

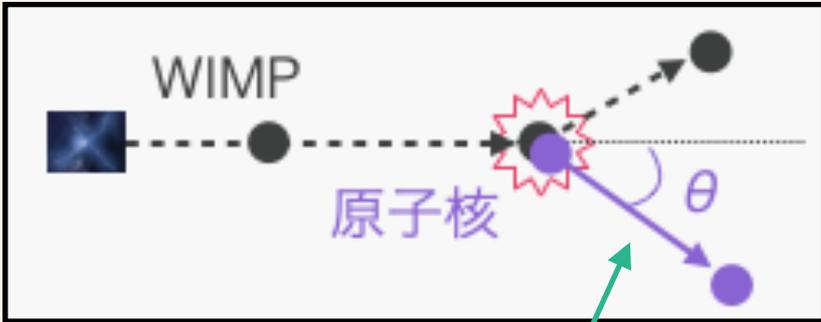


方向に感度を持つ暗黒物質探索実験 のための陰イオンガスTPC開発

16:20 ~ 16:40

方向に感度を持つ暗黒物質直接探索

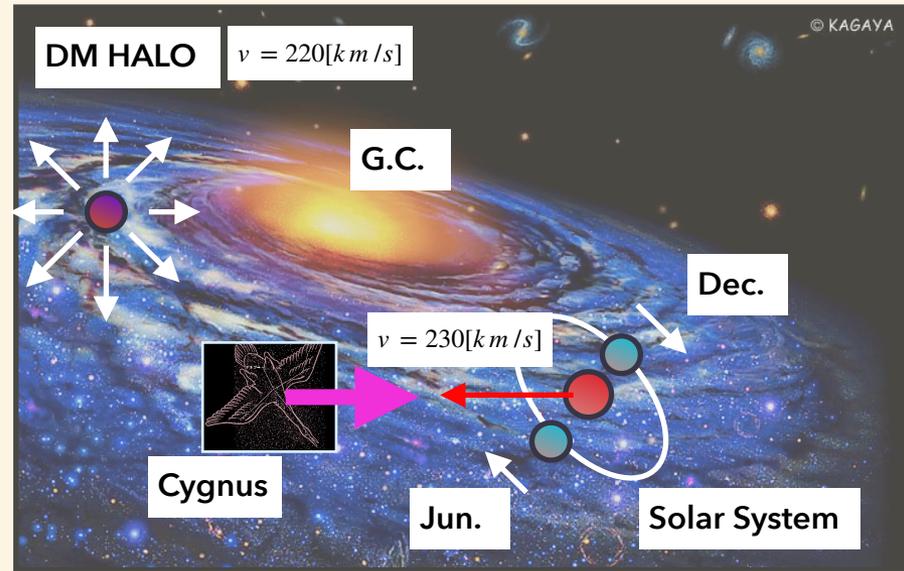
- 原子核反跳からDMの到来方向を見る
 - ▶ 異方性がDMの強い証拠となる



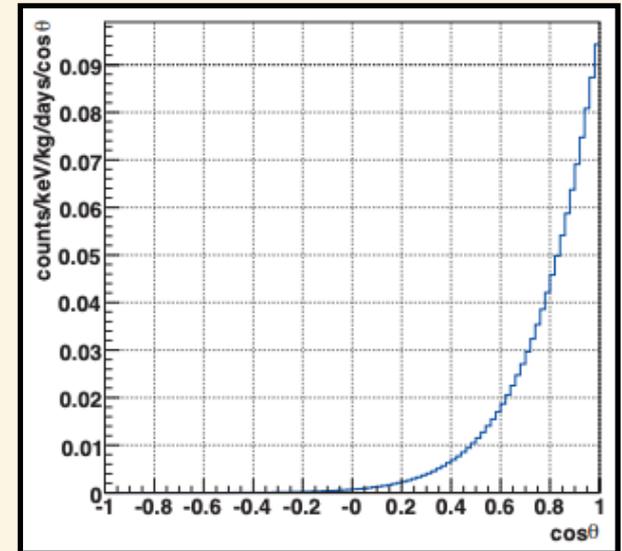
飛跡を捉える

- ガス検出器による3次元飛跡検出

$\cos\theta=1$ にピークを持つ分布
 (θ :cygnusに対する散乱角)



