

NEWAGE実験53  
ガス検出器シミュレーションを用いた  
陰イオンガス $\mu$ -TPCのための  
陰イオンガス中MPGD特性研究

神戸大理

石浦宏尚, 身内賢太郎, 橋本隆, 池田智法,  
中村拓馬, 越智敦彦, 中村輝石, 伊藤博士

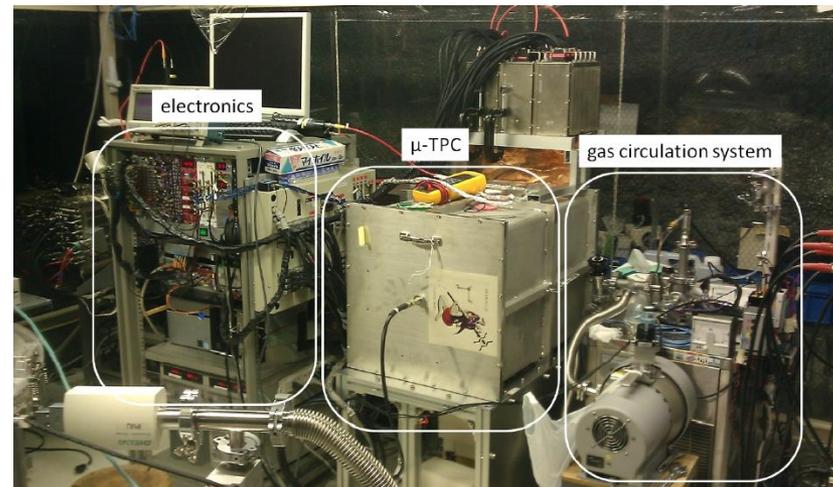
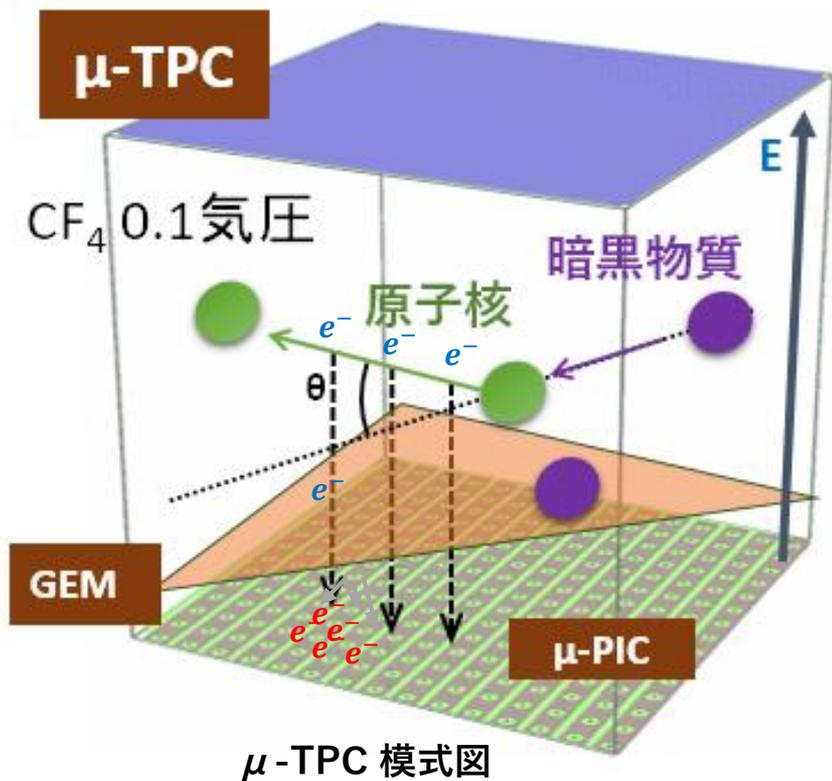
# 発表Outline

- **NEWAGE**
- **陰イオン $\mu$ -TPC (NI $\mu$ -TPC)**
- **陰イオンガス中MPGD特性**
  - **GEM基礎測定**
  - **陰イオンガス中MPGDシミュレーション**
- **暗黒物質探索に向けて**
- **結論**

➤ **NEWAGE** (NEw general WIMP search with an Advanced Gaseous tracker Experiment)

