2018/12/14 MPGD@京大

AXEL実験における高圧キセノンガス検出器開発

中村　輝石（神戸大）

AXEL collaboration

トーク、の前に・・・

アクティブ媒質

TPC座談会

- 目的
  - 技術共有や失敗談共有による研究開発の促進
- 開催予定
  - 2019年 3/21-21 @ 神戸大

そのうちCRCやHEPでアナウンスします

MPGD研究会に参加の皆様もぜひ！

アクティブ媒質TPC開発座談会

Saturday, 22 April 2017 from **13:00** to **18:00** (Japan)
at **KEK4号館1階（セミナーホール）**

Description 近年、暗黒物質探索・ニュートリノ物理研究・医療用PET・宇宙線測などを目的とした研究において、燃料・ソース・コンバージョン機能として果たすアクティブ媒質を用いたTPCの開発研究が盛り上がっています。国内でも、除イオンガス、高圧ガス、液体(Xe,He,Ar)と多様な研究が行われています。これらの開発研究については、要素技術で共通な部分も多いです。

そこでこの度、開発の現状や失敗談などについてざっくばらんな話しや情報交換をする機会として、座談会を開催します。

世話人：
石野宏和(岡山大)、市川温子(京都大)、坂下健(KEK)、
関谷洋之(ICRR)、身内賢太朗(神戸大)、寄田浩平(早稲田大)

Material: Participants

Saturday, 22 April 2017

13:00 - 13:25	LArTPCの大型化にむけた開発 *25'*	Speaker: 坂下健 (KEK) Material: Slides
13:25 - 13:35	DM探索 液体アルゴンプロジェクト *10'*	Speaker: 寄田浩平 (早稲田大) Material: Slides
13:35 - 13:55	DM探索 液体アルゴン技術開発 *20'*	Speaker: 鷲見貴生 (早稲田大) Material: Slides
13:55 - 14:05	DM探索 陰イオンTPCプロジェクト *10'*	Speaker: 身内賢太朗 (神戸大) Material: Slides
14:05 - 14:15	陰イオン/LArTPC ASIC開発 *10'*	Speaker: 中澤美季 (神戸大) Material: Slides
14:15 - 14:30	DM探索 陰イオンTPC技術開発 *15'*	Speaker: 池田智法 (神戸大) Material: Slides
14:30 - 14:40	休憩 *10'*	
14:40 - 14:50	AXELプロジェクト *10'*	Speaker: 市川温子 (京都大) Material: Slides
14:50 - 15:10	AXEL技術開発 *20'*	Speaker: 潘晨 (京都大) Material: Slides
15:10 - 15:20	XMASS高度化　液キセノンTPCプロジェクト *10'*	Speaker: 関谷洋之 (ICRR) Material: Slides
15:20 - 15:40	XMASS高度化　液キセノンTPC技術開発 *20'*	Speaker: 雪澤佳世 (名大ISEE) Material: Slides
15:40 - 16:05	軽いDM探索のための液ヘリウムTPC *25'*	Speaker: 石野宏和 (岡山大) Material: Slides
16:05 - 16:15	休憩 *10'*	
16:15 - 16:35	次世代MeVガンマ線衛星のための液アルゴンTPCプロジェクト *20'*	Speaker: 田島宏康 (名大ISEE) Material: Slides
16:35 - 17:00	PETに使える3Dガンマ検出器液キセノンTPC *25'*	Speaker: 田内利明 (KEK) Material: Slides
17:10 - 17:40	議論(今後の研究会のありかた等) *30'*	

今回の話

- AXEL実験の検出器
  - 10mmピッチくらい（MilliPatternGasDetector！）
  - キセノン 6～10atm のTPC
  - 読み出しは、電子⇒EL光（紫外）⇒MPPC
  - ガス圧が高いので高電圧が必要
  - 飛跡検出するのでトラッキングアルゴリズム開発も
  - チャンネル数も～10000欲しいのでエレキ開発も

