

# 陰イオンガス中における MPGDの特性理解

2018年2月18日

第24回ICEPPシンポジウム@白馬

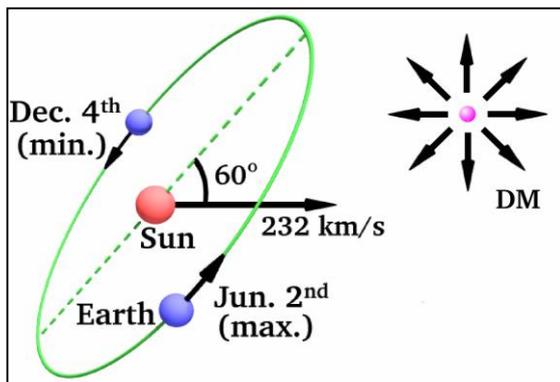
神戸大学 M1 石浦宏尚

# NEWAGE

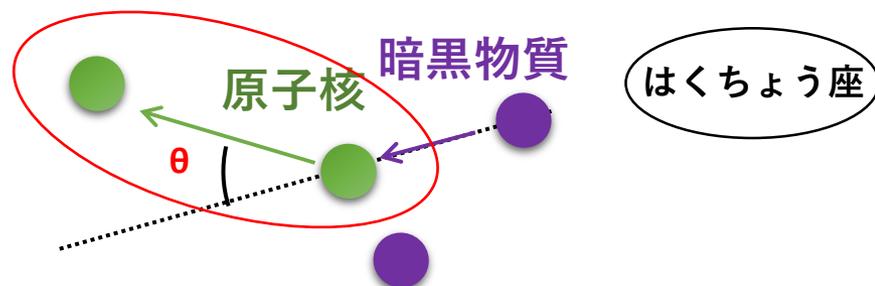


- 神戸大主導の**方向に感度を持つ**暗黒物質直接探索実験
- ガス検出器「 $\mu$ -TPC」を用いて到来方向異方性の観測を目指す

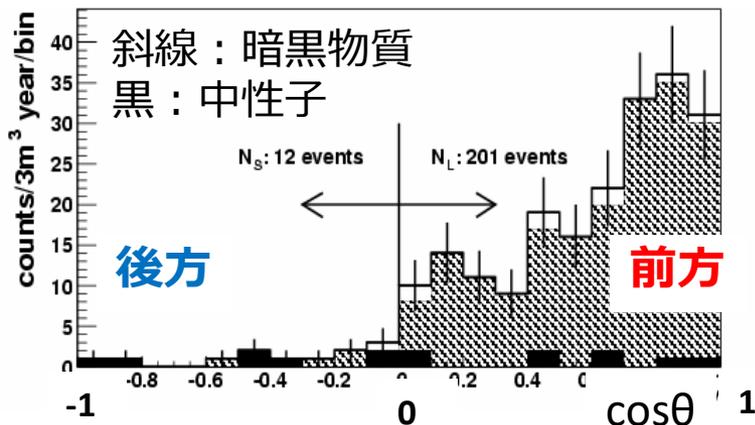
これを捉えたい



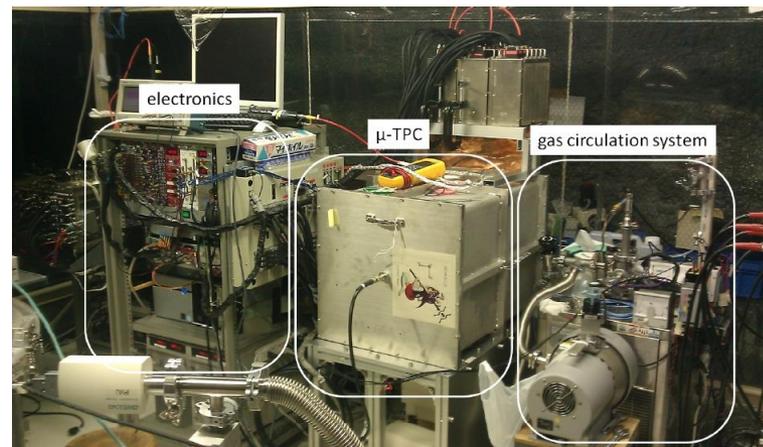
太陽系が銀河中を動いて受ける「暗黒物質の風」の向きを観測したい



暗黒物質と原子核の反跳



Physics Letters B 578 (2004) 241–246



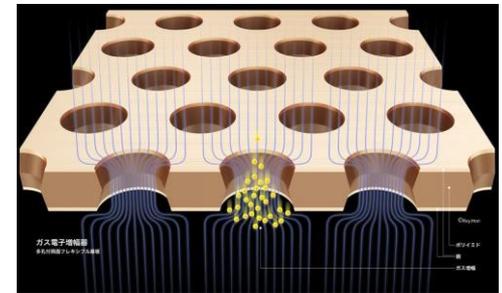
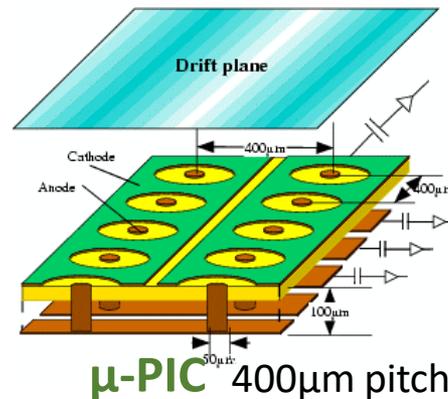
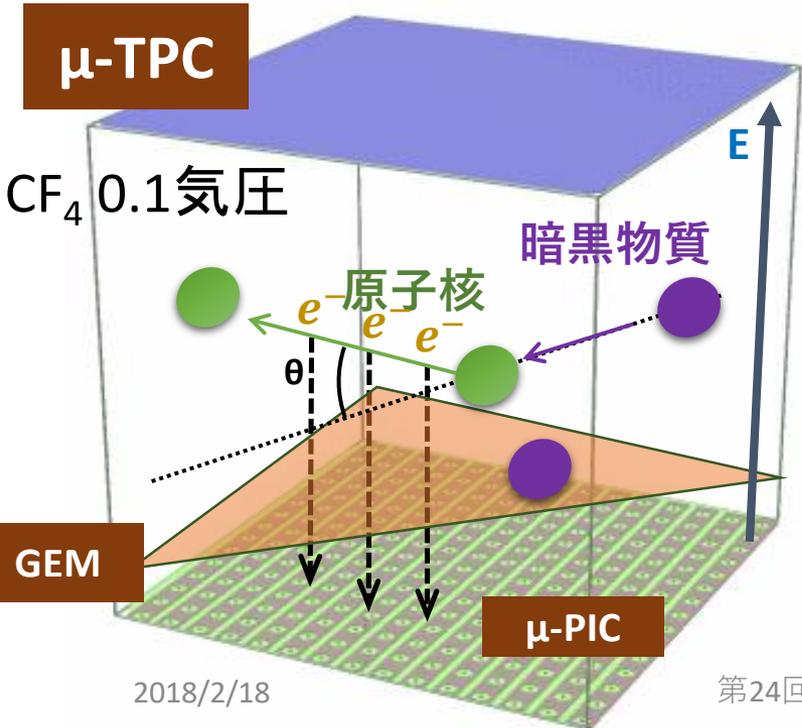
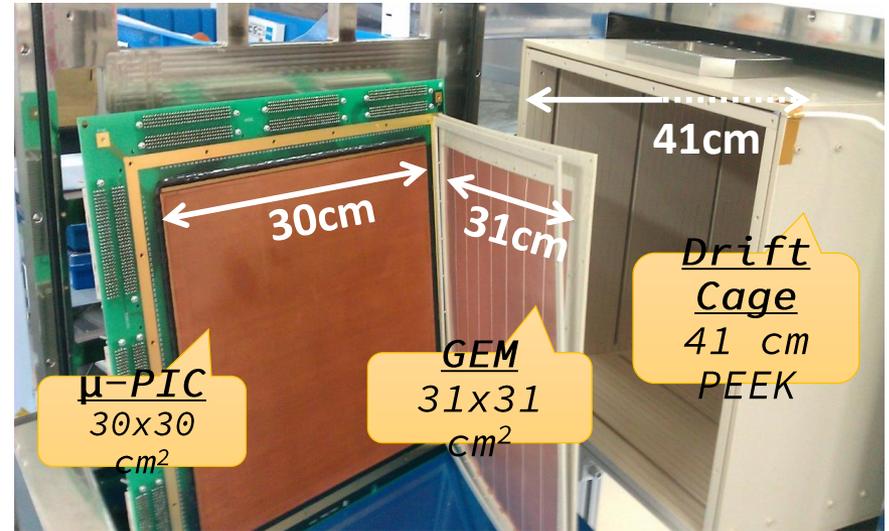
NEWAGE検出器 NEWAGE -0.3b' @神岡

期待される到来方向異方性(シミュレーション)

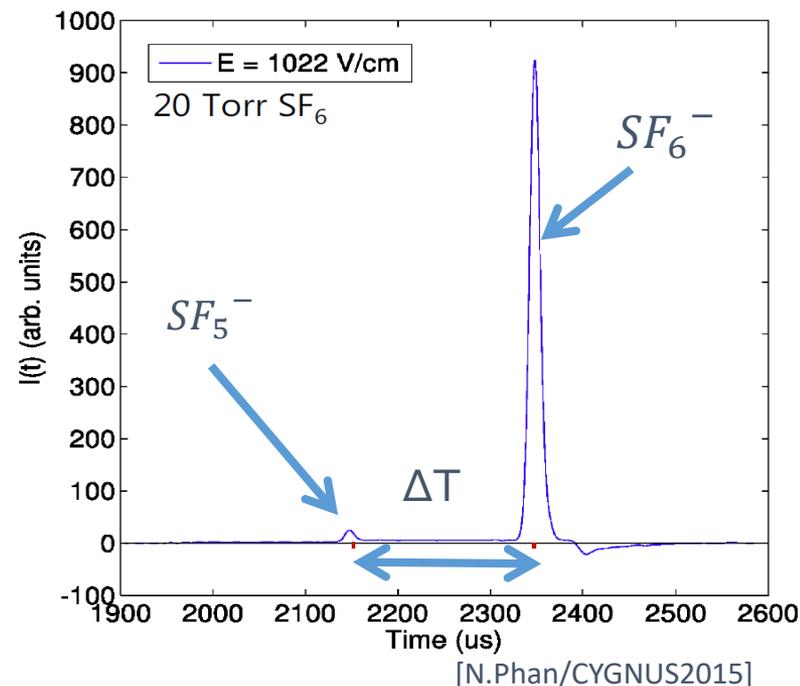
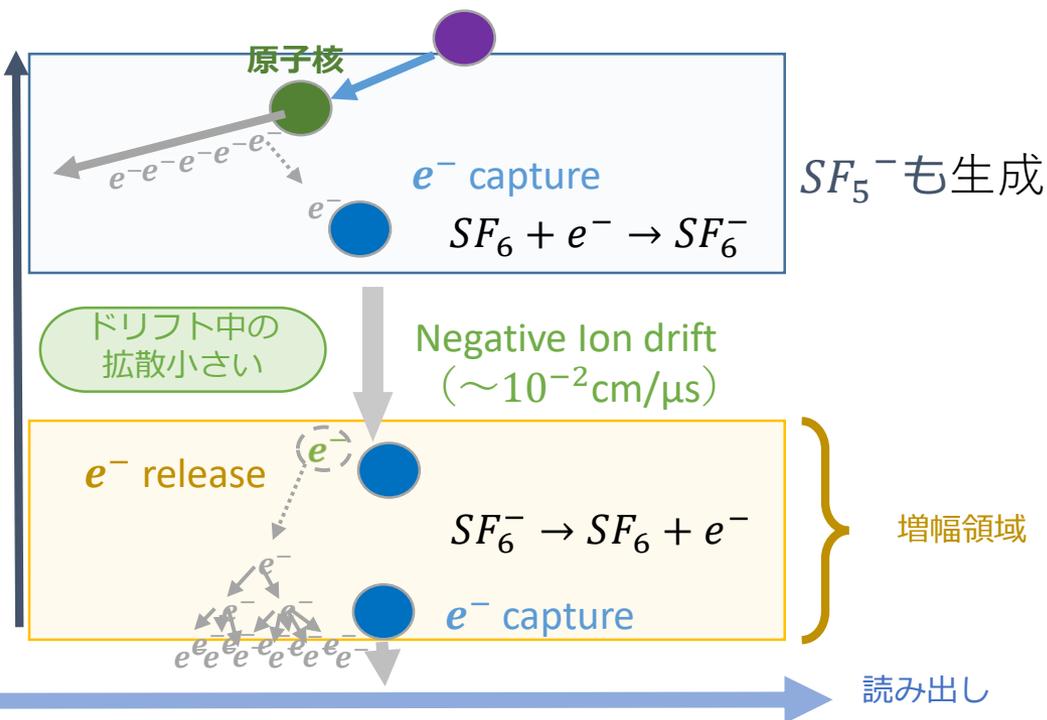
# 検出器: $\mu$ -TPC

