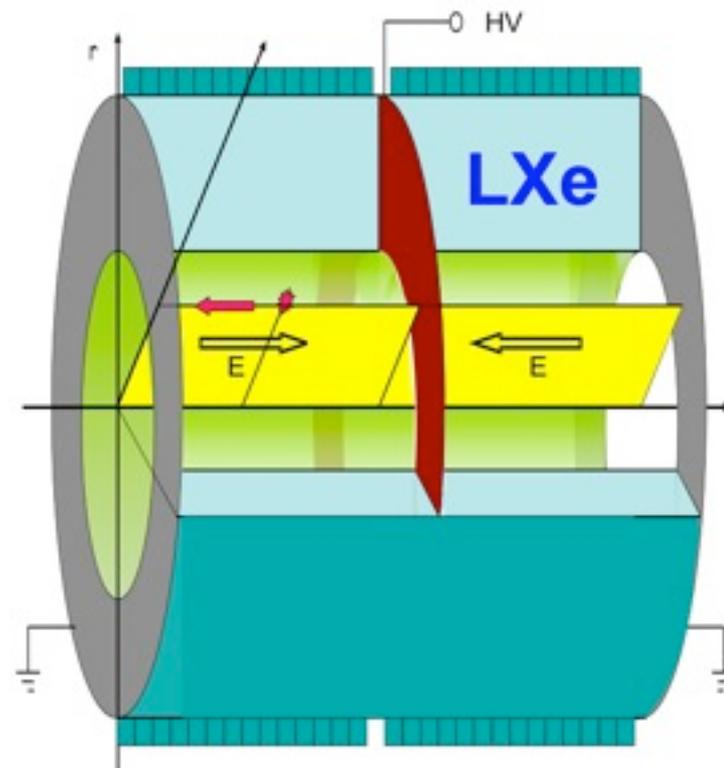
日本物理学会2009年秋季大会

甲南大学岡本キャンパス

2009年9月11日

CONTENTS

- Introduction
- Status of 2009
- Prototype detector
- Motivations
- Alpha source study
- Demonstration of tracking
- Conclusion
- Future's prospects



次世代PETのイメージ図

INTRODUCTION

○ 液体キセノンTime Projection Chamber

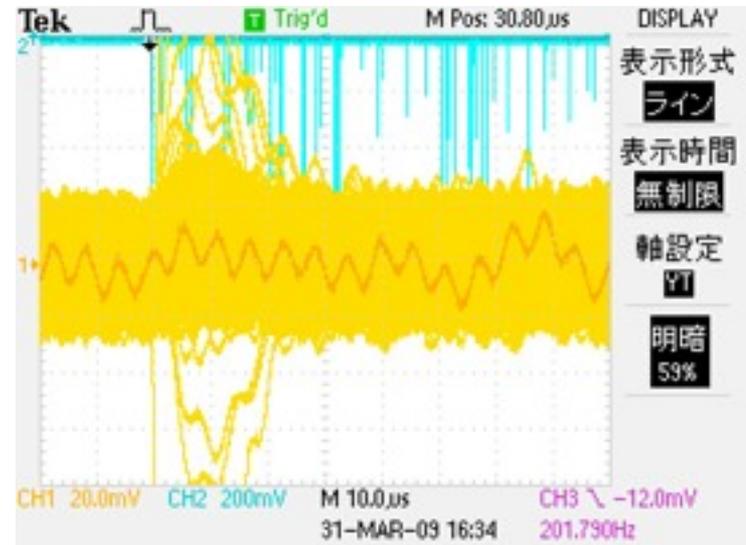
- キセノンシンチレーション光による信号
 - ▶ 非常に速い信号
 - ▶ シンチレーション光によるエネルギー情報
- 電離電子による遅い信号
 - ▶ 正確な3次元位置情報
 - ▶ 電荷量によるエネルギー情報

