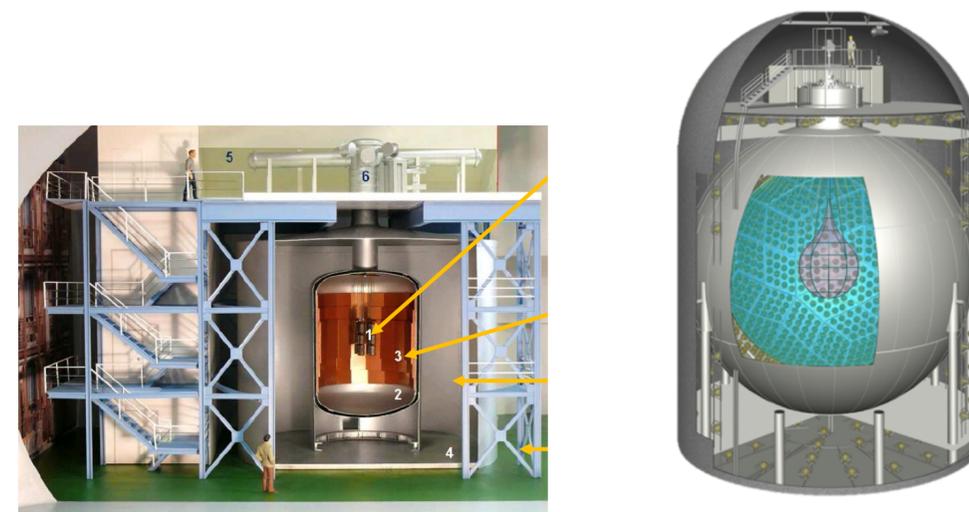


高圧キセノンガス検出器開発の現状

S.Obara (FRIS, Tohoku Univ.)
for AXEL collaboration

研究目的

- ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊を探索
 - 現在はKL-Zenがリード
 - 将来は?; 高エネルギー分解能+大質量+飛跡+a?
- 逆にDiracであることを言えるか?
 - 四重ベータ崩壊を探索する
 - やっぱり高エネルギー分解能+大質量+飛跡が欲しい



[10.1103/PhysRevD.88.076004](https://arxiv.org/abs/10.1103/PhysRevD.88.076004)

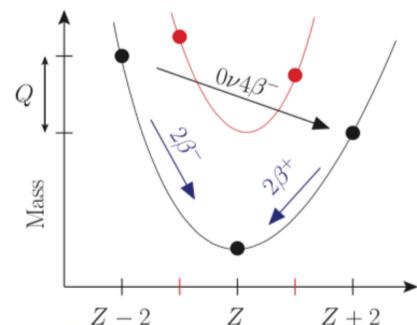
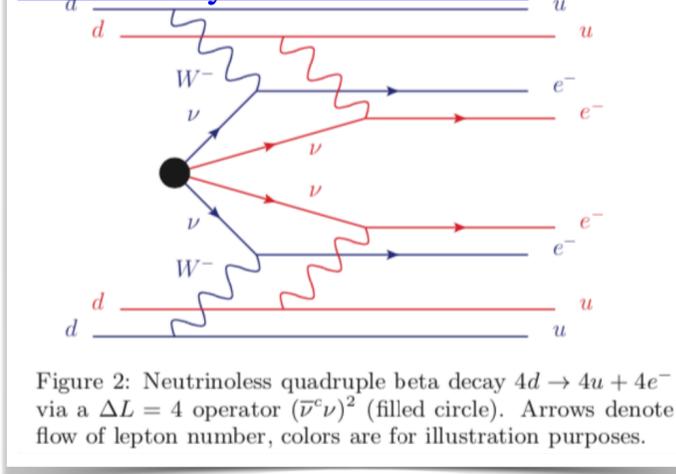
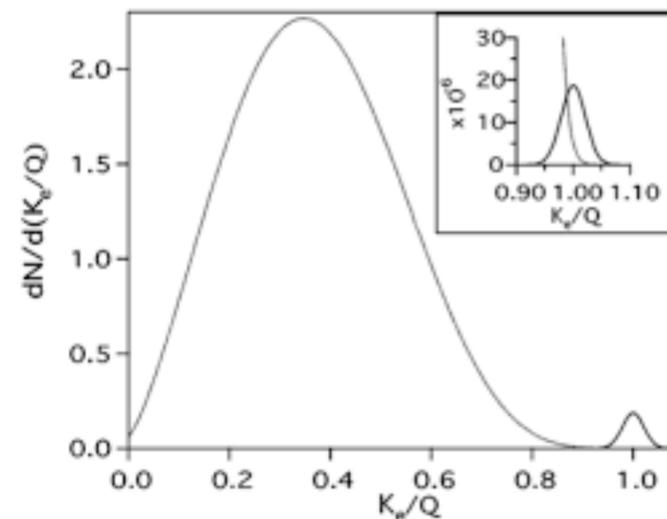
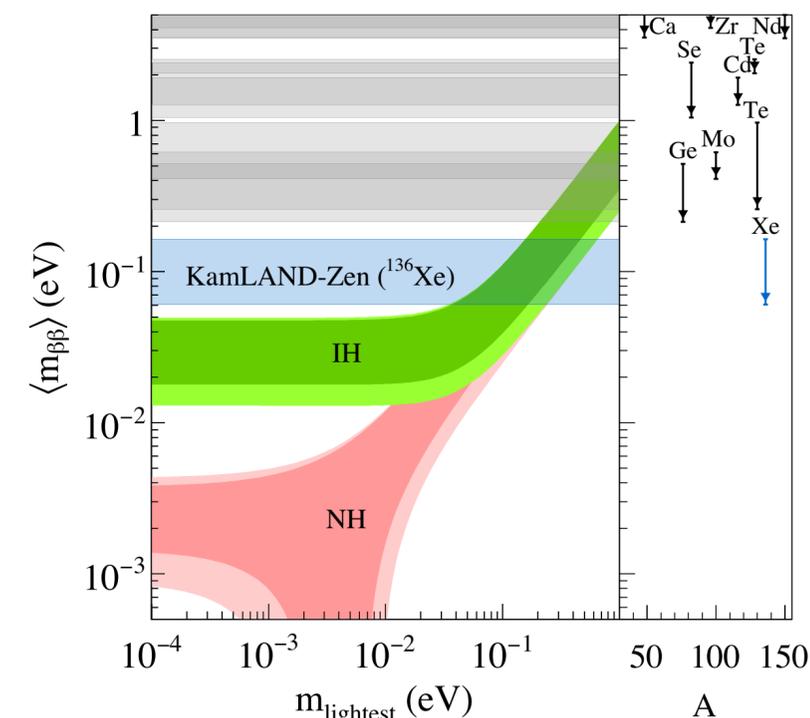


Figure 3: Three beta-stable even-even nuclei on their mass parabola (black). The heaviest isobar ($A, Z - 2$) can decay either via double beta decay into the lowest state (A, Z), or via $0\nu 4\beta$ into the medium state ($A, Z + 2$). Also shown are the “forbidden” odd-odd states in between (red).



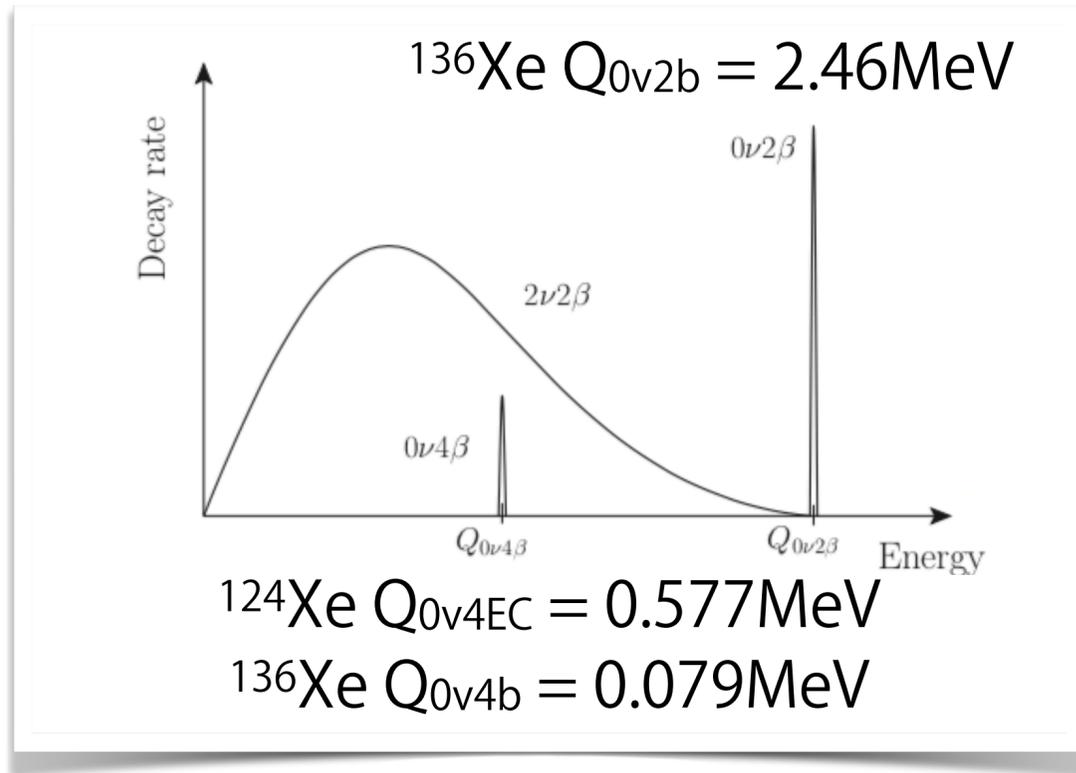
$$(T_{1/2}^{0\nu})^{-1} = G^{0\nu} |M^{0\nu}|^2 \langle m_{\beta\beta} \rangle^2$$