3次元ガス飛跡検出器( $\mu$ -TPC)を用いた**方向に感度を持つ**暗黒物質直接探索実験

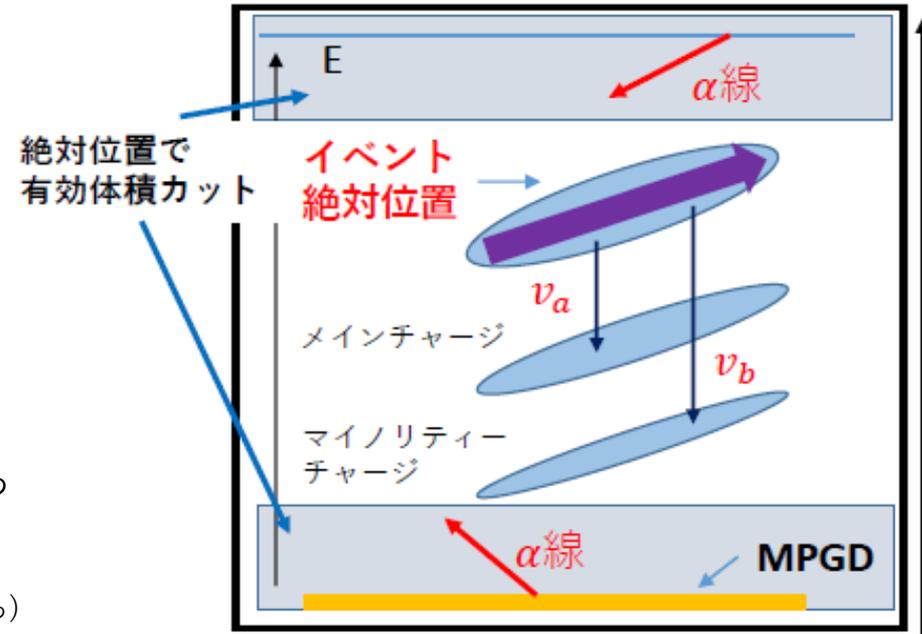
➤ 暗黒物質により原子核反跳されたフッ素原子核の飛跡をとらえる



NEWAGE検出器 NEWAGE -0.3b' @神岡

東京大学宇宙線研究所  
 神岡宇宙素粒子研究施設地下実験室で観測中

GEM,  $\mu$ -PIC : MPGD(Micro Pattern Gaseous Detector)の一種

陰イオン $\mu$ -TPC模式図

## NEWAGE 現状の課題

- **バックグラウンド(BG)**で感度制限  
(検出器由来 $\alpha$ 線)

Hashimoto et al.  
arXiv:1707.09744

## ➤ 陰イオン $\mu$ -TPC

- 拡散小 (電子に比べ)
- **絶対位置決定**で有効体積カット  
複数種陰イオンのドリフト速度差から  
→ **BG削減**(右図)  
CS<sub>2</sub>(DRIFT(英))、その後SF<sub>6</sub>で実証(N.Phanら)

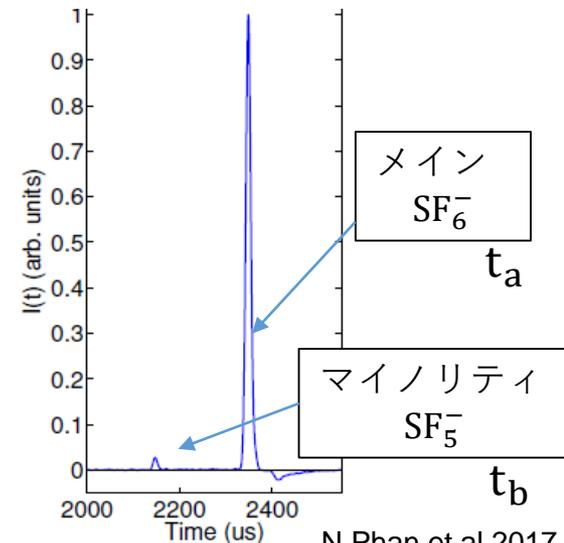
## → 陰イオン $\mu$ -TPCの開発・改良

- エレクトロニクス開発(15pK210-2 中村拓馬Talk)
- **MPGDでの陰イオン描像理解:**

- 完全な理解まだ
- シミュレーション手法  
確立されていない

$$\text{絶対位置 } z = (t_a - t_b) \frac{v_a v_b}{v_b - v_a}$$

理解&確立の必要  
(本発表)