○ 次世代PETへの応用の可能性

- 比較的容易な大型化
 - ▶ 大アクセプタンス
- 高い位置分解能による精細な画像
 - ▶ 癌の早期発見

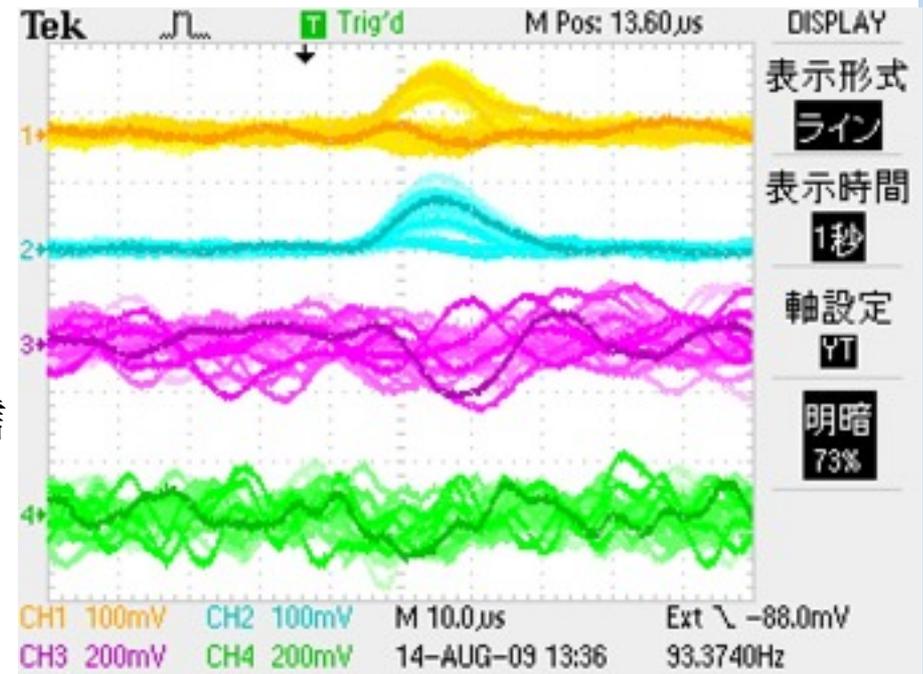
STATUS OF 2009

- ~Mar. 2009
 - 宇宙線の観測
 - 1ch 読み出し
 - Run終了間際にアルファ線による信号が見えた



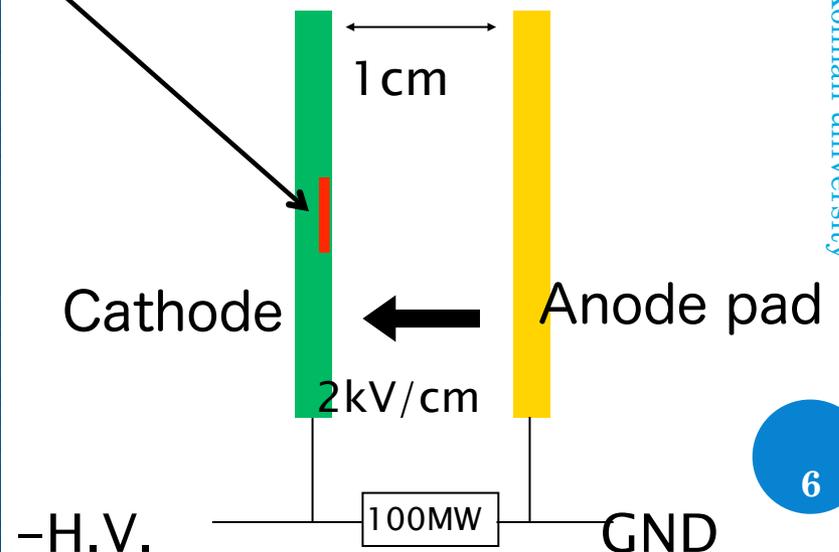
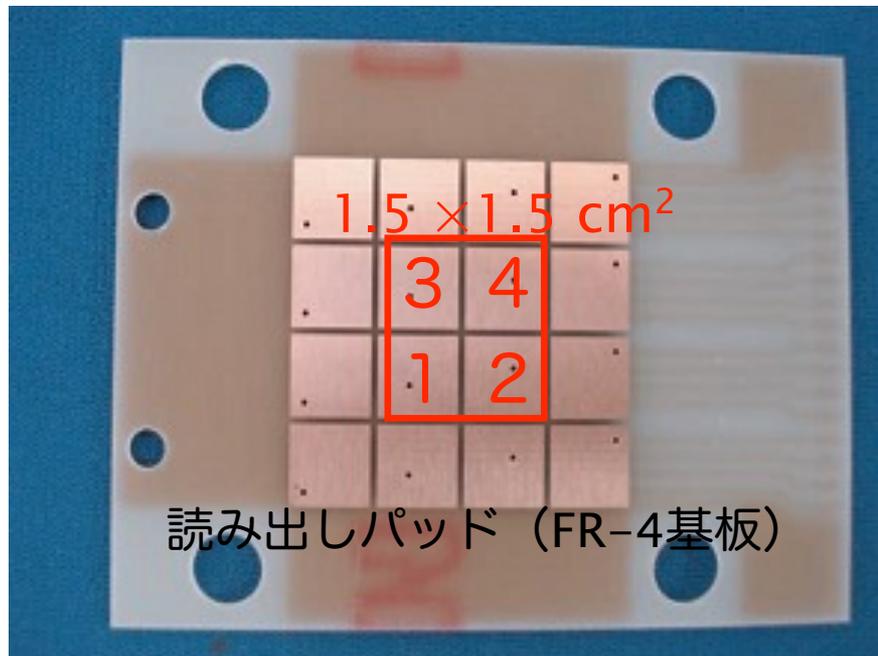
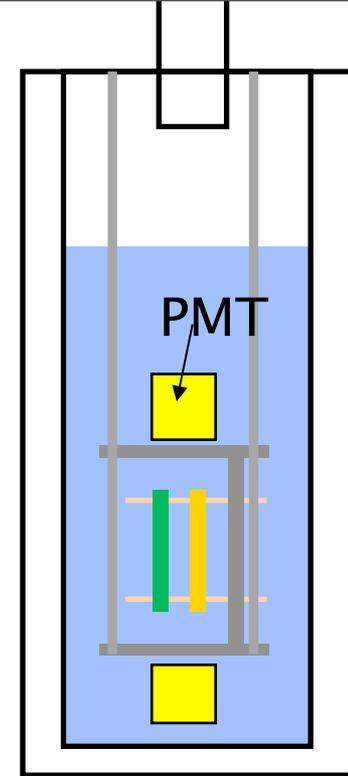
STATUS OF 2009

- ~Mar. 2009
 - 宇宙線の観測
 - 1ch 読み出し
 - Run終了間際にアルファ線による信号が見えた
- Jan. 2009 ~ Aug. 2009
 - アルファ線信号の測定
 - 1ch \perp 4ch 読み出し
 - 宇宙線ミューオンの2次元飛跡検出



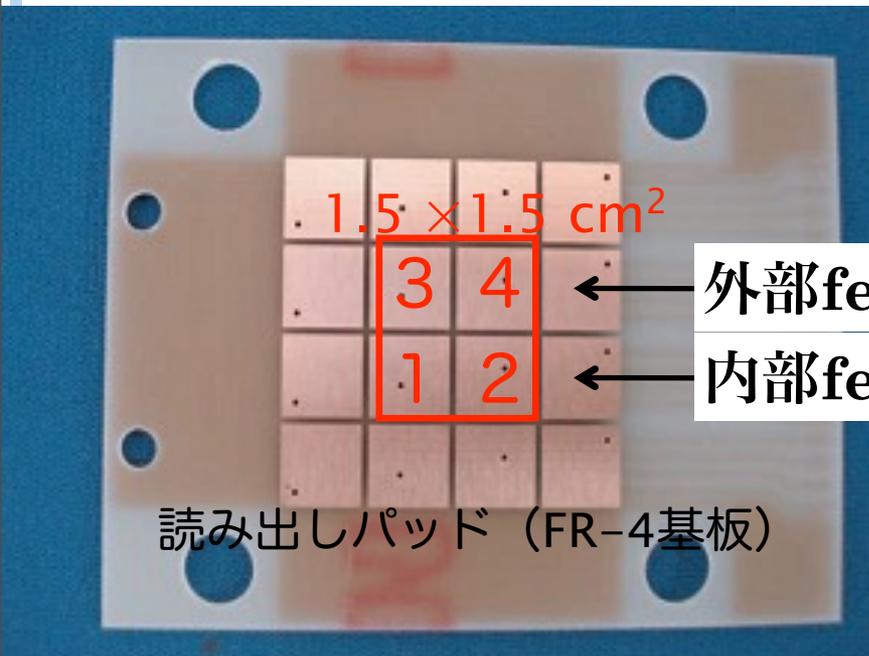
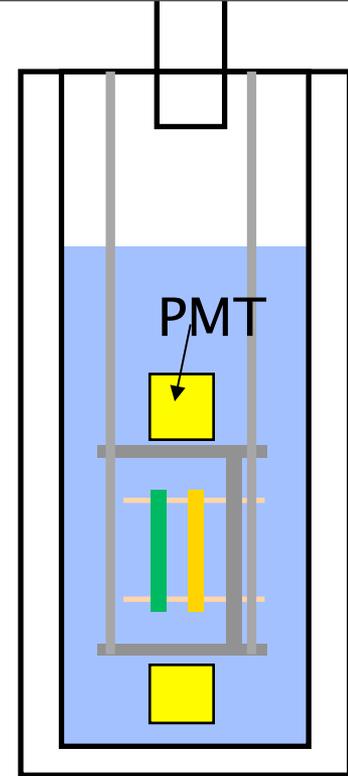
PROTOTYPE DETECTOR

- 上下2本のPMT (R5900-06AL12S-ASSY, 28mm×28mm)
 - トリガー用の速い信号
 - 液体キセノンの波長領域で高感度(Q.E.~20%)
- TPC pad
 - 4枚のパッドのほぼ中心にエネルギー較正用Am線源を設置(~200 Bq, 直径 5 mm)
 - ∴アノードパッドデザイン



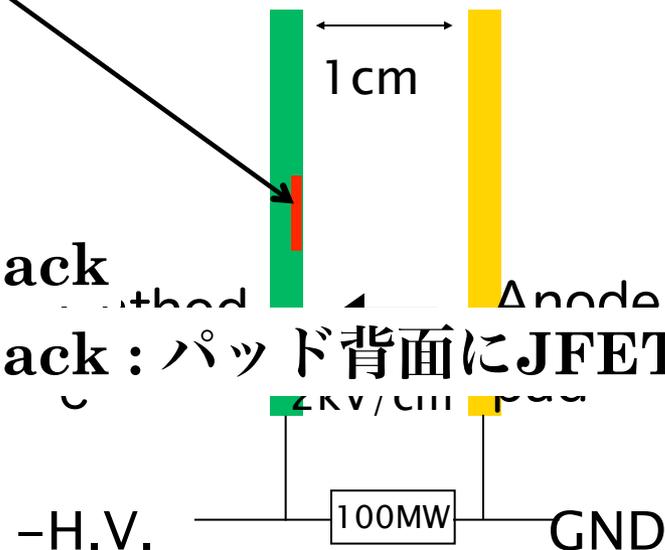
PROTOTYPE DETECTOR

- 上下2本のPMT (R5900-06AL12S-ASSY, 28mm×28mm)
 - トリガー用の速い信号
 - 液体キセノンの波長領域で高感度(Q.E.~20%)
- TPC pad
 - 4枚のパッドのほぼ中心にエネルギー較正用Am線源を設置(~200 Bq, 直径 5 mm)
 - ∴アノードパッドデザイン



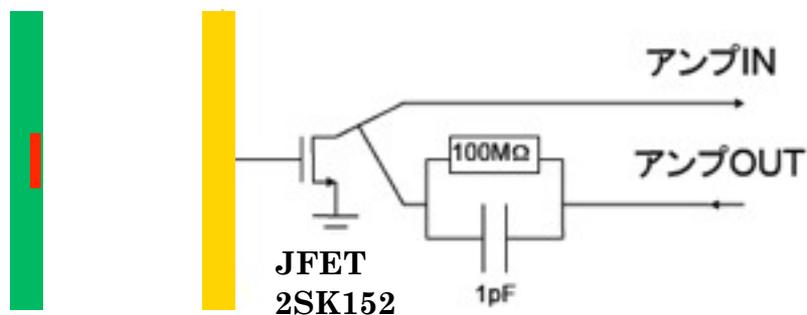
外部feed back ←

内部feed back : パッド背面にJFET直付け ←



MOTIVATIONS

- 液体キセノン中でfeed backを行ったときと、フィードスルー外までケーブルでひっぱってfeed backを行ったときのノイズ状況の違いを調べる
 - 内部feed back : ノイズの影響を最小限にしてfeed backができる
 - 外部feed back : キセノンを汚さずにシンプルなデザインで増幅可能