⇒ **高圧キセノンガス飛跡検出器**

高圧XeガスTPCでの $0\nu 2b$ & $0\nu 4b$ 探索

- $0\nu 2b$ の発見 \Rightarrow Majorana neutrino
- $0\nu 2b$ の未発見 & $0\nu 4b$ を発見 \Rightarrow Dirac neutrino



- $0\nu 2b$ or $2\nu 2b$?
 $\rightarrow \Delta E$ で見分ける
- LongLife?
 \rightarrow 大質量が使える
- $(2\nu)2b$ or $(0\nu)4b$?
 \rightarrow 飛跡の本数で見分ける

現行のAXEL検出器(HP180L)
 natXe 約8kgを保持

- ^{136}Xe $0\nu 4b$ ($Q = 79\text{keV}$) $\rightarrow \sim 0.8\text{kg}$
- ^{124}Xe $0\nu 4EC$ ($Q = 577\text{keV}$) $\rightarrow \sim 0.008\text{kg}$

4本のプロブ + Q値の分解能を生かして探索
上限値をつける

(1年間データ取得ができれば $T_{1/2}^{0\nu 4\beta} > \mathcal{O}(10^{21})\text{yr}$ (90% C.L.)くらいいける…かな…?)

キセノンガスTPCで

大質量 && 高エネルギー ΔE && 飛跡検出器
を実現したら、両方同時に探索ができる

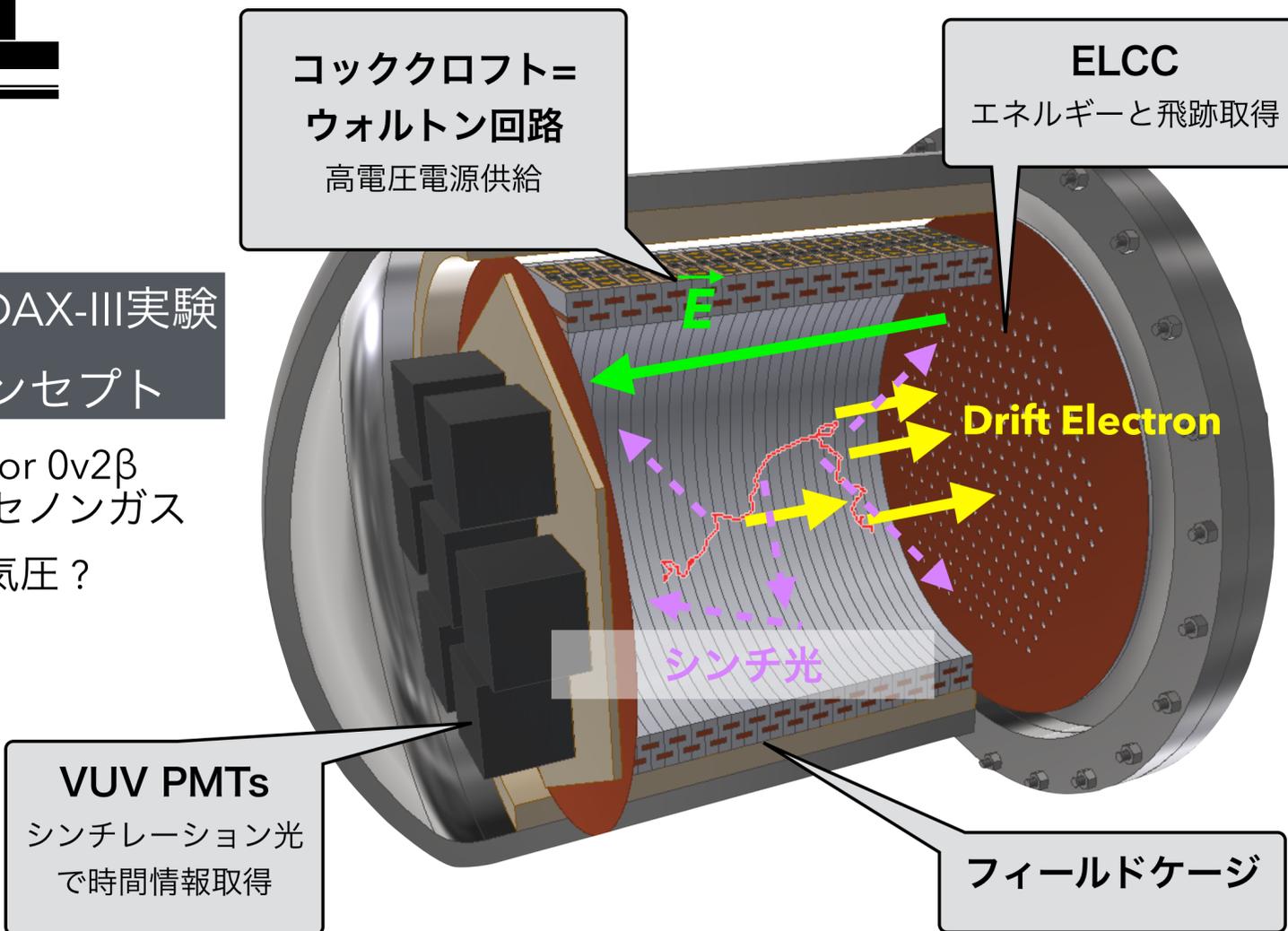
\rightarrow まずは原理検証

A Xenon ElectroLuminescence Detector

AXEL

NEXT, PANDAX-III実験
と似たコンセプト

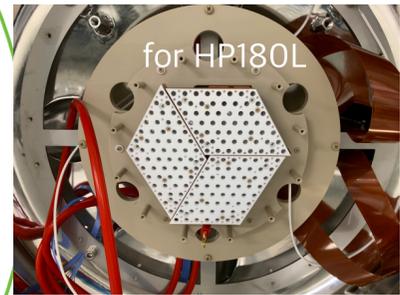
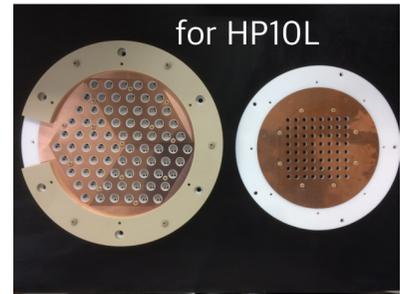
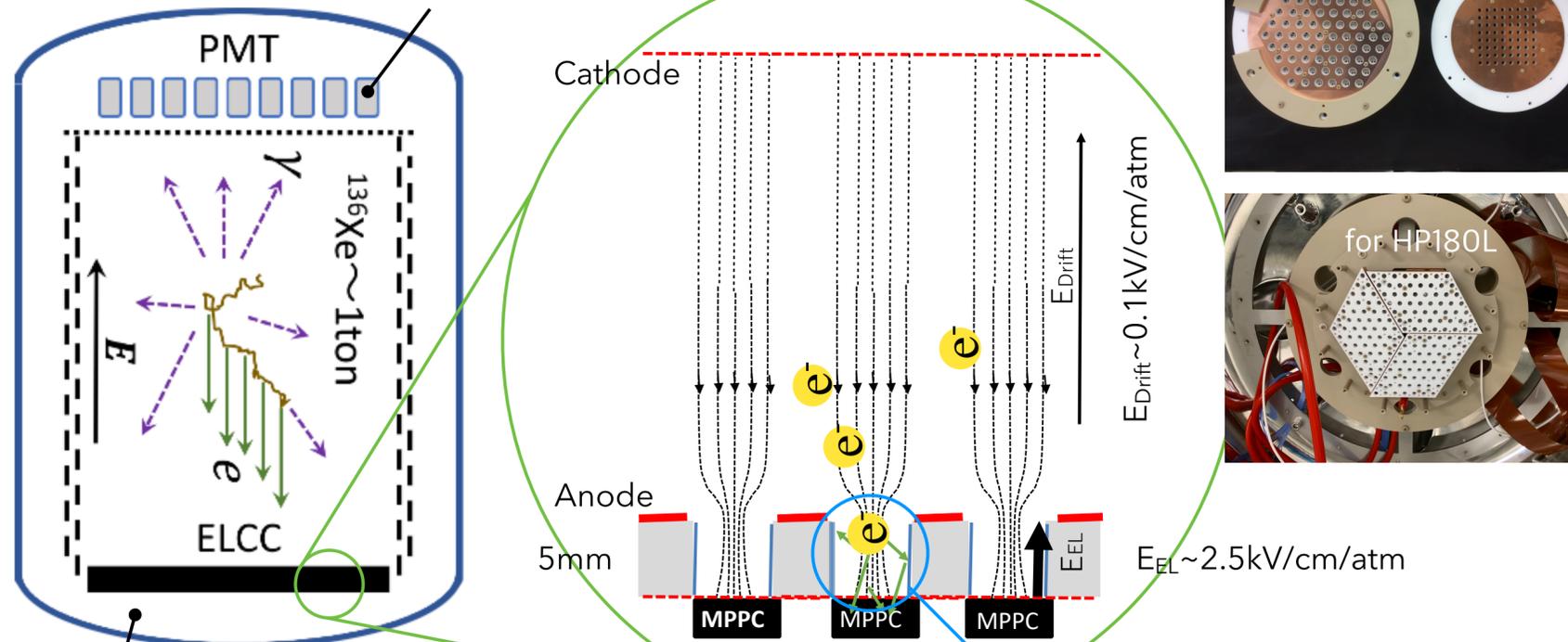
- ^{136}Xe for $0\nu 2\beta$
- 1ton? キセノンガス
- ~8気圧?



