

# 陰イオンガス中における MPGDの理解

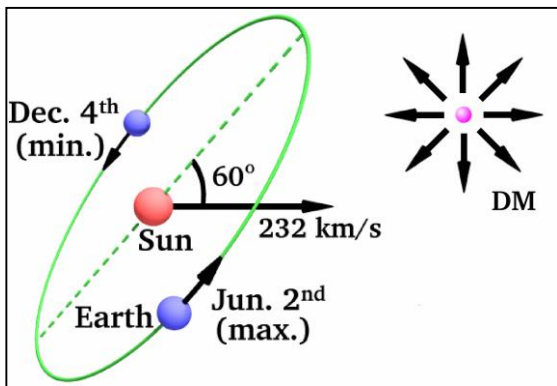
2018年3月25日 物理学会 第73回年次大会  
@東京理科大(野田キャンパス)

石浦宏尚, 身内賢太郎, 中村輝石, 矢ヶ部遼太, 橋本隆, 池田智法,  
中澤美季, 越智敦彦  
神戸大理

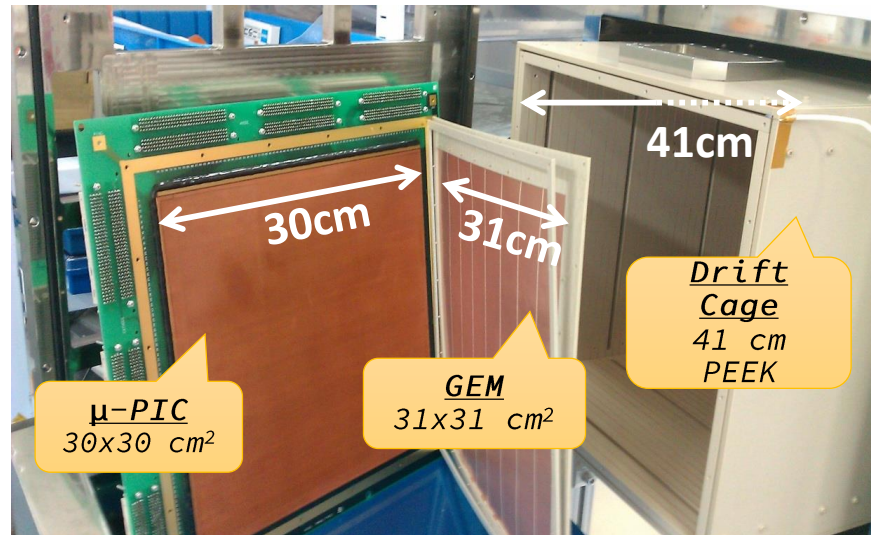
# NEWAGE



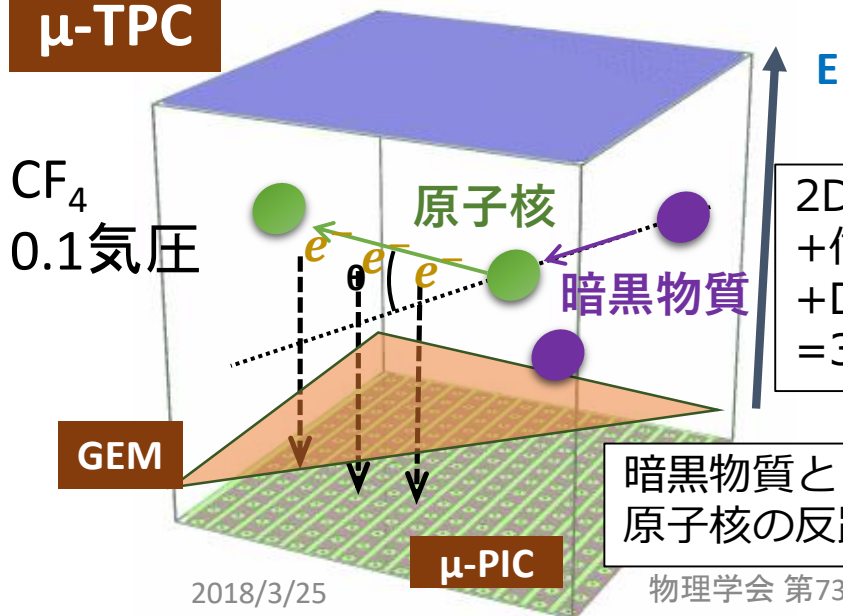
- 神戸大主導の**方向に感度を持つ**暗黒物質直接探索実験
- ガス検出器「 $\mu$ -TPC」を用いて到来方向異方性の観測を目指す



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

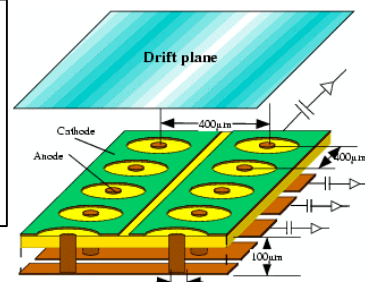


**$\mu$ -TPC**

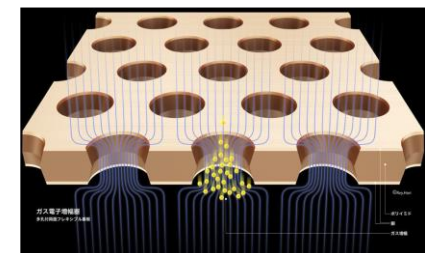


2D読み出し  
+ 信号時間差  
+ Drift速度  
= 3D

暗黒物質と  
原子核の反跳



**$\mu$ -PIC**  
400 $\mu$ m pitch



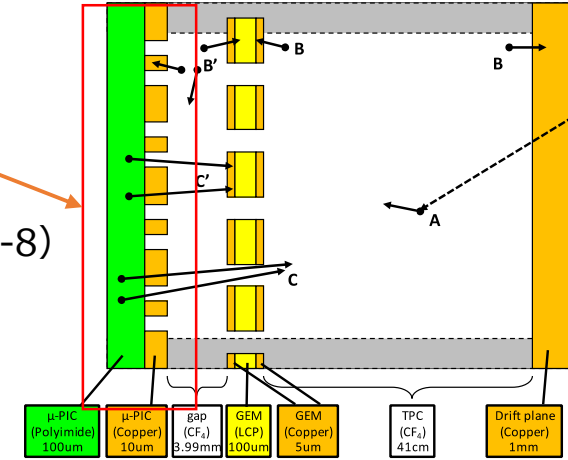
**GEM**

# 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

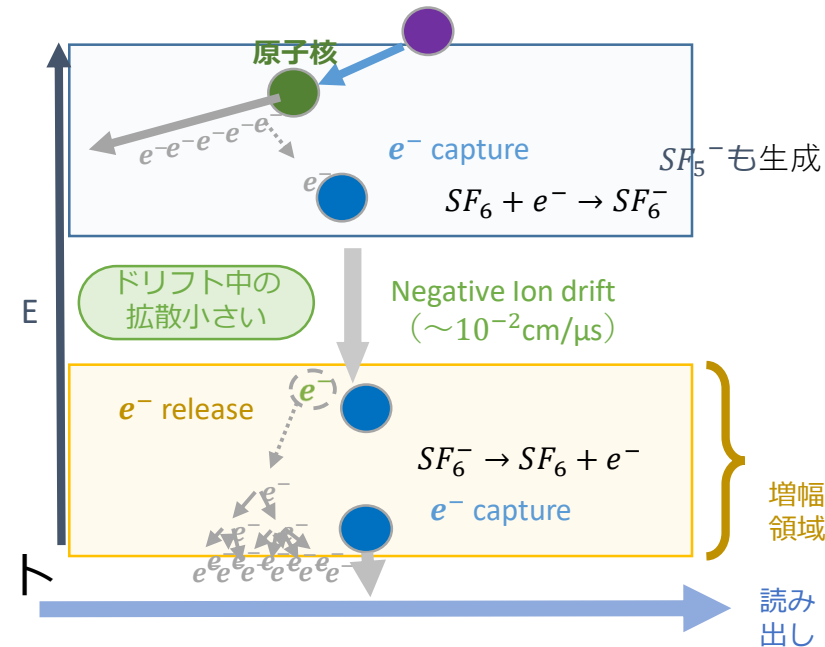
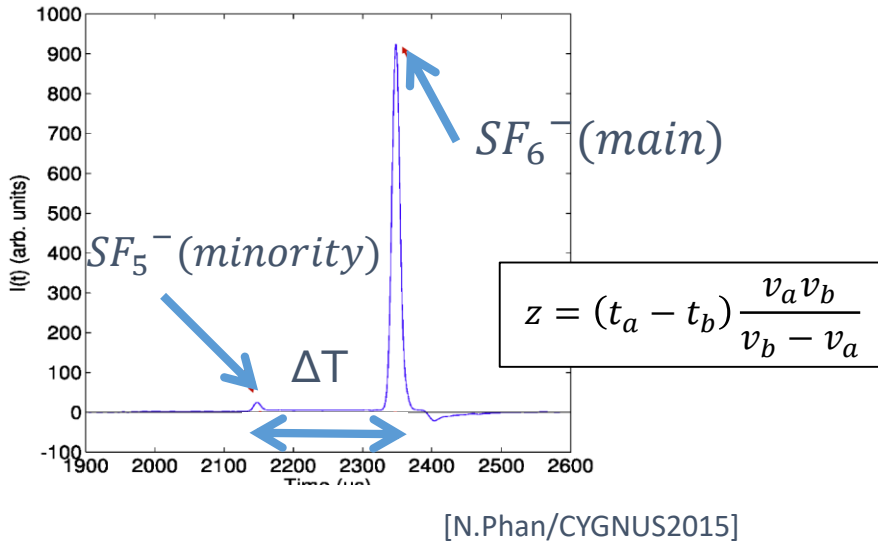
● 対策