- 似たような開発項目が多いと思うので、情報共有等できればと思います。

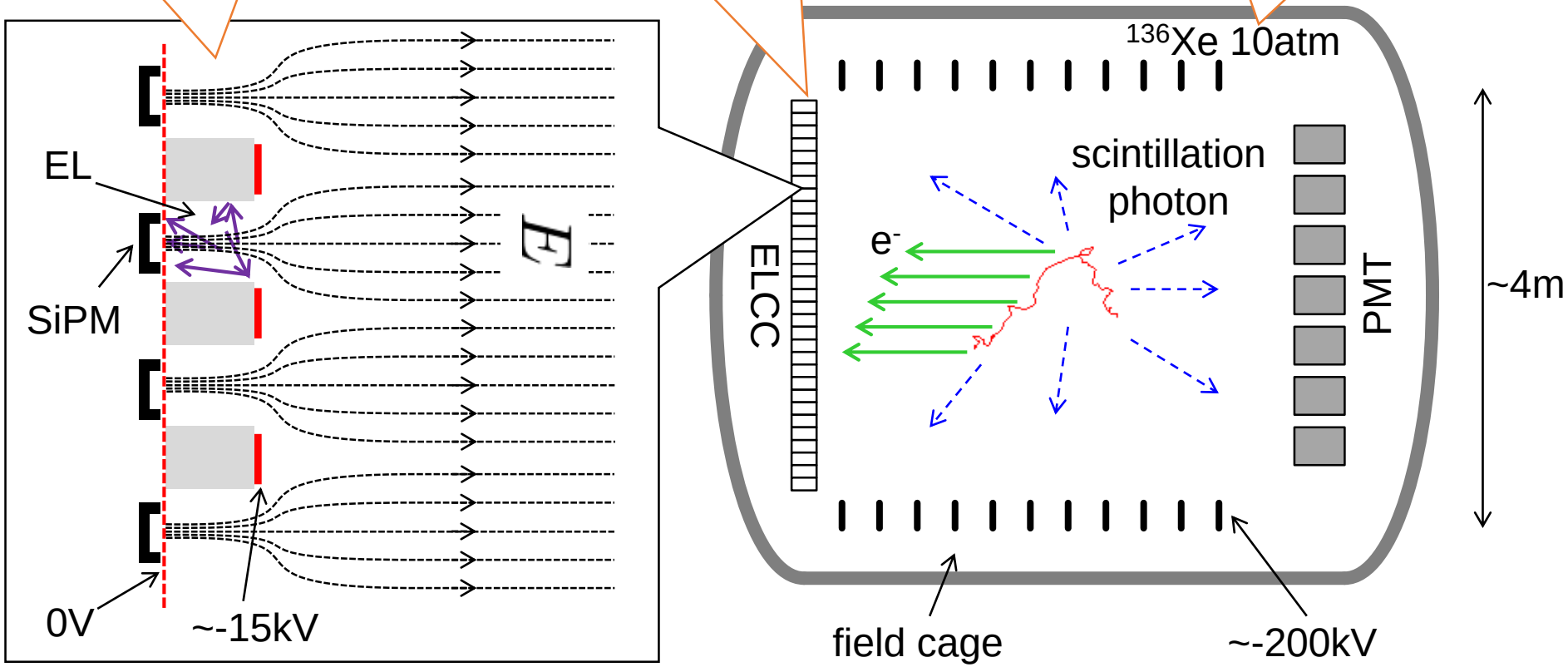
AXEL 実験

- 0νββ探索のための高圧キセノンガスTPC

高エネルギー分解能
ガスキセノン＋EL増幅
目標: 0.5%FWHM

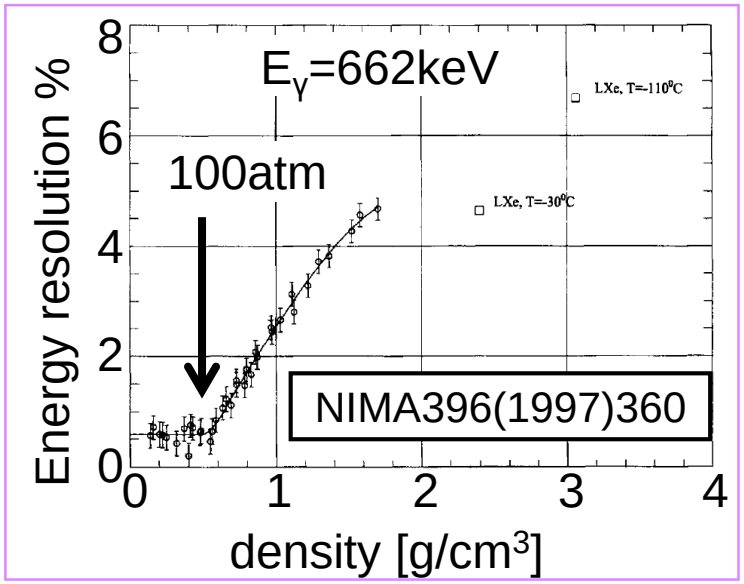
バックグラウンド除去
ピクセル読み出しによる
飛跡再構成

大質量
高圧ガス
~ ton スケール

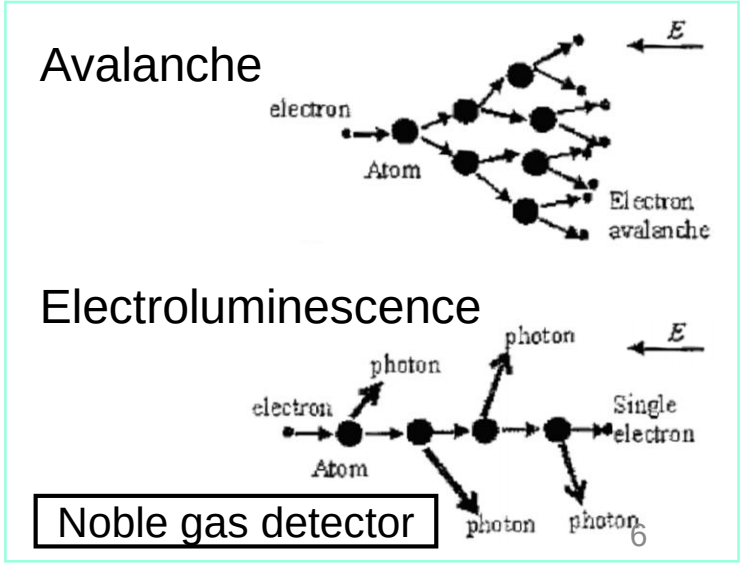


なぜ高圧ガス？　なぜEL増幅？

- 電離過程
  - エネルギー分解能が100atm以下でとても良い（0.25%FWHM @2.5MeV）

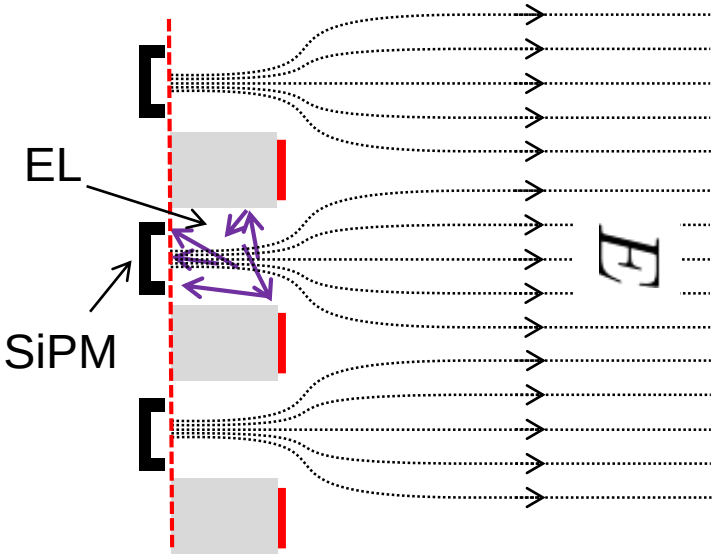


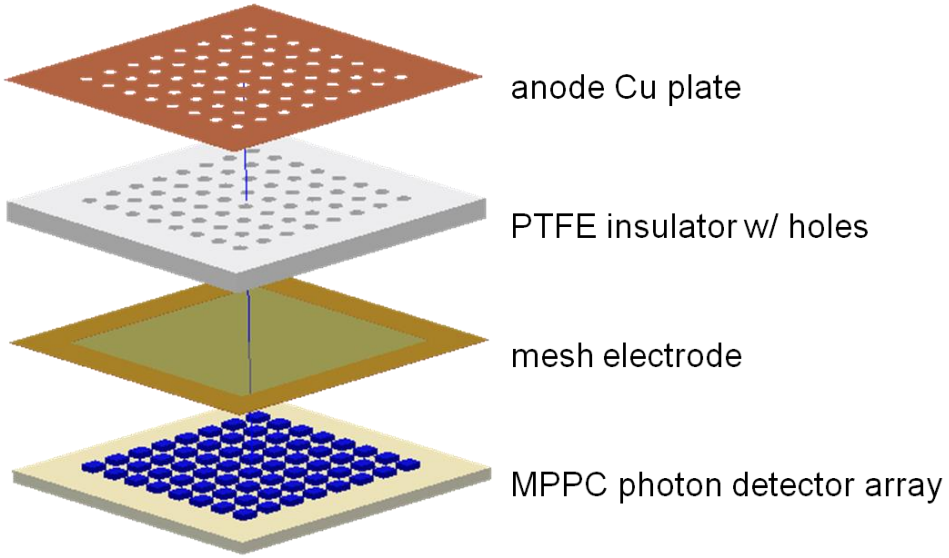
- 増幅過程
  - Electroluminescence 発光 (EL)
  - なだれ増幅より揺らぎが小さい
    - 増幅段の数が揺らいだときの電子数の変化が、累乗でなく比例で抑えられる



