

陰イオンガス μ -TPCに用いる MPGDの陰イオンガス中 特性研究

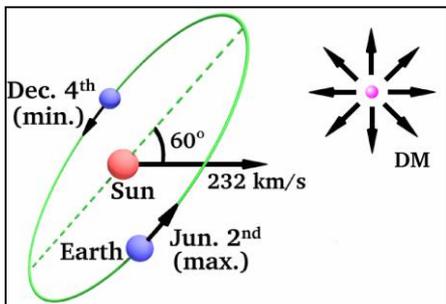
2018年9月14日 日本物理学会 2018年秋季大会
@信州大学(松本キャンパス)

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

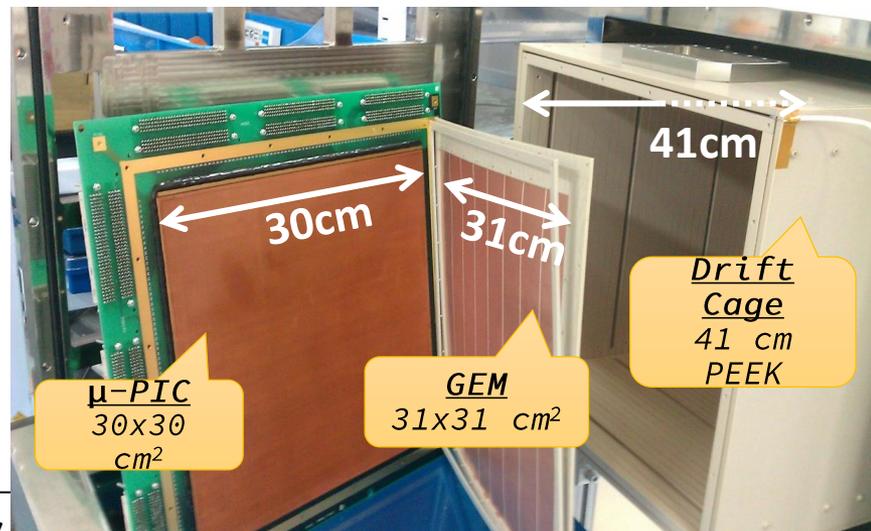
目次

- Introduction
 - NEWAGEについて
 - 陰イオンガス μ TPCによるBG対策
 - 陰イオンガス中でのMPGD
- SF₆ 中におけるGEM測定結果
 - Triple/Double-GEM in SF₆ 測定
- SF₆ 中でのMPGDシミュレーションへの取り組みの現状
 - シミュレーションの必要性
 - Garfield++/Magboltz を用いたシミュレーションへの取り組み
- まとめ

- 神戸大主導の**方向に感度を持つ**暗黒物質直接探索実験
- ガス検出器「 μ -TPC」を用いて到来方向異方性の観測を目指す

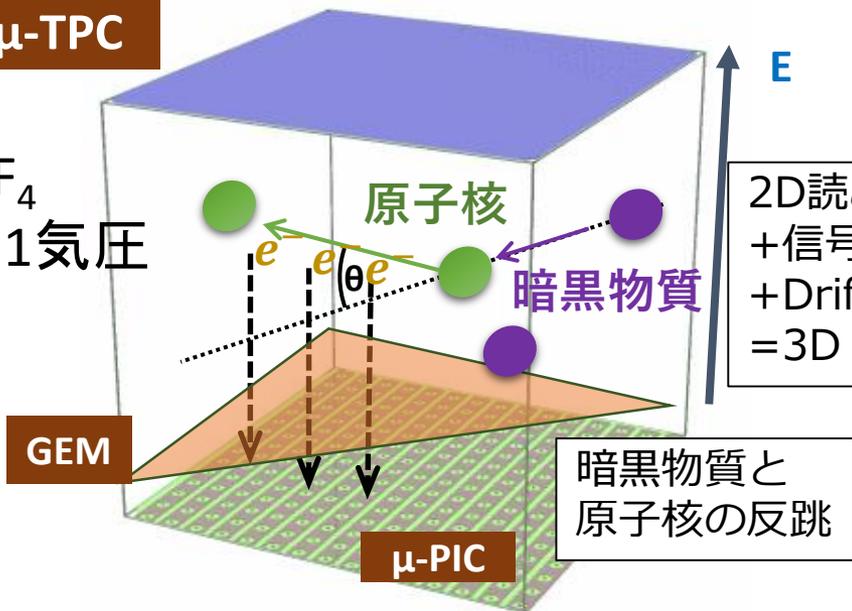


太陽系が銀河中を移動することで受ける「暗黒物質の風」の向きを観測したい



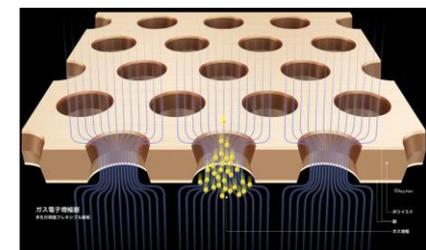
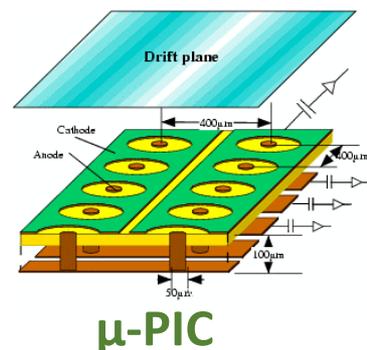
μ -TPC