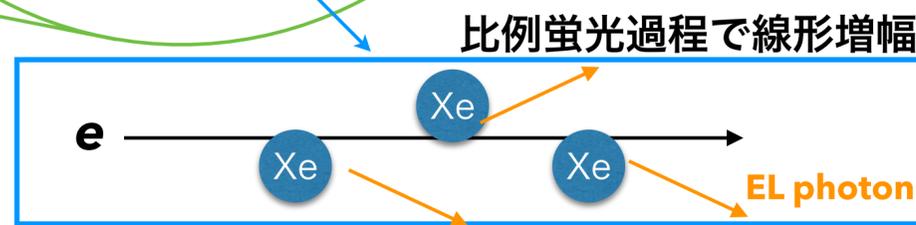
- 現在は主に京都大学で180Lサイズ検出器の開発中
- 本研究課題で, PMT/MPPCを増設
→ 有効体積の増加
- $0\nu 2\beta$ Q値での分解能評価
- 飛跡取得

ElectroLuminescence Collection Cell

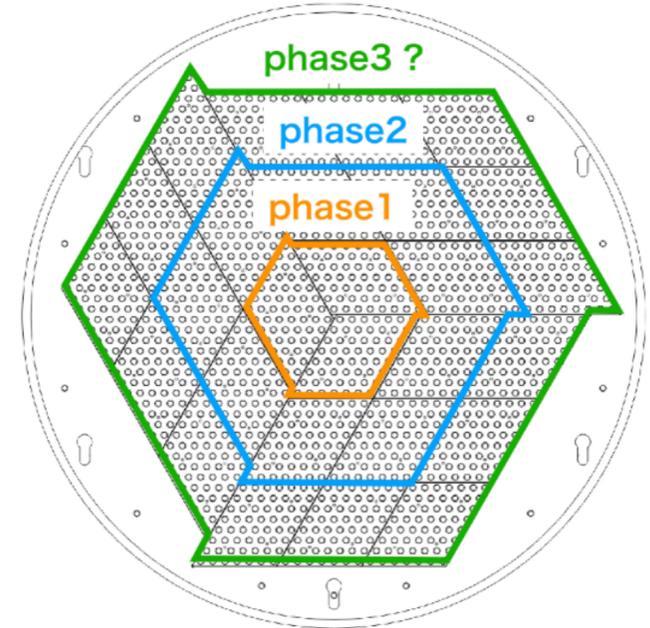
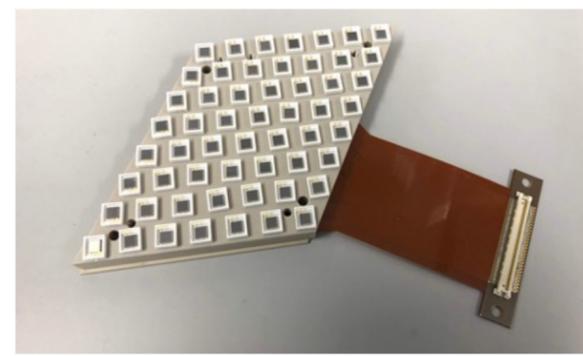
PMT; Xe-シンチを捉えて事象発生時刻を記録



ELCC; 電離電子を捉えて
エネルギー & 飛跡取得
(ElectroLuminescence Collection Cell)



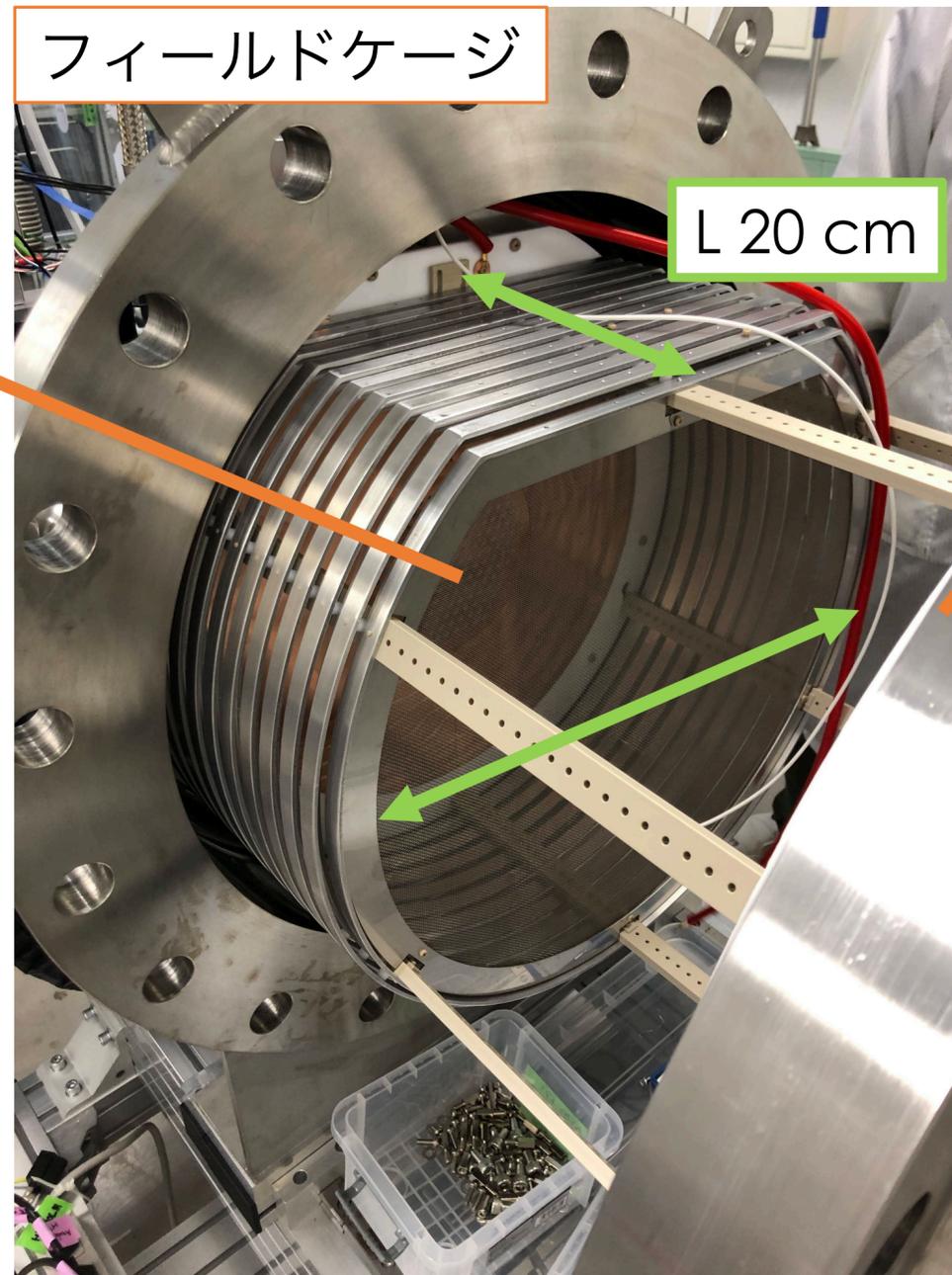
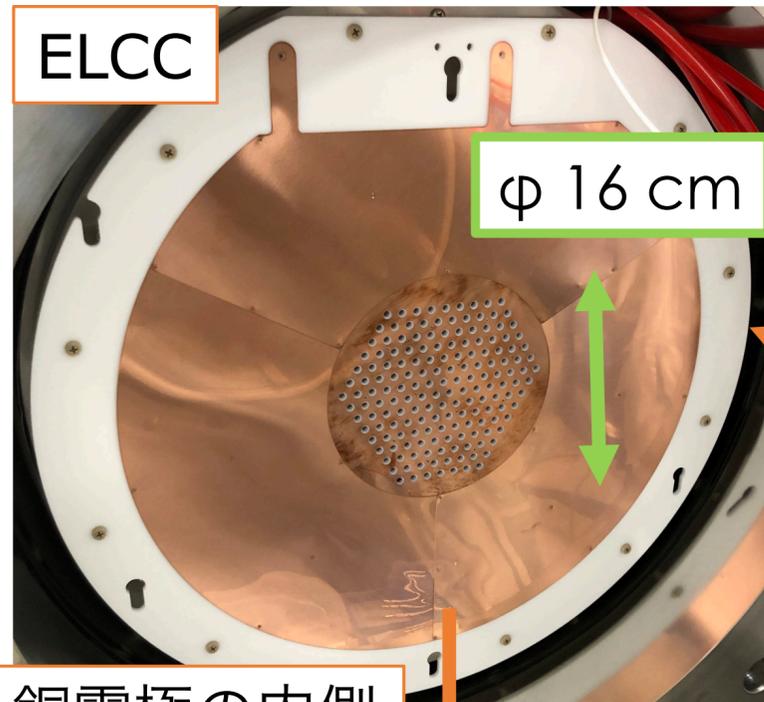
- 昨年度, 光検出器を約170個追加
- 56ch/1unit × 3unit だった
- 他予算と合わせて現在phase2まで増設中



phase	ELCC	MPPC	Condition
1	3-unit	168ch	done
2	12-unit	672ch	now updating...
3	27-unit	1503ch	

Detector

AXEL 180L試作機 phase1.2



- ✓ ELCC 27 unitsまでの拡張に対応した大型フィールドケージ.
- ✓ 今回は3 unitsで測定.
- ✓ 放電対策のため2層に分かれたELCC
→ エネルギー分解能への影響を確認.