ELCC（Electroluminescence Collection Cell）

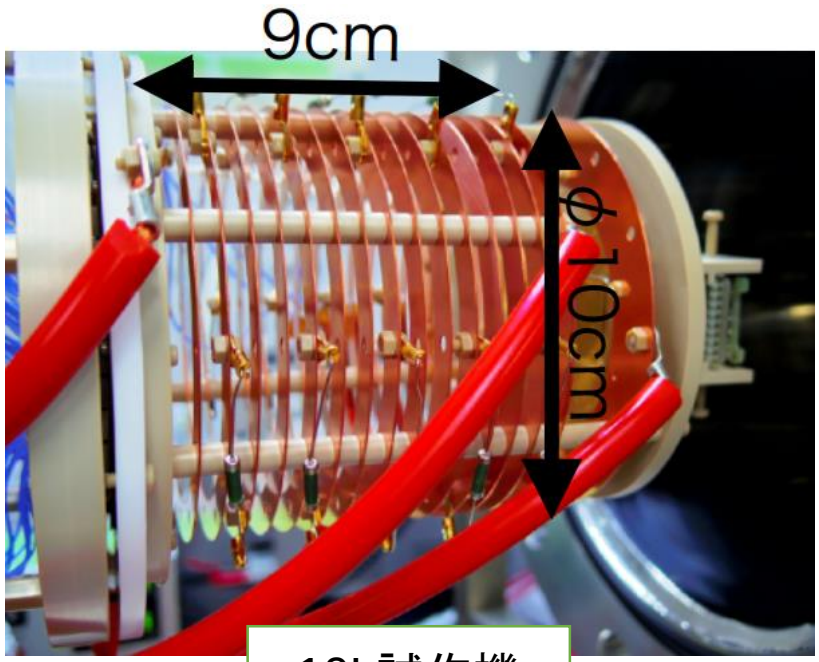
- セルごとにEL光を発生させて検出する（～10mmピッチ）
- ピクセル読み出しなので飛跡再構成が可能
- 発光と検出が対応しているので、広範囲で一様な性能が期待できる
- 硬い構造なので（メッシュのたわみといった問題がない）、大型化もしやすい



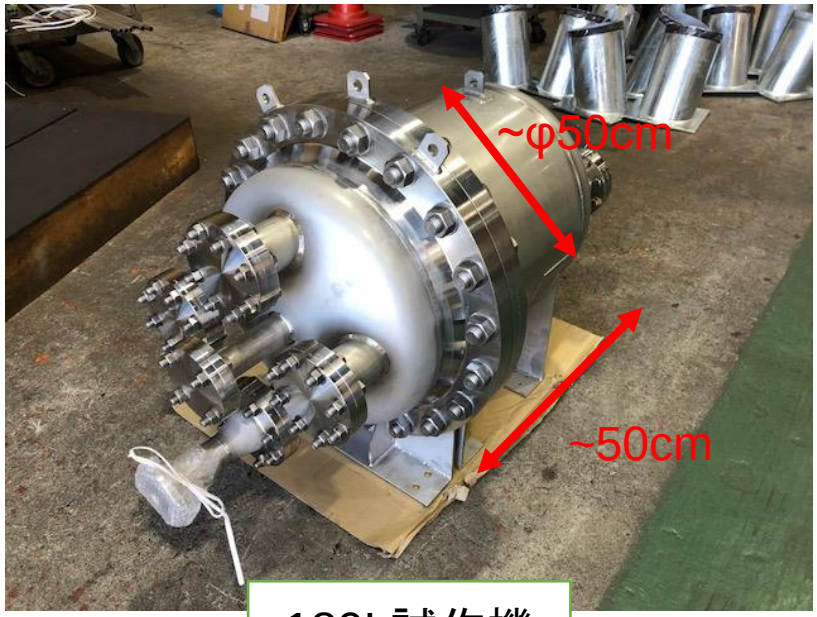


AXEL計画

- 10L試作機:ELCCの原理実証 NIMA875(2017)185
- 180L試作機:2.5MeVの性能評価
- 3000L検出器:物理探索に向けた開発
- 1ton検出器:0νββ発見へ



