


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

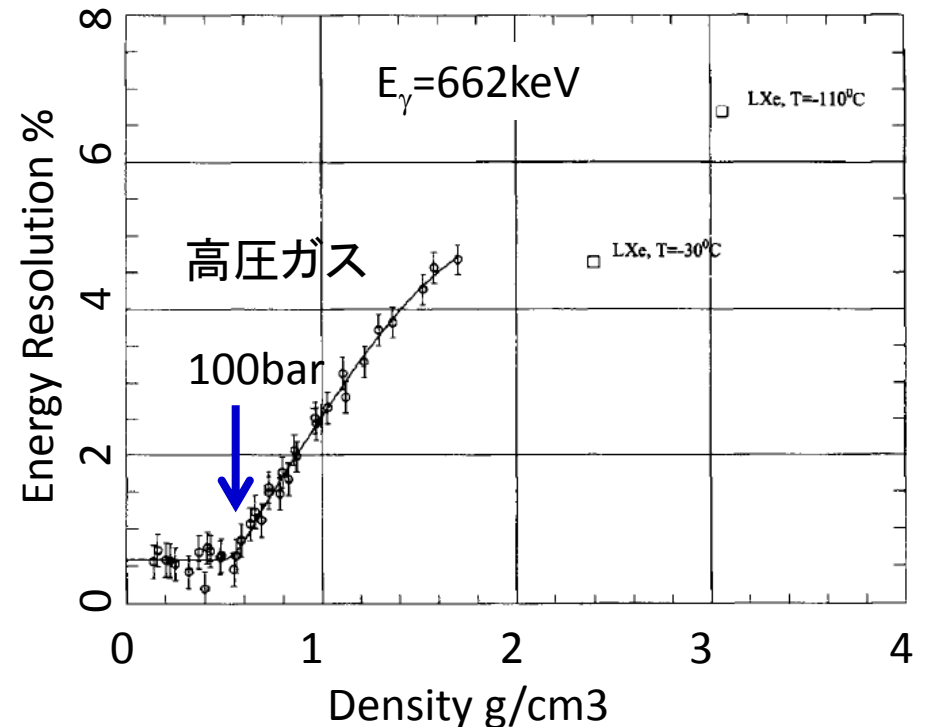
- 1 ton enriched ^{136}Xe gas (not liquid)
- 15~30気圧
 - $\rho = 0.088\sim 0.18\text{g/cm}^3$
 - e.g. 30気圧だと $\phi 2\text{m}\times 1.7\text{m(H)}$ cylinder
- proportional scintillation mode (**Electroluminescence**) for energy measurement
 - Energy resolution goal $< 0.5\%$ (FWHM)
 - Ultraviolet photon($\sim 170\text{nm}$) 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 ~ 15 points using 7.5mm spacing **ELCC** array $\rightarrow 5.5\times 10^4\text{ch}$
 - \rightarrow distinguish from α 's and γ '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

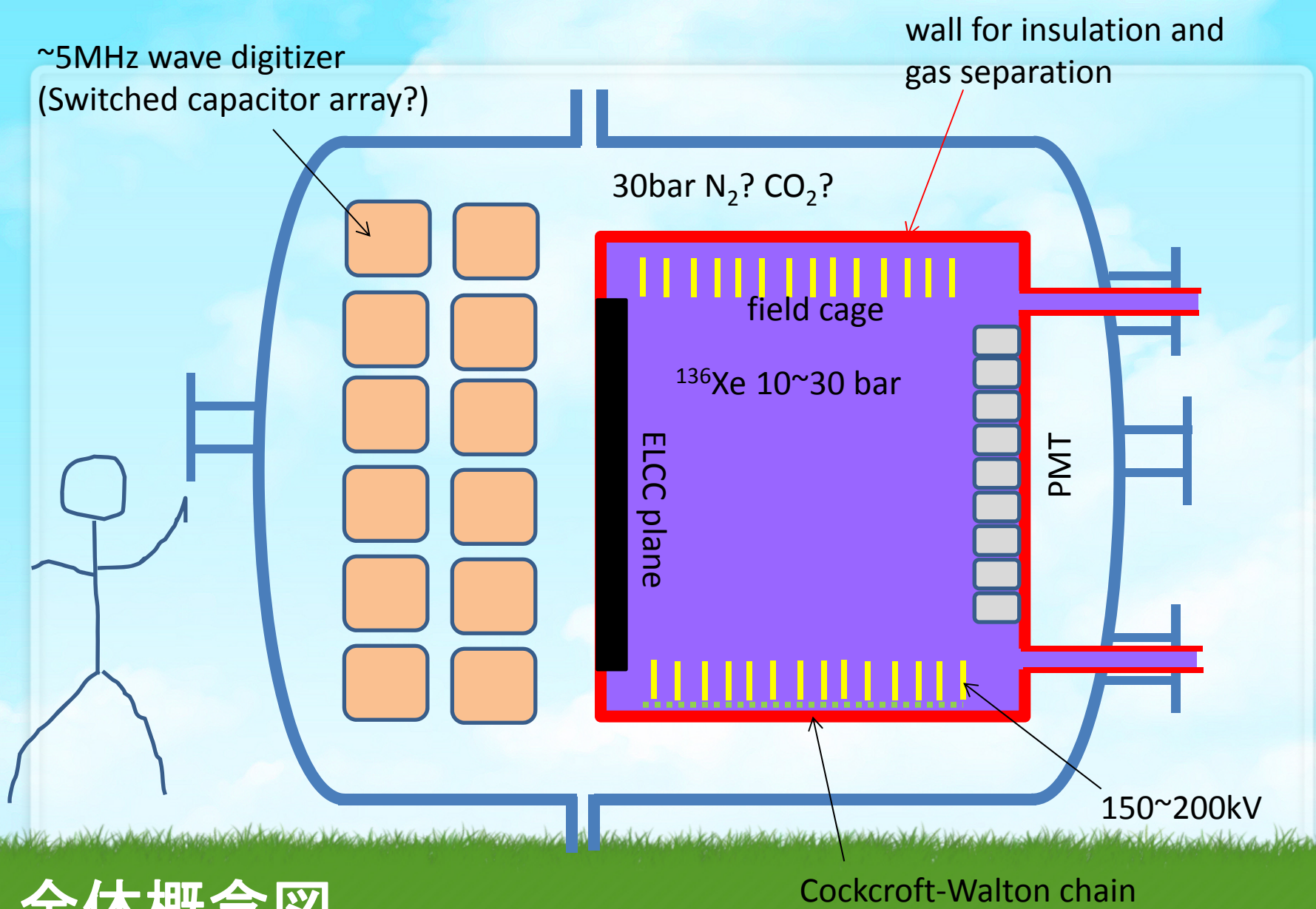
- Induction by Ionization : Very bad S/N for large detector
- Proportional Counter : fluctuation at avalanche amplification
- **Proportional Scintillation mode using electroluminescence lights**