2021/03/13

日本物理学会第76回年次大会 オンライン

9

Measurement

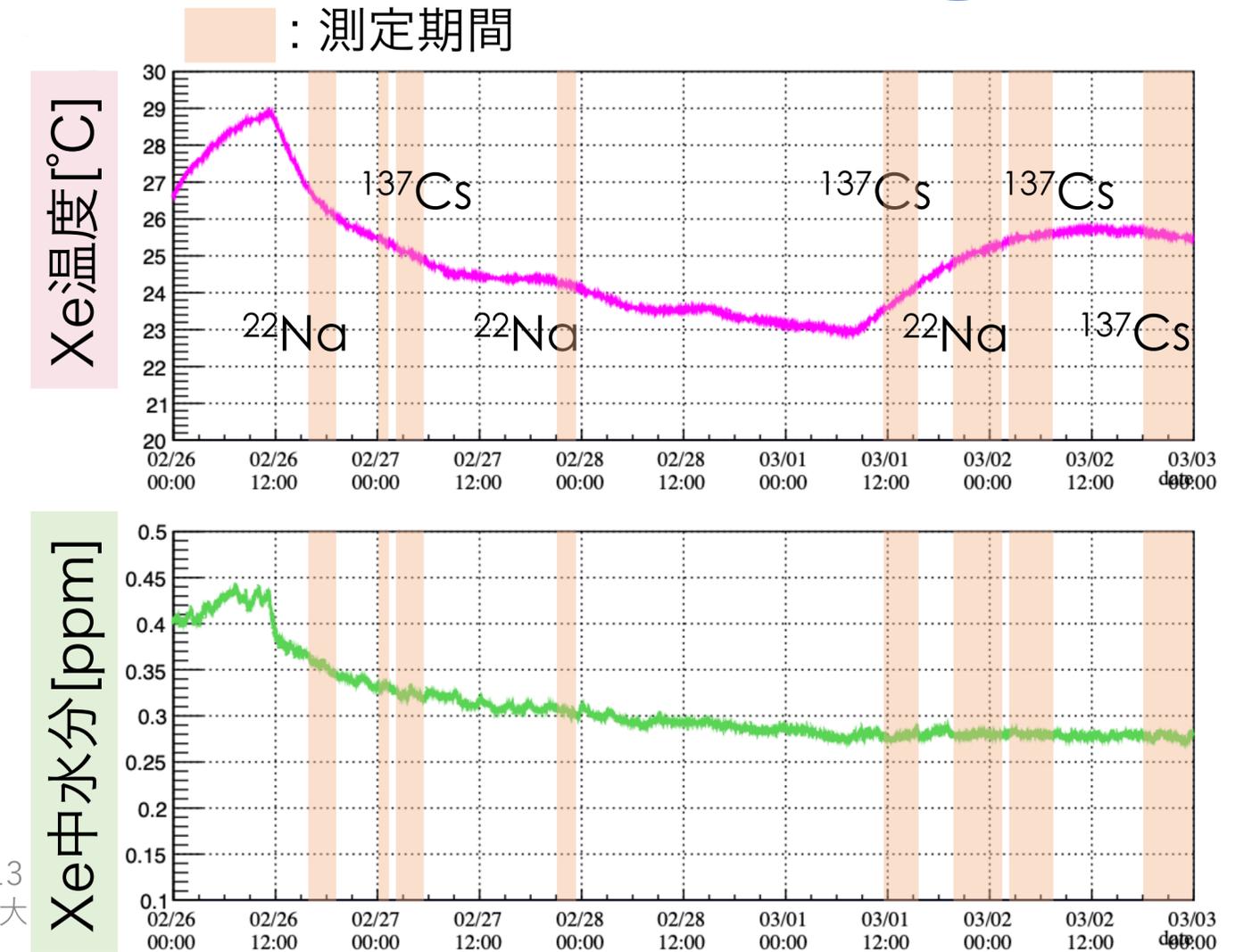
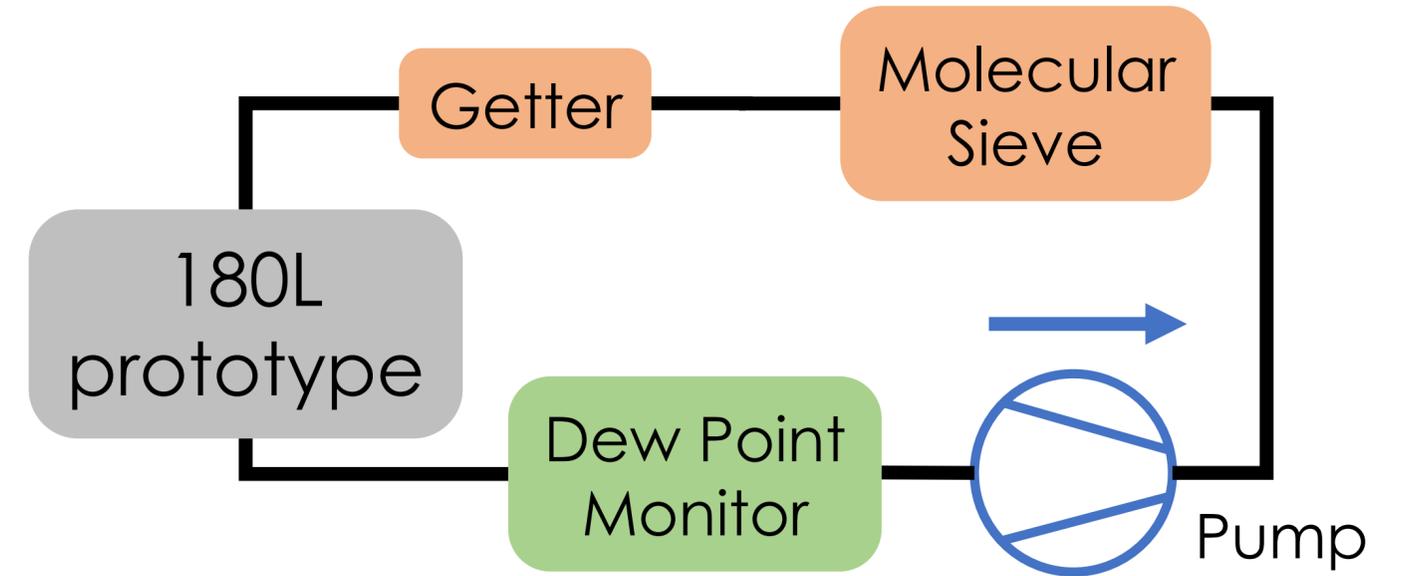
- 導入キセノン圧力: 5.0 bar
- 2種類のフィルターを通して純化.
 - モレキュラーシーブ: H_2O , O_2 , CO_2
 - ゲッター: N_2 も
- キセノン純度を露点計でモニター.
- キセノンの温度を白金抵抗温度計でモニター.
 - 光量変動を通してエネルギー分解能に影響.

測定条件

- $E_{\text{drift}} = 100 \text{ V/cm/bar}$
- $E_{\text{EL}} = 3 \text{ kV/cm/bar}$
 - 数日に1回程度放電
 - インターロックが電圧を落とす. → 手動回復
- 線源: ^{22}Na , ^{137}Cs



改造後のELCCでも良いエネルギー分解能を維持できているか確認.