CF₄
0.1気圧



2D読み出し
+信号時間差
+Drift速度
=3D

暗黒物質と
原子核の反跳



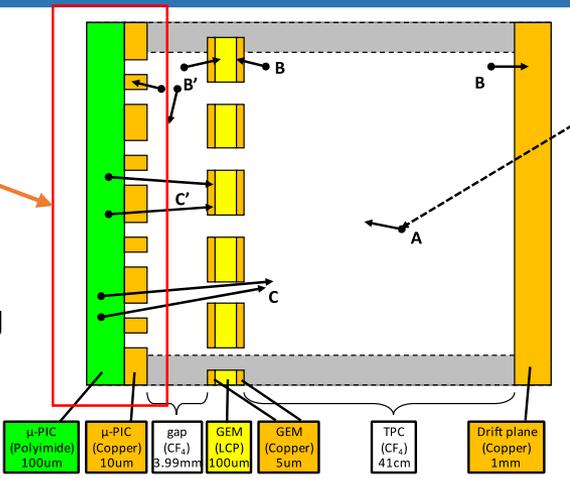
μ -PIC

GEM

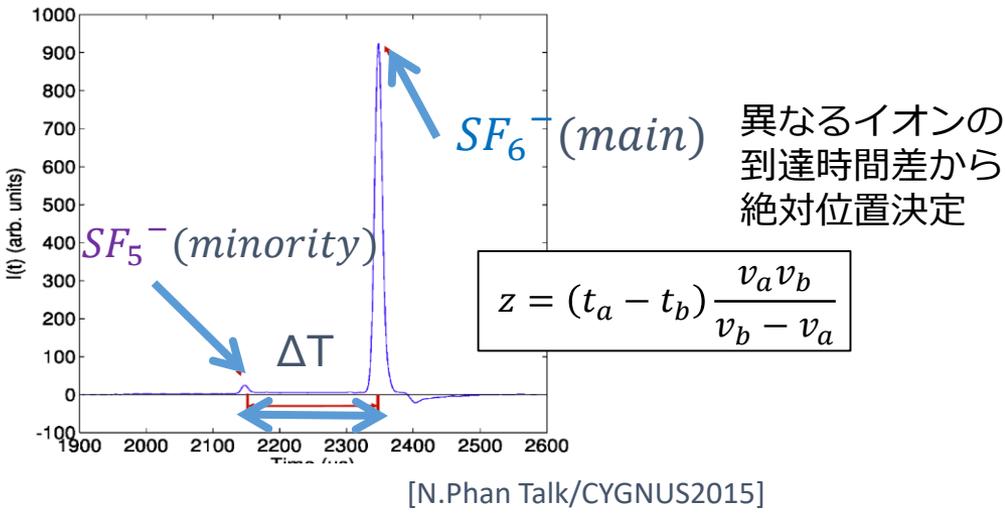
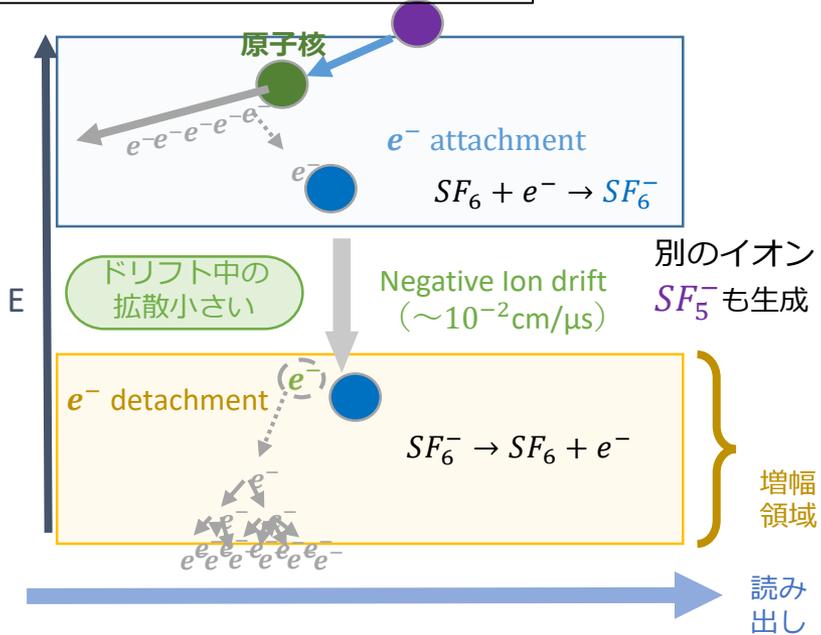
陰イオンガスμTPCによるBG対策

μ-TPCの課題：μ-PICのガラス繊維由来α線BG

- 対策
 - μ-PICの低アルファ化によるBG低減(橋本隆 16pS13-6)
 - 陰イオンガスを用いたz軸方向絶対位置決定
- DRIFTグループ(英・米):陰イオンガスを用いたZ方向絶対位置決定に成功



陰イオンガスμTPCの原理



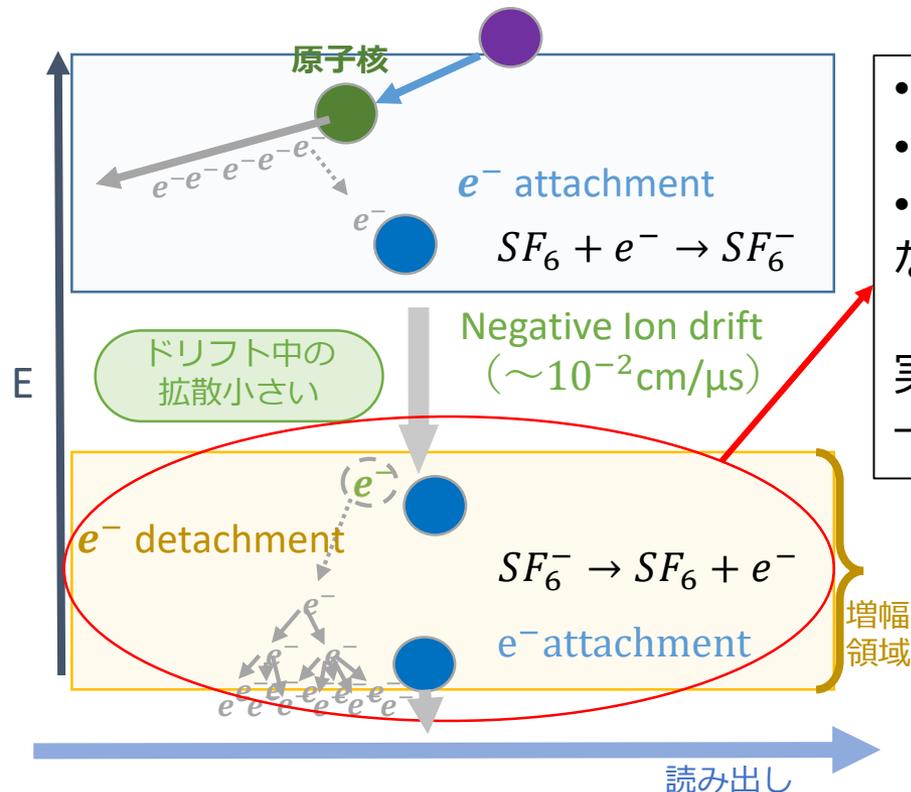
→陰イオンガスμTPCを用いたZ方向有効体積カット (池田智法 16pS13-7)

陰イオンガス中におけるMPGD

目的：陰イオンガスμTPCを用いたBG低減

- 陰イオン中でのMPGD特性を理解し、DM探索に向けた検出器最適化へつなげる

→陰イオンガスの一つであるSF₆を用いた研究へ



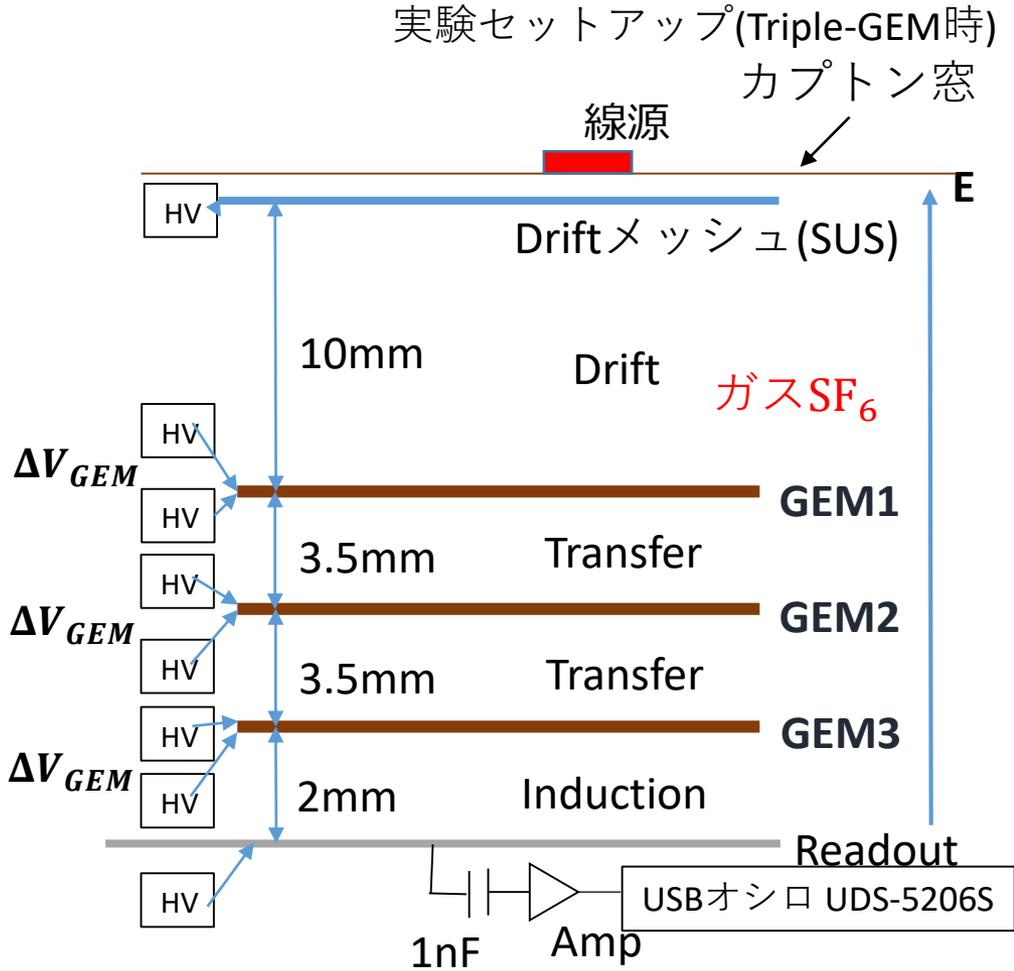
- 電子増幅過程
 - 電子捕獲(attachment)
 - 電子放出(detachment)
- などのプロセス