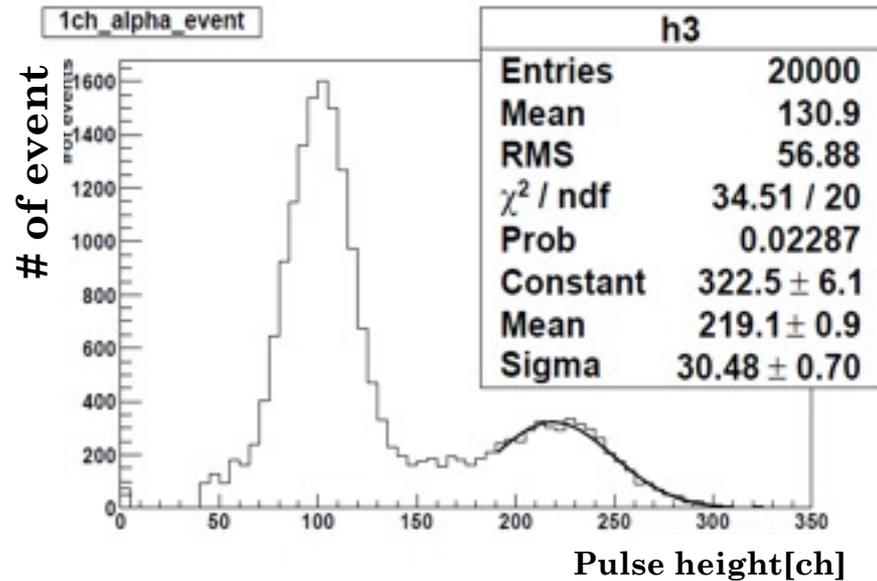
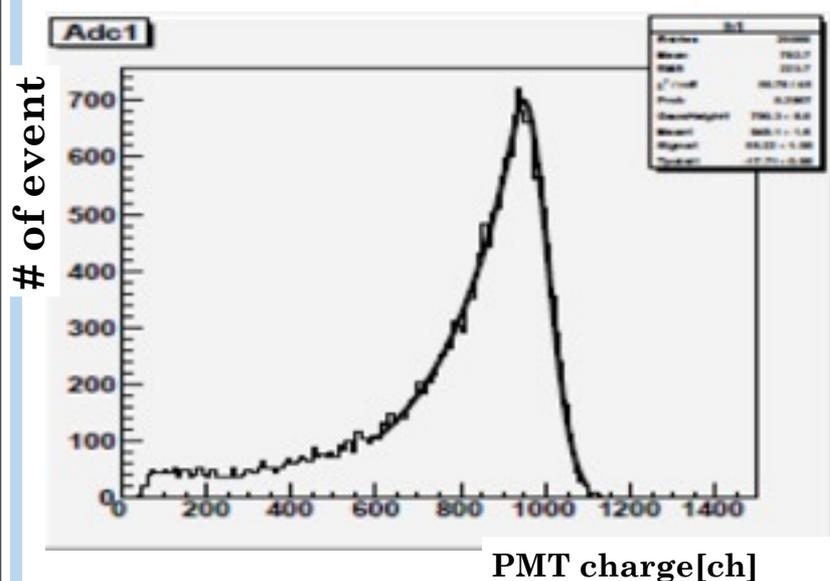


- アルファ線によるデータが妥当な値であるか評価する
- 多チャンネル読み出しを行う

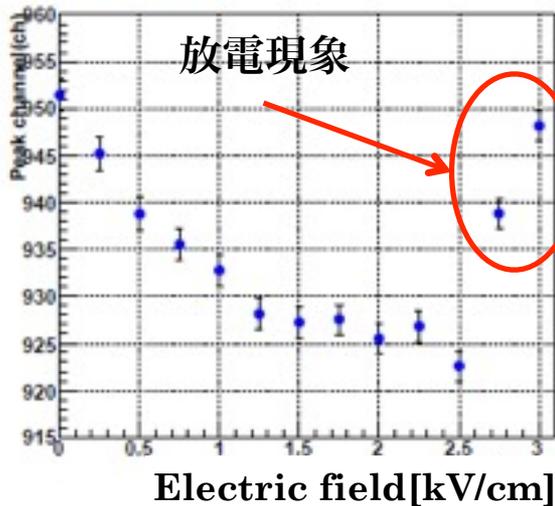
ALPHA SOURCE STUDY

ELECTRIC FIELD DEPENDENCY

- PMTからのシンチレーション光による信号を電荷積分型ADCで、TPCからの電離電子による信号をPH-ADCで測定し、電場依存性を調べる
 - 0 ~ 3.0 [kV/cm] の間で 0.25 [kV/cm] で電場の大きさを変化させて測定を行った
 - 文献値との比較を行う
- PMTの信号はアルファ線ピークのmeanの位置で評価し、TPCからの信号はpulse heightから電荷量を、 σ の大きさから分解能の評価をする

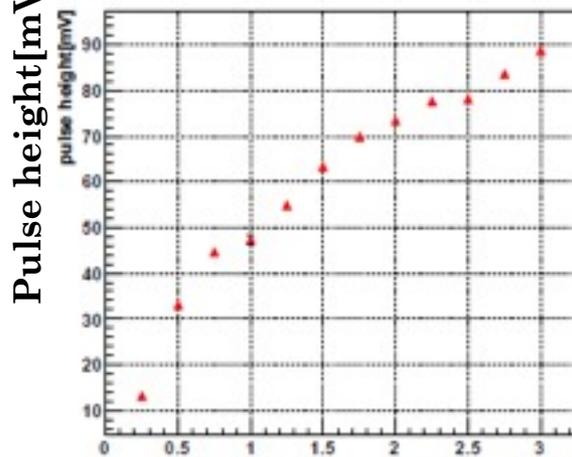


HV vs peak channel



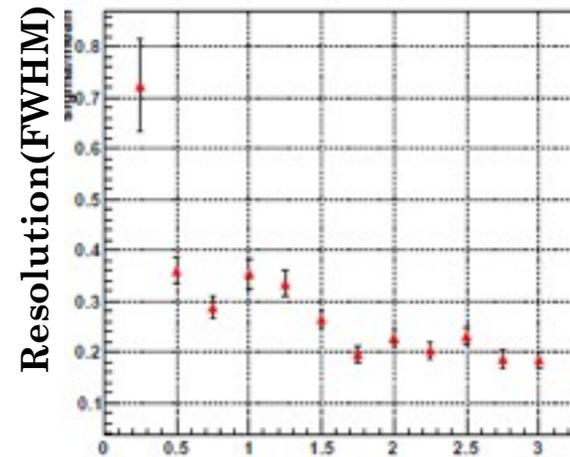
Electric field [kV/cm]

HV vs PH



Electric field [kV/cm]

