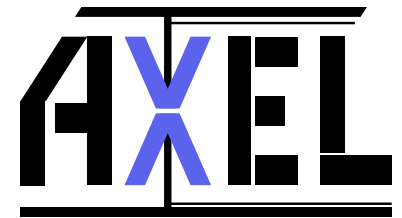


高圧XeガスTPC AXELのための ドリフト電場形成

京大 D1 吉田 将
for the AXEL Collaboration



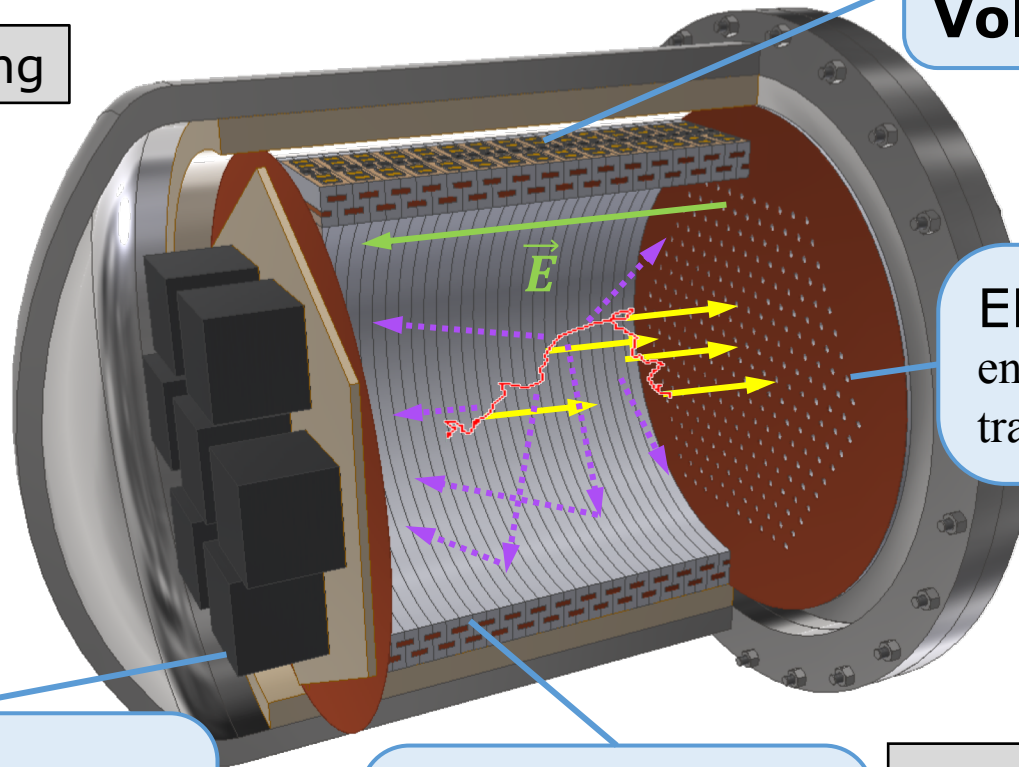
2018/11/09
二重ベータ崩壊若手研究会@京都大学

AXEL検出器

AXEL = **A** **X**enon **E**lectro**L**uminescence detector

…高圧XeガスTPCを用いた $0\nu\beta\beta$ 崩壊探索実験。

Concept Drawing



**Cockcroft-Walton
Voltage multiplier**

ELCC
energy measurement &
tracking

PMTs
for time-zero signal of TPC

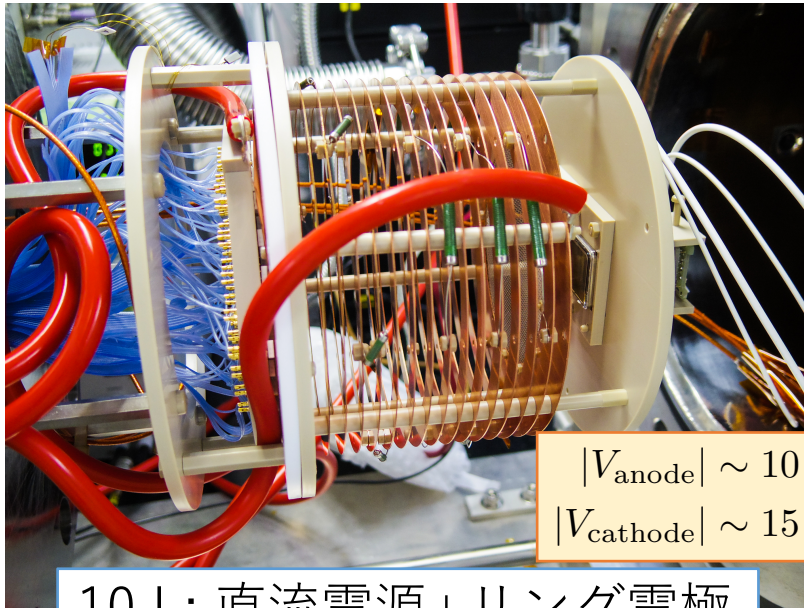
Drift field cage

—▶ : Drifting electrons
- - -▶ : Scintillation photons

ドリフト電場形成

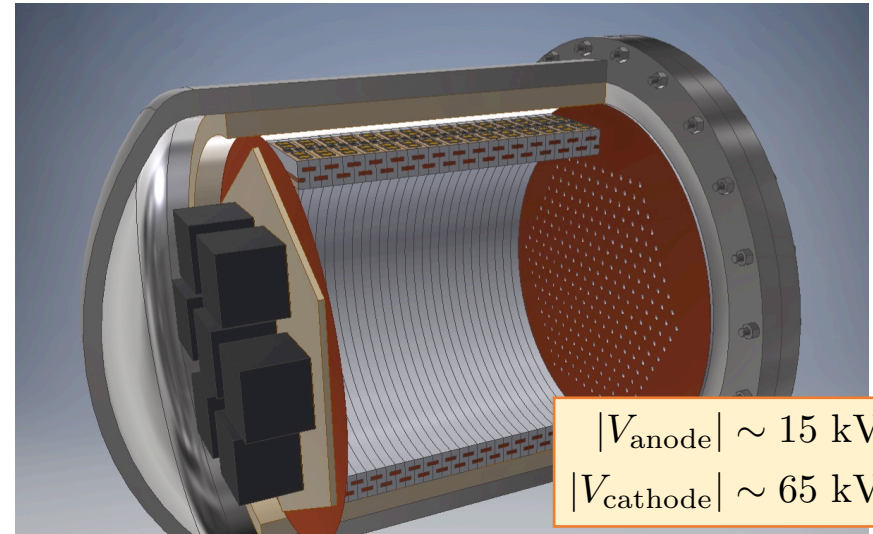
- エネルギー分解能を高く保つため、電離電子の再結合を抑えたい。
⇒ **強いドリフト電場が必要。……100 V/cm/bar (1 kV/cm @10気圧)**
- 再結合の割合は電場強度によって変化。
発生位置による電離電子数のゆらぎを抑えたい。
⇒ **一様なドリフト電場が必要……±5%**

⇒ **高電圧+電場整形**



$|V_{\text{anode}}| \sim 10 \text{ kV}$
 $|V_{\text{cathode}}| \sim 15 \text{ kV}$