実験&シミュレーション&先行研究
→特性理解へ

他グループによる50 μm and 400 μm GEM、
他MPGDによる測定が存在
→GEM(100 μm)を用いた実験結果を併せて
統一的理解へとつなげる

陰イオンガス中におけるGEM測定

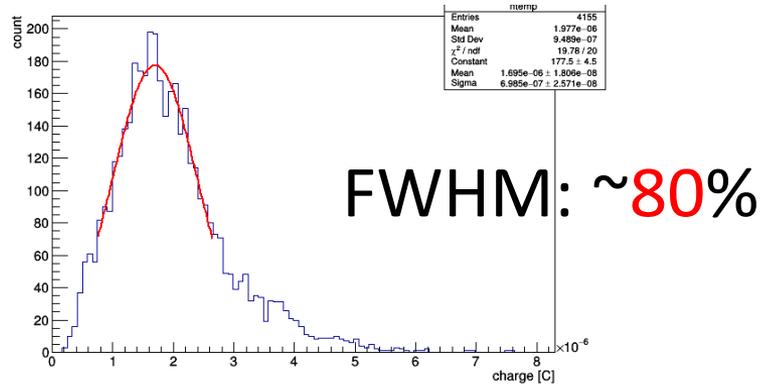
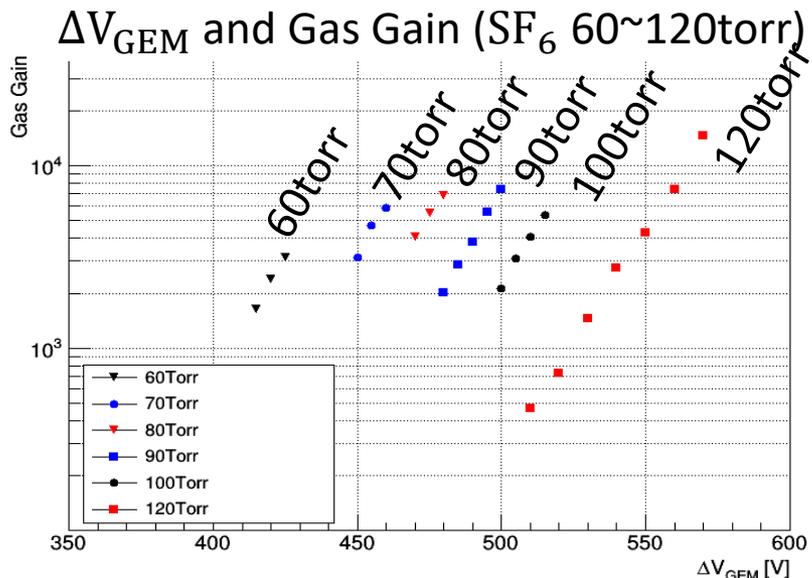
- Double/Triple-GEM
(Scienergy製 LCP 100 μ mGEM)
- SF₆ 100%, 圧力や電場を変えて
ガスゲイン測定



Amp : CREMAT CR-110, Gain : 1.4V/pC, 時定数:140 μ s
 Readout : 400 μ m pitch strip読み出し 24strip(9.6mm)束ねて使用
 HV: Drift, GEMx3のTop&Bottom, Readout

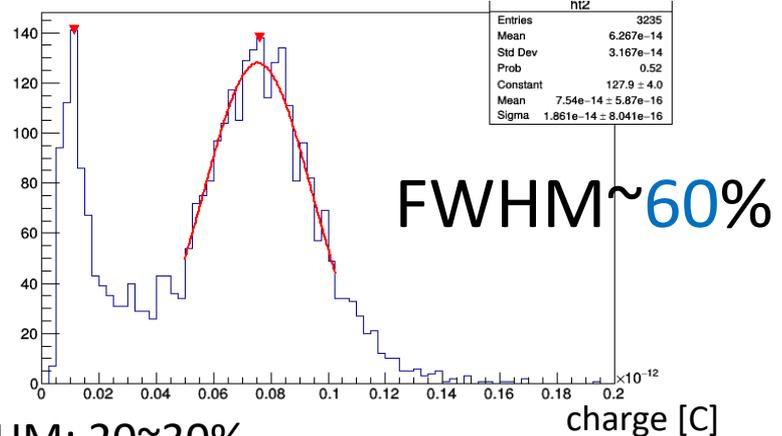
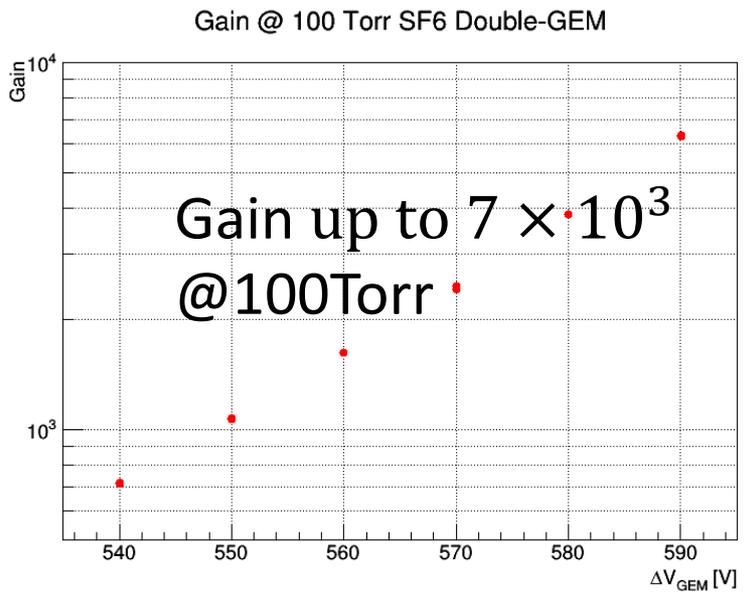
GEM ゲイン測定結果 in SF₆

• Triple-GEM



Ar + C₂H₆ 90:10 1atmでのTriple-GEM ゲイン FWHM: 20~30%

• Double-GEM



GEM ゲイン測定結果 in SF₆

100Torr Triple/Double-GEM測定結果から

それぞれの測定のゲインの3乗根/2乗根をとる (右下図)