- マイクロパターンガス検出器 $\mu$ -PIC を読み出しに用いた3次元飛跡検出器

- $\mu$ -PIC : 2次元飛跡(x&y)
- 信号時間差+ドリフト速度 : z  
→ 3次元飛跡



# 陰イオンガスμTPCの原理



- 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てz軸方向の絶対位置決定に成功

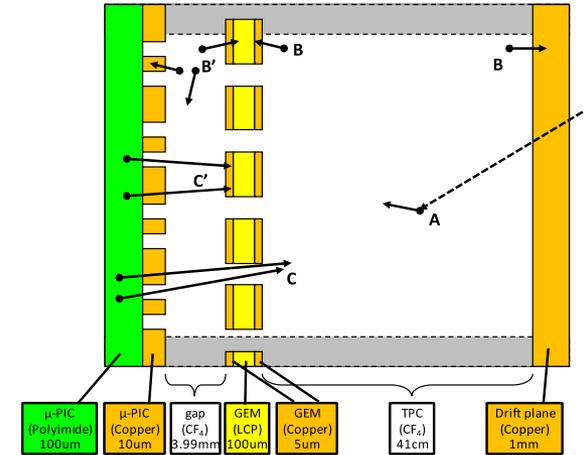
ドリフト速度の異なる複数イオン到達時間差

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

# 陰イオンガス $\mu$ TPCによるBG対策

- 現在の $\mu$ -TPCの課題：バックグラウンド

→  $\mu$ -PICのガラス繊維由来 $\alpha$ 線



- 対策

- $\mu$ -PICの低アルファ化によるBG低減 (橋本JPS2017秋)
- z軸方向への有効体積カット  
(ただし従来の $\mu$ -TPC：ドリフト方向については相対位置のみ)

→陰イオンガス $\mu$ TPCを用いての絶対位置決定&有効体積カット

取り組みとして

- 陰イオンガス中でのMPGD特性理解 (MyWork)
- NI $\mu$ TPC/LArTPC用ASIC(LTARS2016 K01)の性能評価 (中澤講演)
- 陰イオンガス $\mu$ -TPCの開発 (池田JPS2017秋)

# SF<sub>6</sub> 中でのMPGD動作報告

SF6 and MPGD Overview(石浦 CYGNUS gas meeting他)

	Gain Device	Pressure(Torr)	Max gain	<sup>55</sup> Fe Eres( $\sigma$ )	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
Hawaii, 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		

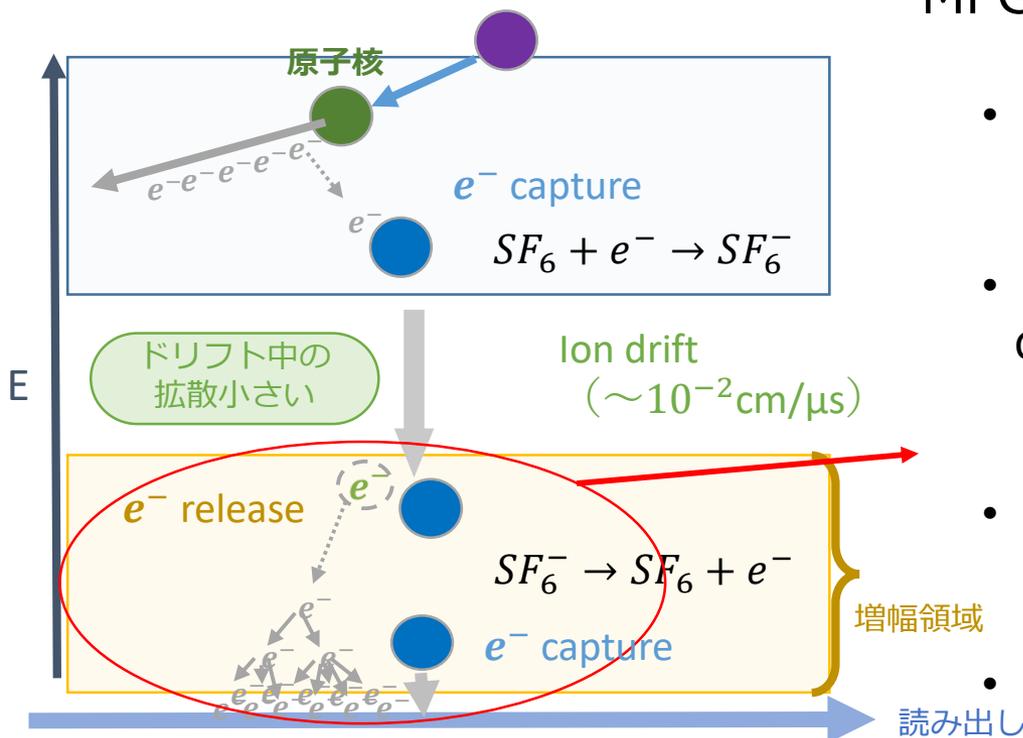
様々なMPGD、条件での動作報告

研究動機：

SF<sub>6</sub> 中で100 $\mu$ 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特性理解につなげたい

# 陰イオンガス中でのMPGD

MPGD領域において理解したいこと



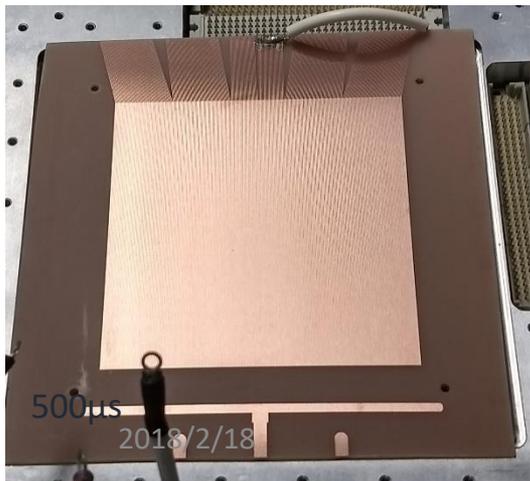
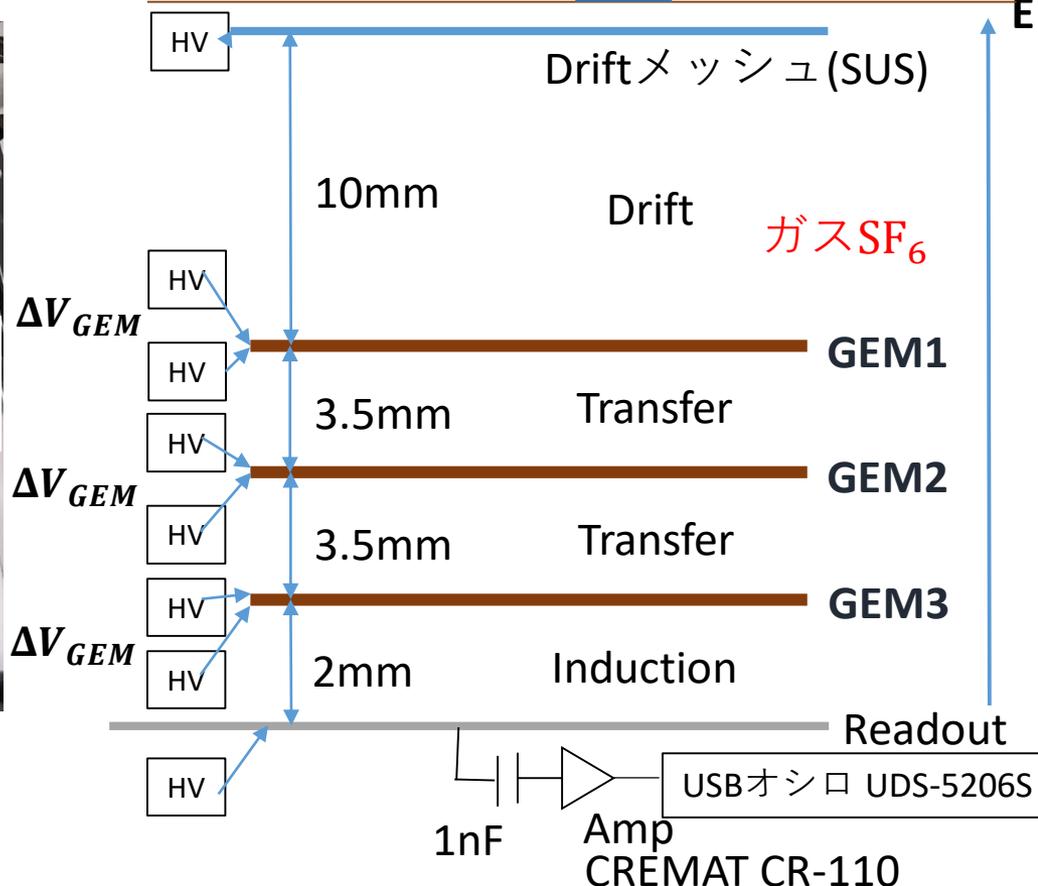
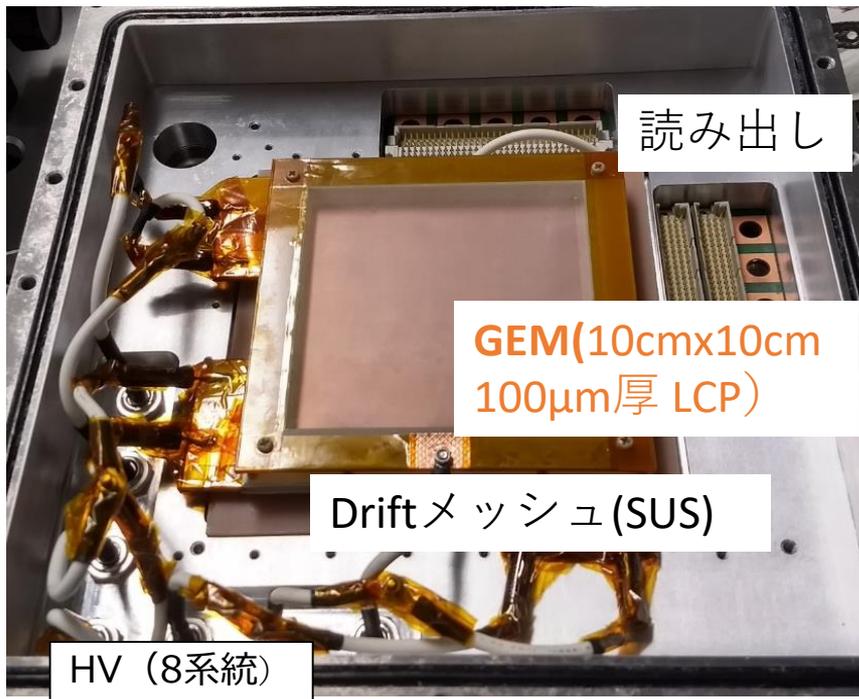
- 電子を $SF_6$  が捕獲するattachmentの電場依存
- 増幅領域内で $SF_6^-$ が電子を放す detachmentの平均自由行程の電場依存  
→増幅領域の大きさに比べてどうか
- 増幅領域内での増幅の電場依存と増幅領域の大きさ
- 圧力依存