- μ-PICの低アルファ化によるBG低減(身内講演 23pK301-8)
- Z軸方向有効体積カット



● 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軸方向絶対位置決定に成功



→陰イオンガスμTPCを用いたZ方向有効体積カット  
(TPC：池田講演 23pK301-9、ASIC 中澤講演 22aK205-9)

# 陰イオンガス中におけるMPGD

## MPGD領域において理解したいこと

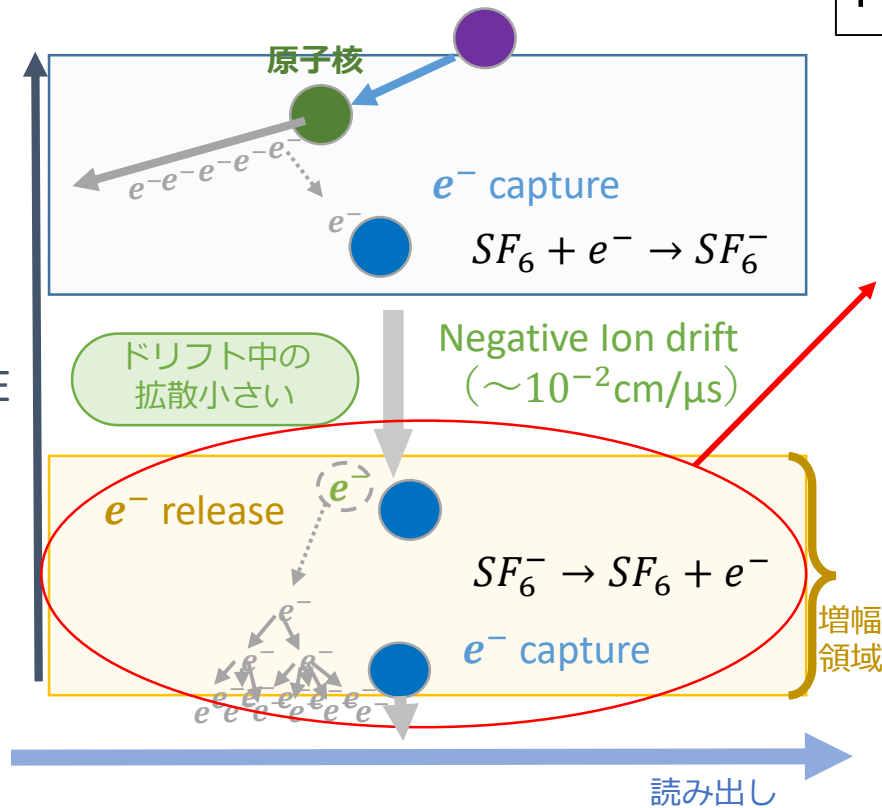
- SF<sub>6</sub> 電子捕獲(attachment)平均自由行程  
電場依存
- SF<sub>6</sub> 電子放出(detachment)平均自由行程  
電場依存  
→増幅領域の大きさと比較
- 増幅領域内での電場 & 領域ジオメトリ依存
- 圧力依存

+

先行研究・実験・シミュレーション

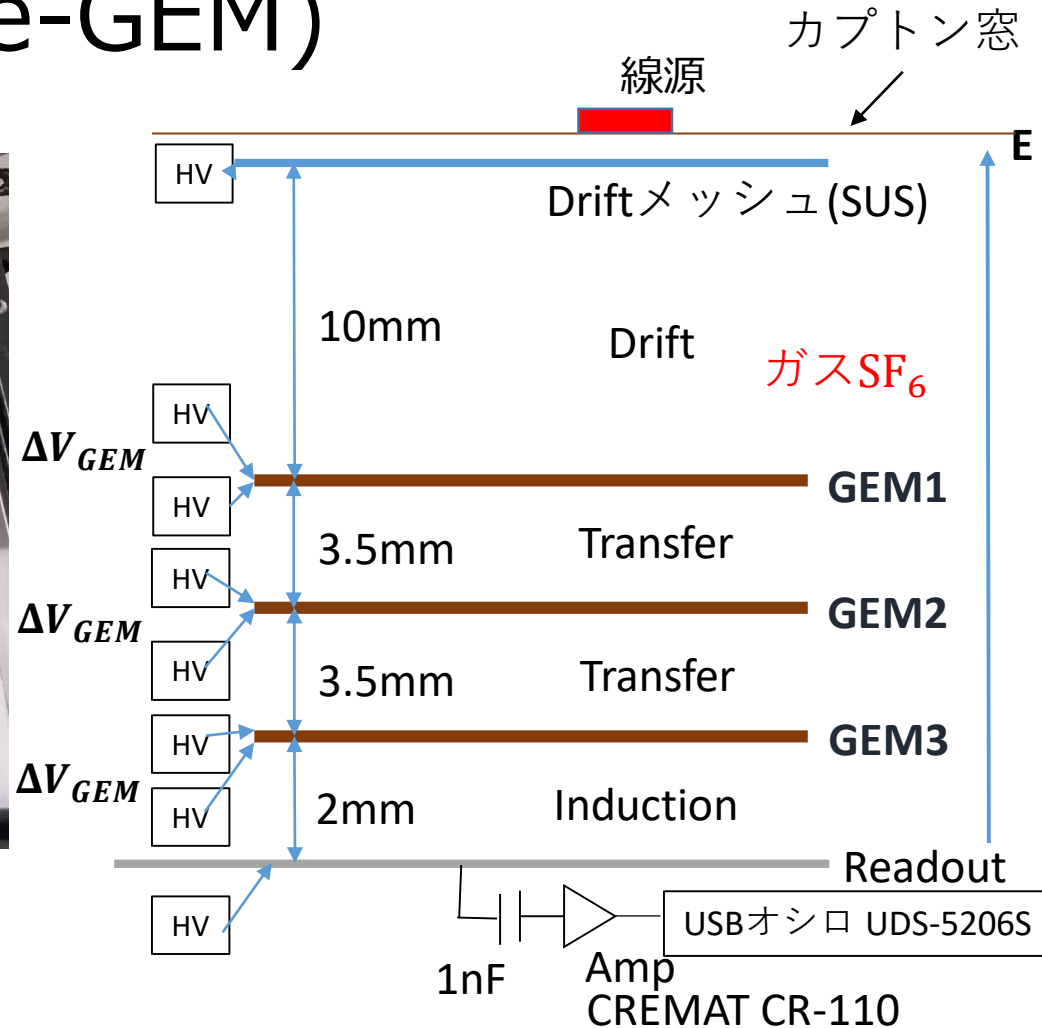
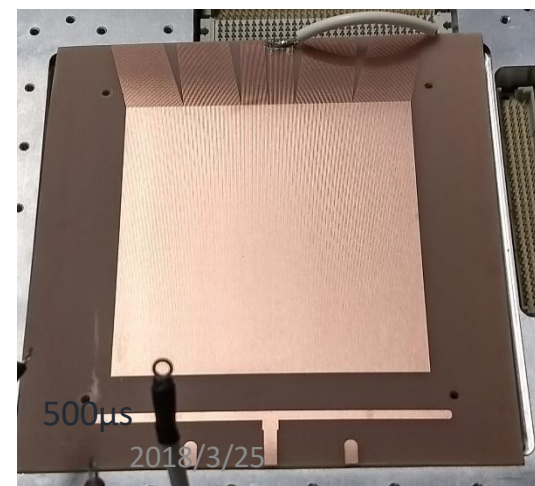
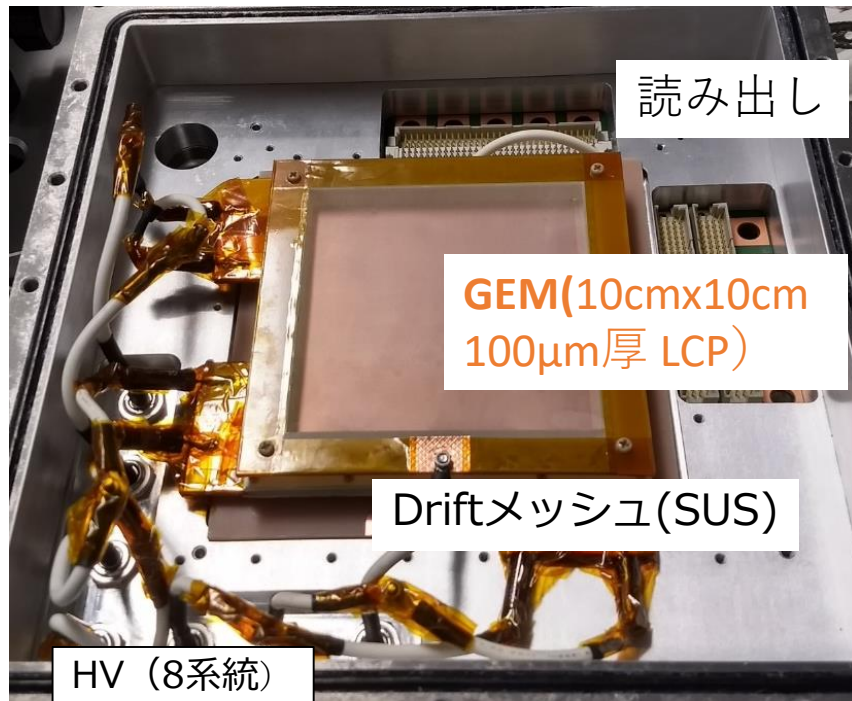
↓

陰イオンガス中でのMPGDの特性理解へ



各パラメータを変えやすいGEMを用いて実験、統一的理解へ

# セットアップ(Triple-GEM)



Amp : CREMAT CR-110, Gain : 1.4V/pC, 時定数:140 $\mu$ s  
 Readout : 400 $\mu$ 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

