

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 μ -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

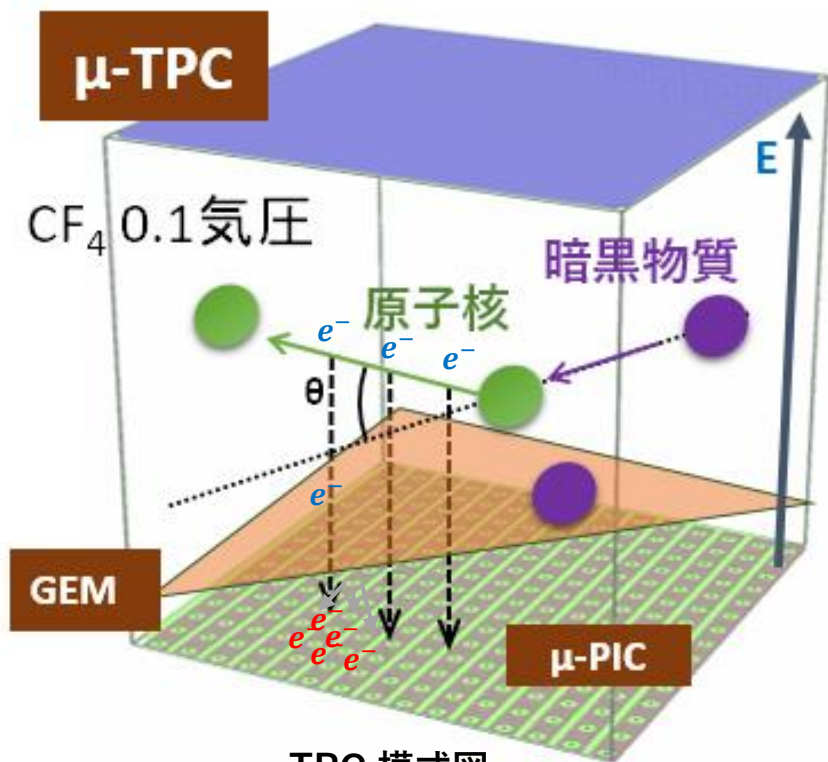
発表Outline

- **NEWAGE**
- **陰イオン μ -TPC (NI μ -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**

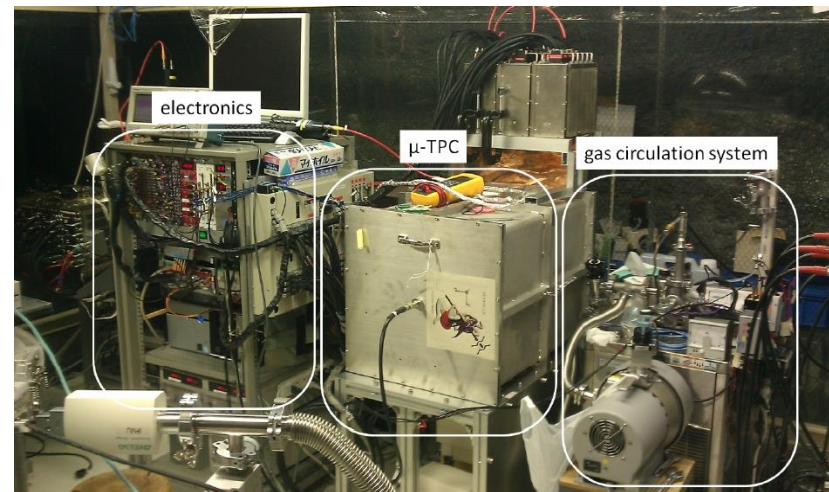
➤ **NEWAGE** (NEw general WIMP search with an Advanced Gaseous tracker Experiment)