Good and stable linearity because

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

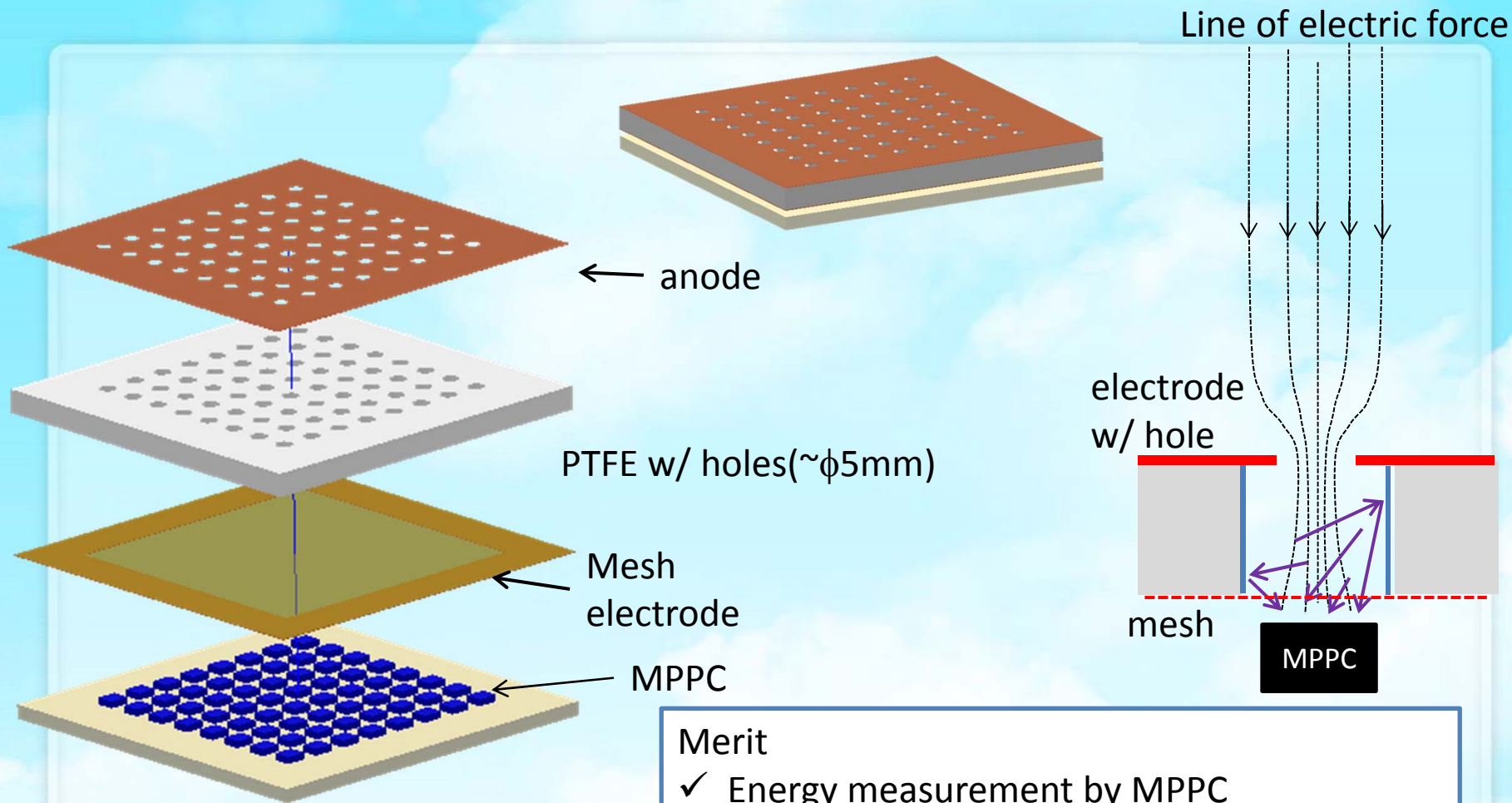


Electro Luminescence 光を使う



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)



