

暗黒物質探索のための方向感度を持つ 高圧キセノンガス検出器の開発

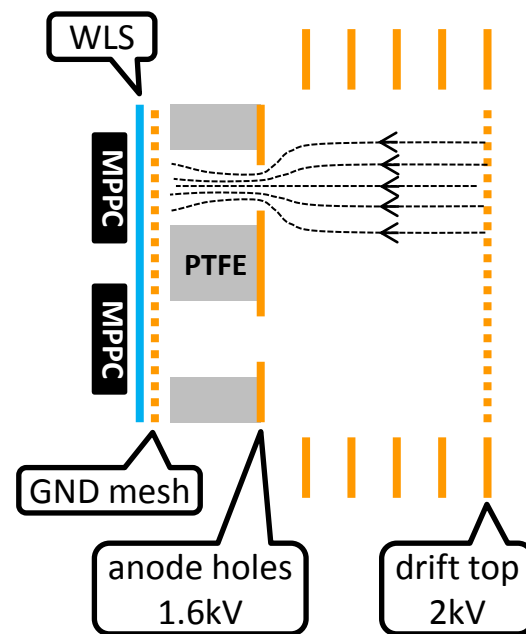
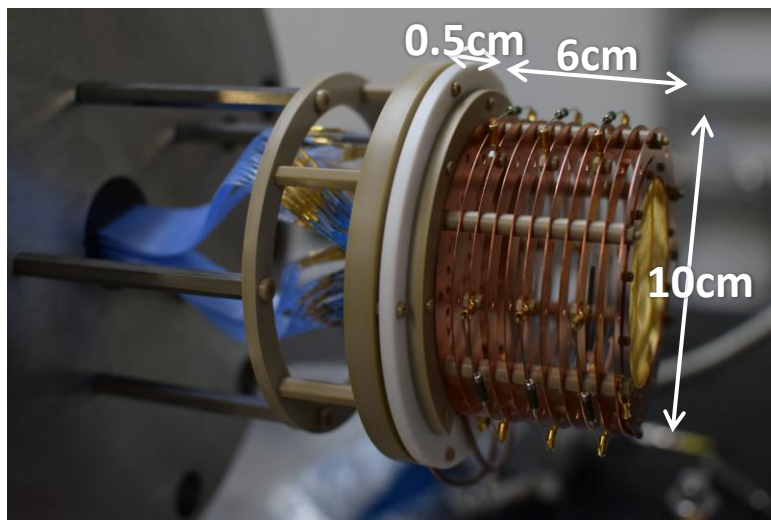
中村輝石(市川代理) | 京大理

AXEL実験

A Xenon ElectroLuminescence detector

- 高圧キセノンガスTPC
 - 高エネルギー分解能: 0.5%(FWHM) @2.5MeV
 - 大質量 : 1トン ($\phi 2 \times 1.6\text{m}$, 30atm)
 - トラッキング : pixel readout (7.5mm pitch)

- 試作機で試験中



- いつもは $0v\beta\beta$ の話ですが、今日は暗黒物質です

方向感度のある暗黒物質探索

- 到来方向異方性という強い信号が得られる
- (原子核の反跳方向を捉えるのは容易ではない)
- 方向感度のある暗黒物質探索
 - 低圧ガス検出器: DRIFT、NEWAGE、DM-TPC、MIMAC、D3
 - エマルジョン: 名古屋NIT
- 求められているもの
 - 質量(今は10~150g程度)
 - SI感度(ほとんど ^{19}F 、重くても ^{32}S)

