



キセノンを使って0 $\nu\beta\beta$ 崩壊探索することを目指しています。  
プロジェクトに名前を付けました。



## AXEL

- A Xenon ElectroLuminescence detector –  
for  $0\nu\beta\beta$  decay search  
(& directional dark matter search?)
- 

京都大学 市川温子





- 京都大学
  - 石山優貴、市川温子、中家剛、中村輝石、羽田健人、  
潘晟、廣瀬昌憲、南野彰宏、柳田沙緒里
- 東京大学
  - 関谷洋之
- 新規会員絶賛募集中(ただし手弁当で)

メンバー

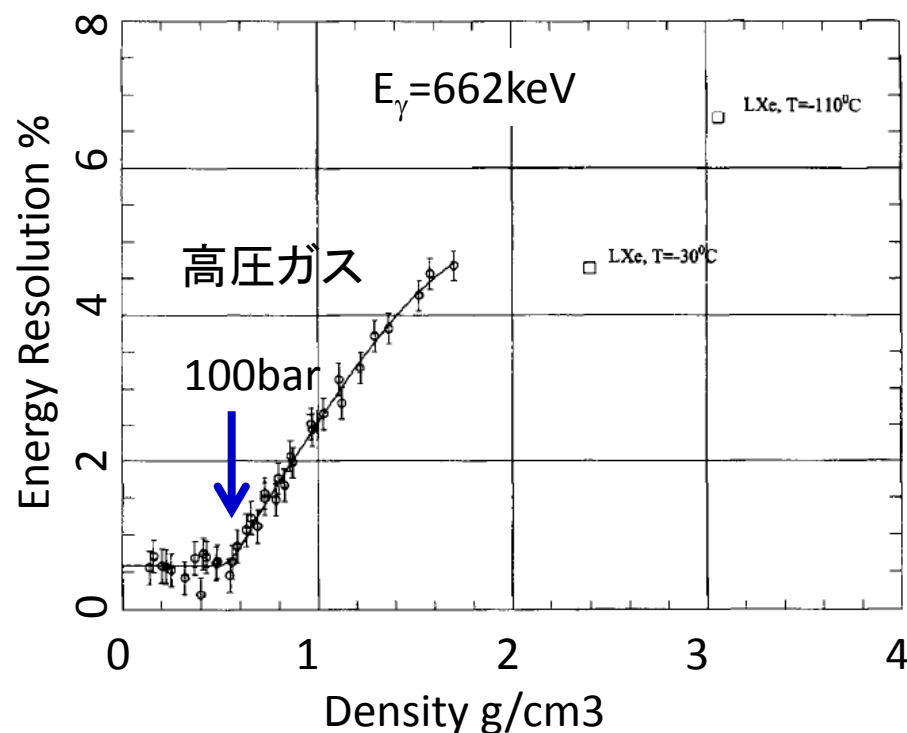
- 1 ton enriched  $^{136}\text{Xe}$  gas (not liquid)
- 15~30気圧
  - $\rho = 0.088 \sim 0.18 \text{g/cm}^3$
  - e.g. 30気圧だと $\phi 2\text{m} \times 1.7\text{m(H)}$  cylinder
- proportional scintillation mode (Electroluminescence) for energy measurement
  - Energy resolution goal  $< 0.5\%$ (FWHM)
  - Ultraviolet photon( $\sim 170\text{nm}$ ) detection by MPPC
- Tracking as TPC
  - トラック長 (2.5MeV e)  $\sim 11\text{ cm}$  at 30気圧
  - $T_0$  by primary scintillation w/ PMT
  - Sample  $\sim 15$  points using 7.5mm spacing ELCC array  $\rightarrow 5.5 \times 10^4 \text{ch}$ 
    - $\rightarrow$  distinguish from  $\alpha$ 's and  $\gamma$ 's.
- Energy measurement by ELCC(see coming slides)



## 長期目標

- W-value 21.5 eV, Fano factor < 0.17  
→ 0.29%(FWHM)@2.48MeV (0.55%(FWHM)@662keV) 半導体に近い！
- At higher density, energy resolution becomes worse.  
→ reject liquid option.

A. Bolotnikov, B. Ramsey Nucl. Instr. And Meth. A396(1997) 360



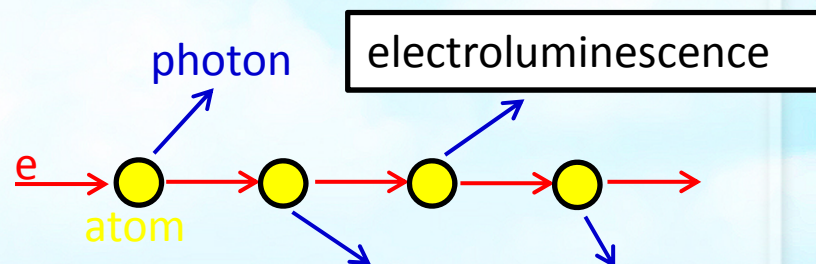
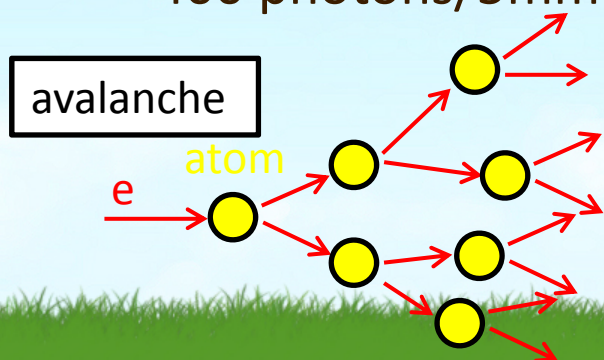
電離電子数を測ってエネルギーを求める