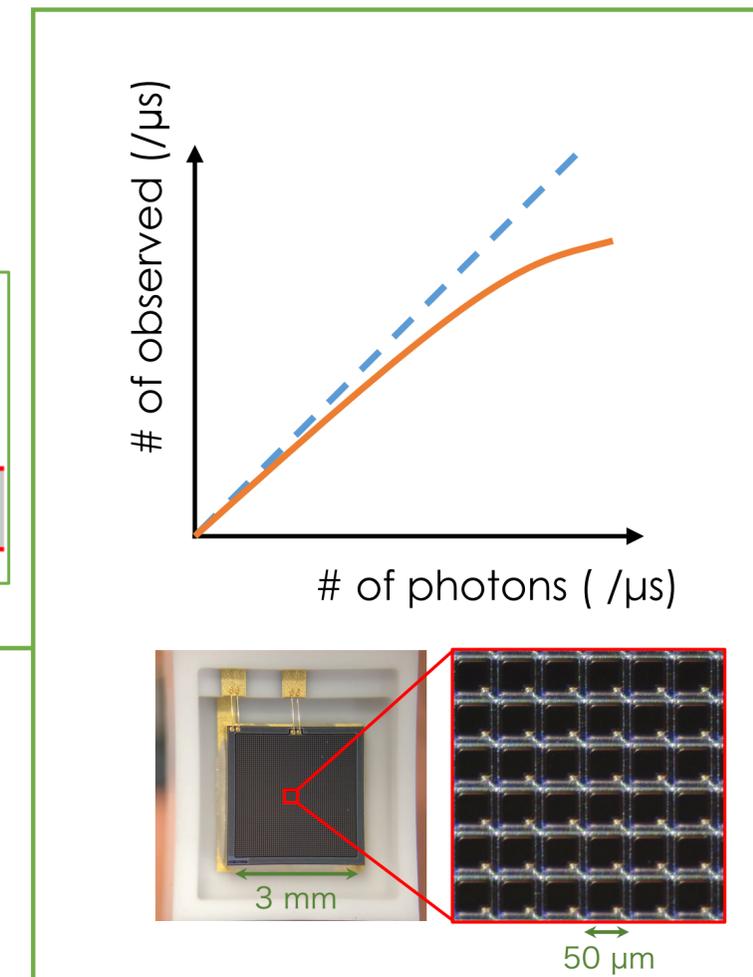
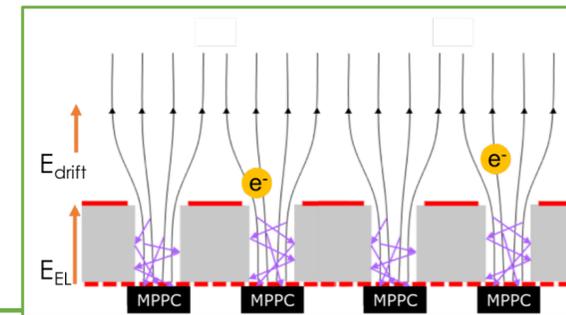
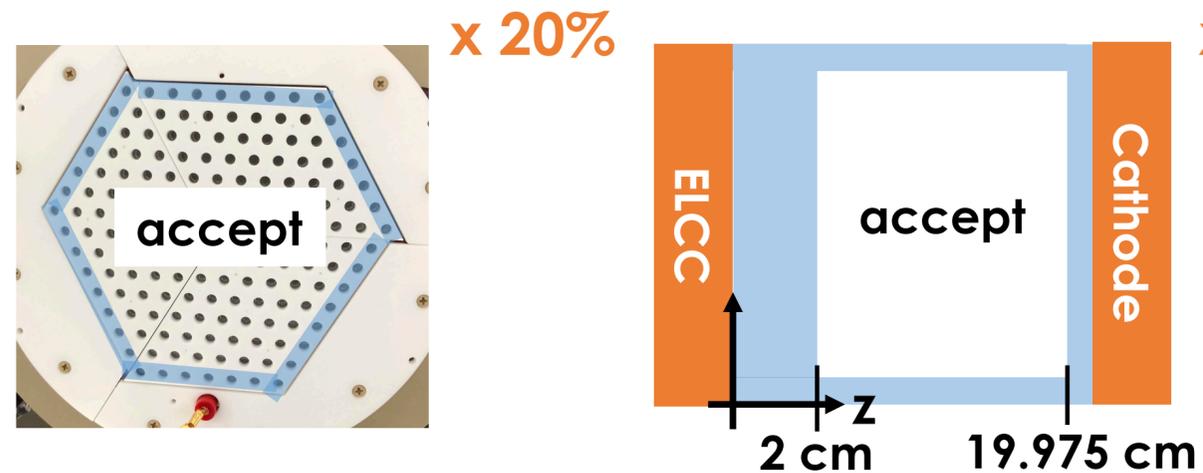


2021/03/13

日本物理学会第76回年次大

Analysis/Cut · Correction

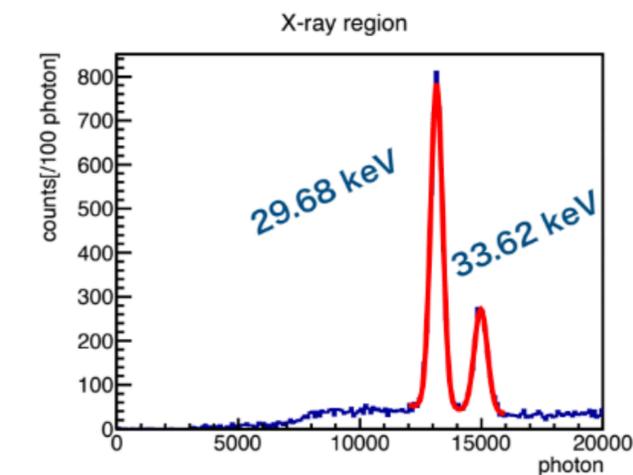
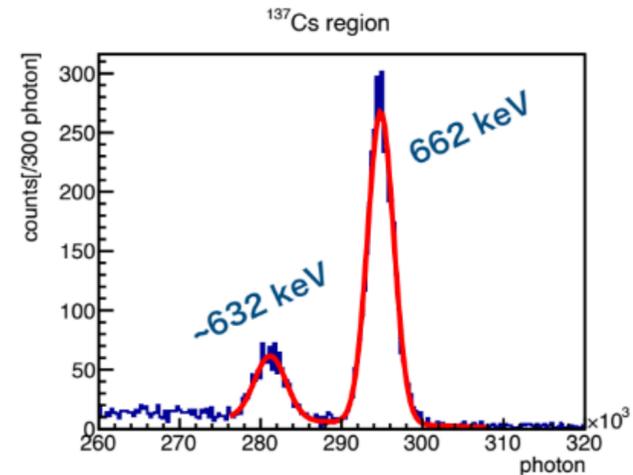
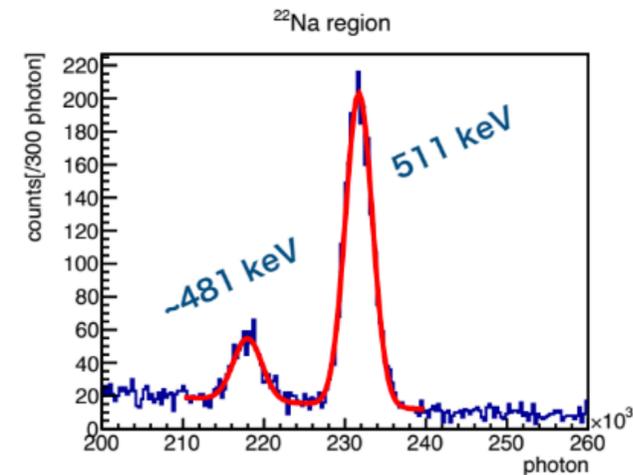
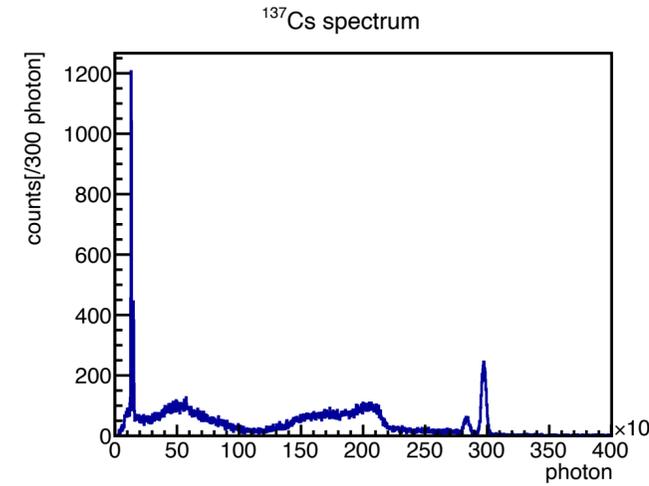
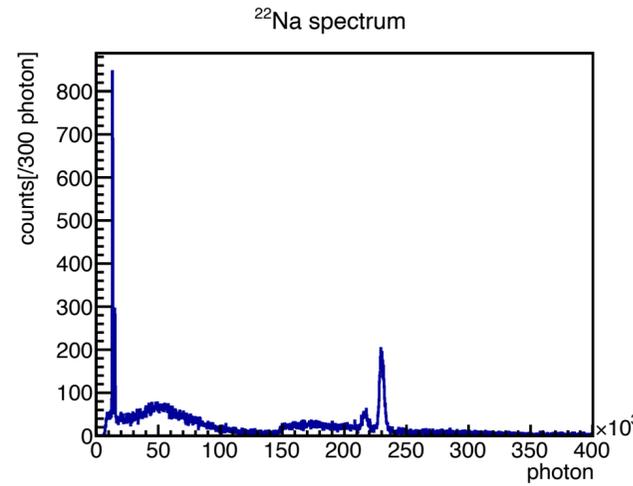
- fiducial cut: 完全に収まるイベントのみ残す.
 - xy方向: 最外層chにヒットしているイベントをcut
- No cut → xy fiducial cut → z fiducial cut : カットで残るのは全データの**5%**



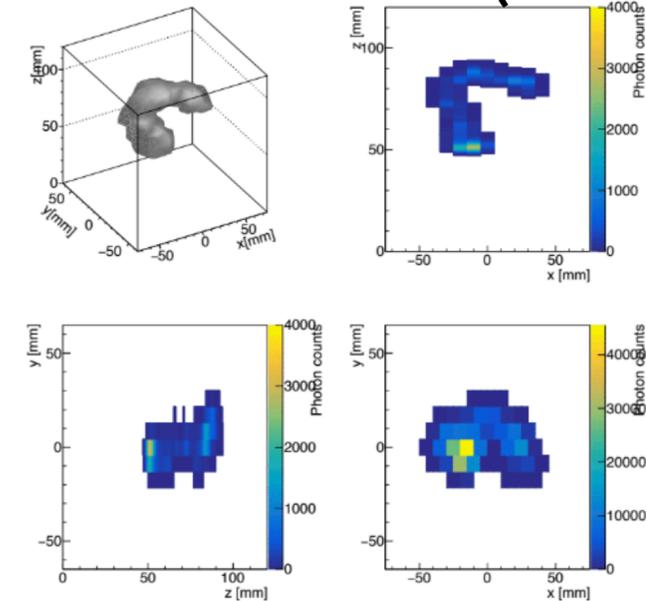
- 1ラン(2 – 3時間)ごとに
 - ✓ EL増幅率を全チャンネルで揃える補正
 - ✓ 大光量に対するMPPC出力の非線形性の補正
- 全ランをまとめて
 - ✓ 光量の時間変動の補正
→ 補正方法を改良

