

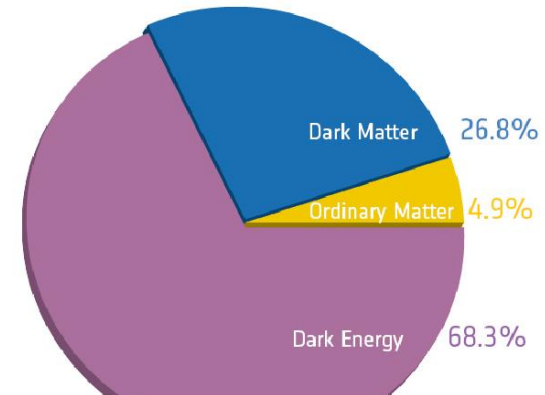
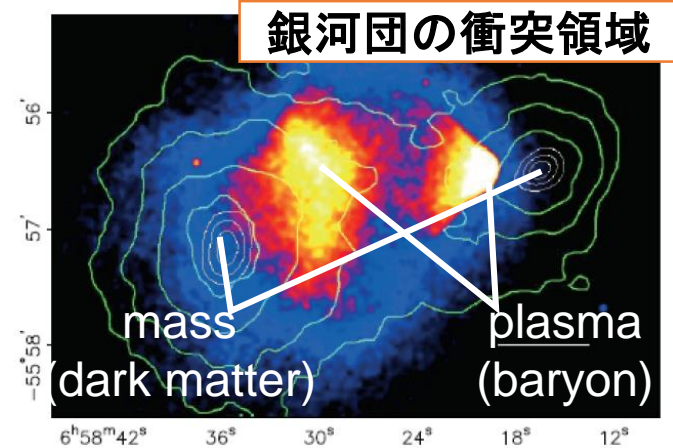
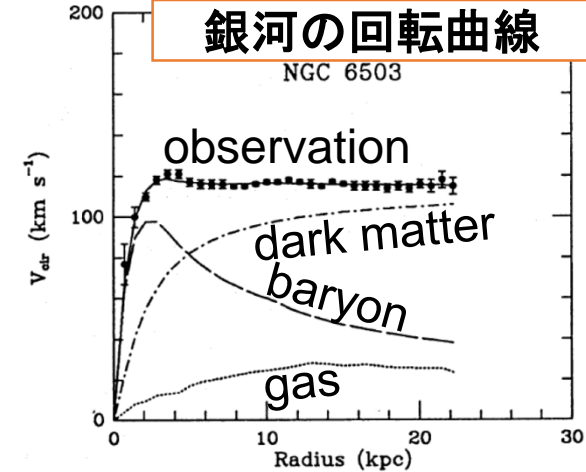
方向感度を持つ暗黒物質探索に向けた高圧 キセノンガス中での柱状再結合の研究

中村輝石

暗黒物質の存在

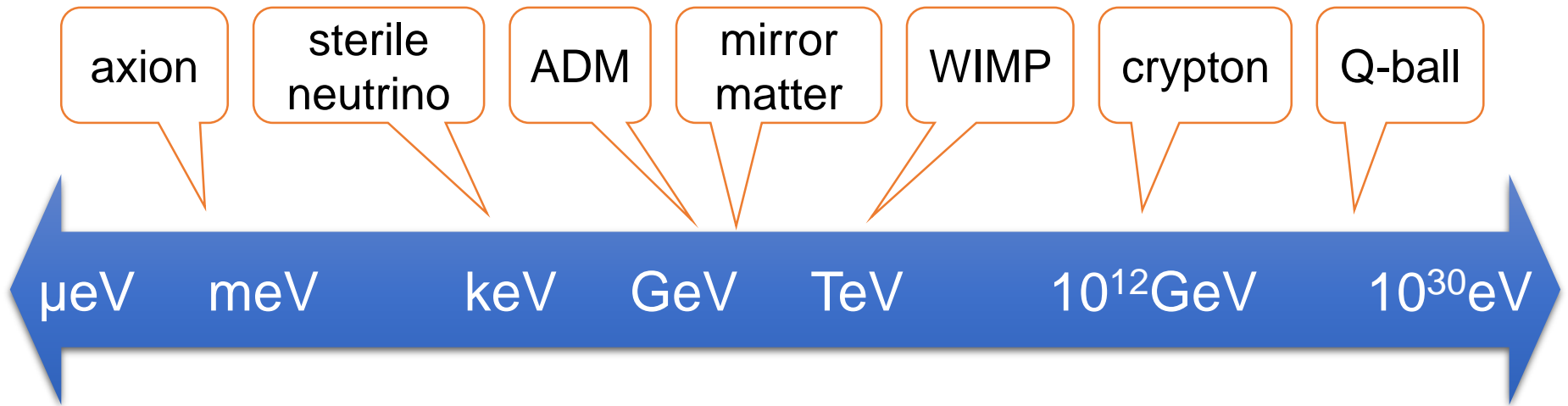
- 銀河スケール
 - 銀河の星の回転速度がケプラーの法則より速い
- 銀河団スケール
 - 銀河団衝突領域の質量分布がプラズマ分布より先行している
- 宇宙論スケール
 - CMB測定など⇒マター密度~0.25
 - BBNモデル⇒バリオン密度~0.05
 - 差分の0.2は未知の質量

⇒様々な宇宙の階層に暗黒物質の証拠あり



宇宙のエネルギー組成比

暗黒物質の候補

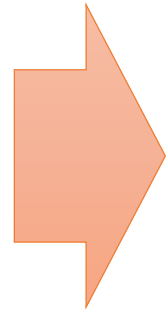


- 初期宇宙の大規模構造を乱さない \Rightarrow 非相対論的(CDM)
- BBNの原子核合成と差 \Rightarrow 非バリオン
- 未発見 \Rightarrow 散乱断面積が小さい or 数密度が低い
- 候補はたくさんある

WIMP (Weakly Interacting Massive Particle)

