This work is supported by JSPS KAKENHI
Grant Number 257070150 and 25610054

1相型液体キセノンTPCによる暗黒物質検出器の開発

関谷洋之
東大ICRR
毛笠莉沙子、伊藤好孝、増田公明
名古屋大学STE研

2015年12月5日

第12回MPGD研究会 於 広島大学先端物質科学研究科

Disclaimer

- ガスと違い、敷居が高い実験だということを再認識してます。

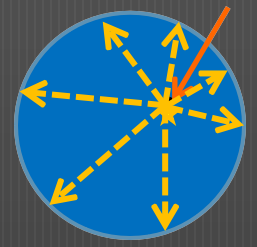
(c) 東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設

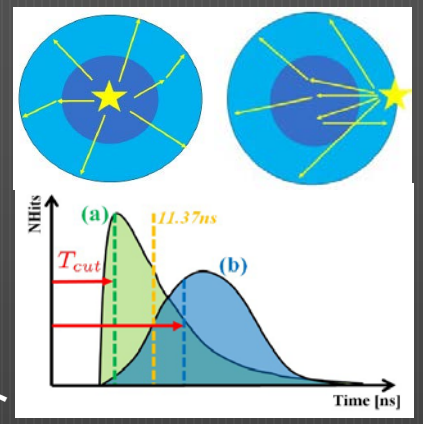
XMASSの改善すべき点

- 内壁起源のBGがFVに侵食

  現状のソフトウエアだけでは限界

光による位置構成

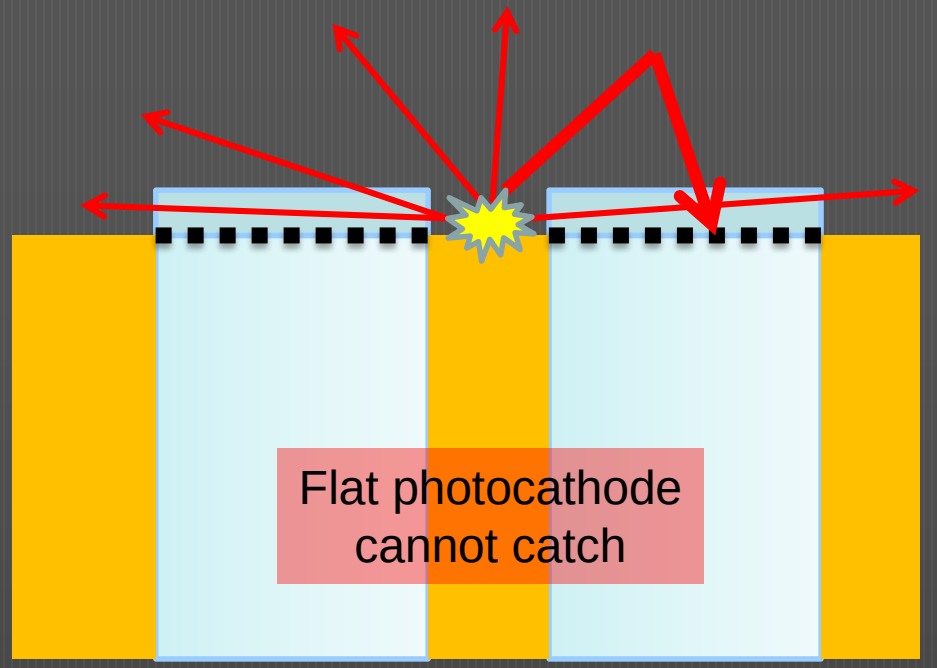


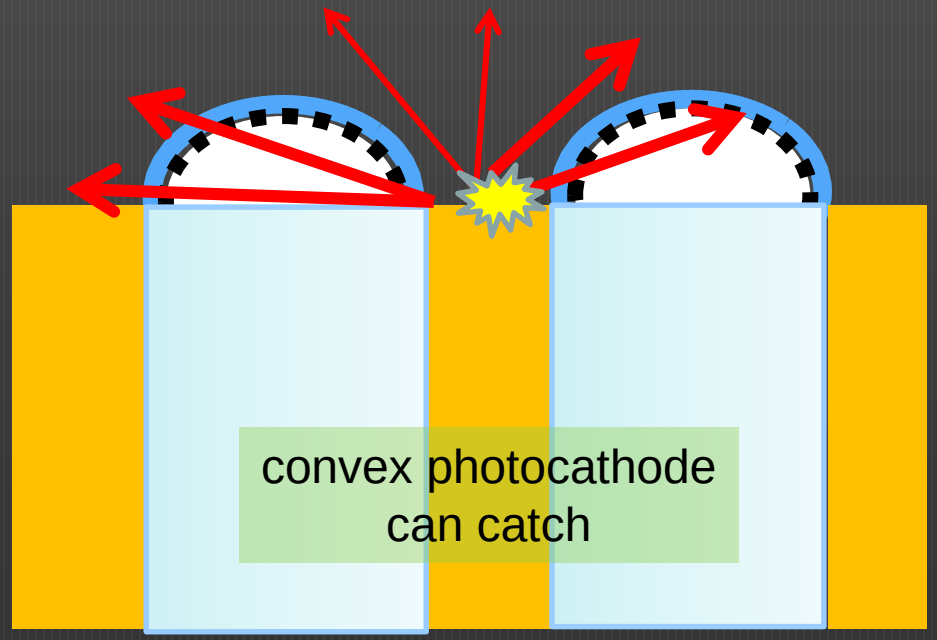


Timingによるカット

ハードの改良が必要

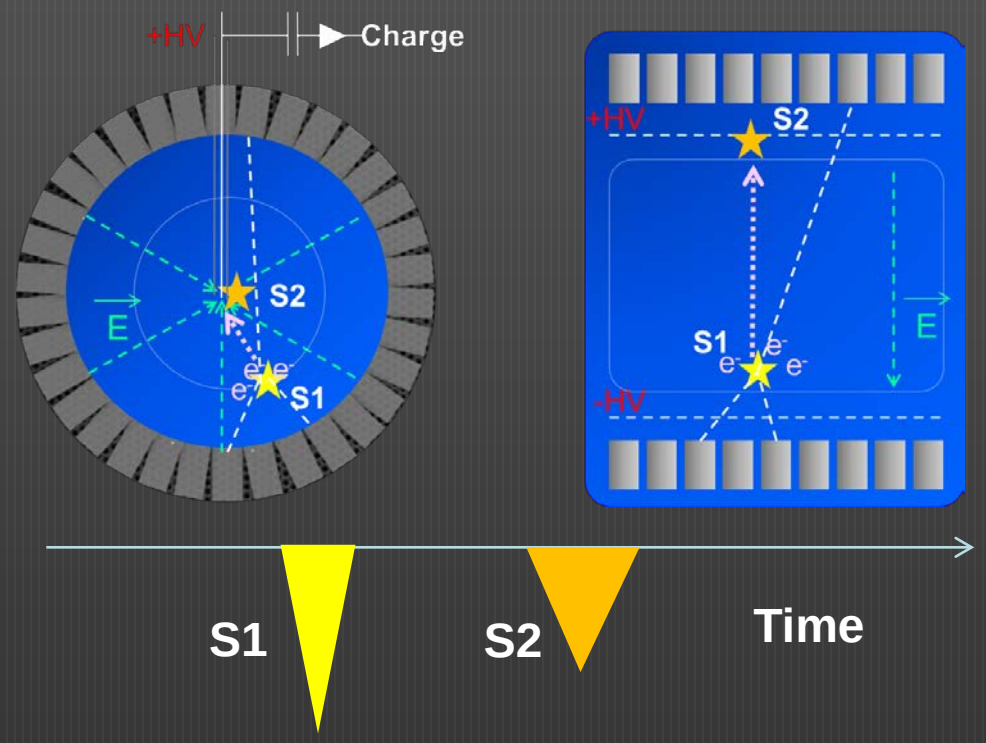
次期XMASS計画
SKのような凸型PMT





やはりTPCでハード的に位置を再構成できるべきだ

- １相型TPC



Xe検出器：scintillationとionizationの両方を検出可能

- Large ionization yield and high scintillation efficiency (W=15.6 eV, Wph=19.5 eV)
- High speed of drifting electrons by electric field ～1cm/μs @1kV/cm

TPCとしては

Start:S1：Direct interactionにPrimary scintillation

Stop:S2：S1発光時のionzied電子を電場によりドリフトし、高電場で電荷増幅した際に発光するproportional scintillation

現在2相式Xe-TPCが結果を出している

長期間の測定では気相-液相間の液面管理の問題

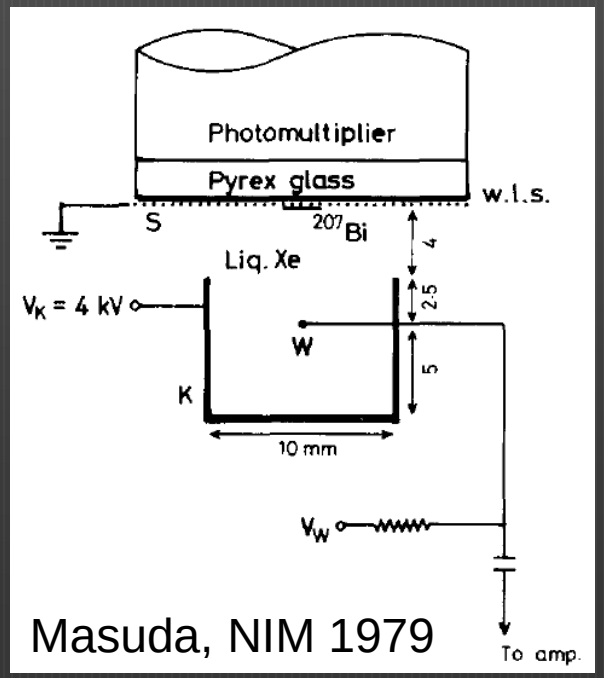
S2発光まで液中で行う1相式液体TPCを考える

液体のみなので形状に自由度ができる

液中S2

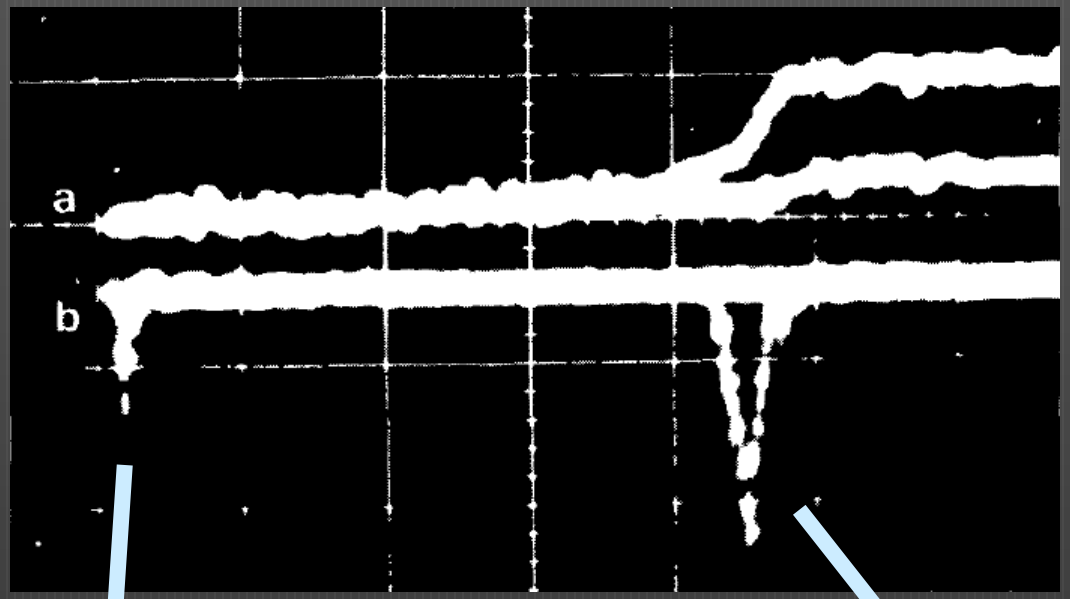
- 2相式より前、もともとはLXe Proportional counterの研究がされていた

ワイヤー電極(Bi207 γ線1MeV)

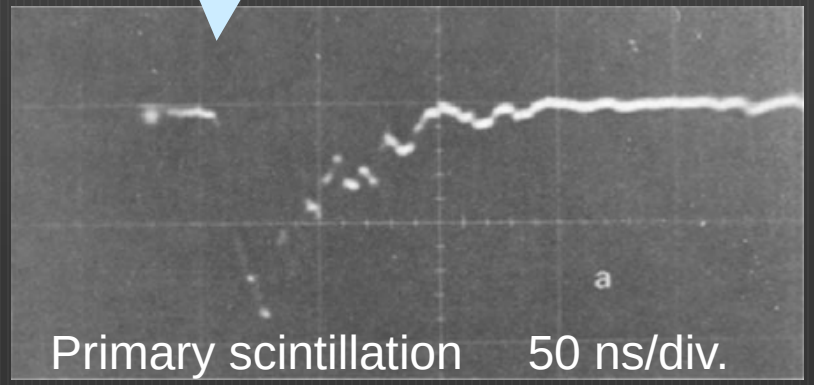


Masuda, NIM 1979

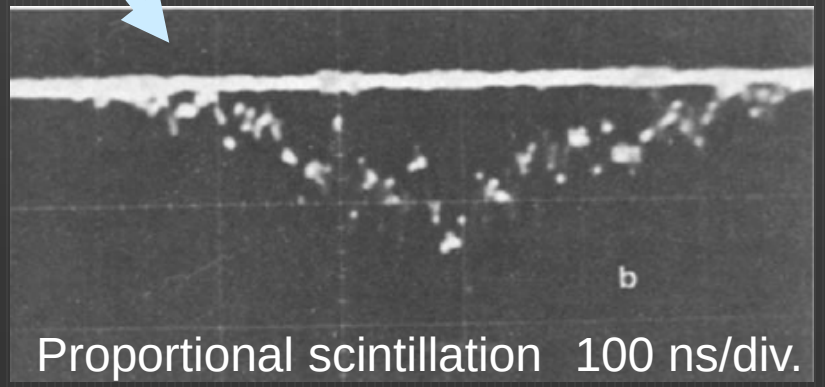
Miyajima, NIM 1976



Charge Amp　出力



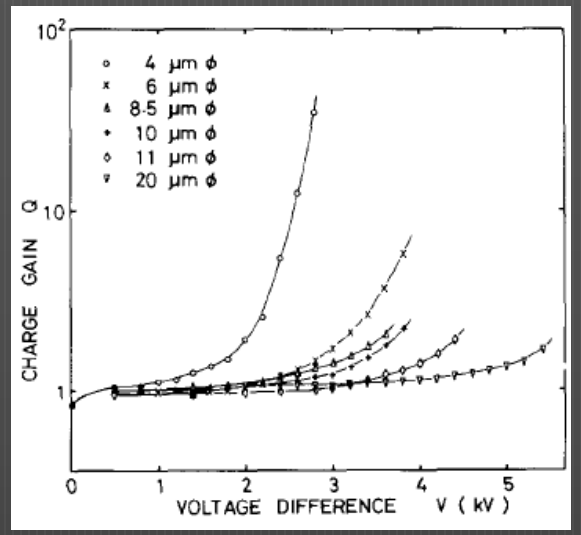
Primary scintillation　50 ns/div.