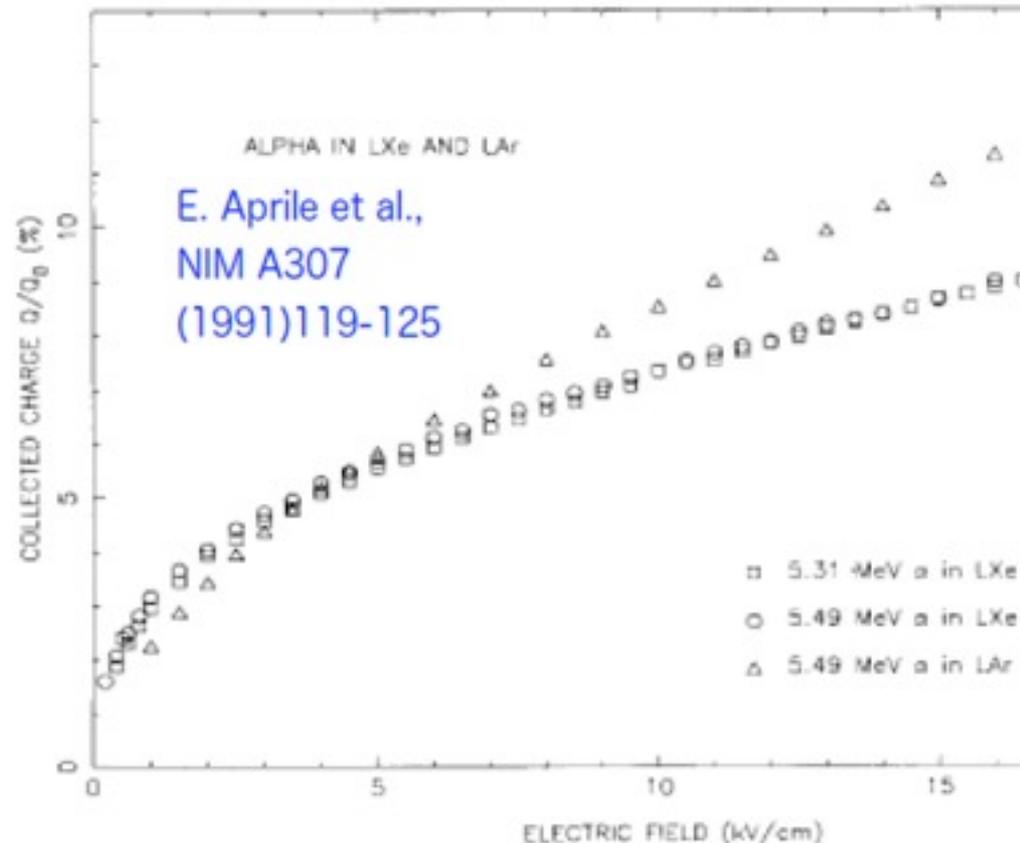
HV vs resolution



Electric field [kV/cm]

電場強度との相関

- 光量に関しては 2 kV/cm で約 3% の減少
 - その割合が再結合を免れる電離電子数の割合となるはず
 - 文献値では 4% であり、1% の差は大きい
- 電離電子数に関して文献と同様の振る舞いが見られた
 - ただし数としてはまだ足りていない ↓ 後で述べる
- 電荷量増加とともに分解能の改善が見られた
 - ノイズの改善などでまだまだよくなるはず



TPC EXPECTED VALUE

- 液体キセノンで電離されるイオン対の数は

1 ion/15.6 eV

- アルファ線のエネルギー5.5 MeVより

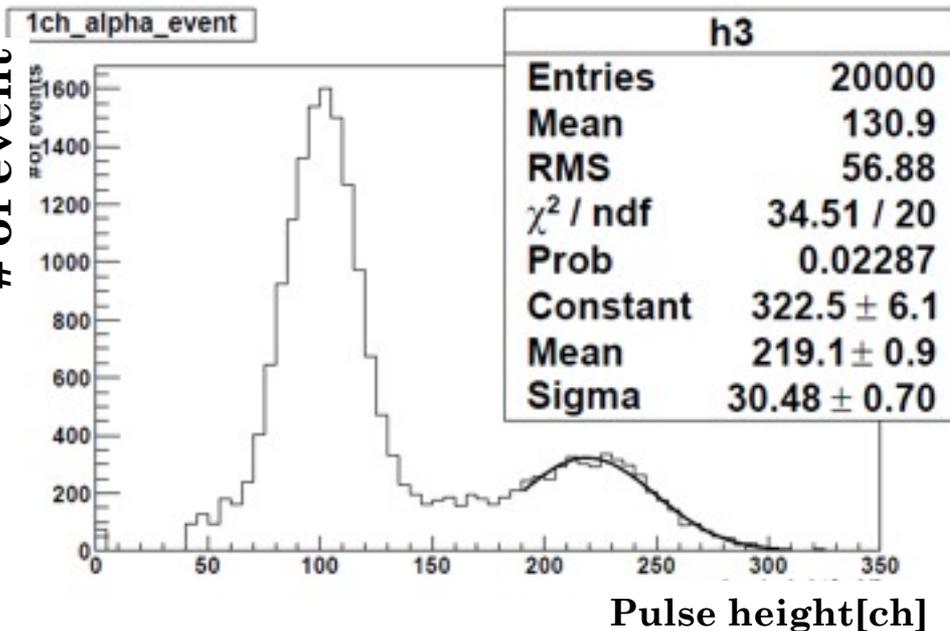
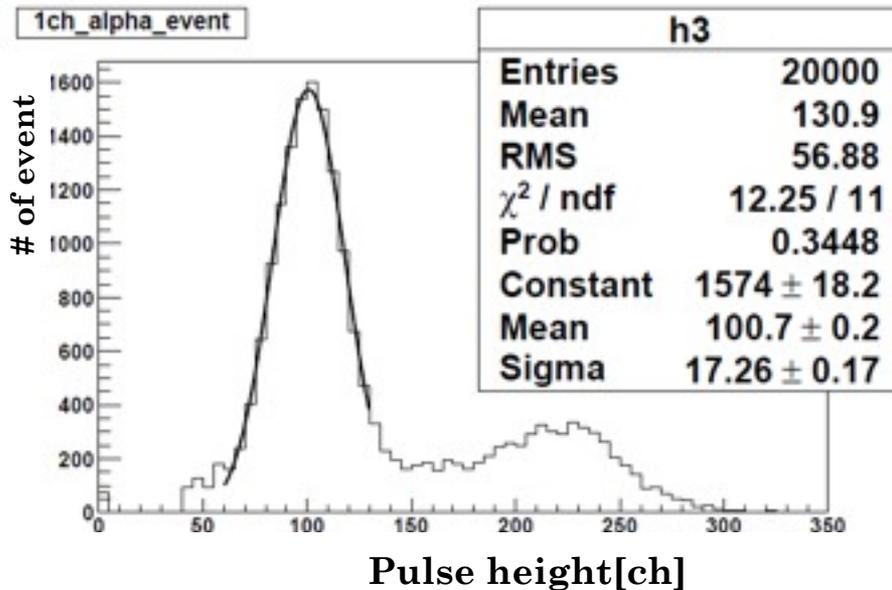
- $5.5e+6[eV]/15.6[eV] \sim 3.5e+5$ ionが期待される
- そのうちの3 (4)%の電子が再結合を免れてパッドに到達すると
- $3.5e+5 * 0.03 \sim 1.06e+4$ electron
- $1.06 e+4 * \underline{1.602e-19[C]} * \underline{1.e+15[mV/C]} \sim 1.7$ mV

素電荷

Pre-Amp 増幅率

- 1.7 mV にポストアンプゲインをかけた値がPH-ADCで信号ピークとして期待される
- ただし、文献値である4 %を採用すると4/3倍して期待値は~2.3 mVとなる
 - 以下、4 %で計算した場合の値も同時に示していく