- WIMPの性質

- 質量がある
- 安定
- 相互作用をほとんどしない

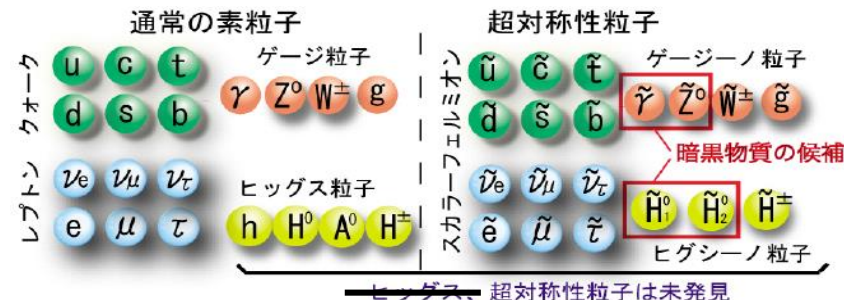


暗黒物質の性質を満たす

- WIMPの候補

- ニュートラリーノ by 超対称性理論 (SUSY)
- カルツァクライン粒子 by 余剰次元モデル
- ヘヴィーフォトン by リトルヒッグスモデル

- ニュートラリーノと探す

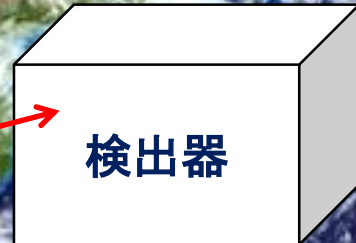


暗黒物質探索

直接検出



ダークマター



間接検出

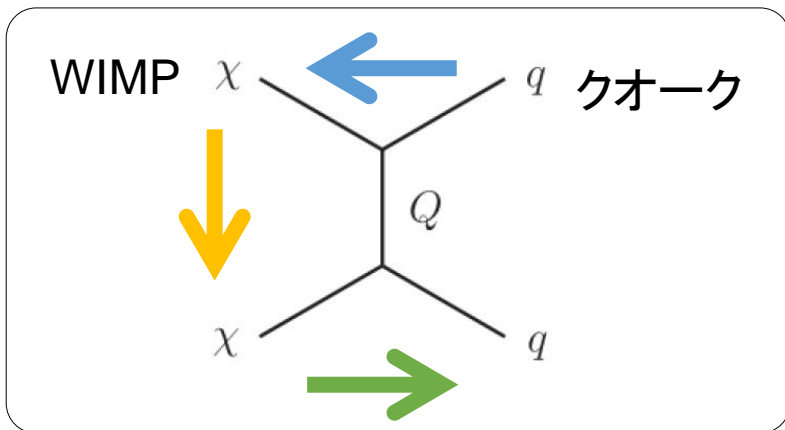
γ 線
ニュートリノ
反物質

対消滅

銀河中心や太陽など
質量のあるところ

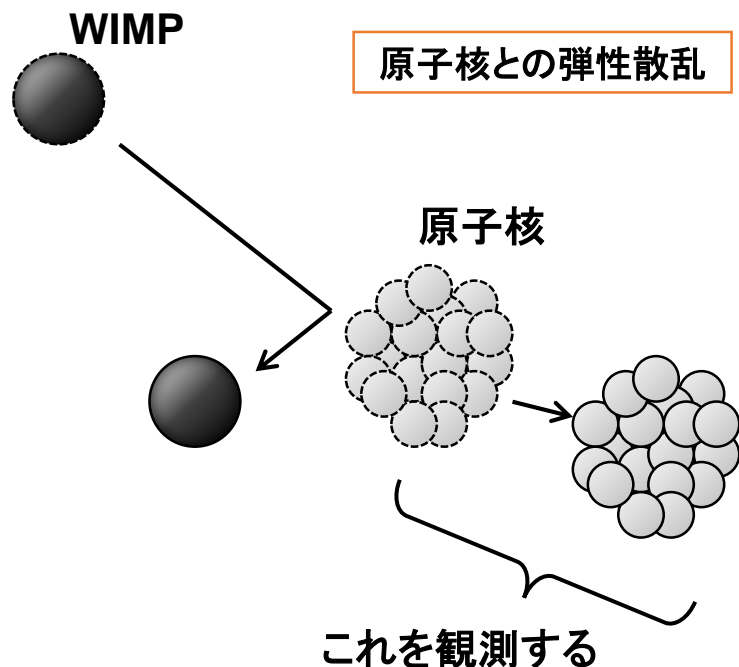


加速器実験



暗黒物質の直接探索

- 直接探索の方法: 原子核が**弾性散乱**するのをじっと待つ
- 散乱断面積: ニュートラリーノの場合**SI**、**SD**の二種
- ダークマターによる弾性散乱だと主張するためには？
 - なるべく静かなところで探す
 - **銀河に付随する特徴**を使う



Spin Independent (SI)

質量数による
(Xeなど有利)

$$\sigma_{\chi-N}^{\text{SI}} = \sigma_{\chi-p}^{\text{SI}} \frac{\mu_{\chi-N}^2}{\mu_{\chi-p}^2} A^2$$

Spin Dependent (SD)

スピンの構造による
(Fなど有利)

$$\sigma_{\chi-N}^{\text{SD}} = \sigma_{\chi-p}^{\text{SD}} \frac{\mu_{\chi-N}^2}{\mu_{\chi-p}^2} \frac{\lambda^2 J(J+1)}{0.75}$$