Proportional scintillation　100 ns/div.

1相型LXeTPCへ向けての開発/検証項目

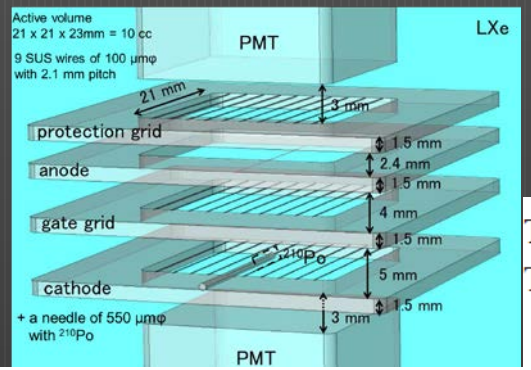
- S2が発生するための電場(kV/cm)のしきい値
- 1電離電子あたりのS2の発光量　gain（ph/e−）
- 低エネルギー信号(＜10keV)でS2発光可能か　efficiency



Masuda, NIM 1979

Φ20μmワイヤー

S2 threshold: 410kV/cm



Aprile
JINST 2014

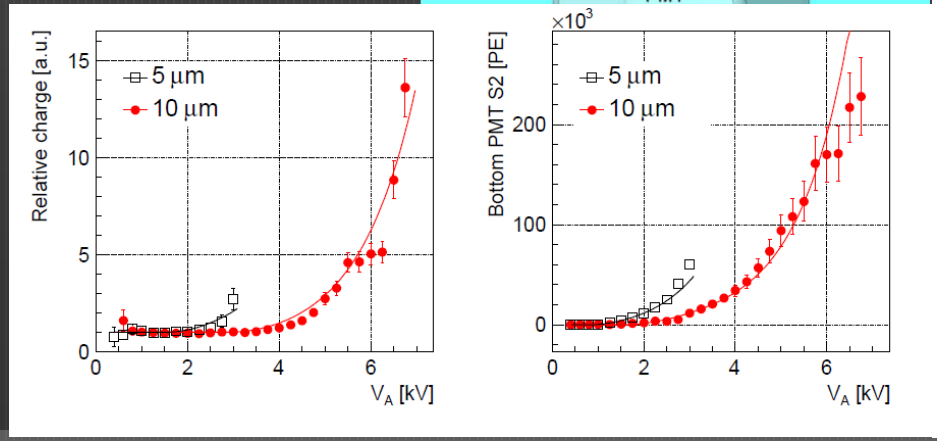


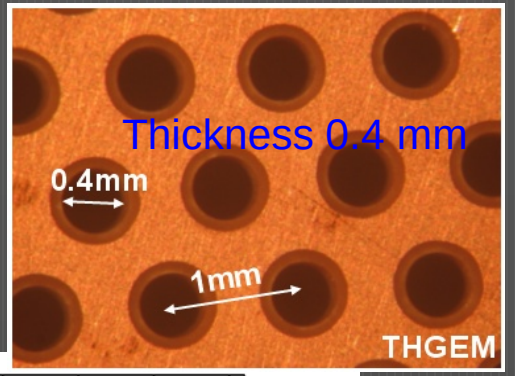
Table 2. Results from a simultaneous fit of the 10 and 5 μm data and individual fits of the 10 and 5 μm data. The last line shows the S2 gain factor after converting PE to ph/e^- using the conversion factor g.

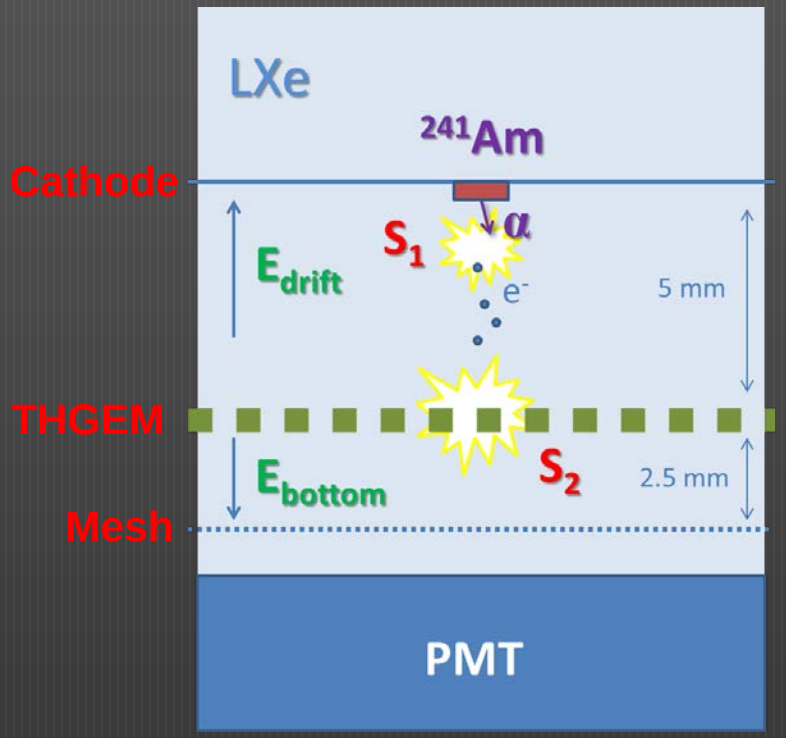
parameter	10 & 5 μm	only 10 μm	only 5 μm
θ_0: charge gain factor [$1/(\mu m \cdot e^-)$]	0.80 ± 0.10	1.15 ± 0.15	1.46 ± 0.02
θ_1: slope in charge gain [kV/cm]	242 ± 45	561 ± 119	298 ± 1
θ_2: threshold of charge mult. [kV/cm]	725 ± 48	586 ± 47	750 ± 1
θ_3: S2 gain factor [PE/(kV/cm·μm)]	16.6 ± 1.1	13.3 ± 0.4	17.9 ± 3.4
θ_4: threshold of S2 [kV/cm]	412 ± 10	399 ± 7	416 ± 13
χ^2/ndf	125/63	71.4/42	19.9/16
θ_3: S2 gain factor [ph/e^-/(kV/cm·μm)]	$(2.09^{+0.65}_{-0.47}) \times 10^{-2}$	$(1.68^{+0.51}_{-0.36}) \times 10^{-2}$	$(2.26^{+0.80}_{-0.65}) \times 10^{-2}$

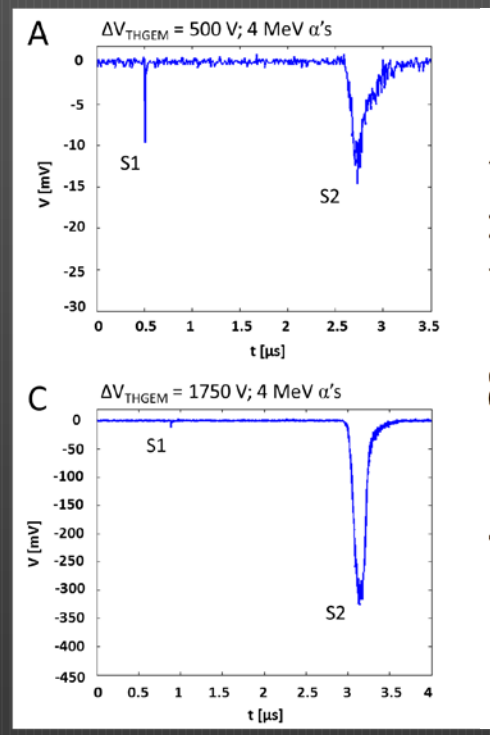
Does MPGD work?

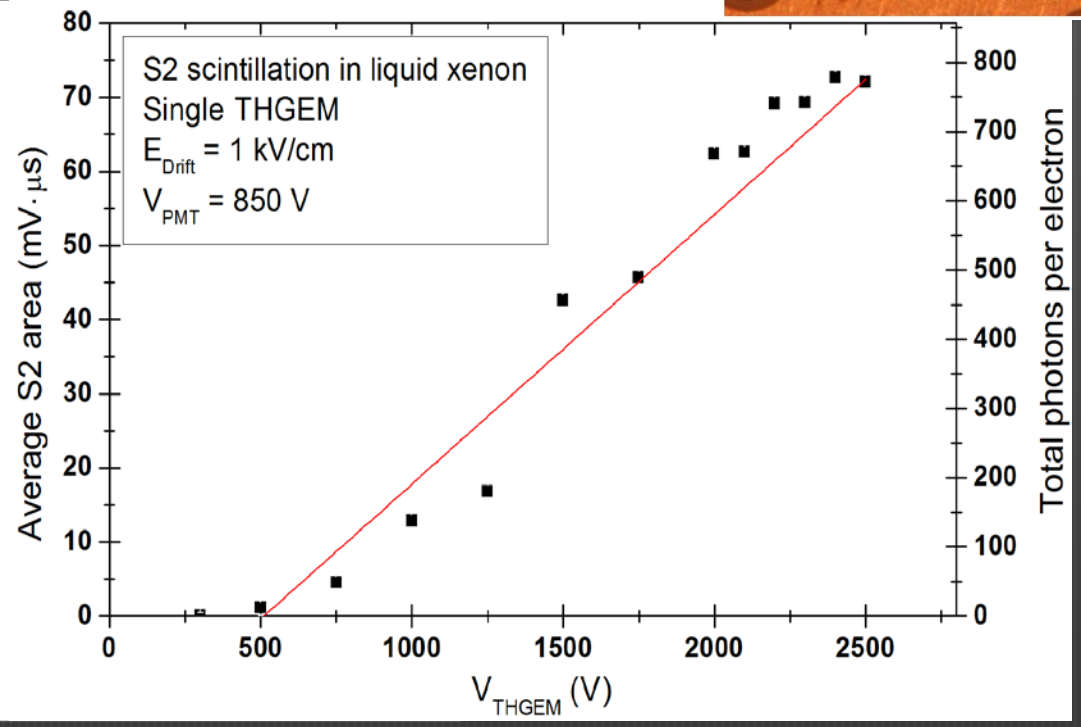
- Yes, but too good to be true…

Arazi *et al* 2013 *JINST* **8** C12004







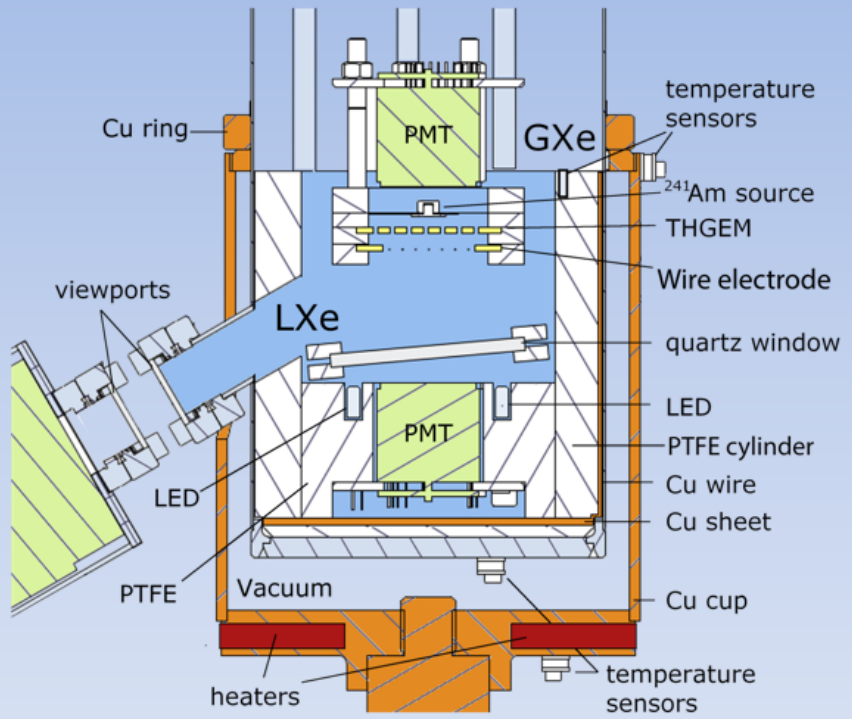


Hypothesis:
S2 produced in gas bubbles
trapped under the THGEM

- Photon yield: ~600 photons/e in THGEM hole at ~30 kV/cm
- S2 onset: few kV/cm

Trieste MPGD2015にて

Seeing is believing

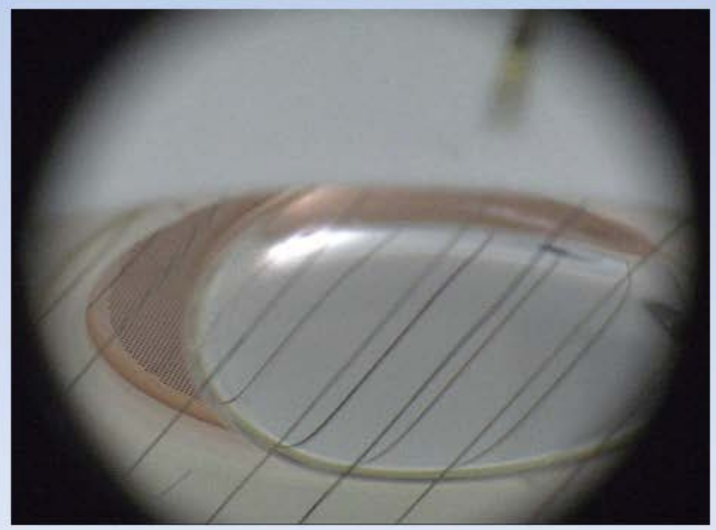


Bubble-assisted Liquid Hole-Multipliers: a local dual-phase noble liquid detector concept

