

参照資料は；

LXeGRIT(TPC) - astro-ph/0012297 , astro-ph/0012398, NIM A412(1998)
425-436, A. Curioni's Dr.Thesis

PET - (1) 『次世代PET試作機開発の概要と将来展望』村山秀雄 氏

I. MEG-PET 検討項目

(1) requirements for PET

熊田さん、放医研の専門家でまとめて下さい。特に人間用のPETについて。

-> 吉川先生：放医研 重粒子医科学センター病院診断課画像診断室長 吉川京燦

1. PETの現状と問題点

(ア) 現状のPET (結晶+PMT) で何が不満か

3次元読み出し、S/N - accidental coincidence -> DOI

(イ) LXeを使用することで何が改善されるか

『高感度を維持しながら全視野で高解像度を達成する立体計測型PET

- 3次元放射線位置検出器』

『全身を被う検出器部を実装して走査無しで全身測定ができれば、さらに計測時間は短縮可能となり、1人当たり2分以内の検査時間も可能となるだろう』

ランダム事象、散乱事象などCompton telescopeの角度測定により

一部識別可能となる。

PET/MR装置 - PMTの使用制限, -> APD, MPPC (SiPM)

(TPCとソレノイド磁場の組み合わせは高エネルギー実験では一般的)

例) jPET-D4 :

測定視野の中心における感度が100 kcps/MBq 以上

同時計数の時間窓10 ns

『次世代の高システム感度PET装置により数百 μ Ci (10 MBq) 程度の放射性薬剤を投与するだけで検査が可能となる日も夢ではなく、検診に要する時間が短縮されて1人当たり1万円程度の安価な検査費用で多くの人がPET技術の恩恵を享受できるようになるだろう。』

① 価格

1. 結晶 vs Xeガス+容器+冷凍機+運転経費

液体キセノン：約30万円/リットル

② 分解能

1. 何が画像の分解能を決めているか

③ 撮像時間

1. 撮像時間は何で制限されているか

現在は30分程度かかっている。

④ 取り扱いやすさ

1. 低温液体は扱い難い

(2) spatial resolution in 1 phase for no amplification

日本では早稲田大学の理工総研の菊池研究室の方にTPCの性能についての報告をお願いします。LXeGRITの例を以下に示す。

2. 液体TPCの現状と問題点

LXeGRITの例：

(ア) ガス増幅のない分何で補っているか

low noise charge sensitive amplifier

(イ) エレクトロニクスはどんなものか

3mm spacing x, y multi-wire readout and anode-plane of $10 \times 10 \text{ cm}^2$ induced signals of 40% charge in average on the wires and total charge collection at the anodes, so the wires and anodes provide position and energy, respectively. the wires are stainless steel 100um diameter, signals charge sensible amp.

noise < about 450 and 1000 e- RMS for the wires and anodes

+ custom-built digital electronics at 5MHz, 8 and 10 bits
for the wires and anodes

TPC can detect gamma with energy deposits as low as about 100keV (about 940e- on wires)

PMT signals are trigger to readout the TPC with requirement of no PMT signal within 50usec.

performances in TPC Active volume $20 \times 20 \times 7 \text{ cm}^3$:

- position resolution 1mm (3 dimensions), 350um in z
- angular resolution 3 degree at 1.8MeV by Compton telescope with multiple interaction
- energy resolution (FHM) $8.8\%/\text{SQRT}(E(\text{MeV}))$ by anode signal

(ウ) 要求されるLXeの純度

High purity (<1ppb O2 equivalent) Xe gas is liquified into the vessel by a controlled flow of liquid nitrogen(LN2) through the copper coil of the condenser on the top. The liquid temperature is $\sim -95^\circ \text{C}$, at a pressure of 1.5atm.

i.e. $\text{O}_2 < 0.1\text{ppb}$, $\text{H}_2\text{O} < 0.5\text{ppb}$

7cm drift in 1kV/cm, 35usec

drifting electron lifetime is about 360usec, which corresponds to an attenuation length of about 80cm