これらを踏まえた上で、先行研究及び実験とシミュレーションから陰イオンガス中でのMPGDの特性を理解したい

まずはMPGDの中でもパラメータを変えやすいGEMを用いて実験を行った

# セットアップ(Triple-GEM)

線源  
カプトン窓



Amp : CREMAT CR-110, Gain : 1.4V/pC, 時定数:140μs  
 Readout : 400μm pitch strip読み出し 24strip(9.6mm)束ねて使用  
 HV: Drift, 3つのGEMのTop&Bottom, Readoutに独立して電圧をかけられるように

# SF<sub>6</sub> 中でのTriple-GEM動作試験

- Ar + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 90:10 1気圧中でTriple GEMの動作確認→そのセットアップ流用
- SF<sub>6</sub> 20~120 Torrで55Fe線源 5.9keV X線の信号確認

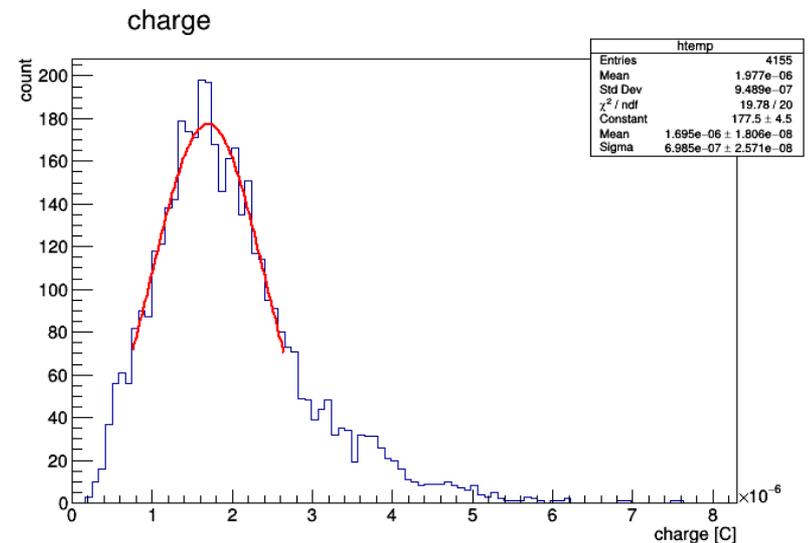
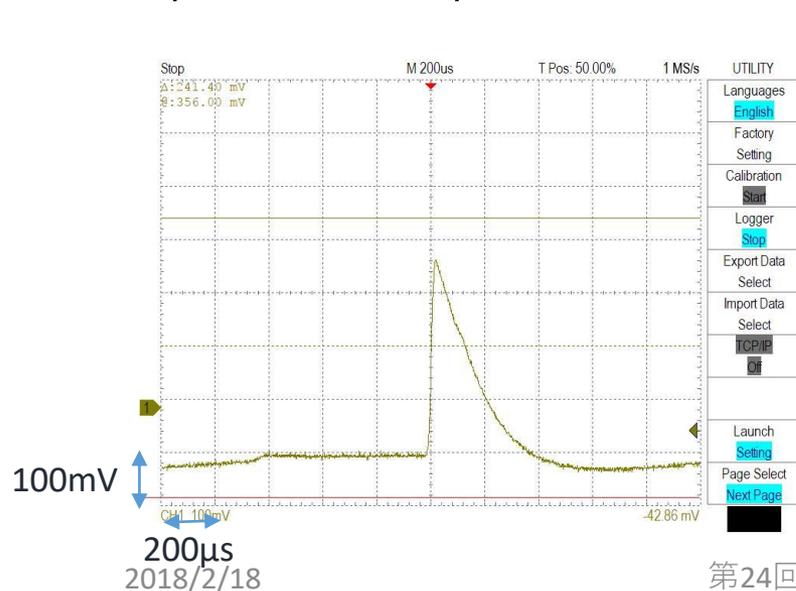
## ●測定方法

USBオシロで取得した波形→積分してガスゲインを計算

## ●測定内容

□ $\Delta V_{GEM}$  とガスゲインの関係をいくつかのガス圧について測定

□Drift, Induction, Transferの各電場を変えてガスゲイン測定

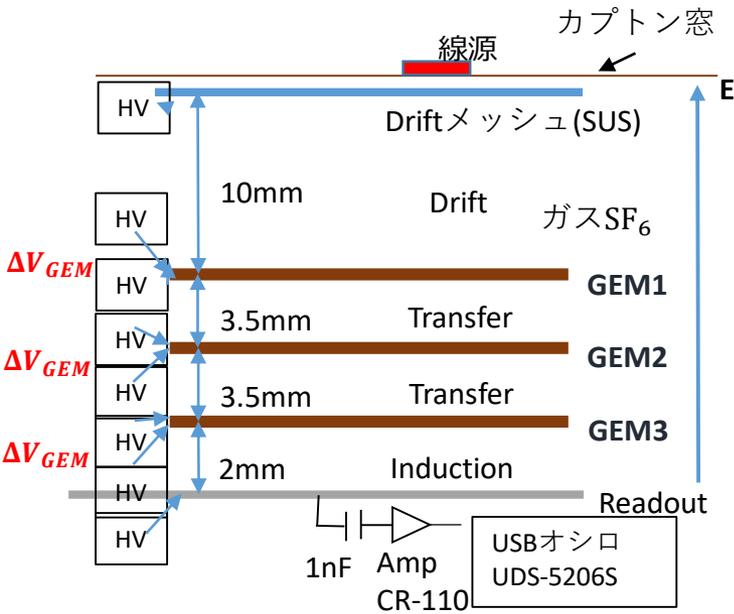


# Triple-GEM ガスゲイン( $SF_6$ )

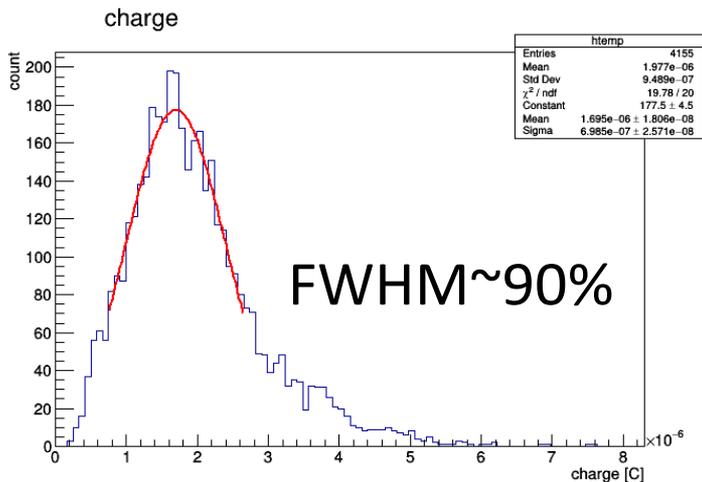
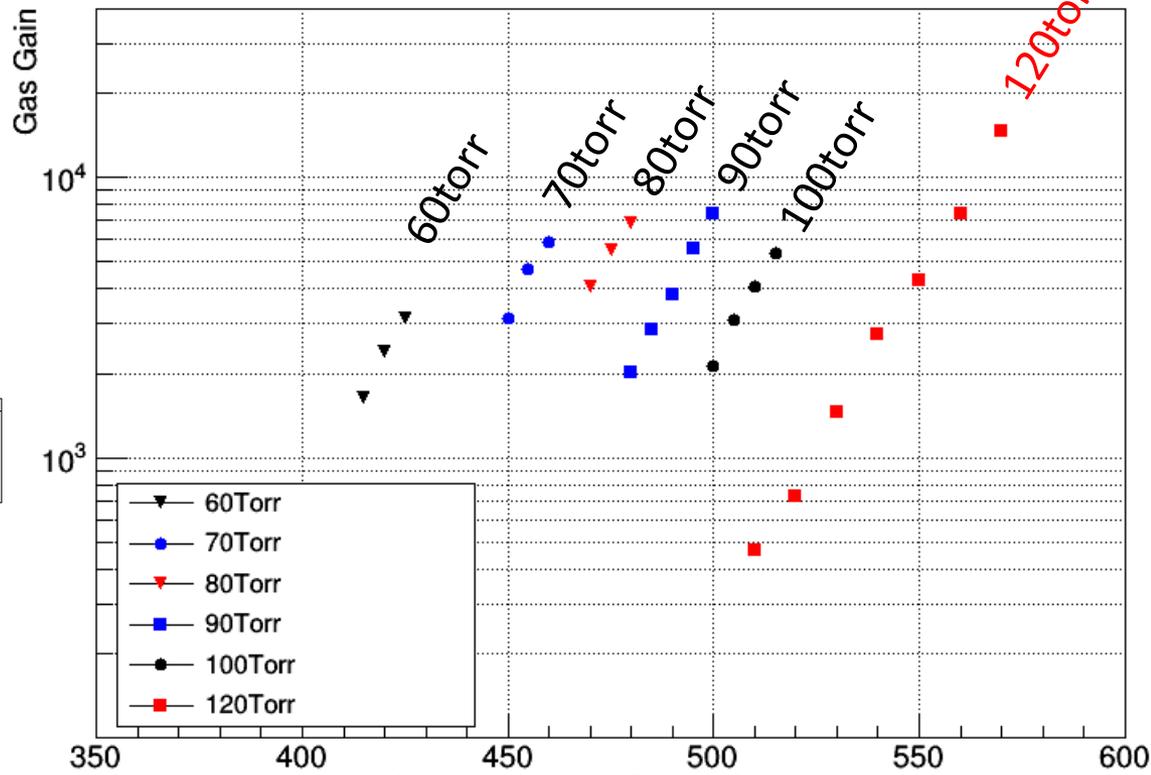
Drift 1kV/cm

