

# 次世代型PETに向けた LXeTPCのR&D

金子大輔 東大素セ 森研究室 M2  
田内利明<sup>A</sup>, 真木晶弘<sup>A</sup>, 三原智<sup>A</sup>, 田中秀治<sup>A</sup>, 佐伯学<sup>A</sup>,  
春山富義<sup>A</sup>, 笠見勝裕<sup>A</sup>, 鈴木祥仁<sup>A</sup>, 東貴俊<sup>B</sup>,  
<sup>A</sup>高工研, <sup>B</sup>佐賀大  
(KEK測定器開発室)

# 本講演の内容

- PET装置の概要
- 実験装置について
- 最近の結果
- まとめ

# PET装置の概要

# PETとは...

陽電子放射断層撮像法

Positron Emission Tomography

崩壊し陽電子を放出する核を含む薬剤を投与



体内で代謝される



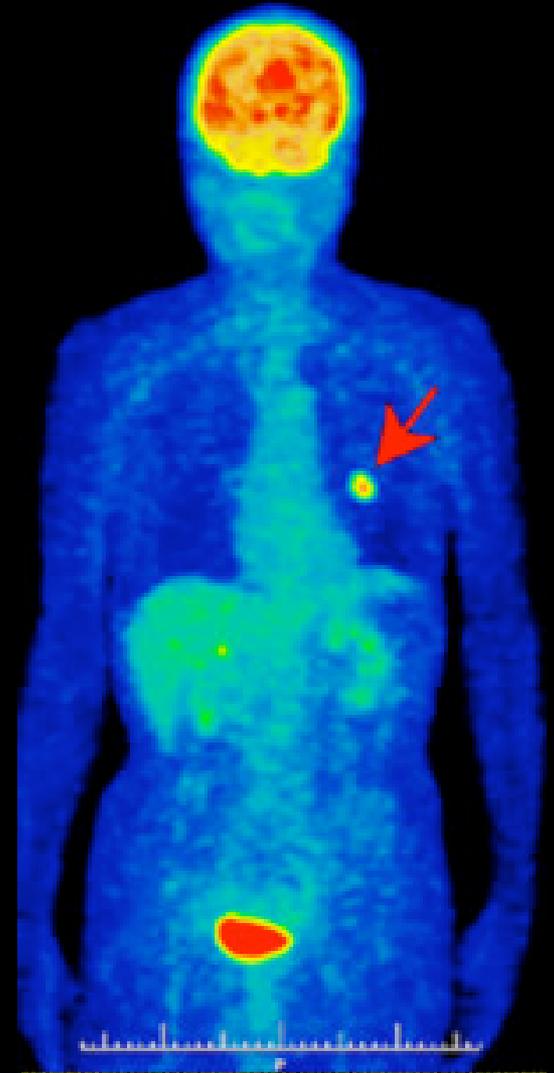
組織の活動による線源の分布



撮影 (およそ30分)

現行型の画像分解能は最高で2mm程度

画質の向上が求められる



PET画像の例

# PET検査の方法

陽電子の対消滅で発生した

2つの $\gamma$ 線(511keV)