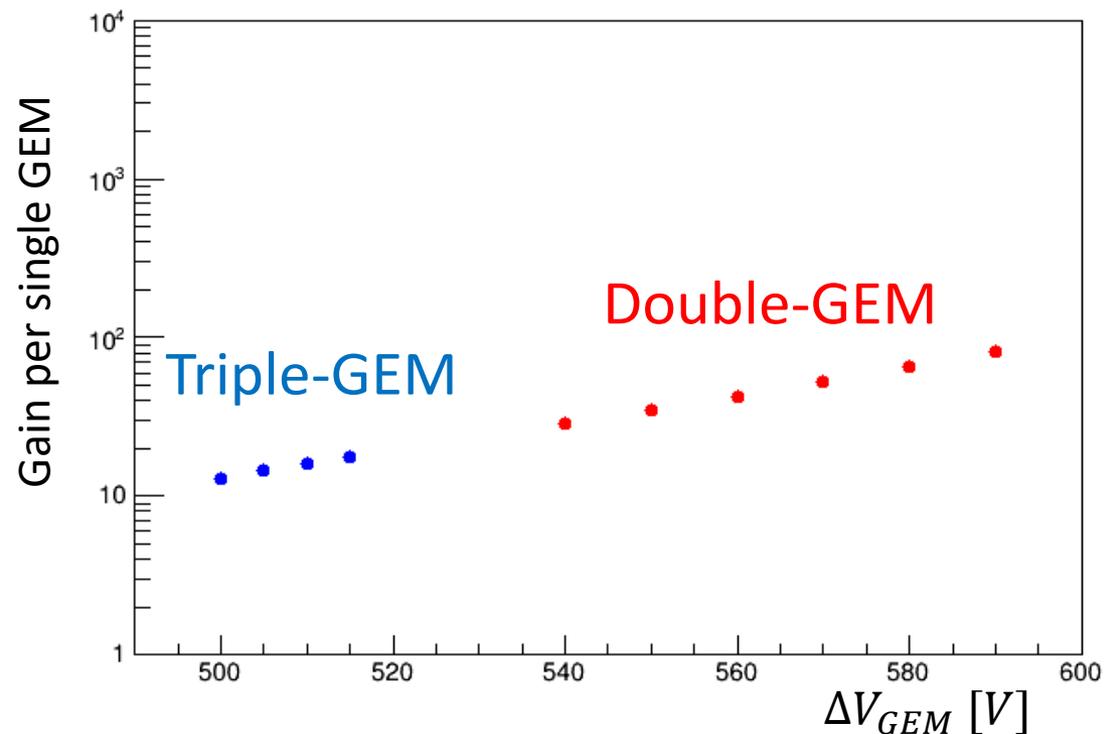
→同一線上に

- GEM間での電荷損失無視できる

今回の目的

- 1枚あたりのゲインカーブ
をシミュレーションで再現できるか

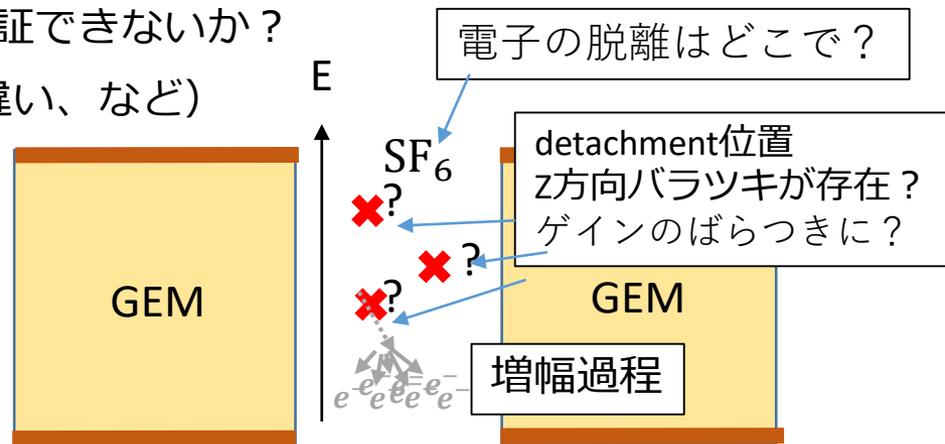
Triple and Double comparison @100Torr



SF₆中MPGDシミュレーションの試み

- MPGDの特性および測定結果 in SF₆
 - ガスゲイン、エネルギー分解能の大きさ(今回行ったGEMの測定結果など)
→シミュレーションを用いて説明、モデル検証できないか？
(ゲインカーブの傾き、エネルギー分解能の違い、など)

- MPGDシミュレーション手法
Garfield++やMagboltzを用いて行いたい



- Garfield++を用いたシミュレーション
 - SF₆ガス中での電子増幅とジオメトリの関係
 - SF₆イオンからの電子のdetachmentをどうするか？ (Garfield++に実装なし)

まずは

- Magboltzを用い、GEMによる実験結果 (ゲインカーブ) の再現を行うことを試みた

Garfield++/ Magboltz

Garfield++ およびMagboltzについて

- Garfield++
 - ガス・半導体検出器のシミュレーションツールキット
 - ガスや半導体といった媒質の特性、電極などのジオメトリ情報、電場情報について内部もしくは外部から取り込んだ上で電荷の輸送等について計算する
- Magboltz
 - 電子-ガス分子の反応断面積をもとに電場中での電子についてのボルツマン輸送方程式を解き or モンテカルロ法により、電場・磁場中でのdrift速度や拡散、Townsend係数などを計算するプログラム