E. Erdal[1], L. Arazi[1], A. E. C. Coimbra[1,2], M. L. Rappaport[1], D. Vartsky[1], V. Chepel[2] and A. Breskin[1]

[1]Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel
[2]University of Coimbra, Coimbra, Portugal

International Conference on Micro Pattern Gaseous detectors
Trieste, Oct. 2015

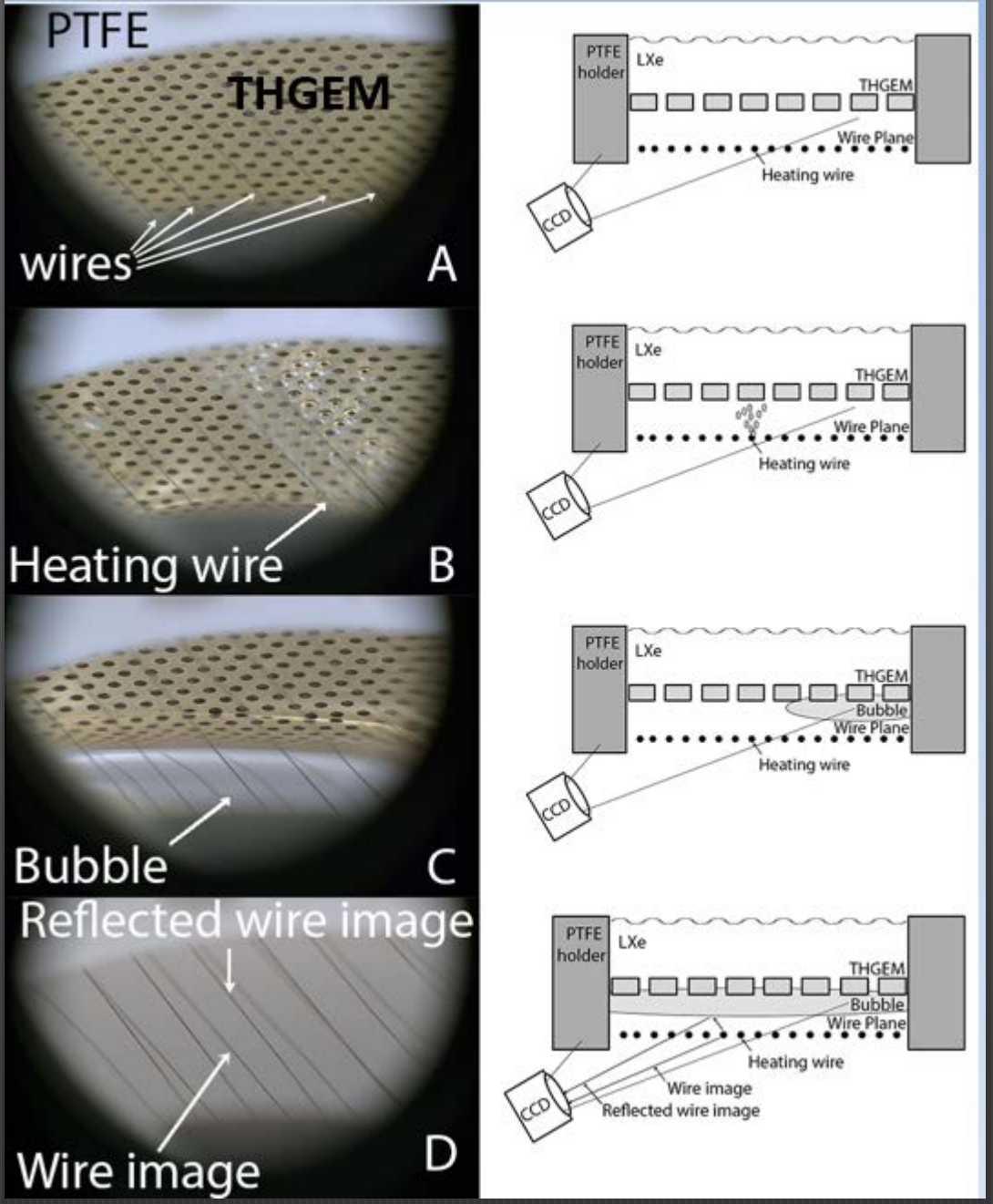


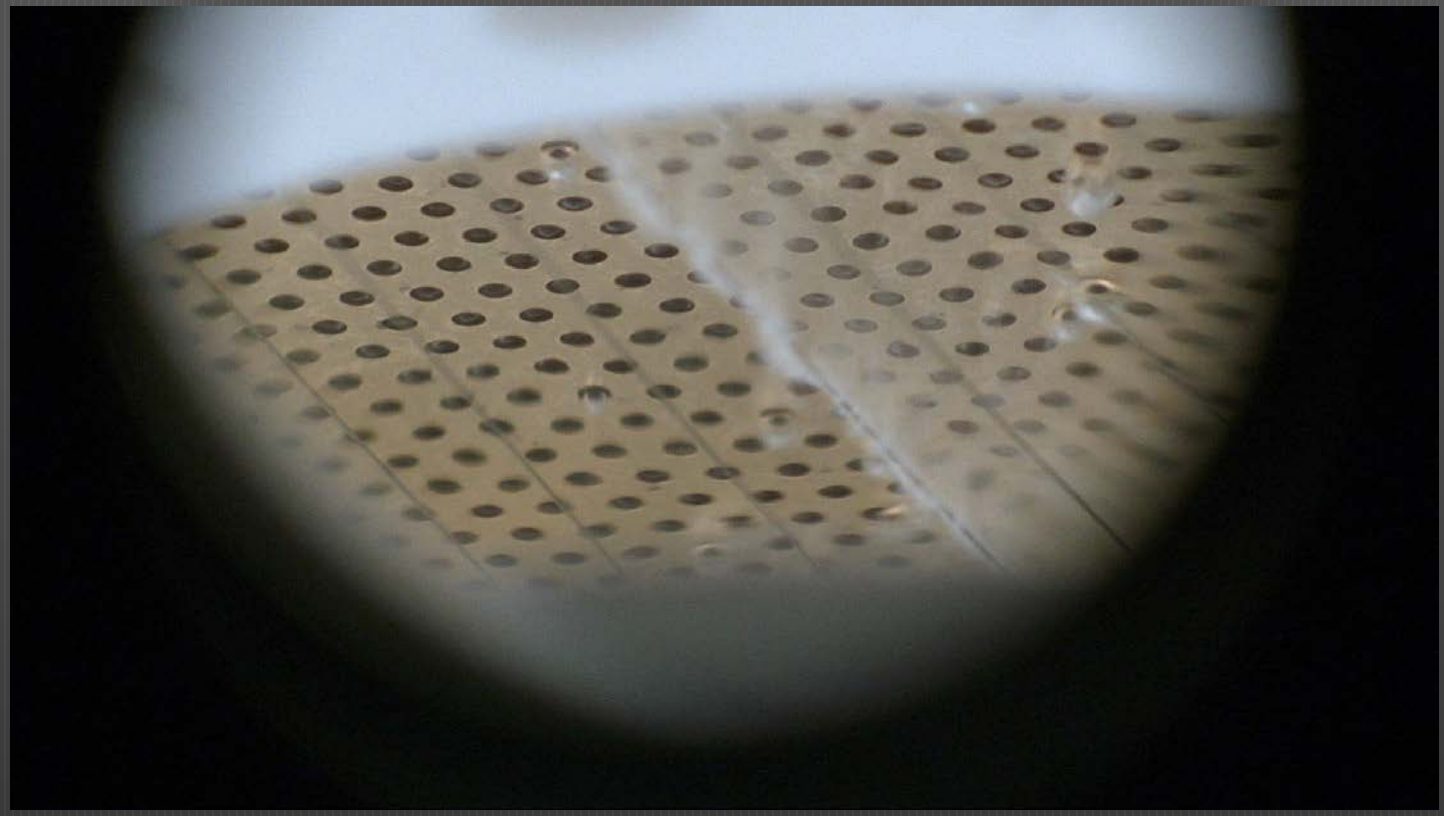
מכון ויצמן למדע
WEIZMANN INSTITUTE OF SCIENCE

E. Erdal - Bubble-assisted Liquid Hole Multipliers - MPGD conference - Trieste, Oct. 2015

1

積極的に利用している！
けど、Stability…長期管理。。。

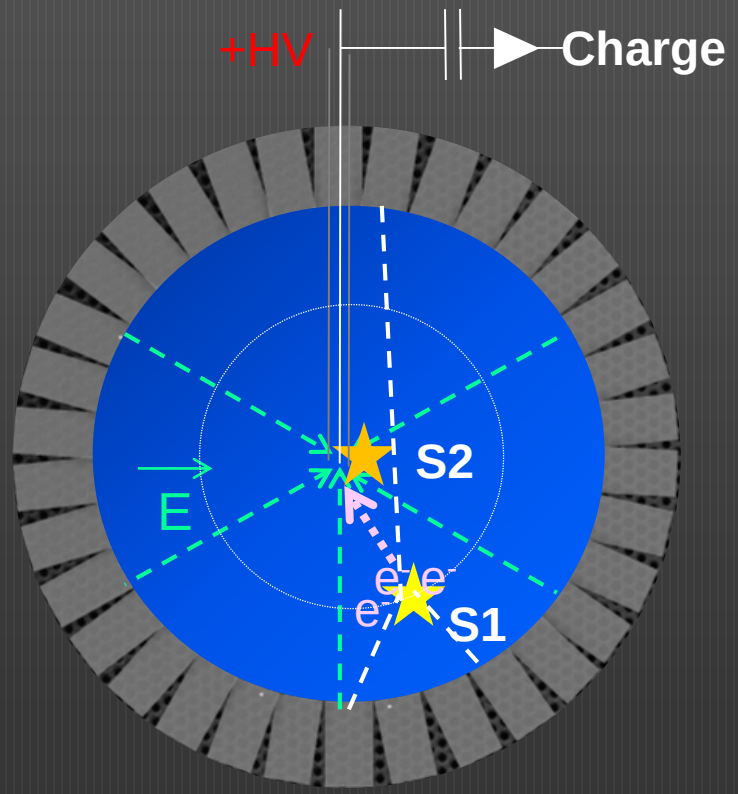


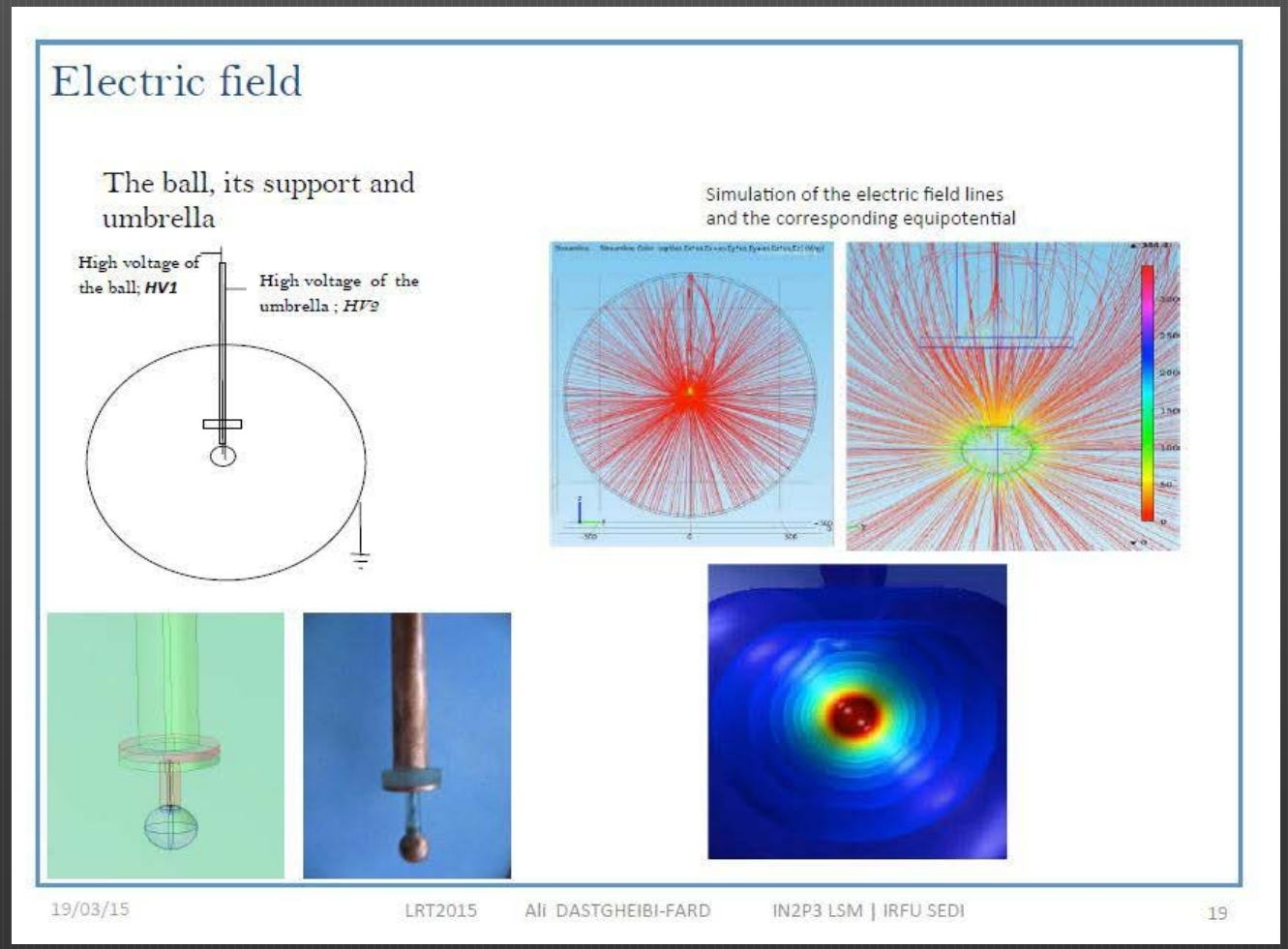


E. Erdal, L. Arazi, V. Chepel, M. L. Rappaport, D. Vartsky, and A. Breskin, [arXiv:1509.02354]

現段階の方針

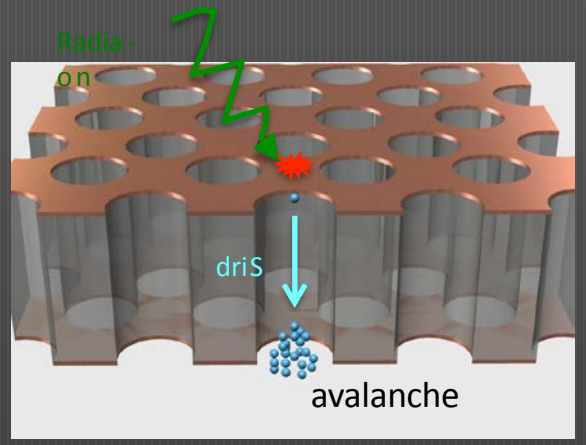
- 将来的な球状LXe-TPCを見据えつつ、まずは単純な形状でR&Dを行う。
  →『点状』電極も目指すが、まずはワイヤーとガラス製GEMでの検証