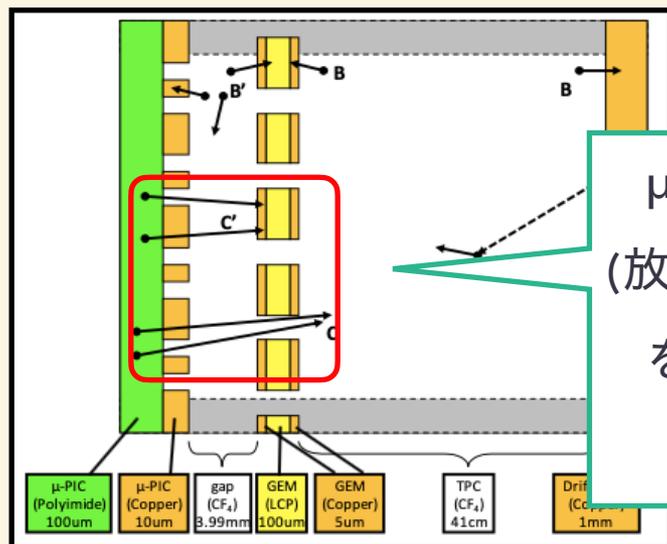
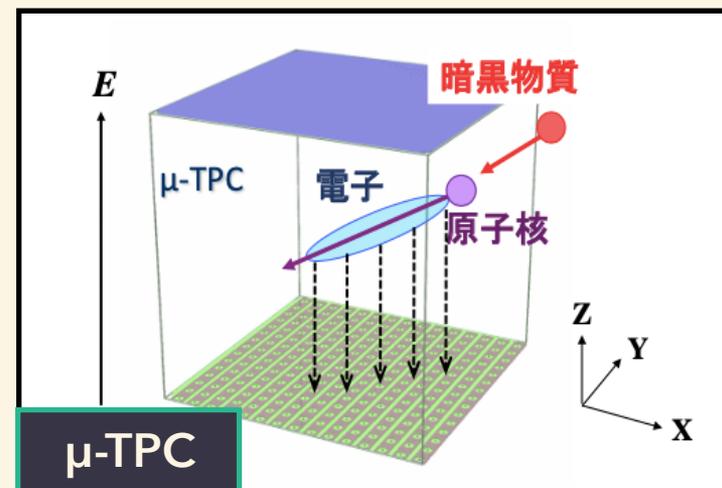
WIMPの風を捉える！



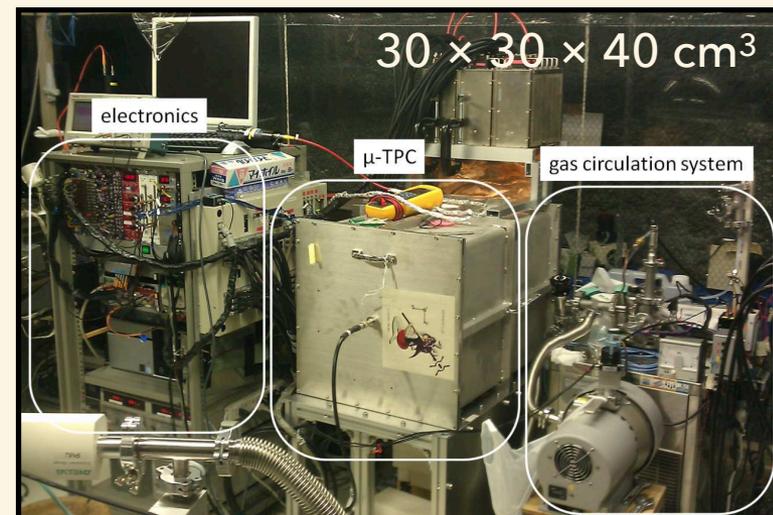
NEWAGE (NEw generation WIMP search with an Advanced Gaseous tracker Experiment)

◎NEWAGE

- μ -TPCを用いた3次元飛跡検出
- 神岡にて暗黒物質探索実験(CF_4 0.1気圧)を行っている
- 現行器(セルフトリガー電子ドリフトTPC)の問題点
 - ▶ 測定できるのは各ヒットの相対時間
 - ▶ μ -PICからのBGと区別がつかない
 - ▶ ドリフト電子の拡散により位置分解能が悪い



μ -PICからの α 線
(放射性不純物由来)
をfiducial cutで
減らしたい

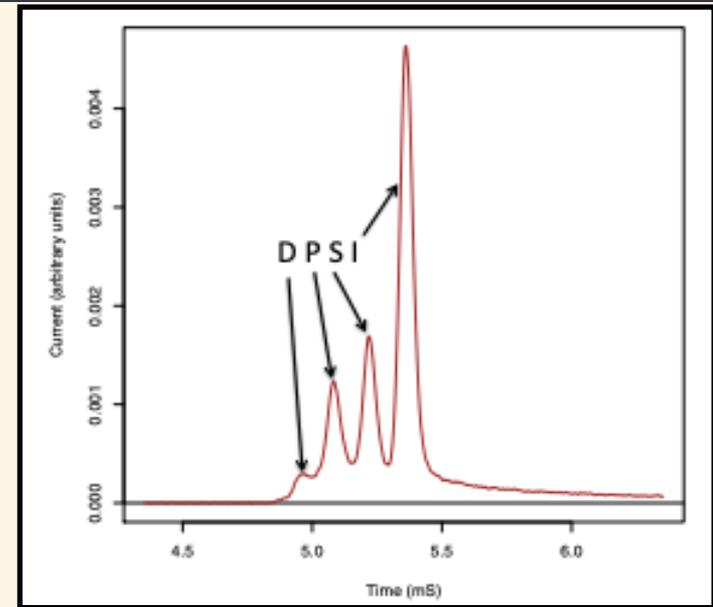


陰イオンガスTPC (NITPC)

◎ 陰イオンガス

- DRIFT実験によって先鞭(右図)
- NEWAGEで3次元飛跡取得による実証化
- 複数種の陰イオンの生成、ドリフトを確認
- メインキャリアとマイノリティーキャリアのドリフト速度の差からZの絶対位置を解析