# SF<sub>6</sub> 中 Triple-GEM 動作

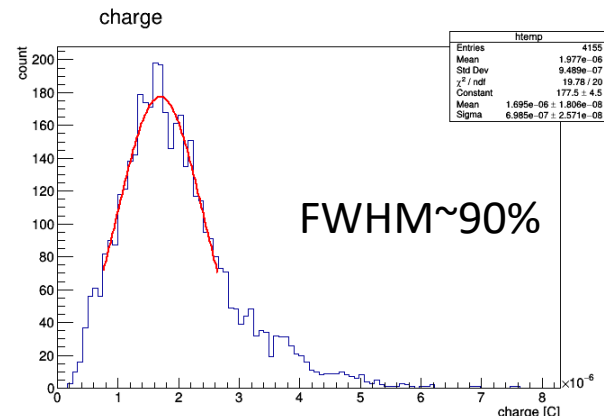
- Ar + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 90:10 1気圧で動作確認
- pure SF<sub>6</sub> 20~120 Torr 5.9keV X線の信号確認

## ■ ゲイン等測定方法

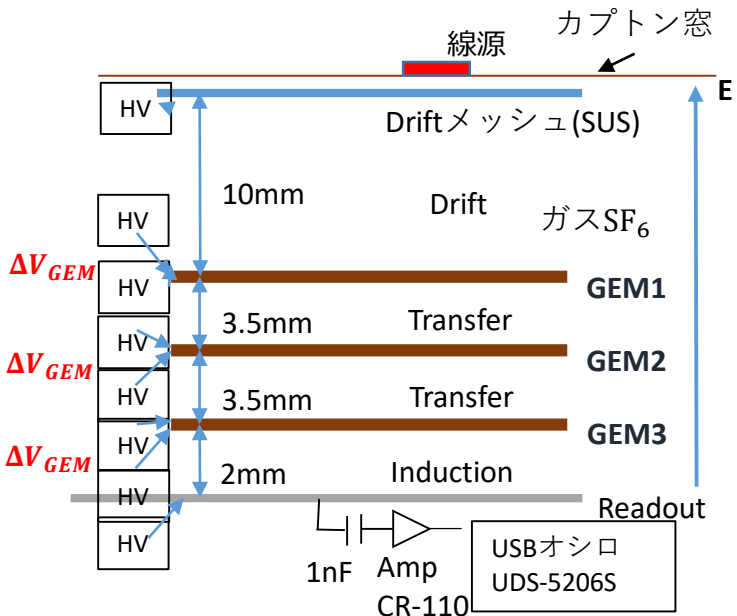
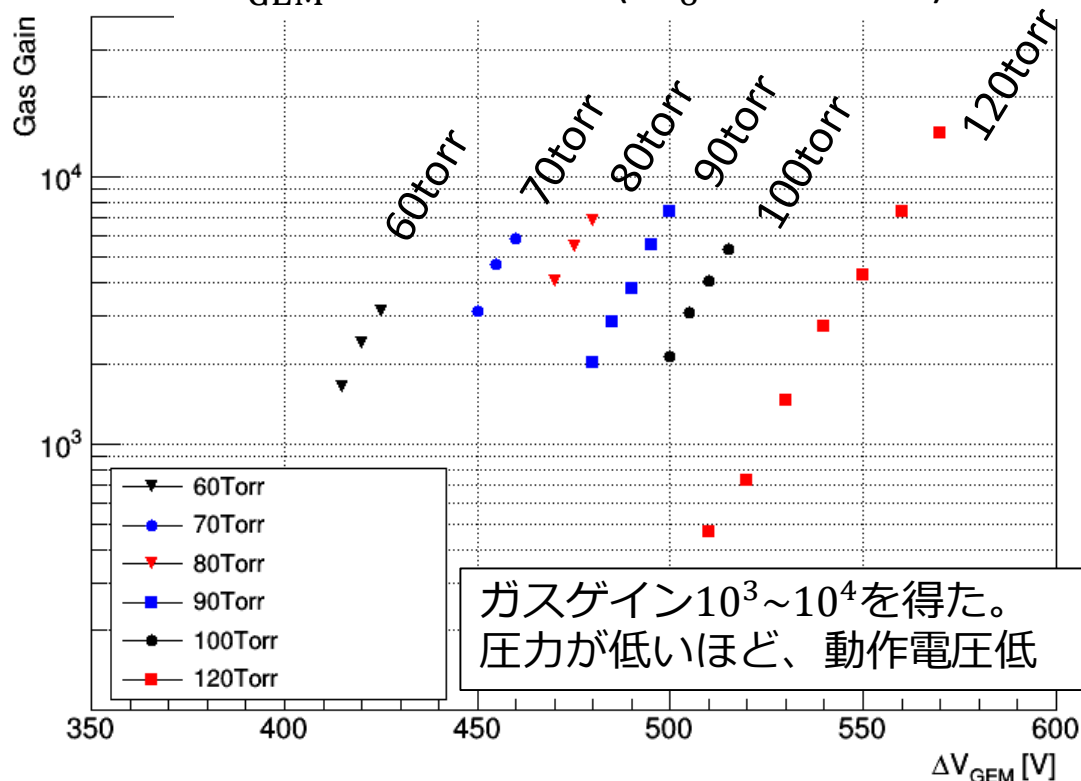
取得波形(USBオシロより) → 積分してガスゲイン計算

## ■ 測定内容

- Gas gainおよびエネルギー分解能とガス圧、 $\Delta V_{GEM}$ 、各電場の依存性

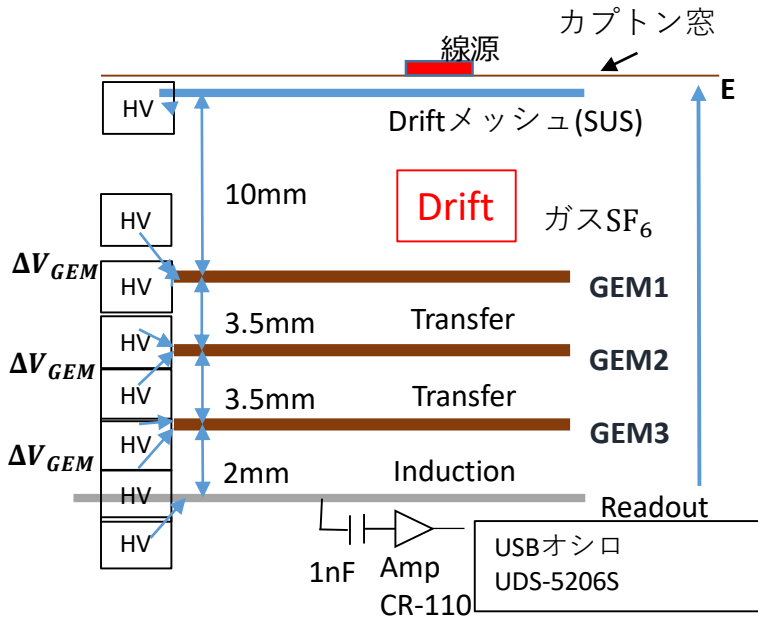


## $\Delta V_{GEM}$ とガスゲイン (SF<sub>6</sub> 60~120torr)

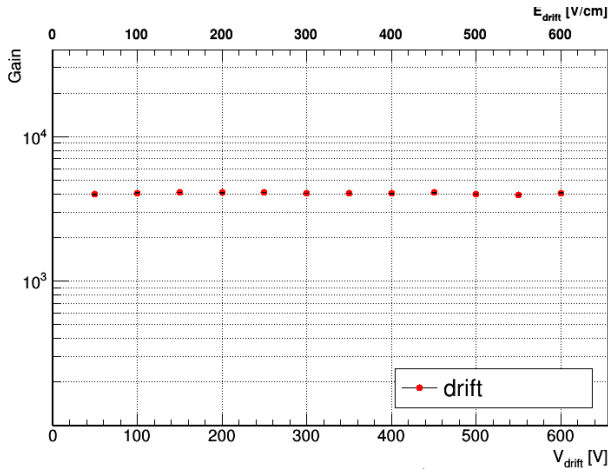
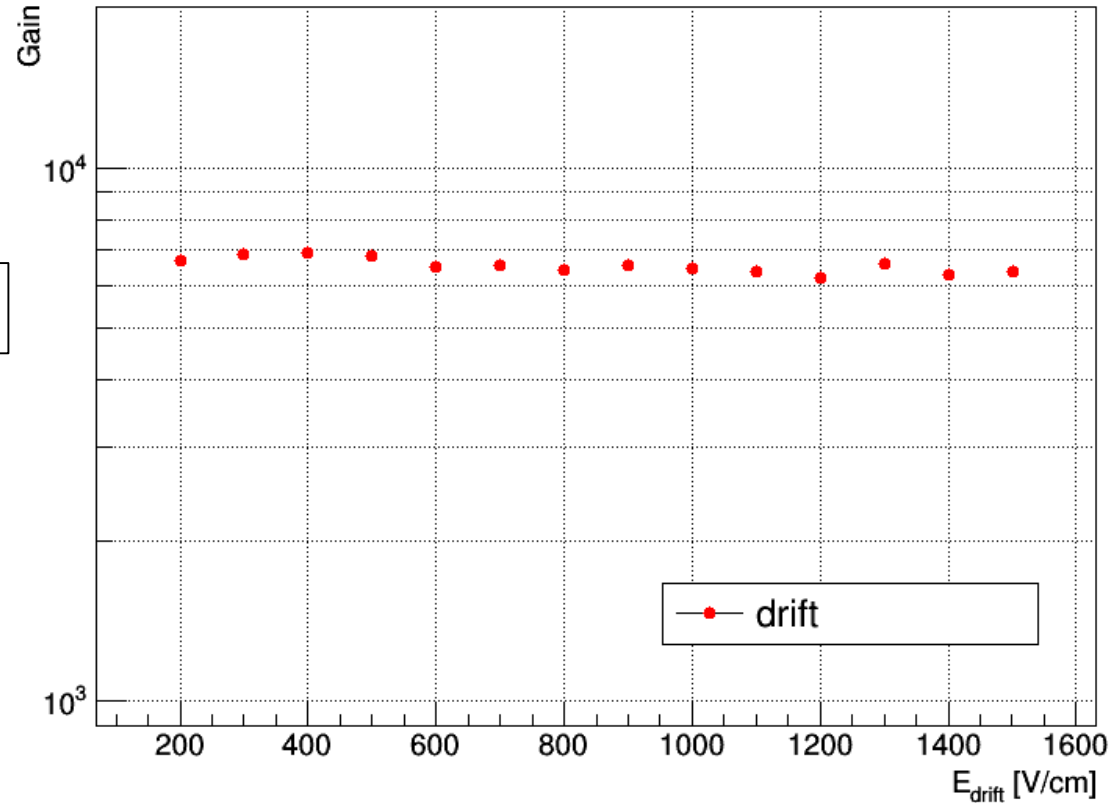