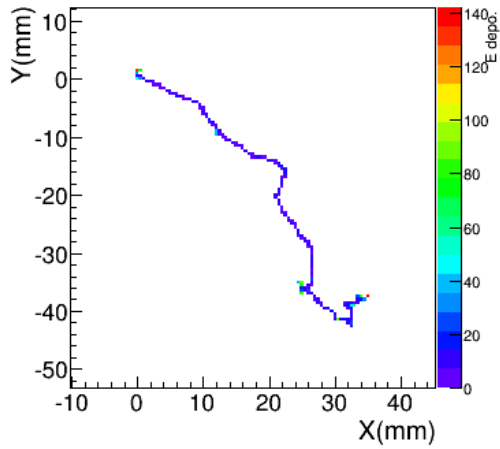
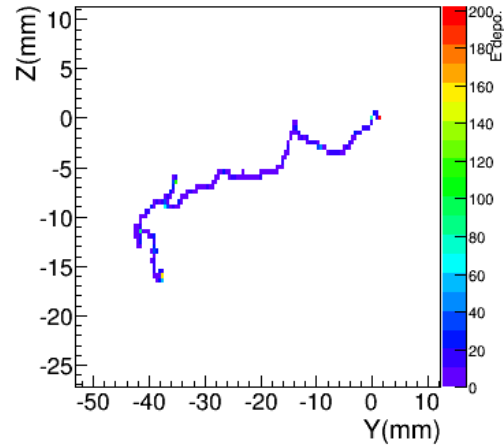
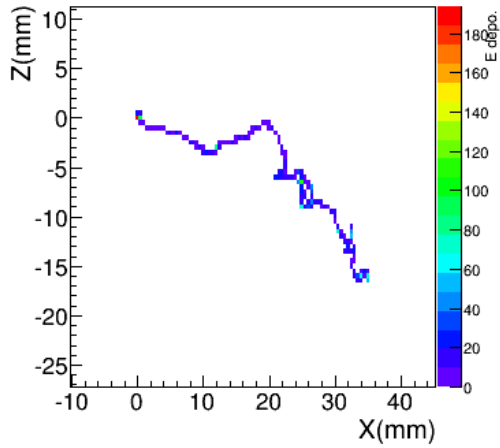
Merit

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

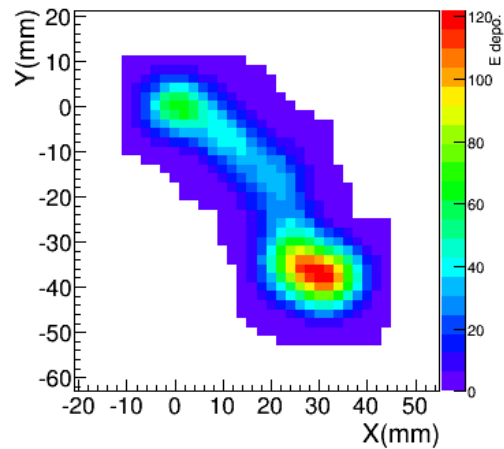
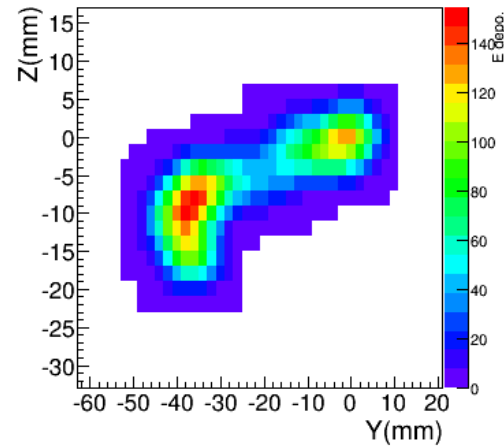
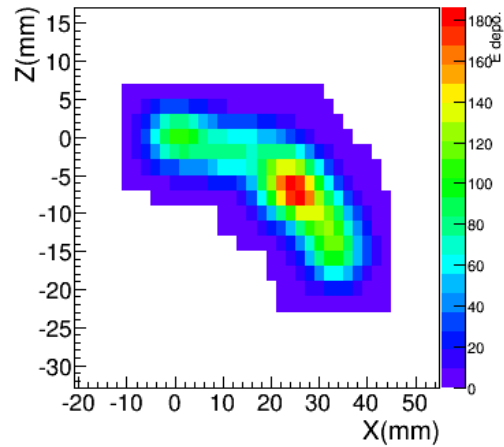
ここまでは、海外のNEXT実験と似たりよったり。

問題は、どうやってEL光を測定するか。

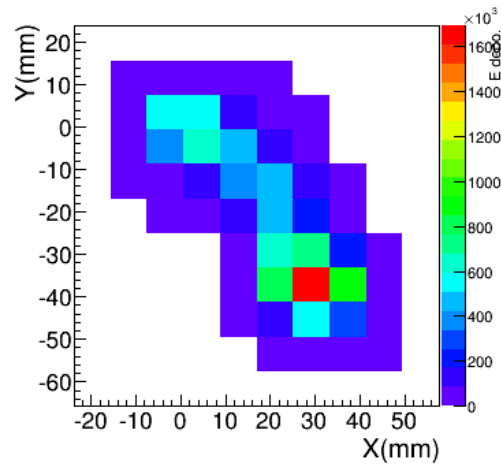
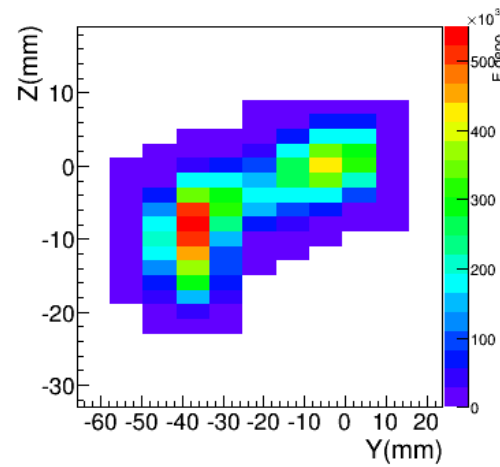
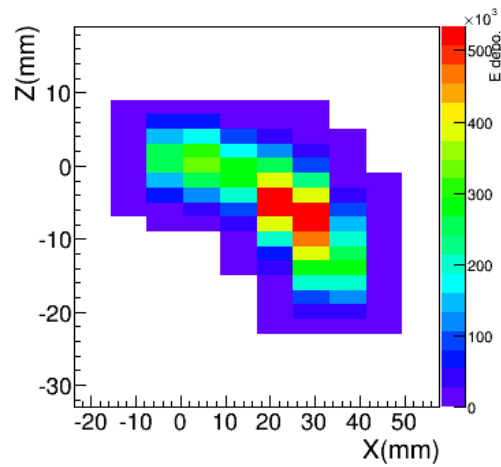
ELCC -ElectroLuminescence Light Collection Cell-を提案