10 L: 直流電源+リング電極

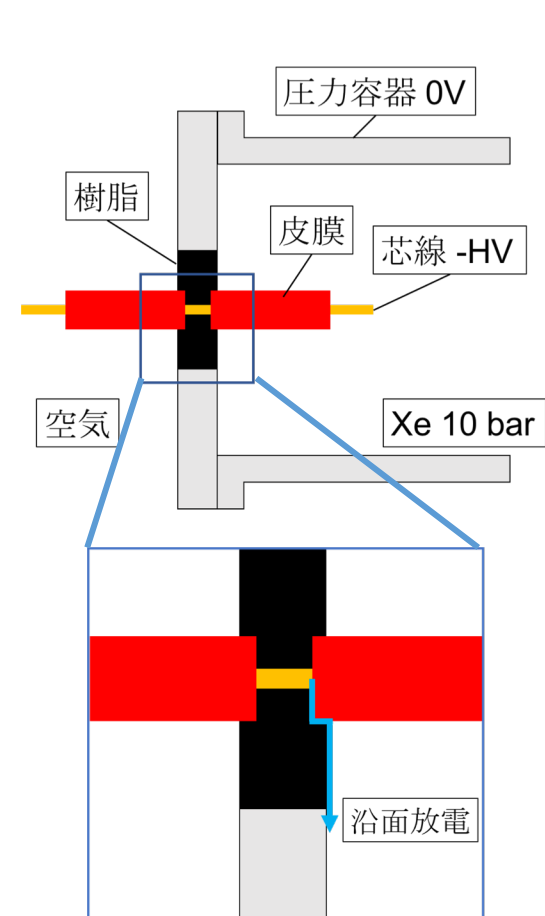


$|V_{\text{anode}}| \sim 15 \text{ kV}$
 $|V_{\text{cathode}}| \sim 65 \text{ kV}$

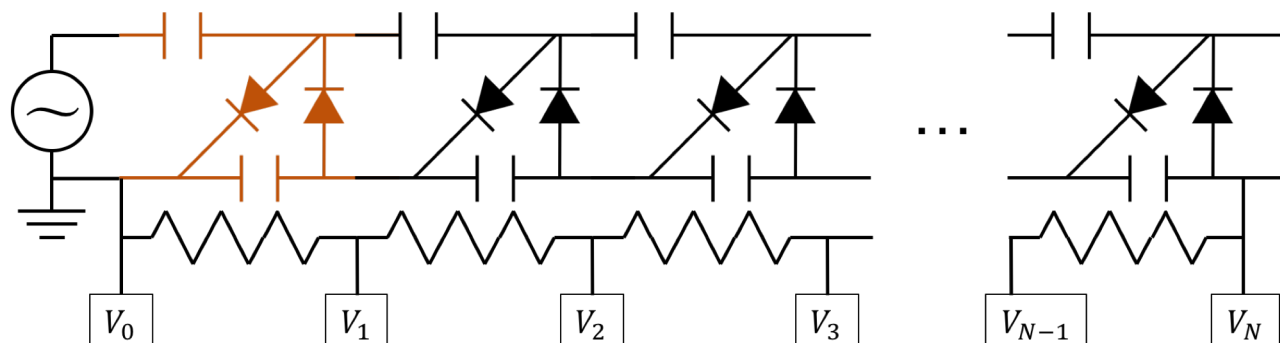
180 L: コッククロフト-ウォルトン回路
+二重帯状電極

圧力容器内への高電圧導入

- 180 L大型試作機で必要な高電圧(EL領域15 kV+ドリフト領域50 kV)を圧力容器内に直接導入すると放電の危険性が高い。



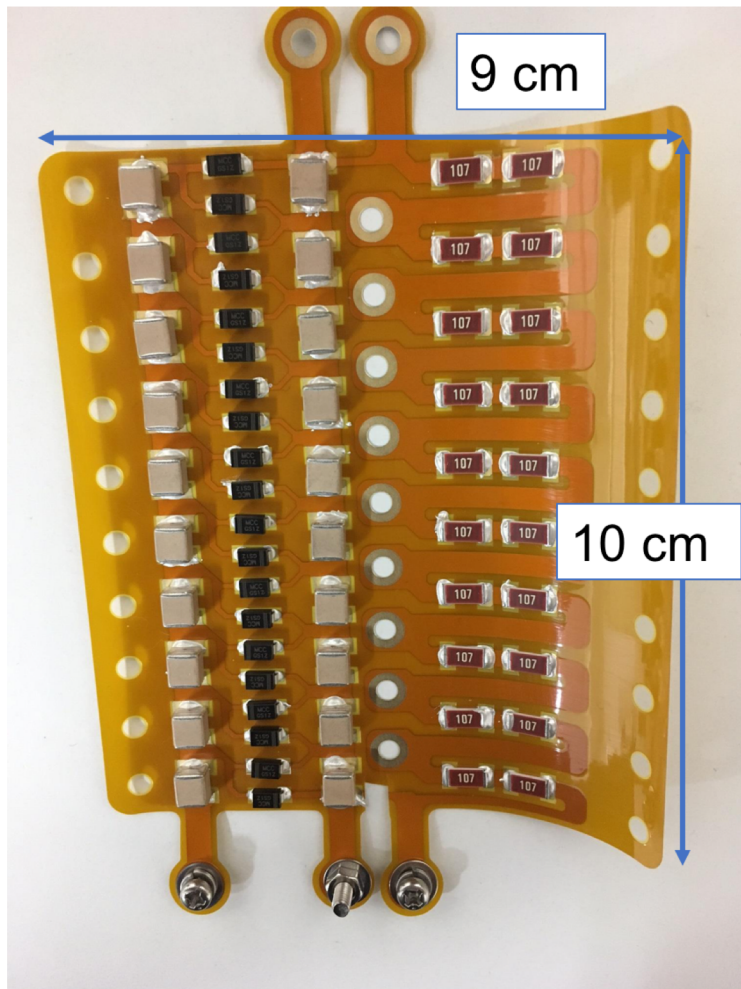
コッククロフト-ウォルトン(CW)回路により
容器内で昇圧



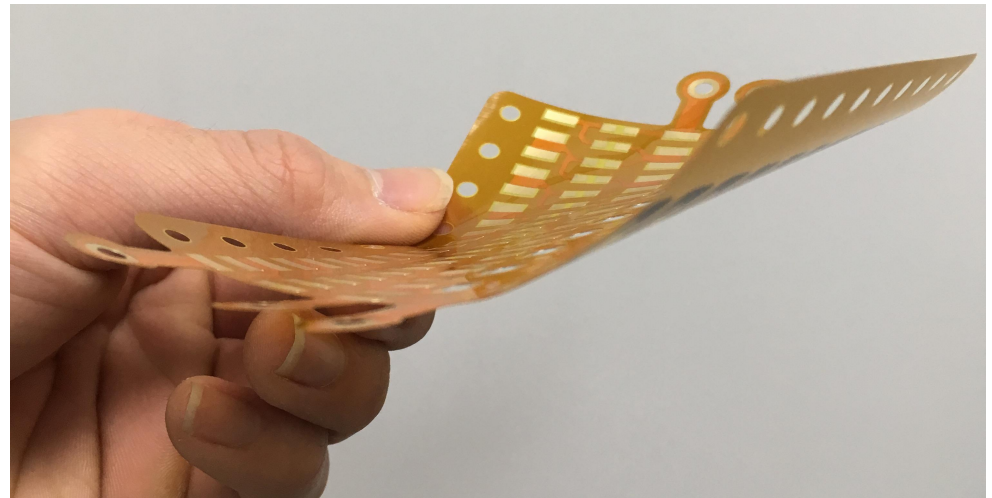
CW回路: 入力振幅 U に対して理想的には
 N 段で $2NU$ の直流を出力。
実際には負荷抵抗や寄生容量によって
電圧降下。