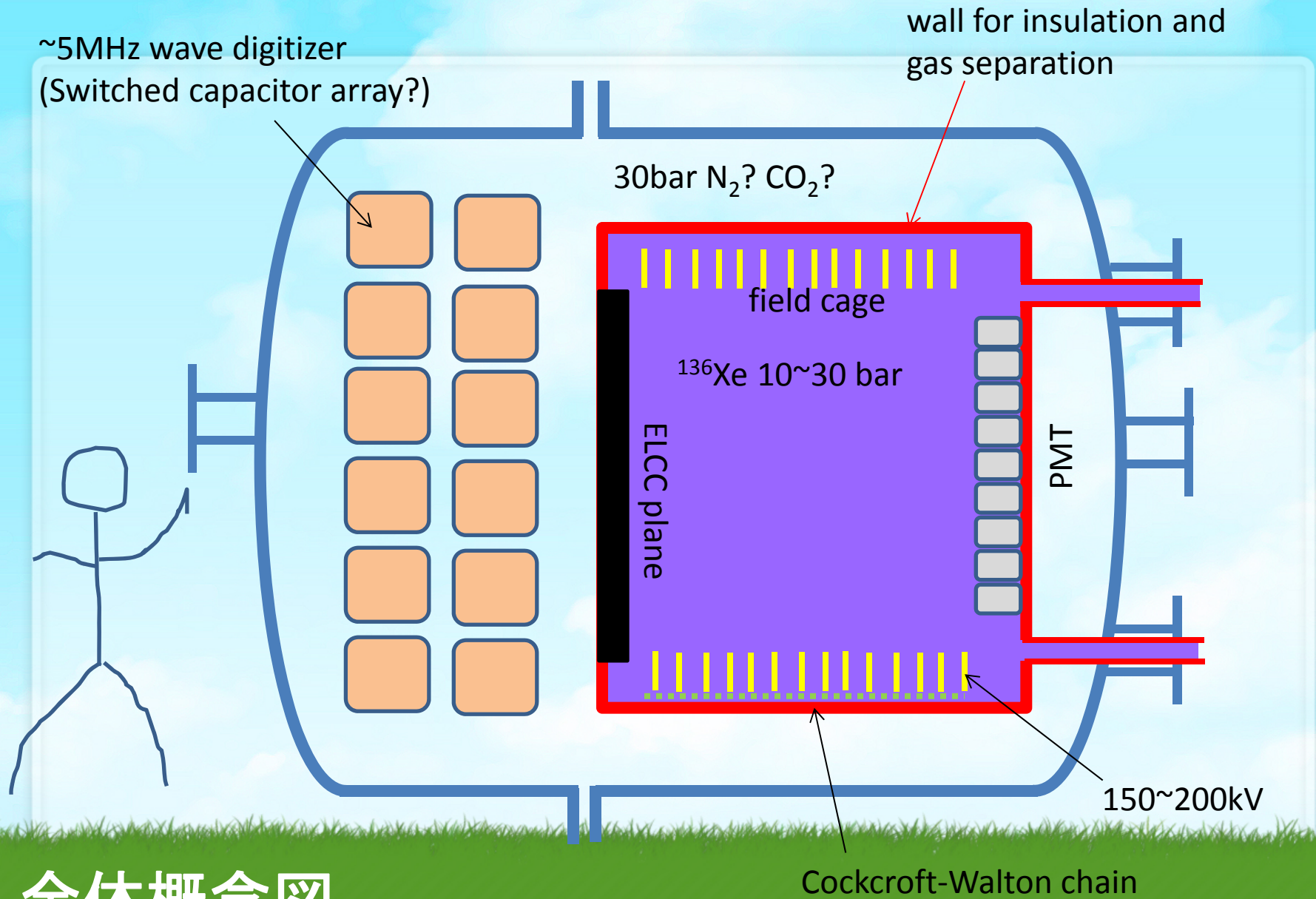
- Induction by Ionization : Very bad S/N for large detector
- Proportional Counter : fluctuation at avalanche amplification
- **Proportional Scintillation mode using electroluminescence lights**

Good and stable linearity because

- A linear amplification process.
- #photons  $\propto$  voltage drop rather than to the field strength.
- 400 photons/5mm @  $E=42\text{kV/cm}$ , 30atm.