Phase-1での結果 Xe-5bar

- HP180L (@京都大)
- natXe-5bar
- $E_{EL} = 3 \text{ kV/cm/bar}$
- $E_{drift} = 100 \text{ V/cm/bar}$
- 線源を用いてエネルギー分解能評価



137Cs (662keV) ガンマ線の飛跡



(※ β^+ 対消滅時の重心系運動量によってモノクロではないらしい)

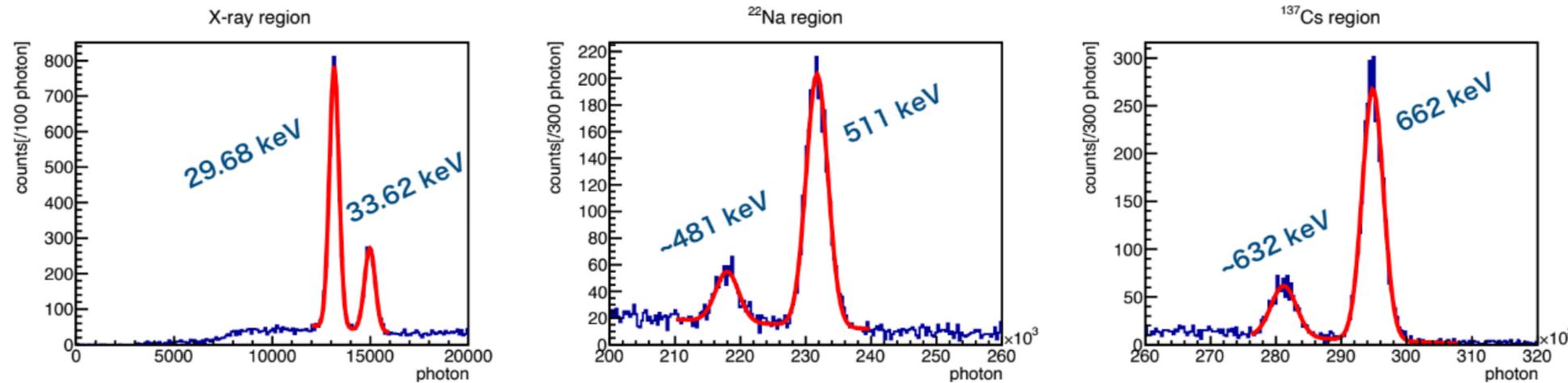
	$\Delta E/E$ (FWHM)	@Q値 (\sqrt{E} 外挿)
K_α (29.68 keV)	$(4.38 \pm 0.07) \%$	0.48%
K_β (33.62 keV)	$(4.24 \pm 0.16) \%$	0.50%
²² Na (511 keV) (※)	$(1.68 \pm 0.04) \%$	0.77% (※)
¹³⁷ Cs (662 keV)	$(1.28 \pm 0.02) \%$	0.67%

⇒ MPPC増設して, 有効面積を増やして, もっと高いQ値での評価を!!

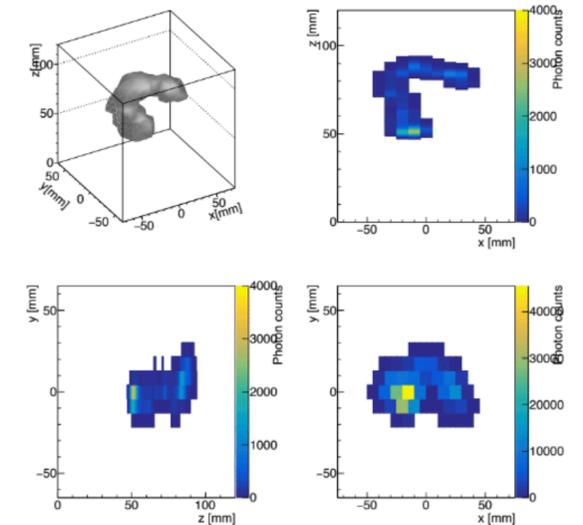
(しかしMPPC増設以外にもいくつか課題はある)

Phase-1での結果 Xe-5bar

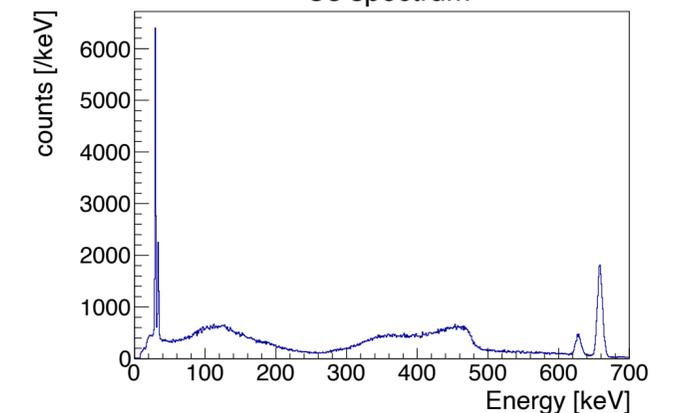
エネルギー分解能の評価



137Cs (662keV) ガンマ線の飛跡



137Cs (662keV) ガンマ線スペクトル ¹³⁷Cs spectrum



	$\Delta E/E$ (FWHM)	@Q-val. (extrapolating with \sqrt{E})
K_{α} (29.68 keV)	$(4.38 \pm 0.07) \%$	0.48%
K_{β} (33.62 keV)	$(4.24 \pm 0.16) \%$	0.50%
²² Na (511 keV) (*)	$(1.68 \pm 0.04) \%$	0.77% (*)
¹³⁷ Cs (662 keV)	$(1.28 \pm 0.02) \%$	0.67%

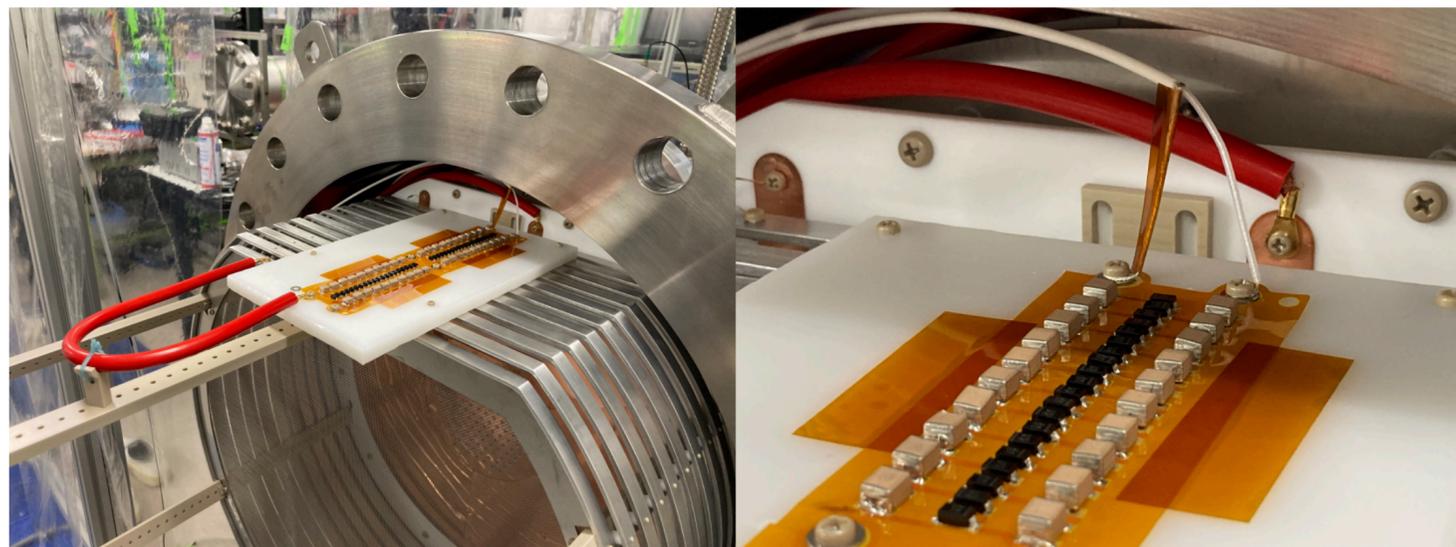
(* β^+ 対消滅時の重心系運動量によってモノクロではないらしい)

⇒ MPPC増設して, 有効面積を増やして, もっと高いQ値での評価を!!