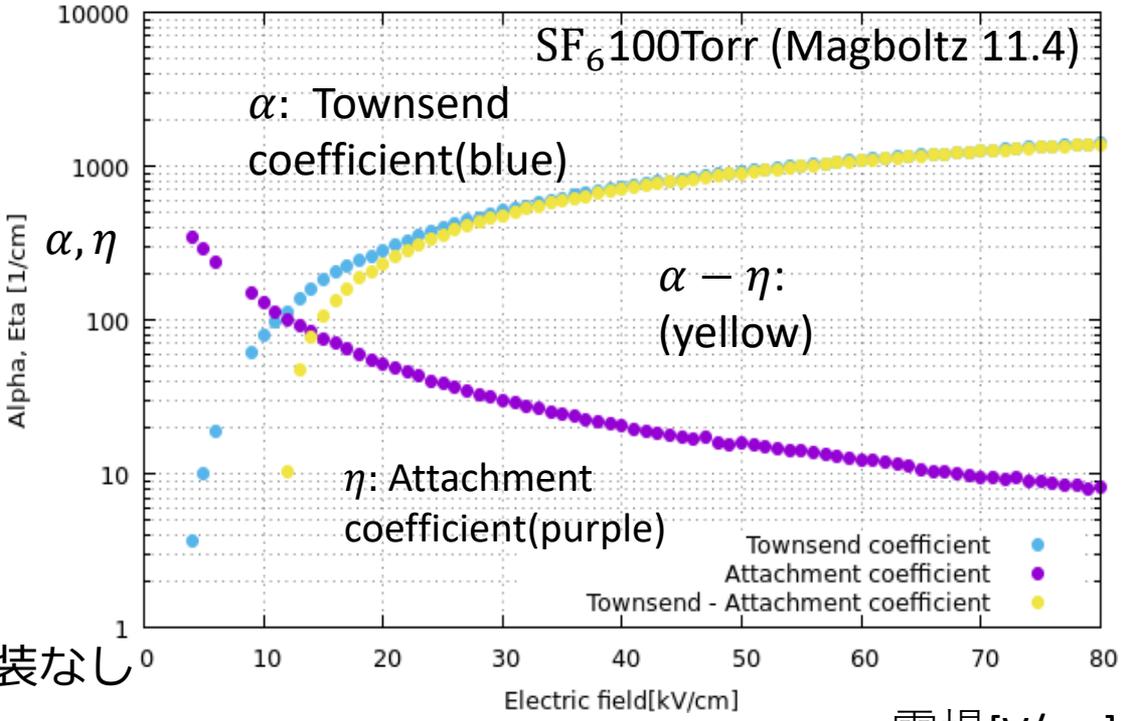
Magboltzを用いたTownsend/Attachment係数計算

- Townsend(α) / Attachment(η) 係数 計算結果 with Magboltz 11.4

Townsend(α): 単位長さあたりの電子増幅数 / Attachment(η): 単位長さあたりの吸着数

一様電場中で

- ここではTriple/Double-GEM 100Torrの測定結果再現を試みた。



- Garfield++: 電子detachment実装なし

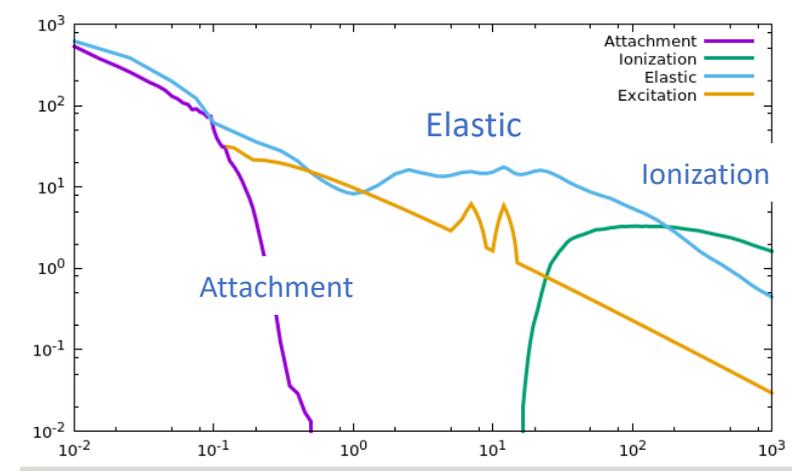
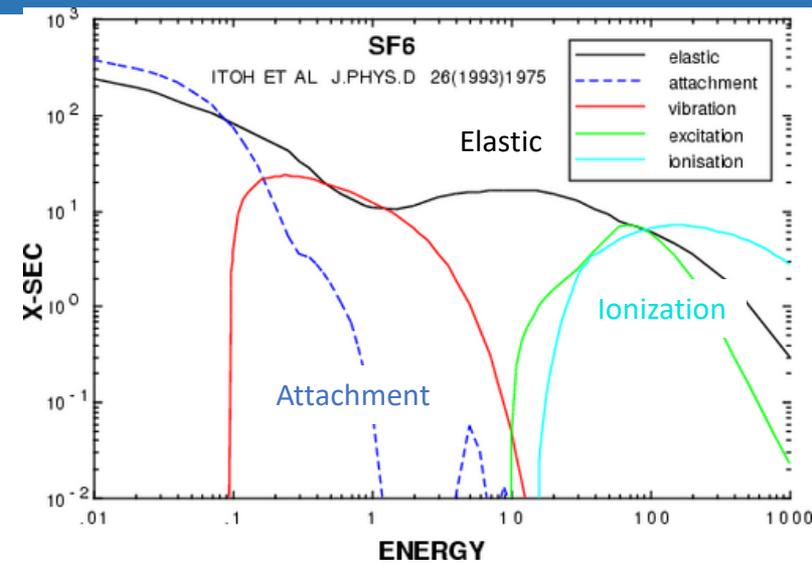
Magboltzを用いたTownsend/Attachment 計算から始めることに

Magboltz - SF₆データ

- Magboltzに含まれるe⁻/SF₆の反応断面積データ

➤ Magboltz 8.97 - Garfield++同梱(右上図)
(ITOH ET AL J.PHYS.D. 26 (1993) 1975-1979 から)
5つの反応の反応断面積のみ

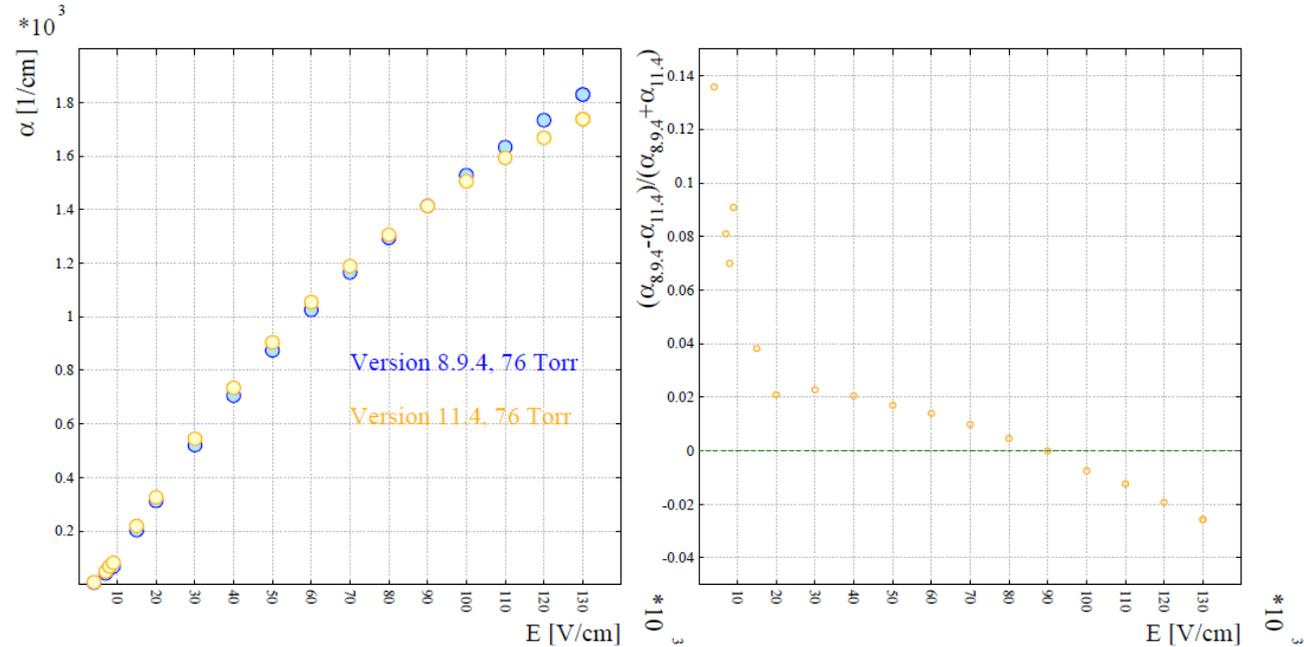
➤ Magboltz 10.6からのデータ (抜粋 右下図)
(Biagi (Magboltz 10.6 data),)
50つの反応断面積にアップデート



Biagi (Magboltz 10.6 data)

Magboltz Ver.による違い

- Townsend係数計算結果について、低い電場領域で



計算結果に違い

反応断面積データの違いによるものか、Magboltz自体の変更によるものかを調査必要

ただし、Magboltz 10.x以降はそのままGarfield++から呼び出せない
(インターフェースの変更により)

今後、バージョン間比較、Garfield++からMagboltz 11.4呼び出す方法など調査。

測定とシミュレーション結果比較

増幅領域の電場: $\Delta V_{GEM}/100 \mu m$ と仮定 Mabgoltzに計算した係数 α - η をもとに、
測定結果の1点(Triple-GEM $\Delta V_{GEM} = 500V$) の1枚あたりのゲインMから

$$M = \exp((\alpha - \eta) \times gap) \text{ と仮定して推定gap長を導出}(gap=27\mu m) \quad gap = \frac{\ln M}{\alpha - \eta}$$