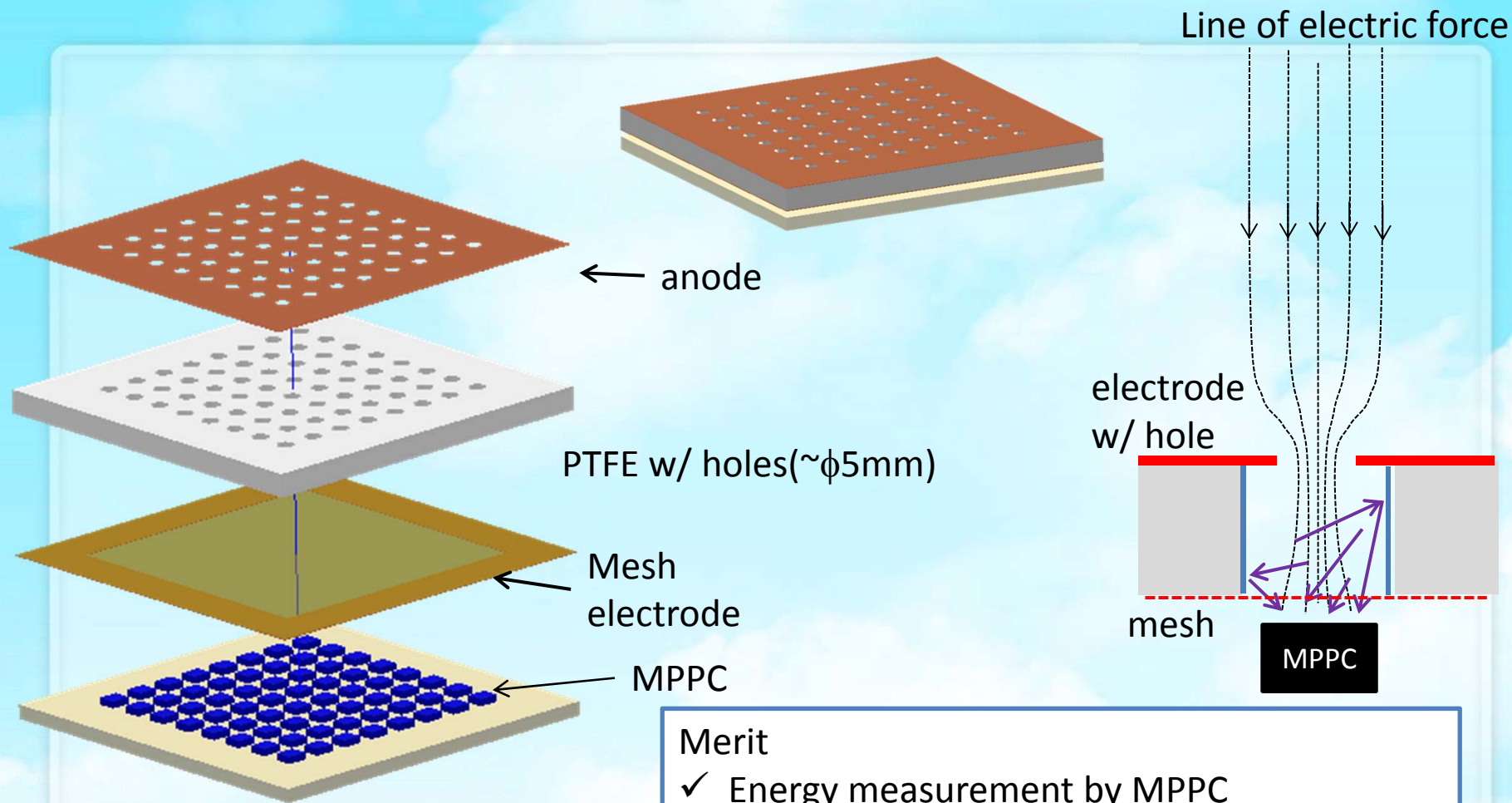
**Electro Luminescence**光を使う



## 全体概念図

(エレキを、高圧ガスの中に入れてみたが、まだ深く考えていない)





Merit

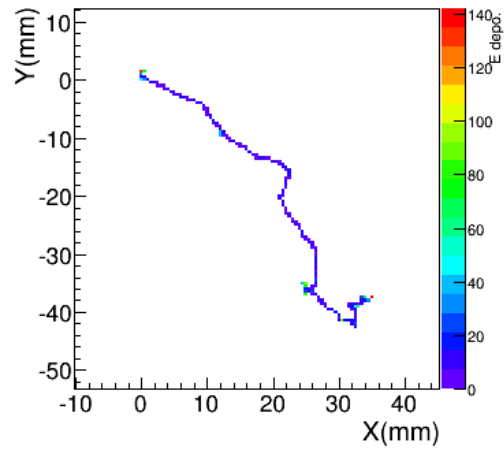
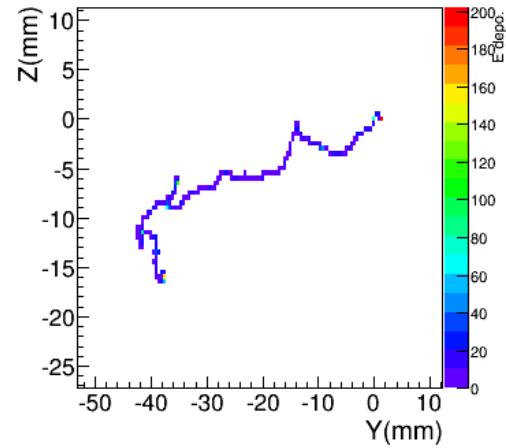
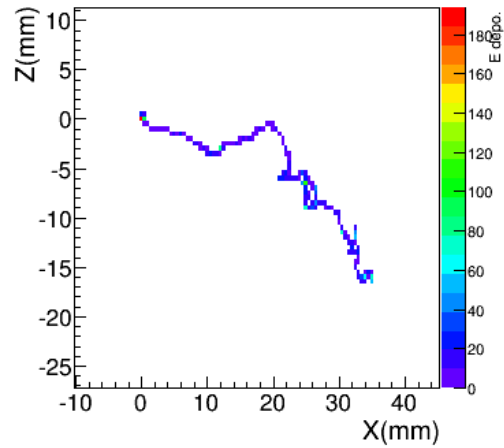
- ✓ Energy measurement by MPPC
  - Less dependent on event position
- ✓ Easy extension to Large structure

ここまでは、海外のNEXT実験と似たりよったり。

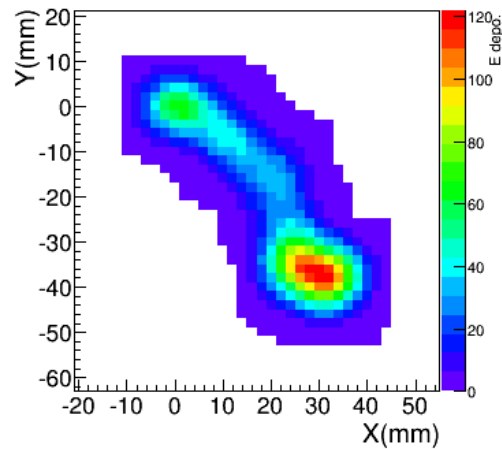
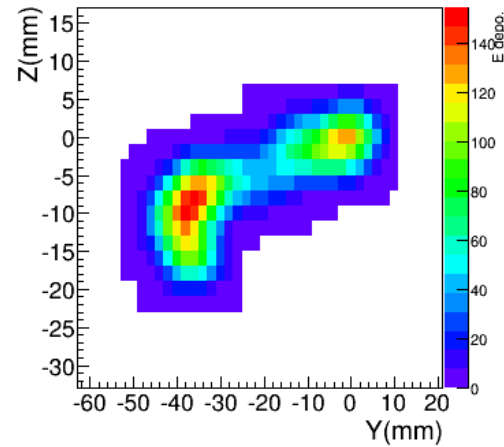
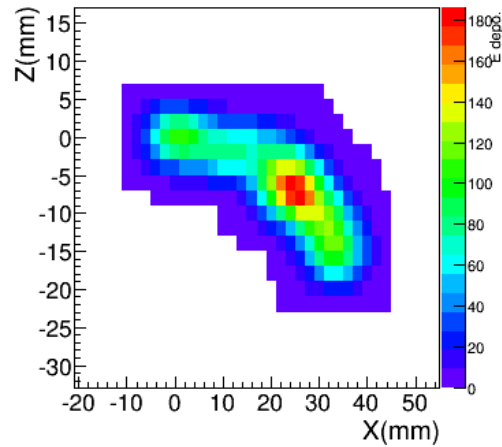
問題は、どうやってEL光を測定するか。