暗黒物質の直接探索

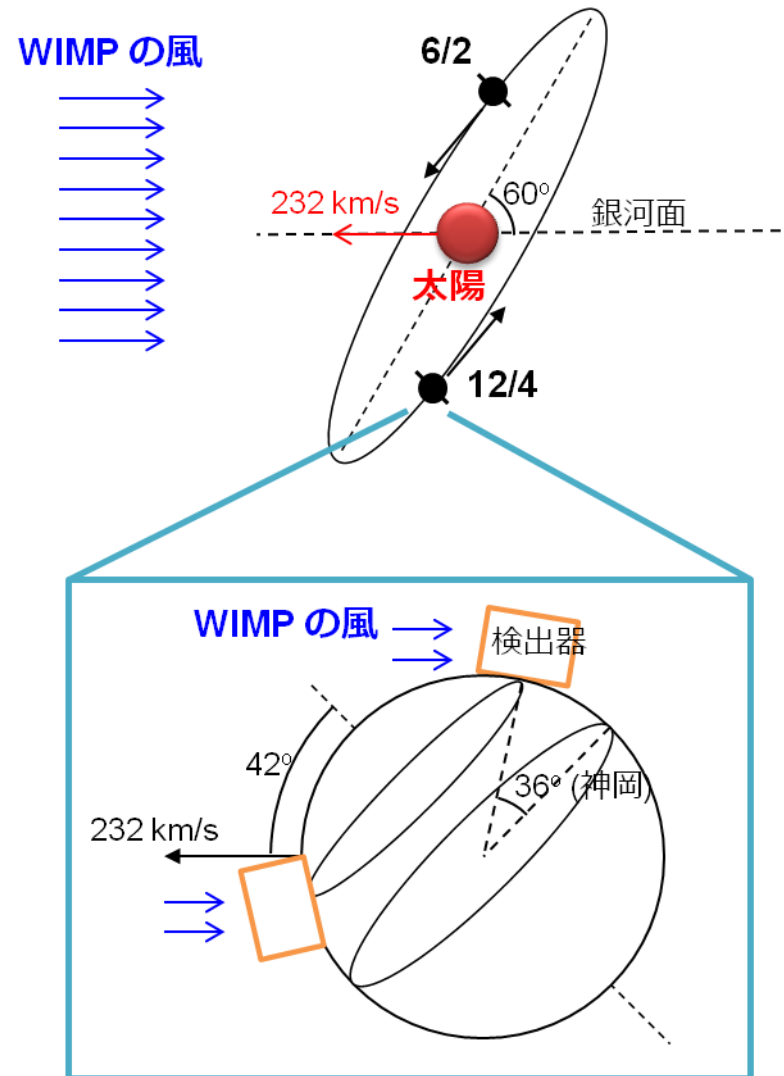
- 季節変化

- イベントレート: 夏 > 冬
- 変化は数%と小さい
- 環境変化の系統誤差もある
- 普通の実験はこっち

- 方向感度

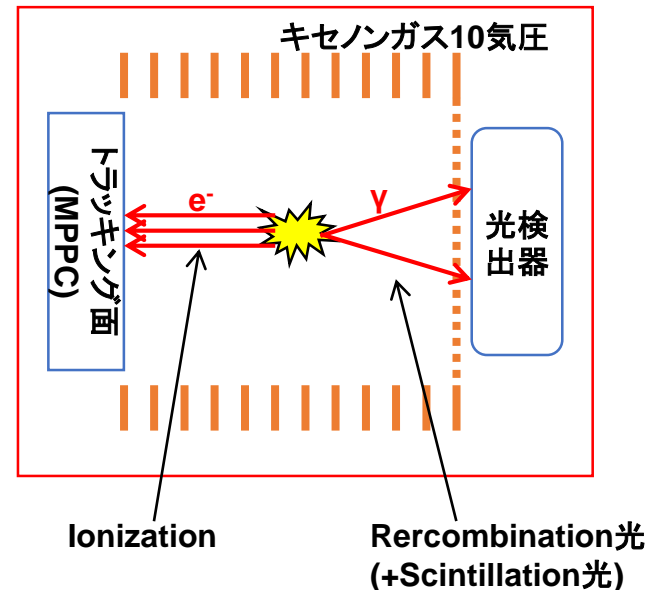
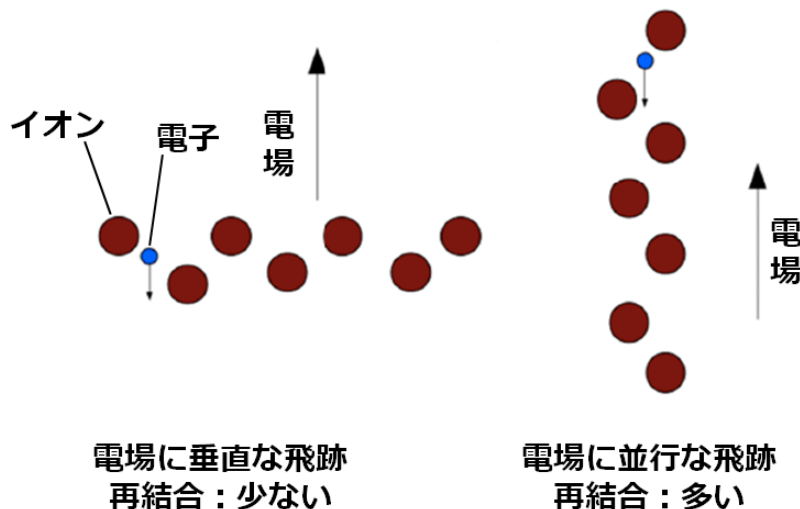
- 反跳原子核の異方性
- 変化量は数倍と大きい
- 飛跡が短いので難しい
- 新しいこと実験ならこっち(主観いり)

- 飛跡の縦横が分かれば方向感度



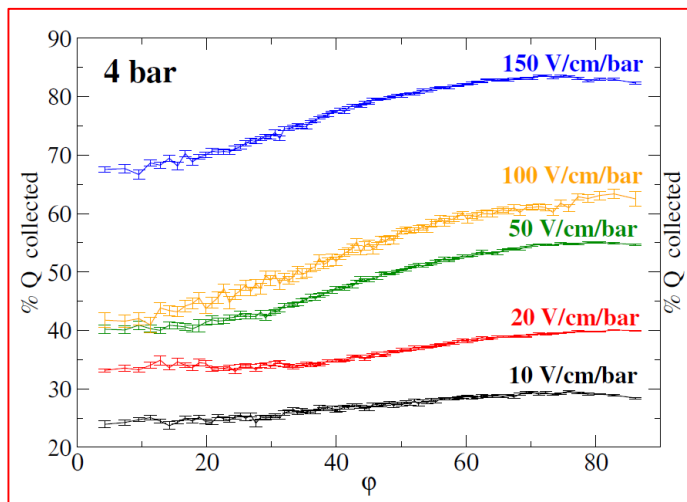
柱状再結合 @ 高圧キセノンガス

- 電場と飛跡の角度により、電離電子の再結合による光量が変わるかも D. Nygren J Phys. Conf. Ser. 460 (2013) 012006
- 得られる信号
 - シンチレーション光(w/ 再結合光) + 電離電子 \Rightarrow エネルギー
 - シンチレーション光(w/ 再結合光) / 電離電子 \Rightarrow 天頂角
- 大質量 + 方向感度 + SI感度を



先行研究 (NEXT)

- XeにTMAを混ぜ、電子の冷却・ペニング効果・波長変換、を期待
- 電離信号の角度依存性を検出 PoS (TIPP2014) 057
- 発光が抑制されてしまう J. Phys. Conf. Ser. 650 (2015) 012012



5MeVの α 線を用いた評価

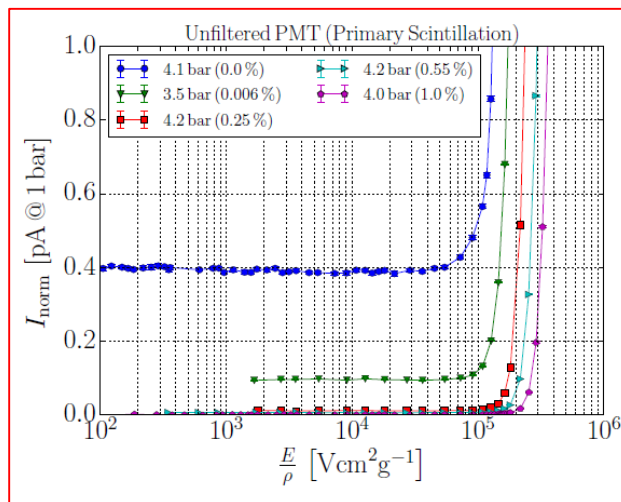


Figure 8. Primary scintillation light yield with Xe+TMA gas mixture, measured at approximately 4 bar total pressure and various TMA concentration.