# ガスゲイン vs Drift電場

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



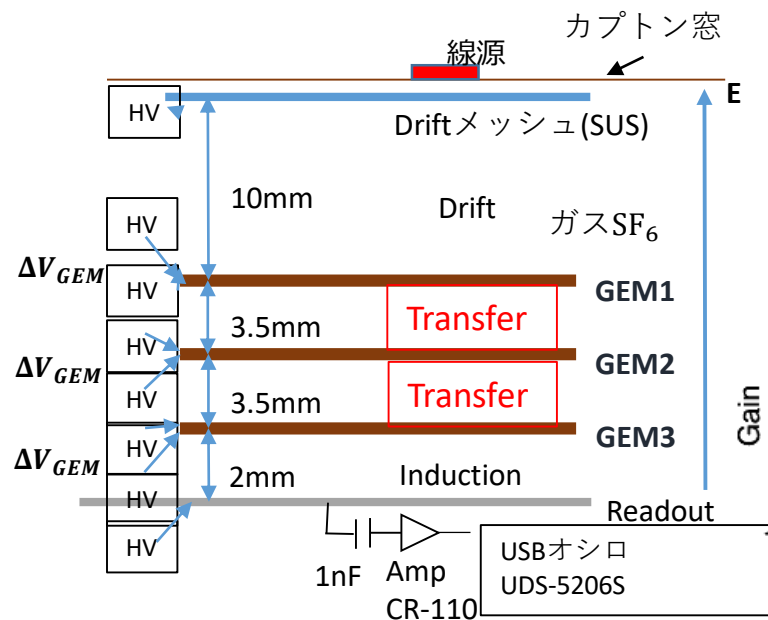
Gain



ゲインのDrift電場依存は見られず

Ar + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (90:10) 1気圧  
 JPS2017秋石浦  
 2018/3/25

# ガスゲイン vs Transfer電場



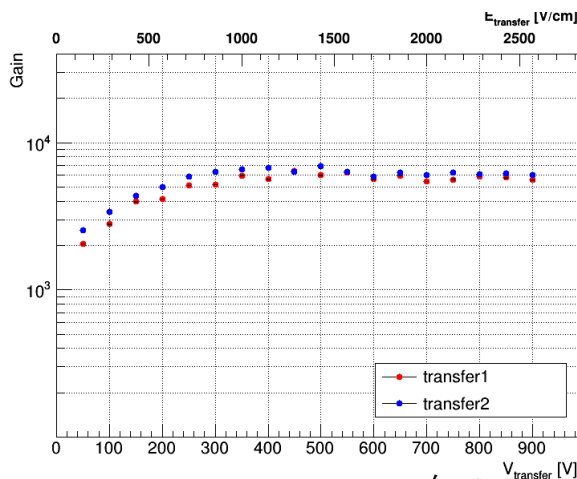
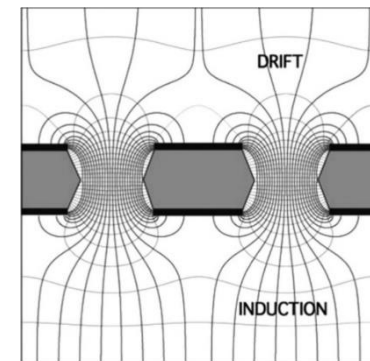
$$\Delta V_{GEM} = 520V$$