▶ Fiducial Cutが可能



<https://doi.org/10.1016/j.dark.2015.06.001>

$$z = (t_a - t_b) \frac{v_a v_b}{(v_b - v_a)}$$

◎ 陰イオンと電子の違い

- 電子に比べて拡散が小さい
- ▶ 位置分解能向上が見込める

	陰イオン	電子
拡散	小	大

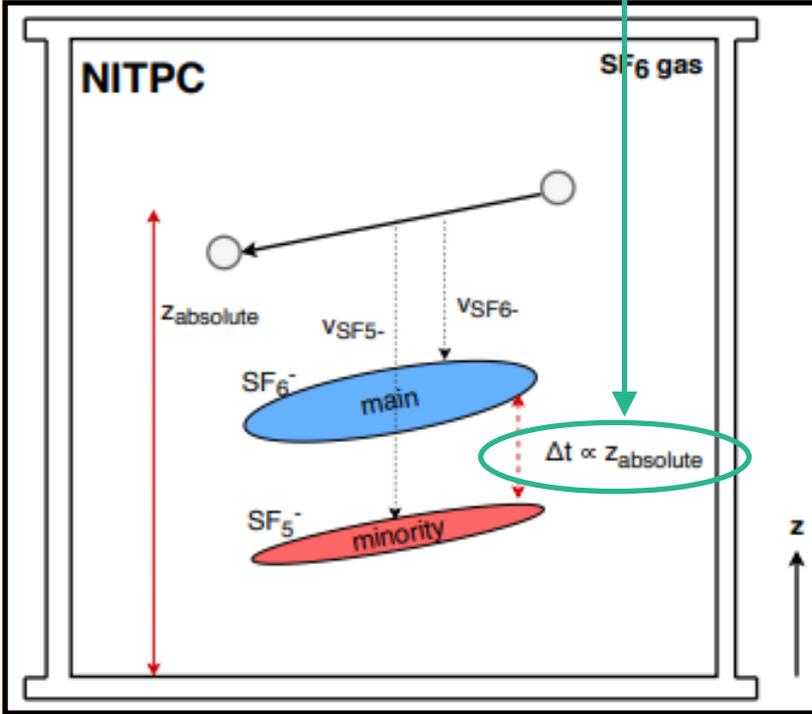
陰イオンガスTPC (NITPC)

◎SF₆ガス



2種類の陰イオンが生成

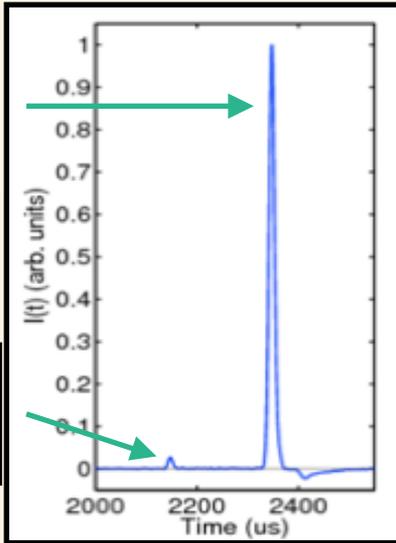
Z絶対位置の決定



- 特徴的な波形(信号強度の比が100:3)
 - ▶ ダイナミックレンジ大の読み出しが必要

メイン
SF₆⁻

マイノリティー
SF₅⁻

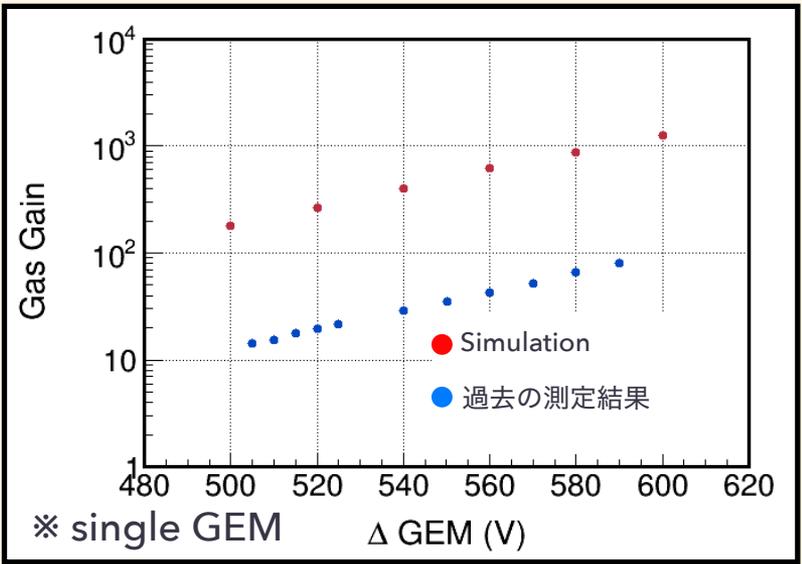


[N. Phan et al., Journal of Instrumentation 12, P02012 (2017).]