Transfer 2.86 kV/cm

Induction 2.5 kV/cm に固定



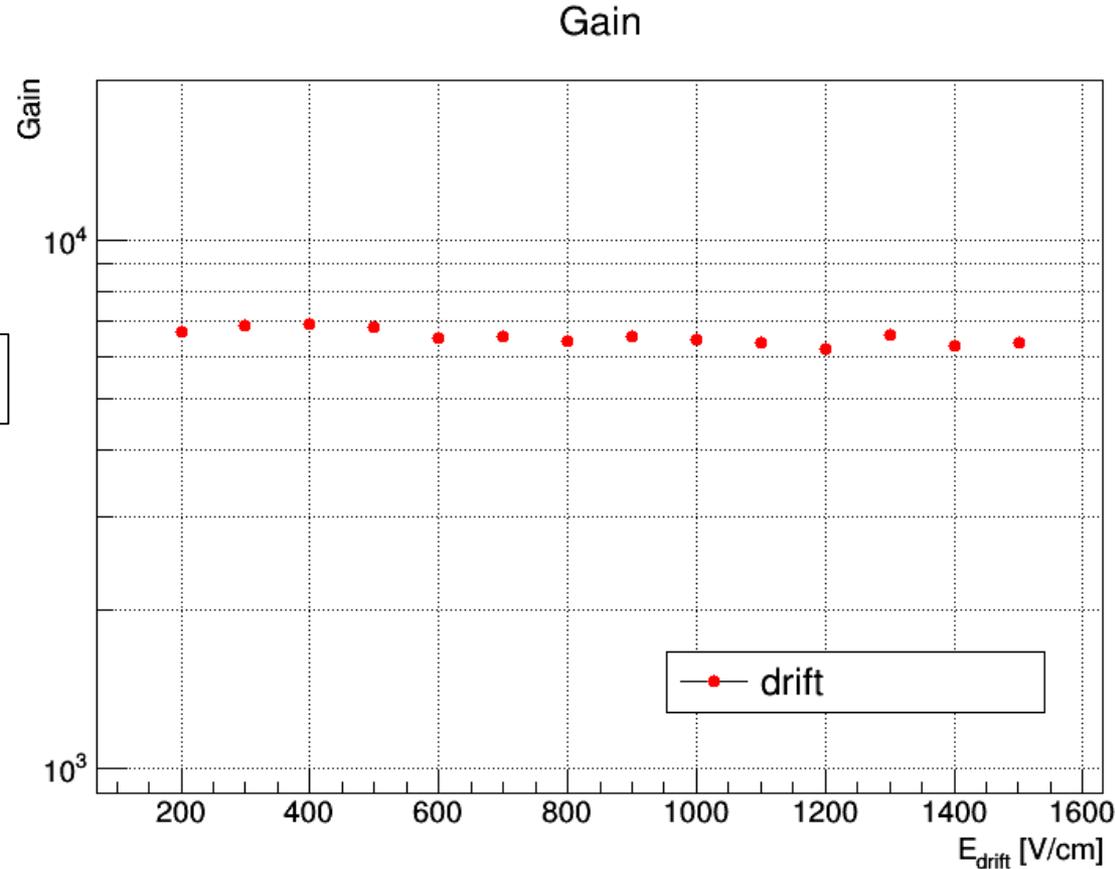
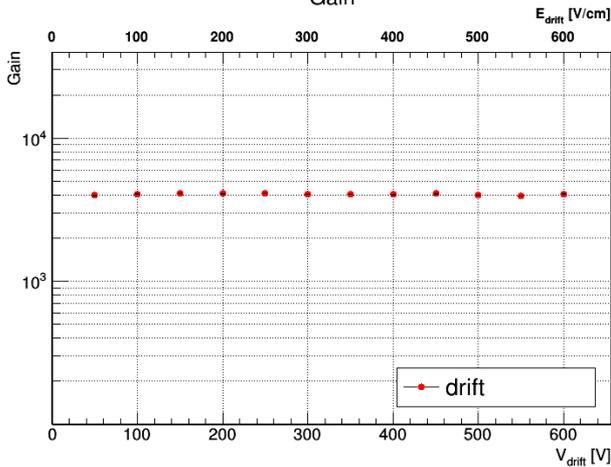
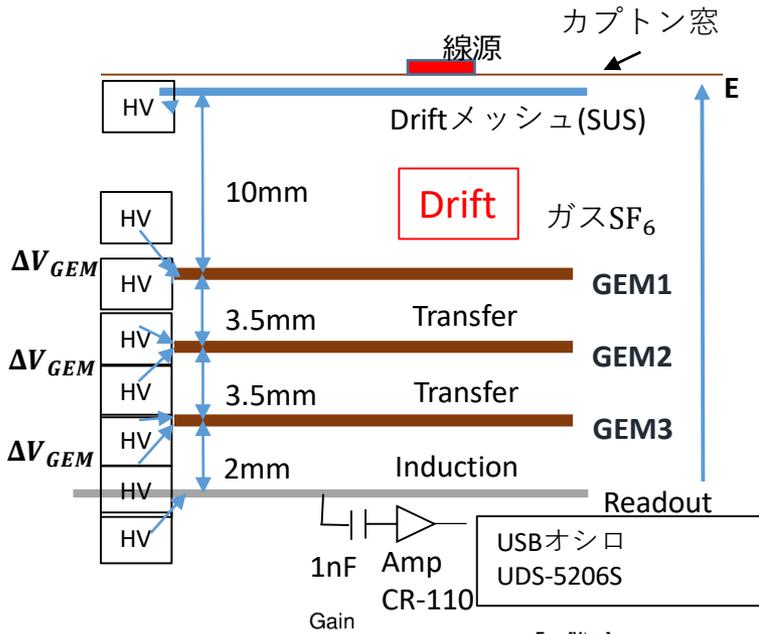
$SF_6$  60~120torr での  $\Delta V_{GEM}$  とガスゲイン



ガスゲイン  $10^3 \sim 10^4$  を得た。  
圧力が低いほど、動作電圧は低くなる

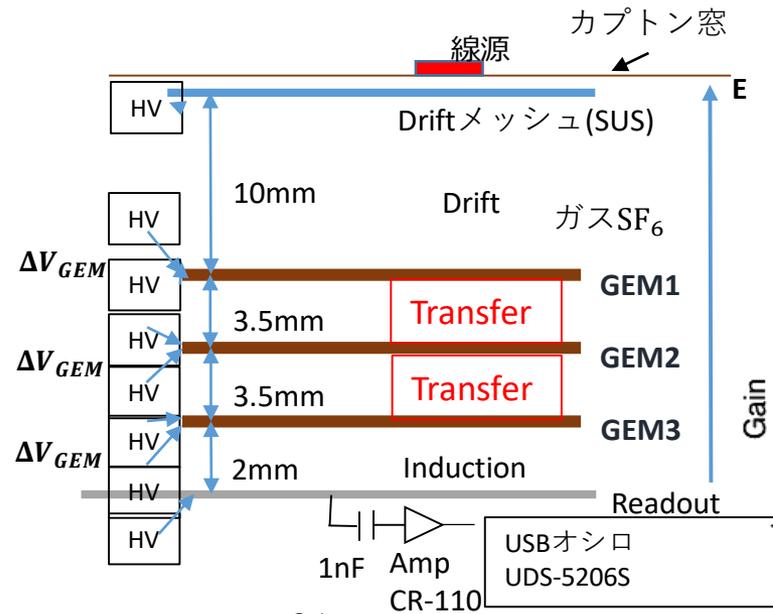
# ガスゲイン vs Drift電場

$\Delta V_{GEM} = 520V$   
 Transfer 2.86 kV/cm  
 Induction 2.5 kV/cm  
 SF<sub>6</sub> 100torr

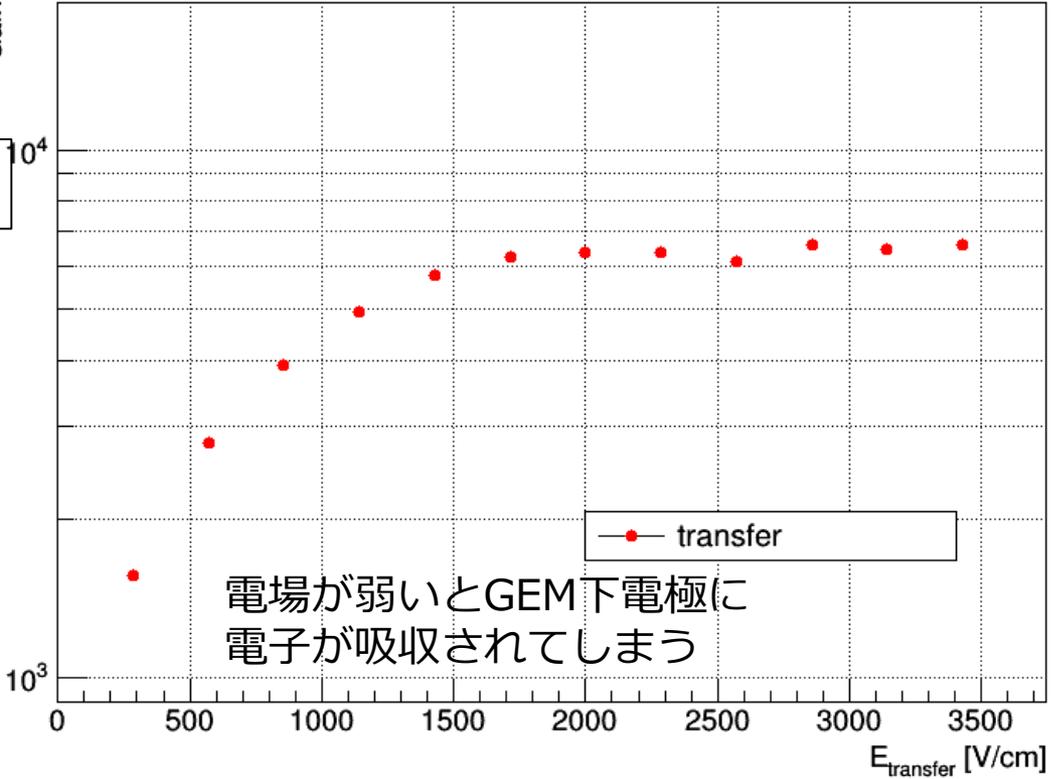
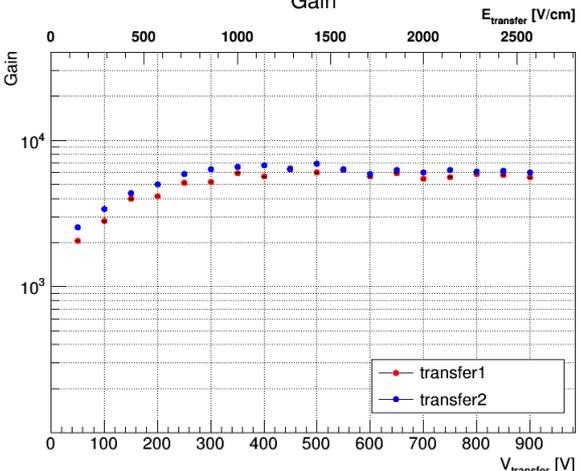
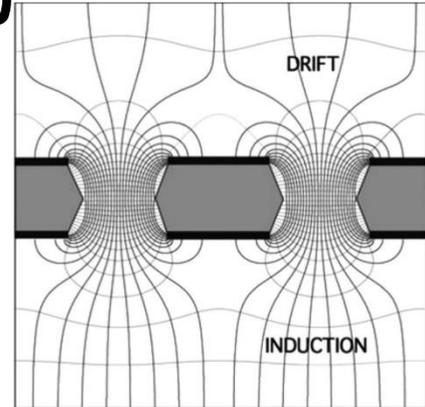