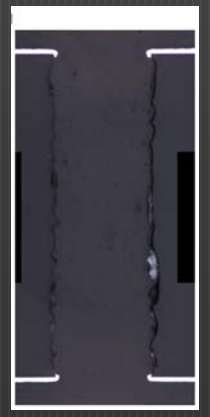
現段階の方針

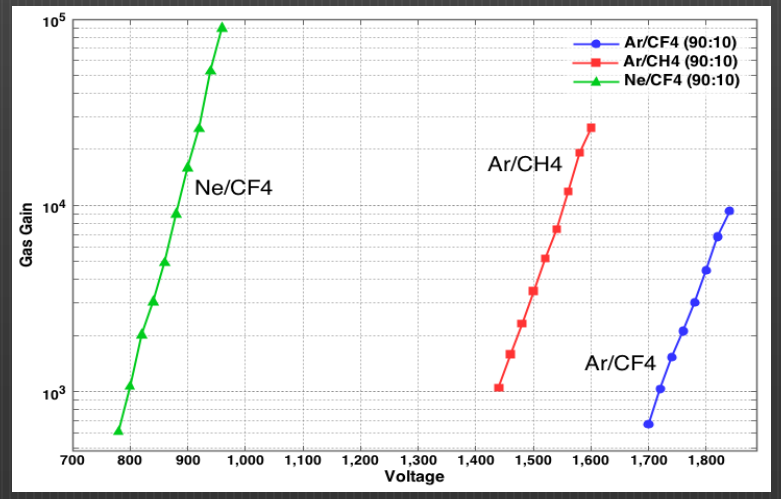
- 将来的な球状LXe-TPCを見据えつつ、まずは単純な形状でR&Dを行う。
  →『点状』電極も目指すが、まずはワイヤーとガラス製GEMでの検証

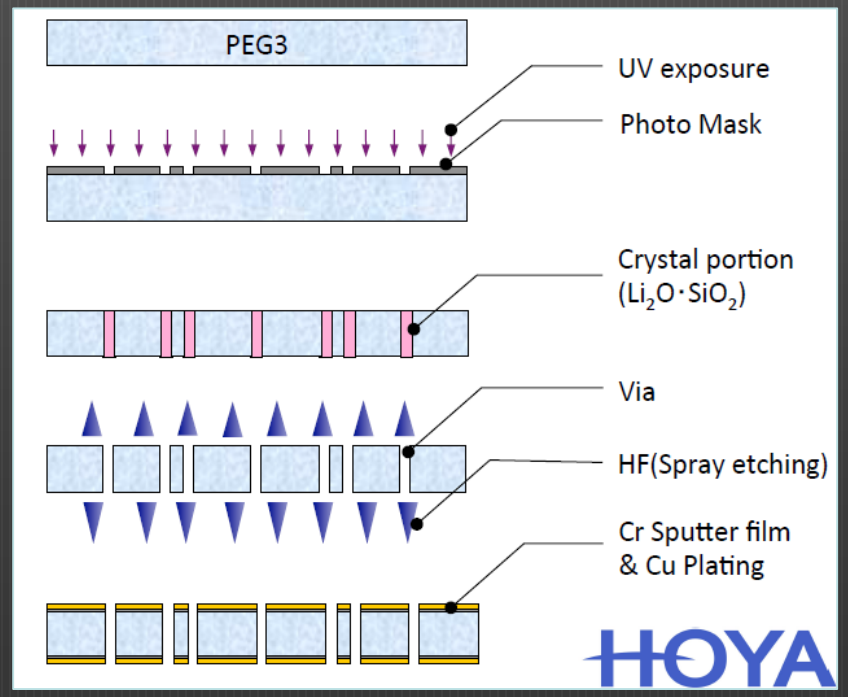


HOYA製感光性ガラス基板(PEG3)

- OutgasやXeへの溶出が少ない
- Good uniformity
- Thick (680um) & Cylindrical Hole
- High gain







開発状況1

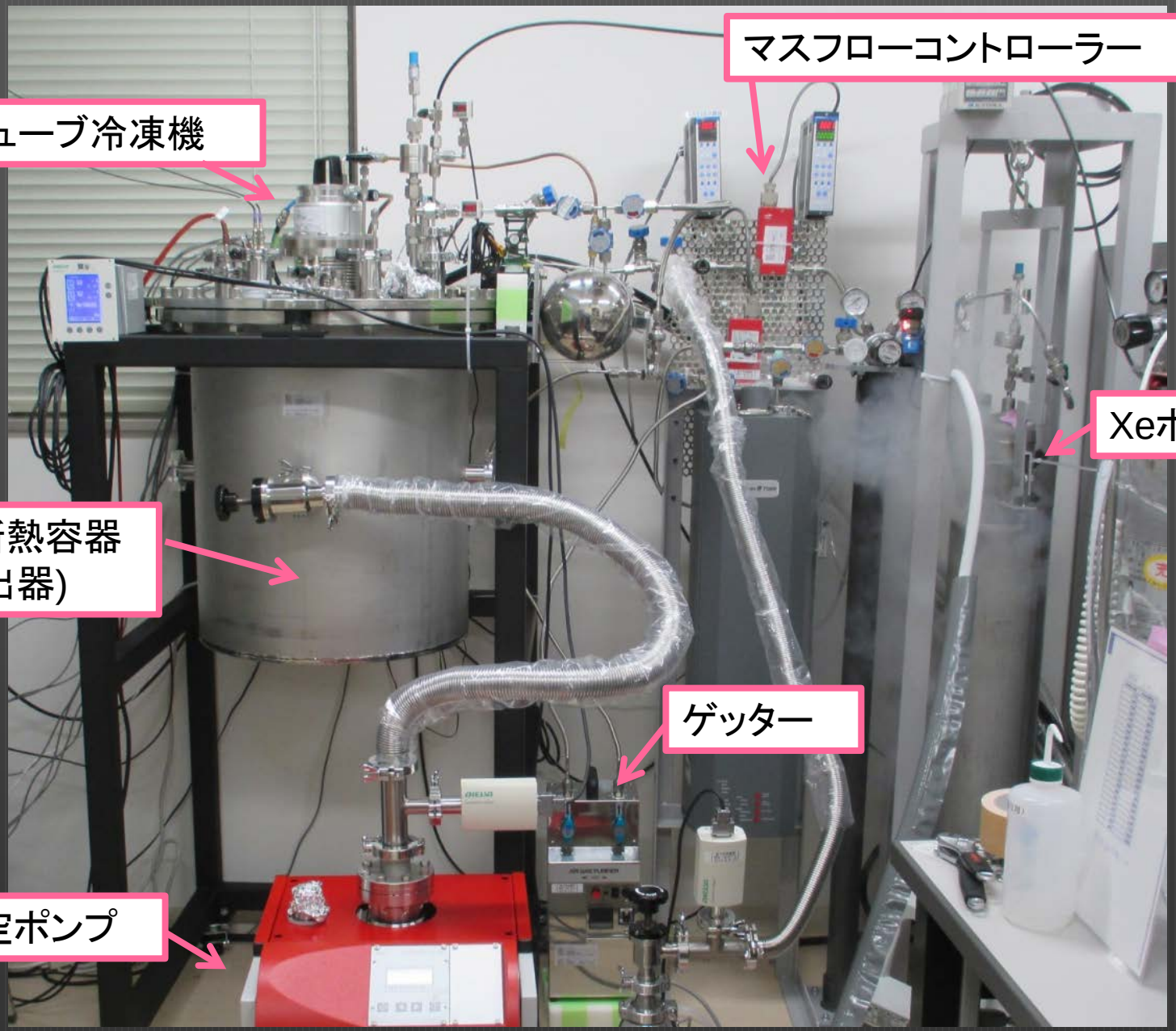
- G-LEM 冷却試験
  - 10cm□の既成品を飛散してもよいように袋に入れて

- -95℃に2時間かけて冷却
- 液体窒素にいきなり出し入れ

ガラスのクラックや電極の剥離等の物理的ダメージは
目視の範囲で一切認められなかった。

開発状況2
Cryogenics

- XMASSのテストベンチとして汎用液体キセノン実験ができるように設計した



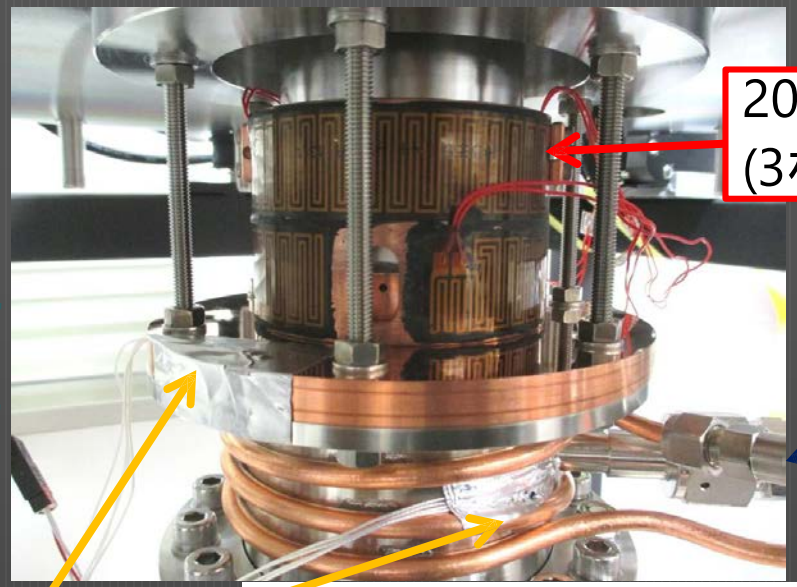
開発状況2
Cryogenics

冷凍機
コールドヘッド

熱変換円盤

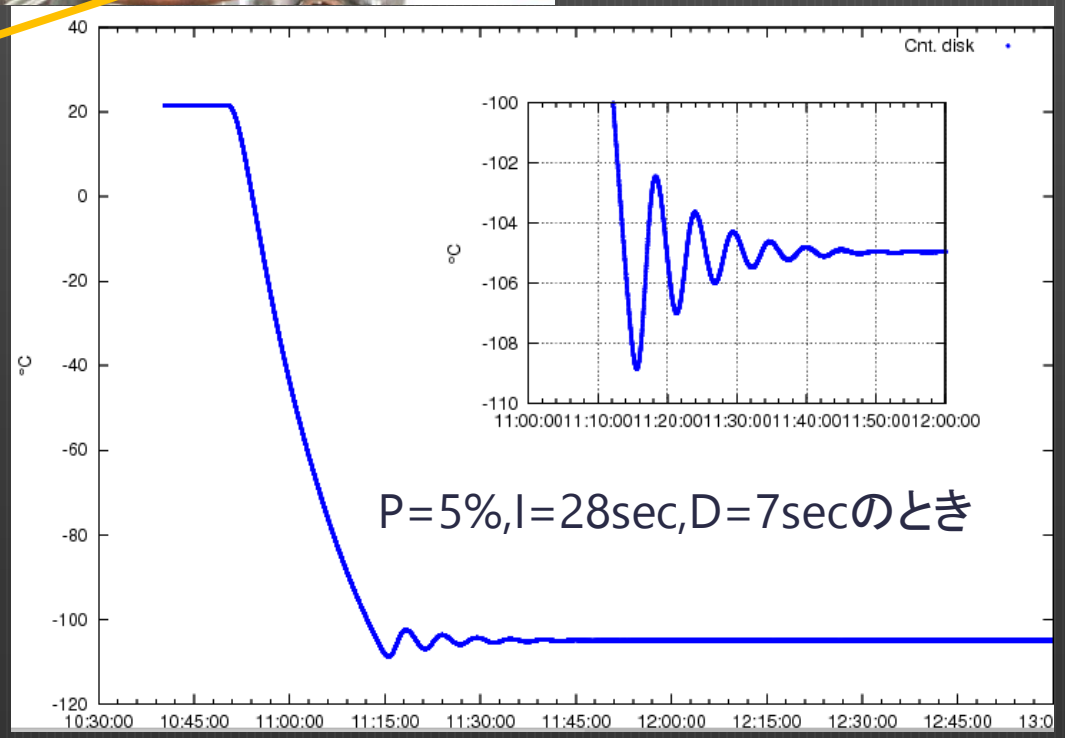
熱交換box

白金温度計



200Wヒーター4枚
(3枚は予備)