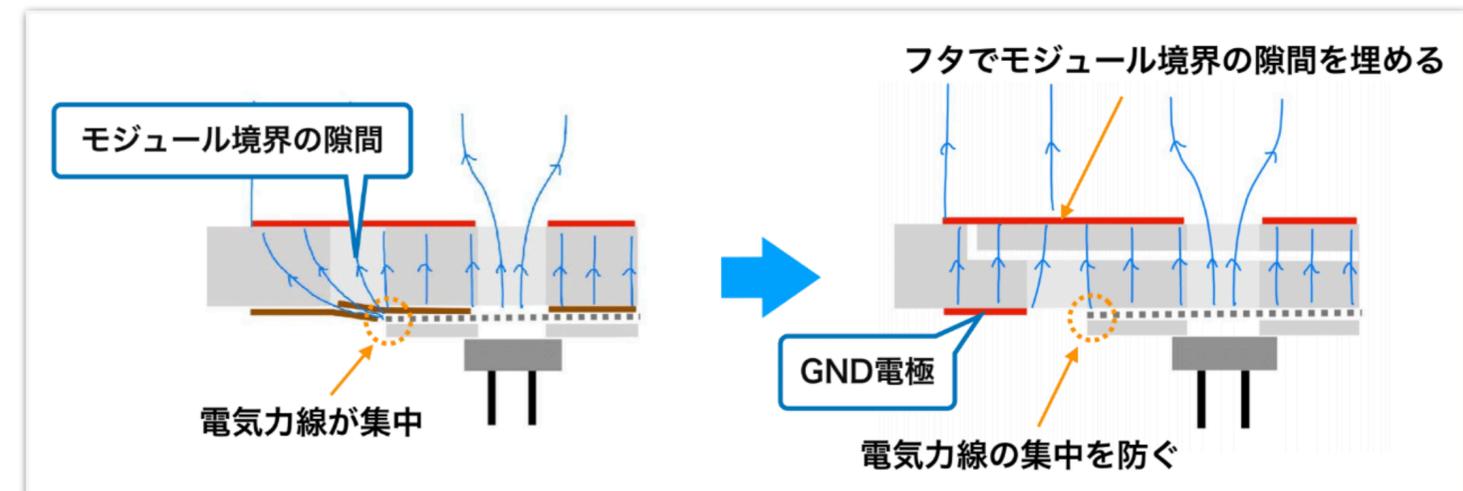
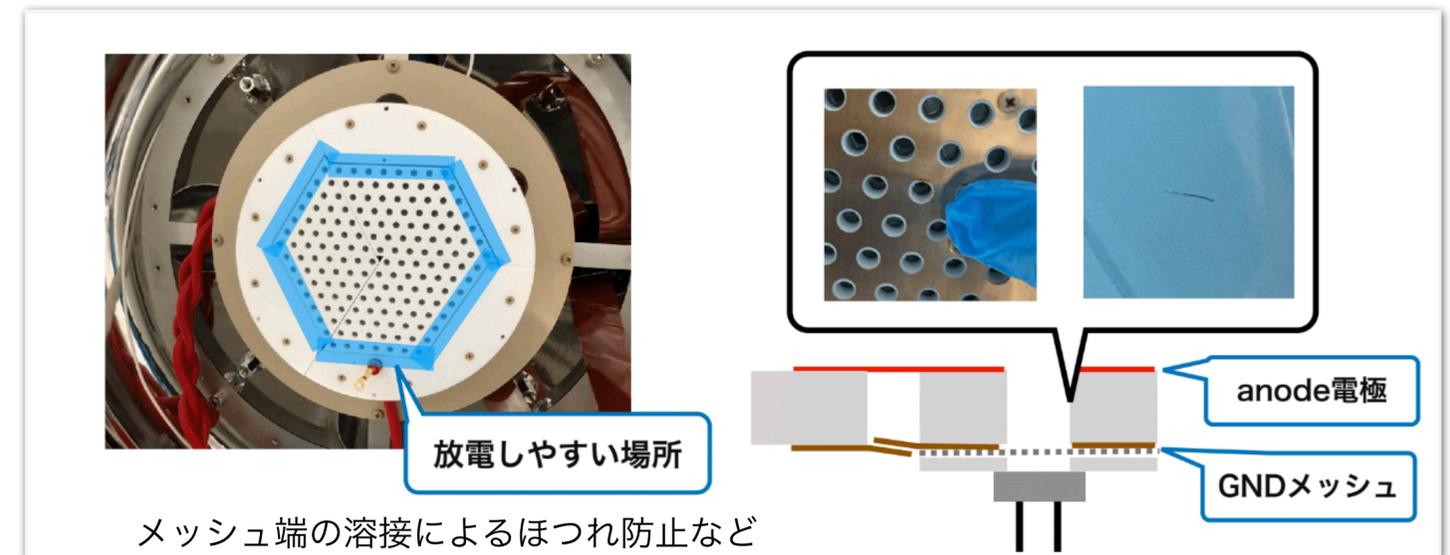
(しかしMPPC増設以外にもいくつか課題はある)

放電対策とCW回路の導入

- Phase-1測定時では5.5barにあげるとモジュール境界で放電があった (目標~8bar)
- ELCCの構造を見直して対策
- コッククロフトウォルトン回路の導入試験 (普段は直流電源)
- 回路上での放電とかもあったけどなんとか修正
- 6.25bar下で $E_{EL}=3\text{kV/cm/bar}$, $E_{\text{drift}}=100\text{V/cm/bar}$ を実現
(8barにしないのは、手持ちのキセノンが足りないから)
- (Xeガス中で初めてCWを動かした?)

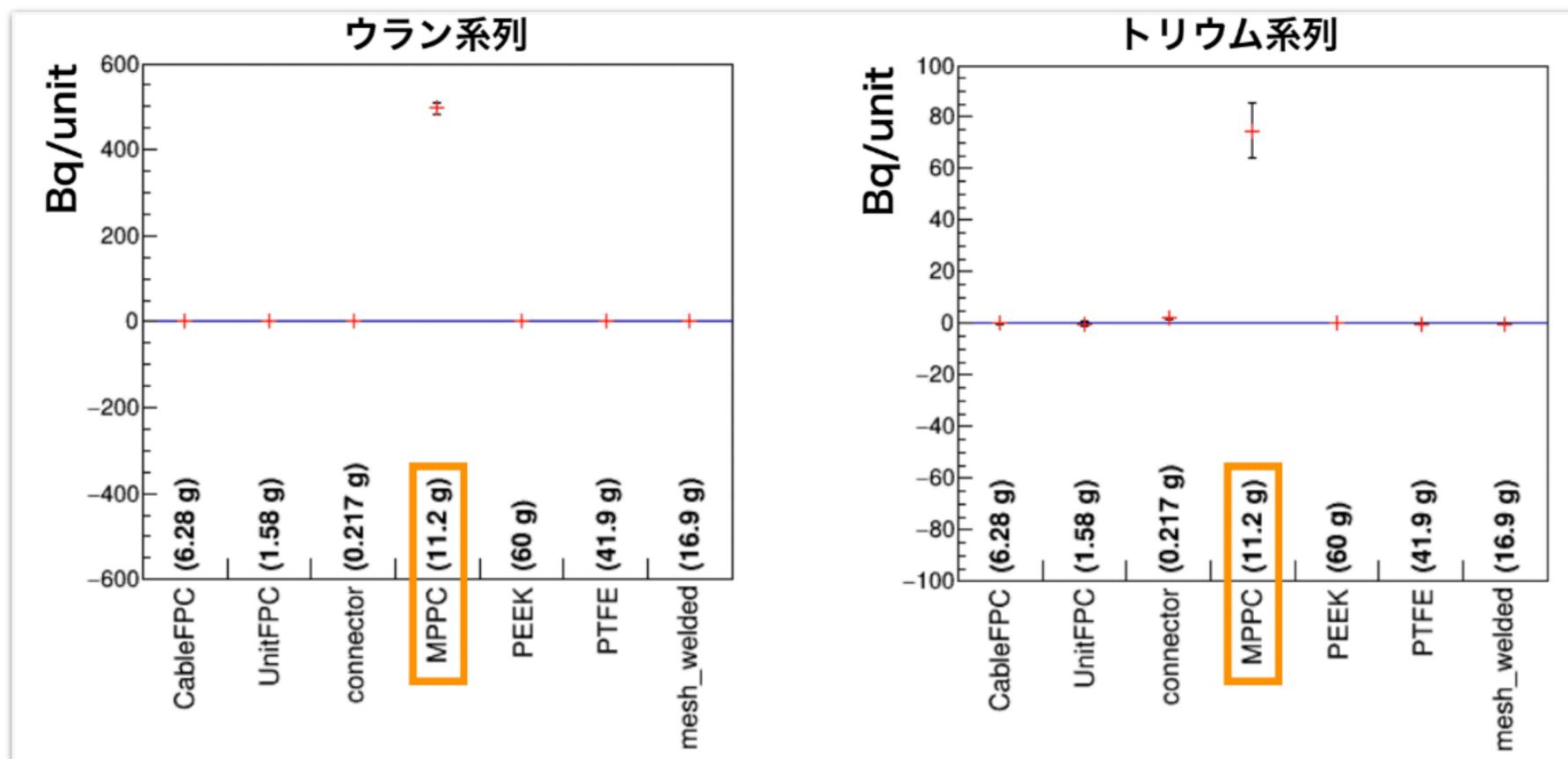


100MΩ×20個



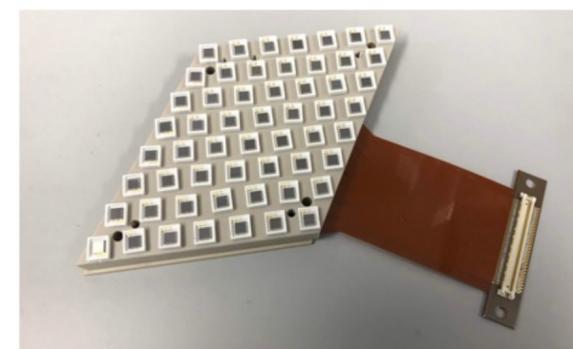
Background測定

- 新学術極低放射能班に協力依頼
- Ge検出器でいくつかの部材を測定 (一部 AI-CHANでも測定)
- (今年度はICP-MSでも測定したい)
- MPPCのセラミックパッケージがやはり汚いので, 浜松ホトニクスと協議中 (パッケージ素材をPEEKに変更? これは地上測定には間に合わないか?)
- 放射能DB (今はまだメンテナンス中?) でアルミは汚いとわかったので, フィールドケージの素材をアルミ→銅に変更