3次元ガス飛跡検出器(μ -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



μ -TPC 模式図

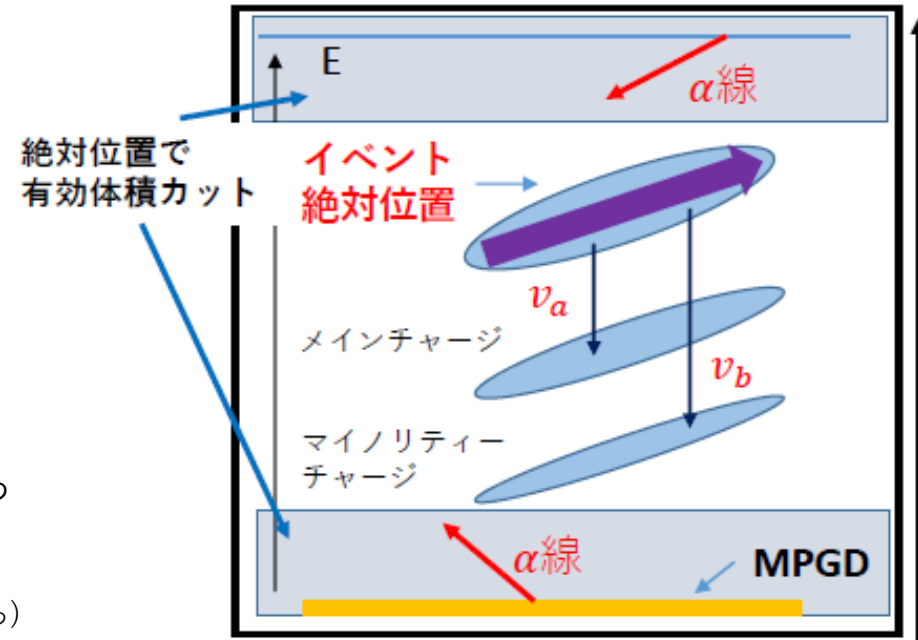


NEWAGE検出器 NEWAGE -0.3b' @神岡

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, μ -PIC : MPGD(Micro Pattern Gaseous Detector)の一種

陰イオン μ -TPC (NI μ -TPC)

陰イオン μ -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 α 線)

Hashimoto et al.
arXiv:1707.09744

➤ 陰イオン μ -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)
CS₂(DRIFT(英))、その後SF₆で実証(N.Phanら)

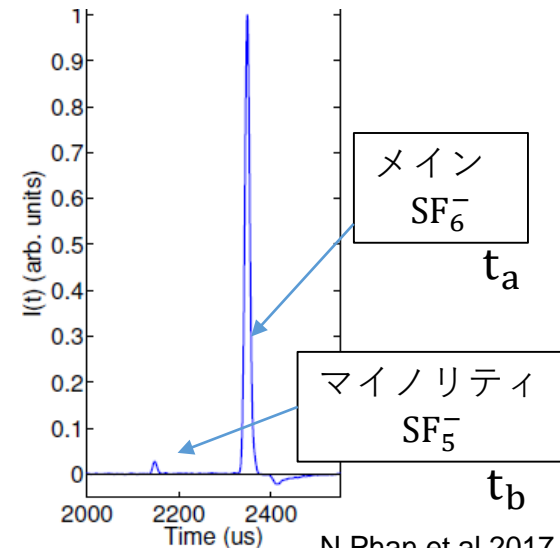
→ 陰イオン μ -TPCの開発・改良

- 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)