ELCC -ElectroLuminescence Light Collection Cell-を提案

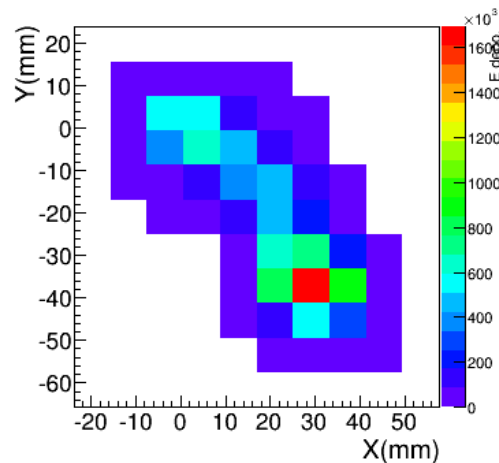
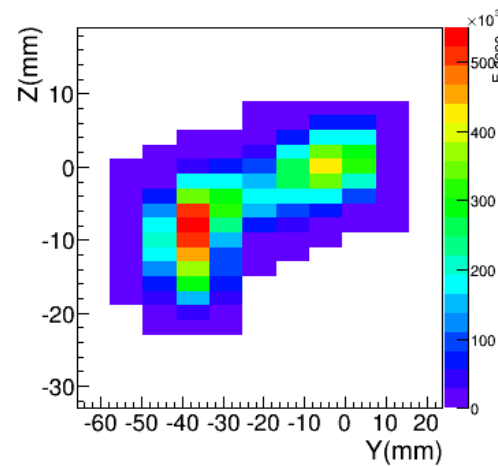
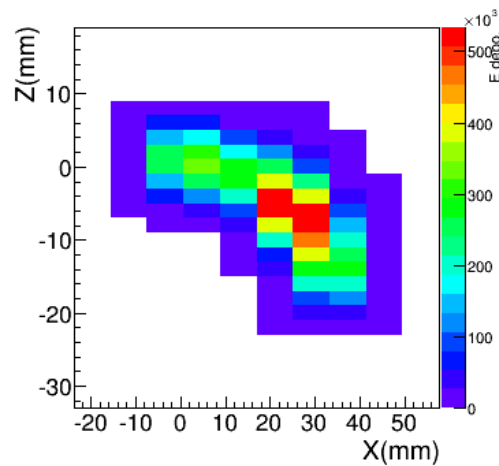




simulation example 1  
row track



simulation example 1  
diffusion after 1m drift



z marginalized by ELCC generation time( $4\mu\text{s}$ )

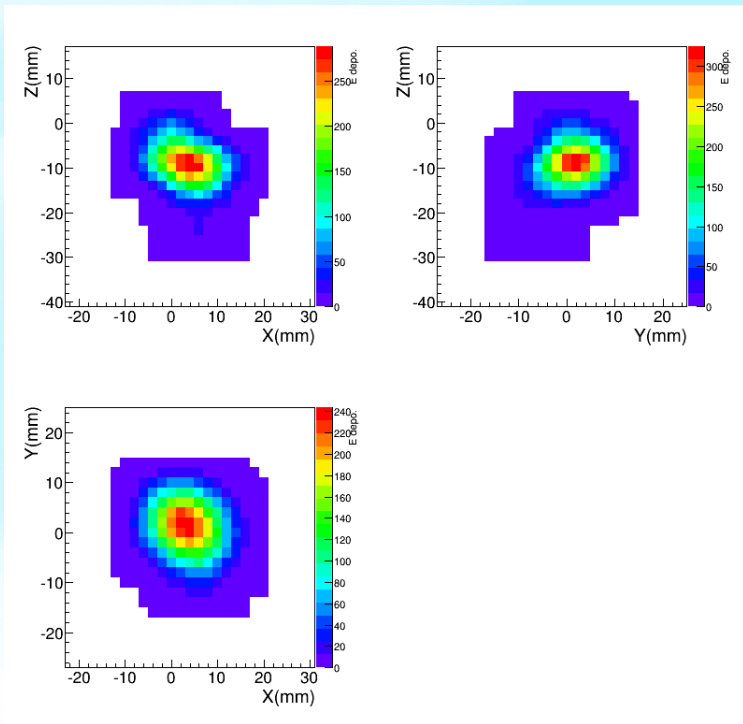
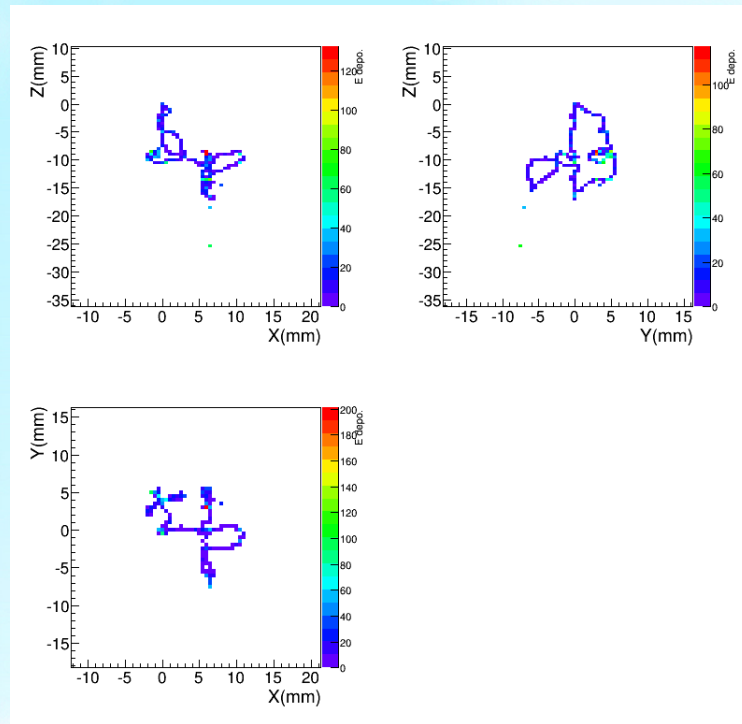
simulation example 1

segmentation (7.5mm in x or y and 2mm in z)