Xe inlet

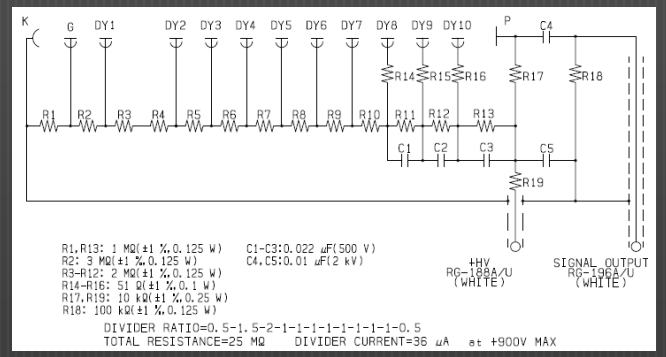


- 冷凍機冷却能力:180W@-100℃
- 熱変換円盤上の温度計により
- PID制御で温度コントロール

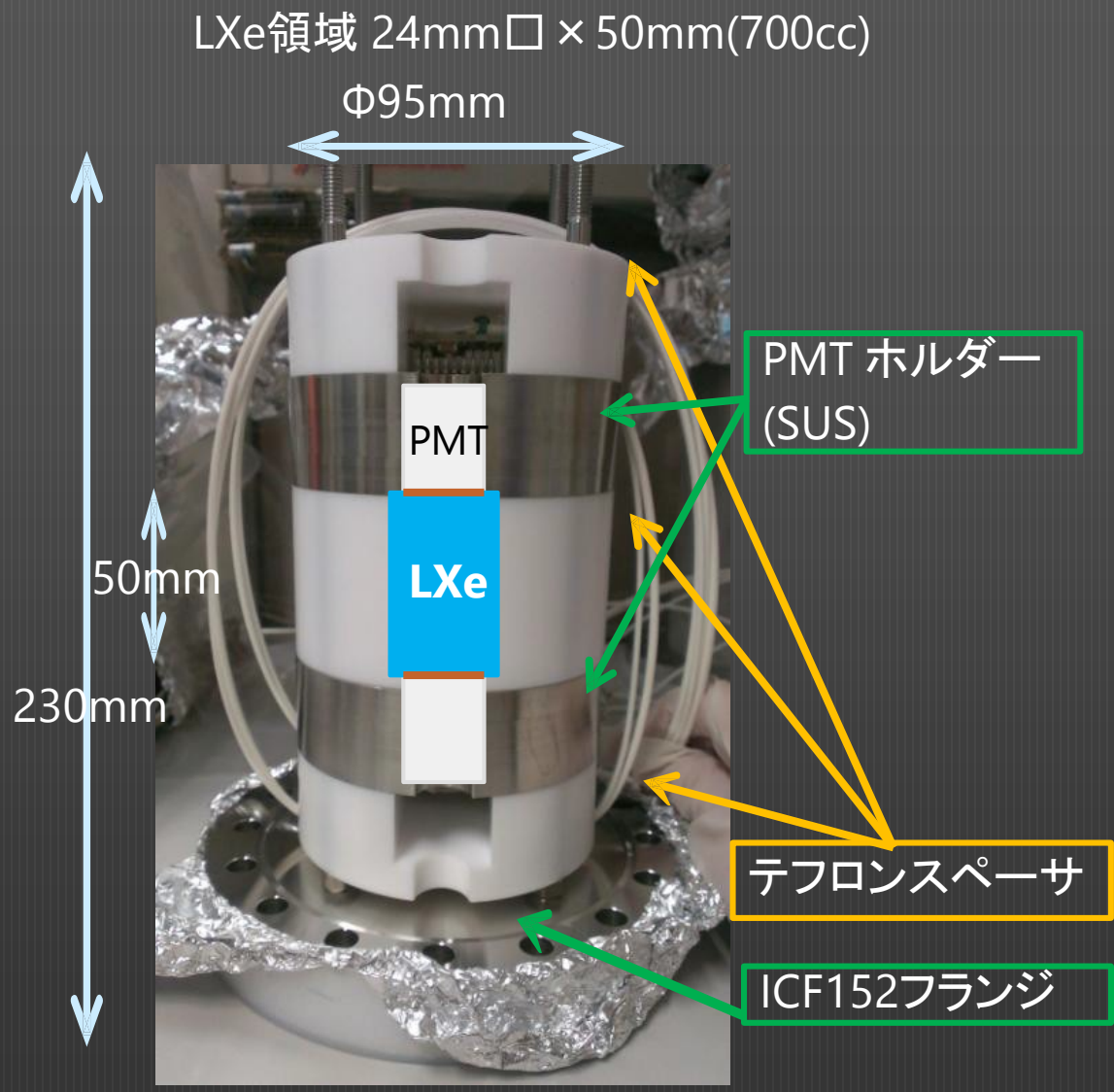
開発状況3

- PMT: 電位はGNDであってほしい
  - MEG用の低溶出ベースに＋HV用のもの開発

R8520-406
光電面24mm□

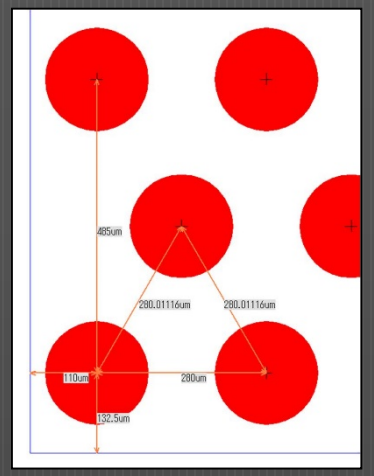


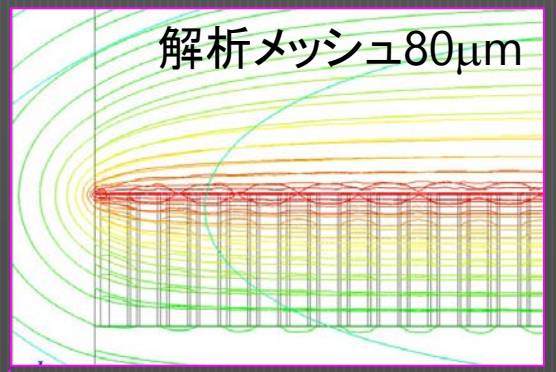
- キセノン量をセーブするための
  スペーサー導入



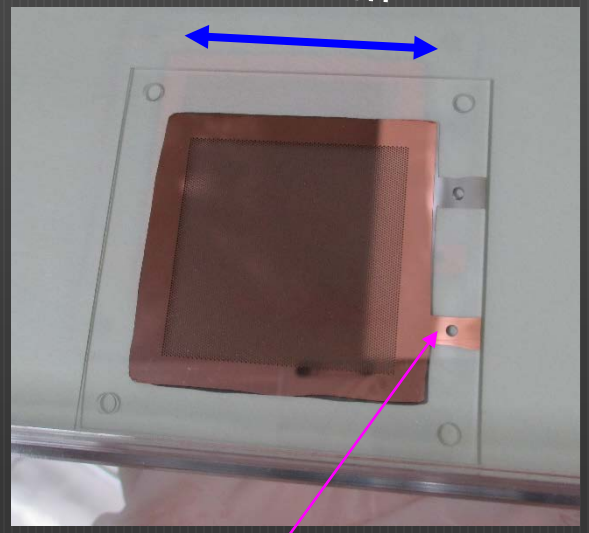
開発状況3

- 有効領域25mmのG-LEM: 9167 holes
  - ムラタソフトウェア有限要素法解析ソフトfemtet
  - GND電極からz方向+2cmの位置にGEM設置
  - GEM電圧下面2kV,上面4kV印加
  - ドリフト領域でも電極に平行電場(1kv/cm)
  - hole内の液体Xe中で平行電場(30kV/cm)が形成されるはず