NITPC(陰イオンガスTPC)

◎NITPCの課題

- ガスゲインが測定とSimulationで一致しない。
 - ▶ 適切なパラメータを実装する必要あり。



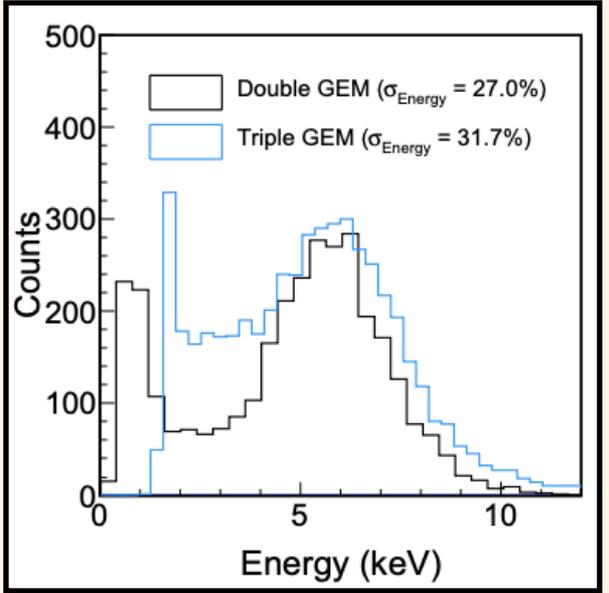
- 増幅機構を増やすにつれエネルギー分解能の低下

▶ 電子捕獲、電子脱離の過程が原因か



- NITPCの実装に向けて原因の究明、適切な対策が必要

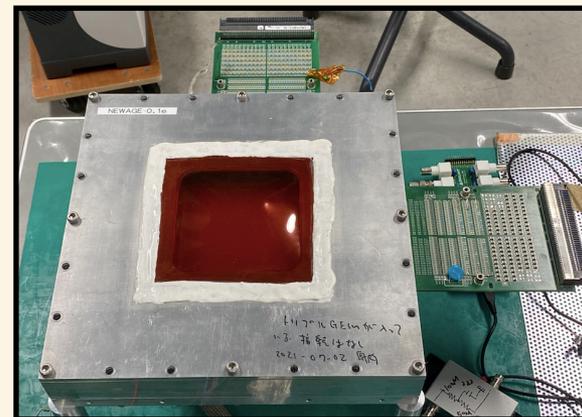
- ▶ シミュレーションによる原因究明を目指す
- ▶ 測定とシミュレーションの整合性をとる。



NITPCのためのテストチェンバー(Measurement)

◎検出器

- GEM
 - ▶ GEMの厚さ : 0.1mm
 - ▶ GEMのHole/Pitch : $\Phi 70 \mu\text{m} / 140 \mu\text{m}$
- 24ストリップ読み出し

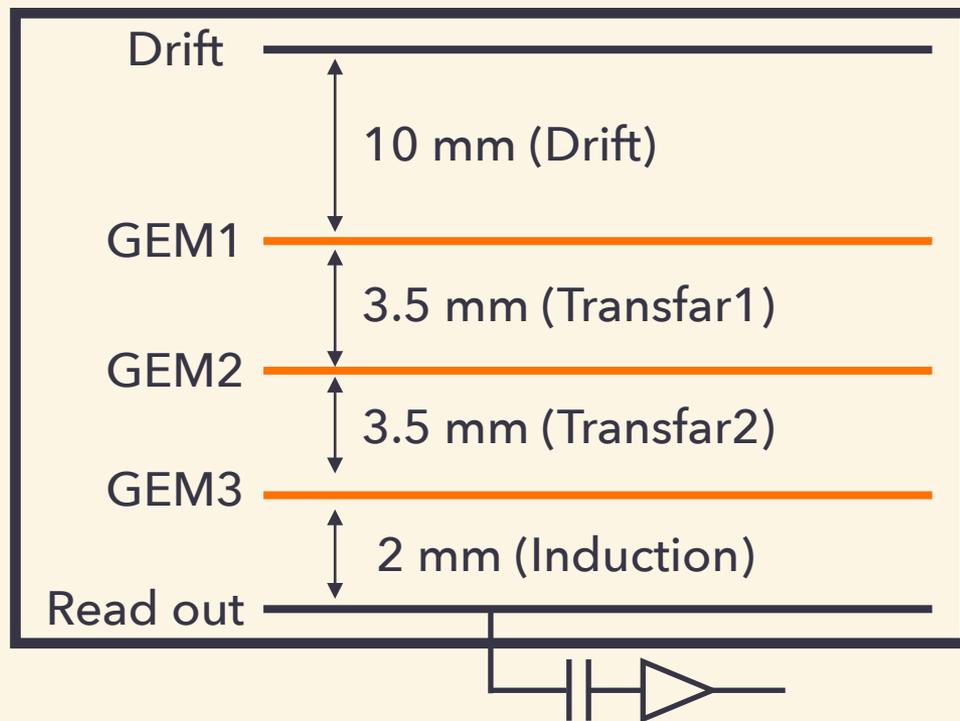


◎SF₆ 100Torr 測定

- ▶ ⁵⁵Fe線源(5.9keV X線)を用いて測定
- ▶ 5.9keVの電子が生成



- ガスゲインとエネルギー分解能を評価
 - ▶ Simulation結果と比較



NITPCのためのGarfield++(シミュレーション)