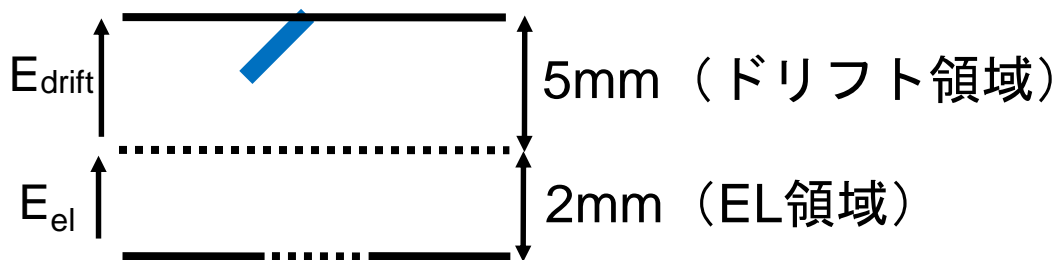
X線を用いた評価

原理検証の試作機

- PMTを使って発光の時間変化をとらえる
- 再結合は時間的に遅れて検出されるはず

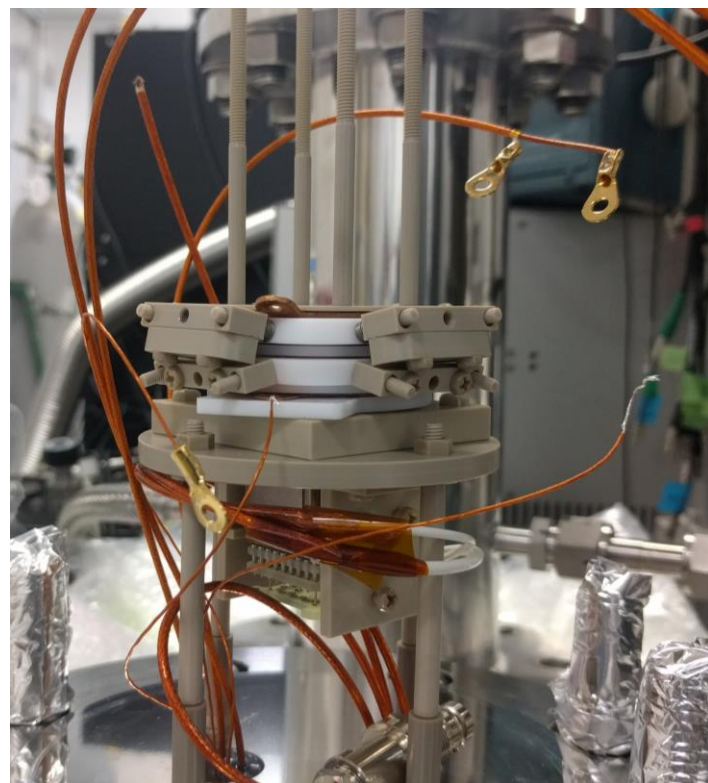
8atm Xe

^{241}Am
5.5MeV α 線



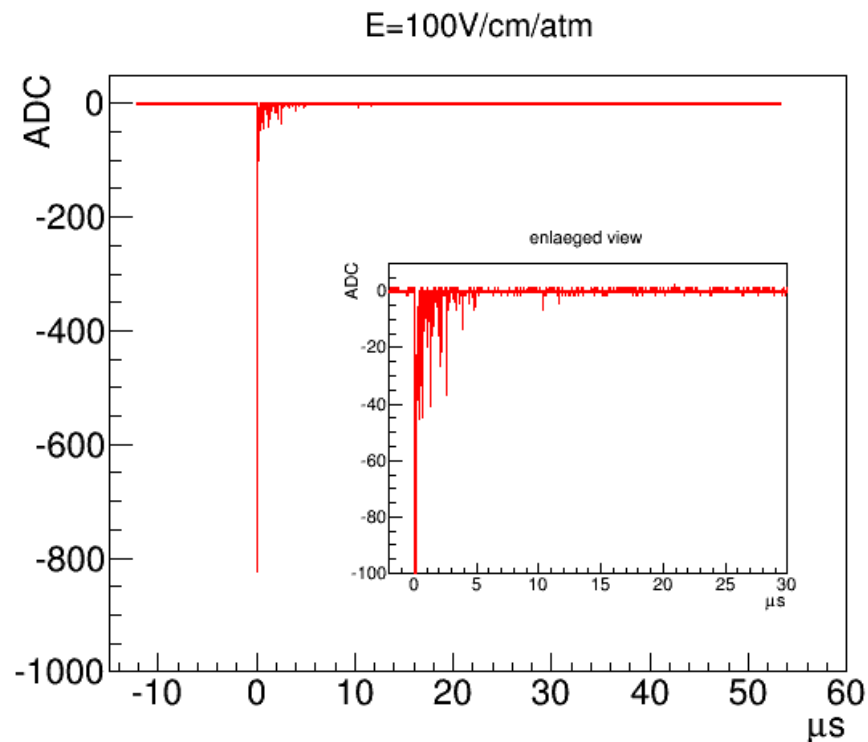
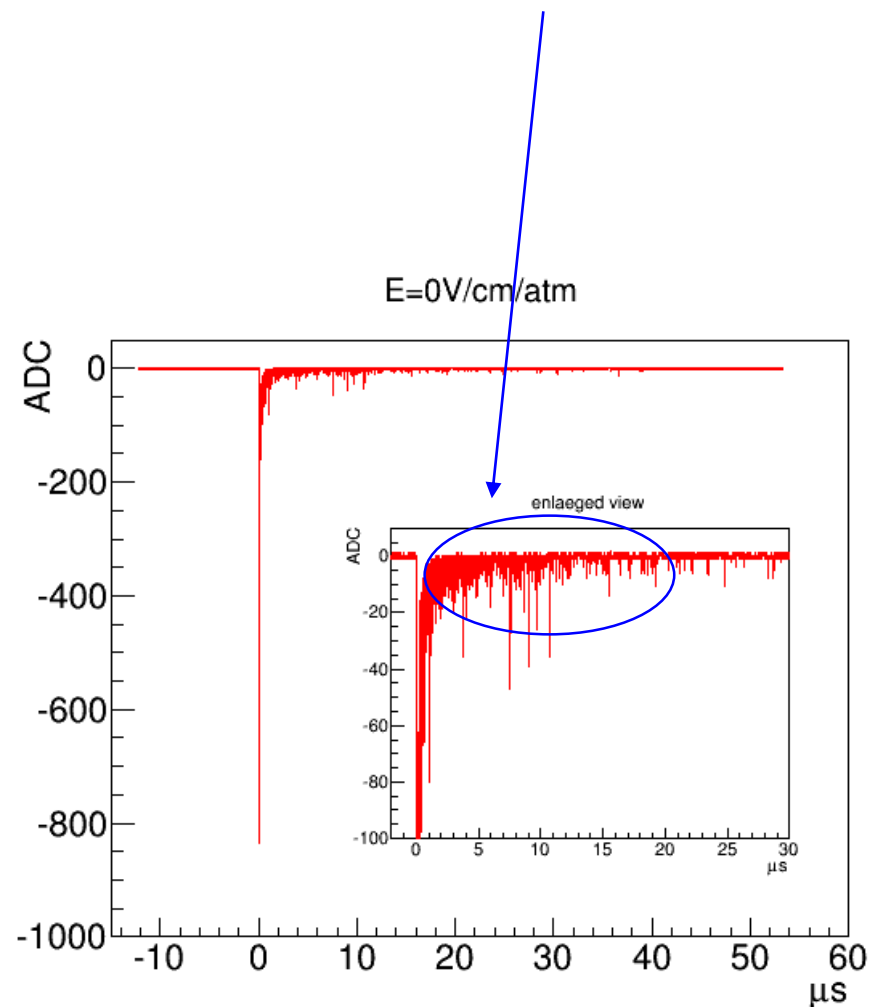
PMT