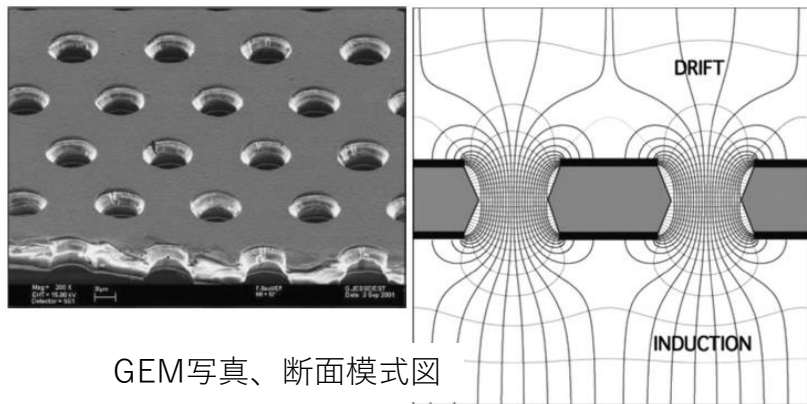


陰イオンガス中MPGD特性

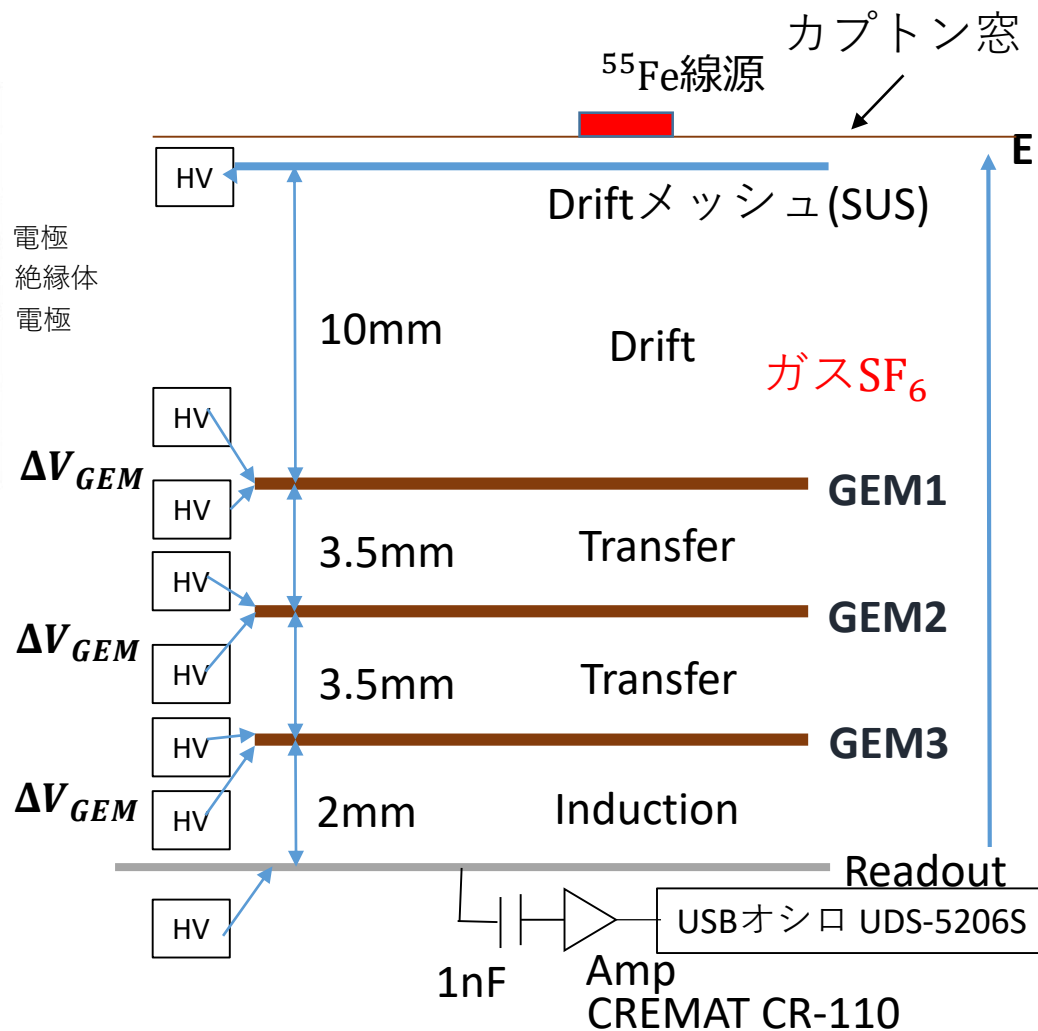
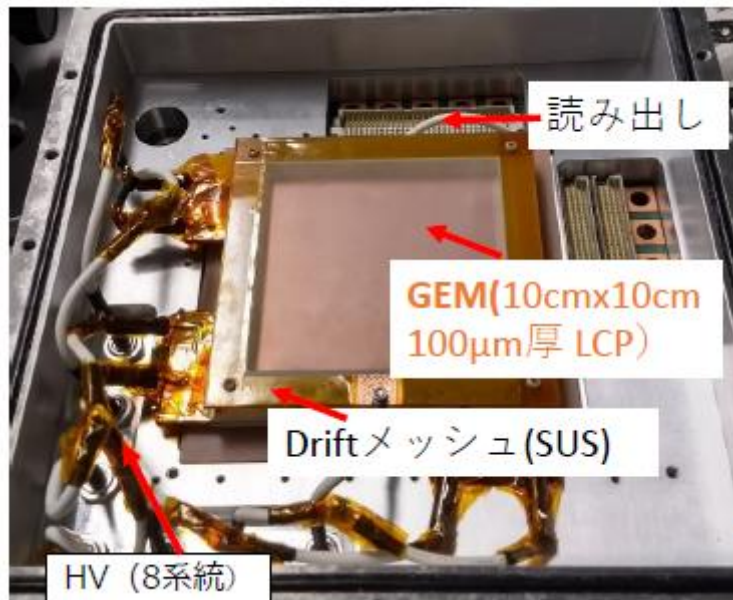
基礎測定としてSF₆ガス(陰イオンガス)中GEMガスゲインを測定