◎NITPCのために必要な追加点

1. 電子捕獲後の陰イオンの生成
2. 電場中での陰イオンのドリフト
3. 陰イオンからの電子脱離

2020年 神戸大学 島田拓弥 修士論文
にて実装済み

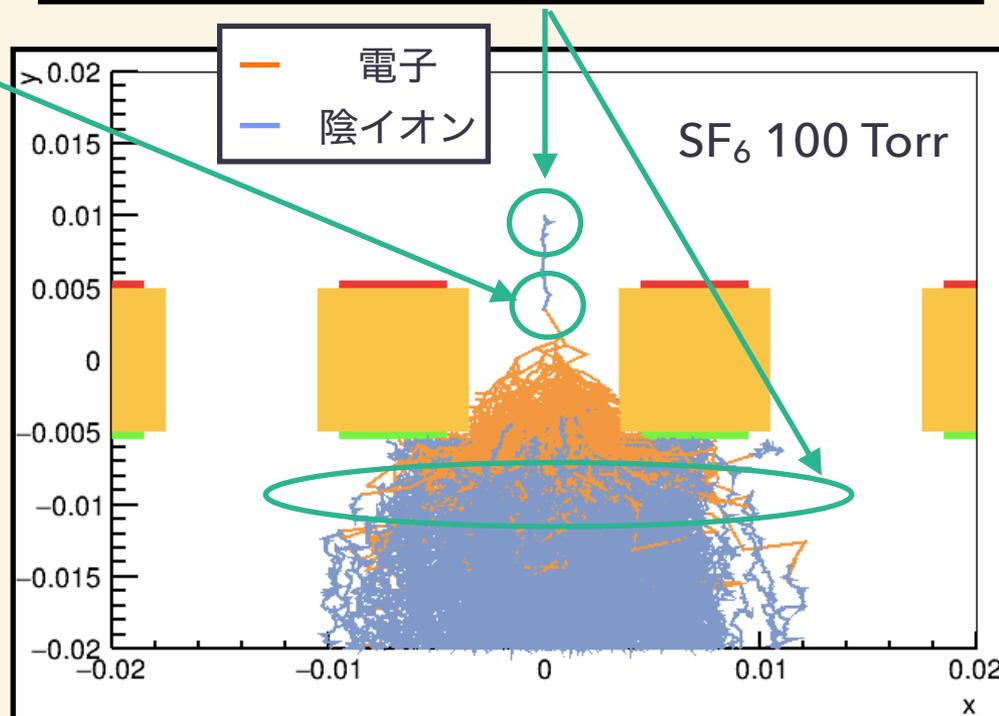
3.高電場領域で陰イオンから
電子脱離している

1.2.初期電子が電子捕獲された後、
陰イオンが生成され、ドリフトしている。

- 電子に加え、陰イオンの挙動も
計算可能となった。

▶ NITPCの理解につながる。

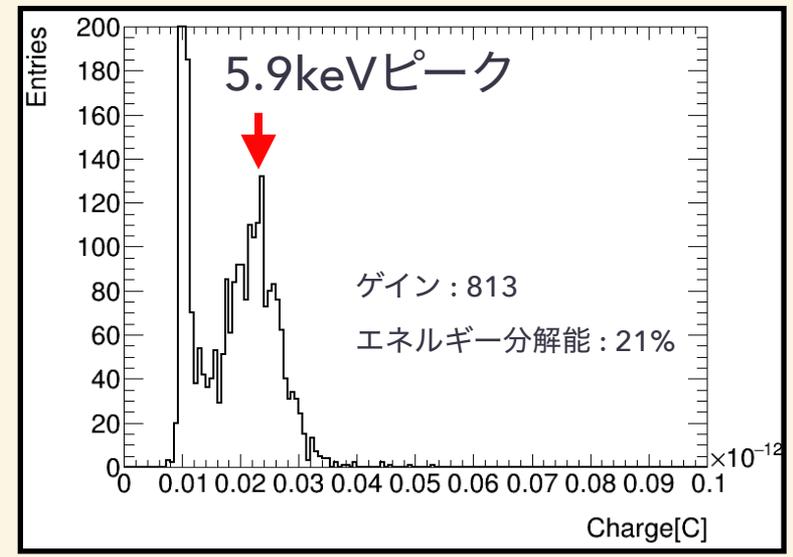
TripleGEMでのシミュレーション
を最適化させる



SF₆ 100Torr 測定(Triple GEM)

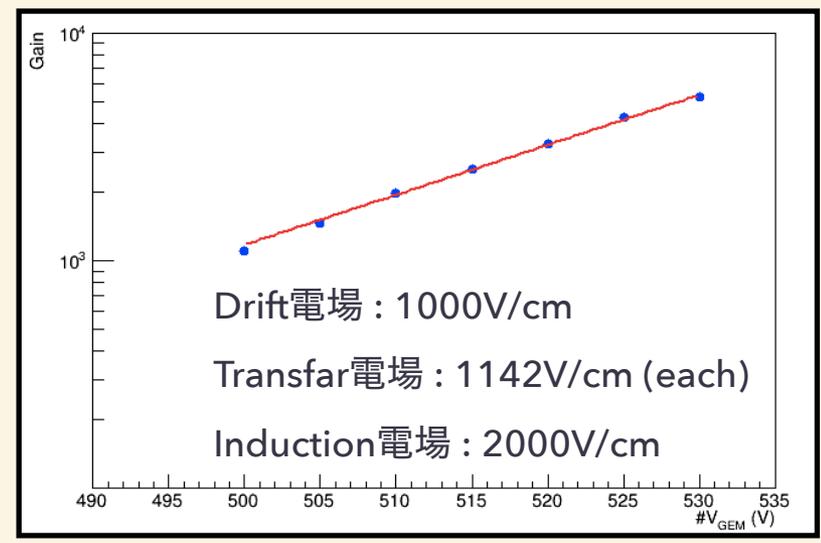
◎エネルギースペクトル

- ゲイン
 - ▶ ピークのChargeと5.9keV X線が生成する電子のChargeを比較
- エネルギー分解能
 - ▶ $\sigma_{\text{charge}} \div \text{peak}$ で計算