そのgap長さを用いて
電場毎の α - η から

$M = \exp((\alpha - \eta) \times gap)$ を計算
傾きを再現できるか？

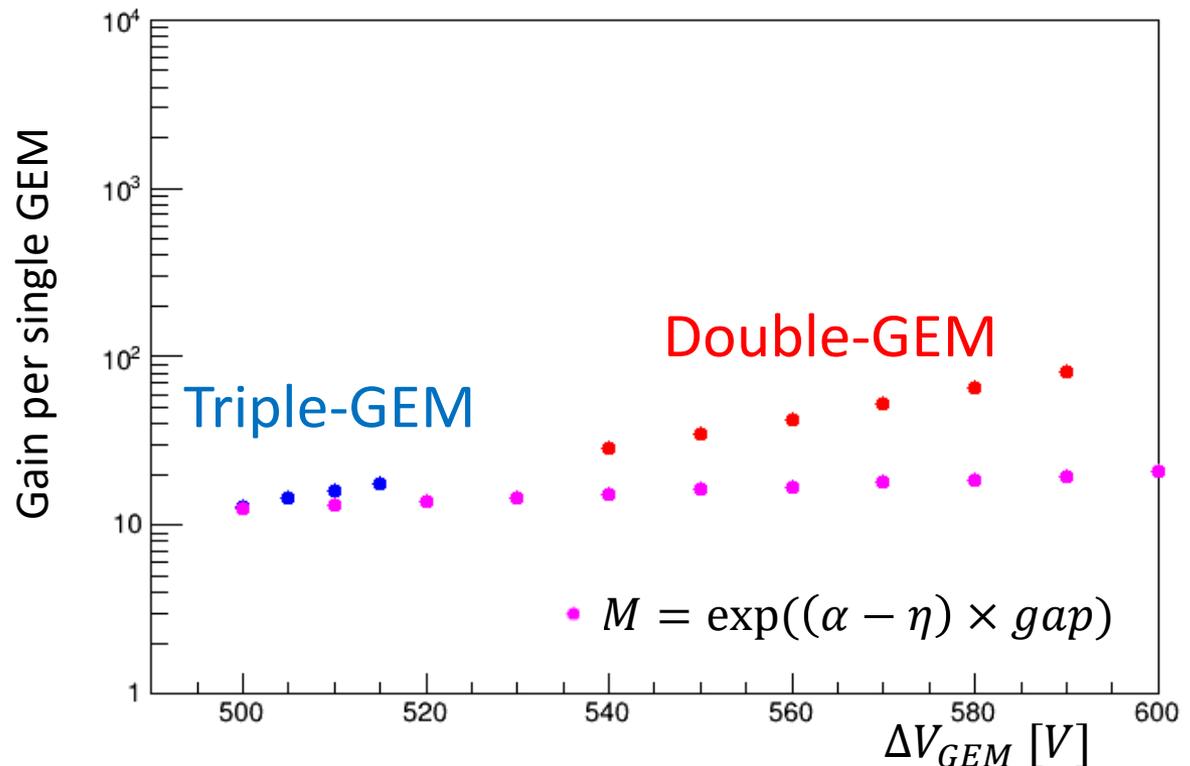
結果 (右図ピンク点) :

- 傾きが測定結果と異なる

原因 :

- detachmentの効果
- 一様電場という仮定
が考えられるのではないか

Triple and Double comparison @100Torr



考えられる原因：Detachmentの効果

- 実効的なTownsend係数曲線とdetachment

SF₆100Torr (Magboltz 11.4)

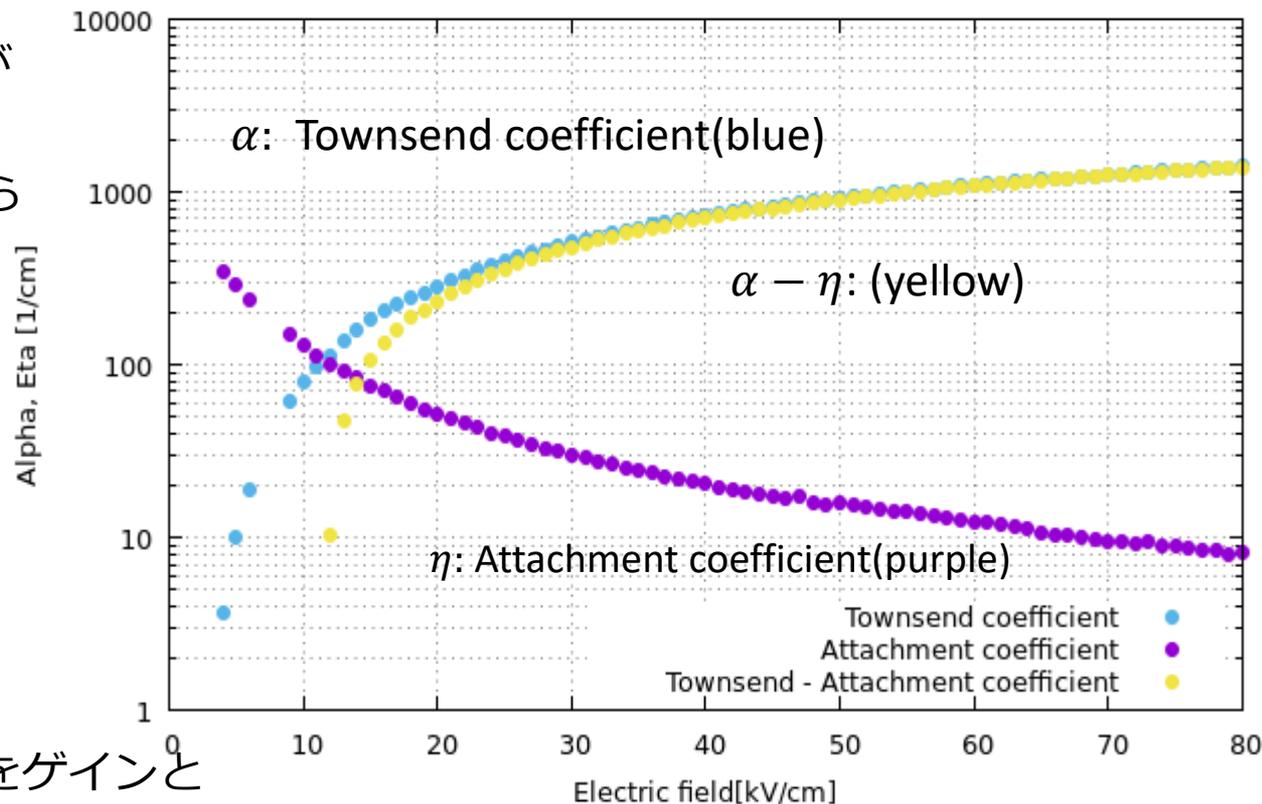
- 低い電場領域
種となる電子のdetachmentが
(電子が脱離する過程)
抑えられ、電子の増幅も抑えら
れるのでは？