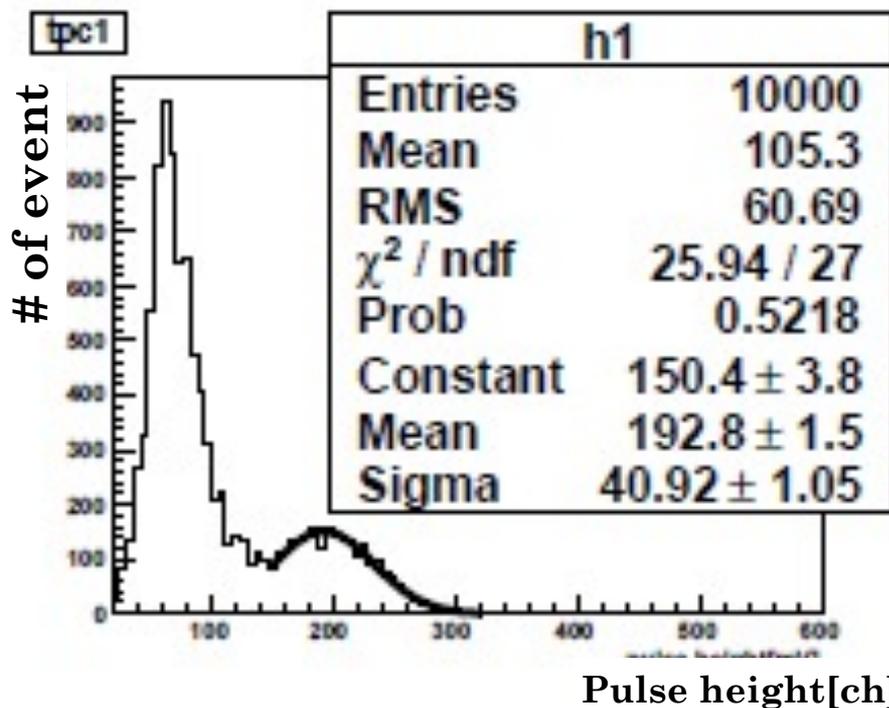
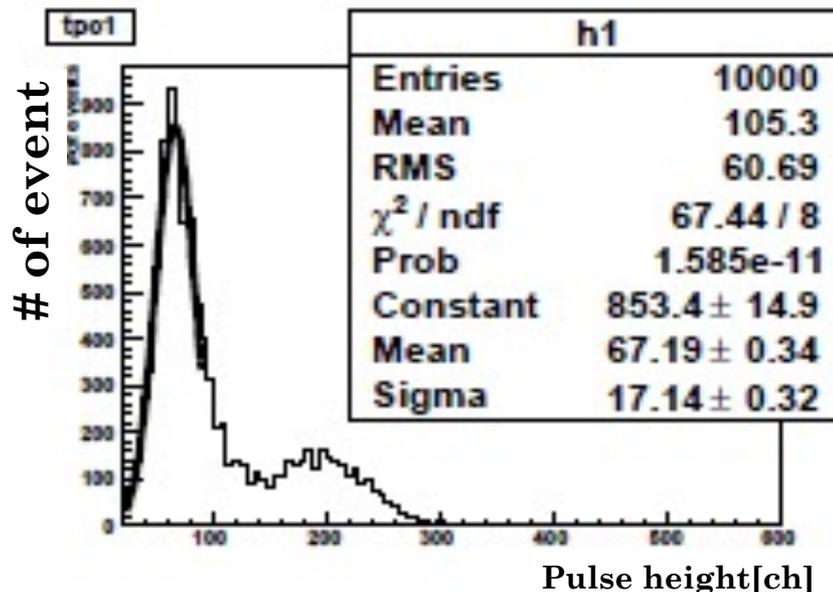
1CH READ OUT



- PH-ADCを用いてsingle padでアルファ線信号の測定を行った
 - ペDESTALとアルファ線信号ピークが観測された
- ペDESTALを差し引くとポストアンプで約72 mV
 - ポストアンプゲインは80倍なので期待値は 136 mV (181 mV)
- 7月上旬の時点では期待値の約54 % (40 %)

4CH READ OUT

- 4chデータ取得時の状況(8月上旬)
- アルファ線信号
 - ポストアンプで約77 mV
- ポストアンプゲインは約70倍
 - 期待値は約120 mV (160 mV)
- 純化を続け、期待値の約64% (48%)
- 1か月の純化で約10%の電荷量増加が見られた
- この状態で4chすべての信号を測定する...



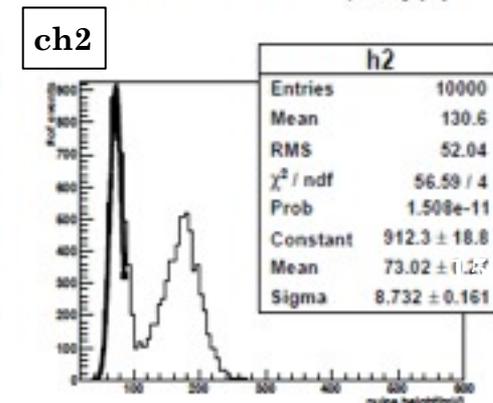
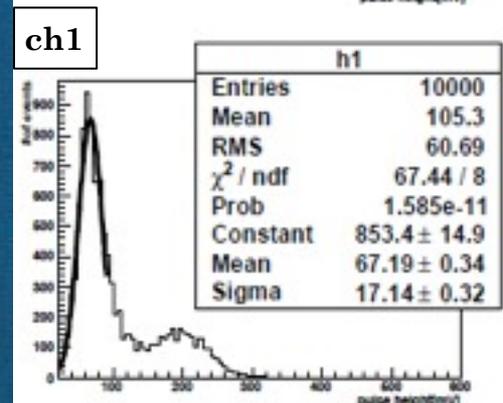
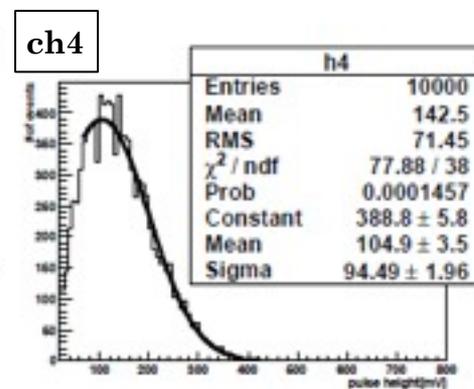
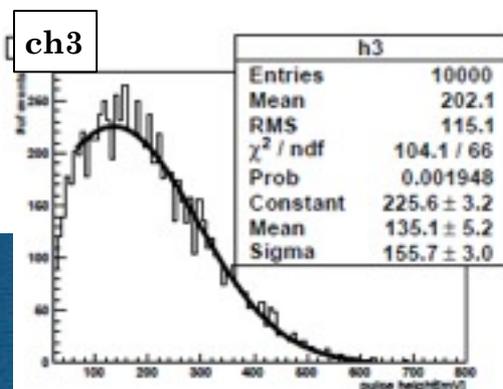
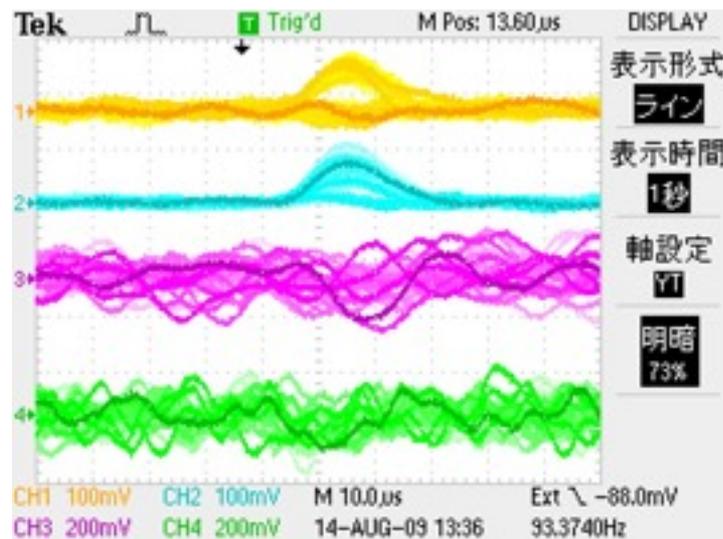
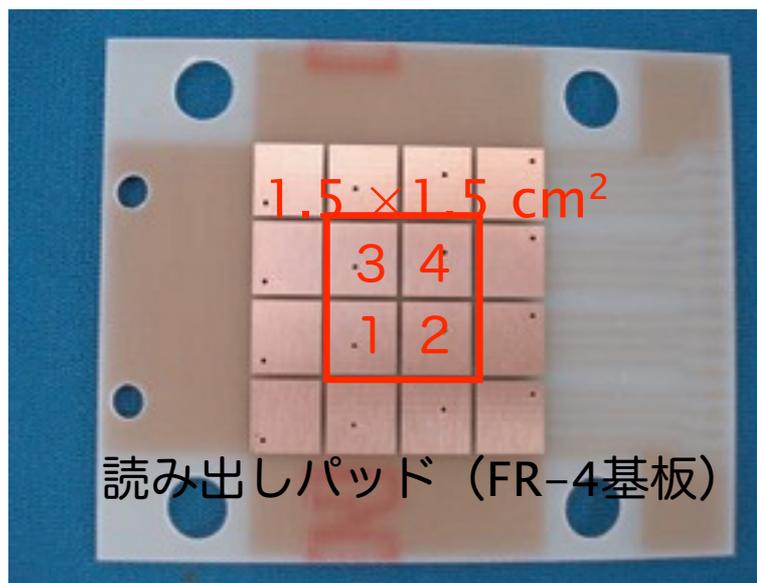
4CH DATA

○ ch1-2 と ch3-4 の違い

● 結果...