◎ゲインカーブ

- 指数関数的にゲインが上昇



Garfield ++ Simulation

◎DriftLine

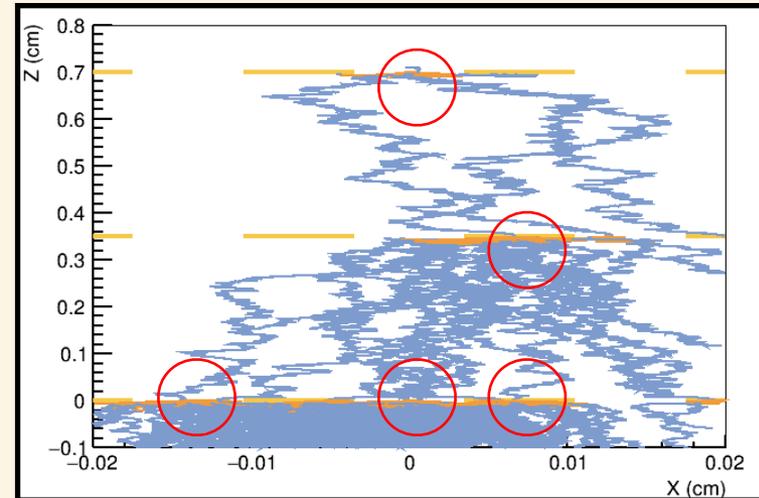
- 初期電子を(0, 0, 0.71)cm に配置
- 各GEMで増幅しドリフトされている

◎ゲイン算出法

- $Z < -0.05\text{cm}$ に到達した粒子数をゲインとする

◎困難な点

- とにかく時間がかかる。
 - ▶ 各粒子のDriftLineを追うため、singleGEMのSimulationに比べて膨大な時間
- 極力ゲインを下げなければいけない。



Drift電場 : 1000V/cm

Transfer電場 : 1142V/cm (each)

Induction電場 : 2000V/cm

Δ GEM 電圧 : 420V

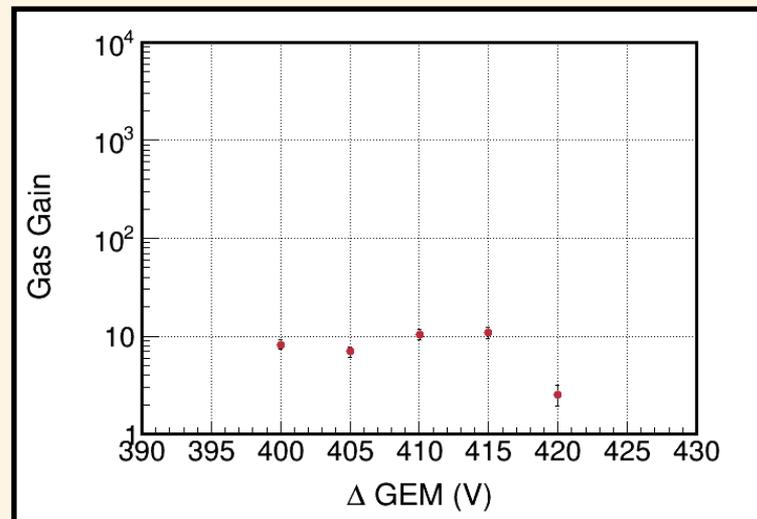
Garfield ++ Simulation

◎ゲインカーブ

- 推定されるゲインより大きく下回る
- 指数関数的上昇も見られない。

◎考察

- GEMを重ねるごとにとある原因で Lossが起きる。
- システムそのものの問題の可能性。

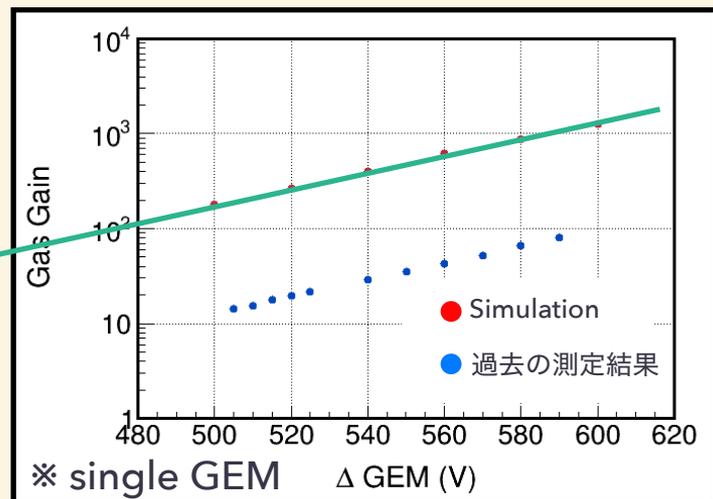


Drift電場 : 1000V/cm

Transfer電場 : 1142V/cm (each)