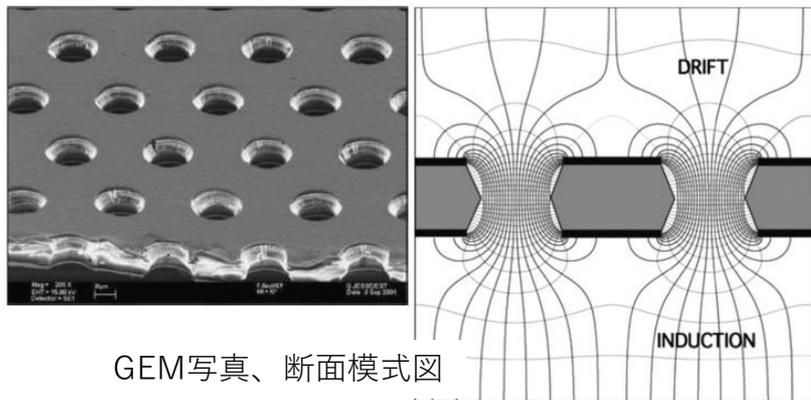


# 陰イオンガス中MPGD特性

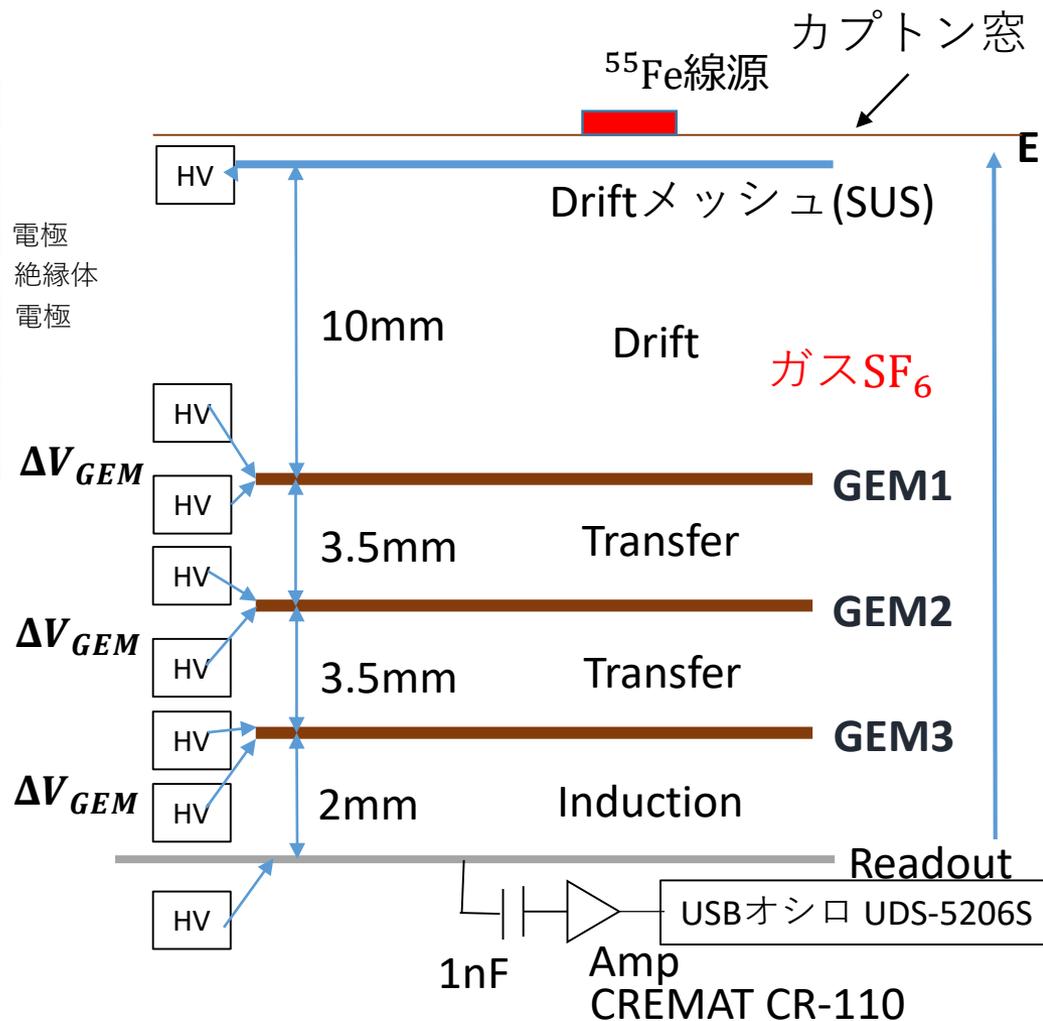
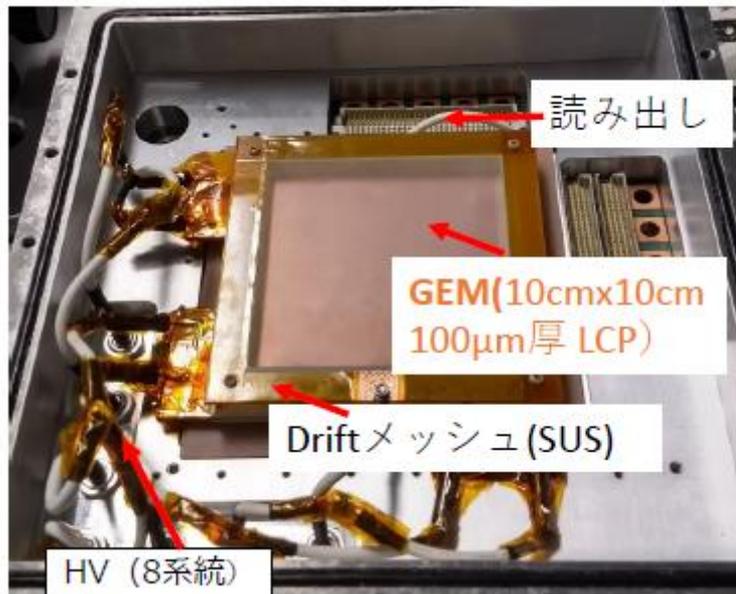
基礎測定としてSF<sub>6</sub>ガス(陰イオンガス)中GEMガスゲインを測定