simulation example 1
row track



simulation example 1
diffusion after 1m drift



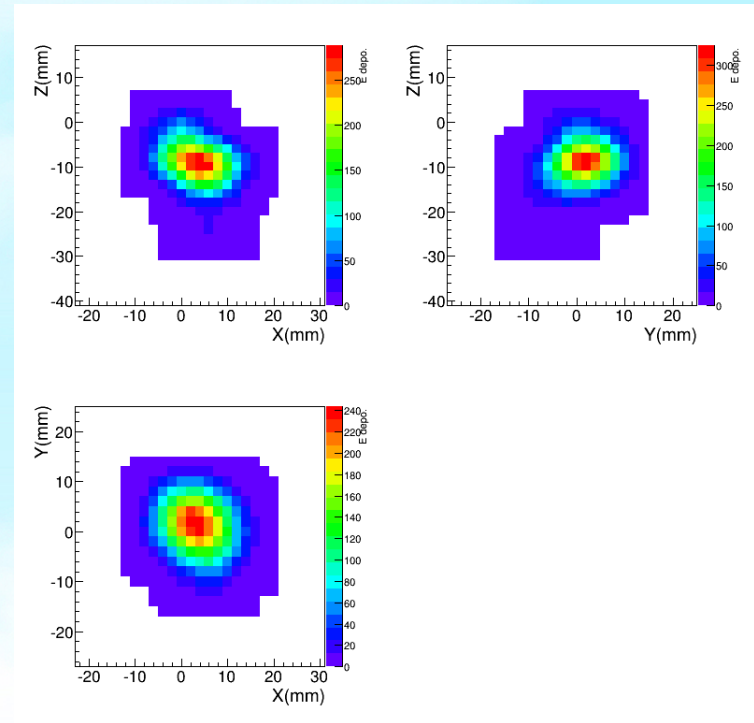
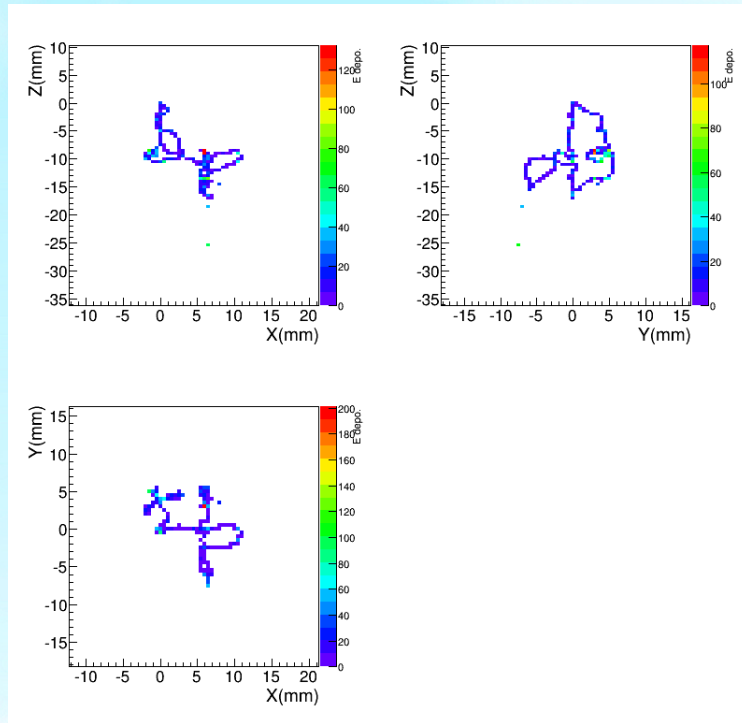
z marginalized by ELCC generation time ($4\mu s$)