信号 (シンチ+EL)



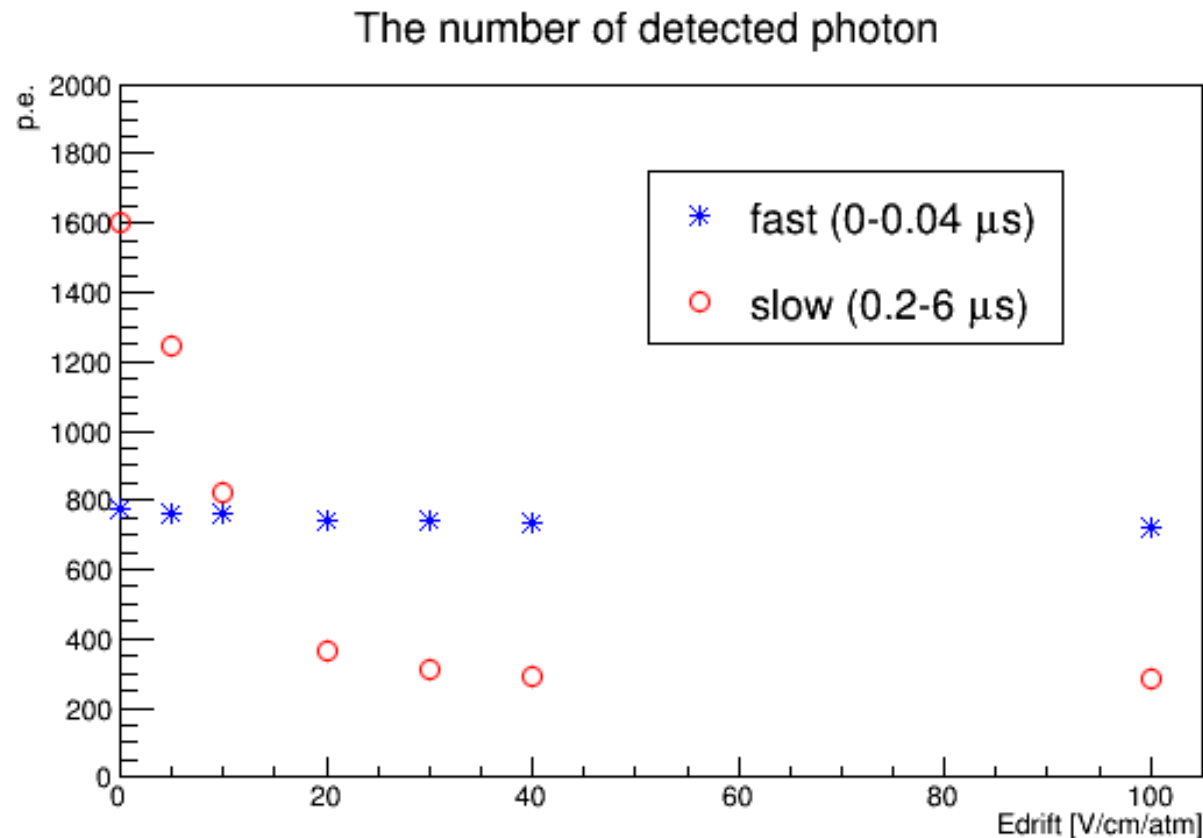
slow成分に再結合光

- fast: 脱励起のシンチレーション光
- slow: 再結合 (柱状再結合もこっちのハズ)