➤ 100 μm GEM 2 or 3段を用いてガス圧、印加電圧を変え測定

GEM厚 50 μm 3段、400 μm 1段の先行研究あり

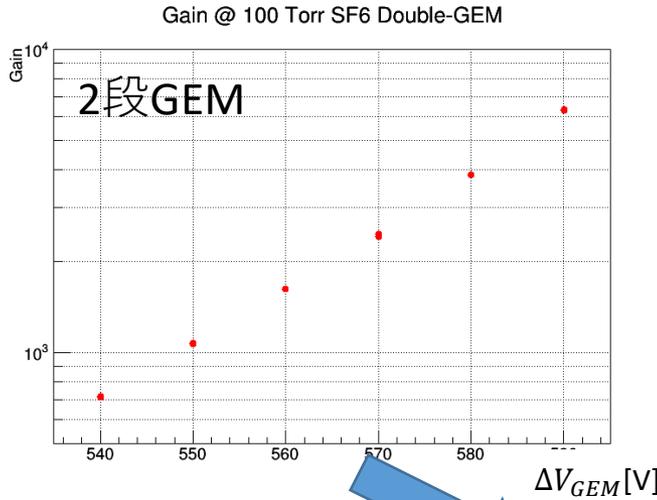


GEM写真、断面模式図

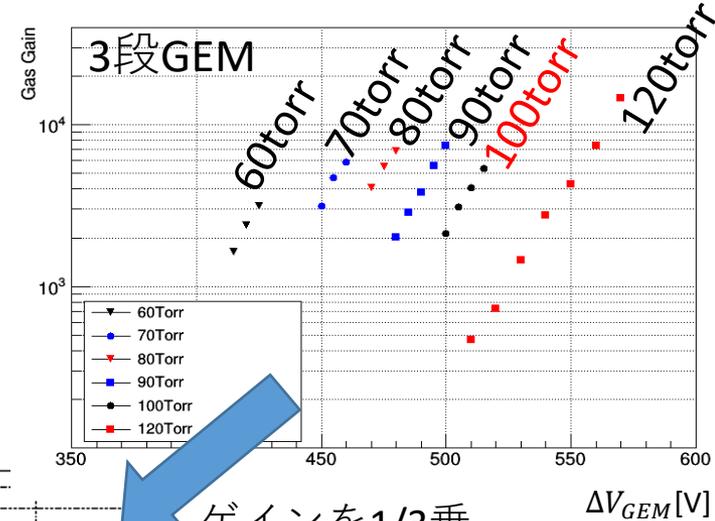


# 2段/3段GEM 測定結果

2段/3段GEMの結果から1段当たりのゲイン計算 (100 Torr)