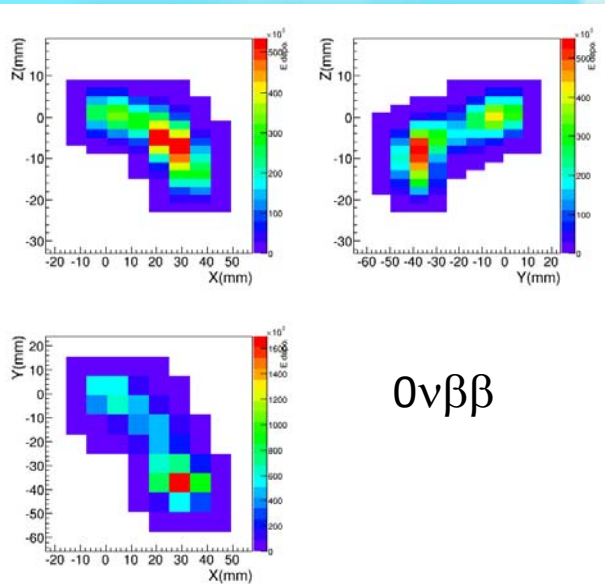


row track

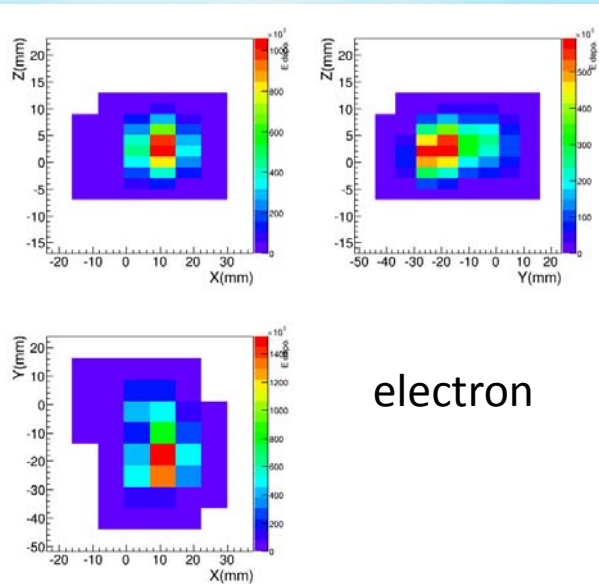
detected track



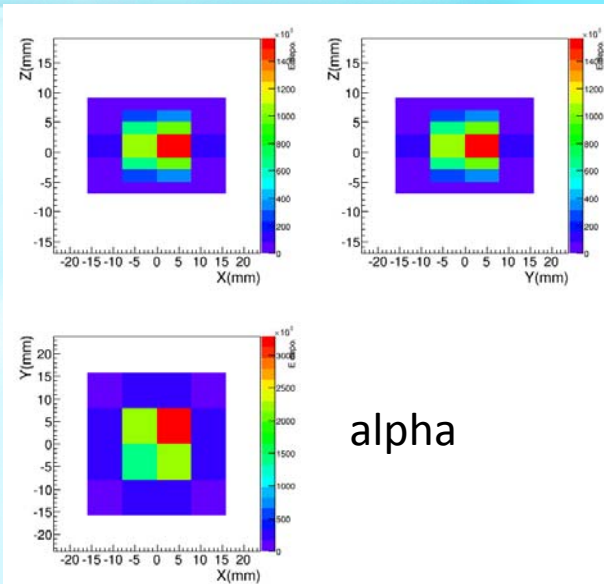
simulation example 2



$0\nu\beta\beta$



electron



alpha

View scales are different. Cell size is same.

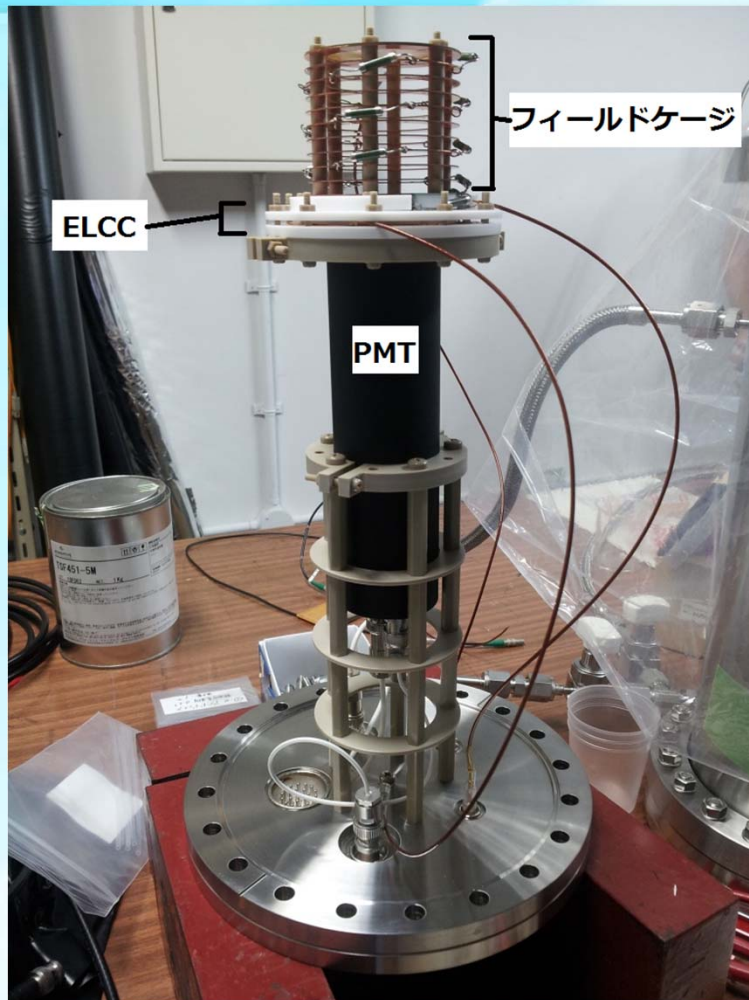
Topologyより

❑  $\alpha$  backgroundは良く落とせそう

❑  $\gamma$  backgroundで、ちょうど2.5MeVで光電吸収したような事象は、すべて落とすことは難しい

(コンプトン散乱等、複数の場所で電子を出すような事象は、落とせる)