slowとfastのドリフト電場依存

- slow成分は低電場ほど多いので、再結合光による
- ⇒柱状再結合で変動が期待されるのはslow成分

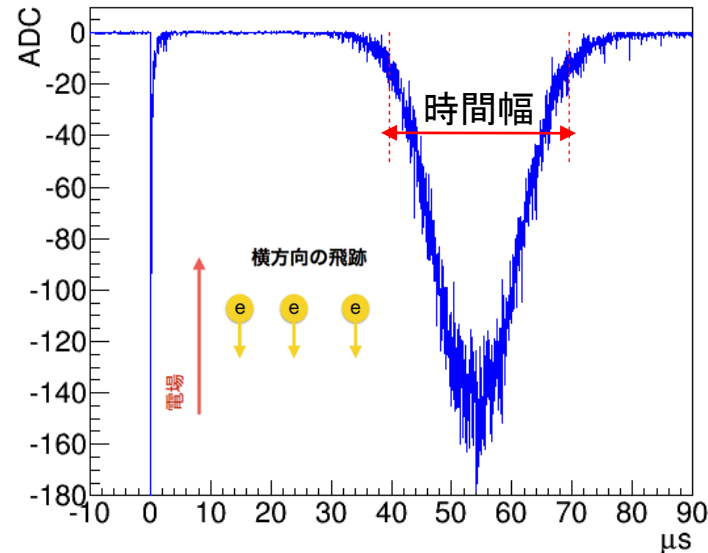


EL電場を印加時の波形

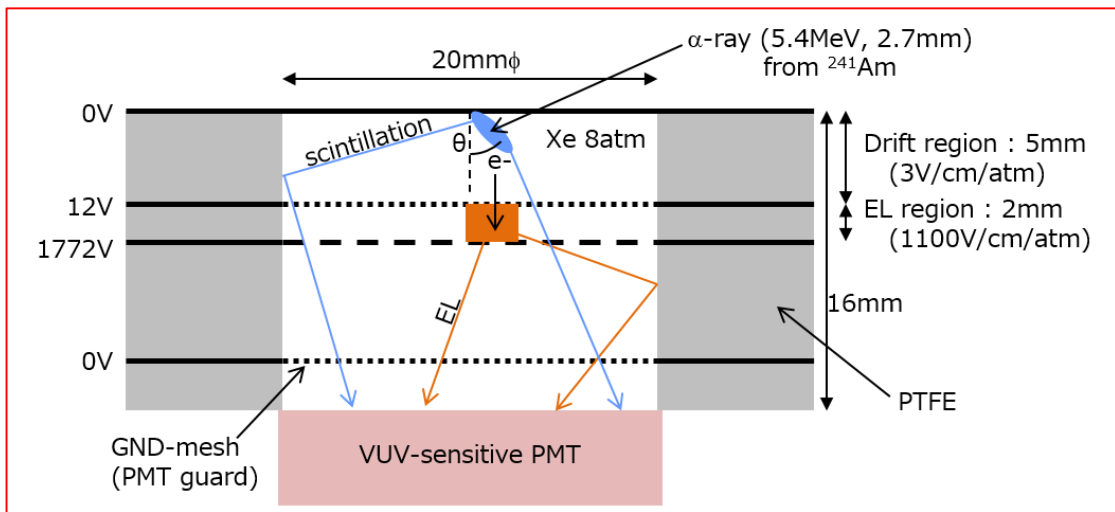
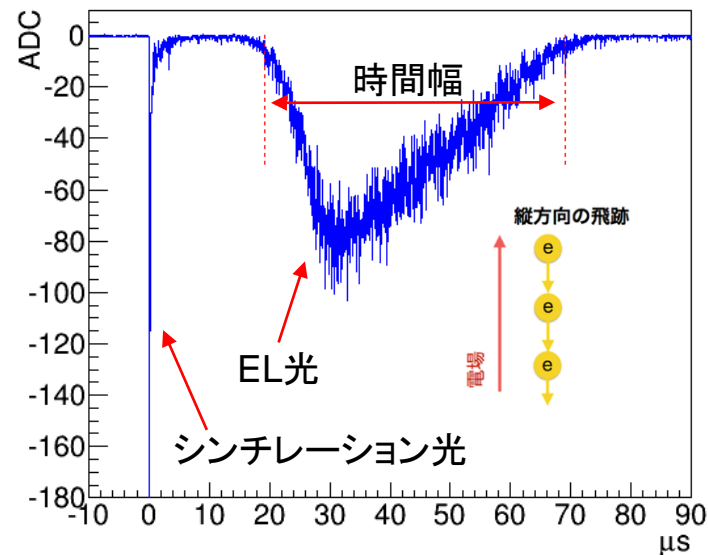
8atm Xe
 $E_{\text{drift}}=6\text{V/cm/atm}$
 $E_{\text{EL}}=1100\text{V/cm/atm}$