➤ 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

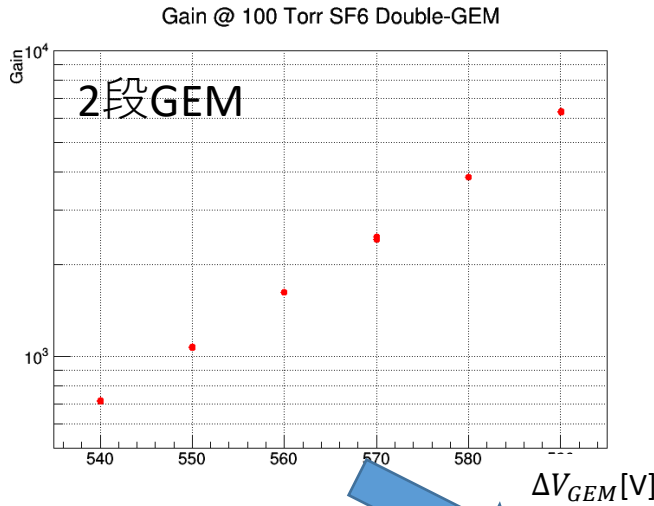


GEM写真、断面模式図

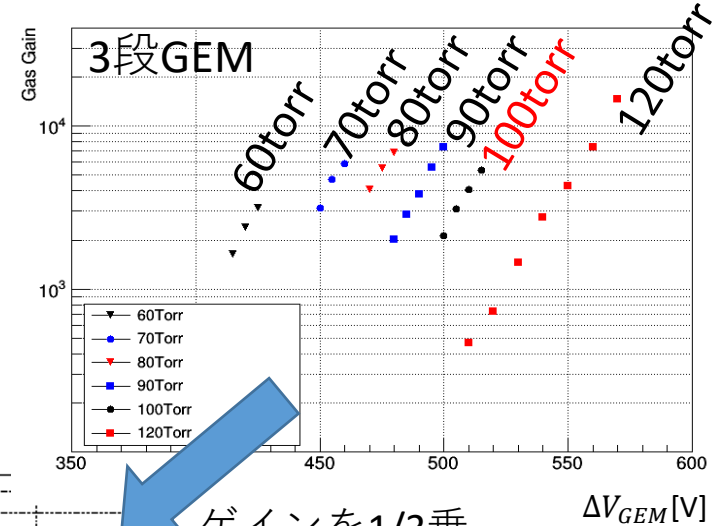


2段/3段GEM 測定結果

2段/3段GEMの結果から1段当たりのゲイン計算 (100 Torr)



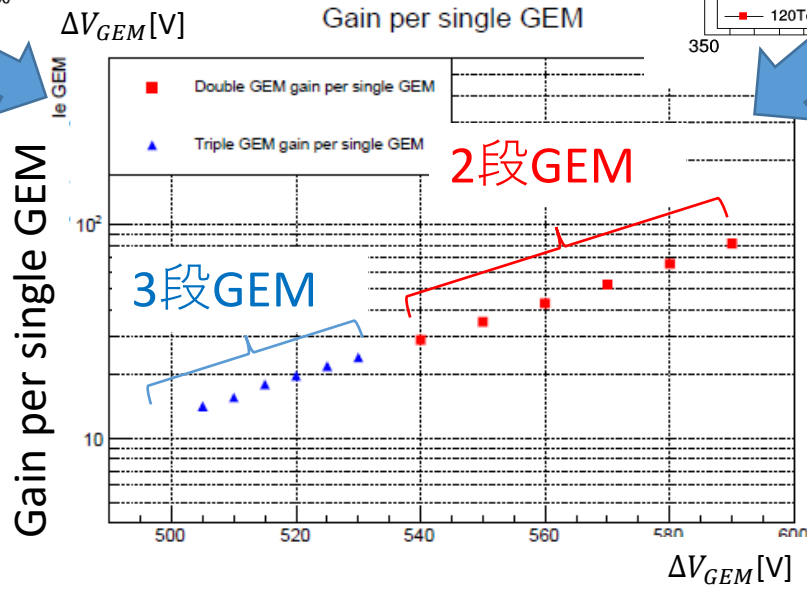
ΔV_{GEM} and Gas Gain (SF₆ 60~120torr)