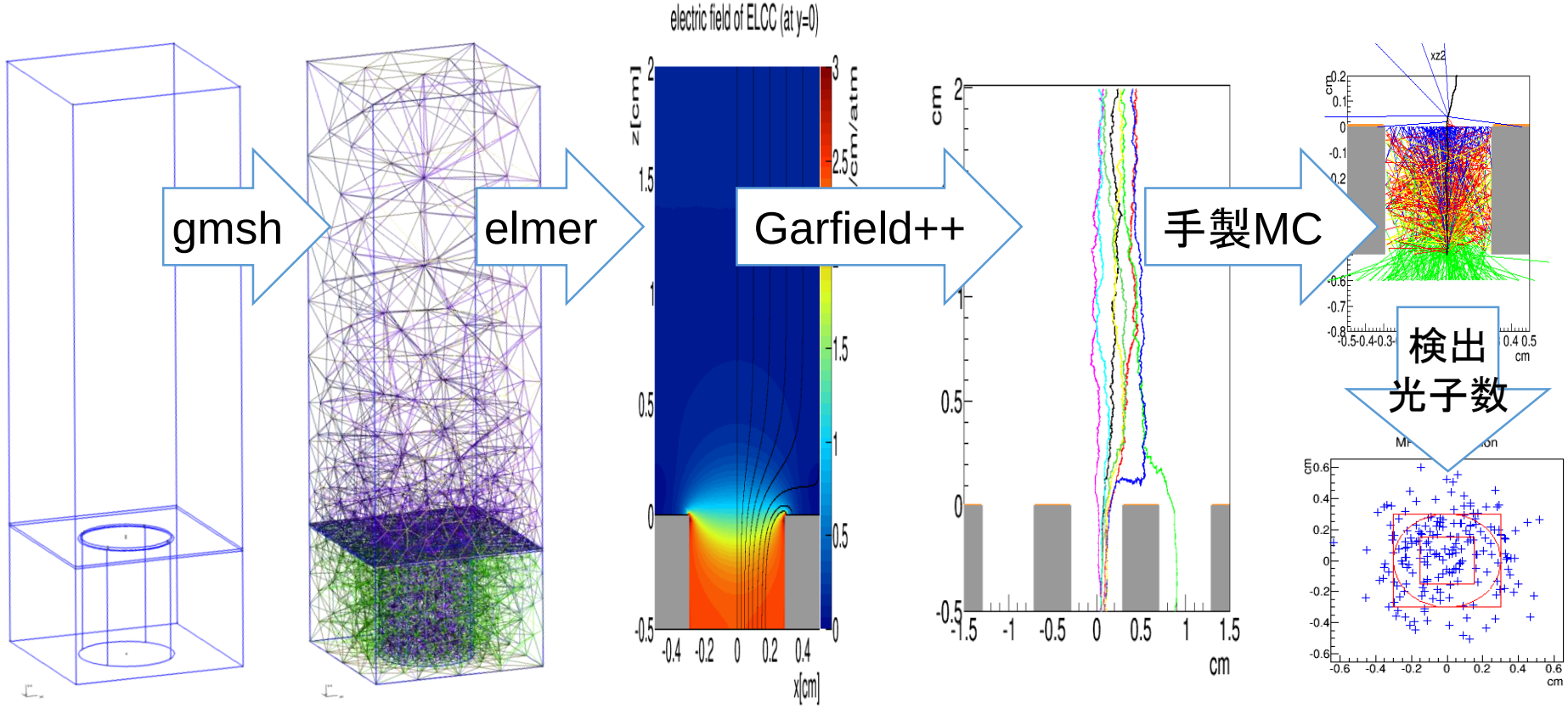
10L試作機



180L試作機

Garfield++によるELCCデザイン

- 検出EL光子数の、電子の初期位置依存性を確認
- 最適なジオメトリ（穴径や電場など）を求める



パラメータスキャンの例

8atm
E_{EL}=3kV/cm/atm
E_{drift}=100V/cm/atm

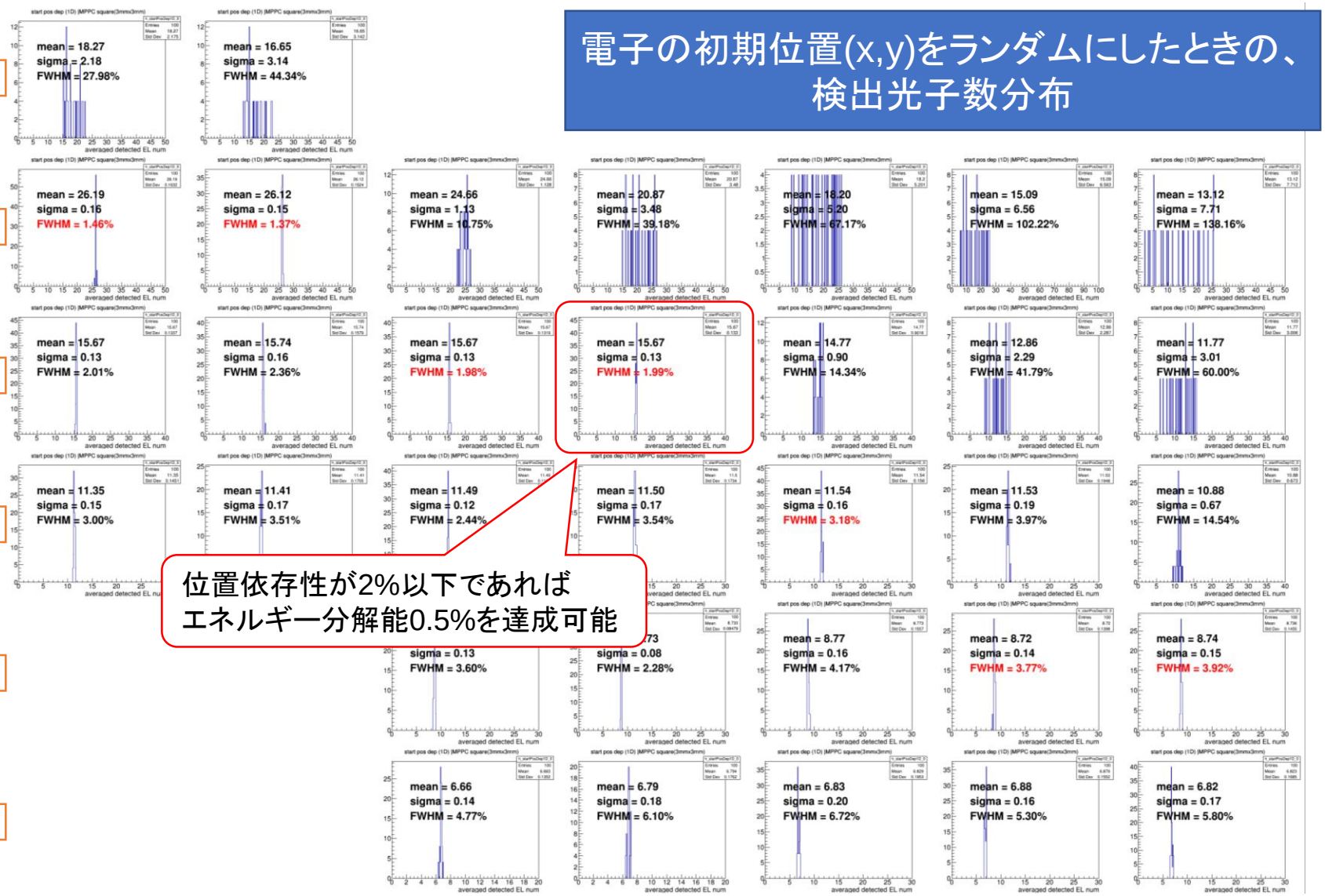
ピッチ

7.5mm | 8.06mm | 9mm | 10mm | 11mm | 12mm | 13mm

穴径

3mm | 4mm | 5mm | 6mm | 7mm | 8mm

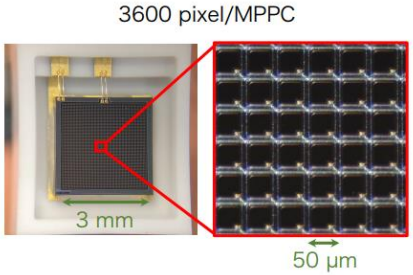
電子の初期位置(x,y)をランダムにしたときの、検出光子数分布



位置依存性が2%以下であれば
エネルギー分解能0.5%を達成可能

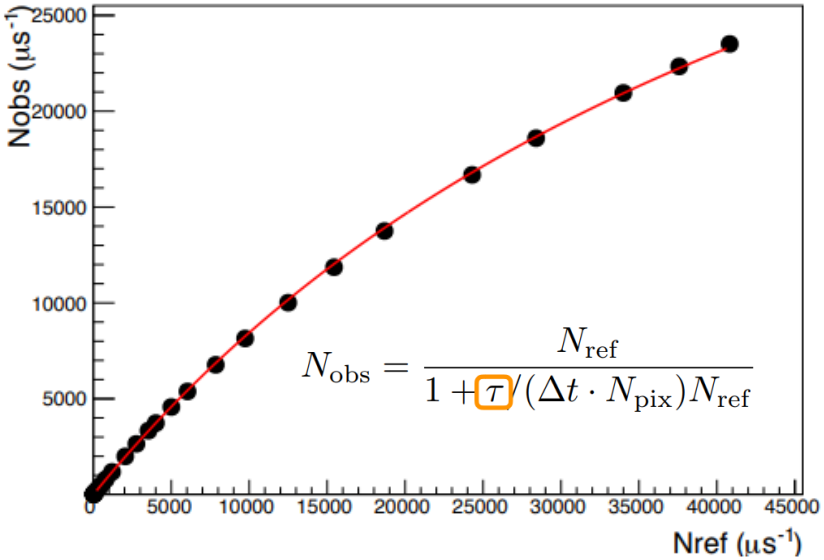
MPPC

170nmに感度のあるMPPC
VUV SS13370-6838 (VUV4)



- 問題点
  - MPPCは大光量だとあるピクセルに同時に光子が入り、サチる
  - ”同時”というのは、一度鳴ったピクセルが充電される前に入射
  - 回復時間τで表され、測定もよくfitできる（2種類のτが測定されている）