シンチレーター結晶で反応



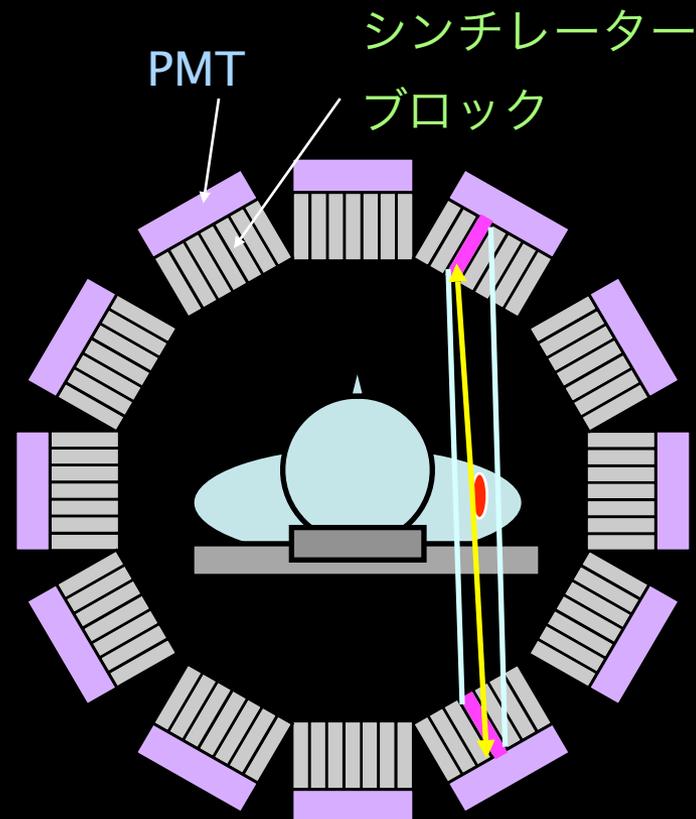
光検出器 (フォトマル) で測定



コインシデンスしたデータを集める



画像処理で画像を再構成



従来のPETでは $\phi$ 、 $z$ 情報のみ、  
 $r$ 方向情報を取得できるように！

結晶サイズは現行のもので

4mm × 4mm × 30mm

# 次世代型PETの課題

- 1) より高い空間分解能。特に放射方向、  
(Depth of Interact, DOI)
- 2) より高い感度による検査時間・被爆量の低減。

→液体キセノンTPCを利用するPETが注目されている

国際的な研究競争。      Nantes    Colombia    TRIUMF    早稲田 等

# なぜ液体キセノンか

高速な応答の光と電荷を併用

反応点の3D位置を正確に測定するためにタイムプロジェクトションチェンバー (TPC) を採用する

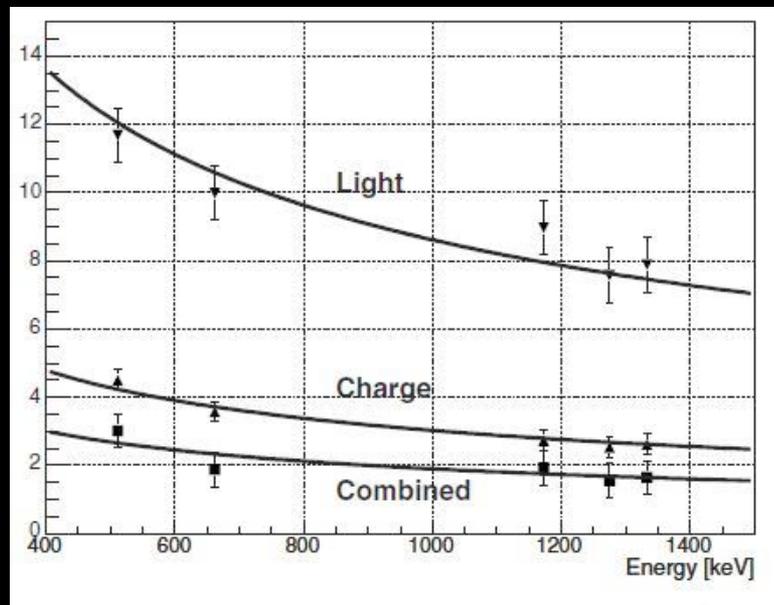
511keV  $\gamma$  に対し 約34000個の電子が電離、再結合により約半分に (約3fC) 。

キセノンの純度は非常に重要

十分な純度 (ppb以下) においてはほぼ完全に電荷の収集が可能

種類	BGO	GSO	LSO	LXe
元素	Bi Ge O	Gd Si O	Lu Si O	Xe
密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	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

PET向きの他のシンチレータとの比較



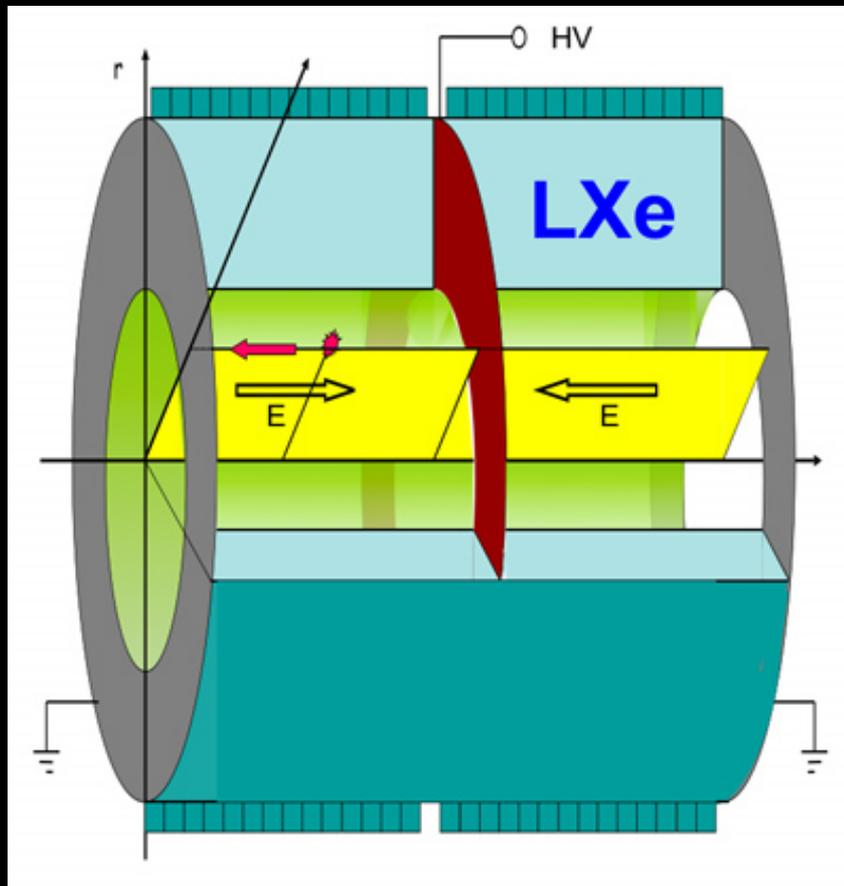
液体キセノンでのエネルギー分解能

Phys. Rev. B 76 014115 (2007)