高圧キセノンガス検出器

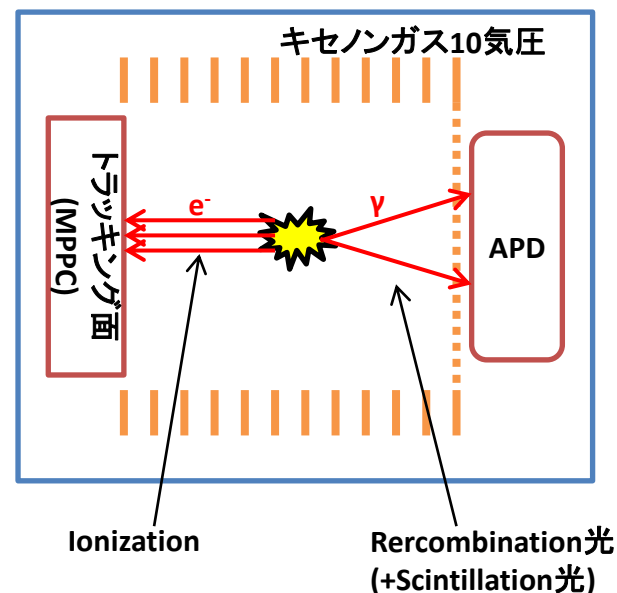
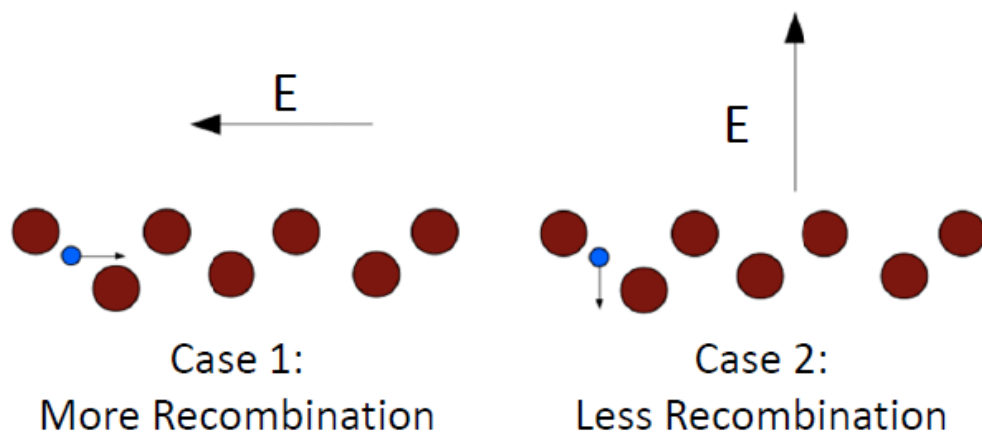
- 電場と飛跡の角度により、再結合の光量が変わる可能性あり