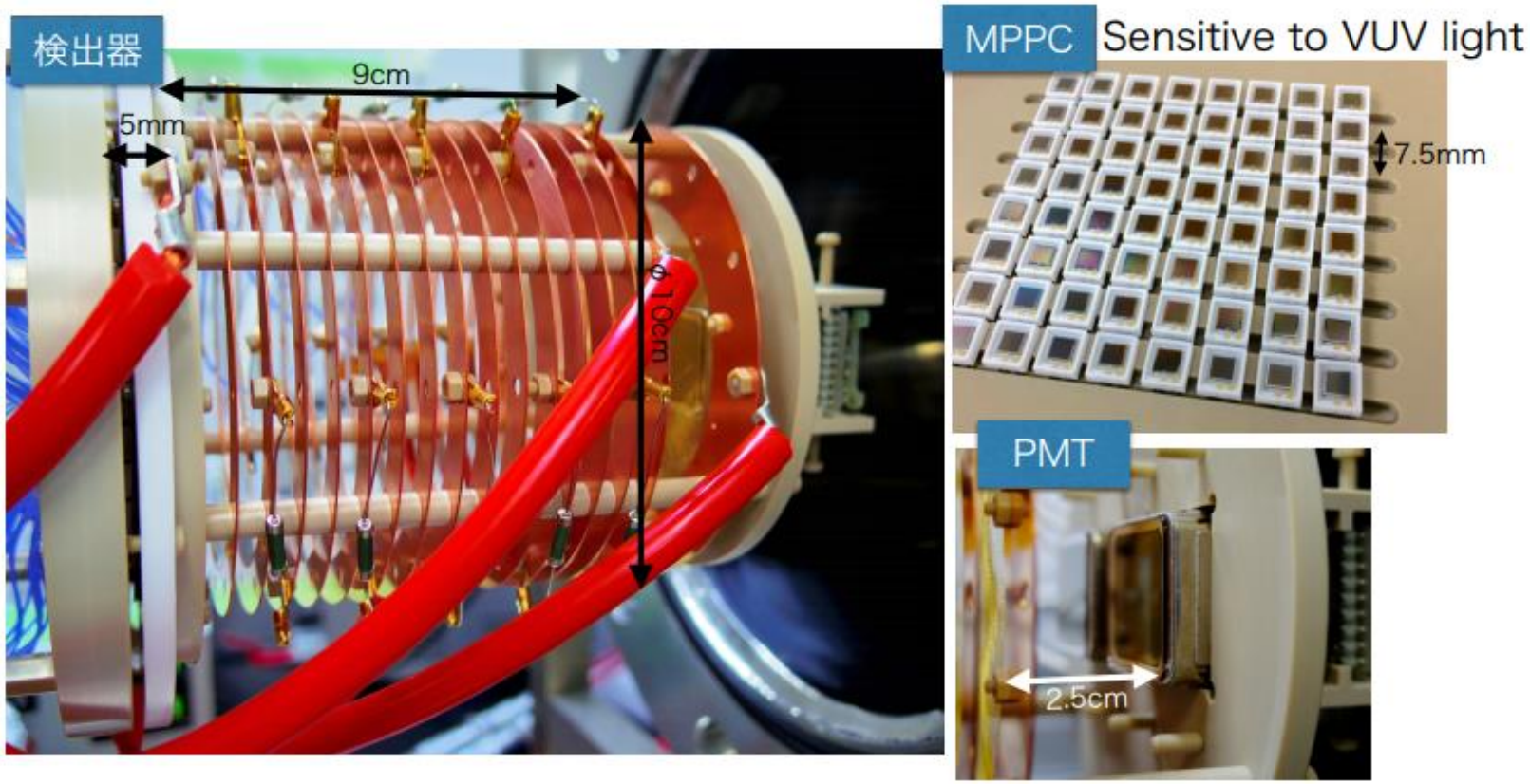
- 対策
  - あらかじめMPPCの非線形性を測定し、補正する
  - 検出器内で測定できるように容器内に光源の設置も考慮



10L試作機

ガス:Xe 8atm
ドリフト電場:83V/cm/atm
EL電場:2.375kV/cm/atm

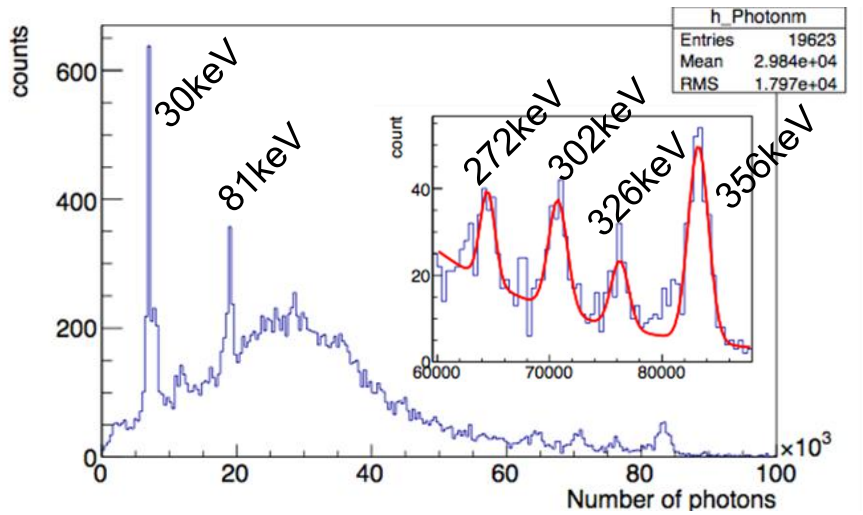
- 有効領域:φ10cm、長さ9cm、64ch
- 目的:比較的低いエネルギーでの分解能の評価
- MPPCは四角形配置で7.5mm



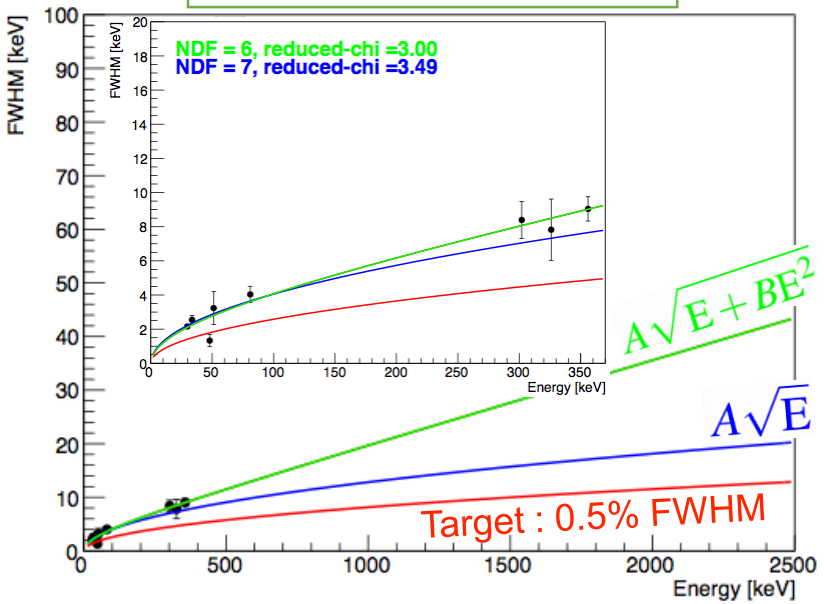
10L試作機の測定結果

- 133Ba　350keVのγ線
- エネルギー分解能：FWHM 0.82~1.74% (@2.5MeV)
  - 目標値0.5%にもう少し
  - 高いエネルギーでの測定⇒開発中の180L試作機で