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

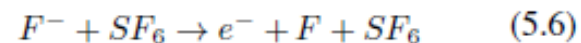
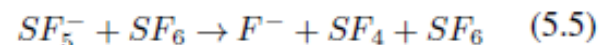
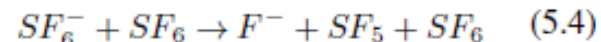
➤ 1段GEMシミュレーションを行いゲインカーブを再現

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)

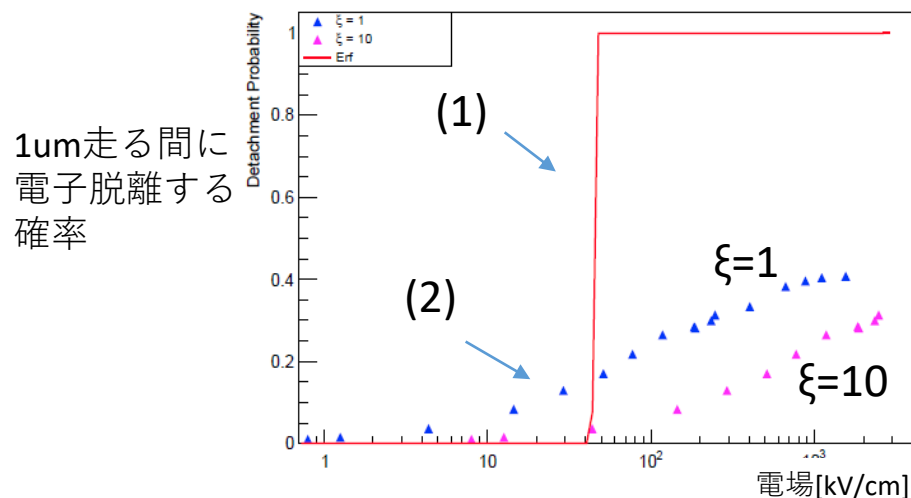
を用いてシミュレーション

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