- 1-2ch ⊥ good signal
- 3-4ch ⊥ noisy

- やはり現在のノイズ状況およびセットアップでは JFETはパッドに直付けが望ましい



DEMONSTRATION OF TRACKING

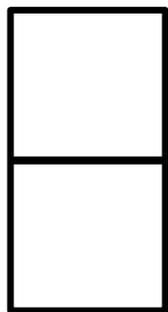
DEMONSTRATION OF TRACKING BY USING COSMIC RAY MUON (CRM)

○ 4chを用いた宇宙線ミュオン信号の解析

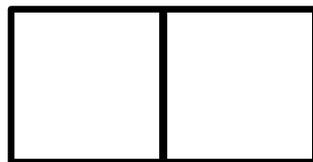
- 複数パッドで電荷信号を検出できる
- 再結合による電離電子の損失が少ない (電子で近似すると $\sim 50\%$ @ 2 kV/cm)
- パッドに近い場所で反応が起きるため、不純物の影響を減らせる
 - ▶ 1 cm で40%の電荷減少とすると、宇宙線の場合は平均で20%の減少のみ
- ノイズの多い3,4 channelでも十分大きな信号が期待される

○ 天頂角での角度分布

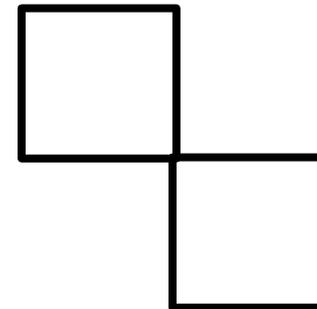
- パッド4枚でノイズもあり、宇宙線のイベントレートもかなり小さいため、正確な角度を求めるのは難しい
- 今回は以下の3通りにイベントを分ける \perp Error は about 30°



$=0^\circ$

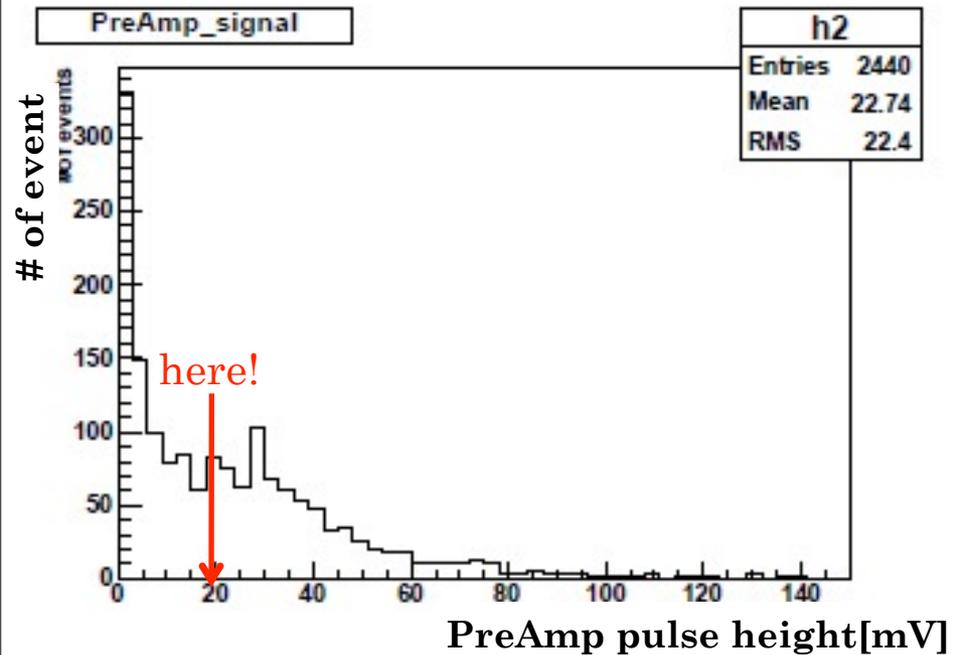


$=90^\circ$



$=45^\circ$

ENERGY DISTRIBUTION OF CRM



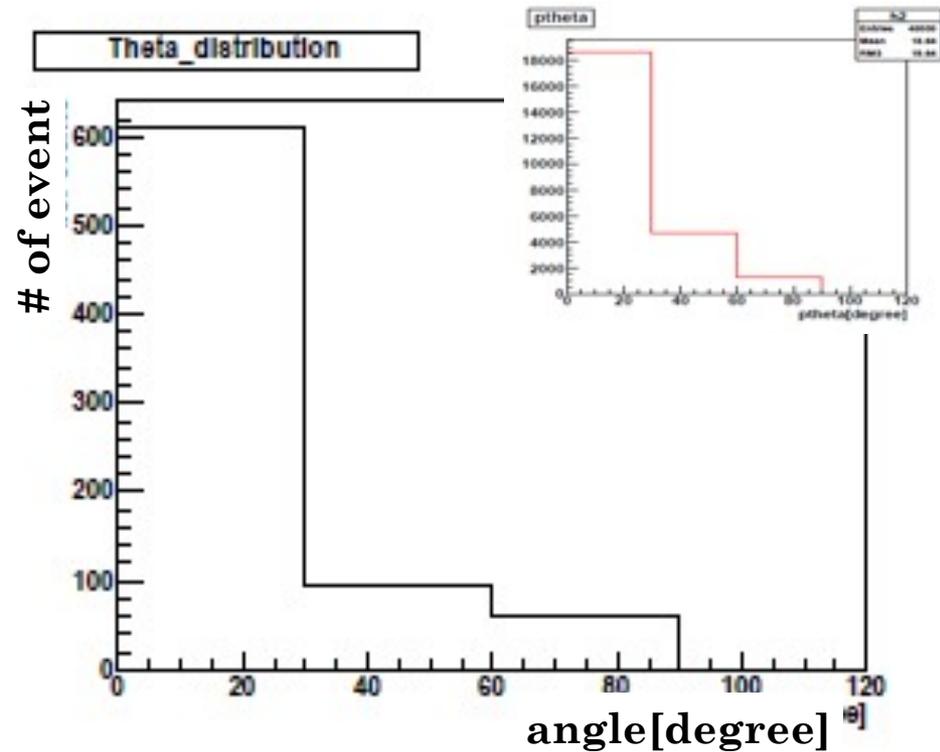
$$\frac{3.6 \times 10^6 [eV/cm] \times 1.5 [cm] \times 0.5 \times 0.7}{15.6 [eV]} \times \frac{1.6 \times 10^{-19} [C]}{10^{-15} [C/mV]} \approx 20 [mV]$$

- 各パッドのゲインを較正し、4chすべてのPreAmpでの電圧和をとる
- 液体キセノン中でミュオンが2パッド以上通過したときに測定される最小のPreAmp電圧値でスレッシュホールドをかける
- 4chの中で信号の大きいパッドを2枚選択し、前頁の分類方法で角度を求める

ZENITH ANGLE DISTRIBUTION OF CRM

○ 結果

- 右図の天頂角分布が得られた
- 宇宙線ミュオンは天頂角で $\cos^2\theta$ に従うことが知られている
 - パッド上で角度を求めているので、 $\cos^2\theta$ の分布を経面に射影した分布と比較する
 - 赤い線の本istogramが $\cos^2\theta$ を平面に射影したときの分布(monte carlo)
 - 不完全ではあるが理論と近い傾向が見られる
- ちゃんと議論するには壁や天井の効果も考慮して比較する必要があるが、今回の目的からはそれる



CONCLUSION

- アルファ線信号を測定した
 - ドリフト距離 1 cm で期待される電荷量の ~64 (48) % までの測定に成功した
 - ▶ 文献値との相違に関しては今後調査する必要がある
- パッドの4チャンネル読み出しに成功した
 - JFETはやはりパッドに近い方がよい
- 宇宙線による飛跡検出を行った
 - 4チャンネル読み出しのデモンストレーションとしては成功

FUTURE'S PROSPECTS

○ Analysis

- シミュレーションとの比較

○ Detector

- 3次元位置再構成
 - ▶ グリッド+Flash ADC を用いた読み出し
- ドリフト距離をより長くする ex. 1cm ⊥ 5cm
- ガンマ線源を用いて実験を行う
- 純化速度の向上
- ノイズ状況の改善
- 多チャンネル化(4chよりさらに増やす)+パッドの細分化
 - ▶ パッド平面の位置分解能向上