simulation example 1

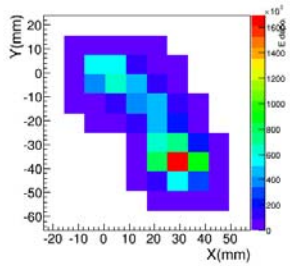
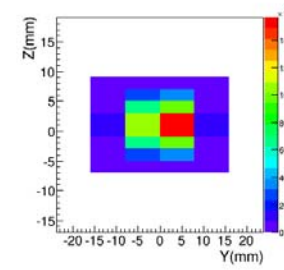
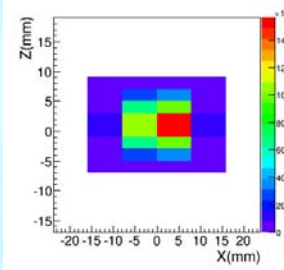
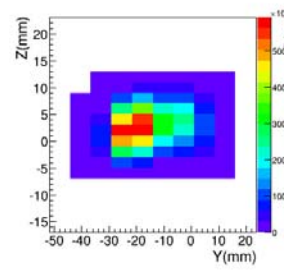
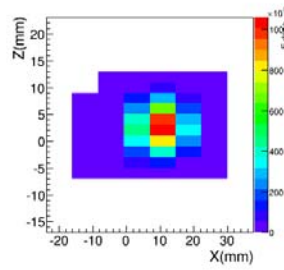
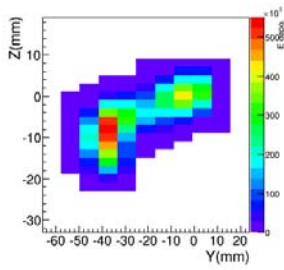
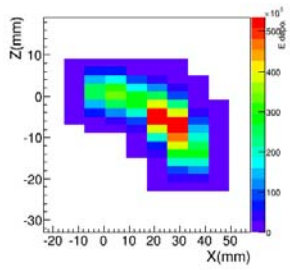
segmentation (7.5mm in x or y and 2mm in z)

row track

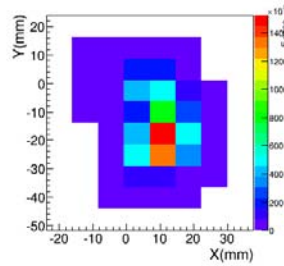
detected track



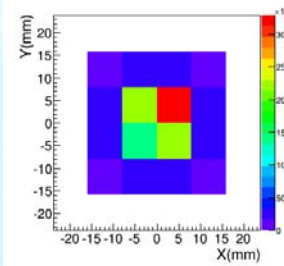
simulation example 2



$0\nu\beta\beta$



electron



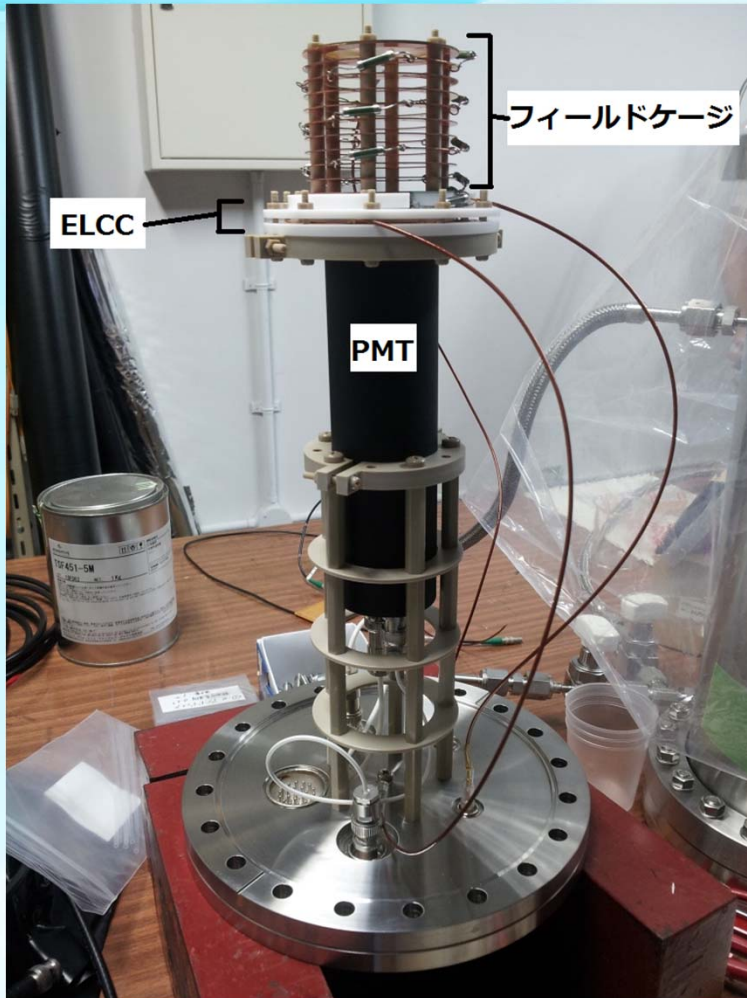
alpha

View scales are different. Cell size is same.