J. Phys. Conf. Ser. 460 (2013) 012006

- 得られる信号

- シンチレーション光 + 電離電子数 \Rightarrow エネルギー
- シンチレーション光 / 電離電子数 \Rightarrow 天頂角

- (うまくいけば) 大質量 + 方向感度 + SI

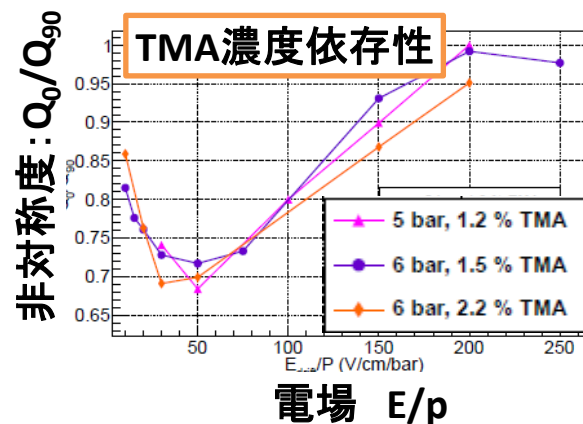
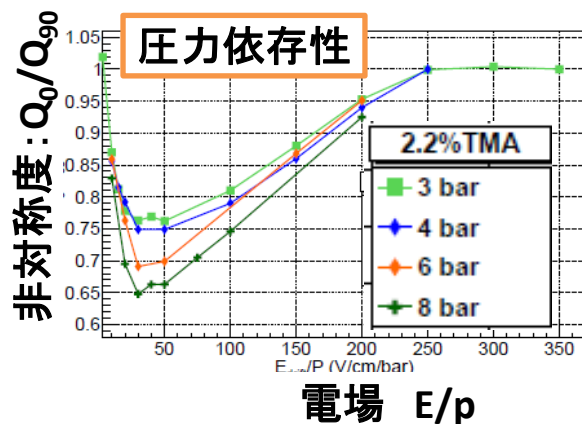
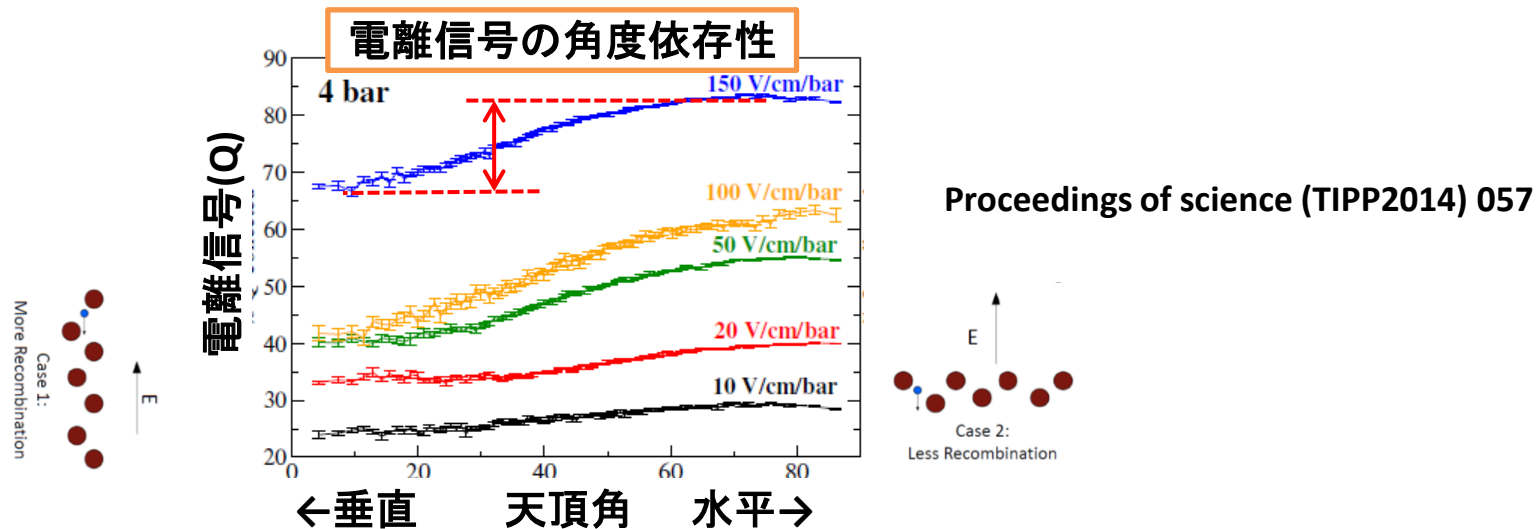


問題点

- 方向感度を持つかどうかが肝(低エネルギー原子核反跳)
 - 数MeVの高エネルギーでは実証あり ⇒次ページ
- 再結合光が弱いと、光/電荷の角度依存性が悪化
 - 一次シンチレーション光ですら3500photon@100keV
 - フォトカバレッジとPDEをかけると10～100photon

先行研究

- 電離信号の角度依存性が見えている(5.4MeVの α 線)
- TMA濃度依存性はあまりない(ペニング効果で励起Xe \Rightarrow 電離)