FPC製CW回路

- 低アウトガス素材かつコンパクトなCW回路
- 目標: 1 kV/cmの電圧増倍 \Rightarrow 10 cmで10 kV



- はんだ \rightarrow 真空用導電性接着剤
- ガラスエポキシ基板 \rightarrow FPC



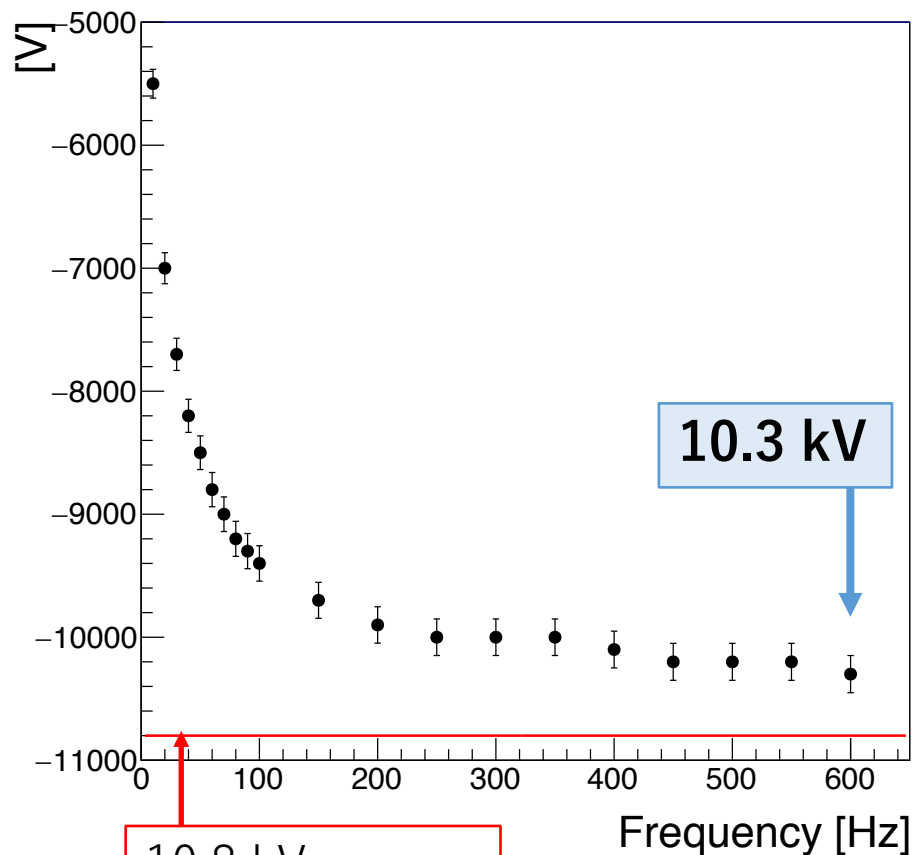
2018/11/09

二重ベータ崩壊若手研究会@京大

出力電圧の周波数依存性

- CW回路は入力周波数が高いほど出力が理想に近づく。

Output Voltage



振幅540 V・周波数600 Hzの入力に対して

10.3 ± 0.15 kVの出力を達成。

連続12時間の動作でも出力は安定。

目標電圧 10 kVを達成。
10 L試作機のドリフト領域の電源としてFPC製CW回路が使用可能。

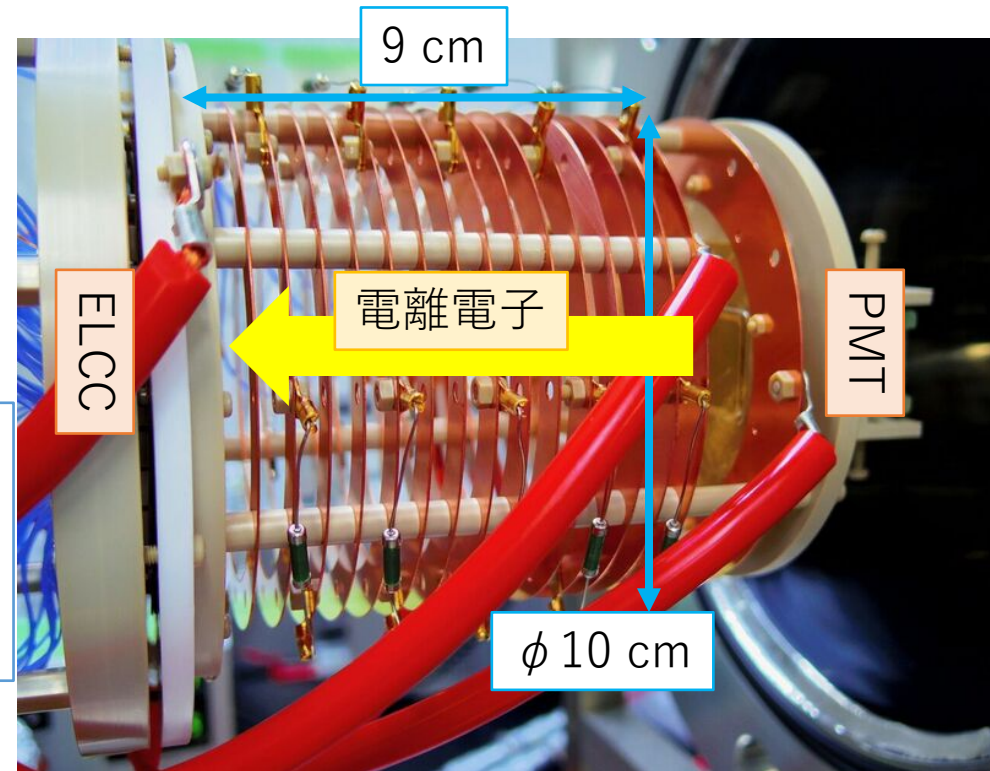
10.8 kV
(理想的な場合)