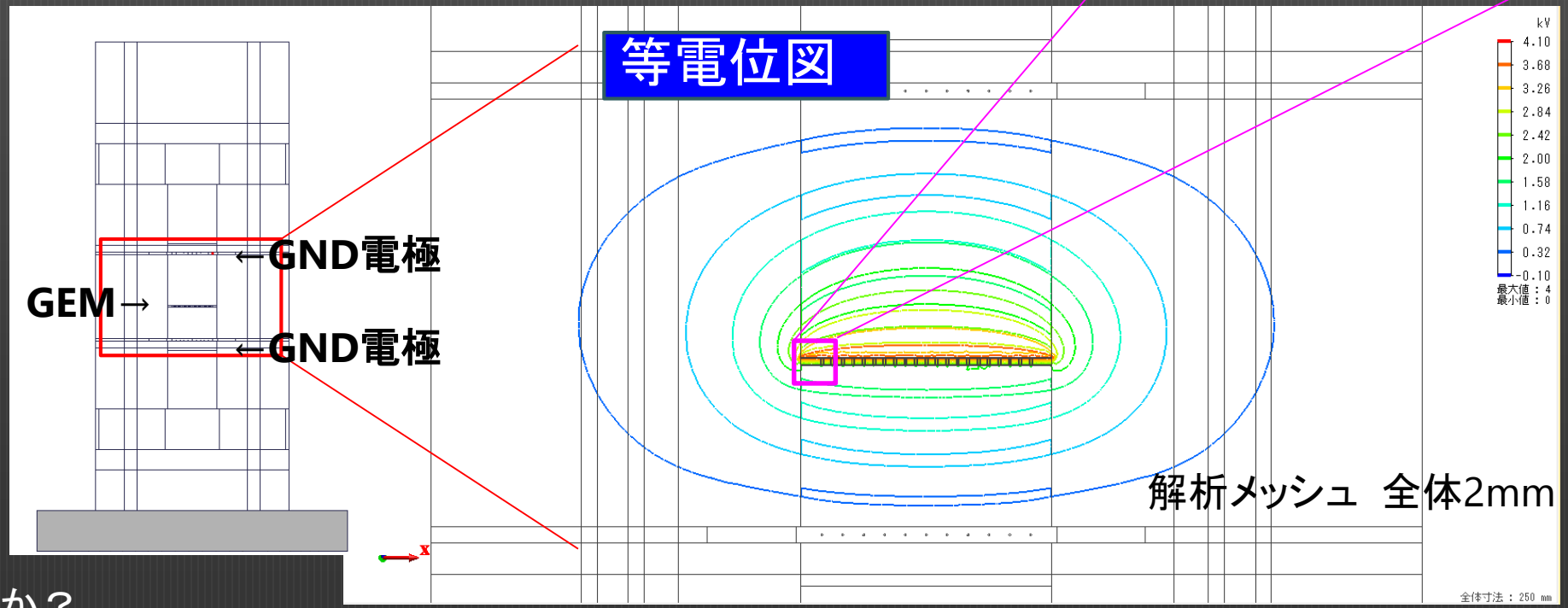




25mm



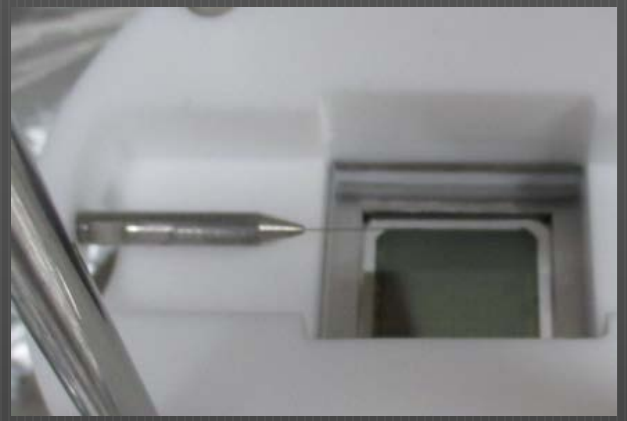
ココどうつなぐべきか？

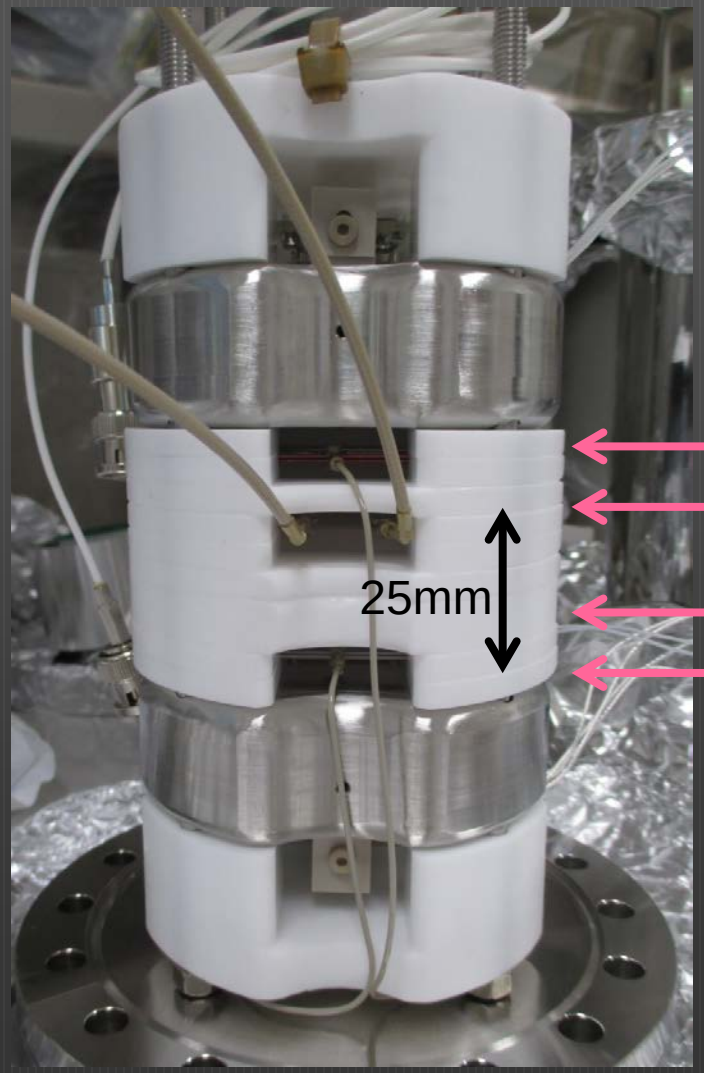


開発状況4

- ^{241}Am(59.5keV,13.9keV)導入

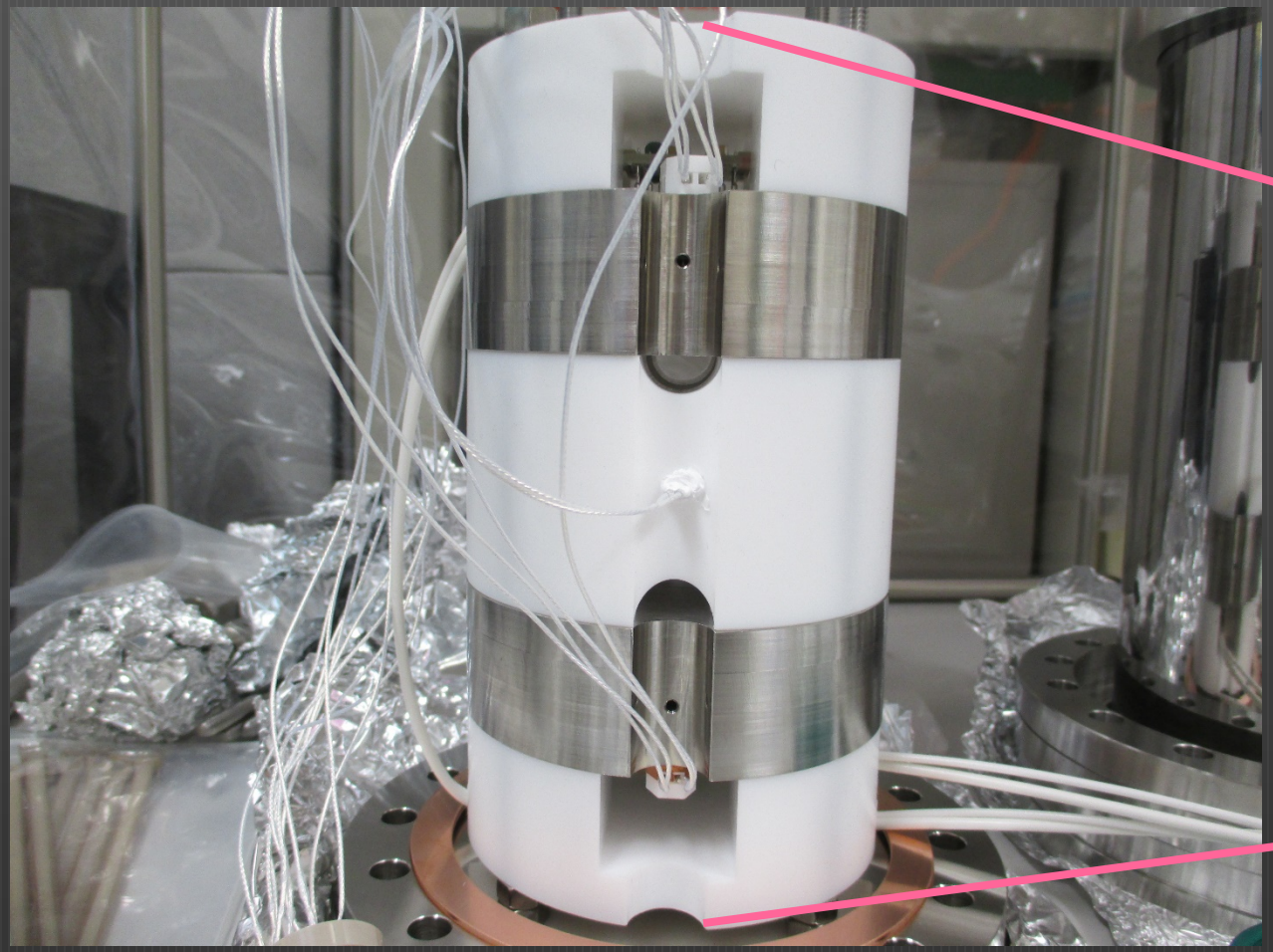
- LEMが光を通しにくいためS1信号は主に下PMTで見る。

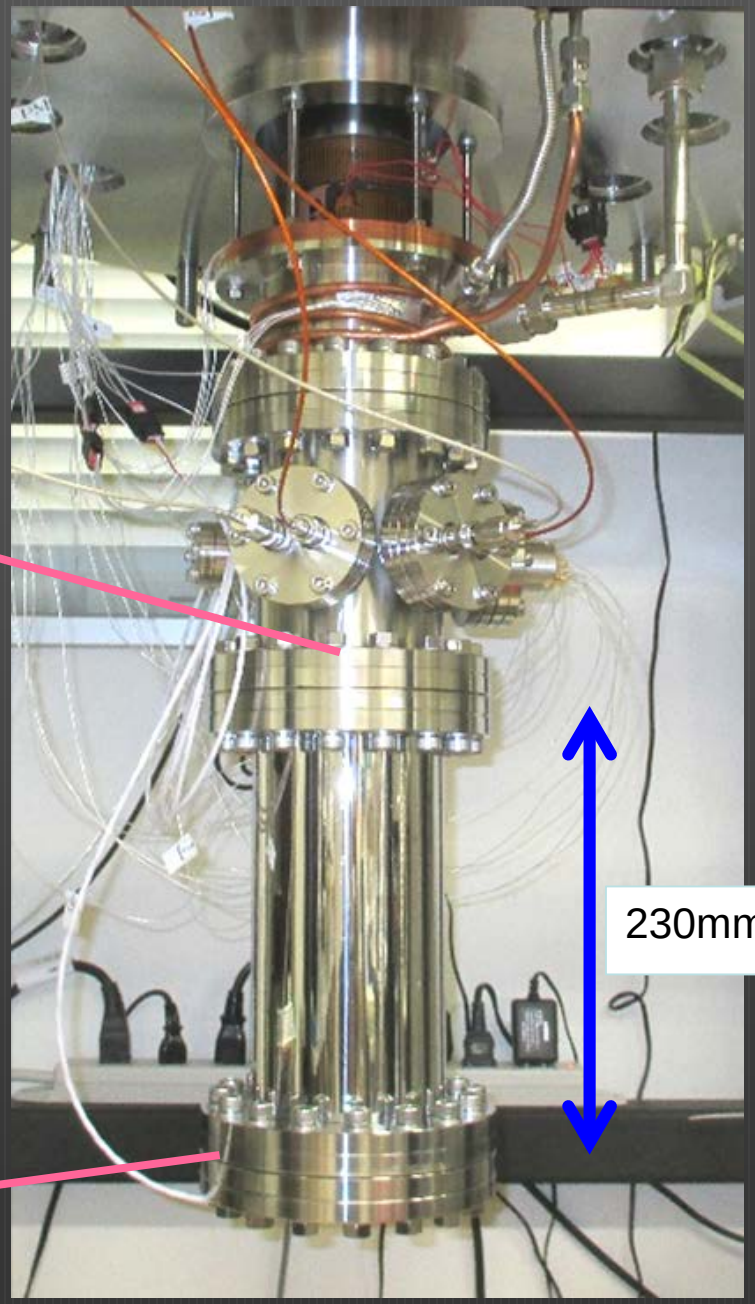




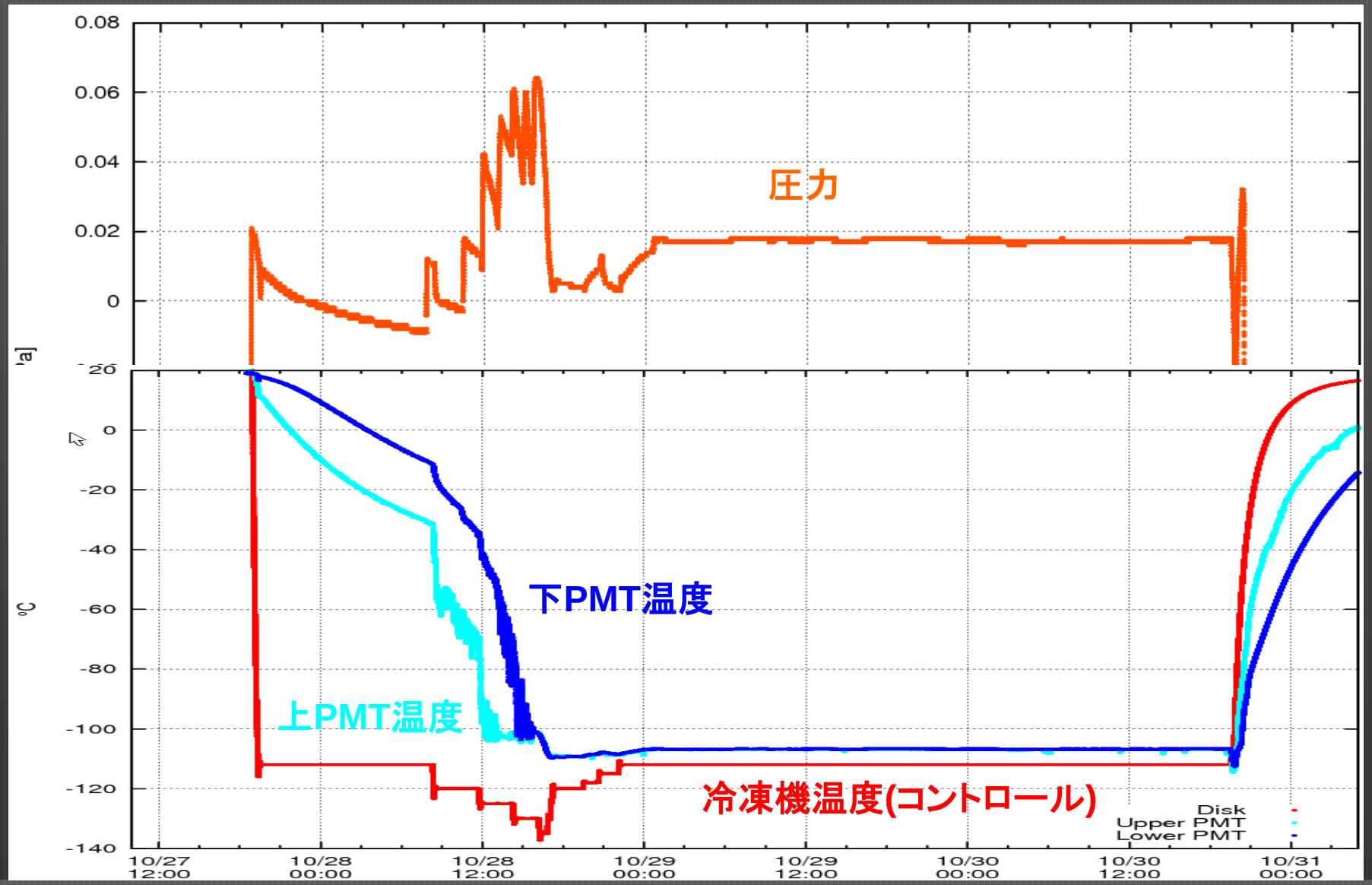
開発状況4

- 反対側　温度計･LED

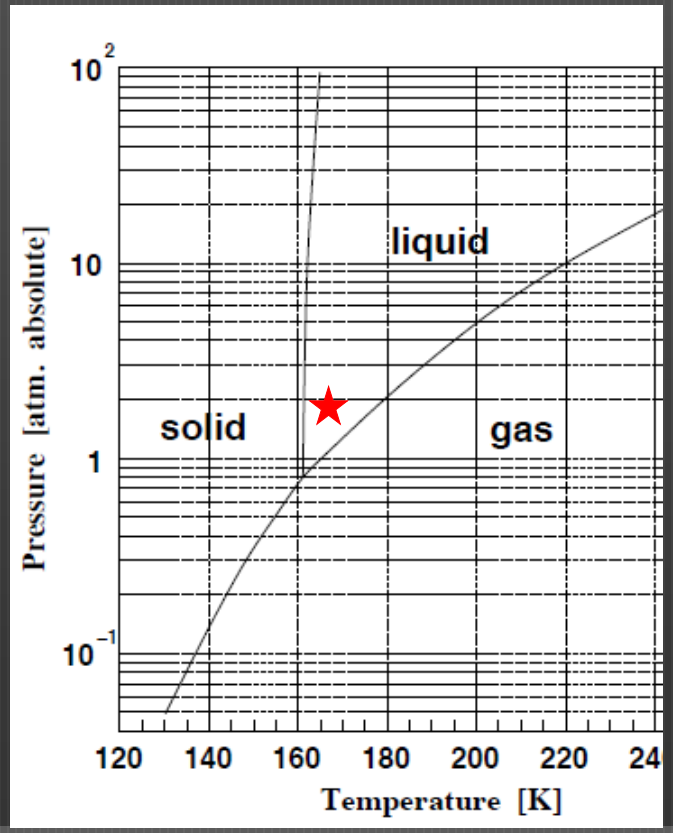




液体Xe導入

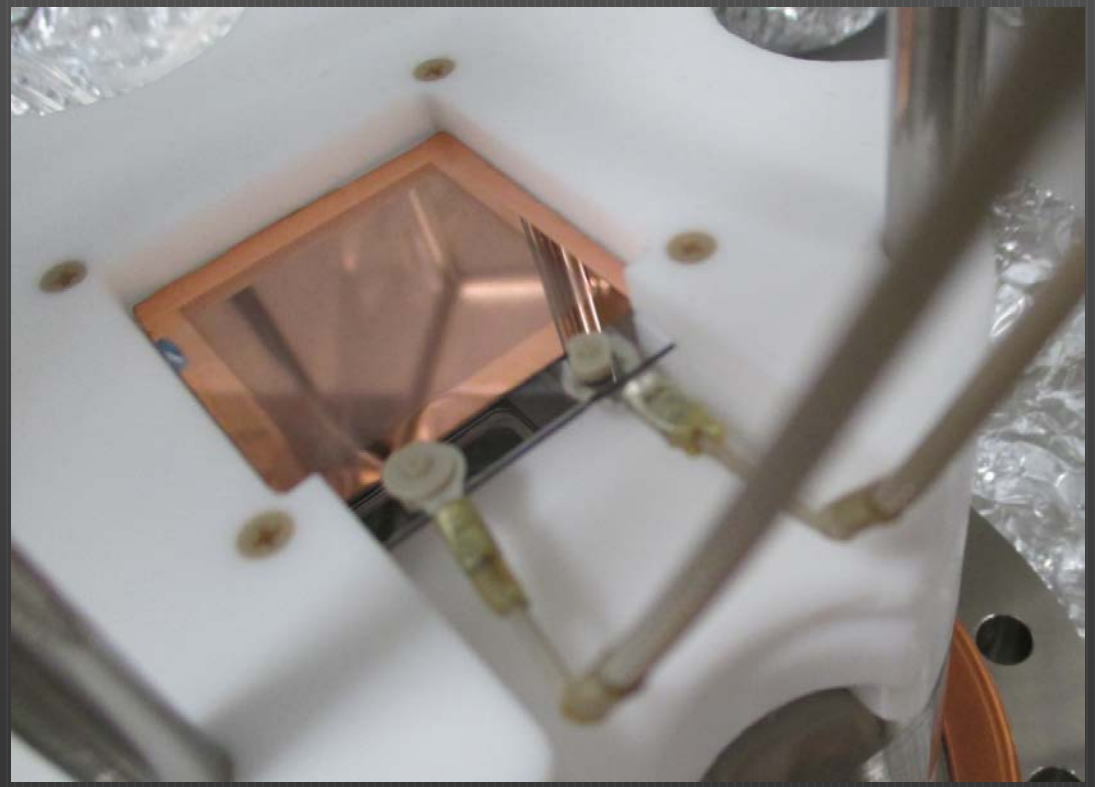


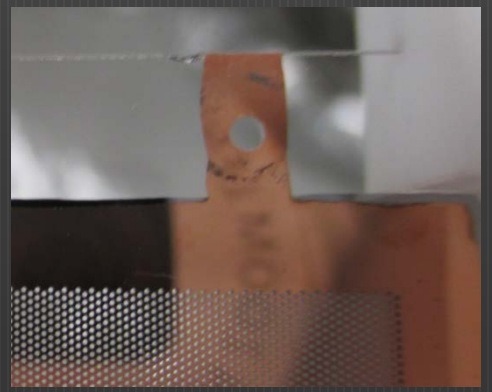
- Xe導入後温度圧力ともに十分安定した2日後の実験について報告する
- IVC内
  -106.1℃
  +0.016MPa



先に結論：現状の問題と結果

- LEM上面に3.5kV以上の電圧を印加するとHV trip
  - LEMにPEEKケーブルを圧着端子とPEEK熱収縮チューブとPEEKねじで固定し電圧印加しているが、、、実験後解体したところ　固定が甘いようだった。