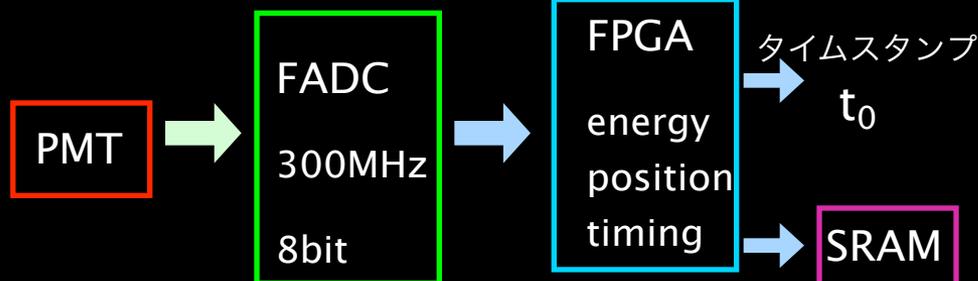
# 提案されているPET

KEKの測定器開発グループによって  
提案されているLXe-TPC-PETのイ

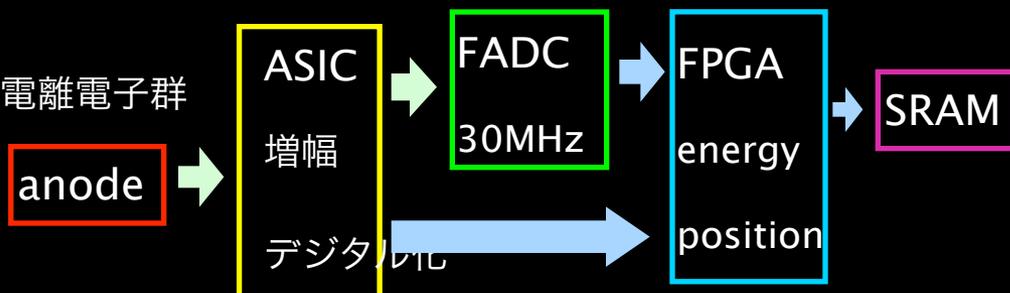
メージ図  
データ処理の方針



シンチレーション光



電離電子群



FPGAによりパイプライン処理をする

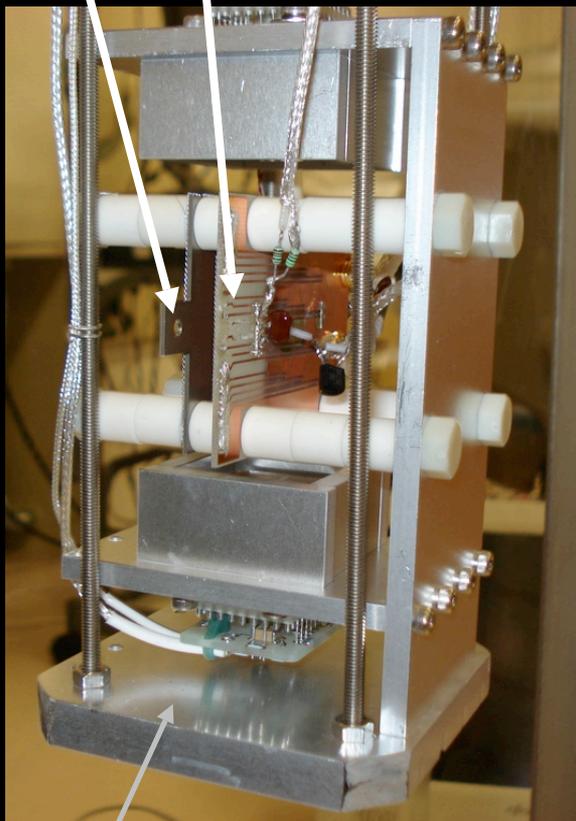
	従来型 (代表値)	LXe-TPC (予想)
$z, \varphi$ (mm)	4	1
$r$ (mm)	20	1
感度(cps/kBq)	10	70