# Comparison of $0\nu\beta\beta$ , electron and alpha



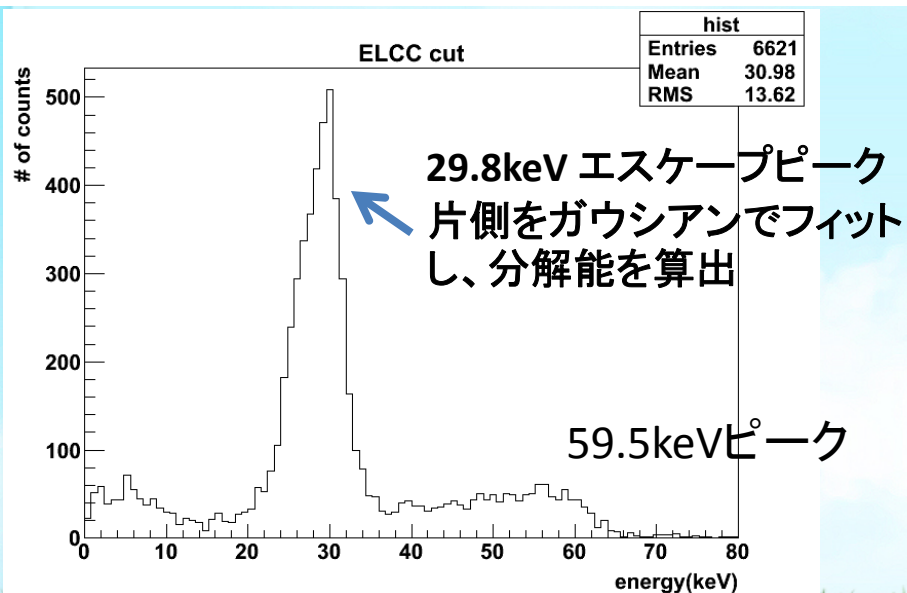
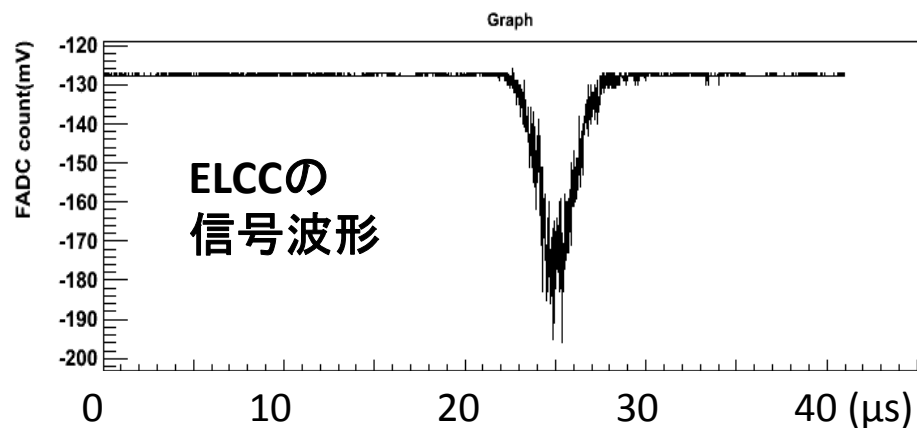
### 3つの試作機を製作

- 1号機
  - EL増幅の確認のため製作
  - セル数16
  - 放電対策が不十分
- 2号機
  - セル数60
  - 放電対策
  - アノード穴径が小さく電子をすべて収集できない
  - アウトガス対策が不十分(はんだ)
- 3号機
  - セル数60
  - アノード穴径を広げ、電子をすべて収集できるよう改良

試作機 trial (まずはPMTで。位置情報はなし)

修士で卒業した秋山晋一君の仕事



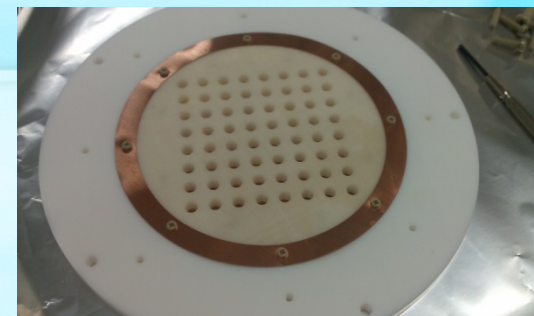


- 分解能(FWHM) 18%@29.8keV  
 –  $0\nu\beta\beta(2.5\text{MeV})$ に換算すると2.0%
- 目標まであとファクター4
- 有効体積が小さいので、外へ逃げていってしまっている
- 2号機なのでELCCの電子収集率が不十分

2号機  $^{60}\text{Am}$ からの59.5keV  $\gamma$ 線で評価



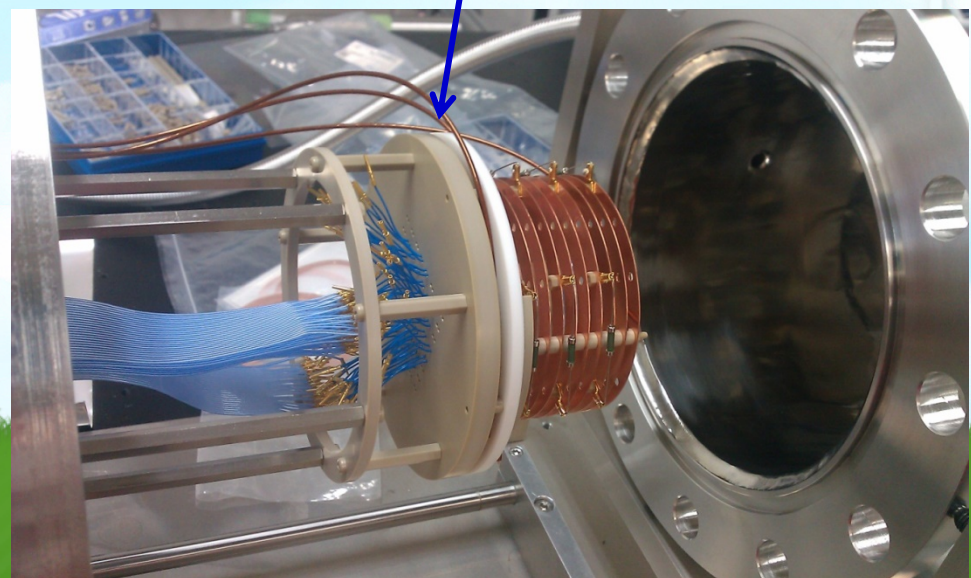
10気圧対応のチェンバーと  
フィードスルー



MPPC 64chを載せられるELCC plane  
(まだ、載っていない。とりあえず32ch  
載せる。)

- ✓ 660keVガンマ線を測る予定
- ✓ MPPC多チャンネルなので、トラックイメージも見える。
- ✓ 反対側には高圧対応PMT
- ✓ アウトガス対策も強化
- ✓ キセノンの回収系も

4号機 coming soon!