ゲインのDrift電場依存は見られなかった

# ガスゲイン vs Transfer電場



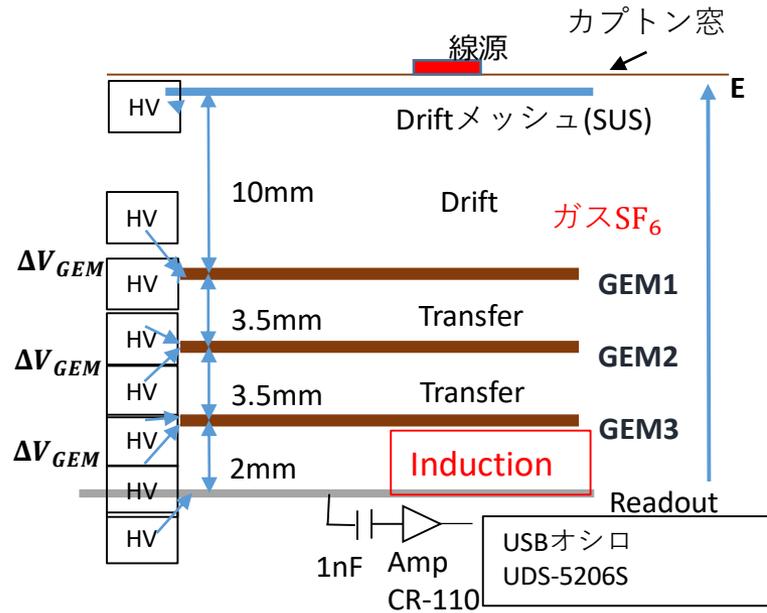
$\Delta V_{GEM} = 520V$   
 Drift 1kV/cm  
 Induction 2.5 kV/cm  
 SF<sub>6</sub> 100torr  
 Gain



電場が弱いとGEM下電極に  
 電子が吸収されてしまう

Ar + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (90:10) 1気圧  
 JPS2017秋石浦  
 2016/11/18

# ガスゲイン vs Induction電場



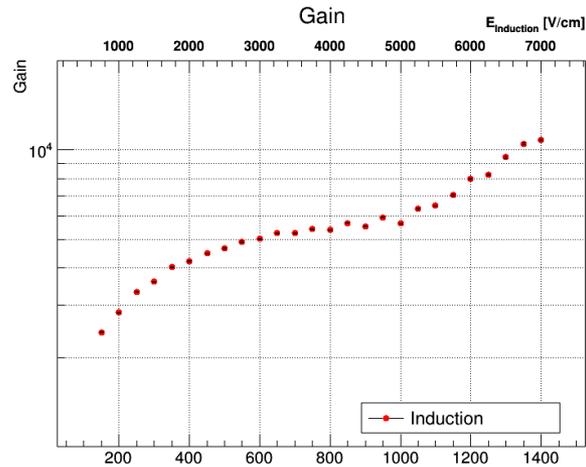
Induction @SF6 100torr

$\Delta V_{GEM}=520V$

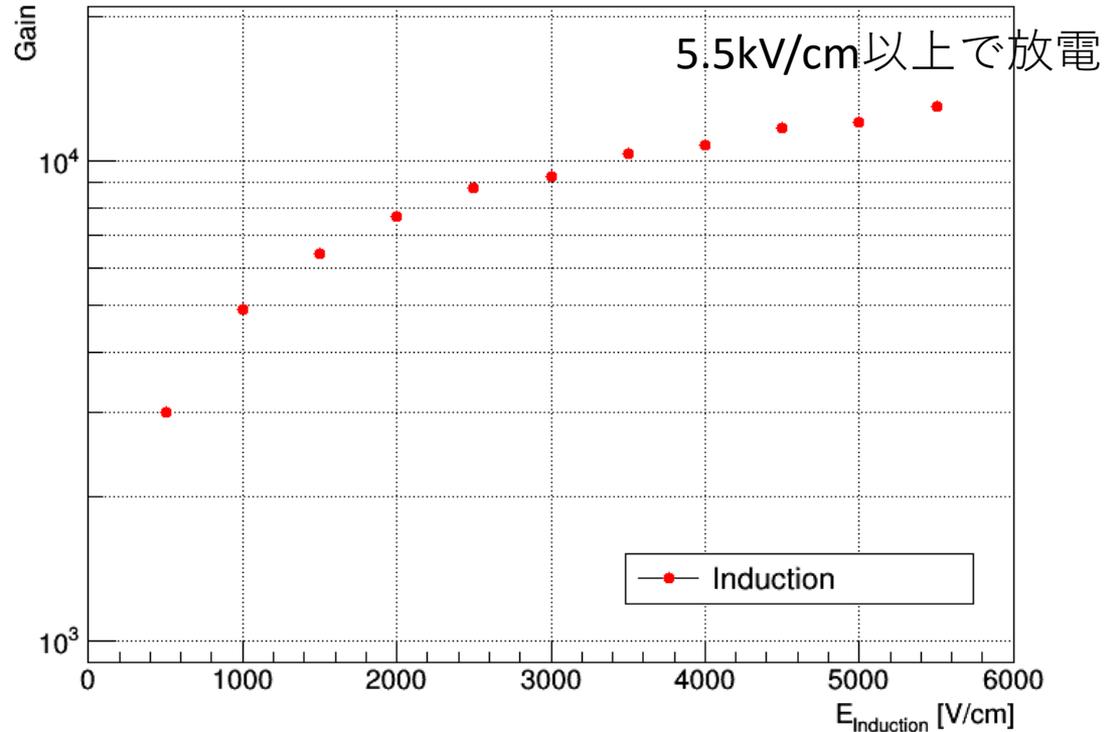
Drift 1kV/cm

Transfer 2.86 kV/cm

Gain

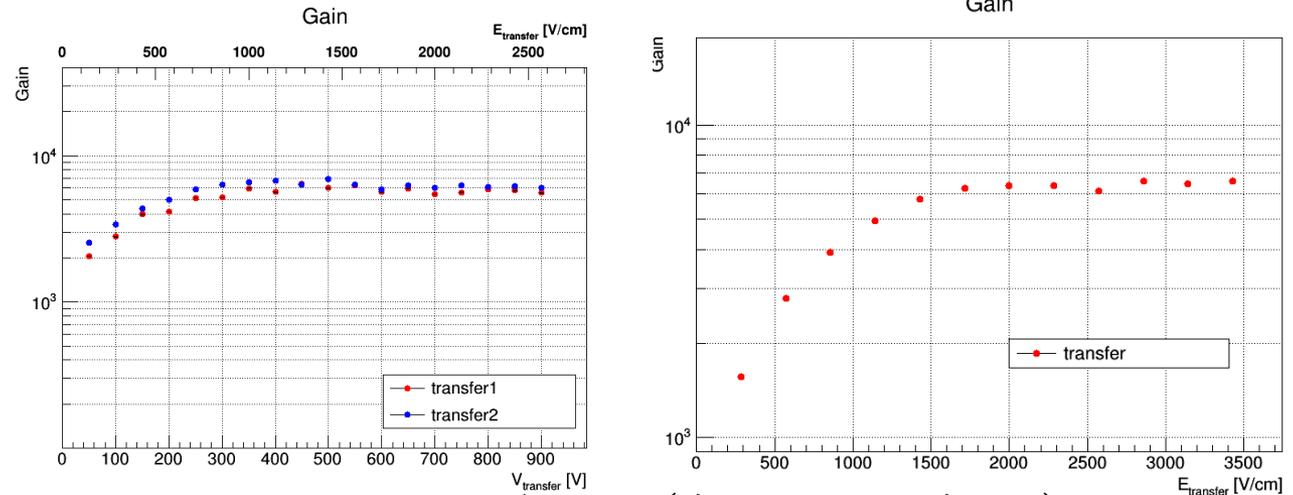


Ar + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (90:10) 1気圧  
JPS2017秋石浦



プラトーとなっているところまでは  
Ar + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>と同じ傾向を得た

# 考察

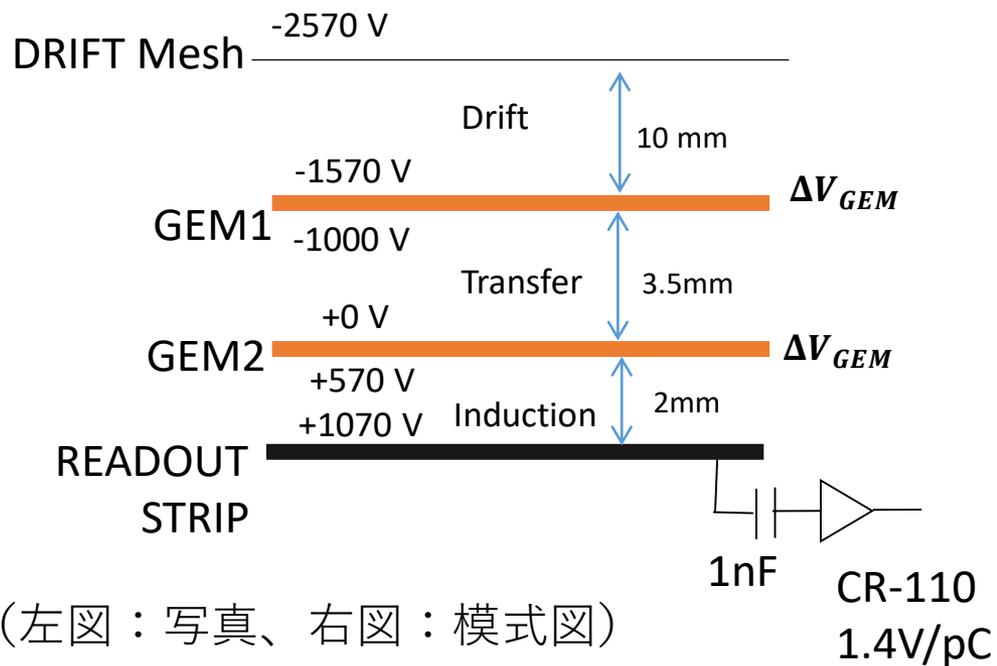
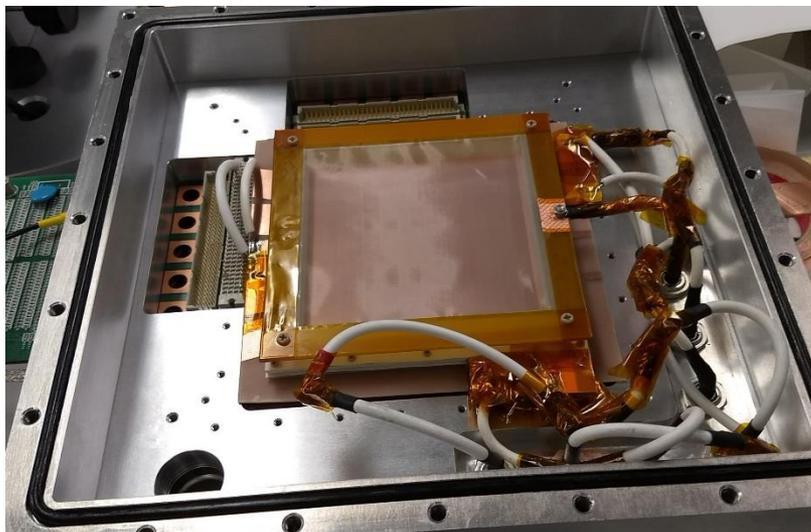


Transferとゲイン (左Ar+C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, 右SF<sub>6</sub>)

- 今回得られたガスゲインとDrift, Transfer, Inductionの関係の結果
  - 以前測定したAr + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (90:10) 1気圧での結果と似た傾向
    - 違い: FWHM~90%(Ar + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>のときは25%くらい)
- SF<sub>6</sub>が介在するが、各電場とゲインの関係はAr + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (90:10) 1気圧の結果とエネルギー分解能以外似た傾向
  - 増幅過程において陰イオン/電子はどう働く?
  - 電場構造について詳しく調べ、増幅がどこで行われているか調べる必要
- FWHMの悪さはGEMの枚数によるもの?
  - GEM枚数を減らしてDouble-GEMとして確かめる