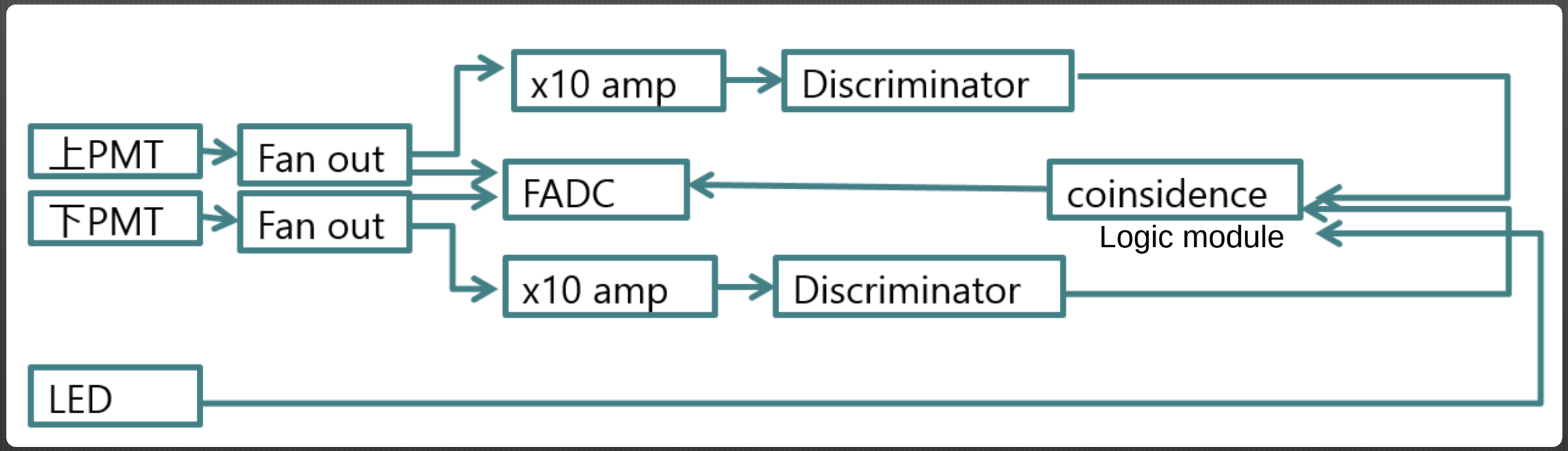
もしかすると

E. Erdal[1], L. Arazi[1], A. E. C. Coimbra[1,2], M. L. Rappaport[1], D. Vartsky[1], V. Chepel[2] and A. Breskin[1]

- 2.5kV/0.65mm=38kV/cm でS2見えず

HV/DAQまわり

- HV:CAEN N1470A 8kV
- FADC: CAEN DT5751 10 bit 1 GS/s



LEM上+3.5kV 下+1.0kV 印加したとき

- 実現可能だった最大電場でS2らしきは見えなかった。Bubbleないだろう。
  - ドリフト　0.4kV/cm, LEM 38kV/cm

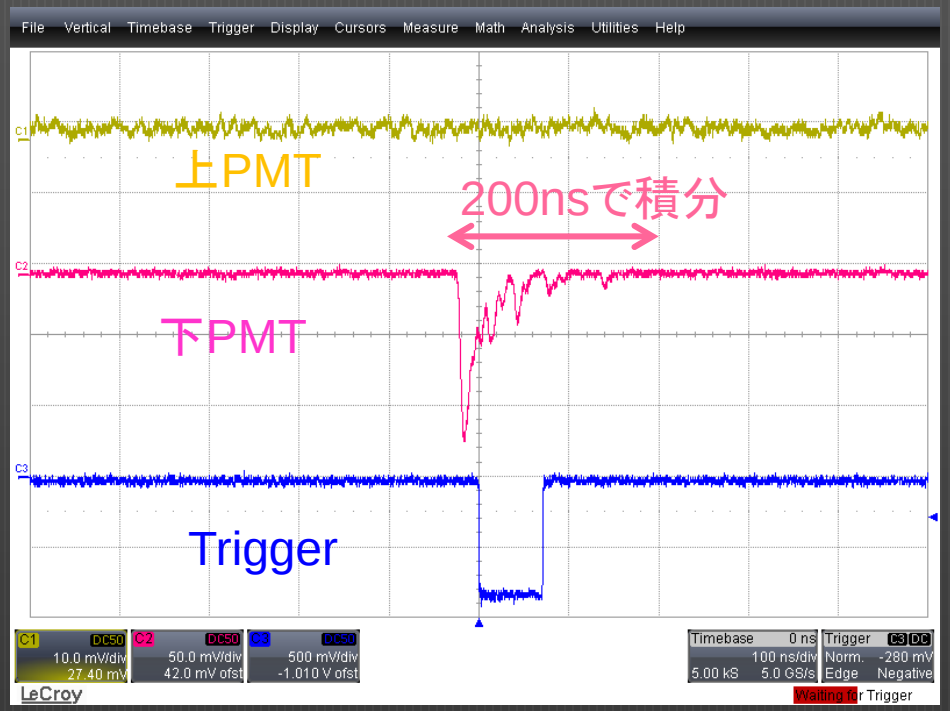
上PMT(10mVdiv)

下PMT(50mVdiv)

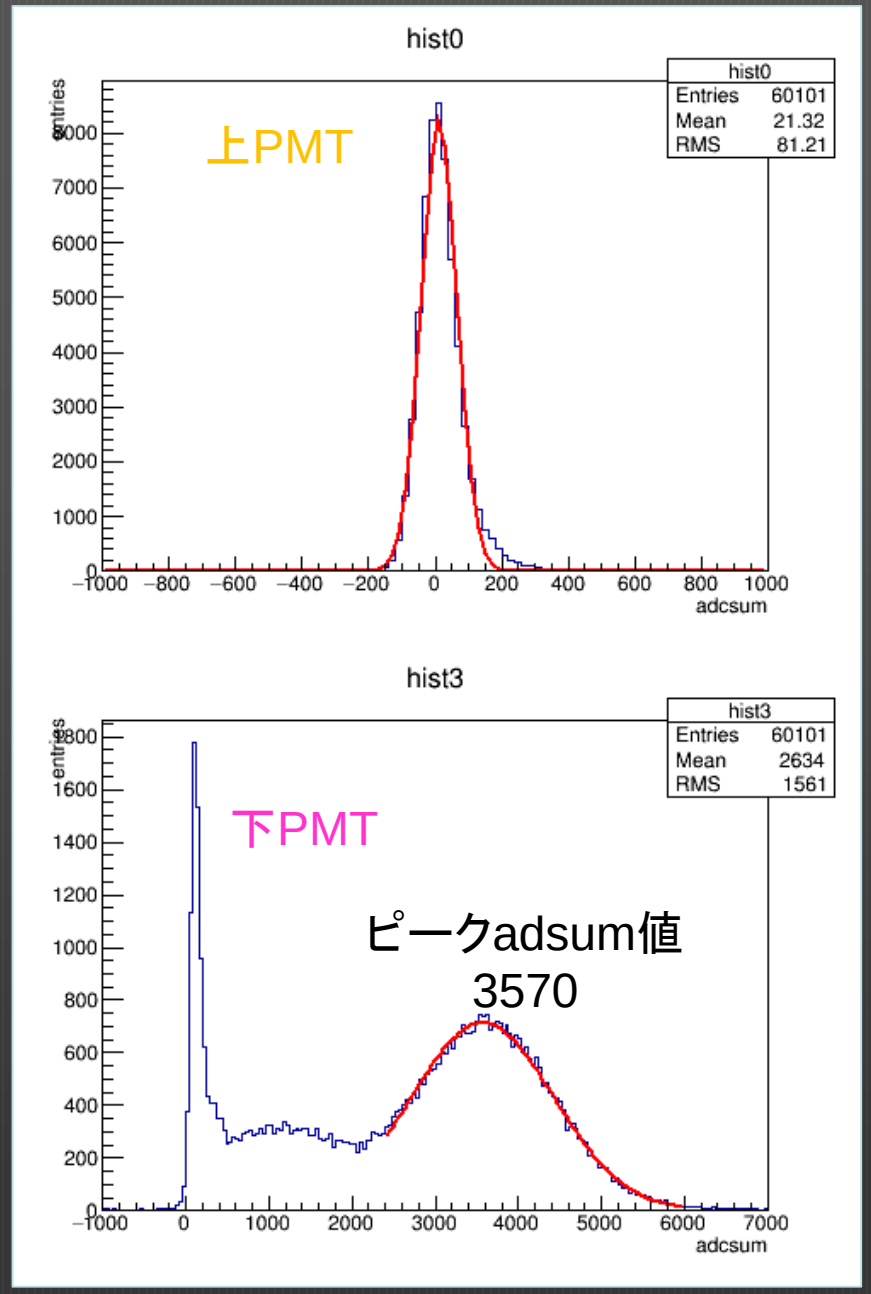
横軸　2µs div

S1

- ^{241}Am 59.5keV

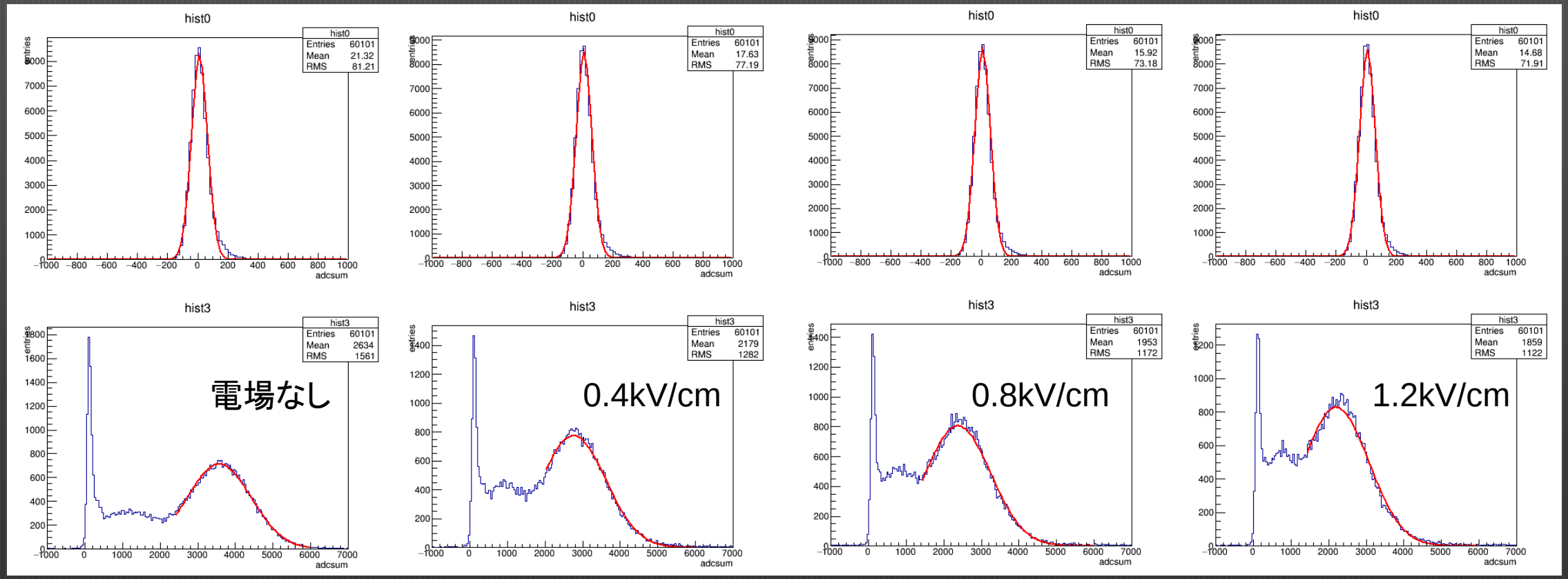


Am241線源：350Hz
下PMT15mVでdiscri threshold
6万event分の波形からスペクトル作成
(横軸は200ns分のadcsum値)