## ✓ MPPC

- need UV( $\sim 170\text{nm}$ ) sensitive
  - 浜ホトとMEG実験が非常に高感度なものの開発に成功
- 低バックグランド
  - nEXOと一緒に浜ホトに相談
- 大光量( $10^5 \sim 10^6$  photons)での応答

## ✓ 放電対策

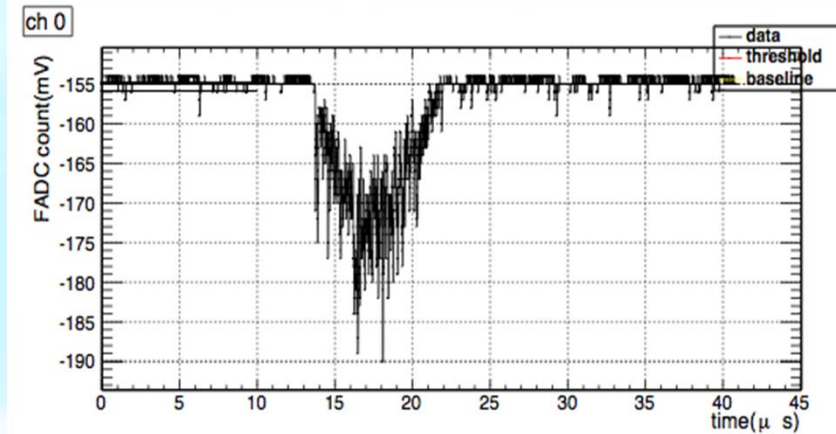
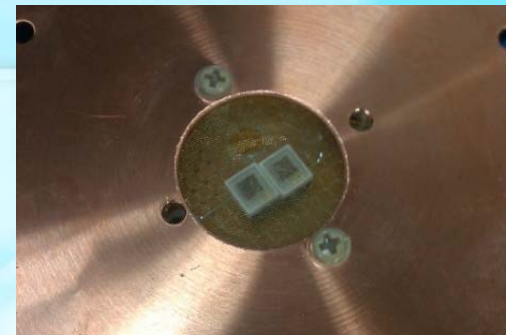
- 電極をエッチング加工にしてみた

## ✓ PMT

- R&D用に浜ホト R8520-406を購入予定
  - Liq.Xe用で低バックグランド
  - 10気圧対応で

## ✓ 回路

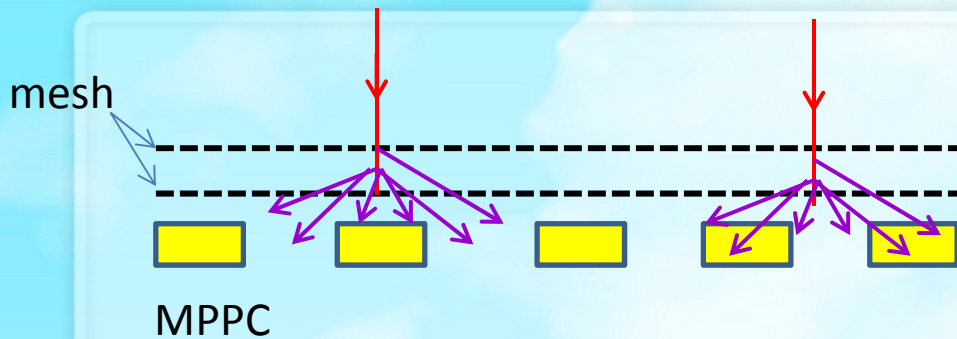
- T2Kで実績のあるAFTER chipを使うことを検討中
  - 511 switched capacitor array



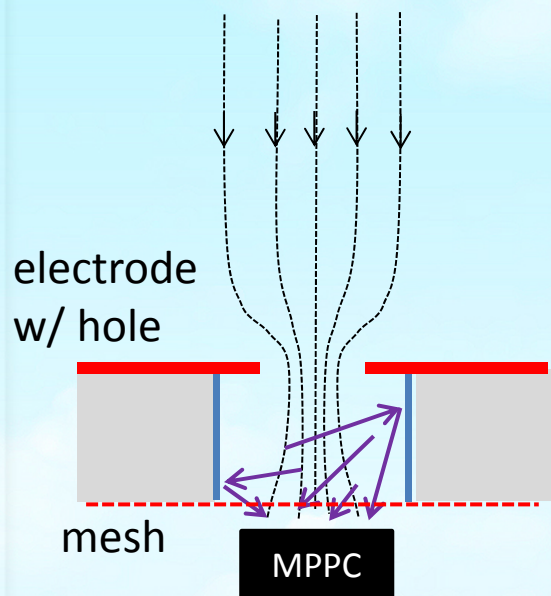
# その他、ongoingのR&D







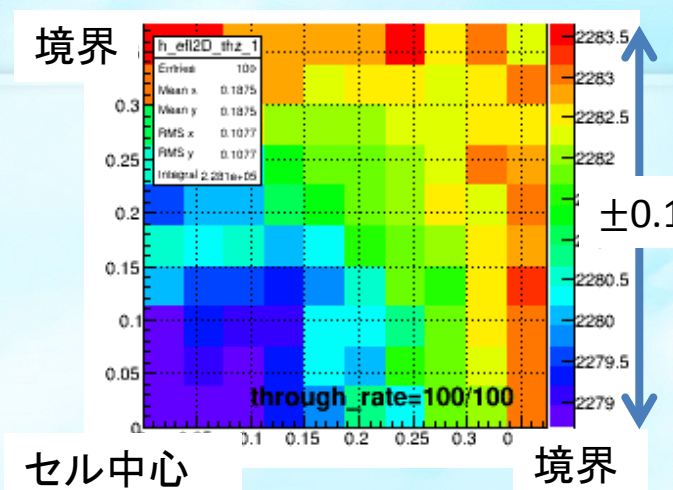
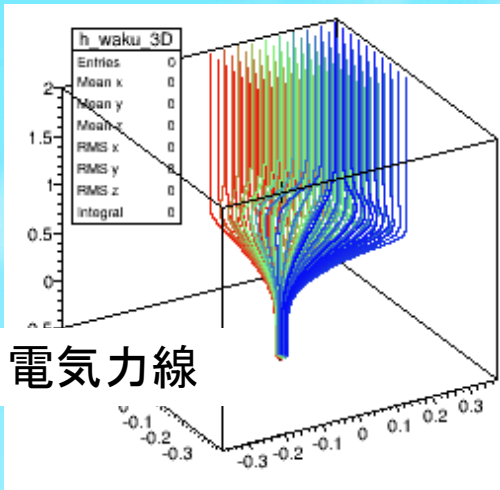
単にMPPCを並べるだけでは、電子がどこに来たかで、光量が変わってしまう→エネルギー分解能の悪化  
(なので、NEXTでは、エネルギーはチェンバーの反対側に置いたPMTで測っている(のだと思う))