従来型フィールドドケージの問題点

- 銅リング電極。
抵抗分割で電位付与。
- 中空で横から支え、圧力容器内壁との間はXeガス層で絶縁。

大型化によって

- 支持部分の負担増。歪む可能性。
- 電圧増加。放電の可能性。
- PMT立体角減少。検出効率悪化。

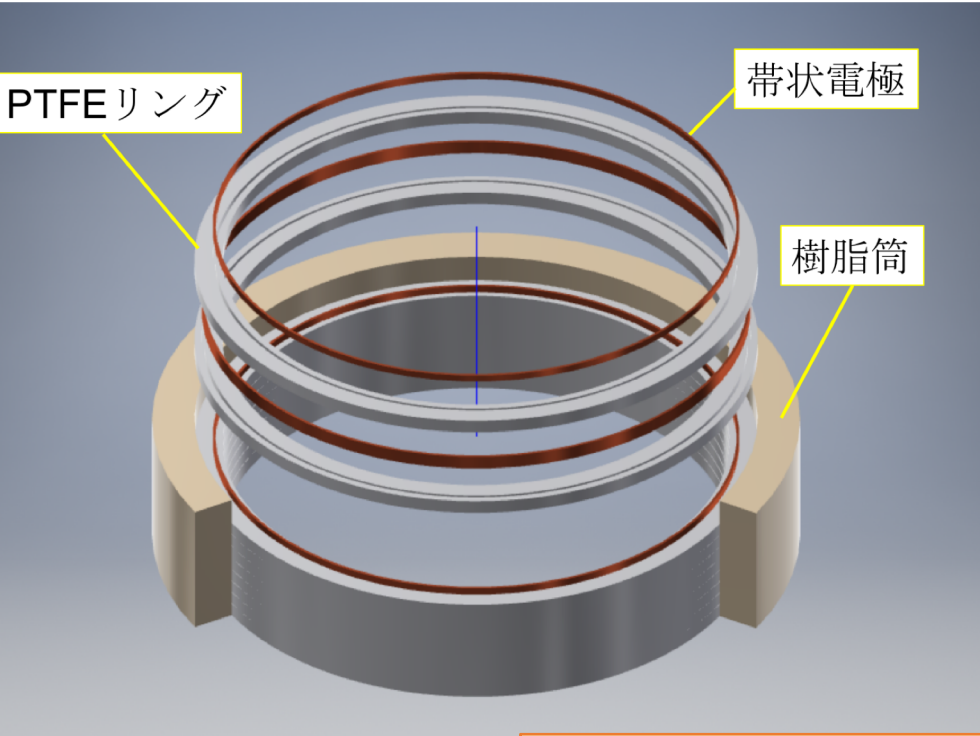


新しいフィールドドケージの要求性能、電場整形に加えて……

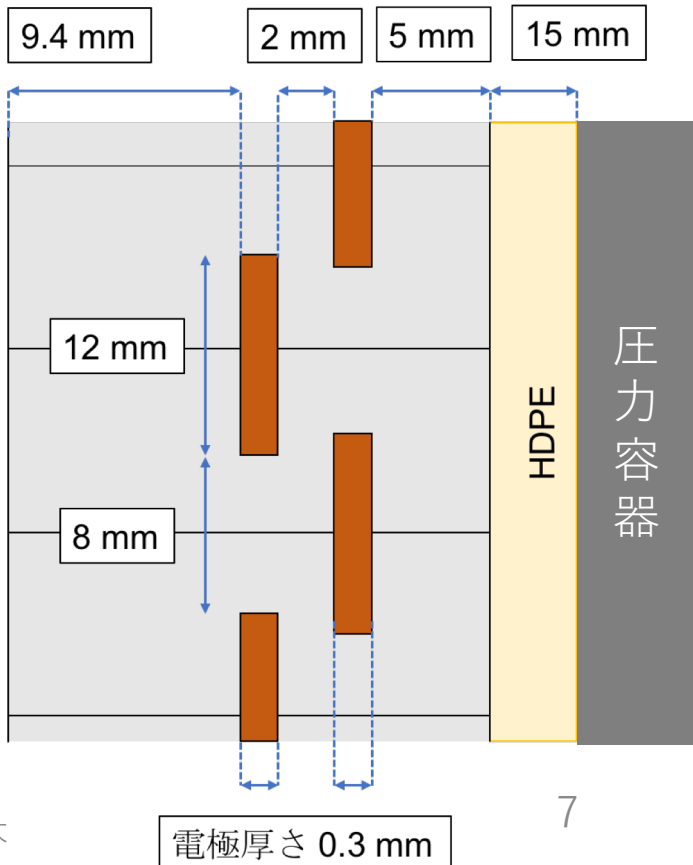
構造の安定性・放電耐性・(PTFEによる)シンチレーション光の反射

二重帯状電極埋込型フィールドケージ

- 圧力容器全体でフィールドケージを支えて安定化。
- 電場ゆがみの原因は接地されている圧力容器。
→ 半周期ずらした二層の電極で静電遮蔽しつつ電場整形。
- PTFE面から銅電極に至る切れ込みが存在することでチャージアップの素早い解消を狙う。