# 実験装置の構成

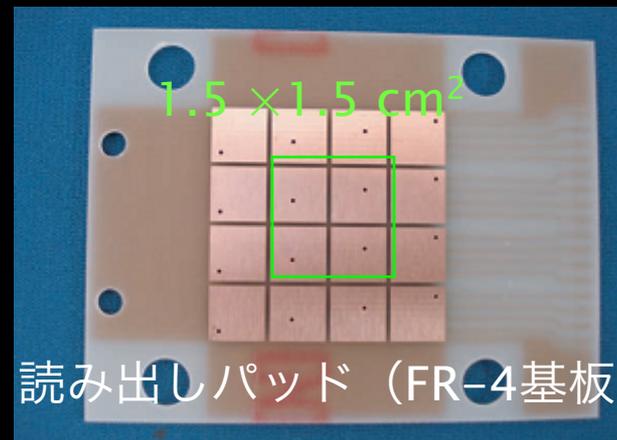
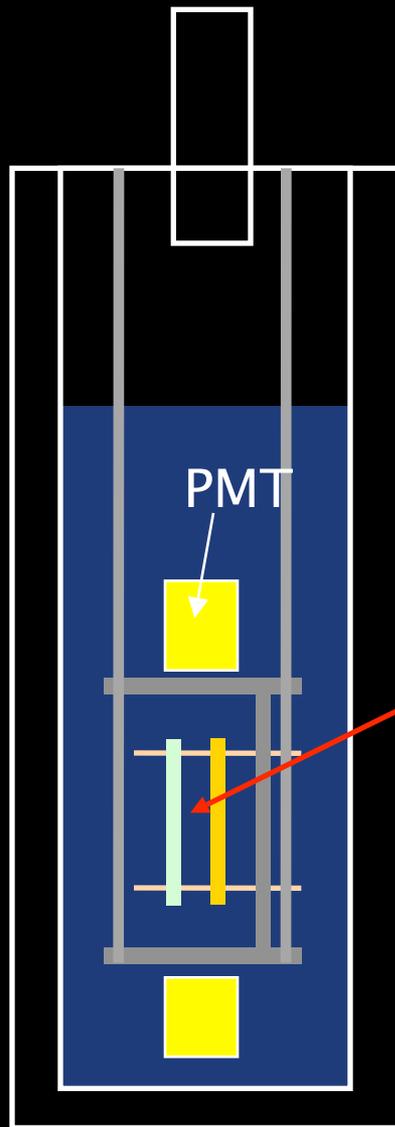
# プロトタイプの構造