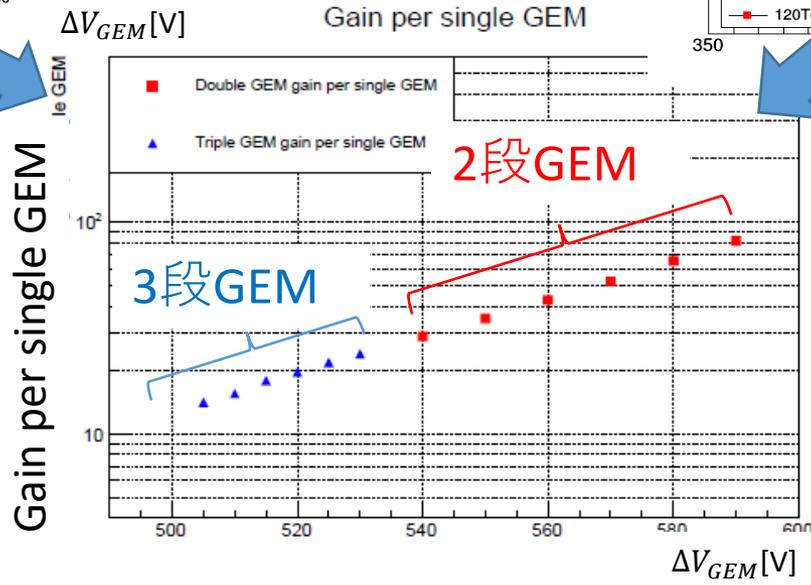
$\Delta V_{GEM}$  and Gas Gain (SF<sub>6</sub> 60~120torr)



ゲインを1/2乗

ゲインを1/3乗

1段当たりガスゲイン  
→ 一直線上  
→ GEM間電荷損失  
ほぼ無し



2段、3段GEM  
• 脱離・増幅・吸着過程が  
N(=2,3)回繰り返し  
→ 段ごとのプロセスに着目

1段GEM(N=1)  
について考えればよい

## 目標

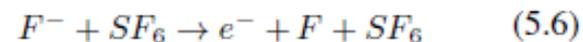
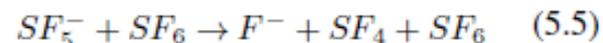
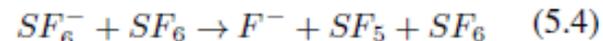
➤ 1段GEMシミュレーションを行いゲインカーブを再現

# 陰イオンガス中MPGDシミュレーション

Garfield++: 陰イオンからの電子脱離プロセス含まれず

→陰イオンからの電子脱離プロセスを組み込む必要

## 電子脱離の反応



➤ 電子脱離のモデルとして

### 1) 実験結果から推定したトイモデル

GEM中電場 40~50kV/cm @100Torr で脱離 (実験より)

40~50kV/cm付近で電子脱離確率が立ち上がるモデル (右下図 赤線)

### 2) 電子脱離電場依存モデル(右下図)

電子脱離反応断面積から構築した

( $\xi=1$  青 or  $\xi=10$  マゼンダ)