Topologyより

- α backgroundは良く落とせそう
- γ 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

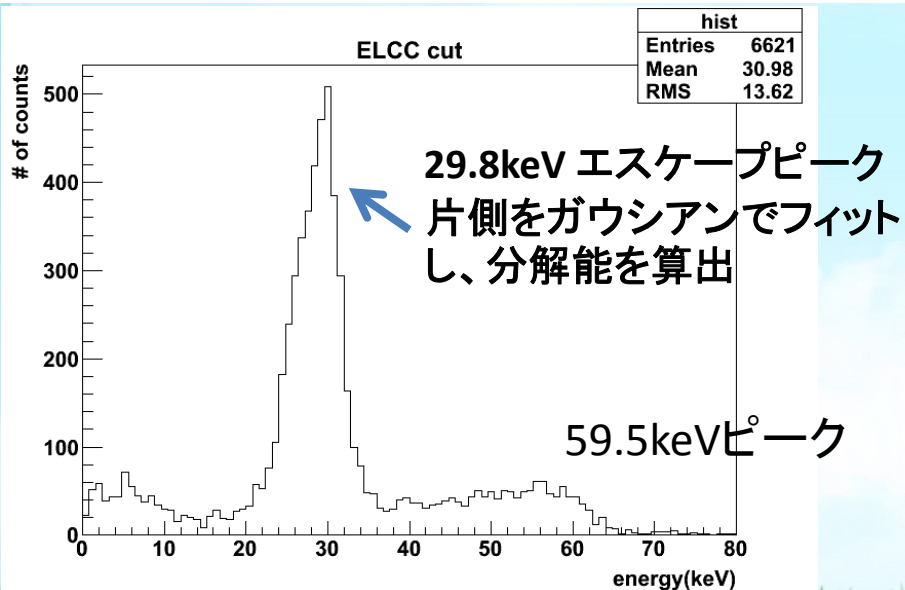
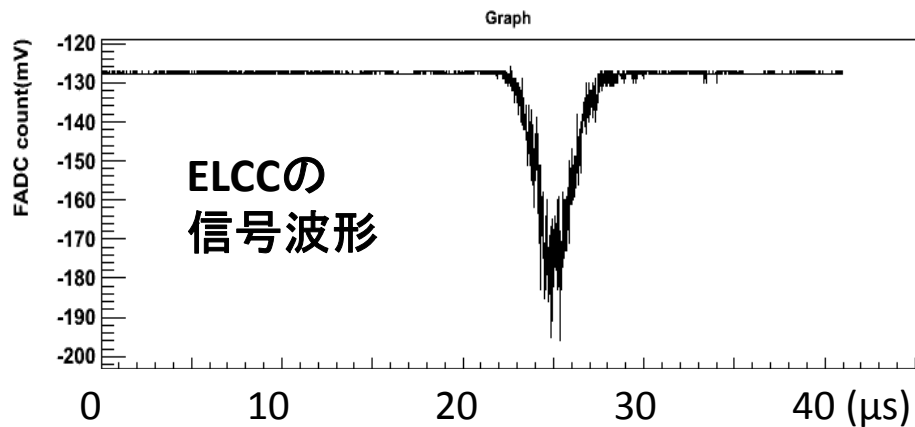


3つの試作機を製作

- 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

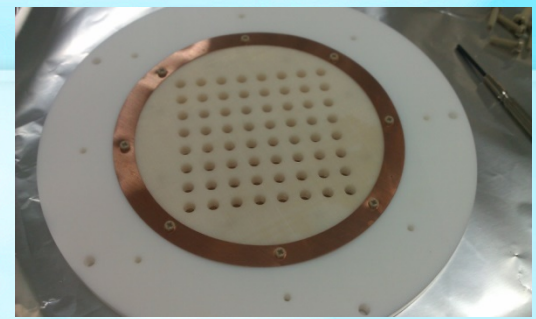


- 分解能(FWHM) 18%@29.8keV
 - $0\nu\beta\beta$ (2.5MeV)に換算すると2.0%
- 目標まであとファクター4
- 有効体積が小さいので、外へ逃げていってしまっている
- 2号機なのでELCCの電子収集率が不十分

2号機 ^{60}Am からの59.5keV γ 線で評価

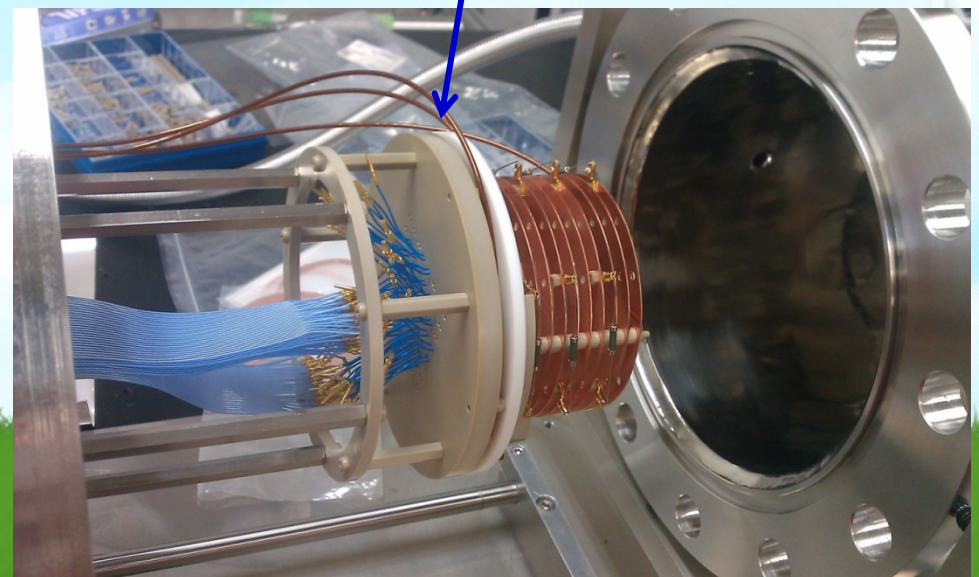


10気圧対応のチェンバーと
フィードスルー



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
- 低バックグラウンド
 - 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

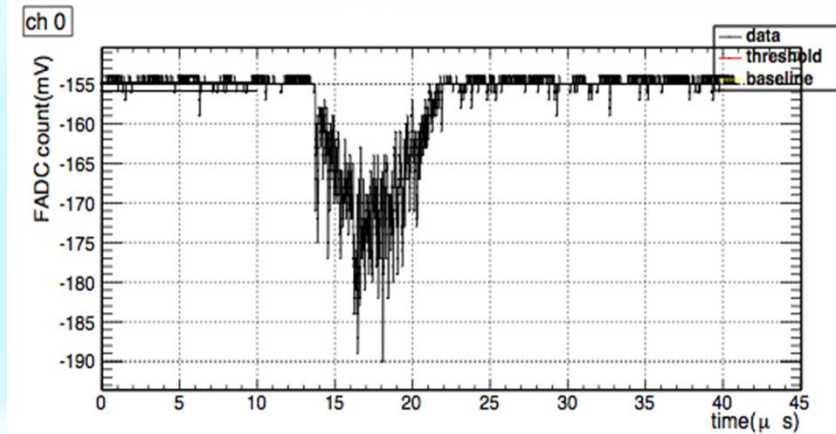
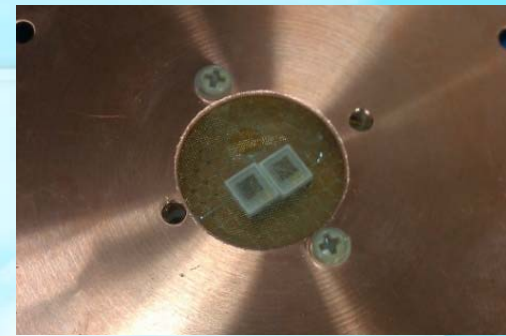
- 電極をエッチング加工にしてみた