→

- 実効的な $\alpha - \eta$ 曲線の傾き
がより急に？

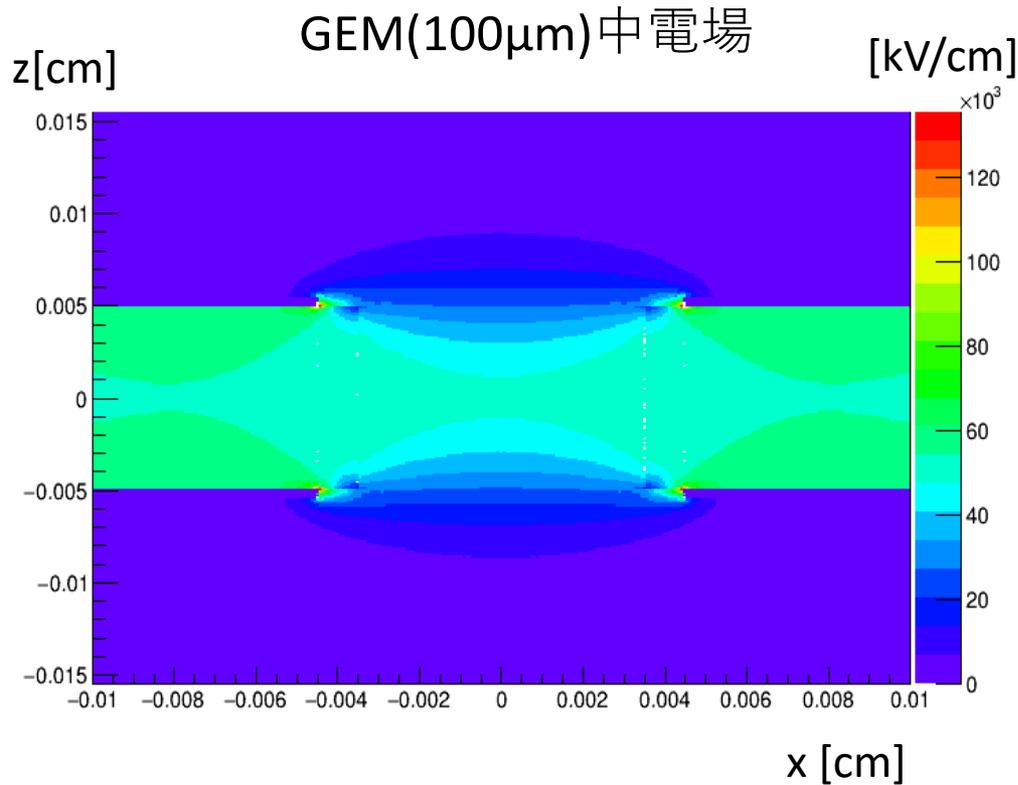
今後：

- この効果を表すパラメータ等をゲインと
 $\alpha - \eta$ の式に仮定しての再現



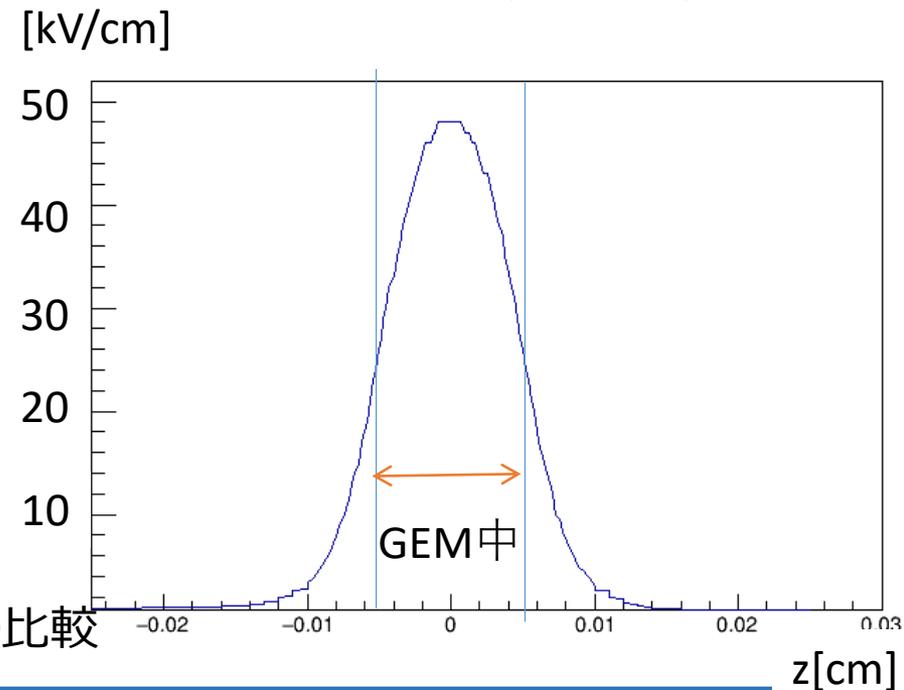
考えられる原因： GEMの電場構造

- Gmsh(メッシュ作成) + Elmer (電場計算) を用いて計算した電場構造



- 一様ではない
- 仮定した電場より低い
→電場を大きく見積もると
Townsend係数の傾きが小さくなる

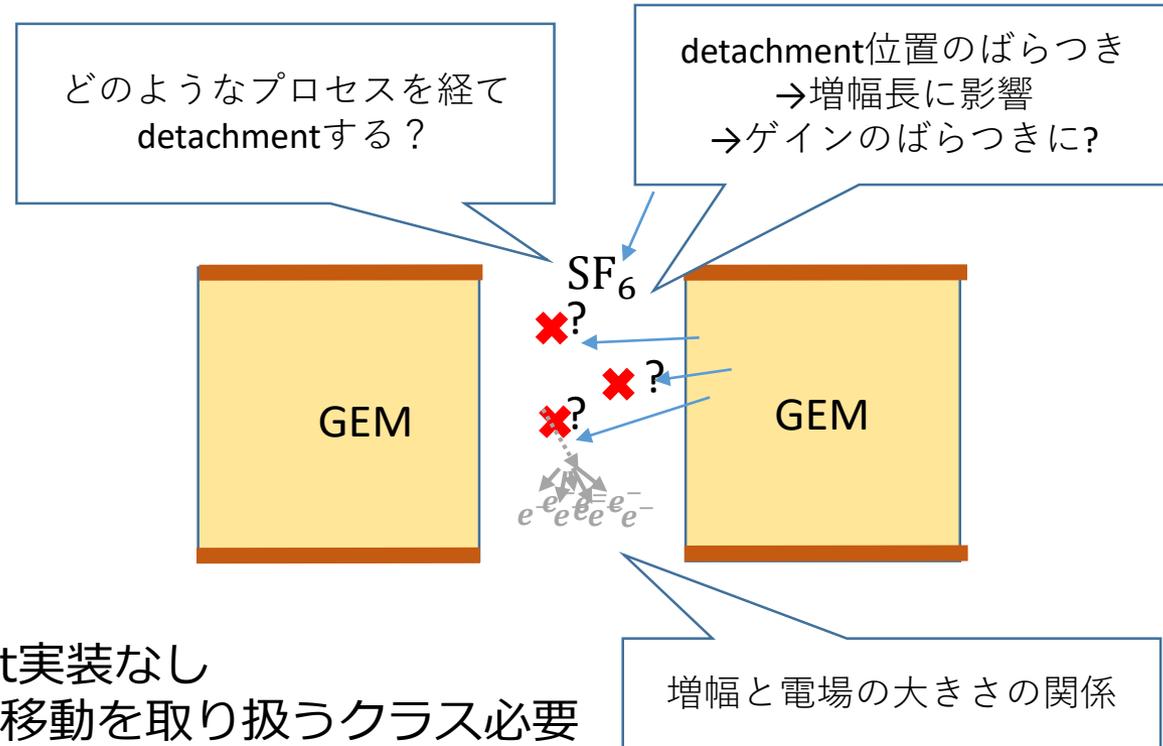
GEM 中央の電場(左図x=0)



今後：
電場一様と仮定せず、また電場計算による
電場情報をもとにしたゲイン計算、実験との比較

陰イオンガスGarfield++シミュレーションへ

MPGDジオメトリ含めて実験結果と比較したい



しかし、

- 現行Garfield++:
陰イオンdetachment実装なし
陰イオン/電子の電荷移動を取り扱うクラス必要

- 今後
これらを実現する形でのシミュレーション手法確立へ

今後とまとめ

➤ 今後

- Garfield++を用いたジオメトリ中でのシミュレーションへの取り組み
- Garfield++/Magboltz シミュレーションと実験結果を比較、モデルの構築・検証
- 他MPGDを用いたSF₆中での試験・シミュレーションとの比較

➤ まとめ

- Triple/Double-GEMを用い陰イオンガスSF₆中で各パラメータとゲインの関係を測定
- GEM孔中でのSF₆への電子吸着(attachment) がエネルギー分解能に影響か
- Garfield++/Magboltzを用いたシミュレーションに着手

Backup

SF6

- $\text{SF}_6 + e^- \rightarrow \text{SF}_6^{-*}$
- $\text{SF}_6^{-*} \rightarrow \text{SF}_6 + e^-$