# Double-GEM

- エネルギー分解能とGEM枚数の関係について調べるため、GEM枚数を2枚に

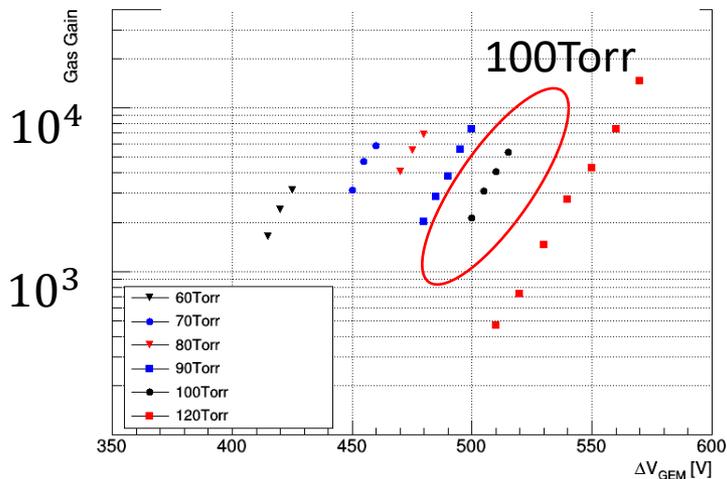


Double-GEMセットアップ (左図：写真、右図：模式図)

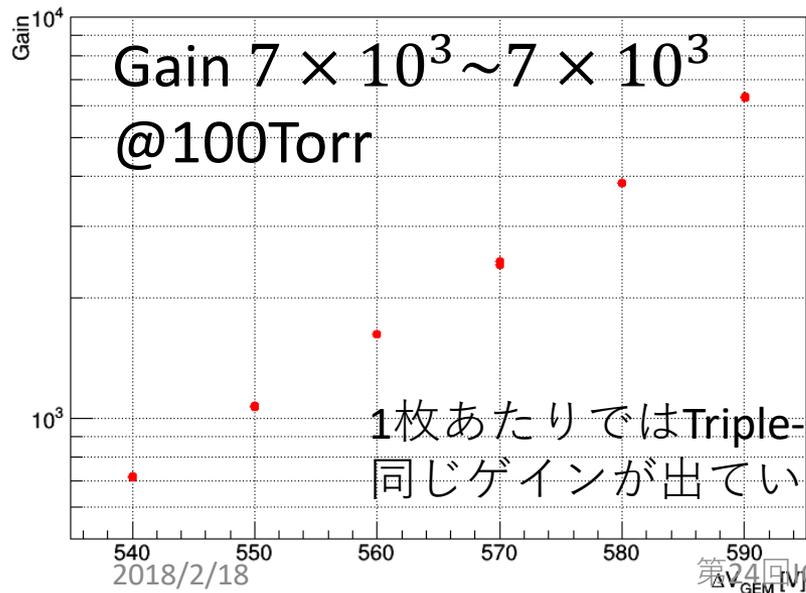
# Double-GEM Result

Drift 1kV/cm  
 Transfer 2.86 kV/cm  
 Induction 2.25 kV/cm  
 に固定

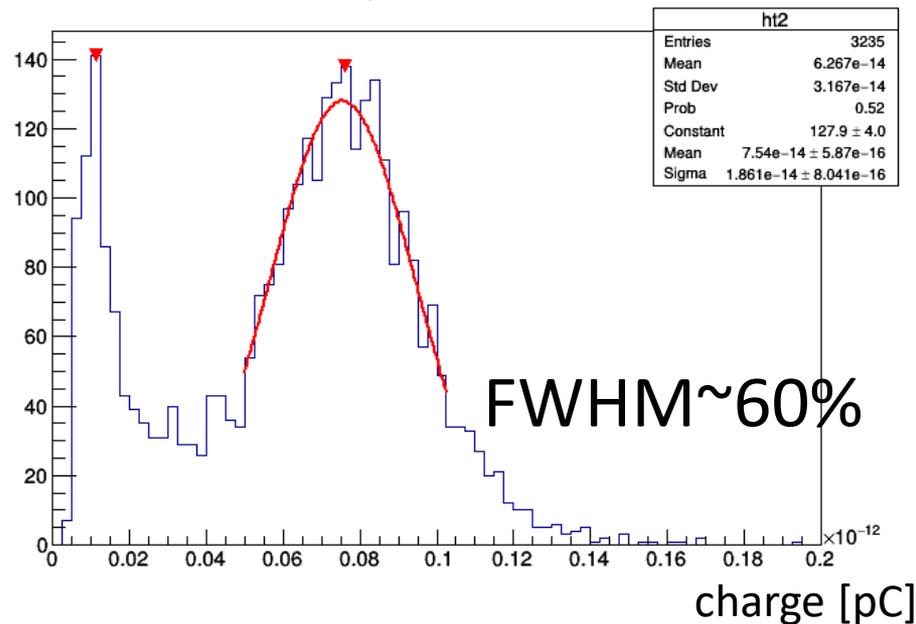
Triple-GEM ガスゲイン



Gain @ 100 Torr SF6 Double-GEM



$\Delta V_{GEM} = 550V$



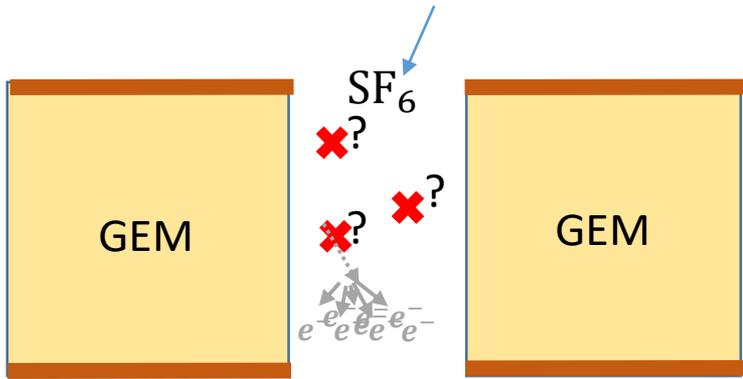
FWHM ~ 60%

GEM毎にエネルギー分解能が悪化？

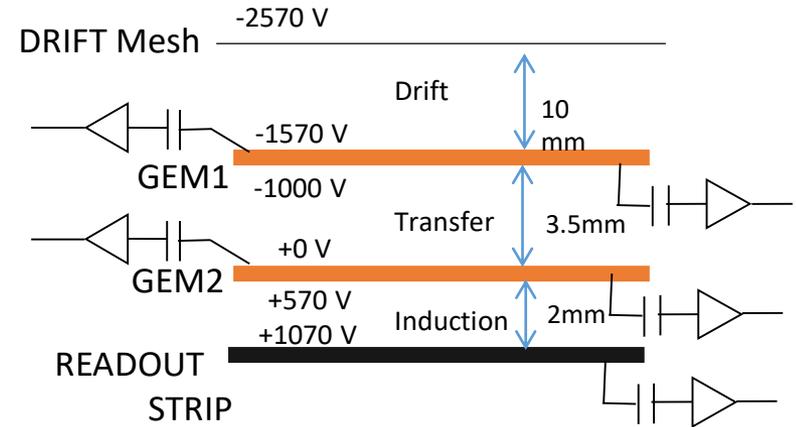
Double-GEMで  
 FWHMの向上及び  
 Triple-GEMと同程度ゲイン

- GEM1枚当たりのゲインを下げて安定動作させようとTriple-GEMにするとFWHMが悪化する

➤ GEM : SF<sub>6</sub>中では多段にするとエネルギー分解能が悪化



どこでSF<sub>6</sub>が電子をdetach→増幅開始?



- ホール中で増幅開始位置（ドリフト方向）のバラツキがFWHMの悪さに
  - 要調査
- Transfer領域では電子 or 陰イオンどちらが移動？
  - GEM間信号時間差を確認（電子と陰イオンでドリフト速度 $10^2 \sim 10^3$  違うため）

# 今後とまとめ

## ◆ 今後

- GEM(100 $\mu$ m厚)の各パラメータ( $\Delta V_{\text{GEM}}$ 、電場、ガス圧、GEM枚数など)を変えさらなるSF<sub>6</sub>ガス中特性の確認
- MicroMegas等の他のMPGD、例えば SF<sub>6</sub>ガス中における試験
- 実験とシミュレーション(Garfield++等)両方による電場構造&ジオメトリ及び陰イオンの挙動の理解

## ◆ まとめ

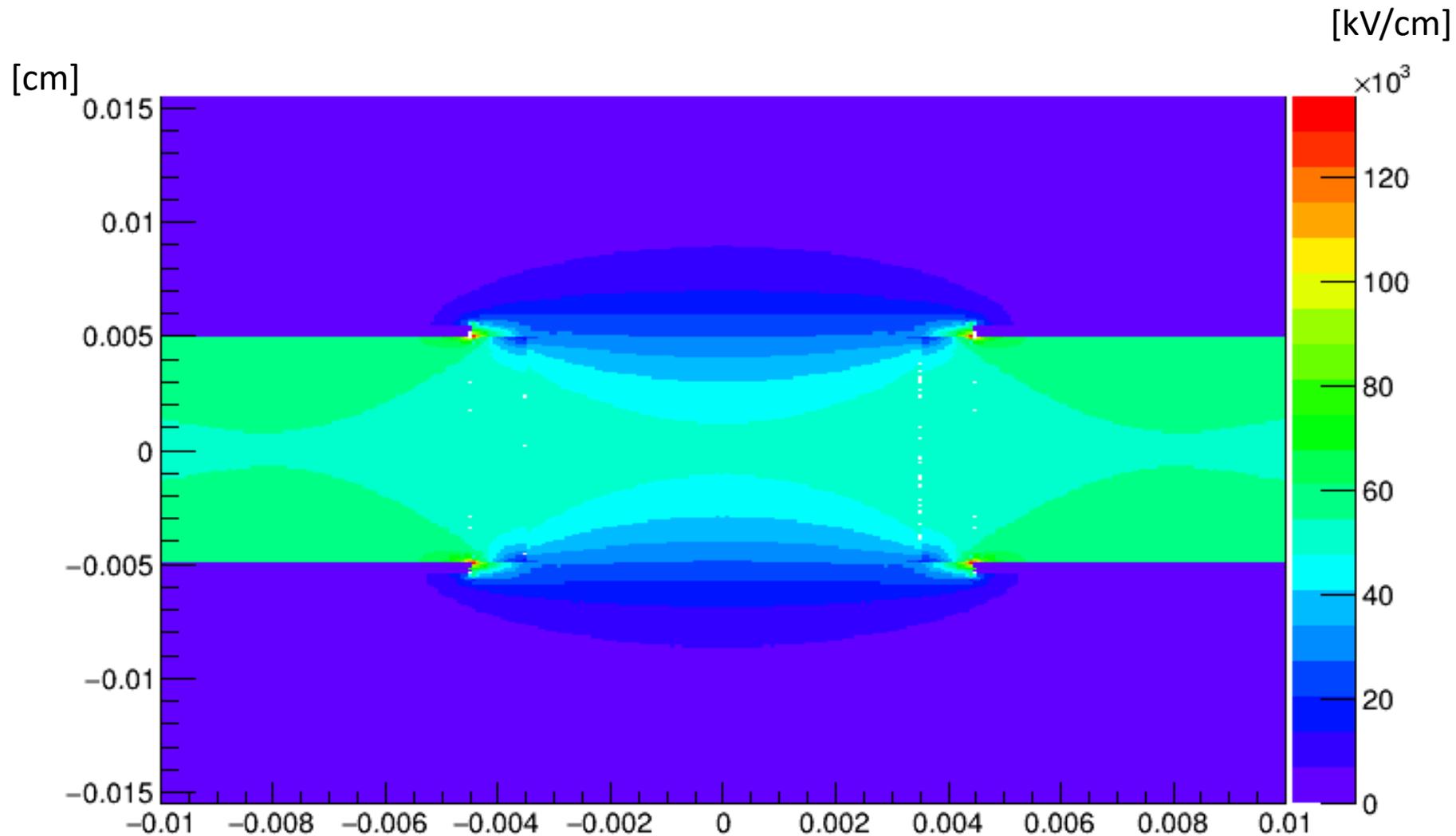
- SF<sub>6</sub> 60~120 TorrでTriple-GEMの最大ガスゲイン $\sim 10^4$ , FWHM $\sim 90\%$
- Triple-GEMを用いてDrift, Transfer, Induction電場とゲインの関係を測定
- Ar + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(90:10)とSF<sub>6</sub>というガスの違いにもかかわらず、傾向としてはFWHM以外同じような結果を得た
- SF<sub>6</sub> 100Torr Double-GEMで最大ガスゲイン $10^4$ 、GEM枚数を減らすとエネルギー分解能が向上しFWHM $\sim 60\%$