Induction電場 : 2000V/cm

外装すると
ΔGEM 400Vで
ゲイン25



今後の展望

◎Garfield ++ Simulation

- ゲインの計算結果が上手くいかない原因を追求する。
- 正しくゲインの算出ができるようになったら、測定結果との整合性を取る。
- 分解能の評価をする。

◎最終目標

- SF₆ガスを用いてGEM + μ -PIC の増幅機構での測定

+

- μ -PIC周りでのSF₆ガスの振る舞いをSimulationにより解明する。



- 現行の検出器で用いられている増幅+読み出し機構 (GEM + μ -PIC) でのSF₆ガスの振る舞いを理解する。

Back up

電子拡散と陰イオン拡散の違い

◎電子拡散

- 電場中での電子の拡散

$$\sigma(x) = \sqrt{2D_e t}$$

(D_e はガス中での電子の拡散係数)

熱拡散

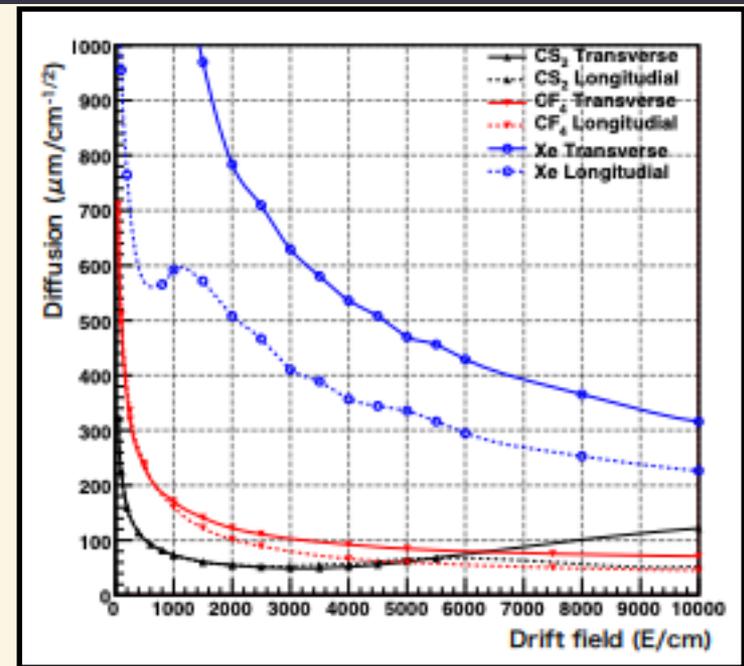
+

$$\sigma(L) = \sqrt{\frac{2kTL}{eE}} = 0.7 \text{ mm} \left(\frac{T}{300 \text{ K}} \right)^{1/2} \left(\frac{580 \text{ V/cm}}{E} \right)^{1/2} \left(\frac{L}{50 \text{ cm}} \right)^{1/2}$$

◎陰イオン拡散

熱拡散のみ

$$\sigma(L) = \sqrt{\frac{2kTL}{eE}} = 0.7 \text{ mm} \left(\frac{T}{300 \text{ K}} \right)^{1/2} \left(\frac{580 \text{ V/cm}}{E} \right)^{1/2} \left(\frac{L}{50 \text{ cm}} \right)^{1/2}$$