Drift 1kV/cm

Induction 2.5 kV/cm

SF<sub>6</sub> 100torr

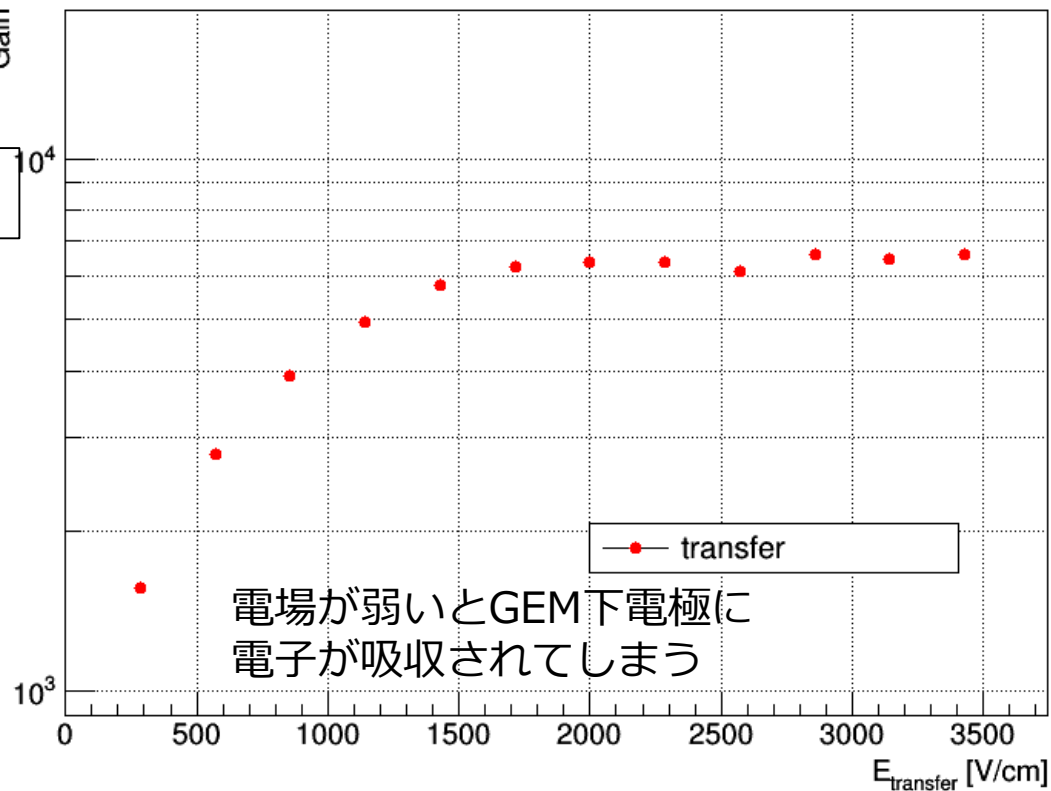
Gain



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

JPS2017秋石浦

2018/3/25

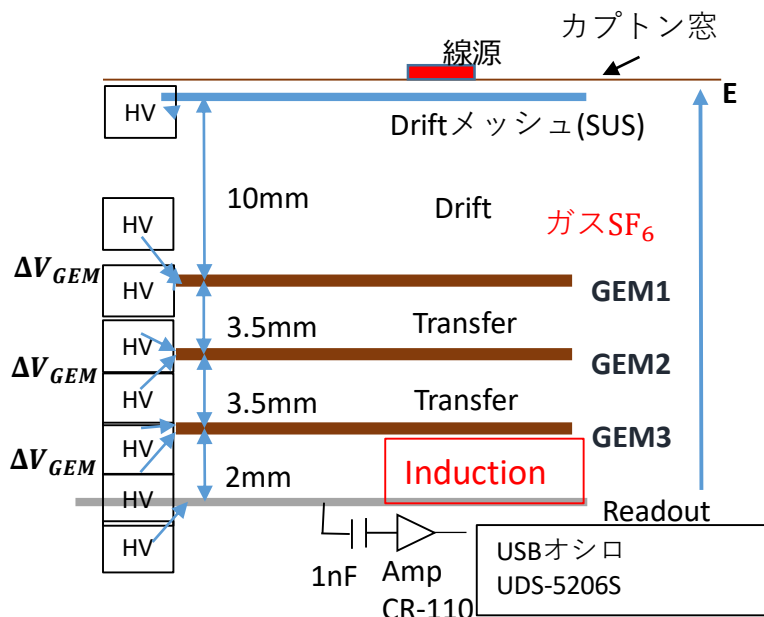


電場が弱いとGEM下電極に電子が吸収されてしまう

一定に落ち着く



# ガスゲイン vs Induction電場



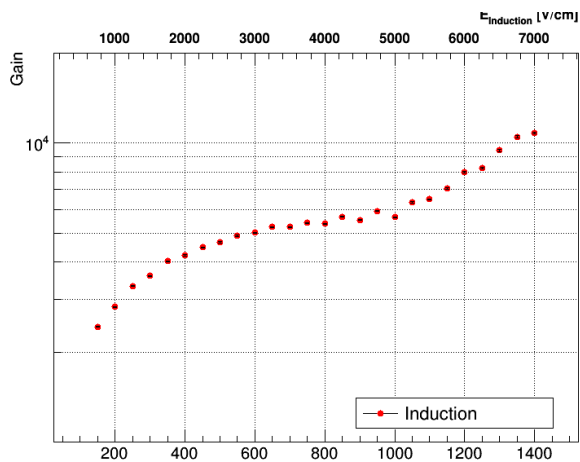
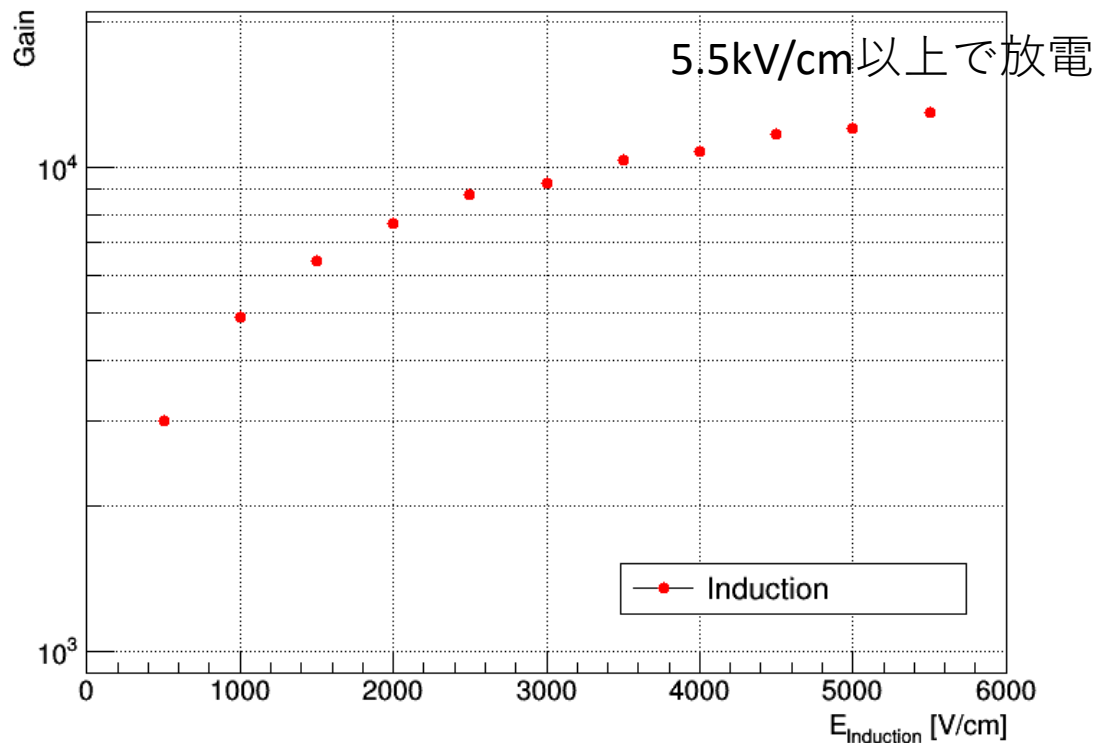
Induction @SF6 100torr

$\Delta V_{GEM} = 520V$

Drift 1kV/cm

Transfer 2.86 kV/cm

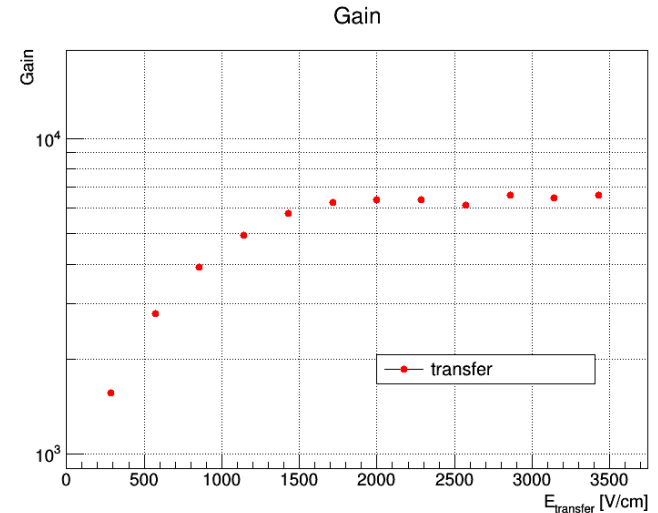
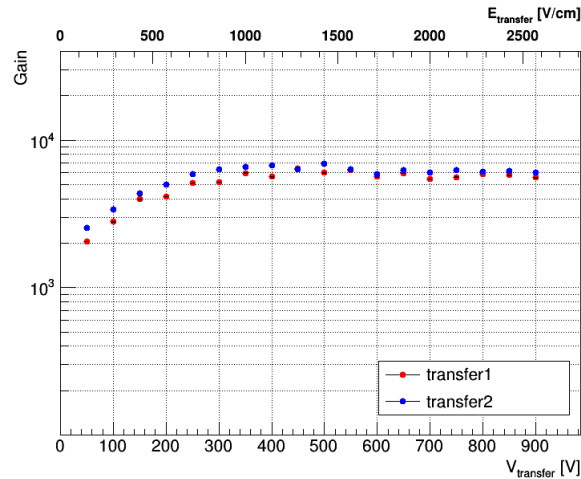
Gain



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

# Triple-GEMまとめ

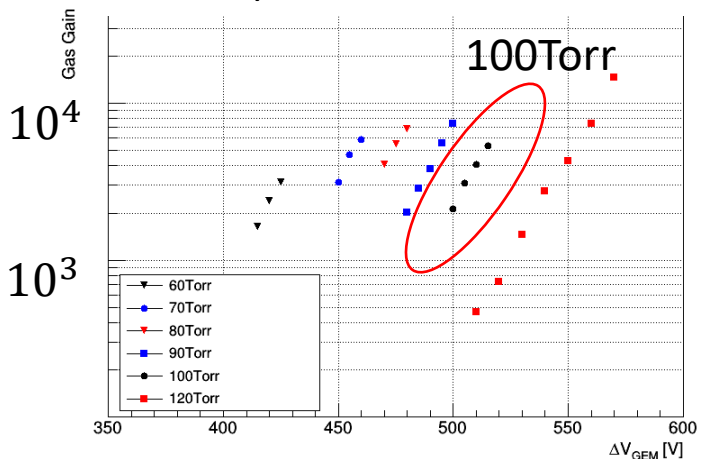


Transferとゲイン (左Ar+C2H6, 右SF6)

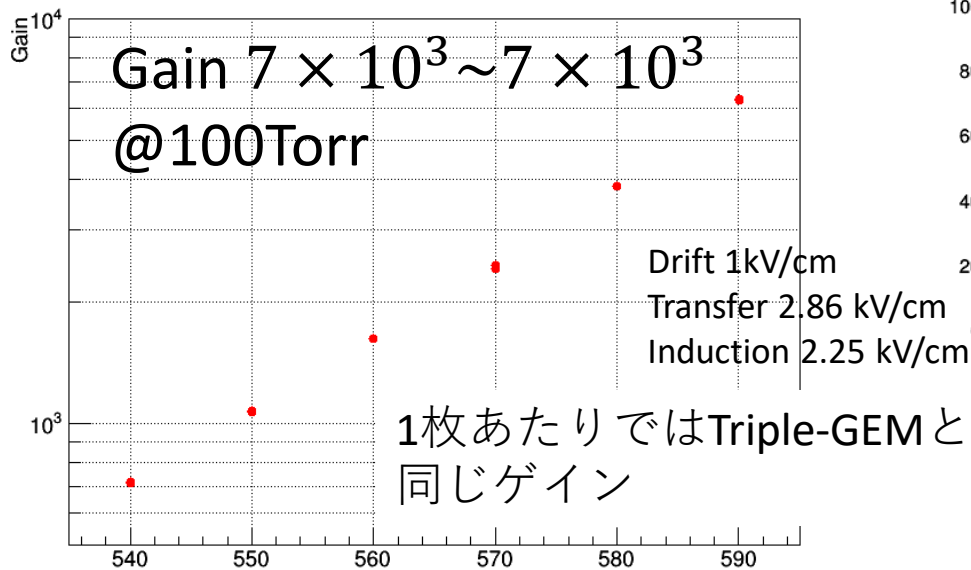
- ガスゲイン、エネルギー分解能、各電場の関係@SF<sub>6</sub>
  - Ar + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(90:10) 1気圧とエネルギー分解能以外似た傾向 (SF<sub>6</sub>~90%FWHM, Ar + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(90:10)では25~30%FWHM)
    - 陰イオン/電子の動きについてシミュレーション等と共に調べる必要
- GEMの枚数を変えてエネルギー分解能が変わるか確かめる
  - GEM枚数を減らしDouble-GEMで確かめる (次スライドから)