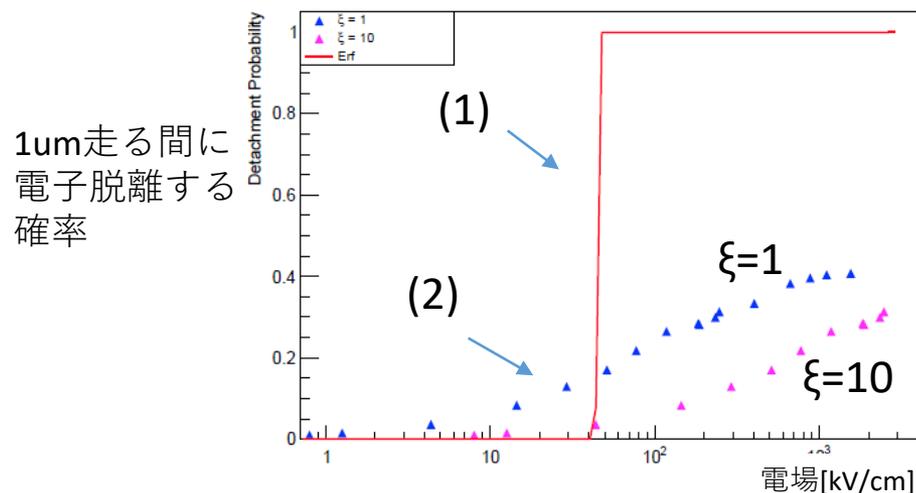
を用いてシミュレーション

反応に必要なエネルギー $\epsilon$   
平均自由行程 $\lambda$ から反応の起こる電場 $E$   
 $\xi$ は自由パラメータとして

$$E = \xi \epsilon / \lambda$$

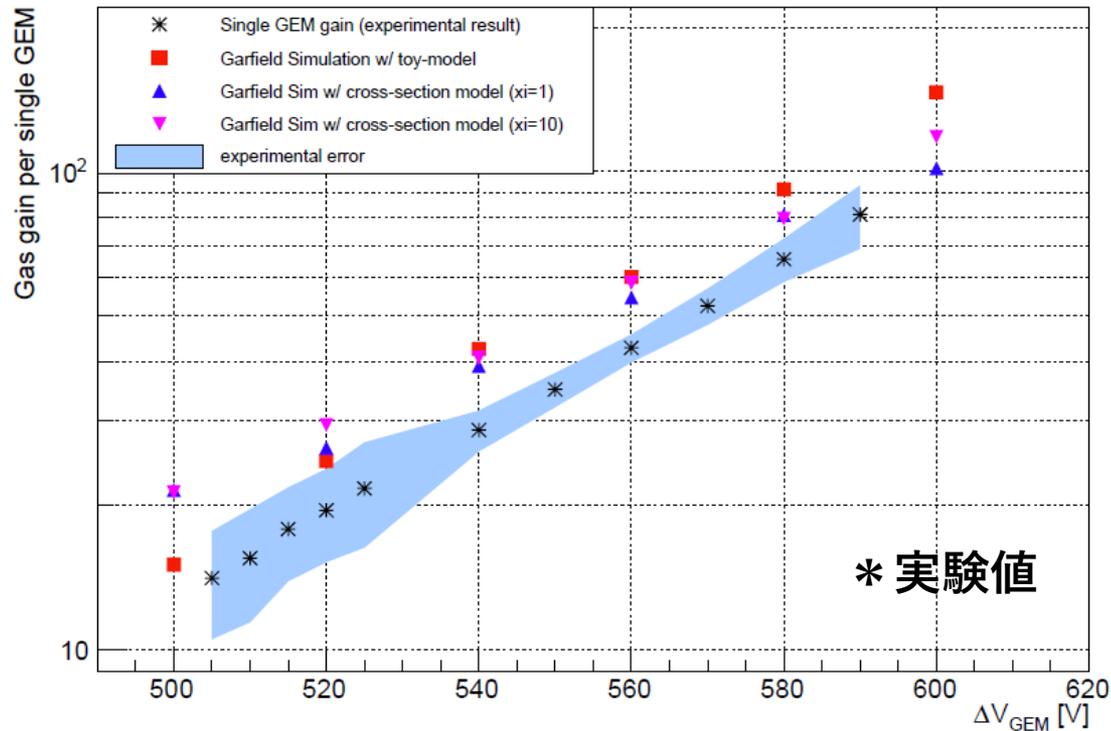
電子脱離確率

Detachment Probability



# シミュレーション結果

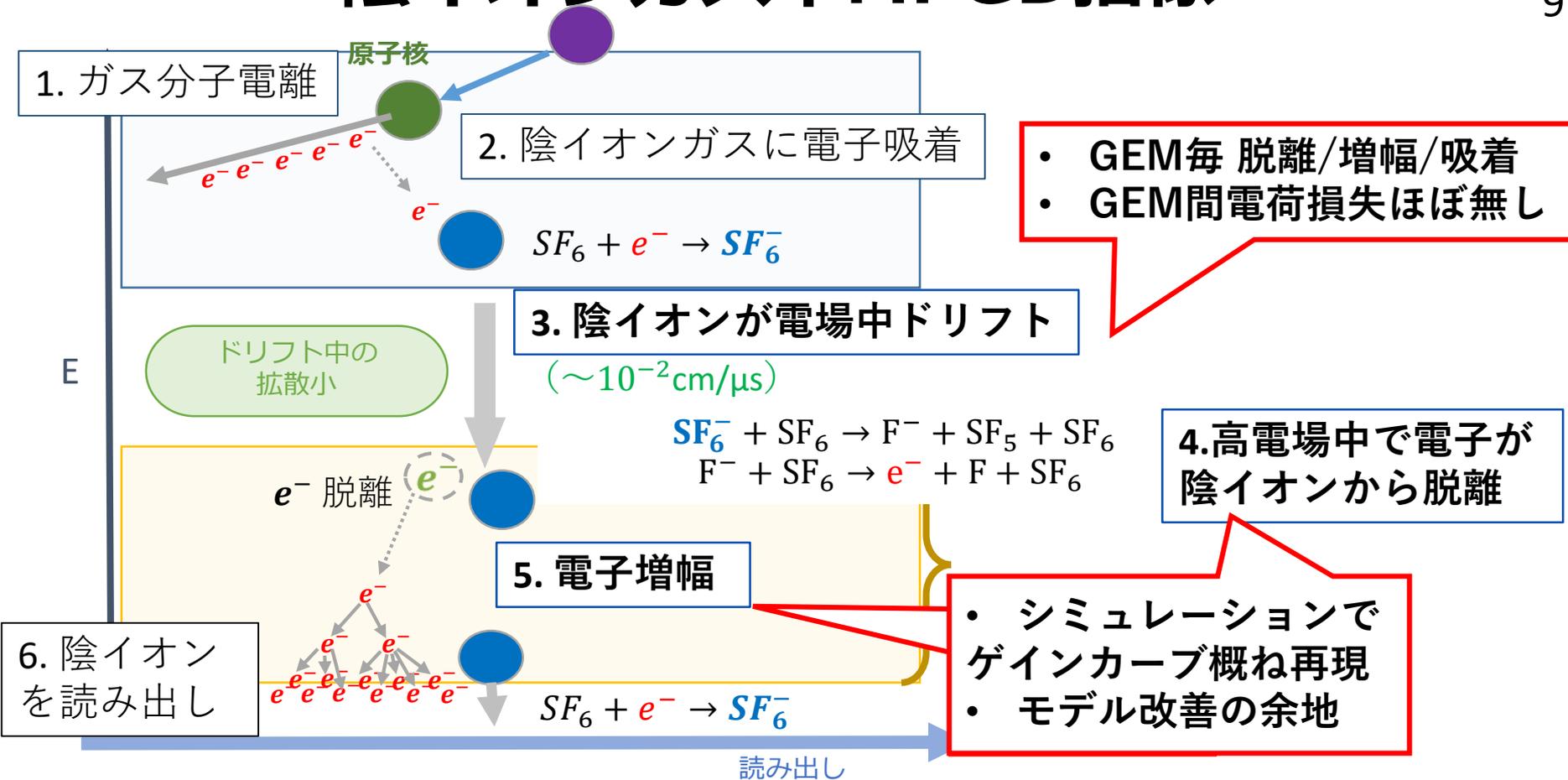
- 1) 40~50kV/cmの電場付近で電子脱離確率が立ち上がる Toy Model (赤 ■)
  - 実験で得られたゲインカーブと Garfield++ を用いた再現
- 2) 電子脱離の反応断面積を考慮したモデル (青 ▲、マゼンダ ▼)
  - 反応断面積モデルでは Toy Model と実験値に比べ、傾き小



反応断面積モデルは低電場でも電子脱離が起き、増幅長が Toy Model より長く  
→ 傾きに違い

電子脱離確率電場依存モデルのパラメータ再考の必要性

# 陰イオンガス中MPGD描像



## MPGD描像&シミュレーションから

- ガスゲイン/エネルギー分解能の理解→エネルギー閾値へ
- メイン&マイノリティチャージ検出向上→有効体積カットなど運用条件最適化

大型NI $\mu$ -TPC実現&最適化へ

# 暗黒物質探索に向けて

## ➤ $\mu$ -PIC の低アルファ化

(橋本隆 博士論文、14pK203-9池田智法 Talk)