- $\text{SF}_6^{-*} + \text{SF}_6 \rightarrow \text{SF}_6^- + \text{SF}_6$
- $\text{SF}_6^{-*} \rightarrow \text{SF}_5^- + \text{F}$

SF₆中におけるMPGD動作報告

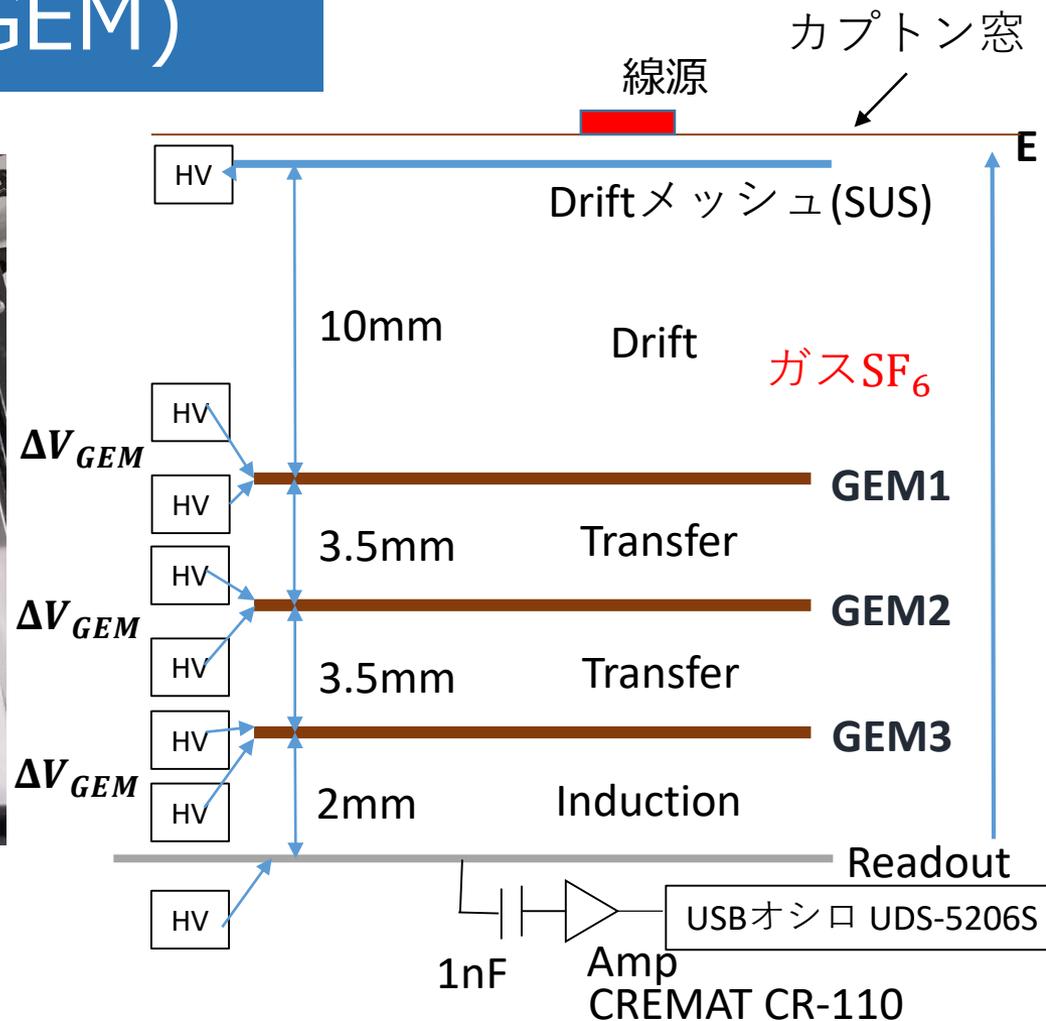
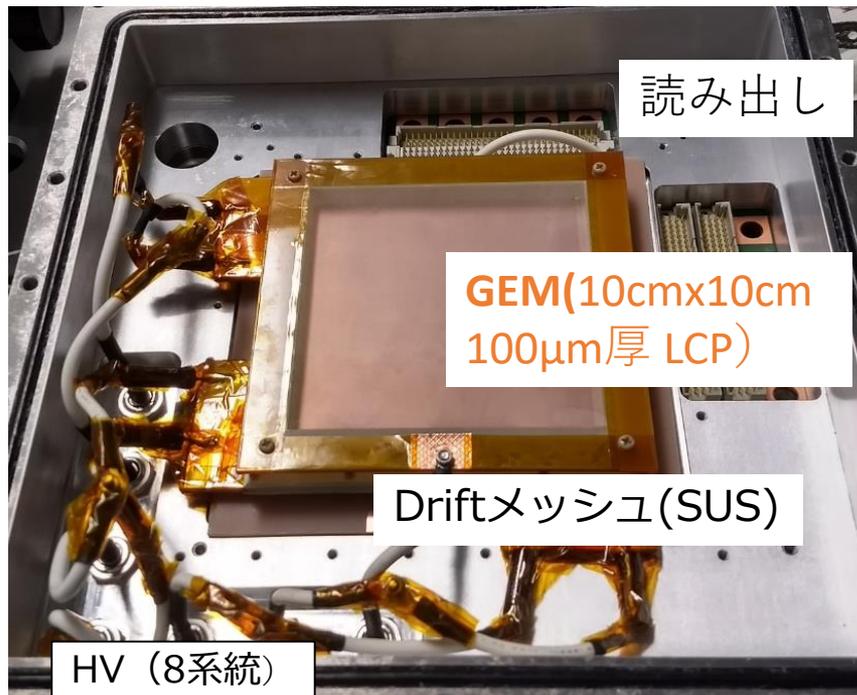
SF6 and MPGD Overview(石浦 CYGNUS gas meeting他)

	Gain Device	Pressure(Torr)	Max gain	⁵⁵ Fe Eres(σ)	Ref
New Mexico, US	1mm, 400um GEM(CERN)	20-100	3000	25%	JINST12(2017)P02012
Frascati, Italy	3x 50um GEM (Kapton, CERN)	150-370 610(mixture)	5000	Landau	arXiv: 1710.01994
Hawai, US	Thick GEM	40Torr	3500		
Kobe, Japan	u-PIC + 100um GEM(LCP, Scienergy) , 3x 100um GEM(LCP, Scienergy)	20-152	2000 @ uPIC+GEM 20torr / 10000 @ 3xGEM 120torr	30% / 50%	arXiv: 1709.06219v1
Welleseley, US	128, 256um MicroMegas(CERN)	30-50	300	~40%	
Sheffield, UK	400um GEM(UK)	30, 40, 50,(100)	6000 @30,40torr		

様々なMPGD、条件での動作報告

SF₆中で100 μ mのGEMを用いたTriple/Double-GEMを動作させ性能評価し、他の結果も含めて統一的な陰イオンガス中でのMPGD特性理解、そしてDM探索に向けた検出器最適化につなげたい

セットアップ(Triple-GEM)



Amp : CREMAT CR-110, Gain : 1.4V/pC, 時定数:140 μ s
 Readout : 400 μ m pitch strip読み出し 24strip(9.6mm)束ねて使用
 HV: Drift, GEMx3のTop&Bottom, Readoutに独立して電圧

ゲイン取得



^{55}Fe 線源による5.9keV X線を用いる

USBオシロで取得した波形から電荷量を計算し、
アンプゲイン等と合わせて計算

$$\frac{E_d}{W} \times e^- \times G_{gas} \times G_{amp} = Q$$

E_d : Energy Deposit、 G_{gas} :ガスゲイン、 G_{amp} :アンプゲイン、

Q:アンプからの電荷