# Double-GEM 結果

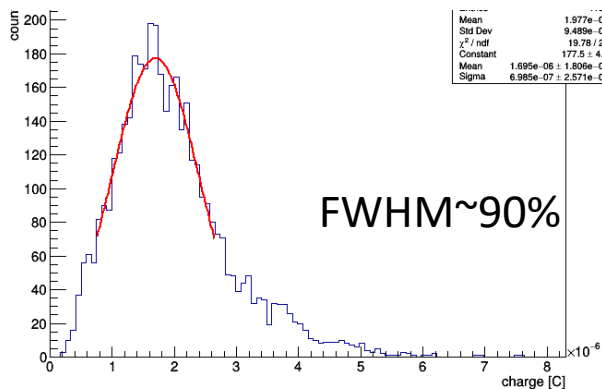
Triple-GEM ガスゲイン



Gain @ 100 Torr SF6 Double-GEM

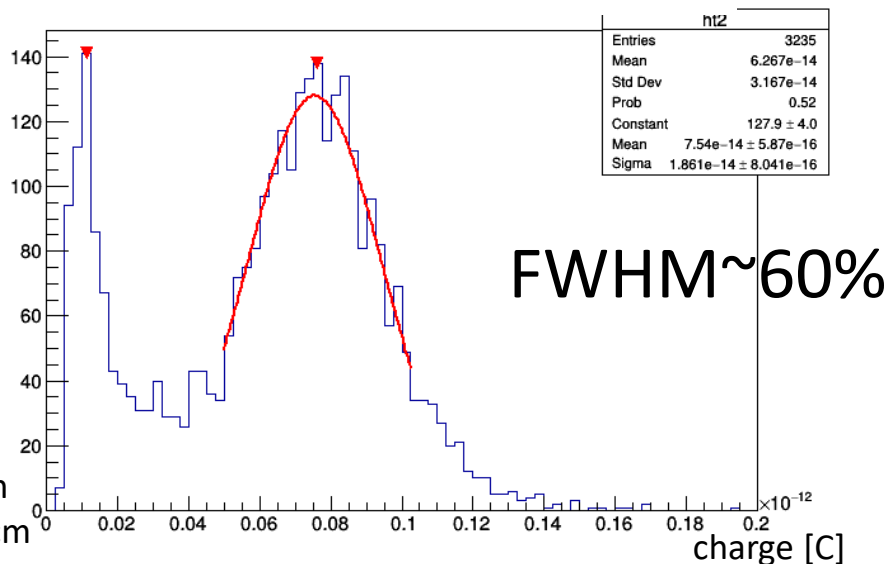


Triple-GEM エネルギー分解能



GEM毎にエネルギー分解能悪化？

Double-GEM エネルギー分解能



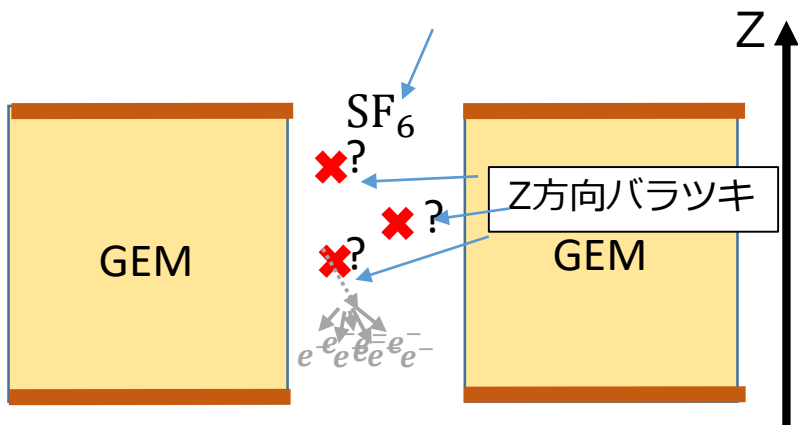
Double-GEMで  
エネルギー分解能の向上 &  
Triple-GEMと同程度ガスゲイン

# GEM枚数とエネルギー分解能

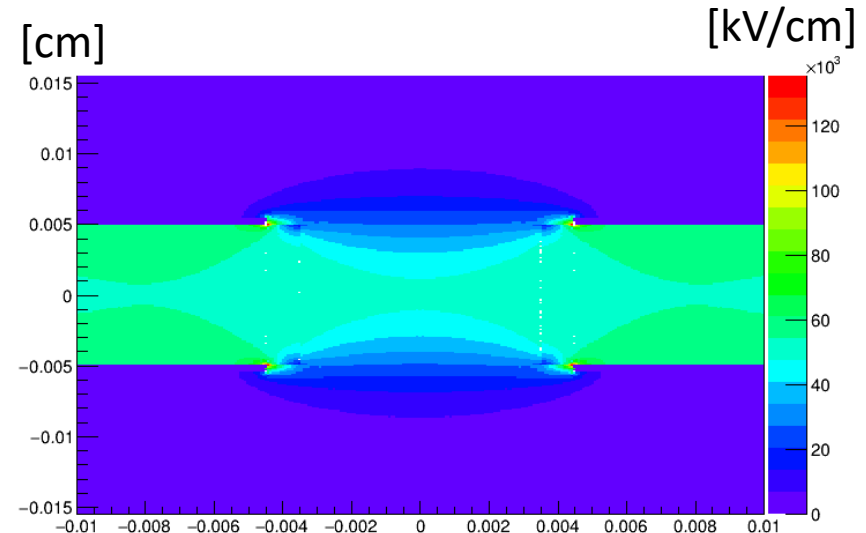
- Triple-GEM→Double-GEMにすると エネルギー分解能が向上
  - GEMの場合：SF<sub>6</sub>中では多段にするとエネルギー分解能が悪化

## 考えられる原因

- 増幅開始位置 (Z方向) のバラツキ→エネルギー分解能悪化？
  - GEM1枚毎にエネルギー分解能悪化か
  - 電子のdetachment平均自由行程がGEM厚に比べ長い？
- 陰イオン/電子がホール中のどの場所・電場(XY位置)を通るかでバラツキ？



どこでSF<sub>6</sub>が電子をdetach→増幅開始？



# 今後とまとめ

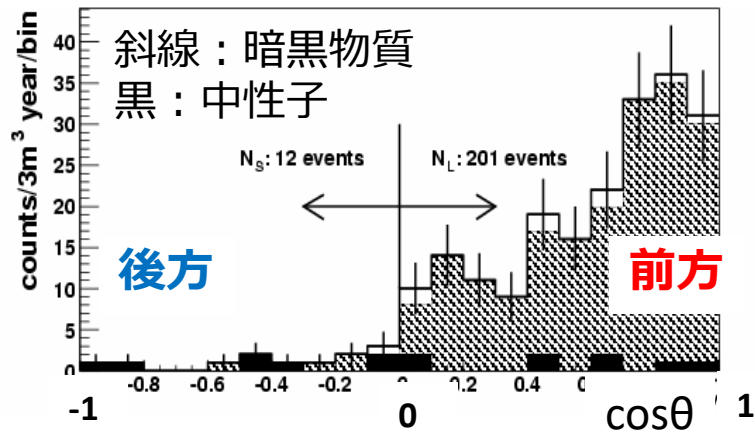
## ◆ 今後

- 実験にシミュレーション(Garfield++等)を加えての、陰イオン挙動理解
- 他MPGDを用いたSF<sub>6</sub>での試験

## ◆ まとめ

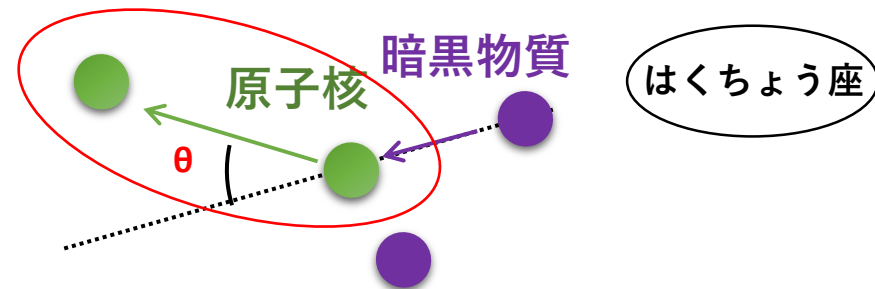
- Triple/Double-GEMを用い陰イオンガスSF<sub>6</sub>中で各パラメータとゲインの関係を測定
  - Triple-GEM : 最大ガスゲイン $\sim 10^4$ , FWHM $\sim 90\%$  @ SF<sub>6</sub> 60 $\sim$ 120 Torr
  - Double-GEM : 最大ガスゲイン $\sim 7 \times 10^3$ , FWHM $\sim 60\%$  @ SF<sub>6</sub> 100Torr
- GEMホール内での電子、陰イオンの挙動によりエネルギー分解能が悪化か

# Backup



Physics Letters B 578 (2004) 241–246

期待される到来方向異方性(シミュレーション)



# 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
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

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



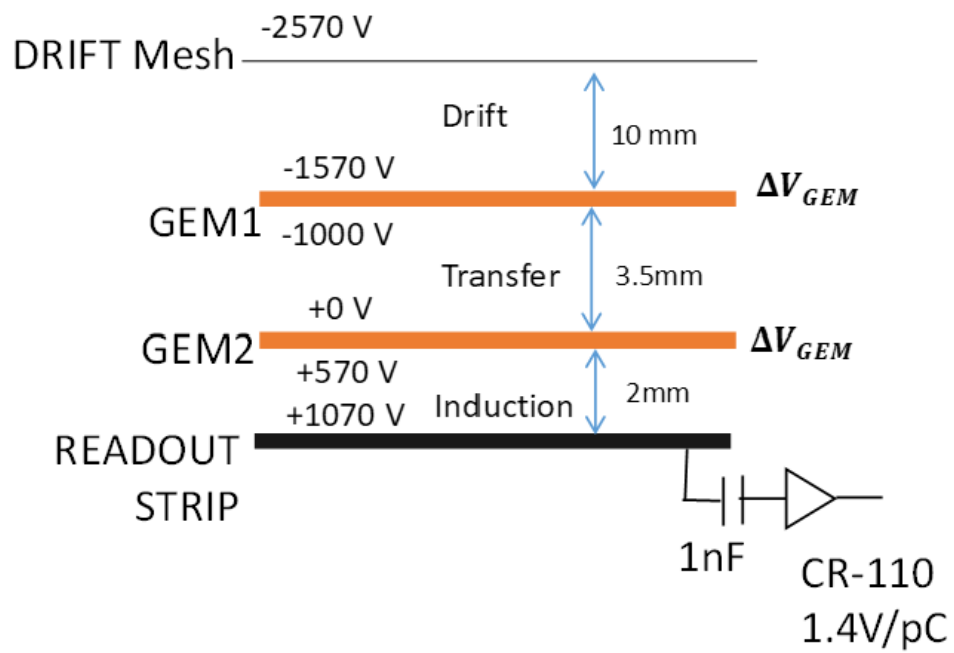
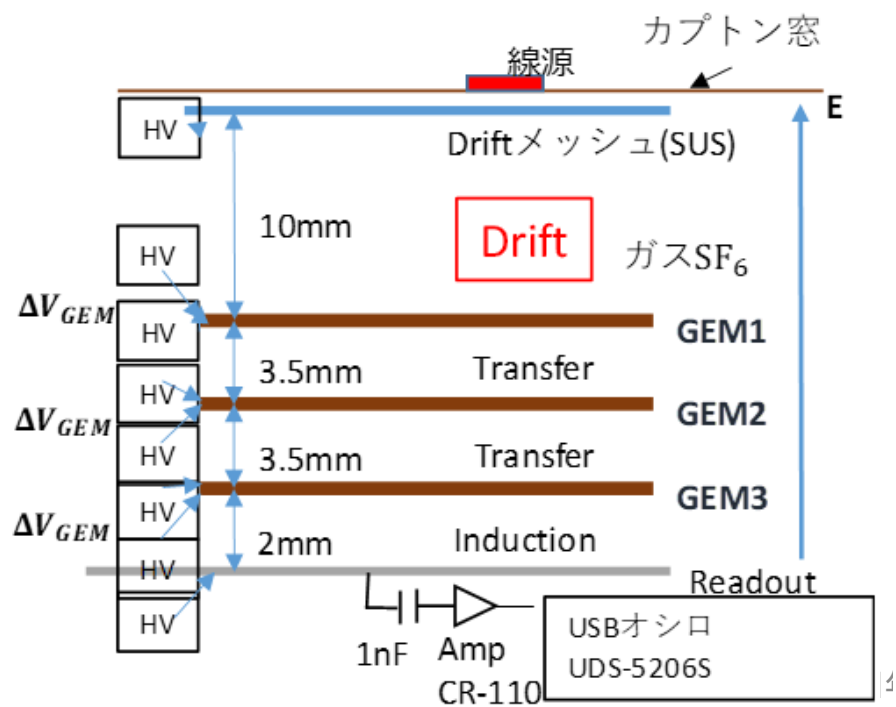
# SF<sub>6</sub>