2009 2月バージョン

陰極 パッド

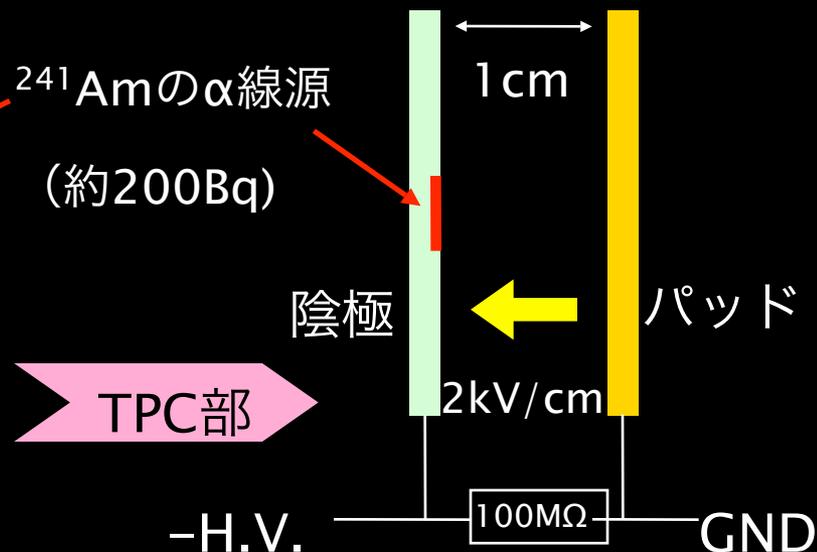


各部材はエタノール中  
で超音波洗浄後乾燥

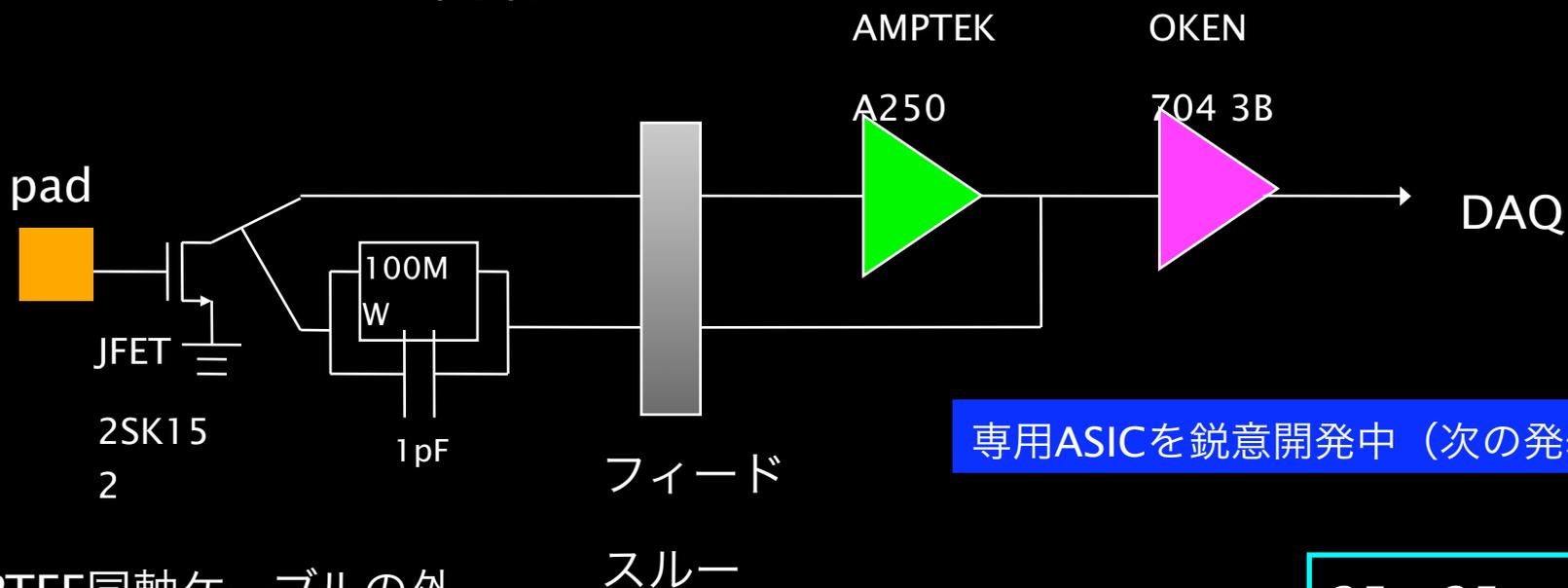


液体Xe中の電子のドリフト速度

2kV/cm で  $2.2 \text{ mm}/\mu\text{s}$

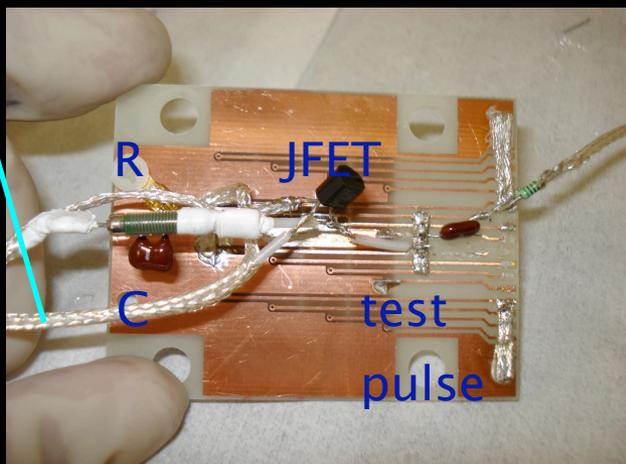


# プロトタイプの配線



PTFE同軸ケーブルの外

皮は剥いてある



使用しているPMT



25 × 25 mm<sup>2</sup>  
quartz window  
metal channel  
12stage  
gain ~ 10<sup>7</sup>  
(700V)  
Q.E. ~ 20%