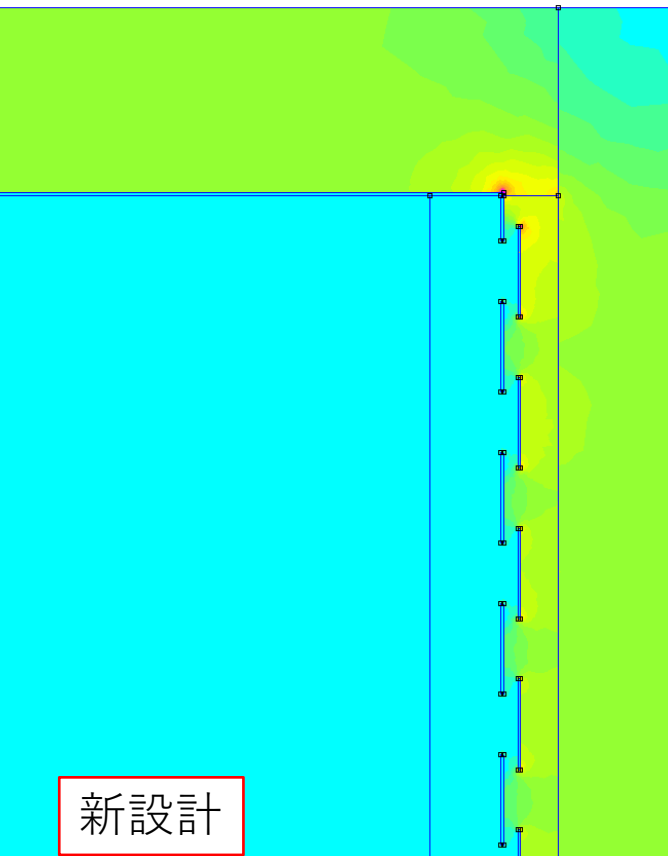


外径が圧力容器内径と一致



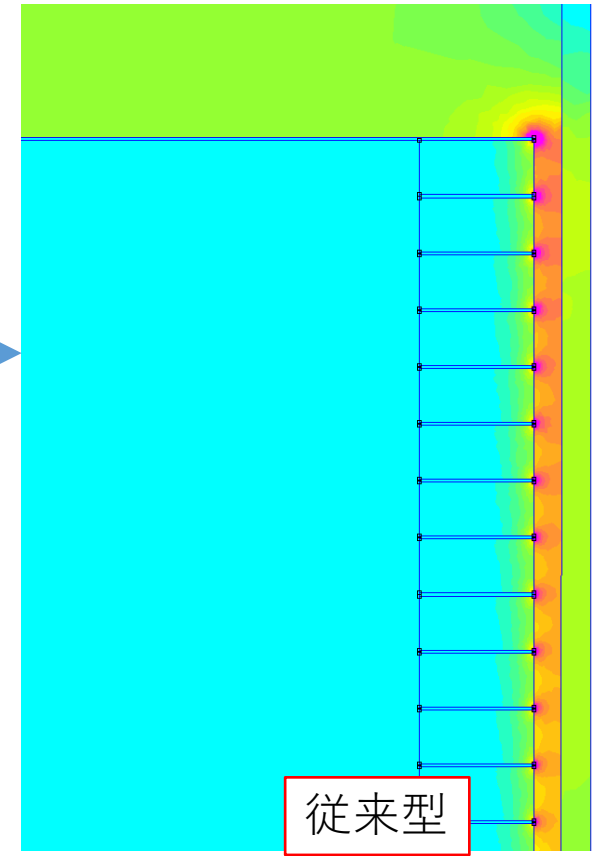
電場計算

- 有限要素法アプリケーションFEMMで電場計算。
- 圧力容器との間の電場が弱まる。→放電に強い。



圧力容器との間の
電場強度

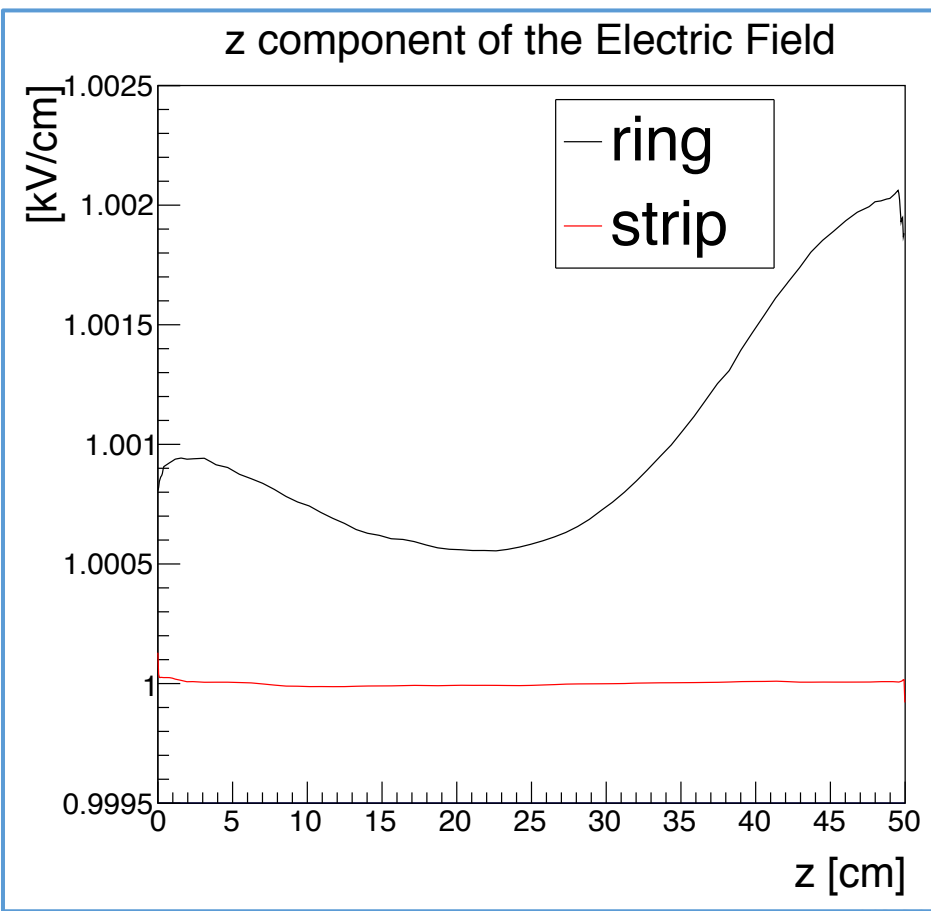
(1 kV/cm ± 5%領域を
同じ広さにした場合。)



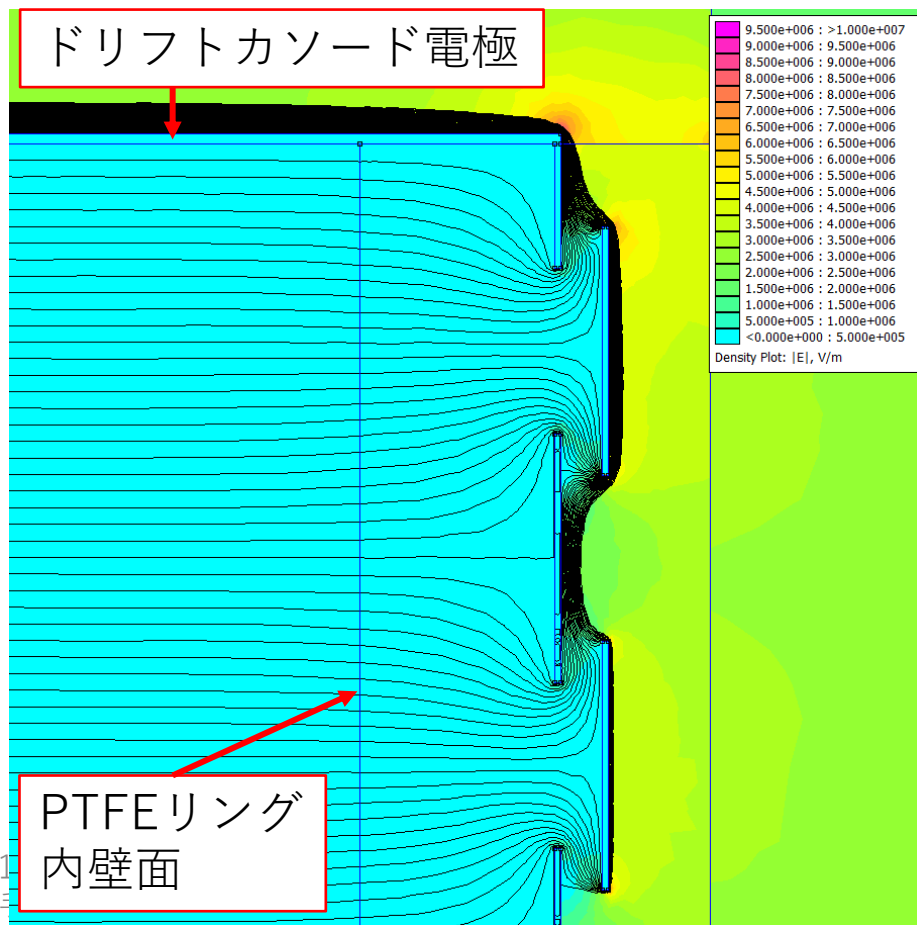
電場計算

- 中心軸上での電場は極めて安定。(2層の電極による静電遮蔽の効果。)
- 1 kV/cm \pm 5%は半径239 mmまで満たされている。(PTFEリングの3 mm内側)