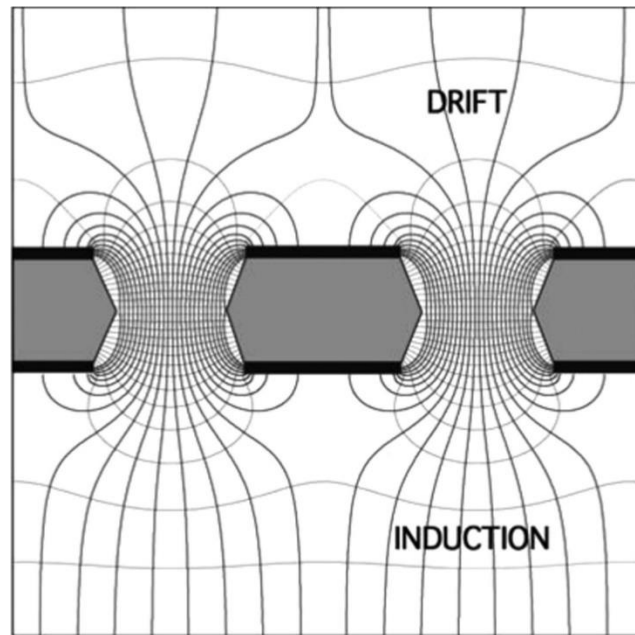
## attachment

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

## detachment

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





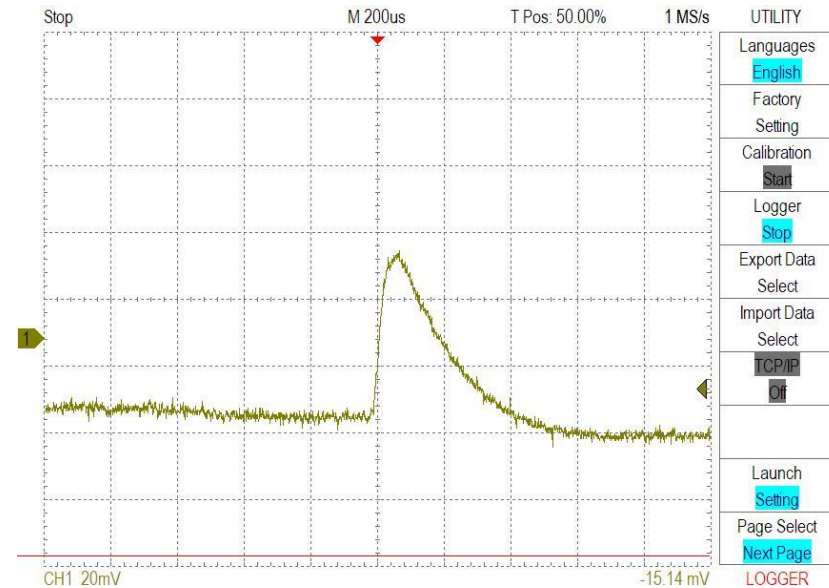
# ゲイン取得

$^{55}\text{Fe}$  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

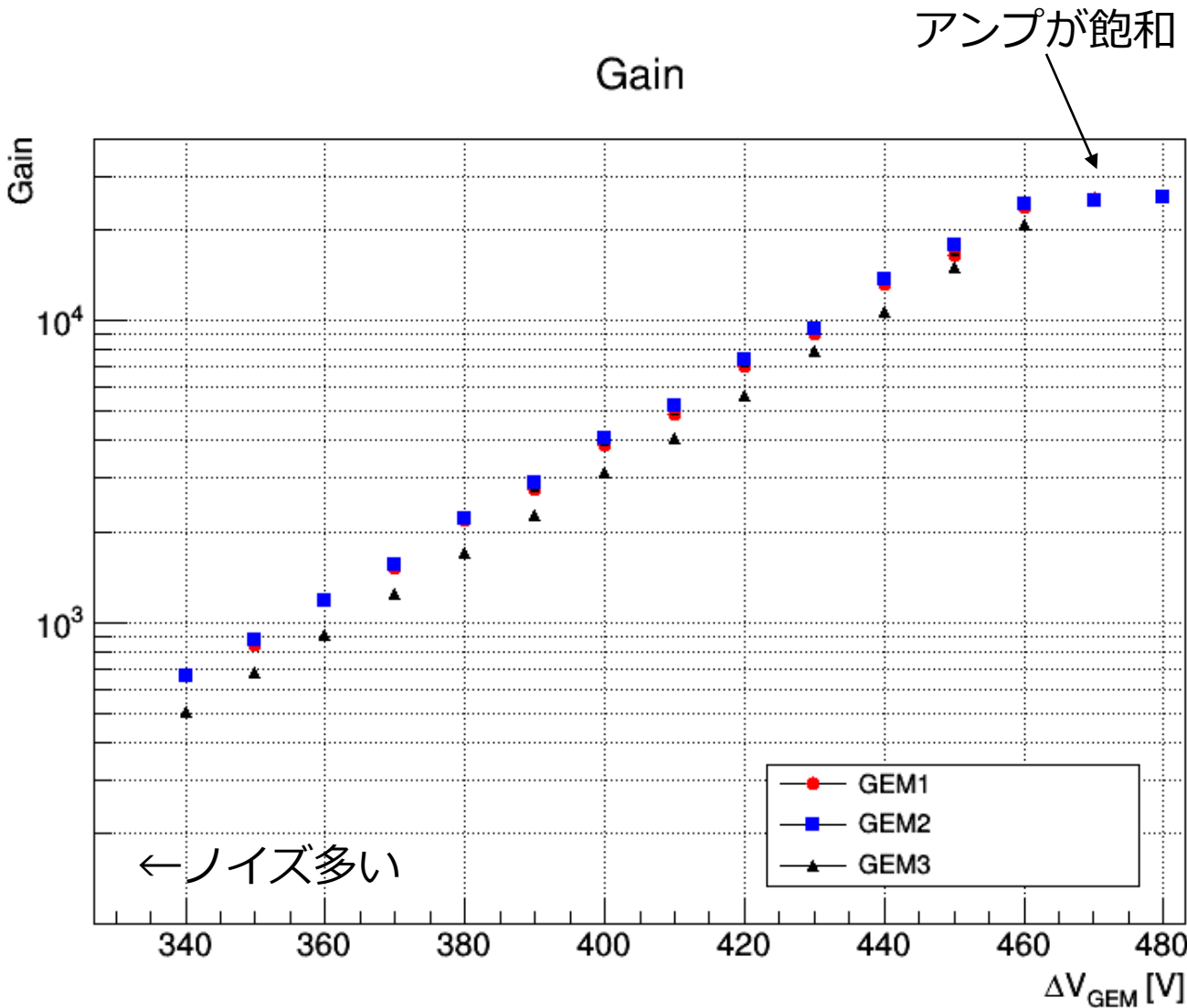
共通パラメータ

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