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

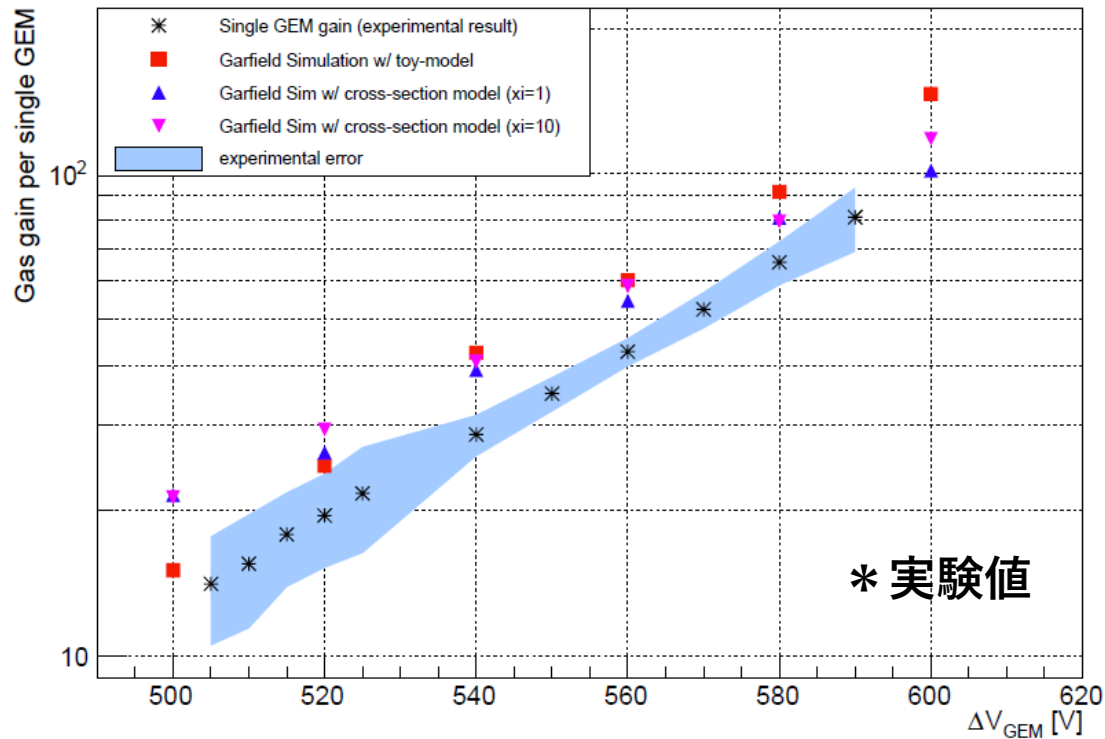
電子脱離確率

Detachment Probability



シミュレーション結果

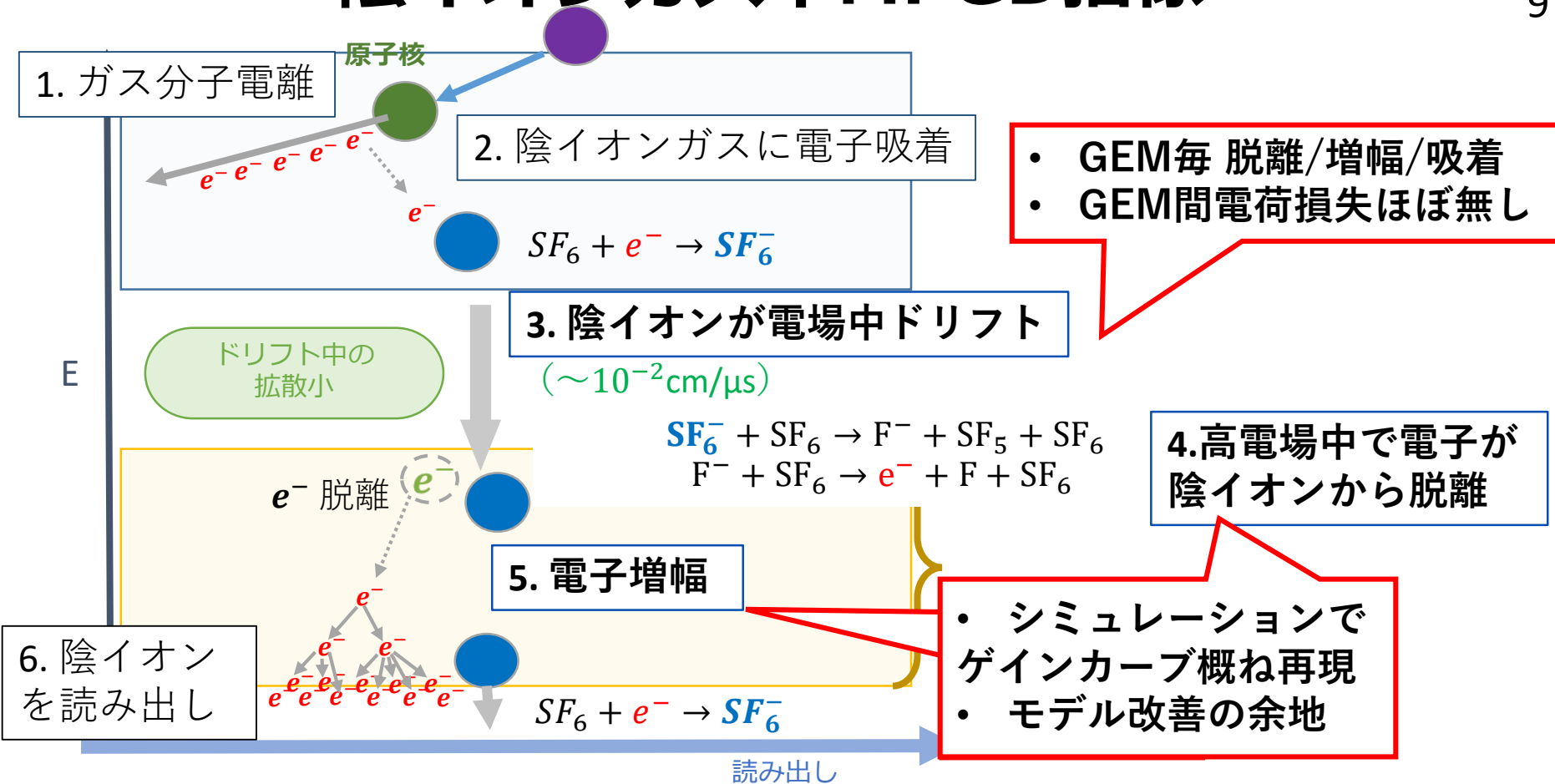
- 1) 40~50kV/cmの電場付近で電子脱離確率が立ち上がる Toy Model (赤 ■)
 - 実験で得られたゲインカーブと Garfield++ を用いた再現
- 2) 電子脱離の反応断面積を考慮したモデル (青 ▲、マゼンダ ▼)
 - 反応断面積モデルでは Toy Model と実験値に比べ、傾き小