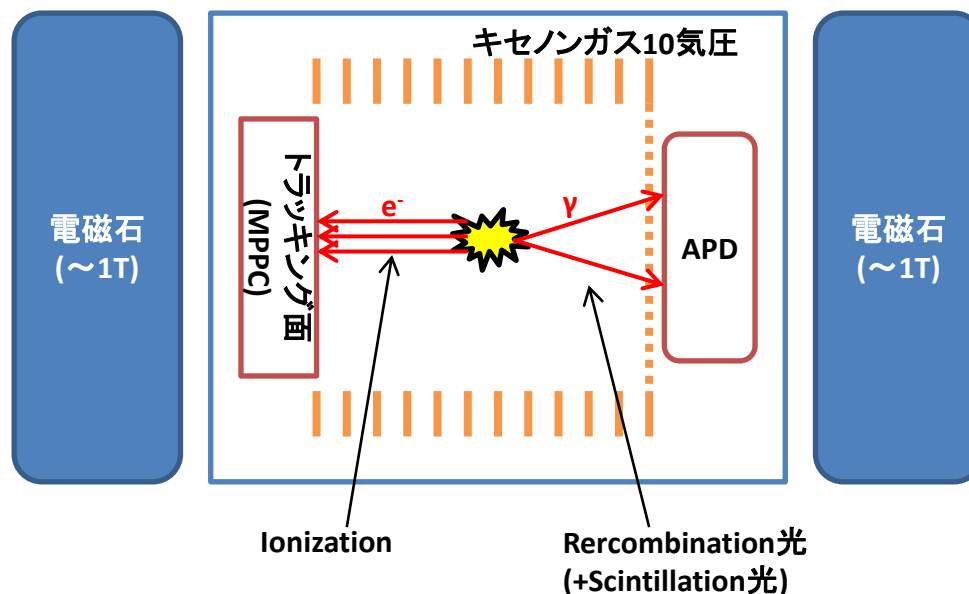


戦略1: 磁場

- 磁場で電離電子を局在化 ⇒ 再結合率up

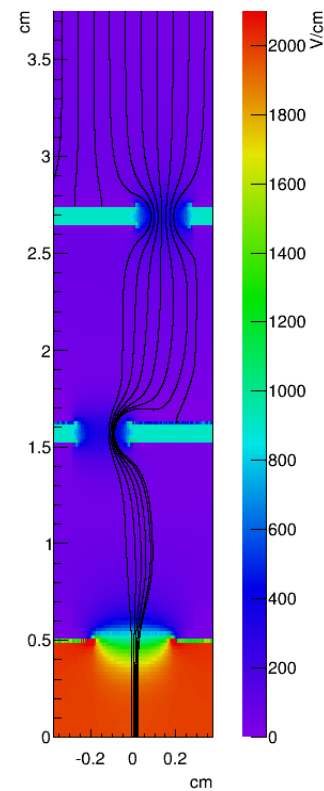
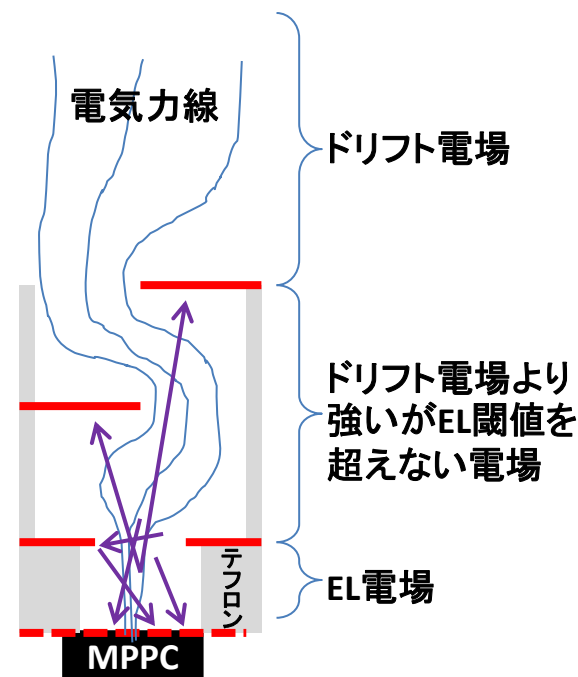
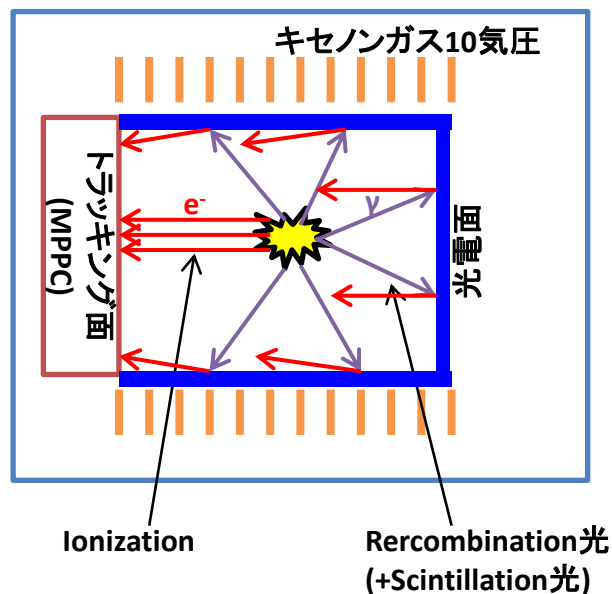
- ローレンツ力による回転運動
- 横方向の電子拡散を抑える
- まじめに計算するなら分子シミュレーションなど
- 最初は0.1T@神戸、それを踏まえて数T@KEK