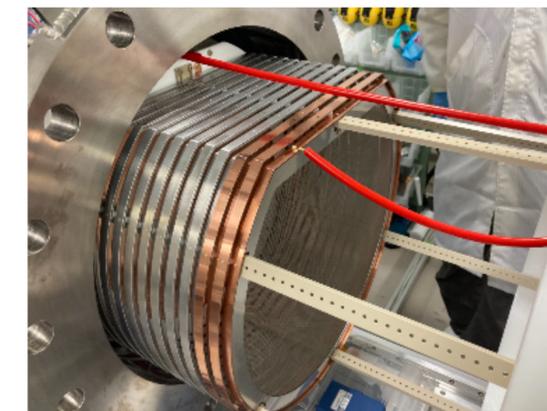


一番SeriousなのはSUS容器

ELCC-1unit



フィールドケージ

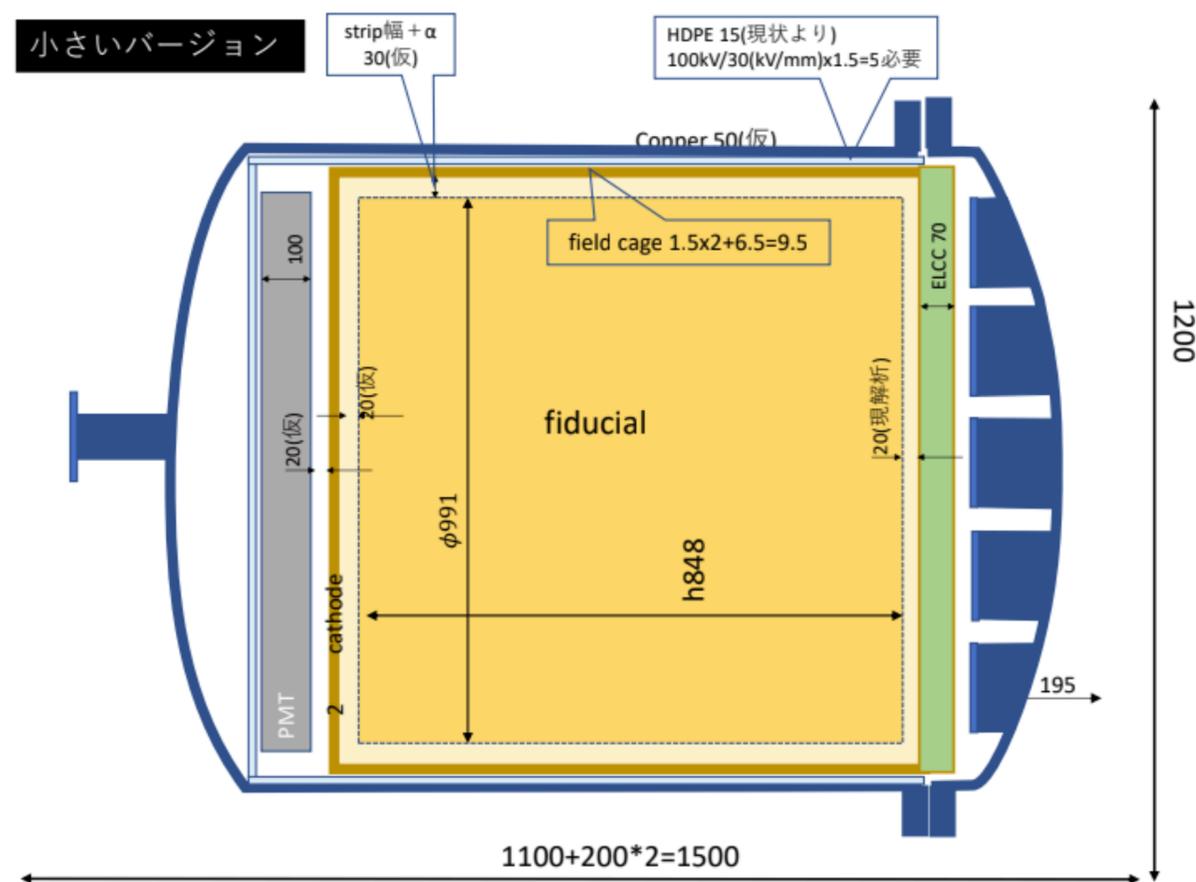


神岡地下実験へ向けて

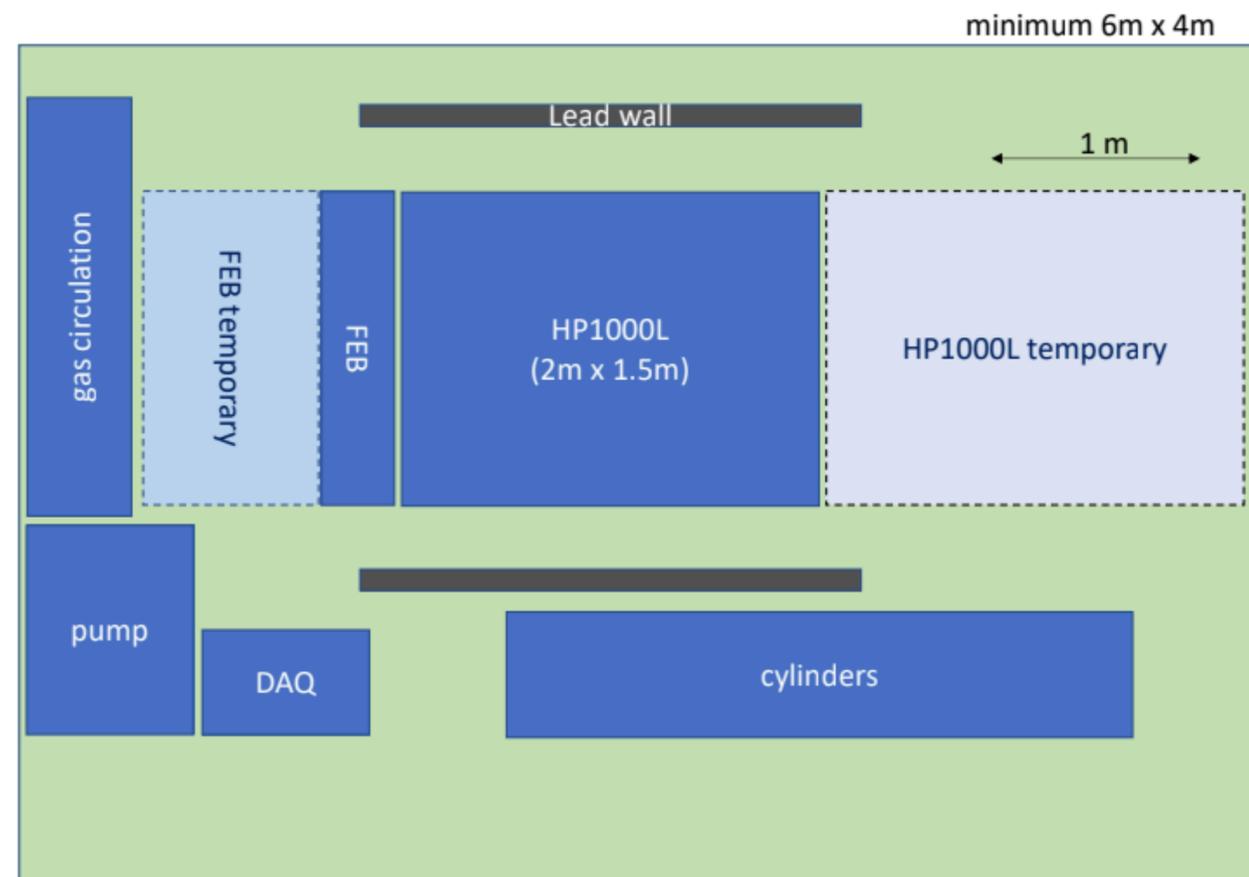
- 京都大学でのR&Dを通して, 問題点の明瞭化と解決を着実にこなしている
- 次は**低放射能化**を施して**地下で測定**を行いたい
- エレキが56ch/boardなので64ch化したい
- 設置場所は交渉中
- SUSでBGの低いものってあります...? (NEXTが <math><0.5\text{mBq/kg}</math> 位のを使っている)

将来的には更に大型化
BaTag/10ton/10yr \rightarrow 1meV?

地下測定で
BG $\sim 0.2\text{evt/yr}$
 $T > 1e+26\text{ yr?}$



Xe-1000L (数十kg?) を保持するサイズを想定



例えばこんな感じ... という配置, 実際には設置場所が決まったら穴径に合わせて再考

Summary

- 高圧キセノンガス検出器 AXEL を京都大学で開発中
- ^{137}Cs (662keV)まで評価できた @ Phase-1
- 有効面積拡大中 (168ch \rightarrow 672ch); 分解能評価 && 飛跡取得 with ^{60}Co , ^{88}Y
- 放電もあるが, ELCCを改良しながら進めている
- CW回路導入に成功

- たまたま東北大学に多く異動してきたので, 今後は東北大学でも一部開発を行っていく予定

backup