Horizontal-like event

- 電離電子はEL光に変換して取得
 - 縦方向の飛跡 \Rightarrow 時間幅が長い
 - 横方向の飛跡 \Rightarrow 時間幅が短い



Vertical-like event

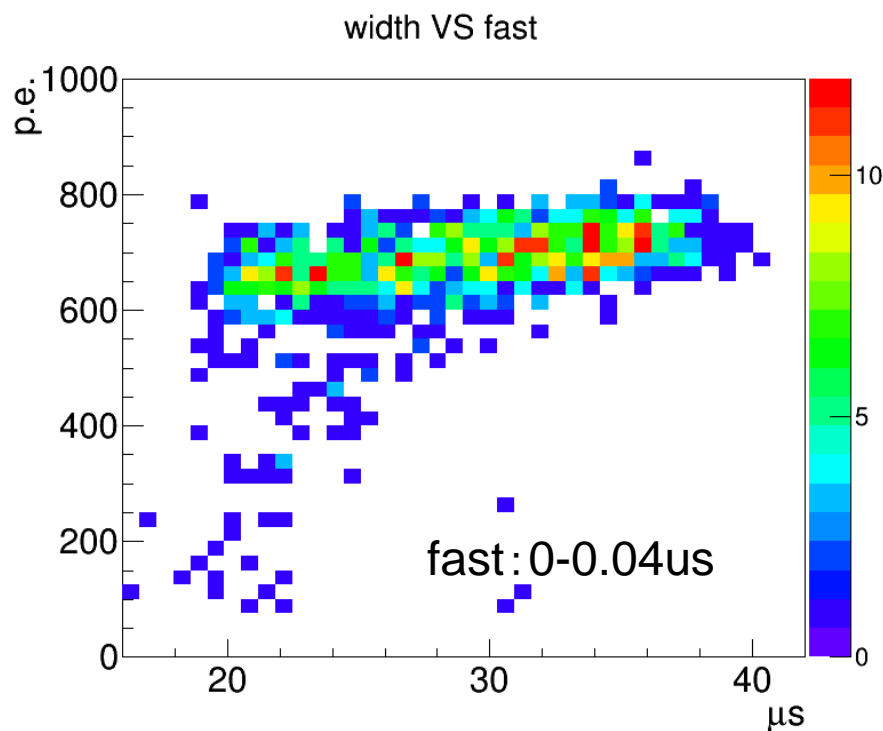


まとめ

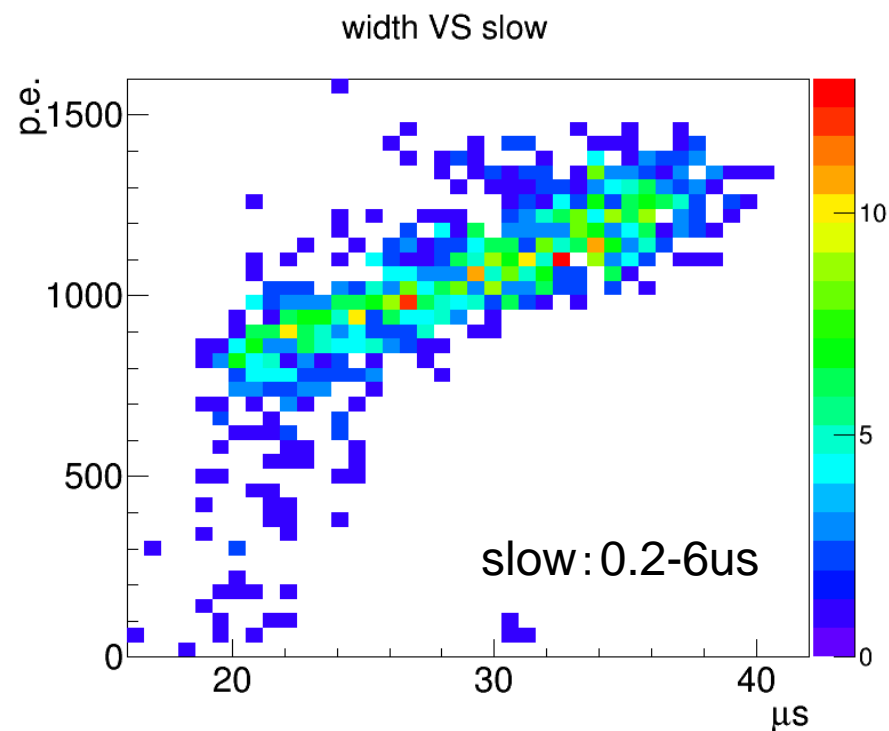
- 柱状再結合をシンチレーション光にて初観測
 - 方向感度+大質量+SI感度 が熱い
 - (エネルギー分解能もよいので、低閾値も狙えそう)
- 今後の測定
 - 電荷側の信号(EL光)の理解を進める
 - 原子核反跳による低エネルギーの測定
- 論文
 - 原理実証の論文をグループ内回覧中
 - 実験提案の論文も準備中
- 論文が出るまでは内密にお願いします