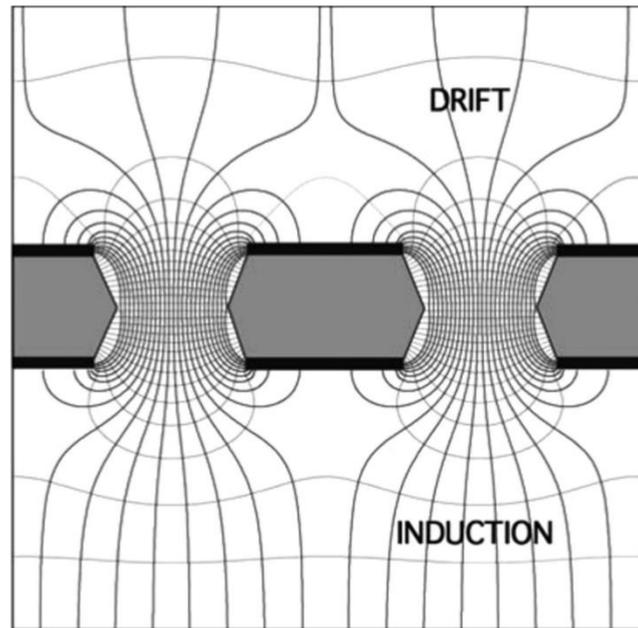
# Backup

# SF<sub>6</sub>

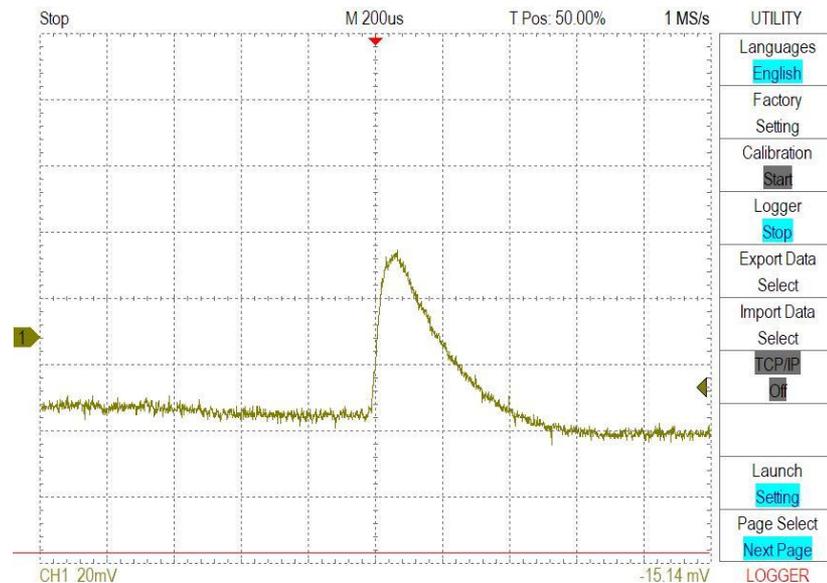
- $\text{SF}_6 + e^- \rightarrow \text{SF}_6^{-*}$
- $\text{SF}_6^{-*} \rightarrow \text{SF}_6 + e^-$
  
- $\text{SF}_6^{-*} + \text{SF}_6 \rightarrow \text{SF}_6^- + \text{SF}_6$
- $\text{SF}_6^{-*} \rightarrow \text{SF}_5^- + \text{F}$

# GEM 電場構造





# ゲイン取得



$^{55}\text{Fe}$  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

# $\Delta V_{\text{GEM}}$ と Gain

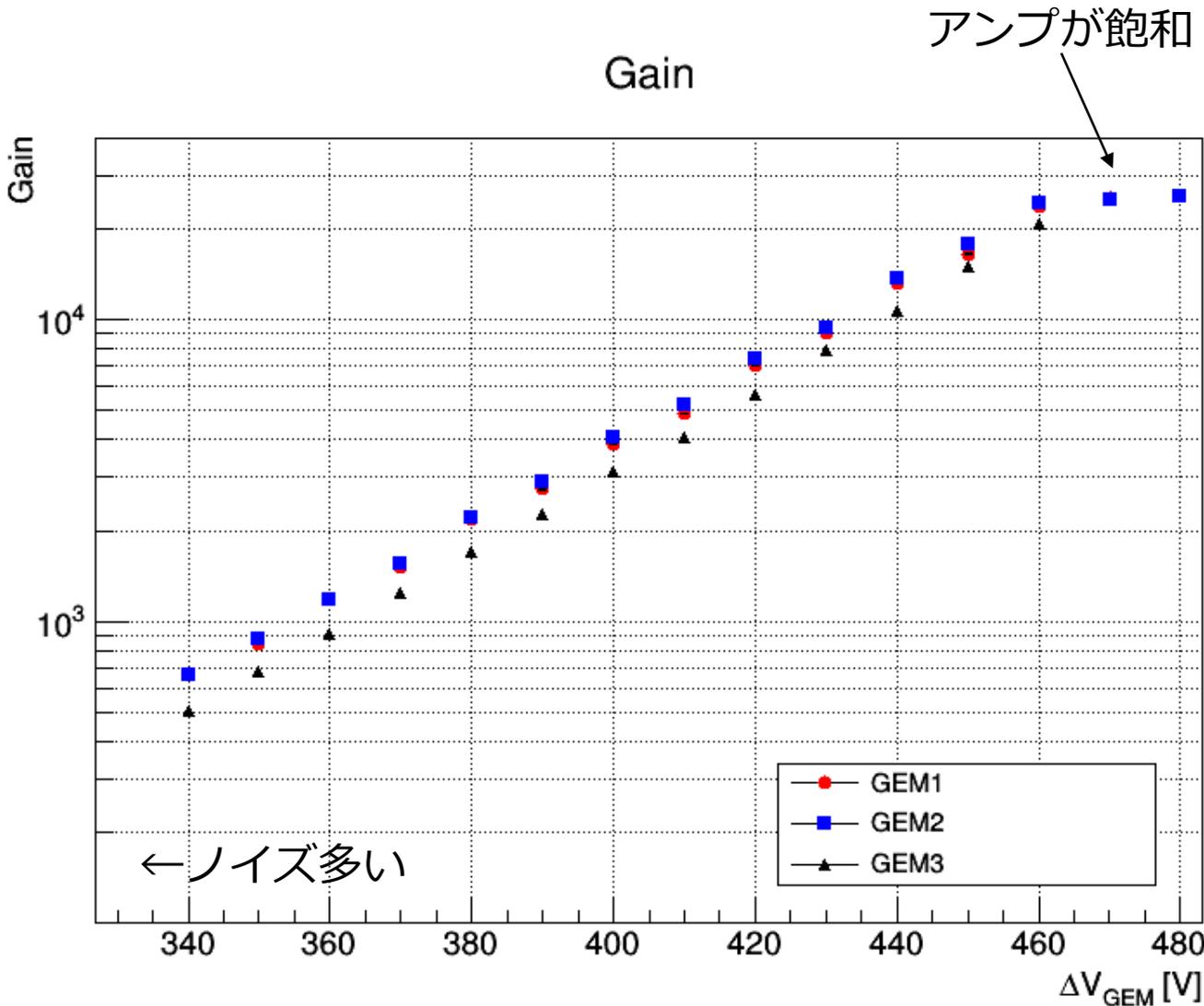
共通パラメータ

Ar + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(90:10) 1気圧

V<sub>Drift</sub> = 200 V

V<sub>Transfer</sub> = 857 V/cm

他GEM  $\Delta V_{\text{GEM}} = 340\text{V}$  固定



GEM1,2とGEM3の測定日は異なる

Ar + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(90:10) 1気圧

# ガスゲイン要請値 (2017池田智法修士論文より)

- SRIMから、SF6 20Torr中で  
最小8keVのdeposit

- $$Q = \frac{E_d}{W} \cdot e \cdot G$$

(Q:ストリップで検出される電荷,  $E_d$ :  
ストリップに落ちたエネルギー, W: W値, e:, 電気素量, G:  
ガスゲイン)

- 20Torrで80fC/1000[  
gas gain]