# Transfer電場とGain

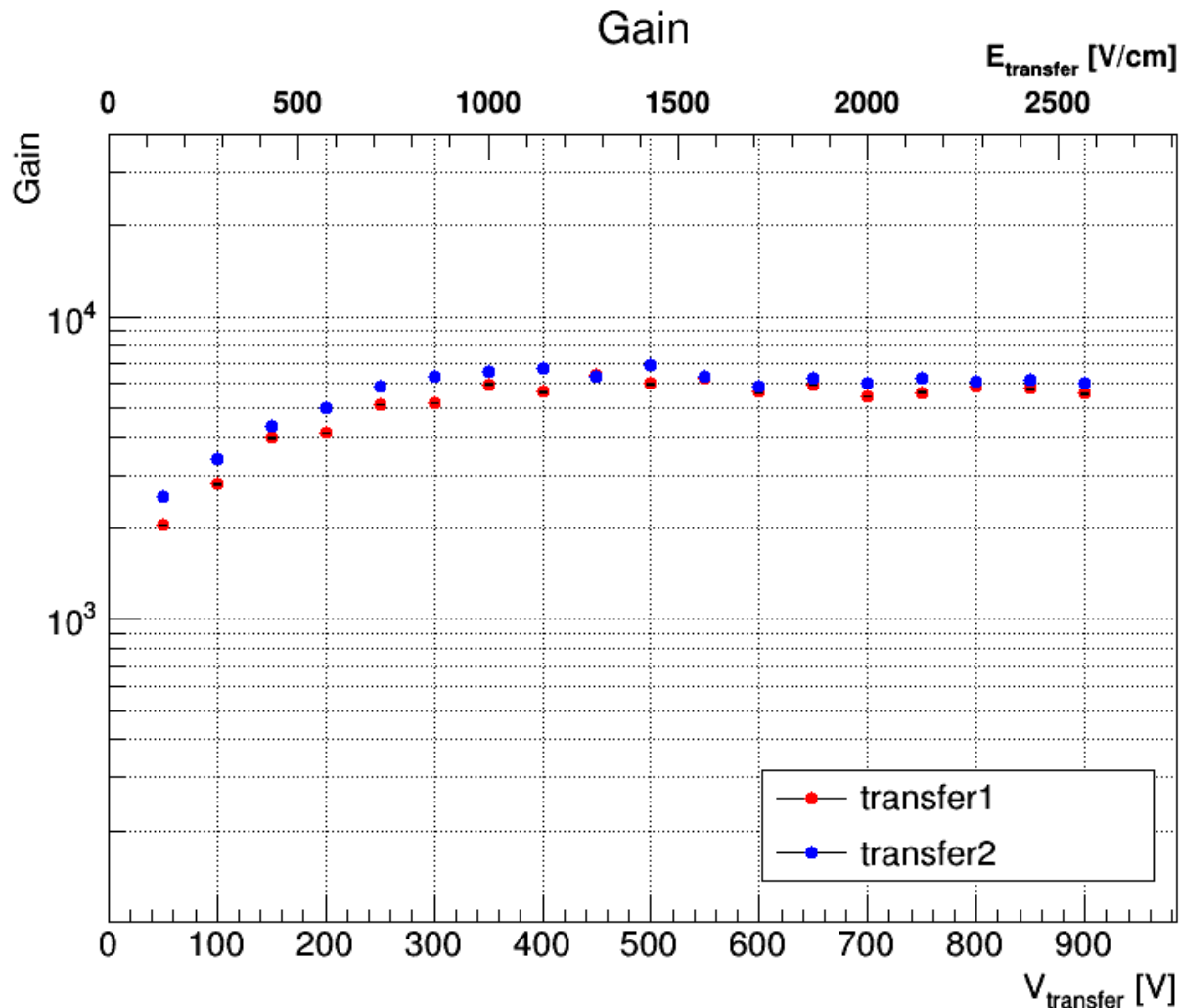
共通パラメータ

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

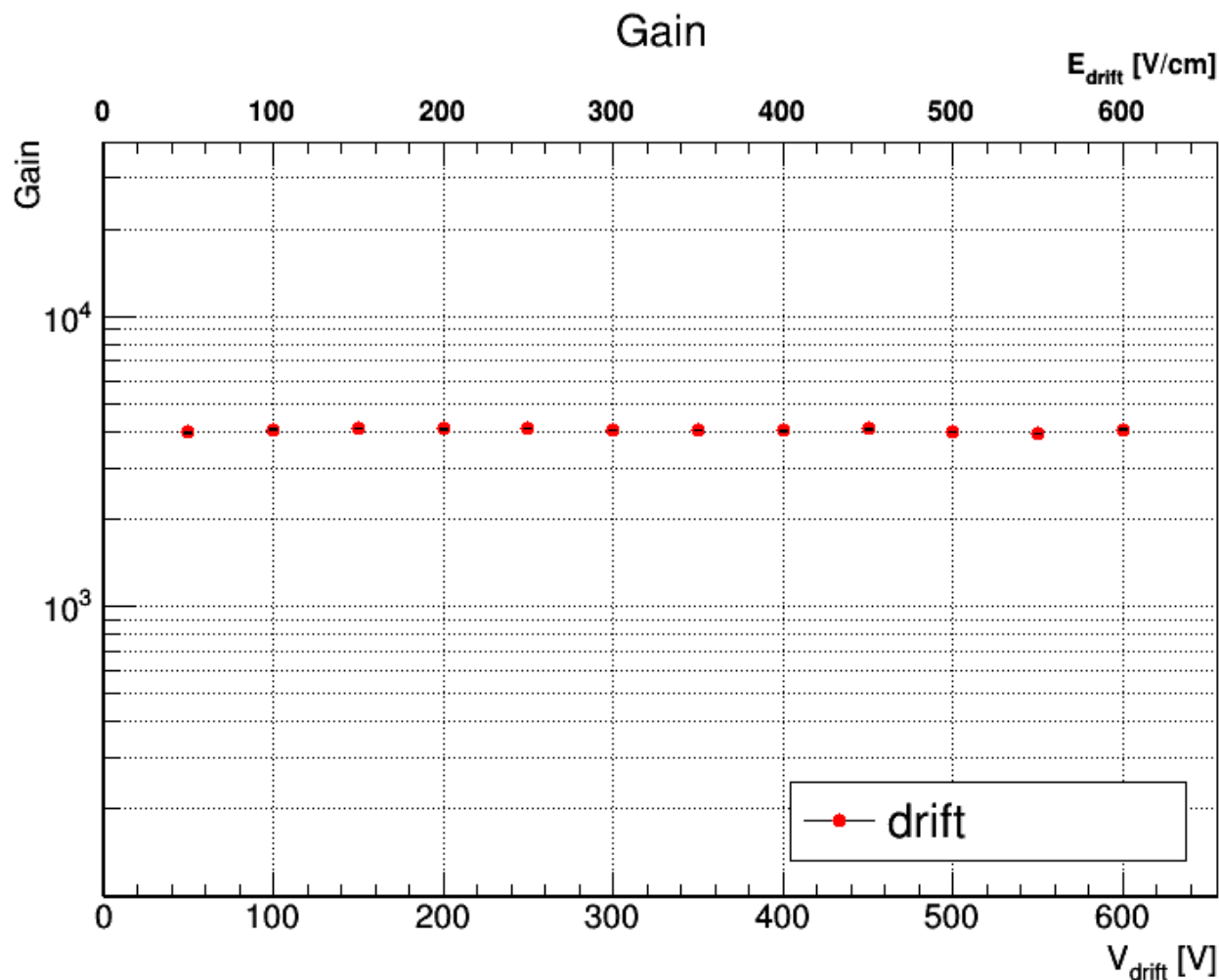
# Drift電場とGain

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

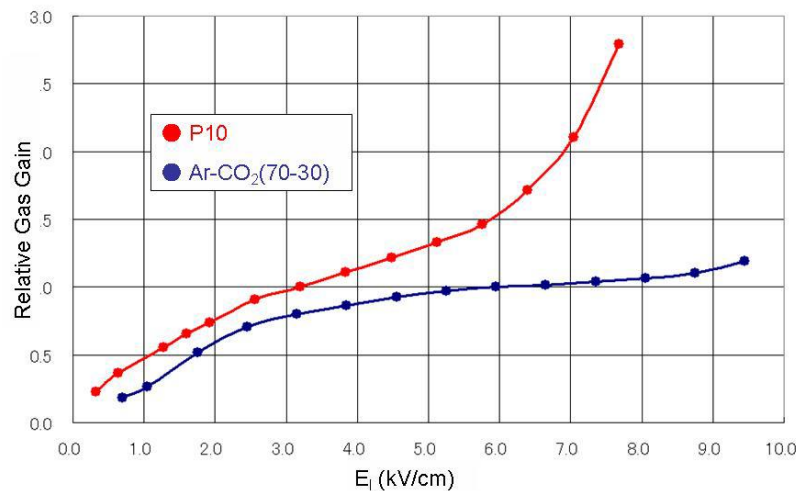
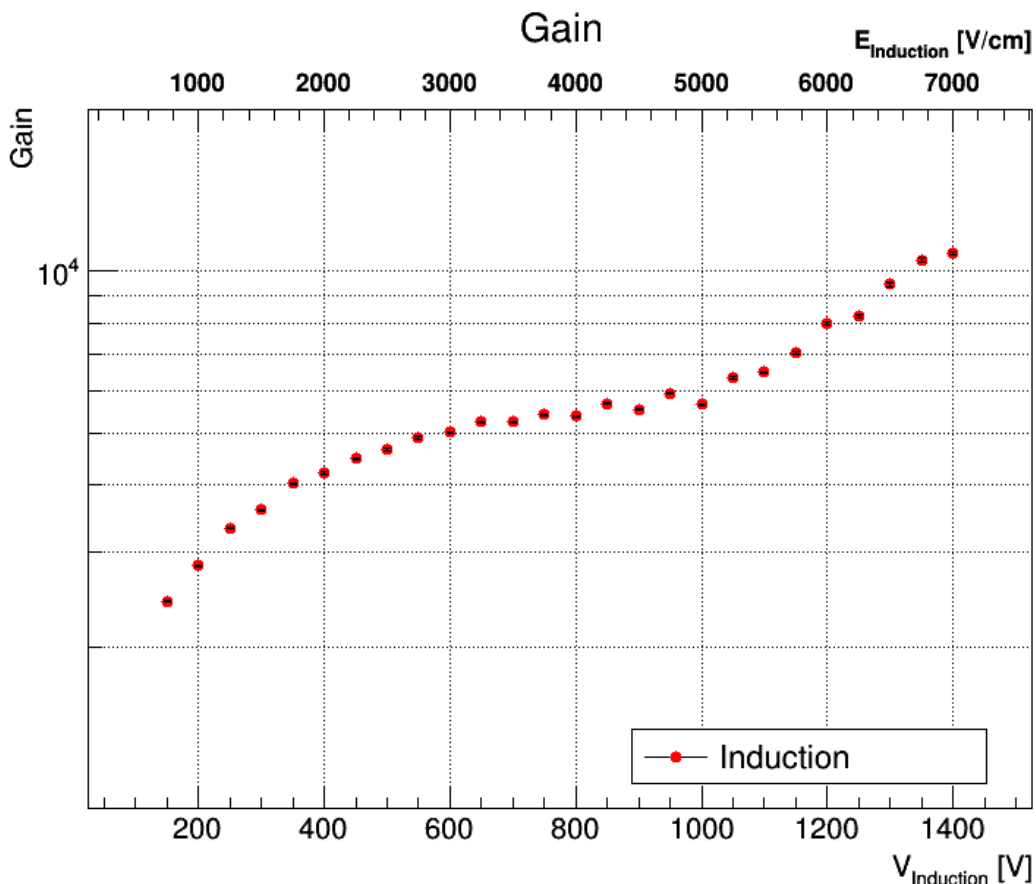
Ar + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(90:10) 1気圧

# 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