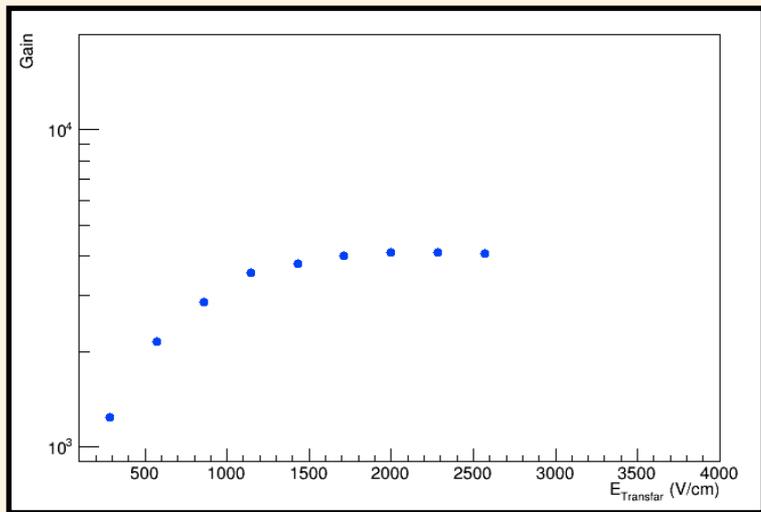


2017 神戸大学 池田智法 修士論文

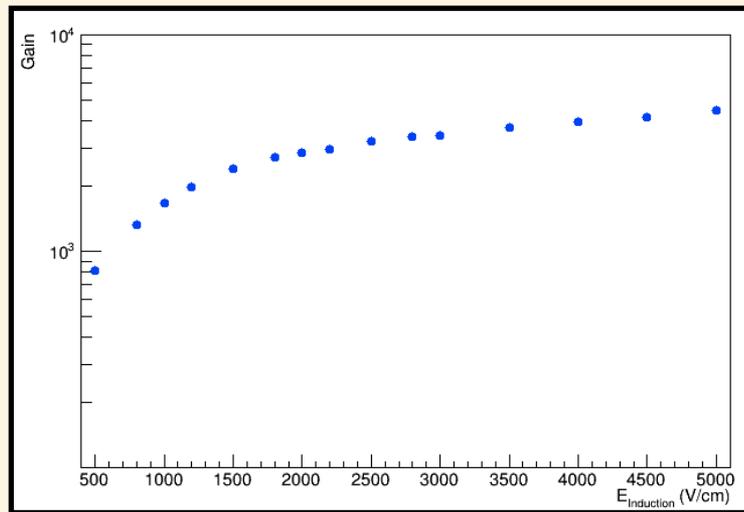
電子の拡散と陰イオンの拡散の
電場依存性

SF₆ 100Torr 測定 (各電場依存性)

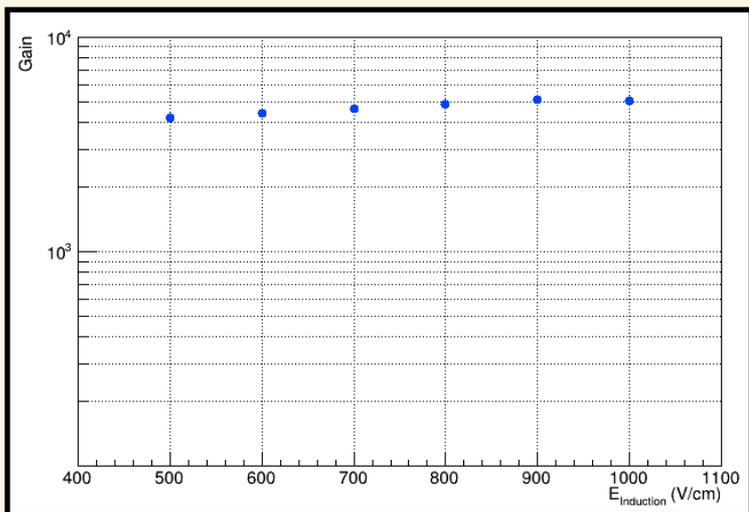
◎ Transfar電場依存性



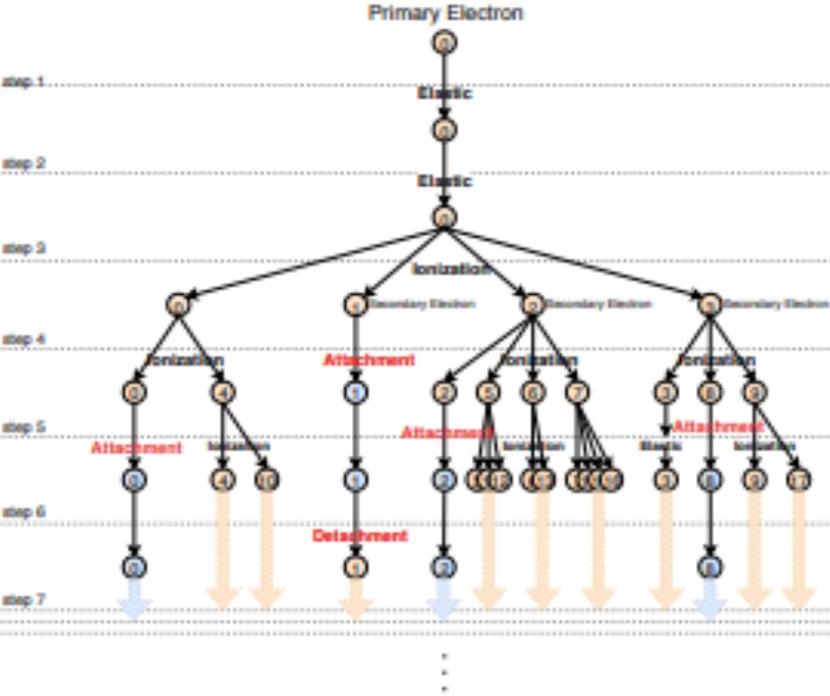
◎ Induction電場依存性



◎ Drift電場依存性



Garfield ++ DriftLine



Stack	Driftline	Endpoint
Stack(0)	Driftline(0)	
Stack(0)	Driftline(0)	
Stack(0)	Driftline(0)	
Stack(0), Stack(1), Stack(2), Stack(3)	Driftline(0), Driftline(1), Driftline(2), Driftline(3)	
Stack(0), Stack(2), Stack(3), Stack(4), Stack(5), Stack(6), Stack(7), Stack(8), Stack(9)	Driftline(0), Driftline(1), Driftline(2), Driftline(3), Driftline(4), Driftline(5), Driftline(7), Driftline(8), Driftline(9)	
Stack(0), Stack(1), Stack(2), Stack(3), Stack(4), Stack(5), Stack(6), ..., Stack(17)	Driftline(0), Driftline(1), Driftline(2), Driftline(3), Driftline(4), Driftline(5), ..., Driftline(17)	
Stack(0), Stack(1), Stack(2), Stack(3), Stack(4), Stack(5), Stack(6), ...	Driftline(0), Driftline(1), Driftline(2), Driftline(3), Driftline(4), Driftline(5), (Left Drift Area or Sensor Area)

EndPoint