従来(NEWAGE2015) に比べ感度約10倍 を達成 (NEWAGE2019 preliminary)

+

今から

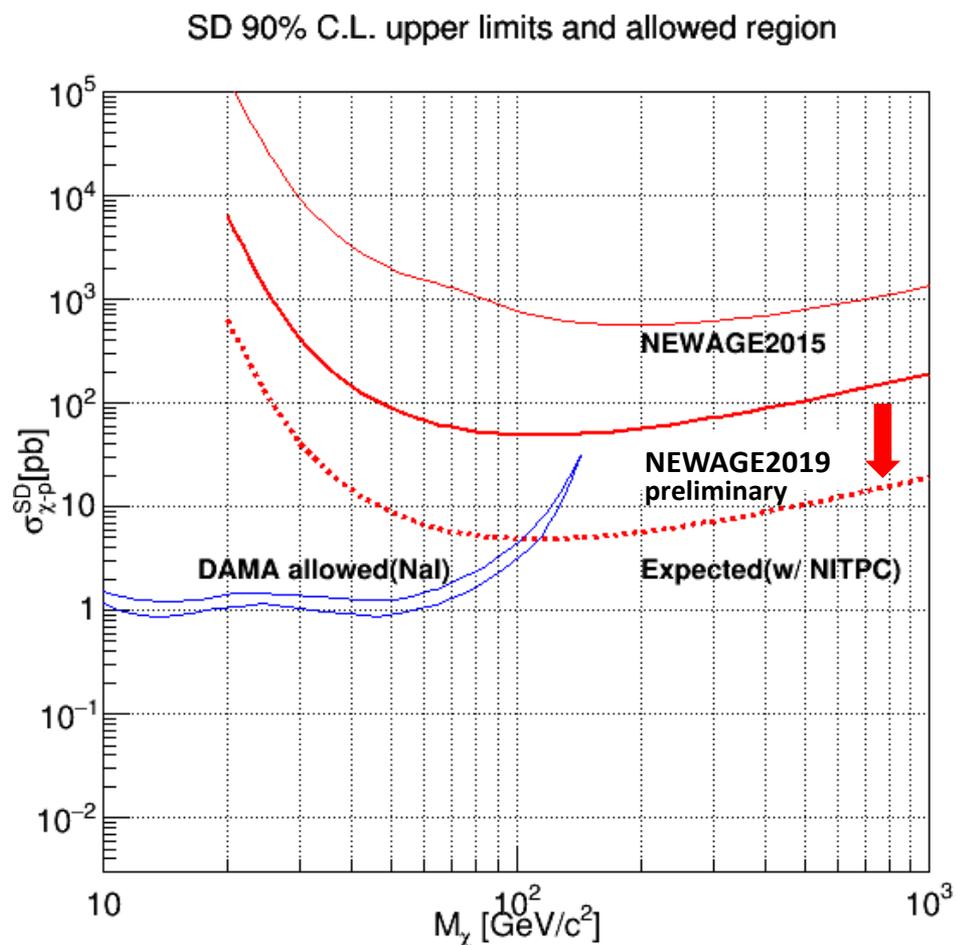
## ➤ 大型NI $\mu$ -TPCの実現・運用

- 有効体積カットBG低減  
( $\mu$ -PIC,カソード由来等)
- 大容積化



目標 現状比感度10倍  
(Expected w/ NITPC)  
を目指す

暗黒物質探索感度向上  
DAMA領域探索へ



- 今後
  - 理解した特性+シミュレーションを用いてMPGD/TPCの選定&改良
    - 陰イオンガス $\mu$ -TPC開発、暗黒物質探索感度向上へ
  
- まとめ
  - NEWAGE : 方向感度を持つ暗黒物質探索
    - 検出器由来 $\alpha$ 線バックグラウンドで感度制限→低減必要
    - バックグラウンド低減のため陰イオンガスTPC開発中
  
  - 陰イオンガスTPC開発・改良のためMPGD基礎特性を研究
    - GEMの基礎測定
    - シミュレーション手法を開発、ゲインカーブを概ね再現  
→陰イオンガス中MPGD描像理解を進めた