中心軸上の電場のz成分



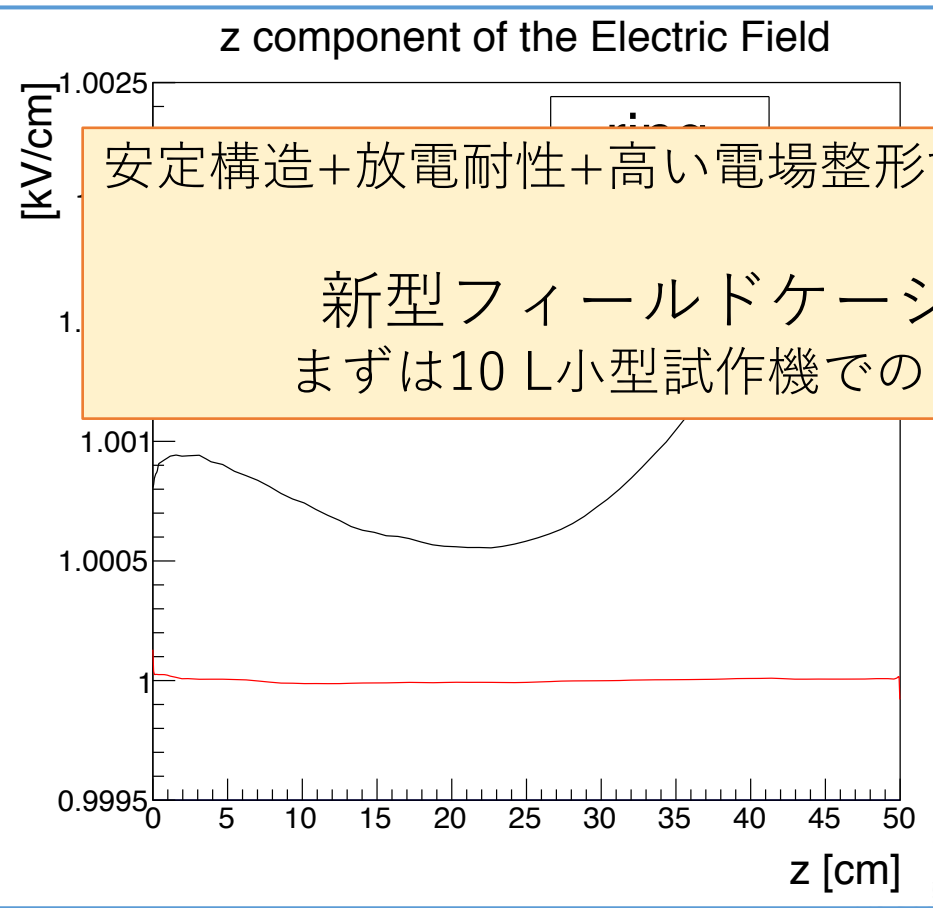
ドリフト領域上端付近の等電位線



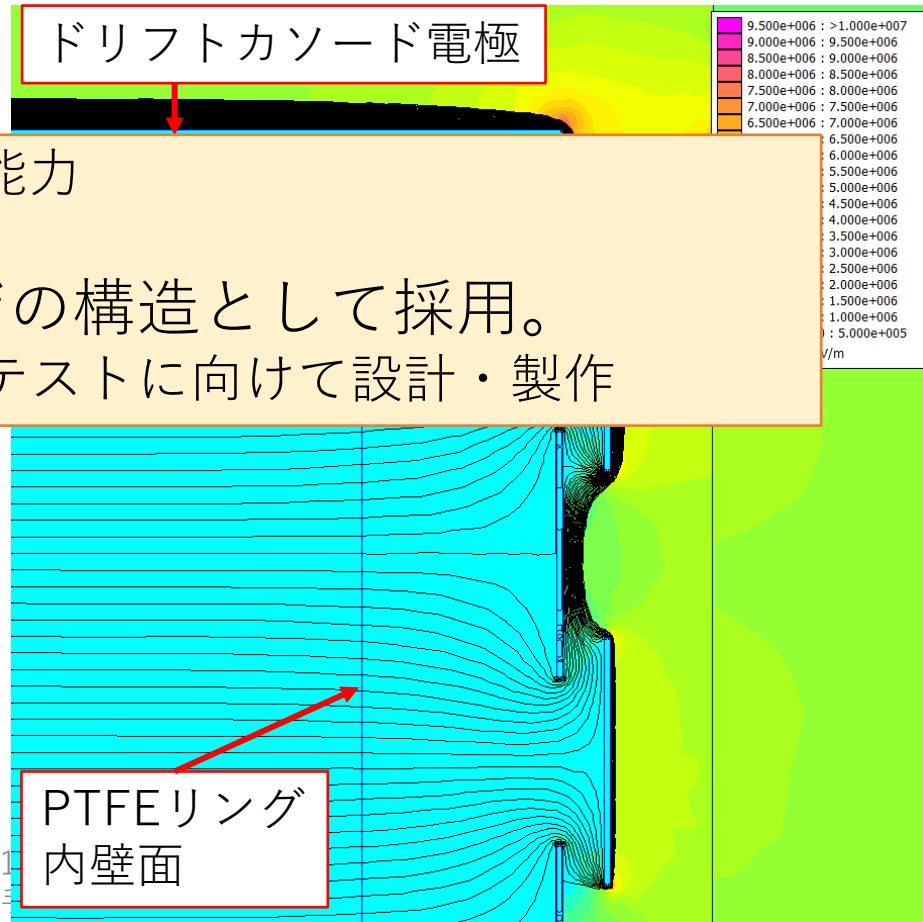
電場計算

- 中心軸上での電場は極めて安定。(2層の電極による静電遮蔽の効果。)
- 1 kV/cm \pm 5%は半径239 mmまで満たされている。(PTFEリングの3 mm内側)

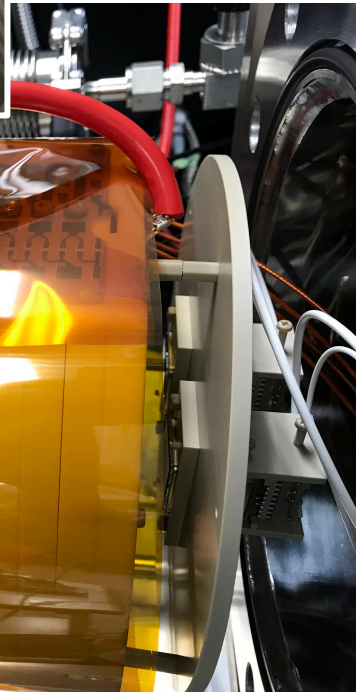
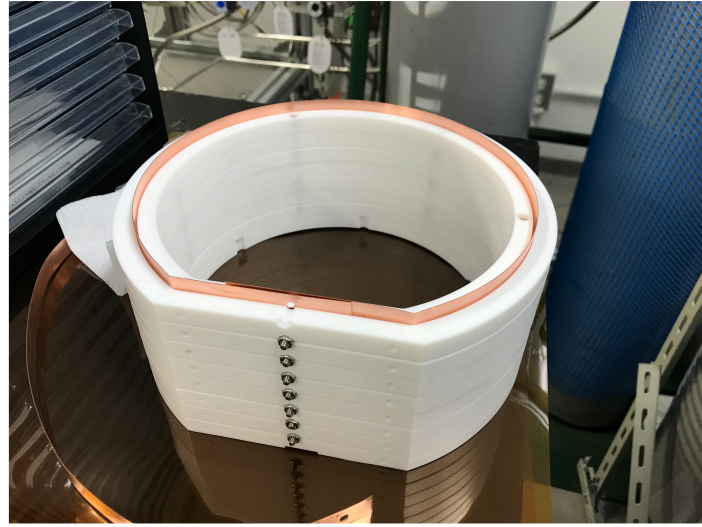
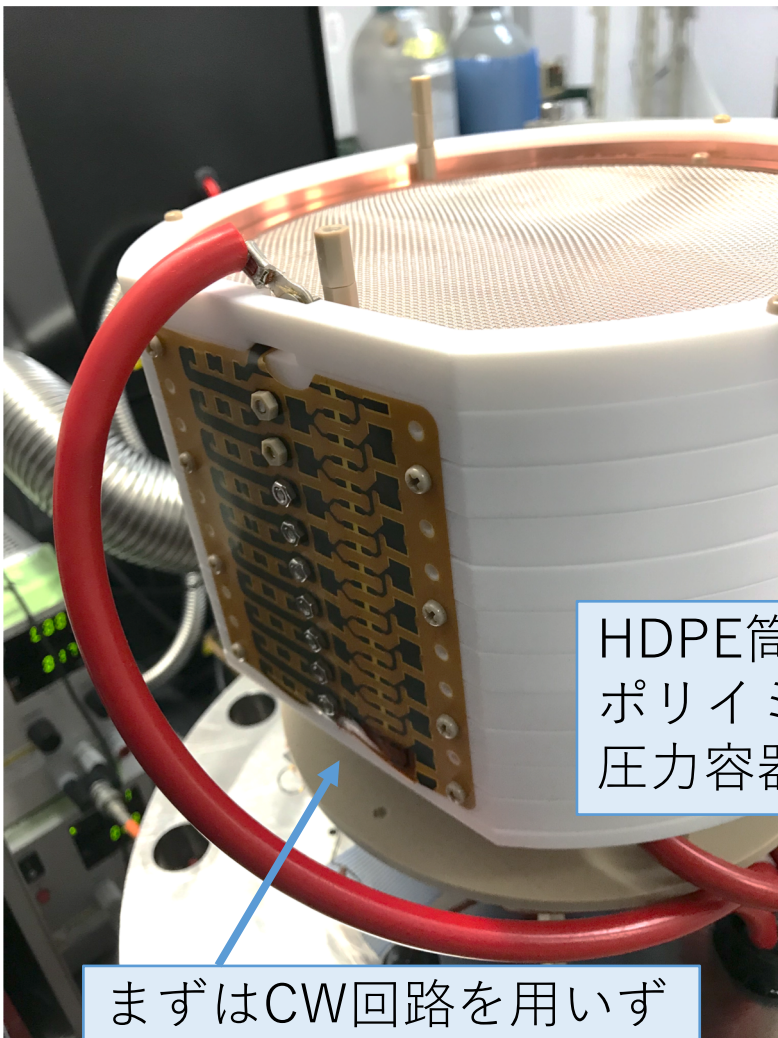
中心軸上の電場のz成分