エネルギースペクトル



エネルギー分解能

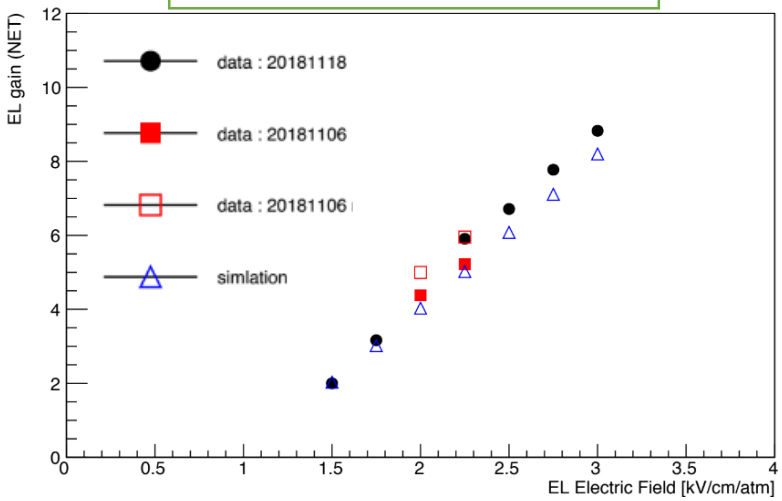


電場依存性

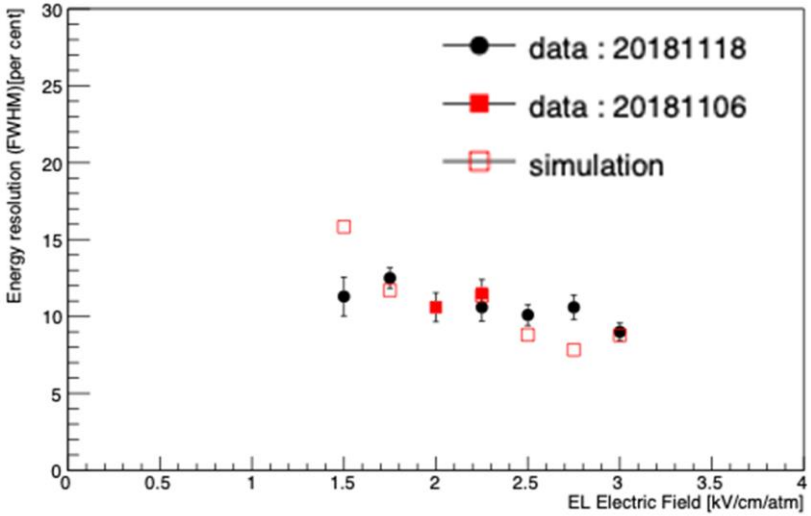
- ゲインカーブ
  - EL process なので線形に増える

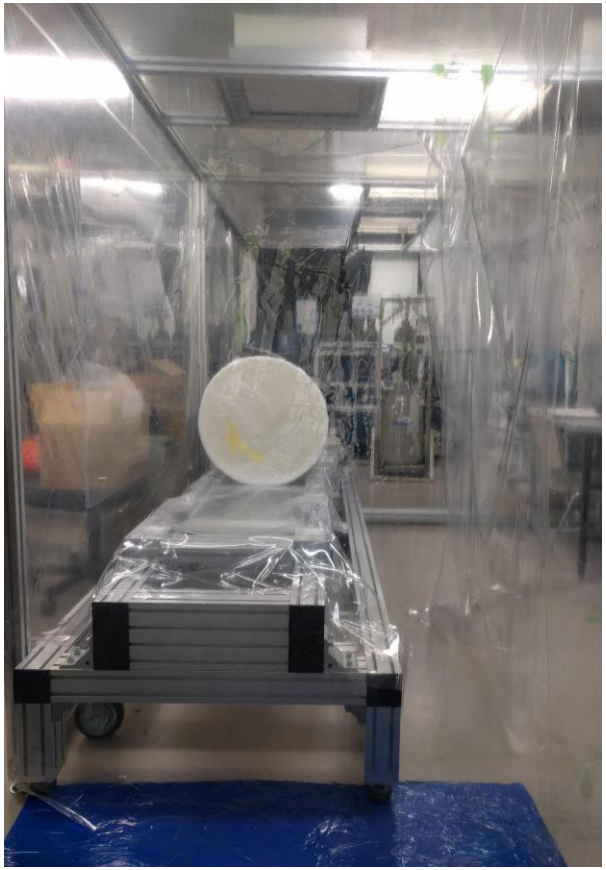
- エネルギー分解能
  - 高電場の方がよい。放電とトレードオフ

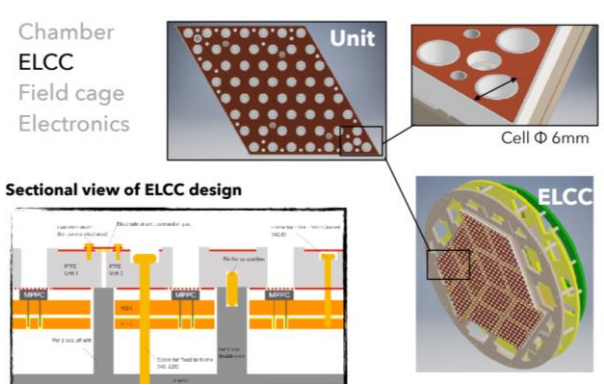
ゲインカーブ

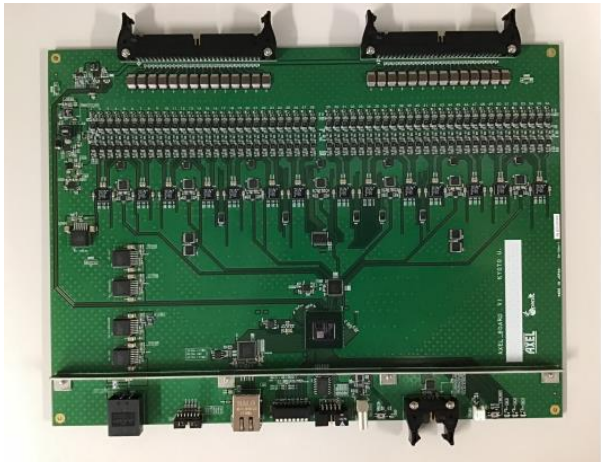


エネルギー分解能









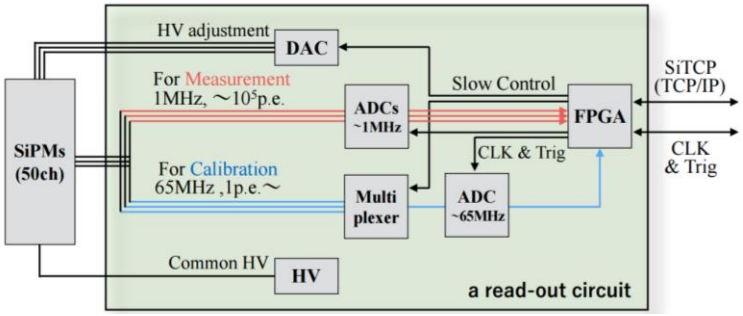
180L試作機の準備

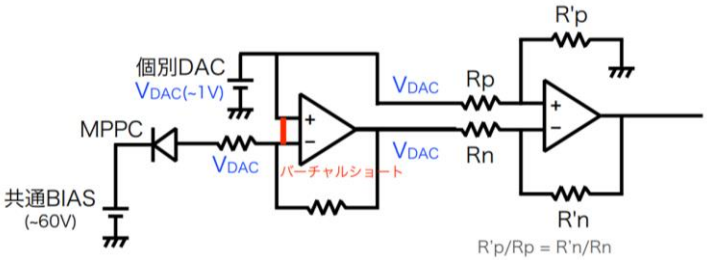
クリーンルーム拡張、チェンバー納品、架台作成、TPC試作、ELCCデザイン、回路作成