# キセノンシステム

# キセノン操作パネル

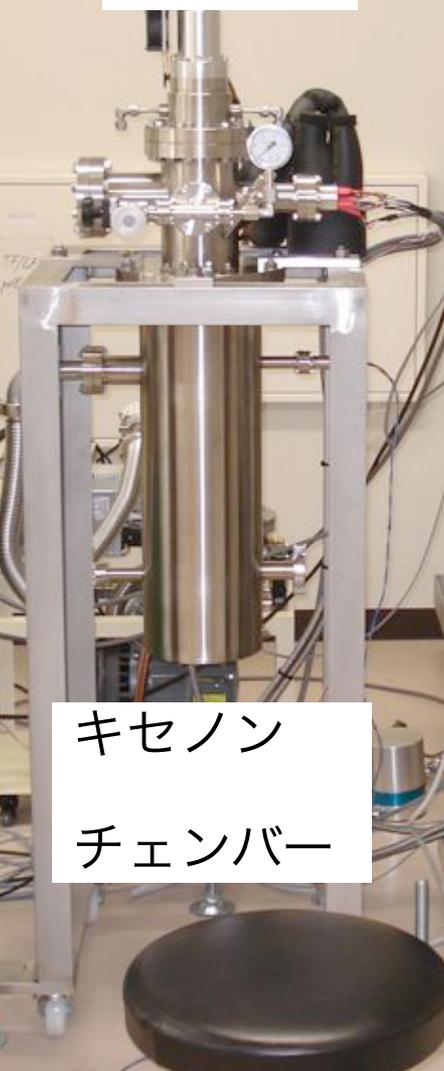
パルス管  
冷凍機

貯蔵タンク

キセノン  
チェンバー

ゲッター

圧縮機

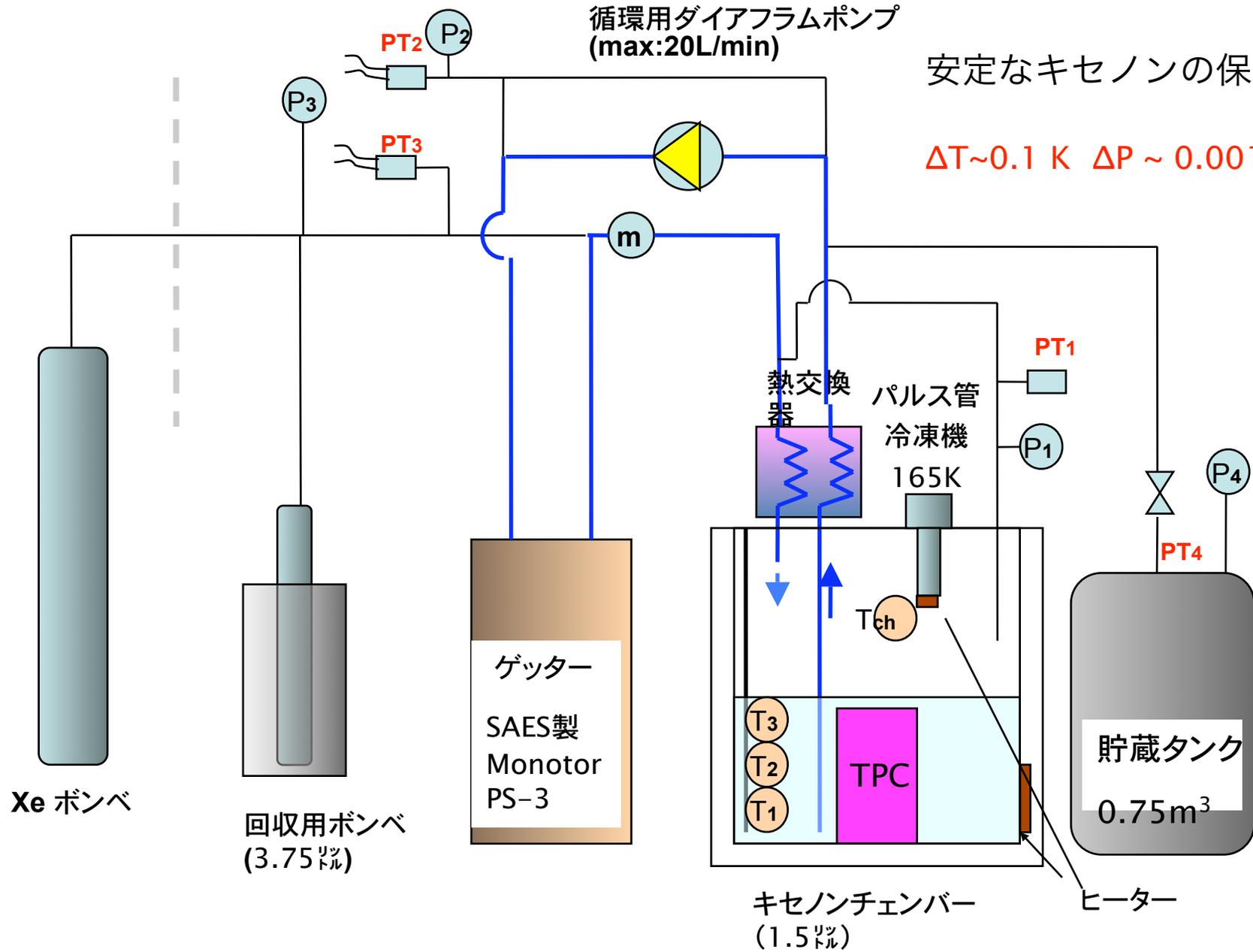


# 配管模式図

循環用ダイヤフラムポンプ  
(max:20L/min)