ドリフト領域上端付近の等電位線



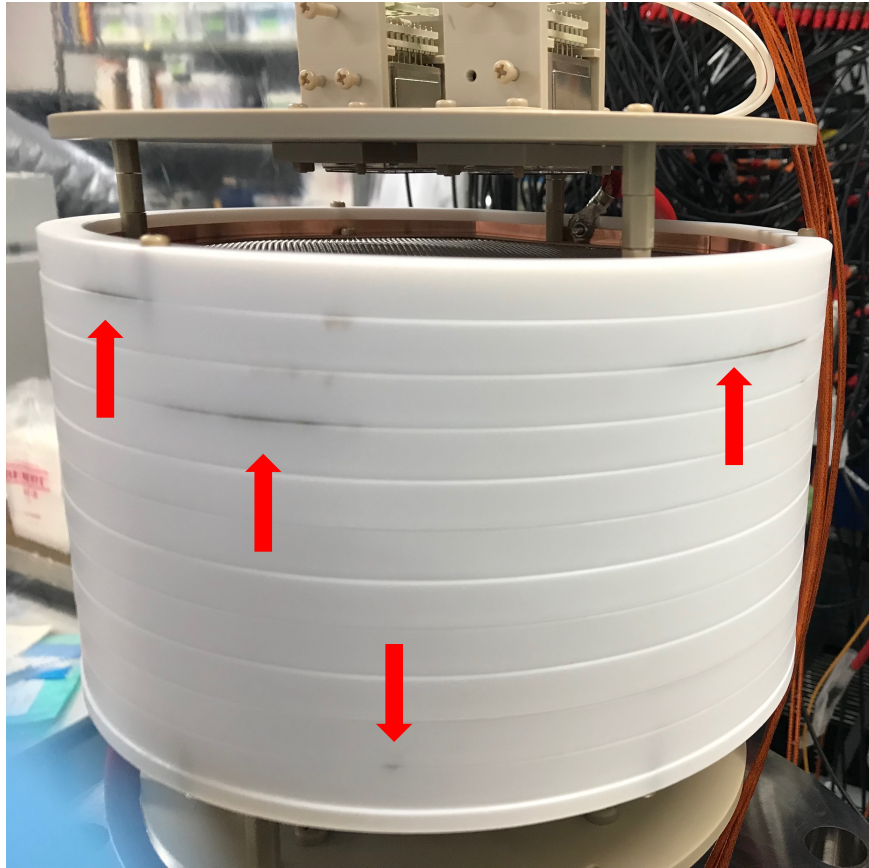
10 L試作機における試験



HDPE筒の代わりに
ポリイミドフィルムで
圧力容器と絶縁

まずはCW回路を用いず
直流電源+抵抗分割のみ

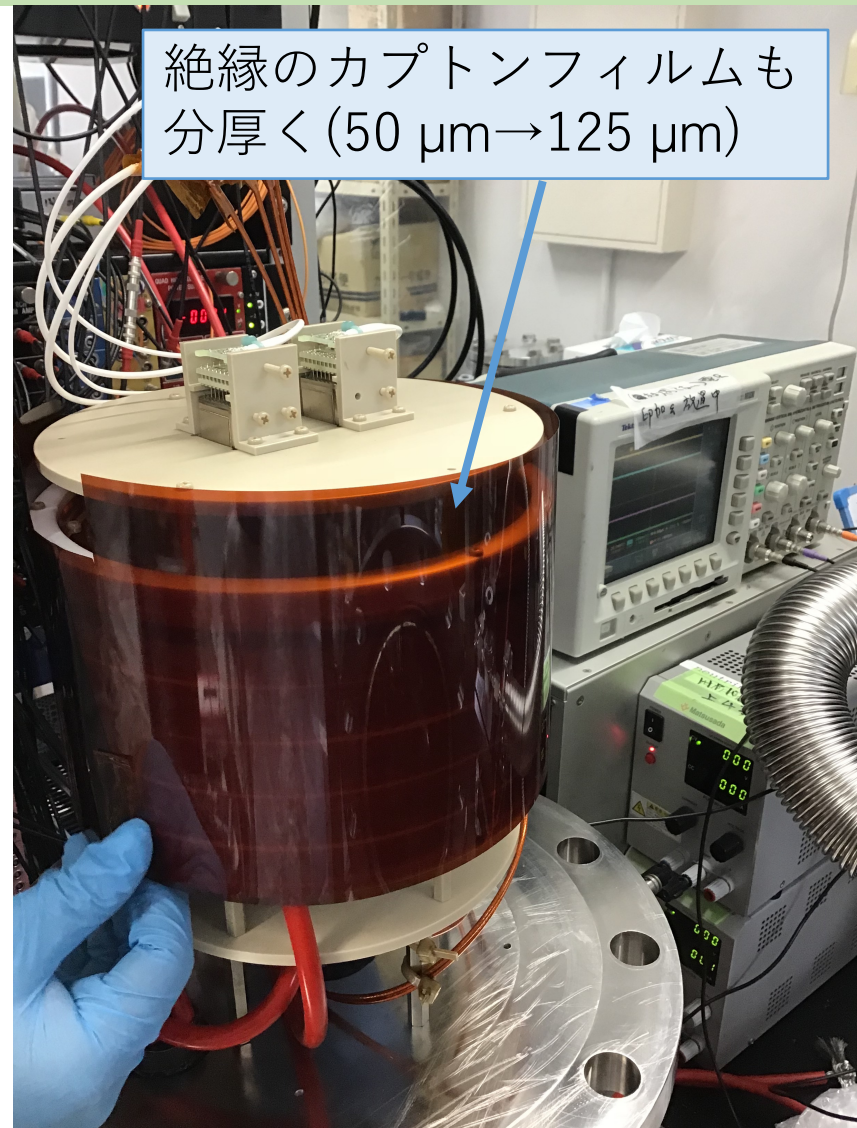
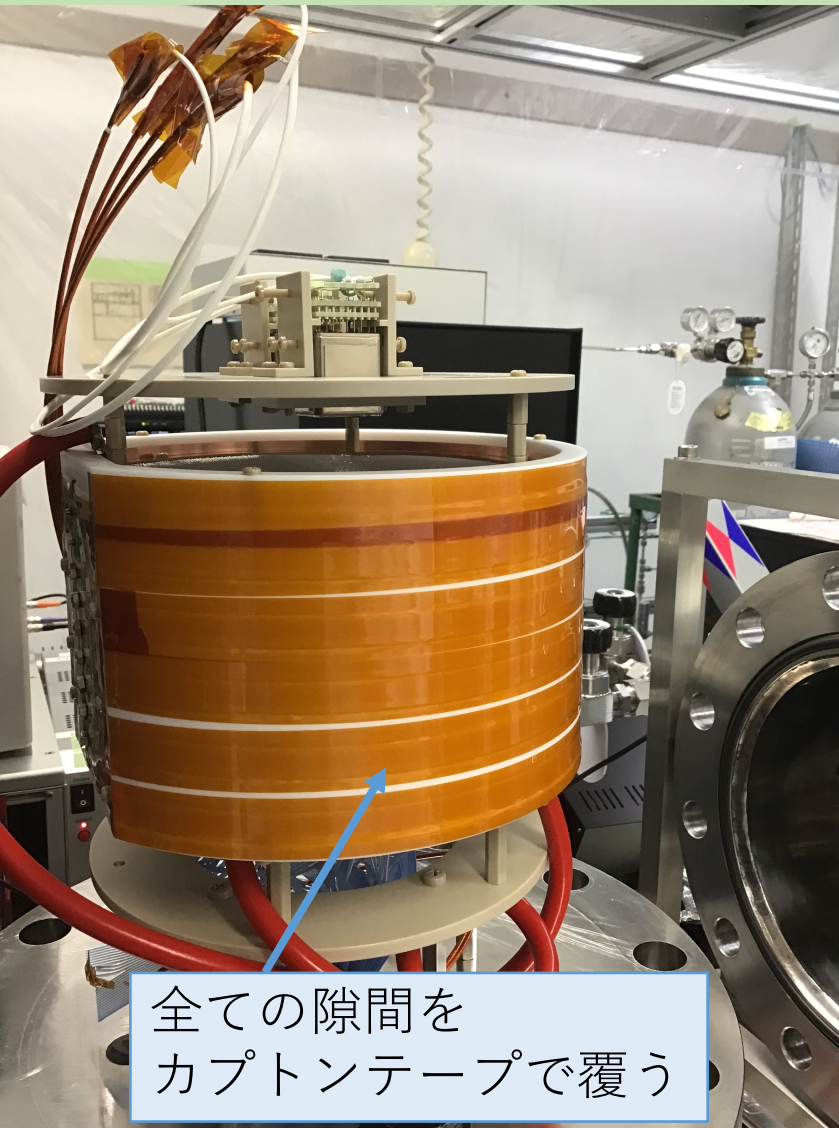
放電の発生