○ Electronics

- ▶ TPCパッドの多チャンネル化の困難およびノイズ状況改善のため、低温で安定して動作するフロントエンドエレクトロニクスASICチップの開発を行う

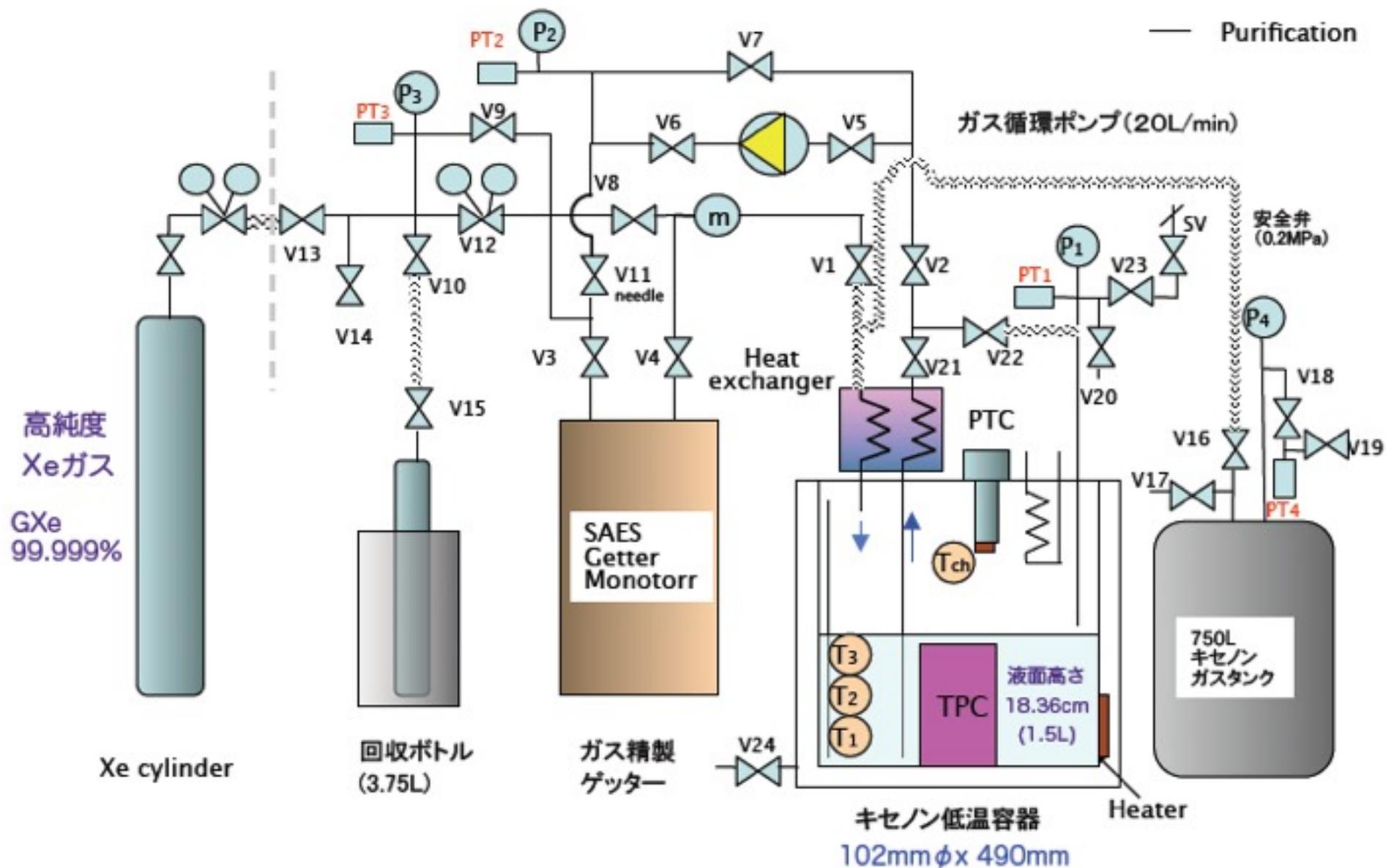
⊥ 次のtalkの内容

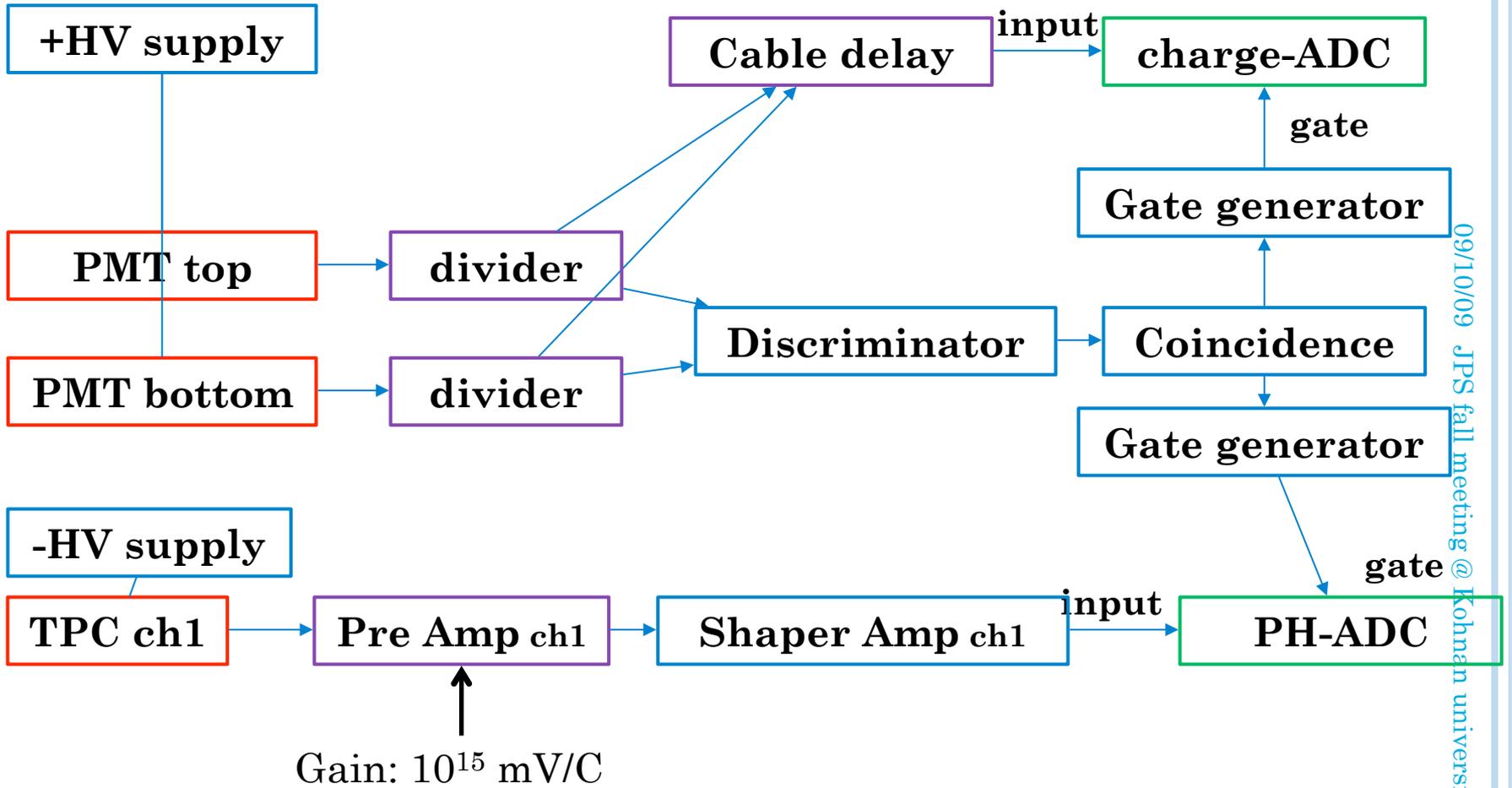
BACK UP

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

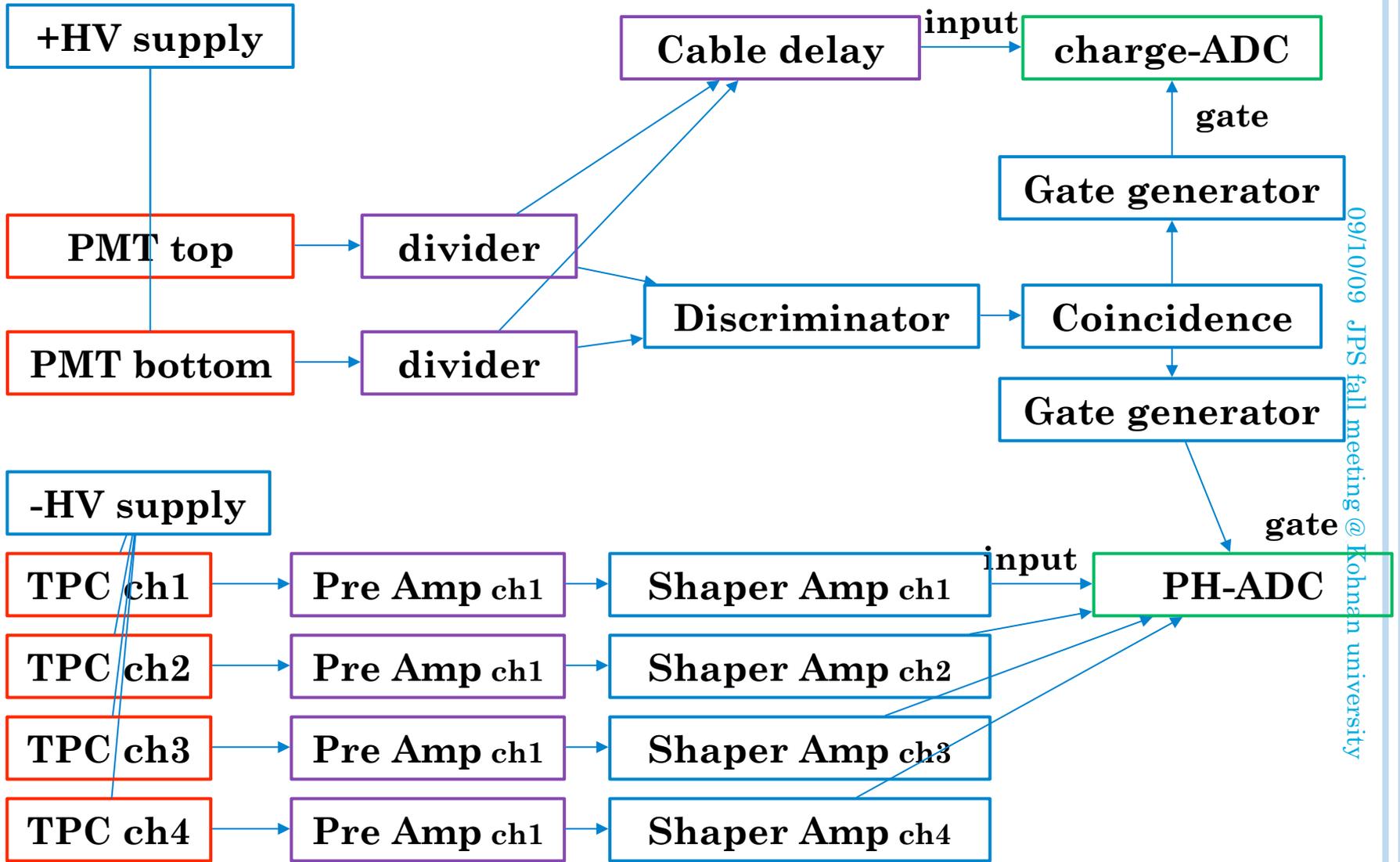




09/10/09 JPS fall meeting @ Kohnan university

DAQ ロジック回路