ELCC: 電子をセルに集める。集めた後のEL光の発生、収集が一応であれば、エネルギー分解能を悪化させない。

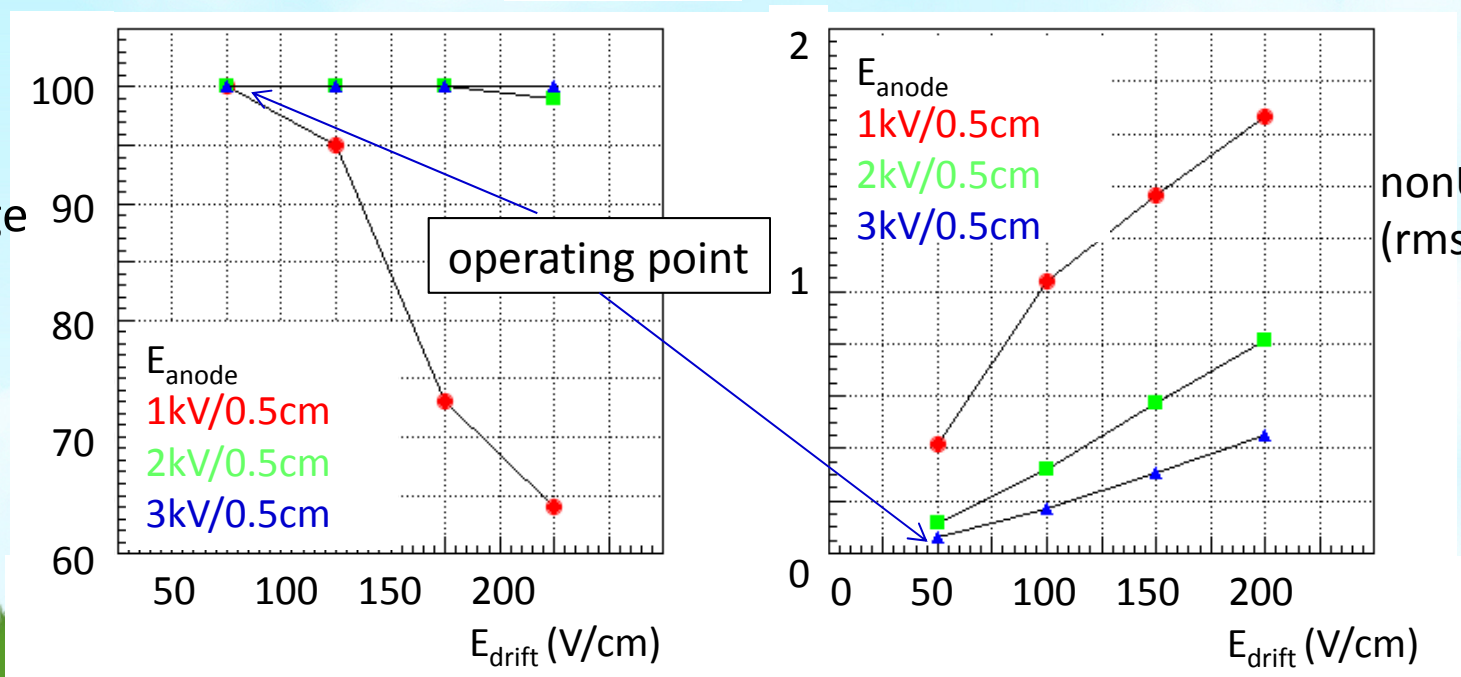
# 実現化のための最重要課題

## ELCCのProof-of-Principle



EL threshold以上での  
電場長  
(比例してEL光が発生)

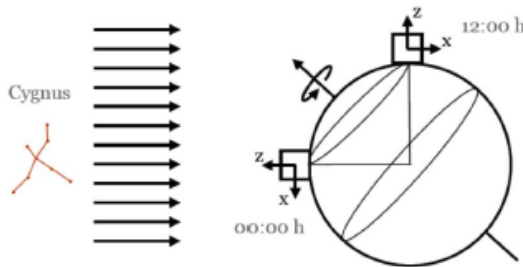
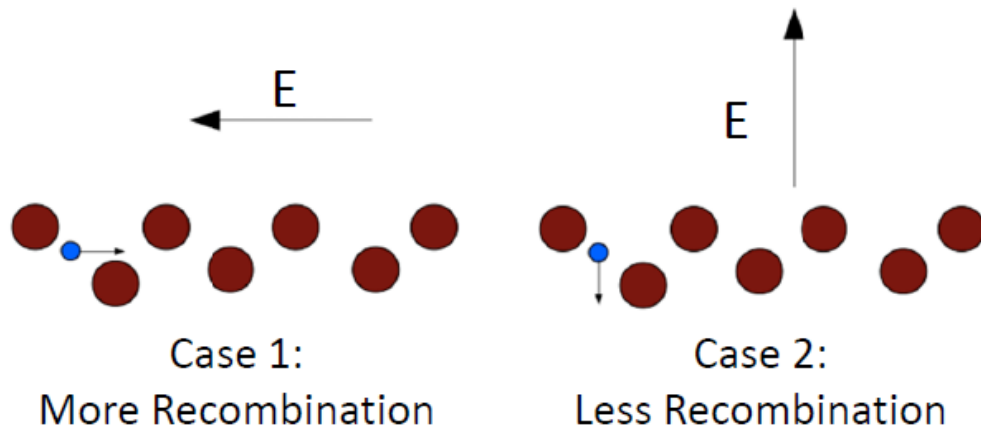
$\pm 0.1\%$



# 3D FEMによる電場計算 by 中村輝石

次は電子のドリフト、  
EL発生、EL検出のシ  
ミュレーション

## Approaches to directionality detection (3): Columnar recombination and Inferring direction without track image



Concept by [Dave Nygren](#), LBNL

- 電離電子とイオンの再結合の度合いでトラックの方向(電場に対する天頂角)を推定
- LBNLのグループは trimethylamine(TMA) を加えることで recombinationを増やそうとしている。
- 我々のグループは、磁場を加えることで recombinationを enhanceすることを提唱。

# Directional Dark-Matter Search (中村輝石君がやりたがっている)



- H26年度~H27年度 4号機: 10気圧  $230\text{cm}^3$  (=14g) MPPC 64ch
  - ✓ ELCCの原理実証、UV sensitive MPPC, 660keVでのエネルギー分解能
- H27年度~H28年度 5号機: 10気圧  $0.15\text{m}^3$  (=9kg) MPPC 1,600ch
  - ✓ ASIC(AFTER)による多チャンネル読み出しボード、高電圧、キセノン循環、低放射化(nEXOと共同で低放射能MPPC開発), UV PMT
- H28年度~H29年度: 5号機phase II: 30気圧  $0.15\text{m}^3$  (=27kg)
  - ✓ 高圧ガス保安法
  - ⇒  $^{136}\text{Xe}$ で $0\nu\beta\beta$  search

短期的目標 - まとめに代えて-