帯電極からPTFEの隙間を通り
圧力容器に向かう放電が複数



10 L試作機における試験(再トライ)

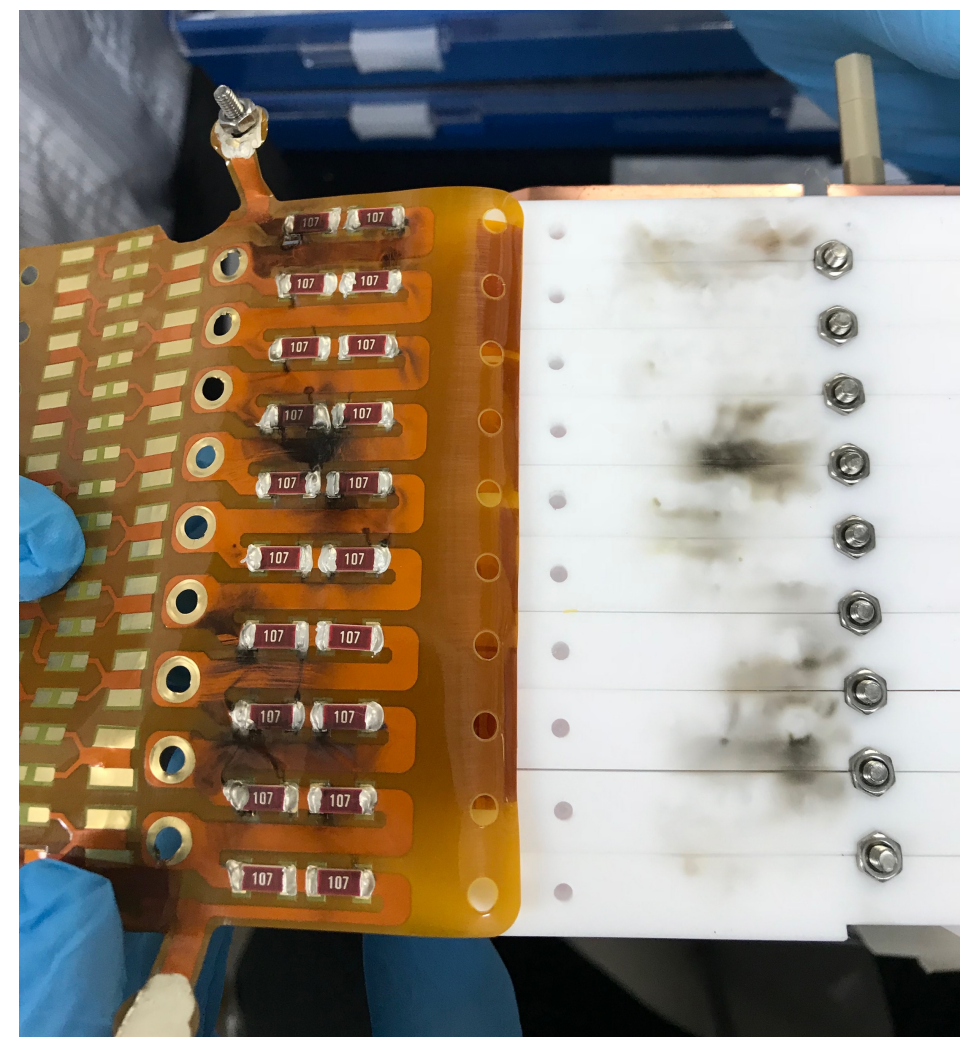


2018/11/09

二重ベータ崩壊若手研究会@京大

放電@FPC

- anode: -7 kV, cathode: -12 kVでFPC上の放電。Xe: 8 atm
- 今回はPTFEリングの隙間での放電は無い。→対策は功を奏している。



まとめ

- $0\nu\beta\beta$ 崩壊探索に向けた高圧XeガスTPC AXEL
- 100 V/cm/bar \pm 5%という、一様で強いドリフト電場が必要。
- 内部高圧電源としてのコッククロフト-ウォルトン回路を試作。
FPCを用いて**低アウトガスかつ安定な10 kV電源を実現**。
- 広範囲に一様で強い電場を作りつつ、
**構造安定性・放電耐性・シンチレーション光反射性のある
新しいフィールドケージを設計**。
- 小型試作機において運用試験を行った。
放電があったものの対策可能であり、これを踏まえて新たに
設計・開発を進めている。