(エ) ドリフト： 軸方向 vs 半径方向

- (田内) 半径方向についても少し検討しました。半径方向の場合一様な電場を作るためには他のグループのようにsegment化が必要になります。この場合、segment間に隙間ができたり、MEGの利点がなくなります。また、TPCのreadout-sector面積も軸方向の場合と比べて大きくなりコストアップになります。

(3) transparent field cage for PMTs

field cageの専門家を探す；早大理工総研？

(4) gains of 3GEM, Uno's GEM, MHSP, etc. in 2 phase

温度勾配のない2相容器の可能性について春山さんに検討・報告をお願いします
BELLEグループ(?)のロシア人のpresentationを期待する。

3. 2相式の利点と欠点

(ア) エレクトロニクスへの要求が軽い

- (田内) 現在世界中で開発中のGEM-readoutを採用できる可能性が大きいと思います。特に、LC用のものはチャンネル数が多く、PET-TPC向きと思います。

(イ) 蒸気、温度勾配などの影響の理解が必要

(ウ) 設置方向の自由度

- (田内) これは2相式の最大の制限で、縦置きしか対応できないと思います。

4. PMTの役割

(ア) トリガー

- (田内) トリガーというよりは、TPCの連続データに対してtime-stampというものと思います。しかしながら、collinearな2γイベントはPMTによりロジックで識別されます。どのPMTのシグナルで如何にTPCシグナルにtime-stampするかの検討が必要です。ただし、TPCシグナルのtimeバケットは500nsec (z方向に1mm程度) でよいと思われます。PETシグナルからどの程度の時間分解能があるのかの情報がほしいと思います。

(イ) 荒い位置確定

- (田内) バックグラウンドレベルによりますが、数mm-1cm程度なら、MEGで容易に達成できていると思います。ここで、MEGに対して質問ですが、LXe中、PMTのフォトカソード前面からどれくらいの距離から位置測定ができますか。要するに、MEG-LXeのfiducial volumeはどれくらいですか。

(ウ) ノイズの軽減

① エネルギー分解能： 散乱事象の排除

- (田内) LXeのシンチレーションでは $E\gamma = 500\text{KeV}$ で数%以下 (2%程度) が達成されています。この場合もバックグラウンドとしてどのようなものがあるのか調査する必要があります。

② 時間分解能： アクシデンタルの軽減

- (田内) この場合もバックグラウンドとしてどのようなものがあるのか調査する必要があります。

(エ)ウインドウ方式かジャブ漬けか

① Xeガス量

② 安価なPMT

③ 窓材の透過率と価格

(5) simulation and reconstruction - $\beta +$, $\beta + \gamma$

先ず、MEGのsimulationの報告をお願いする (真木さん)。

(6) “video” camera - imaging algorithm

ソフトの専門家を探すか、すでに行われているものの紹介 (CT, PET関連ソフトウェア会社の人) を依頼 (熊田さん、放医研で情報を得ること)

(7) rough cost estimation and R&D milestones

PMT, LXe, 冷凍機システムなどはMEGのものを参考; TPC関連 (3GEM, readout-electronicsなど) はGLDのコスト評価を参考にする (真木さん)

(8) patent - GEM, 2 phase LXePET

調査必要。

II. R&D

- multi-anode pads (サイズ 3mm x 3mm 以下) readout

- GEM or MHSP like readout (multiplication ?)

simulationで有効性を確認後試みる

- purity of Xe , O^2 contents v.s. attenuation length

- continuous readout with time stamping by PMT coincident signals

(10nsec)

- 『多数の検出器出力信号をリアルタイム処理するためのASICの技術が不可欠である』

- position and energy resolution by PMTs

note : LXeGRITとの違い

two dimensional readout (multi-anode pads, GEM, MHSP etc.)
energy by PMT 10% -> 5%

note : 先ず、R&Dとして、液体1相で、2次元の位置読み出しと、液体キセノンの純度したがってdrift方向のattenuation lengthの関係を測定すること、そして、PMTによるtime stampされたTPCの連続的readoutです。PMTについては、10nsec以下でのゲート幅でのcoincidenceの確認と位置 (cm程度) とエネルギー分解能 (5%程度) の測定です。