安定なキセノンの保持

$\Delta T \sim 0.1 \text{ K}$   $\Delta P \sim 0.001 \text{ MPa}$



# 最近の結果

# キセノン純化中の光量の推移

現在、PMTで測定される光は予想値近くでほぼ飽和

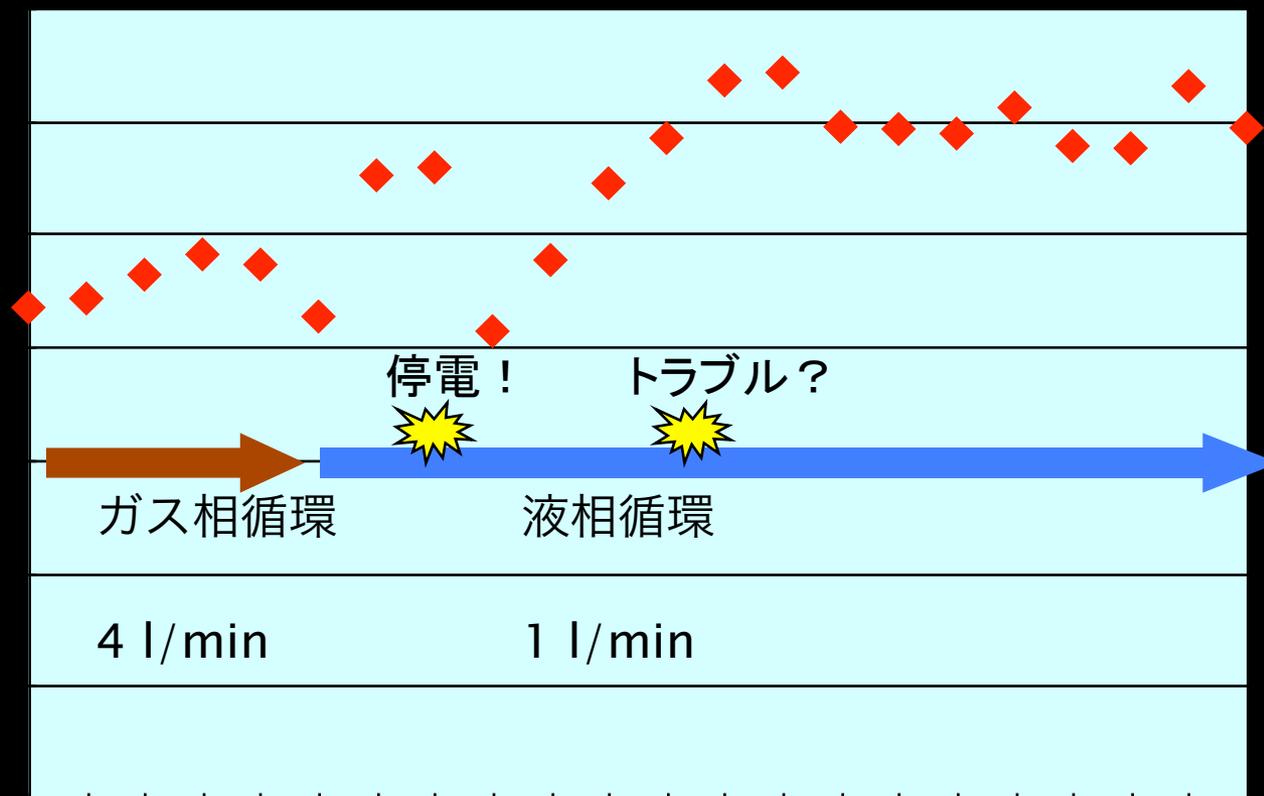
窓の透過率

PMTのゲイン

$$Q = E / W \times \Omega / 4\pi \times T \times Q.E. \times e \times G$$

$$\approx 5.5\text{MeV} / 18\text{eV} \times 1.0 \times 10^{-2} \times 0.8 \times 0.2 \times 1.6 \times 10^{-19}\text{C} \times 3.5 \times 10^6 = 2.7 \times 10^{-10}\text{ C}$$

→ 540 counts



光はほぼ100%  
検出器に入っ  
ていると考えら  
れる。

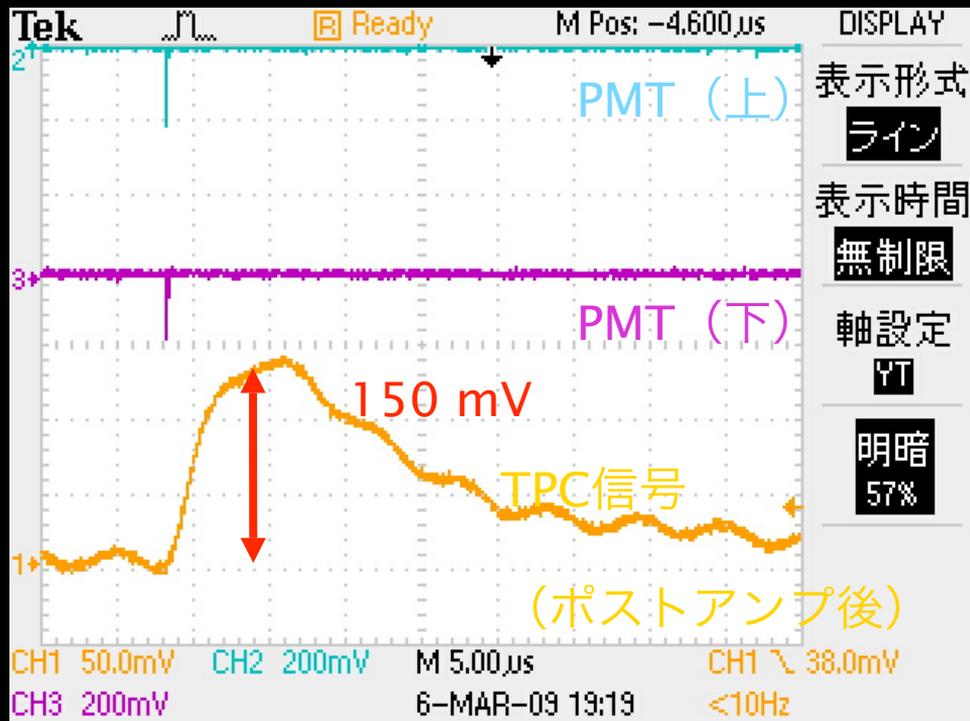
# 電離電荷の測定

二月下旬に最初のTPC信号を確認 宇宙線による (10MeV程度)