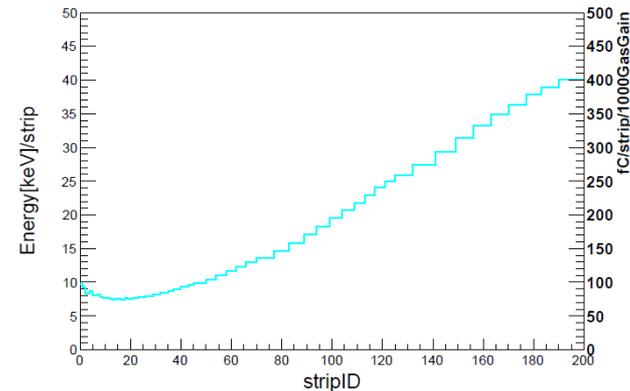


図 7.16: SRIM による  $\mu$ -PIC のストリップに落とすエネルギー  
及び電荷量の関係。

# Transfer電場とGain

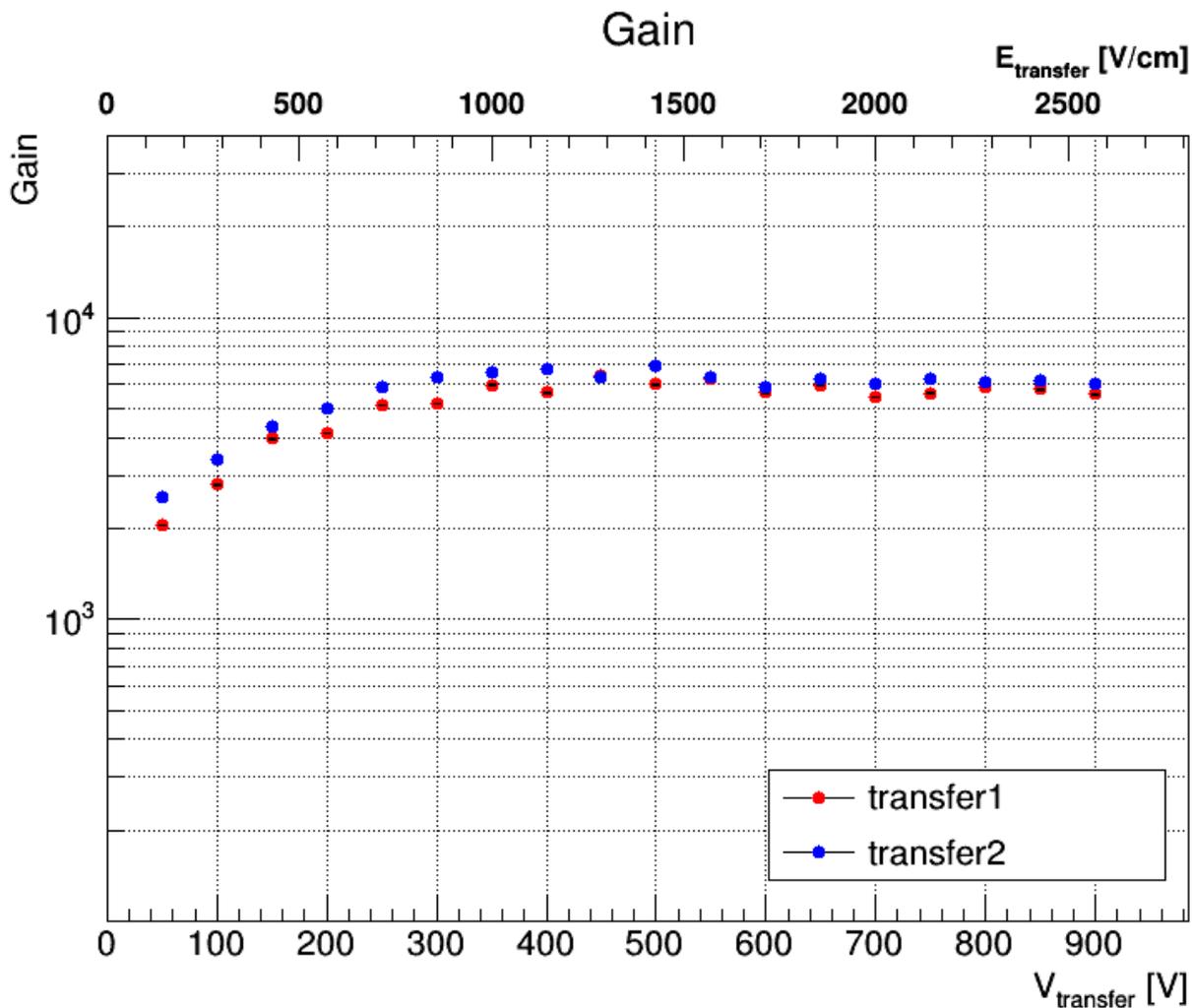
共通パラメータ

Ar + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(90:10) 1気圧

$\Delta V_{\text{GEM}} = 360 \text{ V}$

$E_{\text{Drift}} = 200 \text{ V/cm}$

$E_{\text{Induction}} = 1500 \text{ V/cm}$



1000 V/cmを超えたあたりからゲインが上がりなくなる

下がっているかはこの測定結果からはわからず

Ar + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(90:10) 1気圧

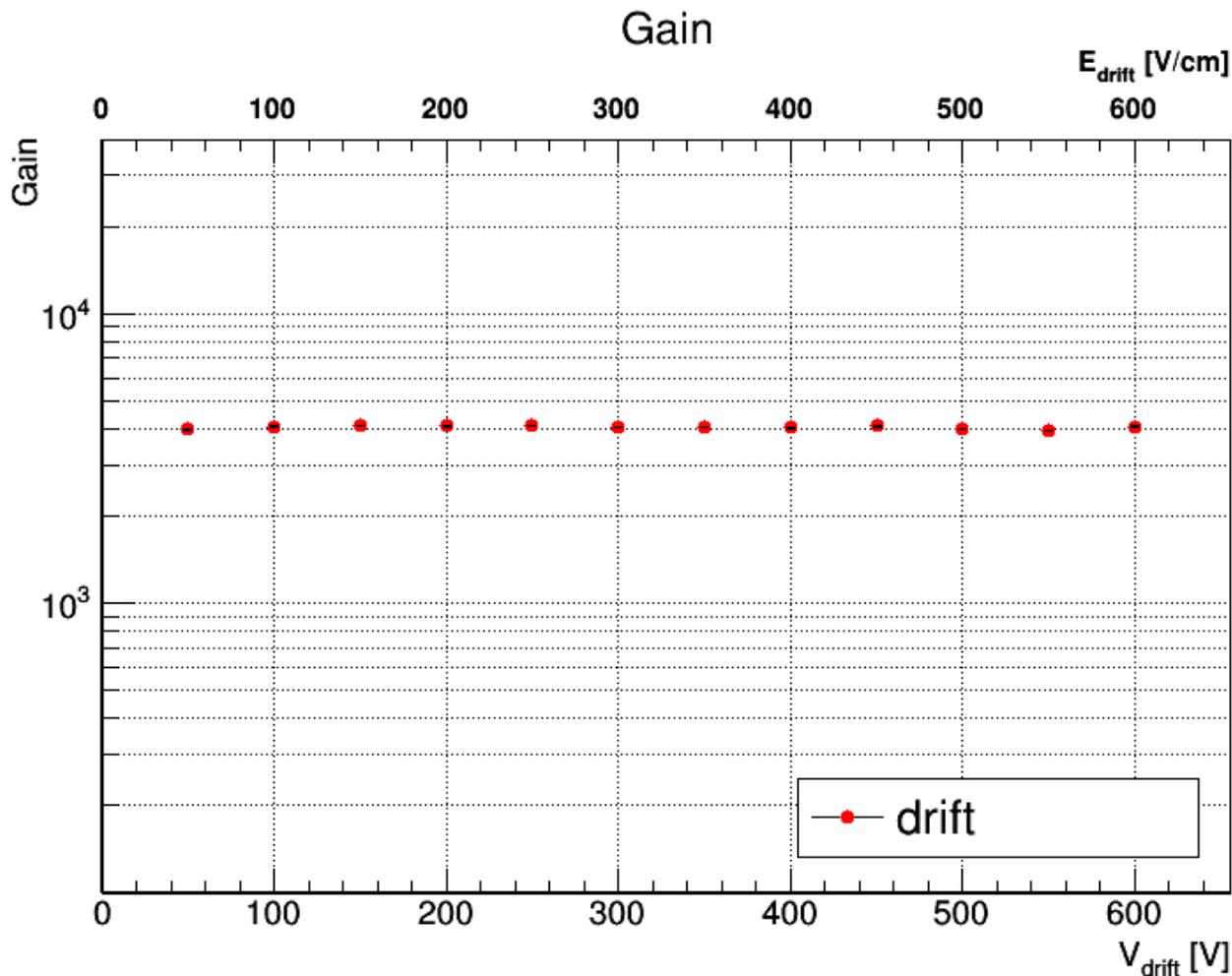
# Drift電場とGain

Ar + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(90:10) 1気圧

$E_{\text{transfer}} = 857 \text{ V/cm}$

$\Delta V_{\text{GEM}} = 360 \text{ V}$

$E_{\text{Induction}} = 1500 \text{ V/cm}$



測定している範囲では  
変化は見られなかった

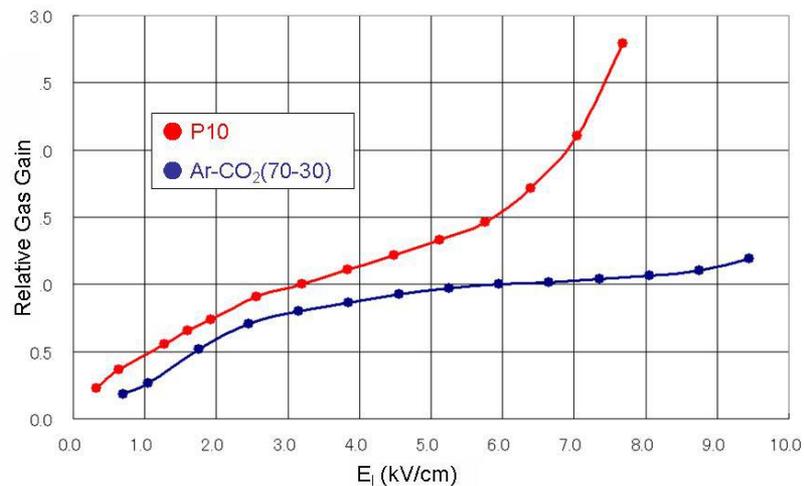
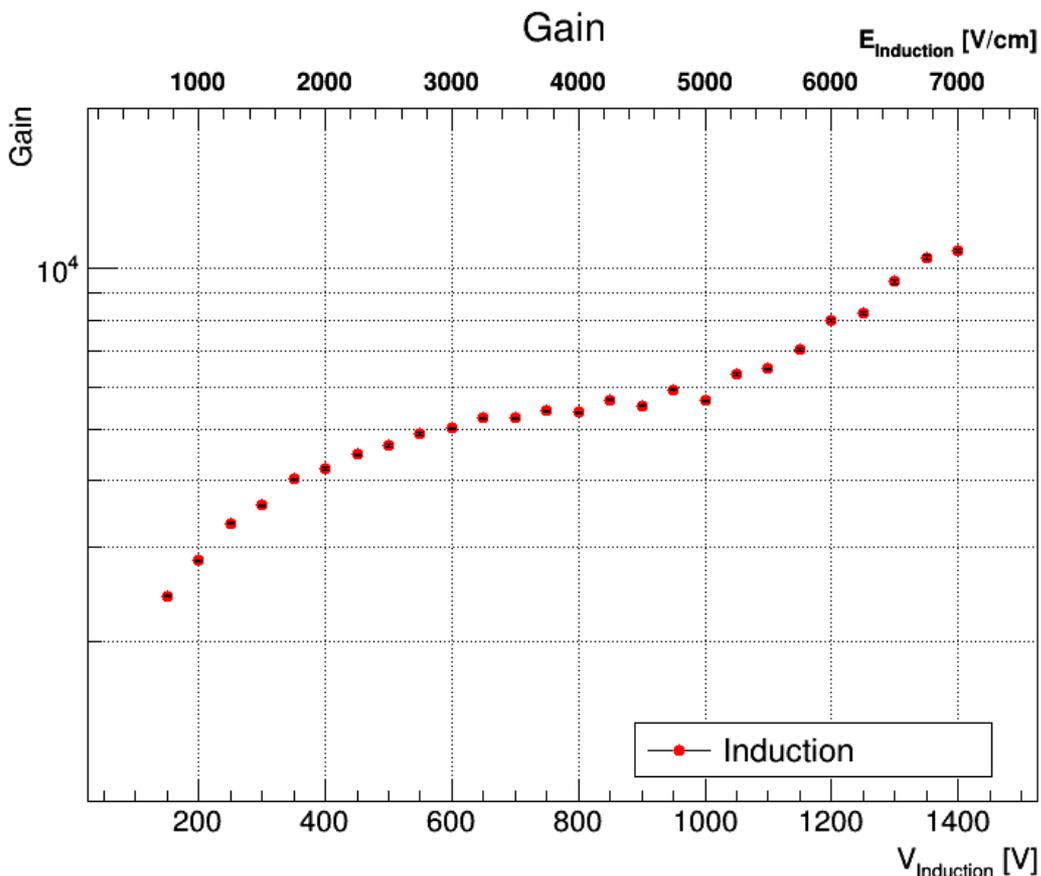
Ar + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(90:10) 1気圧

# Induction電場とGain

Ar+C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 1atm  
 $\Delta V_{GEM} = 350V$   
 $E_{Drift} = 200V/cm$   
 $E_{Transfer} = 857V/cm$

3000 V/cmから5000 V/cm  
で一旦緩やかになった後、再  
び上昇に転じている

杉山史憲 修士論文  
(東京理科大学 2008)  
での測定結果 (下図) と同一傾向



Ar + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(90:10) 1気圧