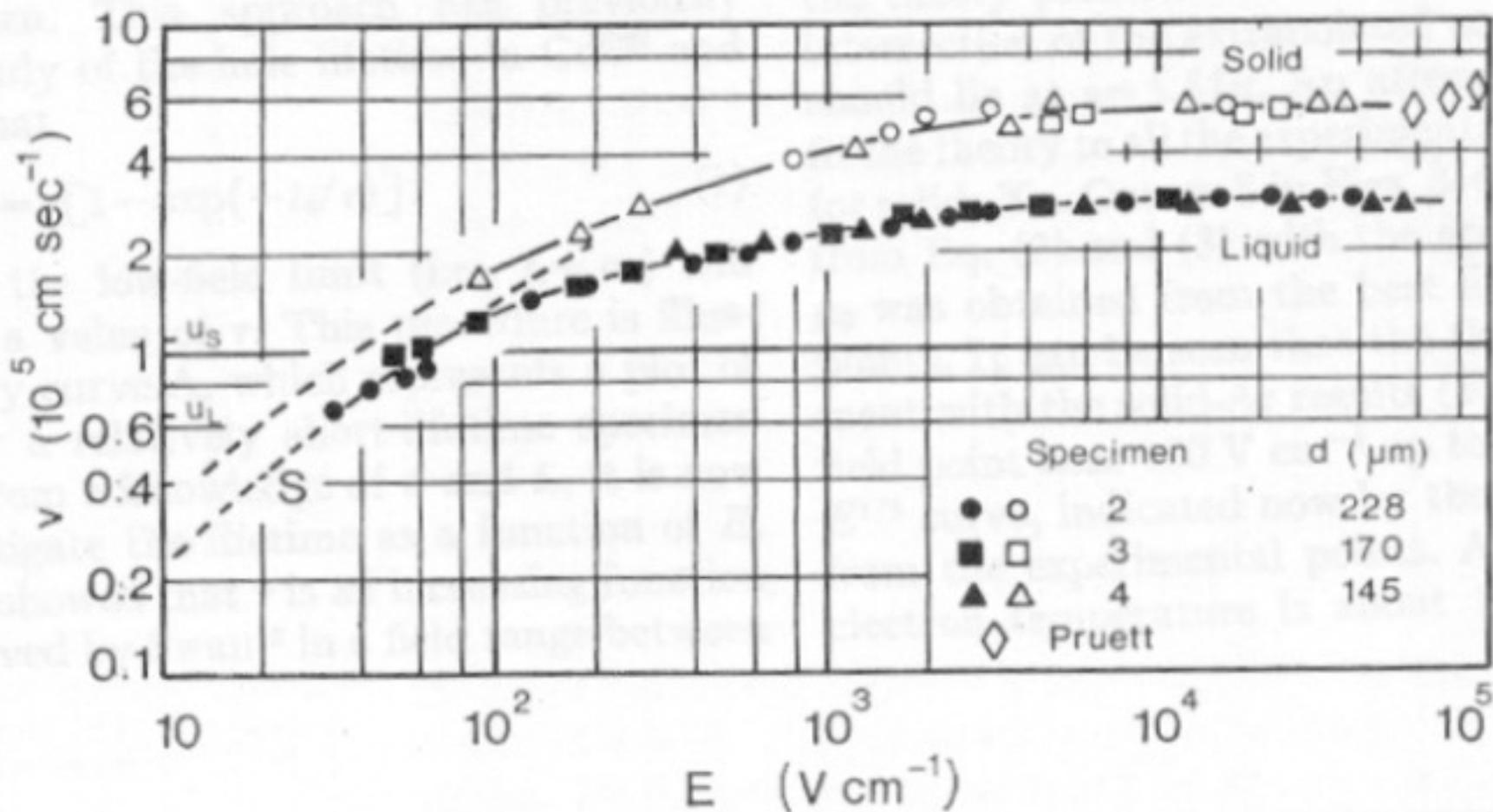


09/10/09 JPS fall meeting @ Kohnan university

DAQ ロジック回路



Drift velocity in liquid and solid Xe



from L.S.Miller, S.Howe, W.E.Spear, Phys. Rev. 166 (1968), 871

XENON PARAMETERS

種類	BGO	GSO	LSO	LXe
元素	Bi Ge O	Gd Si O	Lu Si O	Xe
密度 [g/cm ³]	7.13	6.71	7.4	2.95
光子数(1MeV)	8200	9000	25000	43000
波長[nm]	480	440	420	178
減衰時間[ns]	330	56	47	45