再結合率

$$V \text{ (波高)} = E / W \times r \times \rho \times e / C \times G$$

$$\cong 10\text{MeV} / 15 \text{ eV} \times 0.5 \times \rho \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 1 \text{ V/pC} \times 80 = 4\text{V} \times \rho$$



$$\rho \sim 0.037$$

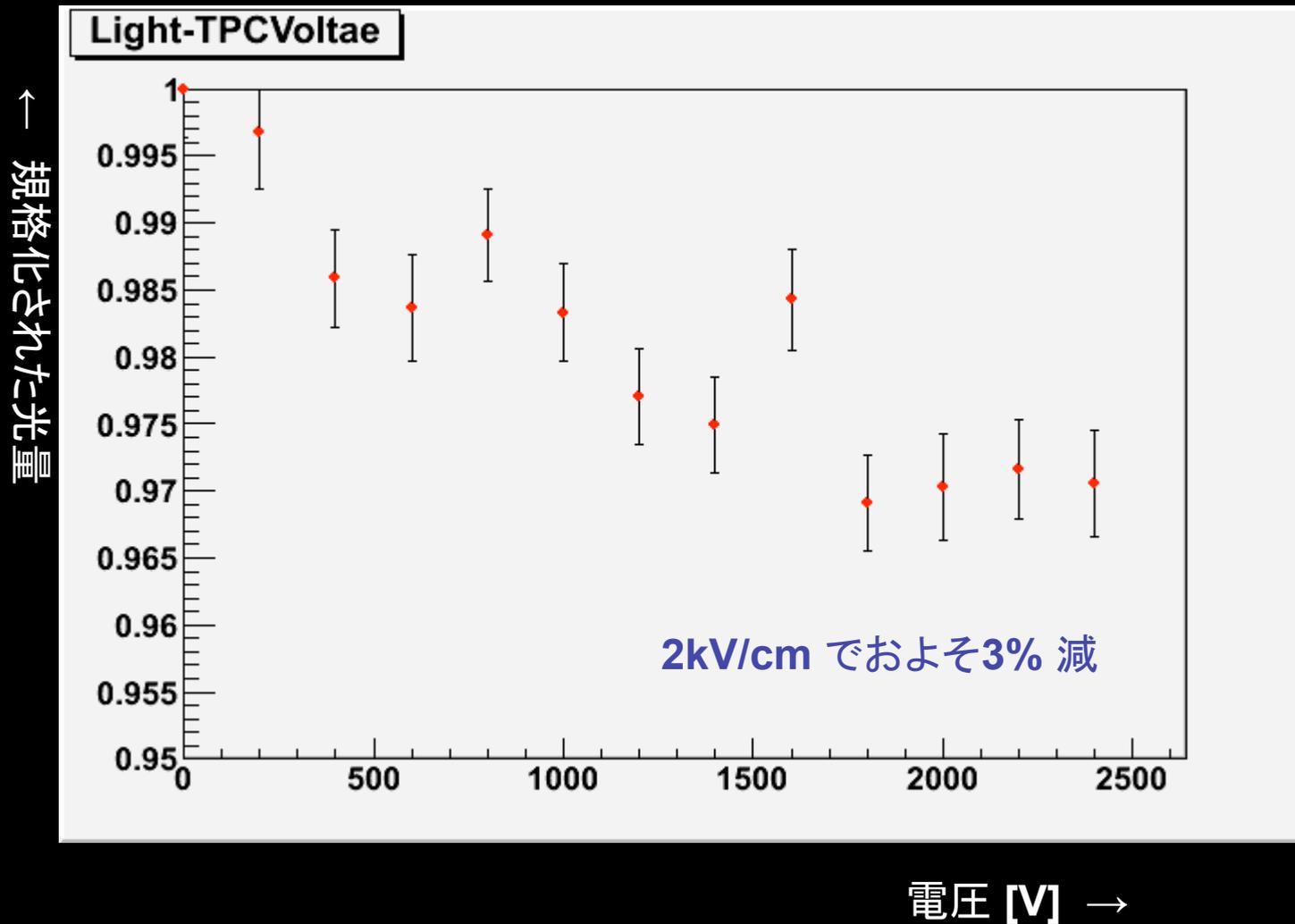
不純物による吸収と考えられる。

ドリフト時間  $\sim 5\mu\text{s}$ として、電子の寿命 $\tau \sim 1.5\mu\text{s}$

まだ目標値からは遠い

# TPC電圧と光量の関係

TPC領域に電場がかかっていると、シンチレーションの再結合成分が減る。



# まとめ

- ・ 高性能なPETを求める声は多い
- ・ 液体キセノンTPCを活用するPETは従来のものを凌駕する性能が期待され、  
実用化を目指し現在は基礎実験を行っている
- ・ 電離した電子の信号を観測するのに十分な配線系のS/N比、  
宇宙線を捕らえることはできる液体キセノンの純度に達することができた
- ・  $\alpha$ 線源からの電子群はパッドまで到達できていないよう  
→キセノンの純度がもっと必要である