時間幅依存性

- 立体角の補正前



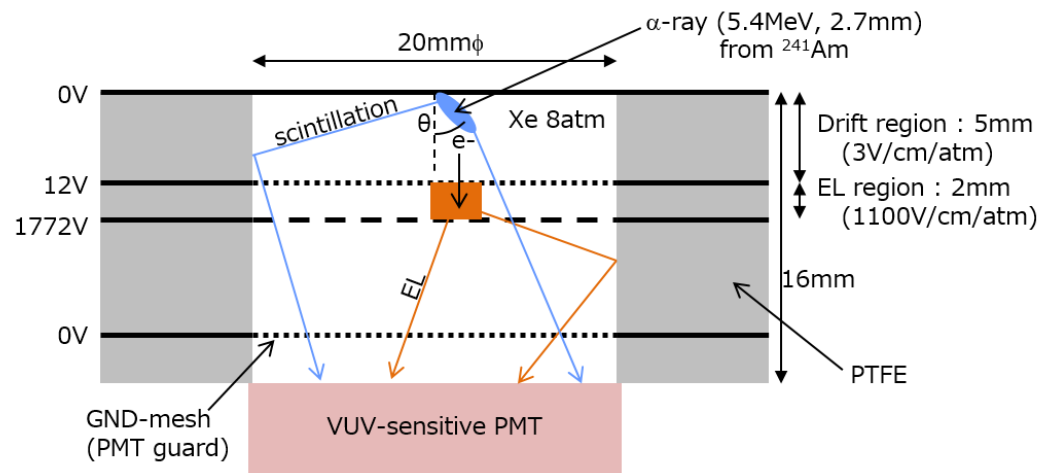
横トラック \longleftrightarrow 縦トラック



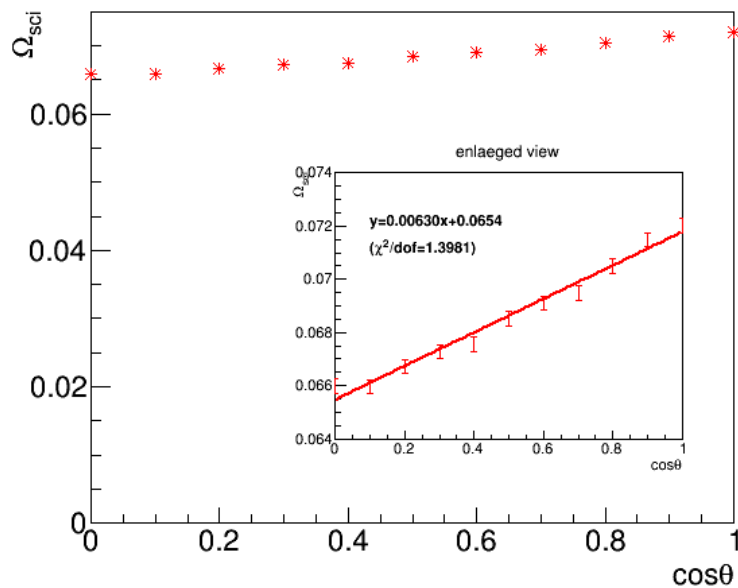
横トラック \longleftrightarrow 縦トラック

立体角

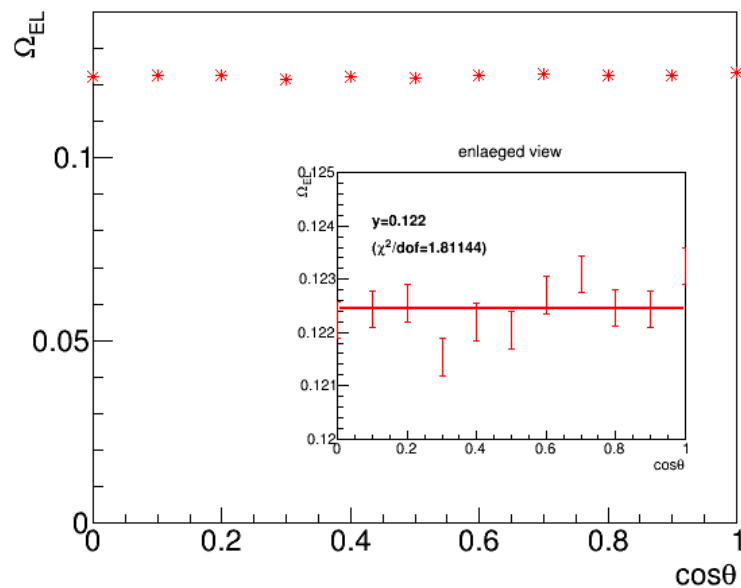
- MCシミュレーション
- メッシュの透過率込



Solid Angle of scintillation photons

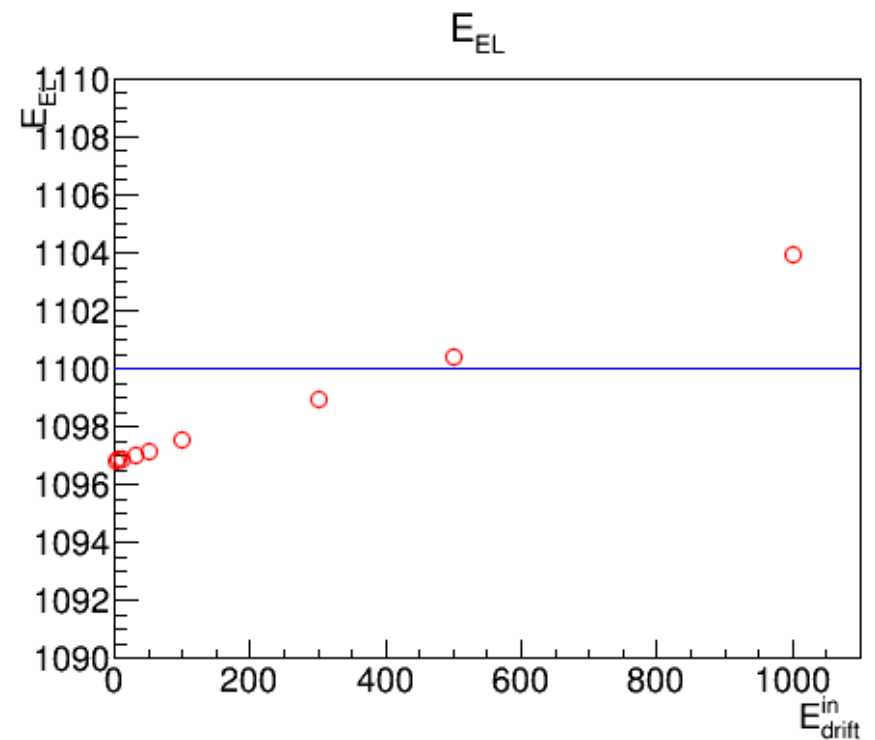
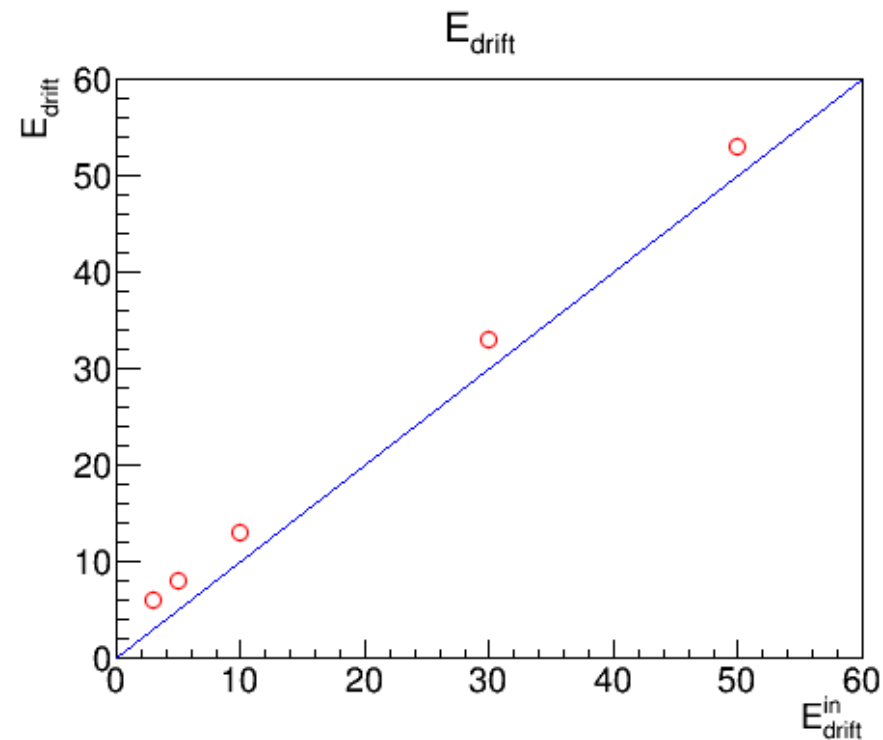


Solid Angle of EL photons



電場sim 100mesh 30 $\mu\text{m}\phi$

- E_{drift} : 低電場では+3V/cm/atm くらいになっている
- E_{EL} : 微妙に引っ張られるが、ほぼ一定

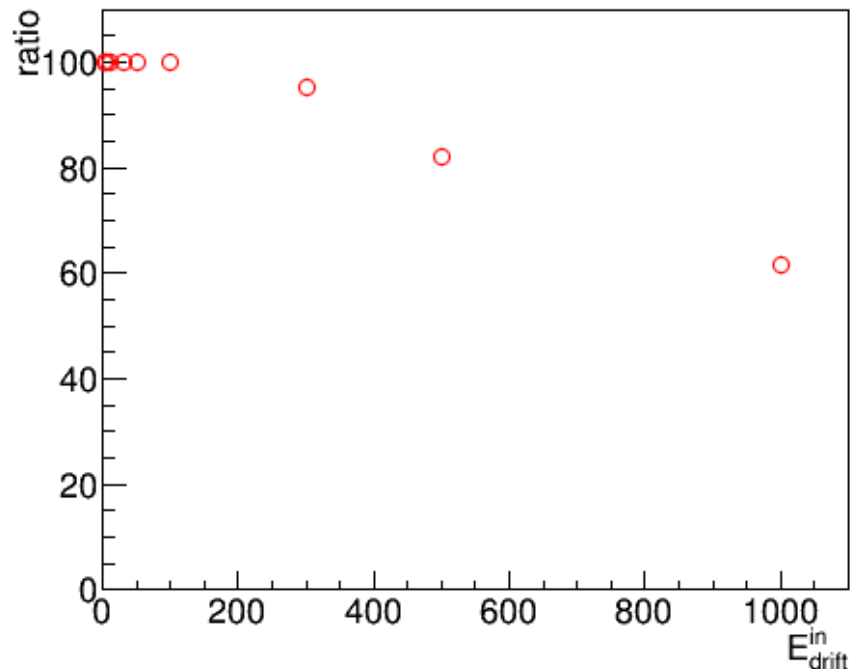


電場sim 100mesh 30 $\mu\phi$

- 透過率

- 100V/cm/atm (電場比11倍) まではlineもtrackも100%
- 落ちはtrackの方が大きい

pass ratio of line [%]



pass ratio of track [%]