✓ PMT

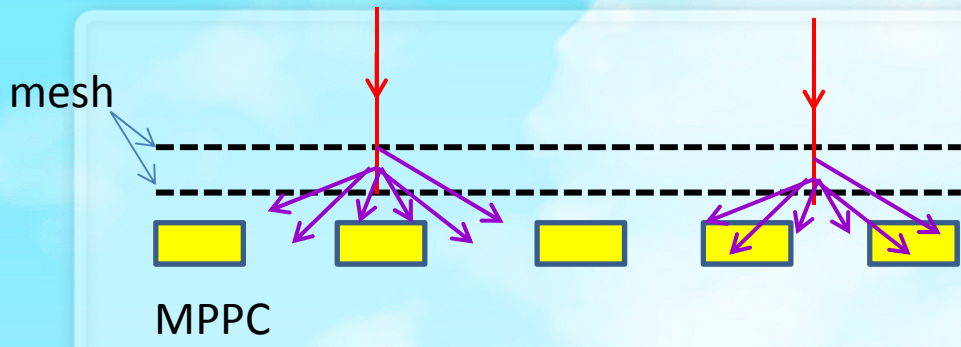
- R&D用に浜ホト R8520-406を購入予定
 - Liq.Xe用で低バックグラウンド
 - 10気圧対応で

✓ 回路

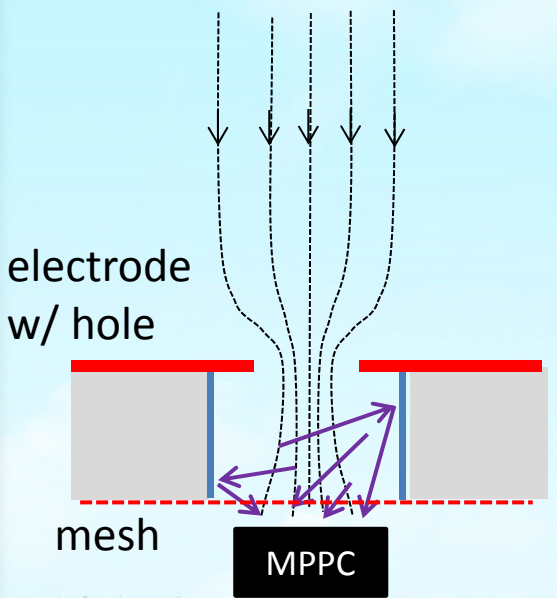
- T2Kで実績のあるAFTER chipを使うことを検討中
 - 511 switched capacitor array



その他、ongoingのR&D

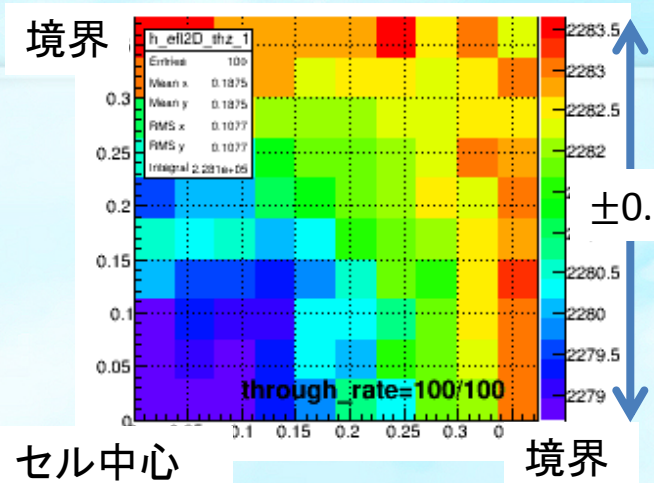
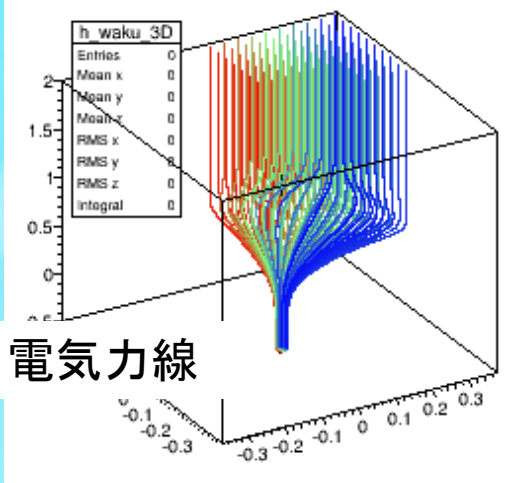


単にMPPCを並べるだけでは、電子がどこに来たかで、光量が変わってしまう→エネルギー分解能の悪化
 (なので、NEXTでは、エネルギーはチェンバーの反対側に置いたPMTで測っている(のだと思う))