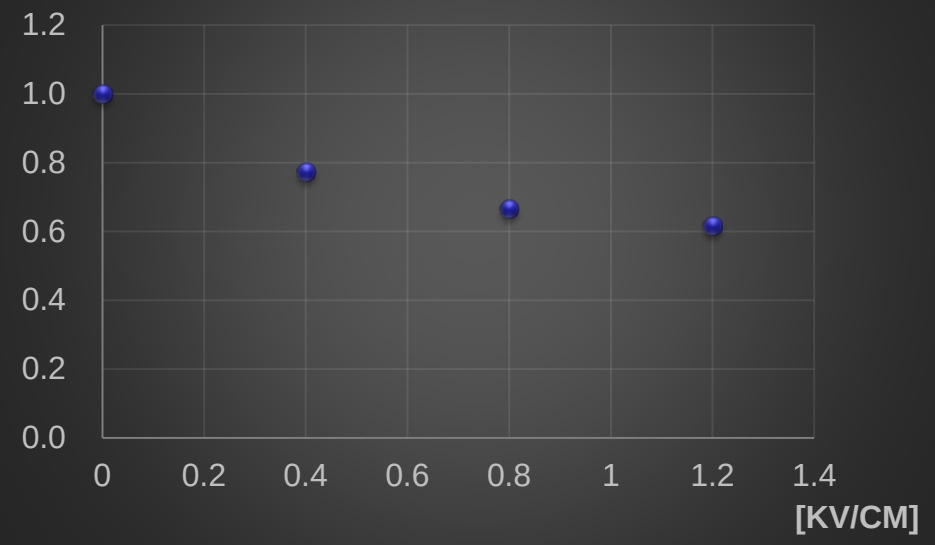
S1のドリフト電場依存性

- LEM上下面に同電圧を印加し電離電子のドリフトのみ行った際のS1光量の電場依存性を見た。



Xe発光と電場

- 本実験のS1光量変化



Tadayoshi DOKE, Akira HITACHI, Kimiaki MASUDA et al.,
Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41 (2002) pp. 1538–1545 DOI: 10.1143/JJAP.41.1538

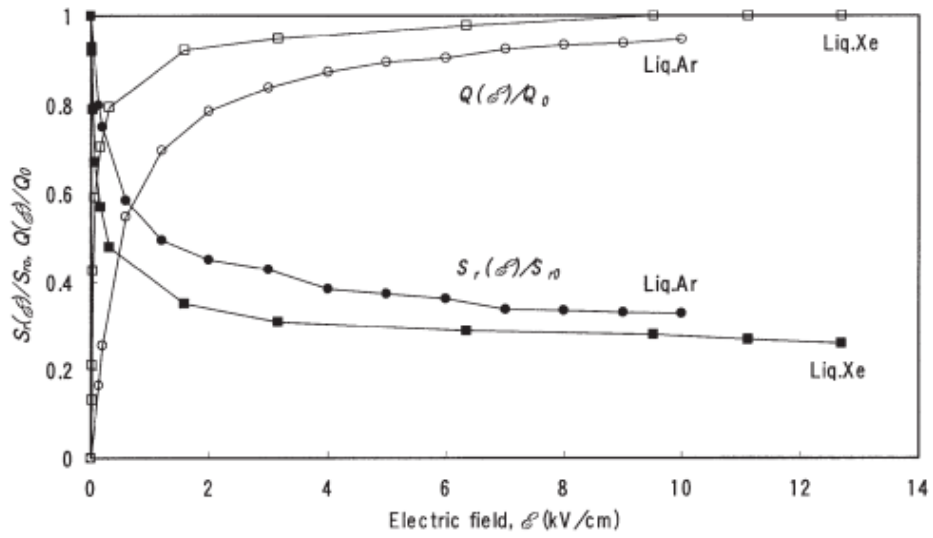
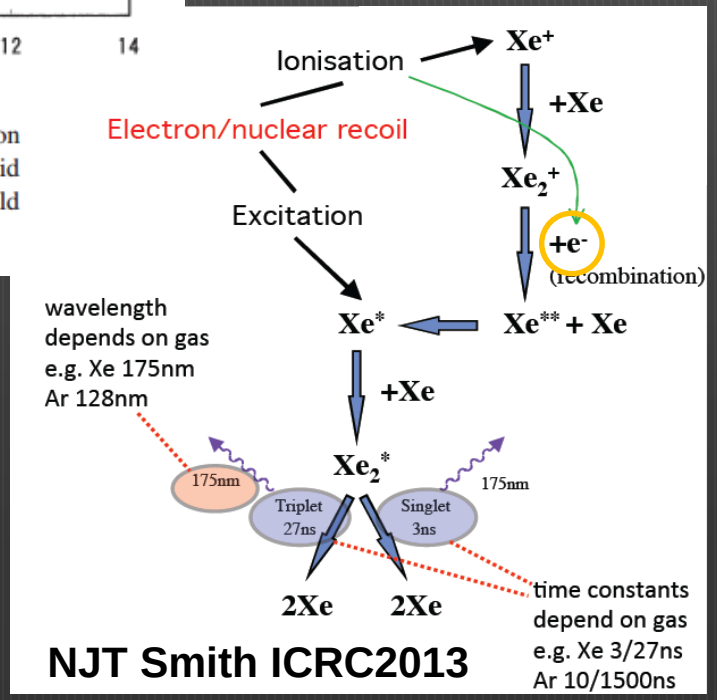


Fig. 5. Saturation curves of ionization (open symbols) and scintillation (close symbols) for 1 MeV conversion electrons from ^{207}Bi in liquid argon (○,●), and liquid xenon (□,■) as a function of the electric field strength.[22]



電場が強くなるほどS1光量減は確認。
LEM上面にさらに高電圧を印加し電荷増幅によるS2発光を確認したい。

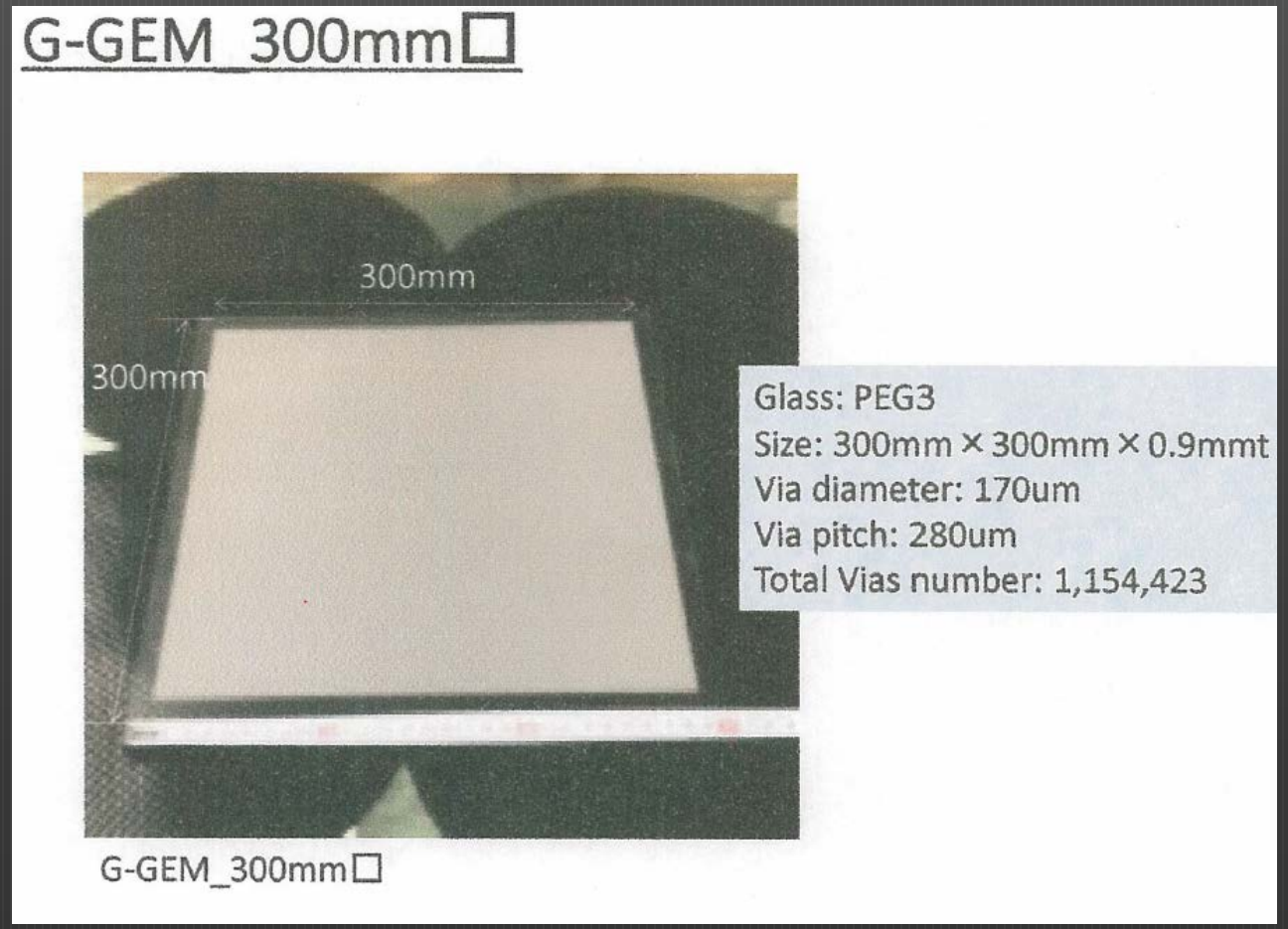
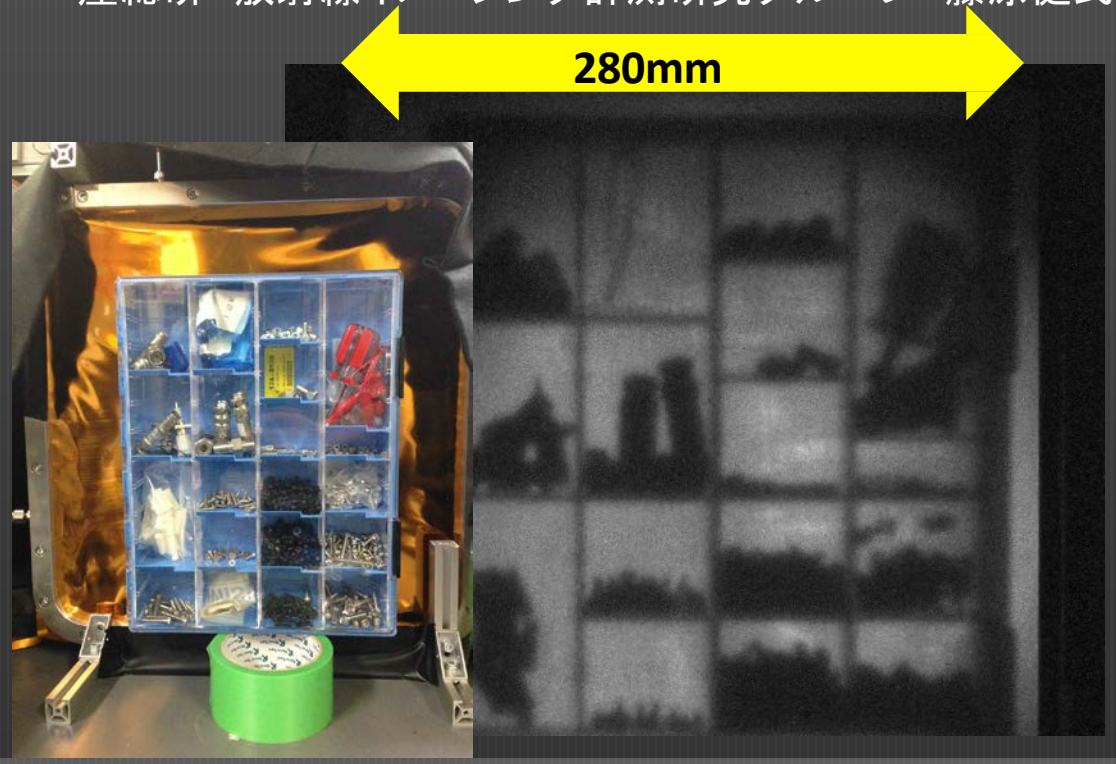
まとめと今後

- 1相式液体XeTPCの検証に向けたテストベンチを開発。
- 検出器内部の線源^{241}Amを用いてS1を観測。
- GlassGEMを電極に用いて液中S2観測を試みたが信号は未確認。
  - Bubbleなしで、38kV/cmでは不足か？　やはり400kV/cm必要そう。
- LEMへ上下面に同じ電圧をかけてS1光量の電場依存性を確認。
- LEMへの電圧印加が不安定。(放電か、bubble?)

- LEMへ電圧を印加する端子を付け替えたので再度実験する。
- LXe中で電圧印加の前にGXe中でS2が見えるかどうかやってみる。
- 液中S2が見えなければ素直に2相式にします。
- ワイヤー電極

将来展望

- S2見られたらこのままG-LEMでいってもよいかも。



産総研　放射線イメージング計測研究グループ　藤原健氏