回転半径: 3.4 μm (1T, 1eV)
反跳飛跡: 3.7 μm (100keV, 10atm)



戦略2: 壁光電面

- 壁と天井に光電面を置き、電子をドリフトさせて読む(ガスPMT)
 - 紫外線の光電面: CsI、QE=20% (バイアルカリよりは楽)
 - イオン・脱励起光フィードバック: EL読み出しなら起きない
 - EL光フィードバック: 電場構造を工夫する
- 検出光子数: ~ 700 photon@100keV



戦略2: 壁光電面

- cernのALICEやCOMPASSで**大型CsI光電面**の実績あり

The radiator trays of the HMPID proto-2

The photocathode pad plane

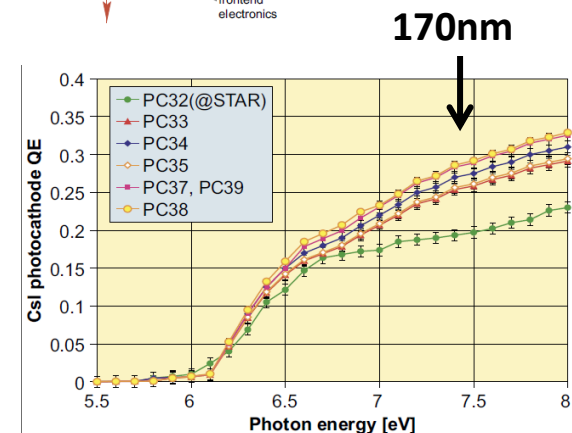
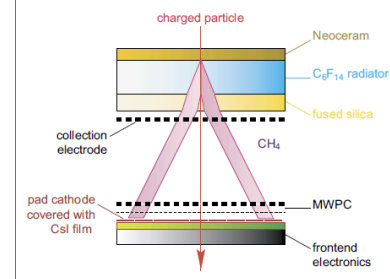
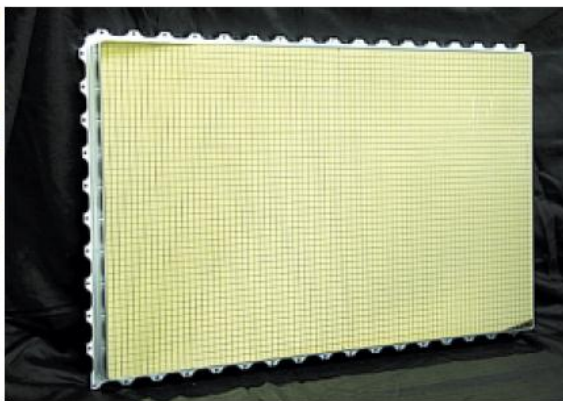


Fig. 7. CsI evaporation plant Fig. 8. Glove-box preparation.

計画

高エネで再結合

磁場印加で再結合率向上

フォトカバレッジ
上昇で低エネへ

再結合テスト

0vββ用試作機を
流用(Ra線源)

再結合確認
6MeV-α

磁場(0.1T@神戸大)

小型圧力容器を
設計・製作

APD・MPPCの磁場
中での動作試験

再結合確認
6MeV-α

磁場(~2T)

磁石調達
(0vββ用試作機が
入れば御の字)

圧力容器の設計
(必要に応じて)

APD・MPPCの磁場
中での動作試験

再結合確認
6MeV-α

壁光電面

EL電場構造最適化
(シミュレーション)

光フィードバック調
査(0vββ用試作機
を流用?)

光電面を浜松ホト
ニクスと相談・発注

再結合確認
6MeV-α
100keV-Xe

まとめ

- 方向に感度を持つ暗黒物質探索 using高圧キセノンガス
 - 大質量＋方向感度＋SI感度
- 「電離⇒再結合光」のプロセスが角度依存性を持つか？
 - 高エネ α はOK
 - 低エネ原子核反跳は未実証
- 独自のアイデア
 - 磁場印加 ⇒再結合光を増やす
 - 壁光電面 ⇒フォトカバレッジを増やす