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。

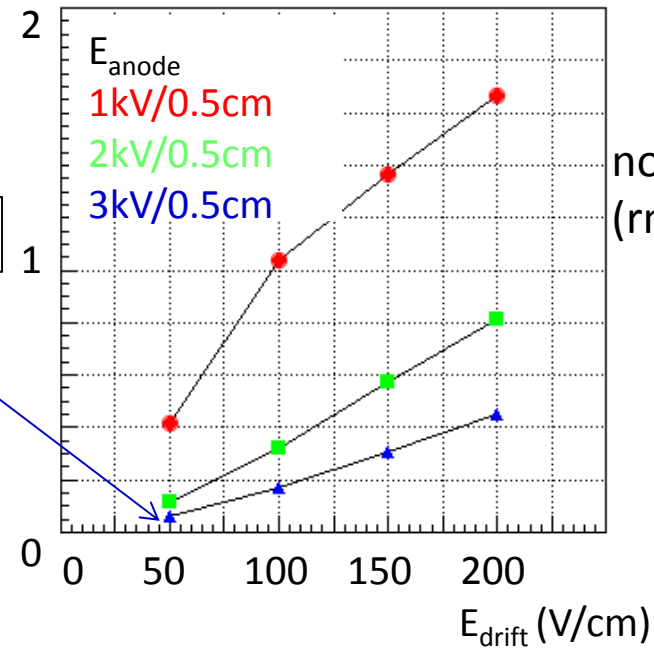
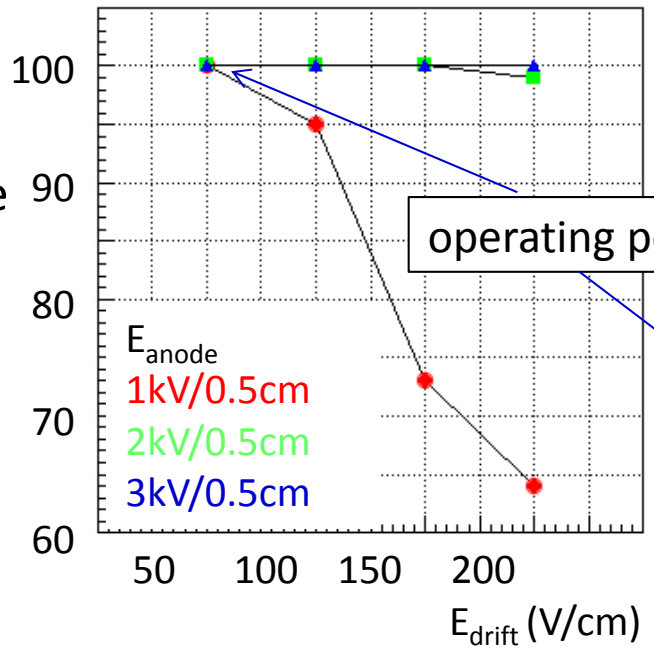
実現化のための最重要課題 ELCCのProof-of-Principle



EL threshold以上での
電場長
(比例してEL光が発生)

±0.1%

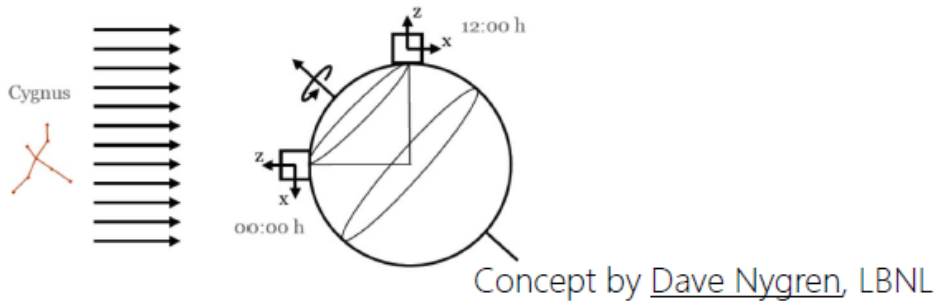
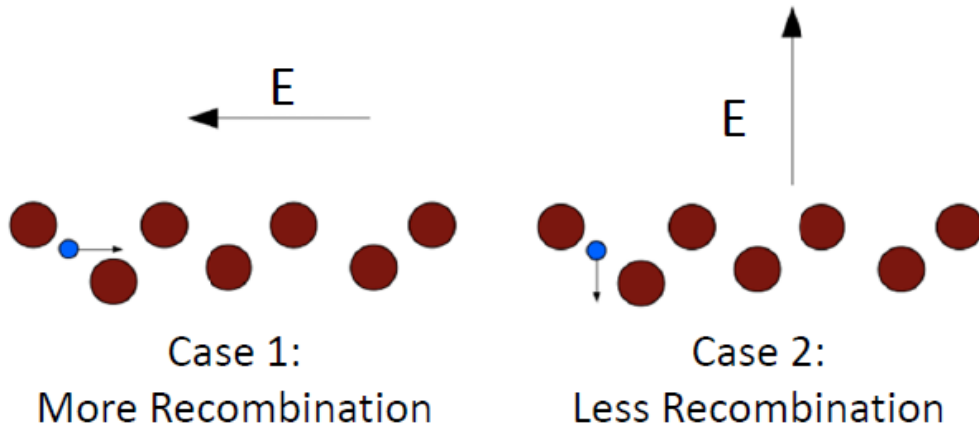
Coverage (%)



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



- 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 230cm³ (=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 0.15m³ (=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 0.15m³ (=27kg)
 - ✓ 高圧ガス保安法
 - ⇒ ¹³⁶Xeで0νββ search

短期的目標 - まとめに代えて-