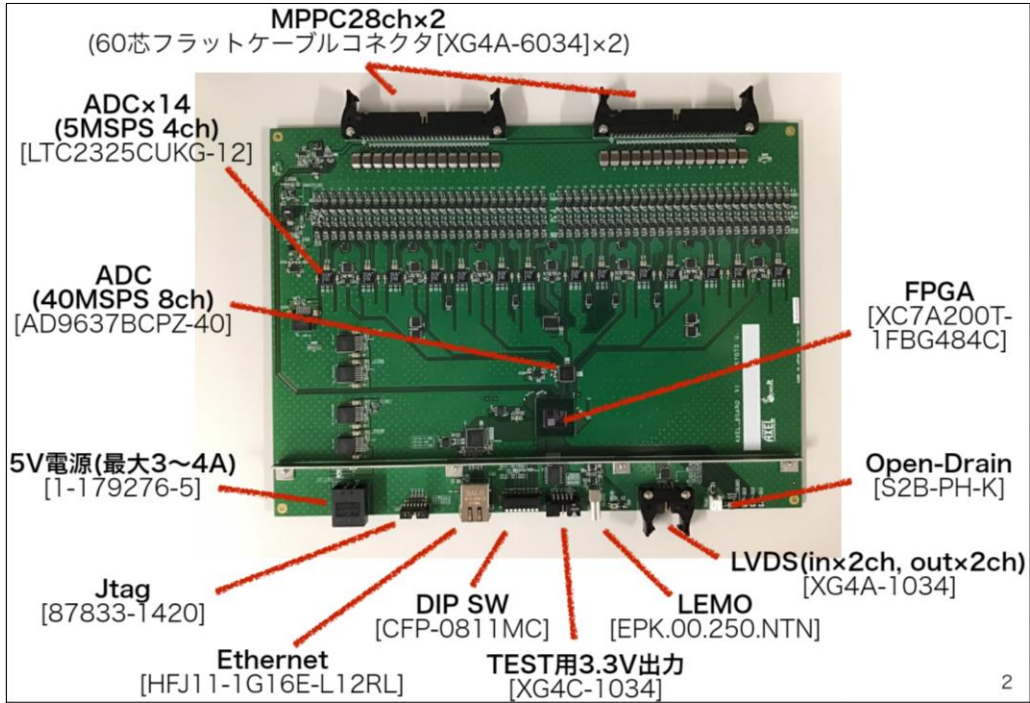
詳細はJPS資料

エレキ

- 波形取得、56ch、12bit、5MHz、600us
- MPPC 56chへ電源供給、個別に微調整（10mVごと）
- 増幅：5倍 or 165倍（1p.e.測定用）
- データ取得（ダーク、EL光）できた
- ボード1枚でデータ取れて便利（開発者の田中君談）



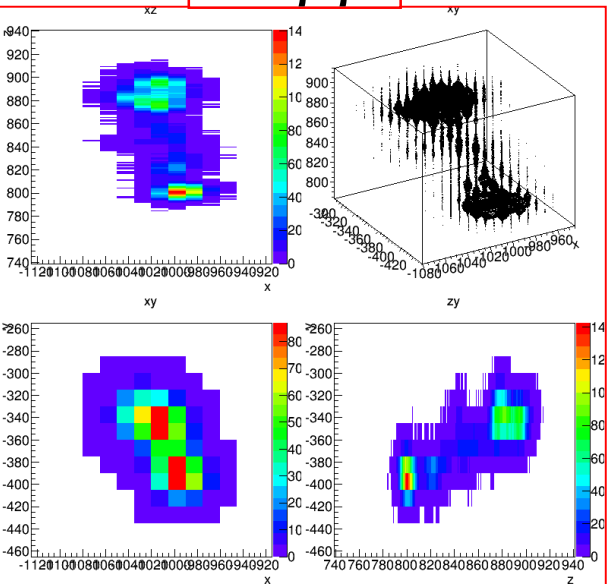




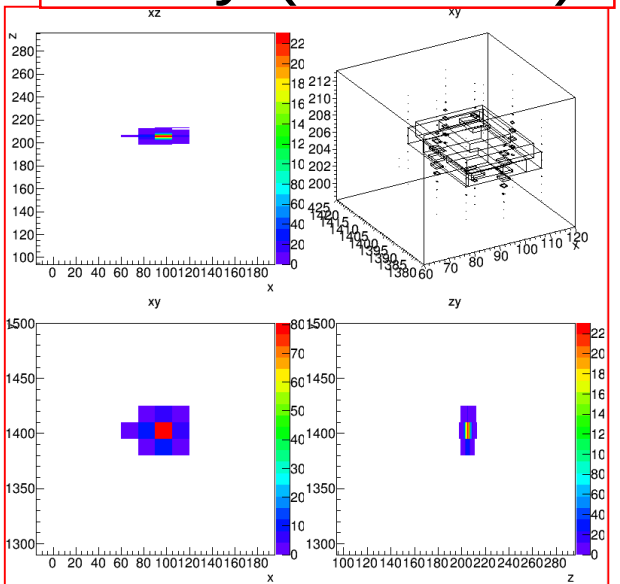
トラッキング（Geant4）

- 飛跡の形状でバックグラウンド分離
  - 0νββ：電子の終点が2つ
  - α-ray：小さい
  - γ-ray：マルチサイト（2.5MeV-γは98%はコンプトン散乱する）
- 光電吸収する2.5MeVのγ-ray以外は容易に落ちる

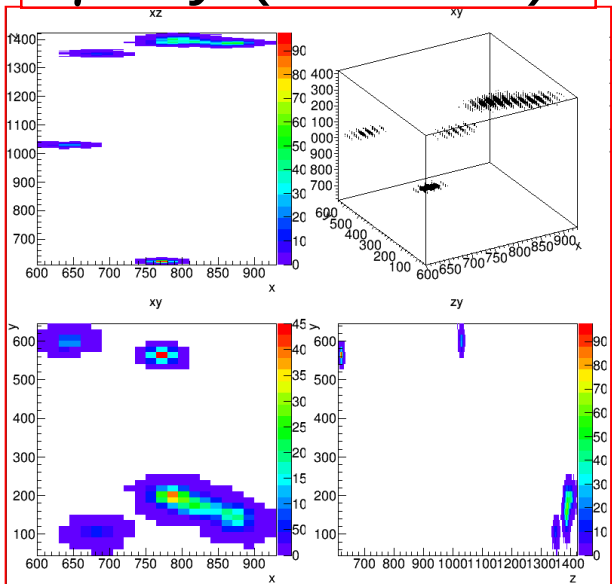
0νββ



α-ray (2.5MeV)

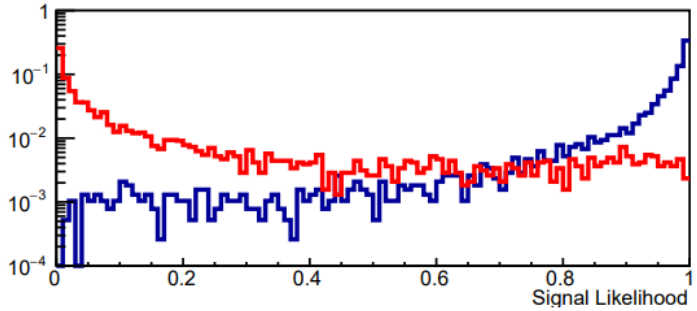


γ-ray (2.5MeV)