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 μ -TPC実現&最適化へ

暗黒物質探索に向けて

➤ μ -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

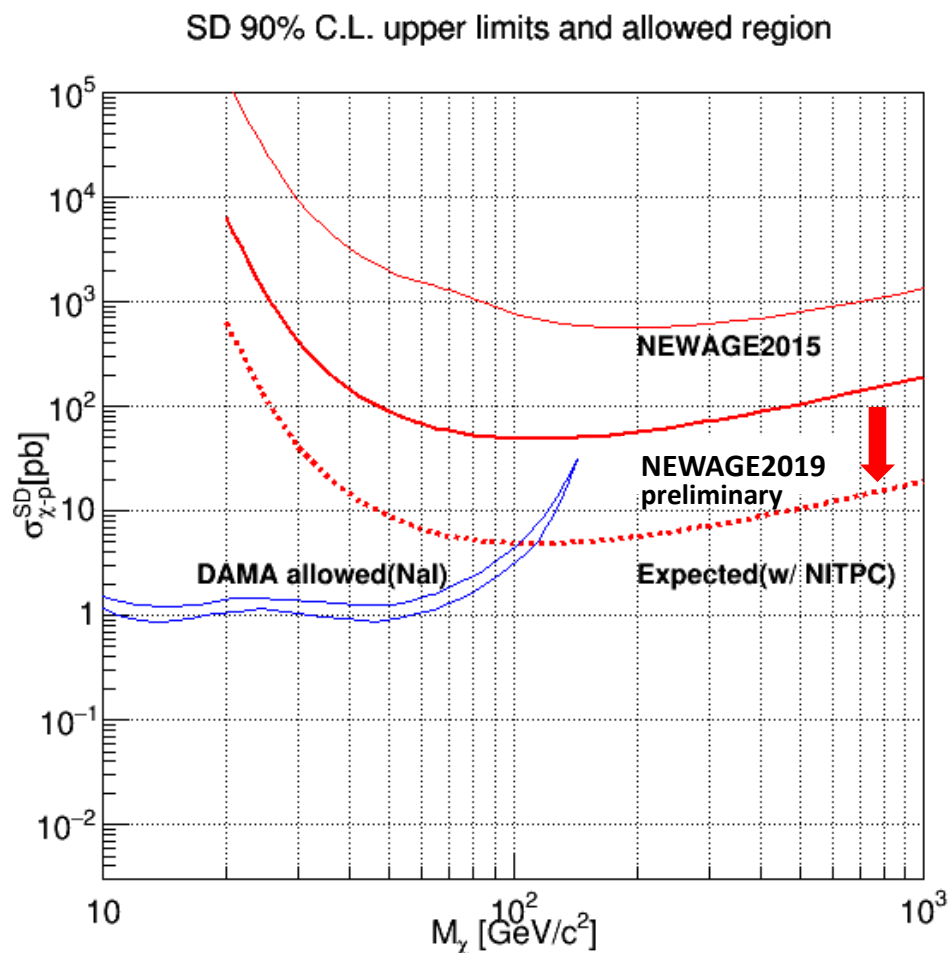
➤ 大型NI μ -TPCの実現・運用

- 有効体積カットBG低減
(μ -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 μ -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 α 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