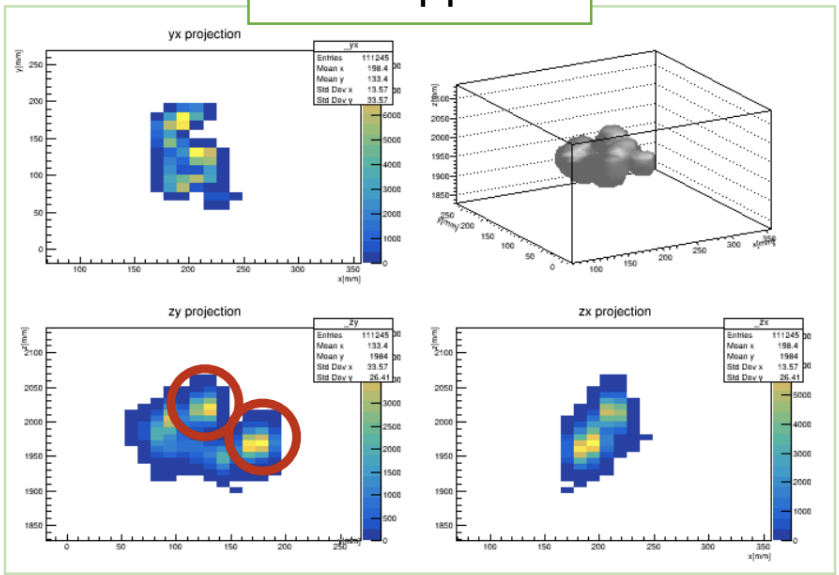
ディープラーニング

- 飛跡の形状でバックグラウンド分離
  - 0νββ：電子の終点が2つ
  - γ-ray（光電吸収）：電子の終点が1つ
- 機械学習で落とせそう
  - signal-efficiency: 42%
  - BG-rejection：～1/240

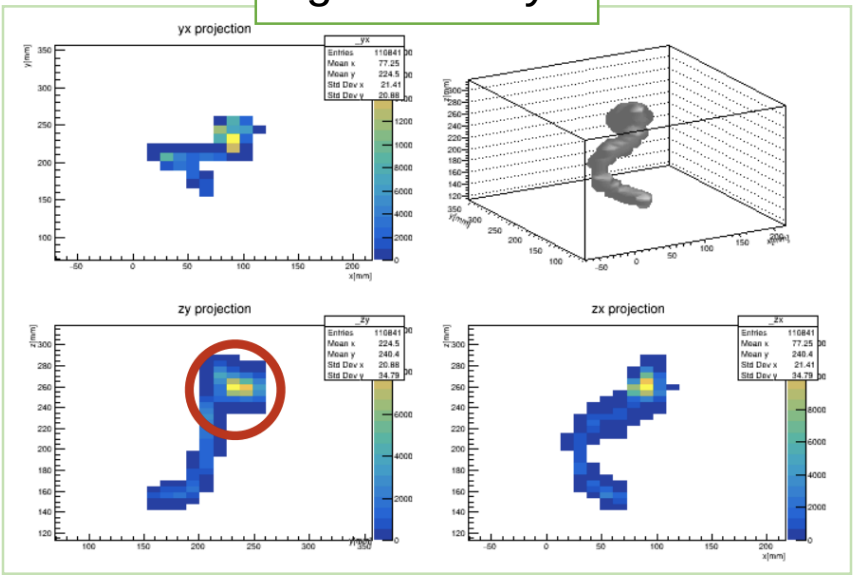


機械学習とバトル⇒ https://www-he.scphys.kyoto-u.ac.jp/member/syun.tanaka/wave/wave.html

0νββ

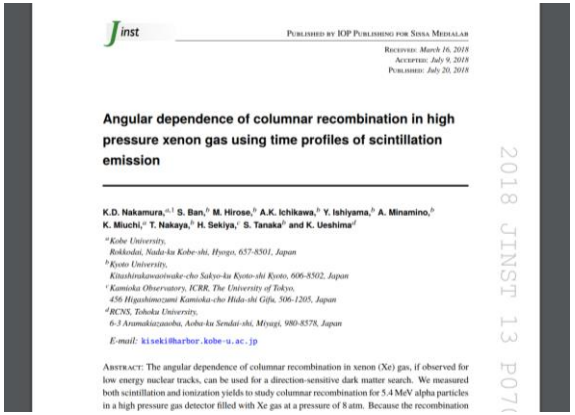


gamma-ray



その他アクティビティー

- 柱状再結合の研究
  - 方向感度を持つ暗黒物質探索に向けて
  - 高エネルギーのα線で角度依存を確認
    - JINST 13 (2018) P07015



Jinst

Published by IOP Publishing for Sissa Medialab

Received: March 16, 2018
Accepted: July 9, 2018
Published: July 20, 2018

Angular dependence of columnar recombination in high pressure xenon gas using time profiles of scintillation emission

K.D. Nakamura,[a,1] S. Ban,[b] M. Hirose,[b] A.K. Ichikawa,[b] Y. Ishiyama,[b] A. Minamino,[b] K. Miuchi,[c] T. Nakaya,[b] H. Sekiya,[c] S. Tanaka[b] and K. Ueshima[d]

[a] Kobe University,
Rokkodai, Nada-ku Kobe-shi, Hyogo, 657-8501, Japan
[b] Kyoto University,
Kitashirakawaoiwake-cho Sakyo-ku Kyoto-shi Kyoto, 606-8502, Japan
[c] Kamioka Observatory, ICRR, The University of Tokyo,
456 Higashinozumi Kamioka-cho Hida-shi Gifu, 506-1205, Japan
[d] RCNS, Tohoku University,
6-3 Aramakiazaaoba, Aoba-ku Sendai-shi, Miyagi, 980-8578, Japan

E-mail: kiseki@harbor.kobe-u.ac.jp

Abstract: The angular dependence of columnar recombination in xenon (Xe) gas, if observed for low energy nuclear tracks, can be used for a direction-sensitive dark matter search. We measured both scintillation and ionization yields to study columnar recombination for 5.4 MeV alpha particles in a high pressure gas detector filled with Xe gas at a pressure of 8 atm. Because the recombination

2018 JINST 13 P07

- 陽イオンの検出
  - 金属に衝突させて出る電子を検出したい
  - 新たな飛跡情報

- アウトガス検出器の開発
  - キセノンのシンチ光、EL光、ドリフト速度を利用して、不純物を測りたい

まとめ

- AXEL実験
  - 高圧キセノンガスTPCを用いた0νββ探索（R&D中）
  - 高エネルギー分解能＋大質量＋トラッキング
  - ELCC：電子⇒EL光（VUV）⇒MPPC をセルごとに
- 10L試作機
  - 350keVのガンマ線検出
  - エネルギー分解能FWHM：0.82~1.74%（2.5MeV換算）
- 180L試作機
  - クリーンルーム、圧力容器、架台、回路、など着々と進行中